

ナトリウム－水反応生成物移行評価モデルの  
コーディング

1996年3月



新型炉技術開発株式会社

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)

1996年3月

## ナトリウム－水反応生成物移行評価モデルの コーディング

吉岡直樹(\*),岸田雅子(\*)  
吉原宏(\*),長田博夫(\*)

### 要　旨

FBR実用炉の合理化の有望な方策の1つとして、2次ナトリウム系削除型のプラント概念が考えられている。この型のプラントでは、蒸気発生器が直接1次系に設置されるとから、原子炉の安全評価上、蒸気発生器伝熱管破損により発生する反応生成物の炉心部への影響評価が特に重要な課題となっている。本作業では、このような場合における反応生成物の移行挙動を評価できるよう、これまで事業団殿で開発してきた大リーグ・ナトリウム－水反応熱流動解析コードSWAC-13Eの改造を行った。

本改造は、ナトリウム－水反応生成物の溶解・析出・沈積等の現象を含む移行に関する評価モデルの追加であり、これらの新規の反応生成物移行解析部分(React)と従来の熱・流動解析部分(SWAC-13E)はできる限り独立するよう配慮した設計とした。

典型的な2次ナトリウム系削除型のプラント概念におけるナトリウム－水反応時の反応生成物移行挙動評価解析に本コードを適用した結果、解析結果は定性的に矛盾のないものであり、改造したSWAC-13Eは妥当なレベルで挙動を解析できることが判った。

---

本報告書は、新型炉技術開発株式会社が動力炉・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：07C5154

事業団担当部課室及び担当者：大洗工学センター安全工学部プラント安全工学室 浜田 広次

\* 新型炉技術開発株式会社

PNC-TJ9678 96-005  
MARCH,1996

## Coding of model for sodium-water reaction products transport

Naoki Yoshioka\*, Masako kishida\*  
Hirosi Yoshihara\*, Hiroo Osada\*

### Abstract

The LMFBR concept without secondary sodium system is considered to be one of the most promising concepts for plant cost reductions. In this type of LMFBR, steam generators(SGs) are directly equipped in the primary sodium system. Therefore, the evaluation of effects of sodium-water reaction products (SWRPs) to the reactor core in case of SG tube rupture becomes one of the major safety issues.

In this work, SWAC-13E, the thermal-hydraulic analysis code for sodium-water reaction developed by Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, was improved so as to evaluate the transport of SWRPs in the primary sodium system containing reactor core. In this improvement, SWRPs transport model (REACT), that treats solution, precipitation, deposition and so on, was added and it was intended that REACT is independent of the original part of SWAC-13E as much as possible.

The improved analysis code (new SWAC-13E) was applied to the evaluation of SWRPs transport phenomena of typical planned LMFBR plant without secondary sodium system. The results of this analysis were qualitatively reasonable, and it was confirmed that the new SWAC-13E was applicable to the evaluation of the transport behavior of SWRPs.

---

Work performed by Advanced Reactor Technology Co.,Ltd.,under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison : Hirotugu Hamada, FBR Plant Safety Section,Safety Engineering Division,  
Oarai Engineering Center

\* : Advanced Reactor Technology Co.,Ltd.

## 目 次

1.はじめに	1-1
2.SWAC-13Eの概要	2-1
3.解析モデルの整理と追加モデルの差分化	3-1
3.1 概要	3-1
3.2 反応生成物移行モデル	3-2
3.2.1 仮定	3-2
3.2.2 基本式と差分化	3-6
4.コーディング	4-1
5.試解析	5-1
5.1 反応生成物移行計算プログラムの機能確認解析	5-1
5.1.1 解析の目的	5-1
5.1.2 解析体系と解析モデル	5-1
5.1.3 解析ケース	5-2
5.1.4 解析結果と考察	5-2
5.2 「常陽」2次系削除計画プラントへの適用	5-7
5.2.1 解析の目的	5-7
5.2.2 解析体系と解析モデル	5-7
5.2.3 解析条件と解析ケース	5-7
5.2.4 解析結果と考察	5-8
5.3 試解析のまとめ	5-28
6.あとがき	6-1
7.謝辞	7-1
8.参考文献	8-1
添付資料 A SWAC-13Eのコード概要	A-1
添付資料 B コード使用上の注意	B-1
添付資料 C 試解析用入力データリスト	C-1
添付資料 D プログラムソースリスト	D-1
添付資料 E パラメータサーベイ解析結果	E-1

## 表一覧表

表5.1-1	解析ケース一覧表	5-2
表5.2-1(1)	ノードデータ一覧表 (1/2)	5-10
表5.2-1(2)	ノードデータ一覧表 (2/2)	5-11
表5.2-2(1)	リンクデータ一覧表 (1/2)	5-12
表5.2-2(2)	リンクデータ一覧表 (2/2)	5-13
表5.2-3(1)	反応生成物挙動に係るノードデータ (1/2)	5-14
表5.2-3(2)	反応生成物挙動に係るノードデータ (2/2)	5-15

## 図一覧表

図3-1 反応生成物移行に係わる諸量の定義	3-12
図4-1 R E A C T のプログラムフロー	4-3
図4-2 SWAC-13Eのプログラム構成（反応生成物移行ルーチン含む）	4-4
図4-3 改造SWAC-13Eのプログラム構成と改造したサブプログラム	4-5
図5.1-1 解析モデル（単純N a循環体系）	5-2
図5.1-2 解析結果の比較（N aOH濃度）	5-4
図5.1-3 解析結果の比較（反応生成物総量）	5-5
図5.1-4 解析結果の比較（反応生成物溶解量）	5-6
図5.2-1 2次系削除型プラントの1次主冷却系SG廻り系統図	5-16
図5.2-2 (1) 解析モデル図（収納系無し）	5-17
図5.2-2 (2) 解析モデル図（ノードデータ）	5-18
図5.2-3 2次系削除型プラント大リーグ解析結果（圧力変化）	5-19
図5.2-4 2次系削除型プラント大リーグ解析結果（流量変化）	5-20
図5.2-5 2次系削除型プラント大リーグ解析結果（ボイド率変化）	5-21
図5.2-6 2次系削除型プラント大リーグ解析結果（反応生成物総量）	5-22
図5.2-7 2次系削除型プラント大リーグ解析結果（反応生成物溶解量）	5-23
図5.2-8 2次系削除型プラント大リーグ解析結果（反応生成物浮遊量）	5-24
図5.2-9 2次系削除型プラント大リーグ解析結果（反応生成物沈積量）	5-25
図5.2-10 2次系削除型プラント大リーグ解析結果（反応生成物壁付着量）	5-26
図5.2-11 2次系削除型プラント大リーグ解析結果（N aOH濃度）	5-27

## 1. はじめに

FBR実用炉の合理化の有望な方策の1つとして、2次ナトリウム系削除型のプラント概念が考えられている。この型のプラントでは、蒸気発生器（SG）が直接1次系に設置されることから、原子炉の安全評価上、SG伝熱管破損により発生する反応生成物の炉心部への影響評価が特に重要な課題となっている。本作業では、このようなSG伝熱管破損時における反応生成物の移行挙動を評価できるよう、これまで事業団殿で開発してきた、大リーグ・ナトリウム-水反応熱流動解析コードSWAC-13E<sup>(1),(2)</sup>の改造を行なう。

## 2. SWAC-13Eの概要

SWAC-13Eコードは、動力炉・核燃料開発事業団殿（以下、事業団殿）が作成した、SG伝熱管の破損事故時におけるナトリウムー水反応現象を解析するコードであり、SG、ナトリウムー水反応生成物収納設備及び2次主冷却系を含むシステム全体の熱流動過渡現象を取扱うことができる。

本コードでは、発生した水素ガスによる圧力上昇でSG及びナトリウムー水反応生成物収納容器の圧力開放板が開いて、圧力が最終的に大気圧程度になるまでの初期スパイク圧領域を除く準定常圧領域の圧力変化を計算する。計算対象範囲はSG、2次主冷却及びナトリウムー水反応生成物収納設備等であり、各部を領域分割して、各領域に関する質量、運動量、エネルギーの保存則を陰解法で解く。なお、添付資料AにSWAC-13Eコードの概要を示す。

### 3. 解析モデルの整理と追加モデルの差分化

#### 3.1 概要

本章では、SWAC-13E改造のための2次系削除型プラントのナトリウムー水反応時における1次冷却系内反応生成物移行挙動評価用の解析手法を確立するため、反応生成物移行モデルの調査・整理を行う。

ナトリウムー水反応生成物移行挙動は、主に、下記2つからなり、非常に複雑なものと考えられる。

- (1) 多成分気ー固ー液3相流（熱伝達を含む）
- (2) 反応生成物の析出・溶解

従って、ナトリウムー水反応生成物の移行挙動を初めから詳細にモデル化する事は技術上難しく、また、開発手順上も得策ではない。ここで開発されるコードは、反応生成物移行解析コードとしては初めてのものであるため、各現象のモデル化の難易、解析結果に及ぼす影響、ならびに、今後の検討、改良の余地等を考慮して適切なモデルを考えるものとする。

## 3.2 反応生成物移行モデル

### 3.2.1 仮定

解析モデルを簡略化するために、以下の仮定を行う。

(1) 反応生成物による流動への影響は考えない。

管壁等への析出・付着による圧損への影響については次ステップで考える。

(2) 反応生成物の伝熱面への析出・付着による熱的影響については次ステップで考えるものとし、ここでは考えない。

(3)  $H_2$ ガス以外の反応生成物としては、液体、あるいは固体状のNaOH, NaH,  $Na_2O$ が考えられるが、評価上は全て固体のNaOHで代表させ、その物性値（比重量）は $Na_2O$ のものを用いる。（添付資料B参照）

NaOHの融点は318～328℃で、系統内では液体として存在することが考えられる。これを固体として扱うことは、NaOH液体状生成物の衝突によるNaOH液体の塊の成長を考えないので、NaOHの移動量を大きめに評価することになる。

(4) 反応生成物の移行中の物理・化学現象としては、

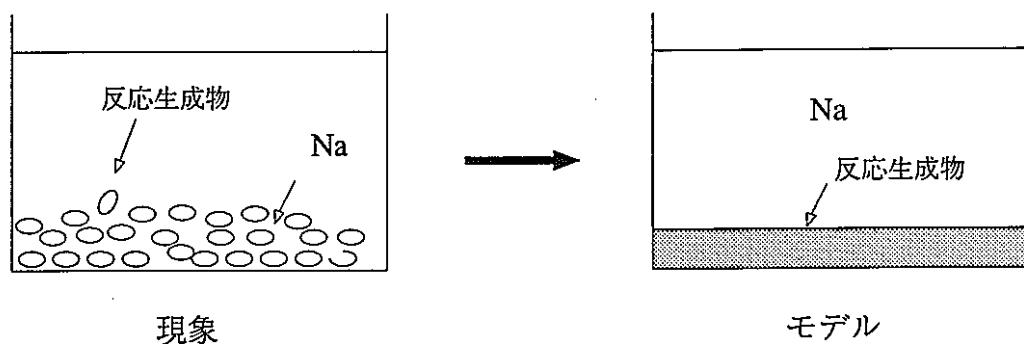
- (a) 溶解・析出
- (b) 付着・沈積
- (c) 付着・沈積物の剥離・再浮遊
- (d) 流れによる移動
- (e) 移動中の化学変化
- (f) 濃度勾配による拡散

が考えられるが、ここでは、(c), (e) 及び (f) については考えない。

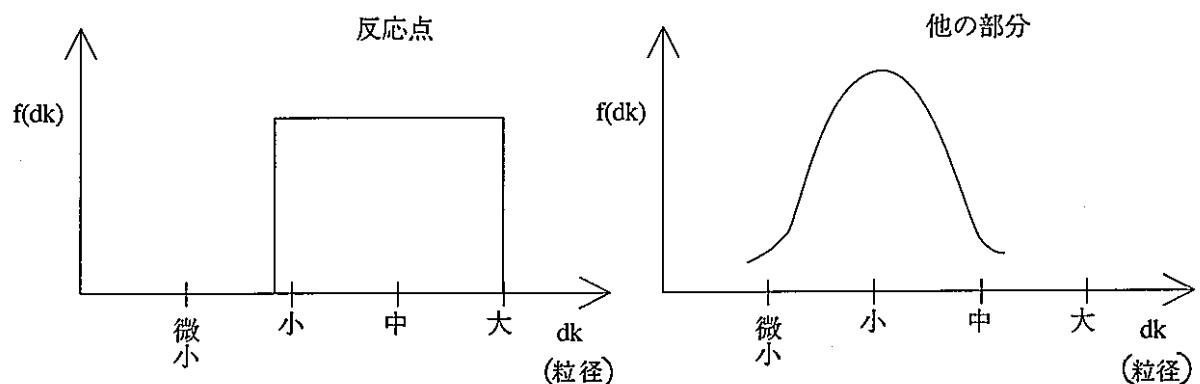
(5) 析出はNa中及び管・機器表面の双方で考える。

また析出、溶解速度は、無限大で、静的モデルとする。

- (6) 管・機器表面への析出付着物及び沈積物は、反応生成物のみとし、Na成分は考えない。

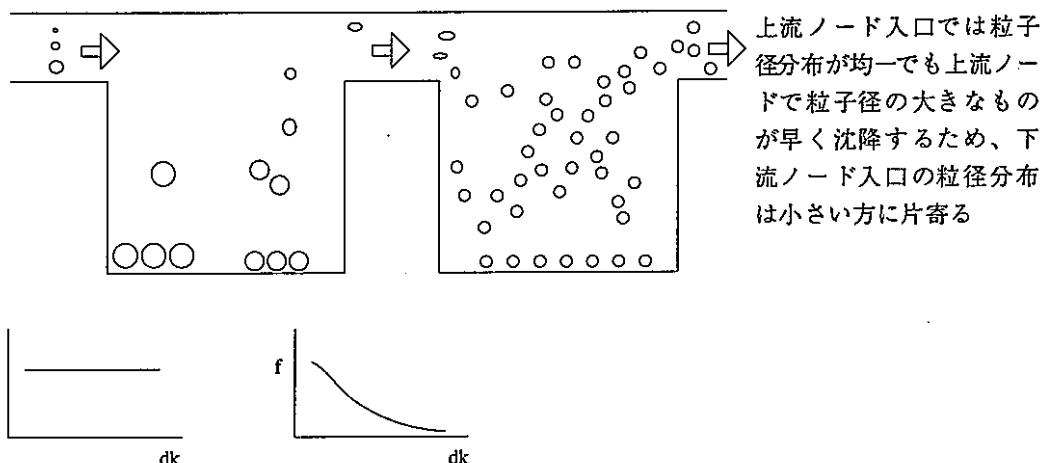


- (7) 大リーク時に発生する反応生成物の物理的形態については、現状、実験的にも理論的にも不明である。生成速度、析出時の流速（乱流効果）、温度変化率（飽和溶解度の変化）等によっても異なると考えられる。一般的には、反応点と他の部分に分けて、定性的に下記2種類の粒径分布が考えられる。

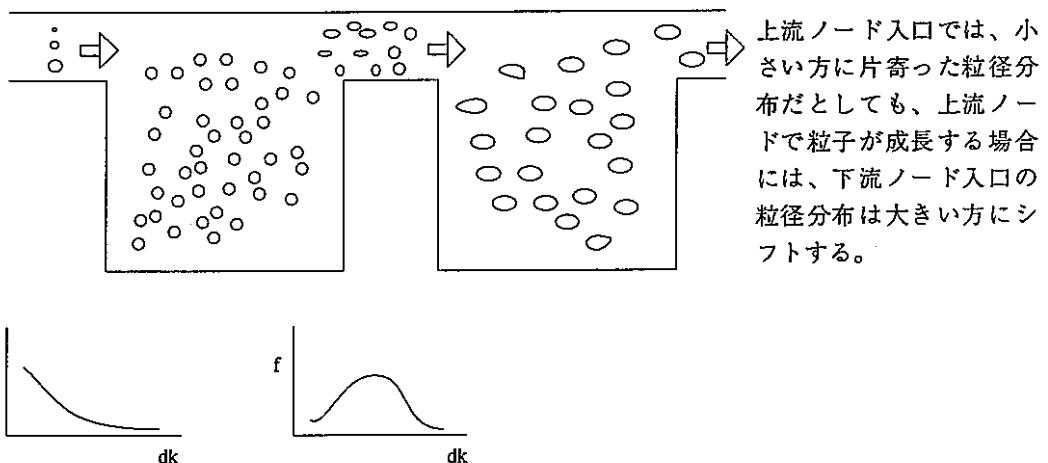


また、粒径の分布の変化は、時間的にも、空間的にも生じるものと考えられる。例えば次のような変化が考えられる。

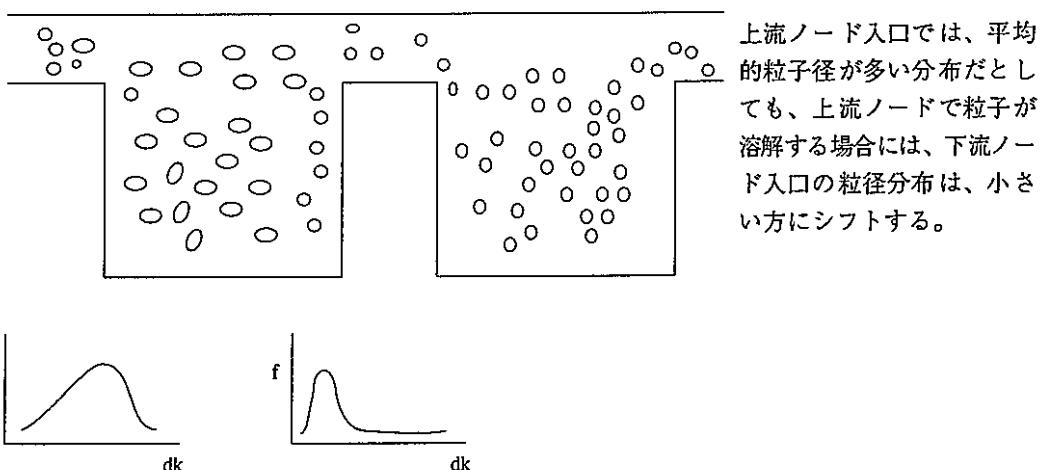
#### 沈降速度の差



#### 粒子成長時



#### 粒子溶解時



前頁の図で示した通り、反応生成物析出時の粒子の成長、溶解時の縮小、あるいは粒子径の違いによる沈降速度の差によって、各ノード毎に粒径分布は異なることが考えられるが、本評価ではモデルの煩雑さを避けるため分布は一定とする。

- (8) 沈積量計算時間の節約のため、沈積を考えるノードと考えないノードを区別し、垂直管等では沈積を考えないものとする。  
その区別は入力データで指定することにより行う。
- (9) 上記仮定（1）にも関係するが、水平管部の場合、析出、付着、沈積により、計算上は早く配管が閉塞する可能性がある。その一方、流路面積の減少により、流速が増大し、再浮遊、あるいは、付着物の剥離等により、流路が確保されることも考えられる。今後は、これらを考慮したモデルの高度化が必要である。

### 3.2.2 基本式と差分化

反応生成物の移行挙動と関連する諸量の説明を図 3-1 に示す。

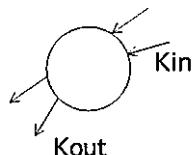
#### (1) 質量保存の式

各ノードにおける反応生成物の変化量は、(2-1) 式で示される。

$$\frac{dM_{R\text{tot},i}}{dt} = \sum_{\text{kin}} q_{\text{in}} - \sum_{\text{kout}} q_{\text{out}} + S_i \quad \dots \dots (2-1)$$

$$\text{但し、 } q_{\text{in}} = W_{f\text{kin}} (C_{\text{Kin}} + C_{\text{CRNa,Kin}}) \quad \dots \dots (2-2)$$

$$q_{\text{out}} = W_{f\text{kout}} (C_i + C_{\text{CRNa,i}}) \quad \dots \dots (2-3)$$



ここで、 $C_i$ 、 $C_{\text{CRNa},i}$ は、ノード*i*におけるNa中NaOH濃度、及び粒子状反応生成物の濃度である。

$S_i$ は、ノード*i*における反応生成物発生率（NaOH換算）である。

但し、溶解濃度は

$$C_i = \frac{M_{R\text{tot},i}}{M_{\text{Na}i}} \quad (C_i < C_{\text{sat},i} \text{ の場合}) \quad (\text{NaOHの濃度}) \quad \dots \dots (2-4)$$

$$= C_{\text{sat}} \quad (C_i > C_{\text{sat},i} \text{ の場合}) \quad \dots \dots (2-5)$$

$$C_{\text{sat}} = \frac{23+16+1}{16} \cdot C'_{\text{sat}} = \frac{40}{16} \cdot C'_{\text{sat}} \quad \dots \dots (2-6)^{(1)}$$

$$C'_{\text{sat}} = 10^{-6} \times 10^{(6.239-2447/T)} \quad \dots \dots (2-7)^{(2)}$$

ここで、 $C'_{\text{sat}}$ は、Oの飽和溶解度である。

<sup>1)</sup> 反応生成物としては、NaOHを想定。但し、沈積評価の際の比重量は（Na<sub>2</sub>O）のものを用いる。

<sup>2)</sup> Eichelbergerの式

## (2) 析出と溶解

もしも、 $C_i > C_{sat}$  の場合、反応生成物は析出する。

$$\Delta M_{RS} = M_{R_{tot}}^{new} - (M_{CR_{wall}}^{old} + M_{CR_{Na}}^{old} + M_{D_{tot}}^{old}) \quad \dots \quad (2-8)$$

↑ 状態が未定の反応生成物量

$$\text{但し、 } M_{D_{tot}}^{old} = \sum M_D^{old} (dk_i) \quad \dots \quad (2-9)$$

$$C_{RS} = \frac{\Delta M_{RS} + M_{SOL}^{old}}{M_{Na}} \quad \dots \quad (2-10)$$

もしも

$C_{RS} > C_{sat}$  の場合新な析出あり。

$C_{RS} \leq C_{sat}$  の場合新な溶解あり。

### (a) $C_{RS} > C_{sat}$ (析出) の場合

全析出量 $\Delta M_{CR}$ は次式で示される。

$$\Delta M_{CR} = M_{Na} (C_{RS} - C_{sat}) \quad \dots \quad (2-11)$$

壁への直接析出量 $\Delta M_{CR_{wall}}$ とNa中への析出量 $\Delta M_{CR_{Na}}$ は次式で示される。

$$\Delta M_{CR_{wall}} = C_{CR} \cdot \frac{A_{CR}}{V} \cdot \Delta M_{CR} \quad \dots \quad (2-12)$$

$$\Delta M_{CR_{Na}} = (1 - C_{CR} \cdot \frac{A_{CR}}{V}) \cdot \Delta M_{CR} \quad \dots \quad (2-13)$$

ここで、 $A_{CR}$ ,  $V$ は付着壁表面積、ノード体積である。

$C_{CR} \cdot \frac{A_{CR}}{V}$  は、壁への析出・付着割合である。

$C_{CR}$ ,  $A_{CR}$ は入力データ

( $C_{CR}$ はノードにかかわらず一定、 $A_{CR}$ はノード毎に入れる)

析出量の積分値は

$$M_{CR_{wall}}^{new} = M_{CR_{wall}}^{old} + \Delta M_{CR_{wall}} \quad \dots \quad (2-14)$$

$$M_{CR_{Na}}^{new} = M_{CR_{Na}}^{old} + \Delta M_{CR} \quad \dots \quad (2-15)$$

析出した反応生成物の析出層の厚さは、次式となる。

$$t_{CR_{wall}} = \frac{M_{CR_{wall}}^{new}}{\rho_{Na_2O} \cdot A_{CR}} \quad \dots \quad (2-16)$$

本来、全系のNa量 $M_{Na}$ は、 $Na \rightarrow NaOH$ 等が生ずるため減少するが、取扱上の簡便さから、各ノードのNa量 $M_{Na}$ は、反応、析出、沈積によっては変わらないものとする。すなわち、流動解析から求まる $M_{Na}$ を用いる。

全系のナトリウムの総重量は、大きいので、マクロには、上記仮定は、正しいが、局部的には、反応生成物の挙動に大きな影響があるかもしれない。注意を要する。

また、ナトリウム中の反応生成物粒子の粒径 $dk_i$ の重量は

$$m_{CRNa} (dk_i) = M_{CRNa}^{\text{new}} \cdot \frac{F'_{CR} (dk_i)}{\uparrow \text{粒子重量分布}} \quad \dots \dots (2-17)$$

(b)  $C_{RS} \leq C_{sat}$  (溶解) の場合

溶解量 $\Delta M_{SOL}$ は次式で示される。

$$\Delta M_{SOL} = M_{Na} (C_{Sat} - C_{RS}) \quad \dots \dots (2-18)$$

析出物が先に溶解するものとする。それぞれ溶解量は次式で示される。

$$\Delta M_{CRwall} = C_{CR} \cdot \frac{A_{CR}}{V} \Delta M_{SOL} \quad \dots \dots (2-19)$$

$$\Delta M_{CRNa} = (1 - C_{CR} \cdot \frac{A_{CR}}{V}) \Delta M_{SOL} \quad \dots \dots (2-20)$$

故に、

$$\Delta M_{CRwall}^{\text{new}} = M_{CRwall}^{\text{old}} - \Delta M_{CRwall} \quad \dots \dots (2-21)$$

$$\Delta M_{CRNa}^{\text{new}} = M_{CRNa}^{\text{old}} - \Delta M_{CRNa} \quad \dots \dots (2-22)$$

もし、 $M_{CRwall}^{\text{new}} < 0$  or/and  $M_{CRNa}^{\text{new}} < 0$

の時は、沈積分が溶解するものとして

$$M_{Dtot}^{\text{new}} = M_{Dtot}^{\text{old}} + M_{CRwall}^{\text{new}} (+ M_{CRNa}^{\text{new}}) \quad \dots \dots (2-23)$$

となる。

### (3) 沈降速度

管壁、粒子群の影響を考えた沈降速度は、次式<sup>(5)</sup>で示される。

$$W_t = W_{fo} \left( 1 - \frac{dk}{d} \right) (1 - k \cdot 7.9^{(dk/d)} q) \quad \dots \dots (2-24)$$

ここで、  $q$  :  $\text{Na}_2\text{O}$  のボリューム内体積割合

$dk$  : 粒子径

$d$  : 管内径

$k$  : パラメータ (0.6位)

$W_{fo}$  : 単粒子の沈降速度

$$W_{fo} = \frac{(S-1) g}{18 \nu} \cdot dk^2 \quad : \text{Ref} < 5 \quad \dots \dots (2-25)$$

$$= \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{Cw} \cdot (S-1) \cdot dk} \quad : 5 < \text{Ref}$$

ここで、

$$Cw = \frac{11}{\sqrt{\text{Ref}}} \quad \dots \dots (2-26)$$

$$\text{Ref} = \frac{w_{fo} \cdot dk}{\nu} \quad \dots \dots (2-27)$$

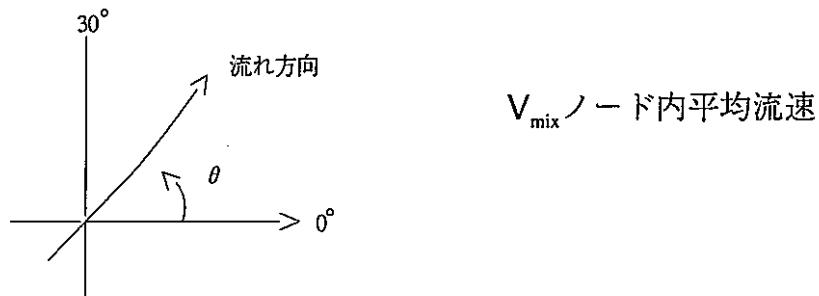
$$S = \frac{\rho_{\text{Na},0}}{\rho_{\text{Na}}} \quad \dots \dots (2-28)$$

$\nu$  :  $\text{Na}$  の動粘性係数

### (4) 沈積量

ナトリウム流れの中の粒子の垂直方向速度を与える。

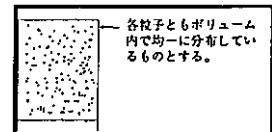
$$V_p (dk) = V_{\text{mix}} \cdot \sin \theta - w_f (dk) \quad \dots \dots (2-29)$$



$V_p (dk) < 0$  の時のみ沈積する。

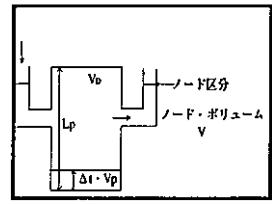
沈積量は次式で示される。

$$\Delta M_D (dk) = \frac{\Delta t \cdot V_p (dk)}{L_p} \cdot \frac{V_D}{V} \cdot m_p (dk)$$



…… (2-30)

ここで、  
 $\Delta t$  : タイムスラップ巾  
 $V_D$  : 沈積にかかる体積（入力）  
 $L_p$  : 沈積にかかる高さ（入力）  
 $V$  : ノード体積（入力）



従って、全沈積量は

$$\Delta M_{D\text{tot}} = \sum_i \Delta M_D (dk_i) \quad \dots \dots \quad (2-31)$$

$$M_D^{\text{new}} = M_D^{\text{old}} + \Delta M_{D\text{tot}} \quad \dots \dots \quad (2-32)$$

沈積厚さは

$$t_D = \frac{M_D^{\text{new}}}{\rho_{Na_2O} A_D} \quad \dots \dots \quad (2-33)$$

### (5) ナトリウム中、粒子状反応生成物濃度

$$M'_{CRNa}^{\text{new}} = M_{CRNa}^{\text{new}} - \Delta M_{D\text{tot}} \quad \dots \dots \quad (2-34)$$

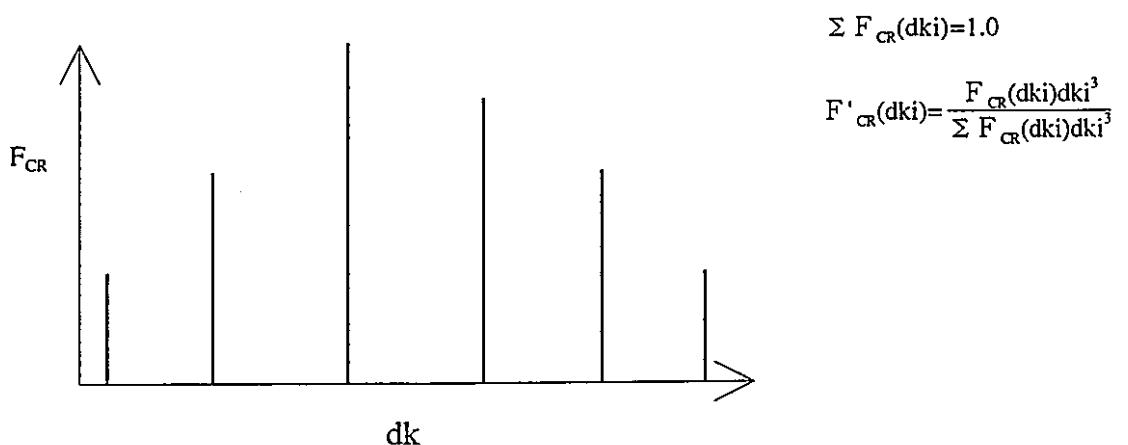
$$C_{CRNa} = \frac{M'_{CRNa}^{\text{new}}}{M_{Na}} \quad \dots \dots \quad (2-35)$$

(変数の説明)

$A_{CR}$	付着壁面積	$m^2$
$C$	NaOH溶解濃度	—
$C_{CR}$	壁への析出率（各ノード一定）	—
$C_{CRNa}$	粒子状反応生成物濃度	—
$M_{CRNa}$	Na中に析出している反応生成物浮遊量	kg
$M_{CRwall}$	壁に直接析出して付着している反応生成物量	kg
$M_{Dtot}$	沈積した反応生成物量	kg
$M_{sol}$	Na中に溶解している反応生成物量	kg
$M_{RPTot}$	反応生成物の総量	kg
$S$	反応生成物発生率	$kg/s$
$V$	ノード体積	$m^3$
$W$	流量	$kg/s$
$v$	流速	$m/s$
$\rho$	比重量	$kg/m^3$

(添字)

$i$	ノード番号
$k_{in}$	ノードに接続されている上流側リンク番号
$k_{out}$	ノードに接続されている下流側リンク番号
Na	ナトリウム
$Na_2O$	酸化ナトリウム
new	着目する時刻での値
old	上記時刻より 1 タイムステップ前の値



	存在形態	存 在 量	分布(径)	重量分布
沈積ボリューム	溶解 折出(Na中) 折出・付着(壁) 沈積 total	$M_{SOL}$ $M_{CRNA}$ $M_{CRwall}$ $M_D$ (dk) $M_{RPlot}$	$F_{CR}$ (dk)	$F_{CR}$ (dk)
流路ボリューム	溶解 折出(Na中) 折出(壁) total	$M_{SOL}$ $M_{CRNA}$ $M_{CRwall}$ $M_{RPlot}$		

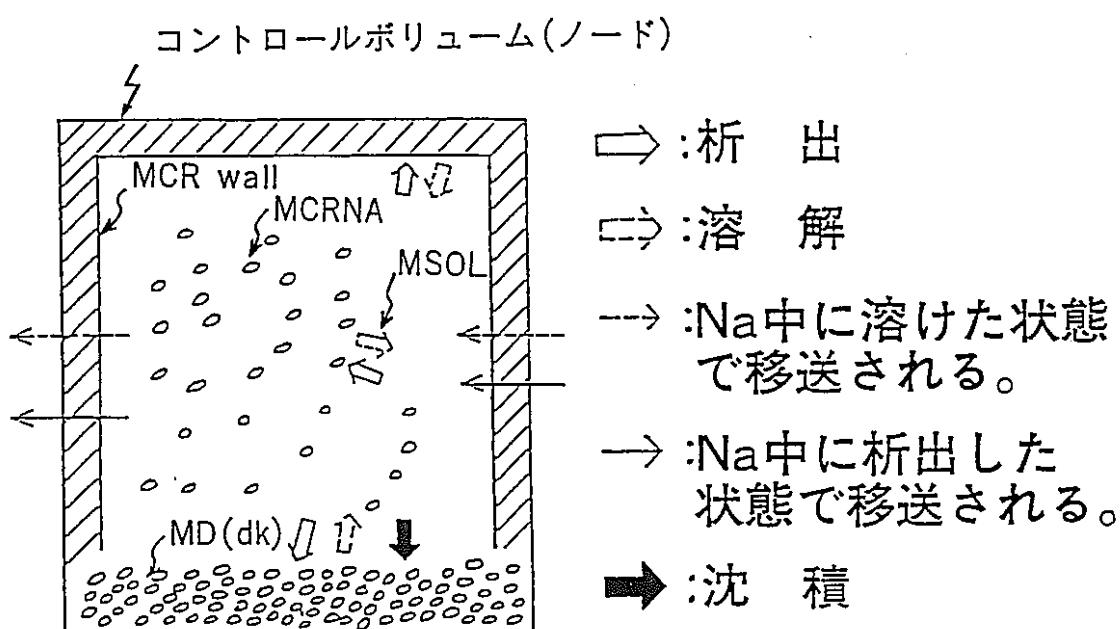


図3-1 反応生成物移行に係わる諸量の定義

## 4. コーディング

本章では、3章のモデル化と差分化展開の結果に基づき、反応生成物移行計算部（サブルーチン名はREACTとする）のコーディング、更にはSWAC-13Eとの結合を行ったが、その際の考え方、実施事項、結果としてのプログラム構成・フロー等について記載した。

### (1) 反応生成物移行計算部（REACT）のコーディング

3章で整理された反応生成物移行解析モデルでは、反応生成物はナトリウム一水反応時の熱・流動挙動に影響を及ぼさないものとしている。また、反応生成物移行解析モデルについては、今後も改良が行われる可能性がある。このため解析コードとしては、熱・流動解析部分（SWAC-13E）と反応生成物移行解析部分（REACT）はできる限り独立する様配慮した。

REACTのプログラムフローを図4-1に示す。尚、反応生成物移行ルーチンによって計算される主な諸量は、以下の通りである。

- VELN(i) . . . 各ノード(i)の平均流速 (m/sec)
- SSA(i) . . . 各ノード(i)の反応生成物発生率 (kg/sec)
- SVMU(i) . . . 各ノード(i)のNa動粘性係数 (m<sup>2</sup>/sec)
- CC(i) . . . 各ノード(i)のNaOH溶解濃度 (—)
- CRNA(i) . . . 各ノード(i)の粒子状反応生成物濃度 (—)
- MRPTOT(i) . . . 各ノード(i)の反応生成物総量 (kg)
- MCRNA(i) . . . 各ノード(i)の反応生成物浮遊量 (kg)
- MCRWAL(i) . . . 各ノード(i)の反応生成物壁付着量 (kg)
- MDTOT(i) . . . 各ノード(i)の反応生成物沈積量 (kg)
- MSOL(i) . . . 各ノード(i)の反応生成物溶解量 (kg)
- TCRWAL(i) . . . 各ノード(i)の反応生成物の壁への析出厚 (mm)
- TD(i) . . . 各ノード(i)の反応生成物の沈積層厚 (mm)

### (2) SWAC-13EとREACTの結合

#### (a) SWAC-13E全体プログラムフロー上の位置付

REACTでは、SWAC-13Eで解析された流量、温度等諸量を受けて反応生成物の挙動を計算することになる。現状では、SWAC-13Eの熱・流動計算のために、逆にREACTからSWAC-13Eに渡すべきデータはない。

以上の事を考慮して、SWAC-13Eのプログラムフローとプログラム構成上の位置を決定した。REACTを含むメインとなるSWAC-13Eのプログラム構成を図4-2に示す。

#### (b) データの授受

次の観点からデータの授受が必要となる。

<REACTの計算に必要な変数データ:SWAC-13Eより受ける>

- MS(i) . . . 各ノード(i)のナトリウム質量 (kg)
- SVS(i) . . . 各ノード(i)の液体比容積 (m<sup>3</sup>/kg)
- TLIQ(i) . . . 各ノード(i)の液体温度 (°C)
- V(i) . . . 各ノード(i)の体積 (m<sup>3</sup>)
- WS(k) . . . 各リンク(k)の流量 (kg/sec)

<SWAC-13Eでアウトプットする変数データ:SWAC-13Eに渡す>

- VELN(i) . . . 各ノード(i)の平均流速 (m/sec)
- SSA(i) . . . 各ノード(i)の反応生成物発生率 (kg/sec)
- SVMU(i) . . . 各ノード(i)のNa動粘性係数 (m<sup>2</sup>/sec)
- CC(i) . . . 各ノード(i)のNaOH溶解濃度 (—)
- CRNA(i) . . . 各ノード(i)の粒子状反応生成物濃度 (—)
- MRPTOT(i) . . . 各ノード(i)の反応生成物総量 (kg)
- MCRNA(i) . . . 各ノード(i)の反応生成物浮遊量 (kg)
- MCRWAL(i) . . . 各ノード(i)の反応生成物壁付着量 (kg)
- MDTOT(i) . . . 各ノード(i)の反応生成物沈積量 (kg)
- MSOL(i) . . . 各ノード(i)の反応生成物溶解量 (kg)
- TCRWAL(i) . . . 各ノード(i)の反応生成物の壁への析出厚 (mm)
- TD(i) . . . 各ノード(i)の反応生成物の沈積層厚 (mm)

<計算コントロールのためのデータの相互授受>

●タイムステップ幅等

尚、これらの変数の引渡しは、common文で行っている。

(c)改造箇所

本章では、REACTの作成とSWAC-13Eの改造を行ったが、SWAC-13Eの改造箇所を明示するため、図4-3に改造SWAC-13E (REACTを含む) のプログラム構成と改造サブプログラム (主にcommon文の改造) を示す。

(3)入出力仕様

REACT関連の入出力もSWAC-13Eと分けて出来る様配慮した。

REACT関連の入力仕様を添付資料Bに示す。

(4)改造SWAC-13Eのプログラムソース

改造SWAC-13Eのプログラムリストのうち、図4-3に示す修正したサブプログラム (3ルーチン) と追加したサブプログラム (3ルーチン) のソースリストを添付資料Dに示す。

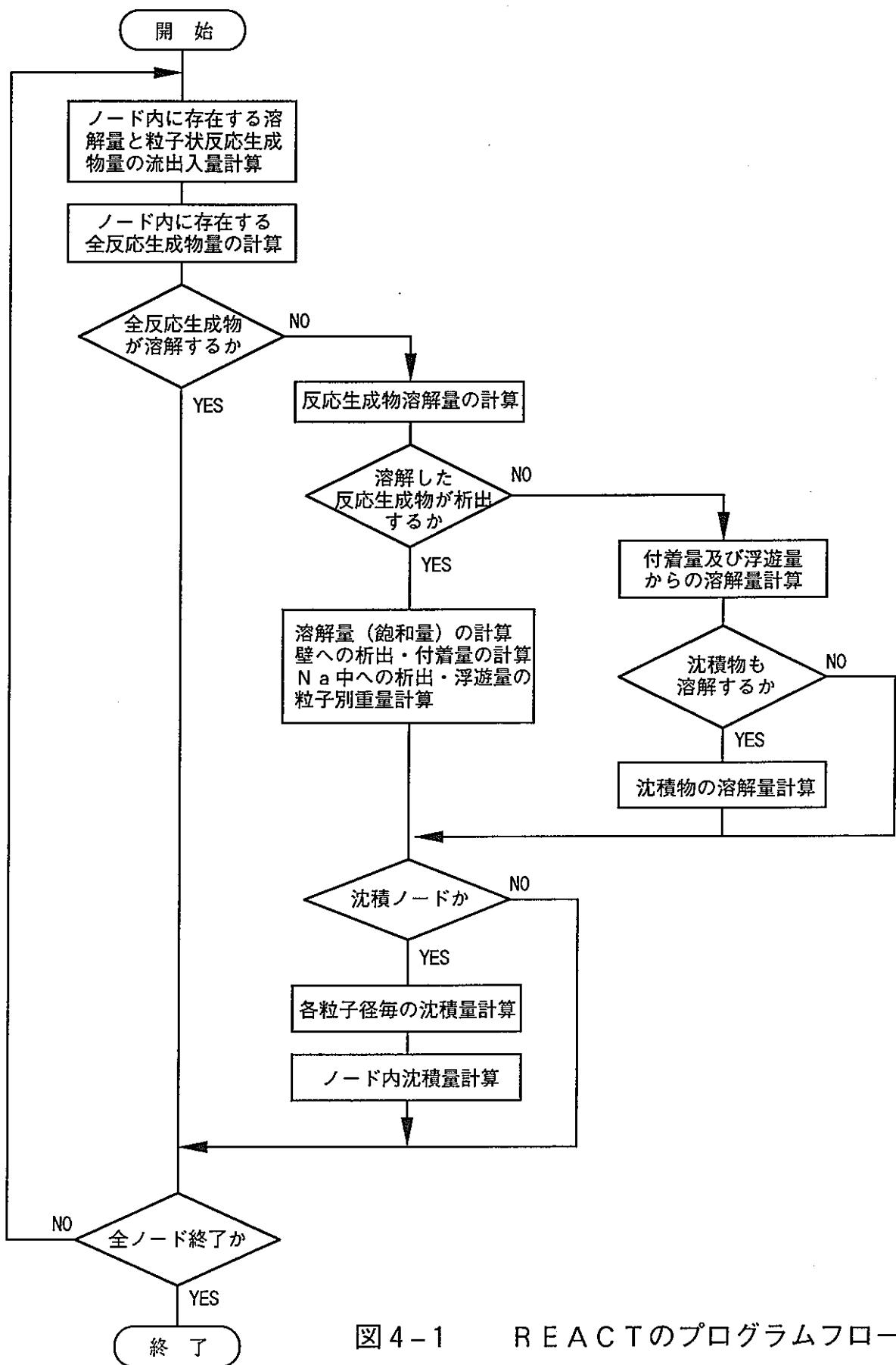


図 4-1 REACT のプログラムフロー

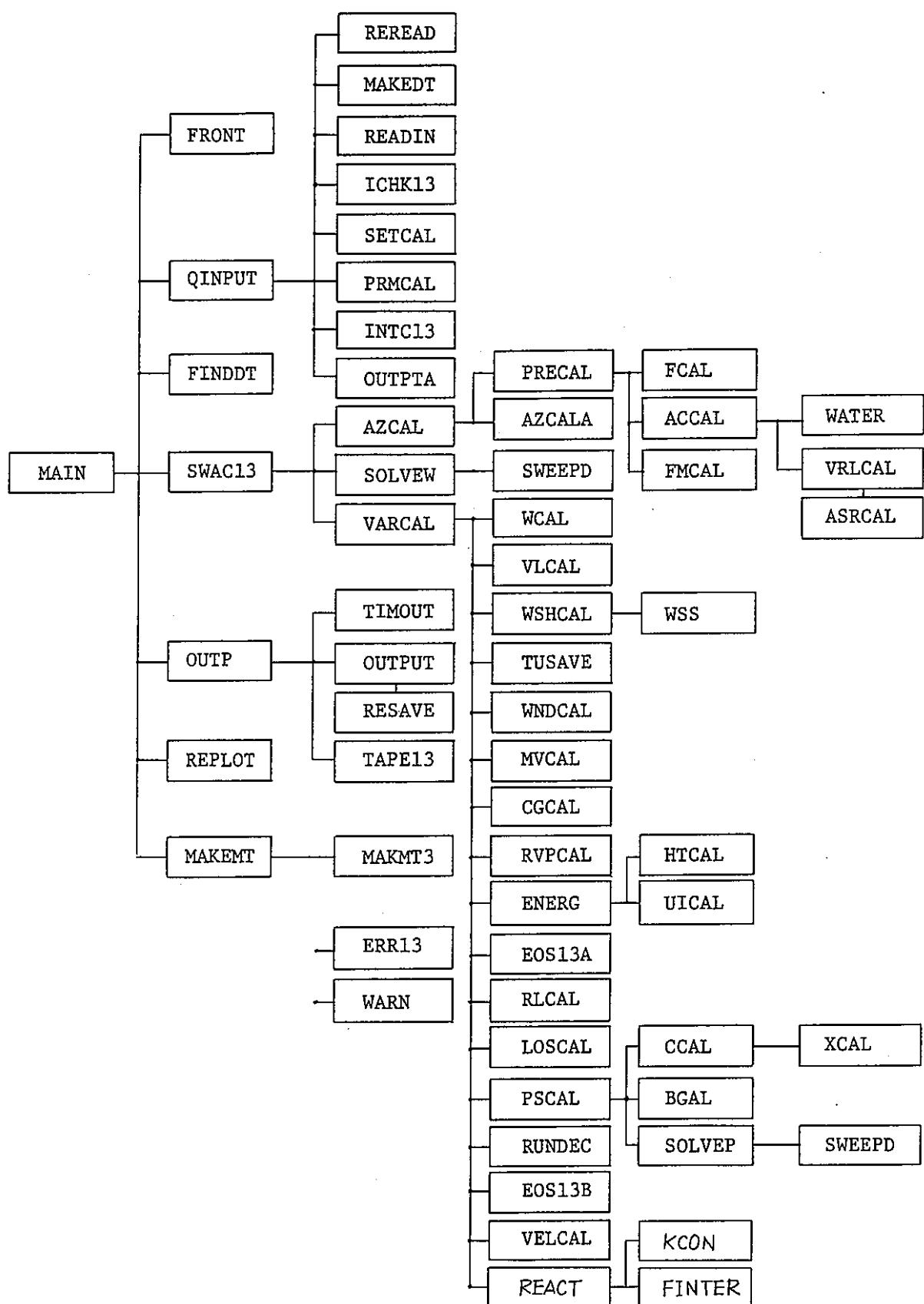


図4.2 SWAC-13 E のプログラム構成（反応生成物移行ルーチン含む）

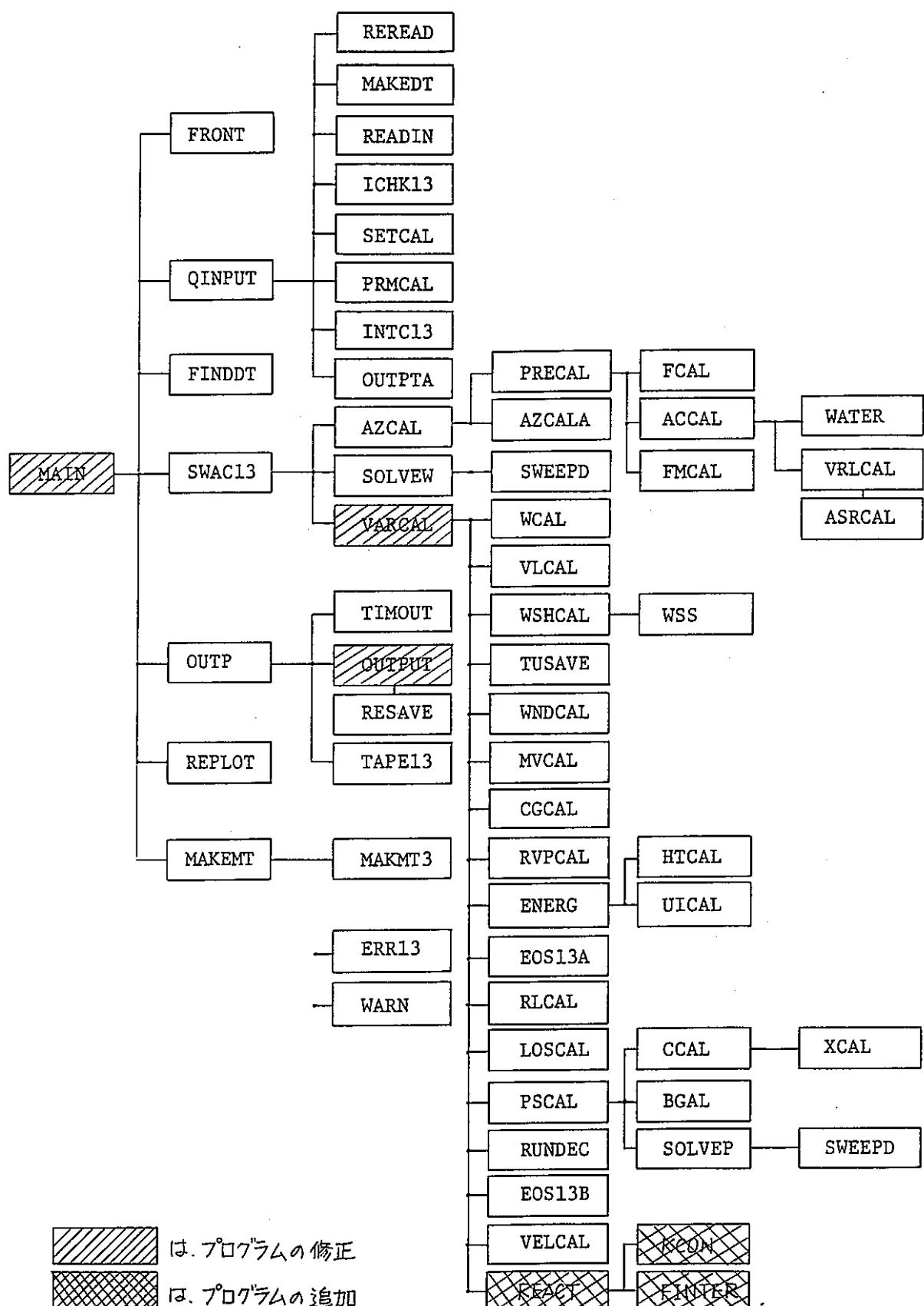


図4.3 改造SWAC-13Eのプログラム構成と改造したサブプログラム

## 5. 試解析

本作業では、大リーグ・ナトリウム-水反応熱流動解析コード SWAC-13E に反応生成物移行評価モデル（サブルーチン”REACT”）を追加し、組み込んだ。

この追加モデルは、第3.2節でも述べた通り SWAC-13E で計算される熱流動には影響を及ぼさないモデルとされている。

従って、コードの妥当性を次の2つのステップの試解析により確認することとした。

### ステップ1：反応生成物移行計算プログラムの機能確認解析

（主にサブルーチン”REACT”のみを使用した単純Na循環体系での反応生成物移行解析と文献値との比較。）

### ステップ2：「常陽」2次系削除計画プラントの大リーグ解析への適用。

（SWAC-13E と REACT の結合機能の確認。）

## 5.1 反応生成物移行計算プログラムの機能確認解析

### 5.1.1 解析の目的

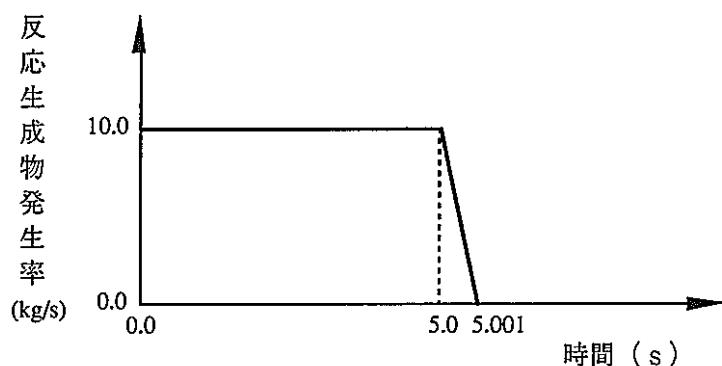
主にサブルーチン”REACT”のみを使用した単純Na循環（円環）体系での反応生成物移行解析及び文献値<sup>(3)</sup>との比較を行い、反応生成物移行評価モデル”REACT”的計算機能の妥当性を確認する。

### 5.1.2 解析体系と解析モデル

解析モデルは図5.1-1に示す通り、10個のノードと10個のリンクで構成された単純Na循環体系である。ナトリウム流量は一定値を与え、任意の1ノードで水リークを起こし反応生成物を発生させる。主な解析条件を以下に示す。

#### <解析条件>

- |                   |                       |
|-------------------|-----------------------|
| ・ノード体積            | 1.0 (m <sup>3</sup> ) |
| ・ノード直径            | 0.5 (m)               |
| ・ノード長さ            | 5.1 (m)               |
| ・ナトリウム温度          | 400 (°C)              |
| ・反応生成物 (NaOH) 発生率 | 下図の通り                 |



### <解析モデル図>

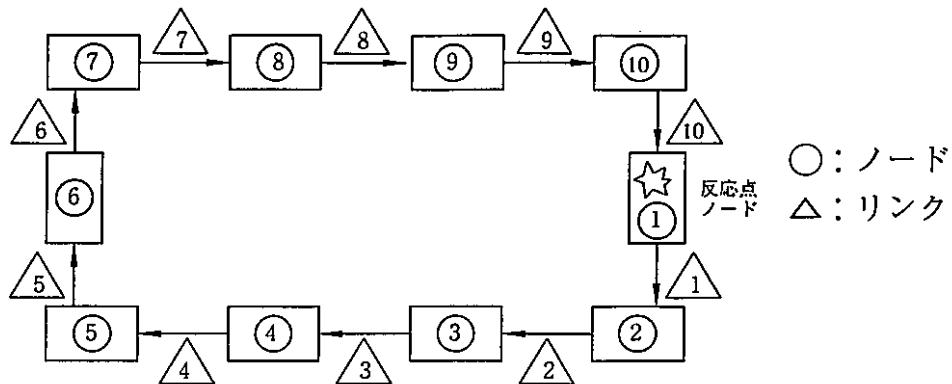


図 5.1-1 解析モデル（単純Na循環体系）

#### 5.1.3 解析ケース

文献に記載されている全解析ケース（4 ケース）について、比較解析を実施した。解析ケースは表 5.1-1 に示す通り。ケース 1 をノミナル値とし、他のケースについては入力パラメータの一部を変更している。

表 5.1-1 解析ケース一覧表

解析ケース名	体 積 (m <sup>3</sup> )	循環流量 (m <sup>3</sup> /s)	ノード温度 (°C)
ケース 1 (ノミナル値)	1.0	0.5	400
ケース 2	1.0 (ノード 5 のみ 10.0)	0.5	400
ケース 3	1.0	1.0	400
ケース 4	1.0	0.5	400 (ノード 5 のみ 250)

#### 5.1.4 解析結果と考察

文献に記載されている解析結果と今回作成した反応生成物移行ルーチンで計算した解析結果を図 5.1-2～図 5.1-4 に示すが、図 5.1-2 の NaOH 濃度のノード 9 に注目してみると、文献値及び今回の解析結果（ケース 1）とも、水リーク開始から 5 秒後に上昇し始め、15 秒後に飽和濃度 0.001 (1000 ppm) に達する。この飽和濃度は 400°C の Na 中の O(酸素) の飽和溶解度が 400 ppm であることを考えると下記の通り妥当である。

$$O: 400 \text{ ppm} \rightarrow NaOH: 0.0004 \times \frac{40}{16} = 0.001$$

また、飽和濃度に達する時間はピストン状フローを考えると1ノード当りの通過時間が $1.0\text{m}^3 / 0.5\text{m}^3/\text{s} = 2\text{s}$ であるからノード9では $(9-1) \times 2 = 16\text{s}$ となる。本モデルではノード内で瞬時混合としていること及び反応生成物発生量が飽和濃度に比べて非常に大きな値となっているため、ピストンフローを想定した $16\text{s}$ よりは小さい $15\text{s}$ となっている。図5.1-4の反応生成物溶解量もNaOH濃度と同じ挙動を示している。また、反応点の反応生成物総量は図5.1-3に示す通り、水リーク開始から5秒でピークに達し、その後減少する。

なお、図5.1-2と図5.1-4の図中で、ノード1のNaOH濃度及び反応生成物溶解量が、文献値では1秒もかからず飽和濃度及び飽和溶解量に達するのに対し、今回の解析結果では1秒後に飽和濃度及び飽和溶解量に達するのは、単にプロットデータ出力間隔を1秒毎にしているためであり、計算上の問題ではない。

以上から解るように、NaOH濃度、反応生成物総量、反応生成物溶解量とも文献の値と良く一致している。そこで、ナトリウムー水反応生成物移行評価モデル”REACT”は妥当であると判断した。

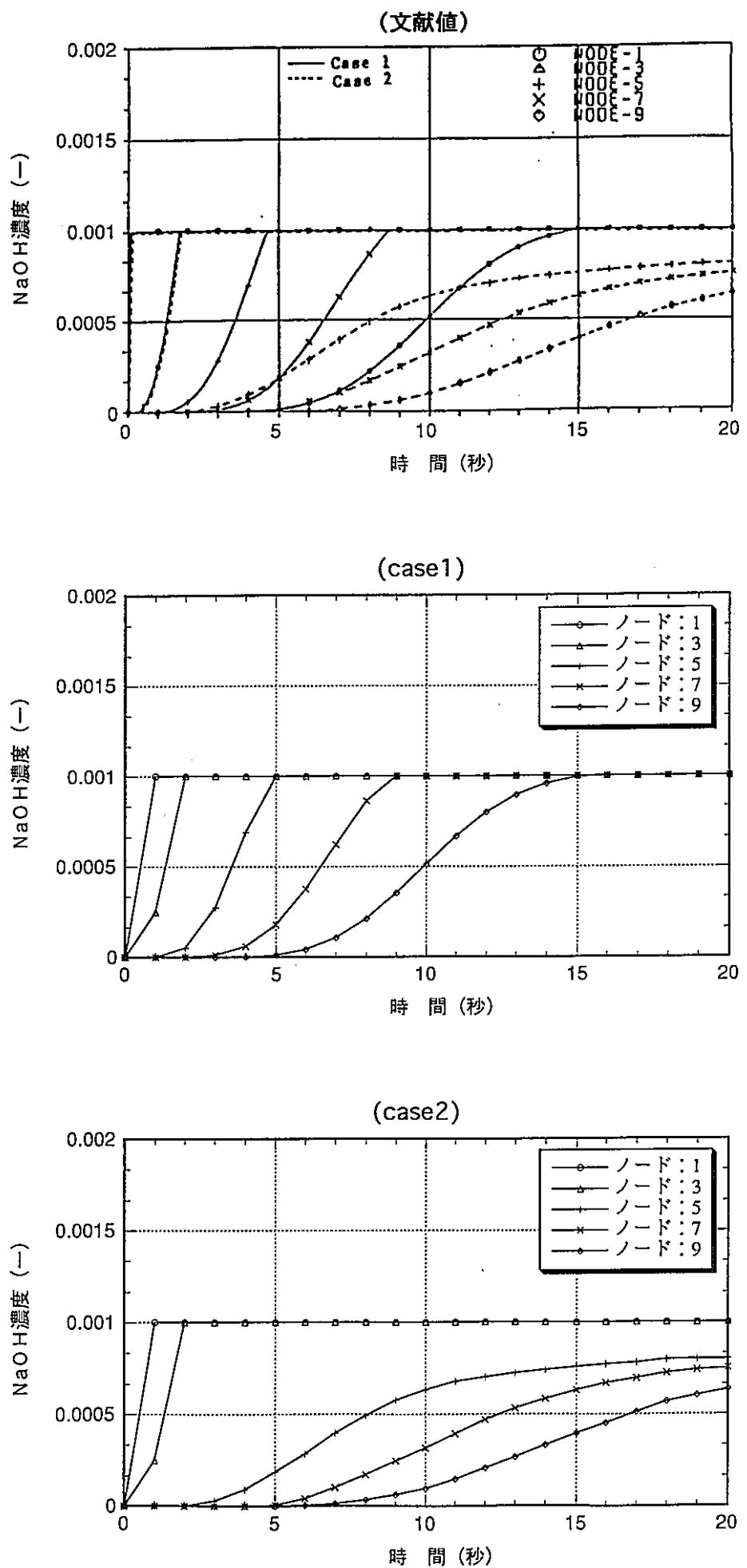


図 5.1.2 解析結果の比較 (NaOH濃度)

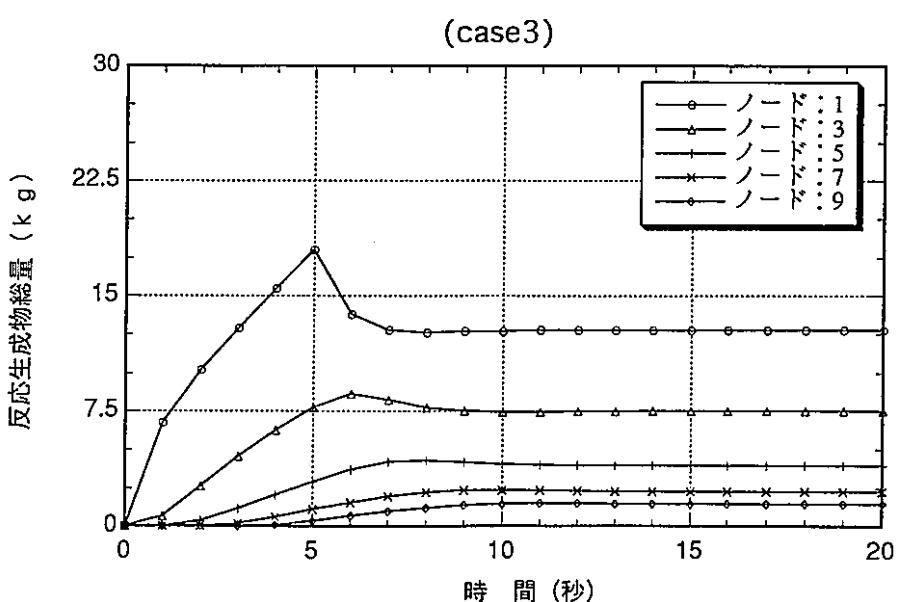
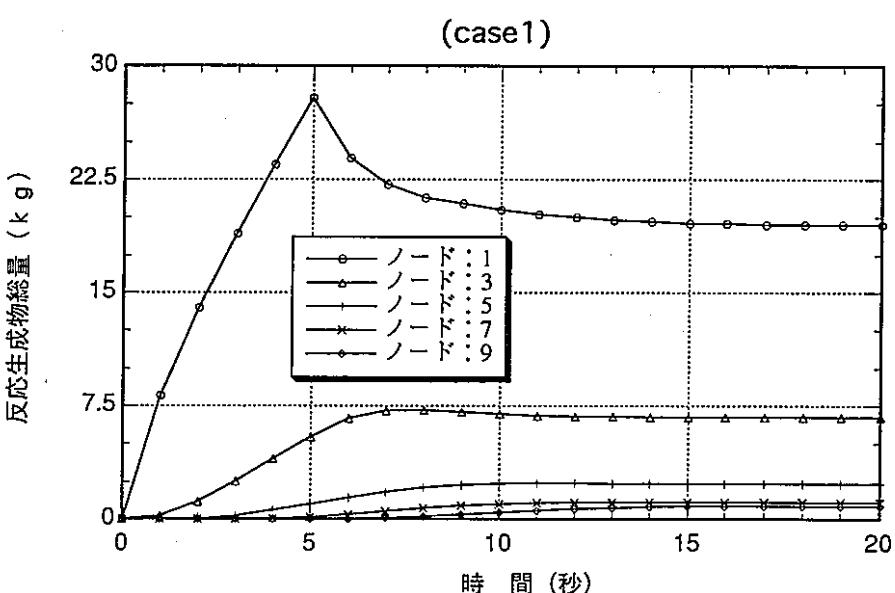
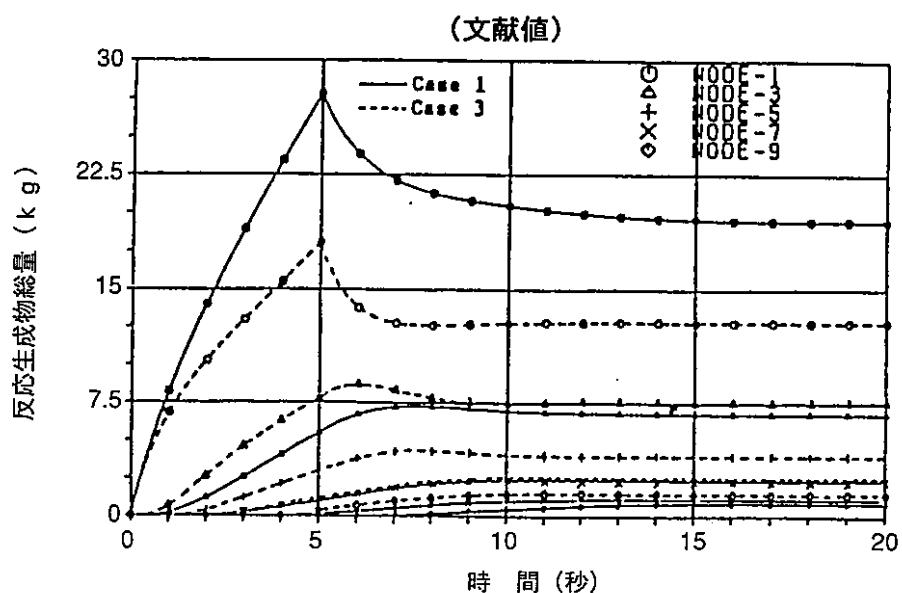


図 5.1.3 解析結果の比較（反応生成物総量）

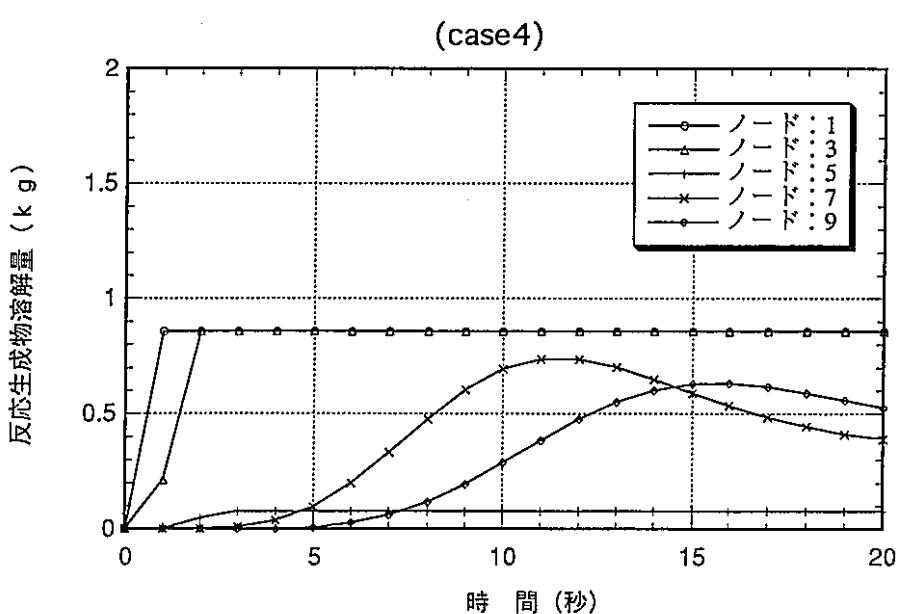
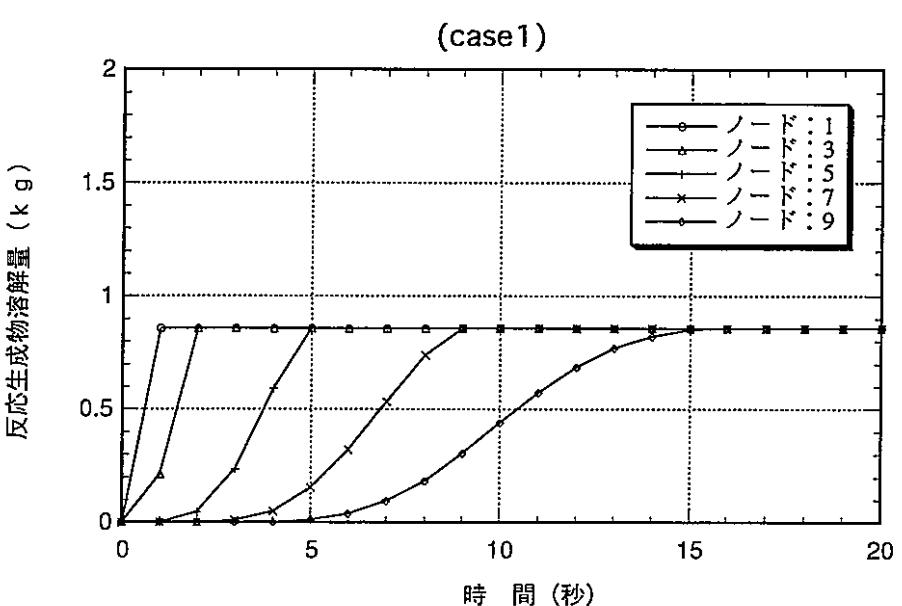
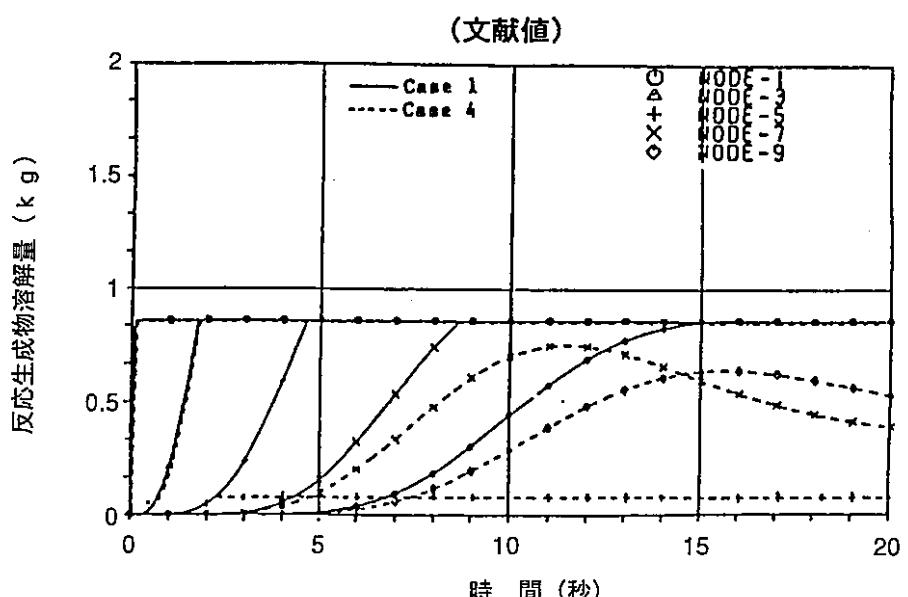


図 5.1.4 解析結果の比較（反応生成物溶解量）

## 5.2 「常陽」2次系削除計画プラントへの適用

### 5.2.1 解析の目的

改造したコードを「常陽」2次系削除計画プラントの大リーケ解析へ適用することで、SWAC-13EとREACTの結合機能の確認を行う。

### 5.2.2 解析体系と解析モデル

本ステップでは図5.2-1に示す「常陽」の1次主冷却系SG廻り系統図を基に、事業団殿で構想された2次系削除型プラント「常陽」を対象にしたナトリウム-水反応解析を行い、本コードの妥当性をチェックした。解析モデル図を図5.2-2に示す。

また、解析モデル図を作成するに当たり計算した、ノードデータ及びリンクデータ一覧表を表5.2-1～表5.2-2に示し、反応生成物移行挙動に係わるノードデータを表5.2-3に示す。

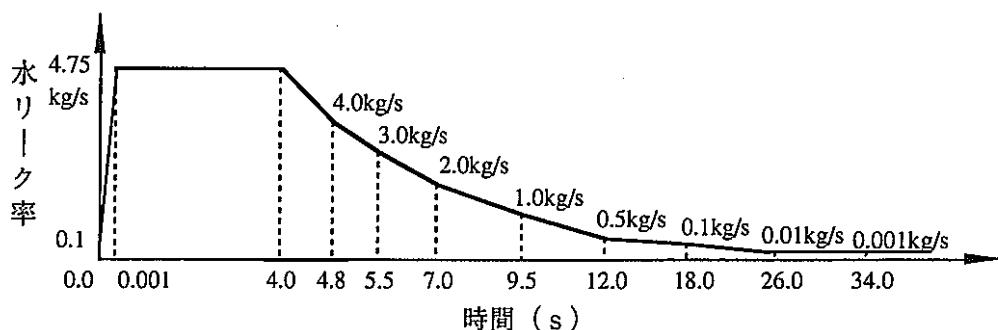
### 5.2.3 解析条件と解析ケース

SWAC-13Eの熱流動計算に用いられる入力パラメータを決定するにあたり、「SWAC-13EによるSWAT-3 Run-4,5,6,7の実験解析<sup>(4)</sup>」の入力データを参考にしたが、ゼロ割りや浮動小数点計算に関わるオーバーフロー等が度々起こり、その都度入力データのチェックを行いながら、熱流動計算が行える入力条件を構築した。最終的に決定したサーベイ計算の主な解析条件を以下に示す。また、入力データリストを添付資料Cに示す。

尚、パラメータサーベイ計算として実行した解析ケースと解析結果を添付資料Eに示す。

#### <解析条件>

- |              |  |
|--------------|--|
| ・伝熱管破断本数     | 1 (本)  |
| ・初期カバーガス圧    | 1.5 (kg/cm <sup>2</sup> · a)   |
| ・初期ナトリウム温度   | 350～500 (°C)   |
| ・反応点温度       | 1000 (°C)  |
| ・シミュレーション時間  | 30 (秒)   |
| ・ナトリウム-水反応条件 | $1.3\text{Na} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 0.3\text{Na}_2\text{O} + 0.7\text{NaOH} + 0.65\text{H}_2$ |
| ・水リーケ率       | 下図の通り  |



#### 5.2.4 解析結果と考察

解析結果を図5.2-3～図5.2-11に示す。対象としたシステムは放出系を有していないため、ナトリウムー水反応で発生する圧力は、SGが無液面タイプであることも影響して原子炉容器カバーガス部への流体の移動により吸収されるのみであり、最終的にはシステム内の均一的な圧力上昇となって静定する。静定圧力は図5.2-3に示す通り、約10.0kg/cm<sup>2</sup>である。

初期(0.001～4.0秒まで)の水リーク率は、4.75kg/sと大きいが、以降は水ブローに伴い減少する。図5.2-4に見られる通り、この水リーク率が大きい反応初期には、SGから原子炉容器に向かう大きな流れが生じ、その後コールドレグではほぼ零となる。一方、ホットレグでは、原子炉容器カバーガス部とSG反応点のガス空間の圧力により、流れは振動的になり、徐々に振幅が減衰してほぼ零となる。

ボイド率変化の特徴は図5.2-5に示す通り、反応点で発生した高いボイド率が、大きな初期のコールドレグ流量により約2秒後に炉心に達し、約6秒後に最大値(約0.5)となる。その後、徐々に減少して0.15前後に静定する。ホットレグでは、振動的な流動に伴い徐々に増加し、最終的には0.4前後になる。

反応生成物総量は図5.2-6に示す通り、炉心中央部では約2秒後から上昇し始め、約5秒後に最大値(約3.2kg)となり、その後、徐々に減少して約1.1kgで静定する。固体状の反応生成物については、次に示すように発生量と分布量が一致することを確認した。

・水リーク総量	36.6kg
・発生Na <sub>2</sub> O量	$36.6 / 18 \times 62 \times 0.3 = 37.8\text{kg}$ (添付資料B参照)
・発生NaOH量	$36.6 / 18 \times 40 \times 0.7 = 56.9\text{kg}$ (添付資料B参照)
・反応生成物総量	$37.8 + 56.9 = 94.7 \approx \text{約}95.0\text{kg}$ (at30秒後)

反応生成物浮遊量は図5.2-8に示す通り、ボイド(水素ガス:図5.2-5)と似た挙動を示すとともに、反応生成物総量の挙動とほぼ同じであり、反応生成物総の大部分を浮遊量が占めていることがわかる。

反応生成物溶解量(図5.2-7参照)は、ノード体積とNa温度に依存するため、ノード体積が大きくNa温度が高いホットレグで多くなっており、逆に反応点に近くNa温度が低いクロスオーバーレグやコールドレグでは、浮遊量が多くなっている。

また、壁への付着量(図5.2-10参照)は、Na中に溶解した反応生成物の過飽和分に、壁への析出付着割合を乗じたものであるが、反応点(ノード1)ではNa温度が高いため飽和溶解度(約0.0014)が高く、壁への析出量は見られない。しかし、SG出口配管(ノード2)では、Na温度が低く飽和溶解度(約0.0005)が低くなるので過飽和分が析出する。その内の3～7割が壁への析出・付着であるが、その付着量は約0.5kgと他の存在形態に比べて少ない。

その理由は、上流側となるノード1の溶解量自体が約0.8kgと小さく、ノード

2での過飽和分は更に小さな値となるからである。その結果、ほぼ等温のコールドレグ側では、前述した過飽和分の多くがノード2で析出してしまうため、ノード2より下流側での壁への析出・付着は極めて小さい値となっている。

したがって、本解析条件においては、炉心入口に流入する反応生成物の溶解濃度は、0.0005程度に留まる一方で、炉心内は温度が高く飽和溶解度が上昇するために、反応生成物が炉心内に析出・付着することは無い。

これらの図に見られる通り、圧力、流量、反応生成物総量等の結果は定性的に矛盾のないものであり、妥当なものである。

表5.2-1 (1) ノードデータ一覧表

ノード No.	場所	断面積 (m <sup>2</sup> )	長さ (m)	中心高さ (m)	直 径 (m)	温 度 (°C)	Na温度／ガス 温度(—)	備 考
1	SG管束部下部	0.276	5.40	-9.05	0.593	425	1.0	
2	SG出口配管	0.073	2.00	-7.50	0.306	350	1.0	
3	配管	0.073	20.0	-0.05	0.306	350	1.0	
4	クロスオーバー レグ	0.073	78.2	1.86	0.306	350	1.0	
5	主循環ポンプ	0.073	6.85	-1.35	0.306	350	1.0	
6	コールドレグ	0.073	31.3	-1.10	0.306	350	1.0	
7	炉心下部	5.107	0.50	-5.88	2.550	350	1.0	
8	炉心中央部	0.309	6.30	-3.62	0.627	425	1.0	
9	炉心上部	10.18	0.70	-1.10	3.600	500	1.0	
10	SG管束部中部	0.276	5.30	-0.05	0.593	425	1.0	
11	SG管束部上部	0.276	5.30	8.95	0.593	425	1.0	

表5.2-1(2) ノードデータ一覧表

ノード No.	場所	断面積 (m <sup>2</sup> )	長さ (m)	中心高さ (m)	直 径 (m)	温 度 (°C)	Na温度／ガス 温度(—)	備 考
12	SG入口配管	0.073	2.50	7.40	0.306	500	1.0	
13	ホットレグ	0.188	56.9	1.86	0.489	500	1.0	
14	健全側 コールドレグ等	0.363	34.8	-4.15	0.680	350	1.0	
15	健全側 ホットレグ等	0.102	59.5	-3.78	0.360	500	1.0	
16	カバーガス部十 ホットプレナム	10.18	0.95	-0.32	3.600	500	1.0	
17	カバーガス部	10.18	1.00	0.65	3.600	500	1.0	
18	放出管十 収納容器	12.57	18.6	-7.65	4.000	200	1.0	

表5.2-2 (1) リンクデータ一覧表

リンク No.	場所	抵抗係数 (-)	断面積 (m <sup>2</sup> )	長さ (m)	水力直径 (m)	備考
1	SG管束部下部 ～SG出口管	27.0	0.073	1.72	0.306	
2	SG出口管 ～配管	0.25	0.073	11.0	0.306	
3	配管～クロス オーバーレグ	3.15	0.073	49.1	0.306	
4	クロスオーバー <sup>レグ</sup> ～ポンプ	0.75	0.073	42.5	0.306	
5	主循環ポンプ～ コールドレグ	0.81	0.073	19.1	0.306	
6	コールドレグ ～炉心下部	2.42	0.073	15.6	0.306	
7	炉心入口～ 炉心中央部	74.1	0.309	3.17	10.00*	*ダミー値である。
8	炉心中央部 ～炉心上部	74.1	0.309	3.16	10.00*	*同上。
9	SG管束部下部～ SG管束部中央	33.8	0.276	5.35	0.019	
10	SG管束部中央～ SG管束部上部	33.8	0.276	5.30	0.019	
11	SG管束部上部 SG入口配管	106.	0.073	1.96	0.306	

表 5.2-2 (2) リンクデータ一覧表

リンク No.	場所	抵抗係数 (一)	断面積 (m <sup>2</sup> )	長さ (m)	水力直径 (m)	備考
12	SG入口配管～ ホットレグ配管	0.18	0.073	12.4	0.306	
13	ホットレグ配管 ～上部プレナム	1.66	0.188	28.5	0.489	
14	健全側コールドレグ ～下部プレナム	2.65	0.073	43.3	0.306	
15	健全側ホットレグ～ 健全側コールドレグ	2.60	0.153	23.5	0.441	
16	上部プレナム～ 健全側ホットレグ	12.3	0.188	15.4	0.489	
17	上部プレナム～ カバーガス部	1.00	10.20	0.83	3.600	
18	カバーガス部	1.00	10.20	0.98	3.600	
19	カバーガス部～ 放出系配管	1.00	10.20	8.03	3.600	

表5.2-3(1) 反応生成物挙動に係るノードデータ

ノード No.	場所	ノード内流速 の傾き (度)	反応生成物 付着表面積 (m <sup>2</sup> )	反応生成物の 沈積に係る体積 (m <sup>3</sup> )	反応生成物の 沈積に係る高さ (m)	反応生成物の 沈積面積 (m <sup>2</sup> )	備考
1	SG管束部下部	-90.0	11.0	1.31	4.30	0.30	
2	SG出口配管	0.0	1.73	0.0	0.0	0.0	
3	配管	90.0	17.3	0.0	0.0	0.0	
4	クロスオーバーレグ	-90.0	72.3	0.0	0.0	0.0	
5	主循環ポンプ	0.0	6.57	0.0	0.0	0.0	
6	コールドレグ	-90.0	37.8	0.0	0.0	0.0	
7	炉心入口	90.0	4.01	2.60	0.50	5.11	
8	炉心中心	90.0	12.4	0.0	0.0	0.0	
9	炉心出口	90.0	7.92	0.0	0.0	0.0	
10	SG管束部中部	90.0	11.0	0.0	0.0	0.0	
11	SG管束部上部	90.0	11.0	0.0	0.0	0.0	

表5.2-3(2) 反応生成物挙動に係るノードデータ

ノード No.	場所	ノード内流速 の傾き (度)	反応生成物 付着表面積 (m <sup>2</sup> )	反応生成物の 沈積に係る体積 (m <sup>3</sup> )	反応生成物の 沈積に係る高さ (m)	反応生成物の 沈積面積 (m <sup>2</sup> )	備考
12	SG入口配管	0.0	1.73	0.0	0.0	0.0	
13	ホットレグ	-90.0	92.6	0.0	0.0	0.0	
14	健全側（コール ドレグ等）	0.0	67.2	6.06	0.50	1.00	
15	健全側（ホット レグ等）	-90.0	74.3	0.0	0.0	0.0	
16	カバーガス＋ ホットプレナム	90.0	11.0	0.0	0.0	0.0	
17	カバーガス	90.0	11.0	0.0	0.0	0.0	
18	放出管＋ 収納容器	-90.0	200.	0.0	0.0	0.0	

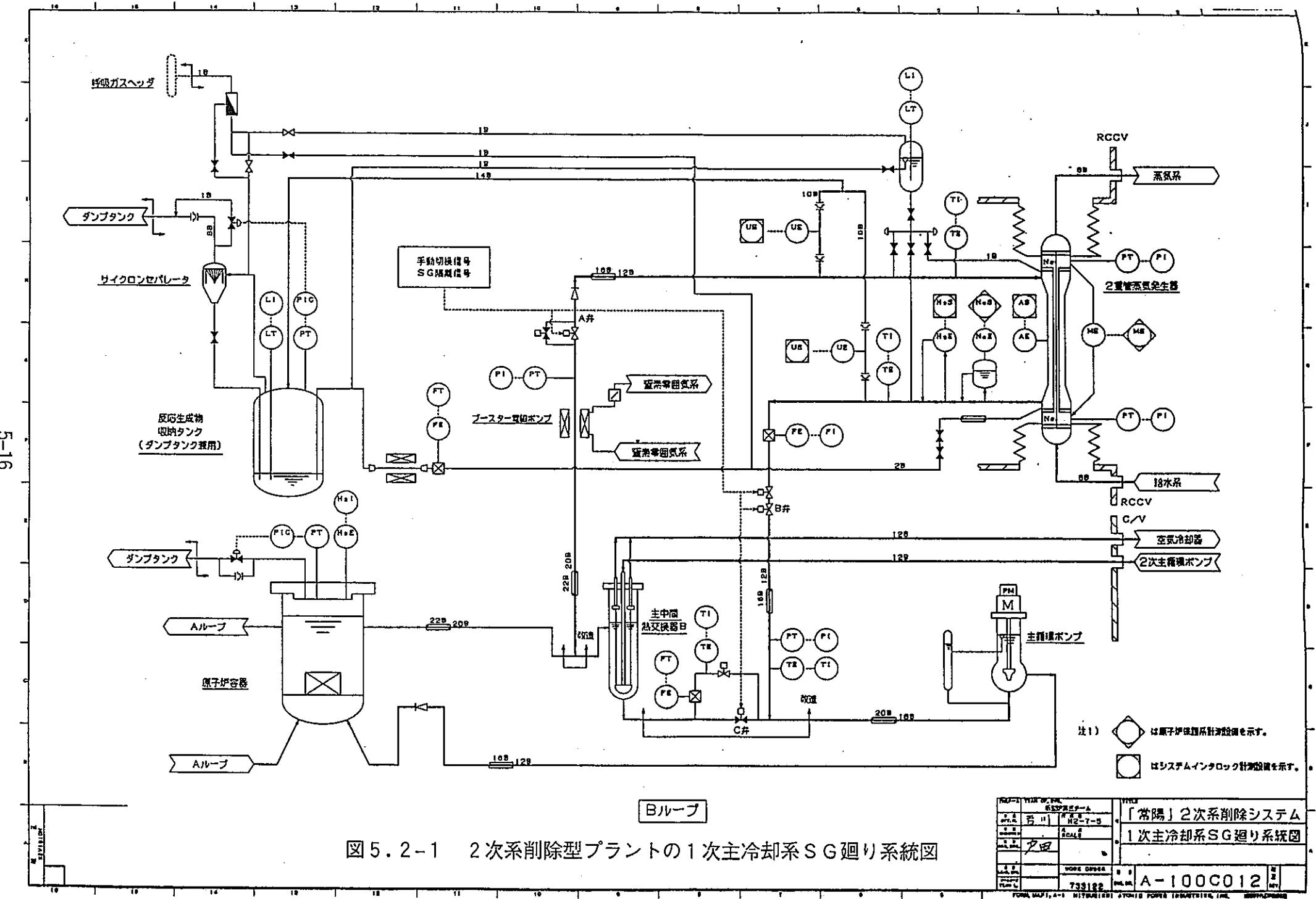


図5.2-1 2次系削除型プラントの1次主冷却系SG廻り系統図

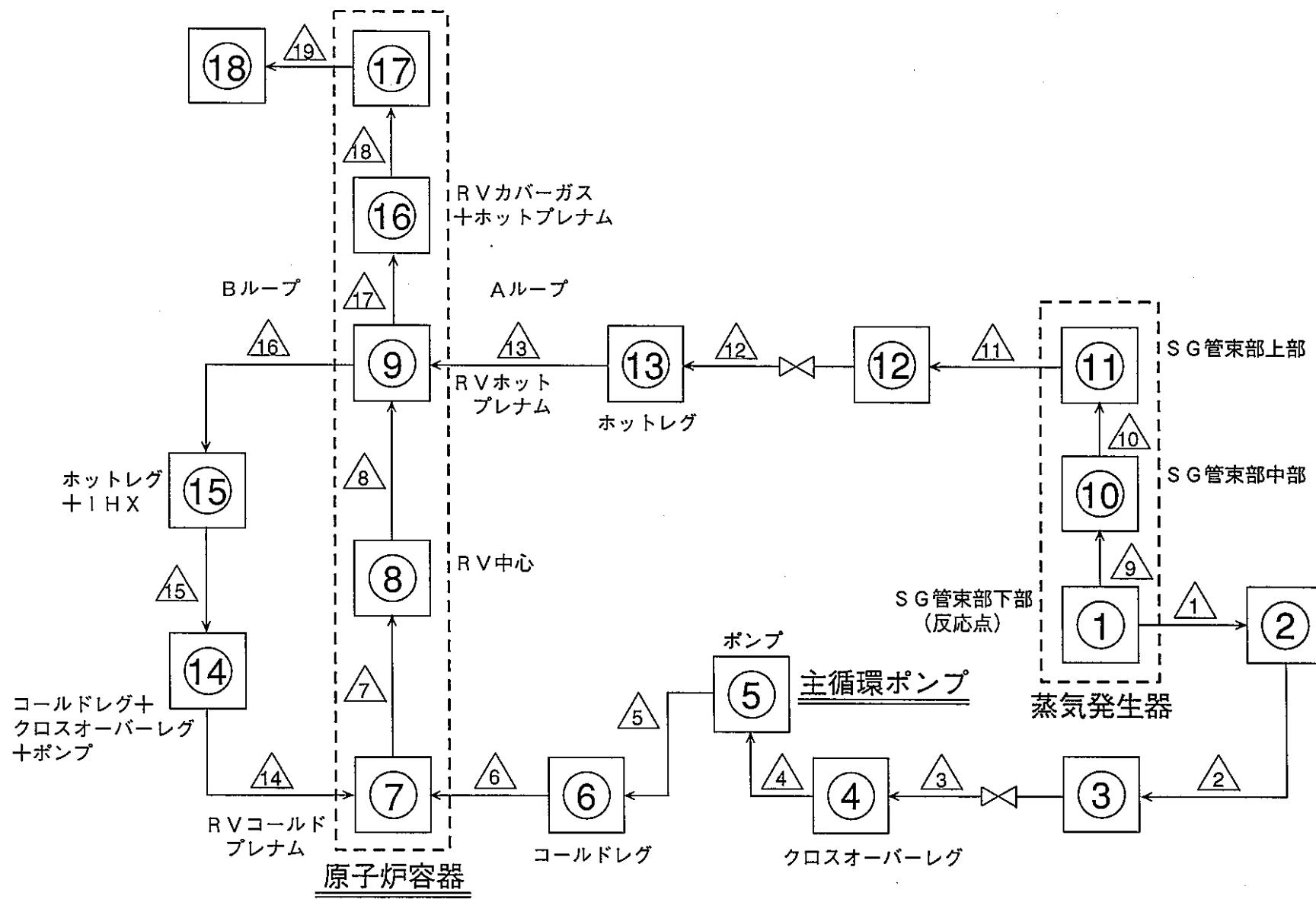


図 5.2-2(1) 解析モデル図 (収納系無し)

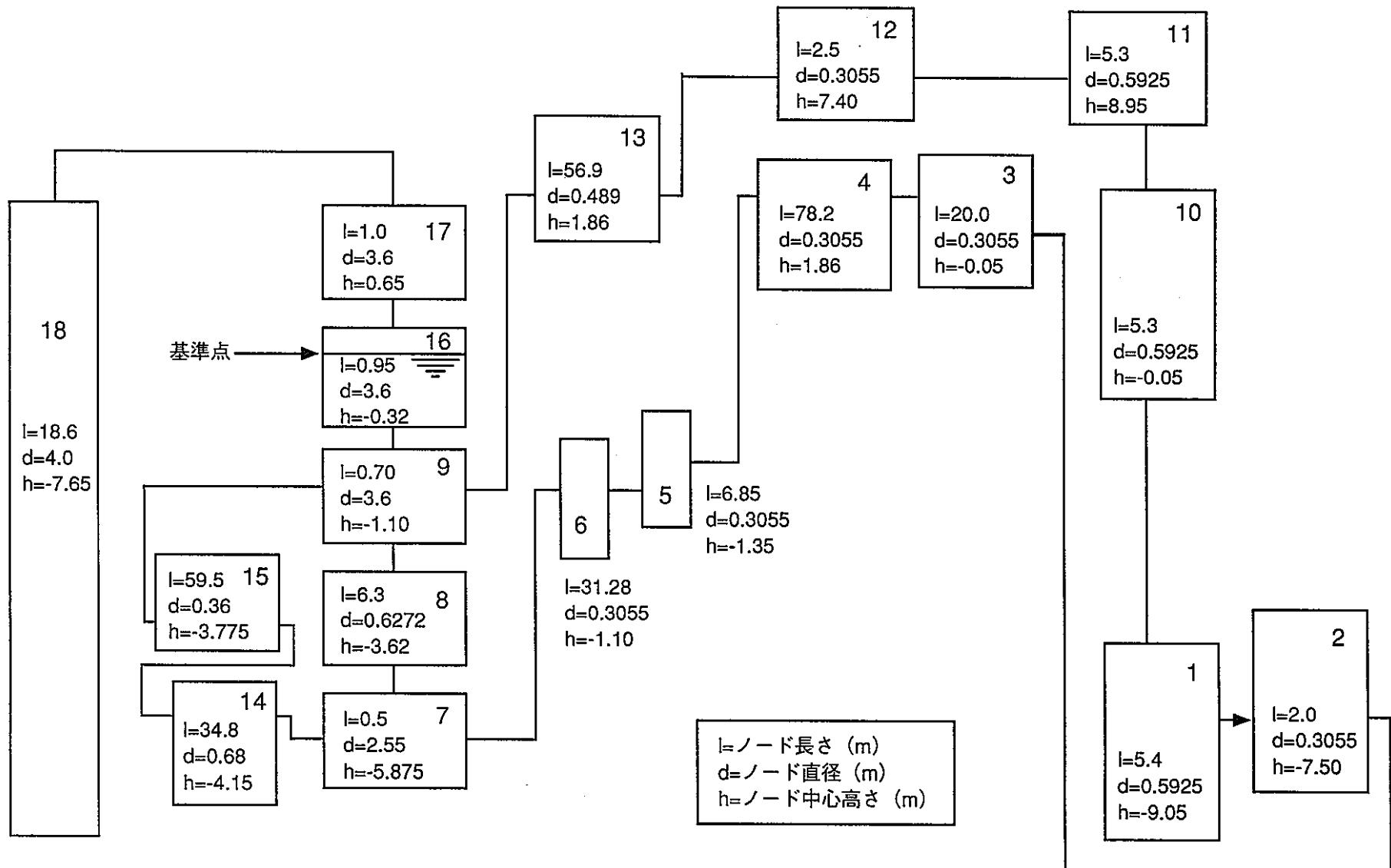


図 5.2-2 (2) 解析モデル図 (ノードデータ)

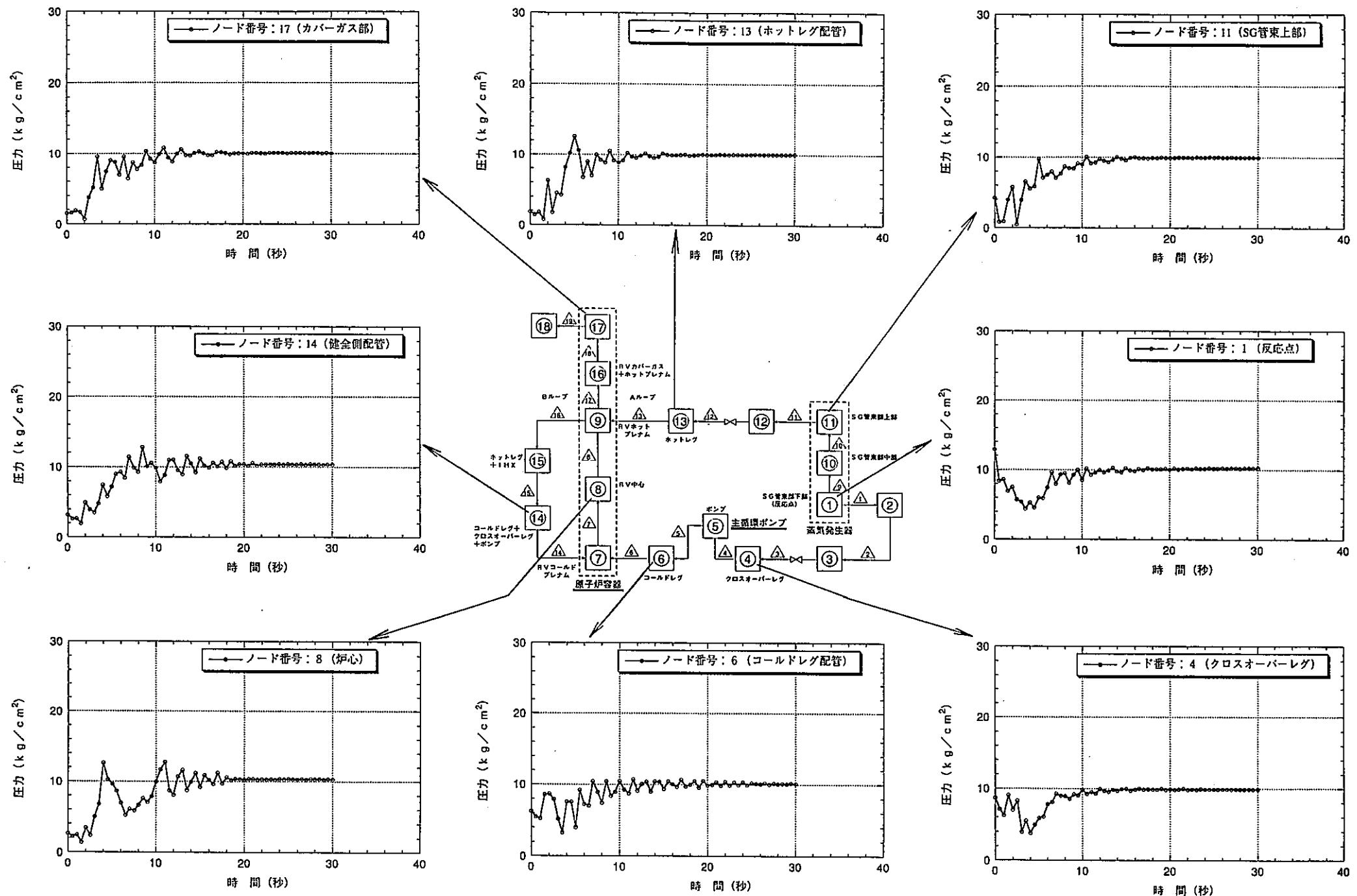


図 5.2-3 2次系削除型プラント大リーケ解析結果（圧力変化）

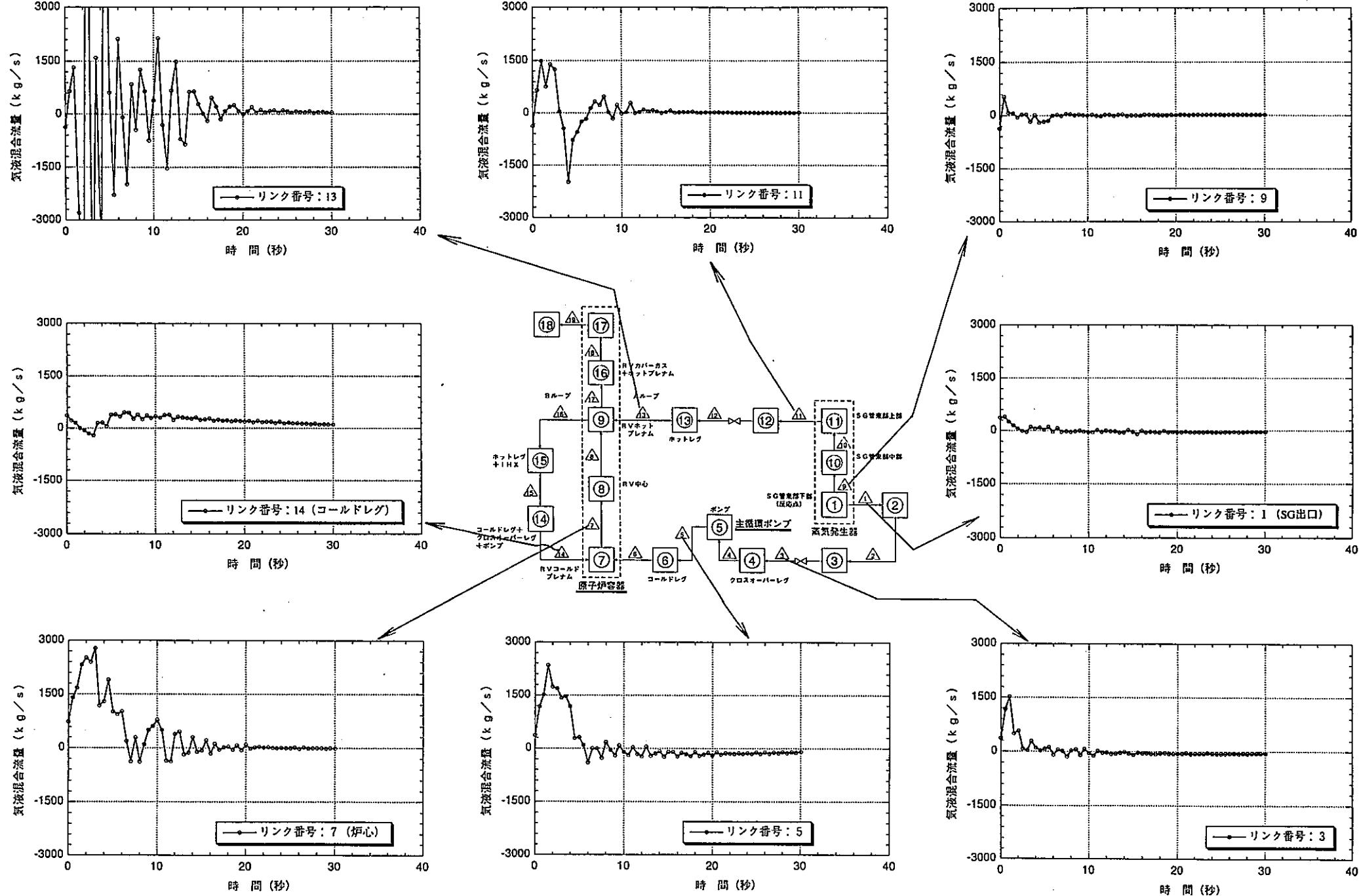


図 5.2-4 2次系削除型プラント大リーケ解析結果（流量変化）

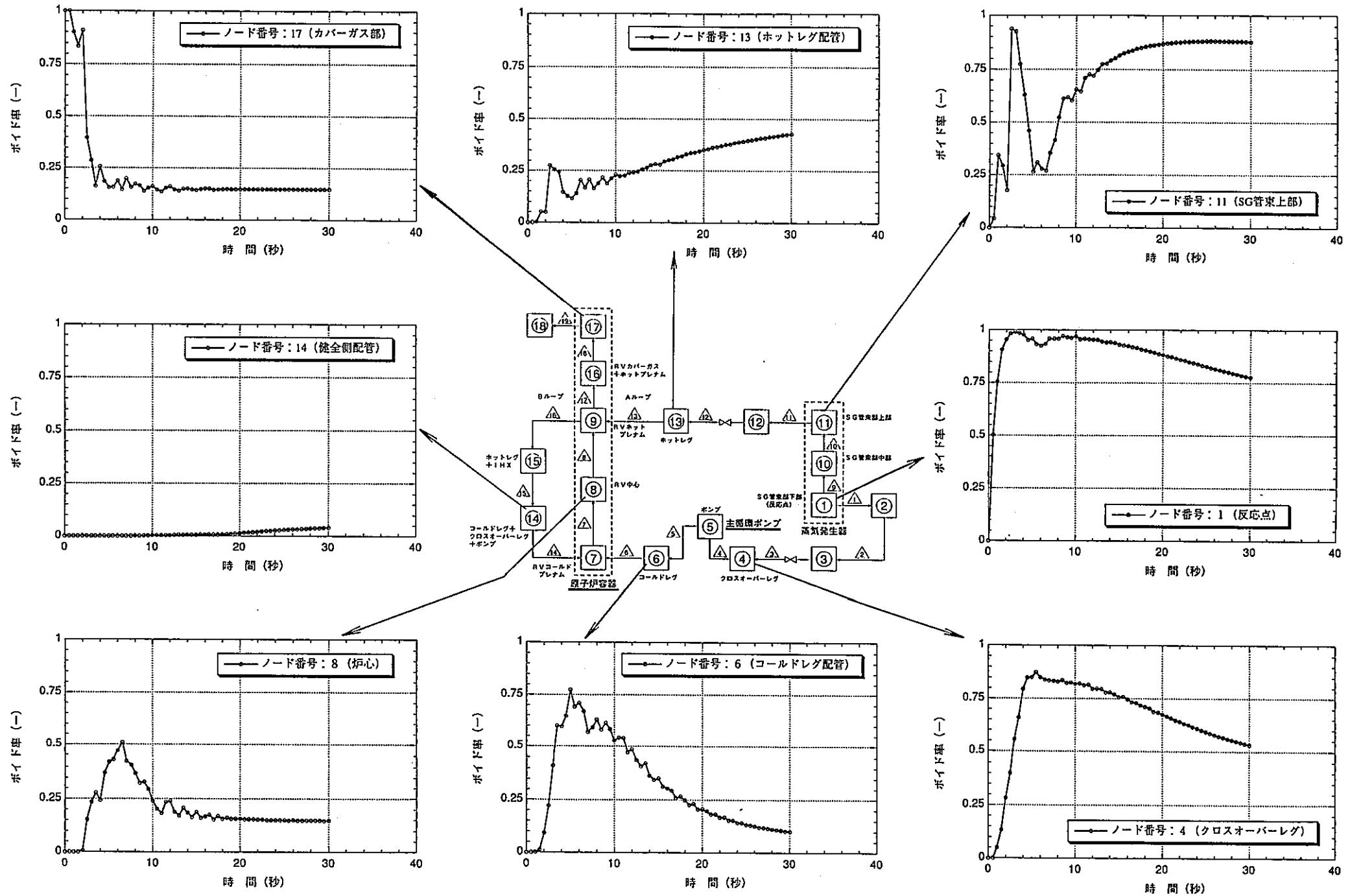


図 5.2-5 2次系削除型プラント大リーク解析結果（ポイド率変化）

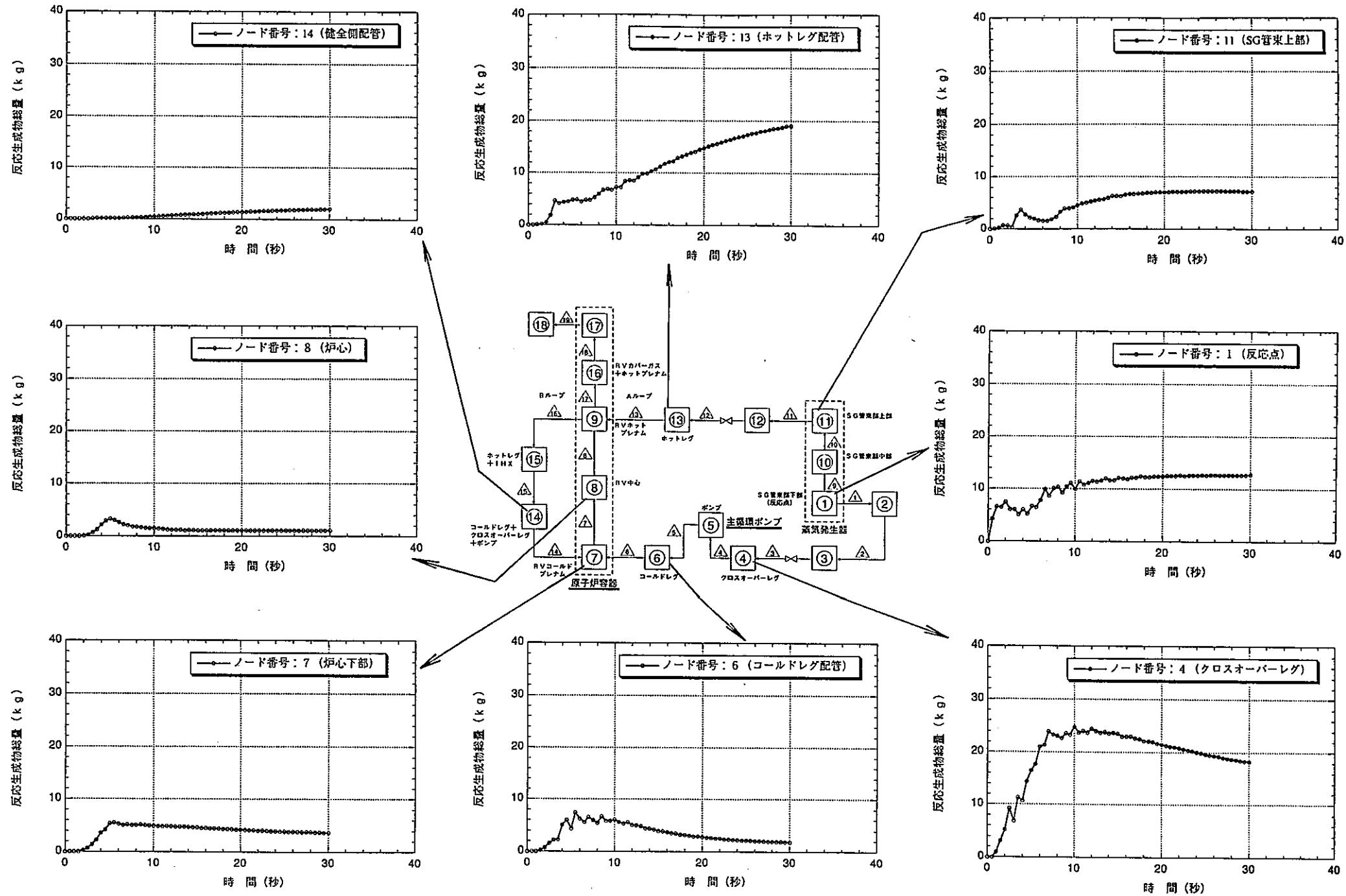


図 5.2-6 2 次系削除型プラント大リーケ解析結果（反応生成物総量）

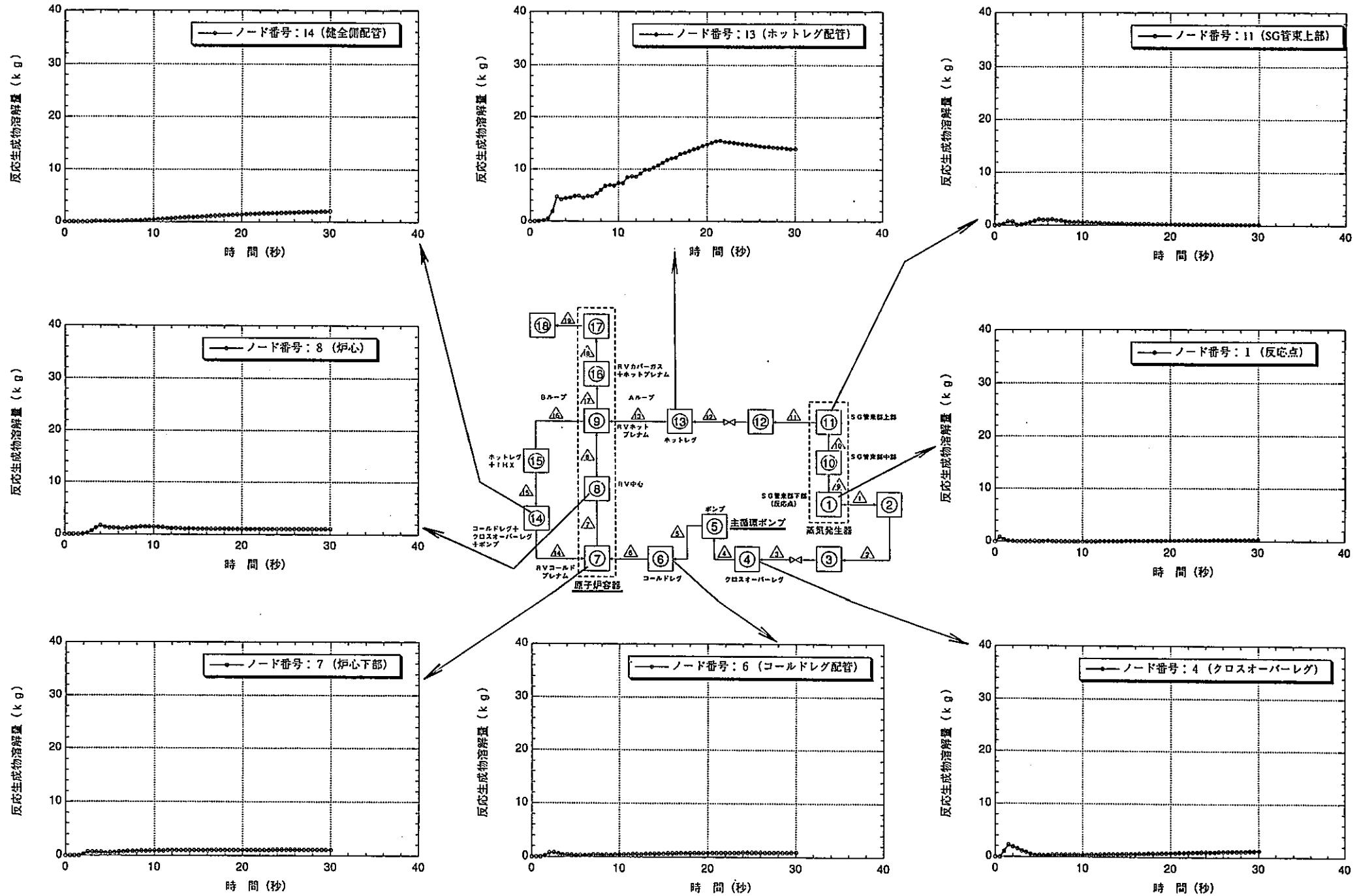


図 5.2-7 2次系削除型プラント大リーク解析結果（反応生成物溶解量）

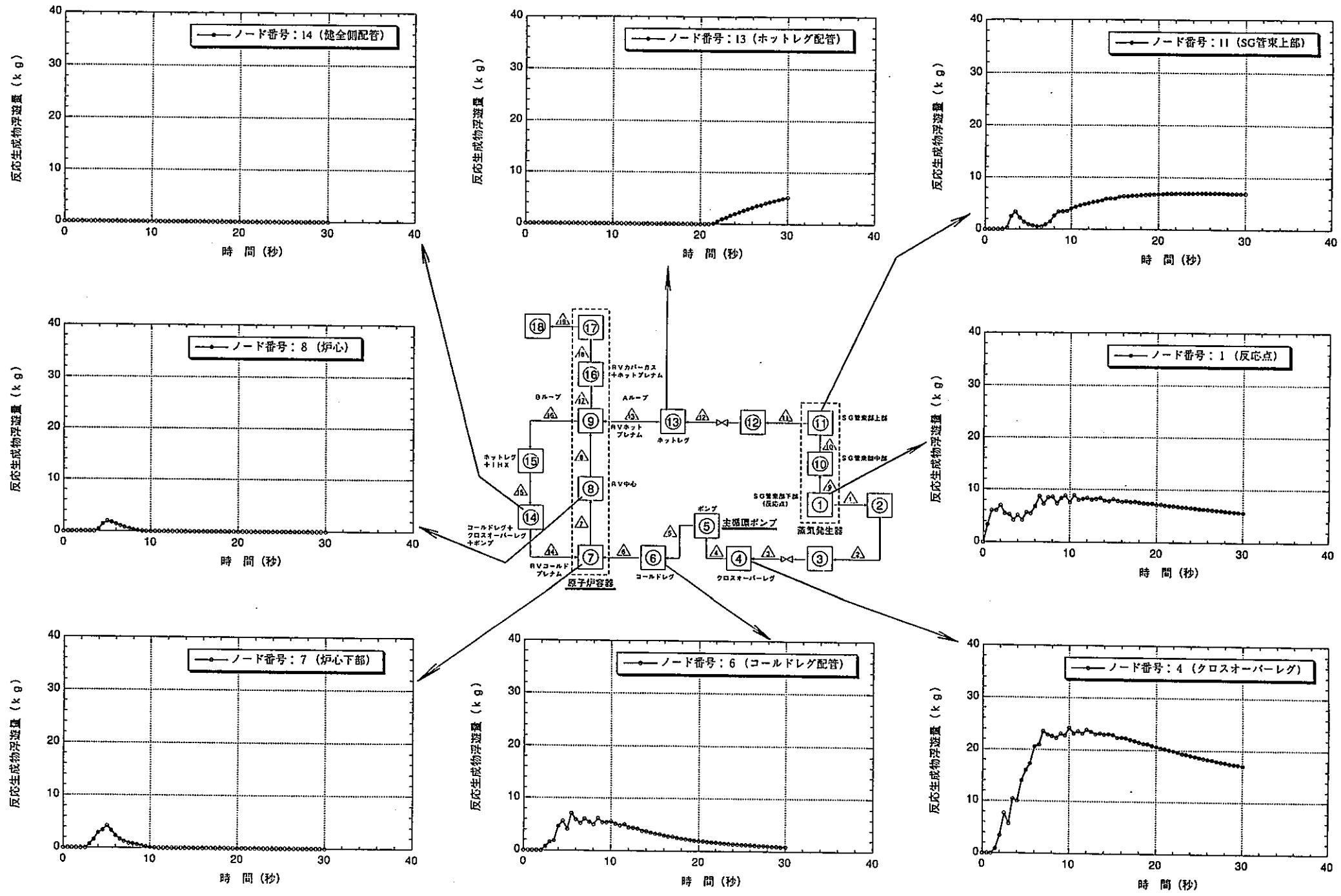


図 5.2-8 2次系削除型プラント大リーク解析結果（反応生成物浮遊量）

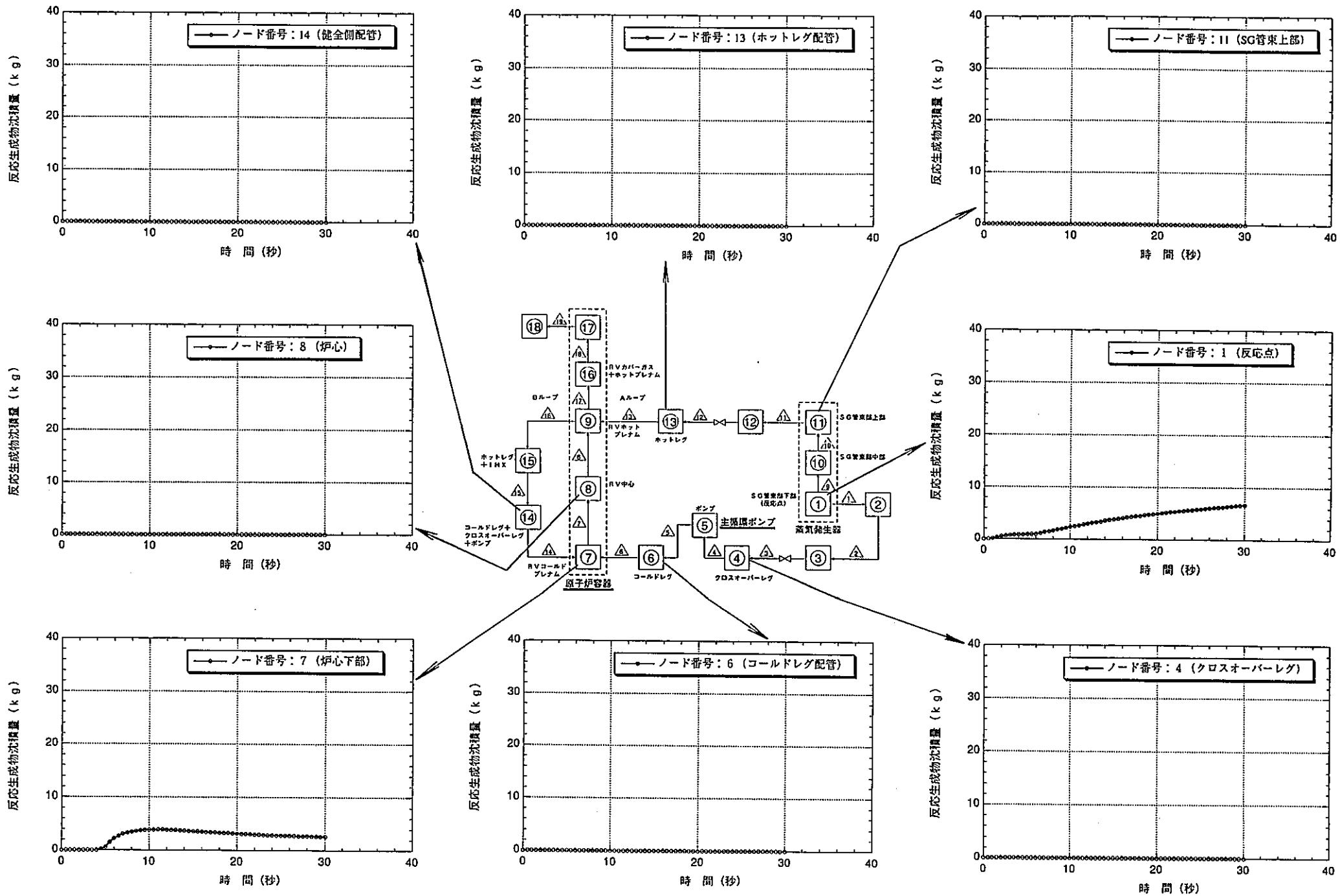


図 5.2-9 2次系削除型プラント大リーク解析結果（反応生成物沈積量）

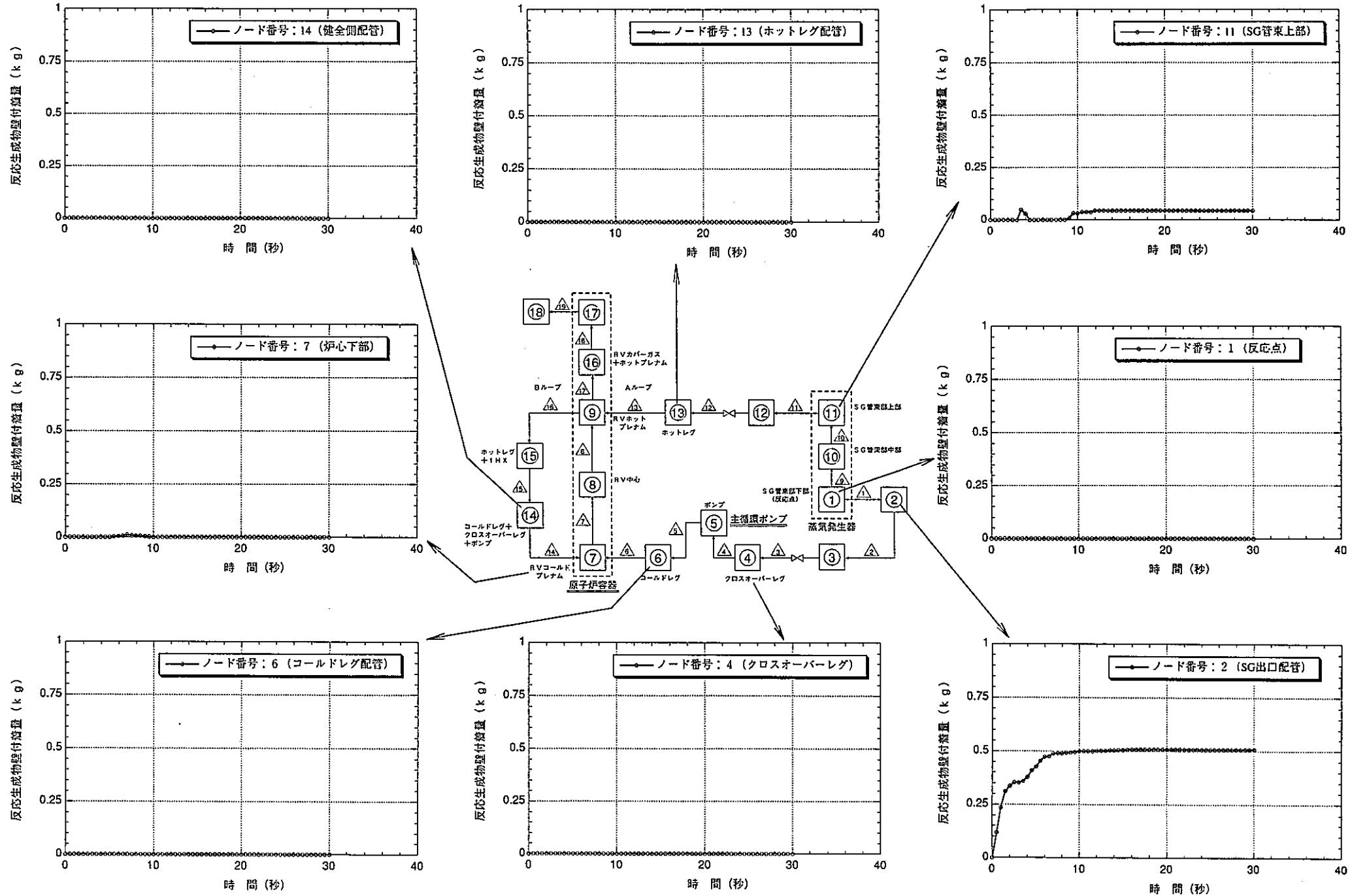


図 5.2-10 2次系削除型プラント大リーキ解析結果（反応生成物壁付着量）

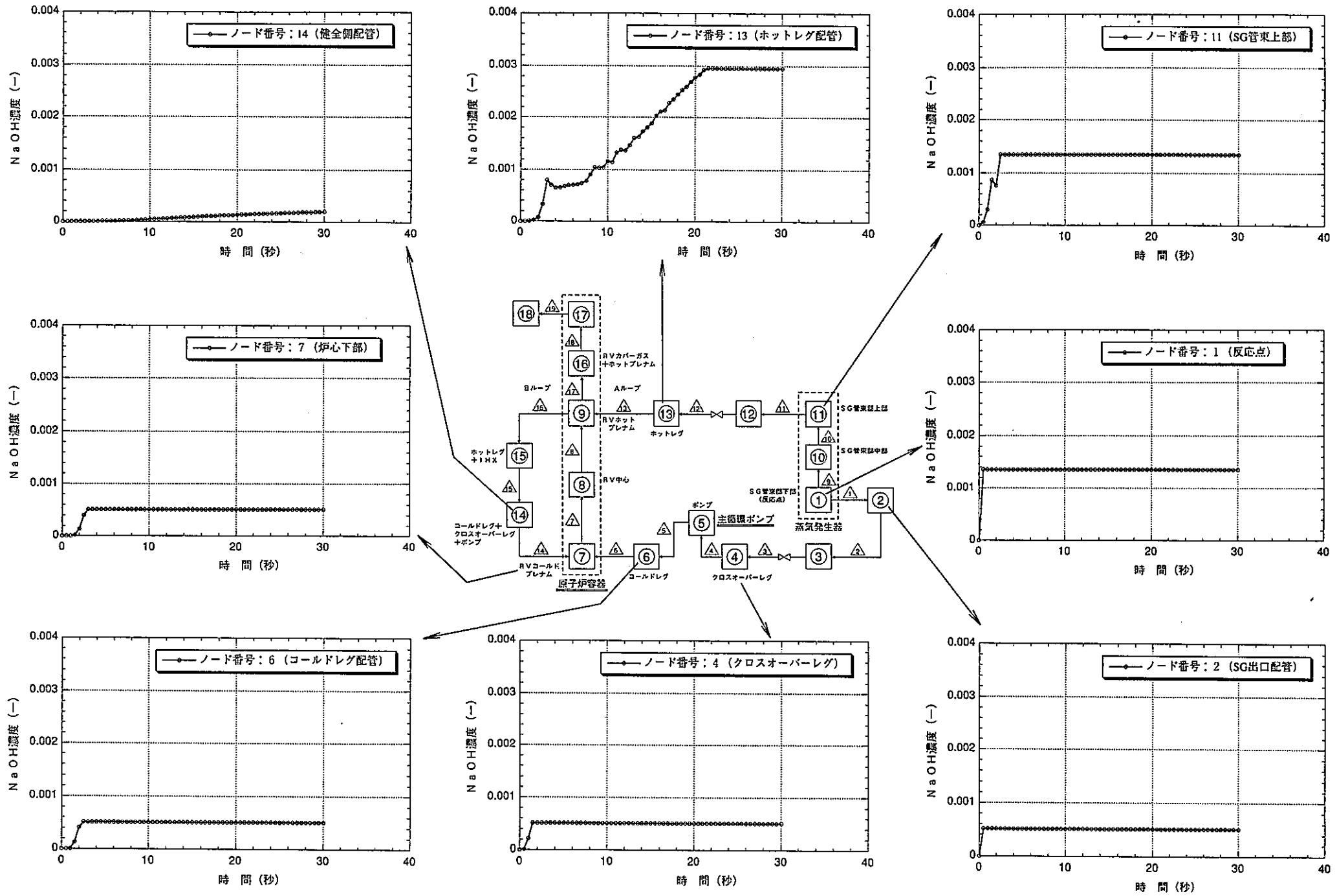


図 5.2-11 2次系削除型プラント大リーク解析結果 (NaOH濃度)

### 5.3 試解析のまとめ

本章では、2つのステップの試解析によりコードの妥当性を確認した。

第1ステップ：「サブルーチン”REACT”（反応生成物移行評価用追加モデル）を用いた単純Na循環体系での反応生成物移行解析を行い、その結果を文献値と比較した。両者は良く一致しており、上記モデルは妥当なものであることが確認できた。

第2ステップ：「常陽」2次系削除計画プラントの大リーグ解析へ適用した。圧力、流量、反応生成物総量等の結果は定性的に妥当なものであり、SWAC-13EにREACTを結合した場合の機能の妥当性が確認できた。

以上の結果、REACTを結合した新SWAC-13Eは、2次系削除プラントに関する大リーグ・ナトリウムー水反応解析に適用可能であり、コード整備の第一段階としては、妥当な解析が行えるものと考える。

## 6. あとがき

FBR実用炉の合理化の有望な方策の1つとして、2次ナトリウム系削除型のプラント概念を考えられている。この型のプラントでは、蒸気発生器が直接1次系に設置されることから、原子炉の安全評価上、蒸気発生器伝熱管破損により発生する反応生成物の炉心部への影響評価が特に重要な課題となっている。本作業では、このような場合における反応生成物の移行挙動を評価できるよう、これまで事業団殿で開発してきた、大リーグ・ナトリウムー水反応熱流動解析コードSWAC-13Eの改造を行った。

本改造は、ナトリウムー水反応生成物の溶解・析出・沈積等の現象を含む移行に関する評価モデルの追加であり、これらの新規の反応生成物移行解析部分（REACT）と従来の熱・流動解析部分（SWAC-13E）はできる限り独立するよう配慮した設計とした。

典型的な2次ナトリウム系削除型のプラント概念におけるナトリウムー水反応時の反応生成物移行挙動評価解析に本コードを適用した結果、解析結果は定性的に矛盾のないものであり、改造したSWAC-13Eは妥当なレベルで挙動を解析できることが判った。

尚、今回追加した反応生成物移行評価モデルに関し、同移行挙動に係わる試験データも極く少なく、また限られている。この様な状況で、初めから詳細なモデルを導入することは、開発手順上も得策でないことから、比較的単純なモデルとしている。今後、反応生成物移行に係わる各種実験を行い、移行挙動現象を解明することはもとより、解析コードとしては、SWAC-13E部分を含めて次のような点で改良することが望まれる。

また、試解析で実施した体系とは異なる2次系削除型プラント概念のナトリウムー水反応事象解析への適用も必要である。

1. ポンプモデル、弁閉止モデルの追加
2. 炉心発熱、SG除熱モデルの追加
3. 反応生成物としてのNaOH,Na<sub>2</sub>Oの分離とNaOHの2次反応（NaOH+Na→Na<sub>2</sub>O+0.5H<sub>2</sub>）  
及び粒子径分布の変化を考慮したモデルの高度化
4. 過飽和状態にある反応生成物の析出判断の変更  
(Na温度依存から構造材(壁表面)温度依存に変更)
5. 溶解、析出の速度の考慮

## 7. 謝辞

本研究の実施に当たって、動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター安全工学部プラント安全工学室の田辺裕美室長、浜田広次副主任研究員、栗原成計研究員には数々のご指導並びにご助言を頂きました。

ここに深く感謝の意を表します。

## 8. 参考文献

- (1) 浜田広次,鈴木道博,姫野嘉昭,ナトリウム一水反応解析コード SWACS / REG 4 使用説明書 : PNC SN9520 89-016 (1989年7月)
- (2) O.Miyake,M.Sato, " Inferium Report on SWAC-13E Development for Analysis of Long -Term Transients of Large-Scale Sodium-Water Reaction" (Large-Leak Sodium-Water Reaction Analysis Report No.13) : PNC SN941 83-133 (Aug.,1983)
- (3) H.Arikawa et al., " DEVELOPMENT OF COMPUTER CODE ON SODIUM-WATER REACTION PRODUCTS TRANSPORT" : LIMET 88,PP309-1~309-12 (1988)
- (4) 田辺裕美,加藤木洋一,黒羽光男ほか,大リーグ・ナトリウム一水反応時の準定常時温度解析 (SWAC-13EによるSWAT-3 Run-4,5,6,7の実験解析) 一大リーグ・ナトリウム一水反応解析 (第14報) ー : PNC SN941 85-53 (1985年3月)
- (5) 森川敬信,「流体一固体二相流」 : P185,日刊工業新聞社 (1979)

## 添付資料 A：SWAC-13Eのコード概要

## 添付資料 A SWAC-13Eコードの概要

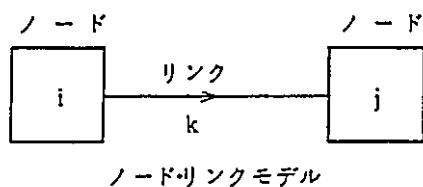
解析体系は事故 SG, ナトリウム・水反応生成物収納設備, ならびに 2 次主冷却系全体であり, これらを領域(ノード)に分割し更に各ノードを流路(リンク)でつないだネットワーク系にモデル化する。このようにモデル化した体系に対し, ノードに関し質量保存則及びエネルギー保存則, リンクに関して運動量保存則を適用する。基礎保存則の解法としては陰的差分法(陰解法)を使用する。

### (1) 計算上の仮定

- (i) ナトリウムと水素ガスの二相流は一次元ドリフト・フラックス・モデルを用いる。
- (ii) ナトリウムは非圧縮性, 水素ガスは圧縮性として扱う。
- (iii) ナトリウム・水反応の反応速度は無限大と考え, 反応の時間遅れはないものとする。
- (iv) エネルギの交換は, ナトリウムと水素, ナトリウムと構造材, 及び水素と構造材の間で考慮される。
- (v) 各 SG および収納容器の圧力開放板は設定値に達すると直ちに作動するものとする。
- (vi) カバーガスの物理的特性は水素ガスと同一とする。

### (2) 基礎方程式

下図に示すようなノード・リンクモデルに対して以下に示す 3 種の基礎式を立てる。



#### (i) 質量保存式

ノードについてナトリウム, 水素ガス各々に次のように展開する。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dM_{H1}}{dt} = \sum_{kin} W_{Hk} - \sum_{kout} W_{Hk} + \Gamma_{H1} \\ \frac{dM_{S1}}{dt} = \sum_{kin} W_{Sk} - \sum_{kout} W_{Sk} \end{array} \right.$$

ここで両式の右辺第 1 項は流入する成分, 第 2 項は流出する成分で,  $\Gamma_{H1}$  は水素ガスの発生を表わす。

#### (ii) 運動量保存式

リンクについて混合流体に対する保存式を以下のように展開する。

$$\begin{aligned} \frac{dW_k}{dt} &= \frac{1}{K_k} \left\{ g(P_i - P_j) + \left[ \frac{W_i^2}{\rho_i A_i^2} - \frac{W_j^2}{\rho_j A_j^2} \right] \right. \\ &\quad \left. + \left[ \left( \frac{\alpha_H \alpha_S \rho_H \rho_S}{\rho A^2} \right)_i \left( \frac{W_{H1}}{(\alpha_H \rho_H)_i} - \frac{W_{S1}}{(\alpha_S \rho_S)_i} \right)^2 - \left( \frac{\alpha_H \alpha_S \rho_H \rho_S}{\rho A^2} \right)_j \left( \frac{W_{Hj}}{(\alpha_H \rho_H)_j} - \frac{W_{Sj}}{(\alpha_S \rho_S)_j} \right)^2 \right] \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} \left[ \frac{W_{Hk}^2}{(\alpha_H \rho_H)_k} + \frac{W_{Sk}^2}{(\alpha_S \rho_S)_k} \right] \left( \frac{1}{A_{ki}^2} - \frac{1}{A_{kj}^2} \right) + g \rho dZ_k + g dP_{ik} \right\} \end{aligned}$$

上式で括弧内の第1項から第7項まで、それぞれ静圧差、対流の運動量、相対速度の効果、断面積変化による運動量変化、重力項及び摩擦損失項である。またKはイナーシャであり、リンク内を更に細かく分割したサブリンクの長さと断面積の比の和として次のように定義される。

$$K_k = \sum \frac{\ell_{ke}}{A_{ke}}$$

また、混合質量からナトリウム、水素ガスそれぞれの質量流量は相対速度  $U_r (= U_h - U_s)$  を用いて次のように定義される。

$$\left\{ \begin{array}{l} W_{hk} = \frac{\alpha_h \rho_h}{\rho} \cdot W_k + A \cdot \frac{\alpha_h \alpha_s \rho_h \rho_s}{\rho} \cdot U_{rk} \\ W_{sk} = \frac{\alpha_s \rho_s}{\rho} \cdot W_k - A \cdot \frac{\alpha_h \alpha_s \rho_h \rho_s}{\rho} \cdot U_{rk} \end{array} \right.$$

### (iii) エネルギ保存式

SWAC 13Eにおいて新たに考慮されたこの保存式はナトリウム、水素ガスに対してそれぞれ次のように展開される。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dU_{hi}}{dt} + \frac{\ell_i}{2gA_i A_j} \cdot \frac{d}{dt} \left[ \frac{W_{hi}^2}{(\alpha_h \rho_h)_i} \right] = \sum_{kin} W_{hk} \left\{ h_{hk} + \left( \frac{U_{hk}^2}{2g} + dZ_k \right) \frac{1}{A_j} \right\} \\ \quad - \sum_{kout} W_{hk} \left\{ h_{hk} + \left( \frac{U_{hk}^2}{2g} + dZ_k \right) \frac{1}{A_j} \right\} + Q_{hi} \\ \frac{dU_{si}}{dt} + \frac{\ell_i}{2gA_i A_j} \cdot \frac{d}{dt} \left[ \frac{W_{si}^2}{(\alpha_s \rho_s)_i} \right] = \sum_{kin} W_{sk} \left\{ h_{sk} + \left( \frac{U_{sk}^2}{2g} + dZ_k \right) \frac{1}{A_j} \right\} \\ \quad - \sum_{kout} W_{sk} \left\{ h_{sk} + \left( \frac{U_{sk}^2}{2g} + dZ_k \right) \frac{1}{A_j} \right\} + Q_{si} \end{array} \right.$$

上の式で左辺はノード i の内部エネルギー及び運動エネルギーの変化を、右辺はそれぞれ流入、流出成分及び他の流体／構造材との熱交換を表わしている。

以上の式を整理すると  $dW^{n+1} = W^{n+1} - W^n$  に関し L 元 (L : リンク数) の連立方程式が得られる。これを陰的差分法（陰解法）を用いて解くことにより流量が更新される。

各ノードの圧力を求めるのに、水素ガス、カバーガスを含んだノードについては完全気体の状態式を用いる。ナトリウム、単相ノードについてはそのノード周辺の圧力既知ノードに関し連立方程式をたて解いて求める。

## 添付資料 B：コード使用上の注意

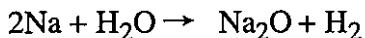
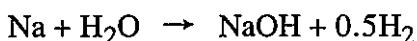
## 添付資料B コード使用上の注意

本コードは、本文に述べた通り、従来の熱・流動解析部分(SWAC-13E)と反応生成物移行解析部分(REACT)を分離した設計としている。SWAC-13Eの使用説明書は参考文献(2)によるものとし、ここではREACTに関する使用上の注意をまとめることとする。

尚、入力データの説明は表B-1に示す。

### (1) 反応生成物発生率

大リーク時の主なナトリウム-水反応としては、次の2つが考えられる。



いずれの場合も1モルの $\text{H}_2\text{O}$ から1モルの反応生成物( $\text{H}_2$ ガスは除く)が発生する。

これらの式を用いて、流動解析(SWAC-13E)に用いる水リーク率より評価目的に応じて反応生成物発生率を計算して入力する。

本文で述べた試験では、1モルの $\text{H}_2\text{O}$ から0.65モルの $\text{H}_2$ ガスが発生するように両者の反応を組み合わせた下式を解いて計算し、これを入力とした。



$$\text{反応生成物発生率(kg/s)} = 0.3 \times \frac{62}{18} \times L_R + 0.7 \times \frac{40}{18} \times L_R$$

ここで  $L_R$  : 水リーク率 (kg/s)

尚、本文中に記載した様に評価モデルの中では、 $\text{NaOH}$ と $\text{Na}_2\text{O}$ の合計を全て $\text{NaOH}$ が発生したとして溶解度計算を行い、溶解、析出の判断をしている。また、沈積等の評価では $\text{Na}_2\text{O}$ の比重を用いている。

### (2) 反応生成物粒子径と粒子径分布

大リーク・ナトリウム-水反応時の反応生成物の形状について試験データは存在しない。本文で述べた試験では下記の様な分布を暫定的に用いた。

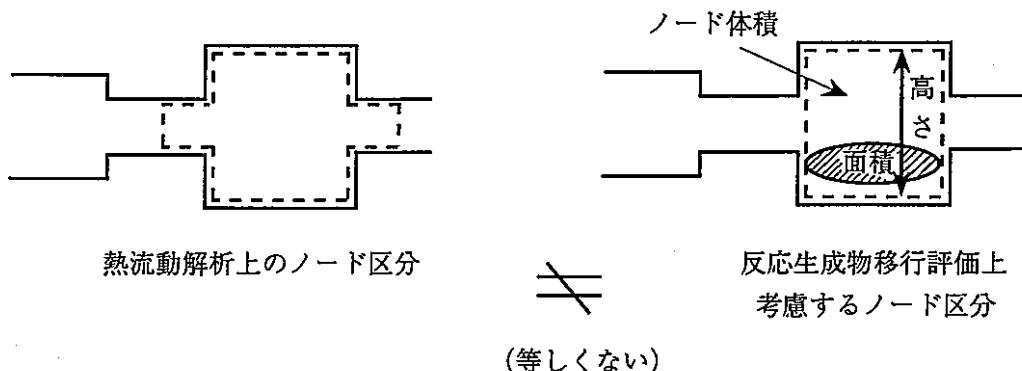
粒子径(mm)	分布割合(-)
0.1	0.01
0.2	0.04
0.3	0.1
0.4	0.15
0.5	0.2
0.6	0.2
0.7	0.15
0.8	0.1
0.9	0.04
1.0	0.01

今後、試験研究を行い確認、モデル化が必要なデータである。

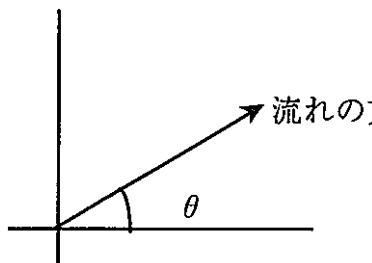
### (3) 反応生成物の沈積に係わる体積、高さ及び面積

反応生成物が沈積し易いのは、低流速となる容器プレナム部等である。一方、熱流動解析上のノード分割では、流速が速い配管部も容器プレナム部等のノードに含まれる場合がある。そのため、反応生成物移行評価には熱流動解析上のノード分割とは異なるノードデータ（ノード体積、高さ、面積）を用いることが望ましく、必要な場合は下図のように沈積挙動を考慮して反応生成物移行評価用のデータを与える。

（適用しない場合は0.0を入力する）



### (4) ノード内傾き



- $\theta = 90^\circ$  : 上向きの流れ
- $\theta = -90^\circ$  : 下向きの流れ
- $\theta = 0^\circ$  : 水平流

### (5) 反応生成物の壁への付着率

試験データは皆無であり、本解析では0.05を入力した。構造材壁面への反応生成物の付着は、構造材壁面温度に依存する。

### (6) 沈降速度パラメータ

参考文献「流体一固体二相流<sup>(5)</sup>」から0.6として入力している。本文中の式(2-24)参照。

表B-1 入力データの説明

番地	変数名	単位	内 容
4400～4409	FCR (10)	—	反応生成物粒子粒径分布
4410～4449	THTAN (40)	度	ノード内流速の傾き
4450～4489	ACR (40)	$m^2$	反応生成物付着表面積
4490～4529	VD (40)	$m^3$	反応生成物の沈積に係わる体積
4530～4569	MLP (40)	m	反応生成物の沈積に係わる高さ
4570～4609	AD (40)	$m^2$	反応生成物の沈積面積
4610～4619	SKD (10)	mm	反応生成物粒子粒径
4620～4819	SOC (i, j, k) i=1,2 j=1,20 k=1,5	i=1 sec i=2 kg/sec	反応生成物発生量 j ; 時刻歴, k ; 生成物発生ノード
4820	CR	—	反応生成物の壁への付着率
4821	ROWNAO	$kg/m^3$	$Na_2O$ の密度
4822	SK	—	沈降速度パラメータ
4823～4829	ダミー		
4830～4869	MRPTOT (40)	kg	初期のノード内反応生成物総量
4870～4909	C (40)	—	初期の $Na$ 中 $NaOH$ 濃度
4910～4949	CRNA (40)	—	初期の $Na$ 中粒子状反応生成物濃度
4950～4989	MCRWAL (40)	kg	初期の反応生成物壁付着量
4990～5029	MCRNA (40)	kg	初期の $Na$ 中反応生成物浮遊量
5030～5069	MDTOT (40)	kg	初期の反応生成物沈積量
5070～5109	MSOL (40)	kg	初期の $Na$ 中反応生成物溶解量
5110～5149	TCRWAL (40)	mm	壁に付着している反応生成物の初期析出厚
5150～5189	TD (40)	mm	反応生成物の初期沈積層厚
5190～5500	ダミー		

添付資料 C：試解析用入力データリスト

= SWAC13E QUASI-STEADY \*\* PLANT SYSTEM DATA REVISION \*\* <CASE-C>'96.4.25

3.	1	1				
7	1200000					
26	5	1000	1000	1000	1000	1000
49	1	1				
56	1	50				
52	1	1				
58	1	1				
1	4	0.0	0.0	0.0	30.00	
= SWAC-13 MODULE DATA						
1	5	1	18	19	18	2
8	5	17	0	0	16	17
26	10	11	1	2	3	4
36	2	12	11			
47	10	1	2	3	4	5
57	9	11	12	13	14	15
102	10	2	3	4	5	6
112	9	12	13	9	7	14
157	3	0	0	0	15	16
890	2	1	1			
901	10	13	0	1	0	1
911	10	1	1	1	1	1
921	9	1	1	1	1	1
1007	3	0	0	0		
1045	5	50	50	50	50	
1050	5	200	200	200	200	
1055	5	0	0	0	0	
1091	1	0				
16	2	0.15	1.00			
41	3	0.0	0.0480	0.0318		
44	5	-9.05	-7.50	-0.05	1.86	-1.35
49	5	-1.10	-5.875	-3.62	-1.10	-0.05
54	5	8.95	7.40	1.86	-4.15	-3.775
59	3	-0.32	0.65	-7.65		
84	5	0.5925	0.3055	0.3055	0.3055	0.3055
89	5	0.3055	2.55	0.6272	3.60	0.5925
94	5	0.5925	0.3055	0.4890	0.68	0.36
99	3	3.60	3.60	4.00		
124	5	5.40	2.00	20.00	78.20	6.85
129	5	31.28	0.50	6.30	0.70	5.30
134	5	5.30	2.50	56.90	34.80	59.50
139	3	0.95	1.00	18.60		
164	1	0.3055				
174	1	0.3055				
184	1	0.3055				
194	1	0.3055				
204	1	0.3055				
214	1	0.3055				
224	1	10.0000				
234	1	10.0000				
244	1	0.0190				
254	1	0.0190				
264	1	0.3055				
274	1	0.3055				
284	1	0.4890				
294	1	0.3055				
304	1	0.4414				
314	1	0.4890				
324	1	3.6000				
334	1	3.6000				
344	1	3.6000				
714	1	1.7180				
724	1	11.00				

734	1	49.10			
744	1	42.50			
754	1	19.10			
764	1	15.64			
774	1	3.17			
784	1	3.16			
794	1	5.35			
804	1	5.30			
814	1	1.9550			
824	1	12.37			
834	1	28.46			
844	1	43.30			
854	1	23.50			
864	1	15.40			
874	1	0.8250			
884	1	0.9750			
894	1	8.0330			
1814	1	27.00			
1824	1	0.2470			
1834	1	3.1500			
1844	1	0.7540			
1854	1	0.8090			
1864	1	2.4200			
1874	1	74.1000			
1884	1	74.1000			
1894	1	33.8000			
1904	1	33.8000			
1914	1	106.0000			
1924	1	0.1820			
1934	1	1.6600			
1944	1	2.6480			
1954	1	2.6000			
1964	1	12.3100			
1974	1	1.0000			
1984	1	1.0000			
1994	1	1.0000			
2969	1	1.500E4			
2972	1	1.033E4			
2973	1	1.033E4			
2974	1	1.00E09			
2977	1	1.00E09			
2979	5	366.1	366.1	366.1	366.1
2984	5	366.1	732.2	732.2	-366.1
2989	5	-366.1	-366.1	-366.1	366.1
2994	4	366.1	0.0	0.0	0.0
3034	5	1.0	1.0	1.0	1.0
3039	5	1.0	1.0	1.0	1.0
3044	5	1.0	1.0	1.0	1.0
3049	3	1.0	1.0	1.0	1.0
3074	1	0.0000			
3077	5	1.0	0.0	0.65	9.05
3121	5	0.00	0.001	4.00	4.80
3126	5	7.00	8.00	9.50	12.00
3131	3	26.00	34.00	1000.00	18.00
3141	5	0.10	4.75	4.75	4.00
3146	5	2.00	1.50	1.00	0.50
3151	3	0.01	0.001	0.001	0.01
3161	1	1.0			
3162	5	1.0	1.0	1.0	1.0
3167	5	1.0	1.0	1.0	1.0
3172	5	1.0	1.0	1.0	1.0
3177	3	1.0	1.0	1.0	1.0
3257	4	420.55	9.807	9.807	1.41
3262	3	0.0005	10.0	0.001	
3265	5	0.0005	0.0005	0.0005	30.0
3311	1	0.0733			100.0

3321	1	0.7540				
3331	1	0.2757				
3341	1	0.2757				
3351	1	0.7540				
3361	1	0.0733				
3371	1	0.0733				
3381	1	0.0733				
3391	1	0.0733				
3401	1	0.0733				
3411	1	0.3090				
3421	1	0.3090				
3431	1	10.1800				
3441	1	10.1800				
3451	1	0.0733				
3461	1	0.1530				
3471	1	0.1880				
3481	1	0.1875				
3491	1	0.0733				
3900	1	0.00005				
4001	5	425.0	350.0	350.0	350.0	350.0
4006	5	350.0	350.0	425.0	500.0	425.0
4011	5	425.0	500.0	500.0	350.0	500.0
4016	3	500.0	500.0	200.0		
4041	5	1000.0	20.0	1.38	0.66	3.356E-11
4046	5	0.136	1.0	10000.0	0.50	0.05
4051	5	0.50	0.05	0.0	0.0	0.0
4056	5	0.0	0.0054	0.0	0.0	0.0
4061	4	0.0	0.0	0.0	0.0	
4065	4	0.0	0.0	0.0	0.0	
4069	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4074	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4101	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4106	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4111	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4116	3	1.0	1.0	1.0		
4141	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4146	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4151	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4156	3	1.0	1.0	1.0		
4181	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4186	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4191	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4196	3	1.0	1.0	1.0		
4221	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4226	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4231	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4236	3	1.0	1.0	1.0		
4261	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4266	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4271	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4276	3	1.0	1.0	1.0		
4310	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4315	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4320	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4325	5	0.0100	7.0E+6	7.0E+6	7.0E+6	1000.0
4330	5	1000.0	30.0	1000.0	1000.0	1000.0
4335	1	1000.0				
4400	5	0.01	0.04	0.1	0.15	0.2
4405	5	0.2	0.15	0.1	0.04	0.01
4410	5	-90.0	0.0	90.0	-90.0	0.0
4415	5	-90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
4420	5	90.0	0.0	-90.0	0.0	-90.0
4425	3	90.0	90.0	-90.0		
4450	5	11.000	1.728	17.300	72.270	6.574
4455	5	37.805	4.006	12.414	7.917	11.000
4460	5	11.000	1.728	92.600	67.200	74.343

4465	3	11.027	11.027	200.000		
4490	5	1.31	0.0	0.0	0.0	0.0
4495	5	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0
4500	5	0.0	0.0	0.0	6.06	0.0
4505	3	0.0	0.0	0.0		
4530	5	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0
4535	5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
4540	5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0
4545	3	0.0	0.0	0.0		
4570	5	0.3043	0.0	0.0	0.0	0.0
4575	5	0.0	5.1070	0.0	0.0	0.0
4580	5	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
4585	3	0.0	0.0	0.0		
4610	5	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
4615	5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
4620	4	0.0	0.0	0.001	12.300	
4624	4	4.0	12.300	4.8	10.360	
4628	4	5.5	7.770	7.0	5.180	
4632	4	8.0	3.885	9.5	2.590	
4636	4	12.0	1.295	18.0	0.259	
4640	4	26.0	0.0259	34.0	0.00259	
4644	2	1000.0	0.00259			
4820	3	0.05	2270.00	0.6		

## 添付資料 D：プログラムソースリスト

```

c                                         00030890
c//||||||||||||||||||||| swacs //||||||||||||||||| 00030900
c                                         00030910
c                                         00030920
c   ssssssss w     w     aaaa      cccccccc ssssssss 00030930
c   s     s w     w     a     a     c     c s     s 00030940
c   s     s w     w     a     a     c     c s     s 00030950
c   s     w     w     a     a     c             s 00030960
c   ssssssss w     ww    w     a     a     c             s 00030970
c   s     w     w     w     aaaaaaaa   c             s 00030980
c   s     s w     w     w     a     a     c     c s     s 00030990
c   ssssssss www    www   a     a     cccccccc ssssssss 00031000
c                                         00031010
c//||||||||||||||||| swacs //||||||||||||||||| 00031020
c                                         00031030
c   this is the main routine of swacs which evaluates sodium- 00031040
c   water reaction accidents of an imfbr steam generator system. 00031050
c   swacs contains four calculation models, 00031060
c   those are a water leak rate calcuration model, 00031070
c           an initial pressure spike buildup model, 00031080
c           an initial pressure spike propagation model in the 00031090
c           secondary loop system involving leak sg , 00031100
c   and a quasi-steady pressur buildup model. 00031110
c                                         00031120
c   version name is 00031130
c                                         00031140
c   ====== swacs/reg4f version ====== 00031150
c                                         00031160
c   - june 1982 - 00031170
c                                         00031180
c                                         00031190
c   * swacs-4b-version * 00031200
c   program is modified for the cavitation model in 00031210
c   the initial pressure spike and pressure propagation 00031220
c   calculation modules. by osam, dec. 1979 00031230
c                                         00031240
c   * swacs-4c-version * 00031250
c   program is modified for the n2 gas flow model in 00031260
c   the water injection calculation module as an option. 00031270
c           by osam, mar. 1980 00031280
c                                         00031290
c   * swacs-4h-version * 00031300
c   program is modified for the thrust force model 00031310
c   option in the water leak rate calculation module. 00031320
c           by hiroi, 1980 00031330
c                                         00031340
c   * swacs-4d-version * 00031350
c   program is modified for the flow area change option in 00031360
c   the water leak rate calculation module. 00031370
c           by osam, sep. 1980 00031380
c                                         00031390
c   * swacs-4e-version * 00031400
c   program is modified for the energy blance model 00031410
c   and the drift-flux two-phase formulation in the qasi- 00031420
c   steady pressure calculation module. 00031430
c   (this model is named swac-13e ver. lev.1a) 00031440
c           by osam & sasamoto, mar. 1982 00031450
c                                         00031460
c   * swacs-4f-version * 00031470
c   program is modified for the pancake hydrogen bubble 00031480
c   growth model option in the initial pressure spike 00031490
c   calculation module. by osam, jun. 1982 00031500
c                                         00031510
c                                         00031520
c----- for facom 230/58 ----- 00031530
c   option file( 9 ) 00031540

```

```

c      option file(10)                      00031550
c      option file(11)                      00031560
c      option file(12)                      00031570
c      option file(13)                      00031580
c      option file(14)                      00031590
c      option file(15)                      00031600
c-----
c
c      logical    abc,isst                  00031620
c      real*8   time13,dt13,rqstd,fftime   00031630
c      real*8   trd                         00031640
c      real*8   dt13a,dt13b,dt13c,tt13a,tt13b 00031650
c----- swac13e version -----
c      real*8   estage,maxdt,mindt,pold,mhold,msold,tlast,deltm,dtmin 00031660
c----- dimension nout(10),id(25)          00031670
c----- swac13e version -----
c      dimension tlast(5),deltm(5),dtmin(5),nplt(5),npert(5) 00031680
c----- common /cont/ icont(60),rcont(100),tcont(20) 00031690
c
c      common /ijct/ iijct(100),rijct( 500),tijct(20) 00031700
c
c      common /inp / iispb(300),rispb(1000),tispb(20) 00031710
c
c      common/qstd/ iqstd(1100),rqstd(5500),tqstd(20) 00031720
c      common/time/ time13,trd(3),rindex,rsg(3),idm(3),ncg(3,5) 00031730
c
c      common/apx/ dt,tt,npage,tlevel(5),qqr(10),istep,kj(20),vrd(10) 00031740
c      common/iflag/ iflg07 00031750
c      common /ipij/ gg1,gg2,rgg 00031760
c      common /leak/ rleak,tleak,rleaku,rleakd 00031770
c      common/ limit/ mbrku,mbrkd,time11,i2,idum,dum11(3),iidum 00031780
c      common/bub/ dum57(8) ,ppb(2) 00031790
c----- swac13e version -----
c      common /autdt/  iple,iprt,indt,lplot,lprint,idummy, 00031800
c      &           estage,maxdt,mindt,pold(40),mhold(40),msold(40) 00031810
c----- restart -----
c      common /rest/   imm,iff 00031820
c      common /logic/   abc 00031830
c      common /endend/  isend 00031840
c----- common /tim0/   deltim 00031850
c----- equivalence
1   (icont( 1),ijct) ,(icont( 2),jispb) ,(icont( 3),jqstd) 00031860
2   ,(icont( 4),jispb2) ,(icont( 6),nstep) ,(icont( 7),jstep) 00031870
3   ,(icont( 8),kstep) ,(icont(40),ipback) ,(icont(44),np5) 00031880
4   ,(icont(48),mdat5) 00031890
5   ,(rcont( 1),tstart) ,(rcont( 2),teij) ,(rcont( 3),tesp) 00031900
6   ,(rcont( 4),teqs) ,(rcont( 5),tepr) 00031910
7   ,(rijct(14),dt11) ,(rijct(26),pexb) 00031920
equivalence (iispb(272),modbub) 00031930
equivalence (rqstd(3262),dt13) 00031940
equivalence (rqstd(3265),dt13a),(rqstd(3266),dt13b), 00031950
1   (rqstd(3267),dt13c) 00031960
equivalence (rqstd(3268),tt13a),(rqstd(3269),tt13b) 00031970
equivalence (iqstd(903),icdt13) 00031980
c----- swac13e version -----
equivalence (rqstd(4310),tlast),(rqstd(4315),deltm), 00031990
&           (rqstd(4320),dtmin) 00032000
equivalence (iqstd(1045),nplt),(iqstd(1050),npert) 00032010
c----- equivalence (icont(60),ireno) 00032020
c----- restart -----
equivalence (icont(60),ireno) 00032030

```

```

c-----          00032200
c          00032210
c----- for facom m-190 ----- 00032220
cxx  call errset(214,256,-1) 00032230
c----- converted for fortran77ex ----- 00032240
cyos  call errset ( 256,999,-1,0,1,256 ) 00032241
c-----          00032250
cham --- '96.02.28
    open( 5,file='FT05',status='old')
    open( 6,file='FT06',status='unknown')
c    open( 9,file='FT09',status='unknown',form='unformatted')
c    open(10,file='FT10',status='unknown',form='unformatted')
c    open(13,file='FT13',status='unknown',form='unformatted')
        open(14,file='FT14',status='unknown',form='unformatted')
        open(30,file='FT30',status='unknown',form='unformatted')
cham --- end
c-----          00032250
      iflg07=0          00032260
      gg1 = 0.          00032270
      gg2 = 0.          00032280
      rgg = 0.0          00032290
      n11 = 1           00032300
      n57 = 1           00032310
      mparam = 1         00032320
      i2 = 0             00032330
      istep = 0          00032340
c          00032350
c  *** print front page of swacs-iv ***
c          00032360
c      call front          00032370
c          00032380
c          00032390
c          00032400
c          00032410
c  *** control data input ***
c          00032420
c          00032430
c      call readin(1)          00032440
c          00032450
c  *** data input and intial condition set up ***
c          00032460
c          00032470
c      if(jijct .ne. 0) call input          00032480
c          00032490
c      if(jispb .eq. 1) call tinput          00032500
c      if ( jispb.eq.1) iopt57 = 1          00032510
c          00032520
c          00032530
c      if ( jispb.eq.0 .and. jijct.eq.0 ) go to 200 00032540
c          00032550
c  *** transient calcuration start ***
c          00032560
c          00032570
c          00032580
c      time=tstart          00032590
c      tt = tstart          00032600
c      if ( jijct.eq.1) time11 = tstart          00032610
c      if(jijct.eq.2) time=time11          00032620
c      if ( jijct .eq. 0) go to 5          00032630
c      call tdetm( deltat , n11 , n57 )
c      mparam = 1          00032640
c      nmax = max0(n11 , n57 )          00032650
c      5 continue          00032660
c          00032670
c      do 1000 n = 1,nstep          00032680
c          00032690
c  *** water ijection transient ***
c          00032700
c      if(jijct .eq. 0) go to 10          00032710
c      if ( mparam.eq.1 ) go to 11          00032720
c          00032730
c          00032740

```

```

        if((n11-mparam).ge.0) go to 10          00032750
11 call    outp(i2,1)                      00032760
      call    outp(i2,2)                      00032770
      i2 = i2 + 1                          00032780
      call    swc11                         00032790
      gg1 = rleaku                        00032800
      gg2 = rleakd                         00032810
      rgg = rleak                          00032820
c      time                                00032830
      time11= time11 + dble(dt11)           00032840
10 continue                               00032850
c
c *** initial pressure transient ***
c
      if(jispb .eq. 0) go to 20            00032860
      if ( mparam.eq.1 )   go to 21          00032870
      if ((n57- mparam).ge.0)  go to 20       00032880
21 call outp( istep,3)                   00032910
      istep=istep+1                       00032920
c
      call    swac57                         00032930
c
c
c... modification for swac-57p version.      by o.m. jun 1982 .....
c
      if(iflg07.eq.1) tesp=time             00032940
      if(iflg07.eq.1.and.modbub.eq.0) tesp = time 00032950
c
      if ( ipback.eq.0) pexb = ppb(1)       00032960
c      istep=istep+1                     00032970
      if ( jispb.eq.1 ) mdat5 = istep       00032980
      tt = tt + dble(dt)                  00032990
20 continue                               00033000
c
c *** time mesh determining ***
c
      if ( jijct.eq.0 .and. jispb.eq.1 ) go to 26 00033010
      time = time + dble( deltat )         00033020
      mparam = mparam + 1                 00033030
      if( nmax .ge. mparam ) go to 27       00033040
      call tdetm ( deltat , n11 , n57 )    00033050
      mparam = 1                           00033060
      nmax = max0( n11 , n57 )            00033070
      go to 27                            00033080
c
      26 time = tt                         00033090
27 continue                               00033100
c
c
c
c
      28 continue                           00033110
c
      if(teij .ge. time) go to 30          00033120
      jijct = 0                            00033130
      mparam = 1                           00033140
c
      30 if(tesp .ge. time) go to 40       00033150
      jispb = 0                            00033160
      mparam = 1                           00033170
40 continue                               00033180
      if (jijct.eq.0 .and. jispb.eq.0 ) go to 200 00033190
1000 continue                             00033200
c
c *** quasi steady pressure transient ***

```

```

c          00033410
200 if(jqstd.eq.0) go to 400 00033420
c          00033430
c          00033440
c.....istep = 0 00033450
    if ( jqstd.ne. 2 ) istep=0 00033460
    abc   = .true.
    imm   = 1 00033480
    igst  = 1 00033490
    iff   = 0 00033500
    isend = 0 00033510
    isst   = .true. 00033520
c          00033530
    call qinput(istep) 00033540
    indt   = 0 00033550
    lprint = 1 00033560
    lplot  = 1 00033570
    if ( jqstd.ne.2 .or. icdt13.ne.2 ) go to 203 00033580
    if ( time13.ge. tlast(1) ) write(6,3000) time13,tlast(1) 00033590
    if ( time13.ge. tlast(1) ) stop 00033600
c          00033610
203 if ( jqstd .ne. 2 )   time13=tstart 00033620
    if ( jqstd .eq. 2 )   indt=1 00033630
    if ( jqstd .eq. 2 )   go to 205 00033640
    if ( icdt13 .eq. 1 )  dt13=dt13a 00033650
    if ( icdt13 .eq. 1 )  imm=1 00033660
    if ( icdt13 .eq. 2 )  dt13=dtmin(1) 00033670
205 continue 00033680
c          00033690
    do 300 n = 1 , jstep 00033700
c          00033710
    nndt = indt 00033720
    iff = 0 00033730
    if ( (icdt13.eq.1) .and. (imm.ne.igst) ) iff=1 00033740
    if ( (icdt13.eq.1) .and. (imm.lt.igst) ) imm=igst 00033750
    if ( (icdt13.eq.2) .and. (imm.ne.indt) ) iff=1 00033760
    if ( (icdt13.eq.2) .and. (imm.lt.indt) ) imm=indt 00033770
c          00033780
    call outp( istep , 4 ) 00033790
    call finddt 00033800
    fftime = time13 + dt13 00033810
    if ( fftime .ge. teqs ) isst=.false. 00033820
    if ( (icdt13.eq.2) .and. (ffftime.gt.teqs) ) 00033830
&           dt13=dt13-(ffftime-teqs) 00033840
    if ( (icdt13.ne.2) .and. (ffftime.gt.teqs) ) go to 310 00033850
    time13 = time13 + dt13 00033860
    deltim = dt13 00033860
    istep = istep + 1 00033870
    call swac13 00033880
    abc=.false. 00033890
c          00033900
    if( icdt13 .eq. 0 )      go to 250 00033910
    if( icdt13 .eq. 2 )      go to 210 00033920
    dt13=dt13a 00033930
    igst=1 00033940
    if ( time13 .ge. tt13a ) dt13=dt13b 00033950
    if ( time13 .ge. tt13a ) igst=2 00033960
    if ( time13 .ge. tt13b ) dt13=dt13c 00033970
    if ( time13 .ge. tt13b ) igst=3 00033980
    go to 250 00033990
210 if ( indt .eq. 1 )      go to 220 00034000
    if ( indt .eq. nndt )    go to 250 00034010
    if ( indt .ge. 6 )       imm=indt-1 00034020
    if ( indt .ge. 6 )       istep=istep+1 00034030
    if ( indt .ge. 6 )       go to 310 00034040
    if ( (tlast(indt)-tlast(indt-1)) .le. 0.0 ) imm=indt-1 00034050

```

```

        if ( (tlast(indt)-tlast(indt-1)) .le. 0.0 ) istep=istep+1      00034060
        if ( (tlast(indt)-tlast(indt-1)) .le. 0.0 ) go to 310          00034070
220 estage = tlast(indt)                                         00034080
        maxdt = deltm(indt)                                         00034090
        mindt = dtmin(indt)                                         00034100
        iplt = nplt (indt)                                         00034110
        iprt = npri (indt)                                         00034120
250 continue                                         00034130
c
        if ( isst ) go to 300                                         00034140
310 isend=1                                         00034150
        if ( icont(52) .eq. 1 ) call tape13(istep)                   00034160
        if ( icdt13 .eq. 2 ) call timeout(istep)                     00034170
        call output(istep)                                         00034180
        go to 350                                         00034190
300 continue                                         00034200
350 if ( jqstd.eq.2 .and. ireno.gt.0 .and. icont(52).eq.1)      00034210
        *                               call replot(ireno)           00034220
c
        600 format(1h1,10x,'*** ',20a4,' ****//')                 00034230
        601 format(1h , 12g11.4)                                     00034240
c
c *** initial spike pressure propagation in the secondary system ***
c
        400 if (jispb2.eq.0) go to 800                           00034250
c     zero clear                                         00034260
        do 410 n = 1 , 300                                         00034270
410 iispb(n) = 0                                         00034280
        do 420 n = 1 , 1000                                         00034290
420 rispb(n) = 0.0                                         00034300
c
        istep = 0                                         00034310
        tt      = tstart                                         00034320
c
        call tinput                                         00034330
c
        do 700 n = 1 , kstep                                         00034340
        call outp( istep , 5 )                                     00034350
        istep=istep+1                                         00034360
c
        call swac57                                         00034370
c
        istep=istep+1                                         00034380
        tt      = tt + dble(dt)                                     00034390
c
        if ( tepr.lt.tt ) go to 800                           00034400
c
700 continue                                         00034410
c
c
c
        800 call makemt                                         00034420
3000 format(1h1,' --- input error ---',/
&           5x,' old time13 :',d12.5,/                  00034430
&           5x,' new time control first end-time(tlast(1)) :',
&           ,d12.5)                                         00034440
cham --- '96.02.28
        close(30)
        close(14)
c
        close(13)
c
        close(10)
c
        close( 9)
        close( 6)
        close( 5)
cham --- end
c

```

stop  
end

00034620  
00034630

```

subroutine varcal          00113260
implicit integer ( a - z ) 00113270
c                           00113280
c   *****      kihonryo  keisan      *****
c                           00113290
c   input.                 00113300
c     rindex    rapchar-disk hadanshunkan no shihyo 00113310
c                           00113320
c                           00113330
real*8                  t      , trd 00113340
common /time/t,trd(3),rindex,rsg(3),idm(3),ncg(3,5) 00113350
call tusave             00113360
call wcal                00113370
call wshcal              00113380
call velcal              00113390
1 call wndcal            00113400
call mvcal               00113410
call cgcal               00113420
call rvpcal              00113430
call energ                00113440
call eos13a              00113450
call rlcal               00113460
call loscal              00113470
call pscal               00113480
cyos -----add.          00113510
  call react
cyos -----
  call rundec            00113490
  if(rindex.eq.1) go to 1 00113500
  call eos13b            00113510
  return
  end

```

0

```

c          **** output calculational results at time 't' ****          00068350
c
c      output.                                                       00068360
c          w(k)      mixture mass mass flow rate                  00068370
c          ws(k)     sodium mass flow rate                      00068380
c          wh(k)     hydrogen mass flow rate                   00068390
c          voidl(k)   void fraction of link k                  00068400
c          runl(k)   running index of link k                  00068410
c          p(i)       pressure                                00068420
c          r(i)       mixture density                         00068430
c          rh(i)     hydrogen density                        00068440
c          vh(i)     hydrogen volume                         00068450
c          vs(i)     sodium volume                          00068460
c          mh(i)     hydrogen mass                           00068470
c          ms(i)     sodium mass                            00068480
c          void(i)   void fraction on node i                 00068490
c          runn(i)   running index of node i                 00068500
c
c      subroutine output(istep)                                 00068510
c      implicit integer(a-z)                               00068520
c
c      logical abc                                         00068530
c
c      real*8          a        , b                         00068540
c      real*8          rconst   , grav      , gravc           00068550
c      *              , tsimul   , dt        , alphaw   , ts           00068560
c      *              , rs       , mius     , patm     , mcg          00068570
c      *              , miuh    , th       , fw       , s            00068580
c      *              , prd     , v        , lnode    , l             00068590
c      *              , d       , hnode    , dnode    , hinit         00068600
c      *              , kappa   , a2node   , a2link   , m            00068610
c      *              , beta    , lpd     , cz1      , cz2          00068620
c      *              , cz3     , cz4     , f        , dfdw         00068630
c      *              , as      , ah      , cs      , ch            00068640
c      *              , dfdmsi  , dfdmhi  , dfdmsj  , dfdmhj        00068650
c      real * 8          z        , c                         00068660
c      *              , t       , trd     , w        , wbar          00068670
c      *              , dw      , ws      , wh      , closs         00068680
c      *              , deltp   , voidl   , p        , r            00068690
c      *              , rh      , vh      , vs      , vcg           00068700
c      *              , ms      , mh      , void    , x            00068710
c      *              , y       , q        , sc      , lv           00068720
c      *              , np      , hsurf   , sc      , lv           00068730
c      *              , ft      , print   , pcint   , rcg          00068740
c      *              , ncoil   , zetb    , rr      , theta         00068750
c      *              , lcg     ,          ,          ,          00068760
c      *              , rl      , rhv    , rhs     , solvl        00068770
c      *              , water   , wat     ,          ,          00068780
c      real*8          rqstd   , lpcoil   , dcoil    , nfrikt        00068790
c      real*8          veloss  , velosh   , velos           00068800
c      real*8          allink   ,          ,          ,          00068810
c      real*8          mrptot  , cc       ,          ,          00068820
c      2              crna    , mcrwal  , mcrna   , mdtot        00068830
c      3              msol    , tcrwal  , td      ,          00068840
c      real*8          wf      , fmf     , svf     , veln         00068850
c      real*8          mndk   , fcrd    , ssa     , svmu         00068860
c
c----- swac13e version ---00068860
c      real*8          tempi   , treac   , troom   , gamh2        00068870
c      1              , epsi    , sigma   , cmet    , cdrag        00068880
c      2              , nbub   , voidal  , voida2  , voida3        00068890
c      3              , lncoil  , cht    , hglc   , hgmc         00068900
c      4              , hlmc   , hmoc   , kmet    , lmet          00068910
c      5              , ami    , amo    , mmet    , dmet          00068920
c      real*8          agls   , devrl  , hgas   , hliq         00068930
c      1              , igas   , iliq   , kgas   , kliq         00068940

```

```

2          , miugas , miuliq , prgas , prliq      00068950
3          , qgas   , qliq   , qmet   , rbub      00068950
4          , tgas   , tliq   , tmef, tmbar, ugbar, ulbar 00068970
5          , ugas   , uliq   , velrl  , warh      00068980
6          , wars    , wnd    , whnd   , wsnd      00068990
real*8      qlmx   , qgmx   , qglx   , qmax      00069000
real*8      pth    , rth    , ffl    , fpr       00069010
1          , fthr(55)           ,               ,          00069020
real*8      hemix , temix           ,           ,          00069030
c-----00069040
dimension nnodec(3),nodecg(3),nodec(5,3),linkd(20),inode(55), 00069050
1          tnode(55),linkh(20),linkz(30),nz(55) ,linkb(20), 00069060
2          nbend(55),znumb(10,55)           ,nodew(10) 00069070
c-----00069080
dimension lcg(40) ,hnode(40),dnode(40),lnode(40),d(10,55) , 00069090
1          l(10,55) ,theta(10,55)           ,zetb(10,55) , 00069100
2          rr(10,55),ncoil(55),pcint(3) ,prd(4)   ,w(55) , 00069110
3          ft(40) ,m(3)     ,fw(40)   ,tt(40)   ,wtr(40) , 00069120
4          s(55)   ,tv(20)   ,valp(20)           ,          00069130
dimension allink(10,55)           ,           ,          00069140
c----- swac13e version ---00069150
dimension ialink(55),inmmmt(40),tempi(40),cht(18) ,lmet(40), 00069160
1          ami(40),amo(40),mmet(40),dmet(40) 00069170
c-----00069180
c----- restart -----00069190
dimension iorest(5)           ,           ,          00069200
common /rest/ imm,iff           ,           ,          00069210
common /logic/ abc             ,           ,          00069220
common /endend/ isend           ,           ,          00069230
c-----00069240
c-----00069250
c----- common /simul/  mius ,mcg(3)   ,miuh(40) ,th(40)   ,rs      , 00069260
c----- 1          q(40)   ,rcg(3)           ,           ,          00069270
c-----00069280
common /netwrk/ linkrl(3,10),linkcg(3,5), 00069290
1          linkw(5) ,linkcr   ,seti(40,10)           ,sett(40,10),00069300
2          nlinkr(3),npath(3) ,nlinkw   ,nseti(40),nsett(40) 00069310
c-----00069320
common /geomet/   v(40)   ,kappa(55),a2node(40), 00069330
1          a2link(55,10)           ,beta   ,lpd(55)  ,cz1(3) , 00069340
2          cz2(55,10)           ,cz3(55,10)           ,cz4(55,10), 00069350
3          hinit(40)           ,           ,           ,          00069360
c-----00069370
common/qstd/ iqstd(1100),rqstd(5500),tqstd(20) 00069380
common /rlnk / r1(55)           ,rhs(55)           ,          00069390
common /run  / runl (55)           ,runn (40)   ,pdet (40) 00069400
common /matrix/ f (55)           ,dfdwd (55) ,as (55) 00069410
*,          ,ah (55)           ,cs (40)   ,ch (40) 00069420
*,          ,dfdmssi (55) ,dfdmhi (55) ,dfdmssj (55) 00069430
*,          ,dfdmhj (55) ,a (55,55)  ,z (55) 00069440
*,          ,shiftw (55) ,mmaxw   ,b (40,40) 00069450
*,          ,c (40)           ,shiftp (40) ,mmaxp 00069460
common /time / t    ,trd (3)   ,rindex           ,          00069470
*,          ,rsg (3)           ,idm (3)   ,ncg (3,5) 00069480
common /state /           wbar (55) ,dw (55) 00069490
*,          ,ws (55)   ,wh (55)  ,closs (55) 00069500
*,          ,deltp (55) ,voidl (55) ,p (40) 00069510
*,          ,r (40)    ,rh (40)  ,vh (40) 00069520
*,          ,vs (40)   ,vcg (40) ,ms (40) 00069530
*,          ,mh (40)   ,void (40) ,x (40) 00069540
*,          ,y (55)   ,svs(40)           ,          00069550
common/vel13/ veloss(55),velosh(55),velos(55) 00069560
c----- swac13e version ---00069570
common /simul/  mcg(3)   ,q(40)   ,rcg(3)           , 00069580
common /qspnew / agls(40) ,devrl(55) ,hgas(40) 00069590
1          ,hliq(40) ,igas(40) ,iliq(40) 00069600

```

```

2           ,kgas(40)      , kliq(40)      , miugas(40)      00069610
3           ,miuliq(40)   , prgas(40)      , prliq(40)      00069620
4           ,qgas(40)      , qliq(40)      , qmet(40)      00069630
5           ,rbub(40)      , rs(40)        , tgas(40)      00069640
6           ,tliq(40)      , tmet(40)      , ugas(40)      00069650
7           ,uliq(40)      , velrl(55)    , warh(40)      00069660
8           ,wars(40)      , wnd(40)       , whnd(40)      00069670
9           ,wsnd(40)      , tmbar(40)    , ugbar(40)      00069680
a           ,ulbar(40)      ,               ,               00069690
common /ychk13/  ichoke(55)      ,               ,               00069700
common /qsv13/   qlmx(40)      , qgmx(40)      , qglx(40)      00069710
1           ,qmax(40)      ,               ,               00069720
common /eftout/ hemix(40)    , temix(40)      ,               00069730
c-----00069740
c-----00069750
c--- valiable of react.f --
common /reacpr/ mrptot(40), cc(40),
2           crna(40), mcrwal(40), mcrna(40), mdtot (40),
3           msol(40), tcrwal(40), td(40)
common /cstate/ wf(55)      , fmf(40)      , svf(40)      , veln(55)
common /partic/ mndk(40,10), fcrd(10), ssa (40), svmu(40)
c-----00069740
c-----00069750
equivalence      (nsg ,iqstd( 1 ),(nnode ,iqstd( 2 )), 00069760
1  (nlink ,iqstd( 3 )),(nodert,iqstd( 4 )),(nnodec,iqstd( 5 )), 00069770
2  (nodecg,iqstd( 8 )),(nodec ,iqstd( 11 )),(nlinkd,iqstd( 26 )), 00069780
3  (linkd ,iqstd( 27 )),(inode ,iqstd( 47 )),(tnode ,iqstd(102 )), 00069790
4  (nlinkh,iqstd(157) ),(nlinkz,iqstd(158) ),(nlinkb,iqstd(159) ), 00069800
5  (linkh ,iqstd(160) ),(linkz ,iqstd(180) ),(nz ,iqstd(210) ), 00069810
6  (linkb ,iqstd(265) ),(nbend ,iqstd(285) ),(znumb ,iqstd(340) ), 00069820
7  (nnodew,iqstd(890) ),(nodew ,iqstd(891) ),(nwtr ,iqstd(901) ), 00069830
8  (nvoid ,iqstd(902) )      ,               ,               00069840
equivalence      (lcg ,rqstd( 1 )),(solvl ,rqstd( 41 )), 00069850
1  (lpcoil,rqstd( 42 )),(dcoil ,rqstd( 43 )),(hnode ,rqstd( 44 )), 00069860
2  (dnode ,rqstd( 84 )),(inode ,rqstd( 124 )),(d ,rqstd( 164 )), 00069870
3  (l ,rqstd( 714 )),(theta ,rqstd(1264)),(zettb ,rqstd(1814)), 00069880
4  (rr ,rqstd(2364)),(ncoil ,rqstd(2914)),(pcint ,rqstd(2969)), 00069890
5  (print ,rqstd(2972)),(patm ,rqstd(2973)),(prd ,rqstd(2974)), 00069900
6  (ts ,rqstd(2978)),(w ,rqstd(2979)),(ft ,rqstd(3034)), 00069910
7  (m ,rqstd(3074)),(sc ,rqstd(3077)),(lv ,rqstd(3078)), 00069920
8  (alphaw,rqstd(3079)),(hsurf ,rqstd(3080)),(fw ,rqstd(3081)), 00069930
9  (tt ,rqstd(3121)),(wtr ,rqstd(3141)),(nfrikt,rqstd(3161)), 00069940
a  (s ,rqstd(3162)),(tv ,rqstd(3217)),(valp ,rqstd(3237)), 00069950
b  (rconst,rqstd(3257)),(grav ,rqstd(3258)),(gravc ,rqstd(3259)), 00069960
c  (np ,rqstd(3260)),(tsimul,rqstd(3261)),(dt ,rqstd(3262)), 00069970
d  (tstdb ,rqstd(3263)),(tendb ,rqstd(3264)),(allink,rqstd(3311)) 00069980
c----- swac13e version ---00069990
equivalence      ,               ,               00070000
1  (idrif ,iqstd( 904 )),(iftube,iqstd( 905 )),(ihglc ,iqstd( 906 )), 00070010
2  (ihgmc ,iqstd( 907 )),(ihlmc ,iqstd( 908 )),(ihmoc ,iqstd( 909 )), 00070020
3  (ialink,iqstd( 911 )),(inmmmt ,iqstd(1001))      ,               00070030
equivalence      ,               ,               00070040
1  (tempi ,rqstd(4001)),(treac ,rqstd(4041)),(troom ,rqstd(4042)), 00070050
2  (gamh2 ,rqstd(4043)),(epsi ,rqstd(4044)),(sigma ,rqstd(4045)), 00070060
3  (cmet ,rqstd(4046)),(cdrag ,rqstd(4047)),(nbub ,rqstd(4048)), 00070070
4  (voidal,rqstd(4049)),(voida2,rqstd(4050)),(voida3,rqstd(4051)), 00070080
5  (lncoil,rqstd(4052)),(hgclc ,rqstd(4053)),(hgmc ,rqstd(4054)), 00070090
6  (hlmc ,rqstd(4055)),(hmoc ,rqstd(4056)),(kmet ,rqstd(4057)), 00070100
7  (cht ,rqstd(4061)),(lmet ,rqstd(4101)),(ami ,rqstd(4141)), 00070110
8  (amo ,rqstd(4181)),(mmet ,rqstd(4221)),(dmet ,rqstd(4261)) 00070120
c-----00070130
c----- restart -----00070140
equivalence (iorest,iqstd(1055)),(icdt13,iqstd(903)) 00070150
c-----00070160
c-----00070170
wat = water(t) 00070180

```

```

        if(istep.lt.0)  go to 10          00070190
        write(6,10015) t,wat,istep      00070200
        go to 30                      00070210
10 if(istep.eq.-4)  go to 20          00070220
        write(6,10016) t,wat,istep      00070230
        go to 30                      00070240
20 write(6,10017) t,wat,tcrbst      00070250
c 20 write(6,10017) t,wat          00070250
30 continue                      00070260
c                                     00070270
c--- calculate thrust force for links ----- 00070280
c                                     00070290
do 40 k=1,nlink                  00070300
    fthr(k) = 0.                    00070310
    if(runl(k).eq.0)  go to 40      00070320
    pth = (p(inode(k))+p(tnode(k)))/2. 00070330
    rth = (r(inode(k))+r(tnode(k)))/2. 00070340
    ik = ialink(k)                 00070350
    ffl = rth*(velos(k)**2)*allink(ik,k)/grav 00070360
    fpr = (pth-patm)*allink(ik,k)      00070370
    fthr(k) = ffl+fpr              00070380
40 continue                      00070390
c                                     00070400
c----- 00070410
c                                     00070420
if ( abc )  nstep=0              00070430
if ( istep .ge. 1 )  nstep=nstep+1 00070440
c  write(6,10020)                  00070450
c----- 00070460
      write (6,1000)                00070470
c                                     00070480
1000 format (1h0,6x,'--- link ---',///
&           5x,'k',8x,'w',11x,'ws',11x,'wh',10x,'vel',
&           10x,'vels',9x,'velh',9x,'velrl',8x,'thrust',6x,'runl',
&           2x,'ichoke',//               00070490
&           9x,3('(',kg/sec)',2x),4('(',m/sec)',2x),
&           '(',kg')/')                00070500
c                                     00070510
      write (6,1100) (k,w(k),ws(k),wh(k),velos(k),veloss(k),
&           velosh(k),velrl(k),fthr(k),runl(k),ichoke(k),k=1,nlink) 00070520
1100 format ((4x,i2,3x,8(e11.4,2x),4x,i1,6x,i1))            00070530
c----- 00070540
c                                     00070550
      write (6,1400) t                00070560
1400 format (1h1/,8x,'time = ',f8.3,2x,'(sec)///6x,'--- node ---',///00070600
&           5x,'i',8x,'p',12x,'r',11x,'rs',11x,'rh',11x,'vs',
&           11x,'vh',11x,'void',9x,'ms',11x,'mh',6x,'pdet',// 00070610
&           9x,'(',kgw/m**2)',3(2x,'(',kg/m**3)'),           00070620
&           2(2x,'(',m**3')'),2x,'(', - ),                   00070630
&           2(2x,'(',kg')/')                00070640
      write (6,1500) (i,p(i),r(i),rs(i),rh(i),vs(i),vh(i),
&           void(i),ms(i),mh(i),pdet(i),i=1,nnode)            00070650
1500 format ((4x,i2,1x,9(2x,e11.4),4x,i1))            00070660
c----- 00070670
c                                     00070680
c----- modified by y.k. on 10/25 ----- 00070690
c----- 00070700
      write (6,1200) t                00070710
c1200 format (1h1/,6x,'time = ',f8.3,2x,'(sec)///6x,'--- node ---',///00070720
c   &           5x,'i',8x,'is',11x,'ih',11x,'ts',11x,'th',11x,'tm',
c   &           10x,'qgl',10x,'qgm',10x,'qlm',10x,'qma',8x,'runn'// 00070730
c   &           9x,2('(', kcal/kg ')',2x),3('(', c : deg.),2x),
c   &           4('(', kcal/sec)',2x)//                00070740
c   write (6,1300) (i,iliq(i),igas(i),tliq(i),tgas(i),tmet(i),
c   &           qglx(i),qgmx(i),qlmx(i),qmax(i),runn(i),
c   &           i=1,nnode)                  00070750
c1300 format ((4x,i2,3x,9(e11.4,2x),4x,i1))            00070760
c                                     00070770
c                                     00070780
c                                     00070790
c                                     00070800

```

```

c 00070810
1200 format (1h1//,6x,'time = ',f8.3,2x,'(sec)///6x,'--- node ---',///00070820
 1      4x,'i',6x,'is',8x,'ih',8x,'ts',8x,'th',8x,'tm',8x,'te',    00070830
 2      8x,'he',9x,'qgl',10x,'qgm',10x,'glm',10x,'qma',4x,'runn'//00070840
 3      7x,2('kcal/kg)',1x),4('c:deg.',1x),3x,'kcal',3x,        00070850
 4      4('kcal/sec)',2x)/,66x,'m2*sec*c:deg',//)            00070860
 write (6,1300) (i,iliq(i),igas(i),tliq(i),tgas(i),tmet(i),
 1          temix(i),hemix(i),qglx(i),qgmx(i),qlmx(i),qmax(i),   00070880
 2          runn(i),i=1,nnode)                                     00070890
1300 format ((3x,i2,3x,6(f7.1,3x),5(e11.4,1x),2x,i1))       00070900
c-----00070410
c 00070690
c ----- modified by y.k. on 10/25 ----- 00070710
 write (6,1600) t                                         00070700
1600 format (1h1//,8x,'time = ',f8.3,2x,'(sec)///6x,'--- node ---',///00070820
 1      4x,'i',7x,'mrptot',7x,'mcrna',7x,'mcrwal',           00070830
 2      7x,'mdtot',7x,'msol',//)                           00070830
 write (6,1700) (i,mrptot(i),mcrna(i),mcrwal(i),mdtot(i),
 1          msol(i),i=1,nnode)                                00070890
1700 format ((4x,i2,1x,5(2x,e11.4)))                   00070680
c-----00070410
c
c ----- modified by y.k. on 10/25 ----- 00070710
 write (6,1800) t                                         00070700
1800 format (1h1//,8x,'time = ',f8.3,2x,'(sec)///6x,'--- node ---',///00070820
 1      4x,'i',7x,'cc ',7x,'crna ',7x,'ssa ',
 2      7x,'tcrwal',7x,'td ',7x,'veln ',7x,'svmu',//)      00070830
 write (6,1900) (i,cc(i),crna(i),ssa(i),tcrwal(i),
 1          td(i),veln(i),svmu(i),i=1,nnode)                00070870
 1900 format ((4x,i2,1x,7(2x,e11.4)))                 00070680
c-----00070410
c
 if ( icdt13 .eq. 0 ) imm=1                               00070910
 if ( icdt13 .eq. 0 ) iff=0                             00070920
 ireout = 0                                              00070930
 if ( nstep .eq. iorest(imm) ) ireout=1                00070940
 if ( nstep .eq. iorest(imm) ) nstep=0                  00070950
 if ( istep .eq. 0 ) ireout=1                           00070960
 if ( iff .eq. 1 ) ireout=1                            00070970
 if ( iff .eq. 1 ) nstep=0                            00070980
 if ( abc ) ireout=1                                 00070990
 if ( ireout .eq. 1 ) call resave(istep)             00071000
 if ( ireout.ne.1 .and. isend.eq.1 ) call resave(istep) 00071010
c 00071020
c 00071030
cc          nlink kumi write                           00071040
c do 100 k = 1,nlink                                  00071050
c write(6,10030) k,w(k),ws(k),wh(k),void1(k),velos(k),
c *           veloss(k),velosh(k),runl(k)               00071060
c 100 continue                                         00071070
c write(6,10040)
c
c          nnnode kumi write                          00071100
c do 200 i = 1,nnode                                00071120
c if(void(i).eq.0.0) go to 1                         00071130
c write(6,10050) i,p(i),r(i),rh(i),vh(i),vs(i),mh(i),ms(i),
c * void(i),runn(i),pdet(i)                         00071140
c go to 200                                         00071150
c 1 write(6,10051) i,p(i),r(i),vh(i),vs(i),mh(i),ms(i),
c * void(i),runn(i),pdet(i)                         00071170
c 200 continue                                         00071180
c          do 300 i=1,nnode                           00071190
c if (p(i).le.0.0) call err13(6)                    00071200
c if ((vh(i).lt.0.0).or.(mh(i).lt.0.0)) call err13(7) 00071210
c if ((vs(i).lt.0.0).or.(ms(i).lt.0.0)) call err13(7) 00071220
c if ((void(i).lt.0.0).or.(void(i).gt.1.0)) call err13(8) 00071230
c

```

```

300 continue                                00071250
    do 400 k=1,nlink                         00071260
c      if ((voidl(k).lt.0.0).or.(voidl(k).gt.1.0)) call err13(9) 00071270
400 continue                                00071280
    return                                     00071290
10010 format (1h1/,1h0,7x,'time = ',f8.3//) 00071300
10015 format(1h1//,1h0,7x,'time = ',f8.3,' (sec)', 00071310
     *   15x,'water = ',f8.4,' (kg/s)',37x,'( istep =',i6,' )'//) 00071320
10016 format(1h1//,1h0,7x,'time = ',f8.3,' (sec)', 00071330
     *   15x,'water = ',f8.4,' (kg/s)',37x,
     *   '( r/d sg',i2,' burst )'//) 00071340
10017 format(1h1//,1h0,7x,'time = ',f8.3,' (sec)', 00071350
     *   15x,'water = ',f8.4,' (kg/s)',37x,
     *   '( r/d rpt burst )'//tcrbst=',e10.5//) 00071360
c     *   '( r/d rpt burst )'//) 00071380
c0020 format(1h ,11x,'k',5x,'w',11x,'ws',10x,'wh',10x,'voidl',7x,'u', 00071390
c     *   11x,'us',10x,'uh',11x,'runl') 00071400
10030 format(1h ,8x,i4,2x,7e12.4,4x,i4) 00071410
10040 format(/1h ,11x,'i',5x,'p',11x,'r',11x,'rh',10x,'vh',10x,'vs', 00071420
     *   10x,'mh',10x,'ms',10x,'void',9x,'runn',4x,'pdet') 00071430
10050 format(1h ,8x,i4,2x,8e12.4,4x,i4,4x,i4) 00071440
10051 format(1h ,8x,i4,2x,2e12.4,12x,5e12.4,4x,i4,4x,i4) 00071450
c
    end                                     00071460
                                         00071470

```

```

      subroutine react
c*****REACT version 1.0 --- reaction products behavior ****
c   --- reaction products behavior control module --- ****
c   reaction partical      Mar. 1996:artech.co ****
c*****
c
c implicit real*8 (m)
c     real*8      v,t,finter,wftot,tr
c     real*8      mndk, fcrd, ssa, svmu
c     real*8      g , cd , crnad , so, a
c
c     integer      k,n,kc,link(2,55),nnodew,nrt(10)
c     integer      jcon(5,2,40) ,icount ,jmax ,nw ,nd
c
c     dimension    iqstd(1100) , rqstd(5500) , tqstd(20)
c     dimension    cd(40) , crnad(40) , so(2,20) , a(40)
c     dimension    mndk(40,10), fcrd(10), ssa(40), svmu(40)
c.....
c     common /link0/ link(2,55)
c     common /tim0/ deltim
c     common /cont/ icont(60), rcont(100), tcont(20)
c     common /qstd/ iqstd(1100) , rqstd(5500) , tqstd(20)
c     common /partic/ mndk(40,10), fcrd(10), ssa(40), svmu(40)
c.....
c     equivalence   (rcont(1),t)
c     equivalence   (iqstd(1),k), (iqstd(2),n), (iqstd(3),kc)
c     1           ,(iqstd(890),nnodew)
c     2           ,(iqstd(891),nrt(1))
c     cyos 1      ,(iqstd(47),link(1,1)) ,(iqstd(102),link(2,1))
c.....
c
c     real*8      rqstd
c     real*8      lnode, d, tf, fcr, thtan, acr,
c     2           vd, mlp, ad, sdk, soc, cr, rownao, sk
c     real*8      mrptot, cc, crna, mcrwal, mcrna, mdtot,
c     4           msol, tcrwal, td
c
c     dimension    lnode(40), d(40), tf(40), fcr(10),
c     1           thtan(40), acr(40),
c     2           vd(40), mlp(40), ad(40), sdk(10),
c     3           soc(2,20,5), cr, rownao, sk
c     dimension    mrptot(40), cc(40),
c     4           crna(40), mcrwal(40), mcrna(40), mdtot (40),
c     5           msol(40), tcrwal(40), td(40)
c
c     common /reacpr/ mrptot(40), cc(40),
c     2           crna(40), mcrwal(40), mcrna(40), mdtot (40),
c     3           msol(40), tcrwal(40), td(40)
c.....
c     equivalence
c     1           (rqstd (084),d      (1))
c     2           ,(rqstd (124),lnode (1))
c     3           ,(rqstd(4001),tf      (1))
c     equivalence
c     1           (rqstd(4400),fcr    (1)) ,(rqstd(4410),thtan (1))
c     2           ,(rqstd(4450),acr    (1)) ,(rqstd(4490),vd      (1))
c     3           ,(rqstd(4530),mlp    (1)) ,(rqstd(4570),ad      (1))
c     4           ,(rqstd(4610),sdk    (1))
c     5           ,(rqstd(4620),soc(1,1,1)) ,(rqstd(4820),cr)
c     6           ,(rqstd(4821),rrownao),(rqstd(4822),sk)
c     equivalence
c     7           ,(rqstd(4830),mrptot(1)) ,(rqstd(4870),cc      (1))
c     8           ,(rqstd(4910),crna   (1)) ,(rqstd(4950),mcrwal(1))
c     9           ,(rqstd(4990),mcrna   (1)) ,(rqstd(5030),mdtot (1))

```

```

c      a      ,(rqstd(5070),msol (1)) ,(rqstd(5110),tcrwal(1))
c      b      ,(rqstd(5150),td (1))
c..... .
      real*8      wf,fmf,svf,veln
      dimension    wf(55),fmf(40),svf(40),veln(55)
      common /cstate/ wf(55),fmf(40),svf(40),veln(55)
c
      real*8      wbar,dw,ws,wh,closs,deltp,voidl,p,r,
      *           rh,vh,vs,vcg,ms,mh,void,x,y,svs,
      *           veloss,velosh,velos
c      dimension    ws(55),ms(40),svs(40),veloss(55)
      common /state /   wbar (55) , dw (55)
      *           ,ws (55) , wh (55) , closs (55)
      *           ,deltp (55) , voidl (55) , p (40)
      *           ,r (40) , rh (40) , vh (40)
      *           ,vs (40) , vcg (40) , ms (40)
      *           ,mh (40) , void (40) , x (40)
      *           ,y (55) , svs (40)
      common /vel13/   veloss(55) ,velosh(55) ,velos(55)
c
c equivalence
c      1      (ws(1) ,wf(1))
c      1      ,(ms(1) ,fmf(1))
c      2      ,(svs(1),svf(1))
c      3      ,(veloss(1),veln(1))
c..... .
c
c--- variable of swac13 ---
      real*8      agls , devrl , hgas , hliq      00014910
      1           , igas , iliq , kgas , kliq      00014920
      2           , miugas , miuliq , prgas , prliq  00014930
      3           , qgas , qliq , qmet , rbub      00014940
      4           , tgas , tliq , tmet              00014950
      5           , ugas , uliq , velrl , warh     00014960
      6           , wars , wnd , whnd , wsnd      00014970
      7           , tmbar , ugbar , ulbar      00014980
c
      common /geomet/ v(40) ,kappa(55),a2node(40),
      1           ,a2link(55,10) ,beta ,lpd(55) ,cz1(3),
      2           ,cz2(55,10) ,cz3(55,10) ,cz4(55,10),
      3           ,hinit(40)
      common /qspnew / agls(40) , devrl(55) , hgas(40) 00015480
      1           ,hliq(40) , igas(40) , iliq(40)  00015490
      2           ,kgas(40) , kliq(40) , miugas(40) 00015500
      3           ,miuliq(40) , prgas(40) , prliq(40) 00015510
      4           ,qgas(40) , qliq(40) , qmet(40)  00015520
      5           ,rbub(40) , rs(40) , tgas(40)  00015530
      6           ,tliq(40) , tmet(40) , ugas(40)  00015540
      7           ,uliq(40) , velrl(55) , warh(40) 00015550
      8           ,wars(40) , wnd(40) , whnd(40)  00015560
      9           ,wsnd(40) , tmbar(40) , ugbar(40) 00015570
      a           ,ulbar(40)                      00015580
c..... .
c
c
      g = 9.81
      t = t + deltim
      tr= 0.0
c
      if(iflag .eq. 0 ) then
          do 300 i=1,n
              i1      = i - 1
              mrptot(i)= rqstd(4830+i1)
              cc(i)   = rqstd(4870+i1)
              crna(i) = rqstd(4910+i1)
              mcrwal(i)= rqstd(4950+i1)

```

```

mcrna(i) = rqstd(4990+i1)
mdtot(i) = rqstd(5030+i1)
msol(i) = rqstd(5070+i1)
tcrwal(i)= rqstd(5110+i1)
td(i) = rqstd(5150+i1)
300 continue
iflag = 1
endif
c-----
c      input data setting
c-----
c
do 310 i=1,n
c
a(i) = ( d(i) * d(i) ) * 3.14159 / 4.0
tr = tr + tf(i)
fmf(i) = ms(i)
svf(i) = svr(i)
c
310 continue
c
do 320 i=1,kc
c
i1 = i - 1
link(1,i)= iqstd(47+i1)
link(2,i)= iqstd(102+i1)
wf(i) = ws(i)
c
320 continue
c
tr = tr / n
smuf = 10.**((220.65/(tr+273.) + 0.5108)/(tr+273.)**0.4925*9.9862
1 *1.e-04
c
c-----
c      define the junction condition ' jcon(5,2,n)' from the link
c      condition ' link(2,k)'
c-----
c
jmax = 0
do 110 j2 = 1 , 2
jj2 = 3 - j2
do 110 j3 = 1 , n
j1 = 0
do 115 k0 = 1 , kc
if ( link(jj2,k0).ne.j3 ) go to 115
j1 = j1 + 1
jcon( j1, j2 , j3 ) = link( j2 , k0 )
if( j1.gt.jmax ) jmax = j1
if( j1.le. 5 ) go to 115
write ( 6, 116 )
116 format( '0 stop the junc condition calculation' )
stop
c
115 continue
110 continue
c
c----- fluid average velocity in node : veln
c-----
c
do 420 n0 = 1 , n
c
wftot = 0.
c
do 400 nu = 1 , jmax

```

```

it = jcon( nu ,1 ,n0 )
if ( it .eq. 0 ) go to 400
k0 = kcon( it , n0 )
ii0=1
if(wf(k0).le.0.) ii0=0
wftot = wftot + ii0*wf(k0)
400 continue
c
do 410 nu = 1 , jmax
ii = jcon( nu ,2 ,n0 )
if ( ii .eq. 0 ) go to 410
k0 = kcon( n0 ,ii)
ii0=1
if(wf(k0).ge.0.) ii0=0
wftot = wftot + ii0*wf(k0)
410 continue
c
veln(n0)=wftot/a(n0)*svf(n0)
c
420 continue
c
c-----  

c      for reaction products behavior  

c-----  

c
sigmfc = 0.
c
do 140 i=1,10
140 sigmfc = fcr(i) * sdk(i) ** 3 + sigmfc
c
do 150 i=1,10
150 fcrd(i) = fcr(i) * (sdk(i)**3) / sigmfc
c
do 160 i=1,n
160 svmu(i) = smuf * svf(i)
c
c-----  

c      reaction products behavior  

c-----  

c
do 330 nk=1,nnodew
do 340 i=1,n
c
if(i.eq.nrt(nk)) then
    do 350 la=1,2
    do 350 lb=1,20
        so(la,lb) = soc(la,lb,nk)
350 continue
    ssa(i) = finter(so,t,20)
endif
c
340 continue
330 continue
c
delt = deltim/float(1)
c
rrmax=0.
do 360 n0=1,n
    rr=veln(n0)*delt*a(n0)/v(n0)
    if(rr.ge.1.) then
        if(rrmax.le.rr) rrmax=rr
    endif
360 continue
kd2=int(rrmax+1.)
delt=delt/kd2
c

```

```

C*****
C
1234 continue
    do 100 i=1,n
C
if(fmf(i) .ge. 0.001)  then
C
    qin    = 0.
    qinc   = 0.
    qinr   = 0.
    qout   = 0.
    qoutc  = 0.
    qoutr  = 0.
    delmdt = 0.
C
C ----- q in -----
C
do 20 nu = 1,5
    it = jcon(nu,1,i)
    if(it.eq.0) go to 20
    k0 = kcon(it,i)
    if(wf(k0).lt.0.) it=i
    qin = qin + wf(k0)*(cc(it) + crna(it))
    qinc = qinc + wf(k0)*cc(it)
    qinr = qinr + wf(k0)*crna(it)
20    continue
C
C ----- q out -----
C
do 30 nu = 1,5
    it = jcon(nu,2,i)
    if(it.eq.0) go to 30
    k0 = kcon(i,it)
    il = i
    if(wf(k0).lt.0.) il=it
    qout = qout + wf(k0)*(cc(il) + crna(il))
    qoutc = qoutc + wf(k0)*cc(il)
    qoutr = qoutr + wf(k0)*crna(il)
30    continue
C
C ----- new mrptot calu -----
C
    delmrp = qin - qout + ssa(i)
    mrptot(i)= delmrp*delt + mrptot(i)
    if(mrptot(i).lt.0.) mrptot(i)=0.
    csat = 40./16.*10.**(-6.)*10.**(6.239 - 2447./(tf(i)+273.))
    cd(i) = mrptot(i)/fmf(i)
C
    if(cd(i).le.csat) then
C
C ----- all solution -----
C
        mcrna (i) = 0.
        mcrwal(i) = 0.
        msol (i) = mrptot(i)
        tcrwal(i) = 0.
        mdtot (i) = 0.
        td (i) = 0.
        do 40 l=1,10
40        mndk(i,l) = 0.
C
C ----- not all solution -----
C
        else
C
            mcrna(i) = mcrna(i) + (qinr - qoutr + ssa(i))*delt

```

```

if(mcrna(i).lt.0.) mcrna(i)=0.
msol(i) = msol (i) + (qinc - qoutc)*delt
if(msol(i).lt.0.) msol(i)=0.
cd (i) = msol (i)/fmf(i)
delmrs = fmf (i) * (cd(i)-csat)
msol (i) = csat * fmf(i)
ccr = cr * acr(i)/v(i)
if(ccr.gt.1.) ccr = 1.

c
c ----- new crystallize -----
c
mcrwal(i) = mcrwal(i) + delmrs*ccr
mcrna (i) = mcrna (i) + delmrs*(1.-ccr)
c
if(csat.gt.cd(i)) then
    if(mcrwal(i).lt.0.) then
        mdtot(i) = mdtot(i) + mcrwal(i)
        mcrwal(i) = 0.
        tcrwal(i) = 0.
        if(mdtot(i).lt.0.) then
            mcrna(i) = mcrna(i) + mdtot(i)
            mdtot(i) = 0.
        endif
    endif
c
    if(mcrna(i).lt.0.) then
        mdtot(i) = mdtot(i) + mcrna(i)
        mcrna(i) = 0.
        if(mdtot(i).lt.0.) then
            mcrwal(i) = mcrwal(i) + mdtot(i)
            if(mcrwal(i).lt.0.) mcrwal(i)=0.
            mdtot(i) = 0.
        endif
    endif
endif
cd(i) = csat
tcrwal(i) = mcrwal(i)/rownao/acr(i)
c
do 50 l=1,10
50      mndk(i,l) = mcrna(i)*fcrd(l)
c
c ----- precipitation node -----
c
if(ad(i).gt.0.) then
c
    qn = mcrna(i)/rownao/(fmf(i)*svf(i))
    snao = rownao*svf(i)
c
    do 60 l=1,10
        sdk(l) = sdk(l) * 0.001
        wf0 = (snao - 1.)*g/18./svmu(i)*sdk(l)**2
        wf0 = (snao - 1.)* 9.81 /18./svmu(i)*sdk(l)**2
        ref = wf0*sdk(l)/svmu(i)
c
        if(ref.gt.5.) then
            cw = 11./sqrt(ref)
            wf0 = sqrt(4./3.*g/cw*(snao -1.)*sdk(l))
            wf0 = sqrt(4./3.* 9.81 /cw*(snao -1.)*sdk(l))
        endif
c
        wfd = wf0*(1.-sdk(l)/d(i))
        *          *(1.- sk*7.9***(sdk(l)/d(i))*qn)
c
        vp = veln(i)*sin(thtan(i)/57.2957795) - wfd
if(vp.lt.0.) then
    delmd = delt*abs(vp)/mlp(i)*vd(i)/v(i)*mndk(i,1)

```

```

            delmdt = delmdt + delmd
        endif
        sdk(l) = sdk(l) * 1000.
60    continue
c
            mdtot(i) = mdtot(i) + delmdt
            td(i)    = mdtot(i)/rownao/ad(i)
c
            mcrna(i) = mcrna(i) - delmdt
c
            do 70 l=1,10
70        mndk(i,l) = mcrna(i)*fcrd(l)
c
            else
c
c ----- not precipitation node -----
c
            mdtot(i) = 0.
            td(i)    = 0.
        endif
c
        endif
c
        crnad(i) = mcrna(i)/fmf(i)
c
        endif
c
100   continue
c
        do 200 i=1,n
            cc(i) = cd(i)
200    crna(i) = crnad(i)
c
        return
end

```

```

ccccc kcon
      function kcon( n1 , n2 )
c
c   search the link k that is equivalent to node i , j
c
c   common/input/ knput(400)
c   dimension     link(2,70)
c   equivalence  (knput(21),link(1,1))
c   1           ,(knput(1),k)
c
c   common /qstd/ iqstd(1100) , rqstd(5500) , tqstd(20)
c   common /link0/ link(2,55)
c
c   equivalence  (iqstd(3),k)
c
20 format ('0  kcon routine stop' )
do 10 k0 = 1 , k
c
if ( link(1,k0).ne.n1 ) go to 10
if ( link(2,k0).ne.n2 ) go to 10
c
kcon = k0
return
10 continue
write( 6,20)
stop
end

```

```
function finter( tp ,time,nps )
real*8    tp,finter,time
dimension  tp(2,1)
do 100 j = 1 , nps
i = j
if ( time - tp(1,j) ) 105 , 110 , 100
100 continue
go to 120
105 if( i.ne.1 ) go to 120
110 finter = tp(2,i)
return
120 i2 = i-1
finter = tp(2,i2)+(tp(2,i)-tp(2,i2))/(tp(1,i)-tp(1,i2))
1           *(time-tp(1,i2))
6 format(' finter routine message .  time = ' , 1pe12.5)
return
end
```

## 添付資料 E：パラメータサーベイ解析結果

表E-1 解析ケース一覧表

解析ケース名	初期カバーガス圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	初期ナトリウム温度 (℃)	反応点温度 (℃)
ケースA	1.5	350～500	1175
ケースB	2.0	350～500	1175
ケースC	1.5	350～500	1000
ケースD	1.5	623～773	1175

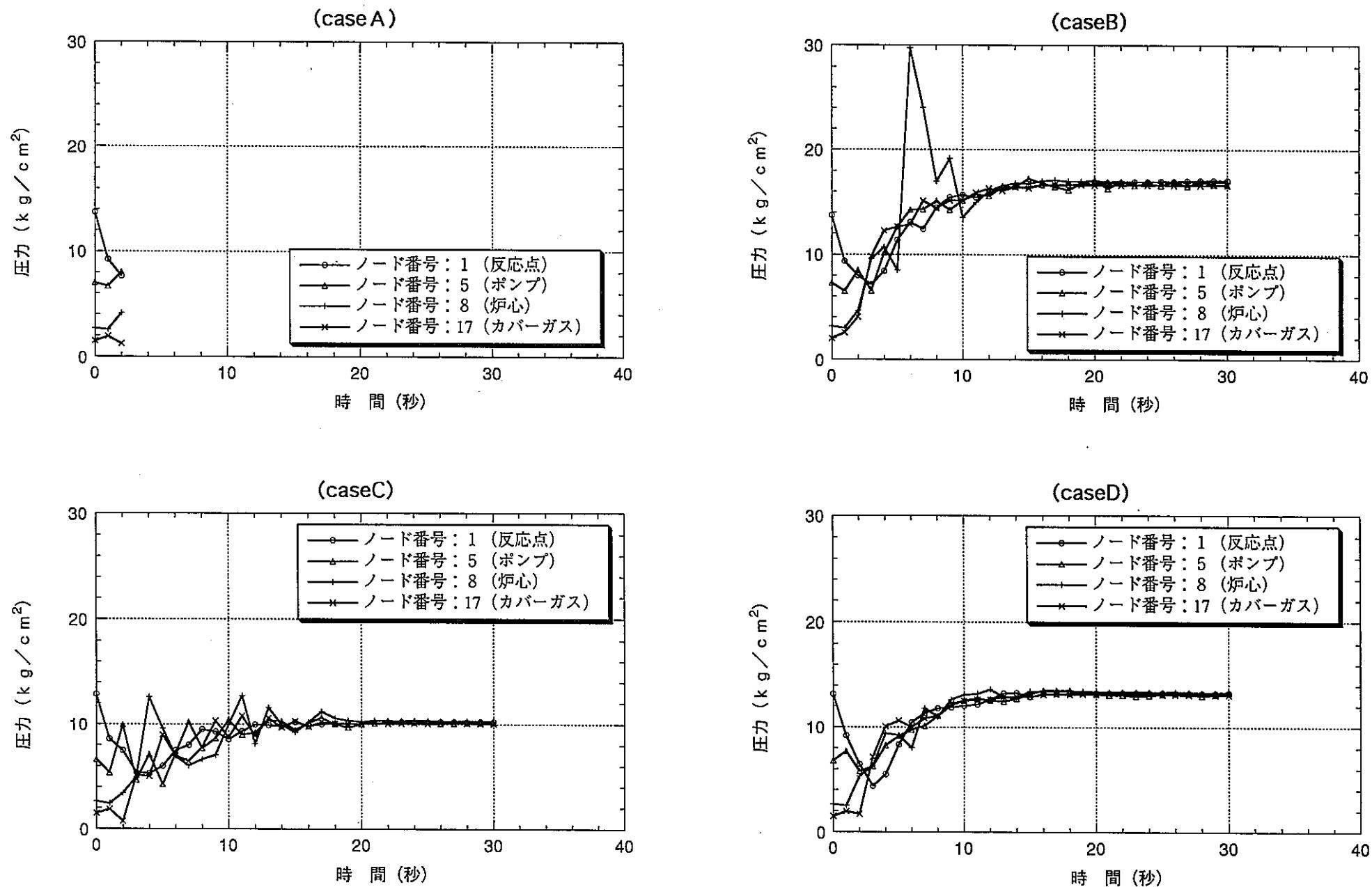


図 E-1 パラメータサーベイ解析結果（圧力変化）

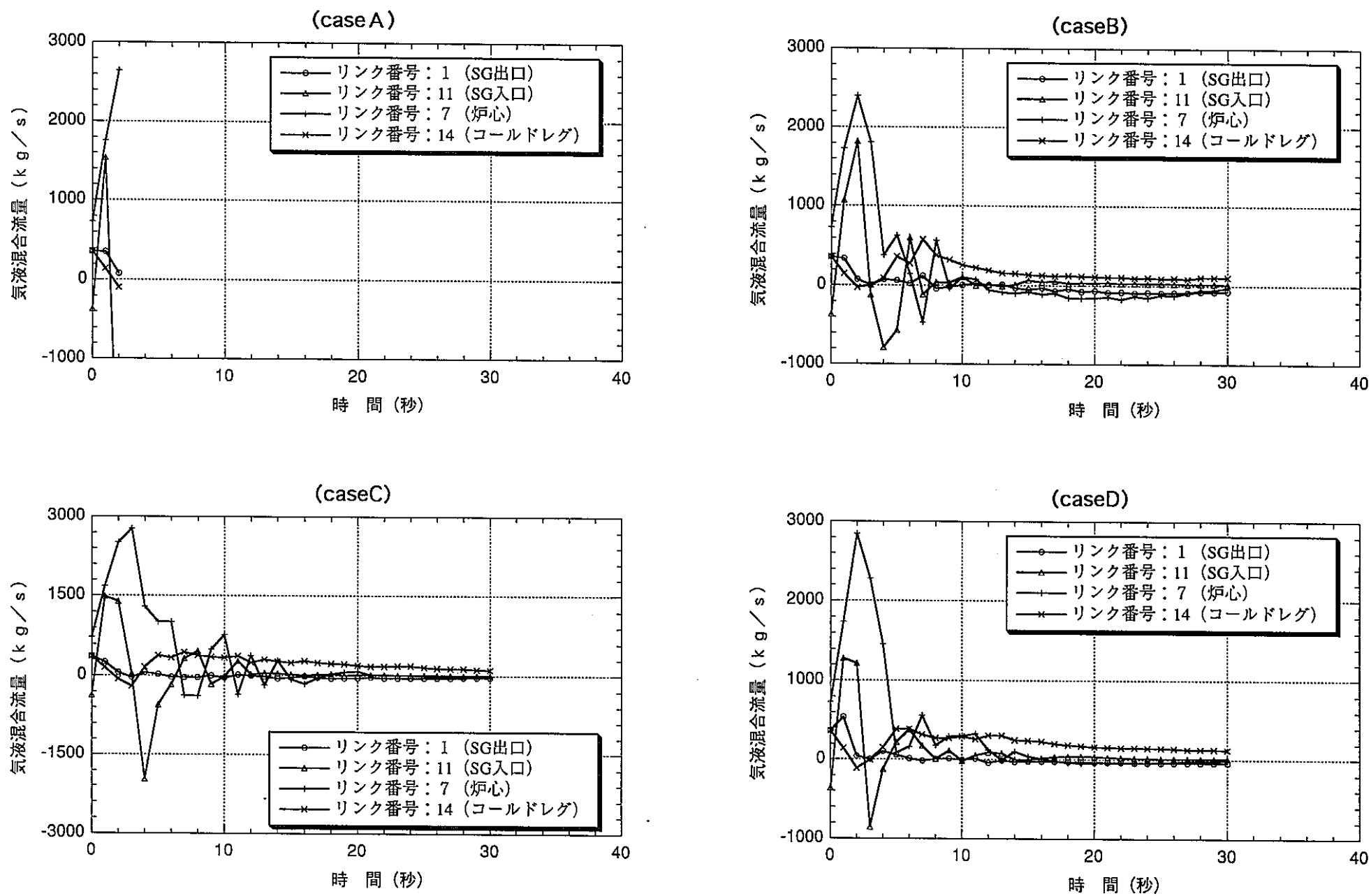
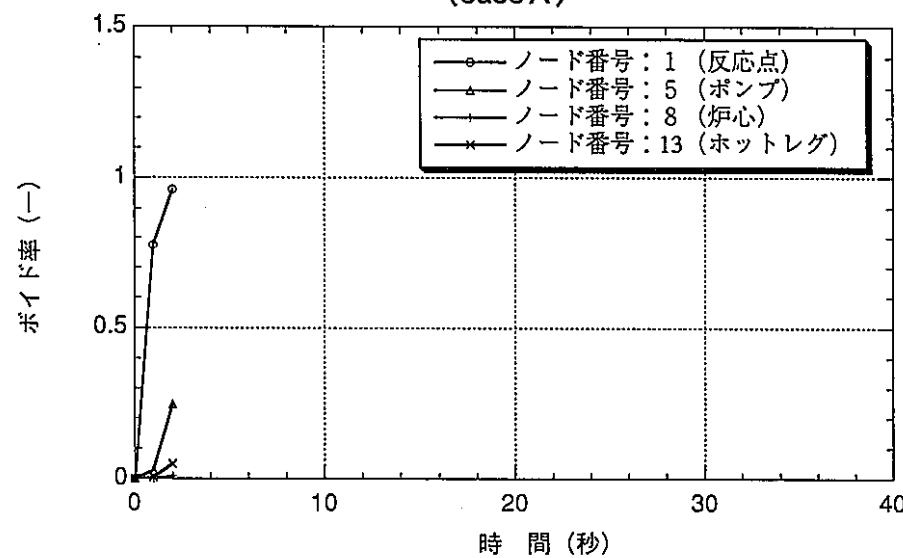
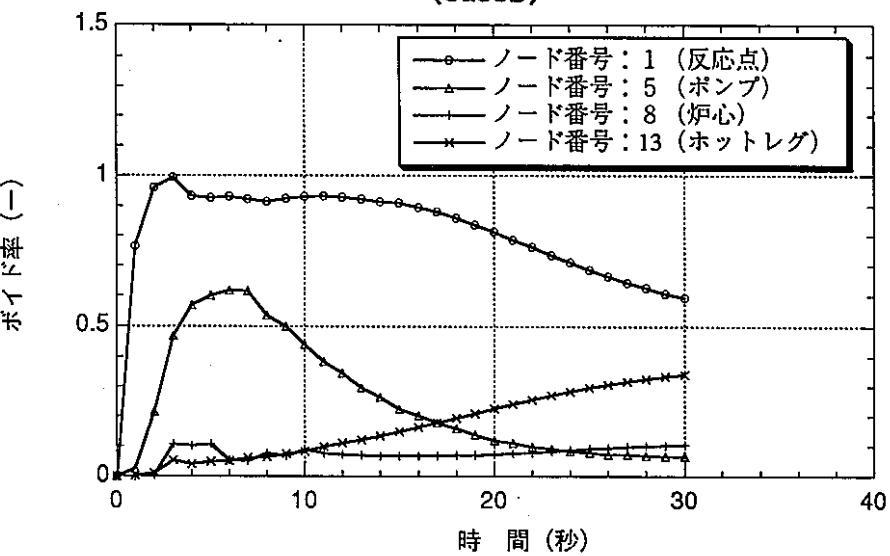


図 E-2 パラメータサーベイ解析結果（流量変化）

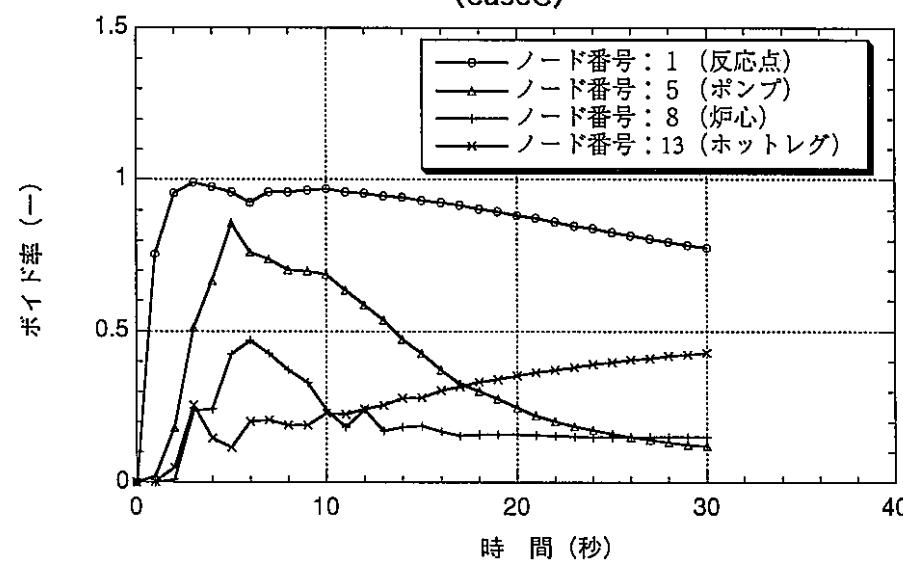
(case A)



(caseB)



(caseC)



(caseD)

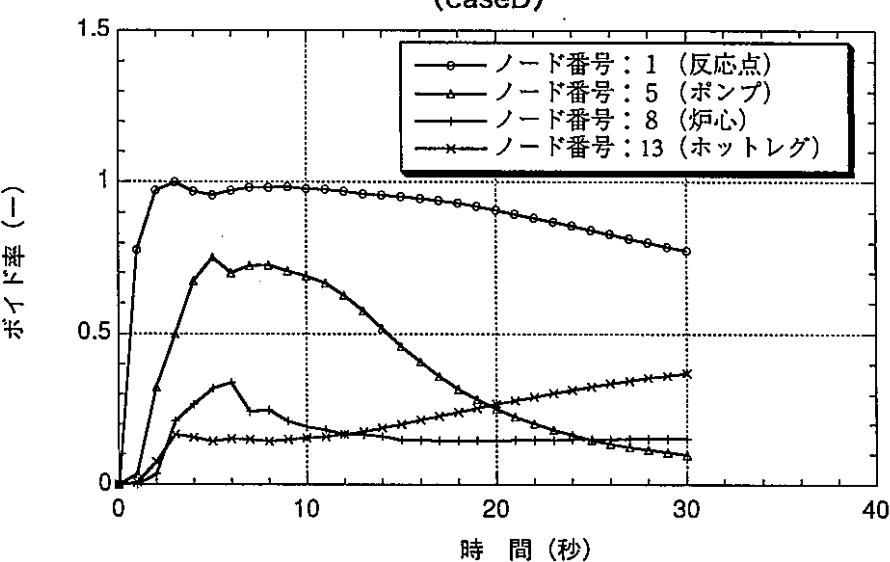
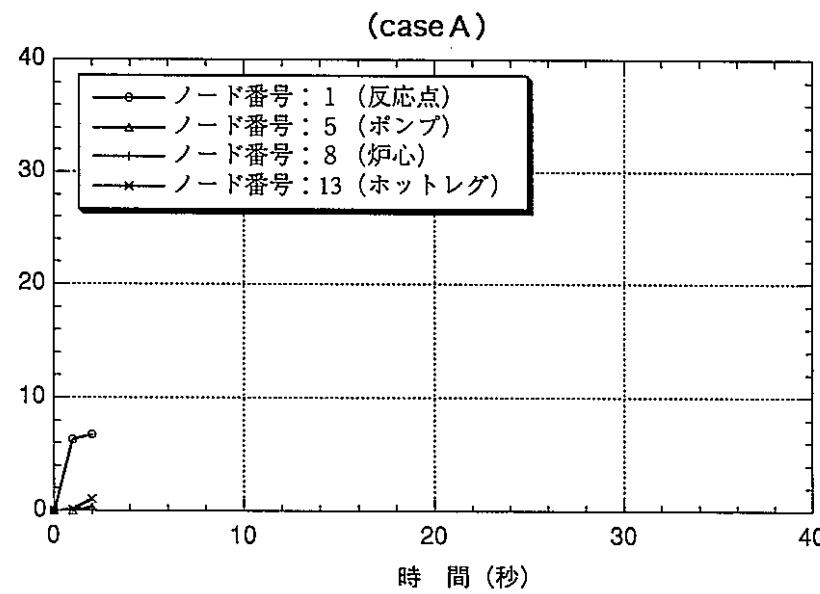
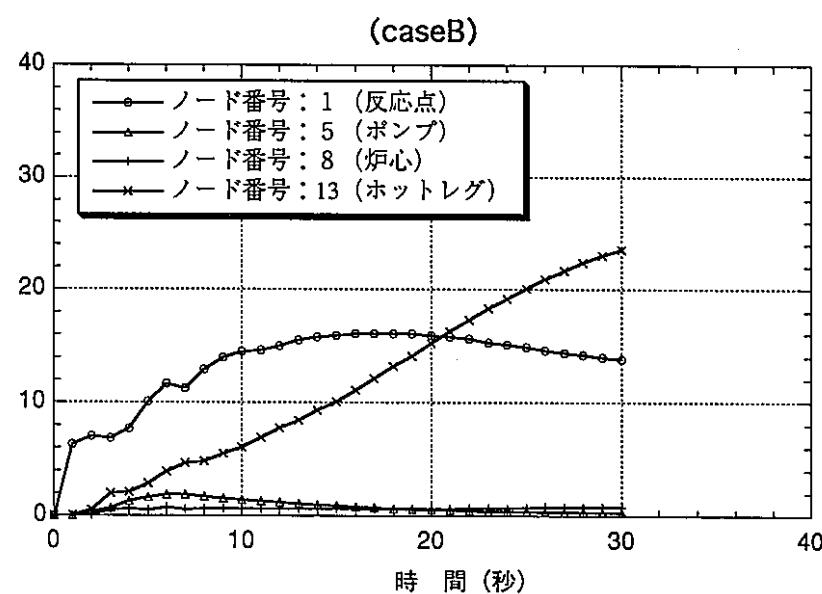


図 E-3 パラメータサーベイ解析結果（ボイド率変化）

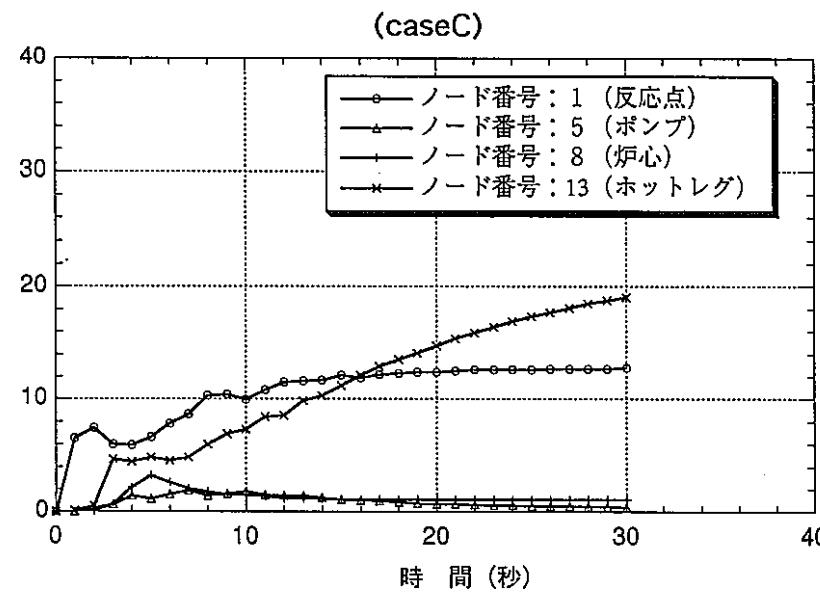
反応生成物総量 (kg)



反応生成物総量 (kg)



反応生成物総量 (kg)



反応生成物総量 (kg)

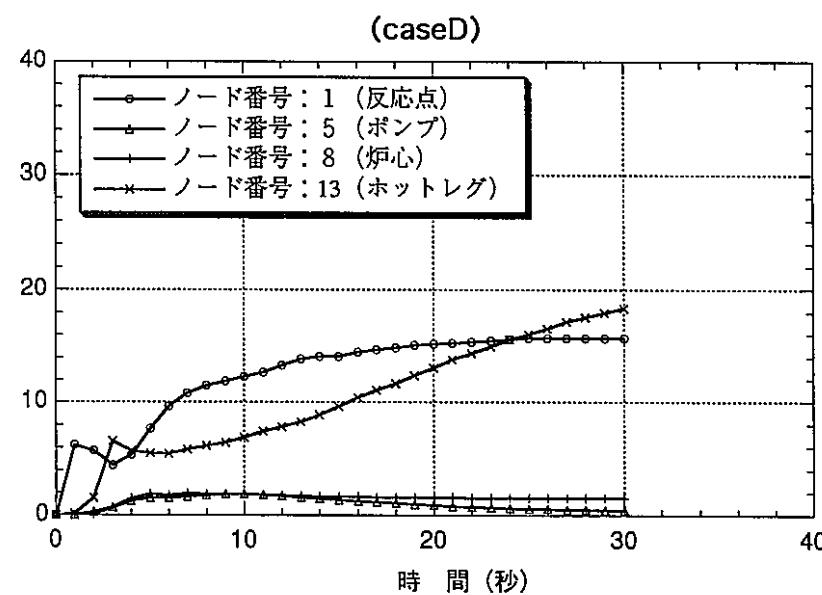


図 E-4 パラメータサーベイ解析結果（反応生成物総量）