アスファルト固化処理施設火災爆発事故の原因究明結果について

(技術報告)

1999年12月

核燃料サイクル開発機構
東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184　茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部　技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184,
Japan

© 核燃料サイクル開発機構（Japan Nuclear Cycle Development Institute）
1999

Ⓐ

アスファルト固化処理施設火災爆発事故の原因究明結果について
（技術報告）

再処理施設安全対策班

要旨

東海再処理施設のアスファルト固化処理施設において、平成9年3月11日に火災爆発事故が発生した。事故直後から、現場の状況把握・閉じこめ機能の回復・事故の拡大防止に努めるとともに、事故原因の究明のため精力的に調査検討を行ってきた。事故発生後2年間に及ぶ原因究明作業により、事故の原因をほぼ特定するに至った。

主たる火災発生原因は、エクストルーダにおける物理的な発熱によりアスファルト混合物がドラムに充てんされる際の温度が異常に高温となったことである。この結果、充てん後の固化体中で緩やかな化学反応が継続し蓄熱発火に至った。エクストルーダ内における物理的な発熱は、エクストルーダに廃液を供給する速度を通常より低速にしたことにより発生した。

爆発原因は、火災により換気機能が停止したアスファルト充てん室（R152）内にアスファルト固化体から放出された可燃性ガスが充満し、そこでアスファルト固化体の発火が起きたことによる。

本報告ではこれらの事故原因を中心に、事故前・後の施設の状況、事故により放出された放射性物質の量、及び究明活動の結果得られた教訓を示す。

Study on the Cause of Fire and Explosion Incident at Bituminization Demonstration Facility

TRP Safety evaluation and analysis team

Abstract

The bituminization Demonstration Facility of Tokai Reprocessing Plant had a fire and explosion incident. The cause of the incident was investigated. Also, the facility condition and release of radioactive materials were evaluated.

The cause of the fire and subsequent explosion was determined in a two year investigation. The main cause of the fire was that the temperature of the bituminized product rose to an unusually high temperature by a physical heating phenomena inside the extruder, which was caused by the lowering the feed rate of liquid waste. A moderate chemical reaction in the bituminized product continued and consequently the bituminized product overheated and ignited.

The cause of the explosion was the accumulation of flammable gases generated from insufficiently extinguished bituminized product in the filling room in which the ventilation system had been shut down. The flammable gas was ignited by another bituminized product that overheated to the flash point temperature.

This report details the condition of the facility before and after the incident, cause of the incident, and an evaluated amount of released radioactive materials.

目次

1．はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

2．アスファルト固化処理施設の概要・・・・・・・・・・・・・・・ 3
2．1　概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
2．2　建家構造及び機器配置・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
2．3　工程及び設備・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
2．3．1　工程の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
2．3．2　処理対象廃液・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
2．3．3　廃液受入、調整工程・・・・・・・・・・・・・・ 5
2．3．4　脱水混合工程・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6
2．3．5　アスファルト充てん工程・・・・・・・・・・・・ 11
2．3．6　換気系・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 12
2．3．7　消火設備・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 13
2．4　火災に対する安全設計及び安全対策・・・・・・・・・ 13
2．5　アスファルト固化処理施設の設計から運転に至る経緯・ 14

3．火災爆発事故の経過・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 30
3．1　事故の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 30
3．2　事故時の運転状況・・・・・・・・・・・・・・・・・ 31
3．2．1　廃液受入，調整工程・・・・・・・・・・・・・・ 31
3．2．2　脱水混合工程・・・・・・・・・・・・・・・・・ 31
3．2．3　アスファルト充てん工程・・・・・・・・・・・・ 33
3．2．4　換気設備・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 33
3．3　火災発生後の対応・・・・・・・・・・・・・・・・・ 34

4．事故後の施設の状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 77
4．1　アスファルト充てん室（R152）内の状況　・・・・・・ 77
4．1．1　状況調査の実施方法・・・・・・・・・・・・・・ 77
4．1．2　状況調査の結果・・・・・・・・・・・・・・・・ 78
4．2　アスファルト充てん室（R152）周辺区域の状況　・・・ 80
4．3　換気設備の状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 81
4．4　施設の状況調査による知見・・・・・・・・・・・・・ 81

5．火災原因の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・102
5．1　火災原因究明の基本姿勢・・・・・・・・・・・・・・102

5．2　化学的発熱原因の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・103
5．2．1　不純物混入の可能性の検討・・・・・・・・・・・・103
5．2．2　酸化発熱反応の可能性の検討・・・・・・・・・・・110
5．2．3　塩粒子微細化の可能性の検討・・・・・・・・・・・112
5．2．4　各廃液貯槽内の沈殿物同伴の検討・・・・・・・・・113
5．2．5　充てん温度の高温化の検討・・・・・・・・・・・・115
5．2．6　化学的な発熱原因の検討結果・・・・・・・・・・・116
5．3　物理的発熱による充てん温度上昇の原因検討・・・・・117
5．3．1　エクストルーダ内物理的発熱の確認試験・・・・・117
5．3．2　物理的発熱現象の解析による評価・・・・・・・・・127
5．3．3　エクストルーダにおける事象進展の検討・・・・・128
5．3．4　まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・136
5．4　熱解析による検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・137
5．4．1　限界充てん温度の推定・・・・・・・・・・・・・・137
5．4．2　ターンテーブル上の火災の解析・・・・・・・・・・139
5．4．3　火災によるコンベア上の燃焼しなかった
固化体への熱的影響・・・・・・・・・・・・・・・144
5．4．4　まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・146
5．5　火災原因の検討結果・・・・・・・・・・・・・・・・・147

6．爆発原因の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・284
6．1　原因究明上重要と考えられる過去の知見等・・・・・・284
6．2　爆発原因の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・284
6．2．1　可燃性ガスの発生・・・・・・・・・・・・・・・・284
6．2．2　可燃性ガスの滞留、予混合気体の生成・・・・・・286
6．2．3　着火源・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・286
6．3　爆発原因検討結果のまとめ・・・・・・・・・・・・・・289

7．事故シナリオ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・293

8．　放射性物質の放出量並びに作業員及び公衆の被ばく線量の評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・295
8．1　放射線モニタリング・・・・・・・・・・・・・・・・・295
8．1．1　放射線状況の監視・・・・・・・・・・・・・・・・295
8．1．2　区域設定等・・・・・・・・・・・・・・・・・・・295
8．1．3　環境モニタリング・・・・・・・・・・・・・・・・296
8．2　作業員の被ばく評価・・・・・・・・・・・・・・・・・296

８．３　放射性物質の放出量評価・・・・・・・・・・・・・・・・297
８．３．１　放出量の推定方法・・・・・・・・・・・・・・・・297
８．３．２　推定結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・299
８．４　公衆の被ばく線量当量の推定・・・・・・・・・・・・・299

９．必要な安全対策と継承すべき知見・・・・・・・・・・・・・・304
９．１　運転管理上の問題点・・・・・・・・・・・・・・・・・304
９．２　技術的な問題・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・304

１０．おわりに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・306

参考文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・307

添付書類
添付－１　執筆担当者一覧・・・・・・・・・・・・・・・・・・310
添付－２　関連公開資料リスト・・・・・・・・・・・・・・・・311
添付－３　事故調査委員会・フォローアップ委員会
　　提出資料リスト・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・316
添付－４　事故調査委員会報告書・・・・・・・・・・・・・・・326
添付－５　運転管理上の問題点の指摘事項に関する対応状況・・・414

図リスト

２章
図2.1-1　アスファルト固化処理施設の運転開始からの運転実績（廃液処理量）
図2.1-2　アスファルト固化処理施設の運転開始からの運転実績（アスファルト固化体製作本数）
図2.1-3　再処理施設建家配置図
図2.2-1　アスファルト固化処理施設
図2.3-1　アスファルト固化処理施設工程概要
図2.3-2　アスファルト固化処理施設工程概略図（廃液受入・給液調整工程）
図2.3-3　アスファルト固化処理施設工程概略図（脱水混合，アスファルト充てん工程）
図2.3-4　エクストルーダ概要図
図2.3-5　スクリューシャフト形状概要図
図2.3-6　再処理工程からの発生廃液概略図
図2.3-7　アスファルト固化処理施設建家換気系（A07）概略工程図
図2.3-8　槽類換気系工程概略図
図2.3-9(1)　アスファルト充てん室CO_2消火設備概要図
図2.3-9(2)　アスファルト固化処理施設水噴霧消火設備概要図

３章
図3.1-1　火災発見時の位置関係
図3.1-2(1)　火災発生時のイメージ図
図3.1-2(2)　火災時のイメージ図
図3.2-1　反応槽での試薬添加順序と添加量
図3.2-2　エクストルーダ温度計（ゾーン１～８）の変化
図3.2-3　エクストルーダのトルクと回転数の変化
図3.2-4　100%充てん時におけるドラムあたりの原料アスファルト供給量
図3.2-5(1)　アスファルト固化処理施設換気系の状況（正常運転時）
図3.2-5(2)　アスファルト固化処理施設換気系の状況（火災消火直後の運転状況）
図3.2-5(3)　アスファルト固化処理施設換気系の状況（制限運転時）
図3.2-6　第１付属排気筒の排風量計記録
図3.2-7　施設内放射線モニタ指示値の変化
図3.3-1　火災発生後の対応

４章
図4.1-1　アスファルト充てん室（R152）内の状況
図4.1-2　アスファルト充てん室（R152）内ドラムの配置図
図4.1-3　アスファルト充てん室（R152）のドラムの状態
図4.1-4　アスファルト充てん室（R152）内のリムーバルルーフ及びシールディングウォール

図4.1-5　ドラム内固化体の物質分布状況観察結果
図4.1-6　ドラム重量測定結果
図4.1-7　アスファルト充てん室（R152）内ドラム上部観察結果
図4.1-8　アスファルト充てん室（R152）壁面の観察結果
図4.2-1(1)　アスファルト充てん室（R152）周辺区域の状況（1階）
図4.2-1(2)　アスファルト充てん室（R152）周辺区域の状況（2階）
図4.2-2　エクストルーダ室（R151）の被害状況
図4.2-3　アスファルト充てん室（R152）周辺の各室被害状況（1階）
図4.2-4　アスファルト充てん室（R152）周辺の各室被害状況（2階）
図4.2-5　2階の扉の被害状況
図4.3-1　セル換気系排気フィルタの被害状況
図4.3-2　セル換気系排気ダクトの被害状況
図4.3-3　建家換気系排気ダクトの被害状況
図4.3-4　建家換気系給気ダクトの被害状況

5章
図5.2-1　示差走査熱量計（DSC），熱重量（TG）測定結果（ST廃液）
図5.2-2(1)　示差走査熱量計（DSC），熱重量（TG）測定結果（AAF廃液　平成9年4月5日採取）
図5.2-2(2)　示差走査熱量計（DSC），熱重量（TG）測定結果（AAF廃液　平成9年4月6日採取）
図5.2-3(1)　示差走査熱量計（DSC）測定結果（AAF331V10）
図5.2-3(2)　示差走査熱量計（DSC）測定結果（AAF331V11液相）
図5.2-3(3)　示差走査熱量計（DSC）測定結果（AAF331V11沈殿物）
図5.2-4(1)　示差走査熱量計（DSC）測定結果（原料アスファルト、空気雰囲気）
図5.2-4(2)　示差走査熱量計（DSC）測定結果（原料アスファルト、窒素雰囲気）
図5.2-5　V21廃液の示差走査熱量計（DSC）測定結果
図5.2-6　廃液の蒸発乾固物＋原料アスファルトの自己発熱速度の比較
図5.2-7　V30廃液の示差走査熱量計（DSC）測定結果
図5.2-8　V31廃液の示差走査熱量計（DSC）測定結果
図5.2-9　V32廃液の示差走査熱量計（DSC）測定結果
図5.2-10　V33廃液の示差走査熱量計（DSC）測定結果
図5.2-11　充てん室内固化体のTotal Salt濃度分析結果
図5.2-12　充てん室内固化体の陰イオン濃度分析結果
図5.2-13　充てん室内固化体の金属成分濃度分析結果
図5.2-14　充てん室内固化体の物性測定結果
図5.2-15　充てん室内固化体のCHNO濃度分析結果
図5.2-16　充てん室内固化体の塩除去後のCHN濃度分析結果
図5.2-17　充てん室内固化体のγスペクトル分析結果
図5.2-18　ドラムNo.30090の固化体のARC測定結果
図5.2-19　充てん室内固化体等のARC測定結果

図5.2-20　エクストルーダ内残存アスファルト混合物のTotal Salt濃度、全油分濃度分析結果
図5.2-21　エクストルーダ内残存アスファルト混合物の陰イオン濃度分析結果
図5.2-22　エクストルーダ内残存アスファルト混合物のCHN濃度分析結果
図5.2-23　エクストルーダ内残存アスファルト混合物の物性測定結果
図5.2-24　エクストルーダ内残存アスファルト混合物のγスペクトル分析結果
図5.2-25　エクストルーダ内残存アスファルト（平成9年7月採取）の示差走査熱量計（DSC）測定結果
図5.2-26　空気雰囲気における模擬固化体の昇温IR測定の結果
図5.2-27　窒素雰囲気における模擬固化体の昇温IR測定の結果
図5.2-28　各官能基に帰属されるピークの強度変化
図5.2-29　実固化体のIRスペクトル
図5.2-30　2200～2000cm^{-1}付近の塩成分に帰属される吸収ピーク
図5.2-31　実固化体中の塩の粒度分布測定結果
図5.2-32　DSC測定結果（塩粒径効果：窒素雰囲気）
図5.2-33　C80D測定結果（塩粒径効果：窒素雰囲気）
図5.2-34　MS80D測定結果
図5.2-35　エクストルーダのトルクの変化
図5.2-36　V21廃液試料採取概念図
図5.2-37　採取したV21廃液
図5.2-38　模擬の沈殿物を加えた各サンプルのDSC測定結果
図5.2-39　模擬固化体での内部空洞の生成
図5.2-40　高温保持による硝酸イオン濃度変化
図5.2-41　高温保持後の模擬固化体のIRスペクトル
図5.3-1　4軸エクストルーダのシリンダー内観察結果
図5.3-2　2軸エクストルーダの概要
図5.3-3　4軸エクストルーダのスクリュー構成概略図
図5.3-4　2軸エクストルーダのスクリュー構成概略図
図5.3-5　2軸エクストルーダの温度計等配置図
図5.3-6　標準状態におけるトルク・温度の挙動
図5.3-7　試験-2の試験機構成
図5.3-8　2軸試験機のトルクと温度の関係（試験2）
図5.3-9　塩の堆積状況（ニーディングディスク接合部）
図5.3-10　塩の堆積状況（ニーディングディスク部）
図5.3-11　水洗浄後のスクリュ（スクリュ部）
図5.3-12　水洗浄後のスクリュ（ニーディングディスク部）
図5.3-13(1)　スクリュに堆積した塩
図5.3-13(2)　堆積した塩に湯をかけた場合
図5.3-14　冷却操作により剥離して流下した塩層
図5.3-15　ニーディングディスク形状の特殊ダイ設置概要
図5.3-16　エクストルーダ内に堆積した塩の状況

図5.3-17　原料アスファルト粘度の温度依存性
図5.3-18　異常流動の発生についての説明図
図5.3-19　混合物粘度の塩濃度依存性
図5.3-20　エクストルーダ内の混合物温度の試算結果
図5.3-21　14Bにおけるノーマルシャットダウン（N.S.D）時の挙動
図5.3-22　28Bにおけるノーマルシャットダウン（N.S.D）時の挙動
図5.3-23　トルクの平均値と初期値の5バッチ区切りでの変化
図5.3-24　偶数バッチと奇数バッチでのトルク波形の違い
図5.3-25　97-M46-1キャンペーンにおける偶数バッチと奇数バッチでのトルク波形の違い
図5.3-26　廃液供給口設置位置周辺の装置構成概略図
図5.3-27　ゾーン2～3のバレル温度分布解析結果
図5.3-28　標準供給速度運転時の奇数バッチと偶数バッチ
図5.3-29　典型的な奇数バッチのトルクとゾーン7温度の波形
図5.3-30　6B～ 10Bにおけるトルクおよびゾーン7温度の推移
図5.3-31　供給速度20%低下運転時の奇数バッチと偶数バッチ
図5.3-32　26B～30Bにおけるトルクおよびゾーン7温度の推移
図5.3-33　26Bにおけるトルクとゾーン7温度の変化
図5.3-34　27Bにおけるトルクとゾーン7温度の変化
図5.3-35　28Bにおけるトルクとゾーン7温度の変化
図5.3-36　冷却運転時の熱解析結果
図5.3-37　塩層の剥離モデルによる熱解析結果
図5.3-38　29Bにおけるトルクとゾーン7温度の変化
図5.3-39　30Bにおけるトルクとゾーン7温度の変化
図5.3-40　26Bから30Bまでのトルクおよびゾーン7温度と進展事象
図5.4-1　固化体の計算モデルと境界条件
図5.4-2(1)　固化体内最高温度の経時変化（空洞、硬膜有り）
図5.4-2(2)　固化体内最高温度の経時変化（空洞、硬膜無し；主反応のみ）
図5.4-2(3)　固化体内最高温度の経時変化（予備反応+主反応）
図5.4-3(1)　固化体内最高温度の経時変化（No. 30090ドラムからの低温発熱を考慮）
図5.4-3(2)　固化体内最高温度の経時変化（V21廃液+原料アスファルト混合物からの低温発熱を考慮）
図5.4-4　爆発後のエクストルーダ本体温度の変化
図5.4-5　事故発生時のターンテーブル上のドラム配置
図5.4-6　燃焼・消火実験場と測定点概略図
図5.4-7　燃焼開始後18分経過（定常燃焼）
図5.4-8　燃焼消火実験データ（気流温度）
図5.4-9　燃焼消火実験データ（ふく射強度、気流速度）
図5.4-10(1)　実験場内部空間の熱気流の速度分布
図5.4-10(2)　ふく射計を含む2断面内における大気温度分布

図5.4-10(3)　(2)図と同様な2断面内におけるふく射強度分布
図5.4-11　爆発後の充てん室内部火炎計算モデル
図5.4-12(1)　エクストルーダを含む横断面内の速度分布
図5.4-12(2)　火炎を含む横断面内の温度分布
図5.4-13(1)　エクストルーダおよび隣接ドラムの表面温度
図5.4-13(2)　エクストルーダおよび隣接ドラム境界での熱流束
図5.4-14　エクストルーダの計算モデル図と境界条件
図5.4-15(1)　発火1時間後のエクストルーダの表面温度
図5.4-15(2)　発火1時間後の熱伝対挿入部分の表面温度
図5.4-16　爆発後のエクストルーダゾーン8温度計の指示値と計算結果との比較
図5.4-17　30101ドラム表面上のふく射熱流束分布
図5.4-18　隣接ドラム延焼現象の計算モデル
図5.4-19　燃焼している固化体の影響（通常温度で充てんされた場合）
図5.4-20　燃焼している固化体の影響（高温で充てんされた場合）
図5.4-21　アスファルト充てん室（R152）内部の各ドラム火炎からのふく射強度
図5.4-22　最初の火災から爆発までのNo.30088ドラム内固化体の内部温度変化

6章
図6.1-1　模擬アスファルト固化体燃焼消火実験時の内部温度
図6.2-1　開放状態での燃焼試験
図6.2-2　小規模爆発試験装置
図6.2-3　小規模爆発試験装置での火炎伝播の様子

8章
図8.3-1　正規型パフ拡散モデルの概念図
図8.3-2　半円柱状モデルの概念図
図8.3-3　放射性物質の移行挙動の概念図

表リスト

2章
表2.3-1　処理廃液の種類
表2.3-2　エクストルーダのTICOW±（温度指示調節上下限操作注意報）の設定値
表2.3-3　各区域の負圧目標値

3章
表3.1-1　爆発後の施設外への煙の排出状況

5章
表5.2-1　分析実施項目
表5.2-2　アスファルト固化処理技術開発施設の火災爆発事故の原因究明のための試料分析結果
表5.2-3　STリン酸廃液及びAAF濃縮廃液試料の陰イオン濃度分析結果
表5.2-4　STリン酸廃液及びAAF濃縮廃液試料のγスペクトル分析結果
表5.2-5　原料アスファルト分析結果
表5.2-6　試薬調整濃度分析結果
表5.2-7　調整済試薬試料の金属元素（不純物）濃度及び全油分濃度分析結果
表5.2-8　廃棄物処理場の濃縮廃液及びアスファルト固化処理施設内から採取した固化処理対象廃液の分析結果
表5.2-9　固化体の分析結果
表5.2-10　充てん室内ドラム固化体の金属成分分析結果
表5.2-11　充てん室内ドラム固化体等のARC測定結果
表5.2-12　エクストルーダ内混合物の分析結果
表5.2-13　雰囲気の違いによる酸化反応の進行に伴うIRスペクトル変化
表5.2-14　実固化体中の塩の粒度分布測定結果
表5.2-15　固化処理対象廃液貯層の沈殿物の金属成分分析結果
表5.2-16　運転員によるアスファルト混合物の観察結果
表5.2-17　高温保持後の混合物の様子
表5.3-1　実機と2軸試験機の供給速度比較
表5.3-2　実機と2軸試験機のせん断速度比較
表5.3-3　混合物の塩濃度分析値
表5.3-4　供給速度低下によるトルクと温度測定結果
表5.3-5　冷却によるトルクと温度への影響確認結果（5.3L/h：1.9L/h）
表5.3-6　出口混合物とシャフト付着混合物の塩濃度比較結果
表5.3-7　特殊ダイによる供給速度の塩濃縮への影響確認結果
表5.4-1　計算に用いた物性値
表5.4-2　化学反応に係わる定数
表5.4-3　低温域からの発熱を検知した際の反応速度定数
表5.4-4　固化体の火災時の計算モデル

8章

表8.3-1　排気設備からの放出量
表8.3-2　開口部からの^{137}Cs放出量の推定結果
表8.3-3　開口部からの放出量推定値
表8.3-4　公衆の被ばく線量等量の試算結果

1．はじめに

核燃料サイクル開発機構（以下「サイクル機構」という。平成10年9月まで動力炉・核燃料開発事業団）東海再処理施設のアスファルト固化処理施設において、平成9年3月11日に火災爆発事故が発生した。科学技術庁はこの事故について、国際評価尺度（INES）でレベル3（重大な異常事象）にあたると評価し、原子力委員会と国際原子力機関（IAEA）に報告した。

アスファルト固化処理施設は再処理施設の各工程から発生する低レベルの放射性廃液を、アスファルトと共に安定な形態にエクストルーダ（押出混練機）を用いて減容固化する施設である。本施設は昭和57年に運転を開始して以来、安定に運転を継続し、約30,000本のアスファルト固化体を製造してきた。

サイクル機構は事故直後から、現場の状況把握・閉じこめ機能の回復・事故の拡大防止に努めるとともに、事故原因の究明のため精力的に調査検討を行ってきた。原因究明のため、事故現場の調査，記録類の回収，事故時の運転状況の聞き取り調査等を行うとともに、アスファルト固化技術開発における知見や過去の運転状況を詳細に調査した。さらに現場に残されたアスファルト固化体・廃液等の試料を採取し、化学分析や熱分析を行うとともに、模擬アスファルト固化体や小型エクストルーダを用いた各種試験を実施した。またアスファルト固化施設の火災事故は1981年に海外（ベルギー）でも発生している[1-1]。サイクル機構のアスファルト固化は同施設からの導入技術であるため、ベルギーを訪問して情報収集を行うとともに、同様にアスファルト固化技術を採用しているフランスも訪問し情報交換を行った。

これら調査検討に際しては、社内に「アスファルト固化処理施設火災・爆発事故原因究明・再発防止対策班」（平成10年に再処理施設安全対策班に改組）を設置し、関係する部門の協力を得ながら活動を進めてきた。また、専門家により構成されるアドバイザリーグループを設置し、専門の知識や経験に基づいた貴重な助言を受けた。

一方、科学技術庁は「東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会（以下、「事故調査委員会」という）」を事故直後に設置し、事故原因についての調査・検討を30回にわたる委員会により行い、平成9年12月に報告書[1-2]を作成した。その後、報告書で示された中長期的課題に対して引き続き調査・検討を行うため、「東海再処理施設アスファルト固化処理施設火災爆発事故フォローアップチーム」（以下、「フォローアップチーム」という）を平成9年12月に設置し、平成11年3月までに5回の会合を行っている。サイクル機構はこれらの会合に対して、調査検討結果を逐次報告してきた。

以上の原因究明の努力の結果、ほぼ事故原因を解明するに至り、第5回フォローアップチーム会合（平成11年3月30日）にその詳細を報告した。また、原

因究明結果を記載した事故報告書を平成11年5月に科学技術庁と茨城県に提出した。

この事故を機に、運転管理上の問題点が数多く指摘され改善されている。しかし、本質的にこの類の事故の発生を防止するためには、今回の火災爆発事故の状況・原因・背景等について、各人が正確に認識し、理解を深めることが最も重要であり、その上で各種の改善策を漏れなく実施することが必要である。そのためにもこの報告書が熟読され、二度とこのような事故が起こらないことを切に願うものである。

以下に、解明した事故原因について報告する。

2．アスファルト固化処理施設の概要

2．1　概要

アスファルト固化処理施設は、再処理施設の分離精製工場等から発生した低放射性廃液をアスファルトとともに安定な形態に減容固化する施設である。昭和57年10月のホット試験開始以来、これまでに約7,400m³の廃液を処理し、約3万本のアスファルト固化体を製作している（図2.1-1, 2）。

再処理施設敷地内におけるアスファルト固化処理施設の位置は、分離精製工場の北側、廃棄物処理場（AAF）の東側、第二低放射性廃液蒸発処理施設（E施設）、第三低放射性廃液蒸発処理施設（Z施設）の南側に設置しており、アスファルト固化処理施設の東側には道路を隔てて第１付属排気筒を設置し、アスファルト固化処理施設からの排気（ホワイト区域を除く）を排出するために、アスファルト固化処理施設とは排気ダクトで接続している（図2.1-3）。

また、分離精製工場の南東部の高放射性固体廃棄物貯蔵庫、第一低放射性固体廃棄物貯蔵場及び第二低放射性固体廃棄物貯蔵場の南側にはアスファルト固化体貯蔵施設及び第二アスファルト固化体貯蔵施設を設置し、低放射性廃液を固化することにより発生したアスファルト固化体を貯蔵している。

2．2　建家構造及び機器配置

アスファルト固化処理施設の建家は、地下2階、地上4階の鉄筋コンクリート造で、建家面積は約850m²である（図2.2-1）。建家内の区域は、ホワイト区域、グリーン区域、アンバー区域、レッド区域に区分されており、部屋番号の一文字目のアルファベットはその部屋番号がどの区域に属するかを示している（W, G, A, Rはそれぞれホワイト、グリーン、アンバー、レッドの各区域を示している）。

地下には廃液受入貯槽が設置されている廃液受入貯蔵セル（R050、R051）等が、1階には廃液とアスファルトを混合するエクストルーダが設置されているエクストルーダ室（R151）、アスファルト混合物をドラムに充てんするアスファルト充てん室（R152）等が、2階には反応槽及び供給槽が設置されている給液調整セル（R251）等が、3階にはサンプリング室（A334）、排気フィルタ室（A336）等が、4階には入気室（G416）、分析室（G414）等が配置されている。また、地下の管路で廃棄物処理場（AAF）、第二低放射性廃液蒸発処理施設（E施設）及びアスファルト固化体貯蔵施設と接続し、2階の通路で、第三低放射性廃液蒸発処理施設（Z施設）に接続している。4階からは排気ダクトで第一付属排気筒に接続している。

2．3　工程及び設備

2．3．1　工程の概要

アスファルト固化処理施設では、低放射性廃液のアスファルト固化を行う。工程の概要を、図2.3-1, 2, 3に示す。処理対象廃液は、廃棄物処理場（AAF）の低放射性廃液第一蒸発缶で処理した濃縮液、廃棄物処理場（AAF）の化学処理系で処理した化学沈殿スラッジ、第三低放射性廃液蒸発処理施設（Z施設）の低放射性廃液第三蒸発缶で処理した濃縮液及び廃溶媒処理技術開発施設（ST施設）の蒸発缶で処理した濃縮液である。

これらの低放射性廃液は、各施設から廃液受入貯槽（V20, 21）に受け入れる。廃液受入貯槽（V20, 21）から約３m^3の廃液が反応槽（V30, 31）へ送られ、この３m^3を１バッチとして、水素イオン濃度の調整などの給液調整が行われる。給液調整された廃液は、供給槽（V32, 33）へ送液された後、エクストルーダ（図2.3-4, 5）へ供給される。反応槽からエクストルーダへの廃液供給系統は2系統設置されており、それぞれV30→V32→エクストルーダ、V31→V33→エクストルーダと送液される。この供給系統は1バッチ（以下、B），3Bといった奇数のバッチではV31→V33よりエクストルーダに送液し、偶数のバッチ（2B, 4B, ･･･）ではV30→V32から送液するといったように交互に使用している。なお、バッチ番号はキャンペーン（まとまった量の廃液を処理するための運転の単位）開始から1B，2B，3Bと順番に呼んでいる。

エクストルーダでは廃液と原料アスファルトを加熱・混合することにより廃液中の水分を蒸発させる。蒸発した水分はエクストルーダの上部にあるドームと呼ばれる凝縮器で凝縮させる。エクストルーダより排出されるアスファルト混合物はターンテーブル上の空ドラム（200ℓ）に充てんされる。

充てんが終了したドラムはグラブツールでコンベア上に装荷され、このコンベア上で移動中に冷却される。約40時間冷却することによりアスファルト混合物は冷却・収縮し、収縮部を含めた上部に原料アスファルトを充てん後、ドラムはキャッピングされる。

キャッピング後、クレーンによりフレームに４本づつまとめて収められ、さらにこのフレームがカスクに収容される。カスクはクレーンにより、トラックエアロック内で運搬車に乗せられ、アスファルト固化体貯蔵施設又は第二アスファルト固化体貯蔵施設へ搬出される。

2．3．2　処理対象廃液（図2.3-6）

アスファルト固化処理の対象としている廃液は、２．３．１項で記載したよ

うに、分離精製工場などで発生した低放射性の液体廃棄物を
(1) 廃棄物処理場（AAF）の低放射性廃液第一蒸発缶で処理した濃縮液
(2) 廃棄物処理場（AAF）の化学処理系で処理した化学沈殿スラッジ
(3) 第三低放射性廃液蒸発処理施設（Z施設）の低放射性第三蒸発缶で処理した濃縮液
(4) 廃溶媒処理技術開発施設（ST施設）の蒸発缶で処理した濃縮液
である。以下に各処理対象廃液の発生元について示す。

(1) 低放射性廃液第一蒸発缶の濃縮液

低放射性廃液第一蒸発缶の濃縮液は、分離精製工場から発生する溶媒洗浄廃液、せん断・溶解オフガスの洗浄廃液、各貯槽類からのオフガスの洗浄廃液及びカスク除染廃液並びに分析所からの分析廃液などを廃棄物処理場の低放射性第一蒸発缶で蒸発処理した濃縮液である。

(2) 化学沈殿スラッジ

化学沈殿スラッジは、分離精製工場からの床排水や分析所からの洗濯廃液などを廃棄物処理場の化学処理系で試薬を添加することによって生成した沈殿物を含む廃液である。

なお、化学処理の対象としている床排水や洗濯廃液は、現状、蒸発処理しているため、化学沈殿スラッジはほとんど発生していない。

(3) 第三低放射性廃液第三蒸発缶の濃縮液

第三低放射性廃液第三蒸発缶の濃縮液は、分離精製工場からの酸回収工程の酸回収蒸発缶の凝縮液、分析所からの分析廃液、分離精製工場などの各建家からの床排水並びに廃棄物処理場の低放射性第一蒸発缶からの凝縮液などの比較的放射能濃度の低い廃液を第三低放射性廃液蒸発処理施設（Z施設）の低放射性廃液第三蒸発缶で蒸発処理した濃縮液である。

(4) 廃溶媒処理技術開発施設（ST施設）の濃縮液

廃溶媒処理技術開発施設（ST施設）の濃縮液は、分離精製工場からの廃溶媒、廃希釈剤を廃溶媒処理技術開発施設（ST施設）で処理する際に発生したリン酸塩を含む廃液を蒸発缶で蒸発処理した濃縮液である。

これらの処理対象廃液の放射能濃度、主要核種などを表2.3-1に示す。

２．３．３　廃液受入、調整工程（図2.3-2）

(1) 廃液受入工程

低放射性廃液第一蒸発缶からの濃縮液は廃棄物処理場（AAF）の低放射性濃縮廃液貯槽を経て廃液受入貯槽（V21）に、化学沈殿スラッジは廃棄物処理場（AAF）の沈降槽あるいはスラッジ貯蔵場又は第二スラッジ貯蔵場のスラッジ貯槽から廃液受入貯槽（V20）に受け入れられる。

廃溶媒処理技術開発施設（ST施設）からのリン酸廃液は、廃溶媒処理技術開発施設（ST施設）の廃液中間貯槽から廃液受入貯槽（V20又はV21）へ受け入れられる。

第三低放射性廃液蒸発処理施設（Z施設）の濃縮液は、第三低放射性廃液蒸発処理施設（Z施設）の濃縮液貯槽から廃液受入貯槽（V20）に受け入れられる。また、第三低放射性廃液蒸発処理施設（Z施設）の濃縮液は、反応槽（V30, V31）へも受け入れられるようになっている。

廃液受入貯槽（V20, V21）には、受け入れられた廃液をかくはんするために圧空の供給設備が、受け入れられた廃液の分析のための試料を採取できるようにサンプリング設備が設けられている。

(2) 調整工程

廃液受入貯槽（V20, V21）に受け入れられた廃液は、反応槽（V30, V31）へ送られ、硝酸又は水酸化ナトリウムを用いてpH調整（pH8～10）されるとともに必要に応じて廃液1㎥あたり水酸化バリウム10.3kg、0.5molフェロシアン化カリウム溶液37ℓ、25%硫酸ニッケル溶液17.4ℓ、亜硫酸ナトリウム3.8kg、硝酸銀（廃液中に含まれるI-129の2倍モル相当量）を添加し下記に示す反応によって不溶性の沈殿物を生成することにより、Sr、Cs、Iなどの核種の不溶化処理が行われる。

（i） $Na_2CO_3 + Ba(OH)_2 \Rightarrow BaCO_3\downarrow + 2NaOH$

（ii） $2NiSO_4 + K_4Fe(CN)_6 \Rightarrow Ni_2Fe(CN)_6\downarrow + 2K_2SO_4$

（iii） $NaIO_3 + Na_2SO_3 \Rightarrow NaI + Na_2SO_4 + O_2$

$NaI + AgNO_3 \Rightarrow NaNO_3 + AgI\downarrow$

給液調整された廃液は、スチームジェットで供給槽（V32, V33）へ送られ、2段のエアリフトを用いて供給槽（V32, V33）からエクストルーダへ供給される。

2．3．4 脱水混合工程

(1) プロセス

脱水混合工程では、供給槽からの廃液と、アスファルト貯槽（V45）からの溶融した原料アスファルトがエクストルーダ（E40）に供給される。エクストルーダ（E40）では蒸気で加熱されることにより、廃液中の水分を蒸発させるとともに、原料アスファルトと混合される。

エクストルーダ（E40）へ供給される原料アスファルトは、廃液の流量と塩濃度から単位時間当たりの塩の供給重量を求め、この塩の供給重量に応じて所定の塩／アスファルトの比（45/55）になるように供給量が調節される。

エクストルーダの本体部分は、ゾーンと呼ばれる８区画に分割されており、ゾーン1には原料アスファルトの供給配管が取り付けられており、ゾーン２には供給槽(V32)からの廃液供給配管と供給槽(V33)からの廃液供給配管の２本の配管が取り付けられている。ゾーン３，４，５，６は加熱、蒸発部となっている。ゾーン１，２で供給されたアスファルトと廃液は、ゾーン８の方向へスクリュの回転（回転速度275rpm）により押し出されていき、ゾーン3～6にかけてアスファルトと加熱・混合することにより、廃液中の水分を蒸発させている。蒸発させた水分は、ゾーン4, 5, 6の上部に設けられたドームと呼ばれる凝縮器により凝縮させ、廃液系の中間貯槽（V22）に送られる。エクストルーダ内で脱水・混合した廃液とアスファルトの混合物は、排出管と呼ばれるゾーン8からドラムへ充てんされる。

エクストルーダの水分蒸発能力は約200ℓ/hであり、加熱には、アスファルトが消防法でいう指定可燃物（可燃性固体類）に該当するため、使用する原料アスファルトの引火点より飽和蒸気温度が低い約20kg/㎠G以下の飽和蒸気（飽和蒸気温度；約215℃）を使用している。

(2) エクストルーダの概要（図2.3-4, 5）

エクストルーダ（E40）は、独国Werner&Pfleiderer社で製作された同方向回転かみ合い型の横型４軸のエクストルーダであり、バレル、スクリュ、ドームから成る本体部分と主電動機、減速機、分配機から成る駆動機部分より構成されている。エクストルーダ本体の寸法は、幅約0.6m、高さ約1.9cm、長さ約5.3mであり、主電動機まで含めた長さは約9.4mである。主要な材質及び寸法を以下に示す。

① バレル

本体部分を構成するゾーン１からゾーン７は、バレルと呼ばれており幅約0.6m、高さ約0.3m、長さはゾーン１～３が約0.4m、ゾーン４～７が約1.1mで窒化処理されたクロムーモリブデン鋼のブロックで製作されている。このバレルには、ゾーン１から７にかけて直径121mmφの貫通孔４本が開けられ、スクリュシャフト４本が設置されている。

ゾーン1から7には、ゾーンごとに加熱用の蒸気を供給するための貫通孔が、ゾーン1, 2, 7には冷却用の冷却水を供給するための貫通孔がスクリュシャフトと平行に配置されている。また、ゾーン1～7の各ゾーンにはエクストルーダの加熱蒸気温度を監視・制御するために温度計（TICOW±；温度指示調節上下限操作注意報）が設置されている。

② スクリュ

各スクリュシャフトには、アスファルト混合物を押し出すためのスクリュエレメントとアスファルトと廃液中の塩を混合するためのニーディングブロックがセットされている。スクリュエレメントとニーディングブロックはステライト盛りされた炭素鋼で製作され、スクリュシャフト１本当たり50個セットされている。形状は直径120mm ϕ で1個あたりの長さ20～180mmである。エクストルーダ内のスクリュエレメントとニーディングブロックの配置は、ゾーン1から6にかけては主にスクリュエレメントが配置されており、ゾーン3とゾーン4の間、ゾーン4とゾーン5の間及びゾーン5とゾーン6の間にはニーディングブロックが配置されている。ゾーン7には、スクリュエレメントと3つのニーディングブロックが配置されている。ゾーン7の末端のスクリュエレメントは逆ネジが切られており、アスファルト混合物がゾーン8（排出管）へ落ちるように設計されている。

③ ドーム

ゾーン4～6に各１基配置されているドームは、幅60cm、長さ92cm、高さ120cmの円筒形でステンレス鋼で製作されており、内部には冷却水配管が配置されている。ドームの上部にはサイトグラスが取り付けられドーム内部を観察できるようになっている。また、ドームの下部には洗浄用の蒸気配管と浄水配管が接続されている。

④ 排出管

ゾーン8はステンレス鋼製の二重管構造となっており、内管と外管の間に加熱用の蒸気が供給され、加熱蒸気の温度を監視・調節するためのTICOW±（温度指示調節上下限操作注意報）が設置されている。上部には排出管内におけるアスファルトの付着による詰まりを防止するための窒素ガス供給配管と付着したアスファルトを洗浄するための溶媒供給配管が取り付けられている。下部には弁が設けられており、ドラムの切り替え時には弁を閉止し、一時的に充てんを中断できるようになっている。

なお、ゾーン8の下部には流下するアスファルト混合物の温度を監視するための内部温度計が設置されているが、取付不良のためかアスファルト混合物の

温度を正確に測れる状態ではなかった。

⑤ 駆動機

主電動機の回転は減速機により回転速度を減速した上で、分配機により4本のスクリュシャフトに伝達される。主電動機は定格電圧3相440V、定格電流225A、消費電力108kwである。

(3) エクストルーダの運転操作

① 供給流量の制御方法

エクストルーダへは、エアリフトセパレータ（D36,D37）から重力流により廃液を供給しているため、エアリフトセパレータ（D36,D37）へ供給する廃液量を制御することにより、エクストルーダへ供給する廃液量を制御している。

このため、エアリフトセパレータ（D36,D37）に送る廃液量を監視するとともに、供給槽の液位を一定時間（通常1時間程度）ごとに確認し、供給槽からエクストルーダへの供給液量が所定の流量でない場合はエアリフト（A361,A371）に供給する空気量を調節する。

一方、エクストルーダへ供給するアスファルトは、廃液の流量と塩濃度から単位時間当たりの塩の供給重量を求め、所定の塩／アスファルトの比(S/B)になるようにアスファルトの供給量を一定時間（通常2～3時間程度）ごとに確認し、所定の流量でない場合は、ポンプ（P453）の回転数を調節している。

② エクストルーダの運転

ゾーン1, 2及び7には蒸気配管と冷却水配管が、ゾーン3, 4, 5, 6, 8には蒸気配管が接続されている。各ゾーンに接続している蒸気配管及び冷却水配管には調節弁が設置されており、エクストルーダの各ゾーンに取り付けられているTICOW±（温度指示調節上下限操作注意報）によって、表2.3-2に示す調節値を保つように蒸気配管又は冷却水配管に設置してある調節弁の開度を調節する。

表2.3-2に示す温度は、ゾーン1，2では廃液供給口における廃液の突沸を防止することとモータ側のスクリュシャフト貫通部からの廃液の漏れを防止することを目的に低い温度に設定されており、ゾーン3から温度を上げて、ドームが設置してあるゾーン4～6にかけて廃液中の水分を蒸発させるために高い温度に設定している。ゾーン7, 8ではアスファルト混合物の温度を徐々に下げるために、ゾーン4～6に比べ低い温度に設定してある。

③ エクストルーダの運転制御モード

エクストルーダには、通常の運転操作や保守操作を考慮したいくつかのシーケンス制御が組まれている。以下に主なシーケンス制御を示す。

a) N.S.D.（Normal Shut Down）モード

N.S.D.モードは、エクストルーダの温度が各ゾーンに設置してあるTICOW±の設定範囲から外れた場合やエクストルーダのトルクが50%に達した場合、スクリュの回転数が120rpmまで低下した場合などの異常を検知してエクストルーダの運転をシーケンスプログラムにそって自動停止させるための制御モードである。

エクストルーダの温度異常の場合をゾーン７を例に示すと、ゾーン７のTICOW±は、通常運転時はゾーン７に供給している蒸気の流量調節弁の開度を調節しており、温度高でTICOW±が発報した場合は冷却水の手動弁を開にし、TICOW±の調節先を冷却水の流量調節弁に切り替える。TICOW±発報後、約1.5分以内に冷却水をゾーン７に供給し、エクストルーダの温度をTICOW±の温度上限値以下にすることができれば、エクストルーダの運転を継続することができる。仮に、約1.5分以内に冷却水の供給ができず温度上限値を超えた状態が継続すれば、自動的に廃液の供給が停止されエクストルーダの回転数が50rpmまで低下する。この状態で、冷却水を供給しエクストルーダの温度がTICOW±の温度上限値を下回ることができれば、手動でエクストルーダの回転数を増加させ通常運転に戻すことができるが、上限値を超えた状態が30分継続すると最終的にエクストルーダは自動停止する。

また、トルク異常の場合を例に示すと、エクストルーダのトルクが50%以上に達した場合、廃液の供給が自動停止され、エクストルーダの回転速度が50rpmまで低下する。この状態で、30分以内にポット（V401）から浄水をエクストルーダに供給することによりトルクを通常の範囲（20～30%）まで低下させることができれば通常の運転に戻すことができる。

b) E.S.D.（Emergency Shut Down）モード

E.S.D.モードは、エクストルーダのトルクが70%に達した場合やエクストルーダの回転が停止した場合などに、廃液の供給、アスファルトの供給、エクストルーダの加熱、主電動機の運転を瞬時に自動的に停止する。

また、このE.S.D.モードには、手動停止モードが組まれており、通常の運転停止の際に廃液の供給停止、アスファルトの供給停止を行った後、E.S.D.モードを作動させエクストルーダの運転を停止させている。

c) A.D.C（Auto Dome Cleaning）

A.D.Cは、ドーム部に付着した塩やアスファルトを自動的に洗浄するためのモードであり、エクストルーダの運転中、定期的（約３時間ごと）に、ドーム１から順次ドーム下部へ蒸気を吹き付け洗浄する。

なお、ドーム部の洗浄は、手動にてドームを選択して洗浄することもでき、この手動モードをM.D.C（Manual Dome Cleaning）と称している。

d） Abnormal Operation

Abnormal Operationは、エクストルーダ内の水洗浄や溶媒洗浄を行う際の運転モードである。通常運転では、排出管の弁が開の状態でないとエクストルーダの運転ができないようにシーケンスが組まれており、エクストルーダの洗浄を行う際には、排出管の弁を閉じてエクストルーダ内に水や溶媒を保持し運転する必要がある。Abnormal Operationモードでは、一部のシーケンスを解除し排出管の弁を閉じた状態でエクストルーダの運転を行うことができる。

④ 洗浄操作

各バッチの運転終了時は、Twa（浄水）洗浄及びダブルエアリフト洗浄と呼ぶ洗浄操作を行っている。Twa洗浄は廃液の供給を停止し原料アスファルトを供給した状態で、エクストルーダのトルク（主電動機の定格電流値をトルク100%として表示）が20%以下になるまでポット（V401）から浄水を供給してエクストルーダ内の洗浄を行う。

次に、ダブルエアリフト洗浄をエクストルーダのトルクが15%以下になるまで行う。ダブルエアリフト洗浄はエクストルーダの回転速度を150rpmまで低下させてエアリフトセパレータ（D34, D35）を介して浄水を供給し、エアリフトセパレータ（D34, D35）からエクストルーダまでの廃液供給配管とエクストルーダを洗浄する。

その他、5バッチ処理ごとに水洗浄を実施し、さらに水洗浄に加えて10バッチ処理ごとに溶媒洗浄を行っている。

水洗浄は、エクストルーダの各ゾーンの温度を80℃～90℃に加熱した後、エクストルーダ内に浄水のみを供給し、エクストルーダの温度を上げて供給した浄水を蒸発させる。蒸発完了後、エクストルーダを低回転速度で運転しエクストルーダ内の残査の抜き出しを行い、次に原料アスファルトを供給しアスファルトによる洗浄を行う。

溶媒洗浄は、エクストルーダの各ゾーンの温度を80℃～110℃に加熱した後、エクストルーダ内に溶媒（パークロルエチレン）を供給する。エクストルーダの温度を上げて供給した溶媒を揮発させた後、エクストルーダを低回転速度で運転しエクストルーダ内の残査の抜き出しを行い、次に原料アスファルトを供給しアスファルトによる洗浄を行う。

2．3．5 アスファルト充てん工程

脱水混合工程のエクストルーダからのアスファルト混合物は、ターンテーブル上の空ドラムに2回に分けて充てんされる。1回目の充てんはドラム85vol%まで充てんされ、2回目で100vol%まで充てんされる。アスファルト混合物を充てんしたドラムは、グラブツールでコンベア上に装荷され、このコンベア上を移動中にアスファルト混合物は冷却されてアスファルト固化体となる。約40時間冷却することによりアスファルト混合物は収縮するため、収縮部を含む上面に原料アスファルトを充てん後、ドラムはキャッピングされる。原料アスファルトの充てんは、LO^{+}（液面上限制御操作）、目視及びロードセルによりに制御される。

キャッピングしたドラムは、0.5トンクレーンを用いて4本毎にフレームにまとめられカスクに納められる。このカスクは50トンクレーンでトラックエアロック（W120）に運ばれ、運搬車に乗せられて搬出される。

一方、空ドラムはトラックエアロックからコンベア室（R116）のコンベアを経て、アスファルト充てん室（R152）内のコンベアに約20本装荷され、グラブツールで1本づつターンテーブル上に装荷される。ターンテーブルは、5本のドラムを装荷することができる。ターンテーブルが回転中は混合アスファルトのドラムへの充てんが中断される。

２．３．６　換気系（図2.3-7, 8）

換気は、汚染の低い方から高い方への空気の流れを確保するために、建家内の各区域の空気圧をホワイト区域、グリーン区域、アンバー区域、レッド区域の順に低くしている。グリーン区域、アンバー区域、レッド区域の負圧目標値を表2.3-3に示す。

換気系は、大きく建家換気系、セル換気系、槽類換気系に区分けされている。

建家換気系は、給気系と排気系から構成され、給気系は入気室で外気を取り入れ、ろ過した後、グリーン、アンバー、レッドの各区域に送る系統で、排気系はグリーン区域及びアンバー区域からの排気を排気フィルタ室のフィルタでろ過した後、第１付属排気筒から排出する系統である。

セル換気系は、セルからの排気やアスファルト充てん室（R152）の充てんノズル近傍からの排気を排気フィルタ室（A336）のフィルタでろ過した後、第１付属排気筒から排出する。

槽類換気系は、アスファルト固化処理施設の槽類からの排気をアルカリ洗浄した後、排気フィルタ室（A336）のフィルタでろ過し、セル換気系へ送る。

換気系には、セル、室の負圧管理のため差圧計が設けられており、フィルタの前後にはフィルタの目づまりの管理のため差圧計が設けられている。また、送排風機及びフィルタは必要に応じ予備を持つとともに、送排風機は停電時に

は非常用発電機からの給電を受けている。

さらに、送風機及び排風機の起動時や運転中に機器が停止した場合、各室やセルの負圧バランスがくずれないように送排風機に起動順をつけたインターロックが組まれている。万一、セル、室などの負圧バランスがくずれるような場合があっても逆流が生じないよう、必要に応じ逆止弁を設ける。

2．3．7　消火設備

原料アスファルト又はアスファルト混合物あるいはアスファルト固化体を取り扱うアスファルト充てん室（R152）及びエクストルーダ室(R151)には炭酸ガス消火設備が、アスファルト充てん室（R152）、エクストルーダ室（R151）及びアスファルト貯蔵室（G018）には水噴霧消火設備が設けられている（図2.3-9）。

アスファルト充てん室（R152）及びエクストルーダ室（R151）の換気ダクト出口にはFDT（火災温度検知器）が設けられ、温度が警報設定値（70℃）を超えると操作区域（G115）及び制御室（G218）に警報表示する。さらに、セル換気系のHEPAフィルタの下流にFDS（火災煙感知器）が設けられ、煙を感知すると操作区域（G115）及び制御室（G218）に警報表示する。警報が吹鳴した場合、運転員は目視確認後、操作区域（G115）、通廊（G111）に設置された弁を開き炭酸ガス又は水を噴霧し消火を行う。

上記の消火設備のほか、アスファルト固化処理施設内には、消防法に基づき煙感知器などによる自動火災報知設備が設けられるとともに、消火のための屋内消火栓、小型消火器が設置されている。

2．4　火災に対する安全設計及び安全対策

アスファルト固化処理施設において火災という観点からみれば、その原因として考えられる物質にアスファルトがある。

アスファルトは消防法でいう指定可燃物（可燃性固体類）に該当する。アスファルト固化処理施設では火災防止設計として次のような考慮が払われている。

① アスファルトは５酸化２リン等の酸化触媒を含まないものを使用する。
② アスファルトは引火点が約250℃～350℃のものを使用する。
③ アスファルトの加熱には、蒸気を使用した間接的な加熱の方式をとる。
④ アスファルトの加熱に使用する蒸気は、圧力約20kg/cm²G以下の、飽和蒸気とし、アスファルトの加熱温度が約215℃以上にならないようにする。
⑤ アスファルトを取扱う機器、配管などは必要に応じて接地を行なう。
⑥ 処理対象廃液の受け入れに際しては、処理対象廃液の示差熱分析を実施し

アスファルトの加熱温度付近に発熱反応が無いことを確認する。

⑦ エクストルーダへ供給する廃液は、あらかじめ廃液受入・調整工程で水素イオン濃度をpH8～10に調整する。

⑧ アスファルト充てん室には冷却に十分な換気を施し、混合アスファルトを約40時間冷却する。

以上のように各工程に対し火災防止設計がされているが、火災発生の場合を考慮し、アスファルト充てん室（R152）及びエクストルーダ室（R151）の給気ダクトにしゃ断ダンパが、室内には炭酸ガス消火設備などが設けられている。

一方、アスファルト固化処理施設建家及びアスファルト固化体貯蔵施設建家は鉄筋コンクリート造であり、扉類においても鋼板性のものを主体にし、塗装も難燃性のものが使用されている。

2．5　アスファルト固化処理施設の設計から運転に至る経緯

アスファルト固化処理施設の設計から運転に至る経緯は以下のとおりである。

・詳細設計　　昭和51年3月～昭和52年7月
・安全審査　　昭和53年7月8日申請～昭和53年9月20日承認
・再処理施設の設計及び工事の方法の認可申請
　　昭和54年10月16日申請～昭和54年12月24日認可
・建設工事　　昭和54年12月～昭和57年4月
・コールド試験　昭和57年4月～昭和57年9月
・ホット試験　　昭和57年10月～昭和60年4月
・使用前検査　　昭和60年5月10日
・開発運転　　昭和60年5月開始

また、開発運転開始以降、消火実験やホット試験の結果を踏まえ、水噴霧消火設備配管の変更、窒素ガス供給装置の設置、分析設備の設置などの設備の変更あるいは追加工事を、必要な許認可手続きを経て実施している。

表2.3-1　処理廃液の種類

	廃棄物処理場の濃縮液	第三低放射性廃液蒸発処理施設の濃縮液	スラッジ	リン酸廃液
放射能濃度 (Bq／mℓ)	10^5	10^3	10^0	10^3
主要な塩等	$NaNO_3$ Na_2CO_3	$NaNO_3$ Na_2CO_3	$Fe(OH)_3$ $CaCO_3$	NaH_2PO_4
主要核種	^{106}Ru ^{137}Cs	^{106}Ru ^{137}Cs	^{106}Ru	^{106}Ru
発生量 (m³／年)	300	250	5	15

表2.3-2　エクストルーダのTICOW ±
（温度指示調節上下限操作注意報）の設定値

ゾーン	1	2	3	4	5	6	7	8
$TICOW^+$ (℃)	100	100	195	195	195	195	190	195
調節値 (℃)	89	86	170	177	187	182	174	170
$TICOW^-$ (℃)	70	70	150	150	150	150	140	150

表2.3-3　各区域の負圧目標値

区　域	負圧目標値
グリーン	-1 ～ -5 mmH_2O
アンバー	-7 ～ -10 mmH_2O
レッド	-15 mmH_2O 以下

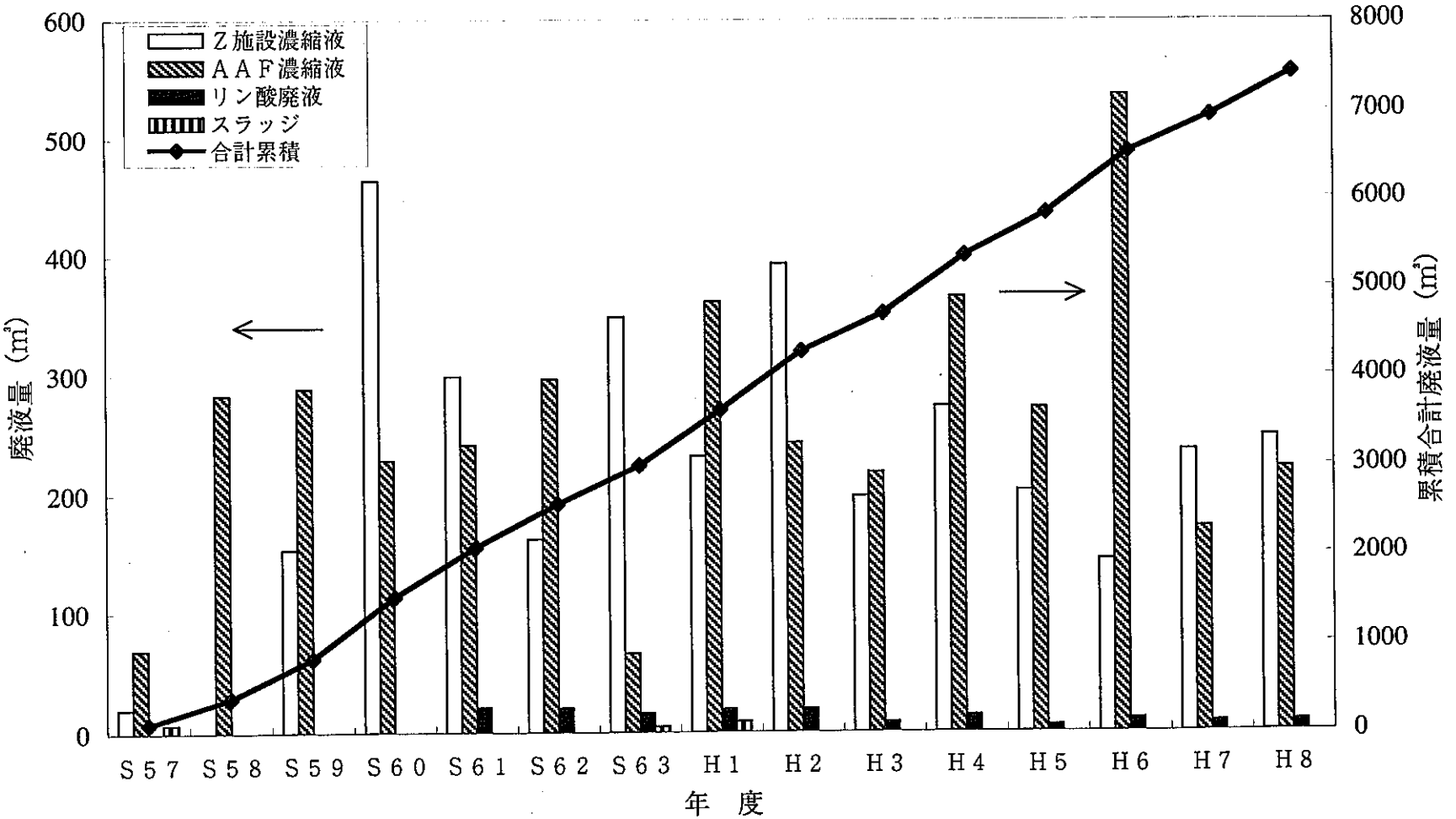


図2.1-1　アスファルト固化処理施設の運転開始からの運転実績（廃液処理量）

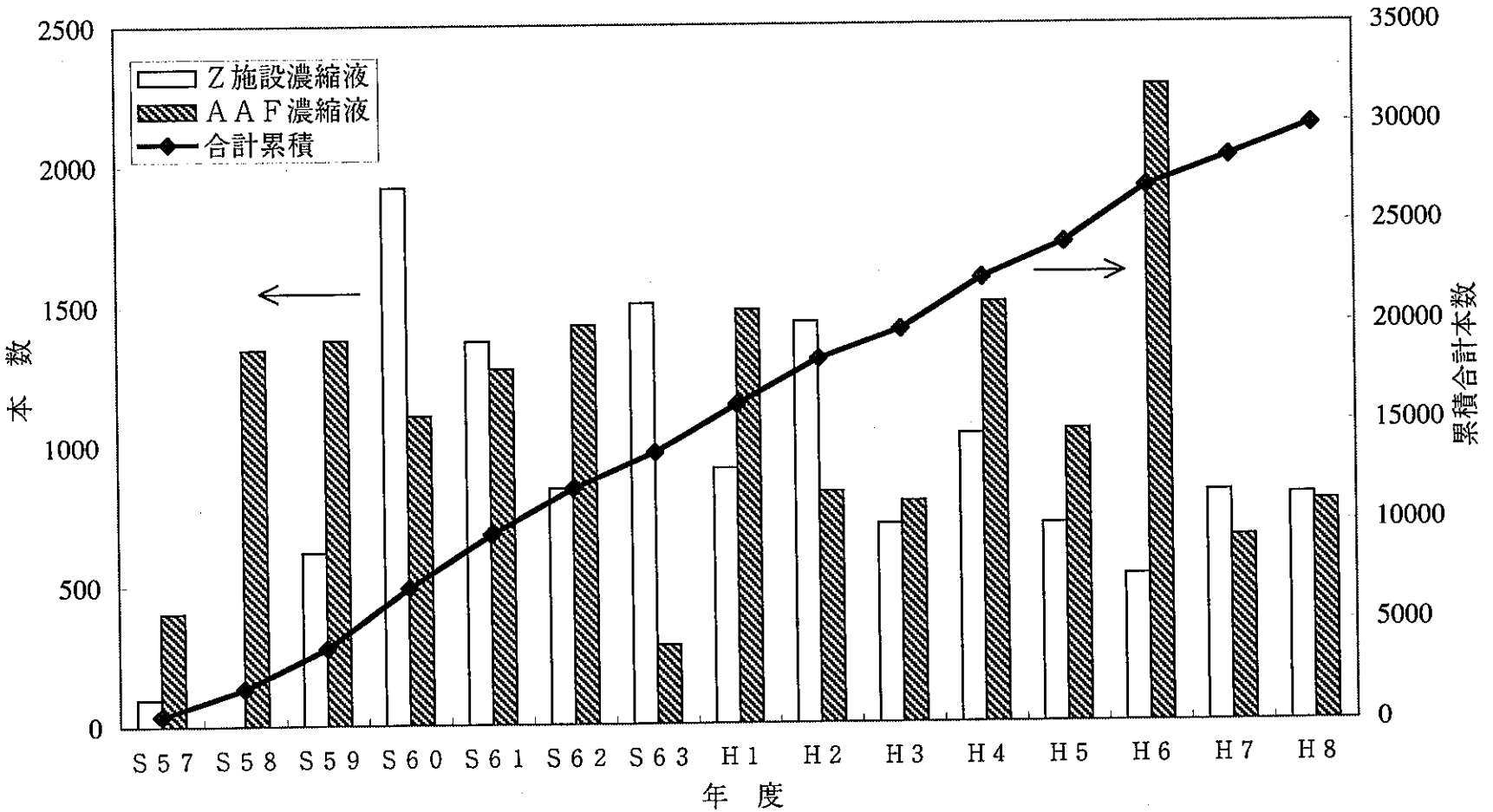


図2.1-2　アスファルト固化処理施設の運転開始からの運転実績
（アスファルト固化体製作本数）

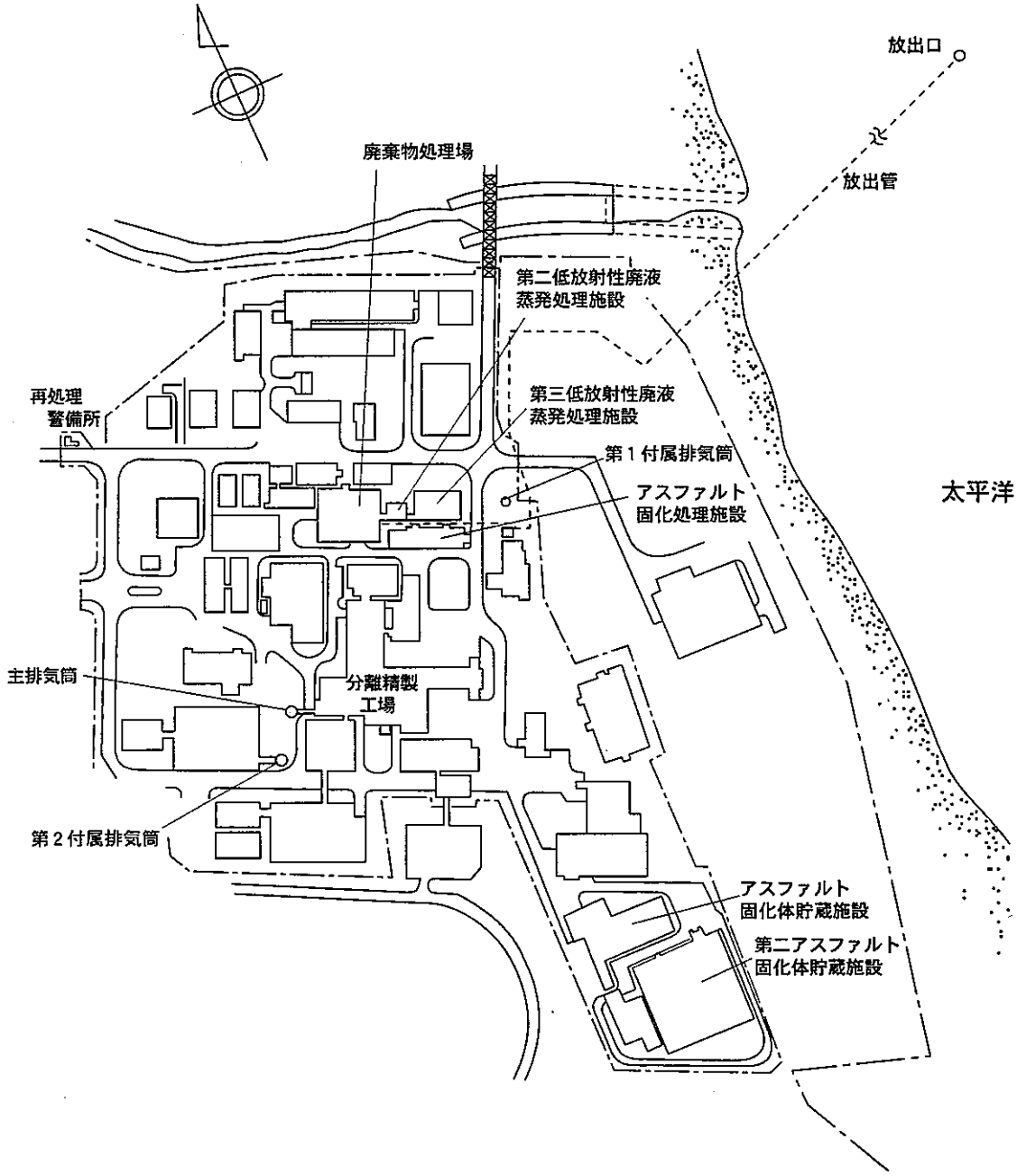


図2.1-3　再処理施設建家配置図

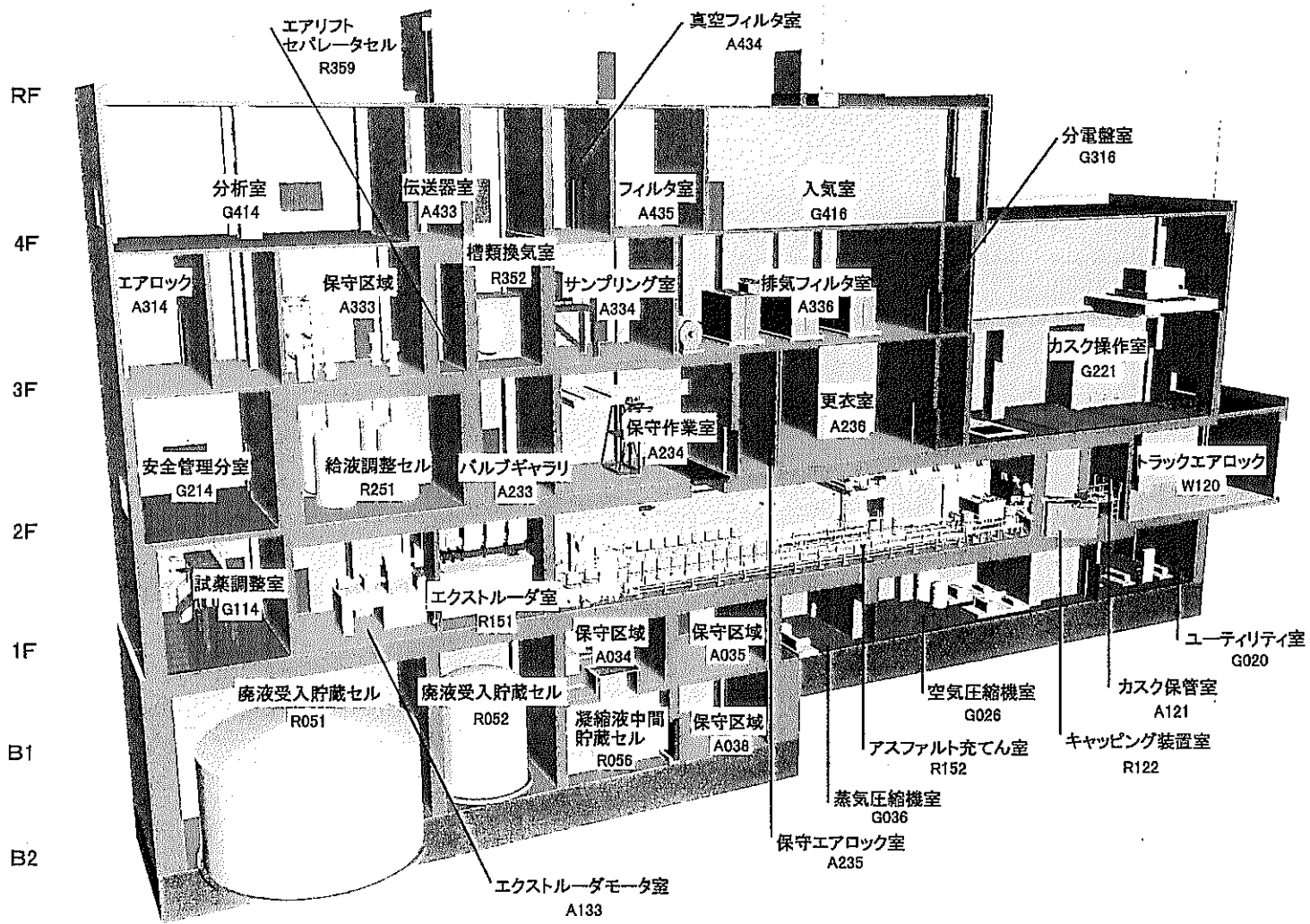


図2.2-1　アスファルト固化処理施設

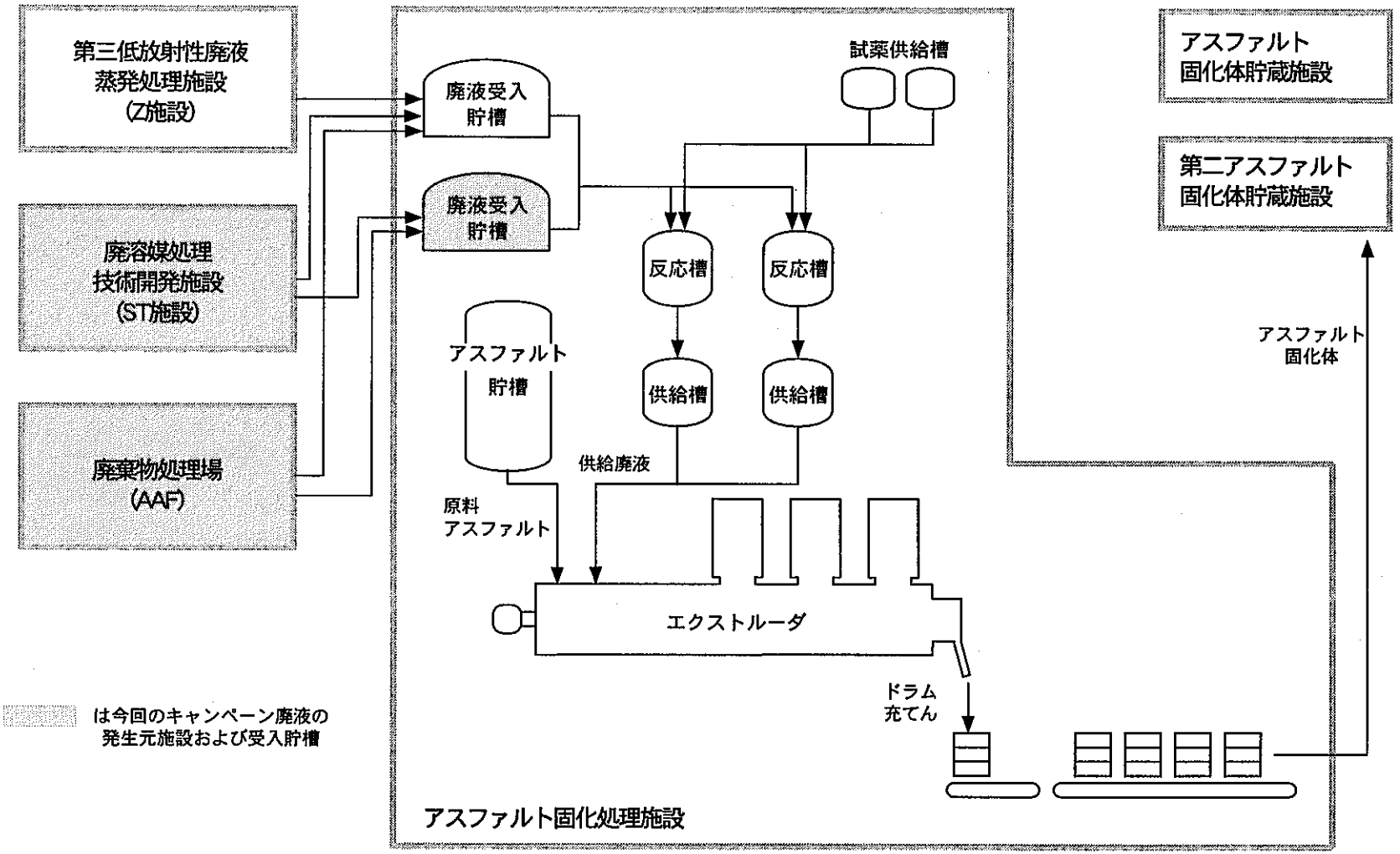


図2.3-1　アスファルト固化処理施設工程概要

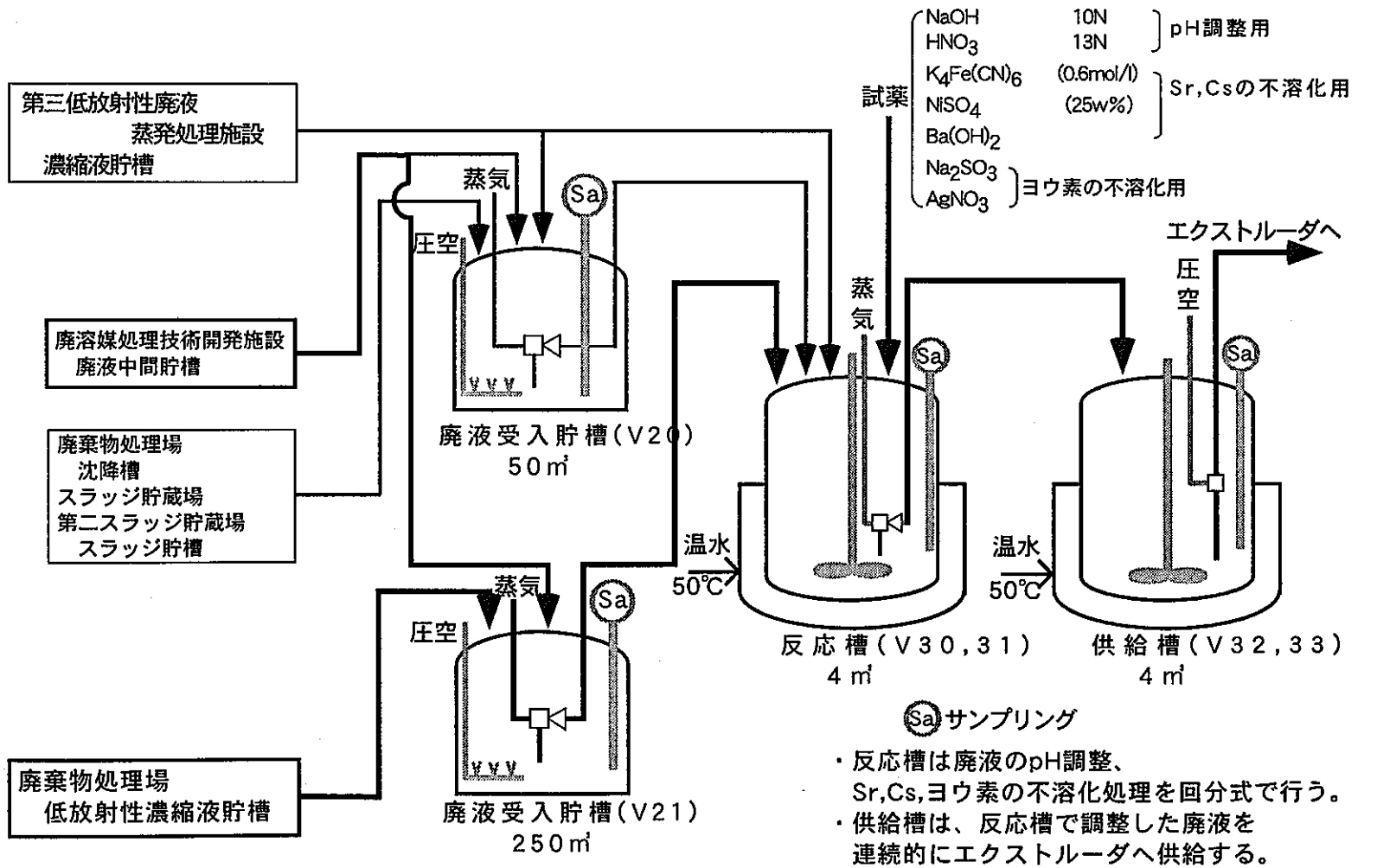


図2.3-2　アスファルト固化処理施設工程概略図
（廃液受入・給液調整工程）

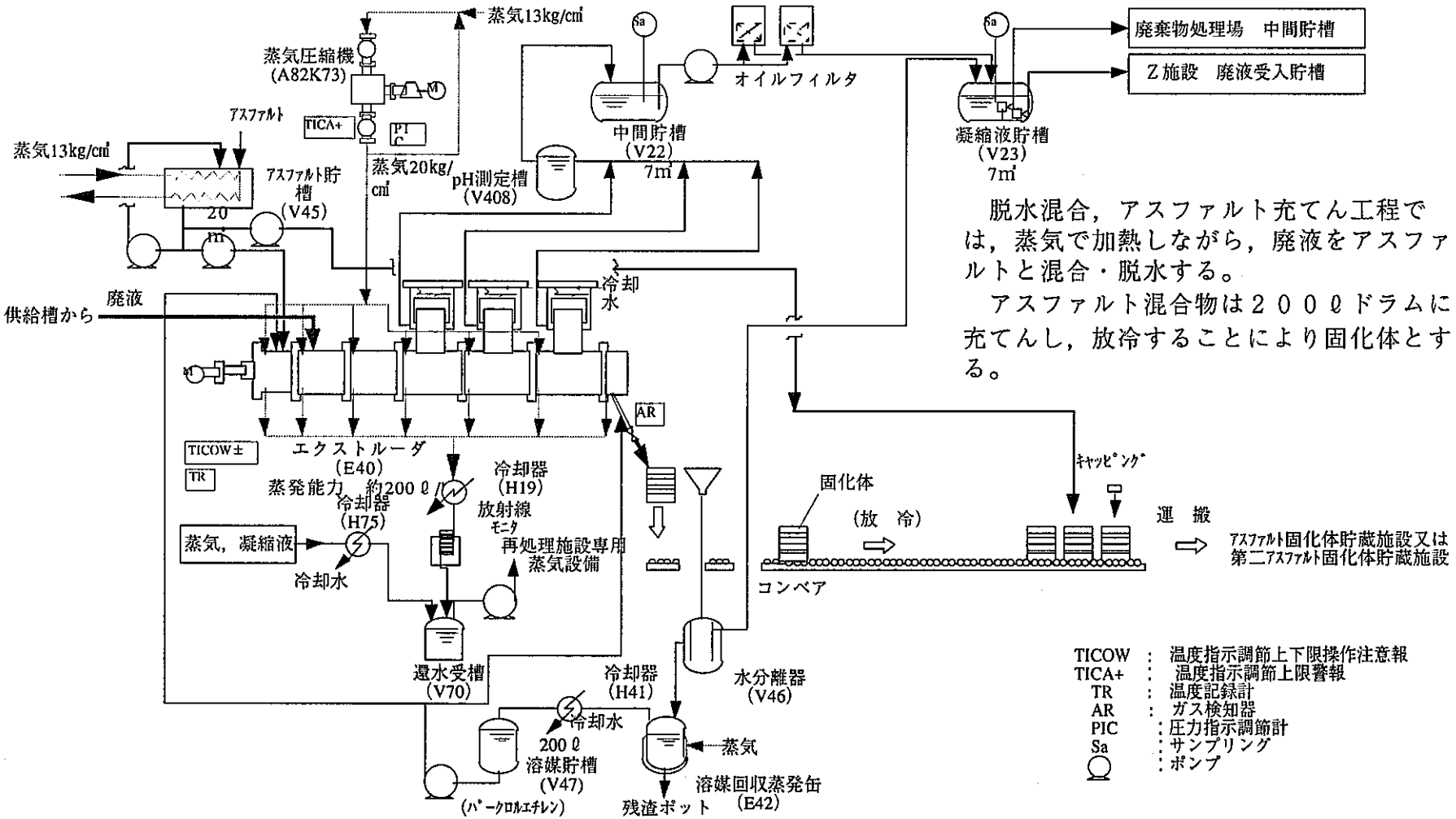


図2.3-3　アスファルト固化処理施設工程概略図
（脱水混合，アスファルト充てん工程）

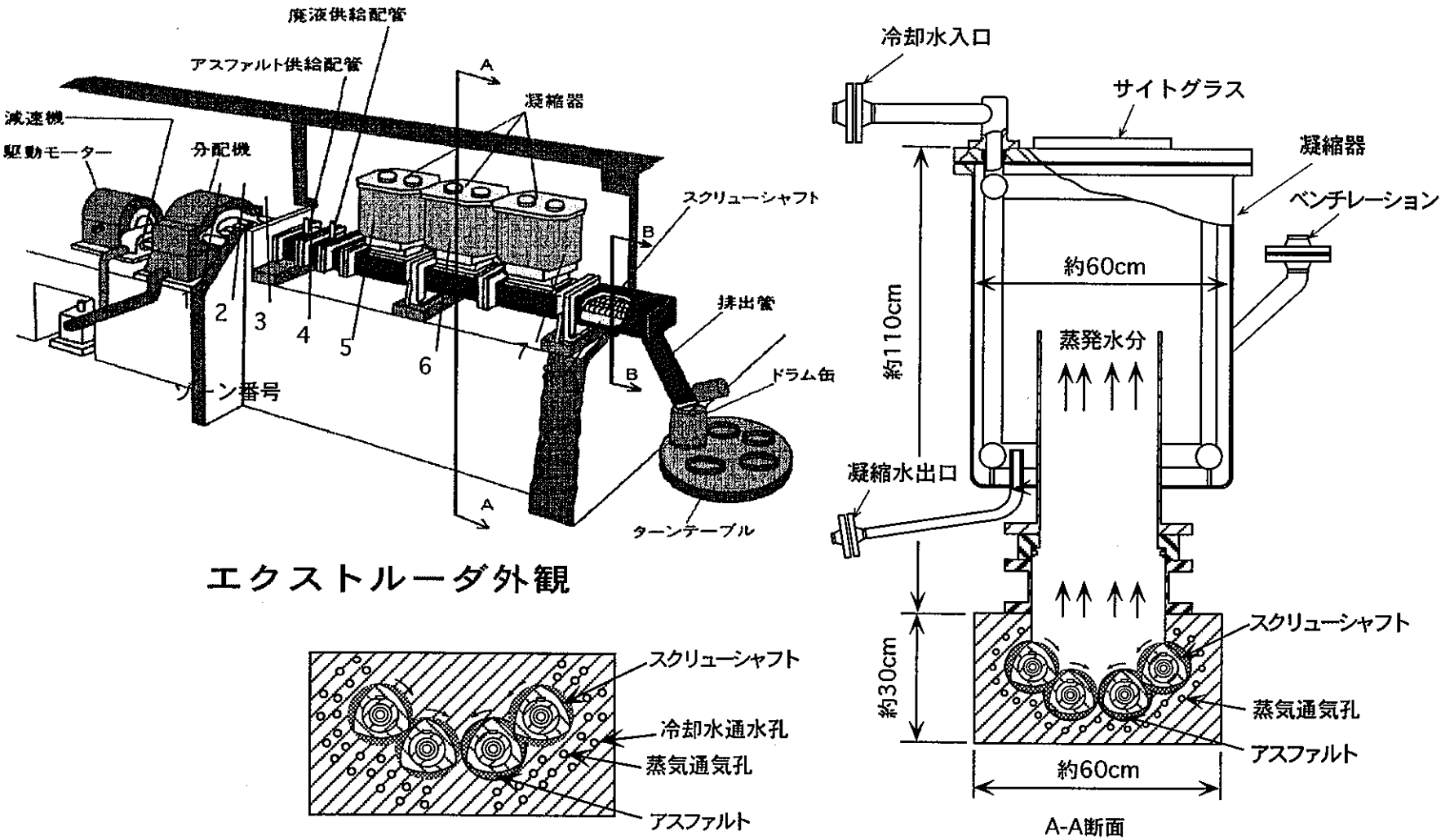
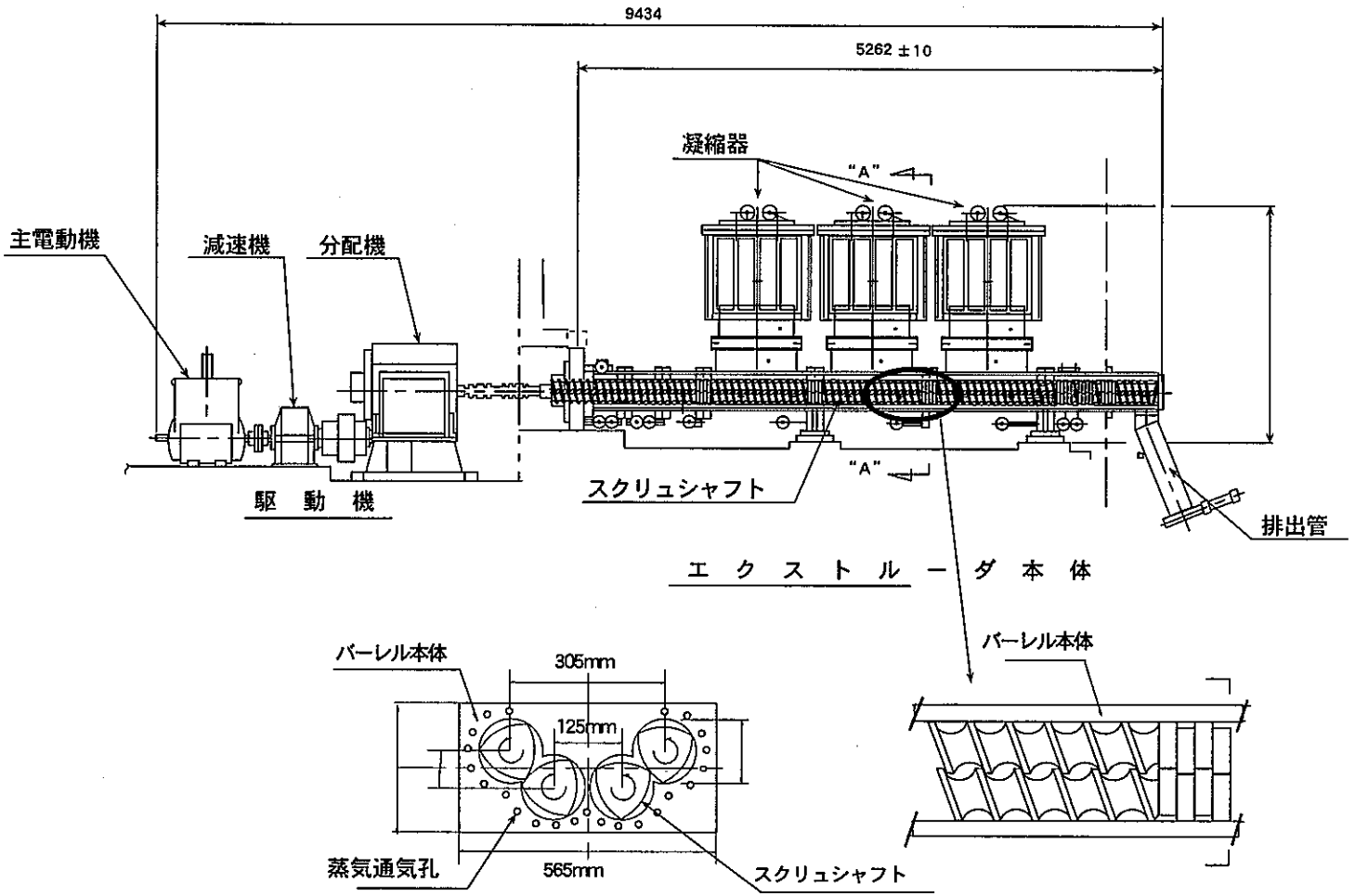


図2.3-4　エクストルーダ概要図



注）本図は、実際のスクリュシャフトの形状を正確に表したものではない。

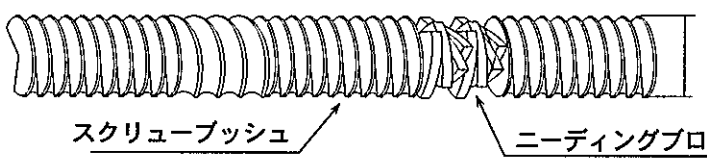


図2.3-5　スクリューシャフト形状概要図

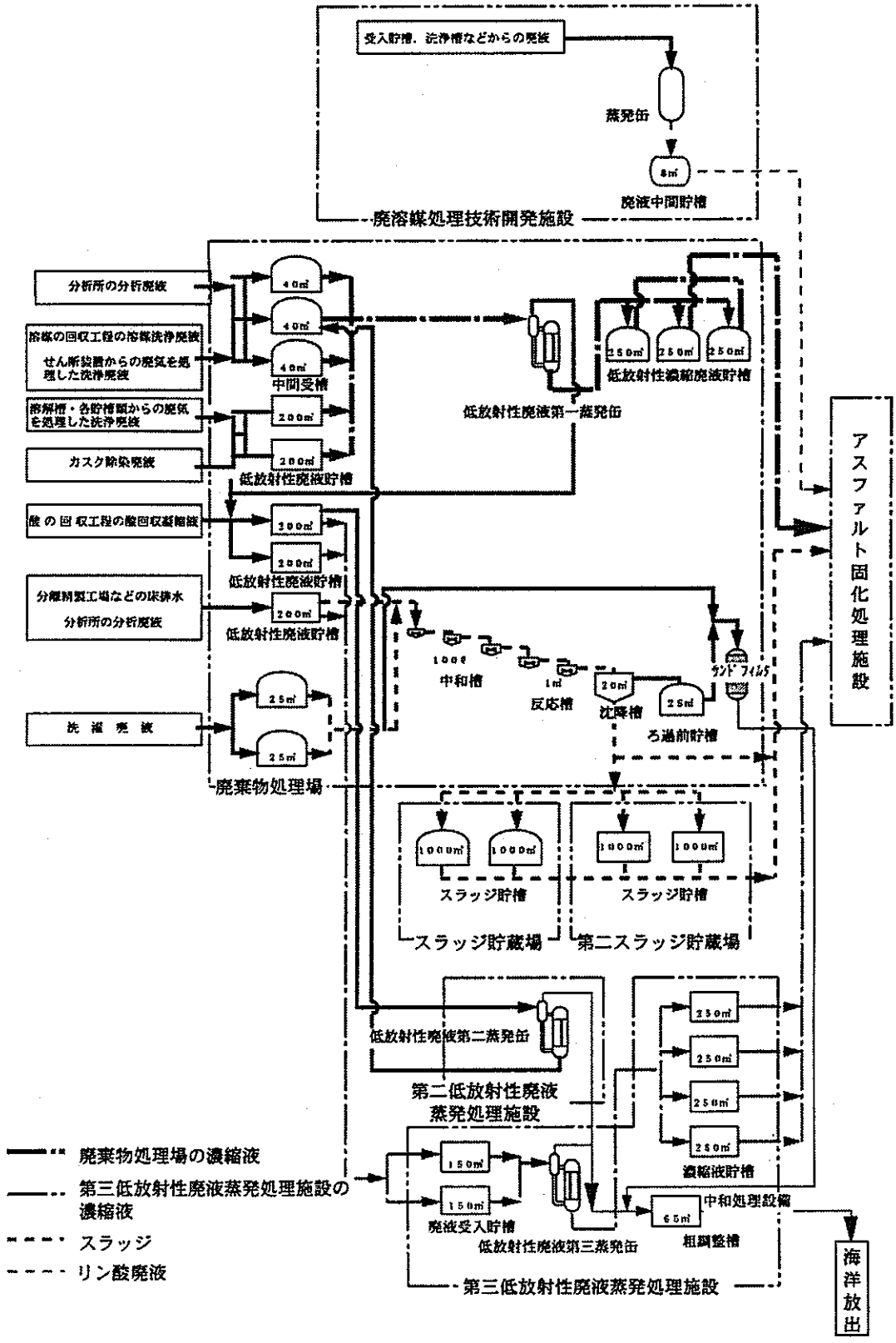


図2.3-6　再処理工程からの発生廃液概略図

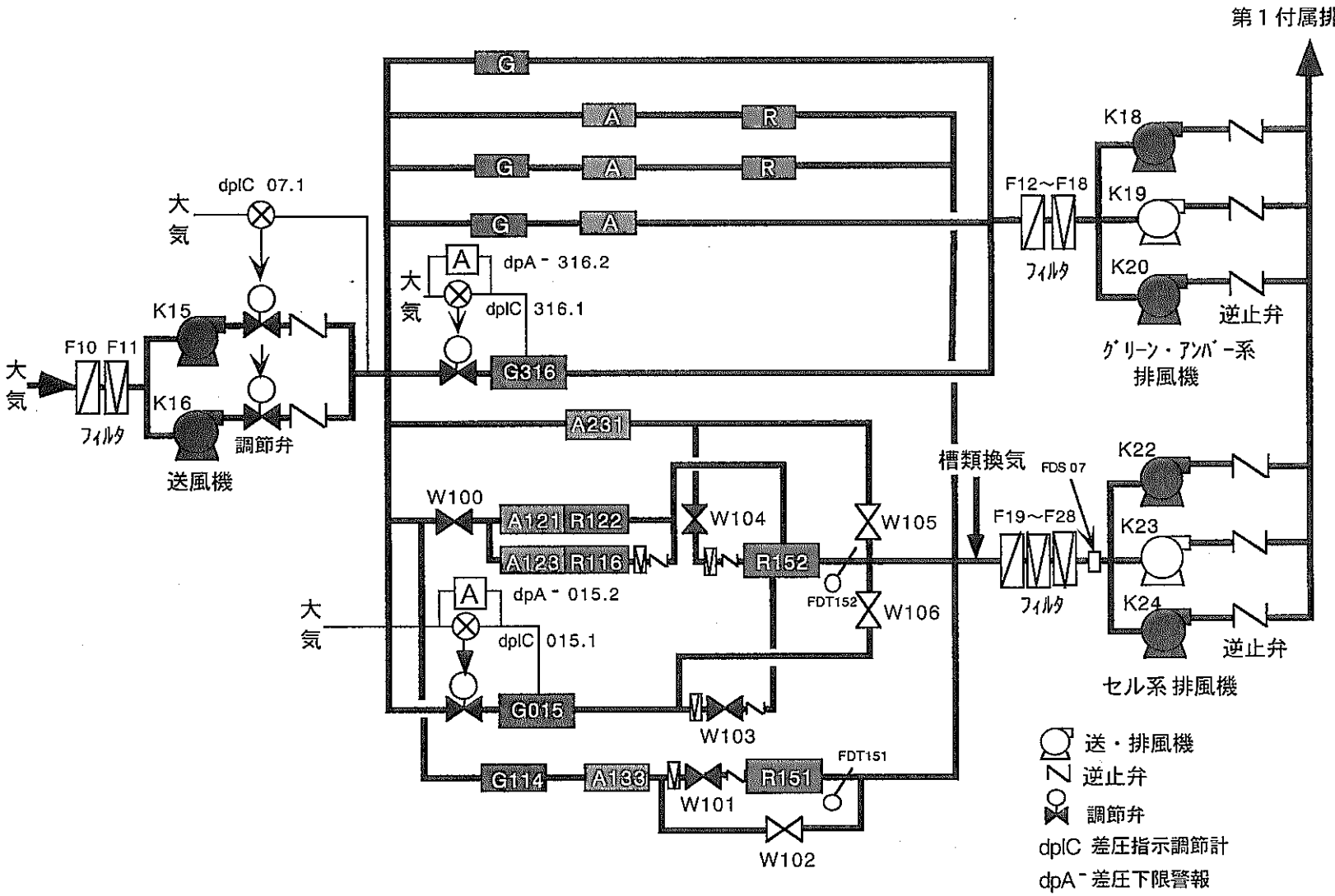


図2.3-7　ｱｽﾌｧﾙﾄ固化処理施設建家換気系(A07)概略工程図

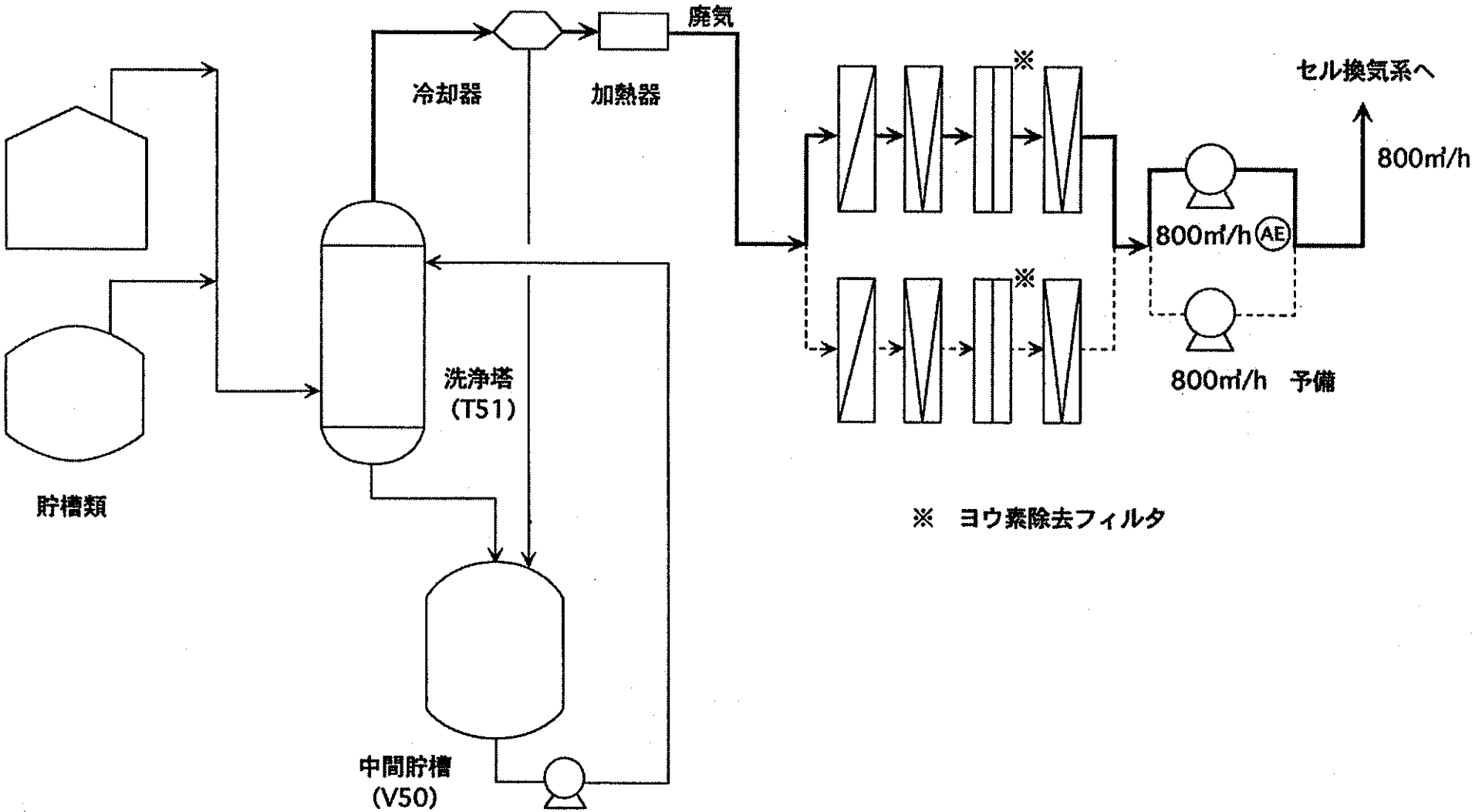


図2.3-8 槽類換気系工程概略図

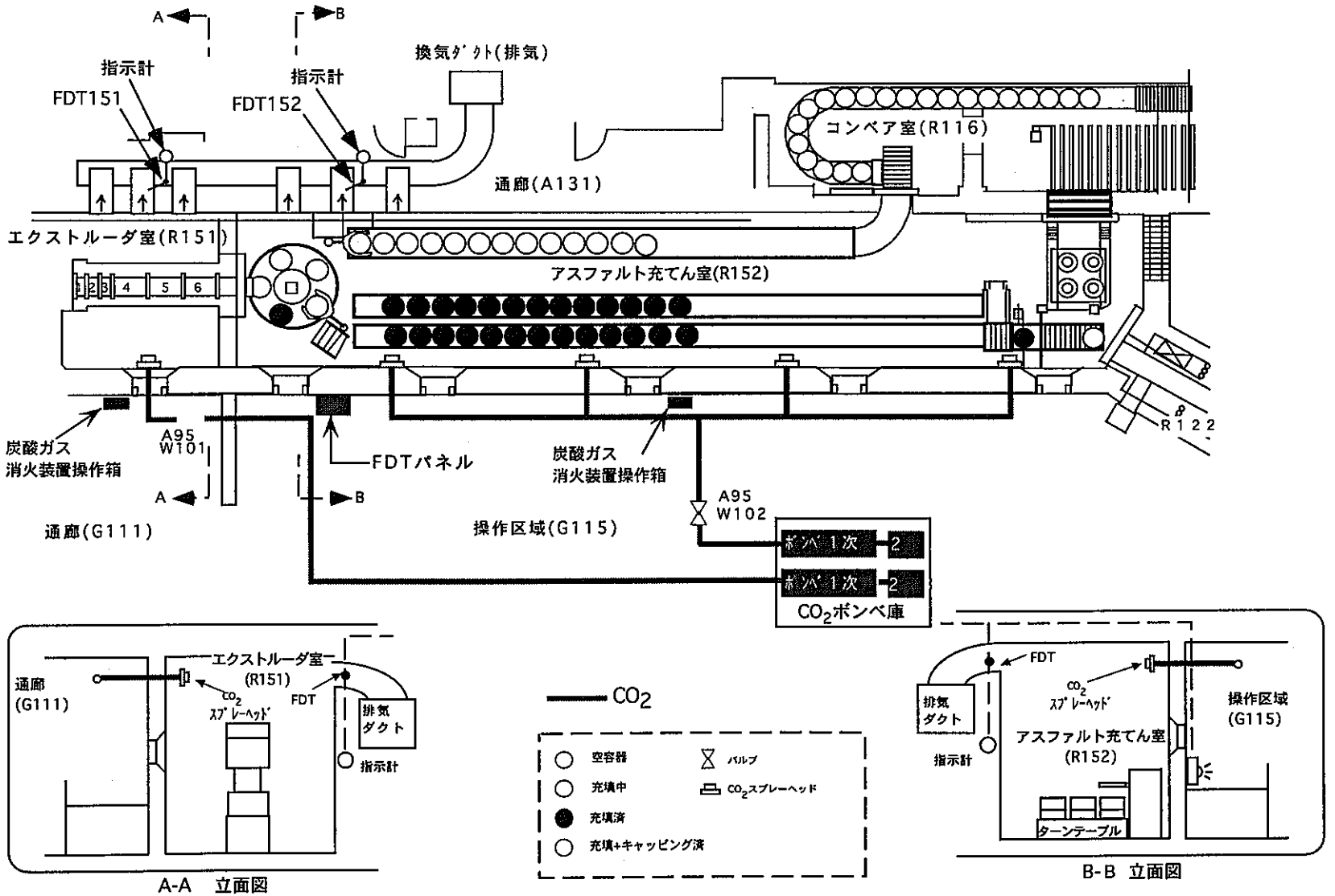


図2.3-9(1)　アスファルト充てん室CO_2消火設備概要図

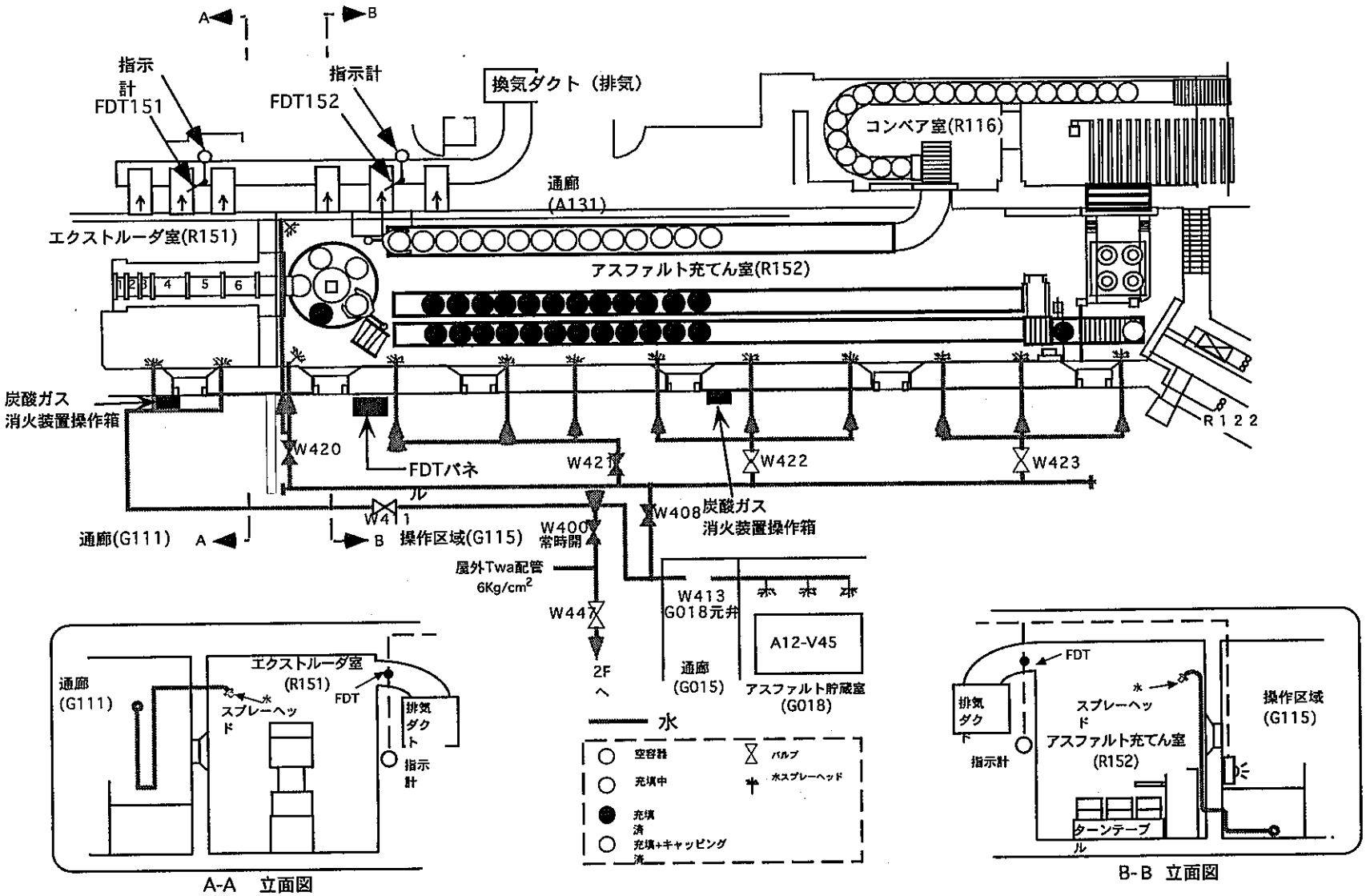


図2.3-9(2)　アスファルト固化処理施設水噴霧消火設備概要図

3. 火災爆発事故の経過

火災爆発事故の原因究明のためには、事故発生前後における運転状況及び関係者の対応状況を明確にすることが重要である。そのため事故直後から運転員への聞き取り調査を行い、また計測制御設備の記録紙や運転日誌等の運転記録の回収・調査を実施してきた[3-1,2、3]。

以下にこれら調査の結果を示す。

3．1 事故の概要

平成9年3月11日10時6分頃、操作区域（G115）にいた作業員が遮蔽窓（M311）からアスファルト充てん室（R152）内で発光したのを目撃した（図3.1-1）。隣の遮蔽窓（M312）に移動してアスファルト充てん室（R152）内を見たところ、視界右奥の充てん済みドラム1本から火柱（高さ2m程度）が上がっていた（図3.1-2(1)）。インターホンでの連絡に向かう途中、再度遮蔽窓（M312）を見たところ、見えるすべてのドラムから火柱（高さ2m程度）が上がっていた（図3.1-2(2)）。

10時12分頃から約1分間の水噴霧による消火作業を行った。その直後の10時13分頃、セル換気系排気フィルタの詰まりによると考えられる換気系異常警報が吹鳴した。その後換気機能の復旧を試みたものの回復せず、この結果10時30分頃には建家換気系及びセル換気系は全停止した。作業員等は10時37分頃から待避を始め、屋上にいた作業員2人を除き11時1分頃には第三低放射性廃液蒸発処理施設（Z施設）に待避を完了した。13時34分頃、作業員2人と消防署員が入域したが、アスファルト充てん室（R152）内に火は見えず真っ暗であった。16時57分頃、再度換気系の起動を試みたが排風機は起動したものの出口ダンパ（逆止弁）が閉の状態のままで排気が行われないため排風機を停止させた。

20時4分頃、施設内で爆発が発生し、アスファルト固化処理施設の窓・シャッター等が破損して開口部ができ、施設の閉じ込め機能が失われた。爆発後20時12分から施設監視用カメラにてアスファルト固化処理施設の破損した窓及びシャッターから黒煙が排出されているのが記録されている（表3.1-1）。煙は断続的に排出され続け、23時20分頃に排出が止まった。なお爆発直後については映像は記録されていないが、複数の目撃証言によると、爆発音と振動を感じた直後に白い煙がでており、その数分後には黒い煙が出ていた。これらの情報より、爆発と同時に火災が発生し、2～3時間程度燃焼を続けた後に自然鎮火したと考えられる。この間、開口部から放射性物質が外部へ放出され、また一部は排気設備からも放出された。

3．2　事故時の運転状況

火災爆発事故を起こしたキャンペーン（M97-46-1キャンペーン）は、以下の(1)～(3)に示す調査を目的として、平成9年2月7日から実施された。

(1)廃棄物処理場（AAF）の低放射性濃縮廃液貯槽(331V11)内の下段のスチームジェットで送液する量を多くした場合の影響
(2)施設内での槽間液移送時のプルトニウムの移動量
(3)廃液供給量を低減した場合の固化体の減容率

以下に、事故前後での各工程・設備での状況を示す。

3．2．1　廃液受入，調整工程

廃液受入貯槽（V21）への受入は、キャンペーン開始前は、前回のキャンペーン（96-M45-4）中の平成8年9月30日から10月1日にかけて廃棄物処理場（AAF）の低放射性濃縮廃液貯槽(331V10,11)から低放射性濃縮廃液（MA廃液）を受入れたのが最後である。その量は331V10から約44m^3、331V11から約20m^3であり、受入前からの廃液と合わせて約205m^3となった。前回のキャンペーンでは廃液受入後も継続して処理を行ったため、M97-46-1キャンペーン開始前のV21内廃液量は約170m^3となっていた。またキャンペーン中には、3月6日に廃溶媒処理技術開発施設（ST施設）からリン酸廃液約1m^3をV21に受入れた。キャンペーン計画作成当初は、331V10, 11からの廃液を2月中旬及び3月中旬に受け入れる予定であったが、低放射性濃縮廃液貯槽の液移送機器の不調が判明したため、キャンペーン計画をこのように変更した。

また、29Bは、28Bと比較すると廃液調整時に硝酸(HNO_3)を5ℓ、水酸化ナトリウム(NaOH)を25ℓ多く加えている。給液調整の際に添加する硝酸の量は、29BはV21に新たにリン酸廃液を受け入れたにも拘わらず、28Bと同量の硝酸を添加したため、水酸化ナトリウム、硝酸による中和操作をより多く繰り返したと考えられる。しかしこのような中和操作自体は今回のキャンペーンでも他の数バッチで実施している（図3.2-1）。

3．2．2　脱水混合工程

97-M46-1キャンペーンでは廃液供給速度を、1B（2月7日）から10B（2月18日）までは通常と同じ200ℓ/hで運転しており、11B（2月19日）から25B（3月6日）までは180ℓ/h、26B（3月6日）以降は160ℓ/hと順次低下させて

おり、事故当時は30Bの処理運転を行っていた。廃液供給速度の低下は、アスファルト固化体の減容率の向上（発生するアスファルト固化体の本数を減らすこと）を目的としたものである。

エクストルーダの温度（図3.2-2）については、26Bまではエクストルーダの各ゾーンとも安定しているが、27B（3月7日）ではゾーン7の温度が徐々に上がり始め、警報設定値の190℃を超えたため、ゾーン7の加熱用蒸気の供給を停止して、ゾーン7へ冷却水を通水している。28B（3月9日）でも途中まで手動又は自動によって冷却操作を行い、その後190℃以下を示すようになったため通常運転に戻っている。

エクストルーダのスクリューシャフトのトルク（図3.2-3）については、26Bまでは20～30％（主電動機の定格電流値をトルク100％として表示）の範囲で比較的安定しているが、27Bの後半からトルクは徐々に上昇し、27B終了時には30％を超えるようになっている。トルクの上昇は28Bの途中まで続き、28Bでトルクが一時的に53%、55%まで上昇しノーマルシャットダウン（以下、N.S.D.という：２．３章参照）が作動した。2回目のN.S.Dが作動した際は水をドームより注入している。その後、トルクは30Bまで30％前後で推移しているが、29Bではトルクのハンチングが他のバッチと比較して大きく25～35％の範囲でふれている。

さらに30Bのスタート時にはトルクオーバー（114%）によりエマージェンシーシャットダウン（以下、E.S.D.という）が作動し、再起動して運転を継続している。

なお、エクストルーダの運転は、事故が発生した3月11日の10時13分頃停止しているが、エクストルーダの温度記録紙には3月11日の火災・爆発時の温度も記録されている（図3.2-2）。3月11日の10時頃、ゾーン8の温度計の指示値が急激に260℃まで上昇した後140℃まで下降し、再び160℃まで上昇、その後100℃まで降下し、11時から20時にかけては100℃で安定している。なお、通常時のエクストルーダの停止時温度は約100℃である。ゾーン8温度計はエクストルーダ排出管に設置されており、その指示値は直接アスファルト充てん室（R152）内の雰囲気温度を示すものではないが、最初の火災時に鋭いピークを示しているのに対して、水噴霧後は緩やかに低下し、爆発まで一定値を示していたことより、最初の火災を生じたドラムの炎上が水噴霧後は消炎したと考えられる。

3月11日の20時過ぎには、ゾーン8の温度計指示値が100℃から70℃付近まで一旦下降した後、振り切れるほど上昇している。21時から22時にかけて200℃～300℃付近を上下し、22時過ぎに再び振り切れるほど急上昇している。最終的には爆発後、約2.5時間にわたって高温を示し続けており、３．１節で示したとおり、爆発後に火災が発生し2～3時間継続していたことを裏付けている。

3．2．3　アスファルト充てん工程

運転員の観察によれば、28B以降混合物が流下時に跳ねを上げるようになり、見た目には柔らかくなったと報告されている。また、ターンテーブル上の充てん中のドラムから白い蒸気のようなものが出ており、さらに固化体上面が盛り上がり表面には硬い膜の形成が認められた。これらの現象は29、30Bではより顕著になった。このような事象は過去に記録はない。なお、85～100%充てん時間が、通常20分程度かかっていたが28Bの後半から10分程度になっていた。これは、ドラム中の固化体の表面がガスの発生により膨張し100％のレベルまで早く上昇してきたことによると考えられ、充てん量そのものは減少していたと思われ、事実、28～30Bでのドラム当たりのアスファルトの供給量が少ないという記録が残っている（図3.2-4）。充てん後、アスファルト混合物がドラム開口部付近までドーム状に盛り上がったものもあったが、コンベヤ上にしばらく放置しておくと、通常の固化体と同様に窪んでいたことが観察されている。

事故当日の午前8時頃、作業員がセル内の固化体の状態を遮蔽窓から観察したところ、見える範囲内のコンベヤ上の固化体の表面は通常時と同じ窪みが生じており、特段の異常は認められなかったと報告している。火災は30Bのドラムに混合物を充てん中（充てん開始から約1時間15分経過後）にコンベヤ上のドラムから発生した。充てん中のドラムには約50%の混合物が充てんされている状態であった。

3．2．4　換気設備

建家換気設備及びセル換気設備とも火災発生前までは正常に運転されていた（図3.2-5(1)）。火災発生後の10時12分頃に水噴霧による消火を行ったところ、直後にセル換気系フィルタの詰まりによると考えられる換気系異常警報が吹鳴した（図3.2-5(2)）。その後、セル換気系の出口ダンパ（排気が流れると気圧により開となり、排気が流れないとダンパの自重により閉となる構造）が閉となり、建家換気系の送風機及び排風機が各々1基のみ（K15, K20）運転する制限運転状態（通常は2台ずつ運転）となった（図3.2-5(3)）。これは最初の火災及び水噴霧消火にともなう煤や水蒸気により、セル換気系排気フィルタに目詰まりを生じ排気風量が低下したため、レッド区域とグリーン・アンバー区域の負圧バランスを維持するために自動で行われた。

建家換気系の排風機が制限運転になっているものの、セル換気系はダンパがが閉となり機能が停止しているため、施設内の負圧バランスの乱れが生じ汚染が拡大するおそれのあることを作業員は認識した。そこで汚染拡大を防止する

ため、火災発生から17分後の10時23分頃にセル換気系の排風機の再起動を試みた。

セル換気系の排風機を起動させるには、一旦セル換気系及び建家換気系を停止させ、セル換気系排風機→建家換気系排風機→建家換気系送風機の順に起動させる必要があるため、運転を自動から手動に切り替えた後、建家換気系の送風機、排風機及びセル換気系の排風機を停止させた。セル換気系の排風機を手動で再起動をさせたが、ダンパが閉状態であったことから排風機を停止させた。

このため、アスファルト充てん室（R152）を含む施設内全室の換気が行われない状態となった。

火災発生から約7時間経過した17時頃、建家及びセル換気系の再起動を試み、一旦セル換気系の排風機が起動し、出口ダンパが開となったため、建家換気系の排風機を起動させたが、すぐにセル換気系排風機の出口ダンパが閉となったため、建家換気系及びセル換気系の排風機を停止させている。同時刻に第1付属排気筒の排風量計に2回のピークが記録されており(図3.2-6)、施設内の放射線モニタのうち一部（保守作業室（A234）のγ線エリアモニタ、コンベヤ室（R116）のβ線ダストモニタ、操作室（G115）のβ線ダストモニタ)の指示値が上昇した(図3.2-7)。

これらのことから、レッド区域はあまり排気されず、グリーン・アンバー区域はある程度排気される、という状態が30秒～1分間、2回にわたって生じたものと考えられる。施設内の圧力を考えると、セル換気系が引かず、建家換気系が給気のない状態で引かれ、圧力バランスはグリーン・アンバー区域がレッド区域に対して負圧となり、セルから周辺の部屋に空気が流れることになるため、セル内の放射性物質を含む雰囲気が周辺の部屋に移行し、γ線エリアモニタやβ線ダストモニタが17時頃に上昇したものと推定される。

一方、槽類換気設備は3月14日まで運転されており、風量は仮設の風量記録計から3月11日の10時頃までは120～140m^3/hであり、その後、20時頃まで75～100m^3/hであった。20時以降については記録されていなかった。

槽類換気系からの排気は、セル換気系の排気と合流した後、第１付属排気筒から排出されるが、セル換気系のフィルタは目詰まりして排気されていなかったことから、槽類換気系からの上記風量は、セル換気系排気ダクトを通じて各セルへ逆流していたと考えられる。

３．３　火災発生後の対応

運転員への聞き取り調査の結果よりわかった、火災発生後に現場で対応した事柄および事象の経緯を、経時的に図3.3-1に示す。

なお，10時06分頃の火災事故発生から10時37分頃の全員退域までにアスファ

ルト固化処理施設に滞在した関係者各自の火災発生直前の所在は，次のとおりであった。

【制御室(G218)】

・班長代理，作業員Ａ，Ｃ(環境施設部処理第1課（以下、LCSという））：監視業務を実施中
・作業員Ｄ(LCS)：現場巡視中、制御室(G218)に立ち寄っていたところ
・作業員Ｅ(環境施設部技術課（以下、技術課という））：放射線モニタ点検作業のために業者1と待機中

【操作区域(G115)】

・作業員Ｂ(LCS)：充てん操作を実施中

【その他のアスファルト固化処理施設内区域】

・作業員Ｆ(技術課)：放射線モニタ点検作業のために業者2と保守区域(A034)で作業中
・作業員Ｇ(LCS)：階段室(G010)の地下１階を点検パトロール中
・作業員Ｈ，Ｉ(LCS)：分析室(G414)で分析作業中
・作業員Ｊ(LCS)：通廊(A331)を点検パトロール中

【アスファルト固化処理施設以外の区域】

・作業員Ｋ，Ｐ(技術課)：廃溶媒処理技術開発施設（ST施設）巡視中
・作業員Ｌ(技術課)：第三低放射性廃液蒸発処理施設（Ｚ施設）の居室で執務中
・作業員Ｍ，Ｎ，Ｏ(技術課)：屋外移動中
・作業員Ｑ(LCS)：LCS居室で執務中
・作業員Ｒ(LCS)：LCS居室で執務中
・作業員Ｓ(LCS)：LCS居室で執務中
・作業員Ｔ(技術課)：第二アスファルト固化体貯蔵施設（ASⅡ）の更衣室
・作業員Ｕ(安全管理部放射線第2課（以下、放2課という））：定常業務により，廃溶媒処理技術開発施設（ST施設）から第二低放射性廃液蒸発処理施設（Ｅ施設）を経由して第三低放射性廃液蒸発処理施設（Ｚ施設）へ向かう途中
・再処理工場化学処理第3課（以下、化3課という）職員および作業員Ｖ，Ｗ(化3課)：廃棄物処理場（AAF）で執務中
・作業員Ｘ(安全管理部放射線安全課（以下，放安課））：第三低放射性廃液蒸発処理施設（Ｚ施設）で執務中

この他、LCS課長は出張で，事故当時の運転班の班長は休暇で不在であり、LCS担当役，主査および課員などはLCS居室および技術課居室で執務中であった。また、作業員全員が退避した3月11日の10時37分頃以降に、あらためて点

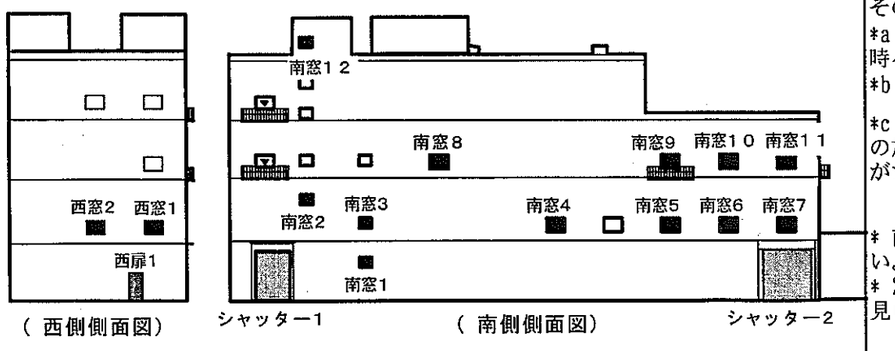
検などの目的でアスファルト固化処理施設内に入域した作業員，放２課職員についてはここでは記載していない。

なお、本章における連絡内容(『』内表現)や、各時間枠の中の作業員の動きなどの順番(①，②などは、必ずしも当時の状況や順番を正確に再現しているものではない。また，「確認」と「見た」の区別は，原則として以下の通りとしている。

「確認」：作業員が弁の開閉状態などを確認したこと。

「見た」：作業員が火，煙，窓などの状況を見たこと。

時間	西窓 *a 1	西窓 *a 2	シャッター 1	南窓 2	南窓 12	南窓 4 *b	南窓 5	南窓 6	南窓 8	南窓 9	南窓 10	南窓 11	シャッター 2 *c	備考 (ビデオ記録開始時刻　20:12:48)
20:12 -20:20	◎	◎	○	◎ *1	●	◎	△	△	○	● *3	● *2 *3	● *3	◎ *4	*1 西側に向かって広がり、建家西端まできて南側へ流されている模様 *2 20:13:06にこの窓が映った時点では煙は出ておらず、20:13:12より出始めた *3 煙は壁沿いに上昇し、屋上に達してからは北風で水平に流されている模様 *4 シャッター２からの煙はシャッター上部から放出しており、建家に巻き込まれながら拡散して斜め上方に流れている
20:20 -20:30	○	○		○									○*1	*1 シャッター２の下部からは煙は出ていないことが確認できる *　20:23 3F非常出口の内部は白く曇っている模様。明かりがついている
20:30 -20:40	↓	↓		↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	△	
20:40 -20:50	↓	↓		↓	↓	↓	↓	↓	↓	◎	◎	◎	↓	
20:50 -21:00	↓	↓		↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*　20:57 3F非常出口内部の明かりが消えていることを確認
21:00 -21:10	↓	↓		↓	↓	↓	↓	↓	↓	○	○	○	↓	
21:10 -21:20	↓	△	*1	↓*2	◎ *3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*1 左側面より放出している模様 *2 窓の内部は煙で白っぽく見える *3 北風に流されて、上昇せずに水平に流れている模様
21:20 -21:30	↓	↓	↓	△	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
21:30 -21:40	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	○*1	*1 一時的放出。シャッター上部にある照明付近に煙がみられる
21:40 -21:50	↓	↓	↓	↓	○	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	×	
21:50 -22:00	↓	↓	△*1	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*1 煙は左側面より西側へ流れている
22:00 -22:10	↓	↓	↓	↓	↓	○	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
22:10 -22:20	◎	◎	↓	×	△	↓	×	×	*1 ↓	*1 ↓	↓	↓	↓	*1 22:11:45 窓の内部の明かりが消える
22:20 -22:30	△	△	↓	↓	↓	↓	×	×	↓	△	△	*1	↓	*1 煙放出の有無を確認できず
22:30 -22:40	↓	↓	↓	↓	↓	△	↓	↓	△	↓	↓	↓	↓	
22:40 -22:50	×	×	×	↓	↓	×	↓	↓	↓	×	×	×	↓	
22:50 -23:00	↓	↓	↓	↓	×	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
23:00 -23:10	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
23:10 -23:20	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	×	↓	↓	↓	



アスファルト 固化処理施設　破損窓等配置

その他
*a 西窓１，２は西隣のAAF建家との間にあり、時々下向きに流れ出ている
*b 南窓４からの放出は、間欠的
*c　ビデオ映像では見えない東面開口部からの煙の放出があれば、シャッター２からの放出と区別がつかない状況である

* 南窓１，３、７からの煙の放出は認められない。
* 21:20 南窓１の内側は白い煙が流れているのが見られるが、窓から煙が出ている様子はない

説明

* 本記載データは、監視カメラより、爆発後の約９分後から約４時間にわたり録画されたビデオ映像に基づくものである。
* 映像は、アスファルト固化処理施設の南面及び西面のみである。

* 記号について
　●◎○△×印は、煙の色の濃さ、太さ、速さなどより、相対的な煙の放出量の程度を表したものであり、この順に放出量は少なくなることを示す。なお、これらは、主観的なものでるあることを述べておく。以下に、放出程度の判断の目安とした状態を示す。

●：真っ黒な煙が大量に放出されている
◎：　●と○の中間
○：遠景で映ってる状態でも煙がうつっている
△：ズームアップしないと煙の放出がわからない
×：映像を見る限りで煙の放出が認められない

* カメラでは１度に施設全体が映らず、カメラは時々向きを変えたり、ズームアップを行っている。所定の窓、シャッターが写り、煙の放出状況が把握できた時刻以降、次に状態が把握できるまで、同じ状態が継続しているものとした。

表3.1-1　爆発後の施設外への煙の排出状況

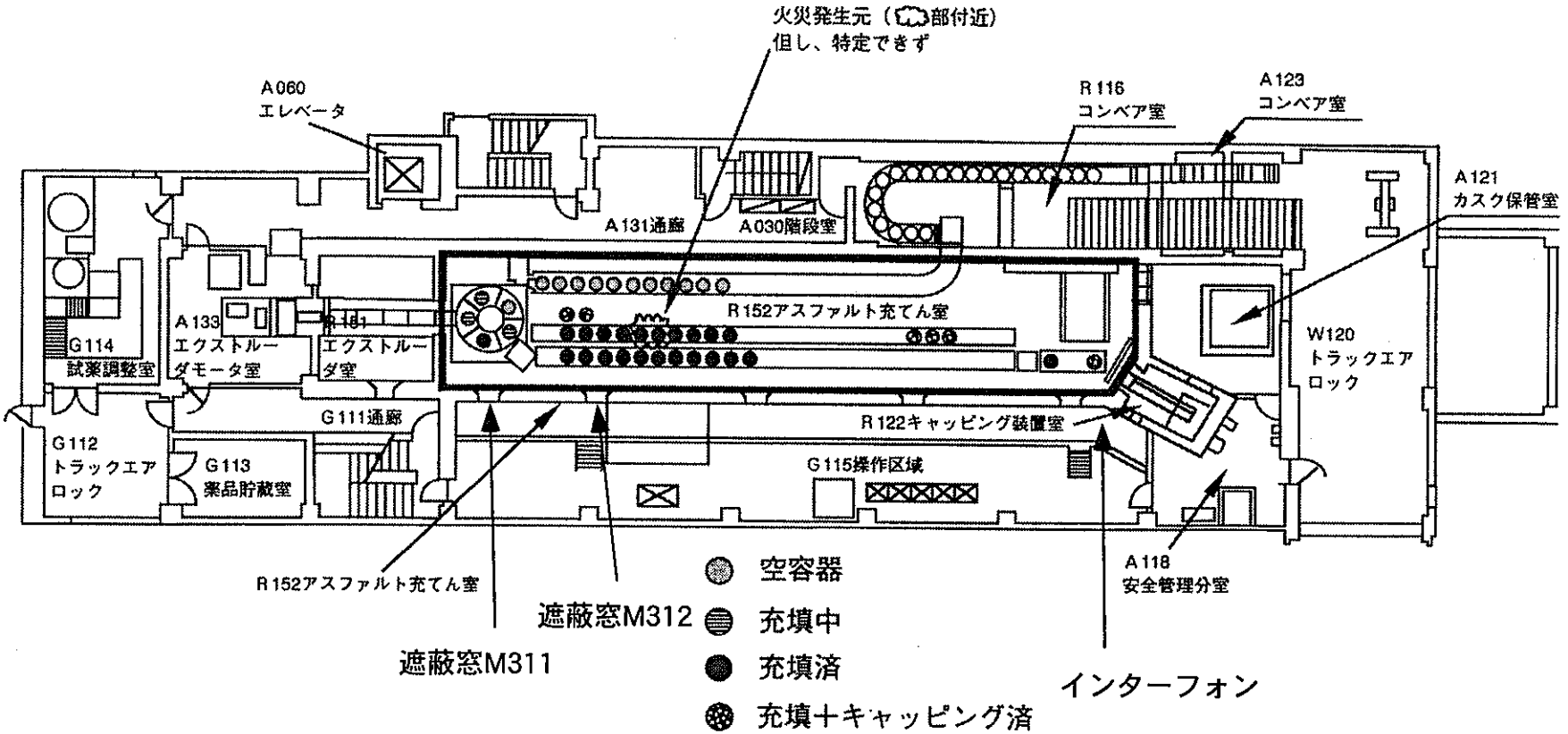


図3.1-1　火災発見時の位置関係

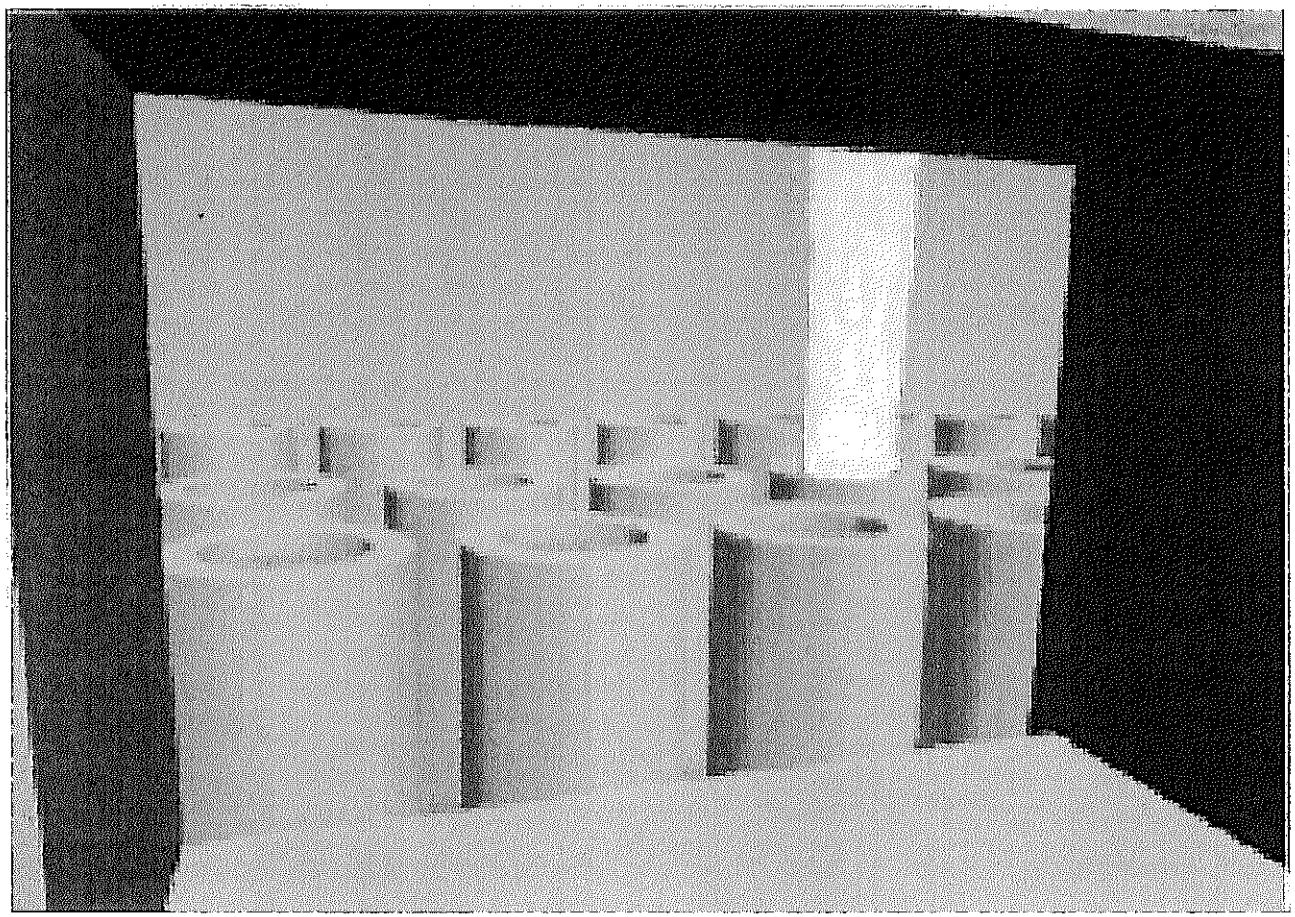


図3.1-2(1)　火災発生時のイメージ図
【作業員Bが最初に操作区域(G115)の遮蔽窓(M312)からアスファルト充てん室(R152)内を見た火災発生時の状況】

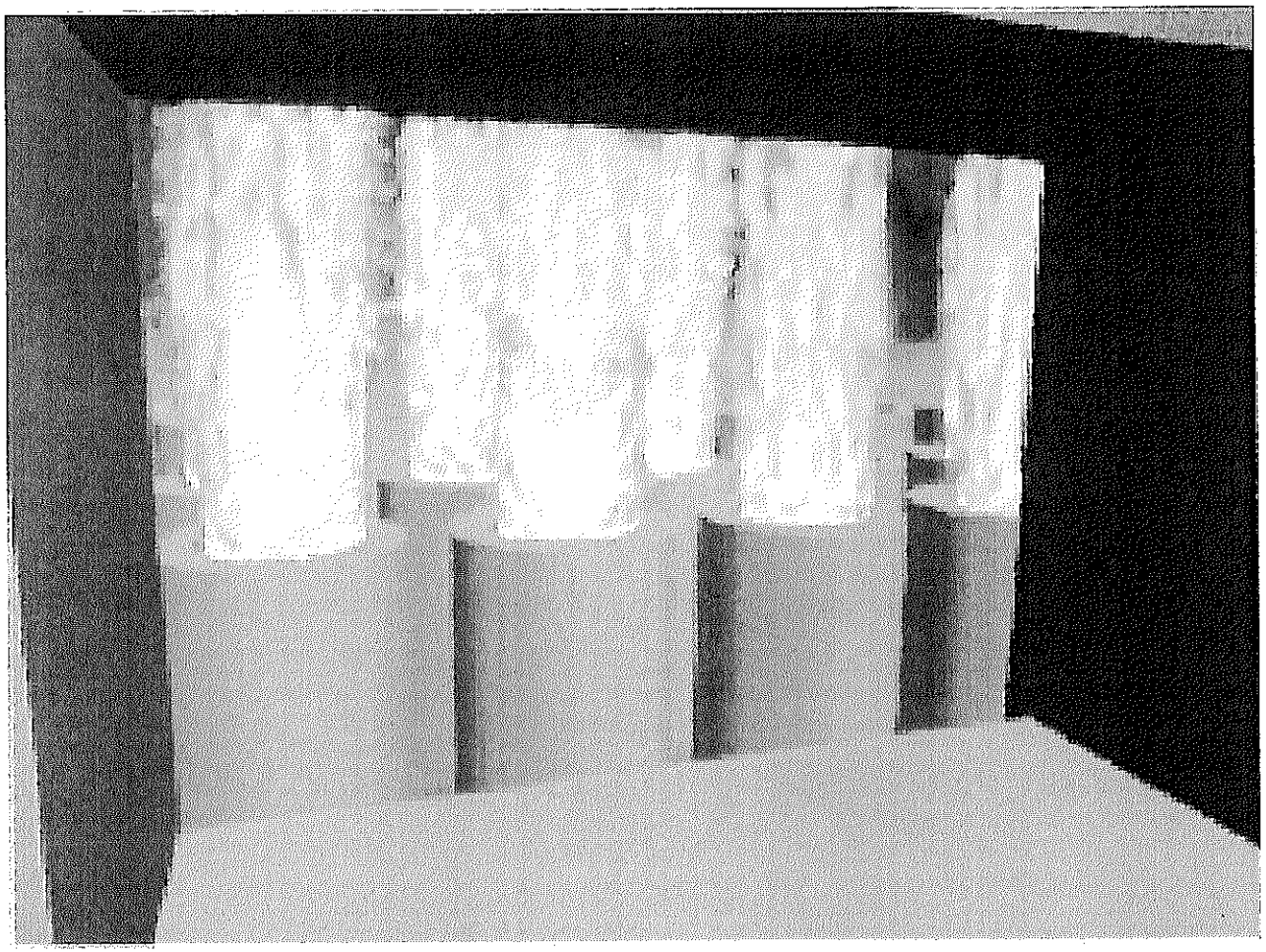


図3.1-2(2)　火災時のイメージ図
【作業員Bが制御室(G218)に連絡する際に操作区域(G115)からアスファルト充てん室(R152)内を見た火災時の状況】

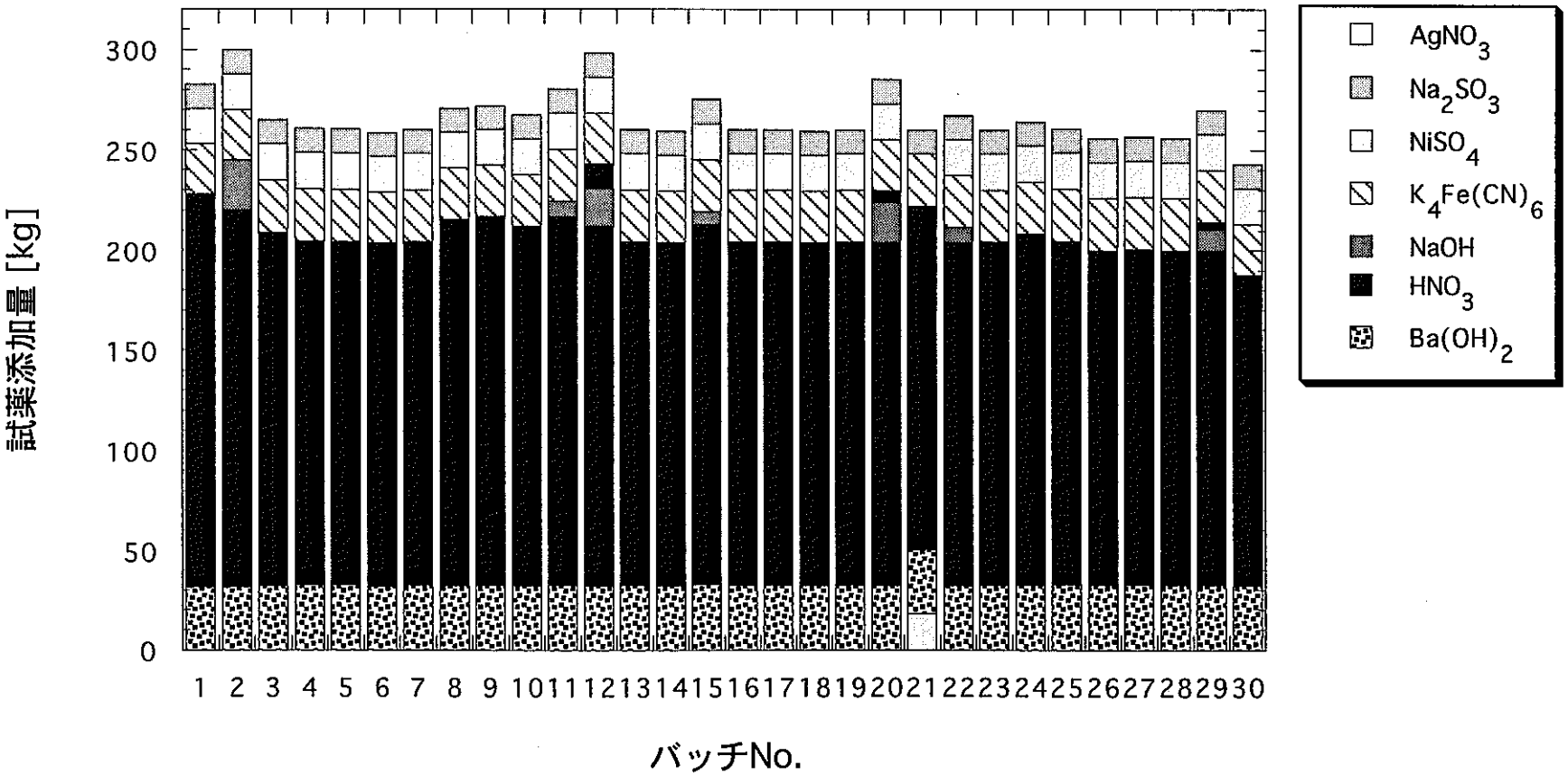


図3.2-1　反応槽での試薬添加順序と添加量

＊グラフの下の物質から順番に添加されたことを示している。
$AgNO_3$の添加量は125～175g程度（全バッチにおいて最後に添加）のため、グラフ上には現れていない。
なお第21バッチの順序が通常と異なるのは記載ミスと思われる。

各試薬の添加量は廃液調整系データシートの値を使用。
但し、HNO_3, $K_4F(CN)_6$, $NiSO_4$, NaOHは、各試薬の濃度から試薬のみの重量計算している。

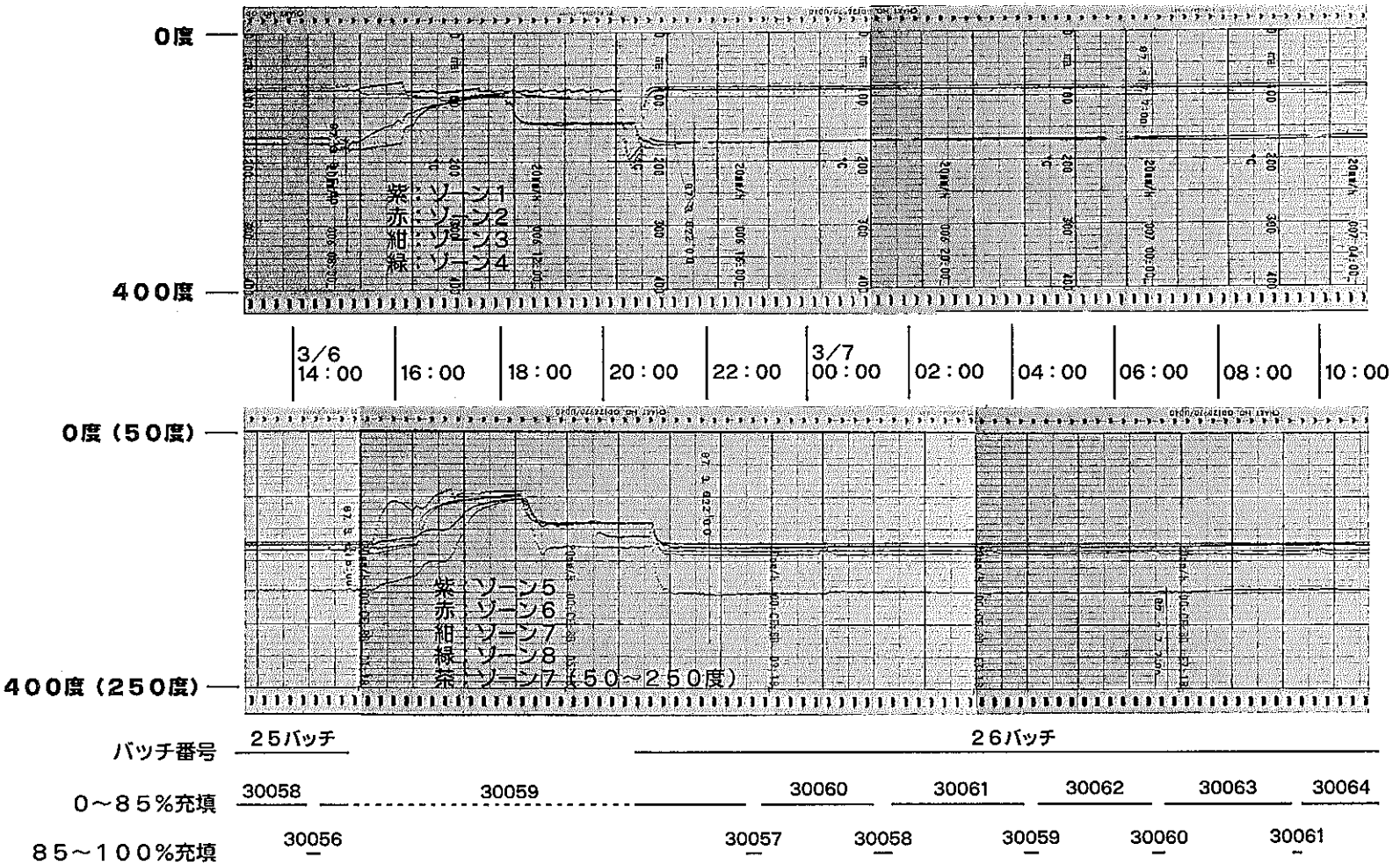


図3.2-2　エクストルーダ温度計（ゾーン1～8）の変化（1/7）

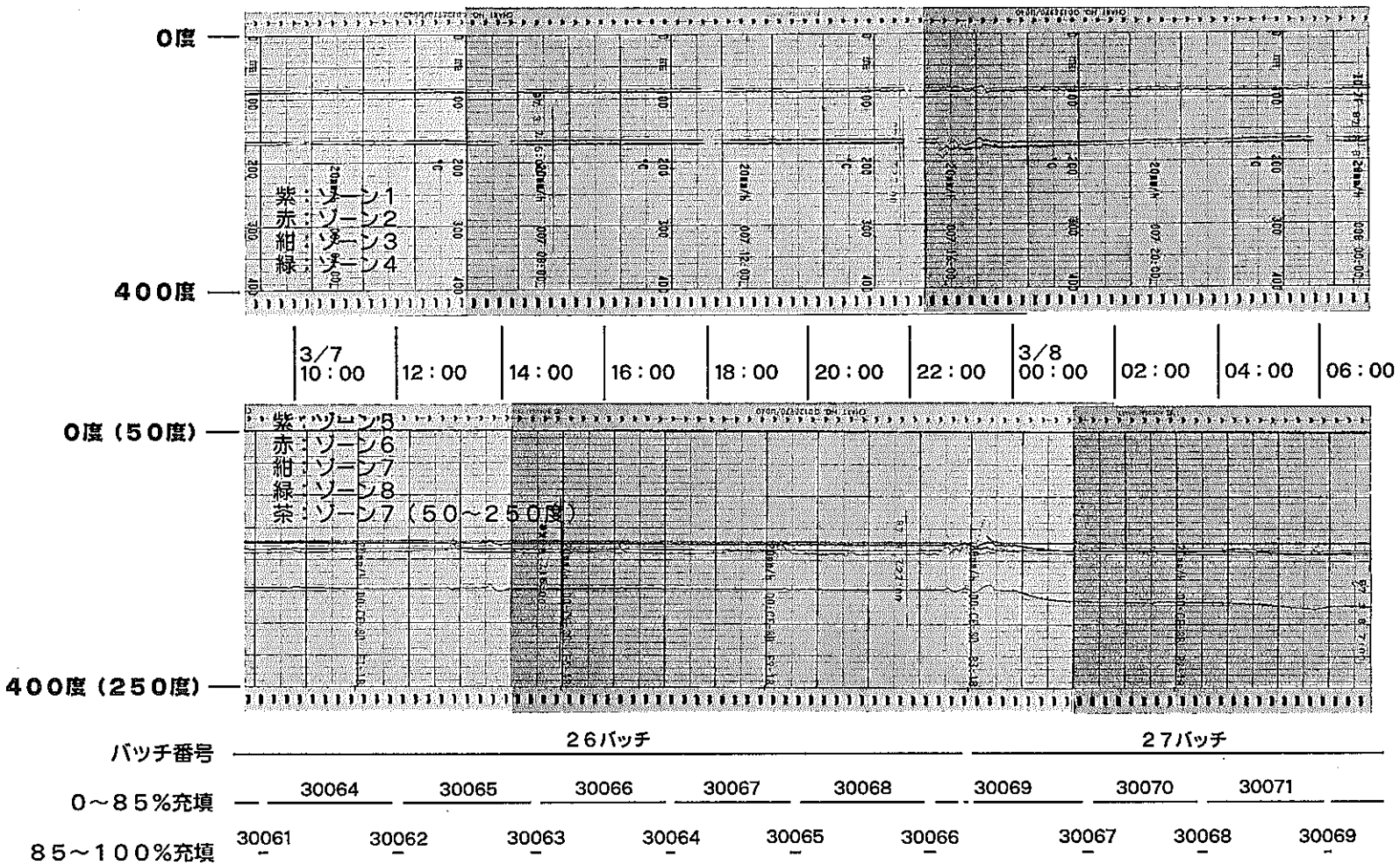


図3.2-2　エクストルーダ温度計（ゾーン1～8）の変化（2/7）

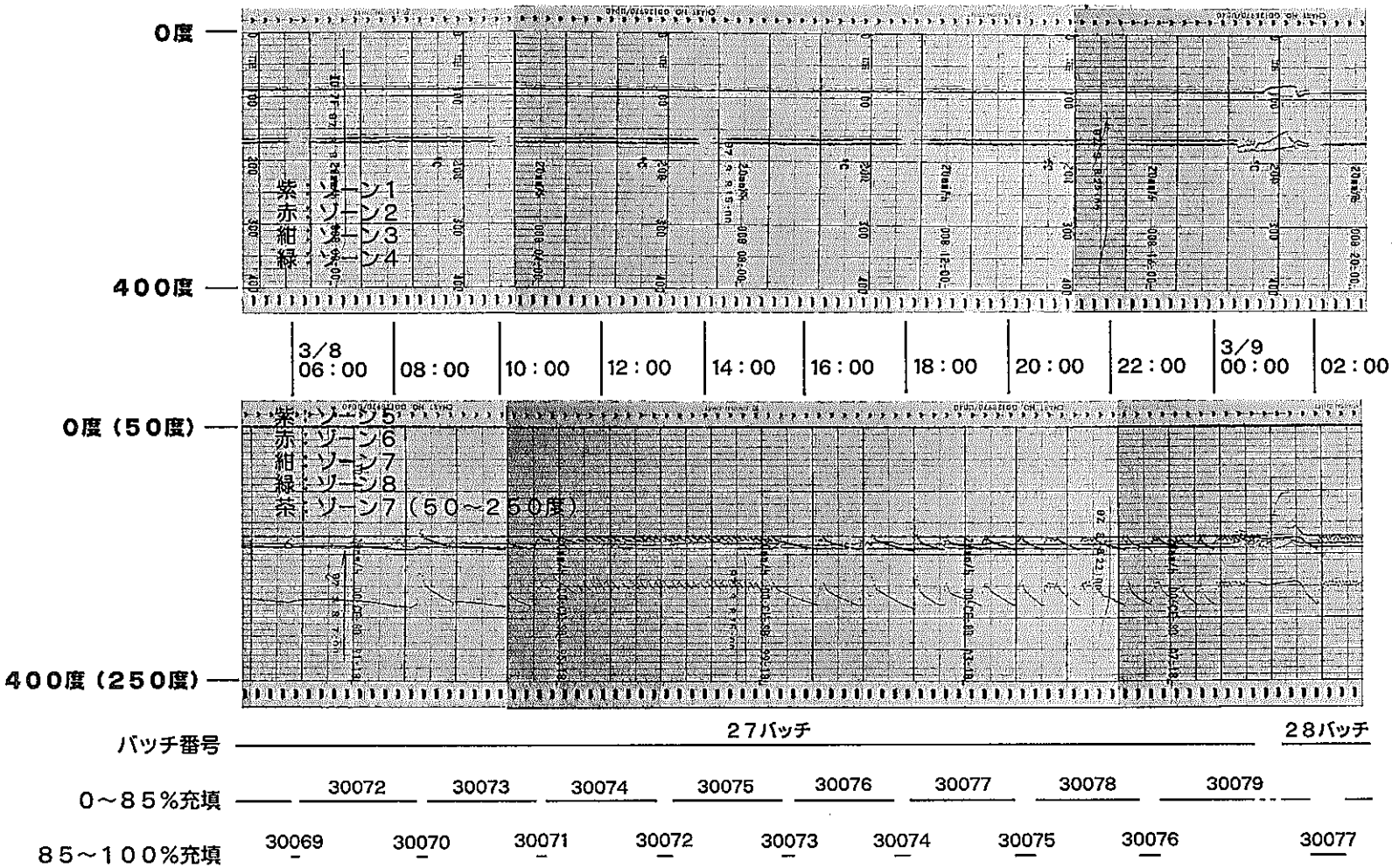


図3.2-2　エクストルーダ温度計（ゾーン1~8）の変化（3/7）

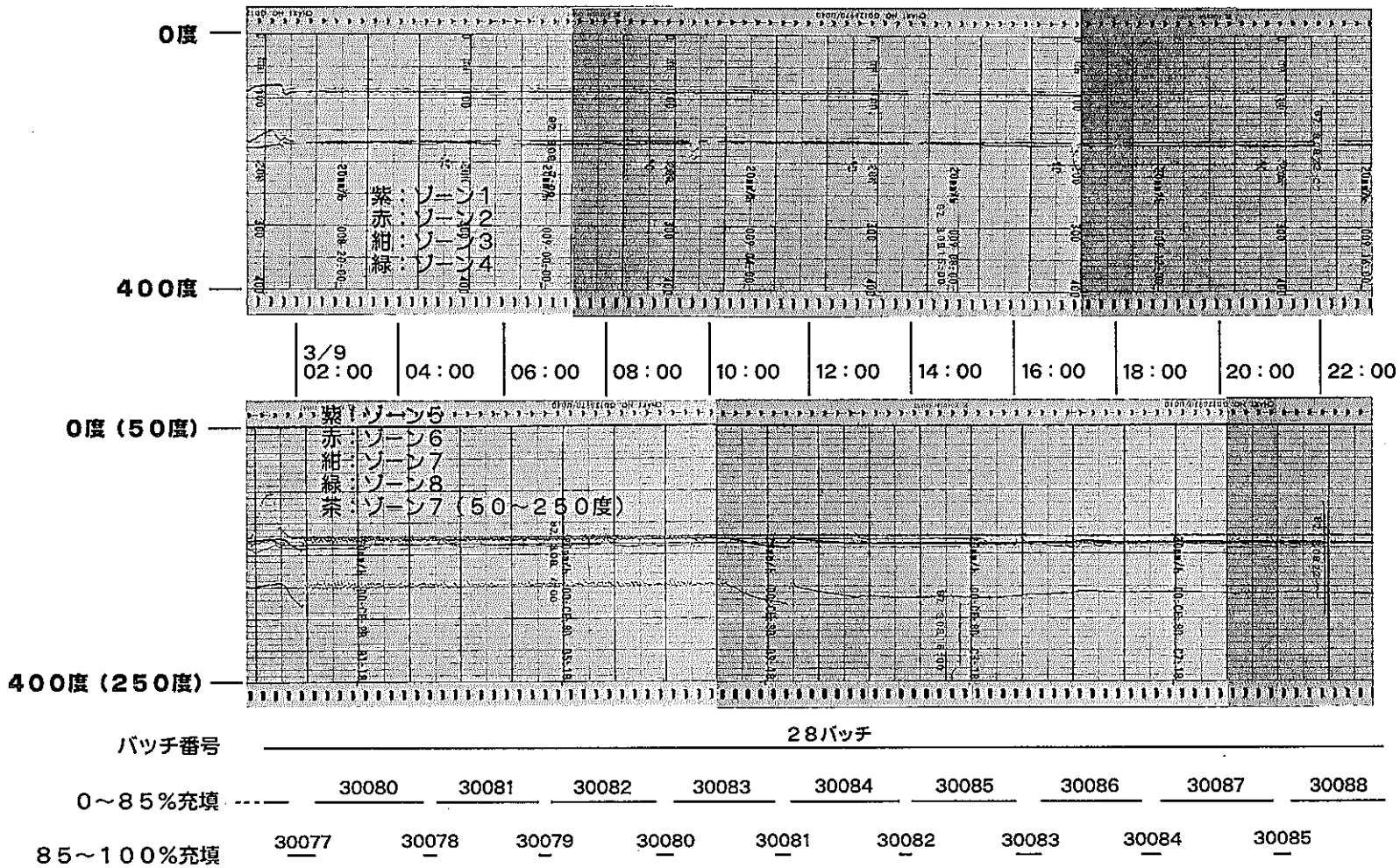


図3.2-2　エクストルーダ温度計（ゾーン1～8）の変化（4/7）

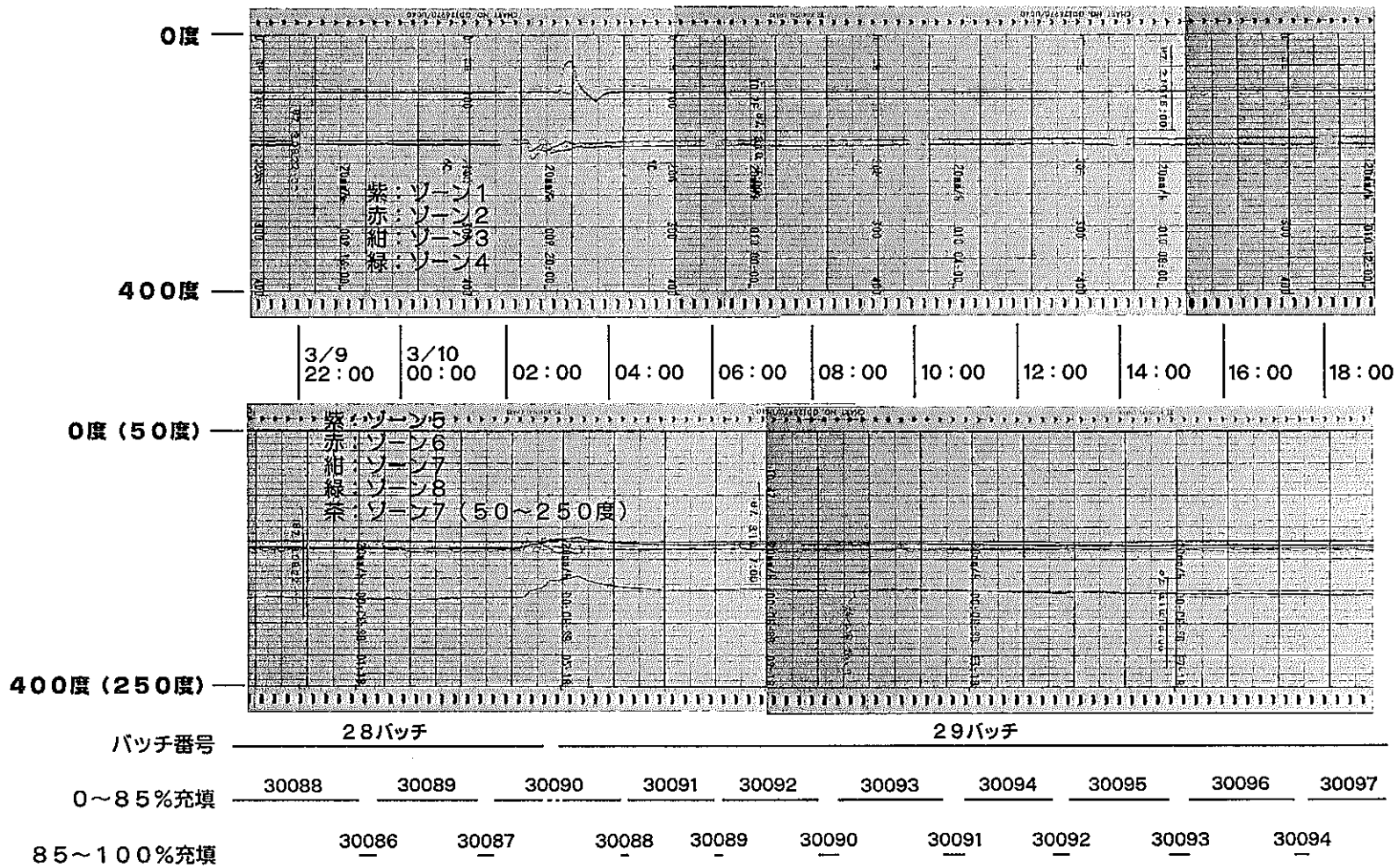


図3.2-2　エクストルーダ温度計（ゾーン1～8）の変化（5/7）

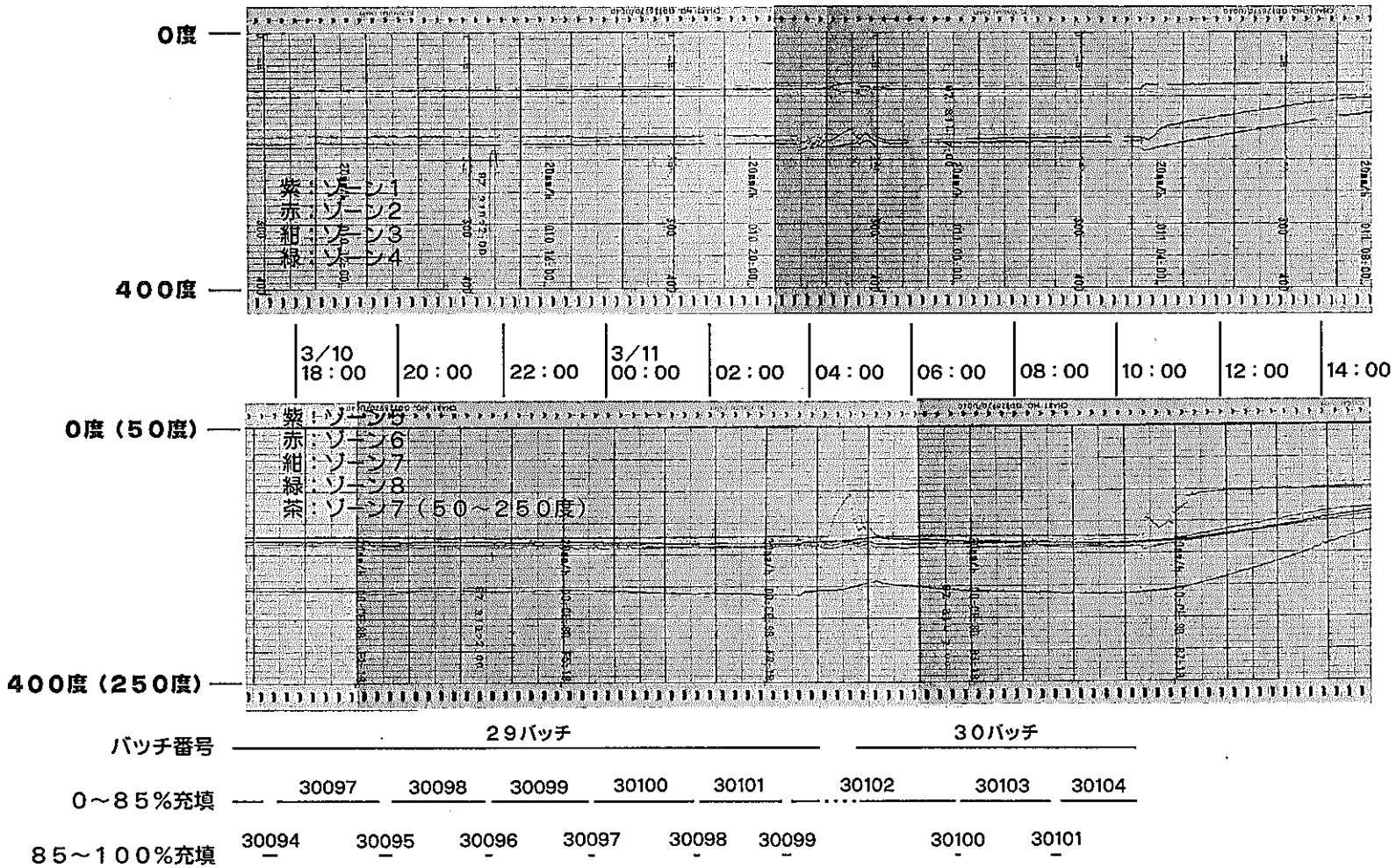


図3.2-2　エクストルーダ温度計（ゾーン1～8）の変化（6/7）

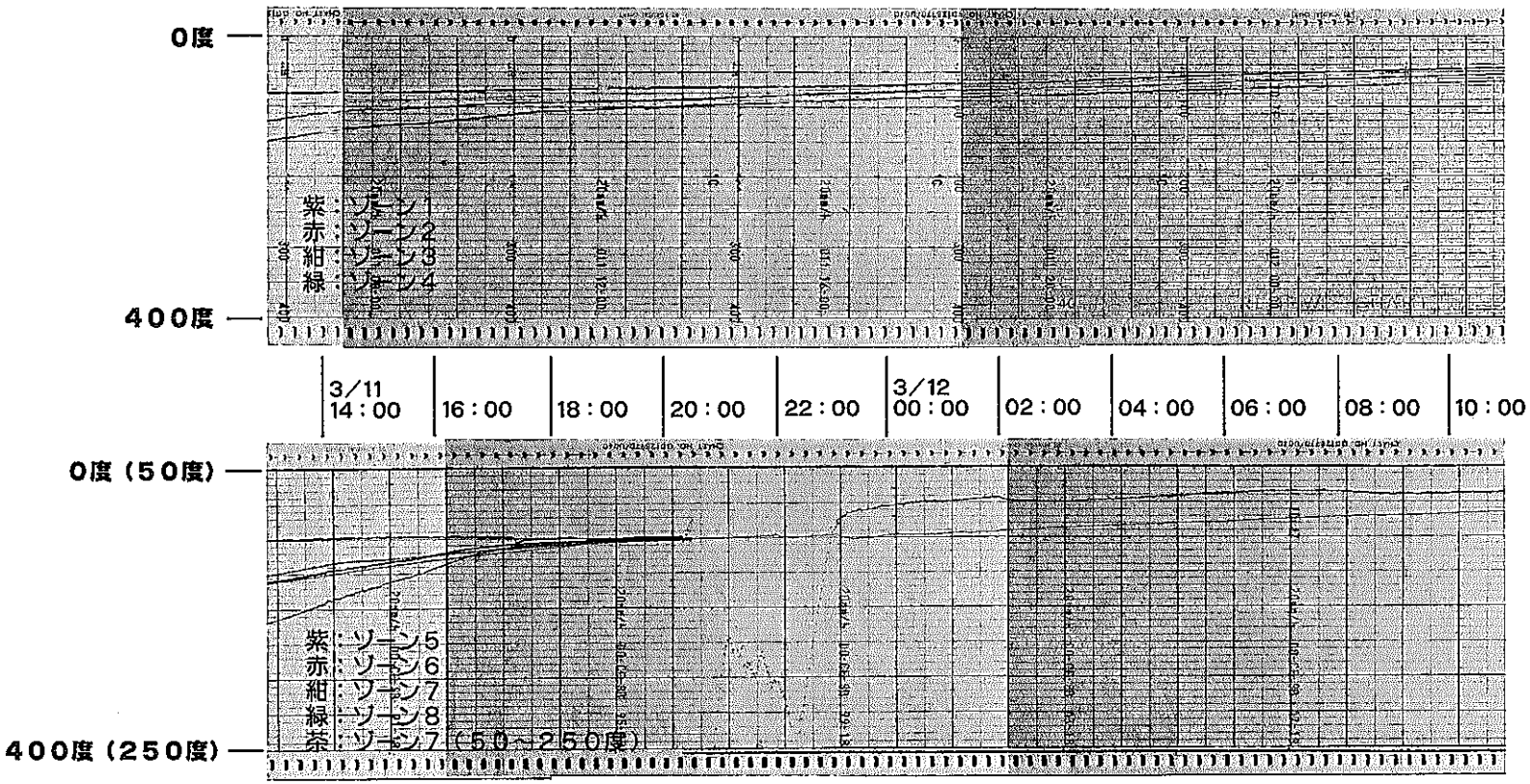


図3.2-2　エクストルーダ温度計（ゾーン1～8）の変化（7/7）

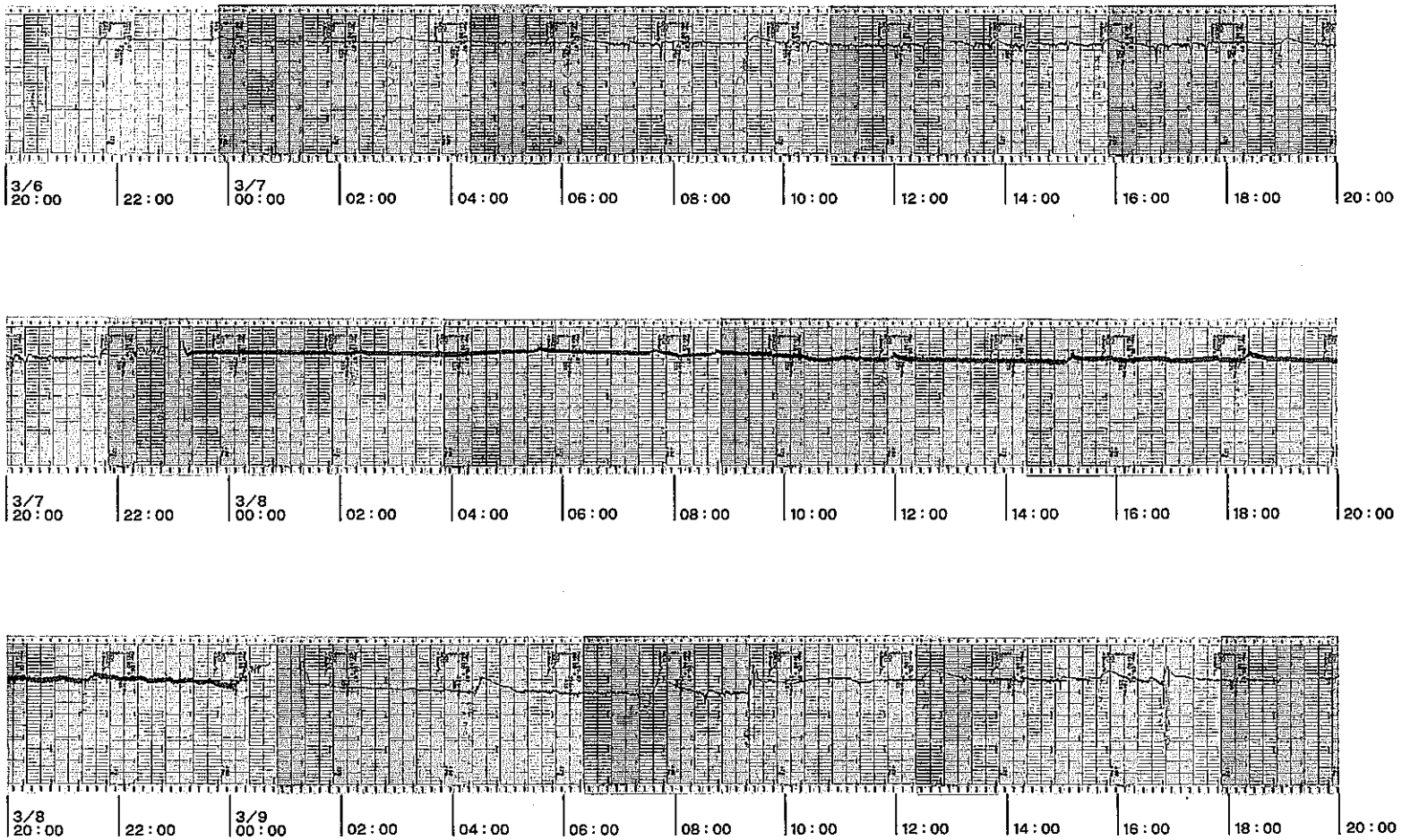


図3.2-3　エクストルーダのトルクと回転数の変化（1/2）

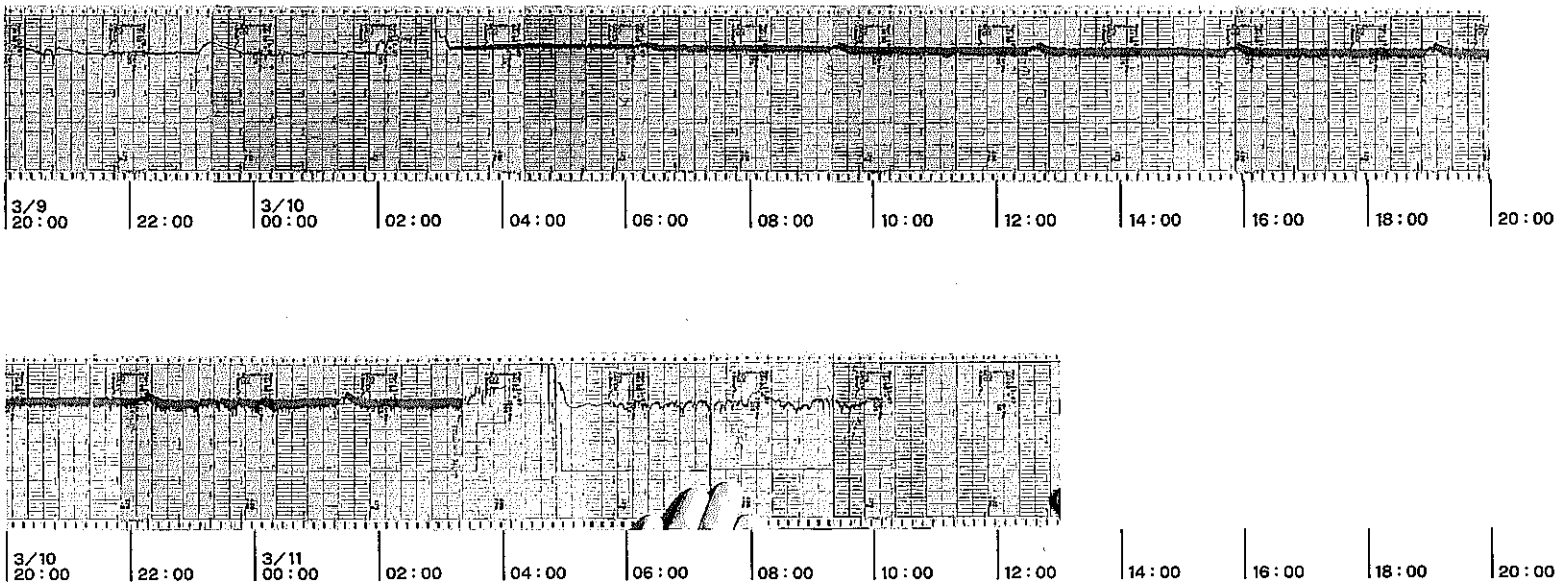


図3.2-3　エクストルーダのトルクと回転数の変化（2/2）

図3.2-4　100%充てん時におけるドラムあたりの原料アスファルト供給量

原料アスファルト充てん量は、ドラム充てん記録の値（原料アスファルト供給流量および充てん開始、100%完了時間）より計算

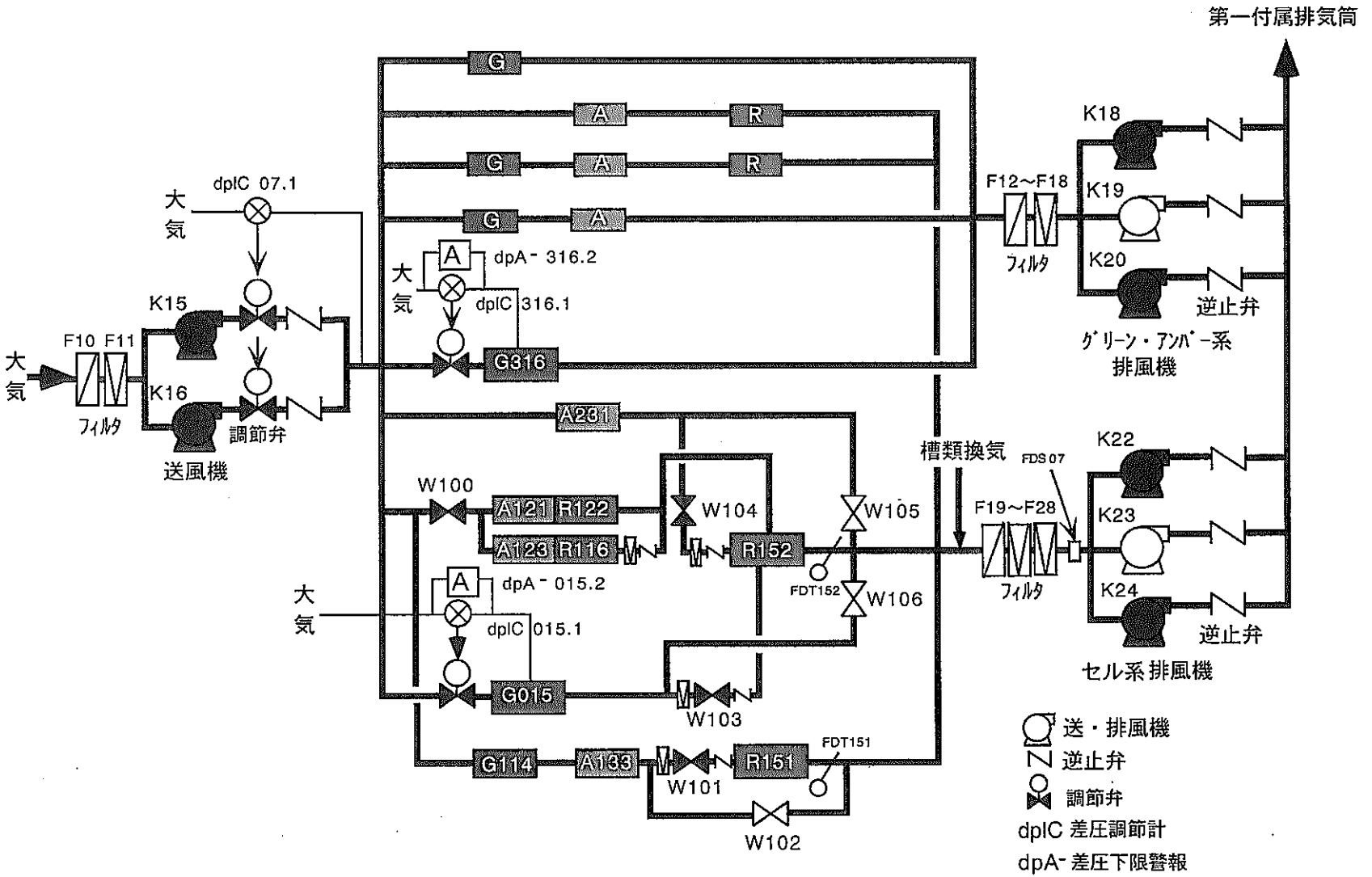


図3.2-5(1)　アスファルト固化処理施設換気系の状況
（正常運転時）

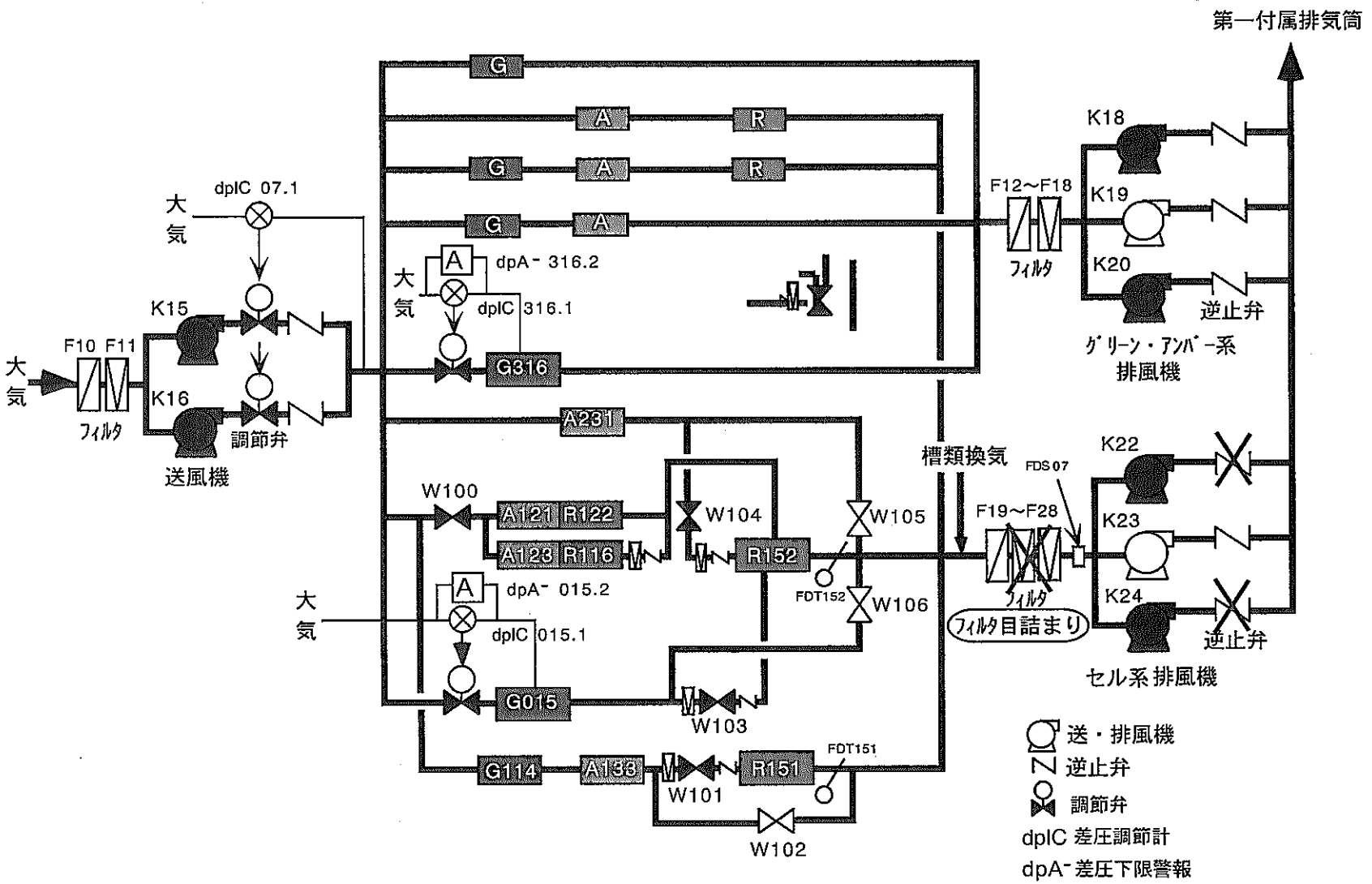


図3.2-5(2) アスファルト固化処理施設換気系の状況
（火災消火直後の運転状況）

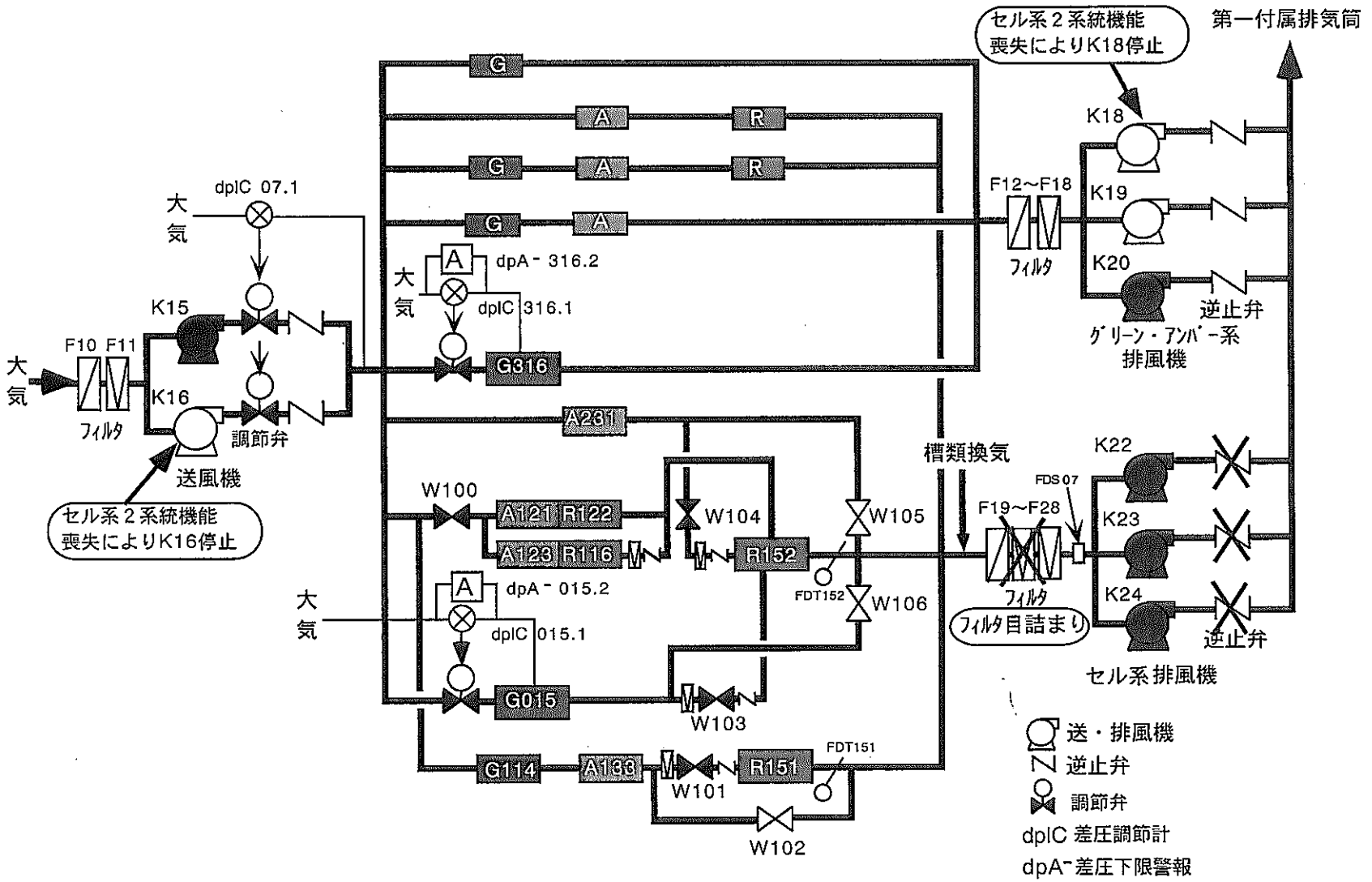


図3.2-5(3)　アスファルト固化処理施設換気系の状況
（制限運転時）

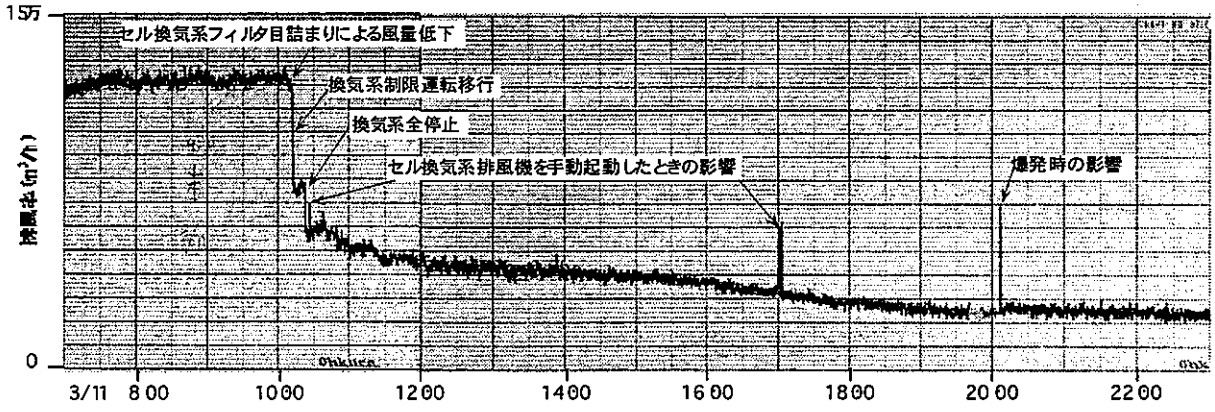


図3.2-6　第１付属排気筒の排風量計記録

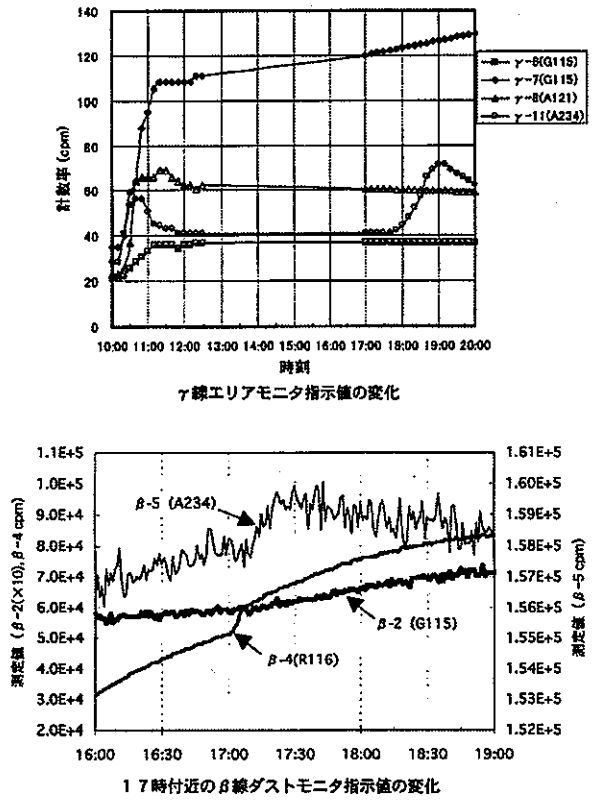


図3.2-7　施設内放射線モニタ指示値の変化

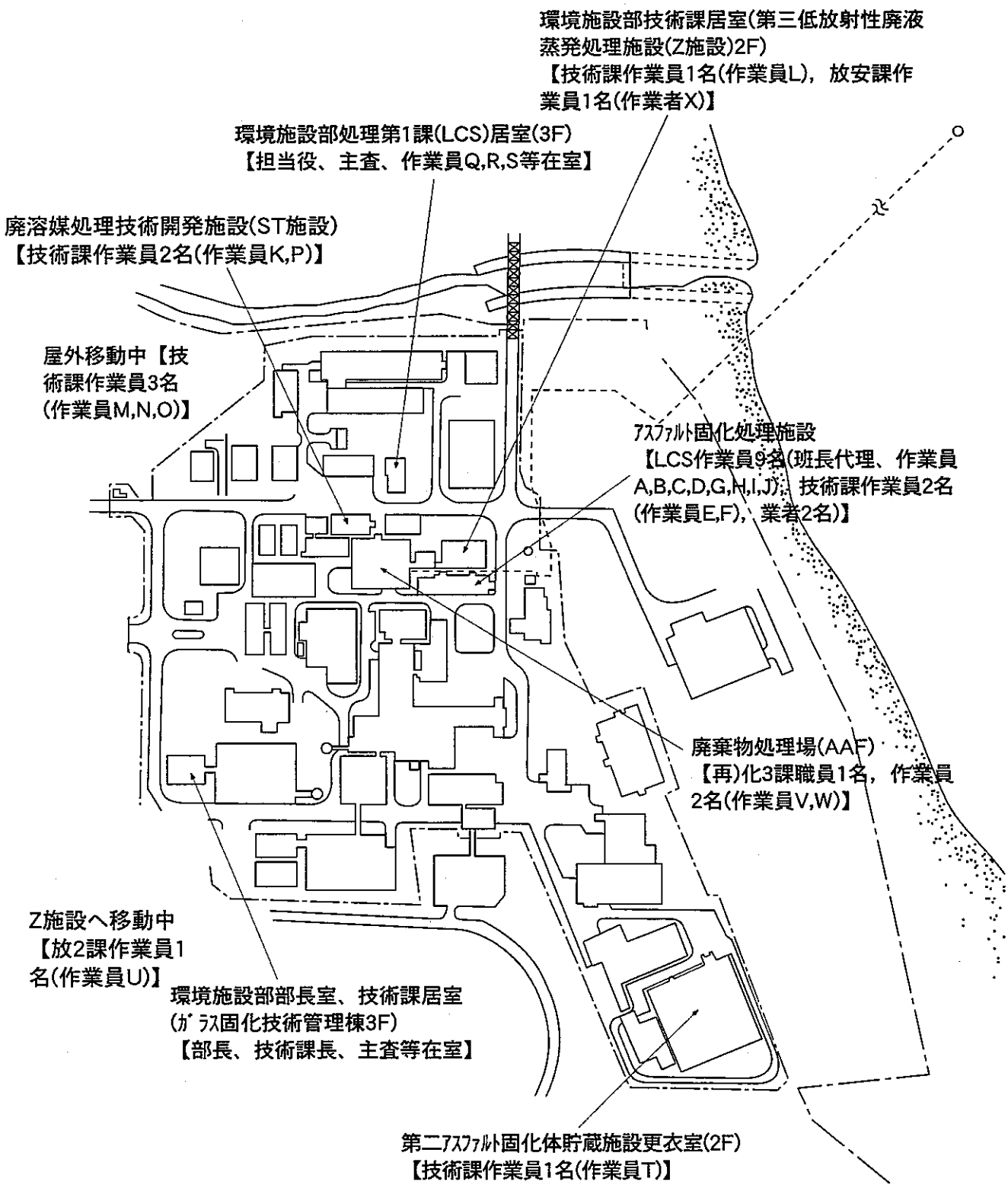


図3.3-1(1) 火災発生後の対応
～再処理施設内における火災発生前の人員配置

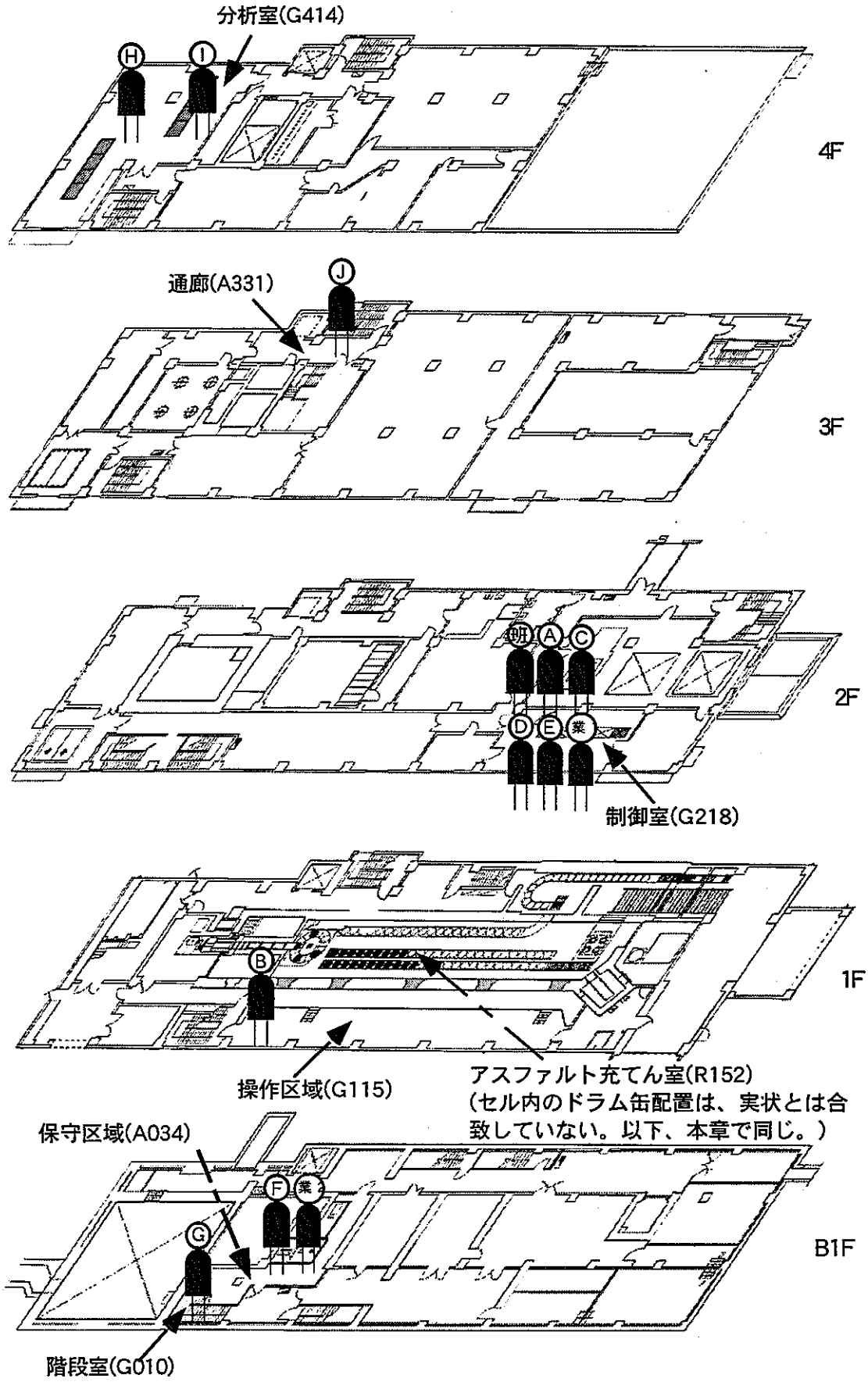
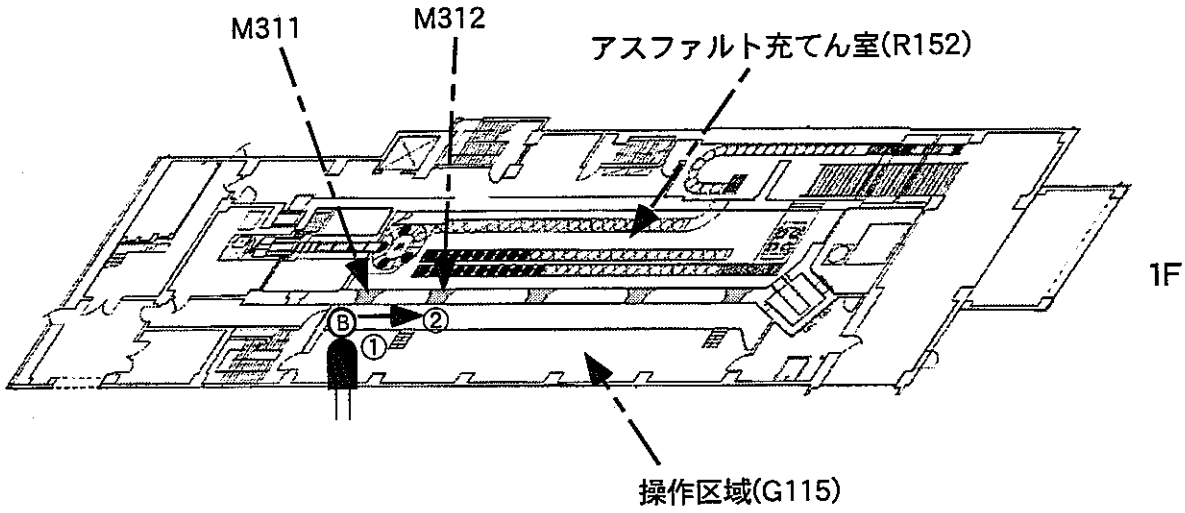
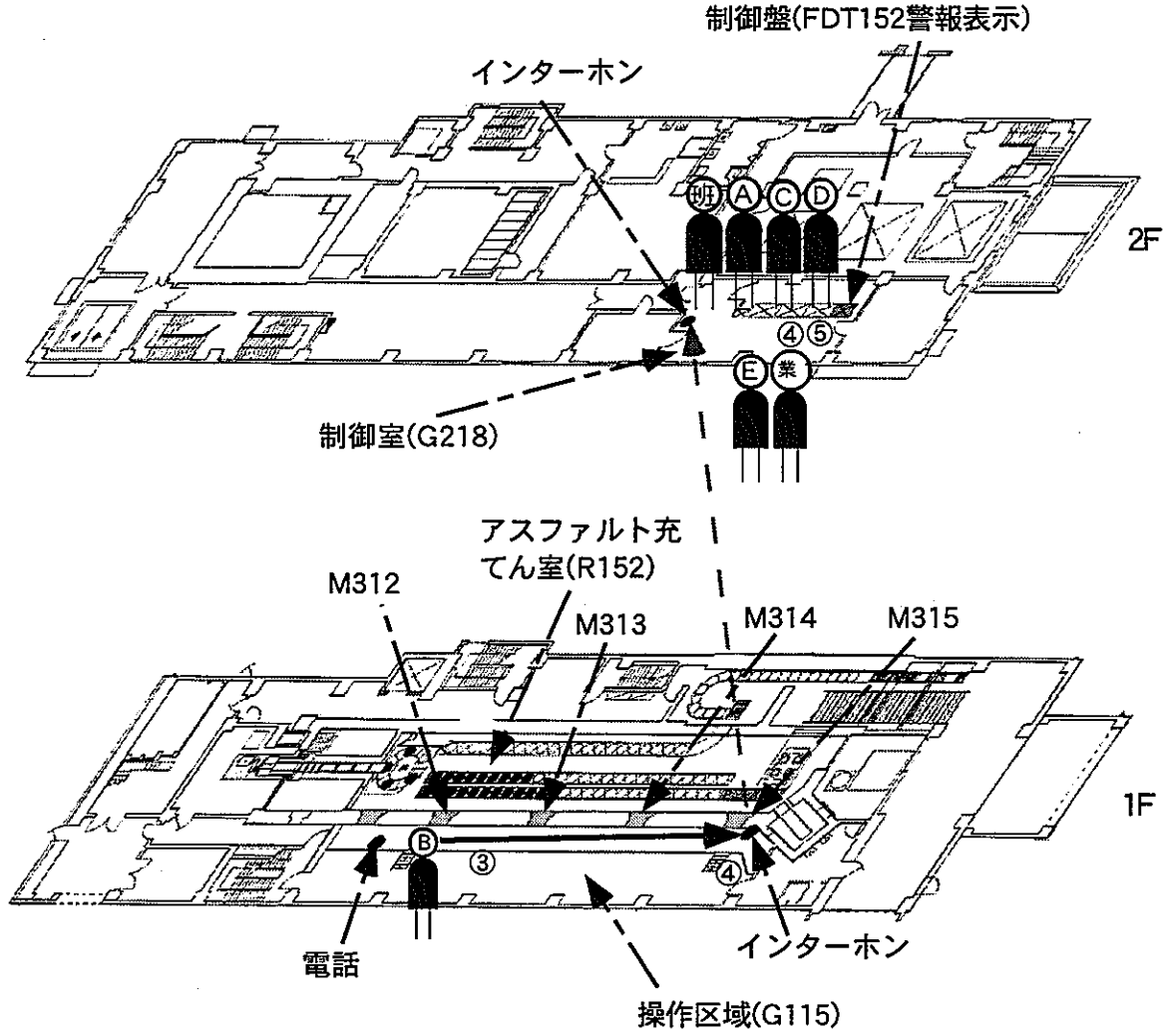


図3.3-1(2) 火災発生後の対応～
ｱｽﾌｧﾙﾄ固化処理施設内火災発生前の人員配置



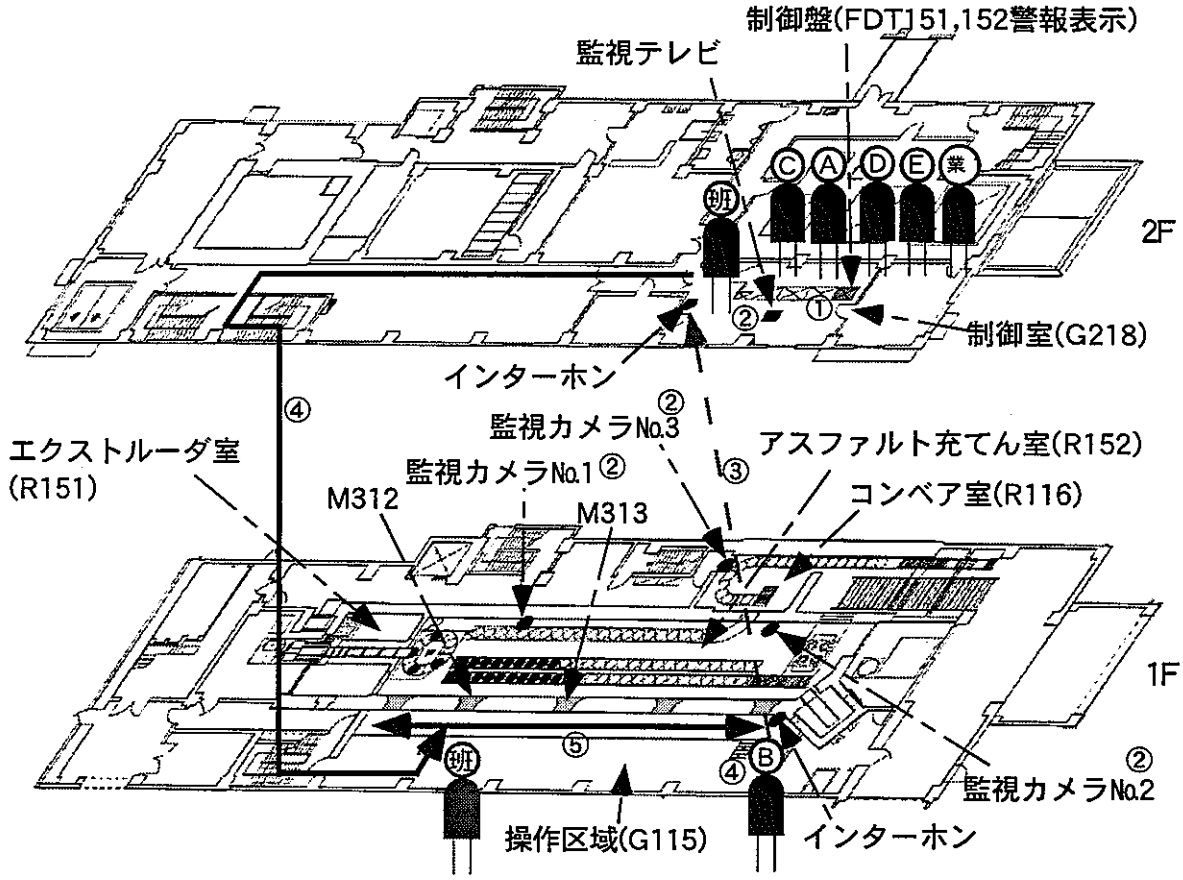
① 作業員Bが遮蔽窓(M311)からアスファルト充てん室(R152)内で発光を見た。
② 隣の遮蔽窓(M312)に移動してR152内を見たところ，遮蔽窓(M312)視界右奥のコンベア上のアスファルト充てん済みのドラム１本から火柱(高さ2m程度)が上がっているのを見た(図3-2(1)，(3)参照)。この時，音は聞こえなかった。

図3.3-1(3) 火災発生後の対応～10：06頃の状況(1/2)
(火災発見)



③　作業員Bが操作区域(G115)西側の電話で連絡しようとするが，話し中で通じず，東側に設置されたインターホンで連絡しようとして，そこに向かう途中，再度遮蔽窓(M312)を見たところ，遮蔽窓(M312)から見える全てのドラムから火柱(高さ2m程度)が上がっているのを見た(図3-2(2)，(3)参照)。この時，ドラム自体も見えた。但し，遮蔽窓(M313～M315)からR152内を見る余裕はなかった。
④　作業員Bがインターホンで制御室(G218)を呼び出している最中に，火災温度検知器(FDT，警報設定値：70℃)の吹鳴を聞いたが，G115のFDT表示盤は見ていない(この時点で，火災発見から約30秒程度が経過していた)。また，G218にいる全員が，FDTの吹鳴を聞いた(この時，作業員Eが時計で10：06を見た)。
⑤　作業員Cが，FDT152(図3-3参照)表示ランプが点滅していることを見てリセットした。

図3.3-1(4)　火災発生後の対応～10：06頃の状況(2/2)
(FDT152吹鳴等)



① FDT151が吹鳴し，同時にFDT152が再度吹鳴した(図3-3参照)。これは，一旦，R152のセル排気温度が設定値を下回ったことを示す。直ちに作業員Aは両警報をリセットし，ランプは点灯状態に変わった(この時，作業員Aが時計で10：08を見た)。これは，エクストルーダ室(R151)及びR152の排気温度が警報設定値を上回っていたことを示している。

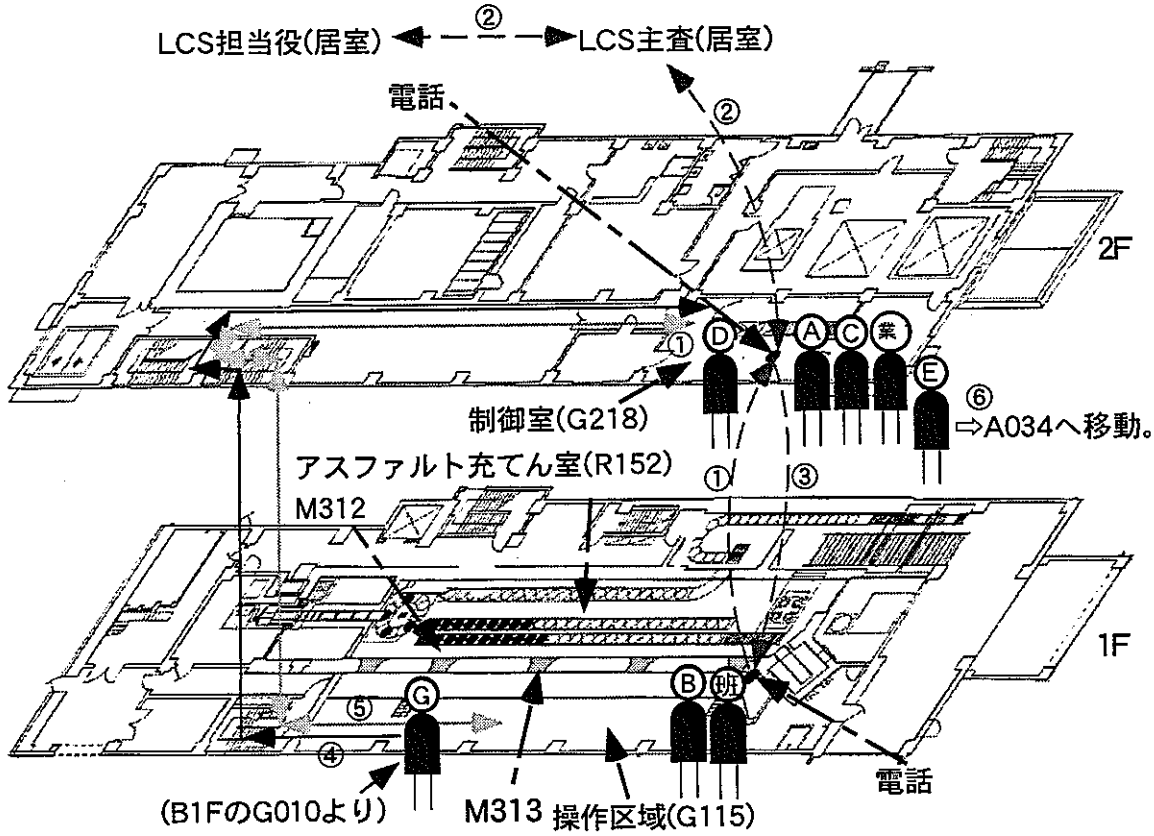
② 班長代理は，R152内のエクストルーダ充填口の状況を監視(No.1)している監視テレビ(カラー)の画面が白っぽくなったのを見た。この為，R152及びコンベア室(R116)内の他の画面(No.2，3)に切り替えたところ，No.2の画面は白っぽく見えたが，No.3の画面はR116内の様子が写った。

③ 作業員Bがインターホンで G218にいる班長代理に状況を報告⇨『セル内のドラムから火が出ている』。

④ 班長代理がG115に移動。この間に作業員Bが再度遮蔽窓(M312)を見たところ，窓内面(保護ガラス)に２～３本のひびが発生しているのを見た。

⑤ 作業員Bからの連絡によりG218からG115へ駆けつけた班長代理は，まずローカルパネル上でFDT151，152をリセットし，次に全ての窓を小走りに見て回った。この時，R152内は真っ白で，遮蔽窓(M312)から見える全てのドラムから火柱が上がっているのを見たが，ドラム自体は見えなかった。また，遮蔽窓(M313)からは室内は明るく見えたが，火柱は見えなかった。なお，遮蔽窓(M312)の内面(保護ガラス)に２～３本のひびが発生しているのを見たが，他の窓にひびは見られなかった。

図3.3-1(5) 火災発生後の対応～10：08頃の状況
(FDT151吹鳴，FDT152再度吹鳴，監視カメラ確認，作業員Bからの連絡，班長代理の状況確認等)



① 班長代理が，制御室(G218)にいる作業員Aに電話⇨『ドラム缶から火が出ている。主査に連絡してくれ。』

この電話中に自動火災報知器が吹鳴(この時点で吹鳴したのは，アスファルト固化処理施設1階［通廊(G111)，トラック　エアロック(G112)，薬品貯蔵室(G113)，試薬調整室(G114)，通廊(A131)，エクストルーダモータ室(A133)，コンベア室(R116)］。作業員CがG218の火災警報の表示機の音響を停止した。

② LCS主査は，G218からの電話で『ドラム缶が燃えている。』と聞き，そばに居たLCS担当役の了解を得た上で，『水噴霧で消火せよ。』と作業員Aに指示した。

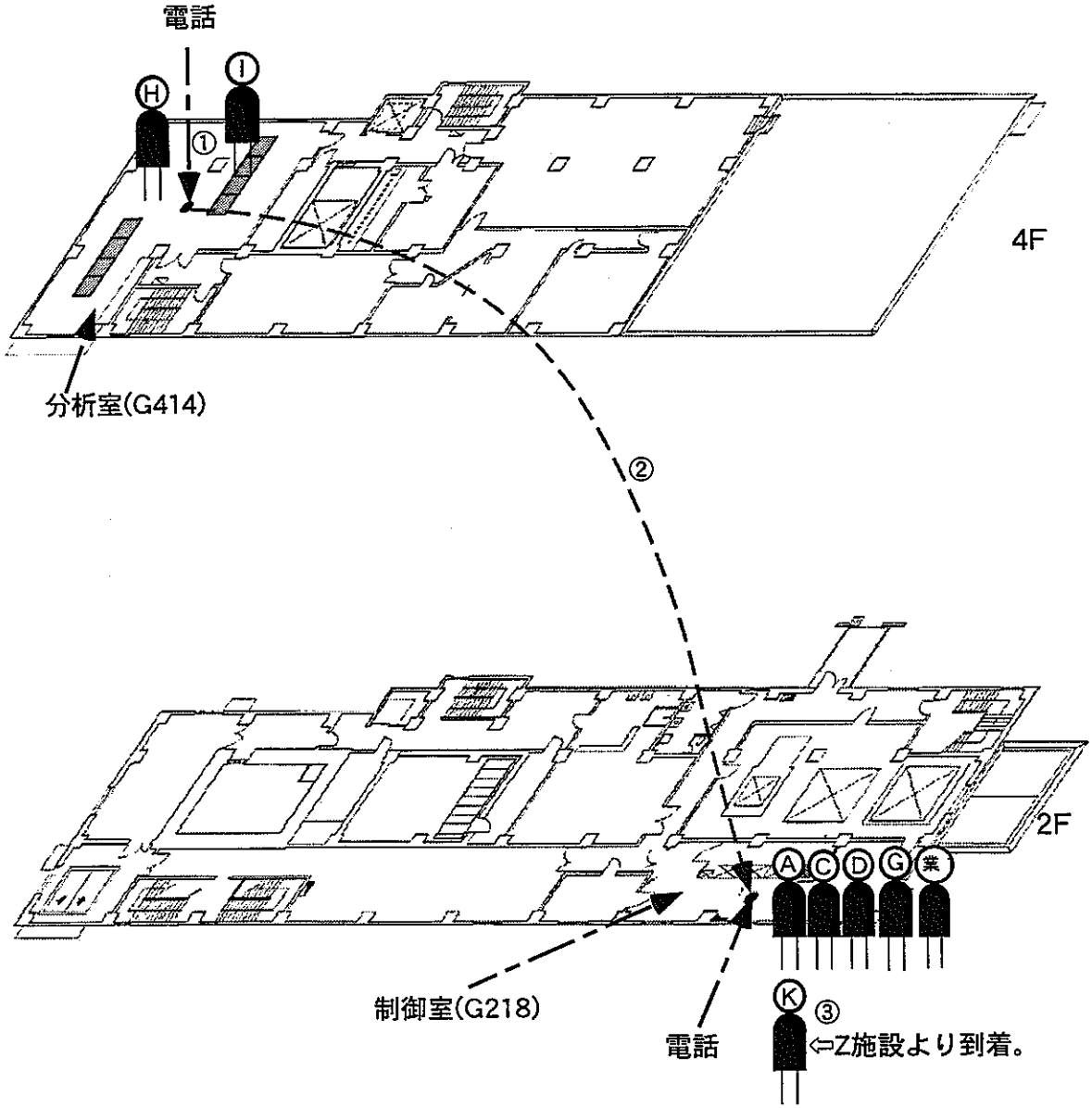
③ 作業員AがG115にいる作業員Bに電話⇨『水噴霧で消火せよ。』

④ 点検パトロール中の作業員Gは，地下1階の階段室(G010)で，聞き慣れないブザー音を聞いたため，確認のためにG115に行き，全ての遮蔽窓からR152内を見たところ，遮蔽窓(M312)からは，R152内は煙で一杯であったが，窓全体が明るく見えた。火柱らしきものは見えなかった。他の遮蔽窓からは，R152内が煙で一杯で暗く見えた。この後，作業員GはG218に戻った。

⑤ 現場確認のため，G115に向かった作業員Dが，遮蔽窓(M313)からのみR152内を見たところ，R152内は煙で真っ白になっており，窓全体が明るく見えたが，火柱らしきものは見えなかった。その後，作業員DはG218に戻った(なお，④と⑤の前後関係は不明)。

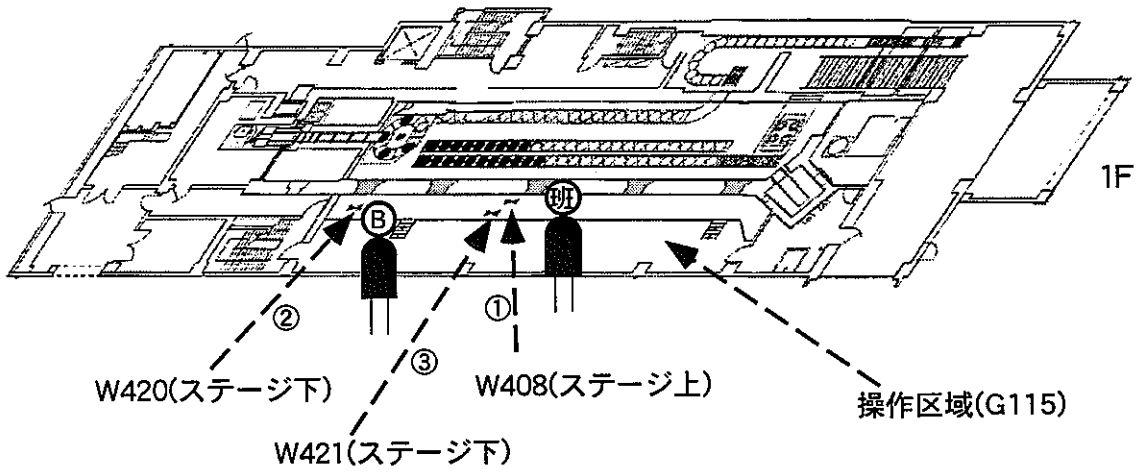
⑥ 作業員Eが，作業員F及び業者２を連れ戻すために，保守区域(A034)に向かった。

図3.3-1(6)　火災発生後の対応～10：10頃の状況
(水噴霧消火の指示等)



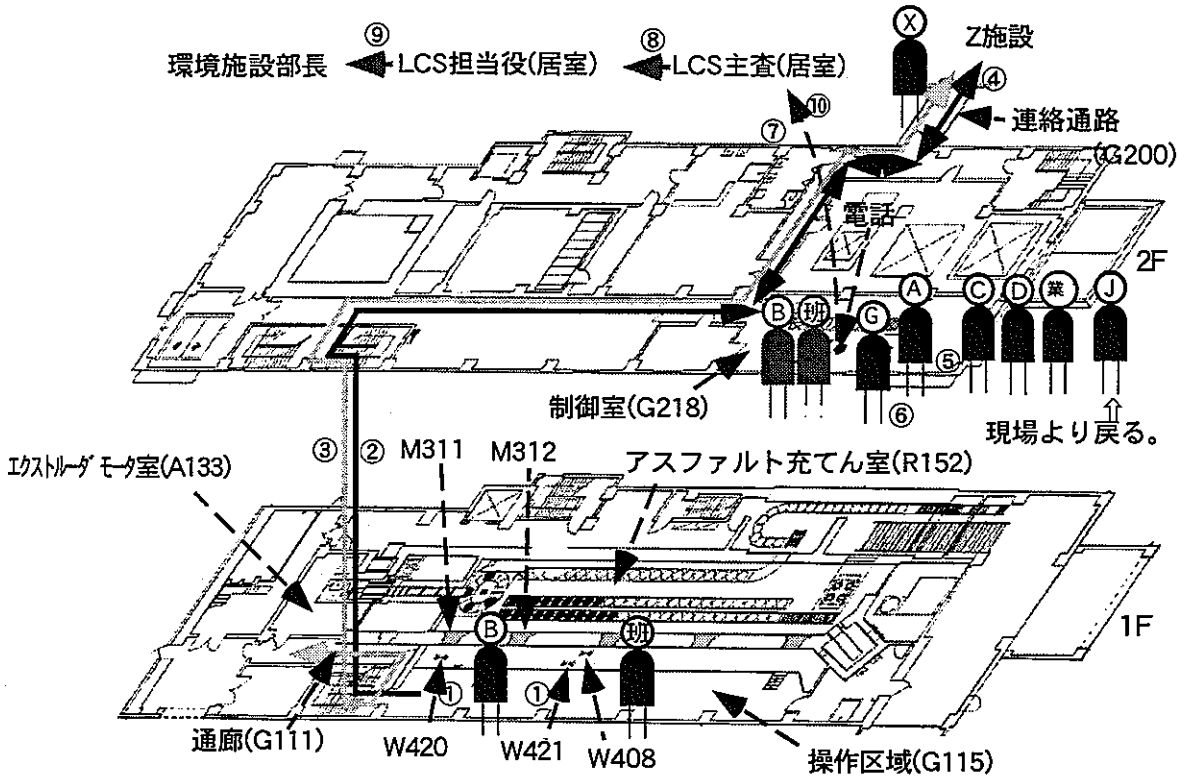
① 10：10頃，作業員HとIが，分析室(G414)において，自動火災報知器が吹鳴したのを聞いた。
② 自動火災報知器が吹鳴したため，10：10頃～10：12頃の間に，作業員HがG218にいる作業員Dに電話⇨返答：『ドラム缶が燃えている。』
③ 10：12頃，Z施設より作業員KがG218に到着。

図3.3-1(7) 火災発生後の対応～10：10～10：12頃の状況
(分析室からの状況問い合わせ等)



① 消火のために，班長代理が水噴霧用元弁(W408)を全開にした(W408を開ける直前に班長代理が時計で10：12を見た)。
② 作業員Bが供給弁(W420)を全開にした(水が流れる音を聞いた)。
③ 班長代理が供給弁(W421)を全開にした(水が流れる音を聞いた)。

図3.3-1(8) 火災発生後の対応～10：12頃の状況
(水噴霧消火作業)



① 水噴霧用元弁(W408)を全開にしてから約１分後(班長代理が時計で10：13を見た)，　班長代理が遮蔽窓(M312)からR152内を見たところ，室内は煙で真っ白のように見え　たがドラム缶からの火は見えなくなったので，班長代理が供給弁(W421)を，また，　作業員Bが供給弁(W420)を閉とした。

② ①の後，遮蔽窓(M311)上部にあるマスタースレーブマニプレータのスルーチューブから，薄茶色の煙がG115側に出ていることを班長代理及び作業員Bが見たため，二人は直ちにG218へ戻った。

③ 作業員Xは，Ｚ施設の第2安全管理室(G204)で火報吹鳴を聞き，アスファルト固化処理施設のG111へ行き，A133の隣付近に来たところで，何かの音を聞いた。そのため，戻りかけた時にG115内で作業員二人を見た。その後，すぐに作業員X はＺ施設に戻った。G111には煙はなかった。なお，G115にいる班長代理も同じ頃何かの音を聞いた。

④ 作業員Gが，火災報知器の吹鳴を切る為に，Ｚ施設のG204に行き，火災報知器主受　信盤の地区音響を停止した。これによりアスファルト固化処理施設，アスファルト固　化体貯蔵施設，Z施設，放出廃液油分除去施設(C施設)の吹鳴音が停止した。その後，　作業員GはG218に戻った。

⑤ 作業者Aが換気系異常警報の吹鳴を聞くとともに及びランプ点滅を見てリセットした(この時，作業員Aが時計で10：13を見た)。

⑥ 作業員Gがエクストルーダの「緊急停止」ボタンを操作した(この時，作業員Aが時計で10：13を見た)。

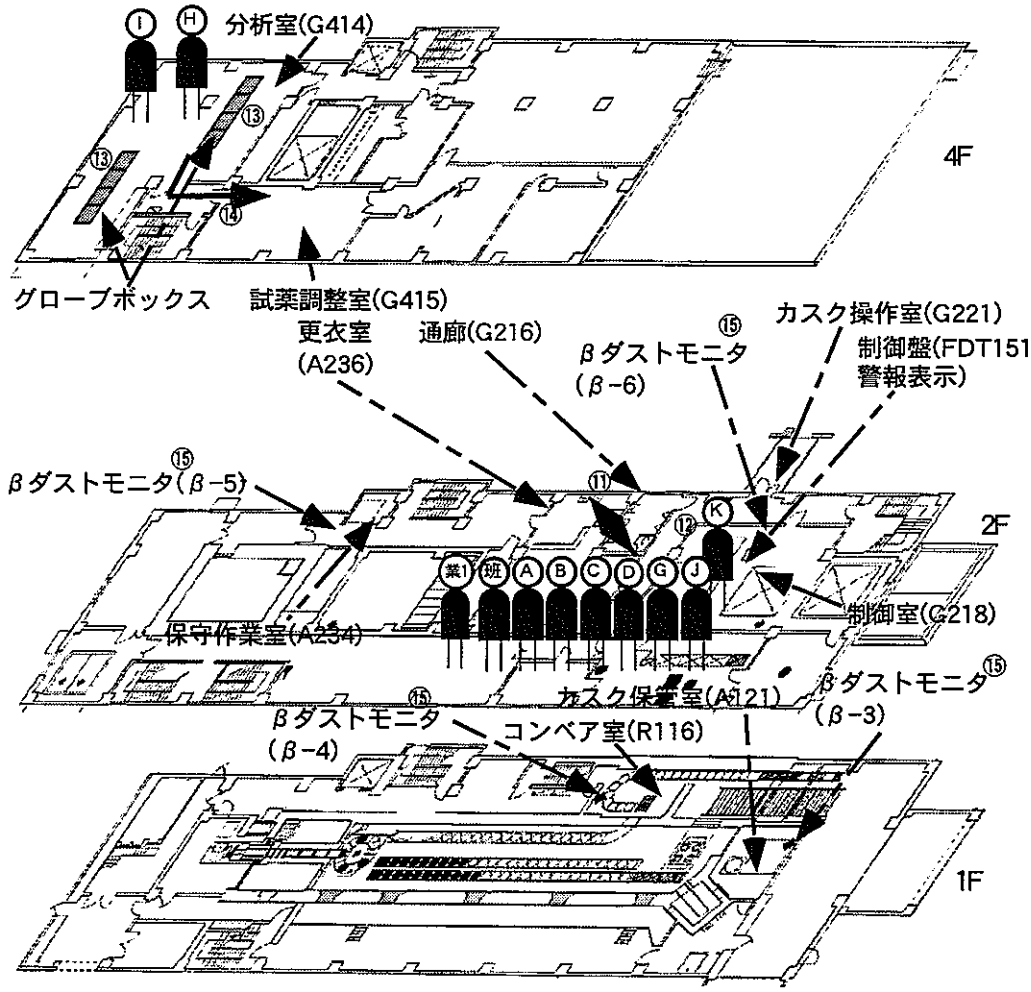
⑦ 班長代理がLCS居室にいるLCS主査に電話⇨『セル内の火は消火した。』

⑧ LCS主査はLCS担当役へ消火したことを報告。

⑨ LCS担当役は環境施設部長へ電話⇨『ドラム缶から火が出たが，消火した。』

⑩ 班長代理が，LCS居室にいるLCS主査に，再度電話⇨『セル内の火は消火したが，スルーチューブから煙が出ていた。』

図3.3-1(9) 火災発生後の対応～10：13～10：15頃の状況(1/2)
(水噴霧停止，「換気系異常」警報吹鳴，ｴｸｽﾄﾙｰﾀﾞ停止，消火報告等)



⑪ 班長代理が全員に半面マスクの着用を指示したため，作業員BとGが，G218から更衣室(A236)に半面マスクを取りに行ったところ，白っぽい灰色の煙がA236内に充満しているのを見た。作業員BがA236と通廊(G216)の扉をA236側に閉めようとしたが閉まらなかった。また，A236のダクトから下向きに煙が吹き出しているような感じであった。一旦，作業員BとG が G218に戻った後，再び作業員A，B，Cが，半面マスクを着用して他の人のための半面マスクを取りにA236に行ったところ，A236内に白っぽい灰色の煙が充満しているのを見た。

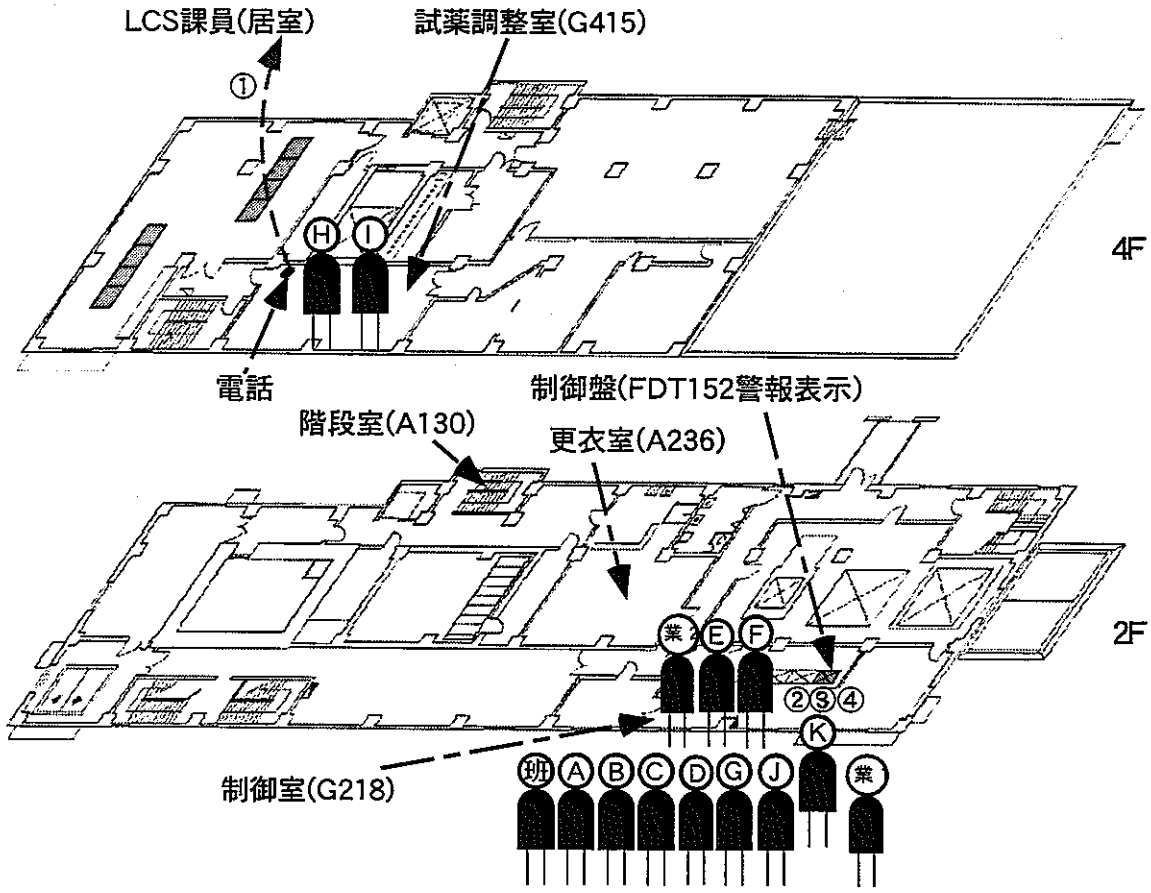
⑫ 作業員Kが，FDT152の点灯及び火災煙検知器(FDS07)の点灯を見た(FDS07の発報及び点滅時間並びにリセット時間は不明)。その直後に，NOx濃度注意報(警報設定値：NOx:50ppm，NO_2,SO_2:100ppm)が吹鳴し，リセットした。その後，差圧低下警報(dPA－316.2,dPA－015.2：警報設定値は－2㎜H_2O)が吹鳴し，リセットした。この時，FDT151は消灯していた。

⑬ 作業員HとIが，G414のグローブボックスの負圧がゼロとなり，警報が吹鳴したため，警報をリセットした。

⑭ 作業員HとIが，試薬調整室(G415)へ移動した。

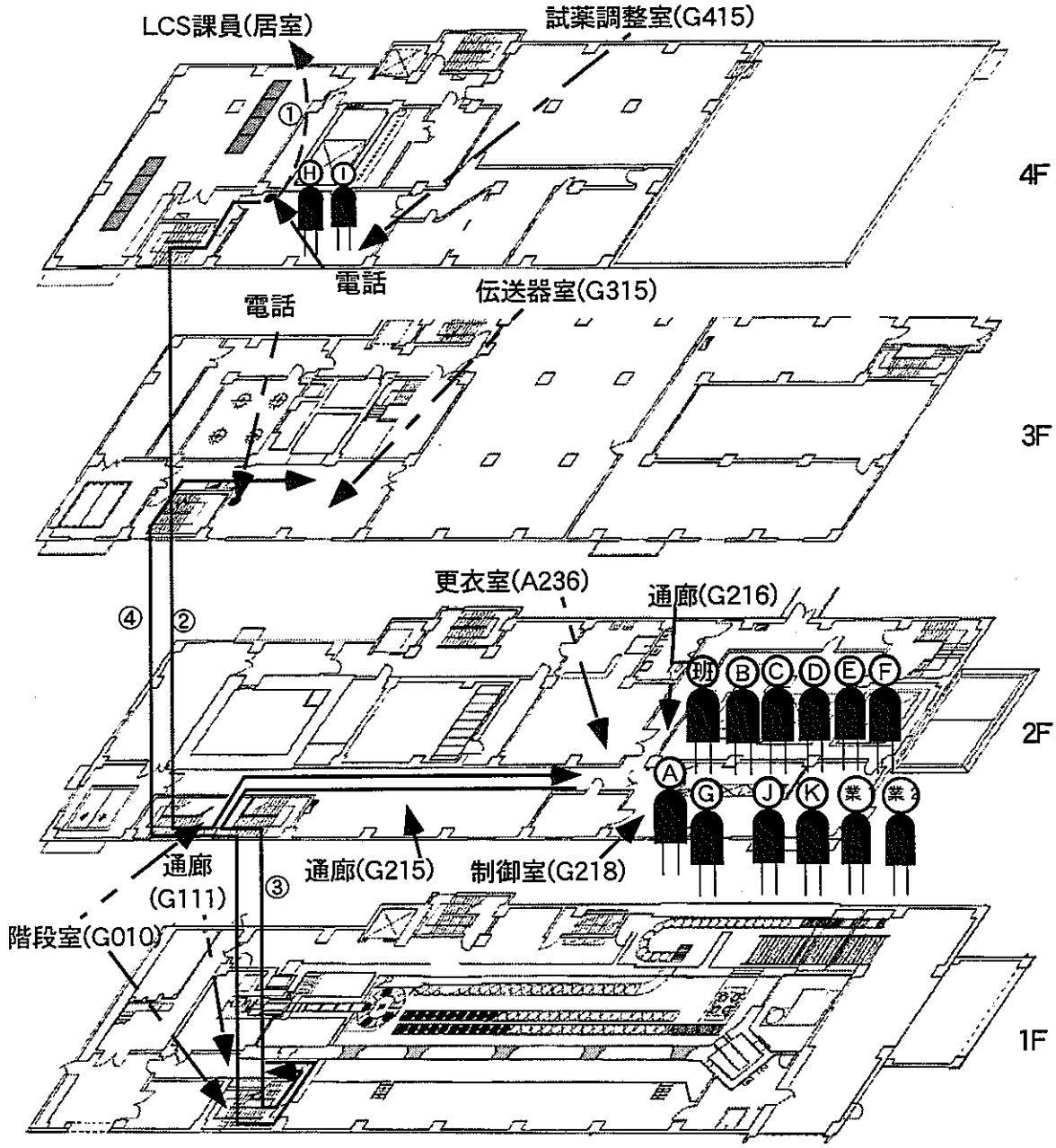
⑮ 10：13にβダストモニタ(β-4)，10：14にβダストモニタ(β-5)，10：15にβダストモニタ(β-3)，10：18にβダストモニタ(β-6)が，ぞれぞれ吹鳴した(なお，以上のβダストモニタの警報設定値:3,000cpm)。また，10：10頃～10：14頃にかけて，第一付属排気筒の排気モニタの指示値が上昇した。

図3.3-1(10) 火災発生後の対応～10：13～10：15頃の状況(2/2)
(NOx濃度注意報吹鳴，差圧低下警報吹鳴，FDT151消灯，ｸﾞﾛｰﾌﾞﾎﾞｯｸｽ負圧異常等)



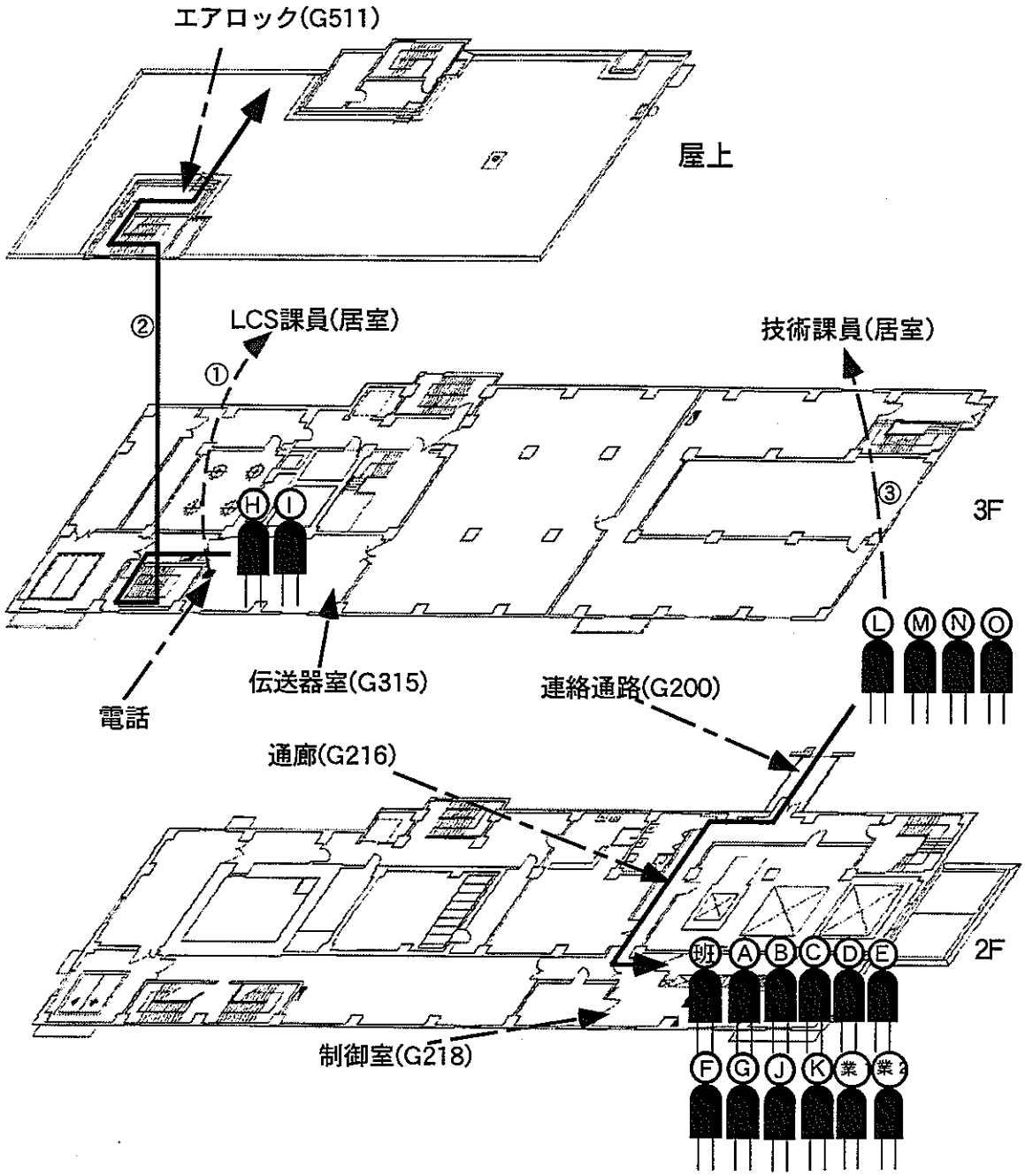
① 10：15頃，作業員HがLCS居室にいるLCS課員にグローブボックスの負圧がゼロになった旨を電話⇨返答：『G415で待機せよ。』
② 10：18頃，作業員Kが換気系異常警報の点灯及び予備機(K23)を含む全てのセル換気系排風機(K22,K23,K24)のランプがオレンジ点灯であることを見た。これは，排風機は運転されており，吐出側の出口ダンパが閉まった状態を示す。
③ また，作業員Kがセル系排風機の出口ダンパ閉によるセル系からの逆流防止のために，建家換気系送風機1台(K15)，建家換気系排風機1台(K20)の制限運転となっているのを見た。
④ 10：18頃，G218に戻った作業員EとFが，FDS07とFDT152の点灯を見た。なお，二人がG218に戻る途中の階段室(A130)で，白っぽい霧状の煙を見かけ，A236で白っぽい煙が入ってきたのを見た。

図3.3-1(11) 火災発生後の対応～10：15～10：18頃の状況
(換気系異常状態確認等)



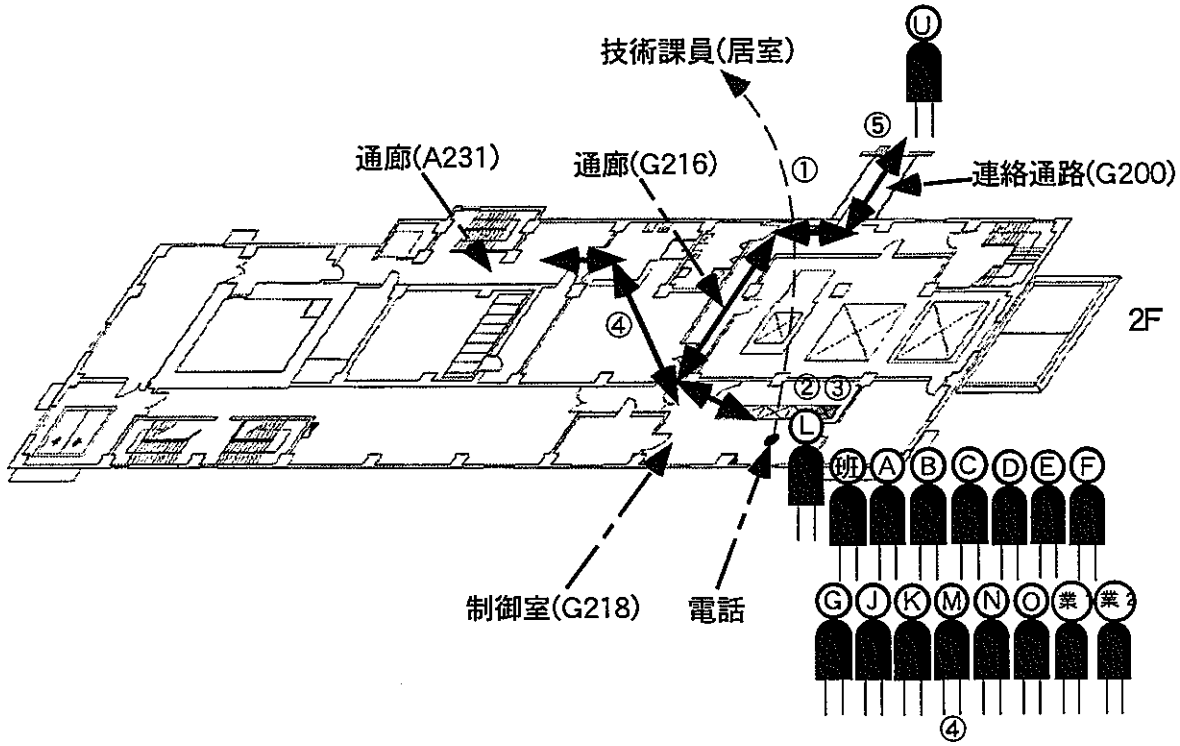
① G415にいた作業員HがLCS居室にいるLCS課員に電話⇨『アスファルトのよ うな臭いがしてきたため，G218で待機する。』
② 作業員HとIはG218に向かって移動した。作業者HとIが通廊(G215)からG216に扉を開けて入ろうとしたが，一人では扉は開かなかった(引けなかった)ため二人で引いて開けた。作業員HとIがG216に一歩か二歩入ったところ，A236と思われる方向より煙(茶色がかった色，G218の扉が見えなくなる程度の濃さ)が出てくるのが見え，また，G218からA236の方向にγ線測定をしている作業員Aを見@た。
③ 作業員HとIは，G215に戻って，G010を通って1階に向かい，G010からG111の扉を開けたところ，G111内に白っぽい煙を見た。
④ 作業員HとIはG010に戻り，伝送器室(G315)に移動した。

図3.3-1(12) 火災発生時の対応～10：18頃の状況
(作業員H,Iの避難状況)



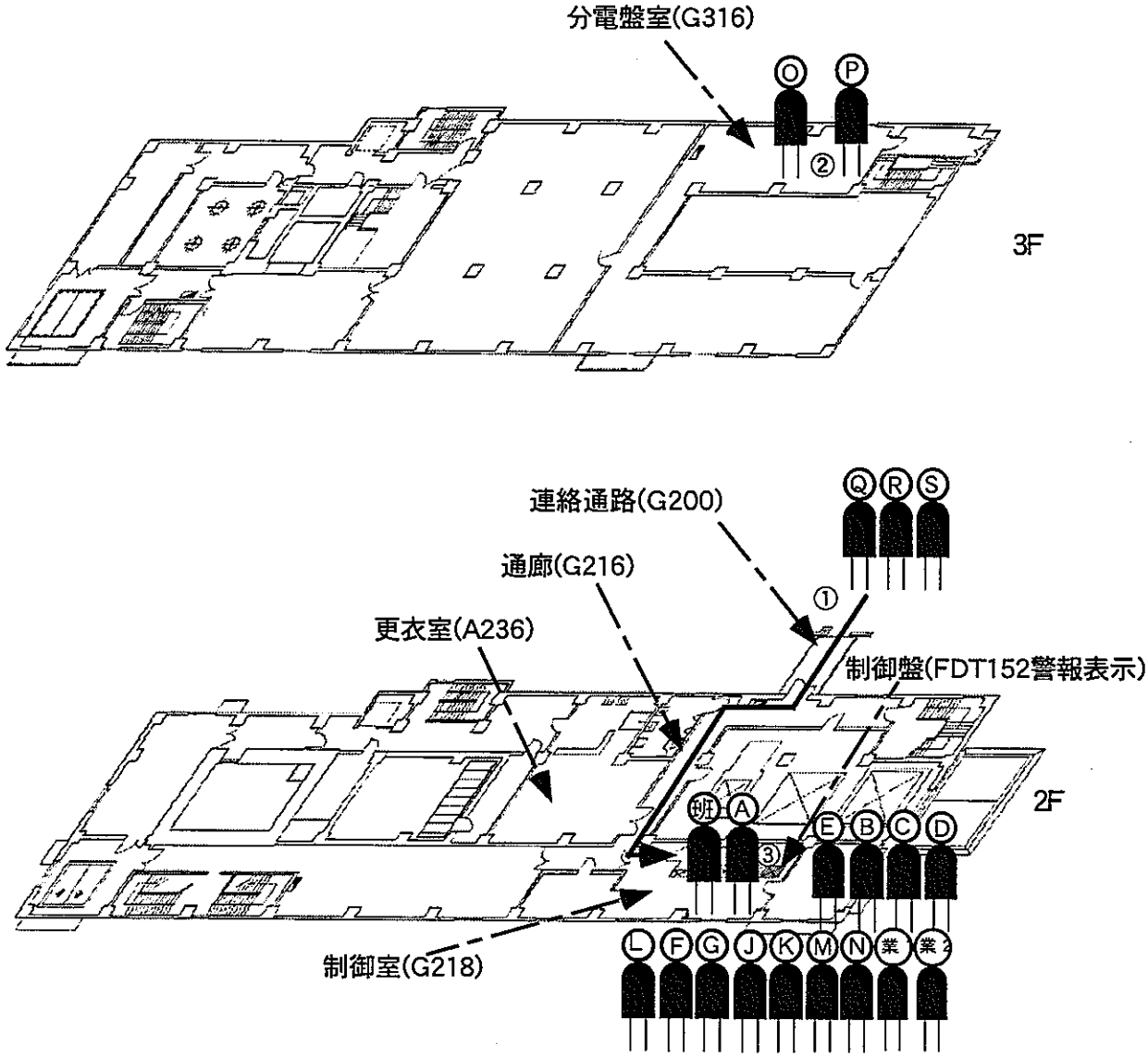
① 10：19頃，G315から作業員HがLCS居室にいるLCS課員に電話⇨『1階，2階は煙のため退避できないので屋上へ行く。』
② 10：21頃，作業員HとIがエアロック(G511)経由で屋上へ退避。
③ 10：19頃，作業員Lは，技術課居室にいる技術課員に電話⇨『Z施設の更衣室(W215)でアスファルト固化処理施設から風の流れがあり，W215とZ施設の安全管理分室(G218)の間の扉(図3-10参照)が閉まらない(アスファルト固化処理施設側に押しつけられない)ため，現場で確認する。』
その後(10：21頃)，作業員Lは，作業員M，N，OとともにG218に到着。

図3.3-1(13) 火災発生後の対応～10：19～10：21頃の状況
(作業員H,Iが屋上に退避等)



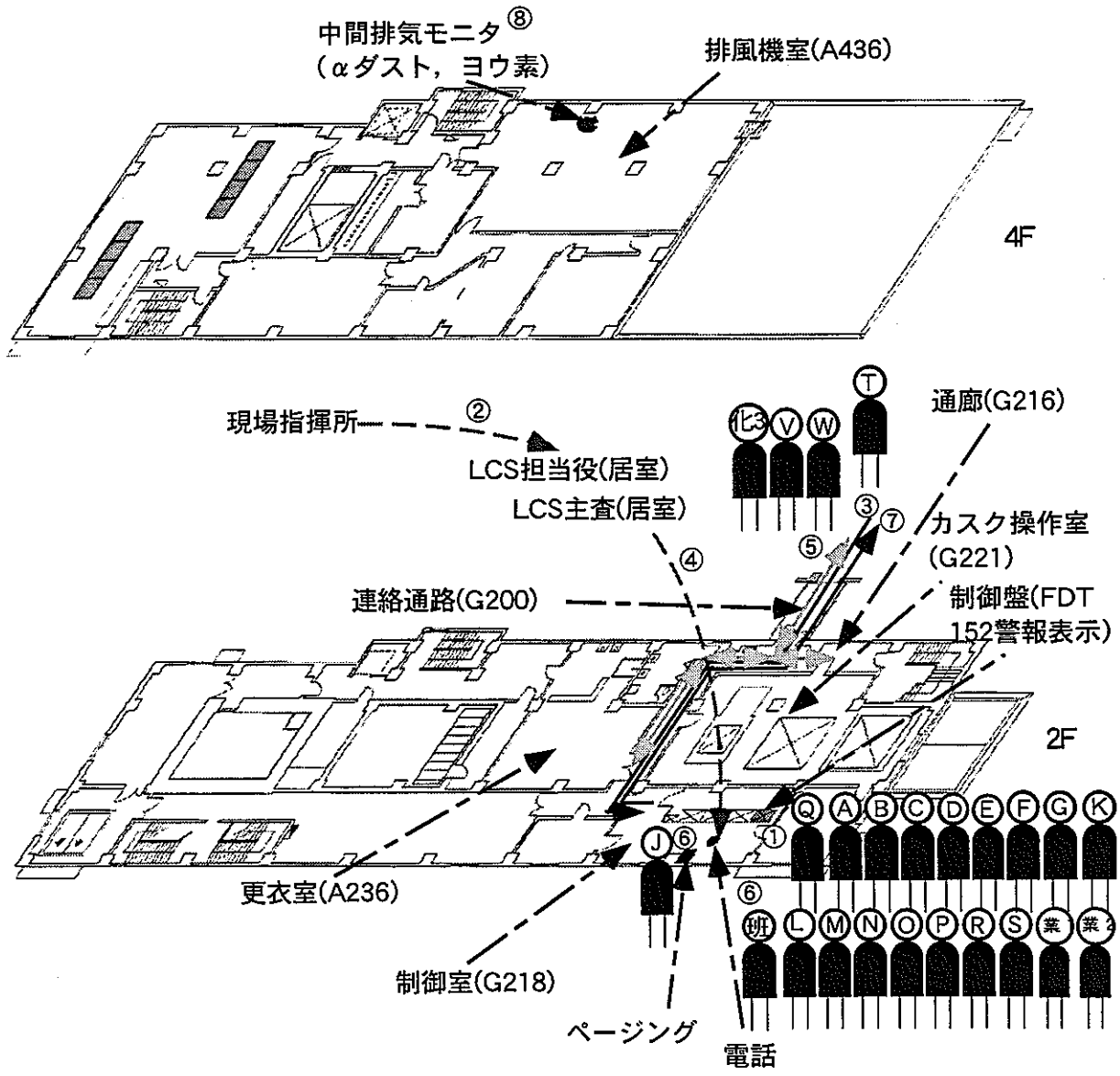
① 10：22頃，作業員Lが，建家内負圧バランスの乱れによる汚染拡大の恐れがあると認識し，技術課居室にいる技術課員に電話⇨『換気系の送風機と排風機を停止する。』
② 10：23頃，作業員Lは，制御盤の自動，手動切替スイッチを手動に切り替えて建家換気系の送風機および排風機を全て停止させた。
③ その後(～10：24頃)，作業員Lがセル系換気の回復を図るためにセル換気系排風機(K22，K23，K24)の起動操作を手動で試みたが，排風機は起動したがダンパが閉状態であったため，排風機を停止した。
④ 10：23頃，作業員Mは，セル換気系が回復できないため現場の状況を確認するため排風機室(A436)に向かったが，途中，通廊(A231)が真っ白で視界が悪かったためG218に戻った。
⑤ 10：23頃，状況確認のために作業員UがG218に到着。その途中，連絡通路(G200)とG216の間の扉を開けた時に煙を見た。作業員UはG218にてβダストモニタの指示値上昇を連絡し，作業員の身体サーベイを依頼した後，Z施設に戻った。

図3.3-1(14) 火災発生後の対応～10：22～10：24頃の状況
(換気系の自動運転から手動運転への切り替え等)



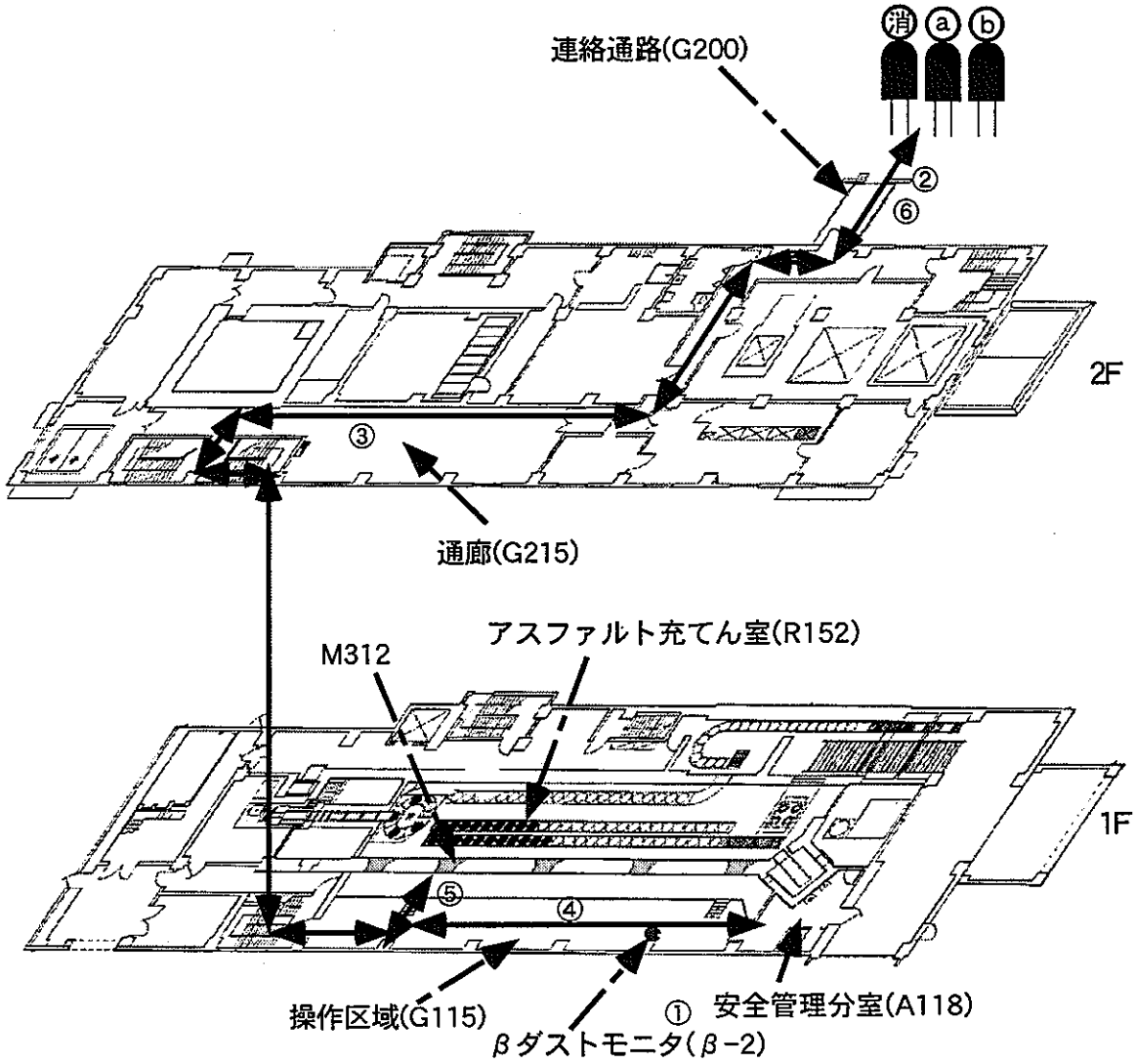
① 10：24頃，作業員Q，R，Sが応援のためにLCS居室からG218に到着。その途中，Z施設のG218及びアスファルト固化処理施設のG200とG216までは霧状の煙を，また，A236内は灰色っぽい雲の様な煙を見た。
② 10：27頃，作業員Oが分電盤室(G316)に行き，分電盤の電気系統に異常がないことを確認後，G218に戻った。ST施設の巡視終了後，作業員PはZ施設で煙を見た。その後，アスファルト固化処理施設のG316に行き，その後G218に向かった。その途中，G200，G216，A236で白い煙を見た。また，G316では，うっすらと白い煙を見た。
③ 10：25頃，作業員Eが，FDT152が消灯しているのを見た。
④ 10：26に，Z施設の局所排気モニタ(βダストモニタ)の警報が吹鳴した(警報設定値：390cpm，図3-6,10,11参照)。

図3.3-1(15) 火災発生後の対応～10：24～10：27頃の状況
(電気系統確認，FDT152消灯等)



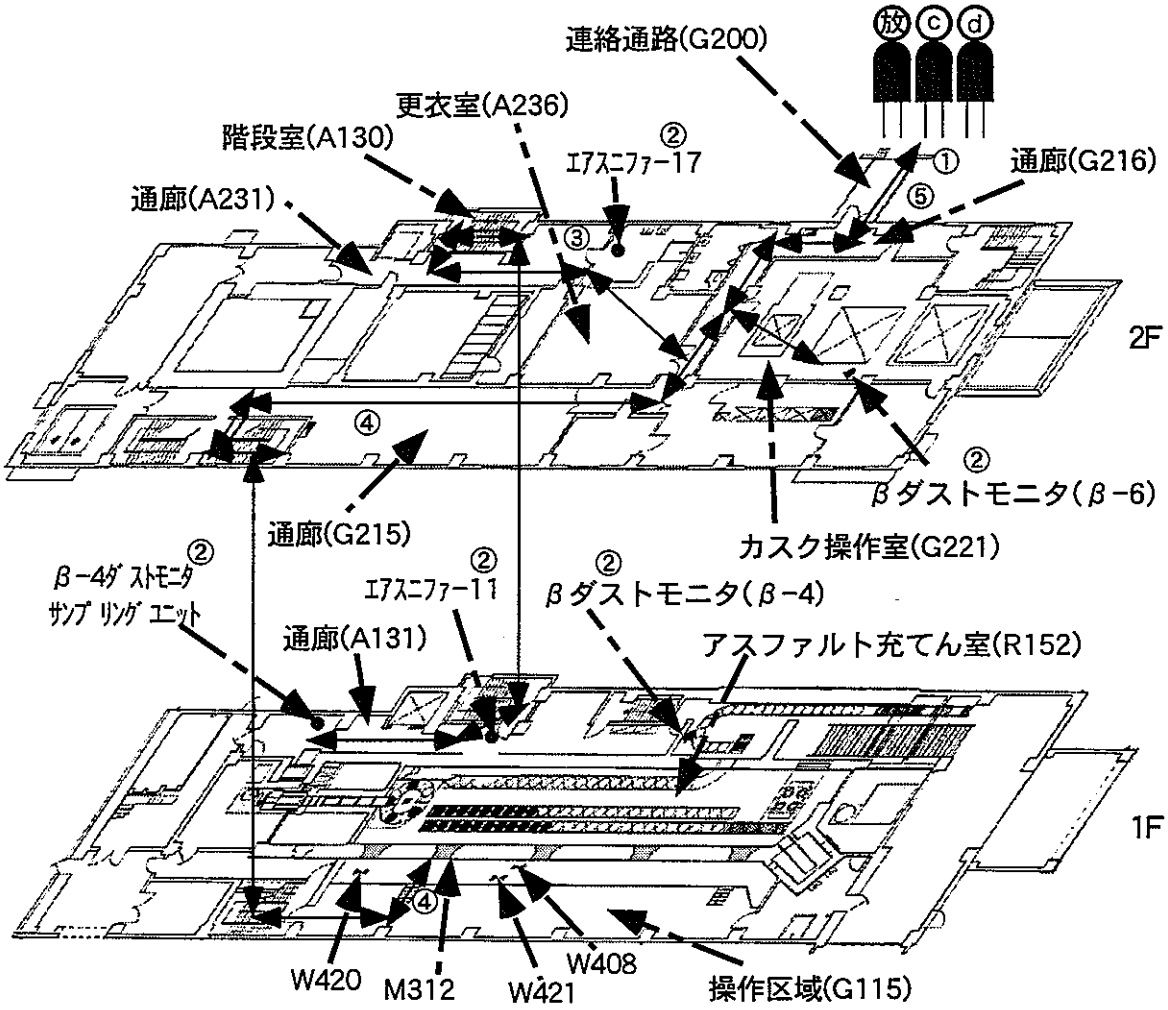
① 10：30頃，作業員QがFDT152が消灯しているのを見た。
② 10：32頃，現場指揮所からLCS居室にいるLCS担当役へ，作業員をアスファルト固化処理施設から退避させるよう電話にて指示。この時点で，班長代理が退避準備を指示。
③ 10：32頃，AS IIの更衣室で，アスファルト固化処理施設での火報吹鳴の連絡を受けた作業員Tが，G218に到着。
④ 10：32頃，LCS主査がG218にいる班長代理に電話⇨『全員，アスファルト固化処理施設から退避せよ。』
⑤ 10：35頃，化３課職員，作業員V，Wは，Z施設から立ち入り，G216から扉の窓越しにカスク操作室(G221)内に煙の無いこと，A236内に煙が充満しているのを見た後，すぐZ施設まで戻った。
⑥ 10：37頃，班長代理がG218内の全員に退避を指示した。また，作業員Jがページングにて全員退避の放送を行った。
⑦ この後，屋上に退避した作業者HとI除く作業員等全員(班長代理,作業A,B,C,D,E,F,G,J,K,L,M,N,O,P,Q,R,S,T,業者1,業者2)がG218からZ施設のG218への退避を開始し，11：01頃にはZ施設のW215に退避を完了した。
⑧ 11：01に，アスファルト固化処理施設の中間排気モニタ(αダスト(警報設定値:16cpm)，ヨウ素(警報設定値:350cpm))が吹鳴した。

図3.3-1(16) 火災発生後の対応～10：30～11：01頃の状況
(現場指揮所からの退避指示，Z施設への退避等)



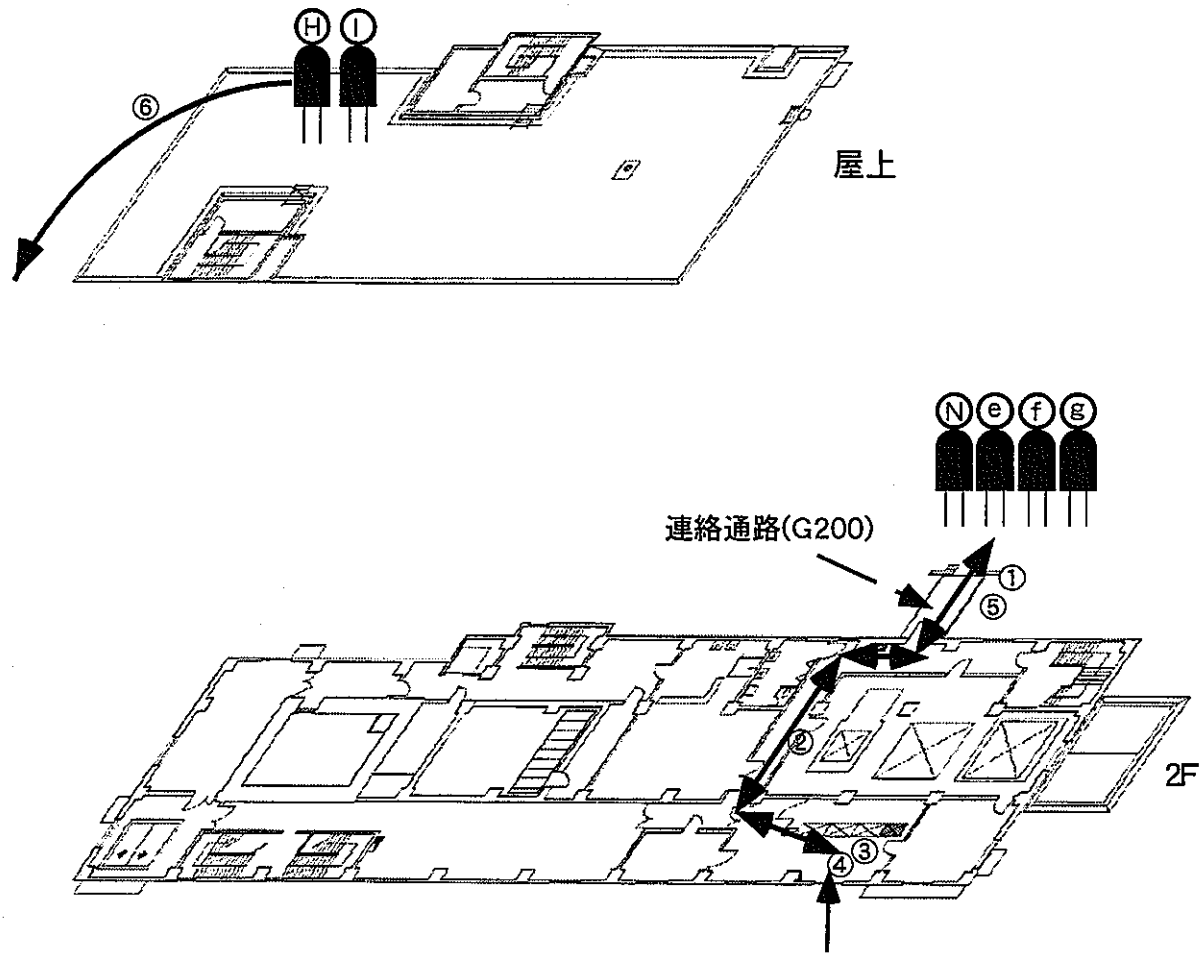
① 12：45に，βダストモニタ(β-2,警報設定値：3,000cpm,図3-6,7参照)が吹鳴した。
② 13：34頃，消火状況を見るために作業員a，b(LCS)と消防署員［第1班］が入域した。
③ 作業員a，bはG215，G115で煙を見た。
④ 作業員bが，安全管理分室(A118)内の給気ダンパ(W100)の開，G115内の給気ダンパ(W103)の開とバイパスダンパ(W106)の閉を確認した。
⑤ 作業員a，bがR152内を見たところ，室内には火は見えず，真っ暗に見えた。窓の内側は真っ黒の状態であった。また，遮蔽窓(M312)の内側にひびと思われるものを見た。その他の遮蔽窓にはひびは見られなかった。更に，作業員aがG115ダンパの切替スイッチがOFFであることを見た(これは10：12頃の水噴霧消火の際にダンパ切替を行っていなかったことを意味する)。
⑥ 13：43頃，第1班が退域した。

図3.3-1(17) 火災発生時の対応～12：45～13：43頃の状況
(βダストモニタ(β-2)吹鳴，第1班入域～退域)



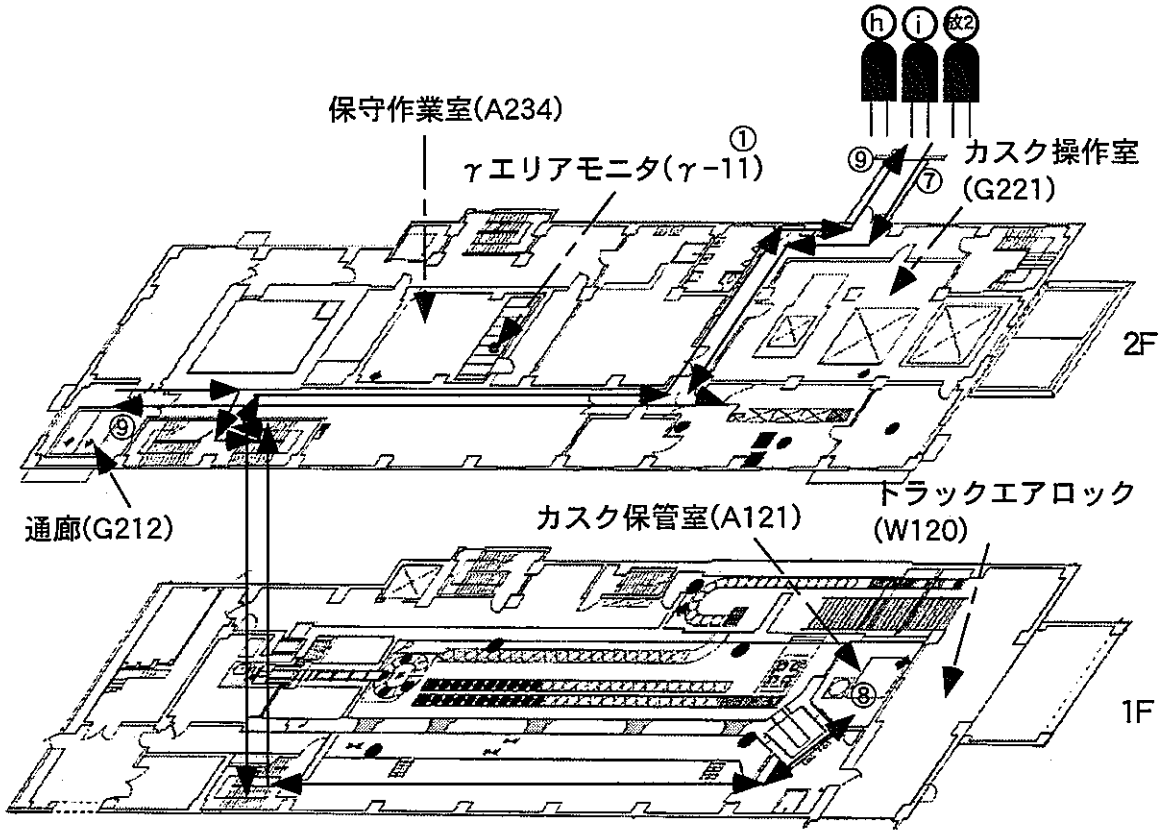
① 15：15頃，施設内の放射能状況などを調査するために，放２課職員1，作業員c，d(LCS)［第２班］が入域した。
② 放２課職員1は，G216でスミヤ1箇所採取後，G221に移動。G221においてβダストモニタ(β－6)のろ紙交換を行うとともにスミヤ1箇所採取後，G216に戻り，スミヤ1箇所採取。その後，A236に移動し，エアスニファー17の交換を行うとともにスミヤ1箇所採取。その後，A236からA231，A130を経由して通廊(A131)に移動し，エスニファー11の交換及びβダストモニタ(β－4)のろ紙交換を行うとともにスミヤ2箇所採取。放２課職員1はA131で煙を見た。その後，A231に移動。
③ 作業員cは，A231に移動し，A231内にある給気ダンパ(W104)の開とバイパスダンパ(W105)の閉を確認した(図3-5参照)。
④ 作業員dは，G115に移動し，水噴霧用元弁(W408)の閉操作を実施するとともに供給弁(W420,W421)の閉を確認した。作業員dがR152内を見たところ，火は見えず，真っ暗に見えた。また，遮蔽窓(M312)の内側にひびと思われるものを見た(他の窓にはひびは見られなかった)。その後，作業員dはA231に移動。その途中，作業員dはG215，G115で煙を見た。
⑤ 15：28頃，放２課職員1，作業員c，dはA231で合流後，退域した。

図3.3-1(18) 火災発生後の対応～15：15～15：28頃の状況
(第2班入域～退域)



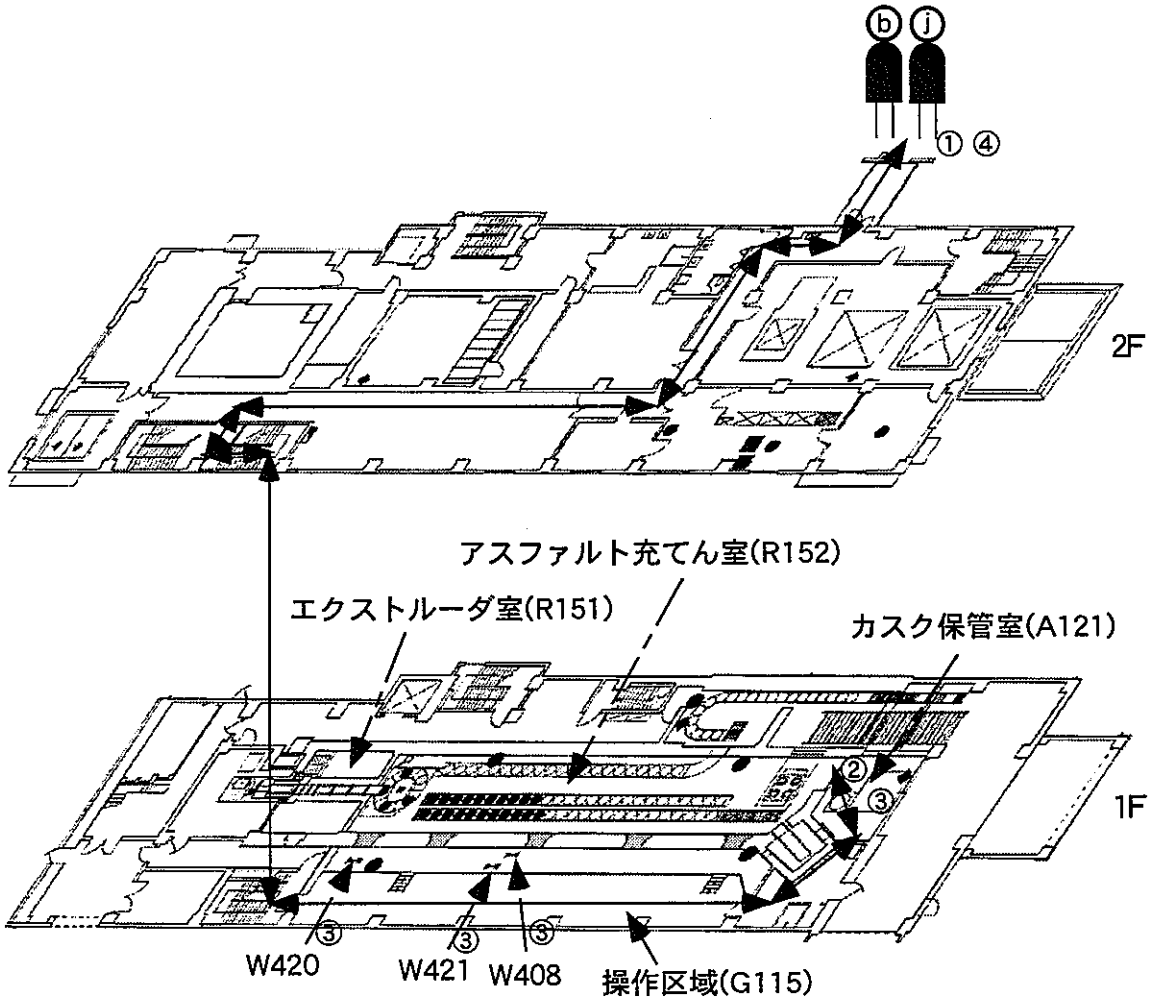
① 16：57頃，換気系再起動のために，作業員N，e，f，g(技術課)［第3班］がG218に入域した。
② 作業員N，e，f，gは，移動途中で煙を見た。
③ 制御盤上で、セル換気系排風機(K22，K23，K24)の再起動を手動で試み，3台の排風機は起動したが，オレンジランプ点灯(ダンパ閉)の状態であったため，再起動は困難と判断して排風機を停止した。
④ その後，作業員eの酸素ボンベの警報が鳴ったので，退域開始。
⑤ 17：18頃，第3班が退域した。
⑥ 17：20頃，屋上より，作業員HとIを救出。
⑦ 18：53に，Z施設の局所排気モニタ(αダストモニタ)の警報が吹鳴した(警報設定値：16cpm)。

図3.3-1(19)　火災発生後の対応～16：57～18：53頃の状況
(第3班入域～退域，作業員H,Iの救出等)



① 20：04頃，爆発発生。また，20：04に，γエリアモニタ(γ-11)の警報が吹鳴した(警　報設定値：2,500cpm，図3-8参照)。
② 20：04頃，LCS課員が居室外からトラックエアロック(W120)のシャッタ及び窓が破損していることを見た。また，再処理工場中央制御室及び事務室(MP　G549,G566)からアスファルト固化処理施設の南側の窓から煙が出ているのを目撃された。
③ 20：04以降，エクストルーダ出口のノズル(ゾーン8)に設置されていた熱電対が，爆発後，急激な温度上昇(測定範囲400℃を超えている)を示し，約30分後(21：00頃)に一旦温度が低下し，再び温度上昇(測定範囲400℃を超えている)を示してから，温度が室温へ下がっている(22：30頃，図3-12参照)。また，爆発後，20：12から施設監視用のカメラにてアスファルト固化処理施設の南及び西側の状況を撮影し，記録していた。撮影した映像には破損した窓及びシャッタから黒煙が排出され，途中，断続的に煙を出しながら，23：20頃には煙の排出が止まったのが記録されている。なお，爆発直後に　ついては映像は記録されていないが，施設外からアスファルト固化処理施設を見た複数の目撃者の証言によると，爆発音と振動を感じた直後に白い煙が出ており，その数分後には黒い煙が出ていた。
④ 20：09，第一付属排気筒の排気モニタ(ヨウ素)の警報が吹鳴(警報設定値360cpm)。
⑤ 21：12，第一付属排気筒のガスモニタの警報が吹鳴(警報設定値：320cpm)。
⑥ 21：16，AAFのβダストモニタ(β4-1)の警報，また，21：38，AAFのβダストモニタ(β4-2)の警報が，それぞれ吹鳴(警報設定値：500cpm)。
⑦ 23：10頃，現場状況調査のために作業員h，i(LCS)と放２課職員2［第４班］が入域した。
⑧ 作業員h，i，放２課職員2が，カスク保管室(A121)からR152内を見たところ，火や煙が無く，G221のハッチが飛んでいることを見た。また，通廊(G212)のハッチが飛んでいることを確認した。
⑨ 23：40頃，第４班が退域した。

図3.3-1(20)　火災発生後の対応～20：04～23：40頃の状況
（爆発発生後の状況，第4班の入域～退域等）



① 3月12日の1：34頃，アスファルト固化体冷却のために，作業員b，j(LCS)［第5班］が，G115等に入域した。
② 作業員bがA121に行き，R151とR152の間のシールディングウォールがないことを見た。
③ 2：00頃，作業員jが，水噴霧用元弁(W408)と供給弁(W420,W421)を開にし，アスファルト固化体冷却のために水噴霧約2分間実施した。作業員bがA121から見たところ，水蒸気の発生は見られなかった。
④ 2：05頃，第5班が退域した。

図3.3-1(21) 火災発生後の対応～3月12日の1：34～2：05頃の状況
(第5班の入域～退域)

4. 事故後の施設の状況

火災爆発事故の発生原因を究明するために、アスファルト固化処理施設内外の詳細な状況調査を行った[4-1,2]。以下に、その調査方法と結果を示す。

4．1 アスファルト充てん室（R152）内の状況

アスファルト充てん室（R152）では、最初の火災が確認されていること、爆発発生地点の候補であることなどから、火災爆発の原因究明活動において重要な状況証拠が残されているはずであり、調査の重要性に鑑み、特に詳細な調査を行った。

4．1．1 状況調査の実施方法

アスファルト充てん室（R152）では、充てん後のアスファルト固化体が31本有り、高線量下のため立ち入り調査は必要最小限とした。事故後の状況は同室に隣接するカスク保管室（A121）及び保守作業室（A234）からの高感度カメラによる観察を中心に実施した。カメラ観察によるアスファルト充てん室（R152）内の状況を図4.1-1に示す。

特に充てんされたドラムは、事故の原因を究明する上で、きわめて重要な情報を持つ。そのため、施設の復旧作業に伴い第二アスファルト固化体貯蔵施設（ASⅡ）に搬出された後、さらにドラム内部調査を詳細に行った。

以下に、事故後の状況調査を行った項目について示す。

(1) ドラム

① アスファルト充てん室（R152）内の全ドラムの配置

② 個々のドラムの状態（番号識別、重量測定、物質分布状況、各種分析など）

(2) 壁面等

天井、壁、床面の状態（ひび割れ等の損傷、塗装の焼け焦げ状態、煤等付着物や不審物品の有無、散乱物の状況）

(3) 内装機器

プロセス機器（エクストルーダ、コンベヤ、ターンテーブル等）、ハンドリング機器（クレーン、マニプレータ等）、その他（遮蔽窓、照明、シールディングウォール等）の損傷状態

４．１．２　状況調査の結果

アスファルト充てん室（R152）とエクストルーダ室（R151）との間のシールディングウォール(仕切板)が、アスファルト充てん室（R152）側に数メートル飛ばされており、その上にアスファルト充てん室（R152）のリムーバブルルーフ(天井ハッチ)が落下していた。リムーバブルルーフなどの落下によりドラムの変形や破損があるものの、多くのドラムは比較的整然と並んでおり、室内の被害はさほど多くはない。遮蔽扉などの部屋境界部分は破損しており、シールディングウォールを除いて外に向かって破壊されていた。

以下に、調査結果を示す。

(1)　ドラム

①　アスファルト充てん室（R152）内の全ドラムの状況

カメラによる観察、入域調査、及びドラム搬出時における調査の結果確認された事故後のアスファルト充てん室（R152）内の全ドラム配置を、図4.1-2に示す。なお、No.30093～30104ドラムについてはドラム番号が確認できなかったため、並び順などから推定した。個々のドラムで大きく破壊しているものはなかった。ターンテーブル上の3本のドラムについては模擬固化体の燃焼実験[4-3]後の上部開口部の状態と類似してドラムの内容物を激しくあふれさせていた。一方コンベヤ上のドラムについては、ターンテーブル上の3本のドラムとは明らかな違いが見られ、燃焼痕があるものの内容物のあふれが見られない（図4.1-3）。多くのドラムについては、コンベヤ上やターンテーブル上に整然と並んでいるが、落下したリムーバブルルーフやシールディングウォール（図4.1-4）の近傍のドラムの一部にこれらが衝突したものと推定される変形や転倒が見られた。

ドラムの外形については、一部に変形の見られるものもあるが、落下したリムーバブルルーフやシールディングウォールの近傍であることから、これらが衝突したものと推定される。一方、その他の多くのドラムについては、大きな損傷のあるものは見当たらない。また、ドラムの配列についても、数本が転倒しているものの、多くのドラムはコンベヤ上やターンテーブル上に整然と並んでいた。

②　ドラムの重量測定

アスファルト充てん室（R152）内のドラムを第二アスファルト固化体貯蔵施設（ASⅡ）に搬出後、当該施設の積替セル（R253）にてドラムの重量測定を実施した。No.30093ドラムからNo.30104ドラムまでの12本については大幅

に重量が減少しており、これらのドラムは激しく燃焼したものであると思われる。その他のドラムについては通常値と大差なかった（図4.1-5, 4.1-6）。

③ ドラム内物質分布状況の確認

アスファルト充てん室（R152）内にあったドラム31本のうち、24Bの２本を除く29本のドラム内物質分布状況の確認を実施した（図4.1-5, 図4.1-7）。

28Bのほとんどのドラム（No. 30081～30087ドラム）及び29Bの初期のドラム（No. 30088, 30089, 30091ドラム）については、通常の固化体の性状とは異なり、固化体上部表層が硬質であり、硬質の表層下に空洞が観察された。さらに下側の固化体は脆いボロボロな状態であることが確認された。

激しく燃焼したドラムについてはNo. 30093～30104ドラムはすべて灰になっていた。そのうち、No. 30096, 30097, 30099, 30101, 30102ドラムは底部にやや硬い層があることが確認された。

なお、キャッピング済ドラムのうちNo. 30076, 30078ドラムについては上面に、No. 30077ドラムについては上面及び内部に水が確認された。この水は、火災時に噴霧した消火水であると考えられる。

(2) 壁面等

壁面については、ターンテーブル後部の西側壁（エクストルーダ室（R151）側）及びターンテーブル近傍の北西側の隅に塗装の焼け焦げ、鱗状の剥がれが認められた（図4.1-8）。この焼け焦げについては、室内のこの部分にのみ認められた。最初の火災が発生したコンベヤ上ドラムの近傍の南側壁には焼け焦げは認められなかった。煤の付着についても、壁面、天井面ともにエクストルーダ室（R151）寄りの箇所に付着が多かった。壁面には灰もしくは煤が水により流されたような痕跡が多く認められた。床面については散乱物が多く、特にカスク保管室（A121）寄りではRIゴム手袋や木綿製手袋等が焦げることなく散乱していた。また、床中央部のコンベヤ間に橙色の油状物質が認められた。

(3) 内装機器

内装機器については、コンベヤ及びエクストルーダ排出管にリムーバブルルーフやシールディングウォールの落下に伴うものと推定される損傷が認められ、一部照明器具等が爆風により飛ばされていた。クレーンレール受梁は２本ともエクストルーダ室（R151）に近い部分で大きく変形・蛇行しており、クレーンレール受梁に近いエクストルーダ室（R151）側の壁付近では煤が付着していなかった（図4.1-8）。その他の機器には焼け焦げ等が見られる程度で機械的な損傷は認められなかった。

4.2 アスファルト充てん室（R152）周辺区域の状況

立ち入りが制限されているレッド区域以外の、グリーン区域、アンバー区域については、事故直後より多数回立ち入り状況調査を実施し、カメラやビデオにより記録した。また、多くのレッド区域は高線量下のため立入調査が行えなかったが、エクストルーダ室（R151）のような比較的線量の低い一部のレッド区域については状況調査を行った（図4.2-1）。

エクストルーダ室（R151）（図4.2-2）は排気口位置（高さ約3m）を境にして様子が異なっており、上側では煤が壁面や天井の全面に付着しているが下側には付着していなかった（図4.2-2④）。照明ランプは被害を受けていないが遮蔽ガラスは全面にひび割れが見られた。また、床に置かれた備品類が焼け焦げていた。エクストルーダには破壊した様子はなく、内部の混合物やドーム内部に燃焼等が生じたような様子は見られなかった。エクストルーダモータ室（A133）では部屋全体に煤が薄く付着堆積しており、エクストルーダ室（R151）に通じるシールディングドアのドアロック部及びヒンジ部が破損し、エクストルーダモータ室（A133）側に落下していた（図4.2-2③）。アスファルト充てん室（R152）とエクストルーダ室（R151）との境にあるシールディングウォールがアスファルト充てん室（R152）側に落下しており、取り付けボルトは全て外れ、外枠の一部が外れかかっていた。なおシールディングウォールはパッキン及びボルトにより気密をとる構造となっていた

カスク保管室（A121）（図4.2-3①）は室内全面に濃い煤の付着が見られ、一部塗装が焼け焦げて剥がれていたり、アクリル製表示板が溶け落ちていた。カスク保管室（A121）にはアスファルト充てん室（R152）保守作業用のグリーンハウスが常設され可燃性備品が多く保管されていたこと、この部屋で採取された煤の放射能濃度が低いことから、カスク保管室（A121）及びその隣室である安全管理分室（A118）では、爆発後にグリーンハウス及び可燃性備品が燃焼し、両室に煤付着及び熱影響を及ぼしたものと推定される。またアスファルト充てん室（R152）に通じる両開きシールディングドアが破損し落下している（図4.2-3③）他、天井ハッチが跳ね上げられ、ダクトも大きく破損しており、床には多くの物が散乱していた。安全管理分室（A118）（図4.2-3⑥）は高さ約1.5mより上側に濃い煤の付着が見られ、カスク操作室（G221）は部屋全体に薄い煤の付着が見られた。

保守作業室（A234）（図4.2-4①, ②）は全体に煤の付着が見られ、アスファルト充てん室（R152）に通じるリムーバブルルーフは自重により固定されているが、このうちの2枚が下のアスファルト充てん室に折り重なるように落下しており、表面には養生ビニールシートのものと思われる焼け焦げが見られた。保守エアロック室（A235）（図4.2-4③, ④）は全体に濃い煤の付着が見られ、

更衣室（A236）との壁が全体に大きくお椀状に窪み、壁周辺の鉄筋が一部露出していた（図4.2-4⑤, ⑥）。更衣室（A236）は、全体に煤の付着が見られ、天井板が破壊され蛍光灯が破損・落下していた。ドアは全て取り付け位置から外れていた。さらに、アスファルト充てん室（R152）周辺の各部屋の境界部材（扉、ドアなど）についてもほとんどが破壊されていて（図4.2-5）、破損・飛散の方向はエクストルーダ室（R151）、アスファルト充てん室（R152）からその外へと向かっていた。

４．３　換気設備の状況

セル換気系排気フィルタユニットは、プレフィルタ、HEPAフィルタ1段目、HEPAフィルタ2段目がそれぞれ3列に計9枚配置されている。調査した全てのフィルタユニットにおいて、プレフィルタのろ材が全て抜け落ちており、煤の付着により黒くなっていた。HEPAフィルタも煤によりろ材の表側全体が黒くなっており、爆風によるろ材の枠からの抜け落ち・フィルタ外枠の変形等の被害が見られた（図4.3-1）。これに対して、建家換気系排気フィルタについては、特に大きな破損は認められていない。

セル換気系排気ダクト（図4.3-2）被害状況としては、アスファルト充てん室（R152）に近い部分は若干の膨らみ程度であるのに対して、各セルからの合流部からフィルタまでの間には膨らみや破損が生じており、下流側の被害が大きい。建家換気系排気ダクト（図4.3-3）は他の換気系統に比べると被害は少ないが、一部に膨らみや窪みがある。建家換気系給気ダクト（図4.3-4）は被害が多岐にわたっており、膨らみ、窪み、破損等が数多く認められ、煤付着は全体に認められた。槽類換気系設備については、確認できた範囲において被害は認められなかった。

４．４　施設の状況調査による知見

作業員の目撃証言から、最初の火災を生じたドラムについては、操作室の反対側のコンベヤ上の、ターンテーブル側から数えて４番目付近のドラムであると思われる。その後遮蔽窓（M312）より見える10本程度のドラム（両コンベヤ上約５本ずつ）が燃焼しているのが目撃されている。ドラム内物質分布状況調査の結果、コンベヤ上のNo. 30093（29B）～30100（29+30B）ドラムに充てんされた固化体が燃焼していることが判明しているため、最初の火災時にはこれら8本のドラムの固化体が燃焼したものであると考えられる。30Bと28Bのドラムについては最初の火災で燃焼したと断定できる材料がない。

次に、ターンテーブル上で燃焼したNo. 30101～30104ドラムの固化体につ

いて検討する。監視カメラからアスファルト固化処理施設を撮影したVTRによると、爆発後約３時間にわたってに煙が建家外へ放出され続けていた。また、エクストルーダのゾーン８の温度計（アスファルト充てん室（R152）に最も近い温度計）も爆発後に連続した２回の温度上昇を記録している。その他のゾーンの温度計では温度上昇は記録されておらず、ゾーン８の温度計のみが検知していることから、比較的エクストルーダに近い位置で発生した火災の輻射熱である可能性が高い。一方、ターンテーブル上のNo. 30102～ 30104ドラムでは固化体が燃焼して内容物を激しくあふれさせている。さらに、ターンテーブル上のドラムの近傍の壁に激しい焼け焦げが確認されている。最初の火災時にコンベヤ上で固化体が燃焼したドラムは燃焼痕があるものの、このような内容物のあふれはない。

以上の調査結果から、爆発後ターンテーブル上のドラムが2~3時間燃焼した可能性が高いと考えられる。コンベヤ上のドラムについては、燃焼痕があるものの内容物のあふれが見られないこと、周辺の壁にも焼け焦げが見られないことなどから、長時間燃焼した可能性は低いと考えられる。

次に爆発の影響について検討する。アスファルト充てん室（R152）内の個々のドラムで大きく破壊しているものは見られず、またエクストルーダが破壊した様子はなく、エクストルーダ内の混合物にも燃焼痕は見られなかった。これらのことからアスファルト固化体、アスファルト混合物を起点とする固体の爆発は考えにくい。

各室の境界部材(扉、ドアなど)は破損、飛散しており、これら飛散した部材によると考えられる被害が多く認められる。一方、それ以外の室内機器の被害はほとんど見られなかった。これらは着火源付近で大きな被害がないと言われるガス爆発特有の状況に似ている。

各室の境界部材(扉、ドアなど)の破損、飛散の方向は1階のエクストルーダ室（R151）及びアスファルト充てん室（R152）からその外へと向かっていたことから、圧力はエクストルーダ室（R151）及びアスファルト充てん室（R152）からその周辺へ伝わったものと考えられる。

アスファルト充てん室（R152）とエクストルーダ室（R151）との間のシールディングウォール(仕切板)が、アスファルト充てん室（R152）側に数メートル飛ばされており、その上にリムーバブルルーフ(天井ハッチ)が落下していた。これらのことから、シールディングウォールの飛散時にはエクストルーダ室（R151）からアスファルト充てん室（R152）に圧力がかかったものと考えられる。



図4.1-1　アスファルト充てん室（R152）内の状況
（エクストルーダ室（R151）側）（1/2）



図4.1-1　アスファルト充てん室（R152）内の状況
（カスク保管室（A121）側）（2/2）

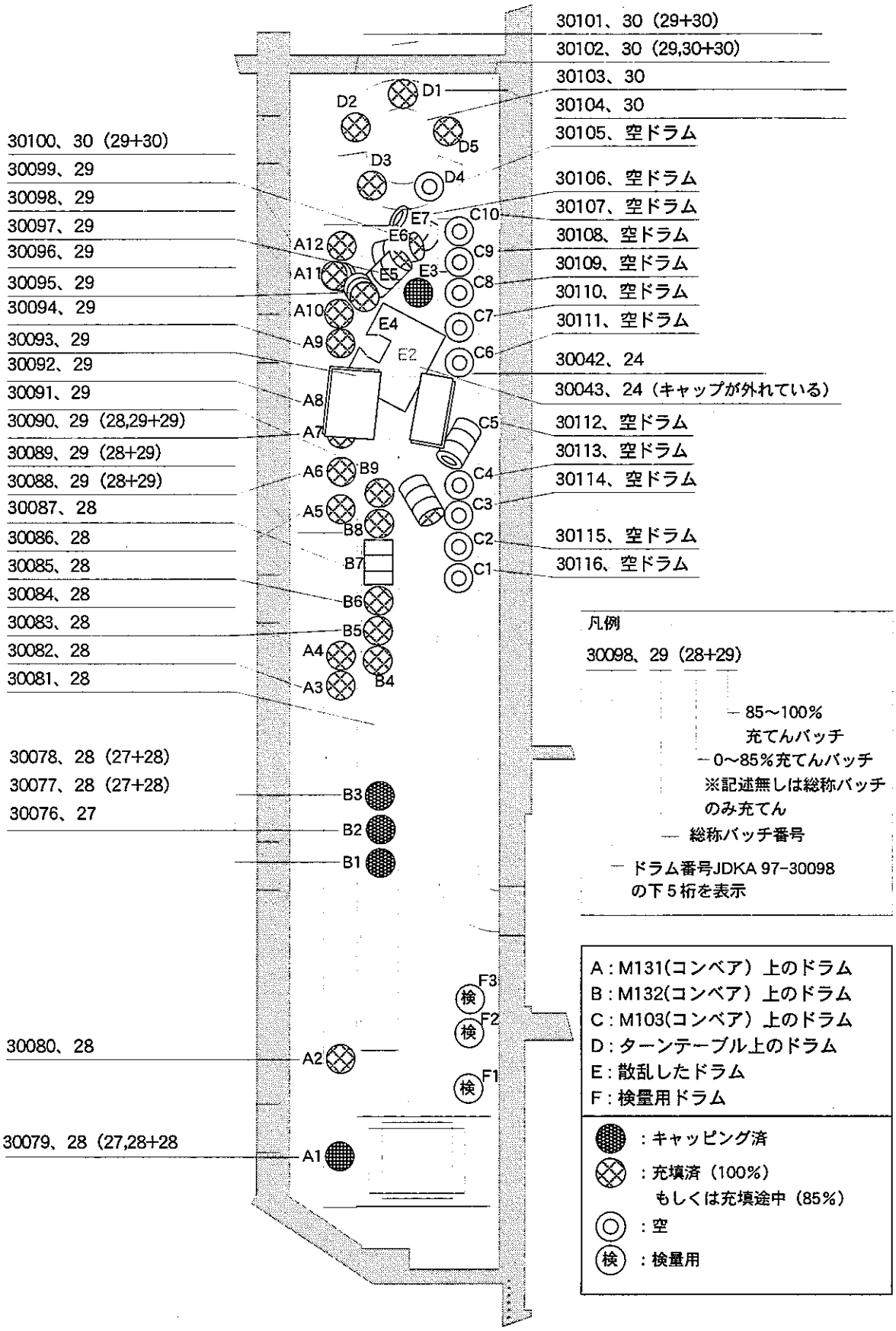


図4.1-2　アスファルト充てん室（R152）内ドラムの配置図

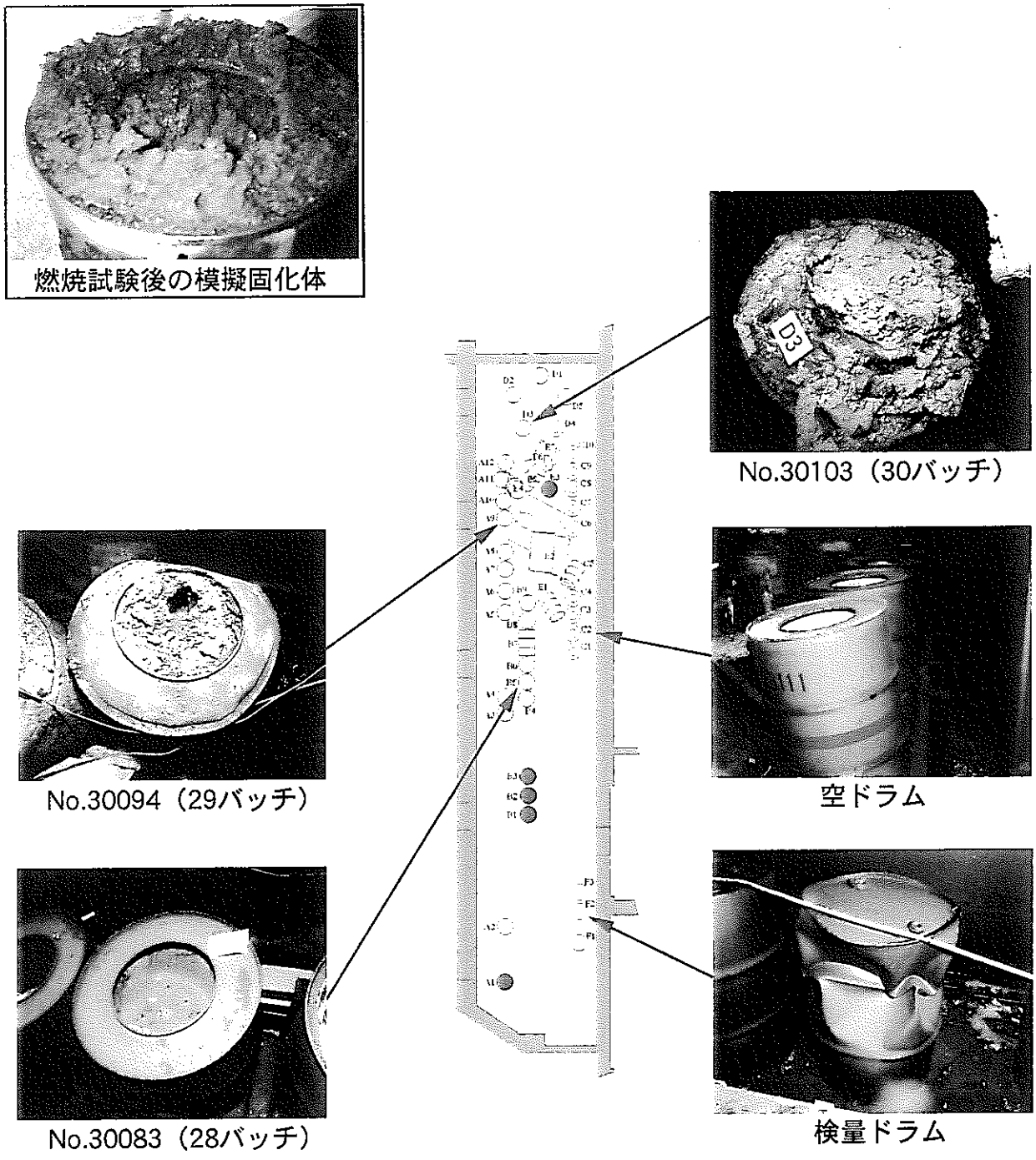


図4.1-3　アスファルト充てん室（R152）のドラム状態

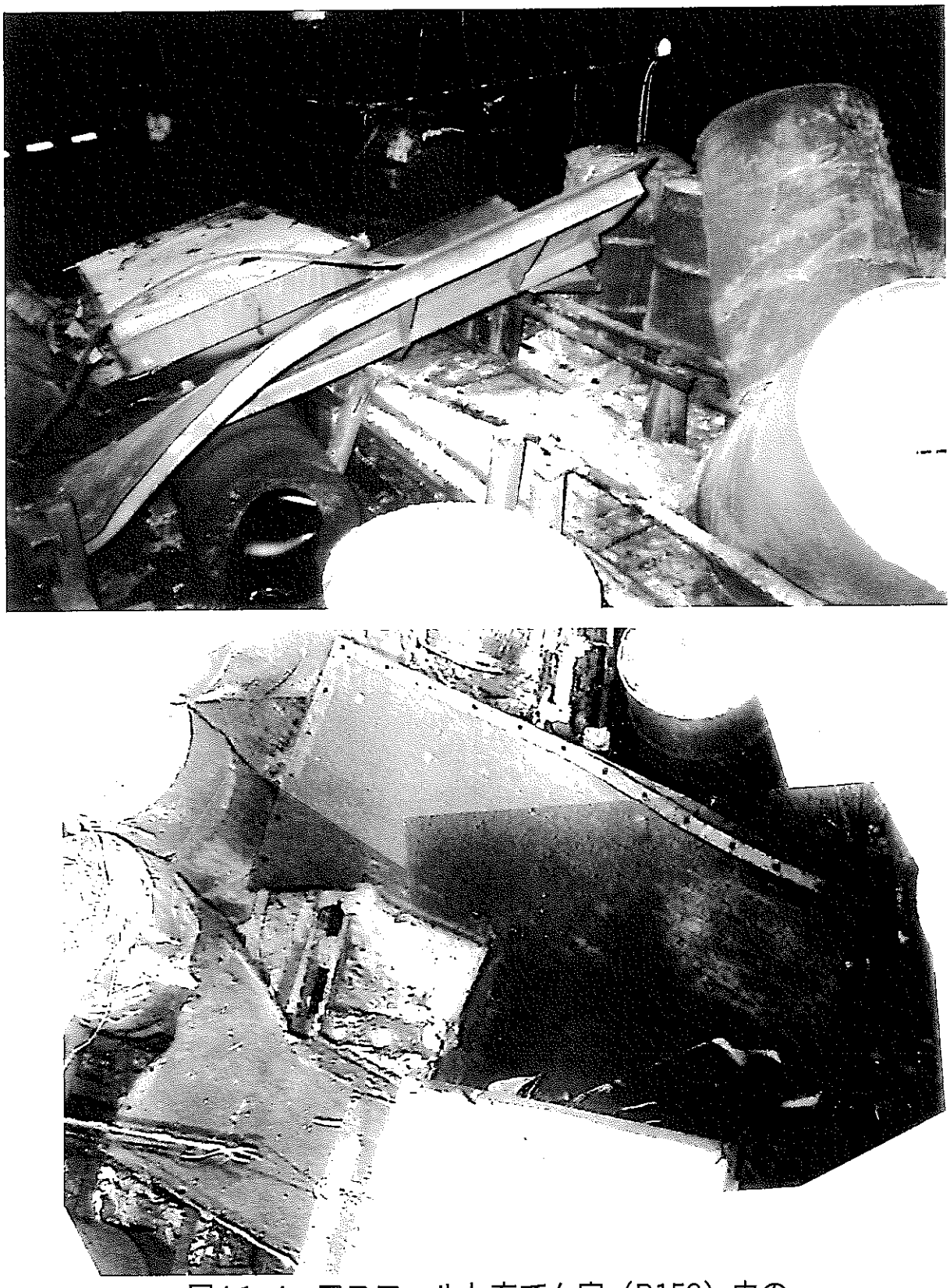


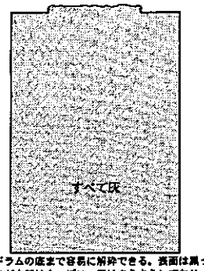
図4.1-4　アスファルト充てん室（R152）内の
リムーバブルルーフ及びシールディングウォール

D1(30104, 30B),84.4kg



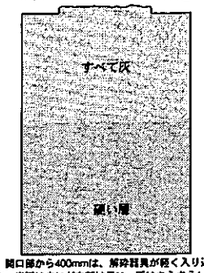
ドラムの底まで容易に解砕できる。表面は黒っぽいが内部は白っぽい。灰はさらさらしており、解砕すると小さく砕けて微細化し、すべてが灰のようである。
内部に水の存在はなかった。

D3(30103, 30B),96.5kg



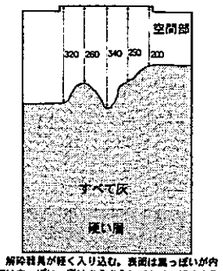
ドラムの底まで容易に解砕できる。表面は黒っぽいが内部は白っぽい。灰はさらさらしており、解砕すると小さく砕けて微細化し、すべてが灰のようである。
内部に水の存在はなかった。

D5(30102, 29.30+30B),103.7kg



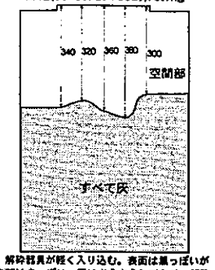
開口部から400mmは、解砕器具が軽く入り込む。表面は白いが内部は黒い。灰はさらさらしており、解砕すると小さく砕け、微細化する。ドラム下部にやや硬い層があったが、固化体のような固さではなく、解砕器具の先端に固化体の付着はない。すべてが灰のようである。内部に水の存在はなかった。ドラムの外側底部にアスファルト固化体と見られるものが付着していた。

D2(30101, 29+30B),75.1kg



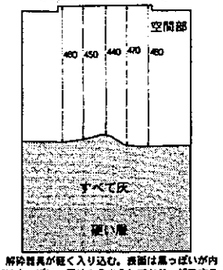
解砕器具が軽く入り込む。表面は黒っぽいが内部は白っぽい。灰はさらさらしており、解砕すると固さと小さく砕け、微細化する。ドラムの下部150mmにやや硬い層があったが、固化体のような固さではなく、解砕器具に固化体の付着はない。すべてが灰のようである。内部に水の存在はなかった。

A12(30100, 29+30B),76.1kg



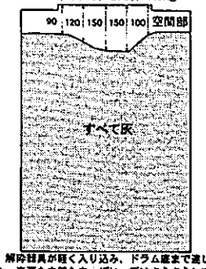
解砕器具が軽く入り込む。表面は黒っぽいが内部は白っぽい。灰はさらさらしており、解砕すると小さく砕け、微細化し、すべてが灰のようである。
内部に水の存在はなかった。

E6(30099, 29B),68.4kg



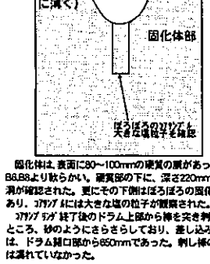
解砕器具が軽く入り込む。表面は黒っぽいが内部は白っぽい。灰はさらさらしており、解砕すると小さく砕け、微細化する。ドラムの下部150mmにやや硬い層があったが、固化体のような固さではなく、解砕器具に固化体の付着はない。従って、すべてが灰であると判断する。内部に水の存在はなかった。

A11(30098, 29B),79.6kg



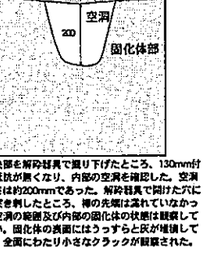
解砕器具が軽く入り込み、ドラム底まで達した。表面も内部も白っぽい。灰はさらさらしており、解砕器具で掘り込むと小さく砕け、微細化し、すべてが灰のようである。
内部に水の存在はなかった。

E5(30097, 29B),86.7kg



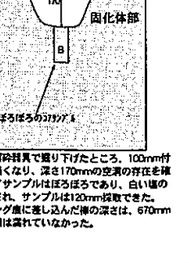
解砕器具が軽く入り込む。表面は黒っぽいが内部は白っぽい。灰はさらさらしており、解砕すると小さく砕け、微細化する。ドラムの下部300mm～150mmに固化体のような硬い層があったが、解砕器具に固化体の付着はない。硬い層をサンプリングしたところ、黒い液状来が採取できた。
内部に水の存在はなかった。

A10(30096, 29B),78.0kg



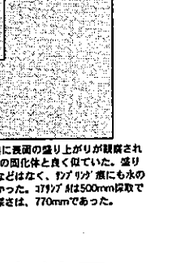
解砕器具が軽く入り込む。表面には茶色っぽい粉状のものが見られ、内部は白っぽい。灰はさらさらしており、解砕すると小さく砕け、微細化する。ドラムの下端300mmにはやや硬い層がある。また、250mm付近には固化体のような硬い層があったが、解砕器具の先端に固化体の付着はなかった。ドラム下端で圧密されていたものと考える。内部に水の存在はなかった。

E4(30095, 29B),74.9kg



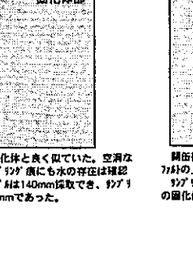
0°,30°ともに硬く圧密された状態であるが、解砕は徐々にではあるが可能であり、ドラム底まで達した。表面は黒っぽいが内部は白っぽい。灰はさらさらしており、解砕すると小さく砕け、微細化し、すべてが灰であると判断する。
内部に水の存在はなかった。

A9(30094, 29B),98.0kg



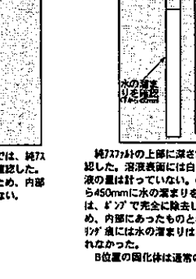
0°,90°ともに硬く圧密された状態であるが、解砕は徐々にではあるが可能であり、ドラム底まで達した。表面は黒っぽいが内部は白っぽい。灰はさらさらしており、解砕すると小さく砕け、微細化し、すべてが灰であること判断する。
内部に水の存在はなかった。

E1(30093, 29B),64.2kg



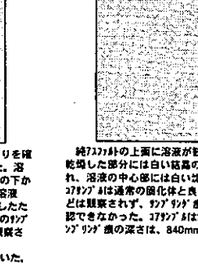
簡単に解砕できる。表面は黒っぽいが内部は白っぽい。灰はさらさらしており、解砕すると小さく砕け、微細化する。棒を差し込んだところ、ドラムの底までとどき、すべてが灰であることを確認した。
内部に水の存在はなかった。

A8(30092, 29B),253.3kg



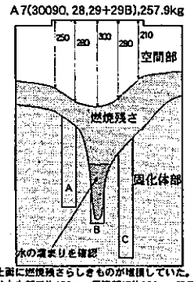
固化体の上部には50～100mm程度の硬質の膜が観察され、中心部に小さな穴が見られた。硬質部の下には空洞はなく、ぼろぼろの固化体であった。
ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ度への棒の差し込み深さは、ドラム開口部からA が850mm、B が450mm、C が550mmであり、抜いた棒の先が濡れており、内部に水が存在した。

B9(30091, 29B),253.8kg



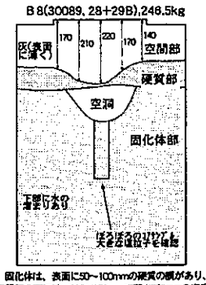
固化体上部が50mm程度の硬質の膜で覆われ、その中央付近に φ50mmの穴が見られ、穴の周囲を掘ると200×200mm深さ100mm程度の空洞が確認され、更にその下は、ぼろぼろの固化体が観察された。棒の差し込み深さは、Aが800mm、Bが480mm、Cが700mmであった。C位置で採取したｺﾌﾞｻﾝﾌﾟﾙは通常の固化体に似ており、Aやｂはぼろぼろであった。

A7(30090, 28,29+29B),257.9kg



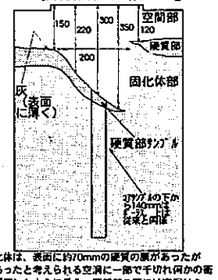
上面に燃焼残さらしきものが堆積していた。深さは中央部で約400mm,周辺部で約100mmであった。
採取した固化体は通常の固化体と似ていた。
ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ度に差し込んだ棒の深さは、ドラム開口部からBが700mm、Cが820mmであった。また、中央部のｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ度に差し込んだ棒の先端が濡れており、内部の水の溜まりを確認した。

B8(30089, 28+29B),246.5kg



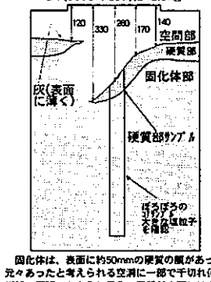
固化体は、表面に50～100mmの硬質の膜があり、硬質部の下には、200×150mmで深さ250mmの空洞が確認された。更にその下側はぼろぼろの固化体があり、ｺﾌﾞｻﾝﾌﾟﾙには大きな塩の粒子が観察された。ｺﾌﾞｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ終了後のドラム上部から棒を突き刺したところ、海岸の砂のようにさらさらしており、差し込み深さは、ドラム開口部から820mmであった。また、抜いた棒の先端が濡れており、内部に水が存在した。

A6(30088, 28+29B),239.9kg



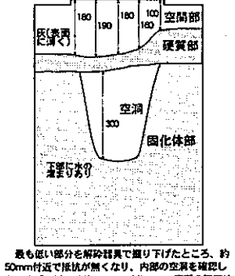
固化体は、表面に約70mmの硬質の膜があったが元々あったと考えられる空洞に一部で干切れ何かの衝撃で落下したように見え、硬質部の下には空洞はなく、その下側は通常の固化体と同様であった。しかし、空洞があったと考えられる部分はぼろぼろで塩粒子も確認された。また、最下部の試料には1mm～3mmのﾄﾞﾗｲ塩粒子が観察され、試料底形状にｳｪｯﾄな感じであった。ｺﾌﾞｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ終了後のドラム上部から棒を突き刺したところ、差し込み深さは、ドラム開口部から750mmであった。剥し棒の先端は濡れていなかった。

B7(30087, 28B),242.3kg



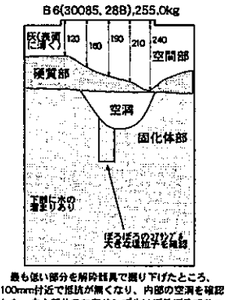
固化体は、表面に約50mmの硬質の膜があったが元々あったと考えられる空洞に一部で干切れ何かの衝撃で落下したように見え、硬質部の下には空洞はなく、その下側はぼろぼろの固化体であった。
ｺﾌﾞｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ終了後のドラム上部から棒を突き刺したところ、海岸の砂のようにさらさらしており、差し込み深さは、ドラム開口部から800mmであった。剥し棒の先端は濡れていなかった。

A5(30086, 28B),252.9kg



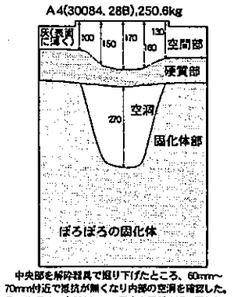
最も低い部分を解砕器具で掘り下げたところ、約50mm付近で抵抗が無くなり、内部の空洞を確認した。空洞の深さは約300mmであった。空洞の断面は潰走していない。解砕して開けた穴に棒を差し込んで内部の固化体に押し込んだところ徐々に入り込み、内部の固化体がぼろぼろであることを確認した。また、棒の先端が150mm濡れており、内部の水の存在を確認した。固化体の表面にはうっすらとさらさらの灰が堆積していた。

B6(30085, 28B),255.0kg



最も低い部分を解砕器具で掘り下げたところ、100mm付近で抵抗が無くなり、内部の空洞を確認した。中心部分のコアサンプルはぼろぼろであった。コアサンプルの押し出し時にｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ上部から黒い水溶液が流れ出た。空洞の大きさは、150×130mmで深さ180mmであった。棒の差し込み深さは、450mmであり、先端が濡れており、内部に水が存在した。

A4(30084, 28B),250.6kg



中央部を解砕器具で掘り下げたところ、60mm～70mm付近で抵抗が無くなり内部の空洞を確認した。その空洞は、上部が60mm程度の硬質の膜で覆われ、その下に深さ270mm程度で存在した。その下の固化体はぼろぼろであった。また、解砕器具の先端は濡れていなかった。

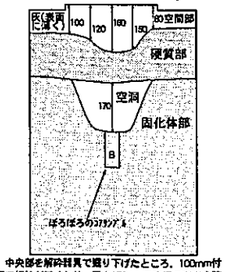
B5(30083, 28B),256.6kg

固化体は、表面に80～100mmの硬質の膜があったがB&Bより軟らかい。硬質部の下に、深さ220mmの空洞が確認された。更にその下側はぼろぼろの固化体があり、ｺﾌﾞｻﾝﾌﾟﾙには大きな塩の粒子が観察された。
ｺﾌﾞｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ終了後のドラム上部から棒を突き刺したところ、砂のようにさらさらしており、差し込み深さは、ドラム開口部から650mmであった。剥し棒の先端は濡れていなかった。

A3(30082, 28B),251.6kg

中央部を解砕器具で掘り下げたところ、130mm付近で抵抗が無くなり、内部の空洞を確認した。空洞の深さは約200mmであった。解砕器具で開けた穴に棒を突き刺したところ、棒の先端は濡れていなかった。空洞の観察及び内部の固化体の状態は観察していない。固化体の表面にはうっすらと灰が堆積しており、全面にわたり小さなクラックが観察された。

B4(30081, 28B),241.6kg



中央部を解砕器具で掘り下げたところ、100mm付近で抵抗が無くなり、深さ170mmの空洞の存在を確認した。ｺｱｻﾝﾌﾟﾙはぼろぼろであり、白い塩の結晶が観察され、ｻﾝﾌﾟﾙは120mm採取できた。
サンプリング度に差し込んだ棒の深さは、670mmで、棒の先端は濡れていなかった。

A2(30080, 28B),254.3kg



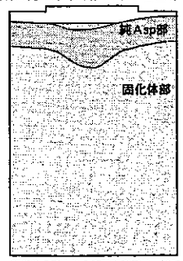
180°～0°方向に表面の盛り上がりが観察された。ｺﾌｻﾝﾌﾟﾙは通常の固化体と良く似ていた。盛り上がり部には空洞などはなく、ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ度にも水の存在は確認できなかった。ｺﾌｻﾝﾌﾟﾙは500mm採取でき、ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ度の深さは、770mmであった。

A1(30079, 27,28+28B),280.6kg (表層に純ｱｽﾌｧﾙﾄ層有り)



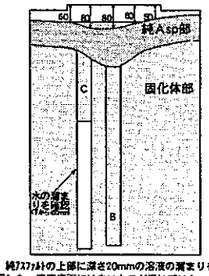
ｺﾌｻﾝﾌﾟﾙは通常の固化体と良く似ていた。空洞などは観察されず、ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ度にも水の存在は確認できなかった。ｺﾌｻﾝﾌﾟﾙは140mm採取でき、ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ度の深さは、800mmであった。

B1(30078, 27+28B),284.9kg (表層に純ｱｽﾌｧﾙﾄ層有り、ドラム蓋有り)



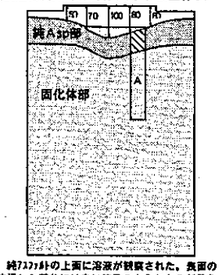
開缶後の固化体の表面観察では、純ｱｽﾌｧﾙﾄの上部に溶液の溜まりを確認した。
ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ棒を貫入していないため、内部の固化体の状態は観察していない。

B2(30077, 27+28B),282.2kg (表層に純ｱｽﾌｧﾙﾄ層有り、ドラム蓋有り)



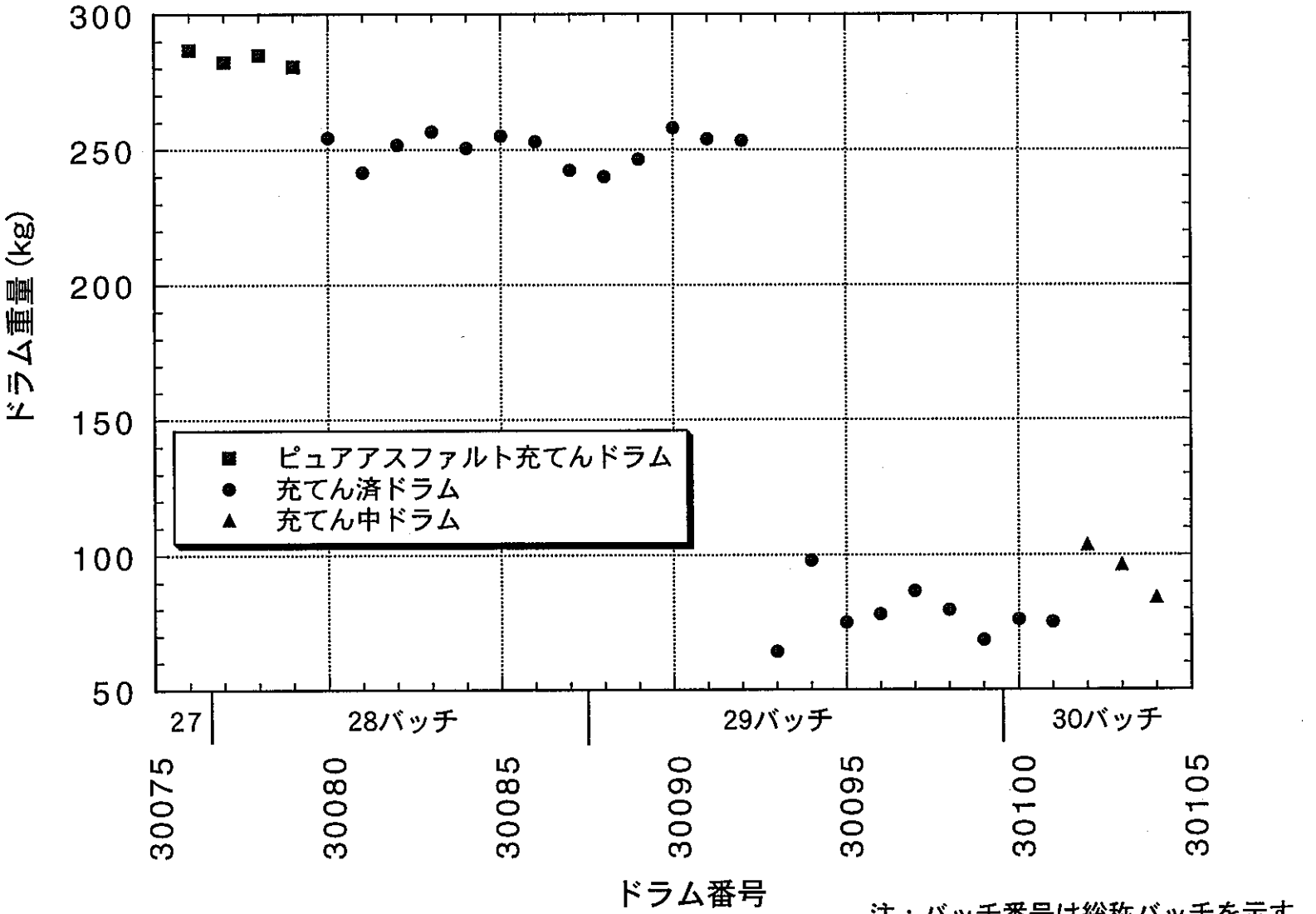
純ｱｽﾌｧﾙﾄの上部に深さ20mmの溶液の溜まりを確認した。溶液表面には白いものが浮いていた。溶液の量は計っていない。C位置のｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ度の下から450mmに水の溜まりを確認した。上部の溶液は、ｵｰｶﾝで完全に除去した後にｺﾌｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞしたため、内部にあったものと考えられる。B位置のｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ痕には水の溜まりはなかった。空洞は観察されなかった。
B位置の固化体は通常の固化体に良く似ていた。

B3(30076, 27B),288.7kg (表層に純ｱｽﾌｧﾙﾄ層有り、ドラム蓋有り)



純ｱｽﾌｧﾙﾄの上面に溶液が観察された。表面の乾燥した部分には白い結晶のようなものが見られ、溶液の中心部には白い比較物が見られた。
ｺﾌｻﾝﾌﾟﾙは通常の固化体と良く似ていた。空洞などは観察されず、ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ度にも水の存在は確認できなかった。ｺﾌｻﾝﾌﾟﾙは280mm採取でき、ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ度の深さは、840mmであった。

図4.1-5　ドラム内固化体の物質分布状況観察結果



注：バッチ番号は総称バッチを示す。

図4.1-6　ドラム重量測定結果

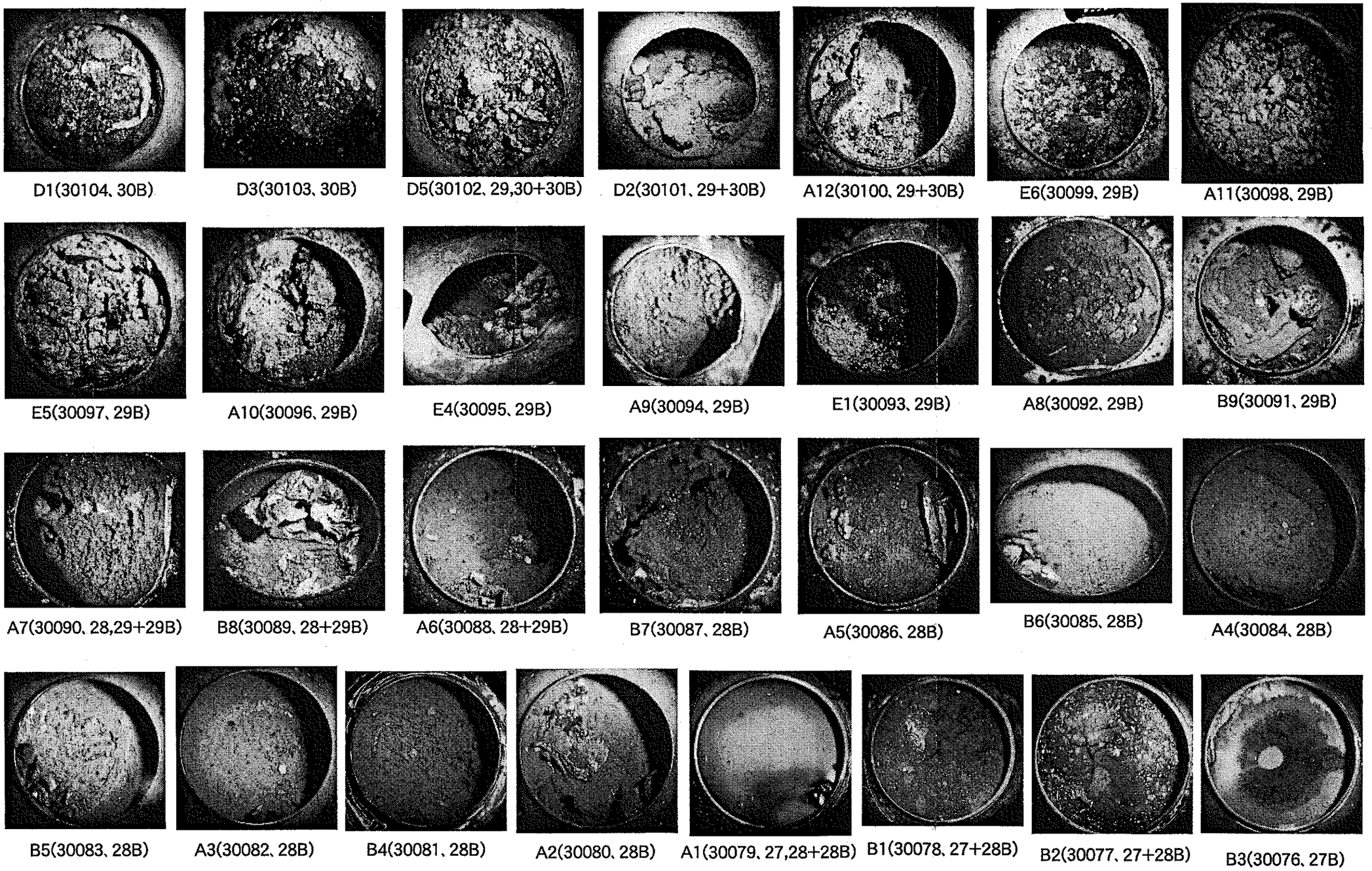
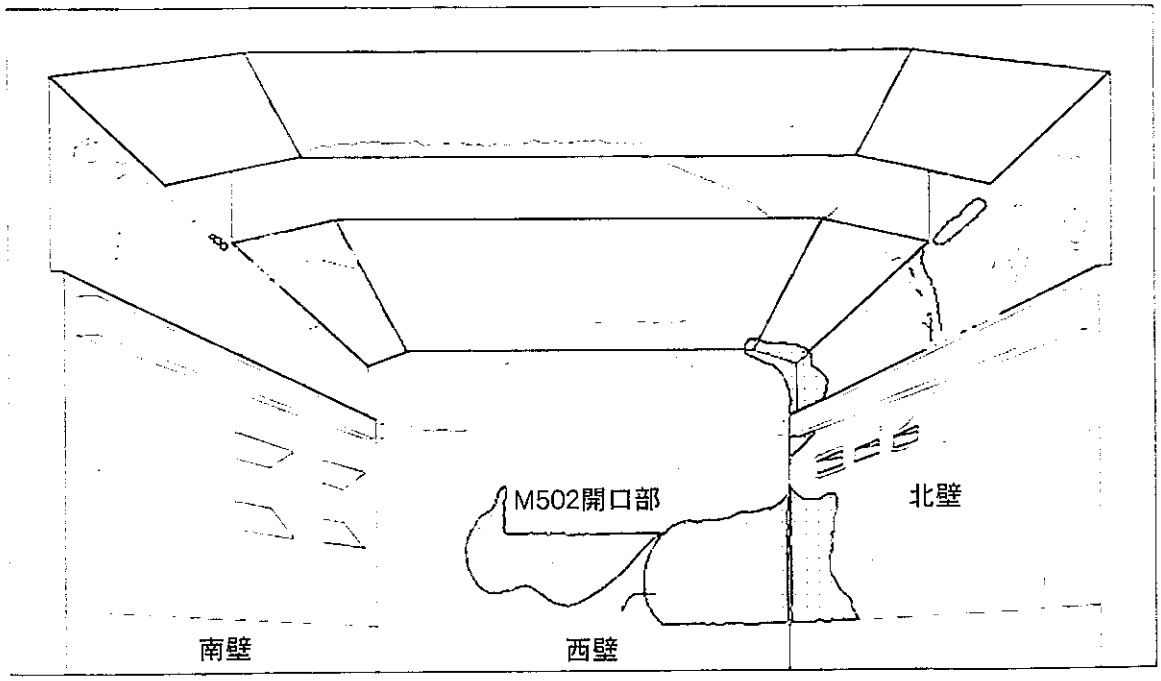
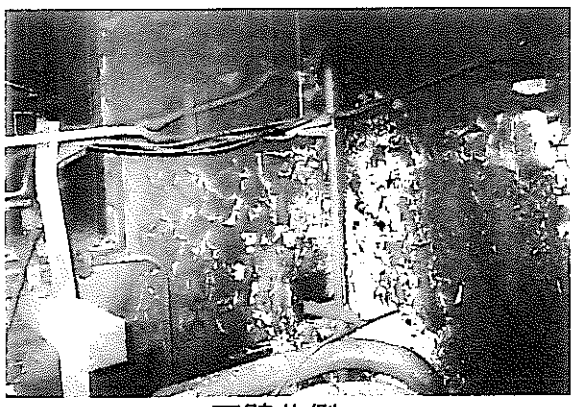


図4.1-7　アスファルト充てん室（R152）内ドラム上部観察結果



アスファルト充てん室（R152）壁面の観察スケッチ



西壁北側



南側クレーンレール

図4.1-8 アスファルト充てん室（R152）壁面の観察結果

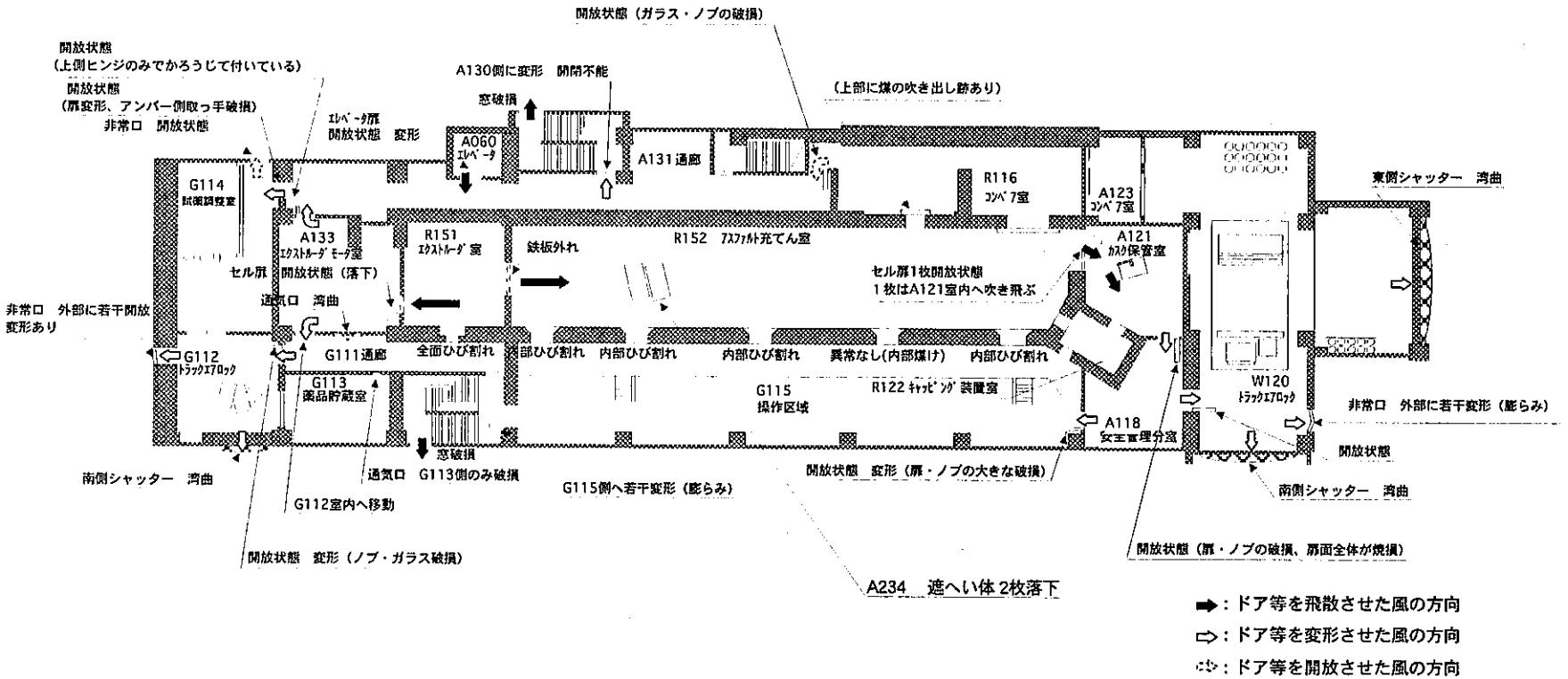


図4.2-1(1)　アスファルト充てん室（R152）周辺区域の状況（1階）

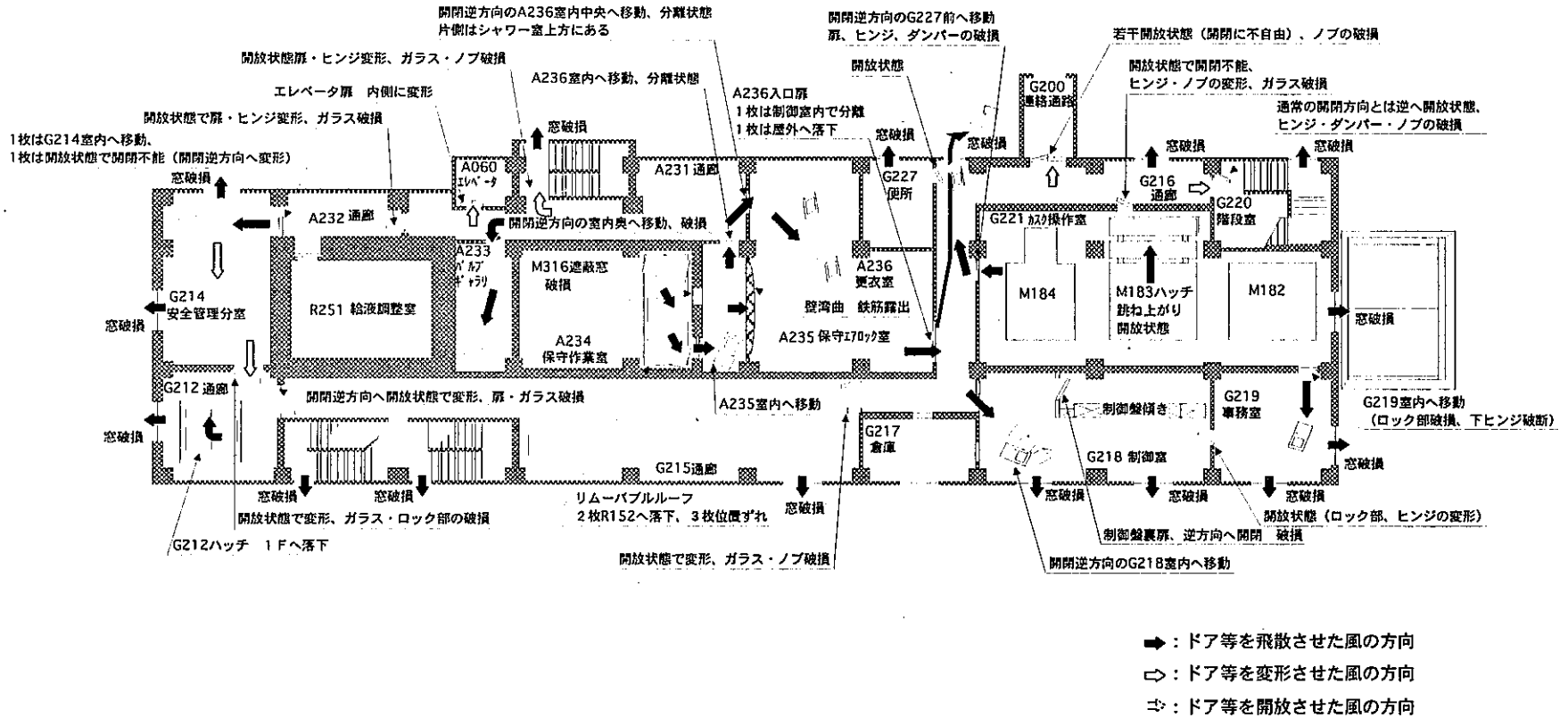
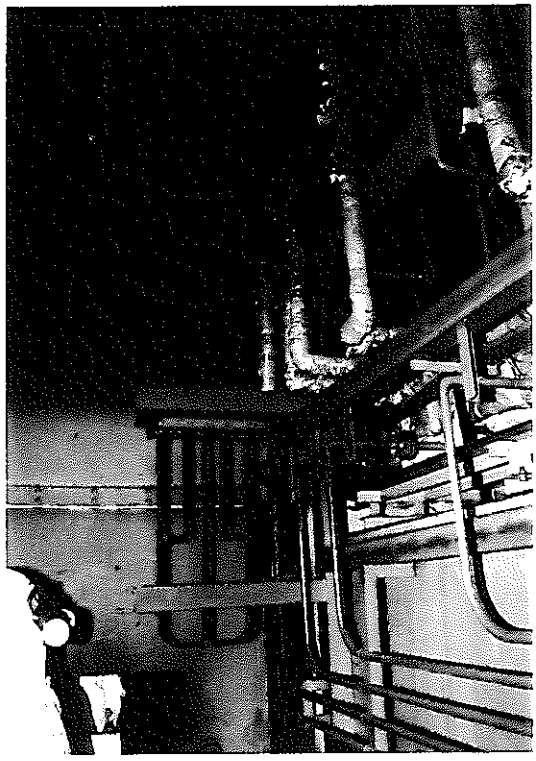
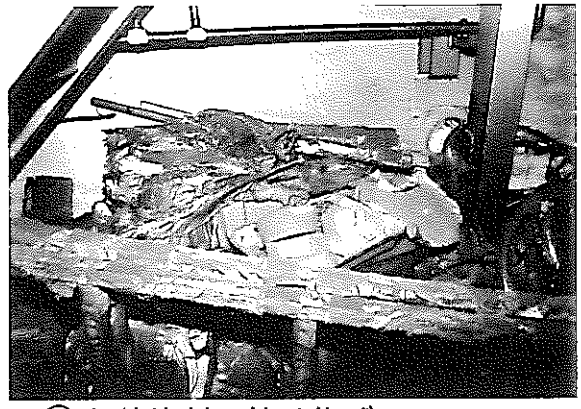


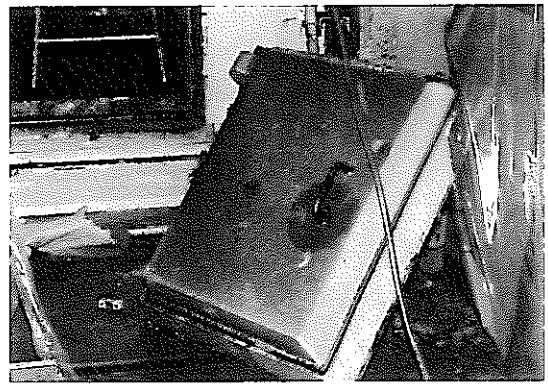
図4.2-1(2)　アスファルト充てん室（R152）周辺区域の状況（２階）



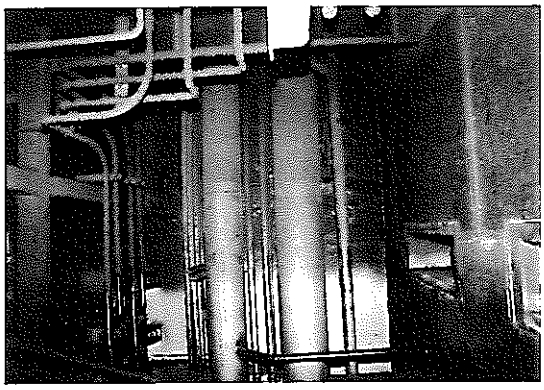
① エクストルーダ室（R151）



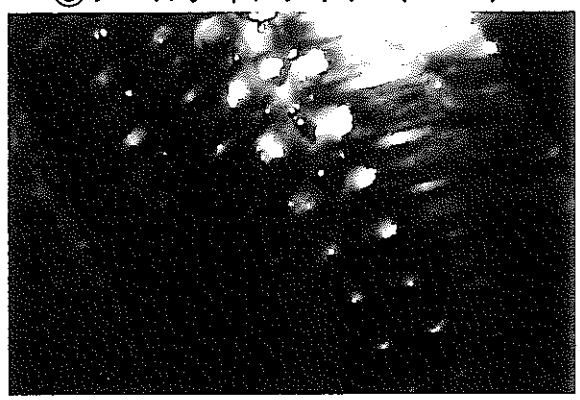
② 保管資材の焼け焦げ



③シールディングドア（M503）



④ 排気口



⑤ エクストルーダ ドーム内部

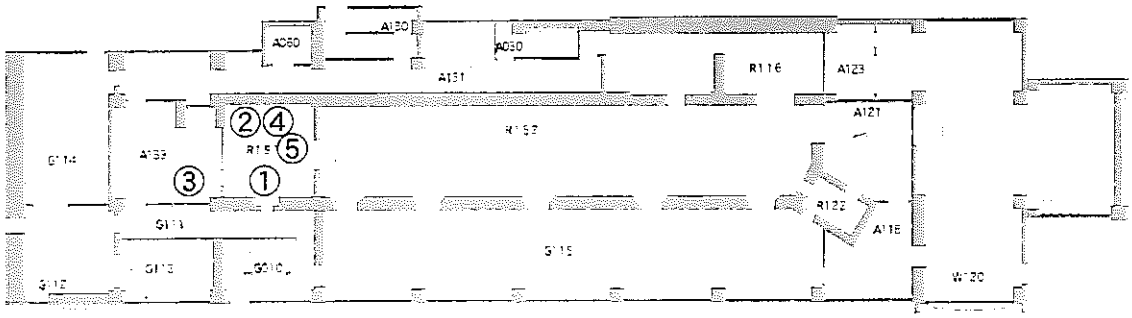
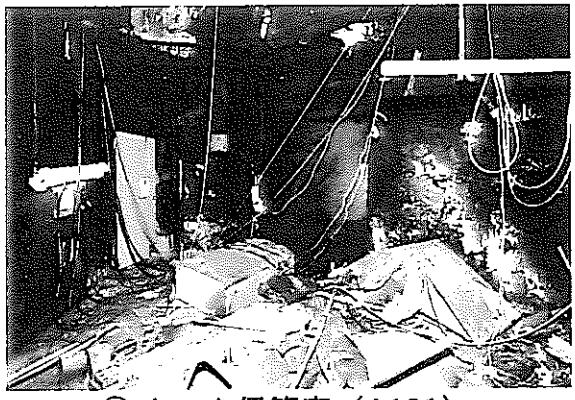
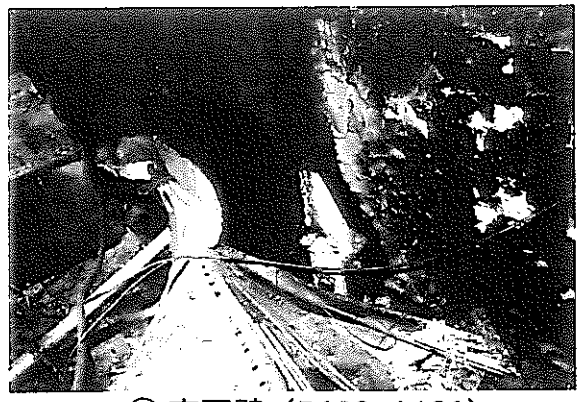


図4.2-2　エクストルーダ室（R151）の被害状況



① カスク保管室（A121）



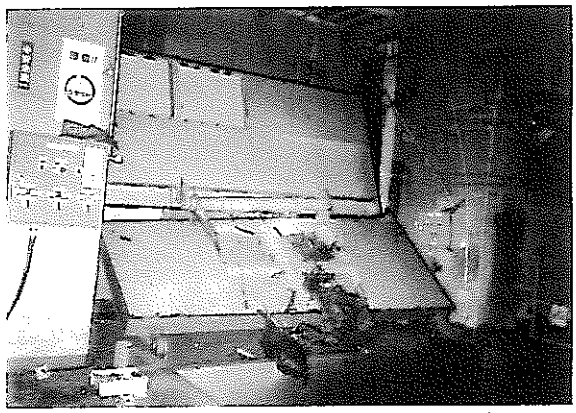
② 南西壁（R122-A121）



③ シールディングドア（CS-5）



④ 溶けたアクリル製表示板



⑤ 油圧式ハッチ（A121-G221）



⑥ 安全管理分室（A118）

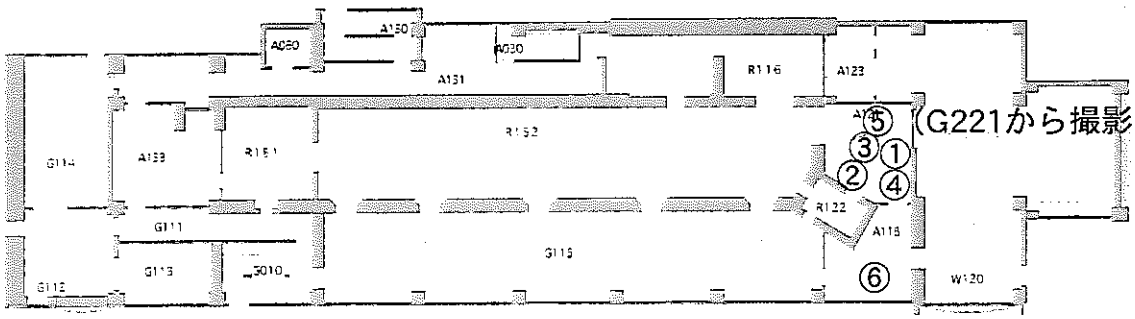
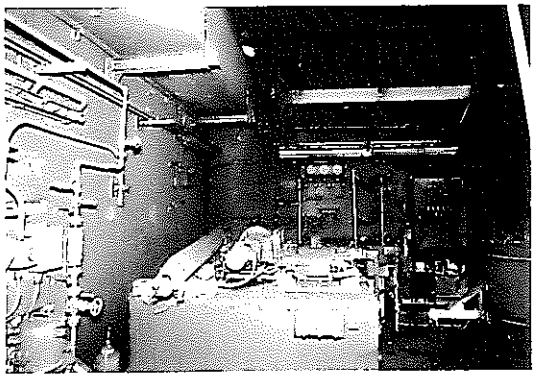
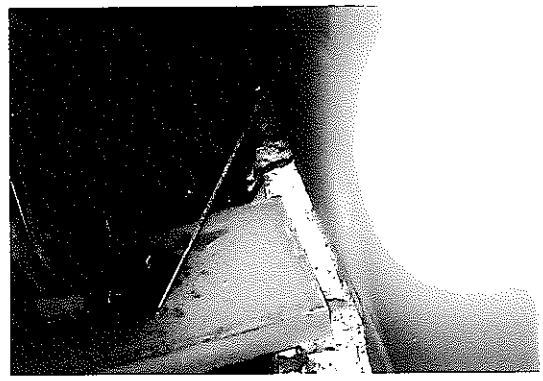


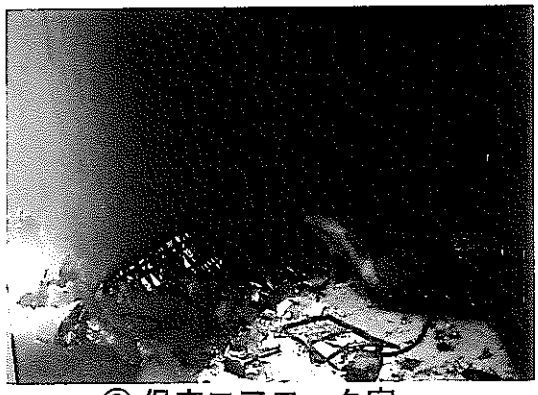
図4.2-3　アスファルト充てん室（R152）周辺の各室被害状況（1階）



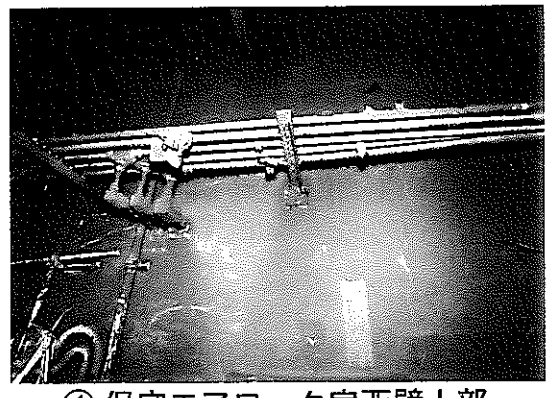
① 保守作業室西側全景



② リムーバブルルーフ



③ 保守エアロック室



④ 保守エアロック室西壁上部



⑤ 更衣室西壁



⑥ 更衣室西側全景

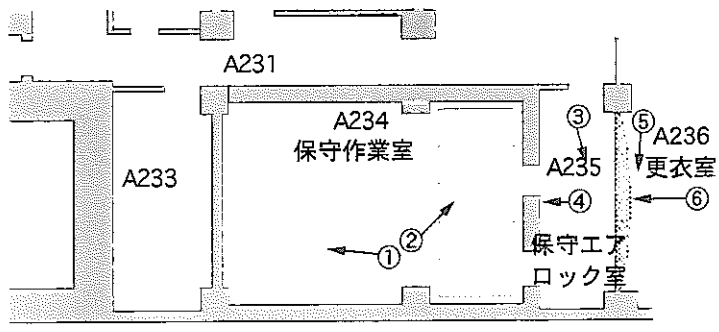
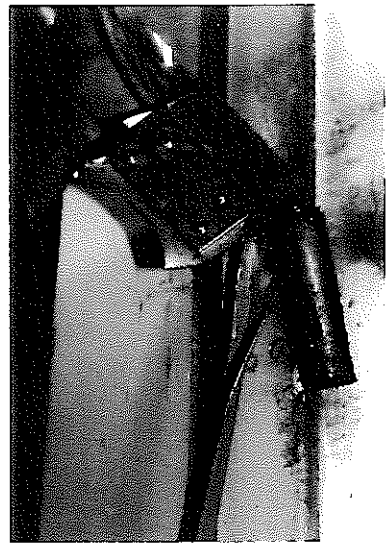


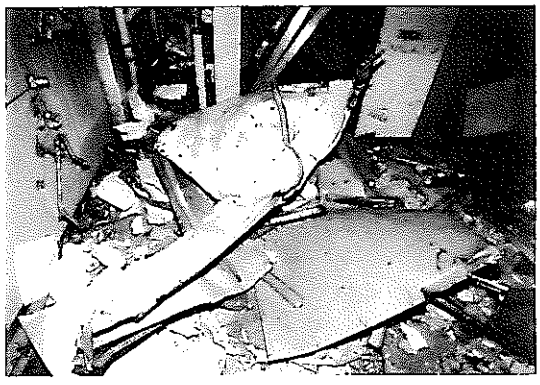
図4.2-4　アスファルト充てん室（R152）周辺の各室被害状況（2階）



① G216-G220扉



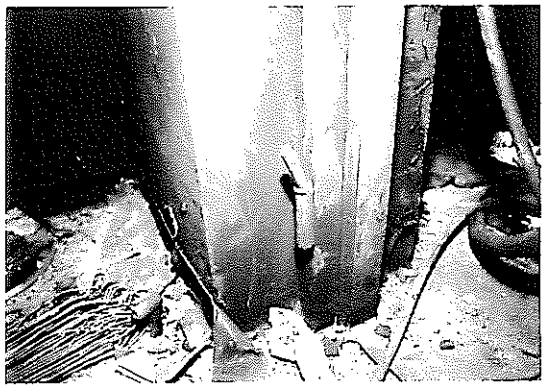
② G216-G218扉



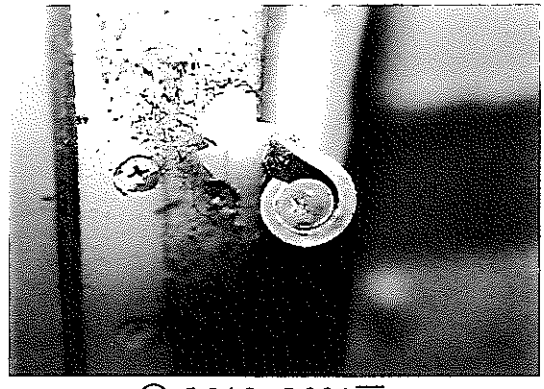
③ A231-A235扉



④ G212-G215扉



⑤ A234-A235扉



⑥ G216-G221扉

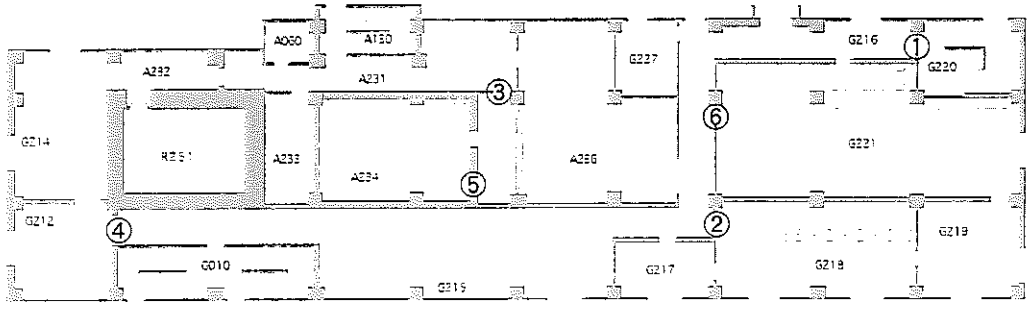
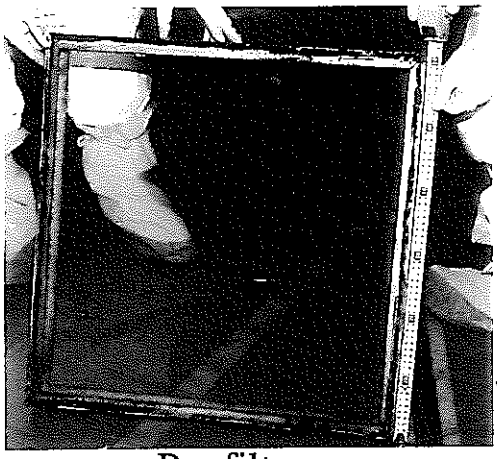
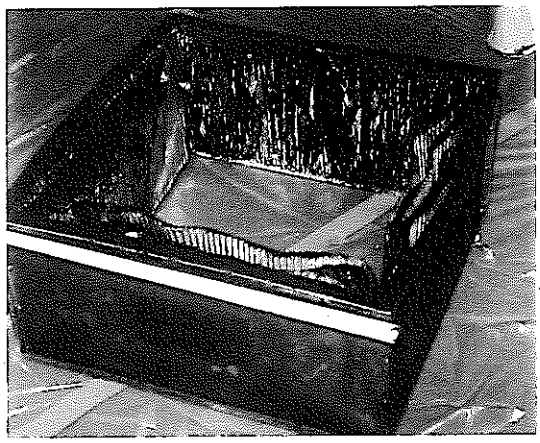


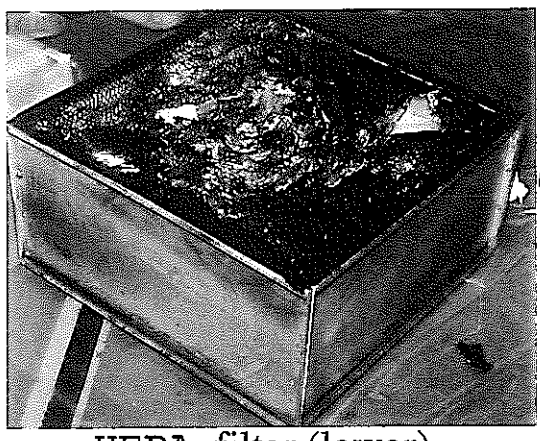
図4.2-5　2階の扉の被害状況



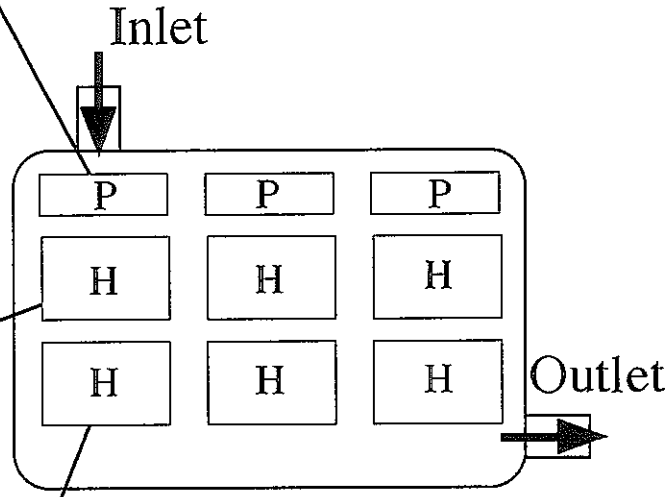
Pre filter



HEPA filter (upper)

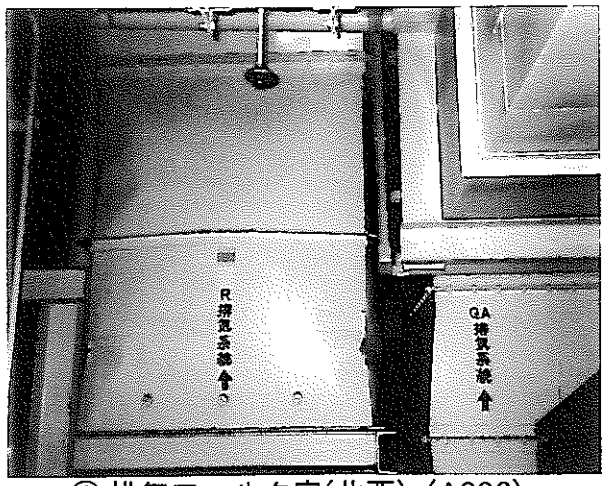


HEPA filter (lower)

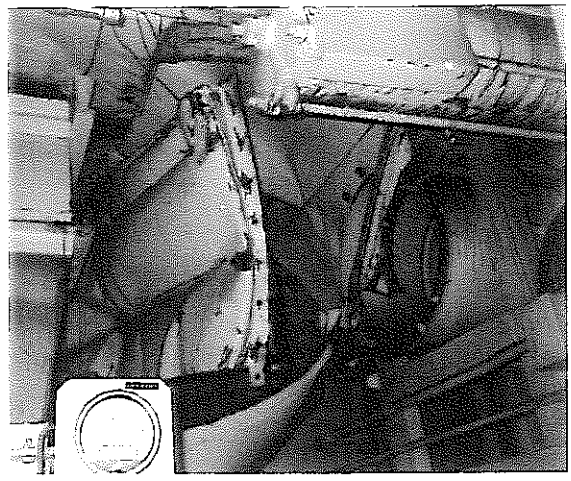


P : Pre filter
H :HEPA filter

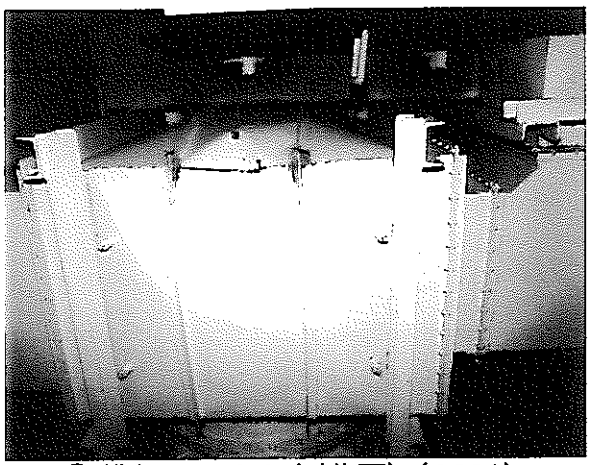
図4.3-1　セル換気系排気フィルタの被害状況



① 排気フィルタ室(北西)（A336）



② 操作区域（G115）



③ 排気フィルタ室(北西)（A336）



④ 通廊（A131）

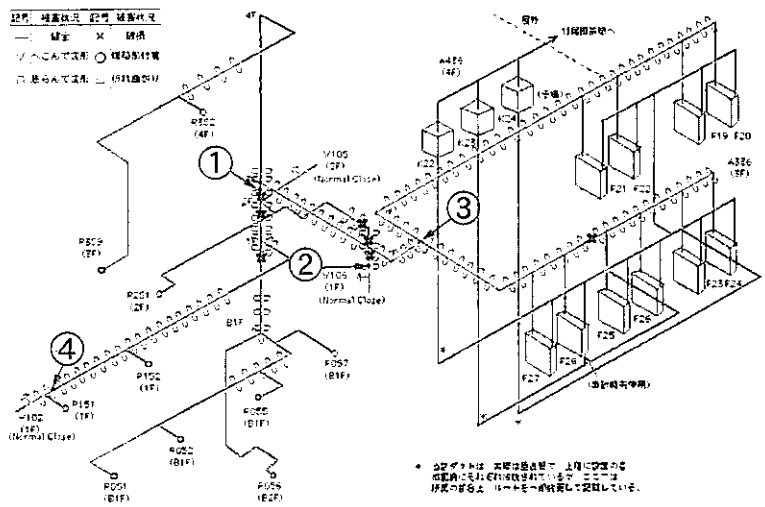
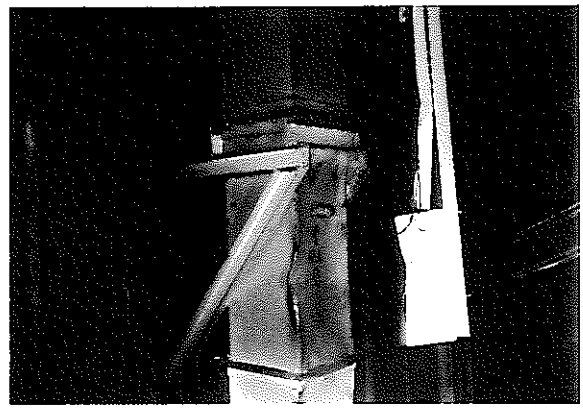


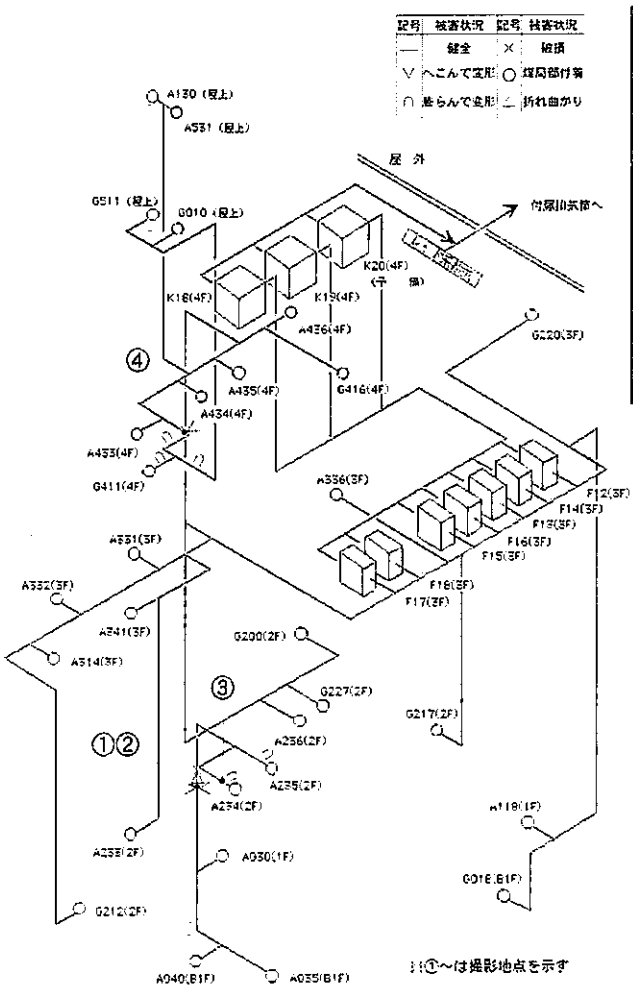
図4.3-2　セル換気系排気ダクトの被害状況

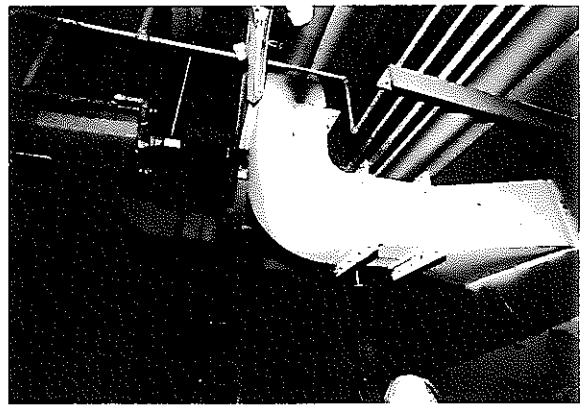


① 通廊（A231）

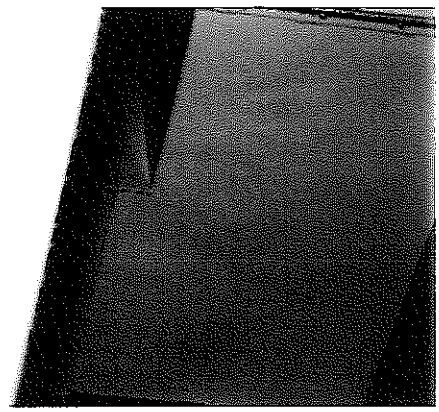


② 通廊（A231）





③ 通廊（A231）

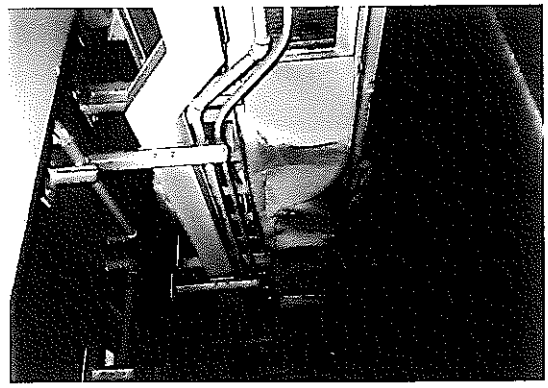


④ 伝送器室（A433）

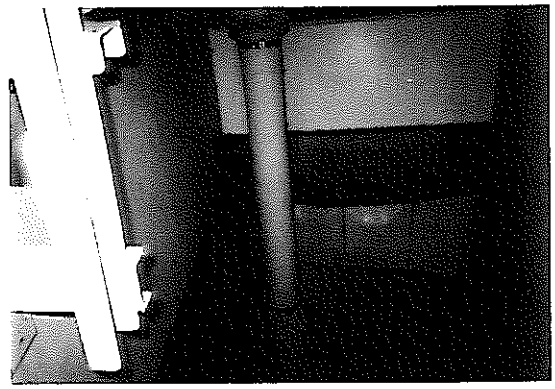
図4.3-3　建家換気系排気ダクトの被害状況



① 階段室（A130）



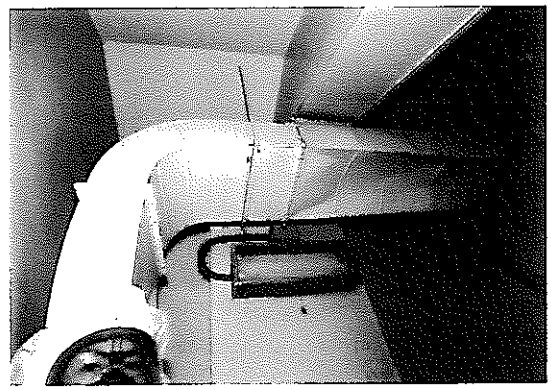
② 通廊（A231）



③ 階段室（A030）



④ 更衣室（A236）



⑤ 階段室（A130）

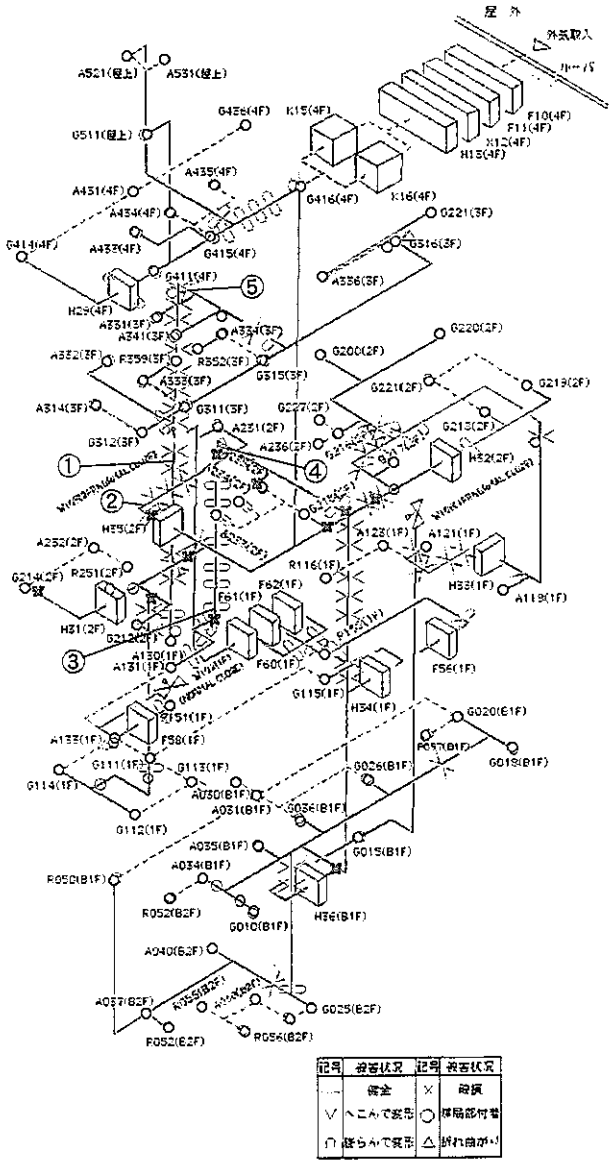


図4.3-4　建家換気系給気ダクトの被害状況

5．火災原因の検討

5．1　火災原因究明の基本姿勢

アスファルト固化体は基本的に硝酸塩/亜硝酸塩を主成分とする塩とアスファルトの混合物である。硝酸塩/亜硝酸塩は高温状態では酸素を放出する酸化剤であるため、アスファルト固化体が高温となるとアスファルトはこの放出された酸素により酸化される。よって固化体の温度を上げると硝酸塩/亜硝酸塩とアスファルトの反応が活発化し、自身の反応熱によりいっそう酸化反応が進むという熱暴走反応につながり、自己発火に至る。今回の事故における火災原因とは、この熱暴走反応を起こす温度にまで固化体を加熱するメカニズムに他ならない。

火災原因の検討開始に際しては、まず運転記録や施設の設計等の検討から着手した。

はじめに、廃液の給液調整のために加える試薬の種類や量等を誤った可能性が考えられた。しかし運転記録（廃液調整系データシート）上異常を認められず、化学分析の結果が出ないうちは断言できないが試薬の誤添加の可能性は低い。

また、エクストルーダにおいて蒸気加熱を行う際、過剰な蒸気の供給によりアスファルト混合物の温度を上昇させた可能性も考えられたが、運転記録（エクストルーダ運転データシート及びエクストルーダ各温度計の記録チャート）上、異常な高温を認めなかった。よって蒸気の過剰供給の可能性は低い。ただし、27B～28Bにおいてゾーン7温度が190℃に達して冷却操作を行っている点は、注目しておく必要がある。

なお、アスファルト充てん室（R152）内で充てん済みドラムが何らかの外部加熱源により加熱された可能性については、アスファルト充てん室（R152）に特に加熱機器はなく、考えられない。

よって、運転記録からだけでは事故原因は判断できず、詳細な分析等を踏まえた検討が必要となった。

火災原因の検討に際して念頭におくべき点として、重要な過去の例が2件存在する。すなわち、ベルギーのアスファルト固化処理施設における火災事故（1981年）[5-1]と、今回事故を起こした東海のアスファルト固化処理施設におけるホット試運転中の排出管からの発煙（1984年）である。

ベルギーの事故は有機物の混入による化学反応が主因と考えられている。再処理プラントでは大量の有機溶媒を扱うため、その廃液中への混入は特に注意しなくてはならない。

ホット試運転中の発煙は、排出管の詰まり防止のために吹き込んでいた空気

によるブローイング反応（空気中の酸素を取り込んでの酸化重縮合反応）が原因と結論された。その後同様のトラブルを防止するため、排出管へ吹き込む気体を空気から窒素へと変更したが、今回もブローイング反応の可能性については十分検討する必要がある。

このように過去の例は化学的な事故原因であった。しかし今回はエクストルーダのトルクに異常が見られていることから、化学的原因以外の可能性、すなわち物理的原因も十分考えられるため、両方の面から検討を行った。

火災原因の検討に際して念頭におくべきもうひとつの点として、今回の事故の前後には様々な通常時と異なる運転記録、観察記録、証言がある。これらのすべてを合理的に説明できて初めて可能性の高い事故原因の同定ができたと言える。事故の一部の事象と合致しているからといって、いたずらに事故原因を即断しないよう、自戒しながら検討にあたった。

5．2　化学的発熱原因の検討

5．2．1　不純物混入の可能性の検討[5-2,3]

火災発生原因としてまず考えられた要因は、不純物の混入によるアスファルト混合物との発熱反応である。不純物混入源としては、廃液等への異物の混入または反応槽に供給する試薬の誤調整が考えられる。再処理施設から排出される廃液中には、有機溶媒であるTBP及びその劣化生成物が含まれる場合がある。特に、TBPの劣化生成物であるDBPは水相への溶解度が比較的高く、また種々の金属と錯体を形成して固体状の形態で存在する場合が多い。そこで、施設内に残されたアスファルト固化体や固化処理対象廃液及び処理対象廃液の移送元である廃棄物処理場（AAF）や廃溶媒処理技術開発施設（ST施設）の廃液についての化学分析を行うことで、不純物混入の有無の確認を行った。

測定対象となる試料は以下の通りである。

(1) 廃溶媒処理技術開発施設（ST施設）のリン酸廃液（ST廃液）
(2) 廃棄物処理場（AAF）の濃縮廃液
(3) 原料アスファルト
(4) 試薬類
(5) 固化処理対象廃液
(6) 充てん済みアスファルト固化体
(7) エクストルーダ内残存アスファルト混合物

以下に、これらの試料採取及び分析結果を示す。なお、実施した分析項目を

表5.2-1に示す。

(1) 廃溶媒処理技術開発施設（ST施設）のリン酸廃液（ST廃液）

① 試料採取

廃溶媒処理技術開発施設（ST施設）では、施設内の希釈洗浄槽（V47）から発生する炭酸ナトリウム廃液及び蒸発缶（E45）から発生するリン酸廃液を、一旦廃液中間貯槽（V43）に受けてから、アスファルト固化処理施設へ移送する。97-M46-1キャンペーンで平成9年3月6日にアスファルト固化処理施設へ廃液を1m^{3}移送したのち、廃液中間貯槽（V43）に、希釈洗浄槽（V47）から0.2m^3、蒸発缶（E45）から0.5m^{3}の合計0.7m^{3}を受け入れ、平成9年3月末現在約7.7m^{3}貯蔵している。

試料採取した廃液は平成9年3月6日の移送廃液と同一ではないが、異物等の混入の有無を確認するため、この試料の採取・分析を実施した。

② 分析結果（表5.2-2~4、図5.2-1参照）

TBP濃度については、事故前の平成9年2月26日に採取したもので有意量（67ppm）を示し、平成9年4月2日に採取したものでは検出限界以下であった。そこで再度平成9年5月14日に採取して分析を行ったところ、検出限界以下であることを確認した。したがって、TBP濃度は検出限界以下であったと結論した。（希釈洗浄槽（V47）から移送した廃液のTBP濃度は約100ppmであり、この廃液受入後のTBP濃度の増加は1ppm以下と考えられる。蒸発缶（E45）から移送した廃液に関しては、通常は分析を行わないが、蒸発缶（E45）の前段の廃液供給槽（V41）での分析結果（約40ppm）から推定すると、廃液受入後の廃液中間貯槽（V43）内の廃液のTBP濃度の増加は1ppm以下であると考えられる。平成9年3月6日にアスファルト固化処理施設へ送液した後に受け入れた廃液の影響を考慮しても再分析の結果が妥当であると考えられる。）

放射能濃度については特段の変化はなく、アンモニウム塩の存在は認められなかった。熱分析の結果では400～450℃で硝酸ナトリウムの分解に起因する発熱反応が示されているが、それ以外の発熱反応は検知されなかった。

以上のことから、廃溶媒処理技術開発施設（ST施設）からの廃液中には特別に注目すべき異物はなかったと結論した。

(2) 廃棄物処理場（AAF）の濃縮廃液

① 試料採取

廃棄物処理場（AAF）の低放射性廃液第一蒸発缶（E12）内の濃縮廃液は、廃棄物処理場（AAF）内の3基の低放射性濃縮廃液貯槽（331V10, V11, V12）に貯蔵され、これらの貯槽からアスファルト固化処理施設の廃液受入貯槽

（V21）に受け入れるようになっている。廃棄物処理場（AAF）内の3基の低放射性濃縮廃液貯槽については、サンプリング設備がないので、まずサンプリングが可能な蒸発缶内から平成9年4月5, 6日に試料を採取した。蒸発缶では缶内液のかくはん機能がないため、試料採取時に必ずしも均一になっていない可能性があるが、廃液受入貯槽（V21）と同じ系統の廃液という観点から分析を行った。

次に、サンプリング設備がない低放射性廃液濃縮廃液貯槽内の廃液については、平成9年7月4, 7～9日に予備のサンプリングノズルからテフロンチューブを挿入し、当該貯槽内から試料採取を行った。

② 分析結果

蒸発缶から採取した試料（表5.2-2~4, 図5.2-2）について、水酸イオン濃度、Pu、U濃度、Total Salt濃度、放射能濃度、陰イオン濃度等については、異常な値は示されていない。全油分、TBP 、DBP濃度については、検出限度以下あるいは数百ppmオーダーと微量であった。蒸発缶から採取した2試料間に有意な差異がみられるがこれは蒸発缶内にかくはん機能がないため、缶内の油分の分布が必ずしも均一になっていなかったことによるものと考えられる。一方、陰イオン濃度については大差がなく、少なくとも試料中の水相に関しては代表性を持つ試料であると思われる。アンモニウムイオンの存在は認められず、熱分析の結果でも350℃以上の硝酸ナトリウムの分解に起因する発熱が示されているだけであった。

また低放射性濃縮廃液貯槽から採取した試料（表5.2-8, 図5.2-3）に関しては、液相と沈殿物に分けて分析し、このうち液相の全油分、TBP、DBP濃度の結果は蒸発缶の2試料の中間の結果を示した。これは当該貯槽に内でTBP、DBPを含む油分のばらつきがあったことによるものと考える。水酸イオン濃度、Pu、U濃度、Total Salt濃度、放射能濃度、陰イオン濃度等については、特段異常な値は示されていない。

以上のことから、廃棄物処理場（AAF）の濃縮廃液に関しては、試料中の水相及び沈殿物に異常な物質の混入はなかったものと結論できる。

(3) 原料アスファルト

① 試料採取

アスファルト貯槽（V45）から供給される原料アスファルトについては、事故後加熱を停止したため、当該貯槽内及び供給配管内等で固まっていた。

このためアスファルト貯槽（V45）からポンプ（P452）を経由してエクストルーダへ供給する配管から約3kg採取した。

② 分析結果（表5.2-2, 5, 図5.2-4参照）

DSC測定結果については、～250℃で緩やかなアスファルトの酸化による発熱反応が示されている。NH_4^+濃度については、原油中に含まれていた窒素及び水素に由来するものと考えられる。その他の分析項目についても異常な点は見られないことから、原料アスファルトに関して異物の混入はなかったものと結論できる。

(4) 試薬類

① 試料採取

試薬類については、購入時の品質保証書の確認により適正なものであると考えられるが、確認のためアスファルト固化処理施設内に残存する調合済みの試薬について、購入後の異物混入等の可能性も考慮して、各試薬貯槽等から試料採取したものを分析した。

試料採取した試薬類については、試薬調整濃度、異物混入の有無等を確認するため、試薬貯槽（V09, 11, 14, 16）から水酸化ナトリウム溶液、硝酸、フェロシアン化カリウム溶液、硫酸ニッケル溶液をそれぞれ採取し、分析を行った。

② 分析結果（表5.2-6, 7参照）

試薬調整濃度については、各試薬類とも所定の濃度に調整されていたことが確認できた。極微量の金属元素が認められるものの、問題とならない程度の不純物と考えられる。各試薬類の油分濃度は検出限界以下であったことから、各試薬類への油分の混入はなかったものと考えられる。

(5) 固化処理対象廃液

① 試料採取

アスファルト固化処理施設内に残存する固化処理対象廃液（廃液受入貯槽（V21），反応槽（V30, V31），供給槽（V32, V33））の試料採取については、サンプリングベンチ及びその他周辺機器の健全性を確認した上で実施した。

分析項目及び分析を行う理由は以下の通りである。

② 分析結果

以下に、固化処理対象廃液の化学分析の結果を示す。なお、触媒効果が考えられる沈殿物については、５．２．４項で別途検討することとする。

a) 廃液受入貯槽（V21）（表5.2-2, 8, 図5.2-5, 6参照）

均一な試料とするため、エアースパージングによる槽内かくはんを３時間行ったのちに試料を採取した。この採取試料を静置すると試料ビン底部に固体では

なくゾル状の浮遊物のような沈殿物が認められた。

全油分濃度は250ppm程度であり、ほとんどがDBPによるものであった。TBP濃度は検出限界以下であった。また静置した状態で油相が存在するかどうか確認するため、平成10年8月19日に確認作業を実施した。確認作業にあたっては、既設配管系統にチューブを挿入し、液面以下300mmまでの廃液をチューブ内に採取し、これを目視により観察した。観察を2回行った結果、油相と考えられるような廃液は採取されなかった。NH_4^+濃度も検出限界以下であり、その他の値も特段異常を示すものではなかった。

熱分析の結果（図5.2-5, 6）は、廃液単体のDSC測定結果では硝酸塩の融解にともなう吸熱が観測されるのみで、発熱反応は無かった。アスファルトと混合された際の反応性を調べるため不溶化処理した後に原料アスファルトと混合調製した試料をARC[5-4, 5]にて測定した結果、220～230℃から発熱が開始し、検出限界付近の発熱量で温度上昇を続け、260℃付近より急激な反応を開始した。これは通常時と同じ反応特性である。200℃以下からの発熱が観測されたことが一度あったが、5回繰り返し測定を行ったところ再現性がなく、また5．2．4項で述べるV21沈殿物を含有させた場合でもこのような低温からの反応は観測されなかった。よって、この低温からの発熱はV21廃液固有の反応によるものではないと結論した。

以上の分析結果より、V21への異常な物質の混入はなかったと結論した。

b) 反応槽（V30, 31）内廃液の分析結果（表5.2-2, 8, 図5.2-7, 8参照）

槽内の底層、中層、表層の各層からテフロンチューブを用いて真空ポンプにより揚液し、採取したものである。V30には32Bの給液調整を終えた廃液があり、沈殿物が観察された。V31には33Bの給液調整の途中段階の廃液があり、沈殿物は観察されなかった。γスペクトルの結果から、給液調整処理により沈殿中に選択的に核分裂生成物核種が移行していることが認められる。全油分濃度は200ppm程度であり、ほとんどがDBPによるものであった。TBP濃度は検出限界以下であった。熱分析の結果も特に異常な発熱反応は示さなかった。

c) 供給槽（V32, 33）内廃液の分析結果（表5.2-2, 7, 図5.2-9, 10参照）

反応槽と同様に槽内の底層、中層、表層の各層からテフロンチューブを用いて真空ポンプにより揚液し、採取したものである。V32,33では30,31Bの給液調整を終えた廃液を内蔵しており、沈殿物が観察された。γスペクトルの結果から、給液調整処理により沈殿中に選択的に核分裂生成物核種が移行していることが認められる。全油分濃度は200ppm程度であり、ほとんどがDBPによるものであった。TBP濃度は検出限界以下であった。熱分析の結果も特に異常な発熱反応は示さなかった。

(6) アスファルト固化体

① 試料採取

29Bのアスファルト固化体を充てんしたドラム3本（No.30090～30092ドラム）については固化体あたり7～11箇所から試料を採取し、27Bから29Bにかけてアスファルト固化体を充てんしたドラム9本（No.30076, 77, 79, 81, 83, 85, 87, 88, 89ドラム）からは固化体あたり1～3箇所から試料を採取した。また、事故以前に製造された固化体のうち8本からも試料を採取し分析を行った。

② 分析結果（表5.2-9～11, 図5.2-11～19参照）

事故以前に製造された固化体（1つ前の96-M45-4キャンペーンの9B、事故発生キャンペーンの10B等）及び29Bと同様に廃液供給流量を低下させた運転時に製造され、火災発生時にはすでにアスファルト充てん室（R152）から搬出されていた26Bや27Bの固化体と化学分析結果を比較したところ、値にばらつきがあるもののアスファルト充てん室（R152）内固化体のTotal Salt濃度はやや低めであった（図5.2-11）。陰イオンのうちCO_3^{2-}及びNO_2^-も同様に濃度が低くなっていたが、NO_3^-等はほぼ同等の値であった（図5.2-12）。

図5.2-13に示すように、実固化体中の金属成分濃度については水抽出成分の分析結果に系統的な傾向が見られなかった（表5.2-9）。そこで、水に抽出されずに残渣となる部分の金属成分を確認するために、代表的な試料について前処理方法を変えて再分析した。この場合は水抽出成分に加え、残渣分を硝酸及び過酸化水素水で溶解して分析した。水抽出成分は前回の結果と同様であり、残渣分からは少量のNa,Ba,Fe等が検出された。しかし、これらの金属元素は固化処理対象廃液成分であり、固化体中金属成分の特異性は見出せなかった（表5.2-10）。NH_4^+濃度も検出限界以下であり、全油分濃度も特段異常を示すものではなかった。

物性測定のうち含水率はアスファルト充てん室（R152）内にあったドラムから採取したアスファルト固化体の値が大きくなっているが、これは、消火水の影響が現れているためと考えられる。比重及び針入度は事故以前に製造された固化体と同様な値であった（図5.2-14）。

CHNO濃度（図5.2-15）は有機成分のみの分析ではなく、固化体をそのまま塩除去等の前処理をせず分析装置にかけた結果である。ばらつきが大きく傾向をつかむことが出来なかった。そこで塩除去をした部分のCHN濃度をいくつかの試料について再分析した。絶対値にばらつきがあるため、C に対するHとNの比を取り比較したところ、貯蔵されていた固化体とアスファルト充てん室（R152）内に残されていた固化体で特に違いは見られなかった（図5.2-16）。

γスペクトルについては主な核種においてほぼ同じオーダーの値であり、固

化体による違いは見られなかった（図5.2-17）。

ARCによる熱分析結果については、No.30090ドラム試料で一度110℃からの微弱な発熱を検知したが、No.30090ドラムのその他の試料及び他のドラムの試料については220℃以下の低温域での発熱はみられなかった（図5.2-18, 19）。これより、110℃からの発熱を検知した原因の特定は困難であるが、8本のドラムの固化体がほぼ同時に発火するためには燃焼した固化体の全てにおいて同様な反応性を示すはずであるが、それが認められない。したがってこの反応が火災の原因とは考えられない。なお、アレニウスの反応速度式における活性化エネルギーと頻度因子を一次反応を仮定してARC測定の結果より求めたところ、同一温度域においてほぼ同様な値となった（表5.2-11）[5-5]。

(7) エクストルーダ内アスファルト混合物

① 試料採取

事故当時からエクストルーダ内で廃液とアスファルトの混合状態のまま残されていたものを、平成９年７月にドーム1より採取した。残りの２つのドームには事前の観察で混合物が確認されていなかったため、試料採取は行っていない。

またアスファルト固化処理施設の片付け・除染作業の一環として、平成10年7月に残存するアスファルト混合物の抜き出し作業を行った。残存アスファルト混合物の抜き出しのためのエクストルーダの加熱は、安全確保の観点からアスファルト混合物の抜き出しに必要な、可能な限り低い温度（約140 ℃）の蒸気を通気して行った。

アスファルト混合物採取時のエクストルーダ運転は、エクストルーダの加熱を開始して約3時間後（エクストルーダの温度140℃で安定）にエクストルーダシャフトの手回し操作を実施したが、回転させることができなかったため、回転が容易に行えるまで注水（注水量合計23 ℓ）を繰り返した。その後電動運転に切り替え、約9分で24.5 ℓの残存アスファルト混合物を回収容器に採取した。回収したアスファルト混合物は液体窒素で強制冷却した。

② 分析結果（表5.2-12, 図5.2-20～25参照）

ドーム1より採取した試料、抜き出し作業により採取した混合物は回収容器より垂直方向に2試料（上部・下部）を採取した。残存混合物の化学分析の結果（表5.2-12, 図5.2-20～24）は通常のアスファルト固化体に比べて塩濃度が低く、放射能濃度も低かった。また熱分析の結果（図5.2-25）、異常な発熱は観測されなかった。

以上のいずれの試料の結果からも、ドラムに充てんされたアスファルト固化

体の反応性を高めるような要因は見つからず、不純物混入はなかったものと結論できる。そこでより詳細な化学的な検討を行うこととした。

5．2．2　酸化発熱反応の可能性の検討

火災発生原因として考えられる要因の一つに、空気中の酸素によるアスファルトの酸化発熱反応がある。

エクストルーダ内の3つのドームでは、通常は廃液の水分が蒸発しており、ドーム内は水蒸気雰囲気と考えられる。しかし、今回は廃液供給流速度を通常よりも20%低下させている。一方各ドームでは単に測定温度により蒸気流量をフィードバック制御して供給熱量を設定しているに過ぎず、したがってドーム1,2での供給熱量、すなわち水分の蒸発量は通常の廃液供給速度の場合と大差ないと思われる。これによりドーム3では蒸発すべき水分の量が減少し、ドーム内の水蒸気濃度が極めて低かった可能性がある。このような状況では空気中の酸素がドーム3でアスファルト混合物内に取り込まれる可能性が考えられる。

アスファルト混合物内に酸素を取り込んで生成した過酸化物は、触媒存在下で分解される反応が連鎖的に生じ得る。これらは発熱反応であり、この反応が生じるとアルデヒド，ケトン，アルコール，カルボン酸等が生成する。

そこで、残されたアスファルト固化体についての赤外吸収（IR）分析を行い、酸化発熱反応が起きた可能性について、検討を行った。そこで、アスファルト固化体の酸化反応の進行に伴うIRスペクトルの変化の特徴を、あらかじめ模擬固化体を用いて調べて、実固化体のIRスペクトルのデータと比較することにより、酸化反応機構を推定した。

(1)　模擬アスファルト固化体を用いた赤外吸収（IR）分析による酸化反応評価

空気の巻き込み効果がアスファルト固化体の酸化反応に及ぼす影響を評価するために、100～270℃の測定温度範囲で反応系雰囲気をパラメータ（窒素雰囲気と空気雰囲気）とした模擬固化体の熱走査赤外吸収測定を実施した[5-6]。

空気雰囲気ではCaF_2板に模擬アスファルト固化体を塗布したものを、また窒素雰囲気ではCaF_2板2枚に模擬アスファルト固化体をはさみ空気との接触を断ったものをそれぞれ測定サンプルとした。

模擬アスファルト固化体（塩平均粒径を24μmに調整）より得られた熱走査IRスペクトルのうち、空気雰囲気にて測定されたものを図5.2-26に、窒素雰囲気によるものを図5.2-27に示す。図5.2-28には150℃のピーク強度を1として規格化したときの2900cm^{-1}付近（C-H伸縮振動）、1700cm^{-1}付近（C=O伸縮振動）、1600cm^{-1}付近（C=O及びC=C伸縮振動）及び1160cm^{-1}付近（C-O伸縮振動）に観測される各ピークの強度変化を示す。これらの図は、熱走査IR測

定においてスペクトルに大きな変化が見られた150℃以上の温度領域についてまとめたものである。

空気雰囲気、窒素雰囲気ともに含酸素官能基に帰属される各ピークの吸収強度が増加する様子が観測されているが、空気雰囲気ではより低温領域から強度増加が見られ、その増加割合も大きい。

また窒素雰囲気では、C-H基に由来する吸収（2900cm^{-1}付近のC-H伸縮振動に帰属されるピーク及び1450cm^{-1}付近のC-H変角振動に帰属されるピーク）にほとんど変化が見られないのに対し、空気雰囲気ではこれらのピーク強度が大きく減少している。このことから、窒素雰囲気における模擬アスファルト固化体の酸化反応においては、主に含酸素官能基の生成を伴う酸化反応が進行するのに対し、空気雰囲気においては含酸素官能基の生成とともに脱水素反応がかなりの割合で進行していることが確認できる。

一方、塩成分に帰属される2090cm^{-1}付近のピークは、空気雰囲気ではピーク強度の低下以外、あまり大きな変化を生じていないのに対し、窒素雰囲気では模擬固化体の酸化反応の進行とともにピーク強度が低下するとともに同周波数領域に新たな吸収ピークが出現している。

表5.2-13に示すように、両雰囲気中における酸化反応に伴う生成物の構造に違いがあることが確認され、これらのピークの強度比を標準状態の試料と比較することで酸化反応が進行したときの系の雰囲気、つまり空気中の酸素による酸化反応の有無を判断できる。

(2) 実アスファルト固化体の赤外吸収（IR）分析

模擬アスファルト固化体を用いた酸化反応評価の知見をもとに、固体形状でのIR分析を実施した[5-3]。この結果を図5.2-29に示す。模擬アスファルト固化体を用いた空気雰囲気中での酸化反応評価試験で観測されたC-H結合に由来する吸収（2900cm^{-1}付近のC-H伸縮振動及び1450cm^{-1}付近のC-H変角振動）の急激な低下は、いずれの実固化体試料においても見られず、空気との反応による脱水素反応がほとんど進行していない。一方、塩成分に帰属される2000～2200cm^{-1}付近のピークは、その形状及び吸収位置が大きく変化している様子が認められた（図5.2-30）。このような変化は模擬固化体の酸化反応評価試験の際に窒素雰囲気中において観測されたスペクトル変化の特徴と合致しており、これら実固化体におけるアスファルトの酸化は空気の存在しない系で進行したことを示唆している。

以上より、空気中酸素による酸化反応はほとんど生じていなかったと結論することが出来る。

5．2．3　塩粒子微細化の可能性の検討

26B以降では廃液供給速度を低下させて運転していたため、塩が通常より早く析出し、塩粒子の混練時間が長くなった結果、塩が粉砕され、微細化した可能性が考えられた。塩粒子が微細化すると、反応表面積が増加して硝酸塩－アスファルト反応が活性化することが考えられる。そこで、実固化体中の塩粒子の粒度分布測定を行い、廃液供給量の低下による塩粒子の微細化について検討した。

また、粒度分布の異なる塩粒子による模擬アスファルト固化体を調製し、塩粒径がアスファルト固化体の発熱特性に及ぼす影響を評価した。

(1)　塩粒子の粒度分布測定

実固化体中の塩粒子の粒度分布はレーザ回折式の粒度分布測定装置を用いた。固化体中の塩は、四塩化炭素で希釈洗浄して回収した。測定対象としたのは廃液供給速度を減らした26B以降に製造した固化体の中から、No.30065（26B), 30075（27B）, 30090（28Bと29 Bの混合）, 30091（29B）ドラムの固化体とした。また比較のため標準供給速度及び、供給速度を10%低下させたときの固化体について測定した。

結果を図5.2-31及び表5.2-14に示す。29Bの固化体中の塩粒子径はその他のバッチのものと比較しても同程度であり、粒度分布にも大きな違いはみられなかった。26Bや27Bの固化体についても、他の固化体と大きな違いはみられなかった。

以上より、廃液供給速度を減らしたことによる塩粒子の微細化は生じていなかったと考えられる。

(2)　模擬アスファルト固化体を用いた発熱特性評価

塩粒子の粒度分布測定の結果、粒度分布に大きな違いは認められなかったが、観測された程度の違いにより反応特性に違いがあらわれるかを調査するために、塩粒径の異なる模擬アスファルト固化体を用いて熱分析を行った[5-7, 8]。サンプルとしては、平均粒子径を24, 34, 60, 308 μmに調整したものを用いた。表5.2-14に示すとおり、実固化体の塩の平均粒子径は約20～40μmであり、模擬固化体の平均粒子径はこれをすべてカバーしている。

はじめにDSCによる測定結果を図5.2-32に示す。この結果、24～60 μmの模擬固化体では発熱特性に違いはみられず、平均粒子径が308 μmでは290℃以下の発熱ピークが減少した。

さらに詳細に違いをみるために、非常に高感度な熱量計C80D[5-9]及びMS80Dで24 μmと34 μmの模擬固化体の発熱特性を測定した。MS80Dは検出感度が

非常に高いため（μWのオーダー）、微小発熱量の測定に適しているが、測定範囲が200℃までと限られている。C80DはMS80Dに比べて一桁検出感度が落ちるものの、測定範囲が300℃までとなっている。そこでMS80Dでは160, 200℃での定温測定を行い、C80Dでは300℃までの昇温測定を行った。

この結果を図5.2-33, 34に示す。これより、C80Dでは220℃付近から発熱を検知し、MS80Dでは200℃定温測定で最高約2mW/gの発熱を検知したが、塩粒径の差による発熱特性に違いが見られなかった。

以上のことから、固化体中の塩の粒度分布差による発熱特性の違いは、平均粒子径でオーダが異なるほどの差がないと生じないものであることがわかった。つまり、実固化体で観測された程度の塩粒径の違いでは、反応性の違いはほとんどないと考えられる。

5．2．4　各廃液貯槽内の沈殿物同伴の検討

火災発生原因の一つとして、廃液受入貯槽(V21)内のかくはん直後に送液したため、V21中の沈殿物が廃液に同伴し、沈殿物がアスファルト／硝酸塩混合物の発熱反応に触媒として作用した可能性が考えられる[5-10]。

そこで、V21から反応槽／供給槽へ、更にはエクストルーダへの沈殿物の同伴の可能性を検討するとともに、各貯槽内に残留する沈殿物についての化学分析、熱分析を行うことにより火災原因になり得るか否かを検討した。

(1)　反応槽／供給槽／エクストルーダへの沈殿物の同伴の可能性

今回の97-M46-1キャンペーンでは4、14、24及び29Bの前にV21のエアスパージングによるかくはんを行っている。一方エクストルーダのトルクは図5.2-35に示したように、14、24Bで急に上昇している。これらはかくはんにより送液ノズル近傍を含め沈殿物が均等に分布し、それらを吸い上げてエクストルーダに送られ、小さな固形物がエクストルーダーのシャフトに噛みこんだ可能性も考えられる。

29Bの前にST廃液を受け入れ、その際に1時間40分のかくはんを行い、そのわずか3分後に反応槽への送液を開始した（通常は2.5時間から1日程度経過後に送液）。よって沈殿物が舞い上がっている時に送液しており、29Bで反応槽／供給槽に沈殿物は移送された可能性が考えられる。処理運転時、液位が10%以上に保持されている間かくはんは行われており、送液ノズルはほぼ底部といえる位置にあるため、沈殿物はよほど重くない限り反応槽／供給槽に堆積せずエアリフトを経由してエクストルーダに移送されたと考えられる。

(2)　廃液受入貯槽／反応槽／供給槽の沈殿物の分析

① 試料採取

5．2．1項に述べた方法で試料を採取した。反応槽／供給槽については底層の試料から沈殿物を回収した。廃液受入貯槽(V21)については十分な沈殿物が得られなかったため、再度V21内から試料を採取する作業を平成11年2月3、4日に実施した。採取方法はサンプリングベンチを用いる方法ではなく、既設配管系統を通じて槽底部までチューブを挿入し、真空ポンプで廃液を吹い上げる方法で実施した（図5.2-36, 37）。

V21から採取した廃液のうち約2ℓをろ過して沈殿物を分離した。沈殿物は乾燥後回収し、重量を測定したところ約0.2ｇであったため、廃液中の沈殿物含有率は約0.01％であった。

分析はICPによる元素分析を行った。また、沈殿物を巻き込んだV21廃液を蒸発乾固させアスファルトと混合した試料のARCによる熱分析も行った。

② 分析結果

V21の沈殿物中の元素分析を行ったところ、主成分はNaとBaであり、次いでP, Fe, Caがあり、微量にNi, Mg, Mnが存在することがわかった（表5.2-15）。

また、同じ廃液（沈殿物を巻き込んでいるもの）を分取し、給液調整処理後に80～90℃で蒸発乾固させアスファルトと混合した試料を調製し（固化体中の塩に対する沈殿物含有物は約0.03％のものと約0.16％のもの）、ARC測定を行った。この結果、220℃以下の低温域における発熱は見られず、自己発熱速度も他の固化体の測定結果とほぼ同様なものであった（図5.2-19、表5.2-11）。

反応槽／供給槽の沈殿物に関しては、アスファルトと硝酸塩の反応の触媒として作用する白金族元素などの存在は認められなかった。

(3) 模擬アスファルト固化体を用いた発熱特性評価

V21内の沈殿物による発熱特性の影響を調査するため、廃液受入貯槽V21の上流側の331V10, V11沈殿物の分析結果から推定した模擬沈殿物を含む廃液を作成し、模擬固化体を作成した。模擬沈殿物の添加量は0.1、1.0、2.0％の3種類とした。それぞれの模擬固化体の発熱特性を調べるため、DSCによる熱分析を行った。沈殿物は空気による酸化と、硝酸塩－アスファルト反応の両方に対して触媒として働くことが考えられるため測定は空気雰囲気で行った。

この結果は図5.2-38に示すとおりである。これより、模擬沈殿物を添加した模擬固化体の発熱特性は、沈殿物を添加していない模擬固化体と同じような発熱特性（発熱開始温度、発熱量）を示し、触媒効果は確認されなかった。

以上を総合すると、沈殿物を同伴したことによる反応性の増加はほとんど無かったと考えられる。

5．2．5 充てん温度の高温化の検討

(1) 高温流下試験による検討[5-11]

運転員の観察によれば、28B以降エクストルーダから排出されるアスファルト混合物が流下時に跳ねをあげるようになり、見た目には柔らかくなったと報告されている。この現象は火災発生時の30Bまで続いた。また、28Bからターンテーブル上の充てん中のドラムから泡や白い蒸気のようなものが出ており、固化体表面に硬膜が認められた。これらの現象は29, 30Bではさらに顕著になっていった（表5.2-16）。このような事象は過去に記録はなかった。なお85～100vol%の充てんが通常20分かかっていたが、28Bの後半から10分程度になっていた。これはドラム中の固化体の表面がガスの発生により膨張し、100vol%のレベルまで早く上昇したためと考えられ、充てん量そのものは減少していたものと思われる。実際に28B～30Bでのドラムあたりのアスファルト充てん量が少ないことが確認されている（図3.2-4）。

一般にアスファルトは温度が高くなると流動性が増す。したがって、28B以降に充てんされたアスファルト混合物は通常より高温であったと考えられる。そこで、模擬アスファルト固化体を用いた高温流下試験[5-11]を行い、固化体の温度による流下状態の観察を行った。

その結果、高温になるほど高い流動性を示し、白い煙や泡を多く発生した。また運転員の多くは270℃における流下状態が事故時に近いと証言した。この状態は泡や白い蒸気のようなものが顕著に観察された事故時の状況に似ている。また泡が発生すると泡が表面を押し上げるためドラムあたりの充てん量が減少していることと符合する。

これらの事実から、充てん時のアスファルト混合物の温度は通常より高かったと考えられる。

(2) 高温保持試験による検討[5-7]

ドラム状況調査の結果より、28B以降のドラムにおいて固化体に異常が観察され、ボロボロの状態の固化体、空洞、表面の硬質部（硬膜）が観察された。このような状態の発生機構を調べるため、模擬アスファルト固化体を用いた高温保持試験を行った。

試験はスチール製容器（200cc）に充てんした模擬アスファルト固化体を、保持温度，時間をパラメータとして、固化体の状態と酸化反応の進行状態を調べた。

表5.2-17に示すように、硬膜や固化体の内部がボロボロになる現象はいずれの試料でも確認され、固化体の内部空洞の生成は230℃以上でみられた。なお、

空洞は250℃に熱した模擬固化体をデュワー瓶で保温するだけでも生成が確認された（図5.2-39）。

また、図5.2-40に示すように、硝酸イオンの濃度は高温度で長時間保持するほど減少しており、この温度領域でも硝酸塩による酸化反応が進行していることがわかる。IRスペクトルの結果からは、1600cm^{-1}付近（C=O及びC=C伸縮振動），1700cm^{-1}付近（C=O伸縮振動）の強度増加がみられる一方、2900cm^{-1}付近（C=H伸縮振動）の強度が変化していないことより、窒素雰囲気と同様に硝酸塩による酸化が進行していることがわかる（図5.2-41）。

以上より、固化体中に空洞や硬膜が生成し、また内部がボロボロになることは、固化体が高温であるために生じる現象であることがわかった。

これらの結果より、燃焼には至らなかったものの固化体に異常が確認された28B後半～29B初期の充てん温度は通常より高くなっており、それ以降の燃焼したドラムの固化体が充てんされた時には、充てん時の混合物の観察結果よりさらに高くなっていたと推定される。

5．2．6　化学的な発熱原因の検討結果

当初のARCの測定結果の中には220℃以下の低温域でも発熱する結果を示したものもあったが、廃液やアスファルト固化体の化学分析の結果からは、それを裏付けるような不純物の混入は認められなかった。その後多くの実固化体を熱分析しても低温域での発熱はみられず、また再度廃液受入貯槽(V21)の廃液を用いて沈殿物の含有率を変化させて固化体を調整し、熱分析を実施しても220℃以下の低温域での発熱はみられなかった。そのため、不純物の混入が起きた可能性は低い。

さらに、固化体の反応性を向上させる原因と考えられた塩粒子の微細化も生じておらず、沈殿物による触媒効果も確認できなかった。また、固化体で起こった発熱反応はアスファルトと硝酸塩による反応であることがわかり、空気中の酸素との反応はなかったことが示された。

ドラム状況調査の結果、空洞、表面硬膜、ボロボロになった固化体が確認されたが、これらの現象は固化体が高温で保持されるだけで生じることがわかり、これらが観察されたドラムでは通常よりも充てん温度が高かったと考えられる。このことは充てん中の運転員の観察結果とも一致する。

以上の結果を総合すると、固化体の低温域での反応性が高くなったことが火災発生の主な原因である可能性は低く、むしろ化学反応以外の原因により充てん温度が通常よりも高くなり、硝酸塩－アスファルト反応が生じ、反応熱を蓄積した結果、発火に至ったものと考えられる。

5．3　物理的発熱による充てん温度上昇の原因検討

事故直前のエクストルーダは高温・高トルクの状態になっており、バレルの冷却操作を行うなど通常と異なる状態であった。この際、エクストルーダは廃液供給速度を20%低下させて運転されていた。

今までのエクストルーダの運転経験からも長期間運転時にはトルク上昇が生じることが知られていた。これは、ドーム内部に付着した塩等がエクストルーダ内に混入したことによって摩擦抵抗が生じたものと考えられていた。また、過去にも、高いトルク・高いゾーン7温度・充てん量の減少が同時に観測され、ゾーン8内部温度計指示値が200℃を超えたことがあった。

エクストルーダでは、トルクが上昇すると一定の範囲内であれば電動機電流を増加させ一定の回転数を保って運転する。すなわち電気の形でエネルギーを与えるが、与えられた電気エネルギーは熱エネルギーに変換される。この熱エネルギーがどの程度混合物温度を上昇させるかは、エクストルーダ内部で生じる現象によるものと考えられる。エクストルーダ内部ではスクリュとアスファルト混合物（以下、混合物という）との摩擦が生じるほか、流体の粘性による粘性発熱が生じることが一般に知られている。

混合物について、さまざまな化学分析や熱分析を行ってきた結果からも火災の主因となりえる反応は見つかっていない。しかし、充てん温度の高温化の検討結果から混合物が高温で充てんされたことが示唆されたため、小型2軸エクストルーダ（以下、2軸試験機という）を用いた試験を実施し、物理的な混合物温度上昇について詳細な検討を行うこととした。さらに、解析による混合物の最高到達温度の推定を含め、2軸試験で確認された事象と実機の運転との関連を評価し、事故時のエクストルーダ内の事象進展の検討を行った。

5．3．1　エクストルーダ内物理的発熱の確認試験

2軸試験機において、廃液供給速度等の運転パラメータによる混合物の温度、バレル温度、トルク等の変化を測定するとともに、製造された混合物の粘度等の物性を測定した。これらの測定結果から、2軸試験機における物理的な発熱現象を整理し、4軸エクストルーダ（以下、実機という）の発熱事象との関連性を評価する。

(1)　試験装置概要とスケール

2軸試験機は、実機との相似性をもたせるために試験装置の構成を以下のように決定した。

図5.3-1に示すように実機の中央部の2つのスクリュはかみ合っておらずエクストルーダ内部で混合物が接触する点はバレル脱気部分の切欠きだけであり、同方向かみ合いの2軸エクストルーダを左右で連結した構造である。このため2軸エクストルーダにおいても実機の２軸分を十分模擬できる。2軸試験機には試験に必要な回転数、加熱温度、電動機容量、脱気容量等を有する同方向回転かみ合い型小型2軸エクストルーダ（神戸製鋼所製TCO-50型　図5.3-2参照）を選定した。この2軸試験機は、実機と同様の配列で脱水・混合等を行うことが出来る。

実機のスクリュ構成の概略を図5.3-3に示す。実機は３基のドーム（脱気部）を有し、それぞれのドームにあるスクリュの前後に混練機能を有するニーディングディスクを配している。ニーディングディスクはエクストルーダ内のアスファルト及び廃液を均一に混練するために混合物の流れに対して垂直に配されたディスクである。そのため通常のスクリュフライトと異なり混合物の搬送能力を持たず[5-12]、この部位の上流側には混合物のたまりが生じる。2軸試験機でも同様に脱気部のスクリュの前後にニーディングディスクを配した構成とした（図5.3-4）。なお、2軸試験機は図5.3-5に示すように温度、トルクが測定・記録できる。

また実機は蒸気にてバレルの加熱を行っているが、2軸試験機については図5.3-5に示すようにホッパーバレルを除くすべてのバレルの加熱に電気ヒータを用いた。

エクストルーダのスケールアップ（ダウン）については、①生産能力、②トルク、③動力、④比エネルギー、⑤せん断速度などの項目について検討する必要がある。エクストルーダ内部での発熱挙動は、材料の流動及び混練状態と関連が高いため、これらの状態を実機に近似させることが望ましい。したがって、実機と2軸試験機において、スクリュとシリンダの間における材料と空間の比率が同じになるよう、バレル内の相対する位置に同じ状態で材料が存在するとしたスケールアップ則[5-13]を利用して試験時の供給速度を求めることとした。

実機における廃液とアスファルトの供給速度を基にスケール則によって算出した2軸試験機の標準流量を表5.3-1に示す。この表に示した供給速度を2軸試験機での標準条件とした。この流量は実機の通常時を模擬したものであり、塩濃度も実機同様に45wt%である。

また、粘性発熱に寄与するせん断速度についての検討を以下に示す。表5.3-2にせん断速度の算出式[5-13]を用いて算出した実機と2軸試験機のせん断速度を示す。スクリュについては実機と2軸試験機の双方でほぼ同等のせん断速度である。ニーディングディスクについては2軸試験機の方が若干低めとなっているが、せん断速度の違いによる発熱量の違いについては数値解析により評価することができる。このような数値解析は、樹脂成形などの工業分野におい

て一般的に用いられている手法である[5-14]。

また、②トルク、③動力、④比エネルギーについては試運転を行った上、十分な性能を有していることを確認した[5-15]。

(2) 2軸試験の実施概要

試験は大きく3回(試験-1、試験-2、試験-3)に分けて実施した。試験にて確認された現象のうち物理的発熱や実機との関連が深いと思われる現象について絞り込みを行い、次の試験条件に反映させた。

2軸試験機での物理的発熱の確認試験は、廃液の供給速度をメインパラメータとして実施した。全試験に共通な実施条件や確認方法について以下に示す。

① 使用材料

試験に使用したアスファルトは、実際に工程で使用されていたブローンアスファルトである。また、廃液については実廃液の分析値を参考にして塩成分を含む溶液を調整し、不溶化処理を行った模擬廃液を作製して使用した。

② 温度とトルクの測定

試験では図5.3-5に示したポイントで温度、トルクを測定した。これらの測定について、試験-1では記録計への記録を行った。試験-2及び3では、より詳細なデータを取得するため、温度やトルク値をデジタルデータとしてパソコンへ記録した。

③ 混合物の採取

各試験において混合物の採取を行った。出口混合物については、各試験条件の目的に応じたタイミングで採取を行った。エクストルーダ内部混合物は運転中に採取できないため、停止後にスクリュからの採取を行った。採取を行う場合は、試験後にエクストルーダの運転を瞬時に停止し、強制冷却を行った後、スクリュを抜出し残留している混合物を採取した。

(3) 試験結果

① 試験-1

試験-1の結果、トルク及び混合物温度が運転時間の経過に伴い上昇する傾向にあることが判明した。また、試験後にニーディングディスク部から採取した混合物の塩濃度が、停止前にエクストルーダ出口で採取した試料の塩濃度に比べて数%高くなっていた。このことから、エクストルーダ内において局所的に塩濃度が上昇する現象が存在すると考えられる。

以下に試験-1での主な確認結果を示す。

a) 運転時間の経過に伴うトルク値及び温度の上昇

図5.3-6は実施した試験条件のうち標準条件のみの温度及びトルクの測定結果を実施順に並べたものである。全て同じ条件であるにもかかわらずトルク及び温度が上昇しているのがわかる。

b) ニーディングディスク部での塩濃度

試験後にニーディングディスク部から採取した混合物の塩濃度分析結果は56.5％であった。また停止前に2軸試験機出口で採取した試料の塩濃度が50.1%であった。以上からニーディングディスク部において、混合物中の塩濃度が上昇する現象を確認した。このような塩が濃縮した状態になる現象を以下塩濃縮現象という。

c) 作製混合物の含水率

作製した混合物の含水率について分析を行った結果、実固化体（0.3～0.6％程度）と同程度であることを確認した。

d) 塩投入試験

ドームに付着した塩の落下を想定し、脱気部へ蒸発乾固した塩を投入する試験を実施した。この結果、投入後に温度とトルクが一時的に上昇するだけでなく継続的に高めに推移した。

e) 異常流動

図5.3-6に示すように、廃液供給口に近いTEB2の温度が120～140℃の領域において脈流が発生し、トルクが大きく振動する異常流動現象が観察された。

② 試験-2

運転時間の経過に伴う温度とトルクの上昇及びニーディングディスク部での塩濃縮現象を試験-1において確認した。そこで同条件で長時間連続運転を行い経時的な変化を確認するとともに各条件毎にスクリュの抜出しを行い、観察及び試料採取を行った。試験は1条件24時間の連続運転を基準に実施し、条件変更時には初期条件が同一となるようにスクリュ及びエクストルーダ内のクリーニングを行った。また、エクストルーダ出口直前の流動状態をより実機に近づけるため、図5.3-7に示すようにバレル3へニーディングディスクを新たに追加をした。

この試験の結果、エクストルーダ内においてスクリュとバレル内壁の隙間に固体状の塩が堆積する現象（以下、塩堆積現象という）と、混合物中の塩濃度

が2軸試験機出口に比べてニーディングディスク部で高くなることを確認した。また、各試験においてバレル温度よりも内部混合物温度の方が常に10℃程度高く、内部混合物温度はトルクと連動し、上昇していることを確認した。

これらの結果から物理的な発熱に寄与すると考えられる、塩堆積現象と塩濃縮現象の2つの現象が、エクストルーダ内で発生することを確認した。しかし、これらの供給速度低下との関連性を直接的に示すデータは得られなかった。

以下に試験-2で確認された主な事項について示す。

a) 温度とトルクについて

長時間運転における2軸試験のトルクと温度の関係を図5.3-8に示す。各試験においてトルクが運転時間の経過とともに上昇していることが確認された。温度記録は、内部での発熱により、バレル温度よりも内部混合物温度の方が常に10℃程度高い。内部混合物温度は運転時間の経過と共にトルクと連動して微少に上昇していることが確認された。

材料の流出温度は脱気部のバレル温度計TEB3により測定した。TEB3はニーディングディスク近傍に設置されており、この温度計が180℃以上を示す場合はヒータによる加熱は行われないため、外部からの材料への熱流入はない。このためニーディングディスク部での発熱した原因の1つとして摩擦によるものが考えられる。

また、図5.3-8に示すように試験-2のすべての条件においてトルクは運転開始から約6時間程度で平衡に達しており、平衡に達した後は緩やかな上昇は見られるものの、運転終了までほぼこの平衡値を維持している。このため、エクストルーダ内では約6時間でトルクが平衡に達する様な現象が生じていたと考えられる。

b) 塩の堆積現象・濃縮現象

各運転の終了後には2軸試験機を停止し、十分に冷却した状態でスクリュを抜き出した。このとき、図5.3-9、5.3-10に示すようなスクリュに付着した塩及び塩の薄い層が見られた。塩及び混合物はニーディングディスク部を中心として付着していた。これは、混合物がニーディングディスク部で一度流れがせき止められるため、この部位から堆積してゆくものと考えられる。

さらに、2軸試験機出口の混合物及びスクリュに付着した混合物（薄い層状塩を含まない試料）の塩濃度を測定した。この塩濃度の分析結果を表5.3-3に示す。この結果から、2軸試験機のニーディングディスク部に付着した混合物は出口の混合物より塩濃度が高く、塩が濃縮されていたことを示している。

c) 水洗浄効果の確認

実機の運転においては、バッチ切り替え時には廃液供給ラインに水を供給し、ラインの洗浄運転を行っている。このような運転を模擬し、2軸試験においても廃液の代わりに水を供給した運転を行った後、2軸試験機からスクリュを抜き出した。この写真を図5.3-11及び図5.3-12に示す。図5.3-9及び図5.3-10に比べスクリュがきれいに洗浄されているのがわかる。

また、このとき排出された混合物の塩濃度を測定した。測定した試料は水洗浄開始10分後、20分後の混合物であるが、この塩濃度はそれぞれ29.9%、4.9%となっており、20分後の試料においても数%の塩が2軸試験機内に残ることを示している。

このほか、バレル内壁面に付着した堆積塩を採取し、高温の水（約90～100℃）によって容易に溶解することがを観察された。また、スクリュに堆積した塩に高温の水をつけた際には、スクリュ付着塩が図5.3-13(1)及び(2)のように溶解した。

d) 冷却試験時の状況

実機の運転においては、バレルに設置した温度計が高温（190℃以上）を検知した際には冷却水を供給し冷却する操作を行っている。この冷却運転はバレル内の冷却水配管を用いて行われる。通常、この操作によってバレルが冷却され、混合物の温度も低下する。

２軸試験において冷却運転を行った結果、バレル温度及び混合物温度が大きく上下しているが、常に混合物温度の方が高い値を示していた。またトルクには大きな変化は見られなかった。

この冷却運転の際、図5.3-14のような堆積した塩層が流出する現象がみられ、停止後のスクリュの抜き出しも容易に行えた。これは、急激なバレル温度の低下によりバレル内壁と塩層が剥離しやすくなったためと考えられる。

③ 試験-3

試験-１、試験-2の結果から、塩濃縮以外にもエクストルーダ内壁面に塩が堆積し、バレル温度及びトルクが上昇することを確認している。温度及びトルクが上昇する程度は運転状態によって異なることから、試験-3ではエクストルーダを長時間運転して温度及びトルクが安定した状態に達した後に、廃液供給速度を連続的に変化した。供給速度を4段階に変化させトルクと温度測定を行った結果、若干ではあるがトルクと内部混合物温度に供給速度低下にともなう上昇が認められた。

従来の方法で採取した場合では、ほとんどの試験においてニーディングディスク部で塩が濃縮していることが確認できた。エクストルーダ内でニーディングディスク部の塩濃度が上昇する現象は、ニーディングディスク部で大きな圧

力変化が見られるため[5-16]、内部での流動圧力と関係があると考えられる。しかし、従来行ってきた混合物の採取では、ニーディングディスク部で塩が濃縮する傾向を確認したものの、試料採取の難しさや採取可能な試料が少量であることからアスファルト及び廃液の供給速度との顕著な関連は確認できなかった。このため、2軸試験機出口ダイの上に、図5.3-15に示すようなニーディングディスクの形状を模擬した特殊ダイを設置した。このダイの中では、ニーディングディスク部の流れを模擬でき、かつ比較的容易に混合物の採取が行えるため、このダイ部に滞留した混合物と出口で採取した混合物の塩濃度を比較した。この結果、特殊ダイから採取した試料では２通りの供給速度で塩濃縮度に5%程度の差異を確認した。

試験-3にて確認された事項について以下に示す。

a) 連続運転によるトルクと温度の確認試験

試験-2にて実施した長時間運転の結果から2軸試験機の温度・トルクは約6時間でほぼ平衡に達することがわかっており、6時間運転の後に2軸試験機への供給限度（上限値-廃液6.5ℓ/h：アスファルト2.4ℓ/h、下限値-廃液2.6ℓ/h：アスファルト1.0ℓ/h）範囲において供給速度を変化させてトルクと温度を測定した。測定結果を表5.3-4に示す。この結果から供給速度低下によりトルクと温度が微少に上昇していることが認められた。

b) バレル冷却による温度変化の確認

バレル冷却による混合物温度の変化を確認するため、バレル3の加熱を停止した状態で100℃程度まで約10分間手動冷却し、冷却後TEB4のバレル加熱は停止したままの状態で温度が上がるのを待ち、冷却前後での温度の比較を行った。表5.3-5に示すように、冷却後は冷却前に比べ、バレル温度やヒータ表面温度に関わらず、内部混合物温度のみが若干上昇していることが認められた。

c) 塩濃縮度確認試験

７時間の連続運転を行った後、スクリュを抜出しニーディングディスク部に付着した混合物と運転停止前に採取した出口混合物の塩濃度分析値の比較を行った。試験-2において得られた分析結果を含めて、各供給条件での塩濃度の分析結果を表5.3-6に示す。この結果採取したほとんどの試料がニーディングディスク部で塩濃度が高くなる傾向を示しているが、供給速度低下との関連を顕著に示す結果は確認できなかった。

d) 特殊ダイを用いた塩濃縮度確認試験

停止後に抜きだしたスクリュに付着した混合物は、採取量が少ないため分析

精度が低く、また運転停止操作及びスクリュ抜出し操作を行うことによって運転時の状態が保持されないことが考えられた。このためニーディングディスクの形状を模擬し混合物流動状態をニーディングディスク部の流れに近づけ、2通りの供給速度でそれぞれ2時間の運転を行い、ダイ部から採取した混合物と出口から採取した混合物の塩濃度の比較を行った。

特殊ダイを用いた運転は2軸試験機への供給限度である上限値（廃液6.5 L/h：アスファルト2.4L/h）と下限値（廃液2.6L/h：ASP1.0L/h）でそれぞれトルク・温度が安定した後約2時間行った。この試験による塩濃縮の結果を表5.3-7に示す。これより供給速度低下により塩濃縮が5%程度促進されることが確認された。

(4) 試験結果の考察

試験の結果確認された現象のうち物理的発熱への寄与が大きいと思われる塩の濃縮・堆積現象や、実機挙動に関係すると思われる異常流動現象について検討を行った。

① 塩濃縮現象

試験の結果、ニーディングディスク部や特殊ダイ部において塩の濃縮現象が起こることが確認された。一般にエクストルーダ内ではニーディングディスクやエクストルーダ出口流路の影響により混合物の溜まりが生じることが知られている[5-16]。このことからエクストルーダ内において混合物中の塩濃度が局所的に上昇する現象は、エクストルーダ内の流動状態に起因して発生するものと考えられる。搬送能力を有していないニーディングディスク部での混合物の流動は、上流側のスクリュからの混合物流入量すなわち流入圧力に依存している。このため、混合物がニーディングディスク部を通過する際に、アスファルトに比べ流動性の悪い塩が流れにくくなるために塩濃縮現象が起こるものと考えられる。

特殊ダイを用いた塩濃縮の確認結果（表5.3-7）では、供給速度を低下させると塩の濃縮が増大することを示している。これは供給速度を低下した場合、ニーディングディスク部へ流入する混合物が減少し圧力が低下するため、流動性の悪い塩がより流れにくくなった結果と考えられる。

塩濃縮現象が発生した場合、混合物の粘度が上昇し混合物はスクリュにより混練され流体の摩擦により発熱を生じる。この際、バレルへの熱の移動は、流体−バレル間の熱伝達の大きさで決定されるが、流体とバレル間には熱伝達係数の低い薄い塩層が堆積しており、これが断熱効果をもたらすため直接的な熱の伝達は阻害されるものと考えられる。

また、塩濃縮に伴う混合物粘度の上昇によりトルクが上昇すると考えられる

が、塩濃縮が生じる部位はニーディングディスク部の狭い範囲であるため、トルク上昇への寄与は大きくないと考えられる。

したがって、塩濃縮現象はトルク・温度の記録には現れにくいものの直接的な混合物温度上昇に寄与する現象と考えることができる。

② 塩堆積現象

塩はスクリュとバレルの間の隙間に層状に堆積していた。塩堆積物は目視による観察結果から、図5.3-16に示すようにスクリュ側の面にスクリュの回転による傷が見られ、バレル内壁面とスクリュとのクリアランス部に付着したものであることが確認できる。また、ニーディングディスク手前で混合物の溜まりが生じるためにニーディングディスクから上流側で堆積が多く見られる。ニーディングディスク上の堆積物は、図5.3-10に示すように、ニーディングディスクにより押し固められた状態になっていた。

塩堆積はニーディングディスクにより溜められた混合物中の塩がバレル内壁面に付着し、スクリュの回転によって流動性の良いアスファルトは押出されるが固体である塩はバレル内壁面に押し付けられ堆積するものと考えられる。供給速度を低下させた場合、ニーディングディスク部での混合物の滞留時間が長くなることから堆積しやすくなるものと考えられる。また、2軸試験におけるトルクチャートは各試験条件においてほぼ6時間で平衡に達していたことから、塩の堆積は運転開始から時間が経過するにつれて進行し約6時間で平衡に達するものと考えられる。

堆積塩の内側がこすれた状態になっていたことから、十分に成長した塩層は常にスクリュと接触しているものと考えられる。この際、塩–スクリュでの摩擦は抵抗としてトルクに現れ、接触面では摩擦発熱が生じると考えられる。この熱は、直接バレルへと伝達されるが、混合物へは塩層の表面から伝達されるだけであり、この熱的な寄与はバレルへの直接的な伝達に比べ大きくない。したがって、塩堆積はトルクへの寄与は大きいが混合物への熱的な寄与は大きくないと考えられる。

③ 高分子材料の異常流動現象(スティックアンドフロー現象)

溶融した高分子化合物においてキャピラリーを流れる大きな圧力が加わった状態の材料内では、スティックアンドフローと呼ばれる現象が発生することがある[5-17]。2軸試験においても異常な流動現象を確認し、このときトルクが大きく振れたほか、発生時のゾーン1温度(TEB2)は常に120℃から140℃の範囲であることが確認された。

このため、後述のように原料アスファルトの粘度の温度依存性を測定したところ、図5.3-17に示す結果が得られた。この図から原料アスファルトには120

℃から135℃の間に一度粘度が上昇する点が見られ、アスファルトにおけるスティックアンドフロー発生に寄与していると考えられる。

これらの異常流動発生のメカニズムは次のように考えられる。

図5.3-18のような装置のリザーバに材料（アスファルトのような粘性流体）を封入し、上部から大きさを変えながら圧力を加えた場合、比較的弱い圧力を加える際には図の中心線に対象な流線を描いて流動するが、徐々に圧力を上昇させると材料と壁面との間の滑りが観測される。壁面滑りを繰り返すことにより、押し出された材料の流れが乱れるようになる。さらに圧力を大きくすると、乱れが大きくなる。このとき、材料の流れが一度停滞し、その後一度に流れ出すような異常な流動現象が見られる。このように、流れの方向に圧力が加わり、流れが停滞・流出する現象をスティックアンドフローと呼んでいる。

エクストルーダ内ではニーディングディスクの上流部分では流れ方向（上流から下流に向かう方向）に大きな圧力がかかることが知られており、試験で見られたように、ニーディングディスクを含むバレルの温度が混合物粘度の十分に高い領域（120～140℃）になった際に、ニーディングディスク部に混合物が一度停滞するものと考えられる。さらに、上流側よりニーディングディスク部へ材料が流入し、大きな圧力が加えられると、エクストルーダ内に材料の滑りが生じ、一度に流出する。このため、エクストルーダ内に流れの乱れが生じるものと考えられる。

また、トルクはスクリュの回転抵抗と連動して上昇するものと考えられる。このため、ニーディングディスク部への材料の停滞・流出（スティックアンドフロー）が現れる際には、図5.3-6に見られるように、トルクが振動する現象として観測することができる。逆に運転記録上のトルクの振動が見られる際には、エクストルーダ内においてスティックアンドフローと呼ばれる異常な流動現象が発生していたものと考えられる。

(5) まとめ

本試験の結果、エクストルーダ内において混合物中の塩濃度が局所的に上昇すること、析出した塩が内壁面に付着・堆積することが確認された。混合物中の塩濃度が上昇した場合、混合物の粘度が高くなるために粘性発熱が増大する。一方、堆積した塩はスクリュとのしゅう（摺）動により摩擦熱を生じると共にエクストルーダ内の混合物とバレルとの熱伝達を阻害する断熱材の役割を果たし、混合物の温度上昇に寄与する。これらの現象はエクストルーダへの供給速度と密接な関係にあり、供給速度の低下によって顕著に現れると考えられる。

また、エクストルーダ内での塩の濃縮や堆積は長時間運転や水洗浄の結果から運転時間に応じて経時的に進行することと、水での洗浄効果が大きいことなどが確認された。これらは、エクストルーダへの洗浄操作等により、その影響

や現象の進行が異なることを示している。

以上から本試験により、混合物のエクストルーダにおける物理的な発熱の主な原因として、塩濃縮及び塩堆積という2つの現象及び、これらの供給速度低下や洗浄操作等との関連性が把握できた。

5．3．2　物理的発熱現象の解析による評価

エクストルーダのような混練を行う機械の中での流体摩擦として、粘性発熱という現象が知られている。この現象は、流体の粘度の大きさに依存する。そこで、エクストルーダ内における混合物温度の推定を行うため、毛細管型粘性測定装置による原料アスファルト及び混合物の粘度測定を行い、混合物温度の最高到達温度の試算を行った。

(1)　混合物の粘度測定

原料アスファルト及び混合物の粘度測定には、高分子系の粘性測定において、一般に使用される毛細管型粘性測定装置（東洋精機社製-Capirograph；以下、キャピラリーレオメータという）を使用した。

キャピラリーレオメータは、毛細管中の試料に圧力をかけて押出す。このときの単位時間あたりの流量を一定にし、付加圧力の差（ピストンへの付加圧力-毛細管出口圧力）を測定することにより、粘度を測定する装置である。

試料の測定温度はエクストルーダの制御温度が180℃付近であるため、180℃を中心に温度を数点設定した。また、混合物粘度における塩濃度依存性を調べるため、塩濃度（重量比）を測定条件とした。同一条件での繰り返しを3回とし、測定結果はその平均値を採用した。これらの測定せん断速度範囲は、エクストルーダにおけるせん断速度範囲を含む4.9～1640[sec^{-1}]と設定した。

混合物の粘度測定結果を図5.3-19に示す。この図では、200℃における混合物の粘度が塩濃度に依存することを表している。36%の混合物はアスファルト固化処理施設のコールド試験時に作製された混合物である。せん断速度10～1000[sec^{-1}]の領域では粘度は塩濃度に比例して上昇する結果となった。また高せん断域において粘度が上昇する部分が見られた。

また、キャピラリーレオメータでの測定において、測定後の試料から塩の分離・濃縮が観測された。エクストルーダ内のニーディングディスク部においても、ディスク部への流入、流出圧力差が生じる場合には、塩が濃縮され、粘度が上昇する可能性があると考えられる。

(2)　混合物の発熱現象解析

2軸試験においてエクストルーダ内部で塩が濃縮する現象が観測された。エ

クストルーダの中で混合物温度が大きく上昇した原因としてエクストルーダへの廃液供給速度が低下したため塩濃縮が促進され、混合物粘度が上昇した結果、粘性発熱量が増大したものと考えられる。

ここで、エクストルーダ内で生じる粘性発熱により、混合物がエクストルーダ内のどの部位でどの程度発熱するか推定するため、混合物をエクストルーダ内に充満した粘性流体と仮定し、一般的な流体の解法により混合物の温度を算出した[5-16]。

一般にエクストルーダ内の材料の流動は、材料が流体として運動する際には流体方程式が用いられる。しかし、アスファルトおよび混合物のような非ニュートン流体においては、ニュートン流体との間にずれが生じる。ニュートン流体とのずれを記述し、通常の流体と同様に扱えるようにするため、粘度測定から構成方程式を外挿して求め、流体方程式中に代入する。本解析においては、粘性発熱による混合物の温度を求めるため、エネルギー保存式中の発熱項に外挿した構成方程式を乗じた[5-14]。

計算結果を図5.3-20に示す。この図は塩濃度に対する、ニーディングディスク部の混合物最高到達温度を示している。計算は2軸試験時の条件をもとに塩の濃縮を仮定し、計算したものである。この図よりゾーン6のニーディングディスク部で混合物温度が最高値を示す。180℃での制御温度に対し、標準条件である45%の塩濃度においても約20℃温度が上昇した。塩の濃縮効果を大きく考慮した場合には、さら温度上昇が大きくなり、塩濃度に比例した約20～℃の上昇が見込まれる。

2軸試験機において、エクストルーダ内のニーディングディスク部で塩の濃縮が確認された。これにより混合物の粘度が上昇するため、最終的に混合物の粘性発熱量は増大する。このことから、塩の濃度上昇を考慮した解析を行ったところ、大きな発熱が生じ、混合物の最高到達温度もこれに大きく影響を受ける結果となった。

5．3．3　エクストルーダにおける事象進展の検討

2軸試験において確認された現象について実機との関連を評価するため、運転記録を詳細に分析し、得られた知見を基に事故時のエクストルーダ内で発生したと考えられる現象及び事象の進展について推定を行った。

(1)　実機運転記録の挙動と現象評価

運転記録を詳細に分析した結果、実機でも試験で見られたようなバッチ内での経時的なトルク上昇や洗浄時のトルク変化が見られる。これらの分析結果を総合的に判断した結果、実機においても試験で確認されたような塩の濃縮や堆

積が発生していたと考えられる。

以下に実機運転記録に見られた挙動と試験結果に基づく現象評価の結果について、洗浄時の挙動、偶数バッチと奇数バッチの挙動、供給速度の影響に分けて示す。

① エクストルーダ内洗浄時の挙動と現象評価

a) オートドームクリーニング（A.D.C.）

A.D.C.時にはトルク及び各ゾーンの温度が低下する。この挙動変化は廃液供給速度200ℓ/h（以下標準供給速度という）運転時の偶数バッチに顕著に見られる。図5.3-28及び図5.3-31の標準供給速度と廃液供給速度160ℓ/h（以下供給速度20%低下という）での運転時の挙動にA.D.C.のタイミングを示してある。A.D.C.時には、トルクは急激に低下した後、上昇に転じており、30分程度で平衡に達し、その30分～60分程度後に急激なトルク上昇が発生する傾向が見られる。

A.D.C.の目的はドーム内部に付着した塩をスチームによって除去することであるが、ドームに吹き付けたスチームは凝集して水となりエクストルーダ内に混入する。この水分がバレル内壁面に付着した堆積塩を除去し、トルクを一度低下させる。その後、再び塩が堆積することによりトルク上昇に転じるものと考えられ、2軸試験においても脱気部から少量の水を投入した際に同様な挙動が確認されている。A.D.C.から30分～60分程度後の急激なトルク上昇についてはスチーム供給によってドーム内に堆積した塩の塊が時間をかけて落下するために発生することが考えられる。

また、A.D.C.の際に復帰したトルク値がA.D.C.前に比べて、高くなることが見られる。これは、洗われた塩が下流側のニーディングディスク部での塩濃縮に寄与していることが考えられる。

b) ノーマルシャットダウン(N.S.D.)

N.S.D.に伴う洗浄は、チャート上のトルク降下に大きく現れており、洗浄後のトルク上昇はA.D.C.時よりも緩やかである。

N.S.D.による洗浄では、供給される水の量は一定ではないが、スチームの凝縮水が混入する程度のA.D.C.に比べて大量の水がエクストルーダ内に混入する。エクストルーダ内に蓄積された塩は混入した水分量に応じて除去されるため、洗浄後のトルクの上昇が緩やかになると考えられる。

図5.3-21に示す14BでのN.S.D.は、A.D.C.直後の急激なトルク上昇によるもので、洗浄のためにドームへの注水を行った後、通常運転に復帰している。図5.3-22には28Bで発生した2度のN.S.D.が示してあるが、2度ともA.D.C.後30分～40分程度で発生する急激なトルク上昇によるもので14Bと同様に注水が行

われている。1度目のN.S.D.後に高めで推移していたトルク値が低下している。

しかし、洗浄後のトルク上昇は早く、除去しきれない塩が残留していたことが考えられる。2度目のN.S.D.は14Bの挙動に似ており、洗浄効果が高かったと考えられる。

c) バッチ切替時の洗浄

図5.3-23は、97-M46-1キャンペーンにおいての運転中のトルクの平均値と初期値を5バッチ区切りでプロットしたグラフであるが、26B以前のバッチでは、洗浄の効果により、異常なトルク上昇は認められない。しかし、26B以降ではバッチ切替時の洗浄効果が低下し、トルクの初期値と運転中のトルク平均値の両方がバッチが進むごとに上昇傾向を示しており、除去しきれない塩が蓄積されていったことを示している。

② 偶数バッチと奇数バッチの挙動と現象評価

実機では偶数バッチと奇数バッチでトルク挙動が大きく異なるという現象が確認されている。図5.3-24に示すように、奇数バッチのトルク波形はハンチング幅は大きいが中心値に変動はほとんど見られず安定している。偶数バッチはトルクのハンチング幅は狭いものの運転時間の経過に伴うトルクの上昇が見られる。図5.3-25のグラフからは、27B以降を除き、常に偶数バッチでトルクが上昇傾向にあることがわかる。

これらの挙動の違いは、過去の運転実績より、廃液組成などによる影響ではなく、常に奇数バッチと偶数バッチの違いで発生している。このことから、エクストルーダの装置構成に起因するものであると思われるが、エクストルーダの奇数バッチと偶数バッチで異なる装置構成は廃液供給系統の位置の違いのみである。

一般にエクストルーダでは異常流動として内部での流量が変動する脈流現象が発生することが知られている。2軸試験においても同様に脈流現象が発生し、トルク値の変動が観察されており、考察の結果からスティックアンドフロー現象によるものであると考えられた。また、ベルギーのアスファルト固化処理施設（以下、ユーロビチューム）の運転を行っているベルゴプロセス社との情報交換の際に、ユーロビチュームにおいて撮影されたエクストルーダの運転時の映像を入手し観察した。この映像からも、一時的にエクストルーダ内の混合物の流量が変化するような現象が見られる。ユーロビチュームで使用しているエクストルーダは、東海事業所のアスファルト固化処理施設で使用していたものよりやや小型であるが、同じ独国のWerner & Pfleiderer社製である。

これらのことから、常に実機の奇数バッチでは、スティックアンドフロー現象による脈流が生じていたと考えられる。

スティックアンドフローが偶数バッチで起こらず、奇数バッチのみで起こる現象は、次のように考えることができる。

奇数バッチと偶数バッチの差異は前述したように廃液供給ラインの位置的な関係だけである。この廃液供給ラインの位置は図5.3-26に示すようにゾーン1始点から485mmのところにV32系ライン（偶数バッチ用）、ここから55mm下流側にV33系ライン（奇数バッチ用）である。

図5.3-27に実機エクストルーダのゾーン2及びゾーン3のバレル温度の熱解析結果を示している。この結果ゾーン2及びゾーン3の部位でおよそ120℃から135℃の温度であることが確認できる。粘度測定の結果からアスファルトには、120℃から135℃の間に粘度が大きく変化する性質が見られる（図5.3-17）。2軸試験においても1番目のニーディングディスクが設置されている加熱バレルの温度域が120℃前後の場合に脈流が発生している。このことから、ニーディングディスクの上流のアスファルト温度が、120℃を下回っている場合にスティックアンドフローが発生すると考えられる。

逆に、V32系のように供給位置がより上流である場合には、加熱時間が長くなるため、最初のニーディングディスク部ではアスファルトの温度がより高く、粘度がより低くなるため、スティックアンドフローは発生しにくくなると考えられる。また、ニーディングディスクより上流側のスクリュでは、セルフクリーニング機能と呼ばれ付着した混合物を、スクリュ同士の噛み合い部分で除去する機能があり、120℃から135℃の温度域にかかる場合でもスクリュにより強制的に搬送される。

したがって、この現象が奇数バッチで特異的に現れていたと考えられる。

③　供給速度の違いによる挙動変化と現象評価

a)　標準供給速度時（1B～10B）

標準供給速度時（1B,2B）のトルクとゾーン7温度チャートを合成したものを図5.3-28上部に示す。1Bのトルクについてはハンチング幅が大きい奇数バッチ特有の挙動を示している。ゾーン7温度は、ほぼ175℃で安定しているが、温度に細かい変動が認められる。この細かい変動は他の奇数バッチにも見られる。図5.3-29に典型的な奇数バッチのトルクと温度の波形を拡大して示す。

2Bについては、トルクの上昇が見られる偶数バッチ特有の挙動を示しており、ゾーン7温度にA.D.C.から次のA.D.Cまでの間で5℃程度の温度変化が見られる。偶数バッチには奇数バッチに見られるような温度の細かい変動は見られない。図5.3-28下部には、比較のため奇数と偶数のトルクを重ねて表示したものを示してある。いづれも偶数バッチのA.D.C.時にトルクが降下した際の最低値と奇数バッチのトルク値が一致している。

2軸試験で確認されたような塩の濃縮・堆積が生じた場合、スクリュの回転

抵抗が増大しトルクが上昇する。堆積した塩とスクリュ山部の抵抗は摩擦熱を生じ堆積塩の温度を上昇させ直接的にバレル温度上昇に寄与する。上昇したトルクは、A.D.C.によって下降するが、下降した点は運転開始時のトルク値に相当しており、抵抗を生じていた堆積塩が除去されていたと考えられる。これらのことから、標準供給速度においても偶数バッチでは、塩の濃縮・堆積が生じていたと考えられる。

また、奇数バッチではスティックアンドフローの発生により、エクストルーダ内で混合物に間欠的な流れが生じる。このため、ニーディングディスク部の混合物にかかる流動圧力は一定で流れが生じている場合と比較して、流量が多い場合に高くなり流量が少ない場合は低くなる。この圧力変動により滞留した混合物を押し流すために奇数バッチでは塩の濃縮・堆積が生じにくく、トルクとゾーン7温度が上昇しなかったと考えられる。

図5.3-30に6B～10Bのトルク及びゾーン7温度の推移を示す。各バッチでの初期トルクに上昇はほとんどなく、偶数、奇数バッチ共に運転開始初期のトルク値は同等である。

以上の傾向は標準供給速度での運転時において、1Bから10Bまでの間のほぼすべての偶数・奇数バッチにおいて見られる傾向である。

b) 供給速度20%低下時（26B～30B）

図5.3-31に供給速度20%低下時の偶数バッチと奇数バッチの比較を示す。奇数バッチにおいてトルク及び温度に上昇傾向が現れるなど、従来と大きく異なった挙動が数多く認められ、偶数バッチと酷似した挙動を示す様になっている。奇数バッチのトルクのハンチング幅が時間の経過と共に広くなっており、ゾーン7温度の細かい変動が見られなくなっている。また、偶数バッチのみで観察されていたA.D.C.時のトルク降下が奇数バッチでも確認されるようになっており、運転が進むごとに奇数と偶数のどちらのバッチでもA.D.C.後のトルク低下の下限値が高くなっている。

これは、供給速度の低下により、ニーディングディスク部にかかる流入圧力が低下したため、奇数バッチにおいても標準供給速度時には見られなかった塩の濃縮及び堆積が発生したためと考えられる。

また、2軸試験の結果から、流入圧力の低下によって、偶数バッチにおいても塩の濃縮・堆積は増大したと推測できる。

さらに、供給速度を低下させた際、蒸発させる水分量が減少するため、脱気完了部位が上流側へ移行する。このため、塩の析出開始位置が上流側へ移行し、スクリュのしゅう動に伴う摩擦面が大きくなる。これにより、スクリュの回転抵抗が増大し、トルクは高めの値を示す。このとき、スクリュと塩の摩擦発熱はバレル内部に伝わり、温度計に指示される。

図5.3-32に26～30Bのトルク及びゾーン7温度の推移を示す。奇数バッチのトルクの中心値が偶数バッチに比べ低めに推移する傾向にかわりはないが、標準供給速度時は安定して低めで推移していた奇数バッチのトルク中心値が上昇するようになっている。また、標準供給速度時は、安定していた奇数バッチのゾーン7温度計の指示値に上昇が見られるようになっている。初期トルクがバッチを重ねるごとに高くなっており、運転開始時から冷却を行っていた28Bと最終バッチとなった30Bの初期トルクが特に高い。各バッチの前半にはバラツキがあるものの後半部を比較するとバッチごとに順次トルクが上昇していることがわかる。

これらは、供給速度低下による塩の濃縮及び堆積の増大を示していると考えられ、これによって物理的な発熱量を増加させたと考えられる。

(2) 26B～30Bにおける事故事象の進展

検証した解析結果を基に26Bから30Bまでの事故事象進展について考察を行なった。

① 26Bにおける実機内挙動の進展について

図5.3-33に26Bのトルク及びゾーン7温度の推移を示す。26Bは供給速度を20%低下させた最初のバッチであるが、5バッチごとに行われる水洗浄後の最初のバッチであるため、その洗浄効果により標準供給速度時と同様の挙動を示している。しかし、供給速度を低下させた場合には、供給されるアスファルトや廃液の量が減少する。このため、スクリュの粘性抵抗が減り、トルクは低下するはずであるが、それが見られない。これは、供給速度低下によってトルクが低下した分を、塩析出開始位置が上流側に移行したことによるしゅう動抵抗の増加が相殺したためと考えられる。

運転開始後約19時間目のA.D.C.からトルクの最低値がそれまでのA.D.C.より若干高くなっている。このため、供給速度低下によってA.D.C.での洗浄効果を上回る塩の濃縮及び堆積が発生していると考えられる。ゾーン7温度についても運転開始から時間の経過と共に温度変化が少なくなっていることから、エクストルーダ内の塩堆積量が運転時間と共に増加し、熱伝達を阻害したことが考えられる。

② 27Bにおける実機内挙動の進展について

27Bの運転開始時のトルクが若干高めとなっており、バッチ間での洗浄で除去しきれなかった塩が残留していることが考えられる。このことは2軸試験でも確認されており、トルクに対応するようにゾーン7温度も高めとなったと考えられる。

図5.3-34に27Bのトルク及びゾーン7温度の推移を示す。ゾーン7温度に標準供給速度の奇数バッチには見られなかった上昇が見られ、偶数バッチの挙動と同様に、A.D.C.からA.D.C.までの間に温度上昇が認められることから塩の濃縮及び堆積が発生していると考えられる。運転開始から約8時間経過後、ゾーン7温度が190℃以上となったため冷却操作を開始している。これは、26Bから連続して塩堆積したことと塩濃縮が生じていることによってゾーン7温度が上昇したものと推測される。冷却操作開始後にトルクの上昇が見られるが、冷却によって混合物の温度が低下して、粘度が上昇したためと考えられる。

③ 28Bにおける実機内挙動の進展について

図5.3-35に28Bのトルク及びゾーン7温度の推移を示す。28Bでは27Bに引き続きバッチ初期より冷却操作を行っている。トルク値は非常に高かったが、冷却によって混合物温度の上昇は抑えられたと考えられる。このことは、ドラム内物質分布状況調査の結果において、冷却中に充てんされた固化体の状態は標準時の状態と比較して異常は見られないことから判断できる。また、図5.3-36に冷却操作を想定した数値解析の結果を示す。これよりエクストルーダ内混合物温度は、冷却操作をしない場合は230℃に達するが、冷却操作を行うことで190℃程度に抑えられることがわかる。

高めであったトルクは、運転開始から約8時間後に行ったN.S.D.に伴うドーム内への注水洗浄で低下している。トルク値が低下した後に手動冷却を1回行っており、その後ゾーン7温度は冷却操作を行う基準である190℃までは上昇せず、185℃程度で推移するようになっている。

しかし、アスファルト充てん室（R152）内のドラム内物質分布状況調査結果から冷却停止後に充てんされていたNo.30081ドラム以降の固化体には内部に空洞が確認されるなどの異常が生じており、冷却を停止した後の混合物温度は高温になったと考えられる。2軸試験における冷却試験では、図5.3-14のような薄い膜状の塩が時折エクストルーダ出口から流出することが観察された。この際、停止後のスクリュの抜出しも容易に行えたことから、壁面に堆積した塩が剥離しやすくなっていたと考えられる。

塩層に剥離が生じた場合、熱伝達が悪くなることからバレル温度と混合物温度の間に大きな温度差が生じる。さらに、熱伝達が悪くなることにより発熱した混合物温度が低下することなく出口まで高温状態を維持するようになる。2軸試験においても内部の混合物温度が若干ではあるが冷却前に比べて冷却後に高くなる現象が認められている。このことは、図5.3-37に示す塩層に剥離が生じたモデルでの数値解析でも内部が高温となってもゾーン7温度計には検知されない結果が得られている。

これらの結果より、手動冷却の後にゾーン7温度が190℃まで上昇しなかった

ことは、手動冷却により金属製バレルの温度変化に伴う熱収縮が生じたために、堆積していた薄い膜状の塩の剥離が生じやすくなったためと推測される。また、混合物温度についても低下したのではなく、ゾーン7温度計に混合物温度が検知されにくくなったと考えられる。

④　29Bにおける実機内挙動の進展について

標準供給速度の偶数バッチに見られたような運転開始から約4～5時間までのトルク上昇と、A.D.C.によるトルク変動が、供給速度低下後には奇数バッチにおいても観察されている。その挙動が29Bではより顕著に現れている。図5.3-28に29Bのトルク及びゾーン7温度の推移を示す。A.D.C.の際にトルクが上昇しているのが確認できる。これは、A.D.C.によって除去された塩が、ニーディングディスクでの塩濃縮を増大させ、その結果、粘性発熱が増大し、混合物温度を上昇させたと考えられる。この温度上昇はゾーン7温度計にも現れている。粘性発熱がゾーン温度に直接影響を与えづらいことと、塩層により熱伝達が阻害されることにより正確な混合物温度の検知はおこなえなかったものの温度上昇の傾向はとらえていると考えられる。

ドラム内物質分布状況調査の結果では、29BのNo.30093ドラム以降の固化体が全て燃焼している。No.30093ドラムが充てんされたのは29Bの運転開始から6時間前後経過した時点であり、2回目のA.D.C.によるトルク上昇のタイミングと一致している。このことから、トルク上昇による物理的発熱の増加によって充てん温度が上昇し、蓄熱発火へ至る下限の充てん温度、すなわちドラム内混合物の自己発熱と自然放冷とのバランスが崩れる温度を越え、発火に至ったと考えられる。

また、No.30093ドラムの充てん以降もトルク上昇は継続しており、トルクの上昇に応じて充てん温度は上昇していったものと考えられる。これにより、充てん時期が遅いほど固化体の発火までの蓄熱時間は短縮され、最初の火災で8本のドラムがほぼ同時に発火した原因になったと考えられる。

これらのことから、塩の蓄積がバッチ間の洗浄によって除去しきれずに26Bから順次増加し物理的な発熱量を増大したこと、さらに28Bにおいて塩層に空隙が生じ断熱効果を高めたことによって29BのNo.30093ドラム以降の固化体が発火に至ったと考えられる。

⑤　30Bにおける実機内挙動の進展について

図5.3-39に30Bのトルク及びゾーン7温度の推移を示す。30Bの初期トルク値は、28Bと同じ程度の高い値を示しており、その後の上昇も見られないことから30Bにおいて堆積した塩の量が限界に近いところまで溜まっていたと推測さ

れ、堆積塩の発熱が混合物温度の上昇に大きく寄与していたと考えられる。

ターンテーブル上の発火ドラムは後述の数値解析結果からNo.30104ドラムと考えられ、解析の基となったゾーン8温度計の指示値からは、その後に時間を置いて他のドラムからの発火を示す温度上昇が確認されている。No.30104ドラムは、最後に充てんされたドラムであり、A.D.C.によるトルク上昇後に充てんされている。このため、A.D.C.後に塩濃縮が増大し、粘性発熱によって温度が上昇したことが考えられる。

また、これまでの考察結果から、塩濃縮や塩堆積による物理的な発熱は、運転時間の経過にともない増大すると考えられる。30Bの運転開始時のトルクは他のバッチと比較しても高めではあるが、バッチ切替時の洗浄により、30B開始時に充てんされた混合物温度のほうが最後に充てんされたNo.30104ドラムの混合物温度より低いと考えられる。このため、運転開始初期に充てんされたドラムが時間を置いて発火したと推測される。

5．3．4　まとめ

2軸試験機による試験、各種の解析及び実機データの詳細な検討結果からエクストルーダへの供給速度の低下による塩の濃縮及び堆積が物理的発熱の原因であると考えられる。

図5.3-40に示すようにトルク値は26Bから30Bまで順次上昇している。これは各バッチ間において塩堆積及び濃縮が増大した結果と考えられる。供給速度20%低下運転時には、堆積した塩がバッチ切替時の洗浄でも除去しきれず残留し、それによって各バッチの初期トルクを増大させた。堆積塩は、A.D.C.によって加えられる少量のスチームの凝集水により除去され下流側のニーディングディスクでの塩濃縮に寄与したと考えられる。これによって、混合物温度上昇に大きく寄与する粘性発熱量を増大させる。さらに、堆積塩が断熱効果をもたらしたことにより充てん温度が高くなったと考えられ、このことが29BのNo.30093ドラムの固化体の発火につながったと考えられる。また、No.30093ドラム以降もトルク上昇は継続しており、トルク上昇とともに充てん温度が上昇していったと考えられる。このため、固化体の発火までの蓄熱時間が充てん時期が遅いほど短縮されたと推測され、最初の火災で8本のドラムがほぼ同時に燃えたことの原因になったと考えられる。

ドラム内物質分布状況調査の結果確認された固化体の空洞などの異常は高温保持試験結果から混合物温度の上昇によるものと判断されており、ドラムへの充てん時期と物理発熱進展の考察結果も一致している。以上から供給速度低下により増大されたエクストルーダ内の物理的な発熱によって充てん温度が標準供給速度時に比べ高くなったものと考えられる。

5．4　熱解析による検討

エクストルーダにおける物理的発熱によりアスファルト混合物のドラムへの充てんする際の温度が上昇したことが火災の直接原因である可能性を示した。ここでは、熱解析を行い、アスファルトが自己発火に至るために必要な充てん温度を推定するとともに、確認実験を行うことが不可能な事故時の事象進展を計算と温度計指示値の記録より推測した。

5．4．1　限界充てん温度の推定

(1) 概要

物理的な発熱原因の検討の結果、エクストルーダ内における物理的な発熱により、アスファルト固化体の充てん温度が28B以降順次上昇したことを示した。充てん温度が上昇すると、アスファルト固化体中の化学的な発熱反応が活発となり、蓄熱・内部温度上昇の結果、硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトの反応による暴走反応が開始し発火へと至る。そこで、蓄熱発火へと至る下限の充てん温度（限界充てん温度）を熱解析により推定した。解析には汎用流体解析コードFLUENT（Ver. 4.4）を用いた。なお、本コードの妥当性については原料アスファルトを用いた放冷試験により確認している[5-18]。

(2) 計算モデル

① アスファルト固化体の形状と境界条件

アスファルト充てん室（R152）内に残されたドラム内物質分布状況調査の結果より、表面の硬膜とその下の空洞が確認されている。また模擬アスファルト固化体を用いた高温保持試験の結果、比較的早い時間で固化体表面に硬膜が形成され、硬膜の下に空洞が生じていた。これより発火したドラムについても発火前に硬膜及び空洞が生じていた可能性が考えられる。そこでアスファルト固化体の幾何形状は、以下の２通りについて行った。

a) 空洞及び硬膜が存在しない均一体系

b) 空洞及び硬膜が存在する系

なお、計算モデルを図5.4-1に、用いた物性値を表5.4-1に示す。

② 化学反応モデル

固化体中における化学反応モデルは以下のように考えた。

$$Asphalt+(NaNO_3,\ NaNO_2)\rightarrow Product+\Delta H$$

また、このモデルにおける反応速度定数（活性化エネルギー、頻度因子）はドラムより採取した試料のARC測定結果より求めた（表5.2-11）。この表に示された試料は最初に発火したドラムの固化体のものではない。しかし化学的な発熱原因の検討結果より、発火したドラム内と発火しなかったドラム内の固化体に化学的な違いが確認されなかったため、異なるドラムの固化体試料から求めた反応速度定数を求めても大きな差異はないと考えられる。表5.2-11に示すように、試料間で活性化エネルギー及び頻度因子の差は小さい。そこで最も速い反応速度が観測されたNo.30090ドラム-C4試料の反応速度定数を用いて、保守的な評価をすることとした。

なお、この反応速度定数は、図5.2-19に示す自己発熱速度のうち260℃付近から始まる急激な反応（主反応）より求めたものであり、この反応速度定数を用いた場合、それ以下の温度については主反応の自己発熱速度を低温側に外挿したものとなる。そのためARC測定で検知した230℃付近より260℃の間の0.02℃/min（本測定体系では3mW/g）程度の発熱反応（予備反応）は反映しないことになってしまう。そこで発熱反応を以下のように2通りの方法で取扱うこととした。

a) 主反応（表5.4-2に示す反応速度定数を用いた、アレニウスモデルによる反応）のみとした場合
b) 予備反応と主反応の両方を考慮した場合（ただし、予備反応については3mW/gの一定発熱量を仮定）

a)の場合は、230℃から260℃付近の検出限界（0.02℃/min）程度の発熱反応を無視しており、またb)の場合はこの発熱反応を0次反応として扱っている。よって、この両者は予備反応にともなう発熱をそれぞれ過小・過大に評価している。そのため真の値はこの両者の間に存在するはずである。

(3) 計算結果

汎用流体計算コードFLUENT（Ver. 4.4）により、充てん後の固化体の温度変化の計算を行った。ここでは初期温度をパラメータとして、固化体内温度分布の経時変化を計算した。なお、初期の温度分布は固化体中で一様と仮定した。

空洞・硬膜が存在する体系、存在しない体系での充てん後の固化体中の最高温度の経時変化を図5.4-2(1), (2)に示す。これよりいずれの体系においても、熱暴走反応に至る初期温度(限界充てん温度)は、約250℃と求まった。両者を比較すると、温度低下時の冷却特性については違いがみられるものの、空洞・硬膜の限界充てん温度にあたる影響はほとんどないといえる。

次いで、230℃から3mW/gの発熱量を仮定した場合のドラム内最高温度の経時変化の計算結果を図5.4-2(3)に示す。これより、限界充てん温度は230℃付近となった。

前述の通り、発熱量を過大評価及び過小評価するように化学反応のモデル化を行ったため、それぞれの結果（230℃，250℃）の間に実際の限界充てん温度があるはずである。従って限界充てん温度は230～250℃の間であったと考えられる。

(4) 低温域（200℃以下）からの反応が限界充てん温度へ及ぼす影響

これまで実固化体より採取した試料及び、V21よりサンプリングした廃液とアスファルトを混合調製した試料のARC測定を数多く実施してきたが、そのうち200℃以下の低温域で発熱が検知されたことが2度ある（５．２．２参照）。平成9年7月に採取したNo.30090ドラムの固化体試料を用いて3回測定を行ったうちの1回と、V21よりサンプリングした廃液に給液調整処理と同じ処理をし、原料アスファルトと混合調製した試料を5回測定したうちの1回である（図5.2-6, 18参照）。この時の反応速度定数の値は表5.4-3のとおりである。

その後の調査において、この発熱反応は実固化体に起因する反応では無いと結論された（５．２．２参照）が、仮にこの反応がドラム全体で起こり得た場合に限界充てん温度がどの程度となるか評価を行った。

図5.4-3にこれらのデータを用いて限界充てん温度を求めた結果を示す。この結果より、限界充てん温度は、No.30090ドラムのデータで約230℃、V21廃液を用いたデータで約240℃であった。

(5) 結論

充てん後の固化体内部での温度変化の熱解析の結果より以下のことが推定できる。

・アスファルト固化体の限界充てん温度は230～250℃の間であると考えられる。なお最初に発火したドラムの発火前に空洞・硬膜が生成していたかどうかは限界充てん温度に影響しないという結果が得られた。

・200℃以下の発熱を検知した場合の発熱を考慮すると、限界充てん温度は約230～240℃であった。

５．４．２　ターンテーブル上の火災の解析

(1) 概要

エクストルーダの排出管（ゾーン8）の温度計指示値は、爆発後に図5.4-4に示すように、400℃以上に達するような二つの大きな温度上昇の記録を残して

いる。また、ターンテーブル上のドラムの上部に灰が盛り上がっており、長時間燃焼したことを示す状態になっていた。さらに、爆発後に建物外に2時間以上にわたって黒煙が排出されたことなどから、爆発後にターンテーブル上のドラムが燃焼し続けていたと結論している。記録された二つの大きな温度上昇の一つ目は爆発直後にターンテーブル上のドラムのどれかが燃焼を開始したもので、二つ目は火災継続中に別のドラムが発火したものによると推測される。

ここでは、記録されている2つの大きな温度上昇をもとに、爆発後のターンテーブル上の火災の事象進展について考察する。具体的には

① 爆発直後に発火したドラムの推定

② 燃焼中ドラムの熱影響により隣接するドラムが発火する可能性の評価

を行う。なお爆発後最初の火災発生時の、エクストルーダやターンテーブル上の各ドラム配置は図5.4-5に示す通りであった。

(2) 解析方法

① ドラム火炎のモデル化

ドラム火災を計算でモデル化するためには、実験データが不可欠である。そこで、模擬アスファルト固化体の燃焼消火実験[5-19]時の測定データを用いて、ドラム燃焼時の火炎モデルについて検討した。

図5.4-6に、燃焼実験に用いられた実験場の平面図と側面図、燃焼させた固化体の位置及び、実験時に測定した温度、ふく射強度、速度、煙濃度の測定箇所を示す。実験では、赤熱した鉄棒を挿入することによって着火させ、時間経過と周囲の温度上昇等を測定した。着火後、約18分後に最大燃焼で定常状態になり、その後しばらくして水噴霧により消火した。燃焼開始18分後の最大燃焼時の火炎の写真を図5.4-7に示す。

図5.4-8及び図5.4-9に、燃焼消火実験の経過時間に対する気流温度、ふく射強度及び気流速度の実験結果を示す。また、計算によって求めた18分経過時の火炎モデルによる計算結果を、比較のために図中にプロットした。計算には汎用流体解析コードFLUENT(Ver.4.4) を用い、図5.4-6に示された実験場の屋内屋根の下の領域を計算対象領域とした。18分経過した定常火炎を棒状の発熱体としてモデル化し、図5.4-8及び図5.4-9に示された実験値に合う熱流束の値を算出した。また、流体方程式の他にふく射輸送方程式を別途解いて、ふく射強度の変化を求めた。

上記の検討結果より、固化体の火災時の計算モデルを表5.4-4のように決定した。また、実験場空間内部の熱気流の速度分布、実験場のふく射計を含む面内における加熱された大気温度分布、同じく二つの断面内におけるふく射強度分布を、各々図5.4-10に示す。

② 爆発後の火災による各種構造物への熱流束

まず、ゾーン８温度記録に残されている最初の温度上昇に相当する火災が、ターンテーブル上のNo.30101ドラムから発生したと想定し、この火炎によりエクストルーダやターンテーブル上の他のドラムが、ふく射加熱及び対流・伝導伝熱によりどの程度加熱されるかを調べるために、アスファルト充てん室（R152）内部の火災時の解析を行った。

最初に発火したドラムをNo.30101ドラムと仮定した理由は、以下の通りである。

a) ターンテーブル上で唯一29Bで充てんされたドラムである。最初の火災が発生したのが29Bであるため発火する要因が存在する可能性がある。
b) 充てんしてから最も時間が経過しており、発熱反応と蓄熱により最も内部温度が上昇していた可能性が高いと考えられる。
c) その他のターンテーブル上のドラムが内容物を激しくあふれさせているのに対し、No.30101には灰の盛り上がりが認められなかったという特異性が認められた（４章参照）。

図5.4-11にアスファルト充てん室（R152）内部の計算モデルを示した。建家換気系統は停止しており、また爆発によってアスファルト充てん室（R152）天井のリムーバブルルーフや、アスファルト充てん室（R152）とエクストルーダ室（R151）との間のシールディングウォールは吹き飛ばされているので、計算上不要な空間は対象領域から外し、境界面は自由流出境界とした。熱的な境界条件は表5.4-4で示した値を用いた。本計算ではNo.30101ドラムの固化体が定常燃焼状態での周囲のエクストルーダやターンテーブル上の他のドラムに対する加熱効果を定量的に評価するため、固化体の燃焼は定常状態を仮定している。

得られた計算結果のうち、エクストルーダを含むアスファルト充てん室（R152）横断面内の気流速度ベクトル図を図5.4-12(1)に、また火炎を含む横断面内の気流の温度分布を図5.4-12(2)に各々示す。また各種構造物の表面温度と熱流束を、各々図5.4-13(1),(2)に示す。

(3) 解析結果

① 爆発直後に発火した固化体の推定

No.30101ドラム火炎からの加熱によって、ゾーン8の温度計指示値がチャートに残されたような高温状態を示すかどうかを確認するため、図5.4-14に示した熱的境界条件によりエクストルーダの表面温度の非定常計算を行った。計算には汎用非線形構造解析コードFINAS (Ver.13)を用いた。

初期温度を一様に180℃であるとして、燃焼開始1時間後のエクストルーダの温度分布を図5.4-15(1)に示す。ゾーン8の二重円管の外側管に挿入された温度

計指示値は、挿入部分に対応する外側管の表面の温度と等しいと考えると、図5.4-15(2)の熱電対挿入部分の拡大図より分かるように、350℃～400℃に達している。

つまり、No.30101ドラムの固化体からの火炎が爆発直後に最大燃焼状態に達したと想定した場合、1時間後にエクストルーダゾーン8部分の表面温度が350℃以上に達する。

しかしゾーン8の温度計指示値の記録は、図5.4-16に示すとおり爆発後数分の温度低下を示した後に、直ちに急激な温度上昇を示しており、1時間後にやっと350℃に到達するようなNo.30101ドラム火災を想定した計算結果とは明らかに異なっている。

このような急激な温度上昇を説明するためには、No.30101ドラムよりも唯一ゾーン8に近いNo.30104ドラムの固化体の燃焼により加熱されたと考えるのが合理的な解釈である。

No.30104ドラムは30Bにて充てんされたものであることより、29B以外のドラムの固化体にも自己発火をする要因が存在したことが示された。またNo.30104ドラムは50%程度までの充てん途中であったにもかかわらず最初に発火している。これは、5．3章で示したとおり時間経過ごとにトルクの上昇にともない充てん温度が高くなっていたということを裏付けるものである。

② 燃焼している固化体からの隣接する固化体への熱的影響

図5.4-16の熱電対記録の第2番目のピークに関しては、ターンテーブル上のNo.30104ドラム以外のNo.30101, 30102及び30103ドラムの何れかあるいはすべての固化体が、逐次あるいは同時に着火したと考えられている。No.30101ドラムの固化体単体の最大燃焼火災を想定した場合でも、1時間で350℃までの温度上昇を示す計算結果があることより、十分推測される事象進展である。

そこで、このように火災発生後に別のドラムの固化体が燃焼を開始した場合、これがふく射加熱や対流・伝導伝熱による入熱によるものか、固化体自身の自己発熱反応によるものかを計算によって検討する。

アスファルト充てん室（R152）内部の火災解析により、No.30104ドラムの固化体が燃焼した場合のNo.30101ドラム表面のふく射加熱による熱流束は図5.4-17のとおりである。このふく射熱流束と周囲雰囲気温度を境界条件とし、No.30101ドラムの平均表面温度を初期条件として、No.30101ドラム中固化体の温度変化を計算した。

計算にはFLUENT(Ver.4.4）を用いた。計算モデルとしては図5.4-17,18に示す境界条件を使用した。固化体内部における温度変化については、硝酸塩とアスファルトとの化学反応モデル（主反応のみを考慮）と、固化体内部での自

然対流による冷却を考えた。

最初の火災が1時間程度継続していたので、上述した熱的境界条件が1時間継続したとき、隣接する固化体が火炎により加熱されて発火温度まで昇温するかの検討を行った。ここでは通常温度で充てんされた場合と、通常より高い温度で充てんされた場合について調べた。

a) 通常温度で充てんされた場合

通常の充てん温度で充てんされた場合を考える。ここではやや高めの200℃で充てんされた固化体が冷却期間を置かずに直ぐに加熱された場合の評価を行った。ふく射加熱開始後2時間経過したときのの内部温度分布を図5.4-19に示す。固化体内部の温度は一様に冷却されているのに対し、ドラム内側に接している固化体の温度が上昇している。しかし、最大で2時間の加熱を想定してもやっと250℃以上の高温となる非常に薄い層ができた程度であり、熱暴走反応が起こる状態には至らなかった。

この結果より、この程度の充てん温度ではたとえ隣接する固化体の燃焼によって加熱されたとしても、発火には至らないと結論できる。

b) 通常より高い温度で充てんされた場合

充てん温度が通常より高かった場合について検討する。充てん温度を限界充てん温度よりも若干低い温度である245℃であったと想定し、初期の火災が発生する前の冷却時間を考慮し、2時間冷却された後に一つ目の固化体の燃焼が開始したと仮定し、1時間ふく射加熱をされた場合の計算を行った。

2時間の冷却後、約40分間のふく射加熱を受けた場合の計算結果を図5.4-20に示す。これより固化体上部が発火温度である350℃にまで昇温されていることがわかる。

以上の計算結果より、燃焼している固化体に隣接する固化体が与えられる熱により発火に至るには、もともとその固化体が通常より高い温度で充てんされている必要があることがわかった。この場合、燃焼している固化体の火炎からのふく射加熱によって、発火の開始時間が早められた可能性がある。

(4) 結論

爆発後にターンテーブル上にあった複数の固化体の延焼現象を数値解析によって検討した。ゾーン8部分の温度計指示値の記録を計算結果と比較検討することにより、以下のように推定できる。

① ゾーン8温度計指示値の記録の最初の高温ピークに対応する火災は、ゾーン8直下のNo.30104ドラムの固化体の燃焼によるものである。

② No.30104ドラムは30Bに充てんされたドラムであるため、29B以外に充てんされた固化体にも発火に至る要因があったことが裏付けられた。さらにNo.30104ドラムへの充てんはは50％程度のところで停止しており、放熱されやすい条件であるにもかかわらず、蓄熱・温度上昇するための時間がターンテーブル上のドラムでは最も短かった。このことは、化学的な要因ではなく、物理的な要因により充てん温度が次第に高くなり発火性も高くなっていたことを裏付けている。

③ 最初の火炎から隣接ドラムに延焼するためには、ドラムへの充てん温度が高く、それ自体でも放置されれば発火するだけの高温で充てんされていた必要がある。またこの場合、隣接ドラムの火炎により、発火に至る時間がふく射加熱によって早められる可能性が考えられる。

5．4．3　火災によるコンベア上の燃焼しなかった固化体への熱的影響

アスファルト充てん室（R152）内部のドラム内物質分布状況調査によって28B及び29B初期に充てんされた固化体内部に通常とは異なる性状（表面硬膜・空洞・ボロボロの状態の固化体）が存在することが確認されている。このような状態はアスファルト混合物が高温で保持されることにより生成することが模擬アスファルト固化体を用いた試験（5．2．5参照）で確認されている。そこで今回アスファルト充てん室（R152）で確認された現象は、ドラムへの充てん温度が高かったことによるものなのか、周囲のドラムの燃焼の影響によるものなのかを調べるため、28Bドラムが受けたと考えられる熱的影響の評価を行った。

これまで用いた固化体の火炎モデルを用いて、複数の固化体の火炎からのふく射量を計算し、また、爆発までのアスファルト充てん室（R152）内部雰囲気温度を仮定し、コンベア上に置かれていた28Bに充てんされた固化体の温度履歴について評価した。

(1) 最初の火災時における複数の固化体からのふく射強度

コンベア上の複数の固化体から火炎が立ち上っていたときのふく射強度を見積もった。

最初の火災を模擬するために、アスファルト充てん室（R152）の換気が作動している状態で、コンベア上の8本の固化体に対して表5.4-4に示す火炎モデルを適用し、定常燃焼状態を仮定した場合のアスファルト充てん室（R152）内部の温度分布、ふく射強度分布等を求めた。図5.4-21にドラム上に火炎をモデル化した発熱源を持つ8本のドラムと、28Bに充てんされた固化体を模擬したドラ

ムを各々直方体形状で近似した場合の、表面からのふく射強度を示した。

この結果より、28Bに充てんされた固化体（代表として発火した固化体に隣接するNo.30088ドラム)が受ける上面及び側面での平均的なふく射強度を7(kW/m^2)とした。

(2) 28Bに充てんされた固化体の内部温度変化

28Bに充てんされた固化体（ここでは代表例として、No.30088ドラム）の内部温度変化を、固化体が置かれていた状況（充てん後の冷却、最初の火災時の火炎からのふく射加熱、水噴霧による消火後爆発までの間高温のアスファルト充てん室（R152）内部に置かれていた）をもとに計算した。

28Bでは、充てん温度は通常より高くなっていたものの、発火には至らなかった。そこで限界充てん温度の計算結果が230～250℃の間であることより28Bでは240℃で充てんされたとした。

No.30088ドラムは充てん後最初の火災時まで30時間程度コンベア上において自然冷却されていた。このときの温度分布の計算結果は図5.4-22(1)のとおりである。

火災発生後すぐに複数の固化体から火炎が発生したので、このときのふく射加熱量（7kW/m^2)により消火までの6分間で固化体内部の温度がどのように変化するかを、非定常計算により調べた。その結果を図5.4-22(2)に示す。側面及び上面において温度上昇がみられ、特に側面において最高180℃に達することがわかった。

水噴霧後、爆発までの間の固化体内部の温度変化は、アスファルト充てん室（R152）の雰囲気温度をエクストルーダゾーン8の温度計指示値の記録より100℃であると仮定して計算した。その結果を図5.4-22(3)に示す。

以上の計算結果より、最初の発火から爆発に至るまで、火炎からのふく射加熱やその後のアスファルト充てん室（R152）雰囲気からの伝導加熱の効果では、側面でこそ温度上昇があるものの、ドラム中心部分の温度は自然冷却の場合に比べ大きな変化はないことがわかった。

この結果より、28Bに充てんされた固化体においてみられた通常とは異なる性状は、周囲の熱的影響により発生したものではなく、その固化体自身の充てん温度が高かったことにより発生したものであると考えられる。

(3) 結論

コンベア上の複数の固化体による最初の火災及び爆発までのアスファルト充てん室（R152）内部の高温状態を考慮して、熱的影響を見積もることにより、28Bに充てんされた固化体（代表としてNo.30080ドラム）の内部温度履歴を評価した。その結果固化体内部に特に大きな温度上昇は生じないことがわかっ

た。これより、ドラム内物質分布状況調査の結果確認されたボロボロの固化体や空洞は、充てん温度が高かったことに起因して発生したものであることがわかった。

5．4．4　まとめ

熱解析により、火災爆発事故発生時におけるアスファルト充てん室（R152）内での事象進展についての推定を行った。

はじめに、自己発火に至るために必要な充てん温度（限界充てん温度）の推定を行い、230～250℃程度であると結論した。

ついで、爆発後のターンテーブル上の複数の固化体での発火及び燃焼を解析によって検討した。過去の燃焼消火実験の結果やゾーン8部分の温度計指示値の記録を計算結果と照合することにより、爆発後最初に燃焼したのは排出管直下のNo.30104ドラムの固化体であると結論した。このドラムは30Bで充てんされたものであるため、29Bで充てんされたアスファルト固化体以外にも発火要因が存在したことを確認した。また、No.30104ドラムはターンテーブル上のドラムでは最後に充てんされたものであり、しかも50%程度しか充てんされていなかったにもかかわらず最初に発火したことは、充てんが行われた時刻が後になるほど発火性が高くなっていたことを示している。このことは物理的な要因によりトルクの上昇にともなって充てん温度が次第に上昇していたことを裏付けている。

燃焼している固化体が隣の燃焼していない固化体へ熱影響を及ぼし、発火させる可能性について評価したところ、その固化体自体が放置すれば発火するだけの温度で充てんされていない限りは発火には至らないという結論を得た。これより、燃焼したNo.30093～30104ドラムの固化体はすべて限界充てん温度よりも高い温度で充てんされていたといえる。

また、コンベア上の固化体の燃焼が28Bで充てんされた固化体へ与える熱的影響について調べた結果、28Bに充てんされた固化体の内部は火炎からのふく射加熱やアスファルト充てん室（R152）内部の高温の雰囲気からの伝導加熱では、特に大きな温度上昇を生じないことがわかった。これより28Bの固化体でみられた固化体性状の異常は、その固化体自体の充てん温度が高かったことにより発生したものであることがわかった。

この異常が確認された最初のドラム(No.30081）の充てんとエクストルーダの冷却操作の停止のタイミングが一致していることからも、28Bの冷却操作終了以降充てん温度が上昇したことがわかる。

以上の結果より、28Bでエクストルーダの冷却操作を停止したことで充てん温度が上昇し、トルクの上昇とともにさらに充てん温度が上昇し続け、

No.30093ドラムの充てん時より限界充てん温度を越え、それ以降も上昇し続けたことがわかる。これらは、物理的発熱による充てん温度上昇が火災発生の原因であったことを示すものである。

５．５　火災原因の検討結果

以上の調査検討により、火災に至った主な原因は、エクストルーダへの廃液供給速度を低下させたことによりエクストルーダ内でも塩の堆積や濃縮が促進され、物理的な発熱量が増加した結果、充てん温度高くなったことであると結論された。このためドラムに充てんされた後、ゆっくりとした硝酸塩/亜硝酸塩とアスファルトの反応が始まり、長時間の蓄熱の後に固化体温度が上昇し熱暴走反応に至ったと考えられる。

エクストルーダ内での物理的発熱メカニズムにより事象の進展を考えると、27Bからトルクやゾーン7の温度が上昇したこと、トルクは30Bまで高い値が続いたがゾーン7温度が28B半ばに低下したこと、これをきっかけに冷却操作を停止した時から固化体内に空洞などの異常が発生したこと、29Bの数本目以降のドラムの固化体がほぼ同時に燃焼したこと、30Bのドラムの固化体も自己発火したことなどが全て説明できる。

ベルギーの火災事故では、3本のドラムの固化体が2時間おきに順々に発火したが、今回の事故では、最初の火災において約8本程度のドラムの固化体がほぼ同時に発火したという大きな特徴がある。同程度の発火性を有する固化体は、蓄熱して温度を暴走反応開始温度まで上昇させるのに同程度の時間を要する筈である（５．４節にて示したように隣のドラムが燃焼したことによる熱的影響は小さい）。よってほぼ同時に燃焼したということは、徐々に発火しやすい状態となっていたことを意味する。

トルクの上昇に観察される物理的抵抗値の増大は、ある単一バッチ内ではかなりの高い相関で発熱量の増大を意味する。すなわちバッチ初期はバッチ開始前の洗浄操作によりトルクは低く発熱量も少ないが、塩の濃縮や堆積によるトルクの上昇に伴って発熱量が増加し充てん温度も徐々に高くなっていたと考えられる。よって29B初期のドラム（No.30090, 30091, 30092ドラム）の固化体が発火せず、No.30093以降の充てん時刻が異なる約8本のドラムの固化体がほぼ同時に燃焼したことは合理的に解釈できる。

2度目の火災（爆発時）では、30Bで最後に充てんされていたNo.30104ドラムの固化体が最初に発火し、しばらく後に他のドラムの固化体が発火している。No.30104ドラムは約50%程度しか充てんされていなく、蓄熱性は他のドラムの固化体より低かったこと、充てん後の経過時間が30Bの中で最も短かったことより、充てん温度は特に高かったと考えられる。これは30B開始前の洗浄操

作により、30B初期のトルクは低く発熱量が少なかったため、燃焼はしたものの蓄熱のために長い時間を要したと解釈できる。

以上のように、種々の事故時の現象を全て論理的に解釈できるため、火災の主因は物理的発熱による充てん温度の上昇という結論は合理的である。

表5.2-1　分析実施項目

	ST廃液	AAF濃縮廃液		原料アスファルト	試薬類	固化処理対象廃液	充てん済みアスファルト固化体	エクストルーダ内残存アスファルト	分析目的
		蒸発缶	低放射性濃縮廃液貯槽						
pH	○		◎			○			液性を把握
水酸イオン濃度		○				○			液性を把握
Total-salt	○	◎	◎			○	◎	◎	液性を把握
TBP濃度	○	◎	◎			◎			アスファルトとの反応が考えられる
DBP等濃度	◎	◎	◎						アスファルトとの反応が考えられる
Total-α	○	◎							放出放射能評価のため
γ-スペクトル	○	○	◎				◎	◎	放出放射能評価のため
Pu, U濃度	○	○				○			放出放射能評価のため
陰イオン濃度(1)	◎	◎	◎			◎(2)	◎	◎	液性を把握
全油分濃度	◎	◎	◎		◎	◎	◎		アスファルトとの反応が考えられる
ドデカン等濃度	◎	◎	◎			◎			アスファルトとの反応が考えられる
NH_4^+濃度	◎	◎				◎		◎	爆発物質であるため
熱分析（DSC）	◎	◎	◎	◎		◎		◎	～300℃の発熱反応の確認
熱分析（ARC）						◎(3)	◎		自己発熱速度を調べる
試薬調整濃度					◎				試薬調整が適正か確認する
元素分析				◎	◎	◎	◎	◎	触媒となる金属成分を調べる
CHN分析							◎	◎	アスファルトの成分を確認
針入度				◎			◎	◎	アスファルトの物性を確認
含水率							◎	◎	アスファルトの物性を確認
比重							◎	◎	アスファルトの物性を確認
燃焼熱量				◎					
その他アスファルト固有の分析項目(4)				○					アスファルトの物性を確認

○は通常運転時にも実施している項目、◎は原因究明のために特別に実施した項目

(1) CO_3^{2-},NO_2^-,NO_3^-,SO_4^{2-},PO_4^{3-}

(2) SO_4^{2-}は通常運転時は測定しておらず、事故原因究明のために特別に実施

(3) 廃液の蒸発乾固物と原料アスファルトを混合した試料

(4) 蒸発質量変化率，引火点，トルエン可溶分，伸度，密度，軟化点，発火点

表5.2－2　アスファルト固化処理技術開発施設の火災爆発事故の原因究明のための試料分析結果(1)

分析対象	試料採取	分析項目	分析方法	分析結果
廃溶媒処理技術開発施設のリン酸廃液	H9.2.26	pH	pH電極法	3.9[2]
	H9.4.2	Total Salt濃度	蒸発乾固－重量測定法	518g/ℓ[2]
	H9.5.14	陰イオン濃度	陰イオンクロマト測定法	表5.2－3参照
		全油分濃度	溶媒抽出－赤外分光法	771ppm[2]
		TBP濃度	溶媒抽出－赤外分光法	67ppm[1] / <20ppm[2] / <20ppm[3]
		DBP濃度	4)5)	760ppm[2][4] / 840ppm[2][5]
		MBP濃度	4)	44ppm
		ブタノール濃度	溶媒抽出－ガスクロ測定法	<20ppm[2]
		硝酸ブチル濃度	溶媒抽出－ガスクロ測定法	<20ppm[2]
		ドデカン濃度	溶媒抽出－ガスクロ測定法	<20ppm[2]
		NH_4^+濃度	陽イオンクロマト測定法	<0.2ppm
		熱分析	DSC法	図5.2－1参照
		T-α	ZnSシンチレーション測定法	2.6×10^4Bq/mℓ
		Pu濃度	溶媒抽出－α線計測法	1.76mg/ℓ
		U濃度	溶媒抽出－吸光光度法	0.29g/ℓ
		T-β	GM管計測法	2.1×10^4Bq/mℓ
		γスペクトル	Ge検出器	表5.2－4参照
廃棄物処理場の濃縮廃液[8]（蒸発缶より採取）	H9.4.5	水酸イオン濃度	電位差滴定法	1.54N[6] / 1.71N[7]
	H9.4.6	Total Salt濃度	蒸発乾固－重量測定法	425g/ℓ[6] / 424g/ℓ[7]
	H9.7.4	陰イオン濃度	陰イオンクロマト測定法	表5.2－3参照
	H9.7.7～9	全油分濃度	溶媒抽出－赤外分光法	860ppm[6] / <100ppm[7]
		TBP濃度	溶媒抽出－赤外分光法	210ppm[6] / <20ppm[7]
		DBP濃度	4)5)	800ppm[4][6],220ppm[5][6] / 580ppm[4][7],<20ppm[5][7]
		MBP濃度	4)	<40ppm[6] / <40ppm[7]
		ブタノール濃度	溶媒抽出－ガスクロ測定法	<20ppm[6] / <20ppm[7]
		硝酸ブチル濃度	溶媒抽出－ガスクロ測定法	<20ppm[6] / <20ppm[7]
		ドデカン濃度	溶媒抽出－ガスクロ測定法	<20ppm[6] / <20ppm[7]
		NH_4^+濃度	陽イオンクロマト測定法	<0.2ppm[6] / <0.2ppm[7]
		熱分析	DSC法	図5.2－2(1)[4],(2)[7]参照
		T-α	ZnSシンチレーション測定法	1.5×10^3Bq/mℓ[6] / 2.2×10^3Bq/mℓ[7]
		Pu濃度	溶媒抽出－α線計測法	0.15mg/ℓ[6] / 0.16mg/ℓ[7]
		U濃度	溶媒抽出－吸光光度法	0.08g/ℓ[6] / 0.10g/ℓ[7]
		T-β	GM管計測法	1.4×10^4Bq/mℓ[6][7]
		γスペクトル	Ge検出器	表5.2－3参照

注）平成９年２月２６日に採取した廃溶媒処理技術開発施設からのリン酸廃液の試料の分析については、アスファルト固化処理施設内で実施したもの。

1)平成９年２月２６日に採取。　2)平成９年４月２日に採取。　3)平成９年５月１４日に採取。

4)溶媒抽出－等速電気泳動分析法。　5)溶媒抽出－赤外分光分析法。

6)平成９年４月５日に採取。　7)平成９年４月６日に採取。　8)濃縮廃液貯槽(331V10,11)から採取した試料の分析結果は表5.2-8を参照。

表5.2－2　アスファルト固化処理技術開発施設の火災爆発事故の原因究明のための試料分析結果(2)

分析対象	試料採取	分析項目	分析方法	分析結果
原料アスファルト	H9.5.13	陰イオン濃度	陰ｲｵﾝｸﾛﾏﾄ測定法	表5.2－5参照
		NH_4^+濃度	陽ｲｵﾝｸﾛﾏﾄ測定法	0.06mg/g
		熱分析	DSC法	図5.2－4参照
		針入度	JIS K 2207 6.3	35
		蒸発質量変化率	JIS K 2207 6.9	0.03wt%
		引火点	JIS K 2207 7	332℃
		トルエン可溶分	JIS K 2207 6.6	0.9997wt%
		伸度	JIS K 2207 6.5	4cm
		密度	JIS K 2207 6.12	1.022g/cm³
		軟化点	JIS K 2207 6.4	80.5℃
		発火点	ASTM E656	477℃
		金属元素	ICP発光分光法	表5.2－5参照
		組成分析	薄層ｸﾛﾏﾄ-FID法	表5.2－5参照
		燃焼熱量	ﾎﾞﾝﾌﾞｶﾛﾘﾒｰﾀ計測法	8380cal/g
試薬類	H9.4.29	試薬調整濃度	電位差滴定法等	表5.2－6参照
		金属元素（不純物）	ICP発光分光法等	表5.2－7参照
		全油分濃度	nﾍｷｻﾝ抽出-重量法	<20ppm
固化処理対象廃液	H9.7.2～4 H9.7.7 H9.7.8 H9.8.7 H9.8.8	pH	pH電極法	表5.2-8参照
		水酸イオン濃度	電位差滴定法	表5.2-8参照
		Total Salt濃度	蒸発乾固－重量測定法	表5.2-8参照
		全油分濃度	溶媒抽出－赤外分光法	表5.2-8参照
		TBP濃度	溶媒抽出－赤外分光法	表5.2-8参照
		DBP濃度	溶媒抽出－赤外分光法	表5.2-8参照
		ドデカン濃度	溶媒抽出－ｶﾞｽｸﾛ測定法	表5.2-8参照
		陰イオン濃度	陰ｲｵﾝｸﾛﾏﾄ測定法	表5.2-8参照
		元素分析	ICP発光分光法	表5.2-8参照
		熱分析	DSC法	図5.2－9～17参照
		γスペクトル	Ge検出器	表5.2-8参照

表5.2－3　STリン酸廃液及びAAF濃縮廃液試料の陰イオン濃度分析結果

単位(mg/ｇ)

項目＼分析対象	STリン酸廃液	AAF濃縮廃液
CO_3^{2-}	<1ppm	68.4[1)]/66.7[2)]
NO_2^-	<1ppm	45.6[1)]/43.6[2)]
NO_3^-	6.47	23.6[1)]/20.6[2)]
SO_4^{2-}	<1ppm	<1ppm
PO_4^{3-}	394	<10ppm

1）平成９年４月５日採取。
2）平成９年４月６日採取。

表5.2-4　STリン酸廃液及びAAF濃縮廃液試料のγスペクトル分析結果

単位（Bq/g）

核種＼試料名	STリン酸廃液	AAF濃縮廃液	
		平成9年4月5日採取	平成9年4月6日採取
^{241}Am	5.2E+03	3.8E+02	<3.7E+02
^{144}Ce	1.9E+02	5.2E+02	<3.7E+02
^{137}Cs	6.1E+02	2.6E+04	1.5E+04
^{134}Cs	4.8E+01	3.1E+03	1.9E+03
^{125}Sb	9.1E+03	4.5E+02	<3.7E+02
^{106}Ru	1.5E+04	8.4E+03	3.2E+03
^{103}Ru	<3.7E+01	<3.7E+02	<3.7E+02
^{95}Zr	<3.7E+02	<3.7E+02	<3.7E+02
^{95}Nb	<3.7E+02	<3.7E+02	<3.7E+02
^{60}Co	6.4E+01	<3.7E+02	<3.7E+02

表5.2-5　原料アスファルト分析結果

		平成９年５月１３日採取	平成９年３月６日納入時の試験成績
軟化点(℃)		80.5	82
針入度(－)		35	37
蒸発質量変化率(wt%)		0.03	0.02
引火点(℃)		332	318
トルエン可溶分(wt%)		99.97	99.39
伸度(25℃ cm)		4	4
密度(15℃ g/cm³)		1.022	1.017
元素分析(wt%)		C;86.4	
		H;11.2	
		N;0.5	
		O;1.1	
		S;3.1	
		Ag;<0.1	
		K;<1.0	
組成分析(wt%)		飽和分;14.0	
		芳香族分;45.9	
		レジン分;18.7	
		ｱｽﾌｧﾙﾃﾝ分;21.4	
陰イオン濃度(mg/g)	CO_3^{2-}	0.02	
	NO_2^-	<0.005	
	NO_3^-	0.01	
	SO_4^{2-}	0.01	
	PO_4^{3-}	<0.005	

：　測定行わず

表5.2-6　試薬調整濃度分析結果

	硝酸	水酸化ナトリウム	ﾌｪﾛｼｱﾝ化ｶﾘｳﾑ	硫酸ﾆｯｹﾙ
分析値	13N	9.6N	0.5mol/ℓ	2.1mol/ℓ
目標値	13N	10N	0.5mol/ℓ	2.13mol/ℓ

表5.2-7　調整済試薬試料の金属元素（不純物）濃度及び全油分濃度分析結果

単位(ppm)

	硝酸	水酸化ナトリウム	ﾌｪﾛｼｱﾝ化ｶﾘｳﾑ	硫酸ﾆｯｹﾙ
金属元素濃度	Si<2	Si<2	Mn<2	B<2
	Na<1	Fe<2	Mo<2	Cr<2
	K<3	K=98	Cd<2	Zn<2
	Fe=3.8		Na=98	Fe=5.8
			Mg=3.0	Nb=3.8
			Si=2.1	Na=9.8
			S=86	K=5.8
			Ca=30	Si=4
			Zn=3.5	Ca=9.9
全油分濃度	<20ppm	<20ppm	<20ppm	<20ppm

表5.2－8 廃棄物処理場の濃縮廃液及びアスファルト固化処理施設内から採取した固化処理対象廃液の分析結果(1)

		濃縮液貯槽331V10		濃縮液貯槽331V11		廃液受入貯槽V21	
		液相	沈殿物	液相	沈殿物（浮遊物を含む）	撹拌前	3時間撹拌後
pH		<1.0		13.8			13.3
OH^-(N)				1.99			0.44
H^+(N)		1.58					
Total Salt濃度(mg/mℓ)[1]		449		379			306
沈殿物量(mg/mℓ)[1]		17.3		200			<5
γスペクトル (Bq/mℓ) (Bq/沈殿物g)	^{241}Am	1.5E+04	2.3E+05	1.3E+02	3.7E+05		<2E+02
	^{144}Ce	4.1E+03	4.3E+02	1.2E+02	4.6E+04		<2E+02
	^{137}Cs	2.4E+05	1.6E+05	3.2E+04	7.5E+04		6.6E+04
	^{134}Cs	2.2E+04	1.4E+04	3.1E+03	3.4E+03		5.6E+03
	^{125}Sb	5.5E+03	6.7E+05	1.1E+02	1.7E+05		2.6E+02
	^{106}Ru	2.7E+04	7.4E+04	5.0E+03	2.7E+05		4.1E+03
	^{103}Ru	<2E+02	<2E+02	<4E+01	<9E+01		<6E+01
	^{95}Zr	<9E+01	<2E+02	<3E+01	<2E+02		<4E+01
	^{95}Nb	<5E+01	<2E+02	<2E+01	<2E+02		<2E+01
	^{60}Co	5.9E+02	8.5E+03	4.2E+02	1.1E+05		1.6E+02
T-α (Bq/mℓ)		1.5E+05		1.0E+05			4.4E+04
T-β (Bq/mℓ)		3.8E+05		2.0E+04			2.4E+04
陰イオン濃度 (mg/mℓ) (mg/沈殿物g)	CO_3^{2-}	<10	<4	57.4	48.2		14.7
	NO_2^-	<10	<4	33.3	20.1		13.3
	NO_3^-	376	281	81.4	43.9		142
	SO_4^{2-}	<10	1.98	<1	0.57		<1
	PO_4^{3-}	<20	<8	<2	<0.2		7.68
全油分濃度(ppm)		27	8.3mg/沈殿物g	610	76mg/沈殿物g	180	250[2]
TBP濃度(ppm)		<20	<3mg/沈殿物g	<20	<3mg/沈殿物g		<20
DBP濃度(ppm)		<20	<3mg/沈殿物g	590	<3mg/沈殿物g		250
ドデカン濃度(ppm)		<20		<20			<20
ブタノール濃度(ppm)		<20		<20			<20
硝酸ブチル濃度(ppm)		<20		<20			<20
金属成分 (mg/ℓ) (mg/沈殿物g)	B	<9	<0.7	360	<0.4		120
	Ba	37	<0.5	<6	0.8		<7
	Ca	680	36	<3	15		<3
	Cr	11	<0.8	<10	<0.4		<11
	Fe	83	18	<7	79		22
	K	760	<4	670	<2		550
	Li	<63	<2	<63	<1		<71
	Mg	220	16	<10	8		<5
	Mn	30	<0.3	<4	0.3		<4
	Na	93g／ℓ	69	110g／ℓ	550		79g／ℓ
	Ni	76	<0.3	5	0.7		<4
	P	120	<7	150	<1		2.4g／ℓ
	Si	59	4	180	0.3		77
	Zn	170	24	7	8		<5

1)槽内を撹拌による均一化した後採取した試料を分析。

2) 4時間撹拌後の全油分濃度は240ppm。

：測定せず

表5.2－8　廃棄物処理場の濃縮廃液及びアスファルト固化処理施設内から採取した固化処理対象廃液の分析結果(2)

		反応槽V30			反応槽V31			供給槽V32			供給槽V33		
		表層（液相）	中層（液相）	底層（沈殿物）	表層（液相）	中層（液相）	底層（沈殿物）	表層（液相）	中層（液相）	底層（沈殿物）	表層（液相）	中層（液相）	底層（沈殿物）
pH			8.8			9.0			9.2			9.2	
OH^-(N)			<0.01			<0.01			<0.01			<0.01	
H^+(N)													
Total Salt濃度(mg/mℓ)[1]			309			313			290			282	
沈殿物量(mg/mℓ)[1]			15						16			12	
γスペクトル (Bq/mℓ) (Bq/沈殿物ｇ)	^{241}Am		<1E+01	1.2E+03		<2E+01			<5E+00	4.3E+03		<6E+00	3.0E+03
	^{144}Ce		<8E+00	<9E+02		<1E+01			<5E+00	<3E+03		<5E+00	<2E+03
	^{137}Cs		4.6E+00	1.8E+06		1.0E+02			5.9E+01	2.4E+06		1.9E+01	1.8E+06
	^{134}Cs		<5E+00	1.5E+05		9.5E+00			3.7E+00	2.0E+05		<3E+00	1.5E+05
	^{125}Sb		3.9E+02	1.9E+03		4.3E+02			3.4E+02	<3E+03		3.8E+02	2.3E+03
	^{106}Ru		1.5E+03	7.1E+04		2.4E+03			1.3E+03	1.1E+05		1.5E+03	7.0E+04
	^{103}Ru		<2E+00	<4E+02		<2E+00			<8E-01	<8E+02		<9E-01	<6E+02
	^{95}Zr		<2E+00	<3E+02		<3E+00			<1E+00	<8E+02		<1E+00	<5E+02
	^{95}Nb		<2E+00	<2E+02		<2E+00			<5E-01	<4E+02		<6E-01	<3E+02
	^{60}Co		3.2E+01	4.0E+03		9.8E+01			2.8E+01	5.4E+03		2.8E+01	4.0E+03
T-α (Bq/mℓ)			1.7E+05			4.9E+04			1.5E+04			7.2E+04	
T-β (Bq/mℓ)			3.3E+03			3.6E+03			1.8E+03			2.3E+03	
陰イオン濃度 (mg/mℓ) (mg/沈殿物ｇ)	CO_3^{2-}		11.2	7.32		12.0			8.13	<0.2		5.92	0.48
	NO_2^-		10.5	18.0		11.5			9.44	14.8		9.38	14.9
	NO_3^-		174	274		181			151	219		152	223
	SO_4^{2-}		5.10	8.86		<1			4.81	8.02		5.42	7.40
	PO_4^{3-}		6.11	12.5		7.19			4.88	14.0		4.59	14.3
全油分濃度(ppm)		220	210	<1mg/沈殿物ｇ	220	220		190	190	<1mg/沈殿物ｇ	190	190	<1mg/沈殿物ｇ
TBP濃度(ppm)			<20	<1mg/沈殿物ｇ		<20			<20	<1mg/沈殿物ｇ		<20	<1mg/沈殿物ｇ
DBP濃度(ppm)			220	<1mg/沈殿物ｇ		220			200	<1mg/沈殿物ｇ		240	<1mg/沈殿物ｇ
ドデカン濃度(ppm)			<20			<20			<20			<20	
ブタノール濃度(ppm)			<20			<20			<20			<20	
硝酸ブチル濃度(ppm)			<20			<20			<20			<20	
金属成分 (mg/ℓ) (mg/沈殿物ｇ)	B		110	<0.9		130			108	<1		106	<9
	Ba		<9	120		9			8	210		<8	170
	Ca		<4	8		<3			<3	64		<4	30
	Cr		<14	<1		<11			<11	<2		<13	<1
	Fe		<8	240		64			<8	320		<8	160
	K		4.7ｇ／ℓ	12		930			4.9ｇ／ℓ	13		3.5ｇ／ℓ	11
	Li		<94	<3		<71			<73	<4		<82	<2
	Mg		<7	11		<5			<5	42		<6	18
	Mn		<6	<0.4		<4			<4	<0.6		<5	<0.4
	Na		73ｇ／ℓ	170		470ｇ／ℓ			64ｇ／ℓ	140		62ｇ／ℓ	130
	Ni		103	29		23			140	74		140	54
	P		2.3ｇ／ℓ	<3		2.7ｇ／ℓ			1.8ｇ／ℓ	<4		2.0ｇ／ℓ	<1
	Si		26	0.6		43			16	1		21	0.6
	Zn		<7	22		<5			<5	56		<6	26

：測定せず

表5.2-9　固化体の分析結果(1)（No.30092(A8、29B):1/2)

試料名		ドラムA8*	A8-A1	A8-A2	A8-A3
試料採取位置**		—	31cm付近	39cm付近	46cm付近
Total Salt濃度(mg/g)		410	441	232	445
γスペクトル (Bq/g)	^{241}Am	4.8E+02	4.6E+02	5.5E+02	4.2E+02
	^{152}Eu	—	1.2E+03	1.7E+03	1.4E+03
	^{154}Eu	—	3.7E+01	<6E+00	3.0E+01
	^{155}Eu	—	1.4E+01	2.0E+01	1.3E+01
	^{144}Ce	<3E+02	<9E+01	<9E+01	<8E+01
	^{137}Cs	8.4E+04	7.1E+04	1.1E+05	8.2E+04
	^{134}Cs	7.1E+03	5.4E+03	8.6E+03	6.4E+03
	^{125}Sb	6.5E+02	4.4E+02	5.7E+02	4.0E+02
	^{106}Ru	5.9E+03	3.3E+03	1.5E+03	2.0E+03
	^{103}Ru	<6E+01	<6E+02	<7E+02	<7E+02
	^{95}Zr	<4E+01	<2E+02	<2E+02	<1E+02
	^{95}Nb	<2E+01	<3E+02	<4E+02	<3E+02
	^{60}Co	2.3E+02	1.4E+02	3.9E+01	4.5E+01
陰イオン濃度 (mg/g)	CO_3^{2-}	<1	<1	<1	<1
	NO_2^-	6.45	7.3	3.8	8.8
	NO_3^-	239	249	124	246
	PO_4^{3-}	7.06	<2	<2	<2
	SO_4^{2-}	3.95	8.3	3.7	7.1
NH_4^+濃度 (mg/g)		<1	<1	<1	<1
全油分濃度 (mg/g)		—	435	532	484
金属成分 (mg/g)	B	<17	<0.45	<0.45	<0.45
	Ba	<11	0.70	0.62	0.35
	Ca	<5	<0.15	<0.15	<0.15
	Cr	<18	<0.17	<0.17	<0.17
	Fe	<0.6	0.42	<0.33	0.45
	K	<97	<8.69	<8.69	<8.69
	Li	<47	<0.16	<0.16	<0.16
	Mg	<9	<0.15	<0.15	<0.15
	Mn	<7	<0.22	<0.22	<0.22
	Na	110	127	43.9	103
	Ni	<7	1.07	0.43	0.75
	P	<26	1.37	<0.93	1.55
	Si	9	<0.44	<0.44	<0.44
	Zn	<9	<0.10	<0.10	<0.10
針入度 (-)		—	—	17.57	9.63
比重 (-)		—	—	1.07	1.34
含水率 (wt%)		—	1.67	2.68	2.12
CHN分析 (%)	H	—	5.7	7.3	5.8
	C	—	42.7	58.0	43.5
	N	—	6.3	4.0	6.3

*：平成9年7月にアスファルト充てん室内にて試料採取を実施したもの。（事故調査委員会で報告済）

**：ドラム開口部からの距離を示した。

表5.2-9 固化体の分析結果(2)（No.30092(A8、29B):2/2)

試料名		A8-B1	A8-C1	A8-C2	A8-C3
試料採取位置**		41cm付近	28cm付近	32cm付近	37cm付近
Total Salt濃度(mg/g)		488	430	403	128
γスペクトル (Bq/g)	^{241}Am	3.8E+02	4.0E+02	3.7E+02	5.2E+02
	^{152}Eu	1.1E+03	<3E+01	1.1E+03	4.6E+02
	^{154}Eu	<3E+00	<1E+01	3.6E+01	4.6E+01
	^{155}Eu	1.4E+01	2.3E+01	<1E+01	2.3E+01
	^{144}Ce	<8E+01	<1E+02	8.4E+01	<5E+01
	^{137}Cs	6.6E+04	5.8E+04	6.6E+04	2.7E+04
	^{134}Cs	5.1E+03	4.1E+03	4.7E+03	1.9E+03
	^{125}Sb	4.7E+02	4.2E+02	4.9E+02	6.0E+02
	^{106}Ru	3.3E+03	2.4E+03	2.1E+03	1.1E+03
	^{103}Ru	<5E+02	<6E+02	<5E+02	<3E+02
	^{95}Zr	<1E+02	<2E+02	<8E+01	<6E+01
	^{95}Nb	<3E+02	<5E+02	<2E+02	<1E+02
	^{60}Co	1.4E+02	1.0E+02	3.2E+01	4.9E+01
陰イオン濃度 (mg/g)	CO_3^{2-}	10.3	<1	1.0	<1
	NO_2^-	6.2	9.5	6.1	2.6
	NO_3^-	249	232	218	61.1
	PO_4^{3-}	<2	<2	<2	<2
	SO_4^{2-}	8.6	7.4	6.5	3.0
NH_4^+濃度 (mg/g)		<1	<1	<1	<1
全油分濃度 (mg/g)		395	507	322	599
金属成分 (mg/g)	B	<0.45	<0.45	<0.45	<0.45
	Ba	0.29	0.26	0.57	0.84
	Ca	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15
	Cr	<0.17	<0.17	<0.17	<0.17
	Fe	<0.33	<0.33	<0.33	<0.33
	K	<8.69	<8.69	<8.69	<8.69
	Li	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16
	Mg	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15
	Mn	<0.22	<0.22	<0.22	<0.22
	Na	105	112	91.3	42.4
	Ni	0.63	1.10	0.72	1.18
	P	1.10	1.84	1.55	<0.93
	Si	<0.44	<0.44	<0.44	<0.44
	Zn	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
針入度 (-)		—	17.87	—	20.07
比重 (-)		—	1.36	—	1.07
含水率 (wt%)		2.44	2.12	2.35	1.76
CHN分析 (%)	H	5.7	5.0	3.1	8.8
	C	40.4	40.3	19.6	69.9
	N	6.5	6.3	8.2	1.8

**： ドラム開口部からの距離を示した。

表5.2-9　固化体の分析結果(3)（No.30091(B9、29B):1/3)

試料名		B9-A1	B9-A2	B9-A3	B9-A4
試料採取位置*		2cm付近	8cm付近	14cm付近	19cm付近
Total Salt濃度(mg/g)		431	415	358	384
γスペクトル (Bq/g)	^{241}Am	<1E+02	6.5E+01	<5E+01	<1E+02
	^{152}Eu	1.3E+03	1.2E+03	1.1E+03	2.2E+03
	^{154}Eu	3.7E+01	3.6E+01	3.0E+01	<7E+00
	^{155}Eu	<2E+01	<1E+01	<3E+01	<3E+01
	^{144}Ce	<1E+02	<7E+01	<9E+01	<2E+02
	^{137}Cs	7.2E+04	7.0E+04	6.1E+04	1.2E+05
	^{134}Cs	5.5E+03	5.4E+03	4.6E+03	9.0E+03
	^{125}Sb	5.2E+02	4.5E+02	5.4E+02	8.6E+02
	^{106}Ru	3.3E+03	3.3E+03	1.8E+03	2.1E+03
	^{103}Ru	<9E+02	<8E+02	<6E+02	<1E+03
	^{95}Zr	<1E+02	<1E+02	<2E+02	<2E+02
	^{95}Nb	<4E+02	<3E+02	<3E+02	<5E+02
	^{60}Co	1.4E+02	1.1E+02	6.4E+01	1.2E+01
陰イオン濃度 (mg/g)	CO_3^{2-}	3.7	4.1	2.0	26.6
	NO_2^-	10.3	8.5	4.7	6.7
	NO_3^-	243	237	210	155
	PO_4^{3-}	5.6	3.4	3.5	2.1
	SO_4^{2-}	7.7	5.6	6.0	4.5
NH_4^+濃度 (mg/g)		<1	<1	<1	<1
全油分濃度 (mg/g)		424	421	567	507
金属成分 (mg/g)	B	<0.54	<0.54	<0.54	<0.54
	Ba	<0.14	<0.14	0.53	0.54
	Ca	<0.21	<0.21	<0.21	<0.21
	Cr	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11
	Fe	0.36	0.30	0.24	<0.22
	K	<7.32	<7.32	<7.32	<7.32
	Li	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
	Mg	<0.18	<0.18	<0.18	<0.18
	Mn	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15
	Na	134	119	93.4	50.2
	Ni	0.94	0.72	0.70	<0.43
	P	<1.33	<1.33	<1.33	<1.33
	Si	<0.48	<0.48	<0.48	<0.48
	Zn	<0.09	<0.09	<0.09	<0.09
針入度 (-)		15.9	—	—	—
比重 (-)		—	—	—	—
含水率 (wt%)		0.81	1.55	1.42	1.98
CHN分析 (%)	H	6.0	5.7	2.5	6.4
	C	47.1	43.6	13.7	51.4
	N	5.1	6.3	7.1	4.7

*：ドラム開口部からの距離を示した。

表5.2-9 固化体の分析結果(4) (No.30091(B9、29B):2/3)

試料名		B9-B1	B9-B2	B9-B3	B9-C1
試料採取位置*		1cm付近	3cm付近	5cm付近	5cm付近
Total Salt濃度(mg/g)		455	440	374	449
γスペクトル (Bq/g)	^{241}Am	1.1E+02	5.7E+01	<7E+01	4.7E+02
	^{152}Eu	4.6E+01	6.2E+01	5.0E+01	1.3E+03
	^{154}Eu	3.6E+01	<7E+00	3.6E+01	3.6E+01
	^{155}Eu	<1E+01	<2E+01	<2E+01	<2E+01
	^{144}Ce	<1E+02	<1E+02	<1E+02	<9E+01
	^{137}Cs	7.2E+04	6.8E+04	6.9E+04	8.2E+04
	^{134}Cs	5.6E+03	5.2E+03	5.2E+03	6.3E+03
	^{125}Sb	5.2E+02	4.1E+02	5.4E+02	5.6E+02
	^{106}Ru	3.2E+03	3.3E+03	2.4E+03	3.7E+03
	^{103}Ru	<6E+02	<5E+02	<6E+02	<8E+02
	^{95}Zr	<1E+02	<1E+02	<1E+02	<1E+02
	^{95}Nb	<4E+02	<3E+02	<3E+02	<4E+02
	^{60}Co	1.3E+02	1.4E+02	6.8E+01	1.4E+02
陰イオン濃度 (mg/g)	CO_3^{2-}	13.3	4.1	23.4	3.3
	NO_2^-	9.3	8.9	7.5	9.6
	NO_3^-	226	258	172	256
	PO_4^{3-}	7.1	4.9	5.0	3.2
	SO_4^{2-}	8.4	7.0	6.0	8.1
NH_4^+濃度 (mg/g)		<1	<1	<1	<1
全油分濃度 (mg/g)		429	454	345	474
金属成分 (mg/g)	B	<0.54	<0.54	<0.54	<0.54
	Ba	0.28	0.18	0.98	<0.14
	Ca	<0.21	<0.21	<0.21	<0.21
	Cr	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11
	Fe	<0.22	<0.22	0.34	0.48
	K	<7.32	<7.32	<7.32	<7.32
	Li	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
	Mg	<0.18	<0.18	<0.18	<0.18
	Mn	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15
	Na	99.7	111	91.7	127
	Ni	0.60	0.65	0.66	0.95
	P	<1.33	<1.33	<1.33	<1.33
	Si	<0.48	<0.48	<0.48	<0.48
	Zn	<0.09	<0.09	<0.09	<0.09
針入度 (-)		—	—	—	10.2
比重 (-)		—	—	—	1.36
含水率 (wt%)		1.50	1.73	2.08	1.42
CHN分析 (%)	H	2.8	2.3	4.9	5.5
	C	18.3	16.2	37.3	43.1
	N	8.0	5.9	3.1	6.1

*：ドラム開口部からの距離を示した。

表5.2-9 固化体の分析結果(5) (No.30091(B9、29B):3/3)

試料名		B9-C2	B9-C3	B9-C4-①	B9-C4-②
試料採取位置*		16cm付近	27cm付近	33cm付近	34cm付近
Total Salt濃度(mg/g)		453	448	469	479
γスペクトル (Bq/g)	^{241}Am	4.5E+02	4.9E+02	4.7E+02	—
	^{152}Eu	1.6E+03	1.3E+03	1.4E+03	—
	^{154}Eu	<5E+00	3.9E+01	4.6E+01	—
	^{155}Eu	<2E+01	1.9E+01	1.3E+01	—
	^{144}Ce	1.7E+02	<1E+02	<1E+02	—
	^{137}Cs	8.5E+04	7.6E+04	8.0E+04	—
	^{134}Cs	6.5E+03	5.9E+03	6.1E+03	—
	^{125}Sb	5.3E+02	4.9E+02	4.8E+02	—
	^{106}Ru	3.7E+03	3.6E+03	3.3E+03	—
	^{103}Ru	<8E+02	<7E+02	<6E+02	—
	^{95}Zr	<1E+02	<1E+02	<1E+02	—
	^{95}Nb	<3E+02	<4E+02	<3E+02	—
	^{60}Co	1.5E+02	1.4E+02	1.4E+02	—
陰イオン濃度 (mg/g)	CO_3^{2-}	3.0	1.6	1.9	1.8
	NO_2^-	8.2	8.2	12.7	12.4
	NO_3^-	261	276	264	277
	PO_4^{3-}	2.4	<2	<2	<2
	SO_4^{2-}	8.3	7.5	8.7	8.4
NH_4^+濃度 (mg/g)		<1	<1	<1	<1
全油分濃度 (mg/g)		445	408	478	462
金属成分 (mg/g)	B	<0.54	<0.54	<0.54	<0.54
	Ba	<0.14	0.17	0.15	<0.14
	Ca	<0.21	<0.21	<0.21	<0.21
	Cr	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11
	Fe	0.59	0.62	0.37	0.66
	K	<7.32	<7.32	<7.32	<7.32
	Li	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
	Mg	<0.18	<0.18	<0.18	<0.18
	Mn	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15
	Na	126	128	137	140
	Ni	0.73	0.79	0.48	0.50
	P	<1.33	<1.33	<1.33	<1.33
	Si	<0.48	<0.48	<0.48	<0.48
	Zn	<0.09	<0.09	<0.09	<0.09
針入度 (-)		8.1	10.4	12.6	—
比重 (-)		1.31	1.34	1.37	—
含水率 (wt%)		1.41	1.32	1.47	—
CHN分析 (%)	H	5.2	5.2	5.6	—
	C	41.2	39.1	43.9	—
	N	6.5	6.9	6.2	—

*：ドラム開口部からの距離を示した。

表5.2-9 固化体の分析結果(6) (No.30090(A7、29B(28,29+29):1/3)

試料名		ドラムA7*	A7-A1	A7-A2-1	A7-A2-2
試料採取位置**		—	40cm付近	45cm付近	46cm付近
Total Salt濃度(mg/g)		429	392	365	397
γスペクトル (Bq/g)	^{241}Am	5.5E+02	2.7E+02	3.4E+02	—
	^{152}Eu	—	8.7E+02	9.6E+02	—
	^{154}Eu	—	3.1E+01	3.7E+01	—
	^{155}Eu	—	<1E+01	<2E+01	—
	^{144}Ce	<2E+02	4.1E+02	<1E+02	—
	^{137}Cs	8.7E+04	5.8E+04	6.4E+04	—
	^{134}Cs	7.2E+03	4.2E+03	5.0E+03	—
	^{125}Sb	7.7E+02	4.1E+02	3.9E+02	—
	^{106}Ru	6.1E+03	2.6E+03	3.0E+03	—
	^{103}Ru	<6E+01	<4E+02	<8E+02	—
	^{95}Zr	<3E+01	<1E+02	<9E+01	—
	^{95}Nb	<2E+01	<2E+02	<3E+02	—
	^{60}Co	2.3E+02	1.0E+02	1.1E+02	—
陰イオン濃度 (mg/g)	CO_3^{2-}	<1	2.9	3.3	2.4
	NO_2^-	9.7	9.7	9.1	10.3
	NO_3^-	246	217	203	218
	PO_4^{3-}	3.7	<2	<2	<2
	SO_4^{2-}	7.3	6.5	6.5	6.7
NH_4^+濃度 (mg/g)		<1	<1	<1	<1
全油分濃度 (mg/g)		—	534	519	538
金属成分 (mg/g)	B	<2	<0.21	<0.21	<0.21
	Ba	<1	<0.12	<0.12	<0.12
	Ca	<0.6	<0.15	<0.15	<0.15
	Cr	<2	<0.09	<0.09	<0.09
	Fe	<0.6	0.65	0.65	0.55
	K	<11	5.90	6.08	4.90
	Li	<5	<0.73	<0.73	<0.73
	Mg	<1	<0.11	<0.11	<0.11
	Mn	<0.8	<0.09	<0.09	<0.09
	Na	120	124	140	108
	Ni	<1	0.37	0.36	0.26
	P	<3	<1.12	<1.12	<1.12
	Si	2	<0.32	<0.32	<0.32
	Zn	<1	<0.07	<0.07	<0.07
針入度 (-)		—	17.7	17.3	—
比重 (-)		—	1.33	1.32	—
含水率 (wt%)		—	0.60	0.48	—
CHN分析 (%)	H	—	6.5	6.0	—
	C	—	49.5	45.8	—
	N	—	4.6	5.5	—

*： 平成9年7月にアスファルト充てん室内にて試料採取を実施したもの。(事故調査委員会で報告済)

**： ドラム開口部からの距離を示した。

表5.2-9 固化体の分析結果(7)（No.30090(A7、29B(28,29+29):2/3)

試料名		A7-A3	A7-A4	A7-B1	A7-C1
試料採取位置**		54cm付近	61cm付近	69cm付近	49cm付近
Total Salt濃度(mg/g)		376	373	192	351
γスペクトル (Bq/g)	^{241}Am	3.9E+02	3.3E+02	2.8E+02	3.4E+02
	^{152}Eu	1.2E+03	1.2E+03	9.7E+02	9.8E+02
	^{154}Eu	3.7E+01	2.7E+01	1.4E+01	2.5E+01
	^{155}Eu	<1E+01	<3E+01	<2E+01	<1E+01
	^{144}Ce	<1E+02	<8E+01	<1E+02	<6E+01
	^{137}Cs	7.1E+04	6.5E+04	6.0E+04	6.0E+04
	^{134}Cs	5.5E+03	4.9E+03	4.7E+03	4.6E+03
	^{125}Sb	4.8E+02	3.2E+02	3.5E+02	3.7E+02
	^{106}Ru	3.1E+03	2.9E+03	2.8E+03	2.4E+03
	^{103}Ru	<7E+02	<4E+02	<6E+02	<5E+02
	^{95}Zr	<1E+02	<1E+02	<1E+02	<1E+02
	^{95}Nb	<3E+02	<3E+02	<2E+02	<3E+02
	^{60}Co	1.3E+02	1.2E+02	1.1E+02	1.1E+02
陰イオン濃度 (mg/g)	CO_3^{2-}	2.5	2.4	7.4	1.4
	NO_2^-	9.5	9.4	4.5	8.4
	NO_3^-	208	200	84.4	194
	PO_4^{3-}	<2	<2	<2	2
	SO_4^{2-}	6.7	6.7	5.2	6.2
NH_4^+濃度 (mg/g)		<1	<1	<1	<1
全油分濃度 (mg/g)		516	561	401	579
金属成分 (mg/g)	B	<0.21	<0.21	<0.21	<0.21
	Ba	<0.12	<0.12	0.21	<0.12
	Ca	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15
	Cr	<0.09	<0.09	<0.09	<0.09
	Fe	0.58	0.54	<0.16	0.65
	K	5.83	5.27	3.59	5.81
	Li	<0.73	<0.73	<0.73	<0.73
	Mg	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11
	Mn	<0.09	<0.09	<0.09	<0.09
	Na	130	119	78	125
	Ni	0.33	0.36	0.23	0.40
	P	<1.12	<1.12	<1.12	<1.12
	Si	<0.32	<0.32	<0.32	<0.32
	Zn	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
針入度 (-)		15.5	18.1	20.2	17.2
比重 (-)		1.32	1.30	—	1.29
含水率 (wt%)		0.54	0.50	0.52	0.50
CHN分析 (%)	H	5.6	6.5	5.9	6.7
	C	41.8	49.3	44.6	51.5
	N	5.7	5.0	5.2	4.9

**：ドラム開口部からの距離を示した。

表5.2-9 固化体の分析結果(8) (No.30090(A7、29B(28,29+29):2/3)

試料名		A7-C2	A7-C3	A7-C4-①	A7-C4-②
試料採取位置**		58cm付近	68cm付近	77cm付近	78cm付近
Total Salt濃度(mg/g)		347	355	450	461
γスペクトル (Bq/g)	^{241}Am	2.7E+02	<7E+01	<4E+01	—
	^{152}Eu	1.1E+03	<4E+01	1.2E+03	—
	^{154}Eu	2.7E+01	<9E+00	<7E+00	—
	^{155}Eu	<2E+01	<2E+01	<2E+01	—
	^{144}Ce	<9E+01	<9E+01	<8E+01	—
	^{137}Cs	6.4E+04	4.1E+04	7.4E+04	—
	^{134}Cs	4.4E+03	2.6E+03	5.7E+03	—
	^{125}Sb	4.3E+02	1.2E+02	3.1E+02	—
	^{106}Ru	2.8E+03	9.2E+02	2.9E+03	—
	^{103}Ru	<4E+02	<7E+02	<7E+02	—
	^{95}Zr	<1E+02	<1E+02	<9E+01	—
	^{95}Nb	<2E+02	<4E+02	<3E+02	—
	^{60}Co	1.1E+02	1.1E+01	1.4E+02	—
陰イオン濃度 (mg/g)	CO_3^{2-}	<1	<1	3.6	4.3
	NO_2^-	8.5	9.2	10.5	10.8
	NO_3^-	196	200	237	240
	PO_4^{3-}	2	2.3	<2	<2
	SO_4^{2-}	5.6	6.2	12.4	13.6
NH_4^+濃度 (mg/g)		<1	<1	<1	<1
全油分濃度 (mg/g)		567	615	488	499
金属成分 (mg/g)	B	<0.21	<0.21	<0.21	<0.21
	Ba	<0.12	<0.12	<0.12	0.54
	Ca	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15
	Cr	<0.09	<0.09	<0.09	<0.09
	Fe	0.60	0.51	<0.16	0.50
	K	5.48	5.08	5.21	8.11
	Li	<0.73	<0.73	<0.73	<0.73
	Mg	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11
	Mn	<0.09	<0.09	<0.09	<0.09
	Na	114	113	141	164
	Ni	0.36	0.31	0.24	1.06
	P	<1.12	<1.12	<1.12	<1.12
	Si	<0.32	<0.32	<0.32	<0.32
	Zn	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
針入度 (-)		18.6	19.1	16.4	—
比重 (-)		1.29	1.29	1.40	—
含水率 (wt%)		0.47	0.73	0.75	—
CHN分析 (%)	H	8.2	6.6	6.0	—
	C	56.9	51.6	44.6	—
	N	3.7	4.7	5.6	—

**：ドラム開口部からの距離を示した。

表5 .2-9　固化体の分析結果(9)（ドラムNo.30085(B6、28B))

試料名		B6-B1	B6-B3	B6-硬質
試料採取位置*		34cm付近	43cm付近	20cm付近
Total Salt濃度(mg/g)		417	391	452
γスペクトル (Bq/g)	^{241}Am	<1E+02	<6E+01	<7E+01
	^{152}Eu	2.6E+03	<5E+01	1.4E+03
	^{154}Eu	<2E+01	<6E+00	<6E+00
	^{155}Eu	<5E+01	<2E+01	<2E+01
	^{144}Ce	<3E+02	<1E+02	<1E+02
	^{137}Cs	1.3E+05	9.1E+04	7.9E+04
	^{134}Cs	9.5E+03	7.0E+03	6.0E+03
	^{125}Sb	5.6E+02	3.9E+02	4.4E+02
	^{106}Ru	6.0E+03	3.6E+03	3.3E+03
	^{103}Ru	<2E+03	<6E+02	<7E+02
	^{95}Zr	<2E+02	<1E+02	<1E+02
	^{95}Nb	<9E+02	<3E+02	<3E+02
	^{60}Co	2.1E+02	9.7E+01	1.3E+02
陰イオン濃度 (mg/g)	CO_3^{2-}	<1	<1	<1
	NO_2^-	9.9	6.1	9.9
	NO_3^-	219	210	248
	PO_4^{3-}	<2	<2	<2
	SO_4^{2-}	6.8	6.4	6.6
NH_4^+濃度 (mg/g)		<1	<1	<1
全油分濃度 (mg/g)		449	593	416
金属成分 (mg/g)	B	<0.18	<0.18	<0.18
	Ba	0.61	0.71	0.27
	Ca	<0.16	<0.16	<0.16
	Cr	<0.13	<0.13	<0.13
	Fe	0.41	0.65	0.51
	K	<12.5	<12.5	<12.5
	Li	<0.43	<0.43	<0.43
	Mg	<0.17	<0.17	<0.17
	Mn	<0.15	<0.15	<0.15
	Na	123	128	132
	Ni	<0.40	0.81	0.72
	P	<1.17	<1.17	<1.17
	Si	<0.35	<0.35	<0.35
	Zn	<0.11	<0.11	<0.11
針入度 (-)		10.3	13.7	9.4
比重 (-)		1.34	1.36	1.35
含水率 (wt%)		1.33	2.17	1.56
CHN分析 (%)	H	6.3	5.7	6.5
	C	48.5	43.0	49.7
	N	5.0	6.3	4.9

*：ドラム開口部からの距離を示した。

表5.2-9　固化体の分析結果(10)（ドラムNo.30087(B7、28B))

試料名		B7-B1	B7-B2	B7-B4
試料採取位置*		27cm付近	31cm付近	80cm付近
Total Salt濃度(mg/g)		440	555	461
γスペクトル (Bq/g)	^{241}Am	<1E+02	<7E+01	<5E+01
	^{152}Eu	1.4E+03	1.2E+03	1.1E+03
	^{154}Eu	1.5E+01	<6E+00	<6E+00
	^{155}Eu	<1E+01	<2E+01	<1E+01
	^{144}Ce	<1E+02	<2E+02	<1E+02
	^{137}Cs	8.2E+04	7.5E+04	7.2E+04
	^{134}Cs	6.1E+03	5.8E+03	5.6E+03
	^{125}Sb	4.3E+02	4.2E+02	4.1E+02
	^{106}Ru	3.4E+03	3.4E+03	3.0E+03
	^{103}Ru	<8E+02	<1E+03	<6E+02
	^{95}Zr	<1E+02	<2E+02	<1E+02
	^{95}Nb	<4E+02	<5E+02	<4E+02
	^{60}Co	9.3E+01	1.3E+02	1.2E+02
陰イオン濃度 (mg/g)	CO_3^{2-}	2.4	2.1	2.0
	NO_2^-	12.6	13.2	9.8
	NO_3^-	256	311	251
	PO_4^{3-}	<2	<2	<2
	SO_4^{2-}	7.1	8.8	8.3
NH_4^+濃度 (mg/g)		<1	<1	<1
全油分濃度 (mg/g)		415	439	400
金属成分 (mg/g)	B	<0.45	<0.45	<0.45
	Ba	<0.19	0.35	0.36
	Ca	<0.15	<0.15	<0.15
	Cr	<0.17	<0.17	<0.17
	Fe	<0.33	<0.33	0.52
	K	<8.69	<8.69	<8.69
	Li	<0.16	<0.16	<0.16
	Mg	<0.15	<0.15	<0.15
	Mn	<0.22	<0.22	<0.22
	Na	120	113	116
	Ni	<0.29	0.73	0.94
	P	<0.93	<0.93	<0.93
	Si	<0.44	<0.44	<0.44
	Zn	<0.10	<0.10	<0.10
針入度 (-)		8.6	—	9.3
比重 (-)		1.37	—	1.28
含水率 (wt%)		1.26	1.47	1.40
CHN分析 (%)	H	6.3	5.6	5.8
	C	49.9	45.4	46.1
	N	4.0	6.3	6.4

*：ドラム開口部からの距離を示した。

表5.2-9　固化体の分析結果(11)（ドラムNo.30088(A6、29B(28+29)), No.30089(B8、29B(28+29)）

試料名		A6-B1	A6-B4	B8-B1	B8-B4	B8-硬質
試料採取位置*		31cm付近	77cm付近	33cm付近	48cm付近	23cm付近
Total Salt濃度(mg/g)		407	—	429	471	455
γスペクトル (Bq/g)	^{241}Am	<4E+01	<6E+01	<6E+01	<1E+02	<5E+01
	^{152}Eu	8.7E+01	1.1E+03	4.1E+01	1.7E+03	1.2E+03
	^{154}Eu	<5E+00	<1E+01	<6E+00	<8E+00	<1E+01
	^{155}Eu	<1E+01	<2E+01	<1E+01	<3E+01	<2E+01
	^{144}Ce	<1E+02	<1E+02	<1E+02	<2E+02	<1E+02
	^{137}Cs	8.0E+04	7.0E+04	8.0E+04	1.0E+05	7.4E+04
	^{134}Cs	6.0E+03	5.3E+03	6.0E+03	7.8E+03	5.6E+03
	^{125}Sb	4.5E+02	4.0E+02	4.0E+02	5.0E+02	3.5E+02
	^{106}Ru	2.9E+03	3.3E+03	3.0E+03	4.2E+03	3.1E+03
	^{103}Ru	<2E+03	<2E+03	<7E+02	<7E+02	<6E+02
	^{95}Zr	<2E+02	<2E+02	<2E+02	<2E+02	<1E+02
	^{95}Nb	<1E+03	<1E+03	<3E+02	<5E+02	<4E+02
	^{60}Co	1.2E+02	1.2E+02	5.4E+01	1.6E+02	8.9E+00
陰イオン濃度 (mg/g)	CO_3^{2-}	1.0	—	<1	<1	<1
	NO_2^-	9.3	—	8.8	9.3	10.1
	NO_3^-	217	—	223	241	235
	PO_4^{3-}	2.6	—	<2	<2	<2
	SO_4^{2-}	6.3	—	10.1	10.8	9.3
NH_4^+濃度 (mg/g)		<1	—	<1	<1	<1
全油分濃度 (mg/g)		416	349	439	447	410
金属成分 (mg/g)	B	—	—	<0.18	<0.18	<0.18
	Ba	—	—	0.53	0.49	0.62
	Ca	—	—	<0.16	<0.16	<0.16
	Cr	—	—	<0.13	<0.13	<0.13
	Fe	—	—	<0.19	0.59	0.43
	K	—	—	<12.5	<12.5	<12.5
	Li	—	—	<0.43	<0.43	<0.43
	Mg	—	—	<0.17	<0.17	<0.17
	Mn	—	—	<0.15	<0.15	<0.15
	Na	—	—	126	136	129
	Ni	—	—	0.60	0.86	0.81
	P	—	—	<1.17	<1.17	<1.17
	Si	—	—	<0.35	<0.35	<0.35
	Zn	—	—	<0.11	<0.11	<0.11
針入度 (-)		8.2	—	—	11.5	9.8
比重 (-)		1.34	—	—	1.39	1.36
含水率 (wt%)		1.11	1.32	3.24	2.37	0.92
CHN分析 (%)	H	4.9	5.4	6.6	5.9	5.0
	C	42.7	47.4	54.6	45.2	41.0
	N	7.1	6.0	4.2	5.0	6.7

*：ドラム開口部からの距離を示した。

表5.2-9　固化体の分析結果(12)（ドラムNo.30076(B3、27B),No.30077(B2、28B(27+28)),No.30079(A1、28B(27,28+28)))

試料名		B3-A4	B2-B2	B2-B4	A1-C1	A1-C2
試料採取位置*		36cm付近	23cm付近	36cm付近	29cm付近	40cm付近
Total Salt濃度(mg/g)		422	438	397	424	429
γスペクトル(Bq/g)	^{241}Am	<4E+01	<7E+01	<4E+01	<1E+02	<5E+01
	^{152}Eu	7.2E+02	1.2E+03	8.2E+02	9.2E+01	1.3E+03
	^{154}Eu	<4E+00	6.0E+00	<6E+00	<6E+00	<8E+00
	^{155}Eu	<1E+01	<1E+01	<1E+01	<2E+01	<2E+01
	^{144}Ce	<1E+02	<9E+01	<8E+01	<1E+02	<1E+02
	^{137}Cs	4.8E+04	7.4E+04	5.7E+04	8.2E+04	8.0E+04
	^{134}Cs	3.7E+03	5.7E+03	4.5E+03	5.7E+03	6.1E+03
	^{125}Sb	2.5E+02	4.1E+02	3.8E+02	4.9E+02	3.7E+02
	^{106}Ru	1.9E+03	3.2E+03	2.5E+03	3.0E+03	3.2E+03
	^{103}Ru	<1E+03	<1E+03	<8E+02	<1E+03	<1E+03
	^{95}Zr	<1E+02	<1E+02	<2E+02	<2E+02	<3E+02
	^{95}Nb	<7E+02	<4E+02	<4E+02	<7E+02	<6E+02
	^{60}Co	7.6E+01	1.2E+02	8.2E+01	1.3E+02	1.3E+02
陰イオン濃度(mg/g)	CO_3^{2-}	<1	1.1	<1	<1	<1
	NO_2^-	8.3	10.8	9.1	12.0	8.3
	NO_3^-	231	241	223	244	226
	PO_4^{3-}	<2	<2	<2	<2	<2
	SO_4^{2-}	6.6	8.0	6.6	7.3	7.4
NH_4^+濃度 (mg/g)		<1	<1	<1	<1	<1
全油分濃度 (mg/g)		511	469	596	468	452
金属成分(mg/g)	B	0.14	<0.55	<0.55	<0.47	<0.47
	Ba	0.41	0.24	0.23	0.53	0.40
	Ca	<0.17	<0.11	<0.11	<0.23	<0.23
	Cr	<0.40	<0.11	<0.11	<0.22	<0.22
	Fe	0.61	0.50	0.50	0.67	0.64
	K	15.6	<7.55	<7.55	<5.36	<5.36
	Li	<0.09	<0.14	<0.14	<0.05	<0.05
	Mg	<0.13	<0.24	<0.24	<0.19	<0.19
	Mn	<0.16	<0.11	<0.11	<0.19	<0.19
	Na	105	130	96.8	122	93.1
	Ni	0.52	0.56	0.45	<1.17	<1.17
	P	<1.97	<1.48	<1.48	<1.15	<1.15
	Si	<0.42	<0.49	<0.49	<0.34	<0.34
	Zn	<0.10	<0.09	<0.09	<0.12	<0.12
針入度 (-)		13.2	14.2	10.6	15.63	17.23
比重 (-)		1.31	1.34	1.30	1.32	1.28
含水率 (wt%)		0.51	2.18	1.79	1.35	1.20
CHN分析(%)	H	5.5	2.4	6.0	6.0	5.6
	C	46.6	13.2	49.2	48.1	45.5
	N	7.3	6.9	4.5	6.2	6.5

*：ドラム開口部からの距離を示した。

表5.2-9　固化体の分析結果(13)（ドラムNo.30081(B4、28B),No.30083(B5、28B)）

試料名		B4-B1	B4-B2	B5-B1	B5-B2	B5-B3
試料採取位置*		44cm付近	55cm付近	13cm付近	28cm付近	38cm付近
Total Salt濃度(mg/g)		449	413	446	360	370
γスペクトル (Bq/g)	^{241}Am	<8E+01	<4E+01	4.4E+01	<5E+01	<7E+01
	^{152}Eu	9.8E+01	8.5E+01	2.4E+01	5.0E+01	1.3E+03
	^{154}Eu	<7E+00	<7E+00	<5E+00	<5E+00	<6E+00
	^{155}Eu	<2E+01	<2E+01	<1E+01	<1E+01	<2E+01
	^{144}Ce	<1E+02	<1E+02	<9E+01	<9E+01	<1E+02
	^{137}Cs	8.6E+04	7.9E+04	6.5E+04	6.2E+04	7.3E+04
	^{134}Cs	6.6E+03	5.6E+03	4.6E+03	4.8E+03	5.5E+03
	^{125}Sb	4.3E+02	4.9E+02	3.3E+02	3.3E+02	3.5E+02
	^{106}Ru	3.3E+03	3.0E+03	2.8E+03	2.0E+03	3.7E+03
	^{103}Ru	<2E+03	<1E+03	<7E+02	<6E+02	<7E+02
	^{95}Zr	<2E+02	<2E+02	<1E+02	<1E+02	<1E+02
	^{95}Nb	<9E+02	<7E+02	<3E+02	<3E+02	<3E+02
	^{60}Co	1.4E+02	1.4E+02	1.1E+02	8.4E+01	5.6E+01
陰イオン濃度 (mg/g)	CO_3^{2-}	1.7	4.6	2.7	2.4	1.1
	NO_2^-	8.4	6.7	10.1	7.0	5.0
	NO_3^-	238	243	249	206	224
	PO_4^{3-}	<2	<2	<2	<2	<2
	SO_4^{2-}	7.2	5.7	8.5	5.3	5.1
NH_4^+濃度 (mg/g)		<1	<1	<1	<1	<1
全油分濃度 (mg/g)		426	362	469	346	327
金属成分 (mg/g)	B	<0.47	<0.47	<0.45	<0.45	<0.45
	Ba	0.36	0.29	0.27	<0.19	<0.19
	Ca	<0.23	<0.23	<0.15	<0.15	<0.15
	Cr	<0.22	<0.22	<0.17	<0.17	<0.17
	Fe	<0.57	<0.57	0.40	0.49	0.70
	K	<5.36	<5.36	<8.69	<8.69	<8.69
	Li	<0.05	<0.05	<0.16	<0.16	<0.16
	Mg	<0.19	<0.19	<0.15	<0.15	<0.15
	Mn	<0.19	<0.19	<0.22	<0.22	<0.22
	Na	92.0	116	105	98.2	110
	Ni	<1.17	<1.17	0.78	0.43	0.54
	P	<1.15	<1.15	<0.93	<0.93	<0.93
	Si	<0.34	<0.34	<0.44	<0.44	<0.44
	Zn	<0.12	<0.12	<0.10	<0.10	<0.10
針入度 (-)		—	—	16.1	—	—
比重 (-)		—	—	1.33	—	—
含水率 (wt%)		2.19	2.20	1.77	4.52	2.69
CHN分析 (%)	H	5.3	4.6	6.7	5.5	4.8
	C	43.5	36.1	38.0	37.7	36.0
	N	6.4	6.9	6.1	5.2	7.2

*：ドラム開口部からの距離を示した。

表5.2-9　固化体の分析結果(14)（通常時の固化体:1/2)

ドラムNo.		29074		29230		29906	
バッチNo.		M45-9B		M45-23B		10B	
Total Salt濃度(mg/g)		510		530		510	
γスペクトル (Bq/g)	^{241}Am	<7.9E+01	-	<1.1E+02	-	<8.5E+01	-
	^{144}Ce	<2.9E+02	-	<2.0E+02	-	<1.2E+02	-
	^{137}Cs	4.2E+04	-	6.1E+04	-	6.5E+04	-
	^{134}Cs	4.4E+03	-	5.8E+03	-	6.5E+03	-
	^{125}Sb	3.2E+02	-	3.5E+02	-	4.9E+02	-
	^{106}Ru	4.6E+03	-	4.9E+03	-	5.6E+03	-
	^{103}Ru	<3.6E+03	-	<1.8E+02	-	<1.7E+02	-
	^{95}Zr	<7.8E+02	-	<6.5E+01	-	<7.6E+01	-
	^{95}Nb	<1.9E+03	-	<6.7E+01	-	<9.0E+01	-
	^{60}Co	1.9E+02	-	1.1E+02	-	1.2E+02	-
陰イオン濃度 (mg/g)	CO_3^{2-}	24	33	10	6	5	6
	NO_2^-	16	16	13	13	11	10
	NO_3^-	230	240	250	240	250	200
	PO_4^{3-}	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
	SO_4^{2-}	6	5	5	5	6	7
NH_4^+濃度 (mg/g)		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
金属成分 (mg/g)	B	<0.28	-	<0.28	-	<0.28	-
	Ba	0.20	-	<0.20	-	<0.20	-
	Ca	<0.39	-	<0.39	-	<0.39	-
	Cr	<0.13	-	<0.13	-	<0.13	-
	Fe	<0.36	-	<0.36	-	<0.36	-
	K	<5.15	-	<5.15	-	<5.15	-
	Li	<0.19	-	<0.19	-	<0.19	-
	Mg	<0.15	-	<0.15	-	<0.15	-
	Mn	<0.14	-	<0.14	-	<0.14	-
	Na	150	-	157	-	156	-
	Ni	0.33	-	<0.33	-	<0.33	-
	P	<1.25	-	<1.25	-	<1.25	-
	Si	<0.39	-	<0.39	-	<0.39	-
	Zn	<0.12	-	<0.12	-	<0.12	-
針入度 (-)		14.4,13.9,13.5		16.3,15.4,16.8		15.4,13.8,13.2	
比重 (-)		1.37,1.37		1.37,1.37,1.37		1.38,1.38,1.38	
含水率 (wt%)		0.40,0.34,0.36		0.70,0.56,0.65		0.48,0.48,0.49,0.41	

試料採取は平成9年4,5月に実施した。
金属成分以外は事故調査委員会で報告済み。

表5.2-9　固化体の分析結果(15)（通常時の固化体:2/2）

ドラムNo.		30055		30065		30070	30072	30075	
バッチNo.		25B		26B		27B	27B	27B	
Total Salt濃度(mg/g)		390		510		-	383～525	490	
γスペクトル (Bq/g)	^{241}Am	<1.0E+02	-	<2.0E+02	-	-	-	<8.5E+01	-
	^{144}Ce	<1.3E+02	-	<3.7E+02	-	-	-	<1.1E+02	-
	^{137}Cs	6.6E+04	-	7.8E+04	-	-	-	6.5E+04	-
	^{134}Cs	6.5E+03	-	7.4E+03	-	-	-	6.3E+03	-
	^{125}Sb	4.1E+02	-	4.8E+02	-	-	-	4.4E+02	-
	^{106}Ru	5.7E+03	-	6.4E+03	-	-	-	5.4E+03	-
	^{103}Ru	<1.3E+02	-	<2.8E+02	-	-	-	<1.0E+02	-
	^{95}Zr	<7.1E+01	-	<1.4E+02	-	-	-	<6.3E+02	-
	^{95}Nb	<7.0E+01	-	<1.2E+02	-	-	-	<5.3E+01	-
	^{60}Co	1.2E+02	-	1.4E+02	-	-	-	1.2E+02	-
陰イオン濃度 (mg/g)	CO_3^{2-}	4	5	4	12	-	～13.0	22	6
	NO_2^-	5	12	14	15	-	9.4～14.1	8	7
	NO_3^-	190	230	240	250	-	215～284	240	160
	PO_4^{3-}	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	<0.5	<0.05	<0.05
	SO_4^{2-}	5	8	5	5	-	6.4～13.2	7	7
NH_4^+濃度 (mg/g)		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-	-	<0.01	<0.01
金属成分 (mg/g)	B	<0.28	-	<0.28	-	<0.28	-	<0.28	-
	Ba	0.21	-	0.25	-	<0.20	-	<0.20	-
	Ca	<0.39	-	<0.39	-	<0.39	-	<0.39	-
	Cr	<0.13	-	<0.13	-	<0.13	-	<0.13	-
	Fe	<0.36	-	0.60	-	0.57	-	0.44	-
	K	<5.15	-	5.28	-	5.24	-	<5.15	-
	Li	<0.19	-	<0.19	-	<0.19	-	<0.19	-
	Mg	<0.15	-	<0.15	-	<0.15	-	<0.15	-
	Mn	<0.14	-	<0.14	-	<0.14	-	<0.14	-
	Na	149	-	149	-	154	-	133	-
	Ni	0.56	-	0.36	-	0.54	-	0.47	-
	P	<1.25	-	<1.25	-	<1.25	-	<1.25	-
	Si	<0.39	-	<0.39	-	<0.39	-	<0.39	-
	Zn	<0.12	-	<0.12	-	<0.12	-	<0.12	-
針入度 (-)		10.8,17.7,13.5		12.6,12.3,13.0		-	-	8.5,8.3,8.1	
比重 (-)		1.36,1.36		1.36,1.35		-	-	1.31,1.32,1.32	
含水率 (wt%)		0.30,0.51,0.40		0.37,0.41,0.39		-	-	0.33,0.32,0.33	

試料採取は平成9年4,5月に実施した。
金属成分以外は事故調査委員会で報告済み。

表5.2-10　充てん室内ドラム固化体の金属成分分析結果

ドラムNo.		30081		30083		30085		30087		30089	
試料名		B4-B2		B5-B3		B6-硬質		B7-B1		B8-硬質	
試料採取位置*		55cm付近		38cm付近		上面		27cm付近		上面	
測定物		水	残さ	水	残さ	水	残さ	水	残さ	水	残さ
金属成分 (mg/g)	B	0.10	<0.08	<0.19	<0.17	<0.20	<0.18	<0.19	<0.17	<0.20	<0.18
	Ba	0.21	0.99	<0.20	3.70	<0.18	0.85	<0.20	3.55	0.18	1.74
	Ca	<0.18	<0.16	<0.17	<0.15	<0.25	<0.23	<0.17	0.16	<0.25	<0.23
	Cr	<0.16	<0.15	<0.11	<0.10	<0.17	<0.15	<0.11	<0.10	<0.17	<0.15
	Fe	0.44	0.44	0.48	0.42	0.39	0.59	<0.34	0.49	<0.35	0.70
	K	5.16	<1.81	3.11	<1.61	<7.9	<2.4	4.25	<1.61	<7.9	<2.37
	Li	<0.08	<0.07	<0.07	<0.06	<0.04	<0.04	<0.07	<0.06	<0.04	<0.04
	Mg	<0.19	<0.14	<0.15	<0.14	<0.20	<0.18	<0.15	<0.14	<0.20	<0.18
	Mn	<0.14	<0.13	<0.19	<0.17	<0.16	<0.15	<0.19	<0.17	<0.16	<0.15
	Na	102	15	124	12	113	18	118	8.6	125	15
	Ni	0.39	0.88	0.80	0.80	0.70	1.42	0.39	0.88	0.85	1.42
	P	<1.81	<1.63	<1.66	<1.50	<1.72	<1.54	<1.66	<1.50	<1.72	<1.54
	Si	<0.40	<0.36	<0.33	<0.30	<0.39	<0.35	<0.33	<0.30	<0.39	<0.35
	Zn	<0.09	<0.08	<0.11	<0.10	<0.11	<0.10	<0.11	<0.10	<0.11	<0.10

ドラムNo.		30090		30090		30091		30092	
試料名		A7-A2-1		A7-燃焼残さ		B9-C1		A8-A3	
試料採取位置*		45cm付近		上面		5cm付近		46cm付近	
測定物		水	残さ	水	残さ	水	残さ	水	残さ
金属成分 (mg/g)	B	0.11	<0.08	<0.20	<0.18	0.10	<0.09	<0.19	<0.17
	Ba	0.22	4.36	<0.18	0.65	<0.33	5.49	<0.20	2.44
	Ca	<0.18	<0.16	<0.25	<0.23	<0.15	<0.15	<0.17	<0.15
	Cr	<0.16	<0.15	<0.17	<0.15	<0.10	<0.10	<0.11	<0.10
	Fe	0.50	0.41	<0.35	0.42	0.46	<0.22	0.48	<0.31
	K	5.11	<1.81	8.74	<2.37	<7.21	<7.21	5.17	<1.61
	Li	<0.08	<0.07	<0.04	<0.04	<0.06	<0.06	<0.07	<0.06
	Mg	<0.19	<0.14	<0.20	<0.18	<0.14	<0.14	<0.15	<0.14
	Mn	<0.14	<0.13	<0.16	<0.15	<0.29	<0.29	<0.19	<0.17
	Na	118	<9.3	252	13	118	11	116	10
	Ni	<0.31	1.03	<0.40	1.05	0.88	<0.32	0.59	0.60
	P	<1.81	<1.63	3.72	<1.54	<1.37	<1.37	<1.66	<1.50
	Si	<0.40	<0.36	<0.39	<0.35	<0.41	<0.41	<0.33	<0.30
	Zn	<0.09	<0.08	<0.11	<0.10	<0.16	<0.16	<0.11	<0.10

*：ドラム開口部からの距離を示した。

表 5.2－11　充てん室内ドラム固化体等の ARC 測定結果

試料名	試料量 (g)	測定結果	フィッティング範囲	活性化エネルギー (kJ/mol)	頻度因子 (1/min)
ドラム No.30090(A7)-A1	1.001	T^0_{ARC}=246℃及び 255℃から微少な発熱 T^0_{ARC}=262℃から 主要な発熱	270～340℃ (Tf=365℃)	230	5.29×10^{18}
ドラム No.30090(A7)-C1	1.000	T^0_{ARC}=241℃から 微少な発熱 T^0_{ARC}=262℃から 主要な発熱	270～340℃ (Tf=346℃)	239	4.50×10^{19}
ドラム No.30090(A7)-C2	1.001	T^0_{ARC}=231℃、238℃ 及び 245℃から 微少な発熱 T^0_{ARC}=254℃から 主要な発熱	270～340℃ (Tf=346℃)	237	3.41×10^{19}
ドラム No.30090(A7)-C4	1.000	T^0_{ARC}=216℃、228℃ 及び 236℃から 微少な発熱 T^0_{ARC}=250℃から 主要な発熱	270～360℃ (Tf=375℃)	253	6.67×10^{20}
ドラム No.30090 (A7)-燃焼残さ	1.000	T^0_{ARC}=260℃から 主要な発熱	305～400℃ (Tf=458℃)	167	8.32×10^{11}
ドラム No.30091(B9)-C1	1.000	T^0_{ARC}=241℃、250℃ 及び 257℃から 微少な発熱 T^0_{ARC}=265℃から 主要な発熱	270～340℃ (Tf=403℃)	226	1.84×10^{18}
ドラム No.30076(B3)-A4	0.953	T^0_{ARC}=226℃から 微少な発熱 T^0_{ARC}=260℃から 主要な発熱	240～246℃ (Tf=368℃)	71	2.78×10^{3}
			260～340℃ (Tf=368℃)	231	1.02×10^{19}
V21 廃液蒸発乾固物とアスファルトの混合試料 (0.03%沈殿物)	1.000	T^0_{ARC}=236℃から 微少な発熱 T^0_{ARC}=250℃から 主要な発熱	280～350℃ (Tf=377℃)	226	2.20×10^{18}
V21 廃液蒸発乾固物とアスファルトの混合試料 (0.03%沈殿物再測定)	1.000	T^0_{ARC}=241℃及び 253℃ から微少な発熱 T^0_{ARC}=267℃から 主要な発熱	280～350℃ (Tf=408℃)	222	5.58×10^{17}
V21 廃液蒸発乾固物とアスファルトの混合試料 (0.03%沈殿物)	1.003	T^0_{ARC}=261℃から微少な発熱 T^0_{ARC}=267℃から 主要な発熱	270～330℃ (Tf=335℃)	248	5.56×10^{20}

T^0_{ARC}：ARC で測定された発熱開始温度

Tf：ARC で測定された発熱が終了した温度

表5.2-12　エクストルーダ内混合物の分析結果

試料名		エクストルーダ内*	F1-B1**	F1-B4**
試料採取位置		—	回収容器上部	回収容器下部
Total Salt濃度(mg/g)		<20	65	220
γスペクトル (Bq/g)	^{241}Am	1.3E+01	8.1E+01	<4E+01
	^{152}Eu	—	4.2E+02	2.9E+01
	^{154}Eu	—	<9E+00	<5E+00
	^{155}Eu	—	<1E+01	<1E+01
	^{144}Ce	<8E+00	<1E+02	<7E+01
	^{137}Cs	3.7E+03	2.7E+04	3.3E+04
	^{134}Cs	2.4E+02	1.9E+03	2.6E+03
	^{125}Sb	1.4E+01	<9E+01	3.7E+02
	^{106}Ru	9.3E+01	8.9E+02	1.7E+03
	^{103}Ru	<3E+00	<6E+02	<5E+02
	^{95}Zr	<2E+00	<7E+01	<8E+01
	^{95}Nb	<7E-01	<2E+02	<2E+02
	^{60}Co	4.4E+00	3.8E+01	6.3E+01
陰イオン濃度 (mg/g)	CO_3^{2-}	2.96	<1	3.1
	NO_2^-	0.43	1.6	5.3
	NO_3^-	6.48	28.6	92.8
	PO_4^{3-}	<2	<2	2.2
	SO_4^{2-}	0.55	3.2	12.3
NH_4^+濃度 (mg/g)		—	<1	<1
全油分濃度 (mg/g)		—	711	604
金属成分 (mg/g)	B	—	<0.45	<0.45
	Ba	—	<0.19	<0.19
	Ca	—	<0.15	<0.15
	Cr	—	<0.17	<0.17
	Fe	—	<0.33	<0.33
	K	—	<8.69	<8.69
	Li	—	<0.16	<0.16
	Mg	—	<0.15	<0.15
	Mn	—	<0.22	<0.22
	Na	—	18.8	67.6
	Ni	—	<0.29	<0.29
	P	—	<0.93	1.57
	Si	—	<0.44	<0.44
	Zn	—	<0.10	<0.10
針入度 (-)		—	30.6	30.2
比重 (-)		—	1.08	1.15
含水率 (wt%)		—	1.33	1.38
CHN分析 (%)	H	—	9.2	7.8
	C	—	77.6	65.3
	N	—	1.2	2.6

* ：平成9年7月に試料採取を実施したもの。

** ：抜き出し作業時に採取したもの。

表 5.2-13　雰囲気の違いによる酸化反応の進行に伴う IR スペクトル変化

	2090 cm-1 付近 (塩成分に帰属)	1450 cm-1 付近 (C-H 変角振動に帰属)	2900 cm-1 付近 (C-H 伸縮振動に帰属)
空気雰囲気	ピーク強度の低下	ピーク強度が大きく減少	ピーク強度が大きく減少
窒素雰囲気	・同波数領域に新たな吸収ピーク ・ピーク強度の低下	ほとんど変化なし	ほとんど変化なし

表 5.2－14　実固化体中の塩粒子の粒度分布測定結果

ドラム No.	バッチ No.	廃液供給流量 (L/h)	試料部位	平均粒子径 (μm、50%D)
29230	M45－23B	200	－	23.1
29906	10B	200	－	31.5
29074	M45－9B	180	－	22.7
30055	25B	180	－	23.4
30065	26B	160	－	20.9
30075	27B	160	－	24.8
30090 (A7)	28,29＋29B	160	A1（周辺上部）	41.2
			A2（周辺上部下）	29.0
			A3（周辺中央部上）	28.0
			A4（周辺中央部下）	29.3
30091 (B9)	29B	160	C1（周辺上部）	26.5
			C2（周辺中央部上）	27.0
			C3（周辺中央部下）	27.3
			C4（周辺底部）	27.6

表5.2-15　固化処理対象廃液貯槽の沈殿物の金属成分分析結果

貯槽名		V21*	V30**	V32**	V33**
金属成分 (mg/沈殿物ｇ)	B	0.2	<0.9	<1	<9
	Ba	115	120	210	170
	Ca	38	8	64	30
	Cr	0.7	<1	<2	<1
	Fe	44	240	320	160
	K	3.0	12	13	11
	Li	<0.03	<3	<4	<2
	Mg	9.8	11	42	18
	Mn	8.4	<0.4	<0.6	<0.4
	Na	125	170	140	130
	Ni	11	29	74	54
	P	47	<3	<4	<1
	Si	1.5	0.6	1	0.6
	Zn	0.50	22	56	26

*：平成11年2月に試料採取を実施したもの。
**：平成9年7月に試料採取を実施したもの。

表 5.2-16　運転員によるアスファルト混合物の観察結果

	27B	28B	29B	30B
混合物の軟らかさ	普通～軟らかい	軟らかい～非常に軟らかい	非常に軟らかい	非常に軟らかい
泡の発生	少ない	多い	非常に多い	非常に多い
蒸気状物質の発生	少ない	多い	非常に多い	非常に多い
固化体表面の状態	普通	硬い	非常に硬い	非常に硬い

表 5.2-17　　高温保持後の混合物の様子

試験番号	保持温度		保持時間	硬膜の形成	空洞の形成	内部の脆化
	上部	下部				
210-9	210℃	218℃	9 時間	○		○
210-15			15 時間	○		○
210-20			20 時間	○		○
230-9	230℃	238℃	9 時間	○	○	○
230-15			15 時間	○	○*	○
230-24			24 時間	○	○*	○
240-05	240℃ **	240℃ **	30 分程度	○	○***	○
240-4-1			4 時間	○	○***	○
240-4-2				○	○***	○

*空洞が形成されたものの、恒温保持中につぶれたため消失
**測定が不能であったため推定値
**極端に大きな空洞が形成され、湯飲み茶碗のような形となっていた

表 5.3-1　実機と 2 軸試験機の供給速度比較

	実　機 (D=121mm)	2 軸試験機 (D=49mm)
アスファルト供給速度[L/h]	72.4	2.4
廃液供給速度[L/h]	194.4	6.5

表 5.3-2　実機と 2 軸試験機のせん断速度比較

	実機	2 軸試験機
スクリュ部分[1/sec]	947～1690	980～1622
ニーディングディスク部分[1/sec]	342～750	277

表 5.3-3　混合物の塩濃度分析値
(%)

	RUN-4	RUN-5	RUN-3	RUN-8	RUN-2
条　件	減 4 時間	減 12 時間	減 24 時間	減 48 時間	標 24 時間
出　口	48.8	48.6	46.6	46.8	47.1
K.D.2	52.8	—	48.8	49.9	50.9
K.D.3	50.6	46.0	49.6	47.0	46.4

・条件の「標」とは標準流量、「減」とは流量減を表す。
・「出口」とはエクストルーダから流下した混合物塩濃度（運転停止直前の流下物）
・「K.D.」とはニーディングディスク部（図 5.3-7 のニーディングディスク 2 および 3 を K.D.2、K.D.3 とした）から採取した試料

表 5.3-4　供給速度低下によるトルクと温度測定結果

廃液：ASP 供給速度	トルク(A) (ﾓｰﾀ電流値)	内部混合物温度 (℃) (TEM12)	バレル温度 (℃) (TEB4)	バレルヒータ 表面温度 (℃)
6.5L/h:2.4L/h	12.2	184	179	164
5.3L/h:1.9L/h	13.2	188	180	165
3.3L/h:1.4L/h	13.3	189	179	164
2.6L/h:1.0L/h	13.3	190	178	165

表 5.3-5 冷却によるトルクと温度への影響確認結果（5.3L/h：1.9L/h）

冷却前後	トルク(A) (ﾓｰﾀ電流値)	内部混合物温度 (℃) (TEM12)	バレル温度 (℃) (TEB4)	バレルヒータ 表面温度 (℃)
冷　却　前	12.7	192	181	166
冷　却　後	13.5	194	181	165

表 5.3-6　出口混合物とシャフト付着混合物の塩濃度比較結果

廃液：ASP 供給速度	①出口塩濃度	②ﾆｰﾃﾞｨﾝｸﾞ塩濃度	③塩濃縮度(②-①)
6.5L/h:2.4L/h	50.1%	53.9%	3.8%
	47.1%	50.9%	3.8%
5.3L/h:1.9L/h	46.8%	49.9%	3.1%
	46.6%	48.8%	2.2％
	48.8%	52.8%	4.0%
2.6L/h:1.0L/h	47.9%	50.8%	2.9%

表 5.3-7　特殊ダイによる供給速度の塩濃縮への影響確認結果

廃液：ASP 供給速度	①出口塩濃度	②ﾆｰﾃﾞｨﾝｸﾞ塩濃度	③塩濃縮度(②-①)
6.5L/h:2.4L/h	47.9%	49.1%	1.2%
2.6L/h:1.0L/h	44.2%	50.6%	6.4%

表5.4-1 計算に用いた物性値

物性値	測定方法 近似式
熱伝導率	ニードルプローブ法 λ(W/m/K)=0.31667-5.625×10^{-4}T (JNC-TN-8410 99-045参照)
粘性係数	MR-300ソリキッドメータ（回転型レオメータ）により測定して、粘度を温度とずり速度の関数として定義。 （JNC-TN-8410 99-040参照）
密度	$\rho_T=\rho_{20}/(1+\beta(T-20))$, β(1/℃)=5.7×10^{-4} （事故調査委員会資料18-4参照）
比熱	アスファルトと塩との算術平均 Cp(J/kg/K)=732+2.37T(K)

表　5.4-2　化学反応に係わる定数

分子量　($NaNO_3$,$NaNO_2$)	83
ΔH	4.37×10^5(J/molNaNO3, NaNO2)
活性化エネルギー	253 (kJ/mol)
頻度因子	6.67×10^{20}(min^{-1})

表　5.4-3　低温域からの発熱を検知した際の反応速度定数

	発熱温度範囲	活性化エネルギー(KJ/mol)	頻度因子(1/min)
No.30090ドラム	230～260℃	76	1.23×10^4
	261～354℃	204	2.56×10^{16}
V21廃液	171～282℃	31	3.43×10^{-1}
	283～448℃	219	7.84×10^{16}

表5.4-4　固化体の火災時の計算モデル

火炎高さ：2～3m	壁床天井境界面の熱的条件：断熱
火炎からの熱流束：$1\times10^{5}(W/m^{2})$	壁床天井境界面のふく射率：0.7
火炎のふく射率：0.3	シャッター及び屋根開口部：自由流出
ふく射強度の吸収係数：0.15(1/m)	ふく射計のふく射率：0.9
ふく射強度の散乱係数：$1\times10^{-4}(1/m)$	ふく射計モデル：P-1モデル

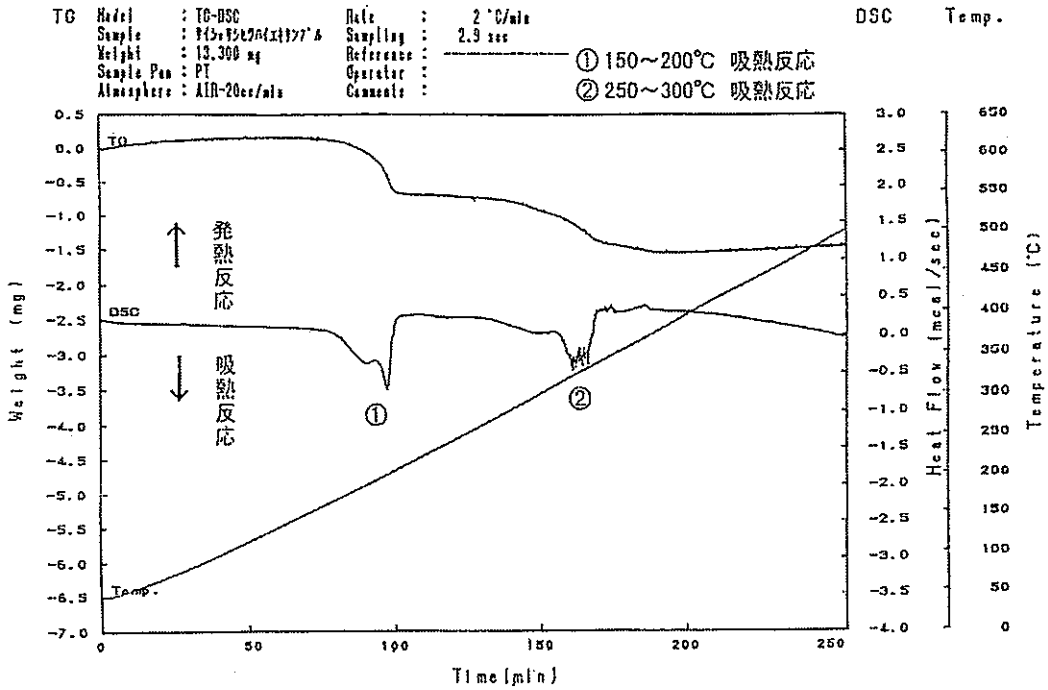


図5.2-1 示差走査熱量計(DSC)，熱重量(TG)測定結果（ST廃液）

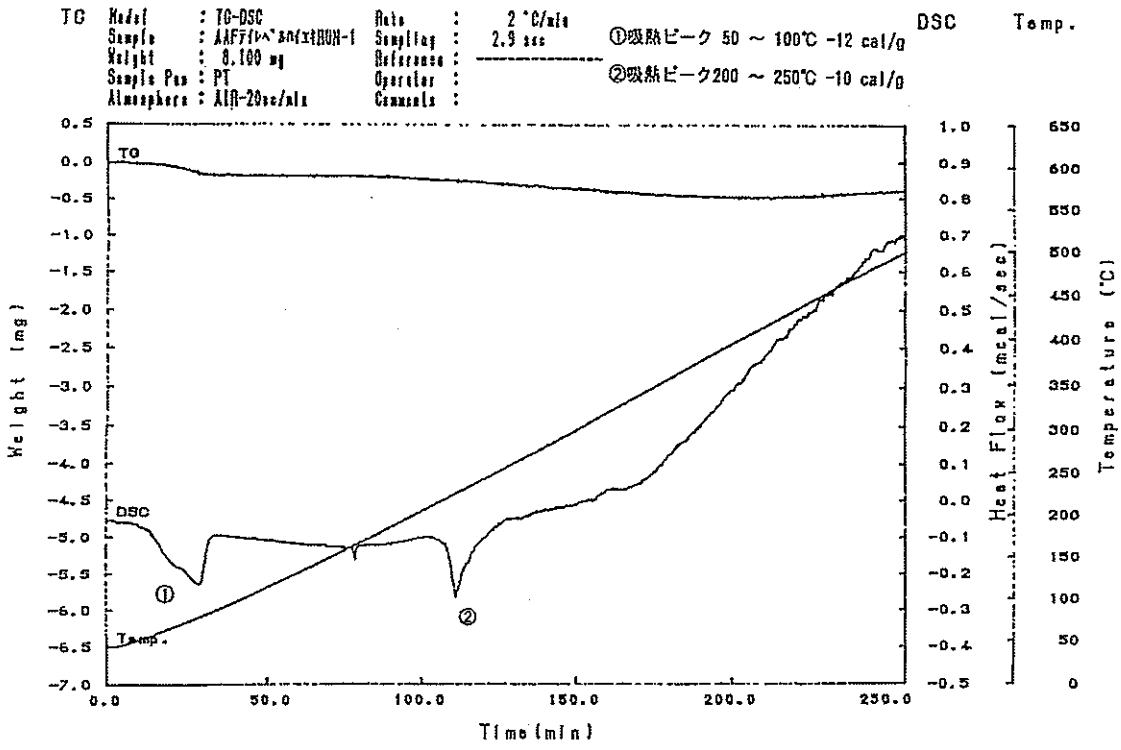


図5.2-2(1)　示差走査熱量計(DSC)，熱重量(TG)測定結果
（AAF廃液　平成9年4月5日採取）

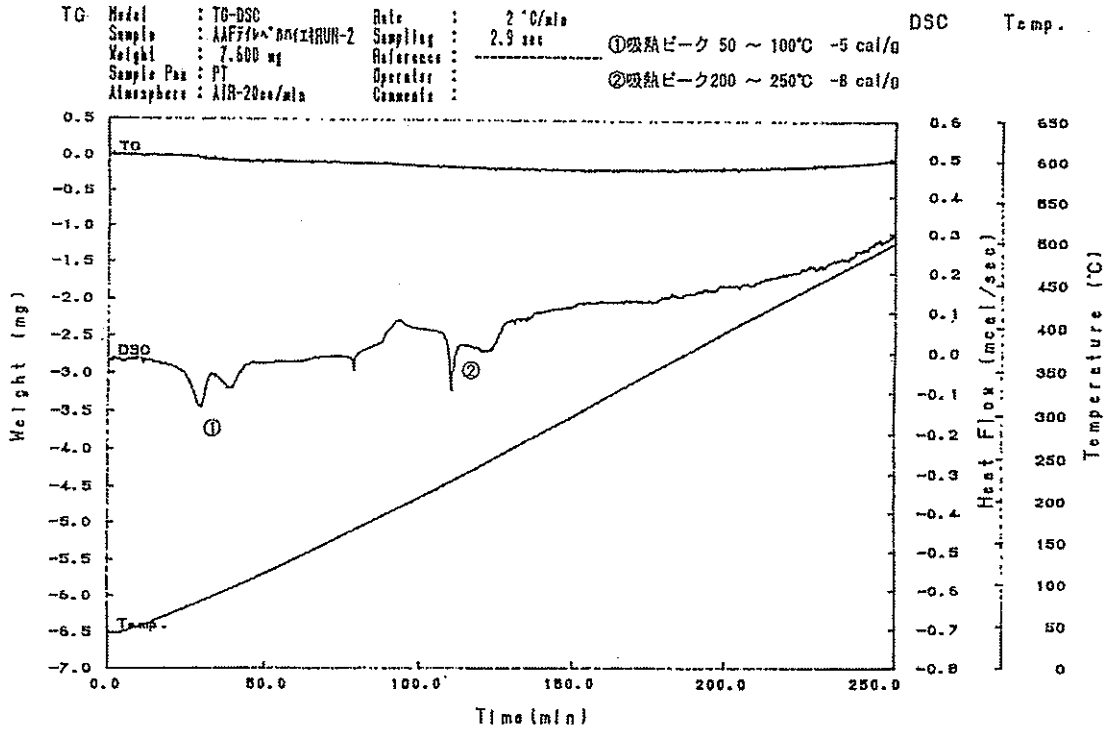


図5.2-2(2)　示差走査熱量計(DSC)，熱重量(TG)測定結果
（AAF廃液　平成9年4月6日採取）

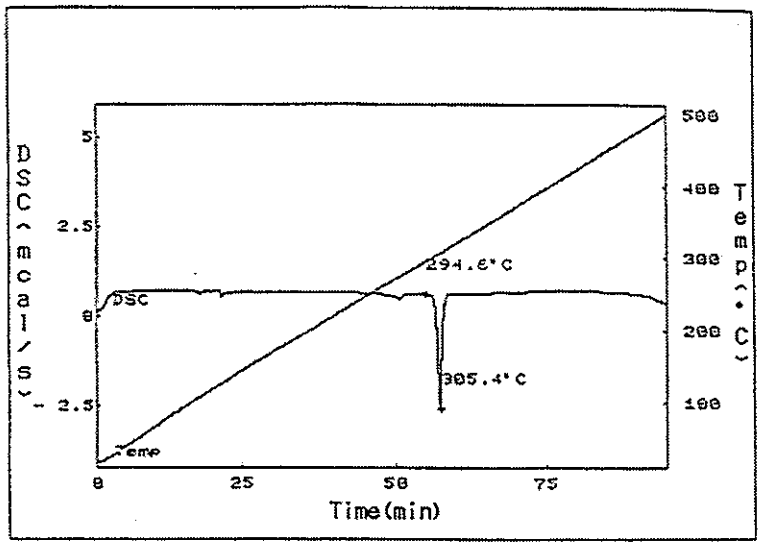


図5.2-3(1) 示差走査熱量計(DSC)測定結果
(AAF 331V10)

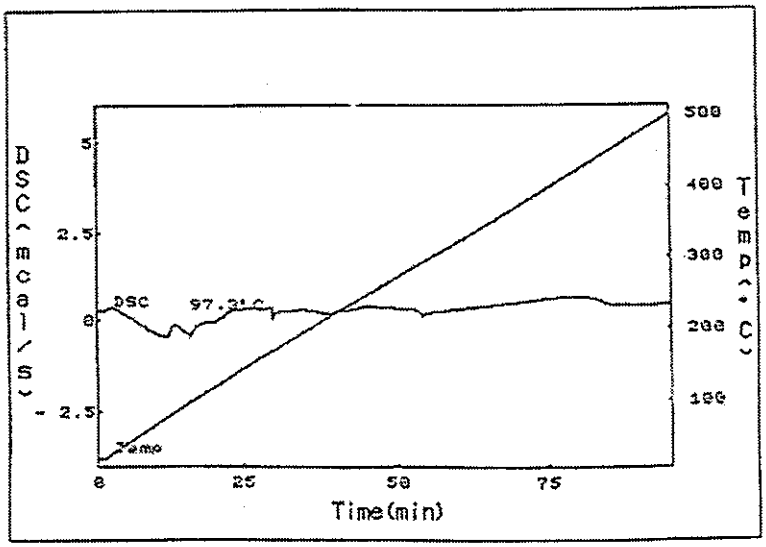


図5.2-3(2) 示差走査熱量計(DSC)測定結果
(AAF 331V11液相)

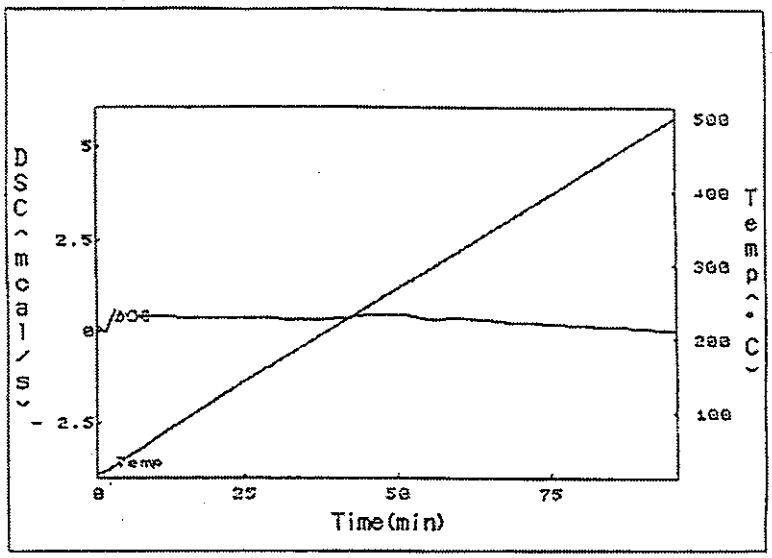


図5.2-3(3) 示差走査熱量計(DSC)測定結果
(AAF 331V11沈殿物)

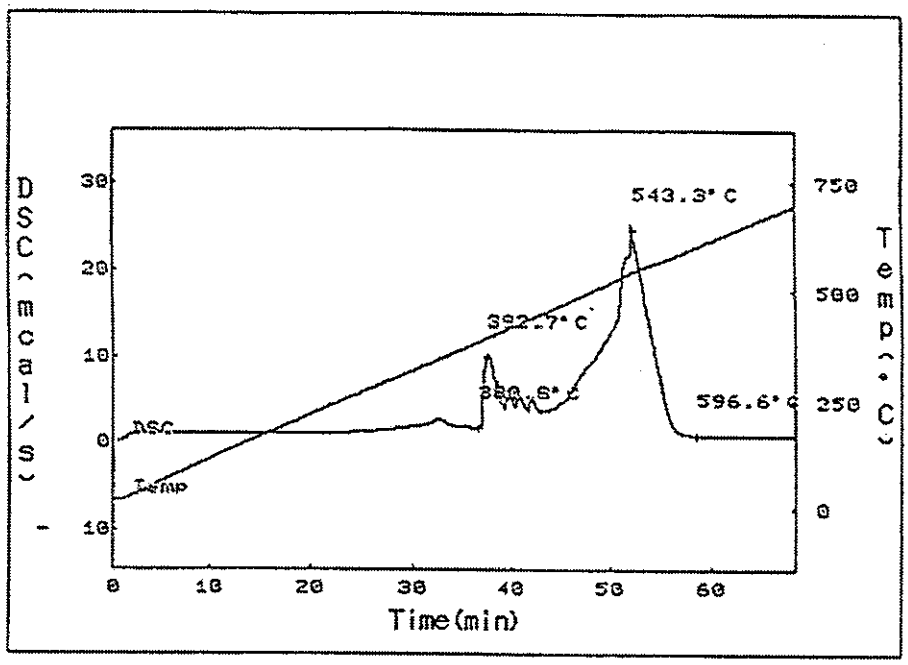


図5.2-4(1) 示差走査熱量計（DSC）測定結果
（原料アスファルト，空気雰囲気）

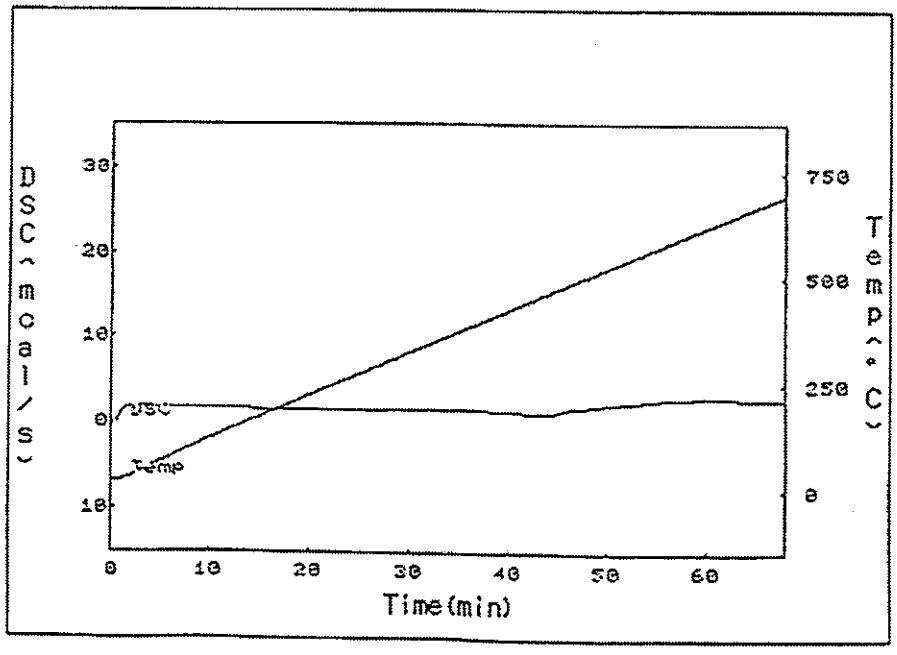


図5.2-4(2) 示差走査熱量計（DSC）測定結果
（原料アスファルト，窒素雰囲気）

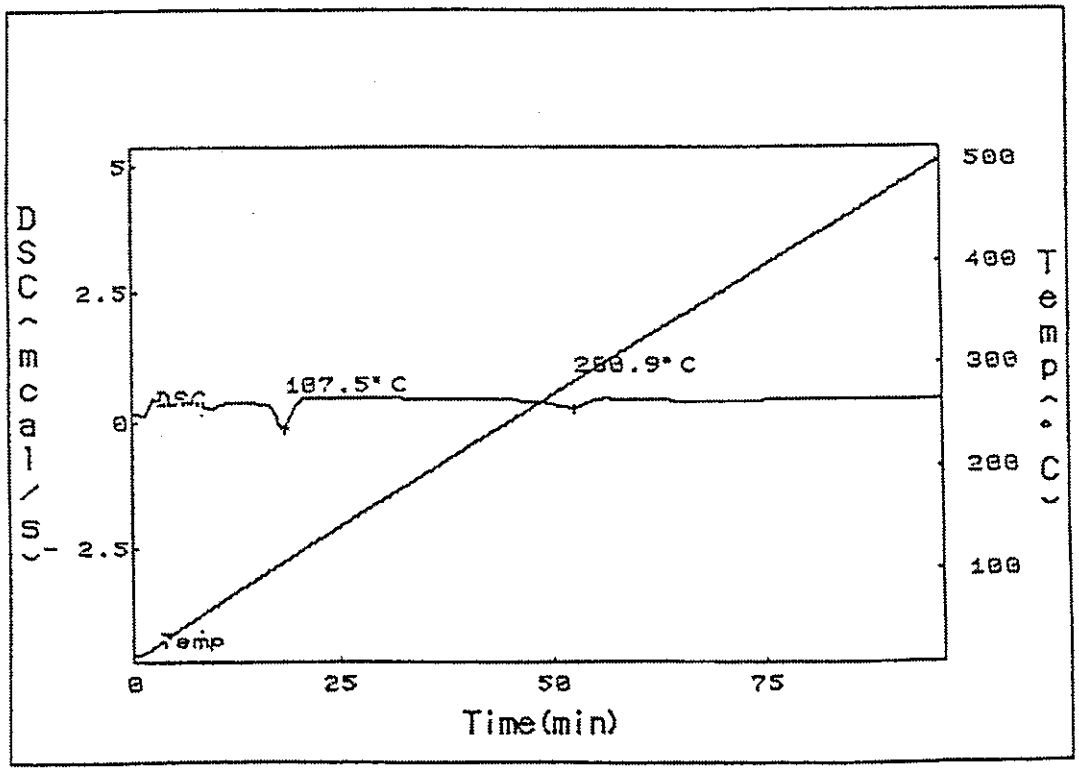


図5.2-5(1)　V21廃液の示差走査熱量計（DSC）測定結果

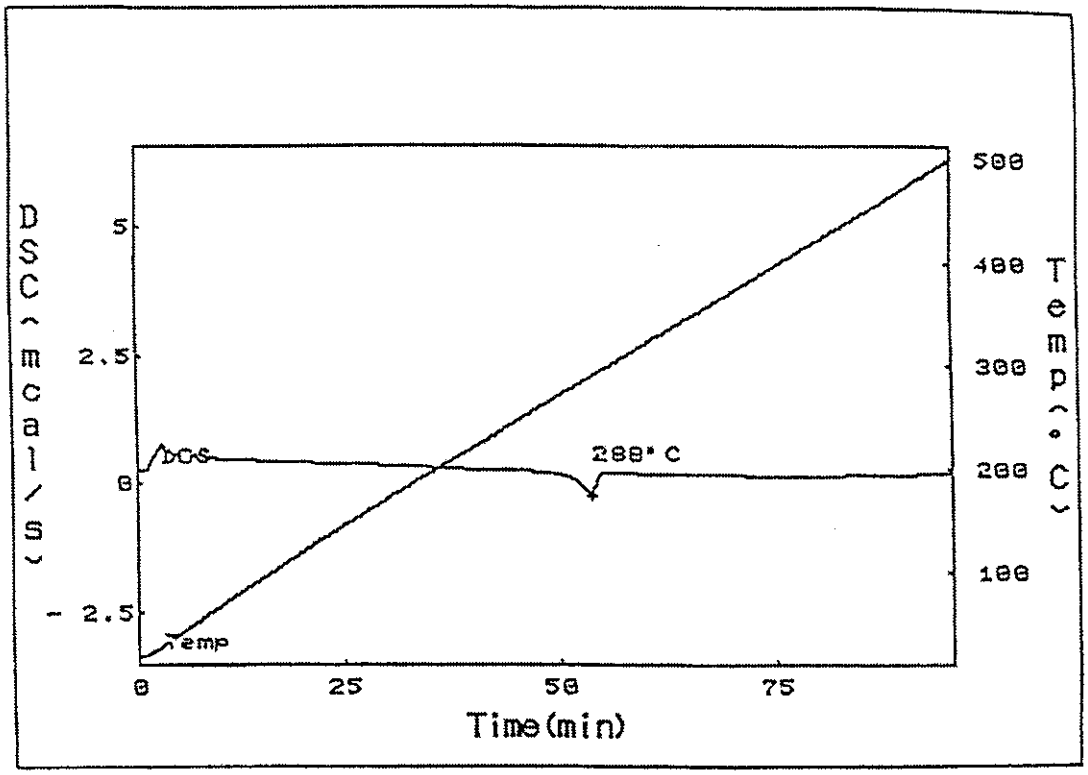


図5.2-5(2)　V21廃液の示差走査熱量計（DSC）測定結果
（PH7に調整）

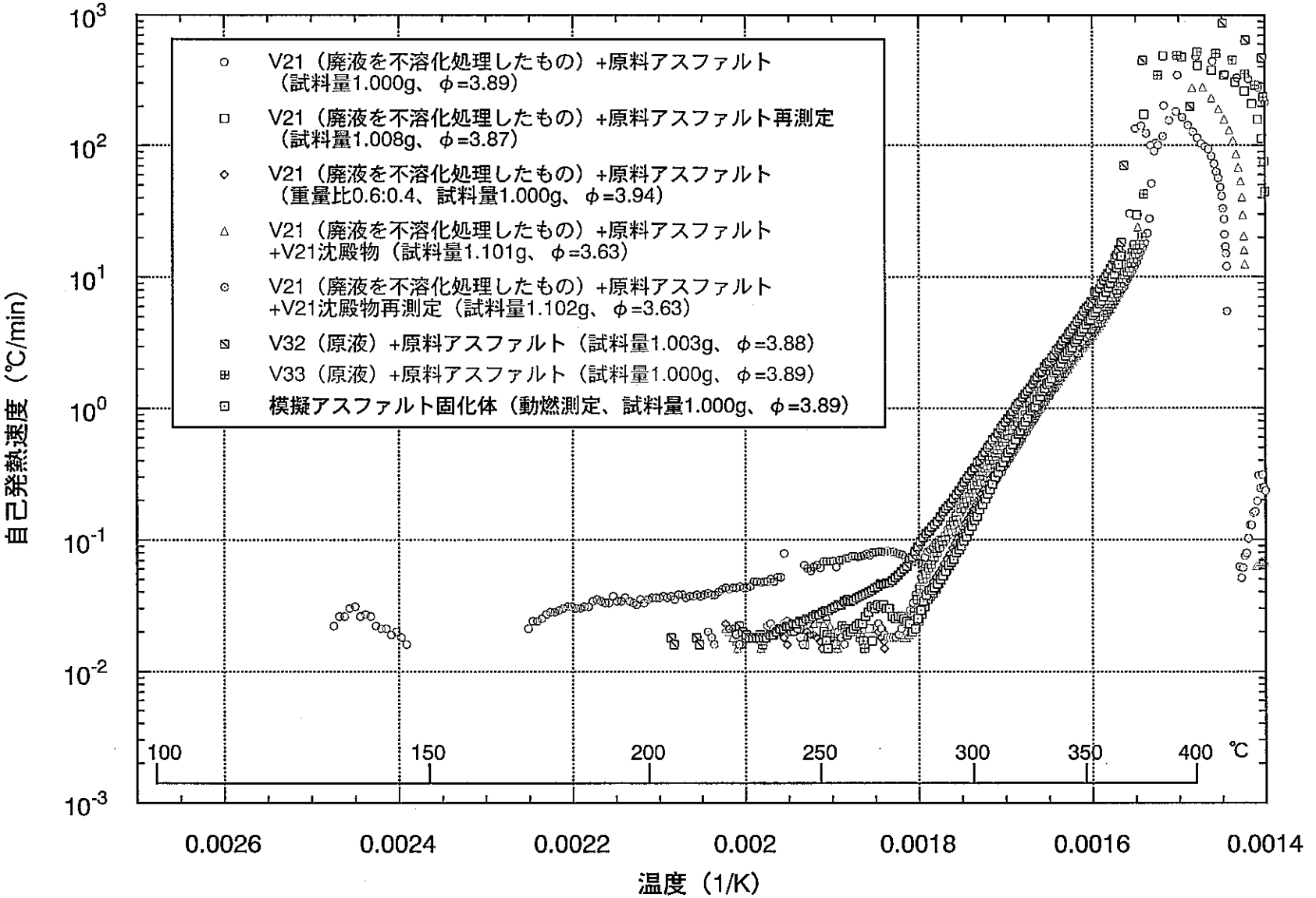


図5.2-6　廃液の蒸発乾固物+原料アスファルトの自己発熱速度の比較
(Bombでの測定値、約100～400℃の範囲の発熱)

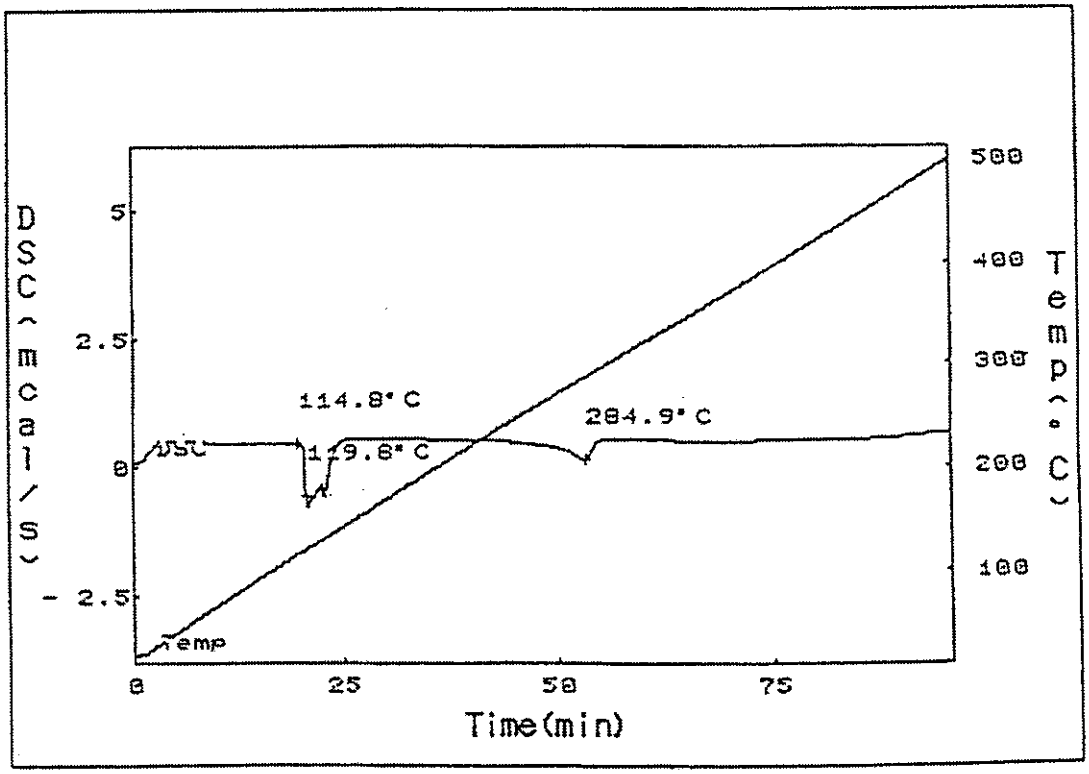


図5.2-7(1) V30廃液の示差走査熱量計（DSC）測定結果
（液相）

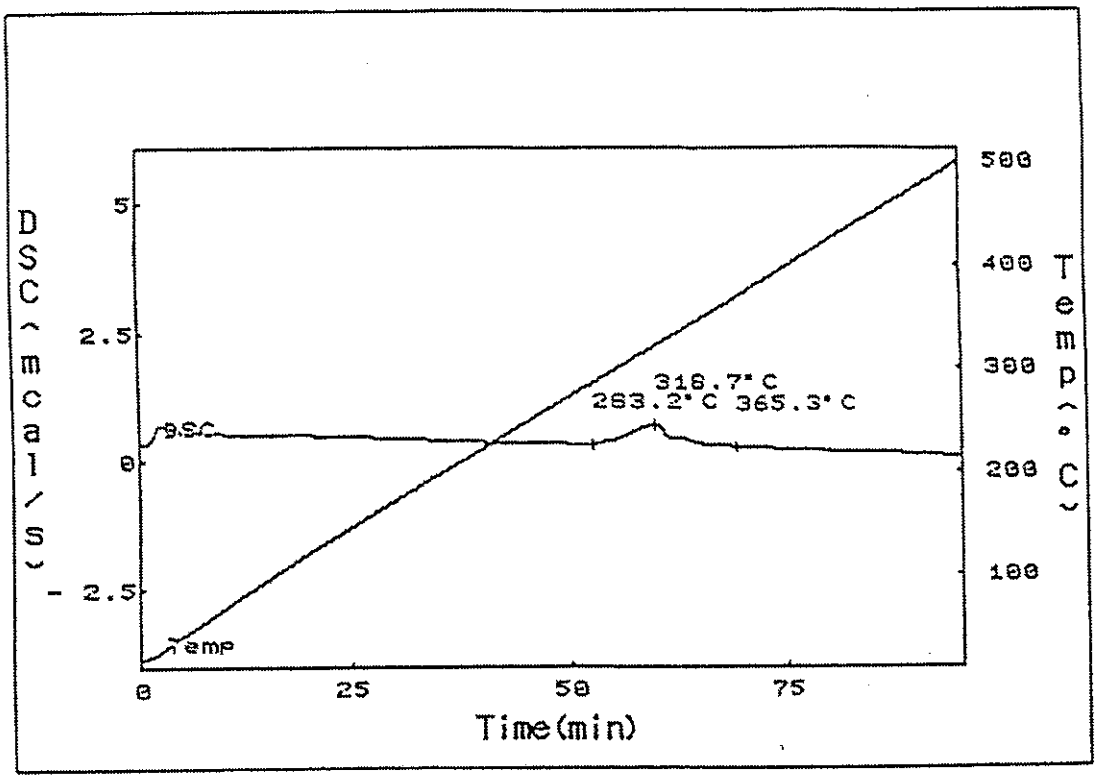


図5.2-7(2) V30廃液の示差走査熱量計（DSC）測定結果
（沈殿物）

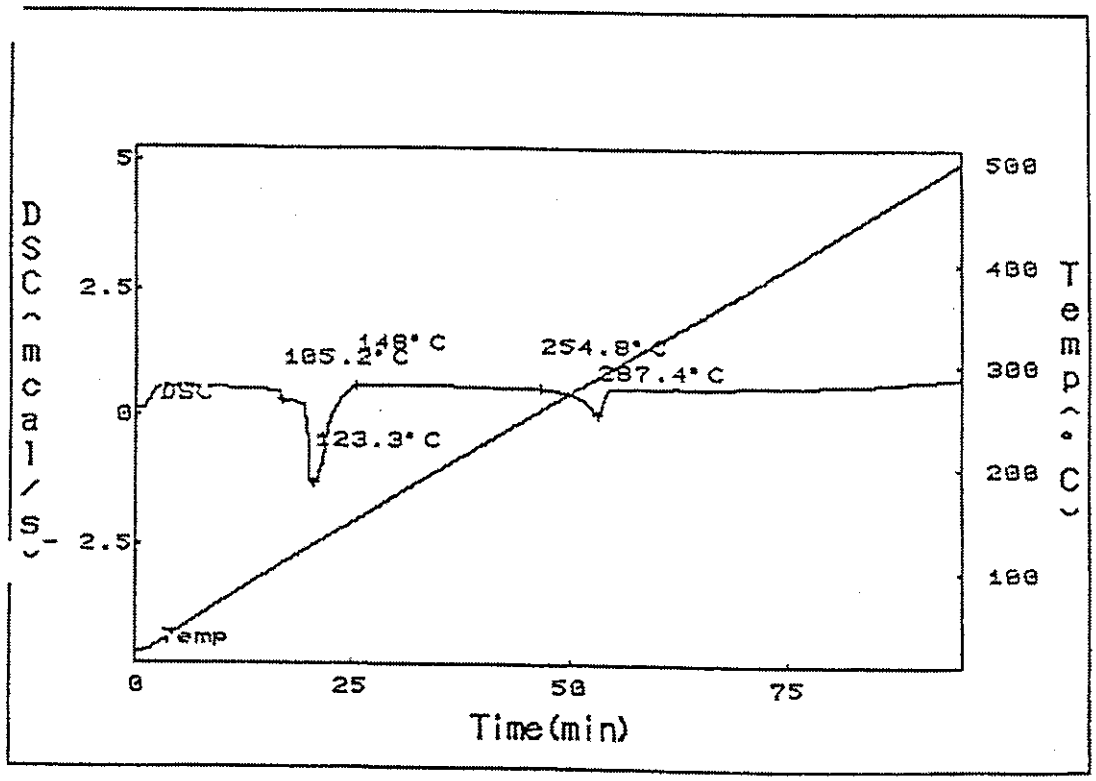


図5.2-8　V31廃液の示差走査熱量計（DSC）測定結果
（液相）

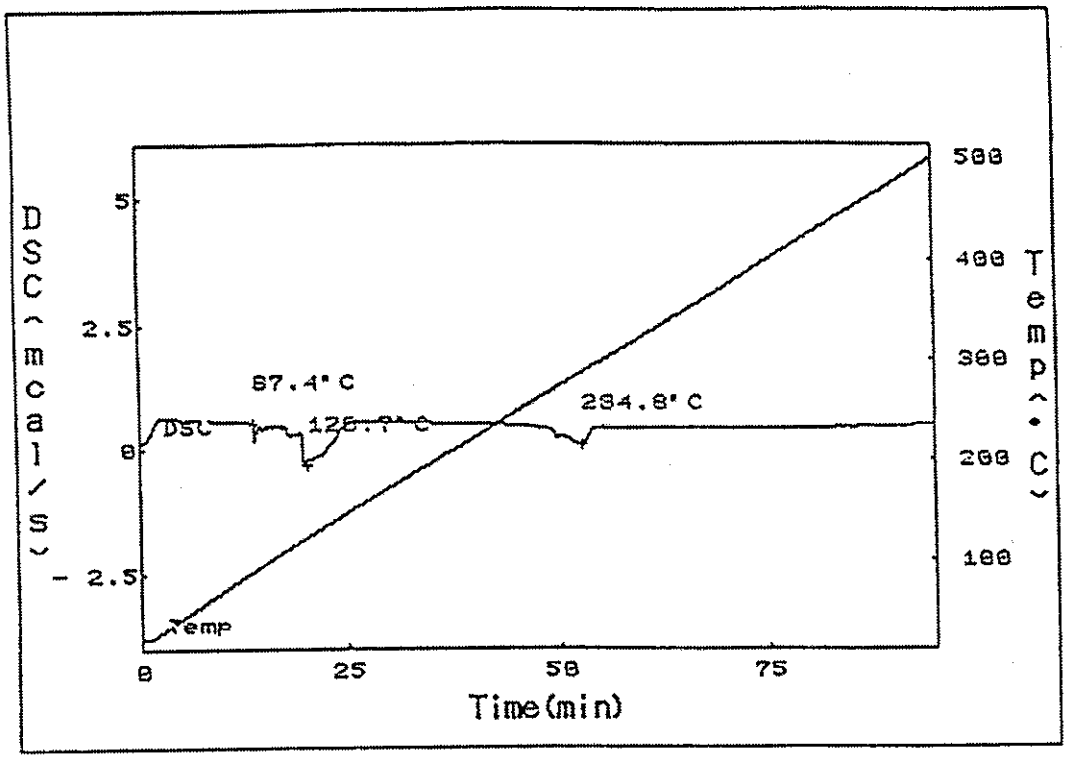


図5.2-9(1) V32廃液の示差走査熱量計（DSC）測定結果
（液相）

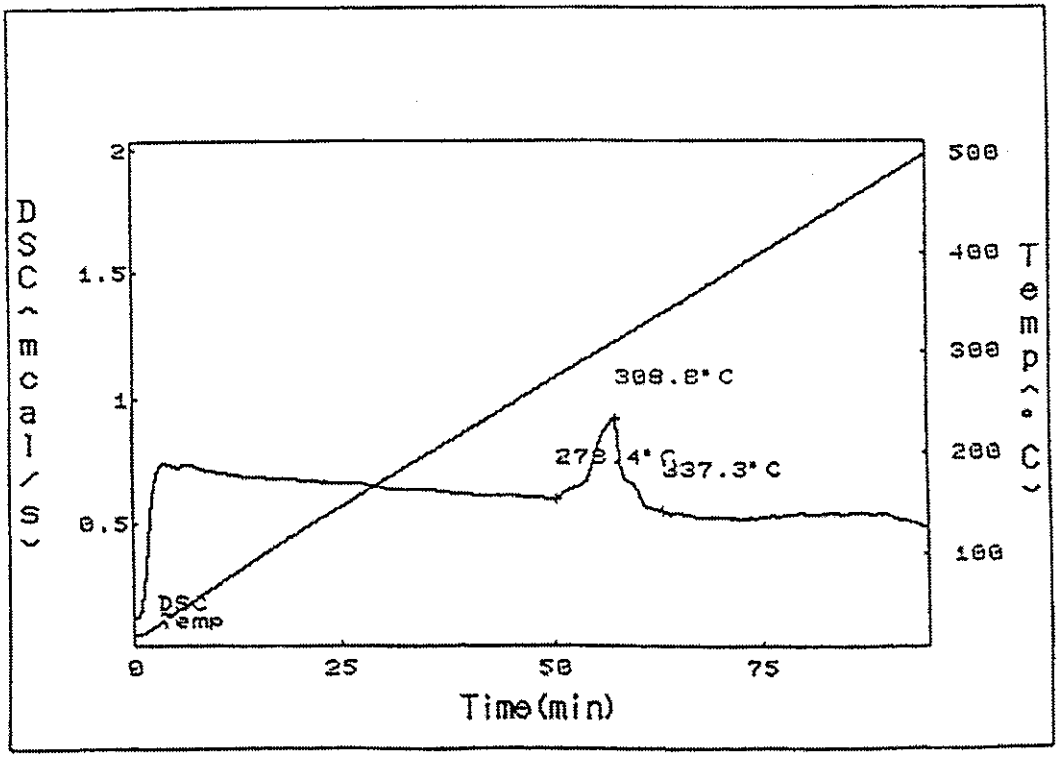


図5.2-9(2) V32廃液の示差走査熱量計（DSC）測定結果
（沈殿物）

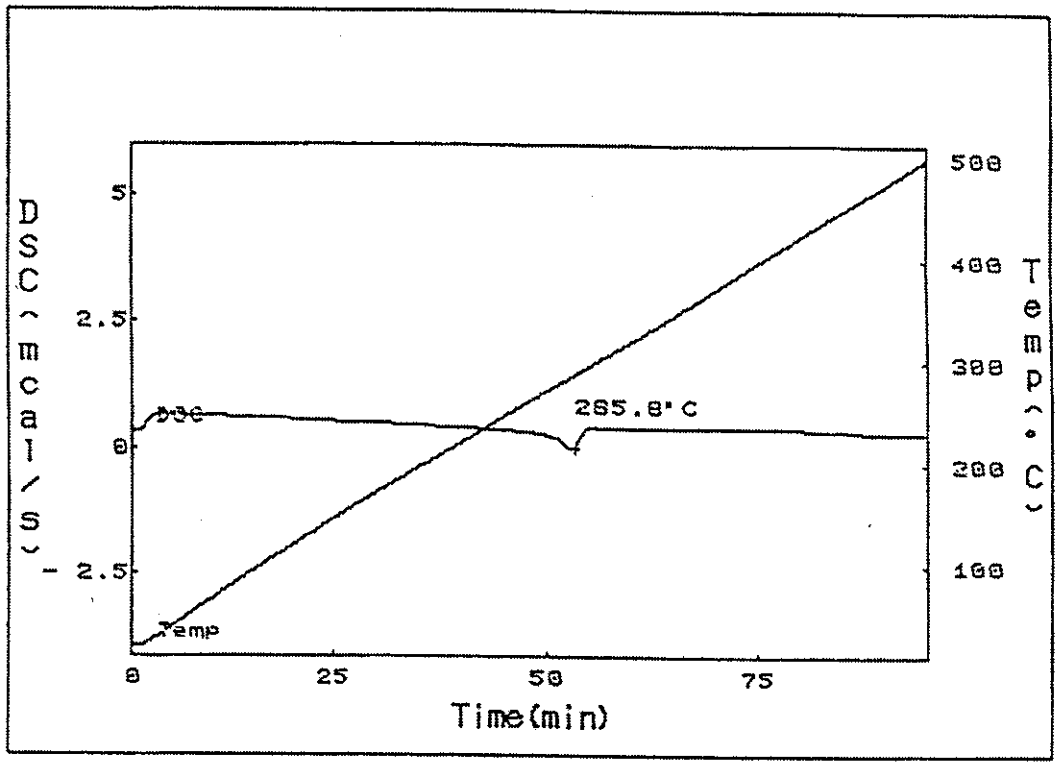


図5.2-10(1) V33廃液の示差走査熱量計（DSC）測定結果
（液相）

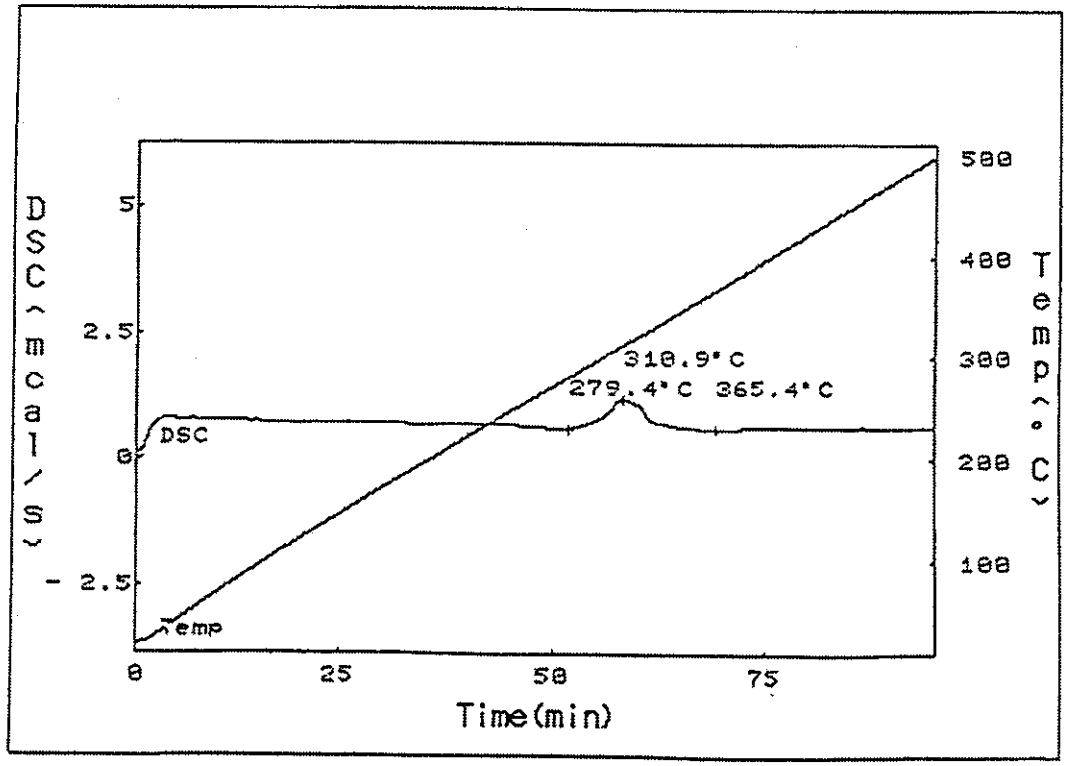


図5.2-10(2) V33廃液の示差走査熱量計（DSC）測定結果
（沈殿物）

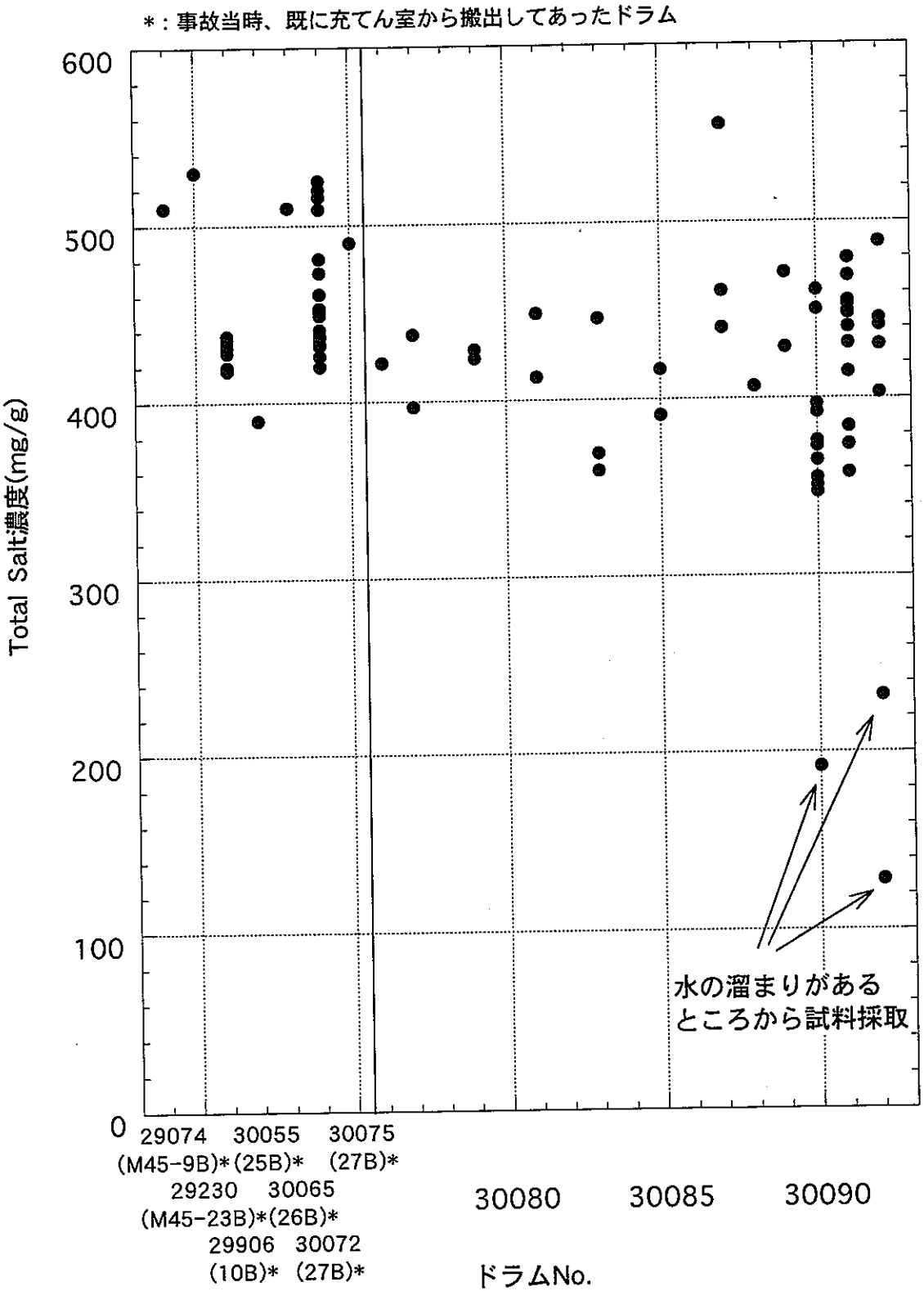


図5.2-11　充てん室内固化体のTotal Salt濃度分析結果

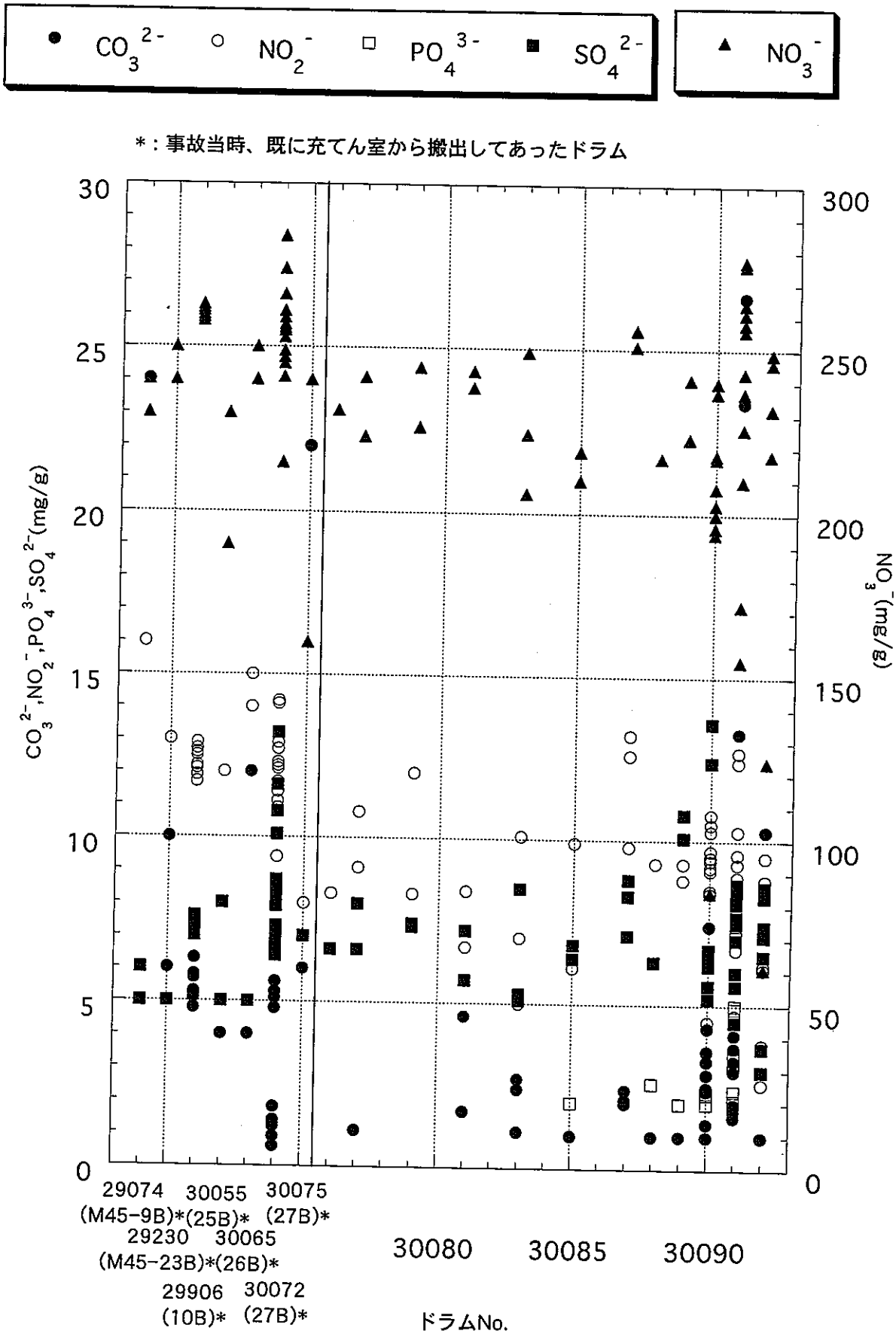


図5.2-12　充てん室内固化体の陰イオン濃度分析結果

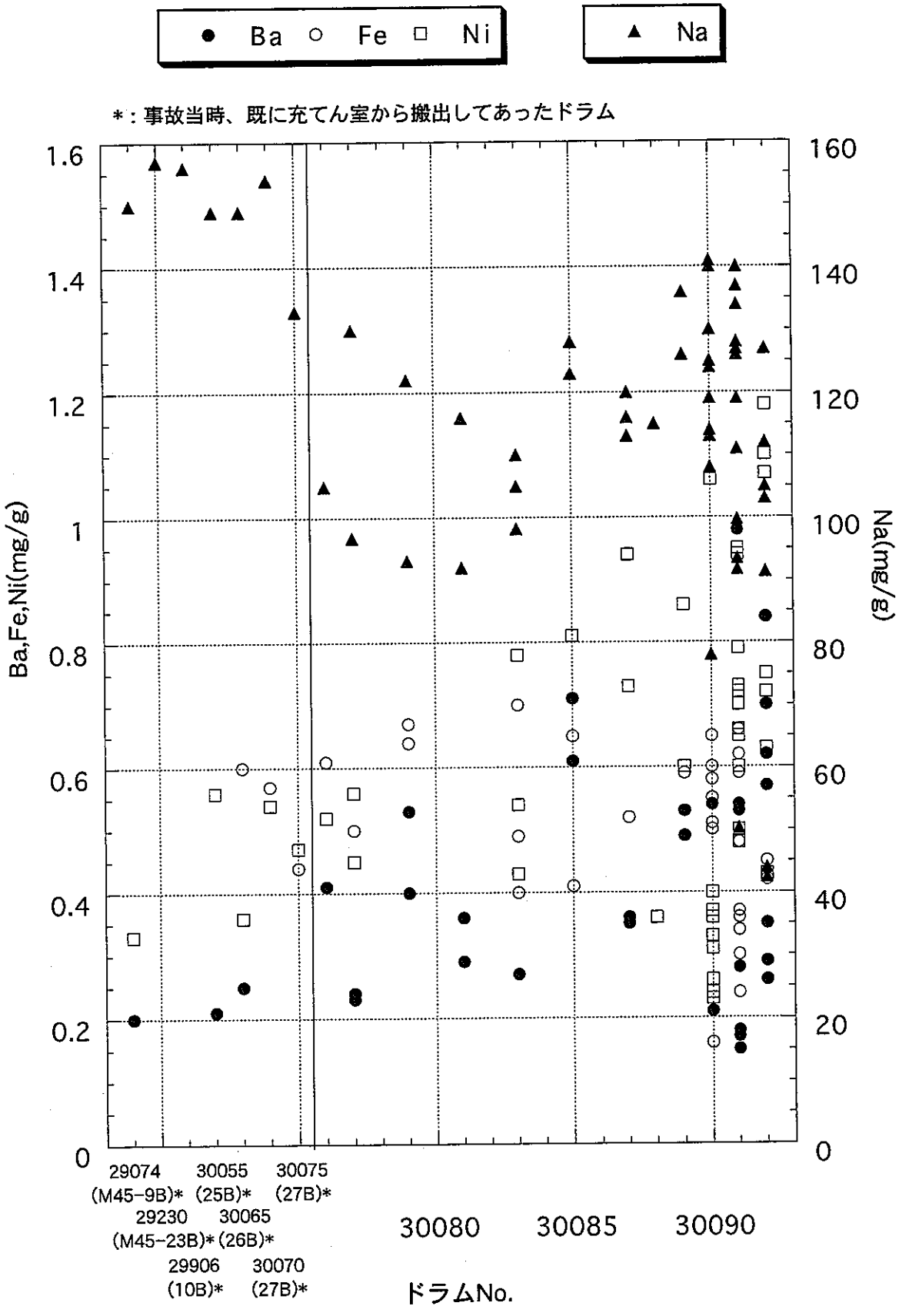


図5.2-13　充てん室内固化体の金属成分濃度分析結果

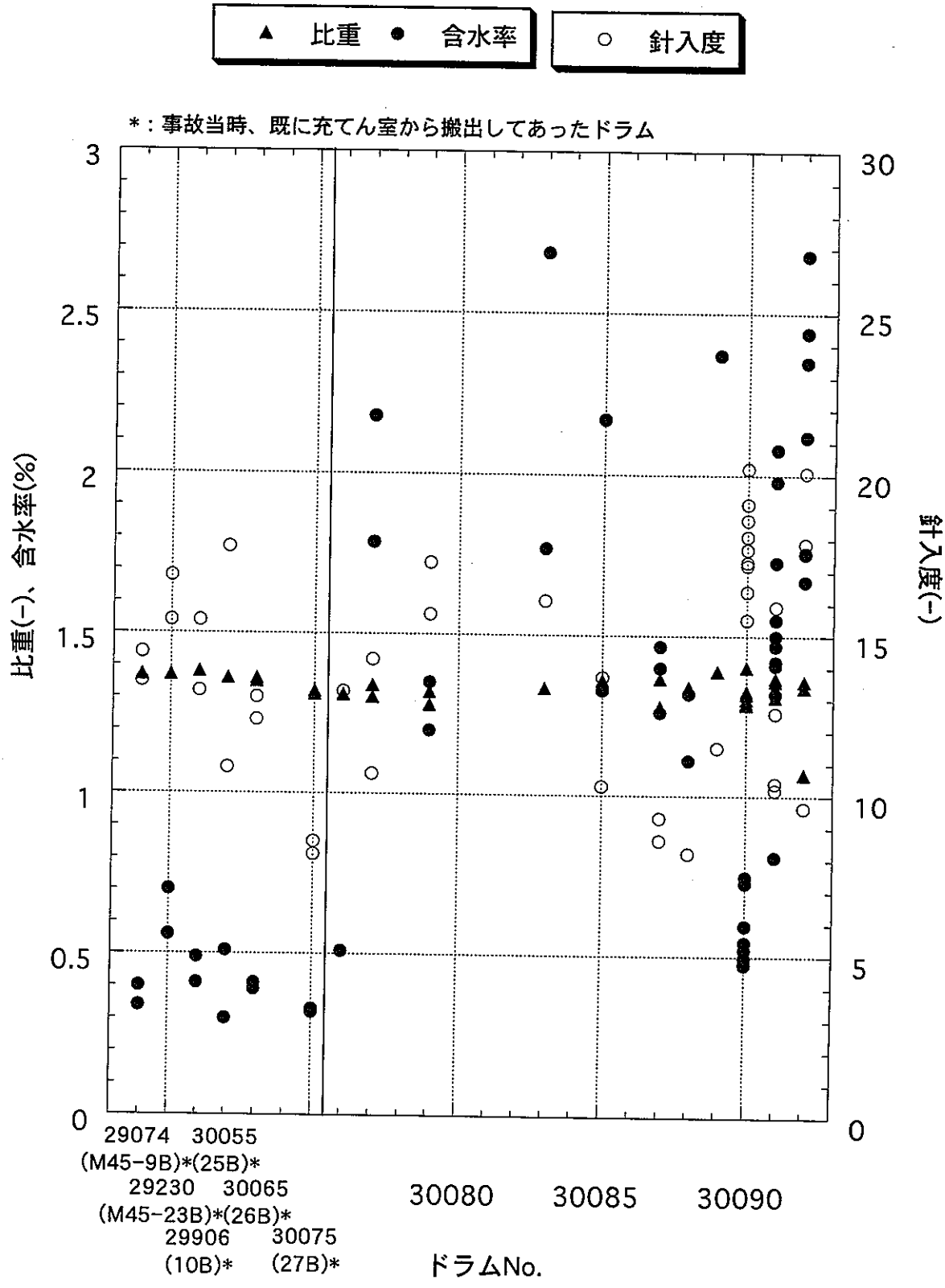


図5.2-14　充てん室内固化体の物性測定結果

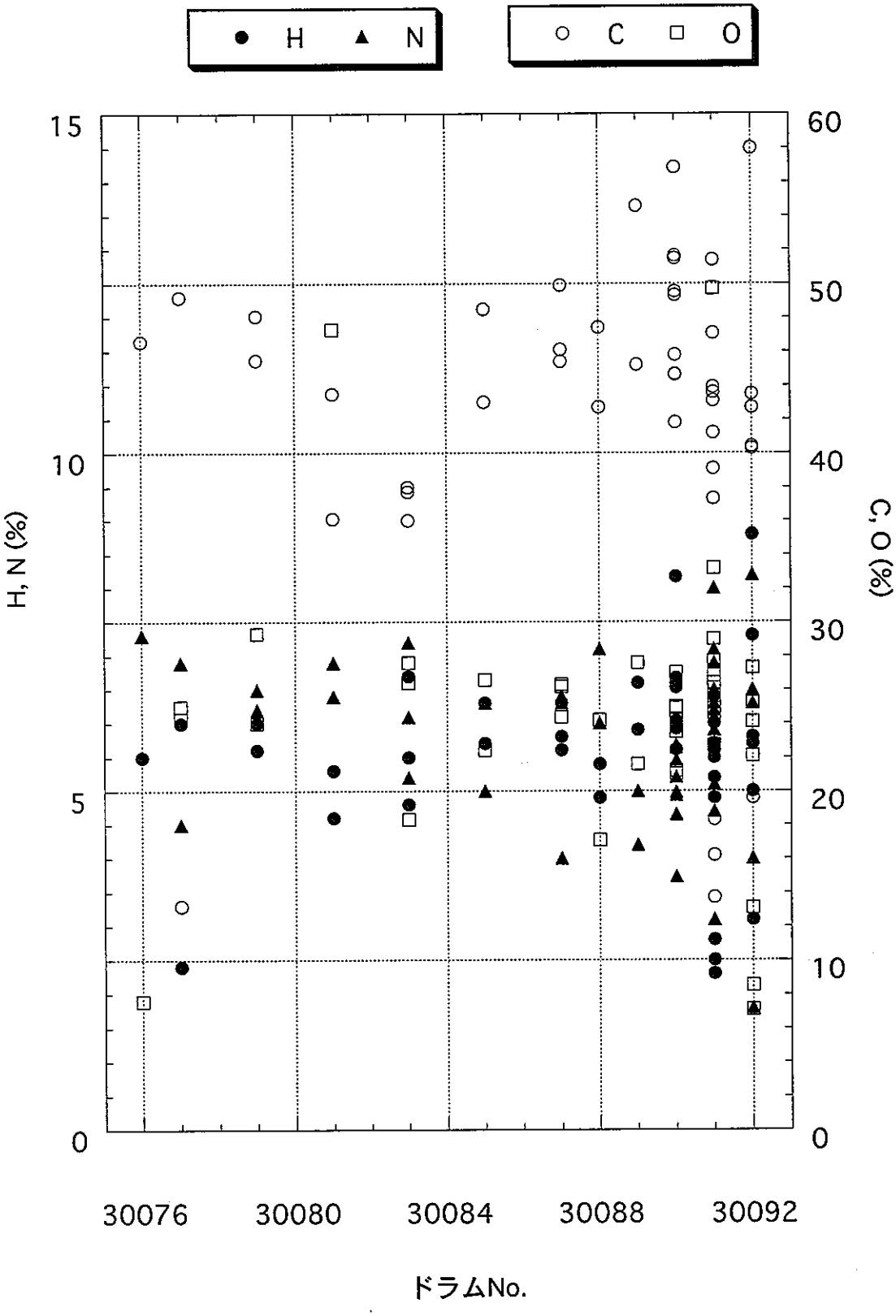


図5.2-15　充てん室内固化体のCHNO濃度分析結果

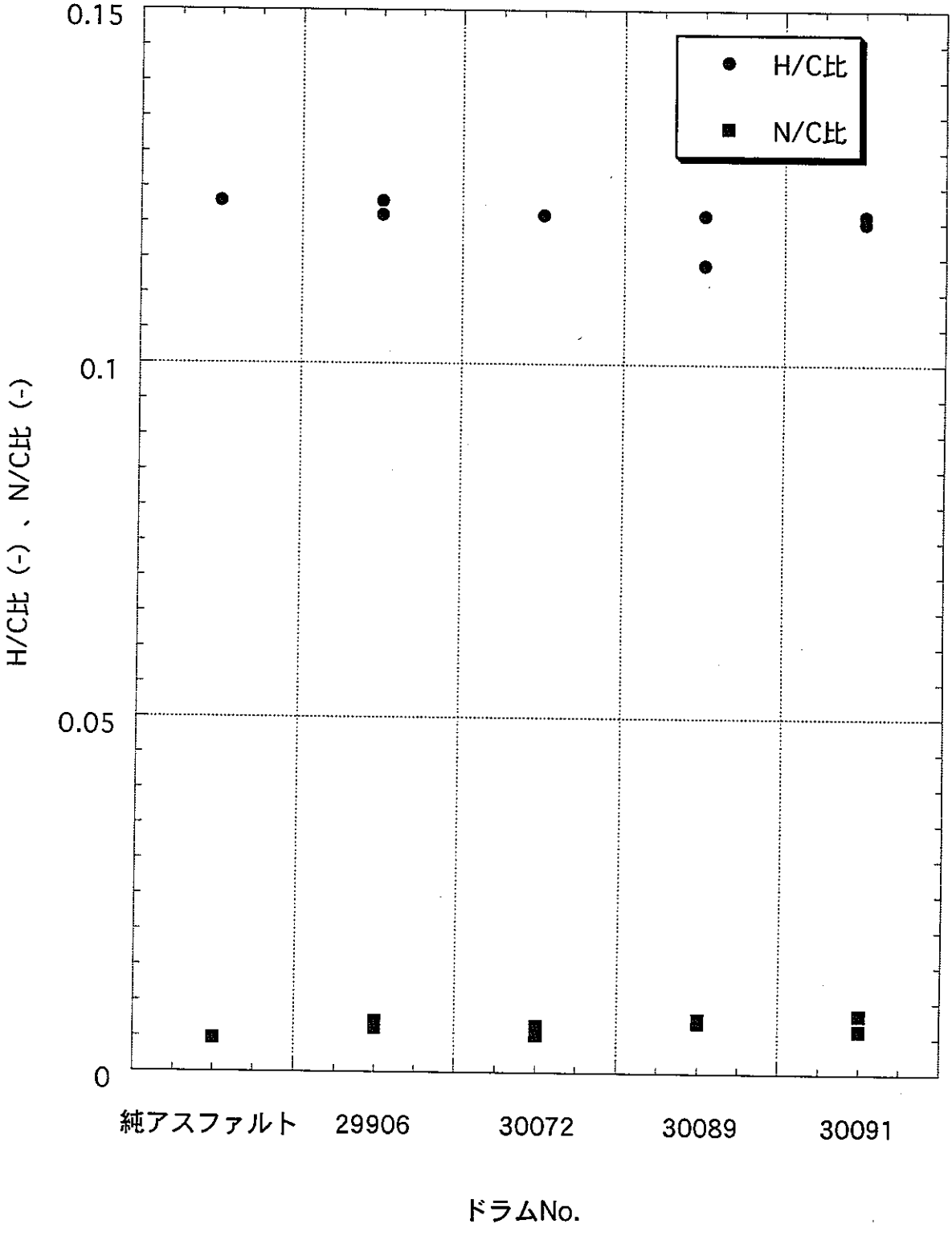


図5.2−16　充てん室内固化体の塩除去後のCHN濃度分析結果

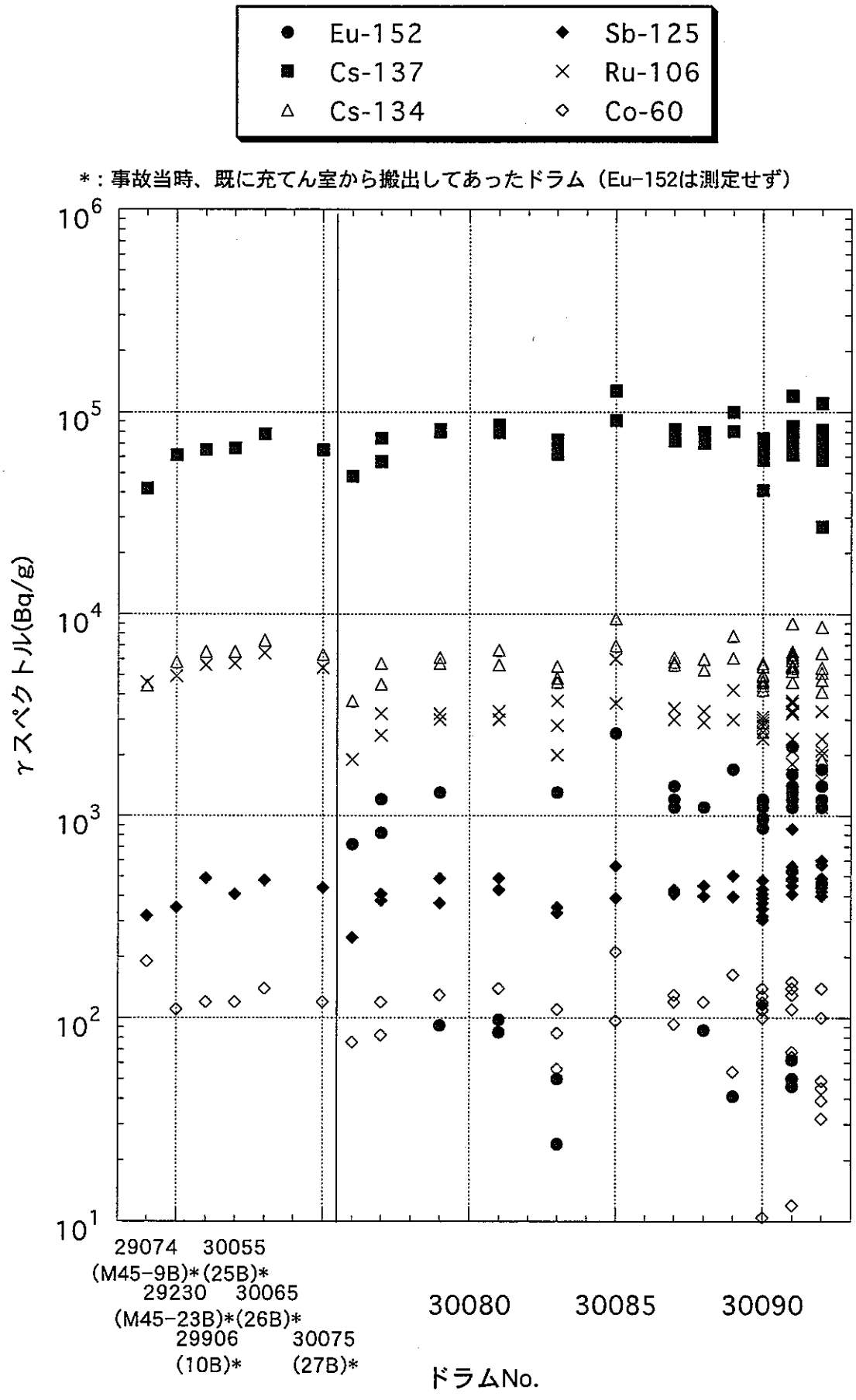


図5.2-17　充てん室内固化体のγスペクトル分析結果

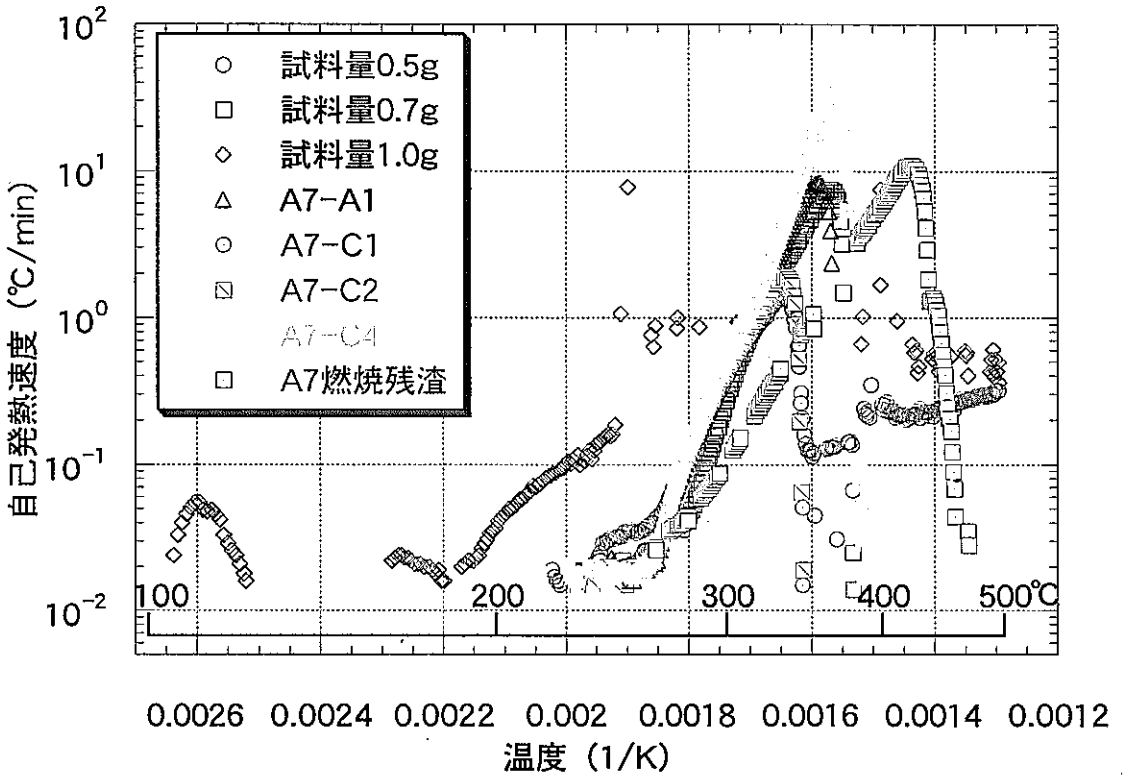


図5.2−18　ドラムNo.30090の固化体のARC測定結果

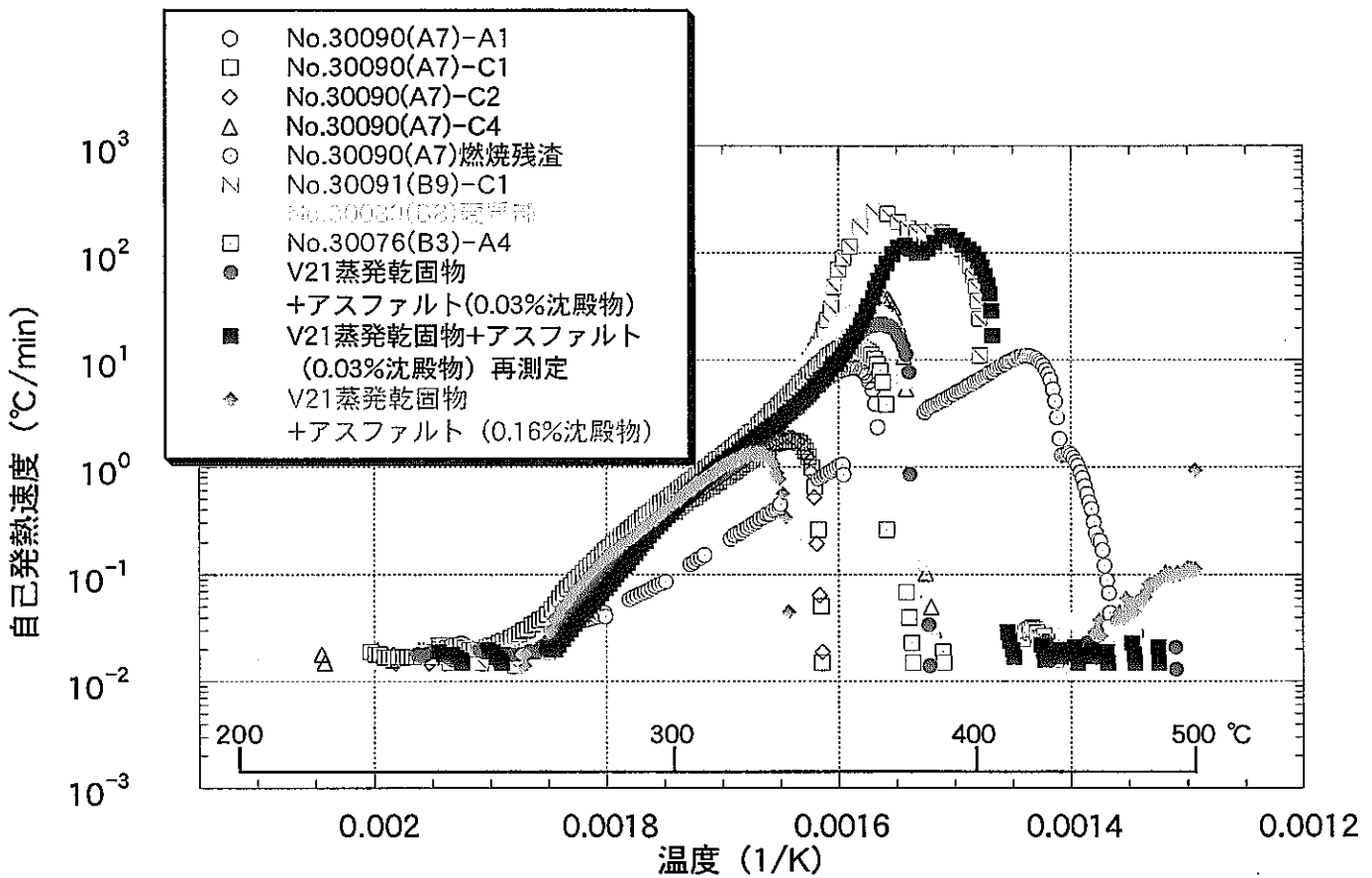


図5.2−19　充てん室内ドラム固化体等のARC測定結果（自己発熱速度の比較）

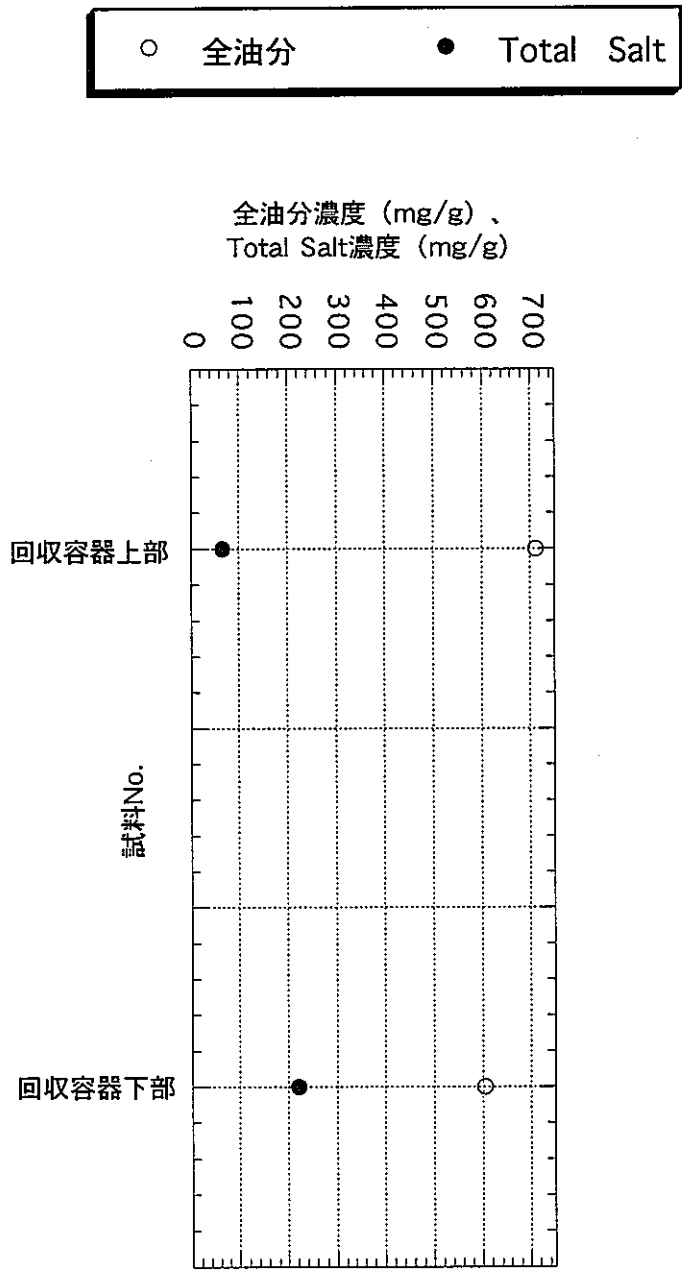


図5.2-20　エクストルーダ内残存アスファルト混合物の　Total　Salt　濃度、全油分濃度分析結果

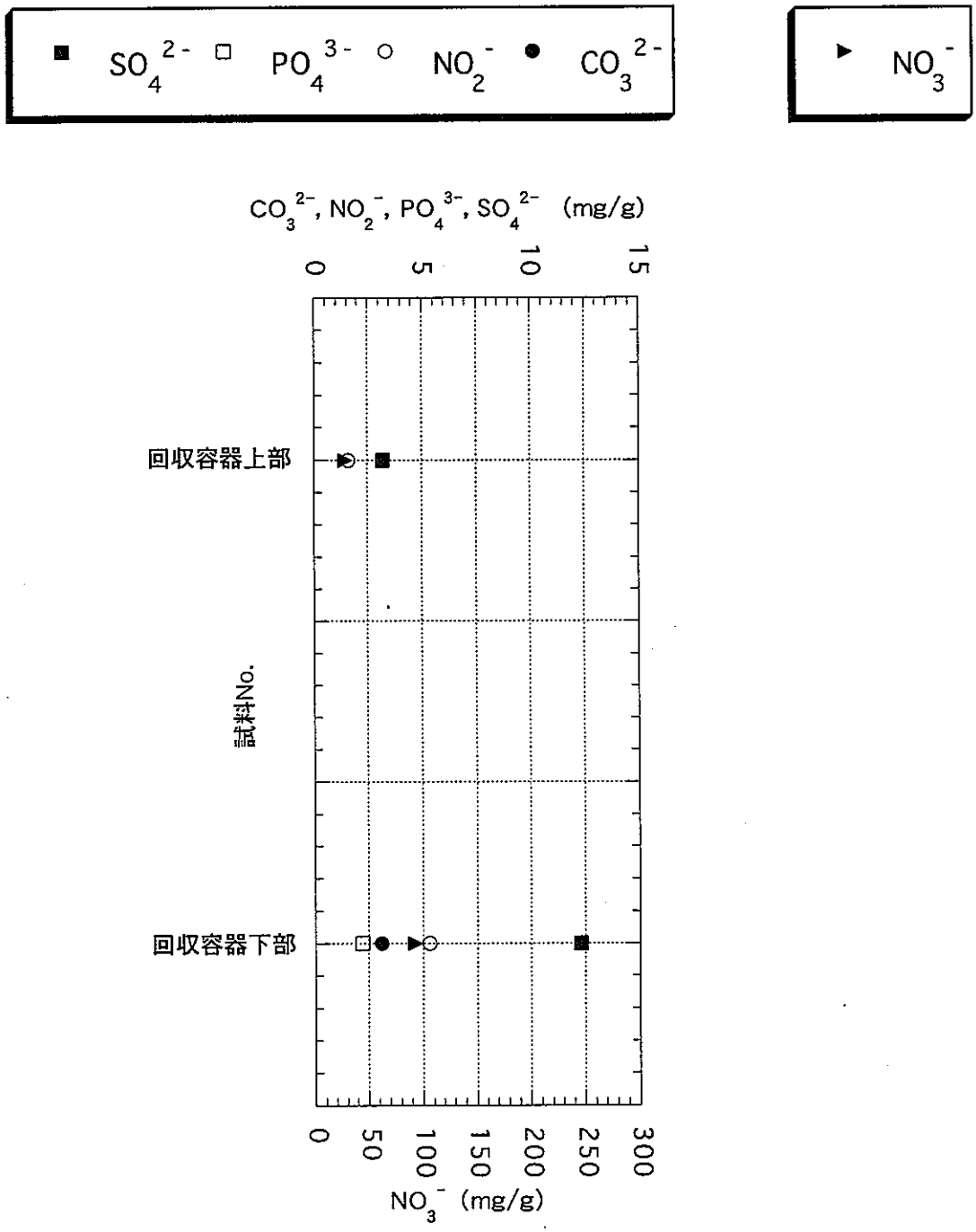


図5.2-21　エクストルーダ内残存アスファルト混合物の陰イオン濃度分析結果

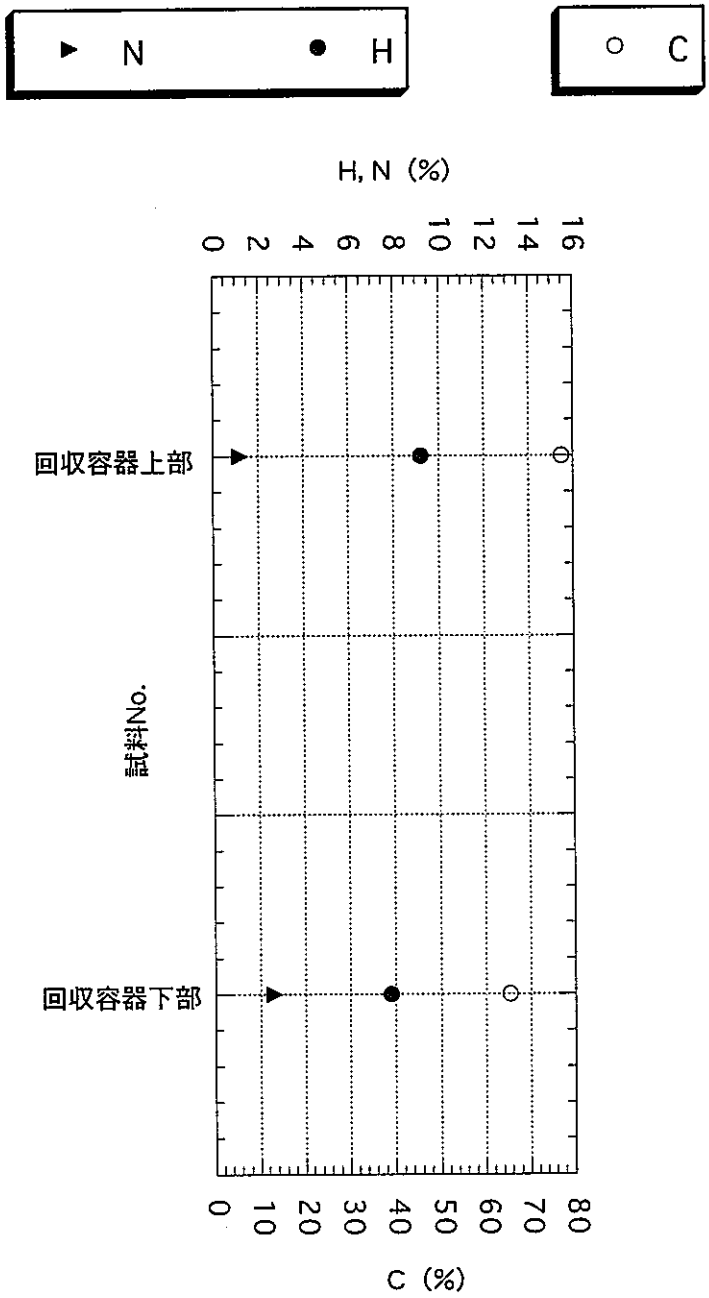


図5.2-22　エクストルーダ内残存アスファルト混合物の
CHN濃度分析結果

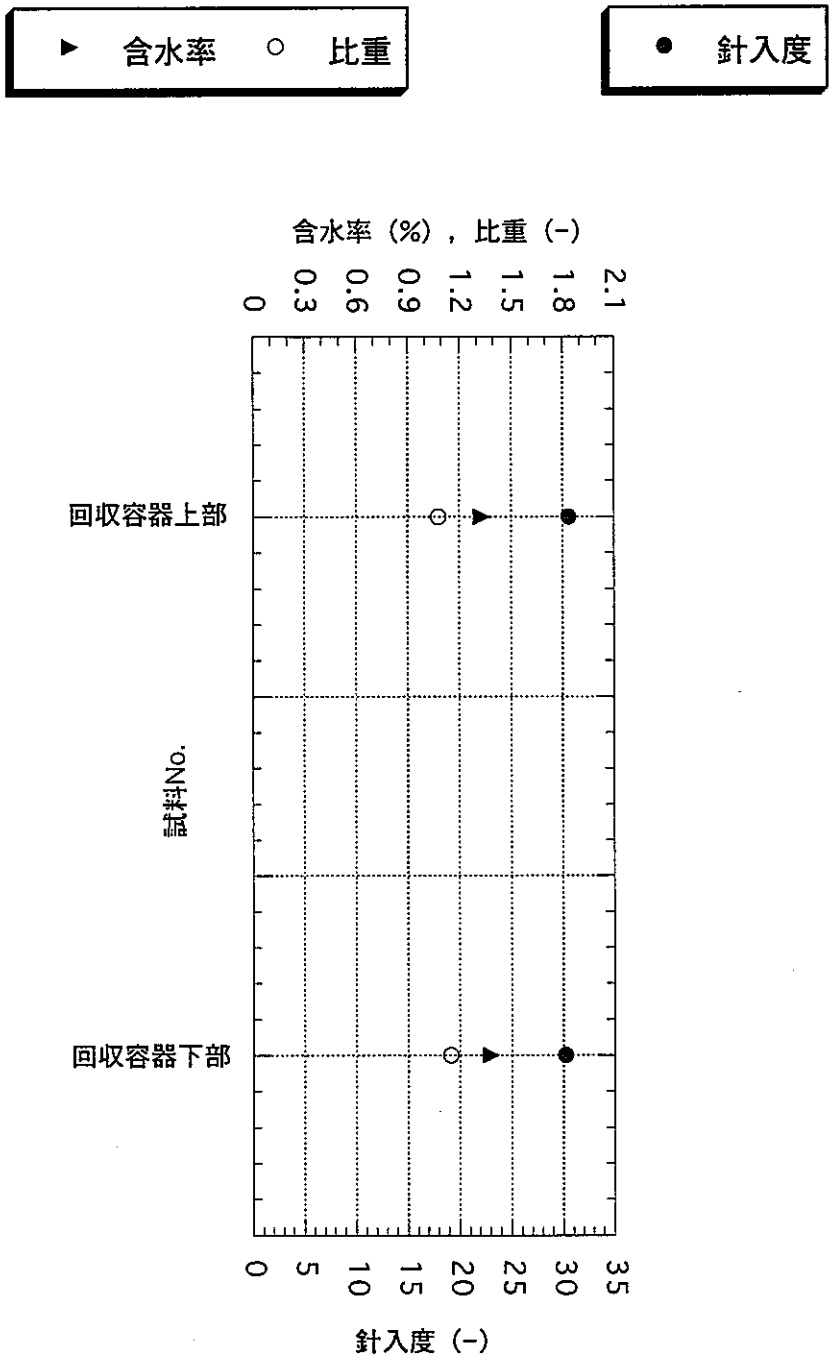


図5.2-23　エクストルーダ内残存アスファルト混合物の物性測定結果

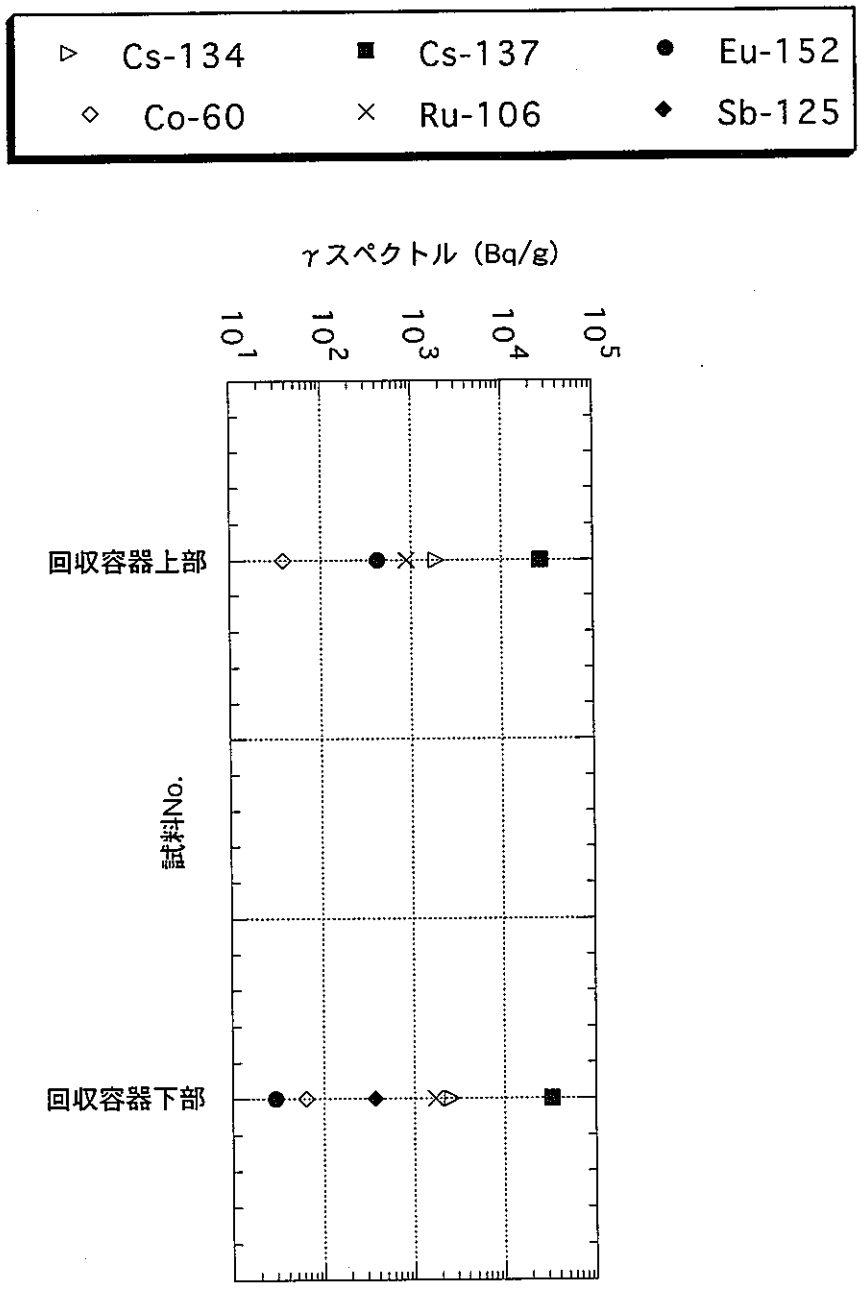


図5.2-24　エクストルーダ内残存アスファルト混合物の
γスペクトル分析結果

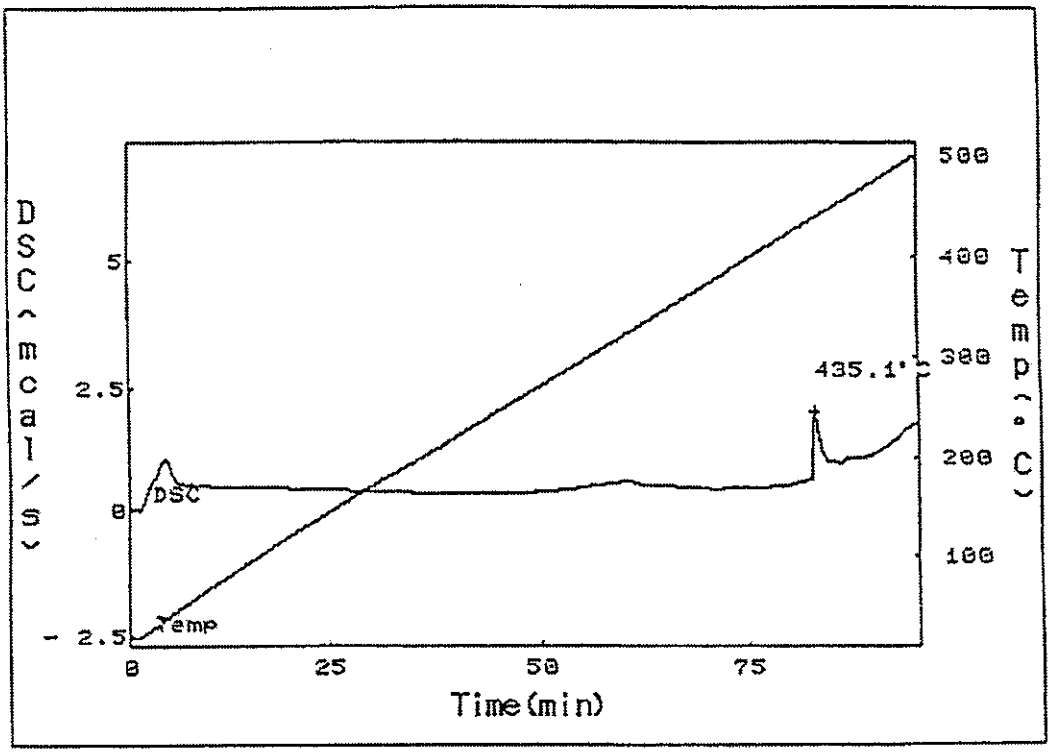


図5.2-25　エクストルーダ内残存アスファルト（平成9年7月採取）
の示差走査熱量計(DSC)測定結果

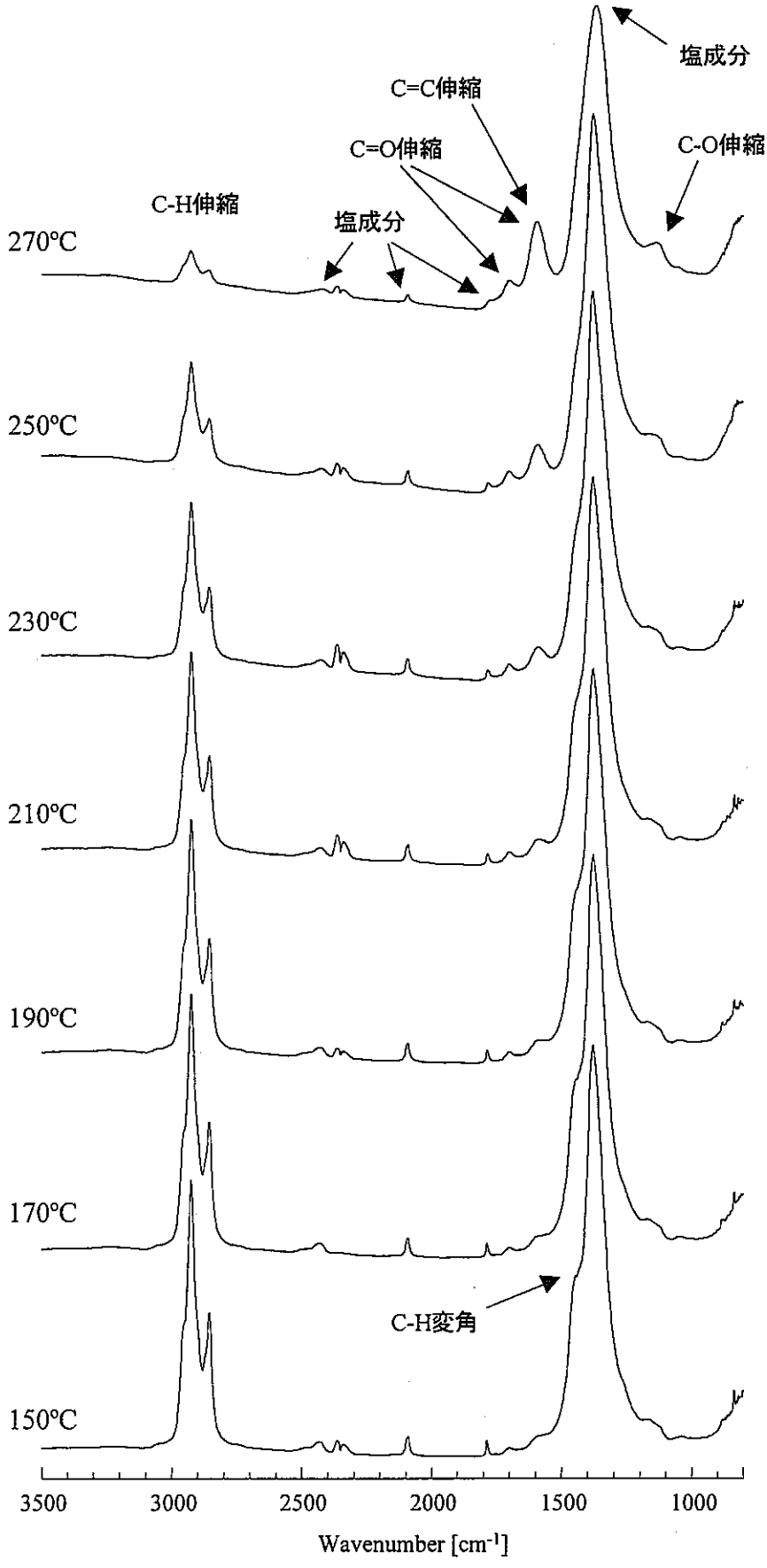


図5.2-26 空気雰囲気における模擬固化体の昇温IR測定の結果

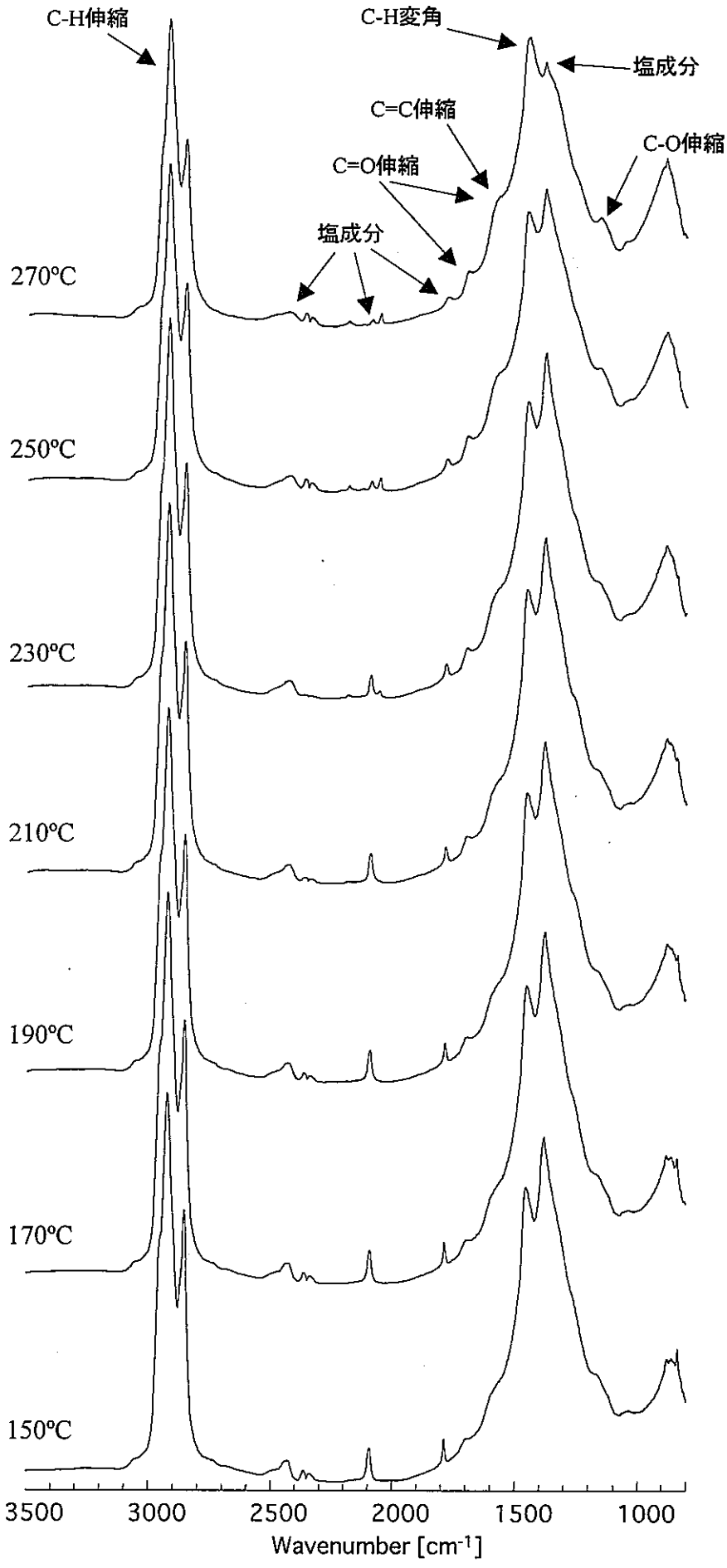


図5.2-27 窒素雰囲気における模擬固化体の昇温IR測定の結果

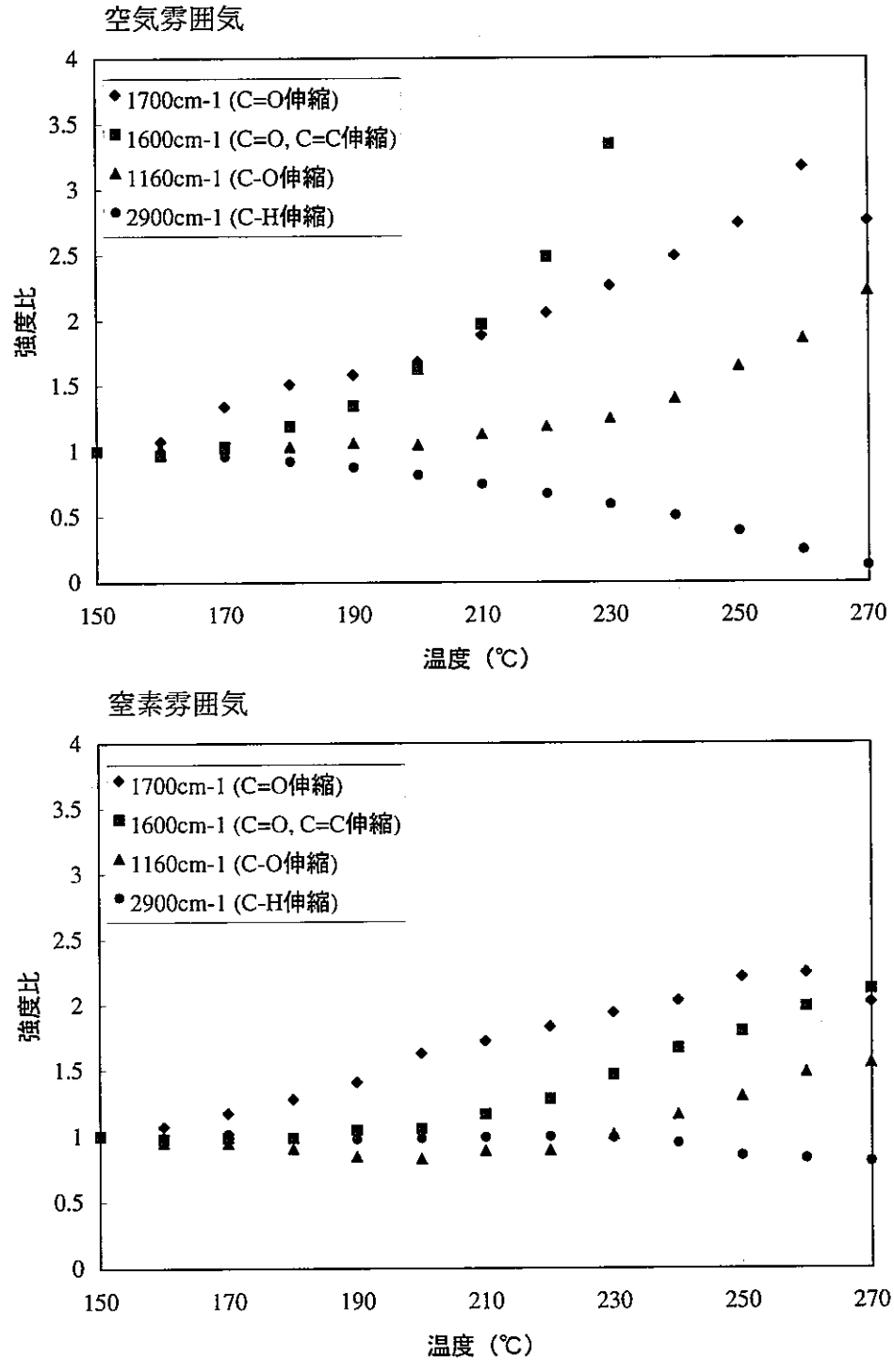
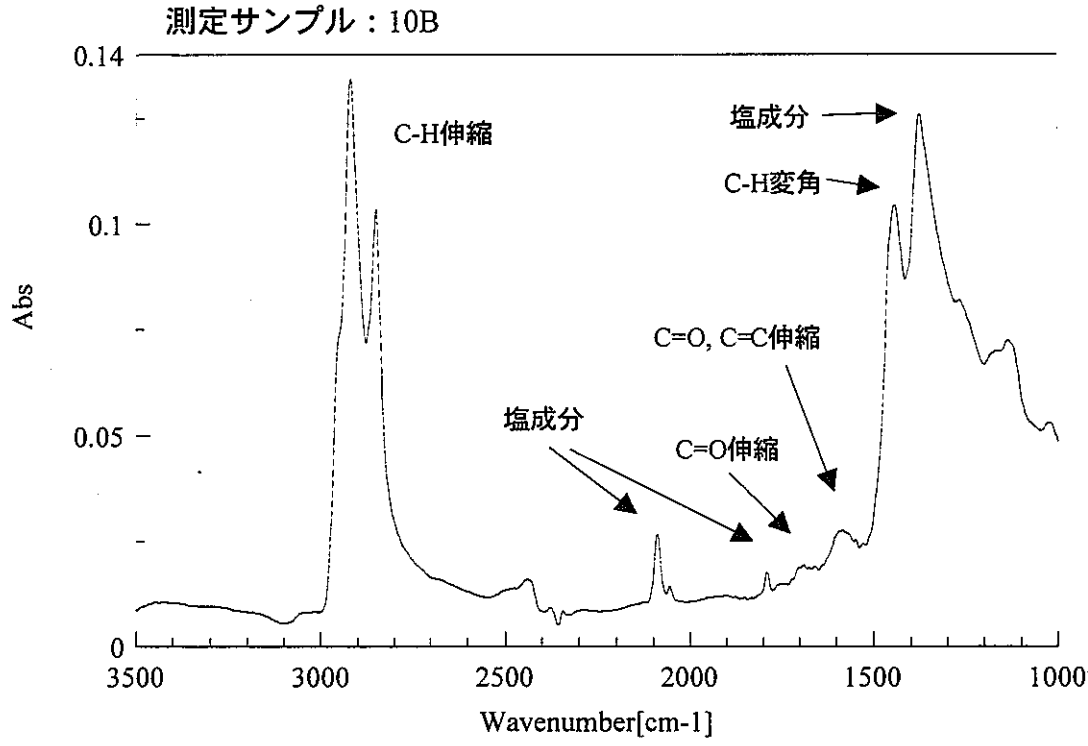


図5.2-28　各官能基に帰属されるピークの強度変化
（模擬固化体）
（150℃におけるピーク強度に対する相対強度）



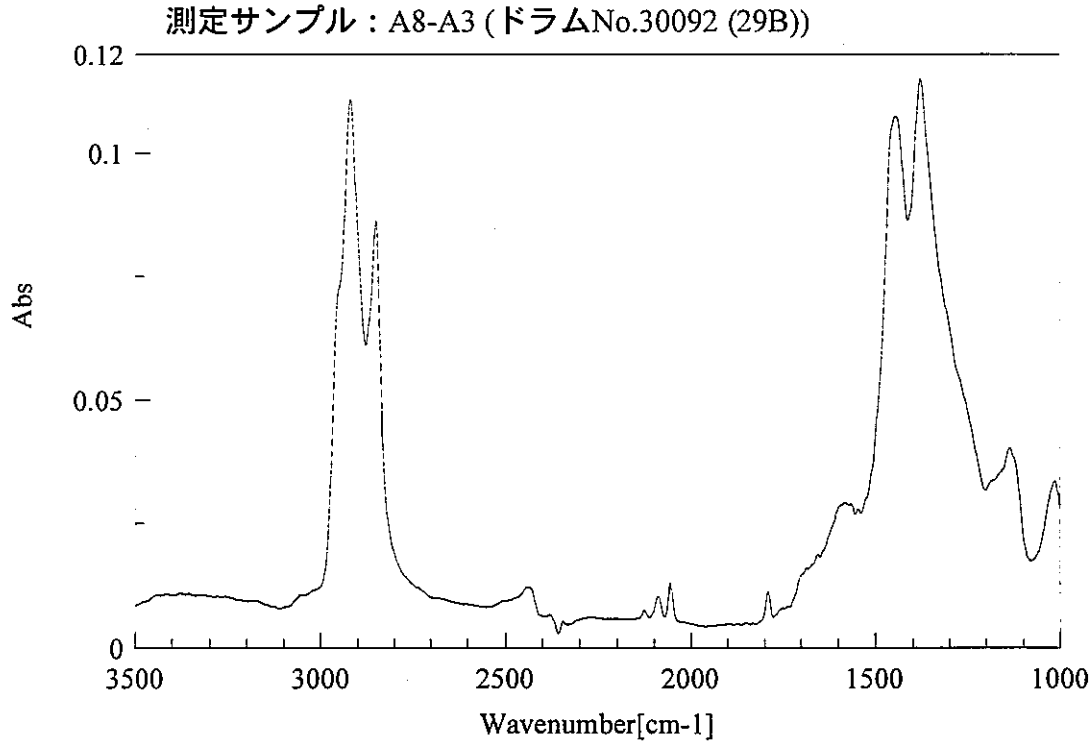
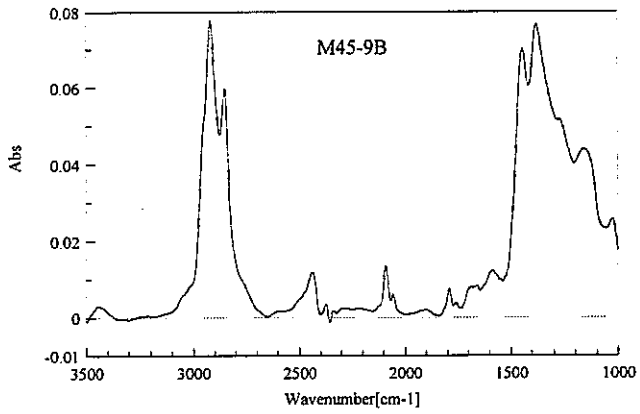
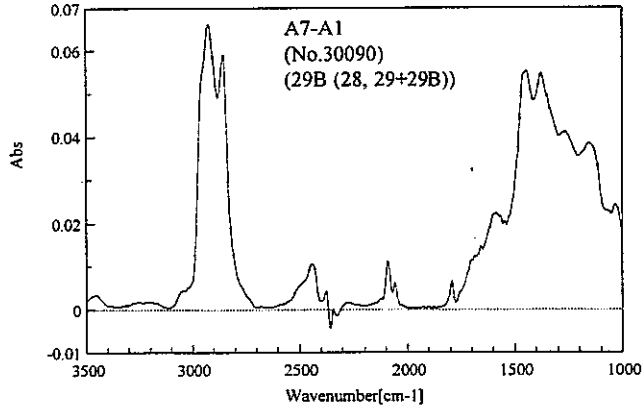
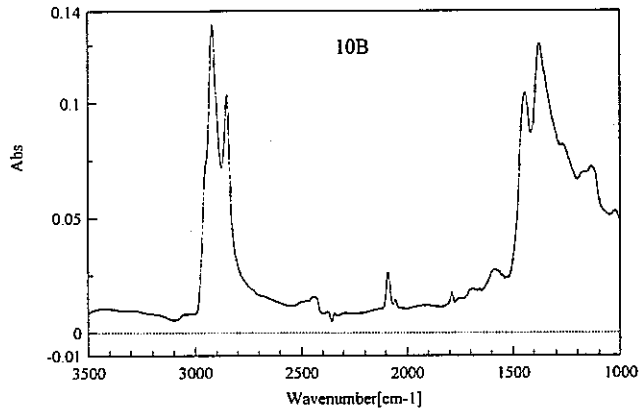
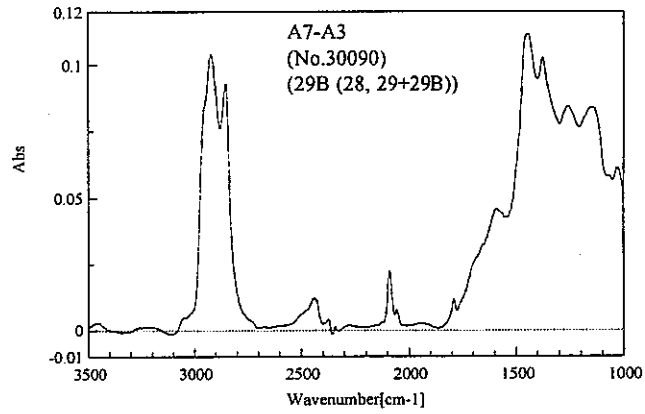


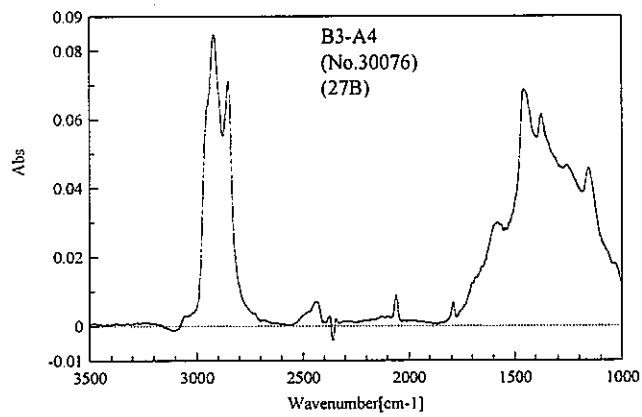
図5.2-29 (1/3)　実固化体のIRスペクトル（直接測定）
（標準供給速度(10B)と供給速度20%低下時(A8-A3)
の代表例。以降、その他のサンプル結果を示す）

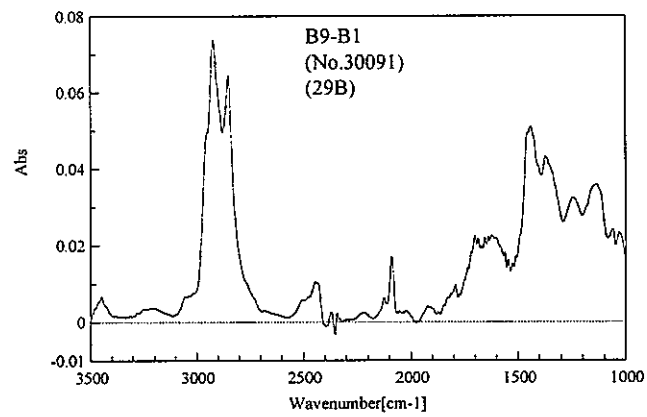


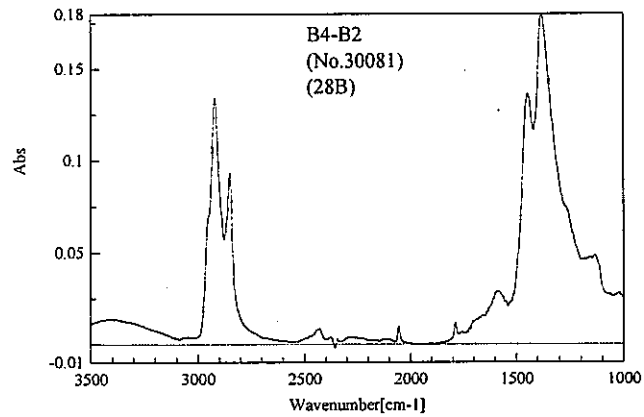












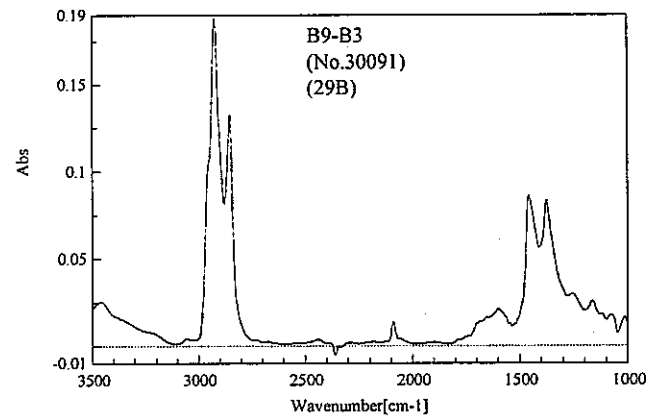
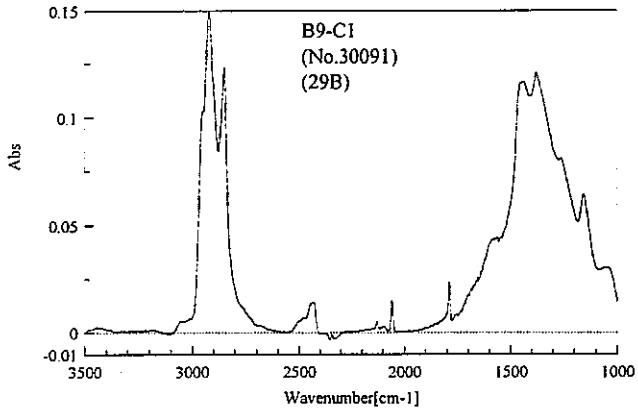
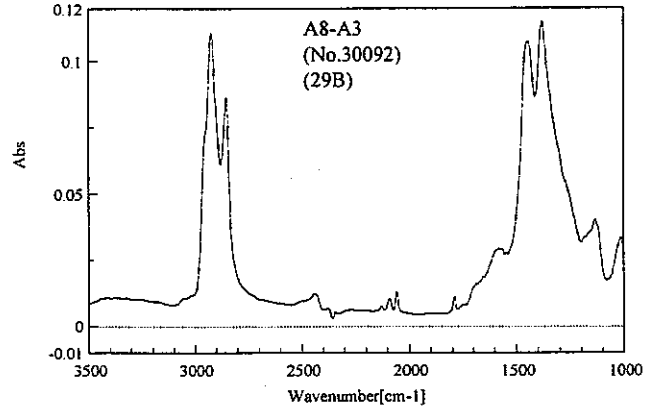
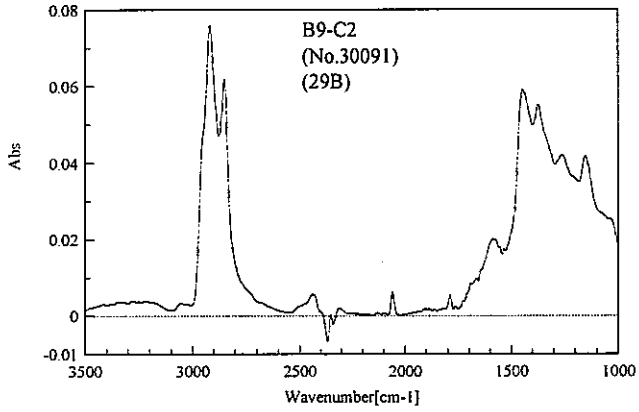
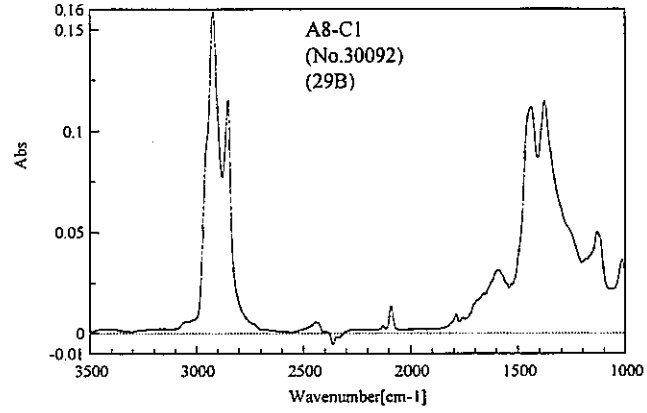


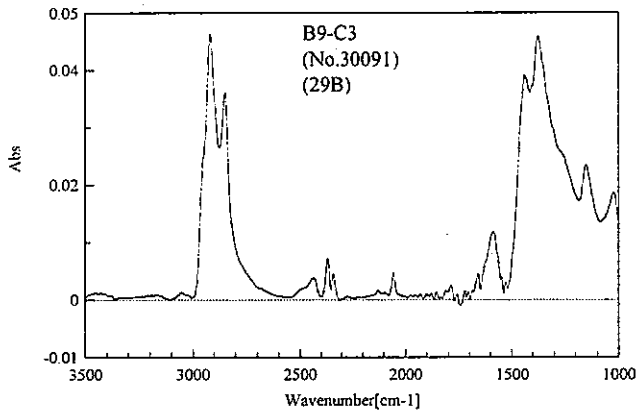
図5.2-29 (2/3)　実固化体のIRスペクトル（直接測定）











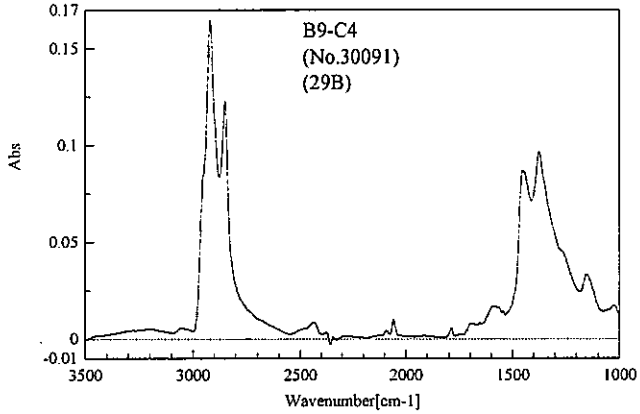


図5.2-29(3/3)　実固化体のIRスペクトル（直接測定）

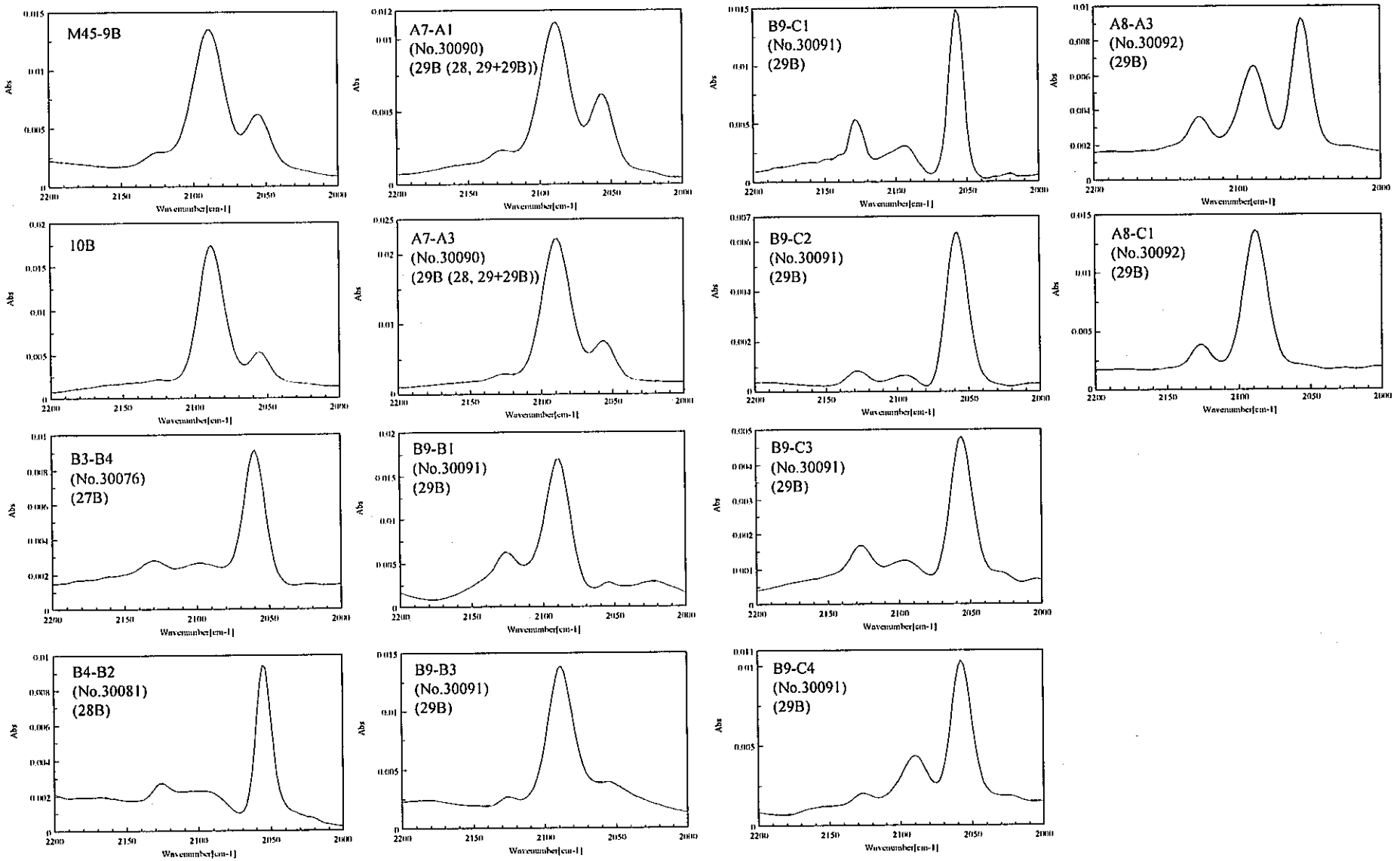
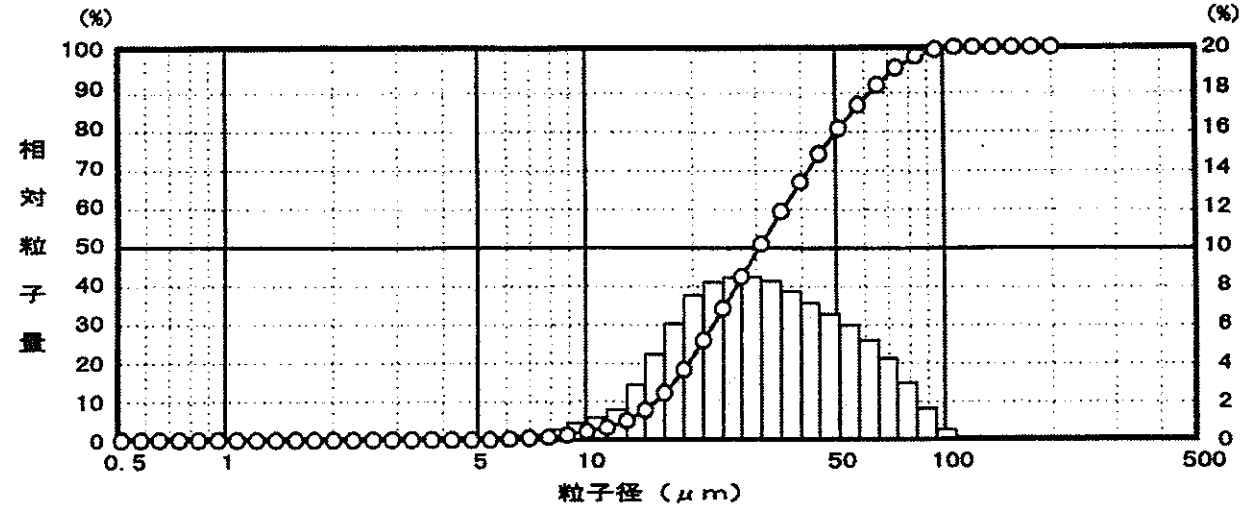
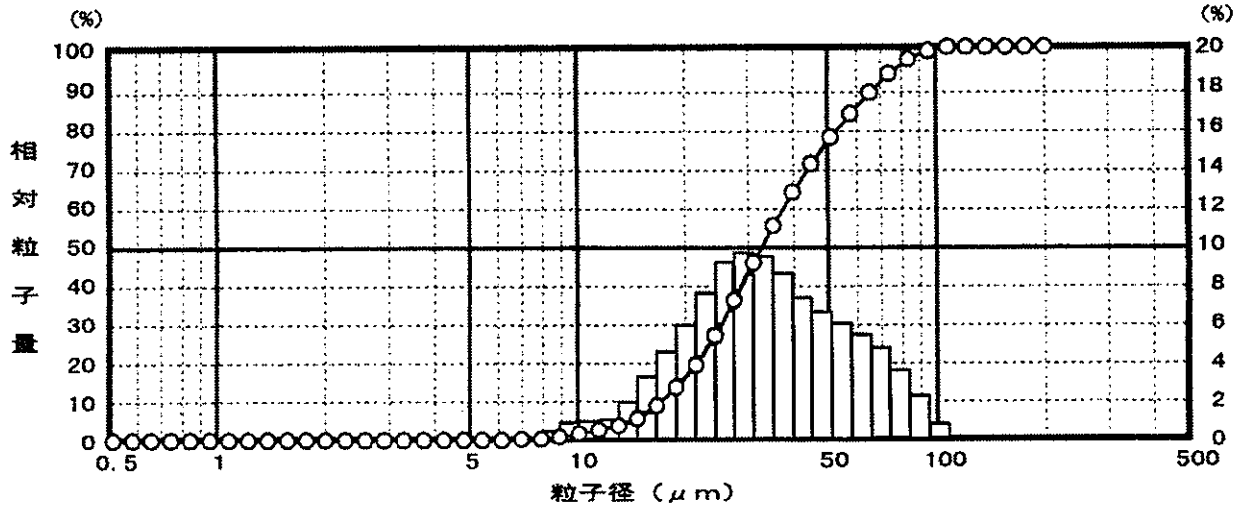


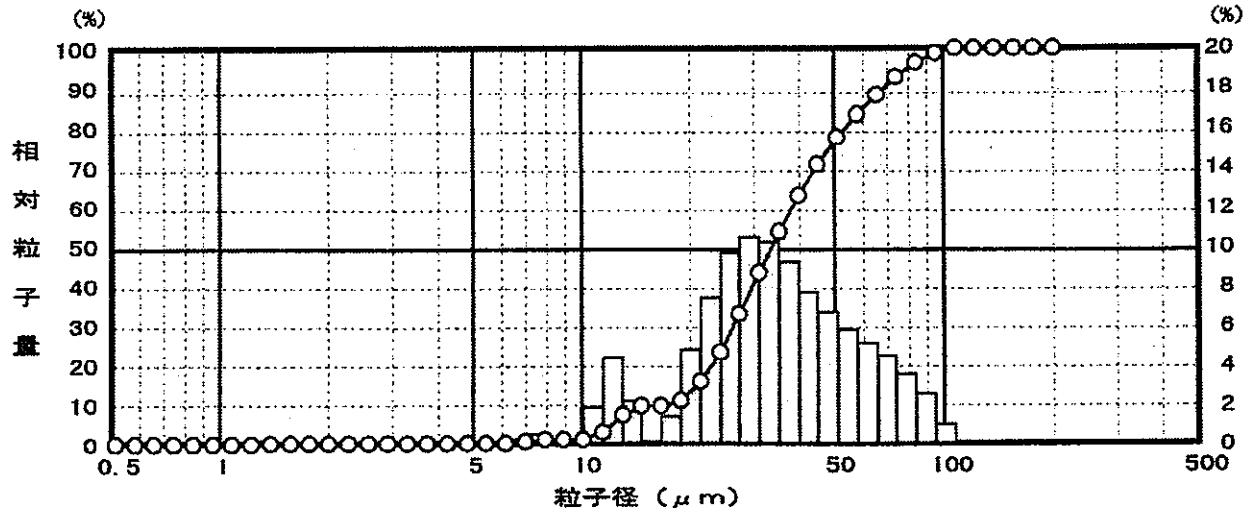
図5.2-30　2200~2000cm^{-1}付近の塩成分に帰属される吸収ピーク



ドラムNo.29906(10B)

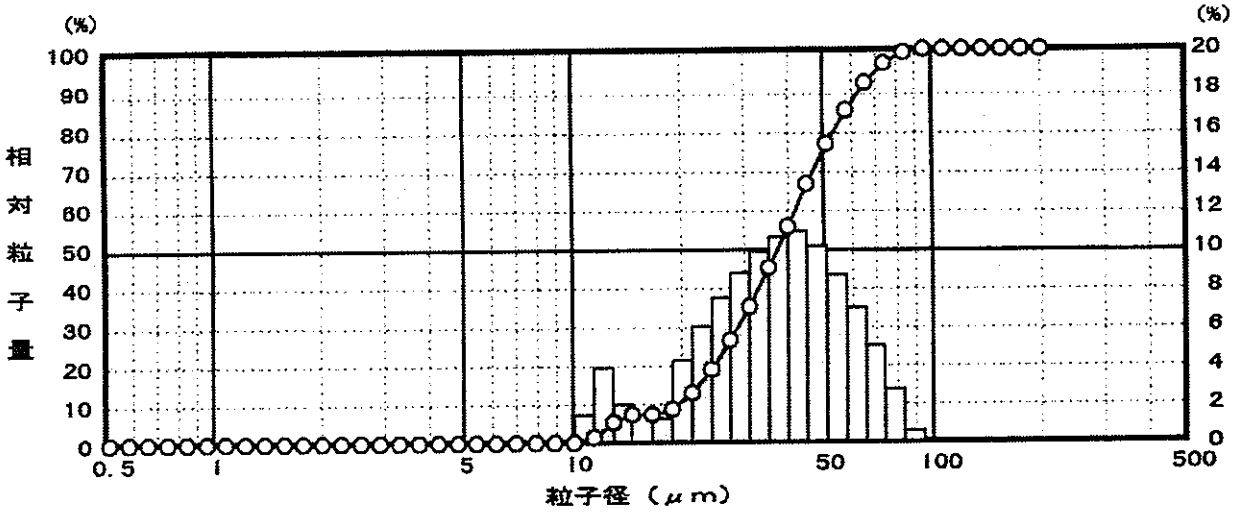


ドラムNo.30055(25B)

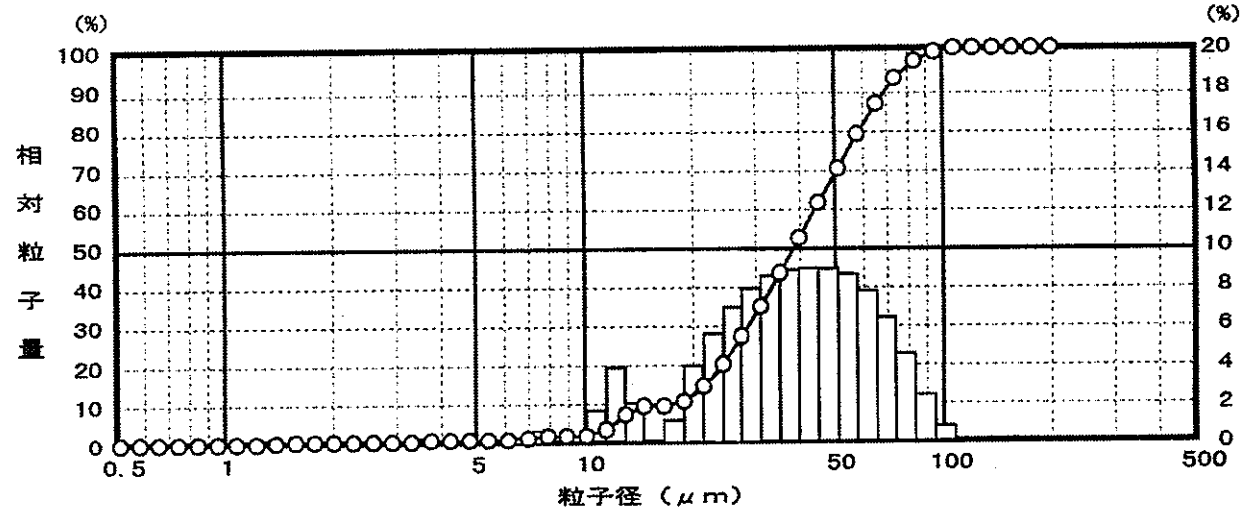


ドラムNo.30075(27B)

図5.2-31　実固化体中の塩の粒度分布測定結果（1/2）

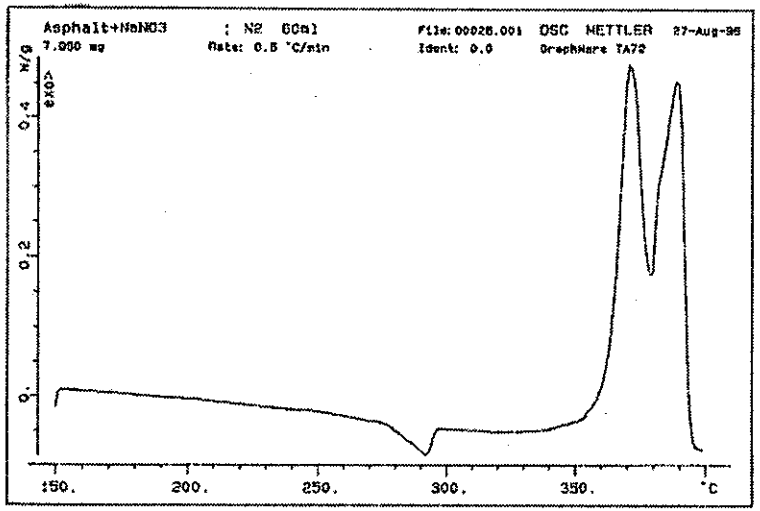


ドラムNo.30090(28,29+29B)

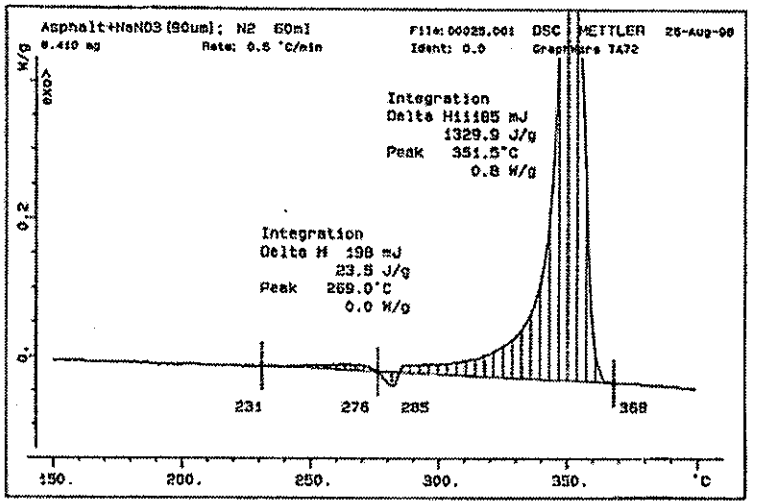


ドラムNo.30091(29B)

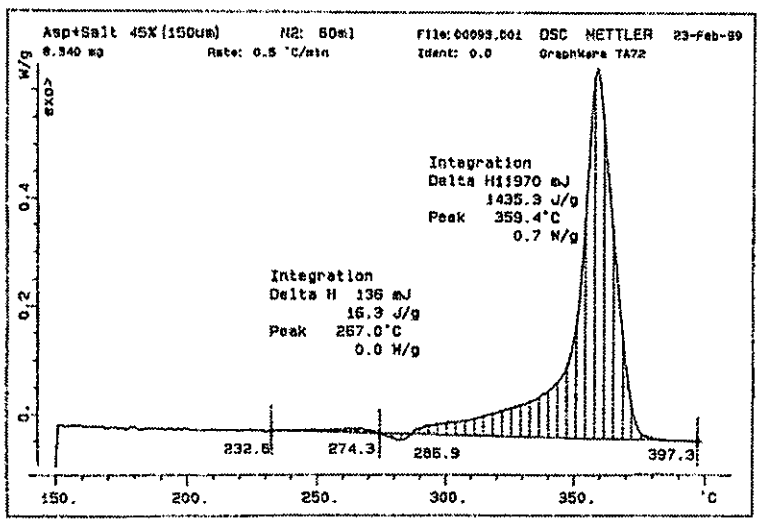
図5.2-31　実固化体中の塩の粒度分布測定結果（2/2）



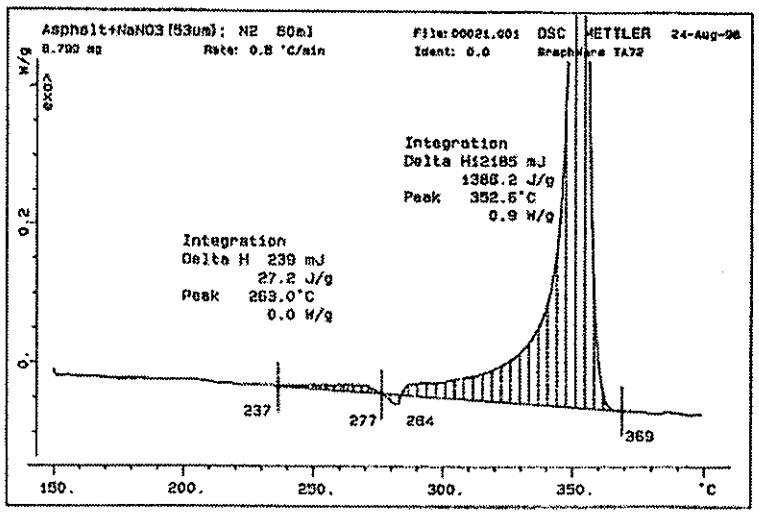
(a) M-G-45



(c) M-90-45

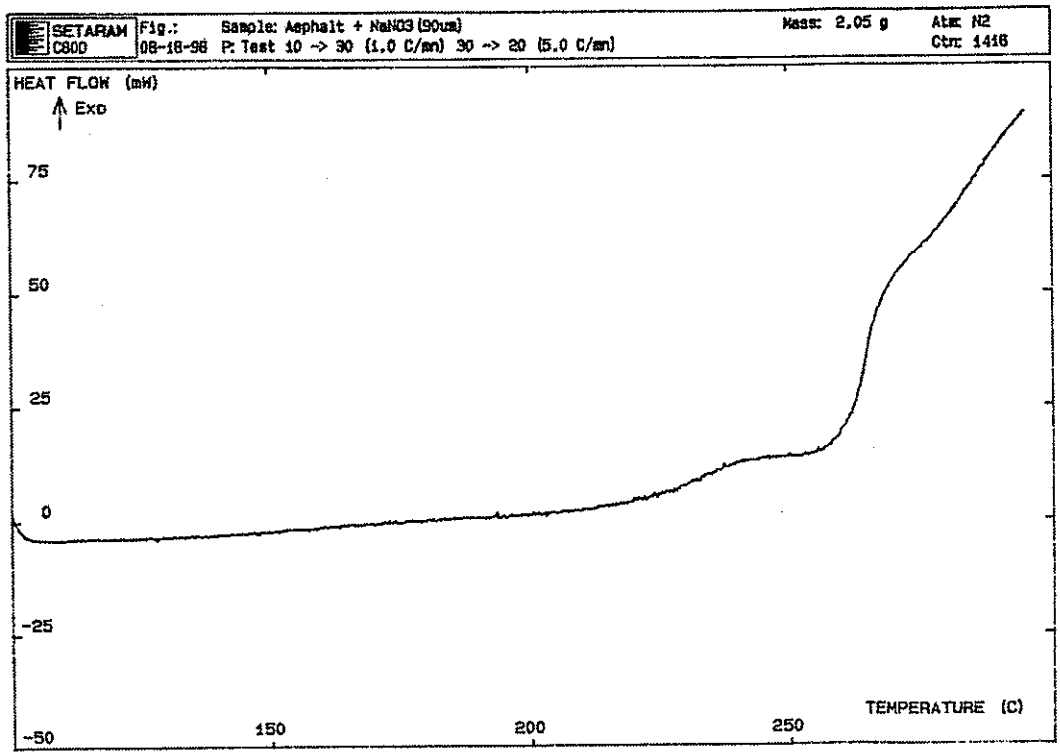


(b) M-150-45

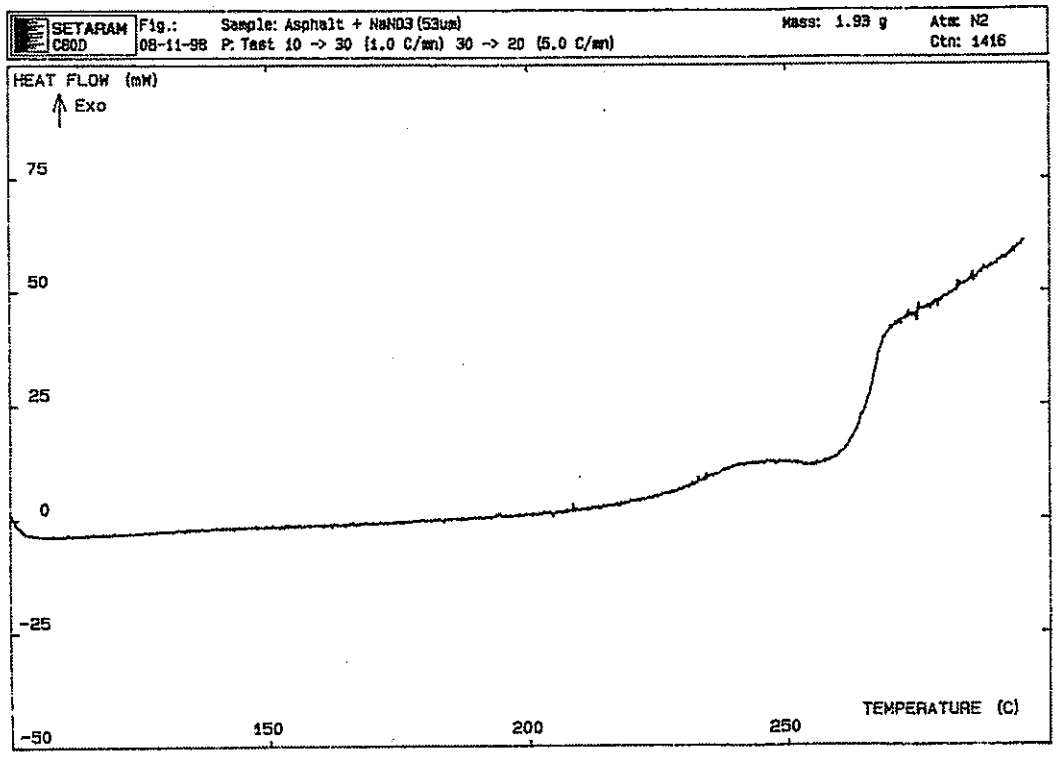


(d) M-53-45

図5.2-32 DSC測定結果（塩粒径効果：窒素雰囲気）



(a) M-90-45



(b) M-53-45

図5.2-33 C80D測定結果（塩粒径効果：窒素雰囲気）

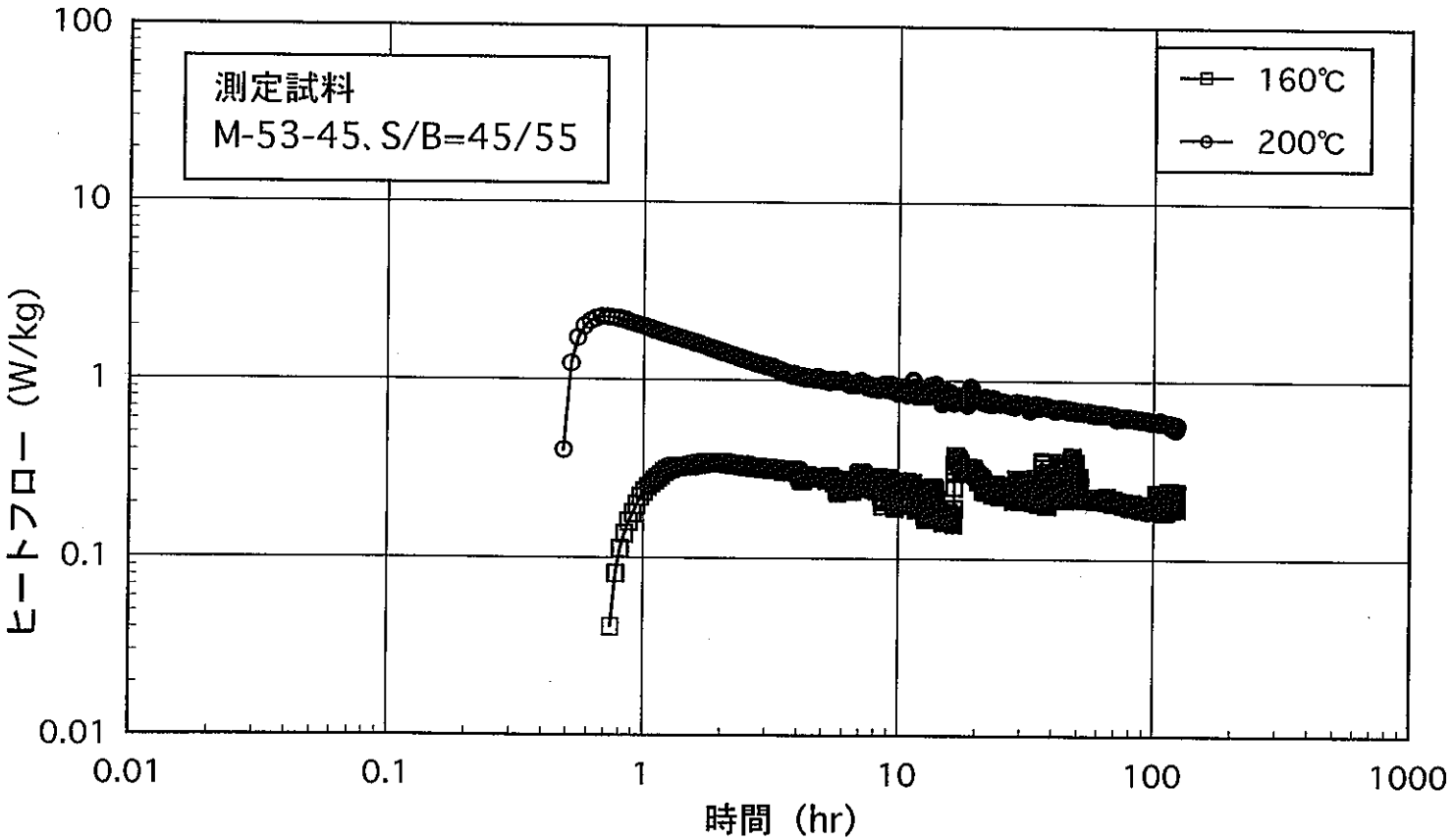


図5.2-34　MS80測定結果(1/2)

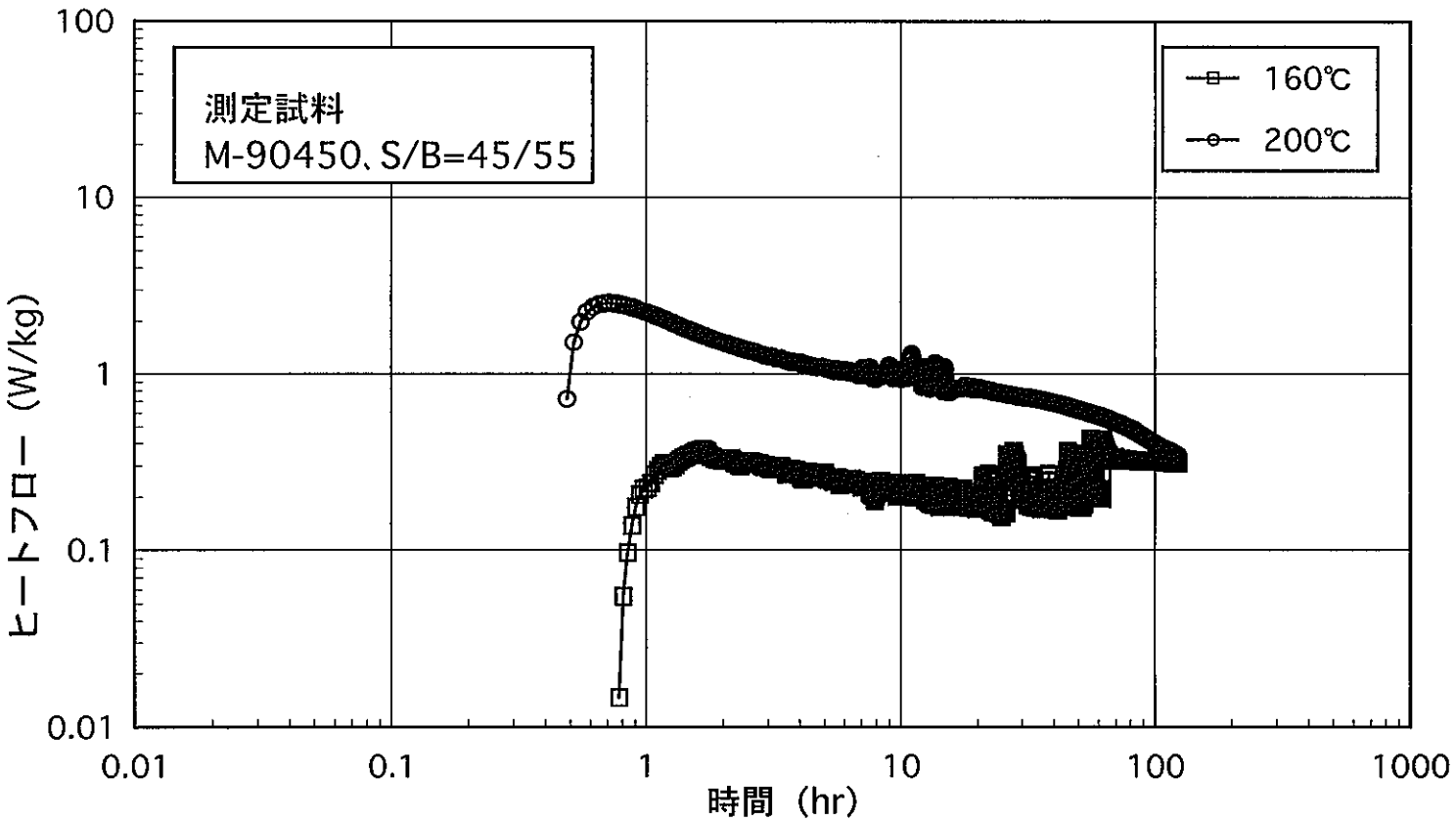


図5.2-34　MS80測定結果(2/2)

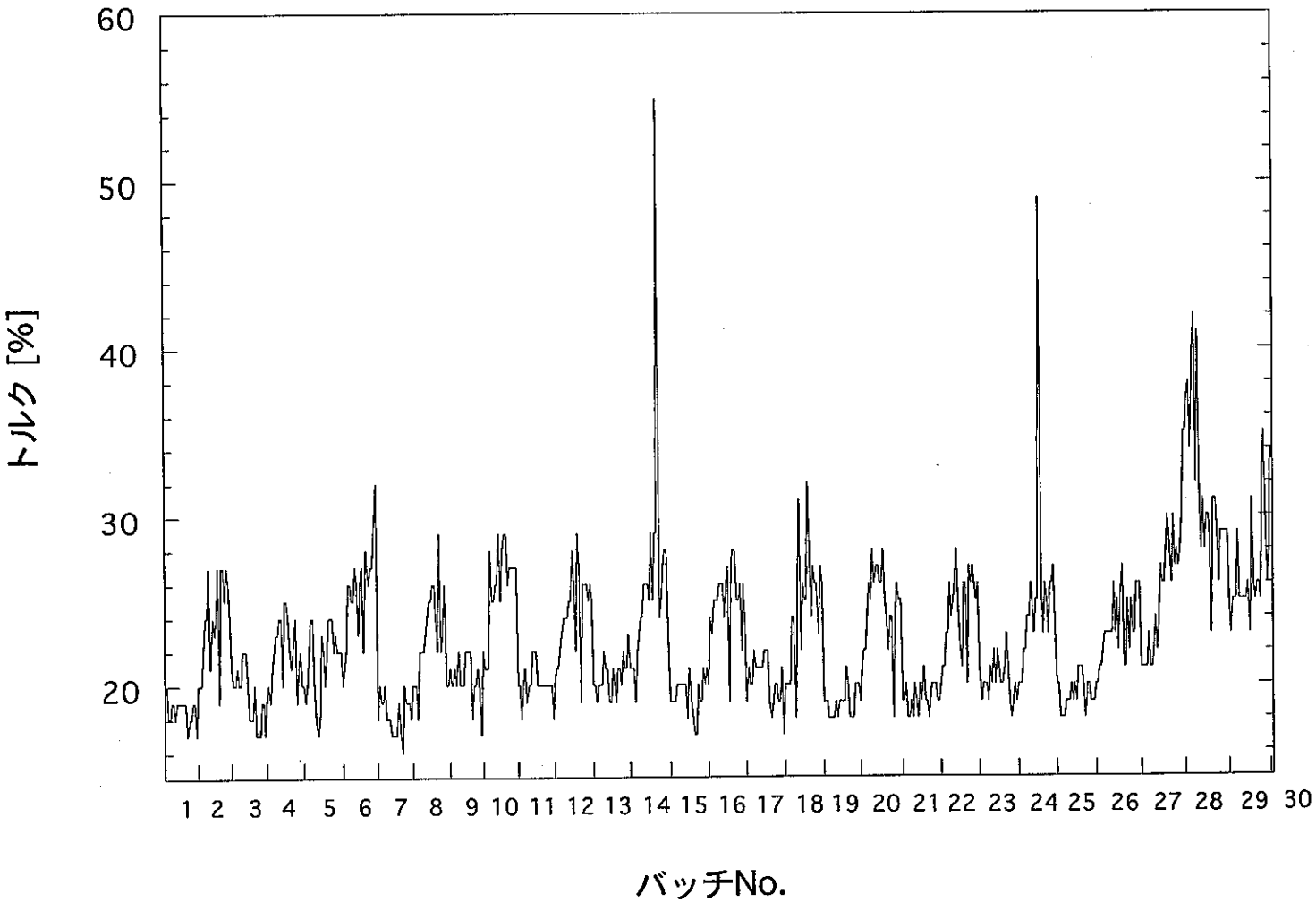


図5.2-35　エクストルーダのトルクの変化

エクストルーダのトルクは、エクストルーダ運転データシートの値を使用

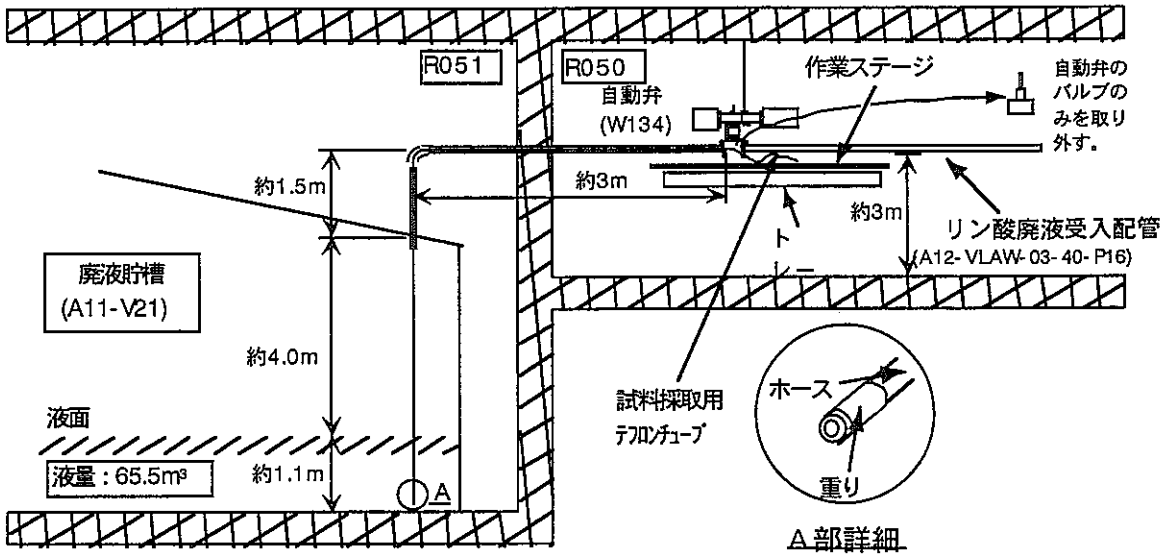


図5.2-36　V21廃液試料採取概念図

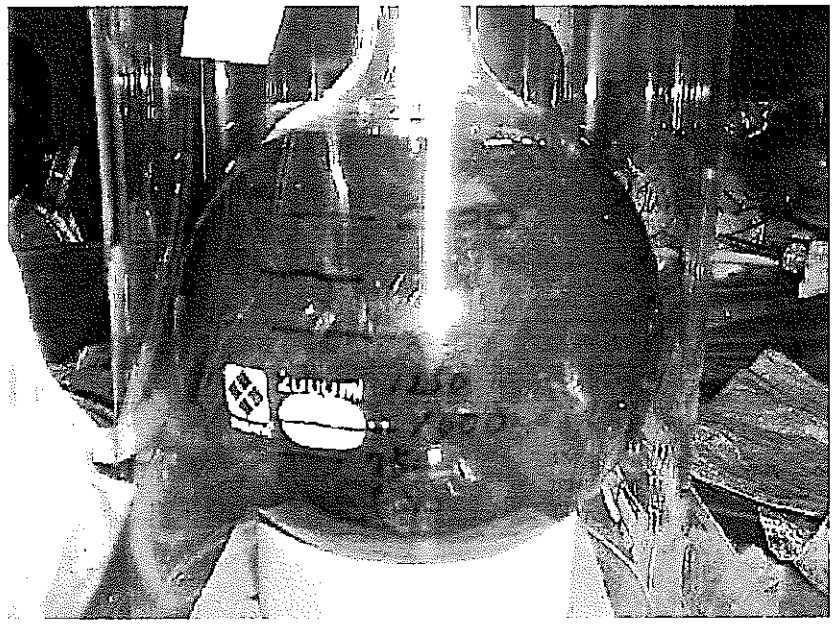
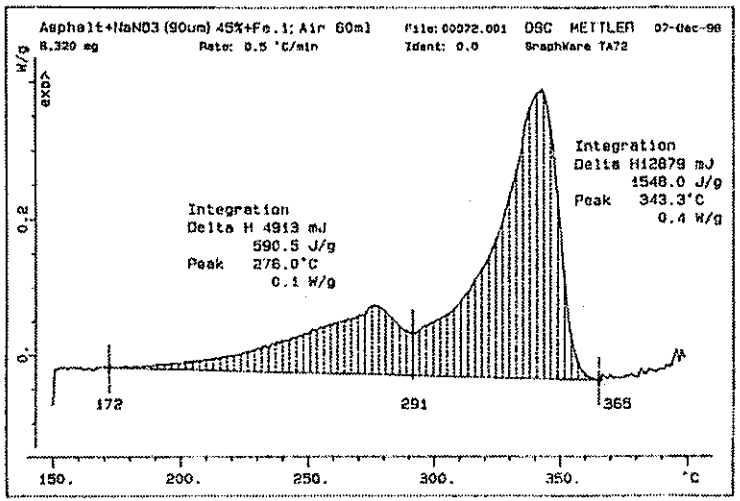
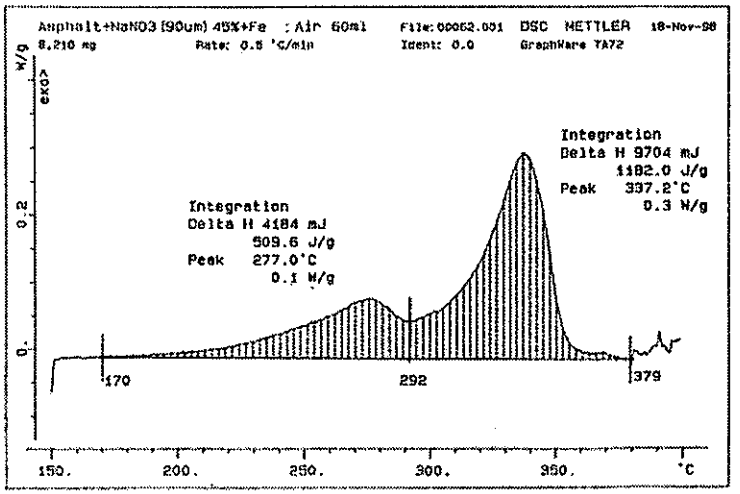


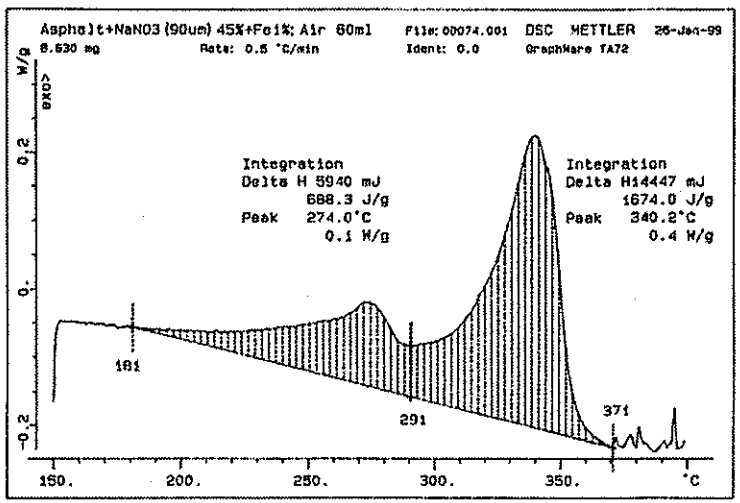
図5.2-37　採取したV21廃液



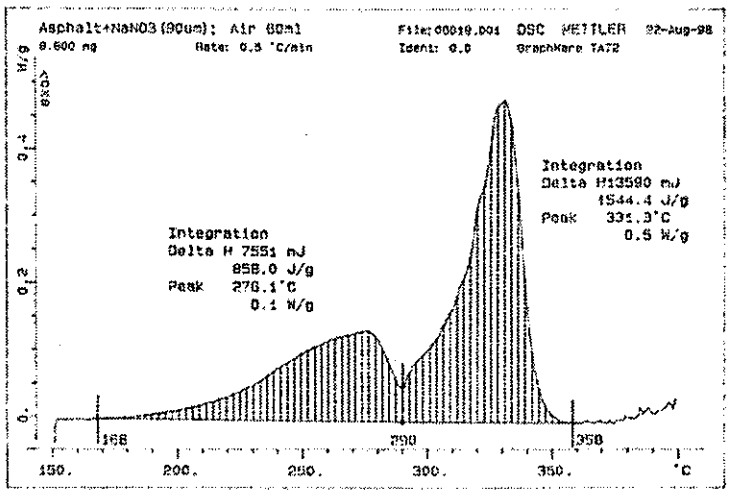
(a) 沈殿物0.1wt%添加



(c) 沈殿物2.0wt%添加

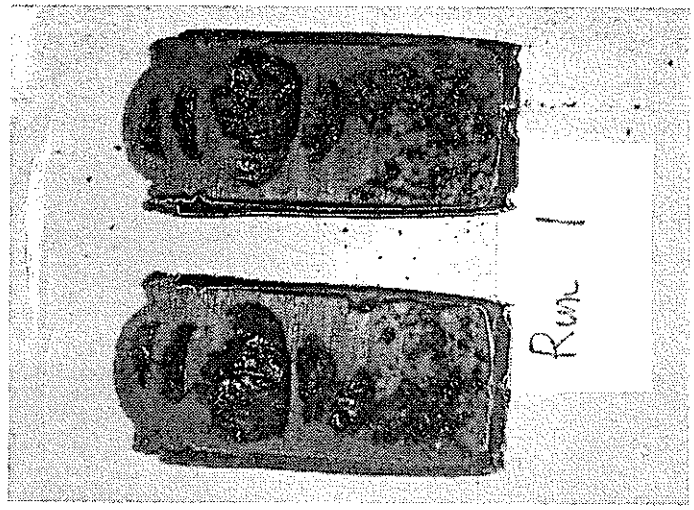


(b) 沈殿物1.0wt%添加

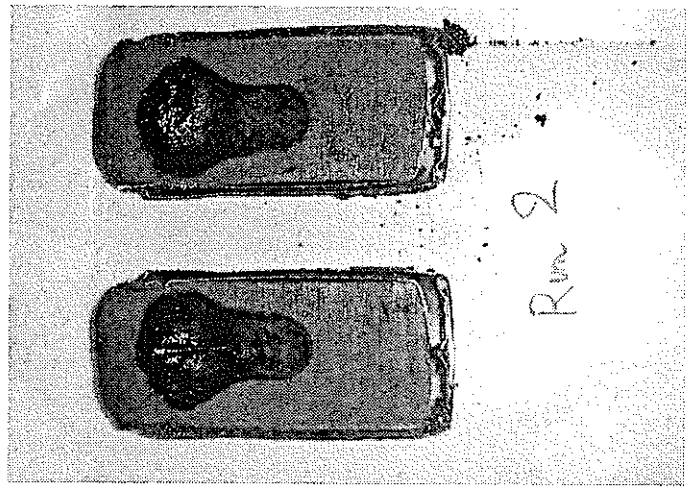


(d) 沈殿物なし

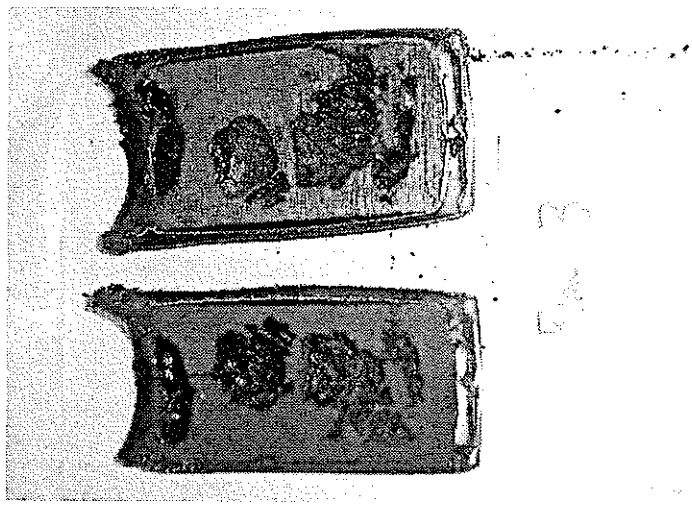
図5.2-38 模擬の沈殿物を加えた各サンプルのDSC測定結果



1回目



2回目



3回目

図5.2-39　模擬固化体での内部空洞の生成

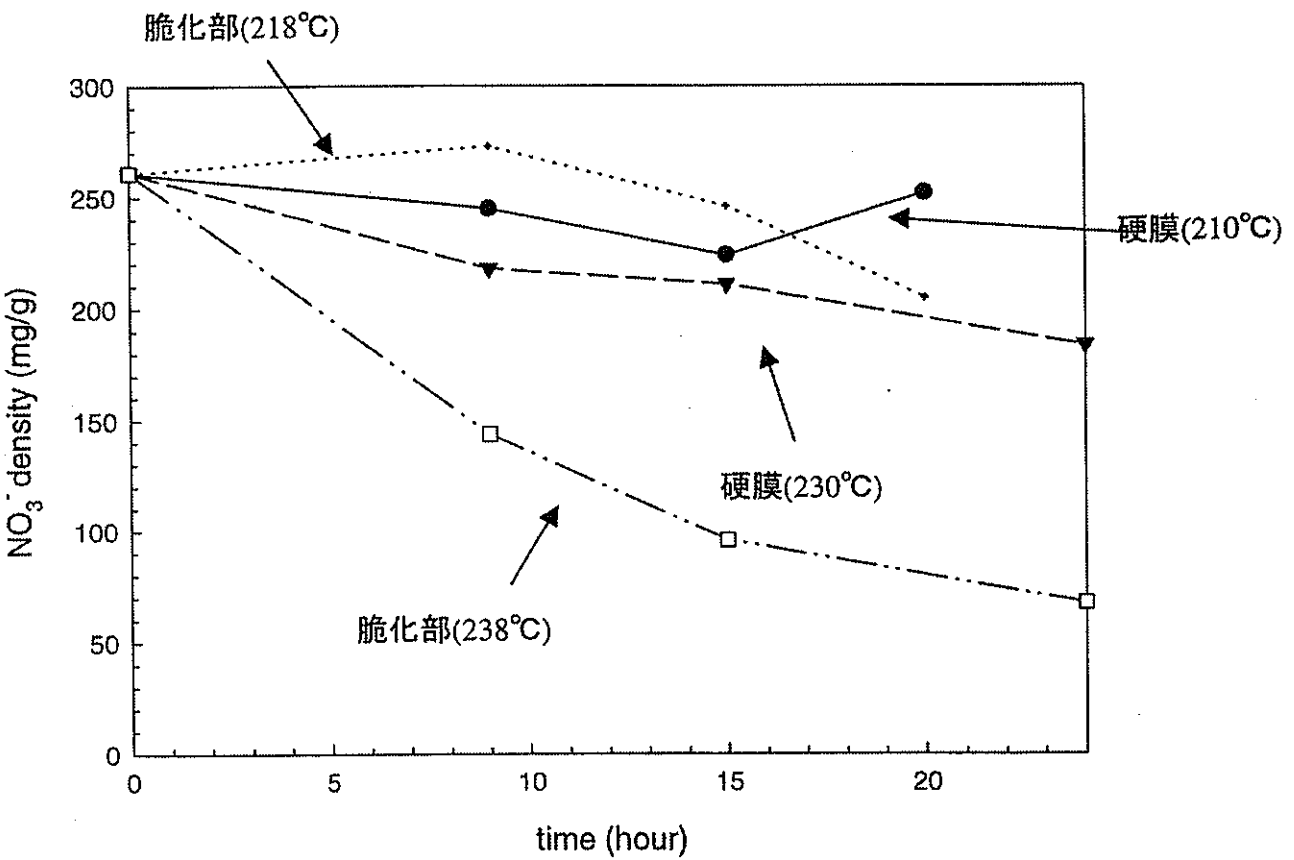
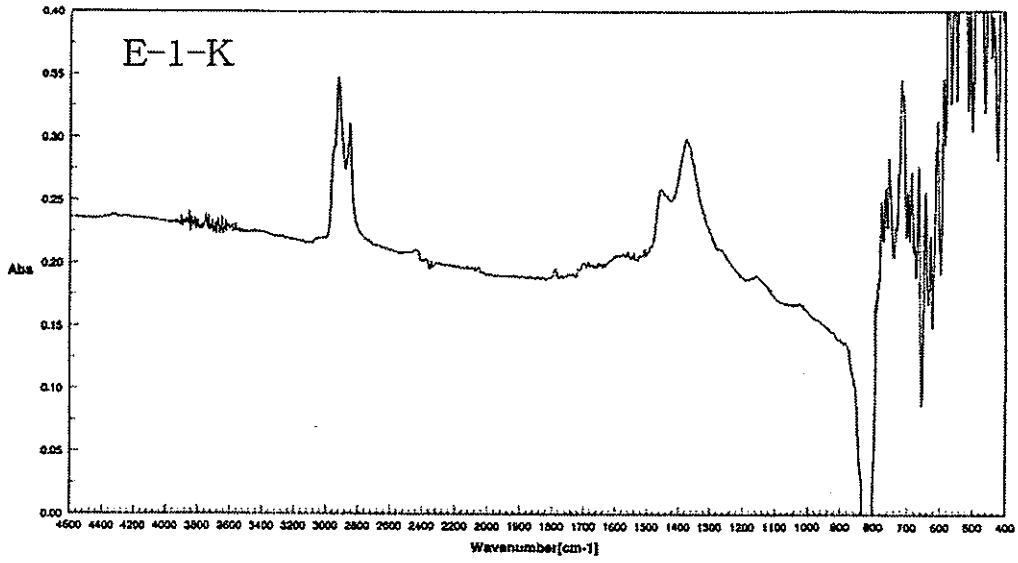
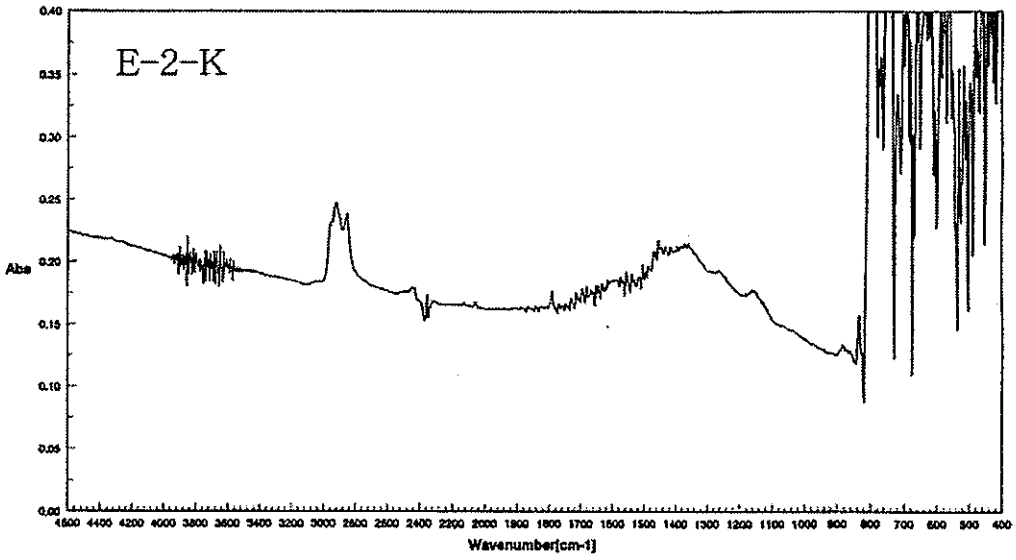


図5.2-40　高温保持による硝酸イオン濃度変化

(a)　9時間



(b)　15時間



(c)　20時間

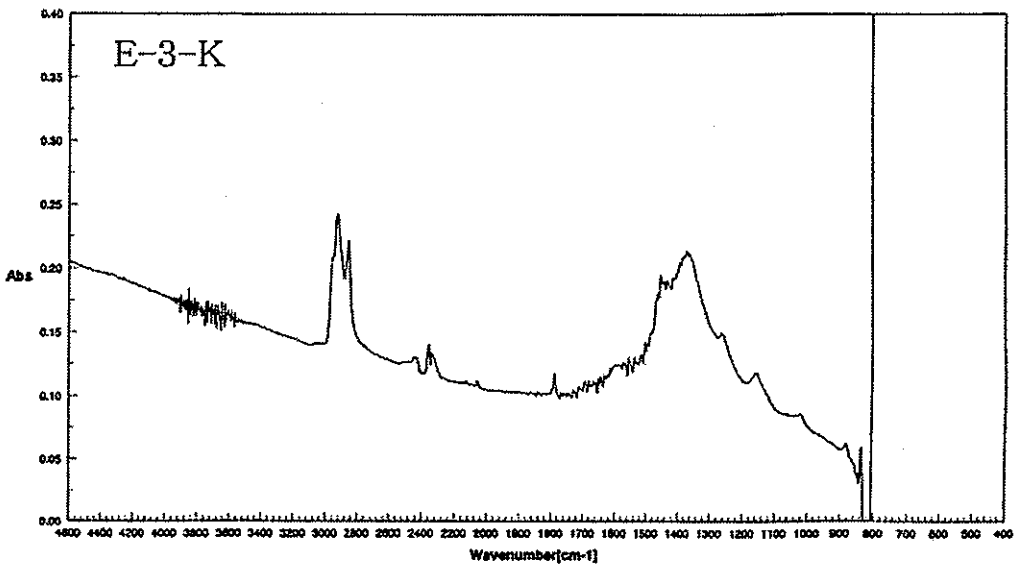
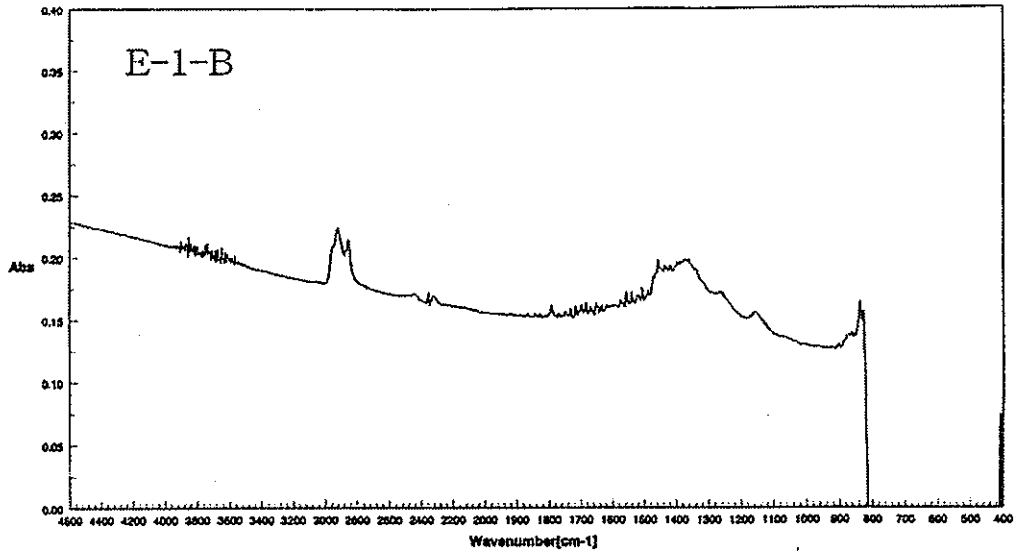
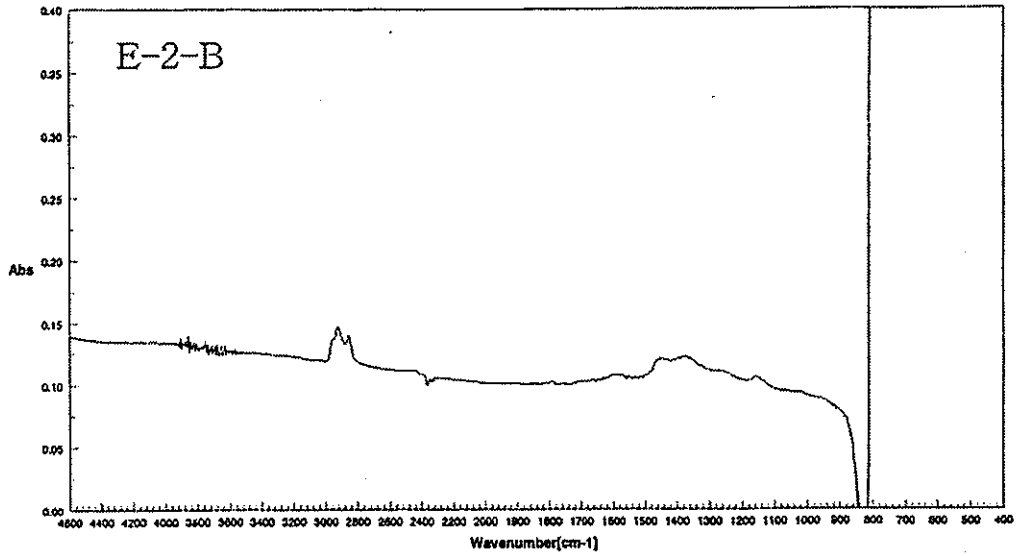


図5.2-41　高温保持後の模擬固化体のIRスペクトル（1/5）
（210℃で保持後の表面部）

(a) 9時間



(b) 15時間



(c) 20時間

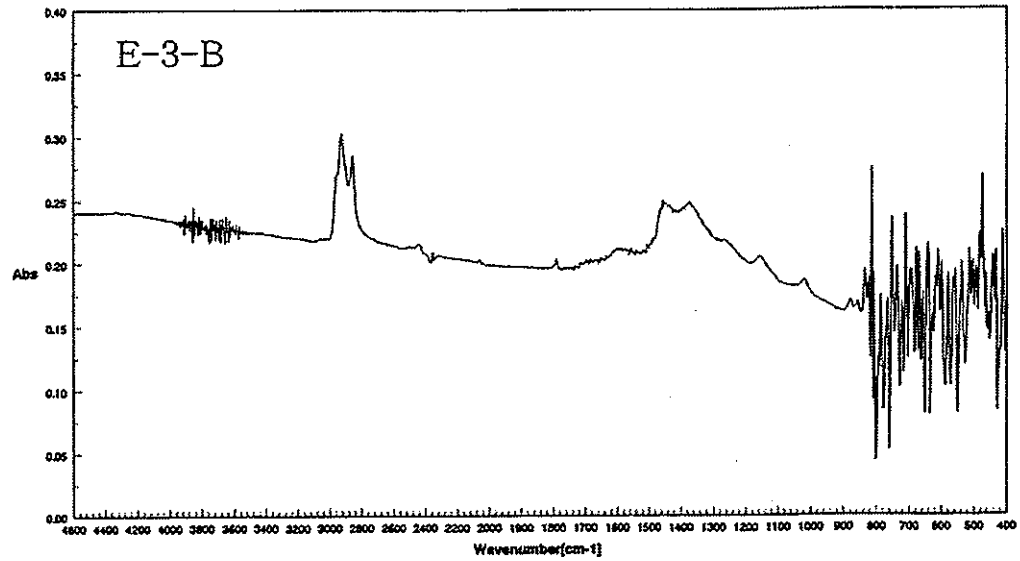
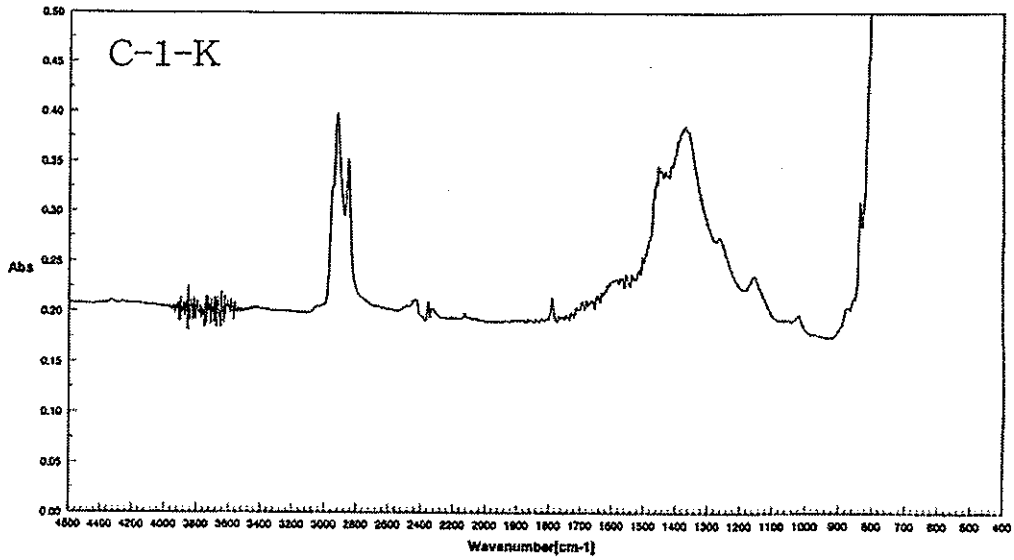
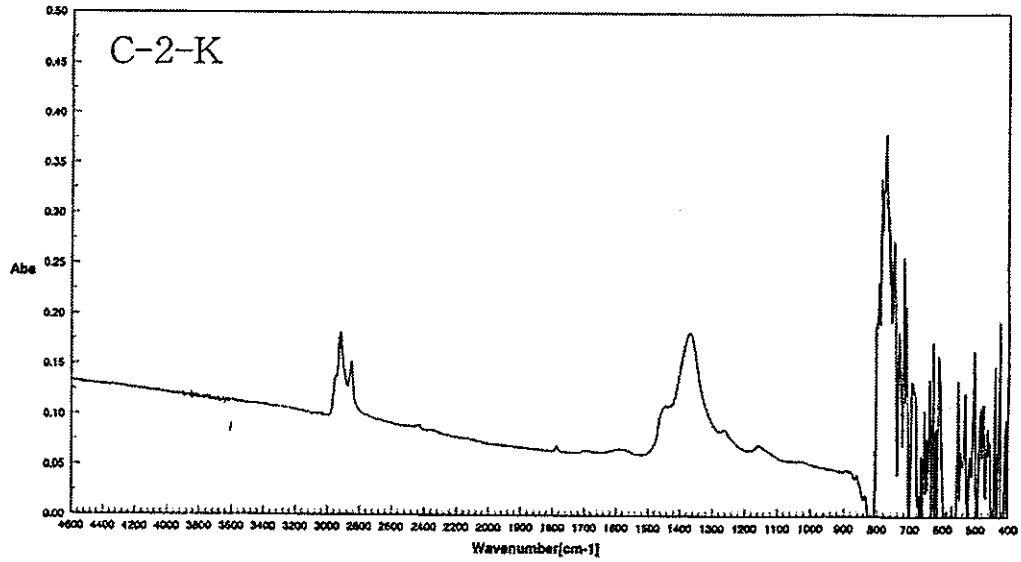


図5.2-41 高温保持後の模擬固化体のIRスペクトル（2/5）
（210℃で保持後のボロボロの部分）

(a)　9時間



(b)　15時間



(c)　24時間

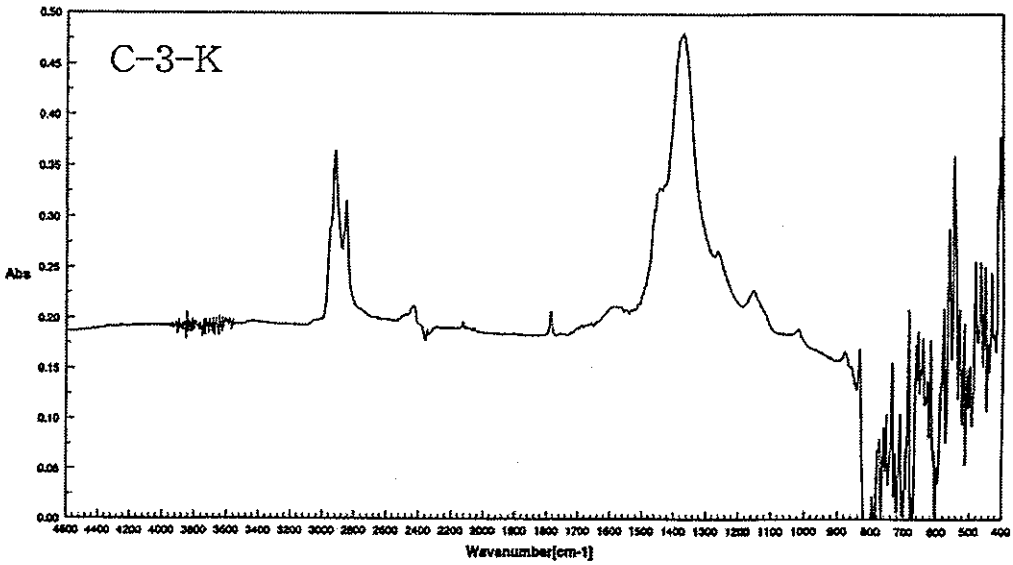
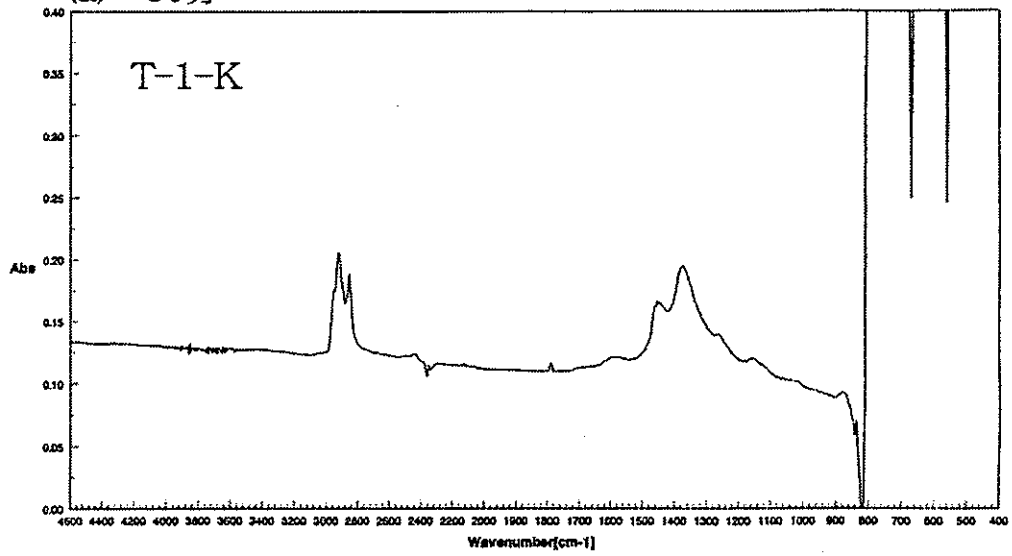
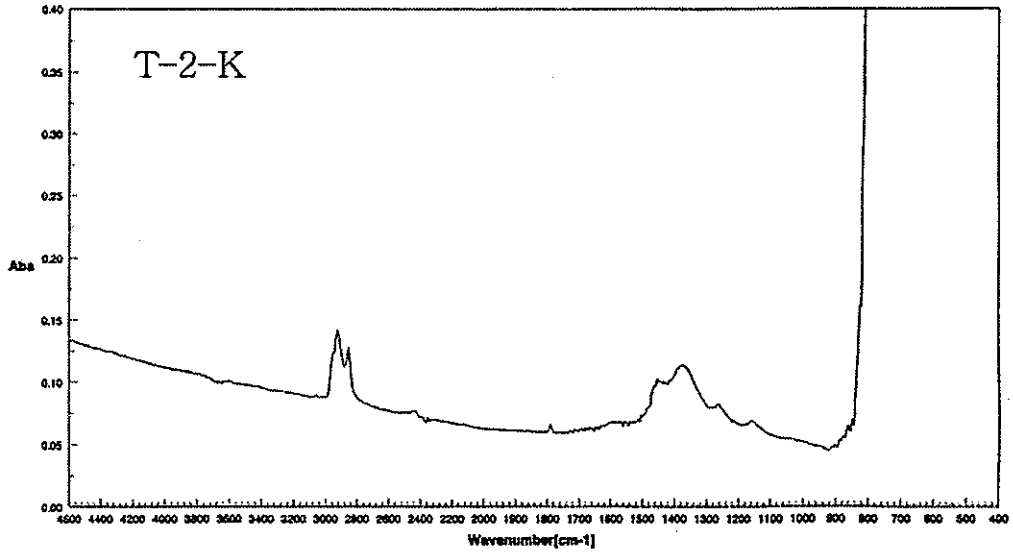


図5.2-41　高温保持後の模擬固化体のIRスペクトル（3/5）
（230℃で保持後の表面部）

(a) 30分



(b) 4時間(1)



(c) 4時間(2)

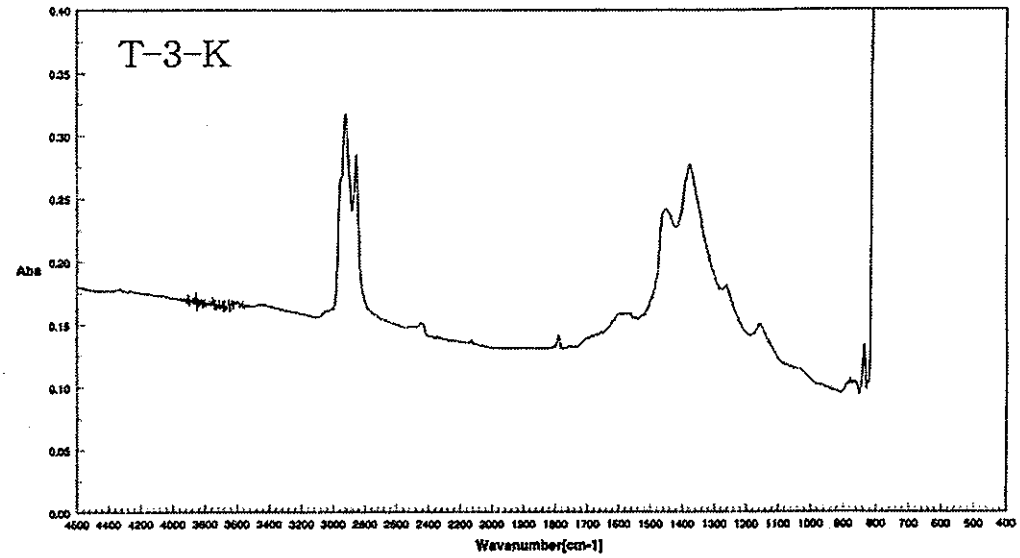
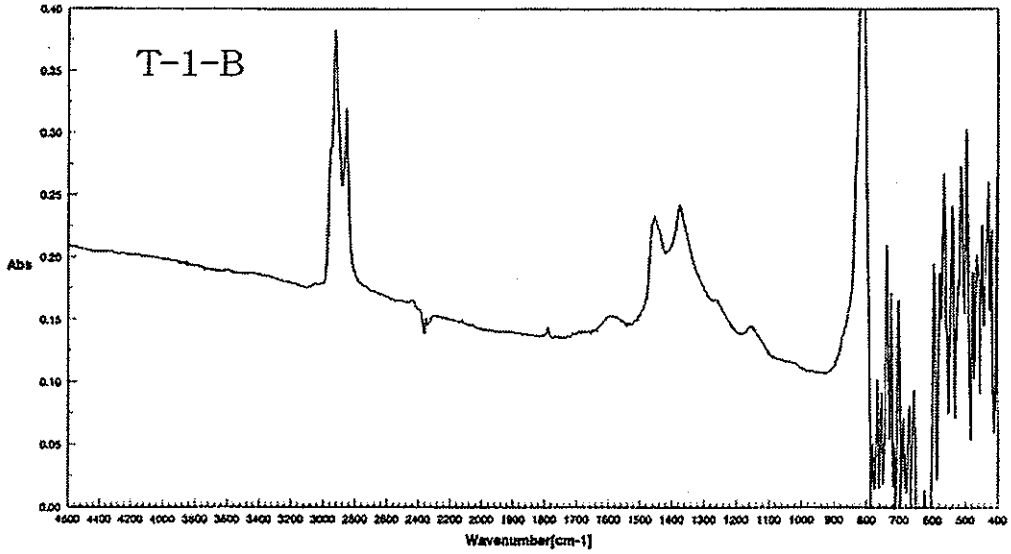
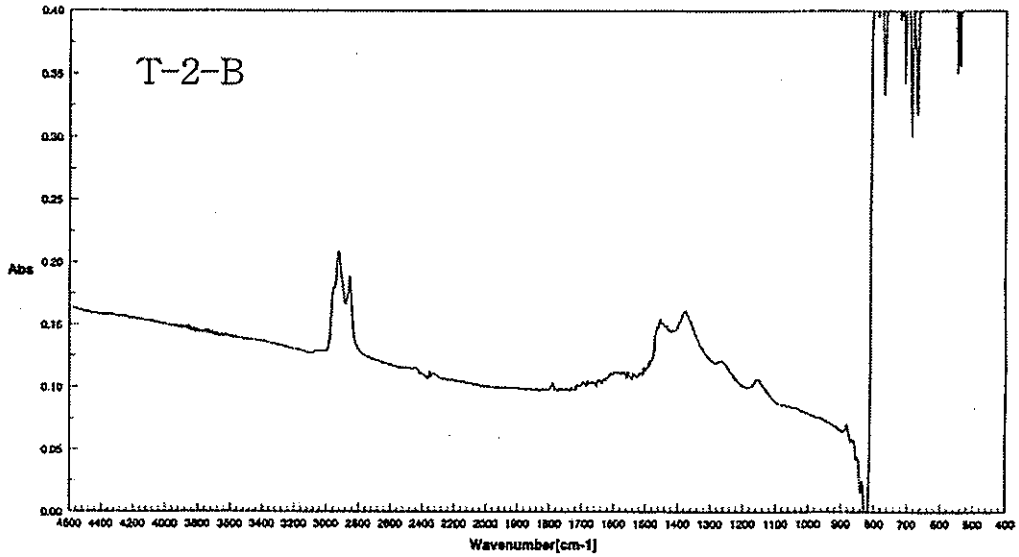


図5.2-41 高温保持後の模擬固化体のIRスペクトル（4/5）
（240℃で保持後の表面部）

(a) 30分



(b) 4時間(1)



(c) 4時間(2)

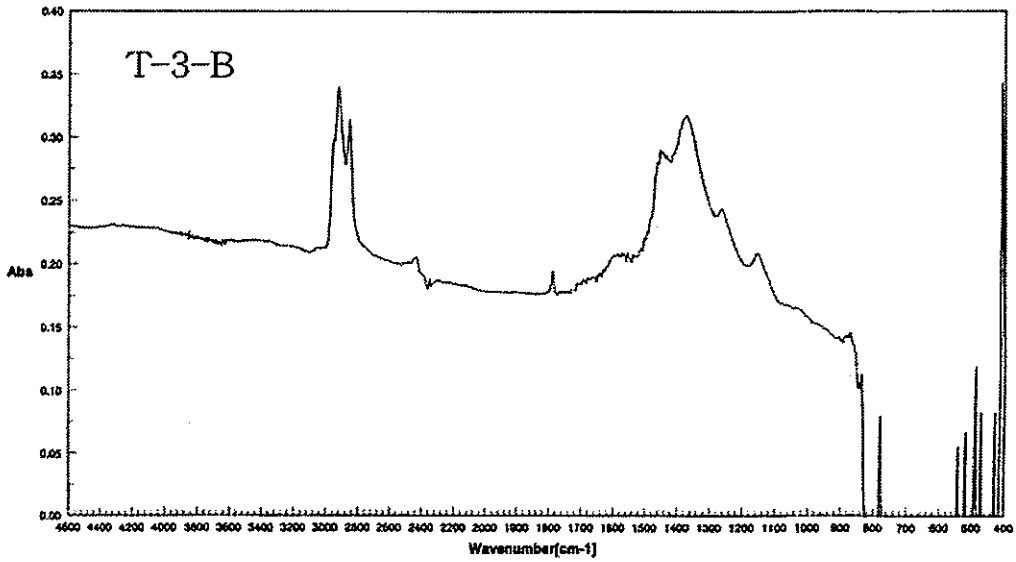


図5.2-41 高温保持後の模擬固化体のIRスペクトル (5/5)
(240℃で保持後のボロボロの部分)

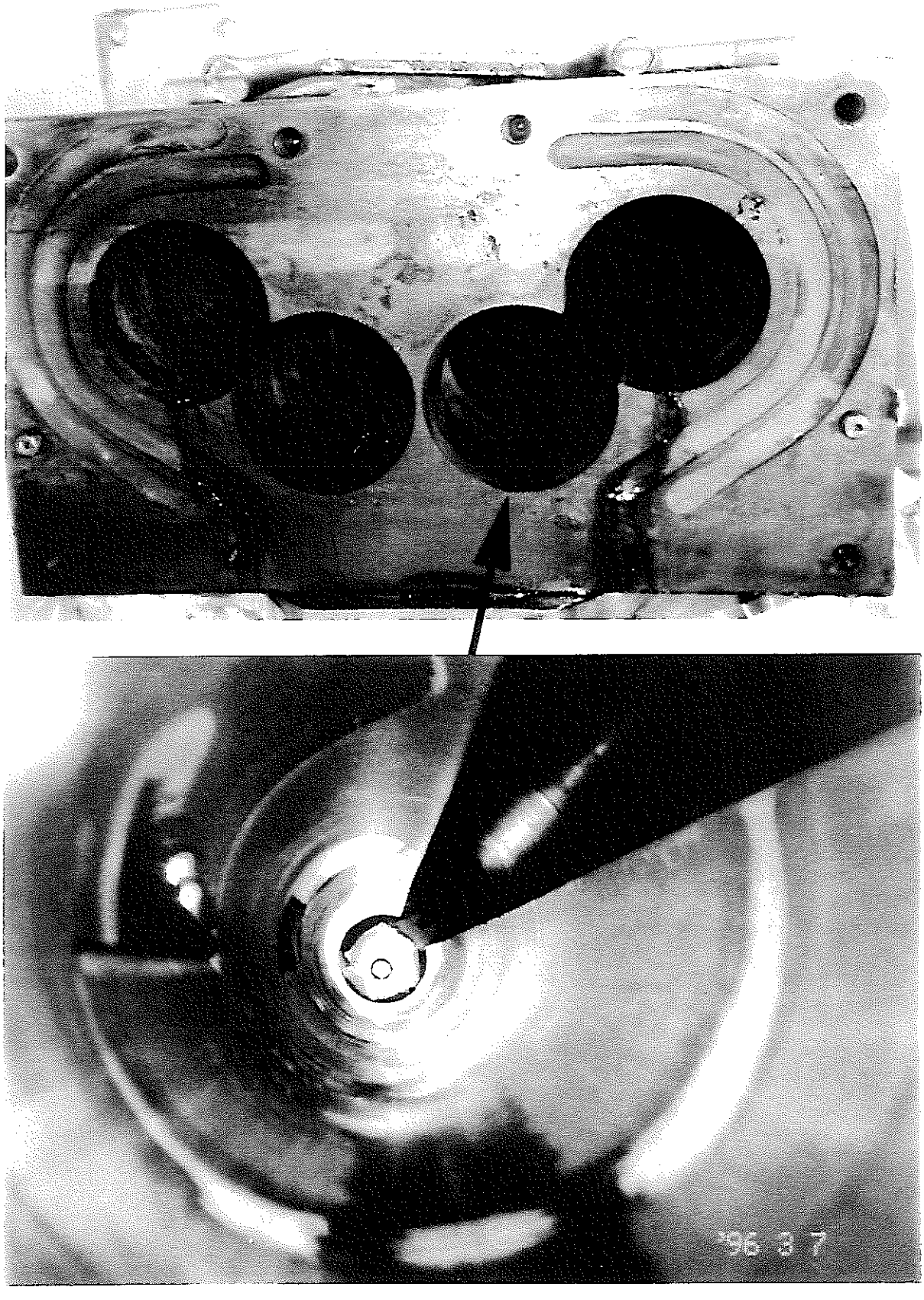
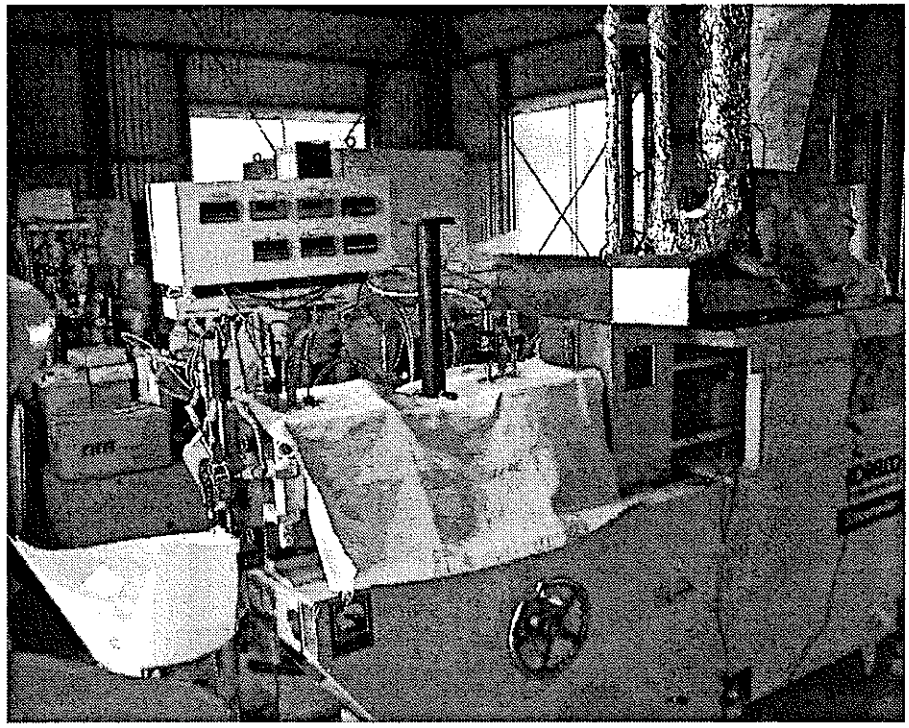
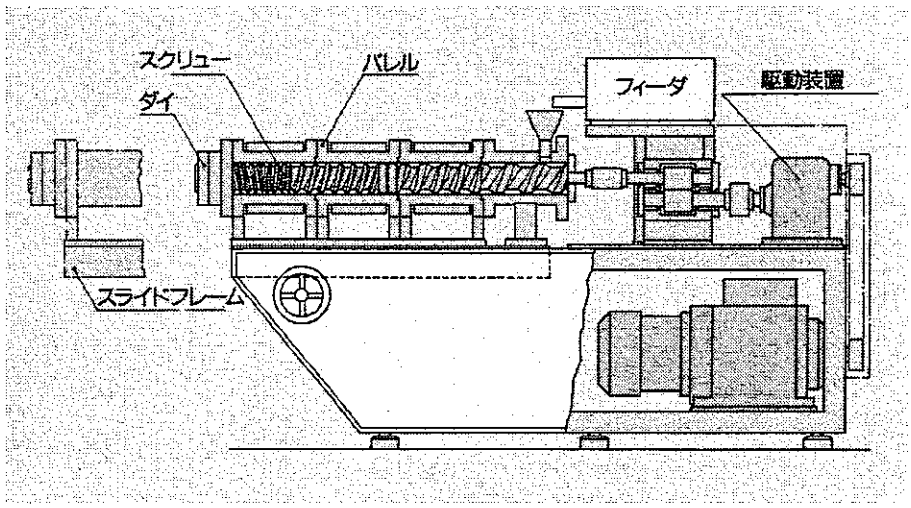


図5.3-1　４軸エクストルーダのシリンダー内観察写真

２軸エクストルーダ外観写真



２軸エクストルーダ外略図



２軸エクストルーダ諸元

形式	完全噛合形同方向回転２軸エクストルーダ
型　式	神戸製鋼所製　TCO-50型
主電動機容量	18.5kW
スクリュ回転数	40～400rpm
スクリュ径	φ48.5mm
軸径と軸長の比（L/D）	24（max30）
ヒータ容量	4kW/1ﾊﾞﾚﾙ×3（max4）

図5.3-2　２軸エクストルーダの概要

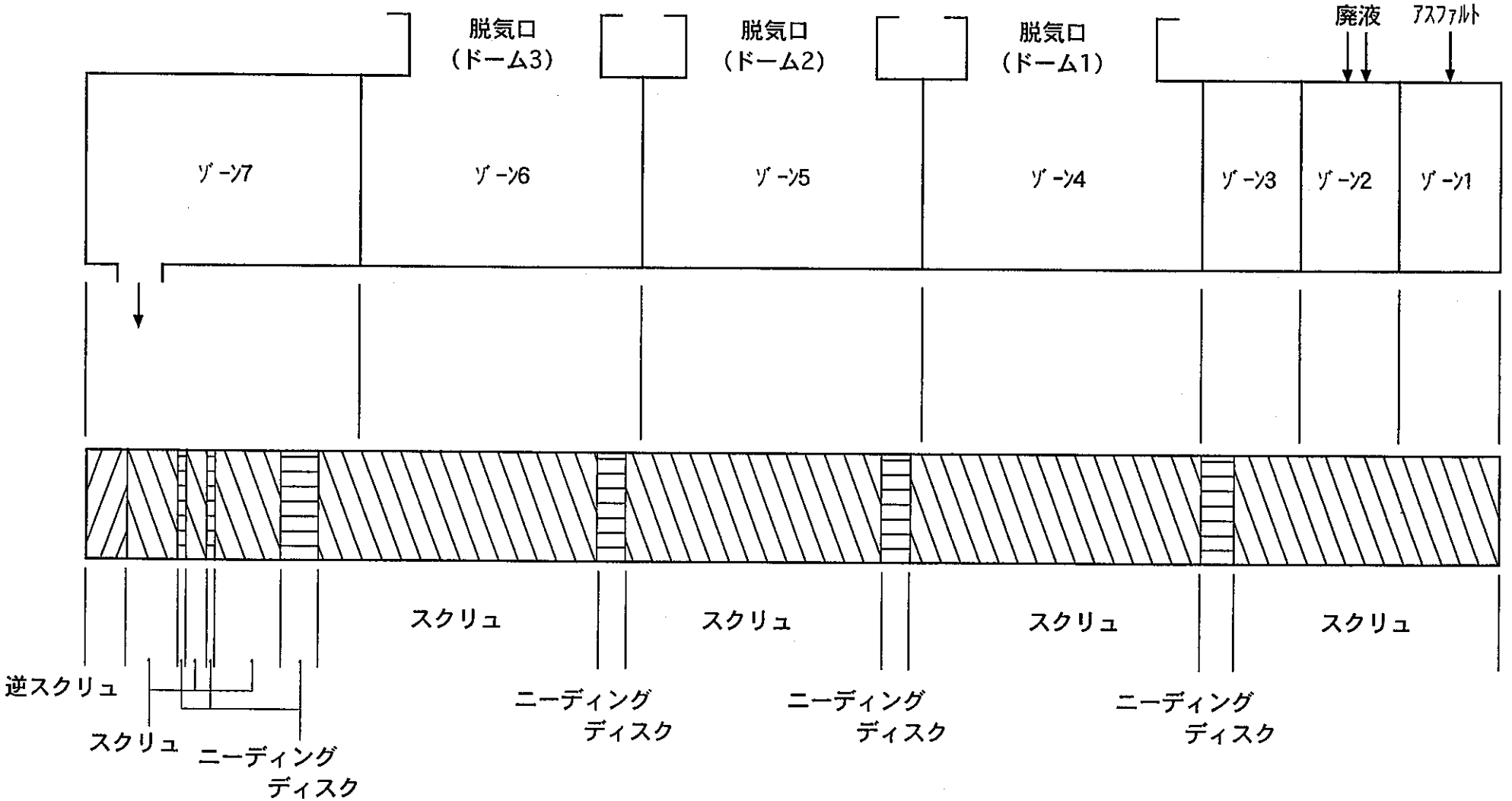


図5.3-3　4軸エクストルーダのスクリュ構成概略図

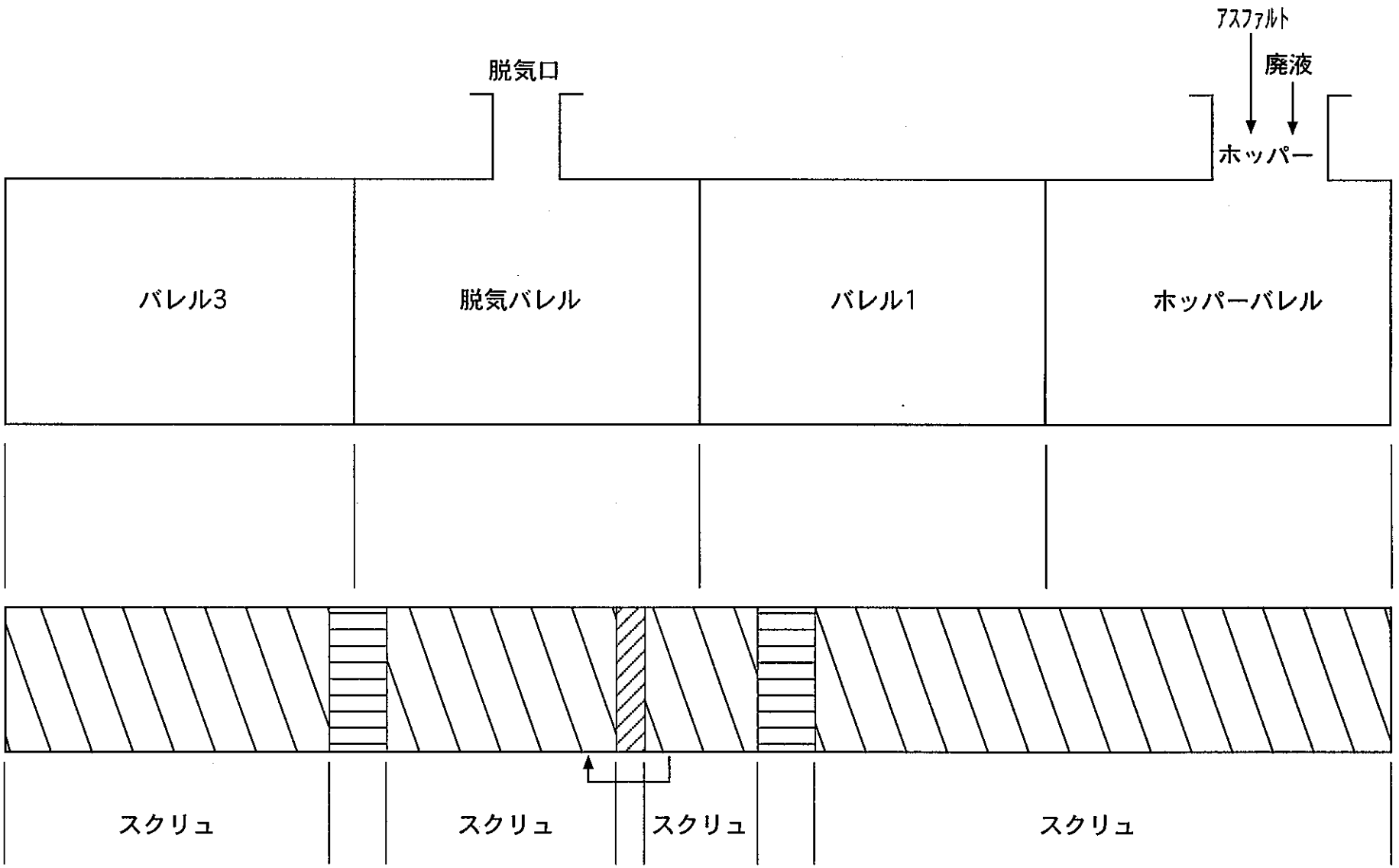
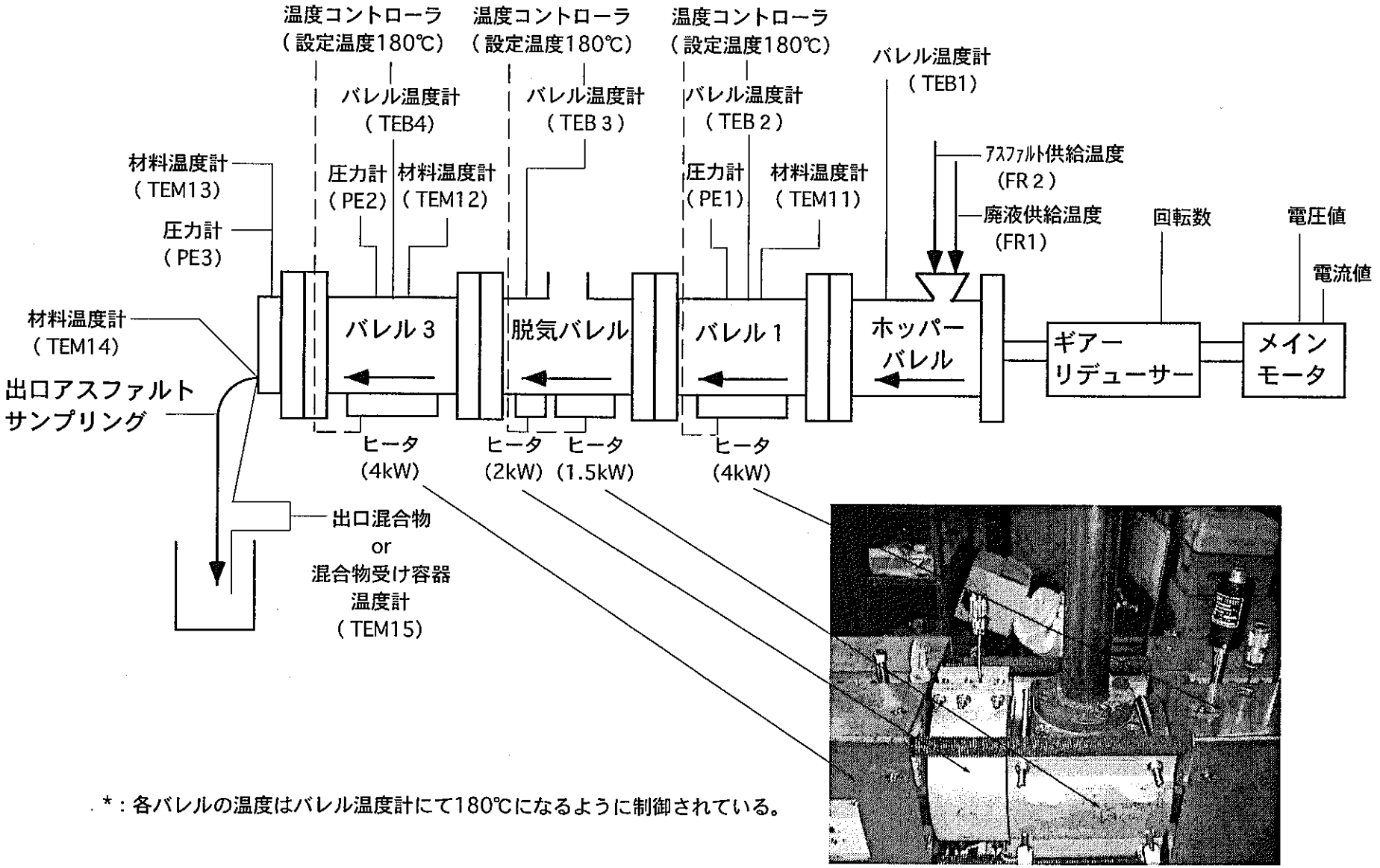


図5.3-4　2軸エクストルーダのスクリュ構成概略図



*：各バレルの温度はバレル温度計にて180℃になるように制御されている。

図5.3-5　2軸エクストルーダの温度計等配置図

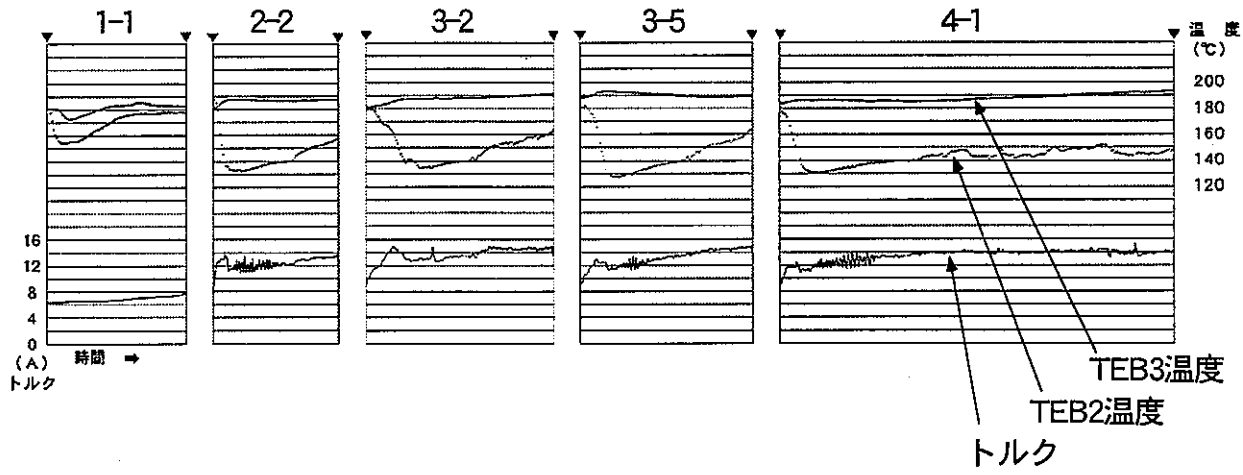
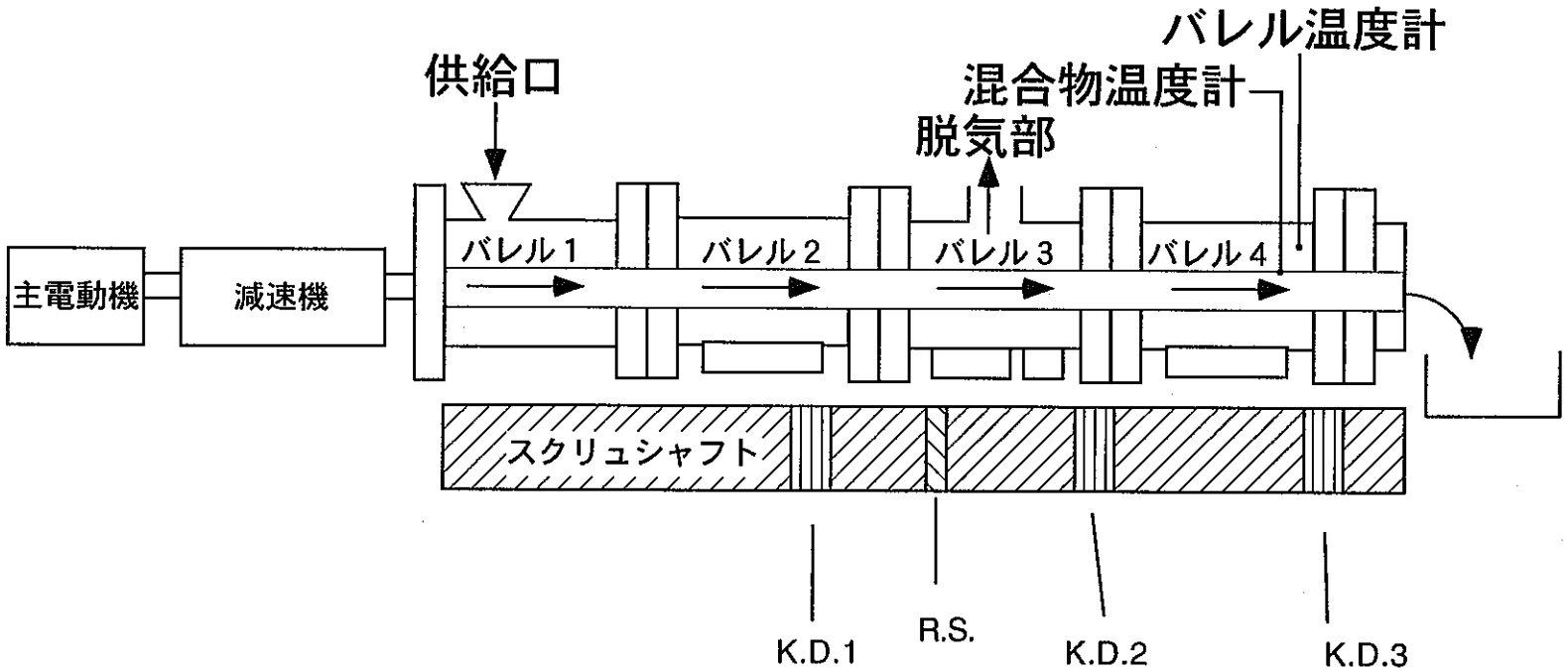


図5.3-6　標準条件におけるトルク・温度の挙動



※ K.D.はニーディングディスクを示す
R.S.はリバーススクリュを示す

図5.3-7　試験-2の試験機構成

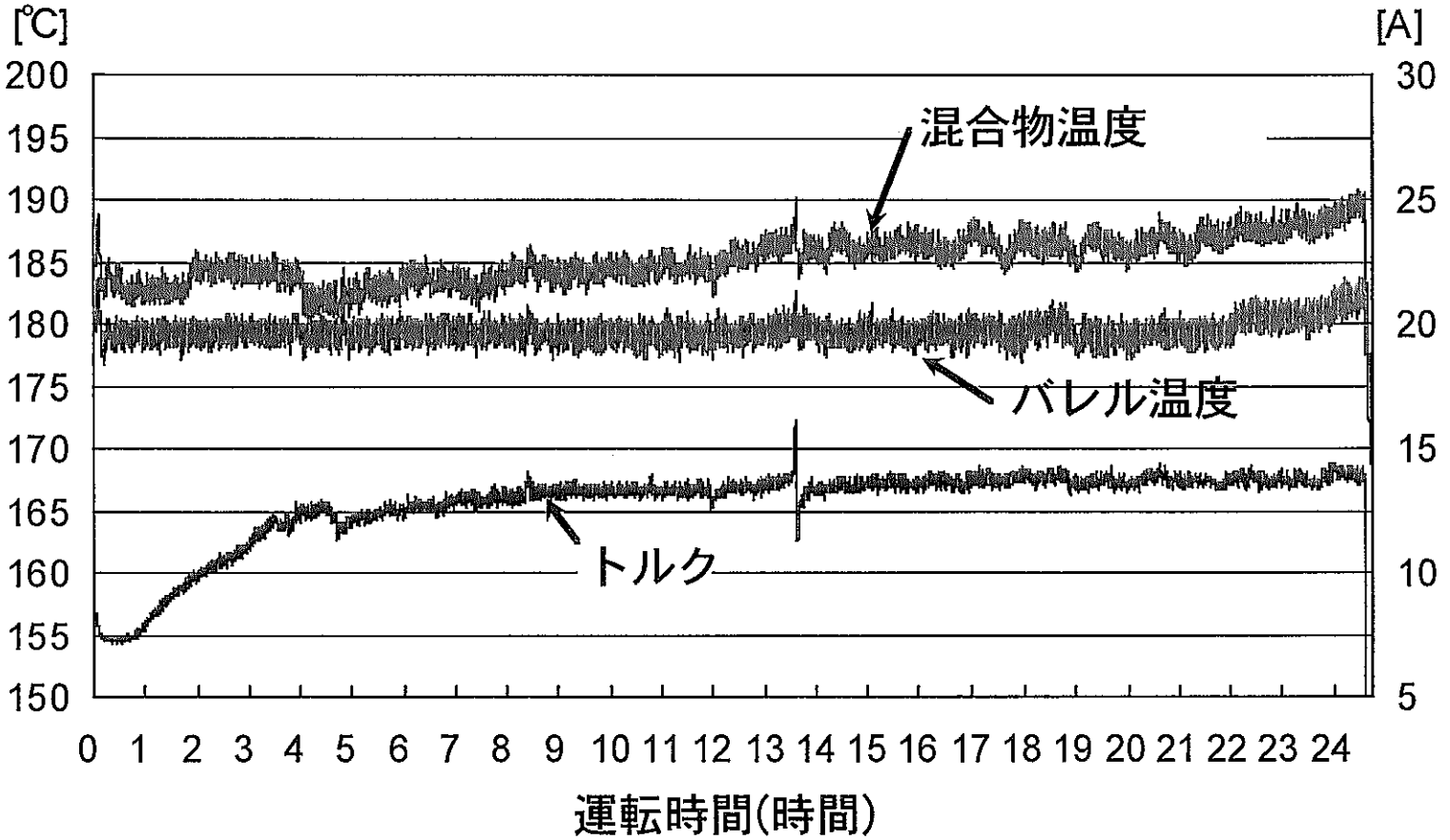


図5.3-8　2軸試験機のトルクと温度の関係（試験２）

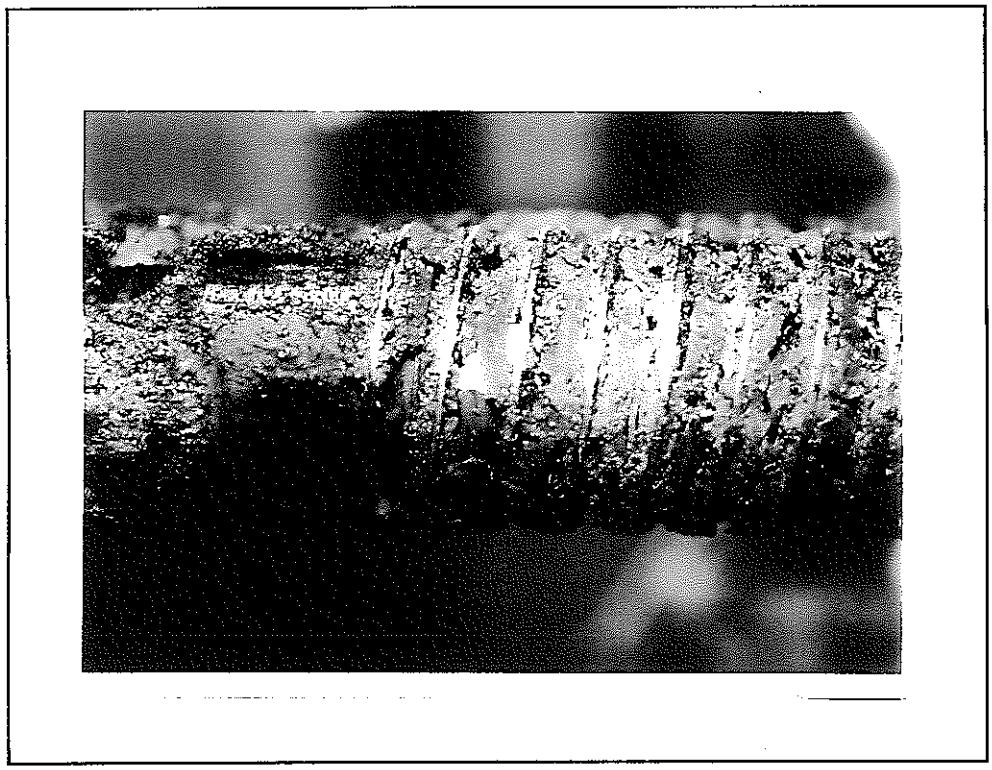


図5.3-9 塩の堆積状況（ニーディングディスク接合部）
（写真は右側が上流側）

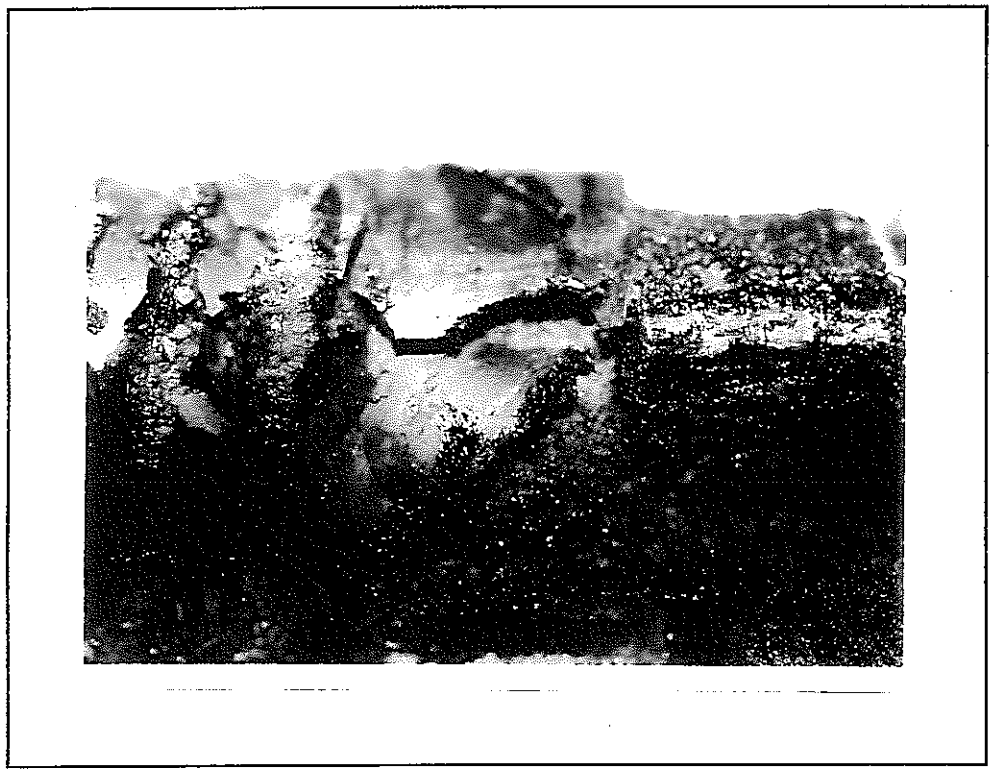


図5.3-10 塩の堆積状況（ニーディングディスク部）
（写真は右側が上流側）

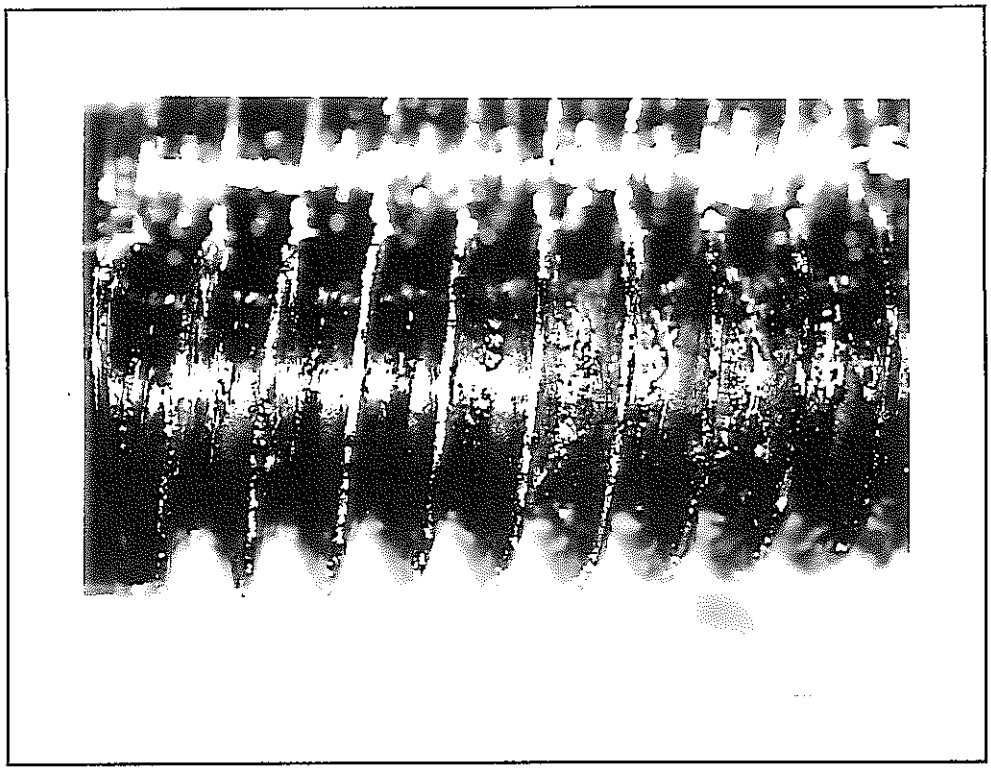


図5.3-11 水洗浄後のスクリュ（スクリュ部）
（写真は右側が上流側）

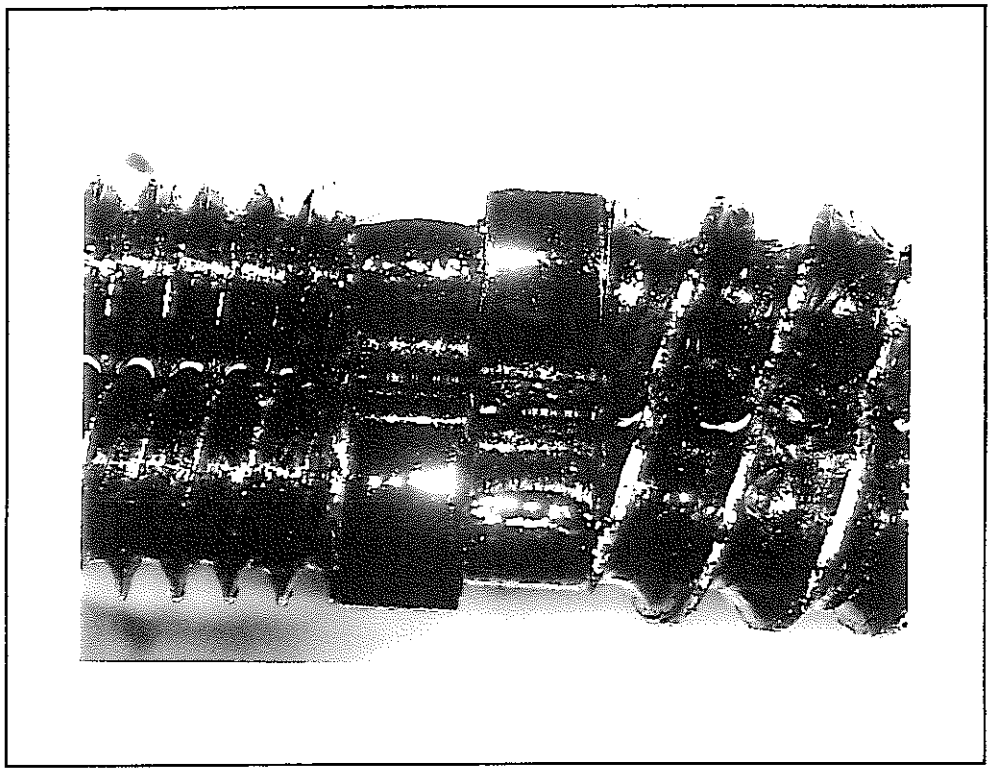


図5.3-12 水洗浄後のスクリュ（ニーディングディスク部）
（写真は右側が上流側）

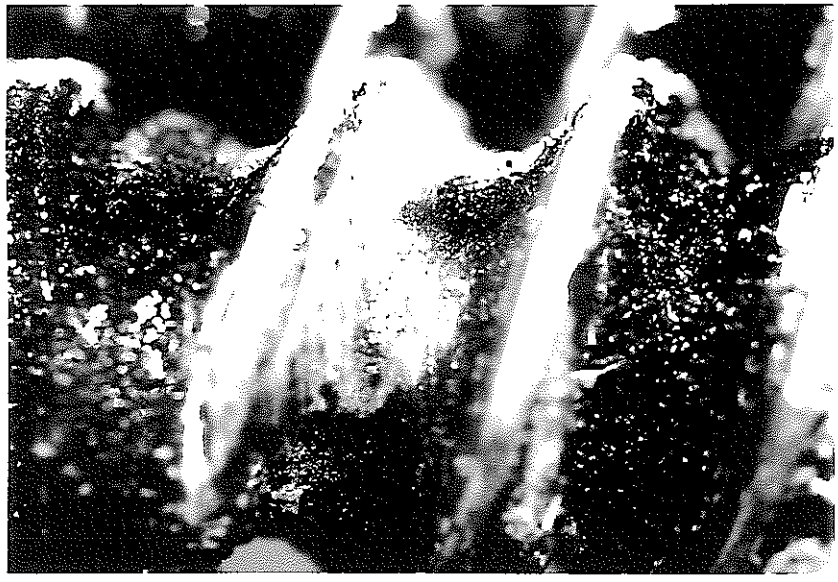


図5.3-13(1) スクリュに堆積した塩

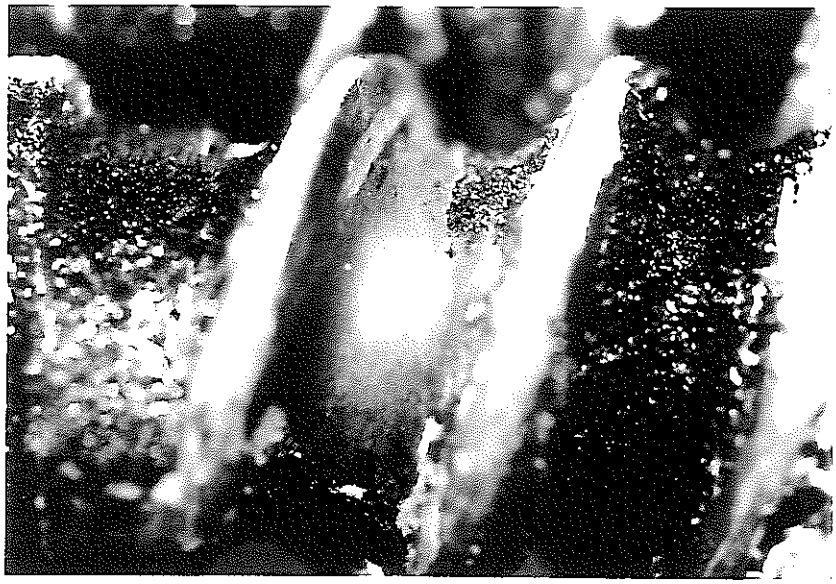


図5.3-13(2) 堆積した塩に湯をかけた場合
(上と同じ部位)

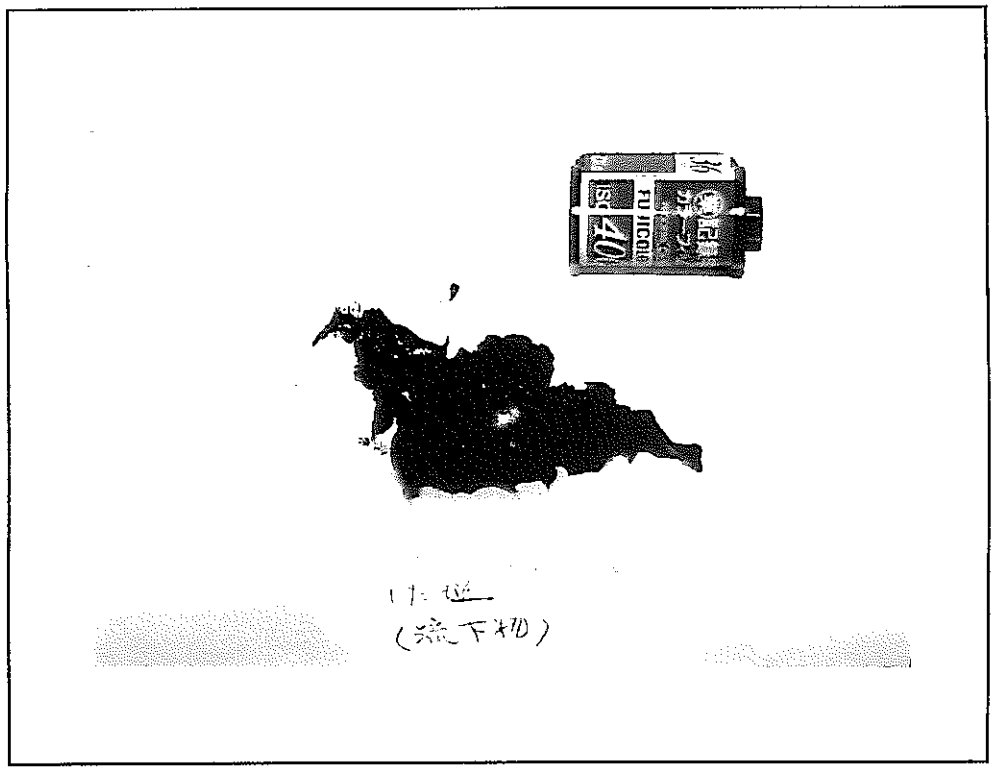


図5.3-14 冷却操作により剥離して流下した塩層

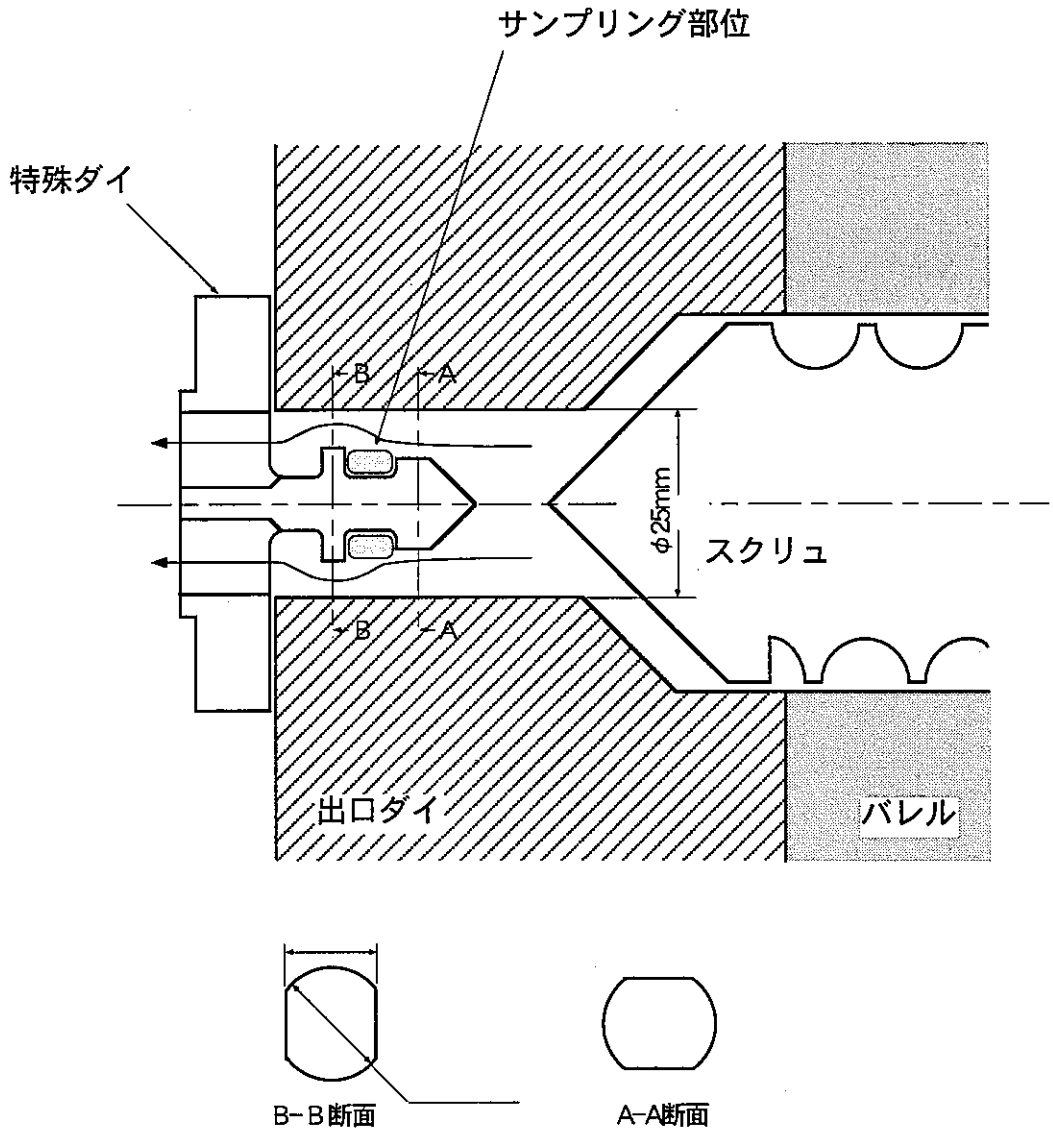
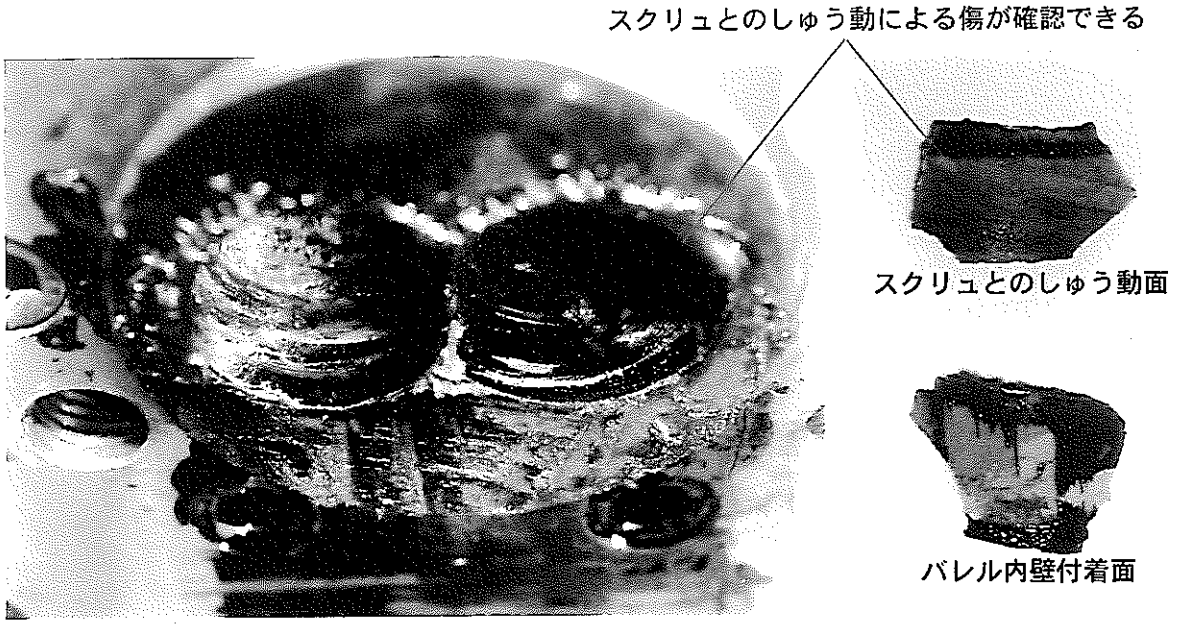


図5.3-15　ニーディングディスク形状の特殊ダイ設置概要



抜出したエクストルーダシャフトにおける堆積塩の状況



バレル内壁面に残った堆積塩の状況　　採取した堆積塩の状況

図5.3-16 エクストルーダ内に堆積した塩の状況

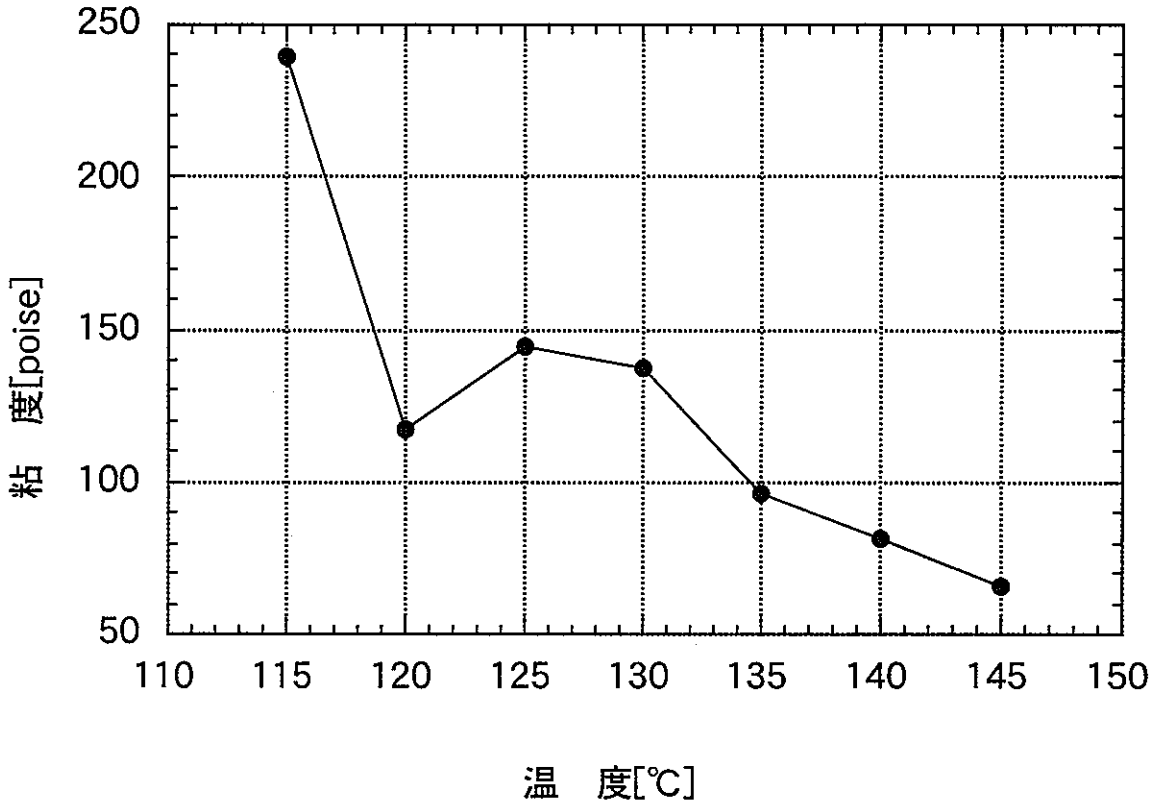


図5.3-17　原料アスファルト粘度の温度依存性

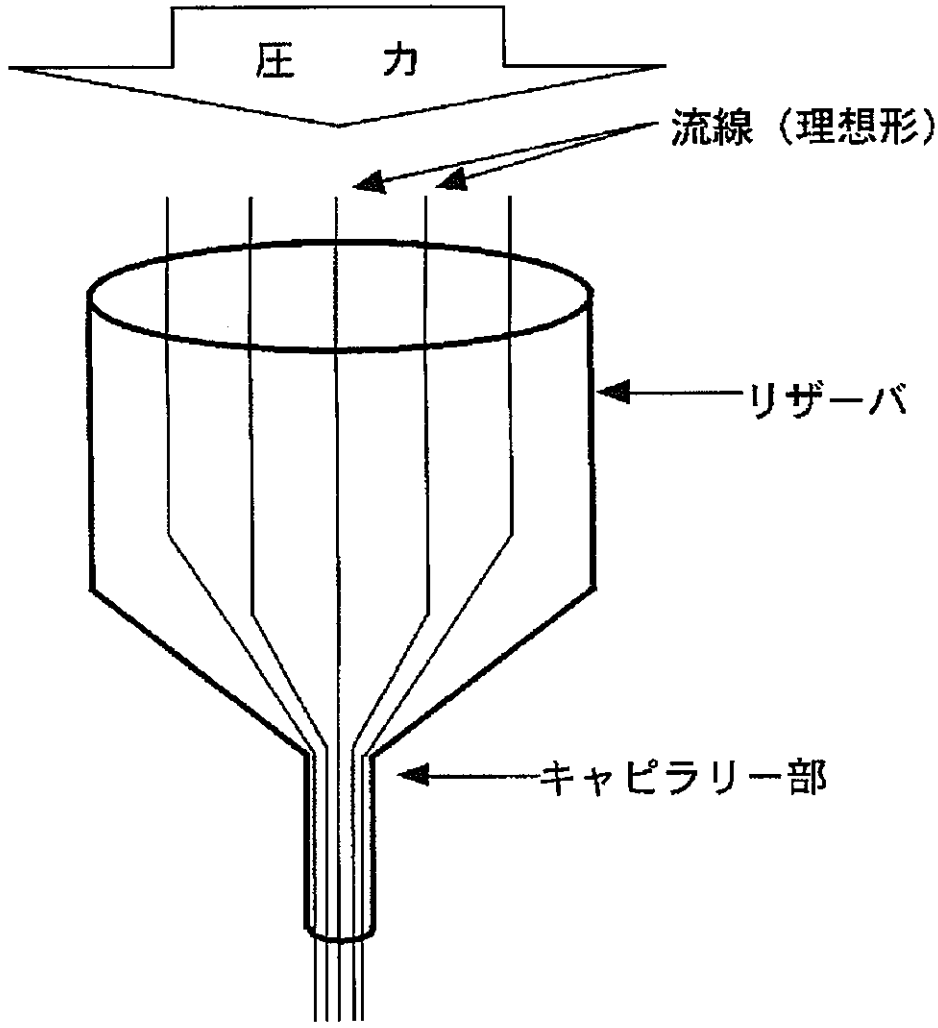


図5.3-18　異常流動の発生についての説明図

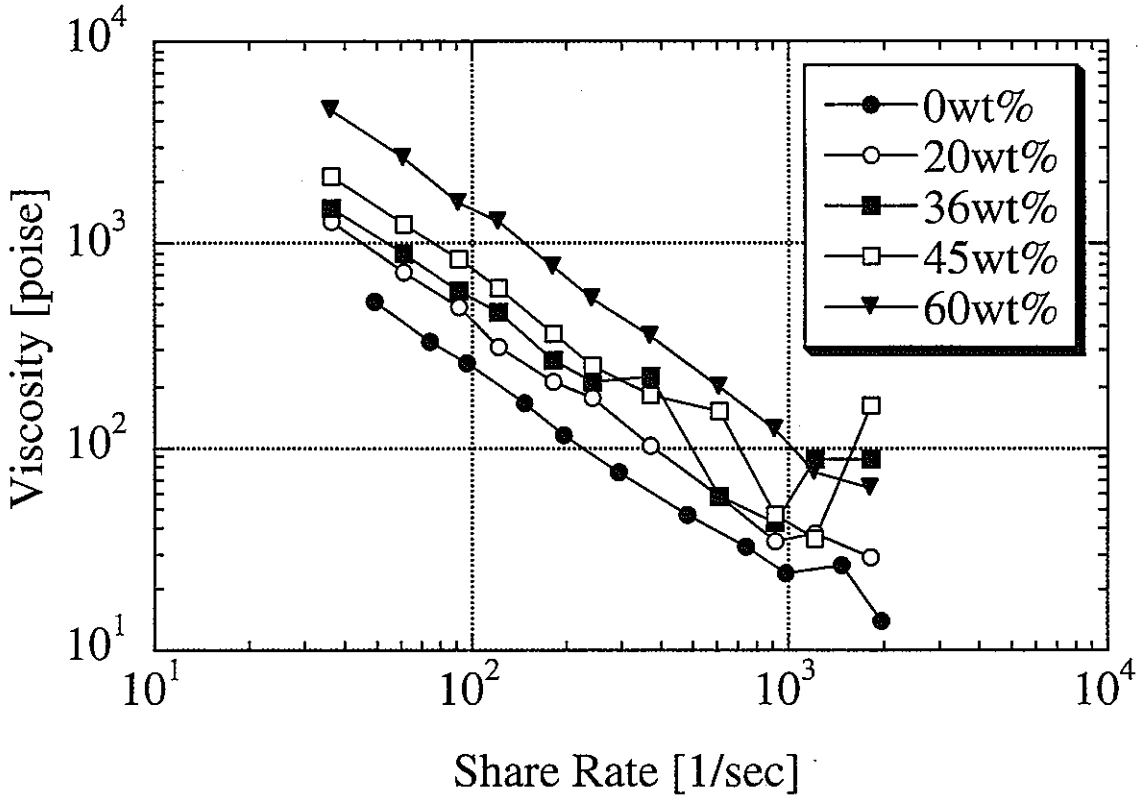
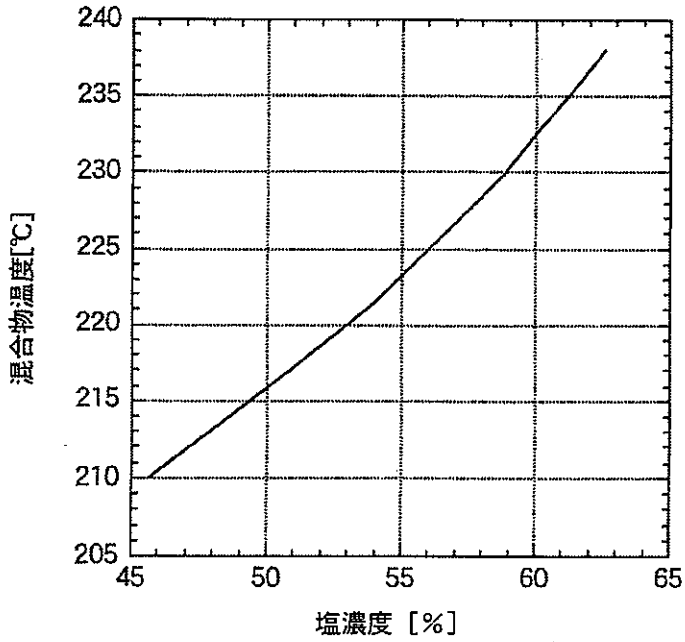


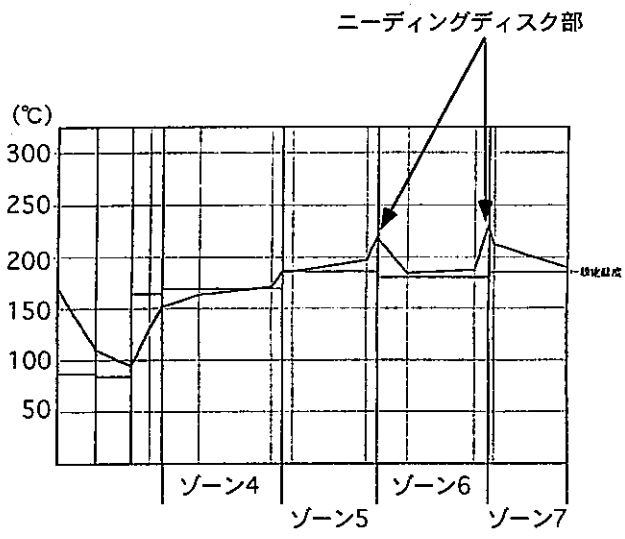
図5.3-19　混合物粘度の塩濃度依存性

表　考慮した運転条件

シリンダー径	49.0 mm
センター間距離	41.0 mm
回　転　数	275 rpm
モータ定格	10.0 kW
ｱｽﾌｧﾙﾄの量	2.28 L/hr
廃液の量	6.56 L/hr
塩量/1L廃液	300.0 g/L
最大脱水量	12.6 L/hr
ｱｽﾌｧﾙﾄ供給温度	170.0 ℃
廃液の供給温度	30.0 ℃
メカロス他	55.0 %



ニーディングディスク部における混合物温度の塩濃度依存性



エクストルーダ内の軸方向温度分布

図5.3-20　エクストルーダ内の混合物温度の試算結果

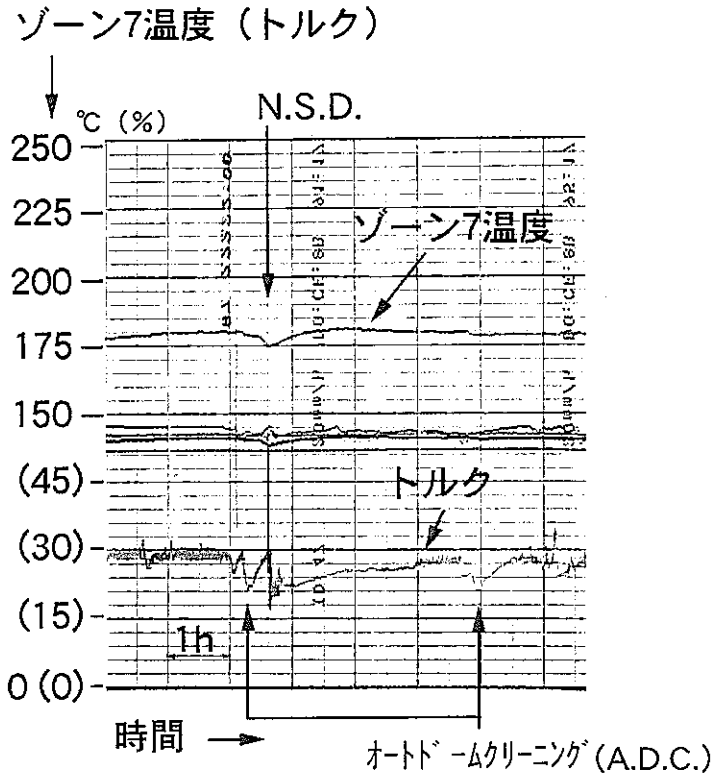


図5.3-21　14Bにおけるノーマルシャットダウン（N.S.D.）時の挙動

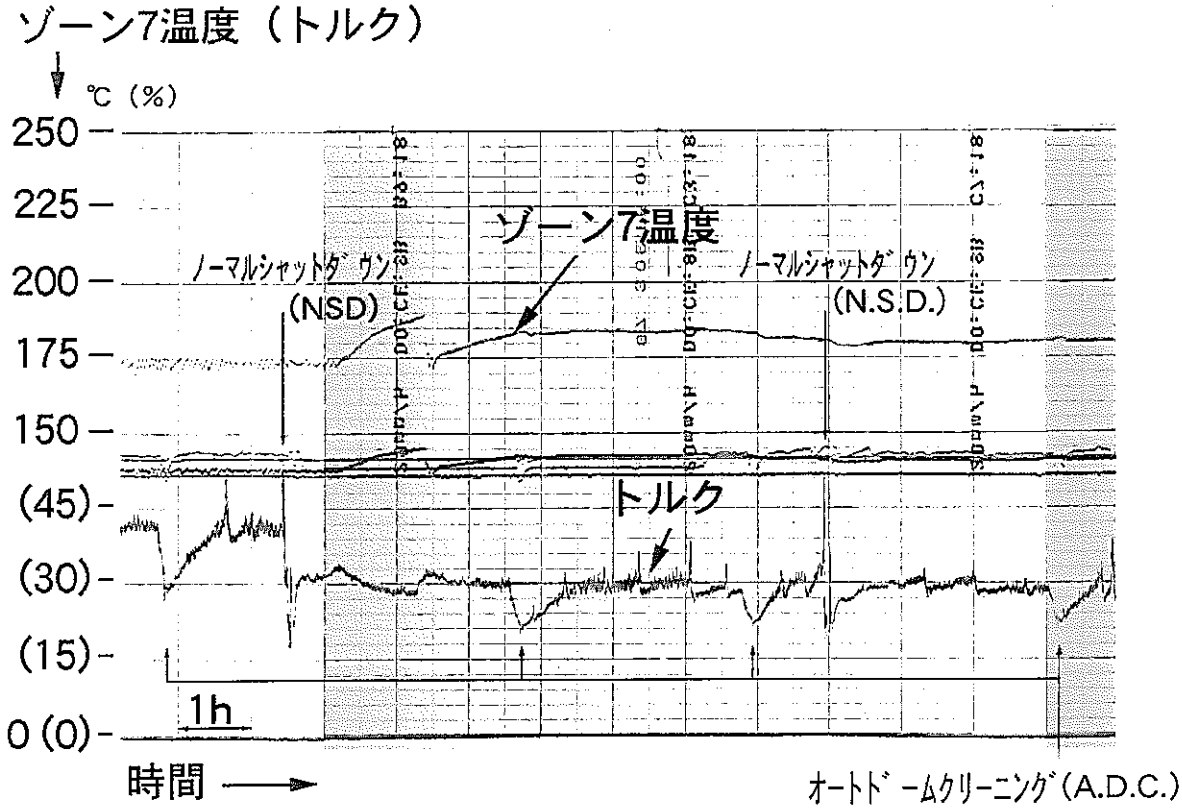
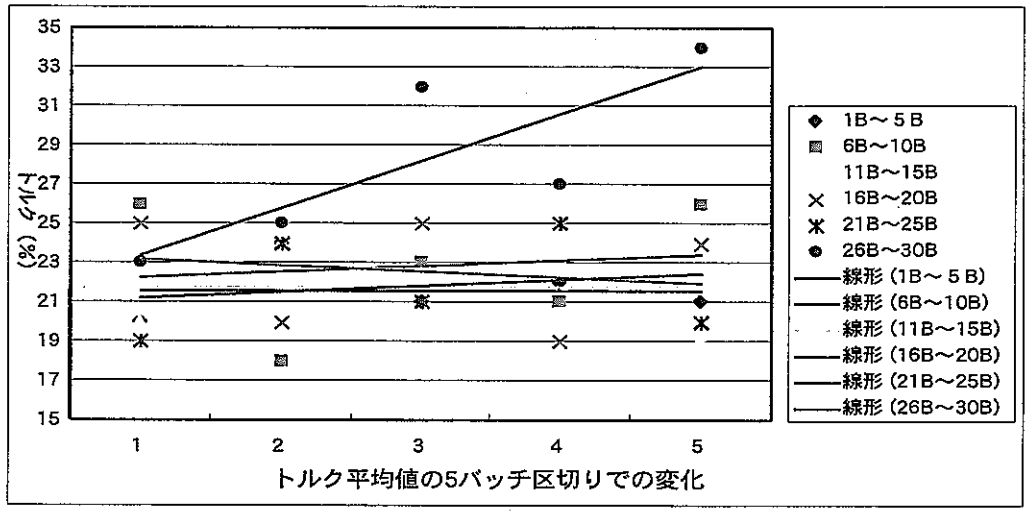


図5.3-22　28Bにおけるノーマルシャットダウン（N.S.D.）時の挙動



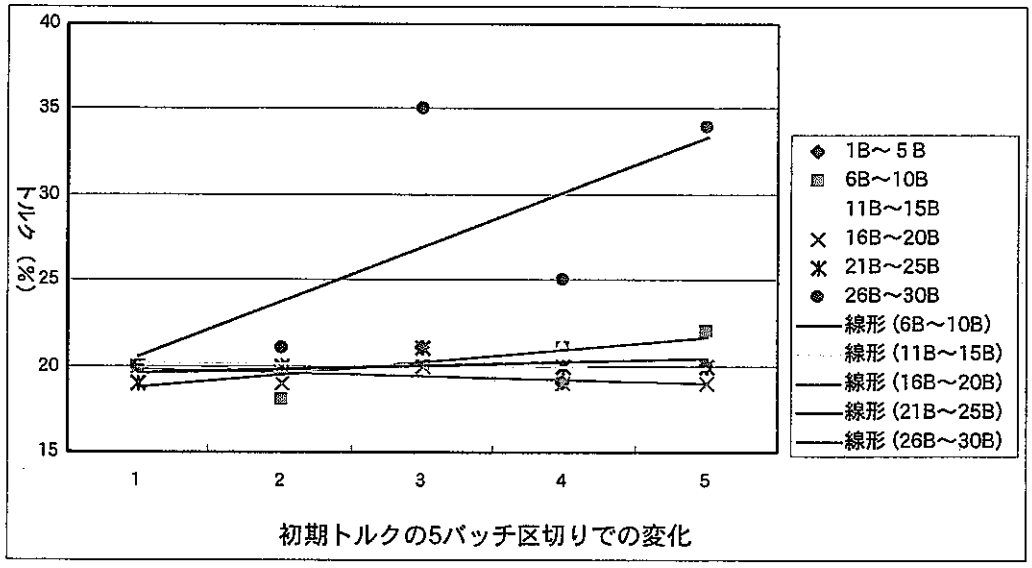
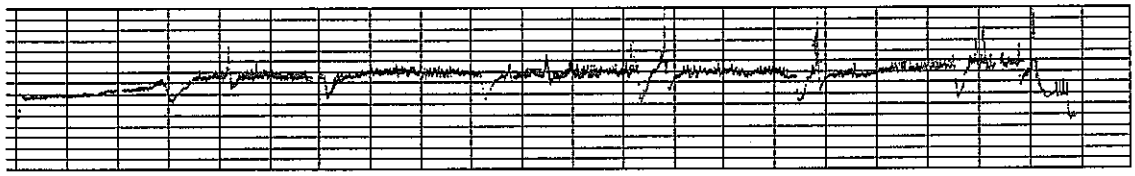
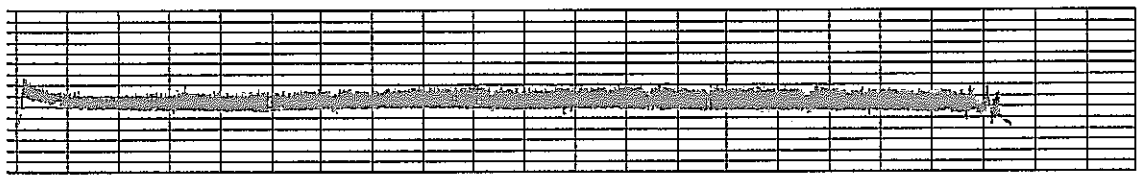


図5.3-23　トルクの平均値と初期値の5バッチ区切りでの変化



典型的な偶数バッチのトルク波形



典型的な奇数バッチのトルク波形

図5.3-24　偶数バッチと奇数バッチでのトルク波形の違い

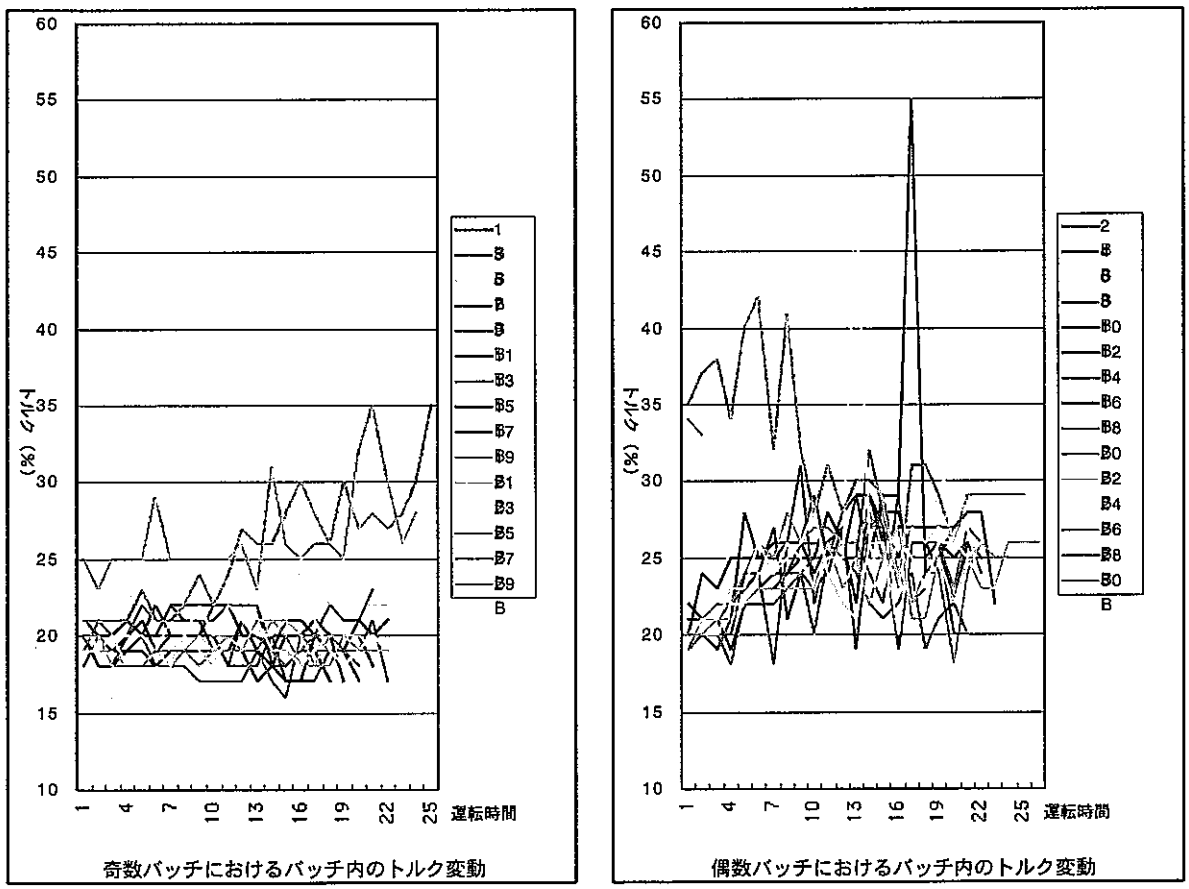
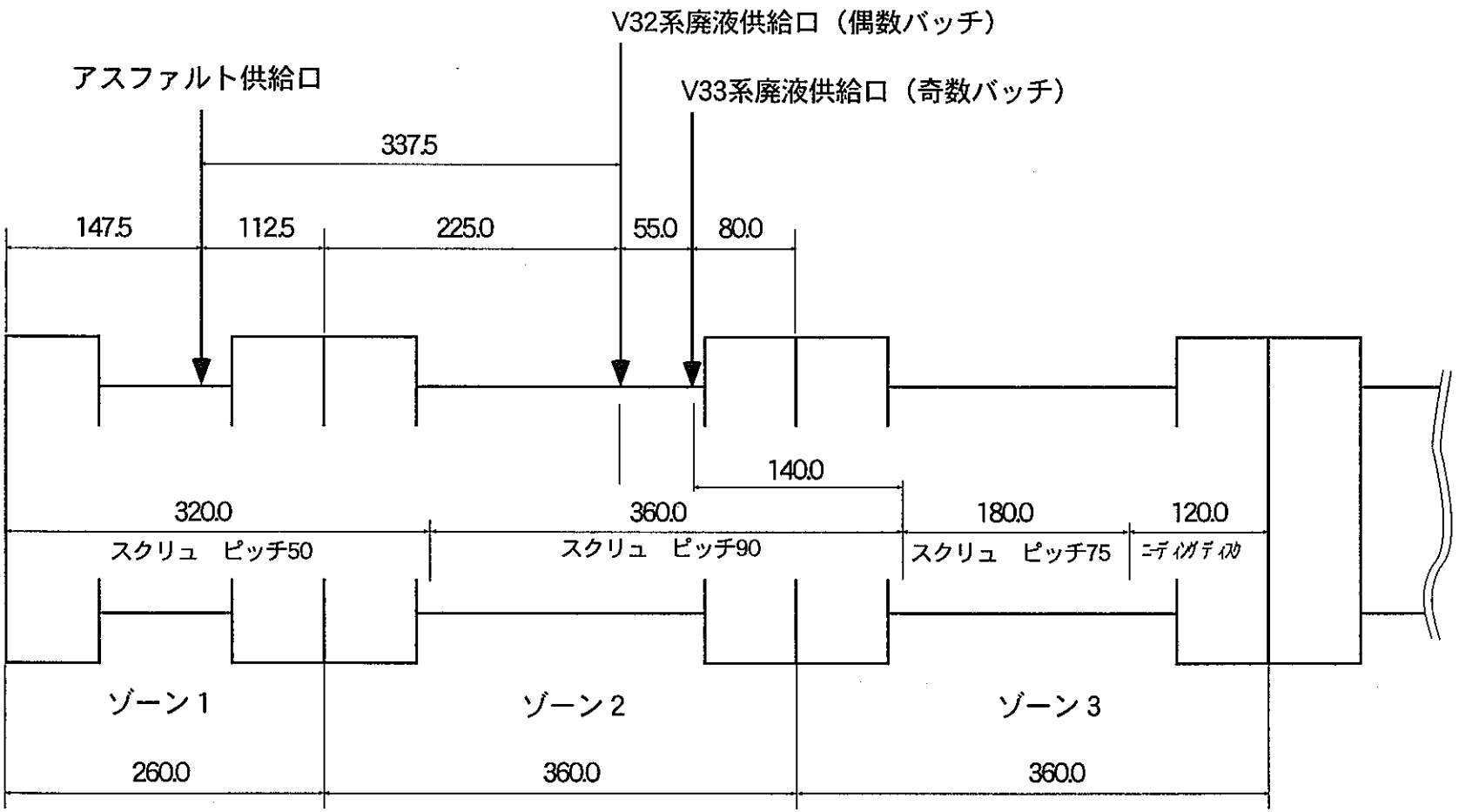
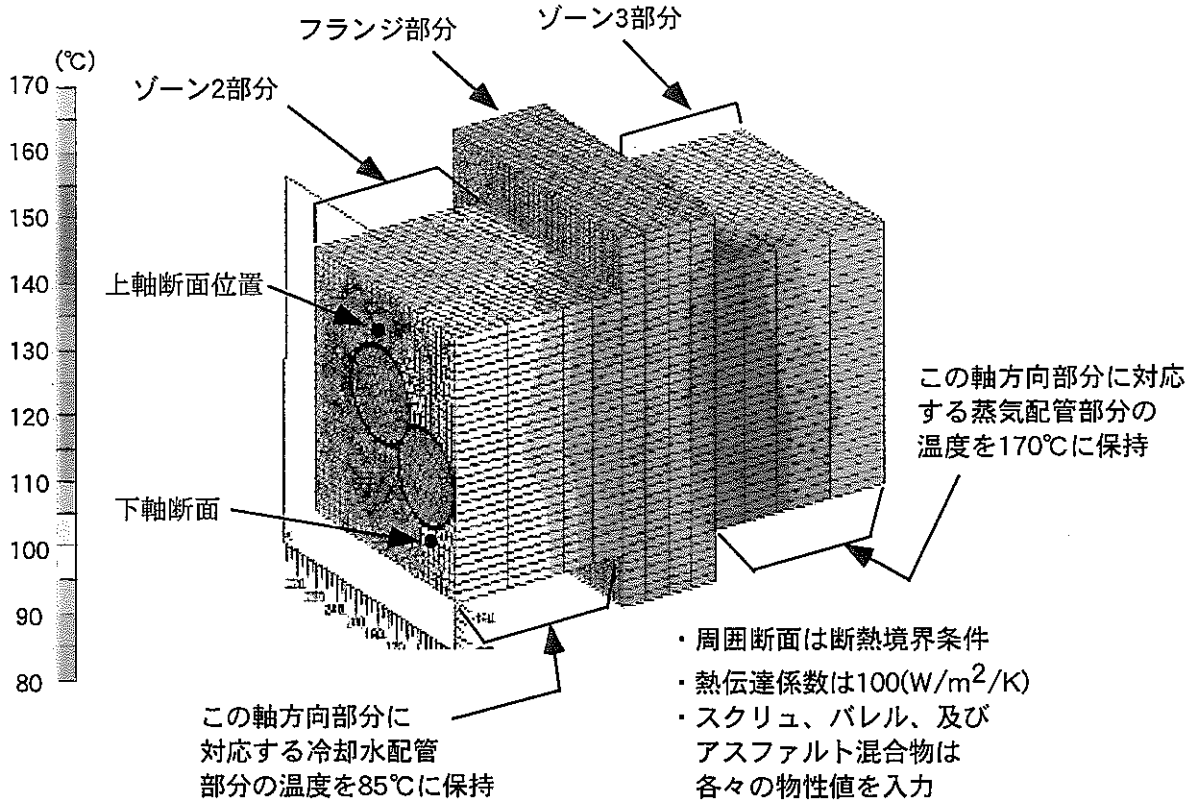


図5.3-25　97-M46-1キャンペーンにおける偶数バッチと奇数バッチのトルクの違い

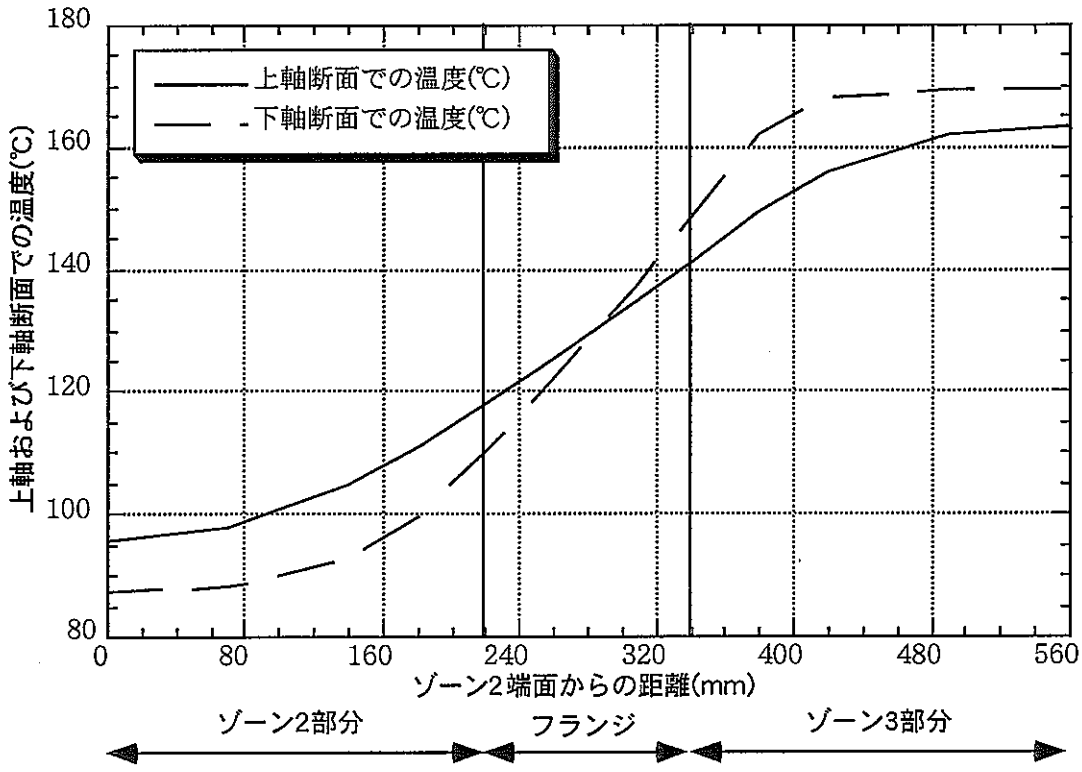


※単位は全てmm

図5.3-26　廃液供給口設置位置周辺の装置構成概略図

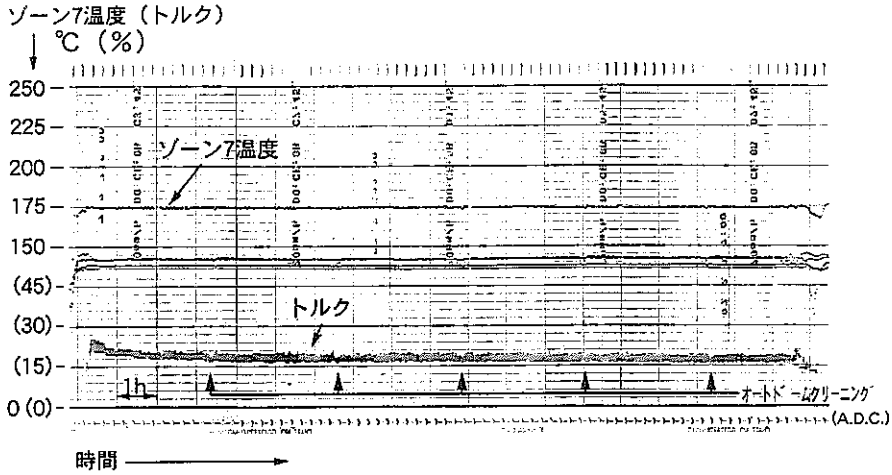


ゾーン2及び3の境界条件と温度分布

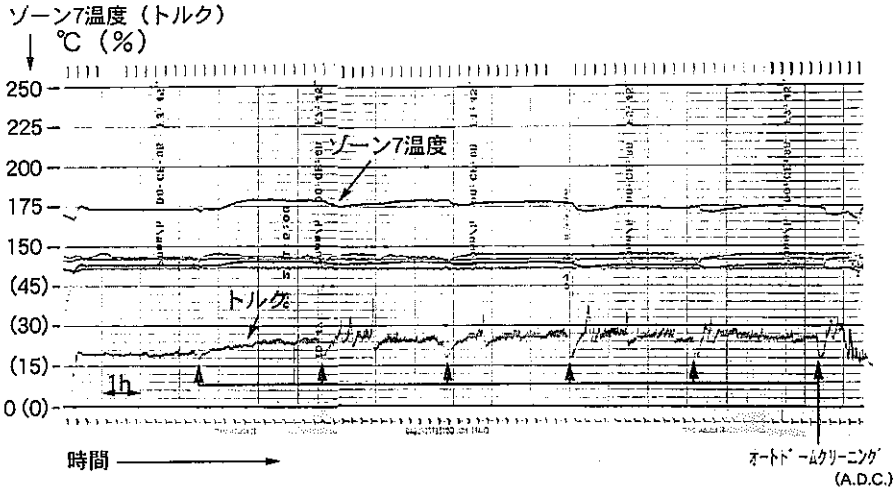


上軸及び下軸における混合物近傍の軸方向温度分布

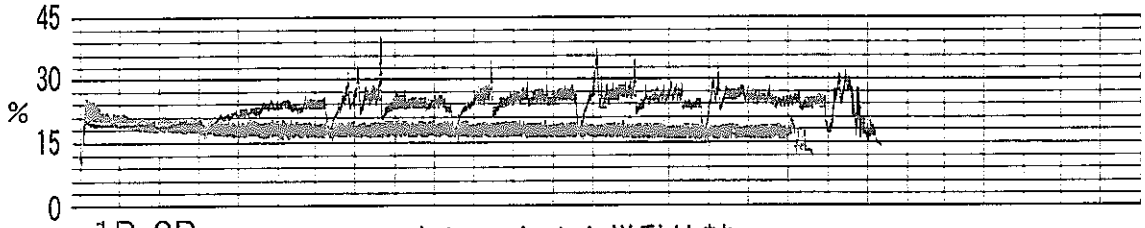
図5.3-27　ゾーン2～3のバレル温度分布解析結果



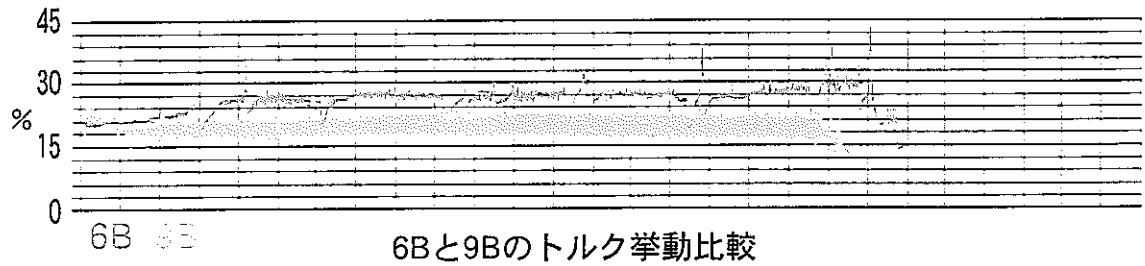
1Bにおけるゾーン7温度とトルクの挙動



2Bにおけるゾーン7温度とトルクの挙動

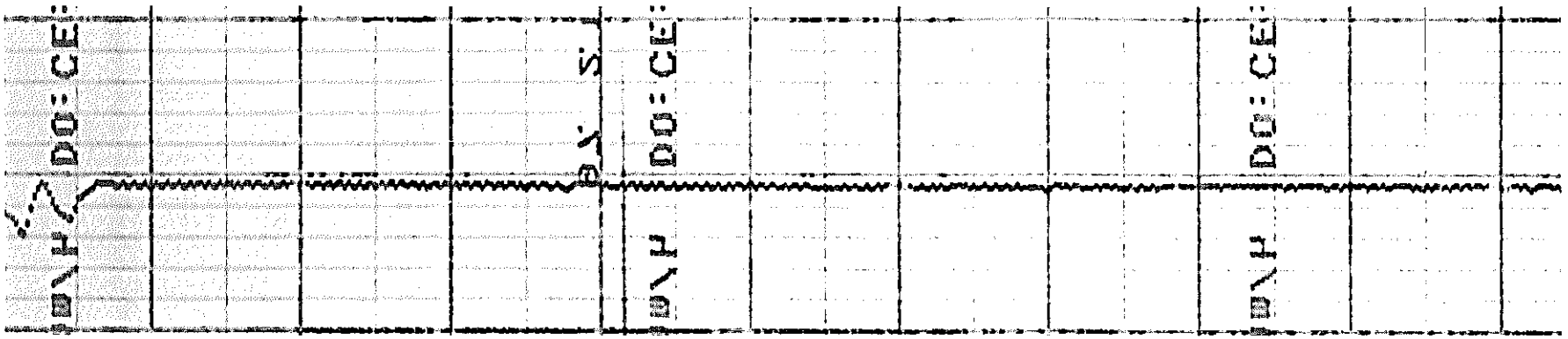


1Bと2Bのトルク挙動比較

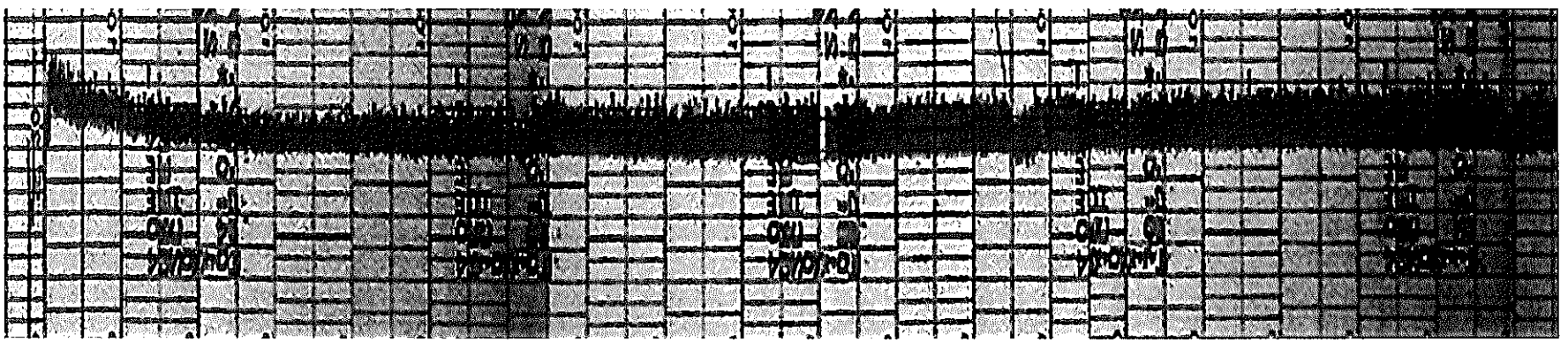


6Bと9Bのトルク挙動比較

図5.3-28　標準供給速度運転時の奇数バッチと偶数バッチ



典型的な奇数バッチのゾーン7温度波形



典型的な奇数バッチのトルク波形

図5.3-29　典型的な奇数バッチのトルクとゾーン7温度の波形

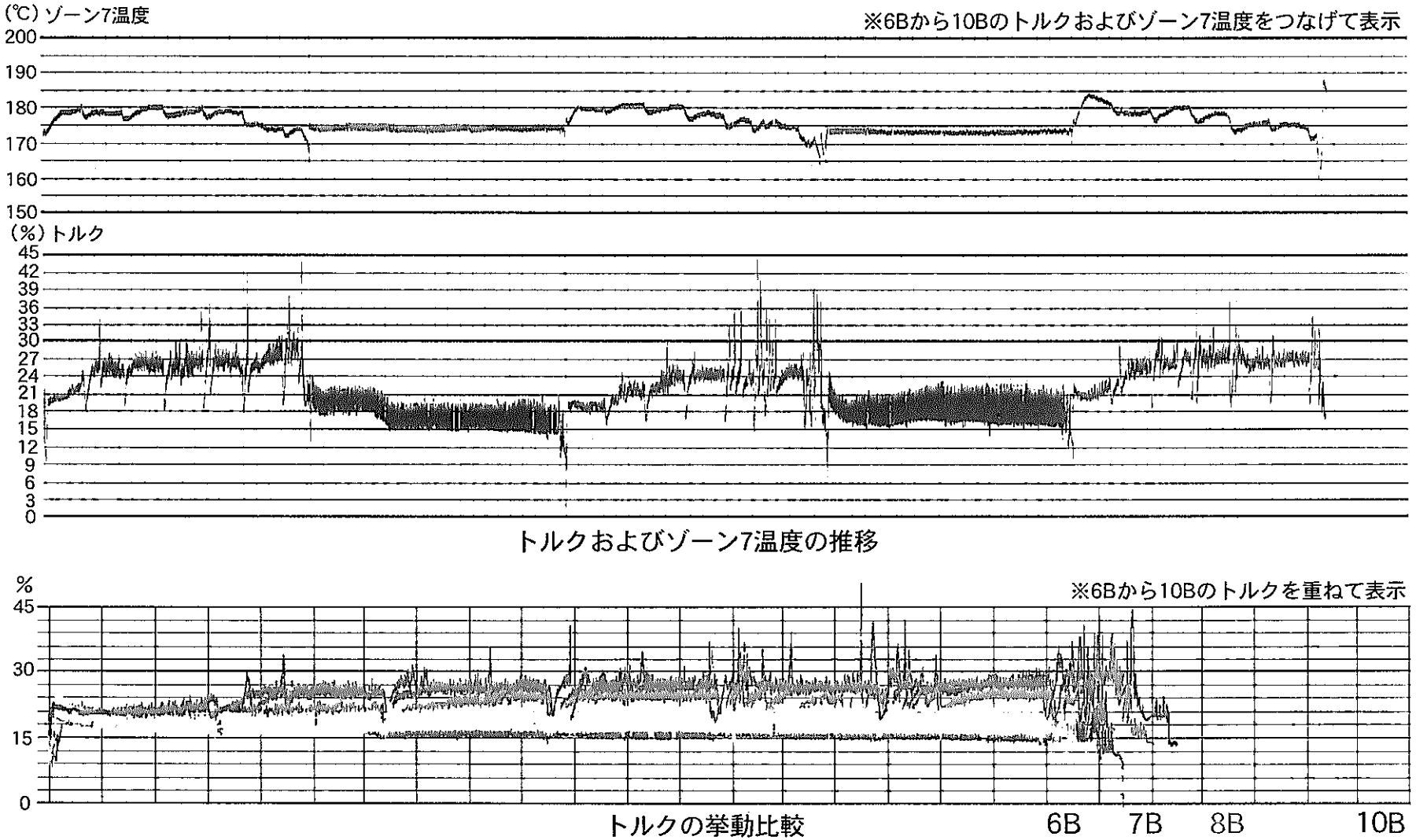
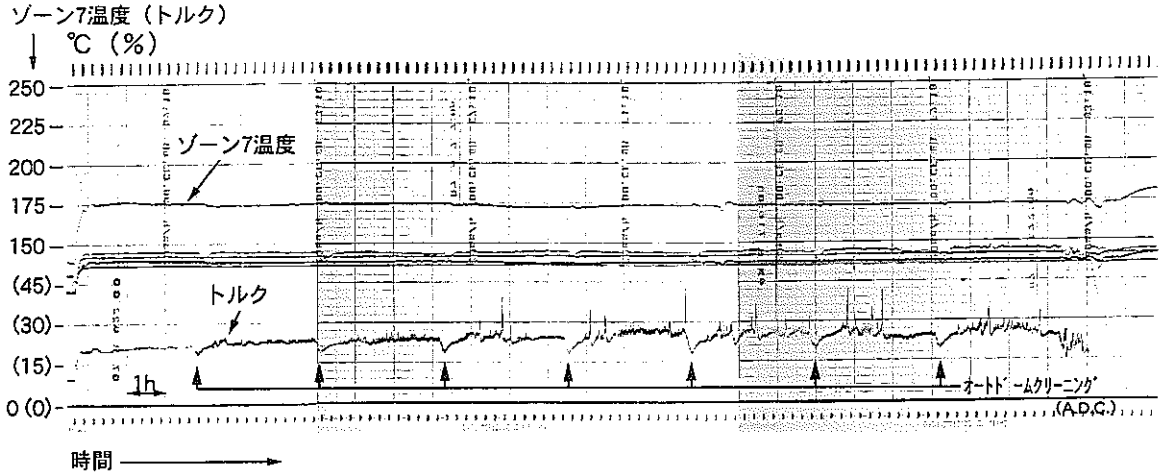
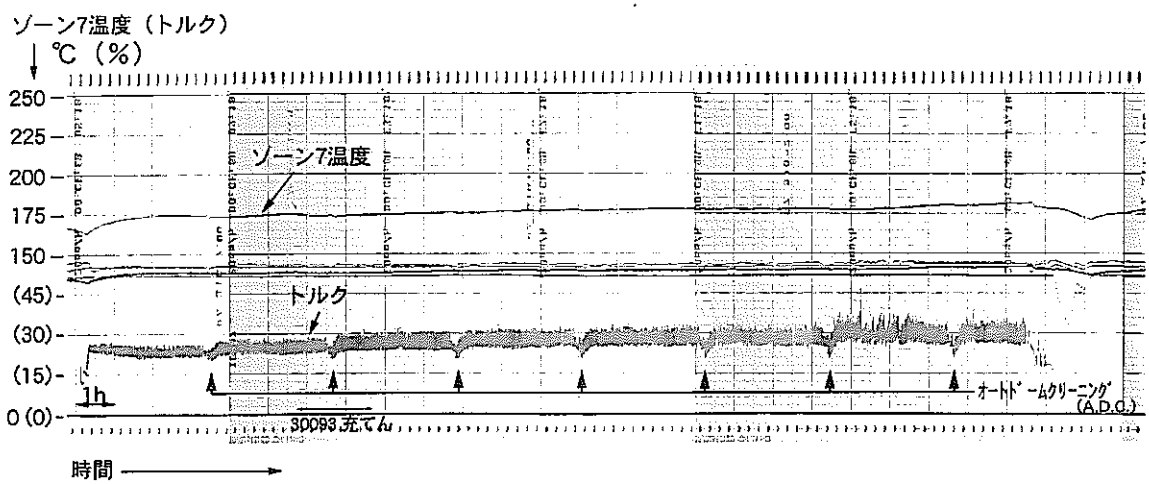


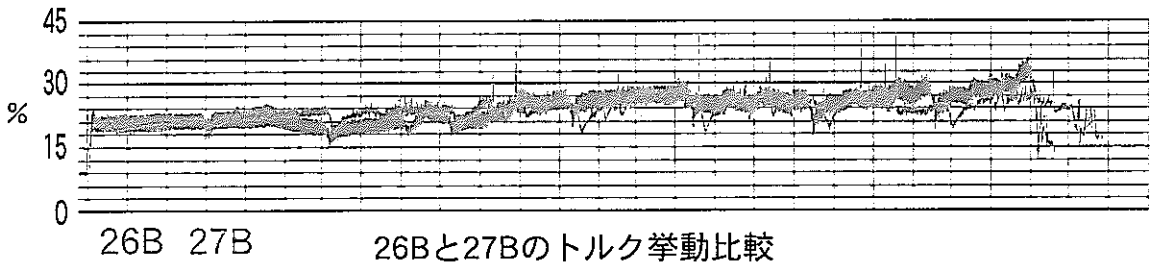
図5.3-30　6B～10Bにおけるトルクおよびゾーン7温度の推移



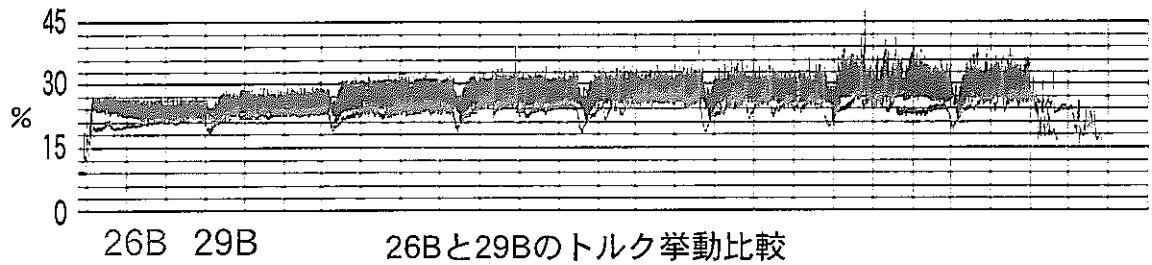
26Bにおけるゾーン7温度とトルクの挙動



29Bにおけるゾーン7温度とトルクの挙動



26Bと27Bのトルク挙動比較



26Bと29Bのトルク挙動比較

図5.3-31 供給速度20%低下運転時の奇数バッチと偶数バッチ

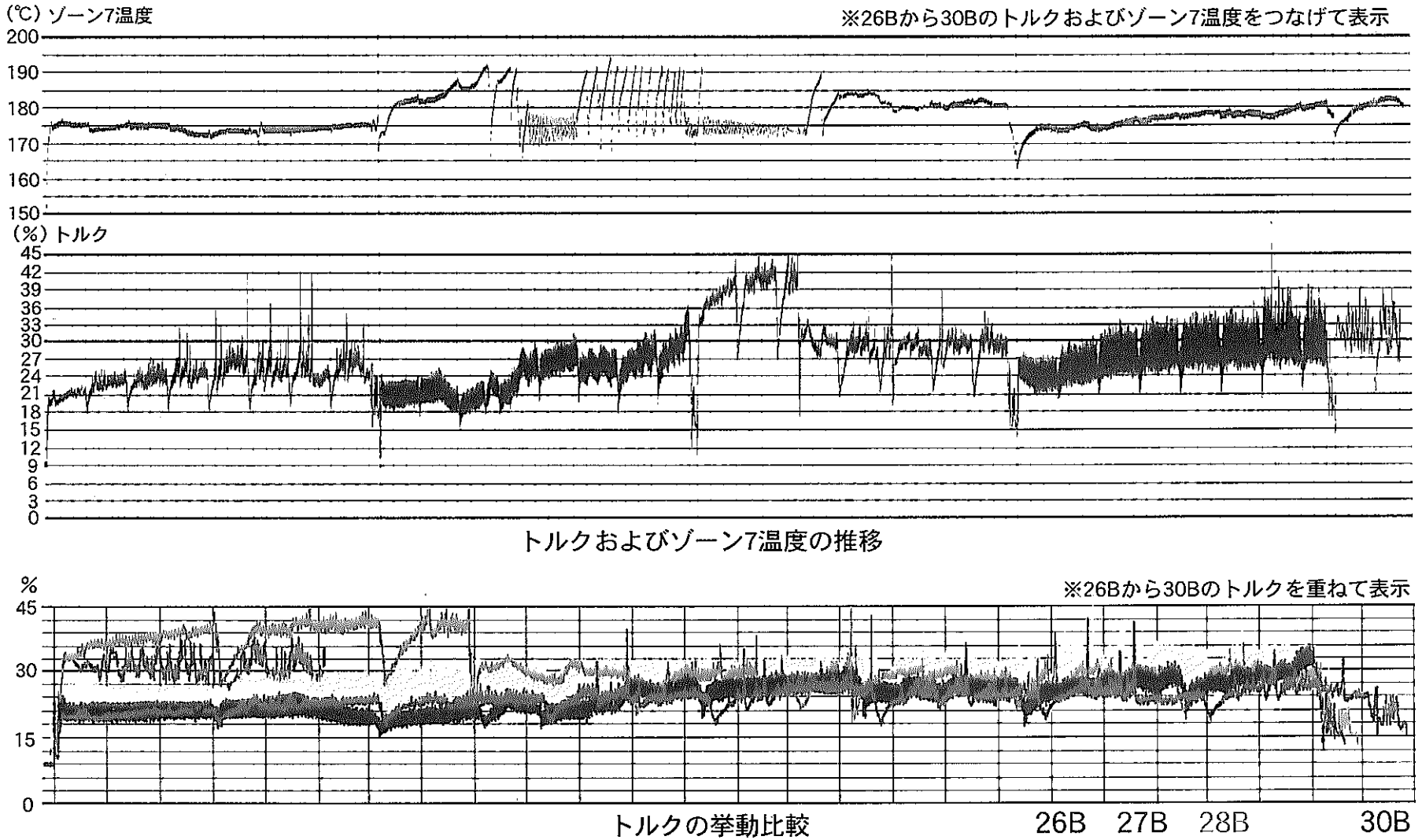


図5.3-32 26B～30Bにおけるトルクおよびゾーン7温度の推移

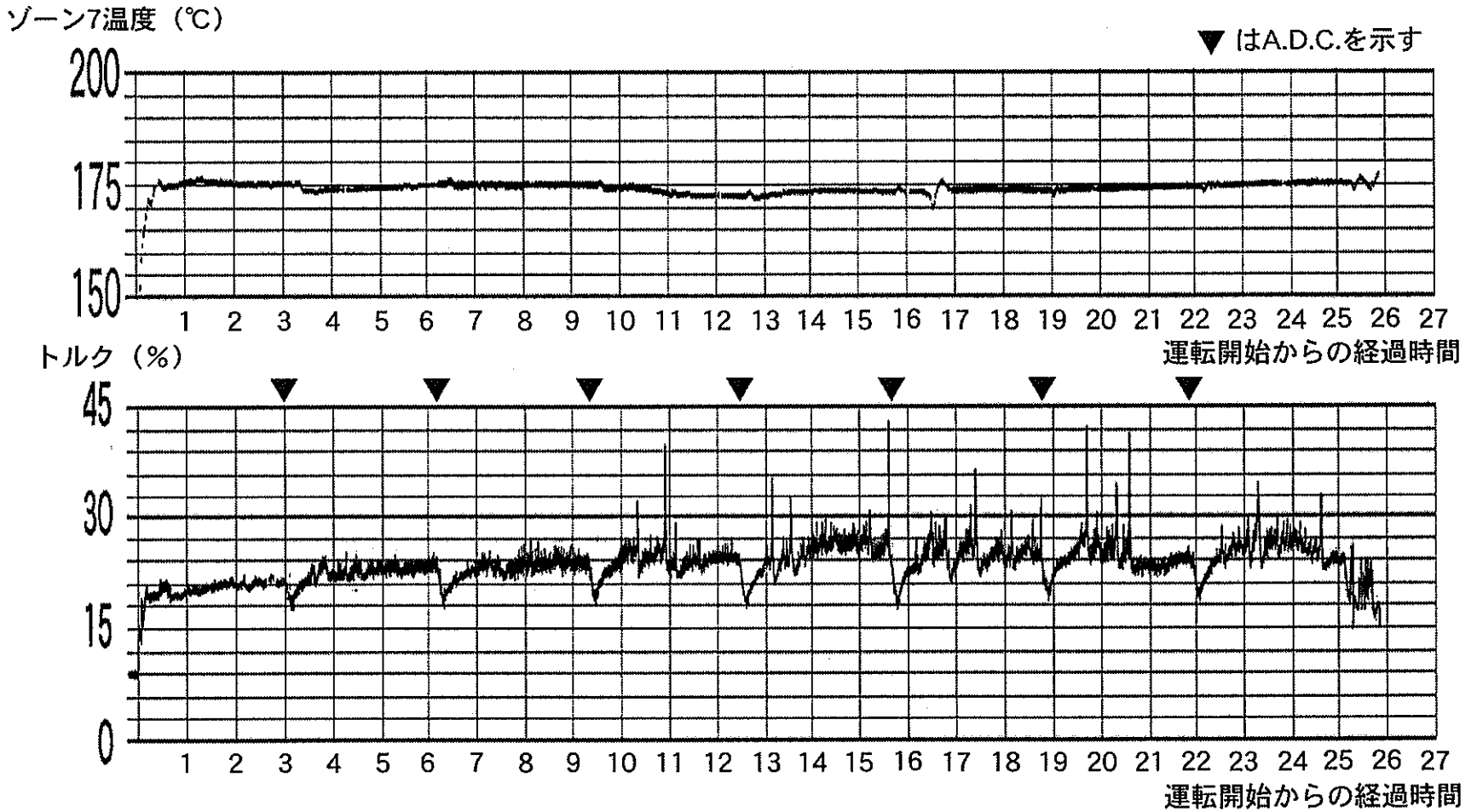


図5.3-33 26Bにおけるトルクとゾーン7温度の変化

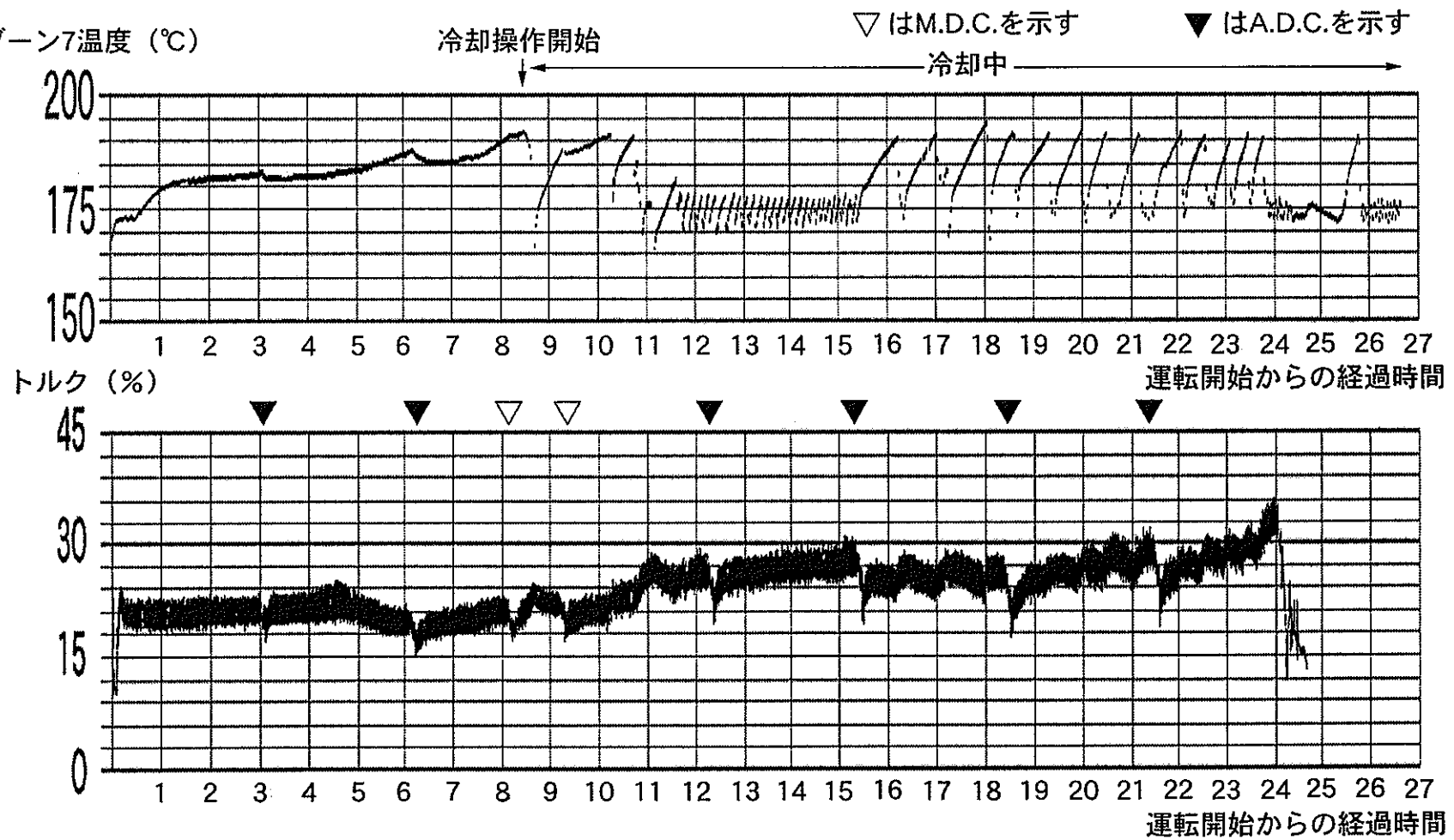


図5.3-34　27Bにおけるトルクとゾーン7温度の変化

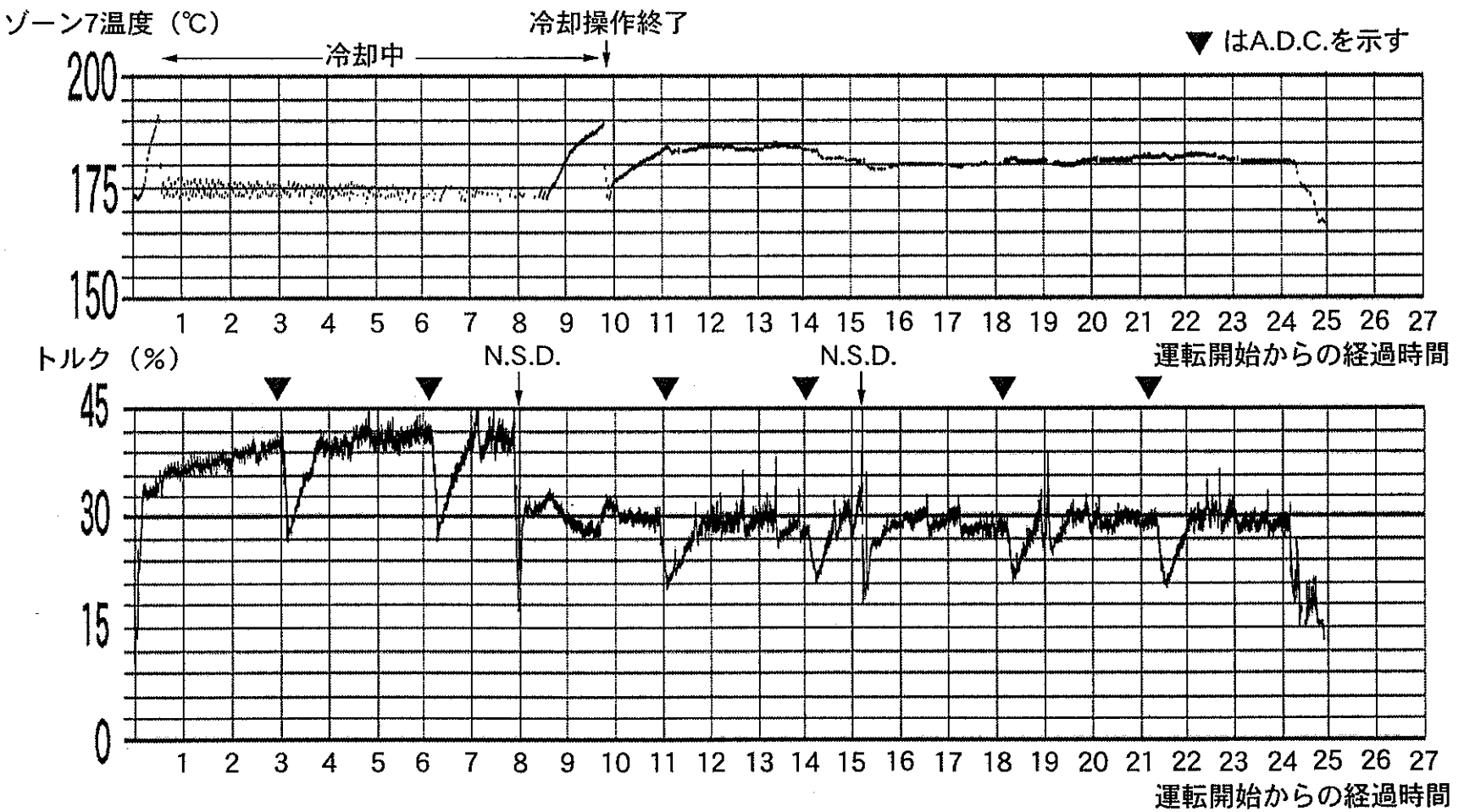
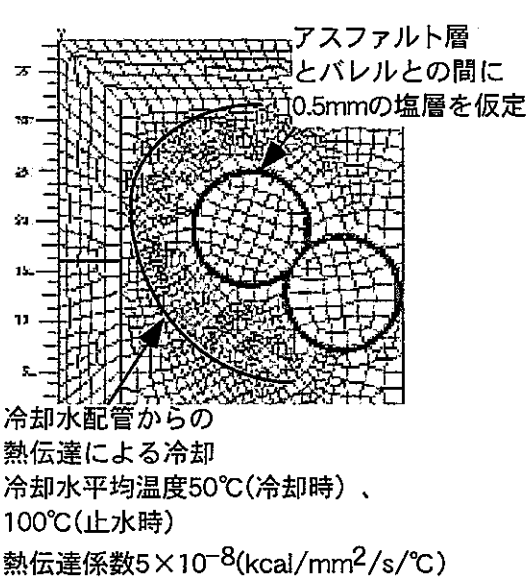
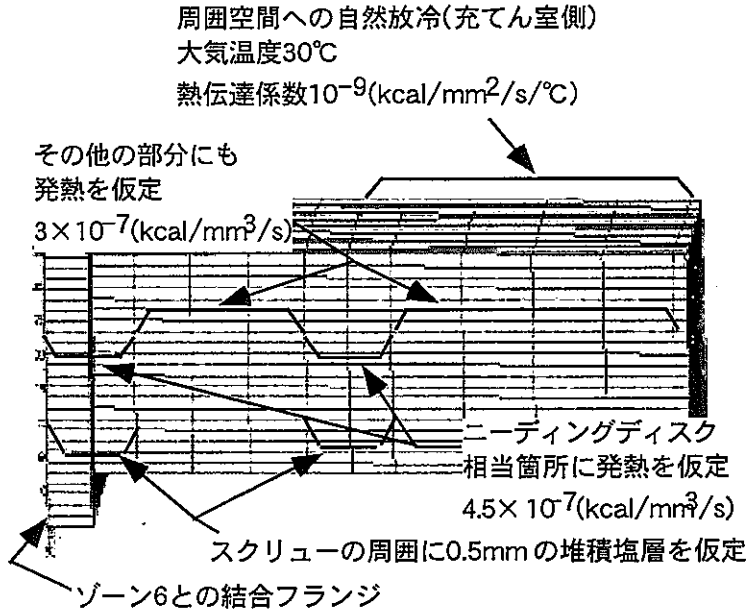


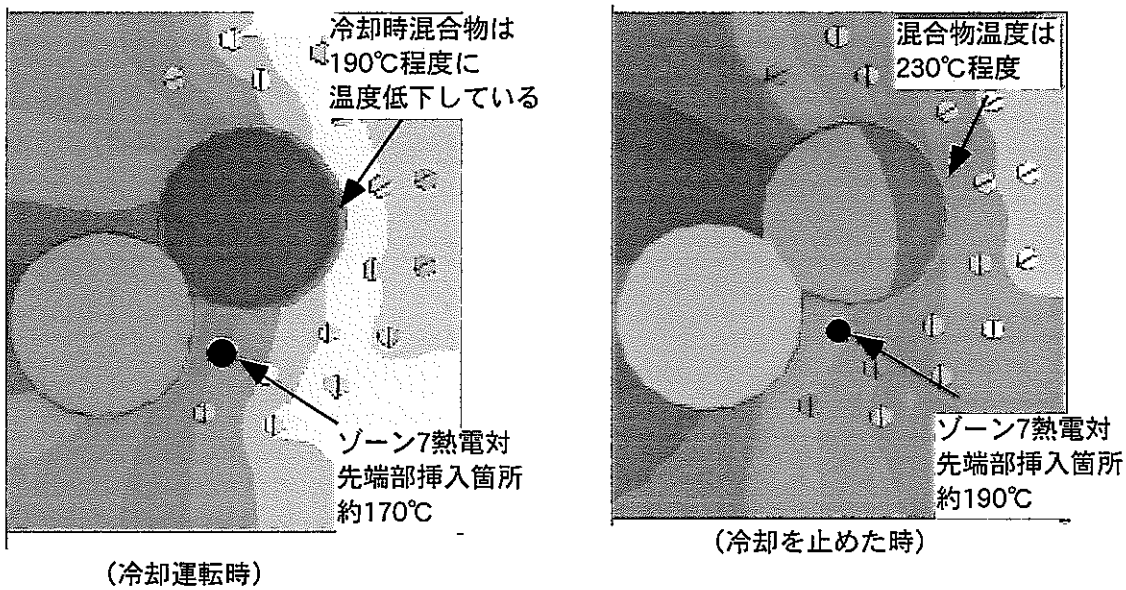
図5.3-35　28Bにおけるトルクとゾーン7温度の変化



ゾーン7部分軸方向横断面内の計算条件

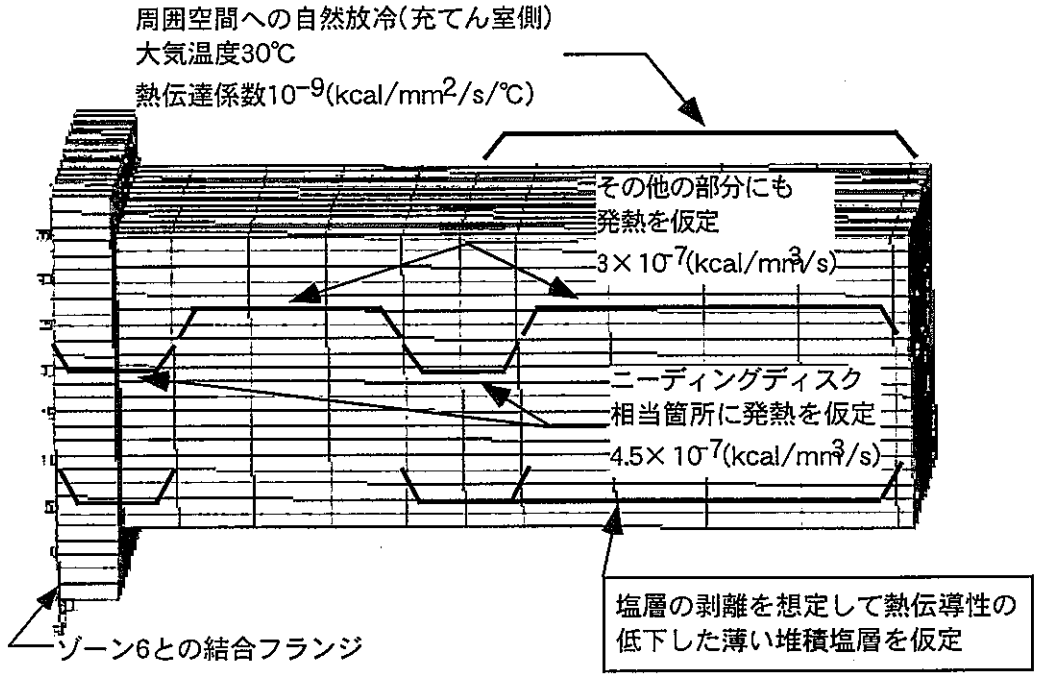


ゾーン7部分軸方向の計算条件

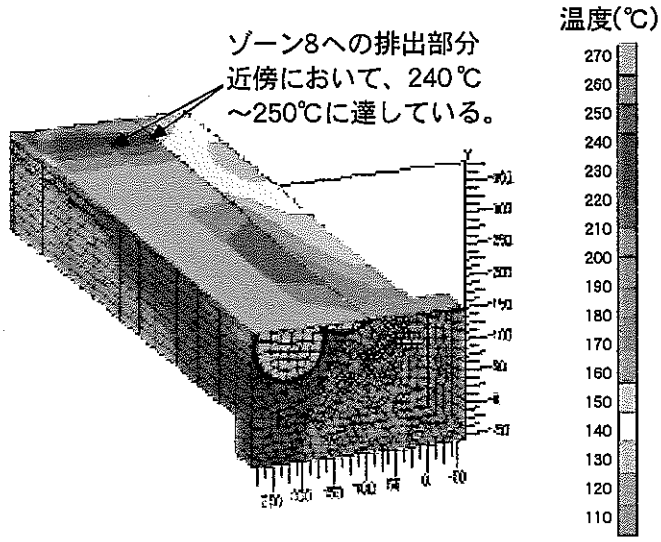


ゾーン7熱電対挿入部分での横断面内温度分布

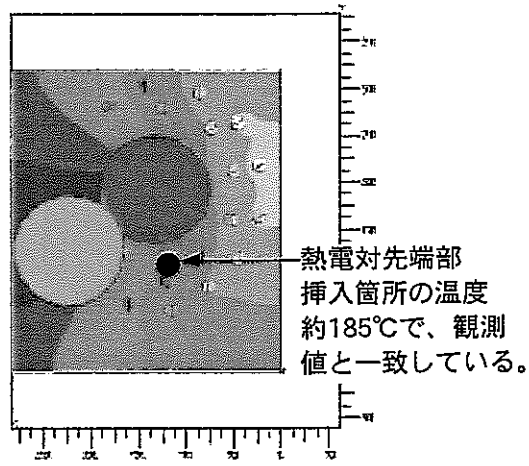
図5.3-36　冷却運転時の熱解析結果



塩層剥離時のゾーン7部分軸方向の計算条件



冷却運転停止後のゾーン7部分軸方向の温度分布



冷却運転停止後のゾーン7熱電対位置
軸方向横断面での温度分布

図5.3-37　塩層の剥離モデルによる熱解析結果

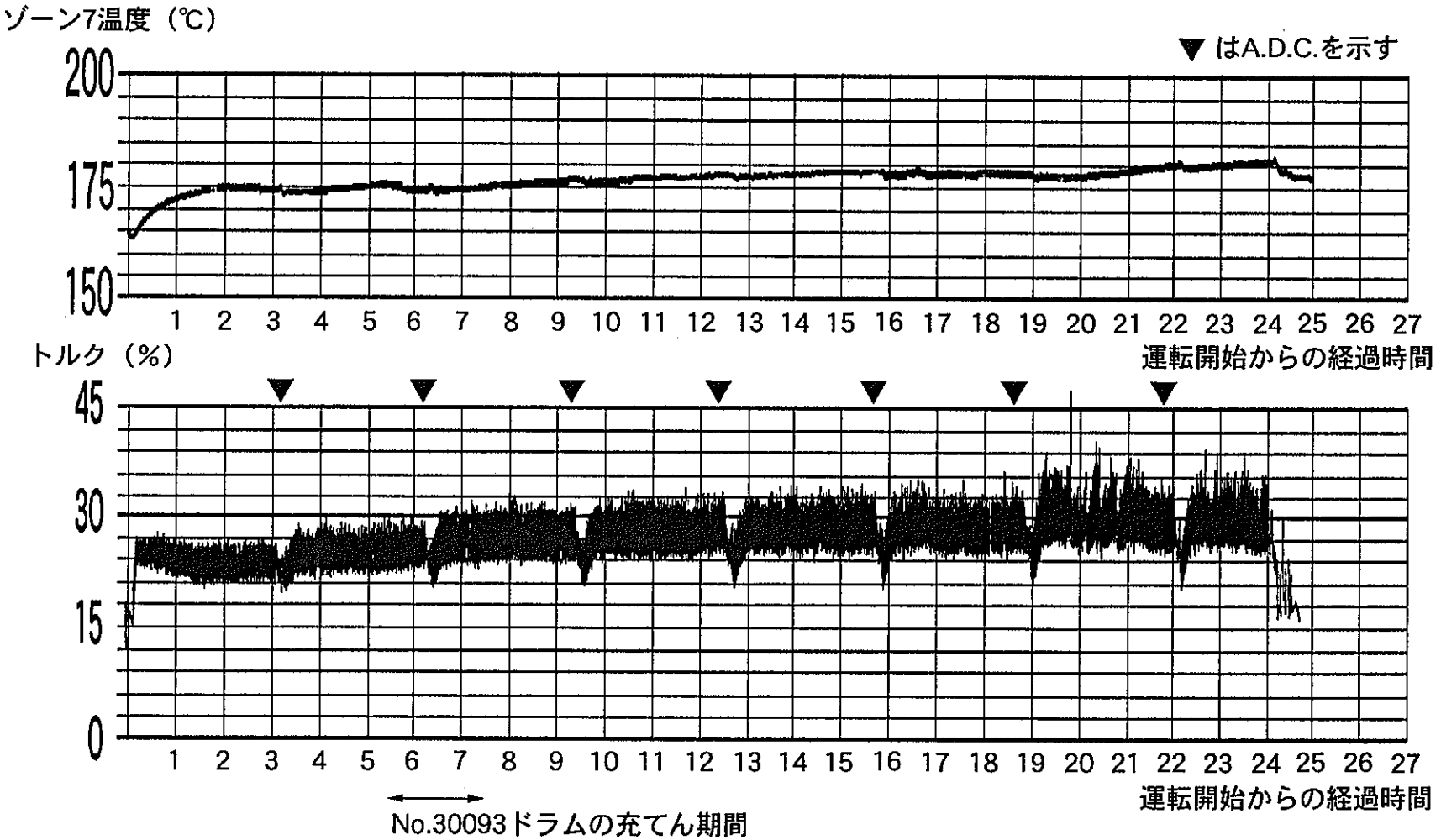


図5.3-38 29Bにおけるトルクとゾーン7温度の変化

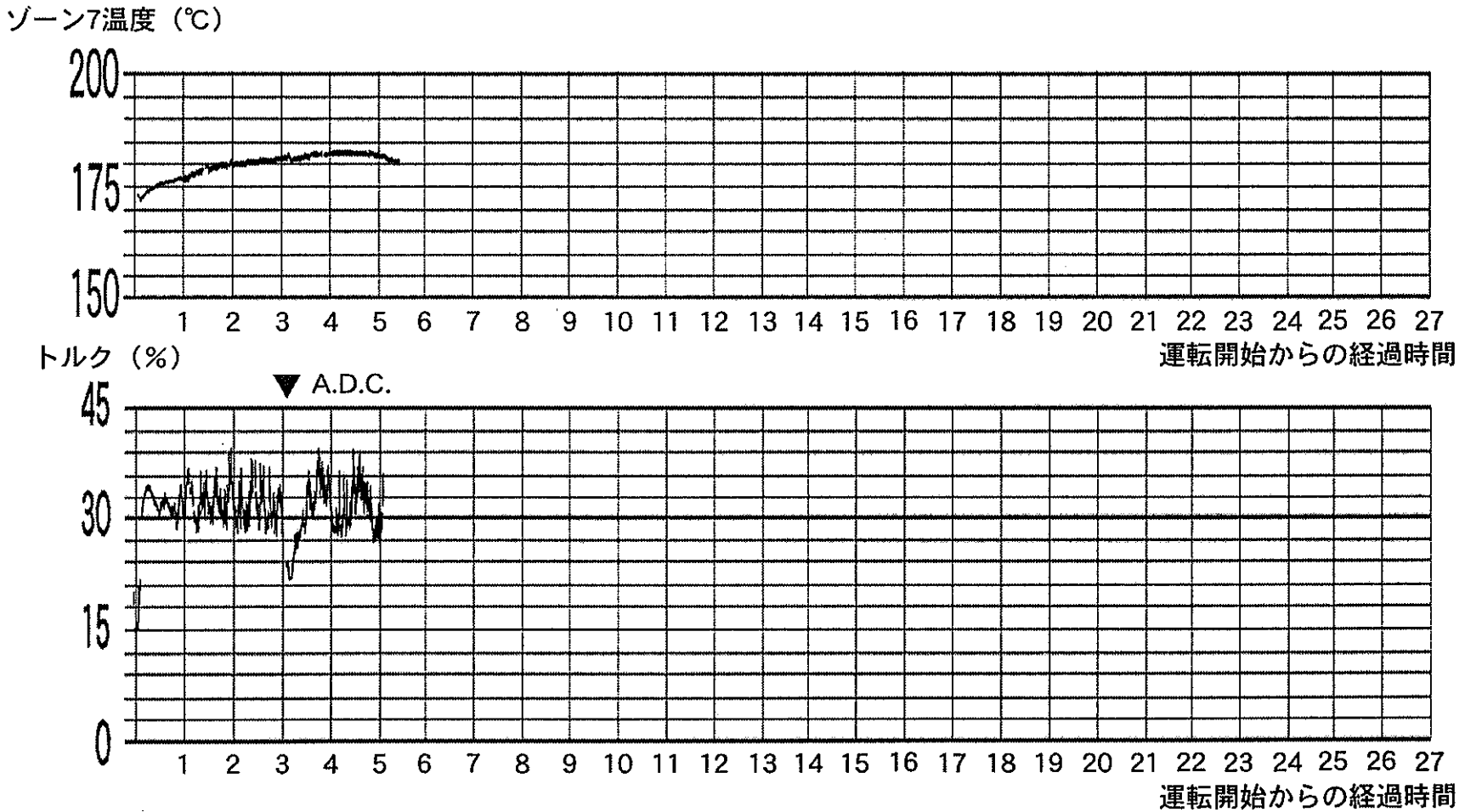
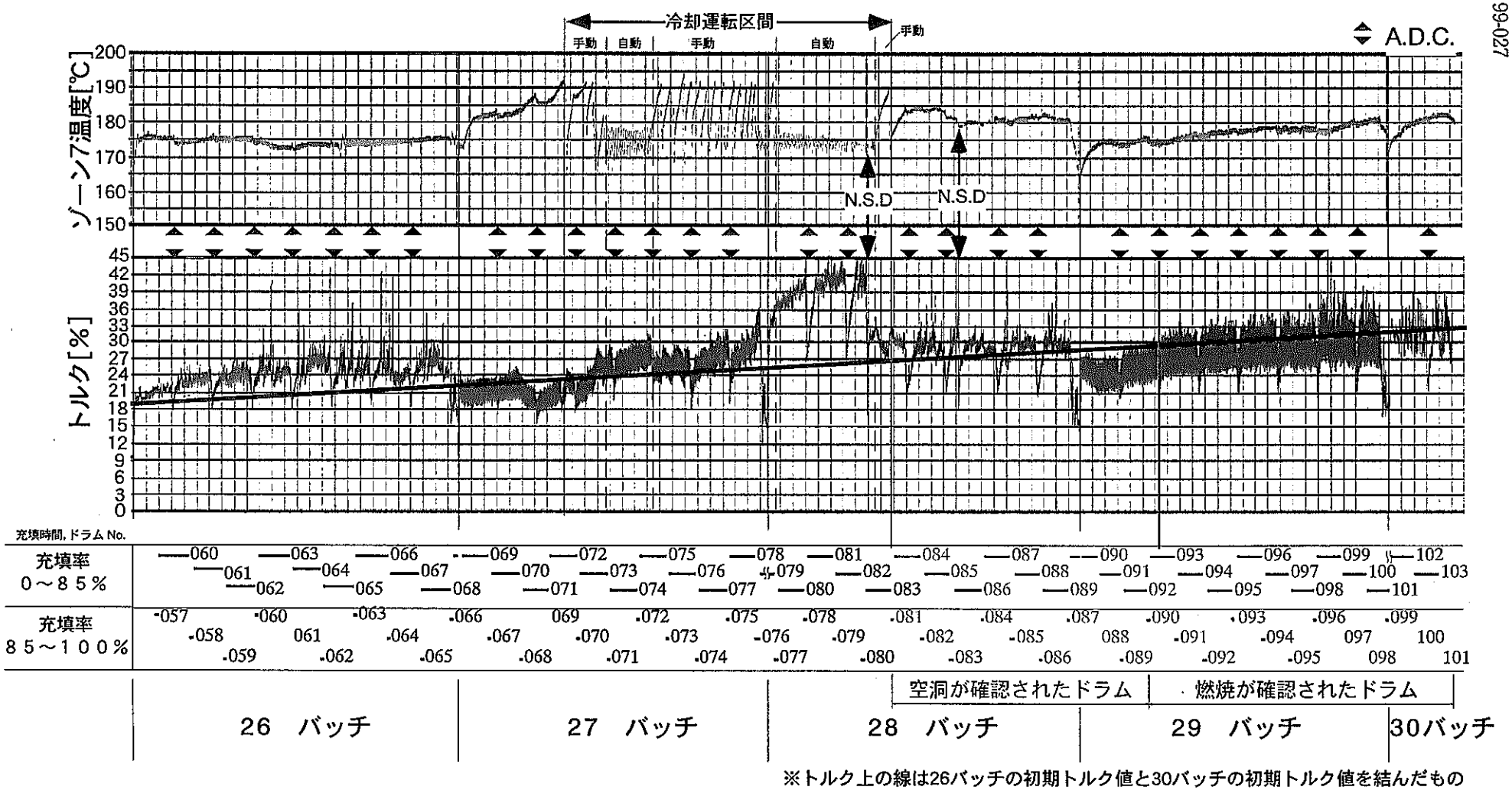


図5.3-39　30Bにおけるトルクとゾーン7温度の変化



※トルク上の線は26バッチの初期トルク値と30バッチの初期トルク値を結んだもの

図5.3-40　26Bから30Bまでのトルクおよびゾーン7温度と進展事象

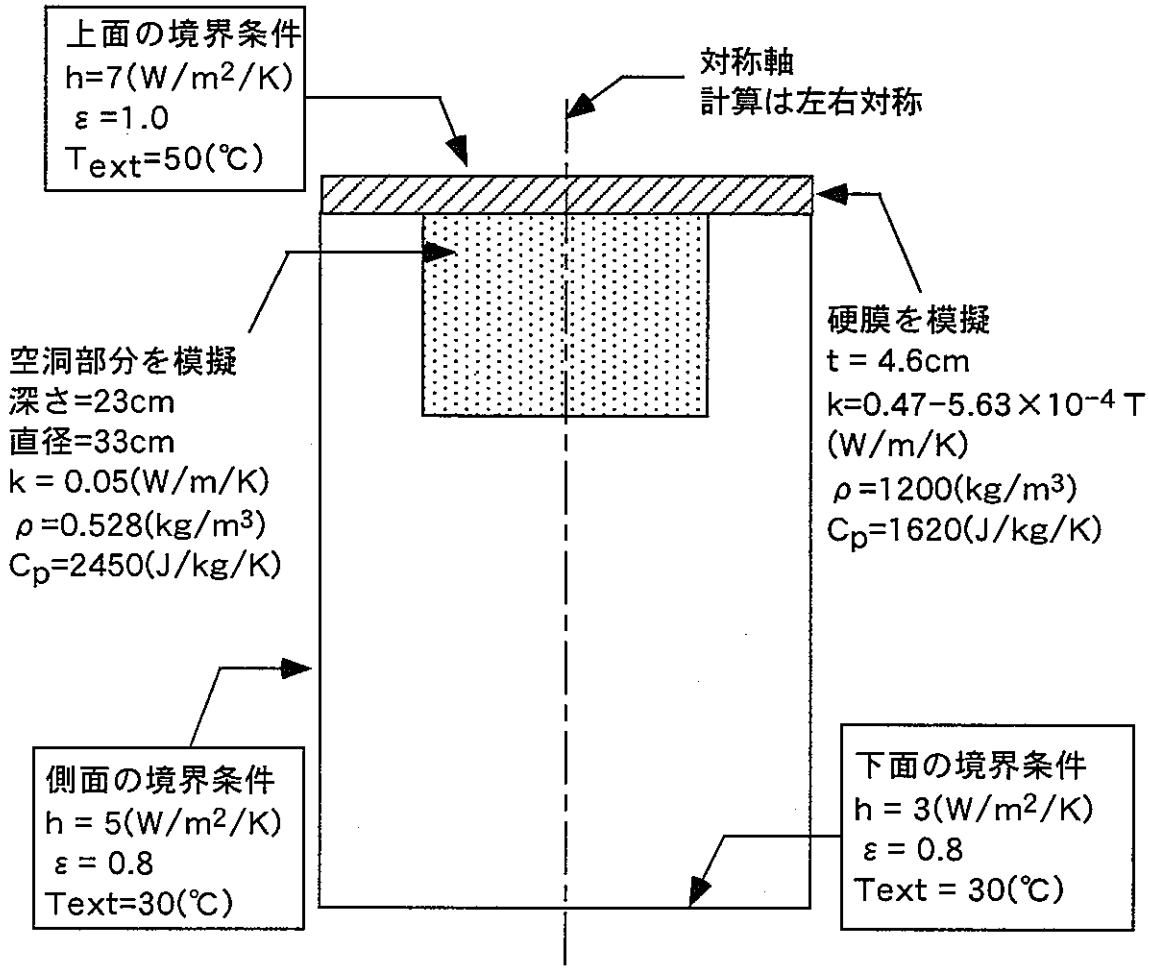


図5.4-1　アスファルト固化体の計算モデルと境界条件

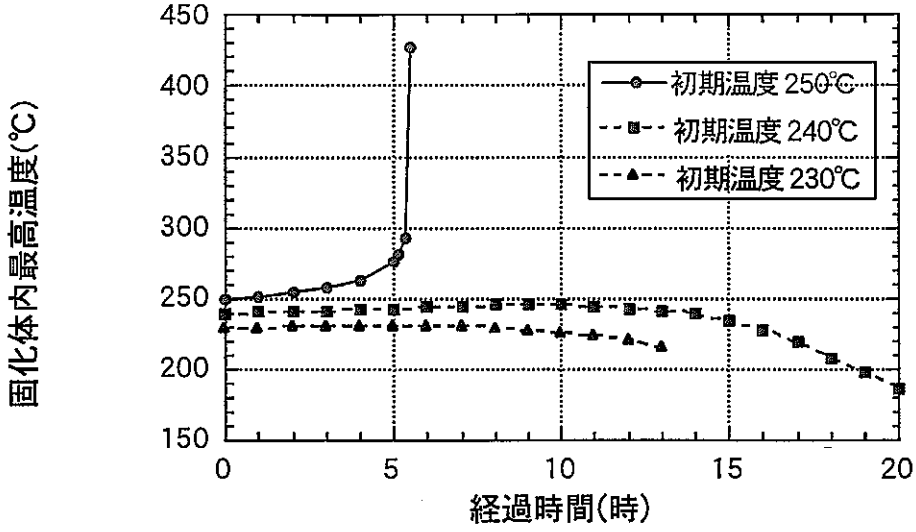


図5.4-2(1)　固化体内最高温度の経時変化（空洞，硬膜有り）

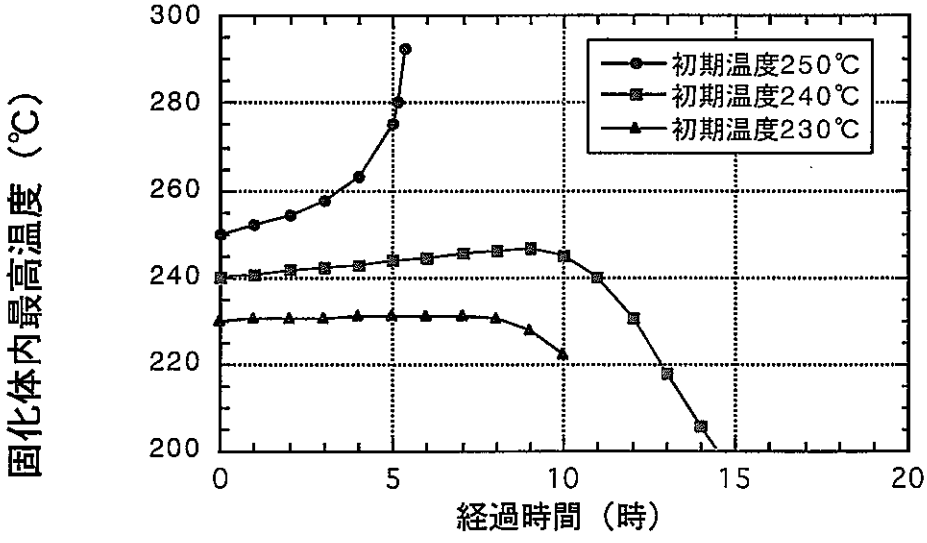


図5.4-2(2)　固化体内最高温度の経時変化（空洞，硬膜無し；主反応のみ）

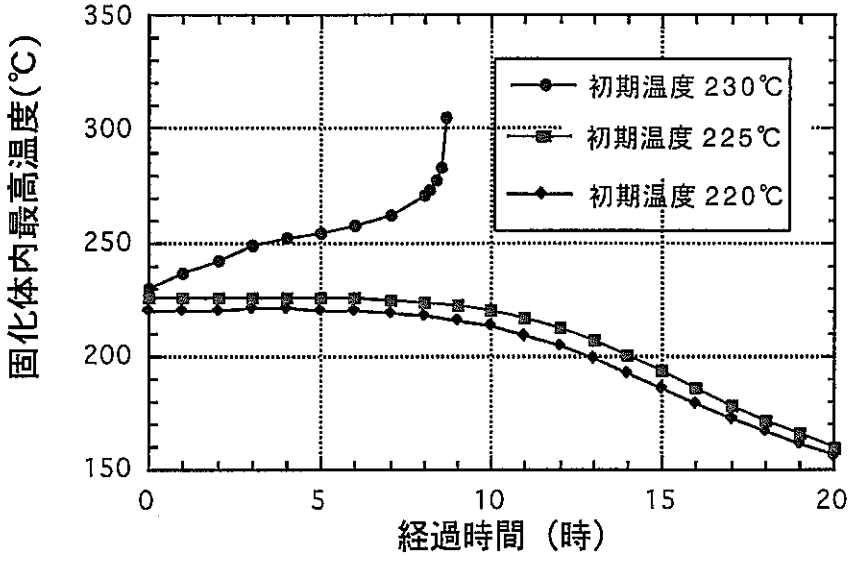


図5.4-2(3)　固化体内最高温度の経時変化（予備反応＋主反応）

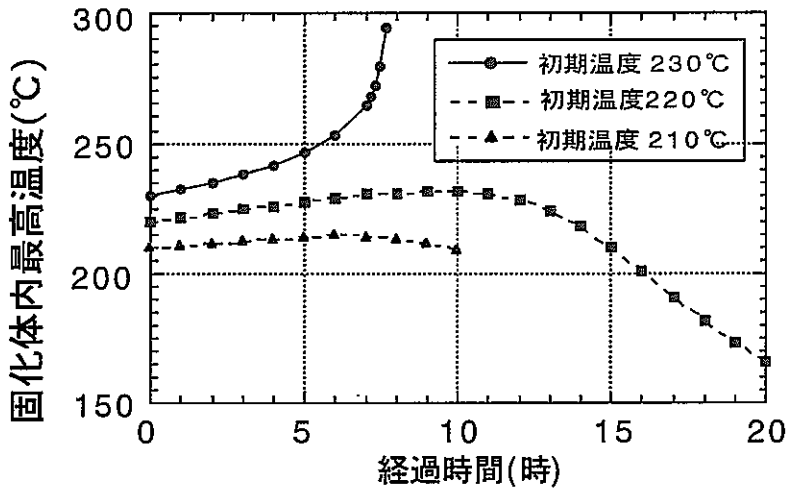


図5.4-3(1)　固化体内最高温度の経時変化
（No.30090ドラムからの低温発熱を考慮）

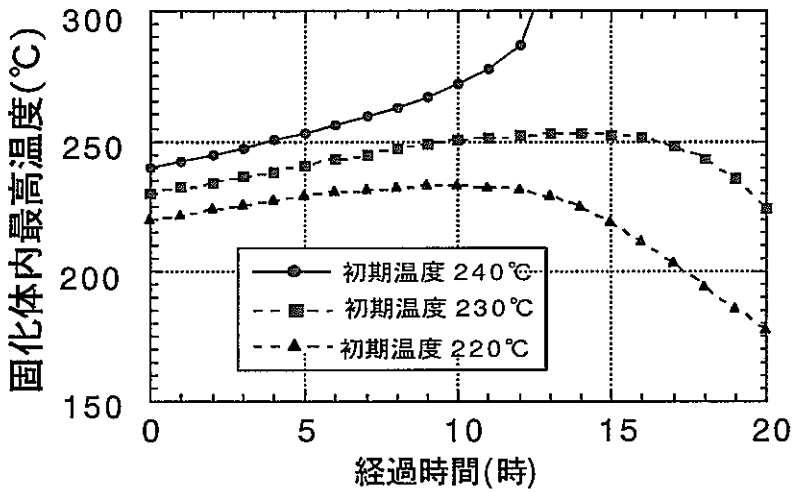


図5.4-3(2)　固化体内最高温度の経時変化
（V21廃液+原料アスファルト混合物からの低温発熱を考慮）

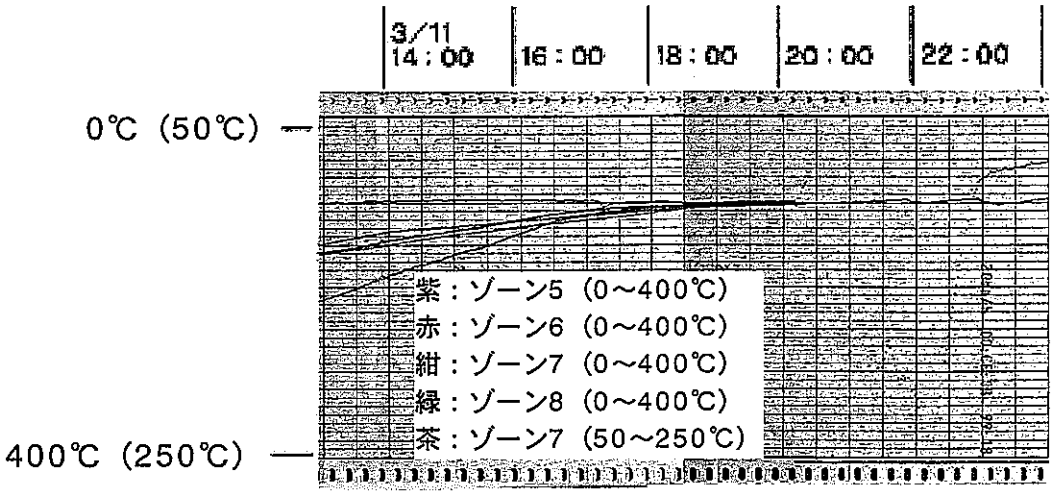


図5.4-4　爆発後のエクストルーダ本体温度の変化

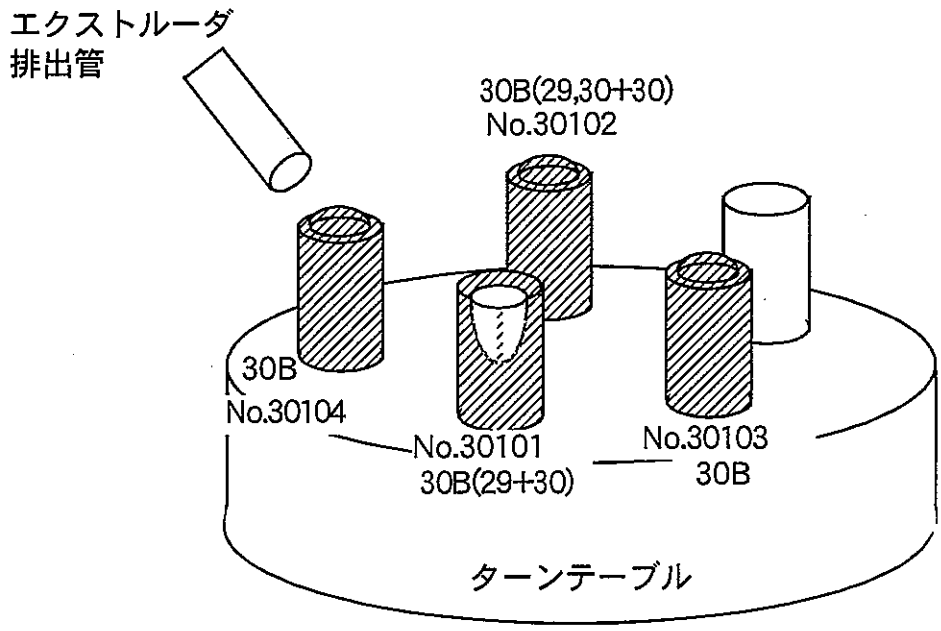


図5.4-5　事故発生時のターンテーブル上のドラム配置

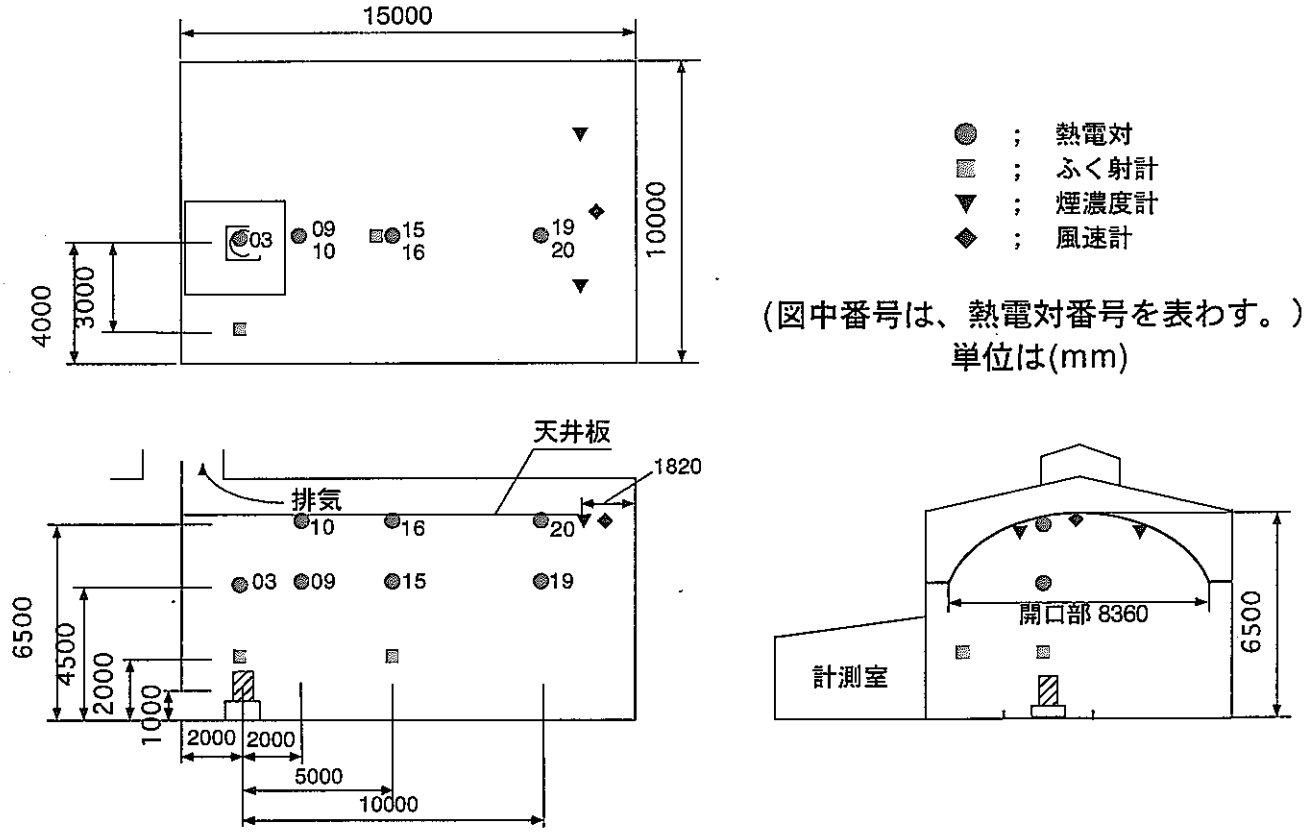


図5.4-6　燃焼・消火実験場と測定点概略図

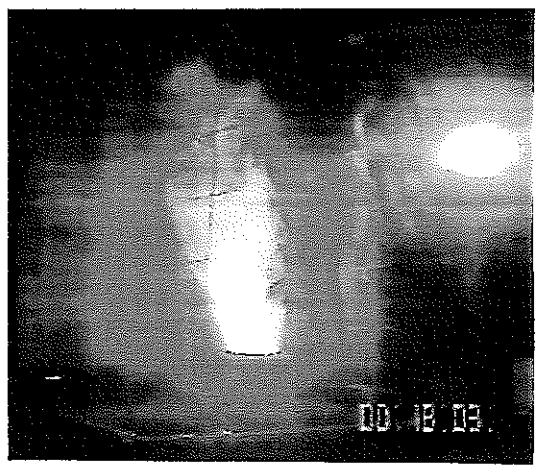


図5.4-7　燃焼開始後18分経過(定常燃焼)

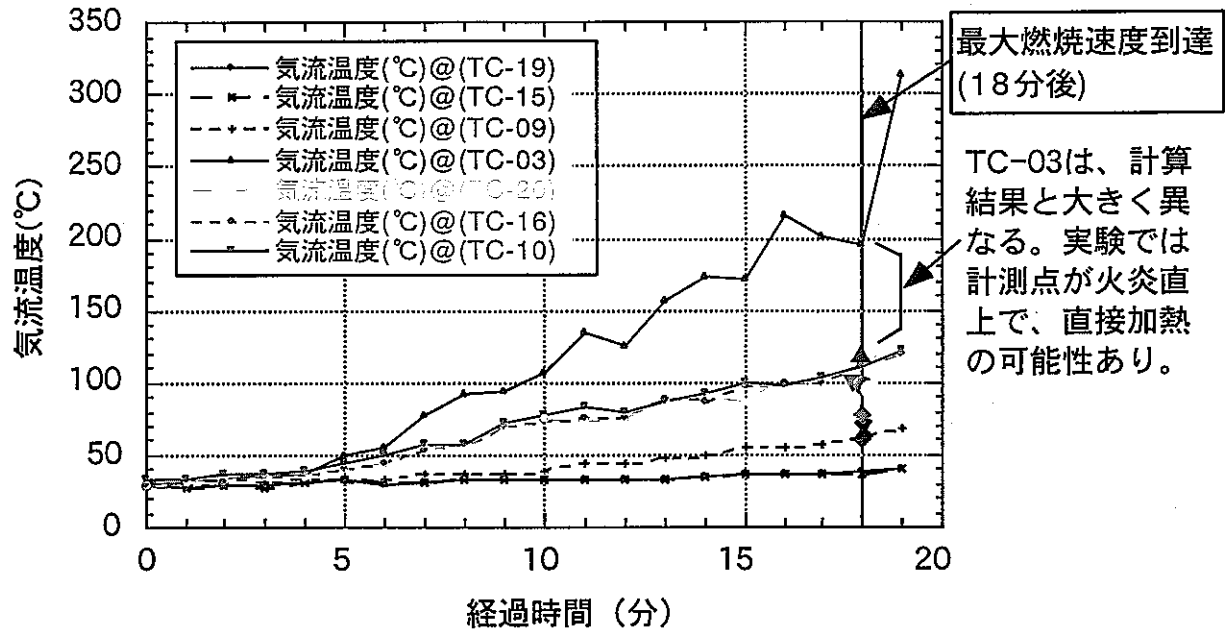


図5.4-8　燃焼消火実験データ(気流温度)

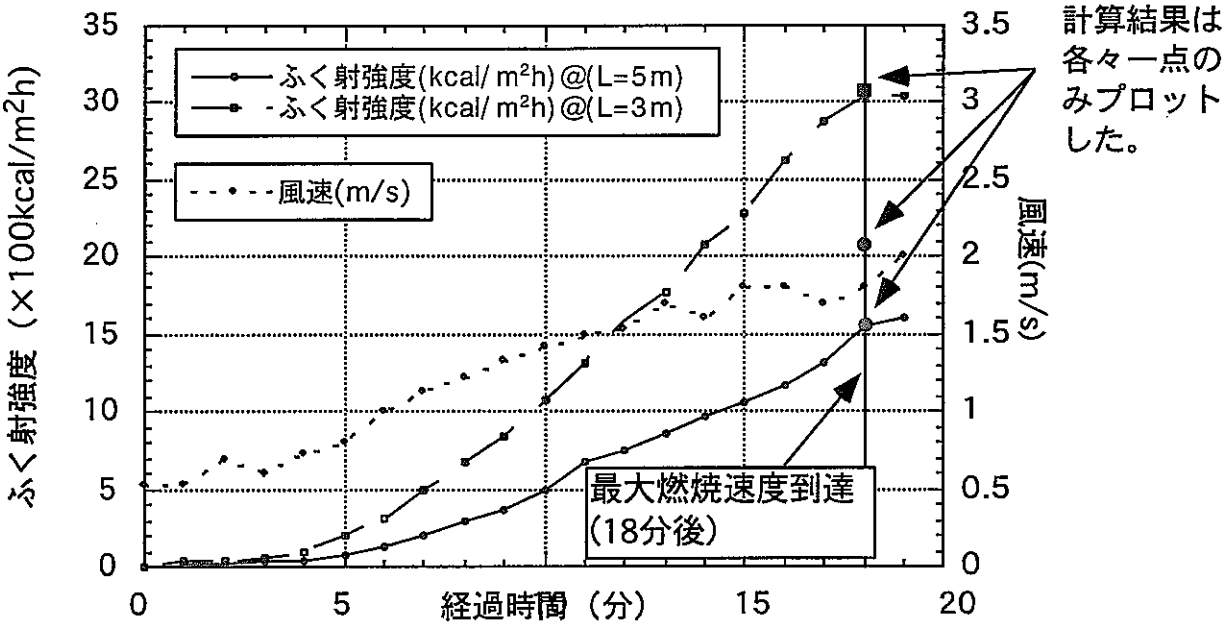


図5.4-9　燃焼消火実験データ(ふく射強度、気流速度)

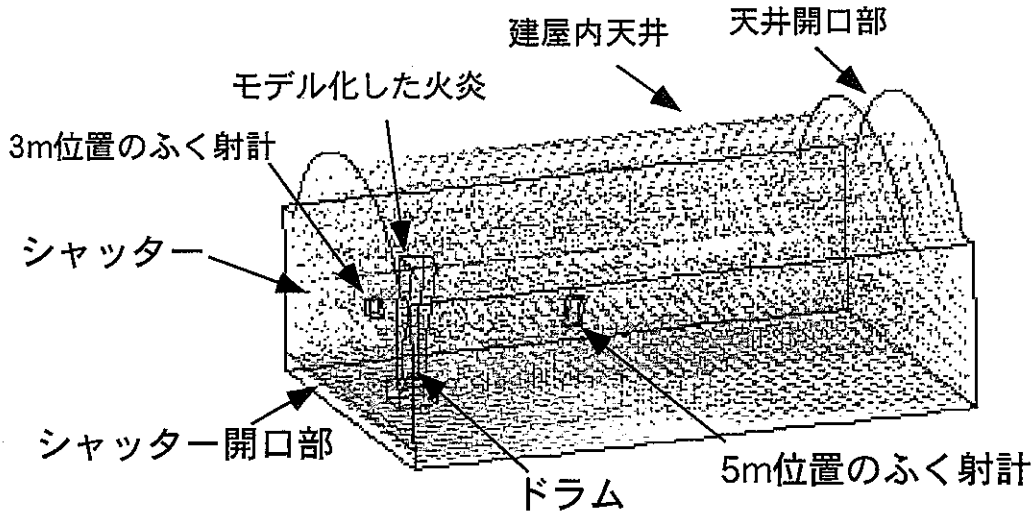


図5.4-10(1)　実験場内部空間の熱気流の速度分布

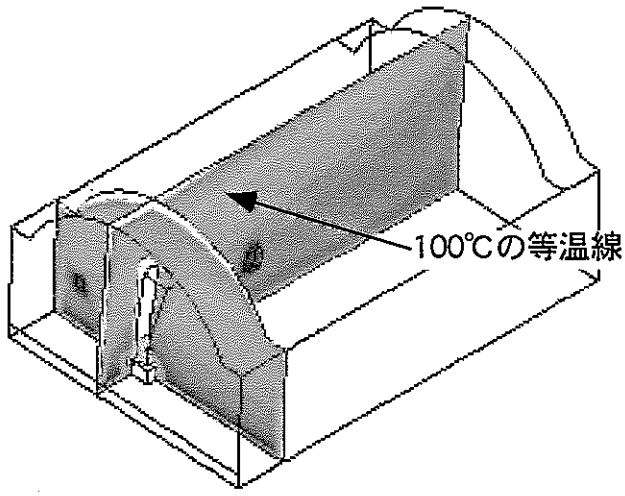


図5.4-10(2)　ふく射計を含む２断面内における大気温度分布

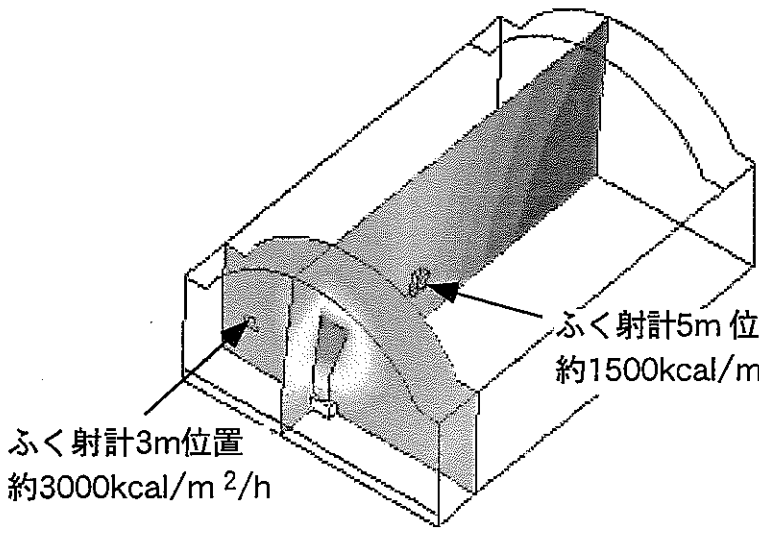


図5.4-10(3)　(2)図と同様な２断面内におけるふく射強度分布

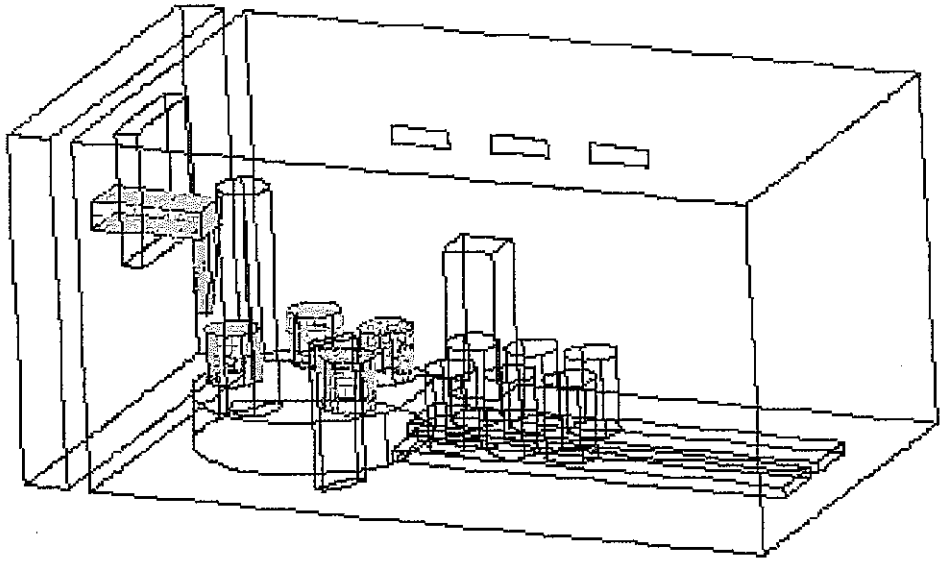


図5.4-11　爆発後の充てん室内部火災計算モデル

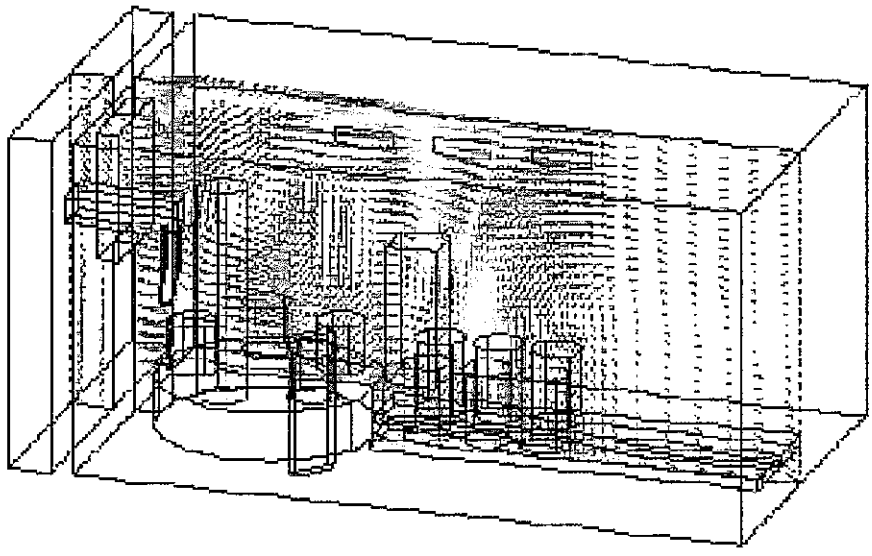


図5.4-12(1)　エクストルーダを含む横断面内の速度分布

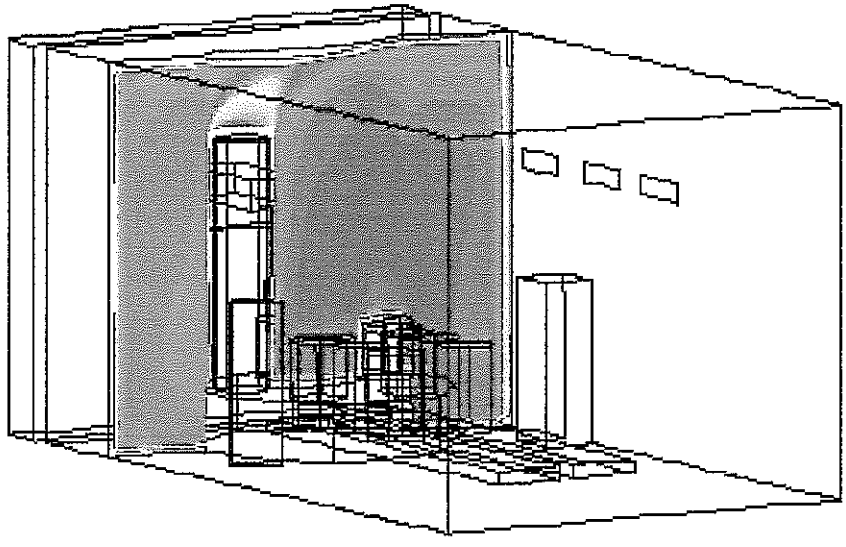


図5.4-12(2)　火炎を含む横断面内の温度分布

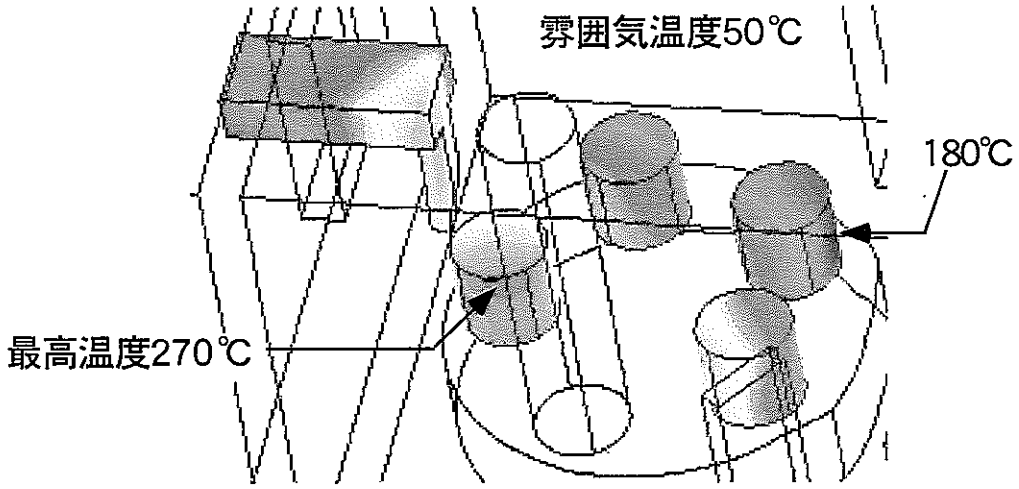


図5.4-13(1)　エクストルーダおよび隣接ドラムの表面温度

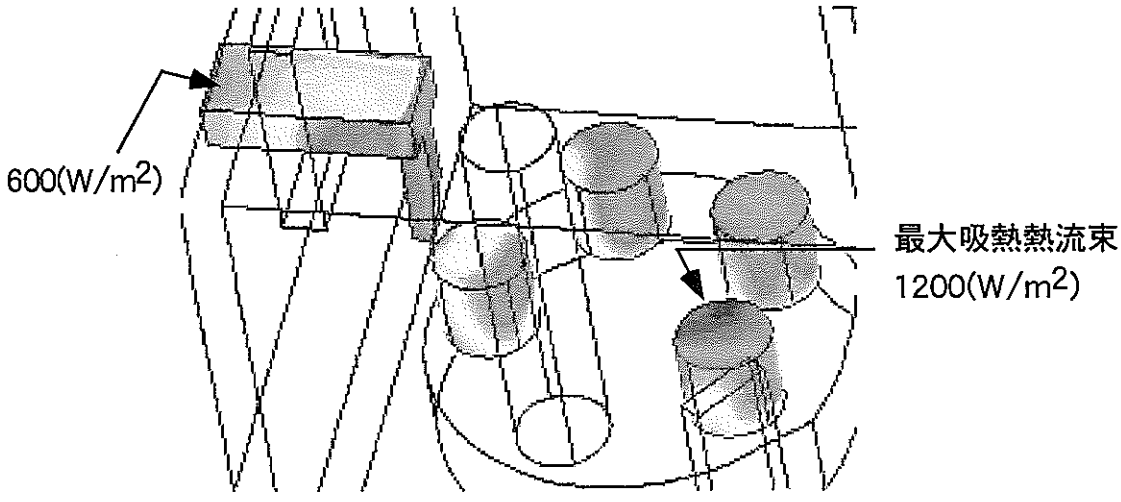


図5.4-13(2)　エクストルーダおよび隣接ドラム境界での熱流束

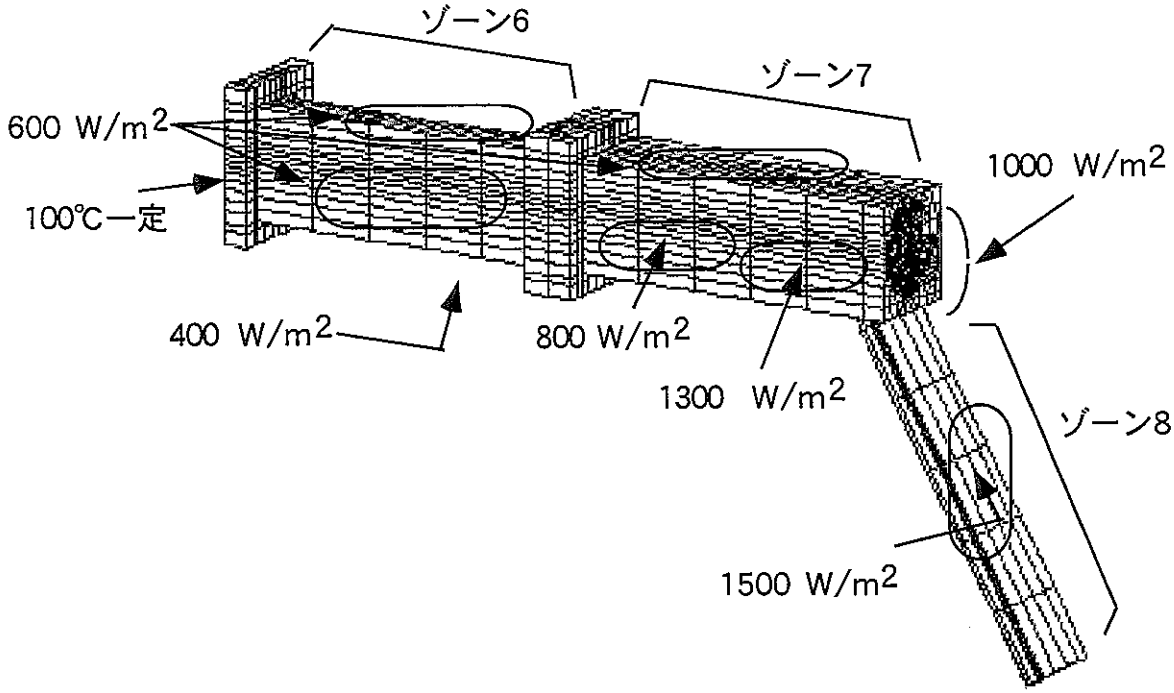


図5.4-14　エクストルーダの計算モデル図と境界条件

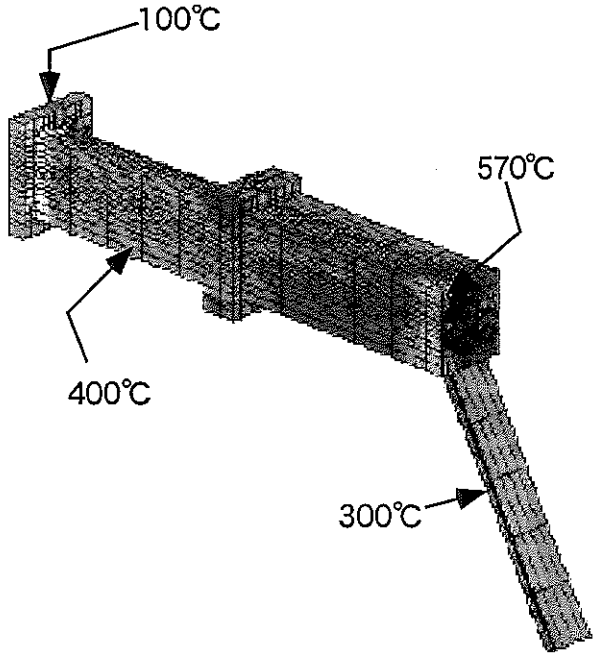


図5.4-15(1)　発火１時間後の
エクストルーダの表面温度

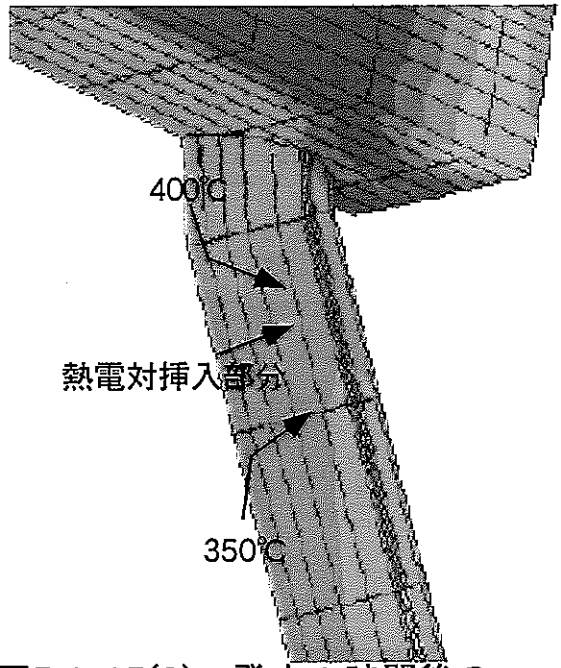


図5.4-15(2)　発火１時間後の
熱電対挿入部分の表面温度

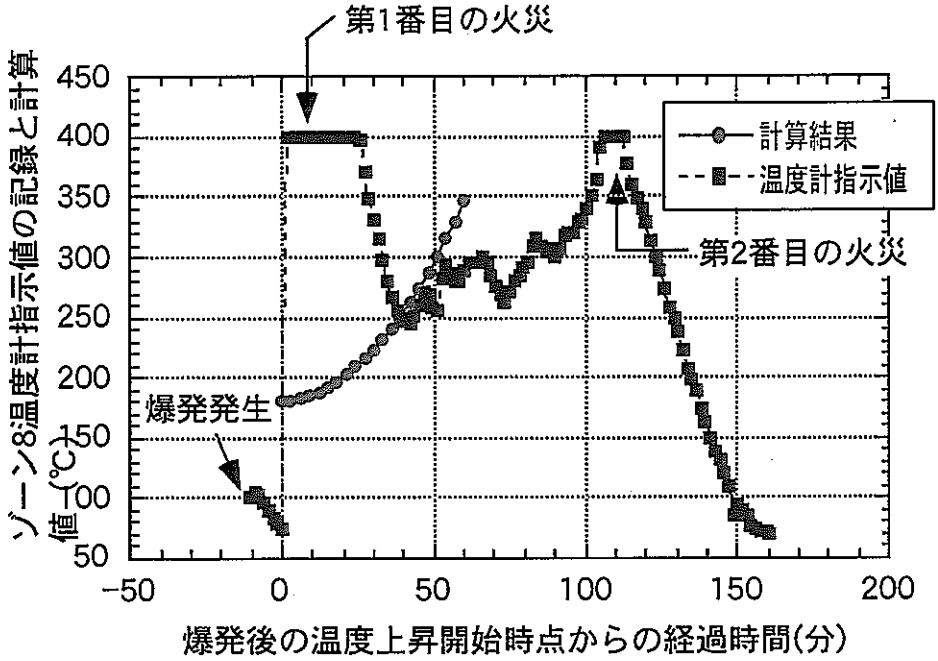


図5.4−16　爆発後のエクストルーダゾーン8
温度計の指示値と計算結果との比較

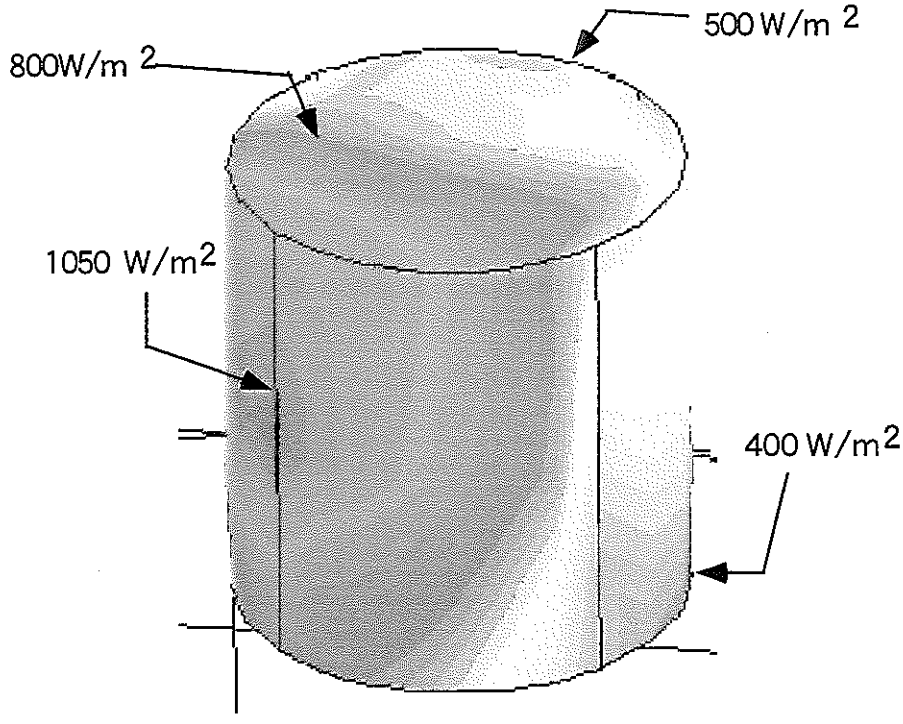


図5.4-17　30101ドラム表面上のふく射熱流束分布

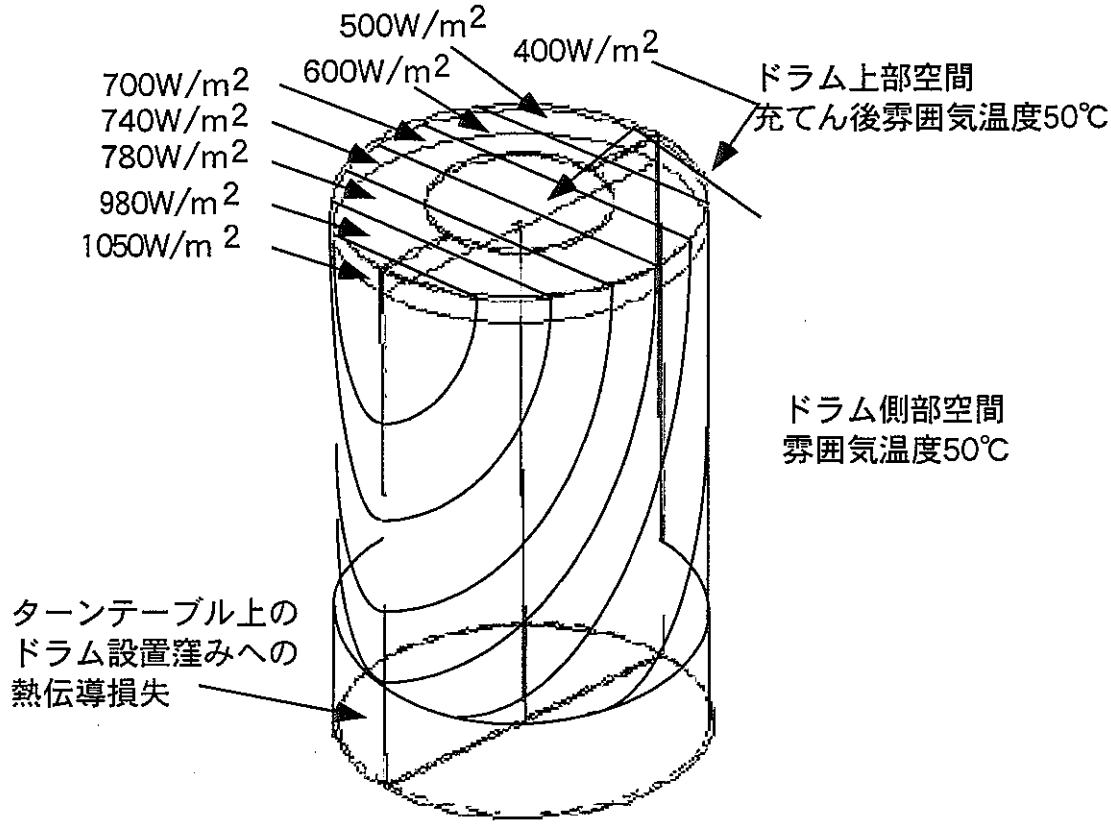
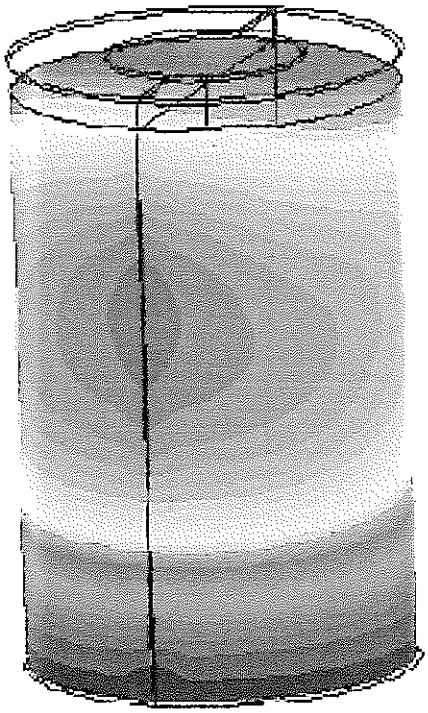
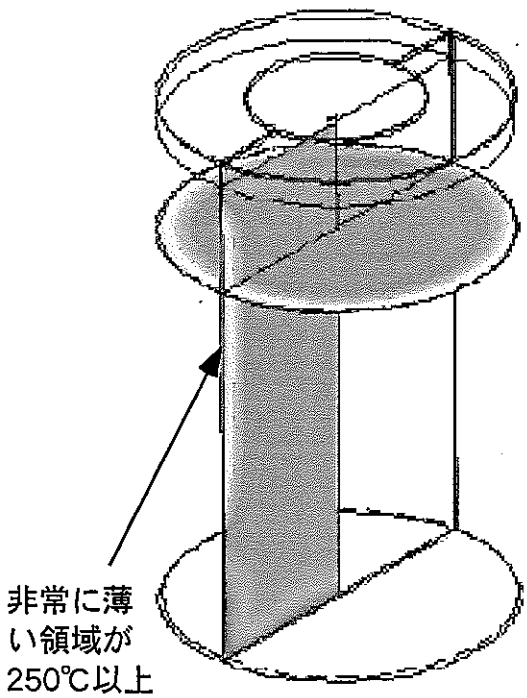


図5.4-18　隣接ドラム延焼現象の計算モデル



容器上部空間の熱伝達損失を考慮したので、容器上部はふく射加熱を受けているにもかかわらず、温度上昇していない。

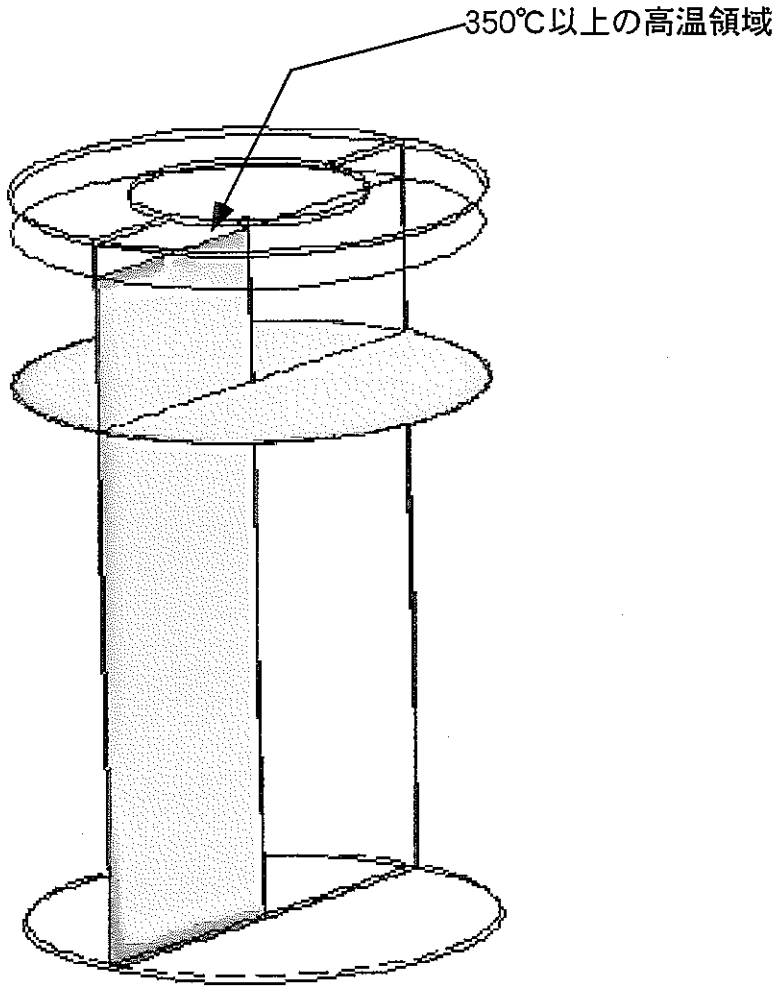
(1)ドラム容器の外表面温度



・初期充てん温度200 ℃
・冷却期間無し
・化学反応による充てん後の温度上昇無し
・ふく射加熱後2時間後の内部温度分布
・容器に接している外表面付近のみが温度上昇

(2)混合物内部の断面内温度分布

図5.4-19　燃焼している固化体の影響
（通常温度で充てんされた場合）



（ふく射加熱後約40分経過）

・初期充てん温度245℃で充てん
・充てん後、ターンテーブル上で2時間冷却されたと仮定。
・ドラム周囲および側壁内側が昇温すると同時に上部開口部が昇温し、ふく射加熱後約40分で最高温度は350℃に達し発火。

図5.4-20　燃焼している固化体の影響
（高温で充てんされた場合）

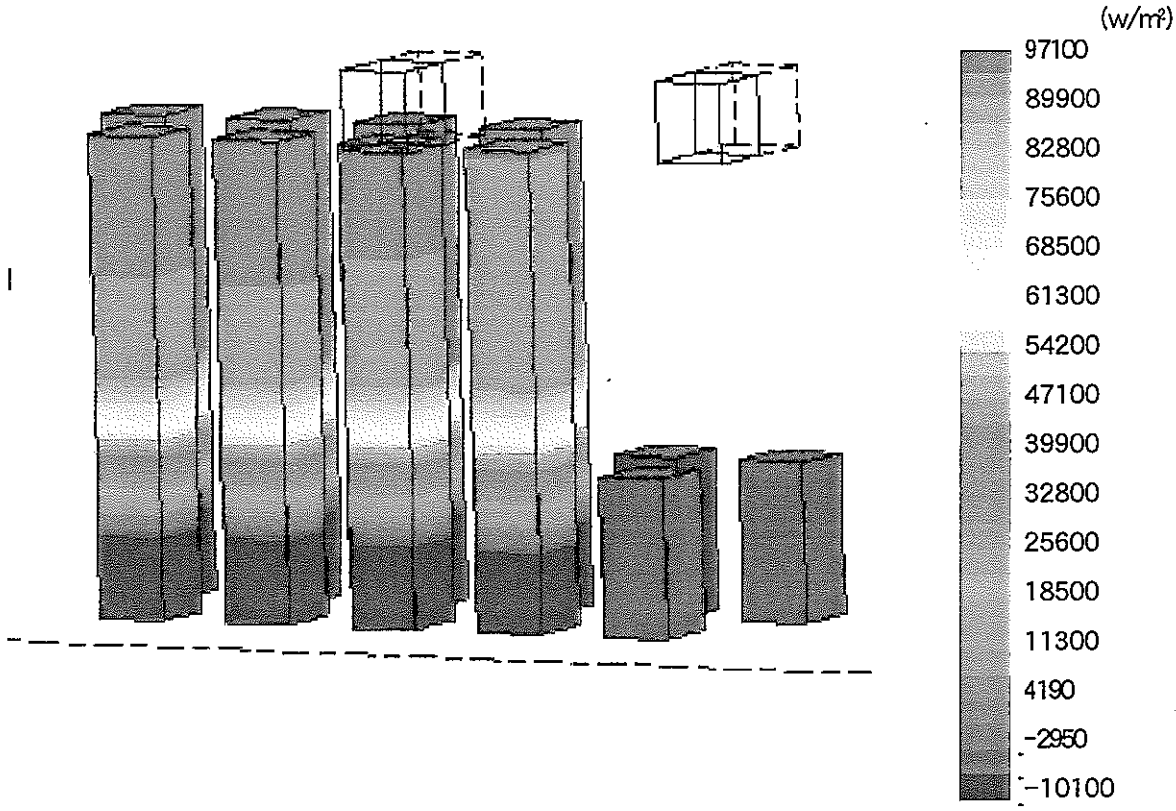
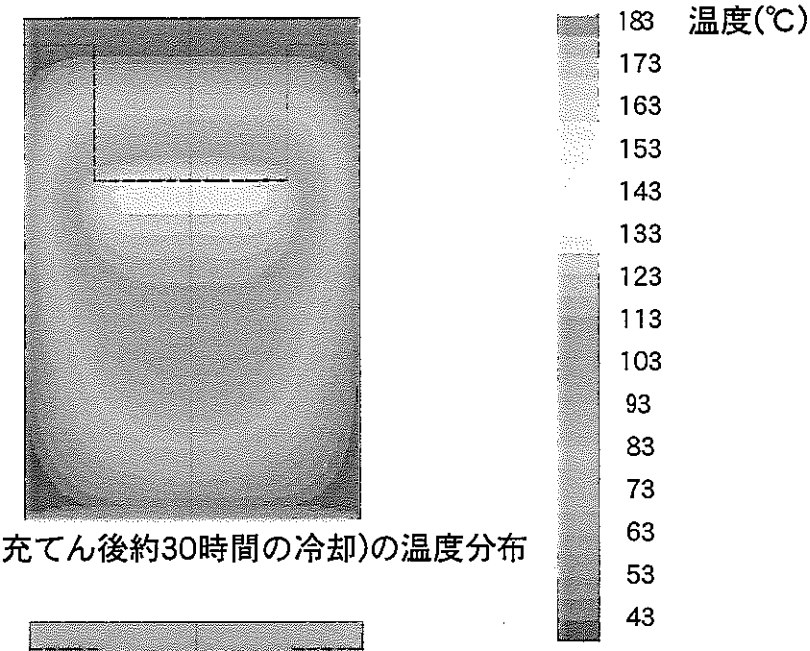
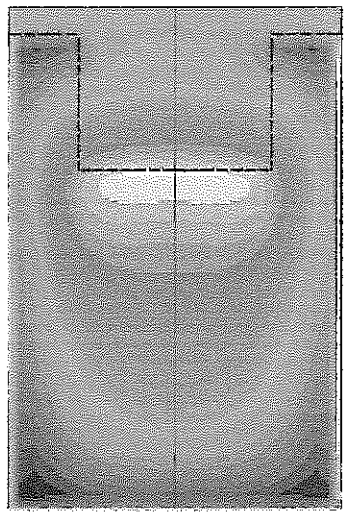


図5.4-21　アスファルト充てん室（R152）
内部の各ドラム火炎からのふく射強度

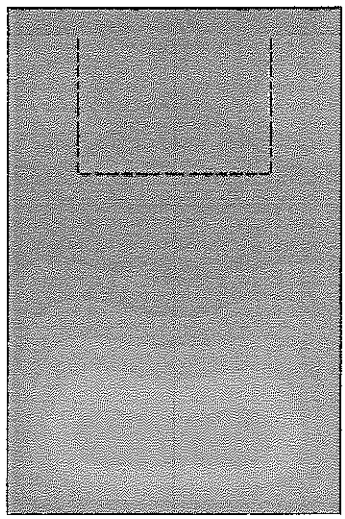
（プラスは放熱する方、マイナスは吸熱する意味。）



(1)　火災前(充てん後約30時間の冷却)の温度分布



(2)　火災時(約6分間のふく射加熱)の温度分布



(3)　爆発時(火災から10時間後)の温度分布

図5.4-22　最初の火災から爆発までのNo.30088
ドラム内固化体の内部温度変化

6．爆発原因の検討

6．1　原因究明上重要と考えられる過去の知見等

爆発原因究明のため、動燃事業団にて過去に行った試験で得られた知見や設計情報等を調査した。その結果今回の事故に関連があると考えられるものを以下に示す。

① ドラムに充てんした模擬アスファルト固化体が燃焼した場合、火炎の大きさは火炎底部で直径0.6m、高さ3.5～4.0mとなり、燃焼速度は3.59kg/minであった。固化体内部温度は底部付近で1000℃を上回った（図6.1-1）。また、ドラム上面には燃焼残査が山状に盛り上がった[6-1]。

② 水噴霧消火実験では実設備と同様の降水量で消炎したが、消火と同時に多量の煙を発生した。また、この水量で数分間放水しても固化体内部は冷却できず、放水停止直後に再度炎上した(図6.1-1)[6-1]。

③ CO_2消火実験ではCO_2濃度24～28%(酸素濃度10～12%)で消炎したが、CO_2濃度が低下すると再度炎上した[6-1]。

6．2　爆発原因の検討

事故後の施設の状況（4章参照）から爆発様態はガス爆発と考えられる。ガス爆発は、可燃性ガスの発生・滞留、空気等の支燃ガスとの混合による予混合気体の生成、着火源の存在が必要である。以下にそれぞれについて検討した。

6．2．1　可燃性ガスの発生[6-2]

(1)　アスファルト固化体からの発生ガス成分

事故後の施設内では可燃性ガスの存在は認められなかったため、少量の模擬アスファルト固化体を加熱する試験を行い発生するガスの観察及び分析を行った。その結果以下のことがわかった。

① 試料温度300℃程度から白色の薄い煙が、380～400℃程度で濃い白煙が急激に発生した。この後直ぐに試料が発火、燃焼し煙に着火した。その後黒色の煙が大量に発生した。

② 空気雰囲気、300℃での発生ガスは二酸化炭素、一酸化炭素が主成分であり、その他は少量の高沸点炭化水素であった。

③ 空気雰囲気、500℃での発生ガスも二酸化炭素、一酸化炭素が主成分であり、その他は少量の低沸点炭化水素及び高沸点炭化水素であった。

④ 窒素雰囲気、300℃での発生ガスは、水素が主成分であった。

⑤窒素雰囲気、500℃では水素、一酸化炭素、二酸化炭素、低沸点炭化水素及び高沸点炭化水素の混合ガスであった。

これらのことから、加熱されたアスファルト固化体からは水素、一酸化炭素、低沸点炭化水素及び高沸点炭化水素の可燃性混合ガスが発生することが確認された。これらのガスは、酸素があればアスファルト固化体の発火等により燃焼して大部分は二酸化炭素等になることから、可燃性混合ガスの発生は雰囲気中の酸素濃度が低い状態もしくは固化体の発火前に生じたことが考えられる。

(2) 最初の火災後のアスファルト充てん室（R152）の酸素濃度

最初の火災後に雰囲気中の酸素濃度が低い状態になりうるかどうかについて検討するため、模擬アスファルト固化体加熱時の発生ガス分析結果などから酸素量を評価した。その結果、アスファルト固化体が燃焼する時に必要な酸素量は、混合物に含有される塩の熱分解より発生する酸素量より多く、雰囲気空気中の酸素を消費することがわかった。このことから、アスファルト充てん室（R152）でのアスファルト固化体の燃焼が継続し、さらに室内の換気が停止すれば、室内の酸素濃度は低下すると考えられる。この時の酸素濃度は、過去の燃焼消火実験において酸素濃度10～12%で消炎していることから、アスファルト充てん室（R152）内でも10～12%程度であったものと推定される。

(3) 消炎後のコンベア上ドラムの固化体からの可燃性ガスの発生

最初の火災後の水噴霧及び雰囲気酸素の不足により、固化体の炎上はおさまったが、水素，一酸化炭素，高沸点炭化水素及び低沸点炭化水素の可燃性混合ガスを発生するためには、アスファルトが揮発又は熱分解をするための熱が必要となる。この熱源としては、アスファルトと塩の酸化反応の継続が考えられる。実固化体や模擬固化体のARCによる熱分析によれば、二百数十度で硝酸／亜硝酸塩とアスファルトの反応が活発化している。ARCは密閉試料容器を用いるため、空気を加圧封入しない限りは不活性雰囲気である。一方前述の通り、模擬アスファルト固化体から300℃で可燃性ガスを放出している。このことから、雰囲気中に酸素がない状態でもこのような温度域では反応・可燃性ガスの放出が継続する可能性がある。水噴霧後の固化体中の温度分布については不明であるが、過去の燃焼消火実験において数分間の放水では固化体内温度はこれを超えている部分がある（図6.1-1)。

以上のことから、アスファルトと塩の酸化反応が継続することにより発生した反応熱により、アスファルトが揮発又は熱分解し、可燃性混合ガスを発生した可能性が考えられる。

(4) ターンテーブル上ドラムの固化体からの可燃性ガス発生

固化体が発火する前の可燃性混合ガスの発生について検討した。小規模(模擬アスファルト固化体試料2ｇ)の爆発試験[6-3]によれば、約400℃で急激に発生した白煙が、試料の発火により着火し、火炎の伝播が認められたことから（図6.2-1)、アスファルト充てん室（R152）内で少なくとも局所的には爆発を発生するだけの可燃性混合ガスの発生があった可能性が考えられる。

６．２．２　可燃性ガスの滞留、予混合気体の生成

(1) 可燃性ガスの滞留

３．２で示したとおり最初の火災・水噴霧後には、アスファルト充てん室（R152）を含む施設内全室の通常の換気が行われない状態となった。このため、固化体から発生した可燃性混合ガスは排気されず、アスファルト充てん室（R152）内に滞留したものと考えられる。

(2) 可燃性ガスの他室への移行

固化体から発生した可燃性混合ガスがどのように室内に滞留していったかについてはわからないが、ガス発生による雰囲気気体の隣室への押し出しや17時頃の換気系再起動（「３．２．４　換気設備」参照）による周辺の他室の圧力低下により、アスファルト充てん室（R152）上部の隙間や排気口などから、可燃性混合ガスが周辺の他室に移行した可能性がある。

(3) 予混合気体の生成

アスファルト充てん室（R152）内では、最初の火災によって雰囲気中酸素が消費され、さらに換気系が停止したことで室内雰囲気中の酸素濃度が低下した。しかし槽類換気設備は3月14日まで運転されており、セル換気系のフィルタは目詰まりして排気されていなかったことから、セル換気系排気ダクトを通じて逆流していたと考えらる（「３．２．４　換気設備」参照）。このときアスファルト充てん室（R152）へ逆流した風量を汎用火災解析コードFIRAC[6-4]を用いて推定したところ、アスファルト充てん室（R152）容積530m^3に対して約30～90m^3/h程度の流量と推測された。この逆流した空気によりアスファルト充てん室（R152）雰囲気中の酸素濃度が徐々に上昇し、可燃性混合ガスと混合して予混合気体を生成した可能性が考えられる。

６．２．３　着火源

(1) 各室の熱影響

室内可燃物の焦げ等の有無、煤付着の状況（４章参照）から各室の熱影響の状況について調査した。アスファルト充てん室（R152）に、爆発後の固化体の火災によると考えられる壁面の焦げがある他、エクストルーダ室（R151），カスク保管室（A121），安全管理分室（A118），保守作業室（A234），保守エアロック室（A235）の室内備品の一部にも焼け焦げが見られた。また、アスファルト充てん室（R152）に多くの煤の付着が認められる他、エクストルーダ室（R151）では排気口高さ(約3m)より上部に煤付着が認められ、カスク保管室（A121），保守作業室（A234），保守エアロック室（A235）では室内全てに煤付着が認められた。安全管理分室（G214），２階の通廊には室内上部に煤付着が認められた。カスク保管室（A121）及びその隣室である安全管理分室（A118）に関しては、４．２で示したとおり爆発後にグリーンハウス及び可燃性備品が燃焼し、両室に煤付着及び熱影響を及ぼしたものと推定される。

一方、保守作業室（A234），保守エアロック室（A235），2階の通廊及びエクストルーダ室（R151）の上部の煤付着及び熱影響については、アスファルト充てん室（R152）内で爆発後に生じたと考えられる固化体火災による影響であったものと推定される。

(2) 各室の境界部材の飛散状況

施設内各室の境界部材(扉、ドアなど)の破損、飛散の方向から、圧力はエクストルーダ室（R151）及びアスファルト充てん室（R152）からその周辺へ伝わったものと考えられる。また、エクストルーダ室（R151）とアスファルト充てん室（R152）との間のシールディングウォールがアスファルト充てん室（R152）側に飛ばされた時には、圧力はエクストルーダ室（R151）からアスファルト充てん室（R152）に向かって作用したものと考えられる。

施設内各室の境界部材の破壊に必要な圧力を計算した結果、アスファルト充てん室（R152）は0.38kg/㎠以上、エクストルーダ室（R151）は0.55kg/㎠以上となった。

以上(1)及び(2)からは、エクストルーダ室（R151）内で着火したと推察されたが、立入調査の結果、エクストルーダ室には着火源と思われるものは発見されなかった。

一方、アスファルト充てん室（R152）は最初の火災、可燃性混合ガスの発生、爆発後の火災を生じたと考えられる固化体が存在するため、アスファルト充てん室（R152）内の固化体が着火源となる可能性について検討した。

(3) アスファルト充てん室（R152）内の固化体の燃焼状況

爆発後2～3時間にわたって火災を生じたと考えられる固化体は、ドラム上部の灰の盛り上がりの状態、アスファルト充てん室（R152）内の壁面塗装の焼け焦げ状況、クレーンレール受梁の熱変形を受けた場所などから、ターンテーブル上のドラムの固化体と考えられる。

一方、コンベア上のドラムについては固化体はほとんど灰となっており、ドラム上部の灰の盛り上がりがなく、付近の壁面にも焼け焦げは見当たらず、さらに近傍のクレーンレール受梁も熱変形を受けた様子がない。これらの状況からコンベア上のドラムは、爆発発生前までにドラム内のアスファルトが揮発又は熱分解により消費し尽くし、炎上はしなかったものと考えられる。

５．４で示したとおり、爆発後最初に燃焼したのはターンテーブル上排出管直下のNo.30104ドラムの固化体であると結論された。この固化体の発火と爆発が同時刻に発生していること、アスファルト充てん室（R152）内にほかに着火源が存在しないことより、この固化体の発火が爆発の着火源となったと考えることが合理的である。

(4)　着火源とシールディングウォール飛散方向との関係

着火源がアスファルト充てん室（R152）内の固化体であると考えられること、アスファルト充てん室（R152）で可燃性混合ガスが発生した可能性が高いこと、アスファルト充てん室（R152）とエクストルーダ室（R151）との間のシールディングウォールを除いた境界部材の飛散状況から、アスファルト充てん室（R152）で爆発が発生したと考えられる。一方、このシールディングウォールの飛散方向から圧力はエクストルーダ室（R151）からアスファルト充てん室（R152）にかかったものと考えられ、エクストルーダ室（R151）でも爆発が生じたと推定される。

この２つの部屋での爆発とシールディングウォールの飛散状況について以下のように検討した。

アスファルト充てん室（R152）とエクストルーダ室（R151）が排気ダクトでつながっていることに着目し、アスファルト充てん室（R152）内で爆発が発生した場合、爆発火炎がエクストルーダ室（R151）に伝播しうるかどうかについて、小規模試験を行った（図6.2-2）。試験においては模擬アスファルト固化体を加熱して可燃性混合ガスを発生させ、さらに同じ試料の加熱を継続し自己発火させることにより着火させた。

その結果、ガス発生から発火までの時間がさまざまであったため再現性が必ずしも十分ではないが、燃焼火炎がダクトを通じてアスファルト充てん室（R152）からエクストルーダ室（R151）へ噴出すること及び、その際のダクト内の火炎伝播速度はアスファルト充てん室（R152）内の速度の数倍あることがわかった（図6.2-3）。このことから、アスファルト充てん室（R152）内の

爆発火炎がエクストルーダ室（R151）に素早く伝播し、ほぼ同時に爆発が発生した可能性が考えられる。

爆発圧力の上昇速度は室内容積の立方根に反比例すること[6-5]、エクストルーダ室（R151）の容積はアスファルト充てん室（R152）の容積の約１／６であることから、両室で同時に爆発した場合の圧力上昇速度はエクストルーダ室（R151）の方が速いものと予想される。またアスファルト充てん室（R152）内の爆発火炎がエクストルーダ室（R151）に素早く伝播した場合には、伝播した火炎の乱れが生じると考えられるため、エクストルーダ室（R151）での爆発では圧力上昇速度がアスファルト充てん室（R152）に比べて速いものと予想される。これらのことから、アスファルト充てん室（R152）とエクストルーダ室（R151）がダクトを介してほぼ同時に爆発し、エクストルーダ室（R151）の方の圧力が速く上昇するためシールディングウォールをアスファルト充てん室（R152）側に飛散させたものと推定される。

６．３　爆発原因検討結果のまとめ

爆発はガス爆発であり、その原因は以下のように考えられる。

① 最初の火災時の水噴霧時間が短く、固化体冷却不足のため固化体内部の蓄熱及び酸化反応の継続により、加熱されたアスファルト成分が酸素不足の室内で揮発／熱分解し、可燃性混合ガスが発生した。
② セル換気系排気フィルタの閉塞に端を発する換気不足により可燃性混合ガスが滞留した。
③ 槽類換気系の逆流空気により室内の酸素濃度が上昇し、室内の一部で爆発範囲内にある予混合気体を生成した。
④ 加熱された固化体の自然発火による予混合気体の着火した。

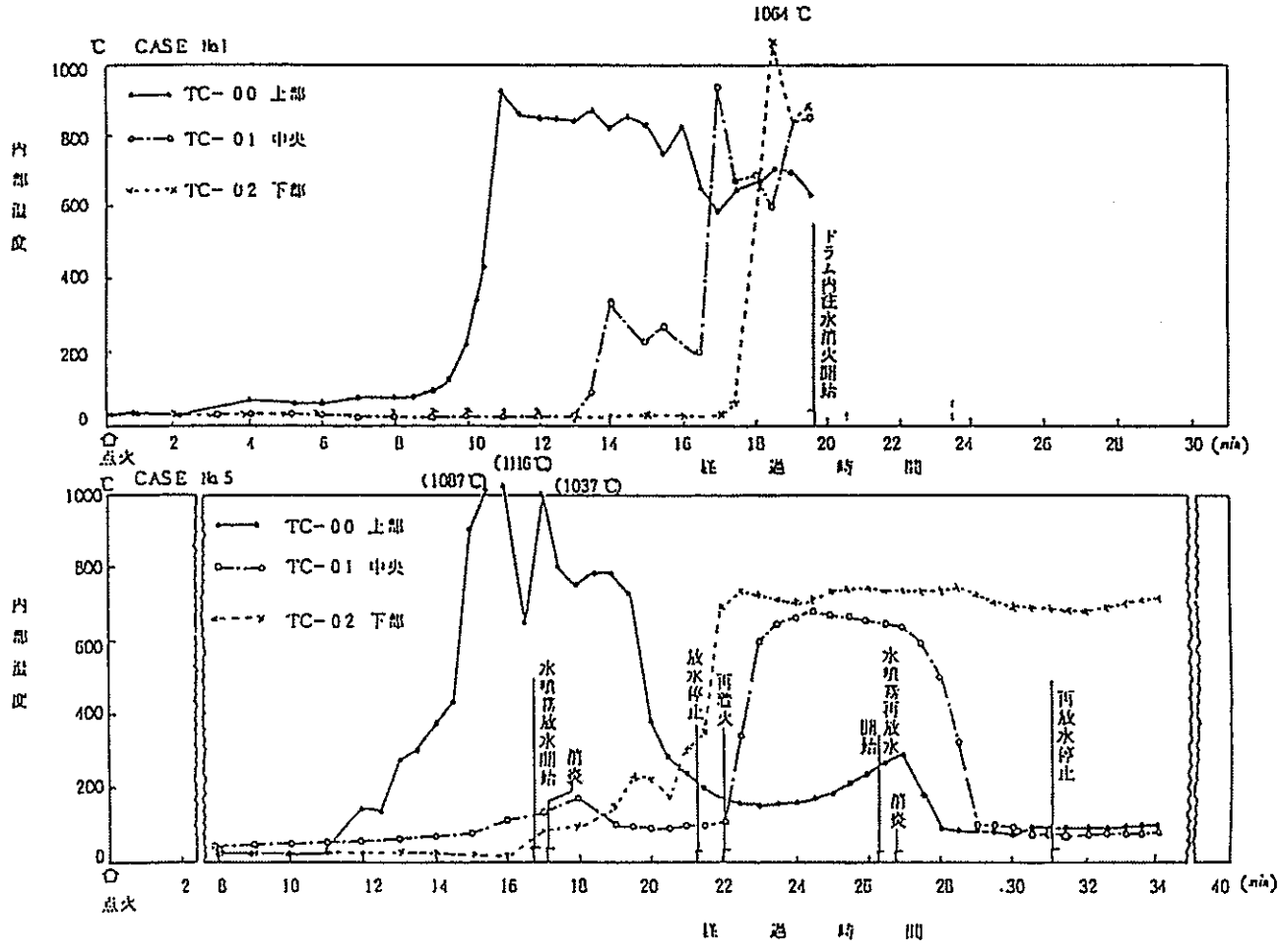


図6.1-1　模擬アスファルト固化体燃焼消火実験時の内部温度

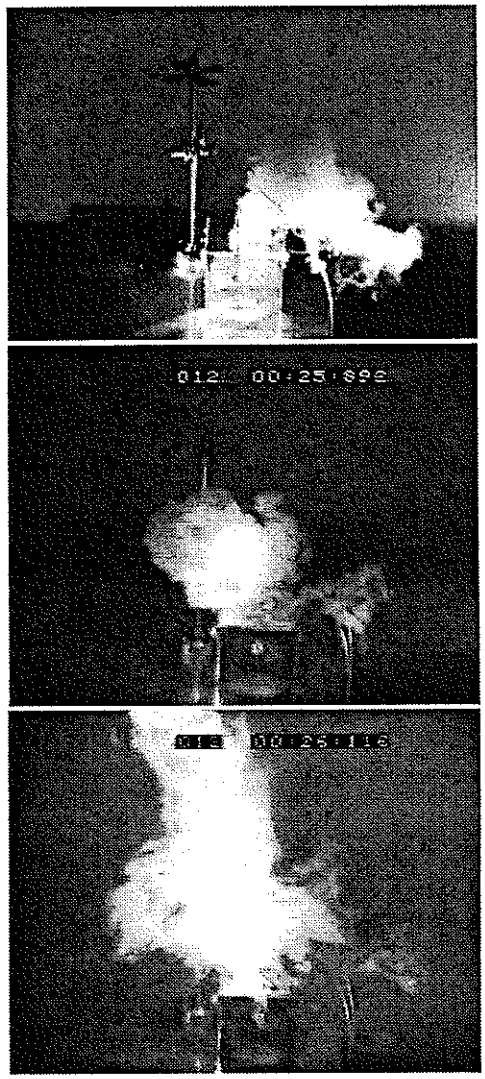


図6.2-1　開放状態での燃焼試験

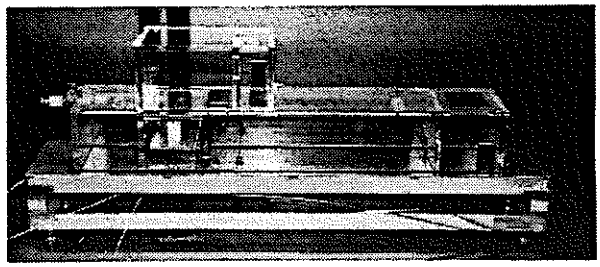


図6.2-2　小規模爆発試験装置

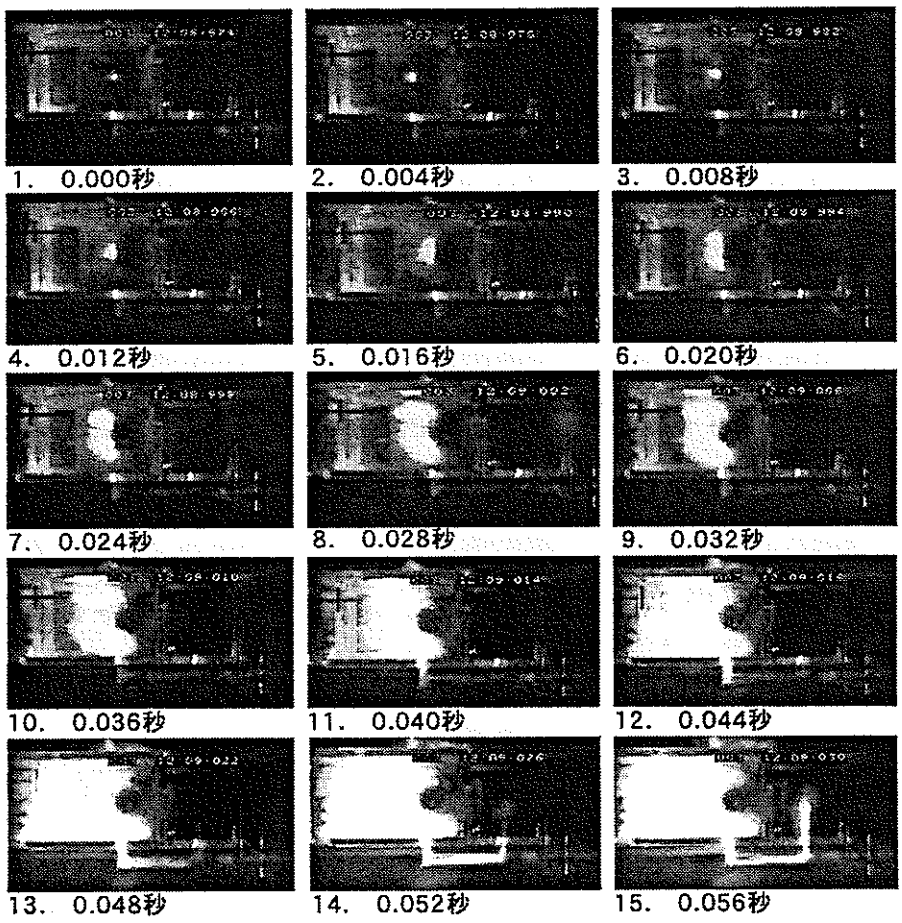


図6.2-3　小規模爆発試験装置での火炎伝播の様子

7．事故シナリオ

前章までの火災原因及び爆発原因の検討結果から、事故当時の事象進展を推定すると、以下の通りとなる。

① エクストルーダへの廃液供給速度を160ℓ/hに低下させた26Bから、エクストルーダ内での塩の堆積/濃縮が顕著になった。しかし26Bでは温度やトルクの異常は検知されなかった。
② エクストルーダ内に通常より多く堆積した塩は、26B終了時の洗浄操作では除去しきれず残留した。このため27Bではさらに塩の堆積／濃縮が増大し、トルクが上昇すると共にゾーン7温度計で190℃を越える温度が測定された。冷却操作によりエクストルーダを冷やしたためアスファルト混合物は冷却され、ドラムへの充てん温度は高くならなかった。しかし冷却の効果でアスファルト混合物の粘度が上昇し、更にトルクが増加した。
③ 同様に28Bでも塩の堆積／濃縮が続き、エクストルーダゾーン7で高温を検知し続けた。28B半ばでゾーン7での測定温度が190℃を下回ったため冷却を停止した。測定温度が低下した理由は、手動冷却時の大きな温度変化をきっかけとしてエクストルーダ内部の堆積塩層がバレルから剥離し、堆積塩層とバレル間に空隙が出来て熱が伝わりにくくなり、高温を検知できなくなったためと考えられ、実際には高温状態は継続していた。冷却操作を停止したためアスファルト混合物の充てん時の温度は高くなり、その結果充てん中のアスファルト混合物は通常よりも流動性が良く、また白い蒸気のようなものを発生するといった異常が確認された。
④ ドラムへの充てん温度が高くなったことにより、28Bで充てんされたドラムの内部ではアスファルトの熱分解が生じ、ガスの発生・空洞の生成が起こった。高温のためアスファルト固化体表面に、アスファルトの空気酸化反応によると思われる硬膜を生じた。
⑤ 29Bでも塩の堆積／濃縮が継続し、更に充てん温度が上昇し続けたため、限界充てん温度（蓄熱発火に至る下限の充てん温度）を越えた。ドラムに充てんされた後に発生する硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトの微弱な反応による熱量が自然冷却による除熱量をわずかに上回るようになり、徐々に蓄熱が進行し固化体温度は上昇した。
⑥ 30Bでも充てん温度の高い状態が続き、同様の蓄熱/固化体温度の上昇が生じた。
⑦ 充てん後約20時間を経過した29BのNo.30093ドラムが自己発火した。
⑧ コンベア上にあったNo.30094～30100ドラム（全て第29バッチ）も同様に蓄熱／固化体温度の上昇が進んでいたため、No.30093ドラムの発火を機に

これらのドラムも全て燃焼を開始した。

⑨約6分間の燃焼後、1分間の水噴霧を行った結果、アスファルト固化体は消炎した。しかし十分な冷却は行われなかったため、アスファルト固化体内部では高温状態が続き、硝酸塩/亜硝酸塩とアスファルトの反応は継続し、アスファルトの熱分解による可燃性混合ガスが発生した。火災の煤でセル換気系のフィルタが閉塞していたため可燃性混合ガスは排気されることなく、アスファルト充てん室（R152）やエクストルーダ室（R151）に充満した。しかし火災により酸素が消費されたことやセル換気系の閉塞により、室内の酸素濃度は爆発限界より低かった。

⑩セル換気系の閉塞後も槽類換気系は作動していたため空気がセル内に逆流し、酸素濃度が徐々に上昇し爆発限界内に入った。

⑪火災により運転を停止したため充てん途中であった30B のNo.30104ドラムの固化体が自己発火した。これにより爆発限界内であった可燃性混合ガスが爆発した。爆発の火炎はダクトを通じてアスファルト充てん室（R152）からエクストルーダ室（R151）に伝播しエクストルーダ室（R151）でもほぼ同時に爆発を生じた。エクストルーダ室（R151）の体積がアスファルト充てん室（R152）よりも小さいため、エクストルーダ室（R151）の圧力上昇速度の方が大きくなり、この圧力差によりシールディングウォールがアスファルト充てん室（R152）へ飛ばされた。

⑫No.30104ドラムの固化体は爆発後もターンテーブル上で燃焼を続け、爆発の発生から1~2時間後にターンテーブル上の他のドラムの固化体が同様に自己発火し、その結果ゾーン8温度計には高温のピークが2度記録された。火災による黒煙は爆風で破損した窓から流出し続け、爆発発生から2～3時間後に見えなくなった。

8. 放射性物質の放出量並びに作業員及び公衆の被ばく線量の評価

アスファルト充てん室（R152）内にて10時06分頃発生した火災により、放射性物質を含んだ煙が室外へ漏洩した。また20時04分頃発生した爆発によりアスファルト固化処理施設の窓・シャッター等が破損し、これらの開口部から放射性物質が環境中に放出された。

本章では、事故当時のアスファルト固化処理施設及び周辺施設における放射線状況の推移、作業員の被ばく評価について述べる。さらに、開口部からの放出量とそれにともなう公衆の受ける被ばく線量の評価について報告する[8-1]。

8．1 放射線モニタリング

8．1．1 放射線状況の監視

10時06分頃発生した火災では、アスファルト固化処理施設内の作業環境を監視しているβ線ダストモニタ，γ線エリアモニタの指示値が上昇し、一部のβ線ダストモニタ及び第三低放射性廃液蒸発処理施設（Z施設）の排気を監視している局所排気のβダストモニタの警報が吹鳴した。20時04分頃の爆発時には、アスファルト充てん室（R152）のリムーバブルルーフの落下により、その上の保守作業室（A234）の線量当量率が上昇し、γ線エリアモニタの警報が吹鳴した。他のγ線エリアモニタ及びβ線ダストモニタについても指示値が上昇したが、警報の吹鳴には至らなかった。爆発後に発生した火災により、アスファルト固化処理施設内のβ線ダストモニタ、γ線エリアモニタとも信号ケーブル等が損傷し、20時20分頃から30分頃にかけてすべて監視機能を喪失した。廃棄物処理場（AAF）の一部のβ線ダストモニタ指示値は最初の火災後から上昇を示し、爆発後は20時30分頃からさらに上昇し始め警報の吹鳴に至った。

アスファルト固化処理施設からの排気を監視している第1付属排気筒排気モニタについては、最初の火災後にヨウ素モニタ指示値が通常時の4倍程度に上昇した後緩やかに上昇し続け、爆発後においてさらに上昇し警報の吹鳴に至った。α及びβダストモニタは火災発生とともに指示値が緩やかに上昇し、爆発に伴いさらに上昇したが警報の吹鳴には至らなかった。また、爆発後にはサンプリングろ紙の目詰まりにより、サンプリング流量が急激に減少した。

8．1．2 区域設定等

アスファルト固化処理施設については、β線ダストモニタ指示値に基づき、

3月11日10時45分にグリーン区域全域を立入規制区域に設定し、その後12時32分には立入制限区域とした。アンバー区域全域は同日10時45分に立入制限区域に設定した。アスファルト固化処理施設に隣接する第二低放射性廃液蒸発処理施設（E施設），第三低放射性廃液蒸発処理施設（Z施設）に空気汚染が拡大した。これらの施設については、立入規制区域や立入制限区域の設定基準に達していないものの、第三低放射性廃液蒸発処理施設（Z施設）内に煙が認められたこと、第三低放射性廃液蒸発処理施設（Z施設）の局所排気モニタの指示値が上昇気味であったことなどから、同日11時30分に両施設のグリーン及びアンバー区域の全域を立入制限区域に設定した。

最初の火災発生後から爆発前の間に、サーベイメータ等により施設周辺について測定を実施したが、線量上昇や汚染は検出されなかった。爆発後の3月12日1～2時頃のアスファルト固化処理施設周辺のサーベイ結果では、地表面に法令値（β：4Bq/cm^2）を上回る値（β（γ）の最大で5.2Bq/cm^2）を確認したため、同日2時30分に施設周辺を一時管理区域に設定した。その後設定した範囲の外側にも飛散物が確認されたことから、同日5時20分に一時管理区域設定範囲を拡大した。

8．1．3　環境モニタリング

最初の火災発生の初期段階から事故時環境モニタリングを開始し、爆発発生後にはその実施内容（モニタリング対象地域、実施項目、測定頻度等）を拡大した。周辺監視区域内のモニタリング結果では、爆発後の採取試料の一部から事故の影響と考えられる核種（Cs, Sr, Pu, Am）が検出された。周辺監視区域外のモニタリング結果では、大洗地区の空気浮遊じん採取試料からCs核種が検出された以外は、検出下限値未満若しくは過去の核実験等に起因する環境の変動範囲内の値であり、事故の影響として検出されたレベルは極めて低いものであった。

なお、すべての事故時モニタリング結果について、原子力安全委員会の専門部会である「環境放射線モニタリング中央評価専門部会」において審議され、平成9年6月3日に「環境モニタリング結果を見る限り、今回の事故は環境や健康に影響を及ぼすレベルのものではなかったと考えられるとの結論を得た。」との見解が示された。

8．2　作業員の被ばく評価

最初の火災の発生に伴い、放射性物質の吸入の可能性がある者に対し鼻スミ

ヤ法による体内摂取の有無の確認を行い、βγ線測定の結果10名について有意な値を観測した。なお、α線測定結果では全員検出されなかった。まずこの10名について精密型全身カウンタによる体内摂取量の測定を実施した。その後、念のため測定対象者の選定範囲を拡大し鼻スミヤ採取者全員を対象とした。

上記対象者の測定を順次継続中に爆発事故が発生したことから、精密型全身カウンタによる測定は爆発事故時の対象者を優先した。測定対象者の合計は112名、体内から有意な放射性物質が検出された作業員は火災時34名、爆発時3名の合計37名であった。

その後、作業員の詳細な行動を調査する段階で、改めて測定対象とするべき立入り区域及び時間帯を設定して調査した結果、最終的な全身カウンタによる測定対象者数は129名となったが、体内摂取者数に変更はなかった。

全身カウンタによる測定の結果、Cs核種が検出された。検出された全身の放射能からICRP Publication 30[8-2]の体内動態モデルに基づいて摂取量・預託実効線量等量を算定した。摂取量としては、最大の者でも法令に定める年摂取限度に対し^{134}Csで約12,000分の１、^{137}Csで約2,400分の１であり、摂取量を基に計算した預託実効線量当量は内部被ばく管理上の記録レベル（2mSv）未満であった。

その後、鼻スミヤの核種分析結果に基づく推定等により、通常の個人モニタリングの方法では検出されなかった核種についての内部被ばくによる線量当量の評価を行った結果、Pu、Am等のα核種を含めた想定すべきすべての核種による内部被ばく線量当量は、最大の者で0.4～1.6mSvの範囲と評価した。また、外部被ばくによる実効線量当量についても、計算により、最大で4μSv程度と評価した。

８．３　放射性物質の放出量評価

アスファルト固化処理施設の火災爆発事故により、施設の窓、シャッター等が破損、変形し、これらの開口部から放射性物質が環境に放出された。また、放射性物質の一部は、第1付属排気筒及び施設が連結されている第二低放射性廃液蒸発処理施設（E施設）、第三低放射性廃液蒸発処理施設（Z施設）の局所排気設備（以下まとめて、「排気設備」という。）を経由して環境に放出された。

環境モニタリング結果及びアスファルト固化処理施設内から採取した煤等の放射能測定データ等の情報に基づき、事故による放射性物質の放出量を推定した。

８．３．１　放出量の推定方法

(1) 排気設備からの放出量

排気設備からの放出については、基本的に排気流量及び放射能濃度が測定されており、「発電用軽水炉原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針」に従って評価した。ただし、第1付属排気筒については、事故時に排気流量指示値並びに排気の一部を吸引して放射能測定をする排気モニタの吸引流量率に大きな変動があったため、その影響を補正して評価した。各排気設備からの放出量を表8.3-1に示す。

(2) 施設開口部からの放出量

アスファルト固化処理施設開口部からの放出については、開口部からの放出流量や放射能濃度に関する直接的なデータがないため、施設内外の種々の放射能測定データを基に間接的に放出量を推定した。なお、間接推定では推定上の仮定・前提などに評価値の誤差要因が含まれるため、複数の方法により推定を行い相互に比較することで、できるだけ推定の信頼性を高めるように努めた。施設開口部からの放出量の推定は、次の2つの方法により行った。

① 環境モニタリングデータからの推定

アスファルト固化処理施設より南約20kmにある大洗工学センター及び日本原子力研究所 大洗研究所において空気中浮遊じん中に微量のCsが検出された。また、アスファルト固化処理施設近辺の空気中浮遊じんモニタリング結果では、3地点で有意なCs、 Sr及びα核種が検出された。気象データと大気拡散モデルに基づき、これらの環境モニタリングデータに見合うCsの放出量を推定した。大洗データに対しては、正規型パフ拡散モデル（図8.3-1）による大気拡散計算コードPARADISEを用いた。アスファルト固化処理施設近辺のデータに対しては、初期拡散のみを考慮した半円柱状モデル（図8.3-2）を用いて評価した。

② 固化体中の放射性核種の施設外への移行挙動からの推定

固化体の内蔵放射能、火災等により放射性物質の放出に関与した固化体の量、火災等による固化体から気相への移行割合、気相へ出た放射性物質の開口部から施設外への放出割合等、固化体から施設外への放出に至る経路ごとの移行割合を適切に設定することにより放出量を推定した（図8.3-3）。固化体の燃焼量は、アスファルト充てん室（R152）内立ち入り調査で行った棒状治具を用いた各ドラムへの差し込み深さの測定結果に基づいて推定した。なお、ドラムの重量測定結果をもとにアスファルト固化体の燃焼量を評価した場合と比較して約10％の違いにとどまっている。放射性物質の移行割合、放出割合は、類似の

アスファルト固化体の燃焼実験等の文献[8-3, 4]、アスファルト固化処理施設内で採取した煤、施設周辺の環境モニタリング試料等の放射能分析結果に基づいて推定した。

8．3．2　推定結果

施設開口部からの放出量の推定結果を表8.3-2に示す。表には大気拡散シミュレーションコードSPEEDIを用いた推定結果[8-5]も記載した。いずれの推定結果も放出量として同程度の結果が得られた。放射性核種の移行挙動からの推定は多くの前提条件を含む推定であり、放出量が直接反映される環境モニタリングデータからの推定の方が、相対的に精度良い現実的な推定であると判断し、^{137}Cs放出量は1～4GBqの範囲と評価した。その他の核種については、放射性核種の移行挙動に基づく放出量推定結果から得られる^{137}Csに対する放射能比を^{137}Cs放出量に乗じることによって求めた。放出量推定結果を表8.3-3に示す。

8．4　公衆の被ばく線量当量の推定

事故の影響を把握するため、前節で評価した排気設備並びにアスファルト固化処理施設開口部から放出された放射性物質量により、一般公衆の受ける被ばく線量当量を推定した。

放射性物質は、第1付属排気筒の排気モニタの指示記録に基づく放出分布で爆発後の2時間で放出されたものとした。第二低放射性廃液蒸発処理施設（E施設），第三低放射性廃液蒸発処理施設（Z施設）局所排気からは1時間で均等に放出されたものとした。

気象条件は、事業所内の気象観測塔（地上高さ70m）で観測した風向、風速、及び事業所内の安全管理棟屋上（地上高さ10m）で観測した風向、風速、及び構内で観測した大気安定度を用いた。大気拡散は正規型パフ拡散モデルによる大気拡散計算コードPARADISEを用いて計算した。拡散パラメータは、「発電用軽水型原子炉施設の安全解析に関する気象指針」（昭和57年1月28日原子力安全委員会決定）にしたがって計算した。

被ばく経路については、一過性の放出であることから主要な経路と考えられる吸入摂取のみを評価した。呼吸率はICRP Pub. 23[8-6]に示される標準人の活動時の呼吸率1.2m^3/hを用いた。摂取量から実効線量当量への換算係数は、「環境放射線モニタリングに関する指針」（平成元年3月30日原子力安全委員会決定）から引用した。

各放出経路からの敷地境界外における呼吸摂取による預託実効線量当量を表8.3-4に示す。預託実効線量当量は約0.001～0.02mSvと推定され、そのほとん

どは施設開口部からの放出に起因するものであった。また、この値は法令に定められた公衆の年間の線量限度である１mSvの約1000分の１から50分の１である。

なお、吸入摂取以外の経路による線量寄与を、表8.3-3に示す放出量の最大値を用いて評価したところ、吸入摂取による被ばく線量の0.1%以下となり、無視できる程度であることを確認した。

表８．３－１　排気設備からの放出量

(1) 第１付属排気筒

区分	核種	放出量(GBq)	
		期間：3/5 9:00～3/12 2:50	期間：3/13～4/1
β核種	^{137}Cs	$1.5\times10^{-1}\pm5.5\times10^{-4}$	6.4×10^{-4}
	^{134}Cs	$1.4\times10^{-2}\pm1.7\times10^{-4}$	6.1×10^{-5}
	^{106}Ru	微	微
	^{90}Sr	$2.1\times10^{-4}\pm1.7\times10^{-5}$	1.3×10^{-6}
	^{129}I	$3.6\times10^{-3}\pm9.1\times10^{-5}$	微
	^{131}I	微	微
	^{241}Pu	$9.4\times10^{-4}\pm1.8\times10^{-5}$	微
α核種	Pu(α)	$3.6\times10^{-5}\pm6.8\times10^{-7}$	微
	^{241}Am	$1.3\times10^{-5}\pm8.3\times10^{-7}$	微
	U(α)	$2.1\times10^{-6}\pm1.7\times10^{-7}$	微

(2) E,Z 施設局所排気

区分	核種	Z 施設放出量(GBq)	E 施設放出量(GBq)
		期間：3/5 9:30～3/13 15:30	期間：3/5 9:00～3/13 14:30
β核種	^{137}Cs	$8.3\times10^{-3}\pm9.7\times10^{-6}$	$6.5\times10^{-5}\pm3.0\times10^{-7}$
	^{134}Cs	$7.4\times10^{-4}\pm2.8\times10^{-6}$	$5.6\times10^{-6}\pm8.6\times10^{-8}$
	^{106}Ru	$3.2\times10^{-5}\pm8.8\times10^{-6}$	微
	^{90}Sr	$1.3\times10^{-5}\pm1.8\times10^{-6}$	微
	^{129}I	$1.7\times10^{-4}\pm1.9\times10^{-5}$	微
	^{131}I	微	微
	^{241}Pu	$3.1\times10^{-5}\pm2.3\times10^{-6}$	$2.9\times10^{-7}\pm4.9\times10^{-8}$
α核種	Pu(α)	$1.2\times10^{-6}\pm8.9\times10^{-8}$	$1.1\times10^{-8}\pm1.9\times10^{-9}$
	^{241}Am	$6.5\times10^{-7}\pm5.7\times10^{-8}$	$5.6\times10^{-9}\pm1.2\times10^{-9}$
	U(α)	微	微

微：検出下限値未満での放出，　　誤差：1σの計数誤差

表８．３－２　開口部からの ^{137}Cs 放出量の推定結果

推定方法	推定放出量(GBq)
移行挙動に基づく推定	8
大洗モニタリングデータからの推定	1～2
敷地内モニタリングデータからの推定	2～4
（参考）原研 SPEEDI コードによる推定結果	1～2 （ファクタ 10）

表８．３－３　開口部からの放出量推定値

	核種	放出量(GBq)
β核種	^{14}C	6
	^{60}Co	0.00002～0.002
	^{90}Sr	0.003～0.03
	^{106}Ru	0.005～0.2
	^{129}I	0.009～0.04
	^{125}Sb	0.0005～0.008
	^{134}Cs	0.1～0.4
	^{137}Cs	1～4
	^{144}Ce	0.00008～0.002
	^{241}Pu	0.003～0.05
α核種	Pu(α)	0.0001～0.002
	^{241}Am	0.0005～0.007

^{14}C 放出量は，移行挙動からの推定において他核種と独立した移行割合を仮定した評価結果をそのまま使用。他核種については移行挙動からの推定結果の ^{137}Cs 放出量に対する放射能比を，^{137}Cs 放出量 1～4GBq に乗ずることで推定。

表８．３－４　公衆の被ばく線量当量の試算結果

放出経路	預託実効線量当量(mSv)
施設開口部からの放出	約 1×10^{-3}～約 2×10^{-2}
第１付属排気筒からの放出	約 1×10^{-5}
E 施設局所排気口からの放出	約 7×10^{-8}
Z 施設局所排気口からの放出	約 8×10^{-6}

評価地点：各々の放出経路における最大濃度地点での値を示す。

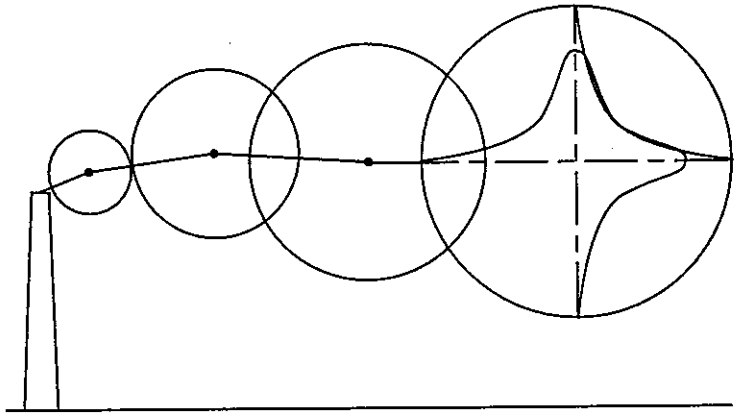


図8.3-1　正規型パフ拡散モデルの概念図

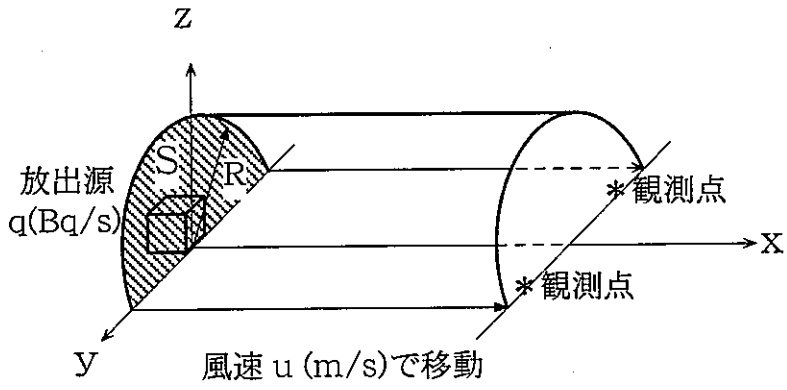


図8.3-2　半円柱準モデルの概念図

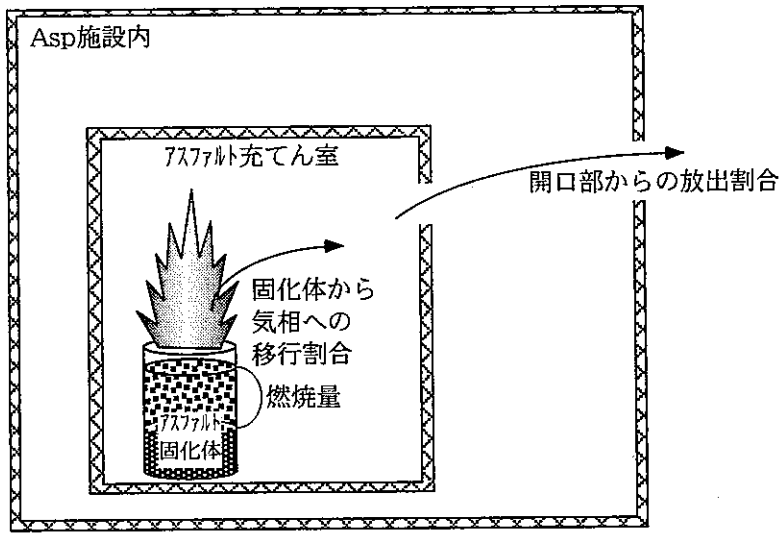


図8.3-3　放射性物質の移行挙動の概念図

9．必要な安全対策と継承すべき知見

9．1　運転管理上の問題点

今回の事故を発生させ拡大させた運転管理上の問題点は事故調査委員会で以下のように指摘された。

(1)　事故時の対応等に関する問題
　的確な情報把握、放射線管理情報の一元的把握、情報伝達の簡素化等
(2)　運転に関する問題
　運転計画の作成/変更時の審査、処理対象物質の把握等
(3)　教育訓練に関する問題
　過去の知見の反映、事故事例に即した訓練等
(4)　施設に関する問題
　運転監視設備の健全性維持、安重監視設備の事故時機能保持等

これらの具体的内容と、指摘事項へのその後の対応状況（平成11年5月現在）を添付-5に示す。

9．2　技術的な問題

事故発生時の対応を適切に行うことや、運転条件設定時の安全確認を確実に行うこと、異常の拡大防止を確実に行うことには、安全性を評価確認できるだけの技術知見を有することが必要である。この観点からは今回事故前に運転計画を変更しようとした時に安全性を評価しようとしても極めて困難であったと思われる。これを可能にするための課題を以下に示す。

(1)　枢要な工程機器の挙動は事前に確認を
　異常な挙動をした時に安全上の影響が大きい機器については、事前にその挙動とメカニズムを十分に確認しておくことが必要である。定常条件範囲内だけでなく、これを越える条件においての挙動もある程度開発段階で押さえておかねばならない。開発とは通常条件での性能を確認するだけではないことをもう一度認識し直すことが重要である。

(2)　処理対象物の充分な理解を
　今回は物理的発熱が主な火災原因であったが、不純物混入による発熱反応が原因で火災になる可能性も十分考えられた。処理対象物の成分や化学的影響、

考えられる化学反応を良く把握しておくことが重要である。

(3) 技術情報の継承・伝達を

燃焼消火試験の知見が次の世代に伝えられなかったことが爆発を招いた。開発や試運転、もしくは運転時に得た知見は次の世代、次の担当者へ確実に継承すること（垂直方向の技術情報共有）、また担当が異なっても周囲の技術者に知らしめておくこと（水平方向の技術情報共有）が必要である。

(4) 国際情報の収集を

ベルギーの火災事故に際して情報収集をもっと密に行い、対策を十分に検討すべきであった。フランスではこれを機にエクストルーダ排出管の温度上限値を135℃と極めて低く設定し、フィルタの目詰まりや冷却不足の可能性、可燃性ガス発生による爆発の発生を予見し、設備の改良を行っている。我々も単にベルギーからのコンサルタントを受けるだけでなく、自ら能動的に、イマジネーションを働かせながら事故の進展の仕方やその発生防止策、拡大防止策を検討すべきであった。

普段から関連する海外情報を収集すると共に、海外の関連機関との協力関係を確立し、安全情報も共有することが望ましい。

１０．　おわりに

今回のアスファルト固化処理施設の火災爆発事故は、我が国の核燃料サイクル施設で初めての大規模な事故であり、環境への放出放射能は周辺住民の方々の健康に影響を及ぼすことは無かったものの、社会的影響は極めて大きなものとなった。

事故の原因については、事故発生直後から究明活動を行い事故調査委員会に報告し、運転管理面の改善点を含めて再発防止に必要な原因や事故のシナリオが究明され、更に、その詳細を検討するために化学的あるいは物理的な要因について各種調査・試験・解析等を行い、事故調査委員会に引き続き設置されたフォローアップチームへと報告してきた。これまでの原因究明活動の結果、火災の主要因は、エクストルーダ内部での塩の濃縮や堆積によりアスファルト混合物の温度が上昇し、蓄熱の結果硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトの暴走反応に至ったとの結論を得た。

約２年に及ぶ原因究明活動の結果を本報告書としてとりまとめたものであるが、上記の原因究明の技術的な検討内容とともに、９章には継承すべき知見として本究明活動を通じて得られた教訓もあわせて記載した。

事故発生以降、事業団として更にはサイクル機構へと移行してからも様々な改善活動を行ってきたが、その教訓や活動の趣旨と合わせて、本報告書が再びこのような事故を起こさないための一助となれば幸いである。

最後に、専門的視点からのご指導を戴いたアドバイザリーの先生方々、現場調査や試料採取・分析、評価・解析等多大なご協力を戴いた方々、我々の活動に対して支援、ご指導を戴いた方々等関係各位に対して改めて感謝いたします。

参考文献

1章

[1-1] M.Demonie, et al., " The Fire Incident in the EUROBITUM Plnt on December 15 1981", ETR314(1990)

[1-2] 東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会：動力炉・核燃料開発事業団東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故について(1997)

3章

[3-1] 山内孝道，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の原因究明のための時系列調査報告書，PNC TN8410 97-368 (1997)

[3-2] 山内孝道，他：原因究明のための運転状況調査　－アスファルト固化処理施設火災・爆発事故の原因究明・再発防止に関する報告（4/7）－, PNC　TN8410 98-047, (1998)

[3-3] 小林健太郎，他：アスファルト固化処理施設の運転記録類の回収・整理業務報告書　－アスファルト固化処理施設火災・爆発事故の原因究明・再発防止に関する調査・検討－, PNC　TN8410 98-001, (1998)

4章

[4-1] 大森栄一，他：原因究明のための施設状況調査　－アスファルト固化処理施設火災・爆発事故の原因究明・再発防止に関する報告（3/7）－，PNC TN8410 98-013 (1998)

[4-2] 柴田淳広，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応～アスファルト充てん室内ドラム等調査結果～，JNC TN8410 99-029, (1999)

[4-3] アスファルト固化体の燃焼、消火実験報告書，PNC TJ8710 97-01(1997)

5章

[5-1] M.Demonie, et al., " The Fire Incident in the EUROBITUM Plnt on December 15 1981", ETR314(1990)

[5-2] 山内孝道，他：原因究明のための運転状況調査　－アスファルト固化処理施設火災・爆発事故の原因究明・再発防止に関する報告（4/7）－, PNC　TN8410 98-047, (1998)

[5-3] 柴田淳広，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応～アスファルト充てん室内ドラム等調査結果～，JNC TN8410 99-029, (1999)

[5-4] 菊池武史，：ARCによる反応性化学物質の熱暴走性の評価，住友化学，1989-I, 61(1989)

[5-5] 佐藤嘉彦，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応～実固化体のARCによる熱分析結果～，JNC TN8410 99-030, (1999)

[5-6] 佐野雄一，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応～赤外吸収測定によるアスファルト固化体の酸化反応評価～，JNC TN8410 99-033, (1999)
[5-7] 重留義明，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応～模擬固化体を用いた発熱特性評価～，JNC TN8410 99-035, (1999)
[5-8] 加藤良幸，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応～カルベ式熱量計MS80による模擬アスファルト混合物の熱量測定～，JNC TN8410 99-036, (1999)
[5-9] 金子崎良，：危険性評価と熱分析，熱測定，22(1) 36(1995)
[5-10] 柴田淳広，他：廃液受入貯槽V21への異物混入の可能性の検討－アスファルト固化処理施設火災爆発事故の原因究明・再発防止に関する調査・検討－，PNC TN8410 98-016 (1998)
[5-11] 加藤良幸，他：高温アスファルトの流下試験，JNC TN 8410 97-319, (1997)
[5-12] 三浦昭彦，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応～エクストルーダに関わる調査検討，JNC-TN8410 99-039(1999)
[5-13] 船津和守監修：高分子・複合材料の成形加工、信山社サイテック、1992
[5-14] 三浦昭彦、他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応～エクストルーダに関わる解析評価、JNC-TN8410 99-042(1999)
[5-15] 鈴木弘、他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応～小型２軸エクストルーダ試験、JNC-TN8410 99-041(1999)
[5-16] James L. White著、酒井忠基訳：二軸スクリュ押出し、シグマ出版、1991
[5-17] 大柳康、山口章三郎、材料、20(212)、659(1971)
[5-18] 三浦昭彦、他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応～ドラムの熱解析、JNC-TN8410 99-044(1999)
[5-19] アスファルト固化体の燃焼、消火実験報告書，PNC TJ8710 97-01(1997)

６章

[6-1] アスファルト固化体の燃焼、消火実験報告書，PNC TJ8710 97-01(1997)
[6-2] 北谷文人，他：模擬固化体熱分解生成物のGC-MS分析，JNC TN8410 99-048, (1999)
[6-3] 小杉一正，他：小規模模型を用いた模擬固化体の燃焼・爆発試験，JNC TN8410 99-047, (1999)
[6-4] FIRAC User's Manual: A Computer Code to Simulate Fire Accident in Nuclear Facilities, NUREG/CR-4561, LA-10678-M(1986)
[6-5] Swift,I. , J.Loss Prevention Proceed Ind., 2, 5~15(1989)

８章

[8-1] 須藤俊幸，他：放射性物質の放出量並びに作業者及び公衆の被ばく線量の評価－アスファルト固化処理施設火災爆発事故の原因究明・再発防止に関する報

告（6/7）－，PNC TN8410 98-048 (1998)

[8-2] "Limits for Intakes of Radionuclides by Workers", ICRP Publication 30,(1979)

[8-3] アスファルト固化体の燃焼，消火実験報告書，PNC TJ8710 97-001(1987)

[8-4] W. Kluger, et al., "Invstigation of Activity Release from Bituminized Intermediate-Level Waste Forms under Thermal Stresses", Proceedings of an International Symposium on the Conditioning of Radioactive Wastes for Storage and Disposal, Utrechet, the Netherlands, 21-25 June 1982.

[8-5] 茅野政道，他：動燃アスファルト固化処理施設事故による^{137}Csの環境放出量の推定，日本原子力学会誌，39, 8 (1998)

[8-6] "Report of the Task Group on Refrence Man", ICRP Publication 23 (1975)

添付－１　執筆担当者一覧

１．はじめに　（小山智造）
２．アスファルト固化処理施設の概要　（藤田秀人）
３．火災爆発事故の経緯　（藤田秀人）
４．事故後の施設状況
　４．１　アスファルト充てん室（R152）内の状況　（大森栄一、加藤良幸、鈴木弘、柴田淳広）
　４．２　アスファルト充てん室（R152）周辺区域の状況　（大森栄一、加藤良幸、鈴木弘）
　４．３　換気設備の状況　（加藤良幸、重留義明）
　４．４　施設の状況調査による知見　（大森栄一）
５．火災原因の検討
　５．１　火災原因究明の基本姿勢　（小山智造）
　５．２　化学的発熱原因の検討　（米谷雅之、北嶋卓史、加藤良幸、柴田淳広、佐野雄一、重留義明）
　５．３　物理的発熱による充てん温度上昇の原因の検討　（鈴木弘、三浦昭彦）
　５．４　熱解析による検討　（鈴木美寿、三浦昭彦）
　５．５　火災原因の検討　（小山智造）
６．爆発原因の検討　（大森栄一、鈴木弘）
７．事故シナリオ　（小山智造）
８．放射性物質の放出量並びに作業員及び公衆の被ばく線量の評価　（須藤俊幸）
９．必要な安全対策と継承すべき知見のまとめ　（小山智造）
１０．おわりに　（槇彰）

添付-2　関連公開資料リスト

科学技術庁

1) 東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会：動力炉・核燃料開発事業団東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故について(1997)

サイクル機構技術資料

1) アスファルト固化体の危険物判定試験：PNC TN8410 97-115, (1997)
2) アスファルト固化体の危険物判定試験(II)：PNC TN8410 97-116, (1997)
3) アスファルト固化体の危険物判定試験(III)：PNC TN8410 97-117, (1997)
4) アスファルト固化体の危険物判定試験(IV)：PNC TN8410 97-110, (1997)
5) 菊地直樹，他：アスファルト固化処理施設セル換気系排気ダクトの圧力評価，PNC TN8410 97-310, (1997)
6) 植田徳生，他：ASP施設クレーンレールの熱変形解析　－アスファルト固化処理施設内クレーンレール受梁の熱変形に係る弾塑性解析－：PNC TJ8124 97-001 (1997)
7) 菊地直樹，他：アスファルト固化処理施設　爆発時の各部屋境界部等の圧力評価　－アスファルト固化処理施設火災・爆発事故の原因究明・再発防止に関する調査・検討－，PNC TN8410 97-040(1997)
8) 加藤良幸，他：高温アスファルトの流下試験　－アスファルト固化処理施設火災爆発事故　原因究明・再発防止に関する調査・検討－，PNC TN8410 97-319 (1997)
9) 柴田淳広，他：アスファルト固化処理施設の運転記録の解析～火災原因に係わる調査～　－アスファルト固化処理施設火災爆発事故の原因究明・再発防止に関する調査・検討－，PNC TN8410 98-015 (1997)
10) 柴田淳広，他：廃液受入貯槽V21への異物混入の可能性の検討～火災原因に係わる調査～　－アスファルト固化処理施設火災爆発事故の原因究明・再発防止に関する調査・検討－，PNC TN8410 98-016, (1997)
11) 山内孝道，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の原因究明のための時系列調査報告書，PNC TN8410 97-368,(1997)
12) 小林健太郎，他：アスファルト固化処理施設の運転記録類の回収・整理業務報告書　－アスファルト固化処理施設火災・爆発事故の原因究明・再発防止に関する調査・検討－：PNC TN8440 98-001, (1998)
13) 大森栄一，他：原因究明のための施設状況調査　－アスファルト固化処理施設火災・爆発事故の原因究明・再発防止に関する報告（3/7）－，PNC TN8410 98-013 (1998)

14) 山内孝道，他：原因究明のための運転状況調査　－アスファルト固化処理施設火災・爆発事故の原因究明・再発防止に関する報告（4/7）－：PNC TN8410 98-047, (1998)
15) 須藤俊幸，他：放射性物質の放出量並びに作業者及び公衆の被ばく線量の評価　－アスファルト固化処理施設火災・爆発事故の原因究明・再発防止に関する報告（6/7）－：PNC TN8410 98-048 (1998)
16) 重留義明，他：アスファルト固化処理施設火災・爆発事故におけるセル排気系フィルタの被害状況　－アスファルト固化処理施設火災・爆発事故　原因究明・再発防止に関する調査・検討－：PNC TN8410 98-088, (1998)
17) 小坂一郎，他：槽類換気系からセルへの逆流流量の試算　－アスファルト固化処理施設火災・爆発事故の原因究明・再発防止に関する調査・検討－，PNC TN8410 98-000,(1998)
18) 小坂一郎，他：FIRACコードを用いた火災時の施設内圧力解析　－アスファルト固化処理施設火災・爆発事故の原因究明・再発防止に関する調査・検討－，PNC TN8410 99-017(1999)
19) 山田他，アスファルト固化処理施設躯体の耐力評価：JNC TJ8410 98-002, (1998)
20) 小山智造，他：アスファルト固化処理施設の火災爆発事故における火災原因の検討，動燃技報PNC TN8418 98-003, (1998)
21) 小山智造，他：アスファルト固化処理施設の火災爆発事故に関する検討，日本原子力学会誌，Vol.40, No.10, 740(1998)
22) 柴田淳広，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応　～アスファルト充てん室内ドラム等調査結果～，JNC TN8410 99-029, (1999)
23) 佐藤嘉彦，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応　～実固化体のARCによる熱分析結果～，JNC TN8410 99-030, (1999)
24) 米谷雅之：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応～模擬アスファルト固化体の調整～，JNC TN8410 99-031, (1999)
25) 米谷雅之，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応　～模擬アスファルト固化体の空気による酸化反応確認試験～，JNC TN8410 99-032, (1999)
26) 佐野雄一，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応　～模擬固化体を用いた赤外吸収分析による酸化反応評価～，JNC TN8410 99-033, (1999)
27) 加藤良幸，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応　～アスファルト固化体中の塩粒度分布測定に対するレーザー回折式装置の適用検討～：JNC TN8410 99-034, (1999)
28) 重留義明，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応　～模擬固化体を用いた発熱特性評価～：JNC TN8410 99-035, (1999)

29) 加藤良幸，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応　～カルベ式熱量計MS80による模擬アスファルト固化体の熱量測定～，JNC TN8410 99-036, (1999)
30) 米谷雅之，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応　～炭酸水素ナトリウムの検討～，JNC TN8410 99-037, (1999)
31) 鈴木弘，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応　～原因究明のための施設状況評価その2～：JNC TN8410 99-038 (1999)
32) 三浦昭彦，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応　～エクストルーダに関わる調査報告～，JNC TN8410 99-039, (1999)
33) 三浦昭彦，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応　～アスファルト・混合物の粘度測定～JNC TN8410 99-040, (1999)
34) 鈴木弘，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応　～小型2軸エクストルーダ試験～，JNC TN8410 99-041, (1999)
35) 三浦昭彦，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応　～エクストルーダに関わる解析評価～，JNC TN8410 99-042, (1999)
36) 鈴木弘，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応　～エクストルーダ運転記録の評価～，JNC TN8410 99-043, (1999)
37) 三浦昭彦，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応　～ドラムの熱解析（１）～，JNC TN8410 99-044, (1999)
38) 三浦昭彦，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応　～ドラムの熱解析（２）～，JNC TN8410 99-045, (1999)
39) 三浦昭彦，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中期的課題の対応　～充てん室内火災のシミュレーション～，JNC TN8410 99-046, (1999)
40) 小杉一正，他：小規模模型を用いた模擬固化体の燃焼・爆発試験，JNC TN8410 99-047, (1999)
41) 北谷文人，他：模擬固化体熱分解生成物のGC-MS分析，JNC TN8410 99-048, (1999)

出張報告

1) 船坂英之，他：海外出張報告～アスファルト固化処理施設火災爆発事故に関するベルゴプロセスとの専門家会議～　－アスファルト固化処理施設火災爆発事故の原因究明・再発防止に関する調査・検討－，PNC TN8600 97-007 (1997)
2) 柴田淳広，他：海外出張報告～アスファルト固化処理施設火災爆発事故に関するBelgoprocessとの会議及び再処理施設安全性確認に関するCOGEMA, BNFLとの情報交換～：PNC TN8600 97-006, (1997)

3) 小山智造，他：アスファルト固化処理施設火災爆発事故原因究明結果に関する技術会議～"International Workshop on the Safety and Performance Evaluation of Bituminization Process for Radioactive Wastes"での報告、Belgoprocess, CEA-SACRAYでの技術会議、及びCOGEMA, BNFL訪問～

動燃技報

1) 小山智造，他：アスファルト固化処理施設の火災爆発事故における火災原因の検討，動燃技報Vol. 107, p43, (1998)
2) 大森栄一，他：アスファルト固化処理施設の火災爆発事故における爆発原因の検討，動燃技報Vol. 107, p55, (1998)
3) 須藤俊幸，他：アスファルト固化処理施設の火災爆発事故による放射性物質の放出量並びに公衆の被ばく線量の評価，動燃技報Vol. 107, p55, (1998)

国内学会発表

1) 日本原子力学会「1997年秋の大会」要旨集, , (1997)
2) 日本原子力学会「1998年春の年会」要旨集, M16～M35, (1998)
3) 日本原子力学会「1998年秋の大会」予稿集, L51～L55, (1998)
4) 日本原子力学会「1999年秋の大会」予稿集, K61～K67, (1999)
5) 鈴木美寿，他，日本機械学会[No.98-17]、第6回動力・エネルギー技術シンポジウム，'98講演論文集(1998)
6) 内田剛史，他：アスファルト－硝酸塩混合物の発熱挙動に関する研究，第31回安全工学研究発表会講演予稿集, p181(1998)

国内雑誌発表

1) 小山智造，他：アスファルト固化処理施設の火災爆発事故に関する検討，日本原子力学会誌，Vol. 40, No.10, p740, (1998)
2) 重留義明，他：東海再処理施設アスファルト固化処理施設火災爆発事故における換気設備の状況，空気清浄，Vol.38, No.1(2000)

国際会議発表

1) K. NAKATA et al., "The fire and explosion incident of the bituminization facility and the lessons learned from the incident," Topical meeting on Safety of the Nuclear Fuel Cycle, OECD/NEA, (1997)
2) T. KOYAMA et al., "Study on the scenario of the fire incident and related analysis," Topical meeting on Safety of the Nuclear Fuel Cycle, OECD/NEA, (1997)
3) E. OMORI et al., "Study on the scenario of the explosion incident and related analysis," Topical meeting on Safety of the Nuclear Fuel Cycle, OECD/NEA, (1997)

4) N. SASAKI et al., "Study of the Cause of the Fire and Explosion Incident at Bituminization Demonstration Facility of PNC Tokai Works," SPECTRUM '98, (1998)

5) A. KAWAGUCHI et al., "Follow-up Activities of the Fire and Explosion Incident of Bituminization Demonstration Facility of PNC Tokai Works, " Topical meeting on Safety of the Nuclear Fuel Cycle, OECD/NEA, (1998)

6) Y. SATO et al., "Cause of the Fire and Explosion Incident at Bituminization Demonstration Facility of PNC Tokai Works (1) Facility, Incident and its Environmental Effect," International Workshop on the Safety and Performance Evaluation of Bituminization Process for Radioactive Waste, (1999)

7) T. KOYAMA et al., "Study on the Cause of Fire and Explosion Incident at Bituminization Demonstration Facility of PNC Tokai Works (2) Clarified Cause of the Incident," International Workshop on the Safety and Performance Evaluation of Bituminization Process for Radioactive Waste, (1999)

8) M. YONEYA et al., "The Cause of the Fire and Explosion Incident at Bituminization Demonstration Facility -The Cause of the Temperature Rise on Bituminized Product-," GLOBAL '99, (1999)

9) M. YONEYA et al., "An Investigation of the Cause of the Fire and Explosion Incident at Bituminization Demonstration Facility," ICEM '99, (1999)

10) Y. Sato et al., "Study on the Cause of Fire and Explosion Incident at Bituminization Demonstration Facility of PNC Tokai Works " Safewaste2000, (2000)

添付－3　事故調査委員会、フォローアップ委員会提出資料リスト

事故調査委員会資料リスト

回数	開催日	資料番号	資料名	作成箇所
1	平成9年3月13日	1-1	「東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会」の設置について	科学技術庁
		1-2	動力炉・核燃料開発事業団東海事業所再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故について	科学技術庁
		1-3	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故について	動燃事業団
2	平成9年3月21日	2-1	における火災爆発事故調査委員会」構成員名簿	科学技術庁
		2-2	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第１回会合議事録（案）	科学技術庁
		2-3	「動力炉・核燃料開発事業団東海事業所再処理施設アスファルト固化処理施設における火災・爆発事故について」	動燃事業団
		2-4	「放射線管理状況について」	動燃事業団
		2-5	「消火設備について」	動燃事業団
		2-6	「アスファルト及び廃液特性」	動燃事業団
		2-7	「爆発被害状況」	動燃事業団
		2-8	「事故調査委員会現地調査時の撮影写真（３月１７日ビデオからのスチール写真化）」	科学技術庁
		2-9	「事故発生直後の科学技術庁への主要な連絡票」	科学技術庁
3	平成9年3月27日	3-1	における火災爆発事故調査委員会」構成員名簿	科学技術庁
		3-2	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第２回会合議事概要（案）	科学技術庁
		3-3	アスファルト固化処理施設におけるプロセスフロー	動燃事業団
		3-4	アスファルト固化処理施設の運転管理	動燃事業団
		3-5	アスファルト固化処理施設における運転操作状況	動燃事業団
		3-6	「参考写真集」	動燃事業団
4	平成9年4月2日	4-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第３回会合議事概要（案）	科学技術庁
		4-2	今後の事故調査の進め方	科学技術庁
		4-3	動力炉・核燃料開発事業団における事故調査の進め方について	動燃事業団
		4-4-1	原因究明調査のために使用可能な計測制御系の記録について	動燃事業団
		4-4-2	アスファルト固化処理工程における分析の記録について	動燃事業団

		4-5	原因究明調査のために参考にすべき内外における同種の施設の事故例	動燃事業団
		4-6	原因究明調査のために参考にすべき技術開発に関する試験結果	動燃事業団
		4-6-1	放射性廃棄物のアスファルト固化処理　アスファルト固化体の安全性評価試験	動燃事業団
		4-6-2	アスファルト固化体の燃焼、消火試験	動燃事業団
		4-6-3	アスファルト固化技術開発施設試運転報告書	動燃事業団
		4-7	火災・爆発被害状況（その２）	動燃事業団
		4-8	放射線管理（その２）	動燃事業団
5	平成9年4月10日	5-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第４回会合議事概要（案）	科学技術庁
		5-2	動力炉・核燃料開発事業団からの報告における誤りに関する科学技術庁による現地調査の結果について	科学技術庁
		5-3	爆発原因に関する所見	事故調査委員会
		5-4	事故原因の究明に向けた考え方について	動燃事業団
		5-5	「現場に残された記録紙等の回収作業の進め方」	動燃事業団
		5-6	「火災発生時の消火設備の状況」	動燃事業団
		5-7	「火災発生時の換気設備の状況」	動燃事業団
6	平成9年4月16日	6-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第５回会合議事概要（案）	科学技術庁
		6-2	における火災爆発事故調査委員会」構成員名簿	科学技術庁
		6-3	動力炉・核燃料開発事業団アスファルト固化処理施設の火災爆発事故に係る報告徴収及び立入検査の実施について	科学技術庁
		6-4	火災発生時における現場の状況	動燃事業団
		6-5	「現場から回収されたチャート類からの得られたデータについて」	動燃事業団
		6-6	廃液処理バッチ毎のプロセスデータの整理	動燃事業団
		6-7	「今後の試料採取・分析等の方針について」	動燃事業団
		6-8	「火災・爆発被害状況（その３）」	動燃事業団
		6-9	「各委員からの質問事項に対する対応について」	動燃事業団
		6-10	「既提出資料の修正について」	動燃事業団
		6-11	「事故調査委員会構成員からの事故原因の検討のための実験に関する意見」	事故調査委員会
7	平成9年4月24日	7-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第６回会合議事概要（案）	科学技術庁
		7-2	火災発生時から爆発時までにおける現場作業の状況等（消火設備、換気設備の操作等を中心とした時系列）	動燃事業団
		7-3	アスファルト混合物の充てん記録（B24,B27~B30）	動燃事業団
		7-4	エクストルーダ内の各ゾーンの温度変化について	動燃事業団

		7-5	運転記録から見た給液バッチ毎のデータの整理（97-M46-1ｷｬﾝﾍﾟｰﾝにおける変動等）	動燃事業団
		7-6	「現場から回収されたチャート類から得られたデータについて」（その２）	動燃事業団
		7-7	「火災・爆発被害状況」（その４）	動燃事業団
		7-8	「今後の試料採取・分析等の方針、予定及び実績について（その１）」	動燃事業団
		7-9	「放射線管理（その３）」	動燃事業団
		7-10	「既提出資料の修正について（その２）」	動燃事業団
		7-11	「各委員からの質問事項に対する対応について」	動燃事業団
		7-12	「アスファルト固化処理施設のｷｬﾝﾍﾟｰﾝ運転計画について」	動燃事業団
		7-13	アスファルト固化処理施設における火災・爆発事故により環境に放出された放射線セシウムのＳＰＥＥＤＩコードによる推定結果	原研
		7-14	火災発生原因の調査状況について	科学技術庁
8	平成9年5月7日	8-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第７回会合議事概要（案）	科学技術庁
		8-2	施設アスファルト固化処理施設における火災・爆発事故について（第１報）の訂正と補足	動燃事業団
		8-3	エクストルーダの構造及び運転について	動燃事業団
		8-4	97-M46-1キャンペーン運転計画書（改訂版）の解説	動燃事業団
		8-5	「今後の試料採取・分析等の方針、予定及び実績について（その２）」	動燃事業団
		8-6	「火災・爆発被害状況（その５）」	動燃事業団
		8-7	「放射線管理（その４）」	動燃事業団
		8-8	「既提出資料の修正について（その３）」	動燃事業団
		8-9	「各委員からの質問事項に対する対応（その３）」	動燃事業団
		8-10	爆発原因に関する所見（２）	事故調査委員会
		8-11	火災爆発事故原因究明のための試験・解析計画（案）	科学技術庁
		8-12	動力炉・核燃料開発事業団東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故の原因調査状況について（案）	科学技術庁
9	平成9年5月21日	9-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第８回会合議事概要（案）	科学技術庁
		9-2	「火災・爆発被害状況（その６）」	動燃事業団
		9-3	「今後の試料採取・分析等の方針、予定及び実績について（その３）」	動燃事業団
		9-4	エクストルーダの構造及び運転について（その２）（エクストルーダへの供給廃液などの流量の制御について）	動燃事業団
		9-5	運転記録から見た過去の運転状況	動燃事業団

		9-6	「ユーロピチウム・プラント（ベルギー）における火災事故（1981年12月15日）報告書について（概要）」	動燃事業団
		9-7	アスファルト固化体の危険物判定試験（1989年～1991年）の結果について	動燃事業団
		9-8	3）	動燃事業団
		9-9	「既提出資料の修正について（その４）」	動燃事業団
		9-10	火災爆発事故原因究明のための試験・解析計画について（検討用資料）	科学技術庁
10	平成9年5月28日	10-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第９回会合議事概要（案）	科学技術庁
		10-2	「火災・爆発被害状況調査（その７）」	動燃事業団
		10-3	「今後の試料採取・分析等の方針、予定及び実績について（その４）」	動燃事業団
		10-4	「アスファルト等の発熱反応に関する試験検討」	動燃事業団
		10-4	「アスファルト等の発熱反応に関する試験(1)」－密封セル示差走査熱量計（SC-DSC）を用いた測定試験	動燃事業団
		10-4	「アスファルト固化体の理論限界発火温度の検討」	動燃事業団
		10-4	(2)」－加速速度熱量計（ARC）を用いた測定試験－	動燃事業団
		10-5	「火災・爆発の解析について」	動燃事業団
		10-6	「火災・爆発の放出放射能評価の進め方について」	動燃事業団
		10-7	「アスファルト固化技術開発における技術資料の取扱いについて」	動燃事業団
		10-8	「各委員からの質問事項に対する対応（その４）」	動燃事業団
11	平成9年6月11日	11-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第10回会合議事概要（案）	科学技術庁
		11-2	事故調査委員会委員による現地調査について	科学技術庁
		11-3	「火災・爆発被害状況調査（その８）」	動燃事業団
		11-4-1	「これまでに採取した試料の分析結果について」	動燃事業団
		11-4-2	「これまでに採取した試料の採取方法及び分析方法について」	動燃事業団
		11-5	「火災爆発の原因の検討について」	動燃事業団
		11-6	原因究明のための試験、解析について	動燃事業団
		11-7	「各委員からの質問事項に対する対応（その５）」	動燃事業団
		11-8	「既提出資料の修正について（その５）」	動燃事業団
		参考資料	アスファルト固化処理施設における火災・爆発事故に伴う環境モニタリング結果について	動燃事業団
12	平成9年6月18日	12-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第11回会合議事概要（案）	科学技術庁
		12-2	エクストルーダの構造及び運転について	動燃事業団

		12-3	ニ	動燃事業団
		12-4	「資料11-5火災爆発の原因の検討について」の補足	動燃事業団
		12-5-1	運転管理上の問題点について（委員からのメモ）	事故調査委員会
		12-5-2	火災発生時の消火操作について	動燃事業団
		12-6	「試料採取・分析等の方針、予定及び実績について」	動燃事業団
		12-7	アスファルト塩混合物の化学反応特性試験－中間報告１－（DSC分析、ARC分析及びGC/MS分析によるコールド試験の結果）	原研
		12-8	「各委員からの質問事項に対する対応（その６）」	動燃事業団
		12-9	「既提出資料の修正について（その６）」	動燃事業団
13	平成9年6月26日	13-1	「東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第12回会合議事概要（案）	科学技術庁
		13-2	火災原因究明のための原因候補の評価作業について	事故調査委員会
		13-3	アスファルト固化処理施設の火災爆発事故に係る操作及び管理上の問題点の検討	動燃事業団
		13-3-1	廃液の受け入れにおける安全確認について	動燃事業団
		13-3-2	エクストルーダの運転管理について	動燃事業団
		13-3-3	換気系の操作について	動燃事業団
		13-4	「放射性物質の建屋内拡散と作業者の体内摂取について	動燃事業団
		13-5	て」	動燃事業団
		13-6-1	「アスファルト等の発熱反応に関する試験(1)その２」－密封セル示差走査熱量計(SC-DSC）を用いた測定試験－	動燃事業団
		13-6-2	「アスファルト等の発熱反応に関する試験(1)その２」－加速速度熱量計(ARC）を用いた測定試験－	動燃事業団
		13-7	「各委員からの質問事項に対する対応（その７）」	動燃事業団
		13-8	「既提出資料の修正について（その７）」	動燃事業団
14	平成9年7月2日	14-1	「東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第13回会合議事概要（案）	科学技術庁
		14-2	アスファルト固化処理施設の運転管理体制及び教育訓練について	動燃事業団
		14-2-1	アスファルト固化処理施設の運転管理体制について	動燃事業団
		14-2-2	アスファルト固化処理施設のキャンペーン計画について	動燃事業団
		14-2-3	て	動燃事業団
		14-3	「一時管理区域の指定について」	動燃事業団
		14-4	「アスファルト充てん室内の固化体及びアスファルト固化処理施設内の固化処理対象廃液試料採取について」	動燃事業団
		14-5	アスファルト固化体の発熱特性（報告－１）	事故調査委員会

15	平成9年7月10日	15-1	「東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第14回会合議事概要（案）	科学技術庁
		15-2	火災の原因候補（初期発熱反応要因）の検討について	事故調査委員会
		15-3	「火災・爆発被害状況調査（その９）」	動燃事業団
		15-4	て」	動燃事業団
		15-5	「アスファルト固化処理施設火災・爆発事故時の状況把握と情報伝達について」	動燃事業団
		15-6	「アスファルト固化処理施設火災・爆発事故における再処理施設保安規定上の対応状況について」	動燃事業団
16	平成9年7月17日	16-1	「東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第15回会合議事概要（案）	科学技術庁
		16-2	爆発原因の検討について	事故調査委員会
		16-3	「採取試料の外観等について」	動燃事業団
		16-4	「火災・爆発の放出放射能評価について（その２）」	動燃事業団
		16-5	原因究明のための試験、解析計画について（資料11-6の改訂）	動燃事業団
		16-6	アスファルト固化処理施設に係る安全審査について	科学技術庁
17	平成9年7月24日	17-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第16回会合議事概要（案）	科学技術庁
		17-2	原研による廃液の分析結果について	原研
		17-3	て」	動燃事業団
		17-4	アスファルト塩混合物の化学反応特性試験（コールド試験）	原研
		17-5	「実廃液、実固化体等の発熱特性確認試験（中間報告）」	動燃事業団
		17-6	「火災・爆発の放出放射能評価について（その３）」	動燃事業団
		17-7	アスファルト固化処理施設に係る安全審査について（その２）	科学技術庁
18	平成9年7月31日	18-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第17回会合議事概要（案）	科学技術庁
		18-2	火災原因に関する検討（その１）	事故調査委員会
		18-3	熱爆発理論による自己発火温度について	事故調査委員会
		18-4	「アスファルト固化処理施設等からの採取試料の分析結果について」	動燃事業団
		18-5	「ブローイング反応確認試験の進捗状況について」	動燃事業団
		18-6	火災原因検討の進捗について	動燃事業団
		18-7	「模擬アスファルト固化体からの発生ガス分析の進捗状況について」	動燃事業団
		18-8	「各委員からの質問事項に対する対応について」	動燃事業団
		18-9	「既提出資料の修正について（その８）」	動燃事業団

		14-5改	Ⅰ）」	事故調査委員会
19	平成9年8月6日	19-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第18回会合議事概要（案）	科学技術庁
		19-2	火災原因の検討について（その２）	事故調査委員会
		19-3	「資料18-2の検討に対する対応」	動燃事業団
		19-4	化体の発熱反応に対する金属化合物の影響ー」	動燃事業団
		19-5	アスファルト固化処理施設の火災爆発事故に係る運転管理上の検討事項	事故調査委員会
20	平成9年8月20日	20-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第19回会合議事概要（案）	科学技術庁
		20-2	アスファルト固化処理施設の火災爆発事故に係る運転管理上の検討事項（その２）	事故調査委員会
		20-3-1	「アスファルト固化処理施設等からの試料採取計画及び状況について」	動燃事業団
		20-3-2	「アスファルト充てん室内ドラム状況確認の結果（速報）」	動燃事業団
		20-4	アスファルト固化処理施設の教育訓練について（その２）	動燃事業団
		20-5	「各委員からの質問に対する対応について（その９）」	動燃事業団
		20-6	アスファルト固化処理施設に係る安全審査について（その３）	科学技術庁
		20-3-3	アスファルト・塩混合物加熱試験	原研
21	平成9年9月3日	21-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第20回会合議事概要（案）	科学技術庁
		21-2	アスファルト固化処理施設の教育訓練について（その３）	動燃事業団
		21-3	請負業者社員の教育訓練について	三井東圧機工
		21-4	「アスファルト固化処理施設の安全設計と火災・爆発事故を踏まえた設備の改善点について」	動燃事業団
		21-5	「アスファルト固化処理施設等からの採取試料の分析結果について」	動燃事業団
		21-6	「各委員からの質問事項に対する対応について（その１０）」	動燃事業団
		20-1改	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第19回会合議事概要（案）	科学技術庁
		なし	動燃事業団東海事業所におけるウラン廃棄物管理問題への対応	科学技術庁
22	平成9年9月11日	22-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第21回会合議事概要（案）	科学技術庁
		22-2	アスファルト固化処理施設のアスファルト充てん室の調査結果	事故調査委員会
		22-3	火災原因に関する検討（その３）	事故調査委員会

		22-4	「実廃液、実固化体等の発熱特性確認試験（その２）」	動燃事業団
		22-5	「触媒効果の確認試験（２）－模擬アスファルト固化体の発熱反応に対する白金族元素の影響－」	動燃事業団
		22-6	火災原因のシナリオ	事故調査委員会
		22-7	「各委員からの質問事項に対する対応について（その１１）」	動燃事業団
		17-6	「火災・爆発の放出放射能評価について（その３）」	動燃事業団
23	平成9年9月18日	23-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第22回会合議事概要（案）	科学技術庁
		23-2	アスファルト固化処理施設のアスファルト充てん室の調査結果（その２）	事故調査委員会
		23-3	「爆発に係る解析評価の結果について」	動燃事業団
		23-4	「爆発に係る試験の結果について」	動燃事業団
		23-5	爆発原因に関する検討（その２）	事故調査委員会
		23-6	火災原因検討の進捗について（その２）	動燃事業団
		23-7	エクストルーダ内の温度上昇に関する考察	事故調査委員会
		23-8	アスファルトに対する硝酸ナトリウム及び亜硝酸ナトリウムの反応速度ならびにドラム缶でのこれらの発熱性	事故調査委員会
		23-9	アスファルト固化処理施設の火災爆発事故に係る運転管理上の検討事項（その３）	事故調査委員会
		23-10	「各員からの質問事項に対する対応について（その１２）」	動燃事業団
24	平成9年9月25日	24-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第23回会合議事概要（案）	科学技術庁
		24-2	火災原因に関する検討（その３改訂）	事故調査委員会
		24-3	爆発前の火災のシナリオ（改訂）	事故調査委員会
		24-4	アスファルト・塩混合物加熱試験時における放出ガスの分析	事故調査委員会
		24-5	爆発原因に関する検討（その３）	事故調査委員会
		24-6	爆発のシナリオ	事故調査委員会
		24-7	火災・爆発の放出放射能評価について（その４）	動燃事業団
		24-8	て	事故調査委員会
		24-9	並びに公衆及び作業従事者の被ばく量について	事故調査委員会
		24-10	「各員からの質問事項に対する対応について（その１３）」	動燃事業団
25	平成9年10月2日	25-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第24回会合議事概要（案）	科学技術庁
		25-2	Ｃｓ／α放射能比の移行距離による変化について（その２）	事故調査委員会
		25-3	火災・爆発事故における放射性物質の放出量並びに公衆及び作業員の被ばく量について（その２）	事故調査委員会

		25-4	「アスファルト固化処理施設の槽類換気設備について」	動燃事業団
		25-5	「各委員からの質問事項に対する対応について（その14）」	科学技術庁
26	平成9年10月23日	26-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第25回会合議事概要（案）	科学技術庁
		26-2	「アスファルト固化処理施設の槽類換気設備について（その２）」	動燃事業団
		26-3	「各委員からの質問事項に対する対応について（その15）」	動燃事業団
		26-4	火災・爆発事故における放射性物質の放出量並びに公衆及び作業員の被ばく量について（その３）	事故調査委員会
		26-5	アスファルト固化処理施設火災爆発事故と安全規制について	科学技術庁
		26-6	今後の研究課題について	事故調査委員会
27	平成9年11月6日	27-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第26回会合議事概要（案）	科学技術庁
		26-2改	「アスファルト固化処理施設の槽類換気設備について（その２－改訂－）」	動燃事業団
		27-2	「各委員からの質問事項に対する対応について（その15）」	動燃事業団
		27-3	爆発要因の検討（その４）	事故調査委員会
		27-4	爆発シナリオ（その２）	事故調査委員会
		27-5	アスファルト固化処理施設の火災爆発事故に係る運転管理上の検討事項（その４）	事故調査委員会
		20-6改	アスファルト固化処理施設に係る安全審査について（その３）－改訂－	科学技術庁
28	平成9年11月20日	28-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第27回会合議事概要（案）	科学技術庁
		28-2	アスファルト固化処理施設の現場復旧状況について	動燃事業団
		28-3	「各委員からの質問事項に対する対応について（その17）」	動燃事業団
		28-4	「鼻スミヤの核種分析結果に基づく作業員の内部被ばく評価結果について」	事故調査委員会
28	平成9年11月20日	28-5	R152内の137Cs／241Am放射能比の変化を考慮に入れた作業者の内部被ばく評価結果について	事故調査委員会
		28-6	放射性物質の放出量並びに公衆及び作業員作業者の被ばく量	事故調査委員会
		28-7	火災爆発原因についての検討（検討用資料）	事故調査委員会
		28-8	運転管理上の問題点（検討用資料）	事故調査委員会
		28-9	安全審査等における問題点	事故調査委員会
		28-10	今回の事故から得られた教訓	事故調査委員会
29	平成9年11月27日	29-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第28回会合議事概要（案）	科学技術庁

		29-2	「各委員からの質問事項に対する対応について（その18）」	動燃事業団
		29-3	「既提出資料の修正について（その18）」	動燃事業団
		29-4	アスファルト固化処理施設に係る安全審査について（その４）	科学技術庁
		29-5	報告書の構成等について（検討用資料）	科学技術庁
		29-6	2.事故の概要（検討用資料）	科学技術庁
		29-7	3.放射性物質の放出量並びに公衆及び作業員の被ばく量（検討用資料）	科学技術庁
		29-8	料）	科学技術庁
		29-9	5.運転管理上の問題点（検討用資料）	科学技術庁
		29-9	6.安全規制における問題点	事故調査委員会
30	平成9年12月15日	30-1	東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会第29回会合議事概要（案）	科学技術庁
		30-2	動力炉・核燃料開発事業団東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故について（案）	科学技術庁

フォローアップ委員会提出資料リスト

1	平成10年2月26日	1-3	充てんドラムの搬出及び充てん室・エクストルーダ室の片づけ・除染作業の概要
		1-4	アスファルト固化処理施設火災爆発事故に係わる課題について
		1-5	事故対応における改善の進捗状況について
2	平成10年6月6日	2-3	アスファルト固化処理施設の火災爆発事故における運転管理上の問題点への対応について
		2-5-1	アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中長期課題の今後の進め方について
		2-5-2	アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中長期的な課題の実施計画について
		2-5-3	充てん室内ドラム調査進捗状況について
3	平成10年9月22日	3-3	アスファルト固化処理施設火災爆発事故の中長期課題の進捗状況の概要
		3-3-1	充てん室内ドラム調査進捗状況について（その２）
		3-3-2	アスファルト放冷試験について
		3-3-3	化学反応の検討評価について
4	平成10年12月25日	4-3	アスファルト固化処理施設の火災爆発事故における運転管理上の問題点への対応状況につ
		4-4	中長期課題の進捗状況と今後の計画について
		4-4-1	充てん室内ドラム調査進捗状況について（その3）
		4-4-2	化学的発熱に関する検討状況について
		4-4-3	エクストルーダ内における物理的発熱現象
5	平成11年3月30日	5-2	中長期課題の検討結果について
		5-3	中長期課題の検討結果の内容
		5-4	アスファルト固化処理施設の火災爆発事故における運転管理上の問題点への対応状況につ

添付資料-4

動力炉・核燃料開発事業団東海再処理施設

アスファルト固化処理施設における

火災爆発事故について

平成９年１２月１５日

東海再処理施設

アスファルト固化処理施設における

火災爆発事故調査委員会

1．はじめに
2．事故の概要
2－1　施設の概要
2－1－1　アスファルト固化処理施設
2－1－2　９７－Ｍ４６－１キャンペーンにおける運転
2－2　火災爆発の発生
2－2－1　火災発生時の状況
2－2－2　爆発前後の状況
2－2－3　施設の破損等の被害
2－3　放射線管理
2－3－1　放射線被ばく
2－3－2　管理区域の設定
2－3－3　環境モニタリング
2－4　現場の復旧
3．放射性物質の環境への放出量並びに公衆及び作業員の被ばく
3－1　放射性物質の環境への放出量
3－1－1　モニタリング等からの推定
3－1－2　ドラム缶の燃焼状況を考慮した間接定
3－1－3　各推定放出量の評価結果
3－2　公衆の放射線被ばく
3－3　作業員の放射線被ばく
3－3－1　作業員の内部被ばく
3－3－2　作業員の外部被ばく
3－3－3　作業員の被ばく
4．火災爆発原因についての検討
4－1　火災原因についての検討
4－1－1　火災発生に係る事実関係
4－1－2　想定される火災発生のシナリオ
4－2　爆発原因についての検討
4－2－1　爆発発生に係る事実関係
4－2－2　想定される爆発発生のシナリオ
4－3　今後の課題
5．運転管理上の問題点
5－1　事故時の対応等に関する問題
5－1－1　消火操作
5－1－2　換気操作
5－1－3　事故時の状況把握
5－1－4　放射線管理
5－1－5　事故時の情報伝達
5－2　運転に関する問題

５－２－１　運転管理体制
５－２－２　運転計画
５－２－３　廃液の受入れ
５－２－４　エクストルーダの運転管理
５－３　教育訓練に関する問題
５－３－１　教育訓練における過去の知見の反映
５－３－２　異常時対応訓練における事故想定事象の選定
５－４　施設に関する問題
５－４－１　施設の安全に対する考え方
５－４－２　運転監視系統等
５－４－３　火災検知・消火設備
５－４－４　放射線管理設備
５－５　今後採るべき対策等
５－５－１　事故時の対応に関して
５－５－２　運転管理に関して
５－５－３　教育訓練に関して
５－５－４　施設に関して
６．安全規制に関する検討
６－１　安全審査に係る経緯
６－１－１　アスファルト固化技術開発施設
６－１－２　廃溶媒処理技術開発施設（ＳＴ施設）
６－２　火災爆発の防止に係る安全審査の内容
６－３　事故評価
６－４　安全審査等に対する検討
６－４－１　消火対策等
６－４－２　セル換気機能
７．おわりに
図表、付録
表３－１　評価に用いたアスファルト固化体の燃焼割合
表３－２　放射能移行割合の設定値とその設定手順
表３－３　燃焼したドラム缶全てが激しく燃焼をしたと仮定した場合の開口部から放出された核種の放射能比
表３－４　開口部から放出された核種別放射能量の推定結果
表３－５　公衆の放出経路別実効線量当量推定結果
表３－６　全身カウンタによる個人の内部被ばくによる実効線量当量
表３－７　鼻スミヤ試料の核種分析結果による実効線量当量推定結果（1/2）
表３－７　鼻スミヤ試料の核種分析結果による実効線量当量推定結果（2/2）
添付－１　第一付属排気筒からの排出放射能量について
添付－２　肺モニタの検出下限値に基づくα線放出核種の内部被ばくによる実効線量当量の推定
図２－１　再処理施設建家配置図
図２－２　アスファルト固化処理施設断面図

図２－３　アスファルト固化処理施設工程概略図
図２－４　エクストルーダ断面概要図
図４－１　アスファルト充てん室内ドラムの推定・確認状況（平成９年９月１７日現在）
図４－２　想定される火災のシナリオ
付録A　東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会　構成員名簿
付録B　東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会　活動経過
付録C　東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会　配布資料
付録D　火災爆発に関する要因の検討

1. はじめに

平成９年３月１１日に、動力炉・核燃料開発事業団（以下、「動燃」という。）東海事業所再処理施設アスファルト固化処理施設で火災爆発事故が発生した。翌３月１２日、「東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会」（以下、「事故調査委員会」という。）が設置された。

事故調査委員会は、動燃に対し、施設の被害及び被ばくに関するデータ、事故当時のみならず過去にさかのぼった同施設・装置の運転記録、廃液や固化体の化学・物性データ、作業員の教育訓練を含む運転管理体制記録等数多くの関連資料の提出を求めてそれらを分析するとともに、火災が発生したアスファルト充てん室（Ｒ１５２）への入域を含む数度にわたる現地調査や作業員からの聞き取り調査を行った。また、分析・調査から得られた知見をもとに疑わしい物質・現象に関して可能な限り実験を行い、火災爆発原因との関連性を探った。

さらに、施設の被害状況、放射性物質の放出量と被ばく状況、運転管理上の問題点及び本事故と安全規制との関連性について検討した。

このような検討の結果、火災爆発については、事故の基本的原因及び事故進展に係るシナリオの基本構成をほぼ把握できた。なお、中長期的観点から、実証的な試験を含むさまざまな調査、分析等が必要である。

本報告書の構成は以下のとおりである。

第１章「はじめに」においては、事故調査委員会の活動内容、報告書の構成を述べる。

第２章「事故の概要」においては、アスファルト固化処理施設の概要、火災爆発事故の発生経緯及び事故後の対応について述べる。

第３章「放射性物質の環境への放出量並びに公衆及び作業員の被ばく」においては、施設内及び環境への放射性物質の放出状況の評価並びに公衆及び作業員の被ばくの評価について述べる。

第４章「火災爆発原因についての検討」においては、施設の運転記録、廃液、固化体等の分析、現地調査から得られた知見等に基づき、火災及び爆発に至った原因を、事象の進展に合わせたシナリオの形で示す。また、詳細な反応メカニズムの究明に必要な調査、分析等について、その取り組むべき課題を述べる。

第５章「運転管理上の問題点」においては、施設の運転管理と事故時の対応について問題点を明らかにし、今後採るべき対策等について述べる。

第６章「安全規制に関する検討」においては、アスファルト固化処理施設の安全審査関係資料をもとに、これと今回の事故との関連について述べる。

第７章「おわりに」においては、今回の事故により得られた教訓及び提言を述べる。

2. 事故の概要

本章では、今回の火災爆発事故の全体像を把握するために、施設の概要、火災爆発の発生経緯及び放射線管理を主とした事故後の対応について述べる。

２－１　施設の概要

２－１－１　アスファルト固化処理施設

アスファルト固化処理施設は、再処理施設から発生する放射性廃棄物のうち比較的放射能レベルが低い放射性廃棄物をアスファルトと混合し、固化処理を行う施設である。

再処理施設における主要な建物の配置を図２－１に示す。また、アスファルト固化処理施設建家内を図２－２に示す。アスファルト固化処理工程の概略は、以下のとおりである。

アスファルト固化処理施設では、さまざまな放射性廃棄物を受け入れるが、主なものとしては、廃棄物処理場（ＡＡＦ）の低放射性廃液第一蒸発缶からの濃縮廃液（ＭＡ廃液）、第三低放射性廃液蒸発処理施設（Ｚ施設）の低放射性廃液第三蒸発缶からの濃縮廃液（ＬＡ廃液）、廃溶媒処理技術開発施設（ＳＴ施設）からのリン酸廃液（ＳＴ廃液）及びスラッジ貯蔵場の化学沈殿スラッジがあげられる（図２－３）。ただし、事故を起こしたキャンペーンにおいて使用していた廃液受入貯槽（Ｖ２１）の受入廃液は、ＭＡ廃液とＳＴ廃液のみである。当該キャンペーンにおいて処理した廃液はＶ２１に貯蔵されていたＭＡ廃液であり、キャンペーン途中でＳＴ廃液をＶ２１に少量受け入れた。ここで、キャンペーンとは、まとまった量の廃液を処理するための運転の単位のことをいう。

廃液受入貯槽に受け入れた廃液は反応槽に移送され、水素イオン濃度調整並びにセシウム（Ｃｓ）、ストロンチウム（Ｓｒ）及びヨウ素（Ｉ）の不溶化処理が行われる。処理された廃液は、供給槽を経由してエクストルーダへ供給される。反応槽及び供給槽はそれぞれ２系統存在し、廃液の処理は貯槽の容量（約４ｍ３）毎に交互に行われる。

供給された廃液は、エクストルーダ内において、脱水及びアスファルトとの混合の二つの処理を経る。エクストルーダは、ゾーンと呼ばれる８区画に分割されている。エクストルーダの構造を図２－４に示す。

ゾーン１では原料アスファルトが、ゾーン２では廃液が供給され、スクリューシャフトの回転により下流方向に押し出される。ゾーン３から６においては、廃液とアスファルトを昇温させることにより、廃液中の水分を蒸発させる。このため、ゾーン４から６にはドーム（凝縮器）が設置してあり、発生した水蒸気を凝縮し、除去できる構造となっている。ゾーン７のスクリューシャフトには、ニーディングブロックが取り付けてあり、廃液中の水分を蒸発させることにより生成した塩とアスファルトとの混合が行われる。ゾーン８は排出管であり、ゾーン７までに脱水混合を終えたアスファルト塩混合物は、ここからターンテーブル上のドラム缶に充てんされる。

上述した一連の廃液処理を行う工程上のひとかたまりの廃液の取扱い単位を供給バッチという。各供給バッチには、キャンペーン開始時から、バッチ１（以下、「Ｂ１」という。）

を始めとする通し番号が付けられる。また、一つのバッチ処理により、通常１０～１２本程度のアスファルト固化体が作られる。

充てんされたドラム缶は、Ｒ１５２において自然冷却の後、キャッピングされ、アスファルト固化体貯蔵施設の貯蔵セル内に貯蔵される。

２－１－２　９７－Ｍ４６－１キャンペーンにおける運転

アスファルト固化処理施設の運転は、キャンペーン運転計画書に定められた運転条件等に基づき行われる。また、このキャンペーン運転計画書は、年度毎の業務実施計画書に基づき作成される（事故調査委員会資料（以下、「委員会資料」という。）１４－２－２）。

９７－Ｍ４６－１キャンペーン運転計画書は、平成８年度業務実施計画書に基づき作成された。本キャンペーンでの運転条件に係る特徴としては、ＭＡ廃液の底抜きとエクストルーダへの単位時間当たりの廃液供給量の低下が挙げられる（委員会資料７－１２、８－４）。

ＭＡ廃液の底抜きは、貯槽の下方のノズルから廃液を抜き出して移送することであり、貯槽下部に蓄積する沈殿物を、廃液とともに移送することを目的としていた。この底抜き操作は、ＭＡ廃液では酸性廃液（酸性の廃液である分析所からの分析廃液、溶媒回収工程の溶媒洗浄廃液を中和処理した廃液等を蒸発処理した濃縮廃液）に対しては、平成６年度から開始され、アルカリ廃液（アルカリ性の廃液であるオフガス洗浄廃液等を蒸発処理した濃縮廃液）に対しては、平成８年度から開始されていた。

また、廃液供給量の低下はアスファルト固化体の減容率の向上（発生するアスファルト固化体の本数を減らすこと）を目的としたものである。具体的には、当初エクストルーダへの単位時間当たりの廃液供給量を２００リットル／時（通常の単位時間当たりの廃液供給量）で運転を開始したが、途中、Ｂ１１からＢ２５までは１８０リットル／時、Ｂ２６（３月６日より着手）以降は１６０リットル／時に低下して運転を行っていた。

なお、単位時間当たりの廃液供給量の低下に伴い、原料アスファルトの単位時間当たりの供給量も併せて低下させ、固化体に含まれるアスファルトと塩の混合比の調整を行っていた。また、単位時間当たりの廃液供給量を１６０リットル／時まで計画的に低下させたのはＭＡ廃液では初めてであった。

２－２　火災爆発の発生

２－２－１　火災発生時の状況

３月１１日１０時０６分頃、アスファルト固化処理施設において火災の発生が確認された。当時、同施設においては、放射性廃液をエクストルーダで脱水混合処理し、その混合物をドラム缶に充てんする作業が行われていた。現場の作業員によれば、Ｒ１５２で自然冷却されていたドラム缶のうち、最初に１本から２ｍ程度の火柱が上がり、その直後に、周辺の複数のドラム缶から火柱が上がったとされている。

現場の作業員は、同日１０時１２分頃に別の建家にいる動燃職員から水噴霧による消火の指示を受けて、約１分間程度水噴霧を行った後、同日１０時１３分頃に消火した旨の連絡を行った。

この火災により、アスファルト固化体に閉じ込められていた放射性物質が当該建家及び隣接する建家内に拡散し、警報の発報、放射線レベルの上昇等が確認された。また、一部の排気筒モニタ及び室内ダストモニタにおいて、指示値の上昇や警報の発報が確認され、作業員の退避が行われた。なお、この時点においては、建家周辺の環境モニタリングの結果に通常と異なる変動は見られなかった。

２－２－２　爆発前後の状況

火災の発生から十数分後までに、アスファルト固化処理施設セル換気系では、排風機手前のフィルタが目詰まりを起こし、出口ダンパ（逆止弁）が閉となった。その後、換気機能を復旧させるため、セル換気系排風機の起動を手動にて試みたが、排風機は起動したものの出口ダンパが閉の状態のままで排気が行われず、排風機を停止させた。この結果、建家換気系及びセル換気系は全停止した。その後、同日１６時５７分頃に、再度、セル換気系排風機及び建家換気系排風機の起動を試みたが、排風機は起動したものの出口ダンパが閉の状態のままで排気が行われないため、排風機を停止させた。

火災の発生から約１０時間が経過した同日２０時０４分頃、アスファルト固化処理施設において爆発音が確認された。この爆発により、建家の窓、扉等が破損し、数時間にわたり煙が建家外に出ていることが確認され、建家の窓等の開口部から環境中に放射性物質が放出された。

敷地内のモニタリングポストの１地点において、同日２０時４０分頃から空間放射線量率がわずかながら一時的に上昇したが、同日２１時以降は通常の変動の範囲内に戻った。

２－２－３　施設の破損等の被害

アスファルト固化処理施設のＲ１５２を中心に、１階及び２階の破損状況が著しい。主な被害については、以下のとおりである。エクストルーダ室（Ｒ１５１）とＲ１５２との間にあるシールディングウォール、保守作業室（Ａ２３４）とＲ１５２との間にあるリムーバブルルーフ及びＲ１５２とカスク保管室（Ａ１２１）との間にある扉が吹き飛ばされた。また、建家内の随所において、設備類、窓、扉等が破損した。建家内で損傷が最も著しいのは、火災の発生したＲ１５２の上部にある２階の保守エアロック室（Ａ２３５）であり、爆風によりコンクリート壁が湾曲し、下部から鉄筋が露出した。また、換気系ダクトに連結部の外れや変形が随所に見られるとともに、フィルタの一部が大きな損傷を受けた。

２－３　放射線管理

２－３－１　放射線被ばく

アスファルト固化処理施設からの退避の指示は、火災発生から約３０分後、セル換気系の再起動を試みた後に出され、現場の作業員全員が退避した。多数の作業員がＺ施設に退避したが、同施設内には室内ダストモニタがなく、放射性物質の拡散を直ちに確認できない状況であった。

また、火災発生後、半面マスク（放射性物質の体内への取り込みを防止するための呼吸保護具の一種）の着用の指示が不徹底であったため、作業員の中には半面マスクを着用していない者があった。

作業員の内部被ばくの有無の確認は、火災及び爆発発生時に当該建家及びその付近にいた作業員１２９名を対象に行われた。精密型全身カウンタによる体内の放射性物質の詳細な測定を実施した結果、対象者中３７名の体内から微量の放射性物質 134Ｃｓ及び 137Ｃｓが検出された（３－３項参照）。なお、体内摂取した３７名のうち、３４名は火災発生時及びその直後にアスファルト固化処理施設あるいはＺ施設において作業していた作業員、２名は爆発時にＺ施設においてアスファルト固化処理施設のフィルタ交換の準備作業を行っていた作業員、残り１名は爆発直後にアスファルト固化処理施設に接近した作業員であった。

２－３－２　管理区域の設定

（１）建家内における立入規制区域及び立入制限区域の設定

アスファルト固化処理施設内の立入規制区域及び立入制限区域の設定は、本施設から全員退避した後に、施設内の室内ダストモニタの指示値に基づいて行われた。

Ｚ施設及び第二低放射性廃液蒸発処理施設（Ｅ施設）については、表面汚染計を用いたエアスニファろ紙の直接測定により、アスファルト固化処理施設からの煙の流入による汚染の可能性が認められたこと及びＺ施設の局所排気モニタの指示値上昇があったこと並びに両施設には室内ダストモニタがないことから、予防的措置として、アスファルト固化処理施設の火災発生の約１時間２０分後に、施設内全域を立入制限区域に設定した。この時、Ｚ施設とＥ施設間の扉及びＥ施設とＡＡＦ間の扉に、目張り処置を施した。

ＡＡＦについては、Ｚ施設及びＥ施設の立入制限区域の設定時にエアスニファろ紙の直接測定で有意値が認められなかったことから、立入制限区域等の設定は行わなかった。なお、ＡＡＦにおいては、火災時及び爆発時を通し、一部の室内ダストモニタの指示値に上昇が認められたものの、保安規定に基づく区域設定を行うレベルには至らなかった。

（２）建家外における一時管理区域の指定とその解除

３月１２日１時頃から、動燃東海事業所放射線安全課（以下、部課を示すときには、「動

燃東海事業所」を省略する。）がアスファルト固化処理施設周辺の汚染状況の確認を開始し、管理区域に係る告示に定める値を超える汚染が検出された。この結果は、同日２時３０分頃に環境施設部現場指揮所に伝えられ、環境施設部現場指揮所は一時管理区域の指定が必要と判断し、アスファルト固化処理施設周辺を一時管理区域に指定した。その後、一時管理区域の指定の連絡は、環境施設部現場指揮所から環境施設部各課へは直ちに行われたが、再処理工場への連絡は同日３時０８分頃になった。また、環境施設部各課は、区画化のためのトラロープ、標識等の資材準備を始めたが、準備等に時間を要し同日５時過ぎに一時管理区域が設定された。

なお、一時管理区域は、除染が完了したことが確認された区域について３月１６日及び３月２２日にそれぞれ一部縮小され、３月２８日に全て解除された。

２－３－３　環境モニタリング

アスファルト固化処理施設の火災発生後、敷地内外に設置されているモニタリングポスト等における空間放射線量率の連続監視を強化した。その後、Ｚ施設の局所排気モニタの警報の発報を受け、モニタリング車を出動させ、敷地内の数地点における空間放射線量率の測定並びに大気浮遊じん及びヨウ素のサンプリングを開始した。また、表土のサンプリングを実施した。

爆発発生の直後から、建家の放射性物質の閉じ込め機能が失われたことを受け、放射性物質の環境への放出の状況を把握するため、敷地内外のモニタリングポスト等における連続監視を強化するとともに、敷地外を含む数地点において空間放射線量率の測定並びに大気浮遊じん及びヨウ素のサンプリングが開始された。

２－４　現場の復旧

爆発により閉じ込め機能が喪失したアスファルト固化処理施設の建家について、放射性物質の拡散の防止等を図るため、破損した窓、扉、シャッタ等の応急的な閉口作業を実施し、３月１９日に完了している。また、閉口された窓、シャッタについては、８月２６日までに修理・交換が終了し、施設内及び外壁にある扉については、Ｒ１５２を含むエリア内にある扉とＺ施設への連絡通路用の扉を除いて、９月２９日までに修理・交換が終了している。

さらに、換気設備については、４月４日から仮設換気設備１系統の試運転を開始し、建家の放射性物質の閉じ込め機能を確保するとともに、５月１５日には仮設換気設備２系統での運転を開始し、９月２９日に既設換気設備の運転に切り替えている。その後、継続して排風量、排気フィルタの差圧、負圧値等が監視され、閉じ込め機能に異常がないことが確認されている。

以上の作業と粗除染により、グリーン／アンバー区域については、セル等の一部の区域を除いて、１０月７日に立入制限区域から立入規制区域に設定変更されている。なお、建

家内各所における線量当量率、空気中放射性物質濃度、第一付属排気筒における放射性物質濃度等が継続して監視され、異常のないことが確認されている。

また、Ｒ１５２内に存在するアスファルト固化体の安全性を確認するため、室内のガス測定、テレビカメラによる監視、固化体の温度測定等が継続されている。

3. 放射性物質の環境への放出量並びに公衆及び作業員の被ばく

本章においては、これまでに得られた情報に基づき、放射性物質の環境への放出量並びに公衆及び作業員の実効線量当量を評価する。

まず、「３－１　放射性物質の環境への放出量」においては、モニタリングデータ等からの放出量の推定、アスファルト固化体の燃焼割合から求めた施設の開口部からの放出量の推定を行い、公衆の被ばく評価に用いる放出量を求める。

次に、「３－２　公衆の放射線被ばく」において、上記放出量をもとに吸入摂取に伴う公衆の内部被ばくによる実効線量当量を求める。

さらに、「３－３　作業員の放射線被ばく」において、作業員の内部被ばく及び外部被ばくによる実効線量当量の評価を行う。

３－１　放射性物質の環境への放出量

３－１－１　モニタリング等からの推定

アスファルト固化処理施設の火災爆発事故に伴う放射性物質の環境への放出に係る情報としては、第一付属排気筒、Ｅ施設の局所排気口及びＺ施設の局所排気口の排気ダストモニタより回収したろ紙の放射能測定データがある。また、事故後にアスファルト固化処理施設の周辺及び大洗地区で採取した大気浮遊じんの放射能測定データがある。これらのデータを用いて環境に放出された放射性物質の放射能量を推定した（委員会資料７－９、１７－６、１８－９、２４－１０、２６－３、２８－３、２９－３）。

（１）排気のモニタリングデータによる推定

排気筒等からの放射性物質の放出量は以下の手順で推定した。

① 排気ダストモニタより回収したろ紙の核種分析及びろ紙の捕集効率からサンプリング空気中の放射能量を核種別に求める。

② 対象期間中における積算のサンプリング空気量を確定する。

③ ①で得たサンプリング空気中の各核種の放射能量を②のサンプリング空気量で除し、対象期間の平均放射性物質濃度を求める。

④ 対象期間における排気筒等からの積算排出空気量を求め、これを③で求めた平均放射性物質濃度に乗じて各核種の対象期間中の排気筒等からの放出量を算出する。

算出に当たっては、以下の点について考慮した。

① 爆発後に、第一付属排気筒βダストモニタのろ紙に目詰まりが生じたため、サンプリング流量率が低下した。ろ紙上に捕集された放射性物質の量は、定格流量率でサンプリングが継続された場合に比べ小さくなっていると考えられることから、爆発以降のサンプリング流量率の低下割合を用いてろ紙の放射能量を補正し、ろ紙の目詰まりが見かけ上無かったようにして、評価対象期間中の平均放射性物質濃度を求めた。なお、Ｅ施設

とZ施設のサンプリング流量率の低下は無かったため、補正は行わなかった。

② 火災の影響により、第一付属排気筒の排出空気量を計測する排風量計が故障した。アスファルト固化処理施設から排出されるヨウ素１２９（^{129}Ｉ）は、他施設（ＳＴ施設、第二高放射性固体廃棄物貯蔵施設）からの排気と混合され希釈された後、第一付属排気筒より環境に放出される。これに注目し、アスファルト固化処理施設中間排気モニタ指示値と第一付属排気筒モニタ指示値から求めた ^{129}Ｉ濃度比及び火災後においても通常どおりであったと考えられる他施設からの排出空気量をもとに火災後のアスファルト固化処理施設からの積算排出空気量を推定した。火災発生以降の第一付属排気筒からの積算排出空気量は、上記の積算排出空気量に、他施設からの排出空気量を加えて求めた。

③ 第一付属排気筒の評価対象期間は、当該排気モニタろ紙によるサンプリング期間である３月５日９時から３月１２日２時５０分までとした。Ｅ施設及びＺ施設の局所排気の評価対象期間はそれぞれ、３月５日９時３０分から３月１３日１５時３０分まで、３月５日９時から３月１３日１４時３０分までとした。

その結果、第一付属排気筒、Ｅ施設局所排気口及びＺ施設局所排気口からの放射性物質の放出量は ^{137}Ｃｓで、それぞれ約１５０ＭＢｑ、約０.０６５ＭＢｑ及び約８.３ＭＢｑ と推定した。

なお、上記の推定値は、爆発後のサンプリング空気中の放射性物質濃度の補正を全サンプリング期間に適用することにより放出した放射性物質量を過大に見積る一方、火災発生後の第一付属排気筒からの積算排出空気量の推定に伴う不正確さを含んでいる。この推定値が公衆の被ばく評価の観点から安全側の推定となっていることを確認するため、第一付属排気筒排気ダストモニタの指示値により放射性物質が環境に放出されたと考えられる３月１１日２０時から３月１２日２時５０分までの間について、アスファルト固化処理施設からの排出空気量を上記より過大に見積もり、この間の第一付属排気筒から環境に放出された放射能量を試算した。この結果は約１１８ＭＢｑとなり、前述の推定値約１５０ＭＢｑは安全側であることを確認した（添付-１）。

（２）アスファルト固化処理施設周辺及び大洗地区における大気浮遊じんの放射能測定結果に基づく ^{137}Ｃｓ放出量の推定

アスファルト固化処理施設横、同施設から南南東３５０ｍ地点及び同施設から南４００ｍ地点（プルトニウム燃料工場守衛所前）で採取した大気浮遊じんの放射能測定結果に基づく放出量の推定においては、爆発後２時間の大気が極めて安定であったことに注目し、同施設から放出された ^{137}Ｃｓの全量が平行に測定地点を通過したと仮定する「かまぼこ型」モデルにより時間積分濃度を算出し、大気浮遊じんの測定結果より算出した ^{137}Ｃｓの時間積分濃度から放出量を逆算した。

また、アスファルト固化処理施設より、比較的遠方である動燃大洗工学センター及び日本原子力研究所（以下、「原研」という。）大洗研究所で採取された大気浮遊じんの放射能測定結果に基づく推定においては、爆発後約２時間の風向、風速、大気安定度並びに第一付属排気筒の放出パターンの解析及び建家からの黒煙の排出状況から推定された放出量変化をもとに、ガウス型パフ拡散モデルを用いて大洗地区における時間積分濃度を算出し、実測値と比較して ^{137}Ｃｓの放出量を逆算した。

以上の方法で推定した ^{137}Ｃｓの放出量は、それぞれ２～４ＧＢｑ、１～２ＧＢｑであった。

一方、水戸、つくば、大洗等の遠方における ^{137}Ｃｓの時間積分濃度を国際比較等で検証された粒子拡散モデルＳＰＥＥＤＩを用いて算出し、これら地点の実測値と比較することで ^{137}Ｃｓの放出量を推定した。その結果、^{137}Ｃｓの放出量は１～２ＧＢｑであった。ただし、このモデル及びパラメータには１／１０～１０倍（ファクター１０）程度の不確実性が含まれる（委員会資料７―１３）。

３－１－２　ドラム缶の燃焼状況を考慮した間接推定

事故調査委員会はＲ１５２に立ち入り、ドラム缶の燃焼状況を目視及び棒状治具の挿入により調査した（委員会資料２３－２）。これらの情報から、施設開口部からの放出量を以下の手順で推定した（委員会資料１６－４、１７－６、１８－８、２１－６、２３－１０、２４－７、２８－３）。

（１）アスファルト固化体の燃焼割合の推定

放出量の推定に用いたアスファルト固化体の燃焼割合を表３－１に示す。燃焼割合は、棒状治具の刺し込み深さから求めたおおよその値である。

（２）アスファルト固化体中放射能の気相への移行割合の推定

固化体の燃焼状態の違いにより、放射性物質の固化体から気相への移行割合に違いが生ずることが考えられるが、上記の燃焼割合の燃焼状態が不確かなため、放出量を過大に推定するという観点から、表３－１に示されるドラム缶は右欄に示される燃焼割合ですべて激しく燃焼したと想定した。固化体中の放射性物質がこの燃焼状態によってＲ１５２の空気（気相）に移行する割合を、文献、煤のデータ等から表３－２に示す方法で推定した。

（３）開口部からの放出割合について

気相中の放射性物質が施設開口部から放出される割合を、文献、煤のデータ等から表３－２に示す方法で推定した。

（４）施設開口部からの放出量の推定

上述したアスファルト固化体の燃焼量、気相への移行割合及び開口部からの放出割合を用いて推定した施設開口部からの放出量は、^{137}Ｃｓで約８ＧＢｑであった。なお、^{137}Ｃｓに対するその他の核種の放射能比を表３－３に示す。

３－１－３　各推定放出量の評価結果

^{137}Ｃｓ の放出量は、３－１－１項及び３－１―２項の個々の推定結果を踏まえ総合的に評価し、信頼性が高い環境モニタリングデータに基づく値である１～４ＧＢｑとした。その他の核種については、^{137}Ｃｓ の放出量に３－１－２項で推定した放出量の ^{137}Ｃｓに対する放射能比（表３－３）を乗ずることにより放出量を決定した。その結果を表３－４に示す（委員会資料２８－３）。

３－２　公衆の放射線被ばく

火災爆発事故に伴い、環境に放射性物質が放出されたことから、上記の放出量をもとに以下の計算方法により吸入摂取による公衆の実効線量当量を求めた（委員会資料２８－３）。

① 爆発が発生するまでは風が海の方向に吹いていたが、爆発後は風向が陸側に変化した。放射性物質は火災発生後から放出されていたと考えられるが、爆発後１時間又は２時間に放出されたとして計算する。

② 爆発後１時間又は２時間の気象観測データによりガウス型パフ拡散モデルを用いて敷地外の最大時間積分濃度を求め、国際放射線防護委員会（ＩＣＲＰ）が勧告＊する線量換算係数を用いてこの地点における内部被ばくによる実効線量当量を計算する。

＊ＩＣＲＰ出版物３０

③ 第一付属排気筒からの放出については、吹き上げ効果は無視する。また、Ｅ施設、Ｚ施設及び爆発により破損した窓、シャッタ等の開口部からの放出については、建家の拡散効果を気象指針を参考として推定する。

内部被ばくによる実効線量当量の推定結果を表３－５に示す。公衆の内部被ばくによる実効線量当量は約０.０２ｍＳｖ以下である。なお、ドラム缶が激しく燃焼したと厳しく想定して 137Ｃｓの放出量を過大に８ＧＢｑとした場合でも、公衆の内部被ばくによる実効線量当量はこの値の２倍程度である。

今回の事故に伴う、事故による影響が考えられる吸入摂取による公衆の実効線量当量は、法令に定める年間の実効線量当量限度（１ｍＳｖ）を下回っている。

３－３　作業員の放射線被ばく

作業員の被ばくについては、個人モニタリングデータを主として、さらに本事故に関連

する施設内外の空間線量率、空気中放射性物質濃度等のデータをもとにし、内部被ばく及び外部被ばくによる実効線量当量を以下のように推定した。

3－3－1　作業員の内部被ばく

（1）全身カウンタ測定値に基づく ^{137}Ｃｓ、^{134}Ｃｓによる実効線量当量の推定

アスファルト固化処理施設において火災爆発が発生したことにより、当該施設で作業していた作業員は放射性物質を吸入摂取したおそれがあることから、退避直後に鼻スミヤ試料を採取し測定が実施され、１０名の鼻スミヤ試料からβ線放出核種が検出された。そこで、当該施設及びその隣接施設にいた作業員１２９名について、全身カウンタにより、放射性物質の体内量を測定した結果、３７名から ^{137}Ｃｓ及び ^{134}Ｃｓが検出された。ＩＣＲＰ出版物３０に基づき、体内量から求められた ^{137}Ｃｓ及び ^{134}Ｃｓの摂取量をもとに計算された実効線量当量を表３－６に示す（委員会資料２６－３）。

その最大は、^{137}Ｃｓで約０.０２ｍＳｖ、^{134}Ｃｓで約０.００４ｍＳｖ であった。

（2）鼻スミヤ試料の核種分析結果に基づく内部被ばくによる実効線量当量の推定

作業員毎の吸入期間における呼吸域の核種組成が反映されている鼻スミヤ試料の分析結果から内部被ばくによる実効線量当量を求めた。しかし、作業員の吸入量、鼻スミヤ試料のサンプリング量等が不確かなため、今回得られた鼻スミヤ試料の放射能量と体内への摂取量の相関を明確にすることができない。そこで、鼻スミヤ試料の核種分析結果をもとに ^{137}Ｃｓに対するその他の核種の放射能比を求め、これを別に行った全身カウンタによる作業員の ^{137}Ｃｓの摂取量（２－３－１項参照）に乗じて算定した。その結果を表３－７に示す（委員会資料２８－４）。最大摂取のあった作業員の内部被ばくによる実効線量当量は、検出されなかった核種について検出下限値に相当する放射能比であったと仮定しても約１.６ｍＳｖであり、検出されない核種を無視すれば約０.４ｍＳｖである。

以上の算定においては、鼻スミヤ試料の核種組成を体内に摂取された核種組成とみなしている。本来、エアロゾルの呼吸器系への沈着割合はエアロゾルの粒子径に依存する。ここではそれらが不明であるため上記の推定値には０.１４倍から１.６倍程度の不確実性（委員会資料２９－２）があるが、その影響は大きくないと判断した。

（3）　その他の推定

① 各作業員が立ち入った区域には、作業環境の空気中放射性物質濃度を管理するためにエアスニファ及びダストモニタが設置されている。各作業員が立ち入った区域に設置されたエアスニファのろ紙等の核種の放射能比を求め、これを各自の ^{137}Ｃｓの摂取量に乗じて各核種の摂取量を推定し、内部被ばくによる実効線量当量を算定した。その結果、最大の作業員の実効線量当量は、約０.３５ｍＳｖとなっている（委員会資料２６－３、２８－３）。しかしながら、火災発生後作業員が短時間内に退避しているにもかかわらず

その後もエアスニファのサンプリングが継続されていたことから、^{137}Ｃｓに対するその他の核種の放射能比が小さくなっていると考えられること及び作業員は複数の区域に立ち入っていることから、エアスニファろ紙等からの推定値は必ずしも作業員の吸入摂取の状況に対応したものとはなっていない。

② 全身カウンタによる ^{137}Ｃｓ摂取量、更衣室のエアスニファろ紙等により求めた核種の放射能比及びいくつかの仮定をおいて算出した煤煙中の ^{137}Ｃｓ／アメリシウム２４１（^{241}Ａｍ）放射能比等に基づき、作業員が吸入したと考えらる核種の体内摂取量を推定し、最大摂取者の内部被ばくによる実効線量当量の評価を行った。その結果は、約０.５１ｍＳｖとなった（委員会資料２８－５）。

③ 全身カウンタの測定において摂取量が最大の作業員について、肺モニタによるα線放出核種の体内摂取量の測定が行われており、この結果、有意な値は検出されなかった（検出下限値（^{241}Ａｍ：１０Ｂｑ、プルトニウム２３９（^{239}Ｐｕ）：１，０００Ｂｑ）以下であった）。上限値を確認するため、仮に、同作業員が検出感度の高い ^{241}Ａｍについて検出下限値の吸入があったとして、Ａｍ及びＰｕの吸入摂取量を求め、実効線量当量の試算を行った。その結果でも、約２９ｍＳｖであり、α線放出核種による実効線量当量はこの値を超えることはない（添付-２）。

３－３－２　作業員の外部被ばく

事故により有意な体内摂取のあった３７名のうち３６名は管理区域内及びその入口付近で被ばくした作業員であり、個人線量計（ＴＬＤ）を着用していた。この個人線量計による平成８年度第４四半期（平成９年１月１日から３月３１日）における外部被ばくによる実効線量当量の測定結果は、全員検出下限値（０.１ｍＳｖ）未満であった（委員会資料２６－３）。

一方、アスファルト固化処理施設内各区域に設置された室内ダストモニタの１０分ごとの測定データから算出した空気中放射性物質濃度の最大値を用いて、空間放射線による線量当量率を推定した結果は約４μＳｖ／時であり、火災時の作業員の滞在時間は１時間以内であるため、作業員の外部被ばくによる実効線量当量は最大でも４μＳｖである（委員会資料２６－３）。

個人線量計を着用していなかった１名は爆発時、アスファルト固化処理施設付近（管理区域外、周辺監視区域内）にいた作業員である。爆発後の施設周辺における空間放射線に係る線量当量率は、アスファルト固化処理施設付近全域で１μＳｖ／時未満であり、当該作業員は同区域に約０.１時間滞在していた。したがって、この作業員の外部被ばくによる実効線量当量も最大０.１μＳｖ程度である（委員会資料２２－７，２４－１０）。

３－３－３　作業員の被ばく

３－３－１項及び３－３－２項の結果から、アスファルト固化処理施設の火災爆発事故

による作業員の実効線量当量は、最大の者で０．４～１．６ｍＳｖの範囲と評価され、法令に定める放射線業務従事者の年間の実効線量当量限度（５０ｍＳｖ）を下回る。

４．火災爆発原因についての検討

本章においては、火災爆発原因の検討結果について述べる。

火災については、まず「４－１－１　火災発生に係る事実関係」において、現地調査の結果、施設の運転記録、廃液、固化体等の分析結果等の事実関係を整理する。これに基づいてアスファルト塩混合物の昇温要因と考えられる候補を挙げ、関連する化学分析や熱分析を行って各要因が昇温へ寄与した可能性を検討する。その検討結果を踏まえて想定される火災原因を、事象の進展に合わせたシナリオの形で「４－１－２　想定される火災発生のシナリオ」に示す。なお、要因候補の検討についての詳細は「付録Ｄ－１　火災発生の要因検討」に記載する。

爆発については、Ｒ１５２内の調査から得られた事実関係を「４－２－１　爆発発生に係る事実関係」においてまとめる。これをもとに爆発原因物質、爆発発生場所、着火源及び爆発エネルギーを検討する。この検討結果を踏まえ、爆発原因を事象の進展に合わせた形で「４－２－２　想定される爆発発生のシナリオ」に示す。爆発に関しても詳細な検討内容及び使用する用語の解説は「付録Ｄ－２　爆発発生の要因検討」に記載する。

以上の検討によって、火災爆発の基本的な原因及び事故進展に係るシナリオの基本構成についてはほぼ把握できたが、中長期的観点から今後取り組むべき課題を「４－３　今後の課題」に整理する。

４－１　火災原因についての検討

４－１－１　火災発生に係る事実関係

（１）燃焼したドラム缶の廃液バッチの特定

どの廃液バッチが燃焼したかについては、Ｒ１５２への２度にわたる入域調査によって有力な情報を確認した（図４－１参照)。

Ｒ１５２内におけるドラム缶の位置は爆発によって事故前とは一部変わっているが、入域調査においてドラム缶番号をおおよそ確認し、その番号及び運転記録から各ドラム缶に充てんされた廃液バッチをほぼ特定することができた。また、入域調査時には、同時に、目視観察や棒状治具の刺し込みによって各ドラム缶内容物の燃焼の形跡（固化体のままか灰状に変質しているか）や燃焼程度等を調べた。これらの調査の結果、各廃液バッチと燃焼状態とは次のように対応している。

Ｒ１５２内に残存しているドラム缶の中で、燃焼が確認されたドラム缶は 1)Ｂ２９のみの廃液、2)Ｂ３０のみの廃液、3)Ｂ２８を主としＢ２９を一部含む廃液及び 4)Ｂ２９を主としＢ３０を一部含む廃液であった。特に 1)、2)及び 4)の燃焼は著しい。Ｂ２８のみのドラム缶には燃焼の形跡が見られなかった（委員会資料２３－２)。

燃焼が十分に進んでいるドラム缶のうち、自己発火した可能性の高いドラム缶は 1)Ｂ２９のみの廃液及び 4)Ｂ２９を主としＢ３０を一部含む廃液であった。2)Ｂ３０のみのドラム缶及び 3)Ｂ２８を主としＢ２９を一部含むドラム缶については、燃焼の状態や推定され

る燃焼開始時期等から、他のドラム缶で発生した火災または爆発時の火炎による影響を受けている可能性がある（委員会資料２３－２）。

以上により、最初の火災の原因には、Ｂ２９廃液またはその処理に係る運転条件が関与している可能性が高いと言える。

（２）Ｂ２９に特異な廃液組成及び運転条件

Ｂ２９の処理では、廃液組成及びエクストルーダの運転条件において、他のバッチと比べて特異性がある。

まず廃液組成に関連するものとして、Ｂ２９処理前にＳＴ廃液をＶ２１に受け入れている。ＳＴ廃液中のリン酸イオン濃度は約４００ｇ／リットルであり、この廃液を１m3 程度受け入れた結果、Ｖ２１中のリン酸イオン濃度は約1.4ｇ／リットルから約7.7ｇ／リットルに上昇した（委員会資料４－４－２、７－８、１７－３）。

溶媒等の有機物については、送液元での中間貯槽（Ｖ４３）から採取した試料及び受入先のＶ２１から採取した複数の試料を分析した結果によれば、最大で８４０ｐｐｍのリン酸ジブチル（ＤＢＰ）等が検出された（委員会資料１２－６）。断熱状態を仮定した解析によれば、この程度の濃度であればアスファルト塩混合物の温度上昇に及ぼす影響は十分小さいと判断される（委員会資料１２－７、１３－６－１、１３－６－２）。

また、廃液組成に関するもう一つの事柄として沈殿物の挙動が挙げられる。Ｖ２１には、これまで、ＡＡＦから低放射性濃縮廃液貯槽の底抜き廃液を受け入れてきており、底部に多量の沈殿物が堆積していた可能性が高い。

さらに、ＳＴ廃液のＶ２１への受入後にＶ２１廃液の分析が行われた。この際、分析試料採取のためにＶ２１でエアースパージングによる撹拌を行い、Ｂ２９廃液はその直後（３分後）に次工程の反応槽（Ｖ３１）に送液された。

Ｂ２９では撹拌直後に送液したために廃液に沈殿物が同伴した可能性がある。この可能性を示す一例として、Ｖ３１では通常と違って水素イオン濃度調整に手間取ったことが挙げられる。ただし、これによる硝酸ナトリウム塩濃度の増加分は通常に比べ数％程度であった（委員会資料７－５）。

なお、本キャンペーンにおいては、通常、撹拌後2.5時間から１日程度以上（ほとんどの場合１日程度以上）経過してから送液を行っており、撹拌直後に送液した実績はなかった。

エクストルーダの運転条件にかかわる事柄としては、単位時間当たりの廃液供給量を低下させたことが挙げられる。ドラム缶へのアスファルト塩混合物の充てん率を上げることによって固化体本数を少なくするために、Ｂ２６以来、通常時より約２割少ない１６０リットル／時程度の条件で運転されていた（委員会資料７－１２）。

エクストルーダ内のゾーン７の温度がＢ２７の途中から上昇したため、通水して冷却を行った（委員会資料１８－６、２３－６）。しかし、Ｂ２９ではこの温度上昇も収まり通

水を停止した（委員会資料１８－６、２３－６）。

（３）Ｂ２９近傍で認められた観察事実

前述したように、最初の火災の原因には、Ｂ２９廃液またはその処理に係る運転条件が関与している可能性が高いが、Ｂ２９近傍のバッチにおいて、エクストルーダのトルク値、アスファルト塩混合物の充てん量及び充てんした混合物の性質について通常時とは異なる事実が認められている。

エクストルーダのトルク値についてはＢ２７半ば／２８以降の運転で通常よりトルク値が高めであった（委員会資料７－５）。

ドラム缶へのアスファルト塩混合物の充てん量はＢ２７／２８以降次第に減少した。このため、Ｂ２９でのドラム缶１００％充てん時のアスファルト塩混合物供給量は当該キャンペーンの平均値より２０～３０％低めとなった（委員会資料１１－５）。充てん量が減少することはアスファルト塩混合物への空気の混入等の可能性が考えられる。

また、作業員らによれば、Ｂ２８以降アスファルト塩混合物は通常時に比べ軟らかめで、エクストルーダ排出管から飛び散るように流出しており、かつ充てん後のドラム缶から湯気状物質が盛んに発生していた（委員会資料１１－５）。さらに、Ｂ２８以降では、８５％充てん後のアスファルト固化体上面が盛り上がり、硬い膜の形成が観察された（委員会資料１１－５）。

したがって、エクストルーダ出口におけるアスファルト塩混合物温度は通常と比べて高かった可能性がある。このような温度の上昇は過去にも度々経験している。エクストルーダのゾーン８の内部には、出口におけるアスファルト塩混合物の温度を計測するための温度計が設置されていた。ゾーン８（内部）温度計が正常に機能していたと思われる時期の測定記録によれば、エクストルーダ出口のアスファルト塩混合物の温度が２００℃以上の高温となったことは複数回あり、最高で２２０℃の記録も残されている（委員会資料１８－６）。しかし、この温度計は長期間にわたって故障していたことが確認されている（委員会資料１８－６）。

４－１－２　想定される火災発生のシナリオ

前項４－１－１において述べた事実関係をもとにしてアスファルト塩混合物の昇温要因としていくつかの候補を挙げ、それらについて検討を行った（「付録Ｄ－１　火災発生の要因検討」参照）。検討結果より、想定される火災原因を、事象の進展にあわせたシナリオの形で以下に示す（図４－２参照）。

（１）廃液への沈殿物の同伴

アスファルト固化処理施設のＶ２１には、これまでＡＡＦからＭＡ廃液貯槽の底抜き廃液を受け入れてきており、Ｖ２１底部に多量の沈殿物が堆積していたと思われる。

また、Ｖ２１廃液を分析する目的で試料採取のためにエアースパージングによる撹拌を行うが、Ｂ２９では撹拌直後にＶ２１廃液を送液したため、沈殿物が廃液に同伴し、次工程であるＶ３１に移送された可能性がある。

（2）リン酸廃液（ＳＴ廃液）の受入れ

Ｂ２９処理前にはリン酸廃液であるＳＴ廃液をＶ２１に受け入れた。これによりＶ２１廃液中のリン酸濃度が上昇した。これまでの運転経験によれば、廃液中のリン酸イオン濃度が高い場合にエクストルーダのトルク値が高くなることが認められていた。ただし、この傾向は共存する炭酸イオン濃度値や供給廃液の水素イオン濃度値とも関連しており、高トルク値とリン酸イオン濃度のみとの明確な相関を見いだすには至っていない。

また、上流の再処理工程で使用する溶媒等の有機物がＳＴ廃液から混入していた。ただし、今回の廃液には、硝酸塩／亜硝酸塩やアスファルトと有意な発熱反応を生ずるような大量の有機物は含まれていない。

（3）エクストルーダへの単位時間当たりの廃液供給量の低下

Ｂ２６以降エクストルーダへの単位時間当たりの廃液供給量は、通常より２割少ない１６０リットル／時程度であった。このため、エクストルーダ内での廃液中水分の蒸発が通常より早めに進み、早い段階で塩の析出が開始された可能性が考えられる。

（4）エクストルーダ出口におけるアスファルト塩混合物の温度上昇の原因

以上、（1）から（3）の諸条件を関連づけて考えると、Ｂ２９近傍の処理において、エクストルーダ出口におけるアスファルト塩混合物の温度を高めた理由として次のように考えられる。

物理的な発熱機構に関連する現象として、Ｂ２９近傍でトルク値が高めであったことによる摩擦熱に着目する必要がある。供給廃液に混入していた沈殿物及びリン酸イオン並びにエクストルーダ内で早い段階から析出していた塩が混練時に抵抗となりトルク値を上昇させた可能性が考えられる。

化学的な発熱機構に関連する事項としては、単位時間当たりの廃液供給量の低下により水分の蒸発が早めに進み、その結果エクストルーダ内へ空気が浸入しブローイング反応（Ｄ－１－７項参照）が進行したことが挙げられる。しかしながら、エクストルーダ内におけるアスファルト塩混合物の滞留時間が非常に短く昇温の時間的余裕がないと考えられること等から、ブローイング反応による温度上昇の寄与は小さいと考えられる。

（5）温度計計測値とアスファルト塩混合物温度とのずれ

エクストルーダ出口（排出管：ゾーン８）におけるアスファルト塩混合物の温度を計測するために設置されていたゾーン８（内部）温度計は故障していたために、温度を推定す

るためには隣接するゾーン７温度計の記録に頼らざるを得ない。ゾーン７はエクストルーダ出口に最も近く、その温度計の計測値はＢ２９では１８０℃付近で安定していた。しかし、過去のデータによれば（委員会資料１８－６）、この温度計が出口におけるアスファルト塩混合物の温度を常に正確に表わしていたとする保証はない。作業員の観察結果（アスファルト塩混合物が軟らかめ、湯気状物質の発生）が正しいとするならば、むしろ、エクストルーダ出口のアスファルト塩混合物の温度は温度計の計測値よりも相当高かったものと考えられる。

（６）ドラム缶内での発熱反応の加速と局所的な発熱の進行

上述したように、エクストルーダ出口におけるアスファルト塩混合物の温度すなわちアスファルト塩混合物のドラム缶内での初期温度は、通常運転時の１８０℃付近に比べ高かったものと考えられる。

硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応は、加速速度熱量計（ＡＲＣ）やカルベ式高感度熱量計（Ｃ８０Ｄ）のような高感度の熱分析計（Ｄ－３項参照）によれば、示差熱分析（ＤＴＡ）や密封セル示差走査熱量測定（ＳＣ－ＤＳＣ）で検出されない低温域での微弱な発熱が検出され、反応が進行することが確認された（委員会資料１２－７、１４－５、２３－８）。加えて、ＡＲＣによる実固化体（実廃液の固化体）の測定結果によれば、Ｂ２９（あるいはＢ３０についても）の反応性は通常時の実固化体に比べ高めであった可能性が高い（委員会資料２２－４）。したがって、固化体の反応性が高まり自己発火温度（Ｄ－１－１項参照）が低下していたと考えられる。

固化体の反応性を高めた理由は今後明らかにされる必要があるが、主要な原因候補として、沈殿物に含まれる有機または無機の成分の効果及びエクストルーダ内で早い段階から塩の析出が進み混練されたことによる塩粒子の微細化の寄与が考えられる（委員会資料２３－８）。

なお、ＡＲＣの測定結果では、同じバッチの実固化体であっても試料毎の反応特性が異なることから（委員会資料２２－４）、反応を加速させる要因が試料中において不均一に分布し、局所的な発熱が進行していた可能性がある。

さらに、エクストルーダ運転温度近傍または以下におけるアスファルト塩混合物の昇温に関与したその他の反応の例として、アスファルトの過酸化物形成反応による酸素の取り込みを介したブローイング反応が挙げられる。ドラム缶内におけるアスファルト塩混合物の温度上昇に対してはブローイング反応の寄与は小さいものの、この反応は、Ｂ２９近傍の運転においてドラム缶内でのアスファルト上面の盛り上がりやその後の硬い膜の形成等、作業員が観察した現象と整合する要因である。

（５）及び以上により、アスファルト塩混合物の温度は充てん時に既に高く、それに加えて充てん後は硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応が加速されたと考えられる。

（7）ドラム缶での長時間にわたる蓄熱とゆっくりとした温度上昇

上記（5）、（6）で述べたエクストルーダ出口におけるアスファルト塩混合物の温度上昇及びドラム缶内での発熱反応の加速因子はアスファルト塩混合物の蓄熱を促進する要素である。ドラム缶内での長時間にわたる蓄熱を経て温度がゆっくり上昇し、硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの発熱反応が活発に進行する熱暴走反応（Ｄ－１－１項参照）を引き起こした。

発熱反応と蓄熱は、初期にはドラム缶中心部で局所的に進み、温度上昇と熱分解生成物を発生させたが、ついには空気とアスファルト分解生成物等との燃焼反応に至り火災を発生させた。

（8）火災の拡大

最初の火災は、コンベア上の複数のドラム缶で短時間のうちに発生している。これらのドラム缶はアスファルト塩混合物の１００％充てん終了後、３時間程度から１８.５時間程度を経たものである。

このように、火災を起こしたドラム缶の間で充てん後の経過時間にかなりの差があるものの、反応誘導時間（Ｄ－１－１項参照）内において各ドラム缶の間で温度はあまり違わなかったと考えられる。したがって、各ドラム缶においても、最初に発火したドラム缶と同様の状態に至っていたため、最初に火災を発生したドラム缶の火が換気の流れによって各ドラム缶に影響を及ぼし、火災が拡大したと考えられる。

４－２　爆発原因についての検討

４－２－１　爆発発生に係る事実関係

（1）アスファルト充てん室（Ｒ１５２）の被害状況

ドラム缶内のアスファルト固化体の燃焼状況は棒状治具の刺し込みによって調べた。その結果、十分に燃焼していたと考えられるドラム缶は、コンベア上のドラム缶Ａ９、Ａ１０、Ａ１１、Ａ１２、Ｅ１、Ｅ４、Ｅ５、Ｅ６の８本とターンテーブル上のドラム缶Ｄ１、Ｄ２、Ｄ３、Ｄ５の４本の計１２本であった（ドラム缶番号については、図４－１参照）。その他のドラム缶内のアスファルト固化体にも若干の燃焼が認められるものがあった。

ドラム缶Ｅ１は、内容物に棒を簡単に突き刺すことが出来るほど著しく燃焼していること及び作業員が目撃した火柱の位置関係とから、最初に発火したドラム缶と推定できる。また、ドラム缶Ｄ２のアスファルト固化体は上部の一部をドラム缶外に噴出して燃焼しているため、自己発火したと考えられる。

ターンテーブル上には事故の前に不燃性養生シートが敷いてあり、ガムテープで固定されていた。この不燃性養生シートは、爆発によってドラム缶Ａ７と南側の壁の間、ドラム缶Ｂ９の上部、南側コンベアの東壁付近、クレーンレール上等に吹き飛ばされ、ターンテーブル上にはほとんど残っていなかった。また、ドラム缶Ｄ３の上部の盛り上がった灰の

上にも不燃性養生シートと思われるものが確認された。

シールディングウォールは、ターンテーブルを越えてコンベア上まで吹き飛ばされていた。シールディングウォールはＲ１５２側を上面にしており、その上にリムーバブルルーフが重なっていた。シールディングウォールには天井からリムーバブルルーフが落下した時にできた損傷があった。

また、シールディングウォールには引き裂かれた部分があった。これは、エクストルーダ排出管上部に小さな凹みがあることから、爆発によってシールディングウォールがエクストルーダ排出管と衝突し、排出管によって引き裂かれたものと考えられる。ドラム缶Ａ７、Ａ８、Ａ９、Ｂ９、Ｅ１等にはシールディングウォールの衝突によると見られる変形があり、シールディングウォールのＲ１５２側にはドラム缶（Ｅ１と推定）の上部をたたいたと思われる白い痕跡があった。

Ｒ１５２北壁、Ａ１２１付近にある検定用の空のドラム缶Ｆ２が圧縮による変形を受けていた。また、この付近には散乱物が吹き溜まりのように集中していた。

Ｒ１５２西壁の北側部分は高温の火炎により焼けこげており、壁が鱗片状にはがれていた。一方、Ｒ１５２南側の壁については、火災によると思われる損傷は比較的小さかった。

（2）エクストルーダ室（Ｒ１５１）

シールディングウォールがＲ１５２側に膨らんだ状態で、Ｒ１５２内に吹き飛ばされていた。また、Ｒ１５１の壁は排気口の高さを境にして、天井側に煤の付着が見られた（委員会資料１５－３）。

（3）保守作業室（Ａ２３４）等

５枚あるリムーバブルルーフのうち北側から２枚目と４枚目の板が、Ｒ１５２内に吹き飛ばされたシールディングウォール上に落下していた。また、Ａ２３５側にある扉が吹き飛ばされていたが、扉の手前のリムーバブルルーフは落下していなかった。Ａ２３４の壁にはリムーバブルルーフの衝突の痕が見られるが、天井部分に損傷は見られなかった（委員会資料２６－３）。

Ａ２３５のコンクリート壁は、更衣室（Ａ２３６）側に膨らんで破壊されていた。

４－２－２　想定される爆発発生のシナリオ

前項４－２－１において述べた事実関係を考慮し、爆発原因物質、爆発発生場所、着火源及び爆発エネルギーの観点から検討を行った（検討の詳細については「付録Ｄ－２　爆発発生の要因検討」参照）。ここでは、検討結果より想定される爆発原因を、事象の進展にあわせたシナリオの形で以下に示す。本項で使用する用語の解説は付録Ｄ－２に記す。

（1）最初の火災発生以降

Ｒ１５２において、１０時０６分頃にリムーバブルルーフ直下のＥ１と思われるドラム缶内のアスファルト固化体が自己発火した（委員会資料７－２、２３－２）。その直後、発生した火炎はセル内の換気の気流に乗り、下流方向（ドラム缶Ｅ１の西側）にあったドラム缶に影響を及ぼし、複数のドラム缶から火柱があがった（委員会資料７－２）。短時間のうちに複数のドラム缶が火災を起こしたのは、ドラム缶Ｅ１の西側に隣接するドラム缶内の固化体がＢ２９の廃液を処理したものであり、ドラム缶Ｅ１と同様の状態に至っていたためと考えられる（４－１－２（８）項参照）。

この最初の火災発生後に消火操作が行われた。消火操作により、ドラム缶Ａ７、Ａ８等の一部のドラム缶では消火したが、ドラム缶Ａ９～Ａ１２、Ｅ１、Ｅ４からＥ６のアスファルト固化体は燃焼し続けたと推定される（委員会資料２３－２）。

消火操作後の燃焼形態について、初期においては雰囲気酸素が十分存在していたため、発生した可燃性物質は完全燃焼状態または完全燃焼に近い状態であった。しかし、フィルタの目詰まりによるセル換気系の運転停止後は、徐々に雰囲気酸素が不足して不完全燃焼状態となり、可燃性物質が放出された（委員会資料２４－４）。

可燃性物質の放出等によりＲ１５２内圧力は上昇し、発生した可燃性物質は、各部屋の圧力バランスによって、Ｒ１５２からセル換気系のダクトを経由してＲ１５１へ、また、リムーバブルルーフの隙間を通してＡ２３４等へ移行した。また、一部の可燃性物質はＲ１５２、セル換気系ダクト内及び２階の各部屋に滞留した。

コンベア上の８本のドラム缶内のアスファルト固化体から発生した可燃性物質量は、Ｒ１５２内の可燃性物質濃度を爆発上限界以上とするのに十分であったと思われる。すなわち、Ｒ１５２内は爆発に関して可燃性物質過多な雰囲気にあったため、この時点では爆発は発生しなかった。しかし、セル換気系が停止した後も、槽類換気系は運転を継続していた（委員会資料２６－２）ため、槽類換気系からの空気とＲ１５２内の可燃性物質が対流により撹拌され、可燃性物質は空気と混合していた。このため、時間経過とともに可燃性物質濃度が下がり、部分的には爆発限界内となった。さらに、１７時頃のセル換気系及び建家換気系の再起動（委員会資料２６－３）に伴い、建家内の圧力バランスが変動し、Ｒ１５１及びＲ１５２内にはセル外から空気が、Ａ２３４内にはＲ１５２から可燃性物質が流入した可能性がある。

（2）Ｒ１５１での爆発発生

爆発の着火源としては、ターンテーブル上のドラム缶の燃焼状況より、アスファルト固化体の自己発火による着火の可能性が高い。しかし、現時点ではダクト内での電気系統による発火の可能性を完全に否定できる根拠はない。したがって、ここでは着火源の違いに

よりA、B二つのシナリオを併記することとする。

シナリオA： ターンテーブル上のアスファルト固化体の自己発火による爆発シナリオ

ターンテーブル上にあったドラム缶内のアスファルト固化体が、一定時間の経過後に、１回目の火災を引き起こしたアスファルト固化体と同じ原因で、可燃性物質を放出しながら自己発火した可能性が高い。燃焼状況（委員会資料２３－２）より、発火したドラム缶はＤ２であると思われる。ドラム缶Ｄ２は、Ｂ２９を８５％充てんした後約１６.５時間が経過していた。

この火炎は、換気口付近で爆発限界内にあった可燃性物質に着火し、換気口へと火炎伝播した。さらに、Ｒ１５２天井付近及びＲ１５２とＲ１５１間のダクト内の可燃性物質を経由して火炎が伝播した。ダクト内に伝播した火炎のＲ１５１への噴出により、Ｒ１５１内で爆発が発生し、鋼製のシールディングウォールが吹き飛ばされた。

シナリオB： ダクト内での電気系統による着火での爆発シナリオ

３階フィルタ室とＲ１５１／Ｒ１５２間のセル換気系ダクト内に充満していた可燃性物質が、何らかの原因により電気系統から発火し燃焼波が発生した。発生した燃焼波はダクトを通って、Ｒ１５１及びＲ１５２内に到達し、高温の火炎はＲ１５１及びＲ１５２に吹き付けられた。このダクト内の火炎の噴出により、Ｒ１５１内で爆発が発生し、鋼製のシールディングウォールが吹き飛ばされた。

Ｒ１５１での爆発と同時に、Ｒ１５２に滞留していた可燃性物質に着火した。その際にターンテーブル上のアスファルト固化体に着火し、Ｒ１５２内で火災が発生した。

（３）Ｒ１５１での爆発後（シナリオＡとＢとに共通）

Ｒ１５１での爆発により生じた衝撃波は、Ｒ１５２内の燃焼波を巻き込んで東側に伝播した。衝撃波はＡ１２１の遮へい扉に衝突し、Ｒ１５１及びＲ１５２の火炎をＡ１２１に巻き込み、Ａ１２１内で火災が発生した。また、反射衝撃波により、Ａ１２１の遮へい扉付近にあったドラム缶Ｆ２が座屈変形を受けた。

吹き飛ばされたシールディングウォールは、エクストルーダ排出管により下部が引き裂かれ、Ｒ１５２側を下にしてドラム缶Ｅ１、Ｅ４、Ｂ９、Ａ７、Ａ８、Ａ９に衝突した（委員会資料１１－３）。ドラム缶Ｅ１及びＥ４は最初の火災で内部が燃焼していたため既に軽量になっており、シールディングウォールの衝突で飛ばされた。

また、シールディングウォールも反動で跳ね返され、回転してＲ１５２側を上にしてコンベア上に落下した。コンベア上のドラム缶は、シールディングウォールの衝突により玉突き状態で東側にはじき飛ばされ、この時の衝撃でドラム缶Ｂ７が横倒しになった。

天井ハッチでは、Ｒ１５２天井付近の燃焼とＲ１５１からの爆風の影響を受け、リムーバブルルーフがＲ１５２内の既に吹き飛ばされていたシールディングウォール上に落下し

た。

この時、リムーバブルルーフが落下し開口部となった天井ハッチを通して、Ｒ１５２またはＲ１５１での燃焼火炎がＡ２３４に侵入した。これにより、Ａ２３４に充満していた可燃性物質に着火、爆発を起こし、Ａ２３５のコンクリート壁を破壊するとともに、２階の窓、扉、エレベータ等を破壊した。この衝撃波は２階事務室、制御室の窓や内部の制御パネル等も破壊した。

ターンテーブル上のドラム缶から発生した高温の煙は、Ｒ１５２の天井ハッチにできた開口部のため、Ｒ１５２側からＡ２３４へとセル外部へ流れ出ていった。

（４）爆発後の火災

エクストルーダのゾーン８の温度計の記録では、爆発後１０～２０分までは温度が低下し、その後急激に温度が上昇して４００℃以上になっている（委員会資料７－４）。また、この温度上昇の２時間後、二度目の温度上昇ピークが記録されている（委員会資料７－４）。これらの記録は、爆発後しばらく経過してからドラム缶が発火したことを示していると考えられる。温度上昇の様子から、爆発後最初に発火したドラム缶は、エクストルーダ排出管出口の直下にあるドラム缶Ｄ１と推定される。さらにドラム缶Ｄ３及びＤ５のアスファルト固化体が引き続き発火したと推定される。

４－３　今後の課題

２度にわたるＲ１５２内の調査を含むこれまでの調査により、火災爆発事故の基本的な原因及び事故進展に係るシナリオの基本構成についてはほぼ把握できたと考える。また、火災の発生及び爆発事故への拡大の背景となった管理的要因及び設備的問題については、５章に検討結果が示されている。

火災の原因は、ドラム缶内での遅い化学反応により蓄熱が進行し、アスファルト塩混合物温度が局所的に上昇して、硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応が急速に進み火災に至ったものである。Ｂ２９廃液の処理においてドラム缶内で遅い化学反応が進行し得た要因は、従来の廃液に比べアスファルトとの反応性が高い廃液であったことに加え、エクストルーダから排出されるアスファルト塩混合物の温度が高めであったためと考えられる。

また、爆発については、消火が不十分であったためにアスファルト固化体から発生した可燃性物質が放出され、セル換気系の機能停止により、Ｒ１５２内で蓄積するとともに、隣接するＲ１５１及びＡ２３４に漏洩し、さらに、槽類換気系からの空気との混合等により爆発限界内に入った状態で、ターンテーブル上のドラム缶内アスファルト固化体の自己発火により発生した火炎がダクトを介してＲ１５１に到達したため爆発が起きた可能性が高い。ただし、現時点では着火源についてはＲ１５２以外での電気系統での発火の可能性も否定できない。

このように、基本的シナリオは構成できたが、遅い化学反応の機構や高めであったとされるアスファルト塩混合物温度の異常の程度、爆発の着火源や爆発原因物質とその量等、細部の要因やシナリオについては複数の可能性が残されており、今後中長期的な観点からの取組みが必要である。

今後の課題の取組みについて、

・Ｒ１５２内の詳細な調査
・実固化体等ホット試料の詳細な分析
・火災及び爆発機構の細部を特定するための各種の試験・解析
・特定した要因やシナリオを確認するための試験・解析

に大別して述べる。

Ｒ１５２内の調査では、燃焼したドラム缶を中心に、アスファルト塩混合物の燃焼量や燃焼物の性状を詳細に把握する必要がある。

ホット試料の分析では、Ｒ１５２内で採取した試料及び新たに採取する廃液（Ｖ２１貯槽廃液）等を用いて、沈殿物中の微量成分の濃度や化学形、熱分析による発熱反応特性、塩粒子径等、反応に関与したと考えられる物質について、存在状態を含む詳細な調査を多数の試料について繰り返し行い、信頼性の高いデータを得る必要がある。また、そのためには実固化体及び廃液とも十分な量の試料を採取する必要があろう。

火災及び爆発機構の細部を特定する試験では、同伴沈殿物の定量的評価、エクストルーダ出口におけるアスファルト塩混合物の温度の評価と温度上昇の要因分析、硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応特性の把握、アスファルト固化体の燃焼特性及び反応生成物の燃焼・爆発特性の把握、模型による火炎伝播の確認を行うとともにブローイング反応等の関連する要因の試験・解析を粘り強く進める必要がある。なお、これらの試験・調査では関与するパラメータが多いため、模擬試料を用いて行うことが効率的だが、上のホット試料の分析結果を踏まえ、細大の注意を払い模擬試料を調製するとともに、目的によっては試料量を増やした試験を行う必要がある。

特定した要因やシナリオを確認するための調査では、上の調査結果等に基づいて、熱暴走理論による事象（温度上昇及び発火）のシミュレーション解析等を行うとともに、火災消火試験、爆発被害解析等も行う必要がある。

これらの検討に当たっては、Ｒ１５２内での詳細な調査、実固化体試料等の採取及び採取したホット試料の詳細な分析を優先して進め、その結果をもとに模擬試料の調製や解析モデルの詳細化を図るべきである。しかしながら、アスファルト固化処理施設内での作業には今なお多くの制約があり、またホット試料を用いた試験に係る分析装置や多量の模擬試料を調製し取り扱う装置類の準備には相当の時間を要する。したがって、調査の効率化及び調査に伴う安全性を確保する観点から、上記の課題は全体として中長期的課題として取り組まざるを得ないと考えられる。

なお、試験計画の策定及び試験結果の評価においては、適時に専門家による十分な検

討及び評価を加えつつ実施する必要がある。

５．運転管理上の問題点

本章においては、今回の事故が発生し、これを拡大させた根本的な原因を、運転管理上の面から検討するために、「５－１　事故時の対応等に関する問題」、「５－２　運転に関する問題」、「５－３　教育訓練に関する問題」及び「５－４　施設に関する問題」に分けて、各問題点を整理する。

これらの問題点に対しては、それぞれ所要の改善を行う必要があるが、ここでは、アスファルト固化処理施設に対しての対策だけでなく、火災爆発事故に至る可能性のある物質を取り扱う類似の原子力施設においても留意されるべき対策を、「５－５　今後採るべき対策等」において述べる。

５－１　事故時の対応等に関する問題

５－１－１　消火操作

（１）火災発見時の連絡と初期消火

動燃東海事業所の所内規定である安全作業基準では火災警報吹鳴時には、火災の発見者は、初期消火にあたるとともに火災の状況等を直ちに区域管理者に通報することとなっている（委員会資料１２－５－２）。一方、安全作業基準の下位規定である消火設備作業要領（アスファルト固化処理施設）の消火設備操作手順では、消火操作は班長の指示で行うこととなっている（委員会資料１２－５－２）。

今回の事故においては、火災発生時に第一発見者は班長に連絡しようとしたが、不在であったため、電話及びインターホンにより班長の上位者である動燃職員の指示を仰ぎ、結果として火災発見から消火開始までに約６分間を費やしたとされている（委員会資料７－２）。

火災発生時の初期消火の重要性を鑑みれば、一刻を争う火災時の消火操作として当然であると思われる上位規定の記述を、下位規定で否定することは異常であり、原子力施設におけるセル内火災の重大性の認識が欠けていたと言わざるを得ない。

（２）消火設備の選択、消火時間及び消火の確認

今回の火災発生時においては、班長の上位者である動燃職員の指示により、水噴霧消火設備による消火が選択されているが、消火設備作業要領（アスファルト固化処理施設）においては、水噴霧消火設備及び炭酸ガス消火設備の２種類の操作方法が規定されているだけで、火災の状況を考慮した消火方法の選択の仕方については規定されていなかった（委員会資料２－５）。

また、消火時間についても、水噴霧時間が約１分間と短く、結果的には消火のために十分な放水量ではなかった。昭和５６年に発生したベルギーのユーロケミックの火災事故の教訓及び動燃が過去に行った火災消火に係る試験研究からは、８分間以上の水噴霧が必要であることが判っていたにもかかわらず、消火設備作業要領（アスファルト固化処理施設）

には消火時間が規定されていなかった（委員会資料４－５、４－６）。

さらに、消火の確認については、遮へい窓からの目視確認が唯一の手段であったが、火災により発生した煤等により、遮へい窓からの視界は悪く、十分な消火の確認が行えなかった。Ｒ１５２内の室温を測る温度計は設置されておらず、排気ダクト内に火災温度検知器（ＦＤＴ１５２）が設置されているのみであった。

５－１－２　換気操作

（１）消火の際のセルの換気のバイパス

消火設備作業要領（アスファルト固化処理施設）の水噴霧消火設備操作手順によれば、水噴霧を開始する前に、現場計装盤のスイッチにより、Ｒ１５２の換気をバイパスすることになっていたが、今回の火災発生時の消火操作においては実施されなかった。このため、Ｒ１５２の換気が継続され（委員会資料２－５）、Ｒ１５２内で発生した多量の煤等がセル換気系の排気フィルタまで移行して目詰まりし、排風機の停止に至った。３月１１日１０時２３分には、換気系を全停止したが、それまでの間、送風機による給気は続けられていた（委員会資料７－２）。

このため、Ｒ１５２内の煤や放射性物質を含んだ空気がＲ１５２外へ流出し、作業員はアスファルト固化処理施設からの退避を余儀なくされ、これにより、消火確認、換気系の状態確認、回復作業等に重大な支障をきたすこととなった。

（２）セル換気系排風機全停止の際の対応

３月１１日１０時１２分頃に行われた水噴霧消火設備による消火開始から、約１分後の１０時１３分頃に換気系異常警報が吹鳴しており、セル換気系の排気フィルタが短時間で目詰まりを起こしている。また、これにより、セル換気系排風機３台（Ｋ２２からＫ２４）全てが停止している（委員会資料７－２）。

しかしながら、排気フィルタが目詰まりを起こした時の対応及びセル換気系排風機３台全てが異常となった場合の対処方針については検討されておらず、対応手順も決められていなかった。

また、換気系異常警報の内容を判断するには排風機室（Ａ４３６）で直接排風機を確認する必要があったほか、換気系の運転状態はアスファルト固化処理施設内の制御室（Ｇ２１８）でしか把握できない設計となっていた。

このため、同日１０時３７分にアスファルト固化処理施設外へ全員が退避してからは、換気系異常警報が何に基づくものなのか、換気設備がどのような運転状態になっているのかを把握できなくなった。

（３）槽類換気系の運転継続による各セルへの空気の逆流

槽類換気系の排風機が停止されたのは爆発発生から３日後の３月１４日であり、火災発

生から爆発に至った後も運転されていた。一方、セル換気系のフィルタは火災発生後短時間で目詰まりを起こしていたため、セル換気系からの排気は行われず、槽類換気系配管からセル排気ダクトを通してＲ１５２及びＲ１５１を含めた各セルへ空気が逆流していたと考えられる（委員会資料２５－４、2.6－２、２６－２改）。

このため、可燃性物質過多の状態であったＲ１５２は、時間経過とともに可燃性物質濃度が下がり、部分的には爆発限界範囲内に入った可能性がある。

５－１－３　事故時の状況把握

（１）事故対応組織

事故当時、補修工場内の環境施設部処理第一課居室、ガラス固化技術開発施設内の環境施設部現場指揮所、分離精製工場内の再処理工場現場指揮所及び事業所の対策会議（後の現地本部及び防護活動本部）の四つの場所で、連携が不十分なまま、個別に情報の収集が行われていたため、一元的な情報伝達、事故対応が適切に行われなかった。

（２）動燃職員による現場確認の徹底

環境施設部事故対策手順では、火災が認められた場合、担当課長は現場に急行し火災発生状況を直接確認することとなっていたが、動燃職員は誰も現場に急行せず、火災発生状況を直接確認しなかった（委員会資料１４－２－１）。

このため、火災の状況は作業請負業者の現場作業員より伝達される情報によってのみ推測されることとなり、火災発生現場の的確な状況把握及び適切な事故対応がなされなかった。

５－１－４　放射線管理

（１）放射線管理情報等の一元監視及び共有化

アスファルト固化処理施設とＺ施設及びＥ施設等では、放射線管理業務を異なった課が担当し、監視機能が分散していた。また、相互の放射線管理情報の把握及び伝達が適切に行われなかった。

このため、アスファルト固化処理施設における火災発生後、連絡通路で結ばれたＺ施設等において、ゲートモニタ及び局所排気モニタが異常を示したにもかかわらず、これらがアスファルト固化処理施設からの放射性物質の流入によるものと認識するまでに時間を要し、初期対応に支障をきたした。

（２）作業員の退避指示

アスファルト固化処理施設とそれに連絡通路で接続するＺ施設及びＥ施設にいた作業員の管理（作業状況把握）が一元的に行われていなかったため、一斉に退避指示が行われることがなく、各課から個別に指示されることとなった。また、放射性物質の体内摂取の有

無を確認するための全身カウンタによる測定対象者の把握が不十分であった。

（3）放射線被ばく

事故当時、目視により煙を認めた等のため作業員全員が半面マスクを携帯していた。しかしながら、着用の指示がなされず個人の判断に任されたため、半面マスクを着用しない者もおり、一部の作業員が放射性物質の吸入による内部被ばくを受ける結果となった。

作業員の被ばく状況の確認は事故後に全身カウンタの測定結果に基づいて行われたが、その際に詳細な被ばく量評価に必要な核種分析データ等の採取は行われなかった。

（4）建家内待機指示、一時管理区域設定等

爆発によりアスファルト固化処理施設建家周辺に放射性物質を含む管理区域内物品が飛散してから、約5時間後に汚染状況の確認を行うまでの間、作業員へ建家内待機の指示が行われているが、東海事業所全体へは周知されなかった。また、一時管理区域の指定後、区画のための資材が不足していたため区画設定を終えるまでに時間を要したほか、一時管理区域指定の周知が迅速に行われなかった。

5－1－5　事故時の情報伝達

（1）不正確な情報伝達

動燃職員は、火災の状況を直接確認せず、作業請負業者の作業員からの情報をもとに現場の状況を推測していただけであった。また、放射線管理情報も一元的に管理していなかった。

このため、現場で作成された事故発生連絡表（第1報）に、「環境への影響現在のところ異状なし」との未確認情報が記入され、そのまま外部関係機関へ報告された。また、情報の伝達過程において、火災現場の状況を確認することなく「セル外に煙が出ている模様」との記述が消去され、「10時22分水噴霧で消火した」との記述が追加された。

（2）外部関係機関への続報の遅れ

火災発生に伴い第一付属排気筒のヨウ素モニタの指示値が上昇していたにもかかわらず、デジタルレートメータの指示値しか確認せず、トレンドグラフの確認をしなかったため、微量の放出を認識することができなかった。また、トレンドグラフにより環境への放出を確認した時点においても、外部関係機関に連絡されなかった。

また、アスファルト固化処理施設等において、火災に伴い空気汚染が発生したこと、退避指示が出されたこと、立入制限区域が設定されたこと等、事態の進展を把握するうえで重要な情報が速やかに外部関係機関に連絡されなかった。さらに、作業員の被ばく状況についても適切な連絡がなされなかった。

（3）事故発見者の通報連絡先の限定

東海事業所防護活動措置規則では、

・事故を発見した者は現場先任者に通報連絡しなければならない。

・連絡を受けた現場先任者はあらかじめ定められた体制に従い迅速に通報連絡しなければならない。

・また、緊急を要する場合は非常用電話を利用して関係箇所に通報連絡しなければならない

とされている（委員会資料１５－５）。

今回の通報連絡においては、火炎が目視されるという緊急時にもかかわらず、非常用電話が利用されずに、通話先が限定されるインターホン及び一般電話が使用された。このため、発見者から、直接、必要な関係箇所への通報連絡が行われなかった。

（4）保安上重要な情報の周知徹底

火災の発生、換気設備の異常、作業エリアの空気汚染状況等の保安の確保に係る重要な情報の伝達が限られた範囲の関係者に留められ、関係する作業員全員に直ちに周知されなかった。このため、放射線防護の一般原則に基づく作業員自身の臨機の措置に支障をきたした。

５－２　運転に関する問題

５－２－１　運転管理体制

アスファルト固化処理施設は、昭和５７年５月に試験運転が開始された時点では、動燃職員の下に、業務請負契約に基づく作業請負業者の作業員を運転要員として配置する形で運転されていた。昭和６１年４月以降は、作業請負業者の作業員の一部に動燃の班長の嘱託発令を行い、形式的に動燃の保安管理体制に組み込んだが、実質的には、全面的に作業請負業者による運転が行われていた（委員会資料１４－２－１）。このように、運転作業がほぼ全面的に作業請負業者に任されていたため、動燃職員による施設の運転上の保安責任に関する認識が薄れ、作業請負業者に対する保安上及び運転上の指示が明確に与えられることなく運転が継続されていた。

一方では、班長の嘱託発令を行う際に、保安管理に係る責任について動燃から班長に明確に伝えられておらず、班長の位置付けが不明確であった（委員会資料１４－２－１）。このため、作業請負業者においても、動燃の明確な指示に基づき運転するわけでもなく、また、作業請負業者が責任をもって運転に当たるわけでもなく、組織としての責任を持った保安管理が事実上行われていなかった。

また、班長が休日、夜間に欠務する場合は、他班の班長による代直が行われるが、平日の日中に欠務する場合は、従来より代直が行われていなかった（委員会資料１４－２－１）。このため、事故当日も班長が欠務していたが、代直が置かれず作業現場に指揮者不在の状

態で運転が行われていた。

５－２－２　運転計画

（１）運転計画の作成

今回のキャンペーンにおいては、ＡＡＦの低放射性濃縮廃液貯槽から酸性廃液及びアルカリ性廃液をそれぞれ全量底抜きによって受け入れたものをアスファルト固化処理する計画であり、廃液の性状がこれまでの廃液と大きく異なる可能性があった。これに加え、固化体の減容化を目的として単位時間当たりの廃液供給量を１６０　／時まで低下させるなど、これまで経験のなかった条件でエクストルーダの運転を行う計画であった（委員会資料１４－２－２）。

このため、これらの運転条件の変更が施設の安全性に及ぼす影響について、しかるべき検討組織等において事前に十分検討されるべきであった。しかしながら、「９７－Ｍ４６－１キャンペーン運転計画」（以下、「運転計画」という。）は、作業請負業者と一部の動燃職員との間だけで作成され、放射性核種の挙動等については具体的に検討されていたものの、運転条件の変更が施設の安全性に及ぼす影響については全く検討されていなかった。また、処理第一課長は、運転計画の内容について特段の検討及び評価をすることなくこの運転計画を承認していた（委員会資料１４－２－２）。

また、運転計画の上位文書に相当する環境施設運転計画書を策定するときは、保安規定に基づき、再処理施設安全専門委員会に諮問し、その結果を尊重しなければならないことになっている。しかしながら、平成８年度の業務実施計画において、ＭＡ廃液底抜き移送による影響調査、固化体の減容率向上の検討が計画されていたにもかかわらず、環境施設運転計画書（平成８年度第４四半期）においては、これらの実験的な計画についての具体的な記載がなかっただけでなく、計画そのものの記載もなかった。このため、再処理施設安全専門委員会において運転条件の変更が施設の安全性に及ぼす影響についての審査がなされなかった（委員会資料１４－２－２）。

（２）運転段階における予定外のリン酸廃液（ＳＴ廃液）の受入れ

今回の運転においては、ＡＡＦからの廃液の受入れについては運転計画を変更して行われているが、ＳＴ廃液の受入れについては、運転計画を変更することなく、当初の予定と異なる日に行われている（委員会資料８－４）。当初の予定では、エクストルーダへの廃液供給量が１６０リットル／時の運転が終了し、１８０リットル／時に戻してからＳＴ廃液の受入れが行われる計画であったが、運転計画を変更することなく、１６０リットル／時の運転を行っている間に受入れが行われていた。

このことは、運転計画そのものが、重要視されていないことを示している。

５－２－３　廃液の受入れ

受け入れた廃液については、水素イオン濃度、放射性物質濃度、陰イオン濃度、塩濃度、α核種濃度、Ｐｕ濃度等の分析が行われていたほか、沈殿物の目視確認、熱分析等が行われていたが、分析項目が各貯槽及びバッチ毎に異なるなど、統一された考え方によって行われておらず、分析結果の判断基準についても目標値が定められているのみで制限値等の定量的な基準はなかった（委員会資料４－４－２）。

特に熱分析については、ベルギーのユーロケミックのアスファルト固化処理施設の火災事故後に、ユーロケミックの技術者から示差熱分析を処理対象廃液全てについて実施する旨勧められ、示差熱分析設備を設置するなどの設備対応をとっていた（委員会資料４－６－３）。しかしながら、安全作業基準等の規定類には反映されておらず、今回の運転においても、Ｖ２１の廃液の示差熱分析は、Ｂ１開始時に行われただけであった。また、廃液受入時には、示差熱分析を行うことになっていたが、３月６日にＳＴ廃液を受け入れた際においては行われていなかった（委員会資料４－４－２、１３－３－１）。

Ｖ２１の撹拌はエアースパージングにより行われるが、空気流量が運転計画で定められていた値に比べ少なく、有機溶媒等の油分等を含む代表性のある試料を採取する方法としては不適当であった。また、分析手法についても、沈殿物をろ過した後に分析を行うなど、有機溶媒等の油分及び沈殿物の検出の観点からは適切な分析方法ではなかった。さらに、試料分析によって得られた結果をもとに、一定の判断基準に基づいて、廃液の前処理操作を行うべきであったが、その方法が明確に示されておらず、異物の混入等により当初の想定と異なる分析結果が得られた場合における判断基準もなかった。

また、沈殿物については、９４－Ｍ３９－１キャンペーンから酸性廃液の底抜きを行った際に、Ｖ２１に黒色の沈殿物が確認され、水素イオン濃度調整のための硝酸の添加量が安定せず、廃液中の塩濃度が高くなったなどの運転上の影響が生じていたにもかかわらず、特に沈殿物の調査は実施されていなかった（委員会資料８－４）。

５－２－４　エクストルーダの運転管理

Ｂ２７処理時のエクストルーダの温度上昇、Ｂ２７／Ｂ２８処理時以降のトルク上昇、特にＢ２８からのアスファルト塩混合物の性状の変化等、通常と異なる状態が確認され、その状況は３月１０日の朝会において報告されていた。しかしながら、運転条件の変更が及ぼす施設の安全性への影響についての検討及び施設の運転に当たっての緊張感が欠如していたため、特に議論するには至らず、各々の異常状態の解析やその原因を検討することもなかった。このため、運転状態の監視を強化するなどの指示もなく、異常の兆候が見逃された（委員会資料１３－３－２）。

５－３ 教育訓練に関する問題

５－３－１　教育訓練における過去の知見の反映

昭和４７年に発生した動燃におけるベンチスケール試験装置でのドラム缶からの充てん４時間後の自然発火、昭和５９年に発生したアスファルト固化処理施設の発煙トラブル及びこれまでに動燃において実施された燃焼消火実験等の各種試験研究の成果を積極的に公開し、知識を共有、継承していこうとする姿勢に欠けていたため、これまでの教育訓練にはこれらの知見が反映されていなかった。また、動燃のアスファルト固化処理施設とほぼ同じ設計であるベルギーのユーロケミックのアスファルト固化処理施設における火災事故等の事故事例についても、詳細に調査し、その教訓を自らの施設の運転管理方法へ反映しようとする積極的な姿勢に欠けていた（委員会資料１４－２－３、２０－４、２１－２）。

作業請負業者においても、動燃で行われた各種試験の実施に協力し、その事実は知っていたはずであること、また、施設の運転開始以来、運転業務をほぼ全面的に請け負い、運転に主体的に従事していることから、本施設が可燃物であるアスファルトと酸化剤である硝酸塩を主成分とした廃液を加熱・混合することによる潜在的な火災の危険性を有していることについて十分に認識していたはずである。これにもかかわらず、動燃から与えられる情報のみに依拠し、動燃における実験の成果、類似施設における事故事例等について検討し、必要とあれば、追加の情報を動燃に要求するなどして、施設をより安全に運転しようとする積極的な姿勢に欠けていた。

また、動燃は、保安の責任を有するものとして、作業請負業者における教育訓練の内容、教育訓練の方法と頻度及び教育訓練の成果について確認・評価する必要がある。しかしながら、作業請負業者が独自に行っていた運転停止期間中の教育訓練、新規配属者の導入教育については、作業請負業者からその実施内容について報告を受けるのみで、動燃による訓練内容の評価及び実施成果の確認は十分になされていなかった（委員会資料１４－２－３、２０－４、２１－２、２１－３）。

５－３－２　異常時対応訓練における事故想定事象の選定

これまでの異常時対応訓練においては、火災及び爆発と放射性物質の外部環境漏えい事故が続けて起こるといったような厳しい状況の複合事象は想定されていなかった。また、今回の火災発生場所であるＲ１５２の異常時対応訓練についても、エクストルーダの電気的、機械的故障による停止を想定した訓練は実施されていたが、セル内火災、爆発を想定した訓練は実施されていなかった。

また、再処理施設内の相互に関連する組織、施設の合同対応等実際の事故を想定した訓練は実施されていなかった（委員会資料１４－２－３、２０－４、２１－２、２１－３）。

５－４　施設に関する問題

５－４－１　施設の安全に対する考え方

アスファルト固化処理施設は、火災事故対策を含め、当初の設計のままで運転が継続されていた。硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトを高温で混合するという操作を安全に実施す

るためには、施設の設置者自身による継続的な安全確保の努力が特に重要であるにもかかわらず、フールプルーフ及びフェイルセーフの考え方に基づく火災事故対策を採用するなど、施設建設後の火災事故防止の安全理念及び技術が取り入れられていなかった。

５－４－２　運転監視系統等

硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとを混合した混合物の温度を一定値以下に抑制することは、施設の安全を確保するうえで重要な操作目標である。しかし、エクストルーダのゾーン４からゾーン７には、各２ヶ所ずつの温度計取付孔があるが、実際には、それぞれ１ヶ所しか温度計が取り付けられておらず、各ゾーンの大きさから考えると各ゾーンの温度の確実な計測には十分とはいえなかった。また、取り付けられている温度計も、ゾーン１からゾーン７では炭素鋼製のブロックの温度に、ゾーン８では保温用蒸気の温度に大きく影響を受けており、肝心のアスファルト塩混合物の温度は、各計測値とは異なっていた可能性もある。実際に、エクストルーダからドラムへ流下するアスファルト塩混合物の温度を確認するために設置されたゾーン８（内部）温度計の計測値は、他のゾーンの温度計の計測値が１９０℃程度の場合でも約２２０℃にまで上昇したことがあった（委員会資料８－４）。したがって、このゾーン８（内部）温度計は、アスファルト塩混合物のエクストルーダからの流出時の温度確認に最も重要であった。しかしながら、事故発生前から長期間にわたって故障しており、ドラム缶へ充てんするアスファルト塩混合物の温度を計測できない状態になっていた（委員会資料１８－６、２１－４）。

充てん後のドラム缶の冷却は、セル換気系の運転により空冷にて行われるが、充てん後、冷却中のドラム缶の温度を計測、監視するための設備は設置されていなかった。

制御室については、事故時の居住性に全く配慮されておらず、換気系の停止後は、制御室にとどまることを困難にした。

５－４－３　火災検知・消火設備

火災検知器として、Ｒ１５２では温度検知式（ＦＤＴ１５２）と煙検知式（ＦＤＳ１５２）の２種類が使用されていたが、いずれも換気系のダクトに設置されており、Ｒ１５２内の火災発生後、短時間で換気系が停止した以後は、Ｒ１５２内の火災がどうなっているのかまったく分からない状況になった。

また、水噴霧消火設備については、操作区域（Ｇ１１５）内の水噴霧用の元弁（Ｗ４０８）を手動で開にした後、供給弁（Ｗ４２０、Ｗ４２１）を手動で開ける必要があるが、これらの弁は、離れて設置されており、また、弁自体も操作しづらい構造となっていたため、一人で緊急に操作することは困難であった。

５－４－４　放射線管理設備

アスファルト固化処理施設には室内ダストモニタを設置していたため、Ｒ１５２等から

漏えいした放射性物質を検知することができたが、隣接するZ施設及びE施設には設置されていなかった。このため、アスファルト固化処理施設から拡散した放射性物質を即時に検知することが出来なかった。

5－5　今後採るべき対策等

上述の問題点については、その解決のための措置が適切に採られることが必要であり、また、アスファルト固化処理施設のみならず、火災爆発事故に至る可能性のある物質を取り扱う類似の原子力施設においても、これらは十分に考慮されるべきものと考える。以下に、特記すべき項目を列記する。

5－5－1　事故時の対応に関して

（1）初期対応

事故時の初期対応は、極めて重要であり、特に火災発生時のような緊急時には、上司の指示を仰ぐことなく、現場の作業員が必要な初期対応を行うとともに必要箇所に一斉に連絡する必要がある。このため、これらについて運転要領書等に明記するとともに、事故対策等を定める関連する図書相互間での整合性を採るべきである。

初期対応に複数の選択肢がある場合は、その選択については、あらかじめ、事故の状況に応じて適切な対応策を選定し、事故時操作要領等に明記しておくべきである。

施設の閉じ込め機能の維持のために重要な、換気系の異常時の対応措置をあらかじめ検討し、要領書等に明記しておく必要がある。

（2）事故時の状況把握

複数の事故対応組織を設けるのではなく、現場と中央からなる効率的な組織とし、的確な事故現場の状況把握、放射線管理情報の一元的把握、情報の伝達過程の簡素化等を可能にし、適切な事故対策の指示及び外部との迅速・的確な連絡を一元的に行える体制を確立すべきである。

現場においては、事故現場の状況を的確に確認し、正確な情報を中央に伝達するとともに、中央においては、現場から得られた情報について事実関係の確認のため、現場を良く知る者によるチェック機能を確立する必要がある。

（3）放射線管理

連絡通路を共有するなど他施設との関連性を有する施設は、放射線管理を一元的に行い、作業員の作業状況を早い段階で把握し、必要な指示を一斉に行うべきである。

退避の指示、一時管理区域等の設定、放射線管理情報等は、周知対象を限定しようとせず、可能な限り広範囲に周知することにより、事故現場等への不用意な接近による不必要な被ばく等を避けるべきである。

事故に伴うある程度の被ばく量が認められる場合には、それが問題とならないレベルであっても、被ばくの程度を詳細に把握することが望ましく、被ばくに関する事故の影響評価のための情報収集の手法やデータの蓄積の手法について検討する必要がある。

（4）事故時の情報伝達

放射性物質の放出状況、施設内の汚染状況、作業員の被ばく状況等の情報は、外部関係機関における事故の重大性の判断、迅速な対応を実施する上で重要な情報である。このため、異常が確認された時点で直ちに連絡できるよう、あらかじめ連絡すべき情報を明確化しておくべきである。

5－5－2　運転管理に関して

（1）新たな知見の伝承

施設の運転時の異常事象の分析・評価に加え、国内外の事故事例等を日頃から積極的に収集し、事故原因の分析・評価を行い、それらの結果を死蔵するのではなく、積極的に公開し、知識を共有・伝承することにより、施設のより安全な運転管理を実現できるよう努めるべきである。

また、新しい技術の導入に努め、安全性の更なる向上に努めるべきである。

（2）運転管理体制

当該施設のように運転を専ら作業請負業者に委託する場合には、設置者は、作業請負業者に対し、その責任と権限を明確にすべきである。また、保安上及び運転上の指示を明確に与えるべきである。

作業請負業者は、現場で直接作業するものとして常に緊張感をもって施設の運転状態を監視し、異常の兆候を的確に検知するとともに、設置者と協力して適切な分析・評価を行い、施設の運転管理に反映することにより、異常の兆候を見逃し事故に至らせることのないよう施設の安全運転の維持に努めるべきである。

（3）運転計画

施設の運転計画を作成する際には、設備・機器の設計条件、過去の知見等を考慮して、これから実施しようとする運転条件が施設の安全性に及ぼす影響についてあらかじめ検討し、十分安全を確保し得る見通しを得た上で運転計画を作成する必要がある。また、運転計画を作成する各段階において、安全上重要な視点、評価結果、必要な安全対策及び準拠すべき作業基準を明記すべきである。運転計画を変更する場合にも、同様である。なお、実際の運転に当たっては、操作に伴う影響を確認しつつ慎重に実施すべきである。

（4）処理対象物質の把握

アスファルト固化処理施設における処理対象廃液のように、処理対象物質が処理方法との関連において安全上の問題を有する場合、実施しようとする処理の安全性を確保するために、処理対象物質について十分な化学的、物理的特性の把握を行うべきであり、このための分析、測定方法を判断基準と共に運転要領書等に明記する必要がある。また、判断基準を満足しない時に採るべき措置についても、運転要領書等に明記する必要がある。

5－5－3　教育訓練に関して

設備・機器の基本的な設計思想にまで遡り、取り扱う物質の化学的・物理的性質等も考慮した、問題の本質を掴む教育訓練を通じて、十分な経験及び能力を有する作業員の育成を行う必要がある。

異常時対応訓練において、過去の事故事例等を考慮して想定事故事象を選定するなど、実際の事故事象に則した事故対応訓練を実施するほか、重大な事故の連鎖的な発生、相互に関連する組織・施設の合同対応、抜き打ち訓練等により、実際の事故に適切に対応できる作業員を育成する必要がある。

さらに、これらの訓練から得られた教訓は、運転要領書等に確実に反映する必要がある。

また、事故の状況に応じて、各々が自主的に判断して必要な防護具の着用等の予防的な措置を採ることができるように教育訓練を行う必要がある。

5－5－4　施設に関して

施設の運転状態を監視するための計測設備は、故障した場合に直ちに補修等適切な処置を行うべきである。

安全上重要な監視設備については、事故時にも必要な機能が維持されるよう設計上の配慮をすべきである。

事故時においても必要な監視及び操作を行うことができるよう、制御室には施設の状態を検知するための計測系、外部との通信設備を整備するほか、放射性物質の拡散、火災による煙の発生等を伴うような事故時にも、作業員が必要な監視及び操作を行うことができるよう配慮すべきである。

連絡通路、換気系等を共用することにより他施設からの影響が考えられる施設については、他施設と同程度の計測器の設置等の措置が必要である。

６．安全規制に関する検討

本章においては、本委員会に提出された安全審査関係資料の範囲内において、安全規制に関連する事実関係を中心に検討する。

６－１　安全審査に係る経緯

６－１－１　アスファルト固化技術開発施設

これまで事故調査委員会には、アスファルト固化技術開発施設の基本設計に係る安全審査に関連して、委員会資料２０―６改において、昭和５３年７月８日付け（昭和５３年８月１６日付け一部訂正）の「再処理施設の一部変更に係る安全性に関する書類」(以下、「アスファルト申請書」という。)、「アスファルト固化技術開発施設について」(以下、「アスファルト説明資料」という。)、「アスファルト固化技術開発施設における仮想的事故について」(以下、「アスファルト補足資料」という。)、「動力炉・核燃料開発事業団の再処理施設の一部変更に係る安全性について(答申)」(以下、「アスファルト答申」という。)が提出されている。また、委員会資料２９―４において、アスファルト固化技術開発施設の詳細設計に係る審査に関連して、昭和５４年１０月１６日付けの「再処理施設に関する設計及び工事方法（その１９）」の認可申請書（火災防護関係）（以下、「アスファルト設工認申請書」という。)、水噴霧スプレイ増設等の詳細設計に係る審査に関連して、昭和５７年１１月２日付けの「再処理施設に関する設計及び工事方法（その１９）」の変更認可申請書（抜粋）（以下、「スプレイ増設設工認申請書」という。）等が提出されている。

アスファルト答申の記載によれば、アスファルト固化技術開発施設（以下、「アスファルト施設」という。）の安全審査は、動燃が提出したアスファルト施設の設置に関するアスファルト申請書に基づき、原子力委員会核燃料安全専門審査会において、昭和５３年７月１７日より審査が行われ、同年８月２１日付けで安全性は十分確保し得るとした報告書がまとめられ、同年９月１２日付けでその旨の内閣総理大臣への答申が行われている。その後、アスファルト設工認申請書が、昭和５４年１０月１６日付けで動燃から提出され、同年１２月２４日に認可されている。昭和５７年１１月２日には、スプレイ増設設工認申請書が、動燃から提出され、同年１２月３日に認可されている。

６－１－２　廃溶媒処理技術開発施設（ＳＴ施設）

ＳＴ施設の基本設計に係る安全審査に関連して、委員会資料２９―４として昭和５６年１月２６日付け（昭和５６年２月２５日付け及び昭和５６年６月２３日付け一部補正）の「再処理施設設置変更承認申請書（抜粋）」(以下、「廃溶媒申請書」という。)、昭和５６年３月３日付けの同変更に係る科学技術庁の安全審査書案(以下、「廃溶媒審査書案」という。)、昭和５６年７月２日付けの同変更に係る原子力安全委員会の答申(以下、「廃溶媒答申」という。)及び同変更に係る説明資料(以下、「廃溶媒説明資料」という。)が、提出されている。

廃溶媒答申の記載によれば、ＳＴ施設の安全審査は、廃溶媒申請書に基づき、原子力安全委員会核燃料安全専門審査会において、昭和５６年４月２８日より審査が行われ、同年７月２日付けの安全性は十分確保し得るとした内閣総理大臣への廃溶媒答申が提出されている。

６－２　火災爆発の防止に係る安全審査の内容

アスファルト答申には、火災爆発の防止対策として以下の項目が記載されている。

① 引火点約２５０～３５０℃のアスファルトの加熱には、蒸気を使用した間接的な加熱方法を採用し、加熱蒸気の飽和温度を２１５℃以下にする。
② アスファルト貯槽等のアスファルトを取り扱う機器、配管等は、必要に応じて接地する。
③ エクストルーダへ供給する廃液は、あらかじめ反応槽で水素イオン濃度を調整する。
④ ドラム缶に充てんした脱水混合アスファルトは、十分冷却するため、Ｒ１５２に所要時間保持し、かつ、同室には十分な換気を施す。

また、万一の場合を考慮し、Ｒ１５２及びＲ１５１には、炭酸ガス吹き出し設備を、アスファルト固化体の貯蔵セル及びアスファルト貯蔵室には、水噴霧消火設備を設けるほか、その他の場所についても消防法等に定める消火設備、火災報知器を設置することが記載されている。これらのうち、Ｒ１５１の炭酸ガス吹き出し設備及びアスファルト貯蔵室の水噴霧消火設備は、昭和５３年８月１６日付けのアスファルト申請書の一部訂正で追加されたものである。

アスファルト説明資料には、以上に加えて、万一の場合を考慮し、Ｒ１５２及びＲ１５１の給気ダクトに遮断ダンパを設ける旨記載されている。

アスファルト補足資料によれば、当時把握されていたアスファルト固化処理施設の事故は、ドイツのカールスルーエ原子力研究所における火災２件、英国ハーウェル原子力研究所における火災、動燃ベンチスケール試験装置における火災であった。

これらの事故の原因として、処理対象廃液の水素イオン濃度の調整不良、リン酸トリブチル（ＴＢＰ）と水酸化ナトリウムの反応、局所加熱、アスファルト製造時の触媒の使用、運転温度の過大等があげられている。

また、これらの事故原因を受けて、アスファルト施設で採られる火災爆発防止対策として、処理対象廃液の水素イオン濃度の適切な調整、エクストルーダ出口へのガス検知器の設置、２１５℃以下の飽和蒸気による間接加熱、触媒を使用しないで製造されたアスファルトの使用等が示されている。

アスファルト設工認申請書では、Ｒ１５１及びＲ１５２に、炭酸ガス吹き出し装置及び水噴霧消火設備のほか、消火設備の設置が申請されている。スプレイ増設設工認申請書では、Ｒ１５２への水噴霧消火設備のスプレイヘッドの追加等が申請されている。

廃溶媒審査書案等では、ＳＴ施設からの廃液をアスファルト施設に送る旨記載されている。

６－３　事故評価

アスファルト答申においては、万一、事故が発生した場合を想定し、周辺公衆への影響が評価されている。

事故は、エクストルーダにおける火災が想定され、事故により大気中に放出される放射能量は、燃焼するアスファルトの量、換気系の除染係数（以下、「ＤＦ」という。）を十分厳しく仮定して計算し、呼吸による内部被ばく線量及び放射性雲のγ線による外部被ばく線量を評価している。

アスファルト補足資料には、上記に加え以下の評価の前提条件が記述されている。

① 火災によって燃焼するアスファルトの量としては、エクストルーダ内に通常保持されている量とターンテーブル上の５本のドラム缶が全て満たされた場合の量とする。
② 燃焼によりセル換気系のフィルタまで到達する放射能の量は、不完全燃焼及び機器・ダクト等への付着等を考え、ＤＦを５として求める。
③ セル換気系のフィルタは２段あり通常のＤＦは、１０５～１０６あるが、厳しい側の値として１０２とする。
④ ヨウ素については、上記の㈪及び㈫のＤＦを考慮せず、ＤＦを１とする。

６－４　安全審査等に対する検討

６－４－１　消火対策等

アスファルト答申、アスファルト申請書、アスファルト説明資料及びアスファルト補足資料には、Ｒ１５１、Ｒ１５２について炭酸ガス吹き出し設備を設置することが記載されているが、Ｒ１５１、Ｒ１５２の水噴霧消火設備については、これらの書類には記載されていない。

これまでに委員会に提出された資料では、Ｒ１５１、Ｒ１５２の水噴霧消火設備について、アスファルト申請書等に記載を必要とされなかった理由は明らかにされていない。同設備は、アスファルト設工認申請書に記載されている。また、スプレイ増設設工認申請書も提出されている。この時、水噴霧消火設備設置、スプレイ追加の設工認にあたり動燃が行った実験結果等についての確認が行われていない。

ＳＴ施設の廃液をアスファルト施設で処理することの安全性に関し、廃溶媒申請書、廃溶媒審査書案、廃溶媒答申には記載がない。ＳＴ施設からの廃液をアスファルト施設において処理することにより、固化体中にＴＢＰ等の油分を持ち込む可能性を生じるが、これに対しては、廃溶媒説明資料では、油分が混入しないよう十分な対策を講じている旨が説明されている。

また、アスファルト施設設置及びＳＴ施設設置に関し、これまでに委員会に提出された全ての資料には、低温発熱反応によるドラム缶内発熱の可能性について記載がなく、審査がなされていない。

６－４－２　セル換気機能

アスファルト説明資料には、火災対策の一つとしてＲ１５２の給気ダクトに遮断ダンパを設置することが説明されており、また、アスファルト設工認申請書には、炭酸ガス吹き出し設備の消火能力の説明にあたり、給気系を遮断することが説明されている。

アスファルト答申においては、火災事故による周辺公衆の被ばく線量について、固化体５本が燃焼し、その火災により発生した放射性物質がフィルタを経由して放出されるとして評価されている。

アスファルト補足資料においては、火災が直ちに消火されると記載されている。これまでに委員会に提出された全ての資料には、燃焼するとした固化体数の選定理由、火災が直ちに消火されるとした理由及びフィルタの健全性がアスファルトの火災事故時にも維持できると判断した理由の記載はなく、審査がなされていない。

7．おわりに

アスファルト固化処理施設は、実質的な役割を、再処理施設から発生する放射性廃棄物のうち比較的放射能レベルが低い放射性廃棄物の固化処理の業務を恒常的に担うことに置いている。その上で、技術開発施設としての役割から、常に技術開発にも取り組んで来ている。処理業務の実績としては、操業開始以来１５年間で約３万本のアスファルト固化体を製造してきており、作業請負業者はかかる実績に対して数回にわたる顕彰を受けている。技術開発に関しても、再処理工場の当時の唯一の放射性廃液固化処理施設として各種の廃液の処理にかかわる対応技術の確証、処理工程の改善による施設の効率向上を目指した技術改良への取組みが進められてきた。

今回の事故はかかる操業実績のもとで起こったものであり、操業実績への過信が事故の根源的な要因となったといえる。操業を開始した当初は、ベルギーでの同種の施設の火災事故があったこと、動燃自身も開発の段階において、触媒の有無、固化処理温度等が現在のものと異なるとはいえ、充てん４時間後の自然発火事故を経験していたこと、さらにはそれらに対応した燃焼・消火実験を行っていたことから、施設の運転に当たっては火災に対する注意がなされていた。しかるに、安定した操業実績が続くにしたがって、火災に対する危険意識は薄れてというよりも消え去っていっており、現在の施設管理担当者及び運転作業員にいたっては、これら過去の貴重な知見を今回の事故に活かし得なかったどころか、それら知見の存在すら知るものが誰一人いなかったという状況にまで至っていた。

さらに、重要なのは安定した操業実績に対するアスファルトと処理廃液成分との化学反応特性の見地からの認識の変化である。安定した操業実績は、慎重に検討された固化体製造の諸条件を遵守することで達成されて来ており、廃液の組成条件に変動が予測される場合及び処理工程の操作条件を変動させる場合には、それら条件の変動範囲での化学反応特性を実証的に十分に把握し、固化体製造条件の安全条件範囲を確認しながら実績を伸ばしてきたはずである。しかるにこの実績の大きさがアスファルトと処理廃液成分との化学反応特性の見地からの火災発生の危険性の認識を失わせており、今回の事故は、これまでにない新たな製造条件での運転計画であったにもかかわらず、その火災発生の危険性の検討はおろか所要確認事項となっていた示差熱分析すら行われておらず、さらに、必要な運転員が十分に配置されていないという状況下で発生している。まさに、安全への慣れの典型例といえるものとして事故は発生しているのである。

原子力の安全とは通常、放射能に対する安全である。放射能以外のものに対する安全確保はそれぞれの所定の安全規範に従って行われる。本施設の技術開発における放出放射能に対する配慮には一定の評価はできるが、アスファルトを取り扱う施設として最も肝要な火災の安全性に対する感覚が鈍化してしまっていたことは惜しむに余りある。結果的には、火災爆発事故により原子力施設の安全確保上最も重要な放射能の閉じ込め機能の喪失という事態を招いてしまったのである。

本施設は内蔵する放射能量が再処理工場の主工程の施設に比べれば桁違いに少ないこと

から、今回の事故の放出放射能による環境への影響は深刻なものとはなっていないが、原子力施設の放射能の閉じ込め機能の喪失という事態は重大なものとして受けとめなければならない。今回の事故は、一言でいうならば、安全への慣れによって引き起こされたということが出来るが、もしここに、本施設が再処理工場の主工程の施設に比べて内蔵する放射能量が桁違いに少ない放射性廃棄物を取り扱う施設であるという甘さがあったとすれば、これは許されるべきことではないことを強調しておく。

今回の火災爆発事故の原因の調査を通じて、事故発生に直接的、間接的にかかわりを持つ数々の事由を明らかにしてきた。事故の原因は、直接的には火災を発生させた事由及びそれを爆発に発展させた事由にあることになるが、根元的にはこれらの事由の出現を可能にした運転管理体制にかかわる事由がより重大であり、さらにはかかる体制を存続させていた事業者の体質も、別途、問われなければならない。

今回の事故は、極めて重要な多くの教訓と提言を与えるものである。

今後の原子力施設の安全性堅持のために活かされることを期待したい。

表３－１　評価に用いたアスファルト固化体の燃焼割合

ﾊﾞｯﾁ No.	ﾄﾞﾗﾑ No.	ﾄﾞﾗﾑ ID	位置	棒差込深さ (cm)	燃焼割合(*1)
29	30088	A6	ｺﾝﾍﾞｱ上	10～20	0.21
	30089	B8	ｺﾝﾍﾞｱ上	0	0.00
	30090	A7	ｺﾝﾍﾞｱ上	10～20	0.21
	30091	B9	ｺﾝﾍﾞｱ上	10～20	0.21
	30092	A8	ｺﾝﾍﾞｱ上	0	0.00
	30093	E1	ｺﾝﾍﾞｱ上	70	1.00
	30094	A9	ｺﾝﾍﾞｱ上	70	1.00
	30095	E4	ｺﾝﾍﾞｱ上	70	1.00
	30096	A10	ｺﾝﾍﾞｱ上	30～40	0.50
	30097	E5	ｺﾝﾍﾞｱ上	50～60	0.79
	30098	A11	ｺﾝﾍﾞｱ上	70	1.00
	30099	E6	ｺﾝﾍﾞｱ上	50～60	0.79
30	30100	A12	ｺﾝﾍﾞｱ上	60～70	0.93
	30101	D2	ﾀｰﾝﾃｰﾌﾞﾙ上	70	1.00
	30102	D5	ﾀｰﾝﾃｰﾌﾞﾙ上	50～60	0.79
	30103	D3	ﾀｰﾝﾃｰﾌﾞﾙ上	40	0.57
	30104	D1	ﾀｰﾝﾃｰﾌﾞﾙ上	70	1.00

*1：基準とするアスファルト固化体の深さを70cmとした。委員会資料23-2に基づく差込深さの中間値を燃焼割合とした。

表3－2　放射能移行割合の設定値とその設定手順

（１）　固化体から気相への放射能移行割合の設定値とその設定手順

核種	移行割合	設定手順
^{14}C	1.0	仮定
^{129}I	1.0	(Cs設定値0.5) と(排気設備のI/Cs比)に基づく
^{90}Sr	0.1	(α設定値0.1)と同じとする
^{106}Ru	0.1-0.3	(Cs設定値0.5)と(固化体中の対Cs比と煤(A121，A234，A235)中の対Cs比の比較)に基づく
^{125}Sb	0.1-0.2	
^{144}Ce	0.05-0.1	
^{60}Co	0.05-0.3	
$^{134,\ 137}Cs$	0.5	（α核種設定値）と(固化体中の対Cs/α比と煤(A121，A234)のCs/α比の比較(5倍)) に基づく
α(Pu，Am)	0.1	文献(Kluger)に基づく

（２）開口部からの放射能放出割合の設定値とその設定手順

核種	放出割合	設定手順
^{14}C	1.0	仮定
^{129}I	0.2	(Cs設定値0.1)と(燃焼時のI，Csの設定値の比(2倍))に基づく
^{90}Sr	0.003-0.008	(α設定値0.006-0.02)と(固化体中のSr/α比と施設周辺浮遊塵試料(3地点)のSr/α比の比較(0.4))に基づく
^{106}Ru	0.02-0.05	(Cs設定値0.1)と(固化体の対Cs比と煤(A121，A234，A235)の対Cs比の比較)に基づく
^{125}Sb	0.02-0.04	
^{144}Ce	0.006-0.02	(α設定値0.006-0.02)と同じとする
^{60}Co		
$^{134,\ 137}Cs$	0.1	文献(Flew)に基づく
α(Pu，Am)	0.006-0.02	(Cs設定値0.1)と(施設内煤のCs/α比と施設周辺浮遊塵試料(3地点)のCs/α比の比較)に基づく

表３－３　燃焼したドラム缶全てが激しく燃焼したと仮定した場合の開口部から放出された核種の放射能比

核種	火災*1		固化体から気相へ移行した核種の放射能比 (^{137}Cs基準)	開口部からの放出割合			開口部から放出された核種の放射能比 (^{137}Cs基準)
	燃焼量中の核種の放射能比 (^{137}Cs基準)	固化体から気相への移行割合		Asp施設横 *2	プル燃 守衛所前 *2	南南東350m *2	
^{14}C	—	—	—	—	—	—	(5.5 GBq)*3
^{60}Co	3.8E-3	0.05-0.3	3.8E-4～2.3E-3	0.006	0.01	0.02	2.3E-5～4.5E-4
^{90}Sr	4.9E-1	0.1	9.8E-2	0.003	0.004	0.008	2.9E-3～7.8E-3
^{106}Ru	1.3E-1	0.1-0.3	2.6E-2～7.7E-2	0.02	0.04	0.05	5.2E-3～3.9E-2
^{129}I	2.3E-3	1	4.7E-3	0.2	0.2	0.2	9.3E-3
^{125}Sb	1.3E-2	0.1-0.2	2.7E-3～5.3E-3	0.02	0.03	0.04	5.3E-4～2.1E-3
^{144}Ce	1.3E-2	0.05-0.1	1.3E-3～2.6E-3	0.006	0.01	0.02	7.7E-5～5.2E-4
^{134}Cs	9.8E-2	0.5	9.8E-2	0.1	0.1	0.1	9.8E-2
^{137}Cs	1.0E+0	0.5	1.0E+0	0.1	0.1	0.1	1.0E+0
Pu(α)	1.1E-2	0.1	2.1E-3	0.006	0.01	0.02	1.3E-4～4.3E-4
^{241}Am	4.2E-2	0.1	8.3E-3	0.006	0.01	0.02	5.0E-4～1.7E-3

*1) 最初の火災及び爆発後の火災の移行割合は同じ

*2) α核種の放出割合を設定するために用いたモニタリングデータの採取地点

*3) ^{14}Cについては燃焼量中の固化体が含まれる缶が全て放出されるものとした

表３－４　開口部から放出された核種別放射能量の推定結果

	核種	放出量（GBq）
β核種	^{60}Co	0.00002～0.002
	^{90}Sr	0.003～0.03
	^{106}Ru	0.005～0.2
	^{129}I	0.009～0.04
	^{125}Sb	0.0005～0.008
	^{134}Cs	0.1～0.4
	^{137}Cs	1～4
	^{144}Ce	0.00008～0.002
	^{241}Pu*	0.003～0.05
α核種	Pu(α)	0.0001～0.002
	^{241}Am	0.0005～0.007

核種	放出量（GBq）
^{14}C	6

＊^{241}Puは，Pu(α)放出量に^{241}Pu／Pu(α)放射能比（=26）を乗じて算出

表３－５　公衆の放出経路別実効線量当量推定結果

（単位：mSv）

	窓、シャッター等からの放出	付属排気筒からの放出(3/5～3/12)	付属排気筒からの放出(3/13～4/1)	E施設局所排気口からの放出	Z施設局所排気口からの放出
最大濃度地点	南約1050m（敷地境界付近）	南約3000m	北北西約650m	南約1050m（敷地境界付近）	
核種					
^{14}C	5.1E-5	4.0E-6	N.D.	-	-
^{60}Co	1.3E-8～1.3E-6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
^{90}Sr	1.6E-5～1.6E-4	5.1E-8	1.6E-11	N.D.	9.1E-8
^{106}Ru	9.1E-6～3.7E-4	N.D.	N.D.	N.D.	7.9E-8
^{125}Sb	2.0E-8～3.2E-7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
^{129}I	3.4E-6～1.5E-5	6.4E-8	N.D.	N.D.	8.7E-8
^{134}Cs	2.0E-5～7.9E-5	1.3E-7	2.9E-11	1.5E-9	2.0E-7
^{137}Cs	1.3E-4～5.3E-4	9.2E-7	2.0E-10	1.2E-8	1.5E-6
^{144}Ce	1.2E-7～2.9E-6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
^{241}Pu	1.1E-4～1.8E-3	1.6E-6	-	1.4E-8	1.5E-6
Pu(α)	1.8E-4～3.7E-3	3.1E-6	N.D.	2.7E-8	3.0E-6
^{241}Am	9.3E-4～1.3E-2	1.1E-6	N.D.	1.4E-8	1.6E-6
U(α)	-	4.8E-8	N.D.	N.D.	N.D.
合計	1.4E-3～2.0E-2	1.1E-5	2.5E-10	6.8E-8	8.0E-6

N.D.:検出限界未満

表３－６ 全身カウンタによる個人の内部被ばくによる実効線量当量

番号	134Cs		137Cs	
	摂取量(Bq)	実効線量当量(mSv)	摂取量(Bq)	実効線量当量(mSv)
1	1.30E+02 ± 3.20E+01	1.70E-03 ± 4.10E-04	7.70E+02 ± 8.60E+01	6.80E-03 ± 7.50E-04
2	1.30E+02 ± 3.20E+01	1.70E-03 ± 4.10E-04	8.50E+02 ± 8.90E+01	7.50E-03 ± 7.80E-04
3	9.40E+01 ± 2.70E+01	1.20E-03 ± 3.50E-04	5.30E+02 ± 6.80E+01	4.60E-03 ± 6.00E-04
4	N.D.	0.00E+00	5.80E+02 ± 7.90E+01	5.10E-03 ± 6.90E-04
5	2.30E+02 ± 5.50E+01	2.90E-03 ± 7.10E-04	1.50E+03 ± 1.20E+02	1.30E-02 ± 1.10E-03
6	3.10E+02 ± 5.50E+01	4.00E-03 ± 7.10E-04	2.30E+03 ± 1.40E+02	2.00E-02 ± 1.20E-03
7	N.D.	0.00E+00	2.40E+02 ± 4.30E+01	2.10E-03 ± 3.80E-04
8	8.00E+01 ± 2.50E+01	1.00E-03 ± 3.20E-04	1.30E+02 ± 3.10E+01	1.10E-03 ± 2.70E-04
9	1.10E+02 ± 3.00E+01	1.40E-03 ± 3.80E-04	6.20E+02 ± 7.40E+01	5.40E-03 ± 6.50E-04
10	1.40E+02 ± 3.30E+01	1.80E-03 ± 4.30E-04	7.20E+02 ± 8.00E+01	6.30E-03 ± 7.00E-04
11	N.D.	0.00E+00	1.90E+02 ± 4.60E+01	1.70E-03 ± 4.00E-04
12	N.D.	0.00E+00	5.10E+02 ± 6.40E+01	4.50E-03 ± 5.60E-04
13	8.80E+01 ± 2.60E+01	1.10E-03 ± 3.30E-04	7.50E+02 ± 8.50E+01	6.60E-03 ± 7.40E-04
14	N.D.	0.00E+00	2.10E+02 ± 4.40E+01	1.80E-03 ± 3.80E-04
15	N.D.	0.00E+00	3.70E+02 ± 6.10E+01	3.20E-03 ± 5.30E-04
16	N.D.	0.00E+00	3.10E+02 ± 4.90E+01	2.70E-03 ± 4.30E-04
17	N.D.	0.00E+00	1.60E+02 ± 3.40E+01	1.40E-03 ± 3.00E-04
18	N.D.	0.00E+00	2.60E+02 ± 4.40E+01	2.30E-03 ± 3.90E-04
19	N.D.	0.00E+00	1.80E+02 ± 3.60E+01	1.60E-03 ± 3.20E-04
20	N.D.	0.00E+00	1.40E+02 ± 3.20E+01	1.20E-03 ± 2.80E-04
21	N.D.	0.00E+00	4.80E+02 ± 6.00E+01	4.20E-03 ± 5.20E-04
22	N.D.	0.00E+00	4.10E+02 ± 5.60E+01	3.60E-03 ± 4.90E-04
23	N.D.	0.00E+00	1.10E+03 ± 9.60E+01	9.60E-03 ± 8.50E-04
24	N.D.	0.00E+00	3.50E+02 ± 5.20E+01	3.10E-03 ± 4.60E-04
25	N.D.	0.00E+00	4.10E+02 ± 5.50E+01	3.60E-03 ± 4.80E-04
26	N.D.	0.00E+00	3.00E+02 ± 4.90E+01	2.60E-03 ± 4.30E-04
27	N.D.	0.00E+00	3.50E+02 ± 5.20E+01	3.10E-03 ± 4.50E-04
28	N.D.	0.00E+00	1.50E+02 ± 3.50E+01	1.30E-03 ± 3.00E-04
29	N.D.	0.00E+00	2.80E+02 ± 4.60E+01	2.50E-03 ± 4.00E-04
30	N.D.	0.00E+00	2.50E+02 ± 5.00E+01	2.20E-03 ± 4.40E-04
31	N.D.	0.00E+00	2.70E+02 ± 4.70E+01	2.40E-03 ± 4.10E-04
32	N.D.	0.00E+00	1.60E+02 ± 3.60E+01	1.40E-03 ± 3.20E-04
33	N.D.	0.00E+00	2.20E+02 ± 4.20E+01	1.90E-03 ± 3.70E-04
34	1.30E+02 ± 3.30E+01	1.70E-03 ± 4.30E-04	5.90E+02 ± 6.70E+01	5.20E-03 ± 5.90E-04
35	N.D.	0.00E+00	3.80E+02 ± 5.30E+01	3.30E-03 ± 4.70E-04
36	N.D.	0.00E+00	2.20E+02 ± 4.30E+01	1.90E-03 ± 3.80E-04
37	N.D.	0.00E+00	1.50E+02 ± 3.50E+01	1.30E-03 ± 3.10E-04

注）N.D.：不検出（検出限界：134Cs 60Bq, 137Cs 50Bq）
「E+01」の表記は、×10を示す。

表３－７　鼻スミヤ試料の核種分析結果による実効線量当量推定結果（１/２）

（検出限界値以下のものは、検出限界値の摂取があったとして推定）

ID	Cs-137摂取量	Cs-134摂取量	核種別摂取量（鼻スミヤ試料分析値より）[Bq]					核種別摂取量（鼻スミヤ試料検出下限値より）[Bq]					実効線量当量
	[Bq]	[Bq]	Sr-90	Pu-238	Pu-239,240	Am-241	Pu-241	Co-60	Ru-106	Sb-125	I-129	Ce-144	計算値 [mSv]
1	770	130	5.2E+0	5.3E-1	2.5E-1	6.0E-1	1.7E+1	2.9E+1	3.7E+2	9.2E+1	1.8E+2	1.9E+2	2.8E-1
2	850	130	7.1E+0	5.9E-1	2.8E-1	6.6E-1	1.9E+1	1.8E+2	2.3E+3	4.6E+2	8.5E+2	1.1E+3	6.7E-1
3	530	94	3.4E+0	3.6E-1	1.2E-1	3.2E-1	8.0E+0	3.0E+1	4.4E+2	1.0E+2	2.0E+2	2.2E+2	2.0E-1
4	580	-	4.8E+0	4.0E-1	1.9E-1	4.5E-1	1.3E+1	1.2E+2	1.6E+3	3.1E+2	5.8E+2	7.5E+2	4.6E-1
5	1500	230	8.9E+0	6.2E-1	3.6E-1	6.8E-1	3.2E+1	2.1E+2	3.2E+3	7.8E+2	1.5E+3	1.7E+3	9.1E-1
6	2300	310	1.9E+1	1.5E+0	3.9E-1	7.6E-1	2.5E+1	4.8E+2	6.2E+3	1.2E+3	2.0E+3	3.0E+3	1.6E+0
7	240	-	2.0E+0	1.7E-1	7.9E-2	1.9E-1	5.3E+0	5.0E+1	6.5E+2	1.3E+2	2.4E+2	3.1E+2	1.9E-1
8	130	80	1.1E+0	9.0E-2	4.3E-2	1.0E-1	2.9E+0	2.7E+1	3.5E+2	7.0E+1	1.3E+2	1.7E+2	1.0E-1
9	620	110	5.1E+0	4.3E-1	2.0E-1	4.8E-1	1.4E+1	1.3E+2	1.7E+3	3.3E+2	6.2E+2	8.1E+2	4.9E-1
10	720	140	5.1E+0	4.3E-1	1.7E-1	4.2E-1	1.3E+1	2.3E+1	2.7E+2	6.6E+1	1.2E+2	1.6E+2	2.1E-1
11	190	-	1.6E+0	1.3E-1	6.3E-2	1.5E-1	4.2E+0	4.0E+1	5.1E+2	1.0E+2	1.9E+2	2.5E+2	1.5E-1
12	510	-	4.2E+0	3.5E-1	1.7E-1	4.0E-1	1.1E+1	1.1E+2	1.4E+3	2.8E+2	5.1E+2	6.6E+2	4.0E-1
13	750	88	6.2E+0	5.2E-1	2.5E-1	5.9E-1	1.7E+1	1.6E+2	2.0E+3	4.1E+2	7.5E+2	9.8E+2	5.9E-1
14	210	-	1.7E+0	1.4E-1	6.9E-2	1.6E-1	4.8E+0	4.4E+1	5.7E+2	1.1E+2	2.1E+2	2.7E+2	1.7E-1
15	370	-	3.1E+0	2.6E-1	1.2E-1	2.9E-1	8.1E+0	7.8E+1	1.0E+3	2.0E+2	3.7E+2	4.8E+2	2.9E-1
16	310	-	2.6E+0	2.1E-1	1.0E-1	2.4E-1	6.8E+0	6.5E+1	8.4E+2	1.7E+2	3.1E+2	4.0E+2	2.4E-1
17	160	-	1.3E+0	1.1E-1	5.3E-2	1.2E-1	3.5E+0	3.4E+1	4.3E+2	8.6E+1	1.6E+2	2.1E+2	1.3E-1
18	260	-	2.2E+0	1.8E-1	8.6E-2	2.0E-1	5.7E+0	5.5E+1	7.0E+2	1.4E+2	2.6E+2	3.4E+2	2.0E-1
19	180	-	1.5E+0	1.2E-1	5.9E-2	1.4E-1	4.0E+0	3.8E+1	4.9E+2	9.7E+1	1.8E+2	2.3E+2	1.4E-1
20	140	-	1.2E+0	9.7E-2	4.6E-2	1.1E-1	3.1E+0	2.9E+1	3.8E+2	7.6E+1	1.4E+2	1.8E+2	1.1E-1
21	480	-	4.0E+0	3.3E-1	1.6E-1	3.7E-1	1.1E+1	1.0E+2	1.3E+3	2.6E+2	4.8E+2	6.2E+2	3.8E-1
22	410	-	3.4E+0	2.8E-1	1.4E-1	3.2E-1	9.0E+0	8.6E+1	1.1E+3	2.2E+2	4.1E+2	5.3E+2	3.2E-1
23	1100	-	9.1E+0	7.6E-1	3.6E-1	8.6E-1	2.4E+1	2.3E+2	3.0E+3	5.9E+2	1.1E+3	1.4E+3	8.7E-1
24	350	-	2.9E+0	2.4E-1	1.2E-1	2.7E-1	7.7E+0	7.4E+1	9.5E+2	1.9E+2	3.5E+2	4.6E+2	2.8E-1
25	410	-	3.4E+0	2.8E-1	1.4E-1	3.2E-1	9.0E+0	8.6E+1	1.1E+3	2.2E+2	4.1E+2	5.3E+2	3.2E-1
26	300	-	2.5E+0	2.1E-1	9.9E-2	2.3E-1	6.6E+0	6.3E+1	8.1E+2	1.6E+2	3.0E+2	3.9E+2	2.4E-1
27	350	-	2.9E+0	2.4E-1	1.2E-1	2.7E-1	7.7E+0	7.4E+1	9.5E+2	1.9E+2	3.5E+2	4.6E+2	2.8E-1
28	150	-	1.2E+0	1.0E-1	5.0E-2	1.2E-1	3.3E+0	3.2E+1	4.1E+2	8.1E+1	1.5E+2	2.0E+2	1.2E-1
29	280	-	2.3E+0	1.9E-1	9.2E-2	2.2E-1	6.2E+0	5.9E+1	7.6E+2	1.5E+2	2.8E+2	3.6E+2	2.2E-1
30	250	-	2.1E+0	1.7E-1	8.3E-2	2.0E-1	5.5E+0	5.3E+1	6.8E+2	1.4E+2	2.5E+2	3.3E+2	2.0E-1
31	270	-	2.2E+0	1.9E-1	8.9E-2	2.1E-1	5.9E+0	5.7E+1	7.3E+2	1.5E+2	2.7E+2	3.5E+2	2.1E-1
32	160	-	1.3E+0	1.1E-1	5.3E-2	1.2E-1	3.5E+0	3.4E+1	4.3E+2	8.6E+1	1.6E+2	2.1E+2	1.3E-1
33	220	-	1.8E+0	1.5E-1	7.3E-2	1.7E-1	4.8E+0	4.6E+1	5.9E+2	1.2E+2	2.2E+2	2.9E+2	1.7E-1
34	590	130	4.9E+0	4.1E-1	1.9E-1	4.6E-1	1.3E+1	1.2E+2	1.6E+3	3.2E+2	5.9E+2	7.7E+2	4.7E-1
35	380	-	3.2E+0	2.6E-1	1.3E-1	3.0E-1	8.4E+0	8.0E+1	1.0E+3	2.1E+2	3.8E+2	4.9E+2	3.0E-1
36	220	-	1.8E+0	1.5E-1	7.3E-2	1.7E-1	4.8E+0	4.6E+1	5.9E+2	1.2E+2	2.2E+2	2.9E+2	1.7E-1
37	150	-	1.2E+0	1.0E-1	5.0E-2	1.2E-1	3.3E+0	3.2E+1	4.1E+2	8.1E+1	1.5E+2	2.0E+2	1.2E-1

注）　Cs-137及びCs-134摂取量は、全身カウンタによる測定。
「E+01」の表記は、×10を示す。

表３－７　鼻スミヤ試料の核種分析結果による実効線量当量推定結果（２/２）

（検出限界値以下のものは摂取がなかったとして推定）

ID	Cs-137摂取量	Cs-134摂取量	核種別摂取量（鼻スミヤ試料分析値より）[Bq]					核種別摂取量 [Bq]					実効線量当量
	[Bq]	[Bq]	Sr-90	Pu-238	Pu-239,240	Am-241	Pu-241	Co-60	Ru-106	Sb-125	I-129	Ce-144	計算値 (mSv)
1	770	130	5.2E+0	5.3E-1	2.5E-1	6.0E-1	1.7E+1	-	-	-	-	-	2.1E-1
2	850	130	7.1E+0	5.9E-1	2.8E-1	6.6E-1	1.9E+1	-	-	-	-	-	2.3E-1
3	530	94	3.4E+0	3.6E-1	1.2E-1	3.2E-1	8.0E+0	-	-	-	-	-	1.2E-1
4	580	-	4.8E+0	4.0E-1	1.9E-1	4.5E-1	1.3E+1	-	-	-	-	-	1.6E-1
5	1500	230	8.9E+0	6.2E-1	3.6E-1	6.8E-1	3.2E+1	-	-	-	-	-	2.8E-1
6	2300	310	1.9E+1	1.5E+0	3.9E-1	7.6E-1	2.5E+1	-	-	-	-	-	3.9E-1
7	240	-	2.0E+0	1.7E-1	7.9E-2	1.9E-1	5.3E+0	-	-	-	-	-	6.5E-2
8	130	80	1.1E+0	9.0E-2	4.3E-2	1.0E-1	2.9E+0	-	-	-	-	-	3.6E-2
9	620	110	5.1E+0	4.3E-1	2.0E-1	4.8E-1	1.4E+1	-	-	-	-	-	1.7E-1
10	720	140	5.1E+0	4.3E-1	1.7E-1	4.2E-1	1.3E+1	-	-	-	-	-	1.6E-1
11	190	-	1.6E+0	1.3E-1	6.3E-2	1.5E-1	4.2E+0	-	-	-	-	-	5.2E-2
12	510	-	4.2E+0	3.5E-1	1.7E-1	4.0E-1	1.1E+1	-	-	-	-	-	1.4E-1
13	750	88	6.2E+0	5.2E-1	2.5E-1	5.9E-1	1.7E+1	-	-	-	-	-	2.1E-1
14	210	-	1.7E+0	1.4E-1	6.9E-2	1.6E-1	4.6E+0	-	-	-	-	-	5.7E-2
15	370	-	3.1E+0	2.6E-1	1.2E-1	2.9E-1	8.1E+0	-	-	-	-	-	1.0E-1
16	310	-	2.6E+0	2.1E-1	1.0E-1	2.4E-1	6.8E+0	-	-	-	-	-	8.4E-2
17	160	-	1.3E+0	1.1E-1	5.3E-2	1.2E-1	3.5E+0	-	-	-	-	-	4.4E-2
18	260	-	2.2E+0	1.8E-1	8.6E-2	2.0E-1	5.7E+0	-	-	-	-	-	7.1E-2
19	180	-	1.5E+0	1.2E-1	5.9E-2	1.4E-1	4.0E+0	-	-	-	-	-	4.9E-2
20	140	-	1.2E+0	9.7E-2	4.6E-2	1.1E-1	3.1E+0	-	-	-	-	-	3.8E-2
21	480	-	4.0E+0	3.3E-1	1.6E-1	3.7E-1	1.1E+1	-	-	-	-	-	1.3E-1
22	410	-	3.4E+0	2.8E-1	1.4E-1	3.2E-1	9.0E+0	-	-	-	-	-	1.1E-1
23	1100	-	9.1E+0	7.6E-1	3.6E-1	8.6E-1	2.4E+1	-	-	-	-	-	3.0E-1
24	350	-	2.9E+0	2.4E-1	1.2E-1	2.7E-1	7.7E+0	-	-	-	-	-	9.5E-2
25	410	-	3.4E+0	2.8E-1	1.4E-1	3.2E-1	9.0E+0	-	-	-	-	-	1.1E-1
26	300	-	2.5E+0	2.1E-1	9.9E-2	2.3E-1	6.6E+0	-	-	-	-	-	8.2E-2
27	350	-	2.9E+0	2.4E-1	1.2E-1	2.7E-1	7.7E+0	-	-	-	-	-	9.5E-2
28	150	-	1.2E+0	1.0E-1	5.0E-2	1.2E-1	3.3E+0	-	-	-	-	-	4.1E-2
29	280	-	2.3E+0	1.9E-1	9.2E-2	2.2E-1	6.2E+0	-	-	-	-	-	7.6E-2
30	250	-	2.1E+0	1.7E-1	8.3E-2	2.0E-1	5.5E+0	-	-	-	-	-	6.8E-2
31	270	-	2.2E+0	1.9E-1	8.9E-2	2.1E-1	5.9E+0	-	-	-	-	-	7.3E-2
32	160	-	1.3E+0	1.1E-1	5.3E-2	1.2E-1	3.5E+0	-	-	-	-	-	4.4E-2
33	220	-	1.8E+0	1.5E-1	7.3E-2	1.7E-1	4.8E+0	-	-	-	-	-	6.0E-2
34	590	130	4.9E+0	4.1E-1	1.9E-1	4.6E-1	1.3E+1	-	-	-	-	-	1.6E-1
35	380	-	3.2E+0	2.6E-1	1.3E-1	3.0E-1	8.4E+0	-	-	-	-	-	1.0E-1
36	220	-	1.8E+0	1.5E-1	7.3E-2	1.7E-1	4.8E+0	-	-	-	-	-	6.0E-2
37	150	-	1.2E+0	1.0E-1	5.0E-2	1.2E-1	3.3E+0	-	-	-	-	-	4.1E-2

注）　Cs-137及びCs-134摂取量は、全身カウンタによる測定。
「E+01」の表記は、×10を示す。

（添付－１）

第一付属排気筒からの排出放射能量について

第一付属排気筒からの^{137}Ｃｓ の放出量の妥当性を評価するに際し、以下により保守的と考えられる条件を設定し、放出量の試算を行った。

（１）放出期間について

第一付属排気筒からの^{137}Ｃｓ の放出量を推定する際に、参考となるモニタリングデータは、第一付属排気筒排気モニタで採取したろ紙の放射能測定データがある。この試料の採取期間は３月５日９時から３月１２日２時５０分までであるが、ここでは爆発が発生した３月１１日２０時からフィルタを交換した３月１２日２時５０分までの ６．８時間に、全放射能量が放出されたと考える。

（２）サンプリング空気中の ^{137}Ｃｓの放射能量について

ろ紙のγ核種分析で測定した ^{137}Ｃｓの放射能をろ紙の捕集効率で除して求めた値を、当該期間のサンプリング空気中の放射能とする。

（３）排気モニタのサンプリング空気量について

排気モニタのサンプリング流量率計の指示値は信頼性が認められることから、排気モニタの当該期間における積算空気採取量は、１分ごとに収集されるサンプリング流量計の指示値より、単位時間ごとの捕集空気量を求め、これを当該時間で積分した値を積算空気採取量とする。

（４）第一付属排気筒の排気風量について

火災発生後、アスファルト固化処理施設の排風機は停止状態であったため、爆発後の第一付属排気筒の排風率は平常時より大幅に低下しているのは明らかではある。しかしながら、火災発生以降の第一付属排気筒の排風率計の指示値は信頼度を欠いているため、ここでは、動燃が設定した ^{129}I のアスファルト固化処理施設の中間排気モニタ指示値と第一付属排気筒指示値との関係から求めたアスファルト固化処理施設からの排風率について動燃の設定した値の１０

倍と見込み、これに第二高放射性固体廃棄物貯蔵施設及び廃溶媒処理技術開発施設からの排風率を加えて、第一付属排気筒からの排風率を７７，８００m^3/ｈとして、これに排風時間 ６．８時間を乗じて算出した値を当該期間における排出空気量とする。

上記の算出条件を用いた、第一付属排気筒から放出された放射能量は、次式より１１８MBｑと算出した。

$$A = a/\eta/v \times V \cdot 1 \times 10^6$$
$$= 3700/0.995/1.67 \times 10^7 \times 77800 \cdot 1 \times 10^6 \cdot 6.8 = 118 \times 10^6$$

Ａ：第一付属排気筒から放出された放射能量（Bq）

ａ：排気モニタの濾紙のγ核種分析により測定した放射能量（≒3700Bq）

η：捕集用ろ紙の捕集効率（=0.995）

ｖ：サンプリング流量計の指示値に基づき算出した積算捕集空気量
（=1.67×10^7 cm^3）

Ｖ：第一付属排気筒の積算排気風量（=77800・1×10^6・6.8 m^3）

（添付－２）

肺モニタの検出下限値に基づくα線放出核種の内部被ばくによる実効線量当量の推定

全身カウンタ測定により作業員の吸入摂取（^{134}Ｃｓ及び^{137}Ｃｓ）が評価されており、これが最大の作業員についてさらに肺モニタによる測定が行われている。この結果、有意な値は検出されなかった（検出下限値（^{241}Ａｍ：１０Ｂｑ、^{239}Ｐｕ：１，０００Ｂｑ）以下であった）とされている（委員会資料２６－３）。

全身カウンタによる測定においてＣｓが最大であった作業員は、α核種についても最大の摂取であったものと考えられ、この作業員についてα核種による実効線量当量の推定を行う。

仮に、Ｃｓの摂取が最大の作業員について、肺モニタの検出下限値の吸入摂取があったとみなし、内部被ばくによる実効線量当量を試算する。α核種の摂取量としては、肺モニタの検出感度が比較的高い^{241}Ａｍの検出下限値を基準とし、検出下限値に当該作業員の鼻スミヤ試料の分析結果から得られた全α／^{241}Ａｍ＝３．６を乗じた値とする。

実効線量当量の試算に際しては、当該作業員が摂取したα核種はすべて年摂取限度が最も厳しい^{241}Ａｍとして行う。

上記考え方に基づき、摂取量及び実効線量当量を以下のとおり試算した。

１．摂取量の試算について

胸部計測による肺残留の測定に基づき長期肺残留成分の初期値$q_L(0)$が評価できる場合は、吸入のクラスW、クラスＹとも、次式より摂取量を求めることができる。

$I = q_L(0)/0.15$

作業員の肺モニタによる確認測定は３月２５日に実施されているが、ここでは肺モニタの^{241}Ａｍの検出下限値である１０Ｂｑに係数３．６を乗じた値を初期値$q_L(0)$として、^{241}Ａｍの吸入摂取量を２４０Ｂｑと評価した。

$I = q_L(0)/0.15 = 10 \times 3.6/0.15 = 240$

I：吸入摂取した^{241}Amの放射能量　(Bq)
$q_L(0)$：摂取時における肺の長期残留成分　(Bq)

2．実効線量当量の算出について

^{241}Amを２４０Ｂｑ摂取した場合の実効線量当量は、次式より２９ｍＳｖとなる。

$$H_{EI}=50\times I/(ALI)_s=50\times 240/4.1\times 10^2=29$$

H_{EI}：実効線量当量(mSv)
I：吸入摂取した放射能量(Bq)
$(ALI)_s$：年摂取限度(Bq)

（参考）
科学技術庁告示第２０号（試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則等の規定に基づき、線量当量限度等を定める件）：別表第１（抜粋）

第１欄 放射性物質の種類		第２欄 年摂取限度
^{239}Pu	酸化物以外のもの	4.2×10^2
^{241}Am	すべての化合物	4.1×10^2

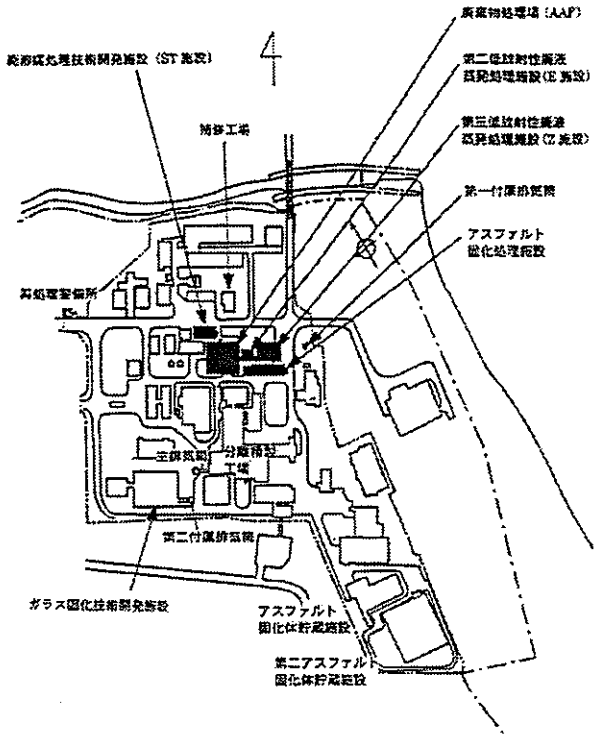


図2-1　再処理施設建家配置図

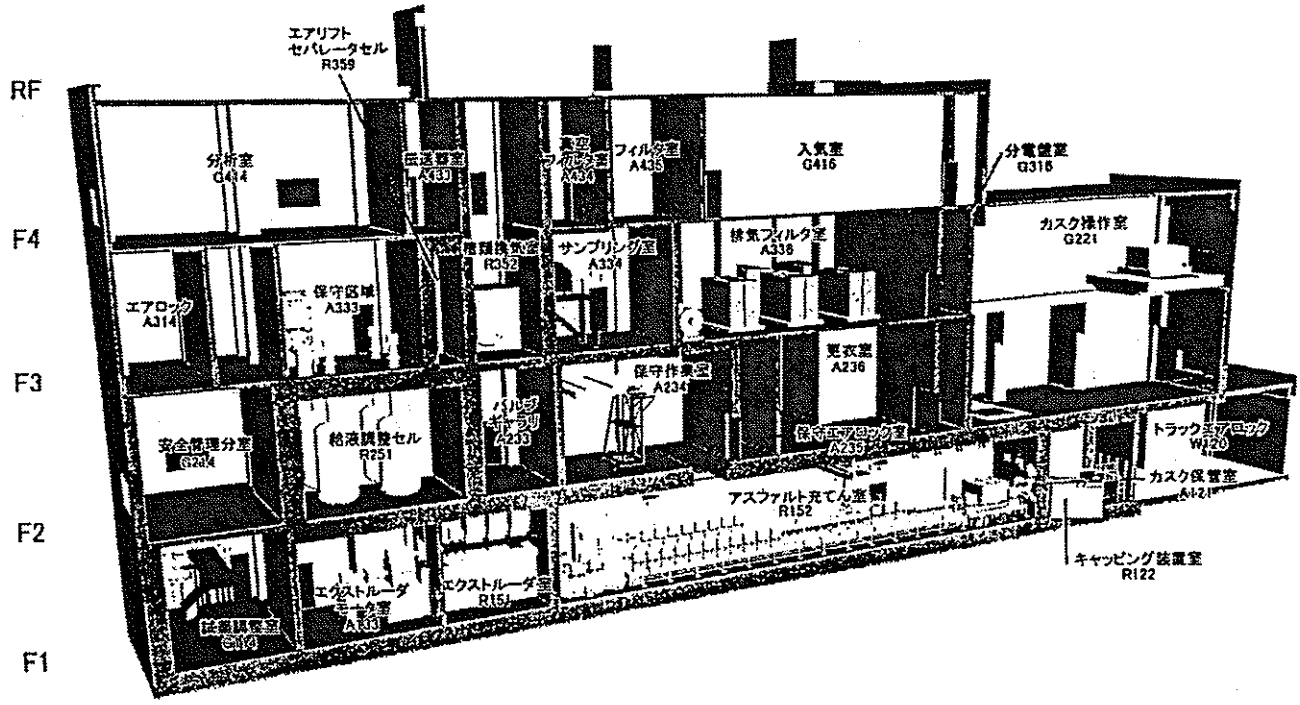


図2－2　アスファルト固化処理施設断面図

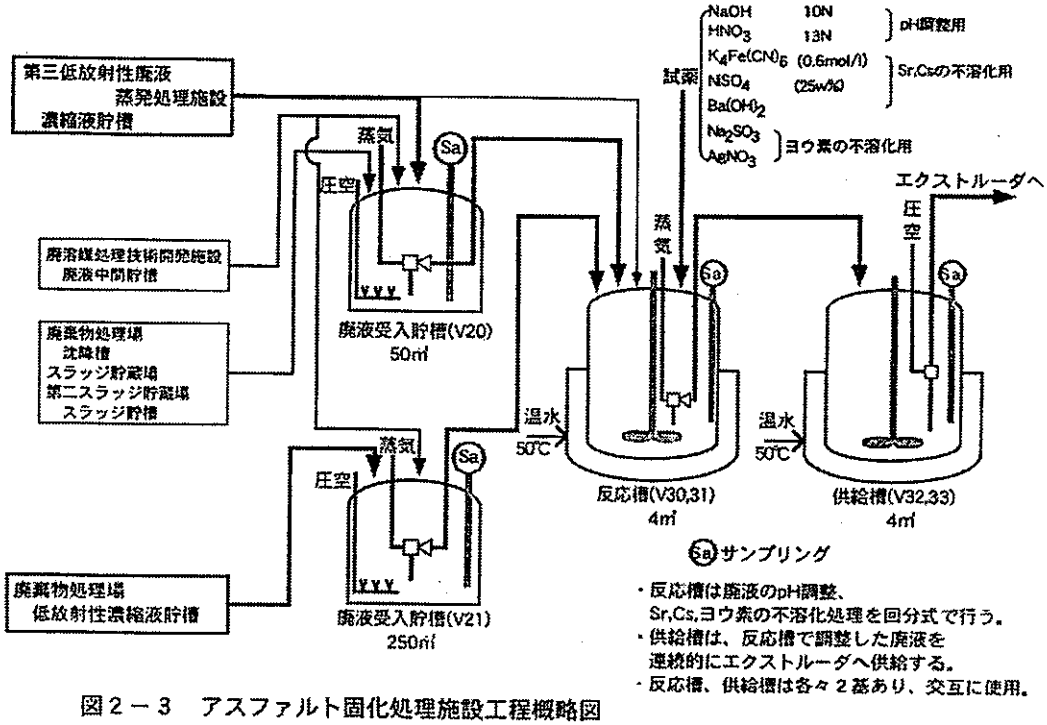


図２－３　アスファルト固化処理施設工程概略図

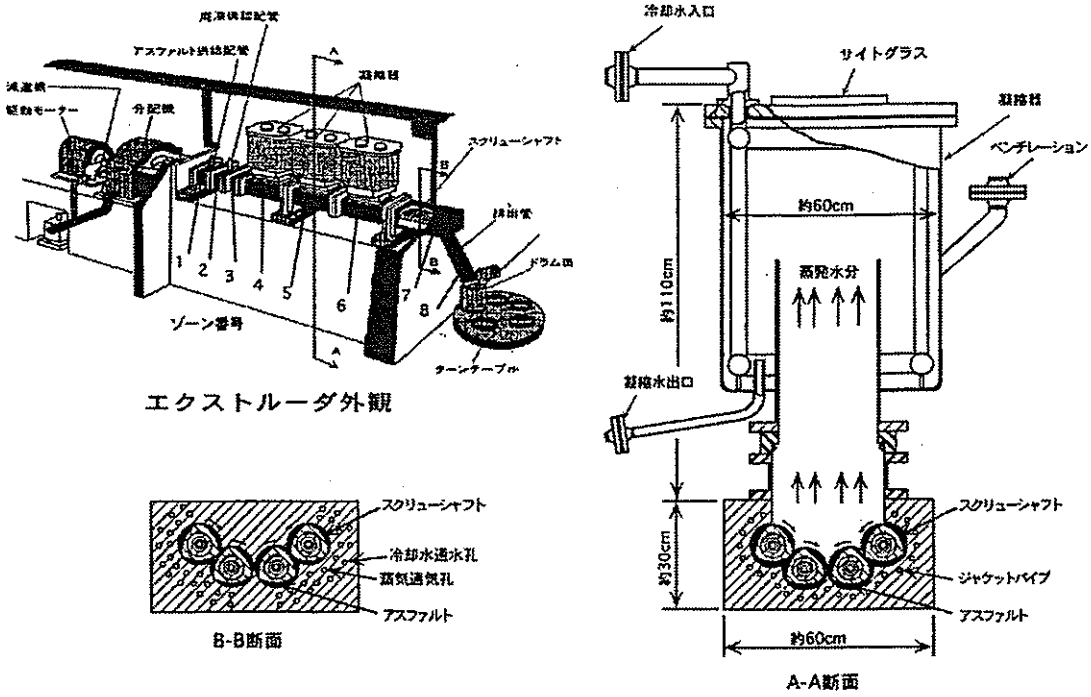


図2-4　エクストルーダ断面概要図

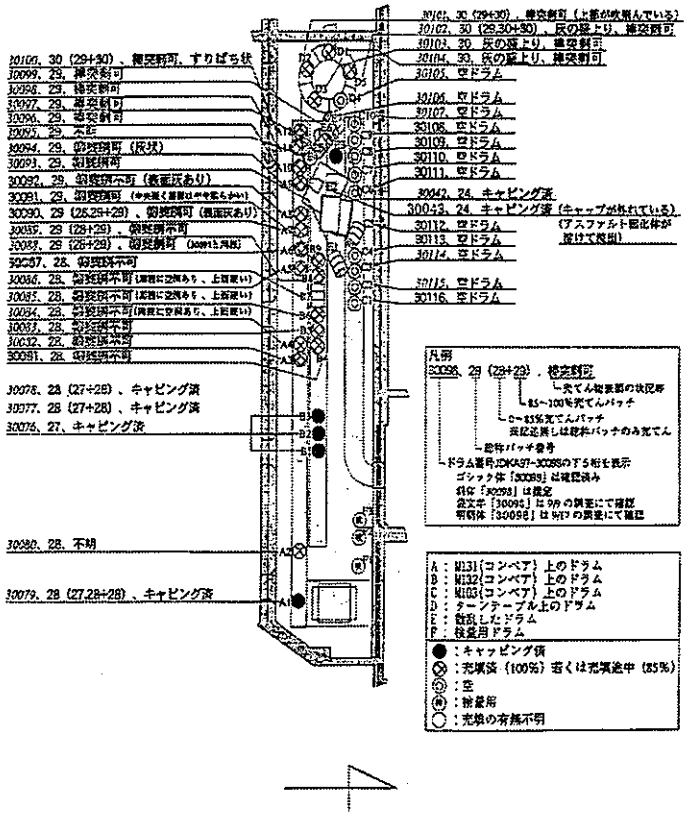


図4-1 アスファルト充てん室内ドラムの推定・確認状況
（平成９年９月17日現在）

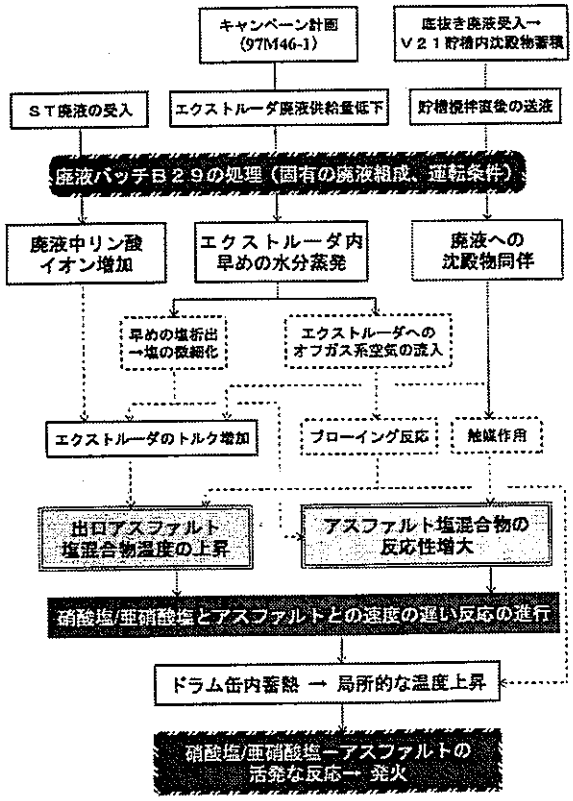


図４－２ 想定される火災のシナリオ

付録Ａ　東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会　構成員名簿

主査	金　川　　昭	名古屋大学名誉教授
	阿　部　道　子	科学技術庁放射線医学総合研究所特別研究員
	飯　嶋　敏　哲	（財）原子力発電技術機構　特別顧問
	井　澤　直　樹	日本原子力研究所東海研究所 NUCEF 試験室次長
	田　中　克　己	通商産業省工業技術院物質工学工業技術研究所基礎部主任研究官
	西　尾　軍　治	（財）高度情報科学技術研究機構開発事業部調査役
	長谷川　和　俊	自治省消防庁消防研究所第２研究部長
	長谷川　　宏	（社）日本アスファルト協会技術委員会委員長
	前　田　　充	日本原子力研究所東海研究所安全性試験研究センター長
	吉　澤　善　男	東京工業大学原子炉工学研究所教授

（平成９年１２月１５日現在）

付録Ｂ　東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会　活動経過

＜委員会開催経過＞

第　１回：平成９年３月１３日（木）16:00～18:30 動力炉・核燃料開発事業団東海事業所展示館会議室（茨城県東海村）

第　２回：平成９年３月２１日（金）10:00～12:50 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第　３回：平成９年３月２７日（木）10:00～12:15 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第　４回：平成９年４月２日（水）10:00～12:50 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第　５回：平成９年４月１０日（木）10:00～12:30 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第　６回：平成９年４月１６日（水）10:00～12:20 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第　７回：平成９年４月２４日（木）10:00～15:20 日本原子力研究所東海研究所体育館（茨城県東海村）

第　８回：平成９年５月７日（水）10:00～12:30 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第　９回：平成９年５月２１日（水）10:00～13:00 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第１０回：平成９年５月２８日（水）10:00～13:00 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第１１回：平成９年６月１１日（水）10:00～13:00 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第１２回：平成９年６月１８日（水）10:00～13:00 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第１３回：平成９年６月２６日（木）10:00～13:10 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第１４回：平成９年７月２日（水）10:00～13:30 茨城県東海村役場原子力視察研修室／災害対策本部

第１５回：平成９年７月１０日（木）10:00～12:55 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第１６回：平成９年７月１７日（木）10:00～12:30 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第１７回：平成９年７月２４日（木）10:00～13:05 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第１８回：平成９年７月３１日（木）10:00～13:40 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第１９回：平成９年８月６日（水）10:00～13:00 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第２０回：平成９年８月２０日（水）10:00～13:00 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第２１回：平成９年９月３日（水）10:00～13:20 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第２２回：平成９年９月１１日（木）10:00～13:00 科学技術庁第７会議室（東京）

第２３回：平成９年９月１８日（木）14:00～17:45 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第２４回：平成９年９月２５日（木）10:00～13:00 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第２５回：平成９年１０月２日（木）14:00～16:15 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第２６回：平成９年１０月２３日（木）10:00～13:05 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第２７回：平成９年１１月６日（木）15:00～17:40 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第２８回：平成９年１１月２０日（木）10:00～13:00 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第２９回：平成９年１１月２７日（木）10:00～13:00 科学技術庁第１、第２会議室（東京）

第３０回：平成９年１２月１５日（月）13:30～科学技術庁第１、第２会議室（東京）

＜現場調査等＞

平成９年３月１７日：金川主査、飯嶋委員、井澤委員、西尾委員、前田委員、吉澤委員、長谷川（和）委員（アスファルト固化処理施設内の被害状況調査）

平成９年４月　７日：金川主査、長谷川（和）委員（火災発生時の状況把握のための作業員聞き取り）

平成９年４月　８日：長谷川（宏）委員、田中委員（アスファルト固化処理施設内の被害状況調査）

平成９年５月　１日：田中委員、長谷川（和）委員（エクストルーダ室内の被害状況調査）

平成９年６月　４日：金川主査、井澤委員、西尾委員、前田委員（動燃におけるアスファルト固化体の分析状況の調査）

平成９年７月　１日：田中委員、吉澤委員（動燃におけるデータ解析状況の調査）

平成９年７月　２日：阿部委員（アスファルト固化処理施設内の被害状況調査）

平成９年７月２２日：西尾委員、前田委員（アスファルト固化処理施設の運転状況の把握のための作業員聞き取り）

平成９年９月　９日：金川主査、田中委員、長谷川（和）委員、前田委員（アスファルト充てん室内の被害状況調査）

平成９年９月１７日：田中委員（アスファルト充てん室内の被害状況調査）

付録C　東海再処理施設アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査委員会　配布資料

第1回

1－1　「東海再処理アスファルト固化処理施設における火災爆発事故調査 委員会」の設置について

1－2　動力炉・核燃料開発事業団東海事業所再処理施設アスファルト固化 処理施設における火災爆発事故について

1－3　東海再処理アスファルト固化処理施設における火災爆発事故につい て（動燃事業団）

第2回

2－1　事故調査委員会構成員の追加について

2－2　事故調査委員会第１回会合議事概要

2－3　動力炉・核燃料開発事業団東海再処理アスファルト固化処理施設における火災爆発事故について

2－4　放射線管理状況について

2－5　消火設備について

2－6　アスファルト及び廃液の特性

2－7　爆発被害状況

2－8　事故調査委員会現地調査時の撮影写真

2－9　事故発生直後の科学技術庁への主要な連絡

第3回

3－1　事故調査委員会構成員名簿

3－2　事故調査委員会第２回会合議事概要（案）

3－3　アスファルト固化処理施設におけるプロセスフロー

3－4　アスファルト固化処理施設の運転管理

3－5　アスファルト固化処理施設における運転操作状況

3－6　参考写真集

第4回

4－1　事故調査委員会第３回会合議事概要（案）

4－2　今後の事故調査の進め方

4－3　動力炉・核燃料開発事業団における事故調査の進め方について

4－4－1　原因究明調査のために使用可能な計測制御系の記録について

4－4－2　原因究明のために使用可能な分析の記録について

4－5　原因究明のために参考にすべき内外における同種の施設の事故例

4－6　原因究明のために参考にすべき技術開発に関する試験結果

4－6－1　放射性廃棄物のアスファルト固化処理（１９７３年７月）

4－6－2　アスファルト固化体の燃焼、消火実験

4－6－3　アスファルト固化技術開発施設試運転報告書（１９８３年３月）

４－７　火災・爆発被害状況（その２）
４－８　放射線管理（その２）
４－８別添 参考資料 アスファルト固化処理施設における火災・爆発事故に伴 う環境モニタリング結果について

第５回
５－１　事故調査委員会第４回会合議事概要（案）
５－２　動力炉・核燃料開発事業団からの報告における誤りに関する科学技 術庁による現地調査の結果について
５－３　爆発原因に関する所見
５－３別添 ４月８日現地調査時撮影写真
５－４　事故原因の究明に向けた考え方について
５－５　現場に残された記録紙等の回収作業の進め方
５－６　火災発生時における消火設備の状況
５－７　火災発生時における換気設備の状況

第６回
６－１　事故調査委員会第５回会合議事概要（案）
６－２　事故調査委員会構成員名簿
６－３　動力炉・核燃料開発事業団アスファルト固化処理施設の火災爆発事 故に係わる報告徴収及び立入検査の実施について
６－４　火災発生時における現場の状況
６－５　現場から回収されたチャート類から得られたデータについて
６－６　廃液処理バッチ毎のプロセスデータの整理
６－７　今後の試料採取・分析等の方針について
６－８　火災・爆発被害状況（その３）
６－９　各委員からの質問事項に対する対応について
６－10　既提出資料の修正について
６－11　事故調査委員会構成員からの事故原因の検討ための実験に関する意見

第７回
７－１　事故調査委員会第６回会合議事概要（案）
７－２　火災発生時から爆発時前における現場作業の状況等（消火設備、換 気設備の操作等を中心とした時系列）
７－３　アスファルト混合物の充填操作記録（Ｂ２４、Ｂ２７～Ｂ３０）
７－４　エクストルーダ内の各ゾーンの温度変化について
７－５　運転記録から見た給液バッチ毎のデータの整理（キャンペーン９７ －Ｍ４６－１における変動等）
７－６　現場から回収されたチャート類から得られたデータについて（その ２）
７－７　火災・爆発被害状況（その４）
７－８　今後の試料採取・分析等の方針、予定及び実績について（その１）

７－９　放射線管理（その３）
７－10　既提出資料の修正について（その２）
７－11　各委員からの質問事項に対する対応について（資料６－９改）
７－12　アスファルト固化処理施設のキャンペーン運転計画について
７－13　アスファルト固化処理施設における火災・爆発事故により環境に放出された放射性セシウムのSPEEDIコードによる推定結果
７－14　火災発生原因の調査状況について

第８回
８－１　事故調査委員会第７回会合議事概要（案）
８－２　動力炉・核燃料開発事業団東海事業所再処理アスファルト固化処理 施設における火災・爆発事故について（第１報）の訂正と補足
８－３　エクストルーダの構造及び運転について
８－４　９７－Ｍ４６－１キャンペーン運転計画書の解説
８－５　今後の試料採取・分析等の方針、予定及び実績について（その２）
８－６　火災・爆発被害状況（その５）
８－７　放射線管理（その４）
８－８　既提出資料の修正について（その３）
８－９　各委員からの質問事項に対する対応（その２）
８－10　爆発原因に関する所見（２）
８－11　火災・爆発事故原因究明のための試験・解析計画
８－12　動力炉・核燃料開発事業団東海事業所再処理施設アスファルト固化 処理施設における火災・爆発事故の原因調査状況について

第９回
９－１　事故調査委員会第８回会合議事概要（案）
９－２　火災・爆発被害状況（その６）
９－３　今後の試料採取・分析等の方針、予定及び実績について（その３）
９－４　エクストルーダの構造及び運転について（その２）（エクストルー ダへの供給廃液などの流量の制御について）
９－５　運転記録から見た過去の運転状況
９－６　ユーロビチウム・プラント（ベルギー）における火災事故（１９８ １年１２月１５日）報告書について（概要）
９－７　アスファルト固化体の危険物判定試験（１９８９年～１９９１年） の結果について
９－８　各委員からの質問事項に対する対応（その３）
９－９　既提出資料の修正について（その４）
９－10　火災爆発事故原因究明のための試験・解析計画について（検討用資 料）

第１０回
１０－１　事故調査委員会第９回会合議事概要（案）

１０－２ 火災・爆発被害状況（その７）
１０－３ 今後の試料採取・分析等の方針、予定及び実績について（その４）
１０－４ アスファルト等の発熱反応に関する試験検討
１０－４－１　アスファルト等の発熱反応に関する試験検（１）－密封セル示差 走査熱量計（ＳＣ－ＤＳＣ）を用いた測定試験－
１０－４－２　アスファルト等の発熱反応に関する試験検討（２）－加速速度熱量 計（ＡＲＣ）を用いた測定試験－
１０－４－３　アスファルト固化体の理論限界発火温度の検討
１０－５ 火災・爆発の解析について
１０－６ 火災・爆発の放出放射能評価の進め方について
１０－７ アスファルト固化処理技術開発に関する技術資料の取扱いについて
１０－８ 各委員からの質問事項に対する対応（その４）

第１１回
１１－１ 事故調査委員会第１０回会合議事概要（案）
１１－２ 事故調査委員会委員による現地調査について
１１－３ 火災・爆発被害状況（その８）
１１－４－１　これまでに採取した試料の分析結果について
１１－４－２　これまでに採取した試料の採取方法及び分析方法について
１１－４－３　アスファルト固化体の理論限界発火温度の検討
１１－５ 火災爆発の原因の検討について
１１－６ 原因究明のための試験、解析について
１１－７ 既提出資料の修正について（その５）
１１－８ 各委員からの質問事項に対する対応（その５）
参考資料 アスファルト固化処理施設における火災・爆発に伴う環境モニタリング結果について

第１２回
１２－１ 事故調査委員会第１１回会合議事概要（案）
１２－２ エクストルーダの構造及び運転について
１２－３ 資料１１－５に対する各委員の意見
１２－４ 「資料１１－５ 火災爆発の原因の検討について」の補足
１２－５－１　運転管理上の問題点について
１２－５－２　火災発生時の消火操作について
１２－６ 試料採取・分析等の方針、予定及び実績について
１２－７ アスファルト混合物の化学反応特性試験－中間報告Ⅰ－
１２－８ 各委員からの質問事項に対する対応について（その６）
１２－９ 既提出資料の修正について（その６）

第１３回
１３－１ 事故調査委員会第１２回会合議事概要（案）

１３－２ 火災原因究明のための原因候補の評価作業について
１３－３ アスファルト固化処理施設の火災爆発事故に係る操作及び管理上の 問題点の検討
１３－３－１　　廃液の受け入れにおける安全確認について
１３－３－２　　エクストルーダの運転管理について
１３－３－３　　換気系の操作について
１３－４ 放射性物質の建屋内拡散と作業者の体内摂取について
１３－５ 試料採取・分析等の方針、予定及び実績について
１３－６－１　　アスファルト等の発熱反応に関する試験（１）その２－ＤＳＣを用 いた測定試験－
１３－６－２　　アスファルト等の発熱反応に関する試験（２）その２－ＡＲＣを用 いた測定試験－
１３－７ 各委員からの質問事項に対する対応について（その７）
１３－８ 既提出資料の修正について（その７）

第１４回
１４－１ 事故調査委員会第１３回会合議事概要（案）
１４－２ アスファルト固化処理施設に係る管理上の問題点の検討について
１４－２－１　　アスファルト固化処理施設の運転管理体制について
１４－２－２　　アスファルト固化処理施設のキャンペーン運転計画について
１４－２－３　　アスファルト固化処理施設の教育訓練について
１４－３ 一時管理区域の指定について
１４－４ アスファルト充てん室内の固化体及びアスファルト固化処理施設内 の固化処理対象廃液試料採取について
１４－５ アスファルト固化体の発熱性（報告－I）

第１５回
１５－１ 事故調査委員会第１４回会合議事概要（案）
１５－２ 火災の原因候補（初期発熱反応要因）の検討について
１５－３ 火災・爆発被害状況（その９）
１５－４ 試料採取・分析等の予定及び実績について
１５－５ アスファルト固化処理施設火災・爆発事故時の状況把握と情報伝達 について
１５－６ アスファルト固化処理施設火災・爆発事故における再処理施設保安 規定上の対応状況について

第１６回
１６－１ 事故調査委員会第１５回会合議事概要（案）
１６－２ 爆発原因の検討について
１６－３ 採取試料の外観等について
１６－４ 火災・爆発の放出放射能評価について（その２）
１６－５ 原因究明のための試験、解析計画について（資料１１－６の改訂）
１６－６ アスファルト固化処理施設に係る安全審査について

第１７回

１７－１ 事故調査委員会第１６回会合議事概要（案）
１７－２ 原研による廃液の分析について
１７－３ 試料採取・分析等の予定及び実績について
１７－４ アスファルト塩混合物の化学反応特性試験（コールド試験）
１７－５ 実廃液、実固化体等の発熱特性確認試験（中間報告）
１７－６ 火災・爆発の放出放射能評価について（その３）
１７－７ アスファルト固化処理施設に係る安全審査について（その２）

第１８回
１８－１ 事故調査委員会第１７回会合議事概要（案）
１８－２ 火災原因に関する検討（その１）
１４－５改 アスファルト固化体の発熱性（Ⅱ）
１８－３ 熱爆発理論による自己発火温度について
１８－４ アスファルト固化処理施設等からの採取試料の分析結果について
１８－５ ブローイング反応確認試験の進捗状況について
１８－６ 火災原因検討の進捗について
１８－７ 模擬アスファルト固化体からの発生ガス分析の進捗状況について
１８－８ 各委員からの質問事項に対する対応について（その８）
１８－９ 既提出資料の修正について（その８）

第１９回
１９－１ 事故調査委員会第１８回会合議事概要（案）
１９－２ 火災原因に関する検討（その２）
１９－３ 資料１８－２の検討に対する対応
１９－４ 触媒効果の確認試験－模擬アスファルト固化体の発熱反応に対する 金属化合物の影響－
１９－５ アスファルト固化処理施設の火災爆発事故に係る運転管理上の検討 事項

第２０回
２０－１ 事故調査委員会第１９回会合議事概要（案）
２０－２ アスファルト固化処理施設の火災爆発事故に係る運転管理上の検討 事項（その２）
２０－３－１　　アスファルト固化処理施設等からの試料採取状況について
２０－３－２　　アスファルト充てん室内ドラム状況確認の結果（速報）
２０－３－３　　アスファルト・塩混合物加熱試験
２０－４ アスファルト固化処理施設の教育訓練について（その２）
２０－５ 各委員からの質問事項に対する対応について（その９）
２０－６ アスファルト固化処理施設に係る安全審査について（その３）

第２１回
２１－１ 事故調査委員会第２０回会合議事概要（案）
２１－２ アスファルト固化処理施設の教育訓練について（その３）

２１－３ 請負業者の教育訓練について
２１－４ アスファルト固化処理施設の安全設計と火災・爆発事故を踏まえ た設備の改善点について
２１－５ アスファルト固化処理施設等からの採取試料の分析結果について
２１－６ 各委員からの質問事項に対する対応について（その１０）

第２２回
２２－１ 事故調査委員会第２１回会合議事概要（案）
２２－２ アスファルト固化処理施設のアスファルト充てん室内の調査結果
２２－３ 火災原因に関する検討（その３）
２２－４ 実廃液・実固化体等の発熱特性確認試験（その２）
２２－５ 触媒効果の確認試験（２）－模擬アスファルト固化体の発熱反応 に対する白金族元素の影響－
２２－６ 火災原因のシナリオ
２２－７ 各委員からの質問事項に対する対応について（その１１）
１７－６改 火災・爆発の放出放射能評価について（その３）

第２３回
２３－１ 事故調査委員会第２２回会合議事概要（案）
２３－２ アスファルト固化処理施設のアスファルト充てん室内の調査結果 （その２）
２３－３ 爆発に係る解析評価の結果について
２３－４ 爆発に係る試験の結果について
２３－５ 爆発原因に係る検討（その２）
２３－６ 火災爆発検討の進捗について（その２）
２３－７ エクストルーダ内の温度上昇に関する検討
２３－８ アスファルトに対する硝酸ナトリウム及び亜硝酸ナトリウムの反 応速度ならびにドラム缶でのこれらの発熱性
２３－９ アスファルト固化処理施設の火災爆発事故に係る運転管理上の検 討事項（その３）
２３－10 各委員からの質問事項に対する対応について（その１２）

第２４回
２４－１ 事故調査委員会第２３回会合議事概要（案）
２４－２ 火災原因に関する検討（その３改訂）
２４－３ 爆発前の火災原因のシナリオ
２４－４ アスファルト・塩混合物加熱試験時における放出ガスの分析
２４－５ 爆発原因に係る検討（その３）
２４－６ 爆発のシナリオ
２４－７ 火災・爆発の放出放射能評価について（その４）
２４－８ Ｃｓ／α放射能比の移行距離による変化について
２４－９ 火災・爆発事故における放射性物質の放出量並びに公衆及び作業 従事者の被ばく量について
２４－10 各委員からの質問事項に対する対応について（その１３）

第２５回

２５－１ 事故調査委員会第２４回会合議事概要（案）

２４－10 各委員からの質問事項に対する対応について（その１３）

２５－２ Ｃｓ／α放射能比の移行距離による変化について（その２）

２５－３ 火災・爆発事故における放射性物質の放出量並びに公衆及び作業従事者の被ばく量について（その２）

２５－４ アスファルト固化処理施設の槽類換気設備について

２５－５ 各委員からの質問事項に対する対応について（その１４）

第２６回

２６－１ 事故調査委員会第２５回会合議事概要（案）

２６－２ アスファルト固化処理施設の槽類換気設備について（その２）

２６－３ 各委員からの質問事項に対する対応について（その１５）

２６－４ 火災・爆発事故における放射性物質の放出量並びに公衆及び作業従事者の被ばく量について（その２）

２６－５ アスファルト固化処理施設火災爆発事故と安全規制について

２６－６ 今後の研究課題について

第２７回

２７－１ 事故調査委員会第２６回会合議事概要（案）

２６－２改 アスファルト固化処理施設の槽類換気設備について（その２）－改 訂－

２７－２ 各委員からの質問事項に対する対応について（その１６）

２７－３ 爆発要因の検討（その４）

２７－４ 爆発シナリオ（その２）

２７－５ アスファルト固化処理施設の火災爆発事故に係る運転管理上の検討 事項（その４）

２０－６改 アスファルト固化処理施設の火災爆発事故に係る安全審査について （その３）－改訂－

第２８回

２８－１ 事故調査委員会第２７回会合議事概要（案）

２８－２ アスファルト固化処理施設の現場復旧状況について

２８－３ 各委員からの質問事項に対する対応について（その１７）

２８－４ 鼻スミヤの核種分析結果に基づく作業員の内部被ばく線量評価結果 について

２８－５ Ｒ１５２内の137Ｃｓ／241Ａm放射能比の変化を考慮に入れた作業者 の内部被ばく評価について

２８－６ 放射性物質の放出量並びに公衆及び作業員の被ばく量

２８－７ 火災爆発原因についての検討（検討用資料）

２８－８ 運転管理上の問題点（検討用資料）

２８－９ 安全審査等における問題点

２８－10 今回の事故から得られた教訓

第２９回

２９－１ 事故調査委員会第２８回会合議事概要（案）

２９－２ 各委員からの質問事項に対する対応について（その１８）

２９－３ 既提出資料の提出について（その９）

２９－４ アスファルト固化処理施設に係る安全審査について（その４）

２９－５ 報告書の構成等について（検討用資料）

２９－６ ２．事故の概要（検討用資料）

２９－７ ３．放射性物質の放出量並びに公衆及び作業員の被ばく量（検討用 資料）

２９－８ ４．火災爆発原因についての検討（検討用資料）

２９－９ ５．運転管理上の問題点（検討用資料）

２９－10 ６．安全規制における問題点

２９－11 ７．おわりに

第３０回

３０－１ 事故調査委員会第２９回会合議事概要（案）

３０－２ 動力炉・核燃料開発事業団東海再処理施設アスファルト固化処理施 設における火災爆発事故について（案）

付録D　火災爆発に関する要因の検討

D－1　火災発生の要因検討
D－1－1　熱暴走理論による現象の整理
D－1－2　アスファルト塩混合物の昇温要因と検討の視点
D－1－3　温度計測値とのずれ
D－1－4　有機不純物
D－1－5　塩濃度の変動・偏析、塩の微細化
D－1－6　触媒反応
D－1－7　ブローイング反応
D－1－8　長時間の蓄熱を想定した速度の遅い発熱反応
D－2　爆発発生の要因検討
D－2－1　燃焼及び爆発に関する基本的な事柄
D－2－2　爆発原因物質
D－2－3　爆発発生場所
D－2－4　着火源
D－2－5　爆発エネルギー
D－3　今回用いた分析法及び分析機器

D－1　火災発生の要因検討

D－1－1　熱暴走理論による現象の整理

最初に火災を起こしたドラム缶はコンベア上のものであり、これらのドラム缶は１００％充てん終了後約３時間から１８.５時間の長い時間を経過していたものである。したがって、ドラム缶内では、熱暴走理論で想定される比較的長時間の蓄熱過程を経て自己発火に至る現象が進行したと考えられる。

この発火が起こるか否かの限界は、熱暴走理論において発熱と放熱がバランスする温度で規定され、この温度を反応暴走温度という。また、反応暴走温度に至るか否かは、反応物の初期状態と周囲の環境状態により決定される蓄熱に依存する。そこで、熱暴走理論において、反応暴走温度に到達する場合の反応物の初期温度を自己発火温度といい、この温度により発火のしやすさが議論される。すなわち、アスファルト塩混合物の初期温度が自己発火温度より高い場合には、反応物が熱的に暴走を起こす。発熱反応の進行は、アスファルト塩混合物の初期温度と自己発火温度との差に大きく依存し、初期温度が自己発火温度を大きく上回る程、反応は加速的に速くなる。その差が小さい場合には、初期温度から反応暴走温度に至るまでの反応誘導時間は長くなり、かつ、初期温度の僅かな差で大きく変化する。

アスファルト固化処理施設の運転条件は「アスファルト固化体の安全性評価試験」（委員会資料４－６－１）等に基づいて決定された。その燃焼性に関する試験では、ビーカーに入れたアスファルト硝酸塩混合物を恒温乾燥器内で保持すると２２０～２４０℃では物性の変化が見られるが発熱は観察されず、２５０℃以上では発熱反応による穏やかな温度上昇が観察され、さらには２７７℃と３０１℃で急激に温度上昇して発火に至った例も観察されている。これを熱暴走理論の観点から見ると、このアスファルト硝酸塩混合物の自己発火温度は二百数十度程度であり、反応暴走温度は三百度程度と推定される。これは模擬固化体で実測された発熱速度を基に試算した結果（委員会資料１８－３）とも一致する。

この自己発火温度により今回の火災原因を整理すると、以下のとおりとなる。

1)ドラム缶内のアスファルト塩混合物の初期温度が通常運転時に比べかなり高かった。

2)ドラム缶内発熱反応が通常運転時に比べて活性であったことにより自己発火温度が低下した。

3)これら両者の原因が同時に発生した。

Ｄ－１－２　アスファルト塩混合物の昇温要因の検討の視点

火災発生の原因究明においては、ドラム缶に充てんされるアスファルト塩混合物の初期温度をエクストルーダの運転温度である１８０℃から昇温させた要因の検討及び自己発火温度を低下させ硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの発熱が盛んになる反応暴走温度まで昇温させた要因の検討が必要である。

このような要因の検討対象として以下の６つの候補を挙げた。

1) アスファルト塩混合物の温度とエクストルーダのゾーン７温度計の計測値とのずれの可能性（以下、「温度計測値とのずれ」という。）

2) 廃液へ混入する可能性のある有機不純物と硝酸塩／亜硝酸塩との反応の可能性（以下、「有機不純物」という。）

3) 塩濃度の変動、アスファルト固化体中の塩の偏析、エクストルーダ内での塩の微細化等エクストルーダ給液組成又は単位時間当たりの廃液供給量等の変動による、ドラム缶内での硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応の加速効果（以下、「塩濃度の変動・偏析、塩の微細化」という。）

4) 廃液へ混入する可能性のある無機不純物の触媒作用による、硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応開始温度の低下（以下、「触媒効果」という。）

5) アスファルトのブローイング反応の効果（空気によるアスファルトの酸化縮合反応。以下、「ブローイング反応」という。）

6) 6) 長時間の蓄熱を想定した速度の遅いアスファルト塩混合物発熱反応の有無（以下、「長時間の蓄熱を想定した速度の遅い発熱反応」という。）

これらの要因のうち：

1)は、温度管理の不具合等によりアスファルト塩混合物の温度が計測値に比べ高めにずれていた可能性を吟味するとともに、ずれている場合に、硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応を含む各種の反応速度が増加することを考慮したものである。

2)は、廃液管理の不備等により、仮に、廃液中に有機不純物質が含まれたとして、発熱反応の特性把握と存在量に応じた発熱量及び昇温への寄与の大きさを評価するものである。

3)～5)は、廃液への沈殿物等の混入やエクストルーダ運転操作の変動／変更の影響が硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの酸化発熱反応を加速する可能性に着目したものである。

6)は低温での微弱な反応に着目したものである。上記 2)～5)の反応は、アスファルト固化処理施設の運転管理に従来より用いられてきた密封セル示差走査熱量計（ＳＣ－ＤＳＣ、Ｄ－３項参照）又は示差熱分析（ＤＴＡ、Ｄ－３項参照）計による熱分析法で検知される程度の比較的高い発熱を伴う反応に着目している。これに対し、6)はこのような熱分析法では検出されない低温での微弱な発熱反応に着目したものであり、長時間の蓄熱を前提とするものである。

これらの要因が現実に火災発生の原因となり得るかどうかを調べるためには、できる限り定量性のあるデータが必要である。そのために模擬固化体や実固化体試料を用いた種々の分析や試験を行い、それらの結果を基に各要因の火災発生シナリオとの係わりを評価した。　以下、Ｄ－１－３からＤ－１－８の各項において、上に示した 1)～6)の各要因について火災発生シナリオとの関連、調査、分析等の方法及び結果並びにシナリオへの寄与を述べる。

Ｄ－１－３　温度計測値とのずれ

（１）火災発生シナリオとの関連

作業員の観察によれば、エクストルーダ排出時のアスファルト塩混合物は、見かけ上非常に軟らかめで、湯気状の物質が盛んに発生していた。これは、一つの可能性として、アスファルト塩混合物の温度が通常より高めであったことを示唆する。　エクストルーダ内のアスファルト塩混合物の温度が高めにずれていた場合、一般に、反応速度すなわち発熱速度が増加する。一方、化学反応に限らずエクストルーダ内で発熱があれば温度計に変化があってよいはずだが、Ｂ２９ではゾーン７温度計の計測値は１８０ ℃付近で安定していた。（このとき、アスファルト塩混合物が流下する領域に挿入されているゾーン８（内部）温度計は故障していた。）仮にゾーン７温度計の計測値がエクストルーダから排出されるアスファルト塩混合物の温度を示すものとすれば、１８０℃近傍で進行／開始する反応のみにドラム缶の発熱要因を求めざるを得ないこととなる。

一方、ゾーン７温度計は熱容量の非常に大きな金属ブロック内に挿入されており、アスファルト塩混合物と接液していない。つまりアスファルト塩混合物の温度を直接測定しているわけではない。さらに、温度計挿入位置近傍には冷却水配管、加熱蒸気配管が敷設されており、通水、蒸気供給の影響を受けるおそれがある。加えて、エクストルーダの温度計は軸方向に分散して配列されており、局所的な発熱を感度よく検出できないことも考えられる。

（２）調査・解析結果

例えば、蒸気供給と水冷却を同時に行う等、アスファルト塩混合物とエクストルーダとの間に著しい温度差を生じさせる可能性のある特殊な運転操作を行っていなかったかという観点で現場作業員の聞き取り調査を行なった。その結果、上のような可能性が考えられる特殊な操作の疑いは見いだせなかった。ただし、弁の漏洩による蒸気及び冷却水の供給の可能性は残されている。

また、軸方向については熱の流れがなく（軸方向に均一）、半径方向のみに大きな熱の流れがある場合について、アスファルト塩混合物とゾーン７温度計の計測値との温度差に係るシミュレーション解析を行った。解析の結果、有意の温度差を期待するためには非常に極端な仮定を必要とすることから、現実には、アスファルト塩混合物とゾーン７温度計の計測値に大きな温度差を生じる可能性は小さいと判断した。

一方、エクストルーダのトルク値と温度計測値に関する過去の記録及び試験結果に関する調査（委員会資料１８－６）より以下のような知見が得られた。

・ゾーン８（内部）温度計は現在故障しているが、正常に機能していた過去の実績では、エクストルーダから排出されるアスファルト塩混合物温度をほぼ適切に検知していた。
・一方、ゾーン８（内部）温度計に変化があってもゾーン７の温度計は検知しない場合が相当例認められている。
・ゾーン８（内部）温度計が正常に機能していた時期に測定されたトルク値とゾーン８（内部）温度計の計測値との関係を整理すると、ある程度の相関が認められ、特に３０％以上の高トルク値の領域では明らかに高い相関が認められる。

何故、上のような現象が起こり得るのかは現時点で不明だが、一つの可能性として、ゾーン７温度計から離れた位置での局所的な発熱があった場合にその温度計では検知できないことが考えられる。

（３）シナリオへの寄与

Ｂ２９におけるゾーン７温度計の計測値は長時間にわたって非常に安定していたことから、一般的には大きな熱の出入りがエクストルーダの内部で起きていたとは考えにくい。

しかし、ゾーン７内にあるアスファルト塩混合物の混練部等における局所的な発熱を検知出来なかった可能性はあるため、Ｂ２８及びＢ２９において認められたトルク上昇（３０～４０％）等を考慮すると、アスファルト塩混合物

の温度がゾーン７温度計の計測値に比べ高めであった可能性は十分に考えられる。

これは、エクストルーダ出口でのアスファルト塩混合物が軟らかかったこと及び湯気状物質が発生していたこと等の作業員が観察していた現象とも整合するものである。

Ｄ－１－４　有機不純物

（１）火災発生シナリオとの関連

再処理施設から排出される廃液中には、有機溶媒であるＴＢＰ（リン酸トリブチル）及びその劣化生成物が含まれる場合がある。特に、ＴＢＰの劣化生成物であるＤＢＰ（リン酸ジブチル）は水相への溶解度が比較的高く、また種々の金属と錯体を形成して固体状（沈殿物）の形態（クラッド：ｃｒｕｄ）で存在する場合が多い。

これらの有機物質は硝酸塩／亜硝酸塩と発熱反応を起こす可能性が高いため、廃液中にそれらが大量（有意量）に含まれている場合には、アスファルト塩混合物の温度上昇の原因として優先的に検討すべき項目である。ユーロケミック施設等の海外での火災事例においても原因候補として取り上げられている。

９７－Ｍ４６－１キャンペーンにおいて、Ｂ２９では、廃液受入貯槽（Ｖ２１）に廃溶媒処理技術開発施設から１m3 程度のリン酸廃液（ＳＴ廃液）を受け入れるとともに、その分析試料の採取に際してエアースパージングによる撹拌操作を実施し、Ｖ２１から反応槽（Ｖ３１）への液移送はこの撹拌直後に行なわれている。

ＳＴ廃液に有機溶媒等が含まれている場合には、Ｖ２１に有機溶媒が移送された可能性がある。また、Ｖ２１の上流施設において蒸発缶内での泡の発生防止のために投入されていた消泡剤（界面活性剤：クリレスＦ－３１２）がＶ２１に混入する可能性もある（委員会資料１９－３）。さらに、Ｖ２１の沈殿物に有機不純物が蓄積している場合や上層に浮遊した有機相が存在する場合には、撹拌によってこれらの有機不純物が液中に浮遊し、次工程である反応槽以降の工程に混入する可能性も考えられる。

（２）分析・解析結果

Ｖ２１、反応槽（Ｖ３０、Ｖ３１）及び供給槽（Ｖ３２、Ｖ３３）内に残存している廃液から試料を採取し分析した。Ｖ２１中の廃液は火災を起こしたＢ２９廃液を調整する前の受入れ廃液である。Ｖ３０の廃液はＢ３２、Ｖ３１の廃液はＢ３３、Ｖ３２の廃液はＢ３０、Ｖ３３の廃液はＢ３１の廃液である（委員会資料３－５）。

これらの廃液試料にはいずれも遊離した有機相の存在は認められなかった。

Ｖ３０～Ｖ３３の廃液の全油分濃度は４００ｐｐm程度であり、このうち、水相に溶解しているＤＢＰは２５０ｐｐm程度であった。Ｖ２１貯槽では水相中のＤＢＰ等の油分は２００～２５０ｐｐm程度と低かった。ただし、若干（０.６ｇ／リットルー廃液程度）の沈殿物が認められ、消泡剤がその沈殿物の２０重量％程度含まれることが示された。

なお、水相中のＴＢＰは検出感度程度である５～２０ｐｐm以下であることが確認された。

一方、硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトの混合物に有機物を添加した模擬固化体に対してＳＣ－ＤＳＣによる熱分析を行い発熱特性を調べた（走査昇温速度：１０℃／分）。その結果、ＤＢＰ：６．６重量％－クラッド：２．０重量％程度添加した模擬固化体の場合は、エクストルーダの通常運転温度（１８０℃）以下で微小な発熱ピークが見られた。また、ＴＢＰを添加した模擬固化体では発熱開始温度はＴＢＰの濃度に依存し、ＴＢＰ３０％以上の濃度においてのみエクストルーダの通常運転温度付近で発熱ピークが検出された。発熱量は、ＤＢＰ－クラッドの場合１７Ｊ／ｇ－試料程度、ＴＢＰについては１５Ｊ／ｇ－試料程度であった（委員会資料１２－７）。これらの発熱反応がアスファルト固化体の温度上昇に寄与する程度は、ドラム缶内の熱収支を基礎とする解析により評価できる。解析の信頼性は、発熱量、反応速度等の反応特性とともに放熱特性にも依存するが、８００ｐｐm程度のＤＢＰがアスファルト固化体に含有される場合について、全ての反応熱がアスファルト固化体の昇温に寄与すると仮定して評価しても、

固化体全体の平均の温度上昇は数℃程度であると算定された（委員会資料１８－３）。

消泡剤については、硝酸塩／亜硝酸塩との混合物の発熱特性を示差走査熱量計（ＤＳＣ、Ｄ－３項参照）を用いて調べた結果、消泡剤（５０重量%）と硝酸塩との混合物は１５０℃～１７０℃付近に発熱量１５～５０Ｊ／ｇ－試料の微小ピーク、２８０℃～３００℃付近に吸熱ピーク、３００℃～５００℃に発熱量2.5ｋＪ／ｇ－試料の大きな発熱ピークを示した（委員会資料１９－３）。ただし、Ｖ２１廃液中の沈殿物量が0.6ｇ／リットル－廃液と少量であるため、実際の処理においては硝酸塩／亜硝酸塩と反応する消泡剤の量は極めて微量であり、発熱量も微少であろうと評価される。

また、委員会資料２０－３－３では、模擬固化体を一定温度に保温することによって蓄熱を模擬し、模擬固化体の自己発熱を再現させた実験の結果が報告された。その結果、消泡剤の含有量（0、２、１０重量%）が多いほど自己発熱開始から急激な昇温に至るまでの時間は短くなったものの、自己発熱の開始温度は消泡剤の有無にかかわらず、ほぼ同じ値であった。

（3）シナリオへの寄与

廃液中有機物の分析結果及び想定した有機物の発熱特性に基づく熱収支解析の結果より、確認された程度の有機不純物混入量ではアスファルト固化体の温度上昇は高々数℃のオーダーであると推定される。したがって、Ｂ２９廃液中の有機物の含有量が、測定された分析値程度である場合には、有機物混入による火災発生シナリオへの直接的な熱的寄与は比較的小さい。

しかし、これらの反応はエクストルーダの運転温度付近においても進行可能な速い反応であるため、ドラム缶内での支配的昇温因子とはなり得ないとしても、エクストルーダ内またドラム缶内において、初期のアスファルト塩混合物の温度上昇にある程度は寄与した可能性がある。

消泡剤については、熱分析の結果低温での発熱ピークの存在が確認されたが、その発熱は微弱であった。また、発熱反応への関与の仕方としては、自身が硝酸塩と反応することによるもので、触媒作用を有することは考え難い。したがって、昇温への寄与の程度は、廃液に含まれる消泡剤の量に依存する。すなわち、Ｂ２９廃液に同伴した沈殿物量と沈殿物中の消泡剤濃度に依存することになる。

Ｂ２９廃液に同伴した沈殿物量の推定は困難だが、分析結果を多めに見込んだ値として１０ｇ－沈殿／リットル－廃液を仮定し、また、沈殿物中の消泡剤濃度として０．２４ｇ－消泡剤／ｇ－沈殿の分析値（委員会資料１７－２）を想定し、過大に見積ったとしても、消泡剤の反応によるアスファルト固化体の昇温の程度は高々１℃程度である。以上より、消泡剤混入によるアスファルト固化体の昇温への寄与は小さいと判断される。

Ｄ－１－５　塩濃度の変動・偏析、塩の微細化

（1）火災発生シナリオとの関連

1）塩濃度の変動・偏析

Ｂ２９では、ＳＴ廃液の受入れ等により、水素イオン濃度調整に手間取り、通常より多めの硝酸及び水酸化ナトリウムの投入を要した。

さらに、単位時間当たりの廃液供給量を低下させていたため、それに伴い処理操作中、単位時間当たりのアスファルトの供給量も変動させていた。この結果、アスファルト塩混合物又はアスファルト固化体中のリン酸イオン濃度、硝酸塩／亜硝酸塩等の塩濃度が上昇／変動した可能性がある。

一方、前述のように、Ｂ２８以降、ドラム缶に充てんされるアスファルト塩混合物はかなりやわらかめであったとのことである。ドラム缶内のアスファルト塩混合物の粘度は非常に低く、塩粒子がアスファルト塩混合物中を沈降して、偏析や塩濃度の不均一分布が起こった可能性がある。

以上のようにリン酸イオン濃度や硝酸塩／亜硝酸塩等の塩濃度が増加したり、硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの混合比（S／B比）が局所的に高くなった場合に、硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応速度が著しく加速され、ドラム缶内のアスファルト固化体の温度上昇に寄与する可能性について確認しておく必要がある。

2) エクストルーダ内での塩の微細化

Ｂ２９を含む当該キャンペーン後半の運転では、全般にエクストルーダのトルク値が高めであった（委員会資料７－５）。トルク値が上昇する機構は現在までのところ明らかにされていないが、エクストルーダのスクリュー部分と析出塩又は沈殿物との回転に伴う物理的な相互作用が原因となっていることが考えられる。Ｂ２９では単位時間当たりの廃液供給量を低下させており、通常よりも早めに塩が析出したため、前述の理由により塩粒子が微細化された可能性がある。また、これらの物理的な相互作用によりエクストルーダ内のアスファルト塩混合物の温度が上昇した可能性がある。

実際、Ｂ２７実固化体を光学顕微鏡で観察した結果、塩粒子の直径は数十μm程度であったと報告されている（委員会資料２２－７）。このような小さな粒径の塩がＢ２９実固化体中にも特徴的に存在するものであるか否かは今後詳細に確認する必要があるが、模擬試料の調製において、調製条件により塩粒子径が相当変化することが知られている。

一方、エクストルーダ内における硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応は、微視的には、固液２相の界面が関与する不均質反応である。したがって粒子径、すなわち界面面積等が反応速度に影響することが考えられる。塩粒子の微細化がＢ２９に固有の現象であった場合には、これが硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトの反応速度を加速した可能性がある。

（2）分析結果

1) 塩濃度の変動・偏析

ＳＴ廃液の受入れについては、高リン酸濃度（３９４ｍｇ／ｇ－廃液）のＳＴ廃液を受け入れた。約８０m3 のＶ２１残留液に対し受入量は１m3 程度なので、受入れ前後でのＶ２１でのリン酸収支が若干悪いものの、リン酸イオン濃度の増加は高々数ｇ／リットル程度と考えられる。この程度のリン酸イオン濃度の増加では、ＳＣ－ＤＳＣ熱分析はもとより、加速速度熱量計（ＡＲＣ、Ｄ－３項参照）熱分析においても硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応に係る発熱速度特性に顕著な差異は認められない。

水素イオン濃度調整において、複数回の硝酸及び水酸化ナトリウムの投入を行ったが、これによる硝酸ナトリウム濃度の増加は通常に比べ数%であり、反応への寄与は無視できる程度と考えられる。

塩の偏析度を確認するため、Ｂ２７のドラム缶の１本からアスファルト固化体の一部を採取し、塩濃度の垂直分布を測定した（委員会試料１５－４）。ドラム缶下部のＳ／Ｂ比は目標値（４５／５５）よりも若干高い値（約５２／４８）程度である。ただし、採取した試料の代表性や分析精度の限界のため、局部的な偏析の可能性は残されている。

一方、アスファルト塩混合物の発熱特性のＳ／Ｂ比依存性を評価するためにＳＣ－ＤＳＣ及びＡＲＣを用いて添加塩濃度を増加させた模擬固化体の熱分析を行った（委員会資料１７－４）。塩濃度を最大７０重量%（Ｓ／Ｂ比＝７０／３０）にまで上げて熱分析を実施したが、反応全体の発熱量は増すものの、発熱開始温度の低下や反応速度の増加は見られなかった。

2) エクストルーダ内での塩の微細化

塩粒子径が硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応速度にどの程度関連しているかを示す知見として、現在までに３種のデータが得られている。

一つは、模擬固化体を液体窒素で冷却後乳鉢で粉砕した試料と粉砕しなかった試料についてのＡＲＣによる測定結果である（委員会資料１３－６－２）。試料の塩粒子径を測定していないが、前者の塩粒子径は後者に比べ小さいと推定される。試料量が等しい０．５ｇの結果で比較すると試料を粉砕しなかった場合の方が低い温度で発熱を開始している。また、試料の熱容量に関する補正（φ補正）を行った結果で比較した場合において、３００℃以上の反応において、二つの試料の反応速度に有意な差は認められない。

二つめは、５００ｇ程度の模擬固化体を用いた試験に関するものである。断熱性を高めた条件下で模擬固化体を徐々に加熱し、加速的な自己発熱による発火を再現させている（委員会資料２０－３－３）。模擬廃液を濃縮後水分を含んだ状態で溶融アスファルトに混ぜた試験と、模擬廃液を蒸発乾固し乳鉢で粉末状に微細化した塩を溶融アスファルトに混ぜた試験を行った。ともに塩粒子の大きさを測定していないが、後者では１mmより十分に細かい粉末になっていたと思われる。自己発熱の開始温度はいずれにおいても２７０℃程度であり、塩の添加（調製）方法による顕著な差は認められなかった。なお、前者の試験では消泡剤が含まれているが、Ｄ－１－４項における実験によりそれが自己発熱の開始温度に影響を与えていないことが示されている。

三つめはカルベ式高感度熱量計（Ｃ８０Ｄ、Ｄ－３項参照）を用いた基礎実験に関するものであり、約２００～２６０℃での比較的低温における硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの発熱速度特性に及ぼす塩の粒子径の影響を調べている（委員会資料２３－８）。塩粒子径として、５３μm以下の微細粒子と約１００～約４００μm以上に及ぶ幅広い粒径分布を有する比較的粗い粒子を用いた。温度走査における発熱挙動は複雑だが、硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応性は、粒径の細かい試料の発熱速度は粒径の粗い試料に比べて高く、また、発熱開始温度は粒径の細かい試料の方が低めである。発熱開始直後の低温域では発熱速度も粒径の粗い試料に比べて粒径の細かい試料の方が高い値を示している。このことは反応界面面積の影響と考えることもできるが、有意な発熱量に達する広い温度域で比較すると発熱速度の差は小さい。

（3）シナリオへの寄与

1） 塩濃度の変動・塩の偏析

ＳＴ廃液の受入れ、前処理操作やエクストルーダ給液等の流量制御等の不備により、リン酸イオン等アスファルト塩混合物中の組成が通常時に比べ若干変動したが、硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応速度への影響は小さく、アスファルト固化体の温度上昇を著しく促進させた可能性は小さいと考える。

ただし、リン酸イオン濃度の増加はトルク値を上昇させる場合があることが経験的に知られており（資料８－４）、Ｂ２９ではトルク値が高めであったことを考えると、Ｄ－１－３項の要因との関連で、アスファルト塩混合物の温度を上昇させた可能性は考えられる。

塩の偏析やＳ／Ｂ比の効果についても、例え偏析等があったとしても、熱分析の結果からアスファルト固化体の温度上昇を著しく促進させる要因になったとは考えにくい。

以上のことから、ＳＴ廃液の受入れや、前処理操作、エクストルーダ運転操作等における調整条件等の変動／変更の影響が硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応速度を加速させ、それが直接アスファルト塩混合物又はアスファルト固化体の温度上昇につながったとは考えがたい。

2） エクストルーダ内での塩の微細化

本項（２）2)において述べたように、塩粒子径が硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの発熱速度に影響を及ぼす可能性はあるが、主要な発熱反応の温度域が著しく低下するような顕著な影響は認められない。したがって、Ｂ２９の塩粒子の微細化が硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応速度を大幅に加速させ、それが主因となって直接アスファルト塩混合物の温度上昇につながった可能性は低い。

ただし、微細粒子の塩とアスファルトの反応では、粗い粒子の塩の場合と比較して若干活性であったことを示す結果が得られているため、D－1－8項で述べる長時間の蓄熱を想定した速度の遅い発熱反応への寄与は考え得る。また、エクストルーダ内において、通常より早めの塩の析出がスクリューシャフトのトルク上昇の要因となった可能性はある。

D－1－6　触媒反応

（1）火災発生シナリオとの関連

アスファルト固化処理施設において処理される廃液中には、種々多様な物質が含まれており、これらの物質の中にブローイング反応や硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応に対する触媒として作用する物質が存在した可能性がある。これらが触媒効果を有する場合には、低温部での反応速度が高まり、発熱開始温度が低温側にシフトする。一般的には、クラッドや貯槽底部に蓄積された沈殿物中の遷移金属及び核分裂生成物等のうち白金族等は触媒となる可能性が高い。

触媒効果を持つ物質の混入のシナリオとしては、有機不純物の混入と同様に、廃液移送直前に実施されたエアースパージングによる撹拌によりＶ２１の底部に蓄積していた沈殿物が浮遊し、反応槽以降の工程に混入したことが挙げられる。

本項では硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの発熱開始温度を大幅に低下させたり、反応速度を著しく加速させたりする物質が存在するか否かについて検討する。

（2）分析結果

実廃液の分析結果に基づき、フェロシアン化ニッケル、ＳＵＳ３０４Ｌ通電腐食残さ、二酸化マンガン、酸化第二鉄及び水酸化第二鉄の各々を模擬固化体に混ぜ、ＤＳＣを用いて熱分析を行なった。

分析の結果、二酸化マンガン及び水酸化第二鉄について、発熱ピークの低温側への広がり及び低温域における新たな発熱ピーク等の変化が見られたが、発熱量としては極めて小さく、また、主たる発熱ピークは触媒を加える前に比べほとんど変化していないことからエクストルーダの通常運転温度付近での顕著な発熱につながるような徴候は見られなかった（委員会資料１９－４）。

また、触媒効果を示す可能性のある主な白金族元素（ルテニウム（Ｒｕ）、ロジウム（Ｒｈ）、パラジウム（Ｐｄ）、白金（Ｐｔ））については、Ｖ２１の沈殿物の分析結果（委員会資料２１－５）で示されたように、廃液中濃度が誘導結合高周波プラズマ分光分析（ＩＣＰ分光分析、D－3項参照）の検出限界値（1～3ｍｇ／ｇ－沈殿）以下であり、微量である。

念のため、模擬固化体に上記白金元素の金属パウダーを混入させ、ＤＳＣを用いて熱分析を行なった結果、二酸化マンガン等と比較して主発熱ピークは低温側へ約５０℃シフトしている。それでも発熱開始温度は３５０℃程度と高く、測定における昇温速度を考慮してもアスファルト塩混合物の初期温度付近での顕著な影響を持つ徴候は見られなかった（委員会資料２２－５）。さらに、これらの熱分析結果は大量の白金族元素の金属粉末を添加した模擬固化体について行ったものである点を考慮する必要がある。

（3）シナリオへの寄与

今回実施した熱分析からは、硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの発熱開始温度を大幅に低温側にシフトさせたり、反応速度を著しく大きくするような触媒効果を持つ物質を確認することはできなかった。現時点で得られている測定結果の範囲では、触媒効果が直接的な昇温因子であったとは考え難い。

しかし、化学形や化合物の粒径による影響や、D－1－8項で述べるように、低温部での微弱な発熱反応への寄与

については より詳細に調査する必要がある。

D－1－7　ブローイング反応

（1）火災発生シナリオとの関連

ブローイング反応はアスファルトと酸素との酸化縮合反応であり、発熱反応である。

当該キャンペーンでは、B26以降の処理において単位時間当たりの廃液供給量を160リットル／時まで低下させた。このためエクストルーダ内での水分の蒸発が早めに進み、エクストルーダ下流部（ドーム3以降）において水蒸気分圧が低下した結果、ドームのベント配管から空気が逆流して入り込んだ可能性が考えられている。

ブローイング反応によるアスファルト塩混合物の温度上昇への寄与は、エクストルーダ内及びドラム缶内での二つの反応過程が考えられる。

前者については、エクストルーダ内でのアスファルト塩混合物の滞留時間が非常に短いので（数分程度）、有意な昇温をもたらすか否かを評価するためには、ブローイング反応の速度特性を把握する必要がある。

後者の反応では、エクストルーダから排出されるアスファルト塩混合物に同伴し得るガス状の酸素量は少量であるので、その寄与は非常に小さいと想定される。しかし、各種過酸化物の形でアスファルト成分に取り込まれた酸素がドラム缶内でブローイング反応を起こし、昇温に寄与した可能性も残されている。

（2）分析結果

ブローイング反応に関連して、以下の二つの試験分析結果が報告されている。

一つはC80Dを用いた基礎試験の結果であり、約60～280℃における酸素とアスファルト又はアスファルト塩混合物との反応における発熱特性を調べている（委員会資料23－7）。

温度走査に対する発熱挙動はアスファルトとアスファルト塩混合物とで異なっており、後者の発熱速度はアスファルトに比べ若干遅く、見かけの発熱挙動はより複雑である。また、アスファルトについて、180℃における等温実験では、発熱速度は時間とともに指数関数的に減少する結果が示されている。いずれも弱い発熱反応であり、いわゆるブローイング反応に当たるか否かは不明だが、上記の挙動を説明する理由の一つとして、アスファルト硬化に伴う酸素の拡散が発熱速度に影響を与えている可能性は考えられる。

もう一つの分析結果は、アスファルト過酸化物の生成の可能性を評価するものである。エクストルーダ内で生成した過酸化物がドラム缶内で分解･生成を繰り返すことによりアスファルトとブローイング類似反応を起こし発熱する。過酸化物が生成するといくつかの官能基が同時に生成する。そこで、これらの過酸化物の同定を行う目的で、赤外吸光分析によってB10、B27、B29の実固化体試料におけるこれら官能基の探索を行った。また、同じ試料についてCHNコーダ法によって固化体中の炭素、酸素及び窒素元素の分析を行った（委員会資料23－6）。

赤外吸光分析では、原料アスファルトや火災を起こさなかったB10試料と比較して、火災を起こしたB29ではカルボキシル基やカルボニル基の吸収ピークが強いとしている。しかし、アルコールの吸収ピークの差異は明確ではない。また、B10試料と原料アスファルトとの比較等から、通常時においても過酸化物の生成は考えられるとしている。現時点においては、過酸化物の生成量に関する定量的な結果は得られていない。

CHNコーダ法では、水素／炭素、窒素／炭素比について、試料間で明確な差が認められなかった。

（3）シナリオへの寄与

上述した結果はいずれも、エクストルーダ内又はドラム缶内でのブローイング反応の可能性を否定するものではない。しかし、その昇温への寄与の大きさを評価するための信頼性のある定量的データが不足している。微弱で複雑な因子が関与する反応であるので長期的に取り組む必要がある。

Ｄ－１－８　長時間の蓄熱を想定した速度の遅い発熱反応

（1）火災発生シナリオとの関連

Ｄ－１－３項からＤ－１－７項では、Ｄ－１－１項における 1)及び 2)に相当する主たる火災原因の要因候補について検討を行ったが、単独で火災発生の支配的要因となり得る可能性を示すデータは得られなかった。このため、これら複数の要因が重なり、その相乗効果として（Ｄ－１－１項における3)に相当）火災に至ったものと考えられる。したがって、反応促進の可能性があればたとえ微弱な発熱反応であっても着目する必要がある。

従来、アスファルト固化処理の管理においてはＤＴＡやＳＣ－ＤＳＣが用いられてきたが、検出感度の点から、微弱な発熱反応を必ずしも検出できなかった可能性がある。たとえば、硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応の場合、ＳＣ－ＤＳＣでは約３６０℃付近で発熱反応が検出されているが（委員会資料１０－４－１）、より高感度のＡＲＣでは３００℃付近から（委員会資料１０－４－２）、またＣ８０Ｄでは更に低い温度（１９０～２００℃）での反応が検出されている（委員会資料１４－５改）。

このような観点から、これまで比較的高い発熱速度の可能性の観点から評価してきたＤ－１－４項からＤ－１－７項の要因について、本項で再検討する。

（2）分析結果

1)　模擬固化体の発熱特性

種々の組成の模擬固化体に対してＡＲＣ及びＣ８０Ｄを用いた熱分析が行われており（委員会資料１０－４－２、１２－７、１４－５改、１７－４）、模擬固化体に関する発熱速度の温度依存性ついては、下記のような結果が得られている。

・試料及び測定条件により差があるが、２２０～２３０℃において発熱反応が検出され、自己発熱により３００℃以上の高温に達した。また、発熱速度は温度とともに増加するが、その依存性は２７０～２８０℃を境とする温度域により異なり、低温側での温度依存性は高温側に比べ小さい傾向が認められる（委員会資料１２－７、１７－５等）。
・同じ組成の模擬固化体であっても、測定実施機関により結果が異なっており（委員会資料１０－４－２、１２－７）、試料の調整法や測定条件の影響を受けている可能性がある。リン酸イオン濃度及びＳ／Ｂ比を大幅に変化させても、低温域での発熱特性に顕著な差異が認められない（委員会資料１７－４）。
・Ｃ８０Ｄにより測定した結果では、ＡＲＣよりも更に低い２００℃以下で発熱反応が開始することが示された（委員会資料１４－５改）。

各測定実施機関間で再現性に欠ける理由は現時点では不明であり、測定法に係る原因並びに測定試料そのものに係る原因の双方を考慮する必要がある。

多くの測定において発熱速度の温度依存性が２７０～２８０℃を境として温度域により異なっていることから、温度によって反応機構が異なる複数の発熱反応が重畳／逐次的に進行した可能性がある。また、自己触媒反応の可能性もある。なお、硝酸塩等の酸化剤の相変化が２７０～２８０℃付近で起こることがわかっており、上述の温度依存性はこの相変化と関連していることも考えられる。

また、事故時における特異な混入物質の可能性を念頭に置いた検討では、沈殿物に含まれる主要な因子の候補として挙げられている有機又は無機の成分を模擬した試料について測定が実施されている。たとえば、白金族元素の触媒効果の検討（委員会資料２２－３）では、主たる反応のピーク温度の低下が観察されている。ＳＣ－ＤＳＣにより異なる昇温速度で測定されたデータを用い、単純な反応を仮定して更に遅い昇温速度まで外挿すると、温度２００～２６０℃の領域での反応速度は、ルテニウムを添加した場合模擬固化体の１０倍以上、他の金属では２～５倍程度になるとの試算もあるが、Ｄ－１－６項でも述べたように、この実験結果は、大量の白金族元素の金属粉末を添加した模

擬固化体についての結果であることを念頭におく必要がある。

2) 実固化体及びＶ２１実廃液固化体の熱特性

９７－Ｍ４６－１キャンペーンで製造された実固化体のうち、発火したアスファルト固化体（Ｂ２９）、発火しなかったアスファルト固化体（Ｂ１０）、エクストルーダ内で温度上昇が認められたバッチのアスファルト固化体（Ｂ２７）、及びＶ２１貯槽廃液を不溶化処理し蒸発乾固した後アスファルトと混練した固化体（以下、「Ｖ２１実廃液固化体」という。）について熱分析が行われた（委員会資料１７－５）。その結果は以下のとおりである。

試料及び測定条件により差もあるが、ＡＲＣによる測定の一般的な発熱特性として、模擬固化体の場合と同様に、２２０～２３０℃において発熱反応が検出され、自己発熱により３００℃以上の高温に達した。また、発熱速度は温度とともに増加するが、その依存性は２７０～２８０℃を境とする温度域により異なり、低温側での温度依存性は高温側に比べ小さい傾向が認められる（委員会資料１７－５等）。

多くの試料では、２２０～２３０℃以下において、０．０２℃／分（設定検出下限）以上の発熱速度は検出されなかったが、Ｂ２９のＡ７ドラム缶内の実固化体（１ｇ）のＡＲＣ熱分析では、１１０℃付近に微小な発熱ピークがあり、１８０℃付近から熱暴走を起こしている。また、Ｖ２１実廃液固化体においても１４０℃付近で微小な発熱ピークがあり、１７０℃付近から熱暴走に至っている。これらは他の試料に見られない特異な結果であり、エクストルーダ運転温度以下での発熱反応の存在を示した例である。また、２００～２５０℃の温度域では、Ｂ２９実固化体（Ａ７、Ａ８試料）及びＶ２１実廃液固化体に加え、Ｂ３０に相当するＶ３２実廃液固化体についても、相当大きな発熱速度が観測された。

さらに、発熱速度をもとに計算した高温域での反応速度定数は、エクストルーダで混練された実固化体の場合、ビーカ等でアスファルトと混練した固化体（Ｖ２１実廃液固化体及び模擬固化体）と比較して、若干高い傾向を示した。

（3）シナリオへの寄与

高感度な熱量計を用いた固化体の発熱特性の分析結果等により、実固化体及びＶ２１実廃液固化体では模擬固化体と比べ熱暴走理論における自己発火温度が低下していたことが示された。

さらに、火災を発生したＢ２９実固化体及びＢ２９と共通の廃液源であるＶ２１実廃液固化体の高感度熱分析結果は、再現性に欠けるものの、２００℃以下の低温域において何らかの発熱反応が進行する可能性を示した。また、２００～２５０℃での発熱速度は、他のバッチの実固化体等（Ｂ１０実固化体、Ｂ３１に対応するＶ３３実廃液の固化体）の値に比べ大きな値（２００℃域まで外挿した場合、数倍程度）を示す傾向が確認された。

以上より、定性的にではあるが火災を発生した廃液処理バッチにおいて、通常運転時と比較してアスファルト塩混合物の発熱反応が活性であり、自己発火温度が低下していた可能性が高いことが示された。

しかし、分析機器が高感度であればあるほどそのデータの定量的評価には多くの実験と慎重な評価が要求される。この観点から、上述した分析結果は未だシナリオへの寄与を定量的に特定するまでには至っていない。また、硝酸塩／亜硝酸塩とアスファルトとの反応は、本来、アスファルト自身を含め種々の成分が関与する複雑な反応であり、さらに、塩粒子の効果等のその他の因子が副次的に重畳して蓄熱を支えた可能性がある。これらについては比較的小さな寄与の因子を評価することになるので、長期的課題として取り組む必要がある。

Ｄ－２　爆発発生の要因検討

Ｄ－２－１　燃焼及び爆発に関する基本的な事柄

爆発発生の原因究明を行なうにあたり、使用する用語について以下にまとめる。

（1）燃焼と爆発

まず燃焼と爆発について定義する。

可燃性物質と空気等の酸化剤があらかじめ混合された状態で燃焼することを予混合燃焼という。これに対し、可燃性物質が酸化剤雰囲気の中において拡散及び混合して燃焼することを拡散燃焼という。燃焼は、予混合燃焼と拡散燃焼とで、また、反応が主として気相中で進行する場合と凝縮相中で進行する場合とで、形態が大きく異なる。さらに、気相中の予混合燃焼は、衝撃波を伴い超音速で伝播する爆ごう、数m／秒以上の亜音速で火炎が伝播する爆燃（爆発的燃焼）及び定まった燃焼速度で燃焼するガスこんろのような燃焼に分類される。ろうそくや多くの工業用バーナーは、空気と混合しながら燃焼するため、拡散燃焼に分類される。

可燃性物質が液体や固体の凝縮相であっても、あらかじめ酸化剤と混合されていない時には、凝縮相が気化しながら空気等の酸化剤と混合して燃焼するため拡散燃焼である。なお、凝縮相の可燃性物質が、粉体やミストのような微細粒子になって空気中に浮遊している時にも、気体可燃性物質の場合と同様な予混合燃焼をする。また、気相中の反応で爆ごうが発生した場合の圧力は初期圧力の数十倍程度であるが、凝縮相の燃焼により爆ごうが発生した場合、発生する圧力は数万気圧以上の極めて高いものとなる。

爆発とは、一般的に大きな音の発生や物品の破壊、損傷を伴う事象を指す。したがって、爆発とは被害場所の状況により感覚的に判断されるものであり、事故において爆ごうが起こったとしても、顕著な被害が無い場合は爆発とは判定できないことがある。また、爆燃やその他の爆発威力の低い現象であっても、窓ガラスの破壊や容器の破裂があれば爆発とする。

（2）アスファルト固化体の燃焼

アスファルト固化体は、アスファルトが可燃性物質であり酸化剤として硝酸塩を含んでいるので、凝縮相の予混合燃焼に分類される。しかし、アスファルト固化体中に含有する酸化剤量は、含有する可燃性物質量と比較するとかなり不足している。このため、アスファルト固化体の燃焼は、予混合燃焼のみでは完全燃焼せず、水素、一酸化炭素、メタン、煤及び高沸点の揮発成分等の可燃性物質を放出する。

雰囲気中に酸素等の酸化剤が十分存在する場合、放出された可燃性物質は、拡散燃焼により火炎をあげて完全燃焼すると考えられる。しかし、雰囲気中に酸化剤が十分存在しない場合、拡散燃焼は起こらず、放出された可燃性物質は、そのままの状態で雰囲気中に滞留することとなる。

したがって、雰囲気中の酸化剤量により、アスファルト固化体の燃焼形態及び放出物質は変化する。つまり、雰囲気酸素が不足した状態では、アスファルト固化体中で無炎状態での予混合燃焼のみが進み、可燃性物質が放出される可能性がある。なお、可燃性物質とは水素、メタン等空気と混合すると特に爆発しやすい物質（爆発性物質）に加え、一酸化炭素、低沸点炭化水素、ミスト等を含めた物質を指す。

（3）爆発限界又は燃焼限界

爆発限界又は燃焼限界とは、爆発又は燃焼が発生するために必要な可燃性物質の濃度範囲のことを指す。可燃性物質は、この濃度範囲以下であっても、以上であっても、爆発又は燃焼を起こすことはない。炭化水素においては、一般的に、物質中の炭素数が多くなるにしたがい、燃焼限界の範囲は数％オーダと狭くなる。各可燃性物質の空気中の燃焼限界は、水素４～７５％、メタン５～１５％、ブタン２～９％、プロピレン２～１１％、ペンタンでは２～８％程度であり、高沸点成分の燃焼上限は数％程度である。

多量の可燃性物質が大気中に放出され引火、爆発を起こした場合でも、この爆発限界が存在するため、爆発に寄与した可燃性物質量はきわめて限定される。そのため、一般的な爆発事故においては、爆発効率（発生した可燃性物質に対する爆発に寄与した物質の割合。　ＴＮＴ収率ともいう。）は数％程度である。

D－2－2　爆発原因物質

（1）試験・分析結果

模擬固化体やアスファルト塩混合物を加熱した時に発生する物質については、種々の方法により試験、分析及び計算が実施されている。それらの結果は用いた方法により幾分異なるが、以下のとおりである。

ＡＲＣを用いた模擬固化体の熱分析時に発生するガスを３５℃まで冷却した後、ガスクロマトグラフー質量分析計（ＧＣ－ＭＳ、Ｄ－３項参照）を用いて分析を行なった。その結果、発生した主な有機性ガスはペンタン、プロピレン、メタン、ブタン、エタン等であり、主な無機性ガスは一酸化炭素及び二酸化炭素であった。ただし、成分組成は模擬アスファルトの加熱温度によって異なり、４５０℃の高温にまで加熱した時は、水素も一酸化炭素と同程度検出されたが、３２０℃までの加熱時における水素発生量は少なかった。なお、この分析において、３５℃で凝縮する高沸点成分は分析対象外であった（委員会資料１２－７、１７－４）。

アスファルト塩混合物加熱試験では、２８０℃程度におけるガス発生開始までは有意な量の可燃性物質は検出されていないが、ガス発生開始から１分後までの加熱装置内から回収されたガスには、多量の水素、メタン、一酸化炭素が含まれていた。さらに、ガス発生後１～２分後には、２６種類の高沸点炭化水素が検出されていた（委員会資料２４－４）。

不活性ガス雰囲気中におけるアスファルト固化体の定圧燃焼に対して、化学平衡計算により断熱火炎の燃焼生成物組成を推定した（委員会資料１６－２、２３－５）。計算より求められた燃焼ガス組成としては、水素、炭素（煤）、一酸化炭素が主なものであり、委員会資料２４－４の試験結果と定性的には一致する。

一方、ヘリウム（Ｈｅ）ガス雰囲気中で模擬固化体を加熱し、発生したガスをＧＣ－ＭＳを用いて分析した結果、３００～４００℃までは可燃性物質はほとんど検出されず、４００℃以上の高温において無機性ガス（一酸化炭素、二酸化炭素）及び有機性ガス（～C11 化合物）等が検出された（委員会資料１８－７）。

また、高沸点成分分析を目的とした燃焼ガス分析（ＪＩＳ　Ｋ７２１７）結果では、３８０～４００℃程度において急激な温度上昇を開始する時に発生する煙の主成分は、高沸点炭化水素の混合ミストであり自己発火することがわかった。また、３００℃程度の低温で測定された混合ミストは少量であった（委員会資料２３－４）。

（2）シナリオとの関連

各分析結果及び一般的なアスファルトの性質より、アスファルト固化体の燃焼により発生する燃焼生成物については、定性的にではあるが以下のとおりと考えられる。

アスファルト固化体は２００～３００℃の温度範囲において、重縮合反応はあるいは分解反応を起こすが、その速度はきわめて遅く、水素、一酸化炭素あるいはメタン等の低沸点炭化水素及び高沸点炭化水素等の可燃性物質は大量には発生しにくい。アスファルトの引火点は、約３００℃で、この温度になればアスファルト固化体から可燃性物質が発生する。アスファルトの沸点は、常圧で５００℃以上であるから、雰囲気中の酸素が希薄であれば、７００～８００℃程度以上では分解、縮合を伴いながら、激しく可燃性物質を発生する。

ドラム内でアスファルトと硝酸塩との燃焼が起これば、少なくとも７００～８００℃以上になると考えられるため、爆発原因物質はこれらの可燃性物質である可能性が高い。

アスファルト充てん室（Ｒ１５２）入域調査において、１回目の火災で発火したと思われるコンベア上の８本のドラム缶は、アスファルト固化体下部まで容易に棒が刺さり、十分に燃焼した可能性が高い。このことは、消火が不十分であり、水噴霧後も燃焼が継続していた可能性を示している。また、吹き飛ばされたシールディングウォール上に灰がないことは、コンベア上の８本のドラム缶内のアスファルト固化体は、爆発前にほとんど燃焼し尽くしていたことを示している。

８本ものアスファルト固化体が燃焼すれば、雰囲気酸素が不足し、燃焼は不完全なものとなる。この場合、水素、一酸化炭素、低沸点炭化水素及び高沸点炭化水素等の可燃性物質が放出される。燃焼したアスファルト固化体が多量であることに加え、可燃性物質の発生量及び発生機構を考慮すると、これらの可燃性物質が主な爆発原因物質であった可能性は高い。

一方、１回目の火災から約１０時間という長時間後に爆発が起きたことを考えると、この間にターンテーブル上のドラム缶内のアスファルト固化体が自己発熱し、可燃性物質を発生した可能性も考えられる。

Ｄ－２－３　爆発発生場所

（１）解析結果

今までに報告されているアスファルト固化処理施設の被害状況（委員会資料１５－３等）及び施設の強度解析（委員会資料１１－３、２３－３）を基に、爆発発生場所をパラメータとして、２次元非定常オイラー流体力学コード（ＤＡＭＥ：Donor-Acceptor Method）を用いてシミュレーション解析を行なった（委員会資料１６－２）。この解析の結果、被害状況、特にシールディングウォールの吹き飛び方及びリムーバブルルーフとの上下位置関係、保守エアロック室（Ａ２３５）の壁の損傷及び検量用ドラム缶の１本の変形等の観察事実を説明できる爆発発生場所としては、Ｒ１５１及び保守作業室（Ａ２３４）に絞り込まれた。

（２）シナリオとの関連

解析結果及び被害状況より、Ｒ１５１及びＡ２３４で爆発が発生した可能性はかなり高い。しかし、爆発原因物質の発生源がＲ１５２であること及び着火源（Ｄ－２－２項、Ｄ－２－４項参照）を考慮すると、Ｒ１５２では可燃性物質の発火、部分的な燃焼及び火炎伝播があった可能性は高い。

Ｒ１５２のような比較的大きな空間では、火炎伝播速度は燃焼波の成長を考慮しても数m／秒程度と考えられる。一方、Ｒ１５１の容積はＲ１５２に比べて小さく、燃焼波の伝播速度がＲ１５２と同じであっても、Ｒ１５１内の圧力上昇はＲ１５２より早いと考えられる。したがって、Ｒ１５２内の燃焼火炎はＲ１５１からの衝撃波の影響を受けながら燃焼していた可能性が高い。Ｒ１５２内の燃焼波は、セルの大きさや被害から考えて、爆ごうのような強い爆発を伴っていなかった可能性が高い。天井ハッチのリムーバブルルーフは、Ｒ１５２での燃焼波とＲ１５１での爆発の影響を同時に受けていたと考えられる。

Ａ２３５のコンクリート壁の破壊等の被害状況より、ここにはかなり強い力が加わったものと思われる。原因としては、Ａ２３４に存在していた可燃性物質がＲ１５２内での燃焼波又はＲ１５１の爆発により着火及び爆発したものか、あるいはＲ１５２からの爆風により被害を受けたもののいずれかによると推定される。Ａ２３５の扉の手前のリムーバブルルーフが落下していないため、Ａ２３４での爆発の可能性が高いと考えられる。Ａ２３４内には、各部屋間の圧力バランスによっては天井ハッチを通して可燃性物質が移行してくる可能性がある。Ｒ１５２からの爆風による被害の可能性は否定できないものの、Ａ２３５及びエレベータホールや扉、窓等２階部分の爆風の被害に比べて、１階はＡ１２１を除きコンベア上の空のドラム缶の損傷が見られない等爆発被害が軽微なことから、Ａ２３４内での爆発の可能性は高い。

また、可燃性物質の移行経路としては、Ｒ１５１へはＲ１５１とＲ１５２を結ぶ排気ダクト及びＡ２３４へはリムーバブルルーフの隙間である。移行原因としては、消火操作後のセル換気系のフィルターの目詰まり状態での槽類換気系の運転継続、及び１７時頃のセル換気系及び建家換気系の起動が考えられる。リムーバブルルーフは、通常重ねて置いてあるのみであったため、各部屋の圧力バランスによっては、リムーバブルルーフの若干の隙間からＡ２３４へ可燃性物質が移行することは、十分考えられる。

Ｄ－２－４　着火源

（1）調査結果

Ｒ１５２入域調査の結果、ターンテーブル上の４本のドラム缶内アスファルト固化体は、全て棒が容易に奥下部まで突き刺さり完全に燃焼していることがわかった。また、４本の中でドラム缶Ｄ２のみが、固化体の上部一部をドラム缶外に噴出して燃焼していた（委員会資料２３－２）。このことより、ドラム缶Ｄ２は内部で蓄熱を起こし自己発火した可能性が高い。つまり、このドラム缶Ｄ２が着火源であった可能性は高い。ドラム缶Ｄ２の内容物は、８５％がＢ２９のアスファルト塩混合物であり、残りの１５％がＢ３０の混合物であった。最初の火災は、Ｂ２９のアスファルト塩混合物を充てんしたドラム缶に由来すると考えられるので、Ｂ２９の特異性という点で整合することになる。

ターンテーブル上の他のドラム缶は、Ｂ３０のアスファルト塩混合物のみを充てんしたものが２本（Ｄ１、Ｄ３）、ドラム缶Ｄ２と同じく８５％がＢ２９、１５％がＢ３０のアスファルト塩混合物を充てんしたものが１本（Ｄ５）であった。ドラム缶Ｄ２とＤ５の相違点としては、Ｂ２９のアスファルト塩混合物を８５％充てんしてからの経過時間の違いがあげられる（Ｄ２：約１６．５時間、Ｄ５：約１３時間）。

また、アスファルト固化処理施設のダクト及びフィルタの損傷に着目すると、セル換気系フィルタに損傷があること、及びＲ１５１とＲ１５２を結ぶ排気ダクトからセル換気系フィルタまでのダクトは膨らんで変形しており、被害が大きいこと（委員会資料７－７、１５－３）等の特徴がある。これは、セル換気系ダクト内を火炎が伝播した可能性を示すものとも考えられる。しかし、これだけの情報からは、火炎伝播の方向について明確な結論を導くことができない。そのため、Ｒ１５２外での電気系統により発火し、その火炎がダクト内をＲ１５１及びＲ１５２へ伝播し、着火源となった可能性も否定できない。

（2）シナリオとの関連

爆発事故において、一般的に、爆発発生場所は被害状況からある程度の特定が可能なことが多いが、着火源は明確に特定することが困難な場合が多い。

Ｒ１５２入域調査及び運転操作記録より、ある程度根拠のあるものに絞り込むと、（A）ターンテーブル上のドラム缶Ｄ２から発生した火炎と、（B）ダクト内での電気系統による発火の２通りの可能性があげられる。

（A）Ｂ２９のアスファルト塩混合物を含むドラム缶Ｄ２が自己発火した可能性は、前述のとおりかなり高い。この場合、Ｄ－２－３項で検討した爆発発生場所との関係については、ダクトを通じて火炎がＲ１５１へ伝播し得ることが確認されている（委員会資料２３－４）。

また、（B）セル換気系ダクト内で電気系統により発火し、その火炎がダクト内を伝播し、Ｒ１５１及びＲ１５２でほぼ同時に爆発したとする場合、被害状況との整合性がかなり高いが、ダクト内での発火に関する根拠が現段階では不十分である。ただし、槽類換気系の運転継続による、ダクト内での空気の流れと粉塵の摩擦により発生した静電気火花が着火源となった可能性については、ダクト内の送風流速が数ｃｍ／秒程度である（委員会資料２６－２）ため、可能性は極めて小さい。

Ｄ－２－５　爆発エネルギー

（1）解析結果

Ｒ１５２内壁の強度（委員会資料１１－３）をもとにすると、今回の爆発圧力は３～５気圧（絶対圧力）程度と推定される。この爆発圧力を得るために必要な可燃性物質量を熱力学平衡計算により求めると、各可燃性物質とも、空気中に５～１０％混合していれば十分である（委員会資料１６－２）。　過去の爆発事故の経験では、ガス爆発等の可燃性物質の爆発効率（発生した可燃性物質に対する爆発した物質の割合）は数～２０％である。Ｒ１５１及びＡ２３４の部屋の容積はそれぞれ約９０m3 及び約２２０m3 である。したがって、必要となる可燃性物質量は数百m3と考えられる。爆発原因物質の発生源であるＲ１５２の容積（約５３０m3）及び外部への漏れを考慮すると、１０

００m3 規模の可燃性物質の放出が必要となる。

（2）シナリオとの関連

爆発前に、燃焼又は熱暴走により可燃性物質を放出したドラム缶の本数は、８本（コンベア上で１回目の火災で燃焼したもの）～１２本（８本＋ターンテーブル上の４本）と考えられる。おおよそ１～２ｔ程度の多量のアスファルト固化体が燃焼していることから、必要な爆発エネルギーを生じるに十分な量の可燃性物質の発生はあったものと考えられる。

Ｄ－３　今回用いた分析法及び分析機器

火災爆発原因の検討においては、各種の熱分析及び化学分析が行われた。主な分析法及び分析機器について簡単に説明する。

ＡＲＣ：加速速度熱量計（Accelerating Rate Calorimeter）

ある雰囲気温度において試料（試料量：グラムオーダー）が自己発熱により温度上昇すると、それに見合うだけ雰囲気温度を上げるよう制御する（断熱制御）。それによって、試料の発生熱は試料容器から雰囲気へは逃げず、全て試料自身と容器だけを加熱することに消費され、試料の温度が更に上昇し、加速的に分解反応が進行していくことになる。このように密閉下で分解させた際の試料温度と自己発熱速度との関係を分析することにより反応性化学物質の断熱下での熱安定性あるいは暴走性を評価する。なお、データの定量的な解釈に当たっては試料容器の熱容量に対する補正（φ補正）が必要である。

Ｃ８０：カルベ式高感度熱量計（Calvet-type Calorimeter）

Calvet 式熱量計はグラムオーダーの試料を用いることができるため微量な熱量変化を捉えることが可能である。一方の容器に測定試料を、もう一方の容器に基準物質を充てんし、熱流計に挿入して、試料から発生する熱流に比例した信号を二つの熱流の差から求める。Calvet 式熱量計の中で、Ｃ８０ＤはＤＳＣ（次項）のように温度走査（等速昇温測定）が可能であるが、測定系の熱容量の関係でＤＳＣに比べ昇温速度は制約を受ける。今回の分析に用いたＣ８０ＤはＣ８０熱量計の標準的な機種である。

ＤＳＣ：示差走査熱量測定（Differential Scanning Calorimetry）

示差熱分析（ＤＴＡ、次々項）を改良した熱分析法である。ＤＴＡでは物質が熱的変化（相転移、分解、融解等）を起こす温度は求められるが、高温での熱量の測定精度が劣る。このため、ＤＳＣでは、試料に熱変化が起こって生じる基準物質との温度差を補償ヒーターによってゼロにし、その電力差を測定するか（入力補償型）、試料と基準物質との熱流差を直接測定することにより（熱流束型）反応熱量を求める。後者のタイプは定量ＤＴＡとも呼ばれる。

ＳＣ－ＤＳＣ：密封セル示差走査熱量測定（Sealed-Cell Differential Scanning Calorimetry）

試料容器が密封型であるという違いだけで、ＤＳＣ自体の違いではない。密閉型の容器は、昇華性の固体試料、易分解性の試料や溶液、溶媒を吸着した試料等に用いる。

ＤＴＡ：示差熱分析（Differential Thermal Analysis）　固体試料が加熱され相転移、分解、融解等の変化を起こすと、その変化に相当する温度で発熱（構造変化、酸化等）、吸熱（構造変化、一部成分の離脱等）が起こる

ことを利用した分析法、試料と熱的に不活性な基準物質を一定の温度上昇率で加熱し、両者の間に生じる温度差から試料の熱的性質を解析する。相図の作成や鉱物の同定等に用いられる。

ＧＣ－ＭＳ：ガスクロマトグラフー質量分析計(Gas Chromatograph-Mass Spectrometer)

混合ガスを固体への吸着性の差によって各成分に分離させる手法をガスクロマトグラフィという。また、原子・分子のイオンを質量の違いによって分析する装置を質量分析計という。ガスクロマトグラフィによって分離された成分を、質量分析計に直接導入して質量分析できる装置がガスクロマトグラフー質量分析計である。有機化合物の分離定量が簡便なためひろく用いられている。

ＩＣＰ分光分析：誘導結合高周波プラズマ分光分析（Inductively Coupled Plasma Spectrophotometry）

発光分光分析法とは、熱、電気、光等のエネルギーを外部から分析試料に与えて成分元素を励起し、放射された光を分光して得られるスペクトル線の位置から成分元素の種類を判定し、その強度から各元素の含有量を求める分析法である。一般に高感度であり、かつ多元素の同時検出、定量ができる。ＩＣＰ分光分析は、不活性気体の気流中においたコイルに高周波電流を流し、発生するプラズマ中に霧状にした試料溶液を導入して行う発光分光分析であり、励起能力が高く、極めて高感度である。

添付-5　運転管理上の問題点の指摘事項に関する対応状況

事故調査委員会報告書の指摘事項	指摘事項への対応状況
1．事故時の対応等に関する問題 事故の初期対応は極めて重要であり、緊急時には上司の指示を仰ぐことなく対応ができるように要領書に明記し、関連する図書相互間での整合性を取るべきである。	消火方法については、これまで各課ごとに定めていた火災対応要領を平成9年7月に集大成し、消火方法、消火確認方法等を明記した。旧環境施設部関連施設（ガラス固化技術開発施設、アスファルト固化体貯蔵施設等）については平成11年2月までに見直した。
初期対応に複数の選択肢がある場合は、予め事故の状況に応じて適切な対応策を選定し、要領書等に明記するべきである。	
施設の閉じ込め機能維持のために重要な換気系の異常時対応措置をあらかじめ検討し要領書等に明記する必要あり。	分離精製工場等主要な再処理施設については火災発生時の換気系の対応マニュアルを作成した。 排気フィルタの除染機能低下が考えられる廃溶媒貯蔵場については、予備系統のフィルタへの切り替えを迅速に行えるように遠隔操作化した。 火災発生時には、発生する煤などによって排気フィルタが目詰まりし負圧維持が困難となることが想定されるため、排気フィルタの１段目のフィルタ交換に必要な予備のフィルタ（計279台）を平成11年3月に各フィルタ室に配備した。
現場と中央からなる効率的な組織とし、的確な状況把握、放射線管理情報の一元的把握、情報伝達の簡素化を図り、指示と連絡が一元的に行える体制を確立すべき。	アスファルト固化処理施設の火災爆発事故を踏まえ、これまでの分割していた再処理施設に係る保安管理体制、運転管理体制及び放射線管理体制を一元的に管理するために、平成10年10月の新法人への移行に合わせて再処理施設のセンター化及び放射線管理部門の統合を行った。 また、再処理センターの廃棄物処理部門等の管理体制を一層強化すべくサイクル機構の直接の指揮命令下にある要員の適切な配置を行い、当直長統括による保安管理体制を再構築することとした。

事故調査委員会報告書の指摘事項	指摘事項への対応状況
現場においては事故現場の状況を的確に確認し、正確な情報を中央に伝達する。中央においては事実確認のため、現場を良く知る者によるチェック機能を確立する必要あり。	正確な情報の把握の観点から、担当課長による現場確認の周知徹底を行うとともに、サイクル機構の設立に伴い平成10年10月に、事故対策規程、事業所事故対策規則、再処理センター事故対策手順を制定し以下の対応を実施した。 ・外部機関への情報発信を迅速に行えるように事業所対策本部が判断し連絡する。 ・事業所対策本部に広報班、中央官庁対応班、地域対応班、情報班、総務班を設置する。 なお、現場からの情報のチェック機能強化のため情報専任者は現場を熟知した副センター長があたることとした。 ・正確な情報の把握の観点から、担当課長による現場確認の周知徹底と現場指揮所ー事業所対策本部間の要員の相互派遣等を実施する。 ・現場の情報を事業所対策本部が直接収集できるように、事業所対策本部員を現場指揮所へ派遣することとした。 ・担当課や現場指揮所が、各種Q&A対応に追われることなく、現場の情報収集や復旧対応を重点的に行えるように、事業所対策本部にQ&A班を設置した。 緊急時対策所に常設してある事故対応時の必要資料である各施設情報を平成10年12月までに収集し、画像データとしての入力を平成11年3月までに実施した。
関連性を有する施設の放射線管理は一元的に行い、作業員の作業状況を早い段階で把握し、必要な指示を一斉に行うべき。	再処理施設の放射線管理情報の一元的な管理が行えるように、平成10年10月の再処理センター化に伴って旧放射線安全課と放射線管理第二課を統合した。 再処理施設の放射線管理用定置式モニタの指示値情報を現場指揮所及び事業所へ提供するための安全管理情報遠隔集中監視システムを平成11年3月に構築した。 さらに放射線モニタの指示値の変動状況等によって異常を早期に発見し的確に対応するために、放射線監視支援システムの概念設計を実施した。今後、詳細設計等を経て本システムの構築化を進めていく。
退避指示、一時管理区域の設定、放射線管理情報等は、可能な限り広範囲に周知することにより、事故現場への不用意な接近による不必要な被ばく等を避けるべき。	火災、地震、停電、主排気筒排気モニタ警報吹鳴時等、事故時の退避指示等の一斉放送が的確に行えるようにするために、一斉放送すべき事象を平成10年10月に再処理センター事故対策手順に定めた。

事故調査委員会報告書の指摘事項	指摘事項への対応状況
問題とならない被ばくであっても，被ばくに関する事故の影響評価のための情報収集の手法やデータの蓄積の手法について検討する必要がある。	的確な放射線管理情報を迅速に現場指揮所に上げられるように必要項目を帳票化した。
事故に関わる情報は，異常が確認された時点で直ちに連絡できるよう、あらかじめ連絡すべき情報を明確化しておくべき。	これまでに通報連絡訓練等の反省を活かし第一報の連絡票の見直しを数回行ってきた。 平成10年10月のサイクル機構の設立に伴い事故対策規程を制定し、外部機関への情報発信を迅速に行えるように、事業所対策本部が判断し連絡することとし、本社は支援体制とした。 さらに、事故情報の共有化の観点から、本社、事業所対策本部、再処理センターの現場指揮所及び水戸連絡事務所間にテレビ会議システムを平成10年1月に導入した。 事故発見者による非常用電話を用いた連絡を周知徹底した。また、夜間、休日においても、速やかに第一報が外部関係機関へ発信できるように専従を含む管理職による２４時間当直体制を平成9年5月から実施している。 事業所対策本部や現場指揮所の構成員の招集のために、一斉通報装置を設置するとともに、リアルタイムな情報交換ができるようにPHS（180台）や携帯電話（218台）を配備した。なお、PHSについては、さらに1113台を配備した。

事故調査委員会報告書の指摘事項	指摘事項への対応状況
2．運転に関する問題 運転時の異常事象の分析・評価に加え、事故事例を日頃から積極的に収集し事故原因の分析・評価を行ない、結果を積極的に公開し、知識を共有・伝承することにより、安全な運転管理を実現できるように努めるべき。 新しい技術の導入に努め、安全性の更なる向上に努めるべきである。	施設の安全確保の機能強化の一つとして化学プラントの事故・故障等の情報収集を開始するとともに、一般防災、危機管理・施設及び労働安全に関する専門家を非常勤嘱託として招聘した。関連する国内外の施設（化学プラントも対象）における安全性に関する情報の収集、事故事例の収集を行い、類似の事象の発生が考えられるものについて水平展開を指示し、結果については分析評価し、不十分な点があれば再検討の指示を行うことにより、類似の事故発生を防止するための水平展開を体系的かつ継続的に実施する。 収集した事故情報の継承と共有化を適切に行うためデータベース化した「事故・トラブル情報」、「海外原子力施設事故情報」及び「化学工場事故情報」を社内基幹LANを通じて誰もが入手できるようにし、平成10年8月に周知した。 平成11年2月に、研究開発成果については目録をサイクル機構のホームページに掲載し、図書・所蔵文献については事業所イントラネットで検索できるようにした。 再処理施設の安全性確認作業の結果、得られた施設の設計思想や安全の思想に関する技術情報を平成11年2月に公開資料化し所内報告会を平成11年3月に開催した。また、これらの情報を基に、運転要領書等の改訂を行い、運転員に対する教育・訓練を計画的に繰り返し実施することにより、施設の本質的な安全性を理解させ、安全性に対する意識を高めるとともに、技術の継承と情報の共有化を図ることとした。 これらの情報から施設に関係する技術情報の収集、分析、対策及びその成果を運転方法や運転要領書に反映するための仕組みを明確にすべく、平成10年10月に品質保証計画書に規定した。 収集した事故情報に基づき施設の安全対策等を変更する場合は、その変更の妥当性について再処理施設安全専門委員会にて審議することとした。

事故調査委員会報告書の指摘事項	指摘事項への対応状況
作業請負業者に運転を委託する場合には、設置者は作業請負業者に対し、その責任と権限を明確にし、保安上及び運転上の指示を明確に与えるべき。請負業者は、常に緊張感をもって施設の運転状態を監視し、異常の兆候を見逃すことのないよう施設の安全運転維持に努めるべき。	平成10年度から異常時・緊急時の措置に関する事項及び安全管理規定類の遵守に関する事項を、協力会社との役務内容に追加した。 また、平成10年10月に新たに保安規定を制定し、協力会社員も含めた従業員に対して運転中に通常と異なる変化が見られた場合の対応や保安教育内容への安全上重要な技術上の注意事項、過去の事故事例に係わる講義学習を教育項目として追加した。 協力会社員に対しても職員と同様の教育訓練の対象とした。平成10年3月及び平成11年3月に実施した事業所総合防災訓練をはじめ各種の訓練に職員とともに参加している。また、社内教育訓練講座を協力会社へ開放し、各種の教育訓練講座に協力会社の社員も受講できるようにした。平成9年4月以降、これまでグローブボックス作業訓練講座、現場責任者安全衛生教育講座、有機溶剤業務従事者労働衛生教育講座、化学物質安全取扱講座等、業務内容に応じた教育講座を受講してきている。
運転計画を作成する際には、設備・機器の設計条件、過去の知見等を考慮し、これから実施しようとする運転条件が安全性に及ぼす影響について予め評価し、十分な安全を確保し得る見通しを得た上で運転計画を作成する必要がある。	通常の運転条件と異なる運転を計画する場合には、再処理施設安全専門委員会において、その安全性を審議することとを平成10年10月に保安規定に明記した。 また、再処理施設安全専門委員会の構成員でもある核燃料取扱主任者については、施設に精通した者を配置し、再処理施設に係る保安の監督を行わせるとともに、各部に核燃料取扱主務者を配置し核燃料取扱者を補佐し、センター内各部に係る保安の確保の為の保安の監督を行わせている。核燃料取扱主務者についても施設に精通した者を選任した。
運転計画を作成する各段階において、安全上重要な視点、評価結果、必要な安全対策及び準拠すべき作業基準を明記すべきである。	放射性物質及び化学物質を取り扱う全施設・設備の安全性一斉点検等を行うとともに、可燃性物質又は熱的不安定物質を取り扱う工程の安全対策が十分か調査した。これらの結果を踏まえ、設備の追加や要領書への注意事項の追記等、必要な改善を施すこととした。
運転計画を変更する場合においても、安全上重要な視点、評価結果、必要な安全対策及び準拠すべき作業基準を明記すべきである。	運転員が通常と異なる変化を正しく判断できるよう、かつ、確実に継承可能なようにするために、安全上重要な技術上の注意事項、過去の事故事例等を保安教育項目に加えることを平成10年10月に保安規定に明記した。

事故調査委員会報告書の指摘事項	指摘事項への対応状況
処理対象物質について十分な化学的、物理的特性の把握を行うべきであり、このための分析、測定方法を判断基準とともに運転要領書等に明記し，また、判断基準を満足しないときにとるべき措置についても運転要領書等に明記する必要あり。	アスファルト固化処理施設の火災爆発事故の反省から、自主保安の一環として「再処理施設の安全性確認作業」を実施した。さらに、アスファルト固化処理施設に類似する工程・区域の調査を実施した。これらの結果、異常事象検知手段を明らかにし、検知した際の運転対応操作が必要なものは運転要領書の改訂等を行うこととした。
3．教育訓練に関する問題 設備・機器の基本的な設計思想にまで溯り、取り扱う物質の化学的・物理的性質等も考慮した、問題の本質をつかむ教育訓練を通じて、十分な経験及び能力を有する作業者の育成を行う必要がある。	安全性に関する情報や事故事例等の情報から運転条件や操作手段等の変更を必要とするものについては、運転要領書、教育、訓練等に反映させていくようにした。これらの情報の反映に関しては平成10年10月に品質保証計画書に規定した。
過去の事故事例等を考慮して想定事故事象を選定するなど、実際の事故事例に則した事故対応訓練を実施するほか、重大な事故の連鎖的な発生、相互に関連する組織・施設の合同対応、抜打ち訓練等により、実際の事故に適切に対応できる作業員を育成する必要がある。 訓練から得られた教訓は運転要領書等に確実に反映する必要がある。	再処理施設において火災発生を想定した総合的で実践的な訓練を職員及び協力会社員を対象に平成10年3月及び平成11年3月に実施した。さらに、平成9年3月以降、各部・センターにおいて職員及び協力会社員を対象に実践的な管理区域内火災対応訓練、一般区域火災対応訓練抜き打ちによる通報連絡訓練などを随時、実施してきている。 また、各課長が運転員の経験等に応じて階層ごとの教育・訓練を年度ごとに立案し実施してきており、これには、アスファルト固化処理施設の火災爆発事故後に改訂した火災発生時の対応要領の実地訓練も含まれている。また、対処方法・通報連絡等の習得を目的として再処理施設内での火災や人身事故等を想定した訓練を継続して行っていく。
事故の状況に応じて、各々が自主的に判断して必要な防護具の着用などの予防的な措置を取ることができるように教育訓練を行う必要がある。	アスファルト固化処理施設の火災爆発事故後、緊急招集訓練や事故対応訓練については課、再処理センター及び事業所として過去の事故例を参考にした実践的な訓練を行ってきている。 また、換気系フィルタが目詰まりした場合の予備系統のフィルタへの切り替え操作の教育訓練についてはフィルタ交換等の機会を利用して実施している。

事故調査委員会報告書の指摘事項	指摘事項への対応状況
	管理区域内での半面マスクの携帯及び火災警報吹鳴時、セル内温度警報吹鳴時の点検等における着用を平成10年10月に安全作業基準及び事故対策手順に明記した。
4．施設に関する問題 運転状態を監視するための計測設備は、故障した場合に直ちに補修等適切な処置を行うべきである。 安全上重要な監視設備については、事故時にも必要な機能が維持されるよう設計上の配慮をすべきである。 事故時においても必要な監視及び操作を行なうことができるよう、制御室には計測系、外部との通信設備を整備するほか、放射性物質の拡散，煙の発生等を伴う事故時にも必要な監視及び操作を行なうことができるよう配慮すべきである。	アスファルト固化処理施設に類似する火災発生の潜在的な危険性の高い工程・区域を洗い出し、工程監視設備のメンテナンスが行われているか平成10年8月及び平成10年12月に調査した。その結果、工程監視設備のメンテナンスは定期的に実施することを安全作業基準又は運転要領書に定めていることを確認した。 また、火災・爆発を中心に工程に特有な事故事象に対する安全設計、安全対策について評価し、その妥当性及び重要な検知機能や操作手順を明らかにし、さらに必要な対策及び設備の改善を行うことを目的に、「再処理施設の安全性確認作業」を平成10年2月から平成11年2月にかけて実施した。その作業の結果、今後、分離精製工程、ウラン濃縮脱硝工程、プルトニウム転換技術開発施設、廃溶媒処理技術開発施設及びクリプトン回収技術開発施設では、工程監視設備の追加設置あるいは運転要領書への工程監視項目の追記等を実施した。 今回のアスファルト固化処理施設の火災、爆発事故を踏まえて、 ・放射性物質及び化学物質を取り扱う全施設・設備（危険物、高圧ガス含む）の安全性一斉点検、 ・県の要請による原子力施設の安全性点検、 ・法令等への適合性や施設の経年変化の観点からの安全総点検等種々の点検 を実施した。その結果を踏まえ必要な改善を施すこととした。 さらにアスファルト固化処理施設に類似する工程・区域の調査、再処理施設の安全性確認作業及び安全性一斉点検等の結果を踏まえ、以下に示す必要な対策を施すこととした。

事故調査委員会報告書の指摘事項	指摘事項への対応状況
	・工程設備での温度、濃度等を監視するための工程監視設備を設けており、制御室あるいは居室等で監視している。運転員が常駐していないスラッジ貯蔵場及び廃溶媒貯蔵場では、セル内火災温度検知器(FDT)を廃棄物処理場の制御室で監視できるように監視用のITVカメラ（計3台）を平成10年3月に設置した。 ・各種の試薬を取り扱う分析所のグローブボックス設置区域には監視用のITVを平成10年6月に設置した。 有機溶媒などの可燃性試薬を取り扱う分離精製工場の試薬調整工程区域に監視用のITVを設置する。
	・ウラン脱硝施設の可燃性の熱媒を取り扱うウラン濃縮脱硝工程では、熱媒の漏洩を早期に検知するために監視用のITVカメラを平成10年3月に設置した。分離精製工場のウラン濃縮脱硝工程にも同様に設置する計画である。 ・各種の試薬を取り扱う分析所のグローブボックス及び分析セルの温度を制御室にて集中管理するためのシステムを平成10年6月に設置した。 ・プルトニウム転換技術開発施設では、水素混合ガスを取り扱う工程室に水素ガス漏洩検知器を平成10年3月に追加設置した。 ・分離精製工程、プルトニウム精製工程、廃溶媒貯蔵工程等では、これまで現場でしか確認できなかったセル内火災温度検知器(FDT)の指示値を制御室で記録・確認できるように記録計を設置した。 ・第二アスファルト固化体貯蔵施設の固化体評価試験セルに、新たにFDTを設置した。 ・万一の火災発生時に、有機溶媒を取り扱うセル等から可燃性ガスが漏洩していないか確認できるように、可搬式のガス検知器を分離精製工場、分析所、廃棄物処理場などの制御室に平成11年3月に配備した。 ・低放射性廃液の蒸発処理工程や廃溶媒の貯蔵工程では工程監視設備の設置目的や警報発報時の対応を平成10年9月までに明記した。

事故調査委員会報告書の指摘事項	指摘事項への対応状況
	もんじゅのナトリウム火災事故に鑑み、再処理施設内各建家の火災信号を集中監視している管理事務棟核物質防護管理室及び分析所の安全管理室に設置してある自動火災報知器の集中監視盤に再鳴動機能を平成11年2月に追加した。 第三低放射性廃液蒸発処理施設の主受信機についても再鳴動機能を有する機種へ変更した。 ・有機溶媒などの可燃性試薬を取り扱う分離精製工場の試薬調整工程に固定式粉末消火設備を設置した。
	・有機溶媒等の可燃性物質を多量に取り扱う分離精製工場等のセルについては、水噴霧消火設備等の必要な消火設備を設置しているが、この操作を制御室から迅速に行えるように給水弁を遠隔操作弁に変更した。 ・アスファルト固化体の物性測定試験を行う第二アスファルト固化体貯蔵施設の固化体評価試験セルの水噴霧消火設備の操作弁を試験セル操作区域から操作できるように、遠隔手動弁に変更した。 ・水噴霧消火設備配管の経年変化を考慮して、分離精製工場の分離第二セル、分離第三セル、ウラン精製セルなどの水噴霧消火設備配管の材質を炭素鋼から耐食性に優れたステンレス鋼に変更した。 消防班員の火災発生現場への入域を考慮して、放射線防護に加えて耐熱性に優れた防護服３セットを平成11年３月に購入した。 ・施設内の消火設備の強化として通常の消火器・消火栓に加え、廃棄物処理場の可燃性の固体廃棄物を大量に保管している区域に水噴霧設備を設置した。 各種の試薬を取り扱う分析所のグローブボックスには散水設備を、分析セルには、イナージェンシィーガス供給設備を平成10年6月に設置した。 ・ラ・アーグ再処理工場でのケーブル火災を反映して、電気ケーブルの延焼防止措置を施してきたが、これまでに延焼防止剤の塗布が実施されていなかった除染場や第二ウラン貯蔵所の主幹ケーブルについても平成9年12月に延焼防止剤の塗布を行った。
他施設からの影響が考えられる施設については、他施設と同程度の計測器の設置などの措置が必要である。	・環境との接点である排気モニタについては、火災警報吹鳴時点から、監視を強化するとともに、異常な放出が確認された段階で情報伝達が行えるようにするために、排気モニタ警報吹鳴時等の対応要領を平成11年2月に定めた。

事故調査委員会報告書の指摘事項	指摘事項への対応状況
	・アスファルト固化処理施設と連絡通路を共有している第三低放射性廃液蒸発処理施設(Z施設)にはβダストモニタを平成11年3月に設置した。 火災発生時において、火災発生建家への無用な立入による人身災害や被ばくの防止、隣接建家への汚染の拡大を防止するために、火災発生時の施設(建家)間の離隔措置を平成11年3月に定めた。