

高減容処理施設の溶融設備における
安全対策について
－溶融設備に係る意見交換会資料集－

Safety Measures in the Melting Facilities
of the Advanced Volume Reduction Facilities
- Document Collection of Discussion Meetings Related to Melting Facilities -

池谷 正太郎 横堀 智彦 石川 譲二 安原 利幸
小澤 俊之 高泉 宏英 門馬 武 黒澤 伸悟
伊勢田 浩克 岸本 克己 明道 栄人 小澤 一茂

Shotaro IKETANI, Tomohiko YOKOBORI, Joji ISHIKAWA, Toshiyuki YASUHARA
Toshiyuki KOZAWA, Hirohide TAKAIZUMI, Takeshi MOMMA, Shingo KUROSAWA
Hirokatsu ISEDA, Katsumi KISHIMOTO, Masato MYODO and Kazushige KOZAWA

原子力科学研究部門
原子力科学研究所
バックエンド技術部

Department of Decommissioning and Waste Management
Nuclear Science Research Institute
Sector of Nuclear Science Research

December 2018

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Review

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Institutional Repository Section,
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2018

高減容処理施設の溶融設備における安全対策について －溶融設備に係る意見交換会資料集－

日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門

原子力科学研究所 バックエンド技術部

池谷 正太郎、横堀 智彦、石川 譲二、安原 利幸※、小澤 俊之*、高泉 宏英※、
門馬 武※、黒澤 伸悟※、伊勢田 浩克、岸本 克己、明道 栄人⁺、小澤 一茂

(2018 年 9 月 13 日 受理)

日本原子力研究開発機構では、原子力科学研究所の雑固体廃棄物を廃棄体化する手段として、放射能評価及び減容・安定化の観点から有効な溶融処理を採用している。金属溶融設備及び焼却・溶融設備（以下「溶融設備」という。）については、過去の火災トラブルでの再発防止対策を含め多くの安全対策を施しており、この妥当性等について機構外の有識者を交えた意見交換を行うため、「溶融設備に係る意見交換会」を開催した。

本稿は、意見交換会において発表した“高減容処理施設の概要”、“溶融設備の安全対策”、“溶融設備の運転管理”、“過去の国内・国外事例と当該施設との比較”及び“各委員からの他施設における事故事例及び安全対策の紹介”について、資料集としてまとめたものである。

原子力科学研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4

＋ 福島研究開発部門 福島研究開発拠点 廃炉国際共同研究センター

※ 派遣職員（原子力エンジニアリング株式会社）

* 原子力エンジニアリング株式会社

**Safety Measures in the Melting Facilities of
the Advanced Volume Reduction Facilities**
– Document Collection of Discussion Meetings Related to Melting Facilities –

Shotaro IKETANI, Tomohiko YOKOBORI, Joji ISHIKAWA, Toshiyuki YASUHARA[※],
Toshiyuki KOZAWA^{*}, Hirohide TAKAIZUMI[※], Takeshi MOMMA[※],
Shingo KUROSAWA[※], Hirokatsu ISEDA, Katsumi KISHIMOTO, Masato MYODO⁺
and Kazushige KOZAWA

Department of Decommissioning and Waste Management,
Nuclear Science Research Institute, Sector of Nuclear Science Research,
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received September 13, 2018)

Japan Atomic Energy Agency (JAEA) adopts melting process for the waste processing and packaging method of radioactive miscellaneous solid waste in Nuclear Science Research Institute (NSRI) because melting process is effective in radioactivity evaluation, volume reduction, and stabilization treatment. Metal melting processing facilities, incinerator, and nonmetal melting processing facilities (hereinafter referred to as melting process facilities) have taken lots of safety measures, including measures for preventing the recurrence of the fire accidents.

To exchange opinions and discuss the validity of these measures and so on with internal personnel and external experts, “Discussions on Melting Process Facilities” was held.

As a document collection, this paper summarizes presentation materials of discussion meetings. Presentation materials describe “Outline of the Advanced Volume Reduction Facilities (AVRF)”, “Safety measures in the melting facilities in the Waste Volume Reduction Facilities (WVRF)”, “Operation management of the melting facilities in WVRF”, “Comparison of the past accident cases between facilities in and outside Japan and WVRF”, and “Introduction of past accident cases and safety measures in other facilities from each committee”.

Keywords: Waste Treatment Facilities, Melt-solidification, Safety Measures, Accident Prevention, Fire Accident

+ Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning, Science Fukushima Research Institute, Sector of Fukushima Research and Development

※ Attached staff (from Nuclear Engineering Co.,Ltd.)

* Nuclear Engineering Co.,Ltd.

目 次

1. 溶融設備に係る意見交換会-----	1
2. 高減容処理施設の全体概要及び溶融設備の安全対策 -----	2
3. 溶融設備の運転体制及び国内外の事故例と当該施設の比較 -----	3
4. 溶融設備の安全対策のまとめ及び会合で提案頂いた安全対策 -----	4
5. まとめ -----	5
添付資料— 1 -----	6
添付資料— 2 -----	17
添付資料— 3 -----	26
添付資料— 4 -----	33
添付資料— 5 -----	39

Contents

1. The discussion meeting related to melting facilities	1
2. Outline of the Advanced Volume Reduction Facilities (AVRF) and safety measures in the melting facilities in the Waste Volume Reduction Facilities (WVRF)	2
3. Operation management of the melting facilities and comparison of the past accident cases between facilities in and outside Japan and WVRF	3
4. Summary of safety measures in melting facilities and safety measures proposed at the meetings	4
5. Summary	5
Attachment-1	6
Attachment-2	17
Attachment-3	26
Attachment-4	33
Attachment-5	39

1. 溶融設備に係る意見交換会

1.1 はじめに

日本原子力研究開発機構（以下、「JAEA」という。）では、原子力科学研究所の雑固体廃棄物を廃棄体化する手段として、放射能評価及び減容・安定化の観点から有効な溶融処理を採用している。金属溶融設備及び焼却・溶融設備（以下、「溶融設備」という。）については、過去の火災トラブルでの再発防止対策を含め多くの安全対策を施しており、この妥当性等について高減容処理技術課員と JAEA 外の有識者を交えた意見交換を行うため、「溶融設備に係る意見交換会」を開催した。開催内容について、表 1 に示す。

本稿は、この意見交換会での報告内容、意見、課題等を資料集としてとりまとめたものである。

表 1 溶融設備に係る意見交換会の開催内容

	開催場所	主な議題
第 1 回	原子力科学研究所 減容処理棟管理棟 2 階会議室	・高減容処理施設の全体概要 ・溶融設備の安全対策
第 2 回	東京事務所 20 階 インフォメーションルーム	・溶融設備の運転管理について ・過去の国内・国外事故事例と当該施設の比較
第 3 回	東京事務所 19 階 第 5 会議室	・溶融設備の安全対策のまとめ ・会合で提案頂いた安全対策

2. 高減容処理施設の全体概要及び溶融設備の安全対策

本章は、第1回溶融設備に係る意見交換会における発表資料を取りまとめたものである。原子力科学研究所減容処理棟管理棟2階会議室にて開催され、主に「高減容処理施設の全体概要」、「溶融設備の安全対策」について説明及び意見交換を行っている。

添付資料—1 高減容処理施設の全体概要

- 図 1-1 高減容処理施設の概要
- 図 1-2 溶融設備の導入目的
- 図 1-3 高減容処理施設における処理フロー
- 図 1-4 前処理等における分別の基準について
- 図 1-6 金属溶融設備の機器構成図
- 表 1-1 金属溶融設備主要機器仕様
- 図 1-7 焼却・溶融設備の機器構成図
- 表 1-2 焼却・溶融設備主要機器仕様
- 図 1-8 溶融設備の試験運転の経緯
- 図 1-9 溶融設備の課題と今後の運転計画

※資料中の非公開とすべき情報については、未掲載としている。

添付資料—2 溶融設備の安全対策

- 表 2-1 溶融設備の安全対策
- 図 2-1 設計上の安全対策（金属溶融設備）
- 図 2-2 事故トラブルを受けての再発防止対策（金属溶融設備）
- 図 2-3 これまでの試験運転で取り入れた安全対策（金属溶融設備）
- 図 2-4 設計上の安全対策（焼却・溶融設備）
- 図 2-5 事故トラブルを受けての再発防止対策（焼却・溶融設備）
- 図 2-6 これまでの試験運転で取り入れた安全対策（焼却・溶融設備）
- 図 2-7 溶融設備における事故対応例について

3. 溶融設備の運転管理及び国内外の事故例と当該施設の比較

本章は、第2回溶融設備に係る意見交換会における発表資料を取りまとめたものである。東京事務所 20階インフォメーションルームにて開催され、主に「溶融設備の運転管理について」、「過去の国内・国外事故事例と当該施設の比較」について説明及び意見交換を行っている。

添付資料—3 溶融設備の運転管理について

- 原子力科学研究所の組織体制図について
- 原子力科学研究所の品質保証計画について
- 品質保証計画に基づく設計、工事管理について
- 廃棄物処理場運転手引、施設防護活動手引について
- 保安組織による事故・トラブルの対応例
- 予防保全が必要な交換部品の管理について

添付資料—4 過去の国内・国外事故事例と当該施設との比較

- 図1-1 一般産業施設（溶融炉）での事故例及び溶融設備における対応状況
- 図1-2 原子力施設（溶融炉）での事故例及び溶融設備における対応状況
- 図2 事業所Jにおける溶融物流出事故に対する溶融設備の対応状況
- 図3 事業所K廃棄物処理建屋における発煙事故に対する溶融設備における対応状況
- 図4 事業所Mにおける爆発事故に対する溶融設備における対応状況

※資料中の非公開とすべき情報については、一部加工を施している。

4. 溶融設備の安全対策のまとめ及び会合で提案頂いた安全対策

本章は、第3回溶融設備に係る意見交換会における発表資料を取りまとめたものである。東京事務所 19階第5会議室にて開催され、主に「溶融設備の安全対策のまとめ」、「会合で提案頂いた安全対策」について説明及び意見交換を行っている。

添付資料―5 溶融設備の安全対策について（まとめ）

【溶融設備の安全対策について（概要）】

- 火災発生及び拡大防止対策（爆発、溢流を含む）
- 放射性物質の閉じ込め対策
- その他のトラブル発生防止対策

【会合で提案された溶融設備の安全対策】

- 会合で提案された火災発生及び拡大防止対策
- 会合で提案されたその他の災害発生防止対策

5. まとめ

高減容処理施設の溶融設備は、原子力科学研究所の雑固体廃棄物を減容・廃棄体化する手段として必要不可欠である。しかし、過去に二度の火災トラブルが発生しており、放射性廃棄物の処理運転を開始するためには、原子炉等規制法に基づく新規制基準適合性確認のための安全審査等を通じて安全性を十分に実証する必要がある。

溶融設備については、過去の火災トラブルでの再発防止対策を含め多くの安全対策を施しており、この妥当性や火災発生防止対策等重視すべき安全対策等について、意見交換を重ねた。

この意見交換会では、短期間であり、すべての安全対策の詳細まで確認することはできなかったが、想定しうるリスクに対し、概ね妥当な安全対策が施されていると評価頂いた。一方で、本格運転までに検討すべき新たな対策についてもご提案頂いたことから、これに着実に取り組むとともに、一般産業施設や原子力施設での事故・トラブル情報を幅広く収集、蓄積し、必要に応じて安全対策に反映する。

添付資料－1

第1回 溶融設備に係る意見交換会資料



資料-1 高減容処理施設の全体概要

平成27年12月17日

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
バックエンド研究開発部門 原子力科学研究所
バックエンド技術部

図1-1 高減容処理施設の概要



1. 目的

高減容処理施設は、主に原子力科学研究所で発生又は保管した低レベル放射性固体廃棄物を、減容し、将来の処分に備え、安定化及び廃棄体化処理を行うための施設であり、廃止措置等で発生する大型廃棄物の解体分別及び廃棄物の保管廃棄を行う解体分別保管棟と200Lドラム缶等に封入された廃棄物の前処理、高圧圧縮及び溶融処理等を行う減容処理棟で構成される。

2. 施設概要

(1) 解体分別保管棟

【解体室】

○処理能力

- ・取扱重量: 最大約7ton
- ・取扱寸法: 最大W3m × D7m × H3m

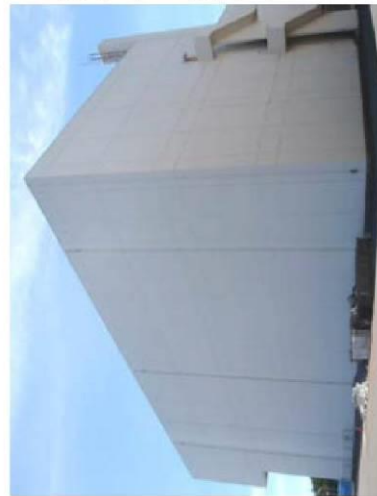
○主要解体設備

- ・大型バンドソー、プラズマ切断装置等

【保管室】

○廃棄物保管能力

- ・22,000本(200Lドラム缶換算)



解体分別保管棟

(2) 減容処理棟

○処理設備及び能力

- ・高圧圧縮装置 : 約10m³ / 日
- ・金属溶融設備 : 約4ton / 日
- ・プラズマ溶融設備 : 約4ton / 日



減容処理棟

【主要構造】

- ・鉄筋コンクリート造
- ・地下1階、地上3階

【寸法】

- ・約40m × 約50m × 約19mH
- ・延床面積: 約7,200m²

【主要構造】

- ・鉄筋コンクリート造
- ・地下1階、地上2階

【寸法】

- ・約50m × 約60m × 約17mH
- ・延床面積: 約7,800m²

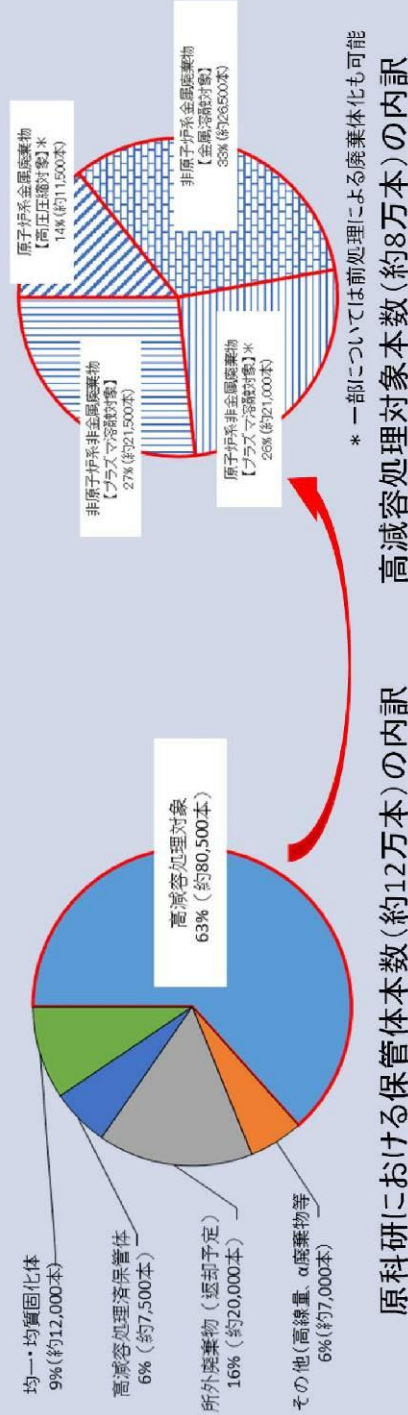


図1-2 溶融設備の導入目的

原子力科学研究所内で発生する放射性廃棄物は、**汚染源が多種多様であることから、核種別放射能濃度の評価を目的に溶融設備を導入した。**

1. 対象廃棄物

低レベル β ・ γ 固体廃棄物(容器表面における線量当量率2.0mSv/h未満)



2. 溶融設備の目的

- ①廃棄物を減容し、物理的・化学的に安定な廃棄体を作製し、埋設事業に対応する。
- ②溶融処理により、均一な溶融固化体を作製し、放射能濃度の評価を容易にする。

なお、雑多な溶融対象物に対応するため、対象物に応じた加熱方式を採用した。

- ・金属廃棄物には、一般産業界で広く用いられており、信頼性のある高周波誘導加熱方式を採用
- ・非金属廃棄物には、都市ゴミ等の処理で広く用いられているプラズマ方式を採用



図1-3 高減容処理施設における処理フロー

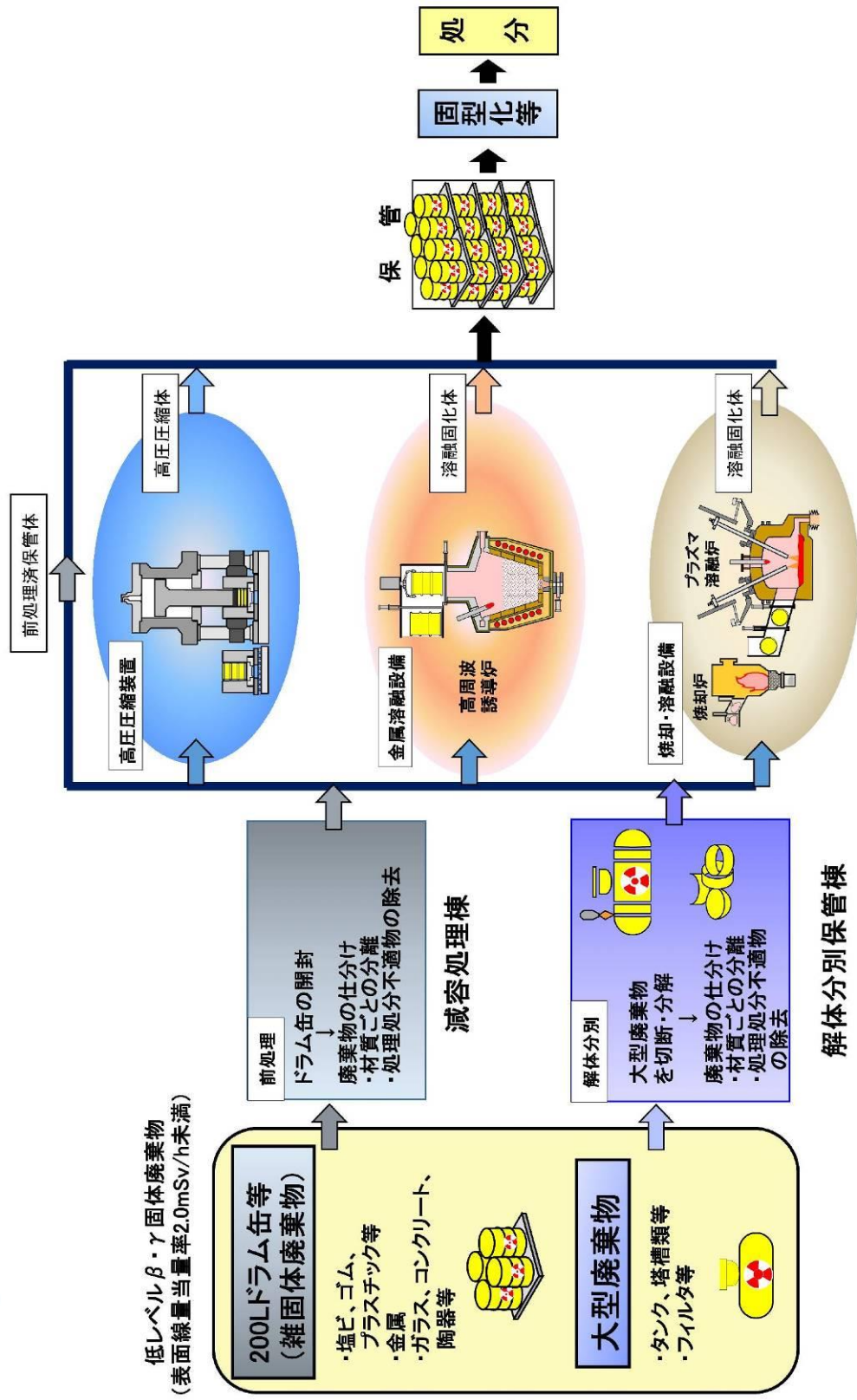




図1-4 前処理等における分別の基準について

前処理等の分別作業は、埋設時に要求される基準を満足する廃棄体を作成するために定められた「充填固化廃棄体の作製マニュアル」(部長制定文書)に基づき実施される。また、分別作業は、「分別作業等々の選任及び教育訓練手順」(課長制定文書)に基づき、「分別作業に関する教育訓練マニュアル」(課長制定文書)の教育等を受講し、特別に選任された従事者が行う。

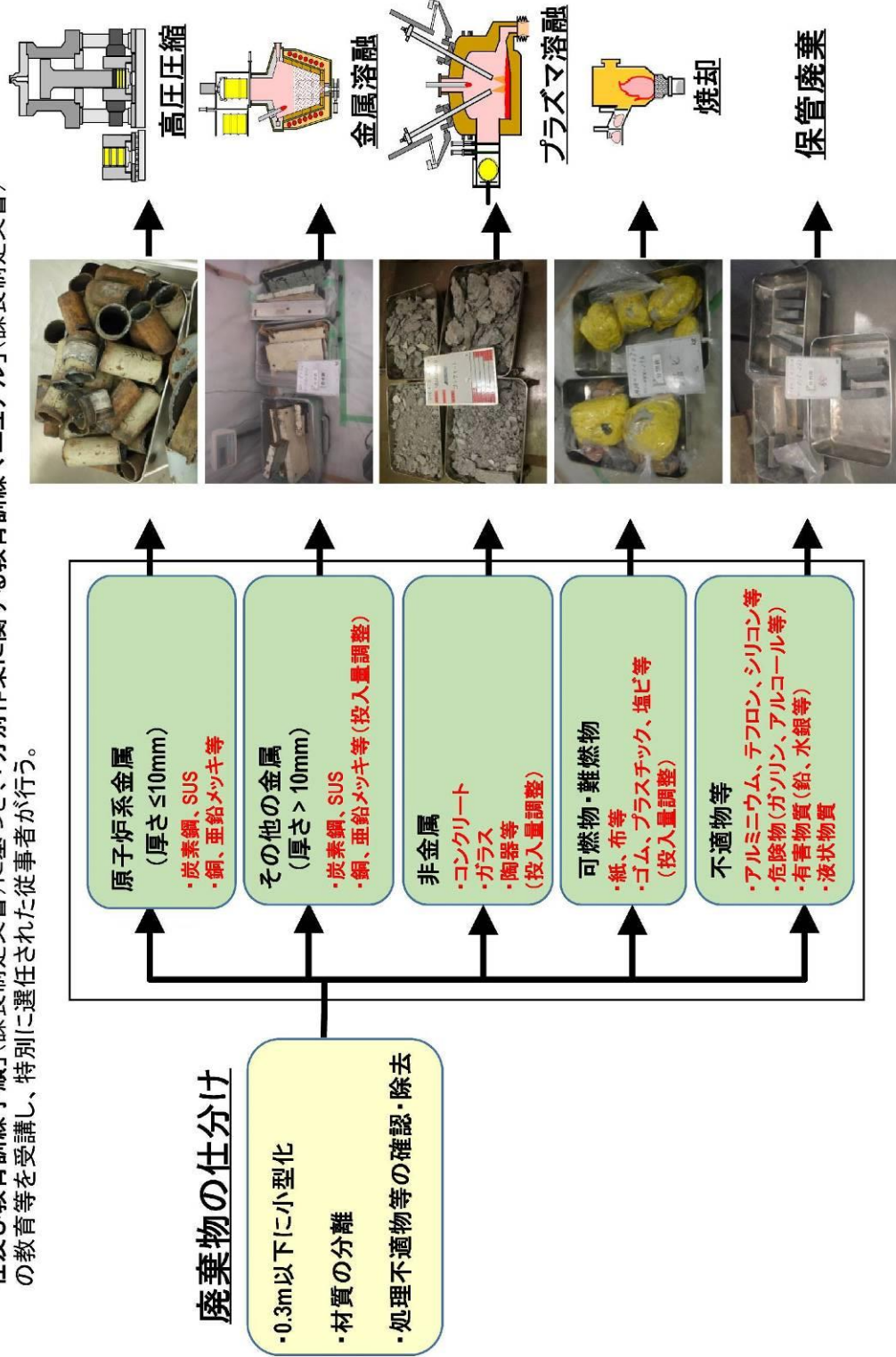




図1-6 金属溶融設備の機器構成図

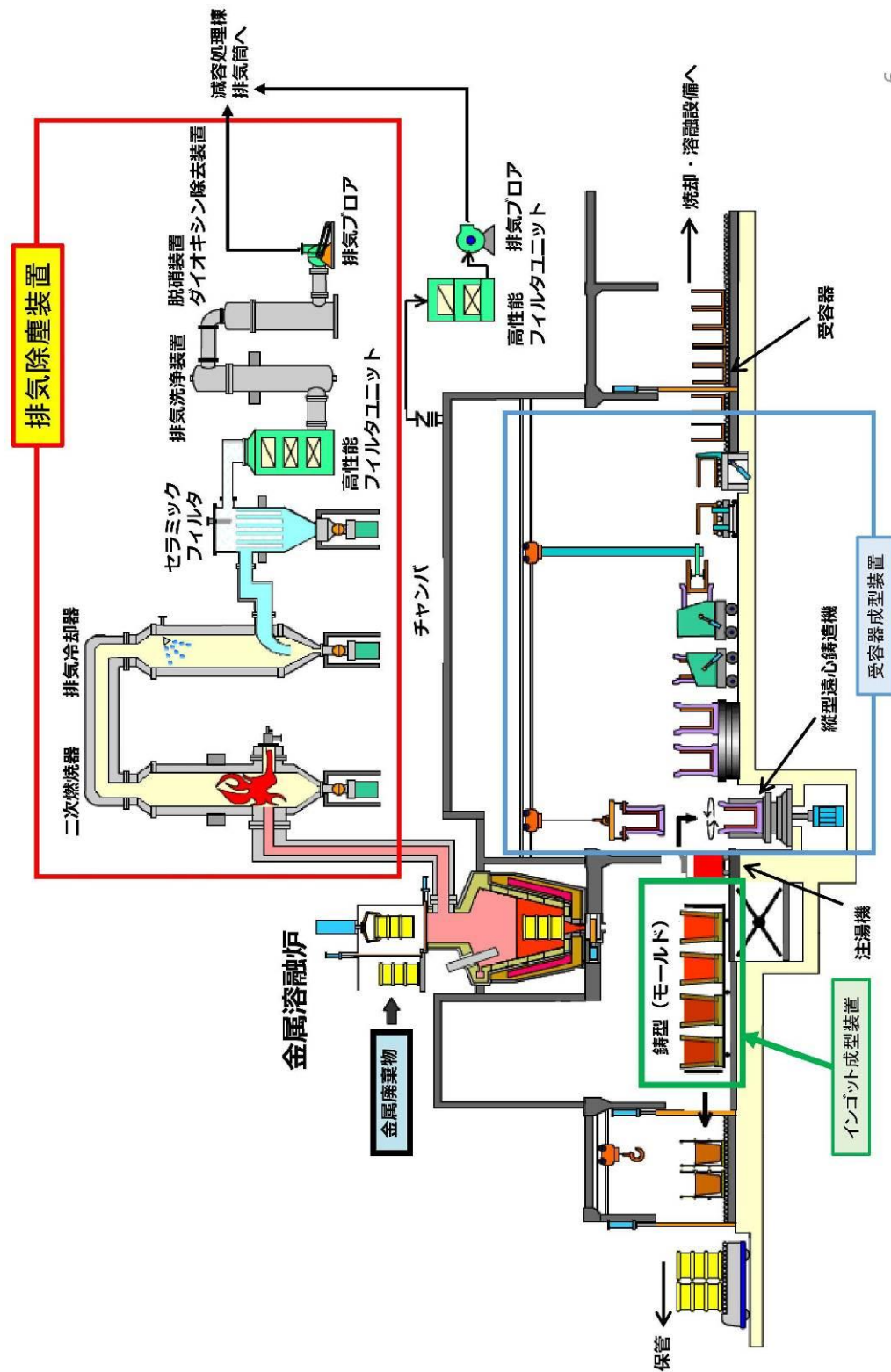




表1-1 金属溶融設備主要機器仕様

機器	概略仕様	機器	概略仕様
金属溶融炉	型式 : 高周波誘導炉 処理能力 : 約4ton/日 運転圧力 : -0.5kPa 運転温度 : 1,550~1,650℃ 出湯方式 : 下抜き方式 (油圧駆動スライドバルブ) 炉内寸法 : 下端部径約1,400mm 炉底径約700mm 深さ約3,000mm 出力 : 約1.2MW 減容率 : 約1/4	二次燃焼器	型式 : LPG燃焼式 寸法 : φ約1,500mm×H約5,000mm
注湯機	型式 : 高周波るっぽ型誘導炉 受湯量 : 約600kg 出湯方式 : 傾動出湯方式 炉内寸法 : φ約500mm 深さ約650mm	排気冷却器	型式 : 水噴霧冷却式 寸法 : φ約1,500mm×H約5,000mm
縦型遠心鑄造機	型式 : 縦軸ドライブ外筒式遠心鑄造機 回転数 : 約700rpm 製作寸法 : φ約550mm×H約800mm	セラミックフィルタ	型式 : セラミックフィルタエレメントろ過式 寸法 : φ約1,000mm×H約3,000mm エレメント数量 : 48本
インゴット	概略寸法 : φ約460mm×H約710mm 重量 : 約800kg 製作個数 : 最大5個/バッチ	高性能フィルタユニット (プロセス系)	型式 : 堅型ユニット式 寸法 : W約650mm×L約650mm×H約2,500mm 数量 : 2基 (100%/基) ; 1基は予備 フィルタ構成 : 2列3段 (プレフィルタ1段+HEPAフィルタ2段)
受容器	概略寸法 : φ約550mm×H約800mm 重量 : 約200kg 製作個数 : 最大14個/バッチ	排気洗浄装置	型式 : 床置きガス洗浄塔 予冷塔寸法 : φ約1,000mm×H約6,000mm 吸収塔寸法 : φ約900mm×H約8,000mm
		脱硝装置	型式 : 触媒式 (触媒とアンモニアにより窒素ガスと水に分解) 触媒 : チタン酸化物 寸法 : W約600mm×L約700mm×H約4,000mm
		ダイオキシン除去装置	型式 : 触媒式 (触媒と過酸化水素により炭酸ガスと水に分解) 触媒 : シリカ系 寸法 : φ約1,000mm×H約3,500mm
		排気プロア (プロセス系)	吸込風量 : 約600Nm ³ /min. 基数 : 2基



図1-7 焼却・溶融設備の機器構成図

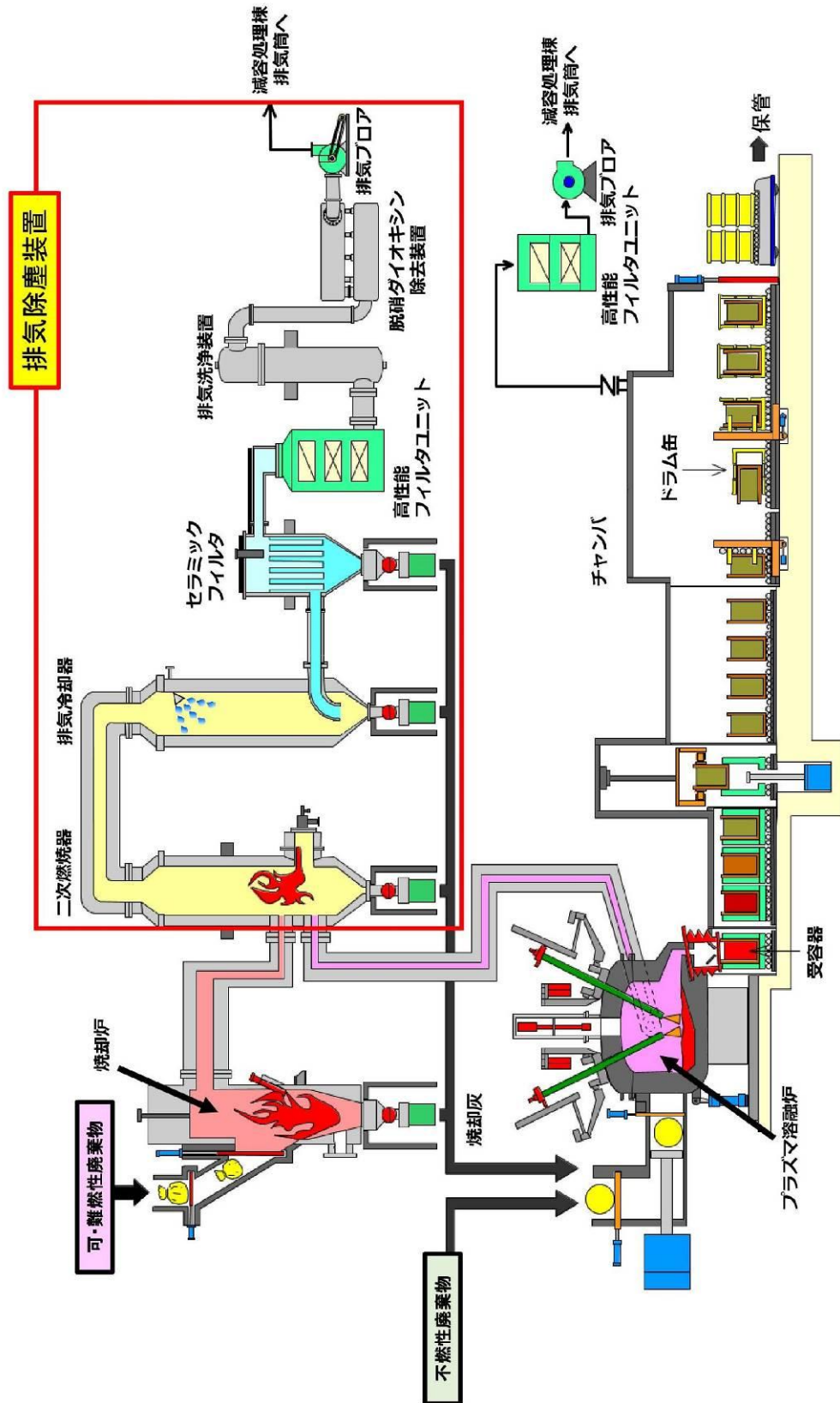


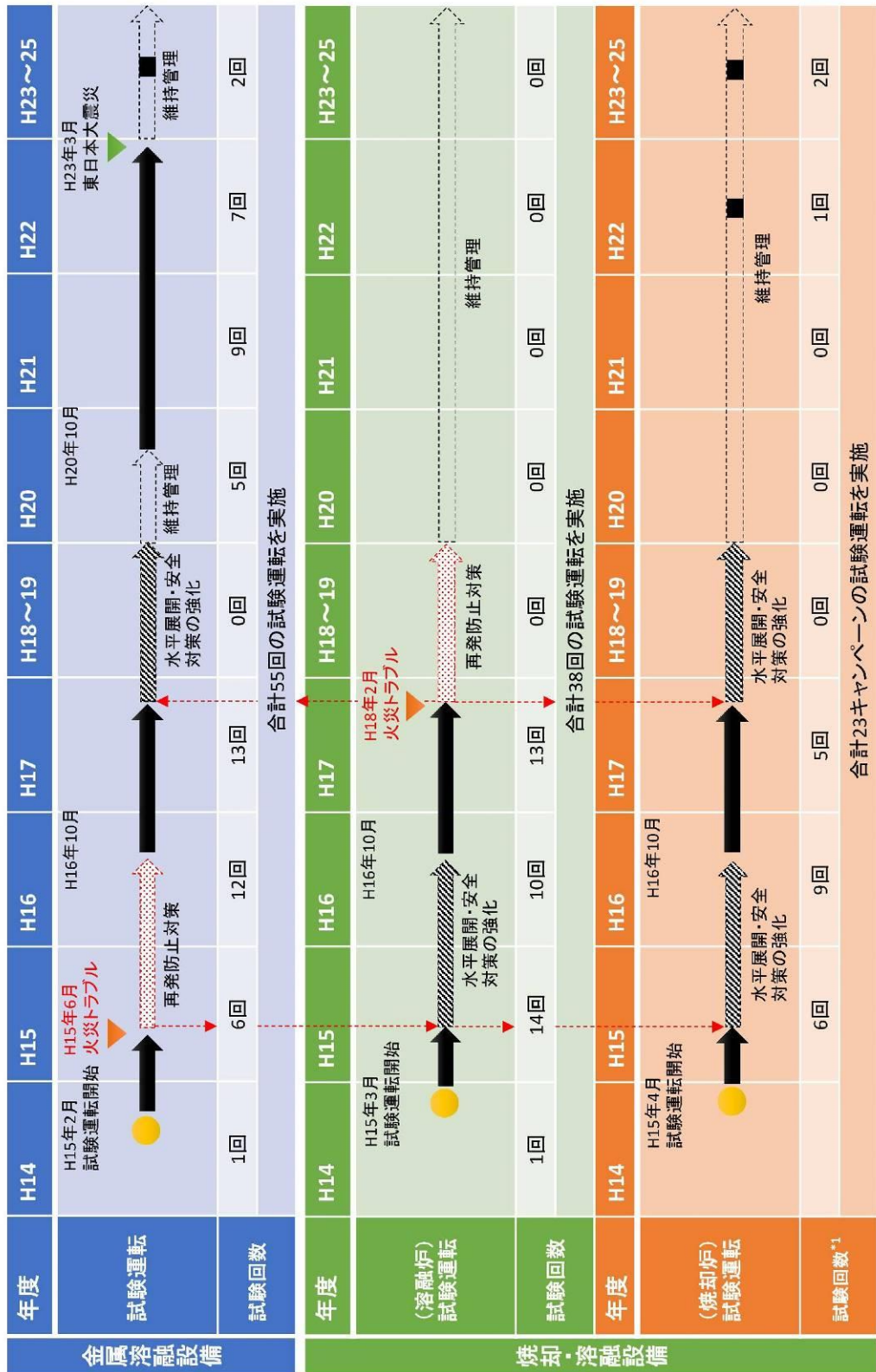
表1-2 焼却・溶融設備主要機器仕様



機器	概略仕様	機器	概略仕様
焼却炉	型式：堅型円筒式焼却炉 LPG燃焼式 寸法：φ約3,000mm×H約10,000mm 処理能力：約130kg/h (可・難燃物換算) 減容率：約1/20	二次燃焼器	型式：縦型円筒 LPG燃焼式 寸法：φ約3,000mm×H約12,000mm
		排気冷却器	型式：縦型円筒 水噴霧冷却式 寸法：φ約3,000mm×H約12,000mm
プラズマ溶融炉	型式：溶融炉固定炉床型プラズマ溶融方式 プラズマ 非移行式プラズマ 処理能力：約4t/日 (約2t/バッチ×2バッチ/日) 運転圧力：-0.8kPa 運転温度：1,500～1,600℃ 出湯方式：傾動方式 炉内寸法：φ約3,000mm×H約2,500mm 出力：1.3MW×2本 減容率：約3/5	セラミックフィルタ	型式：セラミックフィルタエレメントろ過式 寸法：本体 W約2,000mm×L約3,000mm×H約7,000mm 数量：本体 2基 (50%/基) セラミックフィルタエレメント 640本 (320本/基)
		高性能フィルタユニット (プロセス系)	型式：堅型ユニット式 構成：3列3段 (プレフィルタ1段+HEPAフィルタ2段) 寸法：W約900mm×L約3,000mm×H約3,500mm 数量：3基 (50%/基)；1基は予備
		排気洗浄装置	型式：湿式洗浄式 寸法：排気洗浄塔1 φ約2,000mm×H約8,500mm 排気洗浄塔2 φ約2,000mm×H約8,000mm
		脱硝ダイオキシン除去装置	型式：触媒式 (脱硝：触媒とアンモニアにより窒素ガスと水に分解) (ダイオキシン分解：触媒と酸素により炭酸ガスと水に分解) 触媒：チタン酸化物/バナジウム酸化物/ タングステン酸化物 寸法：W約1,500mm×L約5,500mm×H約3,500mm
		排気プロア (プロセス系)	風量：7,000Nm ³ /h 基数：1基
		補助プロア (プロセス系)	風量：1,000Nm ³ /h 基数：1基



図1-8 溶融設備の試験運転の経緯



*1焼却炉の試験はキャンペーン単位(1回あたり1週間)

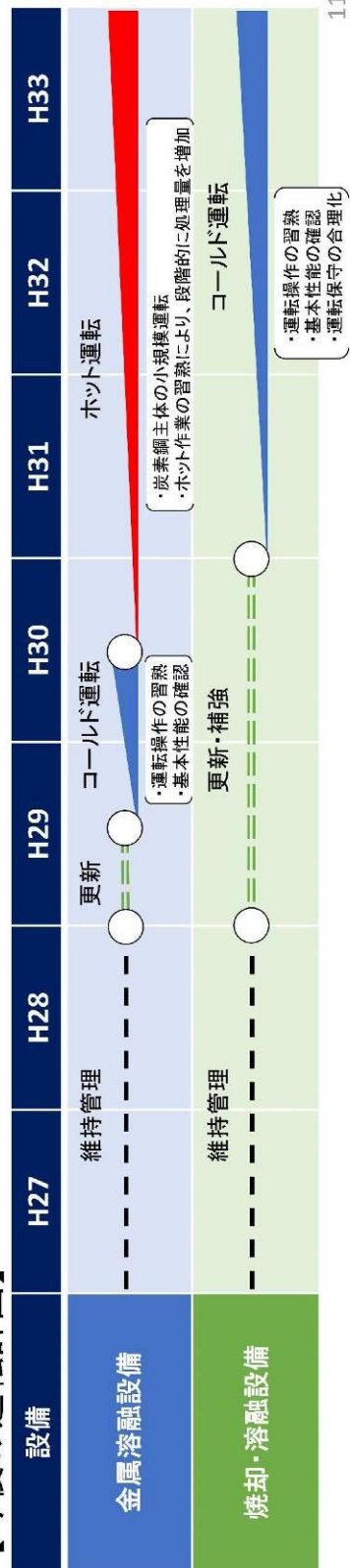


図1-9 溶融設備の課題と今後の運転計画

【これまでの試験運転で取り組んできた課題】

設備	カテゴリ	項目	課題及び成果	進捗
金属溶融設備	運転操作の習熟	運転員の確保	運転員は増減を繰り返しており、固定メンバーの確保が必要	継続
		ホット運転を想定した運転保守	ホット運転を想定した運転保守の習熟が必要	継続
	設備特性の確認	設備の性能・機能の確認	処理能力、安全機能等の基本的な性能・機能の確認	終了
	溶融特性の確認	溶湯温度データ等の取得	溶融対象物、電力、溶湯温度等の関係性を確認	終了
		溶融物の均一性の評価	外部委員会にて均一性の評価を実施済。原子力学会に外部投稿	終了
	プロセスの合理化	耐火物損耗データの蓄積	耐火物の最大損耗箇所の特定や交換頻度の基準となるデータを取得	終了
焼却・溶融設備		成型工程の合理化	直接造塊方式による出湯方法の実現性等を確認済	終了
	運転操作の習熟	運転員の確保	固定メンバーの確保が必要	継続
	設備特性の確認	ホット運転を想定した運転保守	ホット運転を想定した運転保守の習熟が必要	未実施
	溶融特性の確認	設備の性能・機能の確認	処理能力、安全機能等の基本的な性能・機能の確認	継続
		溶融物の性質の確認	投入廃棄物組成と溶融助剤の関係性の確認	継続
		溶融物の均一性の評価	溶融物の均一性の見通しは得ているが、今後、追加試験が必要	継続
	プロセスの合理化	耐火物損耗データの蓄積	耐火物の最大損耗箇所の特定や交換頻度の基準となるデータの取得	継続
				継続

【今後の運転計画】





資料-2 溶融設備の安全対策

平成27年12月17日
国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
バックエンド研究開発部門 原子力科学研究所
バックエンド技術部



表2-1 溶融設備の安全対策

	安全対策	火災対策	放射性物質の閉じ込め対策	その他
金属溶融設備	事故トラブルを受けての再発防止対策	- 信号線接続方法の変更 - 溶湯溢流防止堰の追加 - 溶湯溢流防止受樋の追加 - 配線の移設及び保護カバーの設置 - 溶融物排出用バルブ動作監視カメラの追加	—	- DCS(分散形制御システム)の電源系統を機器制御系統から分離 - 溶融物排出用バルブに関するシーケンスの見直し - 溶融物排出用バルブに関する非常停止機能の強化 - 巡視点検記録に異状・予兆を認めた際の記録簿を追加 - 予防保全が必要な交換部品に係る管理基準を作成 - 高温溶融物の取扱等に関する教育の義務化
	設計上の安全対策	- インターロック (溶融炉出口排ガス温度、溶融炉冷却水温度、耐火物からの溶融物の漏洩検知、耐火物温度等) - 溶融炉及びチャンバ等は耐火性を考慮した設計 - ガス漏れ検知器の設置、供給源は屋外に設置 - ケーブルは難燃性材料を使用 - 炉内溶融物全量を受けられる受湯ピットを設置	- 前処理工程による材質毎の分別、処理不適物の除去 - インターロック (炉内圧力、炉内温度、排ガスプロアの故障、廃棄物投入装置の二重扉等) - 溶融物排出口等にはチャンバを設置 - 圧力逃し弁の設置	インターロック (制御盤異常、通信異常、電気回路異常等)
	これまでの試験運転を通じて取り入れた安全対策	- 溶融物飛散防止カバーの設置 - 成型装置監視カメラの追加 - モールド台車側壁の設置 - 溶融炉周辺及びチャンバ内から可燃物を排除 - 消火器の増設	- 灰取出し装置の改良 - 溶融処理前に対象廃棄物の再確認	- 事故トラブルに必要な防護資材を常備 - 施設防護活動手引に基づく保安訓練を定期的に実施 - 耐熱服、空気呼吸器等の装着訓練を毎月実施
焼却・溶融設備	事故トラブルを受けての再発防止対策	- 蛇腹の材質変更 - 蛇腹、漏斗の拡張及び出湯部監視カメラの追加 - 配線の移設及び保護カバーの設置 - 信号線接続方式の確認	—	- 巡視点検記録に異状・予兆を認めた際の記録簿を追加 - 予防保全が必要な交換部品に係る管理基準を作成 - 高温溶融物の取扱等に関する教育の義務化
	設計上の安全対策	- インターロック (溶融炉出口排ガス温度、溶融炉冷却水流量、設定重量検知等) - 溶融炉及びチャンバ等は耐火性を考慮した設計 - ガス漏れ検知器の設置、供給源は屋外に設置 - ケーブルは難燃性材料を使用 - 炉内溶融物全量を受けられる出湯チャンバの設置	- 前処理工程による材質毎の分別、処理不適物の除去 - インターロック (炉内圧力、炉内温度、排ガスプロアの故障、廃棄物投入装置の二重扉等) - 溶融物排出口等にはチャンバを設置 - 圧力逃し弁の設置	インターロック (制御盤異常、通信異常、電気回路異常等)
	これまでの試験運転を通じて取り入れた安全対策	- 排ガス冷却機能の強化 - 溶融炉周辺及びチャンバ内から可燃物を排除 - 消火器の増設	- 灰取出しチャンバ前室の設置 - 負圧監視機能の強化 - 溶融処理前に対象廃棄物の再確認	- 制御室での運転パラメータの監視を強化 - 事故トラブルに必要な防護資材を常備 - 施設防護活動手引に基づく保安訓練を定期的に実施 - 耐熱服、空気呼吸器等の装着訓練を実施

➤ 両設備における火災トラブルを受けての相互の水平展開対応

図2-1 設計上の安全対策（金属溶融設備）



火災対策

- インターロック
(以下により、加熱停止及び廃棄物の供給停止等のインターロックが作動)
 - 溶融炉出口排ガス温度(H)
 - 溶融炉冷却水温度(H)
 - 排気冷却器冷却水圧力(L)
 - 耐火物からの溶融物の漏洩検知
 - 耐火物温度(H)
 - 設定値を超えた重量を検知すると、溶融物排出用バルブが自動閉止
- 溶融炉及びチャンバ等は耐火性を考慮した設計(鋼製、耐火物施工)
- ケーブルは難燃性材料を使用
- ガス漏れ検知器の設置(LPG、アンモニア配管を敷設する室)、供給源は屋外に設置
- 炉内溶融物全量を受けられる受湯ピット



放射性物質の閉じ込め対策

- 前処理工程による材質毎の分別、処理不適物の除去
- インターロック
(以下により、加熱停止及び廃棄物の供給停止等のインターロックが作動)
 - 炉内圧力(H)
 - 炉内温度(H)
 - 排ガスブローアの故障
- 廃棄物投入装置二重扉⇒同時開放にならない
- 溶融物排出口等にはチャンバを設置
- 圧力逃し弁の設置
 - 炉内の異常な圧力上昇が生じた場合に作動



その他の安全対策

- インターロック
(以下により、加熱停止及び廃棄物供給停止等のインターロックが作動)
 - 制御盤異常
 - 通信異常
 - 電気回路異常

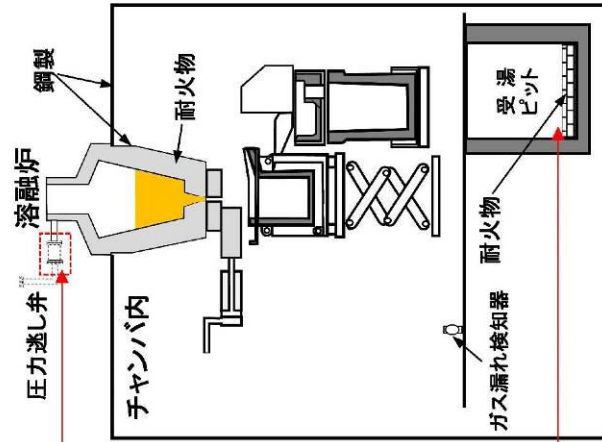




図2-2 事故トラブルを受けての再発防止対策（金属溶融設備）

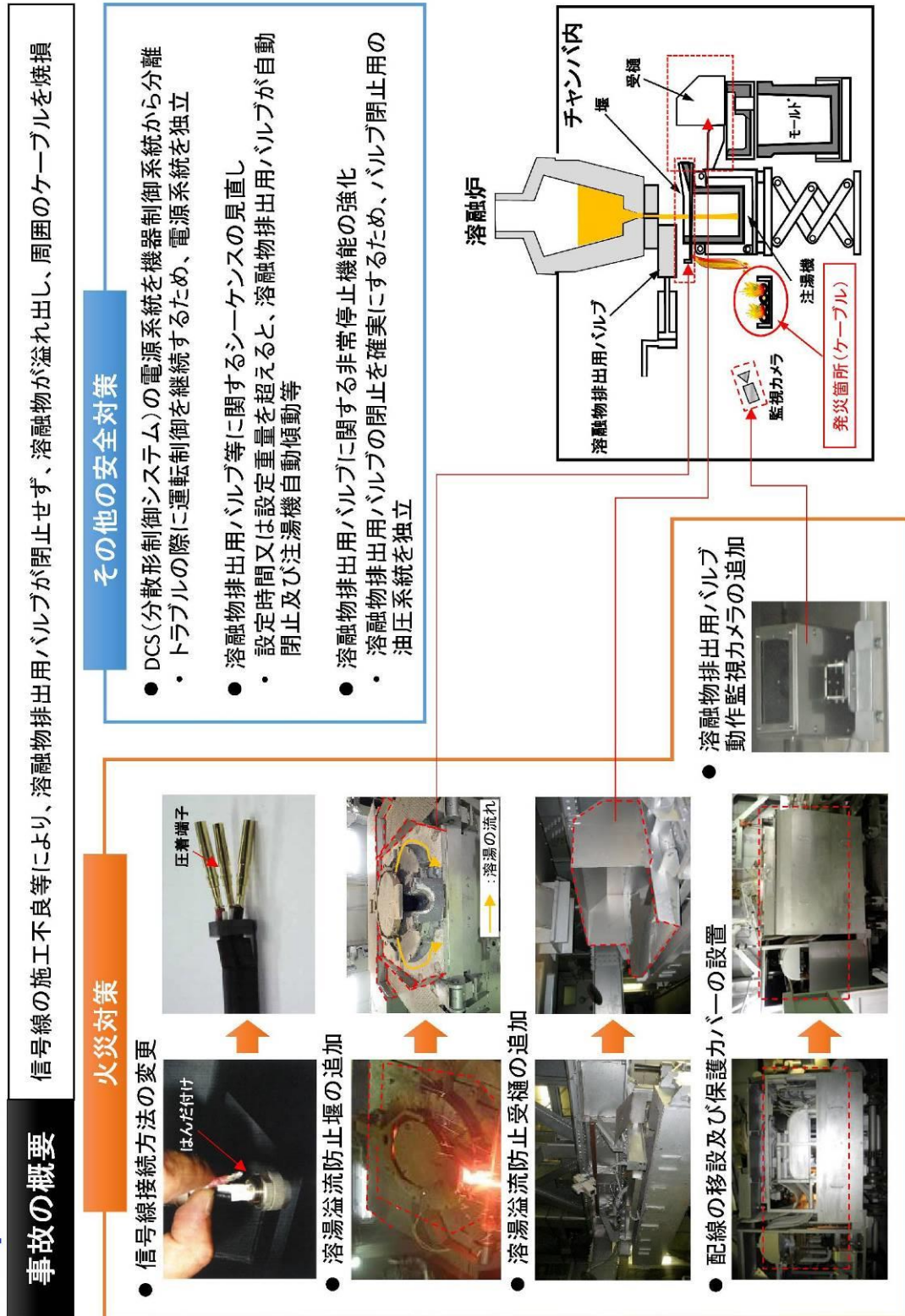




図2-3 これまでの試験運転で取り入れた安全対策(金属溶融設備)

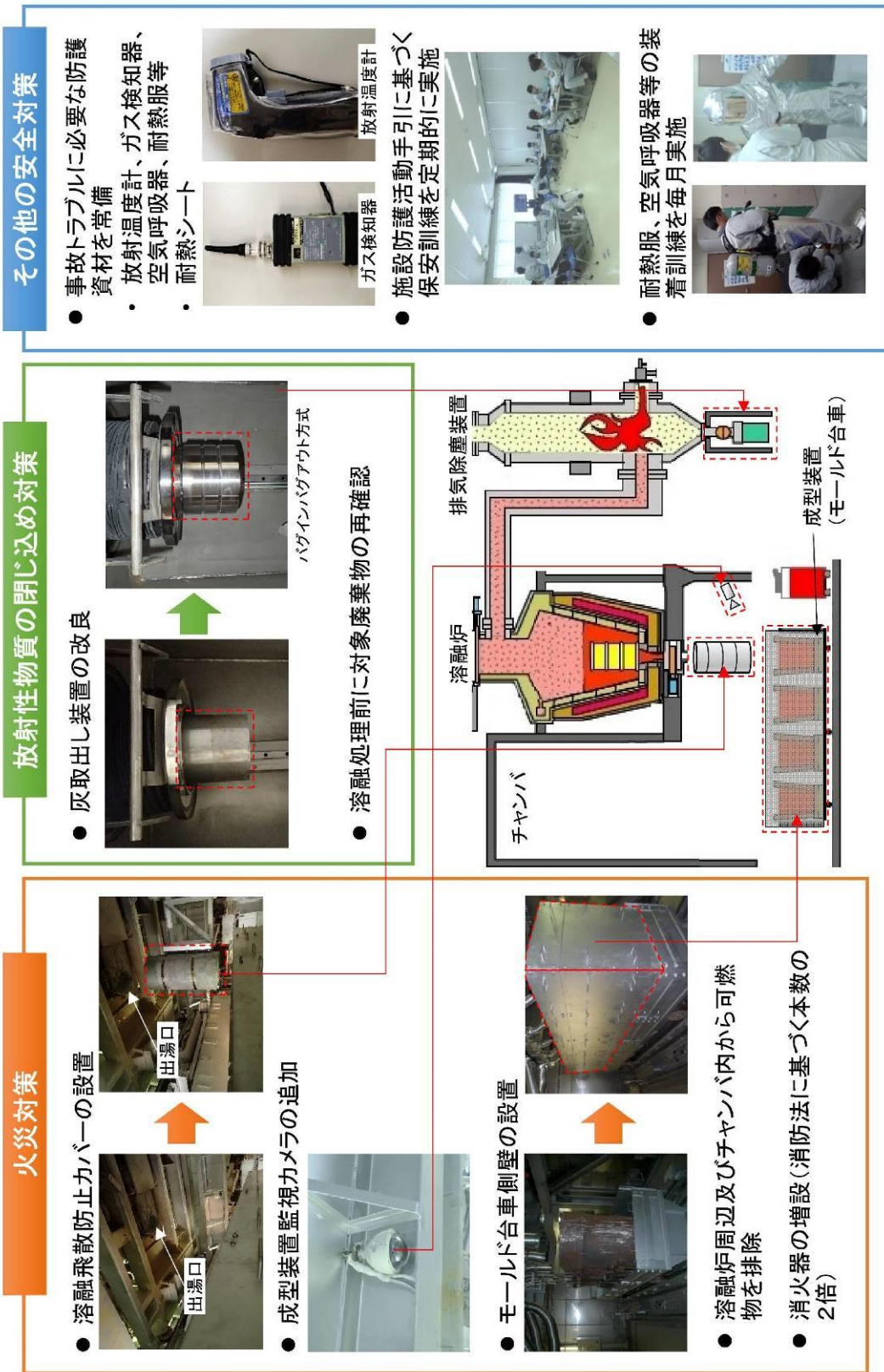
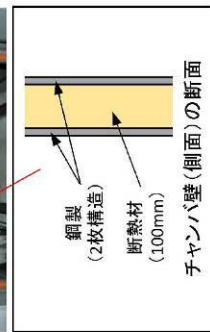
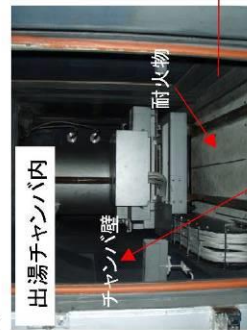


図2-4 設計上の安全対策(焼却・溶融設備)



火災対策

- インターロック
(以下により、加熱停止及び廃棄物の供給停止等のインターロックが作動)
 - ・ 溶融炉出口排ガス温度(H)
 - ・ 溶融炉冷却水流量(L)
 - ・ 排気冷却器出口排ガス温度(H)
- ・ 設定値を超えた出湯重量の検知による、溶融炉の傾動復帰
- 溶融炉及びチャンバ等は耐火性を考慮した設計(鋼製、耐火物施工)
- ケーブルは難燃性材料を使用
- ガス漏れ検知器の設置(LPG、アンモニア配管を敷設する室)、供給源は屋外に設置
- 炉内溶融物全量を受けられる出湯チャンバを設置



放射性物質の閉じ込め対策

- 前処理工程による材質毎の分別、処理不適物の除去
- インターロック
(以下により、加熱停止及び廃棄物の供給停止等のインターロックが作動)
 - ・ 炉内圧力(H)
 - ・ 炉内温度(H)
 - ・ 排ガスブローアの故障
- ・ 廃棄物投入装置二重扉⇒同時開放にならない
- 溶融物排出口等にはチャンバを設置
- 圧力逃し弁の設置
- ・ 炉内の異常な圧力上昇が生じた場合に作動



その他の安全対策

- インターロック
(以下により、加熱停止及び廃棄物の供給停止等のインターロックが作動)
 - ・ 制御盤異常
 - ・ 通信異常
 - ・ 電気回路異常

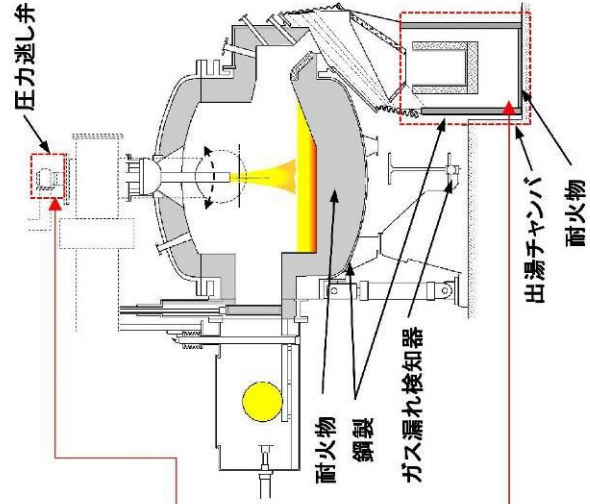




図2-5 事故トラブルを受けての再発防止対策（焼却・溶融設備）

事故の概要

蛇腹内側の補修材料に、燃焼し放射熱を吸収しやすい黒色のシートを装着したことにより、蛇腹外装膜を焼損

火災対策

- 蛇腹の材質変更

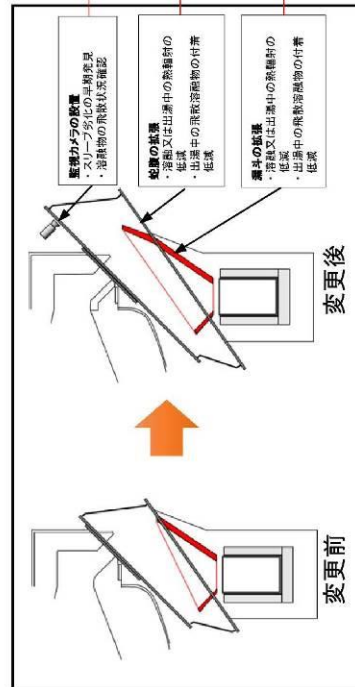


変更前(シリコンゴム布)



変更後(アルミガラスクロス)

- 蛇腹、漏斗の拡張及び出湯部監視カメラの追加



その他の安全対策

- 通常と異なる状態を早期に確認し、迅速な対応を図るため、巡視点検記録に異状・予兆を認めた際の記事欄を追加
- 保安上の重要度に応じて、高温環境下で使用する物品の交換頻度等の管理基準を作成(耐火物等)
- 高温溶融物の性質、潜在的な危険性を習得するための特別な教育を義務化

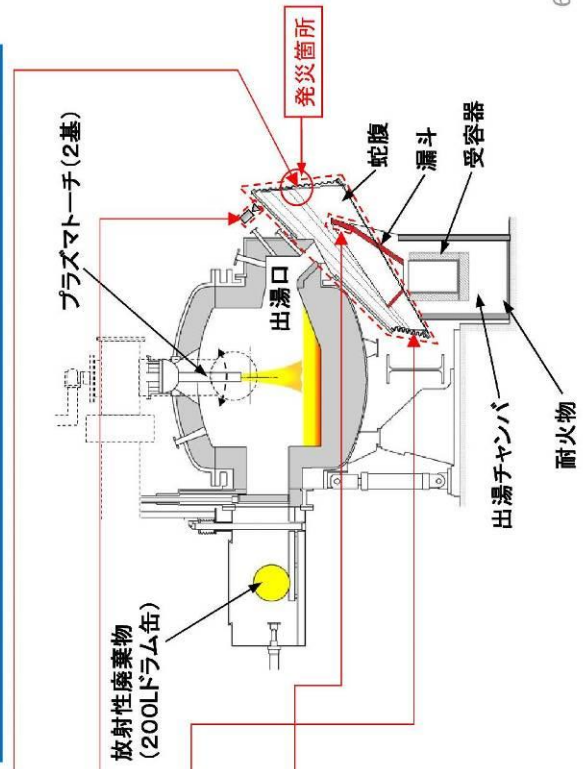


図2-6 これまでの試験運転で取り入れた安全対策（焼却・溶融設備）

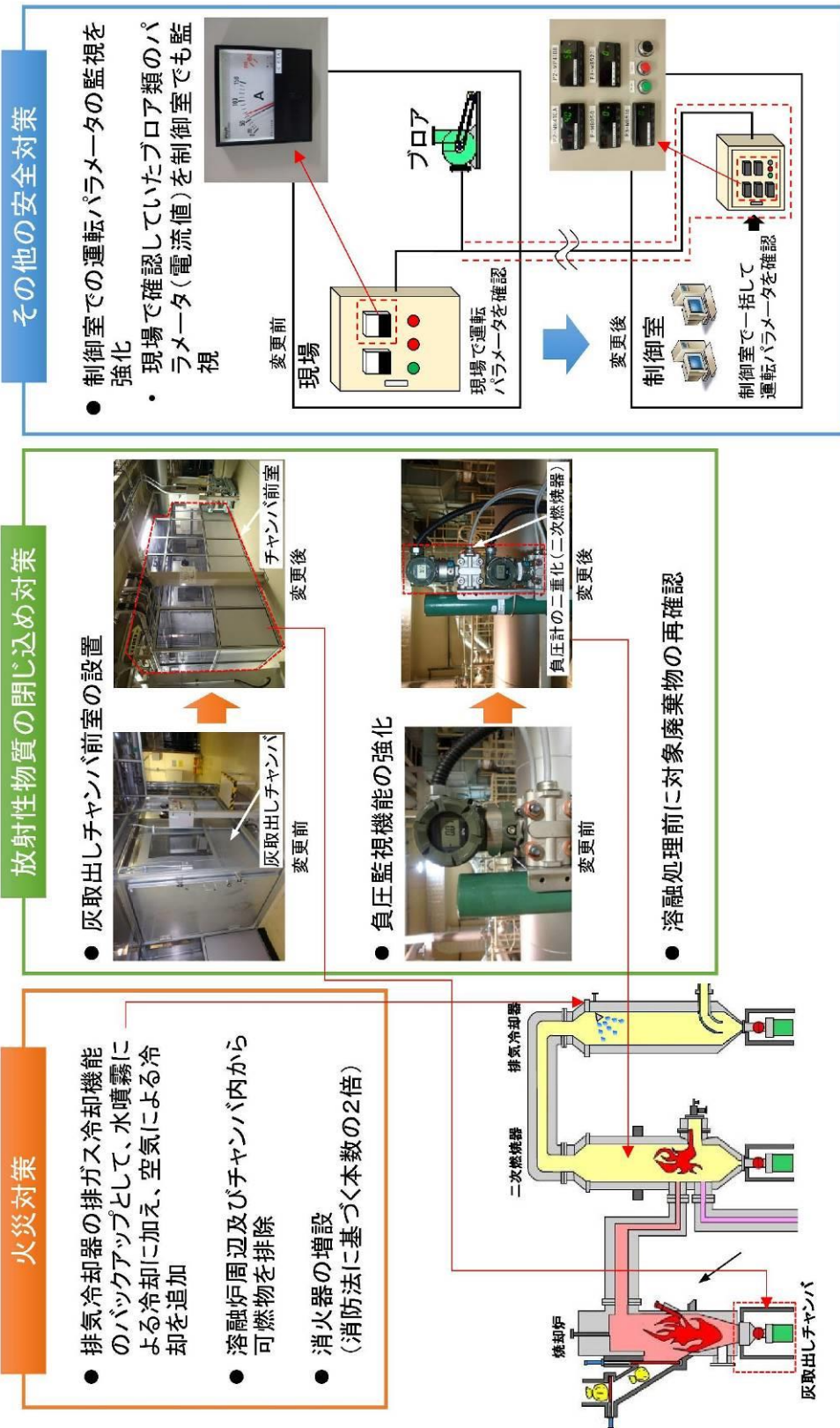
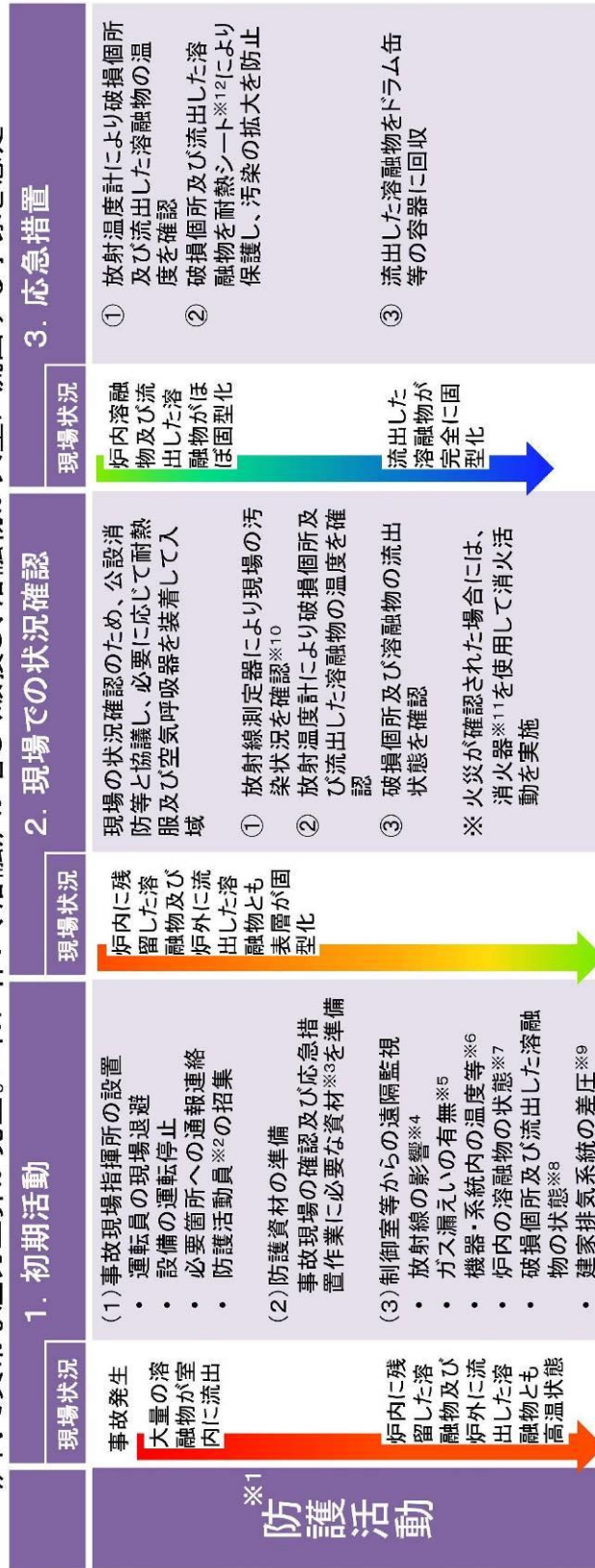




図2-7 溶融設備における事故対応例について

○ 事故トラブルの想定事象

焼却・溶融設備（溶融炉）においては、大量の液体を含んだ廃棄物が投入され、急激に蒸発することに伴い、炉内で異常な圧力上昇が発生。これに伴い、溶融炉が著しく破損し、溶融物が大量に流出する事象を想定



※1 ホット運転時に火災事故、溢流事故、爆発事故等が発生した場合を想定し、その対応措置を示した「施設防護活動手引」に基づき実施。

※2 全体で約80名であり、記録班、連絡班、救護班、工作班、補給班、班制班、工務班、放管班で構成。

※3 放射線測定器、放射温度計、ガス検知器等の測定器、空気呼吸器等の呼吸用保護具、タイベックスーツ等の身体保護具、耐熱服等。

※4 排気ダストモニタ、室内ダストモニタ、γ線エリアモニタにより監視。なお、放射線の監視は、事故が収束するまで継続的に実施。

※5 可燃性（LPG、アンモニア）ガス受信警報にて、漏えいの有無を監視。なお、事象発生とともに、可燃性ガスの供給は遮断。

※6 プラズマ溶融炉、二次燃焼器、排気冷却器、セラミックフィルタの温度、高性能フィルタの差圧を監視。

※7 プラズマ溶融炉の設備系ITV（5台）により炉内の溶融物の状態を監視。

※8 プラズマ溶融炉の室内ITV（5台）により、流出した溶融物の状態を監視。

※9 建家排気フィルタの差圧を監視。なお、火災等の場合には、通常2台運転の排気ブロアが1台運転となり、排気を継続中にフィルタ交換が可能。

※10 汚染状況の確認は、事故が収束するまで継続的に実施。

※11 プラズマ溶融炉には、9本の粉末消火器を配置（大型消火器1本を含む）。施設全体としては、約80本の粉末消火器を配置。

※12 耐熱シートは、高珪酸ガラス繊維製であり、耐熱温度約1,000℃。



資料-2 溶融設備の運転管理について

平成28年2月25日
国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
バックエンド研究開発部門 原子力科学研究所
バックエンド技術部

原子力科学研究所の組織体制図について

原子力科学研究所原子炉施設保安規定において、原子炉施設の保安（品質保証を含む。）に関する組織が図-1のとおり定められている。

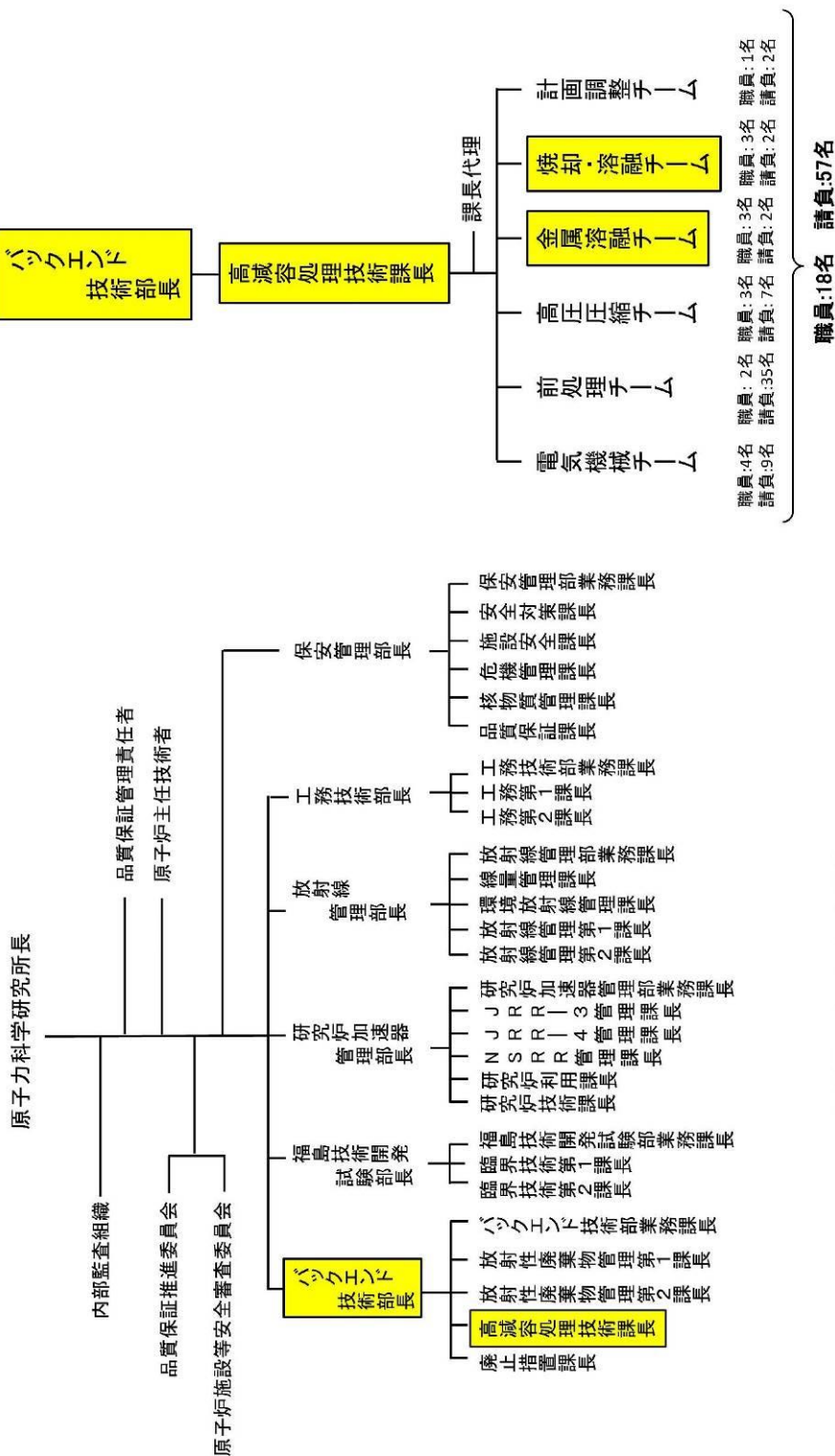


図-1 原子力科学研究所 保安組織図

図-2 バックエンド技術部 保安組織図



原子力科学研究所の品質保証計画について

原子力科学研究所品質保証計画（H19.7.1施行）は、原子炉施設保安規定等に基づき、原子力安全に関する要求事項を定めたものである。この要求事項に従って、品質マネジメントシステムを構築、実施、評価し、継続的に改善することによって、原子炉施設等の安全の達成・維持・向上を図っている。

一次文書	二次文書 (原研所長が必要とした文書)	三次文書 (バックエンド技術部長が必要とした文書)
原子力科学研究所品質保証計画 QAP-01		
4.2.3 文書管理 4.2.4 記録の管理	文書及び記録の管理要領	文書及び記録の管理要領
5.4.1 品質目標	品質目標管理要領	品質目標管理要領
5.5.1 責任及び権限	品質保証推進委員会規則 不適合管理専門部会運営要領 原子炉施設等安全審査委員会規則	部内品質保証委員会運営要領
5.6 マネジメントレビュー	マネジメントレビュー要領	
6.2.2 力量、認識及び教育・訓練		教育訓練管理要領
7.1 業務の計画 7.5 業務の実施	原子力科学研究所事故対策規則 原子力科学研究所安全取扱手引他	業務の計画と実施に関する要領 施設防護活動手引 廃棄物処理場運転手引
7.3 設計・開発		設計・開発要領
7.4 調達管理	調達管理要領	
7.6 監視機器及び測定機器の管理		監視機器及び測定機器の管理要領
8.2.2 内部監査	内部監査要領	
8.2.4 検査及び試験		試験検査の管理要領
8.3 不適合管理 8.5.2 是正処置 8.5.3 予防処置	不適合管理及び是正処置並びに予防処置要領 水平展開要領	

文 書 体 系 図（要求事項に従って文書化）

品質保証計画に基づく設計、工事管理について



【設計・製作時】

検査及び試験の管理体制が確立しておらず、信号線の接触不良を見逃し、火災事故が発生した。

1. 工事に係る設工認要否の検討

※明確な要領やプロセスはなく、法令、規則等や、類似施設の例を参考に、原子炉施設の設工認の要否を決定

2. 設計管理

「廃棄物処理施設品質保証計画」に基づき、設計管理
※関係法令、規程等への適合性の確認等が主体であり、要求事項(試験、検査等を含む)の確認・評価や第三者の検証業務は無い。



3. 設計の審議

「廃棄物処理施設品質保証計画」、「原子炉運転委員会運営規程」に基づき、設計に基づく申請内容を部内及び所内で審議



4. 調達管理

「廃棄物処理施設品質保証計画」に基づき、調達管理
※引会仕様書に記載すべき事項を定めていたが、調達要求事項の確認や引き合い先の評価等は義務付けられていない。



5. 検査及び試験の管理

「廃棄物処理施設品質保証計画」に基づき、検査及び試験を管理
※受注者の検査及び試験等の管理が主体であり、発注元としての検査及び管理の方法が詳細化されていない。

【現在】

品質保証計画に基づき、検査及び試験の管理体制が確立しており、施工不良を未然に確認し、同様な事故の発生を防止できる。

1. 工事に係る設工認要否の検討

「業務の計画と実施に関する要領」に基づき、課長が検討し、部長が承認、原子炉主任技術者が同意



2. 設計管理

「設計・開発管理要領(設工認、許可変更に係るものが対象)」に基づき設計を管理
①設計管理計画の作成
(設計レビュー、検証の実施時期、承認者等を定めた全体計画)
②設計要求の明確化と適切性の評価
(機能、性能、法令、規則等の要求事項、適切性の評価)
③設計要求と設計結果の対比
(試験及び検査、合否判定基準を含んでいるか等)
④設計の検証
(設計結果が設計要求事項を満たしているか等を第三者が検証)



3. 設計の審議

「部内品質保証委員会運営要領」、「原子炉施設等安全審査委員会規則」に基づき、設計に基づく申請内容を部内及び所内で審議



4. 調達管理

「調達管理要領」に基づき、調達管理
①引会仕様書に記載すべき事項
②調達要求事項の確認
③引合い先の評価、選定、再評価



5. 検査及び試験の管理

「試験・検査の管理要領」に基づき、検査及び試験を管理
①検査の管理体制(国の検査、事業者検査、施設定期自主検査)
②検査計画の作成、検査要領書の作成、承認、検査の実施等



廃棄物処理場運転手引、施設防護活動手引について

1. 廃棄物処理場運転手引

原子炉施設保安規定等に基づき、廃棄物処理場施設の運転操作、保守管理及び異常時の措置等を定めたものである。

- ① 保安管理組織（本体施設の管理、特定施設の管理、放射線管理の体制等）
- ② 処理計画の作成（年間処理計画、溶融設備の試験運転実施計画の作成等）
- ③ 施設、設備の運転操作（溶融設備等の処理設備の運転手順、部品の交換基準等）
- ④ 保守、点検（巡視・点検、自主検査、施設定期自主検査等）
- ⑤ 異常時の措置（巡視・点検等において異常を認めた場合の措置等）
- ⑥ 教育（高温溶融物の教育の実施等）他

2. 施設防護活動手引

事故対策規則に基づき、廃棄物処理場施設において、事故が発生した場合の防護活動措置等を定めたものである。

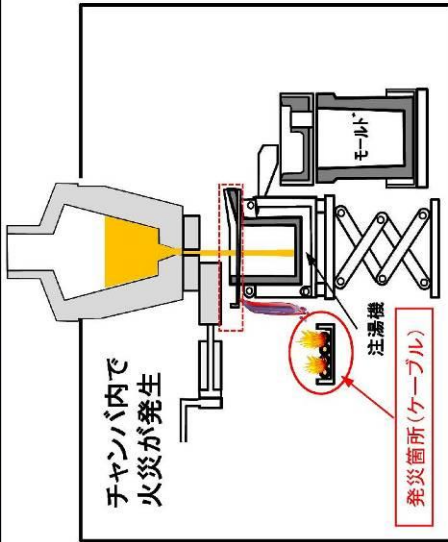
- ① 管理体制と職務（事故現場統括責任者、事故現場責任者、防護活動員等の役割等）
- ② 事故発生的一般原則（応急措置、事故時の通報要領等）
- ③ 具体的な応急措置要領例（火災事故、放射線事故、爆発事故等）
- ④ 設備ごとの想定事故措置要領（溶融設備のホット運転時火災事故、ホット運転時爆発事故等）



保安組織による事故・トラブルの対応例

「廃棄物処理場運転手引」の異常時の措置に従って通報

保安管理部が主体となり、関係機関への連絡、現地对策本部員を招集等



現地对策本部:約90名
 { 本部長(原研所長)、副本部長、技術広報主任、庶務班、広報班、連絡班、情報班、Q&A対応 }

「原子力科学研究所事故対策規則」に従い、現地对策本部を設置し、以下の対応を行う。

- ・現場防護活動組織への重要事項の指示
- ・所内及び所外関係機関に対する通報連絡
- ・業務の停止等の判断・決定
- ・見学者等の避難誘導等の必要な措置
- ・電話使用規制、交通規制等
- ・報道関係者等に対する広報
- ・現場復旧、原因調査、再発防止等の対応
- ・法令や協定に定める報告他

対応

事故現場における現場活動組織:約70名

- ・事故現場統括責任者
- ・事故現場責任者
- ・庶務担当責任者
- ・放射線管理責任者他

{ 記録班、連絡班
 救護班、工作班
 補給班、統制班
 工務班、放管班 }

「施設防護活動手引」に従い、通報連絡等の初期活動、現場指揮所の設置、消火活動等の現場防護活動、現場保全活動等を行う。

防護隊:約50名
 { 保物班、工作班、救護班
 警備班、消防班 }

・現場活動組織と連携して災害の拡大防止、事故の収束にあたる。

支援組織:約50名
 { 医療チーム
 防護機材輸送センター
 工務技術センター
 放射線管理センター }

・現地对策本部からの指示・要請に基づき活動を行う。

主な所内共通防災資材

放射線防護具		非常用通信機器		計測器等		数量:概略数	
放射線防護服	80着	緊急時電話回線	5回線	サーベイメータ	14台	ヨウ素剤	400錠
汚染防護服	120組	FAX	3台	可搬型ダストサンプラ	4台	消防車	1台
防塵マスク		携帯電話等	40台	個人線量測定機器	50台	救急車	1台
						その他	



予防保全が必要な交換部品の管理について

焼却・溶融設備のスリーブを含む蛇腹部その他の重要な安全機能を維持するために必要な交換部品については、予め管理基準を作成し、バックエンド技術部長の承認を受けることとした。

【事故発生時】

「廃棄物処理場運転手引」では、

○安全機能を維持するために必要な交換部品の管理基準が策定されていなかった。

○高温溶融物に対する教育行われていなかった。

運転員のみで、スリーブの補修に黒色シートを採用。



【事故発生後】

「廃棄物処理場運転手引」において管理基準を策定するとともに、高温溶融物の教育を義務化した。

○スリーブ、蛇腹、炉底耐火物の管理基準

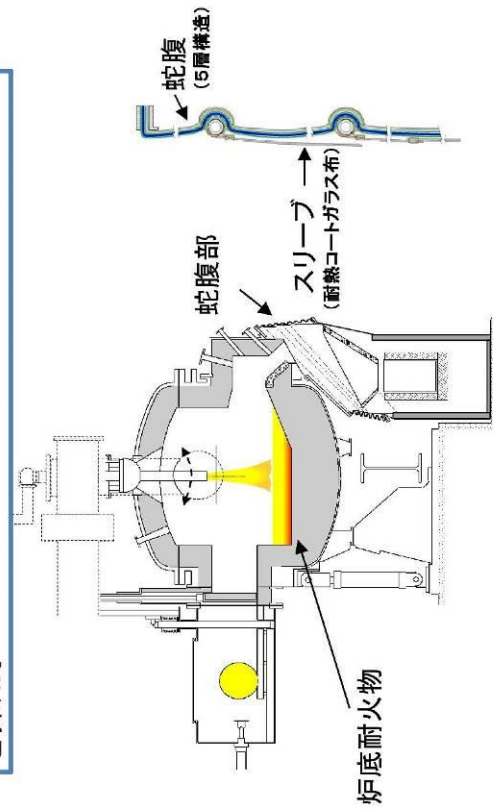
- ・点検項目
- ・補修基準、補修方法
- ・交換基準、交換方法

※ 交換を行う場合には課長承認が必要

○高温溶融物に係るテキストを作成し、運転員を教育

- ・特性、取扱上の注意点
- ・特殊性、操作の安全性
- ・保守管理
- ・品質保証活動の重要性

※ 「廃棄物処理場運転手引」における上記内容の変更は、「部内品質保証委員会運営要領」に従い、委員会で審議



焼却・溶融設備 プラズマ溶融炉

蛇腹部拡大図



資料-3 過去の国内・国外事故例と当該施設との比較

平成28年2月25日

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
バックエンド研究開発部門 原子力科学研究所
バックエンド技術部

図1-1 一般産業施設（溶融炉）での事故例及び 溶融設備における対応状況



発生施設	事故の概要	原因	溶融設備における対応状況
事業所A (2001)	溶融炉から溶融物（スラグ）が漏えい	耐火レンガの劣化	・耐火レンガの点検・交換基準を「廃棄物処理場本体施設運転手引」（部長制定文書、以下「運転手引」という）に明記 ・耐火レンガの点検・交換基準を運転手引に明記
事業所B (2001)	溶融炉から溶融物（スラグ）が漏えい	耐火レンガの劣化	
事業所C (2002)	耐火レンガの交換中に水蒸気爆発が発生。作業員10名が重軽傷。	炉内の残火を消火するために水をかけたため、水蒸気爆発が発生	・耐火レンガの点検・交換基準を運転手引に明記 ・「高温溶融物の取扱、溶融設備の構造、性能、操作等に関する教育訓練テキスト」（課長制定文書、以下「高温溶融物テキスト」という）を用いた教育を実施
事業所D (2003)	プラズマトーチの電極交換作業中に水蒸気爆発が発生。作業員2名が軽度の火傷。	溶融中に溶融物の直上で電極の交換作業を実施するという不適切な交換作業を実施したため、冷却水が炉内に漏えい	・溶融物の直上で電極の交換を行う等の不適切な交換作業を行わないよう、電極交換の作業手順を運転手引に明記
事業所E (2004)	溶融炉から溶融物（スラグ）が漏えい。冷却水配管に落下し水蒸気爆発が発生。	耐火レンガの劣化	・耐火レンガの点検・交換基準を運転手引に明記 ・炉体下部に冷却水配管等は敷設されていない配置
事業所F (2005)	溶融炉から溶融物（スラグ）が漏えいし、火災。	耐火レンガの劣化	・耐火レンガの点検・交換基準を運転手引に明記
事業所G (2007)	スラグ用排出口から金属溶融物が漏えいし、火災が発生。	スラグ排出口と金属排出口の2つの排出口があり、誤ってスラグ用の排出口から金属溶融物を排出し、排出口付近の配管を溶損（推定原因）	・スラグと金属の排出口は分かれておらず、高温の排出物に対応した構造 ・高温溶融物テキストを用いた教育を実施
事業所H (2007)	湿分を含む原料（フェロニッケル）投入時に突沸が発生。作業員3名死亡。	原料に湿分が含まれることを把握できておらず、そのまま炉内に投入	・前処理工程にて確実に水分等を除去するよう、「充填固化廃棄体の作製マニュアル」（部長制定文書、以下「廃棄体マニュアル」という）に明記 ・予想外の圧力上昇に備え、圧力逃し機構を設置
事業所I (2009)	溶融炉から溶融物（スラグ）が漏えいし、火災及び水蒸気爆発が発生。	スラグの流動性が低下し、排出口が閉塞したため、排出口以外の部分からスラグが流出	・溶融助剤により流動性を確保 ・排出口閉塞時は出湯停止し炉内固化
事業所J (2011)	溶融炉から溶融物（スラグ）が漏えい。冷却水配管に落下し水蒸気爆発が発生。	耐火レンガの劣化	・図2に詳細な対応状況を示す



図1-2 原子力施設(溶融炉)での事故例及び
溶融設備における対応状況

	発生施設	事故の概要	原因	溶融設備における対応状況
国内	事業所K (2008)	キャニスタの急降下 による溶融物の流出、 及び発煙	・バラ投入された廃棄物の 一部がキャニスタから駆動 部に落下 ・落下した廃棄物が駆動部 に噛み込まれ、駆動機構を 損傷	・図3に詳細な対応状況を示す
	事業所L (2005)	溶融炉から溶融物を 受けるルツボが転倒し、 溶融物が流出して 周囲を焼損	・ルツボの縁の部分に溶融 物が堆積 ・ルツボの搬送ルート上の 梁に堆積物が接触し、ルツ ボが転倒	・構造上、溶融物を受ける容器(金型、受容 器)上に溶融物が堆積することはない ・容器は安定した台車に積載して搬送するた め、接触による転倒は起こらない
国外	事業所M (2011)	金属廃棄物の溶融 処理中に爆発	・金属廃棄物中に、気体や 液体が内包されていたか、 又は爆発性物質が混入さ れていた。 ・溶融炉は開放型の構造で あり、作業員が直接溶融物 を取り扱っていた。	・図4に詳細な対応状況を示す



事故概要

灰溶融炉の底部に穴が開き、高温の溶融物が流出。炉体下部の配管の一部を損傷し、配管内の水と反応して水蒸気爆発が発生。

原因	金属溶融設備及び焼却・溶融設備における対応状況
・炉底の耐火物が損傷し、溶融物が炉底から漏えいした。 ・漏えいした溶融物が炉体下部に敷設された冷却水配管を損傷し、冷却水と反応して水蒸気爆発が発生した。 ・炉底の損傷に伴う溶融パラメータの変化を見逃し、異常の兆候であると判断しなかった。	・耐火レンガの点検・交換基準を運転手引に明記している。 ・炉体耐火物には溶融物の漏えい検知機能（アンテナ線による電流値測定）が備えられている。 ・炉体下部に冷却水配管等は敷設されていない。
・炉底の損傷に伴う溶融パラメータの変化を見逃し、異常の兆候であると判断しなかった。	・電力値、耐火物温度等のパラメータは常時監視しており、異常時の対応については運転手引及び「溶融設備において想定される事象及び対応要領」（課長制定文書）に明記している。
・メーカーの基準値を逸脱し、独自の基準で設備を運用していた。	・製作時に定められた基準値で運用することを運転手引に明記している。



図3 事業所K廃棄物処理建屋における発煙事故 に対する溶融設備における対応状況



事故概要

キャニスタを溶融炉下部冷却室へ降下させる時に、キャニスタが急降下し損傷。高温の溶融物が流出し、床面から発煙。

原因	金属溶融設備及び焼却・溶融設備における対応状況
・バラ投入した廃棄物がキャニスタ外に溢れ、落下した。 ・落下した廃棄物が昇降機の駆動部に噛み込み、チェーンが外れ、昇降機が急降下した。 ・冷却室内は溶融物の飛散・漏えいを考慮した構造でなく、断熱材等が敷設しており、水分、油分が存在した。	・廃棄物はドラム缶に封入した状態で溶融炉内に投入するため、廃棄物が落下することはない。 ・出湯後の溶融物を上下に移動する工程は無い。また、チェーン構造の駆動部は無い。 ・チャンバ内は、溶融物の飛散及び漏えいを考慮して鋼製構造となっている。また、水分、油分が存在しないことを運転前に確認するよう、運転手引に明記している。  出湯チャンバ内部(金属溶融設備) 出湯チャンバ内部(焼却・溶融設備) なお、受湯ピット内部には耐火物を施工している。



図4 事業所Mにおける爆発事故に対する 溶融設備における対応状況



事故概要

金属廃棄物の溶融処理中、作業員が溶融炉に接近して溶融物を突いていたところ、爆発が発生。

原因	金属溶融設備及び焼却・溶融設備における対応状況
金属廃棄物中に、気体や液体が内包されていたか、又は爆発性物質が混入されていた。 (推定原因)	- 溶融炉に投入する廃棄物は、前処理工程にて液体や爆発性物質等を確実に除去するよう廃棄体マニュアルに明記している。 - 爆発が発生した場合に備え、下記の機構を設けている。 - 異常な温度上昇・負圧低下に対するインターロック - 爆発による急激な圧力上昇に対する圧力逃し機構
溶融炉は開放型の構造であり、作業員が直接溶融物を取り扱っていた。	溶融炉は密閉型の構造であり、作業員が直接溶融物を取り扱うことはない。  金属溶融設備 遠隔操作  制御室 遠隔操作  制御室  焼却・溶融設備



資料-1 溶融設備の安全対策について(まとめ)

平成28年4月21日
国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
原子力科学研究部門 原子力科学研究所
バックエンド技術部

溶融設備の安全対策について(概要)

- 第1回会合にて、以下の観点で高減容処理施設の溶融設備における火災対策等の安全対策に対する意見交換を行うとともに、現場の確認を行った。
 - ✓ 事故トラブルを受けての再発防止対策
 - ✓ 設計上の安全対策
 - ✓ これまでの試運転を通じて取り入れた安全対策
- 第2回会合では、第1回会合での意見等を踏まえ、以下について説明するとともに、各委員から事故事例・安全対策事例を紹介いただいた。
 - ✓ 溶融設備の運転に係る組織体制
 - ✓ 国内外の事故事例と溶融設備の対応状況の比較



- 第1回会合、第2回会合で出された意見等を集約し、溶融設備の安全対策をとりまとめた。



溶融設備の安全対策(1/4)

○火災発生及び拡大防止対策(爆発、溢流を含む)

要因	防止方法	対策	
		金属溶融設備	焼却・溶融設備
可燃物の存在	可燃物の撤去	- 溶融炉周辺及びチャンバ内から可燃物を撤去 - 可燃性ガス供給源を屋外に設置	
	可燃性ガスの漏えい検知	- ガス漏れ検知器を設置 - ガス設備の緊急遮断弁の作動	
高温溶融物からの熱影響	耐熱性、耐火性を考慮した設計	難燃ケーブルの採用	- 難燃ケーブルの採用 - 蛇腹を不燃化
		- 配線の移設 - 銅製カバーを設置 - 溶融炉及びチャンバ等は銅製、耐火物を施工	
	排ガスの冷却	排ガス冷却機能の整備	排ガス冷却機能の強化(空冷追加)
	安全装置を設置	インターロック(溶融炉出口排ガス温度等)	
高温溶融物の飛散	溶融物が飛散しにくい構造	溶融飛散防止カバーを設置	蛇腹、漏斗の拡張
	監視装置の多重化	溶融物排出用バルブ動作監視カメラ、成型装置監視カメラを設置	出湯部監視カメラを設置
爆発による炉体損傷	溶融対象物からの爆発性物質の除去	前処理工程による材質毎の分別、処理不適物の除去(溶融処理前に対象廃棄物の再確認)	
	安全装置を設置	インターロック(炉内圧力)	
	炉内圧力の緩和	爆発による急激な圧力上昇に対する圧力逃し機構を設置	



溶融設備の安全対策(2/4)

○火災発生及び拡大防止対策(爆発、溢流を含む)

要因	防止方法	対策	
		金属溶融設備	焼却・溶融設備
耐火物損耗による炉体損傷及び溶融物の流出	耐火物の適切な管理	・運転中の耐火物の温度監視 ・運転前の耐火物の状態確認(厚み測定等) ・耐火物の補修、交換に係る管理基準を作成 ・湯漏れ検知	
	安全装置を設置	インターロック(出湯重量検知等)	
	駆動系の安全設計	出湯を最優先に停止する設計	炉体傾動から自動復帰する設計
	溶融物の流出拡大を防止する設計	非常時のバルブ閉止に係る駆動システムを他から独立	傾動装置の駆動システムを他から独立
出湯における溶融物の流出		・溶湯溢流防止堰 ・受樋を設置 ・モールド台車側壁を設置 ・炉内溶融物全量を受けられる受湯ピットを設置	炉内溶融物全量を受けられる出湯チャンバを設置
	消火設備の拡充	消火器の増設(消防法に基づく本数の2倍)	
	高温溶融物に対応できる防護資材の配備	耐熱服、空気呼吸器、耐熱シート等を配備	
	定期的な教育訓練を実施	・想定シナリオ(施設防護活動手引に記載)に基づく保安訓練を定期的の実施 ・耐熱服・空気呼吸器の装着訓練を月1回実施 ・高温溶融物の取扱い等に関する教育を実施	
消火活動の不備	消火活動体制の整備	原子力科学研究所に自衛消防隊、防護隊を組織	



溶融設備の安全対策(3/4)

○放射性物質の閉じ込め対策

要因	防止方法	対策	
		金属溶融設備	焼却・溶融設備
負圧異常	負圧維持	溶融物排出口等にチャンバを設置	
	負圧監視	制御室での運転パラメータの監視	・ 制御室での運転パラメータの監視 ・ 負圧計の二重化(二次燃焼器)
	安全装置を設置	インターロック(炉内圧力、排ガスブロアの故障、廃棄物投入装置の二重扉等)	
	安全装置を設置	インターロック(フィルタ入口温度、溶融炉排ガス出口温度)	
飛灰の飛散	灰取出装置の飛散防止設計	灰取出装置の灰取出口にチャンバを設置	
		バグインバグアウト方式の採用	チャンバに前室を設置



溶融設備の安全対策(4/4)

○その他のトラブル発生防止対策

要因	防止方法	対策	
		金属・溶融設備	焼却・溶融設備
電気系統の不具合	制御電源を独立して設置	DCS(分散形制御システム)の電気系統を他から独立	
	適切な接続	信号線の接続方法として圧着端子を採用	
	安全装置を設置	インターロック(制御盤異常、通信異常、電気回路異常等)	
品質保証活動の不備	品質保証活動の確立	・所長をトップマネジメントとした品質保証活動体制 ・品質保証活動に基づき、必要な要領や手順を文書化 ・文書化した要領書や手順書に基づき、設計・開発、調達、試験・検査等を実施	
	保安活動体制の確立	所長をトップマネジメントとした保安活動体制	
	適切な運用方法のマニュアル化	保安規定に基づく廃棄物処理場運転手引、施設防護活動手引等の制定	
保安活動の不備	定期的な教育訓練を実施	・想定シナリオ(施設防護活動手引に記載)に基づく保安訓練を定期的に実施 ・耐熱服・空気呼吸器の装着訓練を月1回実施 ・高温溶融物の取扱い等に関する教育を実施	
	防護活動に必要な資材の配備	事故トラブルに必要な防護資材(放射温度計、ガス検知器等)を配備	
	管理基準の策定	予防保全が必要な交換部品(スリーブ、蛇腹、耐火物)に係る管理基準を作成	



</



会合で提案された溶融設備の安全対策(2/2)

○会合で提案されたその他の災害発生防止対策

要因	防止方法	各設備での対応	
		金属溶融設備	焼却・溶融設備
炉内監視カメラの視界不良	PVC及びゴムの投入量管理、排ガス発生量の調整	前処理工程による材質毎の分別、処理不適物の除去、投入量の管理	
	レンズ周辺のダストを除去できる炉内監視用カメラに変更	- 監視用カメラを炉外に設置 - 点検窓に望遠を吹き付けることにより、ダストの付着を防止	レンズを炉外に引き抜きメンテナンスが可能
	CCTVカメラの電源と設置線を溶融処理装置の電源から分離(電氣的ノイズの低減)	監視カメラの電源系統と溶融炉の動力電源とを分離	
煙道閉塞	低沸点金属(亜鉛、銅、鉛、真鍮等)の分別	前処理工程による材質毎の分別、処理不適物の除去	-
溶湯飛散	可燃性物質(有機物、硫黄)の除去 投入量制限、 添加剤投入(発泡防止)	前処理工程による材質毎の分別、処理不適物の除去 流動性を改善するための溶融助剤を投入、 発泡対策は必要に応じ検討	
停電による制御異常	冷却水ポンプ等への無停電電源装置の採用	冷却水ポンプ等の電源を予備電源に接続、制御系に無停電電源装置を設置	
作業ミス	出湯作業者の指名	出湯作業者を選任	
	指差呼称の徹底	指差呼称の徹底	
作業者の力量不足	熟練工の配置	熟練工の配置について、今後、必要に応じ検討	
	事故事例研究と対象設備特有の課題・危険性の抽出	今後、事故事例の抽出を拡張し、詳細な事例研究を進め、必要に応じ設備の安全対策や教育訓練へ反映を検討	

国際単位系（SI）

表 1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質량	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表 2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の) 1	1
比透磁率 ^(b)	(数字の) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。

(b) これらは無次元量あるいは次元 1 をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の 1 は通常は表記しない。

表 3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光束度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照射度	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性化	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。

(b) ラジアンとステラジアンは数字の 1 に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の 1 は明示されない。

(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。

(d) ヘルツは周期現象についてののみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてののみ使用される。

(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。

(f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。

(g) 単位シーベルト (PV, 2002, 70, 205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表 4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘着力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表 5. SI 接頭語

乗数	名称	記号	乗数	名称	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表 6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	′	1′=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	″	1″=(1/60)′=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表 7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表 8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デシベル	dB	

表 9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エル	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe ≡ (10 ³ /4 π) A m ⁻¹

(a) 3 元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≡ 」は対応関係を示すものである。

表 10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g = 2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15℃」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ =1 μm=10 ⁻⁶ m

