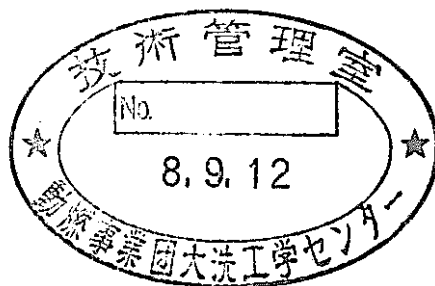


デブリからのFP放出解析モデルを用いた解析作業

—CORCON/VANESAモデルによるパラメータ計算—

1996年3月



アイ・ティ・ジェイ株式会社

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

デブリからのFP放出解析モデルを用いた解析作業(1)

—CORCON/VANESAモデルによるパラメータ計算—

内海 稔尚(2)、榎本 雅己(2)

要 旨

本報告書は、格納系安全解析コードCONTAIN/LMRに内蔵されているVANESA（デブリからのFP放出解析モデル）を高速炉解析に適用するための準備作業として実施したパラメータ計算及びプログラム調査に関して記したものである。

パラメータ計算は、高速炉メルトスルー事象時における原子炉容器貫通落下デブリの上にナトリウムプールが存在する体系を仮定し、VANESAモデルとCORCON（デブリーコンクリート相互作用解析モデル）を結合させて実施した。パラメータは、ナトリウムプール温度、ナトリウムプール液深、デブリ温度および崩壊熱とし、合計で5ケースの計算を行った。

また、プログラム調査においては、現在のモデルで考慮している化学反応、各化学反応の優先順位の設定方法、FP/エアロゾル放出量に対するナトリウムプールの影響、およびCORCONとVANESAやその他のエアロゾル挙動解析モデル間におけるデータの授受方法などについて重点的に調査した。

主な結果を以下に示す。

- ・デブリ初期温度を上昇させた場合、デブリーコンクリート相互作用によるFP/エアロゾル発生量は増大する。一方、崩壊熱を減少させると、FP/エアロゾル発生量は減少する。
- ・初期のナトリウムプール温度を高くした場合、デブリの冷却が遅くなるためデブリーコンクリート相互作用が促進されると予想されたが、計算ではそのような結果は見られなかった。この理由は、CONTAINコードの内部計算において、デブリとナトリウムプール間の温度差が減少するものの、これを相殺するような形でデブリとナトリウムプール間の熱伝達率が上昇するため、結果としてデブリの除熱量がほとんど変わらないからである。
- ・上記の理由により、初期条件としてナトリウムプール温度や液深を変更しても、デブリーコンクリート相互作用によるFP/エアロゾル発生量はほとんど変化しなかった。
- ・VANESAでは、デブリ構成物質（Fe, Cr, Ni, UO_2 , PuO_2 等）とCORCONから計算される発生気体（CO, CO_2 , H_2 , H_2O の4種類）との化学反応のみを考慮しており、デブリ構成物質とナトリウムプールとの化学反応は考慮していない。
- ・VANESAで計算された放出FP/エアロゾルとナトリウムプールとの化学反応は考慮していない。

今後は、これらの課題を解決しつつ、CORCON/VANESAモデルを高速炉解析に適用すべく整備を進めていく。

(1) 本報告書は、アイ・ティ・ジェイ株式会社と動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。 契約番号： 07C5223

事業団担当部課：大洗工学センター・安全工学部・プラント安全工学室

事業団担当者： 清野 裕

(2) アイ・ティ・ジェイ株式会社 第二システム開発部

March, 1996

Parametric calculations using VANESA model in CONTAIN/LMR code ⁽¹⁾Toshihisa Utsumi ⁽²⁾Masaki Enomoto ⁽²⁾

Abstract

This report describes parametric calculations and program investigation carried out as a preparation work for applying VANESA (the FP emission analytical model from the debris) installed in containment system safety analysis code CONTAIN/LMR to the fast reactor analysis. In the parametric calculations, the VANESA model was made to combine with CORCON (the debris-concrete interaction analytical model) on the assumption of the system in which the sodium pool existed on the debris which fell from the reactor vessel in melt-through accident of the fast reactor. In making sodium pool temperatures, sodium pool depth, debris temperatures and decay heat, to be a parameter, five calculations were carried out.

The following were mainly investigated in the program investigation: (1) chemical reactions considered in present model, (2) decision procedures of the priority of each chemical reaction, (3) effects of the sodium pool for the FP/aerosol emission, (4) and delivery and acceptance method of data between CORCON/VANESA and the other aerosol behavior analytical model.

This paper describes main result in following.

- FP/aerosol emission rate by the debris-concrete interaction also increases, when the debris initial temperature rises. On the contrary, the FP/aerosol emission rate decreases, when a decay heat decreases.
- When initial sodium pool temperature was heightened, though it was anticipated that the debris-concrete interaction was promoted, since the cooling of the debris slows down, such result could not be seen in the calculation. This reason though temperature gradient between debris and sodium pool decreases, it is because the heat removal quantity of the debris does not change as a result almost, since heat transfer rate between debris and sodium pool rises in order to offset this just.
- By the above reason, FP/aerosol emission rate by the debris-concrete interaction hardly changed, even if sodium pool temperature and depth are changed as an initial condition.
- Only the chemical reaction with the evolved gases (CO, CO₂, H₂, H₂O) calculated from CORCON with the debris materials (Fe, Cr, Ni, UO₂, PuO₂, etc.) in VANESA is considered, and the chemical reaction between debris materials and sodium pool is not considered.
- The chemical reaction between emission FP/aerosol calculated by VANESA and sodium pool is not considered.

The CORCON/VANESA model should be applied to the fast reactor analysis, while above problems will be solved in future, and the improvement is advanced.

-
- (1) Work performed under contract between Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation and Information Technologies Japan Inc..
Contract Number; 07C5223
PNC Liaison; Hiroshi Seino, Plant Safety Engineering Section,
Safety Engineering Division, O-arai Engineering Center.
 - (2) Second System Development Department, Information Technologies Japan Inc..

目 次	ページ
1 はじめに	1-1
1.1 概要	1-1
1.1.1 パラメータ計算	1-1
1.1.2 VANESAモデルの調査	1-1
1.2 本報告書の構成	1-1
2 基本ケースの計算結果	2-1
2.1 計算のシナリオ	2-1
2.2 入力データの説明	2-3
2.2.1 全体解析モデル	2-3
2.2.2 FP放出モデル	2-3
2.2.3 エアロゾル放出モデル	2-3
2.2.4 初期条件	2-4
2.3 VANESAモデルの入力データ	2-16
2.3.1 VANESAモデルの概要	2-16
2.3.2 デブリ構成物質初期質量	2-16
2.3.3 エアロゾルのマッピング	2-23
2.3.4 FPのマッピング	2-23
2.3.5 その他のデータ	2-25
2.4 基本ケース計算結果	2-34
2.4.1 主要な計算結果	2-34
2.5 FP質量	2-46
2.5.1 FP質量	2-46
2.5.2 代表的なFPの質量変化	2-50
2.6 エアロゾルの挙動	2-54
2.6.1 エアロゾルの挙動	2-54
3 パラメータ計算結果	3-1
3.1 パラメータ計算の概要	3-1
3.2 パラメータ計算結果	3-2
3.2.1 ケース1	3-5
3.2.2 ケース2	3-27
3.2.3 ケース3	3-49
3.2.4 ケース4	3-71
3.3 パラメータ計算のまとめ	3-96
3.3.1 デブリ温度	3-96
3.3.2 ナトリウムプール	3-106
3.3.3 コンクリートの浸食量	3-109
3.3.4 雰囲気温度	3-113
3.3.5 構造物温度	3-122
3.3.6 圧力	3-127
3.3.7 エアロゾル発生量	3-130

目 次 (続き)	ページ
3.3.8 FP発生割合	3-135
3.3.9 ナトリウムプールでのFP除去割合	3-138
4 プログラムの調査	4-1
4.1 CORCONで発生した気体のVANESAへの受け渡し	4-1
4.1.1 気体流量の単位変換	4-1
4.1.2 VANESAで用いるCO ₂ とH ₂ Oのモル流量の計算	4-1
4.1.3 該当サブルーチン	4-1
4.2 気体とデブリ金属層の化学反応	4-2
4.2.1 第1ステップの化学反応式	4-2
4.2.2 第1ステップの解法	4-3
4.2.3 酸化物生成量の計算	4-10
4.2.4 第2ステップの化学反応式	4-11
4.3 気体とデブリ酸化物層の化学反応	4-15
4.3.1 化学反応式評価のオプション	4-15
4.3.2 化学反応式	4-16
4.3.3 分圧の計算	4-19
4.4 蒸発によるエアロゾル発生	4-20
4.4.1 蒸発によるエアロゾルの発生式	4-20
4.4.2 蒸気形成の実効係数	4-21
4.5 メカニカルな過程によるエアロゾル発生	4-24
4.5.1 エアロゾル発生式	4-24
4.5.2 トータル発生量の各エアロゾルへの分配	4-25
4.6 コンクリート成分のデブリへの付加	4-26
4.6.1 コンクリート成分	4-26
4.6.2 コンクリートの鉄筋	4-26
4.7 プールによるエアロゾルの除去	4-27
4.7.1 sedimentationによる除去係数	4-27
4.7.2 impactionによる除去係数	4-28
4.7.3 diffusionによる除去係数	4-28
4.8 サブルーチンの処理内容	4-29
4.9 計算の具体例	4-32
4.9.1 コンクリートからデブリに入る気体流量	4-32
4.9.2 気体とデブリ金属層の反応(第1ステップ)	4-33
4.9.3 気体とデブリの反応(第2ステップ)	4-37
4.9.4 プールによるエアロゾルの除去	4-43
4.10 ナトリウムプール体系への改造の提言	4-51
5 まとめ	5-1
付録A VANESAモデル サブルーチン説明書	A-1

表 リスト

表	2.2.1	各セルの初期雰囲気条件（基本ケース）	2-8
表	2.2.2	デブリの初期条件（基本ケース）	2-9
表	2.2.3	デブリ構成物質質量（基本ケース）	2-9
表	2.2.4	計算の対象となるFP（基本ケース）	2-10
表	2.2.5	計算開始時におけるFPインベントリ	2-11
表	2.2.6	コンクリート関連初期条件（基本ケース）	2-14
表	2.2.7	キャビティ関連データ入力値（基本ケース）	2-15
表	2.3.1	VANESAで扱われるエアロゾルの要素	2-20
表	2.3.2	基本ケース溶融デブリ成分初期値（VANESA入力値）	2-21
表	2.3.3	CORCON層に指定可能な核種	2-22
表	2.3.4	VANESAエアロゾルとCONTAINのFPの対応	2-26
表	2.3.5	FPのマッピング割合算出係数	2-27
表	2.3.6	基本ケース FPマッピング係数	2-28
表	2.4.1	基本ケース 計算結果（6時間後）	2-39
表	2.5.1	FPのインベントリ（基本ケース：6時間後）	2-47
表	3.2.1	パラメータ計算のまとめ	3-3
表	3.2.2	FPのインベントリ（パラメータ1：6時間後）	3-18
表	3.2.3	FPのインベントリ（パラメータ2：6時間後）	3-40
表	3.2.4	FPのインベントリ（パラメータ3：6時間後）	3-62
表	3.2.5	FPのインベントリ（パラメータ4：11500秒後）	3-84
表	3.2.6	FPのインベントリ（基本ケース：11500秒後）	3-87
表	3.3.1	ケース1のセル雰囲気温度・質量	3-116
表	3.3.2	エアロゾルNALの質量と雰囲気温度（ケース1）	3-116
表	3.3.3	エアロゾル発生量の比較（基本ケースとケース1）	3-131
表	3.3.4	エアロゾル発生量の比較（基本ケースとケース2）	3-132
表	3.3.5	エアロゾル発生量の比較（基本ケースとケース3）	3-133
表	3.3.6	エアロゾル発生量の比較（基本ケースとケース4）	3-134
表	4.2.1	繰り返し計算の初期値設定	4-3
表	4.8.1	VANESA関連サブルーチン処理内容	4-31
表	4.9.1	VANESA配列GVAN(J,L)の内容	4-36
表	4.9.2	蒸気成分の平衡状態での分圧計算例（時刻1秒：デブリ温度2273K）	4-38
表	4.9.3	蒸気成分の平衡状態での分圧計算例（時刻10秒：デブリ温度2273K）	4-39
表	4.9.4	実効蒸気形成係数の計算例（時刻1秒：デブリ温度2273K）	4-41
表	4.9.5	実効蒸気形成係数の計算例（時刻10秒：デブリ温度2273K）	4-42
表	4.9.6	計算開始5秒後のNaプールによるPu-239の除去割合 計算例	4-50
表	A.1	VANESA配列GVAN(J,L)の内容	A-41
表	A.2	核種の形成に必要な自由エネルギー計算式の係数	A-42

図 リスト

図	2.1.1	解析モデル概念図	2-2
図	2.2.1	基本ケース全体解析モデル	2-5
図	2.2.2	セル1 lower-cell モデル図	2-5
図	2.2.3	VANESAモデルによる解析の流れ	2-6
図	2.2.4	キャビティ形状	2-7
図	2.4.1	セル雰囲気温度 (基本ケース)	2-40
図	2.4.2	セル圧力 (基本ケース)	2-40
図	2.4.3	雰囲気中のO ₂ モル分率 (基本ケース)	2-40
図	2.4.4	雰囲気中のH ₂ モル分率 (基本ケース)	2-40
図	2.4.5	雰囲気中のH ₂ Oモル分率 (基本ケース)	2-41
図	2.4.6	雰囲気中のCO ₂ モル分率 (基本ケース)	2-41
図	2.4.7	雰囲気中のN ₂ モル分率 (基本ケース)	2-41
図	2.4.8	雰囲気中のO ₂ 質量 (基本ケース)	2-41
図	2.4.9	雰囲気中のH ₂ 質量 (基本ケース)	2-42
図	2.4.10	雰囲気中のH ₂ O質量 (基本ケース)	2-42
図	2.4.11	雰囲気中のCO ₂ 質量 (基本ケース)	2-42
図	2.4.12	雰囲気中のN ₂ 質量 (基本ケース)	2-42
図	2.4.13	セル間の流量 (基本ケース)	2-43
図	2.4.14	コンクリート浸食による生成物の質量 (基本ケース)	2-43
図	2.4.15	デブリ層温度 (基本ケース)	2-43
図	2.4.16	デブリ層密度 (基本ケース)	2-43
図	2.4.17	デブリ層質量 (基本ケース)	2-44
図	2.4.18	キャビティの系方向寸法 (基本ケース)	2-44
図	2.4.19	キャビティの鉛直方向寸法 (基本ケース)	2-44
図	2.4.20	エアロゾルUO ₂ の濃度 (基本ケース)	2-44
図	2.4.21	エアロゾルNaLの濃度 (基本ケース)	2-45
図	2.4.22	エアロゾルの析出量 (基本ケース)	2-45
図	2.4.23	構造物温度 (基本ケース)	2-45
図	2.5.1	Kr 85質量 (基本ケース)	2-52
図	2.5.2	I 131質量 (基本ケース)	2-52
図	2.5.3	Cs 137質量 (基本ケース)	2-52
図	2.5.4	Te 131m質量 (基本ケース)	2-52
図	2.5.5	Sr 89質量 (基本ケース)	2-53
図	2.5.6	Ru 103質量 (基本ケース)	2-53
図	2.5.7	La 140質量 (基本ケース)	2-53
図	2.5.8	Pu 239質量 (基本ケース)	2-53
図	2.6.1	金属層を通過する気体流量 (基本ケース)	2-56
図	2.6.2	酸化物層温度 (基本ケース)	2-56

図 リスト (続き)

図	2.6.3	エアロゾル発生量 (基本ケース)	2-56
図	2.6.4	エアロゾル密度 (基本ケース)	2-56
図	2.6.5	エアロゾル平均サイズ (基本ケース)	2-57
図	2.6.6	エアロゾル成分割合 (基本ケース)	2-57
図	2.6.7	エアロゾル質量 (基本ケース)	2-57
図	3.2.1	セル雰囲気温度 (パラメータ-1)	3-9
図	3.2.2	セル圧力 (パラメータ-1)	3-9
図	3.2.3	雰囲気中のO ₂ モル分率 (パラメータ-1)	3-9
図	3.2.4	雰囲気中のH ₂ モル分率 (パラメータ-1)	3-9
図	3.2.5	雰囲気中のH ₂ Oモル分率 (パラメータ-1)	3-10
図	3.2.6	雰囲気中のCO ₂ モル分率 (パラメータ-1)	3-10
図	3.2.7	雰囲気中のN ₂ モル分率 (パラメータ-1)	3-10
図	3.2.8	雰囲気中のO ₂ 質量 (パラメータ-1)	3-10
図	3.2.9	雰囲気中のH ₂ 質量 (パラメータ-1)	3-11
図	3.2.10	雰囲気中のH ₂ O質量 (パラメータ-1)	3-11
図	3.2.11	雰囲気中のCO ₂ 質量 (パラメータ-1)	3-11
図	3.2.12	雰囲気中のN ₂ 質量 (パラメータ-1)	3-11
図	3.2.13	セル間の流量 (パラメータ-1)	3-12
図	3.2.14	コンクリート浸食による生成物の質量 (パラメータ-1)	3-12
図	3.2.15	デブリ層温度 (パラメータ-1)	3-12
図	3.2.16	デブリ層密度 (パラメータ-1)	3-12
図	3.2.17	デブリ層質量 (パラメータ-1)	3-13
図	3.2.18	キャビティの系方向寸法 (パラメータ-1)	3-13
図	3.2.19	キャビティの鉛直方向寸法 (パラメータ-1)	3-13
図	3.2.20	エアロゾルUO ₂ の濃度 (パラメータ-1)	3-13
図	3.2.21	エアロゾルNaLの濃度 (パラメータ-1)	3-14
図	3.2.22	エアロゾルの析出量 (パラメータ-1)	3-14
図	3.2.23	構造物温度 (パラメータ-1)	3-14
図	3.2.24	Kr 85 質量 (パラメータ-1)	3-21
図	3.2.25	I 131 質量 (パラメータ-1)	3-21
図	3.2.26	Cs 137 質量 (パラメータ-1)	3-21
図	3.2.27	Te 131m 質量 (パラメータ-1)	3-21
図	3.2.28	Sr 89 質量 (パラメータ-1)	3-22
図	3.2.29	Ru 103 質量 (パラメータ-1)	3-22
図	3.2.30	La 140 質量 (パラメータ-1)	3-22
図	3.2.31	Pu 239 質量 (パラメータ-1)	3-22
図	3.2.32	金属層を通過する気体流量 (パラメータ-1)	3-25
図	3.2.33	酸化物層温度 (パラメータ-1)	3-25

図 リスト (続き)

図	3.2.34	エアロゾル発生量 (パラメータ-1)	3-25
図	3.2.35	エアロゾル密度 (パラメータ-1)	3-25
図	3.2.36	エアロゾル平均サイズ (パラメータ-1)	3-26
図	3.2.37	エアロゾル成分割合 (パラメータ-1)	3-26
図	3.2.38	エアロゾル質量 (パラメータ-1)	3-26
図	3.2.39	セル雰囲気温度 (パラメータ-2)	3-31
図	3.2.40	セル圧力 (パラメータ-2)	3-31
図	3.2.41	雰囲気中のO ₂ モル分率 (パラメータ-2)	3-31
図	3.2.42	雰囲気中のH ₂ モル分率 (パラメータ-2)	3-31
図	3.2.43	雰囲気中のH ₂ Oモル分率 (パラメータ-2)	3-32
図	3.2.44	雰囲気中のCO ₂ モル分率 (パラメータ-2)	3-32
図	3.2.45	雰囲気中のN ₂ モル分率 (パラメータ-2)	3-32
図	3.2.46	雰囲気中のO ₂ 質量 (パラメータ-2)	3-32
図	3.2.47	雰囲気中のH ₂ 質量 (パラメータ-2)	3-33
図	3.2.48	雰囲気中のH ₂ O質量 (パラメータ-2)	3-33
図	3.2.49	雰囲気中のCO ₂ 質量 (パラメータ-2)	3-33
図	3.2.50	雰囲気中のN ₂ 質量 (パラメータ-2)	3-33
図	3.2.51	セル間の流量 (パラメータ-2)	3-34
図	3.2.52	コンクリート浸食による生成物の質量 (パラメータ-2)	3-34
図	3.2.53	デブリ層温度 (パラメータ-2)	3-34
図	3.2.54	デブリ層密度 (パラメータ-2)	3-34
図	3.2.55	デブリ層質量 (パラメータ-2)	3-35
図	3.2.56	キャビティの系方向寸法 (パラメータ-2)	3-35
図	3.2.57	キャビティの鉛直方向寸法 (パラメータ-2)	3-35
図	3.2.58	エアロゾルUO ₂ の濃度 (パラメータ-2)	3-35
図	3.2.59	エアロゾルNaLの濃度 (パラメータ-2)	3-36
図	3.2.60	エアロゾルの析出量 (パラメータ-2)	3-36
図	3.2.61	構造物温度 (パラメータ-2)	3-36
図	3.2.62	Kr 85 質量 (パラメータ-2)	3-43
図	3.2.63	I 131 質量 (パラメータ-2)	3-43
図	3.2.64	Cs 137 質量 (パラメータ-2)	3-43
図	3.2.65	Te 131m 質量 (パラメータ-2)	3-43
図	3.2.66	Sr 89 質量 (パラメータ-2)	3-44
図	3.2.67	Ru 103 質量 (パラメータ-2)	3-44
図	3.2.68	La 140 質量 (パラメータ-2)	3-44
図	3.2.69	Pu 239 質量 (パラメータ-2)	3-44
図	3.2.70	金属層を通過する気体流量 (パラメータ-2)	3-47
図	3.2.71	酸化物層温度 (パラメータ-2)	3-47

図 リスト (続き)

図	3.2.72	エアロゾル発生量 (パラメータ-2)	3-47
図	3.2.73	エアロゾル密度 (パラメータ-2)	3-47
図	3.2.74	エアロゾル平均サイズ (パラメータ-2)	3-48
図	3.2.75	エアロゾル成分割合 (パラメータ-2)	3-48
図	3.2.76	エアロゾル質量 (パラメータ-2)	3-48
図	3.2.77	セル雰囲気温度 (パラメータ-3)	3-53
図	3.2.78	セル圧力 (パラメータ-3)	3-53
図	3.2.79	雰囲気中のO ₂ モル分率 (パラメータ-3)	3-53
図	3.2.80	雰囲気中のH ₂ モル分率 (パラメータ-3)	3-53
図	3.2.81	雰囲気中のH ₂ Oモル分率 (パラメータ-3)	3-54
図	3.2.82	雰囲気中のCO ₂ モル分率 (パラメータ-3)	3-54
図	3.2.83	雰囲気中のN ₂ モル分率 (パラメータ-3)	3-54
図	3.2.84	雰囲気中のO ₂ 質量 (パラメータ-3)	3-54
図	3.2.85	雰囲気中のH ₂ 質量 (パラメータ-3)	3-55
図	3.2.86	雰囲気中のH ₂ O質量 (パラメータ-3)	3-55
図	3.2.87	雰囲気中のCO ₂ 質量 (パラメータ-3)	3-55
図	3.2.88	雰囲気中のN ₂ 質量 (パラメータ-3)	3-55
図	3.2.89	セル間の流量 (パラメータ-3)	3-56
図	3.2.90	コンクリート浸食による生成物の質量 (パラメータ-3)	3-56
図	3.2.91	デブリ層温度 (パラメータ-3)	3-56
図	3.2.92	デブリ層密度 (パラメータ-3)	3-56
図	3.2.93	デブリ層質量 (パラメータ-3)	3-57
図	3.2.94	キャビティの系方向寸法 (パラメータ-3)	3-57
図	3.2.95	キャビティの鉛直方向寸法 (パラメータ-3)	3-57
図	3.2.96	エアロゾルUO ₂ の濃度 (パラメータ-3)	3-57
図	3.2.97	エアロゾルNaLの濃度 (パラメータ-3)	3-58
図	3.2.98	エアロゾルの析出量 (パラメータ-3)	3-58
図	3.2.99	構造物温度 (パラメータ-3)	3-58
図	3.2.100	Kr 85 質量 (パラメータ-3)	3-65
図	3.2.101	I 131 質量 (パラメータ-3)	3-65
図	3.2.102	Cs 137 質量 (パラメータ-3)	3-65
図	3.2.103	Te 131m 質量 (パラメータ-3)	3-65
図	3.2.104	Sr 89 質量 (パラメータ-3)	3-66
図	3.2.105	Ru 103 質量 (パラメータ-3)	3-66
図	3.2.106	La 140 質量 (パラメータ-3)	3-66
図	3.2.107	Pu 239 質量 (パラメータ-3)	3-66
図	3.2.108	金属層を通過する気体流量 (パラメータ-3)	3-69
図	3.2.109	酸化物層温度 (パラメータ-3)	3-69

図 リスト (続き)

図	3.2.110	エアロゾル発生量 (パラメータ-3)	3-69
図	3.2.111	エアロゾル密度 (パラメータ-3)	3-69
図	3.2.112	エアロゾル平均サイズ (パラメータ-3)	3-70
図	3.2.113	エアロゾル成分割合 (パラメータ-3)	3-70
図	3.2.114	エアロゾル質量 (パラメータ-3)	3-70
図	3.2.115	セル雰囲気温度 (パラメータ-4)	3-75
図	3.2.116	セル圧力 (パラメータ-4)	3-75
図	3.2.117	雰囲気中のO ₂ モル分率 (パラメータ-4)	3-75
図	3.2.118	雰囲気中のH ₂ モル分率 (パラメータ-4)	3-75
図	3.2.119	雰囲気中のH ₂ Oモル分率 (パラメータ-4)	3-76
図	3.2.120	雰囲気中のCO ₂ モル分率 (パラメータ-4)	3-76
図	3.2.121	雰囲気中のN ₂ モル分率 (パラメータ-4)	3-76
図	3.2.122	雰囲気中のO ₂ 質量 (パラメータ-4)	3-76
図	3.2.123	雰囲気中のH ₂ 質量 (パラメータ-4)	3-77
図	3.2.124	雰囲気中のH ₂ O質量 (パラメータ-4)	3-77
図	3.2.125	雰囲気中のCO ₂ 質量 (パラメータ-4)	3-77
図	3.2.126	雰囲気中のN ₂ 質量 (パラメータ-4)	3-77
図	3.2.127	セル間の流量 (パラメータ-4)	3-78
図	3.2.128	コンクリート浸食による生成物の質量 (パラメータ-4)	3-78
図	3.2.129	デブリ層温度 (パラメータ-4)	3-78
図	3.2.130	デブリ層密度 (パラメータ-4)	3-78
図	3.2.131	デブリ層質量 (パラメータ-4)	3-79
図	3.2.132	キャビティの系方向寸法 (パラメータ-4)	3-79
図	3.2.133	キャビティの鉛直方向寸法 (パラメータ-4)	3-79
図	3.2.134	エアロゾルUO ₂ の濃度 (パラメータ-4)	3-79
図	3.2.135	エアロゾルNaLの濃度 (パラメータ-4)	3-80
図	3.2.136	エアロゾルの析出量 (パラメータ-4)	3-80
図	3.2.137	構造物温度 (パラメータ-4)	3-80
図	3.2.138	Kr 85質量 (パラメータ-4)	3-90
図	3.2.139	I 131質量 (パラメータ-4)	3-90
図	3.2.140	Cs 137質量 (パラメータ-4)	3-90
図	3.2.141	Te 131m質量 (パラメータ-4)	3-90
図	3.2.142	Sr 89質量 (パラメータ-4)	3-91
図	3.2.143	Ru 103質量 (パラメータ-4)	3-91
図	3.2.144	La 140質量 (パラメータ-4)	3-91
図	3.2.145	Pu 239質量 (パラメータ-4)	3-91
図	3.2.146	金属層を通過する気体流量 (パラメータ-4)	3-94
図	3.2.147	酸化物層温度 (パラメータ-4)	3-94

図 リスト (続き)

図	3.2.148	エアロゾル発生量 (パラメ-ケース4)	3-94
図	3.2.149	エアロゾル密度 (パラメ-ケース4)	3-94
図	3.2.150	エアロゾル平均サイズ (パラメ-ケース4)	3-95
図	3.2.151	エアロゾル成分割合 (パラメ-ケース4)	3-95
図	3.2.152	エアロゾル質量 (パラメ-ケース4)	3-95
図	3.3.1	デブリ層温度 (重い酸化物層)	3-98
図	3.3.2	デブリ層温度 (金属層)	3-99
図	3.3.3	デブリ層温度 (軽い酸化物層)	3-100
図	3.3.4	デブリ崩壊熱	3-101
図	3.3.5	化学反応熱	3-102
図	3.3.6	デブリからコンクリートへの伝熱量	3-103
図	3.3.7	デブリからNaプールへの伝熱量	3-104
図	3.3.8	デブリとNaプール間の熱伝達率	3-105
図	3.3.9	Naプール温度の変化	3-107
図	3.3.10	Naプール深さの変化	3-108
図	3.3.11	キャビティ深さの変化	3-110
図	3.3.12	キャビティ半径の変化	3-111
図	3.3.13	キャビティ容積の変化	3-112
図	3.3.14	雰囲気温度の変化 (セル1)	3-117
図	3.3.15	雰囲気温度の変化 (セル2)	3-118
図	3.3.16	雰囲気温度の変化	3-119
図	3.3.17	ケース1の熱伝達率	3-120
図	3.3.18	ケース1の熱流束	3-121
図	3.3.19	構造物温度の変化 (セル1の壁内側温度)	3-123
図	3.3.20	構造物温度の変化 (セル2の壁内側温度)	3-124
図	3.3.21	構造物温度の変化 (セル1の天井内側温度)	3-125
図	3.3.22	構造物温度の変化 (セル2の天井内側温度)	3-126
図	3.3.23	圧力変化 (セル1)	3-128
図	3.3.24	圧力変化 (セル2)	3-129
図	3.3.25	FP発生割合 (基本ケース~ケース3)	3-136
図	3.3.26	FP発生割合 (基本ケースとケース4)	3-137
図	3.3.27	NaプールでのFP除去割合	3-139
図	4.8.1	VANESAモデル関連サブルーチン Tree構造	4-30
図	4.9.1	粒子径毎のエアロゾル除去係数	4-45
図	4.9.2	プール深さ毎のエアロゾル除去係数 (粒子径グループ: 2)	4-46
図	4.9.3	プール深さ毎のエアロゾル除去係数 (粒子径グループ: 5)	4-47
図	4.9.4	プール深さ毎のエアロゾル除去係数 (粒子径グループ: 6)	4-48
図	4.9.5	プール深さ毎のエアロゾル除去係数 (粒子径グループ: 7)	4-49

1 はじめに

1.1 概要

CONTAIN/LMRのデブリからのFP放出解析モデル(VANESA)に関して「蒸発によるエアロゾル発生モデル」内の「熱力学モデル」における計算方法を明確にするために、仮想的な事故体系データを使用したパラメータ計算を行った。

1.1.1 パラメータ計算

使用するCONTAINのバージョンはCONTAIN/LMR version-1Bとした。解析対象は高速増殖炉プラントの原子炉容器が設置される部屋を模擬した仮想的なセルの体系とし、これをCONTAIN/LMRのセル・モデルとしてモデル化した。また、事故シナリオとしてはメルトスルーを想定しVANESAとCORCON(デブリ-コンクリート相互作用解析モデル)をリンクした計算を行った。ナトリウム温度・量(液深)、デブリ温度・量等をパラメータとして、基本ケースを含めて全部で5ケースの計算を実施した。

1.1.2 VANESAモデルの調査

パラメータ計算結果とソースプログラム調査を通じてVANESAモデルの「蒸発によるエアロゾル発生モデル」内の「熱力学モデル」における以下の項目を調査した。

- ① 現モデルで考慮している化学反応
- ② 上記の化学反応において各物質が反応する際の順序の決定方法
- ③ 関連サブルーチンのフローチャートの作成
- ④ FP/エアロゾル放出量に対するナトリウムプールの影響度
- ⑤ CORCONモデルやその他のエアロゾル発生モデル(「動力学モデル」と「機械的発生モデル」とのデータの授受方法

1.2 本報告書の構成

第2章に基本ケースの入力データの内容と計算結果を示す。第3章には、パラメータ・ケースの結果をまとめる。第4章には、VANESAモデルの調査結果を示す。第5章に本作業のまとめを記す。また、付録Aには、VANESAモデル関連サブルーチンの説明書を添付した。

2 基本ケースの計算結果

2.1 計算のシナリオ

本計算では定格熱出力1600MWの高速炉のメルトスルー事故を想定した。基本ケースの計算のシナリオは次のとおりである。ある時刻において、定格出力で連続運転中の原子炉から燃料や炉心構造物で構成される溶融デブリが冷却水とともに原子炉容器底部を貫通して原子炉容器建屋の床面上に放出される。放出デブリの質量は183.2t、温度は2273Kとする。デブリの上部は深さ10mのナトリウムプールで覆われるものとする。放出された高温デブリは原子炉容器建屋の床コンクリートとデブリーコンクリート相互作用を引き起こしコンクリートが浸食する。コンクリート浸食の際に発生する水蒸気やCO₂ガスはデブリ中の金属成分や核分裂生成物（以下FPと表記）と反応し、それらの生成物はナトリウムプール及び雰囲気中に放出される。計算ではデブリが落下した時点から6時間後までのプラント挙動を解析する。解析モデルの概念図を図2.1.1に示す。

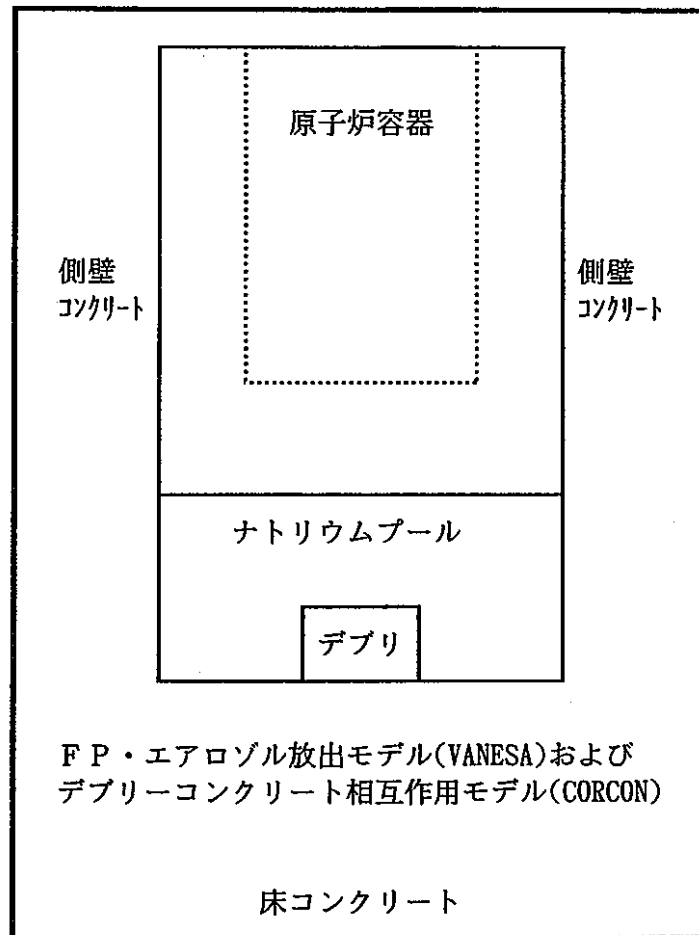


図 2.1.1 解析モデル概念図

2.2 入力データの説明

本作業では、基本ケースの入力データとして、平成6年度に実施した「デブリ挙動関連モデル解析計算作業」において使用した入力データの中で、ナトリウムプールの存在するケースを原型にして、セル1のVUFAC（：構造物表面で吸収される、セル下部からの輻射エネルギーの割合）を以下の様に変更したものをを用いた。

構造物名	VUFAC (変更前)	VUFAC (変更後)
WAL-1	1.0	0.4625
WAL-2	1.0	0.4625
R/C-ROOF	1.0	0.075

以下に基本ケースのモデル並びに初期条件を示す。

2.2.1 全体解析モデル

基本ケースの全体解析モデル図を図2.2.1に示す。セルは、原子炉が設置される部屋とその他の部屋を模擬する2セルであり、両セルは流路面積 1.0m^2 のジャンクションで結合される。デブリはセル1の下部に存在しその上をナトリウムプールが覆っている。セル1のlower-cellモデル図を図2.2.2に、各セルの初期雰囲気条件を表2.2.1にそれぞれ示す。

2.2.2 FP放出モデル

メルトスルー事故では、落下したデブリからのFPの放出量と各部屋への拡散が問題となる。デブリに含まれるFPの中で、希ガスは事故発生後急速にデブリから放出されると考えられる。従って、希ガスの放出についてはデブリからの放出速度を直接指定するモデルを適用した。一方、希ガス以外のFPは、デブリ-コンクリート相互作用の間にデブリから生成・放出されるエアロゾルに付着して、ナトリウムプールを通して雰囲気中に放出されるものとした。希ガス以外のFPの放出量は、エアロゾル放出量に各FPのマッピング係数を掛けることにより求められる。ここで、FPのマッピング係数は入力データにより指定する。FPのマッピングに関しては別途2.3章で述べる。

2.2.3 エアロゾル放出モデル

本作業では、デブリ-コンクリート相互作用時のエアロゾル放出量をCONTAINコード内部に組み込まれているVANESAモデルを用いて計算した。VANESAモデルは本来は1つの独立したコードであるが、事故時のプラント挙動をCONTAINコードで統一的に評価可能とするためにCONTAINコードに導入されている。図2.2.3にVANESAモデルとCONTAINコード本体とのデータの授受の関係を示す。VANESAモデルは、CONTAINコードで計算された気体発生質量速度等のデータを用いてデブリからのエアロゾル発生量を計算する。CONTAINコードは、VANESAモデルで計算されたエアロゾルソース項を用いて、原子炉建屋各部のエアロゾル濃度、FP濃度や天井、床等の構造物へのエアロゾル付着量を計算する。

2.2.4 初期条件

2.2.4.1 デブリ

原子炉容器より落下するデブリの初期条件を表2.2.2に、FPを除いたデブリ構成物質の初期質量を表2.2.3にそれぞれ示す。FPを含む質量データに関しては、別途2.3章で述べる。

2.2.4.2 FP関連入力データ

計算対象とする9.2核種のFP(30化学種、62同位体)を表2.2.4に示す。計算開始時のFPインベントリ、質量当り出力を表2.2.5に示す。

2.2.4.3 コンクリート

コンクリートの種類は硬質砂岩コンクリートとした。表2.2.6にコンクリート関連の初期条件を示す。コンクリート質量は約1195t、原子炉容器が設置されている底面のコンクリートの厚さは6.0mとした。

2.2.4.4 キャビティの形状

CORCONモデルで使用するキャビティの初期形状を図2.2.4に示す。また、キャビティ関連データの入力値を表2.2.7に示す。キャビティの初期形状は床面が平坦な円筒状(FLATCYL)とした。キャビティの内側及び外側半径はそれぞれ5.25mと7.25m、コーナ部半径は0.1m、キャビティの深さは20.0m、床コンクリートの厚さは6.0mである。キャビティの形状変化を計算する点(body point)数は、全体で50点とし基底部とコーナ部にこのうちの10点づつを配置した。

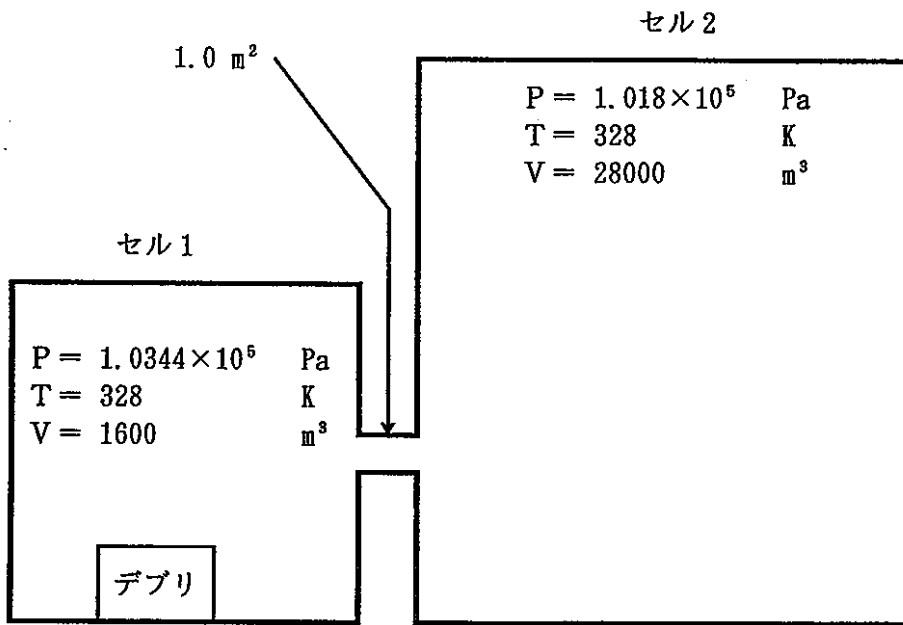


図 2.2.1 基本ケース全体解析モデル

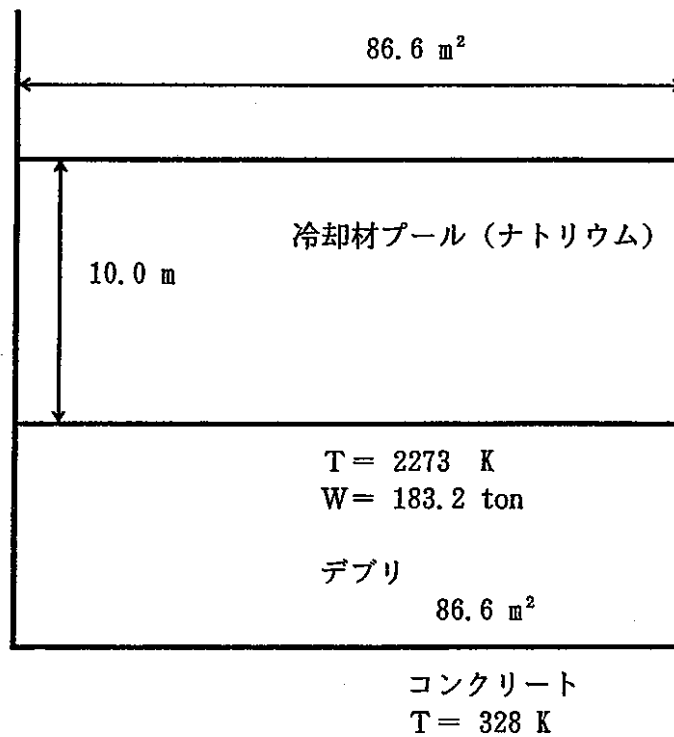


図 2.2.2 セル1 lower-cell モデル図

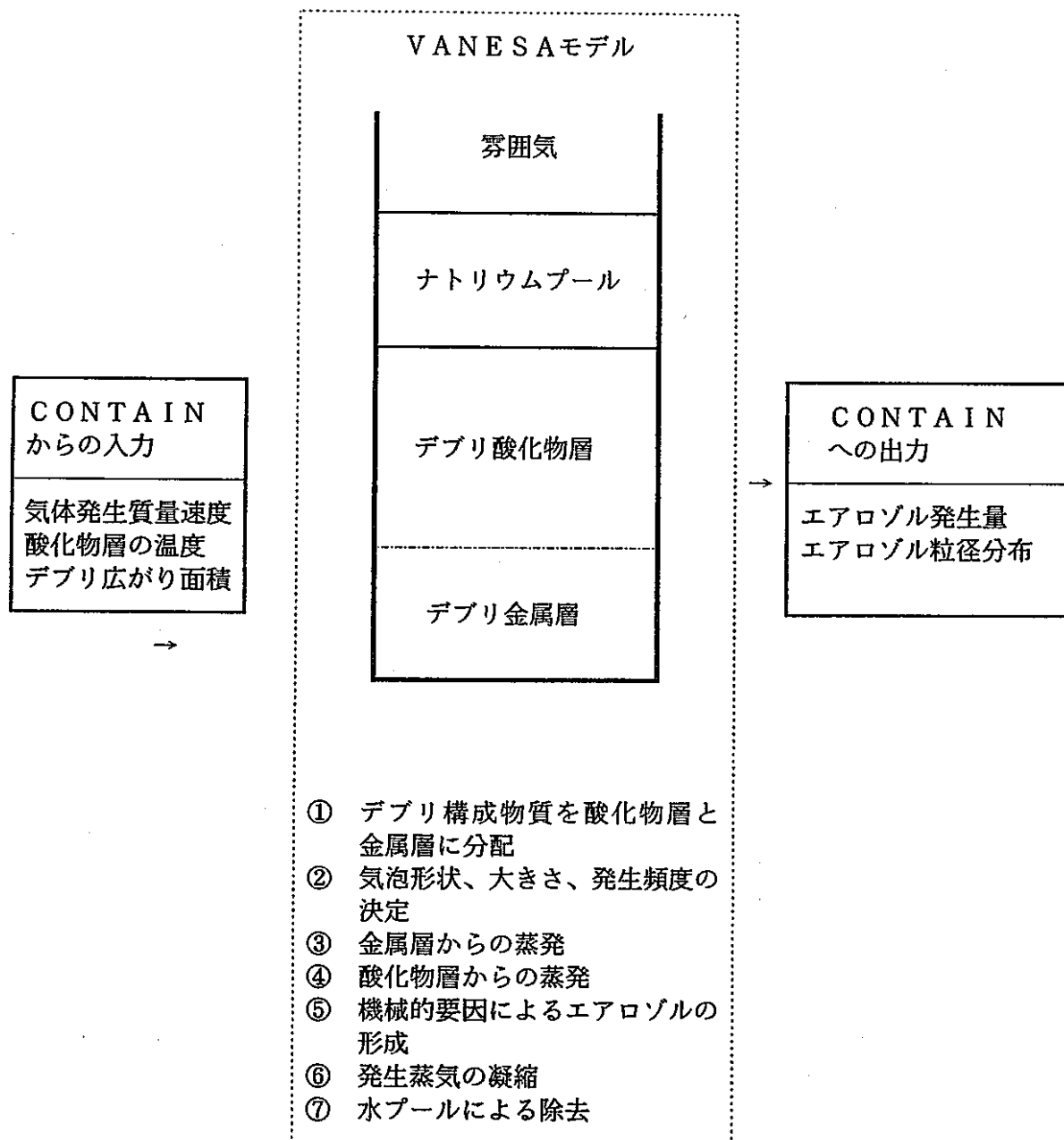


図 2.2.3 VANESAモデルによる解析の流れ

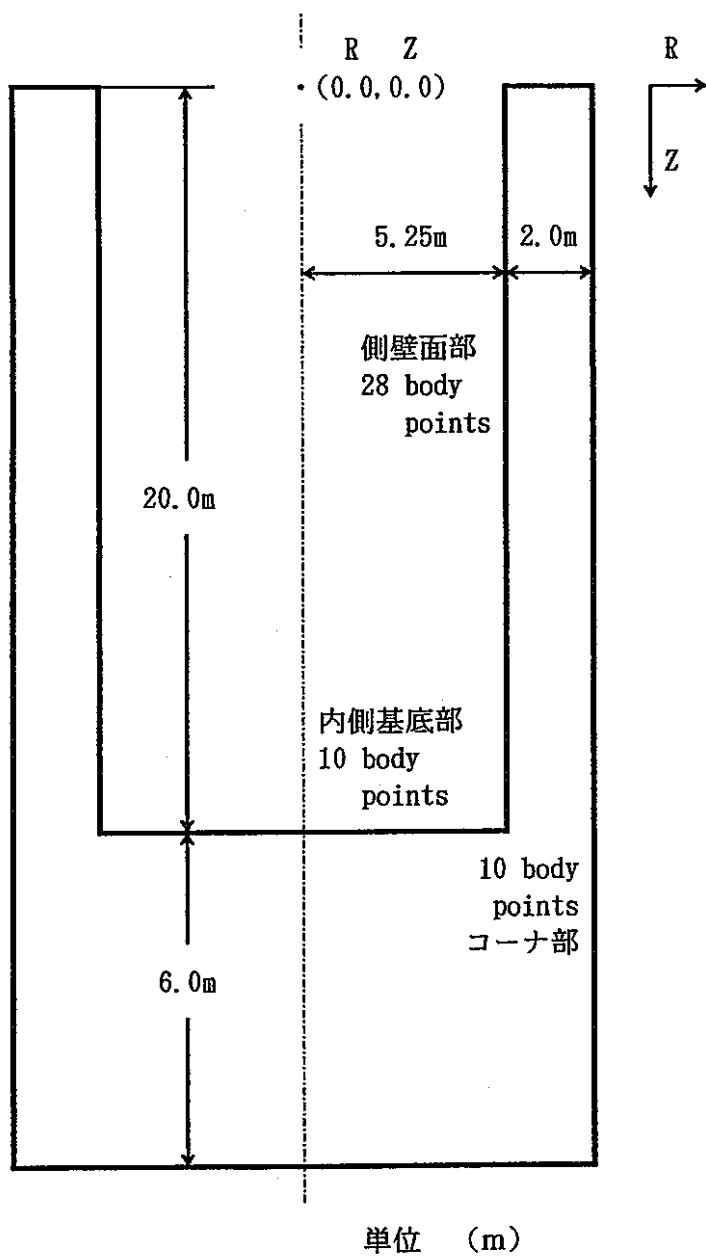


図 2.2.4 キャビティ形状

表 2.2.1 各セルの初期雰囲気条件 (基本ケース)

項目	セル 1	セル 2	単位
圧力	1.0344×10^5	1.018×10^5	Pa
温度	328		K
雰囲気組成 (モル分率)	N2 0.9700 O2 0.03	N2 0.79 O2 0.21	—
容積	1600	28000	m ³
代表高さ	20	43	m

表 2.2.2 デブリの初期条件 (基本ケース)

項 目	数 値	単 位
温 度	2273.0	K
質 量	1.832×10^5	kg
床面との接触面積	86.6	m ²

表 2.2.3 デブリ構成物質質量 (基本ケース)

構成物質	質量 (kg)
二酸化ウラン	5 4 8 0 1. 2
二酸化プルトニウム	3 8 0 6. 0
一酸化バリウム	3 2. 5
一酸化ストロンチウム	1 3. 7
鉄	8 6 3 2 4. 7
クロム	2 0 5 6 2.
マンガン	2 4 0 8. 9
ニッケル	1 4 3 5 4.
ジルコニウム	5 6. 4

表 2.2.4 計算の対象となるFP (基本ケース)

No	FP名	娘核種*	No	FP名	娘核種*	No	FP名	娘核種*
1	Co58	Fe85	32	Rh105	Pd105	63	Xe133m	Xe133
2	Co60	Ni60	33	Rh105m	Rh105	64	Xe135	Cs135
3	Br83	Kr83m	34	Ag110m	Cd110	65	Xe135m	Cs135
4	Br85	Kr85m	35	Ag111	Cd111	66	Xe137	Cs137
5	Br87	Kr87	36	Cd115	In115m	67	Xe138	Cs138
6	Kr83m	Kr83	37	Cd115m	In115	68	Xe140	Cs140
7	Kr85	Rb85	38	In115m	In115	69	Cs134	Ba134
8	Kr85m	Rb85	39	Sn123	Sb123	70	Cs134m	Cs134
9	Kr87	Rb87	40	Sn125	Sb125	71	Cs136	Ba136
10	Kr88	Rb88	41	Sb127	Te127	72	Cs137	Ba137m
11	Kr89	Rb89	42	Sb129	Te129	73	Cs140	Ba140
12	Kr90	Rb90	43	Sb131	Te131	74	Ba140	La140
13	Rb86	Sr86	44	Te127	I127	75	La140	Ce140
14	Rb89	Sr89	45	Te127m	Te127	76	La141	Ce141
15	Rb90	Sr90	46	Te129	I129	77	Ce141	Pr141
16	Rb90m	Sr90	47	Te129m	Te129	78	Ce143	Pr143
17	Sr89	Y89	48	Te131	I131	79	Ce144	Pr144
18	Sr90	Y90	49	Te131m	I131	80	Pr143	Nd143
19	Sr91	Y91m	50	Te132	I132	81	Pr147	Nd147
20	Y90	Zr90	51	Te133	I133	82	Nd147	Pm147
21	Y91	Zr91	52	Te133m	I133	83	Np239	Pu239
22	Y91m	Y91	53	Te134	I134	84	Pu238	
23	Zr95	Nb95	54	I131	Xe131	85	Pu239	
24	Zr97	Nb97m	55	I132	Xe132	86	Pu240	
25	Nb95	Mo95	56	I133	Xe133	87	Pu241	Am241
26	Nb95m	Nb95	57	I133m	I133	88	Pu242	
27	Mo99	Tc99m	58	I134	Xe134	89	Am241	
28	Tc99m	Tc99	59	I134m	I134	90	Am242	Pu242
29	Ru103	Rh103m	60	I135	Xe135	91	Cm242	Pu238
30	Ru105	Rh105	61	Xe131m	Xe131	92	Cm244	Pu240
31	Ru106	Rh106	62	Xe133	Cs133			

*) ただし、今回の計算では半減期を無限大として、崩壊を考慮していない。

表 2. 2. 5-(1) 計算開始時におけるFPインベントリ (1/3)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	出力 (W/kg)	インベントリ (kg)					
					セル1	セル2	セル1 + セル2	初期値に 対する割合 (-)		
1	希ガス	Kr	Kr83m	5.14E+06	2.28E-04	0.00E+00	2.28E-04	1.00E+00		
			Kr85	5.89E+02	3.65E-01	0.00E+00	3.65E-01	1.00E+00		
			Kr85m	2.05E+07	9.88E-04	0.00E+00	9.88E-04	1.00E+00		
			Kr87	3.58E+08	4.82E-04	0.00E+00	4.82E-04	1.00E+00		
			Kr88	1.82E+08	1.55E-03	0.00E+00	1.55E-03	1.00E+00		
			Kr89	1.35E+10	3.07E-05	0.00E+00	3.07E-05	1.00E+00		
			Kr90	6.76E+10	5.26E-06	0.00E+00	5.26E-06	1.00E+00		
			Xe	Xe131m	8.35E+04	4.19E-03	0.00E+00	4.19E-03	1.00E+00	
				Xe133	2.02E+05	4.68E-01	0.00E+00	4.68E-01	1.00E+00	
		Xe133m		6.04E+05	2.93E-02	0.00E+00	2.93E-02	1.00E+00		
		Xe135		8.68E+06	3.70E-02	0.00E+00	3.70E-02	1.00E+00		
		Xe135m		2.78E+08	2.09E-04	0.00E+00	2.09E-04	1.00E+00		
		Xe137		4.33E+09	2.18E-04	0.00E+00	2.18E-04	1.00E+00		
		Xe138		1.06E+09	6.36E-04	0.00E+00	6.36E-04	1.00E+00		
		Xe140		7.93E+10	5.73E-06	0.00E+00	5.73E-06	1.00E+00		
		グループ1 合計					9.08E-01	0.00E+00	9.08E-01	1.00E+00
		2	ハロゲン	Br	Br83	3.10E+07	2.98E-04	0.00E+00	2.98E-04	1.00E+00
Br85	4.88E+09				1.06E-05	0.00E+00	1.06E-05	1.00E+00		
Br87	5.36E+10				4.10E-06	0.00E+00	4.10E-06	1.00E+00		
I	I131				4.23E+05	4.05E-01	0.00E+00	4.05E-01	1.00E+00	
	I132			1.72E+08	6.50E-03	0.00E+00	6.50E-03	1.00E+00		
	I133			6.86E+06	7.57E-02	0.00E+00	7.57E-02	1.00E+00		
	I133m			1.40E+10	4.23E-07	0.00E+00	4.23E-07	1.00E+00		
	I134			5.22E+08	3.43E-03	0.00E+00	3.43E-03	1.00E+00		
	I134m			6.94E+08	3.20E-05	0.00E+00	3.20E-05	1.00E+00		
	I135			3.86E+07	2.40E-02	0.00E+00	2.40E-02	1.00E+00		
グループ2 合計					5.15E-01	0.00E+00	5.15E-01	1.00E+00		
3	7割り金属	Rb	Rb86	3.69E+05	1.93E-03	0.00E+00	1.93E-03	1.00E+00		
			Rb89	2.62E+09	1.92E-04	0.00E+00	1.92E-04	1.00E+00		
			Rb90	2.11E+10	2.71E-05	0.00E+00	2.71E-05	1.00E+00		
			Rb90m	1.36E+10	1.63E-05	0.00E+00	1.63E-05	1.00E+00		
			Cs134	1.34E+04	2.89E-01	0.00E+00	2.89E-01	1.00E+00		
		Cs	Cs134m	6.62E+06	2.35E-05	0.00E+00	2.35E-05	1.00E+00		
			Cs136	9.50E+05	4.35E-02	0.00E+00	4.35E-02	1.00E+00		
			Cs137	9.06E+01	2.67E+01	0.00E+00	2.67E+01	1.00E+00		
			Cs140	3.06E+10	5.06E-05	0.00E+00	5.06E-05	1.00E+00		
			グループ3 合計					2.70E+01	0.00E+00	2.70E+01

表 2. 2. 5-(2) 計算開始時における F P インベントリ (2 / 3)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	出力 (W/kg)	インベントリ (kg)				
					セル 1	セル 2	セル 1 + セル 2	初期値に 対する割合 (-)	
4	テルル アンチモン	In	In115m	1.27E+07	1.29E-04	0.00E+00	1.29E-04	1.00E+00	
			Sn	Sn123	3.88E+04	5.20E-02	0.00E+00	5.20E-02	1.00E+00
				Sn125	7.39E+05	5.94E-03	0.00E+00	5.94E-03	1.00E+00
		Sb	Sb127	1.54E+06	2.31E-02	0.00E+00	2.31E-02	1.00E+00	
			Sb129	5.54E+07	3.05E-03	0.00E+00	3.05E-03	1.00E+00	
			Sb131	8.99E+08	6.54E-04	0.00E+00	6.54E-04	1.00E+00	
		Te	Te127	3.63E+06	2.28E-03	0.00E+00	2.28E-03	1.00E+00	
			Te127m	5.46E+03	9.07E-02	0.00E+00	9.07E-02	1.00E+00	
			Te129	7.56E+07	7.71E-04	0.00E+00	7.71E-04	1.00E+00	
			Te129m	4.38E+04	1.45E-01	0.00E+00	1.45E-01	1.00E+00	
			Te131	3.74E+08	7.66E-04	0.00E+00	7.66E-04	1.00E+00	
			Te131m	7.90E+06	9.27E-03	0.00E+00	9.27E-03	1.00E+00	
			Te132	6.03E+05	2.17E-01	0.00E+00	2.17E-01	1.00E+00	
		Te133	1.21E+09	4.75E-04	0.00E+00	4.75E-04	1.00E+00		
		Te133m	3.67E+08	1.09E-03	0.00E+00	1.09E-03	1.00E+00		
		Te134	1.95E+08	2.02E-03	0.00E+00	2.02E-03	1.00E+00		
グループ 4 合計					5.54E-01	0.00E+00	5.54E-01	1.00E+00	
5	7族土類	Sr	Sr89	9.99E+04	8.76E-01	0.00E+00	8.76E-01	1.00E+00	
			Sr90	1.64E+02	6.63E+00	0.00E+00	6.63E+00	1.00E+00	
			Sr91	2.91E+07	9.77E-03	0.00E+00	9.77E-03	1.00E+00	
		Ba	Ba140	2.16E+05	9.61E-01	0.00E+00	9.61E-01	1.00E+00	
グループ 5 合計					8.48E+00	0.00E+00	8.48E+00	1.00E+00	
6	遷移族	Co	Co58	4.36E+05	5.44E-01	0.00E+00	5.44E-01	1.00E+00	
			Co60	1.77E+04	1.58E-02	0.00E+00	1.58E-02	1.00E+00	
			Mo	Mo99	1.63E+06	1.61E-01	0.00E+00	1.61E-01	1.00E+00
		Tc	Tc99m	4.48E+06	1.27E-02	0.00E+00	1.27E-02	1.00E+00	
			Ru	Ru103	1.07E+05	2.62E+00	0.00E+00	2.62E+00	1.00E+00
				Ru105	4.78E+07	9.48E-03	0.00E+00	9.48E-03	1.00E+00
		Ru106		1.97E+02	8.96E+00	0.00E+00	8.96E+00	1.00E+00	
		Rh	Rh105	1.16E+06	7.53E-02	0.00E+00	7.53E-02	1.00E+00	
			Rh105m	1.82E+09	6.92E-06	0.00E+00	6.92E-06	1.00E+00	
		Ag	Ag110m	7.99E+04	2.91E-03	0.00E+00	2.91E-03	1.00E+00	
			Ag111	3.58E+05	2.71E-02	0.00E+00	2.71E-02	1.00E+00	
		Cd	Cd115	1.77E+06	1.61E-03	0.00E+00	1.61E-03	1.00E+00	
			Cd115m	1.29E+05	5.02E-03	0.00E+00	5.02E-03	1.00E+00	
グループ 6 合計					1.24E+01	0.00E+00	1.24E+01	1.00E+00	

表 2.2.5-(3) 計算開始時における F P インベントリ (3 / 3)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	出力 (W/kg)	インベントリ (kg)					
					セル 1	セル 2	セル 1 + セル 2	初期値に 対する割合 (-)		
7	ランタノイド	Y	Y90	3.01E+06	2.05E-03	0.00E+00	2.05E-03	1.00E+00		
			Y91	8.86E+04	1.38E+00	0.00E+00	1.38E+00	1.00E+00		
			Y91m	1.37E+08	4.93E-04	0.00E+00	4.93E-04	1.00E+00		
		Zr	Zr95	1.09E+05	2.76E+00	0.00E+00	2.76E+00	1.00E+00		
			Zr97	1.01E+07	3.58E-02	0.00E+00	3.58E-02	1.00E+00		
		Nb	Nb95	1.88E+05	1.43E+00	0.00E+00	1.43E+00	1.00E+00		
			Nb95m	5.32E+05	1.89E-03	0.00E+00	1.89E-03	1.00E+00		
		La	La140	8.97E+06	1.27E-01	0.00E+00	1.27E-01	1.00E+00		
			La141	3.43E+07	1.27E-02	0.00E+00	1.27E-02	1.00E+00		
		Ce	Ce141	3.91E+04	2.49E+00	0.00E+00	2.49E+00	1.00E+00		
			Ce143	2.81E+06	8.92E-02	0.00E+00	8.92E-02	1.00E+00		
			Ce144	2.12E+03	9.88E+00	0.00E+00	9.88E+00	1.00E+00		
		Pr	Pr143	1.30E+05	8.78E-01	0.00E+00	8.78E-01	1.00E+00		
			Pr147	9.92E+08	2.64E-04	0.00E+00	2.64E-04	1.00E+00		
		Nd	Nd147	1.71E+05	3.56E-01	0.00E+00	3.56E-01	1.00E+00		
		グループ 7 合計					1.94E+01	0.00E+00	1.94E+01	1.00E+00
		8	燃料	Np	Np239	3.14E+05	5.71E+00	0.00E+00	5.71E+00	1.00E+00
Pu	Pu238				5.66E+02	2.37E+00	0.00E+00	2.37E+00	1.00E+00	
Pu	Pu239			1.94E+00	2.11E+03	0.00E+00	2.11E+03	1.00E+00		
	Pu240			7.08E+00	8.22E+02	0.00E+00	8.22E+02	1.00E+00		
	Pu241			4.27E+00	3.07E+02	0.00E+00	3.07E+02	1.00E+00		
	Pu242			1.16E-01	1.43E+02	0.00E+00	1.43E+02	1.00E+00		
	Am			Am241	1.14E+02	5.73E+01	0.00E+00	5.73E+01	1.00E+00	
				Am242	1.08E+06	1.40E-02	0.00E+00	1.40E-02	1.00E+00	
Cm	Cm242			1.22E+05	1.96E+00	0.00E+00	1.96E+00	1.00E+00		
	Cm244			2.84E+03	2.18E-01	0.00E+00	2.18E-01	1.00E+00		
グループ 8 合計					3.45E+03	0.00E+00	3.45E+03	1.00E+00		
合 計 値					3.51E+03	0.00E+00	3.51E+03	1.00E+00		

表 2.2.6 コンクリート関連初期条件 (基本ケース)

項 目	条 件	単 位	備 考	
コンクリート種類	硬質砂岩コンクリート		wt%	
	成 分	割 合		
	SiO ₂	0.749		
	TiO ₂	0.0		
	MnO	0.0		
	MgO	0.009		
	CaO	0.067		
	Na ₂ O	0.027		
	K ₂ O	0.026		
	Fe ₂ O ₃	0.0		
	Al ₂ O ₃	0.072		
	Cr ₂ O ₃	0.0		
	CO ₂	0.0		
	H ₂ O (自)	0.013		
H ₂ O (結)	0.037			
CaCO ₃	0.0			
MgCO ₃	0.0			
合 計	1.000			
コンクリート密度	2300.0	kg/m ³		
コンクリート内の鉄筋の質量比率	0.135	—		
コンクリート表面の浸食温度	1500.0	K		
コンクリート表面での放射率	0.6	—		
コンクリート質量	1.19508×10 ⁶	kg		
コンクリート初期温度	328.0	K		

表 2.2.7 キャビティ関連データ入力値 (基本ケース)

項 目	条 件	単 位	備 考
コンクリート浸食 遷移エネルギー	2.233×10^6	J/kg	* 1
コンクリート固化 温度	1350	K	
コンクリート液化 温度	1650	K	
射出線(ray)総数	50	本	
キャビティ形状	FLATCYL	—	円筒状
キャビティ内側 半径	5.25	m	
キャビティ外側 半径	7.25	m	
コーナ部半径	0.1	m	
キャビティ深さ	20.0	m	
床コンクリート 厚さ	6.0	m	
基底部の body point 数	10	—	
コーナ部の body point 数	10	—	

* 1 この値は実際の計算に使用されない。

2.3 VANESAモデルの入力データ

本作業では、デブリから生成・放出されるエアロゾルと、エアロゾルに付着して放出されるFPをVANESAモデルにより評価している。VANESAモデルの入力データについて以下にまとめる。

2.3.1 VANESAモデルの概要

VANESAモデルは、デブリ-コンクリート相互作用期間中のエアロゾルの放出とFPの放出を予測するためのモデルである。VANESAモデルで扱う24種類のエアロゾル要素を表2.3.1に示す。これらのエアロゾルに関して、各計算時刻毎の

- ① エアロゾルの発生質量
- ② エアロゾルの発生速度
- ③ エアロゾルサイズ
- ④ エアロゾルサイズの分布
- ⑤ エアロゾル密度

が計算される。また、水プールがある場合には、デブリ上の水プールによるエアロゾル除去を評価することができる。

VANESAモデルではエアロゾル発生機構に関して、蒸発によるエアロゾル発生と機械的な過程によるエアロゾル発生を考えている。機械的な過程によるエアロゾル発生では、デブリ表面でデブリ内部を上昇してきた気泡が破裂する際にエアロゾルが発生するとされる。この機械的な過程によるエアロゾル発生を考慮していることがVANESAモデルの特徴の1つである。

VANESAモデルのマニュアル⁽¹⁾によれば、VANESAモデルでは保守的な仮定が取り除かれており、現実的なFPとエアロゾル放出を予測することができる。従って、事故解析において、原子炉プラントや事故シーケンスの特異性が炉容器外でのFPとエアロゾル放出量に与える影響を評価することが可能である。

2.3.2 デブリ構成物質初期質量

VANESAモデルで適用した基本ケースのデブリ構成物質初期質量を表2.3.2に示す。この入力データはFPに関しては動燃殿技術資料⁽²⁾から、また安定性核種については動燃殿より提示の計算リストに基づいて作成したものである。VANESAモデルで適用したデブリ成分初期値入力データの作成方法、及び入力データ作成時に留意する点を以下に記す。

2.3.2.1 CORCON層入力データとの整合性

CONTAINでは、表2.3.2で示したようにVANESAモデルでデブリ構成物質の初期質量を入力する他に、INTERMのCORCON層の入力部でもデブリ構成物質初期質量を与える必要がある。表2.3.3にCONTAINのCORCON層の入力で扱うことのできる物質を示す。データの整合性の点から、CORCON層入力とVANESAモデル入力で重複する物質に関しては同一の初期質量を与えた。

2.3.2.2 安定性核種の扱い

VANESAのエアロゾルモデルを用いてデブリ-コンクリート相互作用に伴うトータルのエアロゾル生成量を正當に評価するためには、デブリ構成物質の初期質量に安定性核種を含んだ質量値を入力する必要がある。さきに表2.3.2で示したデブリ構成物質の初期質量は安定性核種

を含んだ質量値である。

2.3.2.3 要素のグルーピング

デブリ構成物質の初期質量を設定する際にVANESAのエアロゾル計算における要素のグルーピングを考慮する必要がある。要素のグルーピングとは、VANESAのエアロゾル計算において、挙動が類似した元素を一つのグループとして評価する手法である。表2.3.1に示したように、RbはCsに、Rh, Pd, TcはRuに、Y, Pr, Sm, NdはLaに、PuはCeにそれぞれグルーピングされる。この場合Rbを例にとると、入力したRbの質量はモル数に換算され、そのモル数分のCsがCsの入力した質量に加えられる。以下にグルーピングの具体的な例を示す。

(1) Cs (Rb) のグルーピング

入力データで与えたCsとRbの質量をモル数に変換し、両核種の合計モル数を算出した後に、合計モル数に相当するCsの質量を求める。これがRbをグルーピングしたときのCsの質量である（以下RbをグルーピングしたCsをCs'と表記する）。基本ケースにおけるRbのCsに対するグルーピングの具体例を下表に示す。下表に示すようにCs'の質量は90.24kgと計算される。従って、Csに対してFPをマッピングをする場合は、Csの初期質量は入力値の83.1kgでなく、Rbがグルーピングされた後の90.24kgを用いる必要がある。

	核種	初期質量 (kg)	原子量 (g/mol)	モル数 (mol)
グルーピング前	Cs	83.1	132.905	625.26
	Rb	4.59	85.47	53.70
グルーピング後	Cs'	90.24	132.905	678.96

次に、Cs'の質量をCs'IとCs'2Oに分配する。VANESAモデルでは、入力データで与えたIのモル数だけ、優先的にCs'Iが存在すると仮定する。従って、Cs'のモル数からIのモル数を差し引き、さらに0.5倍した値がCs'2Oのモル数となる。Iの質量を7.48kgとしたときのCs'のCs'IとCs'2Oへの分配具体例を下表に示す。

核種 (化合物)	モル数 (mol)	原子量又は分子量 (g/mol)	初期質量 (kg)	備考
I	58.95	126.904	7.48	
Cs'	678.96	132.905	90.24	
Cs'I	58.95	259.809	15.32	Cs' = 7.84(kg) I = 7.48(kg)
Cs'2O	310.01	281.809	87.36	Cs' = 82.40(kg) I = 4.60(kg)

(2) Ru (Rh, Pd, Tc) のグルーピング

Ru, Rh, Pd, Tcの質量をモル数に変換して合計モル数を算出する。この合計モル数をグルーピングされたRu (以下Ru' と表記する) のモル数としてRu' の初期質量を計算する。計算例を以下に示す。

	核種	初期質量 (kg)	原子量 (g/mol)	モル数 (mol)
グルーピング前	Ru	72.4	101.07	716.34
	Rh	18.6	102.905	180.75
	Pd	38.1	106.4	358.08
	Tc	18.3	98.	186.73
グルーピング後	Ru'	145.65	101.07	1441.1

上表のように、Ru' のモル数、及び質量は1441.1モル、145.65kgとなる。

(3) La (Y, Pr, Sm, Nd) のグルーピング

La, Y, Pr, Sm, Ndの場合は、Laにグルーピングされた後La₂O₃の質量に変換される。計算例を以下に示す。

	核種	初期質量 (kg)	原子量 (g/mol)	モル数 (mol)
グルーピング前	La	25.3	138.91	182.13
	Y	6.14	88.905	69.06
	Pr	22.6	140.907	160.39
	Sm	16.7	150.35	111.07
	Nd	66.3	144.34	459.33
グルーピング後	La'	136.41	138.91	981.98
	La' ₂ O ₃	159.97	325.818	490.99

上表のように、La' 及びLa'₂O₃の初期質量はそれぞれ136.41kg、159.97kgとなる。

(4) Ce (Pu) のグルーピング

Ce, Puの場合は、グルーピングされた後CeO₂の質量に変換される。計算例を以下に示す。

	核種	初期質量 (kg)	原子量 (g/mol)	モル数 (mol)
グルーピング前	Ce	55.8	140.12	398.2
	Pu	3494.	240.	14558.
グルーピング後	Ce'	2096.	140.12	14956.2
	Ce'O ₂	2574.	172.12	14956.2

上表のように、Ce'及びCe'O₂の初期質量はそれぞれ2096kg, 2574kgとなる。

(5) グルーピングとマッピング係数の関係

平成4年度作業の基本ケースでは、グルーピングされる元素 (Rb, Rh, Pd, Tc, Y, Pr, Sm, Nd, Pu) に関して、デブリ構成物質中の初期質量をゼロとして、各要素の初期質量とFPのマッピング係数間の整合性を採った。この場合Puを例にとると、デブリ構成物質中のPuの初期質量入力値をゼロとしても、PuをエアロゾルのCeO₂にマッピングさせることにより、エアロゾルCeO₂の放出に伴いマッピング係数の割合でPuが雰囲気中に放出される計算を行うことができる。

しかしながら、平成4年度作業の結果から、グルーピングされる核種のデブリ中の初期質量をゼロとした場合、グルーピングされる核種の質量をゼロとしない場合に比べて

- ① エアロゾルの発生量が過小評価となる
- ② FP放出量が増加する

ことがわかっている。上記②は、エアロゾル発生量がデブリ構成物質の初期質量の増減割合に必ずしも比例しないために起こる。そこで、今回の作業では、デブリ構成物質の初期質量としてグルーピングされる核種の初期質量をゼロとしないこととし、マッピング係数もこれに対応するものを使用した。基本ケースのFPのマッピング係数の算出方法については別途2.3.4で述べる。

表2.3.1 VANESAで扱われるエアロゾルの要素

No.	エアロゾル要素
1	Fe
2	Cr ₂ O ₃
3	Ni
4	Mo
5	Ru
6	Sn
7	Sb
8	Te
9	Ag
10	Mn
11	CaO
12	Al ₂ O ₃
13	Na ₂ O
14	K ₂ O
15	SiO ₂
16	UO ₂
17	ZrO ₂
18	Cs ₂ O
19	BaO
20	SrO
21	La ₂ O ₃
22	CeO ₂
23	Nb ₂ O ₅
24	CsI

表 2.3.2 基本ケース溶融デブリ成分初期値 (VANESA入力値)

No.	キーワード	記号	物質名	初期質量 (kg)	
1	CES	Cs	セシウム	83.1	
2	KRY	Kr	クリプトン	5.26	
3	SN	Sn	スズ	2.37	
4	ZR	Zr	ジルコニウム	56.4	
5	FEO	FeO	酸化鉄	0.0	
6	RB	Rb	ルビジウム	4.59	*1
7	RH	Rh	ロジウム	18.6	*2
8	CE	Ce	セリウム	55.8	
9	SM	Sm	サマリウム	16.7	*3
10	MN	Mn	マンガン	2408.9	
11	SB	Sb	アンチモン	1.02	
12	IOD	I	ヨウ素	7.48	
13	TE	Te	テルル	12.4	
14	RU	Ru	ルテニウム	72.4	
15	ZR02	ZrO ₂	酸化ジルコニウム	0.0	
16	MO	Mo	モリブデン	735.	
17	Y	Y	イットリウム	6.14	*3
18	PD	Pd	パラジウム	38.1	*2
19	PR	Pr	プラセオジウム	22.6	*3
20	PU	Pu	プルトニウム	3494.	*4
21	NI	Ni	ニッケル	14354.	
22	NB	Nb	ニオブ	1.41	
23	XEN	Xe	キセノン	93.2	
24	BA	Ba	バリウム	29.1	
25	UO2	UO ₂	二酸化ウラン	54801.2	
26	FE	Fe	鉄	86324.7	
27	SR	Sr	ストロンチウム	11.6	
28	TC	Tc	テクネチウム	18.3	*2
29	LA	La	ランタン	25.3	
30	ND	Nd	ネオジウム	66.3	*3
31	CR	Cr	クロム	20562.	
32	AG	Ag	銀	4.66	

- *1 Cs とグルーピング Cs(Rb)
 *2 Ru とグルーピング Ru(Rh, Pd, Tc)
 *3 La とグルーピング La(Y, Pr, Sm, Nd)
 *4 Ce とグルーピング Ce(Pu)

表 2.3.3 CORCON層に指定可能な核種

酸化物		金属
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	• Fe
TiO ₂	Al ₂ O ₃	• Cr
FeO	• UO ₂	• Ni
MnO	ZrO ₂	• Zr
MgO	Cr ₂ O ₃	• Mn
CaO	NiO	C
• SrO	Fe ₃ O ₄	Na
• BaO	Mn ₃ O ₄	
Li ₂ O	• PuO ₂	
Na ₂ O	K ₂ O	

• 印は基本ケースで質量を入力している核種を表す。

2.3.3 エアロゾルのマッピング

VANESAモデルにより、24種類のエアロゾルに関してデブリからの放出量が計算される。次のステップで、これらのエアロゾルは、CONTAIN本体で定義したエアロゾルにマッピングされてセルの各部や別のセルに運ばれる。このように、VANESAモデルでのエアロゾルをCONTAINのエアロゾルに関係づけることをエアロゾルのマッピングと言う。

CONTAINでは、エアロゾルの特性データとして、エアロゾルの粒径と密度を入力する。基本ケースでは、2つのエアロゾルUO2とH2Oを定義している。今回の作業では、VANESAで扱う24種類のエアロゾルを全部CONTAINのエアロゾルUO2にマッピングさせた。

2.3.4 FPのマッピング

VANESAモデルにより、デブリ-コンクリート相互作用時に放出されるエアロゾルの量が計算される。エアロゾルの放出に伴うFPの放出量を評価するためには、放出されたエアロゾルに対して、どれだけの割合で各FPが含まれているかを指定する必要がある。これをFPのマッピングと言う。基本ケースで適用したFPのマッピングオプション、及びFPのマッピング係数の算出方法を以下に示す。

2.3.4.1 FPのマッピングオプション

FPのマッピングオプションには、SIMPLEとDETAILの2つのオプションがある。SIMPLEオプションは、VANESAのエアロゾルをCONTAINのFPに1対1に対応させるものである。この場合、CONTAINで指定するFP名はVANESAのエアロゾル名(表2.3.1;プログラム内で設定)と同じでなければならない。今回の作業でベースとした入力データでは、詳細な崩壊チェーンを模擬するために、FPのネーミングとして実際の核種名に即したものをを用いており、IMPLEオプションの適用は不可である。

DETAILオプションを適用する場合には、SIMPLEオプションのようなFPのネーミングの制約はないが、CONTAINのFPをVANESAのエアロゾルにマッピングするためのマッピング係数を指定することが必要となる。マッピング係数は、VANESAモデルのエアロゾル発生量をCONTAINのFP放出量に換算する係数である。表2.3.4にCONTAINのFPとVANESAのエアロゾルとの対応関係を示す。表2.3.4に示すように、メタル成分とコンクリート成分のエアロゾルについては、FPのマッピングの対象外とした。基本ケースのFPのマッピング係数の算出については別途2.3.4.3で述べる。

2.3.4.2 CONTAINコードの崩壊チェーン上のFP名との関係

CONTAINコードで扱う崩壊チェーンは線形チェーンであり分岐は扱えないので、チェーンブロックを分解しインベントリを分配する必要がある。この過程において、崩壊チェーン上に同一のFP名が存在した場合、FPのマッピングは、線形チェーン上で最初に現れるFPのみに対して可能であり、2番目のFPにはマッピングされない。この問題をクリアするために、基本ケースでは、CONTAINのFPで名前が重複する核種に対して、核種名の最後にアルファベットを付加することにより崩壊チェーン上の核種を区別する方法を採った。例えば、Mo99の場合には、FP名をMo99A、Mo99Bとして区別した。

2.3.4.3 FPのマッピング係数の算出

FPのマッピング係数は、VANESAモデルにより放出されたエアロゾルに含まれるFPの割合を指定する係数である。

基本ケースではFPのマッピング係数（ f ）を次式により算出した。

$$f = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \quad (2.3.1)$$

ここで、 C_1 、 C_2 、及び C_3 は次のとおりである。

C_1 : マッピングするCONTAINのFP（同位体）の元素に対する割合

C_2 : マッピングするCONTAINのFPとマッピングされるVANESAのエアロゾルが異なる元素である場合の補正係数

C_3 : マッピングされるVANESAのエアロゾルが酸化物である場合の補正係数

C_1 、 C_2 、及び C_3 はCONTAINのFP（マッピングされる側）と、VANESAのエアロゾル（マッピングする側）の組合せにより表2.3.5のように分類される。以下に表2.3.5のケースNo. 2とケースNo. 4についてマッピング係数算出例を示す。

(1) Co58（表2.3.5のケースNo. 2に対応）

CONTAINのFP同位体Co58をVANESAのエアロゾルMoでマッピングする場合を考える。ここで、マッピングに関連する同位体、及び元素の初期質量は次のとおりである。

同位体または元素名	初期質量 (kg)
Mo (安定核種を含む)	7.35×10^2
Co (安定核種を含む)	6.09×10^{-1}
Co58	5.44×10^{-1}

以下に係数 C_1 、 C_2 、及び C_3 の算出例を示す。

$$C_1 = \frac{\text{Co58質量}}{\text{Co質量}} = \frac{5.44 \times 10^{-1}}{6.09 \times 10^{-1}} = 8.93 \times 10^{-1}$$

$$C_2 = \frac{\text{Co質量}}{\text{Mo質量}} = \frac{6.09 \times 10^{-1}}{7.35 \times 10^2} = 8.29 \times 10^{-4}$$

$$C_3 = 1.0$$

(2) Br83（表2.3.5のケースNo. 4に対応）

CONTAINのFP同位体Br83をVANESAのエアロゾルCsIでマッピングする場合を考える。ここで、マッピングに関連する同位体、及び元素の初期質量は次のとおりである。

同位体または元素名	初期質量 (kg)
Cs' (安定核種を含む) *1	9.024×10^1
Br (安定核種を含む)	2.285×10^{-1}
Br 83	2.98×10^{-4}

*1 RbをCsにグルーピング

以下に係数C1、C2、及びC3の算出例を示す。

$$C1 = \frac{\text{Br 83質量}}{\text{Br質量}} = \frac{2.98 \times 10^{-4}}{2.285 \times 10^{-1}} = 1.30 \times 10^{-3}$$

$$C2 = \frac{\text{Br質量}}{\text{Cs'質量}} = \frac{2.285 \times 10^{-1}}{9.024 \times 10^1} = 2.53 \times 10^{-3}$$

$$C3 = \frac{\text{Cs原子量}}{\text{CsI分子量}} = \frac{132.9}{259.8} = 5.12 \times 10^{-1}$$

上記の方法で算出した基本ケースのFPマッピング係数を表2.3.6-(1)～表2.3.6-(6)に示す。

2.3.5 その他のデータ

基本ケースでは、落下デブリを模擬するために、セル1のlower-cellに追加ホスト（ホスト名：LAYER2）を設定している。LAYER2の初期FP質量としては希ガスの質量のみを与え、そのほかのFPの初期質量はゼロとした。これは、エアロゾルの放出にVANESAモデルを適用した場合、VANESAによるエアロゾル放出に伴うFP放出量が、LAYER2内部に存在するFPの量にフィードバックされないためである。すなわち、LAYER2にFPの初期質量を与えて、かつ仮想的にFPの半減期を無限大とする計算を行うと、LAYER2中のFP質量に全く変化がないのにも関わらずセル1の雰囲気にFPが放出される計算を行う。このような矛盾を防ぐためにLAYER2の希ガス以外のFPの初期質量をゼロとしている。

表 2.3.4 VANESAエアロゾルとCONTAINのFPの対応

VANESA エアロゾル	マッピングさせる CONTAINのFP	備考
Fe Cr ₂ O ₃ Ni Mo Ru	マッピングなし 同上 同上 Mo、Co Ru、Rh、Tc	メタル成分 同上 同上
Sn Sb Te Ag Mn	Sn、In Sb Te Ag、Cd マッピングなし	メタル成分
CaO Al ₂ O ₃ Na ₂ O K ₂ O SiO ₂	同上 同上 同上 同上 同上	コンクリート成分 同上 同上 同上 同上
UO ₂ ZrO ₂ Cs ₂ O BaO SrO	同上 Zr Cs、Rb Ba Sr	*1
La ₂ O ₃ CeO ₂ Nb ₂ O ₅ CsI	La、Pr、Nd、Y Ce、Pu、Np、Am、Cm Nb I、Cs、Rb、Br	*1

*1 CsとRbはCs₂OとCsIの両方にマッピングする

表 2.3.5 FPのマッピング割合算出係数

	*1 CONTAIN核種	*2 VANESA要素	マッピング割合算出係数		
			C 1	C 2	C 3
1	A _i (元素Aの 同位体)	元素A	$\frac{A_i \text{初期質量}}{A \text{初期質量}}$	1.0	1.0
2		元素B	同上	$\frac{A \text{初期質量}}{B \text{初期質量}}$	同上
3		化合物A	同上	1.0	$\frac{A \text{原子量}}{A X \text{分子量}}$
4		化合物B	同上	$\frac{A \text{初期質量}}{B \text{初期質量}}$	$\frac{B \text{原子量}}{B X \text{分子量}}$

* 1 : マッピングされる側

* 2 : マッピングする側

表 2.3.6-(1) 基本ケース FPマッピング係数 (1/6)

核種 No.	核種	①	同位体	フィン No.	入力 No.	②	C 1	VANESA マッピング 核種 (化合物)	③	C 2	④	⑤	C 3	マッピング係数
		核種初期 質量 (kg)				初期質量 (kg)	② ①		初期質量 (kg)	① ③	核種質量 (g/mol)	化合物 分子量 (g/mol)	④ ⑤	C 1 * C 2 * C 3
1	Co	6.09E-01	Co58 Co60	1 2	1 2	5.44E-01 1.58E-02	8.93E-01 2.60E-02	Mo	Mo 7.35E+02	8.29E-04	—	—	1.00E+00	7.41E-04 2.16E-05
2	Br	2.28E-01	Br83 Br85 A Br85 B Br85 C Br87	3 4 5 6 7	3 5 7 10 12	2.98E-04 8.38E-06 2.24E-06 1.92E-08 4.01E-06	1.30E-03 3.67E-05 9.80E-06 8.39E-08 1.75E-05	CsI	I 7.48E+00	3.05E-02	Cs 126.9	CsI 259.8	4.88E-01	1.95E-05 5.47E-07 1.46E-07 1.25E-09 2.62E-07
3	Kr		Kr83m Kr85m Kr85m Kr85 Kr87 Kr88 Kr89 Kr90 Kr90 Kr90	3 4 5 5 7 8 9 10 11 12	4 6 8 9 13 14 15 18 22 27	2.28E-04 7.80E-04 2.09E-04 3.65E-01 4.82E-04 1.55E-03 3.07E-05 6.16E-07 2.80E-08 4.64E-06	—	—	—	—	—	—	—	
4	Rb	4.59E+00	Rb89 Rb90m A Rb90m B Rb90 A Rb86	9 10 11 11 13	16 19 23 24 31	1.92E-04 1.56E-05 7.01E-07 2.71E-05 1.93E-03	4.19E-05 3.40E-06 1.53E-07 5.90E-06 4.20E-04	Cs ₂ O	Cs' 9.03E+01	5.09E-02	2Cs 265.8	Cs ₂ O 281.8	9.43E-01	2.01E-06 1.63E-07 7.33E-09 2.83E-07 2.02E-05
4'	Rb	4.59E+00	Rb89 Rb90m A Rb90m B Rb90 A Rb86	9 10 11 11 13	16 19 23 24 31	1.92E-04 1.56E-05 7.01E-07 2.71E-05 1.93E-03	4.19E-05 3.40E-06 1.53E-07 5.90E-06 4.20E-04	CsI	Cs' 9.03E+01	5.09E-02	Cs 132.9	CsI 259.8	5.12E-01	1.09E-06 8.85E-08 3.97E-09 1.54E-07 1.09E-05

表 2.3.6-(2) 基本ケース FPマッピング係数 (2/6)

核種 No.	核種	①	同位体	核種 No.	入力 No.	②	C 1	VANESA マッピング 核種 (化合物)	③	C 2	④	⑤	C 3	マッピング係数	
		核種初期 質量 (kg)				初期質量 (kg)	② ①		初期質量 (kg)	① ③	核種質量 (g/mol)	化合物 分子量 (g/mol)	④ ⑤	C 1+C 2+C 3	
5	Sr	1.16E+01	Sr89	A	9	17	8.76E-01	7.58E-02	SrO	Sr	1.00E+00	Sr	SrO	8.46E-01	6.41E-02
			Sr90	A	10	20	6.63E+00	5.74E-01							4.85E-01
			Sr91	A	14	32	5.58E-03	4.83E-04							4.08E-04
			Sr91	B	15	35	4.19E-03	3.62E-04							3.06E-04
6	Y	6.14E+00	Y90	A	10	21	2.05E-03	3.34E-04	La ₂ O ₃	La'	4.50E-02	2La	La ₂ O ₃	8.53E-01	1.28E-05
			Y91m		14	33	4.93E-04	8.03E-05							3.08E-06
			Y91	A	14	34	1.38E+00	2.24E-01							8.60E-03
7	Zr	5.64E+01	Zr95	A	16	37	2.49E-02	4.40E-04	ZrO ₂	Zr	1.00E+00	Zr	ZrO ₂	7.40E-01	3.26E-04
			Zr95	B	17	40	2.73E+00	4.84E-02							3.58E-02
			Zr97		18	42	3.58E-02	6.35E-04							4.70E-04
8	Nb	1.41E+00	Nb95m		16	38	1.89E-03	1.34E-03	Nb ₂ O ₅	Nb	1.00E+00	2Nb	Nb ₂ O ₅	6.99E-01	9.38E-04
			Nb95	A	16	39	1.43E+00	1.01E+00							7.09E-01
9	Mo	7.35E+02	Mo99	A	19	43	1.61E-01	2.20E-04	Mo	Mo	1.00E+00	—	—	1.00E+00	2.20E-04
			Mo99	B	20	45	1.61E-07	2.20E-10							2.20E-10
10	Tc	1.83E+01	Tc99m		19	44	1.27E-02 7.24E+01	6.95E-04	Ru	Ru'	1.26E-01	—	—	1.00E+00	8.72E-05
11	Ru	7.24E+01	Ru103		21	46	2.62E+00	3.62E-02	Ru	Ru'	4.97E-01	—	—	1.00E+00	1.80E-02
			Ru105	A	22	47	2.60E-03	3.59E-05							1.78E-05
			Ru105	B	23	50	6.38E-03	9.50E-05							4.72E-05
			Ru106		24	52	8.96E+00	1.24E-01							6.15E-02
12	Rh	1.86E+01	Rh105m		22	48	6.92E-06	3.72E-07	Ru	Ru'	1.28E-01	—	—	1.00E+00	4.75E-08
			Rh105	A	22	49	7.53E-02	4.04E-03							5.17E-04

表 2.3.6-(3) 基本ケース FPマッピング係数 (3/6)

核種 No.	核種	①	同位体	f ₂₁₇ No.	入力 No.	②	C 1	VANESA マッピング 核種 (化合物)	③	C 2	④	⑤	C 3	マッピング係数
		核種初期 質量 (k g)				初期質量 (k g)	② ①		初期質量 (k g)	① ③	核種質量 (g/mol)	化合物 分子量 (g/mol)	④ ⑤	C 1 * C 2 * C 3
13	Ag	4.66E+00	Ag110m	25	53	2.91E-03	6.25E-04	Ag	Ag	1.00E+00	—	—	1.00E+00	6.25E-04
			Ag111	26	54	2.71E-02	5.82E-03							5.82E-03
14	Cd	2.71E+00	Cd115m	27	55	5.02E-03	1.85E-03	Ag	Ag	5.82E-01	—	—	1.00E+00	1.08E-03
			Cd115 A	28	56	1.01E-03	3.74E-04							2.17E-04
			Cd115 B	29	58	4.35E-04	1.60E-04							9.33E-05
15	In	2.40E-01	In115m	28	57	1.29E-04 2.37E+00	5.40E-04	Sn	Sn 2.37E+00	1.01E-01	—	—	1.00E+00	5.45E-05
16	Sn	2.37E+00	Sn123	30	59	5.20E-02	2.19E-02	Sn	Sn	1.00E+00	—	—	1.00E+00	2.19E-02
			Sn125	31	60	5.94E-03	2.50E-03							2.50E-03
17	Sb	1.02E+00	Sb127 A	32	61	3.14E-03	3.08E-03	Sb	Sb	1.00E+00	—	—	1.00E+00	3.08E-03
			Sb127 B	33	64	7.71E-05	7.58E-05							7.58E-05
			Sb127 C	34	66	1.98E-02	1.95E-02							1.95E-02
			Sb129 A	35	68	1.90E-04	1.87E-04							1.87E-04
			Sb129 B	36	71	1.02E-04	1.01E-04							1.01E-04
			Sb129 C	37	73	2.76E-03	2.71E-03							2.71E-03
			Sb131 A	38	75	1.85E-07	1.82E-07							1.82E-07
			Sb131 B	39	80	1.67E-05	1.64E-05							1.64E-05
			Sb131 C	40	84	6.50E-07	6.39E-07							6.39E-07
			Sb131 D	41	88	5.85E-05	5.75E-05							5.75E-05
			Sb131 E	42	91	6.38E-06	6.28E-06							6.28E-06
Sb131 F	43	95	5.73E-04	5.64E-04	5.64E-04									

表 2.3.6-(4) 基本ケース FPマッピング係数 (4/6)

核種 No.	核種	①	同位体	f:1% No.	入力 No.	②	C 1	VANESA マッピング 核種 (化合物)	③	C 2	④	⑤	C 3	マッピング係数 C 1 * C 2 * C 3
		核種初期 質量 (k g)				初期質量 (k g)	② ①		初期質量 (k g)	① ③	核種質量 (g/mol)	化合物 分子量 (g/mol)	④ ⑤	
18	Te	1.24E+01	Te127m A	32	62	8.85E-02	7.13E-03	Te	Te 1.24E+01	1.00E+00	—	—	1.00E+00	7.13E-03
			Te127 A	32	63	2.28E-03	1.84E-04							1.84E-04
			Te127m B	33	65	2.18E-03	1.75E-04							1.75E-04
			Te129m A	35	69	9.41E-02	7.58E-03							7.58E-03
			Te129 A	35	70	7.71E-04	6.21E-05							6.21E-05
			Te129m B	36	72	5.06E-02	4.08E-03							4.08E-03
			Te131m A	38	76	2.26E-05	1.82E-06							1.82E-06
			Te131 A	38	77	8.42E-06	6.79E-07							6.79E-07
			Te131m B	39	81	2.04E-03	1.64E-04							1.64E-04
			Te131 B	39	82	7.57E-04	6.10E-05							6.10E-05
			Te131m C	40	85	7.93E-05	6.39E-06							6.39E-06
			Te131m D	41	89	7.15E-03	5.76E-04							5.76E-04
			Te132	44	98	2.17E-01	1.75E-02							1.75E-02
			Te133m A	45	100	4.05E-06	3.27E-07							3.27E-07
			Te133 A	45	101	1.37E-05	1.10E-06							1.10E-06
			Te133m B	46	105	1.37E-04	1.10E-05							1.10E-05
			Te133 B	46	106	4.61E-04	3.72E-05							3.72E-05
			Te133m C	47	109	2.49E-06	2.00E-07							2.00E-07
			Te133m D	48	114	8.44E-05	6.81E-06							6.81E-06
			Te133m E	49	118	2.49E-05	2.00E-06							2.00E-06
Te133m F	50	122	8.33E-04	6.71E-05	6.71E-05									
Te134	51	125	2.02E-03	1.63E-04	1.63E-04									

表 2.3.6-(5) 基本ケース FPマッピング係数 (5 / 6)

核種 No.	核種	①	同位体	アイソトープ No.	入力 No.	② 初期質量 (kg)	C 1	VANESA マッピング 核種 (化合物)	③ 初期質量 (kg)	C 2	④ 核種質量 (g/mol)	⑤ 化合物 分子量 (g/mol)	C 3	マッピング係数 C 1 * C 2 * C 3	
		核種初期 質量 (kg)					② ①			① ③			④ ⑤		
19	I	7.48E+00	I131	A	38	78	4.46E-03	5.96E-04	CsI	I 7.48E+00	1.00E+00	I 126.9	CsI 259.8	4.88E-01	2.91E-04
			I131	B	39	83	4.01E-01	5.36E-02							2.62E-02
			I132		44	99	6.50E-03	8.68E-04							4.24E-04
			I133	A	45	102	2.18E-03	2.92E-04							1.42E-04
			I133	B	46	107	7.35E-02	9.82E-03							4.80E-03
			I133m	A	47	110	1.22E-08	1.63E-09							7.98E-10
			I133m	B	48	115	4.12E-07	5.51E-08							2.69E-08
			I134	A	51	126	3.43E-03	4.58E-04							2.24E-04
			I134m		52	127	3.14E-05	4.19E-06							2.05E-06
			I135	A	53	129	3.81E-03	4.82E-04							2.35E-04
			I135	B	54	132	1.44E-07	1.93E-08							9.40E-09
			I135	C	55	134	2.04E-02	2.72E-03							1.33E-03
20	Xe	9.32E+01	Xe131m		38	79	4.19E-03	1.87E-03	—	—	—	—	—	—	—
			Xe133m		45	103	2.93E-02	1.31E-02							
			Xe133		45	104	4.68E-01	2.09E-01							
			Xe135m		53	130	2.09E-04	9.31E-05							
			Xe135		53	131	3.70E-02	1.65E-02							
			Xe135m		54	133	8.36E-09	3.73E-09							
			Xe137		56	136	2.18E-04	9.74E-05							
			Xe138		57	138	6.36E-04	2.84E-04							
			Xe140		58	139	5.73E-06	2.56E-06							
21	Cs	8.31E+01	Cs137		56	137	2.67E+01	3.21E-01	Cs ₂ O	Cs' 9.03E+01	9.21E-01	2Cs 265.8	Cs ₂ O 281.8	9.43E-01	2.79E-01
			Cs140		58	140	5.06E-05	6.09E-07							5.29E-07
			Cs134m		59	143	2.35E-05	2.83E-07							2.46E-07
			Cs134		59	144	2.89E-01	3.48E-03							3.02E-03
			Cs136		60	145	4.35E-02	5.23E-04							4.54E-04
21'	Cs	8.31E+01	Cs137		56	137	2.67E+01	3.21E-01	CsI	Cs' 9.03E+01	9.21E-01	Cs 132.9	CsI 259.8	5.12E-01	1.51E-01
			Cs140		58	140	5.06E-05	6.09E-07							2.87E-07
			Cs134m		59	143	2.35E-05	2.83E-07							1.33E-07
			Cs134		59	144	2.89E-01	3.48E-03							1.64E-03
			Cs136		60	145	4.35E-02	5.23E-04							2.46E-04

表 2.3.6-(6) 基本ケース FPマッピング係数 (6/6)

核種 No.	核種	①	同位体	核種 No.	入力 No.	②	C 1	VANESA マッピング 核種 (化合物)	③	C 2	④	⑤	C 3	マッピング係数 C 1 * C 2 * C 3
		核種初期 質量 (kg)				初期質量 (kg)	② ①		初期質量 (kg)	① ③	核種質量 (g/mol)	化合物 分子量 (g/mol)	④ ⑤	
22	Ce	5.58E+01	Ce141 Ce143 Ce144	61 62 63	147 148 150	2.49E+00 8.92E-02 9.88E+00	4.46E-02 1.60E-03 1.77E-01	CeO ₂	Ce' 2.03E+02	2.75E-02	Ce 140.1	CeO ₂ 172.1	8.14E-01	9.97E-04 3.58E-05 3.96E-03
23	Ba	2.91E+01	Ba140	58	141	9.61E-01	3.30E-02	BaO	Ba 2.91E+01	1.00E+00	Ba 137.3	BaO 153.3	8.96E-01	2.96E-02
24	La	2.53E+01	La140 La141	58 61	142 146	1.27E-01 1.27E-02	5.04E-03 5.01E-04	La ₂ O ₃	La' 1.36E+02	1.86E-01	2La 277.8	La ₂ O ₃ 325.8	8.53E-01	7.97E-04 7.92E-05
25	Pr	2.26E+01	Pr143 Pr147	62 64	149 151	8.78E-01 2.64E-04	3.88E-02 1.17E-05	La ₂ O ₃	La' 1.36E+02	1.66E-01	2La 277.8	La ₂ O ₃ 325.8	8.53E-01	5.49E-03 1.65E-06
26	Nd	6.63E+01	Nd147	64	152	3.56E-01	5.37E-03	La ₂ O ₃	La' 1.36E+02	4.89E-01	2La 277.8	La ₂ O ₃ 325.8	8.53E-01	2.23E-03
27	Am	6.47E+01	Am242 A Am241 Am242 B	65 68 69	153 161 162	1.16E-02 5.73E+01 2.42E-03	1.79E-04 8.86E-01 3.74E-05	CeO ₂	Ce' 2.03E+03	3.19E-02	Ce 140.1	CeO ₂ 172.1	8.14E-01	4.64E-06 2.30E-02 9.70E-07
28	Cm	2.28E+00	Cm242 Cm244	65 67	154 158	1.96E+00 2.18E-01	8.57E-01 9.53E-02	CeO ₂	Ce' 2.03E+03	1.13E-03	Ce 140.1	CeO ₂ 172.1	8.14E-01	7.85E-04 8.73E-05
29	Pu	3.49E+03	Pu238 Pu239 Pu240 Pu241 Pu242	65 66 67 68 69	155 157 159 160 163	2.37E+00 2.11E+03 8.22E+02 3.07E+02 1.43E+02	6.79E-04 6.03E-01 2.35E-01 8.78E-02 4.10E-02	CeO ₂	Ce' 2.03E+03	1.72E+00	Ce 140.1	CeO ₂ 172.1	8.14E-01	9.52E-04 8.45E-01 3.30E-01 1.23E-01 5.75E-02
30	Np	9.61E+00	Np239	66	156	5.71E+00	5.94E-01	CeO ₂	Ce' 2.03E+03	4.74E-03	Ce 140.1	CeO ₂ 172.1	8.14E-01	2.29E-03

2.4 基本ケース計算結果

前節で作成した基本ケースの入力データを用いて解析時間6時間の計算を実施した。基本ケースの計算結果を以下に示す。

2.4.1 主要な計算結果

基本ケースの6時間後における主要項目の計算結果を表2.4.1に、6時間までのプロット図を図2.4.1～図2.4.23に示す。以下に計算値の時間に伴う変化について記す。

2.4.1.1 セル雰囲気温度

セル雰囲気温度を図2.4.1に示す。初期温度はセル1、セル2ともに328Kであり、セル1のナトリウムプールの初期温度は773Kである。500秒の時点では、セル1の雰囲気温度が554.3K、セル2の雰囲気温度が362.5Kであり、セル1の雰囲気温度がセル2よりも高い。この時点でセル1、セル2ともにその雰囲気温度が飽和温度に等しくなっている。また、セル1のナトリウムプール温度は784.8Kである。6時間後のセル雰囲気温度はセル1が690.5K、セル2が464.5Kである。

2.4.1.2 セル圧力

セル圧力を図2.4.2に示す。初期圧力はセル1が0.1034MPa、セル2が0.1018MPaである。セル圧力は時間経過に伴って上昇し、6時間後の圧力はセル1、2ともに0.1843MPaである。ここで、セル圧力が上昇するのはおもに H_2 のモル数の増加による。

2.4.1.3 雰囲気中の成分割合

セル雰囲気中の気体の成分割合を図2.4.3～図2.4.12に示す。各セルの気体成分割合の初期値は、セル1が N_2 :0.97、 O_2 :0.03、セル2が N_2 :0.79、 O_2 :0.21である。

(1) O_2 の割合 (図2.4.3)

各セルの雰囲気中の O_2 のモル分率は時間経過に伴い低下する。6時間後の O_2 のモル分率は、セル1が 1.4×10^{-4} 、セル2が0.166である。

(2) H_2 の割合 (図2.4.4)

セル1の雰囲気中の H_2 モル分率は、5000秒に0.946まで上昇した後、緩やかに低下し9000秒では0.939まで低下する。13000秒以降再び緩やかに上昇し6時間後には最大値0.947となる。セル2の雰囲気中の H_2 モル分率は、時間経過に伴い6時間後のセル2の雰囲気中の H_2 モル分率は0.163である。

(3) H₂Oの割合 (図2.4.5)

セル1の雰囲気中のH₂O(気体)モル分率は、2000秒で最大値0.061まで上昇した後降下し45000秒では0.034まで低下する。4500秒以降は12500秒まで上昇し、その後再び減少して、6時間後のセル1の雰囲気中のH₂Oモル分率は0.048である。セル2の雰囲気中のH₂O(気体)モル分率は、計算開始時点より単調に増大する。6時間後のセル2の雰囲気中のH₂Oモル分率は0.009である。

(4) CO₂の割合 (図2.4.6)

基本ケースのコンクリートは硬質砂岩であり成分にCO₂、CaCO₃、MgCO₃を含まない。従って、デブリーコンクリート相互作用の際にCO₂は発生しない。

(5) N₂の割合 (図2.4.7)

セル1のN₂割合は初期値0.97から急速に減少し5000秒には0.02以下となる。6時間後のセル1の雰囲気中のN₂モル分率は0.005である。セル2のN₂割合は初期値0.79から単調に減少する。6時間後のセル2の雰囲気中のN₂モル分率は0.009である。

2.4.1.4 雰囲気中の成分質量

(1) O₂の質量 (図2.4.8)

セル1の雰囲気中のO₂質量は、初期値の58.3kgから急速に減少し、5000秒には0.980kgとなる。6時間後のセル1のO₂質量は0.215kgである。セル2の雰囲気中のO₂質量は、初期値の7024kgから6時間後には7082kgに増大する。6時間後におけるセル2のO₂質量の増大量は58kgであり、セル1の初期O₂質量にほぼ等しい。このことから、初期状態でセル1に存在したO₂がほぼ全部セル2に移動したと考えられる。

(2) H₂の質量 (図2.4.9)

セル1の雰囲気中のH₂質量は、5000秒に最大値113kgまで上昇した後、緩やかに下降し、6時間後のセル1の雰囲気中のH₂質量は93.7kgである。セル2の雰囲気中のH₂質量は、単調に増大する。6時間後のセル2の雰囲気中のH₂質量は439kgである。

(3) H₂Oの質量 (図2.4.10)

セル1の雰囲気中のH₂O質量は、2100秒まで上昇し52.5kgに達した後、下降に転じ4000秒で35.4kgとなる。その後再び上昇し10500秒後に最大値53.7kgに達した後、緩やかに下降し、6時間後のセル1の雰囲気中のH₂O質量は42.5kgである。セル2の雰囲気中のH₂O(気体)質量は単調に増大し、6時間後のセル2の雰囲気中のH₂O質量は222kgである。

(4) CO₂の質量 (図2.4.11)

基本ケースのコンクリートは硬質砂岩であり成分にCO₂、CaCO₃、MgCO₃を含まない。従って、デブリーコンクリート相互作用の際にCO₂は発生しない。

(5) N₂の質量 (図 2.4.12)

セル1の雰囲気中のN₂質量は初期値の1649.1kgから急速に減少し、5000秒には28.4kgとなる。6時間後のセル1のN₂質量は6.25kgである。セル2の雰囲気中のN₂質量は、初期値の23130kgから6時間後には24780kgに増大する。6時間後におけるセル2のN₂質量の増大量は1650kgであり、セル1の初期N₂質量にほぼ等しい。このことから、初期状態でセル1に存在したN₂が全部セル2に移動したと考えられる。

2.4.1.5 セル間の流量

セル1からセル2への流量を図2.4.13に示す。流量は2000秒に最大値0.747kg/sとなった後減少する。6時間後の流量は0.005kg/sである。

2.4.1.6 コンクリート浸食による生成物質量

コンクリート浸食による生成物質量を図2.4.14に示す。コンクリート浸食による結果、6時間後にはH₂Oが264kg、H₂が533kgそれぞれ発生する。CO、CO₂、C、Zrは発生しない。

2.4.1.7 デブリ温度

デブリ温度を図2.4.15に示す。6時間後の各層の温度は、軽い酸化物層が1511.6K、金属層が1509.9Kである。

2.4.1.8 デブリ密度

デブリ密度を図2.4.16に示す。時刻1790秒でデブリ中の重い酸化物層の密度が金属層の密度よりも小さくなり金属層がデブリの最下端層となる。同時に重い酸化物層は軽い酸化物層に吸収される。従って、層の逆転以降の酸化物層はすべて軽い酸化物層となる。6時間後のデブリ密度は、軽い酸化物層が3402kg/m³、金属層が7191kg/m³である。

2.4.1.9 デブリ質量

デブリ質量を図2.4.17に示す。酸化物層質量は初期値59.35tから6時間後には127.6tに増大する。ここで、6時間後の酸化物層はすべて軽い酸化物層である。金属層質量は初期値の123.9tに対して6時間後は127.6tとなる。金属層の初期状態と6時間後の成分質量は次のとおりである。金属層質量が増大する理由はコンクリート内の鉄筋のFeが析出することによる。

成分	初期状態 (kg)	6時間後 (kg)
Fe	86325	99583
Cr	20562	12601
Ni	14354	14354
Zr	56	0
Mn	2409	872
FPM*1	187	187
合計	123893	127597

*1 核分裂生成物金属成分

2.4.1.10 キャビティ形状

キャビティの径方向寸法と鉛直方向寸法をそれぞれ図2.4.18及び図2.4.19に示す。6時間後のコンクリート浸食深さ最大値は、鉛直方向46.3cm、径方向10.1cmである。このときのコンクリート浸食体積は42.4m³である。

2.4.1.11 エアロゾル濃度

各セルのエアロゾルUO₂とNaLの濃度をそれぞれ図2.4.20及び図2.4.21に示す。

(1) エアロゾルUO₂ (図2.4.20)

6時間後の各セルの雰囲気中のエアロゾルUO₂の濃度は、セル1が $8.78 \times 10^{-5} \text{g/m}^3$ 、セル2が $1.97 \times 10^{-3} \text{g/m}^3$ である。これに対応する質量は、セル1が $1.34 \times 10^{-4} \text{kg}$ 、セル2が $5.52 \times 10^{-2} \text{kg}$ である。

(2) エアロゾルNaL (図2.4.21)

6時間後のエアロゾルNaLの濃度は、セル1が 60.5g/m^3 、セル2が 1.80g/m^3 である。これに対応する質量は、セル1が92.3kg、セル2が50.3kgである。

2.4.1.12 エアロゾル沈澱量

各セルのエアロゾル UO_2 とNaLの合計沈澱量を図2.4.2.2に示す。6時間後の沈澱量はセル1が225.0kg、セル2が0.15kgである。6時間後の沈澱量の内訳は次のとおりである。

	沈澱量 (kg)			
	セル1		セル2	
	UO_2	NaL	UO_2	NaL
天井	1.89×10^{-4}	6.77×10^{-6}	2.43×10^{-4}	7.85×10^{-6}
壁	5.38×10^{-3}	4.33×10^{-5}	1.34×10^{-2}	2.40×10^{-3}
床 + プール	2.24×10^2	6.22×10^{-1}	8.90×10^{-2}	4.97×10^{-2}
合計	2.24×10^2	6.22×10^{-1}	1.03×10^{-1}	5.21×10^{-2}

2.4.1.13 構造物温度

各セルの構造物温度を図2.4.2.3に示す。6時間後の壁の内側表面温度はセル1が729.3K、セル2は397.2Kである。また、6時間後のセル1の天井の内側表面温度は643.1Kである。

2.4.1.14 その他

(1) ナトリウムプール

6時間後のナトリウムプールの深さは10.85mであり初期値の10.0mから85cm上昇する。また、ナトリウムプールの質量は初期値720.9tから720.7tに減少する。6時間後のナトリウムプール温度は1045.24Kである。

表 2.4.1 基本ケース 計算結果 (6 時間後)

項目		セル 1	セル 2	備考
デブリ層の逆転時刻 (s)		1790	—	
酸化物層温度 (K)		1511.6		
金属層温度 (K)		1509.9		
プール温度 (K)		1045.24		
プール深さ (m)		10.85		
コンクリート 浸食深さ (cm)	径方向	10.1		コンクリート浸食 体積 42.4m ³
	軸方向	46.3		
セル雰囲気温度 (K)		690.5	464.5	
セル圧力 (MPa)		0.184	0.184	
CO ₂ ガス発生質量 (kg)		0.0	—	
H ₂ O ガス発生質量 (kg)		264.0		
CO ガス発生質量 (kg)		0.0		
H ₂ ガス発生質量 (kg)		533.2		
雰囲気中の H ₂ 質量 (kg)		93.5	439.6	
エアロゾル発生質量*1 (kg)		224.5	—	*1 ホスト U02
エアロゾル濃度*1 (kg/m ³)		8.8×10 ⁻⁶	2.0×10 ⁻⁶	*1 ホスト U02
エアロゾル 質量*1 (kg)	雰囲気中 天井に付着 壁に付着 床 + プール	1.3×10 ⁻⁴ 1.9×10 ⁻⁴ 5.4×10 ⁻³ 224.4	5.5×10 ⁻² 2.4×10 ⁻⁴ 1.4×10 ⁻⁸ 8.9×10 ⁻²	*1 ホスト U02
	計算メッシュ範囲 から逸脱	2.8×10 ⁻²	3.2×10 ⁻⁸	
雰囲気とプール中 の F P イソトプ (初期にデブリに 含まれる F P イソトプに対す る割合*2)	グループ 1	3.67×10 ⁻³	1.00	希ガス ハロゲン アルカリ金属 テルル・アンチモン アルカリ土類 遷移族 ランタノイド 燃料
	グループ 2	1.00	3.86×10 ⁻⁴	
	グループ 3	1.00	7.53×10 ⁻⁴	
	グループ 4	4.95×10 ⁻²	3.47×10 ⁻⁵	
	グループ 5	1.14×10 ⁻³	5.79×10 ⁻⁷	
	グループ 6	3.70×10 ⁻⁵	2.25×10 ⁻⁸	
	グループ 7	8.10×10 ⁻⁴	4.12×10 ⁻⁷	
	グループ 8	5.99×10 ⁻⁴	3.21×10 ⁻⁷	
*2 質量比	全元素	8.47×10 ⁻³	2.64×10 ⁻⁴	

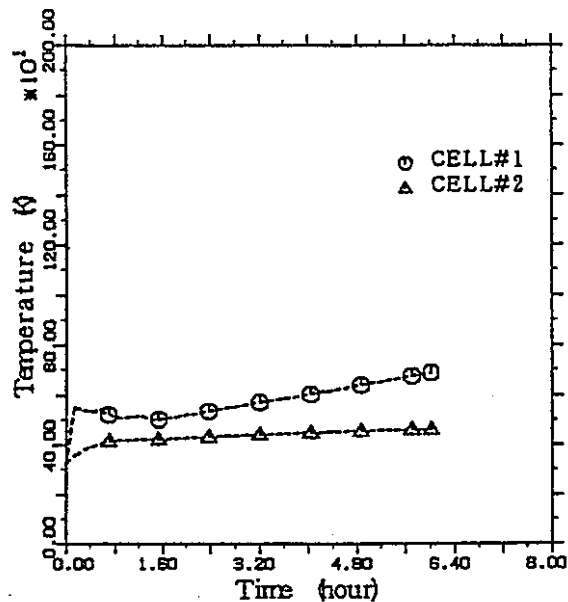


図2.4.1 セル雰囲気温度
(基本ケース)

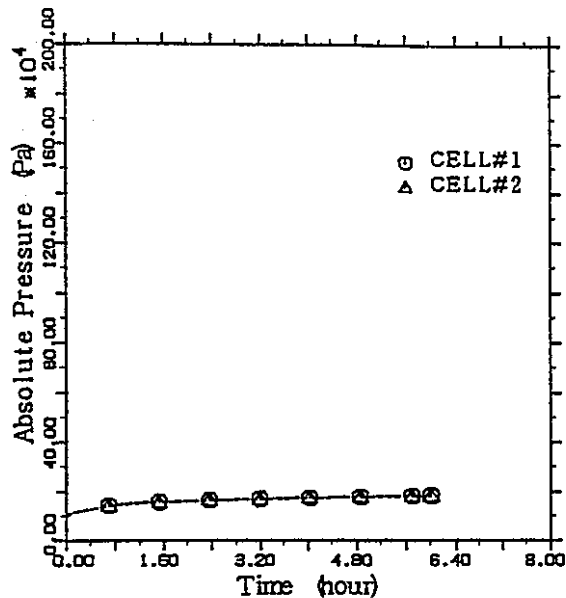


図2.4.2 セル圧力
(基本ケース)

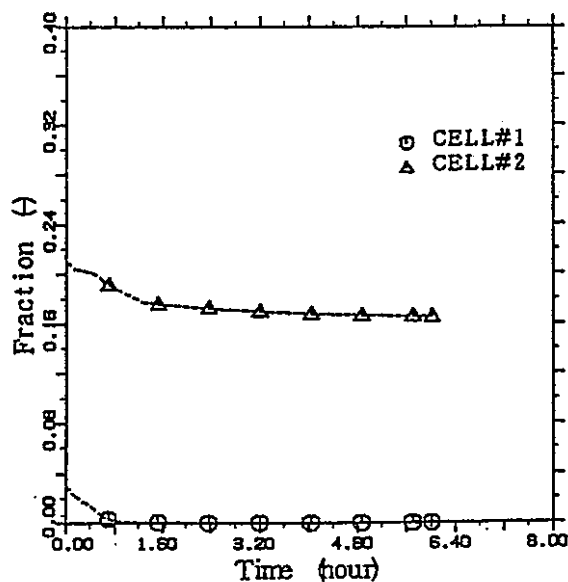


図2.4.3 雰囲気中のO2モル分率
(基本ケース)

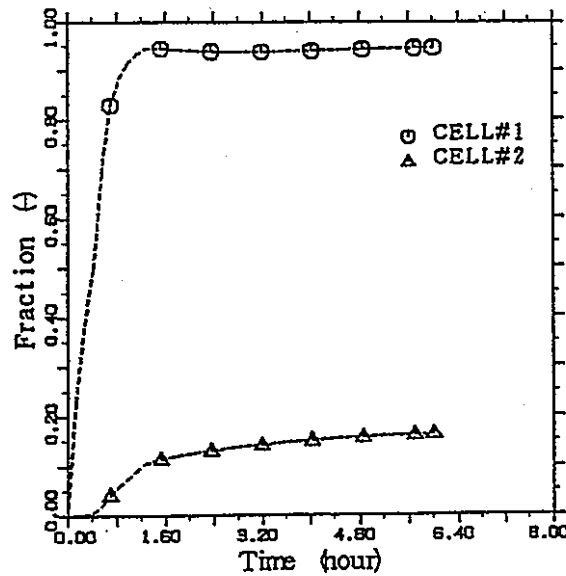


図2.4.4 雰囲気中のH2モル分率
(基本ケース)

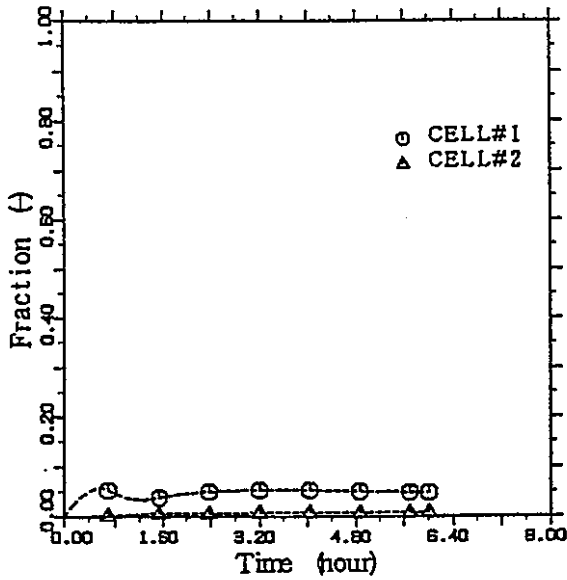


図2.4.5 霧囲気中のH₂Oモル分率
(基本ケース)

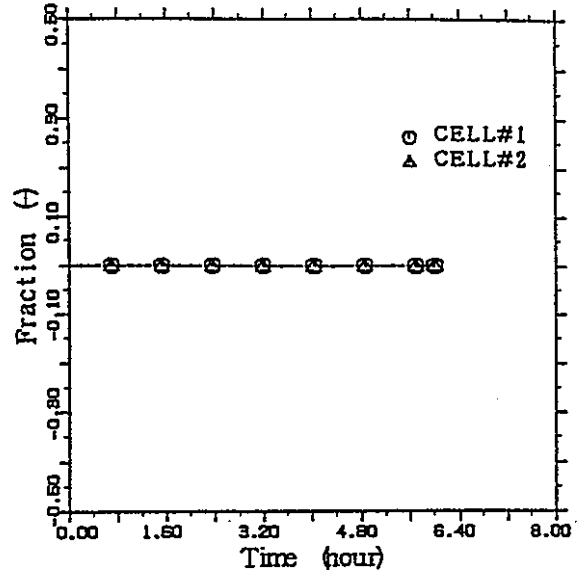


図2.4.6 霧囲気中のCO₂モル分率
(基本ケース)

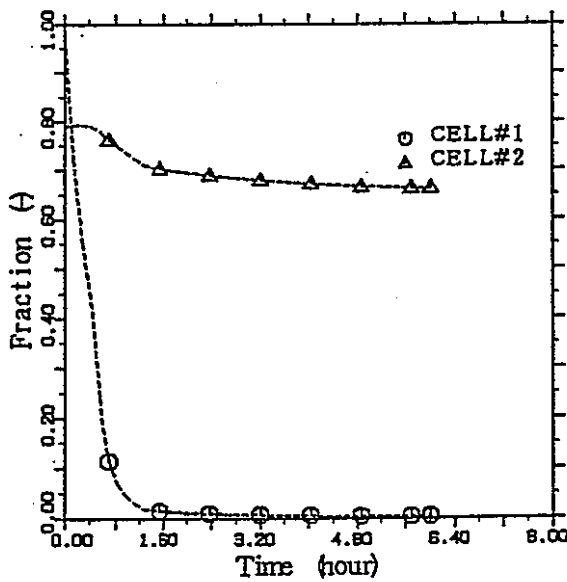


図2.4.7 霧囲気中のN₂モル分率
(基本ケース)

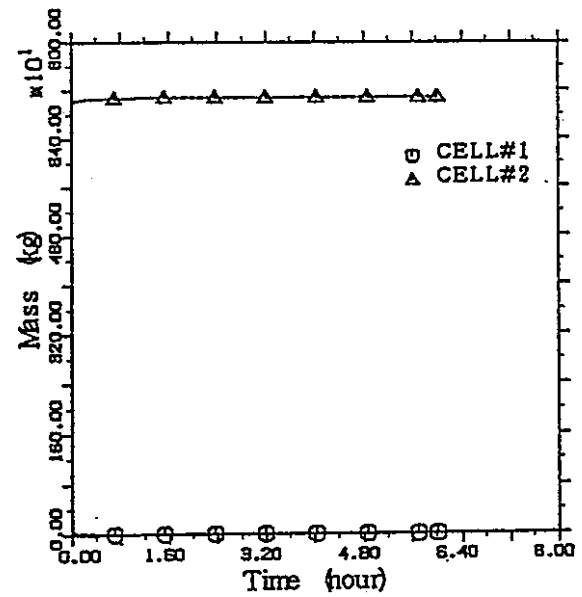


図2.4.8 霧囲気中のO₂質量
(基本ケース)

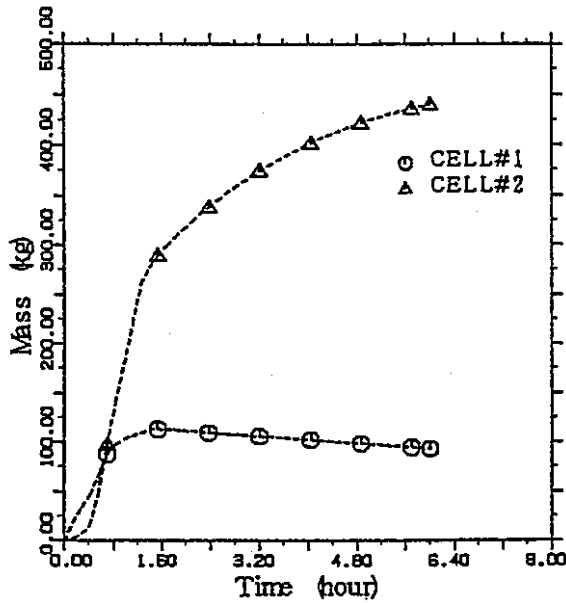


図2.4.9 霧囲気中のH₂質量
(基本ケース)

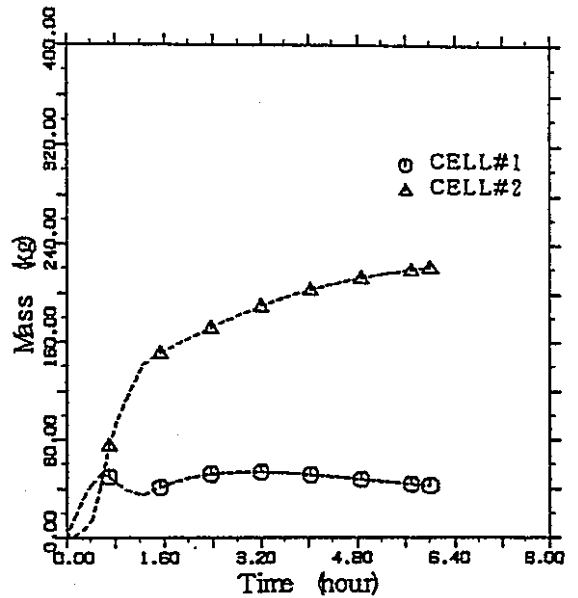


図2.4.10 霧囲気中のH₂O質量
(基本ケース)

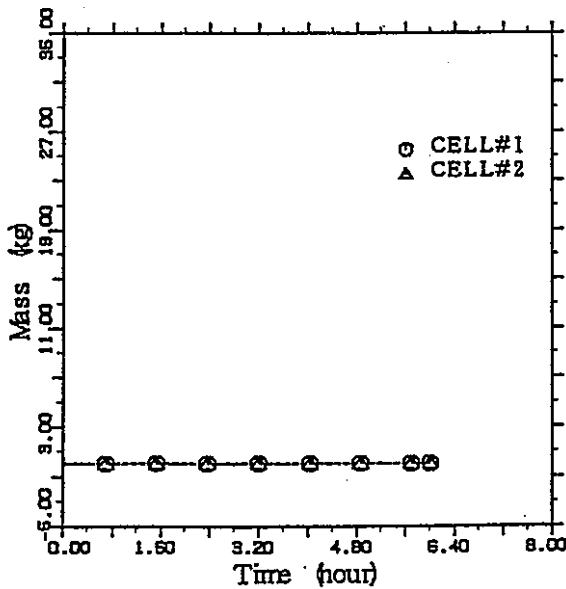


図2.4.11 霧囲気中のCO₂質量
(基本ケース)

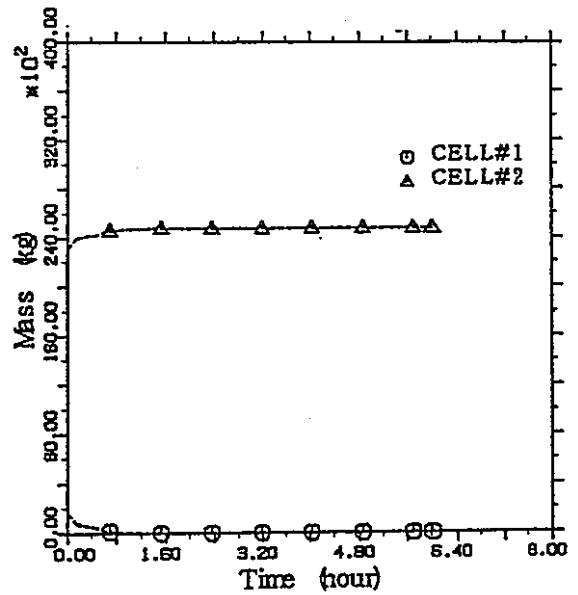


図2.4.12 霧囲気中のN₂質量
(基本ケース)

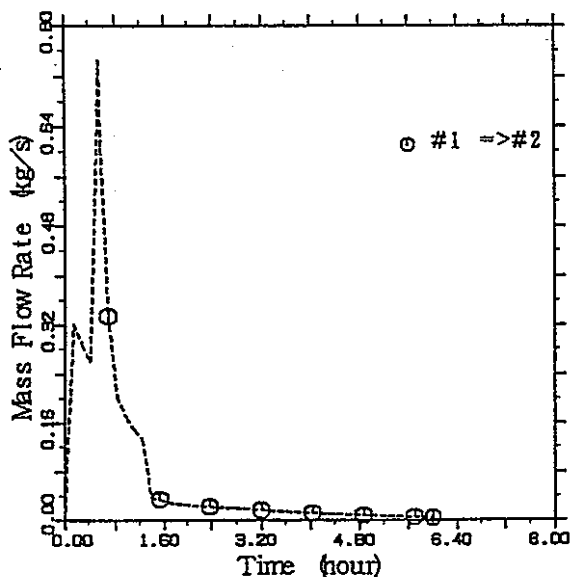


図2.4.13 セル間の流量
(基本ケース)

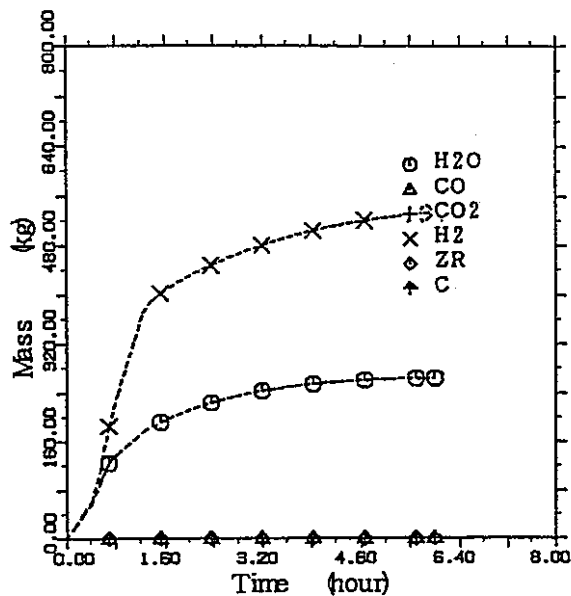


図2.4.14 コンクリート浸食による生成物の質量
(基本ケース)

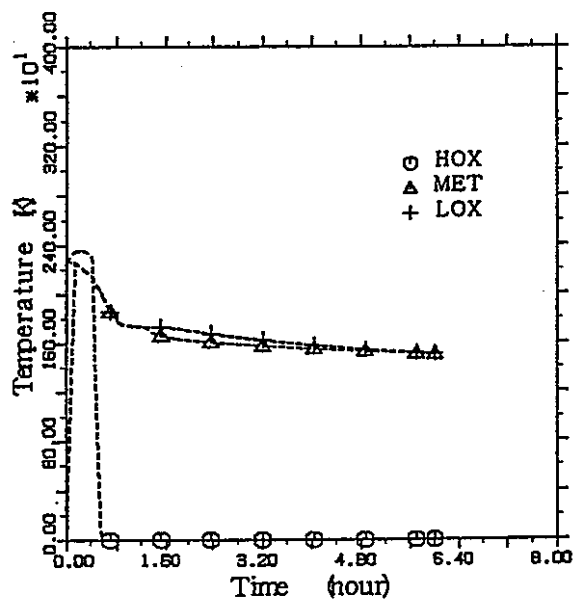


図2.4.15 デブリ層温度
(基本ケース)

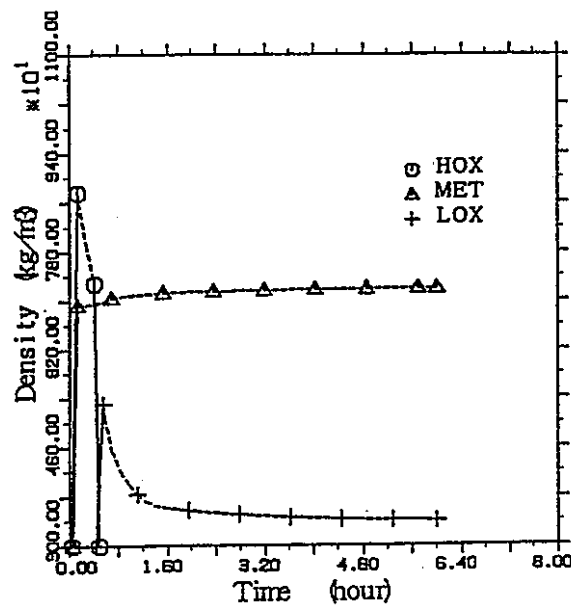


図2.4.16 デブリ層密度
(基本ケース)

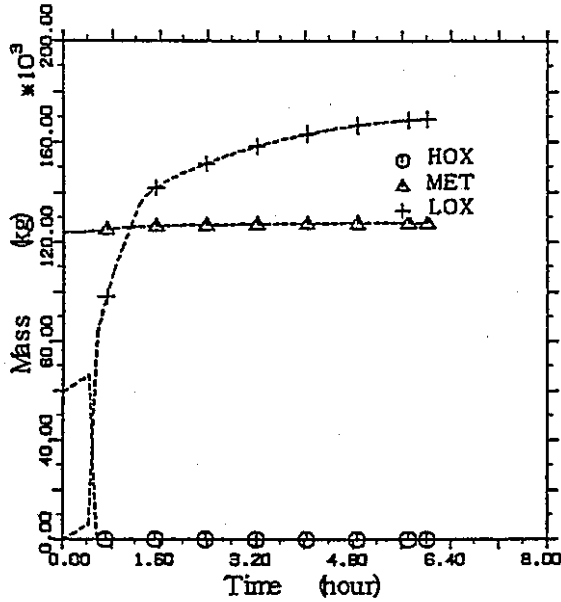


図2.4.17 デブリ層質量
(基本ケース)

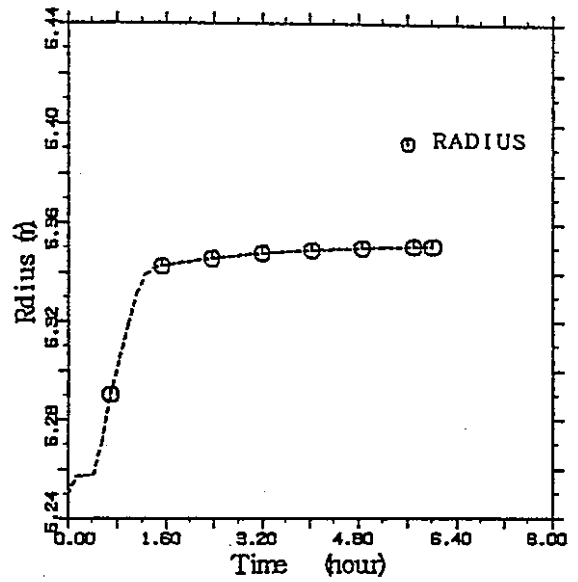


図2.4.18 キャビティの系方向寸法
(基本ケース)

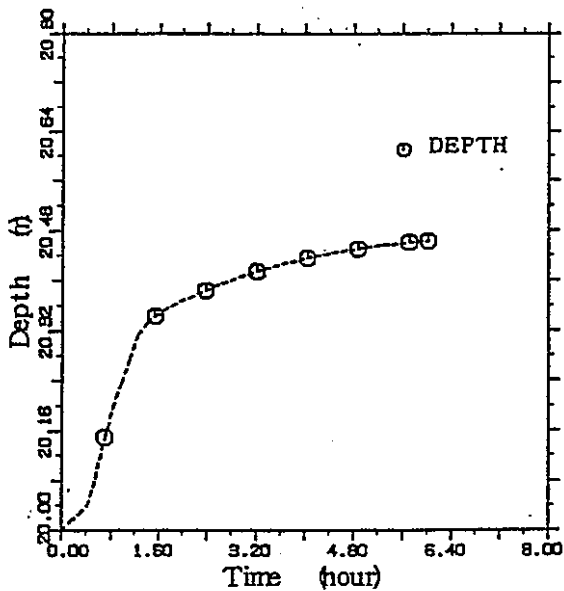


図2.4.19 キャビティの鉛直方向寸法
(基本ケース)

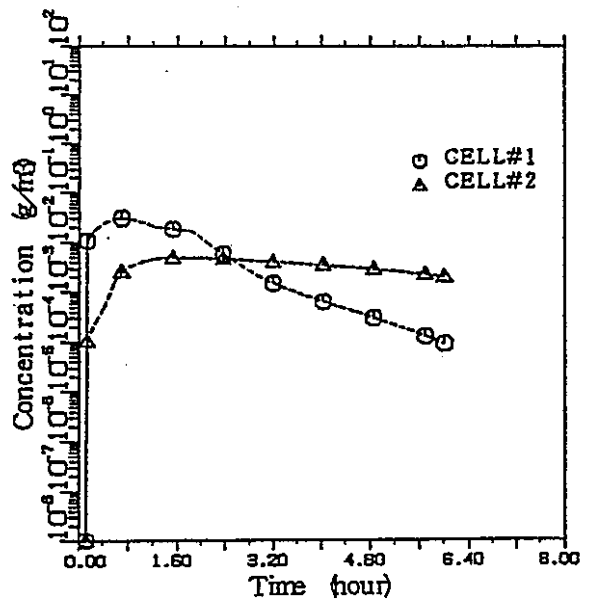


図2.4.20 エアロゾルUO₂の濃度
(基本ケース)

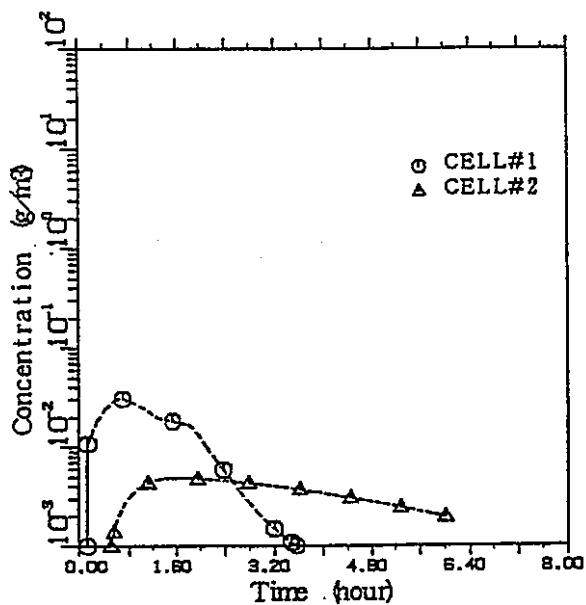


図2.4.21 エアロゾルNaLの濃度
(基本ケース)

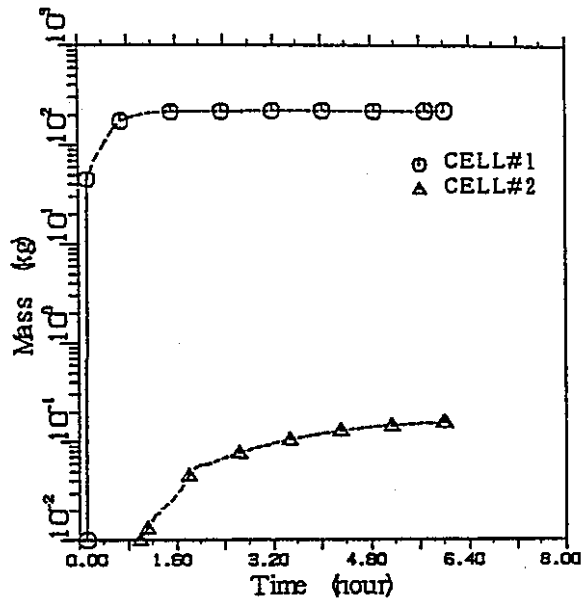


図2.4.22 エアロゾルの析出量
(基本ケース)

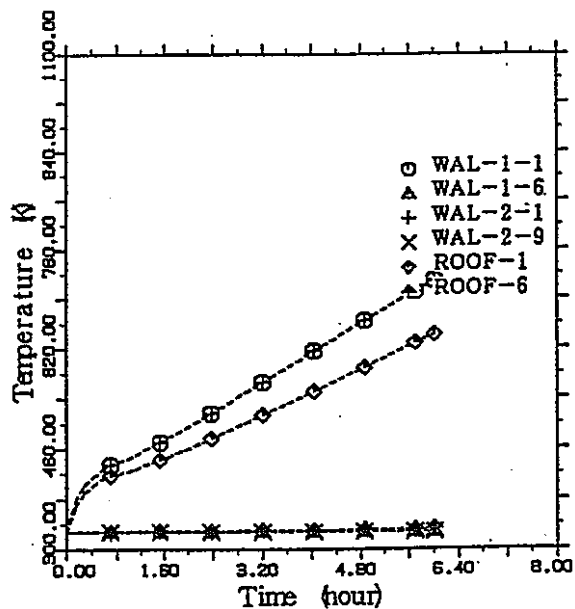


図2.4.23 構造物温度
(基本ケース)

2.5 FP質量

2.5.1 FP質量

初期状態においてセル1のデブリに存在するFPは、以下の2種類の方法によりデブリから放出される。

- ・希ガス : デブリから直接セル1の雰囲気へ放出
- ・希ガス以外 : デブリ-コンクリート相互作用によりエアロゾルとしてナトリウムプールへ放出

放出されたFPに関して、6時間後に各セルのプール、雰囲気、及び構造物表面に存在するFP質量の初期値に対する割合を表2.5.1-(1)~表2.5.1-(3)に示す。希ガス、ハロゲン及びアルカリ金属の各グループについては、6時間後には初期状態でデブリに存在したFPのほぼ100%が放出されている。他のグループのFPの初期値に対する放出割合は次のとおりである。

- ・テルル・アンチモン : 4.95×10^{-2}
- ・アルカリ土類 : 1.14×10^{-3}
- ・遷移族 : 3.71×10^{-6}
- ・ランタノイド : 8.10×10^{-4}
- ・燃料 : 5.99×10^{-4}

セル1とセル2間のFP質量の分配に関しては、希ガスの多くがセル2に移動するが、希ガス以外のグループのFPはセル1のナトリウムプールに留まる割合が多く、セル2のFP質量はセル1の3%程度である。

表 2.5.1-(1) FPのインベントリ (1/3) (基本ケース: 6時間後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)					
					セル1	セル2	セル1 + セル2	初期値に 対する割合 (-)		
1	希ガス	Kr	Kr8m	1.00E+22	8.37E-07	2.27E-04	2.28E-04	1.00E+00		
			Kr85	1.00E+22	1.34E-03	3.64E-01	3.65E-01	1.00E+00		
			Kr85m	1.00E+22	3.63E-06	9.85E-04	9.89E-04	1.00E+00		
			Kr87	1.00E+22	1.77E-06	4.80E-04	4.82E-04	1.00E+00		
			Kr88	1.00E+22	5.69E-06	1.54E-03	1.55E-03	1.00E+00		
			Kr89	1.00E+22	1.13E-07	3.06E-05	3.07E-05	1.00E+00		
			Kr90	1.00E+22	1.94E-08	5.26E-06	5.28E-06	1.00E+00		
			Xe	Xe131m	1.00E+22	1.54E-05	4.17E-03	4.19E-03	1.00E+00	
				Xe133	1.00E+22	1.72E-03	4.66E-01	4.68E-01	1.00E+00	
		Xe133m		1.00E+22	1.08E-04	2.92E-02	2.93E-02	1.00E+00		
		Xe135		1.00E+22	1.36E-04	3.69E-02	3.70E-02	1.00E+00		
		Xe135m		1.00E+22	7.67E-07	2.08E-04	2.09E-04	1.00E+00		
		Xe137		1.00E+22	8.00E-07	2.17E-04	2.18E-04	1.00E+00		
		Xe138		1.00E+22	2.33E-06	6.34E-04	6.36E-04	1.00E+00		
		Xe140		1.00E+22	2.10E-08	5.71E-06	5.73E-06	1.00E+00		
		グループ1 合計					3.33E-03	9.05E-01	9.08E-01	1.00E+00
		2	ハロゲン	Br	Br83	1.00E+22	3.00E-04	1.16E-07	3.00E-04	1.00E+00
Br85	1.00E+22				1.07E-05	4.11E-09	1.07E-05	1.00E+00		
Br87	1.00E+22				4.03E-06	1.55E-09	4.03E-06	9.83E-01		
I	I131				1.00E+22	4.07E-01	1.57E-04	4.07E-01	1.00E+00	
	I132				1.00E+22	6.52E-03	2.51E-06	6.52E-03	1.00E+00	
	I133				1.00E+22	7.60E-02	2.93E-05	7.60E-02	1.00E+00	
	I133m			1.00E+22	4.26E-07	1.64E-10	4.26E-07	1.00E+00		
	I134			1.00E+22	3.44E-03	1.33E-06	3.44E-03	1.00E+00		
	I134m			1.00E+22	3.15E-05	1.22E-08	3.15E-05	9.85E-01		
I135	1.00E+22			2.41E-02	9.28E-06	2.41E-02	1.00E+00			
グループ2 合計					5.18E-01	2.00E-04	5.18E-01	1.00E+00		
3	7族金属			Rb	Rb86	1.00E+22	1.93E-03	1.46E-06	1.94E-03	1.00E+00
		Rb89	1.00E+22		1.93E-04	1.45E-07	1.93E-04	1.00E+00		
		Rb90	1.00E+22		2.71E-05	2.04E-08	2.71E-05	1.00E+00		
		Rb90m	1.00E+22		1.63E-05	1.23E-08	1.63E-05	1.00E+00		
		Cs	Cs134	1.00E+22	2.89E-01	2.18E-04	2.90E-01	1.00E+00		
			Cs134m	1.00E+22	2.36E-05	1.78E-08	2.36E-05	1.00E+00		
			Cs136	1.00E+22	4.35E-02	3.28E-05	4.35E-02	1.00E+00		
			Cs137	1.00E+22	2.67E+01	2.01E-02	2.67E+01	1.00E+00		
			Cs140	1.00E+22	5.07E-05	3.82E-08	5.07E-05	1.00E+00		
			グループ3 合計					2.71E+01	2.04E-02	2.71E+01

表 2.5.1-(2) FPのインベントリ (2/3) (基本ケース: 6時間後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)				
					セル 1	セル 2	セル 1 + セル 2	初期値に 対する割合 (-)	
4	テルル アンチモン	In	In115m	1.00E+22	4.79E-07	2.88E-10	4.79E-07	3.71E-03	
			Sn	Sn123	1.00E+22	1.92E-04	1.16E-07	1.92E-04	3.70E-03
				Sn125	1.00E+22	2.20E-05	1.32E-08	2.20E-05	3.70E-03
		Sb	Sb127	1.00E+22	2.30E-06	1.48E-09	2.30E-06	9.95E-05	
			Sb129	1.00E+22	3.04E-07	1.96E-10	3.04E-07	9.97E-05	
			Sb131	1.00E+22	6.54E-08	4.22E-11	6.54E-08	1.00E-04	
		Te	Te127	1.00E+22	1.32E-04	9.26E-08	1.32E-04	5.81E-02	
			Te127m	1.00E+22	5.25E-03	3.68E-06	5.26E-03	5.80E-02	
			Te129	1.00E+22	4.47E-05	3.12E-08	4.47E-05	5.80E-02	
			Te129m	1.00E+22	8.38E-03	5.87E-06	8.39E-03	5.79E-02	
			Te131	1.00E+22	4.44E-05	3.10E-08	4.44E-05	5.79E-02	
			Te131m	1.00E+22	5.38E-04	3.77E-07	5.38E-04	5.81E-02	
		Te132	1.00E+22	1.26E-02	8.81E-06	1.26E-02	5.80E-02		
		Te133	1.00E+22	2.75E-05	1.93E-08	2.76E-05	5.80E-02		
		Te133m	1.00E+22	6.29E-05	4.40E-08	6.29E-05	5.77E-02		
Te134	1.00E+22	1.17E-04	8.20E-08	1.17E-04	5.81E-02				
グループ 4 合計					2.74E-02	1.92E-05	2.74E-02	4.95E-02	
5	7カリ土類	Sr	Sr89	1.00E+22	7.15E-04	3.35E-07	7.15E-04	8.17E-04	
			Sr90	1.00E+22	5.41E-03	2.53E-06	5.41E-03	8.16E-04	
			Sr91	1.00E+22	7.96E-06	3.73E-09	7.97E-06	8.16E-04	
		Ba	Ba140	1.00E+22	3.50E-03	2.03E-06	3.51E-03	3.65E-03	
グループ 5 合計					9.64E-03	4.90E-06	9.64E-03	1.14E-03	
6	遷移族	Co	Co58	1.00E+22	3.05E-07	1.70E-10	3.05E-07	5.61E-07	
			Co60	1.00E+22	8.89E-09	4.96E-12	8.90E-09	5.63E-07	
		Mo	Mo99	1.00E+22	9.06E-08	5.06E-11	9.06E-08	5.63E-07	
			Tc	Tc99m	1.00E+22	9.24E-11	5.10E-14	9.25E-11	7.28E-09
		Ru	Ru103	1.00E+22	1.91E-08	1.05E-11	1.91E-08	7.29E-09	
			Ru105	1.00E+22	6.89E-11	3.80E-14	6.89E-11	7.27E-09	
			Ru106	1.00E+22	6.52E-08	3.59E-11	6.52E-08	7.28E-09	
		Rh	Rh105	1.00E+22	5.48E-10	3.02E-13	5.48E-10	7.28E-09	
			Rh105m	1.00E+22	5.03E-14	2.78E-17	5.04E-14	7.28E-09	
		Ag	Ag110m	1.00E+22	3.67E-05	2.24E-08	3.67E-05	1.26E-02	
			Ag111	1.00E+22	3.42E-04	2.08E-07	3.42E-04	1.26E-02	
Cd	Cd115	1.00E+22	1.82E-05	1.11E-08	1.82E-05	1.13E-02			
	Cd115m	1.00E+22	6.34E-05	3.86E-08	6.34E-05	1.26E-02			
グループ 6 合計					4.60E-04	2.80E-07	4.61E-04	3.71E-05	

表 2.5.1-(3) FPのインベントリ (3/3) (基本ケース: 6時間後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)				
					セル 1	セル 2	セル 1 + セル 2	初期値に 対する割合 (-)	
7	ランタノイド	Y	Y90	1.00E+22	2.26E-07	1.18E-10	2.27E-07	1.11E-04	
			Y91	1.00E+22	1.52E-04	7.96E-08	1.52E-04	1.10E-04	
			Y91m	1.00E+22	5.45E-08	2.85E-11	5.45E-08	1.11E-04	
		Zr	Zr95	1.00E+22	1.24E-05	8.90E-09	1.24E-05	4.48E-06	
			Zr97	1.00E+22	1.61E-07	1.16E-10	1.61E-07	4.49E-06	
		Nb	Nb95	1.00E+22	7.92E-03	3.79E-06	7.92E-03	5.54E-03	
			Nb95m	1.00E+22	1.05E-05	5.01E-09	1.05E-05	5.55E-03	
		La	La140	1.00E+22	1.41E-05	7.37E-09	1.41E-05	1.11E-04	
			La141	1.00E+22	1.40E-06	7.33E-10	1.40E-06	1.10E-04	
		Ce	Ce141	1.00E+22	1.49E-03	8.04E-07	1.49E-03	5.99E-04	
			Ce143	1.00E+22	5.35E-05	2.89E-08	5.36E-05	6.00E-04	
			Ce144	1.00E+22	5.92E-03	3.19E-06	5.92E-03	6.00E-04	
		Pr	Pr143	1.00E+22	9.71E-05	5.08E-08	9.72E-05	1.11E-04	
			Pr147	1.00E+22	2.92E-08	1.53E-11	2.92E-08	1.11E-04	
		Nd	Nd147	1.00E+22	3.95E-05	2.06E-08	3.95E-05	1.11E-04	
		グループ 7 合計					1.57E-02	7.98E-06	1.57E-02
8	燃料	Np	Np239	1.00E+22	3.42E-03	1.85E-06	3.43E-03	6.00E-04	
			Pu	Pu238	1.00E+22	1.42E-03	7.67E-07	1.42E-03	6.01E-04
		Pu	Pu239	1.00E+22	1.26E+00	6.81E-04	1.26E+00	5.99E-04	
			Pu240	1.00E+22	4.93E-01	2.66E-04	4.94E-01	6.01E-04	
			Pu241	1.00E+22	1.84E-01	9.91E-05	1.84E-01	5.99E-04	
			Pu242	1.00E+22	8.60E-02	4.63E-05	8.60E-02	6.01E-04	
			Am	Am241	1.00E+22	3.44E-02	1.85E-05	3.44E-02	6.00E-04
				Am242	1.00E+22	8.39E-06	4.52E-09	8.39E-06	5.99E-04
		Cm	Cm242	1.00E+22	1.17E-03	6.33E-07	1.17E-03	5.99E-04	
			Cm244	1.00E+22	1.31E-04	7.04E-08	1.31E-04	5.99E-04	
グループ 8 合計					2.07E+00	1.11E-03	2.07E+00	5.99E-04	
合 計 値					2.97E+01	9.26E-01	3.06E+01	8.73E-03	

2.5.2 代表的なF Pの質量変化

各グループの中から、Kr85、I131、Cs137、Te131m、Sr89、Ru103、La140、及びPu239について、各セルに放出されたF P質量の時間変化を図2.5.1～図2.5.8に示す。今回の計算では核種の半減期を 1.0×10^{20} 秒としているために、F Pの崩壊による質量の変化や親核種からの崩壊によるF Pの発生は考慮されない。従って、希ガス以外の核種質量放出割合はその核種をマッピングしたエアロゾルの放出割合に等しい。以下に、上記核種の質量について示す。

(1) Kr 8 5 (図2.5.1)

500秒の時点で各セルの雰囲気中存在するKr85はセル1が0.171kg、セル2が0.194kgである。計算開始時にデブリに含まれるKr85の質量は0.365kgであるので、500秒までに初期に存在するKr85のほとんどが雰囲気に放出され、それらの53%が既にセル2に移動している。4500秒ではセル1とセル2のKr85質量は、それぞれ 4.92×10^{-3} kg、0.365kgであり、放出されたKr85のほぼ100%がセル2に移動する。

(2) I 1 3 1 (図2.5.2)

500秒の時点で各セルに存在するI131はセル1が0.389kg、セル2が 3.44×10^{-5} kgである。計算開始時にデブリに含まれるI131の質量は0.405kgであるので、500秒までに初期に存在するI131のほぼ100%が放出される。放出されたI131のほとんどがセル1に存在するが、これは、セル1にナトリウムプールが存在し、ナトリウムプールにI131が捕らえられるているためである。なお、I131の放出質量は0.407kgであり、この値は初期値の0.405kgを上回っている。これは、入力で指定したエアロゾル発生量に対するF Pのマッピング係数の計算精度によるものと考えられる。

(3) C s 1 3 7 (図2.5.3)

500秒の時点で各セルに存在するCs137はセル1が6.53kg、セル2が 5.07×10^{-4} kgである。計算開始時にデブリに含まれるCs137の質量は26.7kgであるので、500秒までに初期に存在するCs137の24.5%が放出される。その後、Cs137の初期質量に対する放出割合は、5500秒で100%に達する。6時間後のセル1とセル2のCs137の質量は、それぞれ26.7kg、 2.16×10^{-2} kgであり、放出されたほとんどのCs137がセル1のナトリウムプールに捕獲される。

(4) T e 1 3 1 m (図2.5.4)

500秒の時点で各セルに存在するTe131mはセル1が 7.74×10^{-5} kg、セル2が 4.69×10^{-9} kgである。計算開始時にデブリに含まれるTe131mの質量は 9.27×10^{-3} kgであるので、500秒までに初期に存在するTe131mの0.84%が放出される。その後Te131mの初期質量に対する放出割合は、12500秒付近からは一定となる。6時間後のセル1とセル2のTe131mの質量は、それぞれ 5.38×10^{-4} kg、 4.08×10^{-7} kgであり、初期質量に対する放出割合は5.81%である。I131及びCs137と同様に、放出されたTe131mのほとんどがセル1のナトリウムプールに捕獲される。

(5) Sr89 (図2.5.5)

500秒の時点で各セルに存在するSr89はセル1が 3.78×10^{-4} kg、セル2が 3.91×10^{-8} kgである。計算開始時にデブリに含まれるSr89の質量は 8.76×10^{-1} kgであるので、500秒までに初期に存在するSr89の0.044%が放出される。その後、Sr89の初期質量に対する放出割合は、4000秒付近からは一定となる。6時間後のセル1とセル2のSr89の質量は、それぞれ 7.15×10^{-4} kg、 3.47×10^{-7} kgであり、初期質量に対する放出割合は0.12%である。I131、Cs137及びTe131mと同様に、放出されたSr89のほとんどがセル1のナトリウムプールに捕獲される。

(6) Ru103 (図2.5.6)

500秒で各セルに存在するRu103はセル1が 4.48×10^{-9} kg、セル2が 2.26×10^{-13} kgである。計算開始時にデブリに含まれるRu103の質量は2.62kgであるので、500秒までに初期に存在するRu103の 1.71×10^{-7} %が放出される。その後、Ru103の初期質量に対する放出割合は、2100秒付近からは一定となる。6時間後のセル1とセル2のRu103の質量は、それぞれ 1.19×10^{-8} kg、 1.09×10^{-11} kgであり、初期質量に対する放出割合は 7.29×10^{-7} %である。I131、Cs137、Te131m及びSr89と同様に、放出されたRu103のほとんどがセル1のナトリウムプールに捕獲される。

(7) La140 (図2.5.7)

500秒で各セルに存在するLa140はセル1が 4.81×10^{-6} kg、セル2が 3.69×10^{-10} kgである。計算開始時にデブリに含まれるLa140の質量は0.127kgであるので、500秒までに初期に存在するLa140の 3.79×10^{-8} %が放出される。その後、La140の初期質量に対する放出割合は、4000秒付近からは一定となる。6時間後のセル1とセル2のLa140の質量は、それぞれ 1.41×10^{-5} kg、及び 7.65×10^{-9} kgであり、初期質量に対する放出割合は0.011%である。I131、Cs137、Te131m、Sr89及びRu103と同様に、放出されたLa140のほとんどがセル1のナトリウムプールに捕獲される。

(8) Pu239 (図2.5.8)

500秒で各セルに存在するPu239はセル1が 3.86×10^{-1} kg、セル2が 2.19×10^{-5} kgである。計算開始時にデブリに含まれるPu239の質量は2110kgであるので、500秒までに初期に存在するPu239の0.018%が放出される。その後、Pu239の初期質量に対する放出割合は、2000秒付近からは一定となる。6時間後のセル1とセル2のPu239質量は、それぞれ1.26kg、及び $7.06 \text{kg} \times 10^{-4}$ kgであり、初期質量に対する放出割合は0.06%である。I131、Cs137、Te131m、Sr89、Ru103及びLa140と同様に、放出されたPu239のほとんどがセル1のナトリウムプールに捕獲される。

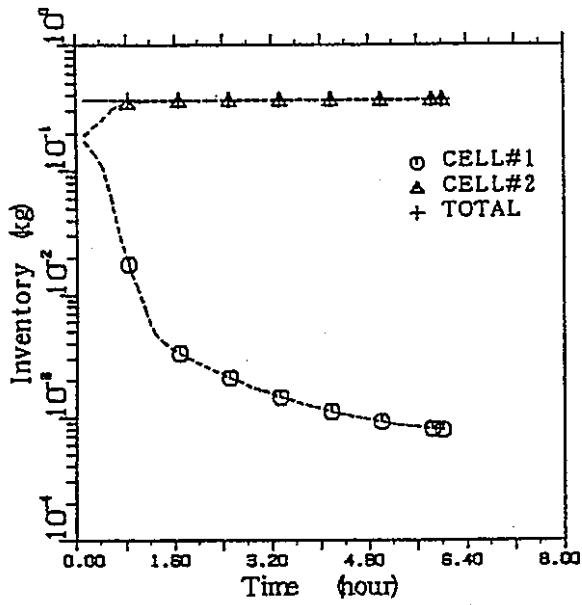


図2.5.1 Kr 85質量
(基本ケース)

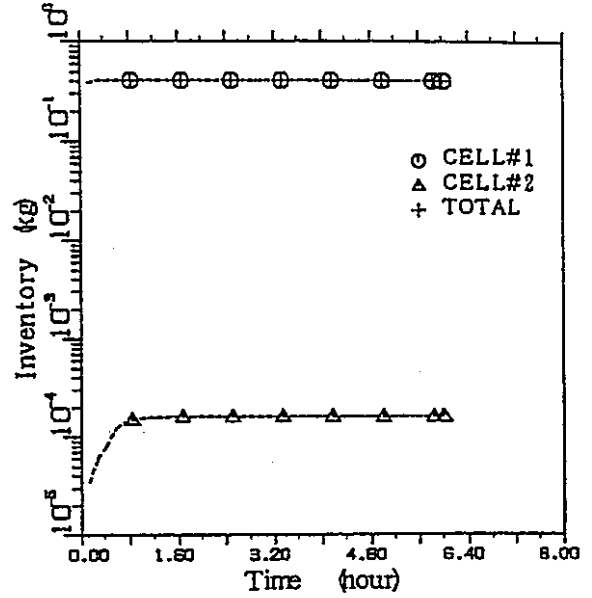


図2.5.2 I 131質量
(基本ケース)

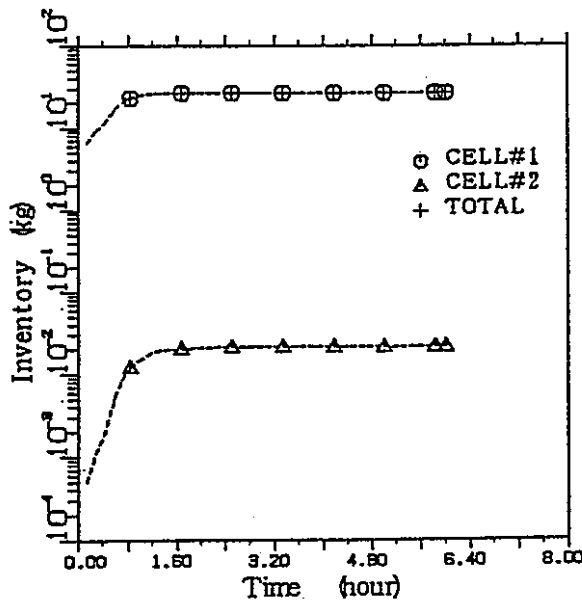


図2.5.3 Cs 137質量
(基本ケース)

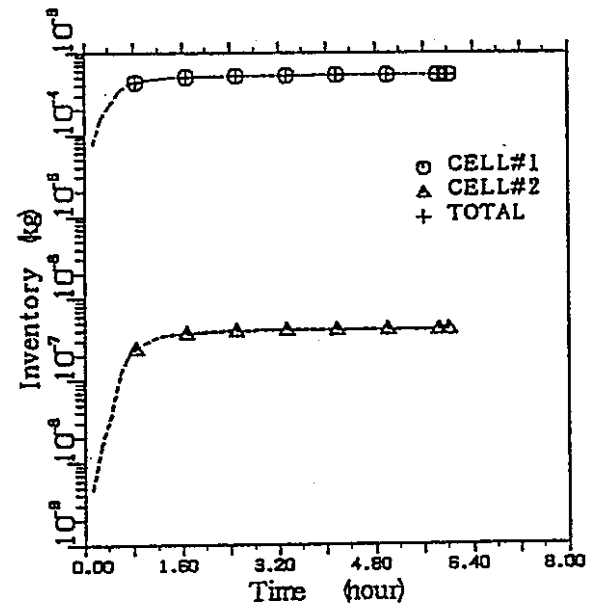


図2.5.4 Te 131m質量
(基本ケース)

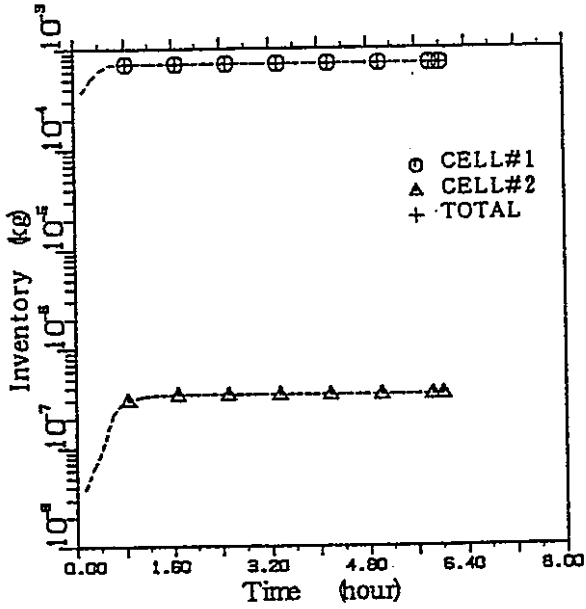


図2.5.5 Sr 89 質量
(基本ケース)

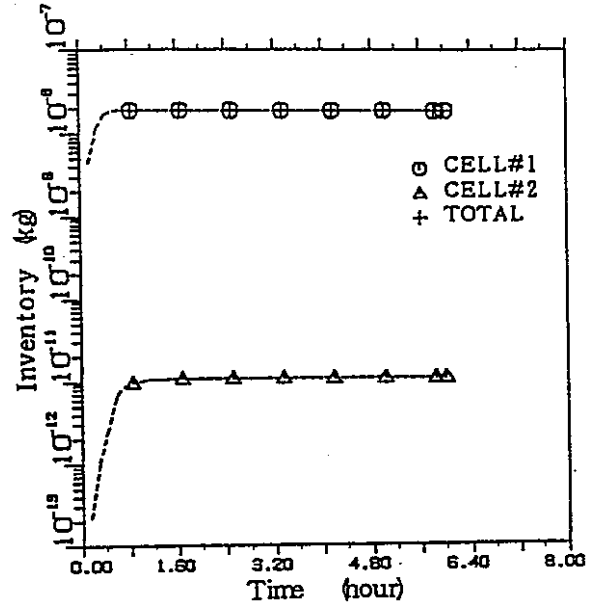


図2.5.6 Ru 103 質量
(基本ケース)

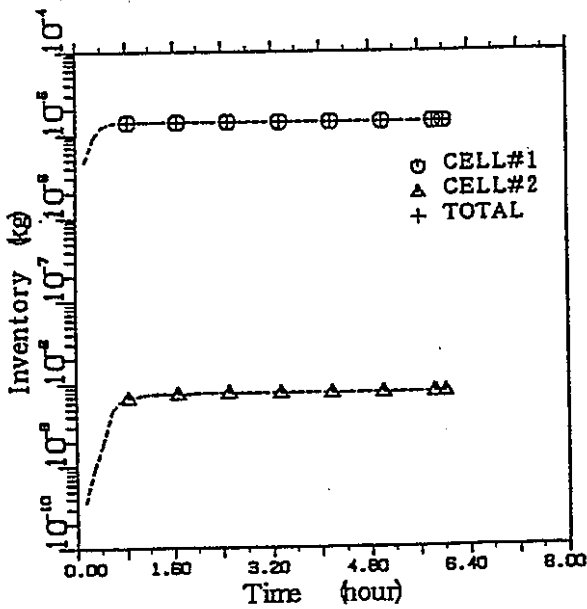


図2.5.7 La 140 質量
(基本ケース)

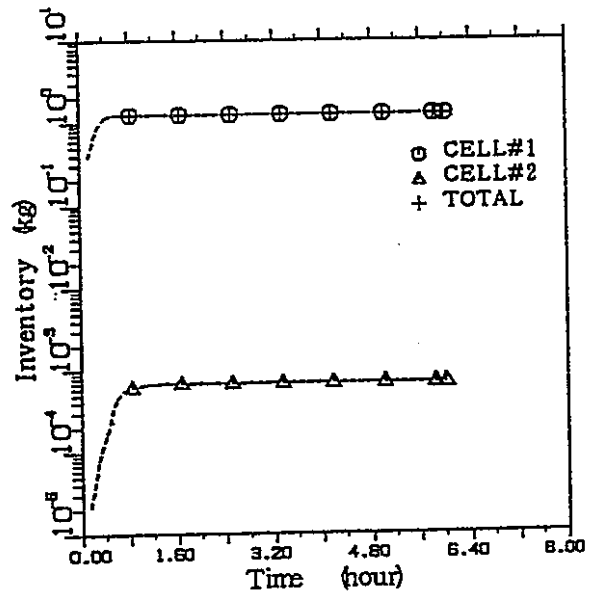


図2.5.8 Pu 239 質量
(基本ケース)

2.6 エアロゾルの挙動

2.6.1 エアロゾルの挙動

基本ケースのエアロゾル関連諸量の時間に伴う変化を図2.6.1～図2.6.7に示す。6時間後までにおけるエアロゾル積算発生量は224.5kgである。エアロゾルに関する計算結果を以下に述べる。

2.6.1.1 金属層を通過する気体の流量

デブリの金属層を通過する気体(CO、CO₂、H₂、H₂O)の合計体積流量を図2.6.1に示す。気体の合計体積流量は、プロット図では2000秒(0.56時間)のとき最大となり、このときの流量は2.203m³/sである。実際には、デブリ中の重い酸化物層と金属層の密度が逆転する時刻(1790秒)の直後に体積流量が最大となると考えられる。これは、デブリの層の逆転により、金属層が床面コンクリートに接するようになるが、金属層が液相状態であるためにコンクリートへの伝熱が促進され、コンクリートの浸食速度が増加するためである。

2.6.1.2 酸化物層温度

酸化物層温度を図2.6.2に示す。酸化物層温度は1000秒(0.14時間)で最高温度2362Kとなりその後降下する。なお、ここでの酸化物層温度はVANESAモデルで使用される酸化物層温度で、層の逆転以前はCONTAINモデルの重い酸化物層温度、層の逆転以降はCONTAINモデルの軽い酸化物層温度にそれぞれ対応する。

2.6.1.3 エアロゾル発生量

エアロゾル発生量を図2.6.3に示す。エアロゾル発生量(各時刻での10秒間の積算値)は計算開始初期に最も大きく、時刻とともに緩やかに下降する。計算開始直後は、蒸発によるエアロゾル発生量の方が、メカニカルな機構によるエアロゾル発生量よりも1741倍大きい。6時間後にはその差は95倍に縮まる。このように、解析期間全体にわたり蒸発によるエアロゾル発生量の方がメカニカルな機構によるエアロゾル発生量よりも大きい。

2.6.1.4 エアロゾル密度

エアロゾル密度を図2.6.4に示す。エアロゾル密度は、計算開始直後に最大値3770kg/m³となる。その後エアロゾル密度は時間経過とともに単調に減少する。6時間後のエアロゾル密度は2086kg/m³である。

2.6.1.5 エアロゾル平均直径

エアロゾルの平均直径を図2.6.5に示す。平均直径は計算開始直後に1.07μmであるが、その後時間経過とともに減少する。6時間後の平均直径は0.31μmである。

2.6.1.6 エアロゾル成分割合

各時刻で発生するエアロゾルに対する主要なエアロゾルの発生割合を図2.6.6に示す。計算開始直後は、 Cs_2O と CsI の成分割合がそれぞれ全エアロゾルの39.4%と40.8%を占める。その後 CsI の割合は減少し、500秒では Cs_2O が35.1%、 CsI が6.8%となる。1500秒では依然として Cs_2O の割合が28.6%で一番大きい。2番目は Mn が23.7%を占める。その後、 Mn の割合が減少し、 Cs_2O の割合が一番大きい時間帯があり、次第に K_2O の割合が増加し、4000秒以降は Cs_2O に代わって K_2O の割合が一番大きくなる。6時間後の割合は K_2O が91.8%、 Cs_2O が0.0%、 Na_2O が4.6%、 Mn が2.2%、その他が1.4%である。

2.6.1.7 エアロゾル質量

エアロゾルの累積発生質量を図2.6.7に示す。6時間までに放出された主なエアロゾルの質量(単位:kg)は、次のとおりである。

Cs_2O : 87.5, Mn : 36.0, K_2O : 46.9, CsI : 15.4, SiO_2 : 22.0, Na_2O : 6.8

上記の6エアロゾルの合計放出量は214.6kgであり、エアロゾルの全放出量224.5kgの95.6%にあたる。

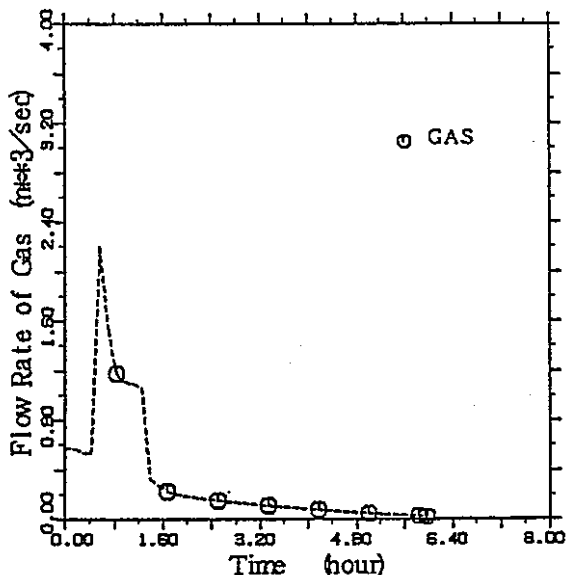


図2.6.1 金属層を通過する気体流量
(基本ケース)

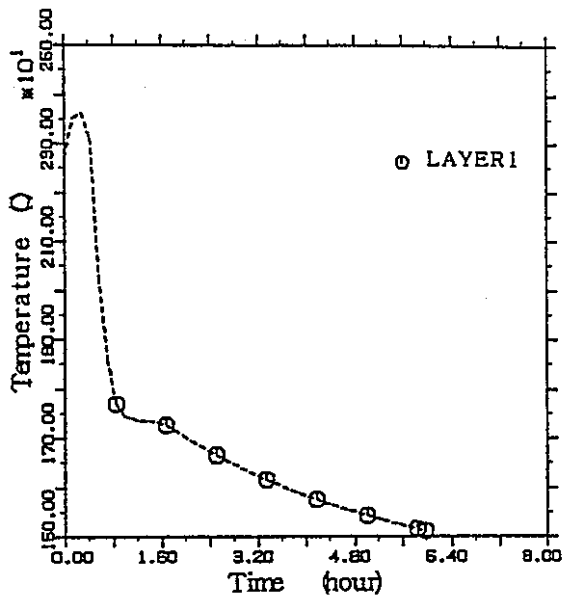


図2.6.2 酸化物層温度
(基本ケース)

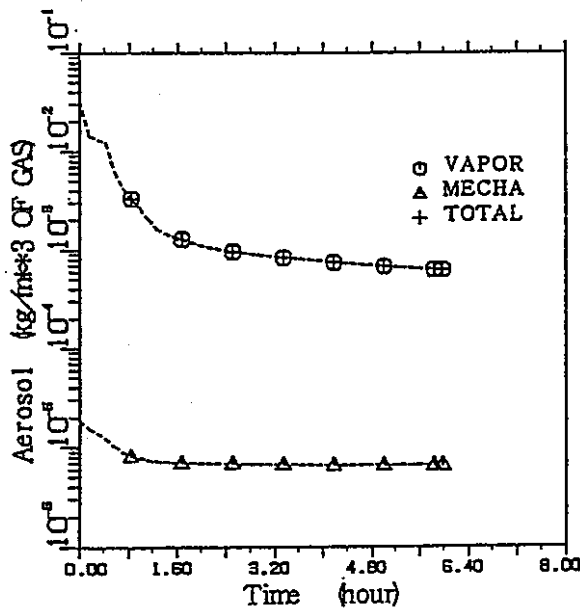


図2.6.3 エアロゾル発生量
(基本ケース)

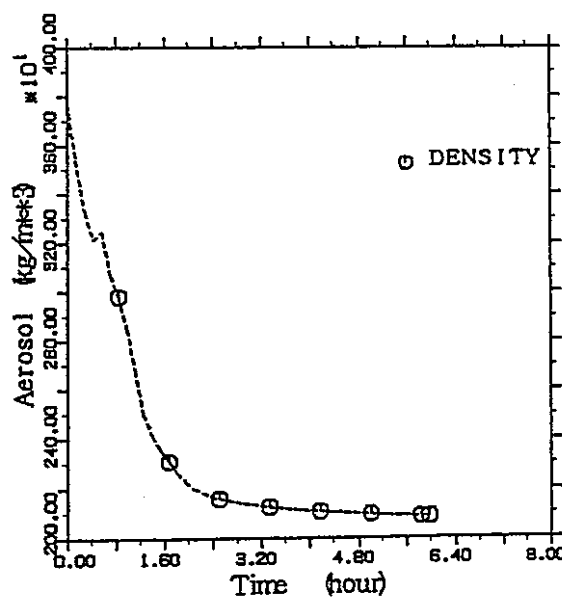


図2.6.4 エアロゾル密度
(基本ケース)

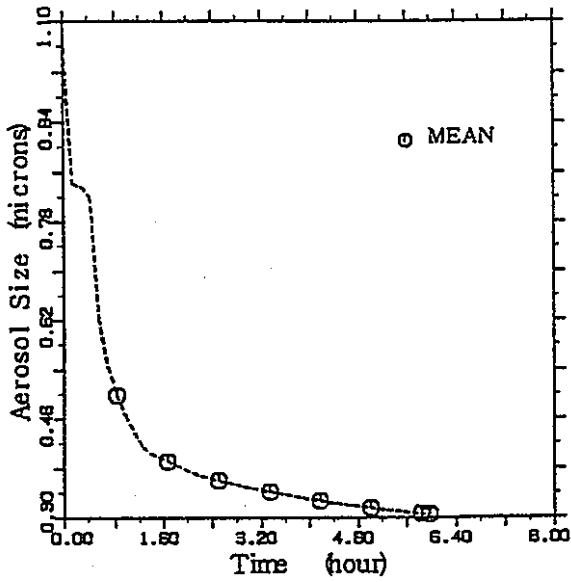


図2.6.5 エアロゾル平均サイズ
(基本ケース)

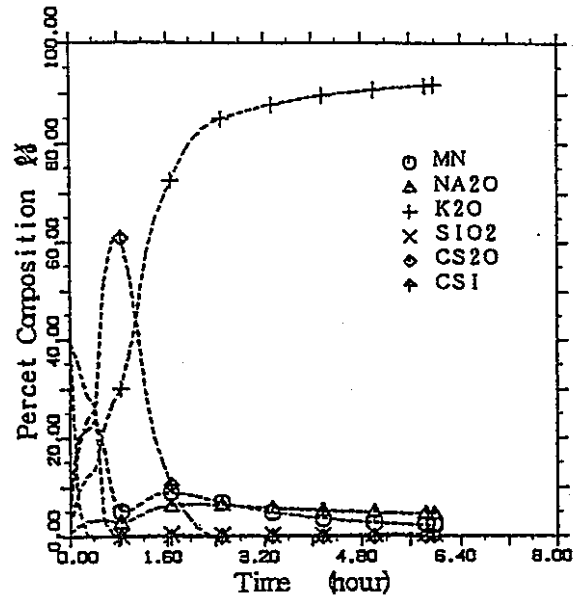


図2.6.6 エアロゾル成分割合
(基本ケース)

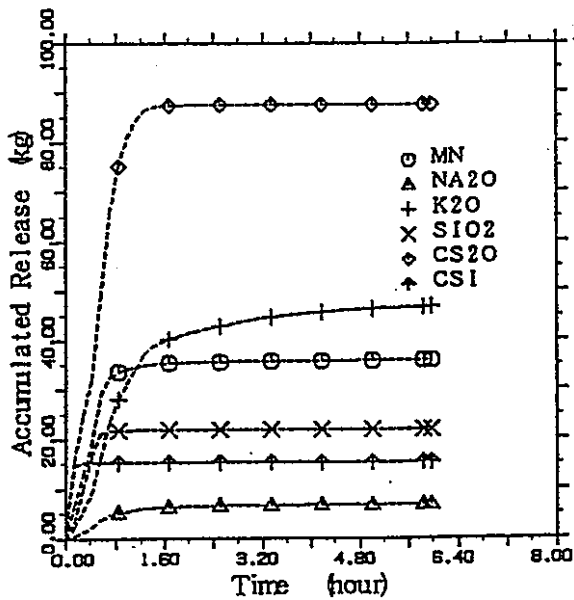


図2.6.7 エアロゾル質量
(基本ケース)

3 パラメータ計算結果

3.1 パラメータ計算の概要

本作業では合計4ケースのパラメータ計算を行った。パラメータには、以下のものを選定した。

- ・ナトリウムプールの初期温度
- ・ナトリウムプールの初期深さ
- ・デブリ初期温度
- ・デブリ初期量

次表にパラメータ計算の計算条件の一覧表を示す。

解析パラメータ		基本ケース	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
プール温度初期値	K	773	1073			
プール深さ初期値	m	10		5		
デブリ温度初期値	K	2273			2773	
デブリ量初期値						基本ケース の 1/2

以下3.2では、これらのパラメータケースの計算結果を述べる。

3.2 パラメータ計算結果

表3.2.1にパラメータ計算各ケースの主要結果の一覧表を示す。

表 3. 2. 1 パラメータ計算のまとめ

項 目			基本ケース 6 時間後 11500(s)	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4 11500(s)	備考		
解析 パラ メー タ	プール温度初期値		K	773	1073					
	プール深さ初期値		m	10		5				
	デブリ温度初期値		K	2273			2773			
	デブリ量初期値							基本ケース の 1/2		
計	雰囲気 温度	㊦1	最高	K	690.5	571.8	1149.6	988.6	709.8	522.7
			6 時間後							
	㊦2	最高	K	464.5	442.5	475.9	466.2	462.4	390.3	
		6 時間後								
	構造物 内側表面 温度	㊦1 壁	最高	K	729.3	566.0	1098.2	961.4	749.5	510.9
			6 時間後							
		㊦1 天井	最高	K	643.0	514.2	1065.8	880.6	660.5	471.1
			6 時間後							
㊦2 壁	最高	K	397.2	372.6	404.6	399.1	398.9	342.1		
	6 時間後									
㊦2 天井	最高	K	397.2	372.5	404.5	399.0	398.8	342.1		
	6 時間後									
結	圧力		㊦1,2	MPa	0.184	0.171	0.194	0.187	0.193	0.136
	㊦間最大流量			kg/s	0.747	0.731	0.748	1.119	1.812	
	㊦層逆転時刻			s	1790	1790	1790	840	950	
	㊦酸化物層 温度	最高	K	2362.3		2361.6	2362.3	2773.0	2273.0	
6 時間後		1511.6		1623.9	1511.8	1511.7	1517.3	1448.1		
㊦金属層 温度	最高	K	2273.0		2273.0	2273.0	2733.0	2273.0		
	6 時間後		1509.9	1575.4	1510.0	1510.0	1512.9	1502.4		
㊦質量	酸化物層	t	169.0	158.3	169.0	169.0	195.8	77.0		
	金属層		127.6	127.2	127.6	127.6	128.8	63.5		
Na ⁺ 蒸発量			kg	229	148	3802	838	264	57	

表 3.2.1 パラメータ計算のまとめ (続き)

項 目		基本ケース 6時間後 11500(s)	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4 11500(s)	備考	
解析 パラ メー タ	プール温度初期値	K	773	1073				
	プール深さ初期値	m	10		5			
	デブリ温度初期値	K	2273			2773		
	デブリ量初期値					基本ケース の 1/2		
計	コンクリート浸食量	m ³	42.4	38.1	42.4	42.4	52.6	19.3
	H ₂ 発生量	kg	533.2	480.5	532.8	533.2	643.4	234.0
	H ₂ O発生量	kg	264.0	243.2	263.0	263.9	514.2	74.0
	CO発生量	kg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	CO ₂ 発生量	kg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	イソクル発生量	kg	224.5	221.9	224.3	224.5	383.0	81.3
算 結	F P発生割合 (初期値に対 する割合)	希ガス	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		ハロゲン	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		アルカリ金属	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		テルル・アソチオン	4.95E-2	4.87E-2	4.94E-2	4.95E-2	9.17E-2	2.86E-2
		アルカリ土類	1.14E-3	1.14E-3	1.13E-3	1.14E-3	4.33E-3	4.96E-4
		遷移族	3.71E-5	3.71E-5	3.70E-5	3.71E-5	1.33E-4	9.38E-6
		ランタノイド	8.10E-4	8.10E-4	8.06E-4	8.10E-4	1.45E-2	1.48E-4
		燃料	5.99E-4	5.99E-4	5.96E-4	5.99E-4	1.13E-2	4.58E-5
果	Naプールでの FP除去割合*1	希ガス	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		ハロゲン	0.9996	0.9996	0.9998	0.9911	0.9998	0.9995
		アルカリ金属	0.9992	0.9992	0.9996	0.9862	0.9993	0.9993
		テルル・アソチオン	0.9993	0.9993	0.9996	0.9872	0.9994	0.9993
		アルカリ土類	0.9995	0.9995	0.9997	0.9894	0.9996	0.9995
		遷移族	0.9994	0.9994	0.9997	0.9878	0.9995	0.9994
		ランタノイド	0.9995	0.9995	0.9998	0.9893	0.9997	0.9996
		燃料	0.9994	0.9994	0.9998	0.9887	0.9996	0.9995
*1 セル1の 床に存在 するFP を含む								

3.2.1 ケース1

ケース1では、プール温度初期値を、基本ケースの773Kから1073Kに変更して計算を行った。

3.2.1.1 主要な計算結果（ケース1）

ケース1の6時間までのプロット図を図3.2.1～図3.2.23に示す。以下に計算値の時間に伴う変化について記す。

(1) セル雰囲気温度

セル雰囲気温度を図3.2.1に示す。初期温度はセル1、セル2ともに328Kである。500秒での各セルの雰囲気温度はセル1が757.5K、セル2が375.3Kであり、セル1の雰囲気温度がセル2よりも高い。この時点でセル1、セル2ともにその雰囲気温度は飽和温度に達している。6時間後のセル雰囲気温度はセル1が1149.6K、セル2が475.9Kであり、基本ケースと比較すると、セル1で459.1K、セル2で11.4Kの温度上昇となる。

(2) セル圧力

セル圧力を図3.2.2に示す。初期圧力はセル1が0.1034MPa、セル2が0.1018MPaである。セル圧力は時間経過に伴って上昇し、6時間後の圧力はセル1、2ともに0.1935MPaである。この圧力値は基本ケースよりも0.0092MPa高い。ここで、セル圧力が上昇するのはおもにH₂のモル数の増加による。

(3) 雰囲気中の成分割合

セル雰囲気中の気体の成分割合を図3.2.3～図3.2.12に示す。各セルの気体成分割合の初期値は、セル1がN₂:0.97、O₂:0.03、セル2がN₂:0.79、O₂:0.21である。

・O₂の割合（図3.2.3）

各セルの雰囲気中のO₂のモル分率は時間経過に伴い低下する。6時間後のO₂のモル分率は、セル1が 1.8×10^{-6} 、セル2が0.162である。

・H₂の割合（図3.2.4）

セル1の雰囲気中のH₂モル分率は、3500秒に0.921まで上昇した後降下し4500秒では0.915まで低下する。4500秒以降再び上昇し5000秒には最大値0.949となる。5000秒以降は単調減少となる。6時間後のセル1の雰囲気中のH₂モル分率は0.477である。セル2の雰囲気中のH₂モル分率は時間経過に伴い上昇する。6時間後のセル2の雰囲気中のH₂モル分率は0.182である。

・ H₂Oの割合 (図 3. 2. 5)

セル 1 の雰囲気中の H₂O (気体) モル分率は、1500秒で最大値 0.062 まで上昇した後低下し、4500秒では 0.030 まで低下する。4500秒以降は再び上昇して 10000秒後に 0.055 に達した後、単調に減少する。6 時間後のセル 1 の雰囲気中の H₂O モル分率は 0.022 である。セル 2 の雰囲気中の H₂O (気体) モル分率は、計算開始時点より単調に増大する。6 時間後のセル 2 の雰囲気中の H₂O モル分率は 0.182 である。

・ CO₂の割合 (図 3. 2. 6)

パラメータケース 1 のコンクリートは硬質砂岩であり成分に CO₂、CaCO₃、MgCO₃ を含まない。従って、デブリーコンクリート相互作用の際に CO₂ は発生しない。

・ N₂の割合 (図 3. 2. 7)

セル 1 の N₂ 割合は初期値 0.97 から急速に減少し 2100 秒には 0.1 以下となる。6 時間後のセル 1 の雰囲気中の N₂ モル分率は 7.9×10^{-5} である。セル 2 の N₂ 割合は初期値 0.79 から単調に減少する。6 時間後のセル 2 の雰囲気中の N₂ モル分率は 0.646 である。

(4) 雰囲気中の成分質量

・ O₂の質量 (図 3. 2. 8)

セル 1 の雰囲気中の O₂ 質量は、初期値の 58.3kg から急速に減少し、4500 秒には 5.5×10^{-2} kg となる。6 時間後のセル 1 の O₂ 質量は 1.8×10^{-3} kg である。セル 2 の雰囲気中の O₂ 質量は、セル 1 から流入する O₂ の質量が加わるので、初期値の 7023.6kg から 6 時間後には 7081.9kg に増大する。

・ H₂の質量 (図 3. 2. 9)

セル 1 の雰囲気中の H₂ 質量は、5500 秒に最大値 70.5kg まで上昇した後、4500 秒以降は単調減少となる。6 時間後のセル 1 の雰囲気中の H₂ 質量は 30.4kg である。セル 2 の雰囲気中の H₂ 質量は、単調に増大する。6 時間後のセル 2 の雰囲気中の H₂ 質量は 502.4kg である。

・ H₂Oの質量 (図 3. 2. 10)

セル 1 の雰囲気中の H₂O (気体) 質量は、1500 秒で最大値 37.2kg まで上昇した後低下し、400 秒では 18.1kg まで低下する。4500 秒以降は再び上昇して 9000 秒後に 35.0kg に達した後、単調に減少する。6 時間後のセル 1 の雰囲気中の H₂O 質量は 12.7kg である。セル 2 の雰囲気中の H₂O (気体) 質量は、計算開始時点より単調に増大する。6 時間後のセル 2 の雰囲気中の H₂O 質量は 250kg である。

・ CO₂の質量 (図 3. 2. 11)

パラメータケース 1 のコンクリートは硬質砂岩であり成分に CO₂、CaCO₃、MgCO₃ を含まない。従って、デブリーコンクリート相互作用の際に CO₂ は発生しない。

・ N_2 の質量 (図3.2.12)

セル1の雰囲気中の N_2 質量は初期値の1649.1kgから急速に減少し、6500秒には0.989kgとなる。6時間後のセル1の N_2 質量は 7.0×10^{-2} kgである。セル2の雰囲気中の N_2 質量は、セル1の N_2 がセル2に移動するので、初期値の23131kgから6時間後には24789kgに増大する。

(5) セル間の流量

セル1からセル2への流量を図3.2.13に示す。流量は2000秒に最大値0.731kg/sとなった後減少するが9500秒後に0.028kg/sまで下がった後、9500秒以降は再び上昇して6時間後の流量は0.109kg/sとなる。

(6) コンクリート浸食による生成物質量

コンクリート浸食による生成物質量を図3.2.14に示す。コンクリート浸食による結果、6時間後には H_2O が263kg、 H_2 が533kgそれぞれ発生する。 CO 、 CO_2 、 C 、 Zr は発生しない。

(7) デブリ温度

デブリ温度を図3.2.15に示す。6時間後の各層の温度は、軽い酸化物層が1511.8K、金属層が1510.0Kである。

(8) デブリ密度

デブリ密度を図3.2.16に示す。時刻1790秒でデブリ中の重い酸化物層の密度が金属層の密度よりも小さくなり金属層がデブリの最下端層となる。同時に重い酸化物層は軽い酸化物層に吸収される。6時間後のデブリ密度は、軽い酸化物層が 3403kg/m^3 、金属層が 7191kg/m^3 である。

(9) デブリ質量

デブリ質量を図3.2.17に示す。酸化物層質量は初期値59.35tから6時間後には121.2tに増大する。ここで、6時間後の酸化物層は軽い酸化物層である。金属層質量は初期値123.9tから6時間後には125.7tにそれぞれ増大する。

(10) キャビティ形状

キャビティの径方向寸法と鉛直方向寸法をそれぞれ図3.2.18及び図3.2.19に示す。6時間後のコンクリート浸食深さ最大値は、鉛直方向46.3cm、径方向10.1cmである。このときのコンクリート浸食体積は 42.4m^3 である。

(11) エアロゾル濃度

各セルのエアロゾル UO_2 と NaL の濃度をそれぞれ図3.2.20及び図3.2.21に示す。

・ エアロゾル UO_2 (図3.2.20)

6時間後の各セルの雰囲気中のエアロゾル UO_2 の濃度は、セル1が $1.74 \times 10^{-5} \text{g/m}^3$ 、セル2が $3.18 \times 10^{-8} \text{g/m}^3$ である。これに対応する質量は、セル1が $2.72 \times 10^{-5} \text{kg}$ 、セル2が $8.89 \times 10^{-8} \text{kg}$ である。

・エアロゾルNaL (図3.2.21)

6時間後のエアロゾルNaLの濃度は、セル1が147.3kg/m³、セル2が12.9g/m³である。これに対応する質量は、セル1が229.6kg、セル2が0.036kgである。

(12) エアロゾル沈澱量

各セルのエアロゾルUO₂とNaLの合計沈澱量を図3.2.22に示す。6時間後の沈澱量はセル1が229.6kg、セル2が0.92kgである。6時間後の沈澱量の内訳は次のとおりである。

	沈澱量 (kg)			
	セル1		セル2	
	UO ₂	NaL	UO ₂	NaL
天井	5.41×10^{-4}	2.58×10^{-1}	1.48×10^{-5}	3.64×10^{-4}
壁	1.30×10^{-2}	2.42	1.19×10^{-3}	1.79×10^{-2}
床 + プール	2.24×10^2	2.61	7.41×10^{-2}	8.36×10^{-1}
合計	2.24×10^2	5.29	7.52×10^{-2}	8.54×10^{-1}

(13) 構造物温度

セル1の構造物温度を図3.2.23に示す。6時間後の壁の内側表面温度は1098.2K、天井の内側表面温度は1065.8Kである。また、セル2の6時間後の壁の内側表面温度、及び天井の内側表面温度は404.6Kである。

(14) ナトリウムプール

6時間後のナトリウムプールの深さは10.47mであり初期値の10mから0.47m上昇する。また、ナトリウムプールの質量は初期値658tから654tに減少する。6時間後のナトリウムプール温度は1230.3Kである。

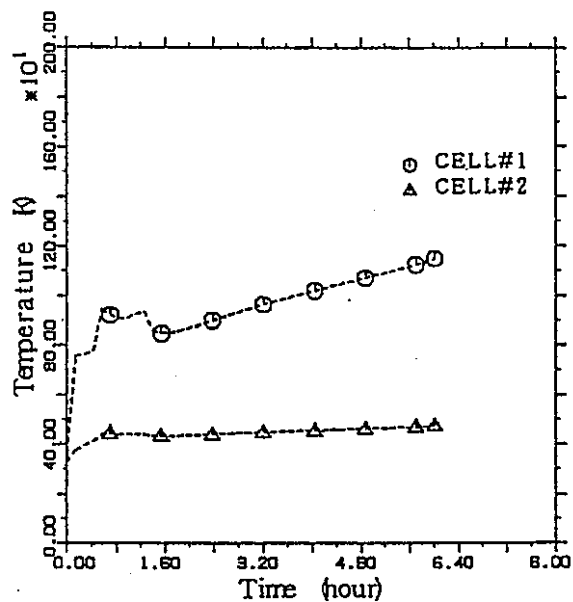


図3.2.1 セル雰囲気温度
(パラメータ-1)

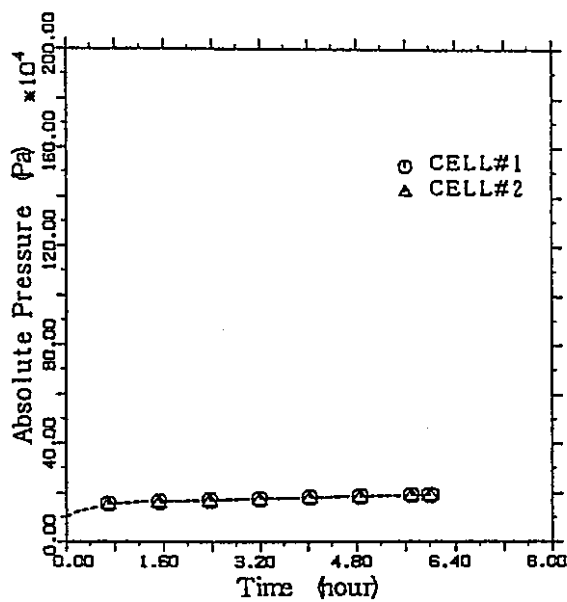


図3.2.2 セル圧力
(パラメータ-1)

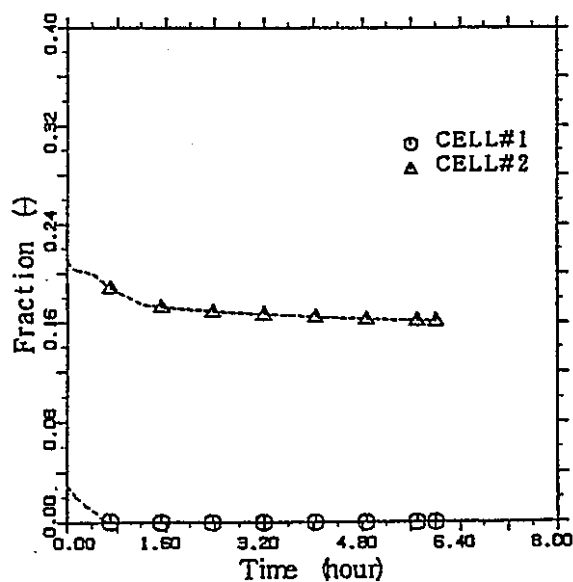


図3.2.3 雰囲気中のO₂モル分率
(パラメータ-1)

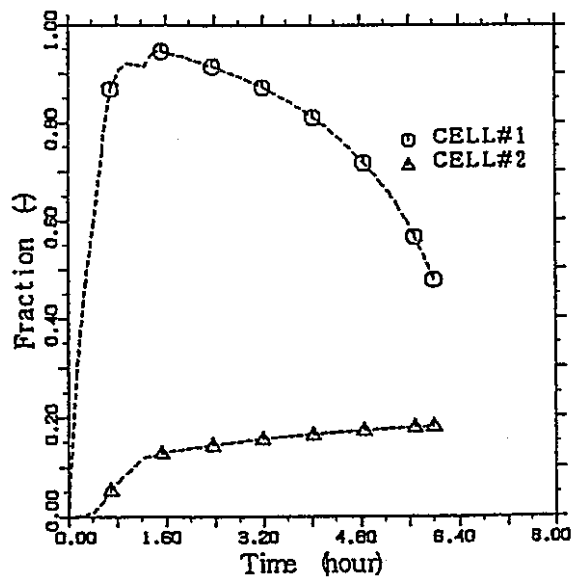


図3.2.4 雰囲気中のH₂モル分率
(パラメータ-1)

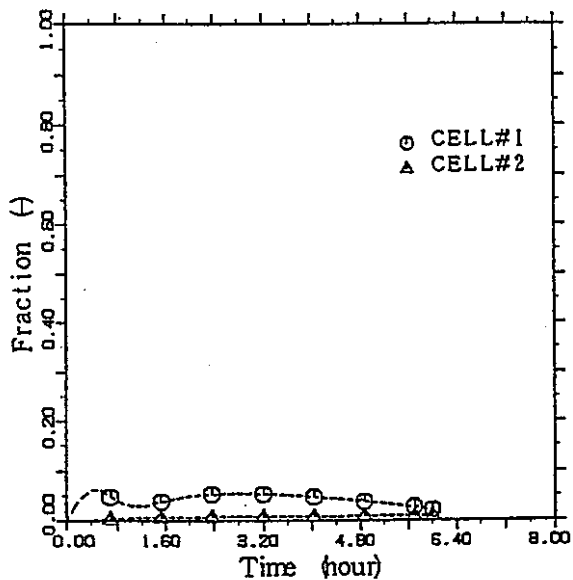


図3.2.5 雰囲気中のH₂Oモル分率
(パラメータ-ス1)

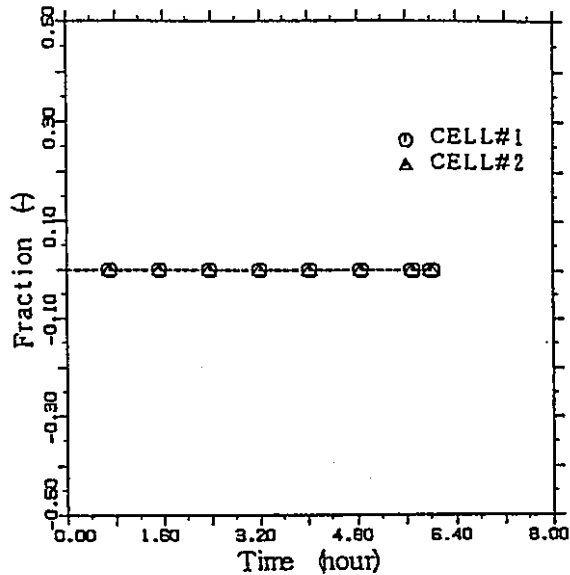


図3.2.6 雰囲気中のCO₂モル分率
(パラメータ-ス1)

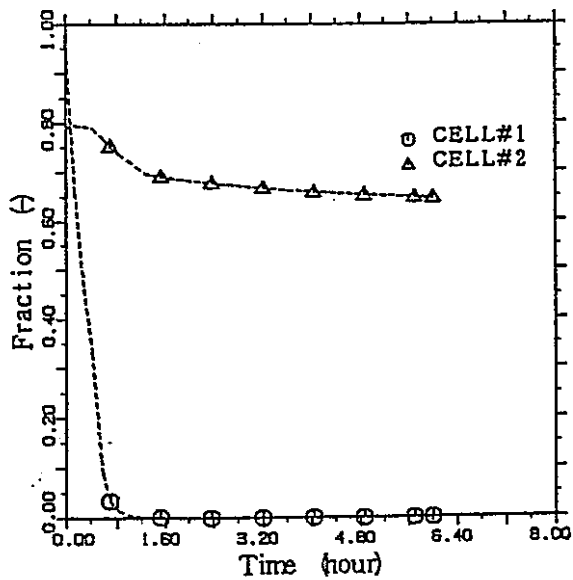


図3.2.7 雰囲気中のN₂モル分率
(パラメータ-ス1)

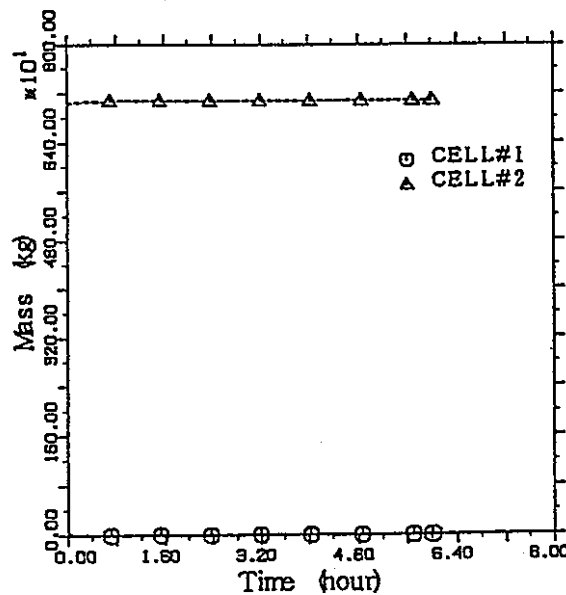


図3.2.8 雰囲気中のO₂質量
(パラメータ-ス1)

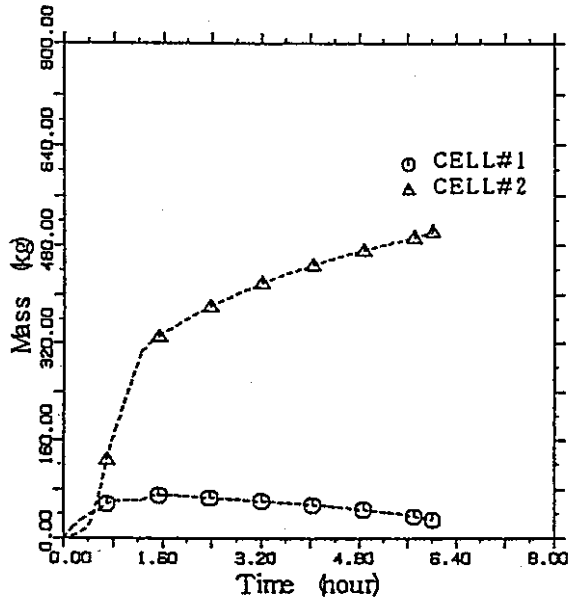


図3.2.9 霧囲気中のH₂質量
(パメ-タケ-ス1)

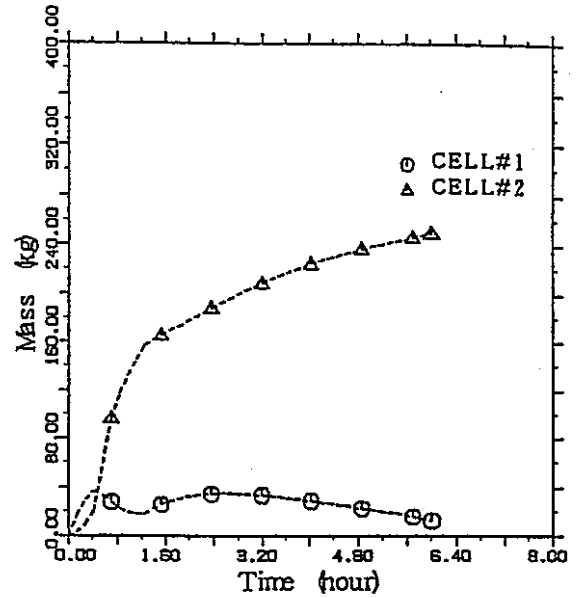


図3.2.10 霧囲気中のH₂O質量
(パメ-タケ-ス1)

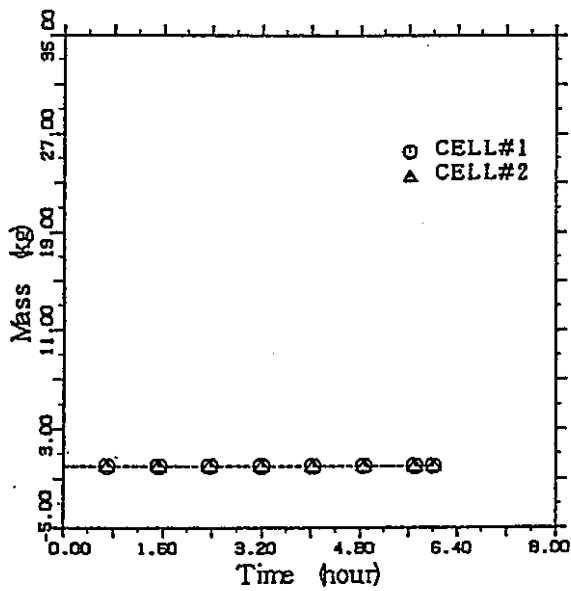


図3.2.11 霧囲気中のCO₂質量
(パメ-タケ-ス1)

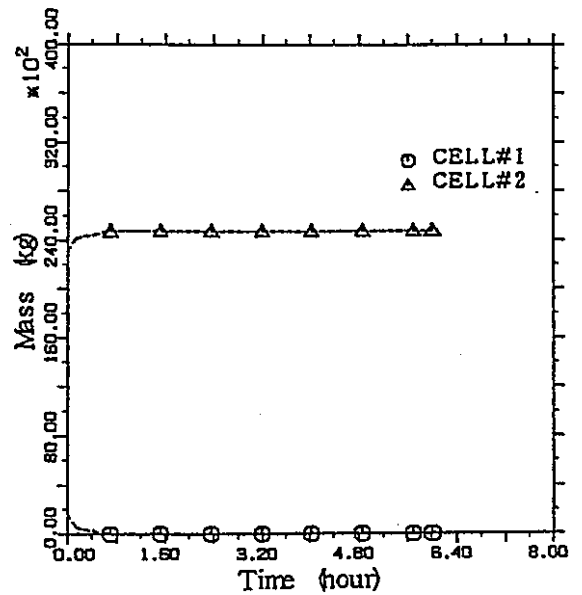


図3.2.12 霧囲気中のN₂質量
(パメ-タケ-ス1)

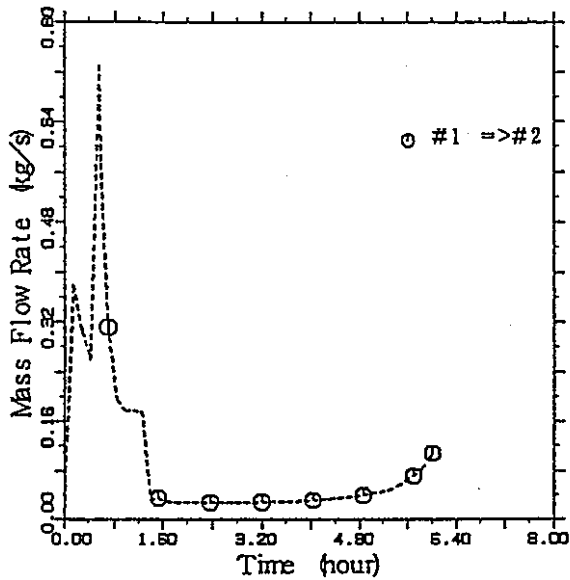


図3.2.13 セル間の流量
(パラメータ-1)

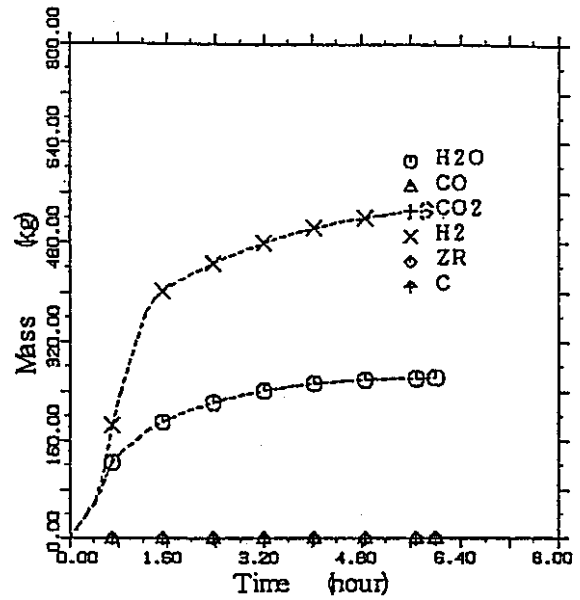


図3.2.14 ギンクリート浸食による生成物の質量
(パラメータ-1)

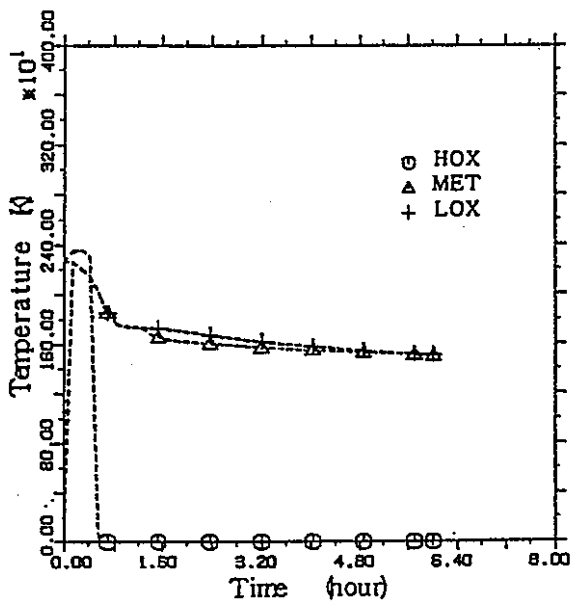


図3.2.15 デブリ層温度
(パラメータ-1)

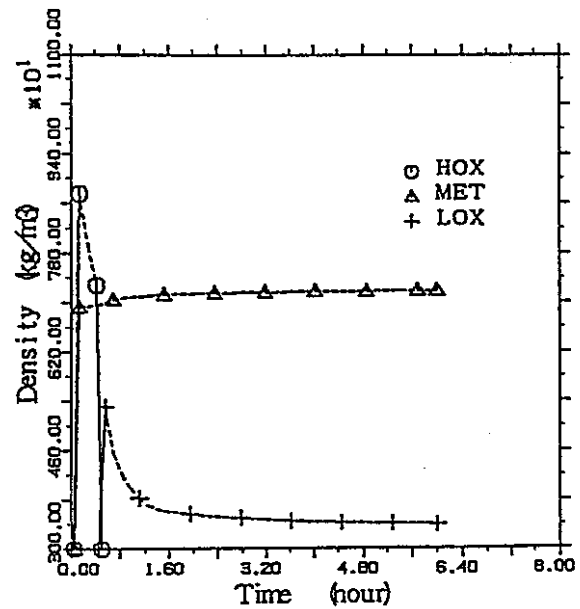


図3.2.16 デブリ層密度
(パラメータ-1)

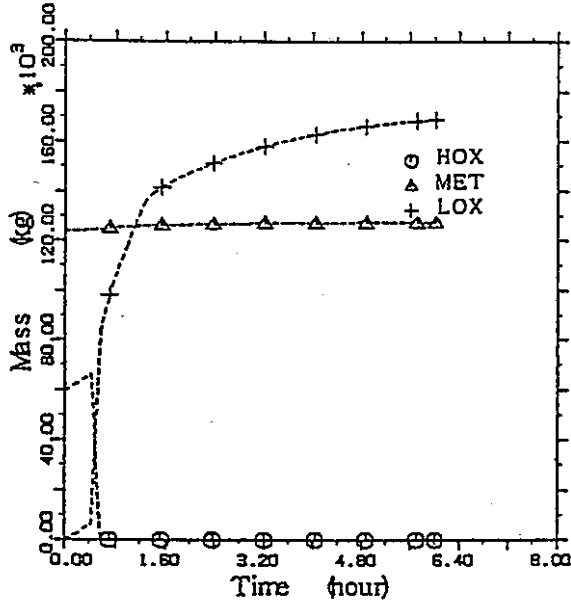


図3.2.17 デブリ層質量
(パラメータ-1)

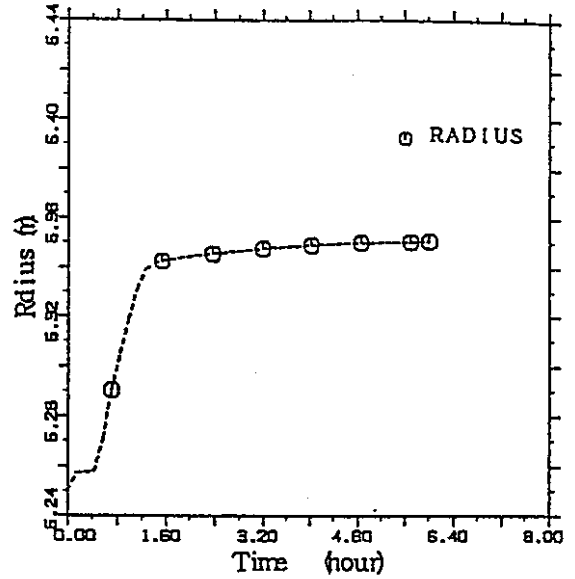


図3.2.18 キャビティの系方向寸法
(パラメータ-1)

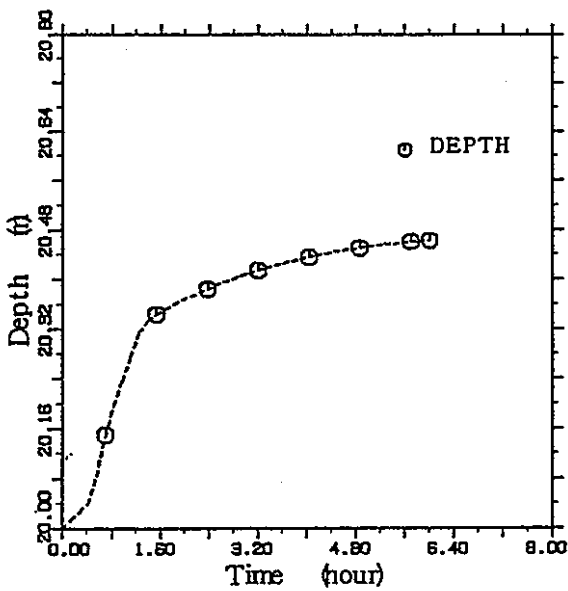


図3.2.19 キャビティの鉛直方向寸法
(パラメータ-1)

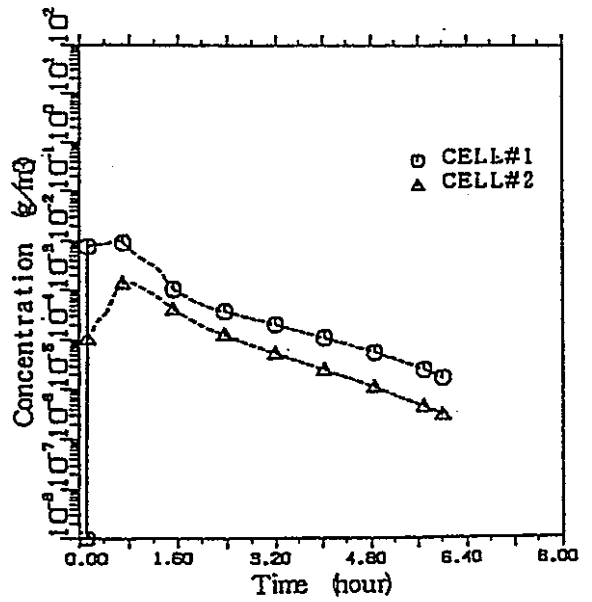


図3.2.20 エアロゾルUO₂の濃度
(パラメータ-1)

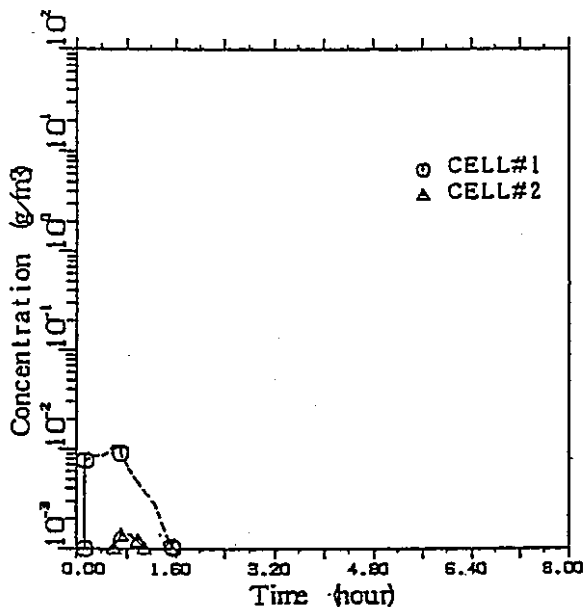


図3.2.21 エアロゾルNaLの濃度
(パメ-タケ-ス1)

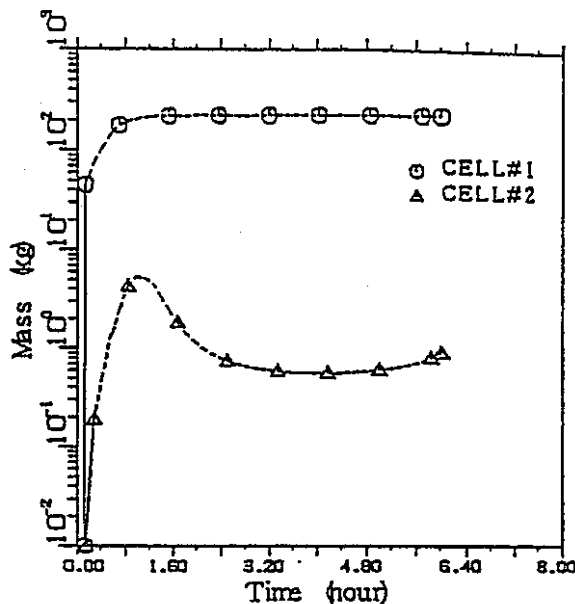


図3.2.22 エアロゾルの析出量
(パメ-タケ-ス1)

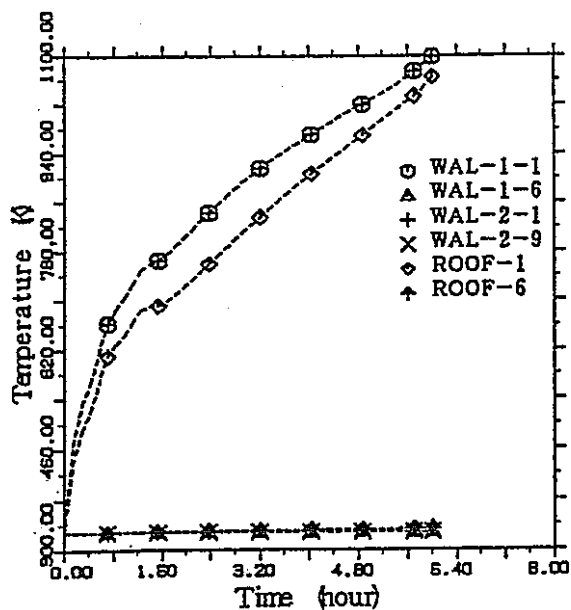


図3.2.23 構造物温度
(パメ-タケ-ス1)

3.2.1.2 FP質量(ケース1)

(1) FP質量

放出されたFPの6時間後の各セルのプール、雰囲気、及び構造物表面に存在するFP質量の初期値に対する割合を表3.2.2-(1)~表3.2.2-(3)に示す。希ガス、ハロゲン及びアルカリ金属の各グループについては、6時間後には初期状態でデブリに存在したFPのほぼ100%が放出されている。他のグループのFPの初期値に対する放出割合は次のとおりである。

・テルル・アンチモン	: 4.94×10^{-2}
・アルカリ土類	: 1.13×10^{-3}
・遷移族	: 3.70×10^{-5}
・ランタノイド	: 8.06×10^{-4}
・燃料	: 5.96×10^{-4}

セル1とセル2間のFP質量の分配に関しては、希ガスがほぼ100%セル2に移動するが、希ガス以外のグループのFPはセル1のナトリウムプールに留まる割合が多く、セル2のFP質量はセル1の1/10以下である。

(2) 代表的なF Pの質量変化

各グループの中から、Kr85、I131、Cs137、Te131m、Sr89、Ru103、La140、及びPu239について、各セルに放出されたF P質量の時間変化を図3.2.24～図3.2.31に示す。

・Kr85 (図3.2.24)

500秒の時点で各セルの雰囲気中存在するKr85はセル1が0.171kg、セル2が0.194kgである。計算開始時にデブリに含まれるKr85の質量は0.365kgであるので、500秒までに初期に存在するKr85のほとんどが雰囲気に放出され、それらの53%が既にセル2に移動している。4500秒ではセル1とセル2のKr85質量は、それぞれ 4.92×10^{-3} kg、0.360kgであり、放出されたKr85のほぼ99%がセル2に移動する。

・I131 (図3.2.25)

500秒の時点で各セルに存在するI131はセル1が0.389kg、セル2が 3.44×10^{-5} kgである。計算開始時にデブリに含まれるI131の質量は0.405kgであるので、500秒までに初期に存在するI131の96%が放出される。1000秒までにはI131は100%放出され、セル1とセル2のI131質量は、それぞれ0.406kg、 5.97×10^{-5} kgである。放出されたI131のほとんどがセル1に存在する。

・Cs137 (図3.2.26)

500秒の時点で各セルに存在するCs137はセル1が6.53kg、セル2が 5.07×10^{-4} kgである。計算開始時にデブリに含まれるCs137の質量は26.7kgであるので、500秒までに初期に存在するCs137の24.5%が放出される。その後、Cs137の初期質量に対する放出割合は、5500秒で100%に達する。6時間後のセル1とセル2のCs137の質量は、それぞれ26.7kg、 2.16×10^{-2} kgである。

・Te131m (図3.2.27)

500秒の時点で各セルに存在するTe131mはセル1が 7.74×10^{-5} kg、セル2が 4.69×10^{-9} kgである。計算開始時にデブリに含まれるTe131mの質量は 9.27×10^{-3} kgであるので、500秒までに初期に存在するTe131mの0.83%が放出される。その後Te131mの初期質量に対する放出割合は、5500秒で5.45%に増大する。6時間後のセル1とセル2のTe131mの質量は、それぞれ 5.38×10^{-4} kg、 4.04×10^{-7} kgであり、初期質量に対する放出割合は5.81%である。

・Sr89 (図3.2.28)

500秒の時点で各セルに存在するSr89はセル1が 3.78×10^{-4} kg、セル2が 3.91×10^{-8} kgである。計算開始時にデブリに含まれるSr89の質量は 8.76×10^{-1} kgであるので、500秒までに初期に存在するSr89の0.043%が放出される。その後、Sr89の初期質量に対する放出割合は、5500秒で0.082%に増大する。6時間後のセル1とセル2のSr89の質量は、それぞれ 7.15×10^{-4} kg、 3.47×10^{-7} kgであり、初期質量に対する放出割合は0.082%である。

・ Ru 1 0 3 (図 3. 2. 2 9)

500秒で各セルに存在するRu103はセル1が 4.48×10^{-9} kg、セル2が 2.26×10^{-10} kgである。計算開始時にデブリに含まれるRu103の質量は2.62kgであるので、500秒までに初期に存在するRu103の $1.98 \times 10^{-7}\%$ が放出される。その後、Ru103の初期質量に対する放出割合は、5500秒で $8.45 \times 10^{-7}\%$ に増大する。6時間後のセル1とセル2のRu103の質量は、それぞれ 1.91×10^{-8} kg、 1.09×10^{-11} kgであり、初期質量に対する放出割合は $8.45 \times 10^{-7}\%$ である。

・ La 1 4 0 (図 3. 2. 3 0)

500秒で各セルに存在するLa140はセル1が 4.81×10^{-6} kg、セル2が 3.69×10^{-10} kgである。計算開始時にデブリに含まれるLa140の質量は0.127kgであるので、500秒までに初期に存在するLa140の $3.78 \times 10^{-3}\%$ が放出される。その後、La140の初期質量に対する放出割合は、5500秒でそれぞれ $1.10 \times 10^{-2}\%$ に増大する。6時間後のセル1とセル2のLa140の質量は、それぞれ 1.41×10^{-5} kg、 7.65×10^{-9} kgであり、初期質量に対する放出割合は $1.11 \times 10^{-4}\%$ である。

・ Pu 2 3 9 (図 3. 2. 3 1)

500秒で各セルに存在するPu239はセル1が0.386、セル2が 2.19×10^{-5} kgである。計算開始時にデブリに含まれるPu239の質量は2110kgであるので、500秒までに初期に存在するPu239の0.018%が放出される。その後、Pu239の初期質量に対する放出割合は、5500秒で0.060%に増大する。6時間後のセル1とセル2のPu239質量は、それぞれ1.26kg、 7.06×10^{-4} kgであり、初期質量に対する放出割合は0.060%である。

表3.2.2-(1) FPのインベントリ (1/3) (パラメータ ケース1 : 6時間後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)			
					セル1	セル2	セル1 + セル2	初期値に 対する割合 (-)
1	希ガス	Kr	Kr83m	1.00E+22	7.15E-09	2.28E-04	2.28E-04	1.00E+00
			Kr85	1.00E+22	1.14E-05	3.65E-01	3.65E-01	1.00E+00
			Kr85m	1.00E+22	3.10E-08	9.89E-04	9.89E-04	1.00E+00
			Kr87	1.00E+22	1.51E-08	4.82E-04	4.82E-04	1.00E+00
			Kr88	1.00E+22	4.86E-08	1.55E-03	1.55E-03	1.00E+00
			Kr89	1.00E+22	9.63E-10	3.07E-05	3.07E-05	1.00E+00
			Kr90	1.00E+22	1.66E-10	5.28E-06	5.28E-06	1.00E+00
			Xe	Xe131m	1.00E+22	1.31E-07	4.19E-03	4.19E-03
		Xe133		1.00E+22	1.47E-05	4.68E-01	4.68E-01	1.00E+00
		Xe133m		1.00E+22	9.19E-07	2.93E-02	2.93E-02	1.00E+00
		Xe135		1.00E+22	1.16E-06	3.70E-02	3.70E-02	1.00E+00
		Xe135m		1.00E+22	6.55E-09	2.09E-04	2.09E-04	1.00E+00
		Xe137		1.00E+22	6.84E-09	2.18E-04	2.18E-04	1.00E+00
		Xe138		1.00E+22	1.99E-08	6.36E-04	6.36E-04	1.00E+00
		Xe140		1.00E+22	1.80E-10	5.73E-06	5.73E-06	1.00E+00
		グループ1 合計					2.85E-05	9.08E-01
2	ハロゲン	Br	Br83	1.00E+22	3.00E-04	4.91E-08	3.00E-04	1.00E+00
			Br85	1.00E+22	1.07E-05	1.75E-09	1.07E-05	1.00E+00
			Br87	1.00E+22	4.03E-06	6.60E-10	4.03E-06	9.83E-01
		I	I131	1.00E+22	4.07E-01	6.67E-05	4.07E-01	1.00E+00
			I132	1.00E+22	6.52E-03	1.07E-06	6.52E-03	1.00E+00
			I133	1.00E+22	7.60E-02	1.24E-05	7.60E-02	1.00E+00
			I133m	1.00E+22	4.26E-07	6.98E-11	4.26E-07	1.00E+00
			I134	1.00E+22	3.44E-03	5.64E-07	3.44E-03	1.00E+00
			I134m	1.00E+22	3.15E-05	5.16E-09	3.15E-05	9.85E-01
			I135	1.00E+22	2.41E-02	3.94E-06	2.41E-02	1.00E+00
			グループ2 合計					5.18E-01
3	7族金属	Rb	Rb86	1.00E+22	1.94E-03	7.08E-07	1.94E-03	1.00E+00
			Rb89	1.00E+22	1.93E-04	7.04E-08	1.93E-04	1.00E+00
			Rb90	1.00E+22	2.71E-05	9.92E-09	2.71E-05	1.00E+00
			Rb90m	1.00E+22	1.63E-05	5.97E-09	1.63E-05	1.00E+00
		Cs	Cs134	1.00E+22	2.89E-01	1.06E-04	2.90E-01	1.00E+00
			Cs134m	1.00E+22	2.36E-05	8.62E-09	2.36E-05	1.00E+00
			Cs136	1.00E+22	4.35E-02	1.59E-05	4.35E-02	1.00E+00
			Cs137	1.00E+22	2.67E+01	9.78E-03	2.67E+01	1.00E+00
			Cs140	1.00E+22	5.07E-05	1.85E-08	5.07E-05	1.00E+00
			グループ3 合計					2.71E+01

表 3. 2. 2-(2) FPのインベントリ (2 / 3) (パラメータ ケース 1 : 6 時間後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)				
					セル 1	セル 2	セル 1 + セル 2	初期値に 対する割合 (-)	
4	テルル アンチモン	In	In115m	1.00E+22	4.77E-07	1.24E-10	4.77E-07	3.70E-03	
			Sn	Sn123	1.00E+22	1.92E-04	4.99E-08	1.92E-04	3.69E-03
				Sn125	1.00E+22	2.19E-05	5.70E-09	2.19E-05	3.69E-03
		Sb	Sb127	1.00E+22	2.29E-06	6.77E-10	2.29E-06	9.92E-05	
			Sb129	1.00E+22	3.03E-07	8.96E-11	3.03E-07	9.95E-05	
			Sb131	1.00E+22	6.52E-08	1.93E-11	6.53E-08	9.98E-05	
		Te	Te127	1.00E+22	1.32E-04	4.40E-08	1.32E-04	5.80E-02	
			Te127m	1.00E+22	5.25E-03	1.75E-06	5.25E-03	5.79E-02	
			Te129	1.00E+22	4.46E-05	1.49E-08	4.46E-05	5.79E-02	
			Te129m	1.00E+22	8.37E-03	2.79E-06	8.38E-03	5.78E-02	
			Te131	1.00E+22	4.43E-05	1.48E-08	4.43E-05	5.78E-02	
			Te131m	1.00E+22	5.37E-04	1.79E-07	5.38E-04	5.80E-02	
		Te132	1.00E+22	1.26E-02	4.19E-06	1.26E-02	5.79E-02		
		Te133	1.00E+22	2.75E-05	9.16E-09	2.75E-05	5.79E-02		
		Te133m	1.00E+22	6.28E-05	2.09E-08	6.28E-05	5.76E-02		
Te134	1.00E+22	1.17E-04	3.90E-08	1.17E-04	5.80E-02				
グループ 4 合計					2.74E-02	9.10E-06	2.74E-02	4.94E-02	
5	7族土類	Sr	Sr89	1.00E+22	7.14E-04	1.51E-07	7.14E-04	8.15E-04	
			Sr90	1.00E+22	5.40E-03	1.14E-06	5.40E-03	8.15E-04	
			Sr91	1.00E+22	7.95E-06	1.68E-09	7.95E-06	8.14E-04	
		Ba	Ba140	1.00E+22	3.50E-03	8.85E-07	3.50E-03	3.64E-03	
グループ 5 合計					9.62E-03	2.18E-06	9.62E-03	1.13E-03	
6	遷移族	Co	Co58	1.00E+22	3.03E-07	6.57E-11	3.03E-07	5.57E-07	
			Co60	1.00E+22	8.83E-09	1.92E-12	8.83E-09	5.59E-07	
		Mo	Mo99	1.00E+22	8.99E-08	1.95E-11	8.99E-08	5.59E-07	
			Tc	Tc99m	1.00E+22	9.17E-11	1.95E-14	9.17E-11	7.22E-09
		Ru	Ru103	1.00E+22	1.89E-08	4.02E-12	1.89E-08	7.23E-09	
			Ru105	1.00E+22	6.84E-11	1.45E-14	6.84E-11	7.21E-09	
			Ru106	1.00E+22	6.47E-08	1.37E-11	6.47E-08	7.22E-09	
			Rh	Rh105	1.00E+22	5.44E-10	1.15E-13	5.44E-10	7.22E-09
		Rh105m		1.00E+22	5.00E-14	1.06E-17	5.00E-14	7.22E-09	
		Ag	Ag110m	1.00E+22	3.66E-05	9.88E-09	3.66E-05	1.26E-02	
			Ag111	1.00E+22	3.41E-04	9.20E-08	3.41E-04	1.26E-02	
		Cd	Cd115	1.00E+22	1.82E-05	4.90E-09	1.82E-05	1.13E-02	
Cd115m	1.00E+22		6.32E-05	1.71E-08	6.32E-05	1.26E-02			
グループ 6 合計					4.59E-04	1.24E-07	4.59E-04	3.70E-05	

表 3.2.2-(3) FPのインベントリ (3/3) (パラメータ ケース 1 : 6 時間後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)					
					セル 1	セル 2	セル 1 + セル 2	初期値に 対する割合 (-)		
7	ランタノイド	Y	Y90	1.00E+22	2.25E-07	4.74E-11	2.25E-07	1.10E-04		
			Y91	1.00E+22	1.51E-04	3.18E-08	1.51E-04	1.10E-04		
			Y91m	1.00E+22	5.42E-08	1.14E-11	5.42E-08	1.10E-04		
		Zr	Zr95	1.00E+22	1.24E-05	4.26E-09	1.24E-05	4.48E-06		
			Zr97	1.00E+22	1.61E-07	5.54E-11	1.61E-07	4.49E-06		
			Nb	Nb95	1.00E+22	7.89E-03	1.58E-06	7.89E-03	5.52E-03	
		Nb95m		1.00E+22	1.04E-05	2.09E-09	1.04E-05	5.52E-03		
		La	La140	1.00E+22	1.40E-05	2.95E-09	1.40E-05	1.10E-04		
			La141	1.00E+22	1.39E-06	2.93E-10	1.39E-06	1.10E-04		
		Ce	Ce141	1.00E+22	1.48E-03	3.08E-07	1.48E-03	5.95E-04		
			Ce143	1.00E+22	5.32E-05	1.10E-08	5.32E-05	5.97E-04		
			Ce144	1.00E+22	5.88E-03	1.22E-06	5.89E-03	5.96E-04		
		Pr	Pr143	1.00E+22	9.66E-05	2.03E-08	9.66E-05	1.10E-04		
			Pr147	1.00E+22	2.90E-08	6.11E-12	2.90E-08	1.10E-04		
		Nd	Nd147	1.00E+22	3.92E-05	8.25E-09	3.92E-05	1.10E-04		
		グループ 7 合計					1.56E-02	3.19E-06	1.56E-02	8.06E-04
		8	燃料	Np	Np239	1.00E+22	3.40E-03	7.07E-07	3.40E-03	5.96E-04
Pu	Pu238				1.00E+22	1.41E-03	2.94E-07	1.42E-03	5.97E-04	
	Pu239			1.00E+22	1.26E+00	2.61E-04	1.26E+00	5.95E-04		
	Pu240			1.00E+22	4.90E-01	1.02E-04	4.90E-01	5.97E-04		
	Pu241			1.00E+22	1.83E-01	3.80E-05	1.83E-01	5.96E-04		
	Pu242			1.00E+22	8.54E-02	1.77E-05	8.55E-02	5.98E-04		
	Am			Am241	1.00E+22	3.42E-02	7.10E-06	3.42E-02	5.97E-04	
				Am242	1.00E+22	8.34E-06	1.73E-09	8.34E-06	5.96E-04	
Cm	Cm242			1.00E+22	1.17E-03	2.42E-07	1.17E-03	5.95E-04		
	Cm244			1.00E+22	1.30E-04	2.69E-08	1.30E-04	5.95E-04		
グループ 8 合計					2.05E+00	4.27E-04	2.06E+00	5.96E-04		
合 計 値					2.97E+01	9.18E-01	3.06E+01	8.72E-03		

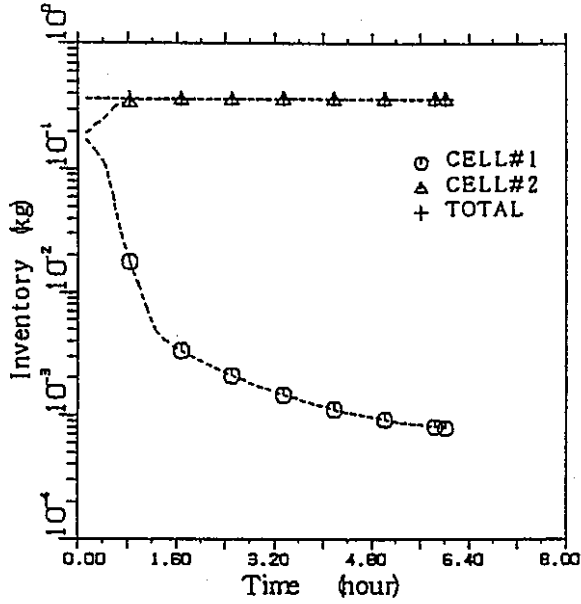


図3.2.24 Kr 85 質量
(パラメータ-ス1)

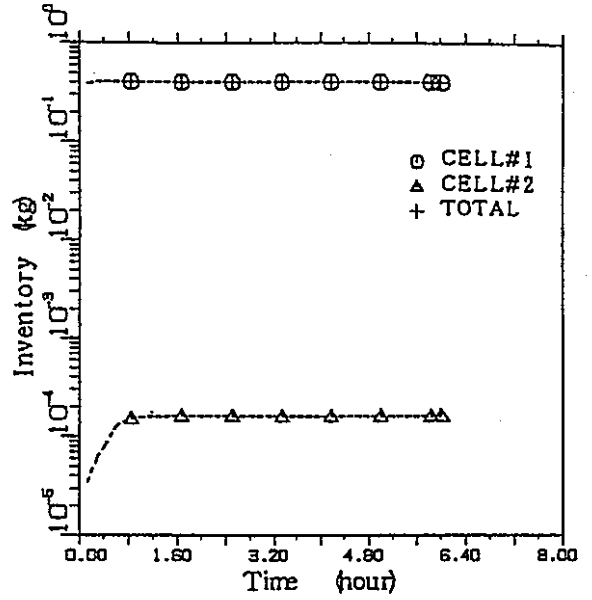


図3.2.25 I 131 質量
(パラメータ-ス1)

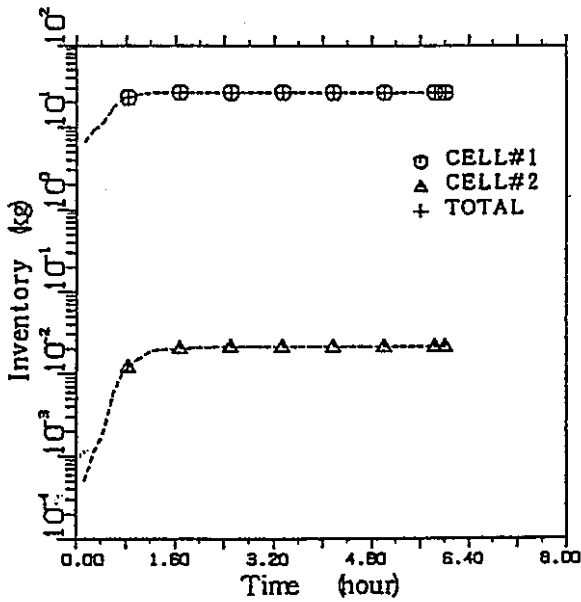


図3.2.26 Cs 137 質量
(パラメータ-ス1)

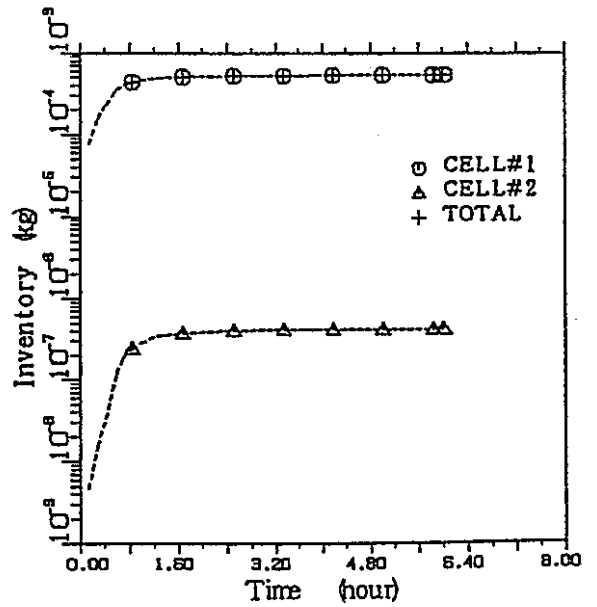


図3.2.27 Te 131m 質量
(パラメータ-ス1)

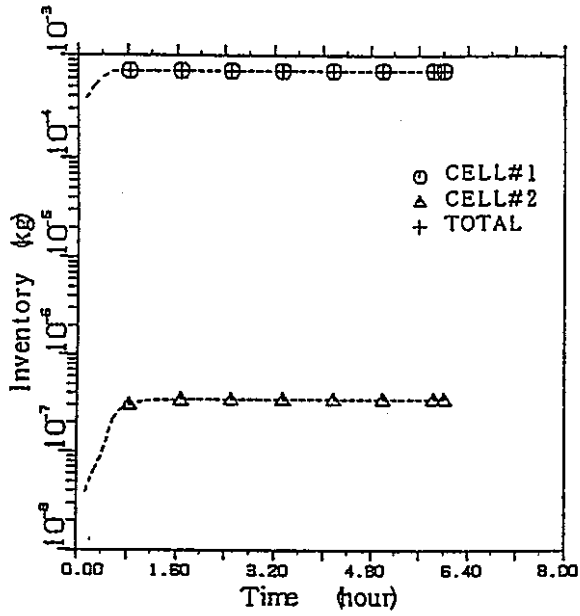


図3.2.28 Sr 89 質量
(パラメ-タ-ス1)

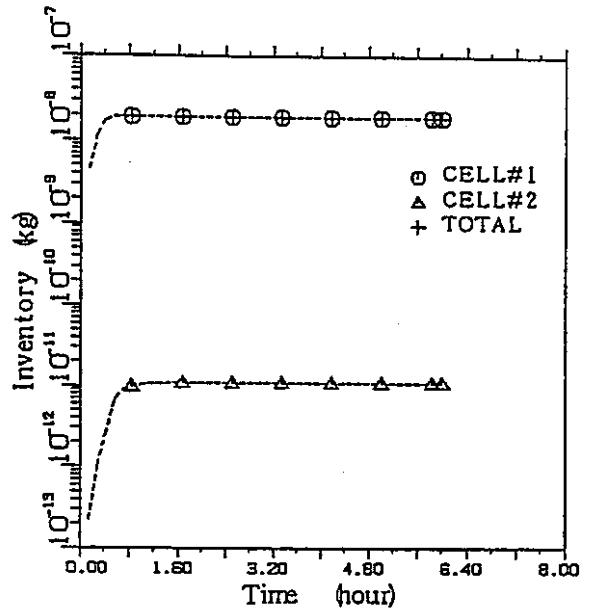


図3.2.29 Ru 103 質量
(パラメ-タ-ス1)

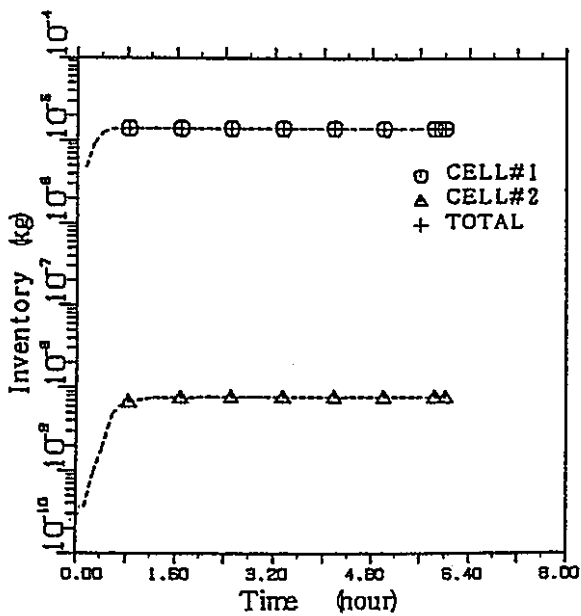


図3.2.30 La 140 質量
(パラメ-タ-ス1)

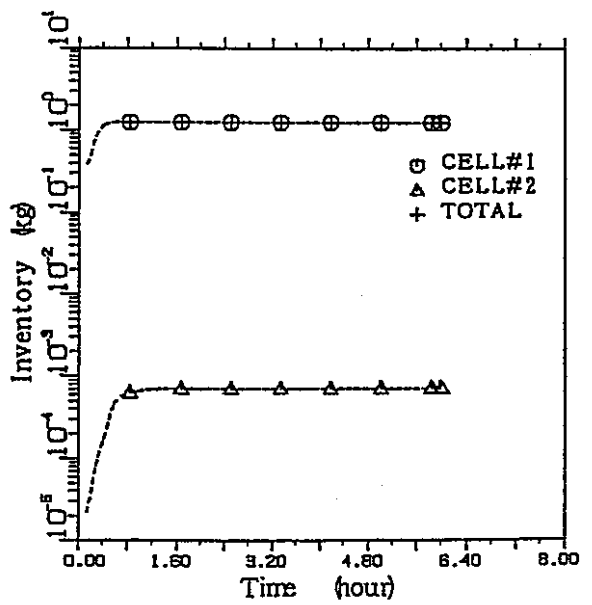


図3.2.31 Pu 239 質量
(パラメ-タ-ス1)

3.2.1.3 エアロゾルの挙動（ケース1）

基本ケースのエアロゾル関連諸量の時間に伴う変化を図3.2.32～図3.2.38に示す。6時間後までにおけるエアロゾル積算発生量は244.3kgである。エアロゾルに関する計算結果を以下に述べる。

（1）金属層を通過する気体の流量

デブリの金属層を通過する気体（CO、CO₂、H₂、H₂O）の合計体積流量を図3.2.32に示す。ただしケース1ではCOとCO₂は発生しない。気体の合計体積流量は、プロット図では2000秒のとき最大となり、このときの流量は2.198m³/sである。6時間後の体積流量は2.38×10⁻²m³/sである。

（2）酸化物層温度

酸化物層温度を図3.2.33に示す。酸化物層温度は1000秒で最高温度2362Kとなりその後降下する。6時間後の酸化物層温度は1513Kである。なお、ここでの酸化物層温度は、VANESAモデルで使用される酸化物層温度で、層の逆転以前はCONTAINモデルの重い酸化物層温度、層の逆転以降はCONTAINモデルの軽い酸化物層温度にそれぞれ対応する。

（3）エアロゾル発生量

エアロゾル発生量を図3.2.34に示す。エアロゾル発生量は計算開始初期に最も大きく、時刻とともに下降する。計算開始直後は、蒸発によるエアロゾル発生量の方が、メカニカルな機構によるエアロゾル発生量よりも1741倍大きい。6時間後にはその差は95倍に縮まるが、解析期間全体にわたり蒸発によるエアロゾル発生量の方がメカニカルな機構によるエアロゾル発生量よりも大きい。

（4）エアロゾル密度

エアロゾル密度を図3.2.35に示す。エアロゾル密度は計算開始直後に最大値3770kg/m³となる。その後エアロゾル密度は時間経過とともに単調に減少する。6時間後のエアロゾル密度は2086kg/m³である。

（5）エアロゾル平均直径

エアロゾルの平均直径を図3.2.36に示す。平均直径は計算開始直後に1.07μmであるが、その後時間経過とともに減少する。6時間後の平均直径は0.31μmである。

（6）エアロゾル成分割合

各時刻で発生するエアロゾルに対する主要なエアロゾルの発生割合を図3.2.37に示す。計算開始直後は、Cs₂OとCsIの成分割合がそれぞれ全エアロゾルの39.4%と40.8%を占める。その後CsIの割合は減少し、500秒ではCs₂Oが35.2%、CsIが6.8%となる。1500秒では依然としてCs₂Oの割合が26.5%で一番大きい。2番目はMnが23.7%を占める。その後、Mnの割合が減少し、Cs₂Oの割合が一番大きい時間帯が続くが、次第にK₂Oの割合が増加し、4000秒以降はCs₂Oに代わってK₂Oの割合が一番大きくなる。6時間後の割合はK₂Oが91.8%、Cs₂Oが0.0%、Na₂Oが4.6%、Mnが2.2%、その他が1.4%である。

(7) エアロゾル質量

エアロゾルの累積発生質量を図3.2.38に示す。6時間までに放出された主なエアロゾルの質量(単位: kg)は、次のとおりである。

Cs_2O : 87.5, Mn : 35.9, K_2O : 46.8, CsI : 15.4, SiO_2 : 21.9, Na_2O : 6.8

上記の6エアロゾルの合計放出量は214.3kgであり、エアロゾルの全放出量224.3kgの95.5%にあたる。

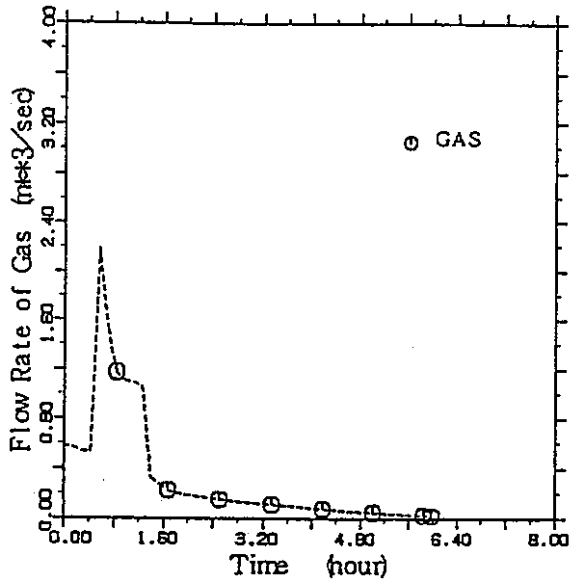


図3.2.32 金属層を通過する気体流量
(パラメータ-ス1)

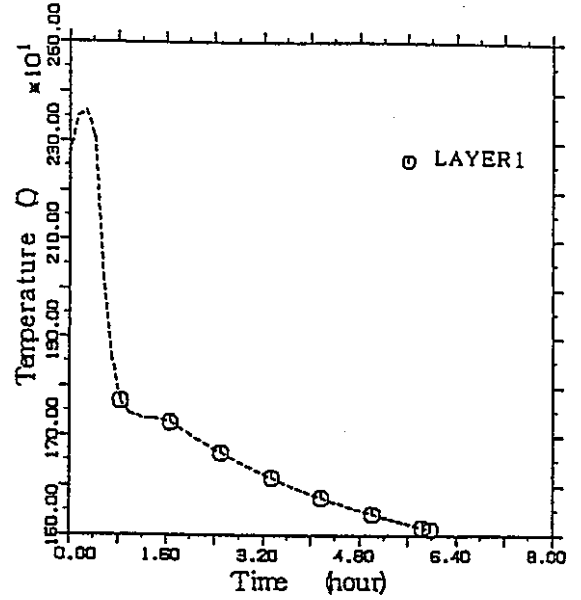


図3.2.33 酸化物層温度
(パラメータ-ス1)

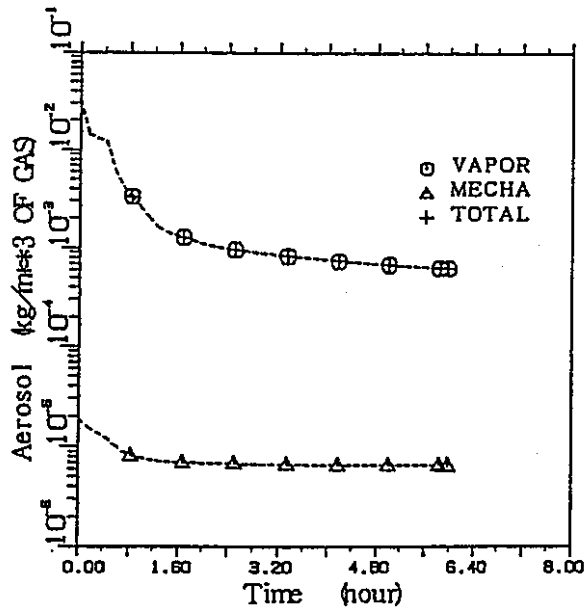


図3.2.34 エアロゾル発生量
(パラメータ-ス1)

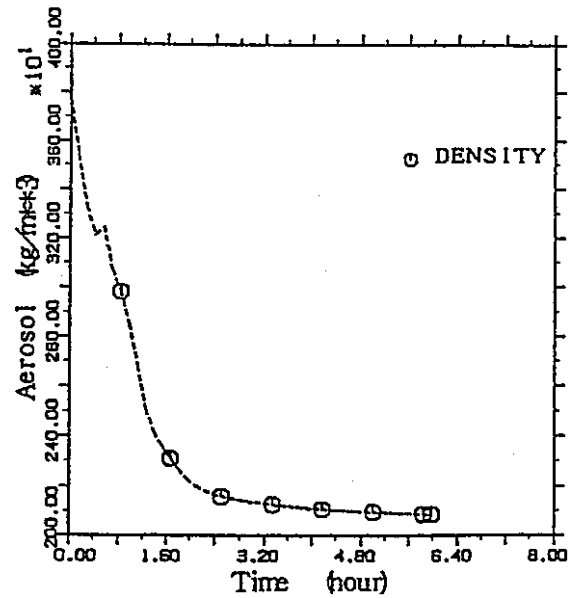


図3.2.35 エアロゾル密度
(パラメータ-ス1)

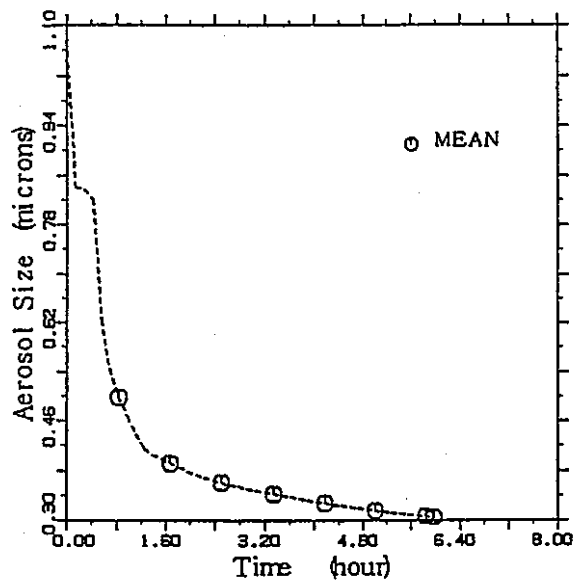


図3.2.36 エアロゾル平均サイズ
(パラメ-タ-ス1)

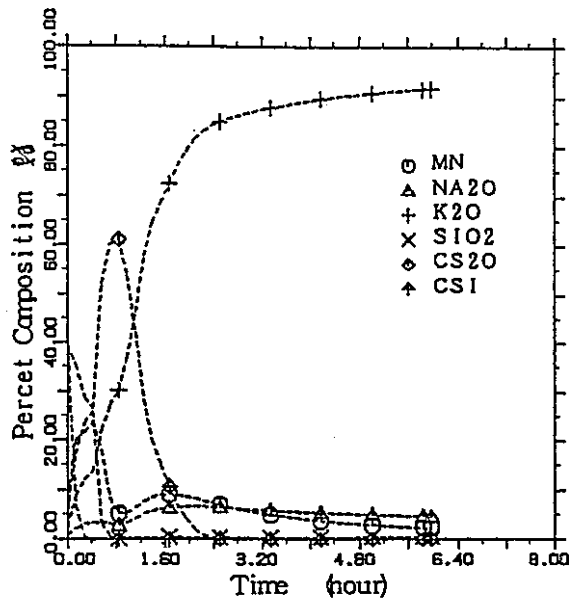


図3.2.37 エアロゾル成分割合
(パラメ-タ-ス1)

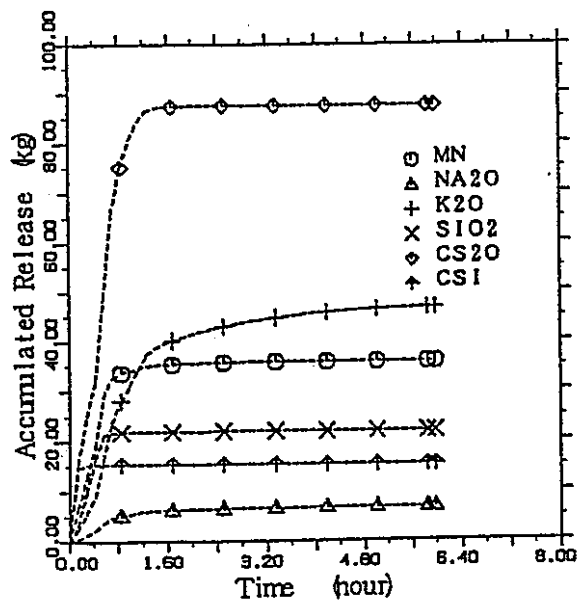


図3.2.38 エアロゾル質量
(パラメ-タ-ス1)

3.2.2 ケース2

ケース2では、プール深さ初期値を、基本ケースの5mから10mに変更して計算を行った。

3.2.2.1 主要な計算結果（ケース2）

ケース2の6時間までのプロット図を図3.2.39～図3.2.61に示す。以下に計算値の時間に伴う変化について記す。

(1) セル雰囲気温度

セル雰囲気温度を図3.2.39に示す。初期温度はセル1、セル2ともに328Kである。500秒での各セルの雰囲気温度はセル1が557.8K、セル2が362.8Kであり、セル1の雰囲気温度がセル2よりも高い。この時点でセル1、セル2ともにその雰囲気温度は飽和温度に達している。6時間後のセル雰囲気温度はセル1が988.6K、セル2が466.2Kであり、基本ケースと比較すると、セル1で298.1K、セル2で1.7Kの温度上昇となる。

(2) セル圧力

セル圧力を図3.2.40に示す。初期圧力はセル1が0.1034MPa、セル2が0.1018MPaである。セル圧力は時間経過に伴って上昇し、6時間後の圧力はセル1、2ともに0.1874MPaである。この圧力値は基本ケースよりも0.0031MPa高い。ここで、セル圧力が上昇するのはおもにH₂のモル数の増加による。

(3) 雰囲気中の成分割合

セル雰囲気中の気体の成分割合を図3.2.41～図3.2.45に示す。各セルの気体成分割合の初期値は、セル1がN₂:0.97、O₂:0.03、セル2がN₂:0.79、O₂:0.21である。

・ O₂の割合（図3.2.41）

各セルの雰囲気中のO₂のモル分率は時間経過に伴い低下する。6時間後のO₂のモル分率は、セル1が 7.7×10^{-5} 、セル2が0.164である。

・ H₂の割合（図3.2.42）

セル1の雰囲気中のH₂モル分率は、5000秒には最大値0.949となる。5000秒以降は単調減少となる。6時間後のセル1の雰囲気中のH₂モル分率は0.862である。セル2の雰囲気中のH₂モル分率は時間経過に伴い上昇する。6時間後のセル2の雰囲気中のH₂モル分率は0.173である。

・ H₂Oの割合 (図3.2.43)

セル1の雰囲気中のH₂O(気体)モル分率は、2000秒で最大値0.061まで上昇した後降下し、4500秒では0.034まで低下する。4500秒以降は再び上昇して12000秒後に0.054に達した後、単調に減少する。6時間後のセル1の雰囲気中のH₂Oモル分率は0.043である。セル2の雰囲気中のH₂O(気体)モル分率は、計算開始時点より単調に増大する。6時間後のセル2の雰囲気中のH₂Oモル分率は 9.7×10^{-3} である。

・ CO₂の割合 (図3.2.44)

パラメータケース2のコンクリートは硬質砂岩であり成分にCO₂、CaCO₃、MgCO₃を含まない。従って、デブリーコンクリート相互作用の際にCO₂は発生しない。

・ N₂の割合 (図3.2.45)

セル1のN₂割合は初期値0.97から急速に減少し3000秒には0.1以下となる。6時間後のセル1の雰囲気中のN₂モル分率は 2.6×10^{-3} である。セル2のN₂割合は初期値0.79から単調に減少する。6時間後のセル2の雰囲気中のN₂モル分率は0.654である。

(4) 雰囲気中の成分質量

・ O₂の質量 (図3.2.46)

セル1の雰囲気中のO₂質量は、初期値の58.3kgから急速に減少し、4500秒には0.885kgとなる。6時間後のセル1のO₂質量は 8.7×10^{-2} kgである。セル2の雰囲気中のO₂質量は、セル1から流入するO₂の質量が加わるので、初期値の7023.6kgから6時間後には7081.8kgに増大する。

・ H₂の質量 (図3.2.47)

セル1の雰囲気中のH₂質量は、5000秒に最大値104kgまで上昇した後、5000秒以降は単調減少となる。6時間後のセル1の雰囲気中のH₂質量は61.0kgである。セル2の雰囲気中のH₂質量は、単調に増大する。6時間後のセル2の雰囲気中のH₂質量は472.2kgである。

・ H₂Oの質量 (図3.2.48)

セル1の雰囲気中のH₂O(気体)質量は、2100秒で最大値50.9kgまで上昇した後降下し、4500秒では32.0kgまで低下する。4500秒以降は再び上昇して9000秒後に45.9kgに達した後、単調に減少する。6時間後のセル1の雰囲気中のH₂O質量は26.9kgである。セル2の雰囲気中のH₂O(気体)質量は、計算開始時点より単調に増大する。6時間後のセル2の雰囲気中のH₂O質量は237kgである。

・ CO₂の質量 (図3.2.49)

パラメータケース2のコンクリートは硬質砂岩であり成分にCO₂、CaCO₃、MgCO₃を含まない。従って、デブリーコンクリート相互作用の際にCO₂は発生しない。

・ N₂の質量 (図 3. 2. 5 0)

セル1の雰囲気中のN₂質量は初期値の1649.1kgから急速に減少し、6500秒には15.8kgとなる。6時間後のセル1のN₂質量は2.54kgである。セル2の雰囲気中のN₂質量は、セル1のN₂がセル2に移動するので、初期値の23131kgから6時間後には24787kgに増大する。

(5) セル間の流量

セル1からセル2への流量を図3. 2. 5 1に示す。流量は2000秒に最大値0.748kg/sとなった後単調に減少する。6時間後の流量は0.014kg/sとなる。

(6) コンクリート浸食による生成物質量

コンクリート浸食による生成物質量を図3. 2. 5 2に示す。コンクリート浸食による結果、6時間後にはH₂Oが264kg、H₂が533kgそれぞれ発生する。CO、CO₂、C、Zrは発生しない。

(7) デブリ温度

デブリ温度を図3. 2. 5 3に示す。6時間後の各層の温度は、軽い酸化物層が1511.7K、金属層が1510.0Kである。

(8) デブリ密度

デブリ密度を図3. 2. 5 4に示す。時刻1790秒でデブリ中の重い酸化物層の密度が金属層の密度よりも小さくなり金属層がデブリの最下端層となる。同時に重い酸化物層は軽い酸化物層に吸収される。6時間後のデブリ密度は、軽い酸化物層が3403kg/m³、金属層が7191kg/m³である。

(9) デブリ質量

デブリ質量を図3. 2. 5 5に示す。酸化物層質量は初期値59.35tから6時間後には169.0tに増大する。ここで、6時間後の酸化物層は軽い酸化物層である。金属層質量は初期値123.9tから6時間後には127.6tにそれぞれ増大する。

(10) キャビティ形状

キャビティの径方向寸法と鉛直方向寸法をそれぞれ図3. 2. 5 6及び図3. 2. 5 7に示す。6時間後のコンクリート浸食深さ最大値は、鉛直方向46.3cm、径方向10.1cmである。このときのコンクリート浸食体積は42.4m³である。

(11) エアロゾル濃度

各セルのエアロゾルUO₂とNaLの濃度をそれぞれ図3. 2. 5 8及び図3. 2. 5 9に示す。

・ エアロゾルUO₂ (図 3. 2. 5 8)

6時間後の各セルの雰囲気中のエアロゾルUO₂の濃度は、セル1が $4.62 \times 10^{-4} \text{g/m}^3$ 、セル2が $8.76 \times 10^{-3} \text{g/m}^3$ である。これに対応する質量は、セル1が $7.11 \times 10^{-4} \text{kg}$ 、セル2が $2.45 \times 10^{-1} \text{kg}$ である。

・エアロゾルNaL (図3.2.59)

6時間後のエアロゾルNaLの濃度は、セル1が $146\text{g}/\text{m}^3$ 、セル2が $4.11\text{g}/\text{m}^3$ である。これに対応する質量は、セル1が 225.4kg 、セル2が 115.2kg である。

(12) エアロゾル沈澱量

各セルのエアロゾル UO_2 とNaLの合計沈澱量を図3.2.60に示す。6時間後の沈澱量はセル1が 225.5kg 、セル2が 2.8kg である。6時間後の沈澱量の内訳は次のとおりである。

	沈澱量 (kg)			
	セル1		セル2	
	UO_2	NaL	UO_2	NaL
天井	3.17×10^{-3}	1.97×10^{-2}	2.55×10^{-3}	7.98×10^{-5}
壁	9.90×10^{-2}	1.74×10^{-1}	1.69×10^{-1}	5.32×10^{-3}
床 + プール	2.22×10^2	3.59	2.39	2.00×10^{-1}
合計	2.22×10^2	3.78	2.56	2.05×10^{-1}

(13) 構造物温度

セル1の構造物温度を図3.2.61に示す。6時間後の壁の内側表面温度は 961.4K 、天井の内側表面温度は 880.6K である。また、セル2の6時間後の壁の内側表面温度は 399.1K 、天井の内側表面温度は 399.0K である。

(14) ナトリウムプール

6時間後のナトリウムプールの深さは 5.70m であり初期値の 5m から 0.70m 上昇する。また、ナトリウムプールの質量は初期値 360.5t から 359.6t に減少する。6時間後のナトリウムプール温度は 1204.5K である。

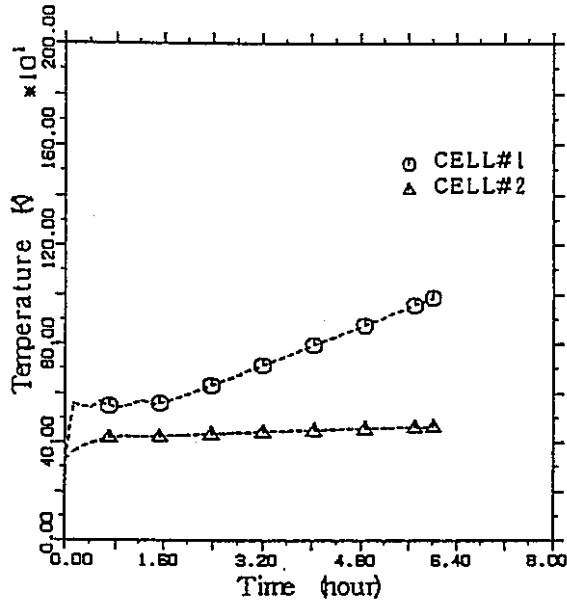


図3.2.39 セル雰囲気温度
(パラメータ-ス2)

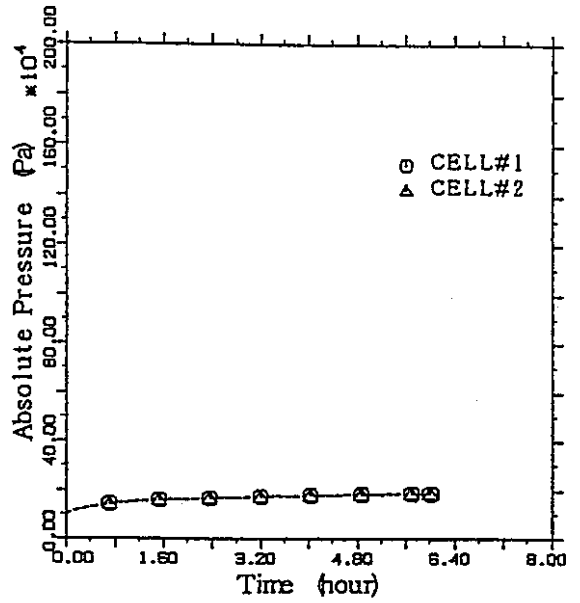


図3.2.40 セル圧力
(パラメータ-ス2)

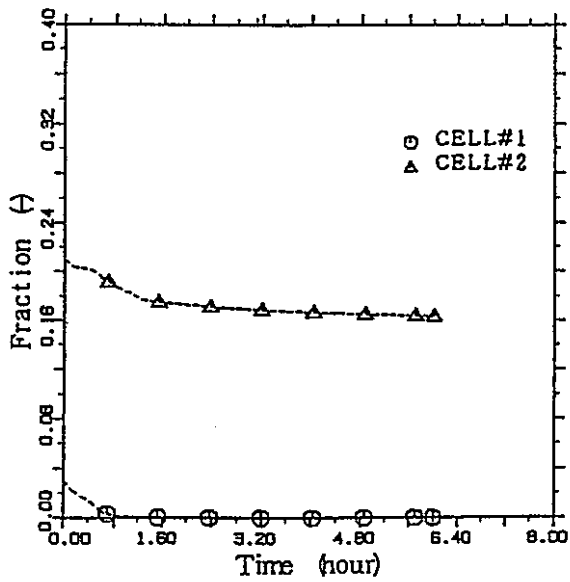


図3.2.41 雰囲気中のO₂モル分率
(パラメータ-ス2)

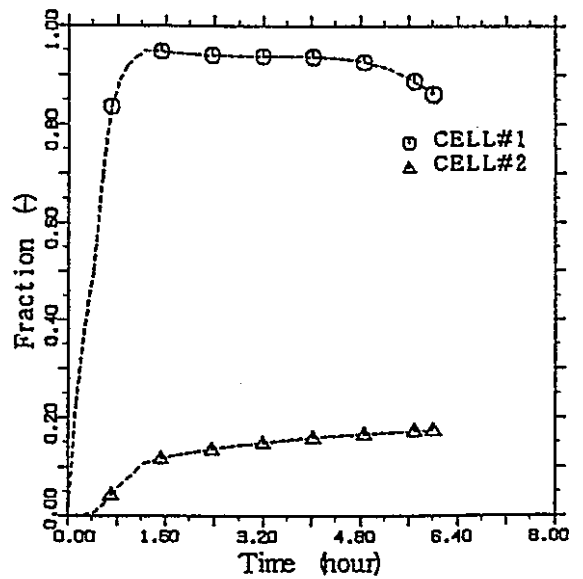


図3.2.42 雰囲気中のH₂モル分率
(パラメータ-ス2)

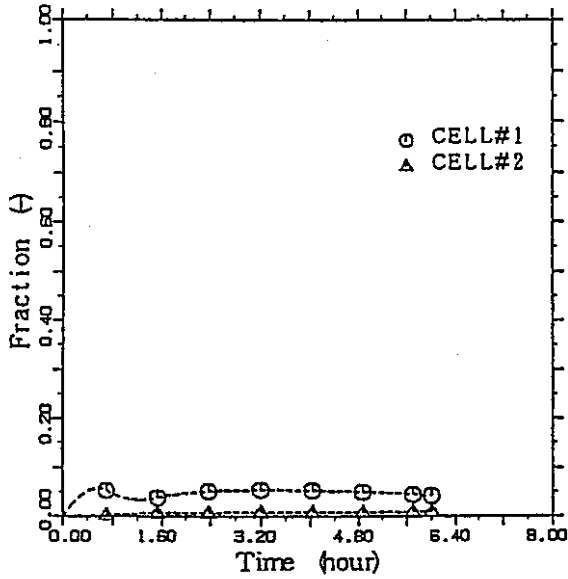


図3.2.43 雰囲気中のH₂Oモル分率
(パラメータ-72)

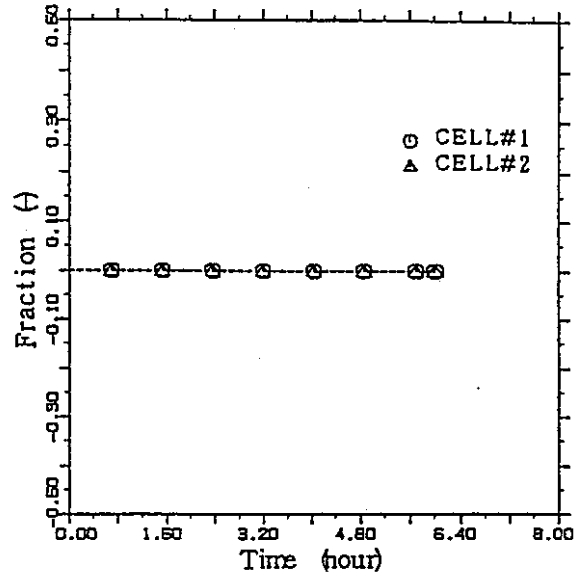


図3.2.44 雰囲気中のCO₂モル分率
(パラメータ-72)

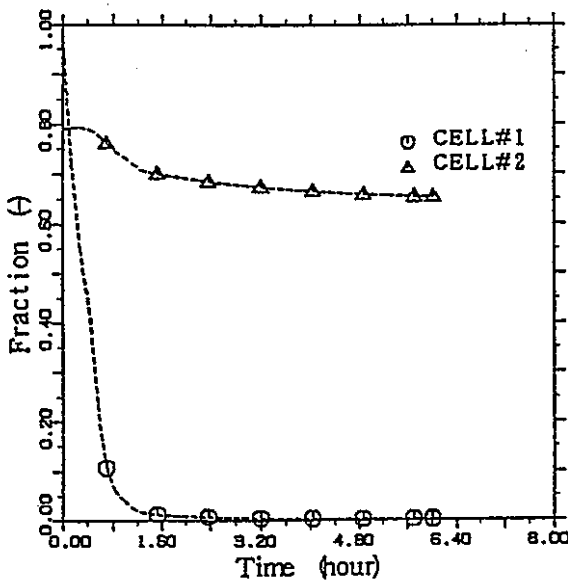


図3.2.45 雰囲気中のN₂モル分率
(パラメータ-72)

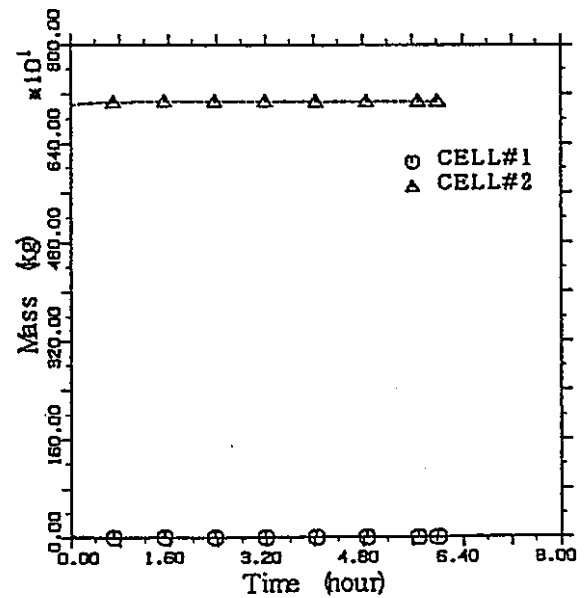


図3.2.46 雰囲気中のO₂質量
(パラメータ-72)

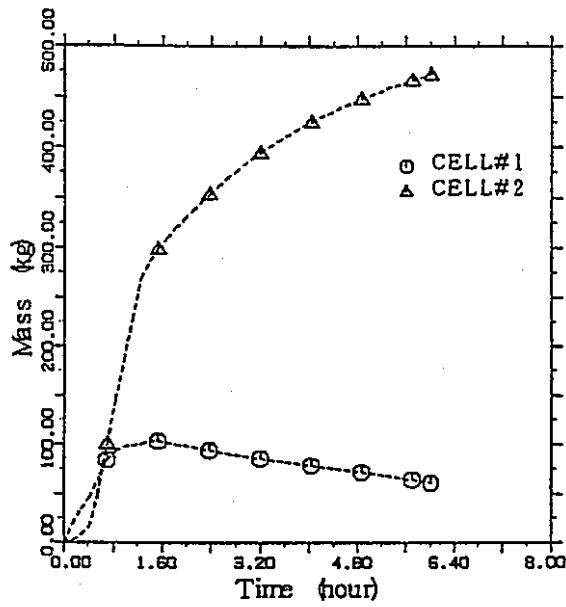


図3. 2. 47 雰囲気中のH₂質量
(パラメ-タ-ス2)

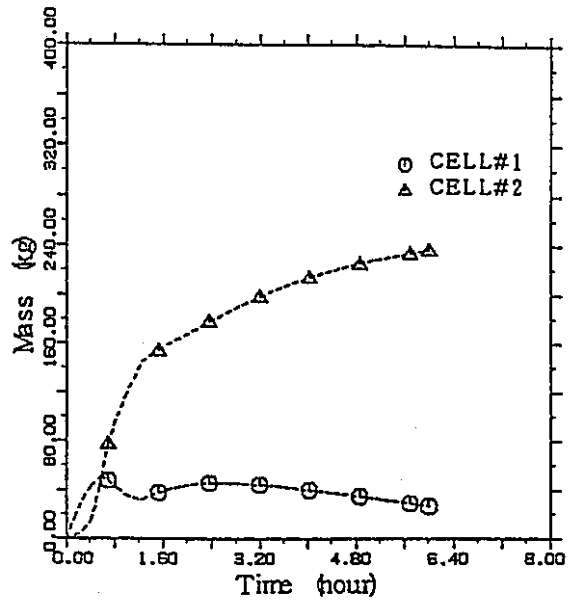


図3. 2. 48 雰囲気中のH₂O質量
(パラメ-タ-ス2)

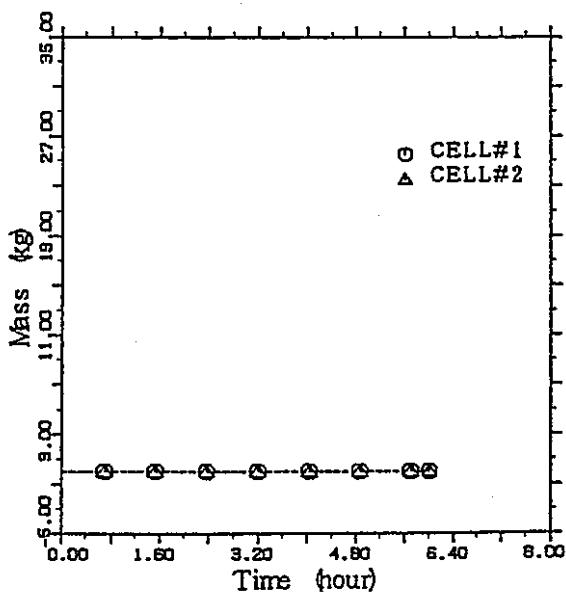


図3. 2. 49 雰囲気中のCO₂質量
(パラメ-タ-ス2)

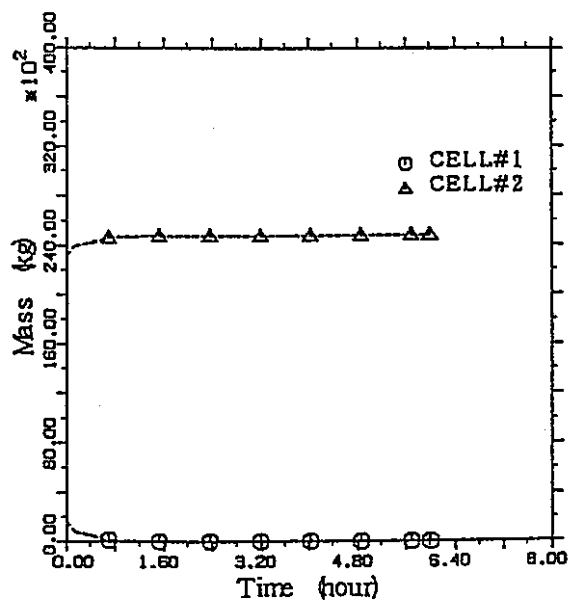


図3. 2. 50 雰囲気中のN₂質量
(パラメ-タ-ス2)

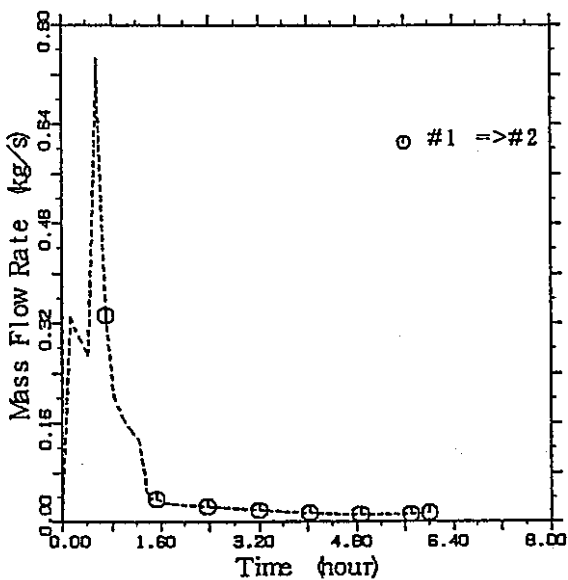


図3.2.51 セル間の流量
(パメ-ケ-2)

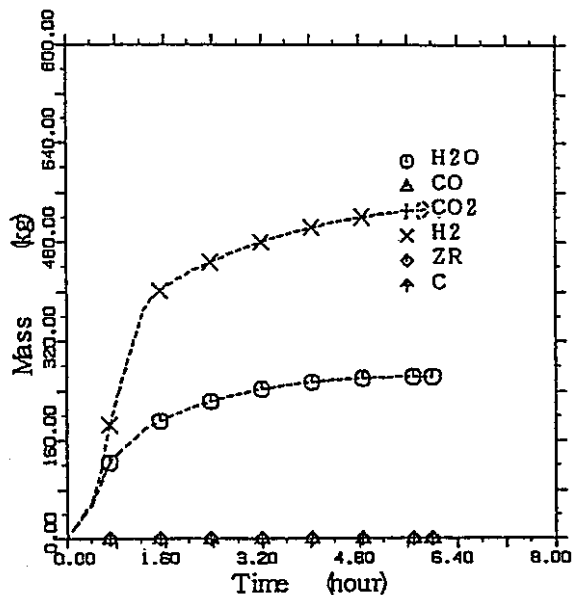


図3.2.52 コンクリート浸食による生成物の質量
(パメ-ケ-2)

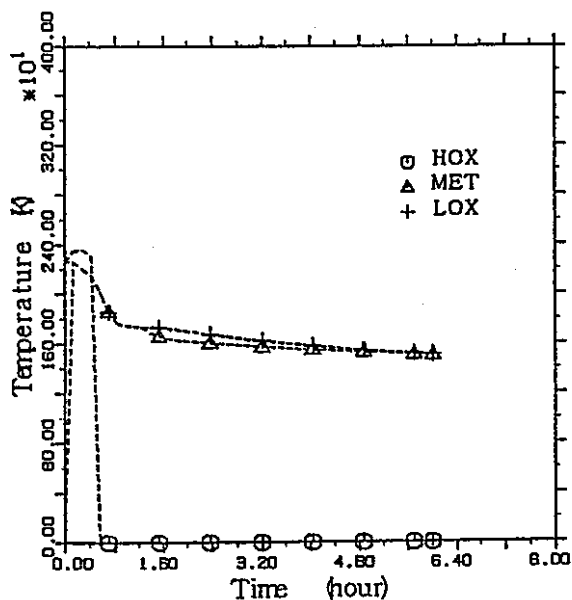


図3.2.53 デブリ層温度
(パメ-ケ-2)

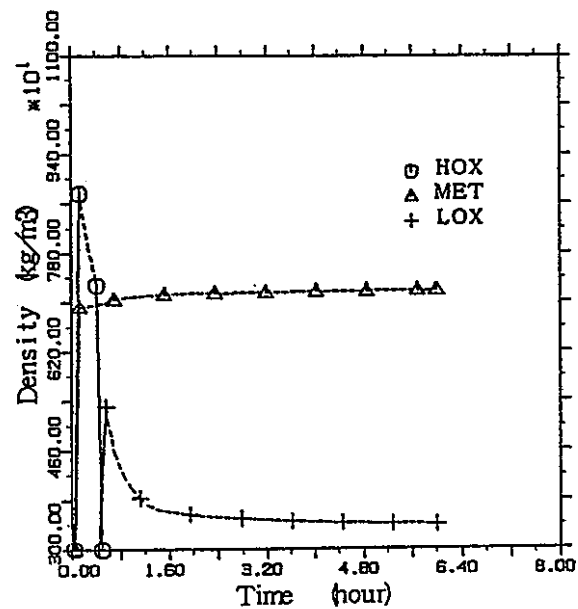


図3.2.54 デブリ層密度
(パメ-ケ-2)

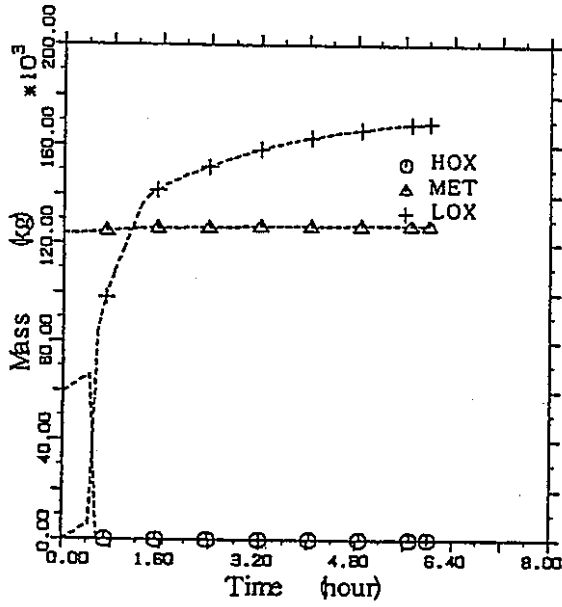


図3.2.55 デブリ層質量
(パラメータ-ス2)

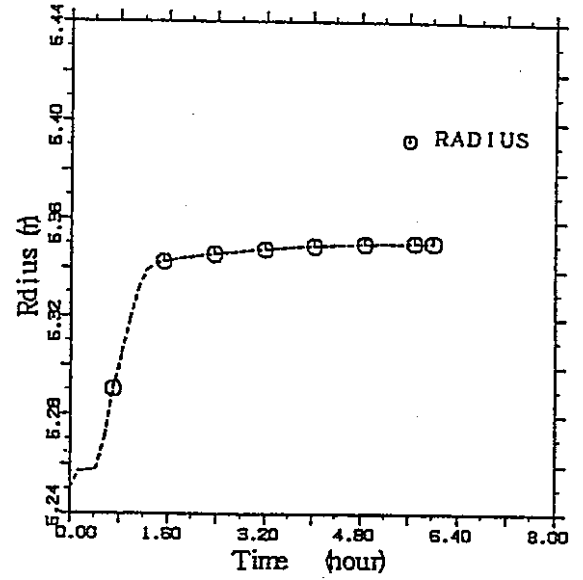


図3.2.56 キャビティの系方向寸法
(パラメータ-ス2)

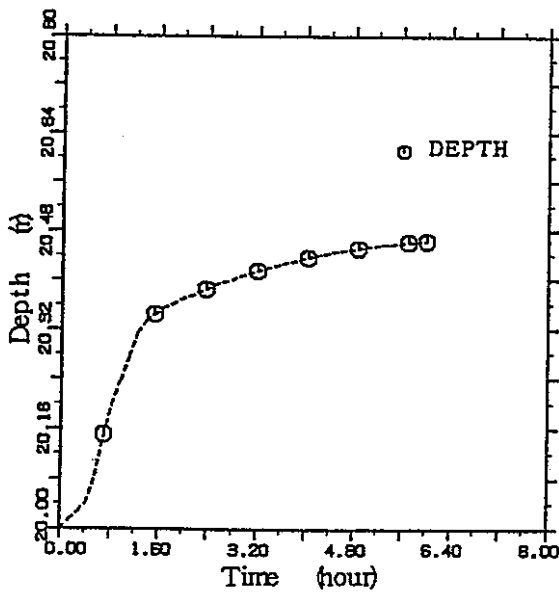


図3.2.57 キャビティの鉛直方向寸法
(パラメータ-ス2)

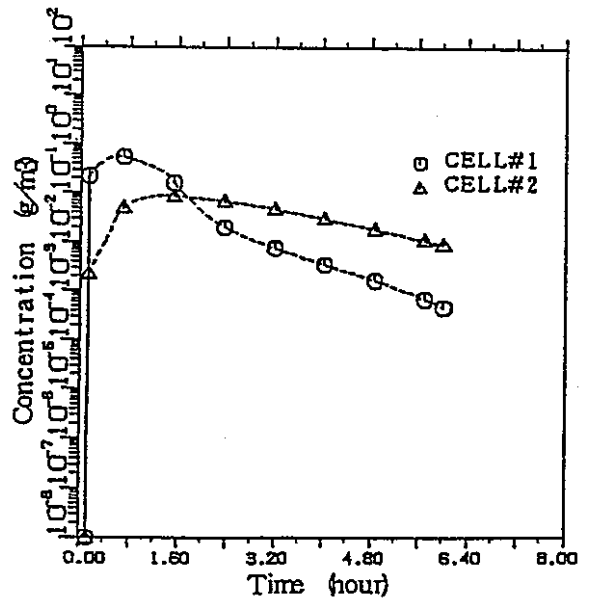


図3.2.58 エアロゾルUO₂の濃度
(パラメータ-ス2)

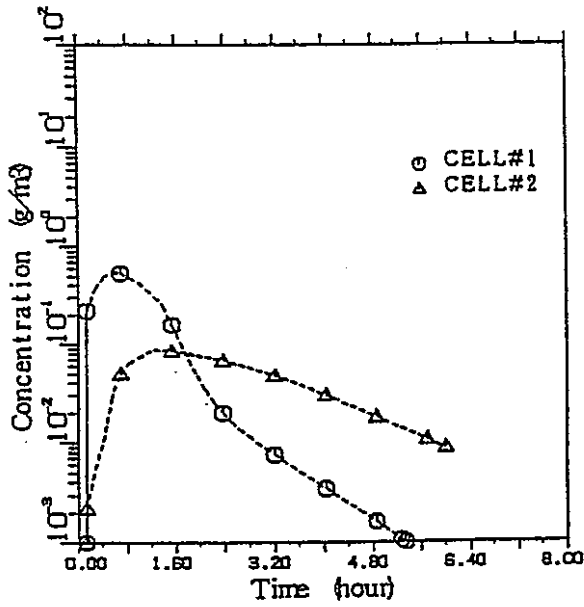


図3.2.59 エアロゾルNaLの濃度
(バメ-タケ-ス2)

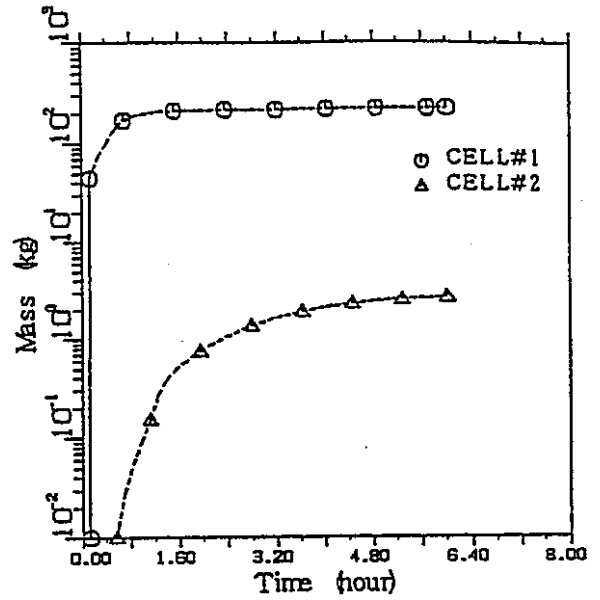


図3.2.60 エアロゾルの析出量
(バメ-タケ-ス2)

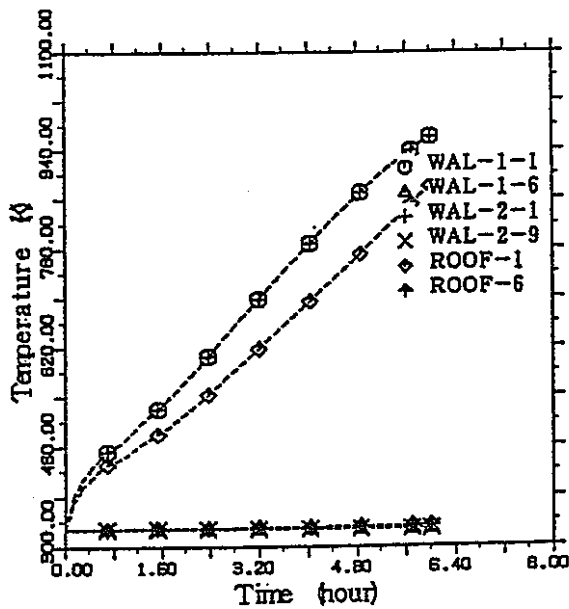


図3.2.61 構造物温度
(バメ-タケ-ス2)

3.2.2.2 FP質量 (ケース2)

(1) FP質量

放出されたFPの6時間後の各セルのプール、雰囲気、及び構造物表面に存在するFP質量の初期値に対する割合を表3.2.3-(1)～表3.2.3-(3)に示す。希ガス、ハロゲン及びアルカリ金属の各グループについては、6時間後には初期状態でデブリに存在したFPのほぼ100%が放出されている。他のグループのFPの初期値に対する放出割合は次のとおりである。

・テルル・アンチモン	: 4.95×10^{-2}
・アルカリ土類	: 1.14×10^{-3}
・遷移族	: 3.71×10^{-5}
・ランタノイド	: 8.10×10^{-4}
・燃料	: 5.99×10^{-4}

セル1とセル2間のFP質量の分配に関しては、希ガスがほぼ100%セル2に移動するが、希ガス以外のグループのFPはセル1のナトリウムプールに留まる割合が多く、セル2のFP質量はセル1の1/10以下である。

(2) 代表的なF Pの質量変化

各グループの中から、Kr85、I131、Cs137、Te131m、Sr89、Ru103、La140、及びPu239について、各セルに放出されたF P質量の時間変化を図3.2.62～図3.2.69に示す。

・Kr85 (図3.2.62)

500秒の時点で各セルの雰囲気中存在するKr85はセル1が0.171kg、セル2が0.194kgである。計算開始時にデブリに含まれるKr85の質量は0.365kgであるので、500秒までに初期に存在するKr85のほとんどが雰囲気に放出され、それらの53%が既にセル2に移動している。4500秒ではセル1とセル2のKr85質量は、それぞれ 4.92×10^{-3} kg、0.360kgであり、放出されたKr85のほぼ99%がセル2に移動する。

・I131 (図3.2.63)

500秒の時点で各セルに存在するI131はセル1が0.389kg、セル2が 3.44×10^{-5} kgである。計算開始時にデブリに含まれるI131の質量は0.405kgであるので、500秒までに初期に存在するI131の96%が放出される。1000秒までにはI131は100%放出され、セル1とセル2のI131質量は、それぞれ0.406kg、 5.97×10^{-5} kgである。放出されたI131のほとんどがセル1に存在する。

・Cs137 (図3.2.64)

500秒の時点で各セルに存在するCs137はセル1が6.53kg、セル2が 5.07×10^{-4} kgである。計算開始時にデブリに含まれるCs137の質量は26.7kgであるので、500秒までに初期に存在するCs137の24.5%が放出される。その後、Cs137の初期質量に対する放出割合は、5500秒で100%に達する。6時間後のセル1とセル2のCs137の質量は、それぞれ26.7kg、 2.16×10^{-2} kgである。

・Te131m (図3.2.65)

500秒の時点で各セルに存在するTe131mはセル1が 7.74×10^{-5} kg、セル2が 4.69×10^{-9} kgである。計算開始時にデブリに含まれるTe131mの質量は 9.27×10^{-3} kgであるので、500秒までに初期に存在するTe131mの0.83%が放出される。その後Te131mの初期質量に対する放出割合は、5500秒で5.45%に増大する。6時間後のセル1とセル2のTe131mの質量は、それぞれ 5.38×10^{-4} kg、 4.08×10^{-7} kgであり、初期質量に対する放出割合は5.81%である。

・Sr89 (図3.2.66)

500秒の時点で各セルに存在するSr89はセル1が 3.78×10^{-4} kg、セル2が 3.91×10^{-8} kgである。計算開始時にデブリに含まれるSr89の質量は 8.76×10^{-1} kgであるので、500秒までに初期に存在するSr89の0.043%が放出される。その後、Sr89の初期質量に対する放出割合は、5500秒で0.082%に増大する。6時間後のセル1とセル2のSr89の質量は、それぞれ 7.15×10^{-4} kg、 3.47×10^{-7} kgであり、初期質量に対する放出割合は0.082%である。

・ Ru103 (図3.2.67)

500秒で各セルに存在するRu103はセル1が 4.48×10^{-9} kg、セル2が 2.26×10^{-10} kgである。計算開始時にデブリに含まれるRu103の質量は2.62kgであるので、500秒までに初期に存在するRu103の 1.98×10^{-7} %が放出される。その後、Ru103の初期質量に対する放出割合は、5500秒で 8.45×10^{-7} %に増大する。6時間後のセル1とセル2のRu103の質量は、それぞれ 1.91×10^{-8} kg、 1.09×10^{-11} kgであり、初期質量に対する放出割合は 8.45×10^{-7} %である。

・ La140 (図3.2.68)

500秒で各セルに存在するLa140はセル1が 4.81×10^{-6} kg、セル2が 3.69×10^{-10} kgである。計算開始時にデブリに含まれるLa140の質量は0.127kgであるので、500秒までに初期に存在するLa140の 3.78×10^{-3} %が放出される。その後、La140の初期質量に対する放出割合は、5500秒でそれぞれ 1.10×10^{-2} %に増大する。6時間後のセル1とセル2のLa140の質量は、それぞれ 1.41×10^{-5} kg、 7.65×10^{-9} kgであり、初期質量に対する放出割合は 1.11×10^{-4} %である。

・ Pu239 (図3.2.69)

500秒で各セルに存在するPu239はセル1が0.386、セル2が 2.19×10^{-5} kgである。計算開始時にデブリに含まれるPu239の質量は2110kgであるので、500秒までに初期に存在するPu239の0.018%が放出される。その後、Pu239の初期質量に対する放出割合は、5500秒で0.060%に増大する。6時間後のセル1とセル2のPu239質量は、それぞれ1.26kg、 7.06×10^{-4} kgであり、初期質量に対する放出割合は0.060%である。

表 3.2.3-(1) FPのインベントリ (1/3) (パラメータ ケース 2 : 6 時間後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)						
					セル 1	セル 2	セル 1 + セル 2	初期値に 対する割合 (-)			
1	希ガス	Kr	Kr83m	1.00E+22	3.39E-07	2.28E-04	2.28E-04	1.00E+00			
			Kr85	1.00E+22	5.43E-04	3.64E-01	3.65E-01	1.00E+00			
			Kr85m	1.00E+22	1.47E-06	9.88E-04	9.89E-04	1.00E+00			
			Kr87	1.00E+22	7.17E-07	4.81E-04	4.82E-04	1.00E+00			
			Kr88	1.00E+22	2.31E-06	1.55E-03	1.55E-03	1.00E+00			
			Kr89	1.00E+22	4.57E-08	3.07E-05	3.07E-05	1.00E+00			
			Kr90	1.00E+22	7.86E-09	5.28E-06	5.28E-06	1.00E+00			
		Xe	Xe131m	1.00E+22	6.23E-06	4.18E-03	4.19E-03	1.00E+00			
			Xe133	1.00E+22	6.96E-04	4.67E-01	4.68E-01	1.00E+00			
			Xe133m	1.00E+22	4.36E-05	2.93E-02	2.93E-02	1.00E+00			
			Xe135	1.00E+22	5.50E-05	3.69E-02	3.70E-02	1.00E+00			
			Xe135m	1.00E+22	3.11E-07	2.09E-04	2.09E-04	1.00E+00			
			Xe137	1.00E+22	3.24E-07	2.18E-04	2.18E-04	1.00E+00			
			Xe138	1.00E+22	9.46E-07	6.35E-04	6.36E-04	1.00E+00			
			Xe140	1.00E+22	8.52E-09	5.72E-06	5.73E-06	1.00E+00			
			グループ 1 合計					1.35E-03	9.06E-01	9.08E-01	1.00E+00
			2	ハロゲン	Br	Br83	1.00E+22	2.97E-04	2.39E-06	3.00E-04	1.00E+00
Br85	1.00E+22	1.06E-05				8.52E-08	1.07E-05	1.00E+00			
Br87	1.00E+22	4.00E-06				3.22E-08	4.03E-06	9.83E-01			
I	I131	1.00E+22			4.04E-01	3.25E-03	4.07E-01	1.00E+00			
	I132	1.00E+22			6.47E-03	5.20E-05	6.52E-03	1.00E+00			
	I133	1.00E+22			7.54E-02	6.06E-04	7.60E-02	1.00E+00			
	I133m	1.00E+22			4.23E-07	3.40E-09	4.26E-07	1.00E+00			
	I134	1.00E+22			3.42E-03	2.75E-05	3.44E-03	1.00E+00			
	I134m	1.00E+22			3.13E-05	2.52E-07	3.15E-05	9.85E-01			
	I135	1.00E+22			2.39E-02	1.92E-04	2.41E-02	1.00E+00			
グループ 2 合計					5.14E-01	4.13E-03	5.18E-01	1.00E+00			
3	7カリ金属	Rb	Rb86	1.00E+22	1.91E-03	2.58E-05	1.94E-03	1.00E+00			
			Rb89	1.00E+22	1.90E-04	2.57E-06	1.93E-04	1.00E+00			
			Rb90	1.00E+22	2.68E-05	3.62E-07	2.71E-05	1.00E+00			
			Rb90m	1.00E+22	1.61E-05	2.18E-07	1.63E-05	1.00E+00			
		Cs	Cs134	1.00E+22	2.86E-01	3.86E-03	2.90E-01	1.00E+00			
			Cs134m	1.00E+22	2.33E-05	3.14E-07	2.36E-05	1.00E+00			
			Cs136	1.00E+22	4.29E-02	5.80E-04	4.35E-02	1.00E+00			
			Cs137	1.00E+22	2.64E+01	3.57E-01	2.67E+01	1.00E+00			
			Cs140	1.00E+22	5.00E-05	6.76E-07	5.07E-05	1.00E+00			
グループ 3 合計					2.67E+01	3.61E-01	2.71E+01	1.00E+00			

表 3.2.3-(2) FPのインベントリ (2/3) (パラメータ ケース 2 : 6 時間後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)				
					セル 1	セル 2	セル 1 + セル 2	初期値に 対する割合 (-)	
4	テルル アンチモン	In	In115m	1.00E+22	4.73E-07	5.52E-09	4.79E-07	3.71E-03	
			Sn	Sn123	1.00E+22	1.90E-04	2.22E-06	1.92E-04	3.70E-03
				Sn125	1.00E+22	2.17E-05	2.53E-07	2.20E-05	3.70E-03
		Sb	Sb127	1.00E+22	2.27E-06	2.76E-08	2.30E-06	9.95E-05	
			Sb129	1.00E+22	3.00E-07	3.65E-09	3.04E-07	9.97E-05	
			Sb131	1.00E+22	6.46E-08	7.85E-10	6.54E-08	1.00E-04	
		Te	Te127	1.00E+22	1.31E-04	1.64E-06	1.32E-04	5.81E-02	
			Te127m	1.00E+22	5.19E-03	6.50E-05	5.26E-03	5.79E-02	
			Te129	1.00E+22	4.41E-05	5.52E-07	4.47E-05	5.80E-02	
			Te129m	1.00E+22	8.29E-03	1.04E-04	8.39E-03	5.79E-02	
			Te131	1.00E+22	4.38E-05	5.49E-07	4.44E-05	5.79E-02	
			Te131m	1.00E+22	5.32E-04	6.65E-06	5.38E-04	5.81E-02	
			Te132	1.00E+22	1.24E-02	1.56E-04	1.26E-02	5.80E-02	
			Te133	1.00E+22	2.72E-05	3.41E-07	2.76E-05	5.80E-02	
			Te133m	1.00E+22	6.21E-05	7.78E-07	6.29E-05	5.77E-02	
			Te134	1.00E+22	1.16E-04	1.45E-06	1.17E-04	5.81E-02	
グループ 4 合計					2.71E-02	3.39E-04	2.74E-02	4.95E-02	
5	アルカリ土類	Sr	Sr89	1.00E+22	7.09E-04	6.66E-06	7.15E-04	8.17E-04	
			Sr90	1.00E+22	5.36E-03	5.04E-05	5.41E-03	8.16E-04	
			Sr91	1.00E+22	7.89E-06	7.42E-08	7.97E-06	8.16E-04	
		Ba	Ba140	1.00E+22	3.47E-03	3.90E-05	3.51E-03	3.65E-03	
グループ 5 合計					9.55E-03	9.61E-05	9.64E-03	1.14E-03	
6	遷移族	Co	Co58	1.00E+22	3.02E-07	3.35E-09	3.05E-07	5.61E-07	
			Co60	1.00E+22	8.80E-09	9.78E-11	8.89E-09	5.63E-07	
		Mo	Mo99	1.00E+22	8.96E-08	9.96E-10	9.06E-08	5.63E-07	
			Tc	Tc99m	1.00E+22	9.15E-11	1.01E-12	9.25E-11	7.28E-09
		Ru	Ru103	1.00E+22	1.89E-08	2.08E-10	1.91E-08	7.28E-09	
			Ru105	1.00E+22	6.82E-11	7.50E-13	6.89E-11	7.27E-09	
			Ru106	1.00E+22	6.45E-08	7.09E-10	6.52E-08	7.28E-09	
		Rh	Rh105	1.00E+22	5.42E-10	5.96E-12	5.48E-10	7.28E-09	
			Rh105m	1.00E+22	4.98E-14	5.48E-16	5.04E-14	7.28E-09	
		Ag	Ag110m	1.00E+22	3.63E-05	4.27E-07	3.67E-05	1.26E-02	
			Ag111	1.00E+22	3.38E-04	3.98E-06	3.42E-04	1.26E-02	
		Cd	Cd115	1.00E+22	1.80E-05	2.12E-07	1.82E-05	1.13E-02	
			Cd115m	1.00E+22	6.27E-05	7.38E-07	6.34E-05	1.26E-02	
グループ 6 合計					4.55E-04	5.36E-06	4.60E-04	3.71E-05	

表 3.2.3-(3) FPのインベントリ (3/3) (パラメータ ケース 2 : 6 時間後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)					
					セル 1	セル 2	セル 1 + セル 2	初期値に 対する割合 (-)		
7	ランタノイド	Y	Y90	1.00E+22	2.24E-07	2.33E-09	2.27E-07	1.11E-04		
			Y91	1.00E+22	1.51E-04	1.57E-06	1.52E-04	1.10E-04		
			Y91m	1.00E+22	5.40E-08	5.62E-10	5.45E-08	1.11E-04		
		Zr	Zr95	1.00E+22	1.22E-05	1.53E-07	1.24E-05	4.48E-06		
			Zr97	1.00E+22	1.59E-07	1.99E-09	1.61E-07	4.49E-06		
		Nb	Nb95	1.00E+22	7.85E-03	7.57E-05	7.92E-03	5.54E-03		
			Nb95m	1.00E+22	1.04E-05	1.00E-07	1.05E-05	5.55E-03		
		La	La140	1.00E+22	1.40E-05	1.45E-07	1.41E-05	1.11E-04		
			La141	1.00E+22	1.39E-06	1.44E-08	1.40E-06	1.10E-04		
		Ce	Ce141	1.00E+22	1.48E-03	1.59E-05	1.49E-03	5.99E-04		
			Ce143	1.00E+22	5.30E-05	5.70E-07	5.35E-05	6.00E-04		
			Ce144	1.00E+22	5.86E-03	6.31E-05	5.92E-03	5.99E-04		
		Pr	Pr143	1.00E+22	9.62E-05	1.00E-06	9.72E-05	1.11E-04		
			Pr147	1.00E+22	2.89E-08	3.01E-10	2.92E-08	1.11E-04		
		Nd	Nd147	1.00E+22	3.91E-05	4.07E-07	3.95E-05	1.11E-04		
		グループ 7 合計					1.56E-02	1.59E-04	1.57E-02	8.10E-04
		8	燃料	Np	Np239	1.00E+22	3.39E-03	3.65E-05	3.42E-03	6.00E-04
Pu	Pu238				1.00E+22	1.41E-03	1.52E-05	1.42E-03	6.01E-04	
Pu	Pu239			1.00E+22	1.25E+00	1.35E-02	1.26E+00	5.99E-04		
	Pu240			1.00E+22	4.88E-01	5.26E-03	4.94E-01	6.00E-04		
	Pu241			1.00E+22	1.82E-01	1.96E-03	1.84E-01	5.99E-04		
	Pu242			1.00E+22	8.51E-02	9.16E-04	8.60E-02	6.01E-04		
	Am			Am241	1.00E+22	3.40E-02	3.66E-04	3.44E-02	6.00E-04	
Am	Am242			1.00E+22	8.30E-06	8.94E-08	8.39E-06	5.99E-04		
	Cm			Cm242	1.00E+22	1.16E-03	1.25E-05	1.17E-03	5.99E-04	
	Cm244			1.00E+22	1.29E-04	1.39E-06	1.31E-04	5.99E-04		
	グループ 8 合計					2.05E+00	2.20E-02	2.07E+00	5.99E-04	
合 計 値					2.93E+01	1.29E+00	3.06E+01	8.73E-03		

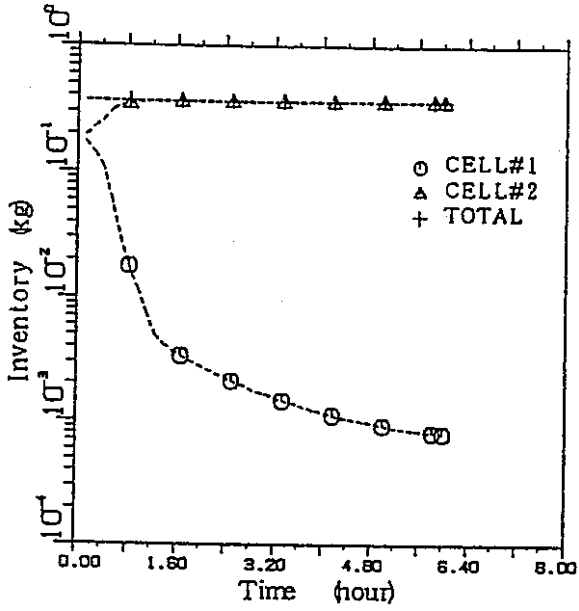


図3.2.62 Kr 85 質量
(パラメータ-ス2)

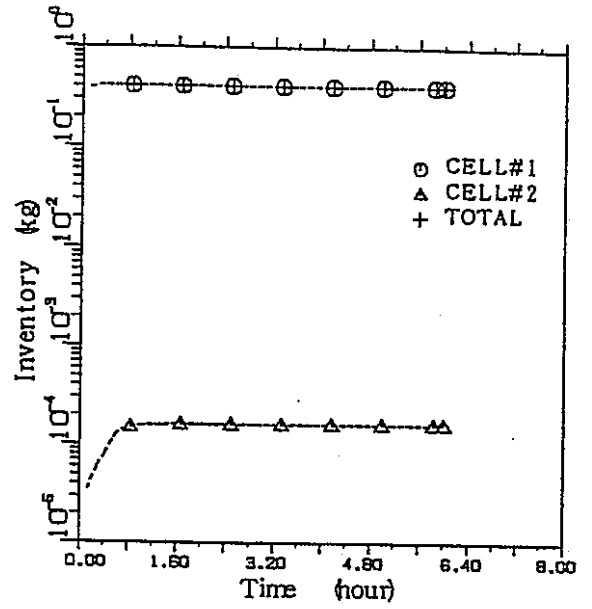


図3.2.63 I 131 質量
(パラメータ-ス2)

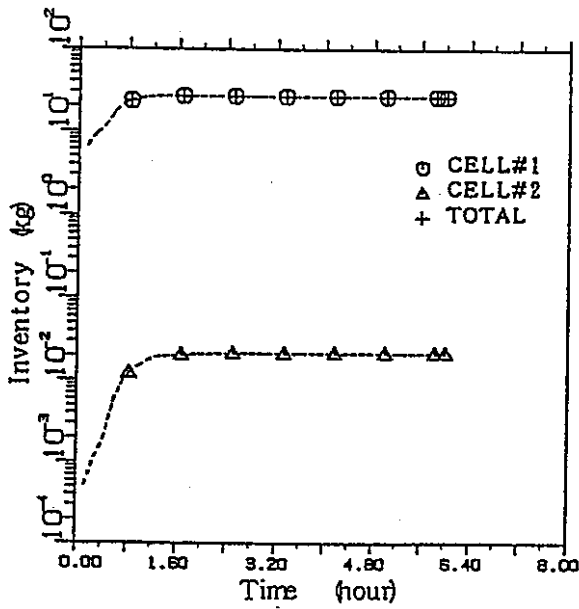


図3.2.64 Cs 137 質量
(パラメータ-ス2)

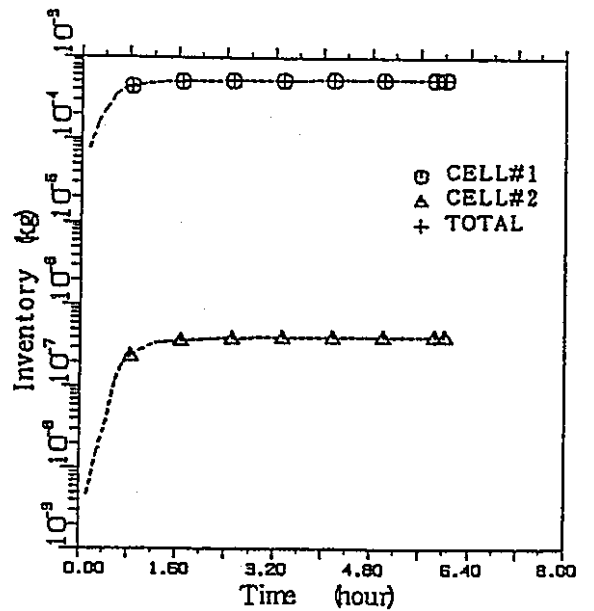


図3.2.65 Te 131m 質量
(パラメータ-ス2)

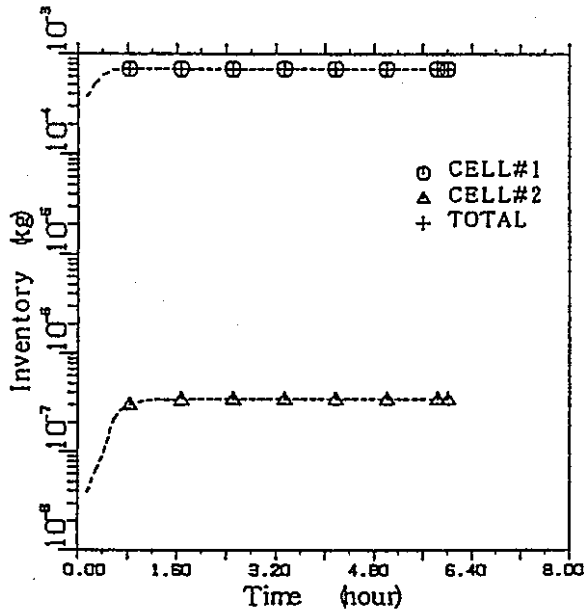


図3.2.66 Sr 89質量
(パラメータ-2)

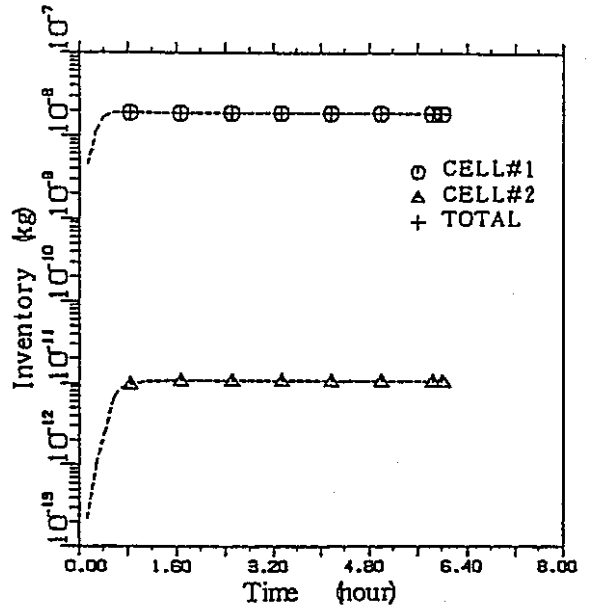


図3.2.67 Ru 103質量
(パラメータ-2)

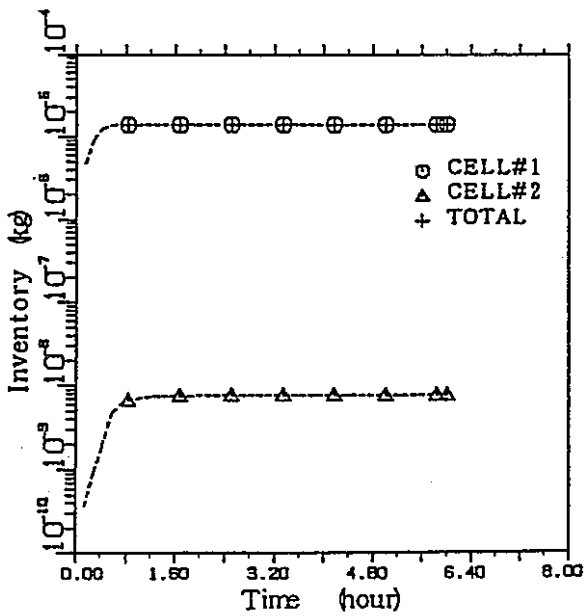


図3.2.68 La 140質量
(パラメータ-2)

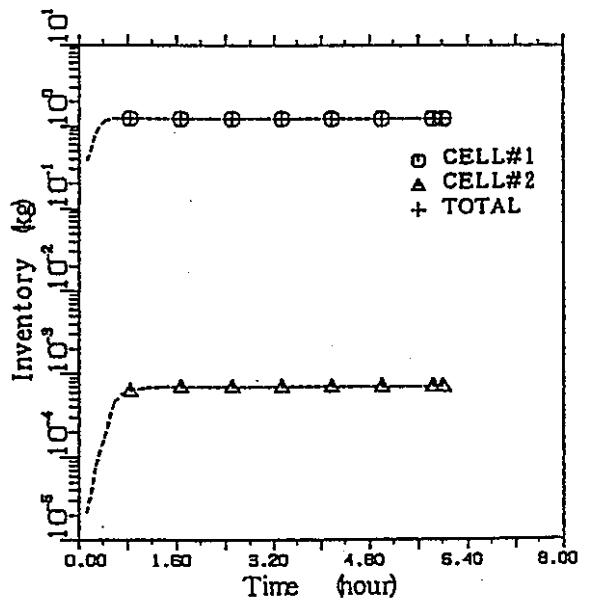


図3.2.69 Pu 239質量
(パラメータ-2)

3.2.2.3 エアロゾルの挙動（ケース2）

基本ケースのエアロゾル関連諸量の時間に伴う変化を図3.2.70～図3.2.76に示す。6時間後までにおけるエアロゾル積算発生量は244.3kgである。エアロゾルに関する計算結果を以下に述べる。

（1）金属層を通過する気体の流量

デブリの金属層を通過する気体（CO、CO₂、H₂、H₂O）の合計体積流量を図3.2.70に示す。ただしケース2ではCOとCO₂は発生しない。気体の合計体積流量は、プロット図では2000秒のとき最大となり、このときの流量は2.202m³/sである。6時間後の体積流量は2.37×10⁻²m³/sである。

（2）酸化物層温度

酸化物層温度を図3.2.71に示す。酸化物層温度は1000秒で最高温度2362Kとなりその後降下する。6時間後の酸化物層温度は1512Kである。なお、ここでの酸化物層温度は、VANESAモデルで使用される酸化物層温度で、層の逆転以前はCONTAINモデルの重い酸化物層温度、層の逆転以降はCONTAINモデルの軽い酸化物層温度にそれぞれ対応する。

（3）エアロゾル発生量

エアロゾル発生量を図3.2.72に示す。エアロゾル発生量は計算開始初期に最も大きく、時刻とともに下降する。計算開始直後は、蒸発によるエアロゾル発生量の方が、メカニカルな機構によるエアロゾル発生量よりも1741倍大きい。6時間後にはその差は95倍に縮まるが、解析期間全体にわたり蒸発によるエアロゾル発生量の方がメカニカルな機構によるエアロゾル発生量よりも大きい。

（4）エアロゾル密度

エアロゾル密度を図3.2.73に示す。エアロゾル密度は計算開始直後に最大値3770kg/m³となる。その後エアロゾル密度は時間経過とともに単調に減少する。6時間後のエアロゾル密度は2086kg/m³である。

（5）エアロゾル平均直径

エアロゾルの平均直径を図3.2.74に示す。平均直径は計算開始直後に1.07μであるが、その後時間経過とともに減少する。6時間後の平均直径は0.31μである。

（6）エアロゾル成分割合

各時刻で発生するエアロゾルに対する主要なエアロゾルの発生割合を図3.2.75に示す。計算開始直後は、Cs₂OとCsIの成分割合がそれぞれ全エアロゾルの39.4%と40.8%を占める。その後CsIの割合は減少し、500秒ではCs₂Oが35.1%、CsIが6.8%となる。1500秒では依然としてCs₂Oの割合が26.5%で一番大きい、2番目はMnが23.7%を占める。その後、Mnの割合が減少し、Cs₂Oの割合が一番大きい時間帯が続くが、次第にK₂Oの割合が増加し、4000秒以降はCs₂Oに代わってK₂Oの割合が一番大きくなる。6時間後の割合はK₂Oが91.8%、Cs₂Oが0.0%、Na₂Oが4.6%、Mnが2.2%、その他が1.4%である。

(7) エアロゾル質量

エアロゾルの累積発生質量を図 3.2.76 に示す。6 時間までに放出された主なエアロゾルの質量 (単位: kg) は、次のとおりである。

Cs_2O : 87.5, Mn : 35.9, K_2O : 46.9, CsI : 15.4, SiO_2 : 22.0, Na_2O : 6.8

上記の 6 エアロゾルの合計放出量は 214.5kg であり、エアロゾルの全放出量 224.5kg の 95.5% にあたる。

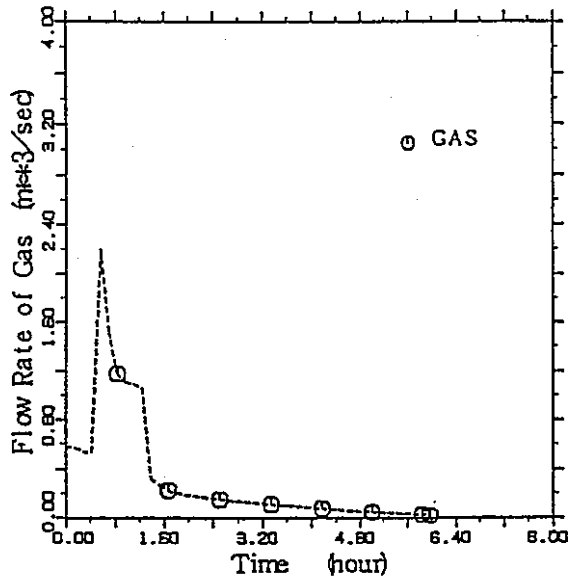


図3.2.70 金属層を通過する気体流量
(パラメータ-2)

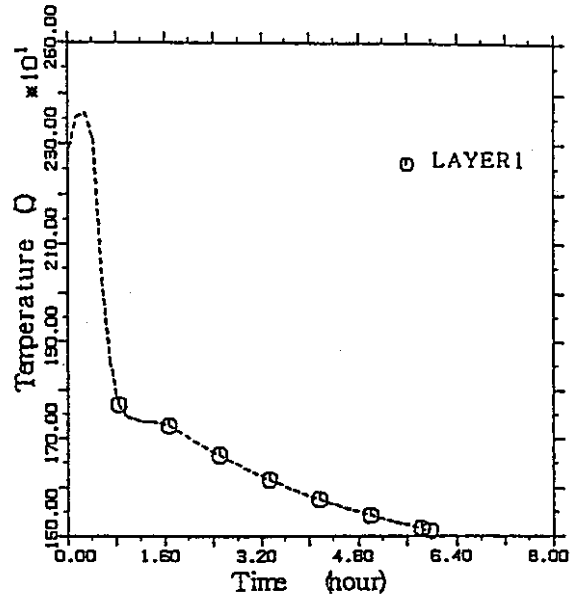


図3.2.71 酸化層温度
(パラメータ-2)

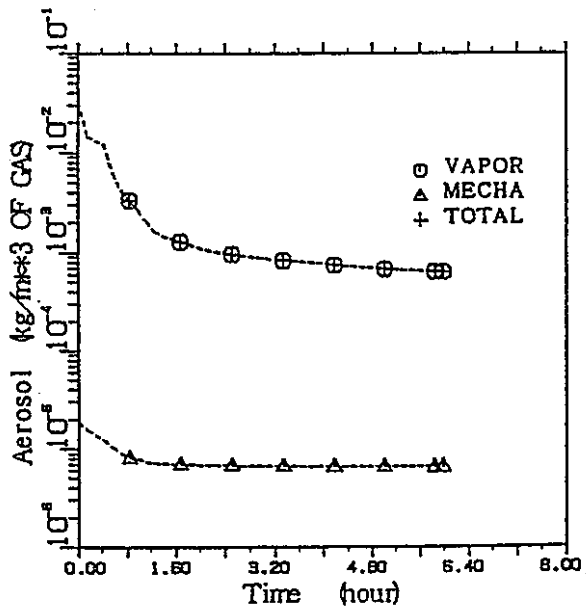


図3.2.72 エアロゾル発生量
(パラメータ-2)

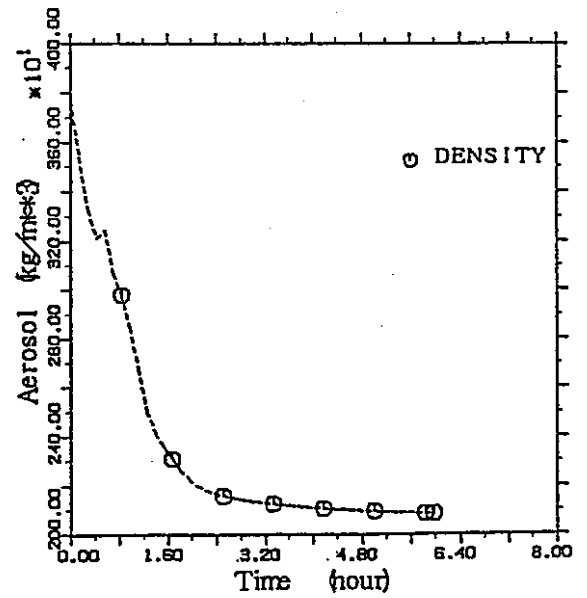


図3.2.73 エアロゾル密度
(パラメータ-2)

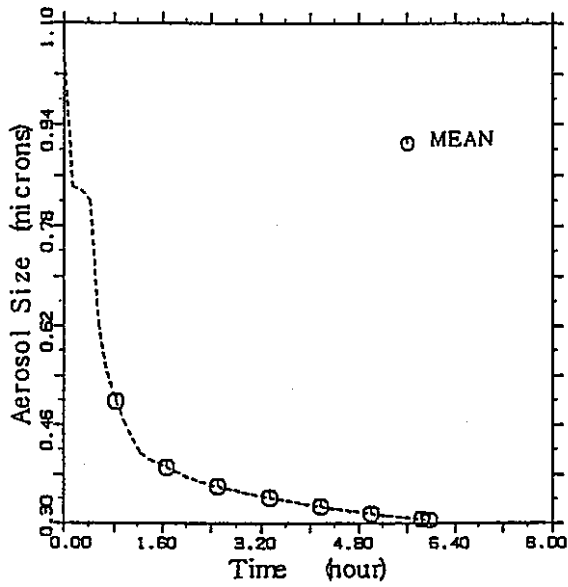


図3.2.74 エアロゾル平均サイズ
(パラメータ-2)

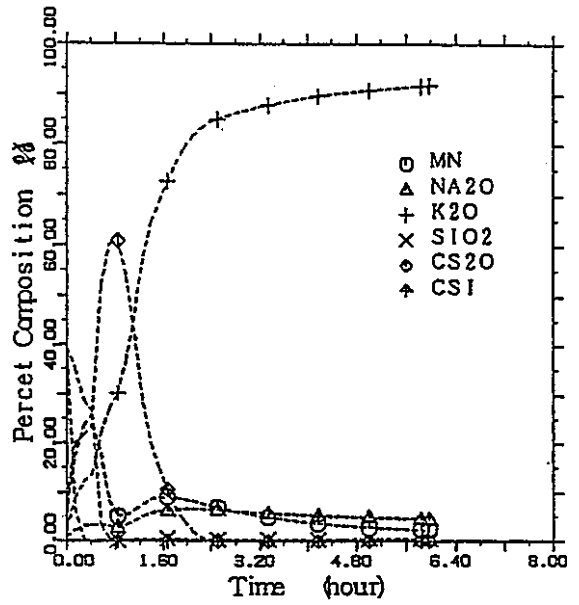


図3.2.75 エアロゾル成分割合
(パラメータ-2)

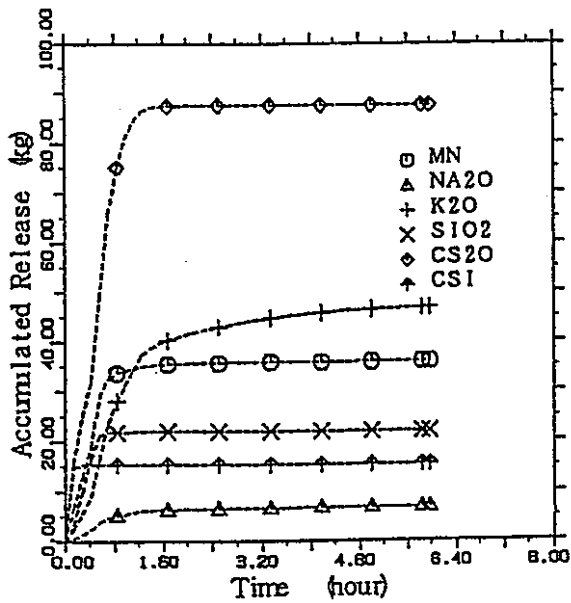


図3.2.76 エアロゾル質量
(パラメータ-2)

3.2.3 ケース3

ケース3では、デブリ温度初期値を、基本ケースの2273Kから2773Kに変更して計算を行った。

3.2.3.1 主要な計算結果（ケース3）

ケース3の6時間までのプロット図を図3.2.77～図3.2.99に示す。以下に計算値の時間に伴う変化について記す。

(1) セル雰囲気温度

セル雰囲気温度を図3.2.77に示す。初期温度はセル1、セル2ともに328Kである。500秒での各セルの雰囲気温度はセル1が539.8K、セル2が367.4Kであり、セル1の雰囲気温度がセル2よりも高い。この時点でセル1、セル2ともにその雰囲気温度は飽和温度に達している。6時間後のセル雰囲気温度はセル1が709.8K、セル2が462.4Kであり、基本ケースと比較すると、セル1で19.5K、セル2で19.9Kの温度上昇となる。

(2) セル圧力

セル圧力を図3.2.78に示す。初期圧力はセル1が0.1034MPa、セル2が0.1018MPaである。セル圧力は時間経過に伴って上昇し、6時間後の圧力はセル1、2ともに0.1930MPaである。この圧力値は基本ケースよりも0.0087MPa高い。ここで、セル圧力が上昇するのはおもにH₂のモル数の増加による。

(3) 雰囲気中の成分割合

セル雰囲気中の気体の成分割合を図3.2.79～図3.2.82に示す。各セルの気体成分割合の初期値は、セル1がN₂ : 0.97、O₂ : 0.03、セル2がN₂ : 0.79、O₂ : 0.21である。

・ O₂の割合（図3.2.79）

各セルの雰囲気中のO₂のモル分率は時間経過に伴い低下する。6時間後のO₂のモル分率は、セル1が 4.1×10^{-5} 、セル2が0.157である。

・ H₂の割合（図3.2.80）

セル1の雰囲気中のH₂モル分率は、4500秒には最大値0.948となる。4500秒以降は緩やかに下降し10000秒後に0.935に達した後、単調に上昇する。6時間後のセル1の雰囲気中のH₂モル分率は0.942である。セル2の雰囲気中のH₂モル分率は時間経過に伴い上昇する。6時間後のセル2の雰囲気中のH₂モル分率は0.194である。

・ H₂Oの割合 (図3.2.81)

セル1の雰囲気中のH₂O(気体)モル分率は、1000秒で最大値0.130まで上昇した後降下し、4500秒では0.046まで低下する。4500秒以降は再び上昇して12000秒後に0.062に達した後、単調に減少する。6時間後のセル1の雰囲気中のH₂Oモル分率は0.043である。セル2の雰囲気中のH₂O(気体)モル分率は、計算開始時点より単調に増大する。6時間後のセル2の雰囲気中のH₂Oモル分率は 1.8×10^{-2} である。

・ CO₂の割合 (図3.2.82)

パラメータケース3のコンクリートは硬質砂岩であり成分にCO₂、CaCO₃、MgCO₃を含まない。従って、デブリーコンクリート相互作用の際にCO₂は発生しない。

・ N₂の割合 (図3.2.83)

セル1のN₂割合は初期値0.97から急速に減少し1500秒には0.1以下となる。6時間後のセル1の雰囲気中のN₂モル分率は 1.5×10^{-8} である。セル2のN₂割合は初期値0.79から単調に減少する。6時間後のセル2の雰囲気中のN₂モル分率は0.631である。

(4) 雰囲気中の成分質量

・ O₂の質量 (図3.2.84)

セル1の雰囲気中のO₂質量は、初期値の58.3kgから急速に減少し、4500秒には0.337kgとなる。6時間後のセル1のO₂質量は 6.58×10^{-2} kgである。セル2の雰囲気中のO₂質量は、セル1から流入するO₂の質量が加わるので、初期値の7023.6kgから6時間後には7081.8kgに増大する。

・ H₂の質量 (図3.2.85)

セル1の雰囲気中のH₂質量は、5000秒に最大値119kgまで上昇した後、5000秒以降は単調減少となる。6時間後のセル1の雰囲気中のH₂質量は61.0kgである。セル2の雰囲気中のH₂質量は、単調に増大する。6時間後のセル2の雰囲気中のH₂質量は548.9kgである。

・ H₂Oの質量 (図3.2.86)

セル1の雰囲気中のH₂O(気体)質量は、1000秒で最大値110kgまで上昇した後降下し、4000秒では49.5kgまで低下する。4000秒以降は再び上昇して10000秒後に64.9kgに達した後、単調に減少する。6時間後のセル1の雰囲気中のH₂O質量49.9kgである。セル2の雰囲気中のH₂O(気体)質量は、計算開始時点より単調に増大する。6時間後のセル2の雰囲気中のH₂O質量は464kgである。

・ CO₂の質量 (図3.2.87)

パラメータケース3のコンクリートは硬質砂岩であり成分にCO₂、CaCO₃、MgCO₃を含まない。従って、デブリーコンクリート相互作用の際にCO₂は発生しない。

・ N₂の質量 (図 3. 2. 8 8)

セル 1 の雰囲気中の N₂ 質量は初期値の 1649. 1kg から急速に減少し、6500 秒には 7. 67kg となる。6 時間後のセル 1 の N₂ 質量は 2. 14kg である。セル 2 の雰囲気中の N₂ 質量は、セル 1 の N₂ がセル 2 に移動するので、初期値の 23131kg から 6 時間後には 24834kg に増大する。

(5) セル間の流量

セル 1 からセル 2 への流量を図 3. 2. 8 9 に示す。流量は 2000 秒に最大値 1. 12kg/s となった後単調に減少する。6 時間後の流量は $5. 5 \times 10^{-3}$ kg/s となる。

(6) コンクリート浸食による生成物質量

コンクリート浸食による生成物質量を図 3. 2. 9 0 に示す。コンクリート浸食による結果、6 時間後には H₂O が 514kg、H₂ が 643kg それぞれ発生する。CO、CO₂、C、Zr は発生しない。

(7) デブリ温度

デブリ温度を図 3. 2. 9 1 に示す。6 時間後の各層の温度は、軽い酸化物層が 1517. 3K、金属層が 1512. 9K である。

(8) デブリ密度

デブリ密度を図 3. 2. 9 2 に示す。時刻 840 秒でデブリ中の重い酸化物層の密度が金属層の密度よりも小さくなり金属層がデブリの最下端層となる。同時に重い酸化物層は軽い酸化物層に吸収される。6 時間後のデブリ密度は、軽い酸化物層が 3239kg/m³、金属層が 7211kg/m³ である。

(9) デブリ質量

デブリ質量を図 3. 2. 9 3 に示す。酸化物層質量は初期値 59. 35t から 6 時間後には 195. 8t に増大する。ここで、6 時間後の酸化物層は軽い酸化物層である。金属層質量は初期値 123. 9t から 6 時間後には 128. 8t にそれぞれ増大する。

(10) キャビティ形状

キャビティの径方向寸法と鉛直方向寸法をそれぞれ図 3. 2. 9 4 及び図 3. 2. 9 5 に示す。6 時間後のコンクリート浸食深さ最大値は、鉛直方向 57. 0cm、径方向 12. 9cm である。このときのコンクリート浸食体積は 52. 6m³ である。

(11) エアロゾル濃度

各セルのエアロゾル UO₂ と NaI の濃度をそれぞれ図 3. 2. 9 6 及び図 3. 2. 9 7 に示す。

・エアロゾル UO₂ (図 3. 2. 9 6)

6 時間後の各セルの雰囲気中のエアロゾル UO₂ の濃度は、セル 1 が $9. 08 \times 10^{-5}$ g/m³、セル 2 が $2. 50 \times 10^{-3}$ g/m³ である。これに対応する質量は、セル 1 が $1. 38 \times 10^{-4}$ kg、セル 2 が $7. 00 \times 10^{-2}$ kg である。

・エアロゾルNaL (図3.2.97)

6時間後のエアロゾルNaLの濃度は、セル1が65.3g/m³、セル2が1.93g/m³である。これに対応する質量は、セル1が99.3kg、セル2が54.2kgである。

(12) エアロゾル沈澱量

各セルのエアロゾルUO₂とNaLの合計沈澱量を図3.2.98に示す。6時間後の沈澱量はセル1が388.4kg、セル2が0.23kgである。6時間後の沈澱量の内訳は次のとおりである。

	沈澱量 (kg)			
	セル1		セル2	
	UO ₂	NaL	UO ₂	NaL
天井	2.21×10^{-4}	7.75×10^{-6}	3.55×10^{-4}	6.70×10^{-6}
壁	5.64×10^{-3}	4.80×10^{-5}	1.87×10^{-2}	2.24×10^{-3}
床 + プール	3.83×10^2	7.19×10^{-1}	1.47×10^{-1}	5.93×10^{-2}
合計	3.83×10^2	7.19×10^{-1}	1.47×10^{-1}	6.15×10^{-2}

(13) 構造物温度

セル1の構造物温度を図3.2.99に示す。6時間後の壁の内側表面温度は749.5K、天井の内側表面温度は660.5Kである。また、セル2の6時間後の壁の内側表面温度は398.9K、天井の内側表面温度は398.8Kである。

(14) ナトリウムプール

6時間後のナトリウムプールの深さは10.91mであり初期値の10mから0.91m上昇する。また、ナトリウムプールの質量は初期値720.9tから720.6tに減少する。6時間後のナトリウムプール温度は1060.6Kである。

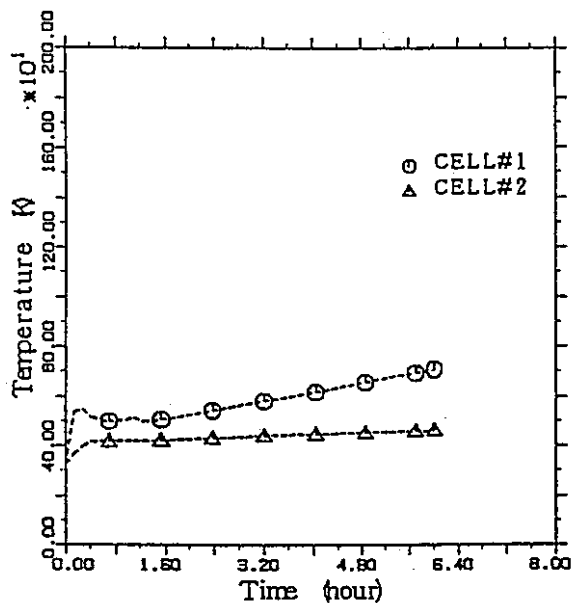


図3.2.77 セル雰囲気温度
(パラメータ-3)

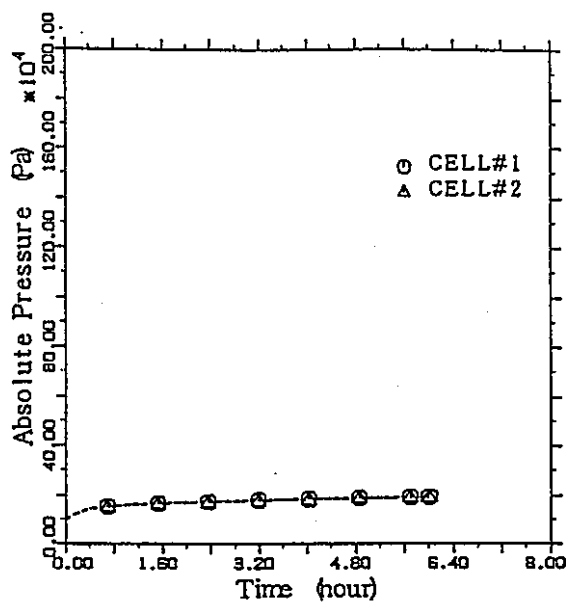


図3.2.78 セル圧力
(パラメータ-3)

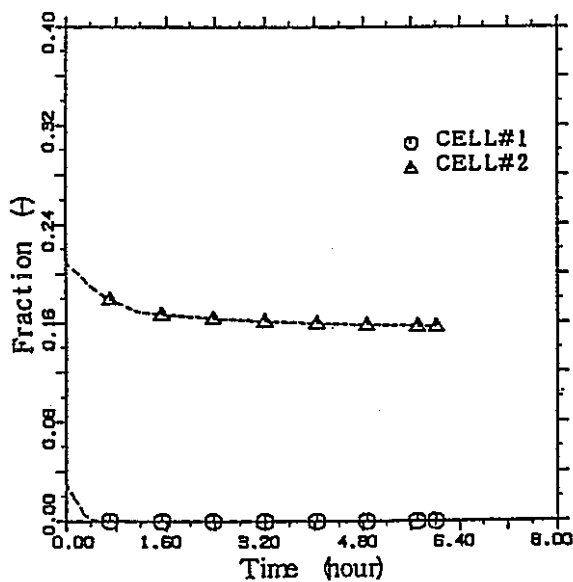


図3.2.79 雰囲気中のO₂モル分率
(パラメータ-3)

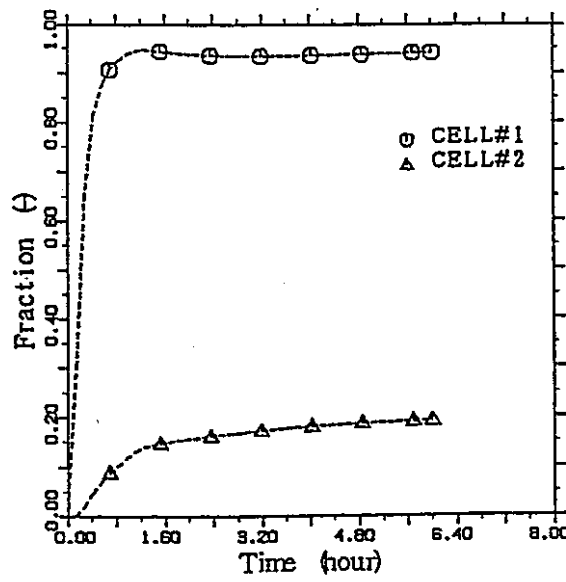


図3.2.80 雰囲気中のH₂モル分率
(パラメータ-3)

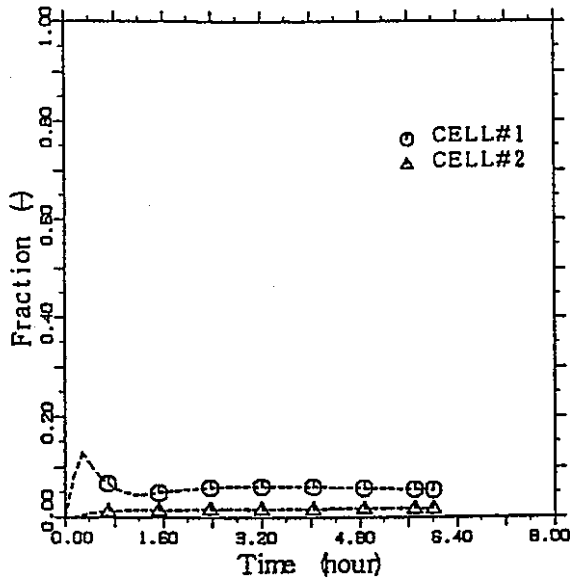


図3.2.81 雰囲気中のH₂Oモル分率
(バメ-タケ-ス3)

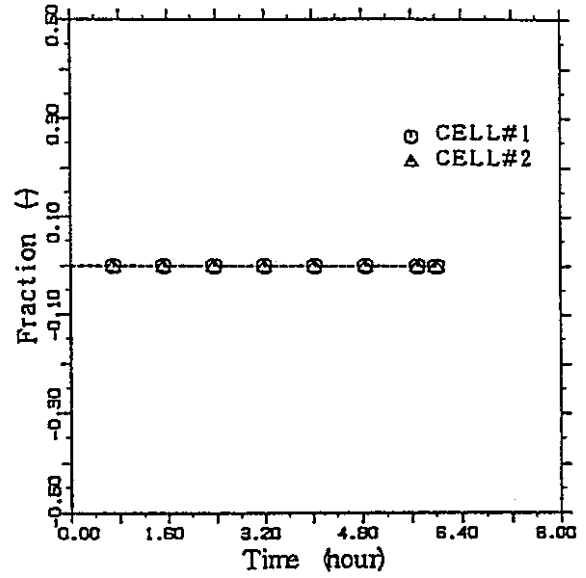


図3.2.82 雰囲気中のCO₂モル分率
(バメ-タケ-ス3)

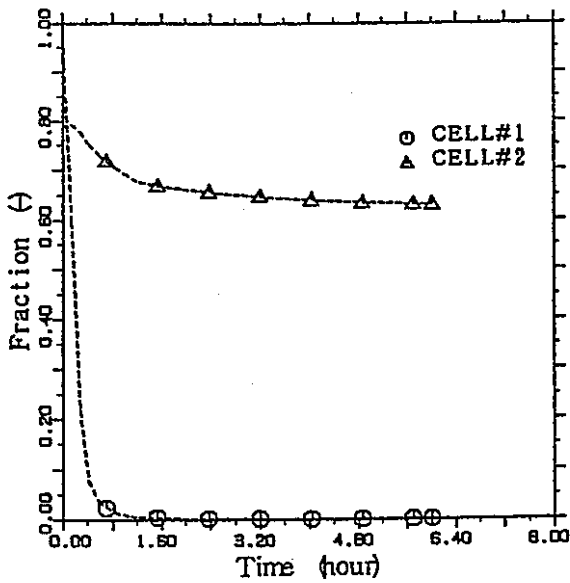


図3.2.83 雰囲気中のN₂モル分率
(バメ-タケ-ス3)

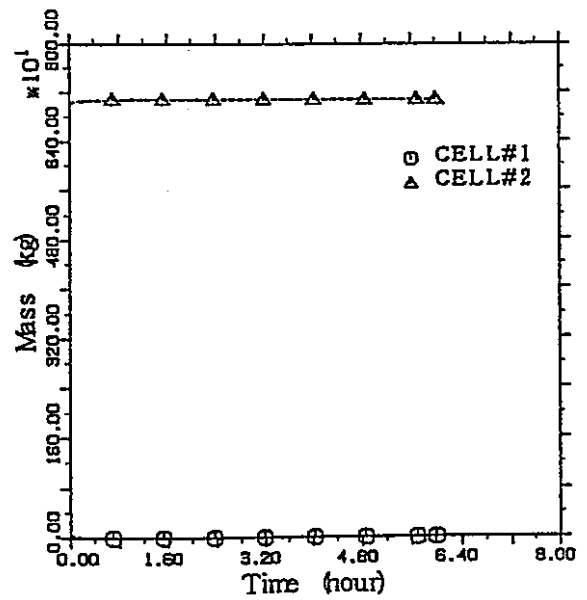


図3.2.84 雰囲気中のO₂質量
(バメ-タケ-ス3)

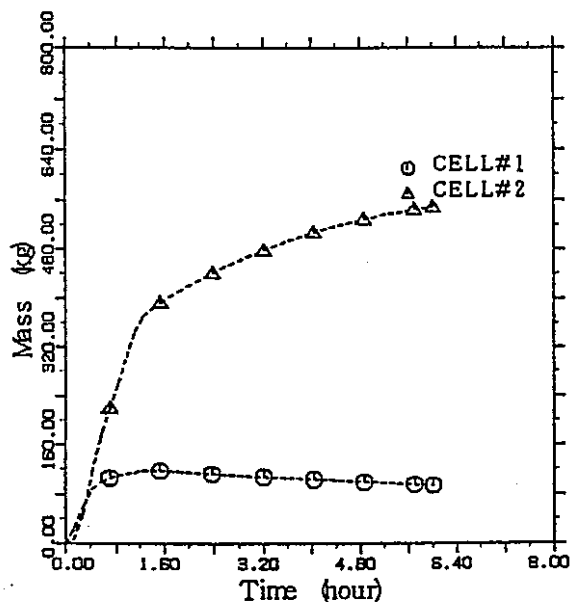


図3.2.85 雰囲気中のH₂質量
(バメ-ケ-ス)

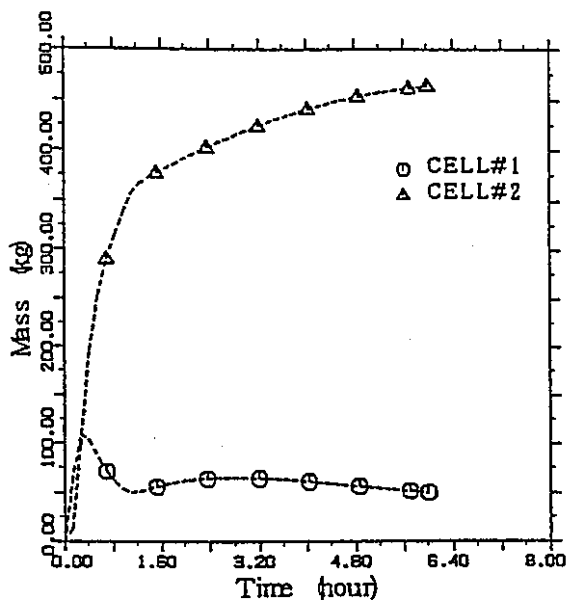


図3.2.86 雰囲気中のH₂O質量
(バメ-ケ-ス)

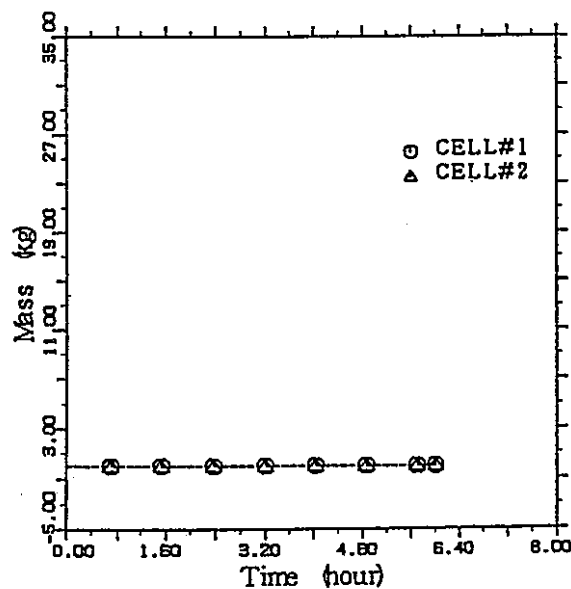


図3.2.87 雰囲気中のCO₂質量
(バメ-ケ-ス)

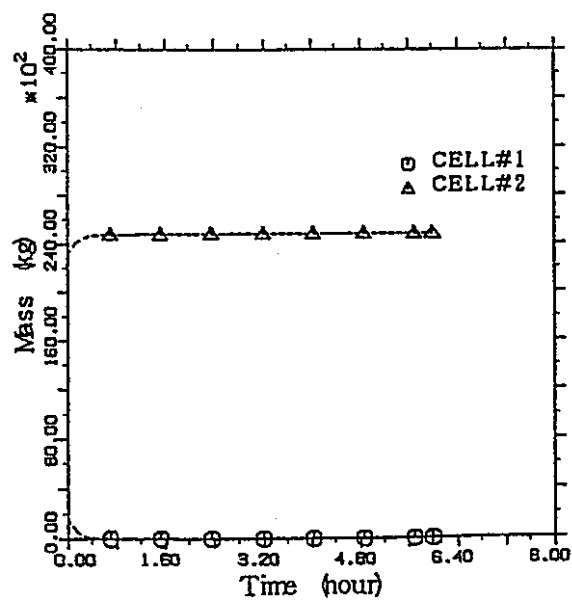


図3.2.88 雰囲気中のN₂質量
(バメ-ケ-ス)

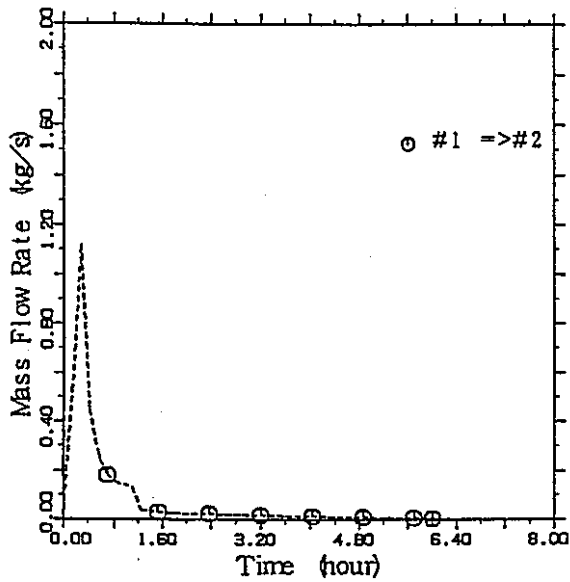


図3.2.89 セル間の流量
(パメ-ケ-ス3)

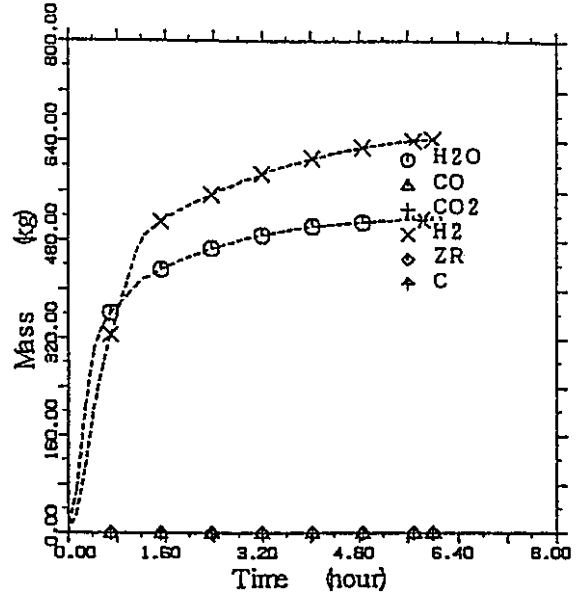


図3.2.90 コンクリート浸食による生成物の質量
(パメ-ケ-ス3)

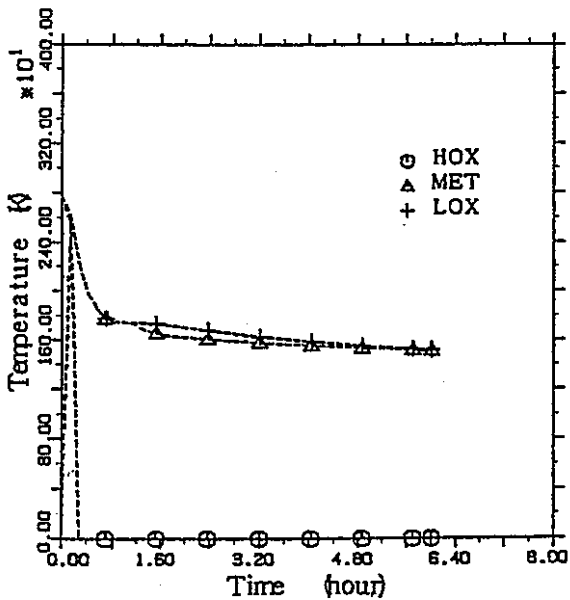


図3.2.91 デブリ層温度
(パメ-ケ-ス3)

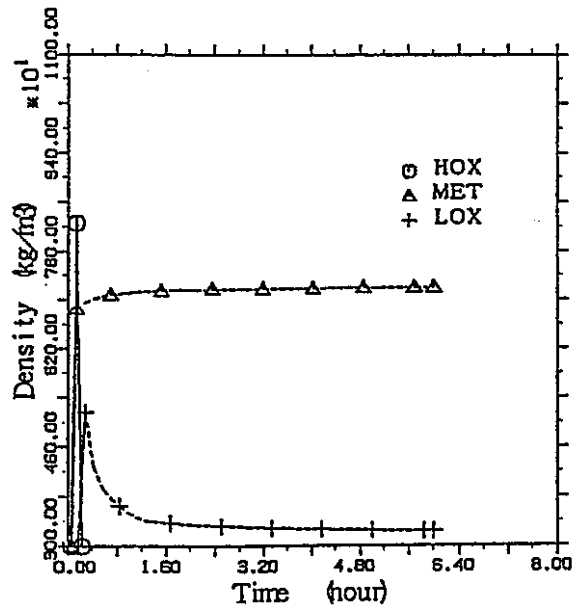


図3.2.92 デブリ層密度
(パメ-ケ-ス3)

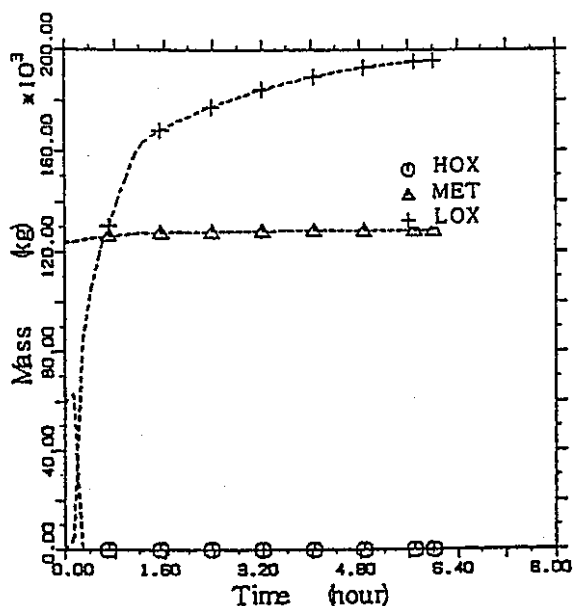


図3.2.93 デブリ層質量
(パラメータ-3)

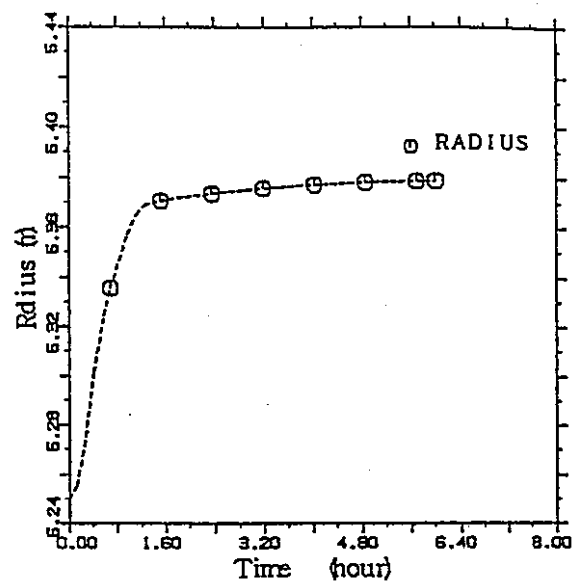


図3.2.94 キャビティの系方向寸法
(パラメータ-3)

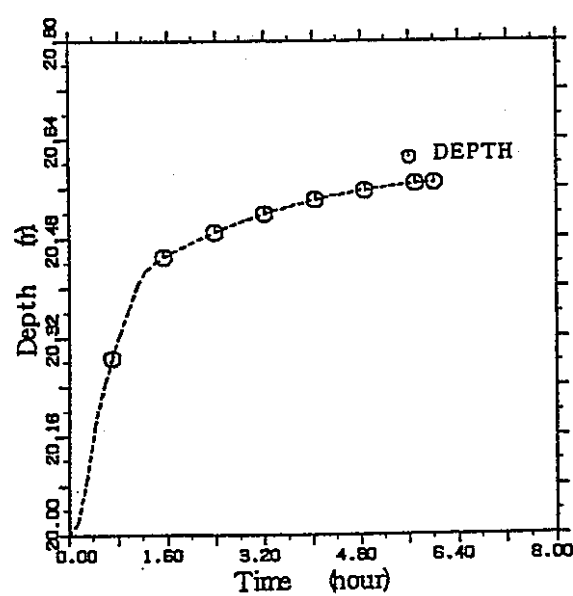


図3.2.95 キャビティの鉛直方向寸法
(パラメータ-3)

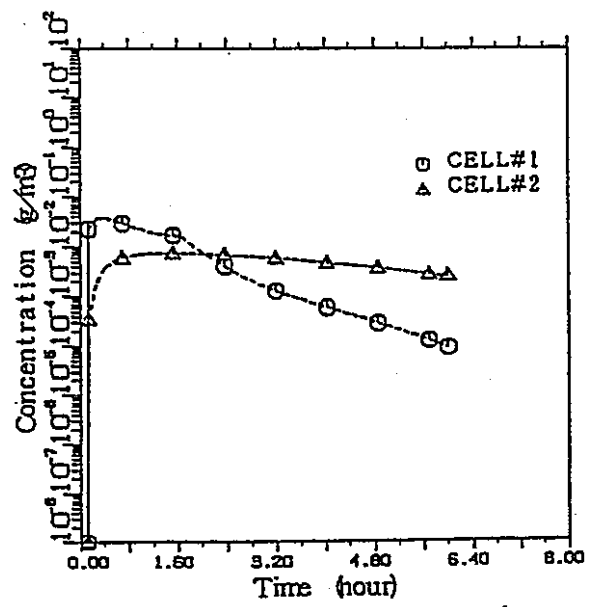


図3.2.96 エアロゾルUO₂の濃度
(パラメータ-3)

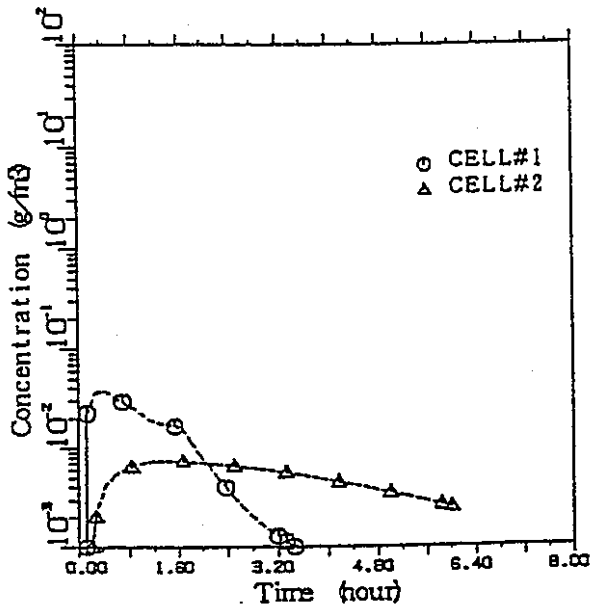


図3.2.97 エアロゾルNaLの濃度
(パラーケ-ス)

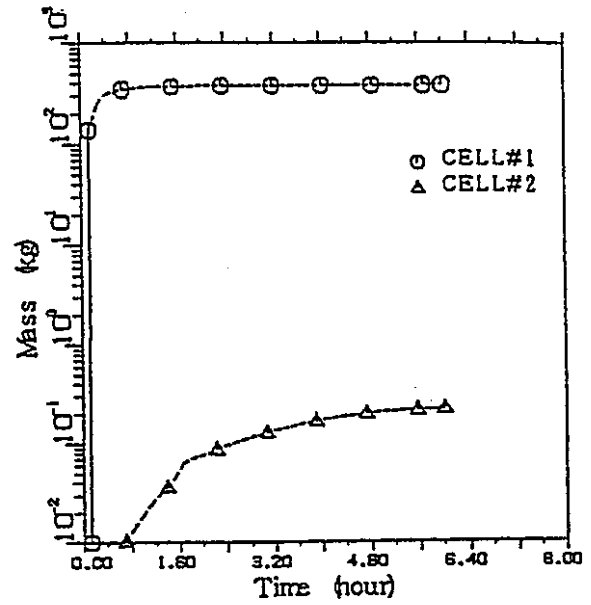


図3.2.98 エアロゾルの析出量
(パラーケ-ス)

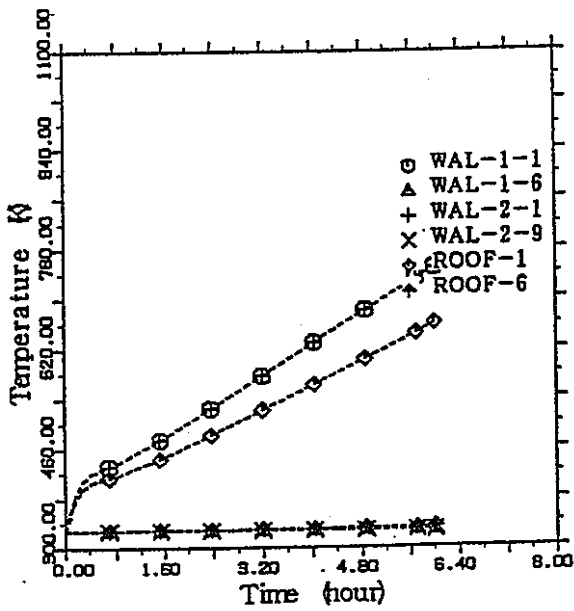


図3.2.99 構造物温度
(パラーケ-ス)

3.2.3.2 F P質量 (ケース3)

(1) F P質量

放出されたF Pの6時間後の各セルのプール、雰囲気、及び構造物表面に存在するF P質量の初期値に対する割合を表3.2.4-(1)～表3.2.4-(3)に示す。希ガス、ハロゲン及びアルカリ金属の各グループについては、6時間後には初期状態でデブリに存在したF Pのほぼ100%が放出されている。他のグループのF Pの初期値に対する放出割合は次のとおりである。

・テルル・アンチモン	: 9.17×10^{-2}
・アルカリ土類	: 4.33×10^{-3}
・遷移族	: 1.33×10^{-5}
・ランタノイド	: 1.45×10^{-4}
・燃料	: 1.13×10^{-4}

セル1とセル2間のF P質量の分配に関しては、希ガスがほぼ100%セル2に移動するが、希ガス以外のグループのF Pはセル1のナトリウムプールに留まる割合が多く、セル2のF P質量はセル1の1/10以下である。

(2) 代表的なF Pの質量変化

各グループの中から、Kr85、I131、Cs137、Te131m、Sr89、Ru103、La140、及びPu239について、各セルに放出されたF P質量の時間変化を図3.2.100～図3.2.107に示す。

・Kr85 (図3.2.100)

500秒の時点で各セルの雰囲気中存在するKr85はセル1が0.171kg、セル2が0.194kgである。計算開始時にデブリに含まれるKr85の質量は0.365kgであるので、500秒までに初期に存在するKr85のほとんどが雰囲気に放出され、それらの53%が既にセル2に移動している。4500秒ではセル1とセル2のKr85質量は、それぞれ 4.92×10^{-3} kg、0.360kgであり、放出されたKr85のほぼ99%がセル2に移動する。

・I131 (図3.2.101)

500秒の時点で各セルに存在するI131はセル1が0.389kg、セル2が 3.44×10^{-5} kgである。計算開始時にデブリに含まれるI131の質量は0.405kgであるので、500秒までに初期に存在するI131の96%が放出される。1000秒までにはI131は100%放出され、セル1とセル2のI131質量は、それぞれ0.406kg、 5.97×10^{-5} kgである。放出されたI131のほとんどがセル1に存在する。

・Cs137 (図3.2.102)

500秒の時点で各セルに存在するCs137はセル1が6.53kg、セル2が 5.07×10^{-4} kgである。計算開始時にデブリに含まれるCs137の質量は26.7kgであるので、500秒までに初期に存在するCs137の24.5%が放出される。その後、Cs137の初期質量に対する放出割合は、5500秒で100%に達する。6時間後のセル1とセル2のCs137の質量は、それぞれ26.7kg、 2.16×10^{-2} kgである。

・Te131m (図3.2.103)

500秒の時点で各セルに存在するTe131mはセル1が 7.74×10^{-5} kg、セル2が 4.69×10^{-9} kgである。計算開始時にデブリに含まれるTe131mの質量は 9.27×10^{-3} kgであるので、500秒までに初期に存在するTe131mの0.83%が放出される。その後Te131mの初期質量に対する放出割合は、5500秒で5.45%に増大する。6時間後のセル1とセル2のTe131mの質量は、それぞれ 5.38×10^{-4} kg、 4.08×10^{-7} kgであり、初期質量に対する放出割合は5.81%である。

・Sr89 (図3.2.104)

500秒の時点で各セルに存在するSr89はセル1が 3.78×10^{-4} kg、セル2が 3.91×10^{-8} kgである。計算開始時にデブリに含まれるSr89の質量は 8.76×10^{-1} kgであるので、500秒までに初期に存在するSr89の0.043%が放出される。その後、Sr89の初期質量に対する放出割合は、5500秒で0.082%に増大する。6時間後のセル1とセル2のSr89の質量は、それぞれ 7.15×10^{-4} kg、 3.47×10^{-7} kgであり、初期質量に対する放出割合は0.082%である。

・ Ru103 (図3.2.105)

500秒で各セルに存在するRu103はセル1が 4.48×10^{-9} kg、セル2が 2.26×10^{-13} kgである。計算開始時にデブリに含まれるRu103の質量は2.62kgであるので、500秒までに初期に存在するRu103の 1.98×10^{-7} %が放出される。その後、Ru103の初期質量に対する放出割合は、5500秒で 8.45×10^{-7} %に増大する。6時間後のセル1とセル2のRu103の質量は、それぞれ 1.91×10^{-8} kg、 1.09×10^{-11} kgであり、初期質量に対する放出割合は 8.45×10^{-7} %である。

・ La140 (図3.2.106)

500秒で各セルに存在するLa140はセル1が 4.81×10^{-6} kg、セル2が 3.69×10^{-10} kgである。計算開始時にデブリに含まれるLa140の質量は0.127kgであるので、500秒までに初期に存在するLa140の 3.78×10^{-3} %が放出される。その後、La140の初期質量に対する放出割合は、5500秒で 1.10×10^{-2} %に増大する。6時間後のセル1とセル2のLa140の質量は、それぞれ 1.41×10^{-5} kg、 7.65×10^{-9} kgであり、初期質量に対する放出割合は 1.11×10^{-4} %である。

・ Pu239 (図3.2.107)

500秒で各セルに存在するPu239はセル1が0.386、セル2が 2.19×10^{-5} kgである。計算開始時にデブリに含まれるPu239の質量は2110kgであるので、500秒までに初期に存在するPu239の0.018%が放出される。その後、Pu239の初期質量に対する放出割合は、5500秒で0.060%に増大する。6時間後のセル1とセル2のPu239質量は、それぞれ1.26kg、 7.06×10^{-4} kgであり、初期質量に対する放出割合は0.060%である。

表 3. 2. 4-(1) FPのインベントリ (1/3) (パラメータ ケース 3 : 6 時間後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)				
					セル 1	セル 2	セル 1 + セル 2	初期値に 対する割合 (-)	
1	希ガス	Kr	Kr83m	1.00E+22	2.58E-07	2.28E-04	2.28E-04	1.00E+00	
			Kr85	1.00E+22	4.12E-04	3.65E-01	3.65E-01	1.00E+00	
			Kr85m	1.00E+22	1.12E-06	9.88E-04	9.89E-04	1.00E+00	
			Kr87	1.00E+22	5.45E-07	4.81E-04	4.82E-04	1.00E+00	
			Kr88	1.00E+22	1.75E-06	1.55E-03	1.55E-03	1.00E+00	
			Kr89	1.00E+22	3.47E-08	3.07E-05	3.07E-05	1.00E+00	
			Kr90	1.00E+22	5.97E-09	5.28E-06	5.28E-06	1.00E+00	
			Xe	Xe131m	1.00E+22	4.73E-06	4.19E-03	4.19E-03	1.00E+00
				Xe133	1.00E+22	5.29E-04	4.67E-01	4.68E-01	1.00E+00
		Xe133m		1.00E+22	3.31E-05	2.93E-02	2.93E-02	1.00E+00	
		Xe135		1.00E+22	4.18E-05	3.70E-02	3.70E-02	1.00E+00	
		Xe135m		1.00E+22	2.36E-07	2.09E-04	2.09E-04	1.00E+00	
		Xe137		1.00E+22	2.46E-07	2.18E-04	2.18E-04	1.00E+00	
		Xe138		1.00E+22	7.19E-07	6.35E-04	6.36E-04	1.00E+00	
		Xe140	1.00E+22	6.47E-09	5.72E-06	5.73E-06	1.00E+00		
		グループ 1 合計					1.03E-03	9.07E-01	9.08E-01
2	ハロゲン	Br	Br83	1.00E+22	3.09E-04	6.33E-08	3.09E-04	1.00E+00	
			Br85	1.00E+22	1.10E-05	2.25E-09	1.10E-05	1.00E+00	
			Br87	1.00E+22	4.15E-06	8.51E-10	4.15E-06	1.00E+00	
			I	I131	1.00E+22	4.19E-01	8.60E-05	4.20E-01	1.00E+00
		I132		1.00E+22	6.71E-03	1.38E-06	6.71E-03	1.00E+00	
		I133		1.00E+22	7.82E-02	1.60E-05	7.83E-02	1.00E+00	
		I133m		1.00E+22	4.39E-07	8.99E-11	4.39E-07	1.00E+00	
		I134		1.00E+22	3.55E-03	7.27E-07	3.55E-03	1.00E+00	
		I134m		1.00E+22	3.25E-05	6.66E-09	3.25E-05	1.00E+00	
		I135		1.00E+22	2.48E-02	5.08E-06	2.48E-02	1.00E+00	
		グループ 2 合計					5.33E-01	1.09E-04	5.33E-01
3	アルカリ金属	Rb	Rb86	1.00E+22	1.95E-03	1.42E-06	1.95E-03	1.00E+00	
			Rb89	1.00E+22	1.94E-04	1.41E-07	1.94E-04	1.00E+00	
			Rb90	1.00E+22	2.73E-05	1.99E-08	2.73E-05	1.00E+00	
			Rb90m	1.00E+22	1.64E-05	1.20E-08	1.65E-05	1.00E+00	
		Cs	Cs134	1.00E+22	2.92E-01	2.12E-04	2.92E-01	1.00E+00	
			Cs134m	1.00E+22	2.37E-05	1.73E-08	2.38E-05	1.00E+00	
			Cs136	1.00E+22	4.38E-02	3.19E-05	4.38E-02	1.00E+00	
			Cs137	1.00E+22	2.69E+01	1.96E-02	2.69E+01	1.00E+00	
			Cs140	1.00E+22	5.11E-05	3.72E-08	5.11E-05	1.00E+00	
			グループ 3 合計					2.73E+01	1.98E-02

表 3.2.4-(2) FPのインベントリ (2/3) (パラメータ ケース 3 : 6 時間後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)				
					セル 1	セル 2	セル 1 + セル 2	初期値に 対する割合 (-)	
4	テルル アンチモン	In	In115m	1.00E+22	2.24E-06	1.01E-09	2.24E-06	1.74E-02	
			Sn	Sn123	1.00E+22	9.01E-04	4.06E-07	9.01E-04	1.73E-02
				Sn125	1.00E+22	1.03E-04	4.63E-08	1.03E-04	1.73E-02
		Sb	Sb127	1.00E+22	6.83E-06	3.51E-09	6.83E-06	2.96E-04	
			Sb129	1.00E+22	9.03E-07	4.64E-10	9.04E-07	2.96E-04	
			Sb131	1.00E+22	1.94E-07	9.99E-11	1.94E-07	2.97E-04	
		Te	Te127	1.00E+22	2.42E-04	1.54E-07	2.42E-04	1.06E-01	
			Te127m	1.00E+22	9.61E-03	6.11E-06	9.62E-03	1.06E-01	
			Te129	1.00E+22	8.17E-05	5.19E-08	8.18E-05	1.06E-01	
			Te129m	1.00E+22	1.53E-02	9.75E-06	1.54E-02	1.06E-01	
			Te131	1.00E+22	8.12E-05	5.16E-08	8.12E-05	1.06E-01	
			Te131m	1.00E+22	9.85E-04	6.26E-07	9.85E-04	1.06E-01	
		Te132	1.00E+22	2.30E-02	1.46E-05	2.30E-02	1.06E-01		
		Te133	1.00E+22	5.04E-05	3.20E-08	5.04E-05	1.06E-01		
		Te133m	1.00E+22	1.15E-04	7.31E-08	1.15E-04	1.06E-01		
Te134	1.00E+22	2.15E-04	1.36E-07	2.15E-04	1.06E-01				
グループ 4 合計					5.08E-02	3.21E-05	5.08E-02	9.17E-02	
5	アルカリ土類	Sr	Sr89	1.00E+22	2.86E-03	9.86E-07	2.86E-03	3.27E-03	
			Sr90	1.00E+22	2.16E-02	7.46E-06	2.17E-02	3.27E-03	
			Sr91	1.00E+22	3.19E-05	1.10E-08	3.19E-05	3.26E-03	
		Ba	Ba140	1.00E+22	1.22E-02	5.17E-06	1.22E-02	1.27E-02	
グループ 5 合計					3.67E-02	1.36E-05	3.67E-02	4.33E-03	
6	遷移族	Co	Co58	1.00E+22	7.05E-06	2.53E-09	7.05E-06	1.30E-05	
			Co60	1.00E+22	2.05E-07	7.39E-11	2.05E-07	1.30E-05	
		Mo	Mo99	1.00E+22	2.09E-06	7.52E-10	2.09E-06	1.30E-05	
			Tc	Tc99m	1.00E+22	3.20E-09	1.04E-12	3.20E-09	2.52E-07
		Ru	Ru103	1.00E+22	6.60E-07	2.15E-10	6.60E-07	2.52E-07	
			Ru105	1.00E+22	2.38E-09	7.75E-13	2.38E-09	2.52E-07	
			Ru106	1.00E+22	2.26E-06	7.33E-10	2.26E-06	2.52E-07	
			Rh	Rh105	1.00E+22	1.90E-08	6.16E-12	1.90E-08	2.52E-07
		Rh	Rh105m	1.00E+22	1.74E-12	5.66E-16	1.74E-12	2.52E-07	
			Ag	Ag110m	1.00E+22	1.31E-04	6.22E-08	1.31E-04	4.50E-02
		Ag111		1.00E+22	1.22E-03	5.79E-07	1.22E-03	4.50E-02	
		Cd	Cd115	1.00E+22	6.50E-05	3.09E-08	6.51E-05	4.04E-02	
Cd115m	1.00E+22		2.26E-04	1.07E-07	2.26E-04	4.51E-02			
グループ 6 合計					1.65E-03	7.84E-07	1.65E-03	1.33E-04	

表 3.2.4-(3) FPのインベントリ (3 / 3) (パラメータ ケース 3 : 6 時間後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)					
					セル 1	セル 2	セル 1 + セル 2	初期値に 対する割合 (-)		
7	ランタノイド	Y	Y90	1.00E+22	6.84E-06	1.95E-09	6.84E-06	3.34E-03		
			Y91	1.00E+22	4.59E-03	1.31E-06	4.60E-03	3.33E-03		
			Y91m	1.00E+22	1.65E-06	4.69E-10	1.65E-06	3.34E-03		
		Zr	Zr95	1.00E+22	1.58E-05	1.04E-08	1.58E-05	5.72E-06		
			Zr97	1.00E+22	2.05E-07	1.36E-10	2.05E-07	5.74E-06		
		Nb	Nb95	1.00E+22	1.32E-01	3.82E-05	1.32E-01	9.26E-02		
			Nb95m	1.00E+22	1.75E-04	5.06E-08	1.75E-04	9.27E-02		
		La	La140	1.00E+22	4.26E-04	1.21E-07	4.26E-04	3.35E-03		
			La141	1.00E+22	4.23E-05	1.20E-08	4.23E-05	3.33E-03		
		Ce	Ce141	1.00E+22	2.80E-02	9.75E-06	2.80E-02	1.13E-02		
			Ce143	1.00E+22	1.01E-03	3.50E-07	1.01E-03	1.13E-02		
			Ce144	1.00E+22	1.11E-01	3.87E-05	1.11E-01	1.13E-02		
		Pr	Pr143	1.00E+22	2.93E-03	8.35E-07	2.93E-03	3.34E-03		
			Pr147	1.00E+22	8.82E-07	2.51E-10	8.82E-07	3.34E-03		
		Nd	Nd147	1.00E+22	1.19E-03	3.39E-07	1.19E-03	3.35E-03		
		グループ 7 合計					2.82E-01	8.97E-05	2.82E-01	1.45E-02
		8	燃料	Np	Np239	1.00E+22	6.43E-02	2.24E-05	6.44E-02	1.13E-02
Pu	Pu238				1.00E+22	2.67E-02	9.31E-06	2.68E-02	1.13E-02	
Pu	Pu239			1.00E+22	2.37E+01	8.26E-03	2.37E+01	1.13E-02		
	Pu240			1.00E+22	9.27E+00	3.23E-03	9.27E+00	1.13E-02		
	Pu241			1.00E+22	3.46E+00	1.20E-03	3.46E+00	1.13E-02		
	Pu242			1.00E+22	1.62E+00	5.62E-04	1.62E+00	1.13E-02		
	Am			Am241	1.00E+22	6.46E-01	2.25E-04	6.46E-01	1.13E-02	
Am	Am242			1.00E+22	1.58E-04	5.48E-08	1.58E-04	1.13E-02		
	Cm			Cm242	1.00E+22	2.21E-02	7.67E-06	2.21E-02	1.13E-02	
				Cm244	1.00E+22	2.45E-03	8.53E-07	2.45E-03	1.13E-02	
	グループ 8 合計					3.88E+01	1.35E-02	3.89E+01	1.13E-02	
合 計 値					6.70E+01	9.40E-01	6.80E+01	1.94E-02		

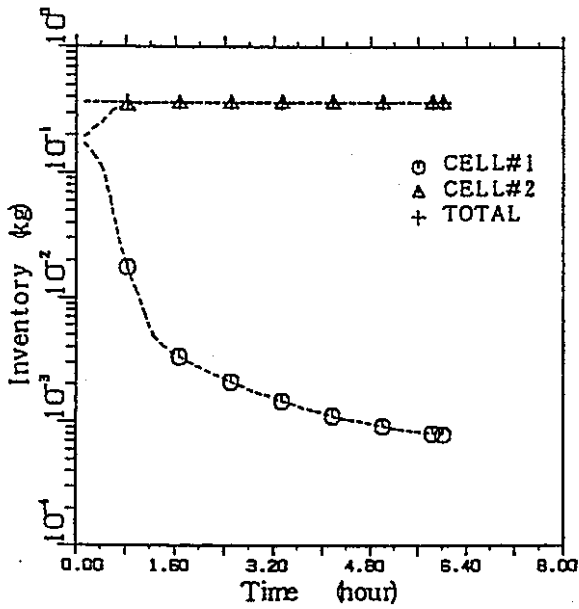


図3.2.100 Kr 85 質量
(パラメータ-3)

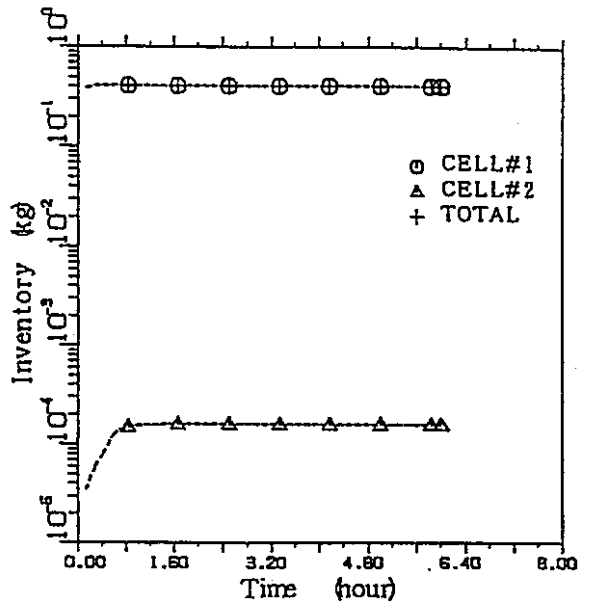


図3.2.101 I 131 質量
(パラメータ-3)

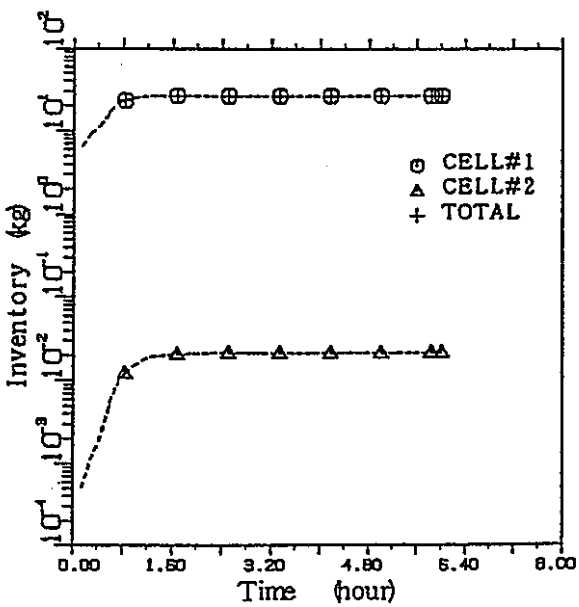


図3.2.102 Cs 137 質量
(パラメータ-3)

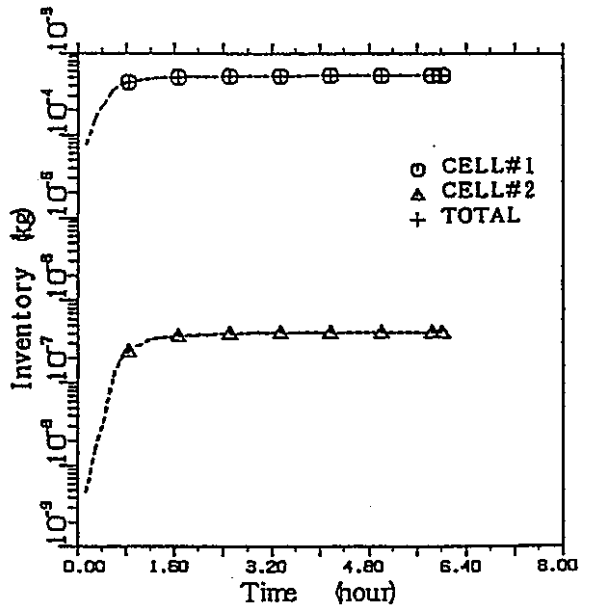


図3.2.103 Te 131m 質量
(パラメータ-3)

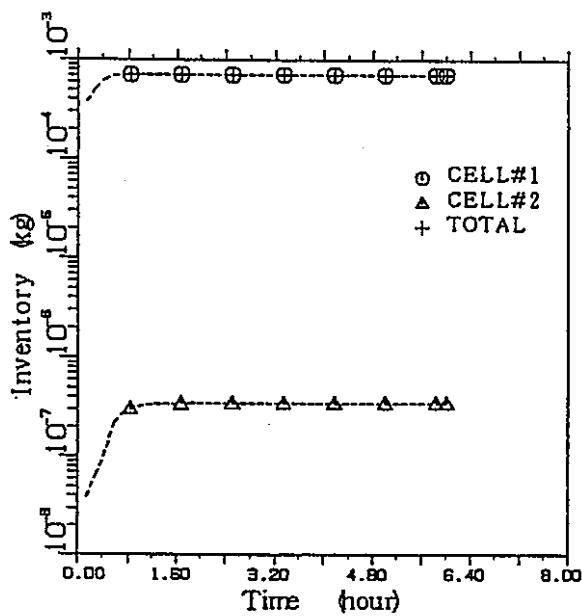


図3.2.104 Sr 89質量
(パラメータ-3)

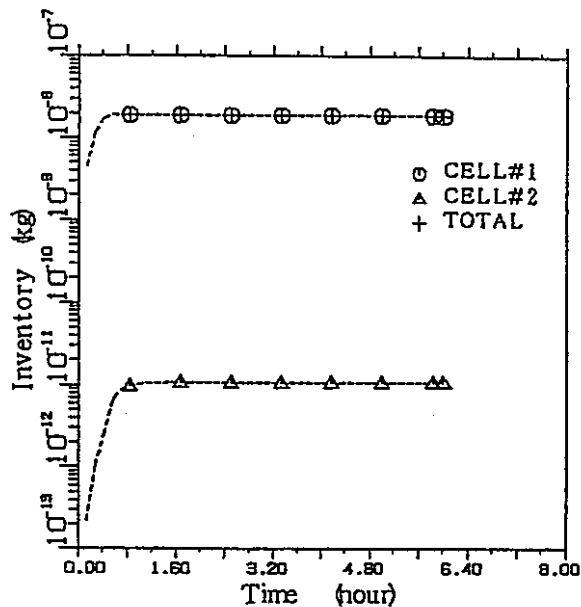


図3.2.105 Ru 103質量
(パラメータ-3)

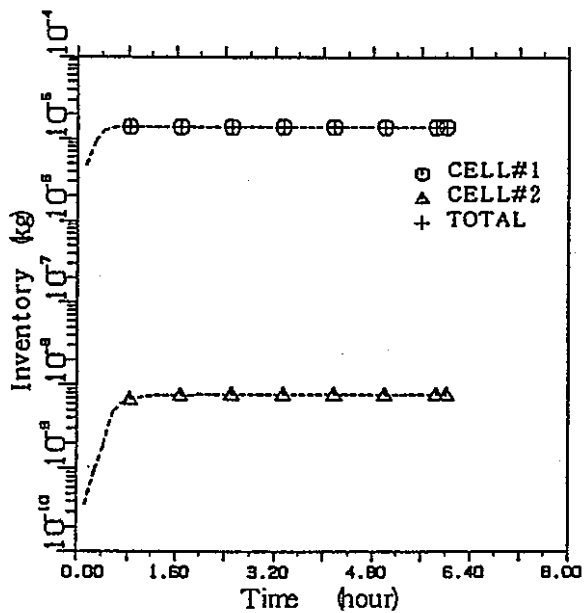


図3.2.106 La 140質量
(パラメータ-3)

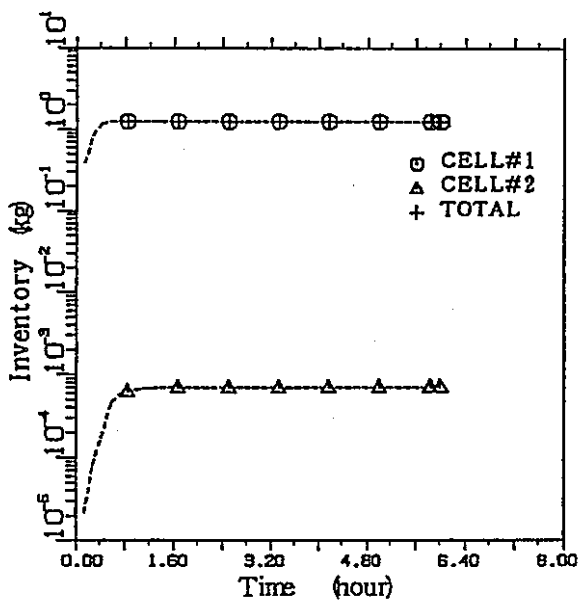


図3.2.107 Pu 239質量
(パラメータ-3)

3.2.3.3 エアロゾルの挙動（ケース3）

基本ケースのエアロゾル関連諸量の時間に伴う変化を図3.2.108～図3.2.114に示す。6時間後までにおけるエアロゾル積算発生量は383.0kgである。エアロゾルに関する計算結果を以下に述べる。

（1）金属層を通過する気体の流量

デブリの金属層を通過する気体（CO、CO₂、H₂、H₂O）の合計体積流量を図3.2.108に示す。ただしケース3ではCOとCO₂は発生しない。気体の合計体積流量は、プロット図では1000秒のとき最大となり、このときの流量は3.212m³/sである。6時間後の体積流量は2.78×10⁻²m³/sである。

（2）酸化物層温度

酸化物層温度を図3.2.109に示す。計算開始直後から単調に減少する。6時間後の酸化物層温度は1518Kである。なお、ここでの酸化物層温度は、VANESAモデルで使用される酸化物層温度で、層の逆転以前はCONTAINモデルの重い酸化物層温度、層の逆転以降はCONTAINモデルの軽い酸化物層温度にそれぞれ対応する。

（3）エアロゾル発生量

エアロゾル発生量を図3.2.110に示す。エアロゾル発生量は計算開始直後に最大値2773Kとなり、その後時刻とともに下降する。計算開始直後は、蒸発によるエアロゾル発生量の方が、メカニカルな機構によるエアロゾル発生量よりも2729倍大きい。6時間後にはその差は98倍に縮まるが、解析期間全体にわたり蒸発によるエアロゾル発生量の方がメカニカルな機構によるエアロゾル発生量よりも大きい。

（4）エアロゾル密度

エアロゾル密度を図3.2.111に示す。エアロゾル密度は計算開始直後に最大値4.457kg/m³となる。その後エアロゾル密度は時間経過とともに単調に減少する。6時間後のエアロゾル密度は2086kg/m³である。

（5）エアロゾル平均直径

エアロゾルの平均直径を図3.2.112に示す。平均直径は計算開始直後に1.26μであるが、その後時間経過とともに減少する。6時間後の平均直径は0.30μである。

（6）エアロゾル成分割合

各時刻で発生するエアロゾルに対する主要なエアロゾルの発生割合を図3.2.113に示す。計算開始直後は、Cs₂OとCsIの成分割合がそれぞれ全エアロゾルの15.9%と33.4%を占める。その後CsIの割合は急減少し、500秒ではCs₂Oが19.1%、CsIが0.0%となる。1500秒では依然としてCs₂Oの割合が44.0%で一番大きい、2番目はK₂Oが30.5%を占める。その後、Cs₂Oの割合が減少し、次第にK₂Oの割合が増加し、3500秒以降はCs₂Oに代わってK₂Oの割合が一番大きくなる。6時間後の割合はK₂Oが91.7%、Cs₂Oが0.0%、Na₂Oが4.6%、Mnが2.4%、その他が1.3%である。

(7) エアロゾル質量

エアロゾルの累積発生質量を図 3.2.114 に示す。6 時間までに放出された主なエアロゾルの質量 (単位: kg) は、次のとおりである。

Cs_2O : 88.0, Mn : 59.0, K_2O : 69.4, CsI : 15.8, SiO_2 : 44.7, Na_2O : 12.5

上記の 6 エアロゾルの合計放出量は 289.4kg であり、エアロゾルの全放出量 383.0kg の 75.6% にあたる。

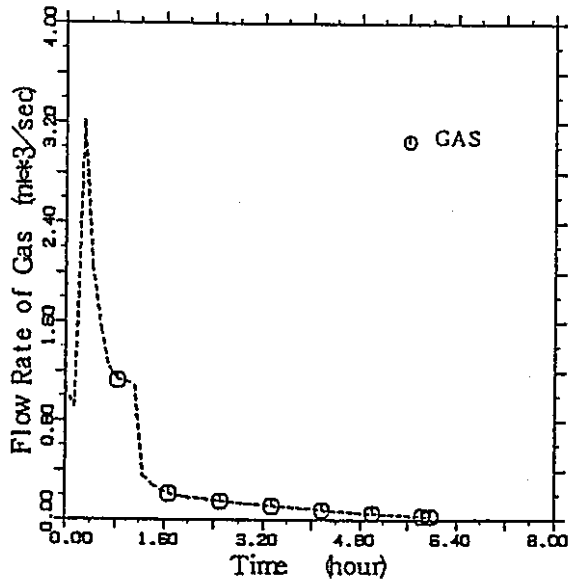


図3.2.108 金属層を通過する気体流量
(パラメータ-3)

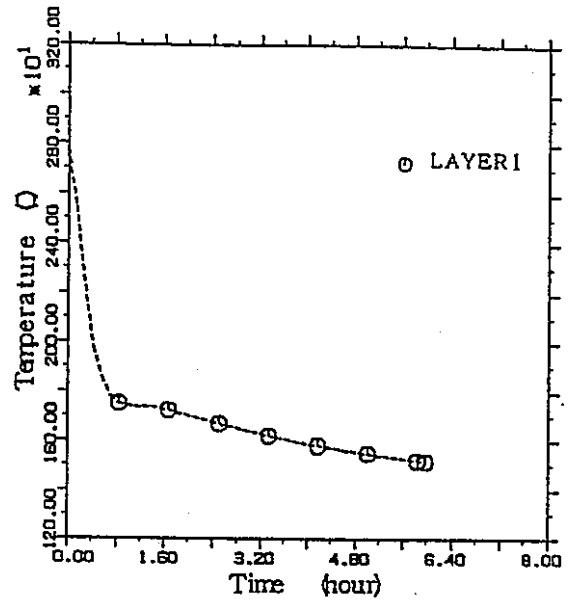


図3.2.109 酸化物層温度
(パラメータ-3)

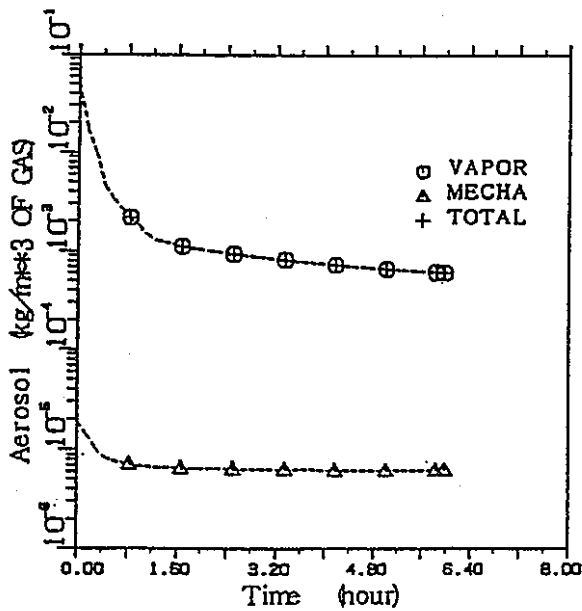


図3.2.110 エアロゾル発生量
(パラメータ-3)

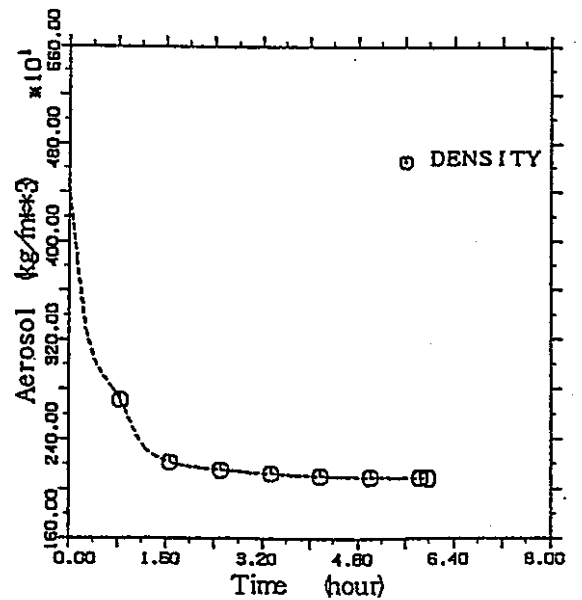


図3.2.111 エアロゾル密度
(パラメータ-3)

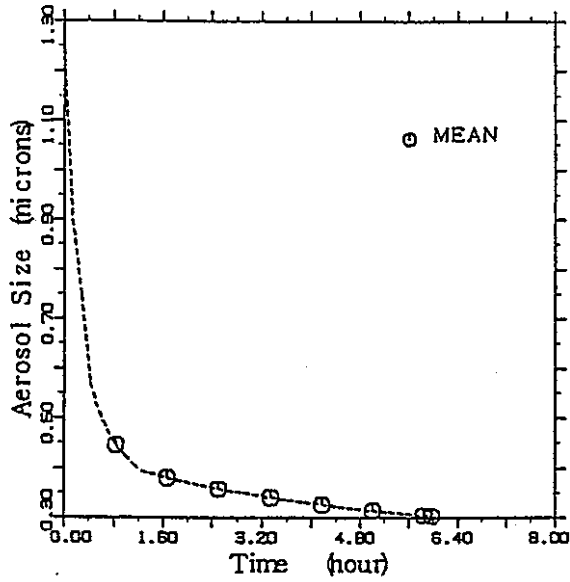


図3.2.112 エアロゾル平均サイズ
(パラメ-タ-33)

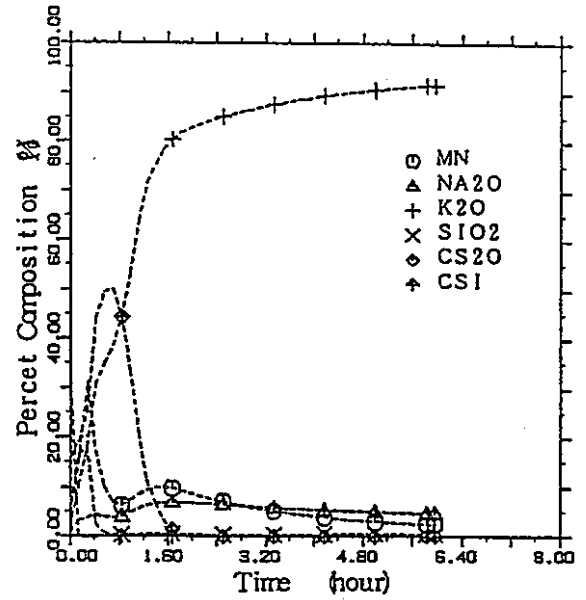


図3.2.113 エアロゾル成分割合
(パラメ-タ-33)

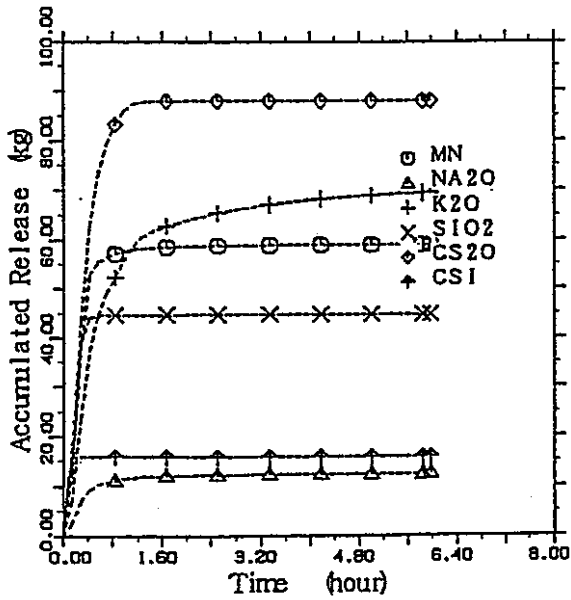


図3.2.114 エアロゾル質量
(パラメ-タ-33)

3.2.4 ケース4

ケース4では、デブリ量初期値を、基本ケースの1/2に変更して計算を行った。ケース4は11000秒からサブルーチンHCBTOPとHCBBOTでゼロ割りのエラーが発生し、11500秒で計算が異常終了した。

3.2.4.1 主要な計算結果(ケース4)

ケース4の6時間までのプロット図を図3.2.115～図3.2.137に示す。以下に計算値の時間に伴う変化について記す。

(1) セル雰囲気温度

セル雰囲気温度を図3.2.115に示す。初期温度はセル1、セル2ともに328Kである。500秒での各セルの雰囲気温度はセル1が494.7K、セル2が345.2Kであり、セル1の雰囲気温度がセル2よりも高い。この時点でセル1、セル2ともにその雰囲気温度は飽和温度に達している。11500秒後セル雰囲気温度はセル1が522.7K、セル2が390.3Kであり、基本ケースの11500秒後と比較するとセル1で49.1K、セル2で52.2Kの温度上昇となる。

(2) セル圧力

セル圧力を図3.2.116に示す。初期圧力はセル1が0.1034MPa、セル2が0.1018MPaである。セル圧力は時間経過に伴って上昇し、11500秒後の圧力はセル1、2ともに0.1364MPaである。この圧力値は基本ケースの11500秒後よりも0.035MPa低い。ここで、セル圧力が上昇するのはおもにH₂のモル数の増加による。

(3) 雰囲気中の成分割合

セル雰囲気中の気体の成分割合を図3.2.117～図3.2.121に示す。各セルの気体成分割合の初期値は、セル1がN₂:0.97、O₂:0.03、セル2がN₂:0.79、O₂:0.21である。

・O₂の割合(図3.2.117)

各セルの雰囲気中のO₂のモル分率は時間経過に伴い低下する。11500秒後のO₂のモル分率は、セル1が 2.4×10^{-3} 、セル2が0.188である。

・H₂の割合(図3.2.118)

セル1及びセル2の雰囲気中のH₂モル分率は時間経過に従い増加する。11500秒後の雰囲気中のH₂モル分率はセル1で0.894、セル2で 6.11×10^{-2} である。

・ H₂Oの割合 (図 3.2.119)

セル1の雰囲気中のH₂O(気体)モル分率は、1500秒で最大値0.029まで上昇した後降下し、2500秒では0.026まで低下する。2500秒以降は再び上昇して3500秒後に0.027に達した後、単調に減少する。11500秒後のセル1の雰囲気中のH₂Oモル分率は0.024である。セル2の雰囲気中のH₂O(気体)モル分率は、計算開始時点より単調に増大する。11500秒後のセル2の雰囲気中のH₂Oモル分率は 2.5×10^{-3} である。

・ CO₂の割合 (図 3.2.120)

パラメータケース4のコンクリートは硬質砂岩であり成分にCO₂、CaCO₃、MgCO₃を含まない。従って、デブリーコンクリート相互作用の際にCO₂は発生しない。

・ N₂の割合 (図 3.2.121)

セル1のN₂割合は初期値0.97から急速に減少し5000秒には0.1以下となる。11500秒後のセル1の雰囲気中のN₂モル分率は 7.9×10^{-2} である。セル2のN₂割合は初期値0.79から単調に減少する。11500秒後のセル2の雰囲気中のN₂モル分率は0.748である。

(4) 雰囲気中の成分質量

・ O₂の質量 (図 3.2.122)

セル1の雰囲気中のO₂質量は、初期値の58.3kgから単調に減少し、11500秒後のセル1のO₂質量は3.84kgである。セル2の雰囲気中のO₂質量は、セル1から流入するO₂の質量が加わるので、初期値の7023.6kgから11500秒後には7078.0kgに増大する。

・ H₂の質量 (図 3.2.123)

セル1の雰囲気中のH₂質量は、6000秒に最大値92.6kgまで上昇した後、6500秒以降は単調減少となる。11500秒後のセル1の雰囲気中のH₂質量は89.0kgである。セル2の雰囲気中のH₂質量は、単調に増大する。11500秒後のセル2の雰囲気中のH₂質量は145kgである。

・ H₂Oの質量 (図 3.2.124)

セル1の雰囲気中のH₂O(気体)質量は、6000秒で最大値25.6kgまで上昇した後、単調に降下し、11500秒後では21.6kgまで低下する。セル2の雰囲気中のH₂O(気体)質量は、計算開始時点より単調に増大する。11500秒後のセル2の雰囲気中のH₂O質量は52.8kgである。

・ CO₂の質量 (図 3.2.125)

パラメータケース4のコンクリートは硬質砂岩であり成分にCO₂、CaCO₃、MgCO₃を含まない。従って、デブリーコンクリート相互作用の際にCO₂は発生しない。

・ N₂の質量 (図 3. 2. 1 2 6)

セル1の雰囲気中のN₂質量は初期値の1649.1kgから急速に減少し、2000秒には0.278kgとなる。11500秒後のセル1のN₂質量は0.109kgである。セル2の雰囲気中のN₂質量は、セル1のN₂がセル2に移動するので、初期値の23131kgから11500秒後には24675kgに増大する。

(5) セル間の流量

セル1からセル2への流量を図3. 2. 1 2 7に示す。流量は2000秒に最大値1.81kg/sとなった後減少するが10500秒後に 2.5×10^{-3} kg/sまで下がった後、10500秒以降は再び上昇して11500秒後の流量は0.016kg/sとなる。

(6) コンクリート浸食による生成物質量

コンクリート浸食による生成物質量を図3. 2. 1 2 8に示す。コンクリート浸食による結果、11500秒後にはH₂Oが74.4kg、H₂が234.1kgそれぞれ発生する。CO、CO₂、C、Zrは発生しない。

(7) デブリ温度

デブリ温度を図3. 2. 1 2 9に示す。11500秒後の各層の温度は、軽い酸化物層が1448.2K、金属層が1502.4Kである。

(8) デブリ密度

デブリ密度を図3. 2. 1 3 0に示す。時刻950秒でデブリ中の重い酸化物層の密度が金属層の密度よりも小さくなり金属層がデブリの最下端層となる。同時に重い酸化物層は軽い酸化物層に吸収される。11500秒後のデブリ密度は、軽い酸化物層が3537kg/m³、金属層が7180kg/m³である。

(9) デブリ質量

デブリ質量を図3. 2. 1 3 1に示す。酸化物層質量は初期値29.67tから11500秒後には77.05tに増大する。ここで、11500秒後の酸化物層は軽い酸化物層である。金属層質量は初期値61.95tから11500秒後には63.45tにそれぞれ増大する。

(10) キャビティ形状

キャビティの径方向寸法と鉛直方向寸法をそれぞれ図3. 2. 1 3 2及び図3. 2. 1 3 3に示す。11500秒後のコンクリート浸食深さ最大値は、鉛直方向21.3cm、径方向4.6cmである。このときのコンクリート浸食体積は19.3m³である。

(11) エアロゾル濃度

各セルのエアロゾルUO₂とNaIの濃度をそれぞれ図3. 2. 1 3 4及び図3. 2. 1 3 5に示す。

・ エアロゾルUO₂ (図 3. 2. 1 3 4)

11500秒後の各セルの雰囲気中のエアロゾルUO₂の濃度は、セル1が 9.78×10^{-4} g/m³、セル2が 1.48×10^{-3} g/m³である。これに対応する質量は、セル1が 1.54×10^{-3} kg、セル2が 4.14×10^{-2} kgである。

・エアロゾルNaL (図3.2.135)

11500秒後のエアロゾルNaLの濃度は、セル1が21.7kg/m³、セル2が0.665kg/m³である。これに対応する質量は、セル1が34.22kg、セル2が18.61kgである。

(12) エアロゾル沈澱量

各セルのエアロゾルUO₂とNaLの合計沈澱量を図3.2.136に示す。11500秒後の沈澱量はセル1が81.3kg、セル2が1.93×10⁻²kgである。11500秒後の沈澱量の内訳は次のとおりである。

	沈澱量 (kg)			
	セル1		セル2	
	UO ₂	NaL	UO ₂	NaL
天井	8.11×10 ⁻⁵	3.42×10 ⁻⁶	5.21×10 ⁻⁵	7.51×10 ⁻⁶
壁	2.53×10 ⁻³	4.36×10 ⁻⁴	2.57×10 ⁻³	9.49×10 ⁻³
床 + プール	8.12×10 ¹	7.63×10 ⁻²	8.09×10 ⁻³	7.67×10 ⁻²
合計	8.12×10 ¹	7.68×10 ⁻²	1.07×10 ⁻²	8.63×10 ⁻²

(13) 構造物温度

セル1の構造物温度を図3.2.137に示す。11500秒後の壁の内側表面温度は510.9K、天井の内側表面温度は471.1Kである。また、セル2の11500秒後の壁の内側表面温度、及び天井の内側表面温度は342.1Kである。

(14) ナトリウムプール

11500秒後のナトリウムプールの深さは10.30mであり初期値の10mから0.30m上昇する。また、ナトリウムプールの質量は初期値720.9tから720.8tに減少する。11500秒後のナトリウムプール温度は1230.3Kである。

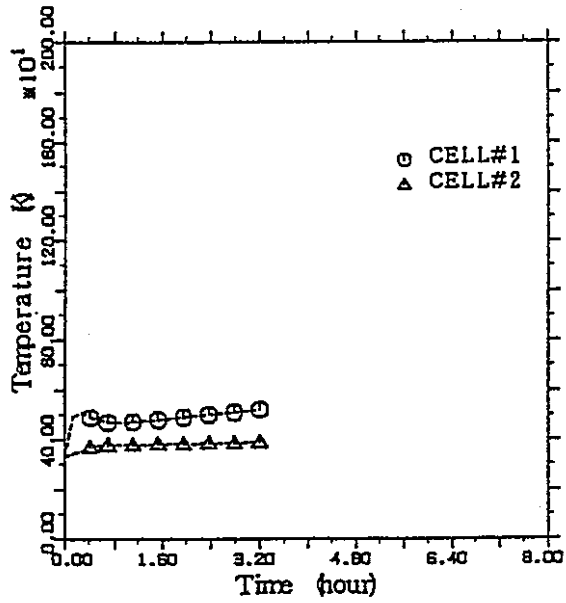


図3.2.115 セル雰囲気温度
(パラメータ-ス4)

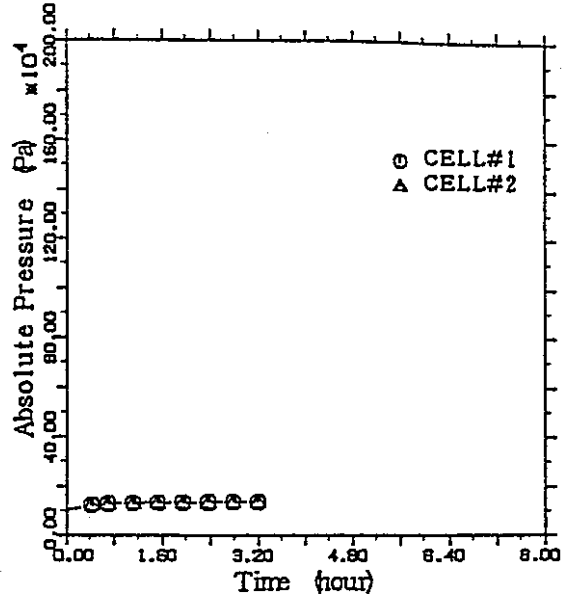


図3.2.116 セル圧力
(パラメータ-ス4)

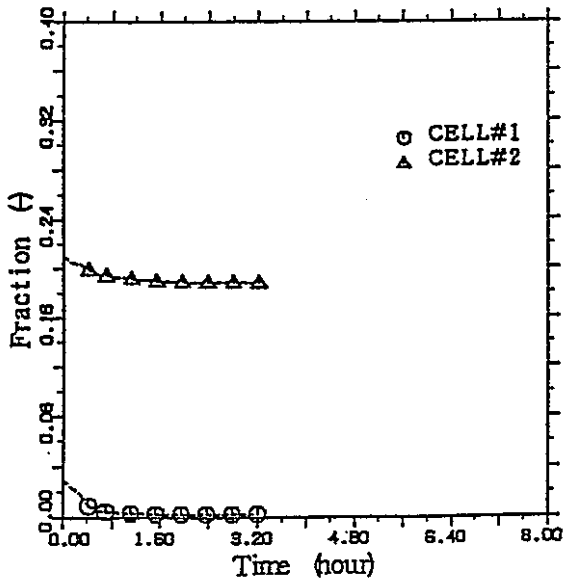


図3.2.117 雰囲気中のO₂モル分率
(パラメータ-ス4)

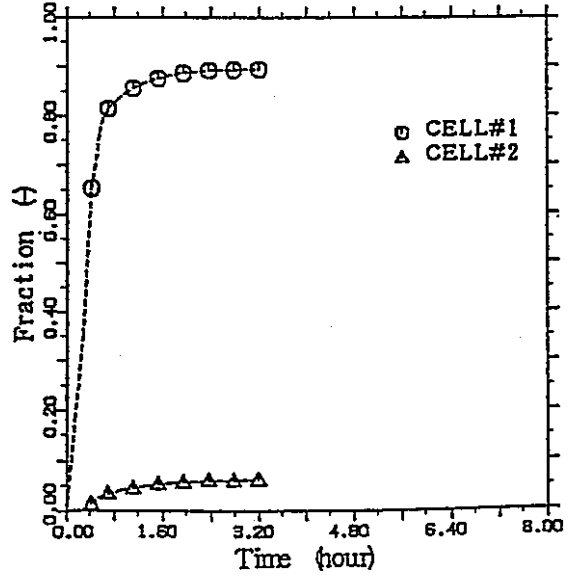


図3.2.118 雰囲気中のH₂モル分率
(パラメータ-ス4)

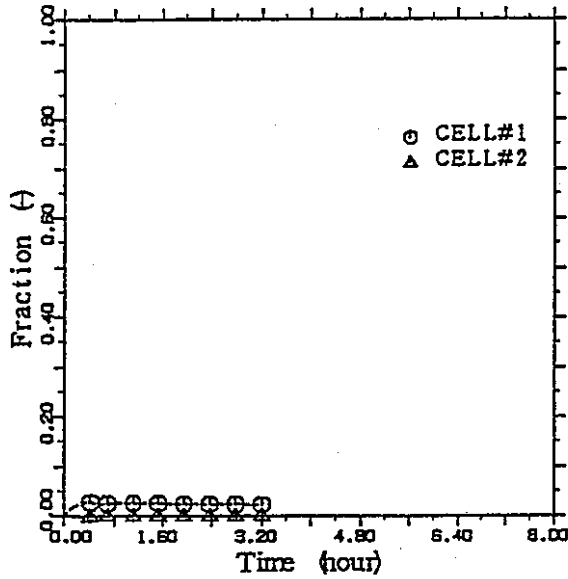


図3. 2. 119 霧囲気中のH₂Oモル分率
(パラメ-タ-ス4)

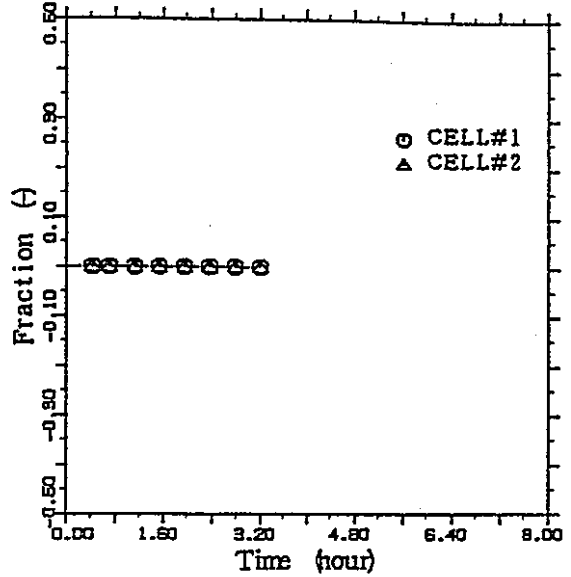


図3. 2. 120 霧囲気中のC O₂モル分率
(パラメ-タ-ス4)

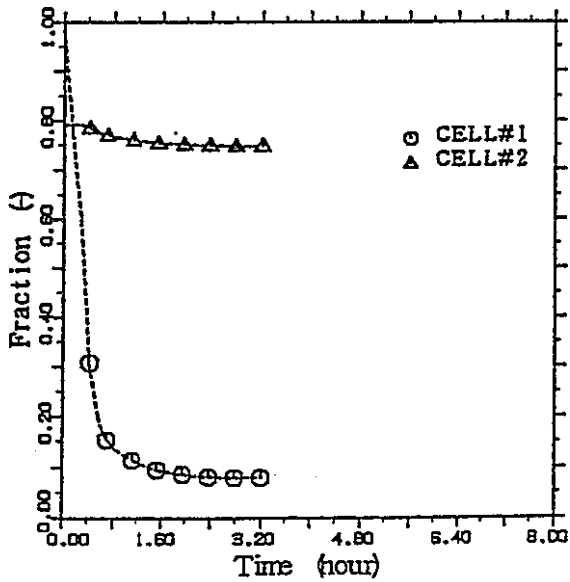


図3. 2. 121 霧囲気中のN₂モル分率
(パラメ-タ-ス4)

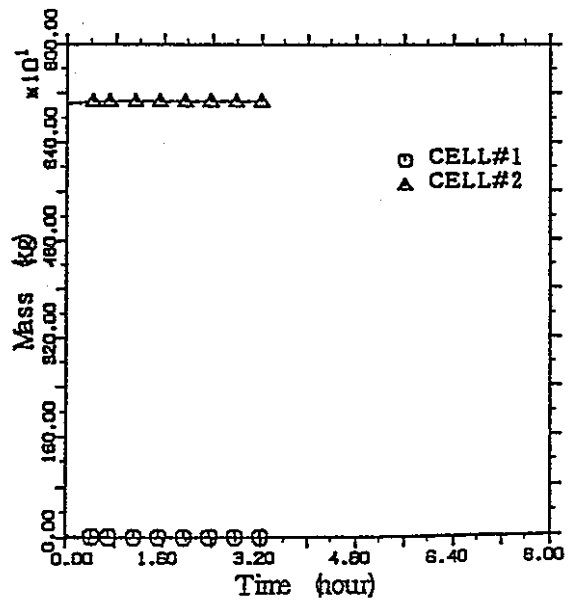


図3. 2. 122 霧囲気中のO₂質量
(パラメ-タ-ス4)

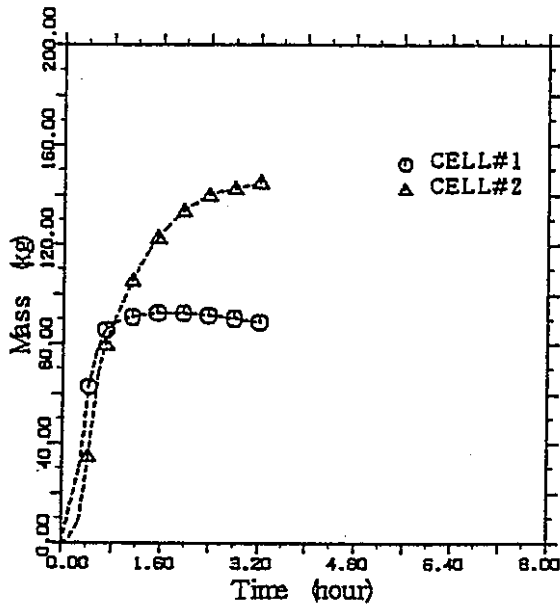


図3. 2. 123 雰囲気中のH2質量
(パラメ-タ-ス4)

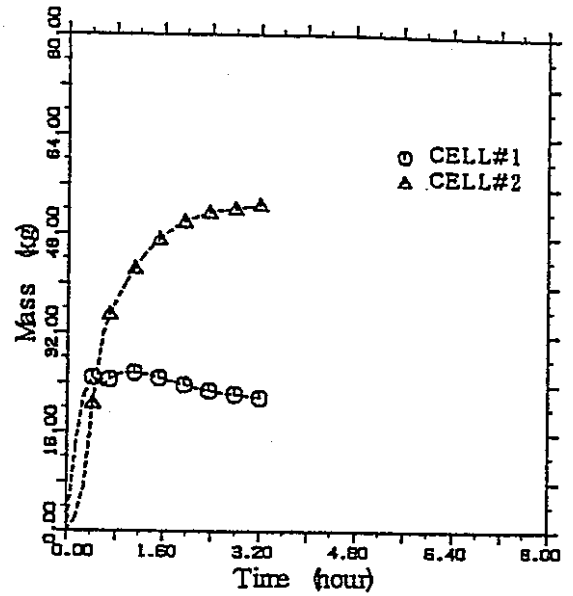


図3. 2. 124 雰囲気中のH2O質量
(パラメ-タ-ス4)

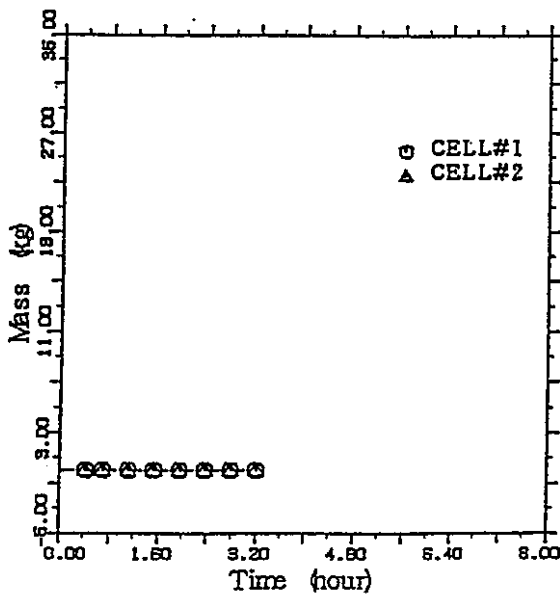


図3. 2. 125 雰囲気中のCO2質量
(パラメ-タ-ス4)

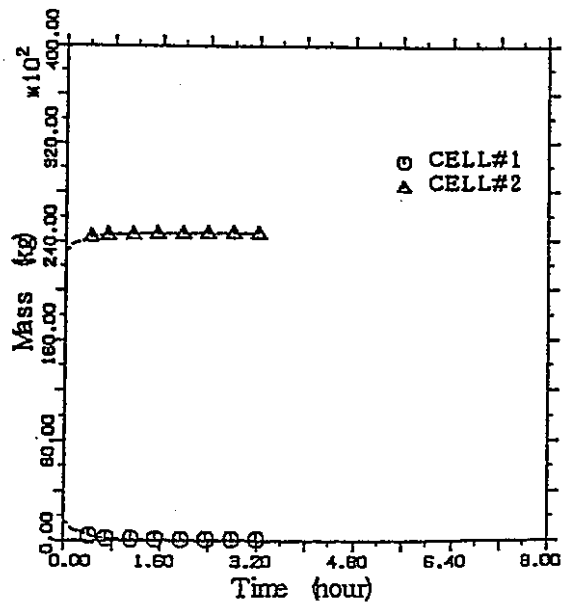


図3. 2. 126 雰囲気中のN2質量
(パラメ-タ-ス4)

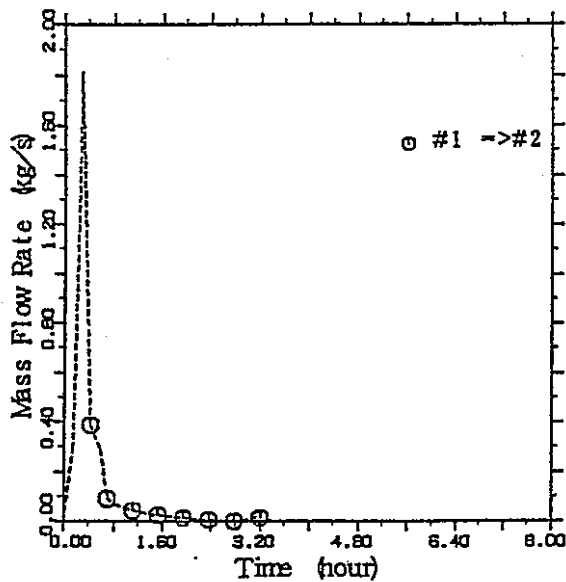


図3.2.127 セル間の流量
(パラメータ-ス4)

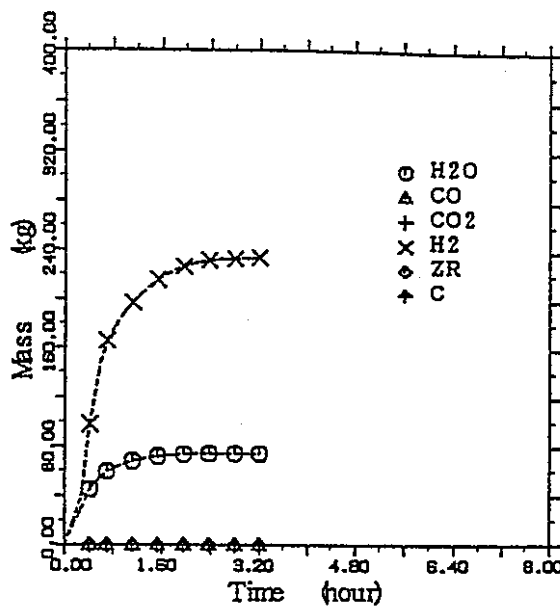


図3.2.128 コンクリート浸食による生成物の質量
(パラメータ-ス4)

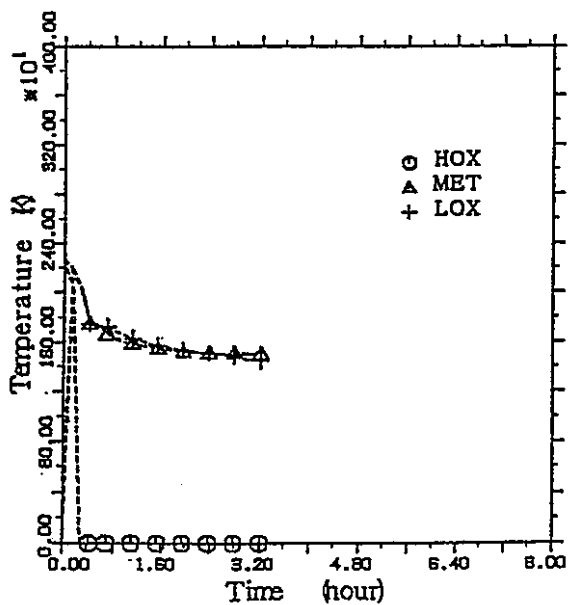


図3.2.129 デブリ層温度
(パラメータ-ス4)

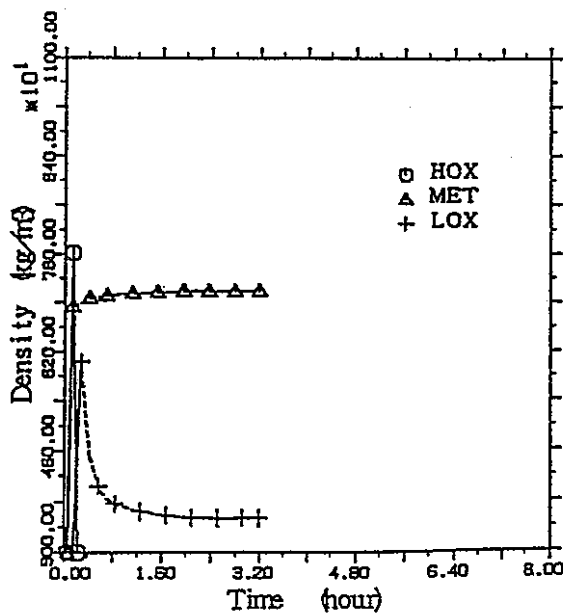


図3.2.130 デブリ層密度
(パラメータ-ス4)

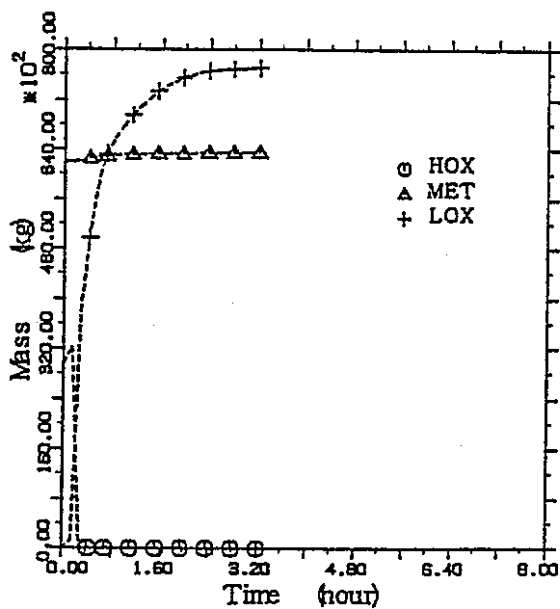


図3.2.131 デブリ層質量
(パラメータ-ス4)

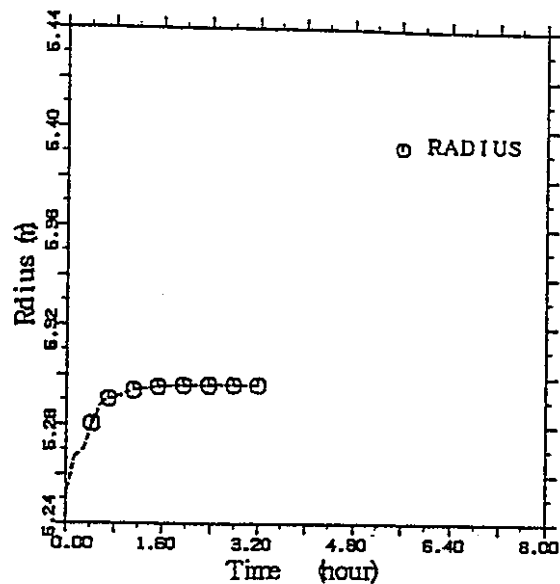


図3.2.132 キャビティの系方向寸法
(パラメータ-ス4)

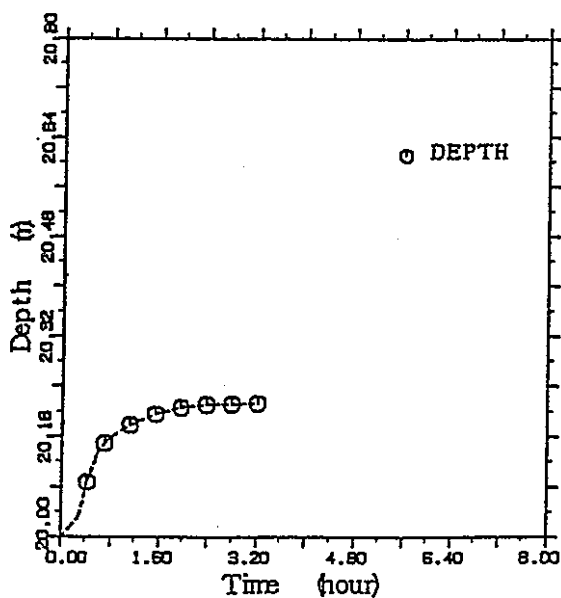


図3.2.133 キャビティの鉛直方向寸法
(パラメータ-ス4)

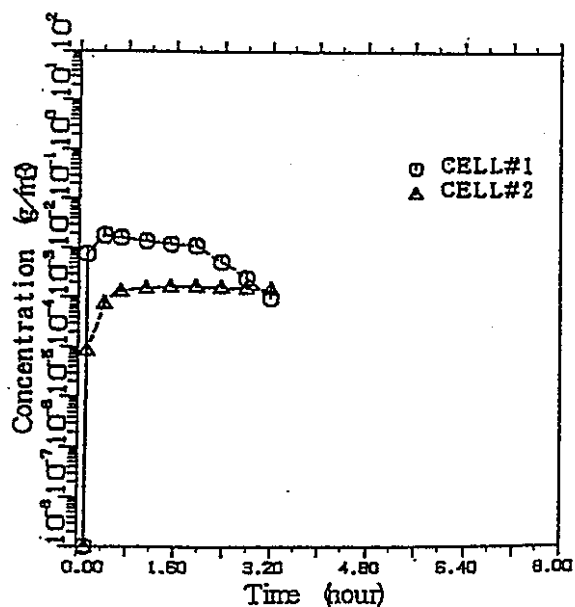


図3.2.134 エアロゾルUO₂の濃度
(パラメータ-ス4)

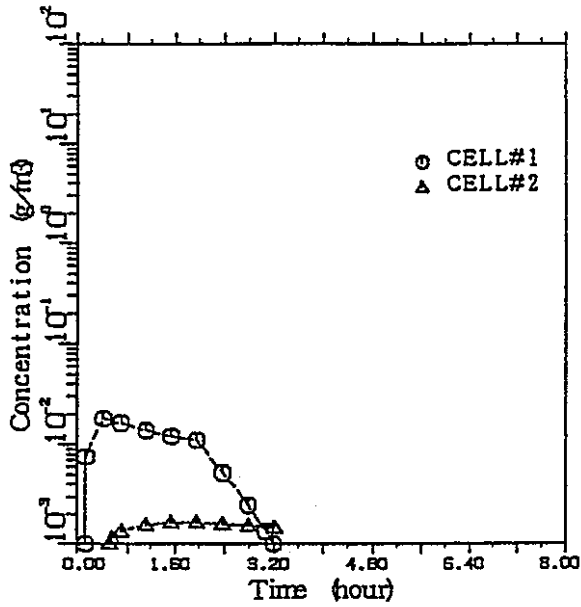


図3.2.135 エアロゾルNaLの濃度
(パラメータース4)

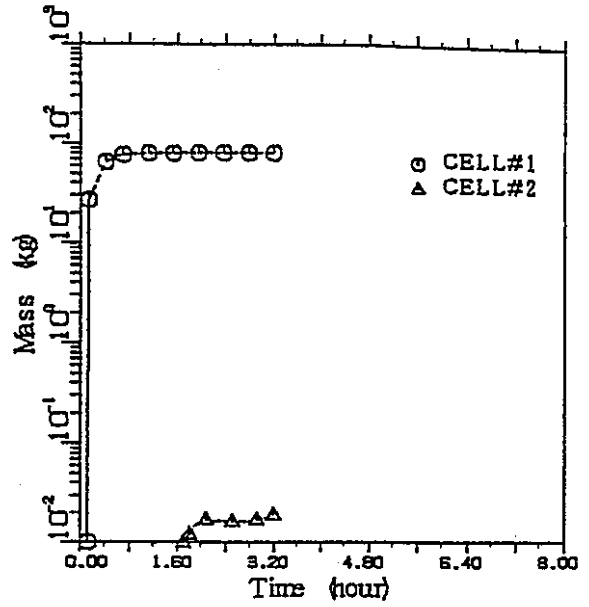


図3.2.136 エアロゾルの析出量
(パラメータース4)

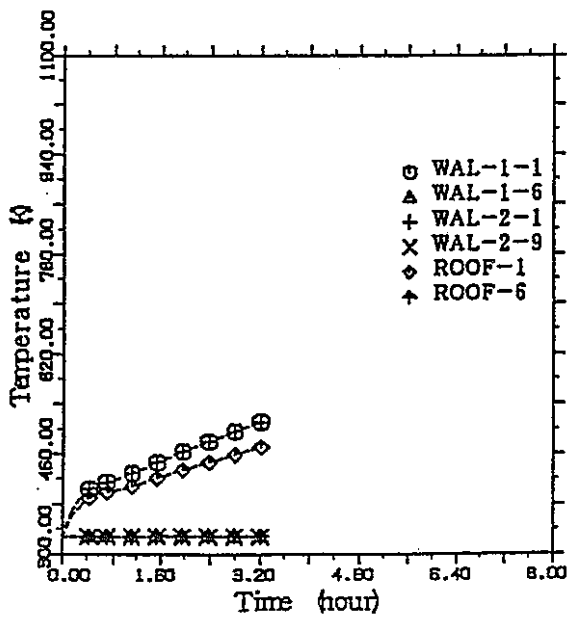


図3.2.137 構造物温度
(パラメータース4)

3.2.4.2 F P質量 (ケース4)

(1) F P質量

放出されたF Pの11500秒後の各セルのプール、雰囲気、及び構造物表面に存在するF P質量の初期値に対する割合を表3.2.5-(1)～表3.2.5-(3)に示す。また比較のために、基本ケースの11500秒後の各セルのプール、雰囲気、及び構造物表面に存在するF P質量の初期値に対する割合を表3.2.6-(1)～表3.2.6-(3)に示す。ハロゲン及びアルカリ金属の各グループについては、11500秒後には初期状態でデブリに存在したF Pのほぼ100%が放出されている。他のグループのF Pの初期値に対する放出割合は次のとおりである。

・テルル・アンチモン	: 2.86×10^{-2}
・アルカリ土類	: 4.96×10^{-4}
・遷移族	: 9.38×10^{-6}
・ランタノイド	: 1.48×10^{-4}
・燃料	: 4.58×10^{-5}

セル1とセル2間のF P質量の分配に関しては、希ガスが93%セル2に移動するが、希ガス以外のグループのF Pはセル1のナトリウムプールに留まる割合が多く、セル2のF P質量はセル1の1/10以下である。

(2) 代表的なF Pの質量変化

各グループの中から、Kr85、I131、Cs137、Te131m、Sr89、Ru103、La140、及びPu239について、各セルに放出されたF P質量の時間変化を図3.2.138～図3.2.145に示す。

・Kr85 (図3.2.138)

500秒の時点で各セルの雰囲気中存在するKr85はセル1が0.103kg、セル2が0.080kgである。計算開始時にデブリに含まれるKr85の質量は0.183kgであるので、500秒までに初期に存在するKr85のほとんどが雰囲気に放出され、それらの43%が既にセル2に移動している。4500秒ではセル1とセル2のKr85質量は、それぞれ 1.72×10^{-2} kg、0.166kgであり、放出されたKr85のほぼ90%がセル2に移動する。

・I131 (図3.2.139)

500秒の時点で各セルに存在するI131はセル1が0.180kg、セル2が 2.00×10^{-5} kgである。計算開始時にデブリに含まれるI131の質量は0.203kgであるので、500秒までに初期に存在するI131の89%が放出される。2500秒までにはI131は100%放出され、セル1とセル2のI131質量は、それぞれ0.202kg、 9.15×10^{-5} kgである。放出されたI131のほとんどがセル1に存在する。

・Cs137 (図3.2.140)

500秒の時点で各セルに存在するCs137はセル1が4.86kg、セル2が 4.23×10^{-4} kgである。計算開始時にデブリに含まれるCs137の質量は13.4kgであるので、500秒までに初期に存在するCs137の36.3%が放出される。その後、Cs137の初期質量に対する放出割合は、4000秒で100%に達する。11500秒後のセル1とセル2のCs137の質量は、それぞれ13.4kg、 8.71×10^{-2} kgである。

・Te131m (図3.2.141)

500秒の時点で各セルに存在するTe131mはセル1が 3.66×10^{-5} kg、セル2が 3.05×10^{-9} kgである。計算開始時にデブリに含まれるTe131mの質量は 4.64×10^{-9} kgであるので、500秒までに初期に存在するTe131mの0.79%が放出される。その後Te131mの初期質量に対する放出割合は、5500秒で3.32%に増大する。11500秒後のセル1とセル2のTe131mの質量は、それぞれ 1.56×10^{-4} kg、 1.02×10^{-7} kgであり、初期質量に対する放出割合は3.36%である。

・Sr89 (図3.2.142)

500秒の時点で各セルに存在するSr89はセル1が 1.47×10^{-4} kg、セル2が 1.77×10^{-8} kgである。計算開始時にデブリに含まれるSr89の質量は 4.38×10^{-1} kgであるので、500秒までに初期に存在するSr89の0.034%が放出される。その後、Sr89の初期質量に対する放出割合は、2000秒で0.039%に増大する。11500秒後のセル1とセル2のSr89の質量は、それぞれ 1.73×10^{-4} kg、 6.35×10^{-7} kgであり、初期質量に対する放出割合は0.040%である。

・ Ru 1 0 3 (図 3. 2. 1 4 3)

500秒で各セルに存在するRu103はセル1が 2.82×10^{-10} kg、セル2が 3.38×10^{-14} kgである。計算開始時にデブリに含まれるRu103の質量は1.31kgであるので、500秒までに初期に存在するRu103の 2.15×10^{-8} %が放出される。その後、Ru103の初期質量に対する放出割合は、2000秒で 2.63×10^{-8} %に増大する。11500秒後のセル1とセル2のRu103の質量は、それぞれ 3.44×10^{-10} kg、 1.52×10^{-13} kgであり、初期質量に対する放出割合は 2.63×10^{-8} %である。

・ La 1 4 0 (図 3. 2. 1 4 4)

500秒で各セルに存在するLa140はセル1が 4.81×10^{-6} kg、セル2が 3.69×10^{-10} kgである。計算開始時にデブリに含まれるLa140の質量は0.064kgであるので、500秒までに初期に存在するLa140の 1.57×10^{-3} %が放出される。その後、La140の初期質量に対する放出割合は、2500秒で 1.94×10^{-2} %に増大する。11500秒後のセル1とセル2のLa140の質量は、それぞれ 1.26×10^{-6} kg、 4.97×10^{-10} kgであり、初期質量に対する放出割合は 1.99×10^{-4} %である。

・ Pu 2 3 9 (図 3. 2. 1 4 5)

500秒で各セルに存在するPu239はセル1が0.039、セル2が 4.60×10^{-6} kgである。計算開始時にデブリに含まれるPu239の質量は1055kgであるので、500秒までに初期に存在するPu239の0.0037%が放出される。その後、Pu239の初期質量に対する放出割合は、3000秒で0.0045%に増大する。11500秒後のセル1とセル2のPu239質量は、それぞれ0.0482kg、 2.12×10^{-5} kgであり、初期質量に対する放出割合は0.0046%である。

表 3. 2. 5 -(1) FPのインベントリ (1 / 3) (パラメータ ケース 4 : 11500秒後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)			
					セル 1	セル 2	セル 1 + セル 2	初期値に 対する割合 (-)
1	希ガス	Kr	Kr83m	1.00E+22	7.52E-06	1.06E-04	1.14E-04	1.00E+00
			Kr85	1.00E+22	1.21E-02	1.71E-01	1.83E-01	1.00E+00
			Kr85m	1.00E+22	3.26E-05	4.61E-04	4.94E-04	1.00E+00
			Kr87	1.00E+22	1.59E-05	2.25E-04	2.41E-04	1.00E+00
			Kr88	1.00E+22	5.13E-05	7.26E-04	7.77E-04	1.00E+00
			Kr89	1.00E+22	1.01E-06	1.43E-05	1.53E-05	9.96E-01
			Kr90	1.00E+22	1.74E-07	2.47E-06	2.64E-06	1.00E+00
			Xe	Xe131m	1.00E+22	1.38E-04	1.95E-03	2.09E-03
		Xe133	1.00E+22	1.54E-02	2.19E-01	2.34E-01	1.00E+00	
		Xe133m	1.00E+22	9.70E-04	1.37E-02	1.47E-02	1.00E+00	
		Xe135	1.00E+22	1.22E-03	1.73E-02	1.85E-02	1.00E+00	
		Xe135m	1.00E+22	6.86E-06	9.71E-05	1.04E-04	9.96E-01	
		Xe137	1.00E+22	7.19E-06	1.02E-04	1.09E-04	1.00E+00	
		Xe138	1.00E+22	2.10E-05	2.97E-04	3.18E-04	1.00E+00	
		Xe140	1.00E+22	1.89E-07	2.68E-06	2.87E-06	1.00E+00	
		グループ 1 合計					3.00E-02	4.24E-01
2	ハロゲン	Br	Br83	1.00E+22	1.49E-04	6.73E-08	1.49E-04	9.98E-01
			Br85	1.00E+22	5.29E-06	2.40E-09	5.29E-06	9.98E-01
			Br87	1.00E+22	2.00E-06	9.05E-10	2.00E-06	9.74E-01
		I	I131	1.00E+22	2.02E-01	9.15E-05	2.02E-01	9.98E-01
			I132	1.00E+22	3.23E-03	1.46E-06	3.23E-03	9.94E-01
			I133	1.00E+22	3.77E-02	1.71E-05	3.77E-02	9.96E-01
			I133m	1.00E+22	2.11E-07	9.56E-11	2.11E-07	9.98E-01
			I134	1.00E+22	1.71E-03	7.73E-07	1.71E-03	9.96E-01
			I134m	1.00E+22	1.56E-05	7.08E-09	1.56E-05	9.78E-01
			I135	1.00E+22	1.19E-02	5.40E-06	1.19E-02	9.94E-01
			グループ 2 合計					2.57E-01
3	7価金属	Rb	Rb86	1.00E+22	9.67E-04	6.31E-07	9.67E-04	1.00E+00
			Rb89	1.00E+22	9.62E-05	6.28E-08	9.63E-05	1.00E+00
			Rb90	1.00E+22	1.36E-05	8.84E-09	1.36E-05	1.00E+00
			Rb90m	1.00E+22	8.15E-06	5.32E-09	8.16E-06	1.00E+00
		Cs	Cs134	1.00E+22	1.45E-01	9.44E-05	1.45E-01	1.00E+00
			Cs134m	1.00E+22	1.18E-05	7.68E-09	1.18E-05	1.00E+00
			Cs136	1.00E+22	2.17E-02	1.42E-05	2.17E-02	1.00E+00
			Cs137	1.00E+22	1.34E+01	8.71E-03	1.34E+01	1.00E+00
			Cs140	1.00E+22	2.53E-05	1.65E-08	2.53E-05	1.00E+00
グループ 3 合計					1.35E+01	8.82E-03	1.35E+01	1.00E+00

表 3. 2. 5-(2) FPのインベントリ (2/3) (パラメータ ケース 4 : 11500秒後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)				
					セル 1	セル 2	セル 1 + セル 2	初期値に 対する割合 (-)	
4	テルル アンチモン	In	In115m	1.00E+22	4.85E-08	2.96E-11	4.85E-08	7.53E-04	
			Sn	Sn123	1.00E+22	1.95E-05	1.19E-08	1.95E-05	7.50E-04
				Sn125	1.00E+22	2.22E-06	1.36E-09	2.22E-06	7.50E-04
		Sb	Sb127	1.00E+22	4.24E-07	2.70E-10	4.25E-07	3.68E-05	
			Sb129	1.00E+22	5.62E-08	3.58E-11	5.62E-08	3.68E-05	
			Sb131	1.00E+22	1.21E-08	7.70E-12	1.21E-08	3.70E-05	
		Te	Te127	1.00E+22	3.84E-05	2.52E-08	3.85E-05	3.38E-02	
			Te127m	1.00E+22	1.53E-03	1.00E-06	1.53E-03	3.36E-02	
			Te129	1.00E+22	1.30E-05	8.50E-09	1.30E-05	3.36E-02	
			Te129m	1.00E+22	2.44E-03	1.60E-06	2.44E-03	3.36E-02	
			Te131	1.00E+22	1.29E-05	8.44E-09	1.29E-05	3.36E-02	
			Te131m	1.00E+22	1.56E-04	1.02E-07	1.56E-04	3.38E-02	
			Te132	1.00E+22	3.66E-03	2.40E-06	3.66E-03	3.38E-02	
			Te133	1.00E+22	8.00E-06	5.24E-09	8.01E-06	3.38E-02	
		Te133m	1.00E+22	1.83E-05	1.20E-08	1.83E-05	3.36E-02		
Te134	1.00E+22	3.40E-05	2.23E-08	3.41E-05	3.38E-02				
グループ 4 合計					7.92E-03	5.19E-06	7.93E-03	2.86E-02	
5	7族土類	Sr	Sr89	1.00E+22	1.73E-04	6.35E-08	1.73E-04	3.94E-04	
			Sr90	1.00E+22	1.31E-03	4.81E-07	1.31E-03	3.94E-04	
			Sr91	1.00E+22	1.92E-06	7.08E-10	1.92E-06	3.94E-04	
		Ba	Ba140	1.00E+22	6.25E-04	3.44E-07	6.25E-04	1.30E-03	
グループ 5 合計					2.10E-03	8.89E-07	2.11E-03	4.96E-04	
6	遷移族	Co	Co58	1.00E+22	4.98E-09	2.64E-12	4.98E-09	1.83E-08	
			Co60	1.00E+22	1.45E-10	7.68E-14	1.45E-10	1.84E-08	
		Mo	Mo99	1.00E+22	1.48E-09	7.82E-13	1.48E-09	1.84E-08	
			Tc	Tc99m	1.00E+22	1.67E-12	7.35E-16	1.67E-12	2.62E-10
		Ru	Ru103	1.00E+22	3.44E-10	1.52E-13	3.45E-10	2.64E-10	
			Ru105	1.00E+22	1.24E-12	5.48E-16	1.24E-12	2.62E-10	
			Ru106	1.00E+22	1.18E-09	5.18E-13	1.18E-09	2.62E-10	
			Rh	Rh105	1.00E+22	9.89E-12	4.35E-15	9.90E-12	2.62E-10
		Rh	Rh105m	1.00E+22	9.09E-16	4.00E-19	9.09E-16	2.62E-10	
			Ag	Ag110m	1.00E+22	4.63E-06	2.80E-09	4.64E-06	3.18E-03
		Ag	Ag111	1.00E+22	4.31E-05	2.61E-08	4.32E-05	3.18E-03	
			Cd	Cd115	1.00E+22	2.30E-06	1.39E-09	2.30E-06	2.86E-03
Cd115m	1.00E+22			8.01E-06	4.84E-09	8.01E-06	3.20E-03		
グループ 6 合計					5.81E-05	3.51E-08	5.81E-05	9.38E-06	

表 3.2.5-(3) FPのインベントリ (3/3) (パラメータ ケース 4 : 11500秒後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)				
					セル 1	セル 2	セル 1 + セル 2	初期値に 対する割合 (-)	
7	ランタノイド	Y	Y90	1.00E+22	2.03E-08	7.98E-12	2.03E-08	1.98E-05	
			Y91	1.00E+22	1.36E-05	5.36E-09	1.37E-05	1.98E-05	
			Y91m	1.00E+22	4.89E-09	1.92E-12	4.89E-09	1.98E-05	
		Zr	Zr95	1.00E+22	5.42E-06	3.53E-09	5.43E-06	3.94E-06	
			Zr97	1.00E+22	7.05E-08	4.59E-11	7.06E-08	3.94E-06	
		Nb	Nb95	1.00E+22	1.12E-03	3.46E-07	1.12E-03	1.57E-03	
			Nb95m	1.00E+22	1.48E-06	4.58E-10	1.48E-06	1.57E-03	
		La	La140	1.00E+22	1.26E-06	4.97E-10	1.27E-06	1.99E-05	
			La141	1.00E+22	1.26E-07	4.94E-11	1.26E-07	1.98E-05	
		Ce	Ce141	1.00E+22	5.69E-05	2.50E-08	5.69E-05	4.56E-05	
			Ce143	1.00E+22	2.04E-06	8.97E-10	2.04E-06	4.58E-05	
			Ce144	1.00E+22	2.26E-04	9.93E-08	2.26E-04	4.58E-05	
		Pr	Pr143	1.00E+22	8.71E-06	3.42E-09	8.72E-06	1.99E-05	
			Pr147	1.00E+22	2.62E-09	1.03E-12	2.62E-09	1.98E-05	
		Nd	Nd147	1.00E+22	3.54E-06	1.39E-09	3.54E-06	1.99E-05	
		グループ 7 合計					1.44E-03	4.86E-07	1.44E-03
8	燃料	Np	Np239	1.00E+22	1.31E-04	5.74E-08	1.31E-04	4.58E-05	
			Pu	Pu238	1.00E+22	5.43E-05	2.39E-08	5.43E-05	4.58E-05
		Pu	Pu239	1.00E+22	4.82E-02	2.12E-05	4.82E-02	4.56E-05	
			Pu240	1.00E+22	1.88E-02	8.27E-06	1.88E-02	4.58E-05	
			Pu241	1.00E+22	7.01E-03	3.08E-06	7.02E-03	4.58E-05	
			Pu242	1.00E+22	3.28E-03	1.44E-06	3.28E-03	4.58E-05	
			Am	Am241	1.00E+22	1.31E-03	5.77E-07	1.31E-03	4.58E-05
				Am242	1.00E+22	3.20E-07	1.41E-10	3.20E-07	4.58E-05
		Cm	Cm242	1.00E+22	4.48E-05	1.97E-08	4.48E-05	4.58E-05	
			Cm244	1.00E+22	4.98E-06	2.19E-09	4.98E-06	4.56E-05	
グループ 8 合計					7.88E-02	3.47E-05	7.89E-02	4.58E-05	
合 計 値					1.39E+01	4.33E-01	1.43E+01	8.16E-03	

表 3. 2. 6-(1) FPのインベントリ (1/3) (基本ケース: 11500秒後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)				
					セル1	セル2	セル1 + セル2	初期値に 対する割合 (-)	
1	希ガス	Kr	Kr83m	1.00E+22	1.59E-06	2.26E-04	2.28E-04	1.00E+00	
			Kr85	1.00E+22	2.55E-03	3.62E-01	3.65E-01	1.00E+00	
			Kr85m	1.00E+22	6.92E-06	9.82E-04	9.89E-04	1.00E+00	
			Kr87	1.00E+22	3.37E-06	4.79E-04	4.82E-04	1.00E+00	
			Kr88	1.00E+22	1.08E-05	1.54E-03	1.55E-03	1.00E+00	
			Kr89	1.00E+22	2.15E-07	3.05E-05	3.07E-05	1.00E+00	
			Kr90	1.00E+22	3.70E-08	5.25E-06	5.28E-06	1.00E+00	
			Xe	Xe131m	1.00E+22	2.93E-05	4.16E-03	4.19E-03	1.00E+00
		Xe133		1.00E+22	3.27E-03	4.65E-01	4.68E-01	1.00E+00	
		Xe133m		1.00E+22	2.05E-04	2.91E-02	2.93E-02	1.00E+00	
		Xe135		1.00E+22	2.59E-04	3.67E-02	3.70E-02	1.00E+00	
		Xe135m		1.00E+22	1.46E-06	2.08E-04	2.09E-04	1.00E+00	
		Xe137		1.00E+22	1.52E-06	2.16E-04	2.18E-04	1.00E+00	
		Xe138		1.00E+22	4.45E-06	6.32E-04	6.36E-04	1.00E+00	
		Xe140		1.00E+22	4.01E-08	5.69E-06	5.73E-06	1.00E+00	
		グループ1 合計					6.35E-03	9.01E-01	9.08E-01
2	ハロゲン	Br	Br83	1.00E+22	3.00E-04	1.16E-07	3.00E-04	1.00E+00	
			Br85	1.00E+22	1.07E-05	4.11E-09	1.07E-05	1.00E+00	
			Br87	1.00E+22	4.03E-06	1.55E-09	4.03E-06	9.83E-01	
			I	I131	1.00E+22	4.07E-01	1.57E-04	4.07E-01	1.00E+00
				I132	1.00E+22	6.52E-03	2.51E-06	6.52E-03	1.00E+00
		I133		1.00E+22	7.60E-02	2.93E-05	7.60E-02	1.00E+00	
		I133m		1.00E+22	4.26E-07	1.64E-10	4.26E-07	1.00E+00	
		I134		1.00E+22	3.44E-03	1.33E-06	3.44E-03	1.00E+00	
		I134m		1.00E+22	3.15E-05	1.21E-08	3.15E-05	9.85E-01	
		I135	1.00E+22	2.41E-02	9.28E-06	2.41E-02	1.00E+00		
		グループ2 合計					5.18E-01	2.00E-04	5.18E-01
3	アルカリ金属	Rb	Rb86	1.00E+22	1.93E-03	1.46E-06	1.94E-03	1.00E+00	
			Rb89	1.00E+22	1.93E-04	1.45E-07	1.93E-04	1.00E+00	
			Rb90	1.00E+22	2.71E-05	2.04E-08	2.71E-05	1.00E+00	
			Rb90m	1.00E+22	1.63E-05	1.23E-08	1.63E-05	1.00E+00	
			Cs	Cs134	1.00E+22	2.89E-01	2.18E-04	2.90E-01	1.00E+00
		Cs134m		1.00E+22	2.36E-05	1.77E-08	2.36E-05	1.00E+00	
		Cs136		1.00E+22	4.35E-02	3.28E-05	4.35E-02	1.00E+00	
		Cs137		1.00E+22	2.67E+01	2.01E-02	2.67E+01	1.00E+00	
		Cs140		1.00E+22	5.07E-05	3.82E-08	5.07E-05	1.00E+00	
		グループ3 合計					2.71E+01	2.04E-02	2.71E+01

表 3.2.6-(2) FPのインベントリ (2/3) (基本ケース: 11500秒後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)				
					セル 1	セル 2	セル 1 + セル 2	初期値に 対する割合 (-)	
4	テルル アンチモン	In	In115m	1.00E+22	4.78E-07	2.87E-10	4.78E-07	3.71E-03	
			Sn	Sn123	1.00E+22	1.92E-04	1.15E-07	1.92E-04	3.70E-03
				Sn125	1.00E+22	2.19E-05	1.32E-08	2.19E-05	3.69E-03
		Sb	Sb127	1.00E+22	2.29E-06	1.48E-09	2.29E-06	9.90E-05	
			Sb129	1.00E+22	3.03E-07	1.96E-10	3.03E-07	9.92E-05	
			Sb131	1.00E+22	6.51E-08	4.21E-11	6.51E-08	9.96E-05	
		Te	Te127	1.00E+22	1.30E-04	9.21E-08	1.30E-04	5.71E-02	
			Te127m	1.00E+22	5.17E-03	3.66E-06	5.17E-03	5.70E-02	
			Te129	1.00E+22	4.39E-05	3.11E-08	4.39E-05	5.70E-02	
			Te129m	1.00E+22	8.24E-03	5.84E-06	8.25E-03	5.69E-02	
			Te131	1.00E+22	4.36E-05	3.09E-08	4.36E-05	5.70E-02	
			Te131m	1.00E+22	5.29E-04	3.75E-07	5.29E-04	5.71E-02	
		Te132	1.00E+22	1.24E-02	8.76E-06	1.24E-02	5.71E-02		
		Te133	1.00E+22	2.71E-05	1.92E-08	2.71E-05	5.71E-02		
		Te133m	1.00E+22	6.18E-05	4.38E-08	6.19E-05	5.68E-02		
Te134	1.00E+22	1.15E-04	8.16E-08	1.15E-04	5.71E-02				
グループ 4 合計					2.70E-02	1.91E-05	2.70E-02	4.87E-02	
5	7ルカリ土類	Sr	Sr89	1.00E+22	7.15E-04	3.35E-07	7.15E-04	8.16E-04	
			Sr90	1.00E+22	5.41E-03	2.53E-06	5.41E-03	8.16E-04	
			Sr91	1.00E+22	7.96E-06	3.73E-09	7.97E-06	8.15E-04	
		Ba	Ba140	1.00E+22	3.50E-03	2.02E-06	3.50E-03	3.64E-03	
グループ 5 合計					9.63E-03	4.90E-06	9.64E-03	1.14E-03	
6	遷移族	Co	Co58	1.00E+22	3.05E-07	1.70E-10	3.05E-07	5.61E-07	
			Co60	1.00E+22	8.89E-09	4.96E-12	8.90E-09	5.63E-07	
		Mo	Mo99	1.00E+22	9.06E-08	5.06E-11	9.06E-08	5.63E-07	
			Tc	Tc99m	1.00E+22	9.24E-11	5.10E-14	9.25E-11	7.28E-09
		Ru	Ru103	1.00E+22	1.91E-08	1.05E-11	1.91E-08	7.29E-09	
			Ru105	1.00E+22	6.89E-11	3.80E-14	6.89E-11	7.27E-09	
			Ru106	1.00E+22	6.52E-08	3.59E-11	6.52E-08	7.28E-09	
		Rh	Rh105	1.00E+22	5.48E-10	3.02E-13	5.48E-10	7.28E-09	
			Rh105m	1.00E+22	5.03E-14	2.78E-17	5.04E-14	7.28E-09	
		Ag	Ag110m	1.00E+22	3.66E-05	2.23E-08	3.67E-05	1.26E-02	
			Ag111	1.00E+22	3.41E-04	2.08E-07	3.41E-04	1.26E-02	
		Cd	Cd115	1.00E+22	1.82E-05	1.11E-08	1.82E-05	1.13E-02	
Cd115m	1.00E+22		6.33E-05	3.86E-08	6.34E-05	1.26E-02			
グループ 6 合計					4.60E-04	2.80E-07	4.60E-04	3.71E-05	

表 3. 2. 6-(3) FPのインベントリ (3/3) (基本ケース: 11500秒後)

グループ 番号	グループ名	元素名	同位体	半減期 (sec)	インベントリ (kg)				
					セル 1	セル 2	セル 1 + セル 2	初期値に 対する割合 (-)	
7	ランタノイド	Y	Y90	1.00E+22	2.26E-07	1.18E-10	2.26E-07	1.10E-04	
			Y91	1.00E+22	1.52E-04	7.95E-08	1.52E-04	1.10E-04	
			Y91m	1.00E+22	5.44E-08	2.85E-11	5.44E-08	1.10E-04	
		Zr	Zr95	1.00E+22	1.19E-05	8.83E-09	1.19E-05	4.33E-06	
			Zr97	1.00E+22	1.55E-07	1.15E-10	1.55E-07	4.34E-06	
		Nb	Nb95	1.00E+22	7.92E-03	3.78E-06	7.92E-03	5.54E-03	
			Nb95m	1.00E+22	1.05E-05	5.01E-09	1.05E-05	5.55E-03	
		La	La140	1.00E+22	1.41E-05	7.37E-09	1.41E-05	1.11E-04	
			La141	1.00E+22	1.40E-06	7.32E-10	1.40E-06	1.10E-04	
		Ce	Ce141	1.00E+22	1.49E-03	8.03E-07	1.49E-03	5.99E-04	
			Ce143	1.00E+22	5.35E-05	2.88E-08	5.35E-05	6.00E-04	
			Ce144	1.00E+22	5.92E-03	3.19E-06	5.92E-03	5.99E-04	
		Pr	Pr143	1.00E+22	9.70E-05	5.08E-08	9.70E-05	1.11E-04	
			Pr147	1.00E+22	2.92E-08	1.53E-11	2.92E-08	1.10E-04	
		Nd	Nd147	1.00E+22	3.94E-05	2.06E-08	3.94E-05	1.11E-04	
		グループ 7 合計					1.57E-02	7.98E-06	1.57E-02
8	燃料	Np	Np239	1.00E+22	3.42E-03	1.85E-06	3.42E-03	6.00E-04	
			Pu	Pu238	1.00E+22	1.42E-03	7.67E-07	1.42E-03	6.01E-04
		Pu239		1.00E+22	1.26E+00	6.81E-04	1.26E+00	5.99E-04	
		Pu240		1.00E+22	4.93E-01	2.66E-04	4.94E-01	6.00E-04	
		Pu241		1.00E+22	1.84E-01	9.91E-05	1.84E-01	5.99E-04	
		Pu242		1.00E+22	8.59E-02	4.63E-05	8.60E-02	6.01E-04	
		Am		Am241	1.00E+22	3.44E-02	1.85E-05	3.44E-02	6.00E-04
				Am242	1.00E+22	8.39E-06	4.52E-09	8.39E-06	5.99E-04
		Cm	Cm242	1.00E+22	1.17E-03	6.33E-07	1.17E-03	5.99E-04	
			Cm244	1.00E+22	1.30E-04	7.03E-08	1.31E-04	5.99E-04	
		グループ 8 合計					2.07E+00	1.11E-03	2.07E+00
合 計 値					2.97E+01	9.23E-01	3.06E+01	8.73E-03	

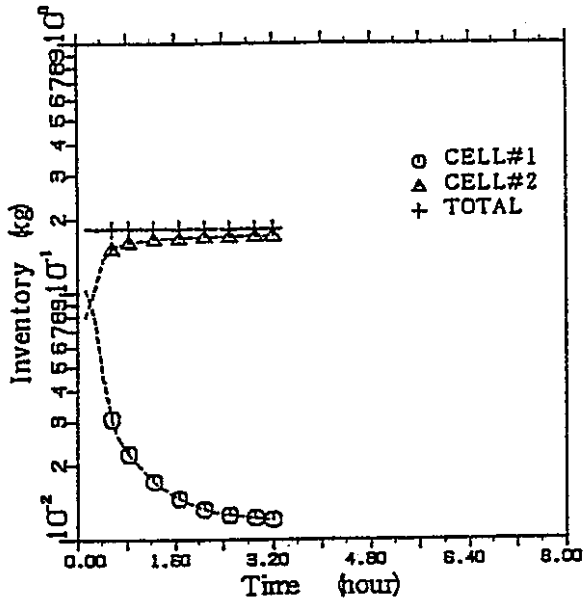


図3.2.138 Kr 85 質量
(パラメータ-ス4)

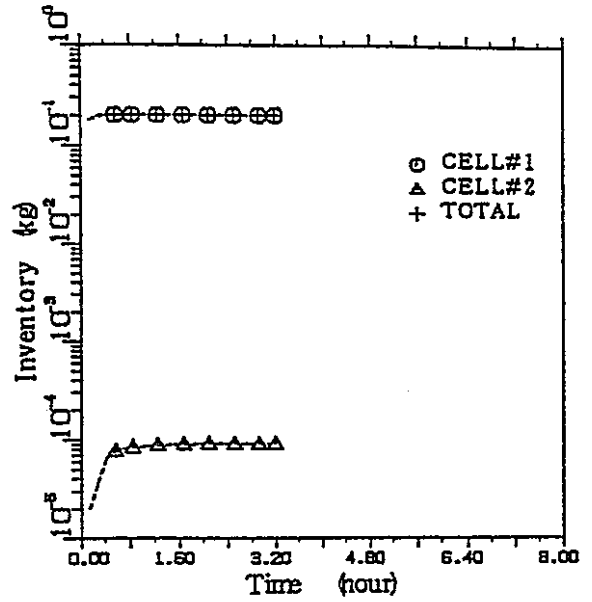


図3.2.139 I 131 質量
(パラメータ-ス4)

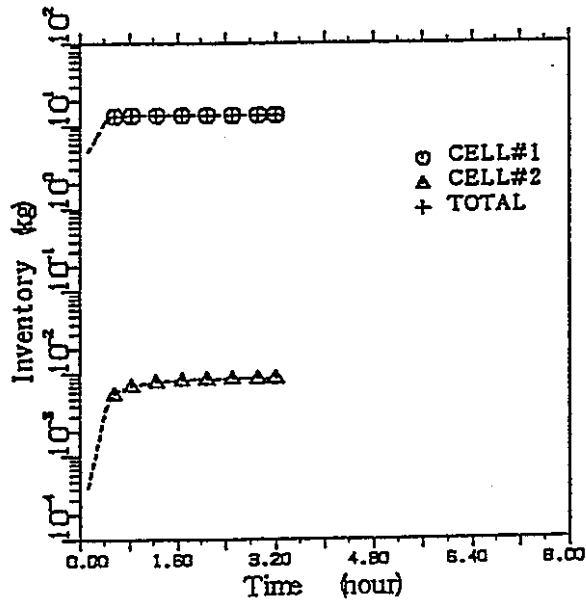


図3.2.140 Cs 137 質量
(パラメータ-ス4)

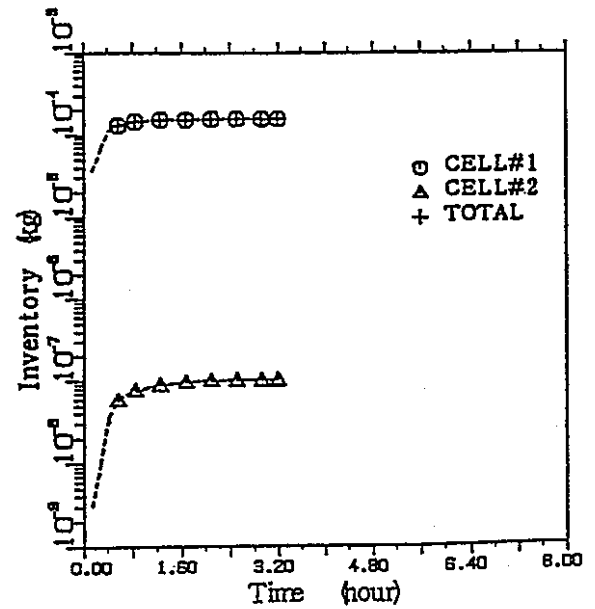


図3.2.141 Te 131m 質量
(パラメータ-ス4)

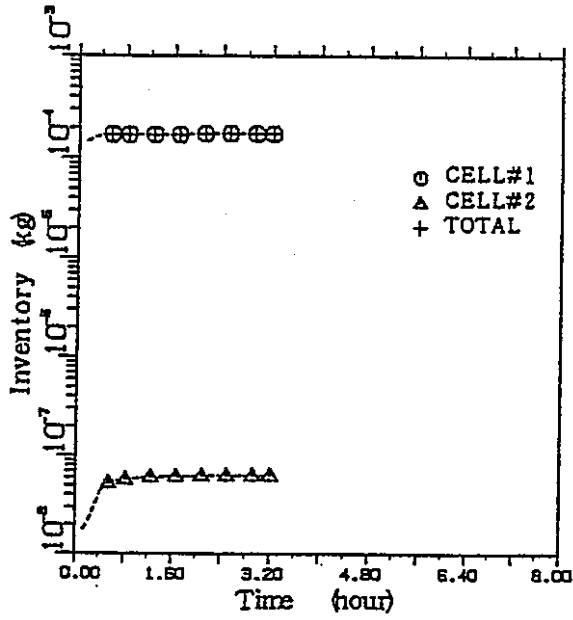


図3.2.142 Sr 89 質量
(パラメータ-ス4)

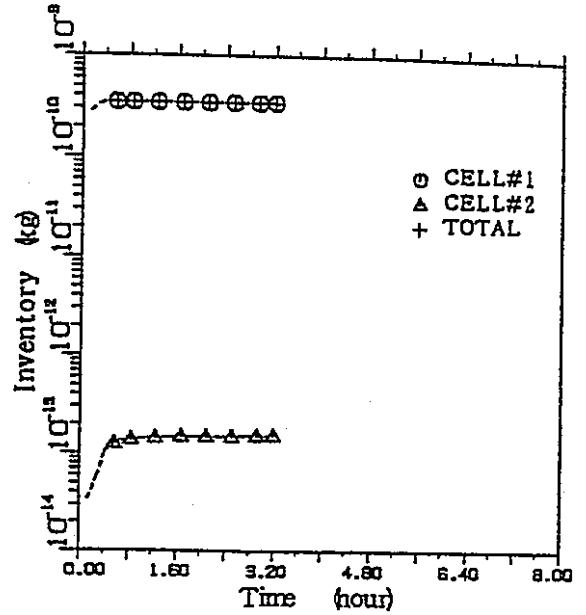


図3.2.143 Ru 103 質量
(パラメータ-ス4)

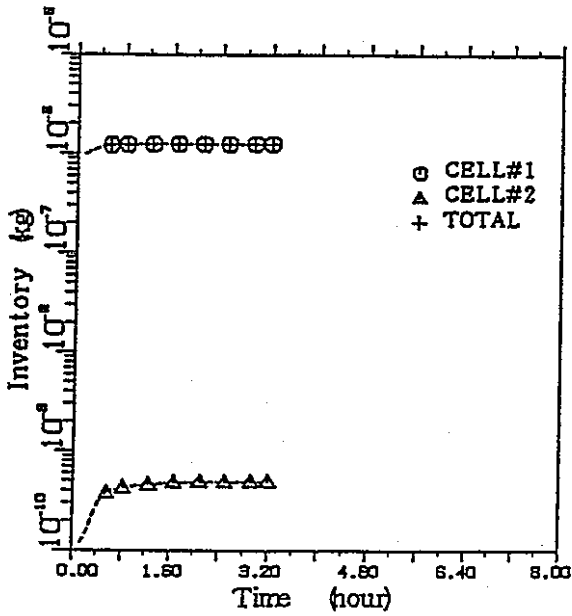


図3.2.144 La 140 質量
(パラメータ-ス4)

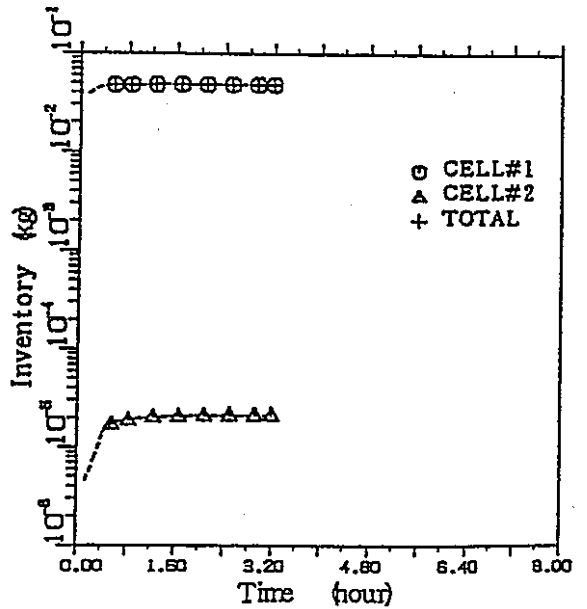


図3.2.145 Pu 239 質量
(パラメータ-ス4)

3.2.4.3 エアロゾルの挙動（ケース4）

基本ケースのエアロゾル関連諸量の時間に伴う変化を図3.2.146～図3.2.152に示す。11500秒後までにおけるエアロゾル積算発生量は81.3kgである。エアロゾルに関する計算結果を以下に述べる。

（1）金属層を通過する気体の流量

デブリの金属層を通過する気体（CO、CO₂、H₂、H₂O）の合計体積流量を図3.2.146に示す。ただしケース4ではCOとCO₂は発生しない。気体の合計体積流量は、プロット図では1000秒のとき最大となり、このときの流量は2.104m³/sである。11500秒後の体積流量は3.88×10⁻²m³/sである。

（2）酸化物層温度

酸化物層温度を図3.2.147に示す。酸化物層温度は計算開始直後から単調に降下する。11500秒後の酸化物層温度は1448Kである。なお、ここでの酸化物層温度は、VANESAモデルで使用される酸化物層温度で、層の逆転以前はCONTAINモデルの重い酸化物層温度、層の逆転以降はCONTAINモデルの軽い酸化物層温度にそれぞれ対応する。

（3）エアロゾル発生量

エアロゾル発生量を図3.2.148に示す。エアロゾル発生量は計算開始初期に最も大きく、時刻とともに下降する。計算開始直後は、蒸発によるエアロゾル発生量の方が、メカニカルな機構によるエアロゾル発生量よりも1681倍大きい。11500秒後にはその差は77倍に縮まるが、解析期間全体にわたり蒸発によるエアロゾル発生量の方がメカニカルな機構によるエアロゾル発生量よりも大きい。

（4）エアロゾル密度

エアロゾル密度を図3.2.149に示す。エアロゾル密度は計算開始直後に最大値3770kg/m³となる。その後エアロゾル密度は時間経過とともに単調に減少する。11500秒後のエアロゾル密度は2074kg/m³である。

（5）エアロゾル平均直径

エアロゾルの平均直径を図3.2.150に示す。平均直径は計算開始直後に1.07μmであるが、その後時間経過とともに減少する。11500秒後の平均直径は0.29μmである。

（6）エアロゾル成分割合

各時刻で発生するエアロゾルに対する主要なエアロゾルの発生割合を図3.2.151に示す。計算開始直後は、Cs₂OとCsIの成分割合がそれぞれ全エアロゾルの40.8%と34.5%を占める。その後CsIの割合は減少し、500秒ではCs₂Oが64.9%、CsIが7.6%となる。1500秒では依然としてCs₂Oの割合が65.0%で一番大きいのが、2番目はK₂Oが26.5%を占める。その後、Cs₂Oの割合は減少し、次第にK₂Oの割合が増加し、2000秒以降はCs₂Oに代わってK₂Oの割合が一番大きくなる。11500秒後の割合はK₂Oが93.3%、Cs₂Oが0.01%、Na₂Oが3.8%、Mnが1.3%、その他が1.6%である。

(7) エアロゾル質量

エアロゾルの累積発生質量を図 3. 2. 1 5 2 に示す。11500秒までに放出された主なエアロゾルの質量 (単位: kg) は、次のとおりである。

Cs_2O : 43.8, Mn : 8.8, K_2O : 17.1, CsI : 7.6, SiO_2 : 1.2, Na_2O : 2.0

上記の 6 エアロゾルの合計放出量は214.3kgであり、エアロゾルの全放出量224.3kgの95.5%にあたる。

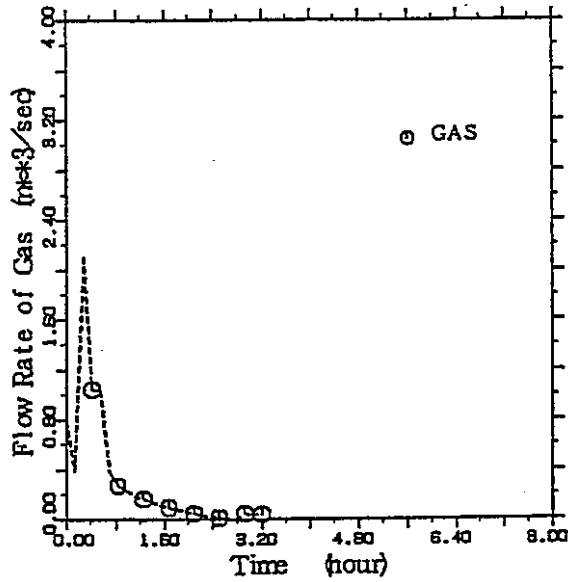


図3.2.146 金属層を通過する気体流量
(パラメータ-ス4)

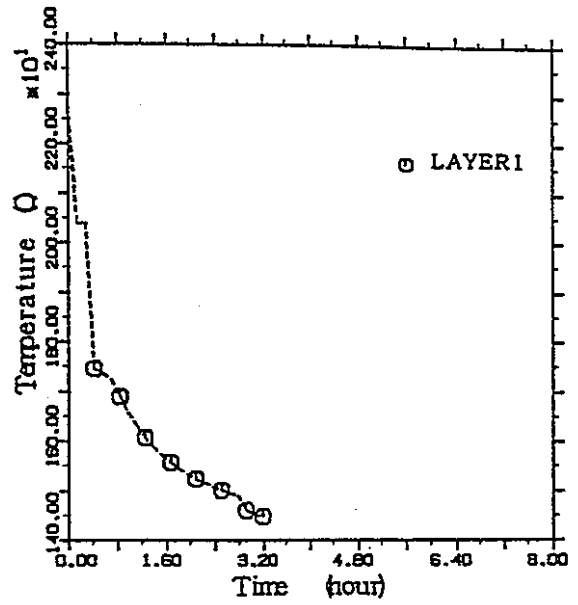


図3.2.147 酸化物層温度
(パラメータ-ス4)

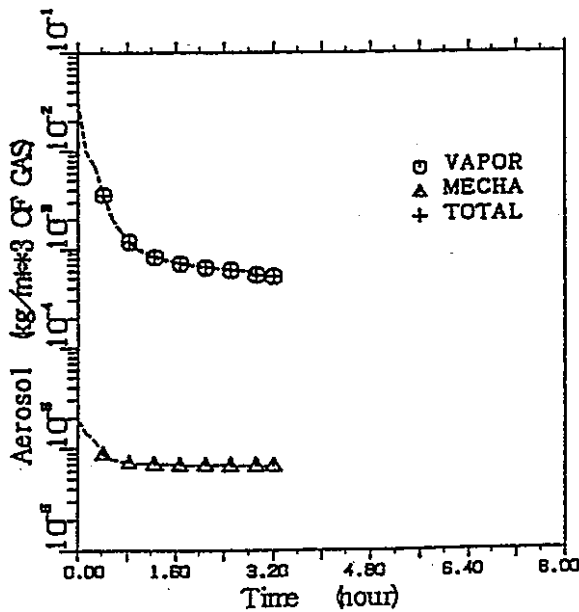


図3.2.148 エアロゾル発生量
(パラメータ-ス4)

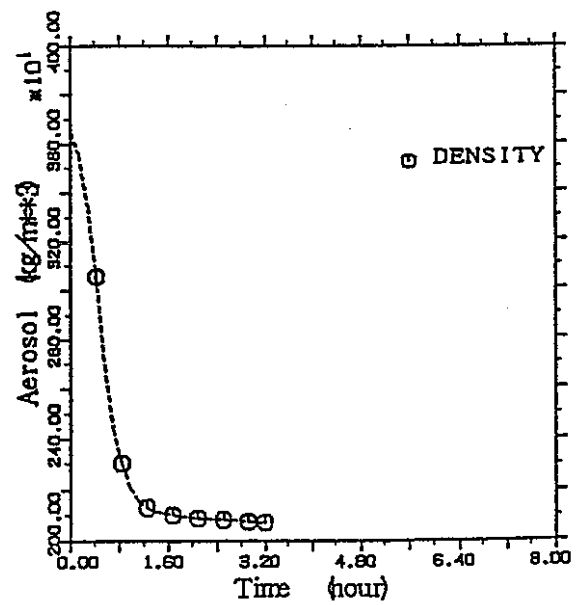


図3.2.149 エアロゾル密度
(パラメータ-ス4)

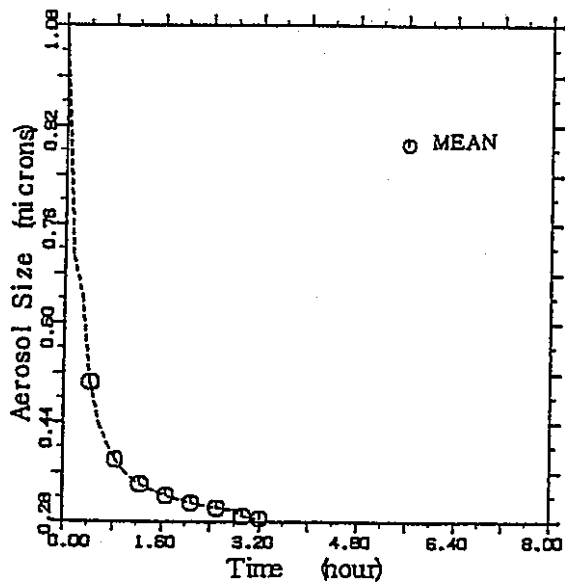


図3. 2. 150 エアロゾル平均サイズ
(パラメ-タ-ス4)

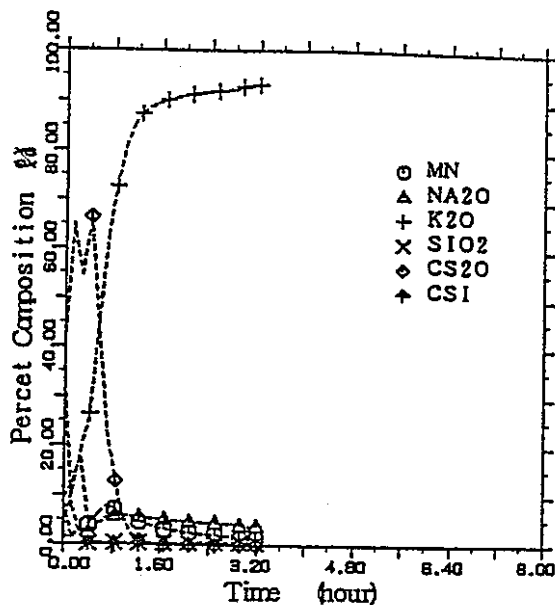


図3. 2. 151 エアロゾル成分割合
(パラメ-タ-ス4)

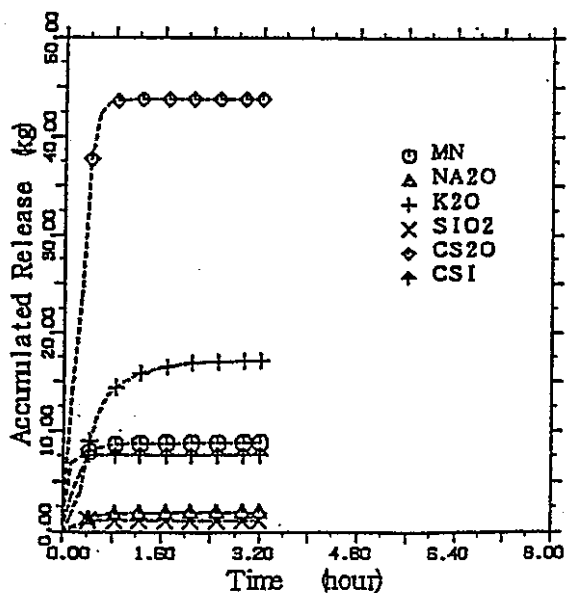


図3. 2. 152 エアロゾル質量
(パラメ-タ-ス4)

3.3 パラメータ計算のまとめ

3.3.1 デブリ温度

VANESAモデルでは、初期状態でデブリには重い酸化物層と金属層のみが存在し、軽い酸化物層は存在しないとする。また、重い酸化物層の平均密度は金属層の平均密度よりも大きく、そのため重い酸化物層は金属層の下にあると仮定する。

デブリ-コンクリート相互作用が進行するにつれて、新しく生成された酸化物 (SiO_2 、 FeO および Cr_2O_3 等)が重い酸化物層に加えらる。同時に、生成された酸化物の一部は金属層の上に軽い酸化物層を形成する。これらの生成酸化物は、初期状態で重い酸化物層に存在する UO_2 や PuO_2 よりも密度が小さい。従って、デブリ-コンクリート相互作用が進み、重い酸化物層中の軽い酸化物の割合が増大するにつれて重い酸化物層の平均密度は小さくなる。その結果、ある時点において重い酸化物層の密度は金属層の密度よりも小さくなり、層が逆転し金属層が重い酸化物層の下になる。この時点以降は重い酸化物層と軽い酸化物層は1つの酸化物層に統一される。VANESAモデルではこの統一された酸化物層を軽い酸化物層と称している。

デブリの重い酸化物層と金属層の逆転が生じる時間までの重い酸化物層の温度変化を図3.3.1に、金属層の温度変化を図3.3.2に、軽い酸化物層の温度変化を図3.3.3にそれぞれ示す。これらの図に示されるように、基本ケースとケース1およびケース2の重い酸化物層、金属層および軽い酸化物層の温度変化はほとんど同じである。ケース1とケース2はナトリウムプールの状態の相違がデブリ-コンクリート相互作用に及ぼす影響を評価するケースであり、ケース1では、ナトリウムプール初期温度を基本ケースの773 Kから1073 Kに変更し、ケース2では、ナトリウムプール深さを基本ケースの10 mから5 mに変更した。今回の計算では、これらのナトリウムプール条件の変更は、デブリ-コンクリート相互作用中のデブリ温度にほとんど影響を与えない結果となった。ケース1のようにナトリウムプールをより高温条件にした場合、デブリの上表面からナトリウムプールへの伝熱量は減少すると考えられ、従って、当初はケース1のデブリ-コンクリート相互作用中のデブリ温度は基本ケースよりも高い状態で推移するものと予想された。ところが、前述のように、ケース1のデブリ温度変化は基本ケースとほぼ同じであった。以下、基本ケースとケース1でデブリ温度変化が同一となることについて考察する。

デブリで発生する熱源としては崩壊熱と化学反応熱がある。これらの発熱量の変化を基本ケースとケース1について図3.3.4～図3.3.5に示す。図に示されるように、基本ケースとケース1のデブリでの発熱量はほぼ等しい。一方、デブリからの熱損失としては、デブリとコンクリート間ならびにデブリとナトリウムプール間の熱伝達による熱損失がある。図3.3.6にデブリからコンクリートへの伝熱量を、図3.3.7にデブリからナトリウムプールへの伝熱量をそれぞれ示す。これらの図から基本ケースとケース1でデブリからの熱損失量もほぼ等しいことが分かる。以上のように、基本ケースとケース1では、デブリでの発熱量もデブリからの熱損失量もほぼ等しく、その結果として両ケースのデブリ-コンクリート相互作用中のデブリ温度変化が同一となったものと考えられる。

デブリからナトリウムプールへの伝熱量は、デブリとナトリウムプール間の熱伝達率、伝熱面積および温度差から求められる。ここで、デブリとナトリウムプール間の伝熱面積は基本ケースとケース1で同一である。図3.3.8にデブリとナトリウムプール間の熱伝達率を示す。

この図に示されるように、デブリとナトリウムプール間の熱伝達率は、デブリ-コンクリート相互作用期間中を通してケース1の方が基本ケースよりも大きい。また、デブリとナトリウムプール間の温度差は、基本ケースに比べてケース1のナトリウムプールの初期温度が高いためケース1の方が小さくなる。以上のことを総合すると、ケース1ではナトリウムプールの温度上昇により、デブリとナトリウムプール間の温度差が減少するものの、それを補償するような形でデブリとナトリウムプール間の熱伝達率が増大し、その結果、ケース1のデブリからナトリウムプールへの伝熱量は基本ケースとほぼ同一になるものと考えられる。

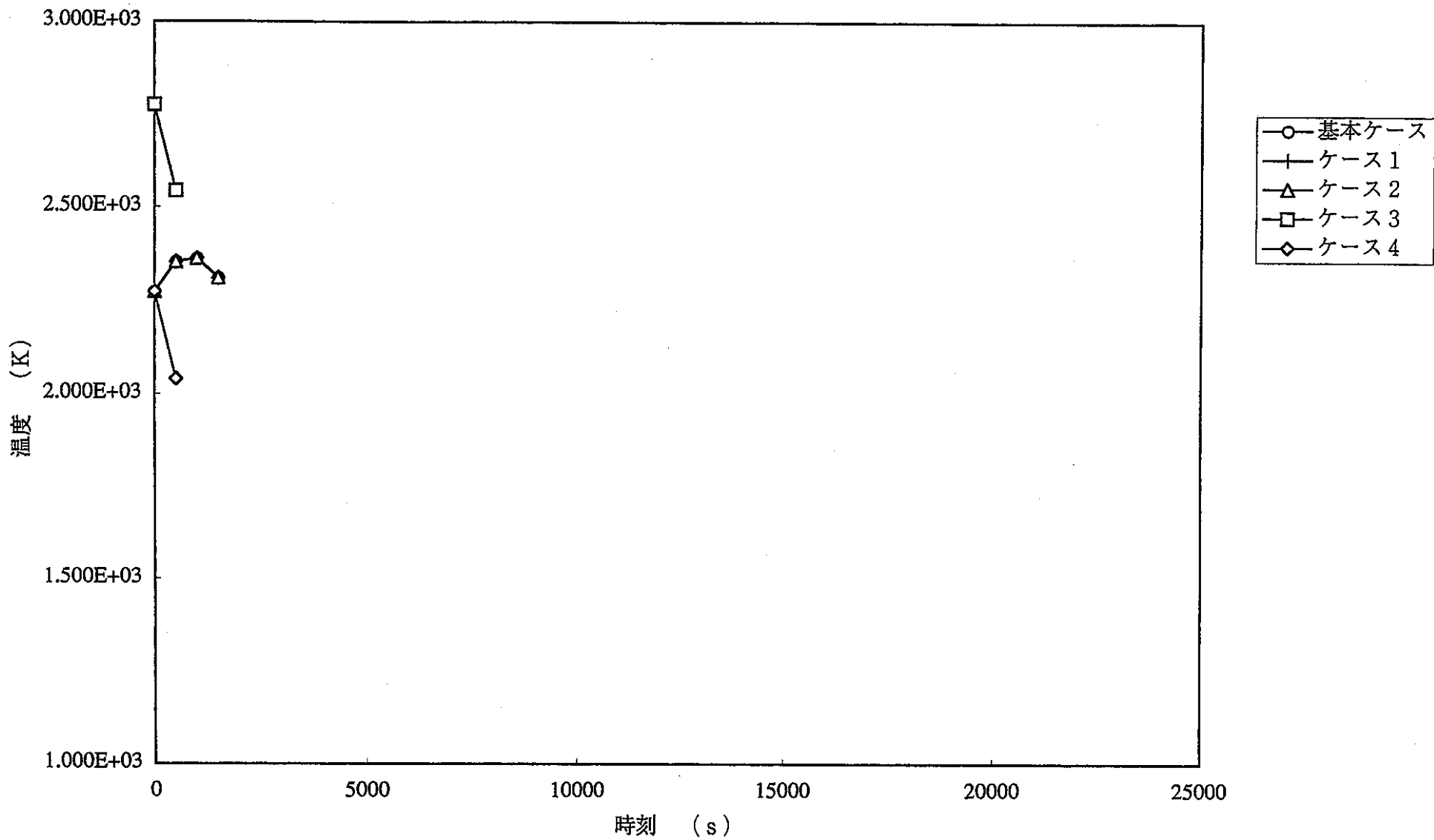


図3.3.1 デブリ層温度 (重い酸化物層)

66-ε

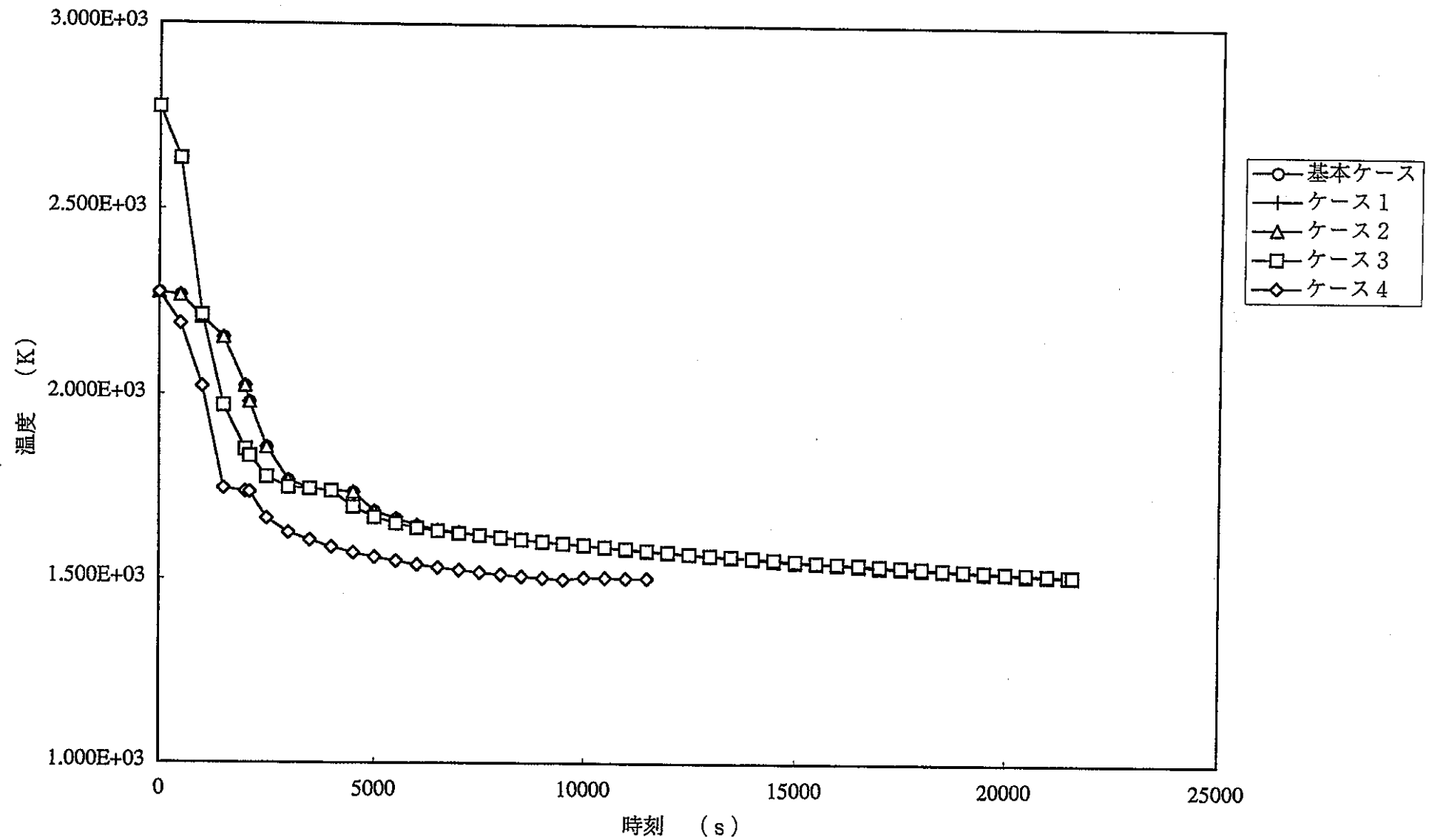


図3.3.2 アプリ層温度 (金属層)

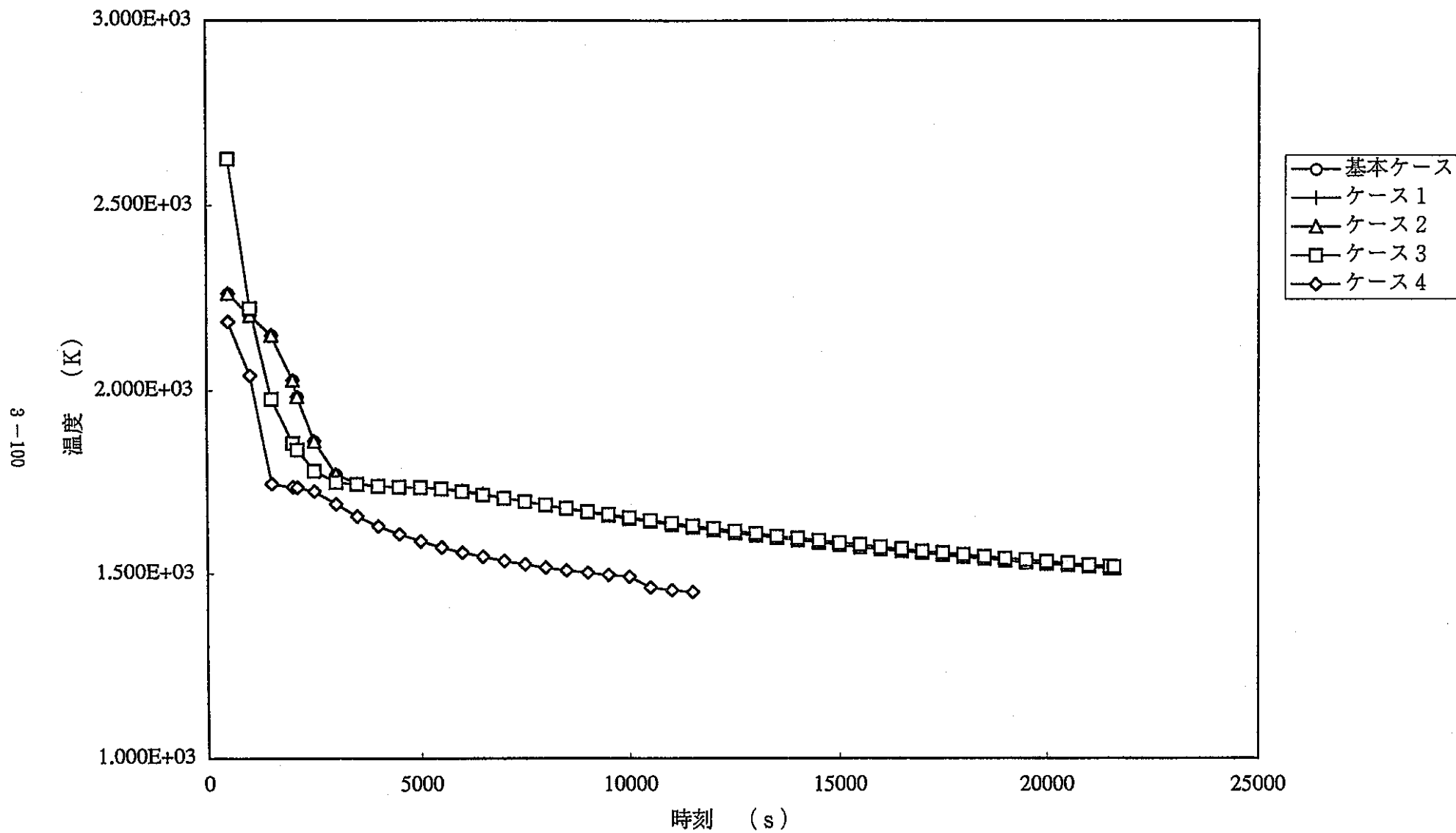


図3.3.3 デブリ層温度 (軽い酸化物層)

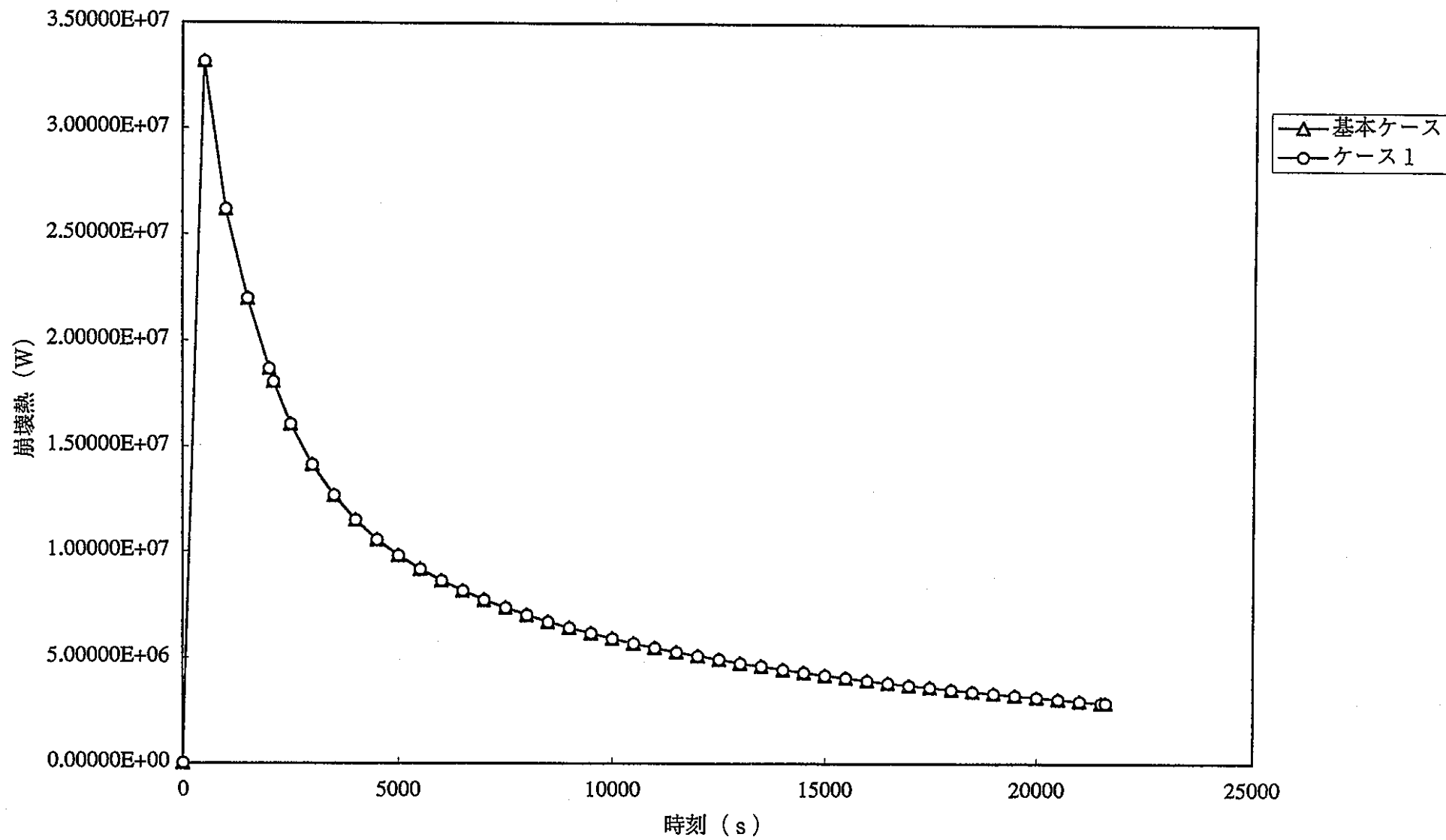


図3.3.4 デブリ崩壊熱

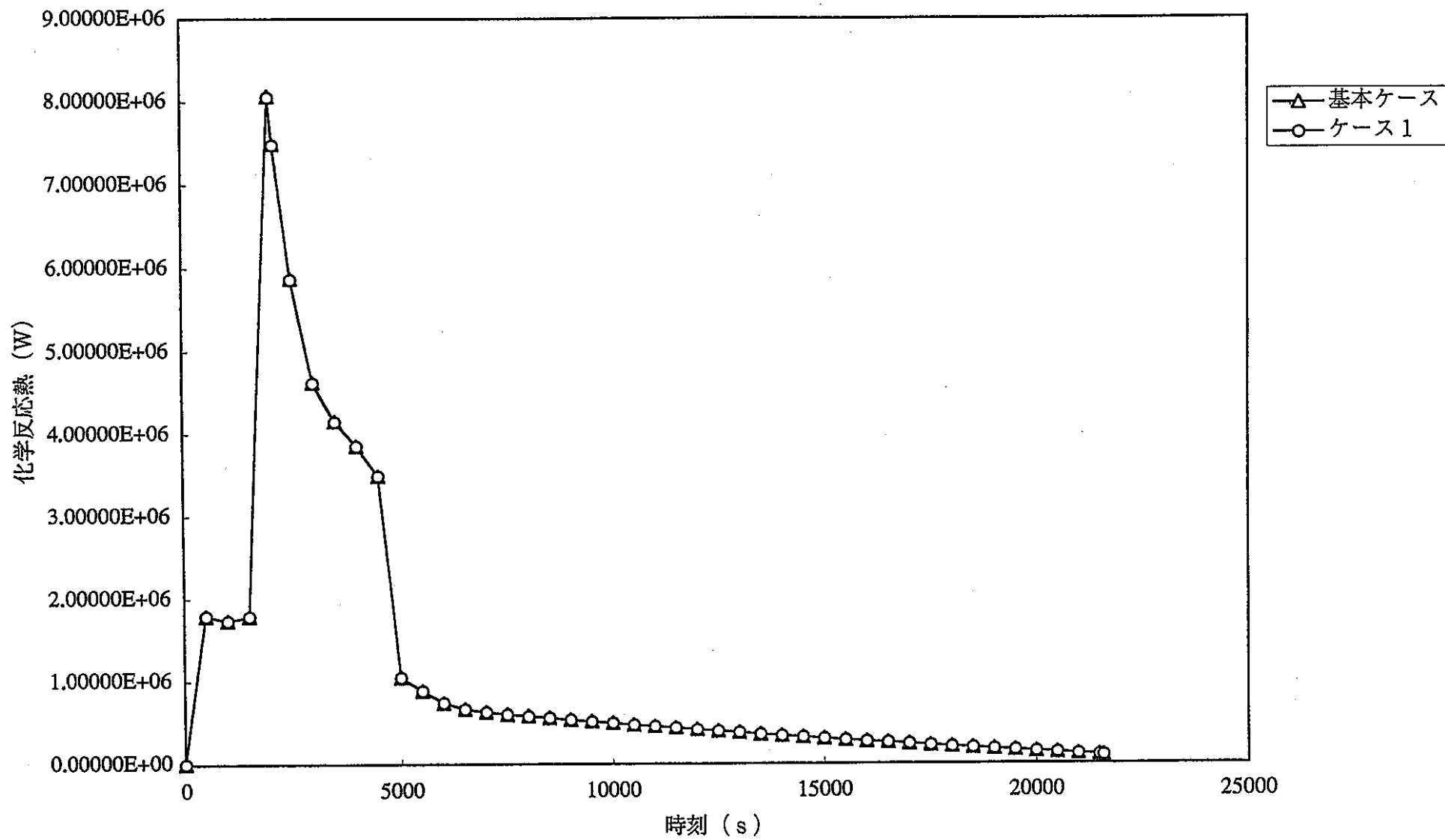


図3.3.5 化学反応熱

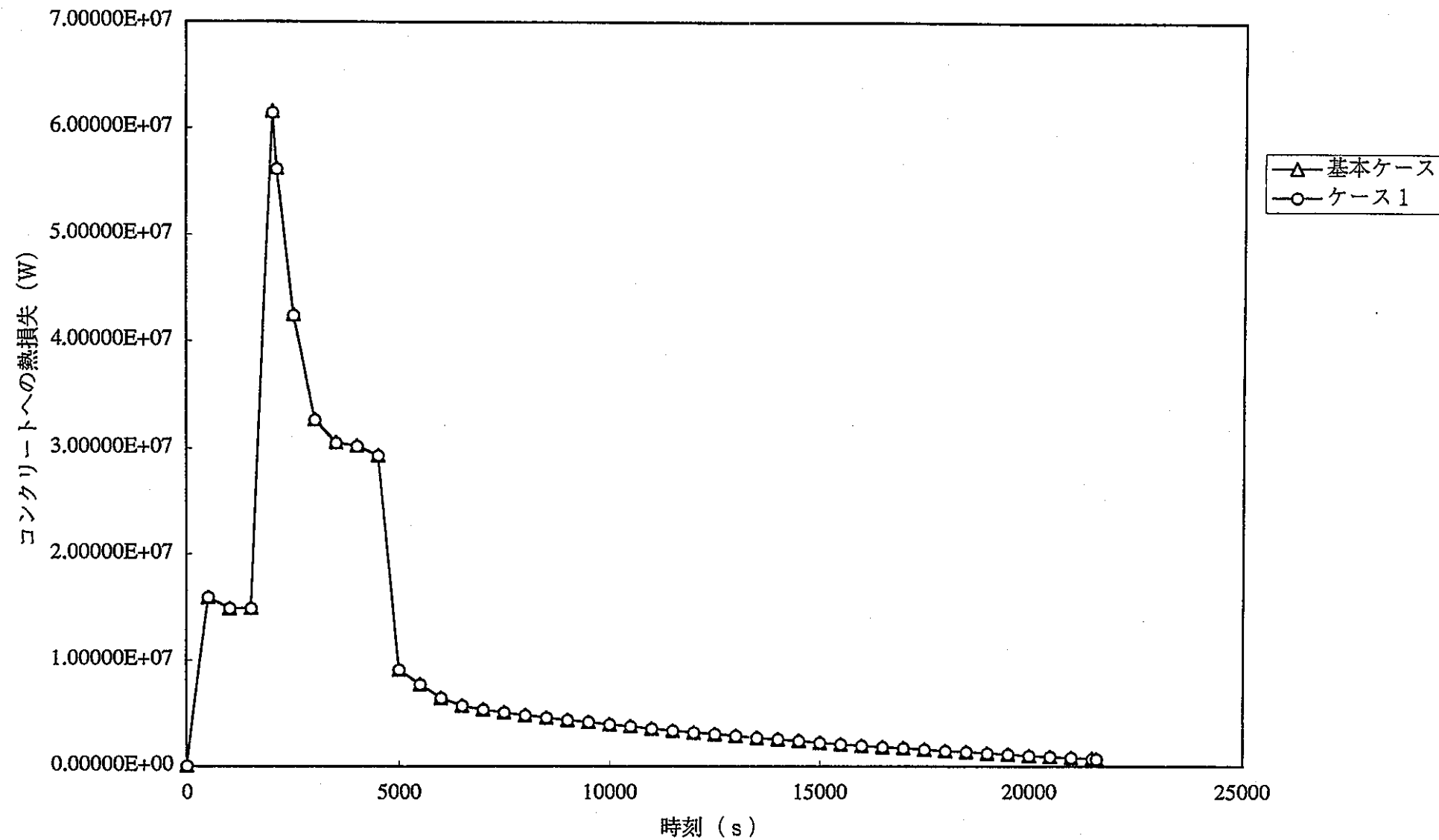


図3.3.6 デブリからコンクリートへの伝熱量

3-104

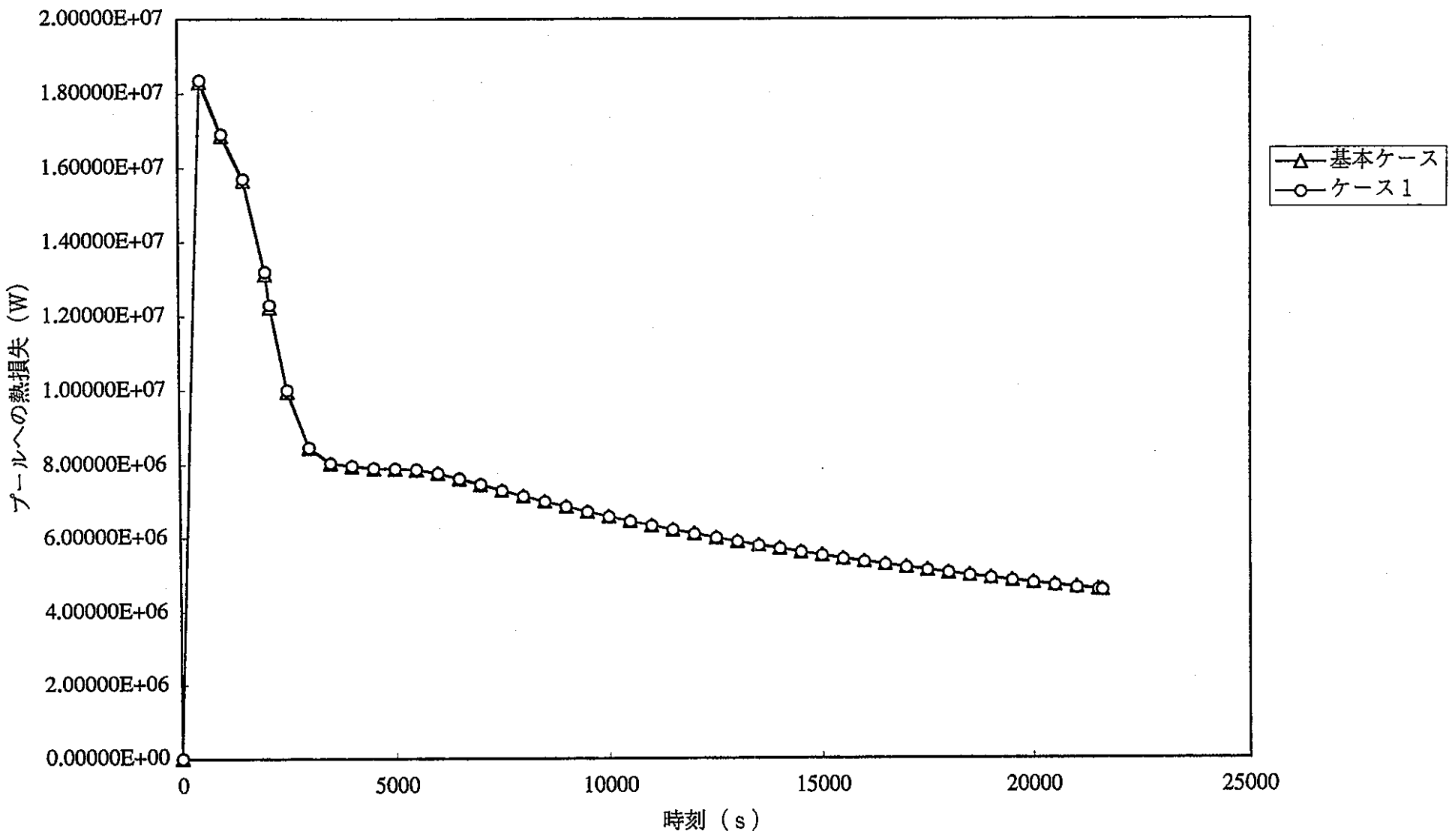


図3.3.7 デブリからNaプールへの伝熱量

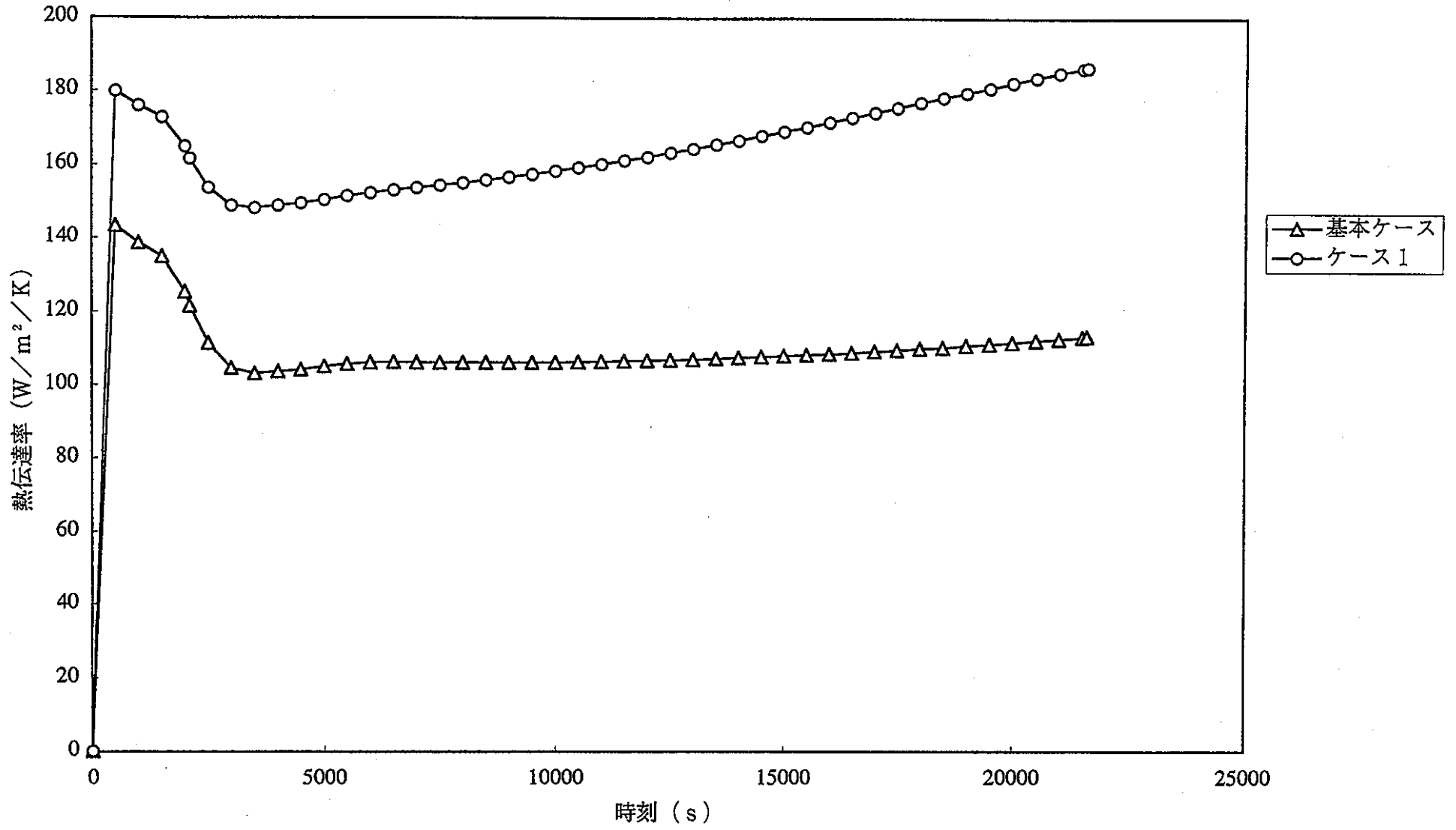


図3.3.8 デブリとNaプール間の熱伝達率

3.3.2 ナトリウムプール

各ケースのナトリウムプール温度変化を図3.3.9に示す。初期温度を1073 Kにしたケース1が最も高温度で推移する。ケース1の6時間後のナトリウムプール温度は1230.3 Kである。その他のケースの初期温度はいずれも773 Kであり、これらのケースの中では、初期プール深さを5 mにしたケース2のナトリウムプール温度上昇の割合が大きく、ついで、デブリ初期温度を2773 Kとしたケース3、基本ケース、崩壊熱を半分としたケース4の順となる。

ナトリウムプール深さの変化を図3.3.10に示す。基本ケースの場合、ナトリウムプール深さ10 mに対応する初期ナトリウム質量は720.89 tであるが、蒸発により6時間後には720.66 tに減少する。しかしながら、減少質量が初期質量に比べて僅かであるため、温度上昇による体積膨張効果により、6時間後のナトリウムプール深さは10.85 mとなる。基本ケース以外の各ケースの6時間後（ケース4は3.2時間後）のナトリウムプール深さも同様に初期深さよりも僅かに増大する。

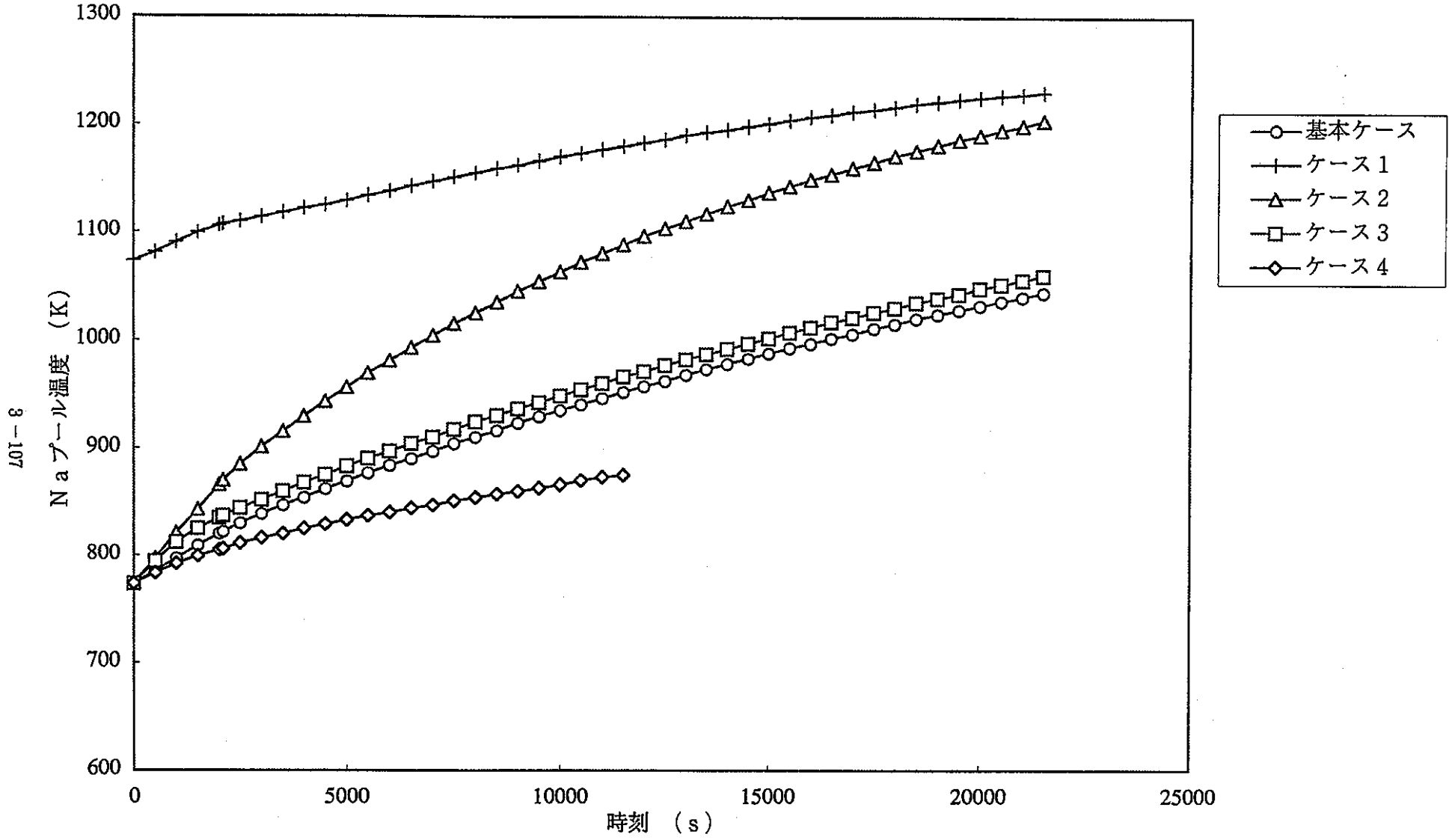


図3.3.9 Na プール温度の変化

3-107

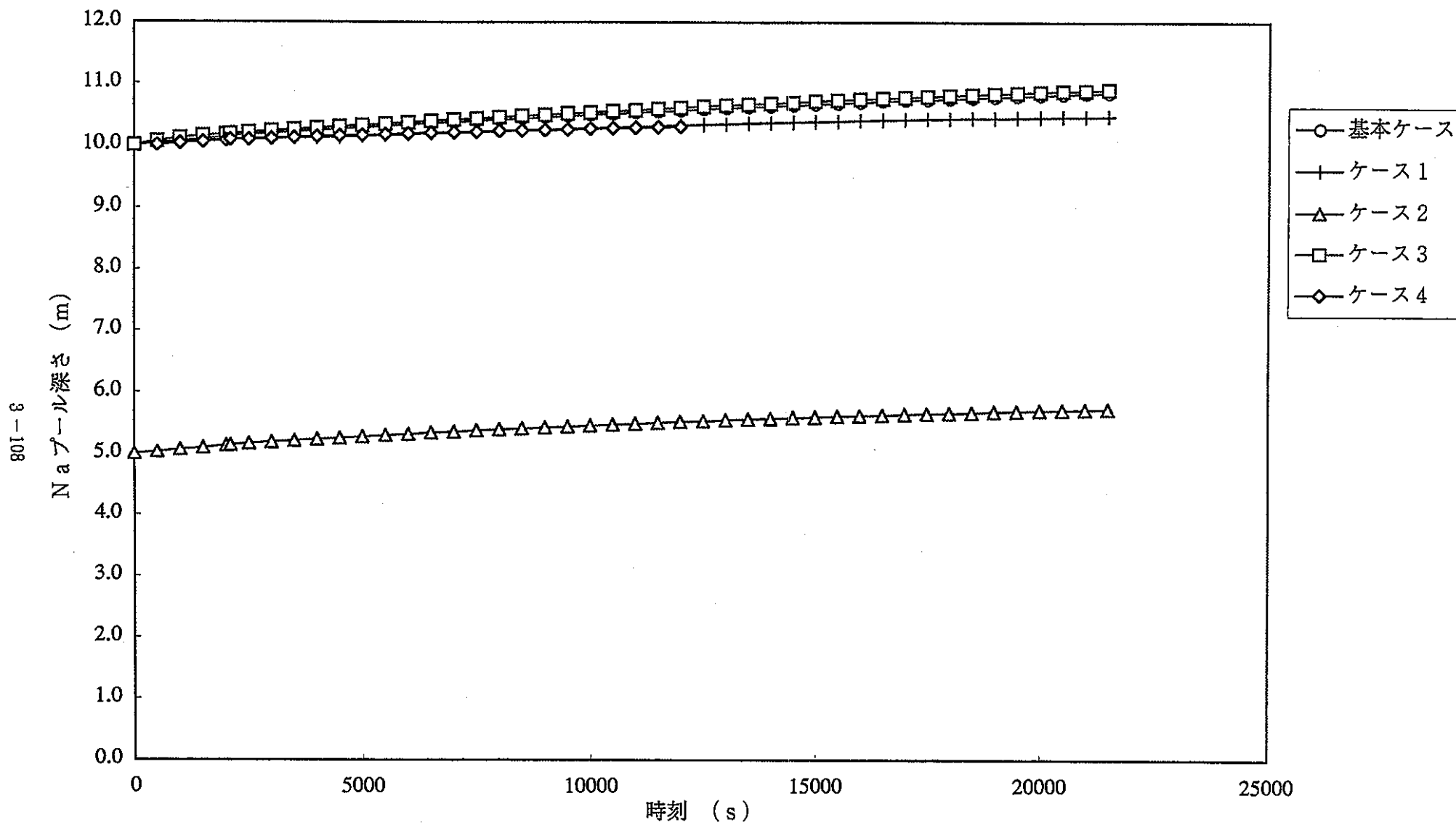


図3.3.10 Na プール深さの変化

3.3.3 コンクリートの浸食量

デブリ-コンクリート相互作用による、キャビティ深さ、キャビティ半径及びキャビティ容積の変化を図3.3.11～図3.3.13にそれぞれ示す。6時間後の浸食量が最大となるのは、デブリ初期温度を2773 Kとしたケース3である。ここで、図3.3.11と図3.3.13に見られるように、計算開始から2000秒付近の区間では、ケース3について、崩壊熱を半分にしたケース4の浸食量が多い。この理由は、ケース4のデブリ層の重い酸化物層と金属層の逆転時刻が950秒であり、基本ケースのデブリ層逆転時刻の1790秒よりも早く起こるためである。一般に、デブリ層の逆転が起こり金属層が床コンクリートと接触するようになると、金属層が溶融状態にあるためにデブリと床コンクリート間の界面温度が上昇し、これに伴い床コンクリートへの伝熱量が増大する。なお、図3.3.12に示されるように、計算開始から500秒までのキャビティの径方向の浸食量に関してはケース4が最も大きい結果となった。

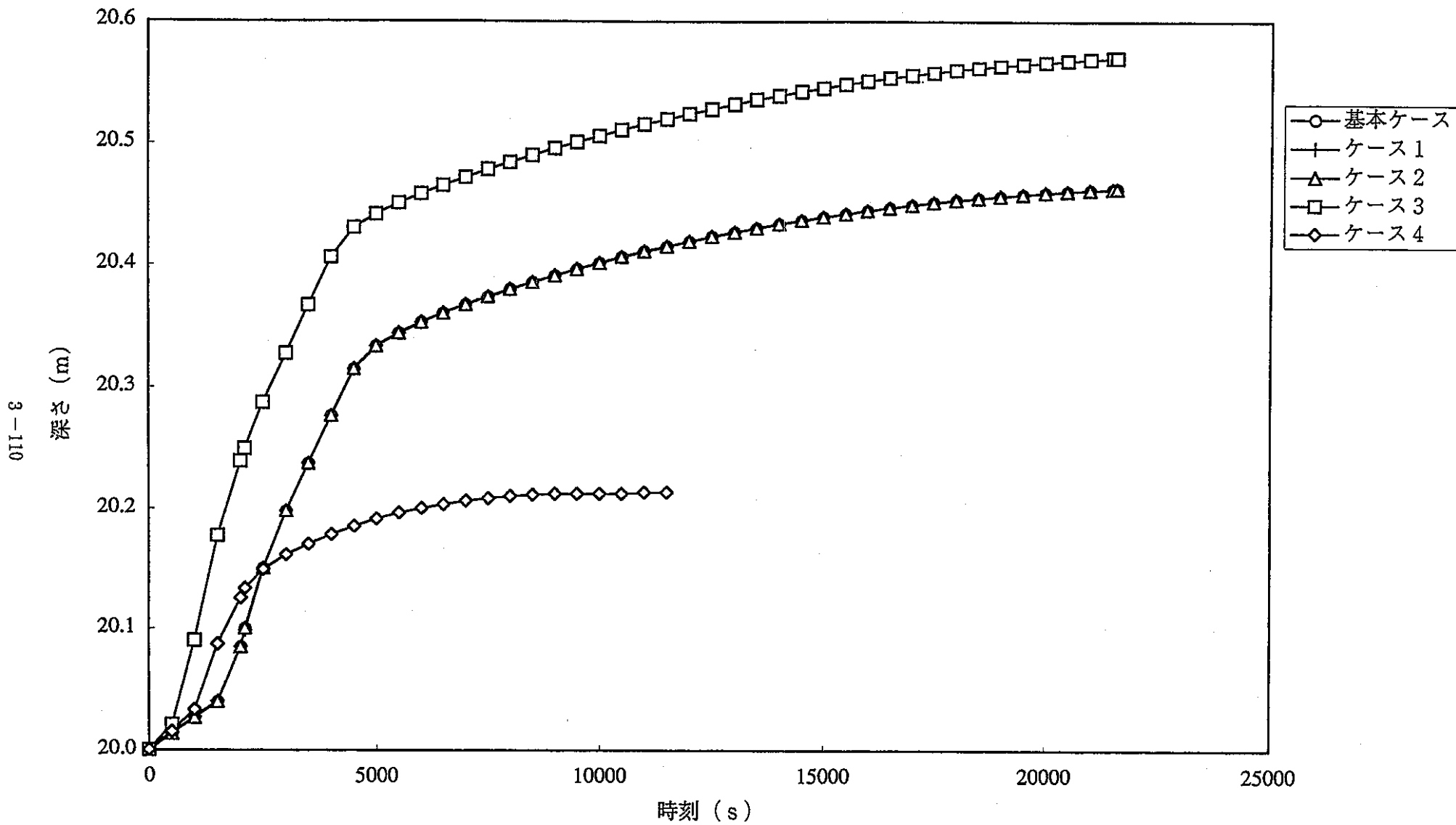


図3.3.11 キャビティ深さの変化

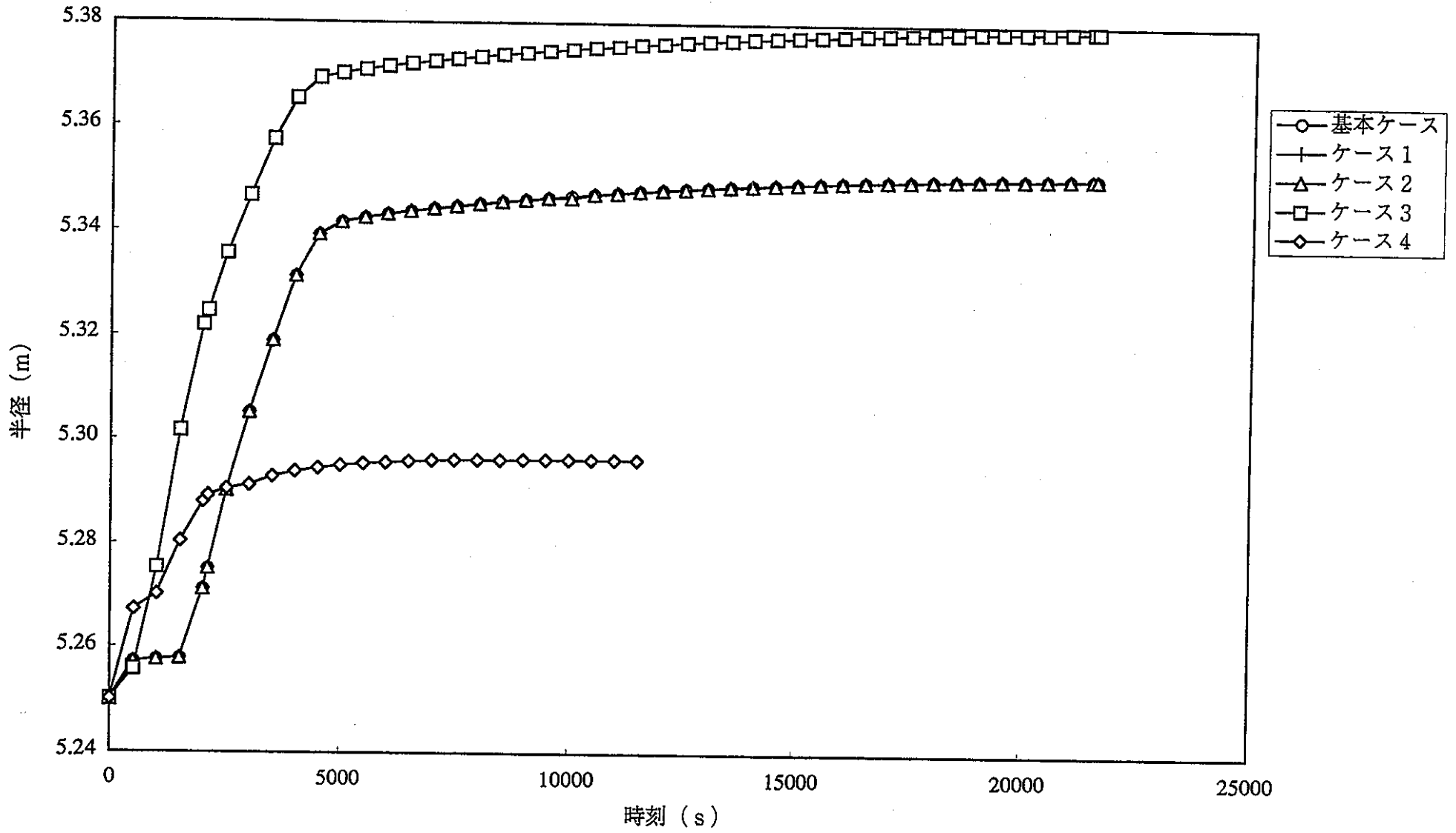


図3.3.12 キャビティ半径の変化

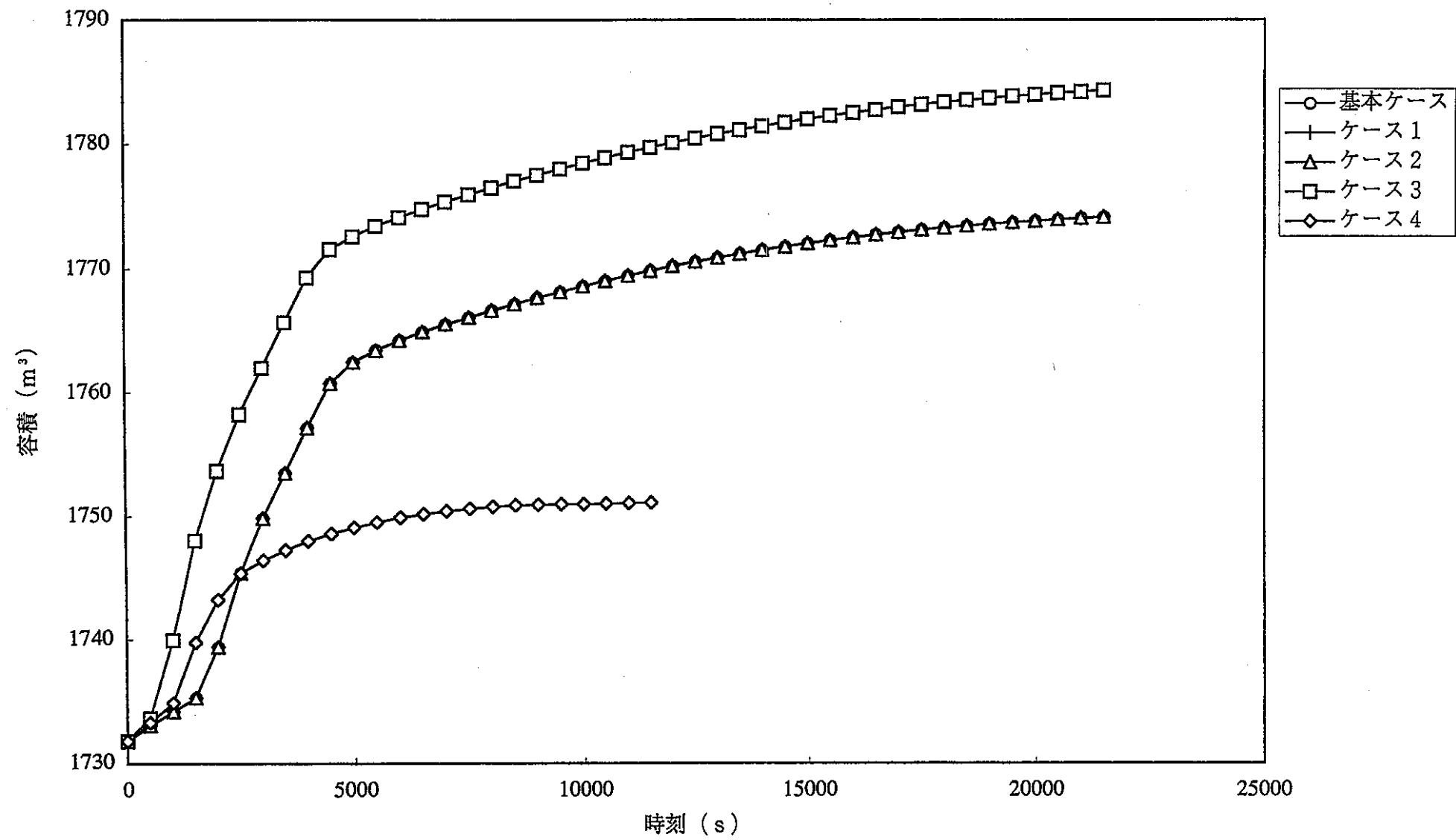


図3.3.13 キャビティ容積の変化

3.3.4 雰囲気温度

各ケースのセル1とセル2の雰囲気温度の変化を図3.3.14～図3.3.15に示す。これらの図より2000秒から5000秒の区間で、雰囲気温度が一時上昇し下降する現象が見られる。この傾向は初期ナトリウムプール温度を1073Kとしたケース1で著しい。ケース1の0秒～7000秒の区間におけるセル1の雰囲気温度変化を図3.3.16に示す。この一時的な温度上昇の要因がナトリウムプールから雰囲気への伝熱量の増大によるものであれば、温度が一時的に上昇する期間において、セル1のナトリウムプールと雰囲気間の熱伝達率または熱流束に変化が見られるものと予想される。そこで、セル1のデブリ-ナトリウムプール間とナトリウムプールと雰囲気間の熱伝達率と熱流束を調べた。その結果を図3.3.17～図3.3.18にそれぞれ示す。これらの図に示されるように、2000秒から5000秒の区間で、ナトリウムプールと雰囲気間の熱伝達率と熱流束に大きな変化は見られない。このことから、ケース1の2000秒～5000秒での一時的な温度上昇の要因は伝熱量の増大に起因するものではないことがわかる。

ケース1では1790秒にセル1でデブリの重い酸化物層と金属層の逆転が起こる。コンクリートの浸食量のところで述べたように、層の逆転が起こると熔融状態にある金属層が床コンクリートと接するために、デブリと床コンクリートの界面温度が上昇し、これに伴い、デブリから床コンクリートへの伝熱量が増大する。この結果、デブリ-コンクリート相互作用が促進され、セル1の雰囲気にナトリウムプールのナトリウムがより多く放出される。ナトリウムは蒸気、液相及びエアロゾル(NAL)として雰囲気に放出される。ケース1のナトリウムプール温度はセル1の雰囲気温度よりも高温度であるので、多量のナトリウムが雰囲気中に放出された場合、セル1の雰囲気温度は上昇するものと考えられる。セル1の雰囲気温度、気体比熱、気体質量及びエアロゾルNALの質量に関するCONTAINコードの計算値を表3.3.1～表3.3.2にそれぞれ示す。表3.3.1と表3.3.2には、一時的な温度上昇が始まる直前の1500秒と温度上昇後の2000秒、4500秒及び温度下降後の5000秒での計算値を示した。表3.3.1と表3.3.2から1500秒及び2000秒の時点で、セル1の雰囲気中のナトリウム質量は次のようになる。

1500秒	:	3.5	+	5.2	+	3.5	=	12.2	kg
2000秒	:	49.1	+	11.6	+	226.5	=	287.2	kg
増分								275.0	kg

1500秒から2000秒の間にセル1の雰囲気中のナトリウム質量は275.0kg増大する。その他の成分(H₂、H₂O)で大きく増大しているものはない。また、この時間帯におけるセル2のエアロゾルNALの質量増大は242.3kg (=411.1-168.8)である。これらは、全てナトリウムプールからセル1を経由してセル2に到達したと考えられるから、これらのナトリウムの熱量をセル1の雰囲気温度上昇に考慮すると、1500秒から2000秒の間にナトリウムプールからセル1の雰囲気に移動したナトリウム質量は517.3kg (=275.0+242.3)である。ここで、ナトリウムプール温度を1100Kと仮定して、ナトリウムの移動によるセル1の雰囲気温度上昇幅を概算すると次のようになる。ただし、ナトリウムの定圧比熱を1280J/(kg・K)^{*1}とした。

① ナトリウムの移動によりセル1の雰囲気に加えられる熱量

$$(1100 - 950.4) \times 517.3 \times 1280 = 9.906 \times 10^7 \text{ J}$$

② セル1の温度上昇幅

$$9.906 \times 10^7 / 2408.5 / 323.5 = 127.1 \text{ K}$$

以上のように、ナトリウムプールのナトリウムの移動によるセル1の雰囲気温度上昇幅はおおよそ127Kと計算される。一方、CONTAINの計算値では1500秒から2000秒間におけるセル1の雰囲気温度上昇幅は172K (=950.4 - 778.4)である。先に概算した温度上昇幅127KはCONTAINでの上昇幅172Kにオーダ的に一致する。

4500秒から5000秒の区間で、上昇したセル1の雰囲気温度が下降する。これは、デブリ金属層の温度が低下して金属層下端にクラストが生じる結果、デブリとコンクリート界面温度が低下することにより、デブリ-コンクリート相互作用が抑制されるためであると考えられる。表3.3.2に示されるように、セル1とセル2のエアロゾルNALの合計質量は4500秒で919.8kgであるのに対して5000秒では773.2kgに減少する。減少したエアロゾルNAL146.6kgはセル2からセル1に逆流したものと考えられる。そこで、セル2からセル1へのナトリウムの移動によるセル1の雰囲気温度下降幅を概算すると次のようになる。ただし、セル2のエアロゾルNALの温度はセル2の雰囲気温度に等しいものとし、ナトリウムの定圧比熱を $1390 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})^{*2}$ とした。

③ セル2のナトリウムNALの移動によりセル1の雰囲気に加えられる熱量

$$(440.2 - 855.3) \times 146.6 \times 1390 = -8.459 \times 10^7 \text{ J}$$

④ セル1の温度降下幅

$$8.459 \times 10^7 / 6730.1 / 121.0 = 103.3 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} \text{ただし } 6730.1 &= (6023.3 + 7436.8) \times 0.5 \\ 121.0 &= (130.7 + 111.3) \times 0.5 \end{aligned}$$

これから、セル2のナトリウムNALのナトリウムの移動によるセル1の雰囲気温度下降幅はおおよそ103Kと計算される。CONTAINの計算値では4500秒から5000秒間におけるセル1の雰囲気温度下降幅は81.4K (=936.7 - 855.3)である。先に概算した温度下降幅103KはCONTAINでの下降幅81.4Kに近い値である。

*1 伝熱工学資料 (改訂第4版) p.322、1100Kの値

*2 伝熱工学資料 (改訂第4版) p.322、400Kの値

以上の計算から、ケース1の1500秒～5000秒区間のセル1の雰囲気温度の一時的な上昇はコンクリート-相互作用の促進・抑制によるナトリウムの移動によりもたらされている可能性がある。今回の計算は時間間隔500秒毎の計算出力値を基にした概算値であるので、原因を確定するためにはさらに詳細な熱バランスによるチェックが必要である。

表 3.3.1 ケース1のセル1の雰囲気温度・質量

解析時間 秒	1500	2000	4500	5000
雰囲気温度 K	778.4	950.4	936.7	855.3
ナトリウムプール温度 K	1098.6	1105.5	1125.2	1129.4
気体の比熱 J/kg/K	1870.4	2946.5	6023.3	7436.8
雰囲気の成分 kg				
H ₂	39.8	44.9	62.3	70.0
O ₂	10.8	3.4	0.1	0.0
N ₂	308.7	99.7	1.8	1.5
H ₂ O (蒸気)	37.2	33.1	18.1	22.8
Na (蒸気)	3.5	49.1	41.3	13.0
Na (液相)	5.2	11.6	7.1	4.0
合計	405.2	241.8	130.7	111.3

表 3.3.2 エアロゾルNALの質量と雰囲気温度 (ケース1)

解析時間 秒	1500	2000	4500	5000
雰囲気温度 K				
セル1	778.4	950.4	936.7	855.3
セル2	411.7	438.5	440.2	433.2
エアロゾルNALの質量 kg				
セル1	3.5	226.5	249.3	234.7
セル2	168.8	411.1	670.5	538.5
合計	172.3	637.6	919.8	773.2

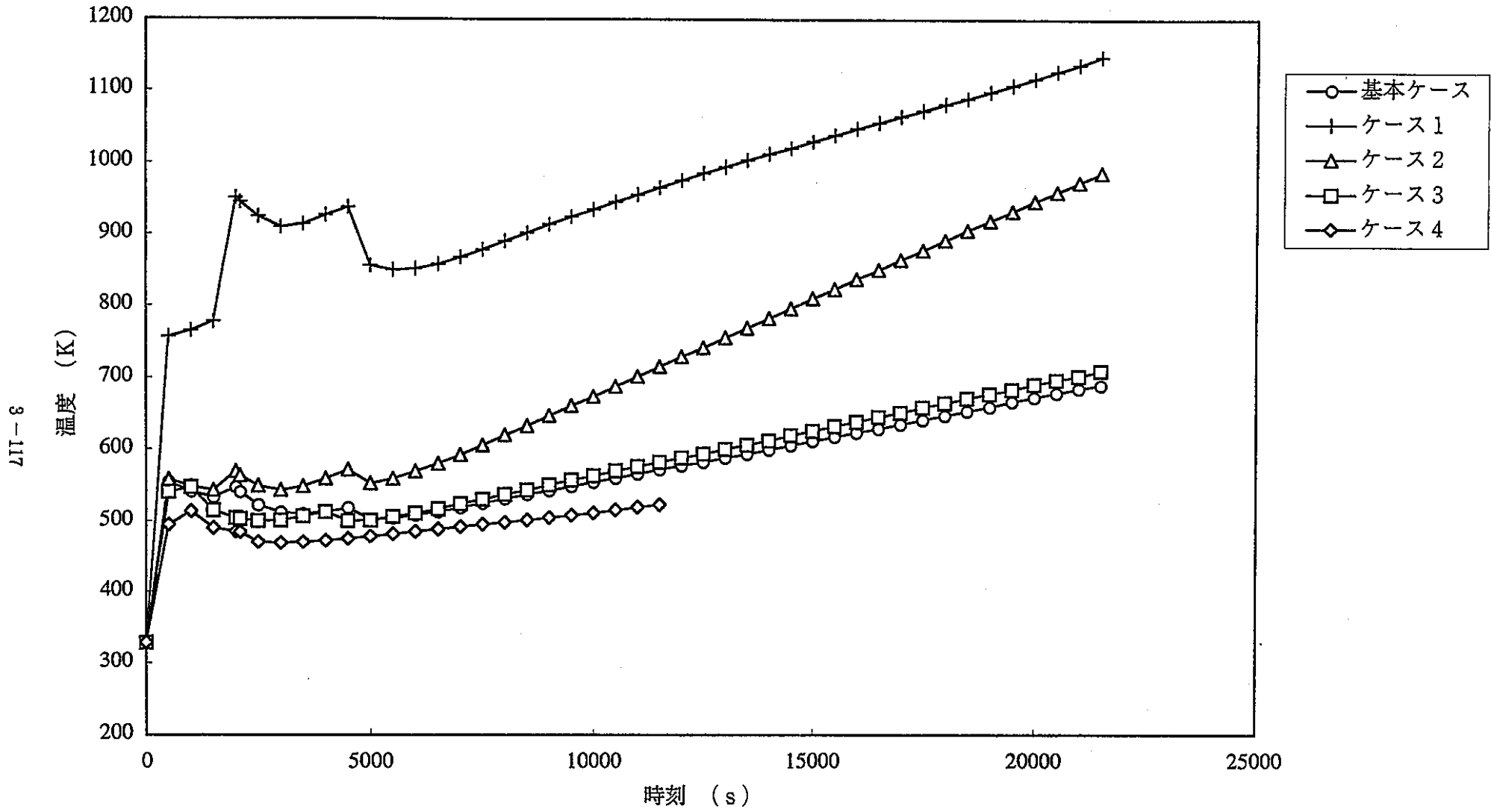


図3.3.14 雰囲気温度の変化 (セル1)

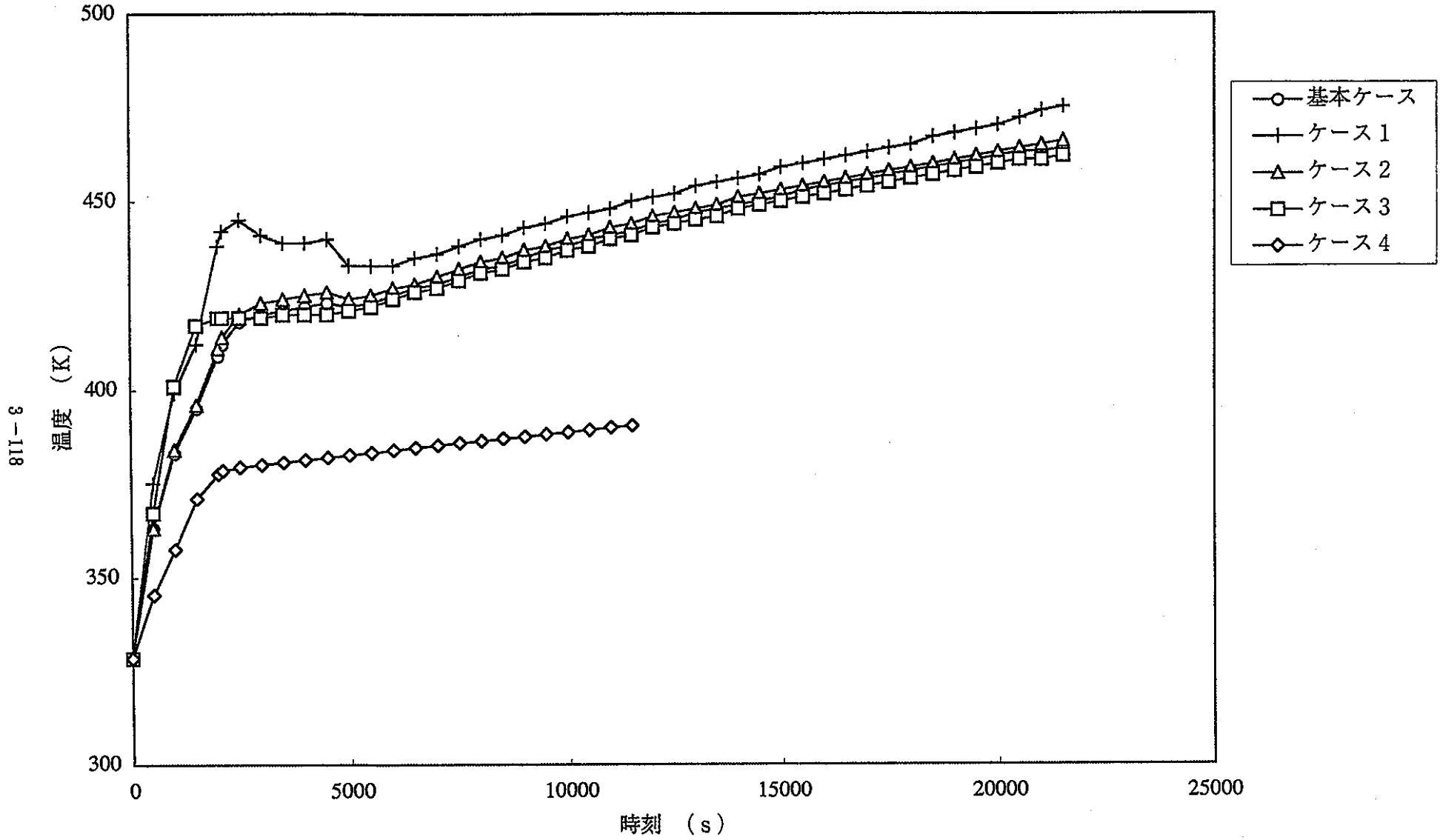


図3.3.15 霧囲気温度の変化 (セル2)

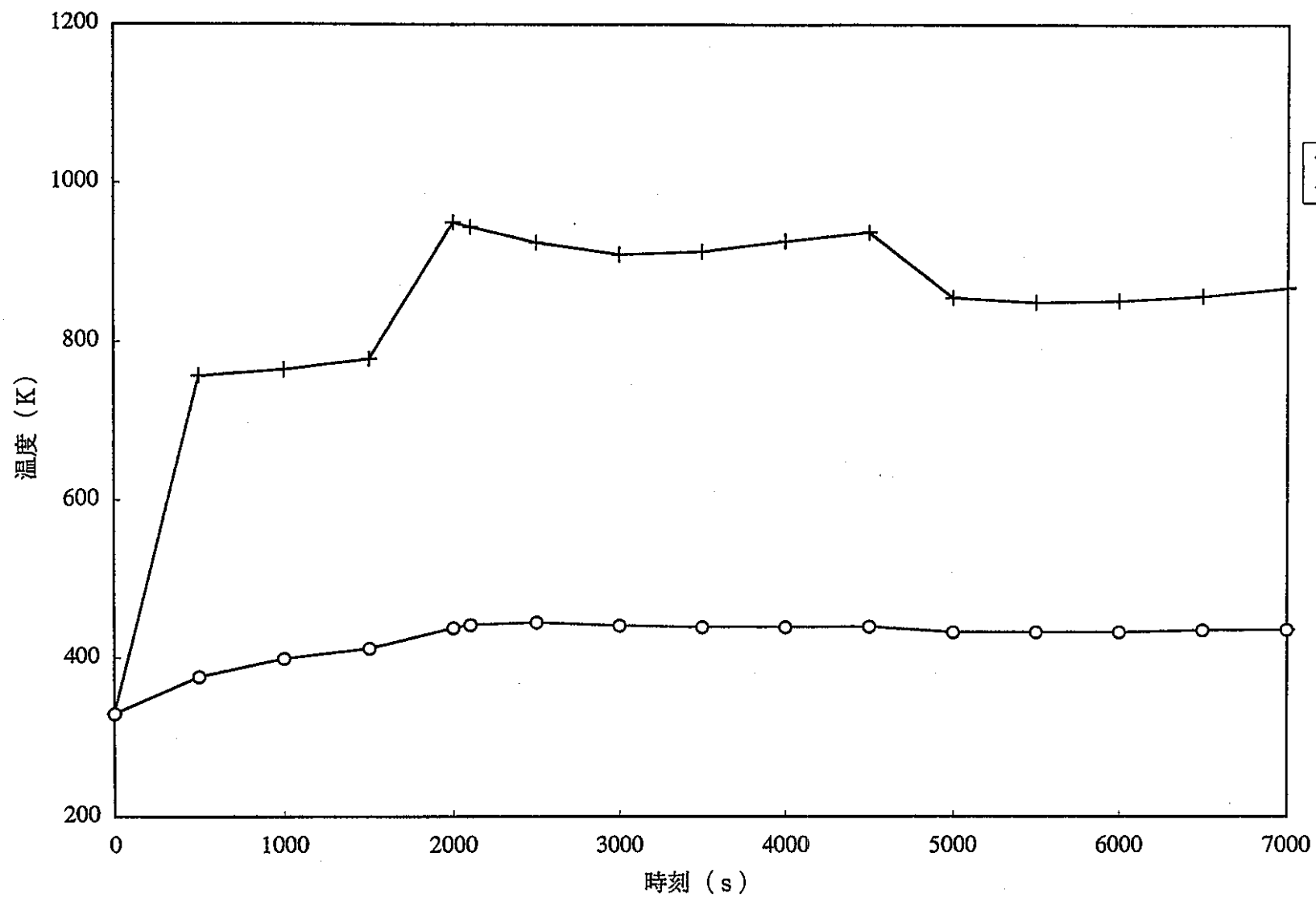


図3.3.16 霧囲気温度の変化

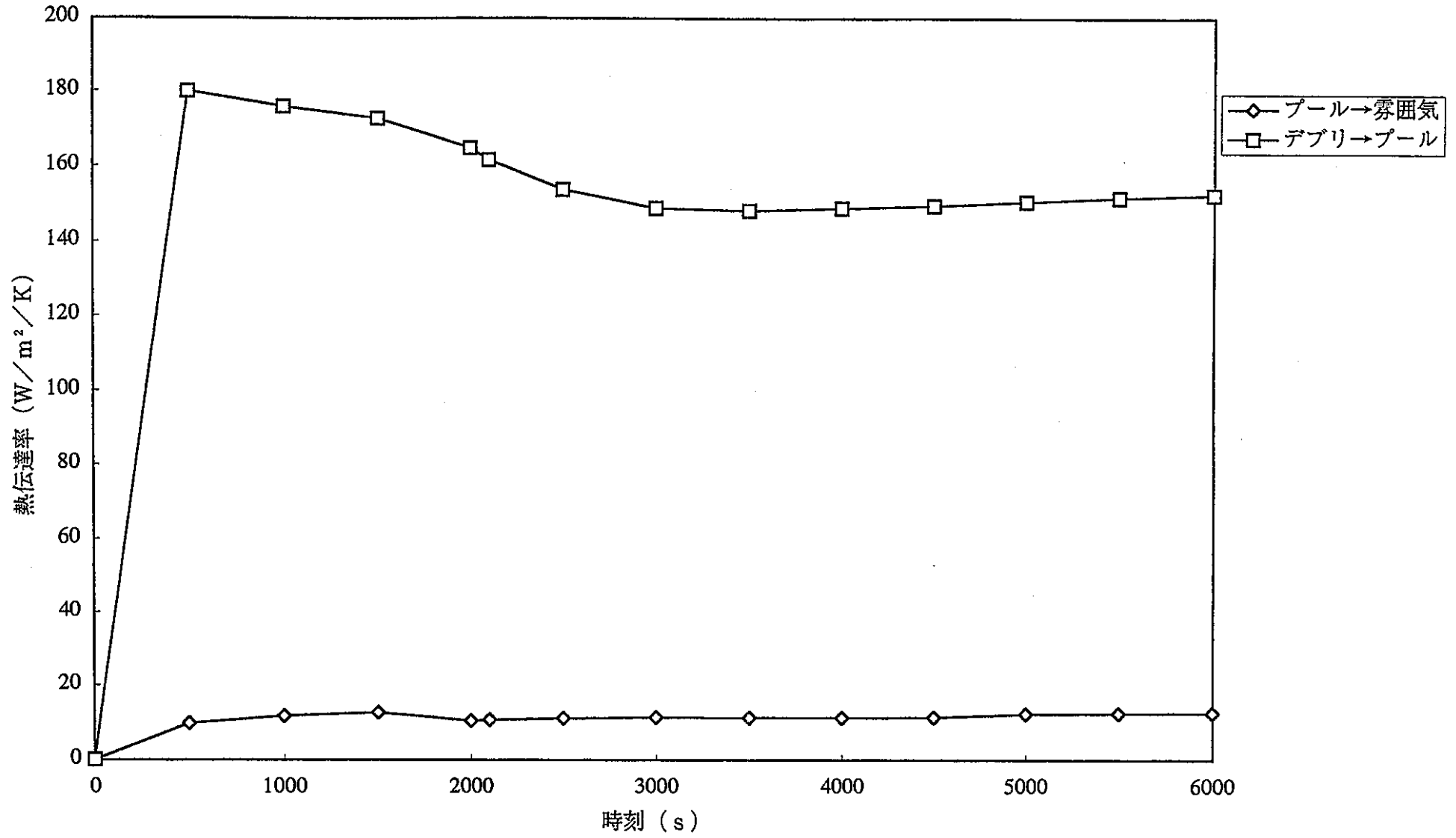


図3.3.17 ケース1の熱伝達率

3-121

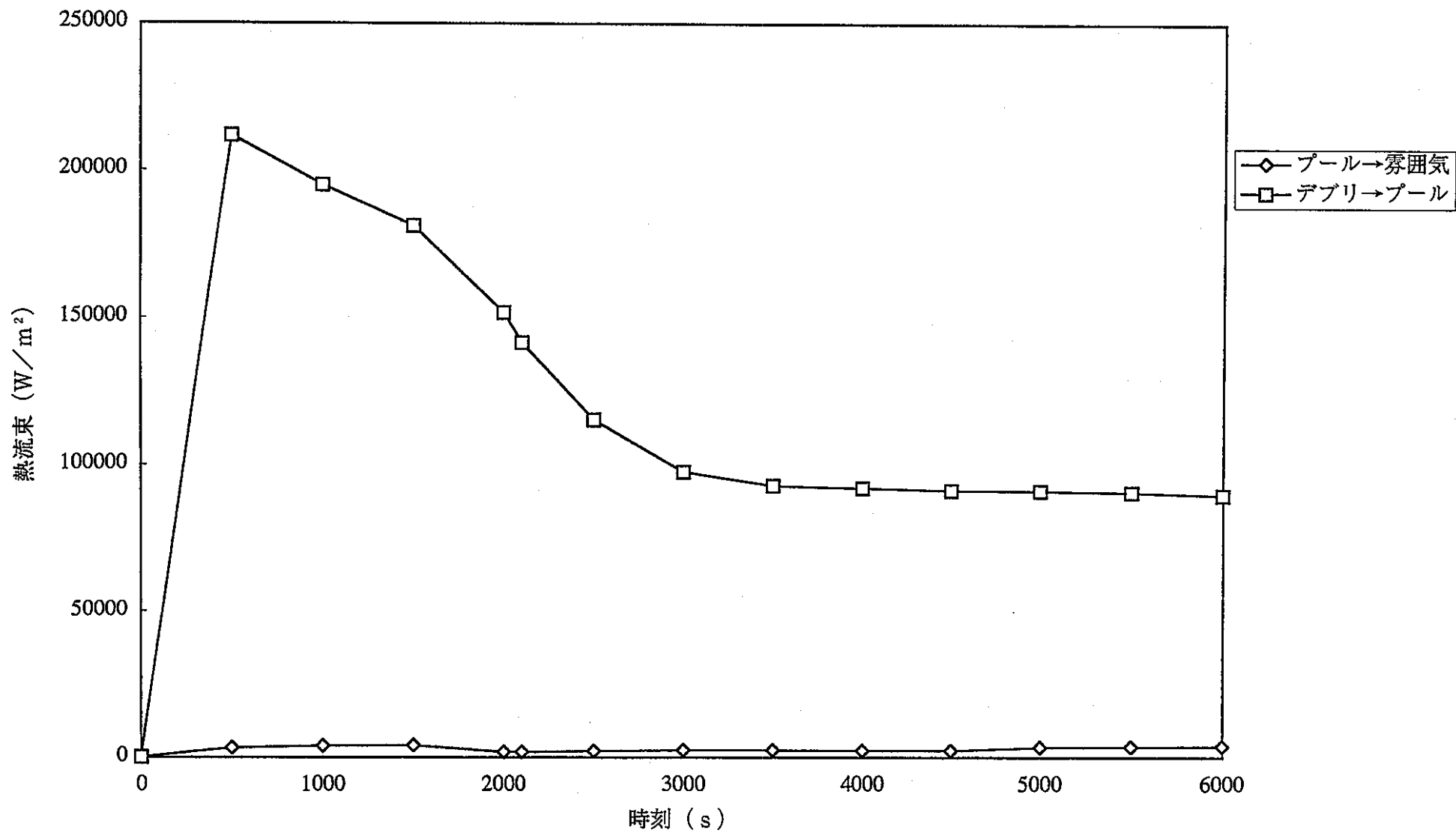


図3.3.18 ケース1の熱流束

3.3.5 構造物温度

セル1とセル2の壁内側温度の変化を図3.3.19～図3.3.20に、セル1とセル2の天井内側温度の変化を図3.3.21～図3.3.22にそれぞれ示す。

(1) 壁内側温度

セル1、セル2ともにケース1の壁内側温度が最も高くなる。ケース1の6時間後のセル1の壁内側温度は1098.2 K、セル2の壁内側温度は404.6 Kである。壁内側温度は、時間とともに単調に上昇するが、セル1の雰囲気温度が一時的に上昇する時間帯には、雰囲気温度変動の影響がみられる。

(2) 天井内側温度

壁内側温度の場合と同様に、セル1、セル2ともにケース1の天井内側温度が最も高くなる。ケース1の6時間後のセル1の天井内側温度は1065.8 K、セル2の天井内側温度は404.5 Kである。天井内側温度は、時間とともに単調に上昇するが、セル1の雰囲気温度が一時的に上昇する時間帯には、雰囲気温度変動の影響がみられる。

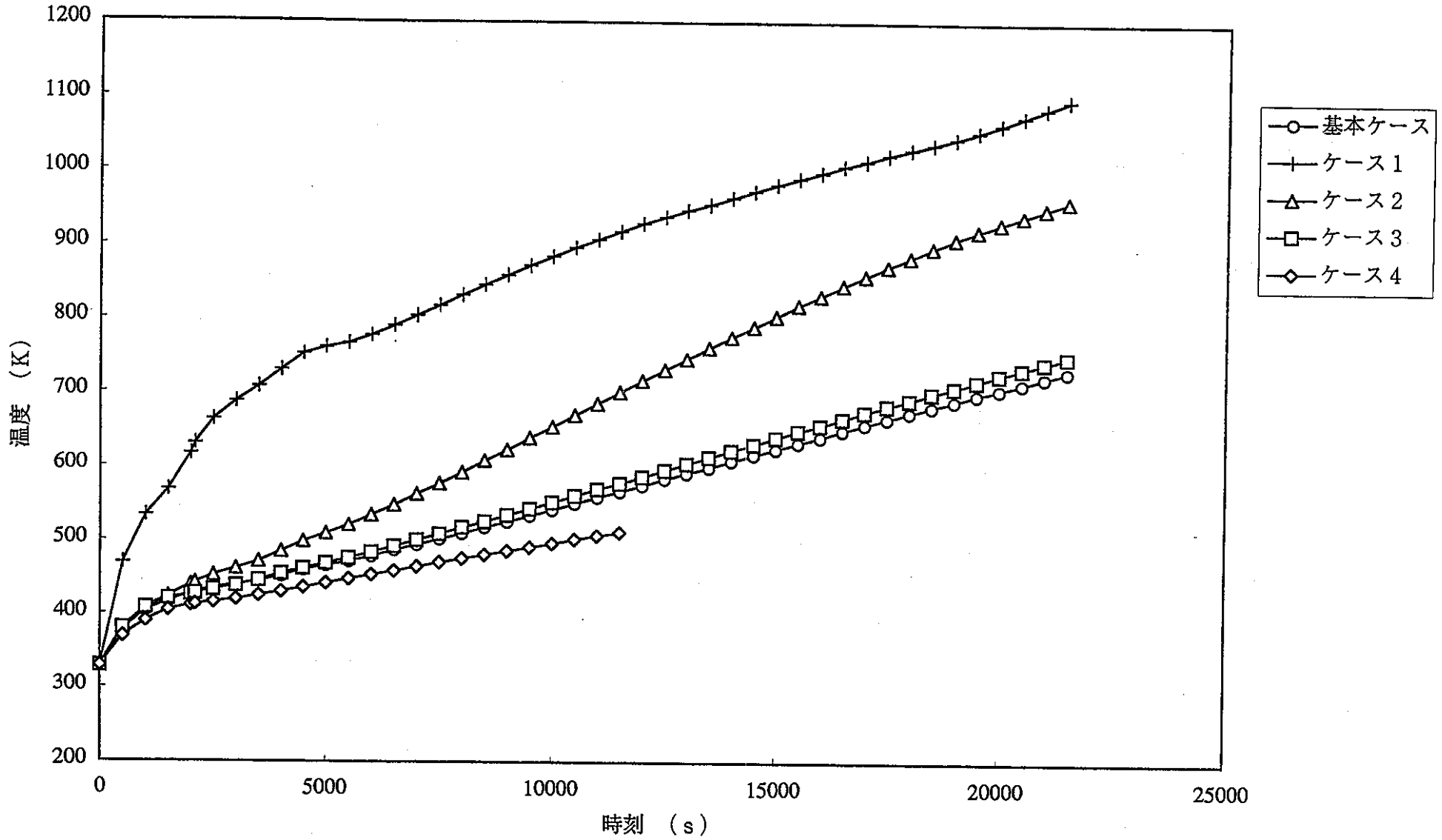


図3.3.19 構造物温度の変化 (セル1の壁内側温度)

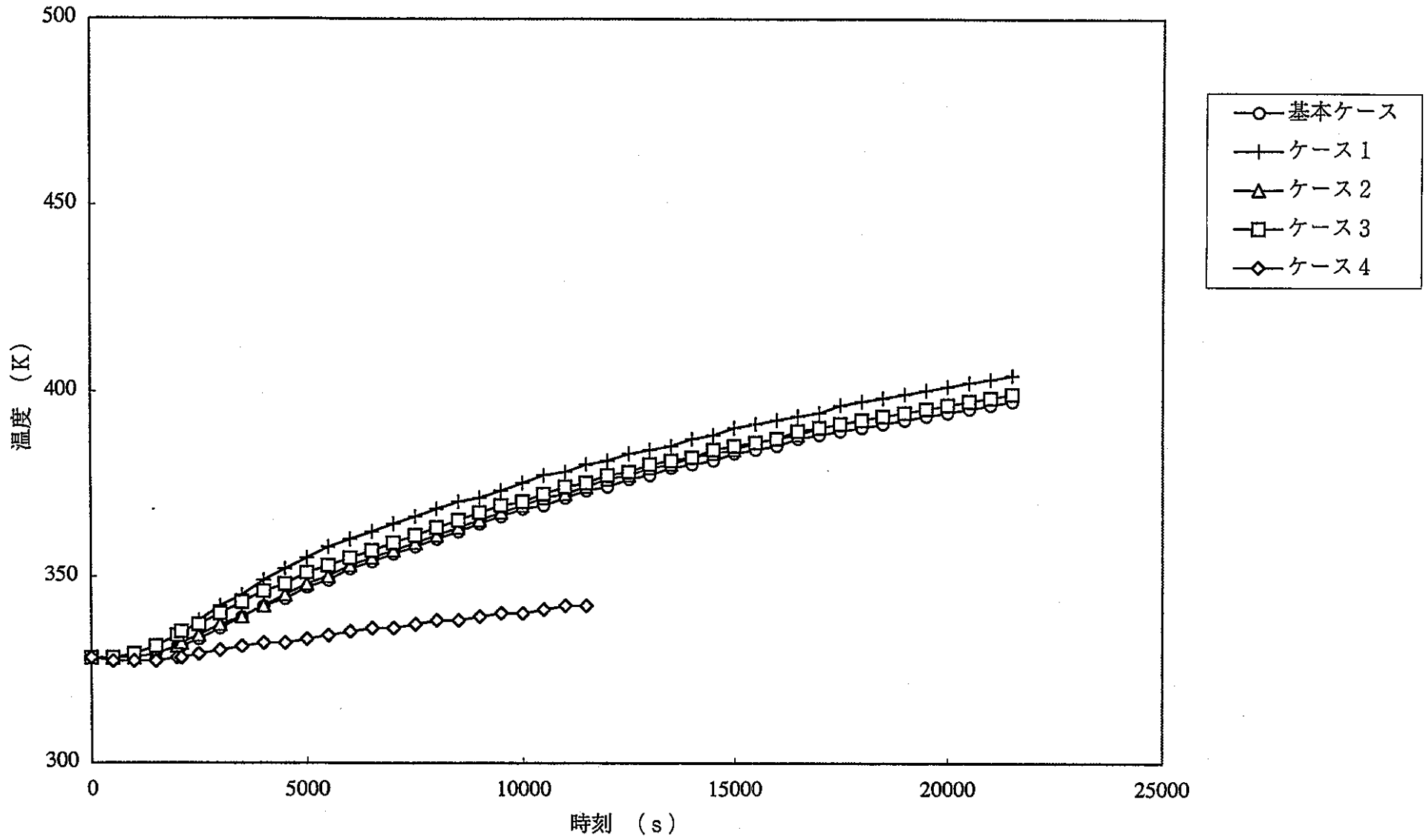


図3.3.20 構造物温度の変化 (セル 2 の壁内側温度)

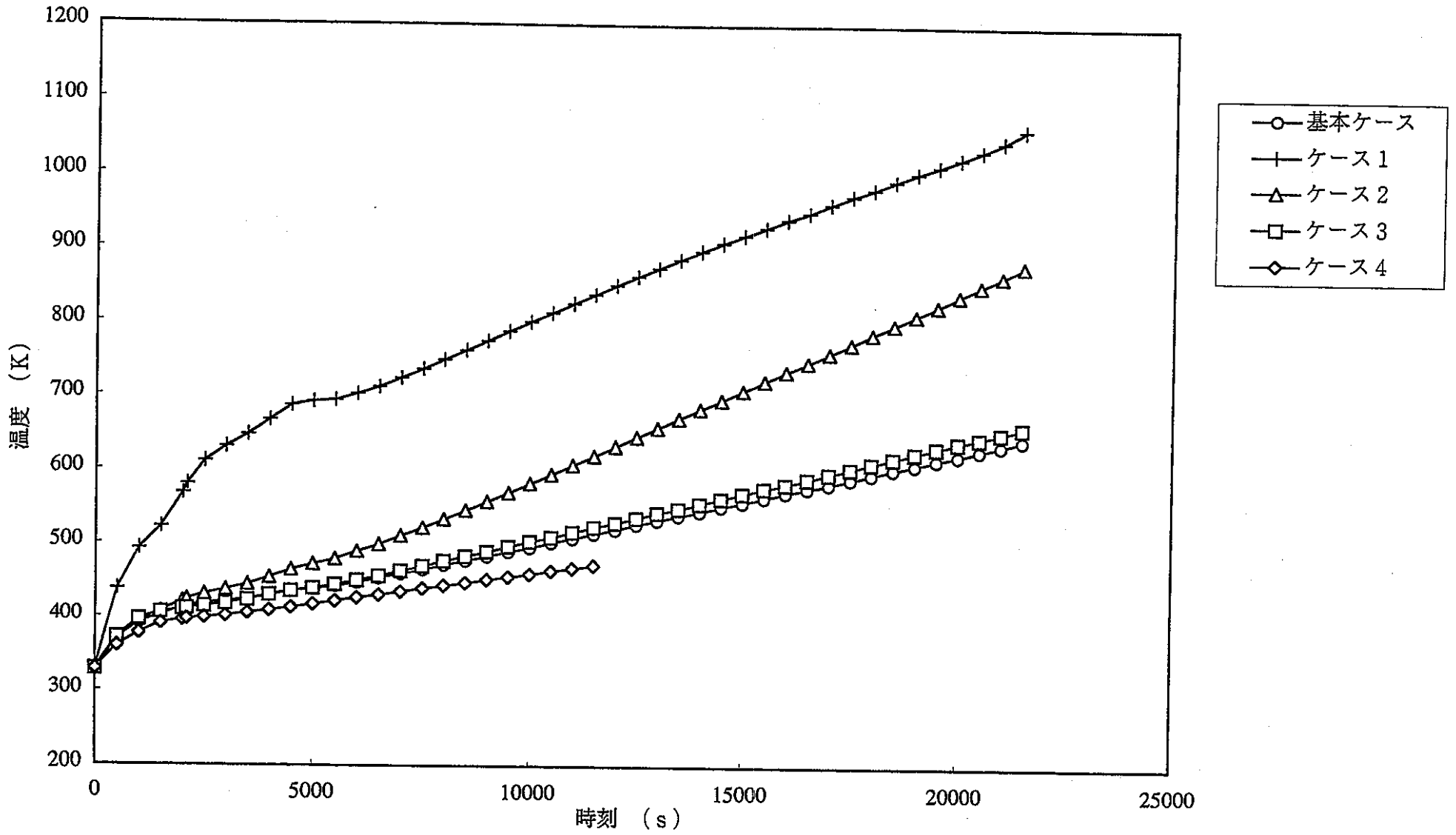


図3.3.21 構造物温度の変化 (セル1の天井内側温度)

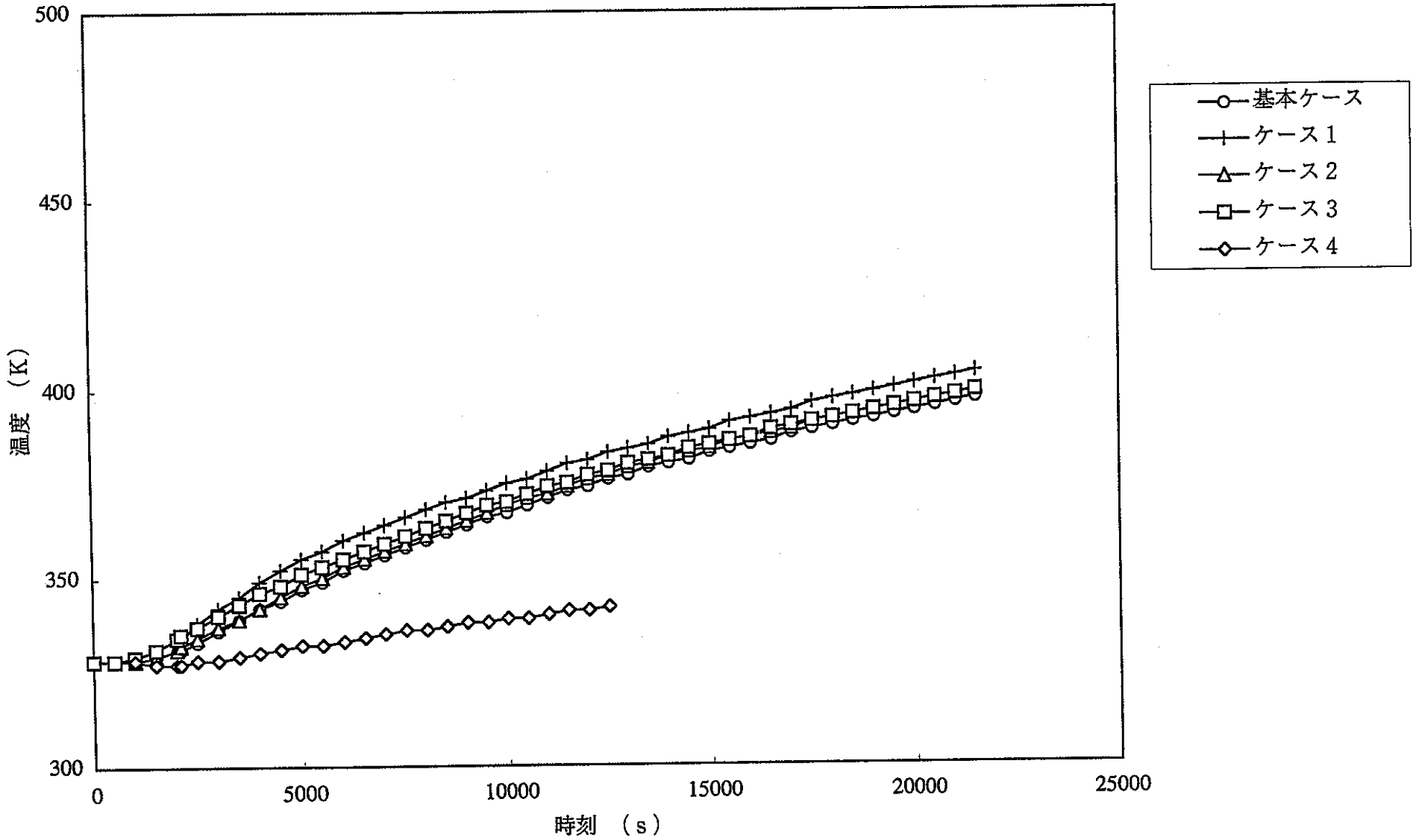


図3.3.22 構造物温度の変化 (セル 2 の天井内側温度)

3.3.6 圧力

セル1とセル2の圧力変化を図3.3.23～図3.3.24に示す。ナトリウムプール初期温度を1073 Kとしたケース1とデブリ初期温度を2773 Kとしたケース3の圧力上昇が大きい。ついでナトリウムプール初期深さを5 mとしたケース2、基本ケース、崩壊熱を半分にしたケース4の順に圧力が高い。

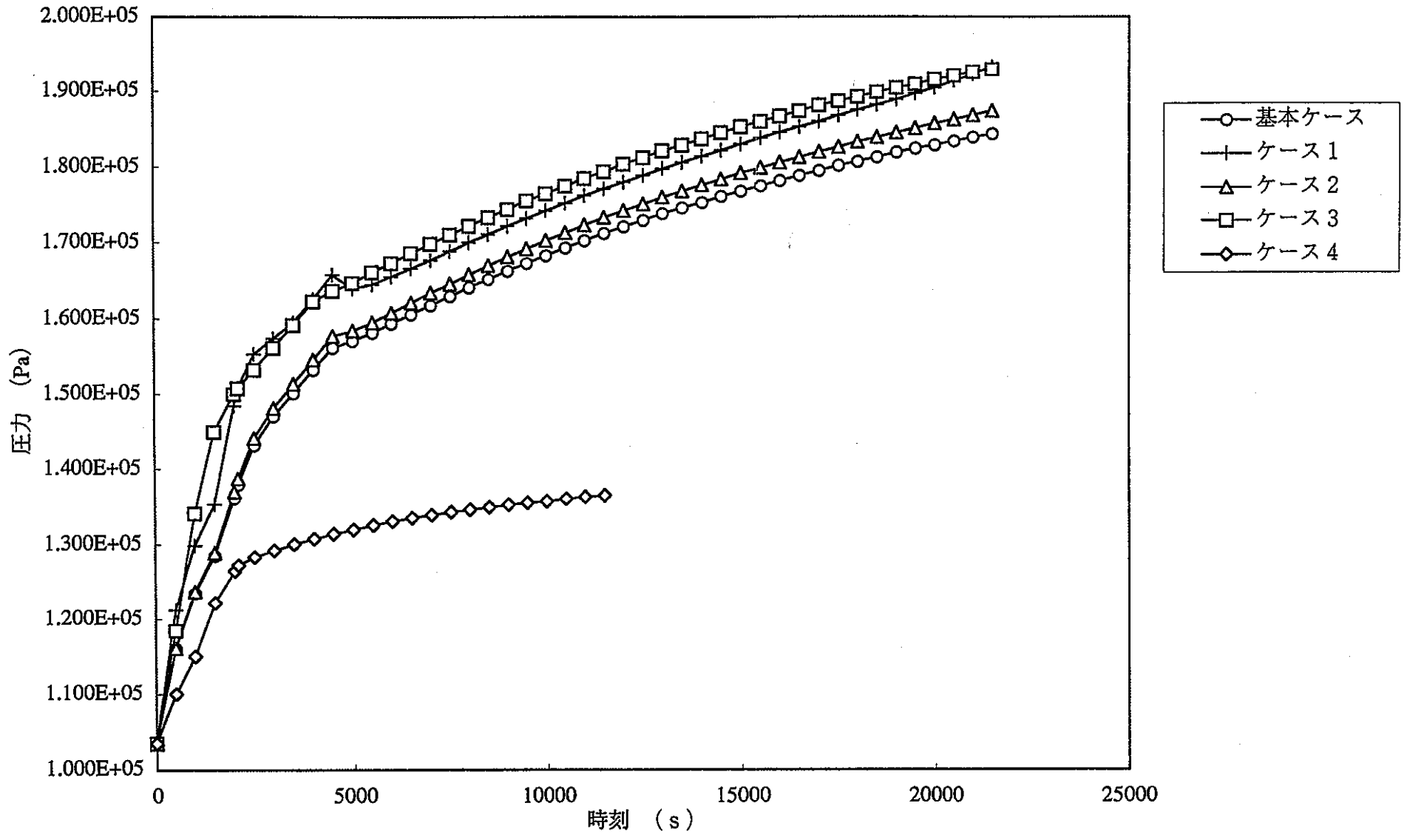


図3.3.23 圧力変化 (セル1)

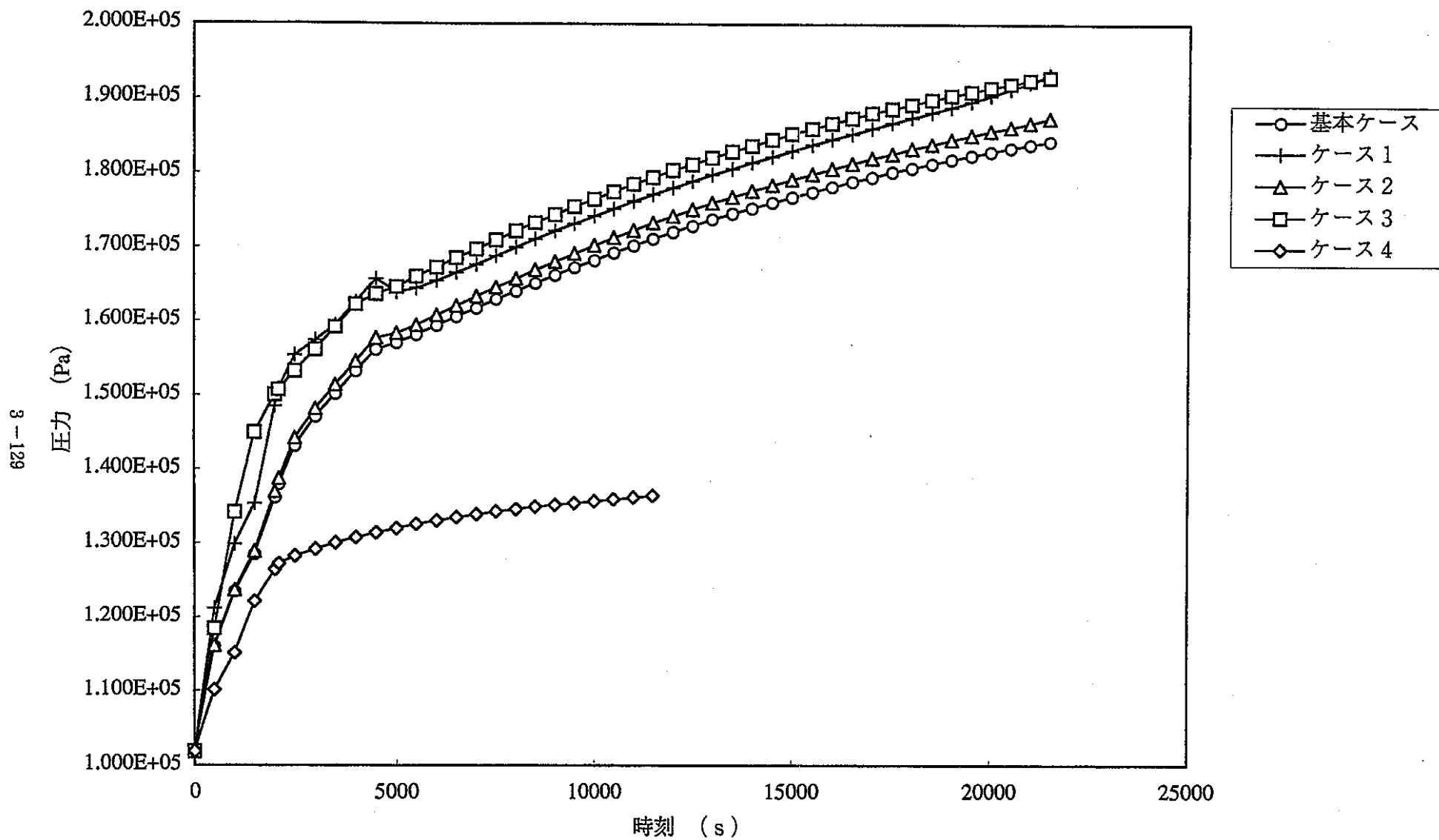


図3.3.24 圧力変化 (セル2)

3.3.7 エアロゾル発生量

パラメータケースのエアロゾル発生量を基本ケースと比較して表3.3.3～表3.3.6に示す。表3.3.3と表3.3.4に示されるように、ナトリウムプール初期温度を1073Kとしたケース1とナトリウムプール初期深さを5mとしたケース2のエアロゾル発生量は基本ケースとほぼ同じである。前述したように、ケース1ではナトリウムプールの温度上昇により、デブリとナトリウムプール間の温度差が減少するものの、それを補償するような形でデブリとナトリウムプール間の熱伝達率が増大し、その結果、ケース1のデブリからナトリウムプールへの伝熱量は基本ケースとほぼ同一になる。このため、ケース1のデブリ温度は基本ケースとほぼ同じであり、デブリからコンクリートへの伝熱量も基本ケースとほとんど変わらない。従って、ケース1のエアロゾル発生量は基本ケースとほぼ同じとなる。

表3.3.5に示されるように、デブリ初期温度を2773Kとしたケース3の6時間後のエアロゾル発生量は基本ケースのおよそ1.7倍となる。また、表3.3.6に示されるように、崩壊熱を半分としたケース3の11500秒後のエアロゾル発生量は基本ケースのおよそ0.37倍となる。

表 3.3.3 エアロゾル発生量の比較 (基本ケースとケース1)

エアロゾル	エアロゾル 発生量 (kg)		比率 = $\frac{\text{②}}{\text{①}}$	マッピングさせる CONTAINのFP
	基本ケース ①	ケース1 ②		
Fe	0.5409	0.5382	0.9950	—
Cr2O3	0.7685	0.7645	0.9948	—
Ni	1.5666	1.5589	0.9951	—
Mo	4.119E-04	4.087E-04	0.9923	Mo, Co
Ru	1.061E-06	1.052E-06	0.9920	Ru, Rh, Tc
Sn	8.789E-03	8.756E-03	0.9962	Sn, In
Sb	1.014E-04	1.012E-04	0.9979	Sb
Te	0.7195	0.7184	0.9984	Te
Ag	0.0587	0.0585	0.9968	Ag, Cd
Mn	35.9668	35.9271	0.9989	—
CaO	0.2043	0.2034	0.9959	—
Al2O3	0.0111	0.0111	0.9981	—
Na2O	6.7821	6.7702	0.9982	—
K2O	46.8711	46.8121	0.9987	—
SiO2	21.9766	21.9222	0.9975	—
UO2	4.4924	4.4708	0.9952	—
ZrO2	3.422E-04	3.421E-04	0.9995	Zr
Cs2O	87.5421	87.5416	1.0000	Cs, Rb
BaO	0.1185	0.1182	0.9975	Ba
SrO	0.0112	0.0111	0.9980	Sr
La2O3	0.0177	0.0176	0.9942	La, Pr, Nd, Y
CeO2	1.4959	1.4864	0.9936	Ce, Pu, Np, Am, Cm
Nb2O5	0.0112	0.0111	0.9956	Nb
CsI	15.3782	15.3782	1.0000	I, Cs, Rb, Br
合計	224.5430	224.3290	0.9990	

表 3.3.4 エアロゾル発生量の比較 (基本ケースとケース2)

エアロゾル	エアロゾル 発生量 (kg)		比率 = $\frac{\text{②}}{\text{①}}$	マッピングさせる CONTAINのFP
	基本ケース ①	ケース1 ②		
Fe	0.5409	0.5408	0.9998	—
Cr2O3	0.7685	0.7684	0.9998	—
Ni	1.5666	1.5664	0.9999	—
Mo	4.119E-04	4.118E-04	0.9998	Mo, Co
Ru	1.061E-06	1.060E-06	0.9998	Ru, Rh, Tc
Sn	8.789E-03	8.788E-03	0.9999	Sn, In
Sb	1.014E-04	1.014E-04	1.0004	Sb
Te	0.7195	0.7195	0.9999	Te
Ag	0.0587	0.0587	0.9999	Ag, Cd
Mn	35.9668	35.9651	1.0000	—
CaO	0.2043	0.2042	0.9999	—
Al2O3	0.0111	0.0111	0.9999	—
Na2O	6.7821	6.7816	0.9999	—
K2O	46.8711	46.8681	0.9999	—
SiO2	21.9766	21.9749	0.9999	—
UO2	4.4924	4.4919	0.9999	—
ZrO2	3.422E-04	3.422E-04	1.0000	Zr
Cs2O	87.5421	87.5421	1.0000	Cs, Rb
BaO	0.1185	0.1184	0.9999	Ba
SrO	0.0112	0.0112	0.9999	Sr
La2O3	0.0177	0.0177	0.9999	La, Pr, Nd, Y
CeO2	1.4959	1.4956	0.9998	Ce, Pu, Np, Am, Cm
Nb2O5	0.0112	0.0112	0.9999	Nb
CsI	15.3782	15.3782	1.0000	I, Cs, Rb, Br
合計	224.5430	224.5350	1.0000	

表 3.3.5 エアロゾル発生量の比較 (基本ケースとケース3)

エアロゾル	エアロゾル 発生量 (kg)		比率 = $\frac{\text{②}}{\text{①}}$	マッピングさせる CONTAINのFP
	基本ケース ①	ケース1 ②		
Fe	0.5409	2.9461	5.4471	—
Cr2O3	0.7685	4.5680	5.9439	—
Ni	1.5666	11.8105	7.5389	—
Mo	4.119E-04	9.513E-03	23.0969	Mo、Co
Ru	1.061E-06	3.669E-05	34.5971	Ru、Rh、Tc
Sn	8.789E-03	4.115E-02	4.6823	Sn、In
Sb	1.014E-04	3.014E-04	2.9724	Sb
Te	0.7195	1.3169	1.8303	Te
Ag	0.0587	0.2096	3.5707	Ag、Cd
Mn	35.9668	59.0080	1.6406	—
CaO	0.2043	0.7713	3.7757	—
Al2O3	0.0111	0.0328	2.9522	—
Na2O	6.7821	12.4908	1.8417	—
K2O	46.8711	69.3743	1.4801	—
SiO2	21.9766	44.7388	2.0357	—
UO2	4.4924	42.5126	9.4632	—
ZrO2	3.422E-04	4.372E-04	1.2774	Zr
Cs2O	87.5421	88.0014	1.0052	Cs、Rb
BaO	0.1185	0.4119	3.4772	Ba
SrO	0.0112	0.0447	4.0011	Sr
La2O3	0.0177	0.5344	30.1904	La、Pr、Nd、Y
CeO2	1.4959	28.1037	18.7877	Ce、Pu、Np、Am、Cm
Nb2O5	0.0112	0.1868	16.7113	Nb
CsI	15.3782	15.8360	1.0298	I、Cs、Rb、Br
合計	224.5430	382.9500	1.7055	

表 3.3.6 エアロゾル発生量の比較（基本ケースとケース4）11500秒後

エアロゾル	エアロゾル 発生量 (kg)		比率 = $\frac{\text{②}}{\text{①}}$	マッピングさせる CONTAINのFP
	基本ケース ①	ケース1 ②		
Fe	0.5405	0.0332	0.0615	—
Cr2O3	0.7679	0.0449	0.0584	—
Ni	1.5665	0.0912	0.0582	—
Mo	4.1188E-04	6.7192E-06	0.0163	Mo、Co
Ru	1.0605E-06	1.9142E-08	0.0180	Ru、Rh、Tc
Sn	8.7770E-03	8.8989E-04	0.1014	Sn、In
Sb	1.0097E-04	1.8744E-05	0.1856	Sb
Te	0.7076	0.2090	0.2954	Te
Ag	5.8663E-02	7.4176E-03	0.1264	Ag、Cd
Mn	35.8655	8.8104	0.2457	—
CaO	0.2031	0.0227	0.1117	—
Al2O3	1.0143E-02	3.8870E-03	0.3832	—
Na2O	6.6403	1.9732	0.2972	—
K2O	44.5172	17.0994	0.3841	—
SiO2	21.9649	1.1870	0.0540	—
UO2	4.4840	0.3046	0.0679	—
ZrO2	3.3055E-04	1.5019E-04	0.4544	Zr
Cs2O	87.5421	43.7631	0.4999	Cs、Rb
BaO	0.1183	0.0211	0.1785	Ba
SrO	1.1158E-02	2.6925E-03	0.2413	Sr
La2O3	1.7678E-02	1.5876E-03	0.0898	La、Pr、Nd、Y
CeO2	1.4955	0.0571	0.0382	Ce、Pu、Np、Am、Cm
Nb2O5	1.1175E-02	1.5802E-03	0.1414	Nb
CsI	15.3782	7.6259	0.4959	I、Cs、Rb、Br
合計	221.9101	81.2610	0.3662	

3.3.8 FP発生割合

各ケースのFP発生割合(=発生質量/初期にデブリに含まれる量)を基本ケースと比較して図3.3.25~図3.3.26に示す。各ケースともに、希ガス、ハロゲン及びアルカリ金属のFP発生割合はほぼ1.0である。デブリ初期温度を2773Kとしたケース3の6時間後のFP発生割合の基本ケースに対する比は次のとおりである。

	基本ケース	ケース3	ケース3/基本ケース
テルル・アンチモン	4.95×10^{-2}	9.17×10^{-2}	1.85
アルカリ土類	1.14×10^{-3}	4.33×10^{-3}	3.79
遷移族	3.71×10^{-5}	1.33×10^{-4}	3.58
ランタノイド	8.10×10^{-4}	1.45×10^{-2}	17.9
燃料	5.99×10^{-4}	1.13×10^{-2}	18.9

また、崩壊熱を半分としたケース4の11500秒後のFP発生割合の基本ケースに対する比は次のとおりである。

	基本ケース	ケース3	ケース3/基本ケース
テルル・アンチモン	4.87×10^{-2}	2.86×10^{-2}	0.59
アルカリ土類	1.14×10^{-3}	4.96×10^{-4}	0.44
遷移族	3.71×10^{-5}	9.38×10^{-6}	0.25
ランタノイド	8.10×10^{-4}	1.48×10^{-4}	0.18
燃料	5.99×10^{-4}	4.58×10^{-5}	0.08

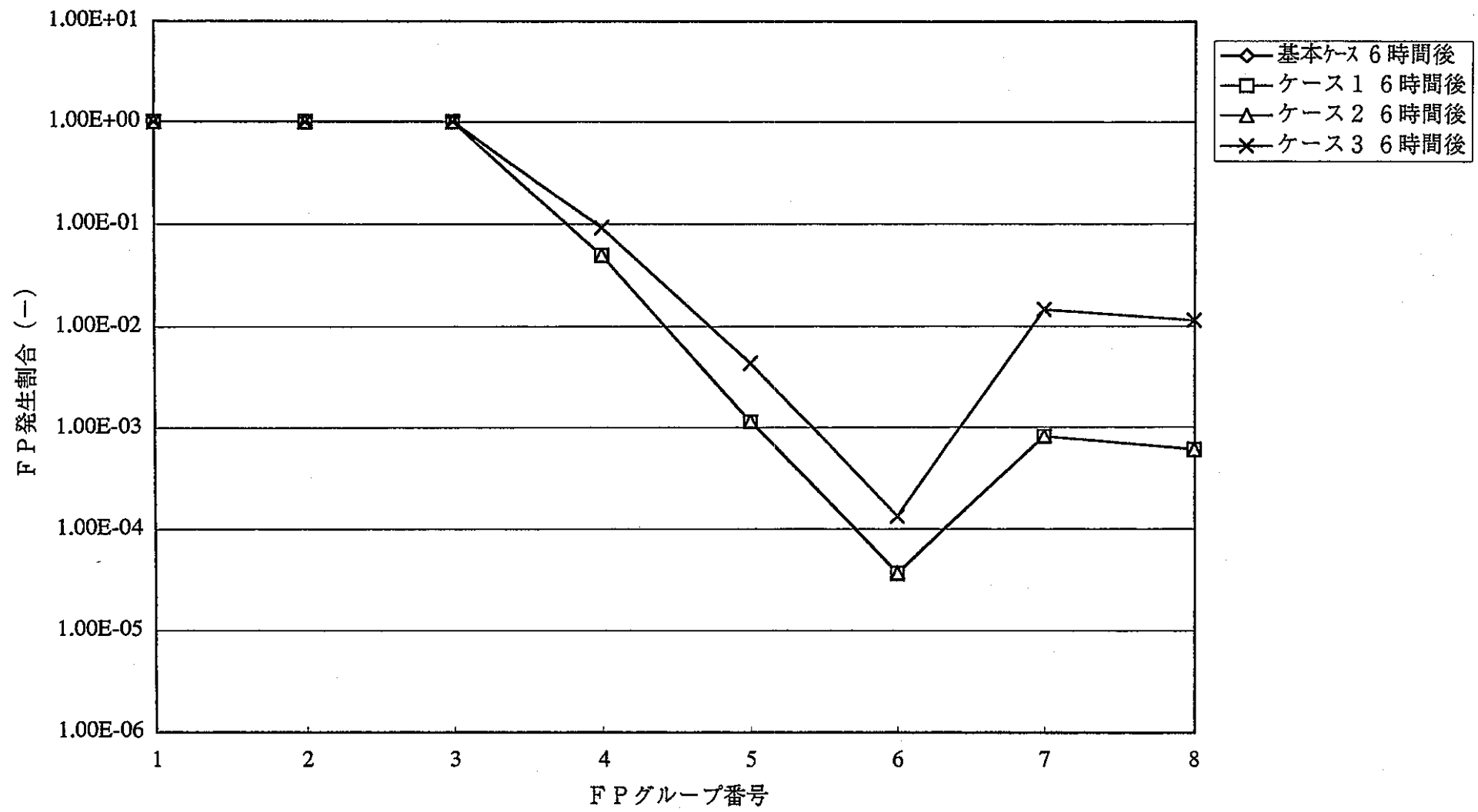


図3.3.25 FP発生割合 (基本ケース~ケース3)

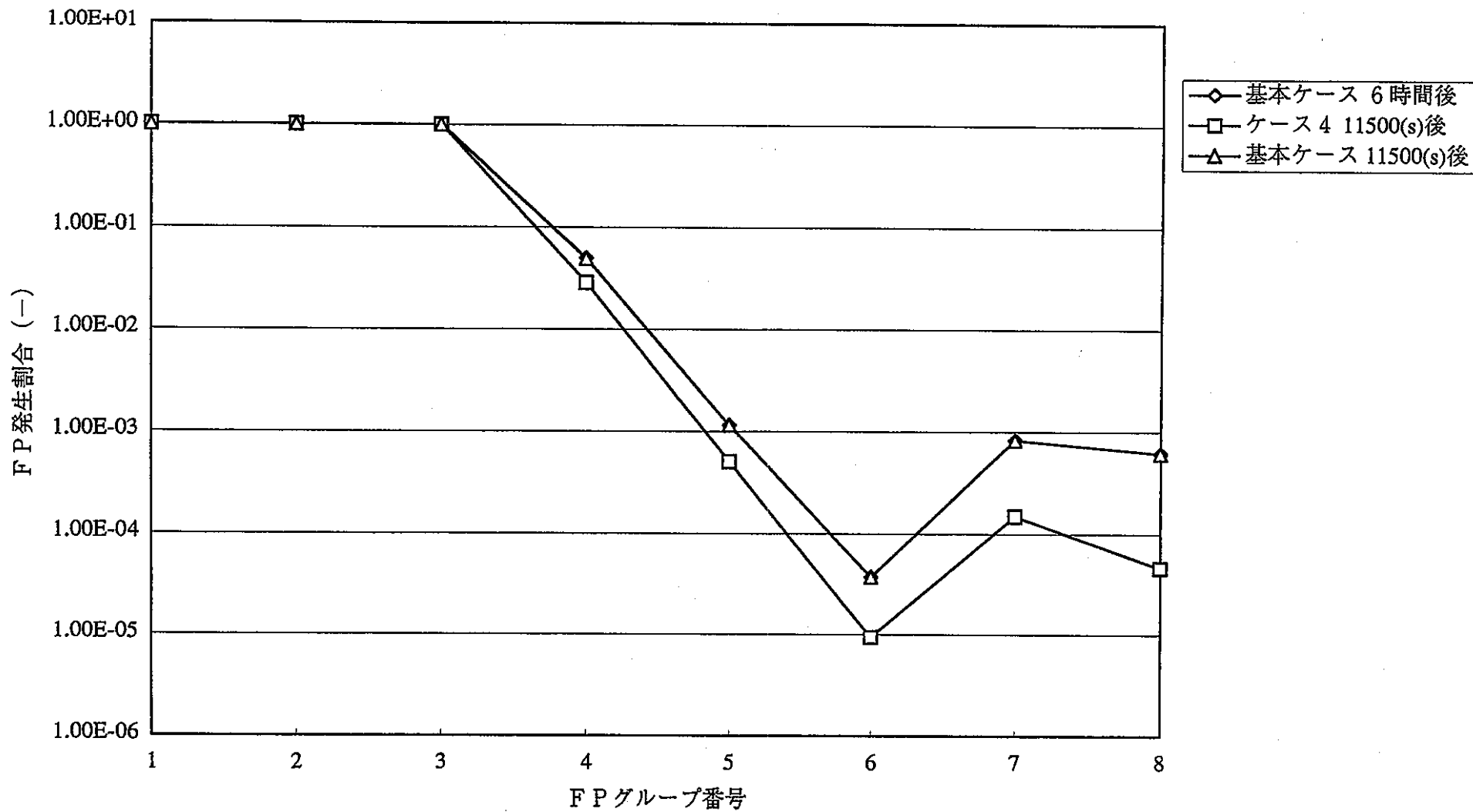


図3.3.26 FP発生割合 (基本ケースとケース4)

3.3.9 ナトリウムプールでのFP除去割合

10mのプール深さがある場合には、ナトリウムプール温度あるいはデブリ温度の違いによらずデブリ-コンクリート相互作用により発生したFPの99.92～99.98%がナトリウムプールで除去される。また、ナトリウムプールの初期深さを5mとしたケース2の場合は、発生したFPの98.62～99.11%がナトリウムプールで除去される。ケース2のFP除去割合を基本ケースと比較して図3.3.27に示す。

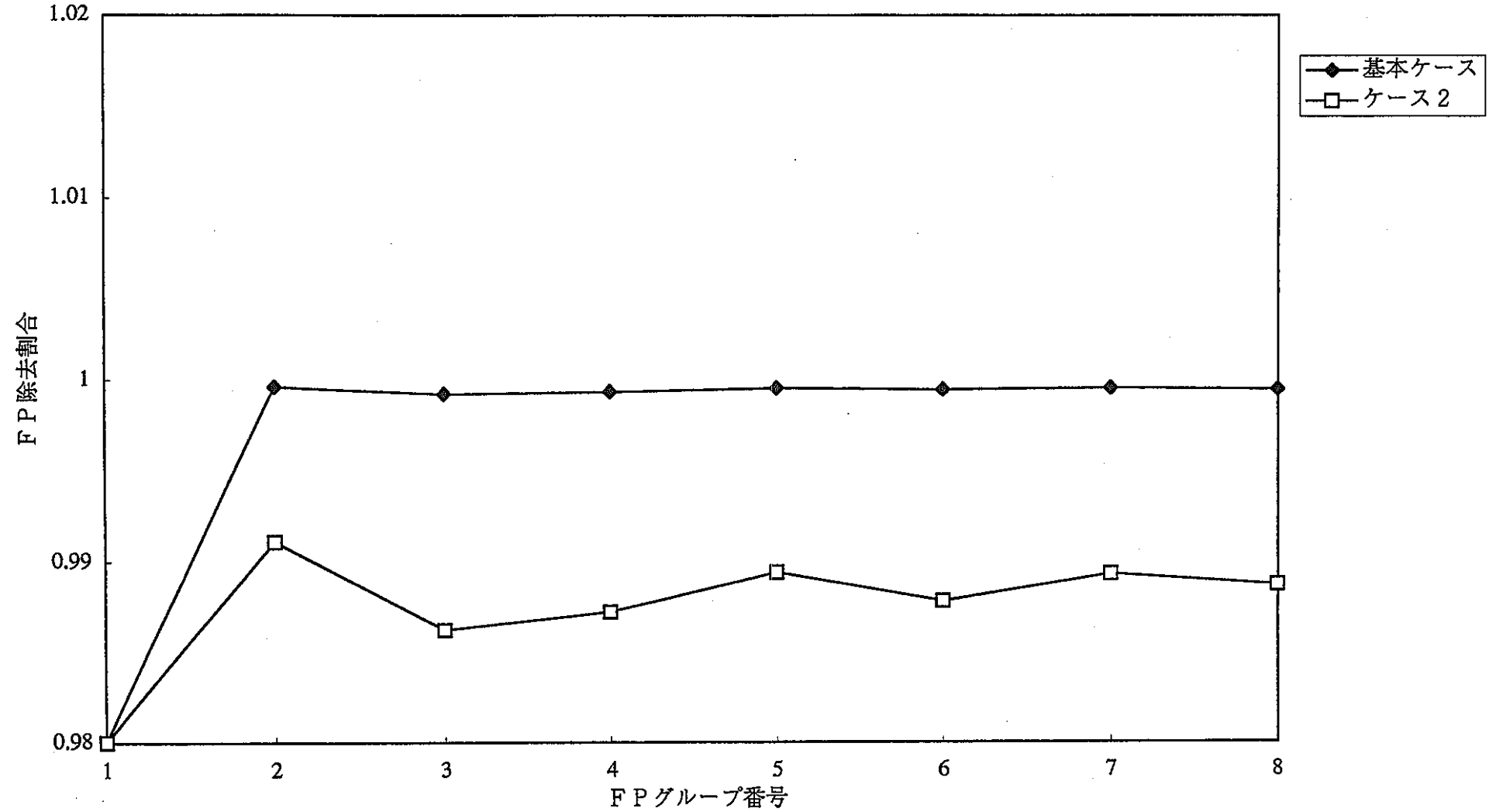


図3.3.27 NaプールでのFP除去割合

4 プログラムの調査

本章では、CORCONでモデルによるデブリ-コンクリート相互作用の結果発生した気体のVANESAへの受け渡しとこれらの気体とデブリ金属層及び酸化物層との化学反応について記す。

4.1 CORCONで発生した気体のVANESAへの受け渡し

CORCONモデルでは、デブリ-コンクリート相互作用の結果、4種類の気体 (CO 、 CO_2 、 H_2 、 H_2O) が発生する。VANESAモデルは、CORCONモデルで計算されるこれらの気体の発生流量を受け取り、気体とデブリ金属層及び酸化物層との化学反応を評価する。CORCONモデルからVANESAモデルへの気体流量の受け渡し方法を以下に記す。

4.1.1 気体流量の単位変換

CORCONモデルで計算される CO 、 CO_2 、 H_2 、 H_2O の発生流量は質量流量 (kg/s) である。VANESAモデルでは、最初にこれを体積流量 (cm^3/s) に変換する。変換時の温度・圧力条件は次のとおりである。

温度 : 298.15 K
圧力 : 1気圧

4.1.2 VANESAで用いる CO_2 と H_2O のモル流量の計算

体積流量に変換された4種類の気体について、 CO と CO_2 及び H_2 と H_2O をそれぞれひとまとめとし、さらに流量単位を体積流量 (cm^3/s) からモル流量 (mol/s) に変換する。上記の処理をまとめると次のようになる。

CORCON kg/s	VANESA mol/s
CO 、 CO_2	CO_2
H_2 、 H_2O	H_2O

4.1.3 該当サブルーチン

上記一連の処理はサブルーチンCVGASで行われる。

4.2 気体とデブリ金属層の化学反応

VANESAモデルでは、デブリの層として金属層と酸化物層の2つを考え、常に金属層が酸化物層の下にあると想定する。従って、デブリ-コンクリート相互作用により発生した CO_2 と H_2O は、最初にデブリの金属層と化学反応を起こす。ただし、現状のVANESAモデルでは、 H_2O または H_2 デブリ金属層の化学反応のみが評価され、 CO_2 とデブリ金属層の化学反応(*coking*及び*decarbonization*)は考慮されていない。ここで、気体とデブリ金属層の化学反応は次の2ステップのプロセスで評価される。

第1ステップ：気体とデブリ中の Zr 、 Fe 、 Cr 、 Ni の化学反応

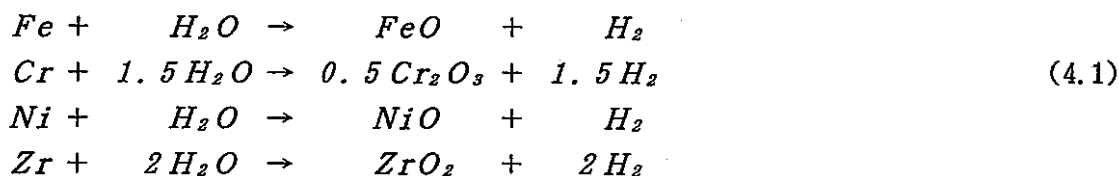
第2ステップ：気体とデブリ中の Sn 、 Mo 、 Sb 、 Te 、 Ag 、 Ni 、 Ru 、 Mn の化学反応

気体とデブリ金属層の化学反応の第1ステップでは、デブリ金属層は Zr 、 Fe 、 Cr 、 Ni と不活性金属から構成されると仮定され、デブリ-コンクリート相互作用の結果発生した H_2O はデブリ金属層中の Zr 、 Fe 、 Cr 及び Ni とのみ化学反応を起こす。この化学反応により、 Zr 、 Fe 、 Cr 及び Ni の酸化物が生成され、同時に H_2O は還元されて H_2 が発生する。また、第1ステップでは、気体の熱分解と気体と気体の化学反応も評価され、これにより、 H_2 、 CO 、 H 、 OH 、 O_2 及び O の各気体が発生する。

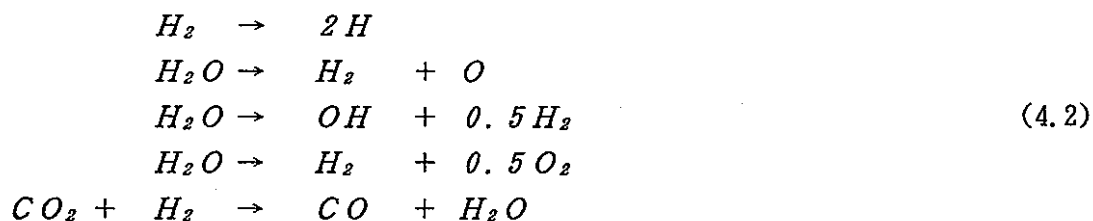
気体とデブリ金属層の化学反応の第2ステップでは、気体とデブリ金属層中の Sn 、 Mo 、 Sb 、 Te 、 Ag 、 Ni 、 Ru 及び Mn との化学反応が評価される。第2ステップでは、第1ステップでの化学反応後の気体流量が用いられる。これらの2つのステップの気体とデブリ金属層の化学反応の種類と解法について以下に示す。

4.2.1 第1ステップの化学反応式

第1ステップの気体とデブリ金属層の化学反応で評価される化学反応式を(4.1)式に示す。



前述のように、評価される化学反応は、 H_2O と Zr 、 Fe 、 Cr 及び Ni の化学反応のみであり、 CO_2 とデブリ金属層の化学反応は考慮されない。また、(4.1)式の化学反応の他に(4.2)式に示す気体の熱分解と気体と気体の化学反応が評価される。



以上の9つの化学反応式はギブスの自由エネルギーの最小性を用いて同時に解かれる。

4.2.2 第1ステップの解法

VANESAでは、第1ステップの気体とデブリ金属の化学反応の解法において、化学反応に一定の優先順序を設けるモデルは採用しておらず、(4.1)と(4.2)式で示した9つの化学反応式を繰り返し計算により同時に解く。ただし、繰り返し計算の初期値は、デブリ金属層の成分に従いより適切な値が設定される。以下、初期値の設定方法と化学反応式の解法について示す。

4.2.2.1 初期値の設定

繰り返し計算を開始するにあたり、次の4つの量の初期値を設定する。

$$p(H_2)/p(H_2O)、p(H_2)、M(oxide)、M(gas)$$

ここで、

- $p(H_2)$: H_2 の分圧
- $p(H_2O)$: H_2O の分圧
- $M(oxide)$: 気体と金属の化学反応により生成される金属酸化物量 (mol)
- $M(gas)$: 気体と金属の化学反応後に存在する全気体の量 (mol)

これらの量の初期値はデブリ金属層成分の内容により表4.1のように設定される。

表4.2.1 繰り返し計算の初期値設定

金属層成分の有無				$p(H_2)$	$p(H_2)$	M(oxide)	M(gas)
Ni	Fe	Cr	Zr	$p(H_2O)$			
○	×	×	×	0.1	$0.1 \times P14$	P13	$P13/10$
○	○	×	×	1.0	$0.9 \times P14$		P13
○	○	○	×	10.0	$0.99 \times P14$		$0.7 \times P13$
○	○	○	○	10000.	$1.0 \times P14$		$P13/2$

ただし、P13とP14は次式で求められる。

$$P14 = \frac{M^{\circ}(H_2O)}{M^{\circ}(CO_2) + M^{\circ}(H_2O)}$$

$$P13 = M^{\circ}(CO_2) + M^{\circ}(H_2O)$$

ここで、

$M^{\circ}(\text{H}_2\text{O})$: デブリ-コンクリート相互作用により発生した H_2O の量 (mol)

$M^{\circ}(\text{CO}_2)$: デブリ-コンクリート相互作用により発生した CO_2 の量 (mol)

表 4.1 から、金属層中の Zr が一番酸化され易く、ついで、 $\text{Cr} \rightarrow \text{Fe} \rightarrow \text{Ni}$ の順に酸化され易いと想定して初期値を設定していることがわかる。

4.2.2.2 繰り返し計算

(1) 酸化物生成の化学反応式

あるタイムステップにおいて、デブリ-コンクリート相互作用によりコンクリートから発生する CO_2 と H_2O のモル質量をそれぞれ $M^{\circ}(\text{CO}_2)$ と $M^{\circ}(\text{H}_2\text{O})$ とする。デブリ金属層には、タイムステップ開始時点でそれぞれ $M^{\circ}(\text{Zr})$ 、 $M^{\circ}(\text{Cr})$ 、 $M^{\circ}(\text{Fe})$ 、 $M^{\circ}(\text{Ni})$ 及び $M^{\circ}(\text{inert})$ の Zr 、 Fe 、 Cr 、 Ni 及び不活性金属が含まれるものとする。この場合、平衡状態において化学反応の結果生成される酸化物のモル分率、分圧及びギブスの自由エネルギーの関係は次のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{Y(\text{FeO}) \cdot p(\text{H}_2)}{X(\text{Fe}) \cdot p(\text{H}_2\text{O})} &= \exp\left(-\frac{\Delta G_1}{RT}\right) \\ \frac{Y(\text{CrO}_{1.5}) \cdot p(\text{H}_2)^{1.5}}{X(\text{Cr}) \cdot p(\text{H}_2\text{O})^{1.5}} &= \exp\left(-\frac{\Delta G_2}{RT}\right) \\ \frac{Y(\text{NiO}) \cdot p(\text{H}_2)}{X(\text{Ni}) \cdot p(\text{H}_2\text{O})} &= \exp\left(-\frac{\Delta G_3}{RT}\right) \\ \frac{Y(\text{ZrO}_2) \cdot p(\text{H}_2)^2}{X(\text{Zr}) \cdot p(\text{H}_2\text{O})^2} &= \exp\left(-\frac{\Delta G_4}{RT}\right) \end{aligned} \quad (4.3)$$

ここで、 $Y(\text{FeO})$ 、 $Y(\text{CrO}_{1.5})$ 、 $Y(\text{NiO})$ 、 $Y(\text{ZrO}_2)$ はそれぞれの成分の酸化物層中のモル分率を、また、 $X(\text{Fe})$ 、 $X(\text{Cr})$ 、 $X(\text{Ni})$ 、 $X(\text{Zr})$ はそれぞれの成分の金属層中のモル分率を表す。 $p(\text{H}_2)$ と $p(\text{H}_2\text{O})$ は H_2 と H_2O ガスの分圧である。 $\Delta G_1 \sim \Delta G_4$ は化学反応における自由エネルギーの変化分であり次式で求められる。

$$\begin{aligned} \Delta G_1 &= \Delta G_f[\text{FeO}(\text{c})] + \Delta G_f[\text{H}_2(\text{g})] - \Delta G_f[\text{Fe}(\text{c})] - \Delta G_f[\text{H}_2\text{O}(\text{g})] \\ \Delta G_2 &= \Delta G_f[\text{CrO}_{1.5}(\text{c})] + 1.5 \Delta G_f[\text{H}_2(\text{g})] - \Delta G_f[\text{Cr}(\text{c})] - 1.5 \Delta G_f[\text{H}_2\text{O}(\text{g})] \\ \Delta G_3 &= \Delta G_f[\text{NiO}(\text{c})] + \Delta G_f[\text{H}_2(\text{g})] - \Delta G_f[\text{Ni}(\text{c})] - \Delta G_f[\text{H}_2\text{O}(\text{g})] \\ \Delta G_4 &= \Delta G_f[\text{ZrO}(\text{c})] + \Delta G_f[2\text{H}_2(\text{g})] - \Delta G_f[\text{Zr}(\text{c})] - \Delta G_f[2\text{H}_2\text{O}(\text{g})] \end{aligned} \quad (4.4)$$

(4.4)式右辺の ΔG_f は核種を形成するための自由エネルギーである。VANESAには ΔG_f を計算するためのテーブルデータがデブリ温度 (CORCON から受け取る) の一次関数の形式にまとめられている。従って、(4.4)式により $\Delta G_1 \sim \Delta G_4$ が計算され、(4.3)式の右辺が求められる。さらに(4.3)式の左辺の $p(\text{H}_2)/p(\text{H}_2\text{O})$ の値は、初期値で与えてあるので、(4.3)

式を解くことにより、

$$\frac{Y(\text{FeO})}{X(\text{Fe})}、\quad \frac{Y(\text{CrO}_{1.5})}{X(\text{Cr})}、\quad \frac{Y(\text{NiO})}{X(\text{Ni})}、\quad \frac{Y(\text{ZrO}_2)}{X(\text{Zr})}$$

がそれぞれ求まる。

次に、(4.3)式による化学反応の前後での金属成分の質量バランス式を考える。

$$\begin{aligned} M^0(\text{Fe}) &= X(\text{Fe}) \cdot M(\text{metp}) + Y(\text{FeO}) \cdot M(\text{oxide}) \\ M^0(\text{Cr}) &= X(\text{Cr}) \cdot M(\text{metp}) + Y(\text{CrO}_{1.5}) \cdot M(\text{oxide}) \\ M^0(\text{Ni}) &= X(\text{Ni}) \cdot M(\text{metp}) + Y(\text{NiO}) \cdot M(\text{oxide}) \\ M^0(\text{Zr}) &= X(\text{Zr}) \cdot M(\text{metp}) + Y(\text{ZrO}_2) \cdot M(\text{oxide}) \end{aligned} \quad (4.5)$$

ここで、

$M^0(\text{Fe})$: 化学反応前の <i>Fe</i> の質量	(mol)
$M^0(\text{Cr})$: 化学反応前の <i>Cr</i> の質量	(mol)
$M^0(\text{Ni})$: 化学反応前の <i>Ni</i> の質量	(mol)
$M^0(\text{Zr})$: 化学反応前の <i>Zr</i> の質量	(mol)
$X(\text{Fe})$: 化学反応後の <i>Fe</i> の金属層中のモル分率	(-)
$X(\text{Cr})$: 化学反応後の <i>Cr</i> の金属層中のモル分率	(-)
$X(\text{Ni})$: 化学反応後の <i>Ni</i> の金属層中のモル分率	(-)
$X(\text{Zr})$: 化学反応後の <i>Zr</i> の金属層中のモル分率	(-)
$M(\text{metp})$: 化学反応後の金属層質量	(mol)
$Y(\text{FeO})$: 化学反応により生成する酸化物層中の <i>FeO</i> のモル分率	(-)
$Y(\text{CrO}_{1.5})$: 化学反応により生成する酸化物層中の <i>CrO_{1.5}</i> のモル分率	(-)
$Y(\text{NiO})$: 化学反応により生成する酸化物層中の <i>NiO</i> のモル分率	(-)
$Y(\text{ZrO}_2)$: 化学反応により生成する酸化物層中の <i>ZrO₂</i> のモル分率	(-)
$M(\text{oxide})$: 化学反応により生成する酸化物層質量	(mol)

(4.5)式の *Fe* の質量バランスに関する式から $Y(\text{FeO})$ について解くことを考える。最初に、(4.4)式の化学反応式において、酸化により減少する金属層モル数と生成される酸化物層モル数は等しいので、化学反応後の金属層のモル数 $M(\text{metp})$ を $M^0(\text{metp}) - M(\text{oxide})$ で置き換えることができる。すなわち、(4.5)式は次のように書ける。

$$M^0(\text{Fe}) = X(\text{Fe}) \cdot \{M^0(\text{metp}) - M(\text{oxide})\} + Y(\text{FeO}) \cdot M(\text{oxide}) \quad (4.6)$$

ここで、 $M^0(\text{metp})$ は化学反応前の金属層モル数(mol)である。(4.6)式の両辺を $X(\text{Fe})$ で割り、さらに逆数をとると次式となる。

$$\frac{X(\text{Fe})}{M^0(\text{Fe})} = \frac{1}{M^0(\text{metp}) + M(\text{oxide}) \frac{Y(\text{FeO})}{X(\text{Fe})} - 1.0} \quad (4.7)$$

(4.7)式をさらに変形して

$$Y(\text{FeO}) \frac{X(\text{Fe})}{Y(\text{FeO})} = \frac{M^0(\text{Fe})}{M^0(\text{metp}) + M(\text{oxide}) \frac{Y(\text{FeO})}{X(\text{Fe})} - 1.0} \quad (4.8)$$

(4.8)式を $Y(\text{FeO})$ について解くと(4.9)式が得られる。

$$Y(\text{FeO}) = \frac{M^0(\text{Fe}) \cdot \frac{X(\text{Fe})}{Y(\text{FeO})}}{M^0(\text{metp}) + M(\text{oxide}) \frac{Y(\text{FeO})}{X(\text{Fe})} - 1.0} \quad (4.9)$$

ここで、 $X(\text{Fe})/Y(\text{FeO})$ は(4.3)式から求まる。また、 $M(\text{oxide})$ は初期値を設定しており、 $M^0(\text{Fe})$ と $M^0(\text{metp})$ は化学反応前の値であり既知である。従って、(4.9)式から、化学反応後の FeO の金属層中のモル分率 $Y(\text{FeO})$ が計算される。同様に、 $Y(\text{CrO}_{1.5})$ 、 $Y(\text{NiO})$ 及び $Y(\text{ZrO}_2)$ が計算される。

以上のようにして $Y(\text{FeO})$ 、 $Y(\text{CrO}_{1.5})$ 、 $Y(\text{NiO})$ 、 $Y(\text{ZrO}_2)$ が求められるが、この段階で生成される酸化物はこの4種類のみであるから、生成された全酸化物に対するこれらの酸化物のモル分率の合計は1.0でなければならない。すなわち、次式が成り立つ必要がある。

$$Y(\text{FeO}) + Y(\text{CrO}_{1.5}) + Y(\text{NiO}) + Y(\text{ZrO}_2) = 1.0 \quad (4.10)$$

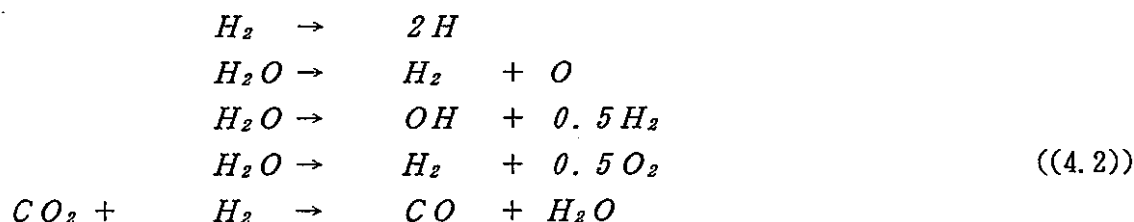
ここで、本計算では、(4.3)~(4.9)式を解くに際して、 $p(\text{H}_2)/p(\text{H}_2\text{O})$ と $M(\text{oxide})$ を初期値として与えているので、必ずしも(4.10)式を満足していない。そこで、(4.9)式から求められた $Y(\text{FeO})$ 、 $Y(\text{CrO}_{1.5})$ 、 $Y(\text{NiO})$ 及び $Y(\text{ZrO}_2)$ を用いて、 $p(\text{H}_2)/p(\text{H}_2\text{O})$ の値を(4.11)式より修正する。

$$\frac{p(\text{H}_2)}{p(\text{H}_2\text{O})}_{\text{new}} = \frac{p(\text{H}_2)}{p(\text{H}_2\text{O})}_{\text{old}} \cdot \{Y(\text{FeO}) + Y(\text{CrO}_{1.5}) + Y(\text{NiO}) + Y(\text{ZrO}_2)\} \quad (4.11)$$

ここで、添え字の old は修正前を new は修正後をそれぞれ意味する。

(2) 気体生成の化学反応式

次に H_2O と Zr 、 Fe 、 Cr 及び Ni との化学反応の他に以下に示す気体と気体の化学反応を考える。考慮される化学反応は次のとおりである。



a. 気体中の H の分圧

気体中の H は次の化学反応により生成される。



平衡状態における H_2 と H の分圧及びギブスの自由エネルギーの関係は次のようになる。

$$\frac{p(H)^2}{p(H_2)} = \exp\left(-\frac{\Delta G_5}{RT}\right) \quad (4.13)$$

$$\Delta G_5 = \Delta G_f[H(g)] - \Delta G_f[H_2(g)] \quad (4.14)$$

ここで、 ΔG_5 は気体と金属の反応の場合と同様に V A N E S A コード内部のテーブルデータから温度の一次関数として計算される。また、 $p(H_2)$ は初期値が与えられているので(4.13)式から H の分圧 $p(H)$ が求められる。

b. 気体中の O の分圧

気体中の O は次の化学反応により生成される。



平衡状態における H_2O 、 H_2 及び O の各分圧とギブスの自由エネルギーの関係は次のようになる。

$$\frac{p(O) \cdot p(H_2)}{p(H_2O)} = \exp\left(-\frac{\Delta G_6}{RT}\right) \quad (4.16)$$

$$\Delta G_6 = \Delta G_f[O(g)] + \Delta G_f[H_2(g)] - \Delta G_f[H_2O(g)] \quad (4.17)$$

$p(H_2)/p(H_2O)$ は(4.11)式で与えられるので、(4.17)式から O の分圧 $p(O)$ が求められる。

c. 気体中の OH の分圧

気体中の OH は次の化学反応により生成される。



平衡状態における H_2O 、 OH 及び H_2 の各分圧とギブスの自由エネルギーの関係は次のようになる。

$$\frac{p(OH) \cdot p(H_2)^{0.5}}{p(H_2O)} = \exp\left(-\frac{\Delta G_7}{RT}\right) \quad (4.19)$$

$$\Delta G_7 = \Delta G_f[\text{OH}(\text{g})] + 0.5\Delta G_f[\text{H}_2(\text{g})] - \Delta G_f[\text{H}_2\text{O}(\text{g})] \quad (4.20)$$

ここで、(4.19)式の左辺は次のように変形できる。

$$\frac{p(\text{OH}) \cdot p(\text{H}_2)^{0.5}}{p(\text{H}_2\text{O})} = \frac{p(\text{OH}) \cdot p(\text{H}_2)}{p(\text{H}_2)^{0.5} \cdot p(\text{H}_2\text{O})} \quad (4.21)$$

$p(\text{H}_2)/p(\text{H}_2\text{O})$ は(4.11)式で、また $p(\text{H}_2)$ は初期値が与えられているので(4.19)式から OH の分圧 $p(\text{OH})$ が求められる。

d. 気体中の O_2 の分圧

気体中の O_2 は次の化学反応により生成される。



平衡状態における H_2O 、 O_2 及び H_2 の各分圧とギブスの自由エネルギーの関係は次のようになる。

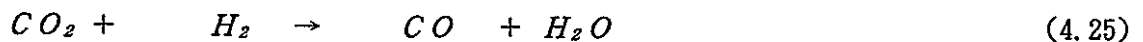
$$\frac{p(\text{H}_2) \cdot p(\text{O}_2)^{0.5}}{p(\text{H}_2\text{O})} = \exp\left(-\frac{\Delta G_8}{RT}\right) \quad (4.23)$$

$$\Delta G_8 = \Delta G_f[\text{H}_2(\text{g})] + 0.5\Delta G_f[\text{O}_2(\text{g})] - \Delta G_f[\text{H}_2\text{O}(\text{g})] \quad (4.24)$$

$p(\text{H}_2)/p(\text{H}_2\text{O})$ は(4.11)式で与えられているので、(4.23)式から O_2 の分圧 $p(\text{O}_2)$ が求められる。

e. 気体中の CO の分圧

気体中の CO は次の化学反応により生成される。



平衡状態における CO_2 、 H_2 、 CO 及び H_2O の各分圧とギブスの自由エネルギーの関係は次のようになる。

$$\frac{p(\text{H}_2\text{O}) \cdot p(\text{CO})}{p(\text{CO}_2) \cdot p(\text{H}_2)} = \exp\left(-\frac{\Delta G_9}{RT}\right) \quad (4.26)$$

$$\Delta G_9 = \Delta G_f[\text{CO}_2(\text{g})] + \Delta G_f[\text{H}_2\text{O}(\text{g})] - \Delta G_f[\text{CO}_2(\text{g})] - \Delta G_f[\text{H}_2(\text{g})] \quad (4.27)$$

$p(\text{H}_2)/p(\text{H}_2\text{O})$ は(4.11)式で与えられているので、(4.26)式から $p(\text{CO})/p(\text{CO}_2)$ が求められる。さらに、化学反応前後の炭素のバランス式は(4.28)式で表される。

$$M^{\circ}(\text{CO}_2) = \frac{M(\text{gas})}{\text{PVAR}} \{ p(\text{CO}) + p(\text{CO}_2) \} \quad (4.28)$$

ここで、

$M^{\circ}(\text{CO}_2)$:	化学反応前の CO_2 質量	(mol)
$M(\text{gas})$:	気体と金属の化学反応後に存在する全気体の量	(mol)
PVAR	:	気体の全圧 (= 1 気圧)	

(4.28)式の右辺を次式のように変形する。

$$M^{\circ}(\text{CO}_2) = \frac{M(\text{gas})}{\text{PVAR}} p(\text{CO}) + p(\text{CO}) \cdot \frac{p(\text{CO}_2)}{p(\text{CO})} \quad (4.29)$$

(4.29)式を $p(\text{CO})$ について整理すると(4.30)式を得る。

$$p(\text{CO}) = \frac{M^{\circ}(\text{CO}_2) \cdot \text{PVAR}}{M(\text{gas}) \frac{p(\text{CO}_2)}{p(\text{CO})} + 1.0} \quad (4.30)$$

ここで $p(\text{CO})/p(\text{CO}_2)$ は(4.26)式で求められ、 $M^{\circ}(\text{CO}_2)$ は化学反応前の CO_2 質量であり既知である。また、 $M(\text{gas})$ は初期値が設定されており、 PVAR は V A N E S A モデル内部で 1.0 に固定されているので(4.30)式から CO の分圧 $p(\text{CO})$ が求められる。

f. 気体中の CO_2 の分圧

気体中の CO_2 の分圧は、 $p(\text{CO})/p(\text{CO}_2)$ が(4.26)式により、 $p(\text{CO})$ が(4.30)式によりそれぞれ求められているので次式で計算される。

$$p(\text{CO}_2) = \frac{p(\text{CO}_2)}{p(\text{CO})} \cdot p(\text{CO}) \quad (4.31)$$

以上の計算により各気体の分圧が求められる。

4.2.3.3 初期値の更新

繰り返し計算の最初で仮定した値は次の4つである。

$$p(\text{H}_2)/p(\text{H}_2\text{O}), p(\text{H}_2), M(\text{oxide}), M(\text{gas})$$

これらのうち、 $p(\text{H}_2)/p(\text{H}_2\text{O})$ については(4.11)式により初期値を更新した。その他の3つの初期値の更新方法を以下に示す。

(1) 化学反応後の気体質量M(gas)の更新

化学反応前後での水素の質量バランス式は次のとおりである。

$$2 M^0(\text{H}_2\text{O}) = \frac{M(\text{gas})}{\text{PVAR}} \{ 2 p(\text{H}_2) + 2 p(\text{H}_2\text{O}) + p(\text{H}) + p(\text{OH}) \} \quad (4.32)$$

ここで、 $M^0(\text{H}_2\text{O})$ は化学反応前の H_2O のモル数である。さらに、PVARはプログラム内部で1.0に設定されており、また各分圧 $p(\text{H}_2\text{O})$ 、 $p(\text{OH})$ 、 $p(\text{H})$ 及び $p(\text{H}_2)$ はここまでの計算で求められているので(4.32)式を $M(\text{gas})$ について解いて $M(\text{gas})$ を更新する。

(2) 気体中の H_2 の分圧 $p(\text{H}_2)$ の更新

化学反応後の気体の全圧と各成分の分圧の関係は次のとおりである。

$$\begin{aligned} \text{PVAR} = & p(\text{H}_2) + p(\text{H}_2\text{O}) + p(\text{OH}) + p(\text{H}) + p(\text{O}_2) + p(\text{O}) \\ & + p(\text{CO}) + p(\text{CO}_2) \end{aligned} \quad (4.33)$$

ここで、(4.32)式と同様に、PVARはプログラム内部で1.0に設定されており、また各分圧 $p(\text{H}_2\text{O})$ 、 $p(\text{OH})$ 、 $p(\text{H})$ 、 $p(\text{O}_2)$ 、 $p(\text{O})$ 、 $p(\text{CO})$ 及び $p(\text{CO}_2)$ はここまでの計算で求められているので(4.33)式を $p(\text{H}_2)$ に関して解いて $p(\text{H}_2)$ を更新する。

(3) 生成される酸化物質質量M(oxide)の更新

化学反応前後での酸素の質量バランスは次のとおりである。

$$M^0(\text{H}_2\text{O}) + M^0(\text{CO}_2) = \frac{M(\text{gas})}{\text{PVAR}} \{ p(\text{OH}) + p(\text{H}_2\text{O}) + p(\text{O}) + 2 p(\text{O}_2) + p(\text{CO}) + 2 p(\text{CO}_2) \} \quad (4.34)$$

$$+ M(\text{oxide}) \{ 1.0 + 0.5 Y(\text{CrO}_{1.5}) + Y(\text{ZrO}_2) \}$$

(4.34)式から $M(\text{oxide})$ を求める。

以上の手順により、繰り返し計算の最初で仮定した4つの値

$$p(\text{H}_2) / p(\text{H}_2\text{O}), p(\text{H}_2), M(\text{oxide}), M(\text{gas})$$

が更新される。更新した値を繰り返し計算開始時の値と比較して、両者の誤差が収束判定条件内である場合には計算を終了する。収束に至っていない場合は、更新した値と繰り返し計算開始時の値の平均値を新たな初期値として、繰り返し計算を継続する。

4.2.3 酸化物生成量の計算

気体とデブリ金属層の化学反応の結果生成される酸化物については、酸化物生成量 $M(\text{oxide})$ と各酸化物のモル分率 $Y(\text{FeO})$ 、 $Y(\text{CrO}_{1.5})$ 、 $Y(\text{NiO})$ 及び $Y(\text{ZrO}_2)$ が計算されるのでこれより各酸化物の生成量が計算され、同時に化学反応後の金属層の質量が計算される。気体については、計算された各気体の分圧が各気体のモル数に比例するので、この関係から気体の量を計算する。これら一連の計算はサブルーチンSRGで計算される。ただし、一部の金属酸化物の生成量の計算はサブルーチンVANESA行われる。

4.2.4 第2ステップの化学反応式

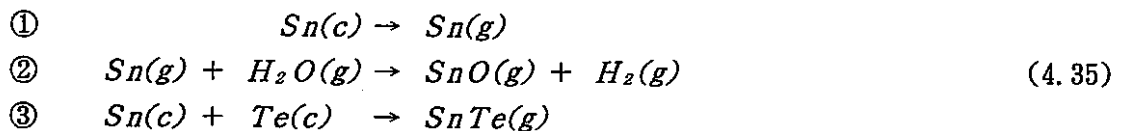
気体とデブリ金属層の化学反応の第2ステップでは次の化学反応が評価される。

- ① 気体と Sn , Mo , Sb , Te , Ag , Ni , Ru 及び Mn の化学反応
- ② 金属凝縮相の蒸発反応
- ③ 金属凝縮相と金属凝縮相の化学反応

化学反応の評価は Sn , Mo , Sb , Te , Ag , Ni , Ru , Mn の順番に行われ、第1ステップのように繰り返し計算で全体のバランス保って解くことは行われない。

4.2.4.1 Sn の化学反応

Sn の化学反応式は次の3つであり、①～③の順番に考慮される。

(1) Sn の蒸発

最初に、金属層中の凝縮相 Sn の蒸発を考える。化学反応式は次のとおりである。



(4.36)式の平衡状態での Sn の凝縮相モル分率、蒸気分圧とギブスの自由エネルギーの関係は次のようになる。

$$\frac{p [Sn(g)]}{X [Sn(c)]} = \exp \left(- \frac{\Delta G_{s.n.1}}{RT} \right) \tag{4.37}$$

ここで、

- $p [Sn(g)]$: Sn 蒸気分圧
- $X [Sn(c)]$: Sn 凝縮相の金属層中のモル分率
- $\Delta G_{s.n.1}$: 反応によるギブスの自由の変動分
- R : 気体定数
- T : 金属層温度

$\Delta G_{s.n.1}$ は次式で求められる。

$$\Delta G_{s.n.1} = \Delta G_f [Sn(g)] - \Delta G_f [Sn(c)] \tag{4.38}$$

(4.38)式の右辺の値は、CONTAINコード内のテーブルから金属層温度の一次式として求められる。また、 $X [Sn(c)]$ は次式で与えられる。

$$X [Sn(c)] = \frac{M^0 [Sn(c)]}{M (metp)} \tag{4.39}$$

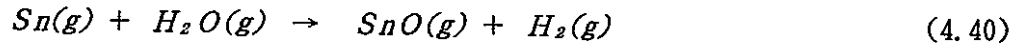
ここで、

$M^0 [\text{Sn}(c)]$: 化学反応前の Sn 凝縮相の質量 (mol)
 M (metp) : 気体と Fe , Cr , Ni , Zr の反応を考慮した後の金属層質量 (mol)

これらの値を用いて(4.38)式から Sn 蒸気分圧 $P [\text{Sn}(g)]$ を求めることができる。

(2) Sn 蒸気 H_2O との反応

Sn 蒸気と H_2O の化学反応式は次のとおりである。



Sn の蒸発反応の場合と同様に、(4.40)式の平衡状態での各気体の分圧とギブスの自由エネルギーの関係は次のようになる。

$$\frac{p [\text{SnO}(g)] \cdot p [\text{H}_2(g)]}{p [\text{Sn}(g)] \cdot p [\text{H}_2\text{O}(g)]} = \exp\left(-\frac{\Delta G_{s.n.2}}{RT}\right) \quad (4.41)$$

$$\begin{aligned} \Delta G_{s.n.2} = & \Delta G_f [\text{SnO}(g)] + \Delta G_f [\text{H}_2(g)] \\ & - \Delta G_f [\text{Sn}(g)] - \Delta G_f [\text{H}_2\text{O}(g)] \end{aligned} \quad (4.42)$$

ここで、 $p [\text{Sn}(g)]$ には(4.38)式から求めた値を、また $p [\text{H}_2(g)]$ と $p [\text{H}_2\text{O}(g)]$ には、第1段階の気体と Fe , Cr , Ni , Zr の反応で求めた値をそれぞれ適用する。 $\Delta G_{s.n.2}$ はテーブルから求められるので、これらの値を用いて(4.41)式から $p [\text{SnO}(g)]$ を計算する。

(3) Sn 凝縮相と Te 凝縮相の反応

Sn 凝縮相と Te 凝縮相の反応は次式で表される。



(4.43)式の平衡状態での凝縮相モル分率、気体分圧とギブスの自由エネルギーの関係は次のようになる。

$$\frac{p [\text{SnTe}(g)]}{X [\text{Sn}(c)] \cdot X [\text{Te}(c)]} = \exp\left(-\frac{\Delta G_{s.n.3}}{RT}\right) \quad (4.44)$$

$$\Delta G_{s.n.3} = \Delta G_f [\text{SnTe}(g)] - \Delta G_f [\text{Sn}(c)] - \Delta G_f [\text{Te}(c)] \quad (4.45)$$

$X [\text{Te}(c)]$ は次式で与えられる。

$$X [\text{Te}(c)] = \frac{M^0 [\text{Te}(c)]}{M (\text{metp})} \quad (4.46)$$

ここで、

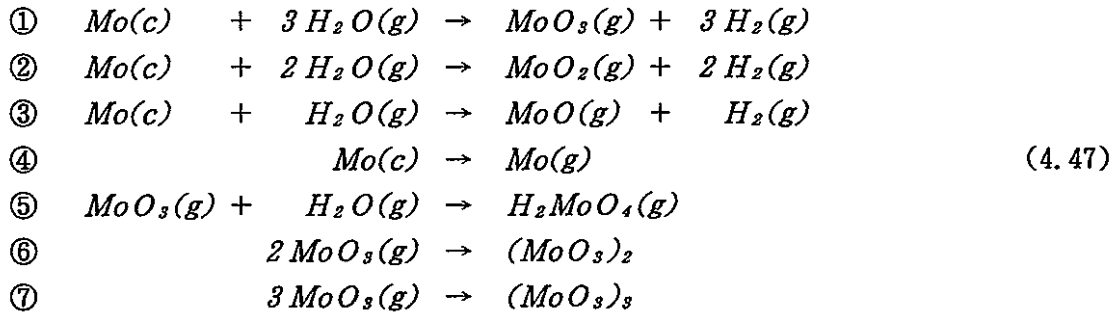
$M^0 [\text{Te}(c)]$: 化学反応前の Te 凝縮相の質量 (mol)
 M (metp) : 気体と Fe , Cr , Ni , Zr の反応を考慮した後の金属層質量 (mol)

$X [\text{Sn}(c)]$ には(1.7)式で計算された値がそのまま用いる。従って、(4.36)式を評価するこ

とによるX [Sn(c)] の変化は(4.44)式には反映されない。これらの値を用いて(4.44)式からp [SnTe(g)] を計算する。

4.2.4.2 Moの化学反応

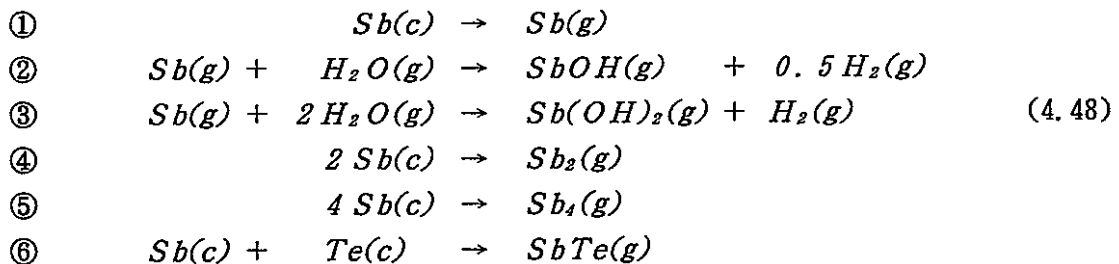
Moの化学反応式は次の7つでありこれらが①～⑦の順番に考慮される。



最初に、Mo凝縮相と水蒸気の反応(①～③)が計算され、ついで、Moの蒸発が計算される。最後に、①で計算されたMoO₃(g)の反応を考慮する。個々の化学反応式の考解法手順はSnの場合と同様であるので省略する。

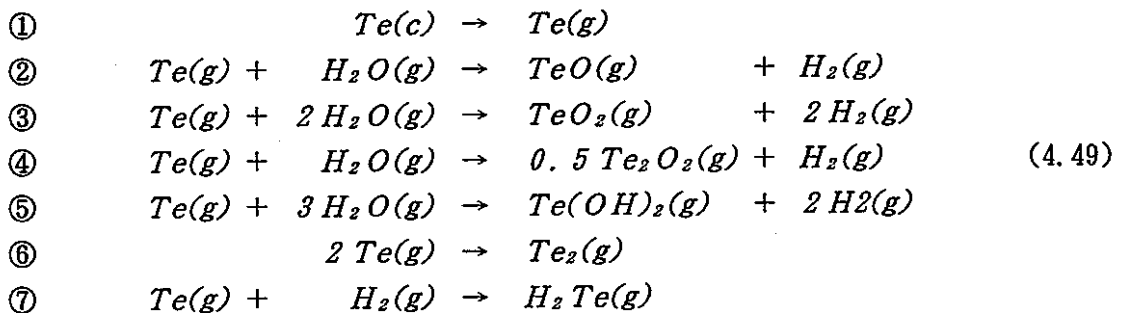
4.2.4.3 Sbの化学反応

Sbの化学反応式は次の6つでありこれらが①～⑥の順番に考慮される。



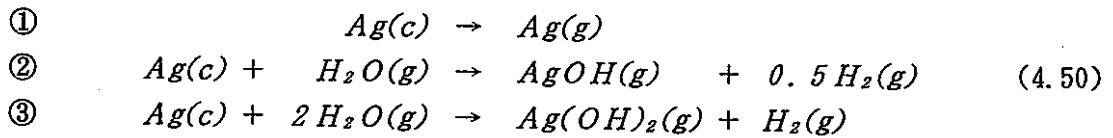
4.2.4.4 Teの化学反応

Teの化学反応式は次の7つでありこれらが①～⑦の順番に考慮される。

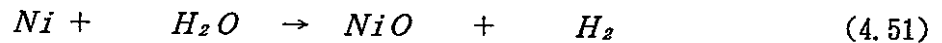


4.2.4.5 *Ag*の化学反応

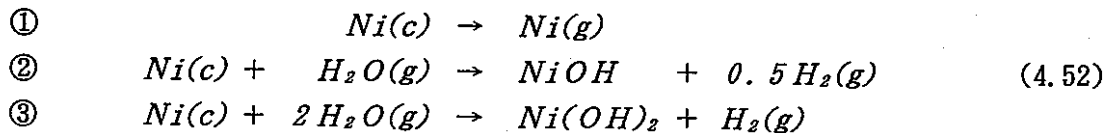
*Ag*の化学反応式は次の3つでありこれらが①～③の順番に考慮される。

4.2.4.6 *Ni*の化学反応

*Ni*の化学反応については、第1ステップで次の反応式が既に考慮されている。



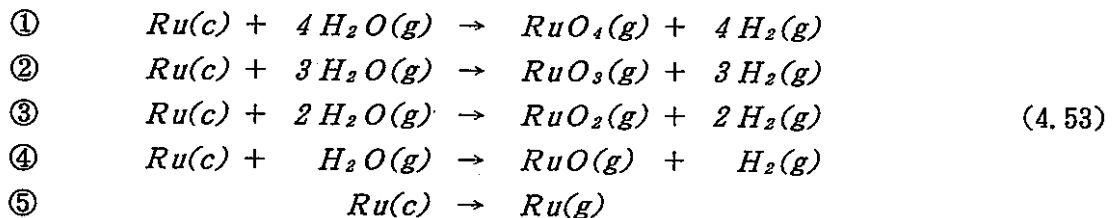
ここでは、さらに次の3つの化学反応式が①～③の順番に考慮される。



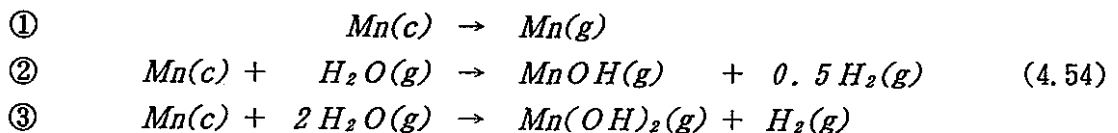
(4.52)式の計算において、*Ni*の凝縮相質量 *Ni(c)*には(4.51)式評価後の値が適用される。

4.2.4.7 *Ru*の化学反応

*Ru*の化学反応式は次の5つでありこれらが①～⑤の順番に考慮される。

4.2.4.8 *Mn*の化学反応

*Mn*の化学反応式は次の3つでありこれらが①～③の順番に考慮される。



4.3 気体とデブリ酸化物層の化学反応

VANESAでは、デブリ酸化物層中に FeO 、 Cr_2O_3 、 NiO 、 CaO 、 Al_2O_3 、 Na_2O 、 K_2O 、 SiO_2 、 UO_2 、 ZrO_2 、 CsO_2 、 BaO 、 SrO 、 La_2O_3 、 CeO_2 及び Nb_2O_5 の酸化物と、酸化物ではないが CsI が凝縮相として存在する仮定している。従って、 Fe 、 Cr 、 Ni 及び Zr については、デブリ中に金属と金属酸化物の両方が凝縮相として存在する。気体とデブリ酸化物層の化学反応の評価方法は、基本的に第2ステップの気体とデブリ金属層の化学反応と同一である。すなわち、化学反応はギブスの自由エネルギーの最小性を用いて一定の順序に評価される。

4.3.1 化学反応式評価のオプション

気体とデブリ酸化物層の化学反応の評価に際して、以下の3つのオプションを入力データにより指定することができる。

4.3.1.1 酸素ポテンシャル値

気体とデブリ酸化物層の化学反応評価において、水素分圧の水蒸気分圧に対する比 $p(H_2)/p(H_2O)$ が必要となる。VANESAでは、基本的に、気体とデブリ金属層の化学反応で計算された $p(H_2)/p(H_2O)$ を気体とデブリ酸化物層の化学反応適用する。ただし、入力変数VNOXPTにより、気体とデブリ酸化物層の化学反応に用いる $p(H_2)/p(H_2O)$ を変更することができる。入力でVNOXPT \neq 0.0とすると、気体とデブリ酸化物層の化学反応に対する酸素ポテンシャル値が次式で計算される。ここで、酸素ポテンシャルは、水素分圧の水蒸気分圧に対する比の逆数で定義される。すなわち、酸素ポテンシャル= $p(H_2O)/p(H_2)$ である。

$$Y = (1.0 - VNOXPT) \cdot Y(\text{met}) + VNOXPT \cdot Y(\text{oxide}) \quad (4.55)$$

ここで

$$Y : \ln [p(H_2O) / p(H_2)]$$

$$Y(\text{met}) : \text{金属層と酸化物層の相互作用がない場合の金属層の} \ln [p(H_2O) / p(H_2)] \text{。この値は気体とデブリ金属層の化学反応で計算される。}$$

$$Y(\text{oxide}) : \text{金属層と酸化物層の相互作用がない場合の酸化物層の} \ln [p(H_2O) / p(H_2)] \text{。}$$

ただし、 $0.0 \leq VNOXPT \leq 1.0$ (デフォルト値: $VNOXPT = 0.0$) である。また、 $Y(\text{oxide})$ の値は、プログラム内部で $Y(\text{oxide}) = -0.693147$ に設定されている。これにより、 $VNOXPT = 1.0$ とすると、気体とデブリ酸化物層の化学反応に使用される酸素ポテンシャルの値は次のようになる。

$$\frac{p(H_2O)}{p(H_2)} = \exp [Y(\text{oxide})] = 0.5 \quad (4.56)$$

4.3.1.2 分子の不確かさ

VANESAでは、奇数価の酸化物を La_2O_3 や Nb_2O_5 のように表現している。この表記によると化学反応により生成される蒸発速度は、 La_2O_3 、 Nb_2O_5 のモル分率の $1/2$ 乗に近似的に比例するので、これらのモル分率が極めて1より小さい場合、モル分率の誤差の影響が大きくなる。入力データでMOLECオプションをONにすると、VANESAモデルは La_2O_3 と Nb_2O_5 を $LaO_{1.5}$ と $NbO_{2.5}$ として扱う。この場合、化学反応により生成される蒸発速度は、 La_2O_3 、 Nb_2O_5 のモル分率に近似的に比例する。同様の問題はCsやその他の酸化物にもあるが、現状のVANESAモデルでは、MOLECオプションをLaとNbのみに適用している。MOLECオプションのデフォルト値はOFFである。

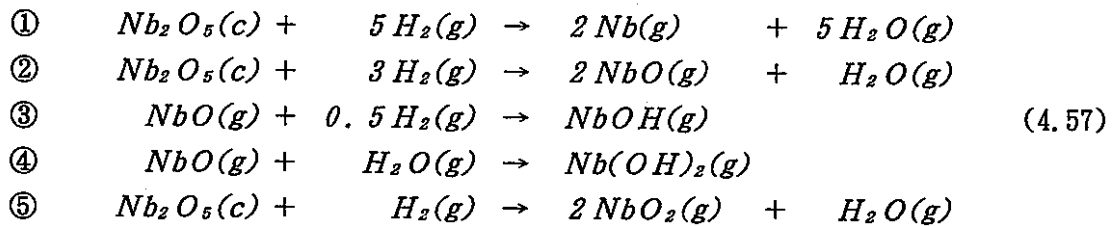
4.3.1.3 酸化物状態の不確かさ

VANESAでは、NbとCeはデブリ酸化物層中に Nb_2O_5 と CeO_2 の形で存在すると仮定している。入力データでSTABLEオプションがONとすると、 Nb_2O_5 とNbならびに CeO_2 と Ce_2O_3 のどちらかが熱力学的に安定であるかをチェックした上でより安定の方の核種を取り扱う。ただし、 Ce_2O_3 が選択された場合には La_2O_3 の化学反応を代わりに適用する。同様の問題はいくつかの核種にもあるが、現状のVANESAモデルでは、STABLEオプションをNbとCeのみに適用している。STABLEオプションのデフォルト値はOFFである。

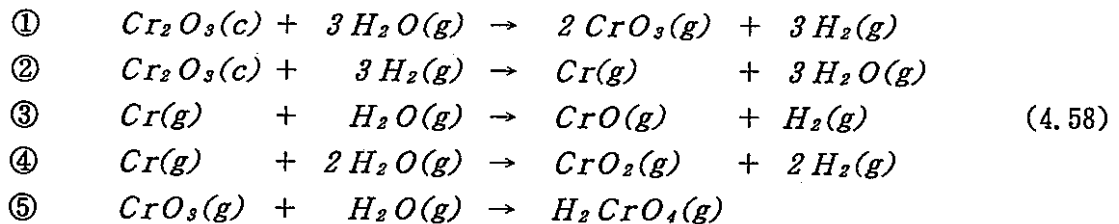
4.3.2 化学反応式

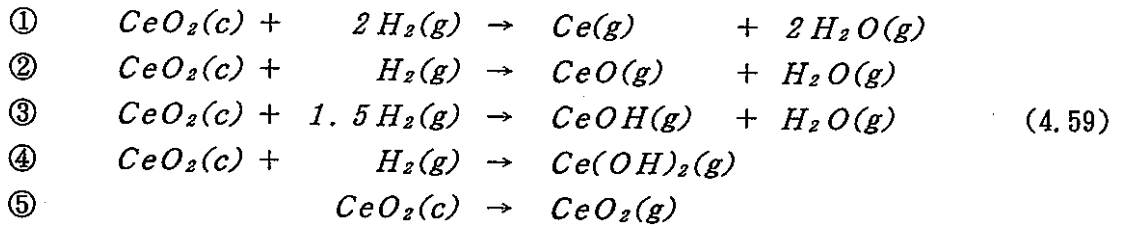
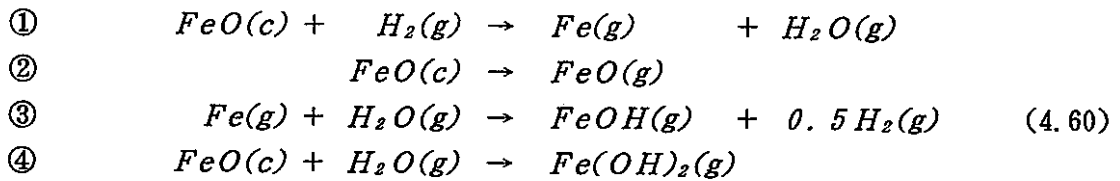
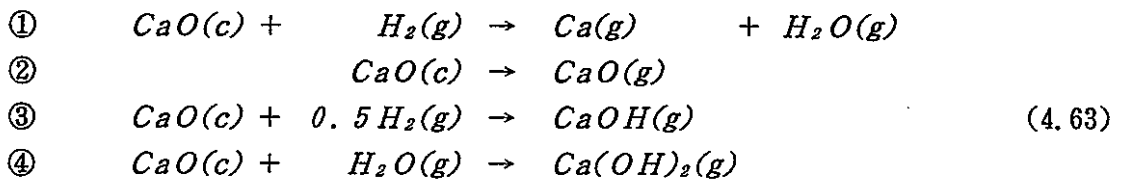
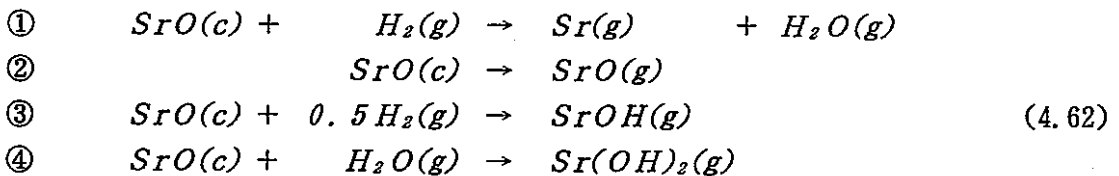
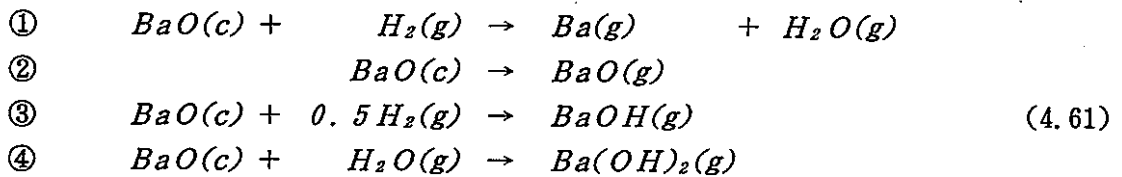
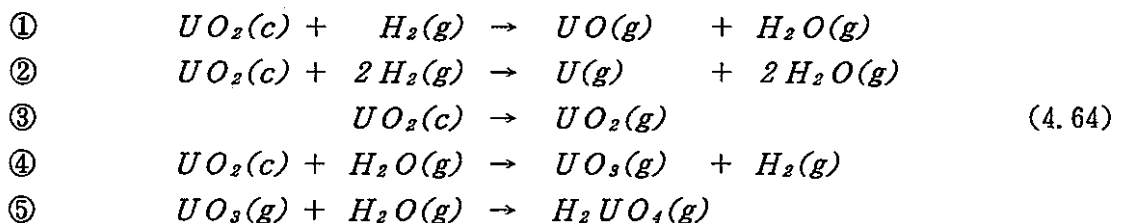
気体とデブリ酸化物層の化学反応に関して、現在のVANESAで考慮されている化学反応式を以下示す。

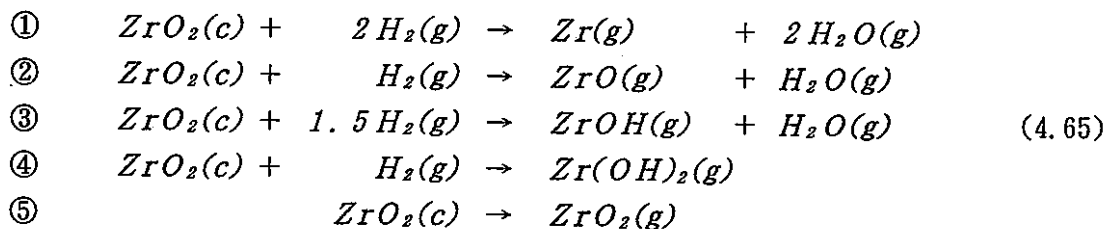
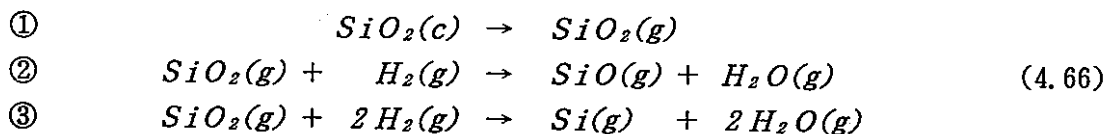
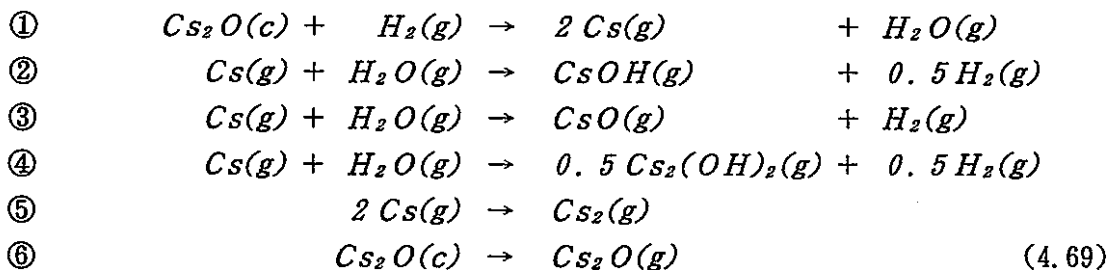
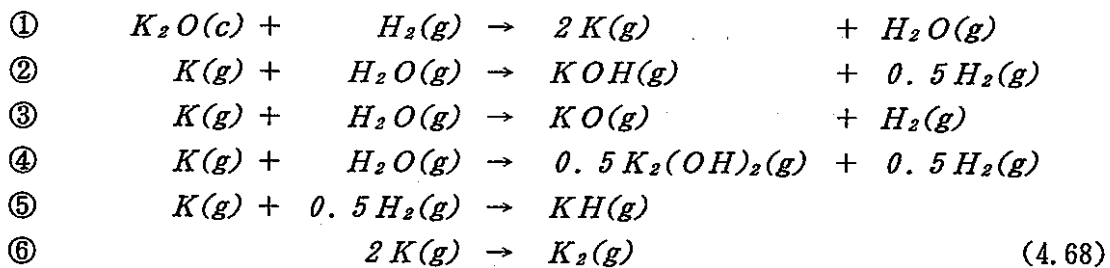
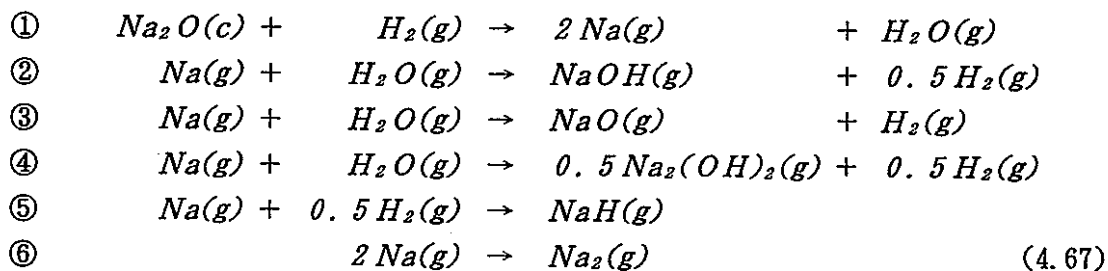
(1) Nb_2O_5 の反応



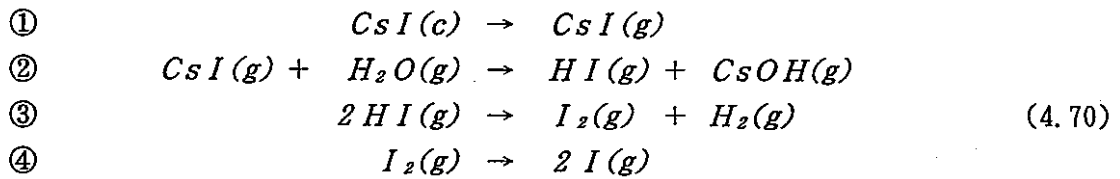
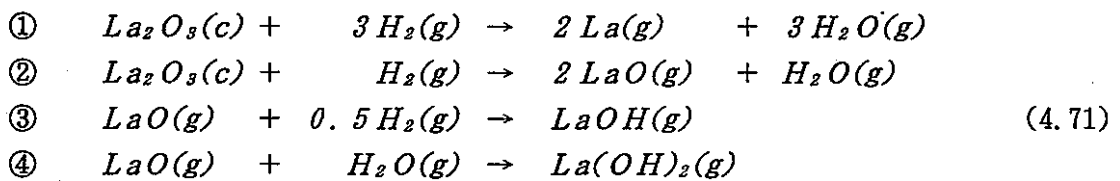
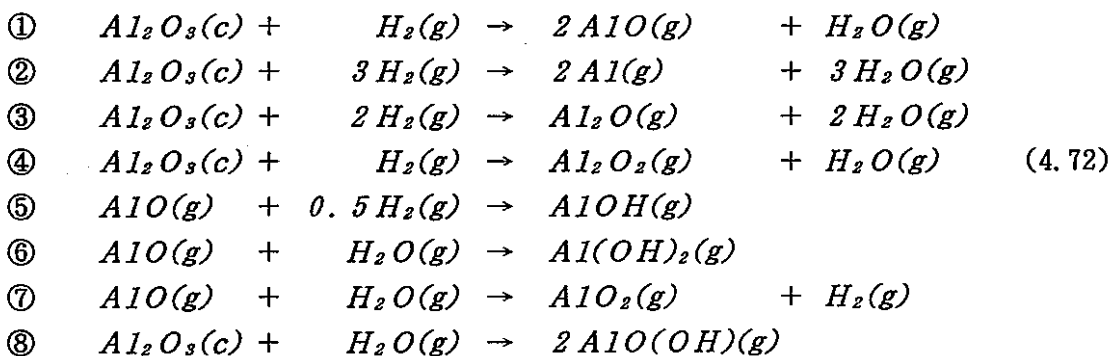
(2) Cr_2O_3 の反応



(3) CeO_2 の反応(4) Fe の反応(5) BaO 、 SrO 、 CaO の反応(6) UO_2 の反応

(7) ZrO_2 の反応(8) SiO_2 の反応(9) Na_2O 、 K_2O 、 Cs_2O の反応

(10) CsIの反応

(11) La₂O₃の反応(12) Al₂O₃の反応

4.3.3 分圧の計算

酸化物層と気体の反応評価は、 Nb_2O_5 、 Cr_2O_3 、 CeO_2 、 FeO 、 BaO 、 SrO 、 CaO 、 UO_2 、 ZrO_2 、 SiO_2 、 Na_2O 、 K_2O 、 CsO_2 、 CsI 、 La_2O_3 、 Al_2O_3 の順に行われる。ここで、4.3.1で述べた計算オプション(VNOXPT、MOLEC、STABLE)が指定されている場合は、酸素ポテンシャル値の計算や化学反応式の変更を行う。ついで、(4.57)~(4.72)式に示した化学反応に対して、ギブスの自由エネルギーの最小性を用いて平衡状態での各成分の分圧を計算する。ここでの計算手順は、第2ステップの気体と金属層の化学反応での分圧計算と同一であり繰り返し計算は行われない。以上の計算はサブルーチンSRPPで行われる。サブルーチンSRPPでは、各生成物質の平衡状態での分圧を求めるまで行われる。

4.4 蒸発によるエアロゾル発生

前節までの計算により、デブリ構成物質の最大蒸発量に対応する分圧が求められた。VANESAでは、この熱力学から定まる最大蒸発量に対して、蒸発過程をより正確に評価するために、蒸発速度を考慮して実際のエアロゾル蒸発量を計算する。実際の蒸発量を決定するモデルをVANESAでは蒸発の動力学 (kinetics) と呼んでいる。

動力学モデルでは、蒸発は自由表面で起こるものとし蒸発によるエアロゾル発生過程として以下の3つのステップを考える。

- (1) 凝縮相の揮発性成分が自由表面まで輸送される。
- (2) 自由表面に到達した成分は蒸気となる。
- (3) 蒸気が自由表面から離れる。

これらはいずれも時間が関係する過程であり、連続的な関係にあるのでこれらのどれもが蒸発量の制限になり得る。以下に動力学的なモデルによるエアロゾルの発生式を示す。

4.4.1 蒸発によるエアロゾルの発生式

蒸発によるエアロゾルの発生速度は次式で記述される。

$$\frac{1}{A} \frac{dN(j)}{dt} = K(j, \text{eff}) \{P_{\text{eq}}(j) - P(j)\} \quad (4.58)$$

ここで

- $N(j)$: 核種 j の発生モル数
- A : 自由表面の面積
- $P_{\text{eq}}(j)$: 熱力学モデルから求められた核種 j の平衡分圧
- $P(j)$: 実際の核種 j の分圧
- $K(j, \text{eff})$: 核種 j の実効的な蒸気形成の係数

$P(j)$ は、気体の状態方程式から次式で表される。

$$P(j) = \frac{N(j) \cdot RT}{V(\text{gas})} \quad (4.59)$$

ここで

- R : 気体定数
- T : デブリ温度
- $V(\text{gas})$: 気体体積

(4.59) 式を (4.58) 式に代入して整理すると次式が得られる。

$$\frac{1}{A} \frac{dN(j)}{dt} = \frac{RT \cdot K(j, \text{eff})}{V(\text{gas})} \left\{ \frac{P_{\text{eq}}(j) V(\text{gas})}{RT} - N(j) \right\} \quad (4.60)$$

(4.60) 式の $N(j)$ 以外の項は時間に依存しないと仮定すると、 $N(j)$ について次の解析解が得られる。

$$N(j) = \frac{P_{\text{eq}}(j) V(\text{gas})}{RT} \left[1.0 - \exp \left\{ - \frac{A \cdot RT \cdot K(j, \text{eff})}{V(\text{gas})} t \right\} \right] \quad (4.61)$$

VANESAでは、(4.61)式により、核種 j の発生モル数 $N(j)$ を計算する。ここで、積分時間 t には、デブリの金属層または酸化物層を気泡が通過する時間が適用される。

4.4.2 蒸気形成の実効係数

(4.58) 式及び (4.61) 式の右辺に現れる蒸気形成の実効係数 $K(j, \text{eff})$ は次式で求められる。

$$K(j, \text{eff}) = \frac{1}{K_1 + K_2 + K_3} \quad (4.62)$$

K_1 、 K_2 、及び K_3 の計算式を以下に示す。

(1) K_1

凝縮相中の揮発性核種が自由表面まで輸送されることを考慮する係数 K_1 は次式で求められる。

$$K_1 = \frac{P_{\text{eq}}(j) \cdot SP}{XM(j) \cdot QP \cdot K_m} \quad (4.63)$$

ここで、

- SP : 金属層または酸化物層の合計モル数
- QP : 金属層または酸化物層のモル密度
- $P_{\text{eq}}(j)$: 核種 j の平衡状態での分圧
- $XM(j)$: 核種 j のモル数
- K_m : 凝縮相の輸送係数

凝縮相の輸送係数 K_m は B a i r d により導出された次式により求められる。

$$K_m = \frac{0.975 \cdot g^{1/4} \cdot D_{A,B}^{1/2}}{D_b^{1/4}} \quad (4.64)$$

ここで、

- $D_{A,B}$: 凝縮相拡散係数
- D_b : 気泡直径
- g : 重力加速度

凝縮相拡散係数 $D_{A, B}$ は修正 Wilke-Chang の式から次式で求められる。

$$D_{A, B} = 8.2 \times 10^{-10} \left\{ 1.0 + \left(\frac{3 V_B}{V_A} \right)^{2/3} \right\} \cdot T \cdot \frac{1}{\mu_B \cdot V_A^{1/3}} \quad (4.65)$$

ここで、

- V_A : デブリを拡散する1成分(溶質)のモル体積
- V_B : デブリ構成物質(溶媒)のモル体積
- T : デブリ温度
- μ_B : デブリ粘性係数(金属層の場合: 0.05、酸化物層の場合: 1.0)

(2) K2

自由表面において凝縮相中の核種 i が蒸気核種 j に変換されるときに係数 $K2$ は次式で求められる。

$$K2 = \frac{1}{Kv(i, j)} \quad (4.66)$$

ここで

- $Kv(i, j)$: 蒸発係数

$Kv(i, j)$ は、Hertz-Knudsen の式から以下のように求められる。

$$Kv(i, j) = \frac{\alpha_i}{\{2\pi \cdot M(i) \cdot R \cdot T\}^{1/2}} \quad (4.67)$$

ここで

- $M(i)$: 核種 i の分子量
- R : 気体定数
- α_i : 核種 i の凝縮係数 (= 1.0)
- T : デブリ温度

(3) K3

蒸気が自由表面から離れるときの係数 $K3$ は次式で求められる。

$$K3 = \frac{RT}{Kg(j)} \quad (4.68)$$

ここで、記号は次のとおりである。

- $Kg(j)$: 蒸気核種 j の質量輸送係数
- R : 気体定数
- T : デブリ温度

蒸気核種jの質量輸送係数 $K_g(j)$ は次式で求められる。

$$K_g(j) = \frac{2 \cdot D_{A,B}}{D_b} \quad (4.69)$$

ここで

$D_{A,B}$: 蒸気相拡散係数
 D_b : 気泡直径

$D_{A,B}$ は次式で求められる。

$$D_{A,B} = \frac{C \cdot T^{1.622} \cdot \left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right)^{1/2}}{P} \quad (4.70)$$

ここで、

T : デブリ温度
 M_A : 蒸気核種の分子量
 M_B : 水の分子量

(4.70) 式はマニュアルに記載してあるSinghの式に似ているが係数及び項が若干異なる。
 以上の評価はサブルーチンVANESAで行われる。

4.5 メカニカルな過程によるエアロゾル発生

4.5.1 エアロゾル発生式

VANESAでは、蒸発によるエアロゾル発生の他にメカニカルな過程によりデブリからエアロゾルが発生するとしている。メカニカルな過程によるエアロゾル発生モデルでは、デブリ表面の気泡が破裂することによりエアロゾル粒子が放出される。メカニカルな過程により発生したエアロゾル粒子の全体積は、気泡1個あたりの破裂により生じるエアロゾル粒子数に比例し、また、粒子径の3乗に比例する。ここで、メカニカルな過程により発生するエアロゾルの粒子径と粒子数はいずれも入力データで指定する。デフォルト値は、粒子数=2000、粒子径=1.0×10⁻⁶ (m)である。

メカニカルな過程によるエアロゾル放出量計算はサブルーチンVANESAで次式で行われる。最初に単位時間あたりの気泡破裂に伴い放出される粒子の合計体積(FVAR)を次式で求める。

$$F_{VAR} = P T_{BB} \cdot F_2 \cdot \pi \cdot \frac{P T_{DIA}^3}{6} \quad (4.71)$$

ここで、

- $P T_{BB}$: 1つの気泡が破裂する時に生じる粒子数 (-)
 $P T_{DIA}$: 気泡破裂時の粒子径 (cm)
 π : 円周率

上記の変数のうち、 $P T_{BB}$ は入力で指定した気泡破裂時の粒子数そのまま用いられる。また、 $P T_{DIA}$ は入力で指定した気泡破裂時の粒子径の単位を(m)から(cm)に変換した数値が用いられる。(4.71)式の F_2 は、単位時間あたりの気泡数であり次式で求める。

$$F_2 = V_{GASR} \cdot \frac{T_{OXIDE}}{298} \cdot \frac{6}{\pi \cdot BUB_D^3} \quad (4.72)$$

ここで、

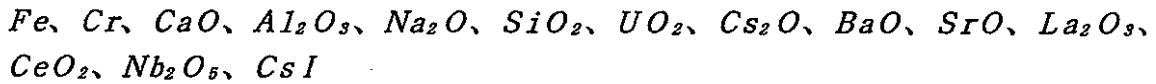
- V_{GASR} : デブリを通過する気体(CO, CO₂, H₂, H₂O)の合計体積流量 (cm³/s)
 T_{OXIDE} : デブリ酸化物層温度 (K)
 BUB_D : デブリを通過する気泡の直径 (cm)

最終的に、(4.72)式で求めた、気泡破裂に伴い放出される粒子の合計体積を質量に変換して、メカニカルな過程によるエアロゾル発生質量を求める。

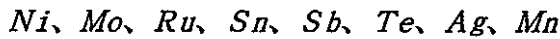
4.5.2 トータル発生量の各エアロゾルへの分配

4.5.2.1 メカニカルな過程によりエアロゾルが発生する核種

VANESAで考慮しているエアロゾルは、表4.1のJ=2~25に示す24核種（化合物）である。これらのうちメカニカルな過程によりエアロゾルが発生する核種は次の16核種（化合物）である。



次の8核種については、メカニカルな過程によってはエアロゾルは発生しない。



VANESAモデルで16核種についてのみメカニカルな過程によるエアロゾル発生を考慮する理由は次のとおりである。すなわち、メカニカルな過程により発生するエアロゾルの成分は、デブリの一番上側に存在する層の凝縮相成分に類似した成分であると考えられる。VANESAモデルでは、デブリの酸化物層が常に金属層よりも上側にあるとしているため、メカニカルな過程により発生するエアロゾルの成分は酸化物層と同じ成分であると仮定される。

4.5.2.2 核種への分配

メカニカルな過程により発生するトータルのエアロゾル量は、先に述べたように(4.71)式で計算される。VANESAでは、これをデブリ酸化物層中に存在する16核種（化合物）のモル数に比例するとして各エアロゾルに分配する。ここで、エアロゾルの分配の計算に用いられるモル数は、鉄とクロムについては凝縮相酸化物（ FeO 、 Cr_2O_3 ）のモル数、その他の核種（化合物）については、 CaO 、 Al_2O_3 、 Na_2O 、 SiO_2 、 UO_2 、 Cs_2O 、 BaO 、 SrO 、 La_2O_3 、 CeO_2 、 Nb_2O_5 、 CsI のモル数である。

4.6 コンクリート成分のデブリへの付加

デブリ-コンクリート相互作用によりコンクリートは浸食される。浸食されたコンクリートの成分はデブリ金属層または酸化物層に付加される。

4.6.1 コンクリート成分

デブリ-コンクリート相互作用により浸食されたコンクリートの CaO 、 Al_2O_3 、 Na_2O 、 K_2O 、 SiO_2 、 FeO は次式によりデブリ酸化物層の凝縮相に付加される。

$$XM(j) = XM(j)_{.1d} + ST2 \cdot COART \cdot \frac{Wf(j)}{XN(j)} \quad (4.73)$$

ここで、

$XM(j)$: 酸化物 j のモル数
$XM(j)_{.1d}$: 全タイムステップでの酸化物 j のモル数
$ST2$: VANESA の計算タイムステップ幅
$COART$: コンクリート浸食速度
$Wf(j)$: コンクリート成分 j の質量割合
$XN(j)$: コンクリート成分 j の 1 モルあたりの質量

$j = 1 \sim 5$ は CaO 、 Al_2O_3 、 Na_2O 、 K_2O 、 SiO_2 、 FeO に対応する。また、コンクリート成分 j の質量割合 $Wf(j)$ には、入力データで指定したコンクリート成分割合がそのまま用いられる。

4.6.2 コンクリートの鉄筋

デブリ-コンクリート相互作用により浸食されたコンクリートの鉄筋が次式によりデブリ金属層の凝縮相に付加される。

$$XM(Fe) = XM(Fe)_{.1d} + ST2 \cdot COART \cdot \frac{VNRBR}{XN(Fe)} \quad (4.74)$$

ここで、

$XM(Fe)$: デブリ金属層中の Fe のモル数
$XM(Fe)_{.1d}$: 全タイムステップでのデブリ金属層中の Fe のモル数
$VNRBR$: コンクリート中の鉄筋の質量割合
$XN(Fe)$: Fe の 1 モルあたりの質量

4.7 プールによるエアロゾルの除去

VANESAモデルでは、次の3つのメカニズムによりプールによるエアロゾルの除去 (decontamination) が行われる。

- ① 気泡中のエアロゾル粒子の沈澱 (sedimentation)
- ② 気泡の壁へエアロゾル粒子が押し付けられる効果 (impaction)
- ③ エアロゾル粒子の壁への拡散 (diffusion)

上記の sedimentation、impaction及び diffusionの効果によるエアロゾルの捕獲は次の式で記述される。

$$\frac{dm(dp, x)}{dx} = - \{ \alpha(S, dp) + \alpha(I, dp) + \alpha(D, dp) \} \cdot m(dp, x) \quad (4.75)$$

ここで、

- $m(dp, x)$: 高さ x での粒子径 dp の粒子の質量
 $\alpha(S, dp)$: sedimentationによる除去係数
 $\alpha(I, dp)$: impactionによる除去係数
 $\alpha(D, dp)$: diffusionによる除去係数

4.7.1 sedimentationによる除去係数

sedimentationによる除去係数 $\alpha(S, dp)$ は次式で表される。

$$\alpha(S, dp) = \frac{1.5 \cdot J(dp)}{DB \cdot VRISE} \quad (4.76)$$

ここで、

$$J(dp) = \frac{g \cdot \rho_d \cdot dp^2 \cdot C}{18 \cdot \mu_g} \quad (4.77)$$

ρ_d : エアロゾル粒子の密度

$$C = 1 + \left(\frac{2\lambda}{dp} \right) \left\{ 1.257 + 0.4 \cdot \exp \left(\frac{-0.55 dp}{\lambda} \right) \right\} \quad (4.78)$$

$$\lambda = \left(2^{1/2} \cdot \pi \cdot dg^2 \cdot NA \cdot \frac{P}{82.06 \cdot T} \right)^{-1} \quad (4.79)$$

ここで、

- dg : 気相分子の直径
 NA : アボガドロ数
 DB : 気泡の直径

VR I S E : 気泡の上昇速度
 dp : 粒子径

4.7.2 i m p a c t i o nによる除去係数

i m p a c t i o nによる除去係数は次式で与えられる。

$$\alpha (I, dp) = \frac{8 \cdot VR I S E \cdot \tau}{DB^2} \cdot \left(\frac{VREL}{VR I S E} \right)^2 \quad (4.80)$$

ここで、VRELは仮想的な相対速度である。また τ は緩和時間であり、次式で求める。

$$\tau = \frac{5.55556 \times 10^{-2} \cdot dp^2 \cdot DENC \cdot P7}{P9} \quad (4.81)$$

DENC : エアロゾル粒子密度
 P7 : C u n n i n g h a m c o r r e c t i o n f a c t o r
 P9 : 気相粘性係数

4.7.3 d i f f u s i o nによる除去係数

d i f f u s i o nによる除去係数は次式で求められる。

$$\alpha (D, dp) = 1.8 \left(\frac{8 \cdot \theta}{VR I S E \cdot DB^3} \right)^{1/2} \quad (4.82)$$

ここで、

$$\theta = \frac{k \cdot T \cdot C}{3 \pi \cdot \mu g \cdot dp} \quad (4.83)$$

k : ボルツマン定数
 T : プール温度

以上の d e c o n t a m i n a t i o n に関する係数はサブルーチンDFで計算される。

4.8 サブルーチンの処理内容

VANESAのエアロゾル発生計算関係とプールによるエアロゾル除去モデルのサブルーチンのTree構造およびサブルーチンの処理内容を図4.1および表4.2に示す。また、各サブルーチンのフローチャートと引数の説明、ならびにCOMMON変数の説明を付録Aにまとめる。

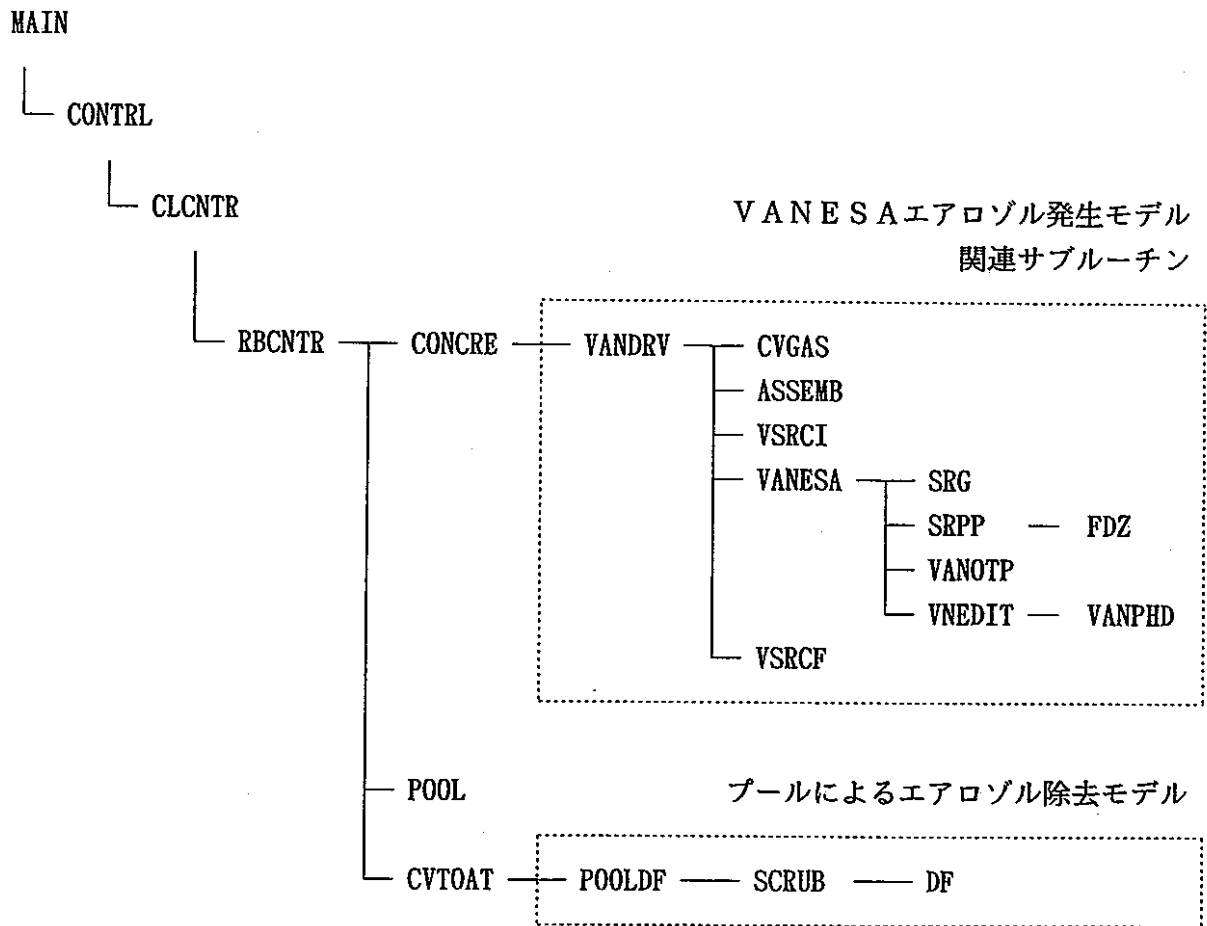


図4.8.1 VANESAモデル関連サブルーチン Tree構造

表 4. 8. 1 VANESA 関連サブルーチン処理内容

サブルーチン	処 理 内 容
ASSEMB	VANESAで考慮している全核種の形成に要する自由エネルギーを計算して配列に格納する。
CVGAS	溶融デブリを通過する気体 (CO、CO ₂ 、H ₂ 、H ₂ O) の流量を計算する。
FDZ	$\exp(-Z/RT)$ を計算する。但し、Z：自由エネルギー R：気体定数 (1.987)、T：酸化物温度である。
SRG	8種類の気体 (H ₂ O、H ₂ 、H、OH、O ₂ 、CO ₂ 、CO) の発生割合と合計発生量を計算する。
SRPP	凝縮性気体の平衡分圧を計算する。
VANDRV	CONTAINコードとVANESAコードのインタフェースサブルーチン。計算ステップ幅の調整、単位変換、溶融デブリを通過する気体流量の計算等の処理後、サブルーチンVANESAをCALLする。
VANESA	溶融デブリの金属層と酸化物層からの蒸発に対する方程式を解き、溶融デブリー-コンクリート相互作用でのエアロゾルの生成量と放出量を求める。
VANOTP	VANESAの計算値をプリント出力するために計算値を編集する。
VANPHD	VANESA計算値出力の際にヘッダー部分をプリントする
VNEDIT	VANESAの計算値を編集しプリント出力する。
VSRCF	CORCONで計算される核種の発生質量をストアするために配列を一度ゼロクリアする。
VSRCI	VANESAで考慮される28種類の核種の発生割合を、CORCONで計算された核種の発生質量から求める。
POOLDF	VANESAの水プールでのエアロゾル除去モデル起動のためにサブルーチンSCRUBをCALLする。
SCRUB	水プールでのエアロゾル除去量を計算する。
DF	decontaminationファクタを計算する。

4.9 計算の具体例

前節までに、VANESAモデルのプログラムを調査した結果をまとめた。本節では、実際の計算において使用されている値の例を示す。

4.9.1 コンクリートからデブリに入る気体流量

4.9.1.1 CORCONで発生する気体流量

基本ケースの計算条件で、時刻0秒においてデブリ-コンクリート相互作用の結果発生する気体流量 (kg/s) は次のとおりである。

CO	:	0.0
CO ₂	:	0.0
H ₂	:	4.74151 × 10 ⁻²
H ₂ O	:	2.46255 × 10 ⁻⁴

この数値はCORCONで計算される。

4.9.1.2 VANESAでの気体流量

H₂とH₂Oの質量流量 (kg/s) をそれぞれモル流量 (mol/s) に変換し、それらの和をとりH₂Oのモル流量とする。COとCO₂に対しても同様の措置を行い、CO₂のモル流量を計算する。ただし、基本ケースではCOとCO₂の発生はない。以下、H₂とH₂Oの質量流量のモル流量への変換を示す。

(1) H₂のモル流量

$$\frac{4.74151 \times 10^{-2}}{2.01594 \times 10^{-3}} = 23.5201 \quad (\text{mol/s})$$

(2) H₂Oのモル流量

$$\frac{2.46255 \times 10^{-4}}{18.01534 \times 10^{-3}} = 0.01367 \quad (\text{mol/s})$$

(3) VANESAモデルでのH₂Oのモル流量

$$23.5201 + 0.01367 = 23.5338 \quad (\text{mol/s})$$

従って、基本ケースの計算開始時点の例では、VANESAモデルでコンクリートからデブリに入ってくる気体流量 (mol/s) は次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} &: 23.533 \\ \text{CO}_2 &: 0.0 \end{aligned}$$

4.9.2 気体とデブリ金属層の反応 (第1ステップ)

4.9.2.1 イタレーションでの設定量

気体とデブリ金属層の反応 (第1ステップ) では、気体とFe、Cr、Ni及びZrの反応を考える。その他の金属は不活性と仮定する。イタレーションでの設定量は次の4つである。

- ① $p(\text{H}_2) / p(\text{H}_2\text{O})$
- ② $p(\text{H}_2)$
- ③ $M(\text{gas})$
- ④ $M(\text{oxide})$

ここで、記号は次の量を表す。

$p(\text{H}_2)$: H_2 の分圧比	(-)
$p(\text{H}_2\text{O})$: H_2O の分圧比	(-)
$M(\text{gas})$: 気体と金属の化学反応後の気体の量	(mol)
$M(\text{oxide})$: 気体と金属の化学反応後の金属酸化物量	(mol)

時刻1秒での上記の量に関する計算結果は次のとおりである。

$p(\text{H}_2) / p(\text{H}_2\text{O})$: 97.6938
$p(\text{H}_2)$: 0.9906
$M(\text{gas})$: 23.6327
$M(\text{oxide})$: 11.7652

4.9.2.2 各気体のモル数

イタレーションの計算において、同時に8種類の気体 (表4.9.1のJ=1、L=1~8) のモル数がギブスの自由エネルギーの最小性を用いて以下のように計算される。

H ₂ O	:	0.0240	
H ₂	:	23.4108	
H	:	0.1979	
OH	:	7.1 × 10 ⁻¹³	
O	:	2.0 × 10 ⁻⁶	
O ₂	:	7.9 × 10 ⁻¹¹	
CO ₂	:	0.0	
CO	:	0.0	
合計	:	23.6327	(mol)

ここで、前述のように時刻0において、コンクリートからデブリに入ってくるH₂Oのモル流量は23.5338 (mol/s)である。これから、0~1秒の間にデブリに入るH₂Oのモル数は23.5338 (mol)と計算される。一方、解析時刻1秒で存在する気体の合計モル数は23.6327 (mol)である。これは、H₂→2Hの化学反応の反応項と生成項のモル比が1:2であるためである(その他は1:1)。従って、解析時刻1秒で存在する気体の合計モル数は次のバランスから計算される。

$$23.5338 + \frac{0.1979}{2} = 23.6327 \quad (\text{mol})$$

4.9.2.3 FeO、Cr₂O₃、NiO、ZrO₂の生成モル数

時刻1秒でのFeO、Cr₂O₃、NiO、ZrO₂の生成モル数は次のとおりである。

FeO	:	0.0177
Cr ₂ O ₃	:	0.0028
NiO	:	1.0 × 10 ⁻⁵
ZrO ₂	:	11.7418

金属酸化物の生成量から酸化に用いられたH₂Oのモル数は次のように計算される。

$$0.0177 + (0.0028 \times 3) + 1.0 \times 10^{-5} + (11.7418 \times 2) = 23.50971$$

一方、O、OH及びO₂の各気体の生成量が極めて少ないので、金属の酸化に用いられたH₂Oのモル数は、初期のH₂Oのモル数から、時刻1秒で存在するH₂Oのモル数の差に等しいと考えることができる。

$$23.5338 - 0.0240 = 23.5098$$

この値は、金属酸化物の生成量から計算した、酸化に用いられたH₂Oのモル数にほぼ等しい。

上記の結果から、金属の酸化に用いられたH₂OのうちZrの反応に使用された割合は

$$\frac{11.7418 \times 2}{23.50971} = 0.9989$$

であり、ほとんどZrとの反応に費やされたことがわかる。

表 4.9.1 VANESA 配列GVAN (J,L) の内容

L J	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	H ₂ O(g)	H ₂ (g)	H(g)	OH(g)	O(g)	O ₂ (g)	CO ₂ (g)	CO(g)	NU	NU
2	Fe(c)	FeO(c)	Fe(g)	FeO(g)	FeOH(g)	Fe(OH) ₂ (g)	NU	NU	NU	NU
3	Cr(c)	Cr ₂ O ₃ (c)	Cr(g)	CrO(g)	CrO ₂ (g)	CrO ₃ (g)	H ₂ CrO ₄ (g)	CrOH(g)	Cr(OH) ₂	NU
4	Ni(c)	NiO(c)	Ni(g)	NU	NiOH	Ni(OH) ₂	NiH	NU	NU	NU
5	Mo(c)	NU	Mo(g)	MoO(g)	MoO ₂ (g)	MoO ₃ (g)	H ₂ MoO ₄ (g)	(MoO ₃) ₂	(MoO ₃) ₃	MoOH
6	Ru(c)	NU	Ru(g)	RuO(g)	RuO ₂ (g)	RuO ₃ (g)	RuO ₄ (g)	RuOH	Ru(OH) ₂	NU
7	Sn(c)	NU	Sn(g)	SnO(g)	SnOH(g)	Sn(OH) ₂ (g)	SnTe(g)	SnH	SnH ₄	Sn ₂
8	Sb(c)	NU	Sb(g)	NU	SbOH(g)	Sb(OH) ₂ (g)	Sb ₂ (g)	Sb ₃ (g)	SbTe(g)	SbH ₃
9	Te(c)	NU	Te(g)	TeO(g)	TeO ₂ (g)	Te ₂ O ₃ (g)	TeOH	Te(OH) ₂ (g)	Te ₂ (g)	H ₂ Te(g)
10	Ag(c)	NU	Ag(g)	AgO(g)	AgOH(g)	Ag(OH) ₂ (g)	AgTe	AgH	Ag ₂	Ag ₃
11	Mn(c)	NU	Mn(g)	MnO(g)	MnH	MnOH(g)	Mn(OH) ₂ (g)	NU	NU	NU
12	CaO(c)	NU	Ca(g)	CaO(g)	CaOH(g)	Ca(OH) ₂ (g)	CaH	Ca ₂	NU	NU
13	Al ₂ O ₃ (c)	NU	Al(g)	AlO(g)	AlOH(g)	Al ₂ O(g)	AlO ₂ (g)	Al ₂ O ₂ (g)	Al(OH) ₂ (g)	AlO(OH)(g)
14	Na ₂ O(c)	NU	Na(g)	NaOH(g)	NaO(g)	Na ₂ (OH) ₂ (g)	NaH(g)	Na ₂ (g)	NU	NU
15	K ₂ O(c)	NU	K(g)	KOH(g)	KO(g)	K ₂ (OH) ₂ (g)	KH(g)	K ₂ (g)	NU	NU
16	SiO ₂ (c)	NU	Si(g)	SiO(g)	SiO ₂ (g)	SiOH(g)	Si(OH) ₂ (g)	SiH	SiH ₄	Si ₂
17	UO ₂ (c)	NU	U(g)	UO(g)	UO ₂ (g)	UO ₃ (g)	H ₂ UO ₄ (g)	UOH	U(OH) ₂	NU
18	ZrO ₂ (c)	Zr(c)	Zr(g)	ZrO(g)	ZrO ₂ (g)	ZrOH(g)	Zr(OH) ₂ (g)	ZrH	NU	NU
19	Cs ₂ O(c)	NU	Cs(g)	CsOH(g)	CsO(g)	Cs ₂ (OH) ₂ (g)	Cs ₂ O(g)	Cs ₂ (g)	CsH	Cs ₂ O
20	BaO(c)	NU	Ba(g)	BaO(g)	BaOH(g)	Ba(OH) ₂ (g)	BaH	NU	NU	NU
21	SrO(c)	NU	Sr(g)	SrO(g)	SrOH(g)	Sr(OH) ₂ (g)	SrH	NU	NU	NU
22	La ₂ O ₃ (c)	NU	La(g)	LaO(g)	LaOH(g)	La(OH) ₂ (g)	La ₂ O	(LaO) ₂	NU	NU
23	CeO ₂ (c)	NU	Ce(g)	CeO(g)	CeOH(g)	Ce(OH) ₂ (g)	CeO ₂	(CeO) ₂	NU	NU
24	Nb ₂ O ₅ (c)	NU	Nb(g)	NbO(g)	NbOH(g)	Nb(OH) ₂ (g)	NbO ₂ (g)	NU	NU	NU
25	CsI(c)	NU	CsI(g)	I(g)	HI(g)	I ₂ (g)	IO	NU	NU	NU

4.9.3 気体とデブリの反応（第2ステップ）

4.9.3.1 核種の平衡状態での分圧計算

ギブスの自由エネルギーの最小性を用いて、表4.9.1に示したのこりの核種について、平衡時の分圧（比）が計算される。時刻1秒での各成分の分圧を表4.9.2に示す。ここで、FeとCrに関する蒸気核種、及びコンクリート成分（ $J=12\sim 16$ ）に関する蒸気核種に分圧がゼロになっているのは、分圧をする計算時点で、成分のアップデートがなされていない（すなわち、時刻0秒のモル数で計算している）ためである。時刻10秒の各成分の分圧を表4.9.3に示す。時刻10秒では、これらの値がゼロでなくなる。なお、これらの表中「-」で示している欄は、物質が凝縮相であるか、または評価されないことを表す。

表 4.9.2 蒸気成分の平衡状態での分圧計算例 (時刻 1 秒 : デブリ温度 2 2 7 3 K)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.0140E-03	9.9061E-01	8.3755E-03	2.9948E-14	8.3424E-08	3.3270E-12	0.0000E+00	0.0000E+00	-	-
2	-	-	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-	-	-	-
3	-	-	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-	-	-
4	-	-	3.5303E-04	0.0000E+00	2.7861E-09	4.1110E-12	-	-	-	-
5	-	-	1.0417E-10	8.4634E-13	1.4415E-12	3.0802E-15	1.9112E-17	1.0516E-34	0.0000E+00	-
6	-	-	5.0158E-11	1.0193E-15	6.9731E-19	3.6384E-24	2.0747E-31	-	-	-
7	-	-	3.0321E-07	4.6364E-09	0.0000E+00	0.0000E+00	7.3557E-08	-	-	-
8	-	-	3.2948E-09	-	1.4441E-11	1.4713E-14	5.7986E-11	7.4917E-23	5.5751E-09	-
9	-	-	5.8145E-05	3.3163E-09	2.2233E-15	2.5441E-19	-	1.5565E-20	2.9657E-07	1.8918E-06
10	-	-	7.7606E-06	-	2.1641E-13	2.6750E-23	-	-	-	-
11	-	-	1.5280E-02	-	-	1.2128E-07	5.9927E-10	-	-	-
12	-	-	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-	-	-	-
13	-	-	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
14	-	-	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-	-
15	-	-	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-	-
16	-	-	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-	-	-	-
17	-	-	7.5177E-10	6.0455E-07	5.2931E-05	1.8901E-06	4.9151E-10	-	-	-
18	-	-	1.2081E-15	8.3345E-12	1.2758E-12	2.2914E-14	1.6573E-14	-	-	-
19	-	-	3.3744E-02	9.1396E-05	9.0437E-09	6.3280E-13	6.8121E-03	3.1202E-06	-	-
20	-	-	4.8751E-05	4.8510E-06	4.2286E-06	7.0254E-08	-	-	-	-
21	-	-	4.6778E-05	1.0648E-08	8.2130E-07	5.0972E-09	-	-	-	-
22	-	-	0.0000E+00	5.7967E-06	1.8384E-10	5.3104E-09	-	-	-	-
23	-	-	1.2724E-09	2.3271E-06	9.2617E-10	2.2636E-10	3.9376E-06	-	-	-
24	-	-	0.0000E+00	1.5294E-05	1.0262E-10	1.0268E-07	1.1274E-05	-	-	-
25	-	-	2.0206E-02	2.0470E-05	9.6452E-06	2.6215E-10	-	-	-	-

表 4.9.3 蒸気成分の平衡状態での分圧計算例 (時刻 10 秒 : デブリ温度 2273 K)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.1156E-03	9.9051E-01	8.3751E-03	3.2952E-14	9.1797E-08	4.0284E-12	0.0000E+00	0.0000E+00	-	-
2	-	-	1.6324E-06	6.8413E-11	7.4706E-11	9.9098E-13	-	-	-	-
3	-	-	5.4926E-04	5.4824E-07	2.0815E-10	2.2056E-16	1.4006E-18	-	-	-
4	-	-	3.5300E-04	-	3.0653E-09	4.9766E-12	-	-	-	-
5	-	-	1.0416E-10	9.3119E-13	1.7451E-12	4.1034E-15	2.8014E-17	1.8663E-34	0.0000E+00	-
6	-	-	5.0154E-11	1.1215E-15	8.4422E-19	4.8470E-24	3.0413E-31	-	-	-
7	-	-	3.0318E-07	5.1012E-09	0.0000E+00	0.0000E+00	7.3533E-08	-	-	-
8	-	-	3.2944E-09	-	1.5888E-11	1.7810E-14	5.7975E-11	7.4889E-23	5.5733E-09	-
9	-	-	5.8132E-05	3.6483E-09	2.6913E-15	3.0790E-19	-	2.0731E-20	2.9644E-07	1.8912E-06
10	-	-	7.7596E-06	-	2.3808E-13	3.2382E-23	-	-	-	-
11	-	-	1.5278E-02	-	-	1.3343E-07	7.2541E-10	-	-	-
12	-	-	6.0658E-06	1.4019E-10	6.7762E-07	1.0027E-09	-	-	-	-
13	-	-	4.5782E-06	0.0000E+00	0.0000E+00	2.2398E-08	0.0000E+00	9.9300E-13	0.0000E+00	4.6199E-09
14	-	-	2.7289E-03	8.8221E-07	7.5605E-10	3.7623E-16	2.3699E-05	2.7976E-08	-	-
15	-	-	7.4458E-03	6.0754E-06	2.0768E-09	1.2818E-14	4.0736E-05	1.1421E-07	-	-
16	-	-	2.6402E-06	1.1364E-02	6.8890E-08	0.0000E+00	-	-	-	-
17	-	-	6.1714E-10	5.4609E-07	5.2611E-05	2.0672E-06	5.9146E-10	-	-	-
18	-	-	9.9167E-15	7.5277E-11	1.2680E-11	2.0695E-13	1.6469E-13	-	-	-
19	-	-	3.1970E-02	9.5276E-05	9.4281E-09	6.8774E-13	6.7282E-03	2.8007E-06	-	-
20	-	-	4.4035E-05	4.8214E-06	4.2026E-06	7.6826E-08	-	-	-	-
21	-	-	4.2251E-05	1.0583E-08	8.1624E-07	5.5739E-09	-	-	-	-
22	-	-	0.0000E+00	5.5093E-06	1.7471E-10	5.5530E-09	-	-	-	-
23	-	-	1.0445E-09	2.1020E-06	8.3656E-10	2.2497E-10	3.9138E-06	-	-	-
24	-	-	0.0000E+00	1.3207E-05	8.8616E-11	9.7559E-08	1.0713E-05	-	-	-
25	-	-	1.9394E-02	2.0738E-05	9.7707E-06	2.6905E-10	-	-	-	-

4.9.3.2 蒸気形成の実効係数

表4.9.2～表4.9.3に示した平衡時の分圧を用いて蒸発によるエアロゾル発生速度は次式で求められる。

$$\frac{1}{A} \frac{dN(j)}{dt} = K(j, \text{eff}) \{P_{e,q}(j) - P(j)\} \quad ((4.58))$$

ここで

- N(j) : 核種 j の発生モル数
- A : 自由表面の面積
- $P_{e,q}(j)$: 熱力学モデルから求められた核種 j の平衡分圧
- P(j) : 実際の核種 j の分圧
- K(j, eff) : 核種 j の実効的な蒸気形成の係数

(4.58) 式の N(j) 以外の項は時間に依存しないと仮定すると、N(j) について次の解析解が得られる。

$$N(j) = \frac{P_{e,q}(j) V(\text{gas})}{RT} \left[1.0 - \exp \left\{ - \frac{A \cdot RT \cdot K(j, \text{eff})}{V(\text{gas})} t \right\} \right] \quad ((4.61))$$

VANESAは、(4.61)式により核種 j の発生モル数 N(j) を計算する。ここで、積分時間 t には、デブリの金属層または酸化物層を気泡が通過する時間が適用される。ここで、平衡時の N(j) は

$$N(j) = \frac{P_{e,q}(j) V(\text{gas})}{RT} \quad (4.84)$$

で計算されるので、(4.61)式の右辺の下記の項がエアロゾル生成速度を規定する項である。

$$1.0 - \exp \left\{ - \frac{A \cdot RT \cdot K(j, \text{eff})}{V(\text{gas})} t \right\}$$

時刻1秒及び10秒における、上項で記述される項の値を表4.9.4～表4.9.5に示す。今回の計算条件下では、ほとんどの値が1.0であり、エアロゾルの発生量は動力学モデルの制約をあまり受けないことがわかる。

表 4.9.4 実効蒸気形成係数の計算例 (時刻 1 秒 : デブリ温度 2 2 7 3 K)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	1.0000E+00	-	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-	-
5	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-
6	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-
7	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-
8	-	-	1.0000E+00	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-
9	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00
10	-	-	1.0000E+00	-	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-	-
11	-	-	1.0000E+00	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-
20	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-	-
21	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-	-
22	-	-	-	1.0000E+00	-	1.0000E+00	-	-	-	-
23	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	1.0000E+00	-	-	-
24	-	-	-	1.0000E+00	-	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-
25	-	-	9.5545E-01	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-	-	-

表 4.9.5 実効蒸気形成係数の計算例 (時刻 10 秒 : デブリ温度 2273 K)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	1.0000E+00	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-	-	-	-
4	-	-	1.0000E+00	-	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-	-
5	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-
6	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-
7	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-
8	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-
9	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-	1.0000E+00	1.0000E+00	-
10	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-	1.0000E+00
11	-	-	1.0000E+00	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-
12	-	-	1.0000E+00	-	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-	-
13	-	-	1.0000E+00	-	-	1.0000E+00	-	-	-	1.0000E+00
14	-	-	9.9293E-01	1.0000E+00	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-
15	-	-	7.1426E-01	1.0000E+00	1.0000E+00	-	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-
16	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-	-	-
17	-	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-
20	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-	-
21	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-	-
22	-	-	-	1.0000E+00	-	1.0000E+00	-	-	-	-
23	-	-	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	1.0000E+00	-	-	-
24	-	-	-	1.0000E+00	-	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-
25	-	-	9.5046E-01	1.0000E+00	1.0000E+00	-	-	-	-	-

4.9.4 プールによるエアロゾルの除去

4.9.4.1 モデルの概要

VANESAモデルでは、次の3つのメカニズムによりプールによるエアロゾルの除去 (decontamination) が行われる。

- ① 気泡中のエアロゾル粒子の沈澱 (sedimentation)
- ② 気泡の壁へエアロゾル粒子が押し付けられる効果 (impaction)
- ③ エアロゾル粒子の壁への拡散 (diffusion)

上記の sedimentation、impaction及び diffusionの効果によるエアロゾルの捕獲は次の式で記述される。

$$\frac{dm(dp, x)}{dx} = - \{ \alpha(S, dp) + \alpha(I, dp) + \alpha(D, dp) \} \cdot m(dp, x) \quad ((4.75))$$

ここで、

- $m(dp, x)$: プール底からの距離 x での粒子径 dp の粒子の質量
- $\alpha(S, dp)$: sedimentationによる除去係数
- $\alpha(I, dp)$: impactionによる除去係数
- $\alpha(D, dp)$: diffusionによる除去係数

$\alpha(S, dp)$ 、 $\alpha(I, dp)$ 及び $\alpha(D, dp)$ がプール底からの距離に依存しないものとし、これらの合計値を A とすると次の解が得られる。

$$m(dp, x) = m(dp, x_0) \cdot \exp(-AX) \quad (4.85)$$

ここで、 $m(dp, x_0)$ はプール底での粒子径 dp のエアロゾルの質量である。実際には、上記の係数はプール深さにより変化するので、あるプール深さ位置での $\alpha(S, dp)$ 、 $\alpha(I, dp)$ 及び $\alpha(D, dp)$ を計算するためにプールの底から上表面方向に積分を行う。これらの積分は、プール深さ 1 m 毎に行われ、積分方法には4次のルンゲ・クッタが用いられる。積分によりあるプール深さ位置での AX 相当量を求めた後、(4.85)式により、プール底からの距離 X の高さ位置までプールに捕獲されない粒子の質量 $m(dp, x)$ を求める。

4.9.4.2 基本ケースの計算例

(1) 除去係数の粒子径による変化

基本ケースのナトリウムプールによるエアロゾル除去係数 ($1/m$) の粒子径による変化例を図4.9.1に示す。図4.9.1の横軸は粒子径のグループを表し、グループ1が粒子直径 $1.0 \times 10^{-7} \sim 1.579 \times 10^{-7}$ (m) の区間、グループ20が $1.691 \times 10^{-4} \sim 2.5 \times 10^{-4}$ (m) に相当する。図から、sedimentationとimpactionによる除去係数は粒子径の増大とともに増加するが、diffusionによる除去係数は粒子径が増大すると減少する。これは、除去係数の計算式が $\alpha(S, dp)$ (sedimentation) と $\alpha(I, dp)$ (impaction) は粒子径 dp の2乗に比例し、 $\alpha(D, dp)$ (diffusion) は粒子径 dp の $1/2$ 乗に反比例するためである。このため、粒子径が小さい場合には、diffusionによる除去係数が相対的に大きい。大きい粒子径のエアロゾルに対しては、sedimentationとimpactionによる除去が支配的となる。

(2) 除去係数のプール底からの距離による変化

基本ケースのプールによるエアロゾル除去係数 ($1/m$) の粒子径による変化例を図4.9.2～図4.9.5に示す。これらの図の横軸はプール底からの距離 (m) である。図から、各除去係数は、プール底からの距離に対して、あまり大きく変化しないことがわかる。

(3) 除去係数を変化させた時のプールでのエアロゾル除去割合

各除去係数のエアロゾル除去への寄与を調べるために、基本ケースの状態で除去係数を変化させて計算を行った。時刻5秒における、NaプールでのPu239の除去割合の変化を表4.9.6に示す。表から、今回の計算条件下では、impactionによる除去の寄与が最大であり、ついでsedimentation、diffusionの順に寄与していることがわかる。この結果は、図4.9.1に示した各除去係数の傾向からみて妥当である。

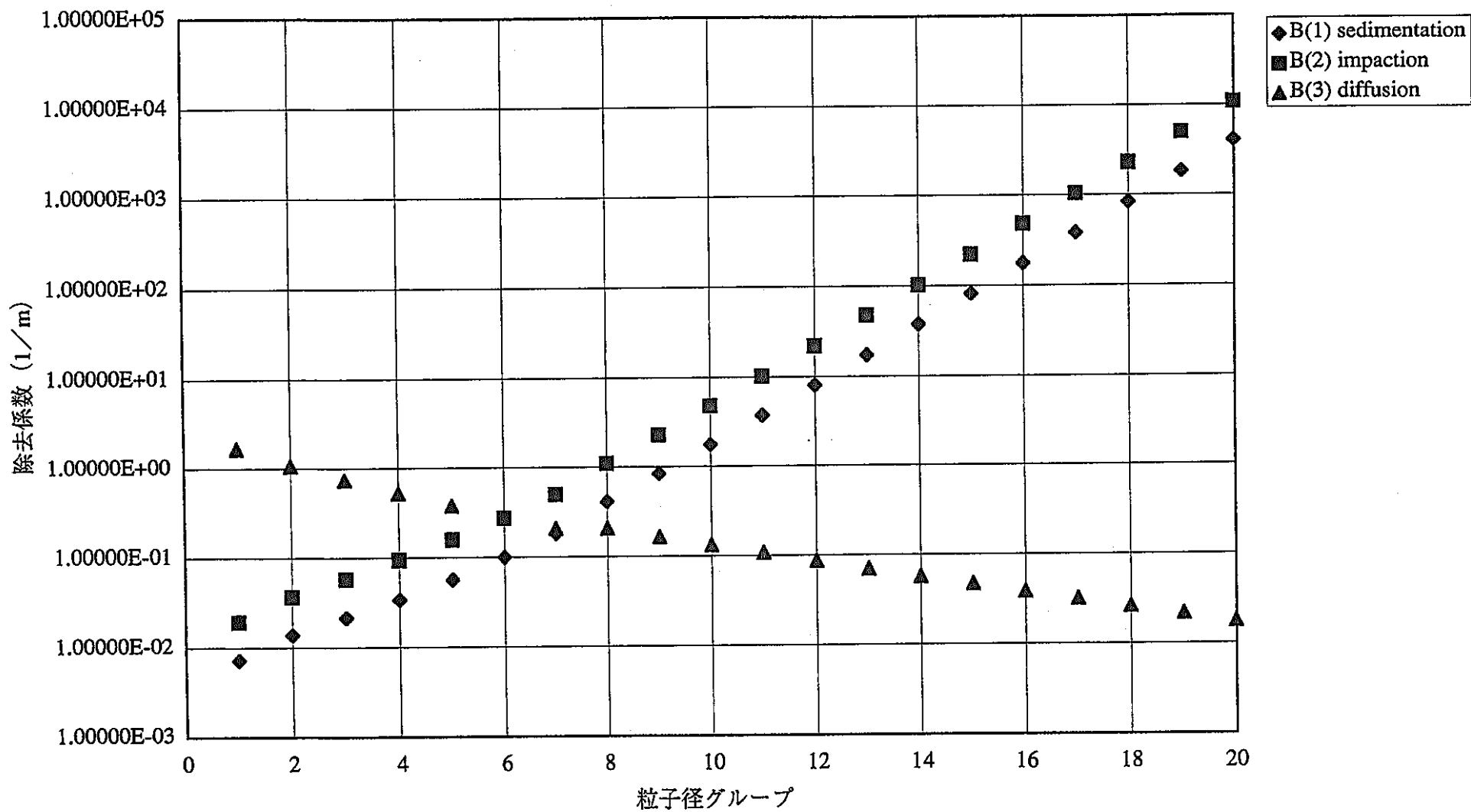


図4.9.1 粒子径毎のエアロゾル除去係数

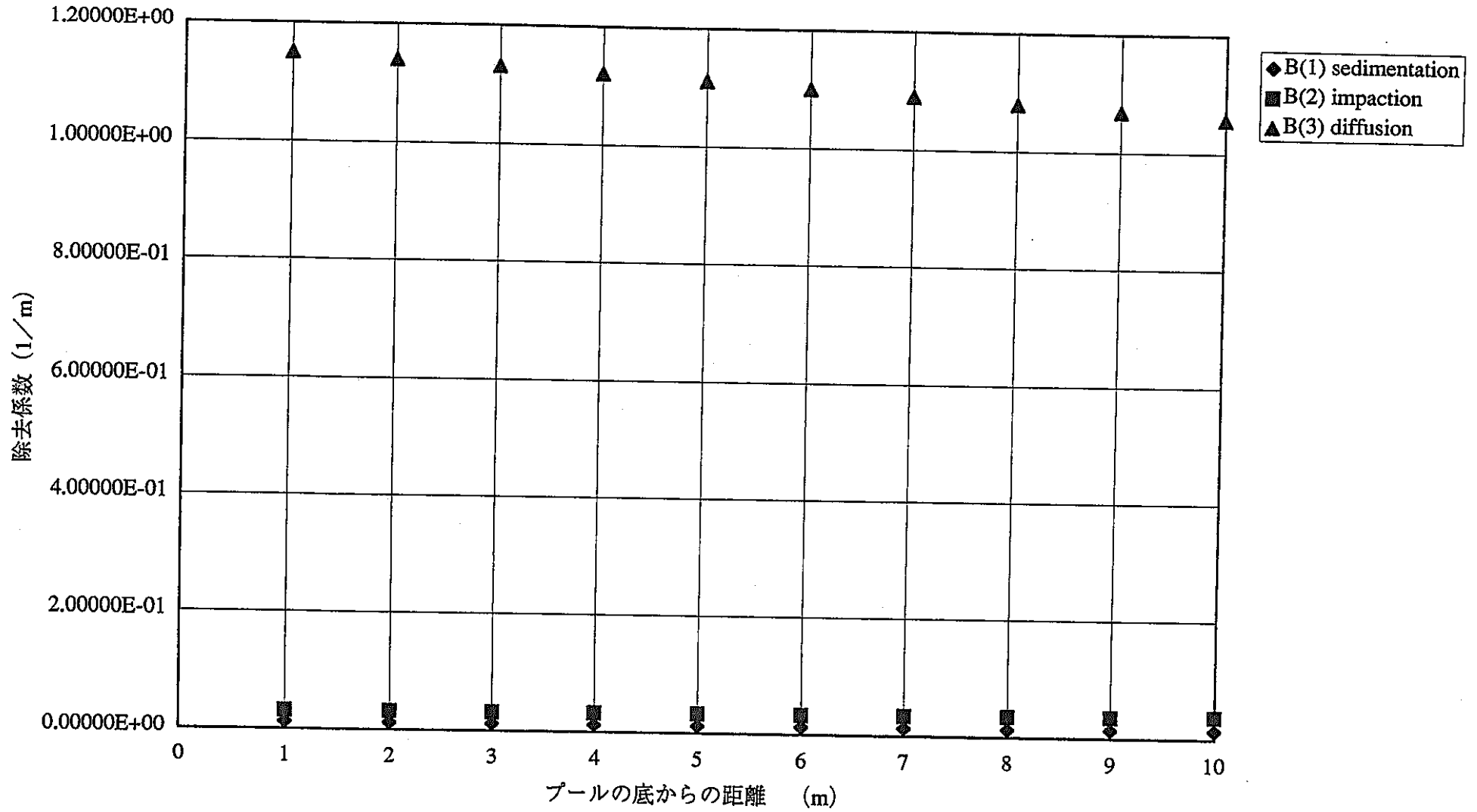


図 4.9.2 プール深さ毎のエアロゾル除去係数 (粒子径グループ: 2)

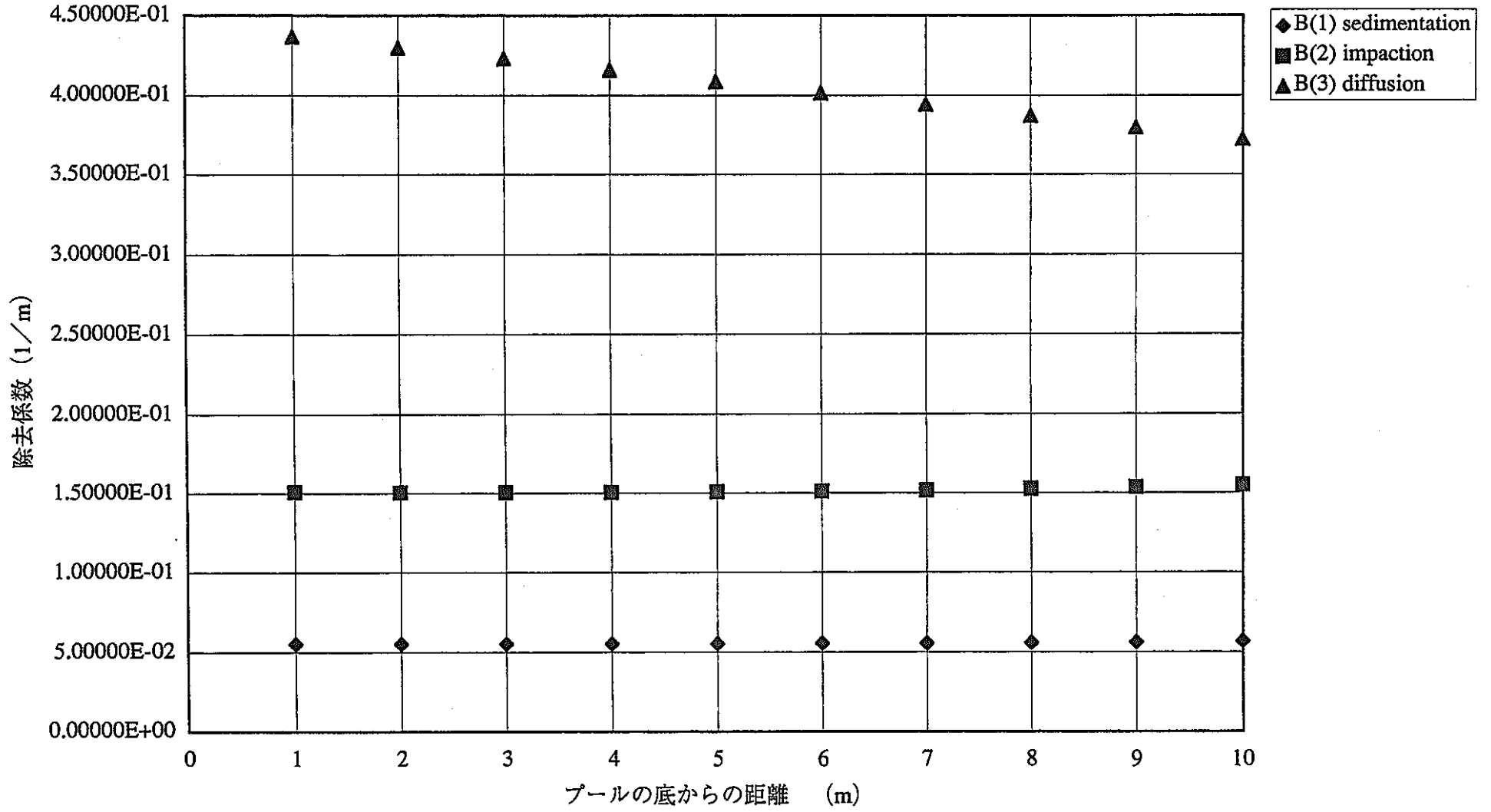


図 4.9.3 プール深さ毎のエアロゾル除去係数 (粒子径グループ: 5)

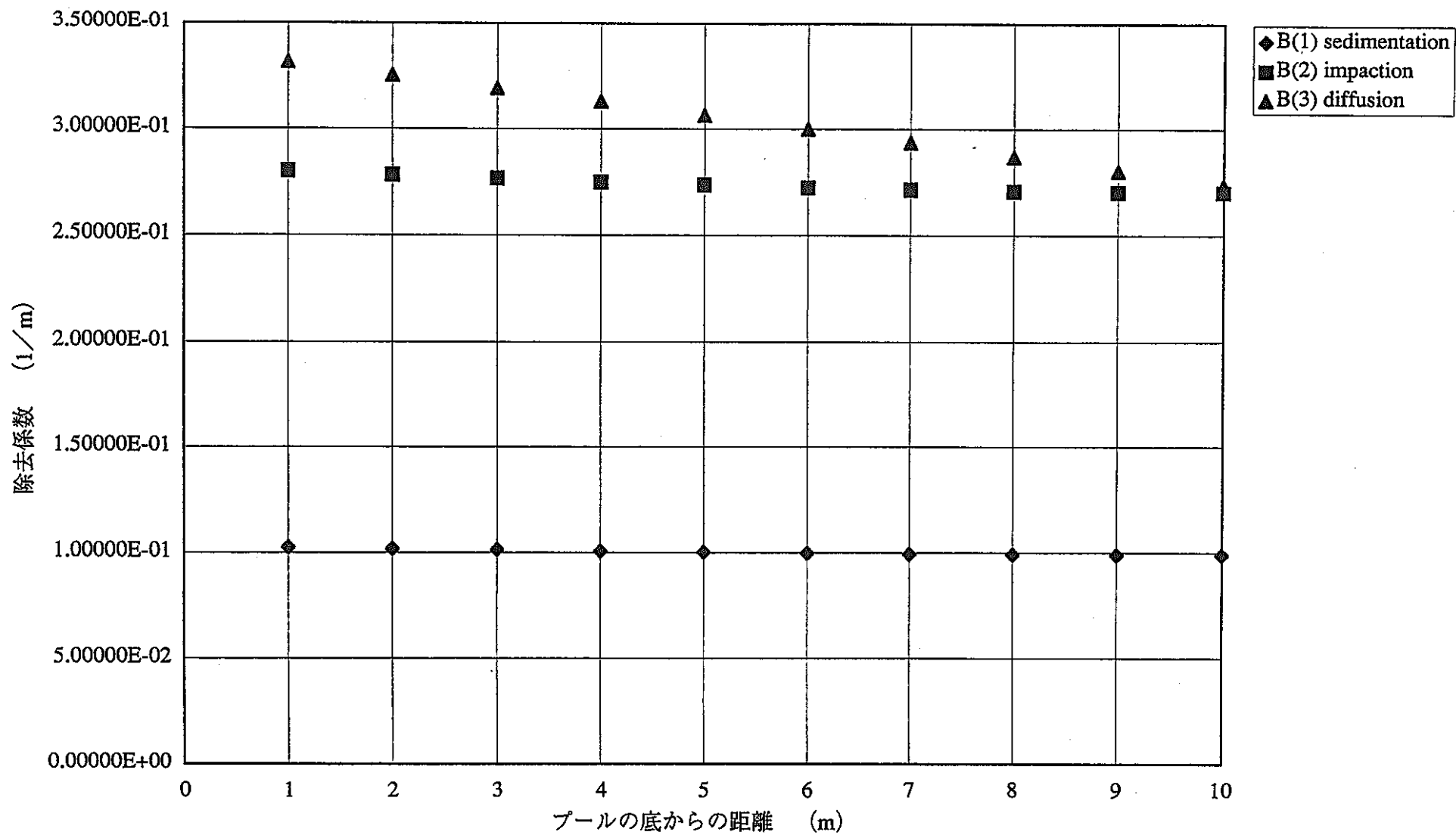


図 4.9.4 プール深さ毎のエアロゾル除去係数 (粒子径グループ: 6)

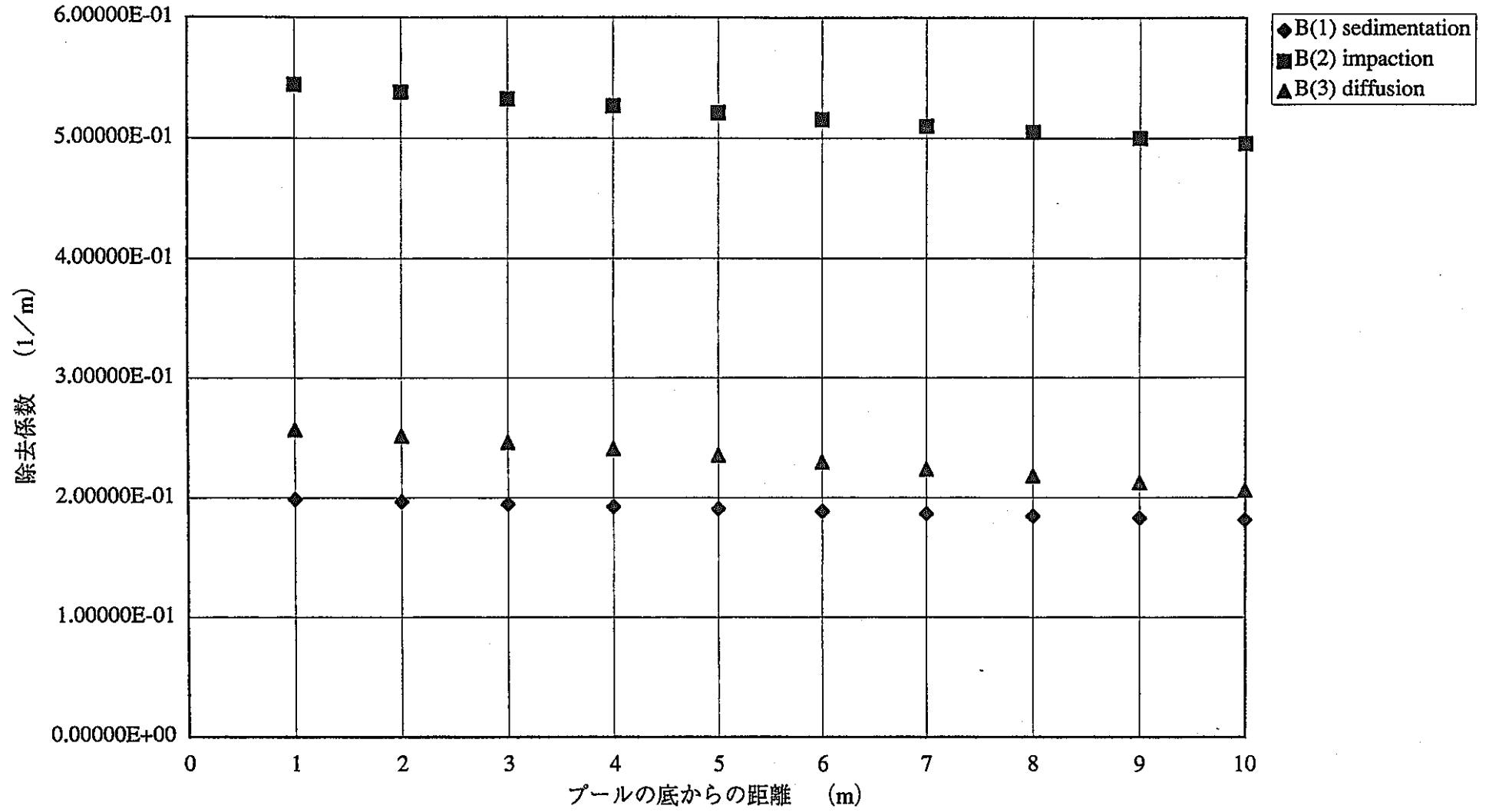


図 4.9.5 プール深さ毎のエアロゾル除去係数 (粒子径グループ:7)

表 4.9.6 計算開始 5 秒後のNaプールによるPu-239の除去割合 計算例

	基本ケース	sedimentationのみ	impactionのみ	diffusionのみ
プール中のエアロゾル質量(kg)	3.71040E-03	3.22100E-03	3.61759E-03	3.15335E-03
セル1のエアロゾル質量(kg)	3.71152E-03	3.70556E-03	3.71039E-03	3.70474E-03
セル2のエアロゾル質量(kg)	1.37418E-08	5.96979E-06	1.14326E-06	6.79313E-06
除去割合	0.9997	0.8678	0.9747	0.8496

4.10 ナトリウムプール体系への改造の提言

今回のパラメータ計算で、ナトリウムプールの温度及び深さを変化させた計算を行ったがデブリ-コンクリート相互作用によるエアロゾル発生量とFP発生量にほとんど影響がなかった。これは、現在のVANESAとCORCONのデブリ-コンクリート相互作用によるエアロゾル発生モデルにナトリウムプールの存在が直接的に取り込まれていないことによる。すなわち、パラメータ計算のケース1で実施したように、ナトリウムプール初期温度を上昇させれば、デブリの除熱が遅れることにより、この効果としてエアロゾル発生量が増大することが予想される。しかしながら、CONTAINの計算によると、この効果もデブリ-ナトリウムプール間の熱伝達率の増加により打ち消されることがわかった。

今後、CONTAIN/LMRでのナトリウムプールの扱いをさらに高精度化するためには、以下のことが考えられる。

(1) 現在のモデルの見直し

上述のように現在のモデルでは、ナトリウムプールの初期温度を増大させた場合に、デブリ-ナトリウムプール間の熱伝達率が増加するためデブリの除熱が遅れることがない。この計算結果が妥当であるか検討し、モデルに不具合がある場合には変更する必要がある。

(2) デブリへのナトリウムへの染み込みモデル

VANESAのエアロゾル発生モデルにナトリウムプールの影響を取り入れるためには、ナトリウムプールのナトリウムがデブリに染み込んでいくモデルを構築する必要があると思われる。

(3) デブリとナトリウムとの化学反応

デブリとナトリウムの化学反応については、基本的に現在のギブスの自由エネルギーの最小性を用いた解法で対処できるものとする。ただし、デブリ-コンクリート相互作用により発生する気体とナトリウムの化学反応の種類と各化学反応に対するギブスの自由エネルギーのデータベースを整備する必要がある。

(4) 実効蒸気生成係数

実効蒸気生成係数は、①凝縮相の揮発性成分の自由表面までの輸送、②自由表面に到達した成分の蒸発、③蒸気の自由表面からの離脱の3過程から計算される。これらの各相関式の見直しが必要である。

(5) デブリとナトリウムプール界面でのエアロゾルとナトリウムの化学反応

デブリとナトリウムプール界面でのエアロゾルとナトリウムの化学反応をモデル化する必要がある。

(6) ナトリウムプールでの除去

ナトリウムプールでのdecontaminationファクタ算出に用いる相関式の見直しが必要である。

上記の(1)、(4)及び(6)に対しては、現在のソースプログラムのコーディングと相関式の出典文献を調査することによりプログラムの修正を図る。(3)についてはギブスの自由エネルギーのデータベースの整備が可能かどうかポイントになると思われる。(2)と(5)については、かなり大きなモデルの改良となるので、VANESAに上記の問題を扱っている他コードの解法またはコードそのものを取り込む方向で改良するのが適当であるとする。

5 まとめ

パラメータ計算では、高速炉のメルトスルーを想定し、原子炉容器から落下したデブリの上にナトリウムプールが存在する体系でVANESAとCORCON（デブリ-コンクリート相互作用解析モデル）をリンクした計算を行った。パラメータは、ナトリウムプール温度、ナトリウムプール量（液深）、デブリ温度及び崩壊熱し、基本ケースを含めて全部で5ケースの計算を実施した。基本ケース及びパラメータ計算の結果から以下のことがわかった。

- ・ナトリウムプール初期温度を高くした場合、デブリの除熱が遅れることによりデブリ-コンクリート相互作用が促進されることが予想されたが計算ではそのような傾向は得られなかった。これは、CONTAINの計算で、デブリとナトリウムプール間の温度差が減少するものの、それを補償するような形でデブリ-ナトリウムプール間の熱伝達率が上昇するため、結果としてデブリの除熱量がほとんど変化しなかったためである。
- ・ナトリウムプール深さの変更は、デブリ-コンクリート相互作用によるエアロゾルの発生量及びFP発生量にほとんど影響を及ぼさない。ナトリウムプールの初期深さを10mとした場合、発生したFPの99.92～99.96%がナトリウムプールで除去されるが、ナトリウムプールの初期深さを5mに変更した場合、ナトリウムプールで除去されるFPの割合は98.62～99.11%に低下する。
- ・デブリ初期温度を基本ケースの2273Kから2773Kに上昇させた場合、デブリ-コンクリート相互作用によるエアロゾル発生量は1.7倍となる。
- ・崩壊熱を1/2にした場合、デブリ-コンクリート相互作用によるエアロゾル発生量は0.37倍に低下する。
- ・ナトリウムプール初期温度を高くしたケースで、デブリの重い酸化物層と金属層の逆転に対応する形でセルの雰囲気温度が一時的に変動する現象がみられた。CONTAINの計算値からセル雰囲気の熱バランスを概算した結果、セル雰囲気温度の変動は、デブリ-コンクリート相互作用の促進・抑制によるナトリウムの移動によるものである可能性がある。

VANESAモデルの調査作業では、以下の項目について調べ結果をまとめた。

- ・現モデルで考慮している化学反応
- ・化学反応において各物質が反応する際の順序の決定方法
- ・関連サブルーチンのフローチャートの作成
- ・FP/エアロゾル放出量に対するナトリウムプールの影響度
- ・CORCONモデルやその他のエアロゾル発生モデル（「動力学モデル」と「機械的発生モデル」）とのデータの授受方法

パラメータ計算を通して、ギブスの自由エネルギーの最小性から決定される各生成物の分圧、蒸気発生量を規定する実効蒸気形成係数及びナトリウムプールによるFP除去で考慮される3つの除去ファクタに関してそれぞれ具体的な値を調べた。

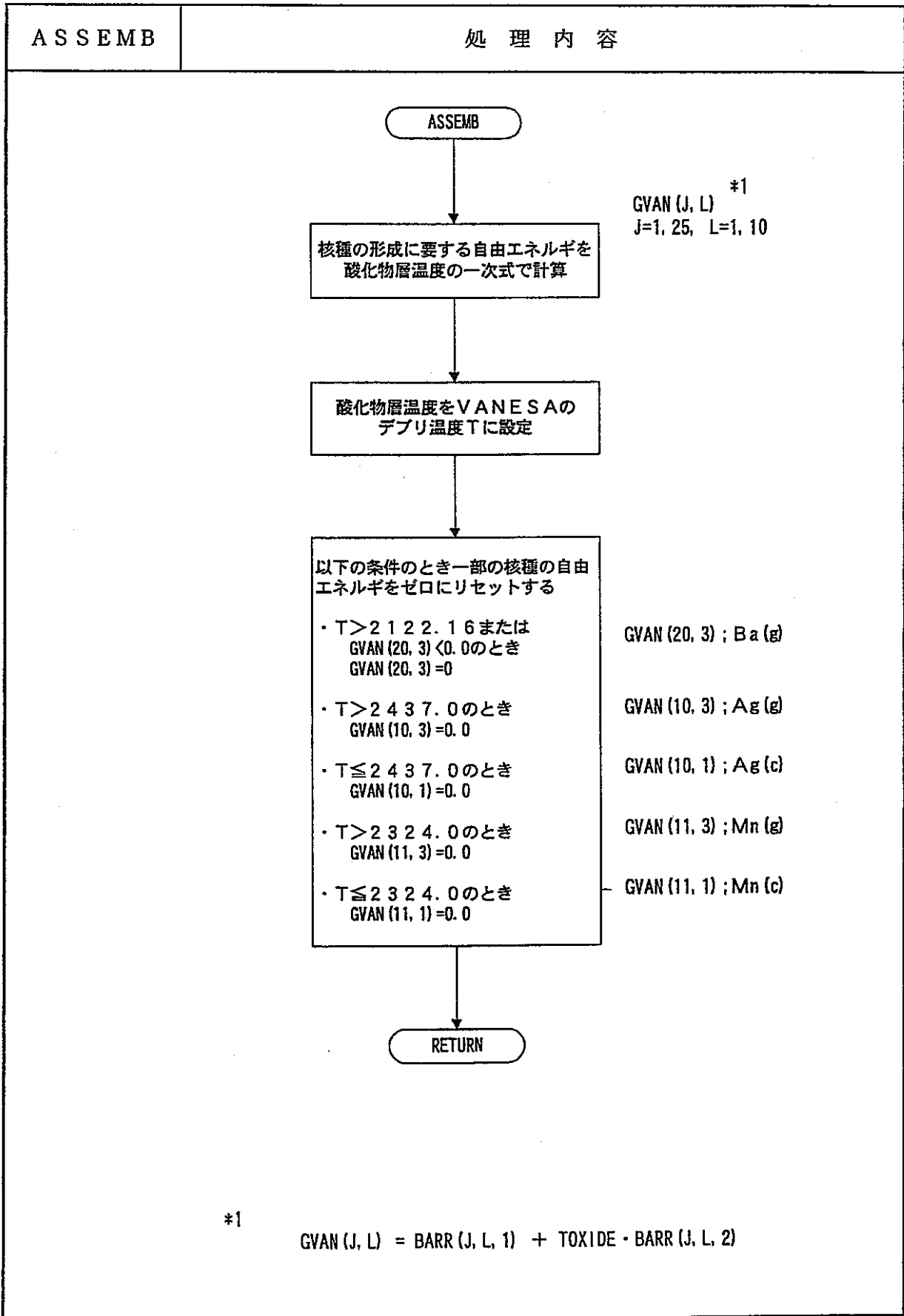
今回のパラメータ計算で、ナトリウムプールの温度及び深さを変化させた計算を行ったがデブリ-コンクリート相互作用によるエアロゾル発生量とFP発生量にほとんど影響がなかった。今後、CONTAIN/LMRでのナトリウムプールの扱いをさらに高精度化するためには、デブリとナトリウムプール界面でのエアロゾルとナトリウムの化学反応をモデル化する必要があると考える。

付録 A

VANESAモデル サブルーチン 説明書

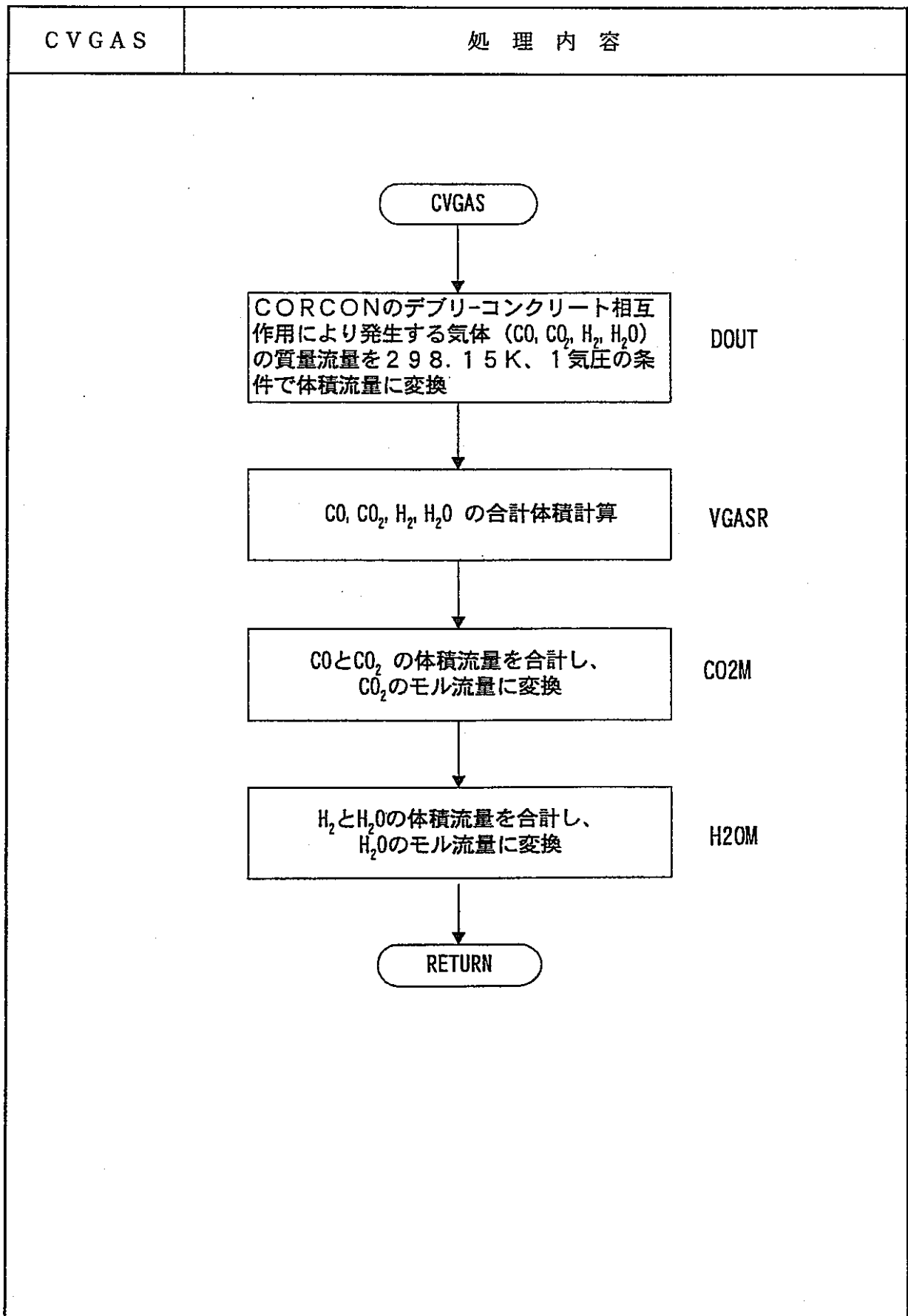
ASSEMB	機能	
()MAIN (○)SUBROUTINE ()FUNCTION	・VANESAモデルで考慮している全各種の形成に要する自由エネルギーを計算して配列GVANに格納する。	
呼び出し形式	(TOXIDE, GVAN)	
CALLED BY	VANDRV	
CALLS	なし	
使用 COMMON	VANDAT	
使用 FILE 機番	I/O	説 明
なし		

引数説明				
(タイプ) I:INTEGER R:REAL C:COMPLEX L:LOGICAL CH:CHARACTER				
引数名	I/O	タイプ	サイズ	説 明
TOXID	I	R*8	-	酸化物層温度 (K)
GVAN	I/O	R*8	(25, 10)	各核種の形成に要する自由エネルギー 生成核種については表A. 1を参照



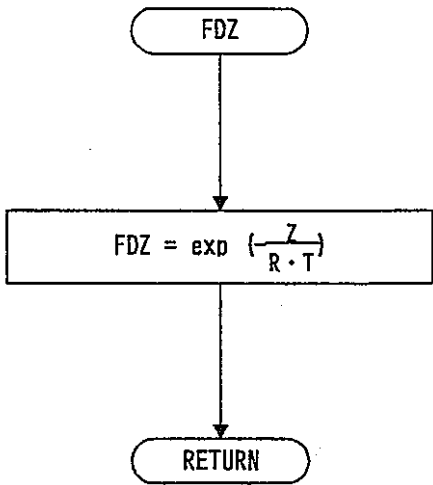
CVGAS	機能	
()MAIN (○)SUBROUTINE ()FUNCTION	・CORCONのデブリ-コンクリート相互作用の結果発生する気体流量をVANESAモデルのデブリ通過気体流量に変換する。	
呼び出し形式	(DINP , DOUT , H2OM , CO2M , VGASR)	
CALLED BY	VANDRV	
CALLS	なし	
使用 COMMON	なし	
使用 FILE 機番	I/O	説 明
なし		

引数説明				
(タイプ) I:INTEGER R:REAL C:COMPLEX L:LOGICAL CH:CHARACTER				
引数名	I/O	タイプ	サイズ	説 明
DINP	I	R*8	(4)	CORCONのデブリ-コンクリート相互作用の結果発生するCO、CO ₂ 、H ₂ 、H ₂ Oの質量流量 (kg/s)
DOUT	0	R*8	(4)	上記の質量流量を 298.15K、1気圧の条件で体積流量に変換した値 (cm ³ /s)
H2OM	0	R*8	-	VANESAモデルでのH ₂ Oのモル流量 (mol/s)
CO2M	0	R*8	-	VANESAモデルでのCO ₂ のモル流量 (mol/s)
VGASR	0	R*8	-	VANESAモデルで、デブリと反応する気体の合計体積流量 (cm ³ /s)



F D Z	機 能	
()MAIN ()SUBROUTINE (○)FUNCTION	・ e x p (- Z / R T) の演算を行う。	
呼び出し形式	(Z)	
CALLED BY	SRPP	
CALLS	なし	
使用 COMMON	FZ	
使用 FILE 機番	I/O	説 明
なし		

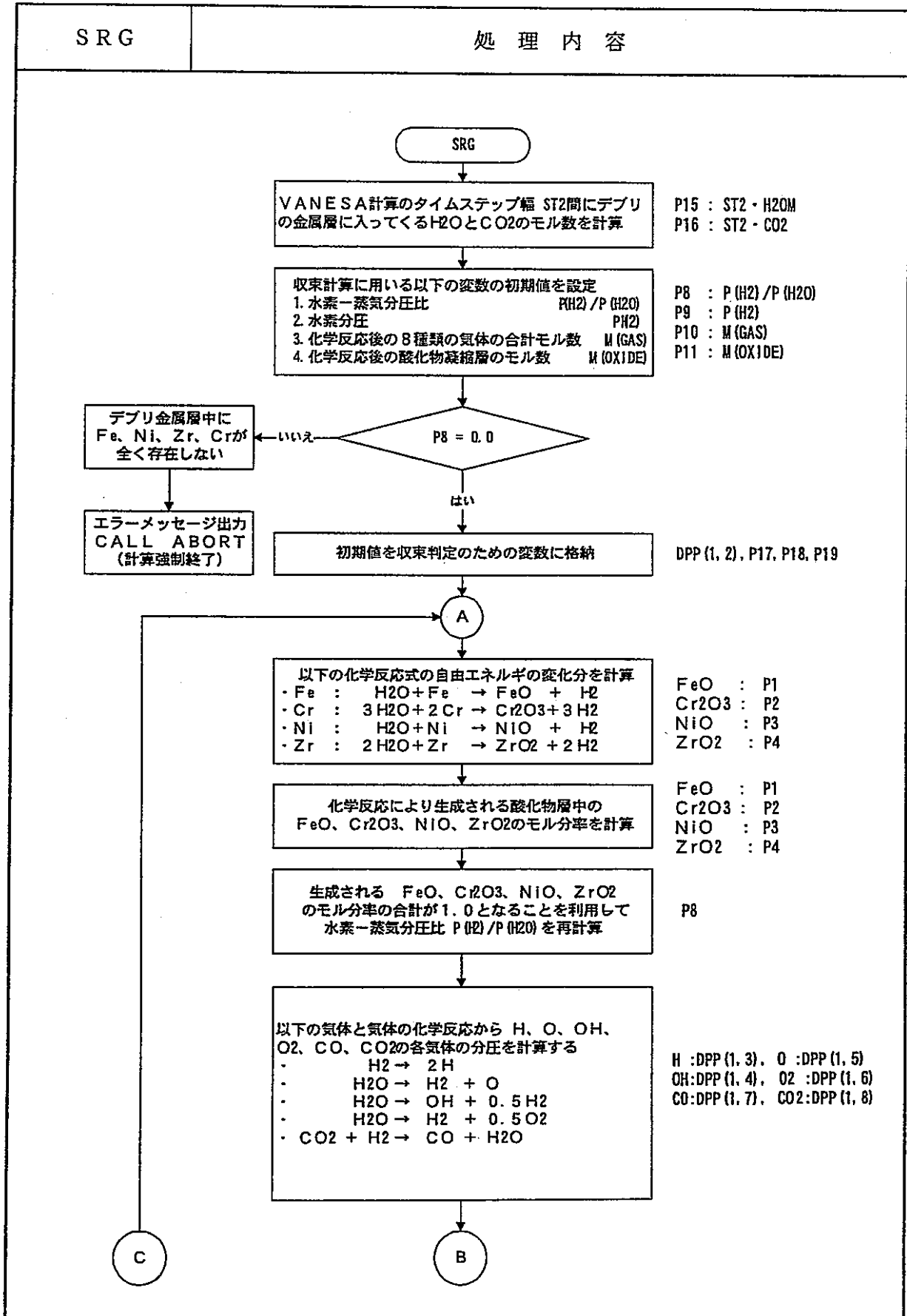
引 数 説 明				
(タイプ) I:INTEGER R:REAL C:COMPLEX L:LOGICAL CH:CHARACTER				
引数名	I/O	タイプ	サイズ	説 明
Z	I	R*8	-	核種生成に必要なギブスの自由エネルギー

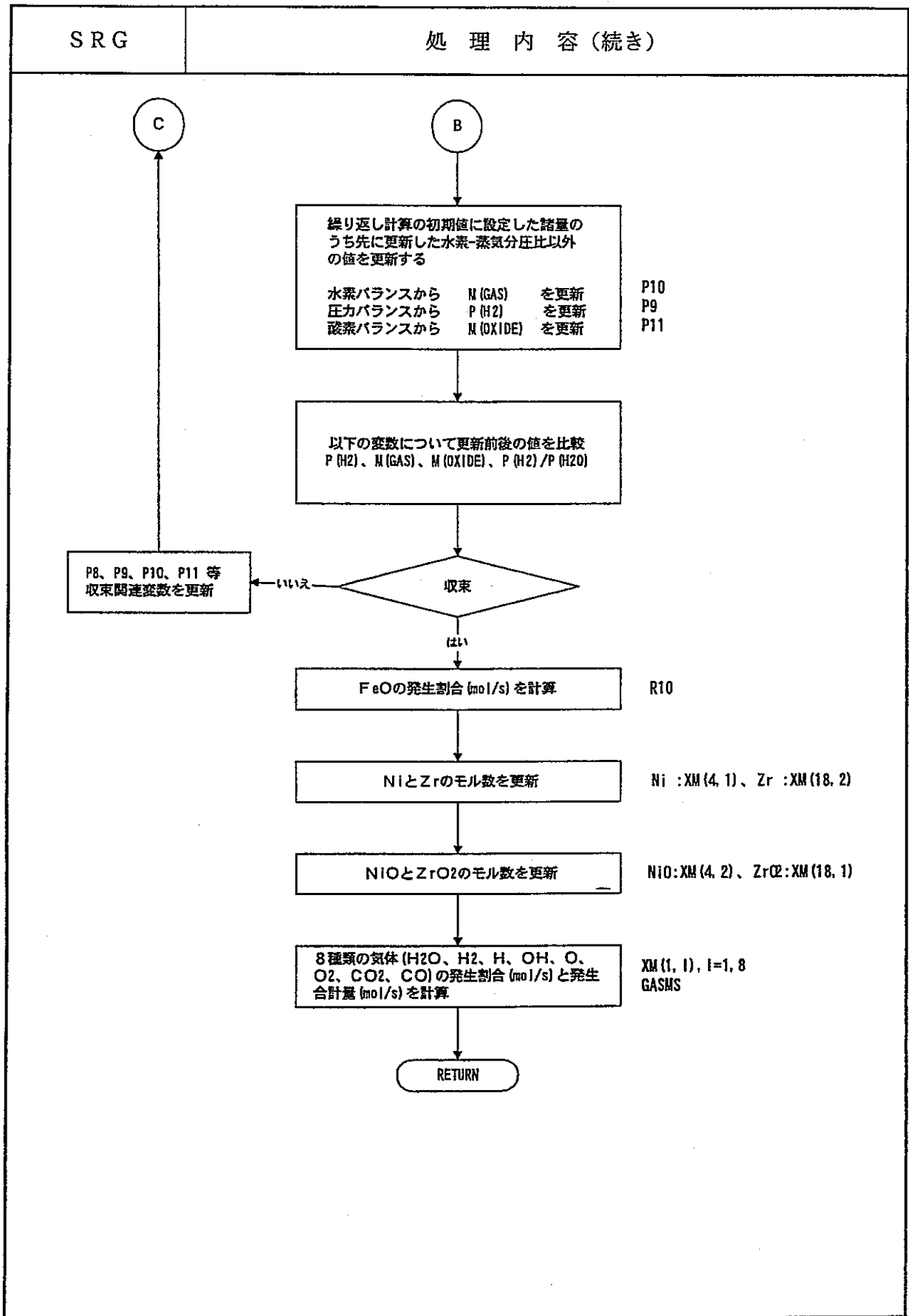
FDZ	処理内容
 <pre> graph TD Start([FDZ]) --> Process[FDZ = exp(-Z / (R * T))] Process --> End([RETURN]) </pre>	
	<p>Z : 自由エネルギー R : 気体定数 (=1.987) T : 酸化物層温度</p>

SRG	機能	
()MAIN (○)SUBROUTINE ()FUNCTION	・気体とデブリの化学反応の第1ステップとして、コンクリートからの気体 (H ₂ O、CO ₂) とデブリ金属層中の4核種 (Fe、Ni、Zr およびCr) との化学反応を評価する	
呼び出し形式	(PVAR , SMETP , Z , QVAR , R10 , R11 , GASMS , H2OM , CO2M , XM , GVAN , ST2 , SPP , NERR)	
CALLED BY	VANESA	
CALLS	ABORT	
使用 COMMON	なし	
使用 FILE 機番	I/O	説 明
NERR(=17)	0	エラーメッセージをプリント出力

引数説明				
(417) I:INTEGER R:REAL C:COMPLEX L:LOGICAL CH:CHARACTER.				
引数名	I/O	417	サイズ	説 明
PVAR	I	R*8	-	圧力 (= 1 気圧)
SMETP	I	R*8	-	デブリ中の金属層の各成分の合計モル数
Z	I	R*8	-	Z = R・T ここで R : 気体定数 (=1.987 cal/mol・K) T : デブリ温度 (K)
QVAR	I	R*8	-	デブリと反応する気体の合計流量 (未使用)
R10	I/O	R*8	-	FeOの発生速度 (mol/s)
R11	I/O	R*8	-	Cr ₂ O ₃ の発生速度 (mol/s)
GASMS	I/O	R*8	-	デブリに入ってくる気体 (H ₂ O、CO ₂) がFe、Ni、Zr、Crと化学反応した後の8種類の気体合計発生流量 (mol/s)
H2OM	I	R*8	-	デブリ-コンクリート相互作用によるH ₂ Oの発生速度 (mol/s)
CO2M	I	R*8	-	デブリ-コンクリート相互作用によるCO ₂ の発生速度 (mol/s)

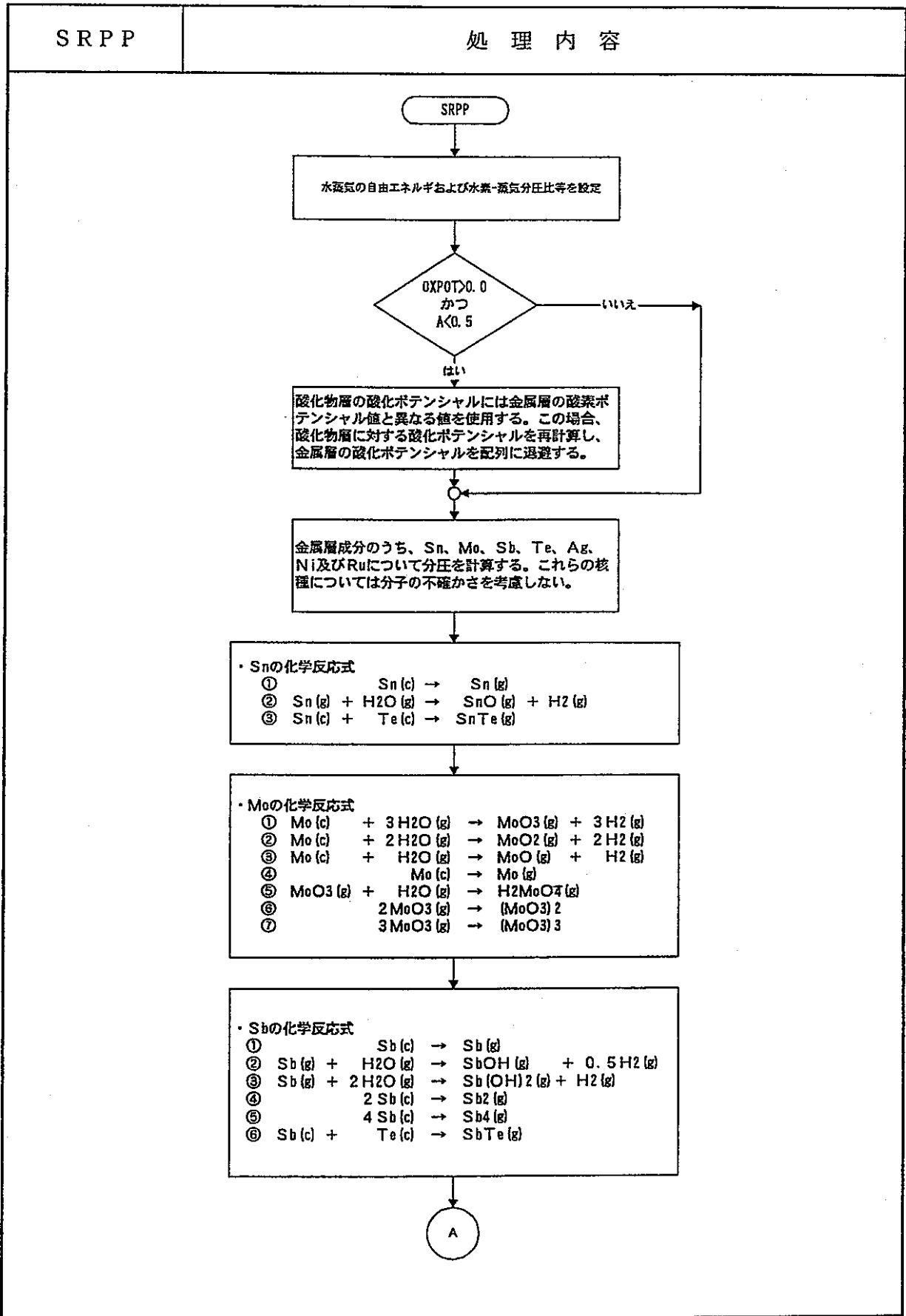
S R G		引 数 説 明 (続 き)		
(タイプ) I:INTEGER R:REAL C:COMPLEX L:LOGICAL CH:CHARACTER				
引数名	I/O	タイプ	サイズ	説 明
XM	I/O	R*8	(25, 10)	化学反応による核種の発生速度またはモル数。サブルーチンSRGでは、気体と金属層の化学反応における8気体の発生速度と、一部の金属層のモル数が計算される。 (mol/s)または(mol)
GVAN	I	R*8	(25, 10)	核種の生成に必要な自由エネルギー
ST2	I	R*8	—	VANAESAモデル計算のタイムステップ幅 (s)
SPP	I/O	R*8	(25, 10)	核種の分圧。サブルーチンSRGでは、P(1, I), I=1, 8が更新される
NERR	I	I*4	—	エラーメッセージを出力する装置参照番号(=17)

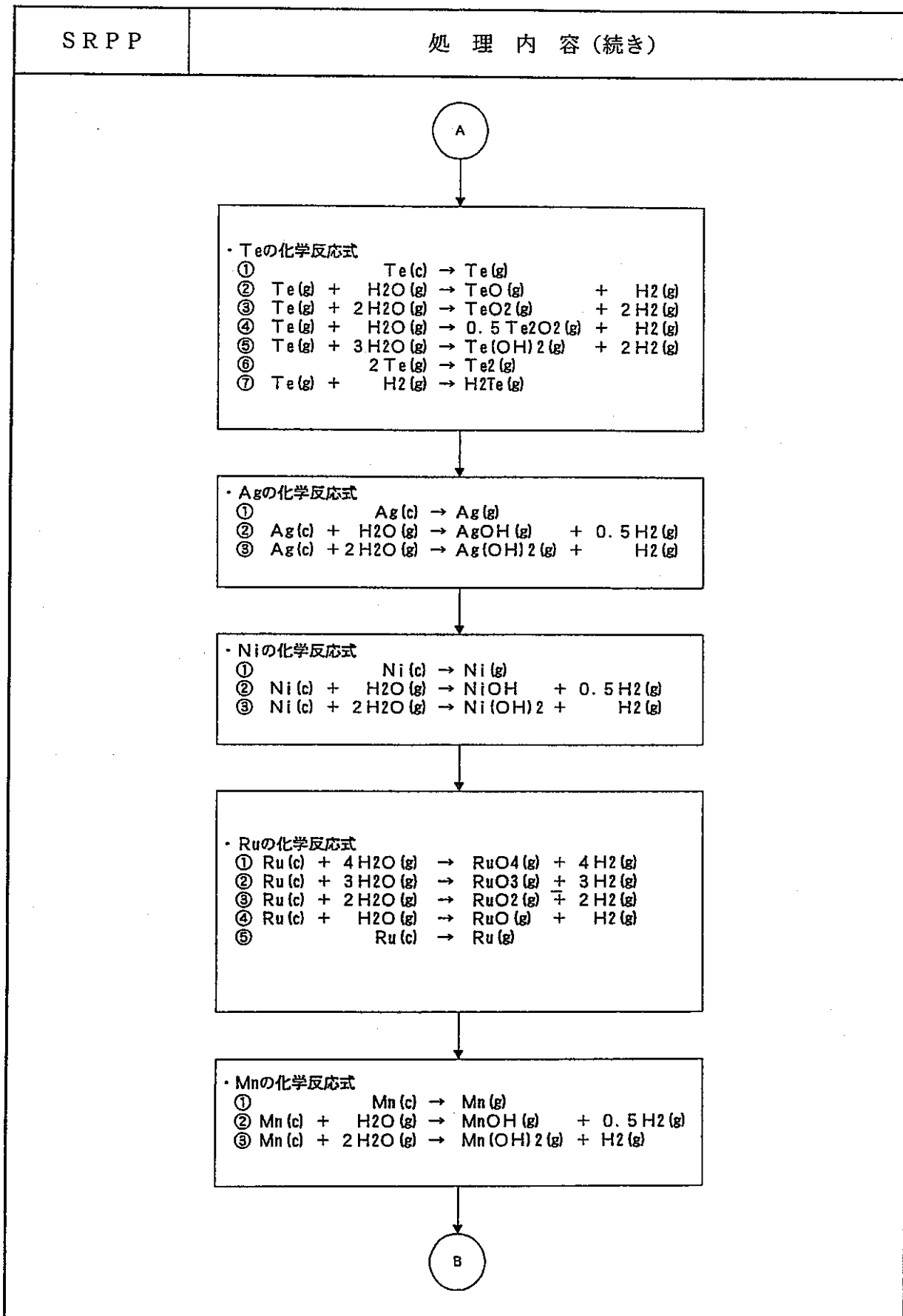


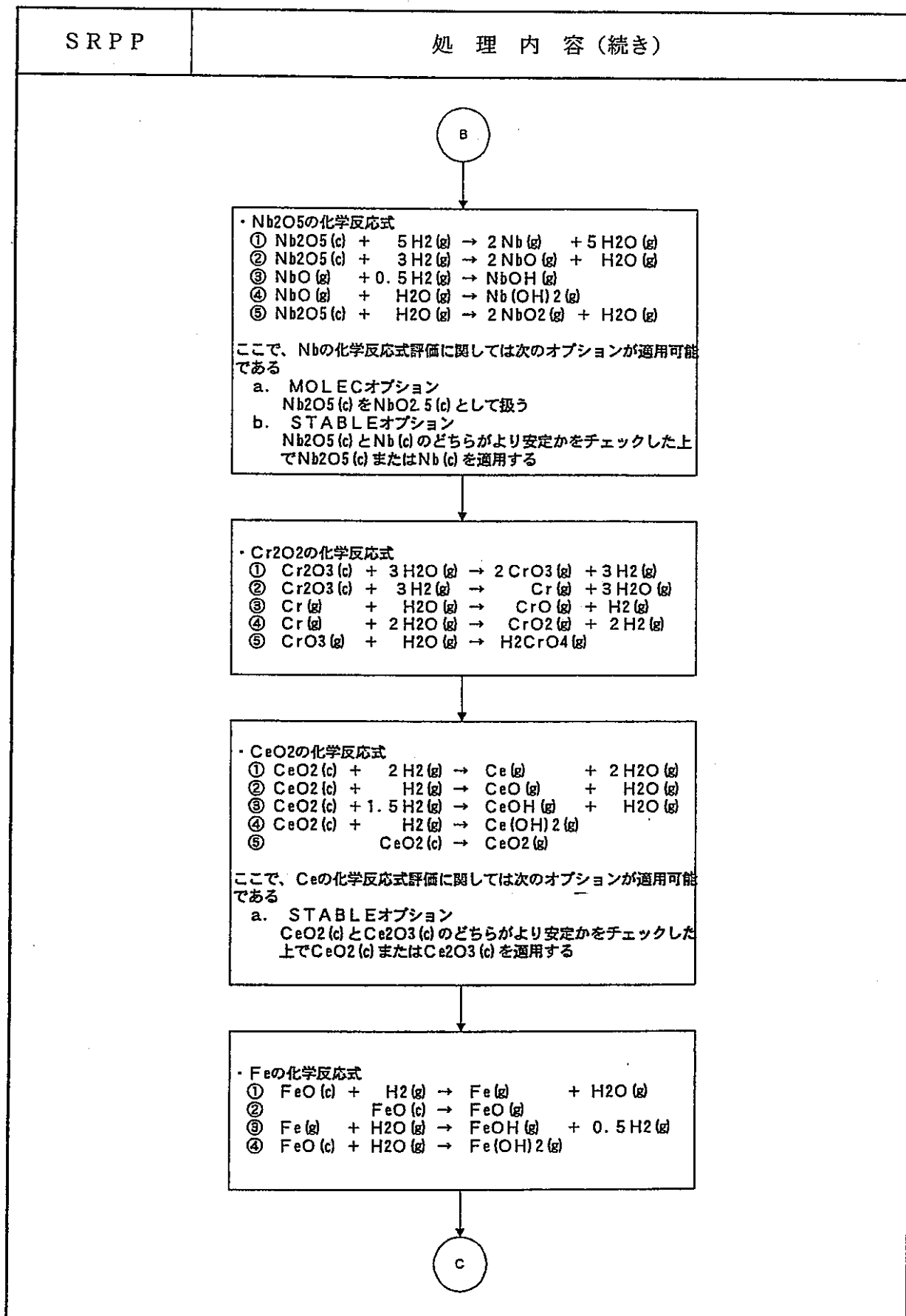


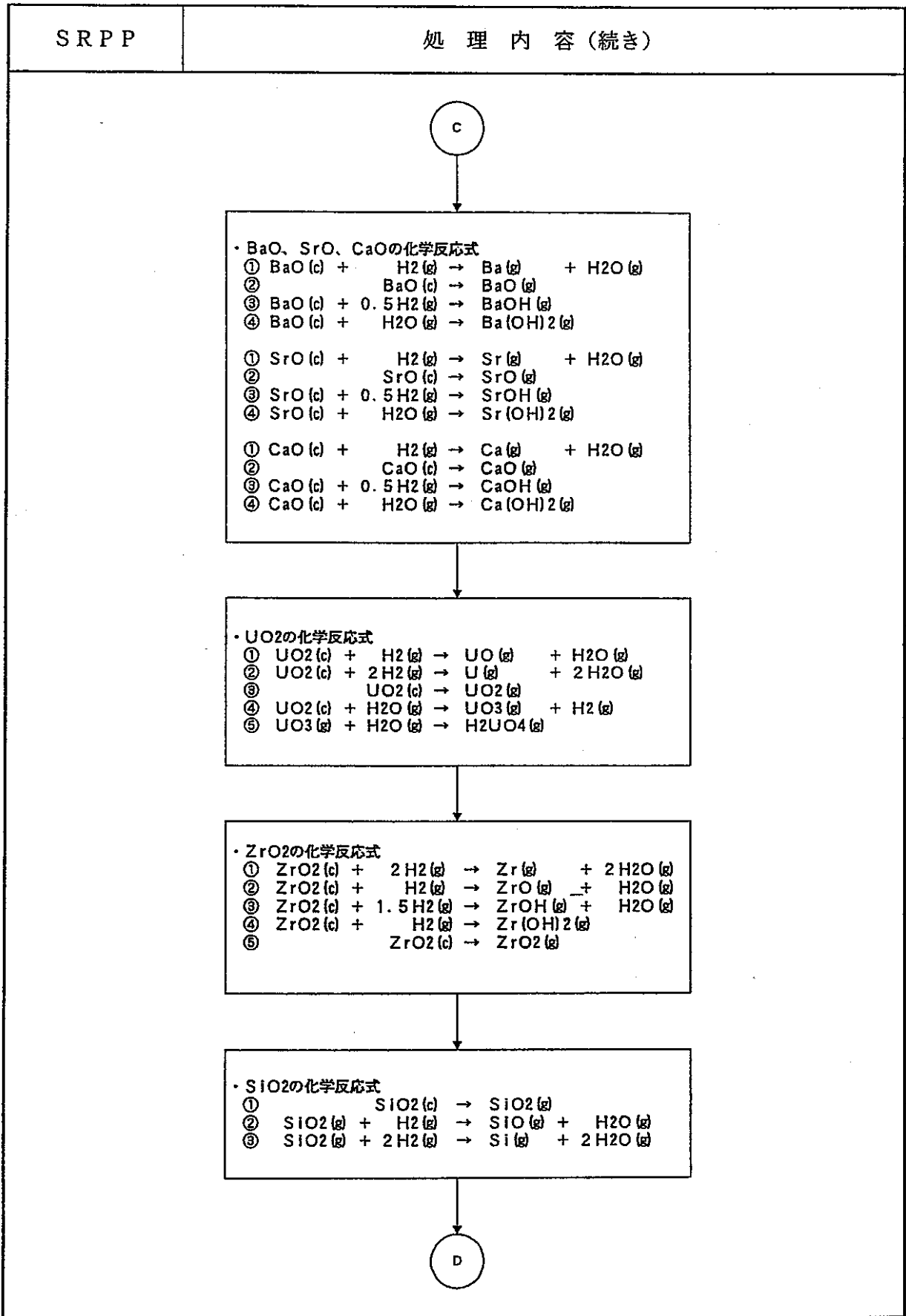
SRPP	機能	
()MAIN (○)SUBROUTINE ()FUNCTION	・気体とSn、Mo、Sb、Te、Ag、Ni、Ru、Mnの化学反応ならびに 気体と酸化物層の化学反応を評価する。	
呼び出し形式	(XM ,GVAN ,SOXP ,P ,OX POT ,MOLEC ,CPSTB)	
CALLED BY	VANESA	
CALLS	なし	
使用 COMMON	なし	
使用 FILE 機番	I/O	説 明
なし		

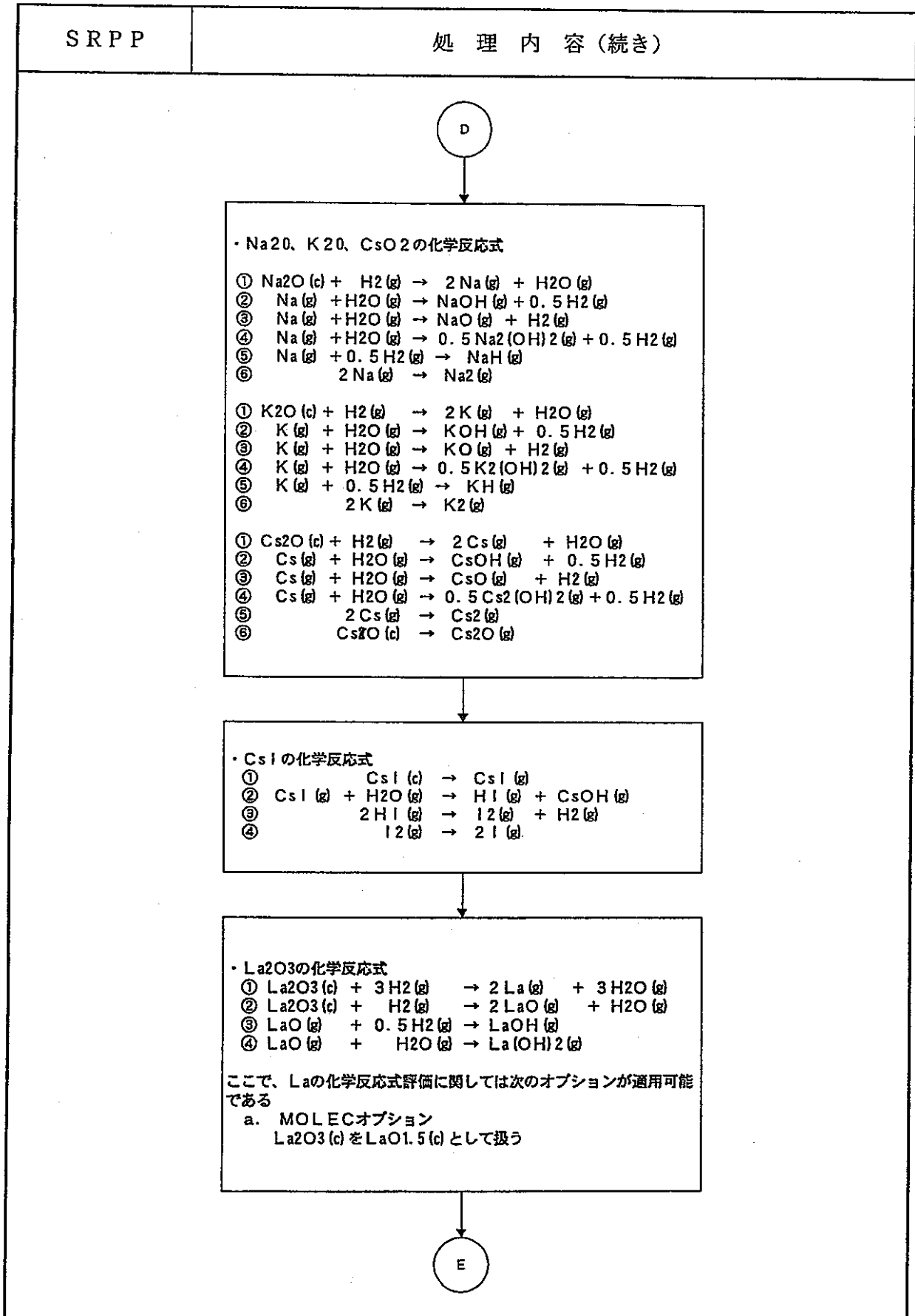
引数説明				
(タイプ) I:INTEGER R:REAL C:COMPLEX L:LOGICAL CH:CHARACTER				
引数名	I/O	タイプ	サイズ	説 明
XM	I	R*8	(25, 10)	化学反応による核種お発生速度またはモル数。 (mol/s)または(mol)
GVAN	I	R*8	(25, 10)	核種の生成に必要な自由エネルギー
SOXP	I	R*8	—	酸化物層の合計発生速度 (mol/s)
SMETP	I	R*8	—	金属層の合計モル数 (mol)
P	I	R*8	(25, 10)	核種の分圧
OX POT	I/O	R*8	—	酸素ポテンシャル値 (水素-蒸気分圧比の逆数) 通常はコード内部で計算された値が用いられる
MOLEC	I	L*4	(2)	分子感度解析オプションのON/OFFを示すフラグ
CPSTB	I	L*4	(2)	凝縮相安定度解析オプションのON/OFFを示す フラグ

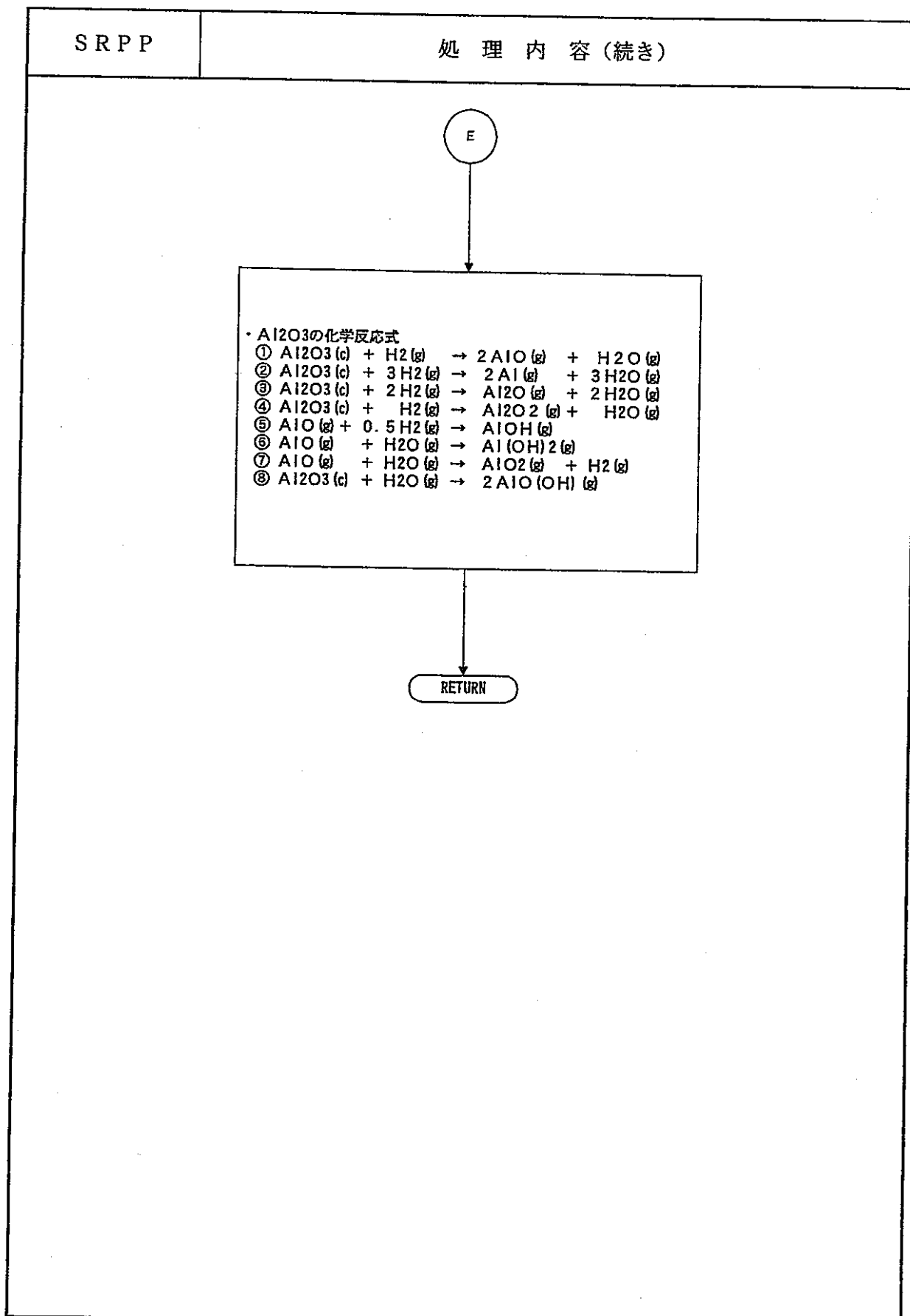




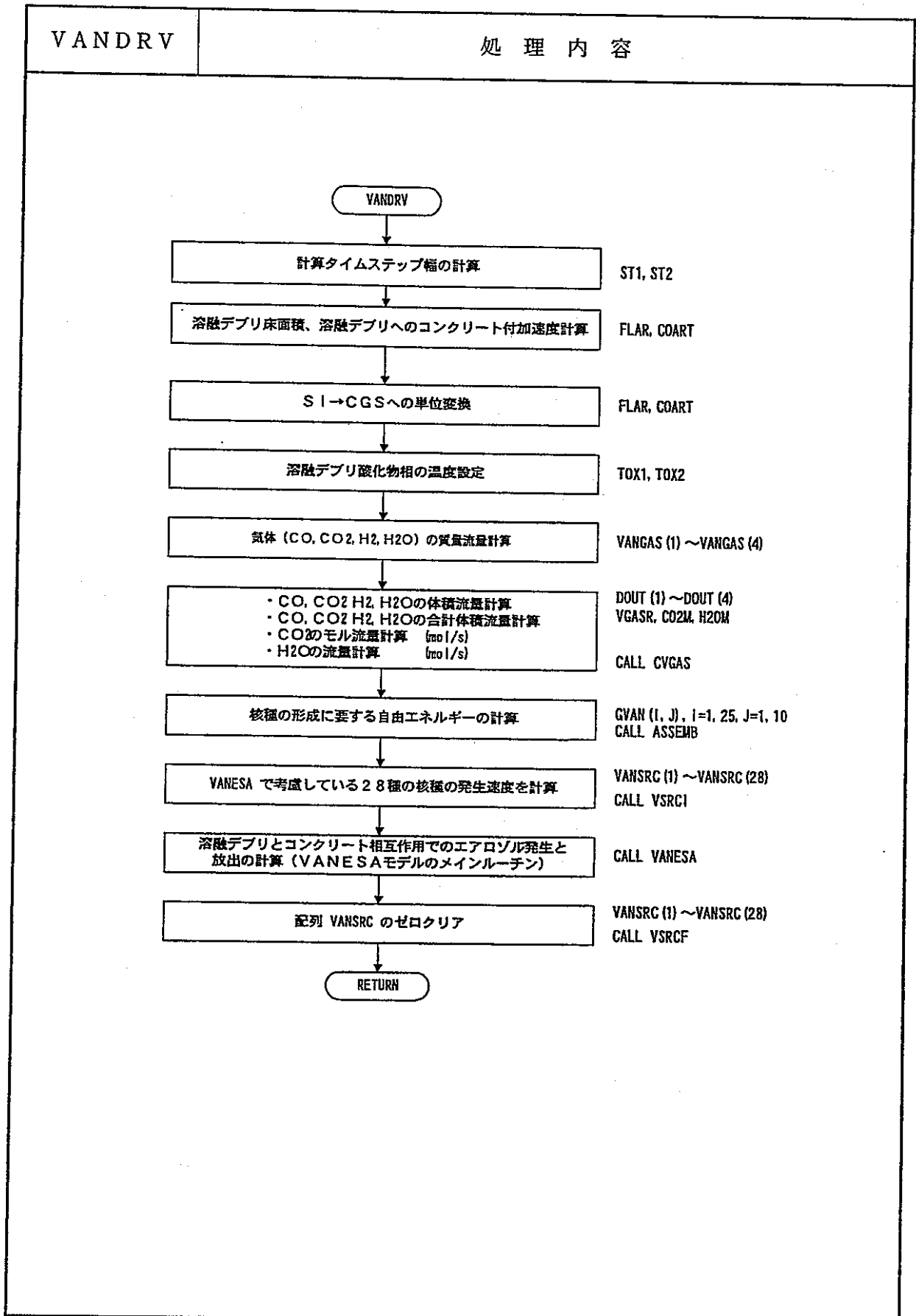








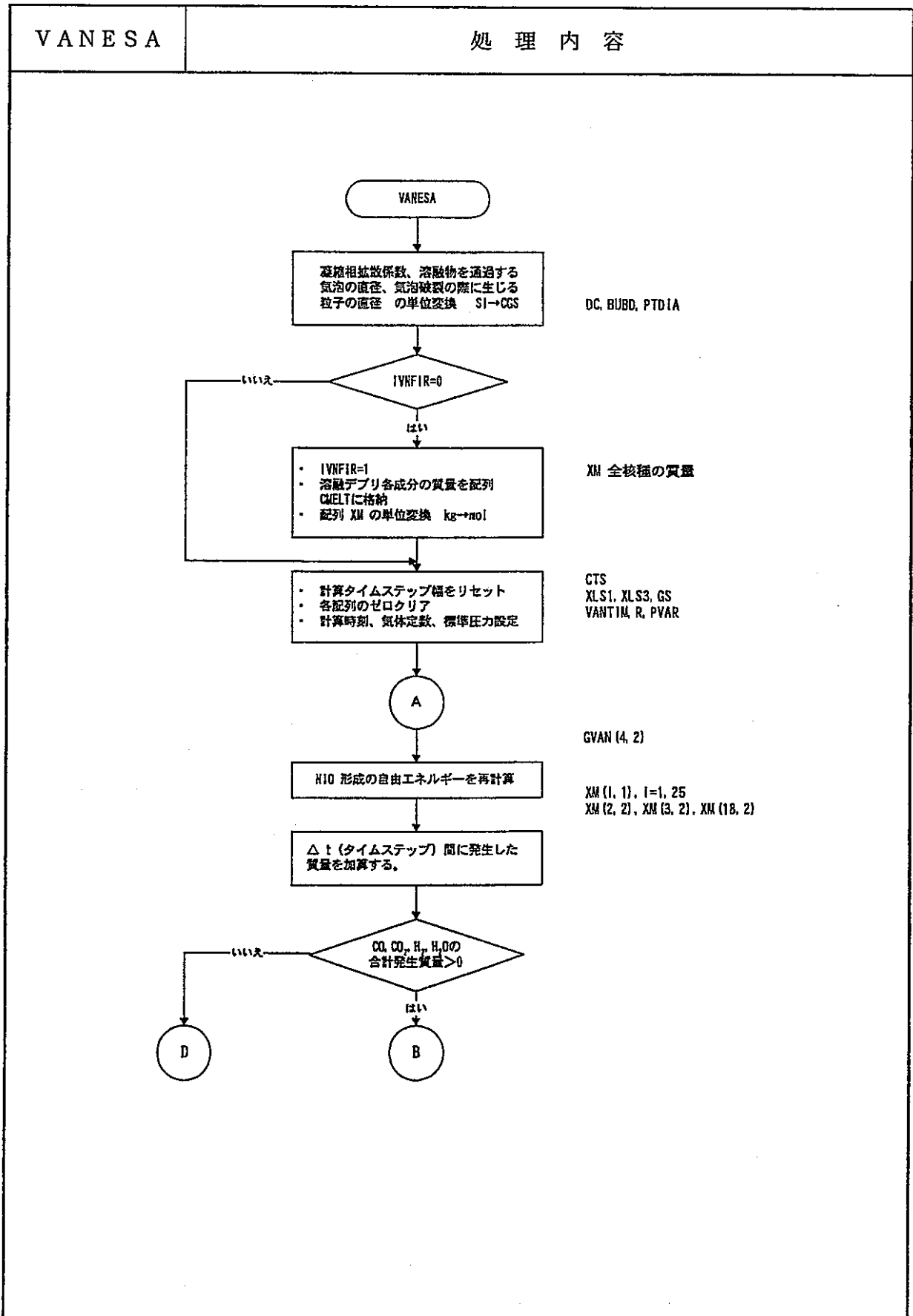
VANDRV	機 能	
()MAIN (○)SUBROUTINE ()FUNCTION	・CONTAIN本体からVANESAモデルへの変数の受け渡しを行い、VANESAモデル演算サブルーチンVANESAをCALLする。	
呼び出し形式	-	
CALLED BY	CONCRE	
CALLS	CVGAS , ASSEMB, VSRCI , VANESA, VSRCF	
使用 COMMON	CNCRTC, CNCRTI, CNCRTL, CNCRTR, TIMEC , TIMEI , TIMEL , TIMER , TWO , CCLNKT, CCLNKR, CCLNKI, VANPRE, VANPRI, VANPRL, VANOUT, TAPEC , TAPEI , TAPEL , TAPER , FLAGGC, FLAGGI, FLAGGL, FLAGGR, FLAGCC, FLAGCI, FLAGCL, FLAGCR.	
使用 FILE 機番	I/O	説 明
なし		

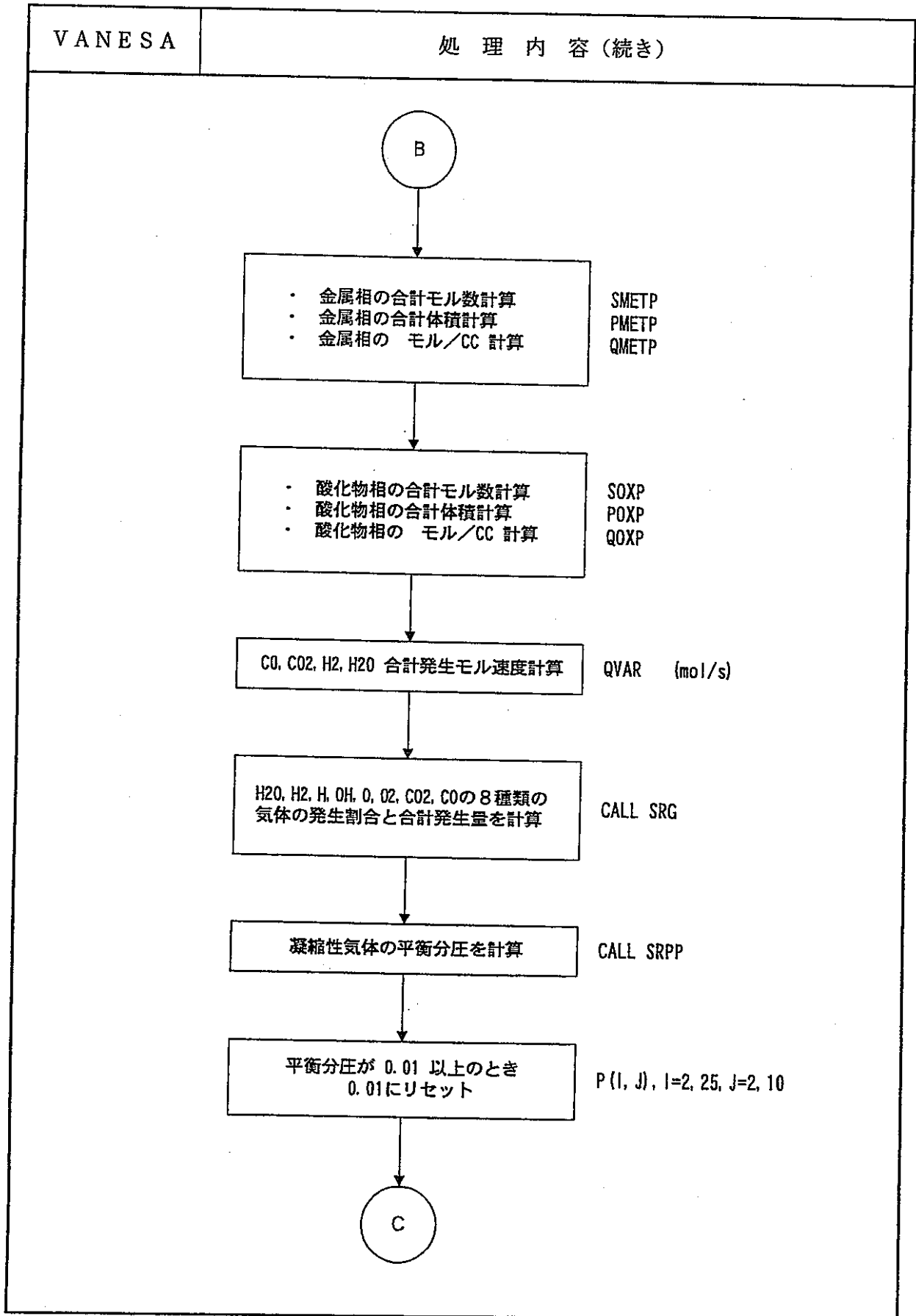


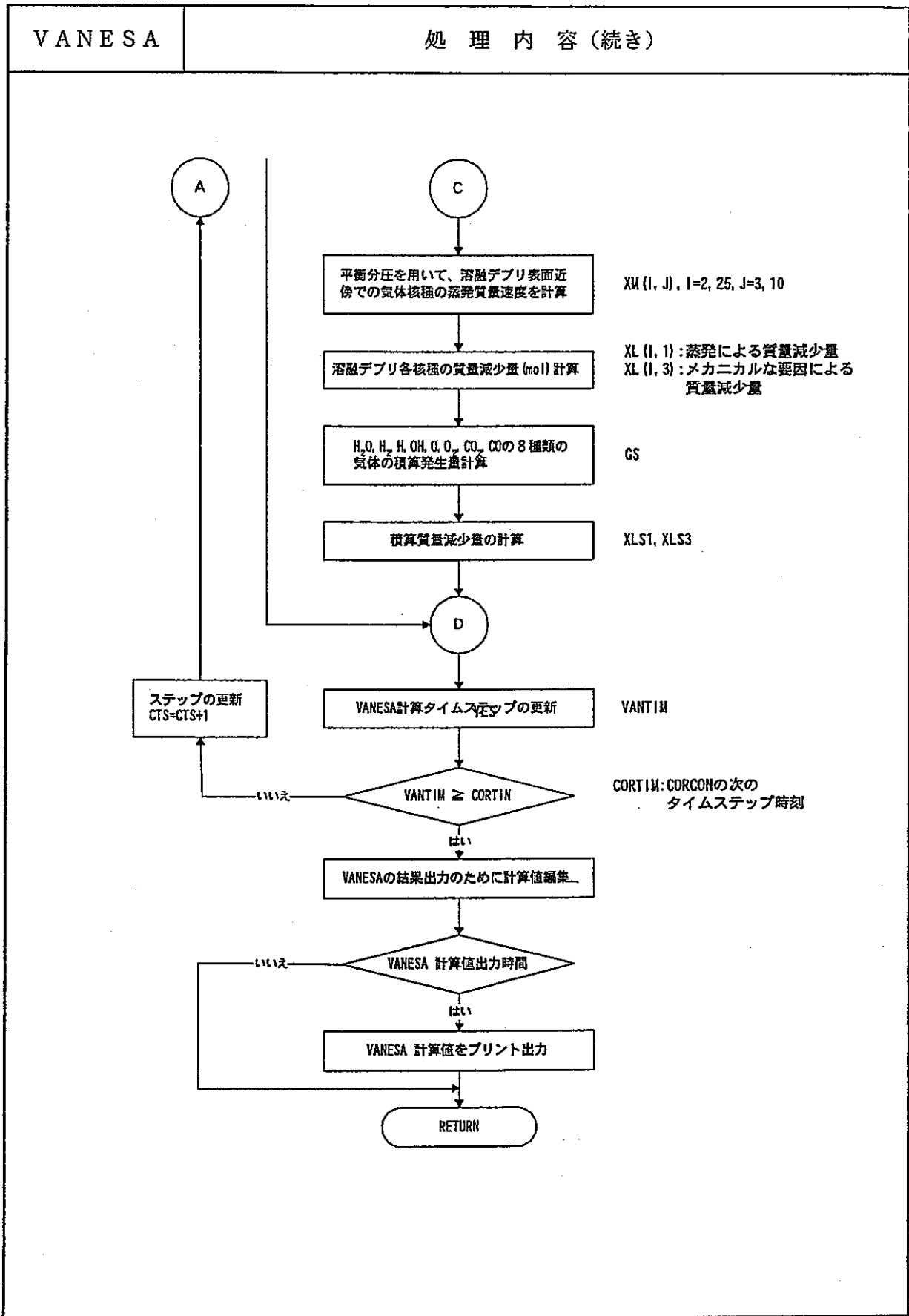
VANESA	機能	
()MAIN (○)SUBROUTINE ()FUNCTION	・デブリ-コンクリート相互作用によるエアロゾルの発生量と放出量を計算する。	
呼び出し形式	(CTIME , CORTIM, ST1 , ST2 , VGASR , TOX1 , TOX2 , COART , FLAR , H2OM , CO2M , GVAN , OXPOT , MOLEC , CPSTB , DEBUG , NERR , IVNEDT)	
CALLED BY	VANDRV	
CALLS	SRG , SRPP , VANOTP	
使用 COMMON	VANPRR, VANPRI, VANPRL, VANOUT, VANDAT, FZ	
使用 FILE 機番	I/O	説明
なし		

VANESA		引数説明		
(タイプ) I:INTEGER R:REAL C:COMPLEX L:LOGICAL CH:CHARACTER				
引数名	I/O	タイプ	サイズ	説明
CTIME	I	R*8	-	CONTAINの計算時刻 (現ステップ) (s)
CORTIM	I	R*8	-	CORCONの計算時刻 (次ステップ) (s)
ST1	I	R*8	-	CORCONの計算タイムステップ幅 (s)
ST2	I	R*8	-	VANESAの計算タイムステップ幅 (s)
VGASR	I	R*8	-	CO, CO2, H2, H2Oの合計体積流量 (cm ³ /s)
TOX1	I	R*8	-	酸化物層温度 (K)
TOX2	I	R*8	-	酸化物層温度 (TOX1と同一温度) (K)
COART	I	R*8	-	コンクリート浸食割合 (g/s)
FLAR	I	R*8	-	デブリによって覆われている床面積 (cm ²)
H2OM	I	R*8	-	デブリ-コンクリート相互作用により発生するH2O (H2の発生量を含む) (mol/s)
CO2M	I	R*8	-	デブリ-コンクリート相互作用により発生するCO2 (COの発生量を含む) (mol/s)
GVAN	I/O	R*8	(25, 10)	核種の形成に必要な自由エネルギー

VANESA		引数説明(続き)		
(タイプ) I: INTEGER R: REAL C: COMPLEX L: LOGICAL CH: CHARACTER				
引数名	I/O	タイプ	サイズ	説明
OX POT	I	R*8	—	<p>気体とデブリ酸化物層の化学反応で使用する酸素ポテンシャル値を制御する値。OX POT=0.0(デフォルト)のときは気体とデブリ酸化物層の化学反応に対して、金属層と同じ酸素ポテンシャル値が適用される。OX POT≠0.0のときデブリ酸化物層の化学反応に対する酸素ポテンシャル値(=P(H2O)/P(H2))は次式で計算される。</p> $Y = (1.0 - OXPOT) \cdot Y(\text{met}) + OXPOT \cdot Y(\text{OX})$ <p>ここで Y : $\ln [P(\text{H}_2\text{O})/P(\text{H}_2)]$ Y(met) : 金属層と酸化物層の相互作用がない場合の金属層の$\ln [P(\text{H}_2\text{O})/P(\text{H}_2)]$。この値はプログラム内部で計算される。 Y(ox) : 金属層と酸化物層の相互作用がない場合の酸化物層の$\ln [P(\text{H}_2\text{O})/P(\text{H}_2)]$</p>
MOLEC	I	L*4	(2)	MOLECオプションがONのときにはLa ₂ O ₃ とNb ₂ O ₅ をLaO _{1.5} とNbO _{2.5} として扱う。モル分率が極めて小さいときに誤差を少なくするため。MOLEC(1)のみ有効でMOLEC(2)は不使用
CPSTB	I	L*4	(2)	STABLEオプション。このオプションがONのときにはNb ₂ O ₅ とNbならびにCeO ₂ とCe ₂ O ₃ のどちらかが安定かをチェックした上で安定の方の核種を扱う。CPSTB(1)のみ有効。
DEBUG	I	L*4	—	デバッグのフラグ
NERR	I	I*4	—	エラーメッセージをプリント出力する装置番号(=17)
IVNEDT	I	I*4	—	VANESAのプリント出力とCORCONのプリント出力を同調させるためのフラグ

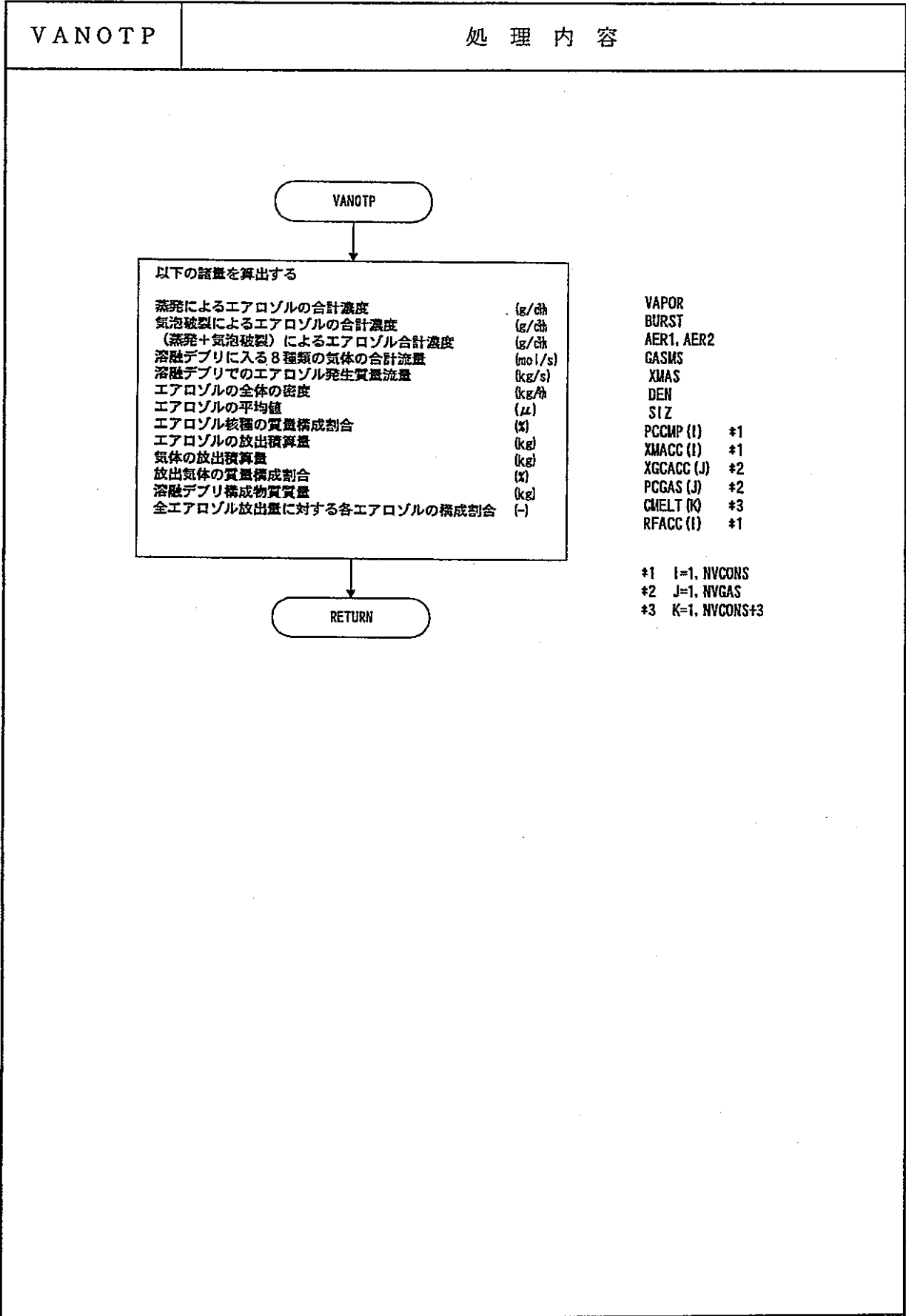




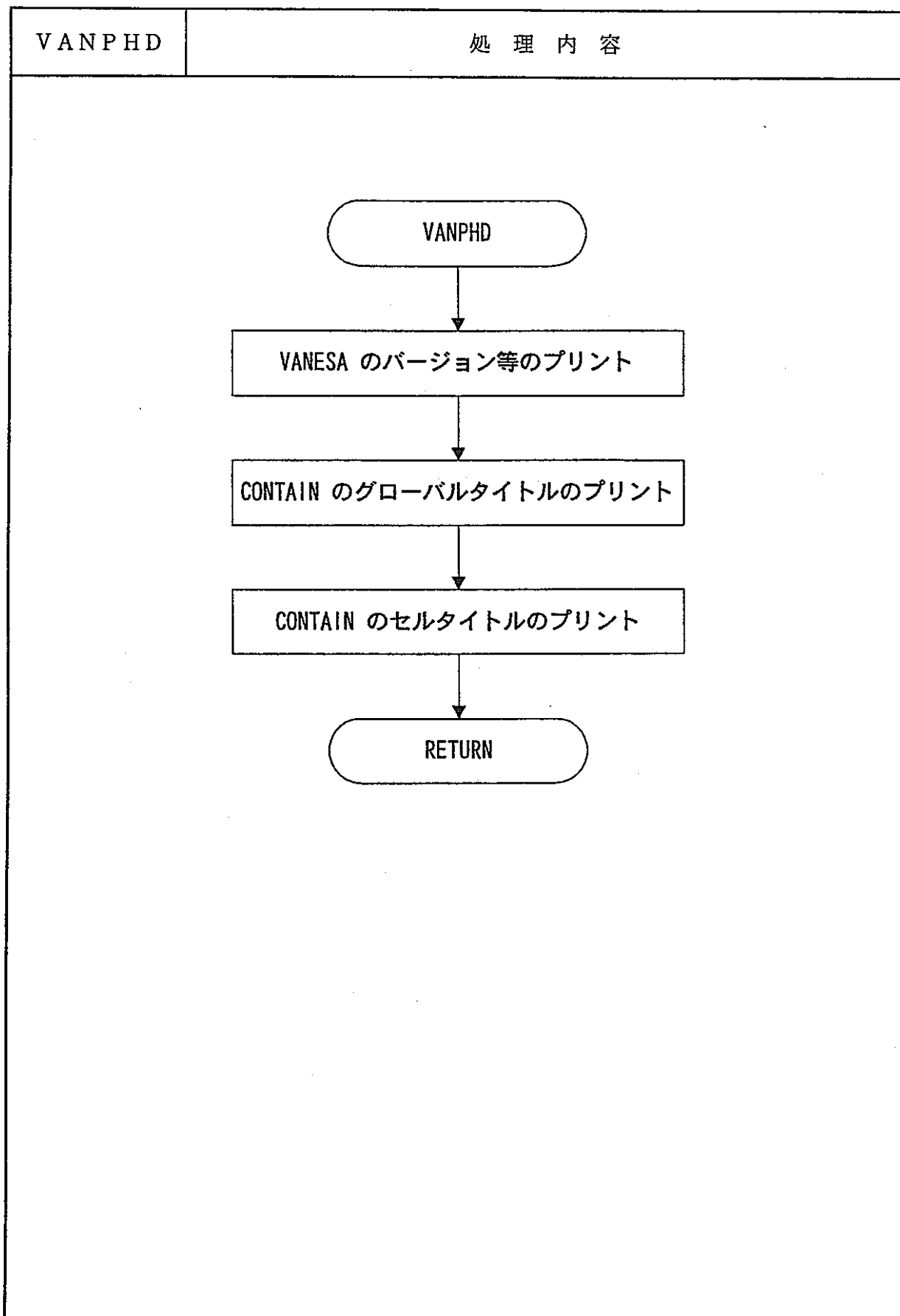


VANOTP	機能	
()MAIN (○)SUBROUTINE ()FUNCTION	・VANESAの計算値をプリント出力するために計算値を編集する。	
呼び出し形式	(VGASR , TOX1 , TOX2 , GASMS , ST1 , ST2)	
CALLED BY	VANESA	
CALLS	なし	
使用 COMMON	VANPRR, VANPRI, VANPRL, VANOUT, VANDAT	
使用 FILE 機番	I/O	説明
なし		

VANOTP		引数説明			
(タイプ) I:INTEGER R:REAL C:COMPLEX L:LOGICAL CH:CHARACTER					
引数名	I/O	タイプ	サイズ	説明	
VGASR	I	R*8	—	溶融デブリを通過する気体(CO, CO ₂ , H ₂ , H ₂ O)の合計体積流量 (cm ³ /s)	
TOX1	I	R*8	—	酸化物層の温度 (K)	
TOX2	I	R*8	—	酸化物層の温度 (=TOX1) (K)	
GASMS	I/O	R*8	—	溶融デブリに入る8種類の気体の合計流量 (mol/s)	
ST1	I	R*8	—	CORCON計算のタイムステップ幅 (s)	
ST2	I	R*8	—	VANESA計算のタイムステップ幅 (s)	

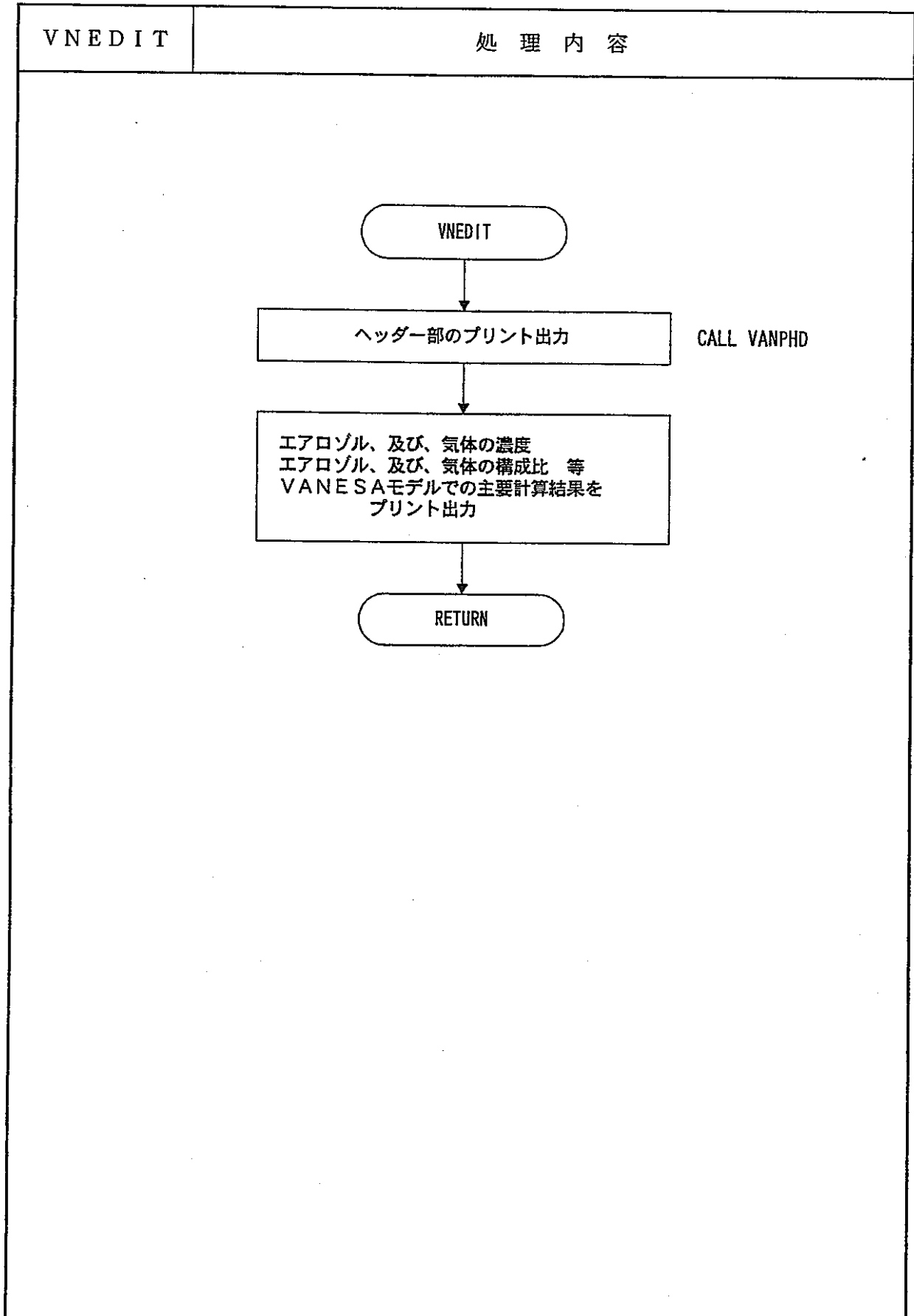


VANPHD	機 能	
()MAIN (○)SUBROUTINE ()FUNCTION	・VANESA計算値出力の際にヘッダ部分をプリントする。	
呼び出し形式	(引数なし)	
CALLED BY	VNEDIT	
CALLS	なし	
使用 COMMON	COMGLO, GLOCMC, GLOCM, GLOCMR, PTRSGL, PTRGAE, PTRGCM, PTRGFP, COMCEL, CELCMC, CELCM, CELCMR, PTRSCL, PTRCHT, PTRCSN, TAPEC, TAPEI, TAPEL, TAPER, CSPACE, ISPACE, RSPACE, LSPACE, SPACSV, CSLAM1, CSLAM2, TIMEC, TIMEI, TIMEL, TIMER, VANPRR, VANPRI, VANPRL, VANOUT	
使用 FILE 機番	I/O	説 明
なし		

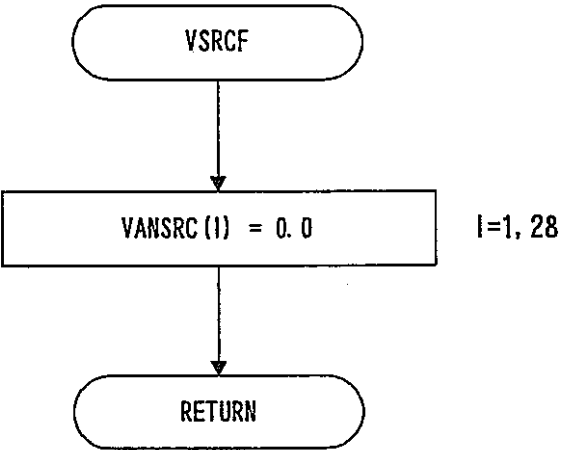


VNEDIT		機能	
()MAIN (○)SUBROUTINE ()FUNCTION	・VANESAの計算値を編集してプリント出力する。		
呼び出し形式	(VGASR , TOX1 , TOX2 , COART , FLAR , H2OM , CO2M , GASMS , ST1 , ST2)		
CALLED BY			
CALLS			
使用 COMMON			
使用 FILE 機番	I/O	説明	
なし			

VNEDIT		引数説明			
(タイプ) I:INTEGER R:REAL C:COMPLEX L:LOGICAL CH:CHARACTER					
引数名	I/O	タイプ	サイズ	説明	
VGASR	I	R*8	-	溶融デブリを通過する気体(CO, CO ₂ , H ₂ , H ₂ O)の合計体積流量 (cm ³ /s)	
TOX1	I	R*8	-	酸化物層1の温度 (K)	
TOX2	I	R*8	-	酸化物層2の温度(=TOX1) (K)	
COART	I	R*8	-	コンクリート浸食割合 (g/s)	
FLAR	I	R*8	-	デブリによって覆われている床面積 (cm ²)	
H2OM	I	R*8	-	溶融デブリを通過する H ₂ O の流量 (mol/s)	
CO2M	I	R*8	-	溶融デブリを通過する CO ₂ の流量 (mol/s)	
GASMS	I	R*8	-	溶融デブリに入る8種類の気体の合計流量 (mol/s)	
ST1	I	R*8	-	CORCON 計算のタイムステップ幅 (s)	
ST2	I	R*8	-	VANESA 計算のタイムステップ幅 (s)	



V S R C F	機 能	
()MAIN (○)SUBROUTINE ()FUNCTION	・CORCONで計算される核種の発生質量をストアするために配列VANSRCを一度ゼロクリアする。	
呼び出し形式	(引数なし)	
CALLED BY	VANDRV	
CALLS	なし	
使用 COMMON	VANPR, VANPRI, VANPRL, VANOUT	
使用 FILE 機番 なし	I/O	説 明

VSRCF	处理内容
	 <pre>graph TD; Start([VSRCF]) --> Process[VANSRC(I) = 0.0 I=1, 28]; Process --> End([RETURN]);</pre>

V S R C I	機 能	
()MAIN (○)SUBROUTINE ()FUNCTION	・V A N E S Aで考慮される28種の核種の発生割合を C O R C O Nで計算された発生質量から求める。	
呼び出し形式	(引数なし)	
CALLED BY	VANDRV	
CALLS	なし	
使用 COMMON	VANPRR, VANPRI, VANPRL, VANOUT, CCLNKT, CCLNKR, CCLNKI	
使用 FILE 機番	I/O	説 明
なし		

VSRC I	処 理 内 容
<div style="text-align: center;"><pre>graph TD; A([VSRC I]) --> B[VANSRC(I) = VANSRC(I) / Δt]; B --> C([RETURN]);</pre></div> <p style="text-align: right;">Δt: 計算タイムステップ I=1, 28</p>	

コモン名	コモン変数説明		
VANDAT	(タイプ) I : INTEGER R : REAL C : COMPLEX L : LOGICAL CH : CHARACTER NC : NCHARACTER		
変数名	タイプ	サイズ	説明
XN	R*8	(25, 10)	VANESA核種の1モルあたりの質量 (g/mol) エリアのインデックスとVANESA要素の対応については表A. 1を参照のこと。
DARR	R*8	(25, 2)	VANESA核種の密度 (g/cc) エリアのインデックスとVANESA要素の対応については表A. 1を参照のこと。
BARR	R*8	(25, 10, 2)	核種形成の自由エネルギー算出のフィッティング係数 $\Delta G_f(T) = \alpha + \beta \cdot T$ (K) $\alpha = \text{BARR}(J, L, 1)$ 、 $\beta = \text{BARR}(J, L, 2)$ 表A. 2参照

コモン名	コモン変数説明		
VANOUT	(タイプ) I : INTEGER R : REAL C : COMPLEX L : LOGICAL CH : CHARACTER NC : NCHARACTER		
変数名	タイプ	サイズ	説明
DEN	R*8	-	エアロゾルの全体の密度 (kg/m ³)
AER1	R*8	-	(蒸発+気泡破裂) による全エアロゾル濃度 (kg/m ³ 気体 AMBIENT)
AER2	R*8	-	(蒸発+気泡破裂) による全エアロゾル濃度 (kg/m ³ 気体 1気圧、298 K)
VAPOR	R*8	-	蒸発によるエアロゾル濃度 (kg/m ³ 気体 AMBIENT)
BURST	R*8	-	気泡破裂によるエアロゾル濃度 (kg/m ³ 気体 AMBIENT)
GS	R*8	(NVGAS)	気体の発生質量速度 (kg/sec)
PCGAS	R*8	(NVGAS)	気体の構成割合 (%)
CMELT	R*8	(NVCONS +3)	溶融デブリ構成物質質量 (kg)
XLS1	R*8	(25)	溶融デブリから蒸発により発生するエアロゾルの質量 (mol)
XLS3	R*8	(25)	溶融デブリからメカニカルな過程により発生するエアロゾルの質量 (mol)

コモン名	コモン変数説明		
VANPRI	(タイプ) I : INTEGER R : REAL C : COMPLEX L : LOGICAL CH : CHARACTER NC : NCHARACTER		
変数名	タイプ	サイズ	説明
NVANFP	I*4	-	FPとして個々に捕獲されるVANESAの核種の数 (NVANFP ≤ NVCONS = 24)
IVNFIR	I*4	-	CORCONからVANESAにデータに授受が行われた どうかを判定するためのフラグ。= 1のときデータ授受は 終了
IVANFP	I*4	(NVCONS)	FPに結び付けられるVANESAの核種番号
IVAER	I*4	(NVCONS)	VANESAの核種を割り当てるCORCONのエアロゾル コンポーネントの番号
NFP	I*4	(NVCONS)	一つのVANESA核種を割当るCORCONのFPの数
MODLV	I*4	-	プールのVANESAエアロゾル除去モデルが選択されたか 否かを示すフラグ。= 1のとき選択。

コモン名	コモン変数説明			
VANPRR	(タイプ)	I : INTEGER	R : REAL	C : COMPLEX
		L : LOGICAL	CH : CHARACTER	NC : NCARACTER
変数名	タイプ	サイズ	説明	
XM	R*8	(25、10)	核種の発生速度	(mol/s)
XL	R*8	(25、10)	核種の発生質量	(mol)
FDELT	R*8	—	VANESA計算時間間隔のCORCON時間間隔に対する比率	
DIFCO	R*8	—	凝縮相拡散係数	(m ² /s)
BUBDV	R*8	—	溶融デブリを通して出てくる気泡の直径	(m)
PTBB	R*8	—	一つの気泡が割れることによって生じる粒子の個数	
PTDIAV	R*8	—	気泡が割れるときに生じる粒子の直径	(m)
WF	R*8	(6)	コンクリート組成の質量比率。CaO、Al ₂ O ₃ 、Na ₂ O、K ₂ O、SiO ₂ 、FeOの順	
VDTEDT	R*8	—	出力リストにVANESAの結果を出す時間間隔	(s)
VANTIM	R*8	—	VANESA解析時刻	(s)
VANEDT	R*8	—	出力リストにVANESAの結果を出す時間	(s)
BSIZV	R*8	—	プールの除去に於ける最初の泡の直径	(m)
VROVV	R*8	—	上昇速度の内部比率	
VNRBR	R*8	—	溶融したコンクリートの金属相の単位質量に加えられる鉄の質量比 (=kg(Fe)/kg(コンクリート))	
VNOXPT	R*8	—	VANESAの気体と酸化物層の化学反応に適用される酸素ポテンシャル値を制御する値	
SIZ	R*8	—	エアロゾルサイズの平均値	(μ)
XMAS	R*8	—	エアロゾル発生質量流量	(kg/s)

コモン名	コモン変数説明																																																														
VANPRR (続き)	(タイプ)	I : INTEGER L : LOGICAL	R : REAL CH : CHARACTER																																																												
			C : COMPLEX NC : NCHARACTER																																																												
変数名	タイプ	サイズ	説明																																																												
VANSRC	R*8	(28)	VANESA ソース項 (mol/s) <table style="margin-left: 20px; border: none;"> <tr> <td>1</td><td>H_2O</td> <td>11</td><td>Mn</td> <td>21</td><td>SrO</td> </tr> <tr> <td>2</td><td>Fe</td> <td>12</td><td>CaO</td> <td>22</td><td>La_2O_3</td> </tr> <tr> <td>3</td><td>Cr</td> <td>13</td><td>Al_2O_3</td> <td>23</td><td>CeO_2</td> </tr> <tr> <td>4</td><td>Ni</td> <td>14</td><td>Na_2O</td> <td>24</td><td>NbO</td> </tr> <tr> <td>5</td><td>Mo</td> <td>15</td><td>K_2O</td> <td>25</td><td>CsI</td> </tr> <tr> <td>6</td><td>Ru</td> <td>16</td><td>SiO_2</td> <td>26</td><td>FeO</td> </tr> <tr> <td>7</td><td>Sn</td> <td>17</td><td>UO_2</td> <td>27</td><td>Cr_2O_3</td> </tr> <tr> <td>8</td><td>Sb</td> <td>18</td><td>ZrO_2</td> <td>28</td><td>Zr</td> </tr> <tr> <td>9</td><td>Te</td> <td>19</td><td>Cs_2O</td> <td></td><td></td> </tr> <tr> <td>10</td><td>Ag</td> <td>20</td><td>BaO</td> <td></td><td></td> </tr> </table>	1	H_2O	11	Mn	21	SrO	2	Fe	12	CaO	22	La_2O_3	3	Cr	13	Al_2O_3	23	CeO_2	4	Ni	14	Na_2O	24	NbO	5	Mo	15	K_2O	25	CsI	6	Ru	16	SiO_2	26	FeO	7	Sn	17	UO_2	27	Cr_2O_3	8	Sb	18	ZrO_2	28	Zr	9	Te	19	Cs_2O			10	Ag	20	BaO		
1	H_2O	11	Mn	21	SrO																																																										
2	Fe	12	CaO	22	La_2O_3																																																										
3	Cr	13	Al_2O_3	23	CeO_2																																																										
4	Ni	14	Na_2O	24	NbO																																																										
5	Mo	15	K_2O	25	CsI																																																										
6	Ru	16	SiO_2	26	FeO																																																										
7	Sn	17	UO_2	27	Cr_2O_3																																																										
8	Sb	18	ZrO_2	28	Zr																																																										
9	Te	19	Cs_2O																																																												
10	Ag	20	BaO																																																												
PCCMP	R*8	(NVCONS)	エアロゾルの構成割合 (%)																																																												
XGSACC	R*8	(NVGAS)	気体の蓄積放出量 (kg)																																																												
XMACC	R*8	(NVCONS)	エアロゾルの蓄積放出量 (kg)																																																												
PFACC	R*8	(NVCONS)	エアロゾルの相対割合																																																												

表A.1 VANESA 配列GVAN (J,L) の内容

L J	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	H ₂ O(g)	H ₂ (g)	H(g)	OH(g)	O(g)	O ₂ (g)	CO ₂ (g)	CO(g)	NU	NU
2	Fe(c)	FeO(c)	Fe(g)	FeO(g)	FeOH(g)	Fe(OH) ₂ (g)	NU	NU	NU	NU
3	Cr(c)	Cr ₂ O ₃ (c)	Cr(g)	CrO(g)	CrO ₂ (g)	CrO ₃ (g)	H ₂ CrO ₄ (g)	CrOH(g)	Cr(OH) ₃	NU
4	Ni(c)	NiO(c)	Ni(g)	NU	NiOH	Ni(OH) ₂	NiH	NU	NU	NU
5	Mo(c)	NU	Mo(g)	MoO(g)	MoO ₂ (g)	MoO ₃ (g)	H ₂ MoO ₄ (g)	(MoO ₃) ₂	(MoO ₃) ₃	MoOH
6	Ru(c)	NU	Ru(g)	RuO(g)	RuO ₂ (g)	RuO ₃ (g)	RuO ₄ (g)	RuOH	Ru(OH) ₂	NU
7	Sn(c)	NU	Sn(g)	SnO(g)	SnOH(g)	Sn(OH) ₂ (g)	SnTe(g)	SnH	SnH ₄	Sn ₂
8	Sb(c)	NU	Sb(g)	NU	SbOH(g)	Sb(OH) ₂ (g)	Sb ₂ (g)	Sb ₃ (g)	SbTe(g)	SbH ₃
9	Te(c)	NU	Te(g)	TeO(g)	TeO ₂ (g)	Te ₂ O ₃ (g)	TeOH	Te(OH) ₂ (g)	Te ₂ (g)	H ₂ Te(g)
10	Ag(c)	NU	Ag(g)	AgO(g)	AgOH(g)	Ag(OH) ₂ (g)	AgTe	AgH	Ag ₂	Ag ₃
11	Mn(c)	NU	Mn(g)	MnO(g)	MnH	MnOH(g)	Mn(OH) ₂ (g)	NU	NU	NU
12	CaO(c)	NU	Ca(g)	CaO(g)	CaOH(g)	Ca(OH) ₂ (g)	CaH	Ca ₂	NU	NU
13	Al ₂ O ₃ (c)	NU	Al(g)	AlO(g)	AlOH(g)	Al ₂ O(g)	AlO ₂ (g)	Al ₂ O ₂ (g)	Al(OH) ₂ (g)	AlO(OH)(g)
14	Na ₂ O(c)	NU	Na(g)	NaOH(g)	NaO(g)	Na ₂ (OH) ₂ (g)	NaH(g)	Na ₂ (g)	NU	NU
15	K ₂ O(c)	NU	K(g)	KOH(g)	KO(g)	K ₂ (OH) ₂ (g)	KH(g)	K ₂ (g)	NU	NU
16	SiO ₂ (c)	NU	Si(g)	SiO(g)	SiO ₂ (g)	SiOH(g)	Si(OH) ₂ (g)	SiH	SiH ₄	Si ₂
17	UO ₂ (c)	NU	U(g)	UO(g)	UO ₂ (g)	UO ₃ (g)	H ₂ UO ₄ (g)	UOH	U(OH) ₂	NU
18	ZrO ₂ (c)	Zr(c)	Zr(g)	ZrO(g)	ZrO ₂ (g)	ZrOH(g)	Zr(OH) ₂ (g)	ZrH	NU	NU
19	Cs ₂ O(c)	NU	Cs(g)	CsOH(g)	CsO(g)	Cs ₂ (OH) ₂ (g)	Cs ₂ O(g)	Cs ₂ (g)	CsH	Cs ₂ O
20	BaO(c)	NU	Ba(g)	BaO(g)	BaOH(g)	Ba(OH) ₂ (g)	BaH	NU	NU	NU
21	SrO(c)	NU	Sr(g)	SrO(g)	SrOH(g)	Sr(OH) ₂ (g)	SrH	NU	NU	NU
22	La ₂ O ₃ (c)	NU	La(g)	LaO(g)	LaOH(g)	La(OH) ₂ (g)	La ₂ O	(LaO) ₂	NU	NU
23	CeO ₂ (c)	NU	Ce(g)	CeO(g)	CeOH(g)	Ce(OH) ₂ (g)	CeO ₂	(CeO) ₂	NU	NU
24	Nb ₂ O ₅ (c)	NU	Nb(g)	NbO(g)	NbOH(g)	Nb(OH) ₂ (g)	NbO ₂ (g)	NU	NU	NU
25	CsI(c)	NU	CsI(g)	I(g)	HI(g)	I ₂ (g)	IO	NU	NU	NU

表A.2 核種の形成に必要な自由エネルギー計算式の係数

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-6.0202E04	0.0	5.43314E04	8.83320E04	8.66702E04	0.0	-9.44338E04	-2.72365E04	0.0	0.0
	13.9079	0.0	-14.4096	-3.25411	-32.0007	0.0	-0.125022	-20.444	0.0	0.0
2	0.0	-6.06904E04	8.91173E04	4.77886E04	1.82350E04	-8.55853E04	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	12.6211	-28.6170	-16.4727	-3.655	24.5329	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	-2.45364E05	8.62356E04	3.49233E04	-2.77489E04	-7.74590E04	-1.78233E05	0.0	0.0	0.0
	0.0	52.6330	-29.4334	-19.1964	-2.04107	21.098	49.4	0.0	0.0	0.0
4	0.0	-5.62492E04	9.34790E04	0.0	2.44495E04	-7.0501E04	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	-20.4983	-29.7314	0.0	-2.2820	26.1774	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	1.53160E05	8.73150E04	-7.73614E03	-8.8268E04	-2.04525E05	-1.3673E05	-1.55899E05	0.0
	0.0	0.0	-32.9923	-20.7180	-6.21571	15.1738	50.1436	35.5068	43.9864	0.0
6	0.0	0.0	1.52015E05	8.67E04	2.97E04	-2.96369E04	-5.21874E04	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	-35.7451	-11.8	1.5	25.5167	42.3234	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	7.10625E04	-1.178E02	8.22E03	-1.00967E05	2.9531E04	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	-24.5446	-11.1795	2.0294	31.1686	-23.4177	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	6.94183E04	0.0	-2.4861E04	-1.03115E05	3.9341E04	1.99583E04	3.60717E04	0.0
	0.0	0.0	-16.5616	0.0	9.4392	34.6706	-20.1311	-6.8682	-22.8951	0.0
9	0.0	0.0	2.8148E04	1.40420E04	-1.73463E04	-3.06207E04	0.0	-1.19175E05	3.2416E04	1.94983E04
	0.0	0.0	-12.9644	-13.5990	2.1990	6.113	0.0	44.307	-24.3130	-2.37143

自由エネルギー = 上段の値 + 下段の値×温度 (K)

表A.2 核種の形成に必要な自由エネルギー計算式の係数(続き)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	-5.80238E04	0.0	6.18059E04	0.0	0.0	-1.4653E04	-3.5881E04	0.0	0.0	0.0
	23.8095	0.0	-25.3814	0.0	10.1076	36.6188	0.0	0.0	0.0	0.0
11	-5.25363E04	0.0	5.48795E04	0.0	0.0	-2.9153E04	-1.34843E05	0.0	0.0	0.0
	22.6078	0.0	-23.6507	0.0	0.0	10.3878	41.1706	0.0	0.0	0.0
12	-1.64320E05	0.0	0.0	-2.68578E04	-9.11246E04	-1.81654E05	0.0	0.0	0.0	0.0
	37.8380	0.0	0.0	6.96054	18.3686	45.0673	0.0	0.0	0.0	0.0
13	-3.74635E05	0.0	7.12205E04	1.26005E04	-5.2434E04	-4.8675E05	-5.0151E04	-1.12851E05	-1.60346E05	-1.16422E05
	65.3834	0.0	-25.7858	13.2684	5.69176	-7.41536	2.81036	14.6688	31.273	18.3310
14	-1.35940E05	0.0	0.0	-7.24010E04	-5.87721E03	-1.95334E05	4.00493E03	-1.96147E04	0.0	0.0
	64.3775	0.0	0.0	21.7455	6.52036	80.9114	7.67821	19.7252	0.0	0.0
15	-1.09149E05	0.0	0.0	-7.87768E04	-4.33725E03	-1.97654E05	8.29311E03	-1.30128E04	0.0	0.0
	57.5050	0.0	0.0	22.7109	5.82946	78.91	6.70982	18.0146	0.0	0.0
16	-2.22060E05	0.0	9.43509E04	-3.88399E04	-8.581E04	-2.2543E03	-1.25669E05	0.0	0.0	0.0
	45.1743	0.0	-27.0477	-11.1438	7.32411	-0.841	33.807	0.0	0.0	0.0
17	-2.22870E05	0.0	1.18744E05	-5.20000E03	-1.18267E05	-1.99267E05	-3.03843E05	0.0	0.0	0.0
	29.2663	0.0	-26.7790	-11.8000	2.8	18.8	54.934	0.0	0.0	0.0
18	-2.43016E05	0.0	1.43385E05	8.29200E03	-7.67523E04	-4.6543E04	-1.19619E05	0.0	0.0	0.0
	38.0834	0.0	-30.5455	-14.9321	-0.045	20.8992	27.426	0.0	0.0	0.0

自由エネルギー = 上段の値 + 下段の値×温度(K)

表A.2 核種の形成に必要な自由エネルギー計算式の係数(続き)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
19	-5.12500E04	0.0	0.0	-7.96620E04	-3.47629E03	-1.91531E05	-5.93960E04	-1.17814E04	0.0	0.0
	32.5000	0.0	0.0	20.5264	5.34	74.0936	32.9214	16.9059	0.0	0.0
20	-1.35168E05	0.0	3.44660E04	-5.71000E04	-8.05210E04	-1.73806E05	0.0	0.0	0.0	0.0
	27.1330	0.0	-16.2700	3.44893	14.0164	36.9321	0.0	0.0	0.0	0.0
21	-1.52988E05	0.0	0.0	-4.02500E04	-8.65052E04	-1.7745E05	0.0	0.0	0.0	0.0
	38.8252	0.0	0.0	8.11732	19.8232	43.6659	0.0	0.0	0.0	0.0
22	-4.24485E05	0.0	9.69372E04	-3.59500E04	-2.18427E04	-1.57733E05	0.0	0.0	0.0	0.0
	64.9360	0.0	-26.7655	-15.6680	-1.3010	25.534	0.0	0.0	0.0	0.0
23	-2.59610E05	0.0	9.63330E04	-4.0524E04	-2.4994E04	-1.33973E05	-128776.	0.0	0.0	0.0
	50.7000	0.0	-25.0814	-6.0540	2.6606	27.1386	5.47	0.0	0.0	0.0
24	-4.12132E05	0.0	1.73642E05	4.26126E04	6.009E04	-8.8645E05	-5.20645E04	0.0	0.0	0.0
	77.8143	0.0	-35.2791	-19.2143	-3.2438	22.1984	-3.2126	0.0	0.0	0.0
25	-9.52200E04	0.0	-5.4825E04	1.89345E03	-1.61243E03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	29.4334	0.0	3.2204	-1.29898	1.72929	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

自由エネルギー = 上段の値 + 下段の値×温度 (K)