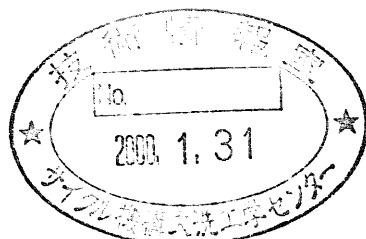




# 緊急時プラント過渡応答解析

(核燃料サイクル機構 契約業務報告書)



1999年3月

新型炉技術開発株式会社

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

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1194, Japan

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

1999年3月

## 緊急時プラント過渡応答解析

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

小山和也<sup>\*1</sup>、島川佳郎<sup>\*2</sup>、菱田正彦<sup>\*2</sup>

### 要　旨

動的信頼性評価プログラムDYANAの開発に資するため、プラント動特性解析コード Super-COPDを用いて、緊急時に想定される事故シーケンスの解析を行った。

本作業では、まず、緊急時特有の事故シーケンスを評価する上で必要になるガードベッセル、メンテナンス冷却系、オーバフロー系等の解析モデルを作成した。また、緊急時事故シーケンスを解析するための、プラント過渡応答解析の入力データを作成した。

これらのモデル及び入力データを用いて、以下に示す事故シーケンスのプラント過渡応答解析を約70ケース行い、その結果を整理して、ニューラルネットワーク函数式作成のための入力ファイルを作成した。

(1) PLOHS (Protected Loss of Heat Sink) シーケンス

(2) LORL (Loss of Reactor Level) - J シーケンス

(1次ナトリウムオーバフロー系ナトリウム汲み上げ失敗)

(3) LORL-G シーケンス (1次主循環ポンプ主モータトリップ失敗)

(4) LORL-I シーケンス (1次アルゴンガス系隔離失敗)

(5) 1次主冷却系室換気装置による冷却

---

本報告書は、新型炉技術開発株式会社が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した業務成果に関するものである。

機構担当部課室：大洗工学センター システム技術開発部 リスク評価技術開発グループ

\*1：新型炉技術開発株式会社 技術部

\*2：三菱重工業株式会社 原子力事業本部 原子力技術センター 原子炉・安全技術部

March, 1999

## **Analyses of Transient Plant Response under Emergency Situations**

**Kazuya Koyama\*, Yoshio Shimakawa\*\*, Masahiko Hishida\*\***

### **Abstract**

In order to support development of the dynamic reliability analysis program DYANA, analyses were made on the event sequences anticipated under emergency situations using the plant dynamics simulation computer code Super-COPD. The analytical models were developed for Super-COPD such as the guard vessel, the maintenance cooling system, the sodium overflow and makeup system, etc. in order to apply the code to the simulation of the emergency situations. The input data were prepared for the analyses. About 70 sequences were analyzed, which are categorized into the following events:

- (1) PLOHS ( Protected Loss of Heat Sink ),
- (2) LORL ( Loss of Reactor Level ) - J : failure of sodium makeup by the primary sodium overflow and makeup system,
- (3) LORL - G : failure of primary coolant pump trip,
- (4) LORL - I : failure of the argon cover gas isolation, and
- (5) heat removal only using the ventilation system of the primary cooling system rooms.

The results were integrated into an input file for preparing the functions for the neural network simulation.

---

Work performed by Advanced Reactor Technology, Co. Ltd., under a contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

\* Advanced Reactor Technology, Co. Ltd., Engineering Department

\*\* Mitsubishi Heavy Industry, Ltd., Reactor Core Engineering and Safety Engineering Department

## 目 次

要 旨 .....	i
Abstract .....	ii
表リスト .....	iv
図リスト .....	v
1. 概 要 .....	1-1
2. 緊急時事故シーケンスの解析モデルの作成 .....	2-1
2. 1 ガードベッセルモデルの組込み .....	2-1
2. 2 LORL時の炉上部プレナムモデルの見直し .....	2-2
2. 3 メンテナンス冷却系、オーバーフロー系モデルの構築と既存の全系モデルとの一体化 .....	2-3
2. 4 配管破損解析用流動計算ネットワークの作成 .....	2-3
2. 5 モデル上の注意事項 .....	2-4
3. 緊急時事故シーケンスプラント過渡応答解析の入力データの作成 .....	3-1
3. 1 解析モデル作成に伴うデータの作成 .....	3-1
3. 2 カバーガス系データの作成 .....	3-2
3. 3 放熱データの作成 .....	3-3
3. 4 ヒートバランスの設定 .....	3-3
3. 5 自然通風量データの設定 .....	3-4
4. プラント過渡応答解析の実施と結果の整理 .....	4. 1-1
4. 1 PLOHSシーケンス .....	4. 1-1
4. 2 LORL-Jシーケンス .....	4. 2-1
4. 3 LORL-Gシーケンス .....	4. 3-1
4. 4 LORL-Iシーケンス .....	4. 4-1
4. 5 1次主冷却系室換気装置による冷却 .....	4. 5-1
5. 参考文献 .....	5-1

## 表リスト

表 3－1	ガードベッセル内容積－液位の関係	3-5
表 4. 1－1	解析一覧表（PLOHSシーケンス）	4.1-5
表 4. 1－2	解析条件表（PLOHSシーケンス）	4.1-7
表 4. 2－1	解析一覧表（LORL-Jシーケンス）	4.2-3
表 4. 2－2	解析条件表（LORL-Jシーケンス）	4.2-4
表 4. 3－1	解析一覧表（LORL-Gシーケンス）	4.3-3
表 4. 3－2	解析条件表（LORL-Gシーケンス）	4.3-4
表 4. 4－1	解析一覧表（LORL-Iシーケンス）	4.4-2
表 4. 4－2	解析条件表（LORL-Iシーケンス）	4.4-3
表 4. 5－1	解析一覧表（1次主冷却系室換気装置による冷却）	4.5-6
表 4. 5－2	解析条件表（1次主冷却系室換気装置による冷却）	4.5-7
表 4. 5－3	使用した崩壊熱データ	4.5-9
表 4. 5－4	放熱量の推定値	4.5-10

## 図リスト

図 2-1	原子炉容器内核熱計算	2-5
図 2-2	1次冷却系流動計算（配管破損）	2-6
図 2-3	オーバフロー系熱計算	2-7
図 2-4	メンテナンス冷却系熱計算	2-8
図 2-5	PLOHSでの短時間解析（上：UP使用、下：MN使用）	2-9
図 2-6	PLOHSでの長時間解析（上：UP使用、下：MN使用）	2-10
図 3-1	A/C放散熱量の影響確認	3-6
図 3-2	A/C入口温度と自然通風量の関係	3-7
図 4. 1-1～3 8	解析結果（PLOHSシーケンス）	4.1-13
図 4. 2-1～1 2	解析結果（LORL-Jシーケンス）	4.2-7
図 4. 3-1～3	解析結果（LORL-Gシーケンス）	4.3-6
図 4. 4-1～6	解析結果（LORL-Iシーケンス）	4.4-5
図 4. 5-1～8	解析結果（1次主冷却系室換気装置による冷却）	4.5-11

## 1. 概 要

確率論的安全評価により緊急時運転手順の効果を評価して行くため、運転現場において実際に運転員が対峙している事象推移をダイナミックに取り扱うことが可能となる動的信頼性評価プログラムDYANAの開発整備が核燃料サイクル開発機構殿により進められており、現在、計算実行時間の更なる短縮化を目的として、多大な計算時間を必要とするプラント動特性計算部をニューラルネットワークにより生成される近似函数式に置き換える作業が進められている。ニューラルネットワークによる近似関数式作成のためには、基となる教師用データの整備が必要である。

本作業は、上記のプログラム開発に資するため、緊急時に想定される事故シーケンスについて、プラント過渡応答解析コードSuper-COPDに解析モデルを付加するとともに、同コードを用いた解析を行うものである。

主な作業内容は以下のとおりである。

### (1) 緊急時事故シーケンス解析モデルの作成

緊急時特有の事故シーケンスを評価する上で必要になる解析モデルを作成するため、以下の作業を行った。

- ① ガードベッセルモデルの組み込み
- ② LORL時の炉上部プレナムモデルの見直し
- ③ メンテナンス冷却系、オーバフロー系モデルの構築と既存の全系モデルとの一  
体化
- ④ 配管破損解析用流動計算ネットワークの作成

### (2) 緊急時事故シーケンスプラント過渡応答解析の入力データの作成

上記(1)で作成したモデルに関わる入力データを作成した。また、カバーガス系データ、放熱に係わるデータの見直しを行った。さらに、入力データ作成後に解析に必要なヒートバランスを設定した。

### (3) プラント過渡応答解析の実施と結果の整理

高速増殖原型炉「もんじゅ」を対象として、以下に示す事故シーケンスのプラント過渡応答解析を約70ケース実施し、その結果を整理した。また、ニューラルネットワーク函数式作成のための入力ファイルを作成した。

a. PLOHSシーケンス

- ① No Heat Sink 状態（空気冷却器からの放散熱を考慮）（Heat Sink喪失時刻をパラメータとする）
- ② 補助冷却系による自然循環除熱モードとなるシーケンス（自然循環移行時刻をパラメータとする）
- ③ メンテナンス冷却系が起動するシーケンス（起動時刻をパラメータとする）

b. LORL-Jシーケンス（1次ナトリウムオーバフロー系Na汲み上げ失敗）

- ① 1次冷却材漏えい事故の運用シーケンス（システム成功）
- ② 1次ナトリウムオーバフロー系によるNa汲み上げに失敗するシーケンス（失敗時刻をパラメータとする）
- ③ 上記②において、ナトリウム温度維持操作を行うシーケンス（操作時刻をパラメータとする）

c. LORL-Gシーケンス（1次主循環ポンプ主モータトリップ失敗）

- ① 1次冷却材漏えい時にポンプトリップに失敗するシーケンス
- ② 上記①において時間遅れでポンプトリップに成功するシーケンス（時間遅れをパラメータとする）

d. LORL-Iシーケンス（1次アルゴンガス系隔離失敗）

- ① 1次冷却材漏えい時に1次アルゴンガス系隔離に失敗するシーケンス
- ② 上記①において時間遅れで1次アルゴンガス系隔離に成功するシーケンス（時間遅れをパラメータとする）

e. 1次主冷却系室換気装置による冷却

原子炉停止後、200℃の等温状態で、通常の崩壊熱除去機能が全て失われた際に、1次主冷却系室換気装置による冷却が行われている場合の挙動を解析する。崩壊熱レベルをパラメータとする。1次主冷却系ボニーモータを運転する場合とそれが停止している場合について解析する。

## 2. 緊急時事故シーケンスの解析モデルの作成

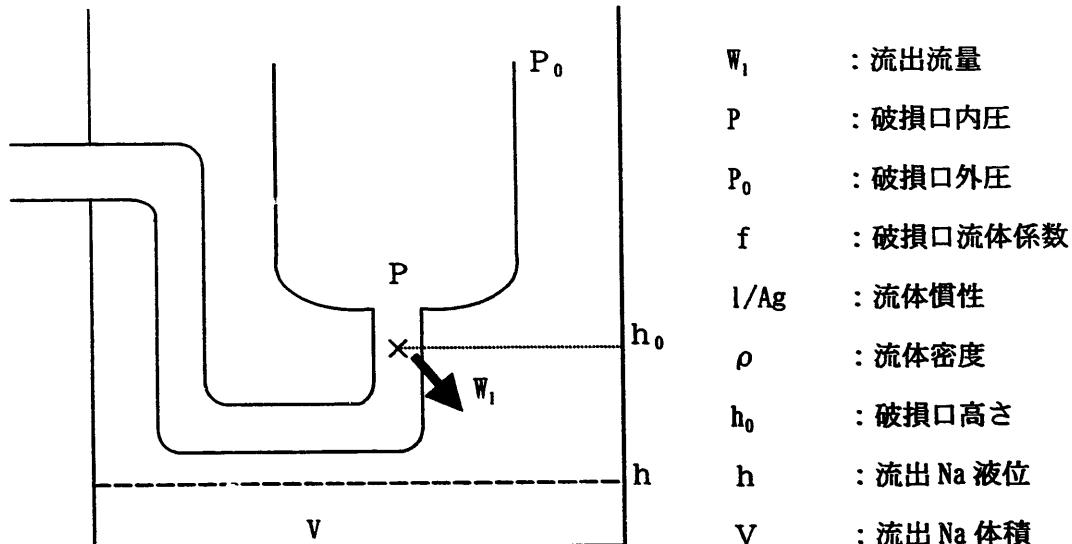
今回作成した解析モデル図（従来から使用している全系解析モデル図から変えたモデル図）を図2-1～4に示す。図2-1は炉上部プレナムを含む原子炉容器内の核熱計算、図2-2は1次系流動計算（配管破損時対応を含む）、図2-3はオーバフロー系、図2-4はメンテナンス冷却系の各モデル図である。

オーバフロー系及びメンテナンス冷却系は、原子炉容器内の熱計算及び流動計算と接続されている。なお、オーバフロー系とメンテナンス冷却系の流量は、所定の流量が得られるものとして、流量をフィッティングで与えるモデルとしている。

以下、各モデル毎にSuper-COPDコードの改修に係る結果をまとめる。

### 2. 1 ガードベッセルモデルの組込み

#### (1) 基礎式及び解法



流出流量  $W_1$  は、以下のように求められる。

$$P - P_0 = f \cdot W_1^2 + (1/A_g)(dW_1/dt) + \rho(h - h_0) \quad \dots \dots \dots \quad ①$$

$$\rho \cdot V = \int W_1 dt \quad \dots \dots \dots \quad ②$$

$$h = f(V) \quad \dots \dots \dots \quad ③$$

①で求められる $W_1$ から、②で流出体積を求め、③で液位に変更する。液位 $h$ が破損口より低ければ、 $\rho(h - h_0)$ の項は考慮せず、破損口より高ければ考慮する。その結果を用いて、再度①式から流出量を求める。

なお、③式で流出量から液位を求める際のガードベッセル内容積と高さの関係は入力データとする。

#### (2) モデルの組み込み

上記(1)に記したモデルをモジュールFNに組み込んだ。これにより、破損口よりガードベッセル液位が高くなった場合、その高さに応じたヘッドが破損口にかかるため、流出流量が制限される解析が行えるようになった。

#### (3) その他

漏えいしガードベッセル内にたまるNaの温度変化は完全混合するものとして扱うが、シュリンクは考慮しない。

## 2. 2 LORL時の炉上部プレナムモデルの見直し

#### (1) 热計算モデル

図2-1に示すように、热計算モデルは従来のモジュールUPの使用を止め、モジュールMNを使用することとした。

すなわち、現状のモジュールUPのモデルは、

- ① 内筒溢流が逆流する際の热計算及び自然循環ヘッドの算出を適切に行えるようになるには、全面的なモジュールの見直しをしないと対応不可能であることがわかったこと。
- ② モデルの影響が現れるのは短時間（約1時間）であり、それ以上の時間に対する解析結果へは影響が小さいこと。

から、上記の対応としている。

図2-5にPLOHSでの9000秒までの解析結果を、図2-6に90000秒までの長時間の解析結果を示す。それぞれ、上段の図がモジュールUPを使用した結果であり、下段がモジュールMNを使用した結果である。

これらの結果から、約5000秒までは炉上部プレナムモデルの差が出ているが、それ以降は殆ど差がないことがわかる。したがって、短時間の解析において、原子炉容器出口ナトリウム温度を高め（安全側）に評価するためにはモジュールUPを使

用する必要があるが、長時間解析ではモジュールMNで特に問題ないことがわかる。

## (2) 流動計算モデル

図2-2に示すように、原子炉容器液位が内筒上端を下回った場合の原子炉容器の内筒内とアニュラス部の液面の挙動を模擬できるよう、液面に係わるネットワークを2液面体系に切り替えることができるモデルとする。

## 2. 3 メンテナンス冷却系、オーバーフロー系モデルの構築と既存の全系モデルとの一体化

### (1) 解析モデル

オーバーフロー系の解析モデルを図2-3に、メンテナンス冷却系の解析モデルを図2-4に示す。

これらの解析モデルは、熱過渡設計時のデータを参考に作成したものである。

メンテナンス冷却系及びオーバーフロー系の熱計算のみを行い、ナトリウム流量、空気流量の変化は外部入力するモデルである。

### (2) 既存の全系モデルとの一体化

図2-1及び図2-2に示すように、メンテナンス冷却系及びオーバーフロー系は、原子炉容器内の核熱計算及び流動計算と接続されている。

すなわち、メンテナンス冷却系は原子炉容器下部プレナム及び炉心出口部と接続され、オーバーフロー系は原子炉容器上部プレナムと接続されている。

## 2. 4 配管破損解析用流動計算ネットワークの作成

### (1) 解析モデル

ネットワーク構成は図2-2に示すとおりである。すなわち、1ループの1次冷却系コールドレグ配管（原子炉容器入口部）に圧力ノードを設け、破損口を模擬するバルブを介してガードベッセル内に漏えいナトリウムが流出する。

なお、配管破損解析用として以下の改修を実施した。

- ① カバーガス封じ込め開始時刻を入力できるようにした。
- ② 従来は弁をつけてその開閉で破損を扱っていたが、種々の破損口での流れに対応できるようモジュールVVに破損口モデルを組んだ。ただし、流出流量はガードベッセル液位が高くなっても逆流しないものとしている。

## 2. 5 モデル上の注意事項

### (1) 破損口の抵抗係数

破損口での流動は、もんじゅ設置許可申請書添付書類十における1次冷却材漏えい事故での解析モデルに従い、以下の式で記述する。

$$\Delta P = C \cdot \frac{Q_B^2}{2 g \gamma A_B^2}$$

ここで、

$\Delta P$  : 圧力損失 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

C : 流出抵抗係数 (-)

$\gamma$  : 冷却材密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$Q_B$  : 流出流量 ( $\text{kg}/\text{s}$ )

g : 重力加速度 ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

$A_B$  : 破損口断面積 ( $\text{m}^2$ )

また、流出抵抗係数Cの値は、流路の変化、曲がり等の運動エネルギー損失分を無視して1.0とする。これにより、流出量を多めに評価することになり、保守的な評価となる。

### (2) 解析モデルの制約

S-COPDの原子炉容器での流動計算は、1次冷却系の流路が成立していることを前提としている。すなわち、LORLのケースで原子炉容器液位が低下し、出口ノズル上端を下回った場合、サイフォンブレイクとなり1次系の流路が成立しなくないうな場合は、S-COPDの対象外である。この場合、サイフォンブレイクの結果、原子炉がダルマ状態となり、原子炉内で自然循環が発生するが、こうした解析は多次元解析をしないと扱えない。

従って、このような状態となった時点で解析結果は意味を持たなくなるため、解析結果は使用できることになるので、解析結果図ではその時点でプロットを打ち切ることとする。

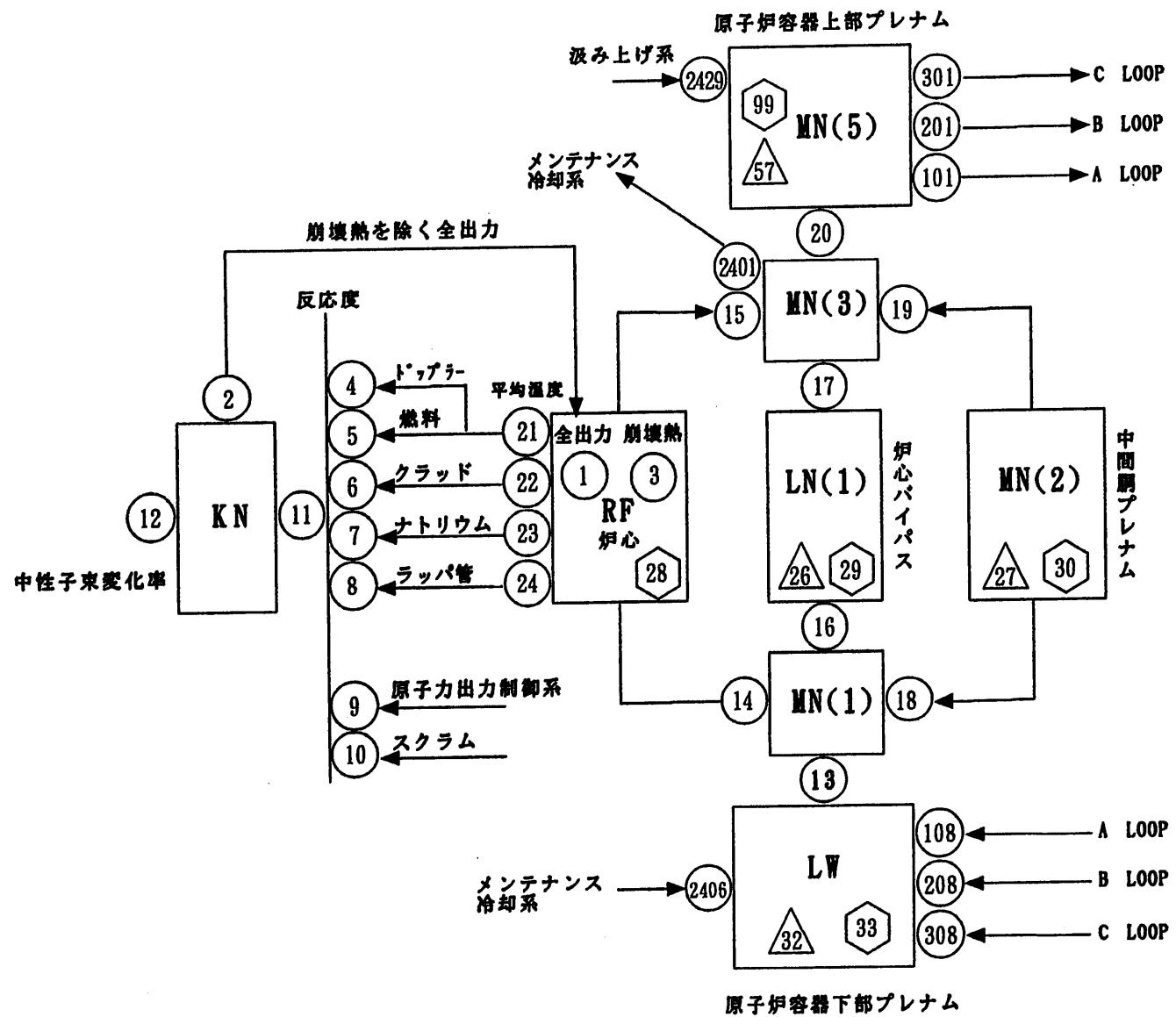
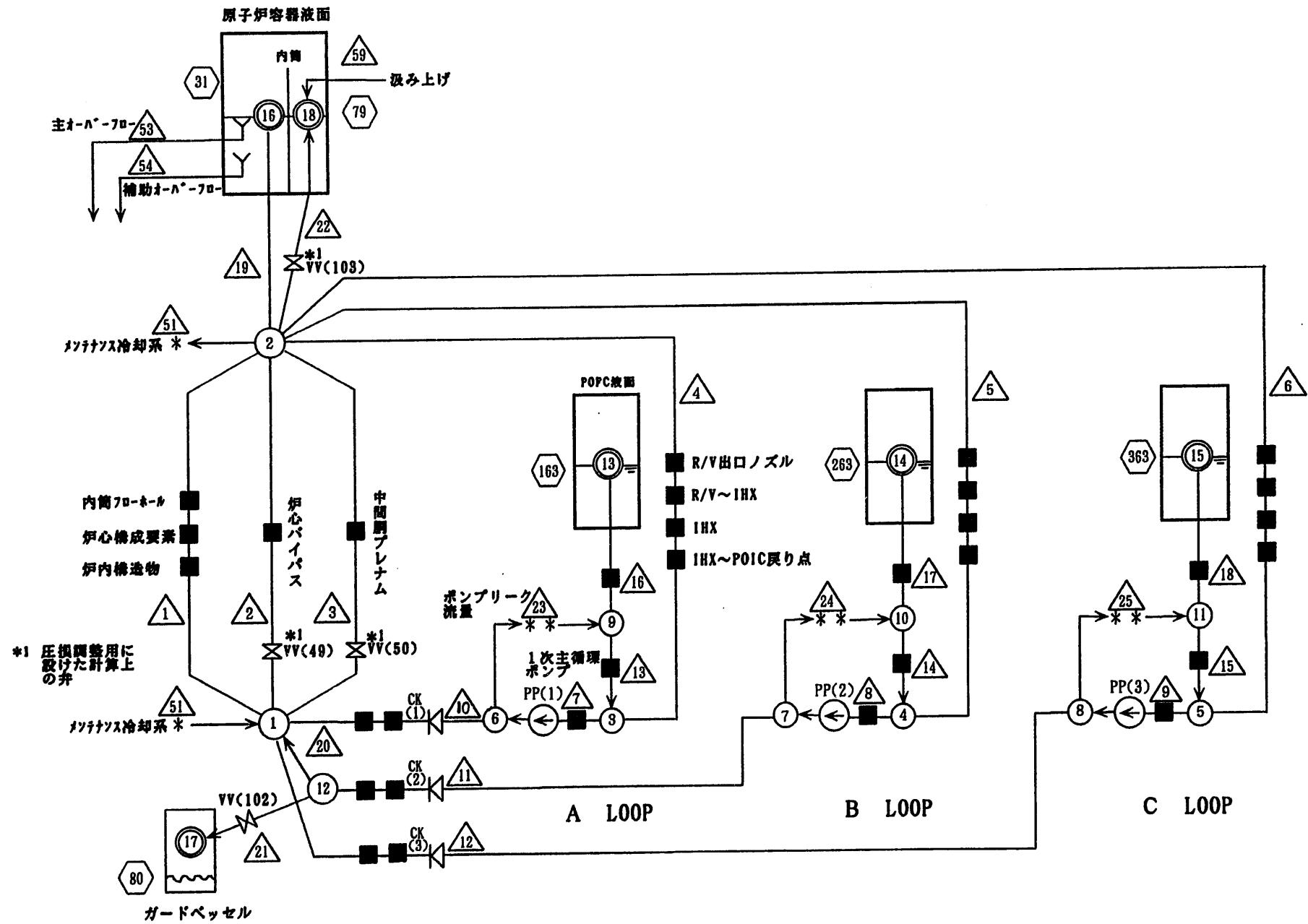


図 2-1 原子炉容器内核熱計算



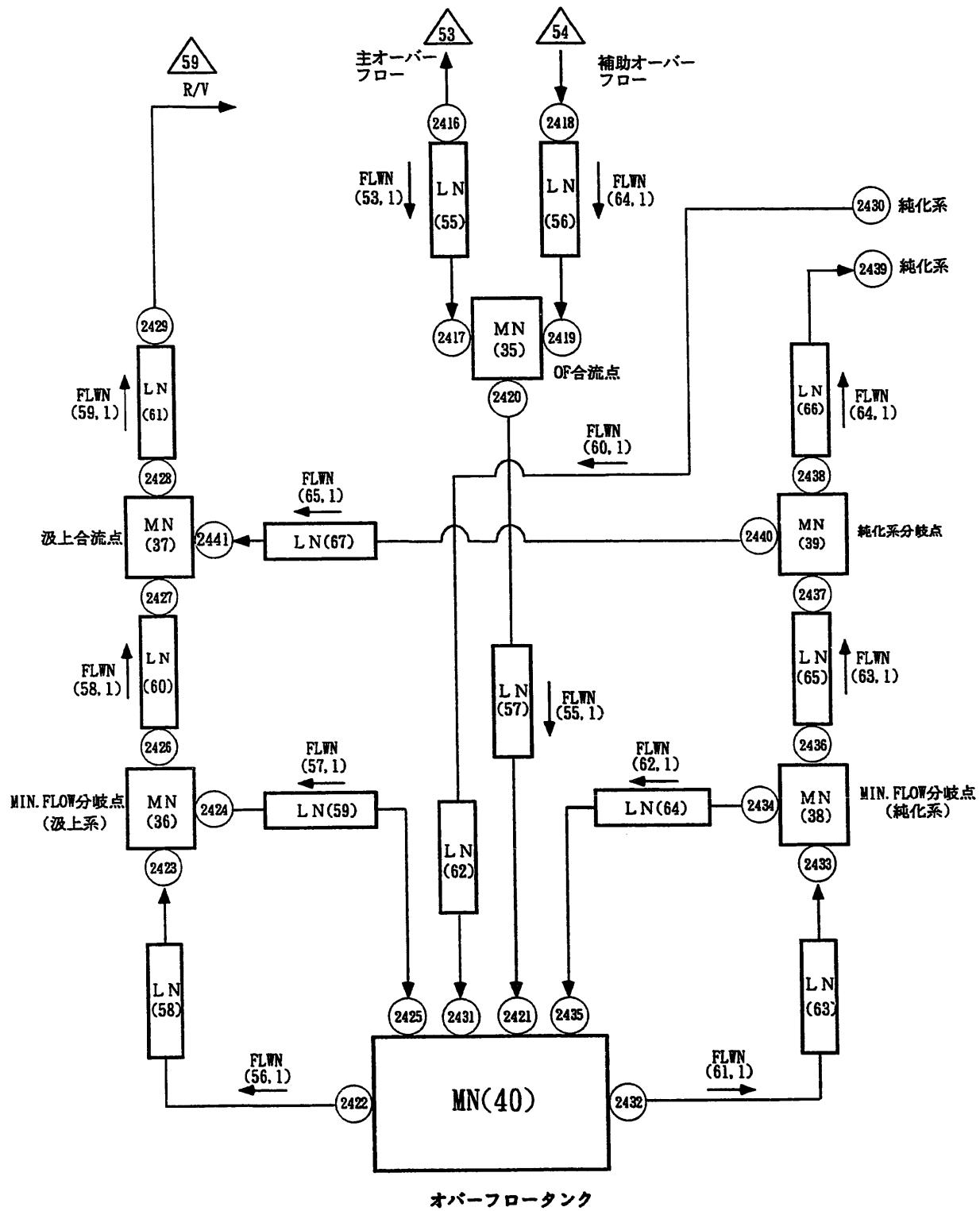


図 2-3 オーバーフロー系熱計算

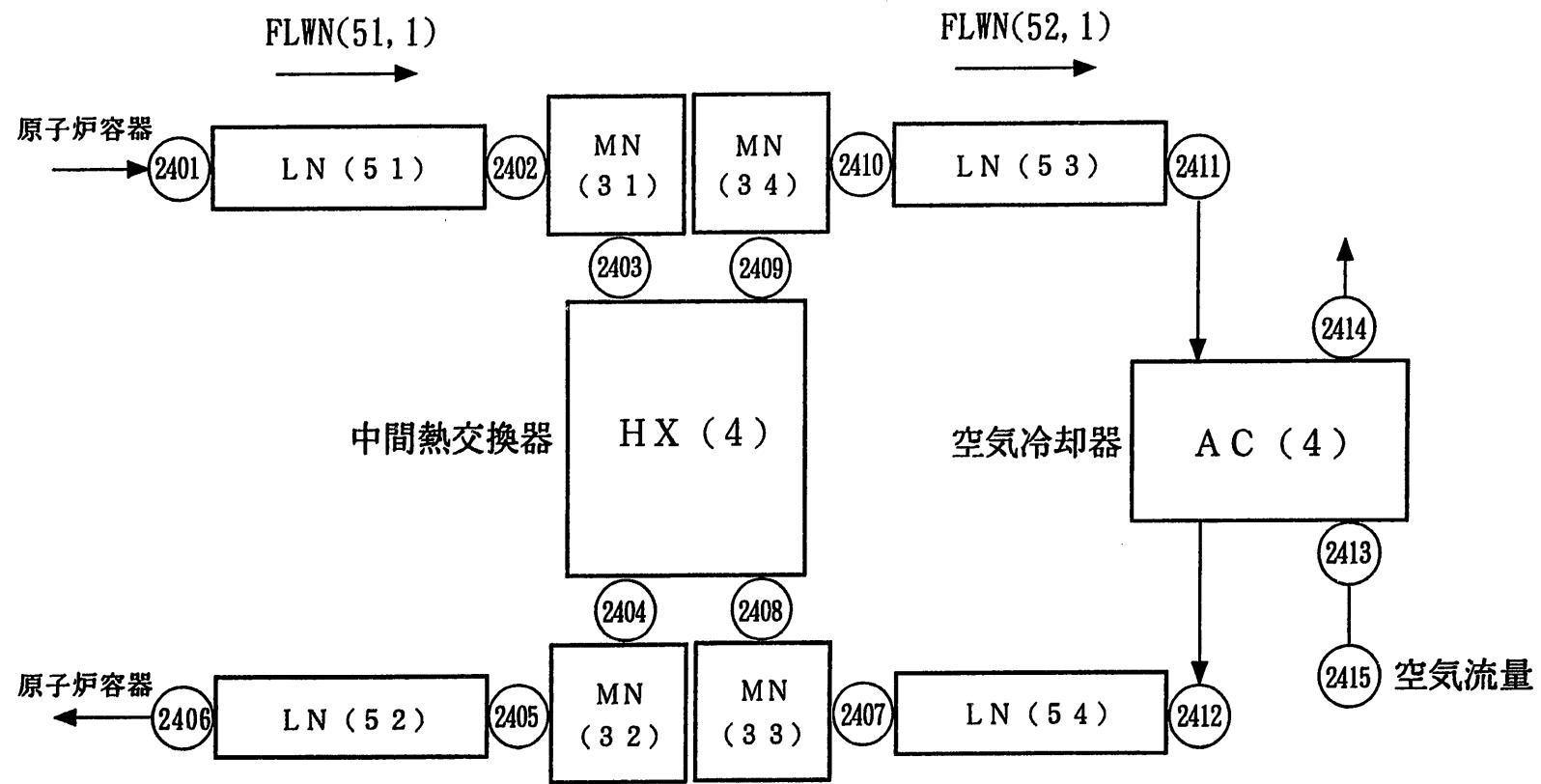


図 2-4 メンテナンス冷却系熱計算

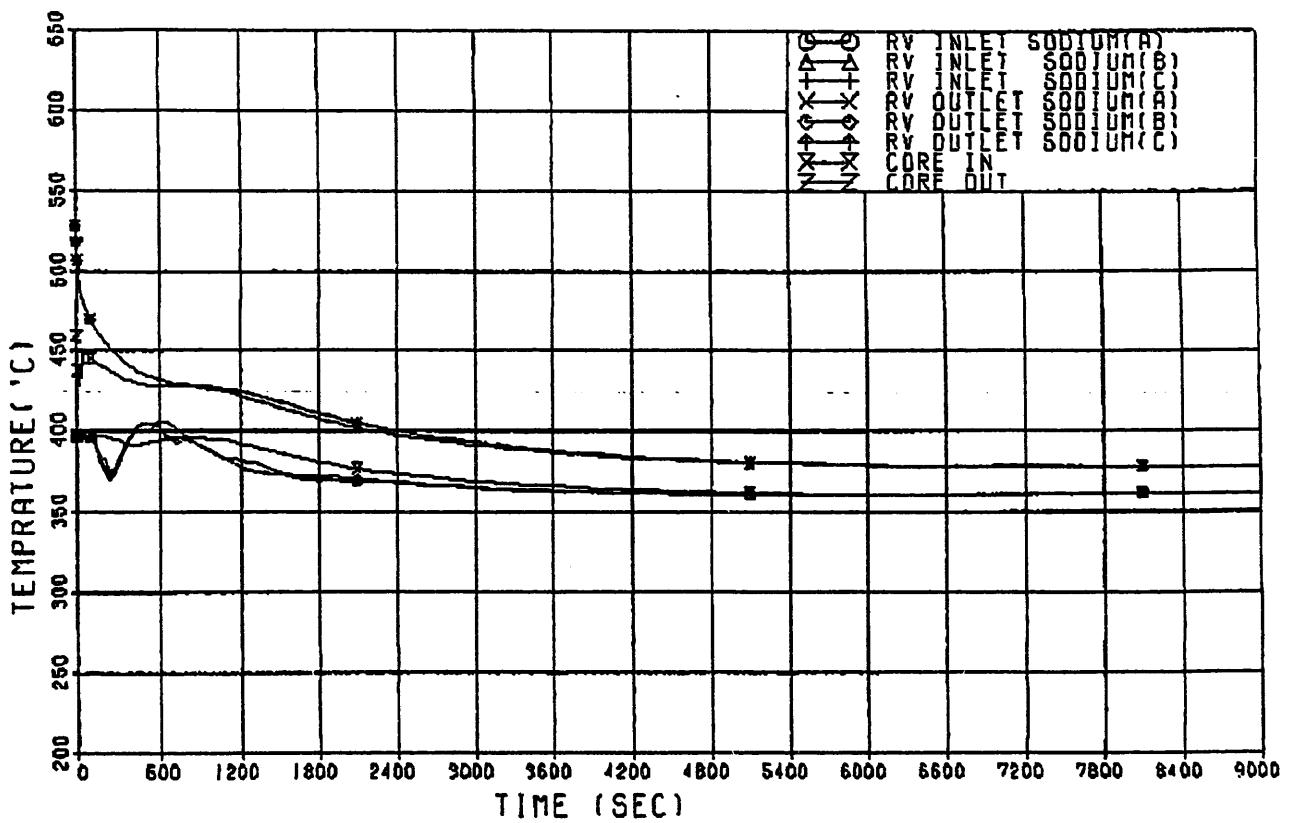
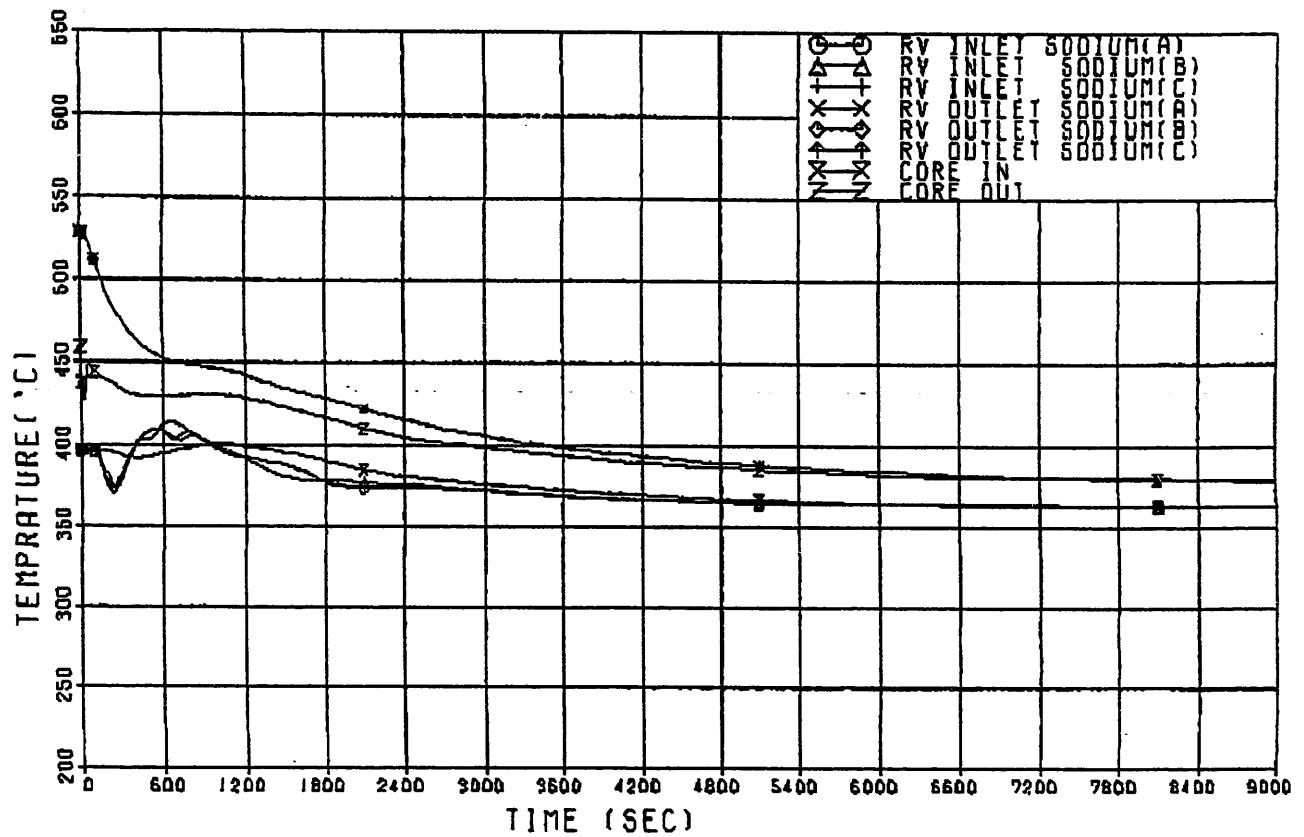


図2-5 PLOHSでの短時間解析（上：UP使用、下：MN使用）

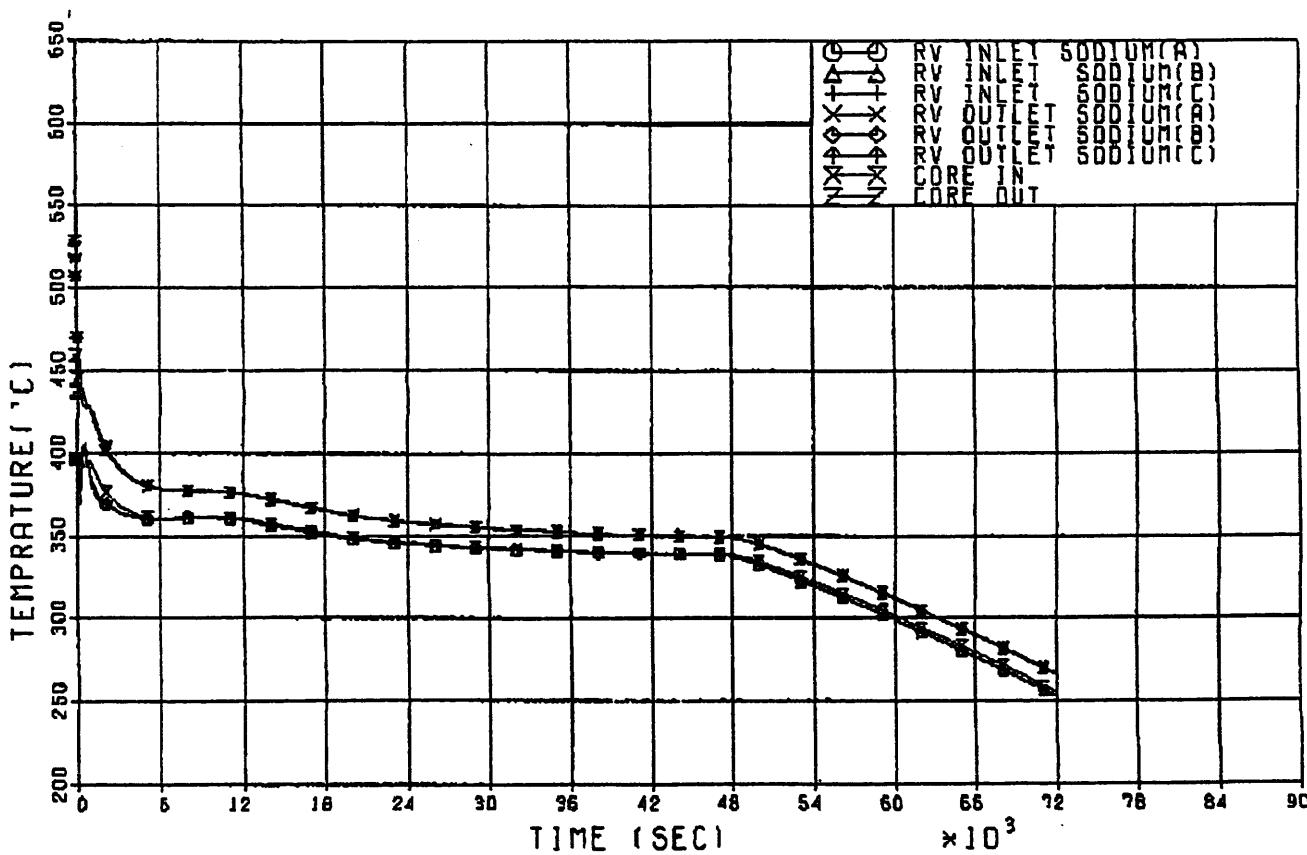
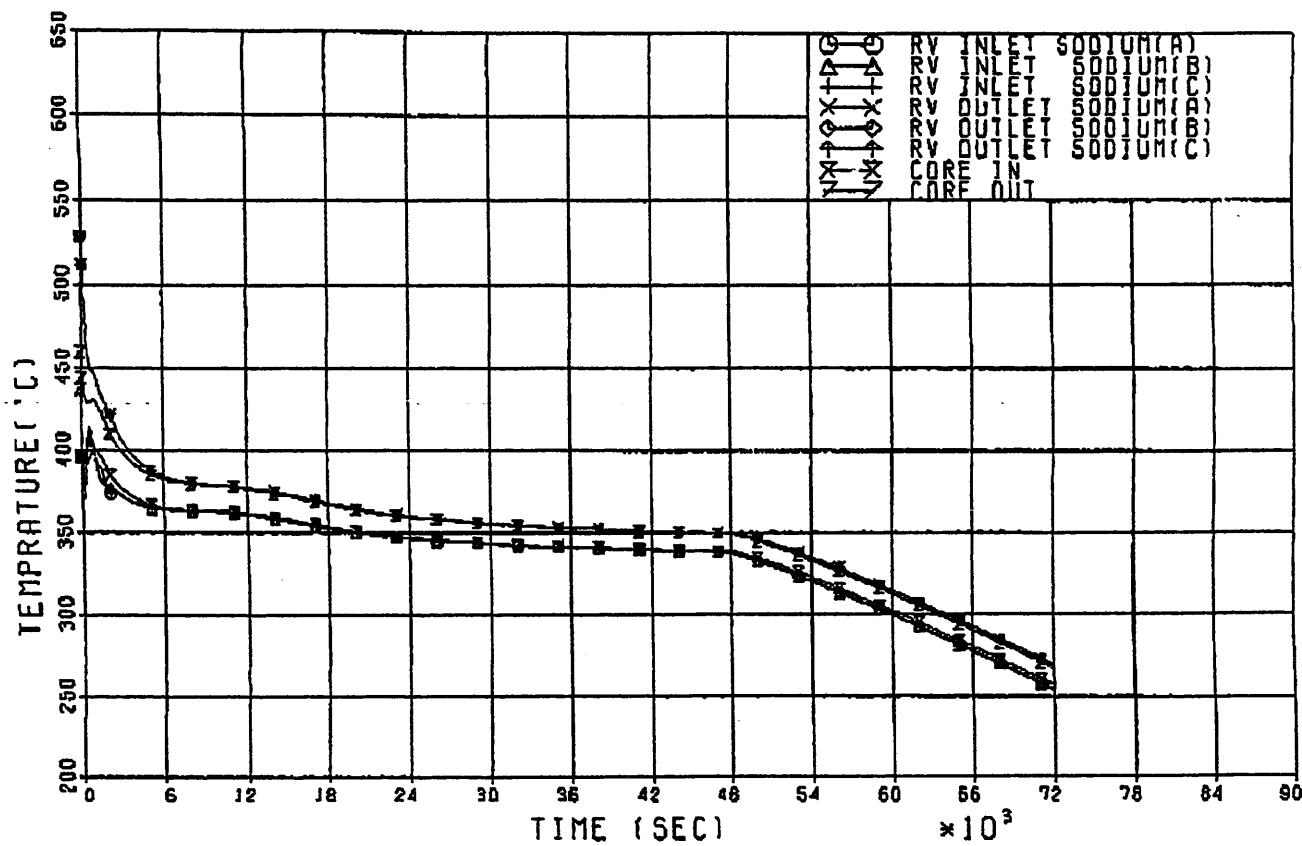


図2-6 PLOHSでの長時間解析（上：UP 使用、下：MN 使用）

### 3. 緊急時事故シーケンスプラント過渡応答解析の入力データの作成

本解析では、「もんじゅ」 S-S T予測解析に使用したデータをデータベースとして使用した。今回、新たに追加したデータは、下記のデータ集による。

- PNC ZJ2449 90-001(2)

#### 原型炉総合機能試験予測解析のための入力データの整備 (II)

別冊：データ集 (1/3)、(2/3)

### 3. 1 解析モデル作成に伴う入力データの作成

今回の作業でS-COPDに追加した解析モデルに係る入力データについて以下にまとめる。

#### (1) ガードベッセルデータ

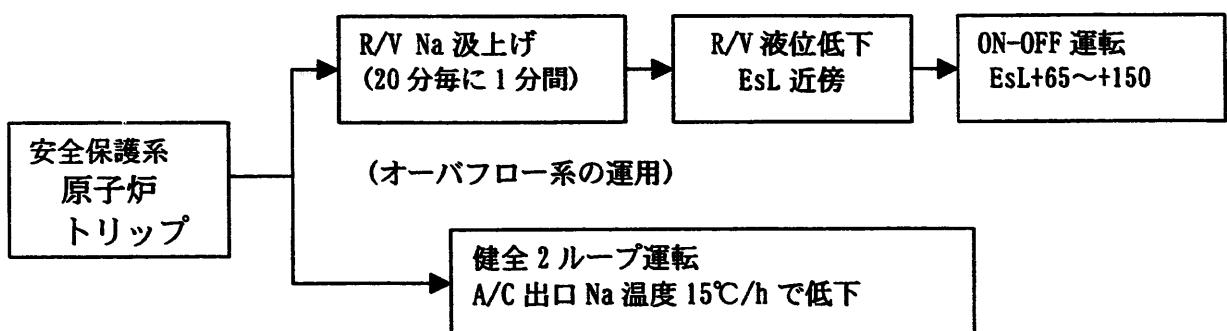
以下のデータを追加した。

- ガードベッセル内容積-液位の関係 (表3-1)
- 液位高設定値 (1.8 m<sup>3</sup>)

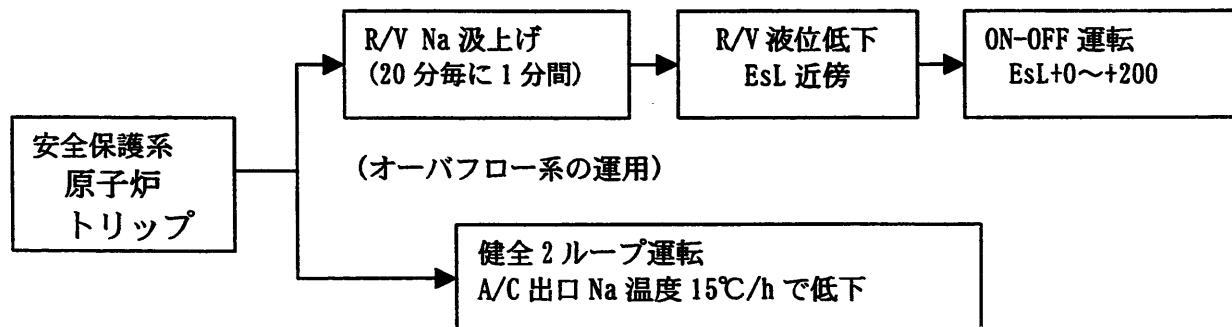
#### (2) オーバフロー系の運用

配管破損時のオーバーフロー系運用は、もんじゅ事故以降、見直しが進められており、昨年末の段階では運用案がまとめられているものの確定するまでには至っていない。今回の解析対象である1次系大漏えいの場合、オーバーフロー系の運用は原子炉自動トリップ後で以下のようないがある。

##### a. 従来の要領



b. 仕様変更案（平成10年12月21日時点）



ただし、微少～中漏えいではオーバフロー系及び空気冷却器出口ナトリウム温度とともに従来の運用とはかなり異なっており、かつ、検討課題の項目が残っている。

したがって、上記のように基本的に大漏えいでの運用は変わらないので特に問題はないが、オーバフロー系の ON-OFF 運転の設定値が異なっている。今回はこの新しい設定値が確定値ではないことを考慮して、従来の設定値で解析する。

### 3. 2 カバーガス系データの作成

以下のデータについて、使用したデータと根拠をまとめる。

#### (1) 封じ込め時の容積

封じ込め時には原子炉容器、ポンプ、P O F C 等の機器及びカバーガス系配管とヘッダの容積が必要となる。これらの機器のカバーガス空間容積は上記データ集には記載されていないので、以下の値を使用した。

空間容積 = 200 m<sup>3</sup> (出典：設置許可申請書解析条件データ)

〔原子炉容器カバーガス層体積及びこれに連通するオーバーフロータンクカバーガス層体積、格納容器内1次アルゴンガス体積等を加算した値に、更に余裕をみたもの〕

#### (3) カバーガス温度の扱い

カバーガス温度はナトリウム温度に影響されないとし、初期温度 529°C 一定で扱う。

### 3. 3 放熱データの作成

#### (1) データベース

放熱データは上記データ集に記載された値を使用することとし、特にSSTデータは使用しない。SSTでの放熱データは特にまとまっているという情報がないことによう。

#### (2) 空気冷却器からの放散熱データの扱い

ベン・ダンパ全閉時の空気冷却器からの放散熱については、JNC殿より提示されたSKSの測定データに基づき定めた。

今回提示されたデータは、空気冷却器入口ナトリウム温度の関数としての放散熱量であるが、この放散熱の温度に対する影響が小さいことを確認の上、一定の放散熱を与える熱伝達率として入力することとした。

使用データとしては、まず、提示された温度幅（325°C～463°C）の中での最大値、最小値に対し、その中で保守的な値を用いることとし、325°Cでの熱伝達率を算出し、用いることとした。従って、放散熱はNa温度依存ではあるが保守的な条件となっている。

念のため、温度が高くなった場合の放散熱の影響が小さいことを確認するため、提示された温度条件を外挿し、Na温度が550°Cとなった場合の放散熱を用いて影響評価を行った。その結果を図3-1に示す。図3-1に示すように、AC出口Na温度へは数度影響が出るが、IHXを介した原子炉入口温度へはほとんど影響が出ないことを確認した。

### 3. 4 ヒートバランスの設定

ヒートバランスに係るデータについて以下にまとめた。

#### (1) プラントヒートバランス

原子炉容器出口ナトリウム温度529°Cでのヒートバランス（fouled condition）を設定した。データは、上記データ集による。

#### (2) メンテナンス冷却系初期状態と起動条件

停止状態：実機運転条件データを参考として設定した。

1次系は余熱待機（0%流量）

2次系は待機運転（30%流量）

空気冷却器送風機は停止。

また、1次系、2次系共に系統温度は熱過渡設計時のデータを参考として180℃一定で扱う。

なお、起動後は、起動時間が不明であるが、流量は短時間で定格になると考えられるのでステップで定格流量になるものとし、除熱量7MWt（空気冷却器入口空気温度40℃）での運転とする。

### 3. 5 自然通風量データの設定

PLOHSのケースで、ACSが自然循環除熱となる条件があり、この場合の空気冷却器の自然通風量をA/C入口温度の関数で作成した。その結果を図3-1に示す。この図は、下記の図書から抜粋したものであり、その結果からA/C入口温度とし全通風量を一次関数で設定している。

出典：PNC ZJ2214 92-001(3)

もんじゅ自然循環試験計画の検討－解析結果集－

(100% 出力時自然循環測定 ステップ8より)

設定した一次関数は以下のとおり。

$$W_{air} = 0.0305T + 31.4 \quad (\text{t/h})$$

ここで、 $W_{air}$ は自然通風量、TはA/C入口温度である。

表3-1 ガードベッセル内容積-液位の関係

領域	レベル (m)	空間容積 (m <sup>3</sup> ) (ISI案内管部 容積)	断面積 (m <sup>2</sup> ) (ISI案内管部 断面積)	備考
1	E.L. 20.09 (焼板)	20.4	7.0	下部サポート を含む
2	E.L. 20.56 (入口ガードパイプ) (付根(下))	23.7	7.0	
3	E.L. 21.98 (入口ガードパイプ) (付根(上))	42.6	11.8	
4	E.L. 22.49 (入口ガードパイプ) (R止り部)	48.3	10.9	
5	E.L. 27.04 (出口ガードパイプ) (付根(下))	97.9	10.9	
6	E.L. 28.46 (出口ガードパイプ) (付根(上))	122.0 (1.8)	18.1 (3.3)	
7	E.L. 28.97 (出口ガードパイプ) (R止り部)	131.2 (3.7)	18.2 (4.1)	
8	E.L. 29.85 (Sst)	146.5 (6.6)	16.6 (2.5)	

表A-1R/V ~ G/V 空間容積

注記 1) 空間容積、断面積は ISI案内管部を含めた値である。

2) 仕切機構、細部テーパー及び付属品等の容積、断面積は考慮していない。

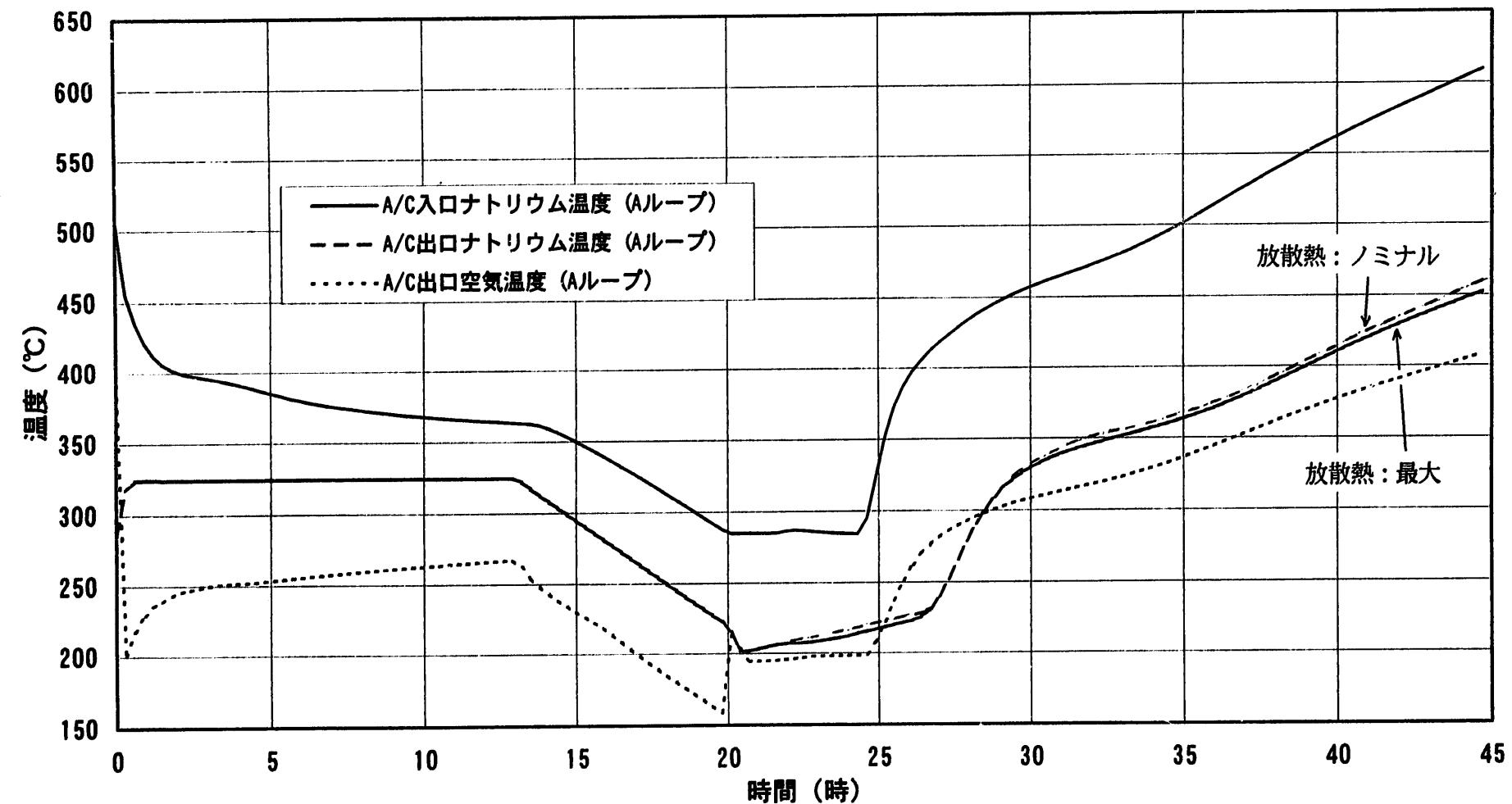


図3-1 A／C放散熱量の影響確認

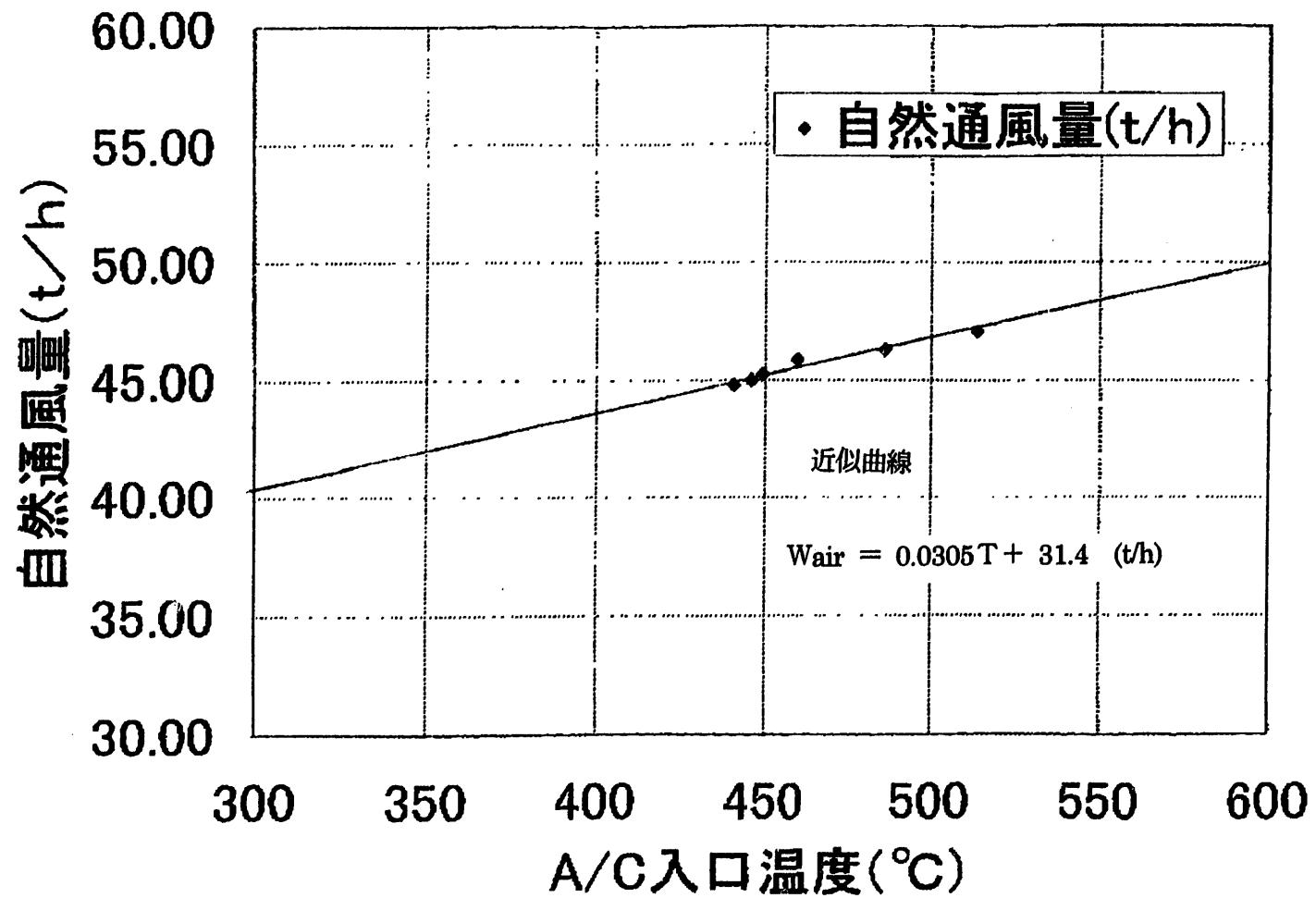


図3-2 A/C入口温度と自然通風量の関係

PNC ZJ2214 92-001(3)

もんじゅ自然循環試験計画の検討 一解析結果集一  
(100% 出力時自然循環測定 ステップ8より)

## 4. プラント過渡応答解析の実施と結果の整理

### 4. 1 PLOHSシーケンス

#### (1) 解析ケース

PLOHSシーケンスの解析一覧表を表4. 1-1に示す。解析一覧表には各ケースの主な解析条件及び解析結果（原子炉冷却材バウンダリ温度すなわち原子炉容器出口Na温度が650°Cを超える時間）を記している。また、主要な解析ケースについて解析条件の詳細を表4. 1-2にまとめた。

PLOHSシーケンスの解析では、運転ループ数を3ループ又は2ループとし、それぞれ、補助冷却設備（ACS）の喪失時間をパラメトリックに各6ケース変更している。ここで、運転ループが2ループの場合は、起因事象が2次系Na漏えい事象のように除熱ループとして期待できるループ数が2ループとなる場合を想定したものである。また、運転ループ数が3ループの場合について、ACS喪失後のACS回復（ACS自然循環除熱モード）又はメンテナンス冷却系（MCS）起動を想定し、ACSの回復時刻又はMCSの起動時刻をパラメトリックに各2ケース変更した解析を行っている。したがって、PLOHSシーケンスの解析ケース数は、ベースケースを含め38ケースである。

なお、各ケースのケース番号は、以下の要領で定めている。

(1) -□-○-△

(1) は、PLOHSシーケンスであることを示す。

- : 運転ループ数、ACS及びMCSの運転状態に関する分類を示す。
  - 1 … 3ループ運転、ACS喪失（ACS回復及びMCS起動なし）
  - 2 … 3ループ運転、ACS喪失後、ACS回復
  - 3 … 3ループ運転、ACS喪失後、MCS起動
  - 4 … 2ループ運転、ACS喪失（ACS回復及びMCS起動なし）
- : ACS喪失時刻に関する分類を示す。
- △ : ACS回復時刻又はMCS起動時刻に関する分類を示す。

解析上の扱い方としては、ACS回復操作（ACS自然循環除熱モード）は、当該ループ（ここではBループ）のC弁を全開とし、ACSを自然通風状態にするものである。また、2ループ運転時停止ループ（本解析ではCループとした）の扱い方は、1次系についてはポンーモータ停止に伴う逆流での逆止弁動作での停止であり、2次系はポンーモータ停止で流量がなくなるのでそのまま放置することで扱う。従って、停止ループの内のNa熱容量は、系統の温度変化にはほとんど寄与しないものとみなすことができる。

なお、放散熱については、以下のように扱う。

- ① 「自然循環除熱回復」では、ACSの空気冷却器だけからの放散熱のみ考慮する。
- ② 「メンテナンス冷却系除熱」では、ACSの空気冷却器からの放散熱及びメンテナンス冷却系の空気冷却器からの除熱のみを考慮する。

## (2) 解析結果

各ケースの解析結果図（原子炉容器廻りナトリウム温度及びACS廻りナトリウム温度）を図4. 1-1～38に示す。また、ACS機能喪失時刻に対する原子炉冷却材バウンダリ温度の650℃超過時刻を図4. 1-39にまとめて示す。

原子炉スクラム後、ACSによる崩壊熱除去機能が失われると、原子炉容器入口ナトリウム温度が上昇し、さらに、原子炉容器出口ナトリウム温度が上昇する。その際、ACS喪失のタイミングが遅い（崩壊熱レベルが低い）ほど温度上昇が緩やかとなり、原子炉冷却材バウンダリ温度が650℃を超過するまでの時間余裕は長くなる。また、運転ループ数が多い（2ループ→3ループ）ほど時間余裕は長くなる。これは、ループ数が多い方が系統の有するNaインベントリが多く熱容量が大きいことに加え、放熱効果のあるACが1基多いことによる。その結果、図4. 1-39に示すように、原子炉スクラム直後にACSが喪失すると、時間余裕は約8時間（3ループ）あるいは約5時間（2ループ）であるが、原子炉スクラムの10時間後にACSが喪失すると、時間余裕は約22時間（3ループ）あるいは約15時間（2ループ）となる。なお、3ループ運転のケースでは、ACS喪失のタイミングが遅くなると、15°C/hでACS出口温度が降下するモードに入ってくるので、系統温度が低くなっている分、時間余裕が更に長くなっている。

ACS喪失後、ACS（Bループのみ）が自然循環モードで回復すると、Bループ

A Cでの除熱により自然循環力が発生し、A C Sでの除熱が可能となるだけでなく、I H Xを介してB ループ1次系の自然循環力も発生する。その結果、炉心流量が多くなり炉心温度が低下するため、炉心出口N a 温度も低下する。自然循環力の発生はA C S回復とほぼ同時であり、そのため炉心出口N a 温度もA C S回復とほぼ同時となる。炉心温度が低下してからR / V出口N a 温度が低下するためには、炉上部プレナムでの混合と温度計設置位置までの輸送遅れ時間があるため、約20分かかる。実際に運転員がR / V出口N a 温度の低下を確認できるためには、この時間に更に温度計ウエルの応答遅れ（時定数で約20秒）を考慮する必要がある。一方、A C S除熱に伴うR / V入口N a 温度の低下は2次系のA C出口から原子炉容器入口にいたるまでのN a 輸送遅れに起因する分により20分程度遅れる。原子炉容器出口が低下するには、更に、1時間程度必要となる。以上の特性から、A C S回復操作による原子炉冷却材バウンダリ温度の低下は20分に余裕をみて、30分程度での確認が可能と考えられる。

なお、A C S回復による過渡特性は、図 4.1-3(2/3)に示すように、回復操作と同時にA C S出口温度が一旦上昇するところがある。この応答は、A C S回復時点でのA C S出入り口温度差によるものであり、A C S回復に伴うC弁開により、A C入口側の高温のN a が入るためである。

また、B ループR / V入口N a 温度がA C S回復時に急に変化（低下）している。これは、A C S回復により2次N a 流量が1次N a 流量より多くなり除熱過大となり、I H X 1次側出口温度が2次側入口温度（すなわちA C出口N a 温度）にはりつくことになり、この結果、R / V入口N a 温度も急に低下することによる。

一方、A C S喪失後、M C Sが起動すると、原子炉容器内温度が低下し、原子炉容器出口ナトリウム温度が低下し始める。ケース(1)-3-①-Aの場合、M C S起動から原子炉容器出口ナトリウム温度低下開始までの時間遅れは10～20分程度である。この時間遅れはM C Sから原子炉容器出口に至るまでのナトリウムの輸送遅れに起因するものであるが、この結果から判断すると、M C S起動操作による原子炉冷却材バウンダリ温度の低下は20分程度で確認することが可能な見通しである。

なお、M C S起動の数時間後以降に、A ループの原子炉容器入口ナトリウム温度が変化（低下）しているが、これは、M C Sの起動により原子炉容器入口プレナム内の温度が急激に低下すると共に原子炉容器入口プレナムの圧力が上昇し、1次冷却系に

逆流を生じたことによるものである（B、Cループも同様）。

表4. 1-1(1/2) 解析一覧表 (PLOHSシーケンス)

PLOHS(1/2)		解析条件			解析結果	
解析ケース名	運転ループ数	ACS 喪失時刻(*1)	ACS 回復時刻(*2)	MCS 起動時刻(*2)	バウンダリ温度 ≥650°C (*2)	その他
(1)-1-基準	3ループ	-	-	-	-	-
(1)-1-①	3ループ	0.5 hr	-	-	11.3 hr	
(1)-2-①-A	3ループ	0.5 hr	10.3 hr	-	- hr	
(1)-2-①-B	3ループ	0.5 hr	10.8 hr	-	- hr	
(1)-3-①-A	3ループ	0.5 hr	-	10.3 hr	- hr	
(1)-3-①-B	3ループ	0.5 hr	-	10.8 hr	- hr	
(1)-1-②	3ループ	5 hr	-	-	18.1 hr	
(1)-2-②-A	3ループ	5 hr	17.1 hr	-	- hr	
(1)-2-②-B	3ループ	5 hr	17.6 hr	-	- hr	
(1)-3-②-A	3ループ	5 hr	-	17.1 hr	- hr	
(1)-3-②-B	3ループ	5 hr	-	17.6 hr	- hr	
(1)-1-③	3ループ	10 hr	-	-	22.1 hr	
(1)-2-③-A	3ループ	10 hr	21.1 hr	-	hr	
(1)-2-③-B	3ループ	10 hr	21.6 hr	-	hr	
(1)-3-③-A	3ループ	10 hr	-	21.1 hr	- hr	
(1)-3-③-B	3ループ	10 hr	-	21.6 hr	- hr	
(1)-1-④	3ループ	0 hr	-	-	8.0 hr	
(1)-2-④-A	3ループ	0 hr	7.0 hr	-	- hr	
(1)-2-④-B	3ループ	0 hr	7.5 hr	-	- hr	
(1)-3-④-A	3ループ	0 hr	-	7.0 hr	- hr	
(1)-3-④-B	3ループ	0 hr	-	7.5 hr	- hr	

(\*1)起因事象発生からの経過時間、(\*2)ACS喪失からの経過時間

表4. 1-1(2/2) 解析一覧表 (PLOHSシーケンス)

PLOHS(2/2)		解析条件				解析結果	
解析ケース名	運転ループ数	ACS 喪失時刻(*1)	ACS 回復時刻(*2)	MCS 起動時刻(*2)	バウンダリ温度 $\geq 650^{\circ}\text{C}$ (*2)	その他	
(1)-1-⑤	3ループ	15 hr	-	-	26. 1 hr		
(1)-2-⑤-A	3ループ	15 hr	25. 1 hr	-	- hr		
(1)-2-⑤-B	3ループ	15 hr	25. 6 hr	-	- hr		
(1)-3-⑤-A	3ループ	15 hr	-	25. 1 hr	- hr		
(1)-3-⑤-B	3ループ	15 hr	-	25. 6 hr	- hr		
(1)-1-⑥	3ループ	20 hr	-	-	36. 1 hr		
(1)-2-⑥-A	3ループ	20 hr	35. 1 hr	-	- hr		
(1)-2-⑥-B	3ループ	20 hr	35. 6 hr	-	- hr		
(1)-3-⑥-A	3ループ	20 hr	-	35. 1 hr	- hr		
(1)-3-⑥-B	3ループ	20 hr	-	35. 6 hr	- hr		
(1)-4-基準	2ループ	-	-	-	- hr		
(1)-4-①	2ループ	0 hr	-	-	5. 4 hr		
(1)-4-②	2ループ	5 hr	-	-	11. 9 hr		
(1)-4-③	2ループ	10 hr	-	-	15. 0 hr		
(1)-4-④	2ループ	2. 5 hr	-	-	9. 9 hr		
(1)-4-⑤	2ループ	15 hr	-	-	18. 1 hr		
(1)-4-⑥	2ループ	20 hr	-	-	20. 5 hr		

(\*1)起因事象発生からの経過時間、(\*2)ACS喪失からの経過時間

表 4.1-2(1/6) 解析条件表 (PLOHS シーケンス: (1)-1-基準)

ケースの概要		PLOHS ベースケース、3 ループ正常除熱						
トリップ条件		手動トリップ						
崩壊熱	ノミナル	シーリング	考慮せず	空調	停止	放熱	ACのみ	
系統・機器	ループ	時間で変更する条件						
1 次主ポンプ	A	トリップ						
	B	トリップ						
	C	トリップ						
1 次系 PM	A	起動、引継ぎ成功						
	B	起動、引継ぎ成功						
	C	起動、引継ぎ成功						
2 次主ポンプ	A	トリップ						
	B	トリップ						
	C	トリップ						
2 次系 PM	A	起動、引継ぎ成功						
	B	起動、引継ぎ成功						
	C	起動、引継ぎ成功						
A C. S	運転条件の概要		0 ~ 13 h : 325 °C一定 13 h 以後 : 15 °C/h で降下					
	C弁	A	ACS 起動で 235t/h 一定制御開始					
		B	ACS 起動で 235t/h 一定制御開始					
		C	ACS 起動で 235t/h 一定制御開始					
	D弁	A	ACS 起動時開度で動作停止					
		B	ACS 起動時開度で動作停止					
		C	ACS 起動時開度で動作停止					
	ベーン・ ダンパ	A	ACS 起動で制御開始					
		B	ACS 起動で制御開始					
		C	ACS 起動で制御開始					
メンテナンス冷却系		起動なし						
1 次オーバーフロー系		考慮せず						
カバーガス系隔離		考慮せず						
備考								

表 4.1-2(2/6) 解析条件表 (PLOHS シーケンス: (1)-1-⑩)

ケースの概要		PLOHS、⑩時間後3ループACS機能喪失 ACS停止と同時にPMトリップ、C弁閉とする。						
トリップ条件		手動トリップ						
崩壊熱	ノミナル	シャリンク	考慮せず	空調	停止	放熱	ACのみ	
系統・機器	ループ	時間で変更する条件						
1次主ポンプ	A	トリップ						
	B	トリップ						
	C	トリップ						
1次系PM	A	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。						
	B	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。						
	C	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。						
2次主ポンプ	A	トリップ						
	B	トリップ						
	C	トリップ						
2次系PM	A	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。						
	B	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。						
	C	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。						
ACS	運転条件の概要		0~○h : 325°C一定 ○h以降 : なりゆき					
	C弁	A	ACS起動で235t/h一定制御。ACS停止で全閉。					
		B	ACS起動で235t/h一定制御。ACS停止で全閉。					
		C	ACS起動で235t/h一定制御。ACS停止で全閉。					
	D弁	A	ACS起動時開度で動作停止					
		B	ACS起動時開度で動作停止					
		C	ACS起動時開度で動作停止					
	ペーン・ダンパ	A	ACS起動で制御。機能喪失で全閉。					
		B	ACS起動で制御。機能喪失で全閉。					
		C	ACS起動で制御。機能喪失で全閉。					
メンテナンス冷却系		起動なし						
1次オーバーフロー系		考慮せず						
カバーガス系隔離		考慮せず						
備考								

表 4.1-2(3/6) 解析条件表 (PLOHS シーケンス: (1) - 2 - N - N)

ケースの概要		PLOHS、N時間後3ループACS機能喪失 そのN時間後に、BループのACSが自然循環モードに復帰													
トリップ条件		手動トリップ													
崩壊熱	ノミナル	シャリンク	考慮せず	空調	停止	放熱	ACのみ								
系統・機器	ループ	時間で変更する条件													
1次主ポンプ	A	トリップ													
	B	トリップ													
	C	トリップ													
1次系PM	A	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。													
	B	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。													
	C	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。													
2次主ポンプ	A	トリップ													
	B	トリップ													
	C	トリップ													
2次系PM	A	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。													
	B	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。													
	C	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。													
ACS	運転条件の概要		0~N h : 325°C一定 N h以降 : なりゆき												
	C弁	A	ACS起動で235t/hに制御。停止で全閉。												
		B	ACS起動で235t/hに制御。停止で全閉。N時間後全開												
		C	ACS起動で235t/hに制御。停止で全閉。												
	D弁	A	ACS起動時開度で動作停止												
		B	ACS起動時開度で動作停止												
		C	ACS起動時開度で動作停止												
	ペーン・ダンパ	A	ACS起動で制御。機能喪失で全閉。												
		B	ACS起動で制御。機能喪失で全閉。N時間後全開。												
		C	ACS起動で制御。機能喪失で全閉。												
メンテナンス冷却系		起動なし													
1次オーバーフロー系		考慮せず													
カバーガス系隔離		考慮せず													
備考	ACS機能回復前にR/V出口Na温度が650°Cを超える場合は、ACS復帰条件を早くする。														

表 4.1-2(4/6) 解析条件表 (PLOHS シーケンス: (1) - 3 - N - N)

ケースの概要		PLOHS、N時間後3ループACS機能喪失 そのN時間後に、メンテナンス冷却系が起動													
トリップ条件		手動トリップ													
崩壊熱	ノミナル	シャリンク	考慮せず	空調	停止	放熱	ACのみ								
系統・機器	ループ	時間で変更する条件													
1次主ポンプ	A	トリップ													
	B	トリップ													
	C	トリップ													
1次系PM	A	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。													
	B	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。													
	C	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。													
2次主ポンプ	A	トリップ													
	B	トリップ													
	C	トリップ													
2次系PM	A	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。													
	B	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。													
	C	起動、引継ぎ成功。ACS停止でトリップ。													
ACS	運転条件の概要		0~N h : 325°C一定 N h以降 : なりゆき												
	C弁	A	ACS起動で235t/h一定制御。ACS停止で全閉。												
		B	ACS起動で235t/h一定制御。ACS停止で全閉。												
		C	ACS起動で235t/h一定制御。ACS停止で全閉。												
	D弁	A	ACS起動時開度で動作停止												
		B	ACS起動時開度で動作停止												
		C	ACS起動時開度で動作停止												
	ベーン・ダンバ	A	ACS起動で制御開始。機能喪失で全閉。												
		B	ACS起動で制御開始。機能喪失で全閉。												
		C	ACS起動で制御開始。機能喪失で全閉。												
メンテナンス冷却系		ACS機能喪失N時間後に起動。													
1次オーバーフロー系		考慮せず													
カバーガス系隔離		考慮せず													
備考	メンテナンス冷却系起動前にR/V出口Na温度が650°Cを超える場合は、メンテナンス冷却系起動条件を早くする。														

表 4.1-2(5/6) 解析条件表 (PLOHS シーケンス:(1)-4-基準)

ケースの概要		PLOHSベースケース、2ループ正常除熱、Cループ機能喪失													
トリップ条件		手動トリップ													
崩壊熱	ノミナル	シリンク	考慮せず	空調	停止	放熱	ACのみ								
系統・機器	ループ	時間で変更する条件													
1次主ポンプ	A	トリップ													
	B	トリップ													
	C	トリップ													
1次系PM	A	起動、引継ぎ成功													
	B	起動、引継ぎ成功													
	C	停止													
2次主ポンプ	A	トリップ													
	B	トリップ													
	C	トリップ													
2次系PM	A	起動、引継ぎ成功													
	B	起動、引継ぎ成功													
	C	停止													
ACS	運転条件の概要		0~13h: 325°C一定 13h以降: 15°C/hで降下												
	C弁	A	ACS起動で235t/h一定制御												
		B	ACS起動で235t/h一定制御												
		C	停止												
	D弁	A	ACS起動時開度で動作停止												
		B	ACS起動時開度で動作停止												
		C	ACS起動時開度で動作停止												
	ベーン・ダンパ	A	ACS起動で制御開始												
		B	ACS起動で制御開始												
		C	停止												
メンテナンス冷却系		起動なし													
1次オーバーフロー系		考慮せず													
カバーガス系隔離		考慮せず													
備考															

表 4.1-2(6/6) 解析条件表 (P L O H S シーケンス: (1) - 4 - ⑩)

ケースの概要		P L O H S、2 ループ正常除熱、C ループ機能喪失 正常ループも⑩時間後に機能喪失。						
トリップ条件		手動トリップ						
崩壊熱	ノミナル	シュリンク	考慮せず	空調	停止	放熱	A C のみ	
系統・機器	ループ	時間で変更する条件						
1 次主ポンプ	A	トリップ						
	B	トリップ						
	C	トリップ						
1 次系 P M	A	起動、引継ぎ成功。A C S 停止でトリップ。						
	B	起動、引継ぎ成功。A C S 停止でトリップ。						
	C	停止						
2 次主ポンプ	A	トリップ						
	B	トリップ						
	C	トリップ						
2 次系 P M	A	起動、引継ぎ成功。A C S 停止でトリップ。						
	B	起動、引継ぎ成功。A C S 停止でトリップ。						
	C	停止						
A C S	運転条件の概要		0 ~ ⑩ h : 3 2 5 °C 一定 ⑩ h 以降 : なりゆき					
	C弁	A	A C S 起動で 235t/h 一定制御。A C S 停止で全閉。					
		B	A C S 起動で 235t/h 一定制御。A C S 停止で全閉。					
		C	停止					
	D弁	A	A C S 起動時開度で動作停止					
		B	A C S 起動時開度で動作停止					
		C	A C S 起動時開度で動作停止					
	ベーン・ダンパ	A	A C S 起動で制御開始。A C S 機能喪失で全閉。					
		B	A C S 起動で制御開始。A C S 機能喪失で全閉。					
		C	停止					
メンテナンス冷却系		起動なし						
1 次オーバーフロー系		考慮せず						
カバーガス系隔離		考慮せず						
備考								

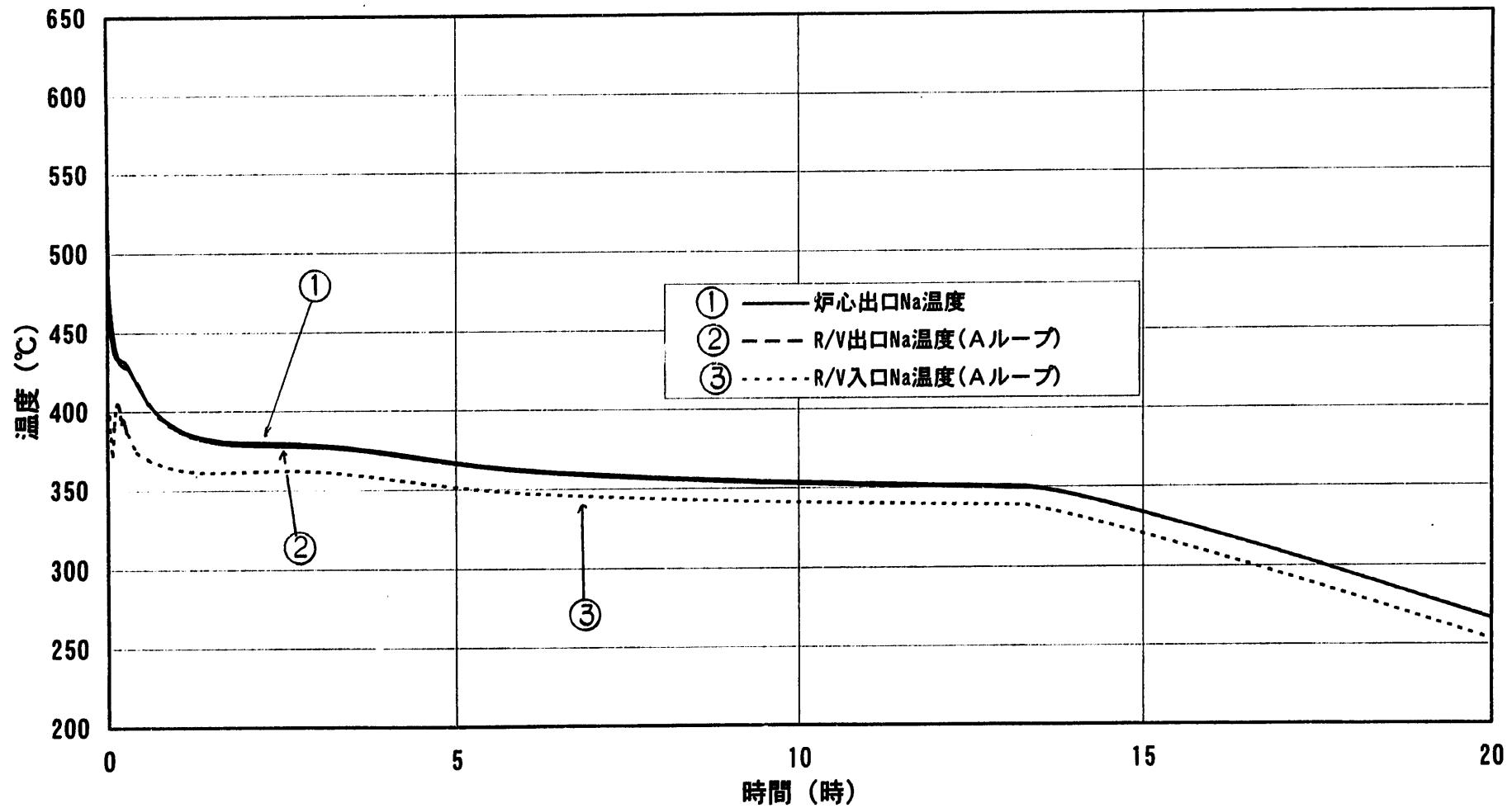


図 4.1-1(1/2) 解析結果 (P L O H S シーケンス :-(1)- 1 - 基準)

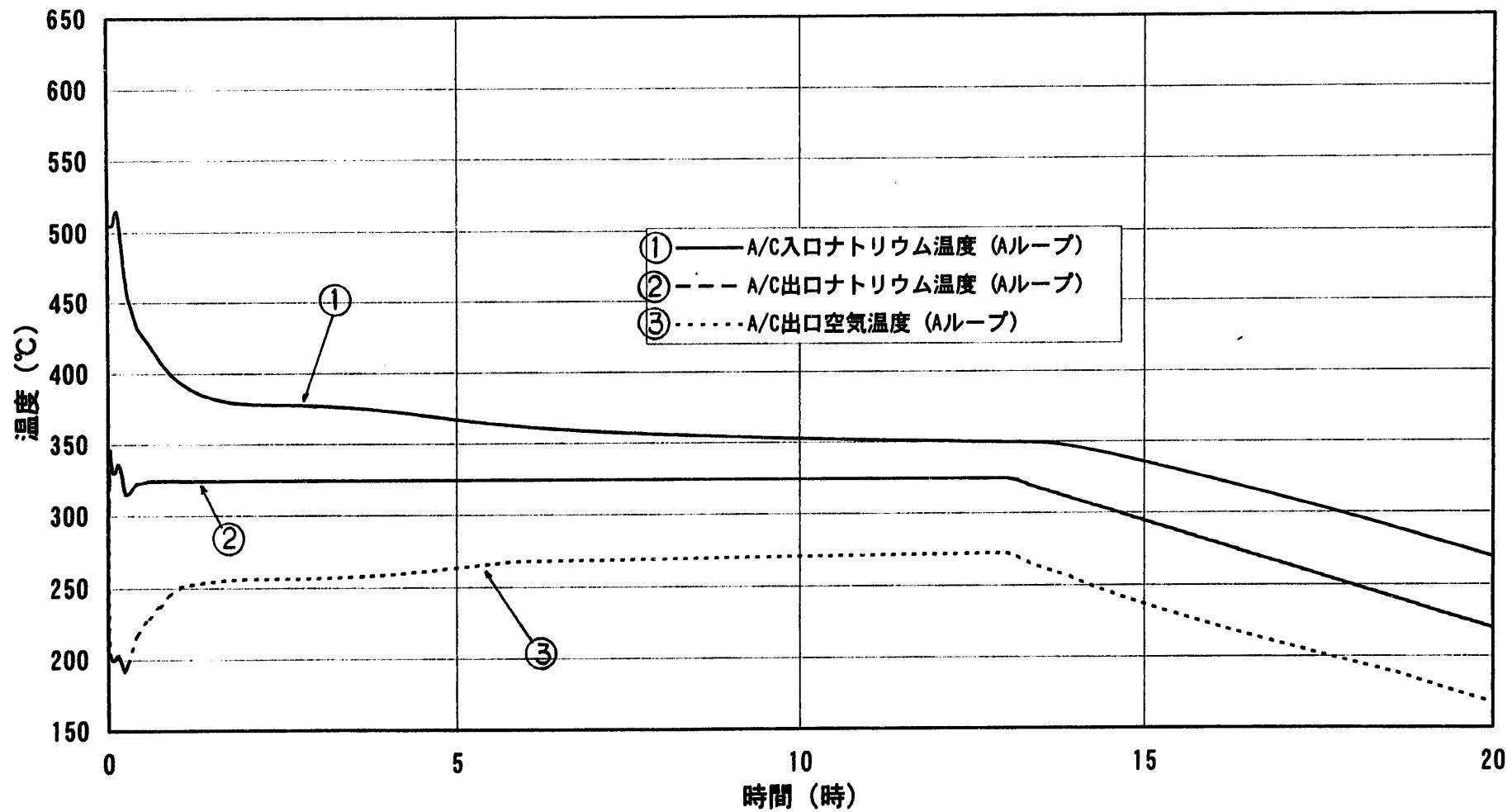


図 4.1-1(2/2) 解析結果 (P L O H S シーケンス : (1)-1-基準)

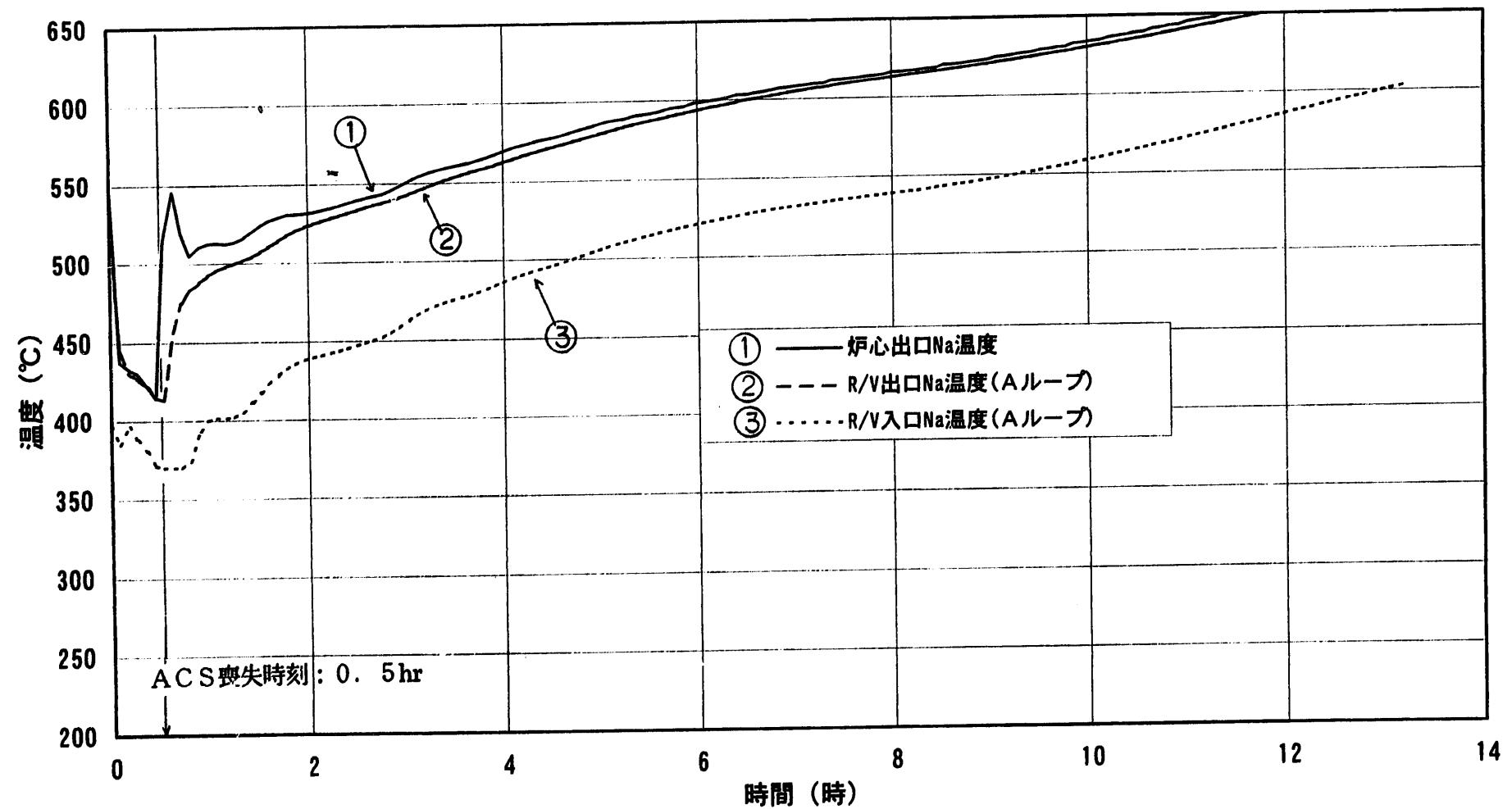


図 4.1-2(1/2) 解析結果 (P L O H S シーケンス: (1)-1-(1))

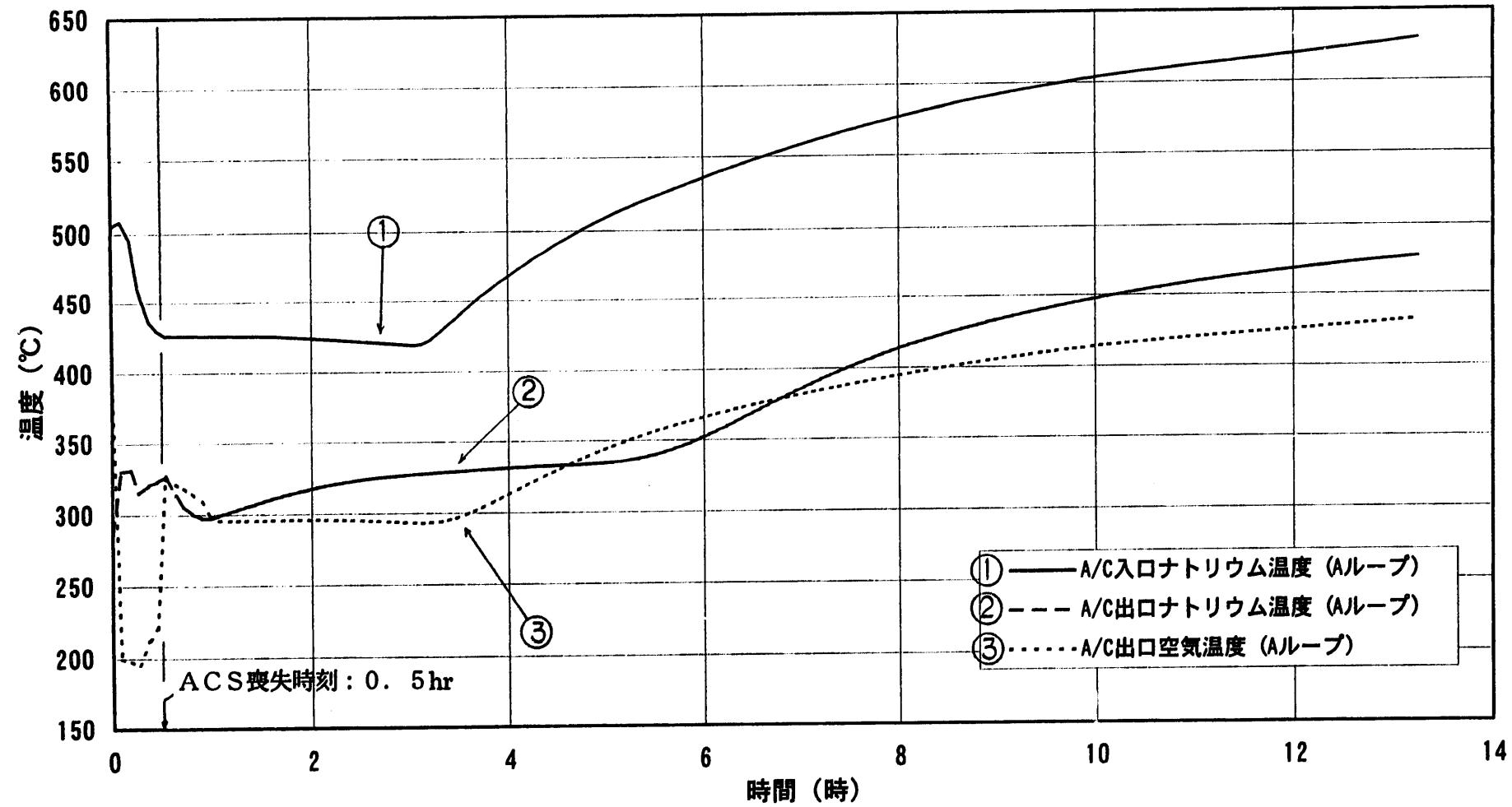
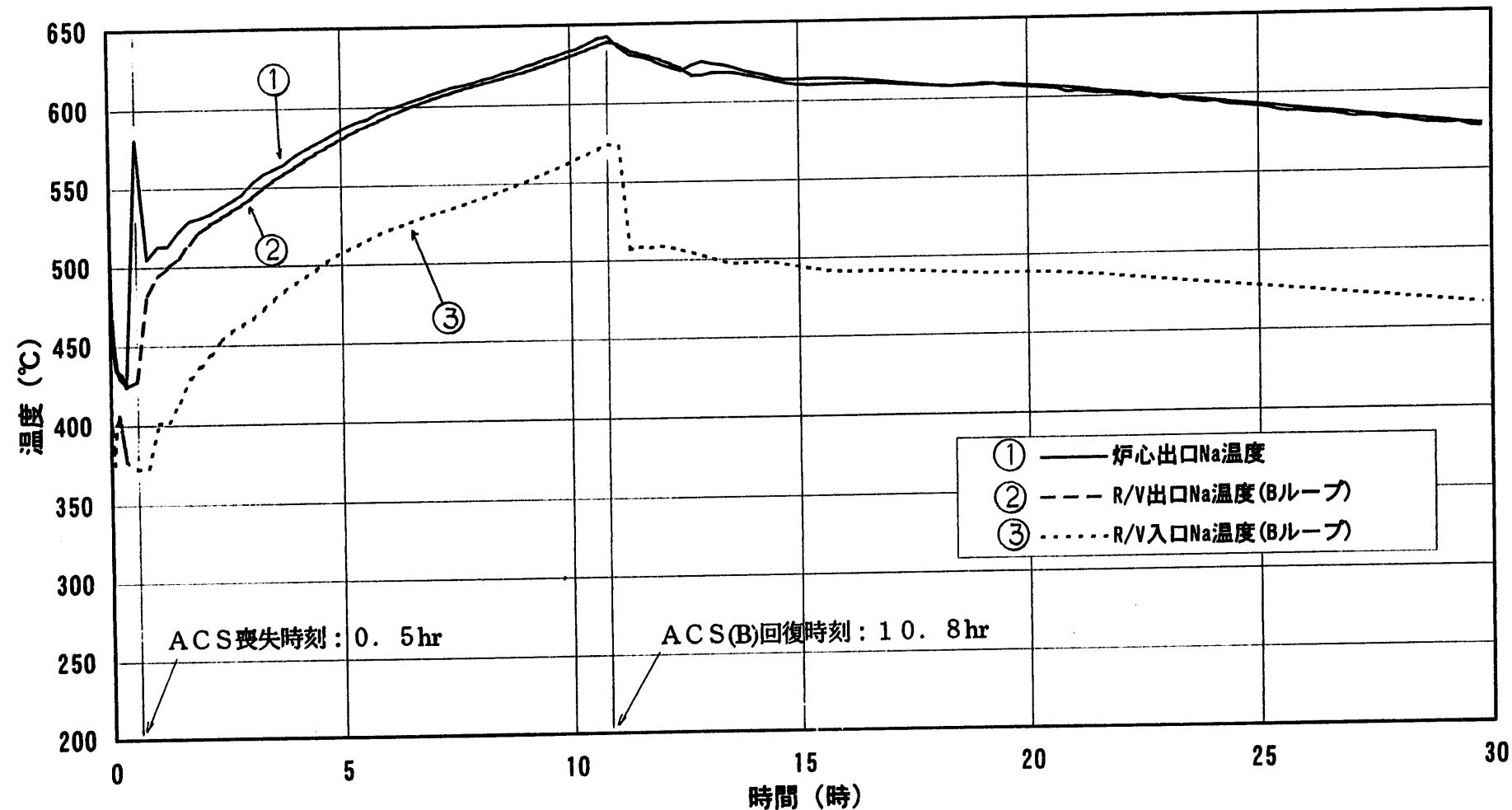


図 4.1-2(2/2) 解析結果 (P L O H S シーケンス: (1) – 1 – ①)



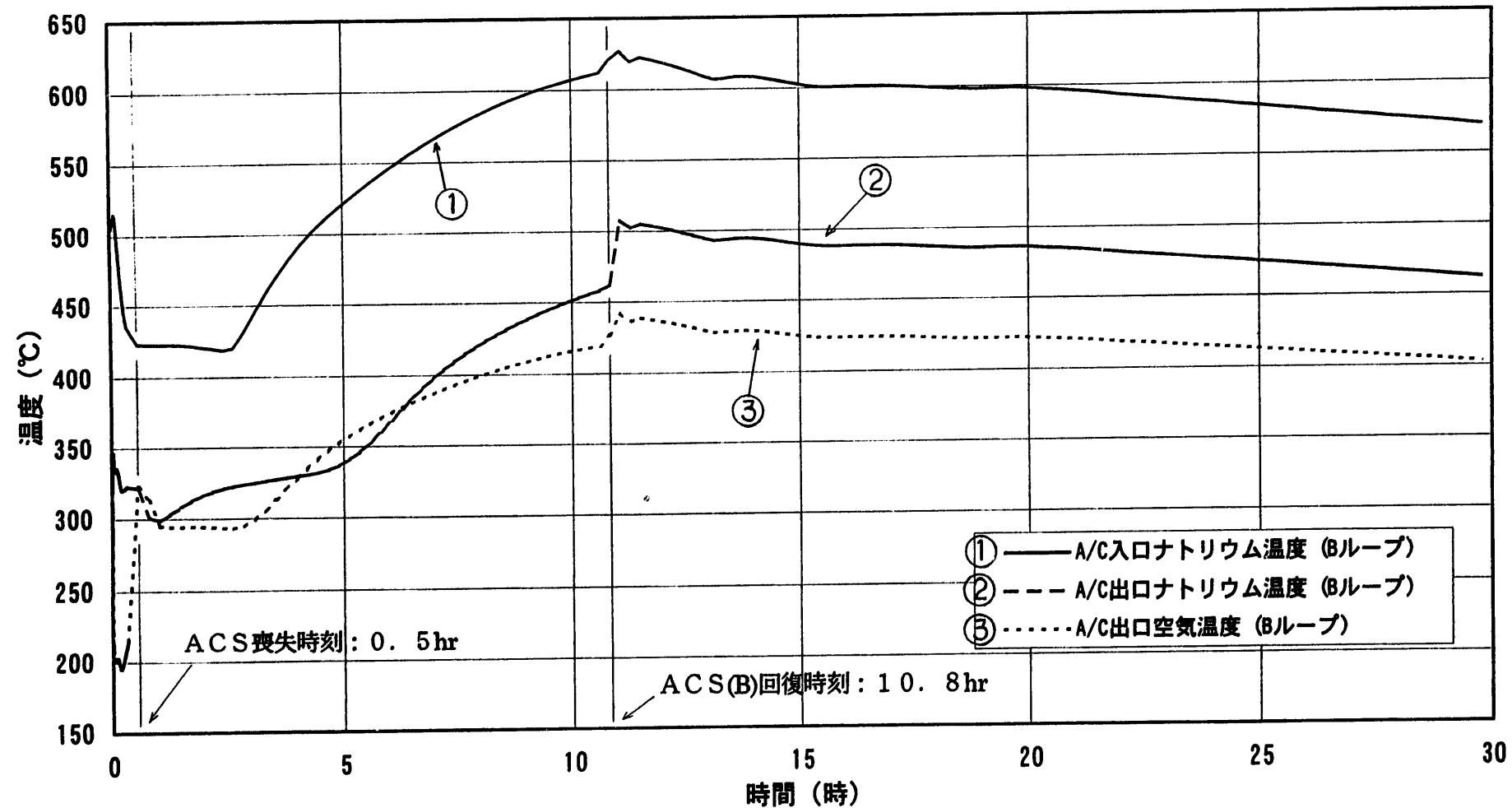


図 4.1-3(2/3) 解析結果 (PLOHSS シーケンス: (1)-2-(1)-A)

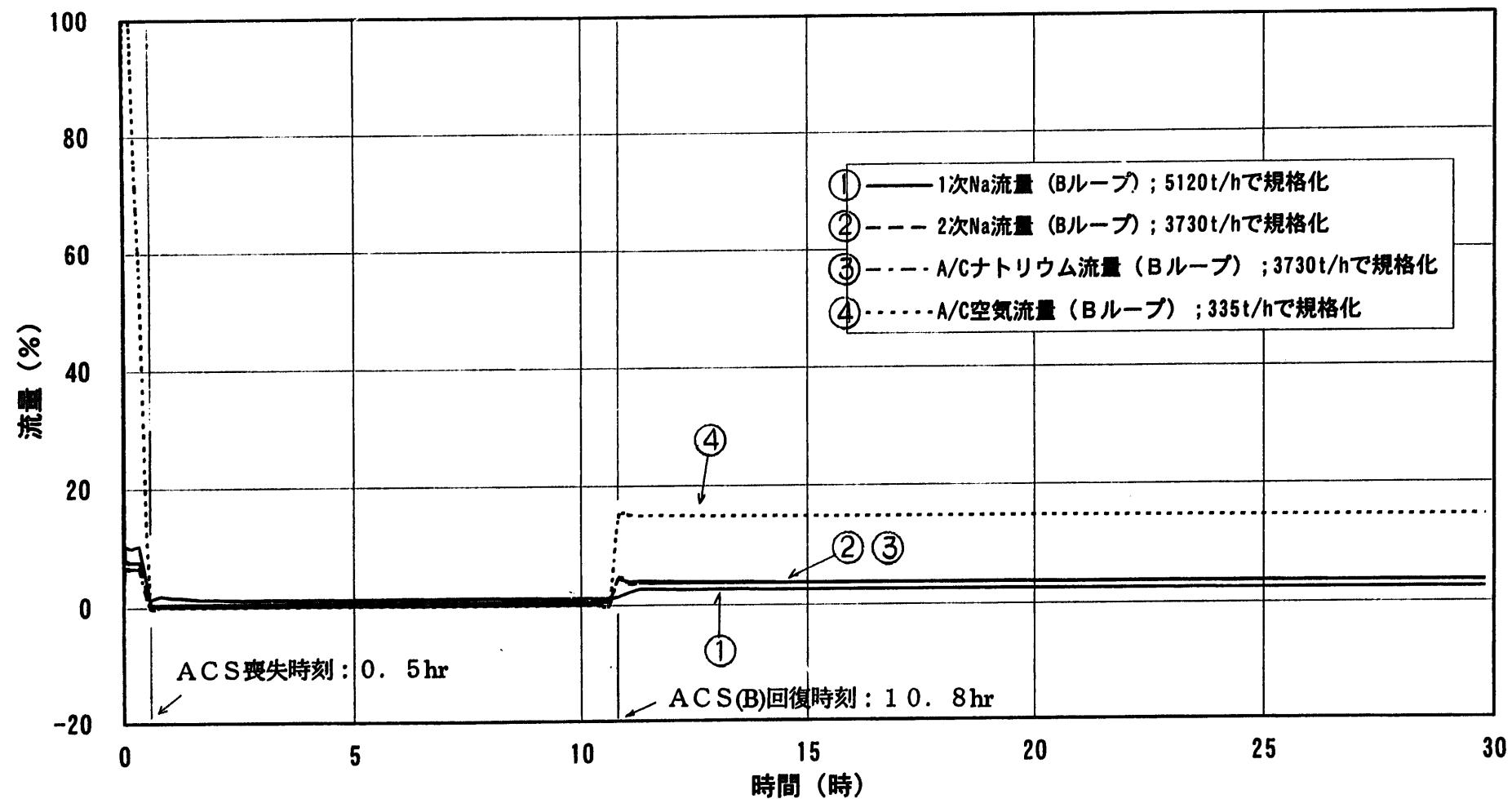


図 4.1-3(3/3) 解析結果 (PLOHSS シーケンス : (1)-2-①-A)

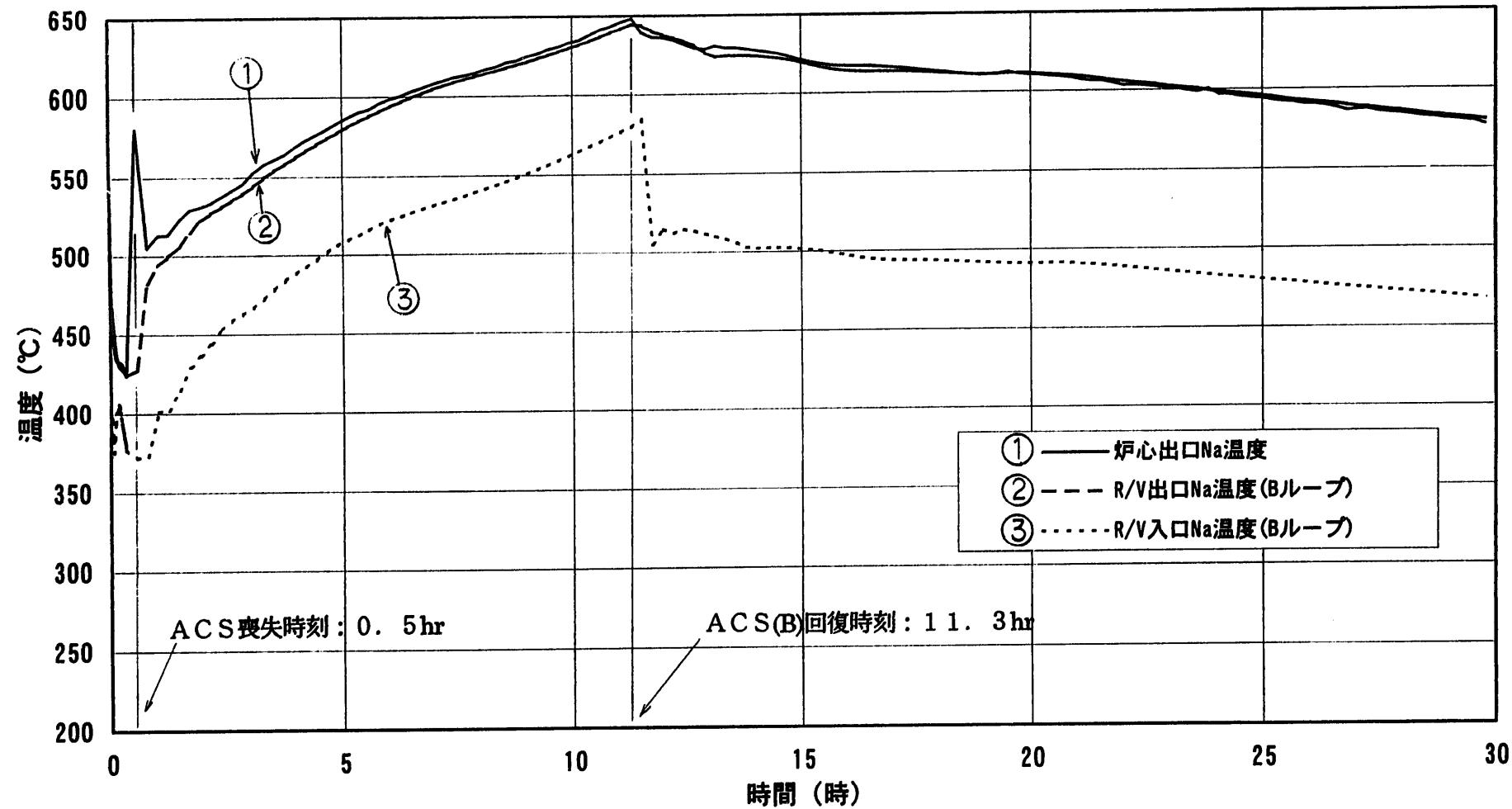


図 4.1-4(1/3) 解析結果 (P L O H S シーケンス : (1)-2-(①)-B)

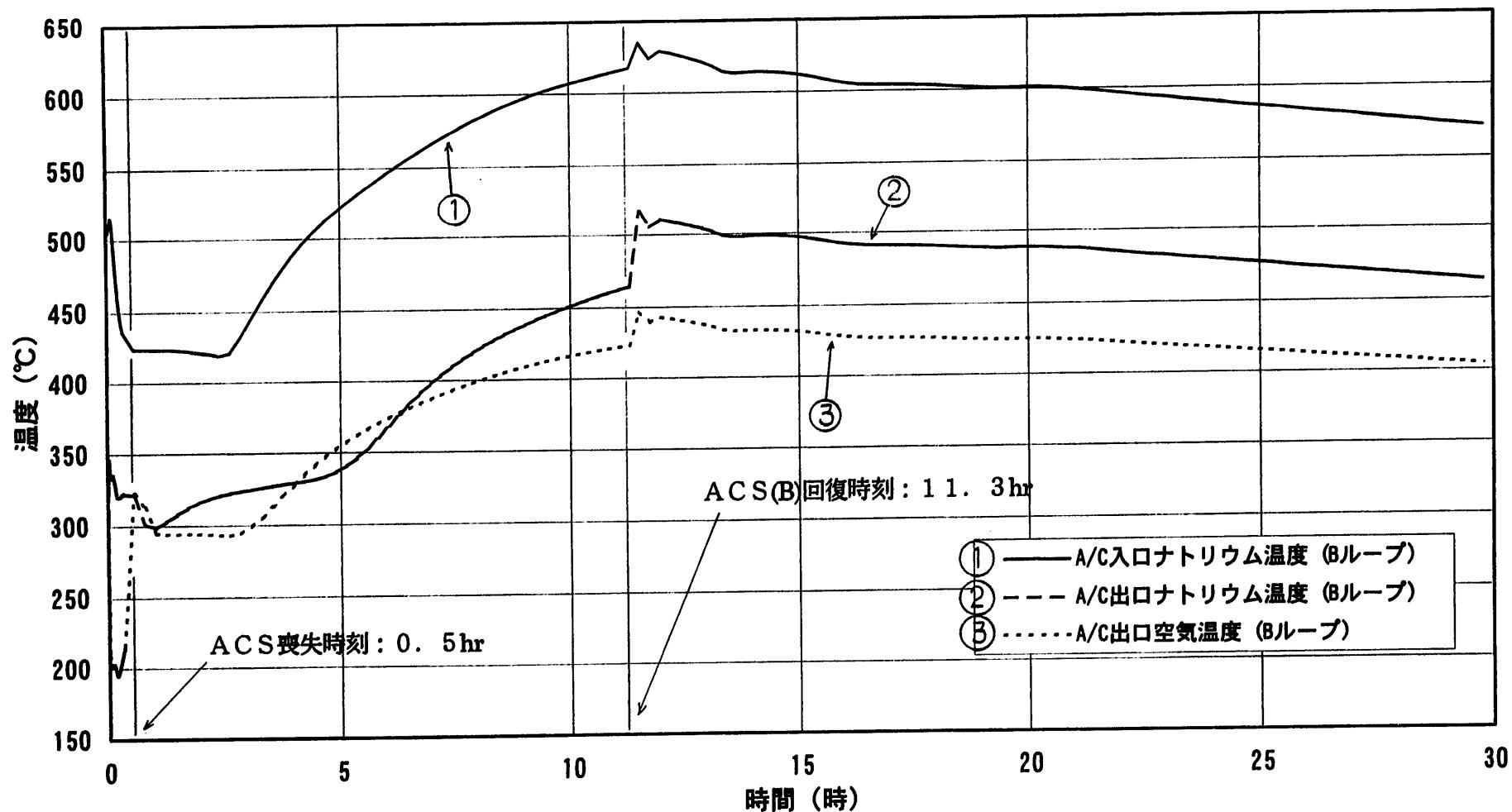


図 4.1-4(2/3) 解析結果 (P L O H S シーケンス: (1) – 2 – ① – B)

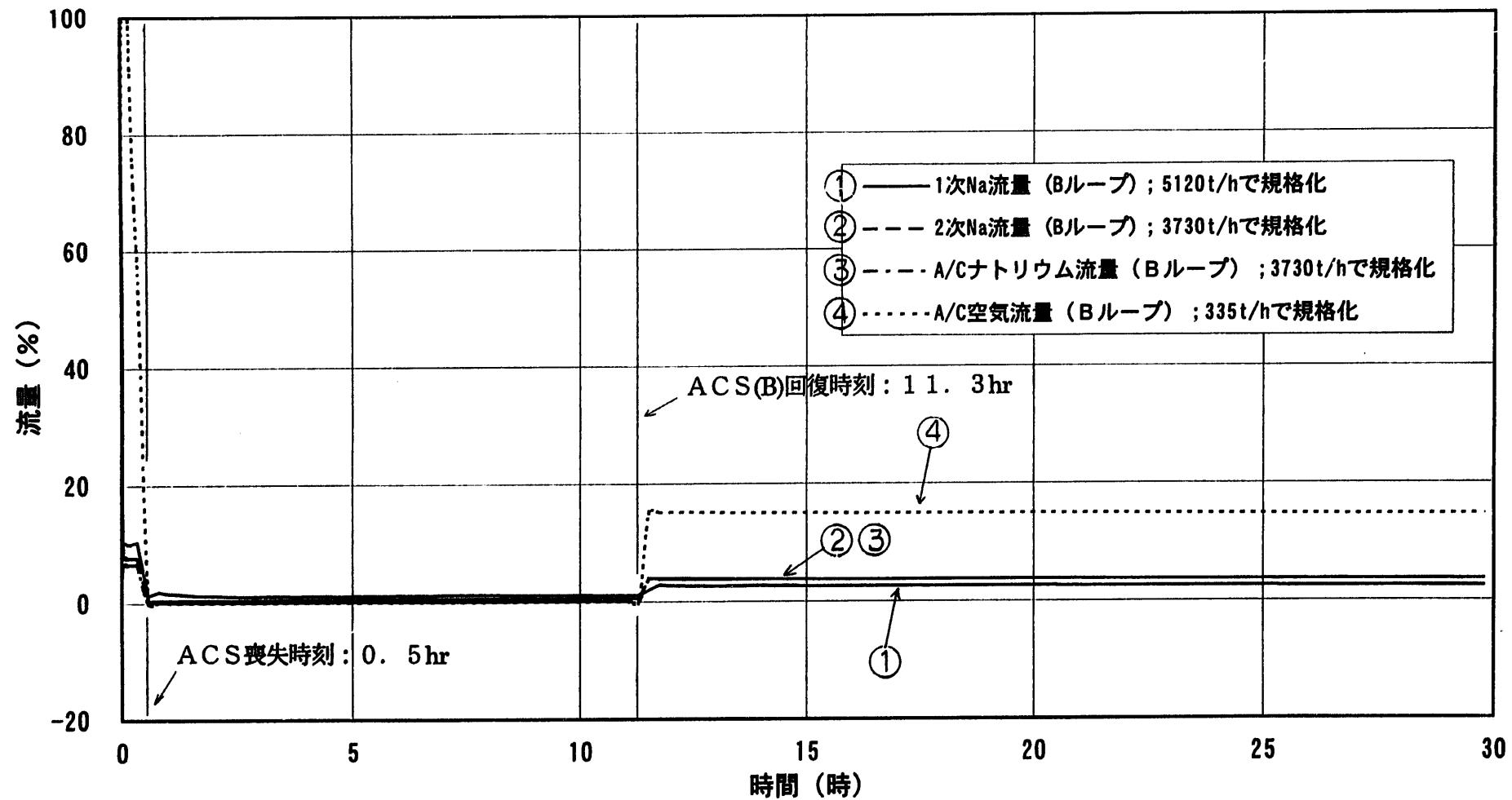


図 4.1-4(3/3) 解析結果 (PLOH Sシーケンス: (1)-2-(1)-B)

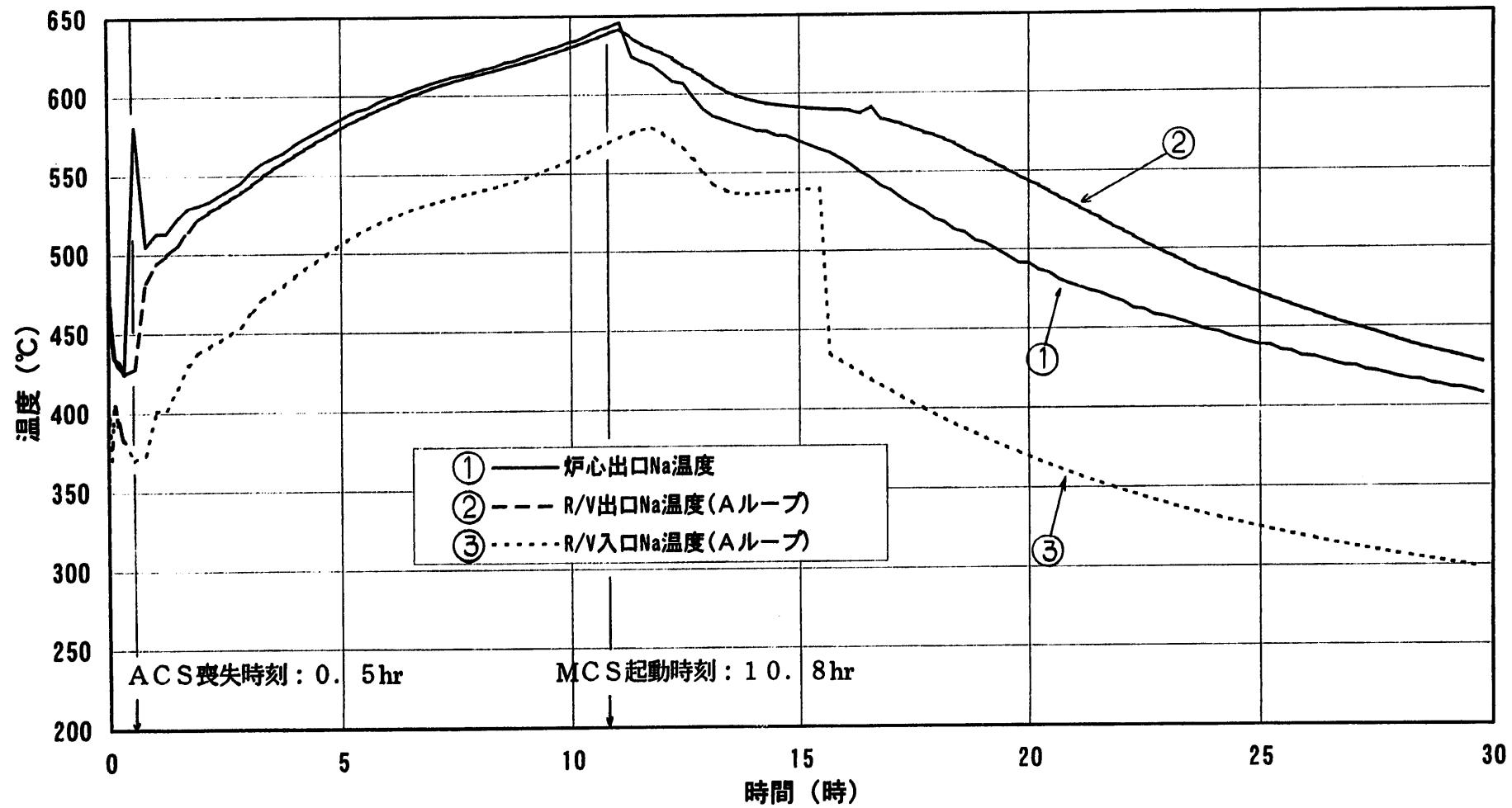


図 4.1-5 解析結果 (P L O H S シーケンス: (1)-3-(1)-A)

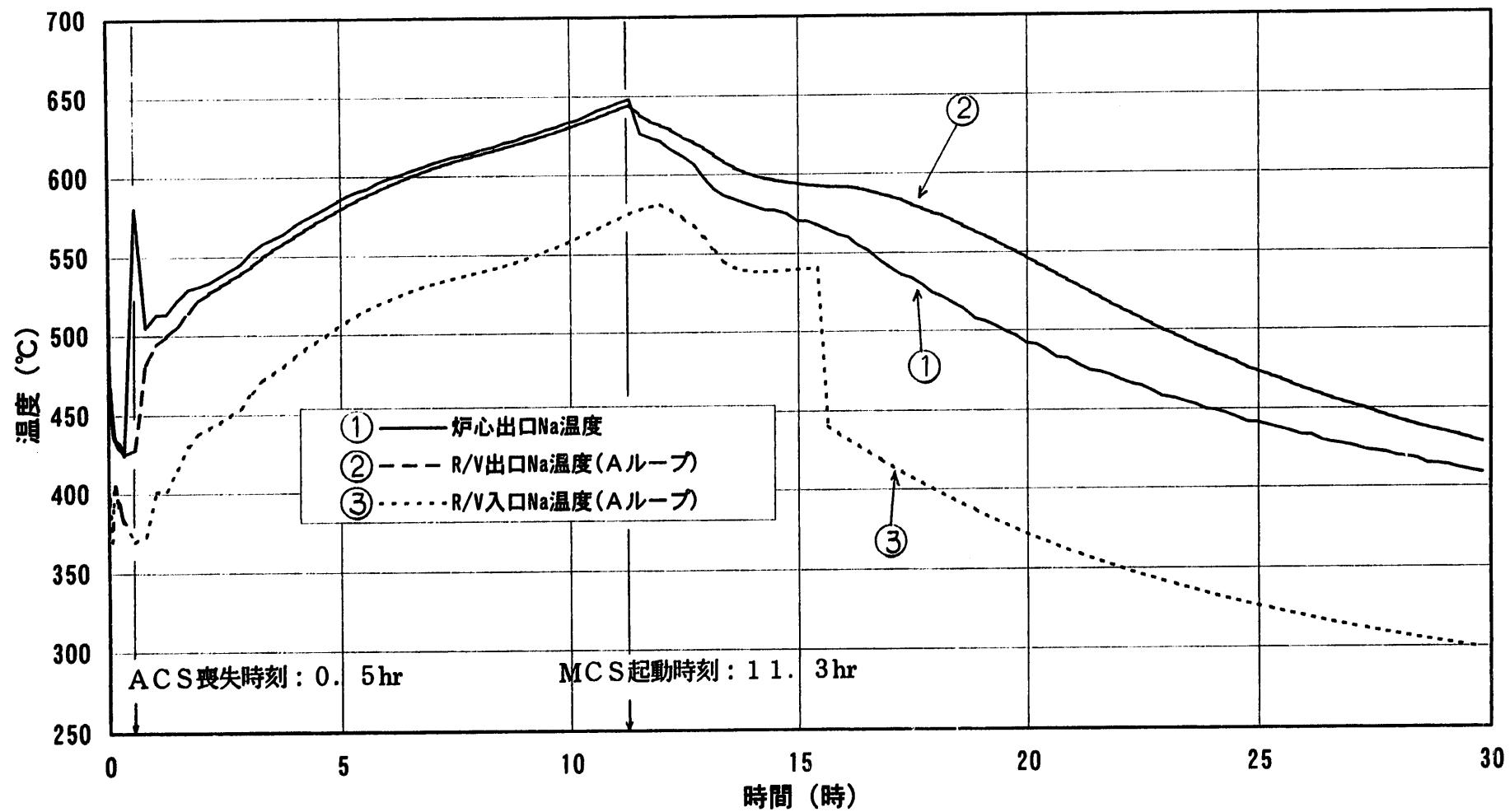


図 4.1-6 解析結果 (P L O H S シーケンス:(1)-3-(1)-B)

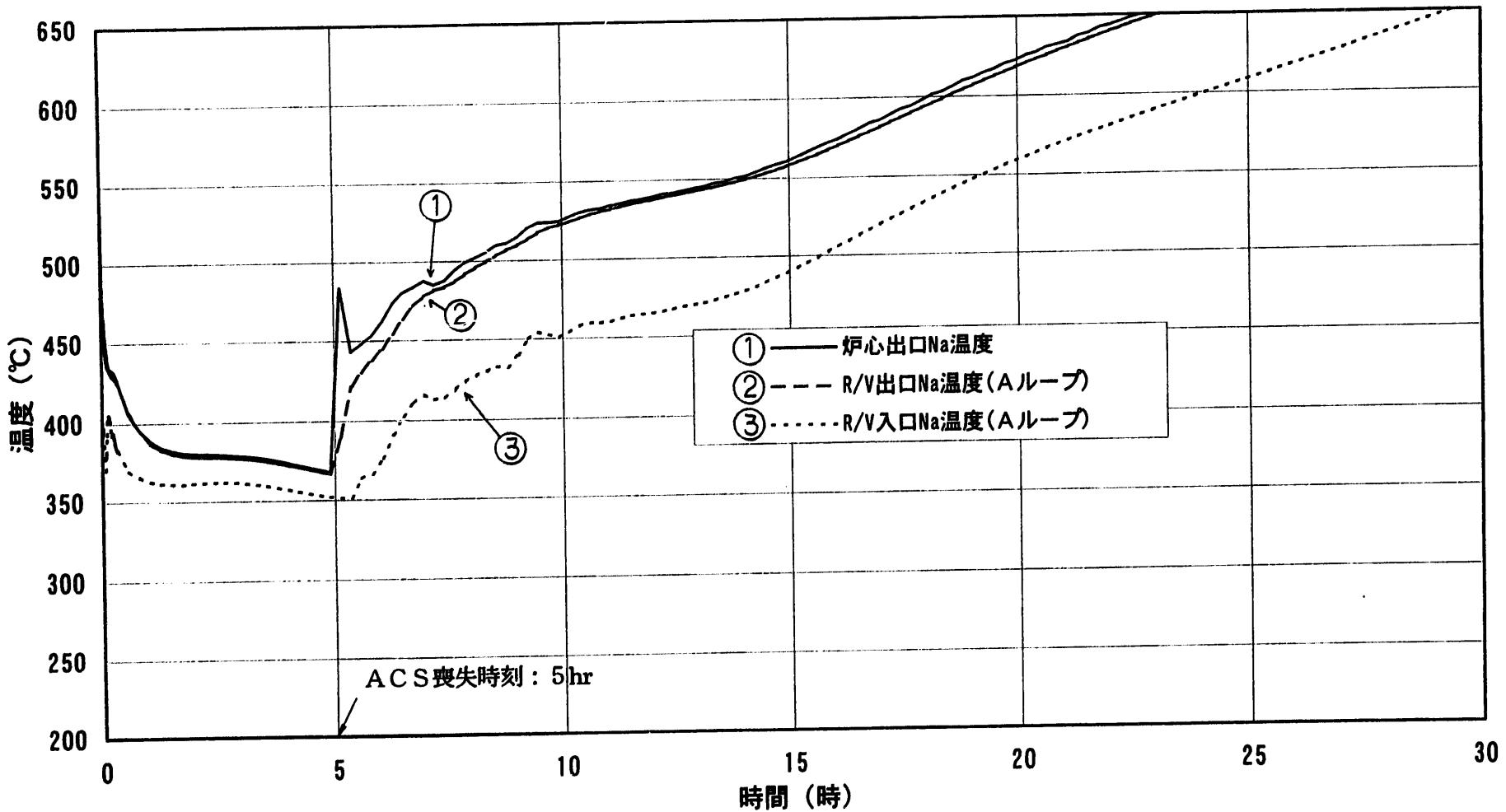


図 4.1-7(1/2) 解析結果 (P L O H S シーケンス: (1)-1-(2))

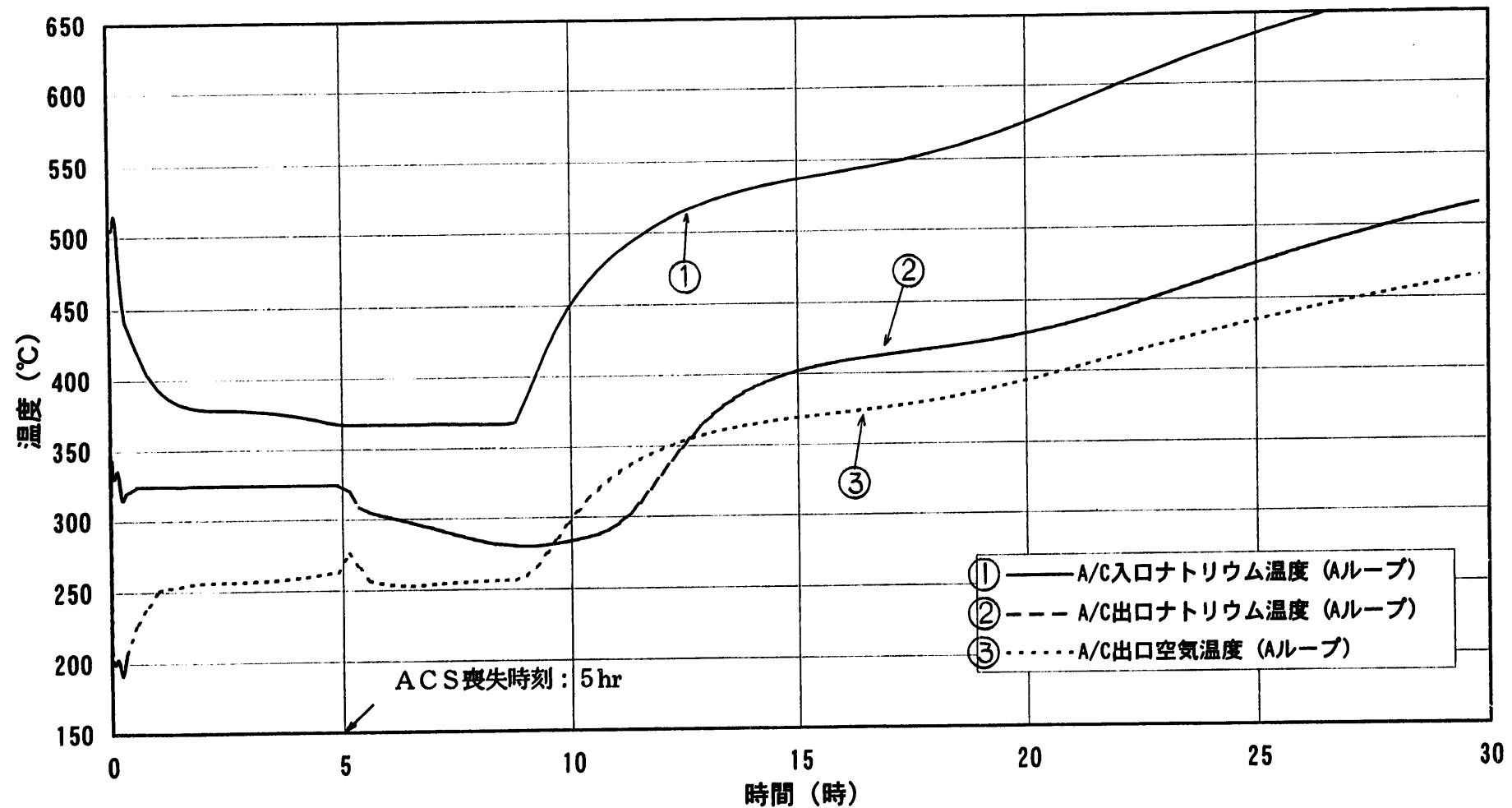
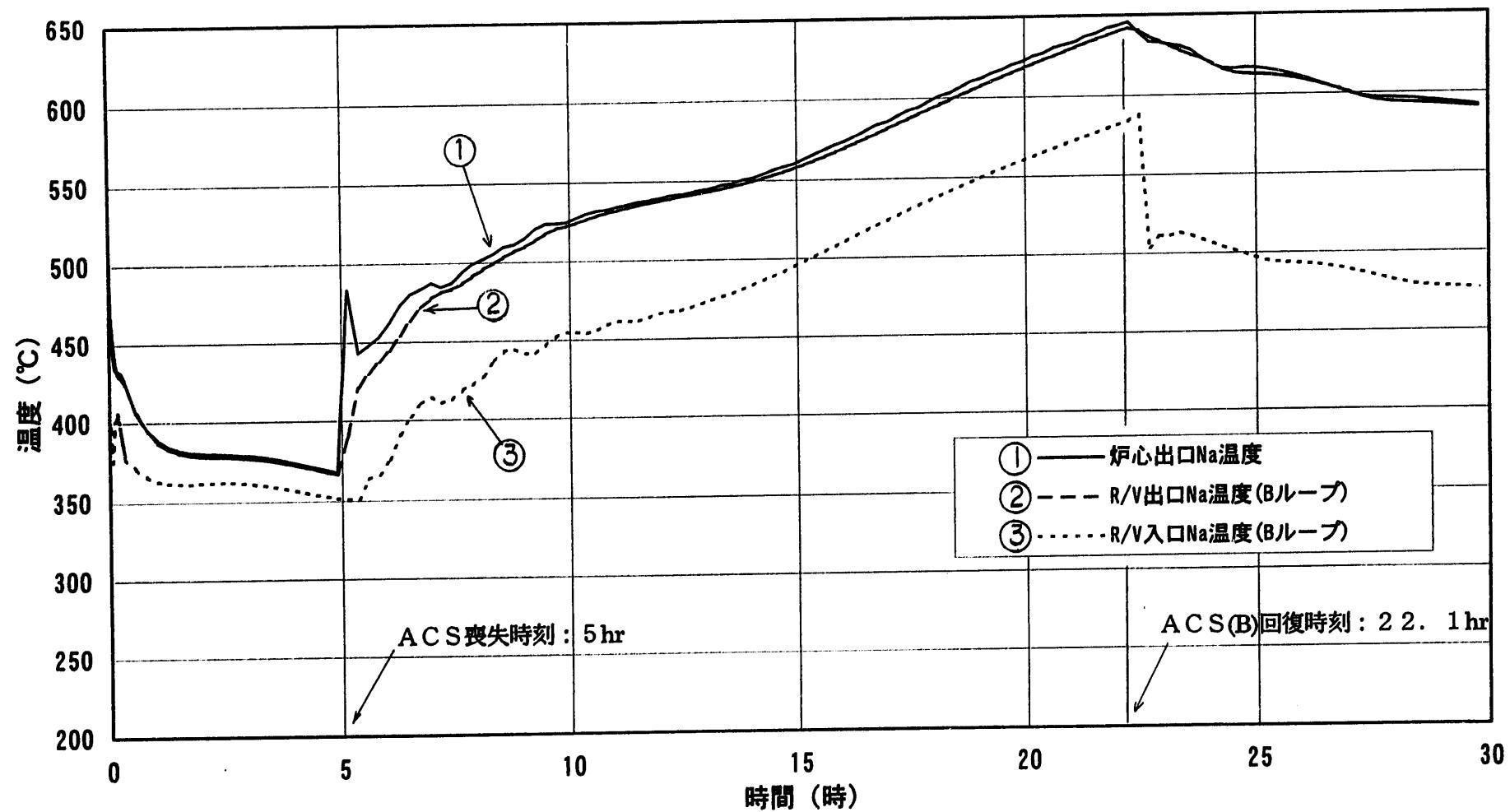


図 4.1-7(2/2) 解析結果 (P L O H S シーケンス: (1) - 1 - (2))



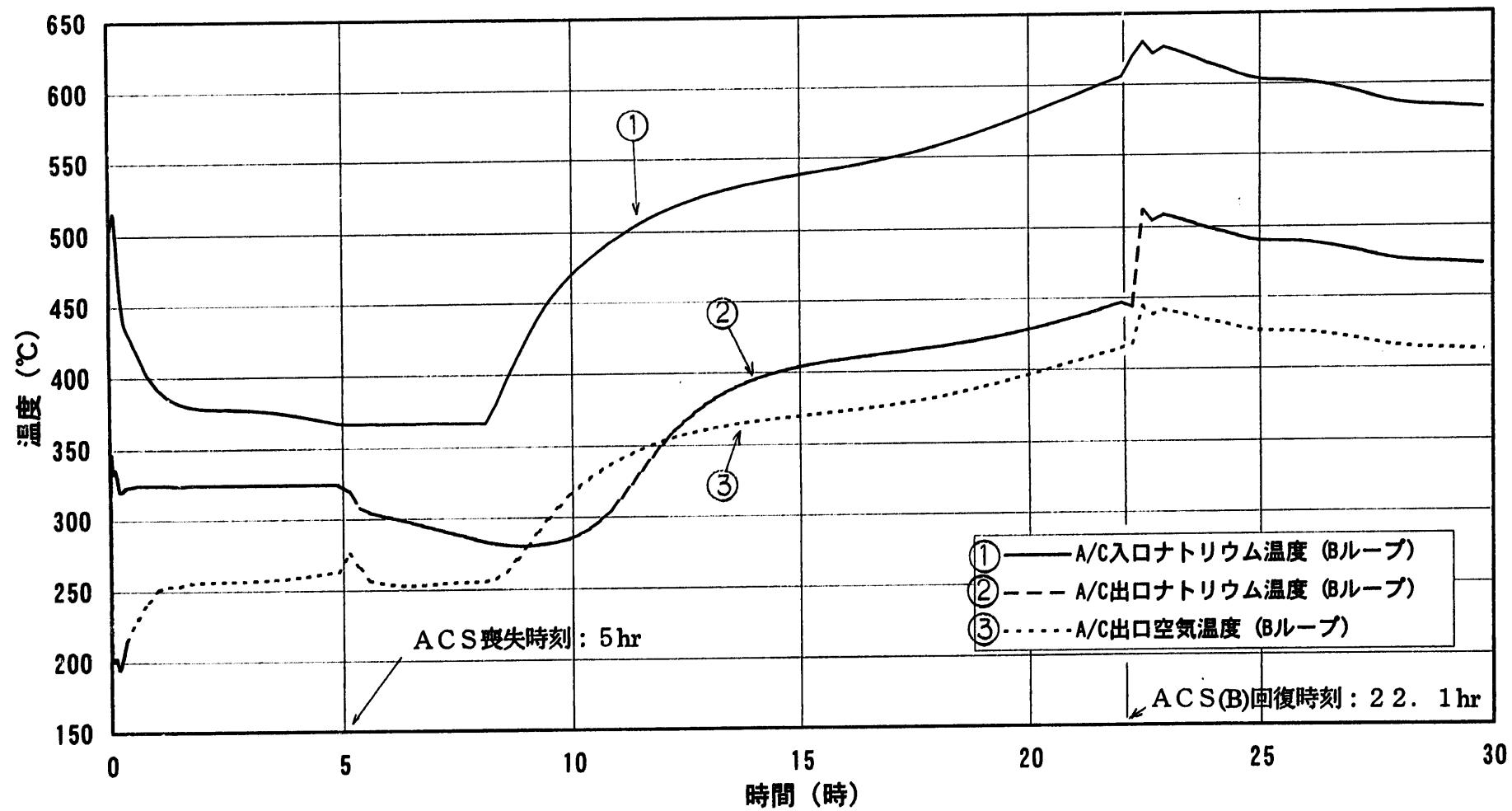


図 4.1-8(2/3) 解析結果 (PLOHSS シーケンス: (1)-2-(2)-A)

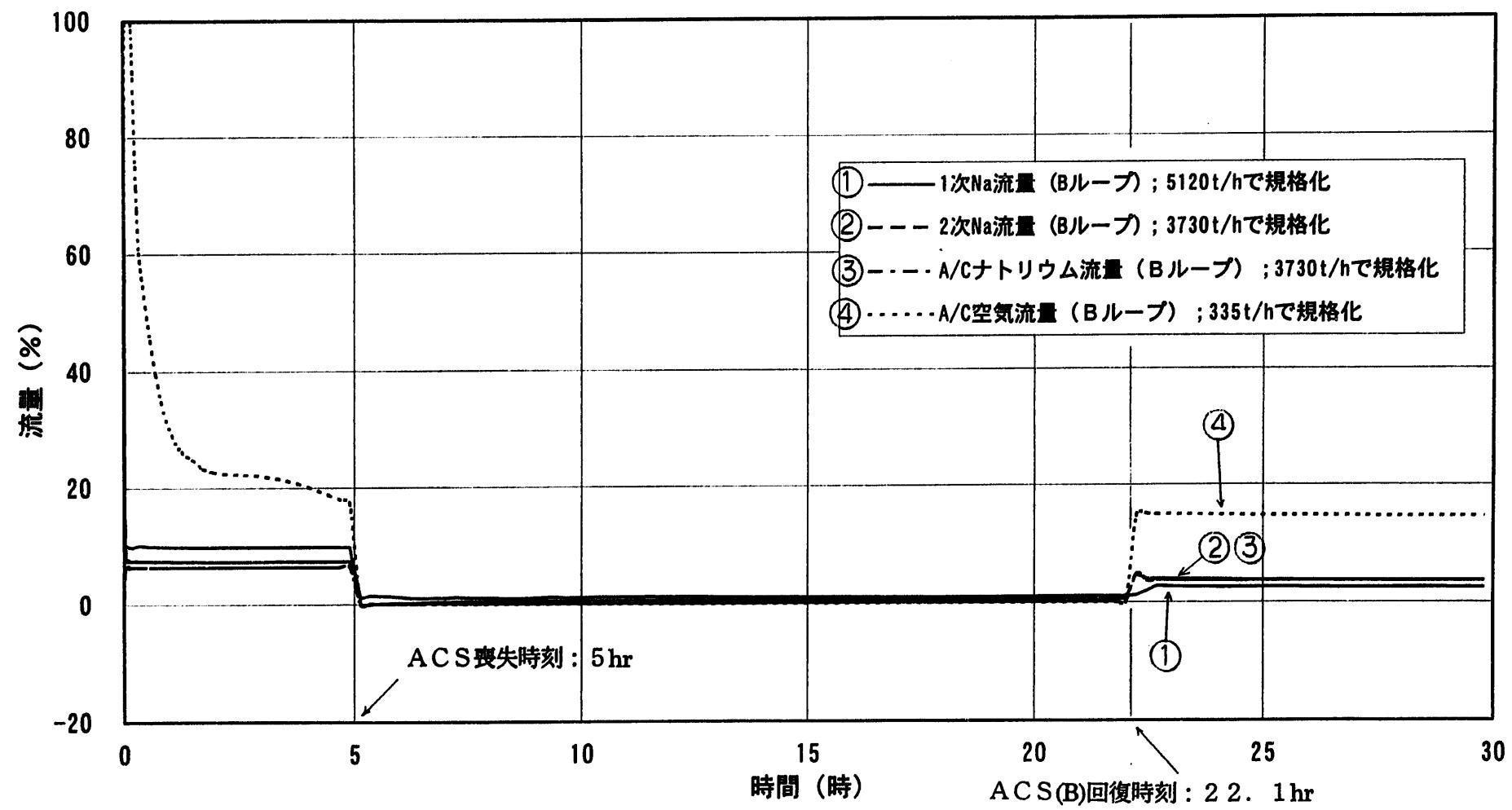


図 4.1-8(3/3) 解析結果 (P L O H S シーケンス : (1)- 2 - ② - A)

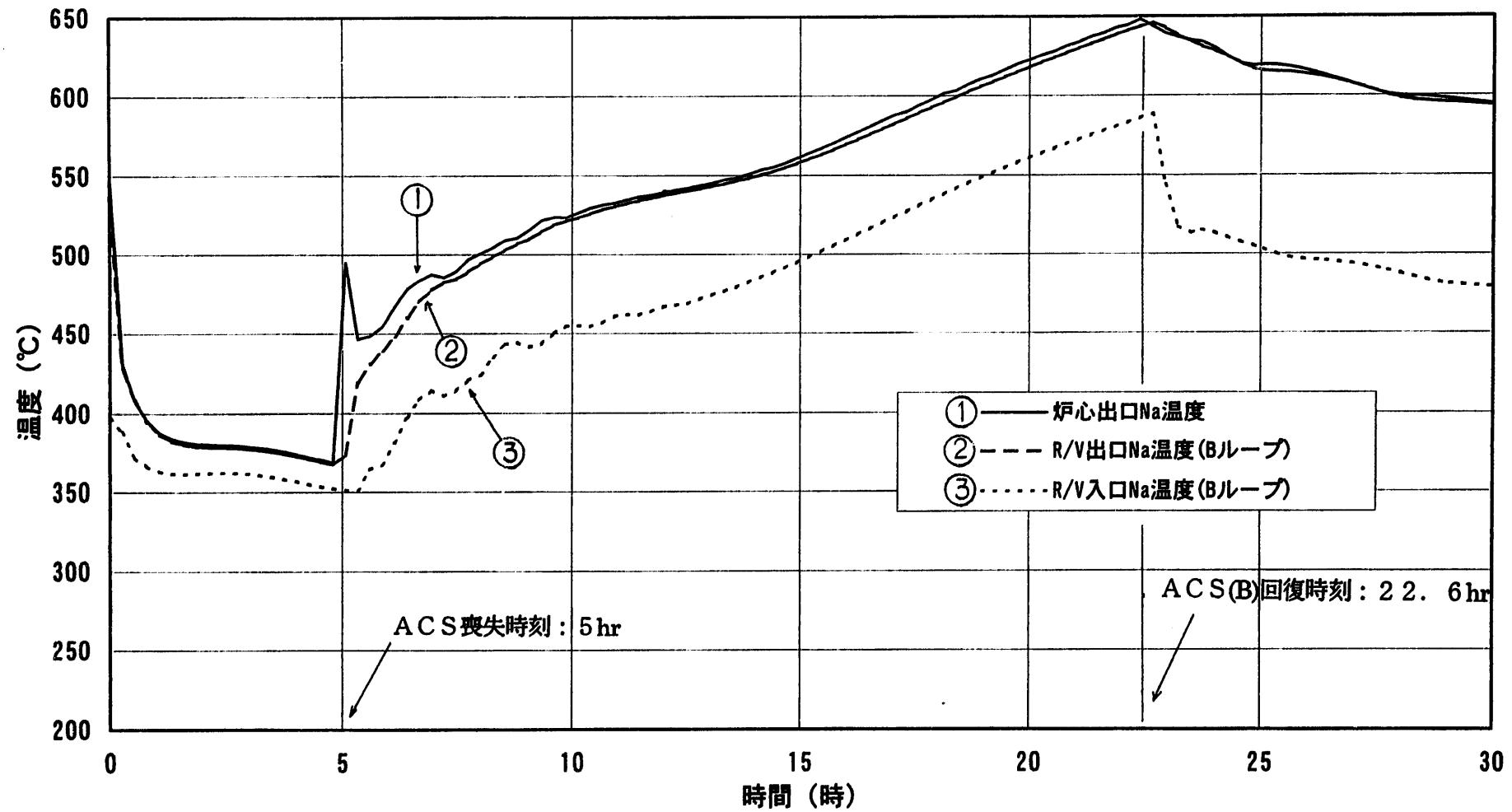


図 4.1-9(1/3) 解析結果 (P L O H S シーケンス : (1)-2-(2)-B)

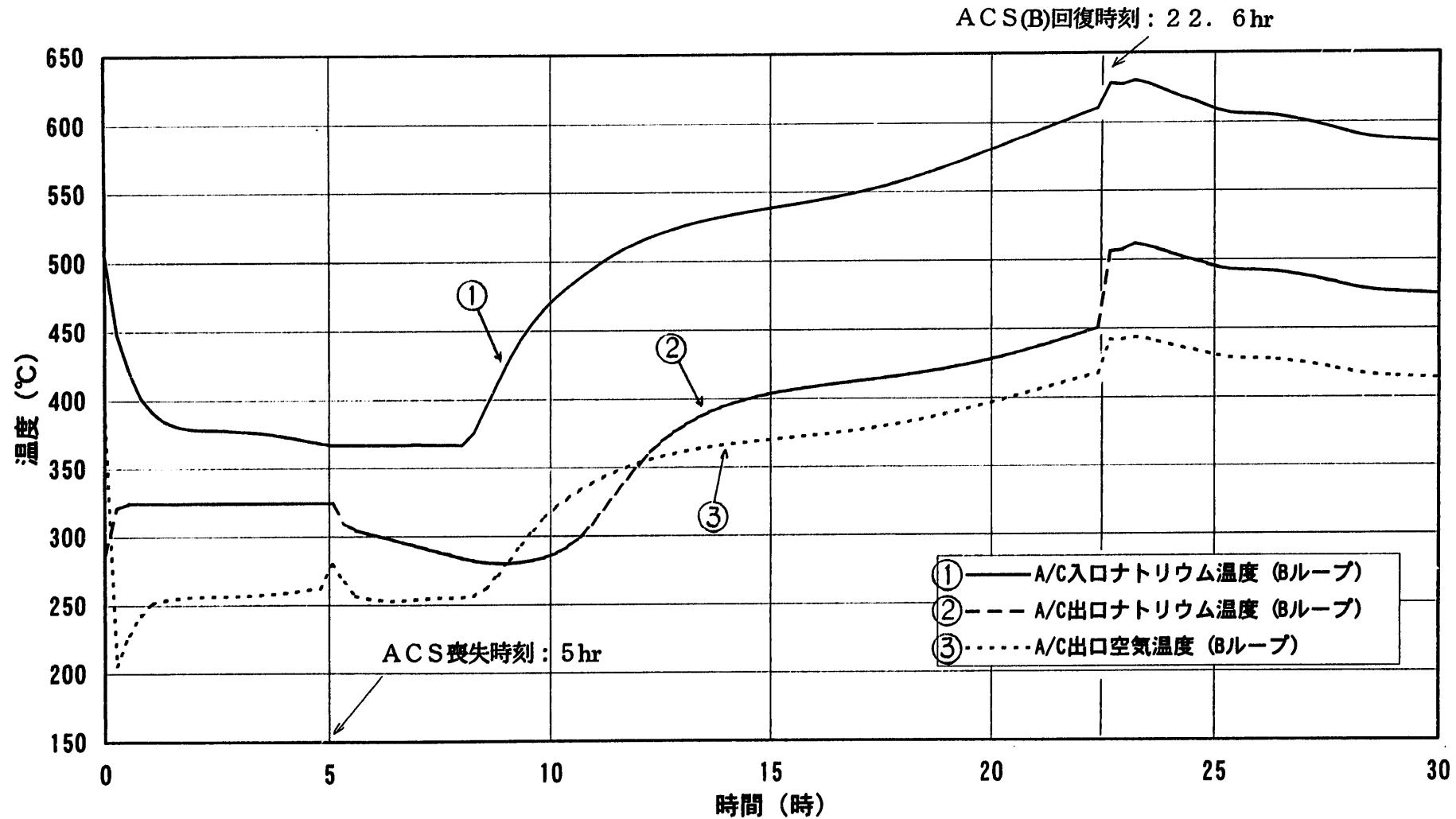


図 4.1-9(2/3) 解析結果 (P L O H S シーケンス : (1)-2-(2)-B)

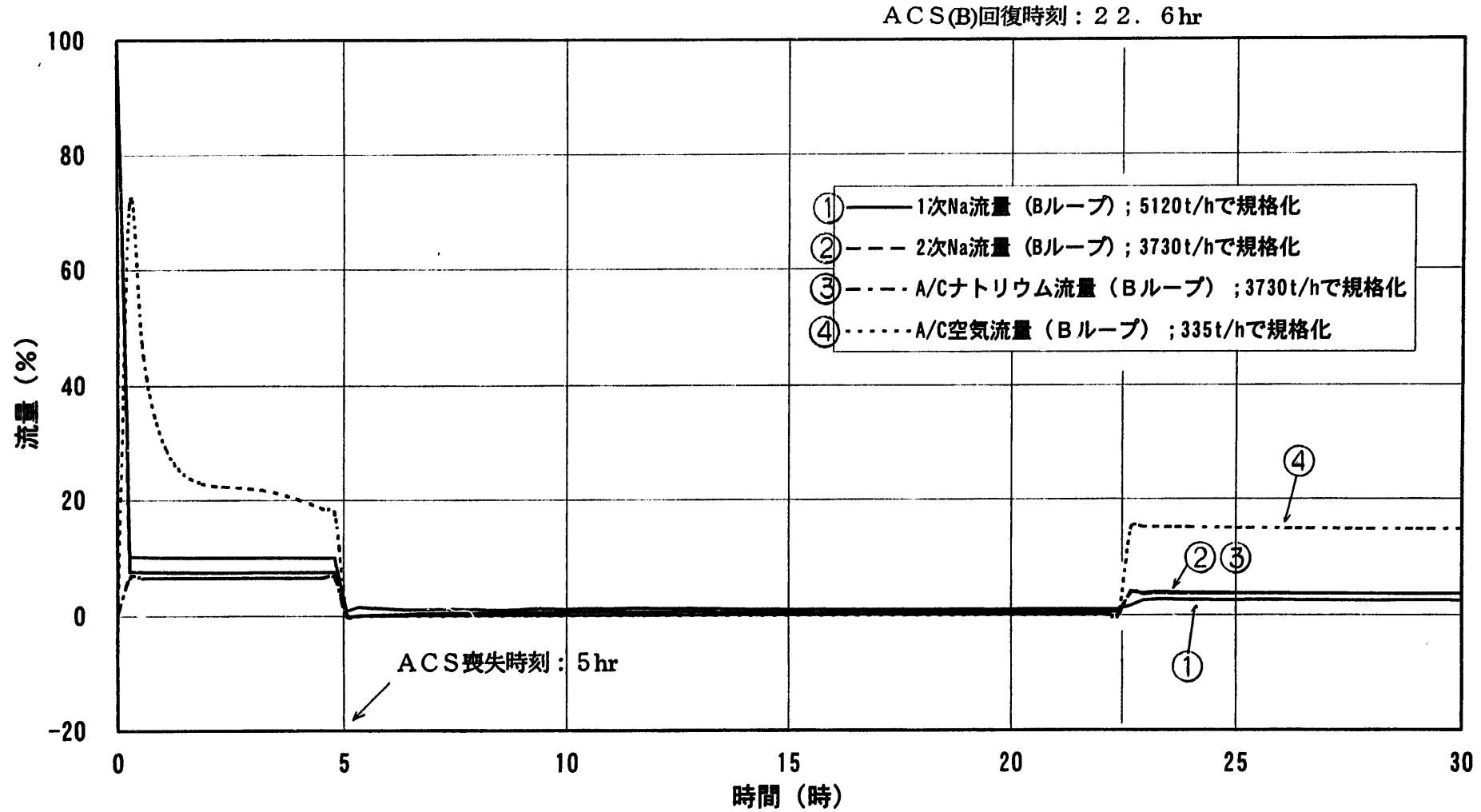


図 4.1-9(3/3) 解析結果 (P L O H S シーケンス : (1)-2-②-B)

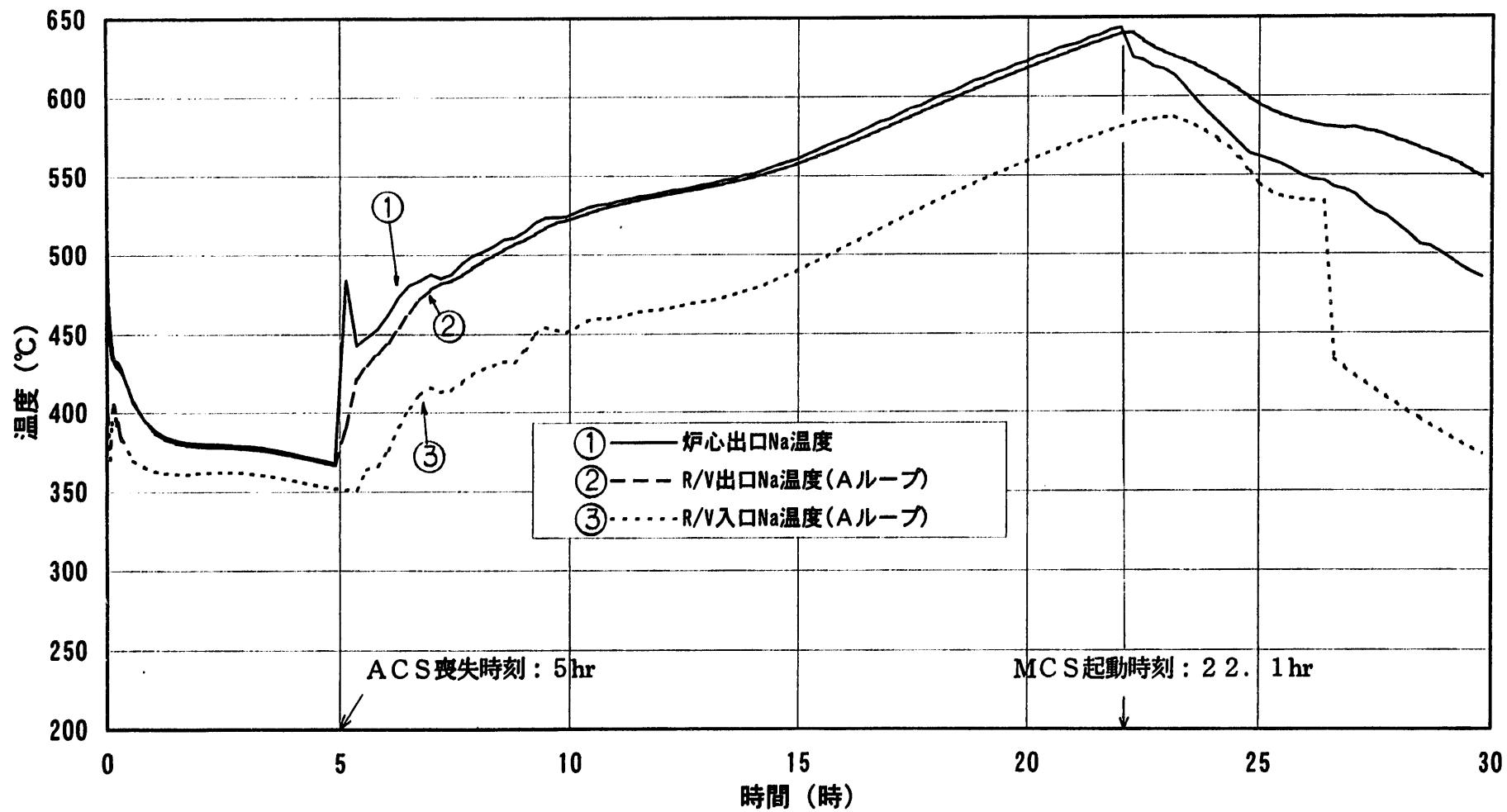


図 4.1-10 解析結果 (P L O H S シーケンス: (1)-3-②-A)

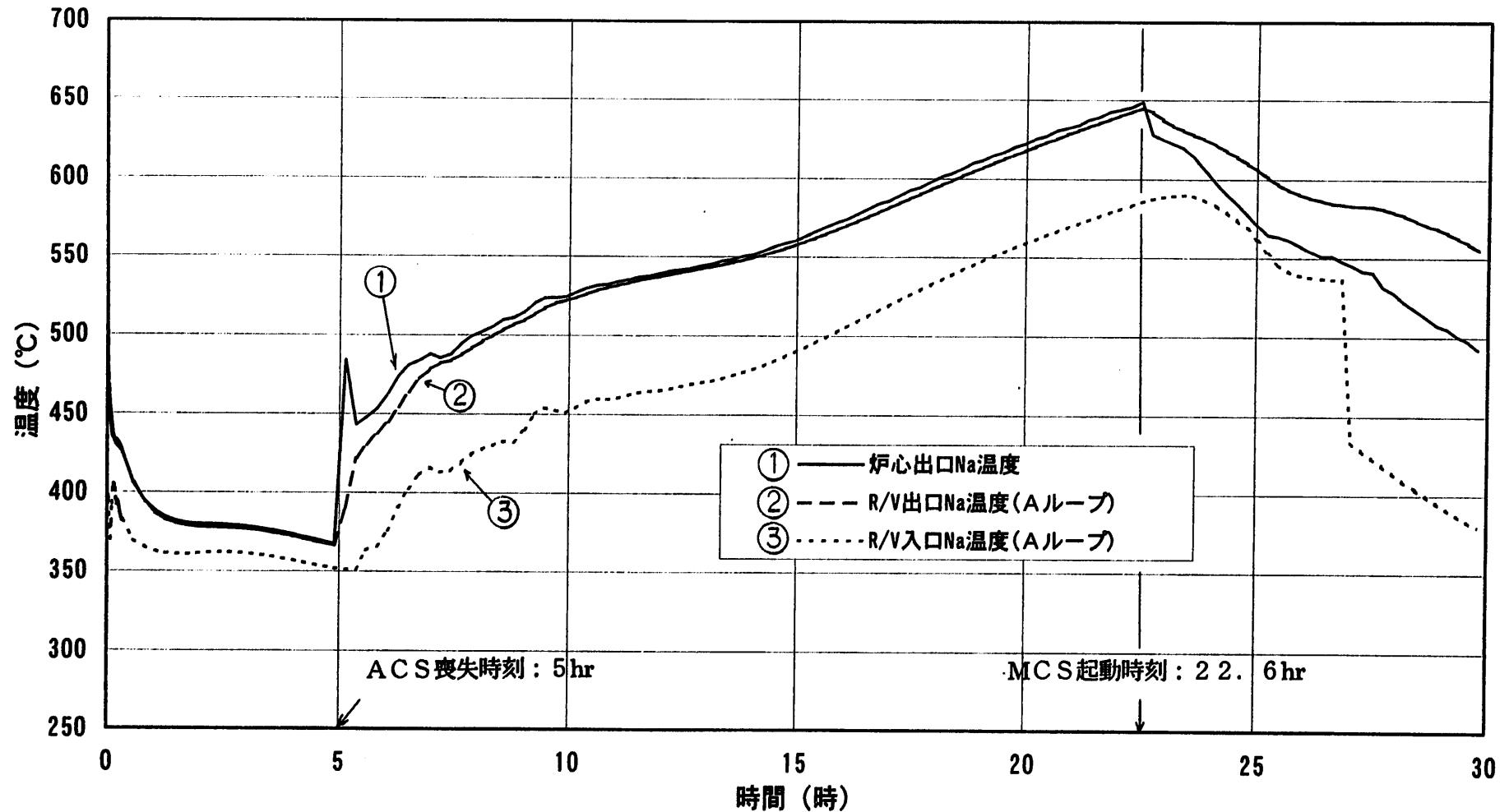


図 4.1-11 解析結果 (P L O H S シーケンス: (1)-3-(2)-B)

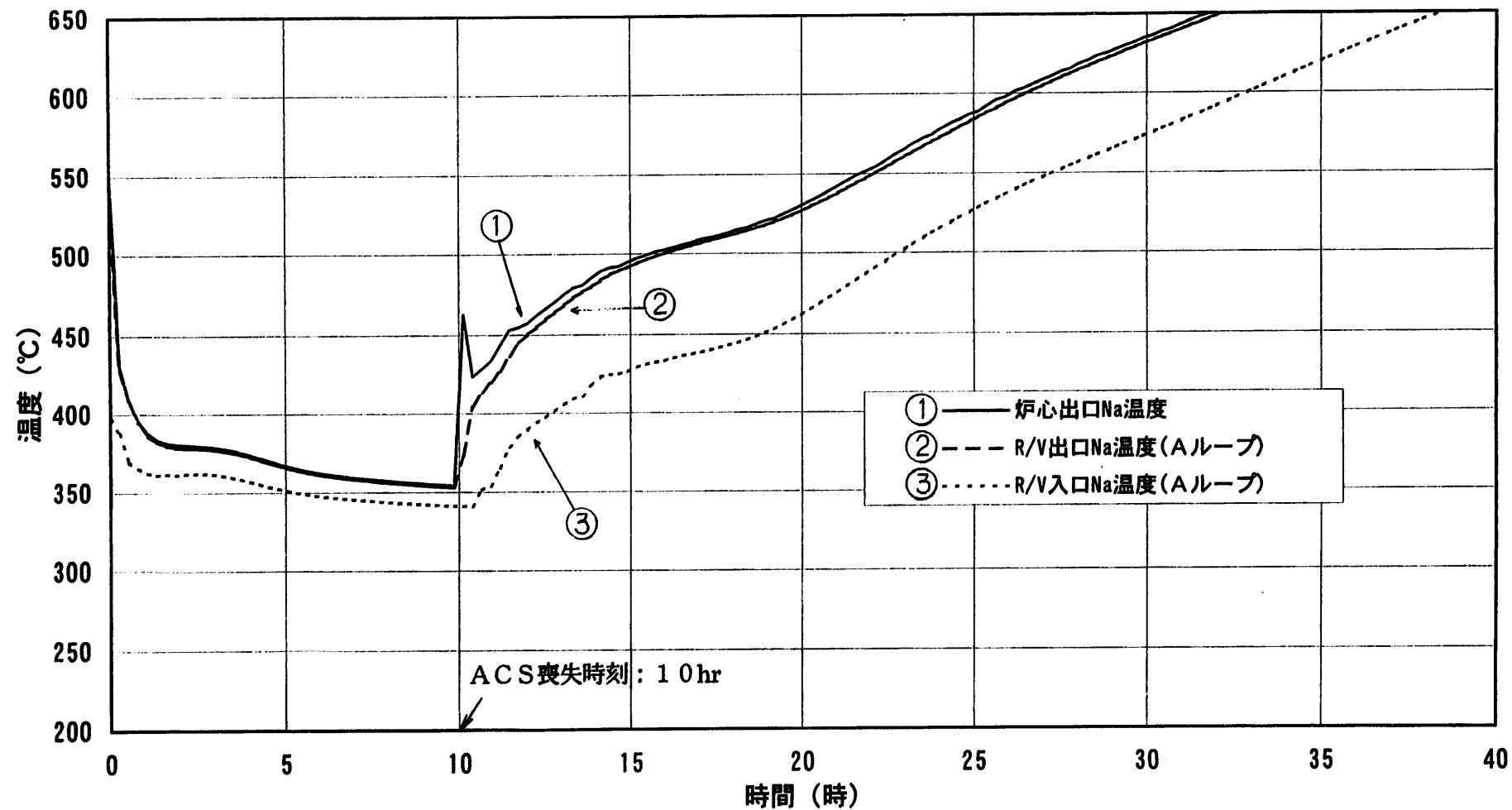
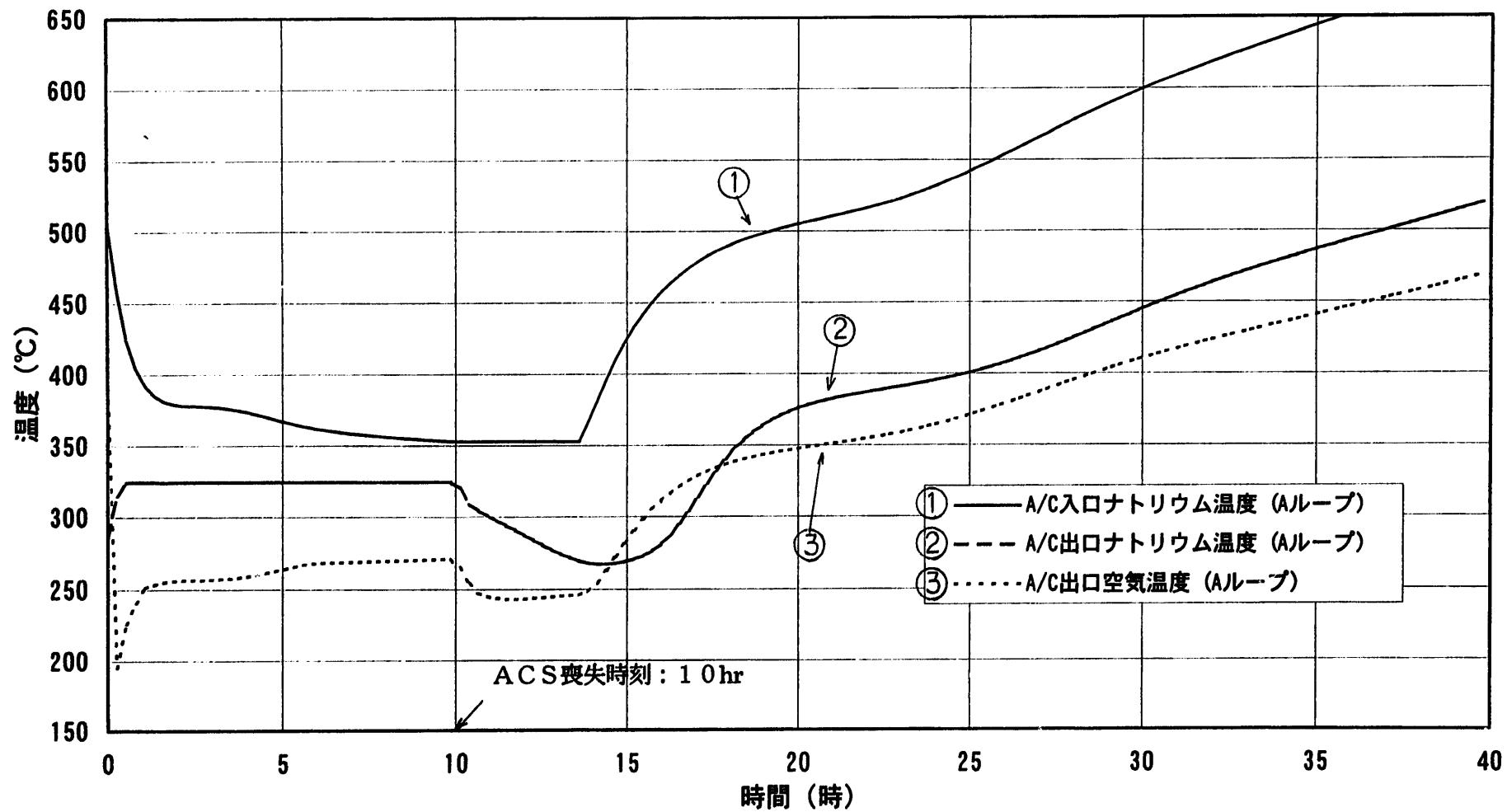


図 4.1-12(1/2) 解析結果 (PLOHSS シーケンス: (1)-1-(3))



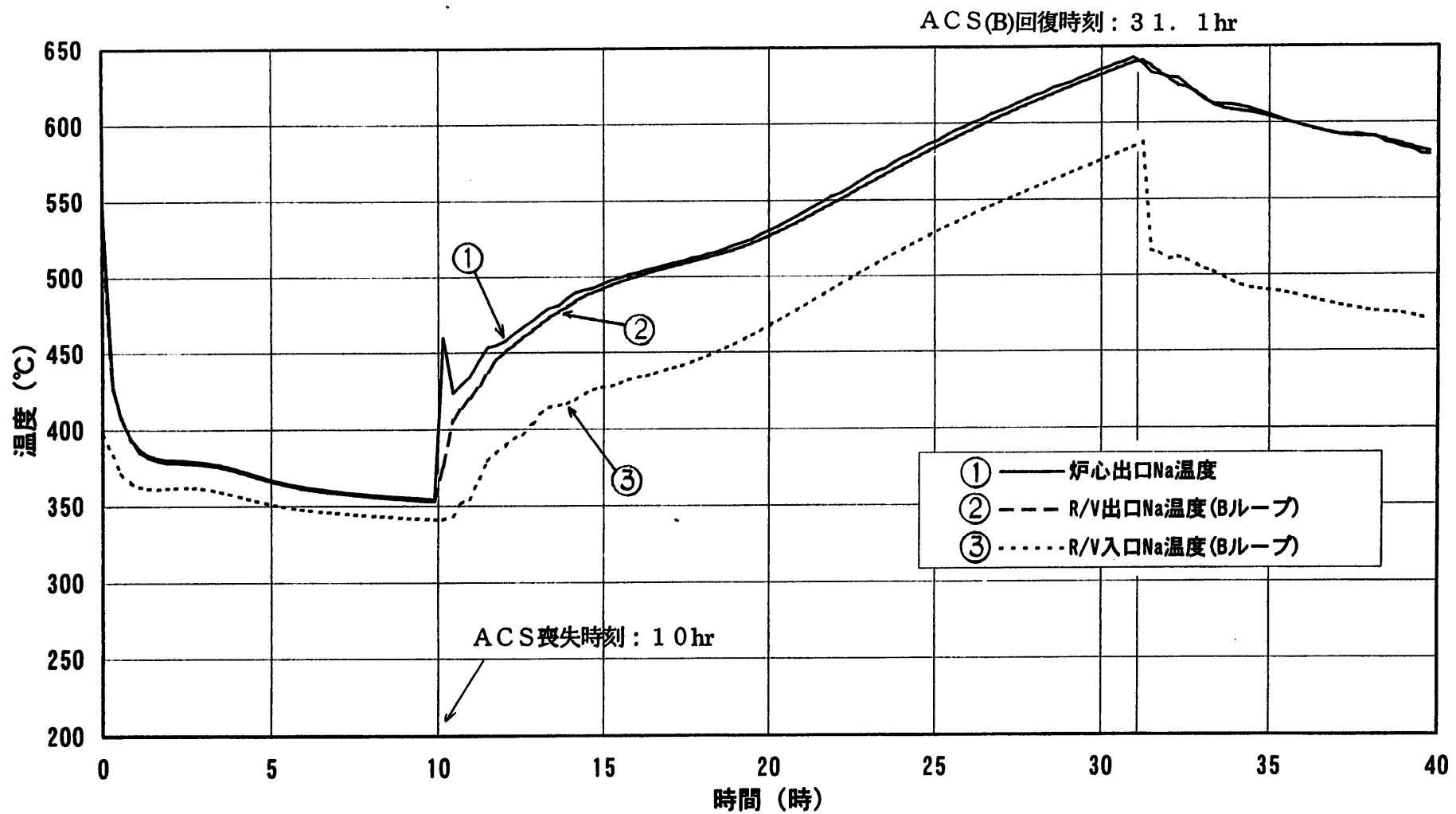


図 4.1-13(1/3) 解析結果 (P L O H S シーケンス：(1)-2-(3)-A)

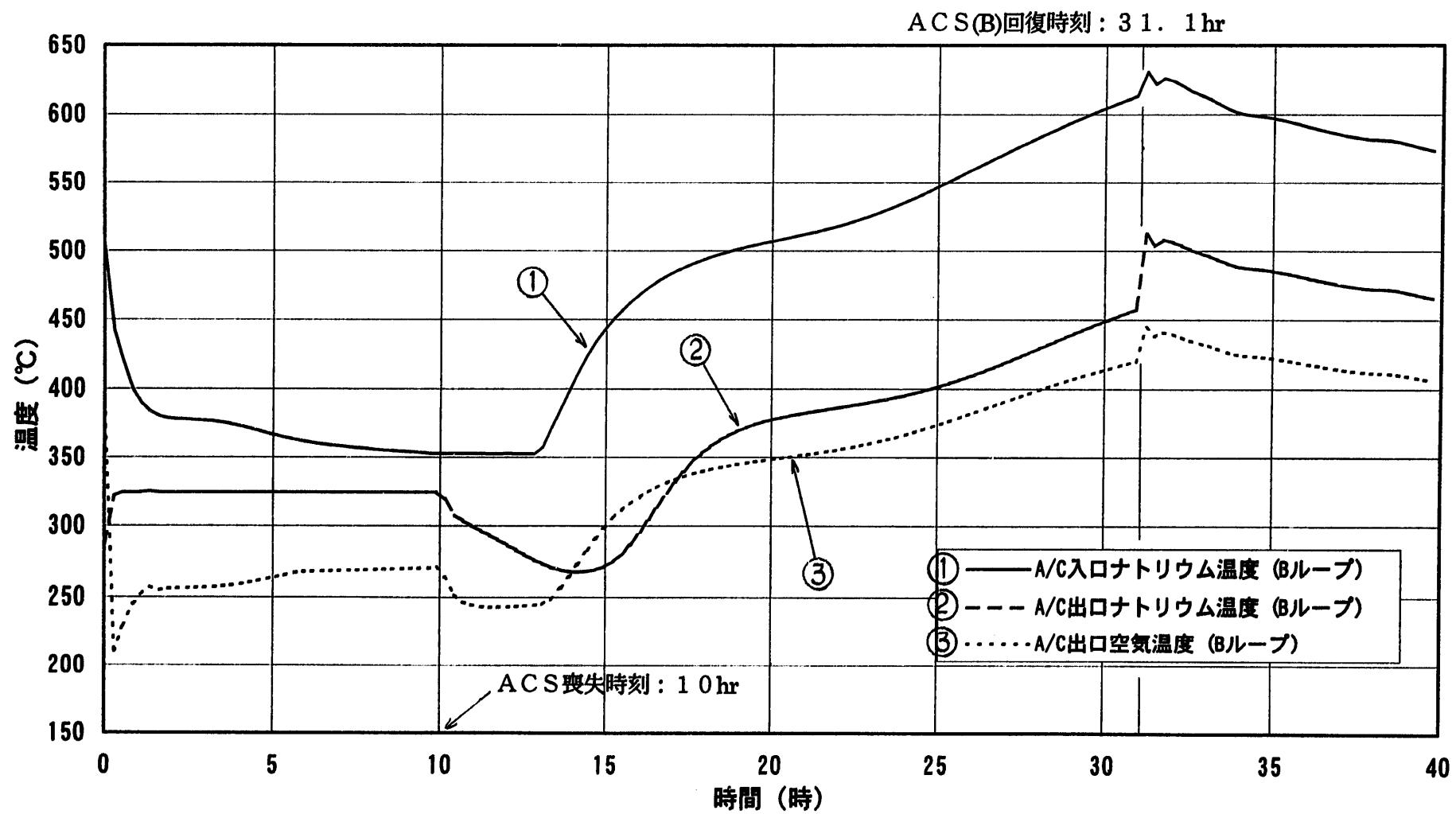


図 4.1-13(2/3) 解析結果 (PLoHS シーケンス：(1)-2-(3)-A)

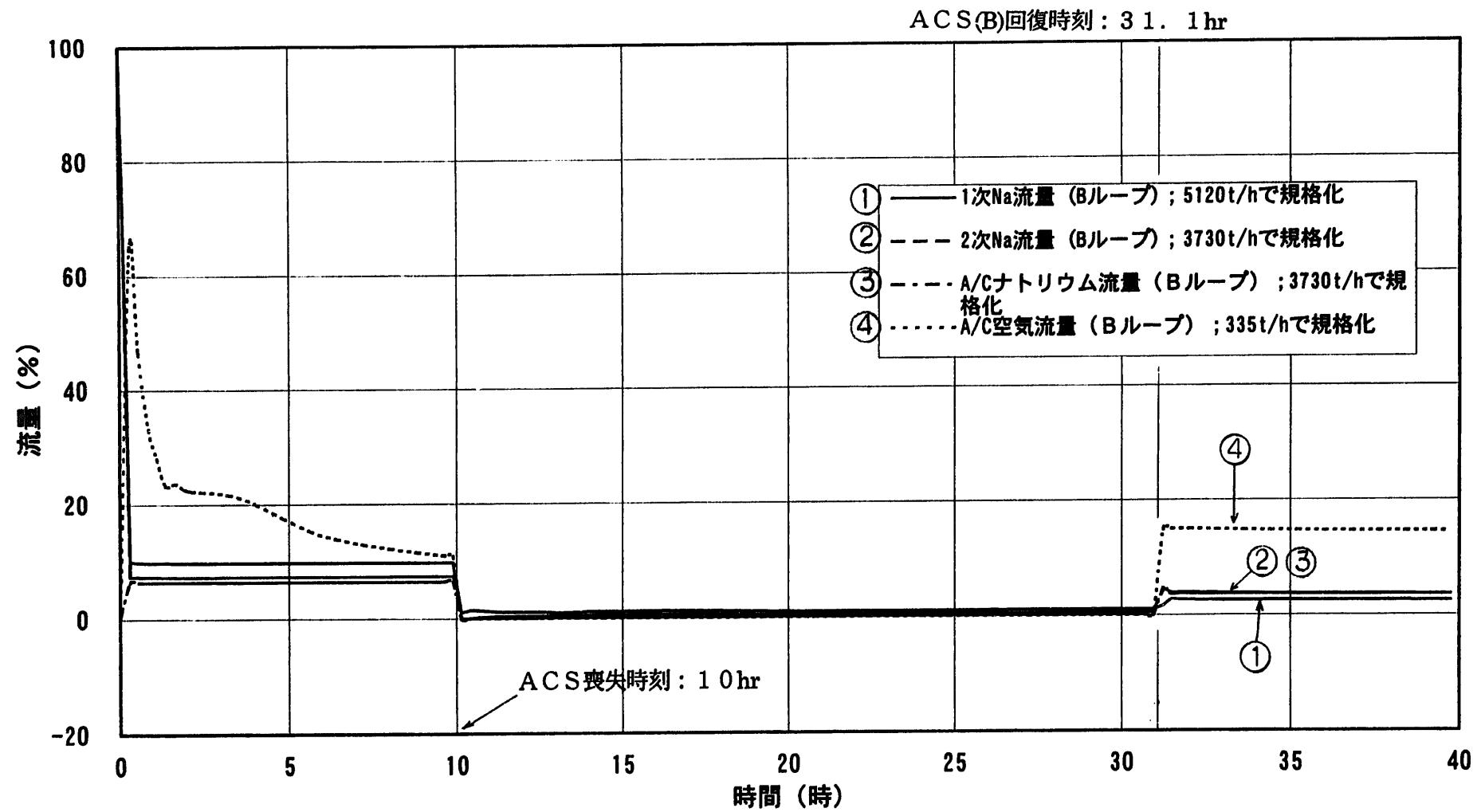


図 4.1-13(3/3) 解析結果 (PLOHS シーケンス：(1)-2-(3)-A)

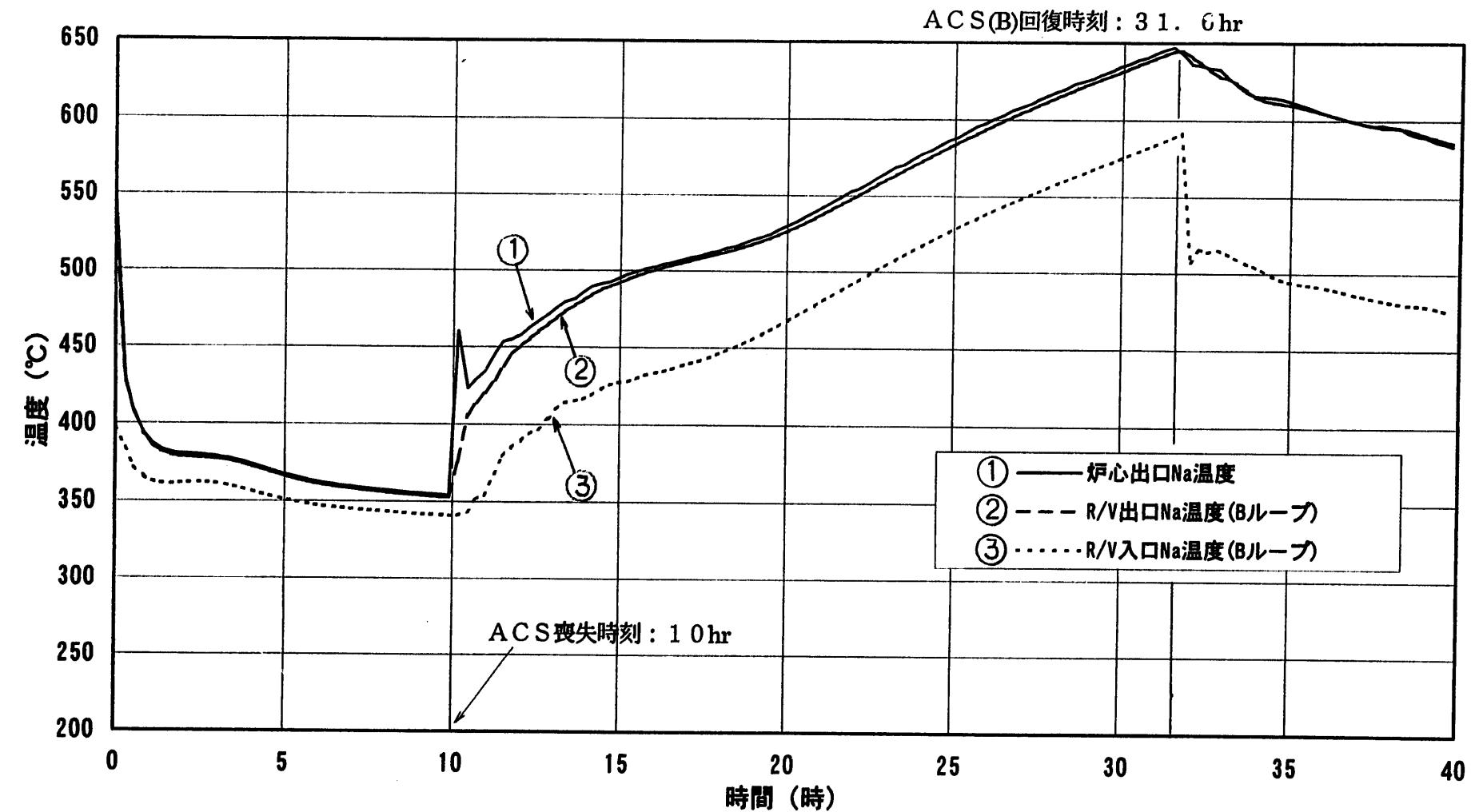


図 4.1-14(1/3) 解析結果 (P L O H S シーケンス：(1)- 2 - (3)- B )

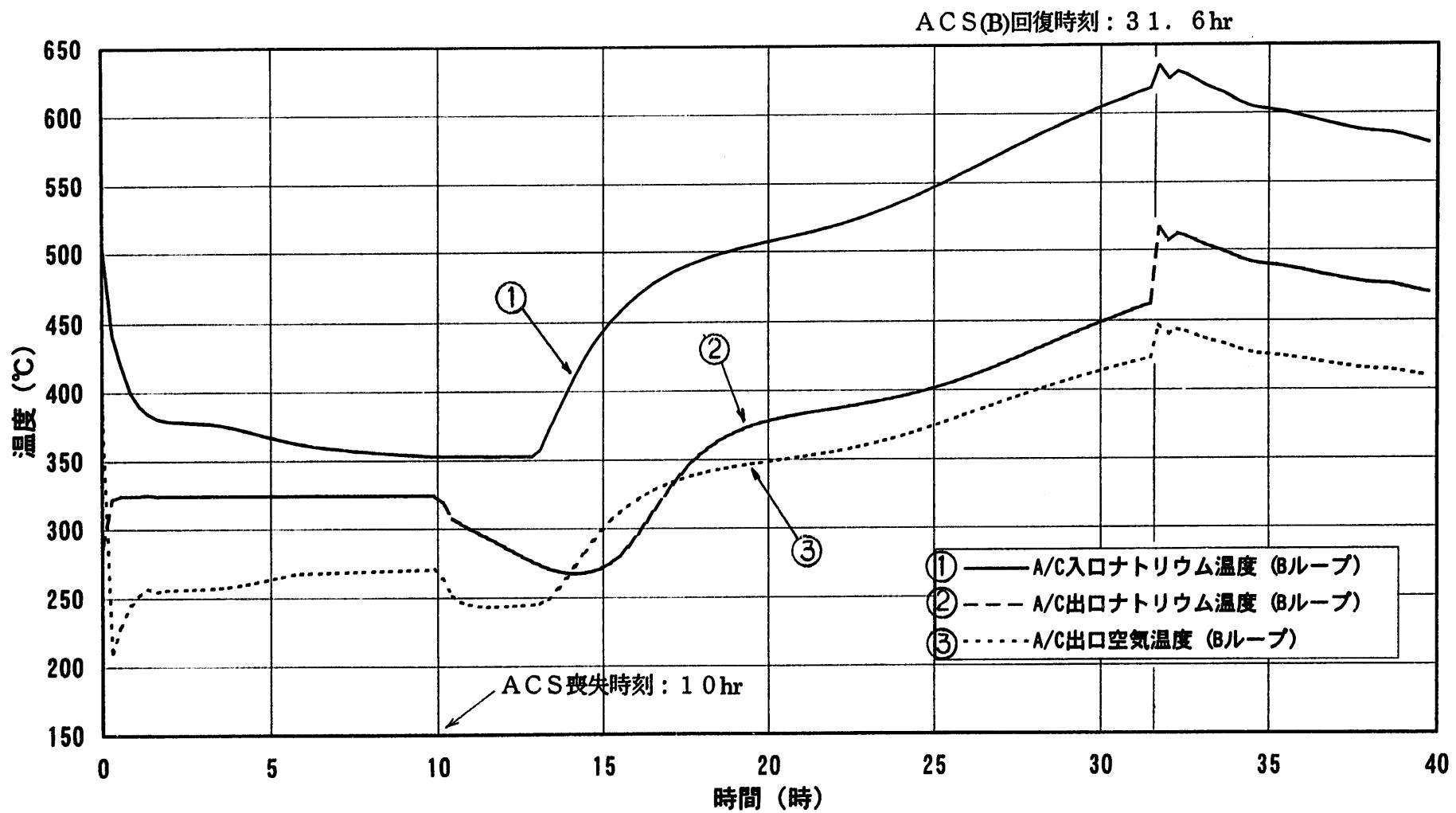


図 4.1-14(2/3) 解析結果 (PLOHSS シーケンス：(1)-2-(3)-B)

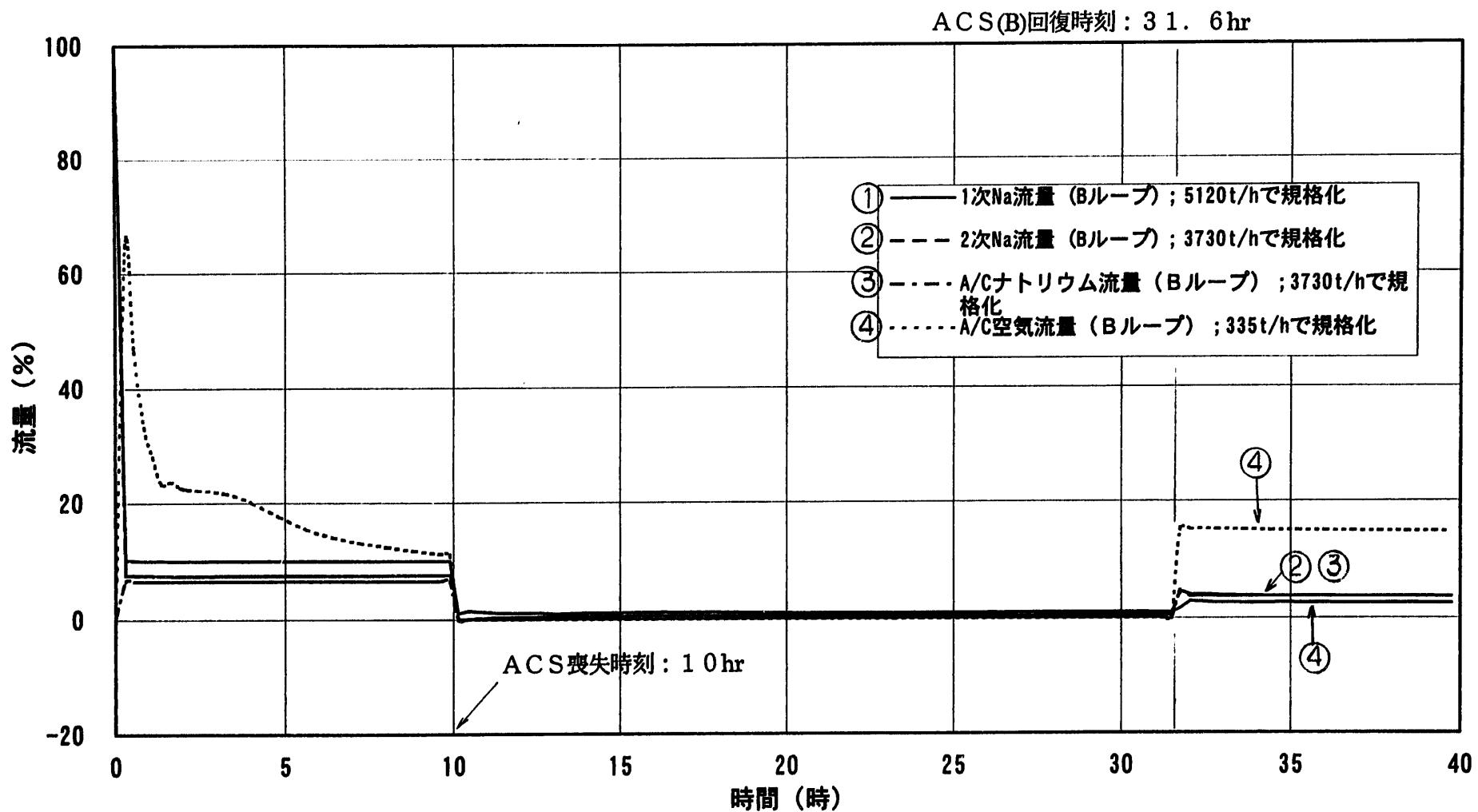


図 4.1-14(3/3) 解析結果 (PLOHSS シーケンス : (1)-2-(3)-B)

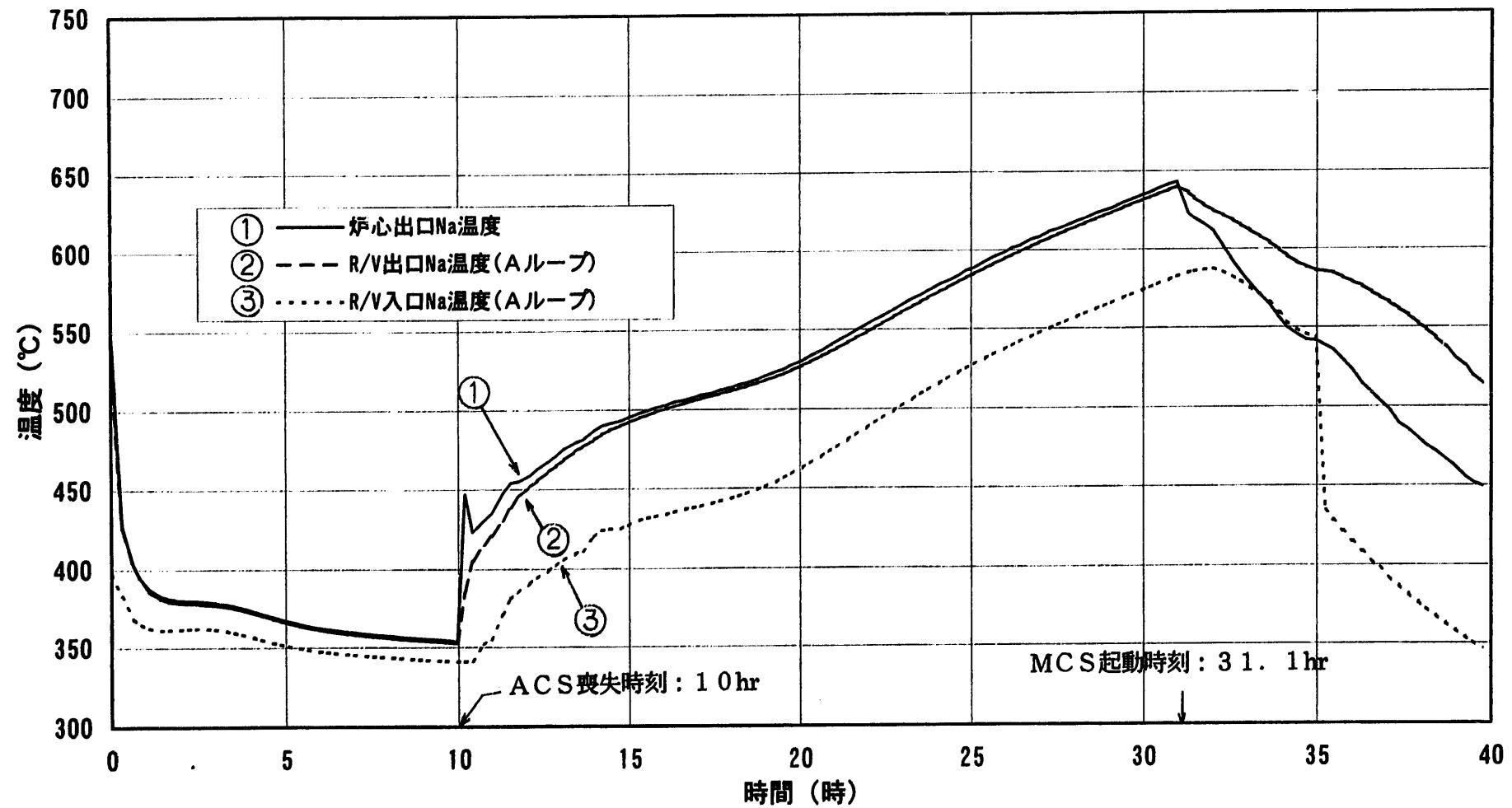
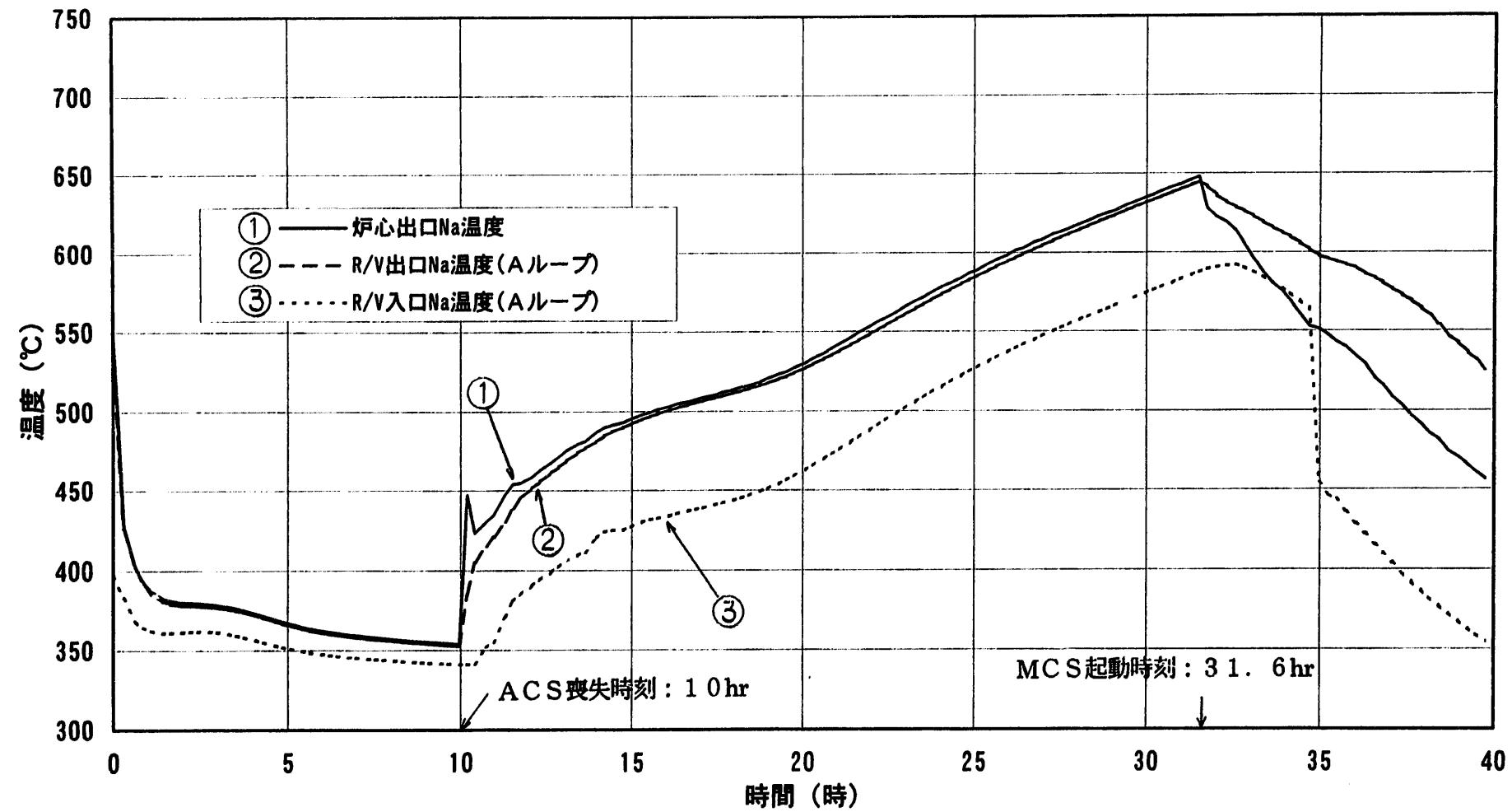
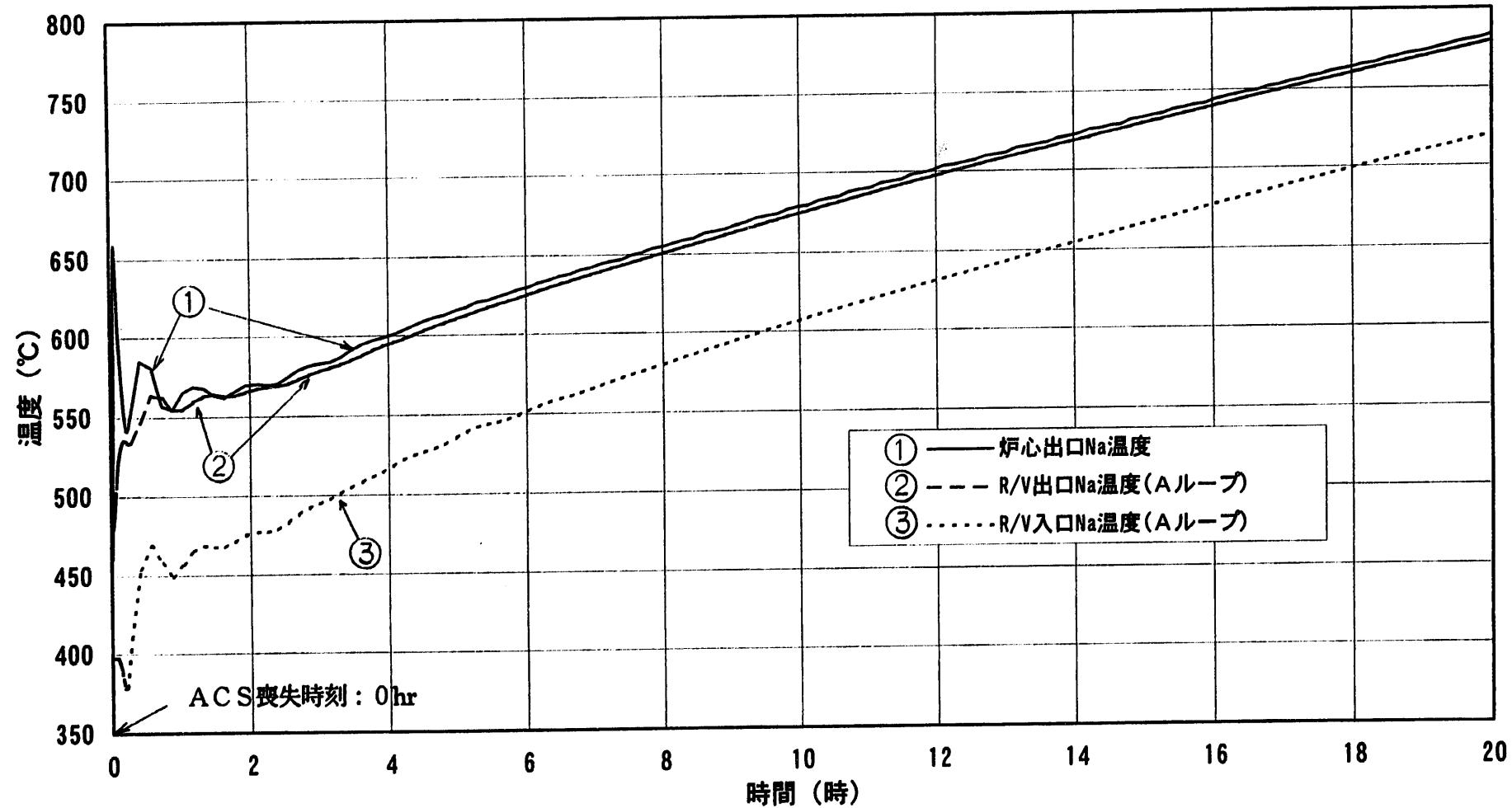


図 4.1-15 解析結果 (P L O H S シーケンス: (1)-3-(3)-A)





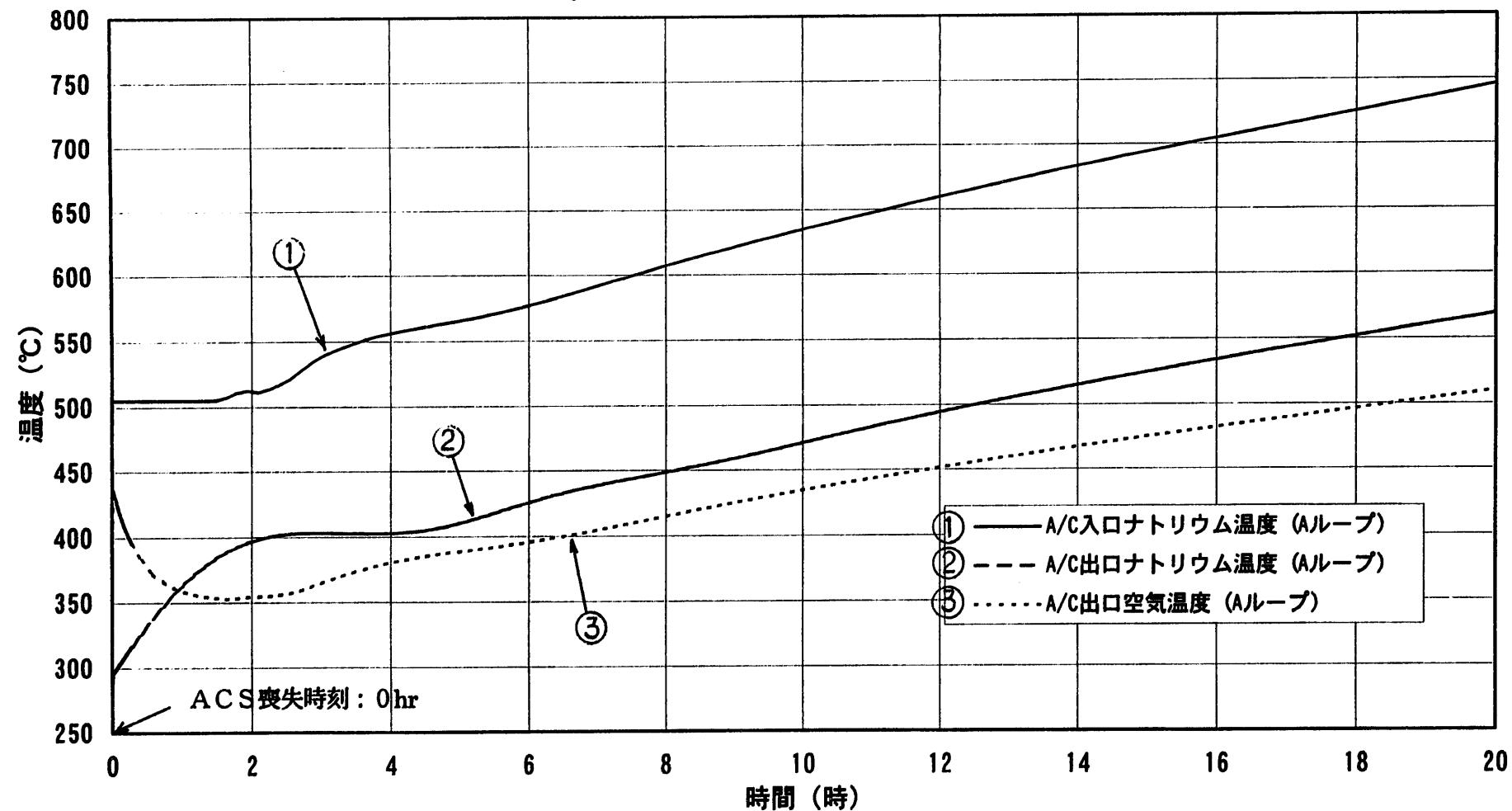


図 4.1-17(2/2) 解析結果 (PLoHS シーケンス: (1)-1-(4))

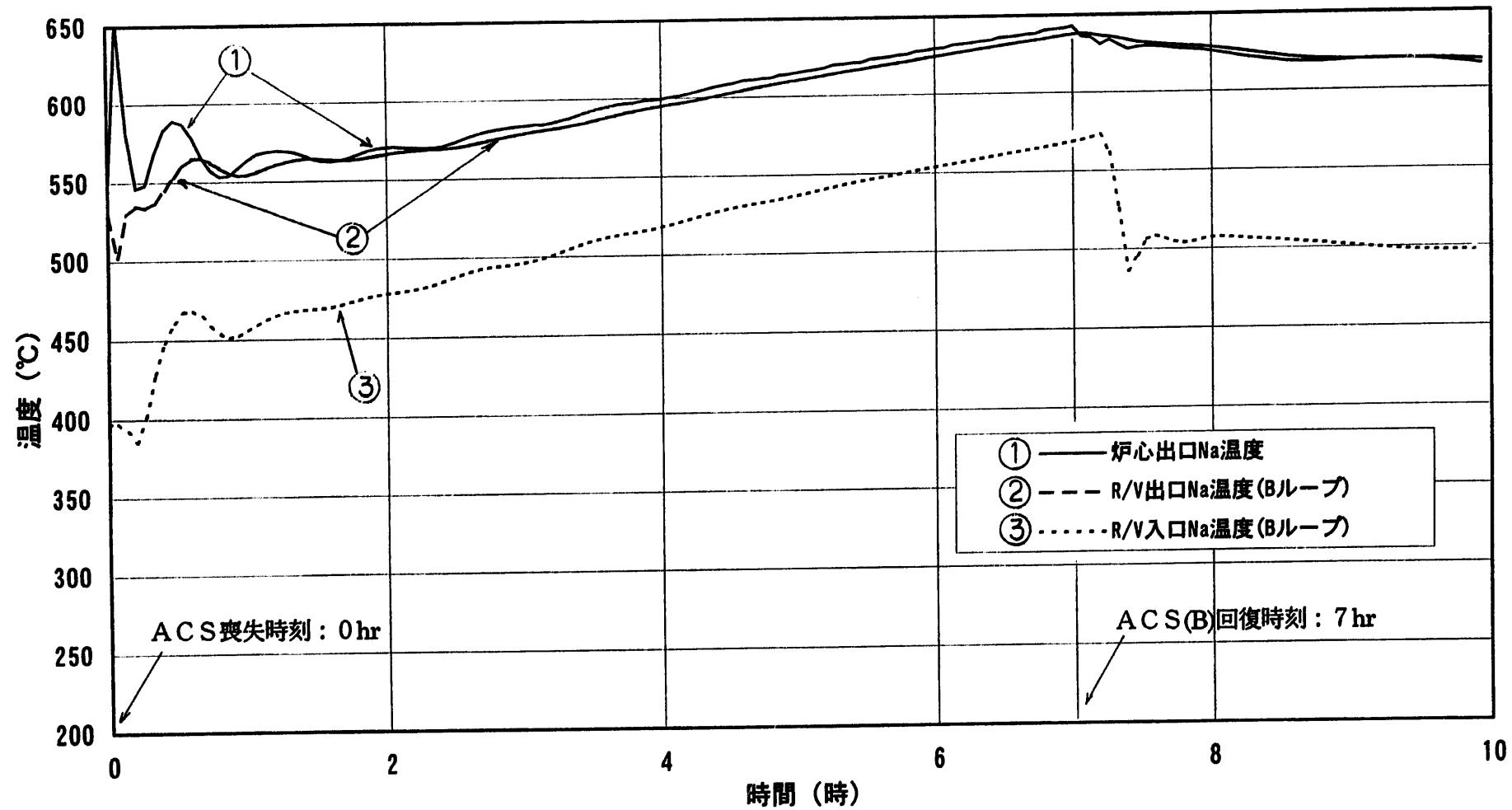


図 4.1-18(1/3) 解析結果 (P L O H S シーケンス: (1) - 2 - ④ - A)

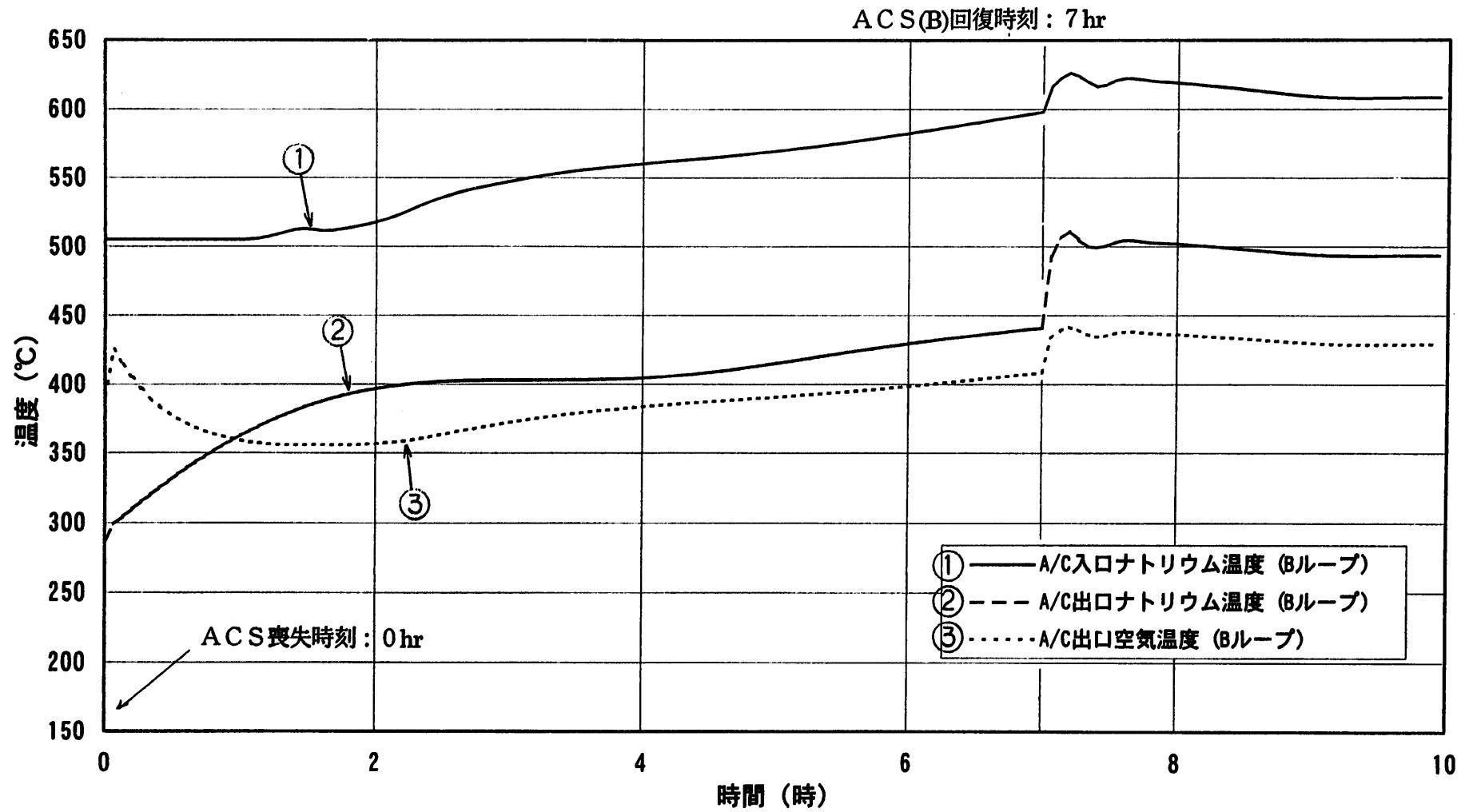


図 4.1-18(2/3) 解析結果 (PL OHS シーケンス：(1)-2-(4)-A)

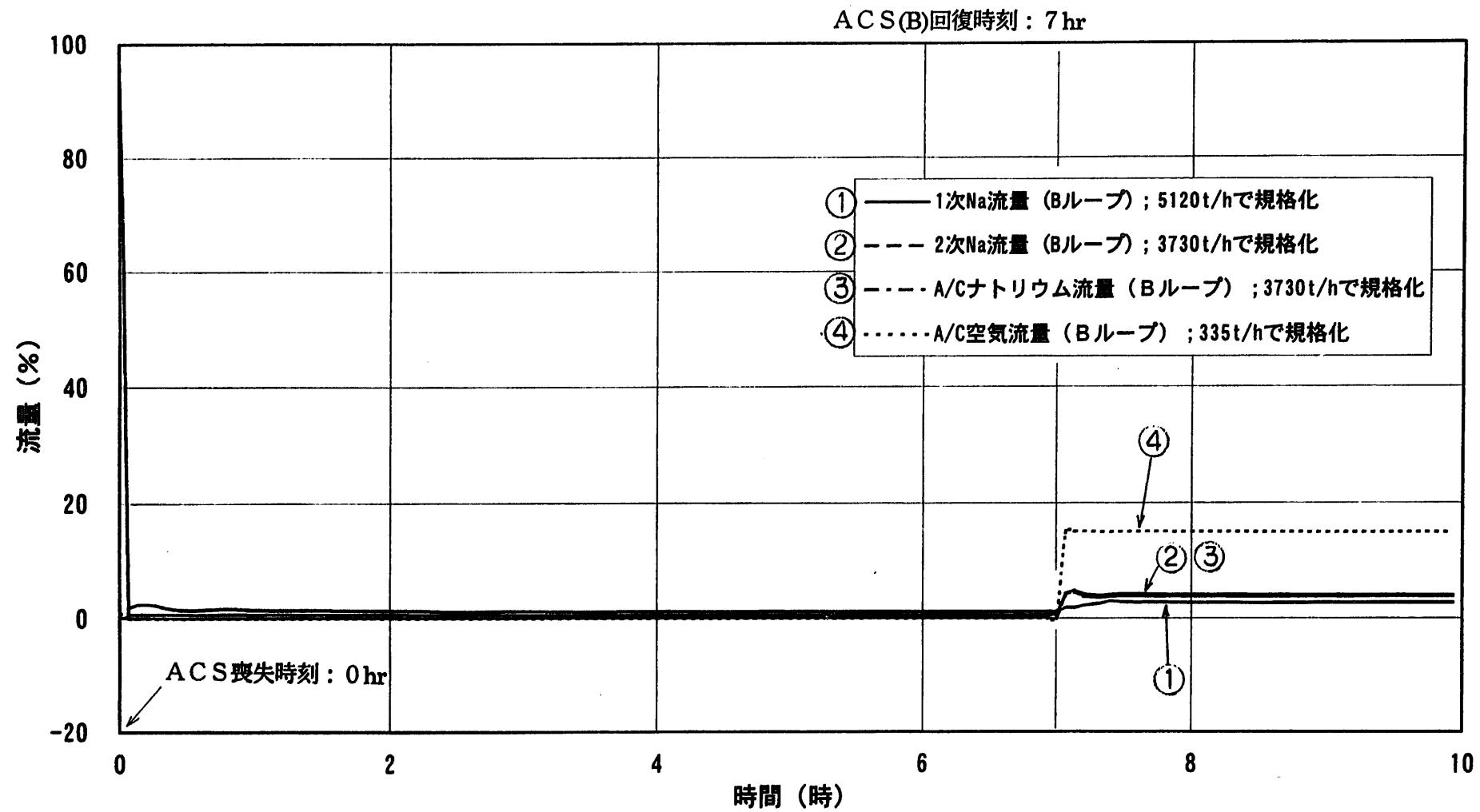


図 4.1-18(3/3) 解析結果 (P L O H S シーケンス : (1)-2-(4)-A)

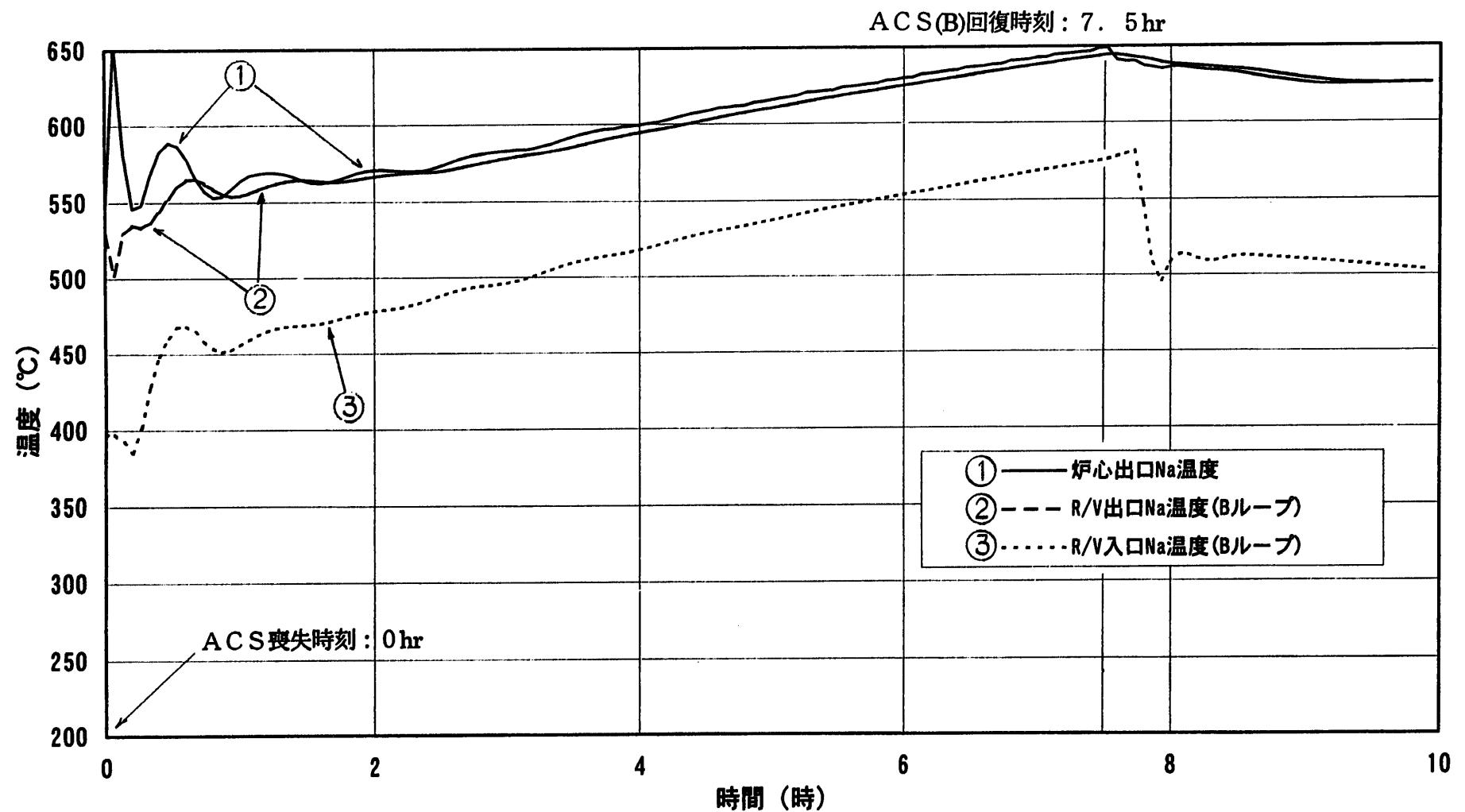


図 4.1-19(1/3) 解析結果 (PLOHSS シーケンス : (1)-2-(4)-B)

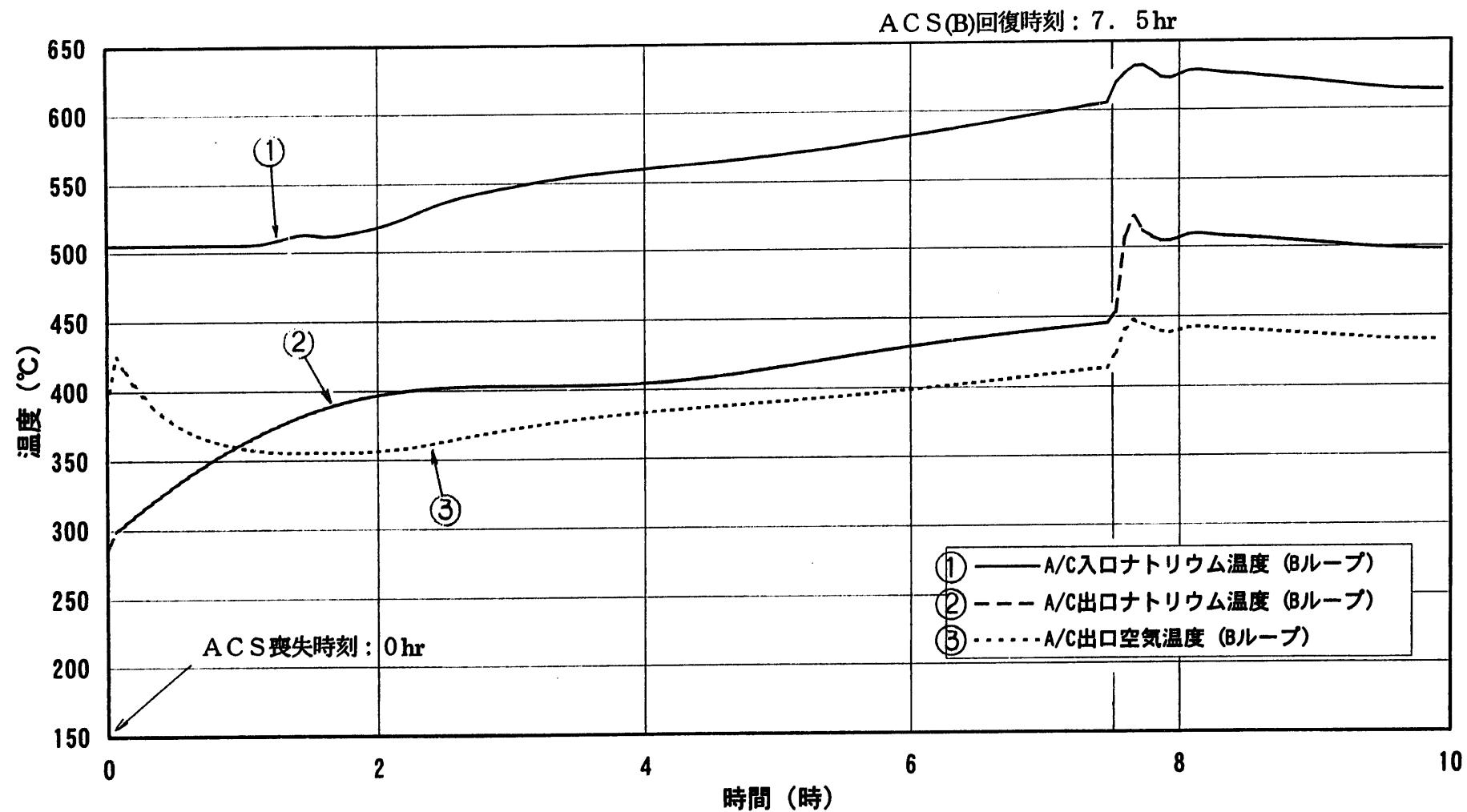


図 4.1-19(2/3) 解析結果 (PLOHS シーケンス : (1)-2-④-B)

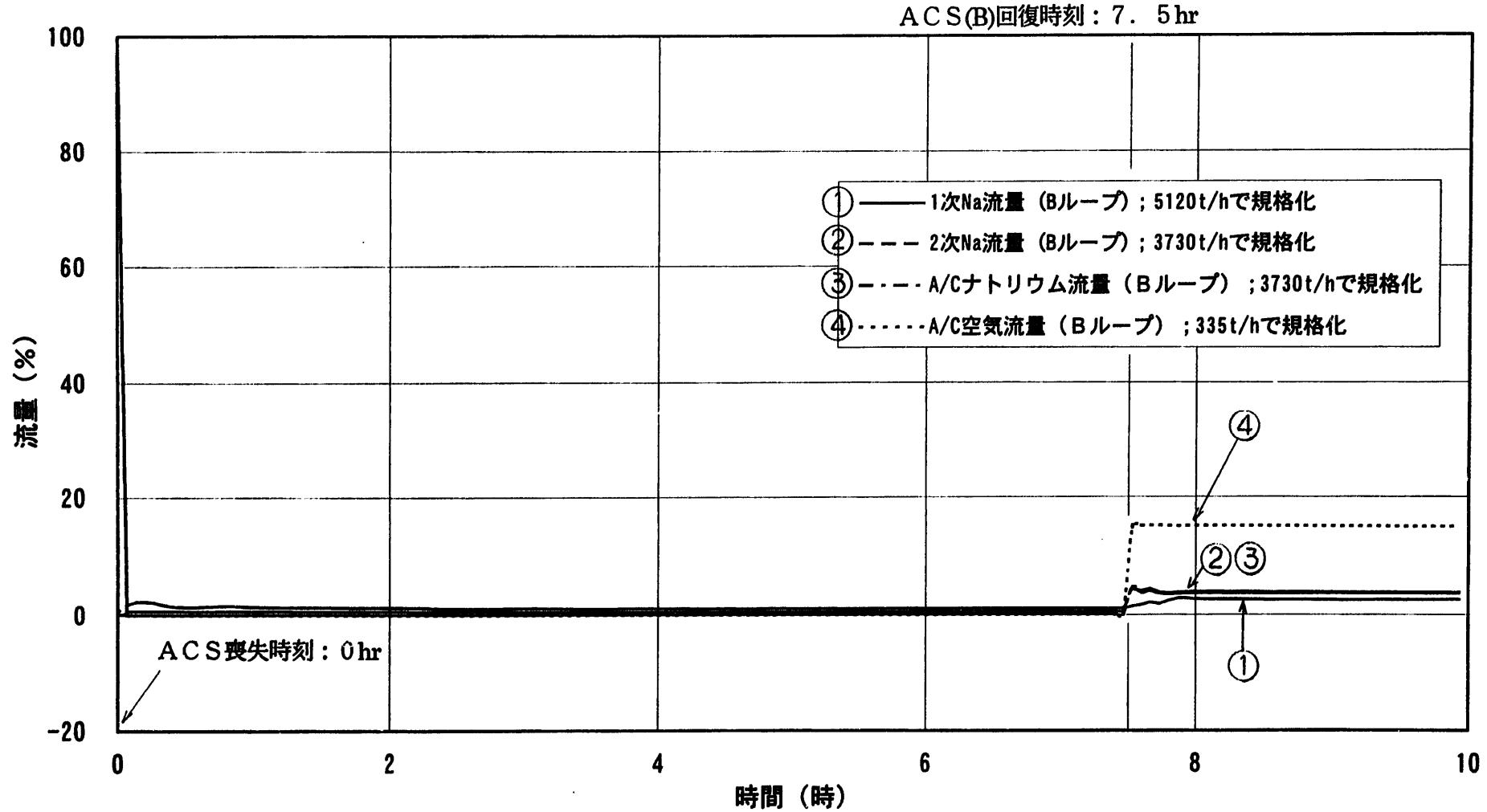
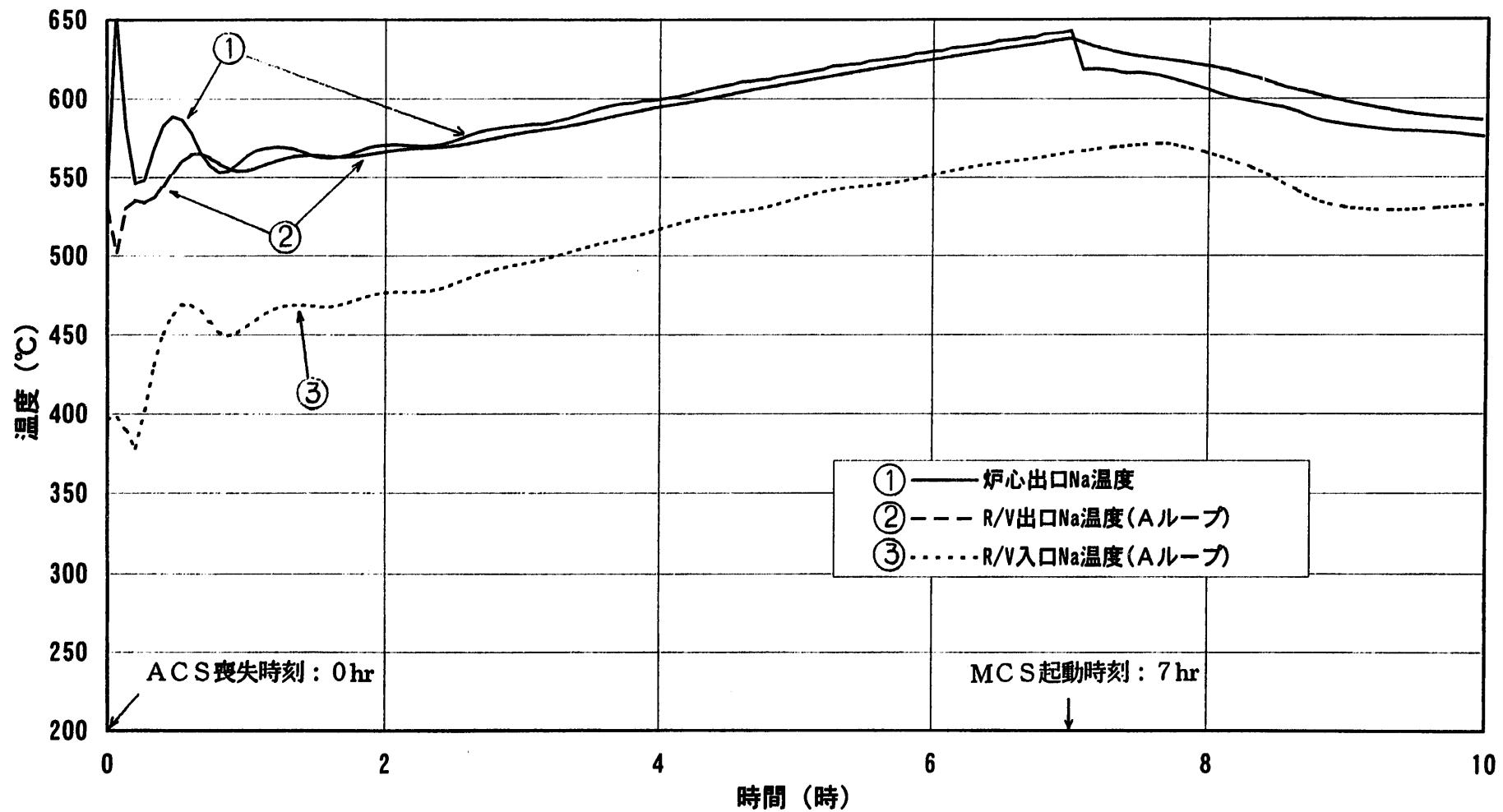
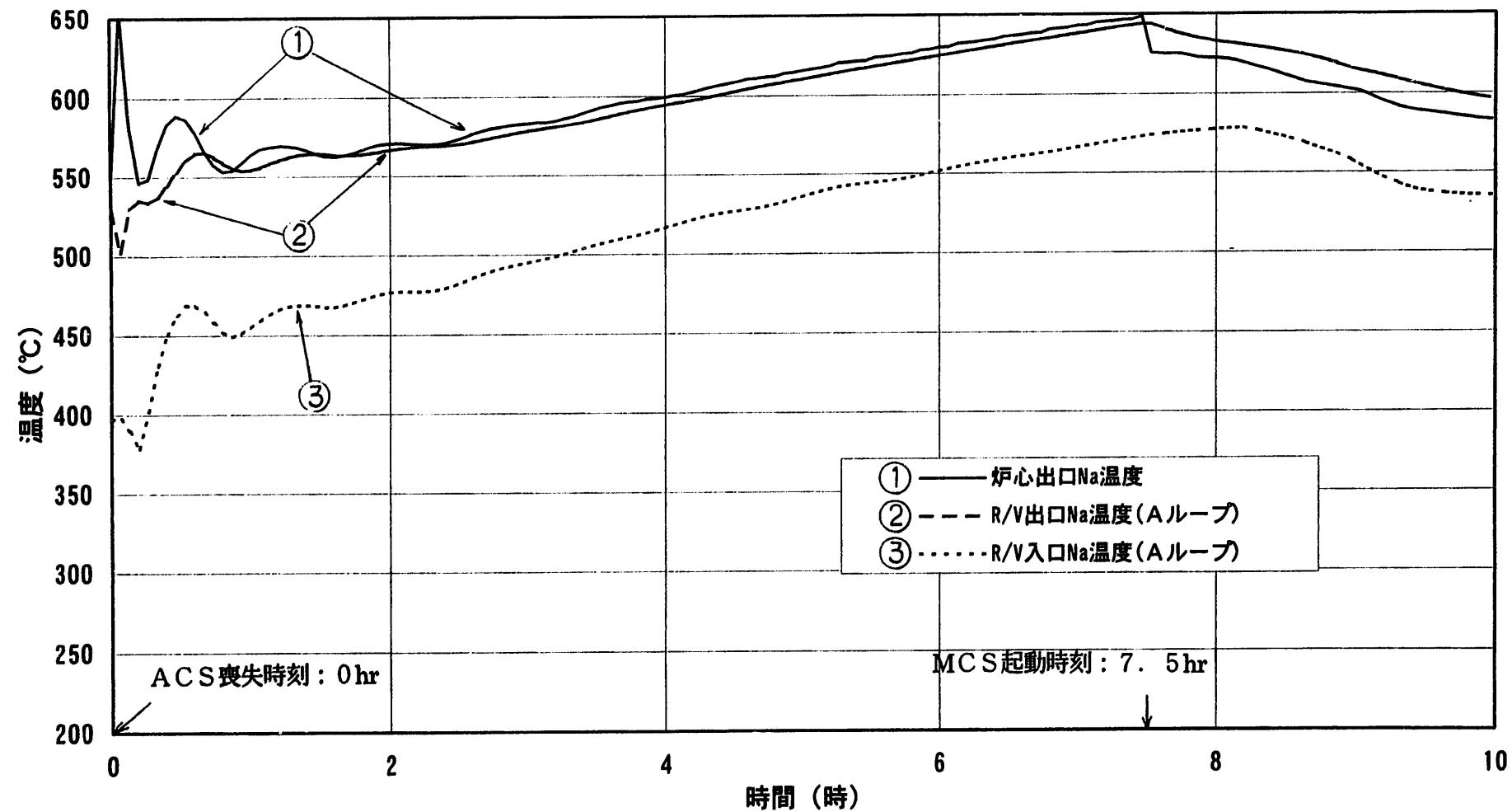
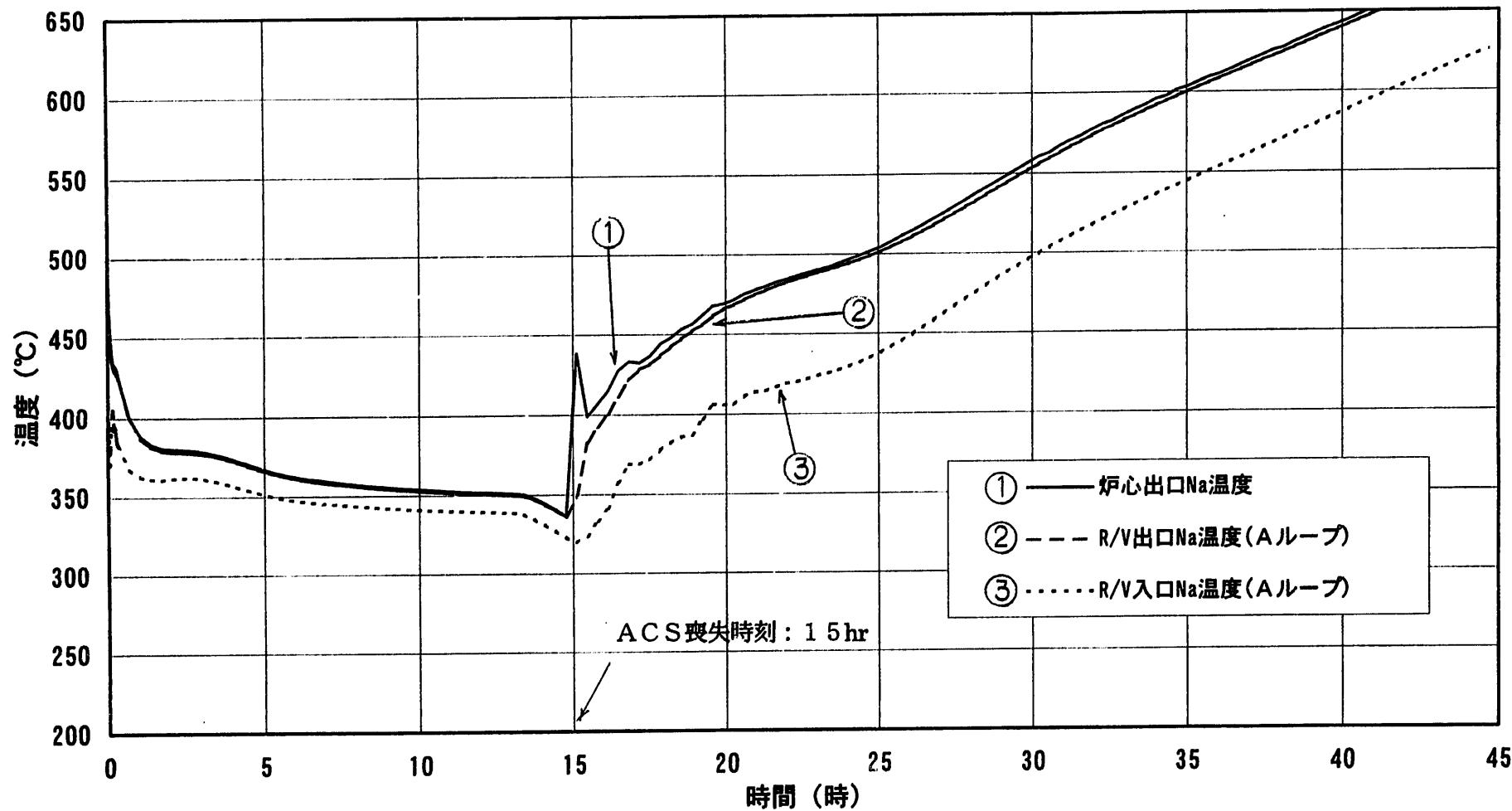


図 4.1-19(3/3) 解析結果 (P L O H S シーケンス : (1)-2-(4)-B )







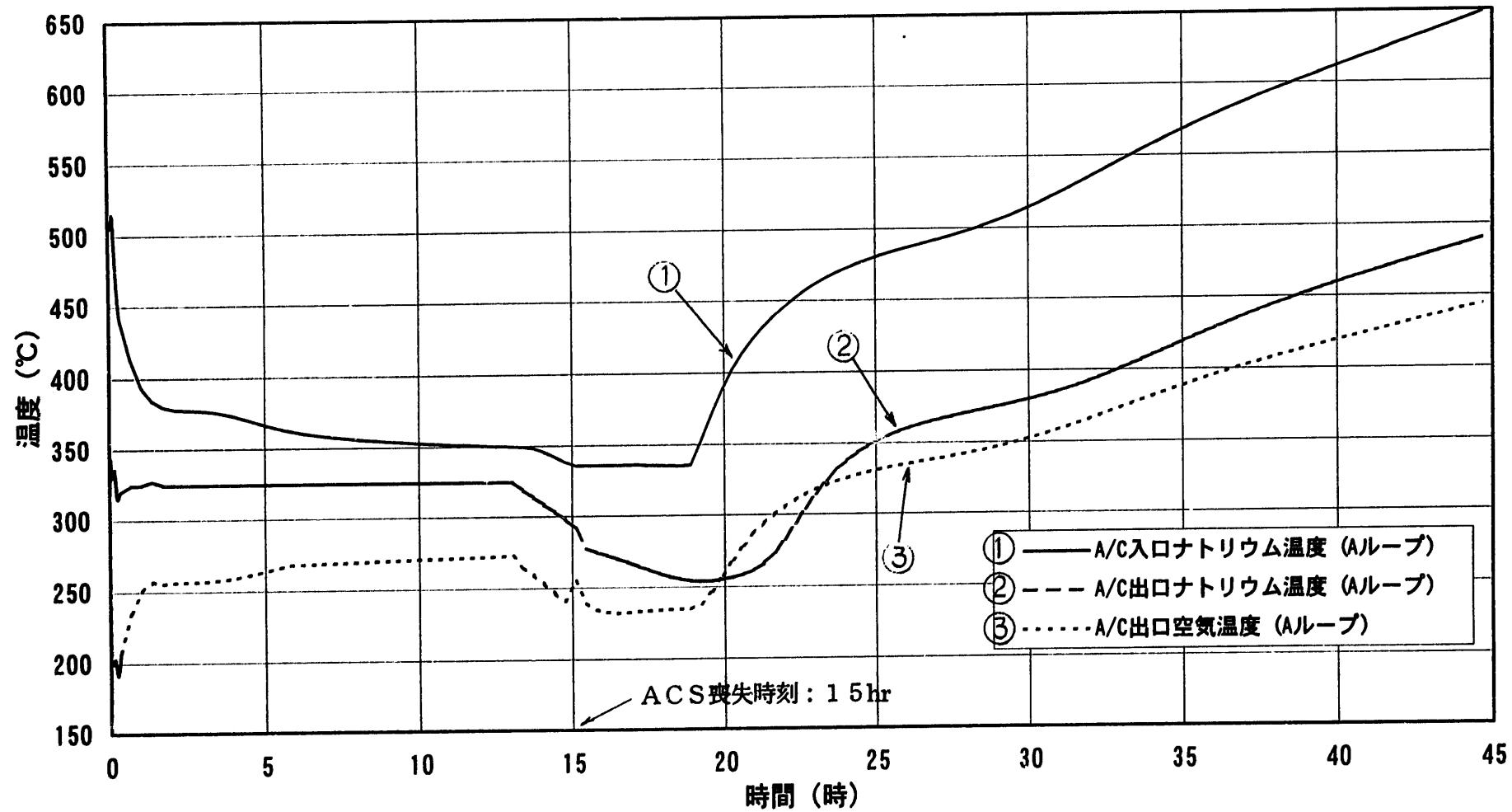


図 4.1-22(2/2) 解析結果 (P L O H S シーケンス: (1)-1-(5))

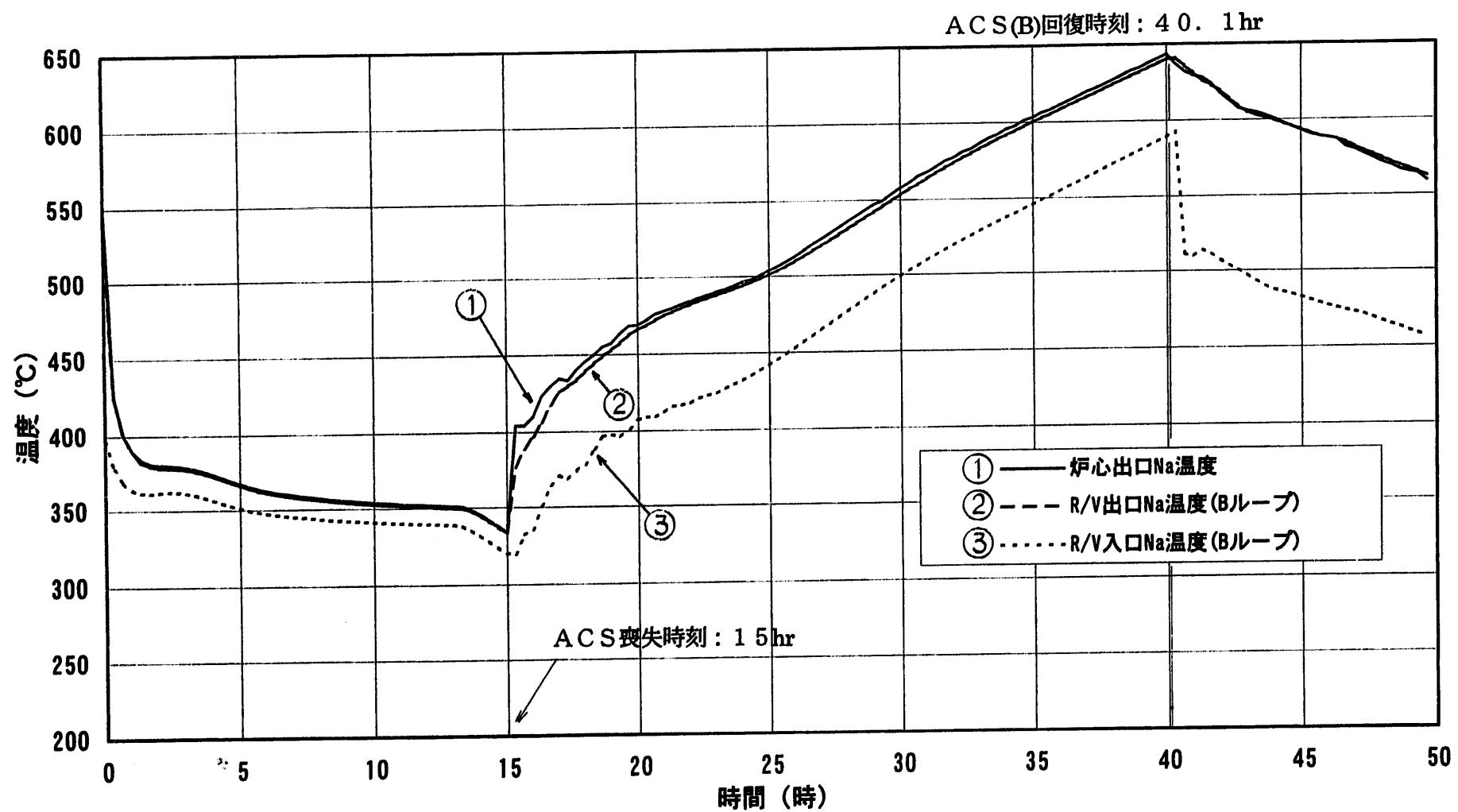


図 4.1-23(1/3) 解析結果 (P L O H S シーケンス：(1)-2-⑤-A)

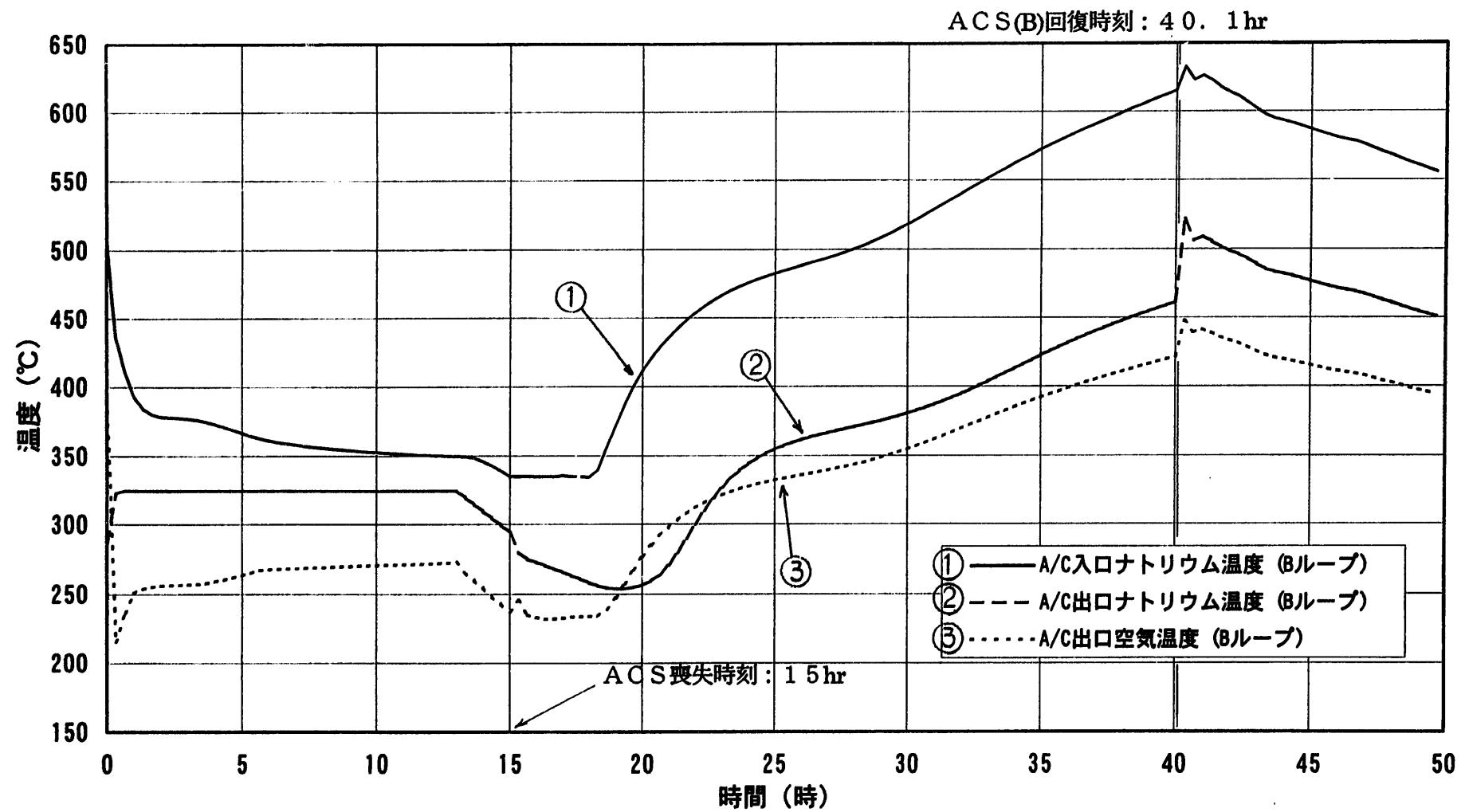


図 4.1-23(2/3) 解析結果 (PLOHSS シーケンス : (1)-2-⑤-A)

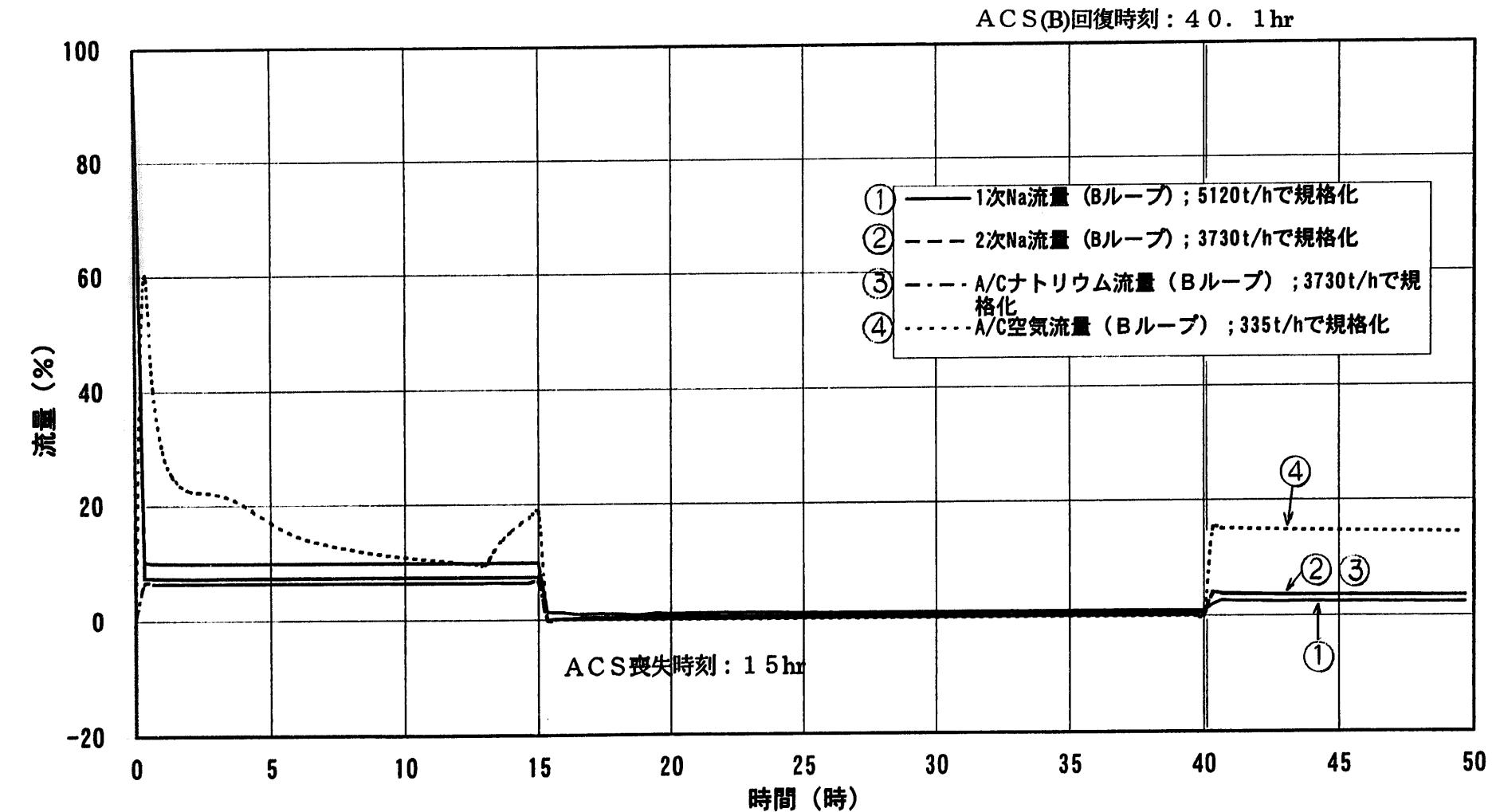


図 4.1-23(3/3) 解析結果 (PLOHSS シーケンス : (1)-2-(5)-A)

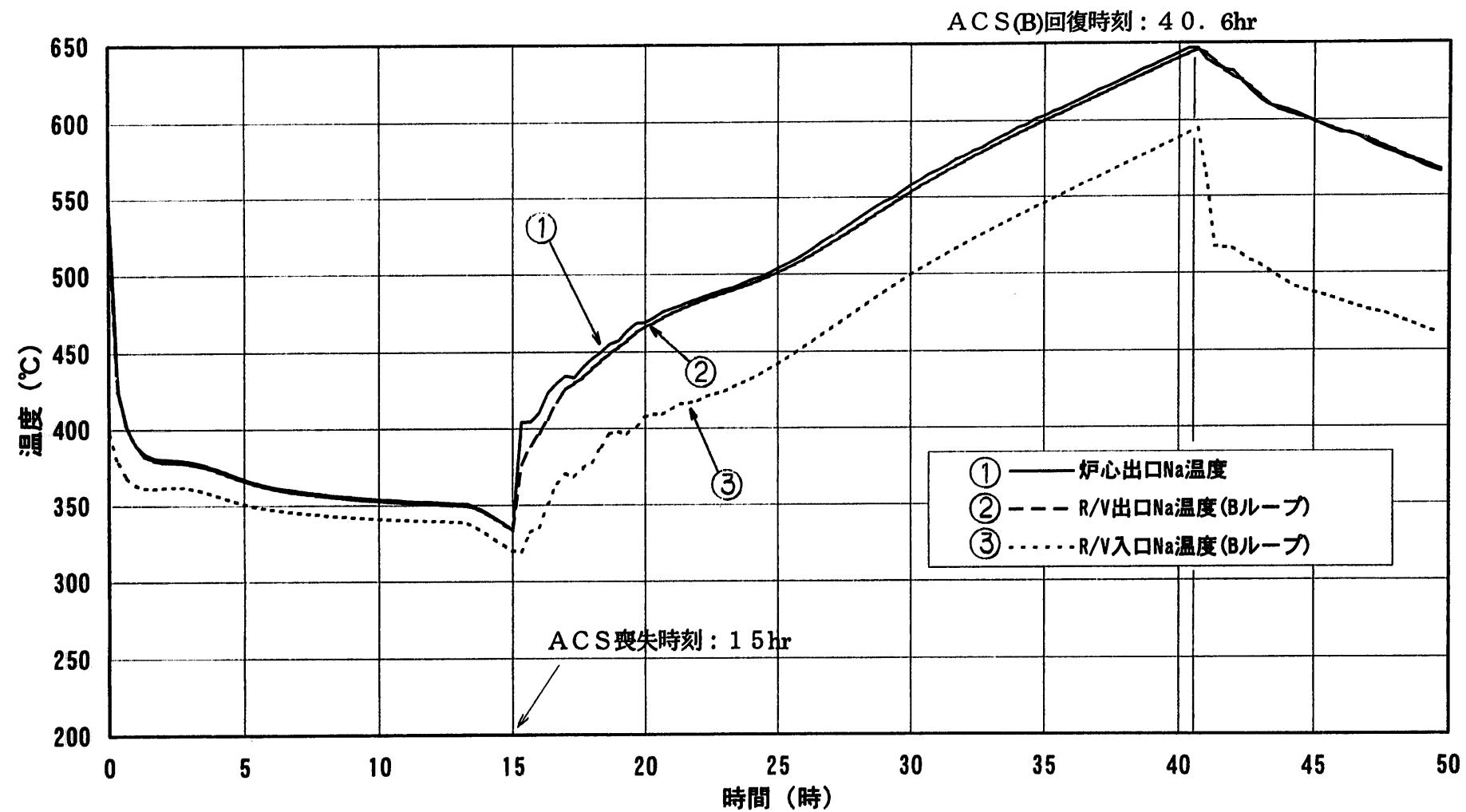


図 4.1-24(1/3) 解析結果 (PLOH S シーケンス：(1)-2-⑤-B)

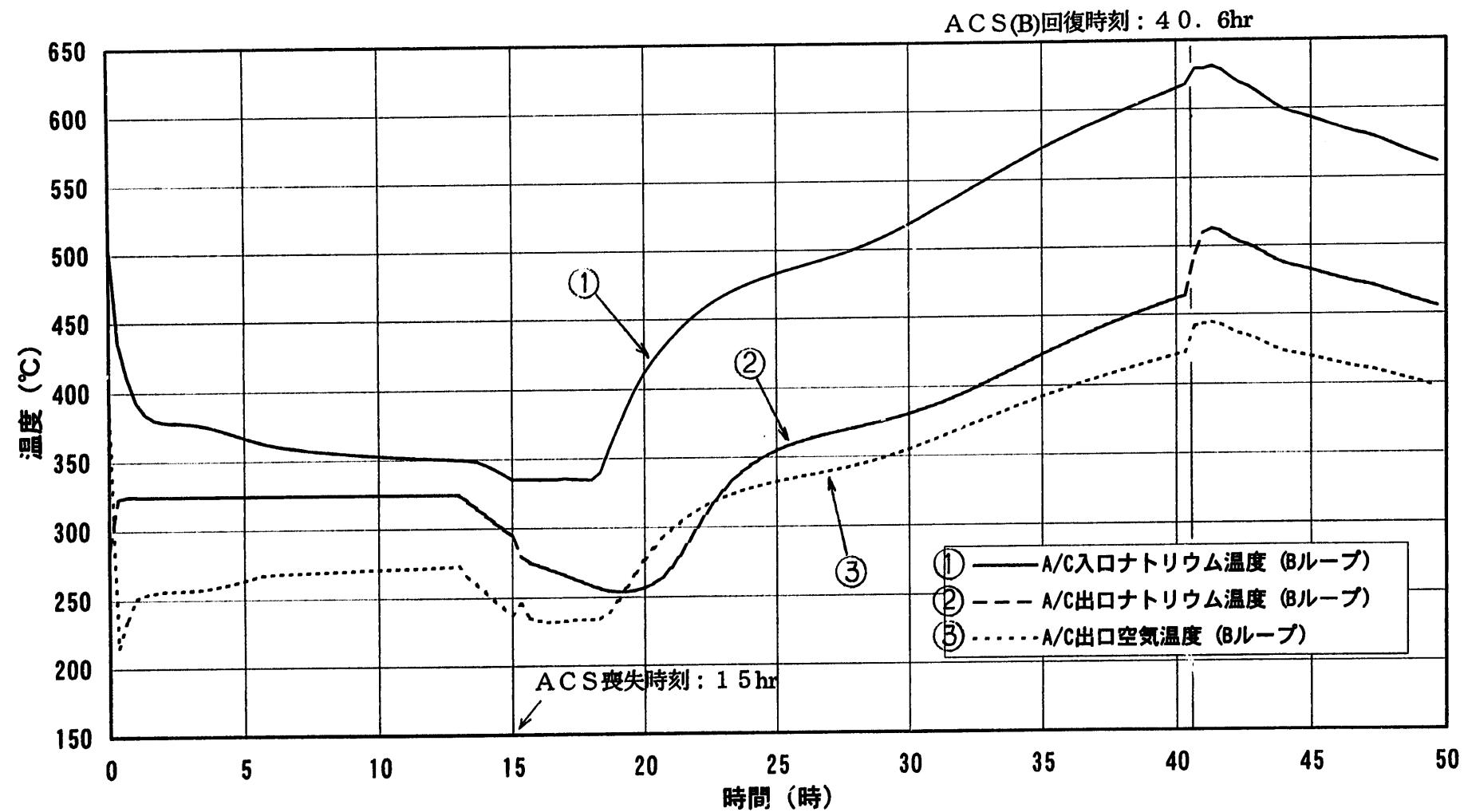


図 4.1-24(2/3) 解析結果 (P L O H S シーケンス：(1)-2-⑤-B)

ACS(B)回復時刻 : 40.6hr

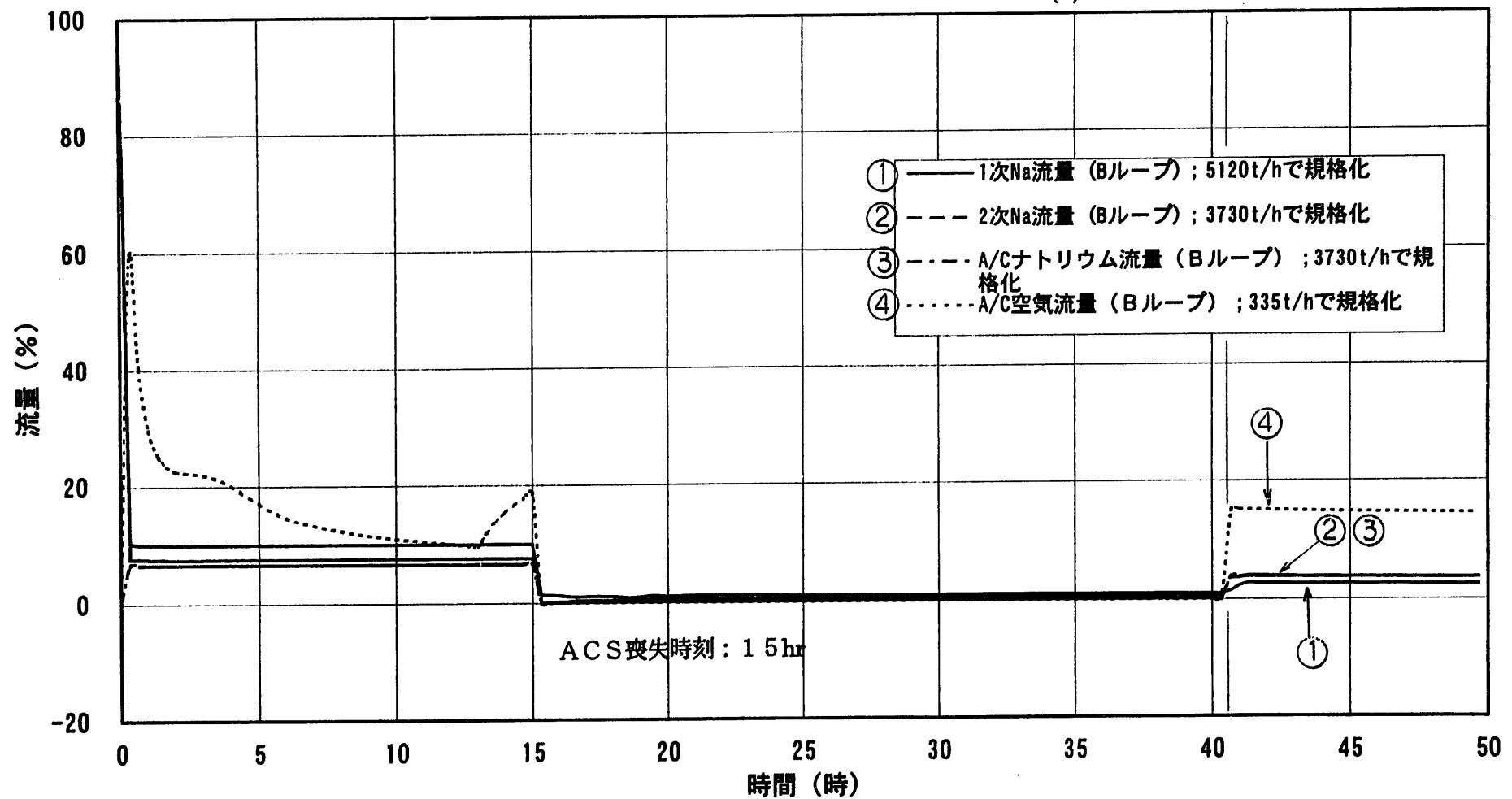


図 4.1-24(3/3) 解析結果 (PLOHSS シーケンス : (1)-2-⑤-B)

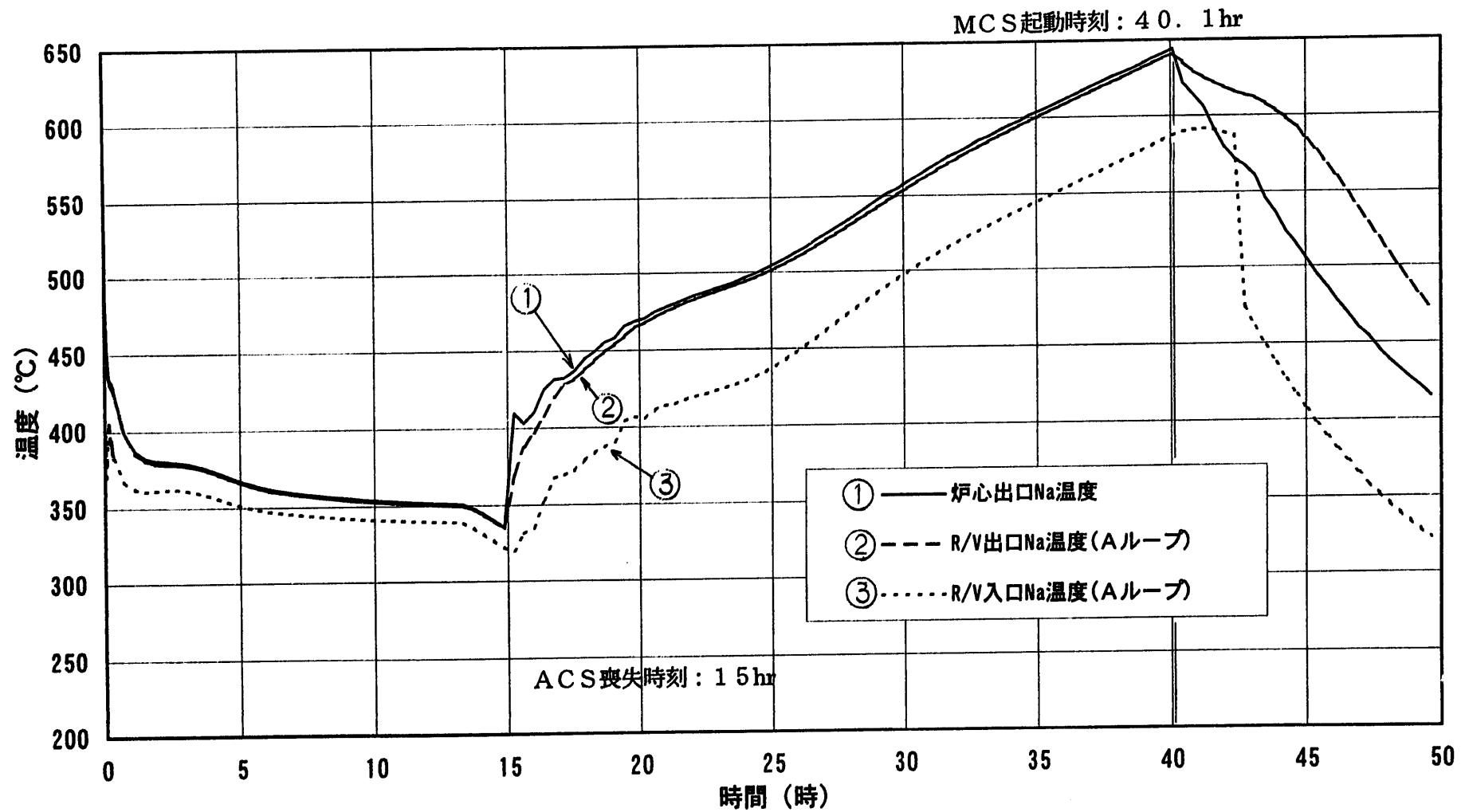


図 4.1-25 解析結果 (PLOHSS シーケンス：(1)-3-⑤-A)

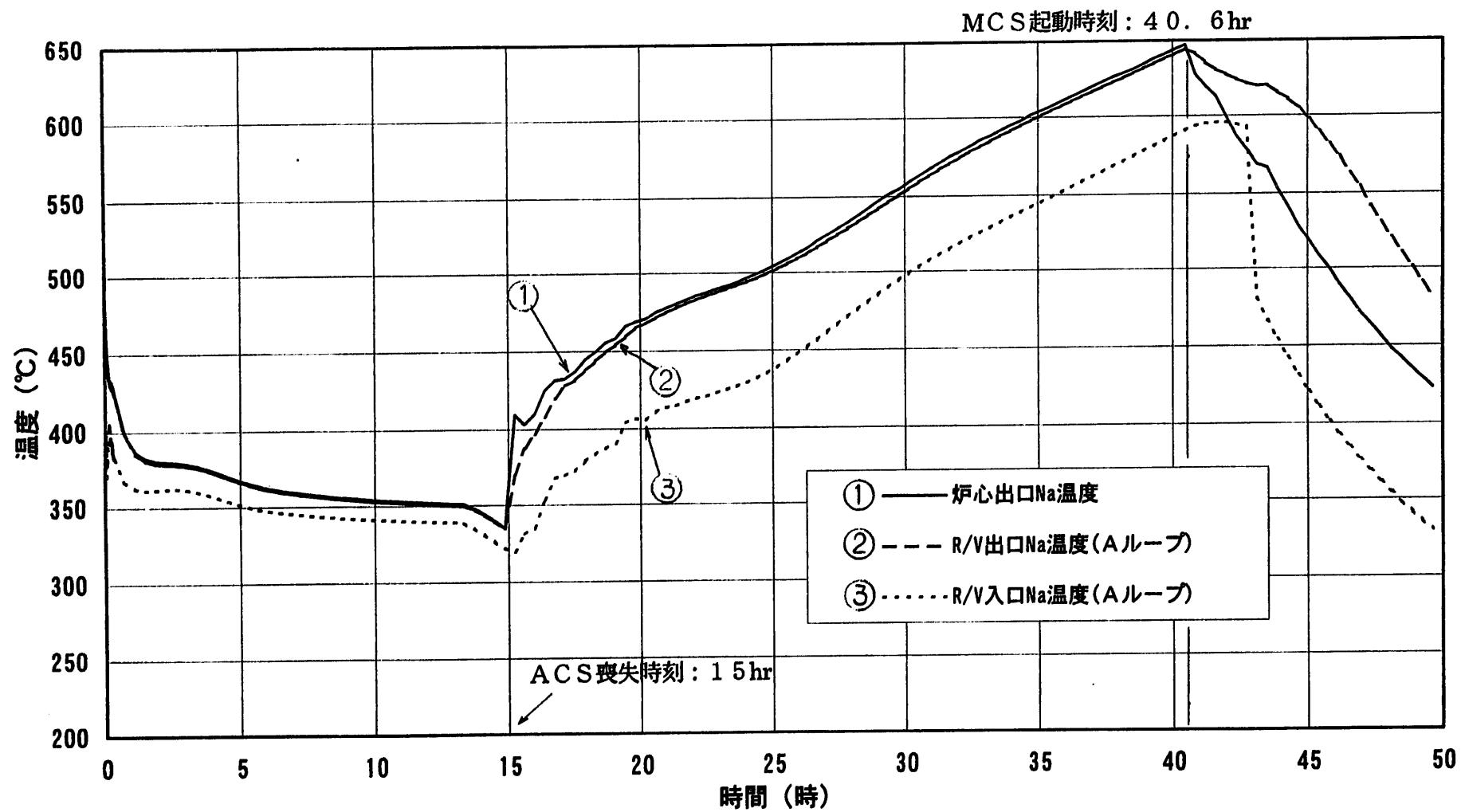


図 4.1-26 解析結果 (P L O H S シーケンス：(1)-3-⑤-B)

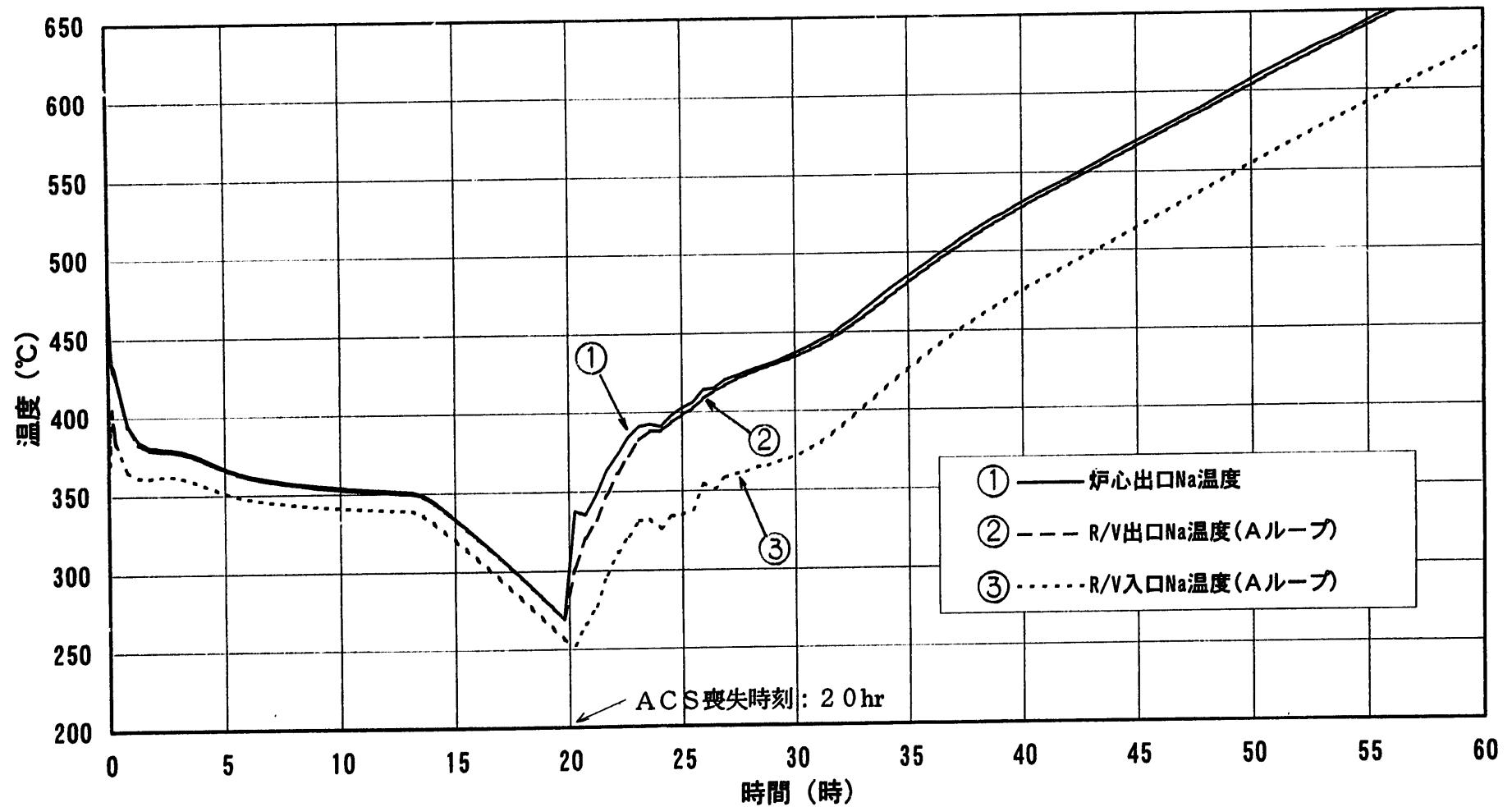


図 4.1-27(1/2) 解析結果 (P L O H S シーケンス : (1)-1-(6))

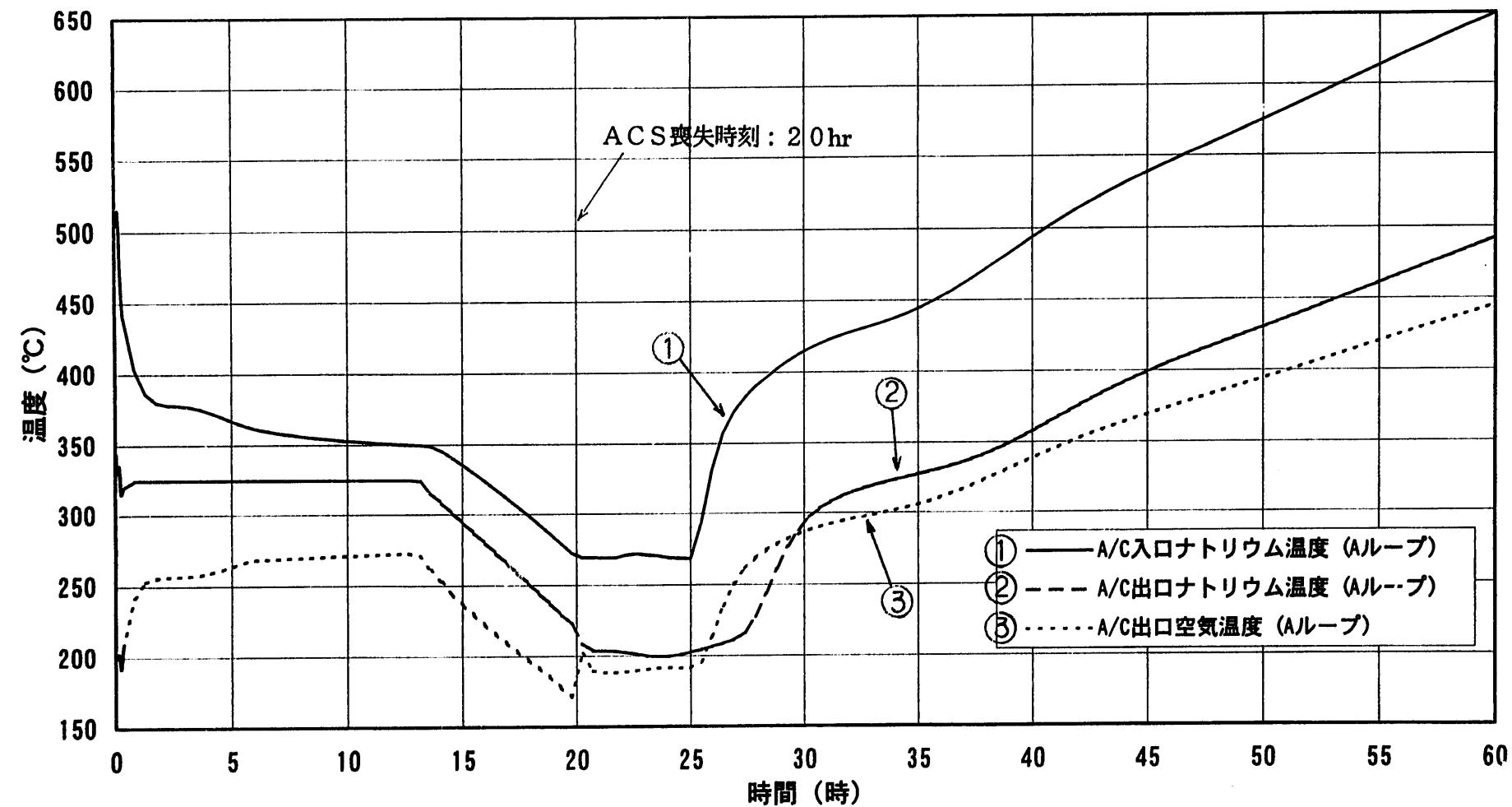


図 4.1-27(2/2) 解析結果 (P L O H S シーケンス: (1) - 1 - ⑥)

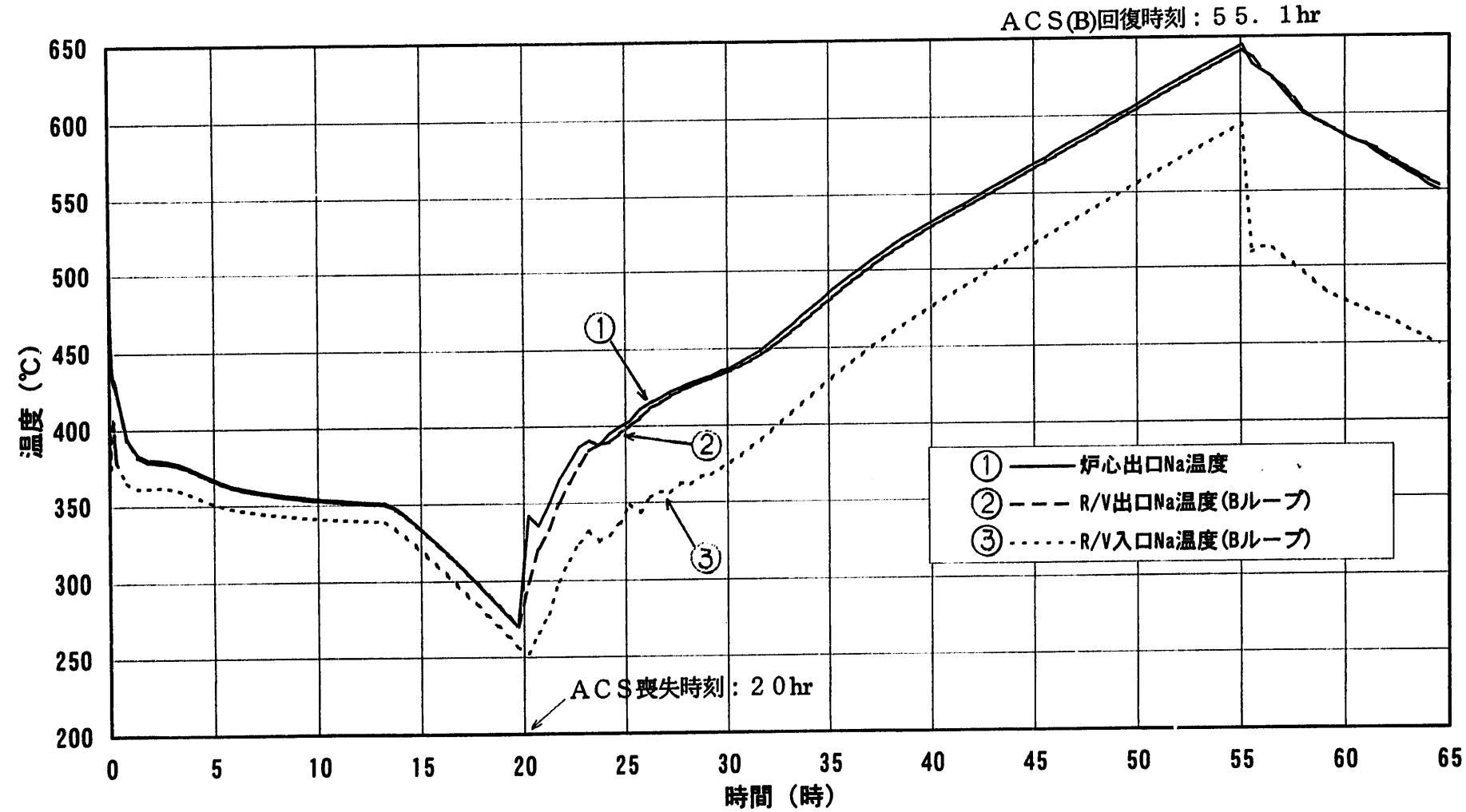


図 4.1-28(1/3) 解析結果 (P L O H S シーケンス：(1)-2-⑥-A)

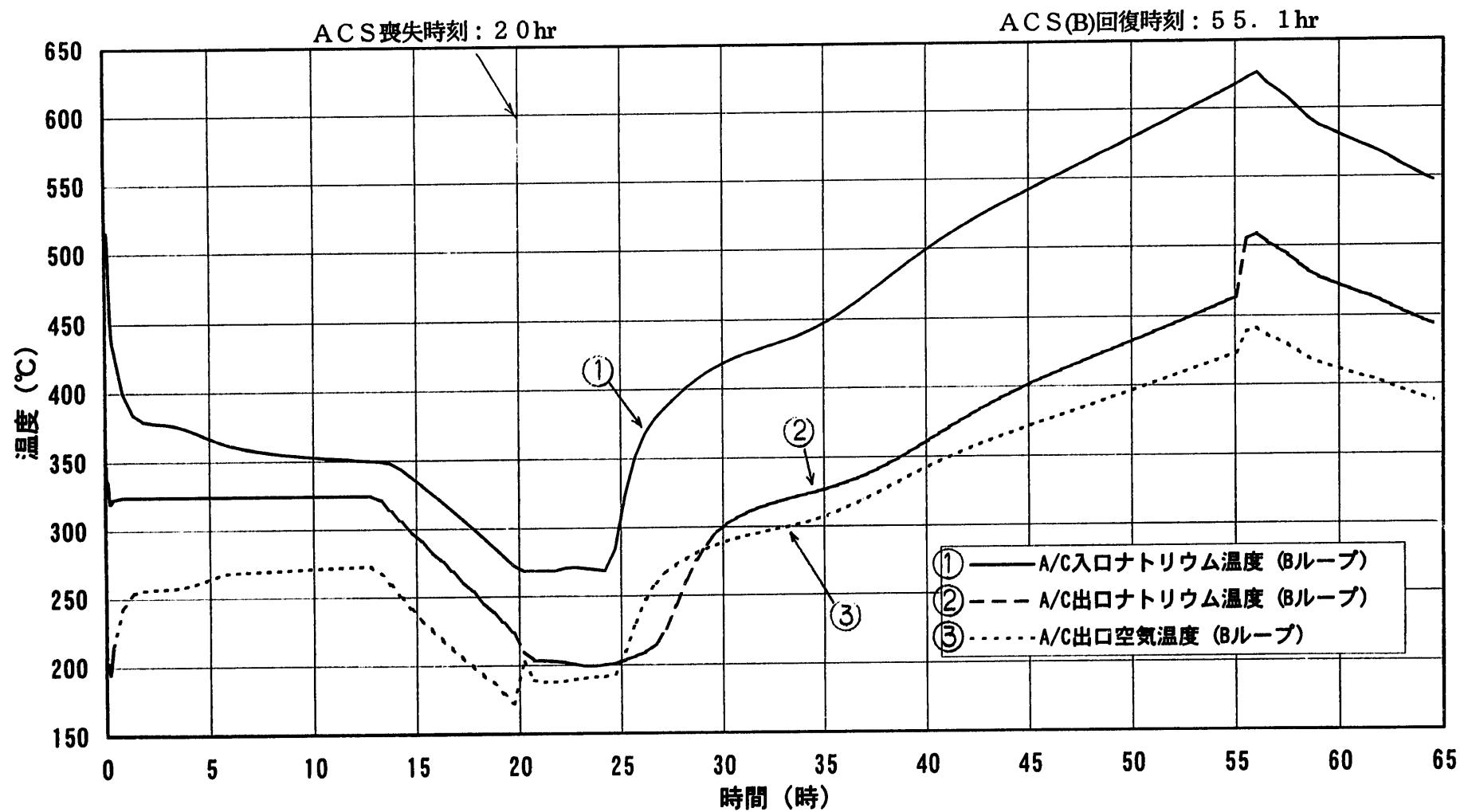


図 4.1-28(2/3) 解析結果 (PLOHSS シーケンス：(1)-2-⑥-A)

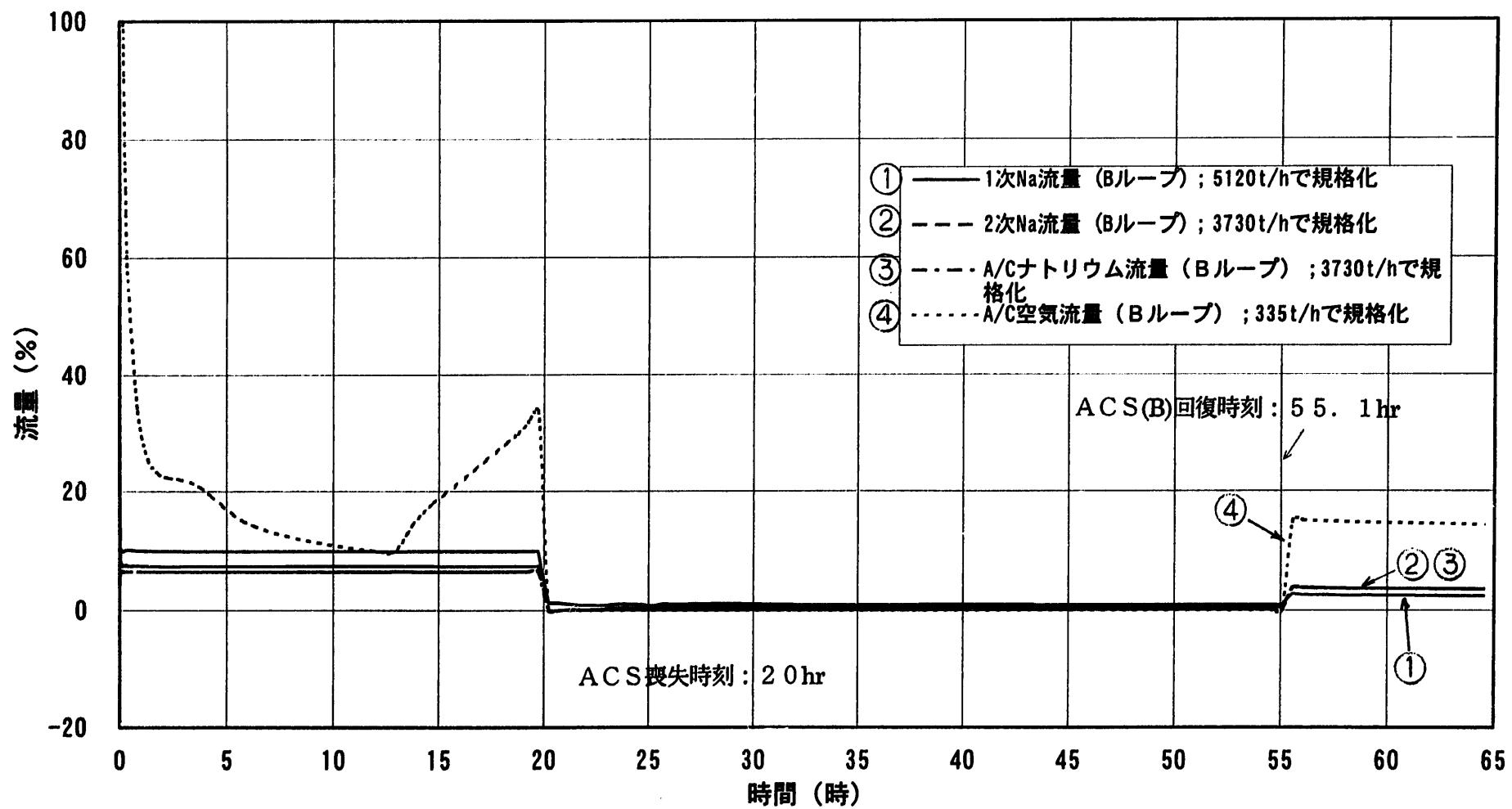


図 4.1-28(3/3) 解析結果 (PLOH S シーケンス : (1)-2-⑥-A)

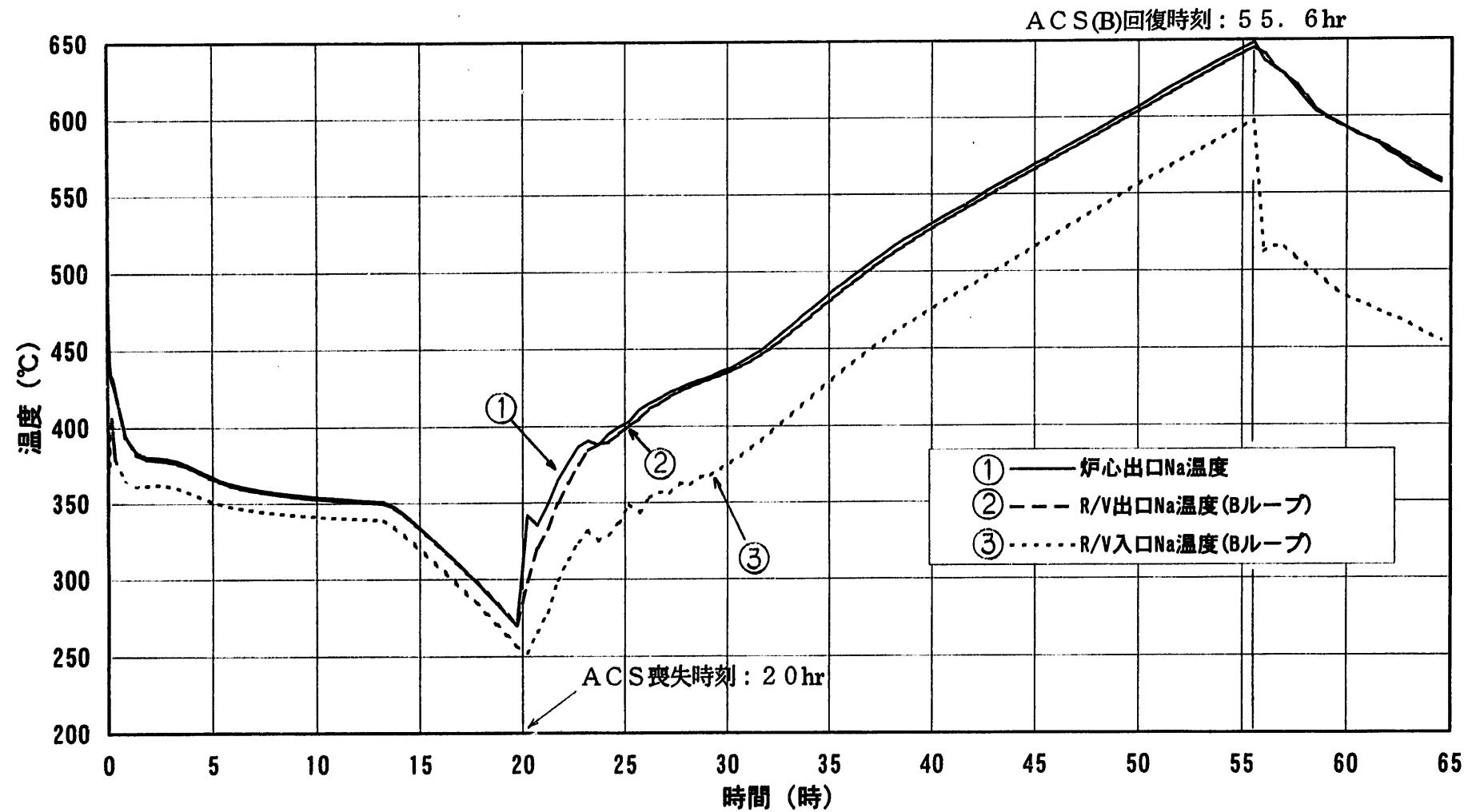


図 4.1-29(1/3) 解析結果 (PLOHSS シーケンス：(1)-2-(6)-B)

ACS(B)回復時刻 : 55. 6 hr

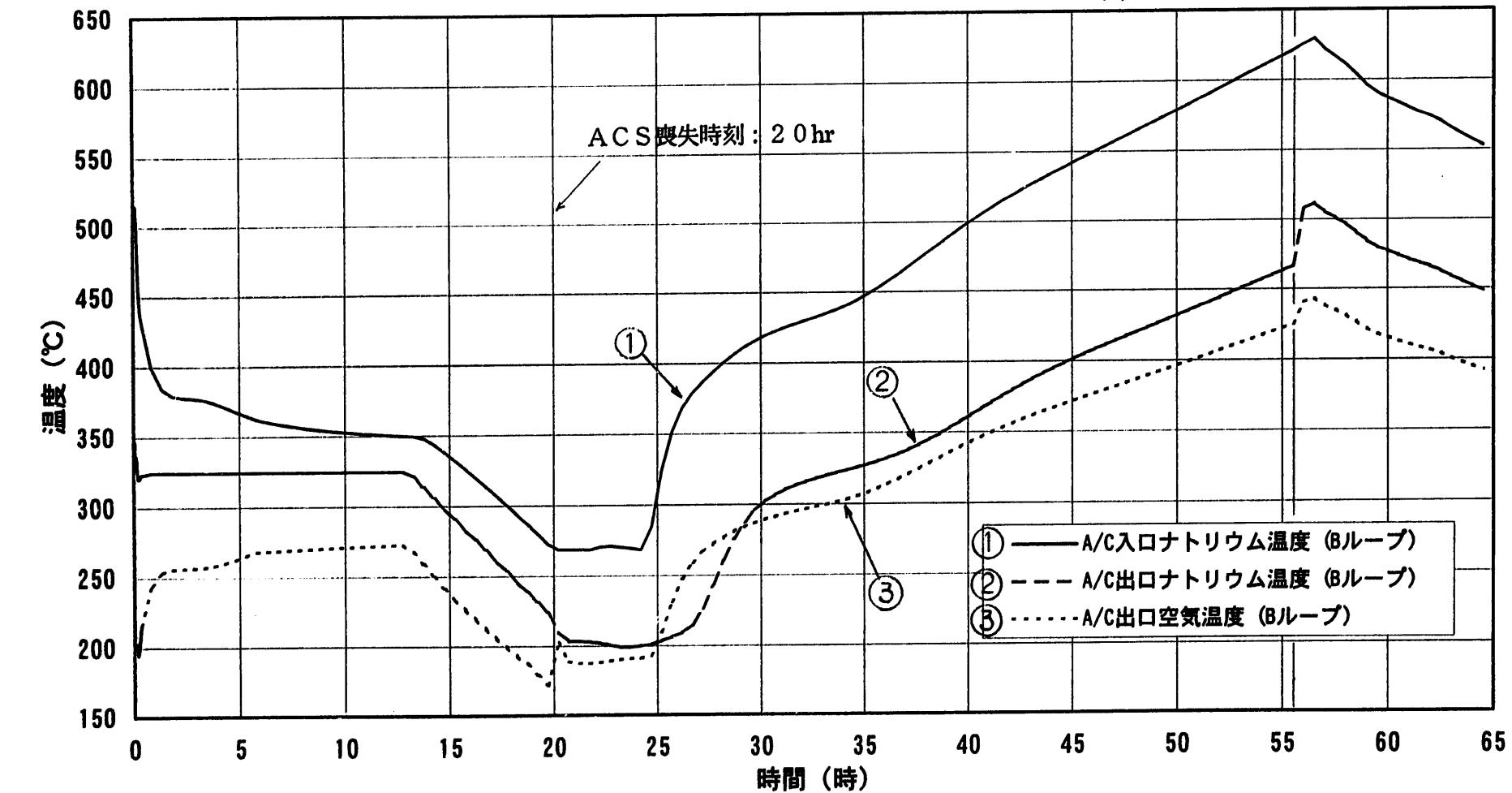


図 4.1-29(2/3) 解析結果 (PLOHSS シーケンス : (1)-2-⑥-B)

ACS(B)回復時刻 : 55. 6 hr

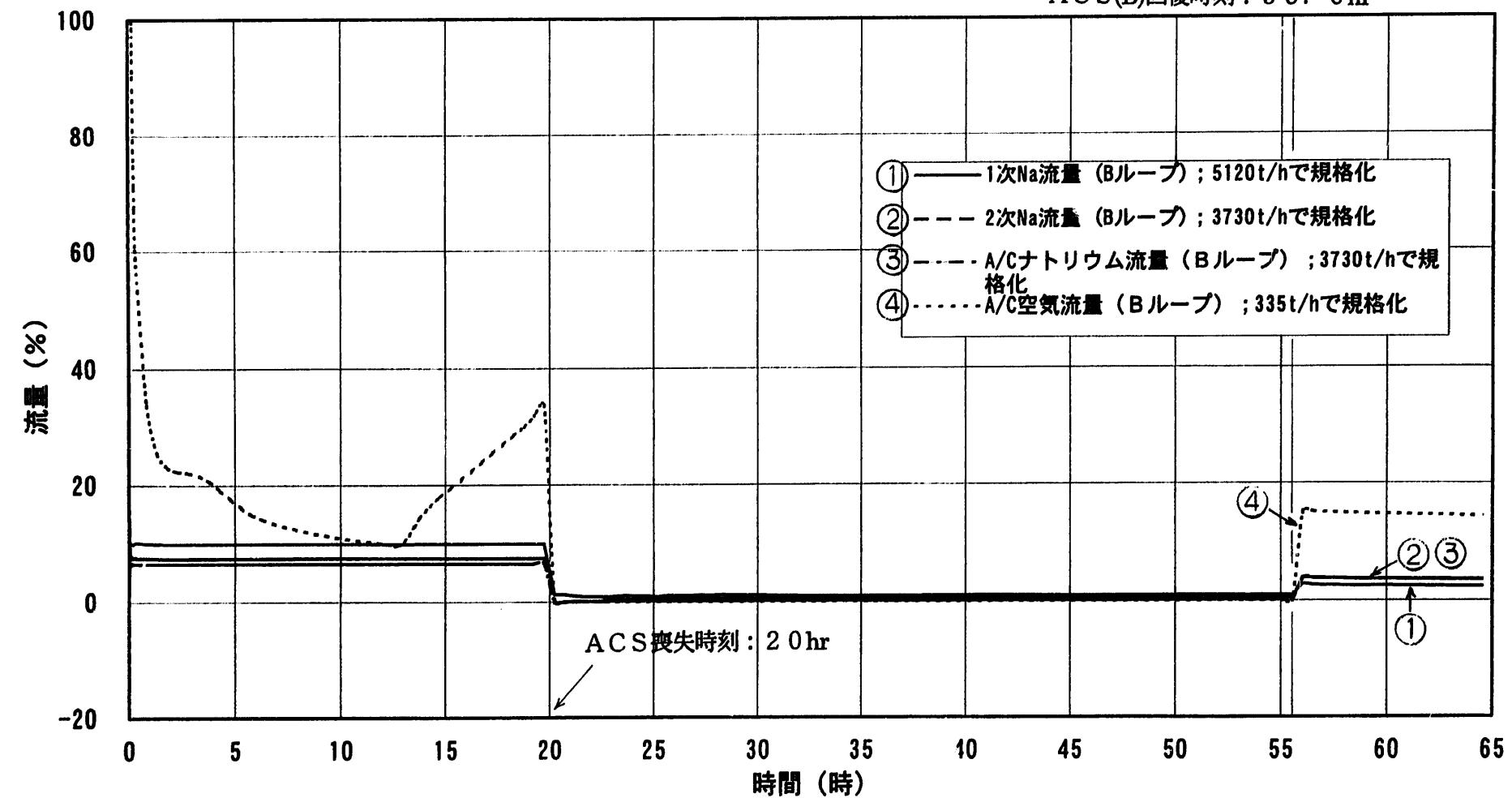


図 4.1-29(3/3) 解析結果 (PLOHSS シーケンス : (1)-2-(6)-B)

4.1.73

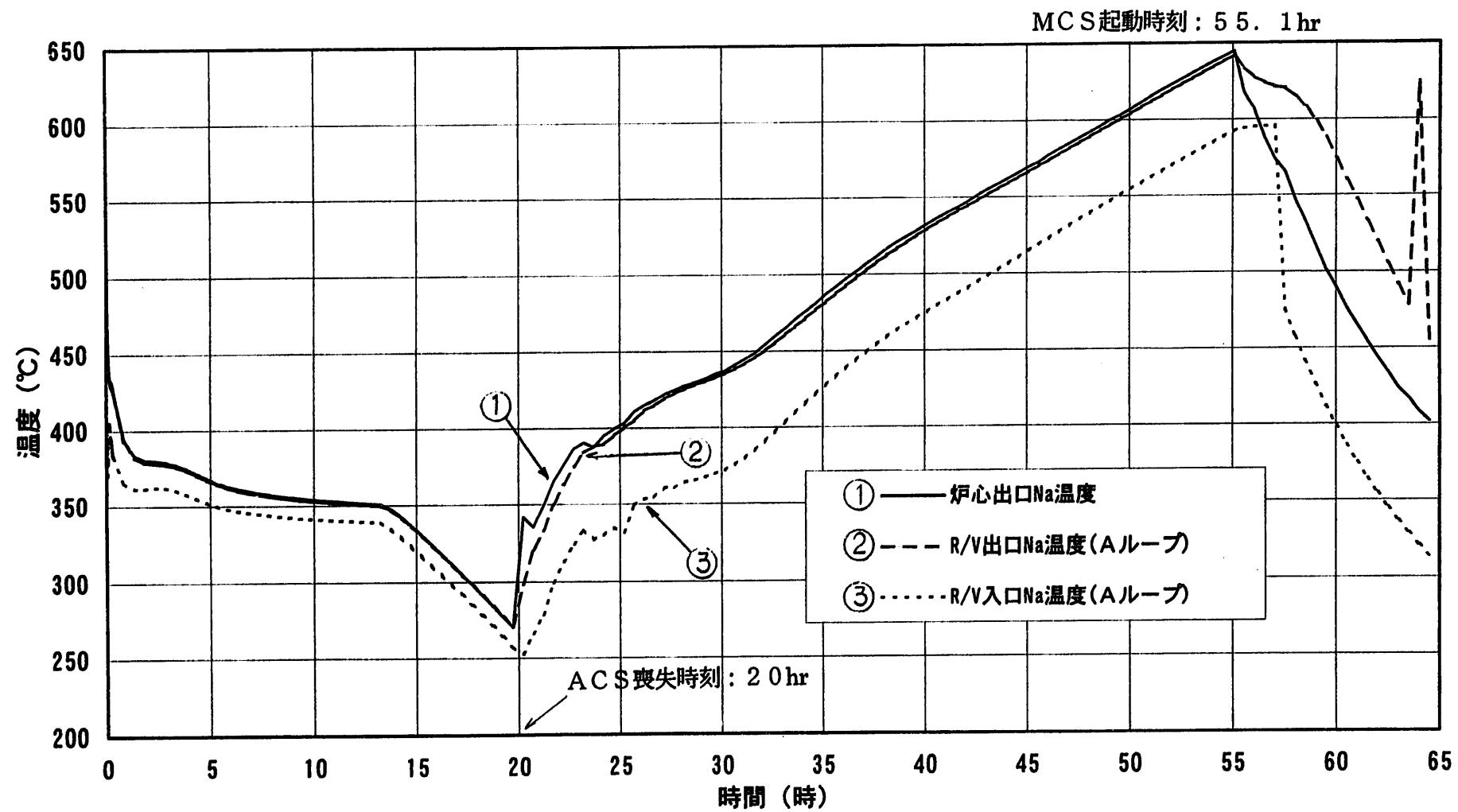


図 4.1-30 解析結果 (P L O H S シーケンス：(1)-3-⑥-A)

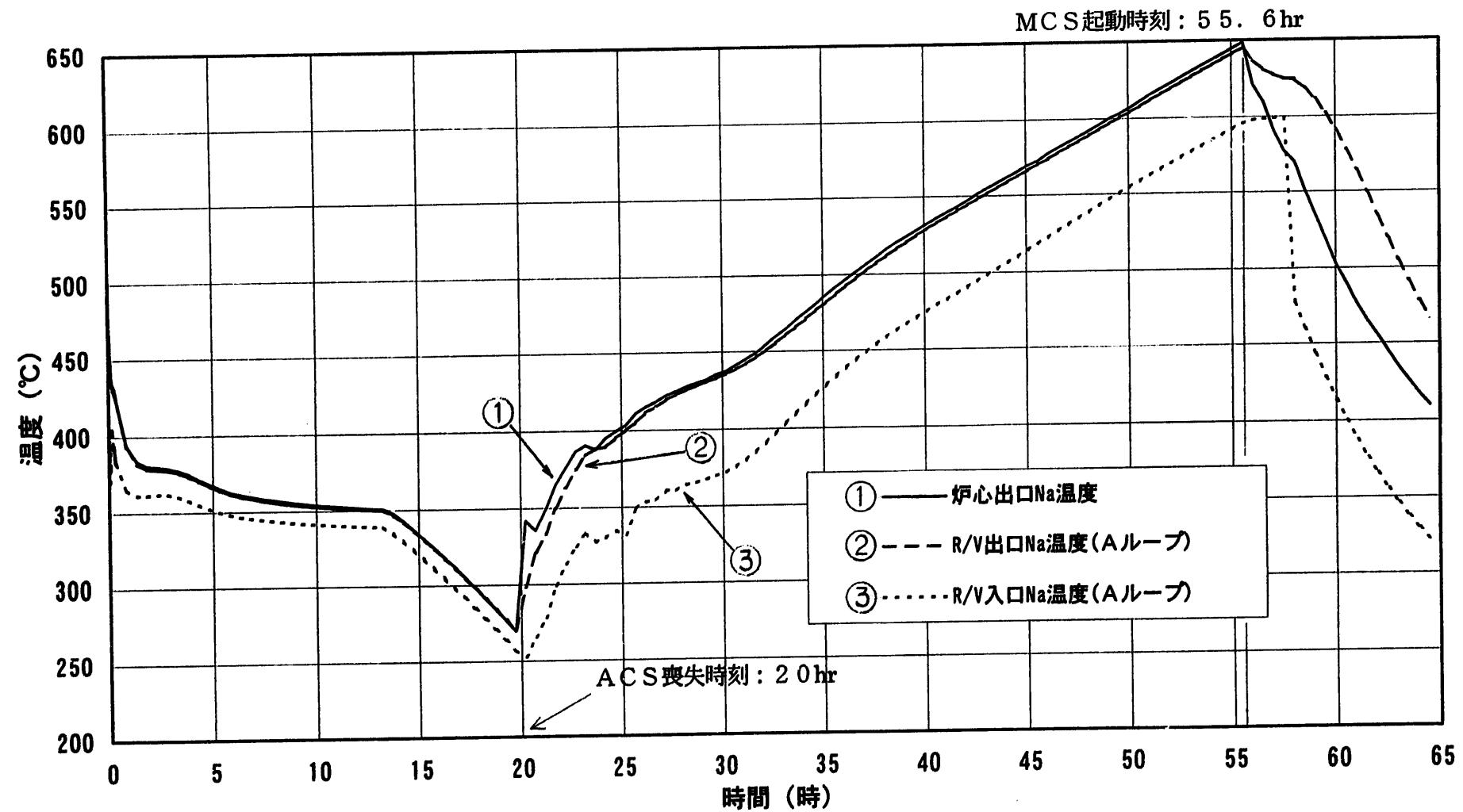


図 4.1-31 解析結果 (PLOHSシーケンス：(1)-3-(6)-B)

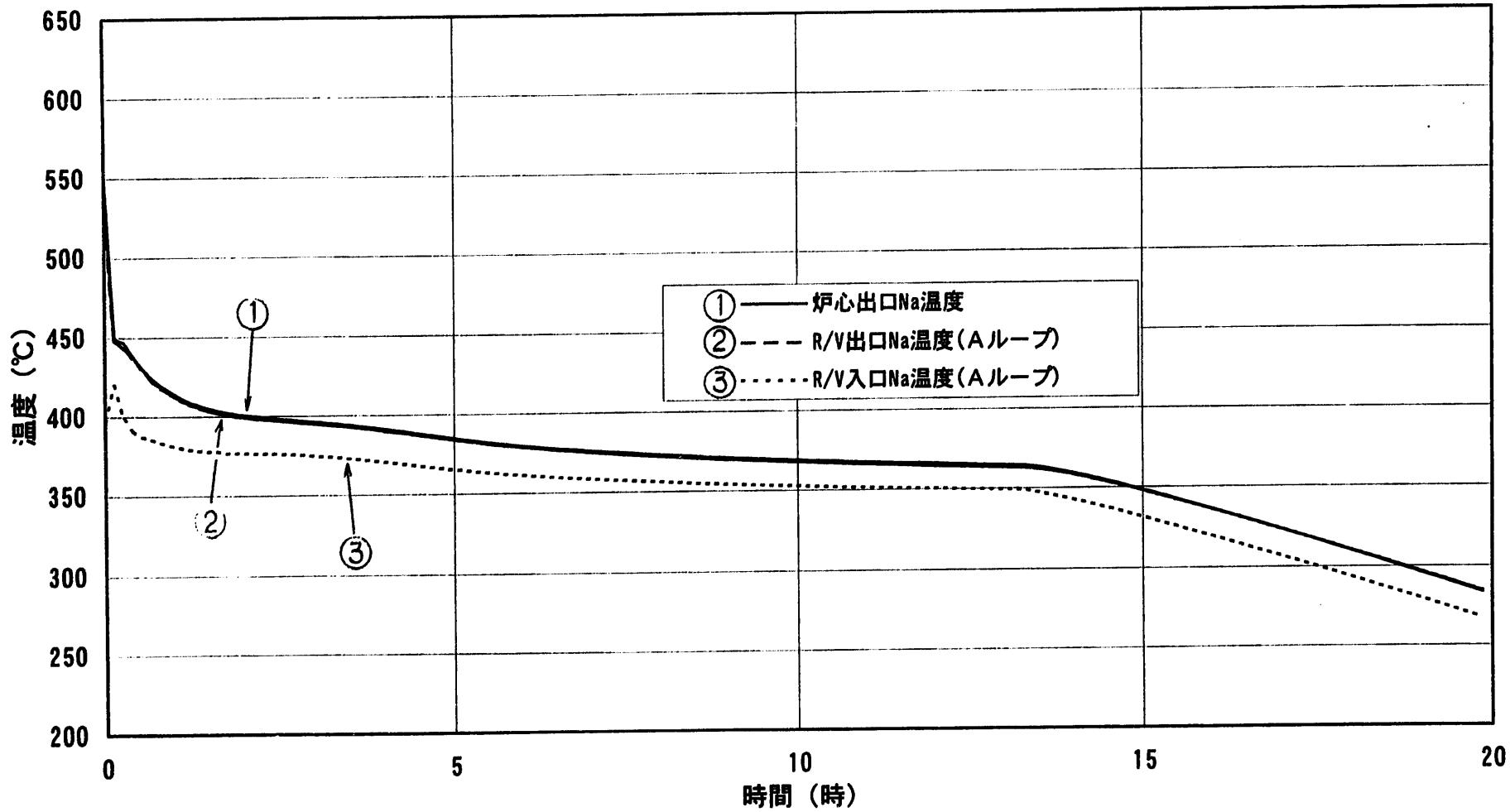


図 4.1-32(1/2) 解析結果 (PLOHSS シーケンス : (1)-4-基準)

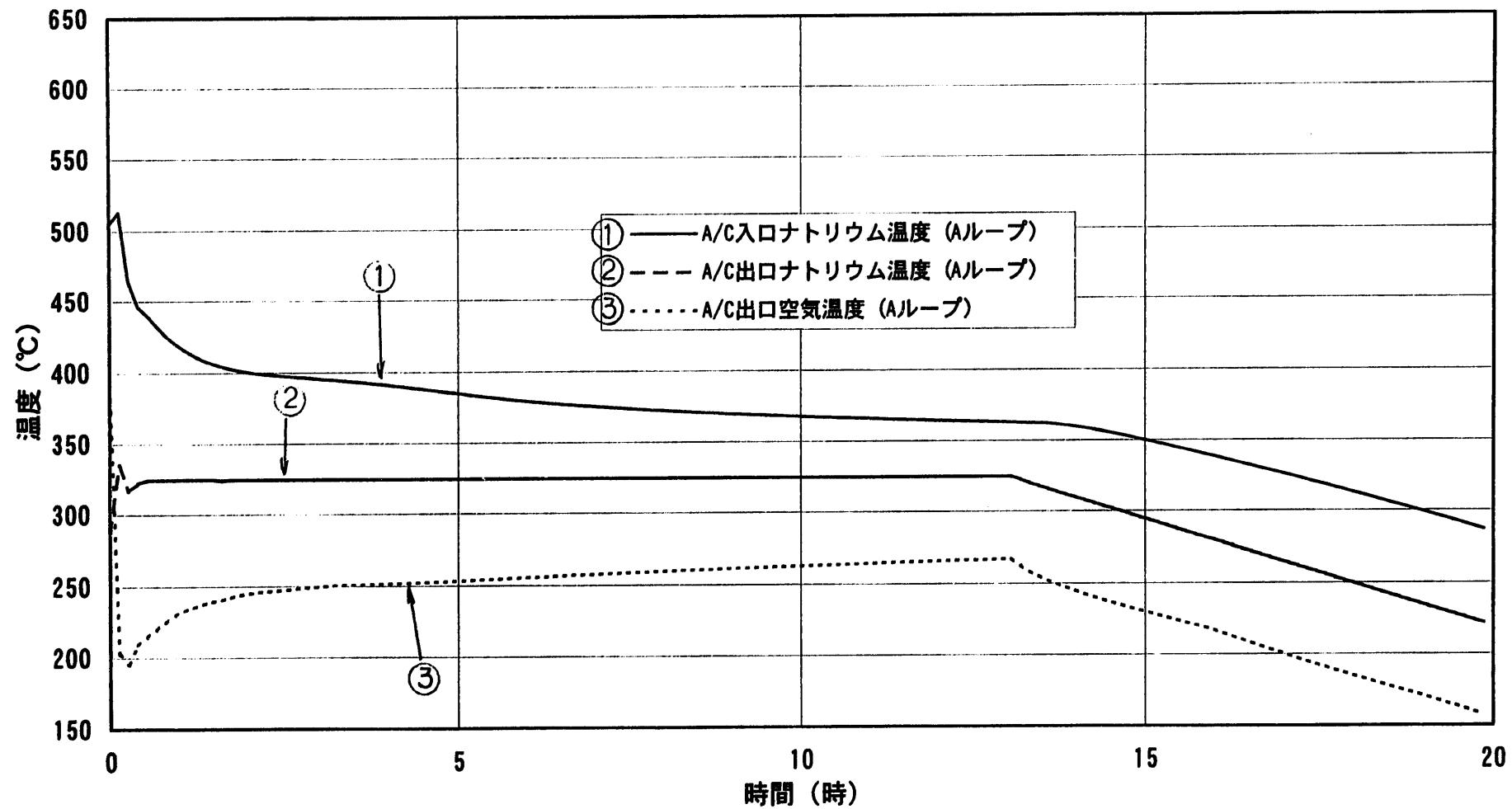


図 4.1-32(2/2) 解析結果 (P L O H S シーケンス : (1)-4-基準)

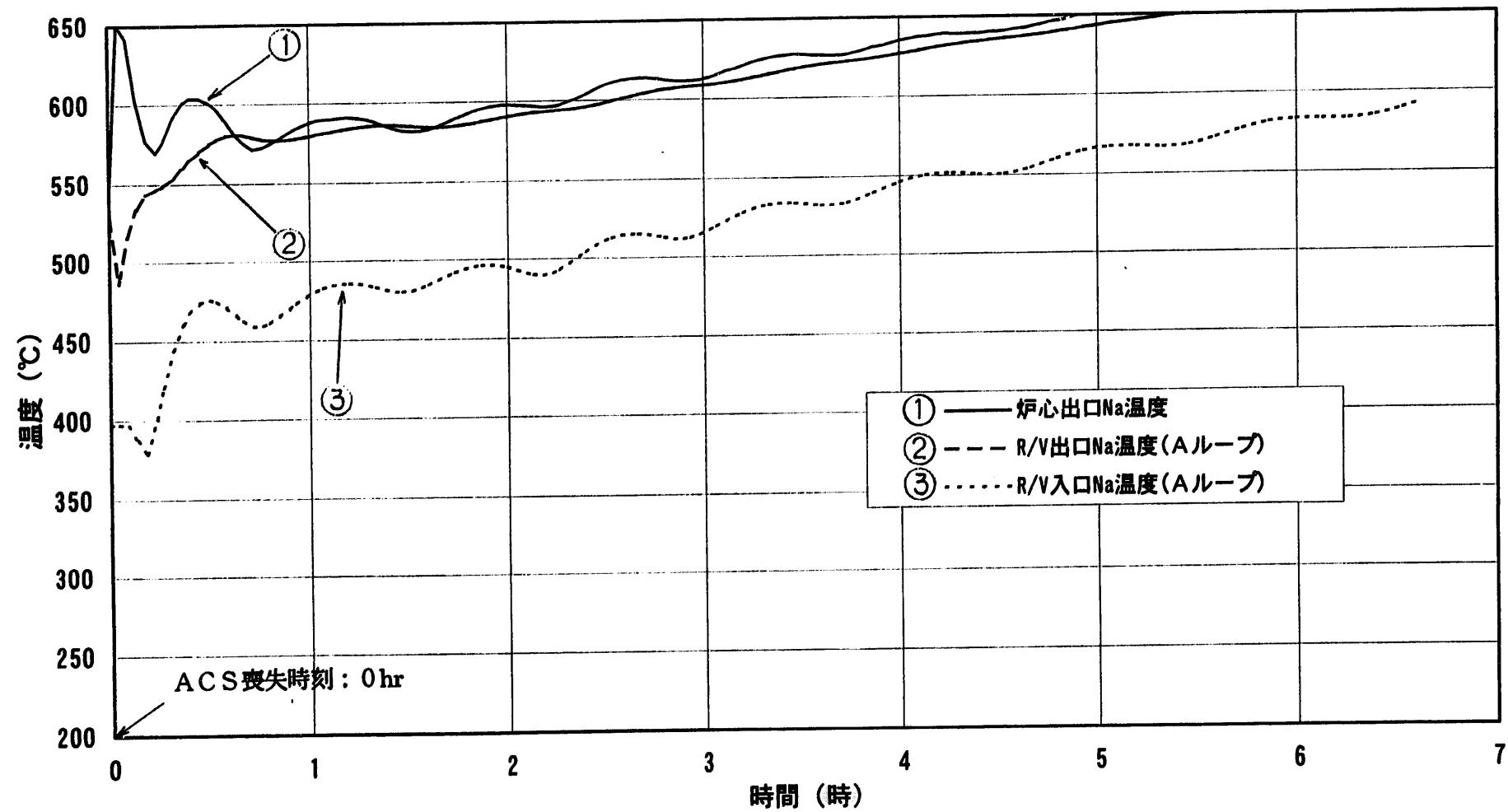


図 4.1-33(1/2) 解析結果 (PLOHSS シーケンス: (1)-4-(1))

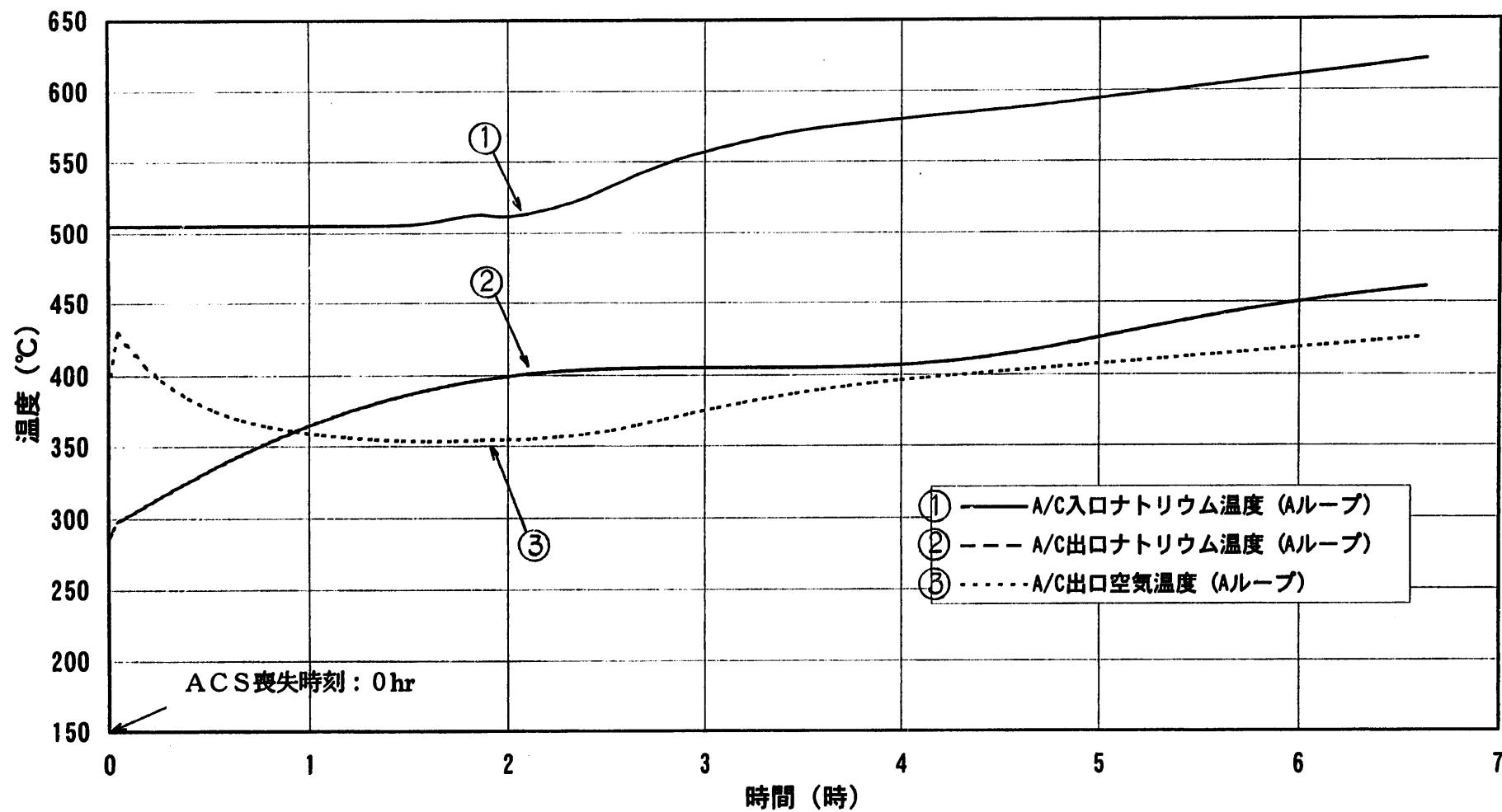


図 4.1-33(2/2) 解析結果 (P L O H S シーケンス: (1) - 4 - ①)

4.1-79

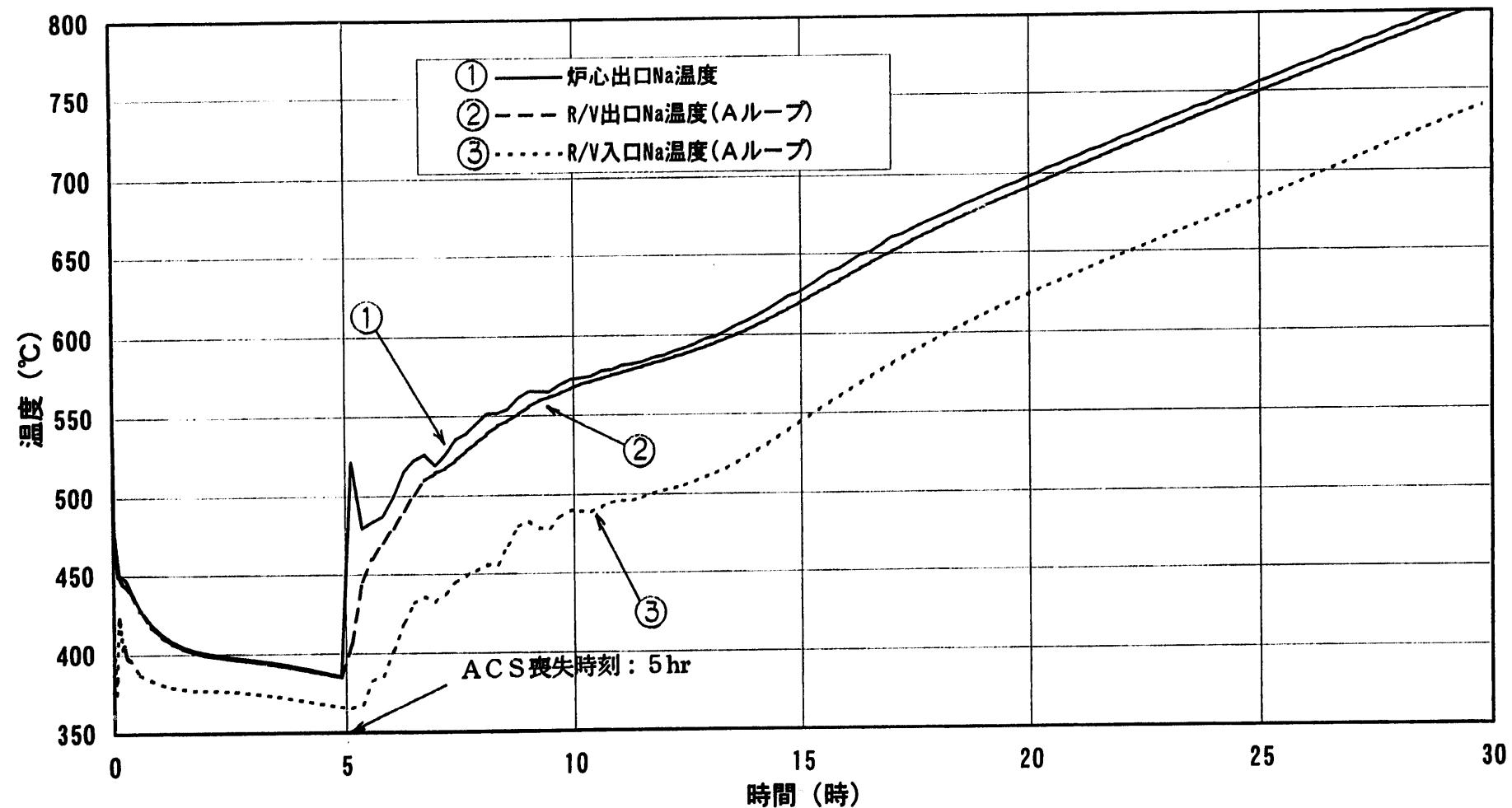


図 4.1-34(1/2) 解析結果 (PL OHS シーケンス: (1) - 4 - ②)

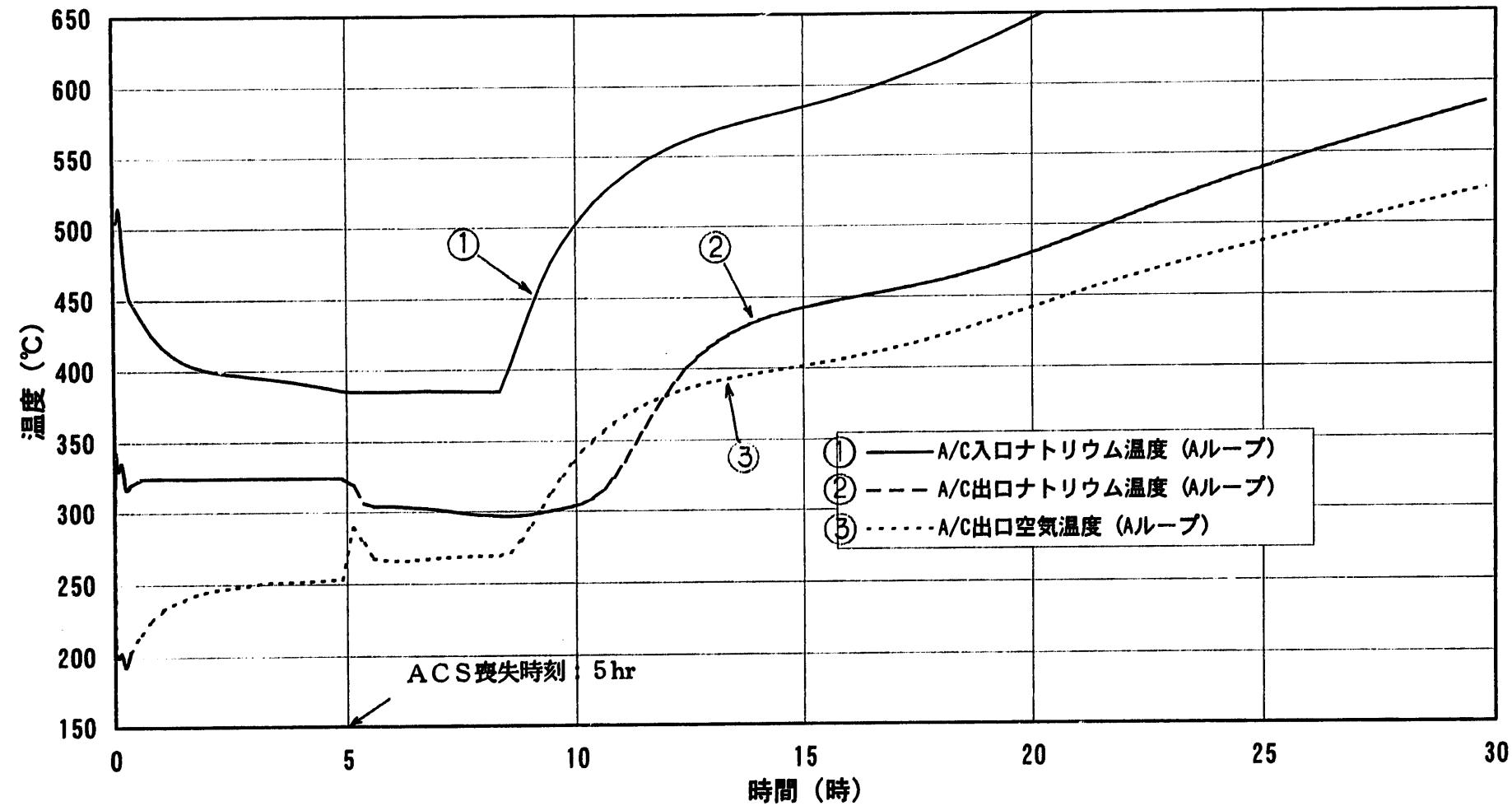


図 4.1-34(2/2) 解析結果 (P L O H S シーケンス: (1)-4-(2))

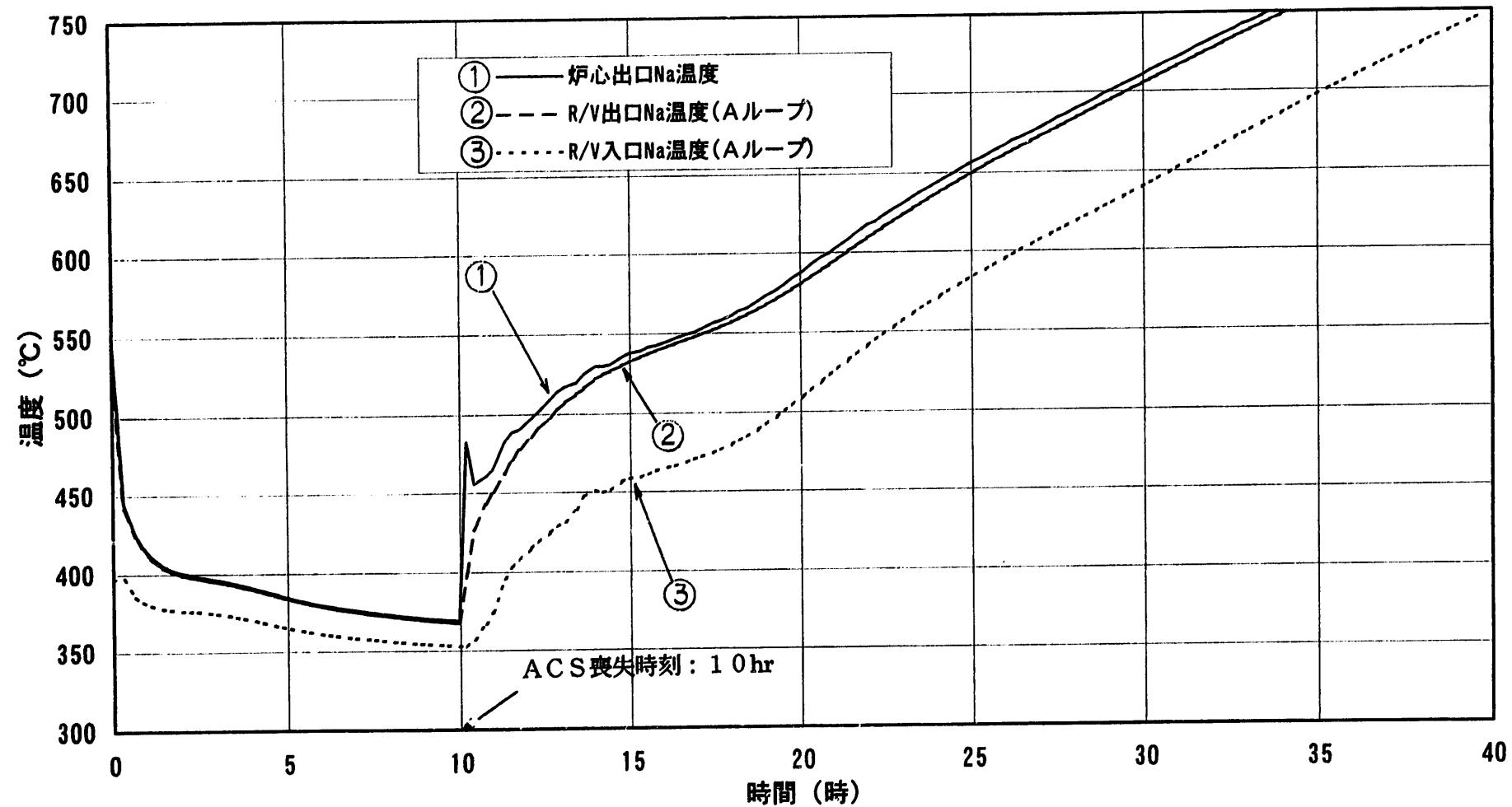


図 4.1-35(1/2) 解析結果 (P L O H S シーケンス : (1) - 4 - ③)

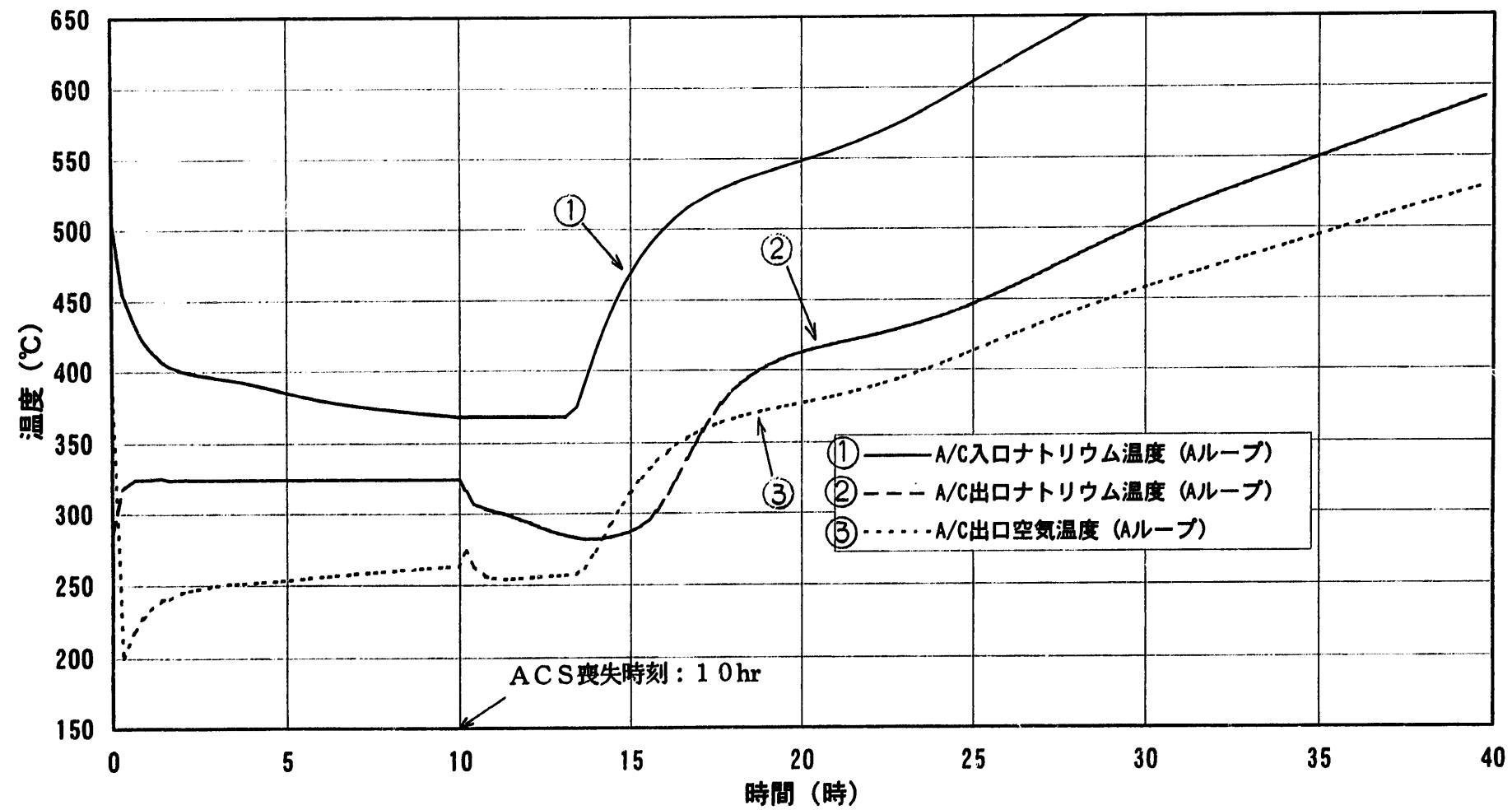


図 4.1-35(2/2) 解析結果 (PLOHSS シーケンス: (1)-4-(3))

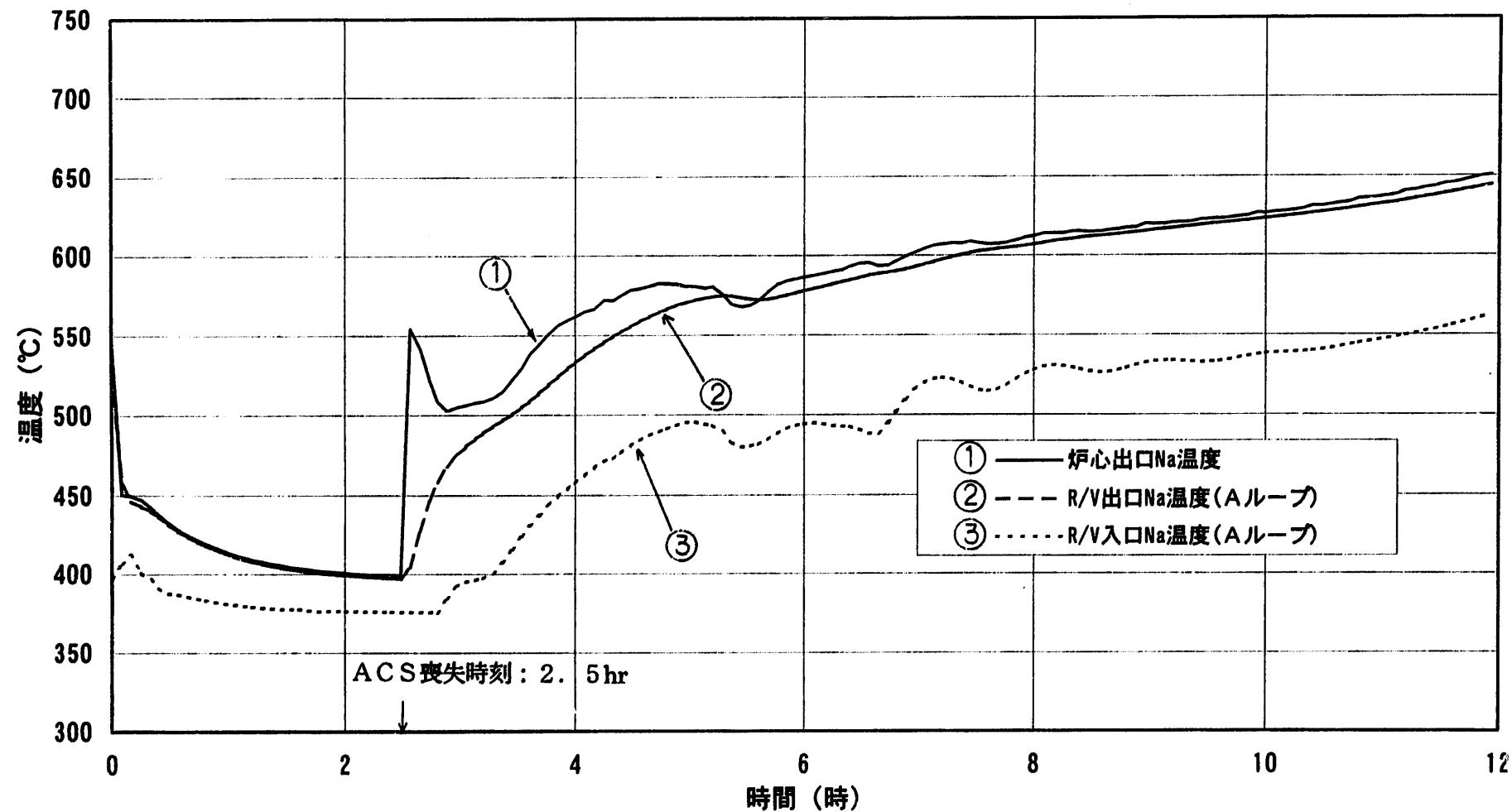


図 4.1-36(1/2) 解析結果 (PLOHSS シーケンス: (1)-4-(4))

4.1-84

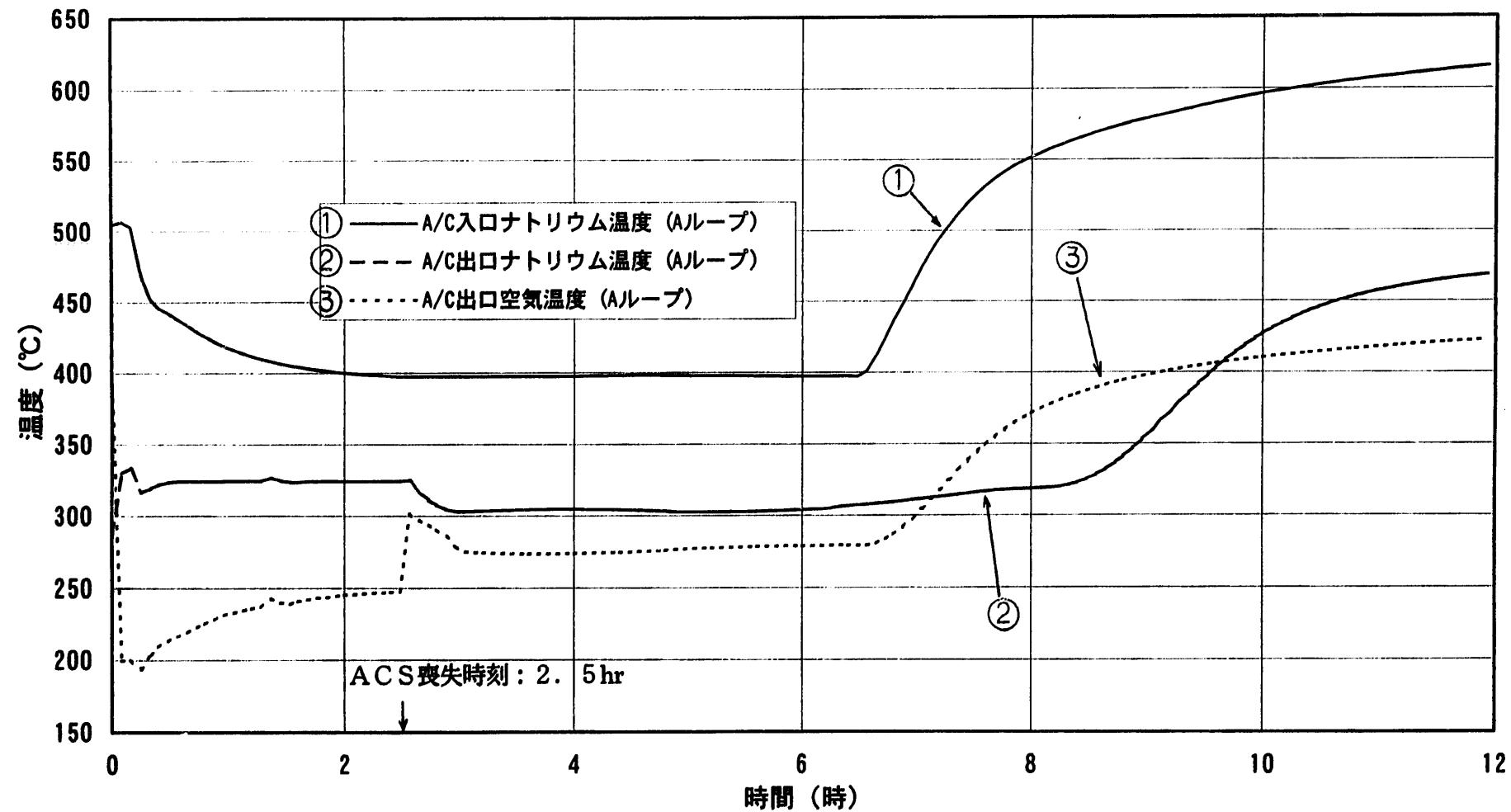


図 4.1-36(2/2) 解析結果 (P L O H S シーケンス: (1) - 4 - ④)

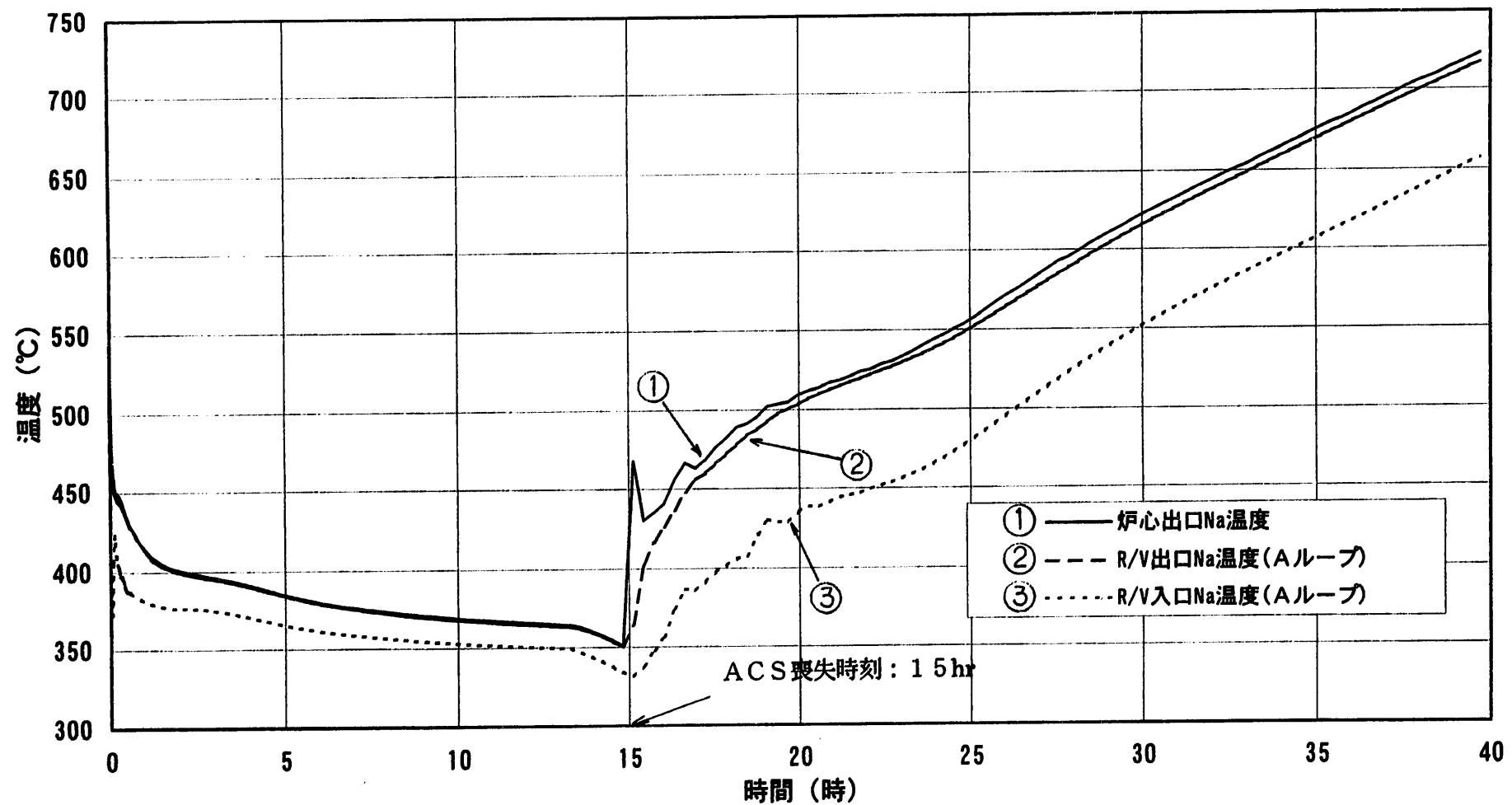
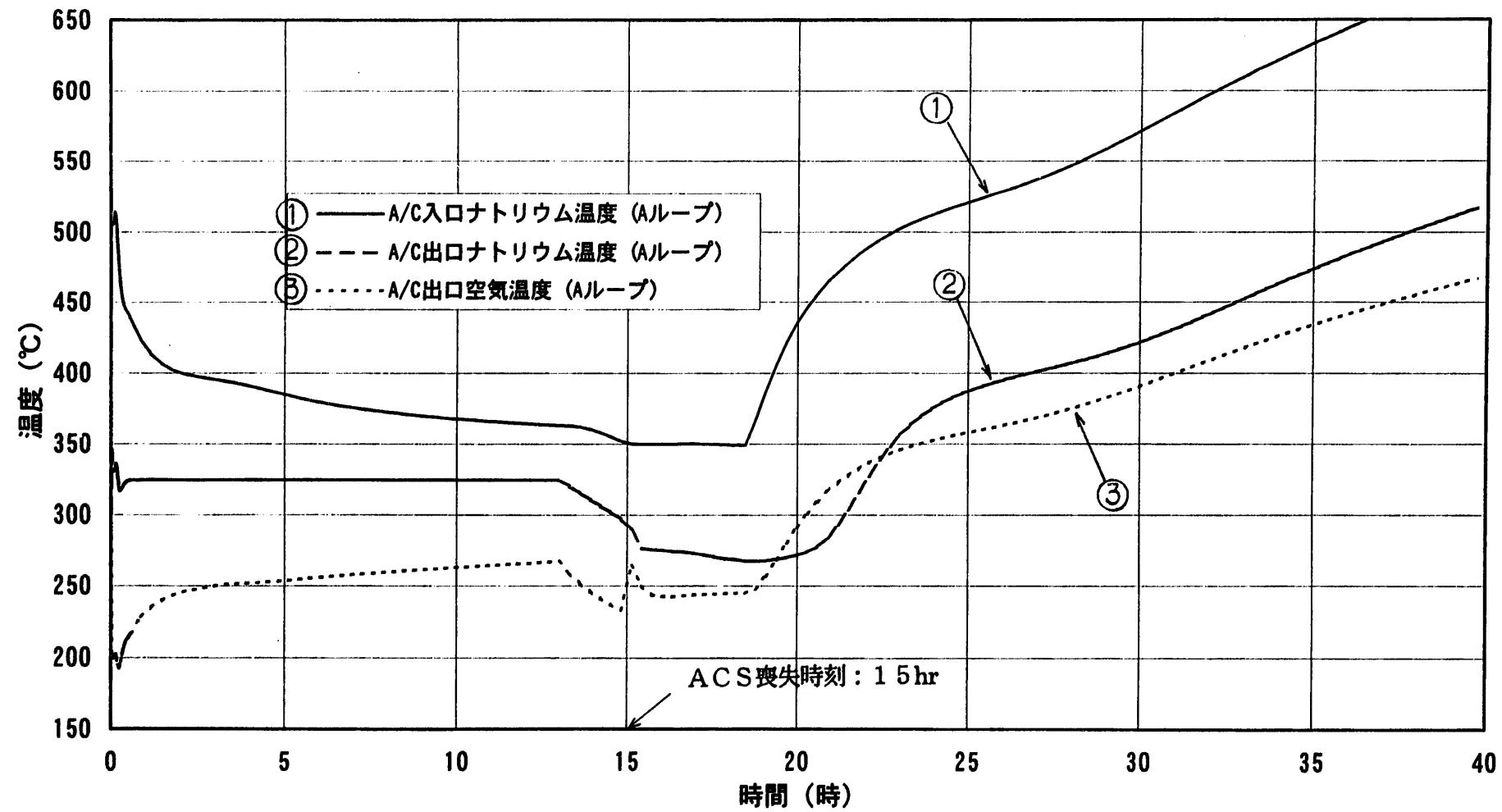
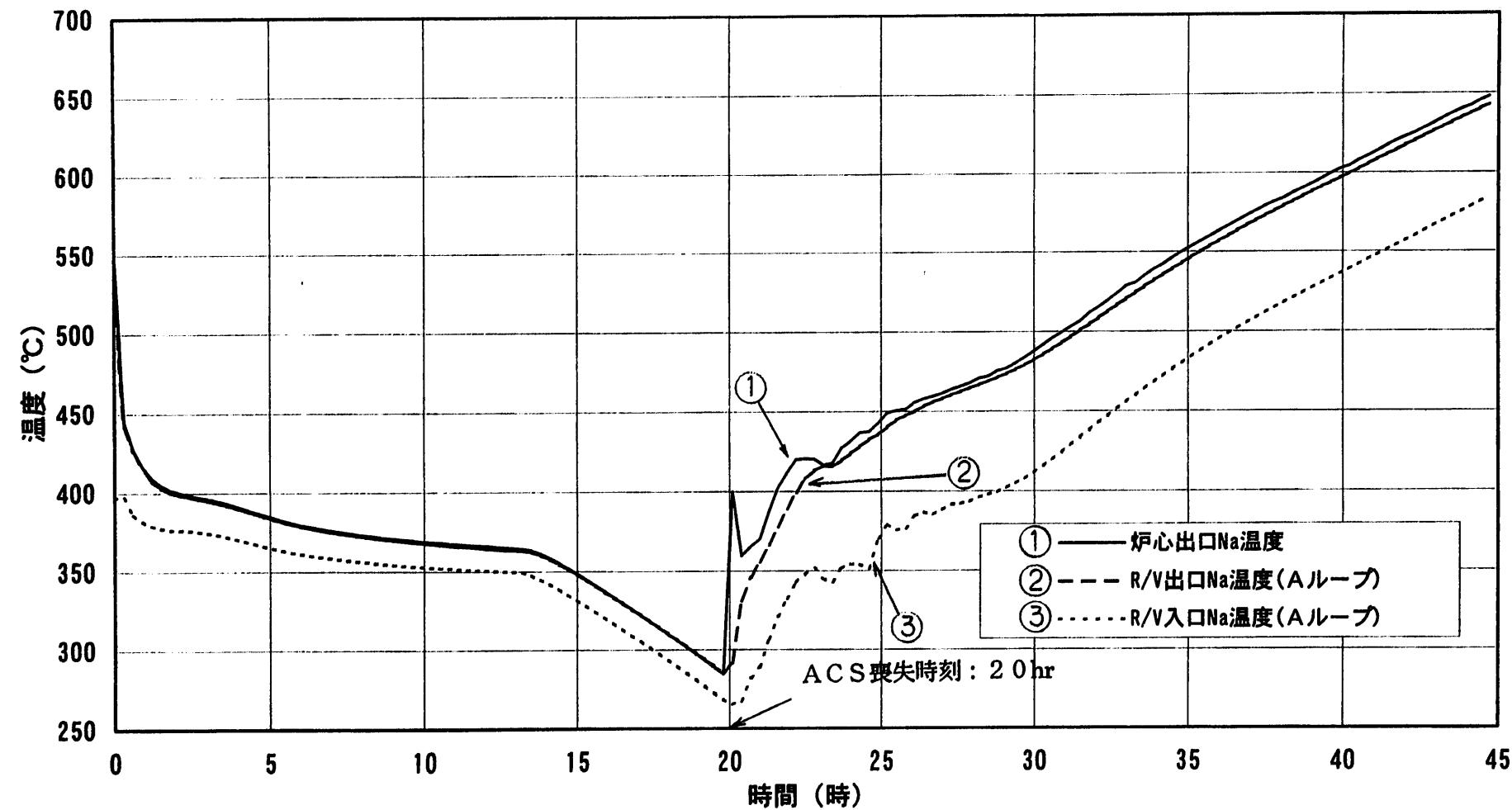


図 4.1-37(1/2) 解析結果 (PLOHSS シーケンス: (1)-4-(5))





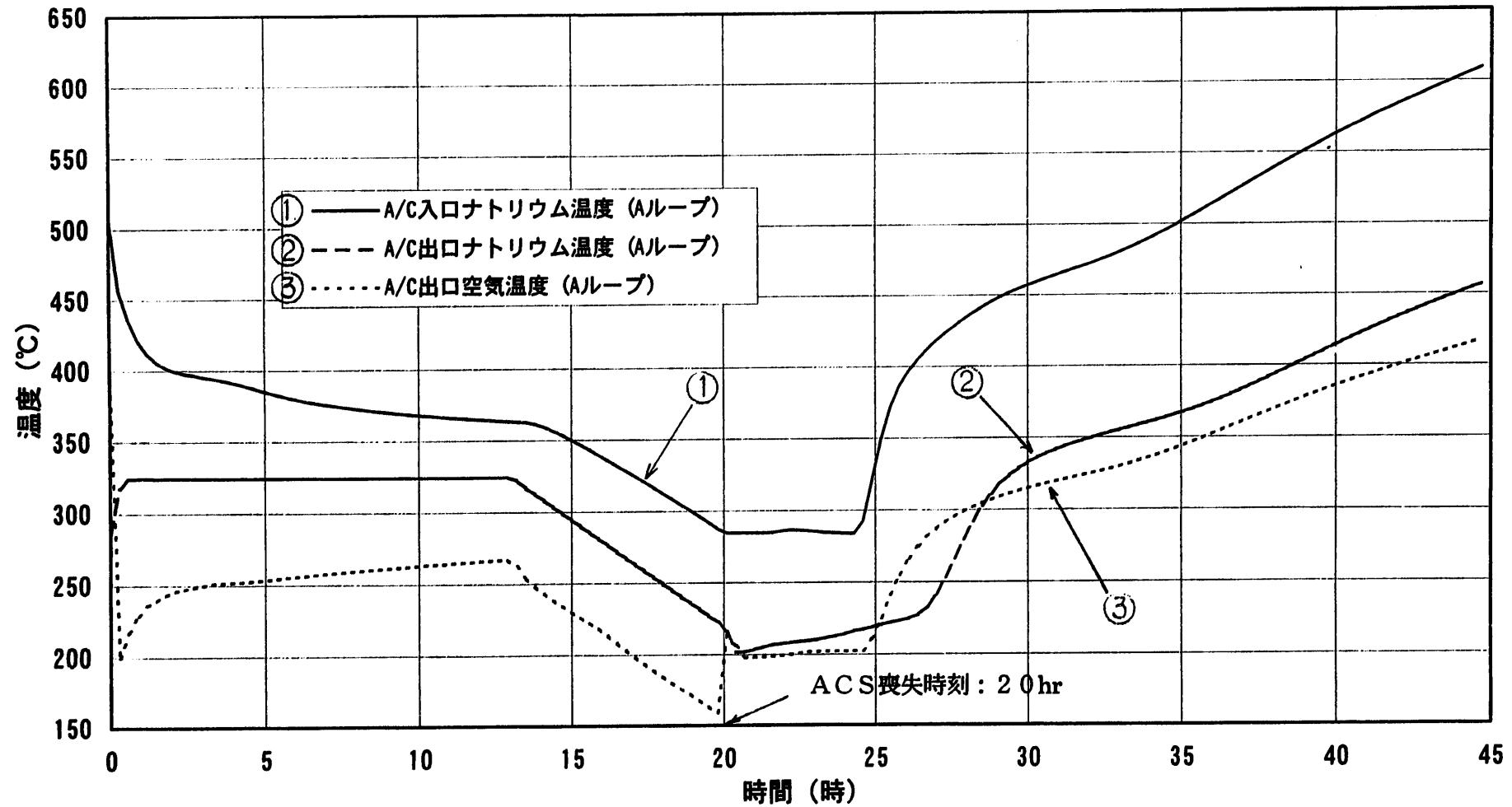


図 4.1-38(2/2) 解析結果 (PLOHSS シーケンス : (1)-4-(6))

## PLOHS解析結果

4.1.89

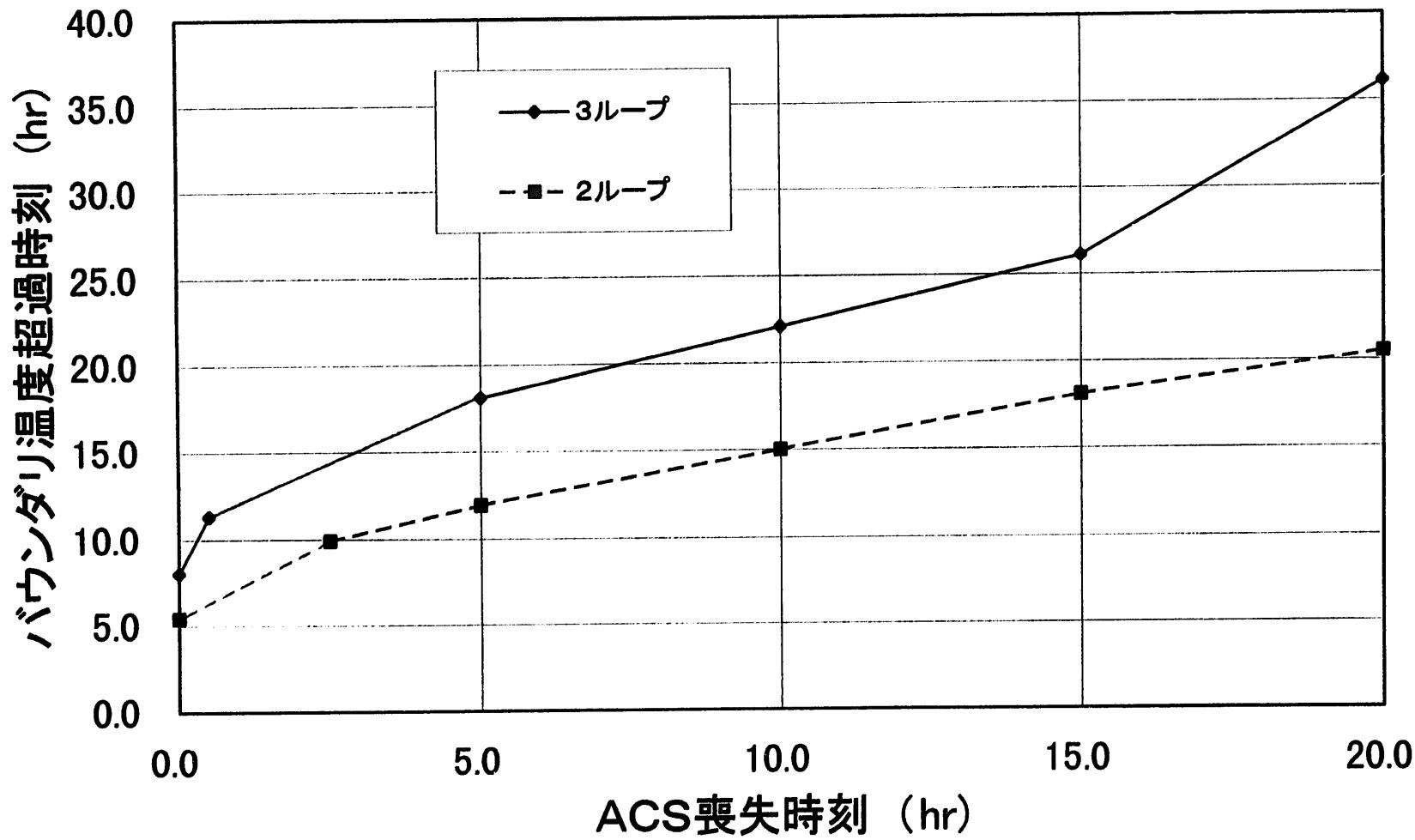


図 4.1-39 解析結果 (P L O H S シーケンスのまとめ)

## 4. 2 LORL-Jシーケンス

### (1) 解析ケース

LORL-Jシーケンスの解析一覧表を表4. 2-1に示す。解析一覧表には各ケースの主な解析条件及び解析結果（炉容器液位がE s Lを下回る時間）を記している。また、主要な解析ケースについて解析条件の詳細を表4. 2-2にまとめた。なお、表4. 2-1において原子炉容器液位低下に関する着目点を「原子炉容器出口ノズル上端」でなく「E s L」としているのは、最も液位の低下が厳しくなるケース(2)-2-①においても原子炉容器液位が出口ノズル上端を下回らず、サイフォンブレークが生じないことが解析により明らかとなつたためである（後述）。

LORL-Jシーケンスの解析では、Bループ原子炉容器入口ノズル付近での1/4 D t配管破損を想定し、1次オーバフロー系（PSOS）の機能喪失（ナトリウムの汲み上げ失敗）を想定する。また、主冷却系の運転状態を3ループポンモータ運転、カバーガス（CG）隔離成功とする。本解析では、PSOSの機能喪失時刻をパラメトリックに3ケース変更している。また、この状態でナトリウム温度維持操作を行うシーケンスを考え、温度維持操作を開始する時刻をパラメトリックに変更した解析を数ケース行っている。したがって、LORL-Jシーケンスの解析ケース数は、ベースケースを含め13ケースである。

なお、各ケースのケース番号は、以下の要領で定めている。

(2) -□-○-△

(2) は、LORL-Jシーケンスであることを示す。

□ : PSOS及びACSの運転状態に関する分類を示す。

1 … PSOS起動、ACS運転状態-15°C/hr

2 … PSOS機能喪失、ACS運転状態-15°C/hr

3 … PSOS機能喪失、ACS温度維持操作

○ : PSOS機能喪失時刻に関する分類を示す。

△ : ACS温度維持操作開始時刻に関する分類を示す。

## (2) 解析条件

### a. 1次系機器放散熱

本事象は配管破損で格納容器隔離に至るため、1次系放散熱は考慮しない。

### b. カバーガス圧

格納容器隔離後のカバーガス圧は負圧とならないように、何らかの操作が実施されるものとする。

## (3) 解析結果

各ケースの解析結果図（漏えい流量、原子炉容器廻りナトリウム温度、原子炉容器液位、カバーガス圧力等）を図4. 2-1～12に示す。

配管破損が生じると、「炉容器液位低」信号により原子炉はスクラムされ、さらに1次主循環ポンプも停止する。原子炉容器液位は、ガードベッセル内へのナトリウムの漏えい、原子炉スクラム後のナトリウムシュリンク、1次主循環ポンプ停止による液位変化により低下して行く。P SOSが正常に機能する場合（ケース（2）-1-①）、原子炉容器液位はE s L以上に保たれるが、P SOSの機能喪失を仮定すると、原子炉容器液位は約3.8時間でE s Lを下回ることになる。例えば、原子炉スクラム後、P SOSが直ちに機能を喪失する場合（ケース（2）-2-①）では、原子炉スクラムの20時間後には原子炉容器液位がE s Lを約50cm下回る結果となっている。なお、この時点では1次冷却材温度が下がりきっているために、これ以上の液位低下が生じず、液位低下の観点からは最も厳しいケースでありながら、原子炉容器液位が出口ノズル上端を下回らず、サイフォンブレークは生じない結果となっている。

P SOS機能喪失後、ACSによる-15°C/hrの降温を行わず、温度維持操作を行う場合、温度維持操作開始以降のナトリウムシュリンクによる液位低下が緩和されるので、原子炉容器液位の低下幅が小さくなっている。例えば、原子炉スクラム後、P SOSが直ちに機能を喪失し、かつ原子炉容器液位がE s Lを約50cm下回る20分前に温度維持操作を行う場合（ケース（2）-3-①-B）、液位低下幅が小さくなって、原子炉容器液位がE s Lを下回らない結果となっている。ただし、このケースで温度維持操作の制御目標値をE s Lに達した時点の値とした場合は、原子炉容器液位はE s Lを約13cm下回ったところで維持される結果となる。

表4. 2-1 解析一覧表 (LORL-J シーケンス)

LORL-J		解析条件			解析結果	
解析ケース名	主冷却系 運転状態	ACS 運転状態(*2)	CG隔離	PSOS 運転状態(*1)	炉容器液位 $\leq EsL$	バウンダリ温度 $\geq 650^{\circ}\text{C}$
(2)-1-①	3ループ PM運転	-15°C/hr	成功	起動	-	-
(2)-2-①		-15°C/hr		0 hr後機能喪失	3. 8 hr	-
(2)-2-①-参考(*3)		-15°C/hr			10. 6 hr	-
(2)-3-①-A		0分後温度維持操作			-	-
(2)-3-①-B		218分後温度維持操作			3. 8 hr(*4)	-
(2)-3-①-B追(*5)		218分時点温度に維持			3. 8 hr	-
(2)-3-①-C		208分後温度維持操作			-	-
(2)-3-①-D		198分後温度維持操作			-	-
(2)-2-②		-15°C/hr		5 hr後機能喪失	6. 2 hr	-
(2)-3-②-A		362分後温度維持操作			-	-
(2)-3-②-B		352分後温度維持操作			-	-
(2)-2-③		-15°C/hr		7 hr後機能喪失	7. 5 hr	-
(2)-3-③-A		440分後温度維持操作			-	-
(2)-3-③-B		430分後温度維持操作			-	-

(\*1) 原子炉トリップからの経過時間、

(\*2) PSOS機能喪失からの経過時間。ACS目標値は、200°C以下にならないようにする。

(\*3) 本ケースは、(2)-2-①のケースで、負圧防止操作を行わず、かつ、ACS目標値も-15°C/hrで変化継続するケースである。

(\*4) 10分程度下回り、すぐ回復する。

(\*5) ACS出口Na温度目標値を218分時点の目標値に維持する。その他のケースは325°Cで維持する。

表 4.2-2(1/3) 解析条件表 (LORL-J シーケンス : (2) - 1 - ①)

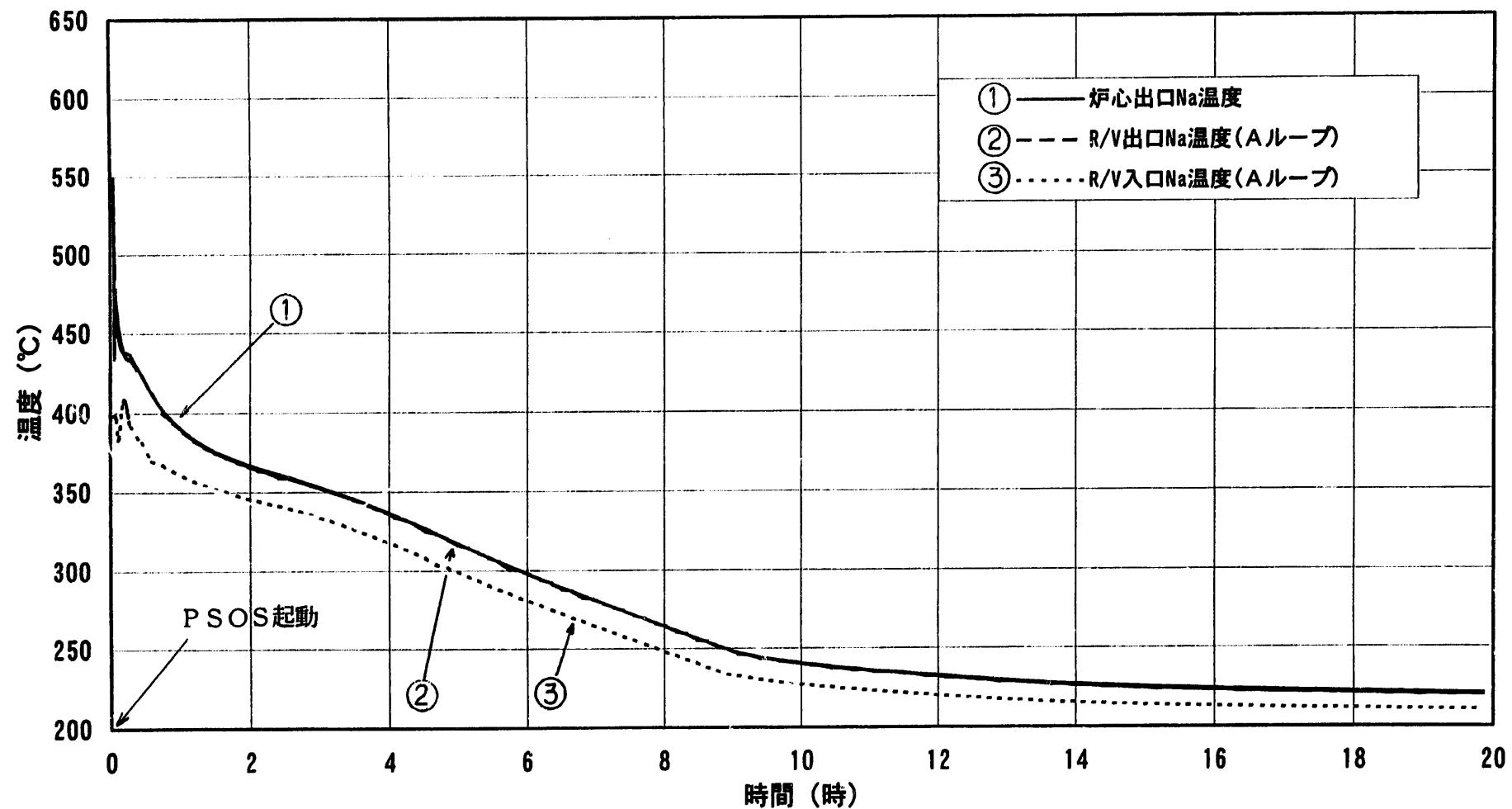
ケースの概要		B ループ原子炉容器入口ノズル付近での 1/4Dt 破損により、R/V 液位低で原子炉トリップ。													
トリップ条件		R / V 液位低													
崩壊熱	ノミナル	シーリング	考慮	空調	停止	放熱	考慮								
系統・機器	ループ	時間で変更する条件													
1 次主ポンプ	A	トリップ													
	B	トリップ													
	C	トリップ													
1 次系 PM	A	起動、引継ぎ成功													
	B	起動、引継ぎ成功													
	C	起動、引継ぎ成功													
2 次主ポンプ	A	トリップ													
	B	トリップ													
	C	トリップ													
2 次系 PM	A	起動、引継ぎ成功													
	B	起動、引継ぎ成功													
	C	起動、引継ぎ成功													
A C S	運転条件の概要		A/C 出口 Na 温度は 325 ℃ 到達後、15 ℃ / h で下降。												
	C弁	A	ACS 起動で 235t/h 一定制御。												
		B	停止												
		C	ACS 起動で 235t/h 一定制御。												
	D弁	A	ACS 起動時開度で動作停止												
		B	ACS 起動時開度で動作停止												
		C	ACS 起動時開度で動作停止												
	ペーン・ ダンパ	A	ACS 起動で制御開始。												
		B	停止												
		C	ACS 起動で制御開始。												
メンテナンス冷却系		停止													
1 次オーバーフロー系		配管破損検知で断続運転。EsL 液位到達後連続運転													
カバーガス系隔離		成功													
備考	OF 系断続運転：20 分毎に 1 分間汲み上げ（流量は 30 t/h） OF 系連続運転：EsL+65mm で ON、EsL+150mm で OFF の制御														

表 4.2-2(2/3) 解析条件表 (L O R L - J シーケンス : (2) - 2 - ⑩)

ケースの概要		(2)-1-①のケースに対して、OF系運用をパラメータにする。 本ケースは、⑩時間後にOF系が機能停止する。													
トリップ条件		R/V液位低													
崩壊熱	ノミナル	シャリンク	考慮	空調	停止	放熱	考慮								
系統・機器		ループ	時間で変更する条件												
1次主ポンプ		A													
		B													
		C													
1次系PM		A													
		B													
		C													
2次主ポンプ		A													
		B													
		C													
2次系PM		A													
		B													
		C	(2)-1-①と同じ。												
ACS	運転条件の概要														
	C弁		A												
			B												
			C												
	D弁		A												
			B												
			C												
	ペーン・ダンパ		A												
			B												
			C												
メンテナンス冷却系			停止												
1次オーバーフロー系			⑩時間後に機能喪失。												
カバーガス系隔離			成功												
備考	R/V液位がR/V出口ノズル上端 (EL28.14m) に達するまで解析する。														

表 4.2-2(3/3) 解析条件表 (L O R L - J シーケンス : (2) - 3 - ○ - N)

ケースの概要		(2)-2-○のケースに対して、N時間以降ACS出口Na温度を一定に維持とする。													
トリップ条件		R/V液位低													
崩壊熱	ノミナル	シーリング	考慮	空調	停止	放熱	考慮								
系統・機器	ループ	時間で変更する条件													
1次主ポンプ	A														
	B														
	C														
1次系PM	A														
	B														
	C														
2次主ポンプ	A		(2)-1-①と同じ												
	B														
	C														
2次系PM	A														
	B														
	C														
ACS	運転条件の概要		(N時間以降) 325℃一定又はその時点のACS出口Na温度に一定制御。15℃/h下降せず。												
	C弁	A	ACS起動で235t/h一定制御。												
		B	停止												
		C	ACS起動で235t/h一定制御。												
	D弁	A	ACS起動時開度で動作停止												
		B	ACS起動時開度で動作停止												
		C	ACS起動時開度で動作停止												
	ペーン・ダンパ	A	ACS起動で制御開始。												
		B	停止												
		C	ACS起動で制御開始。												
メンテナンス冷却系		停止													
1次オーバーフロー系		○時間後に機能喪失。													
カバーガス系隔離		成功													
備考	R/V液位がR/V出口ノズル上端 (EL28.14m) に達するまで解析する。														



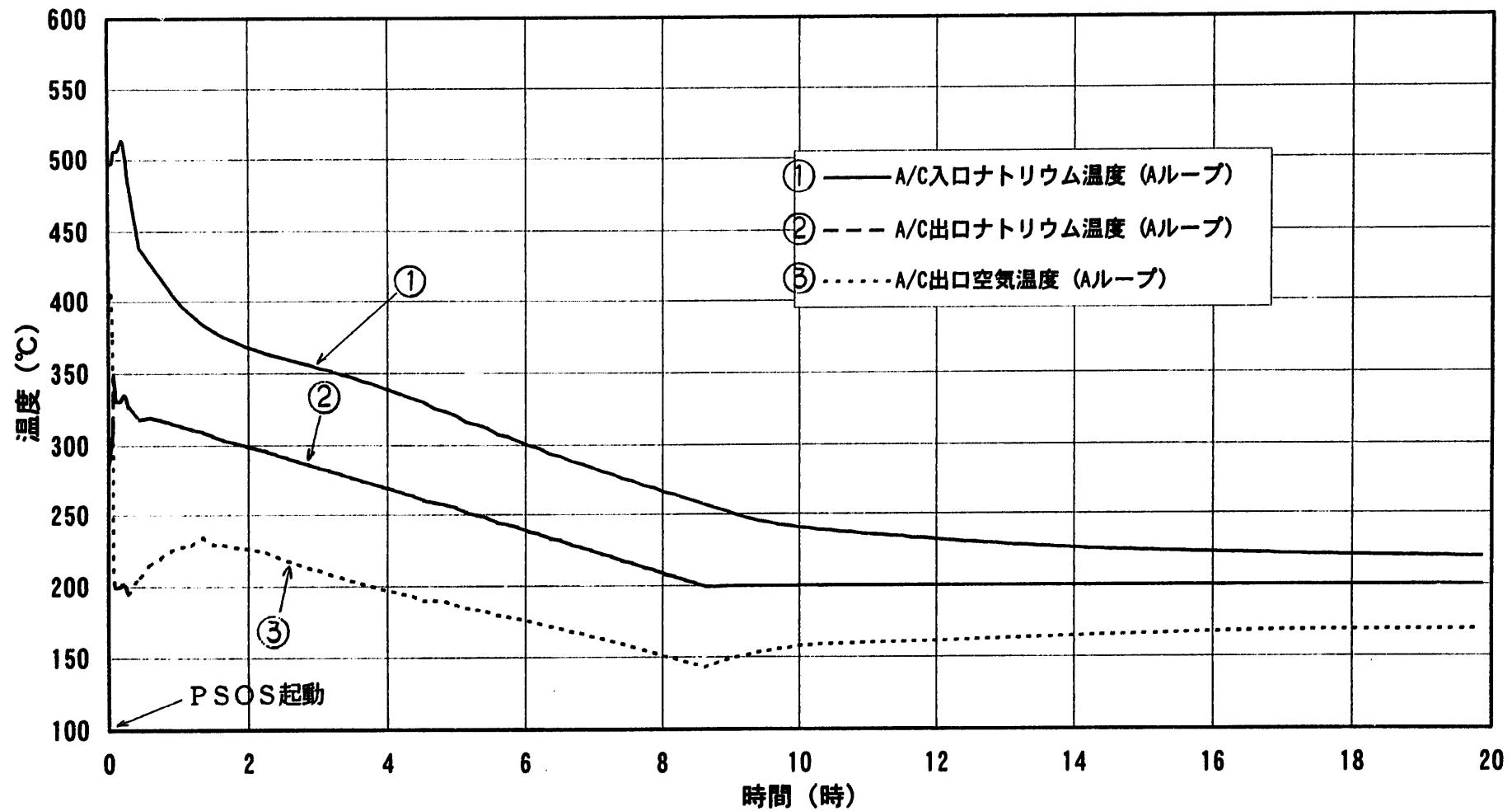


図 4.2-1(2/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-1-(1))

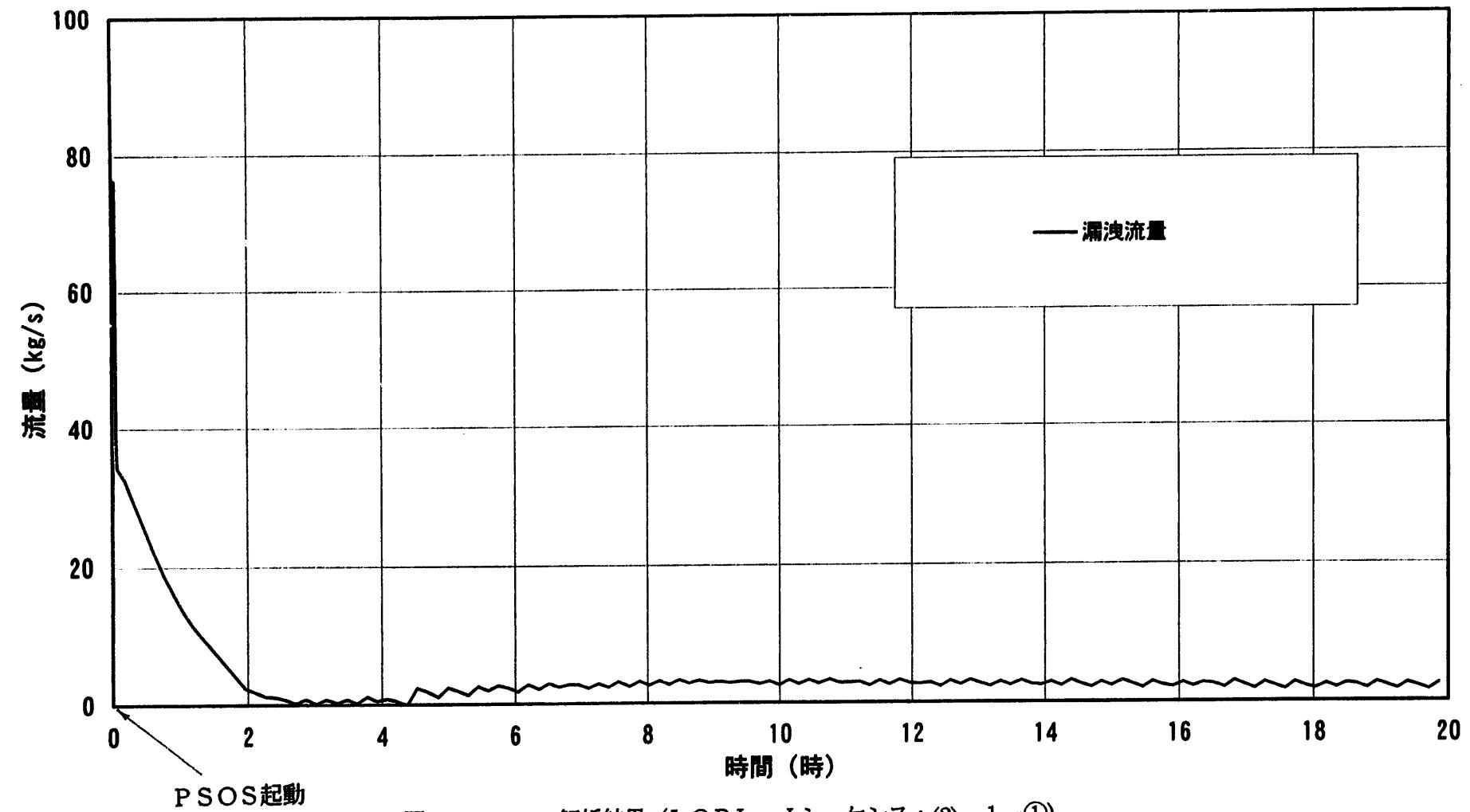


図 4.2-1(3/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス : (2)-1-①)

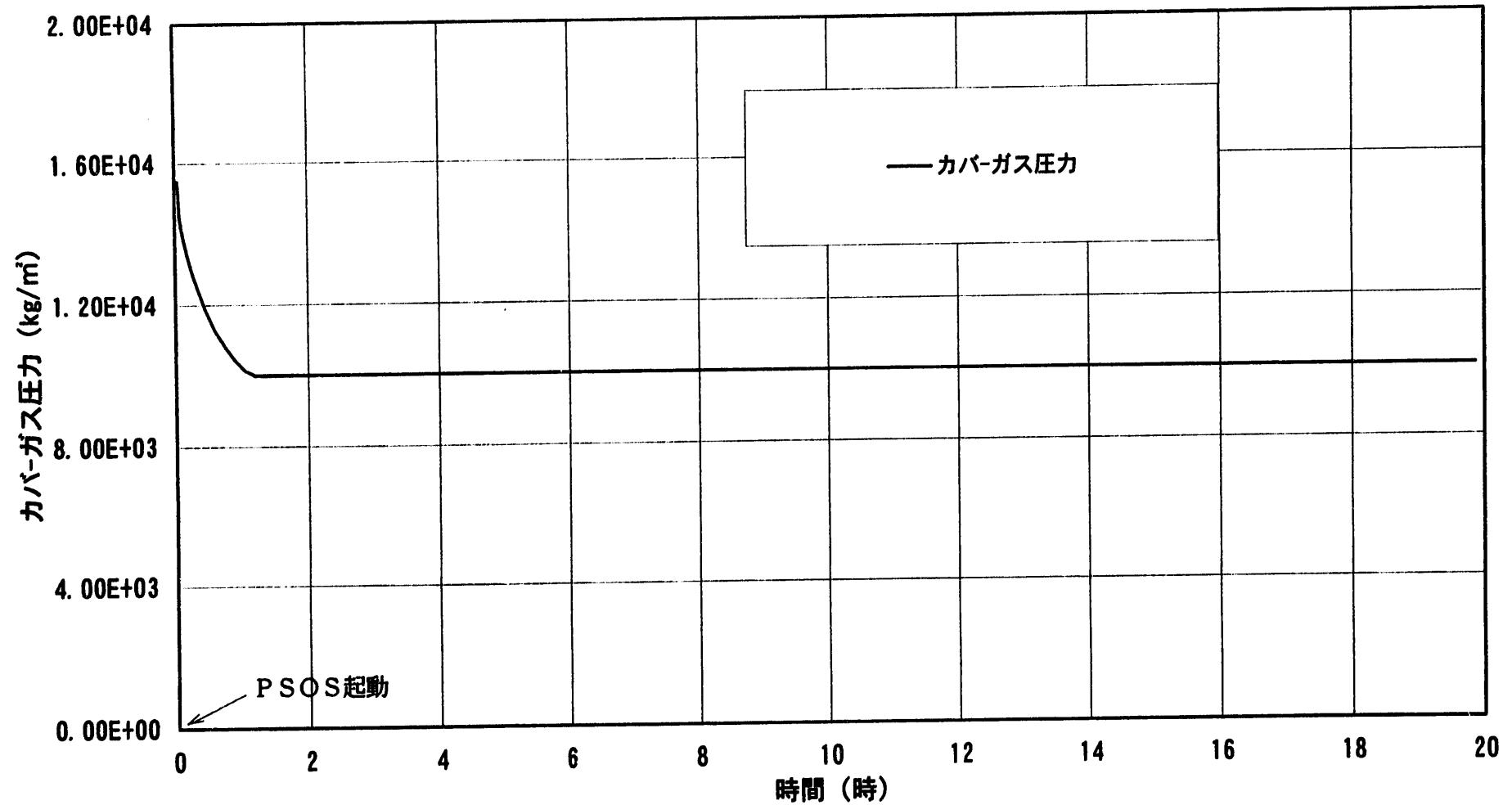


図 4.2-1(4/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス : (2)-1-①)

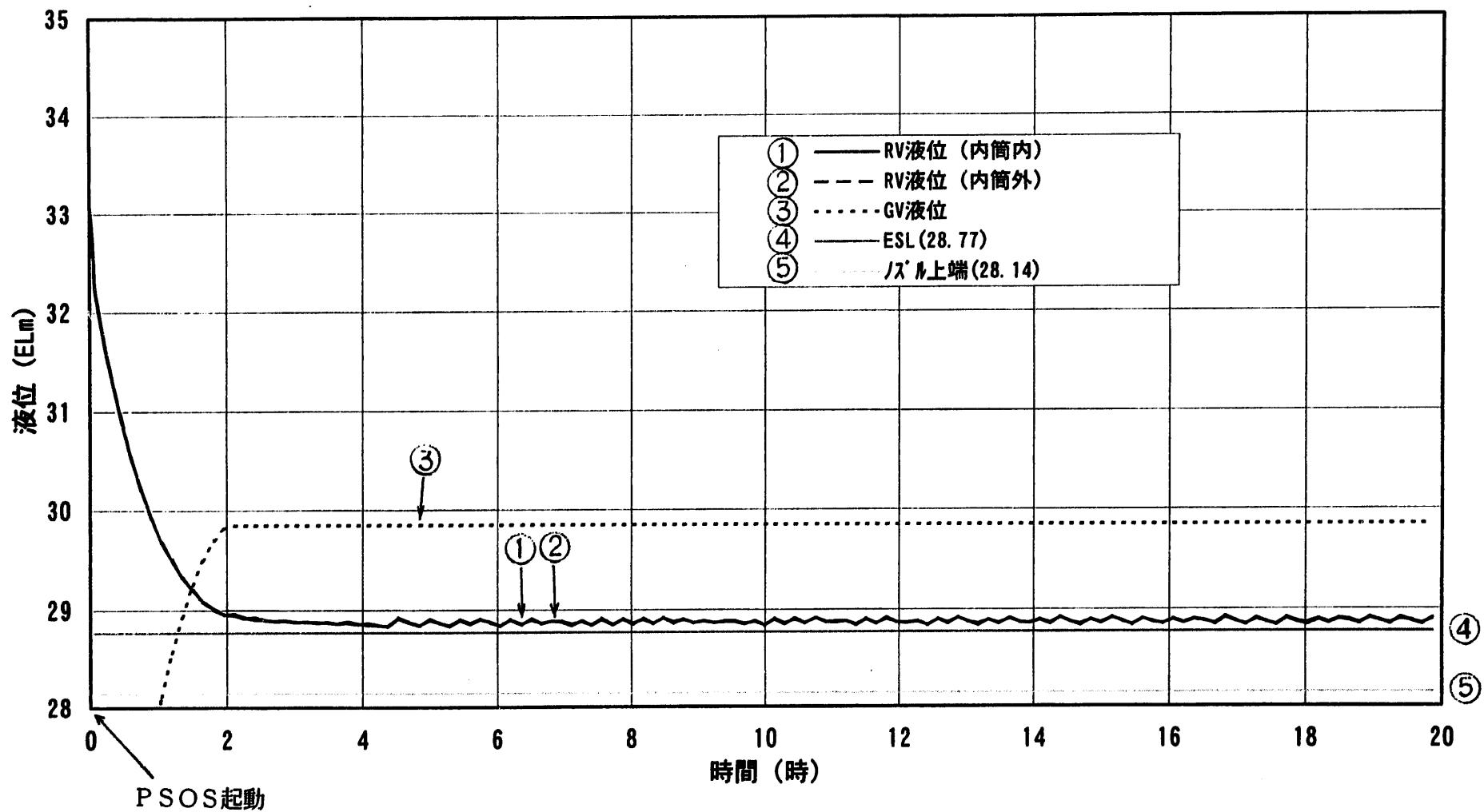


図 4.2-1(5/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-1-(1))

4.2-12

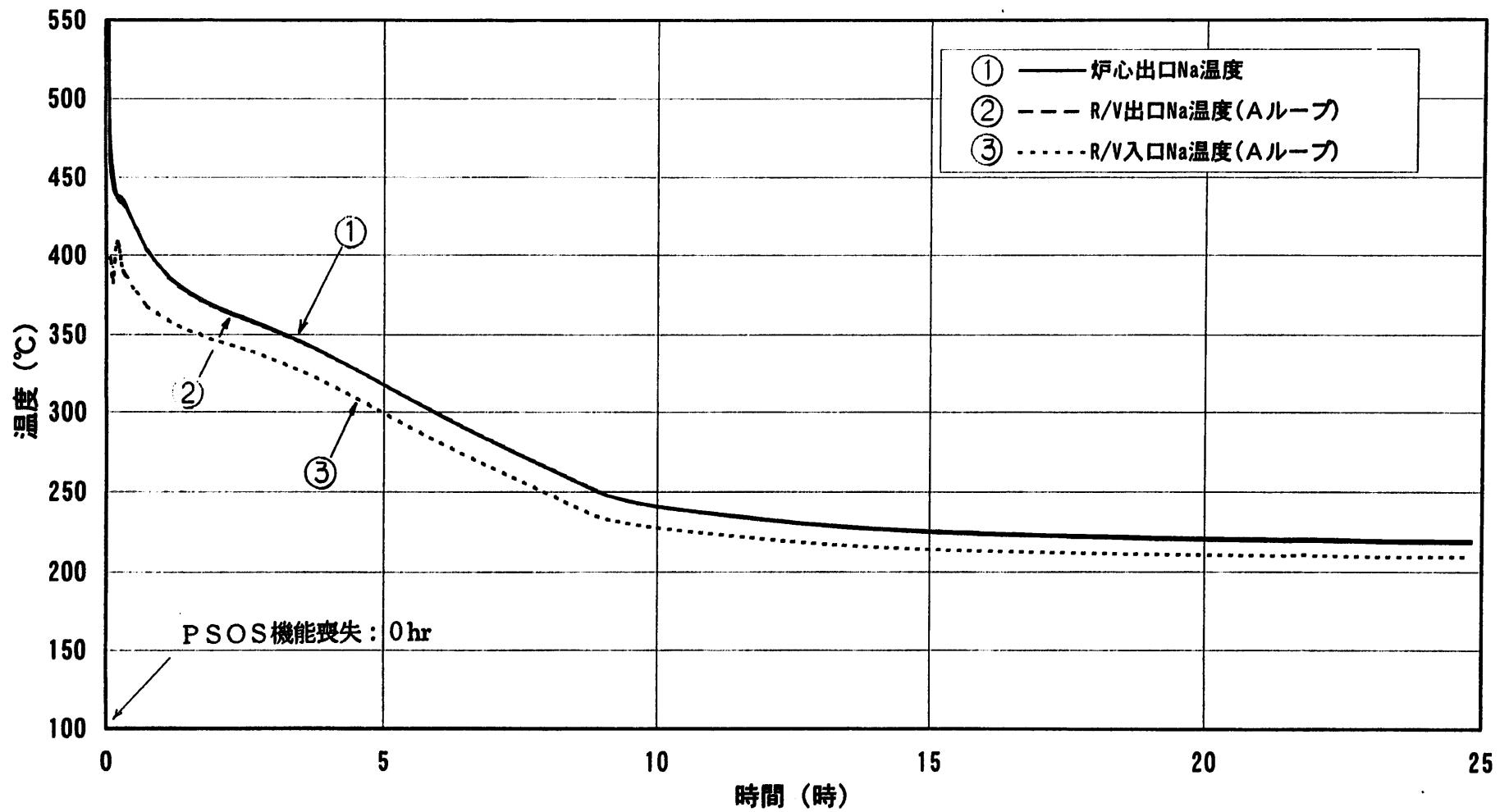


図 4.2-2(1/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-2-(1))

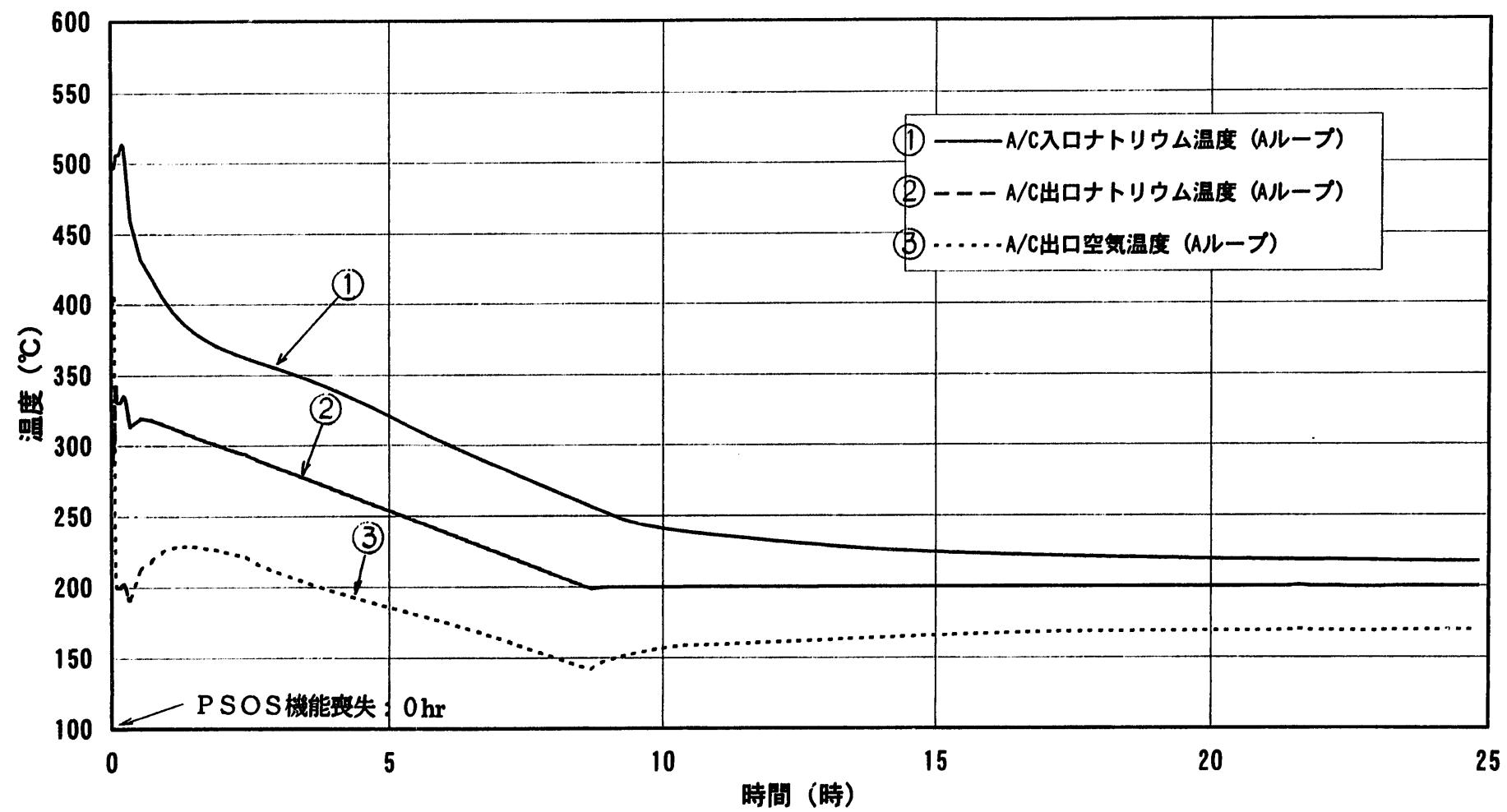


図 4.2-2(2/5) 解析結果 (L OR L-J シーケンス: (2)-2-(1))

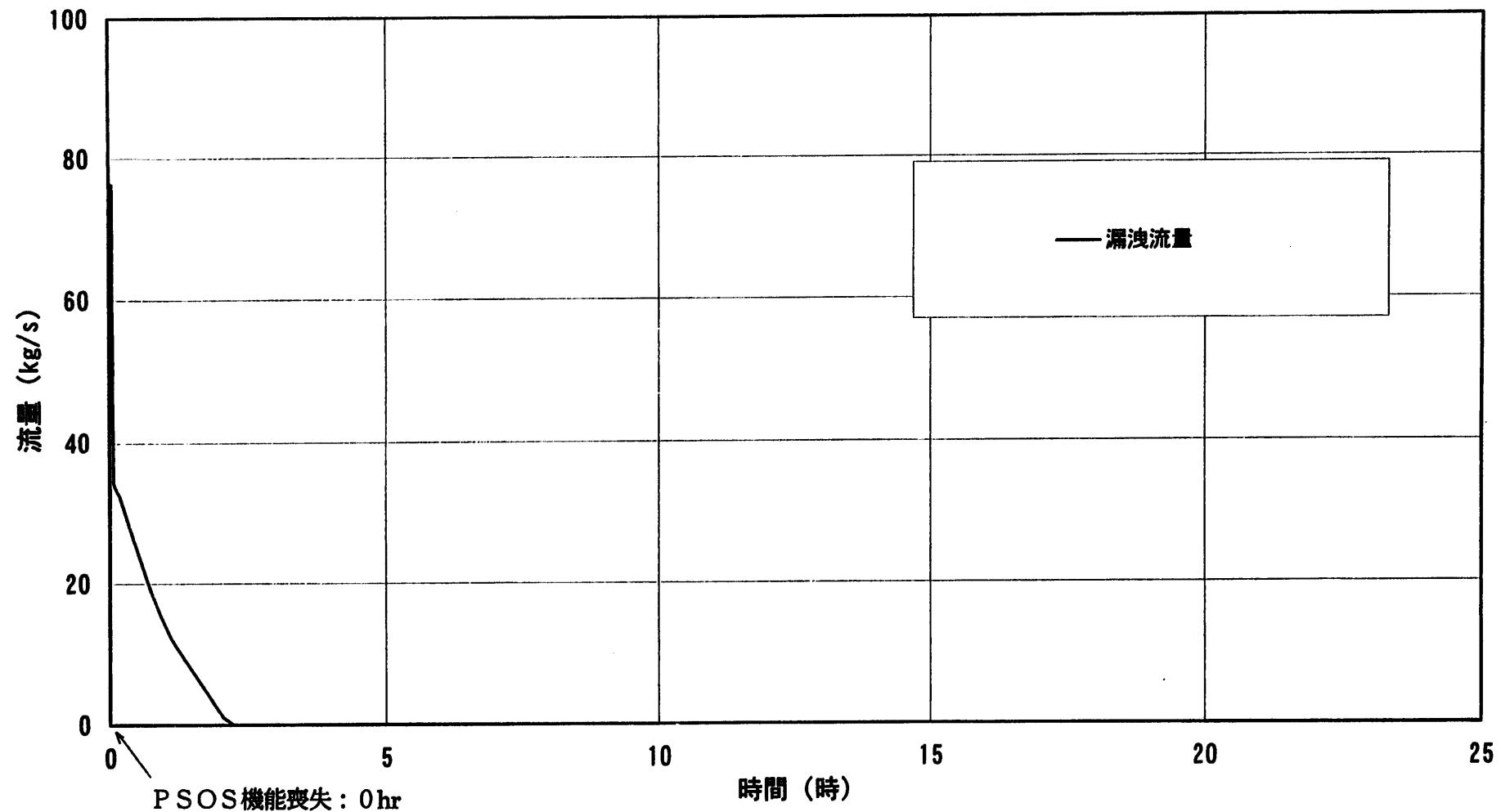


図 4.2-2(3/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス:(2)-2-①)

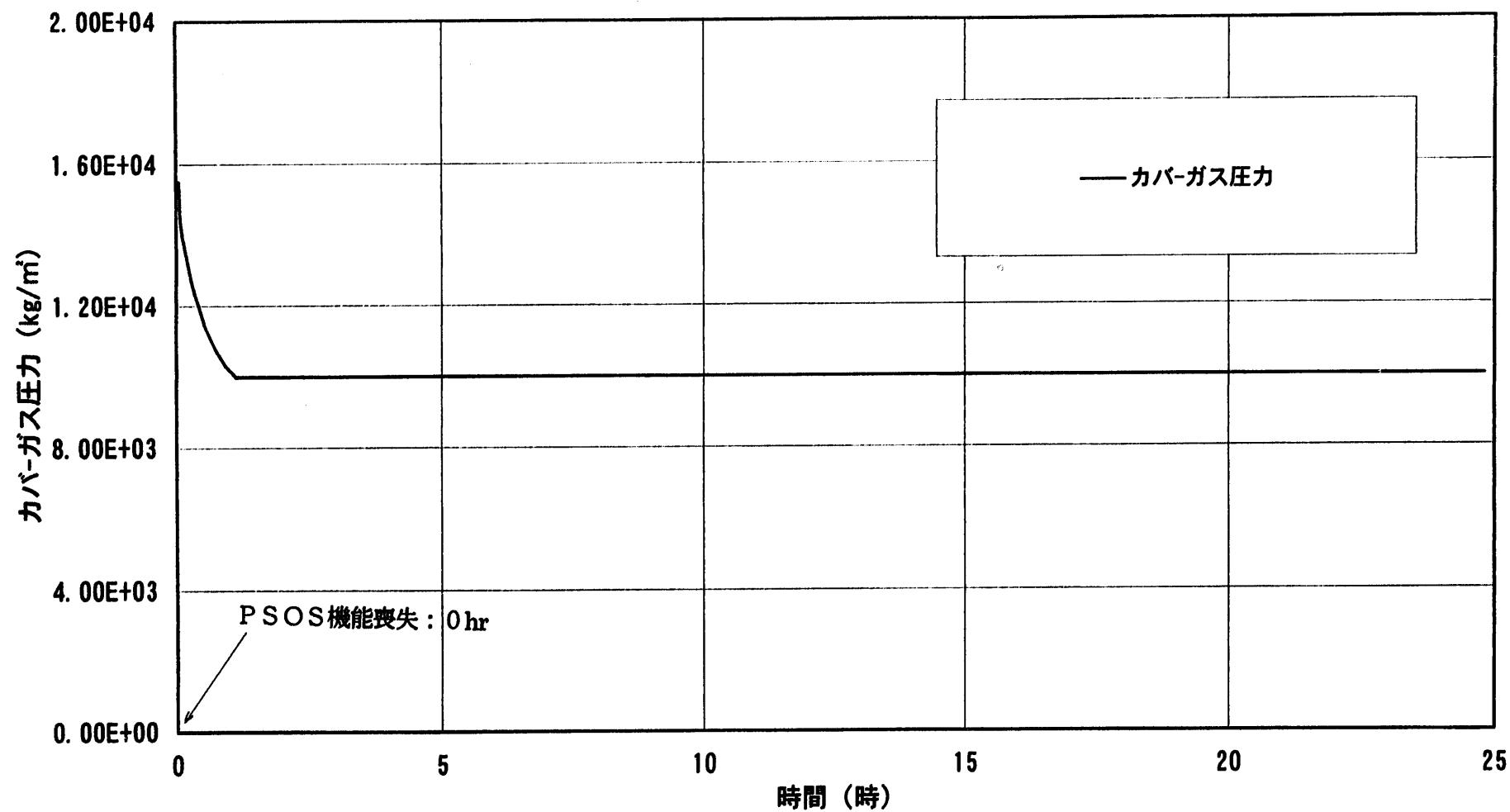


図 4.2-2(4/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス : (2)-2-(1))

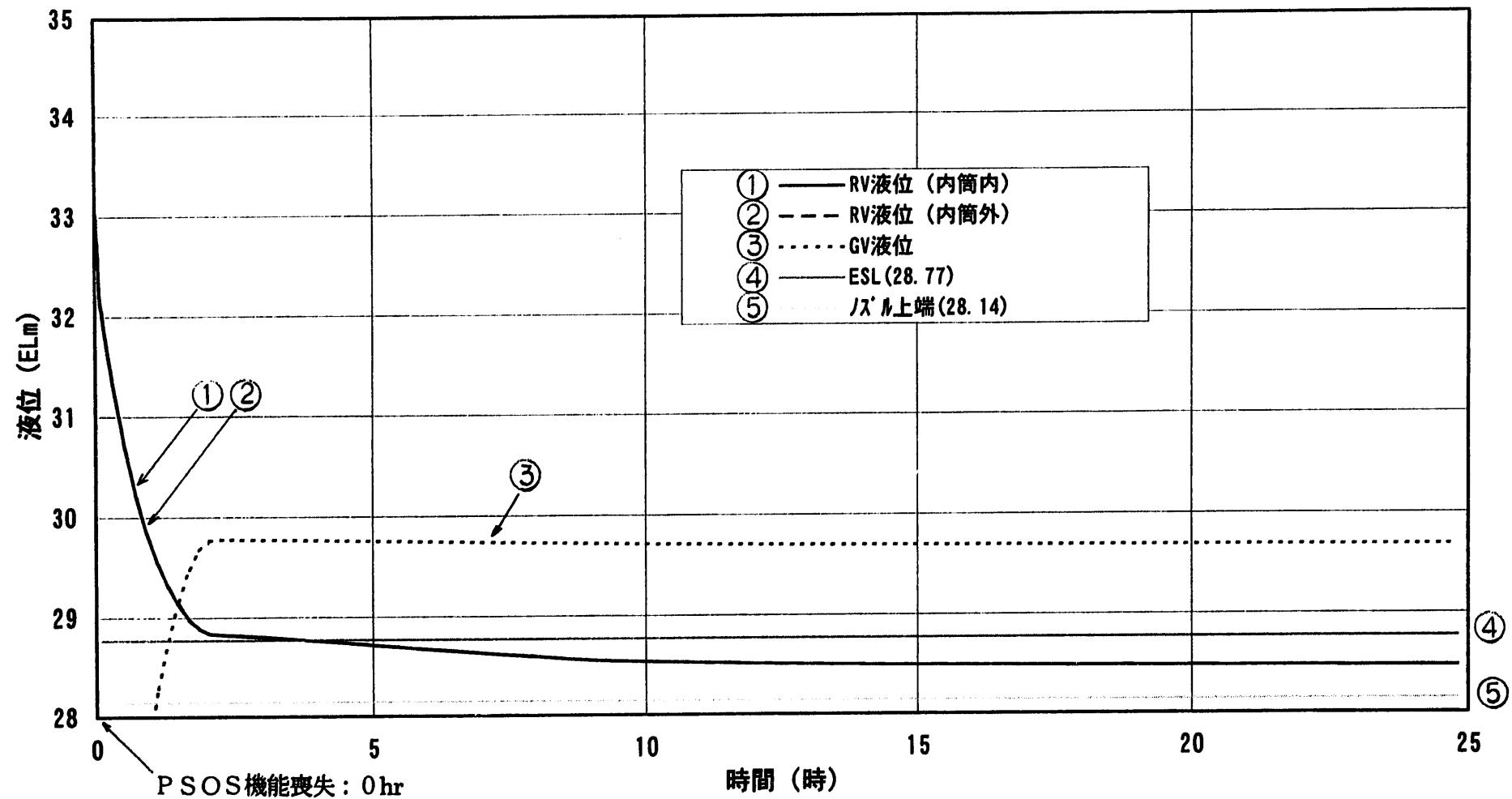


図 4.2-2(5/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-2-(1))

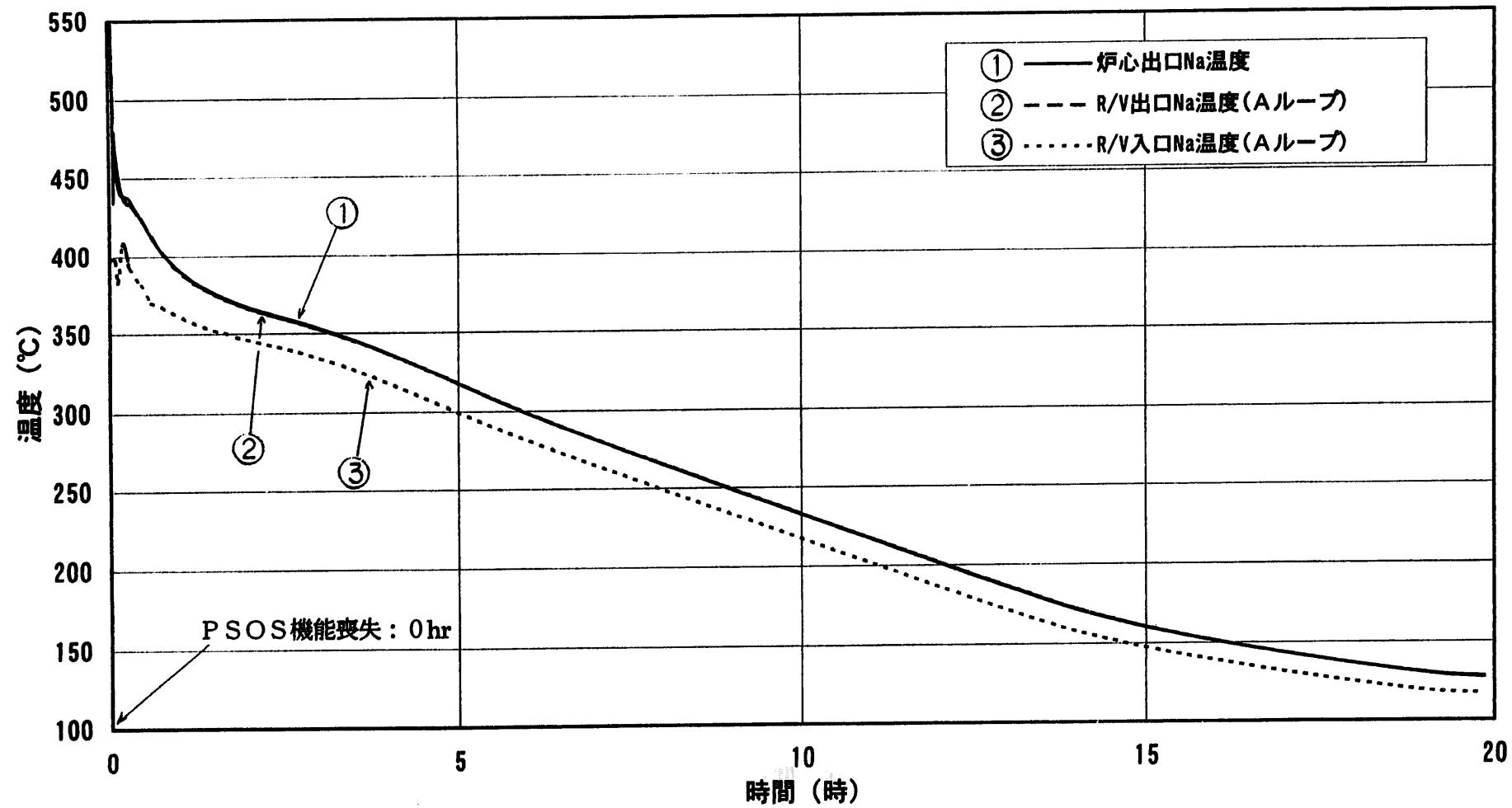


図 4.2-2A(1/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス : (2)-2-①-参考)

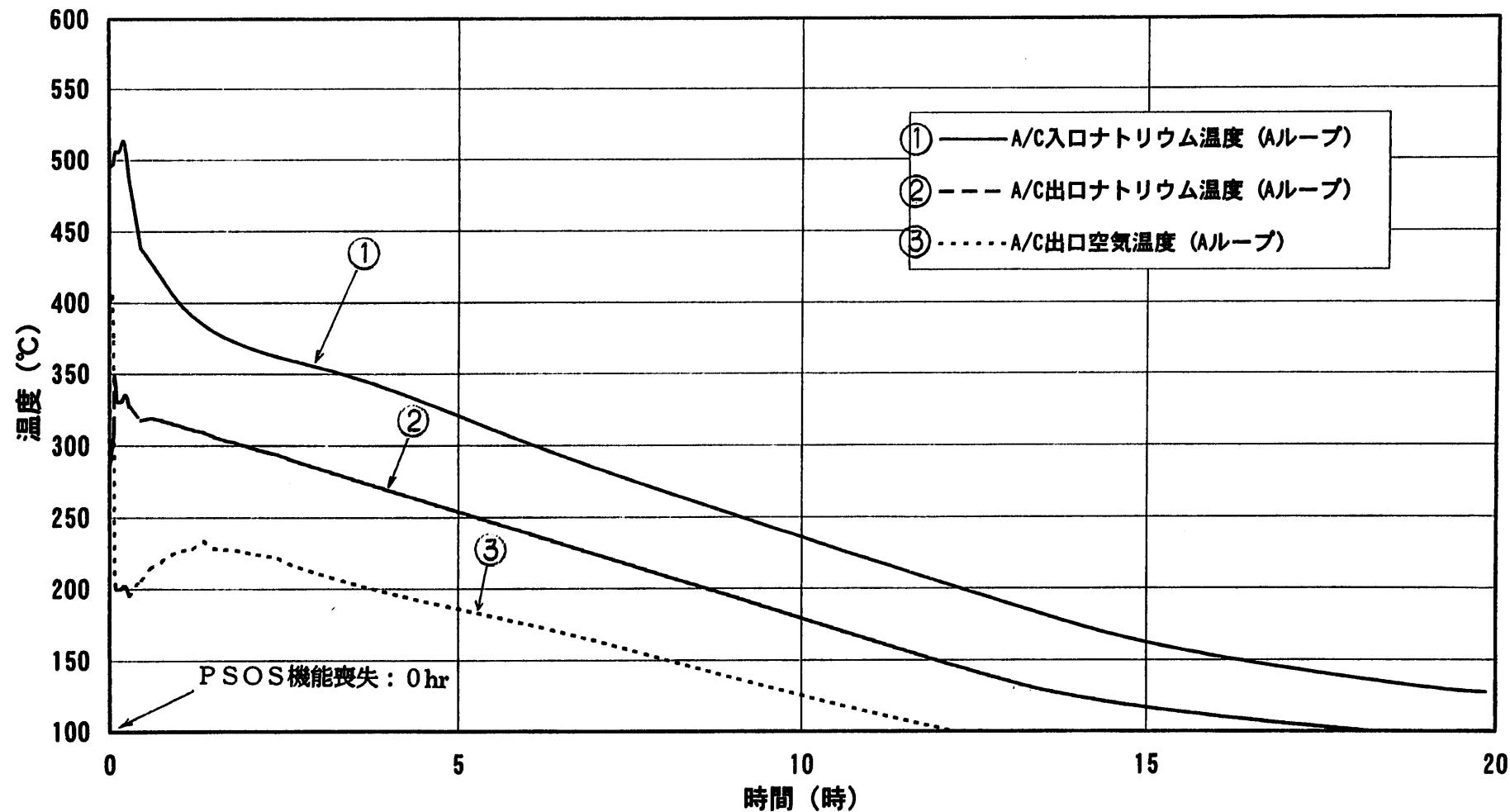


図 4.2-2A (2/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス: (2)-2-(1)-参考)

4.2-19

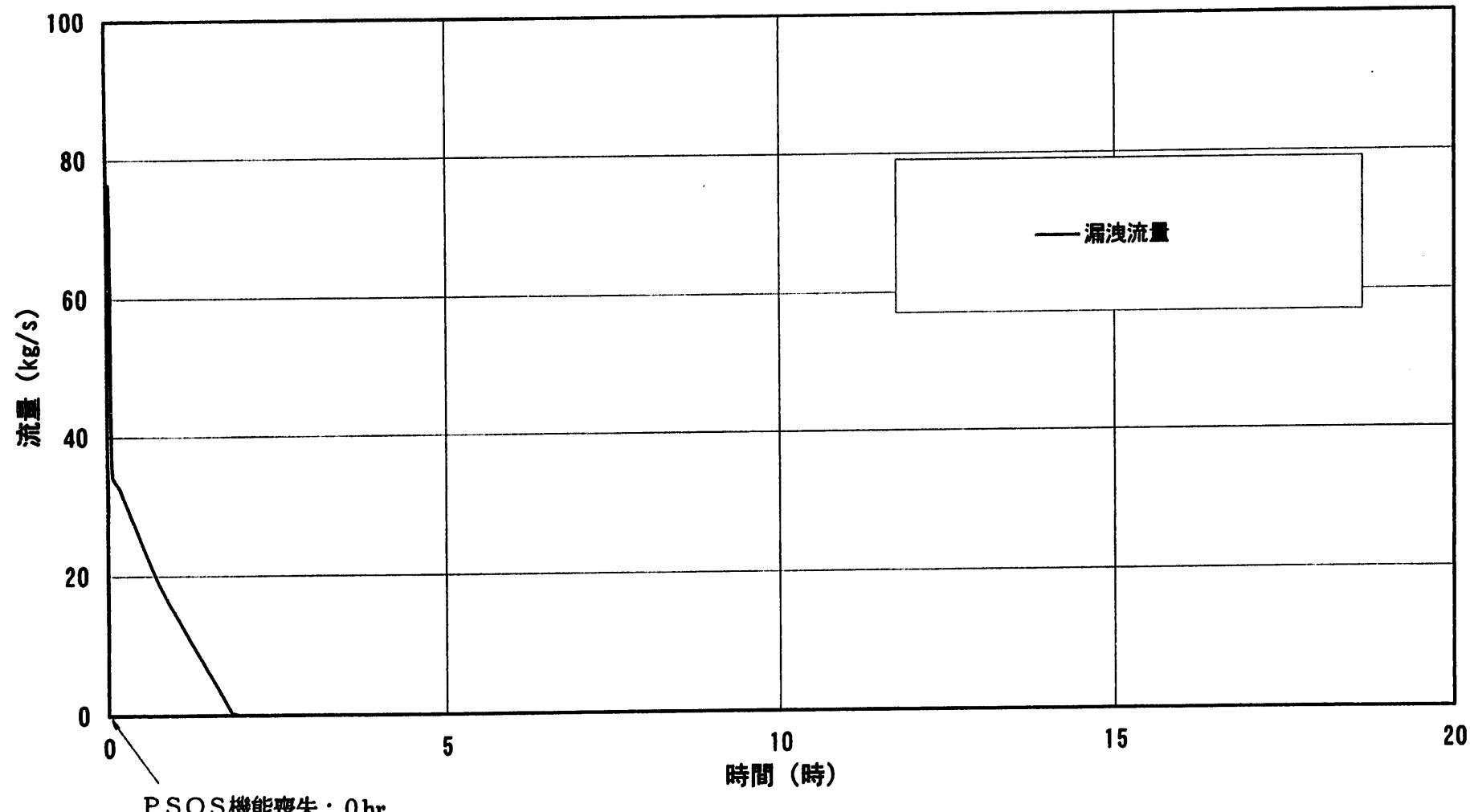


図 4.2-2A(3/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス: (2)-2-①-参考)

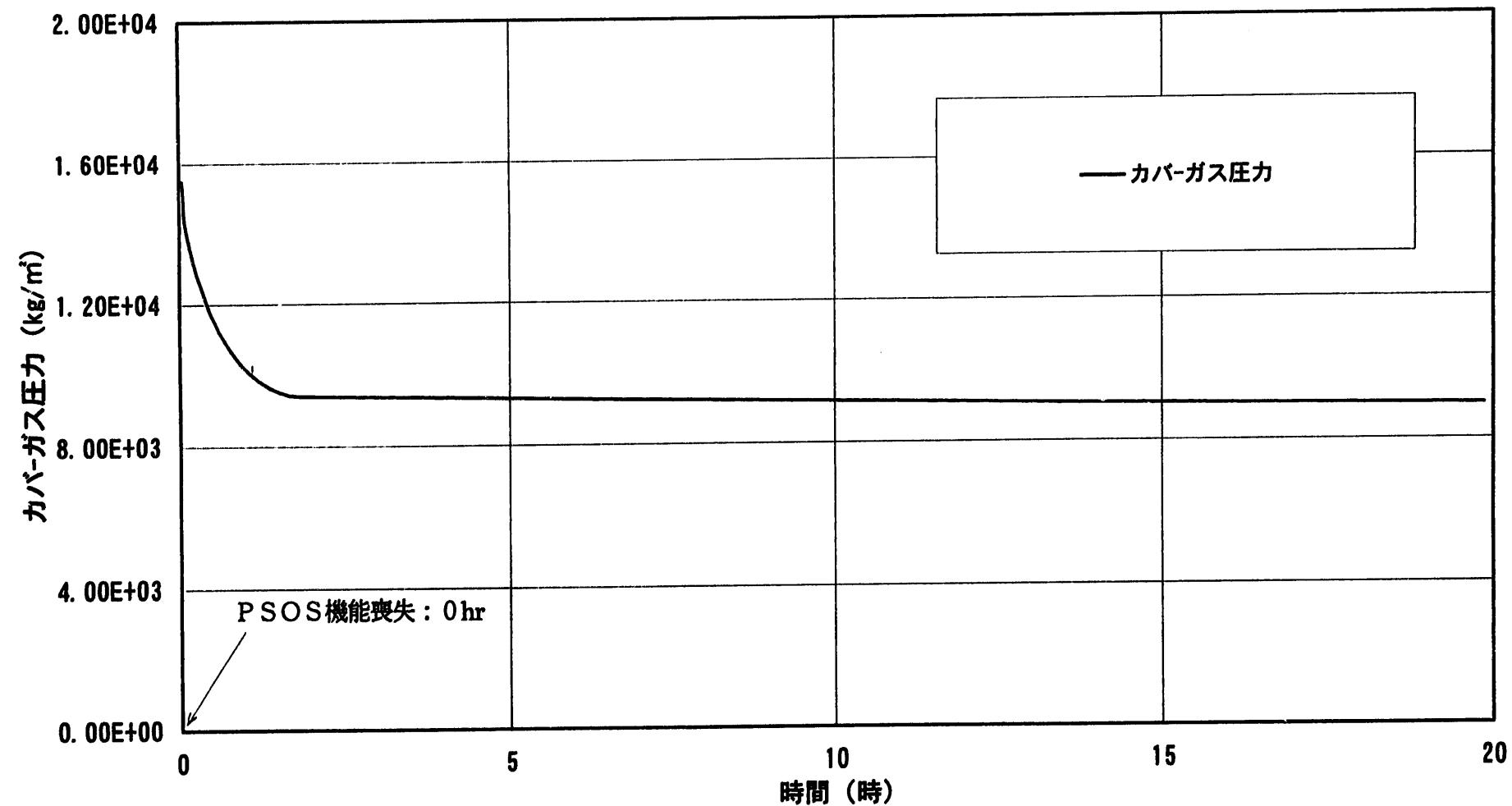


図 4.2-2A(4/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-2-①-参考)

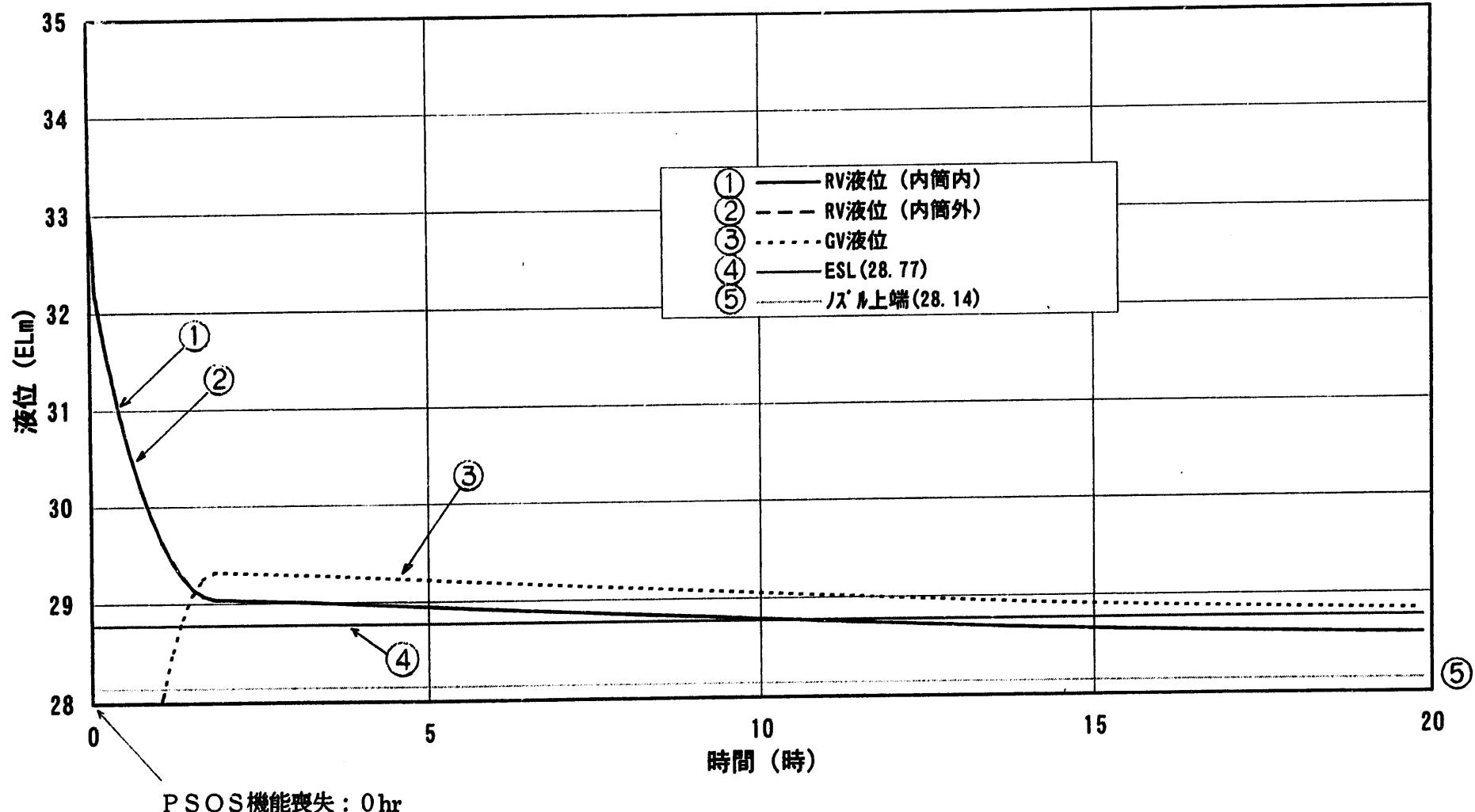


図 4.2-2A(5/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス : (2) - 2 - ① - 参考)

4.2-22

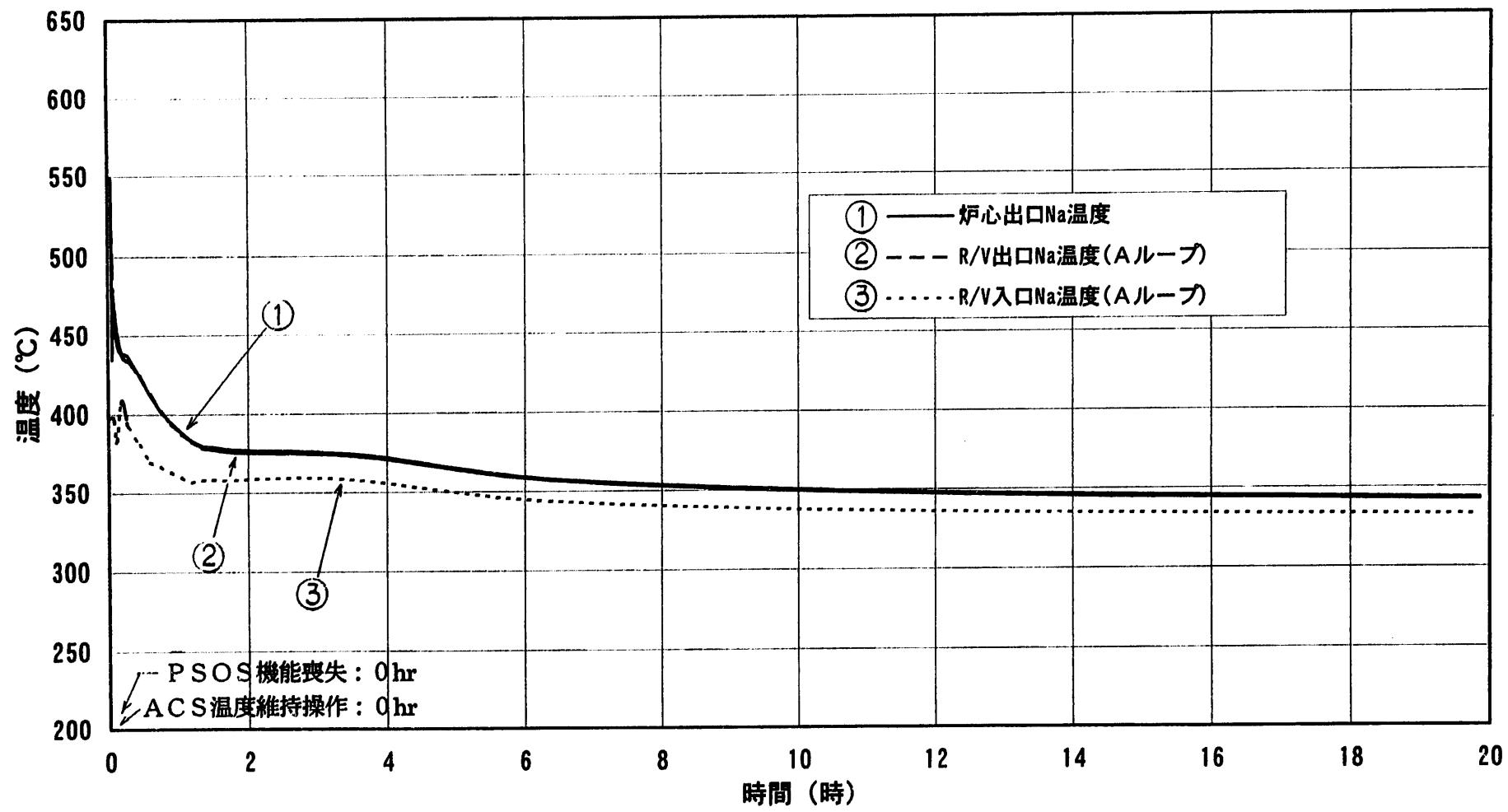


図 4.2-3(1/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス : (2)-3-①-A)

4.2.23

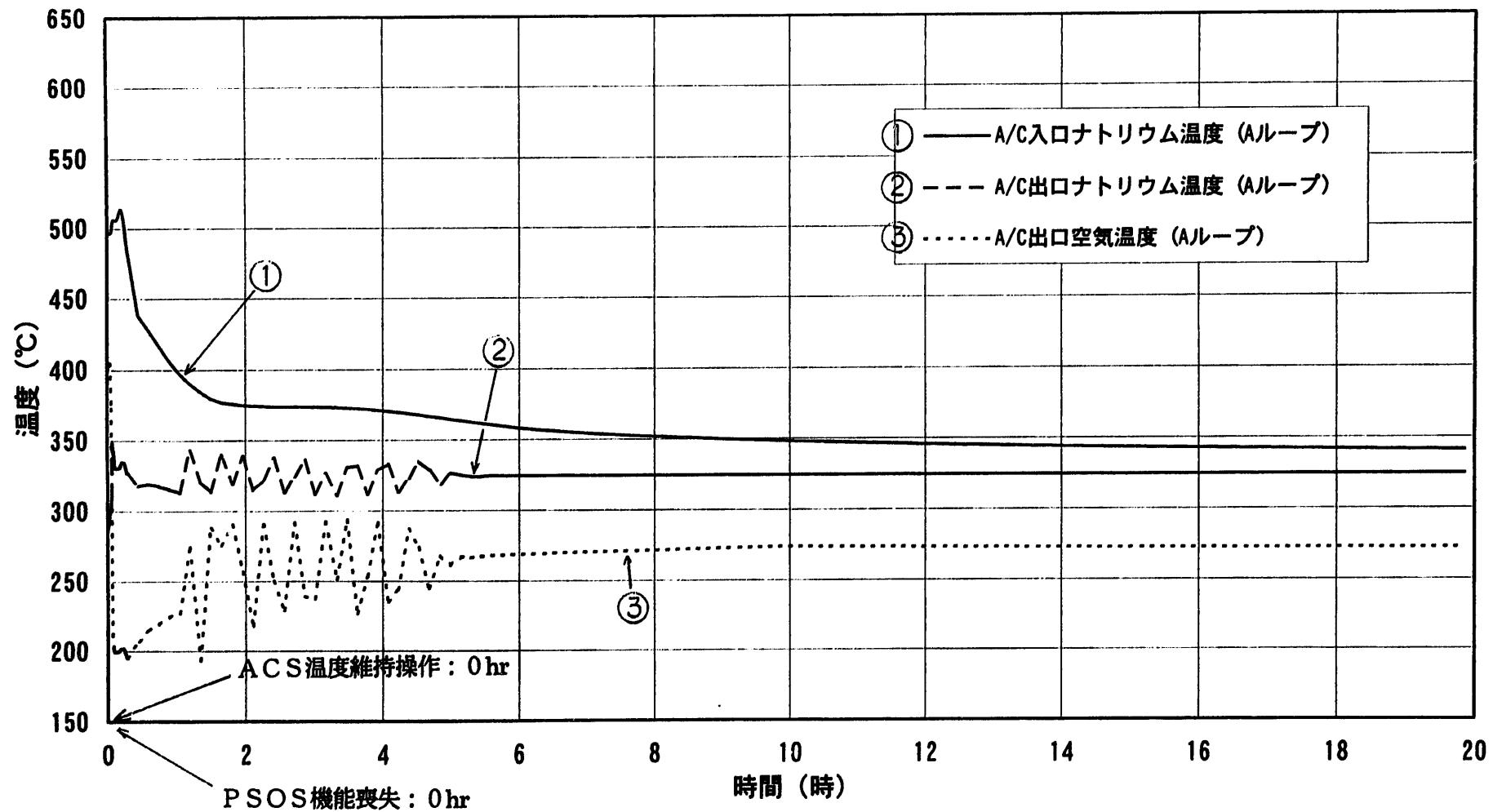
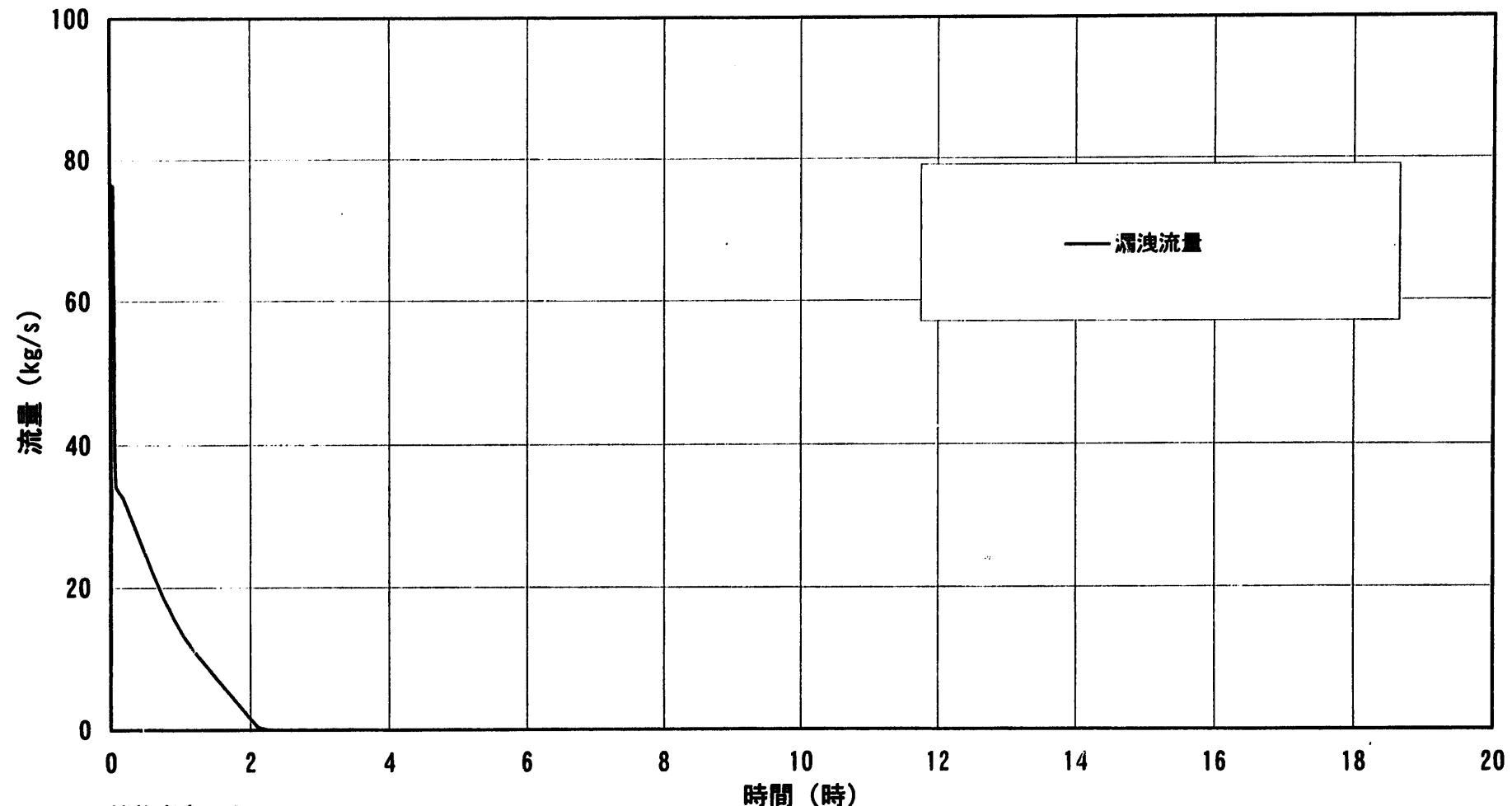


図 4.2-3(2/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス: (2)-3-(1)-A)

4.2-24



PSOS機能喪失: 0 hr

ACS温度維持操作: 0 hr

図 4.2-3(3/5)

解析結果 (L O R L - J シーケンス: (2)-3-①-A)

4.2-25

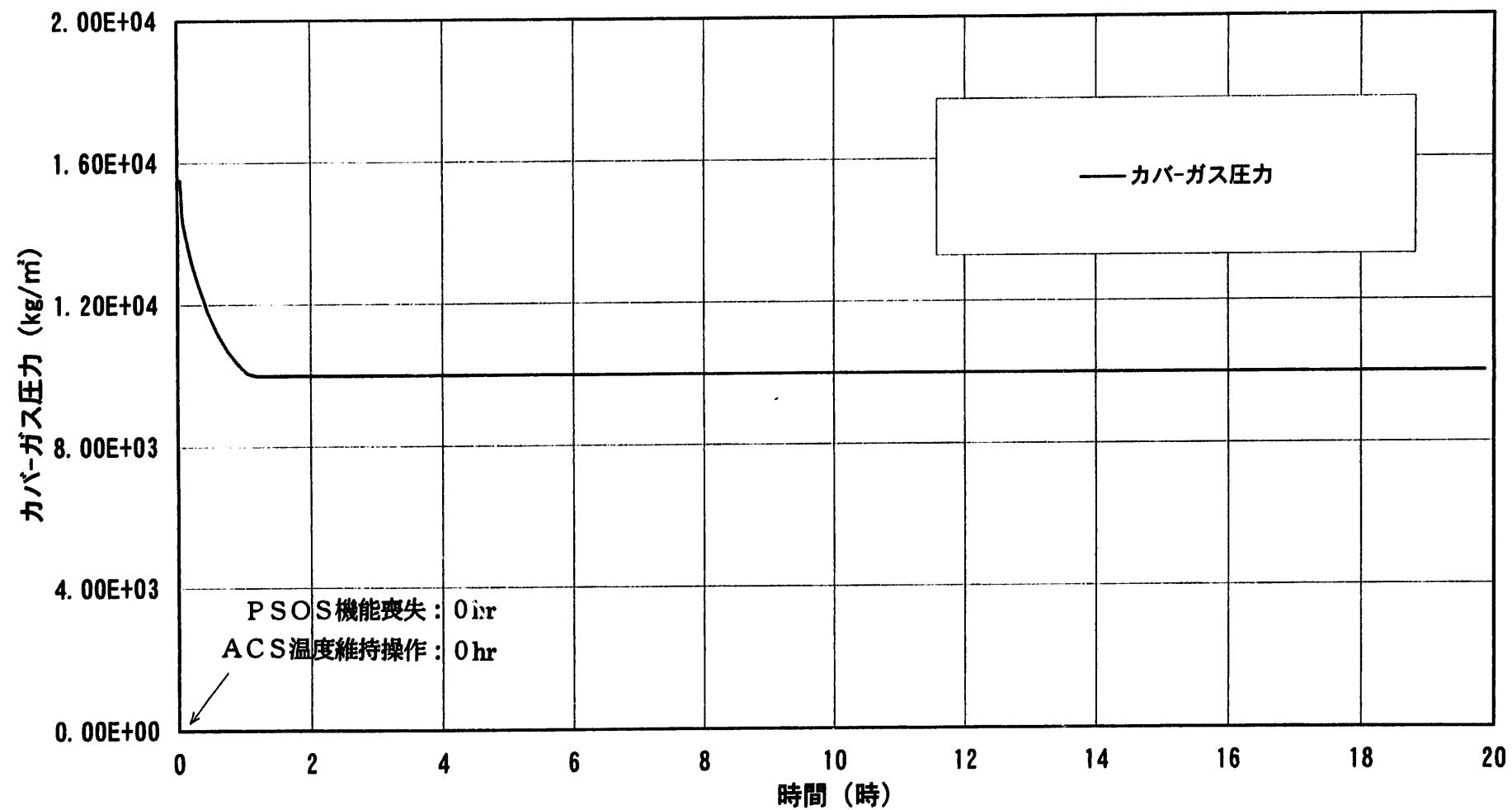


図 4.2-3(4/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス : (2)-3-①-A)

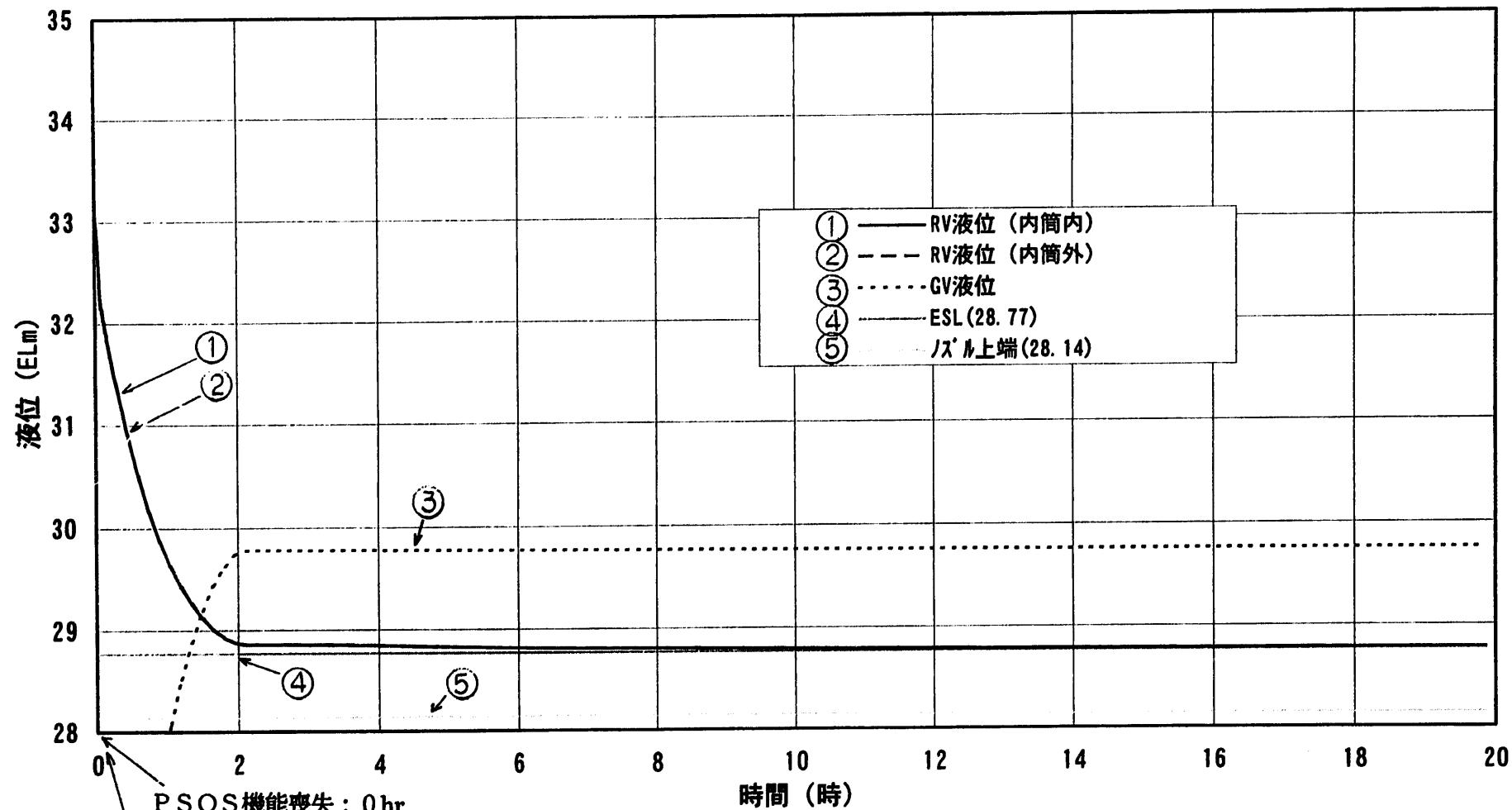


図 4.2-3(5/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス : (2) - 3 - ① - A)

4.2.27

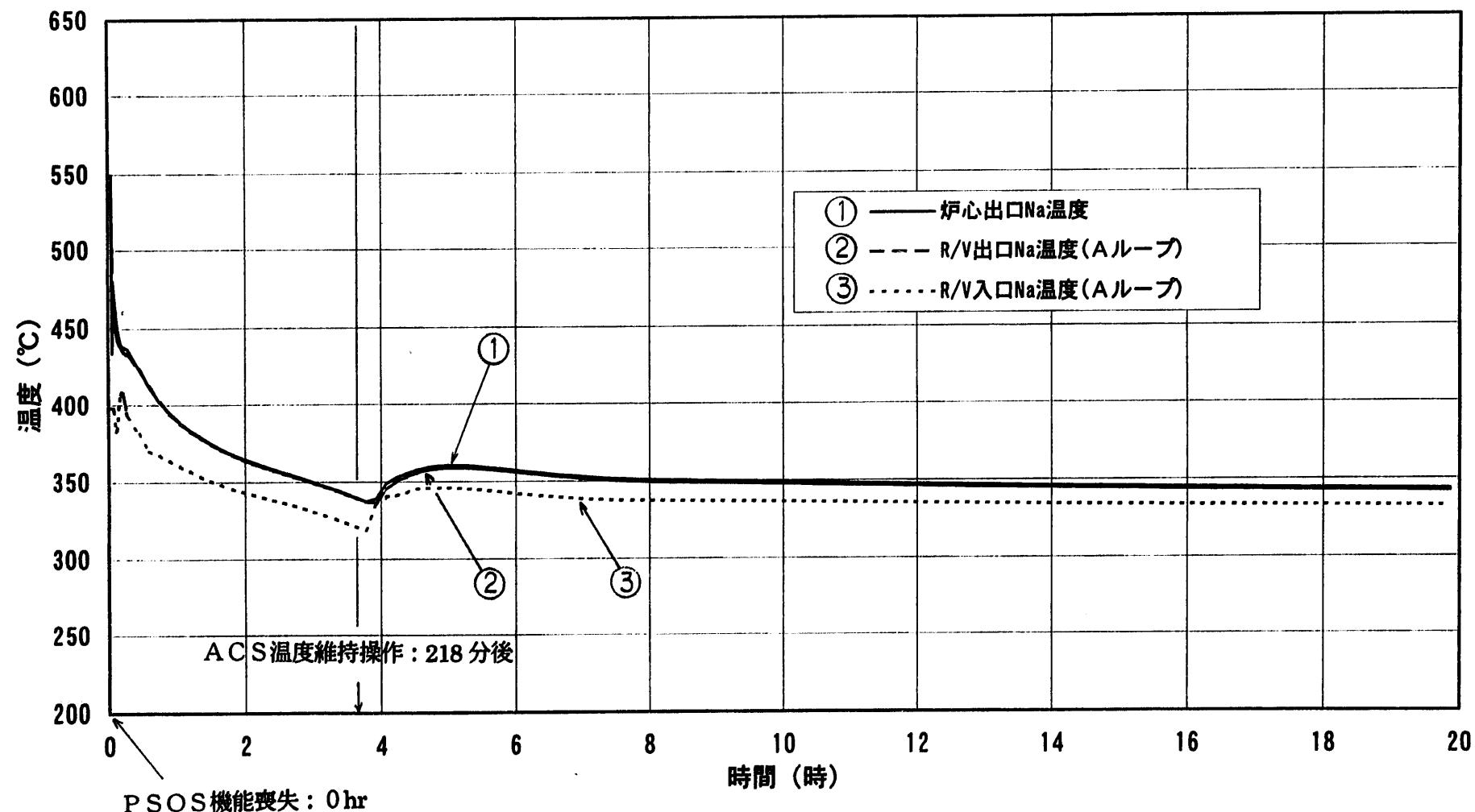


図 4.2-4(1/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス: (2)-3-①-B)

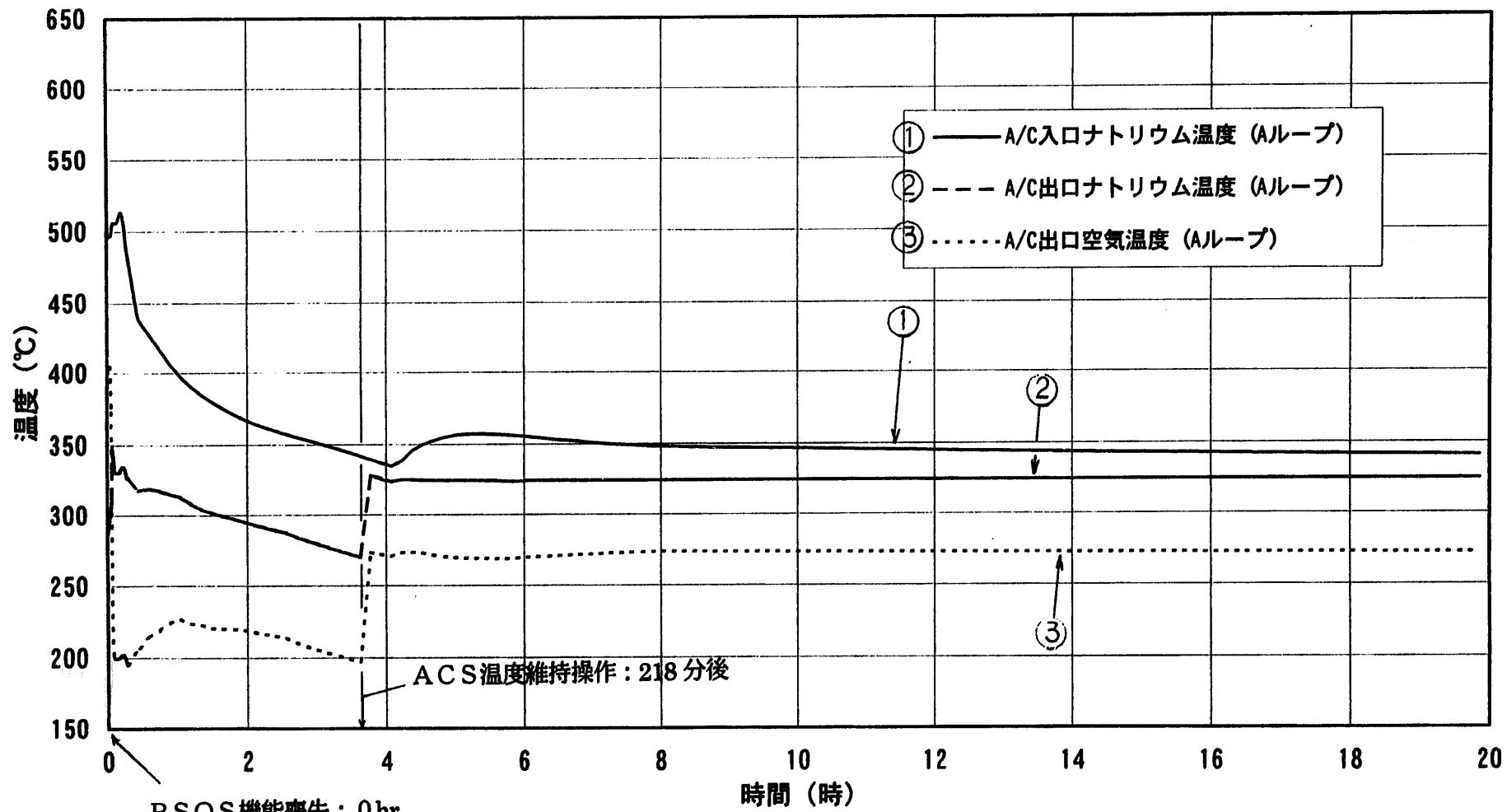


図 4.2-4(2/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス : (2) - 3 - ① - B)

4.2-29

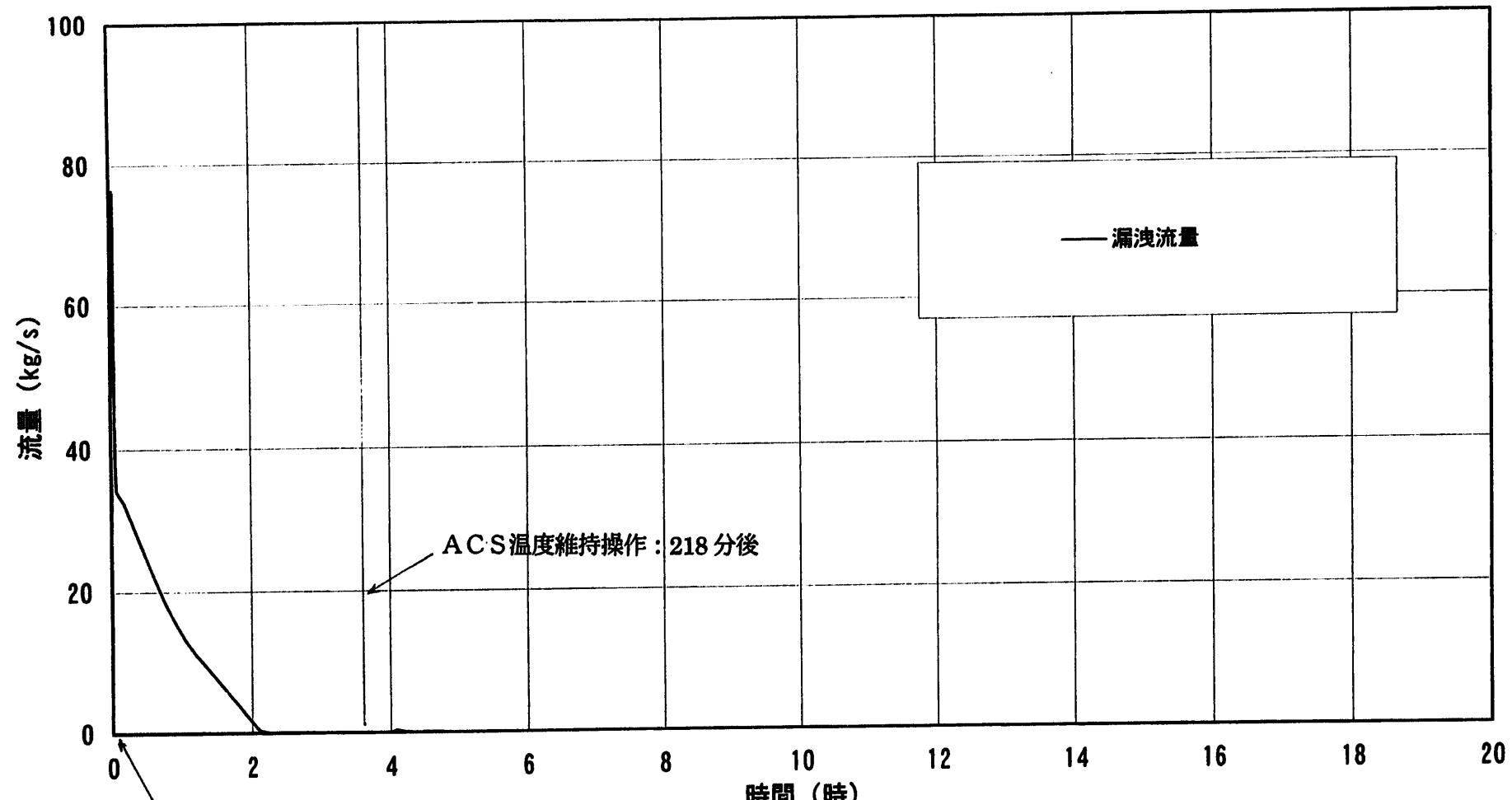


図 4.2-4(3/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス : (2) - 3 - ① - B)

PSOS 機能喪失 : 0 hr

4.2-30

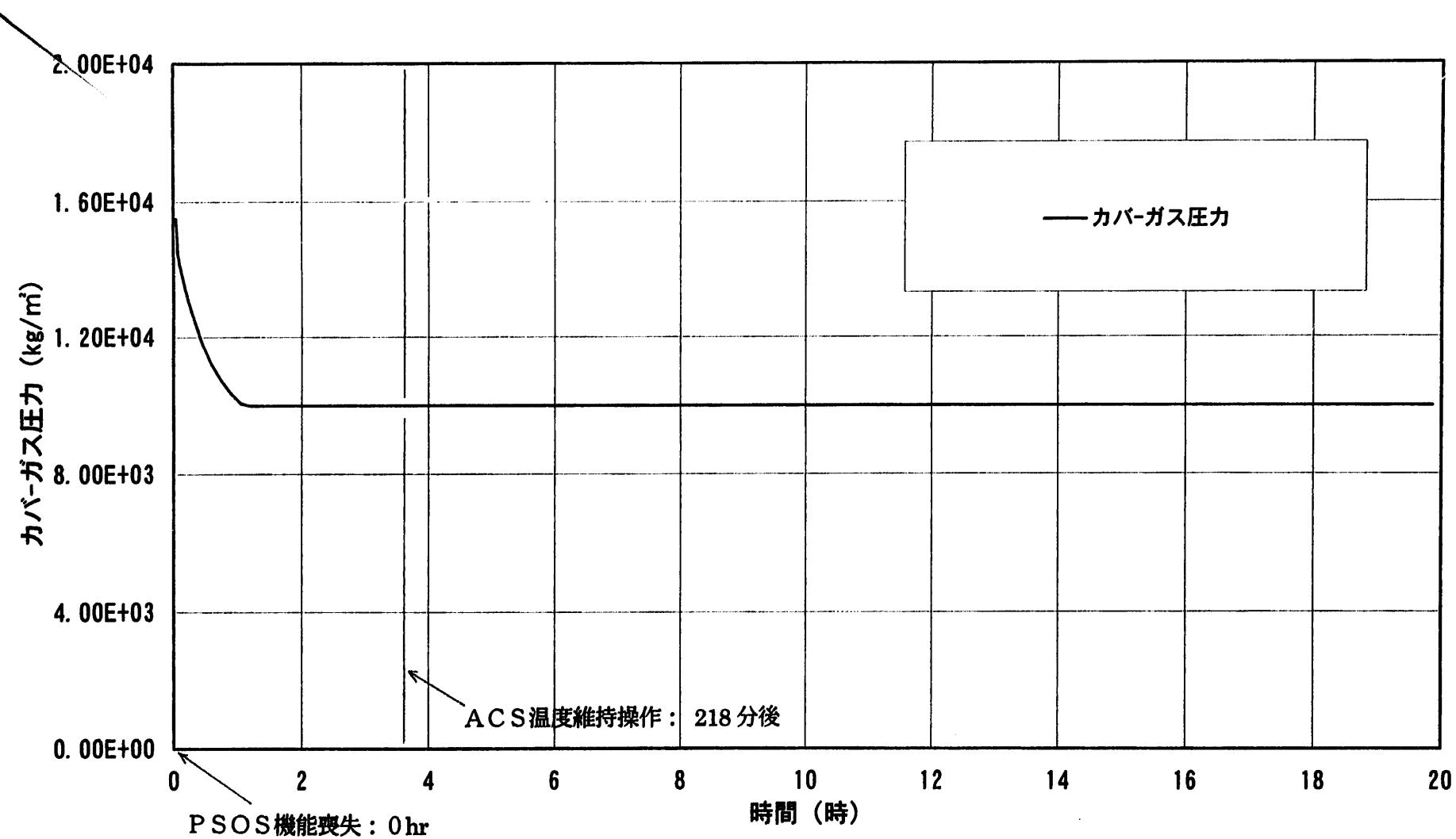


図 4.2-4(4/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス : (2) - 3 - ① - B)

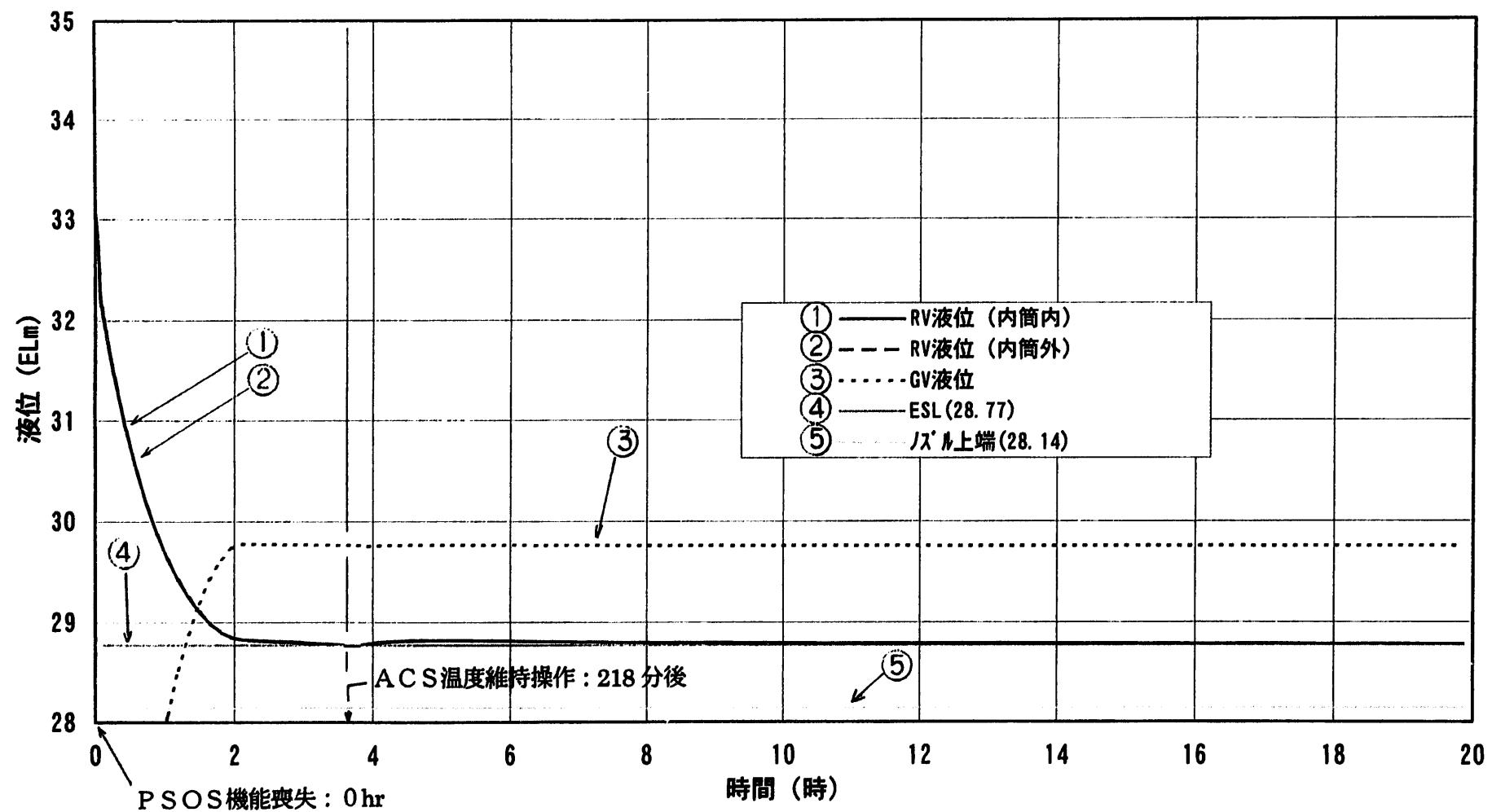


図 4.2-4(5/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス: (2)-3-(1)-B)

4.2-32

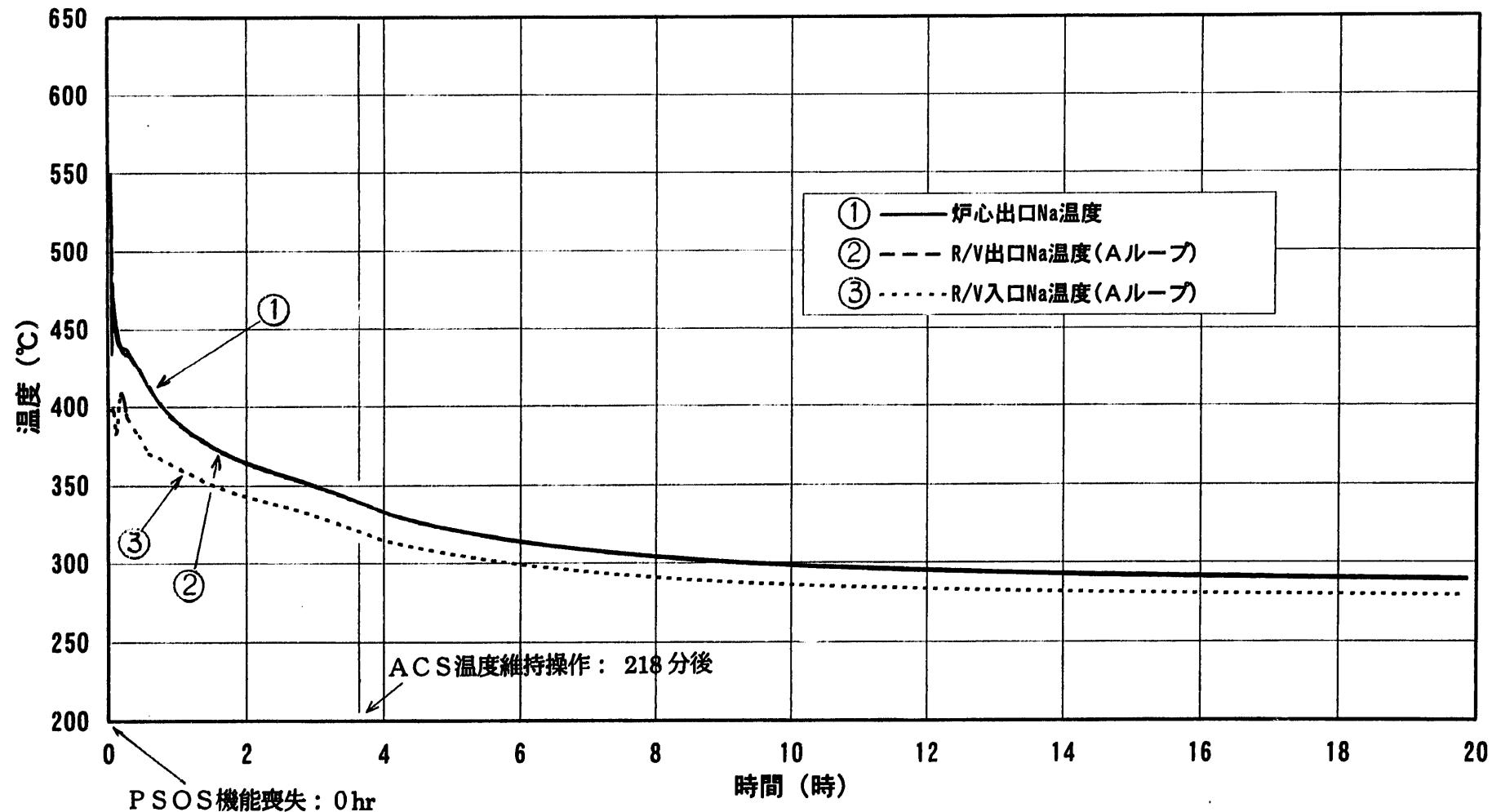


図 4.2-4A(1/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス: (2) - 3 - ① - B 追)

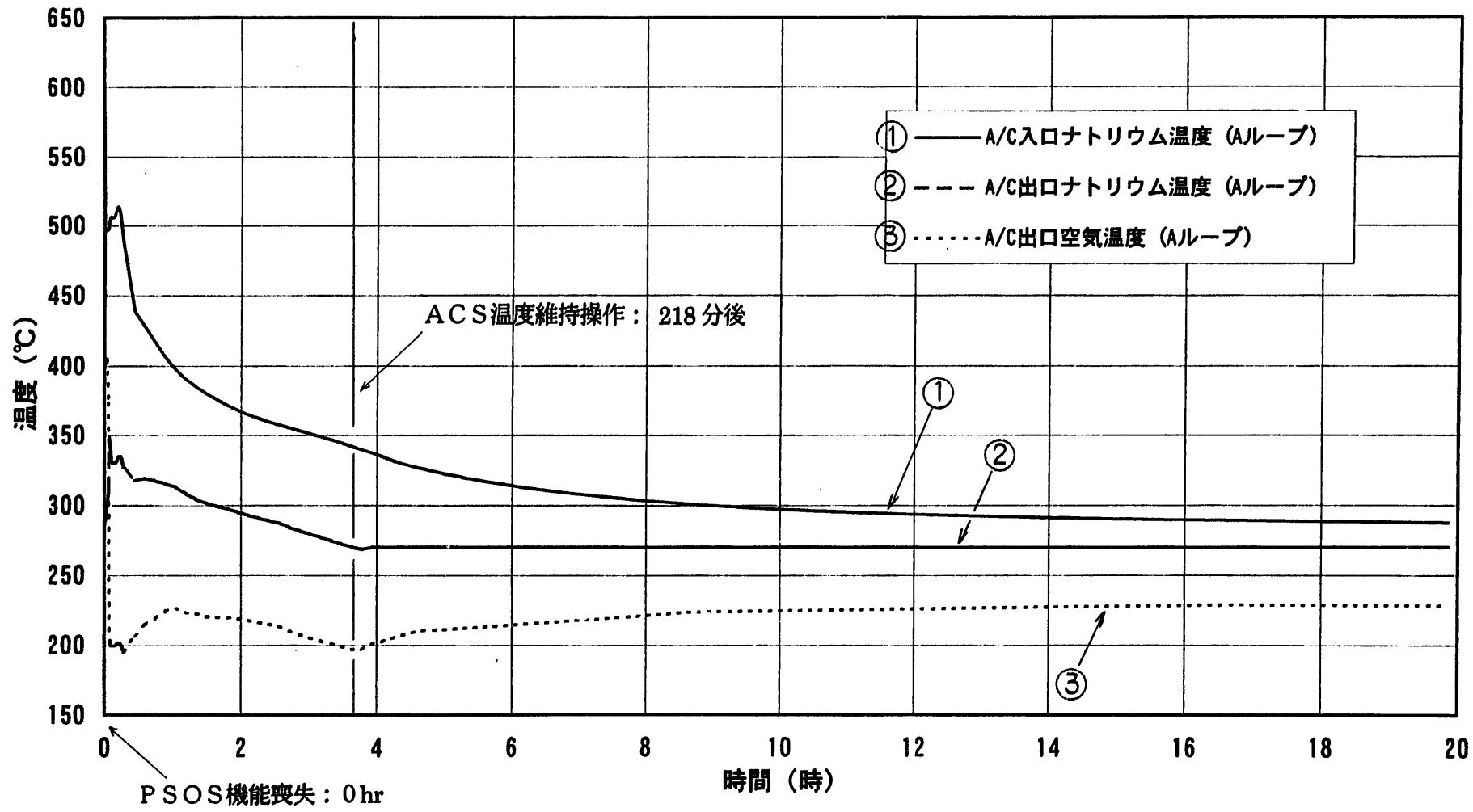


図 4.2-4A(2/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス : (2) - 3 - ① - B 追)

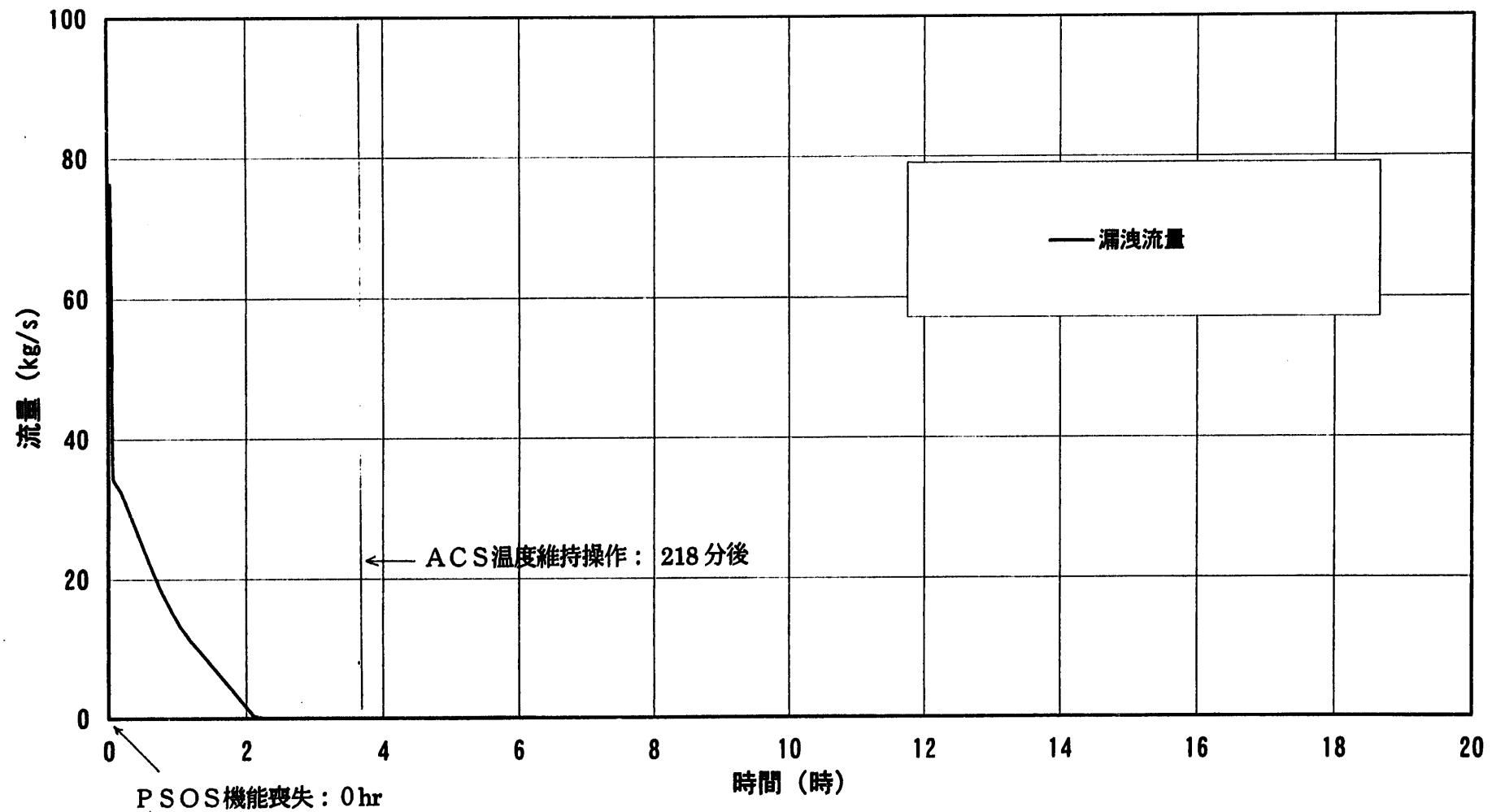


図 4.2-4A(3/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス: (2) - 3 - ① - B 追)

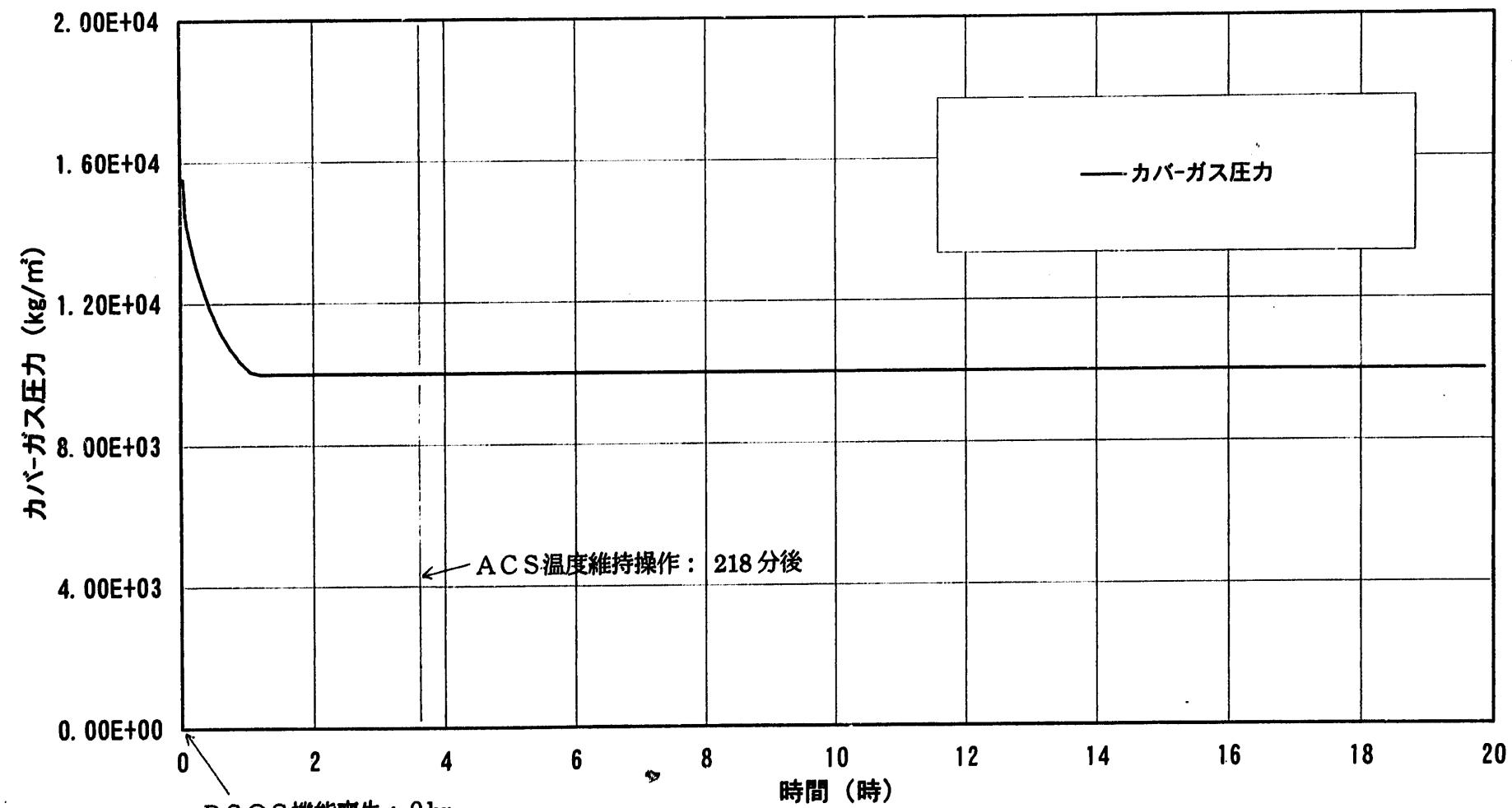


図 4.2-4A(4/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス : (2)-3-①-B 追)

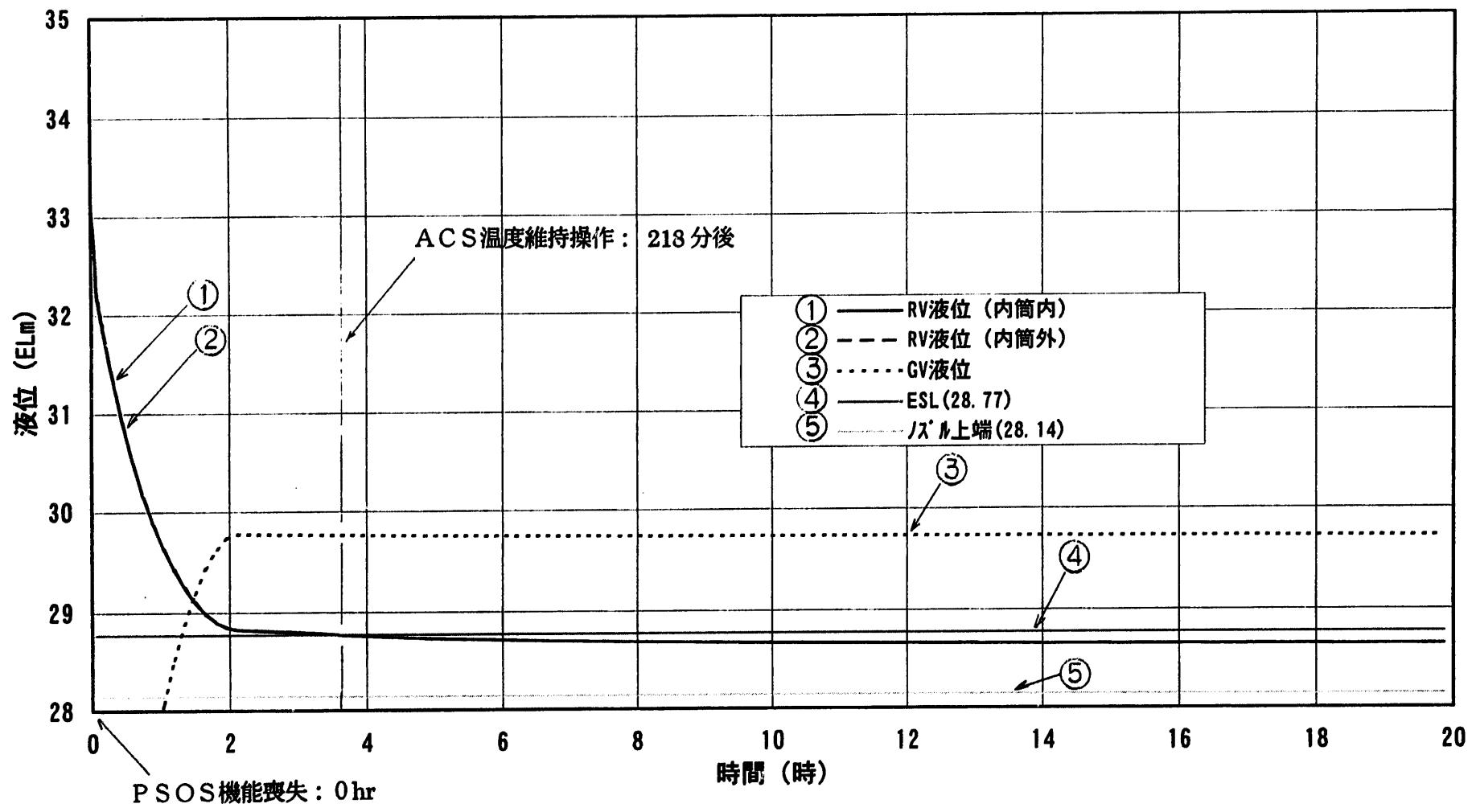


図 4.2-4A(5/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス : (2) - 3 - (1) - B 追)

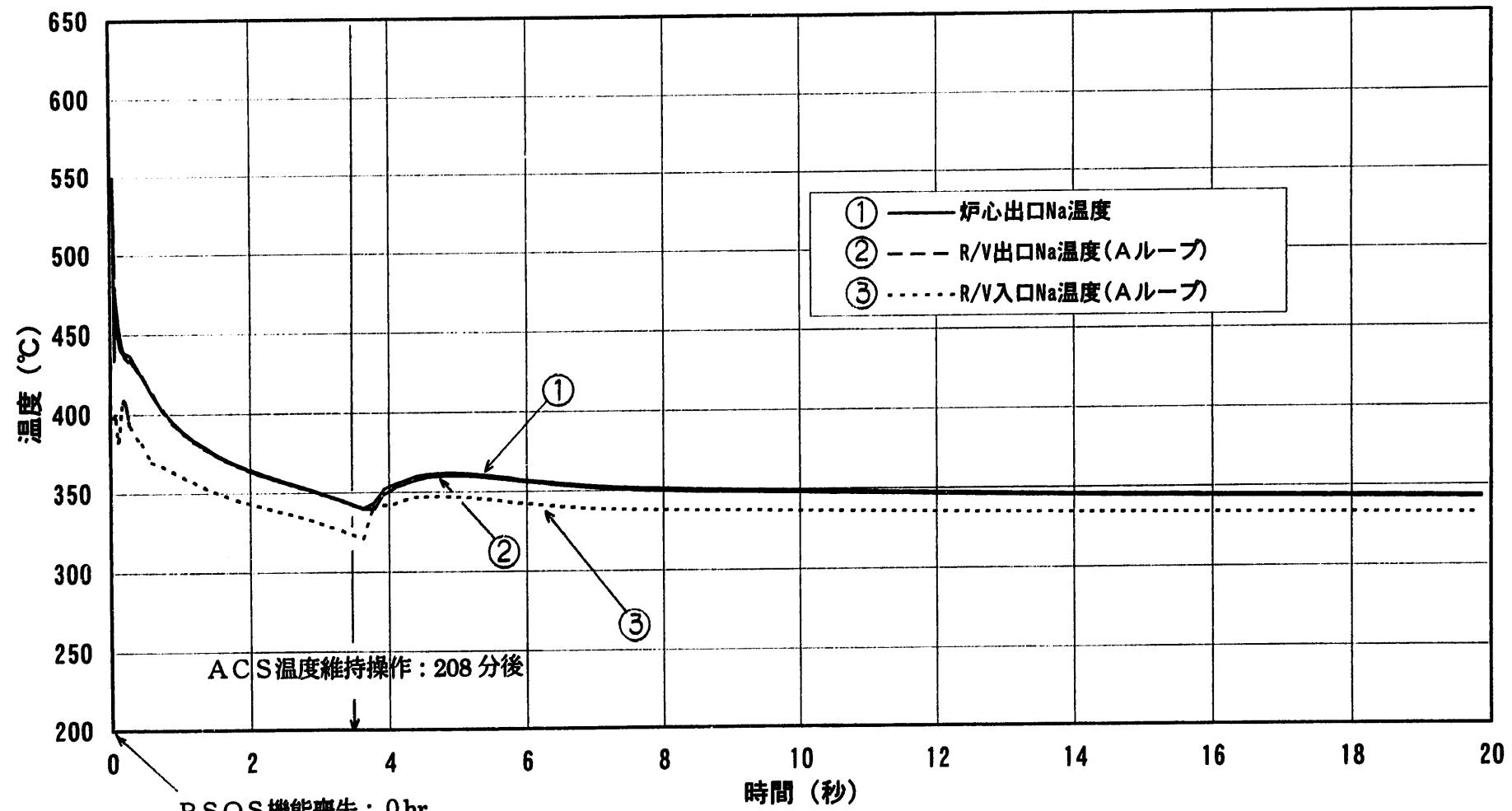


図 4.2-5(1/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス: (2)-3-①-C)

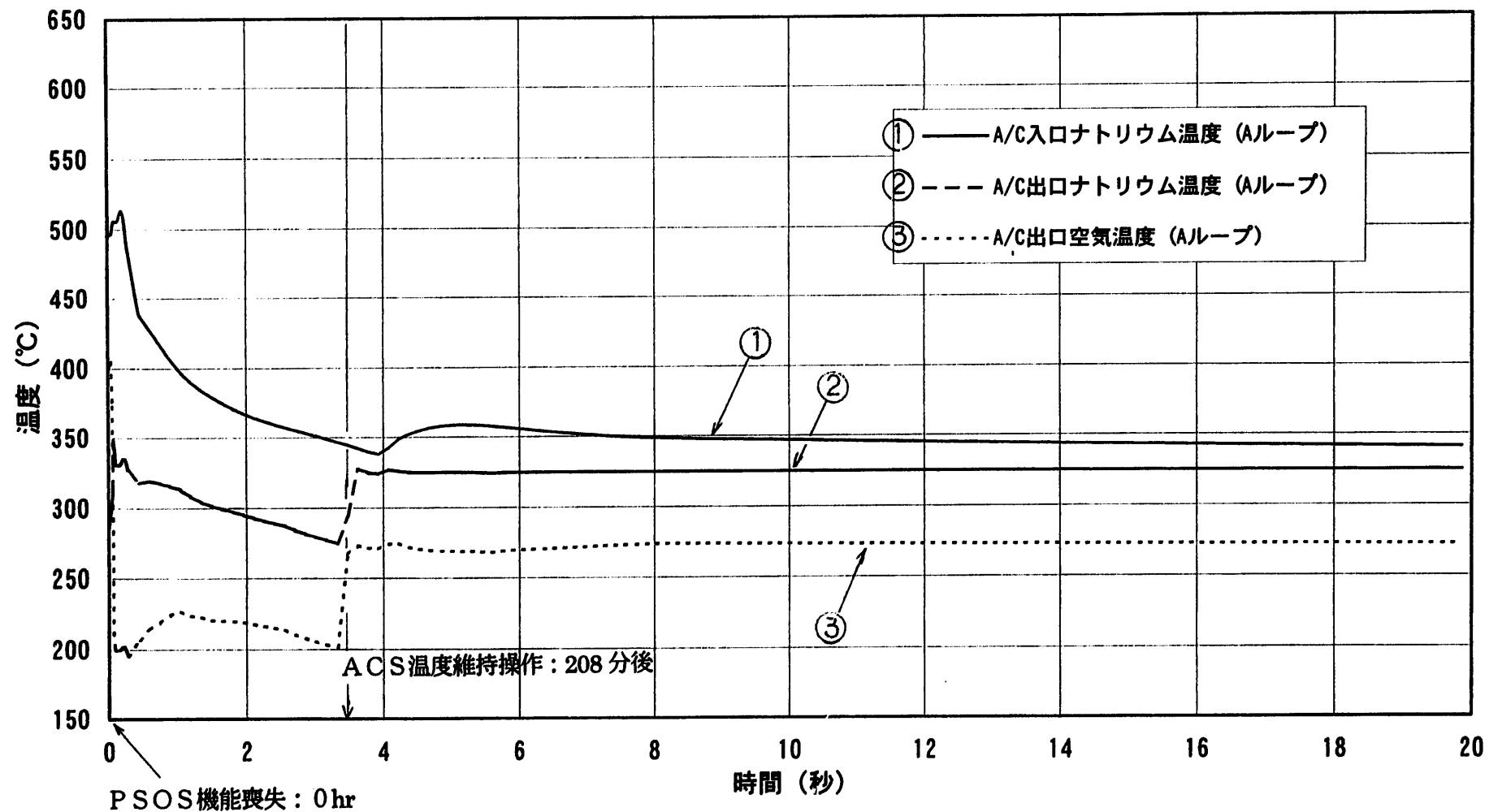


図 4.2-5(2/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス : (2)-3-(1)-C)

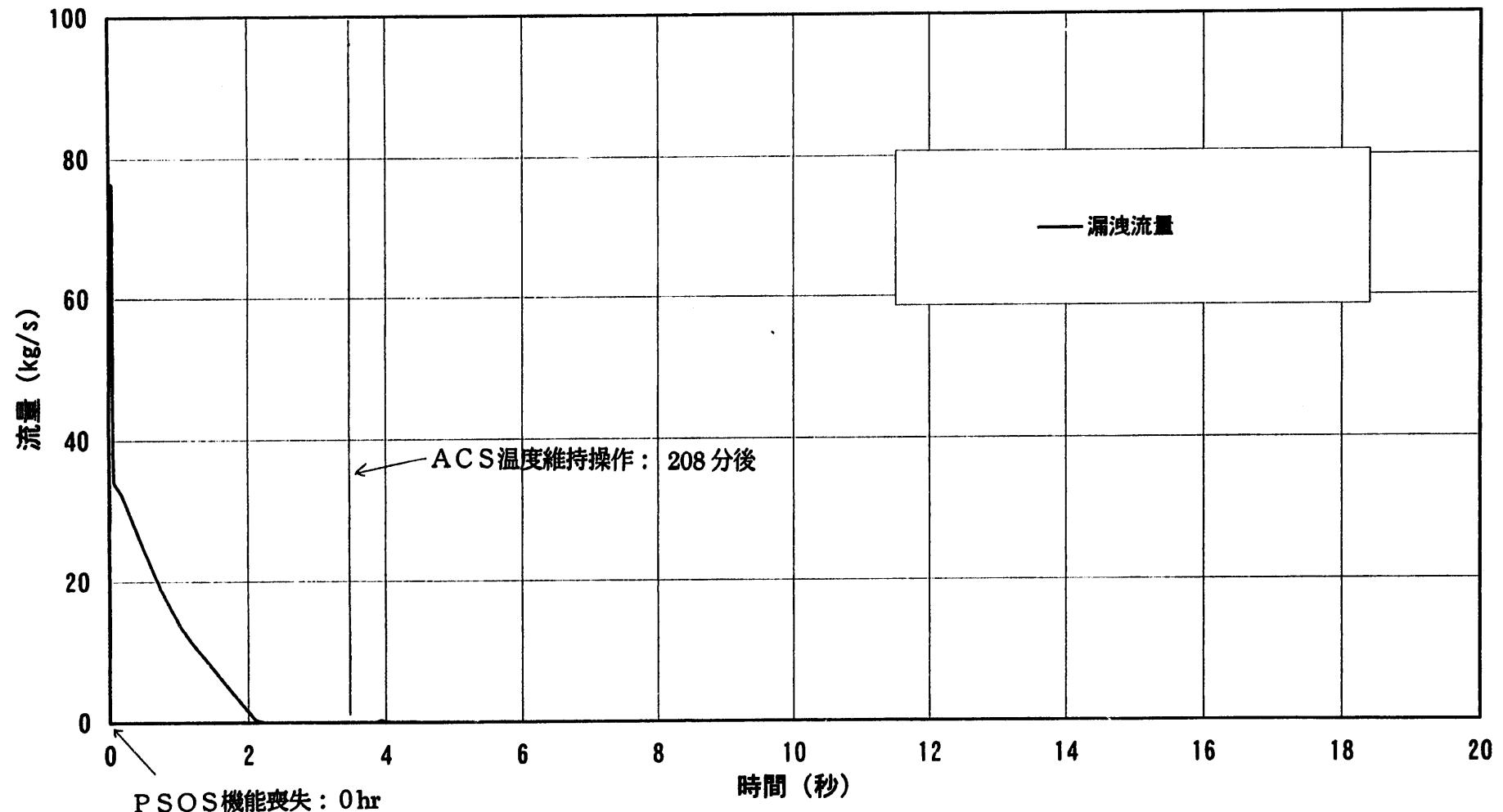


図 4.2-5(3/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス : (2)-3-①-C)

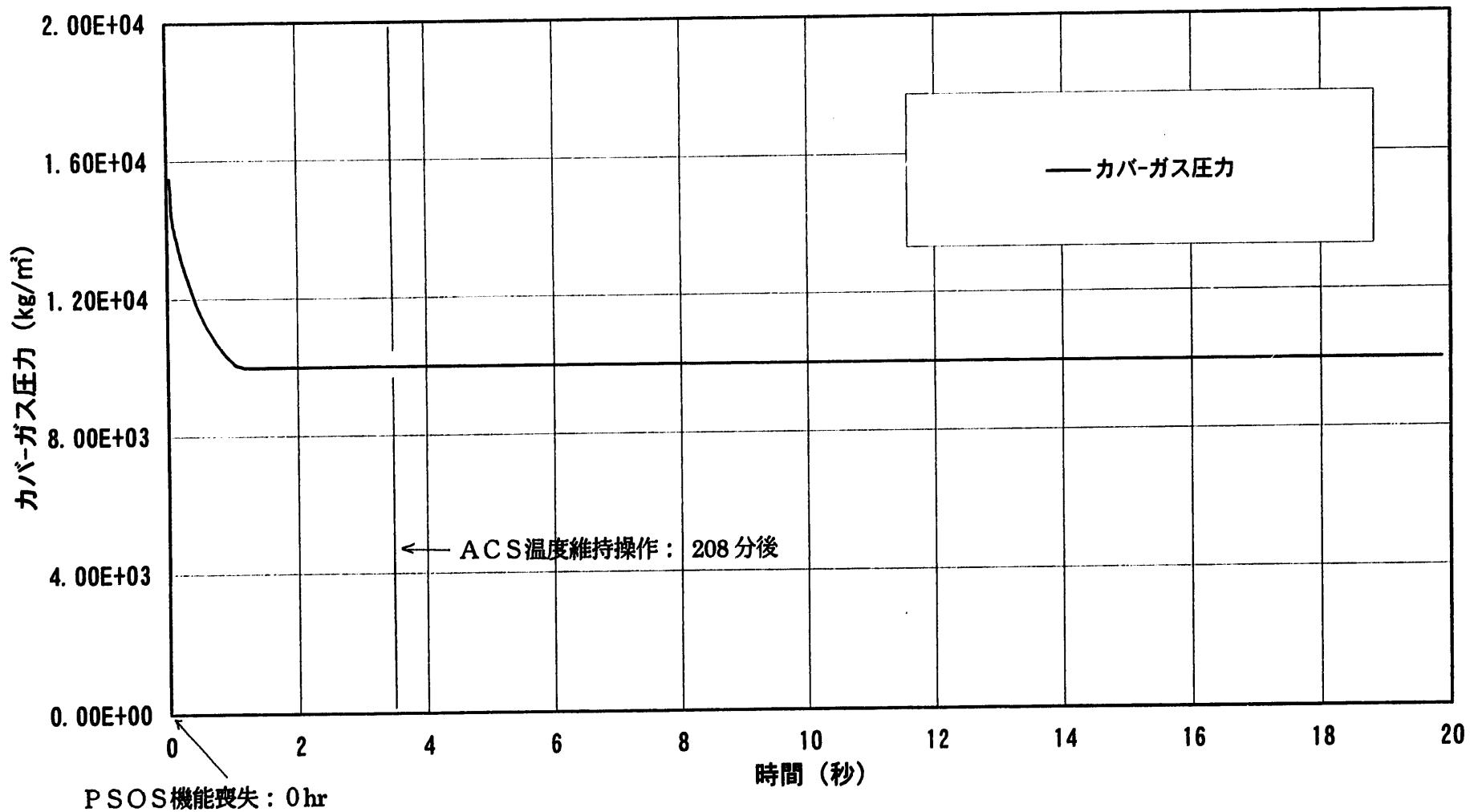


図 4.2-5(4/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス:(2)-3-①-C)

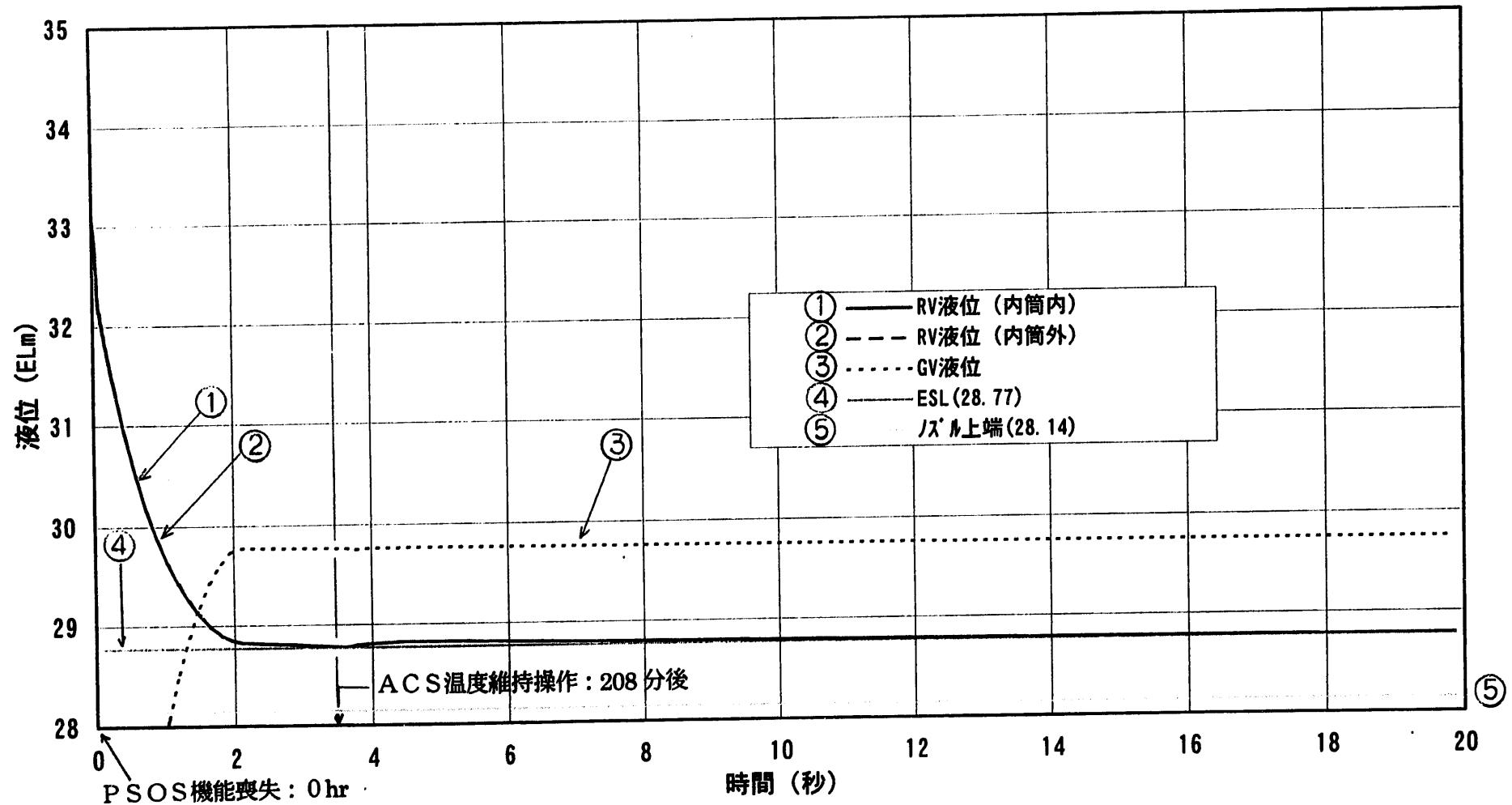


図 4.2-5(5/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス: (2) - 3 - ① - C)

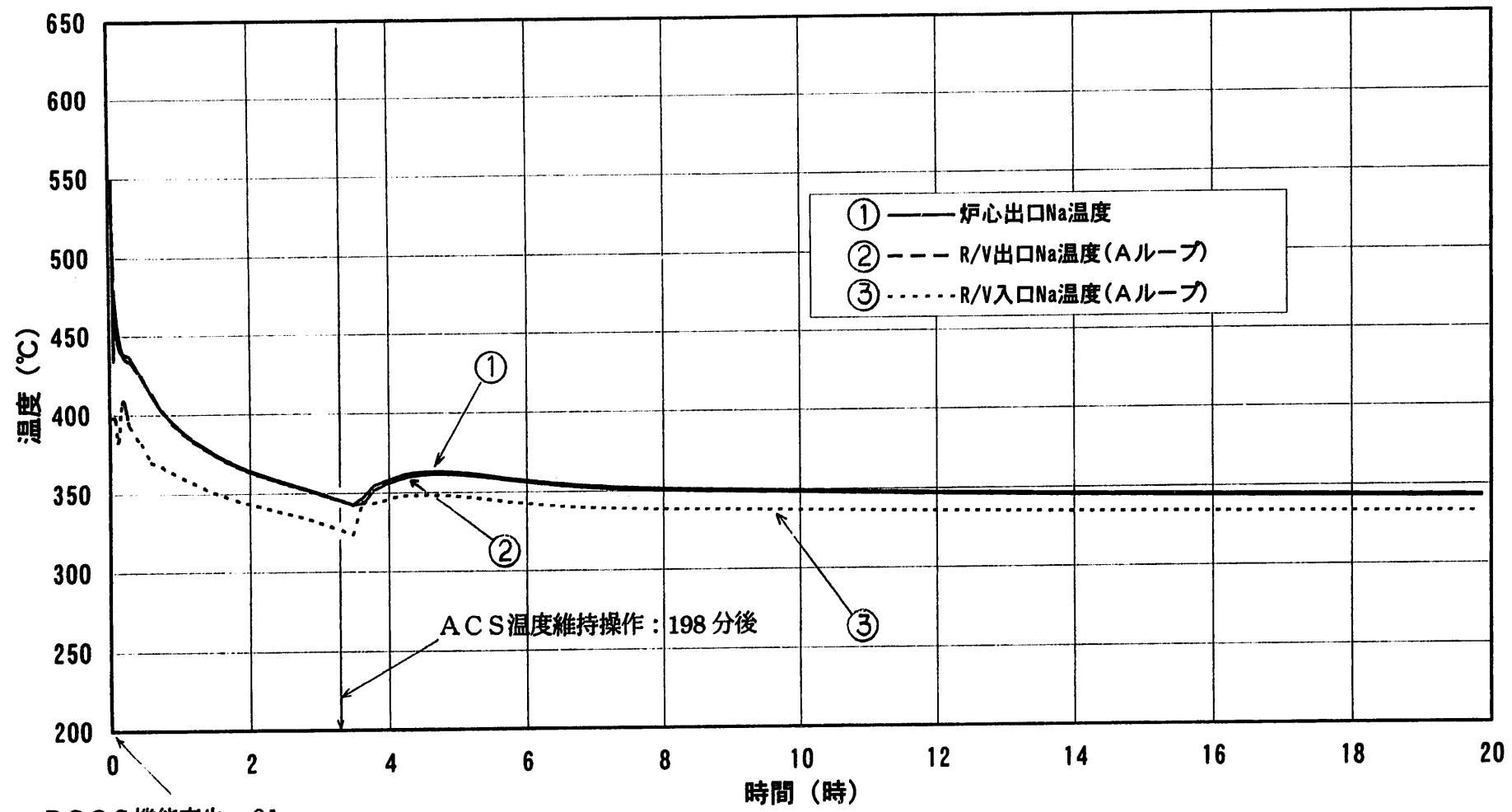


図 4.2-6(1/5) 解析結果 (L OR L-J シーケンス : (2)-3-(1)-D)

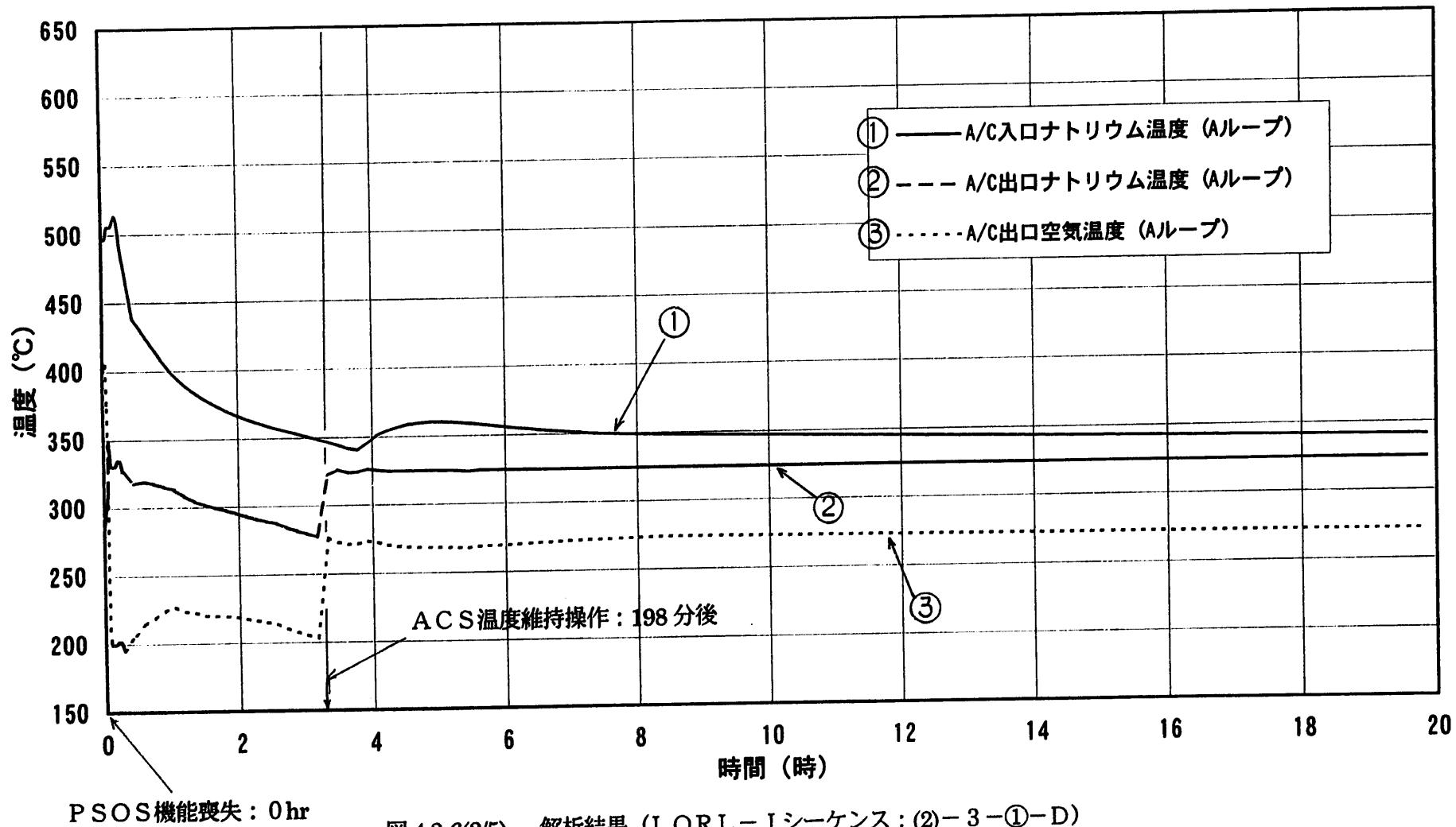
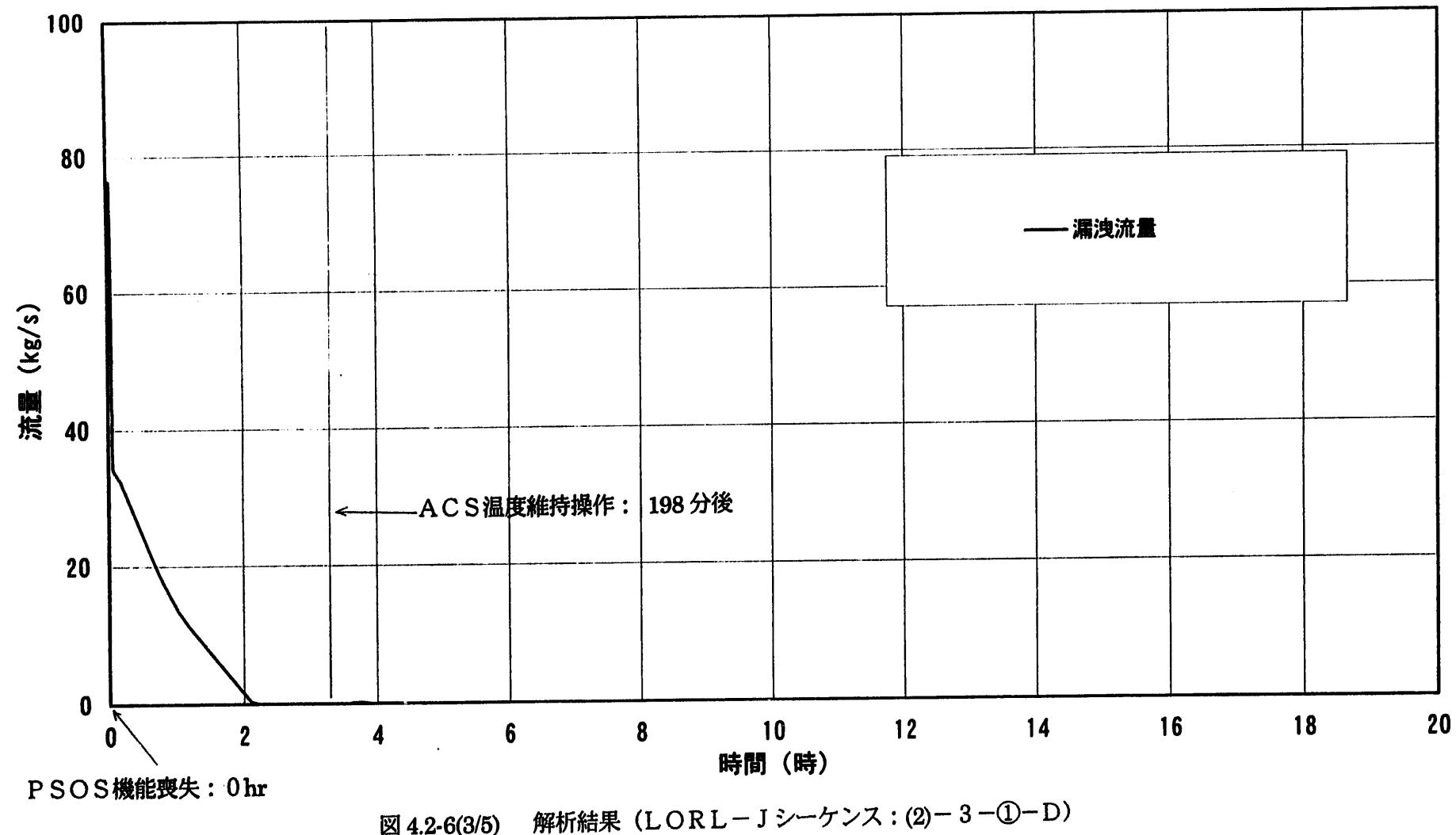


図 4.2-6(2/5) 解析結果 (L OR L-J シーケンス: (2)-3-(1)-D)



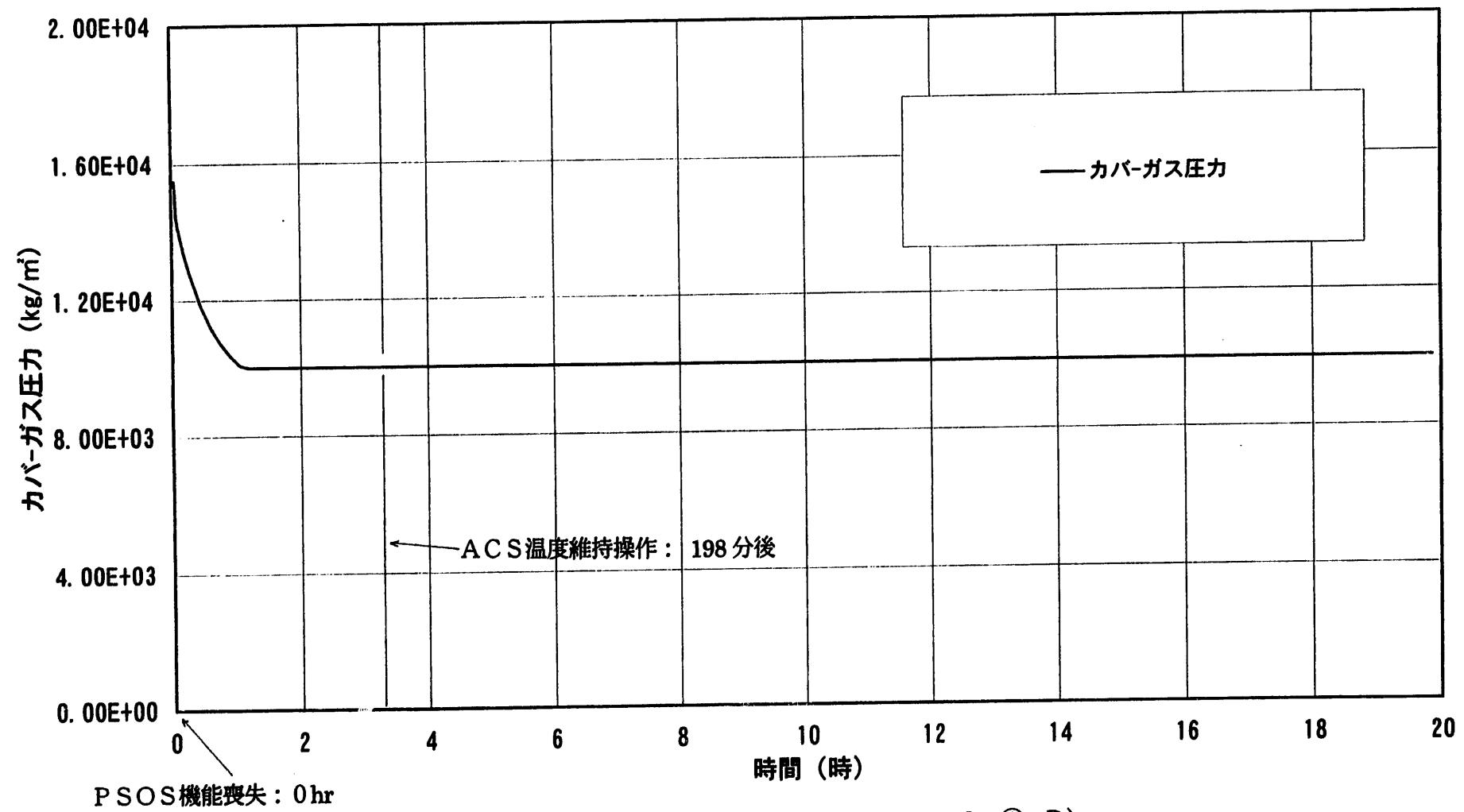


図 4.2-6(4/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス : (2)-3-①-D)

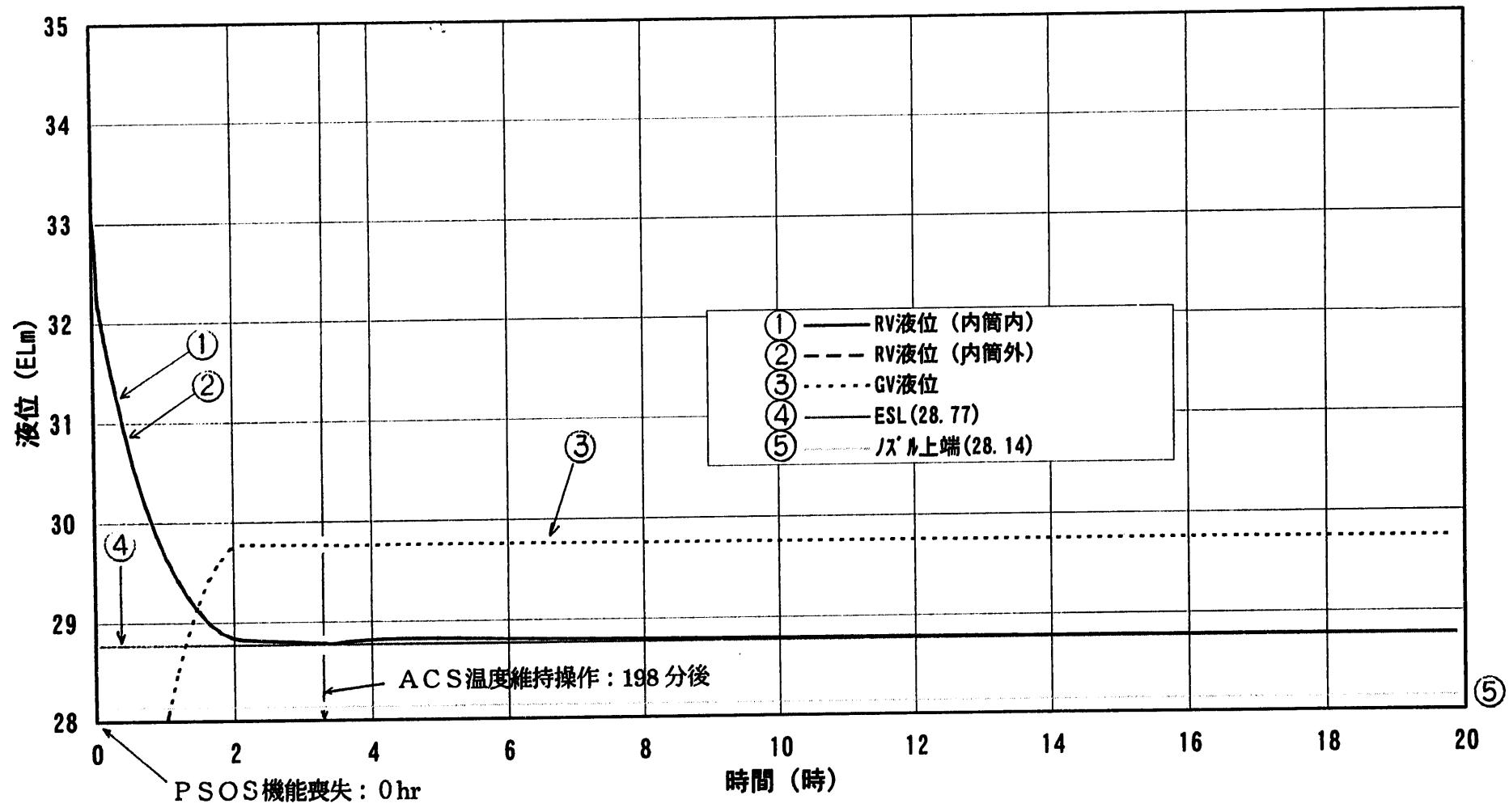
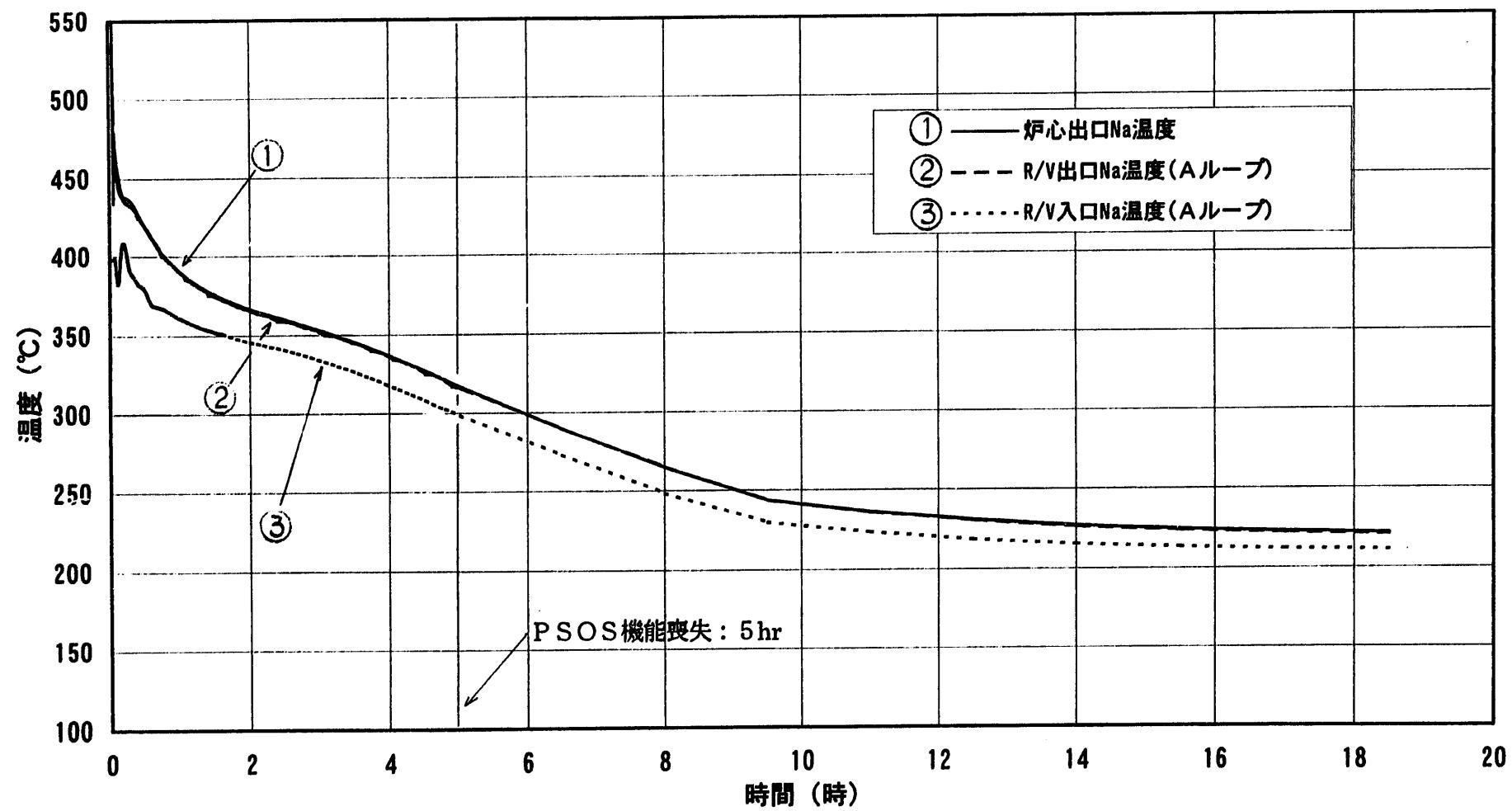


図 4.2-6(5/5) 解析結果 (L OR L - J シーケンス: (2)-3-①-D)



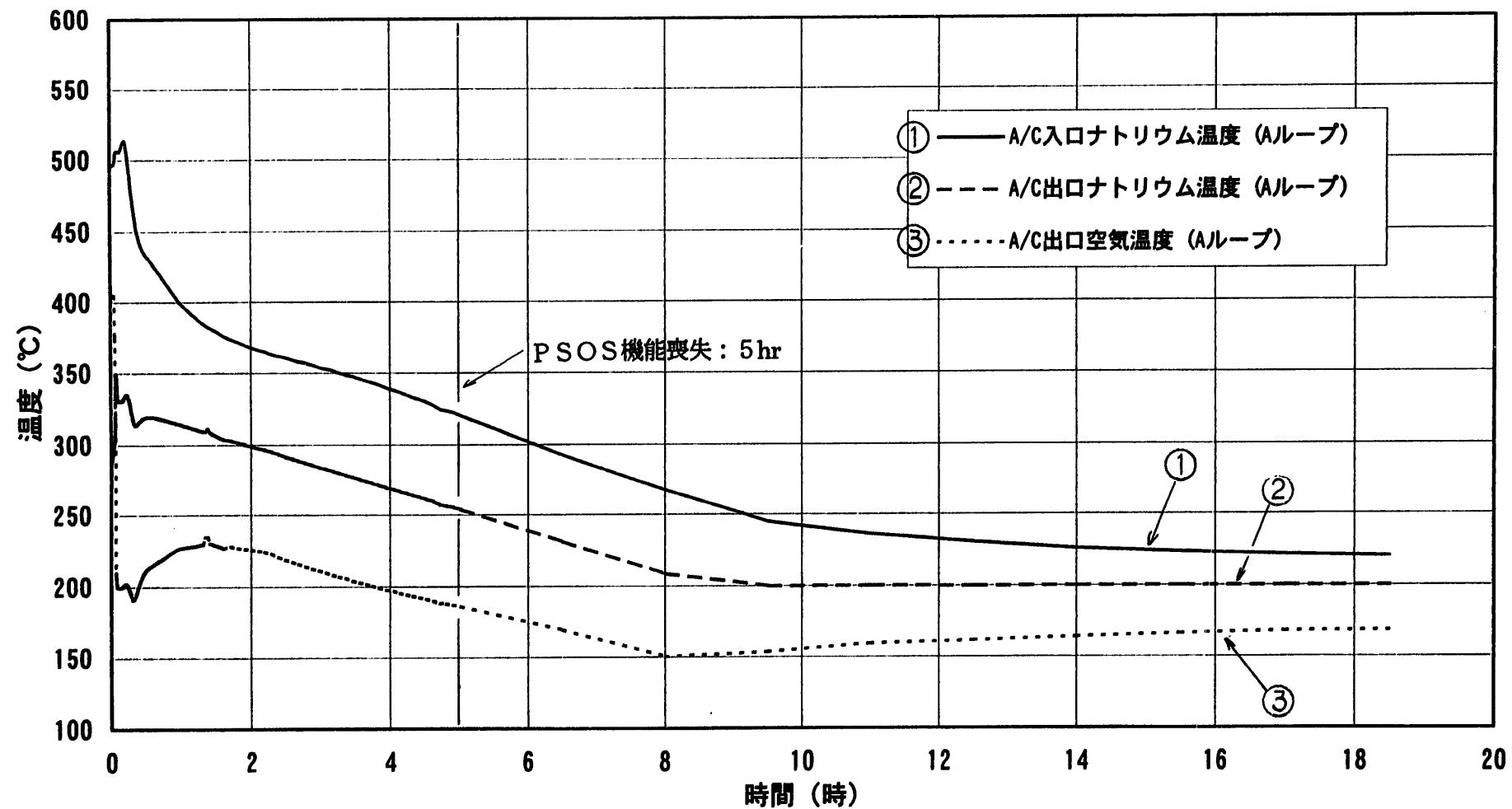


図 4.2-7(2/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-2-(2))

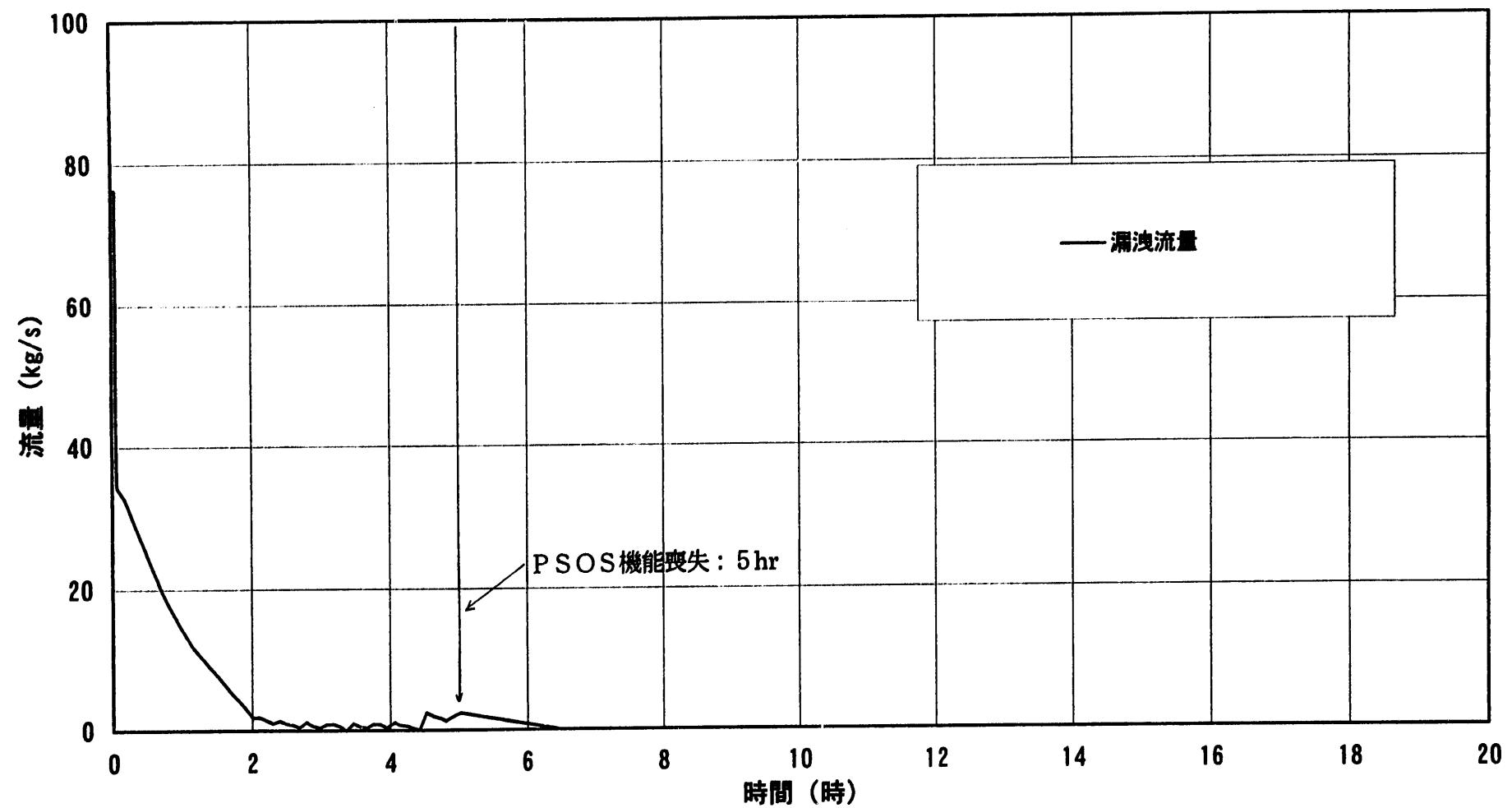


図 4.2-7(3/5) 解析結果 (L O R L - J シーケンス: (2)-2-②)

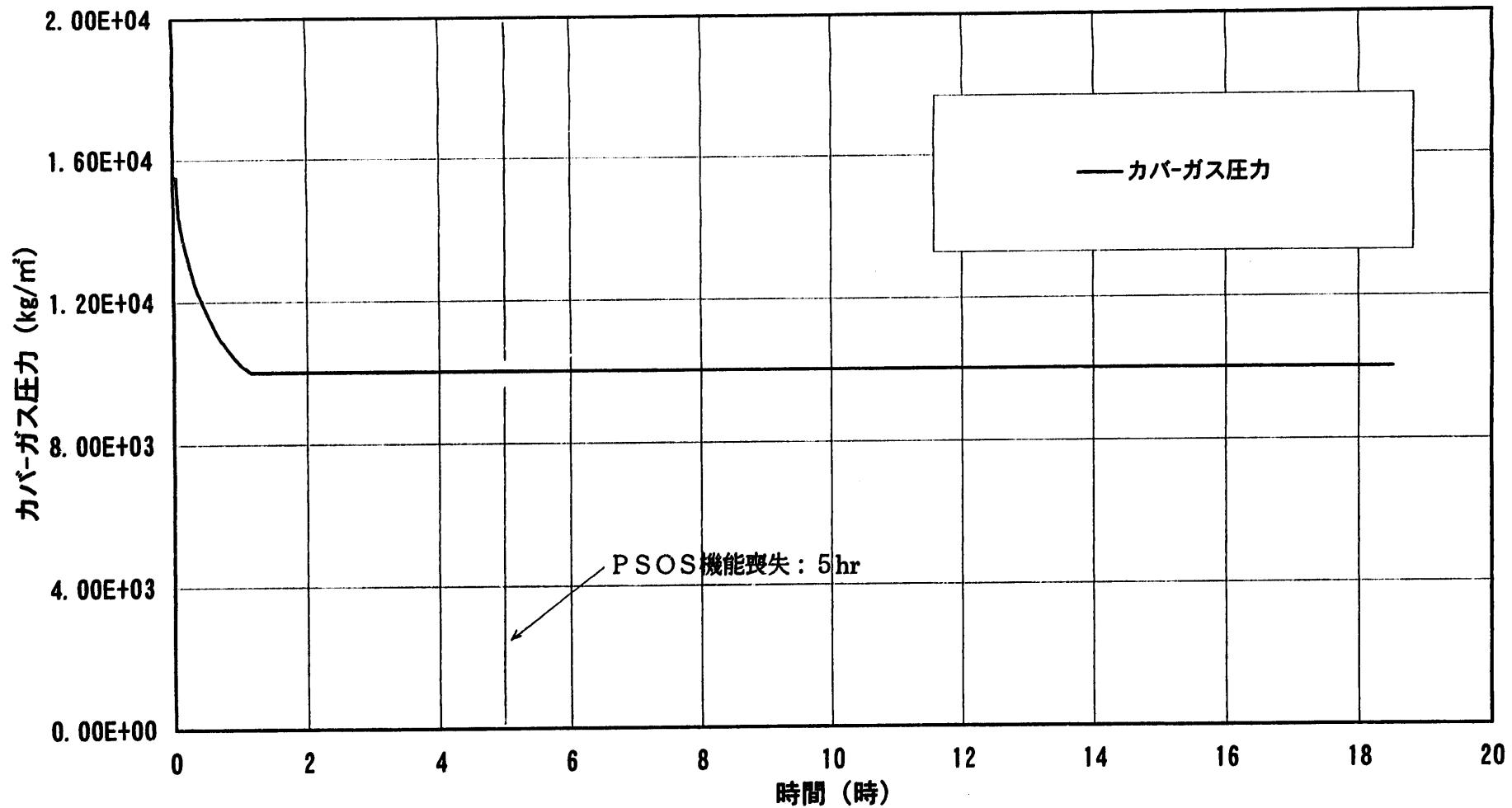


図 4.2-7(4/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-2-(2))

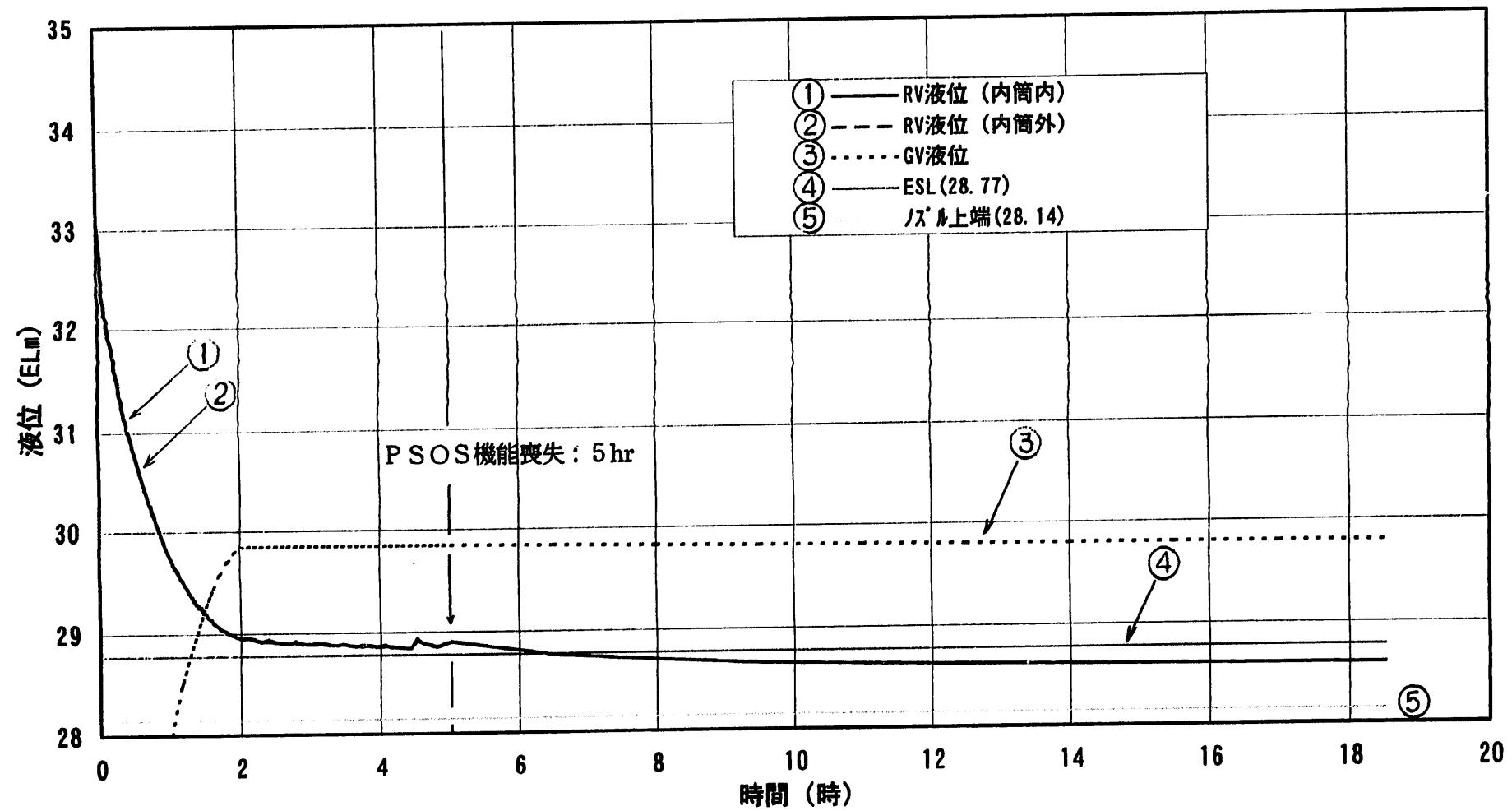


図 4.2-7(5/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-2-(2))

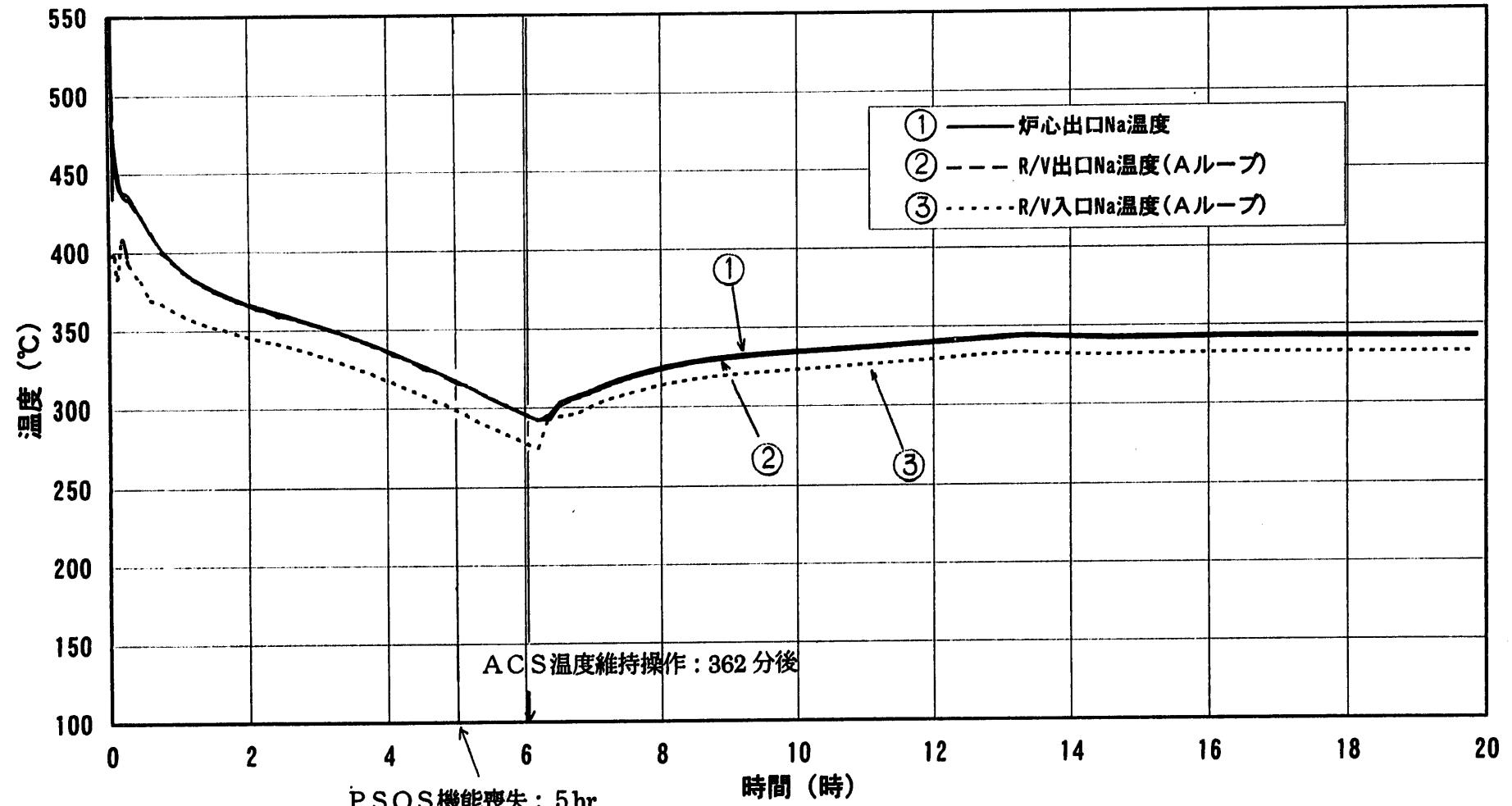
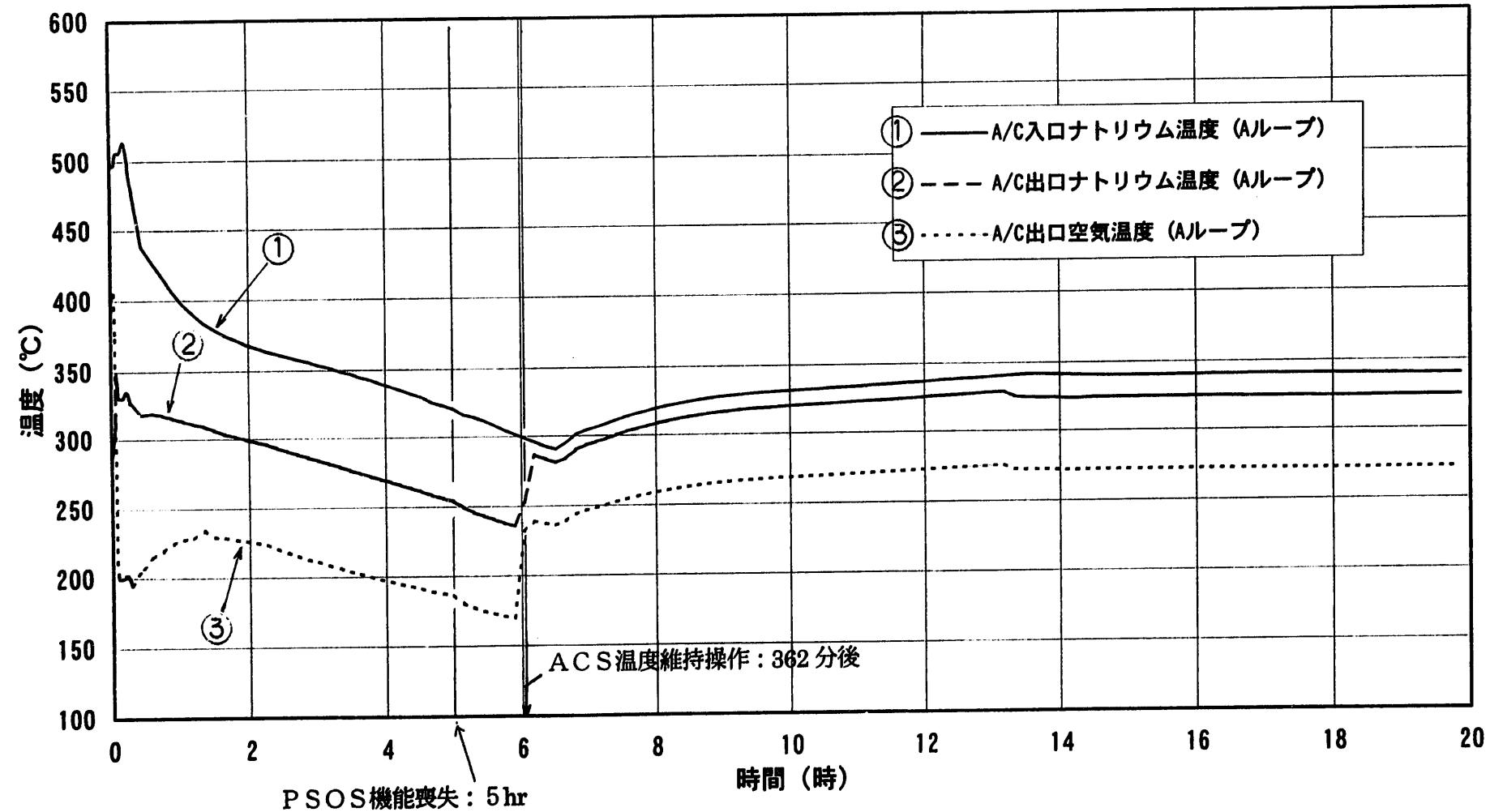


図 4.2-8(1/5) 解析結果 (L OR L-J シーケンス: (2)-3-(2)-A)



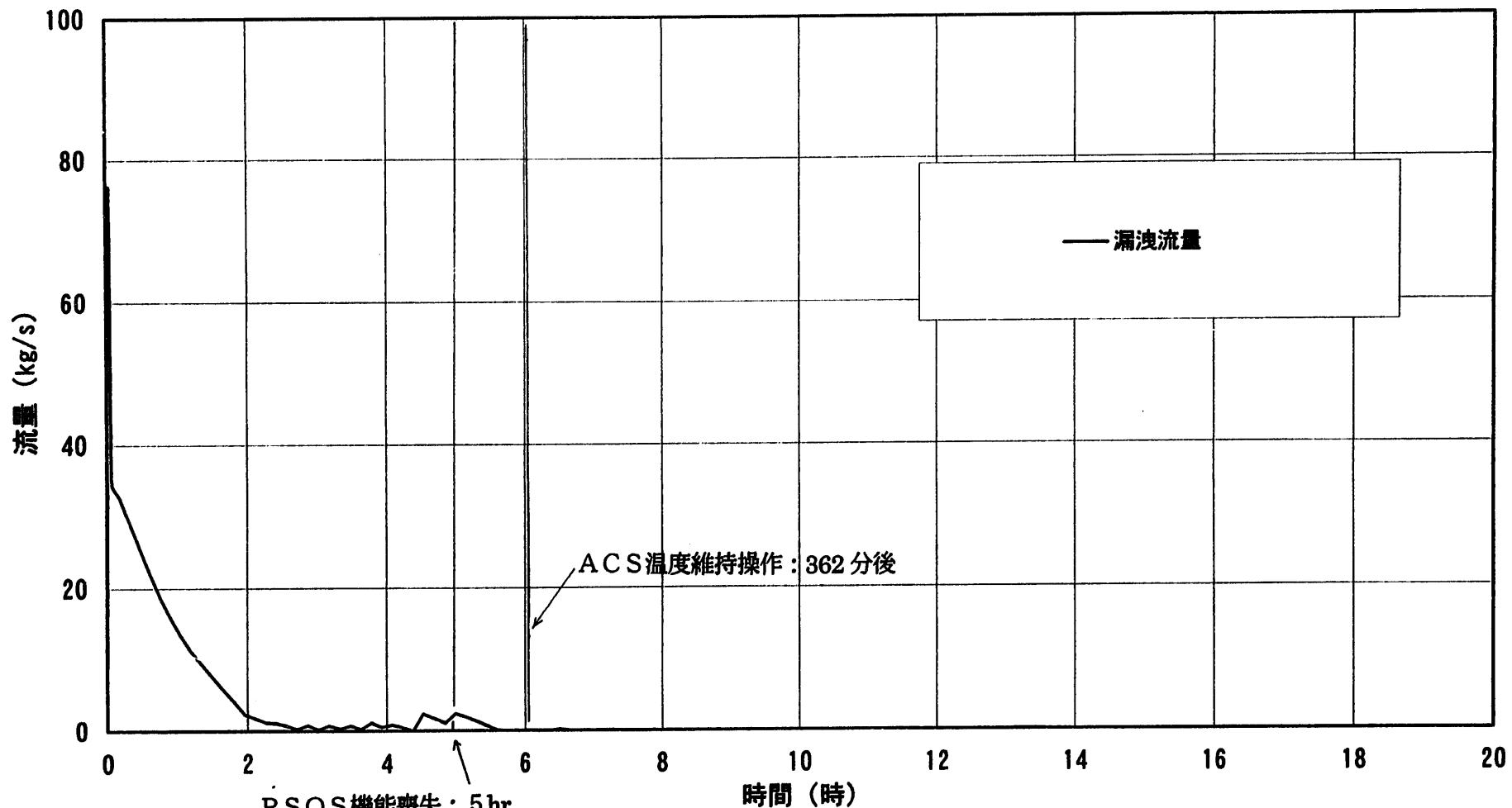


図 4.2-8(3/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス : (2)-3-②-A)

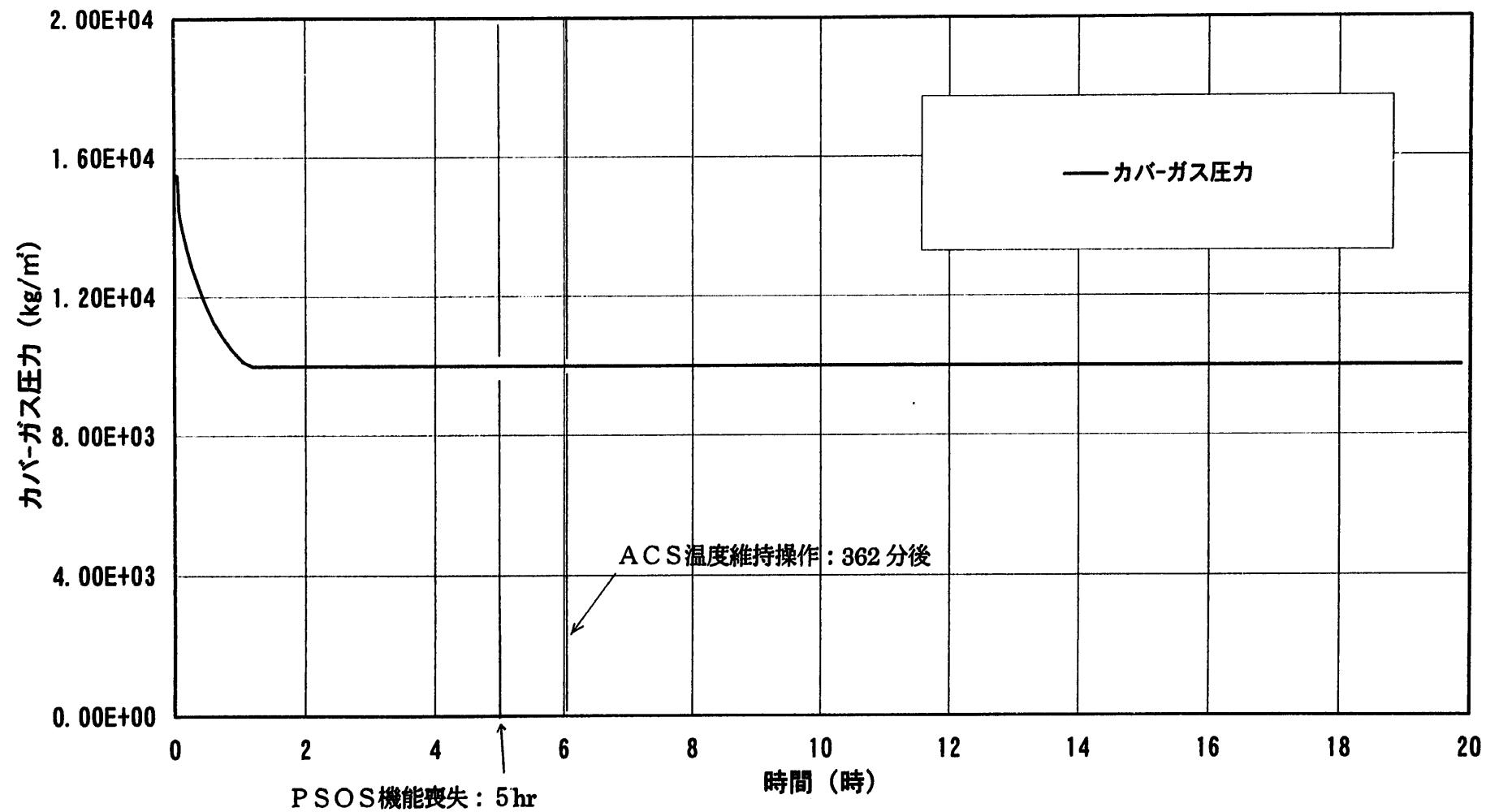


図 4.2-8(4/5) 解析結果 (L OR L-J シーケンス: (2)-3-②-A)

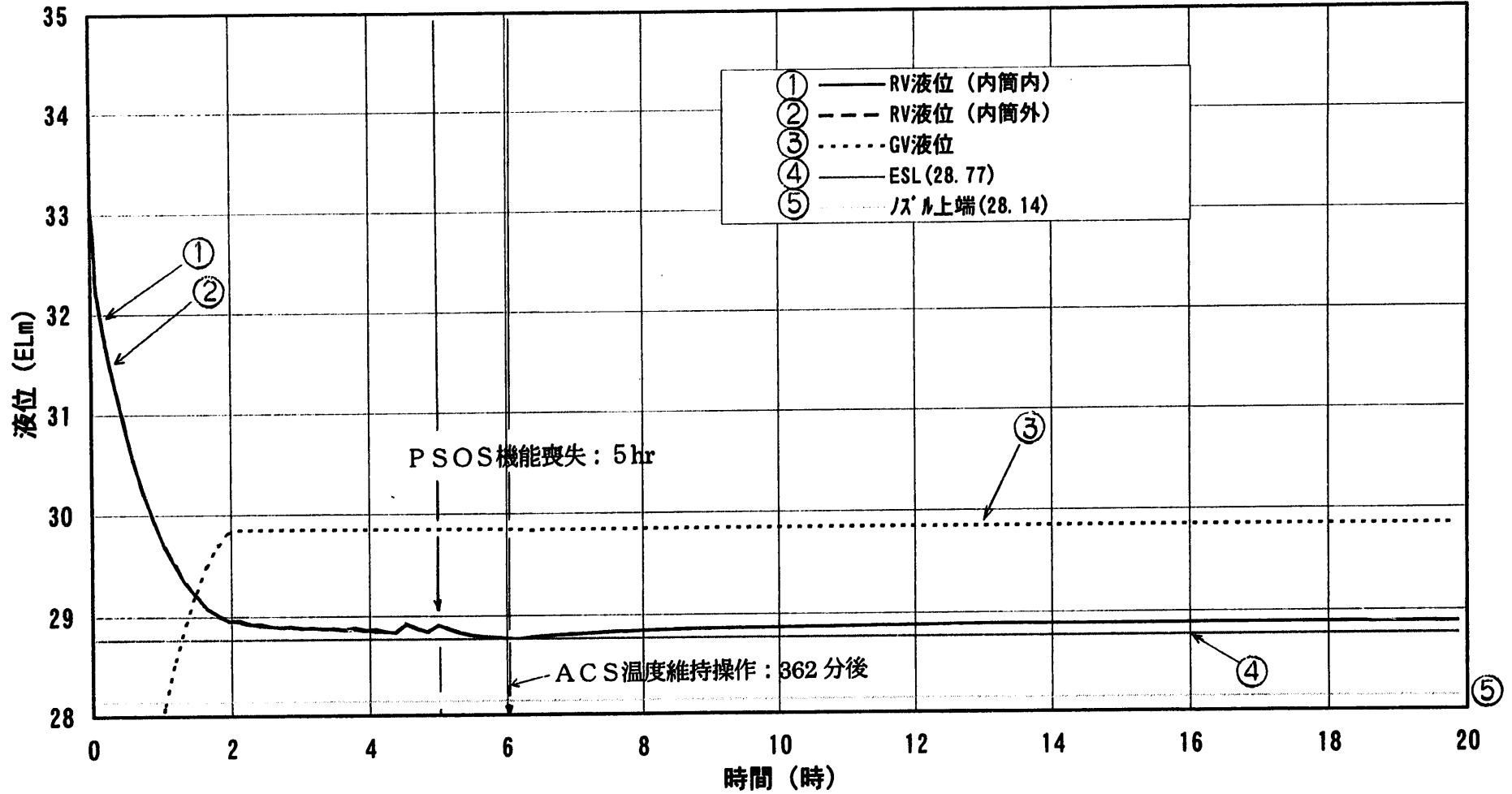


図 4.2-8(5/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-3-②-A)

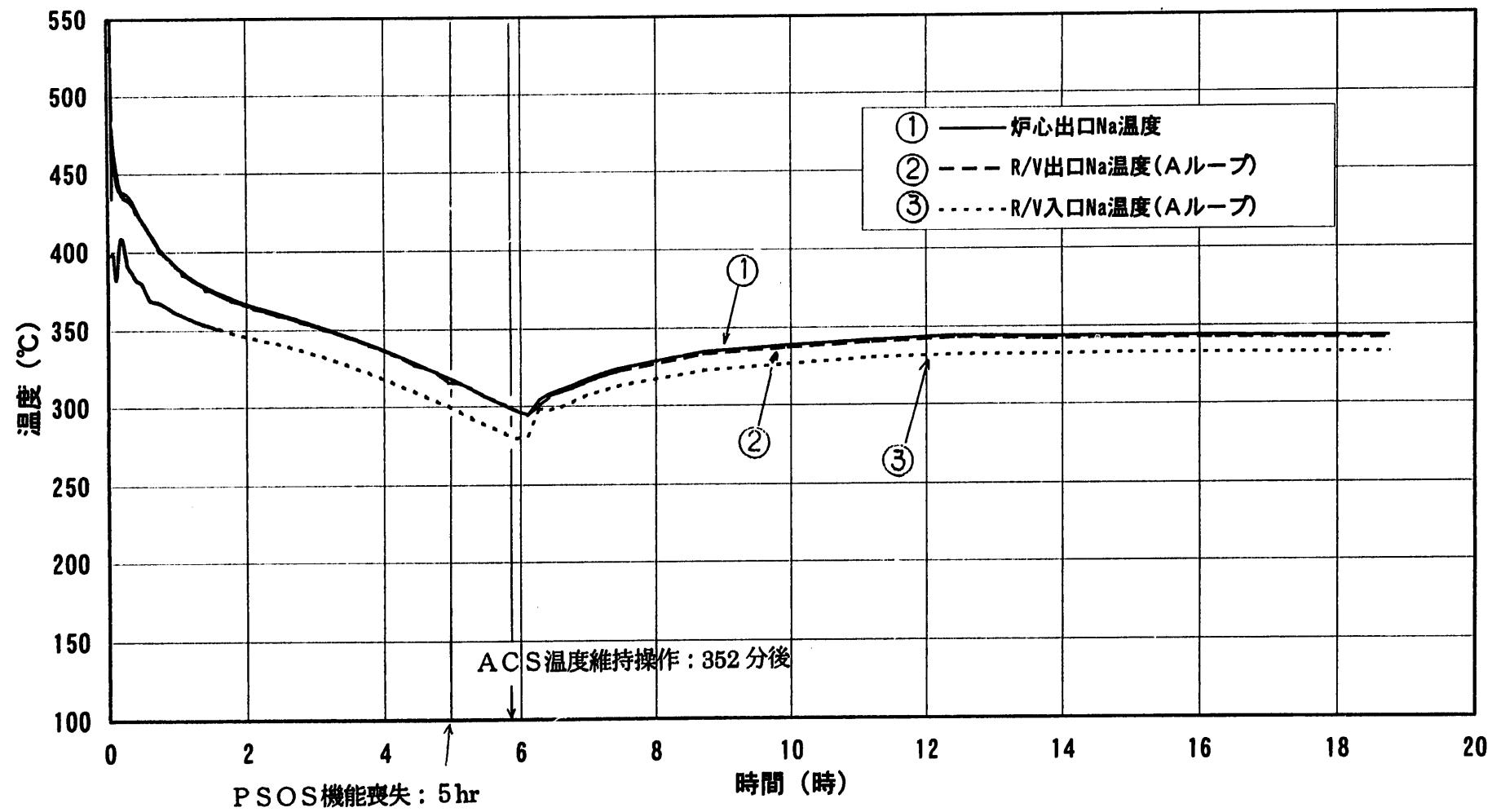


図 4.2-9(1/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-3-(2)-B)

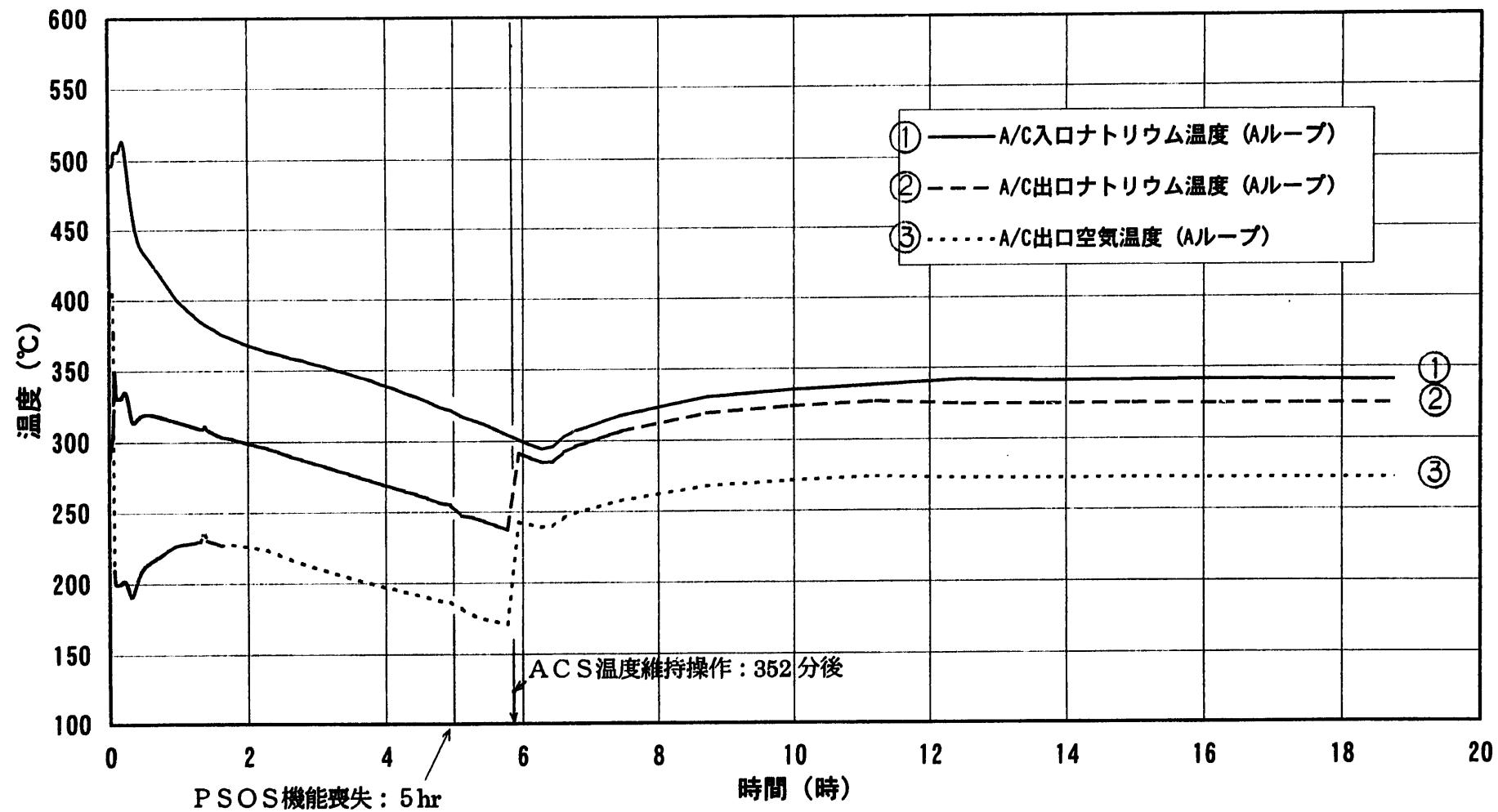


図 4.2-9(2/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-3-②-B)

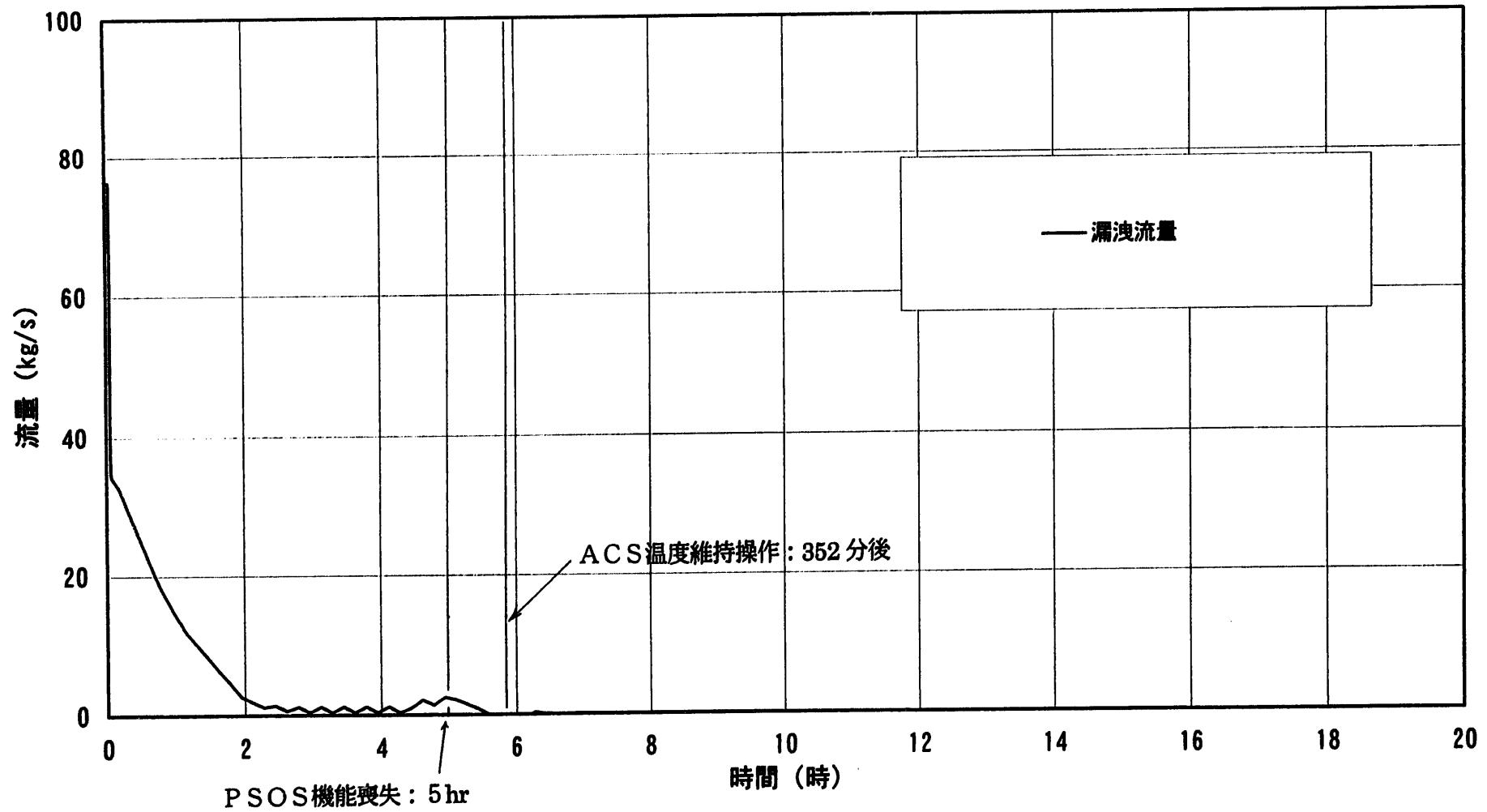


図 4.2-9(3/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-3-②-B)

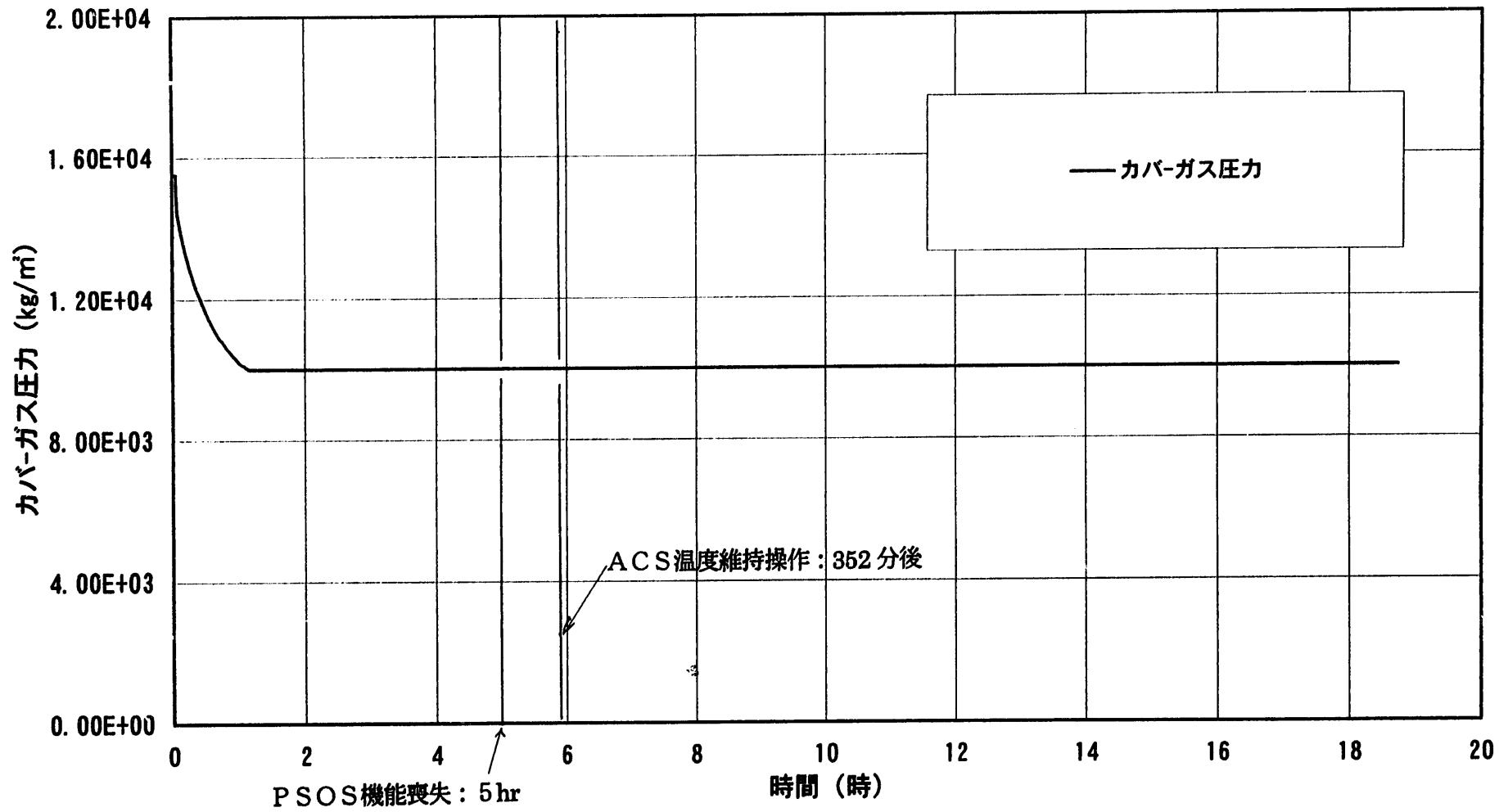


図 4.2-9(4/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス : (2)-3-②-B)

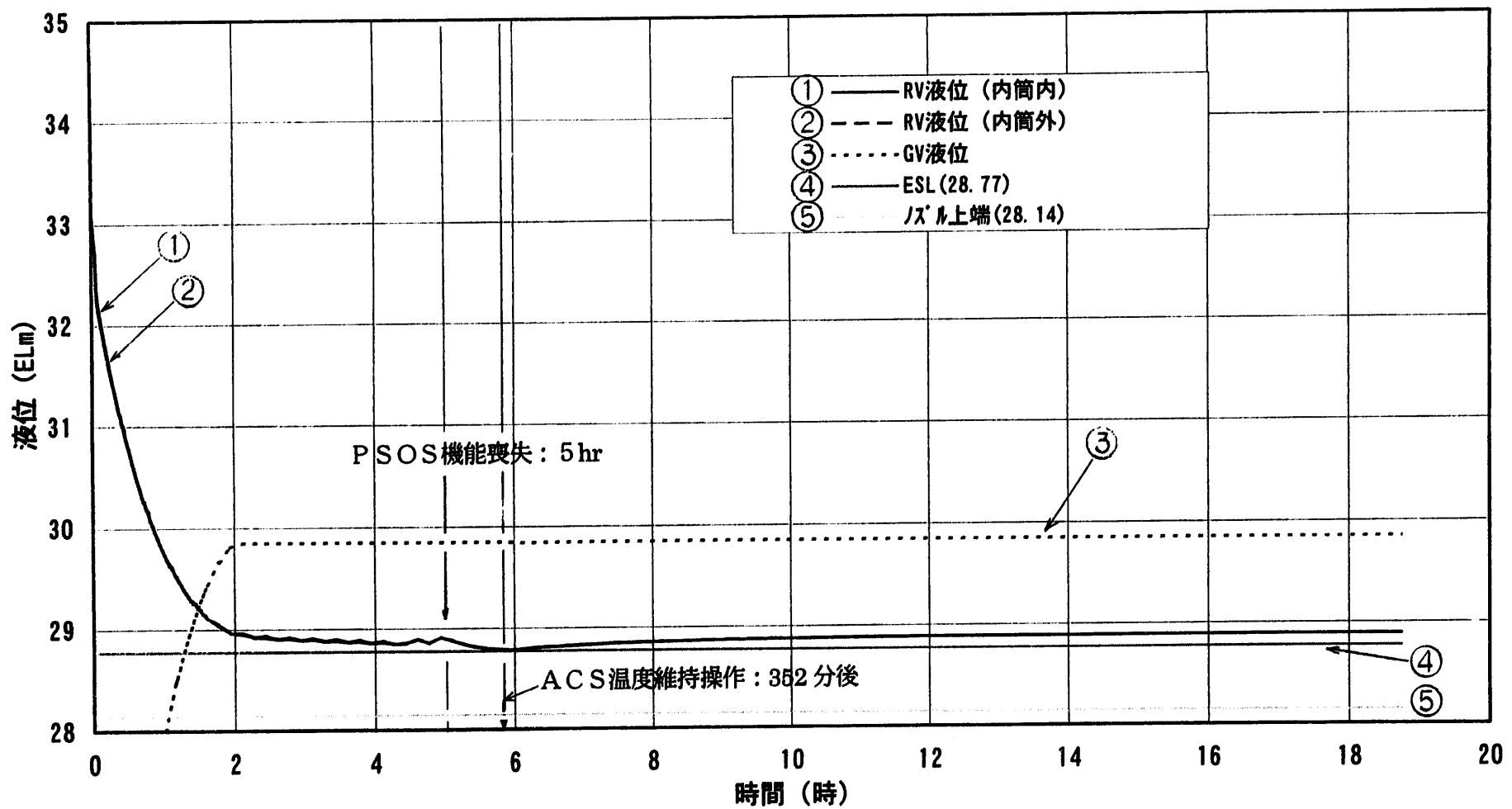


図 4.2-9(5/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-3-(2)-B)

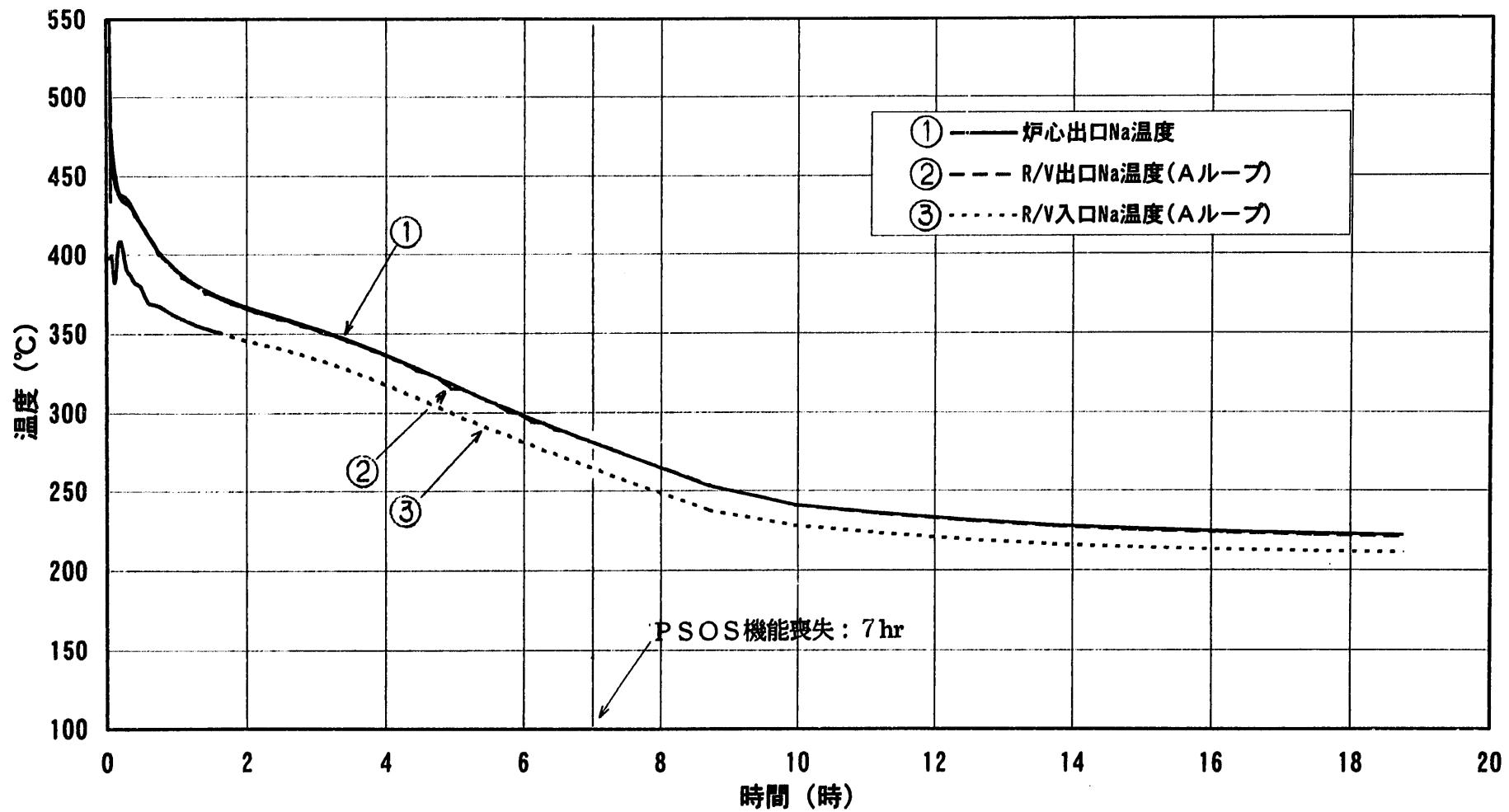


図 4.2-10(1/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-2-(3))

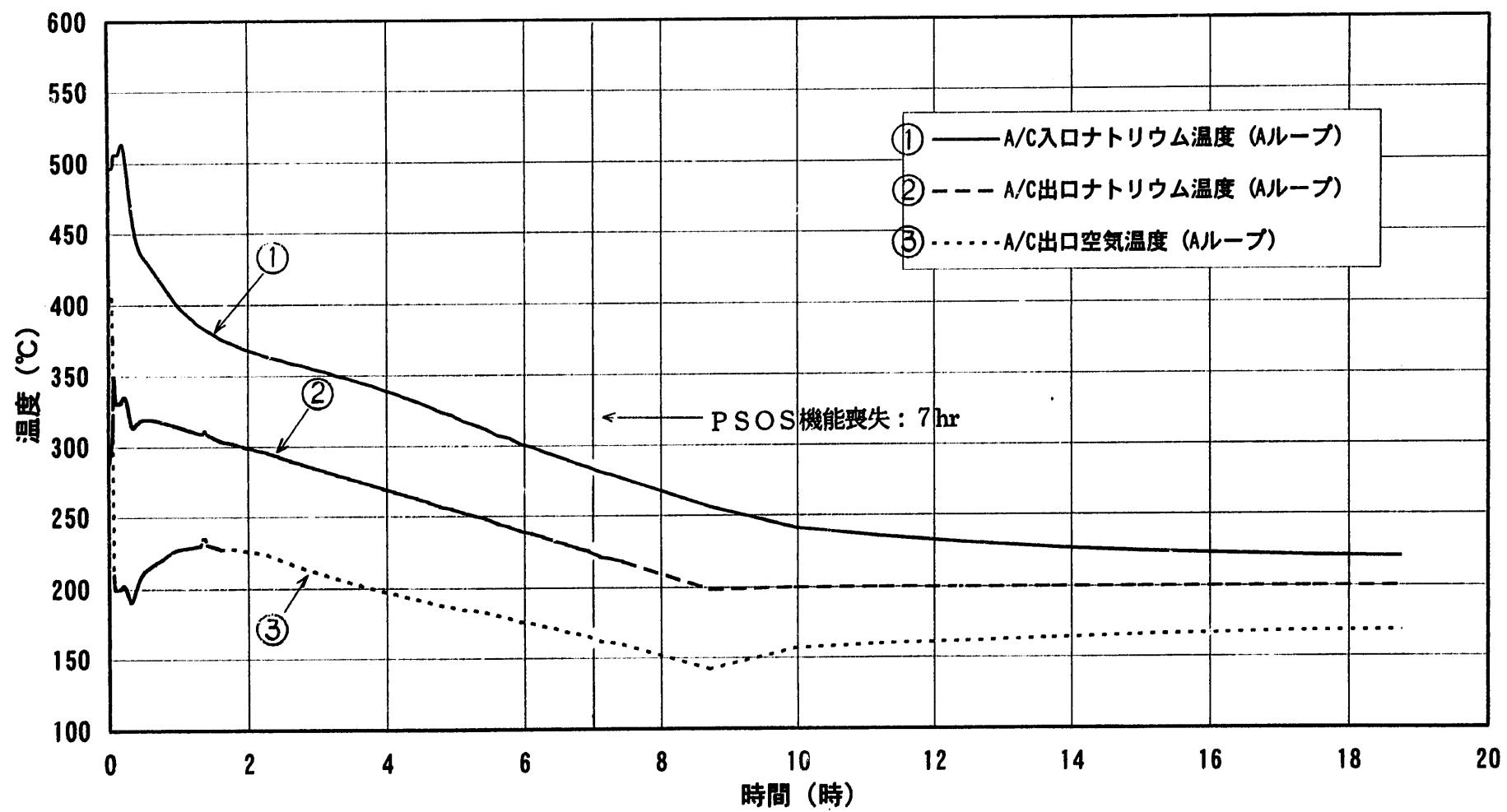


図 4.2-10(2/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-2-(3))

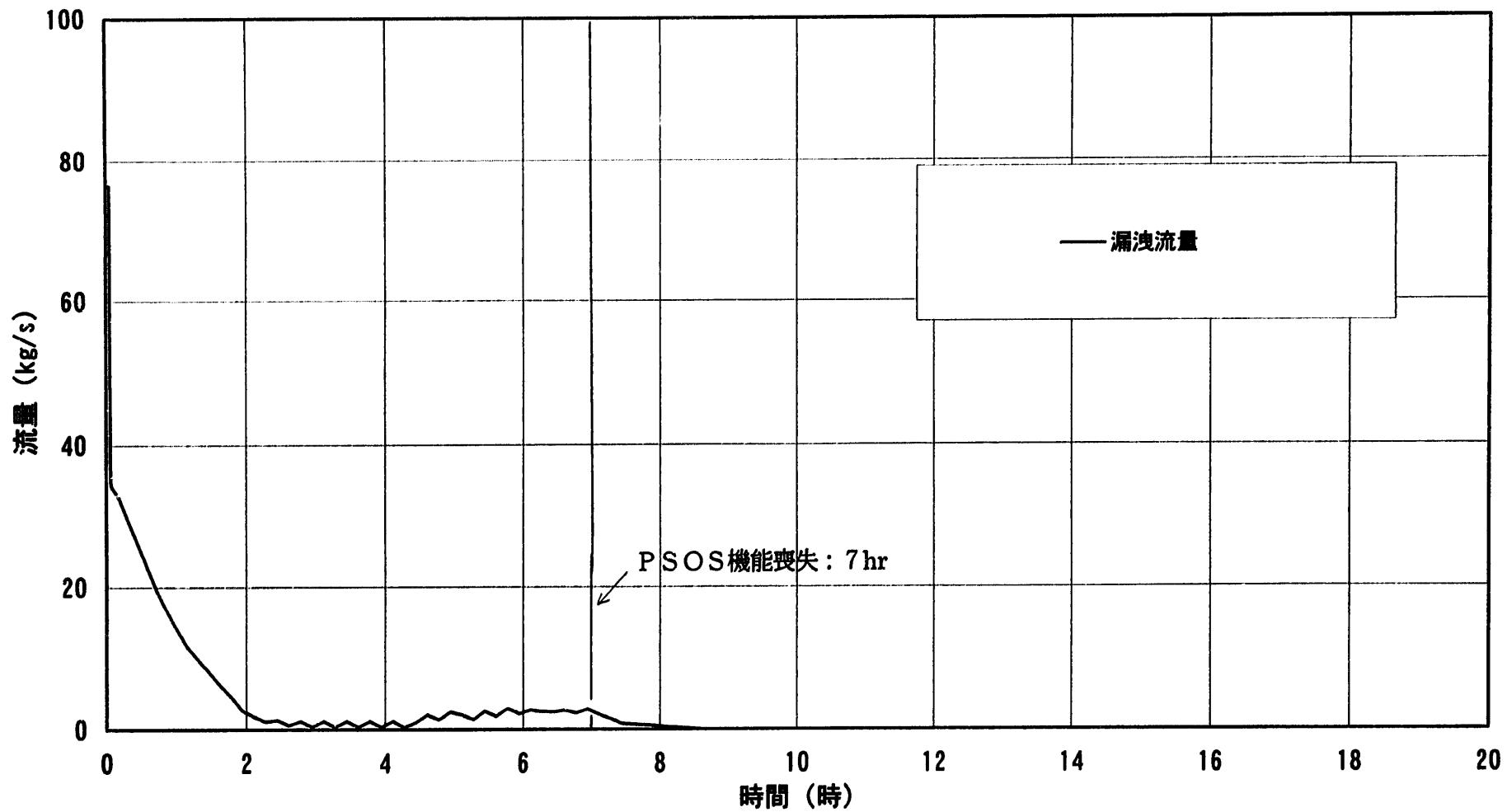


図 4.2-10(3/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-2-(3))

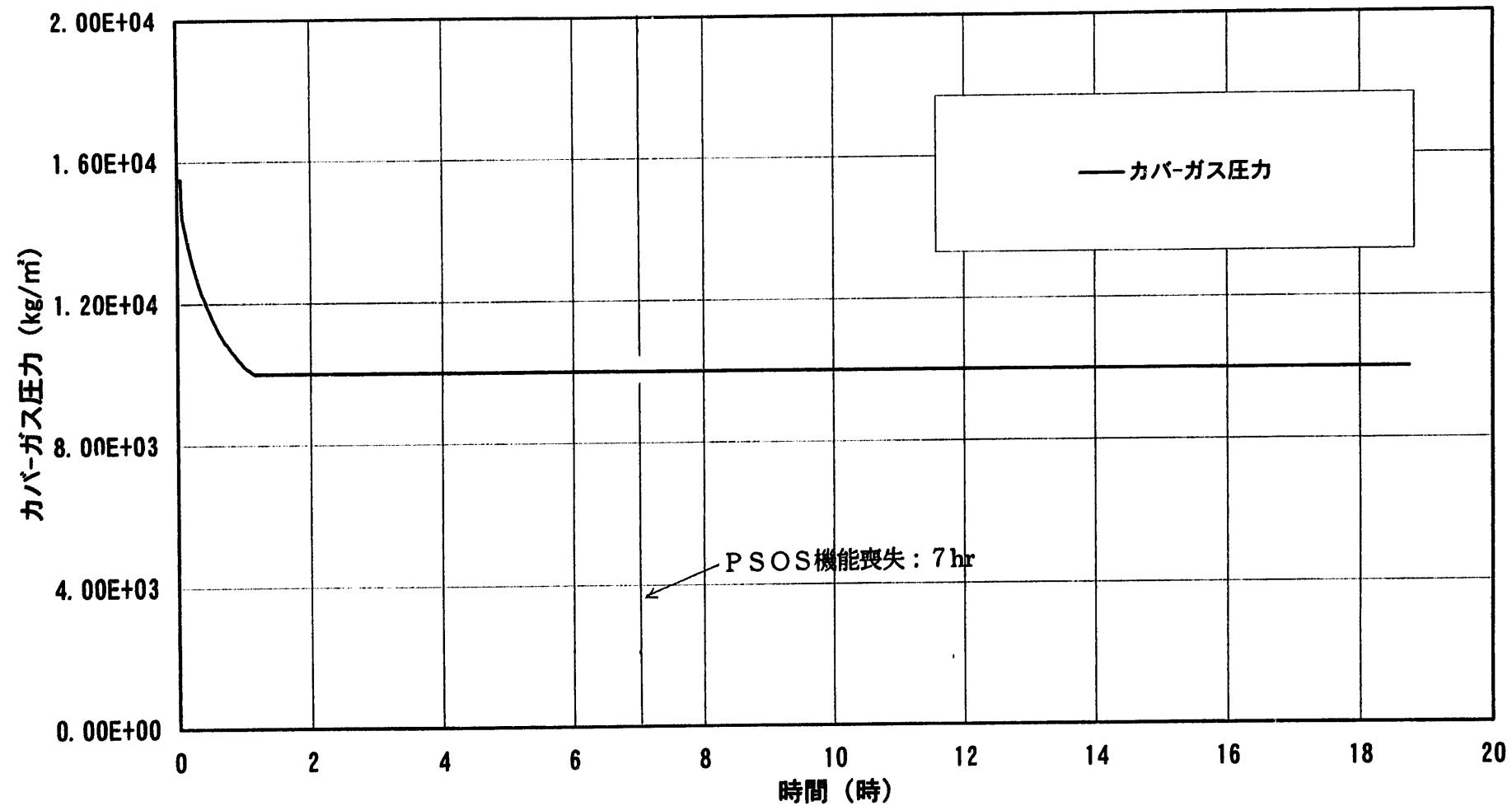


図 4.2-10(4/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-2-(3))

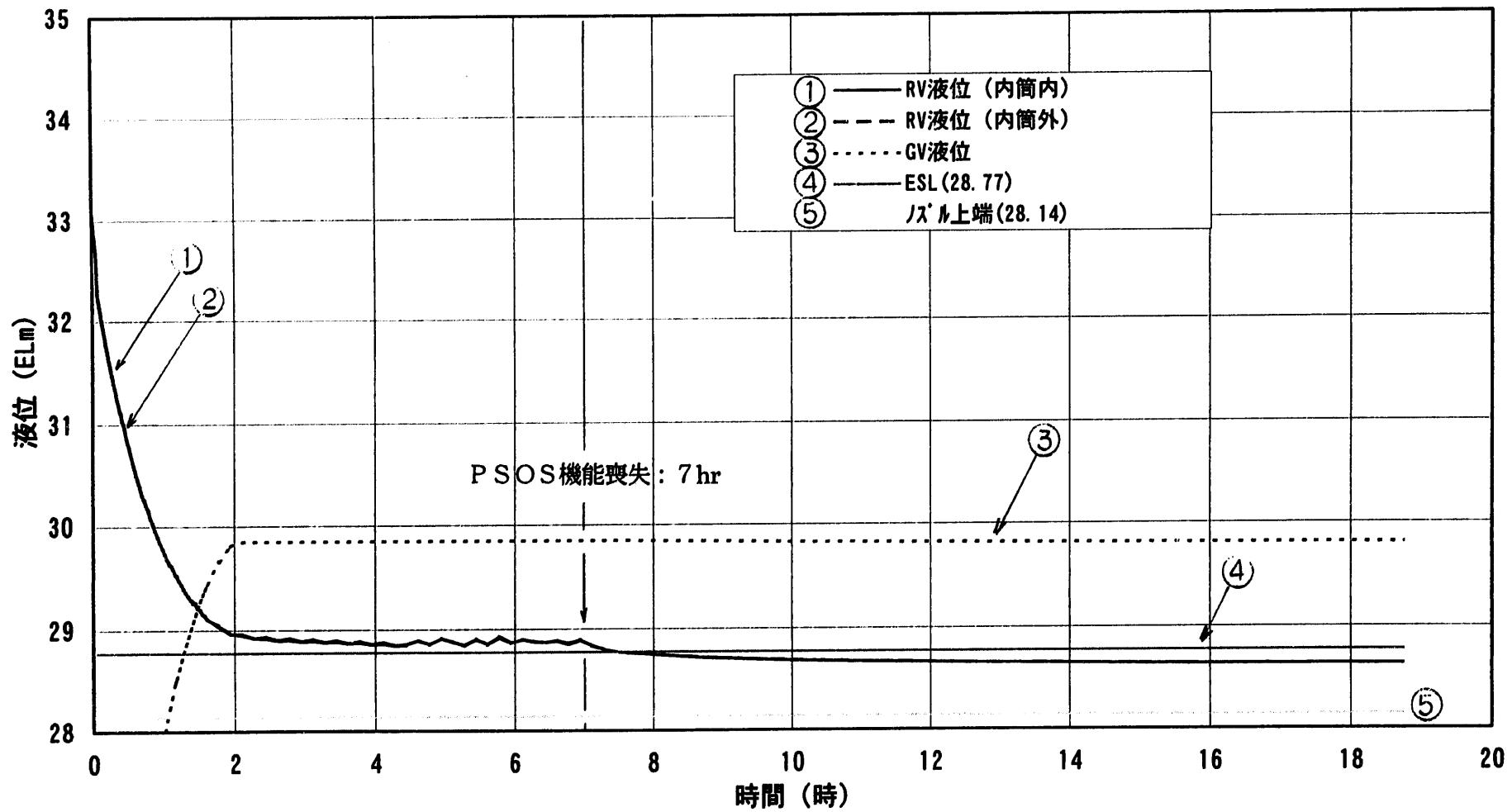
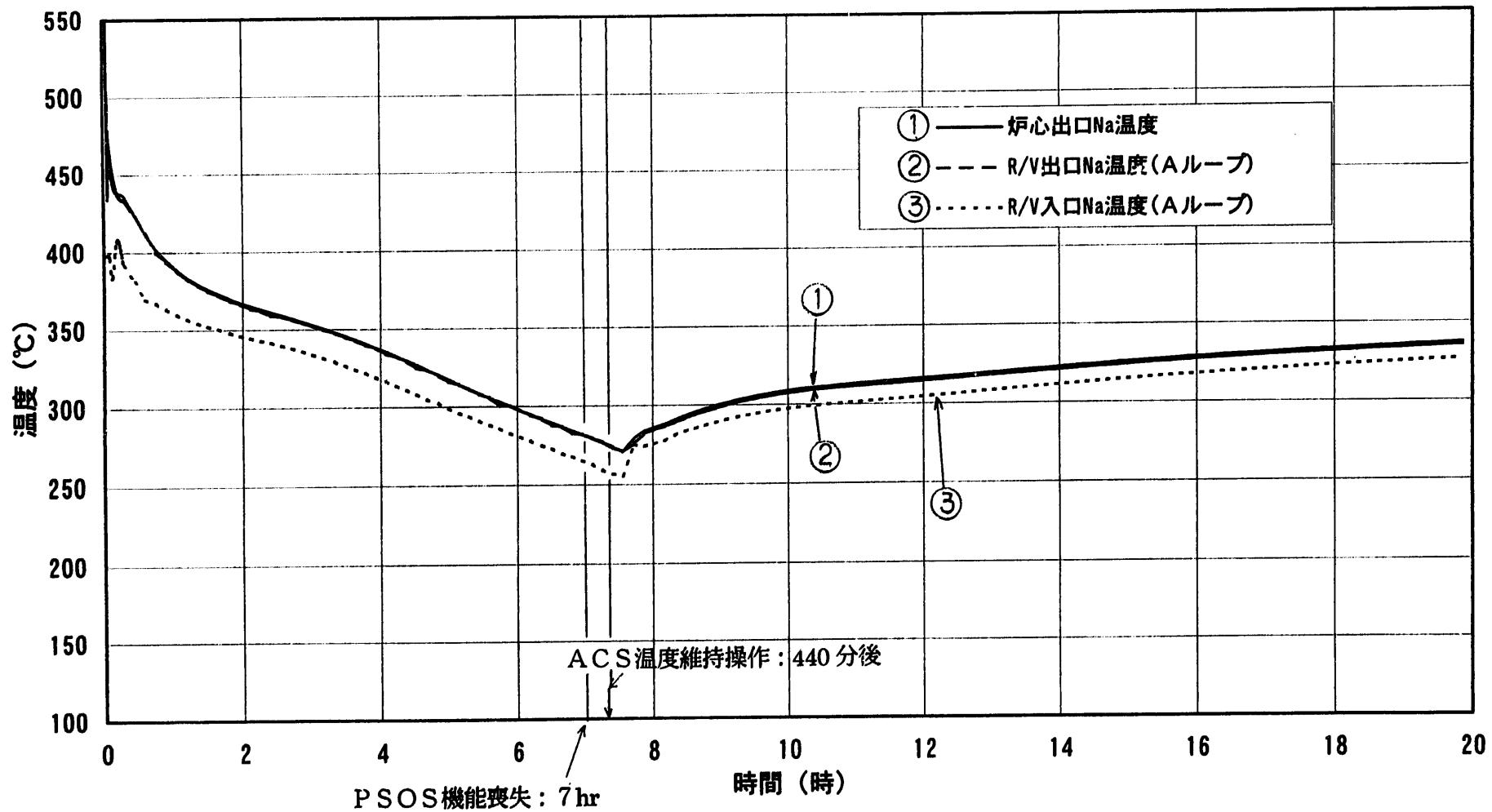


図 4.2-10(5/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-2-(3))



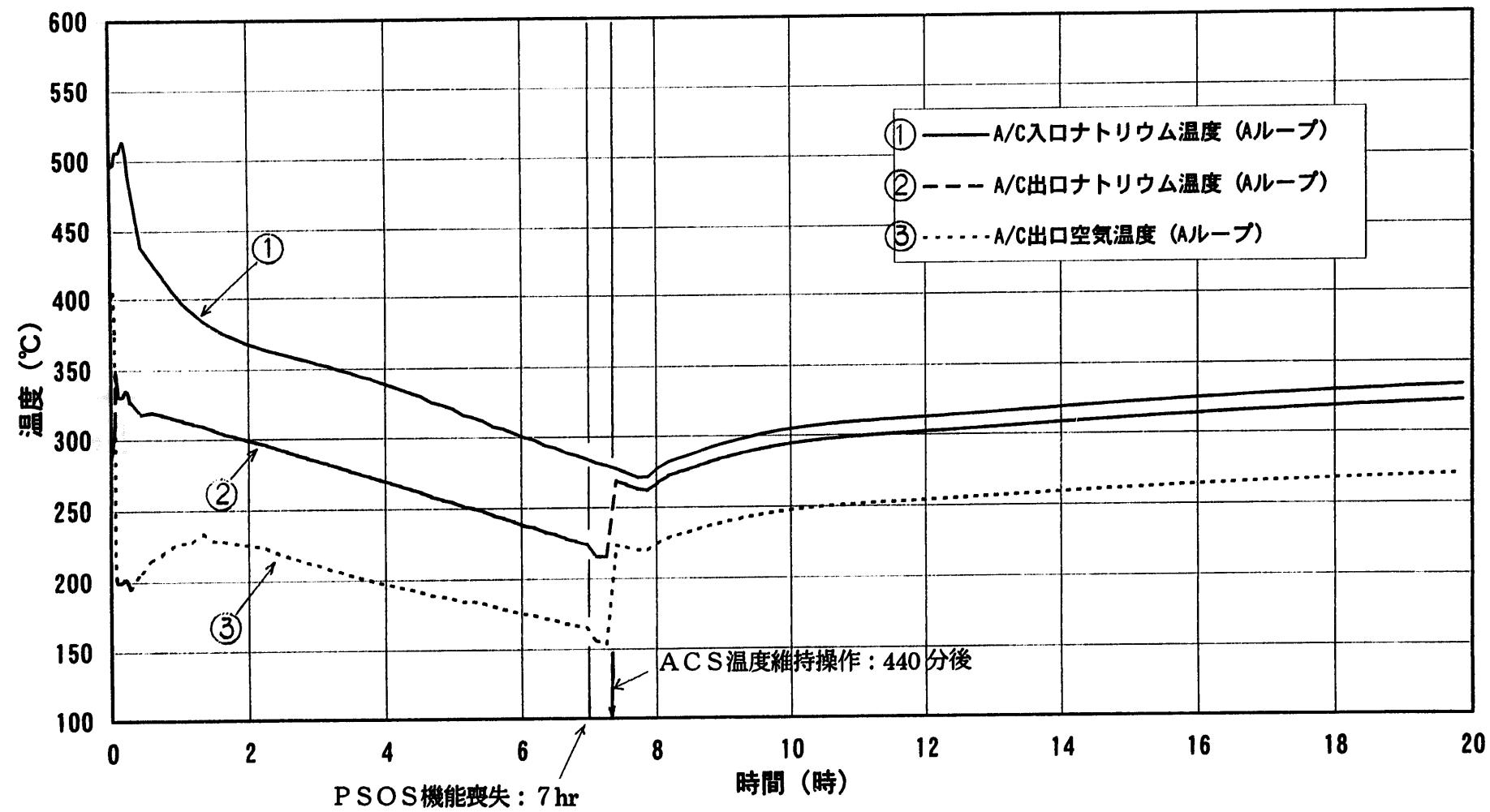
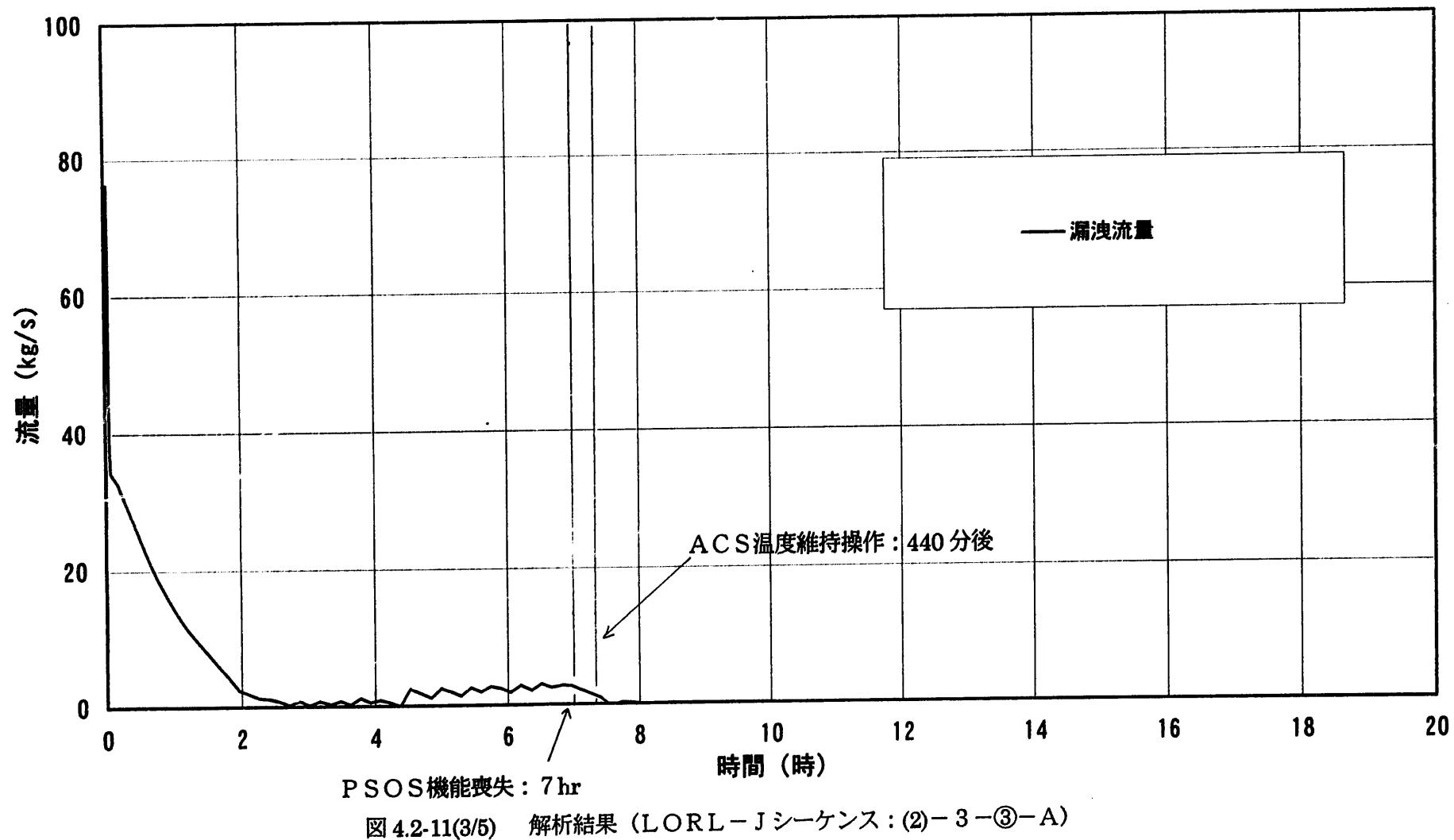


図 4.2-11(2/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-3-③-A)



4.2-70

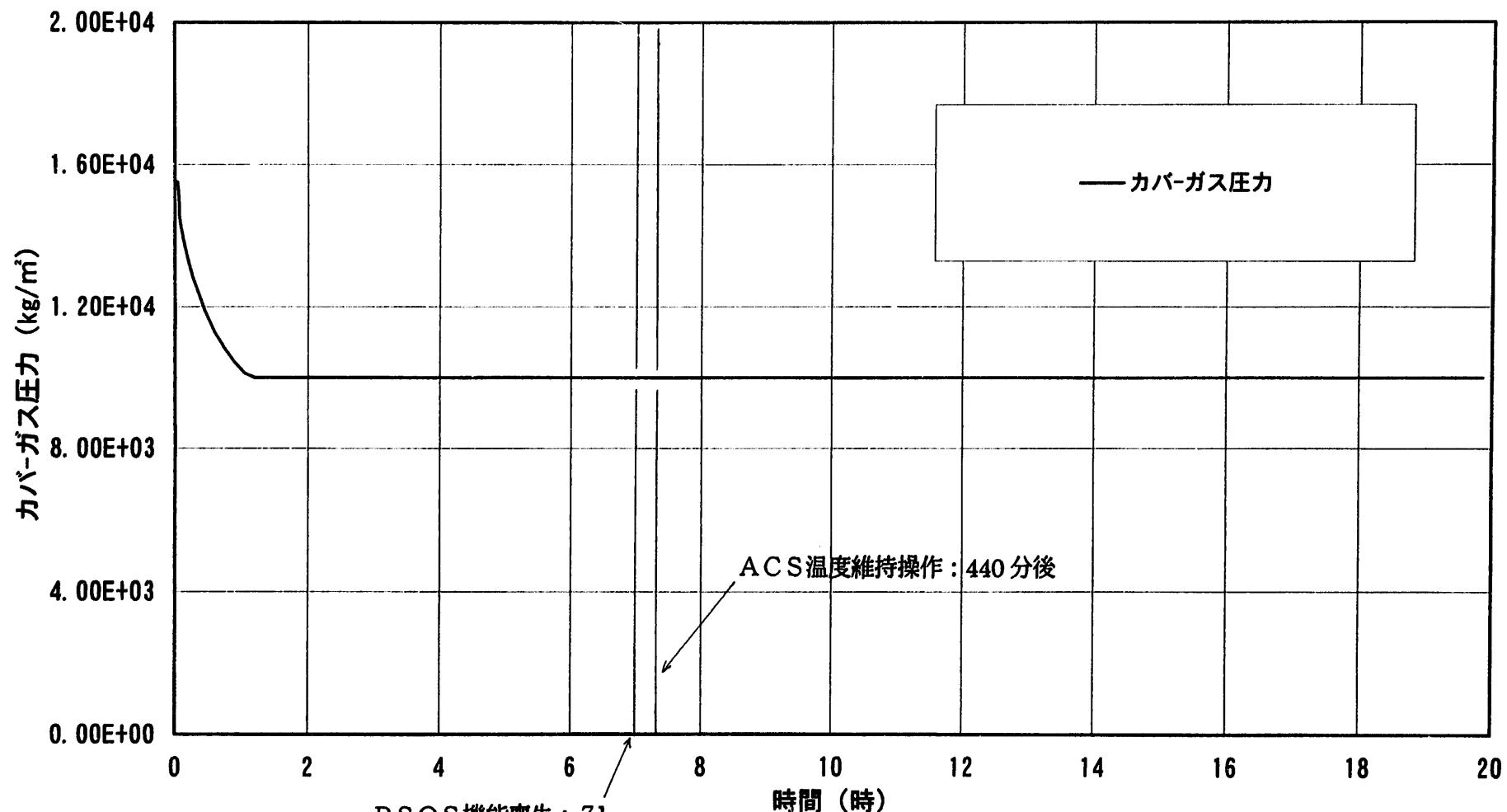


図 4.2-11(4/5) 解析結果 (L OR L - J シーケンス: (2)-3-③-A)

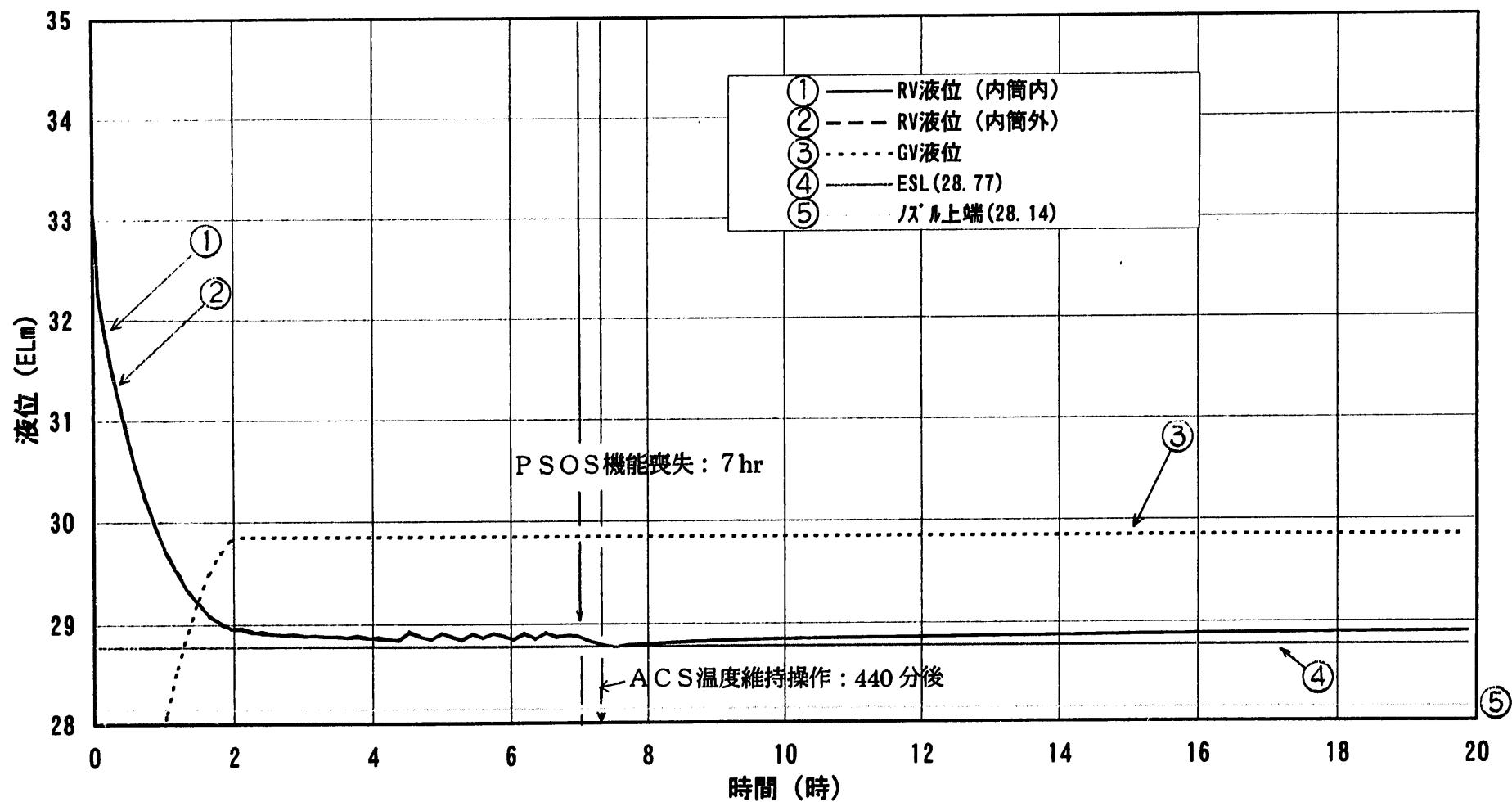


図 4.2-11(5/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-3-(3)-A)

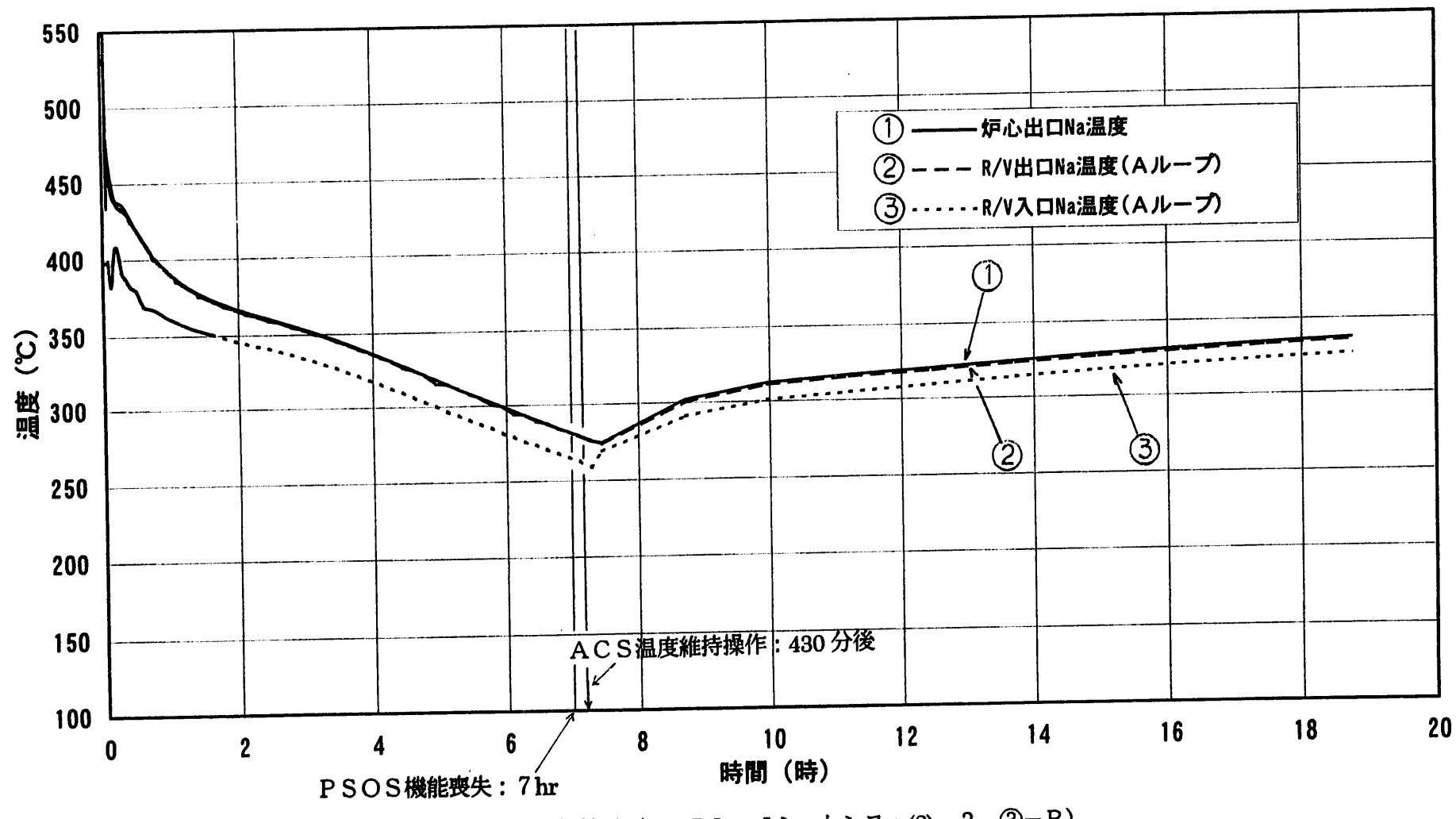


図 4.2-12(1/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-3-(3)-B)

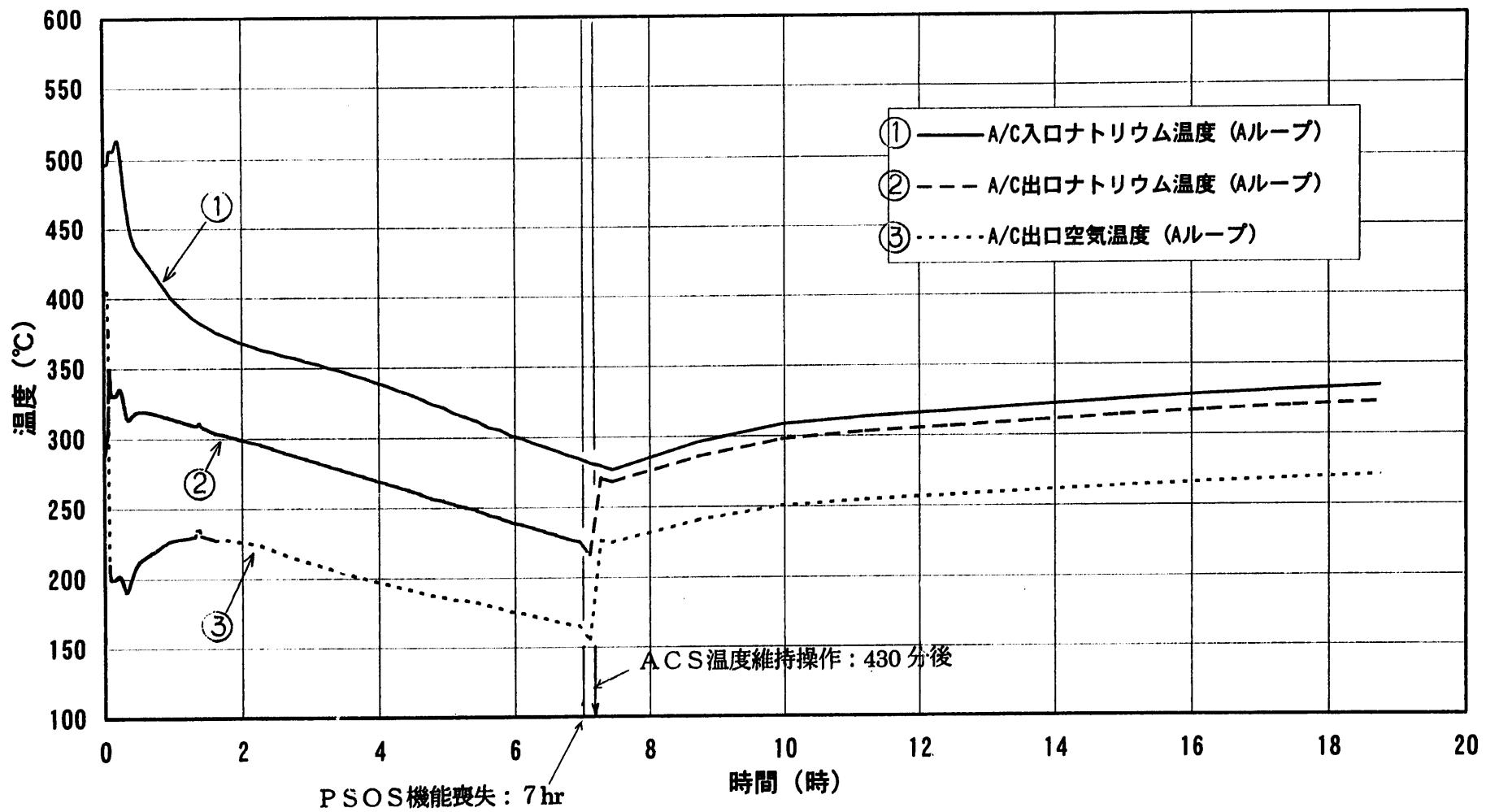


図 4.2-12(2/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-3-(3)-B)

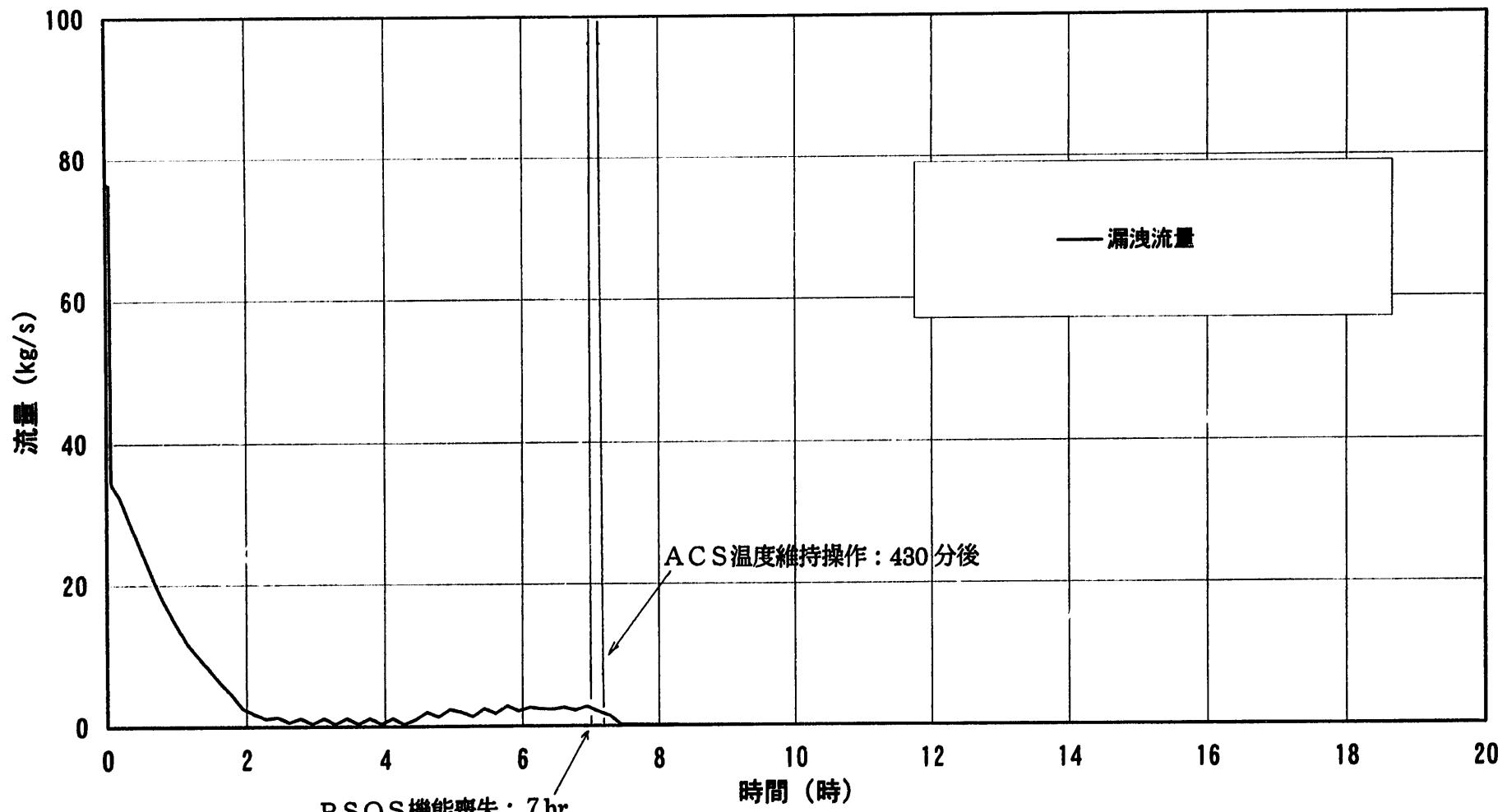


図 4.2-12(3/5) 解析結果 (L OR L-J シーケンス: (2)-3-③-B)

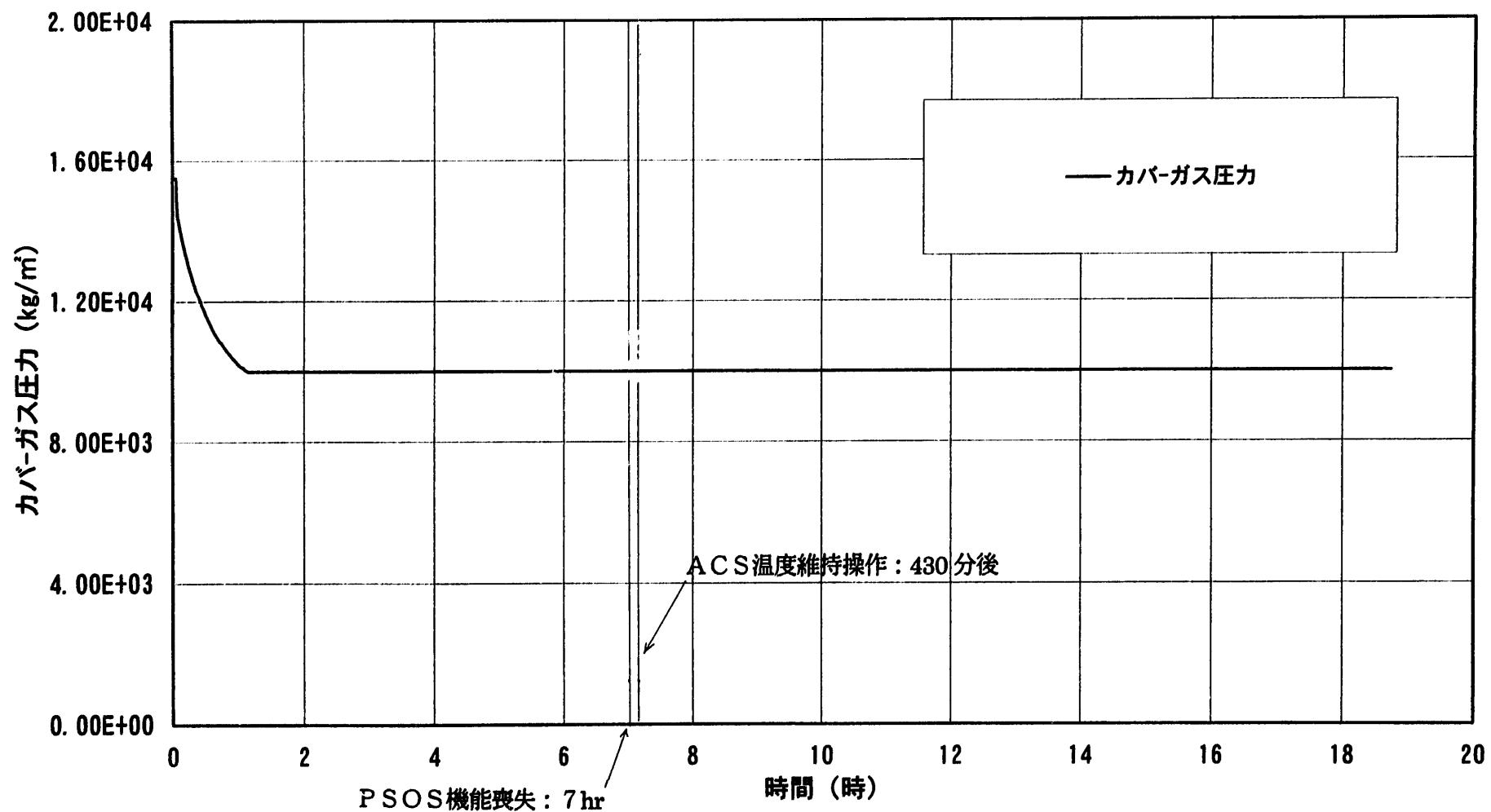


図 4.2-12(4/5) 解析結果 (L OR L - J シーケンス: (2)-3-(3)-B)

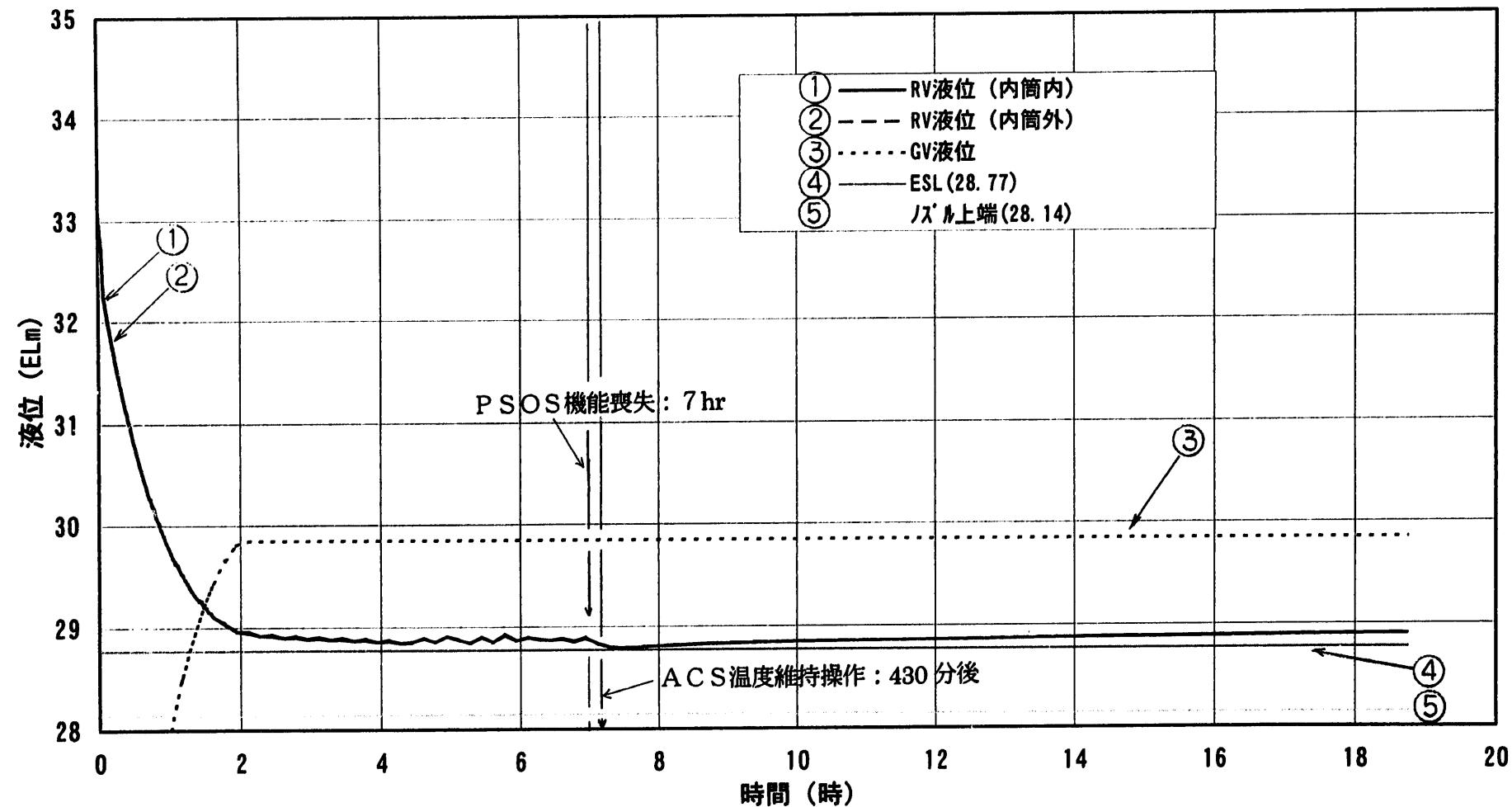


図 4.2-12(5/5) 解析結果 (LORL-J シーケンス: (2)-3-(3)-B)

## 4. 3 LORL-Gシーケンス

### (1) 解析ケース

LORL-Gシーケンスの解析一覧表を表4. 3-1に示す。解析一覧表には各ケースの主な解析条件及び解析結果（炉容器液位が出口ノズル上端を下回る時間）を記している。また、主要な解析ケースについて解析条件の詳細を表4. 3-2にまとめた。

LORL-Gシーケンスの解析では、Bループ原子炉容器入口ノズル付近での1/4 D t配管破損を想定し、1次主循環ポンプ1台（Bループ）のトリップに失敗することを想定する。また、PSOS起動、CG隔離成功、ACSの運転状態は-15°C/hrとする。1次系の放散熱については、LORL-Jシーケンス同様に配管破損で格納容器隔離に至るため、考慮しないこととする。1次主循環ポンプトリップに成功する時刻をパラメトリックに2ケース変更した解析を行っている。したがって、LORL-Gシーケンスの解析ケース数は、ベースケースを含め3ケースである。

なお、各ケースのケース番号は、以下の要領で定めている。

(3) -□-○-△

(3) は、LORL-Gシーケンスであることを示す。

□ : 1次主循環ポンプの運転状態に関する分類を示す。

1 … 1次主循環ポンプ1台のトリップ失敗

2 … トリップ失敗した1次主循環ポンプをトリップさせる

○ : -

△ : トリップ失敗した1次主循環ポンプをトリップさせる時刻に関する分類を示す。

### (2) 解析結果

各ケースの解析結果図（漏えい流量、原子炉容器廻りナトリウム温度、原子炉容器液位、カバーガス圧力等）を図4. 3-1～4に示す。

このシーケンスでは、1次主循環ポンプ1台のトリップに失敗することを仮定するため、ナトリウム漏えい流量が大きくなり、原子炉容器液位は約1時間で出口ノズルの上端を下回り、サイフォンブレークに至る（ケース(3)-1-①）。

トリップに失敗した1次主循環ポンプのトリップに成功すると、原子炉容器液位の低下は緩和される。原子炉スクラム後、60分以内にトリップに成功すれば、原子炉容器液位は出口ノズル上端を下回らない結果が得られている。

表4. 3-1 解析一覧表 (LORL-Gシーケンス)

LORL-G		解析条件				解析結果	
解析ケース名	主冷却系 運転状態(*1)	ACS 運転状態	CG隔離	P SOS 運転状態	炉容器液位 ≤出口ノズル上端	パウンダリ温度 ≥650°C	
(3)-1-①	1次ポンプ1台のトリップ失敗	-15°C/hr	成功	起動	1. 0 hr	—	
(3)-2-①-A	55 min 後トリップ成功				— hr	—	
(3)-2-①-B	60 min 後トリップ成功				(1. 0 hr) *2	—	

(\*1) 原子炉トリップからの経過時間

(\*2) ぎりぎり上端を下回らない結果となっている。

表 4.3-2(1/2) 解析条件表 (J.O.R.L-G シーケンス : (3) - 1 - ①)

ケースの概要		(2)-1-①に、1ループの1次主循環ポンプトリップ失敗を重ねる。 失敗ループは C ループとする。							
トリップ条件		R/V 液位低							
崩壊熱	ノミナル	シュリンク	考慮	空調	停止	放熱	考慮		
系統・機器	ループ	時間で変更する条件							
1次主ポンプ	A	トリップ							
	B	トリップ失敗 (定格運転を継続)							
	C	トリップ							
1次系 PM	A	起動、引継ぎ成功							
	B	起動、引継ぎ失敗							
	C	起動、引継ぎ成功							
2次主ポンプ	A	トリップ							
	B	トリップ							
	C	トリップ							
2次系 PM	A	起動、引継ぎ成功							
	B	相互インタロックにより停止							
	C	起動、引継ぎ成功							
A C S	運転条件の概要								
	C弁	A							
		B							
		C							
	D弁	A							
		B	(2)-1-①と同じ						
		C							
	ペーン・ ダンパ	A							
		B							
		C							
メンテナンス冷却系									
1次オーバーフロー系									
カバーガス系隔離									
備考									

表 4.3-2(2/2) 解析条件表 (L O R L - G シーケンス : (3) - 2 - ① - N)

ケースの概要		(3)-1-①でN h 後に1次主循環ポンプトリップ成功。												
トリップ条件		R / V 液位低												
崩壊熱	ノミナル	シーリング	考慮	空調	停止	放熱	考慮							
系統・機器		ループ	時間で変更する条件											
1次主ポンプ	A	トリップ												
	B	トリップ失敗 (定格運転を継続)、N h 後、トリップ成功												
	C	トリップ												
1次系 PM	A	起動、引継ぎ成功												
	B	起動、引継ぎ失敗。トリップ成功後、引継ぎ成功。												
	C	起動、引継ぎ成功												
2次主ポンプ	A	トリップ												
	B	トリップ												
	C	トリップ												
2次系 PM	A	起動、引継ぎ成功												
	B	起動、引継ぎ成功												
	C	起動、引継ぎ成功												
A C S	運転条件の概要													
	C弁	A												
		B												
		C												
	D弁	A												
		B	(2) - 1 - ①と同じ											
		C												
	ペーン・ ダンパ	A												
		B												
		C												
メンテナンス冷却系														
1次オーバーフロー系														
カバーガス系隔離														
備考														

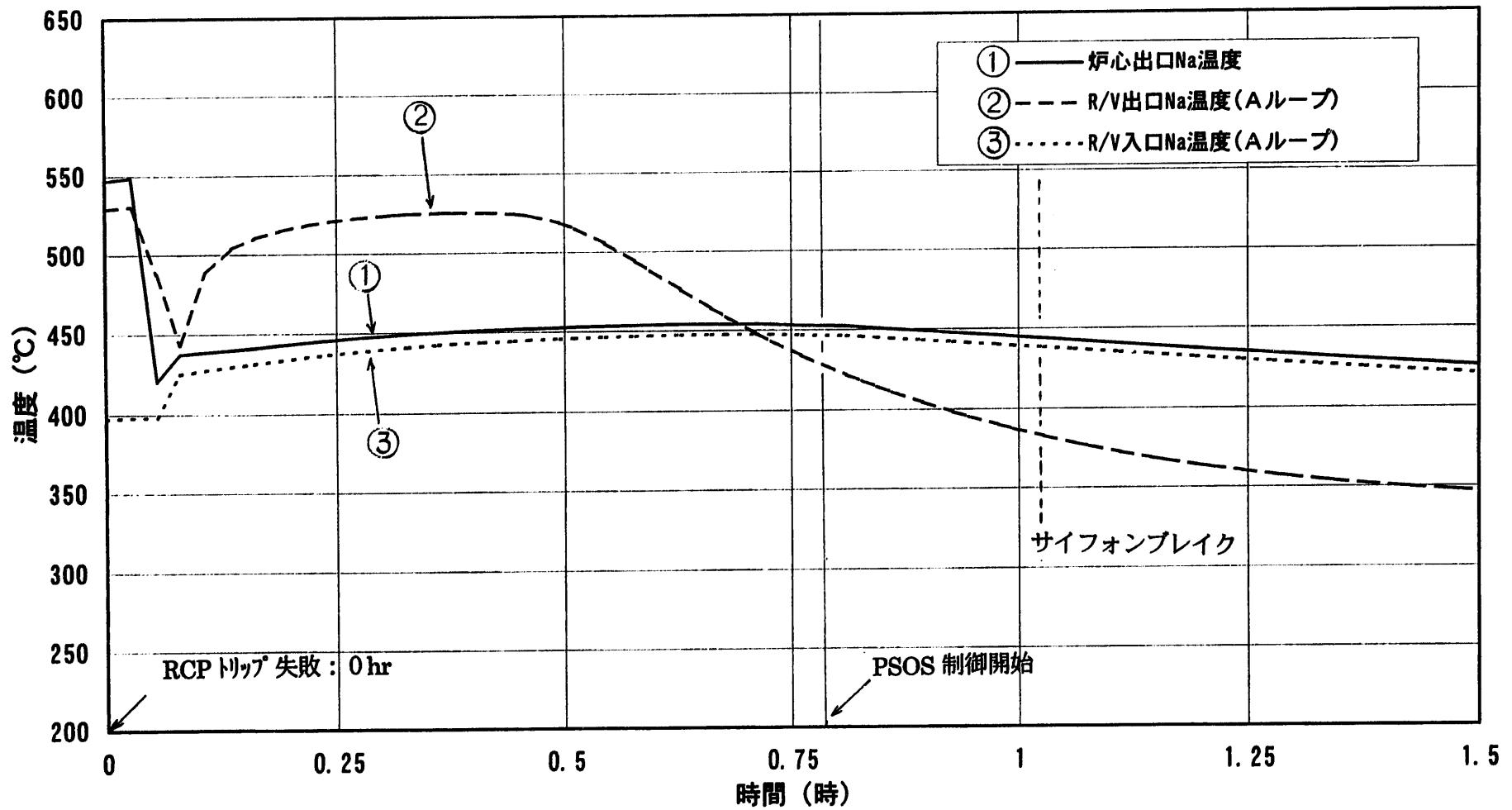


図 4.3-1(1/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス: (3)-1-(1))

4.3-7

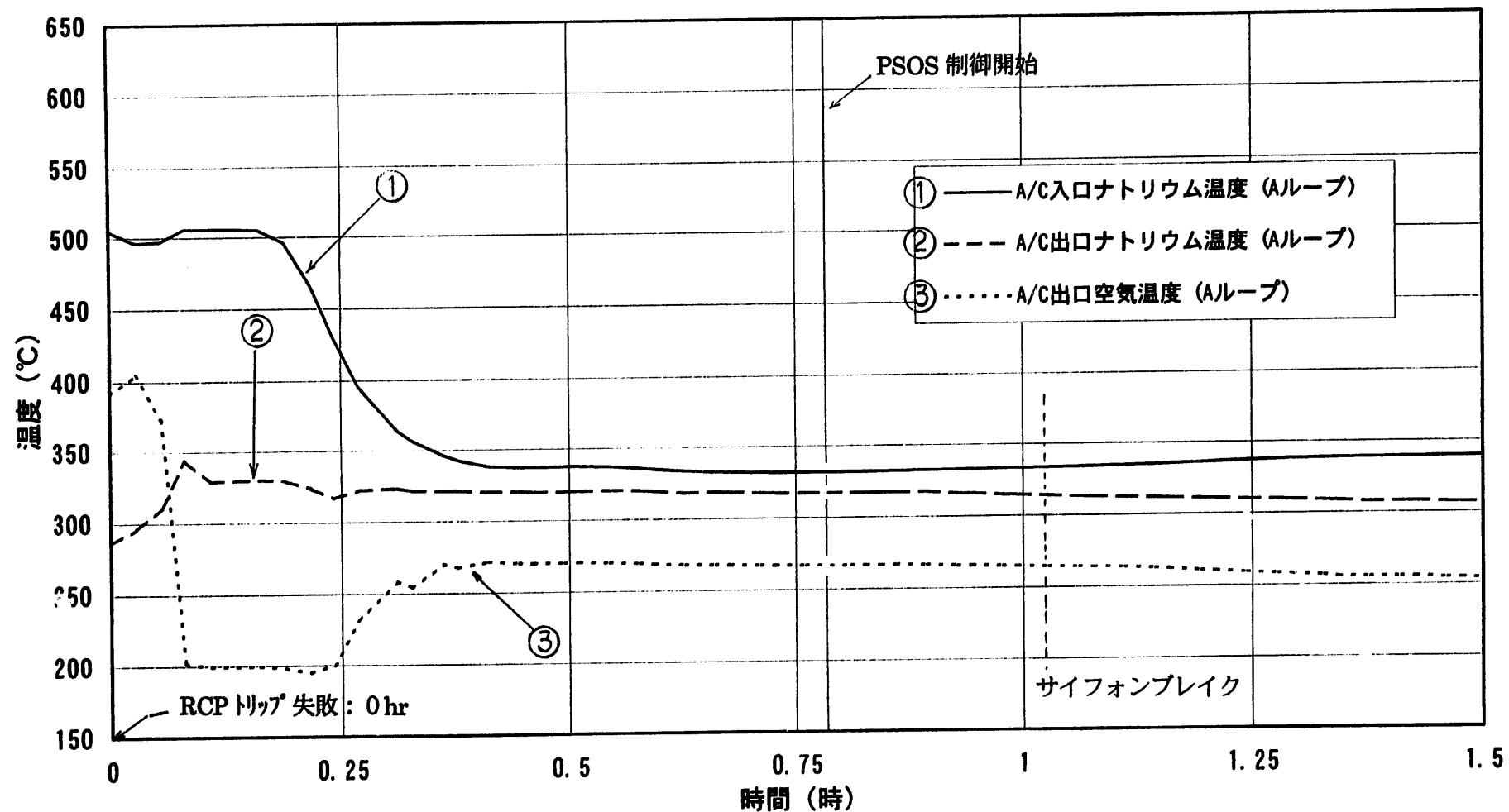


図 4.3-1(2/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス: (3)-1-(1))

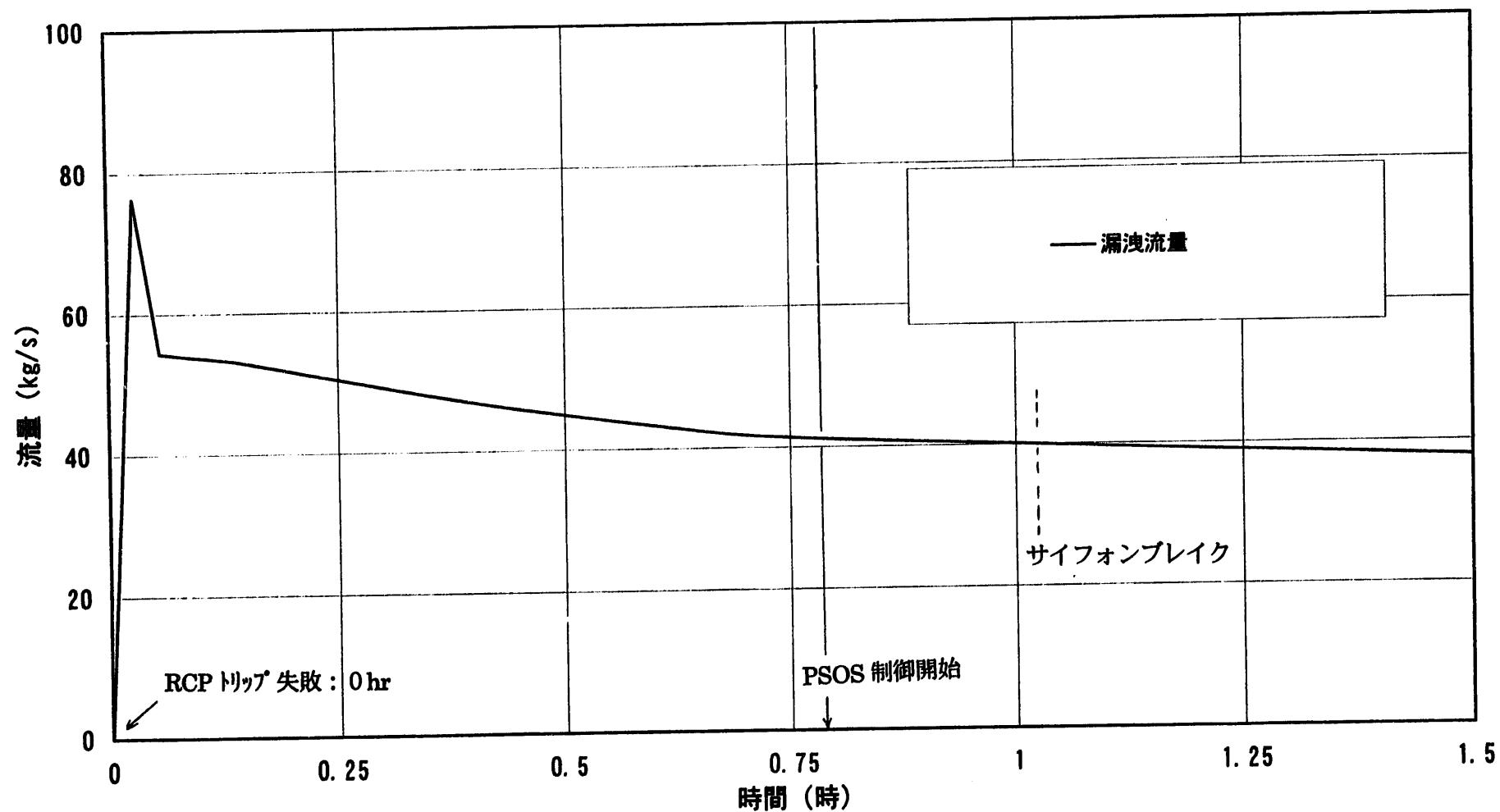


図 4.3-1(3/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス : (3)-1-(1))

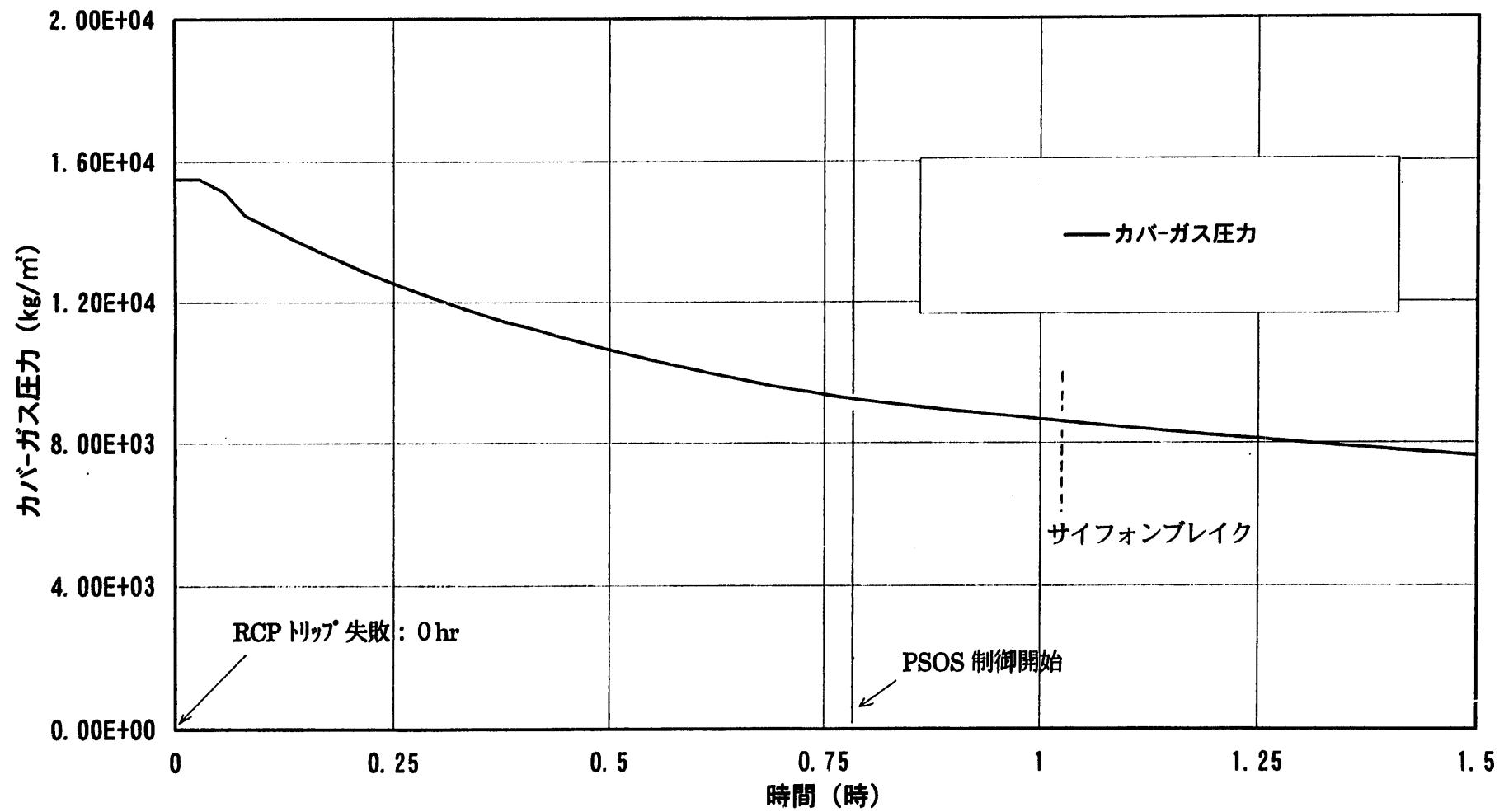


図 4.3-1(4/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス : (3)-1-①)

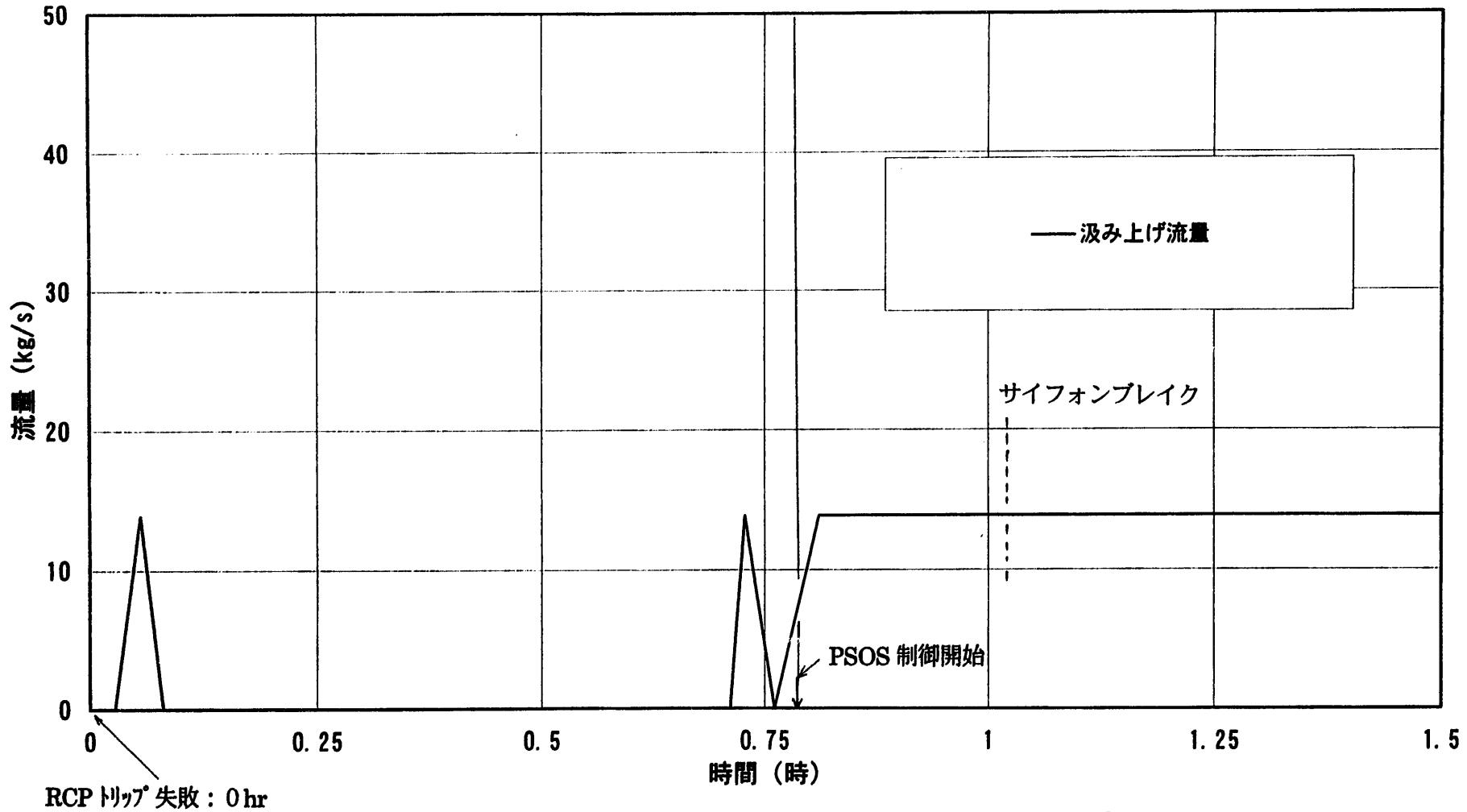


図 4.3-1(5/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス: (3) - 1 - ①)

4.3-11

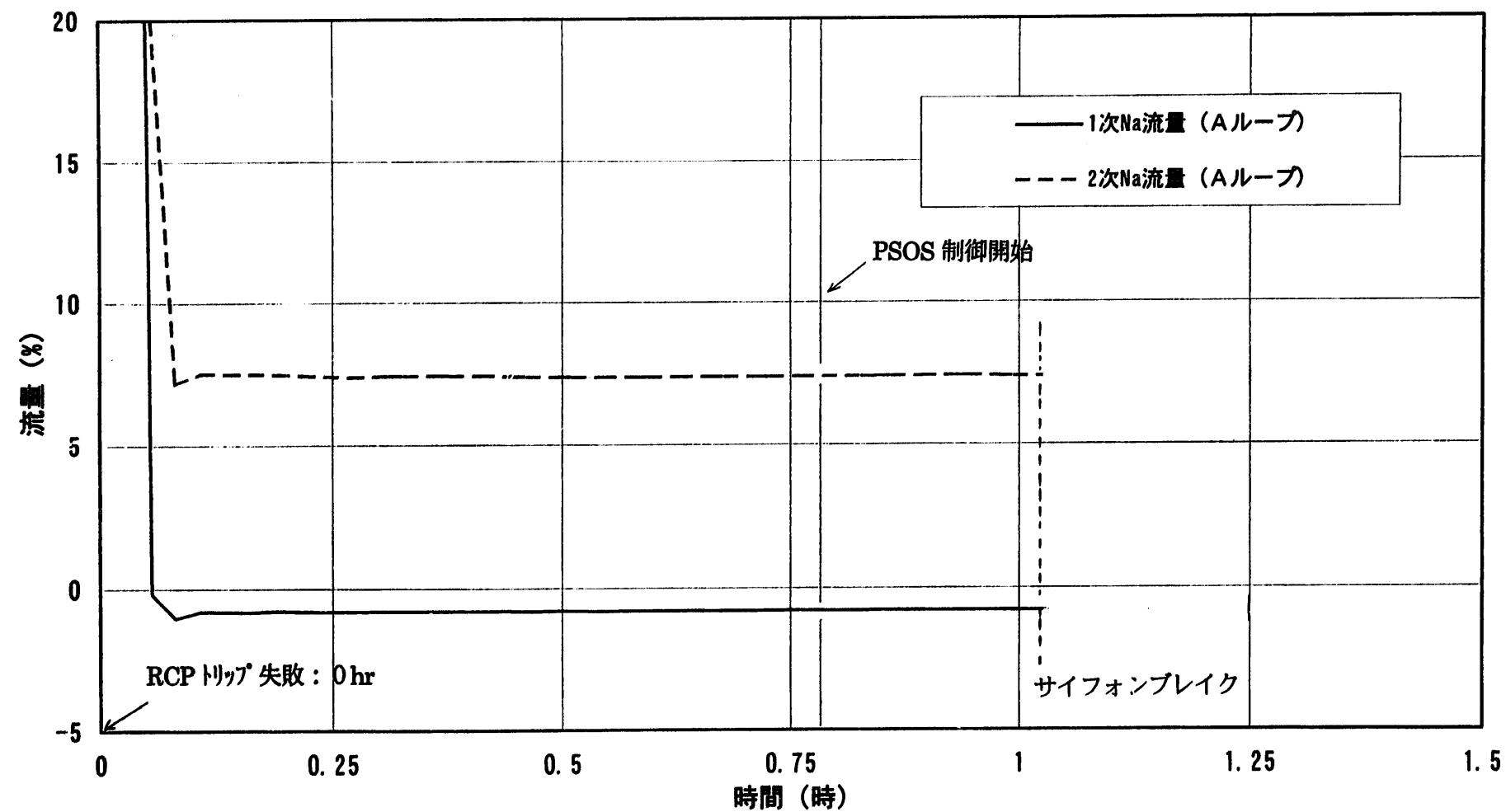


図 4.3-1(6/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス : (3)- 1 - ①)

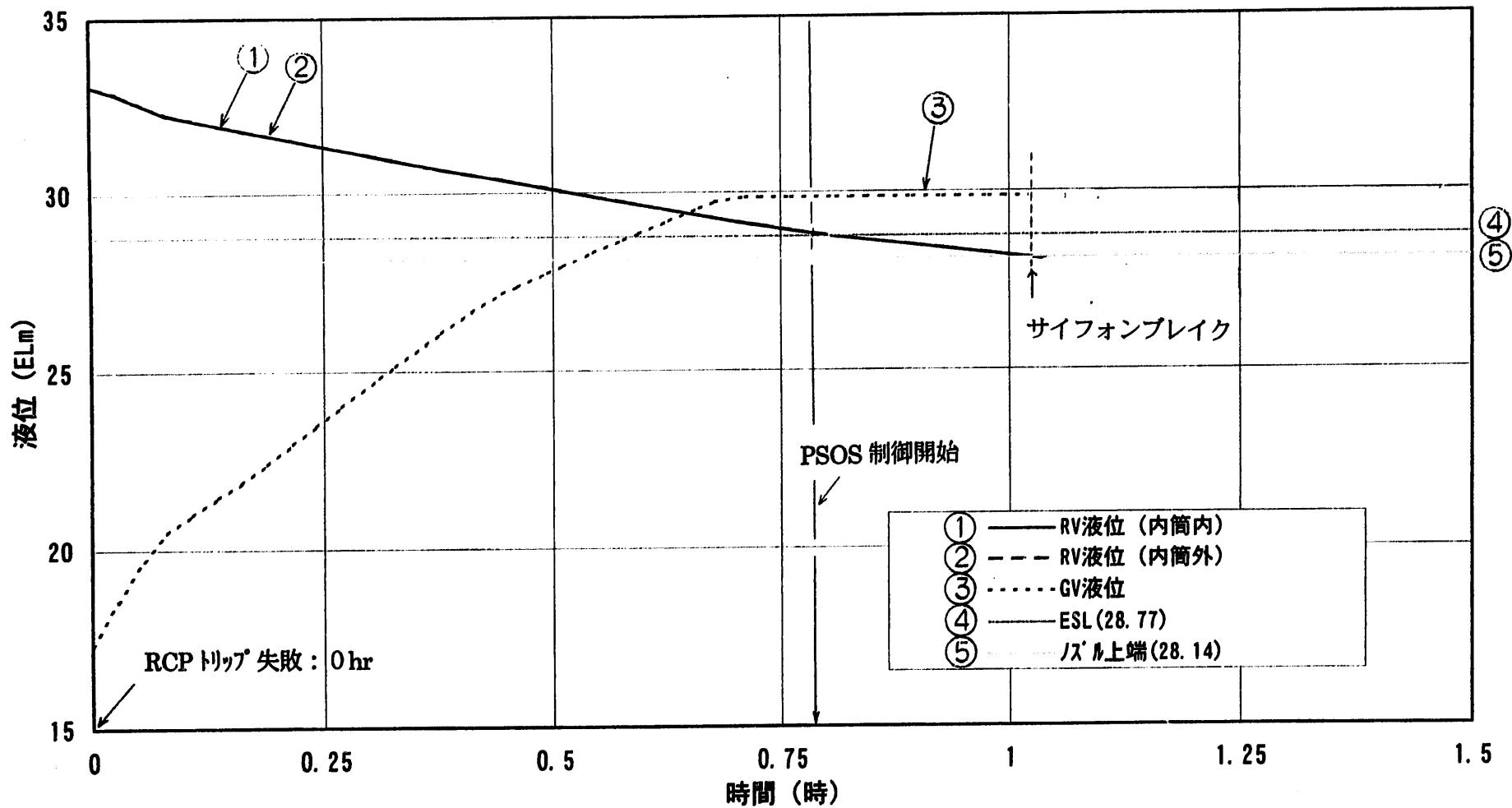


図 4.3-1(7/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス : (3)- 1 - ①)

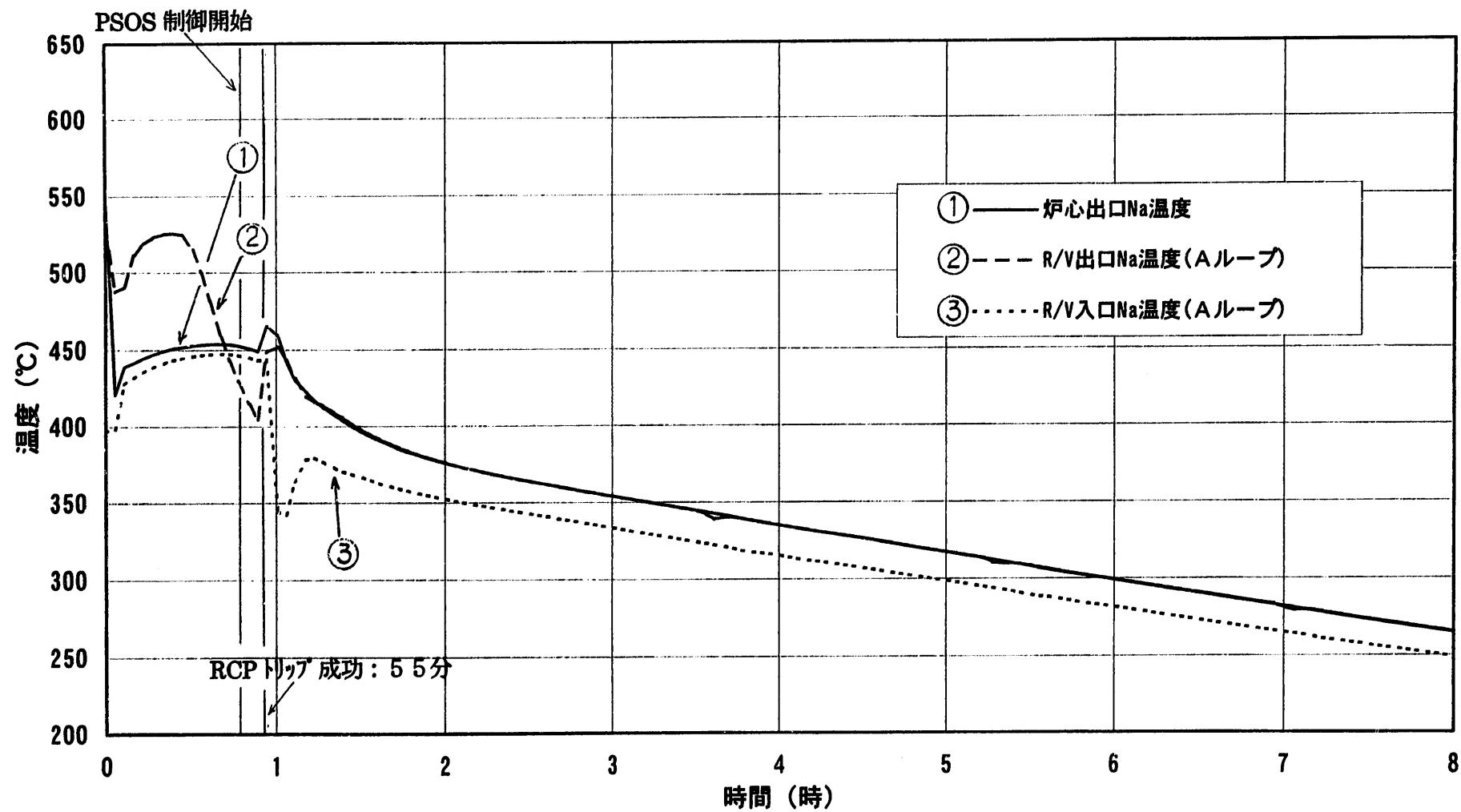


図 4.3-2(1/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス : (3)-2-①-A)

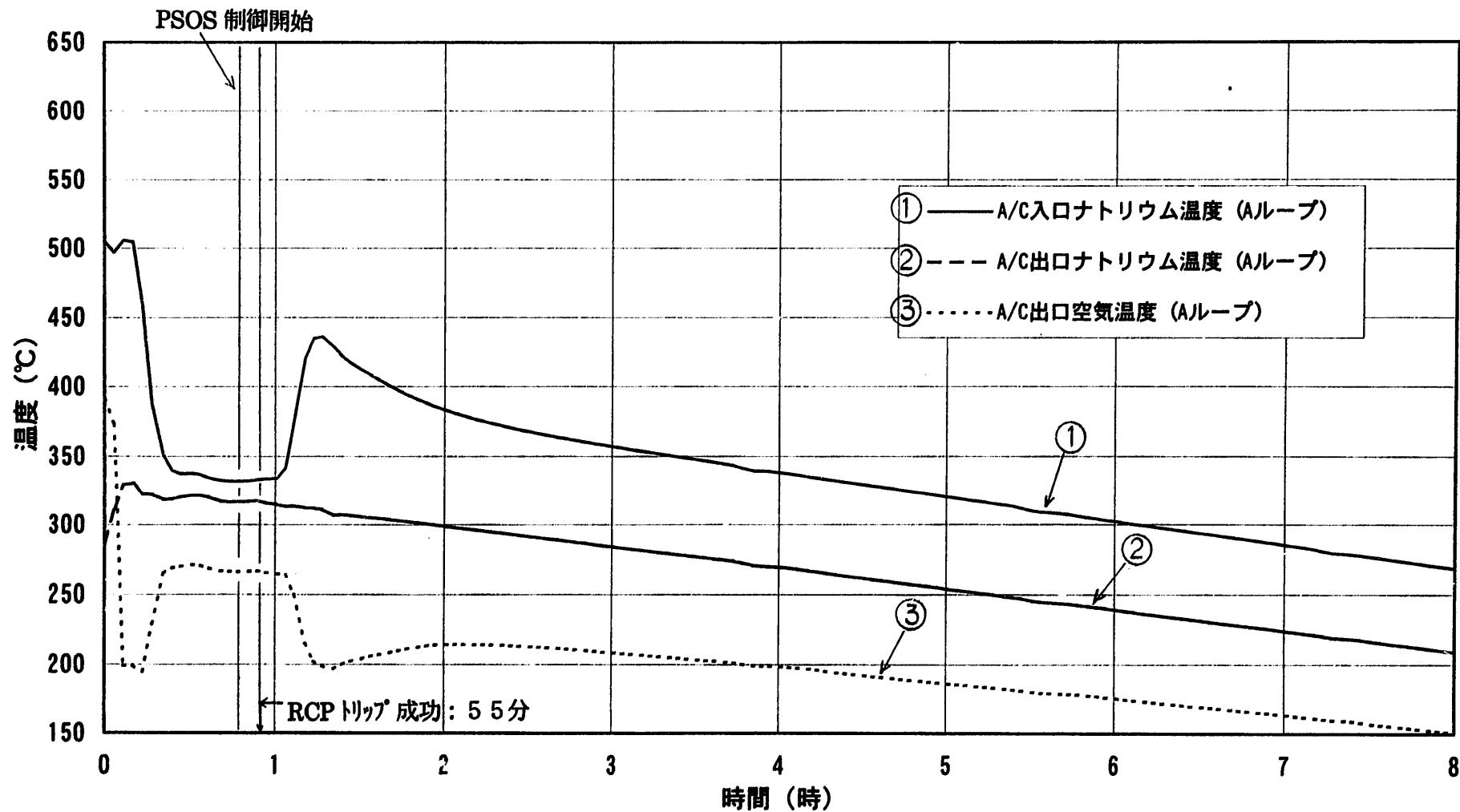


図 4.3-2(2/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス: (3)-2-(1)-A)

4.3-15

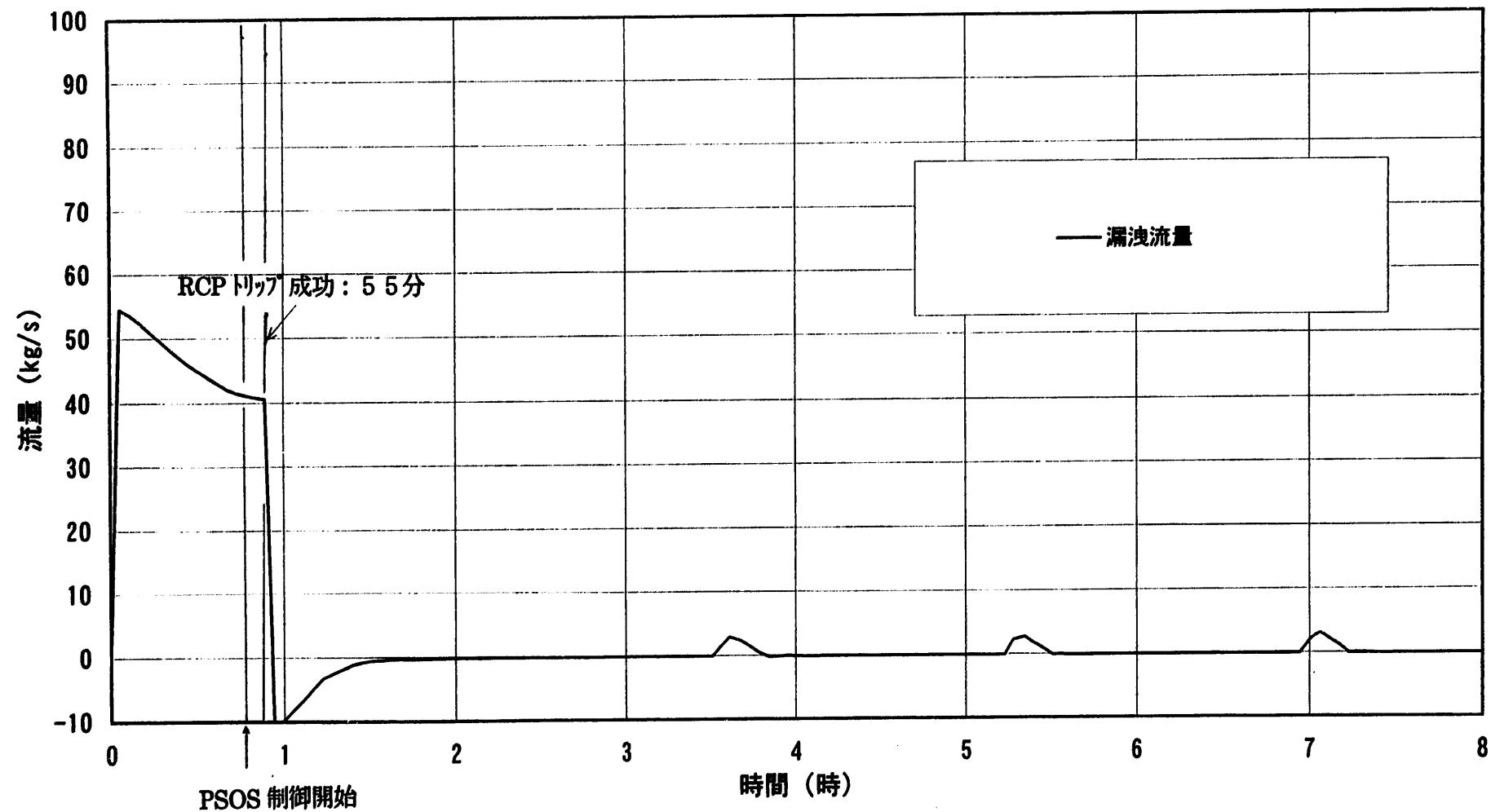


図 4.3-2(3/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス : (3)-2-①-A)

4.3.16

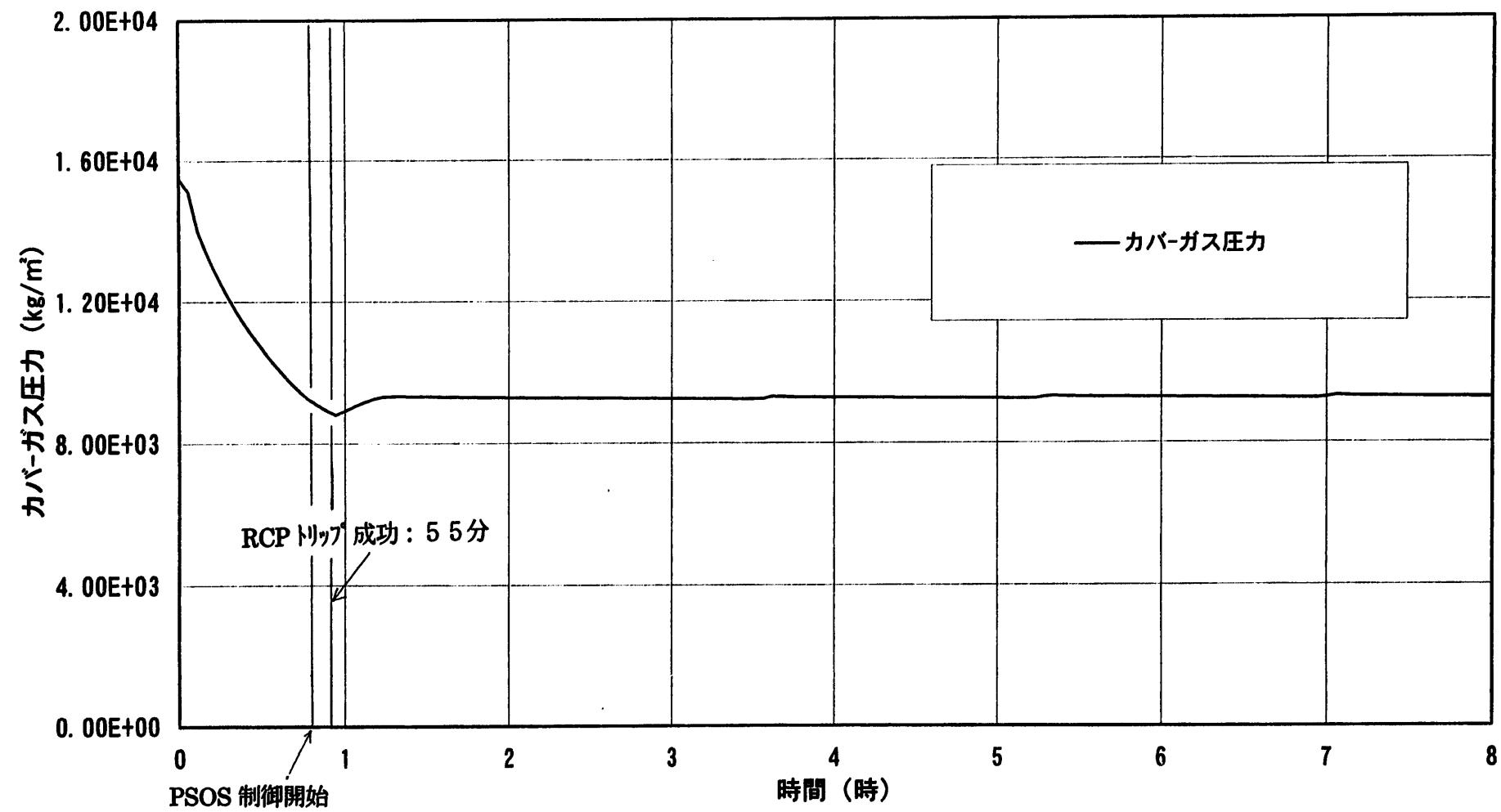


図 4.3-2(4/7) 解析結果 (LORL-G シーケンス: (3)-2-①-A)

4.3-17

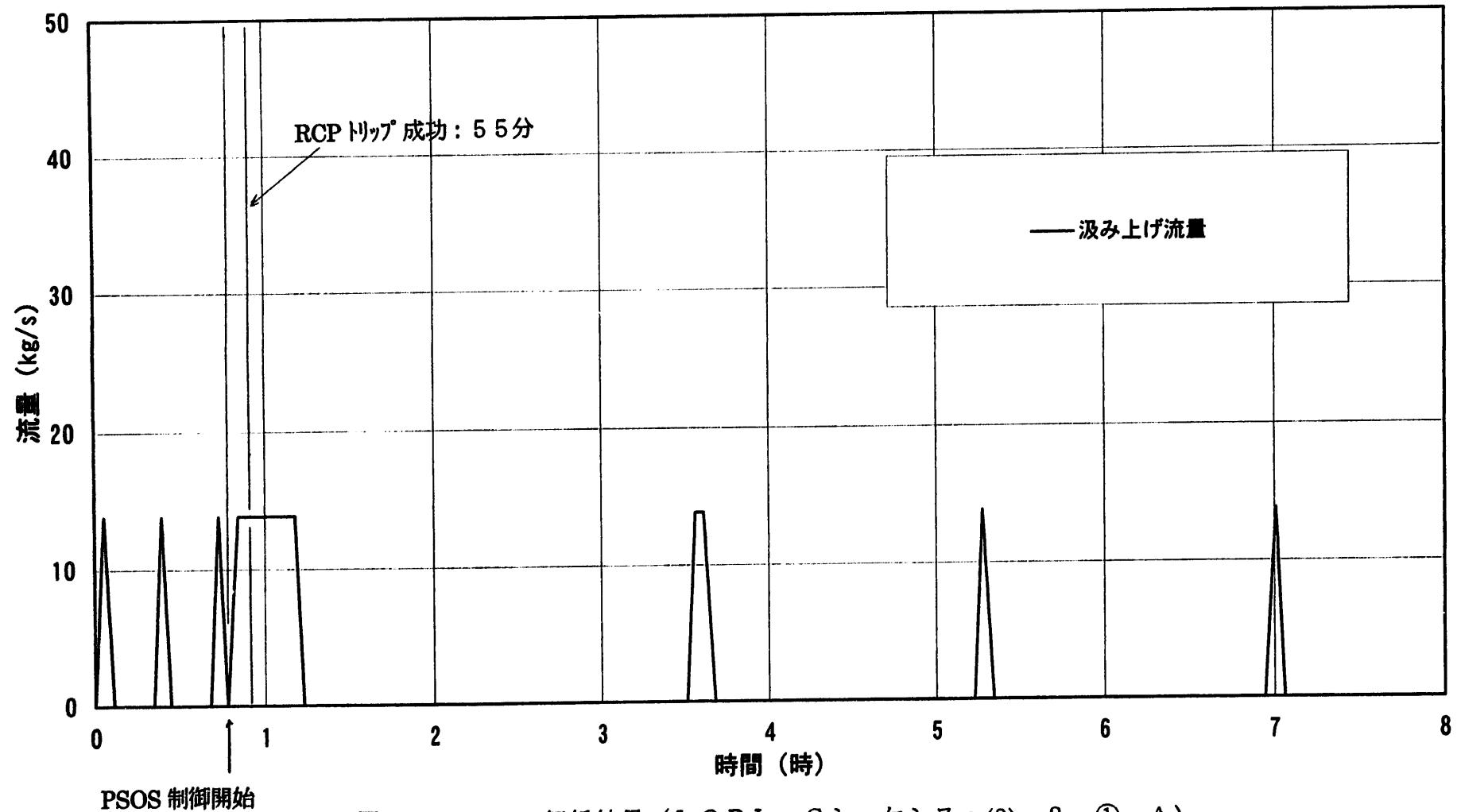


図 4.3-2(5/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス: (3)-2-(1)-A)

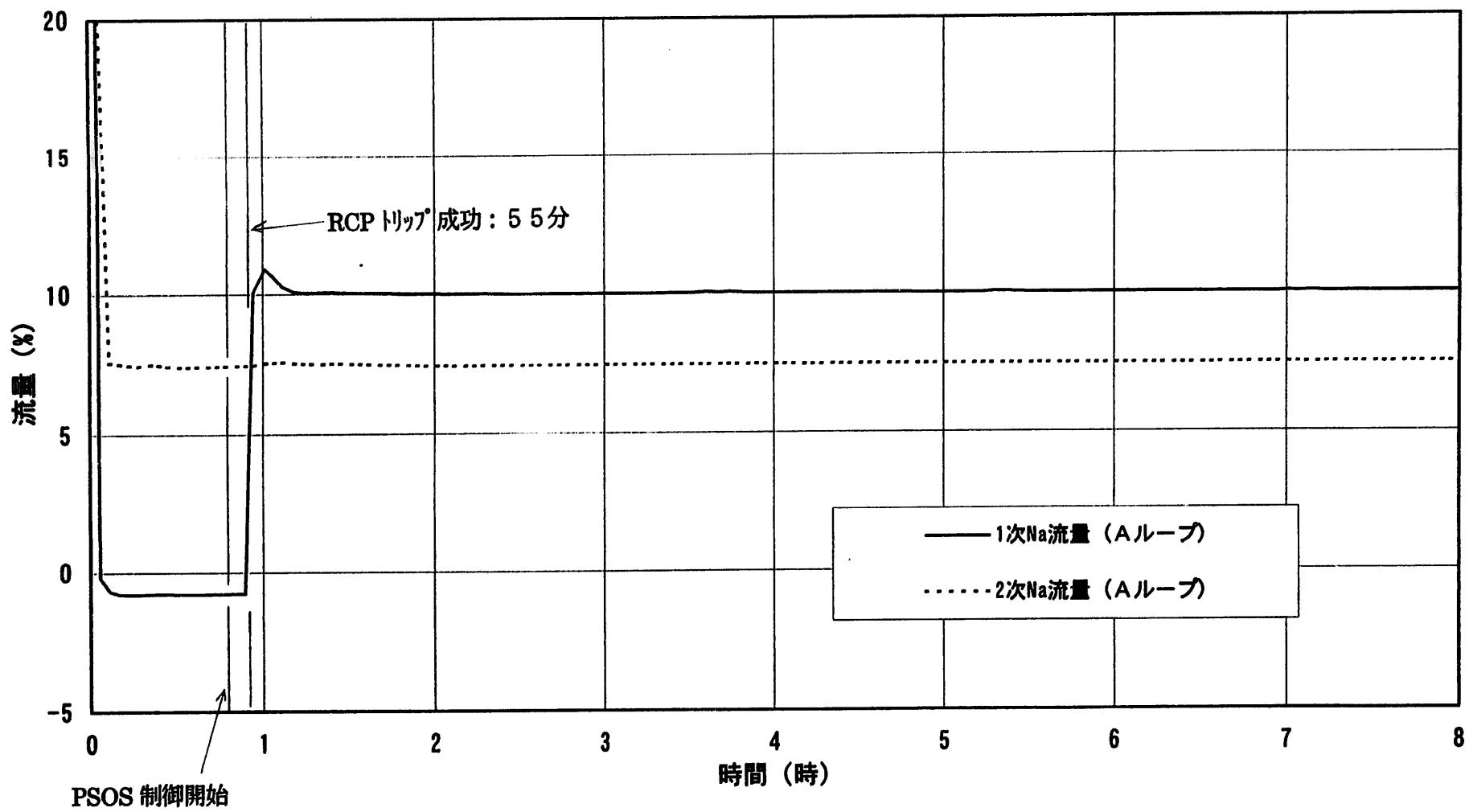


図 4.3-2(6/7) 解析結果 (LOREL-G シーケンス: (3)-2-①-A)

4.3-19

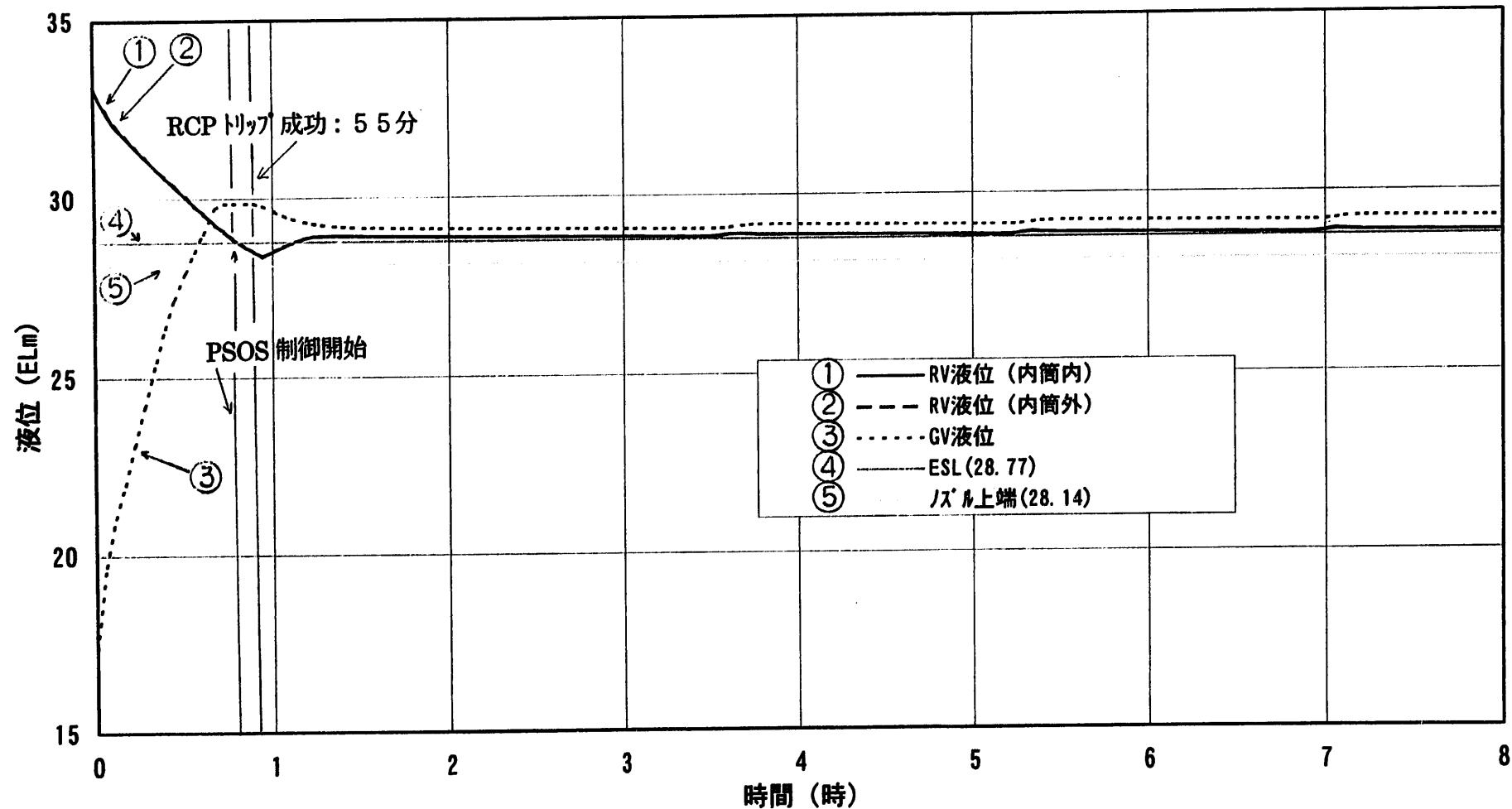


図 4.3-2(7/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス : (3)-2-(1)-A)

4.3-20

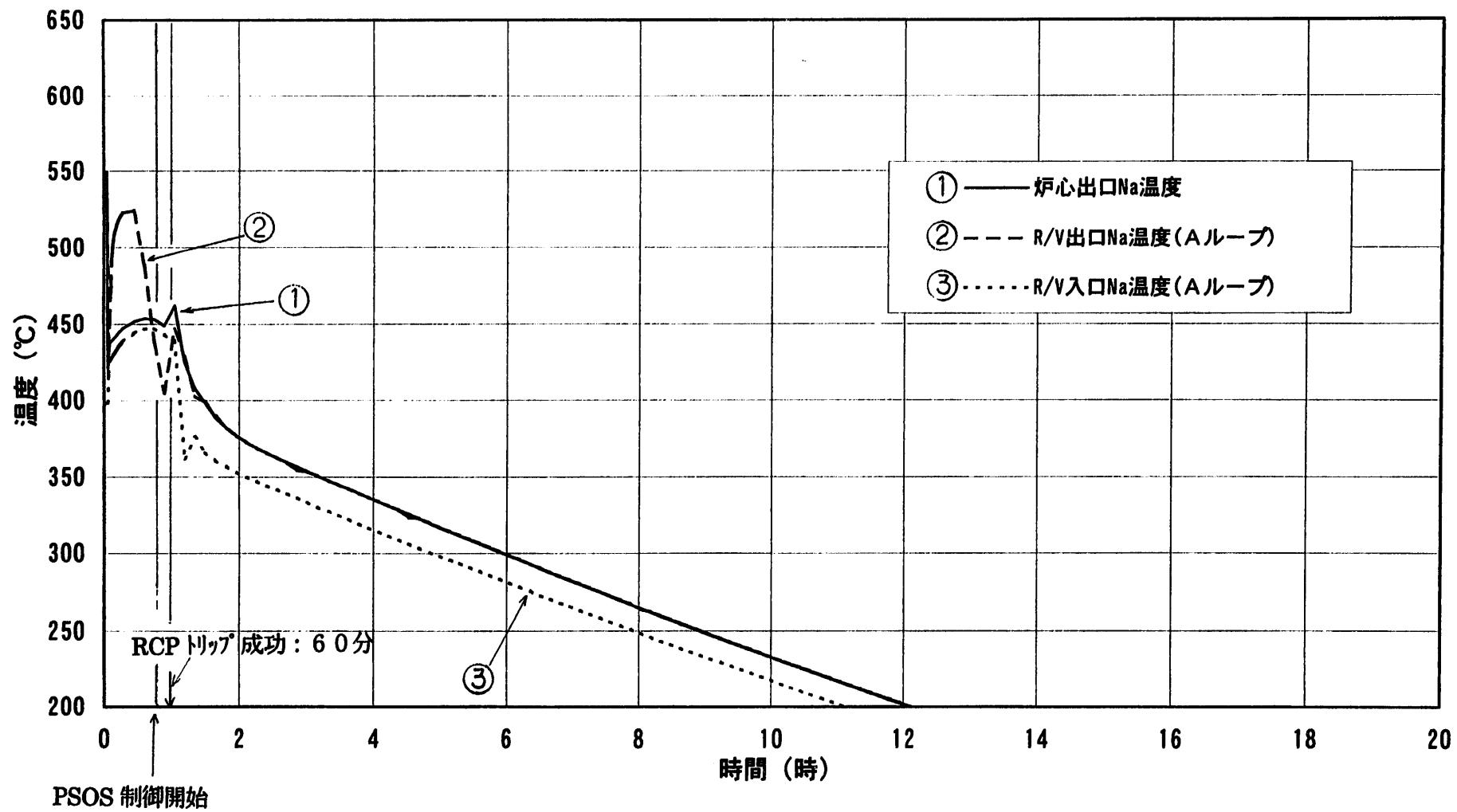


図 4.3-3(1/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス: (3)-2-①-B)

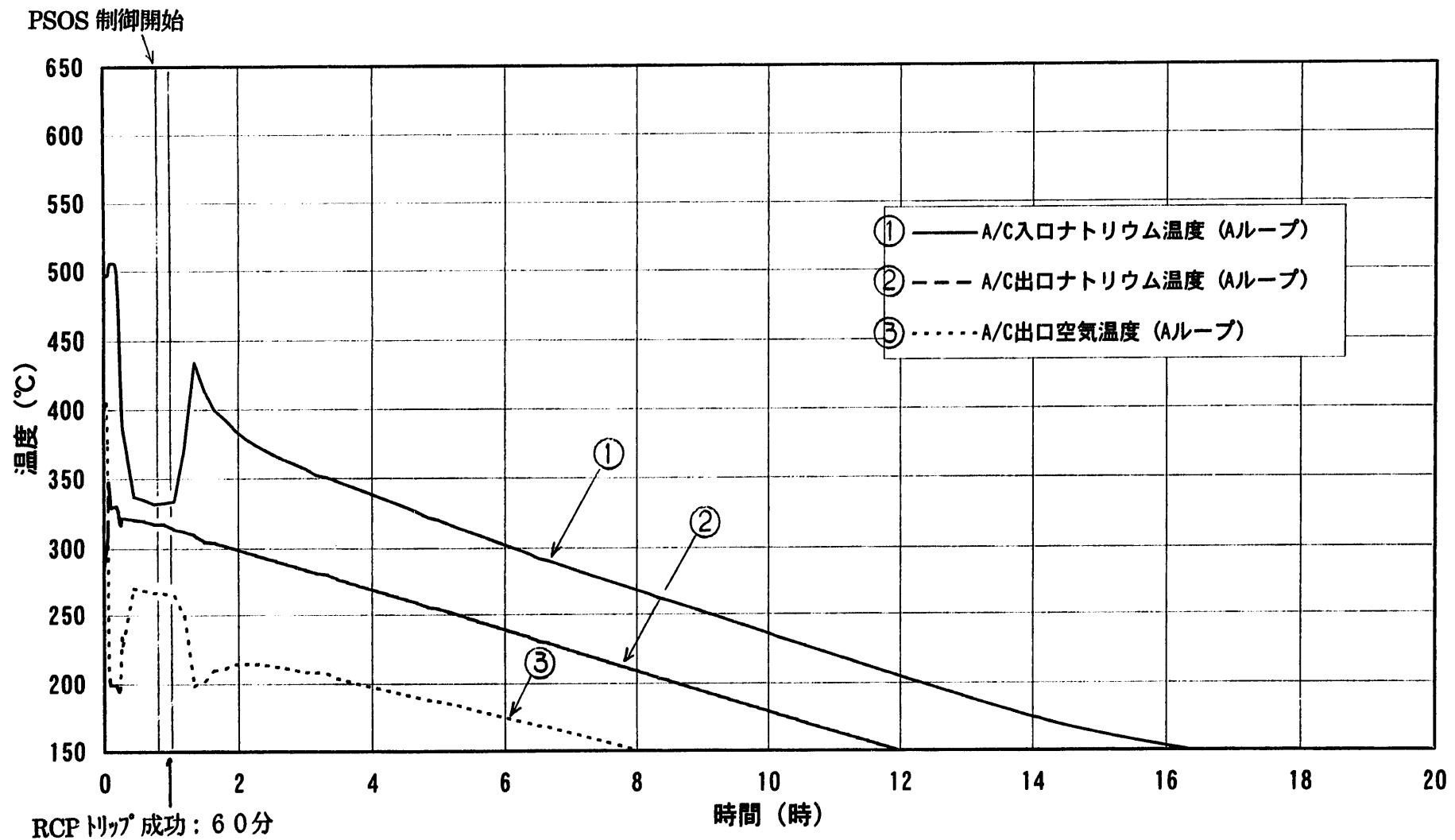


図 4.3-3(2/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス: (3)-2-①-B)

4.3.22

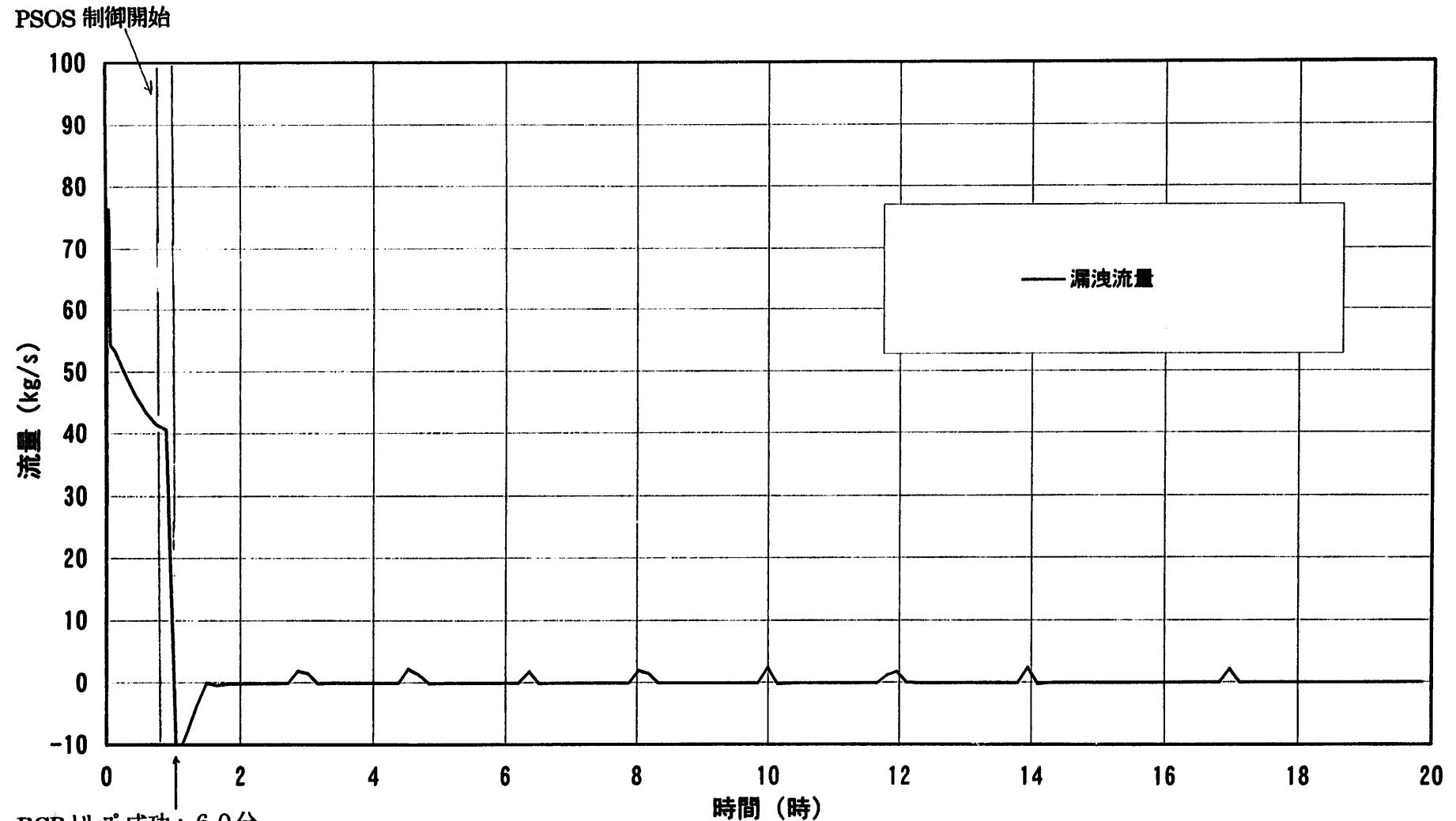


図 4.3-3(3/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス : (3)-2-①-B)

4.3.23

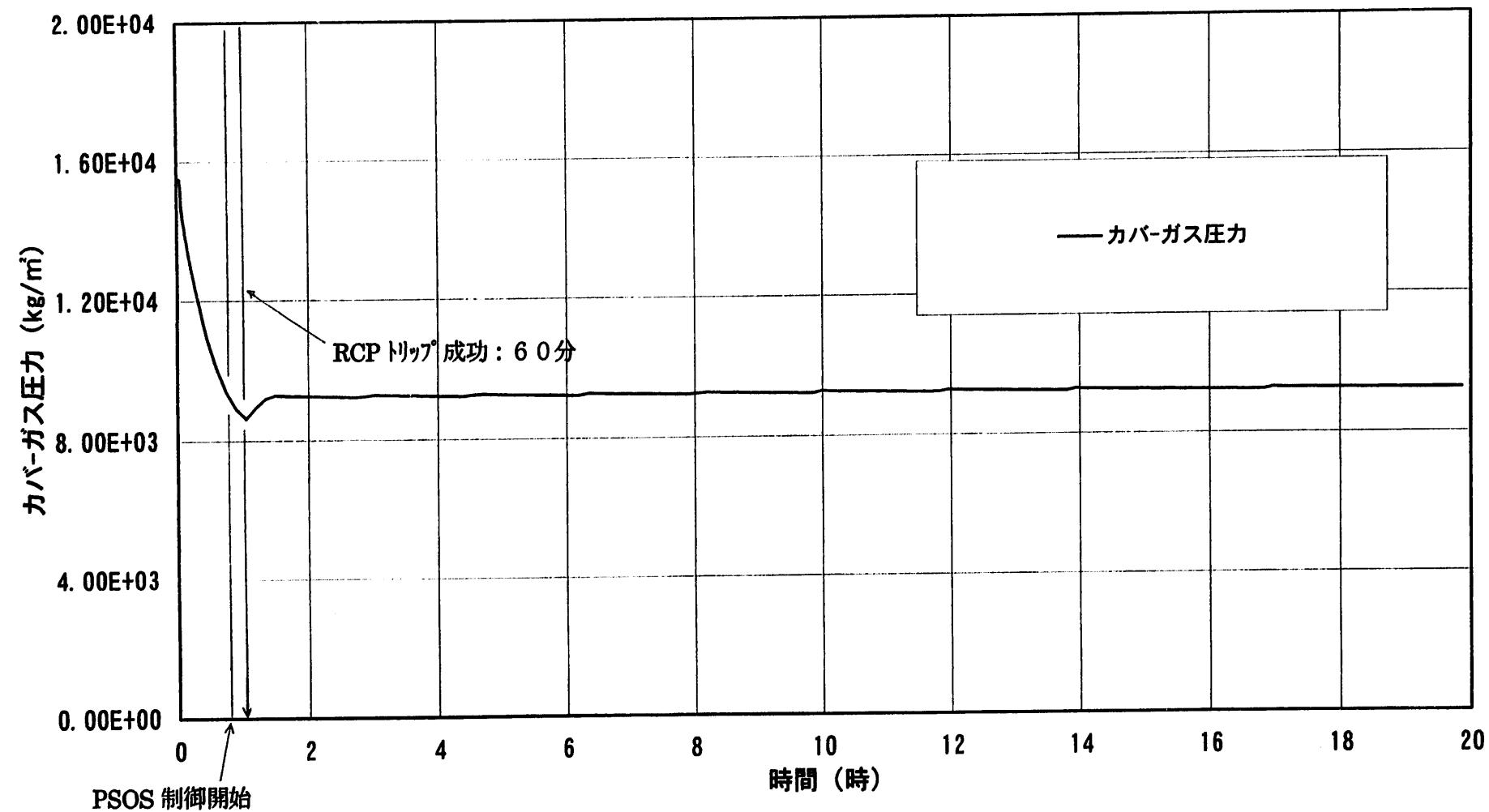


図 4.3-3(4/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス : (3)-2-(1)-B)

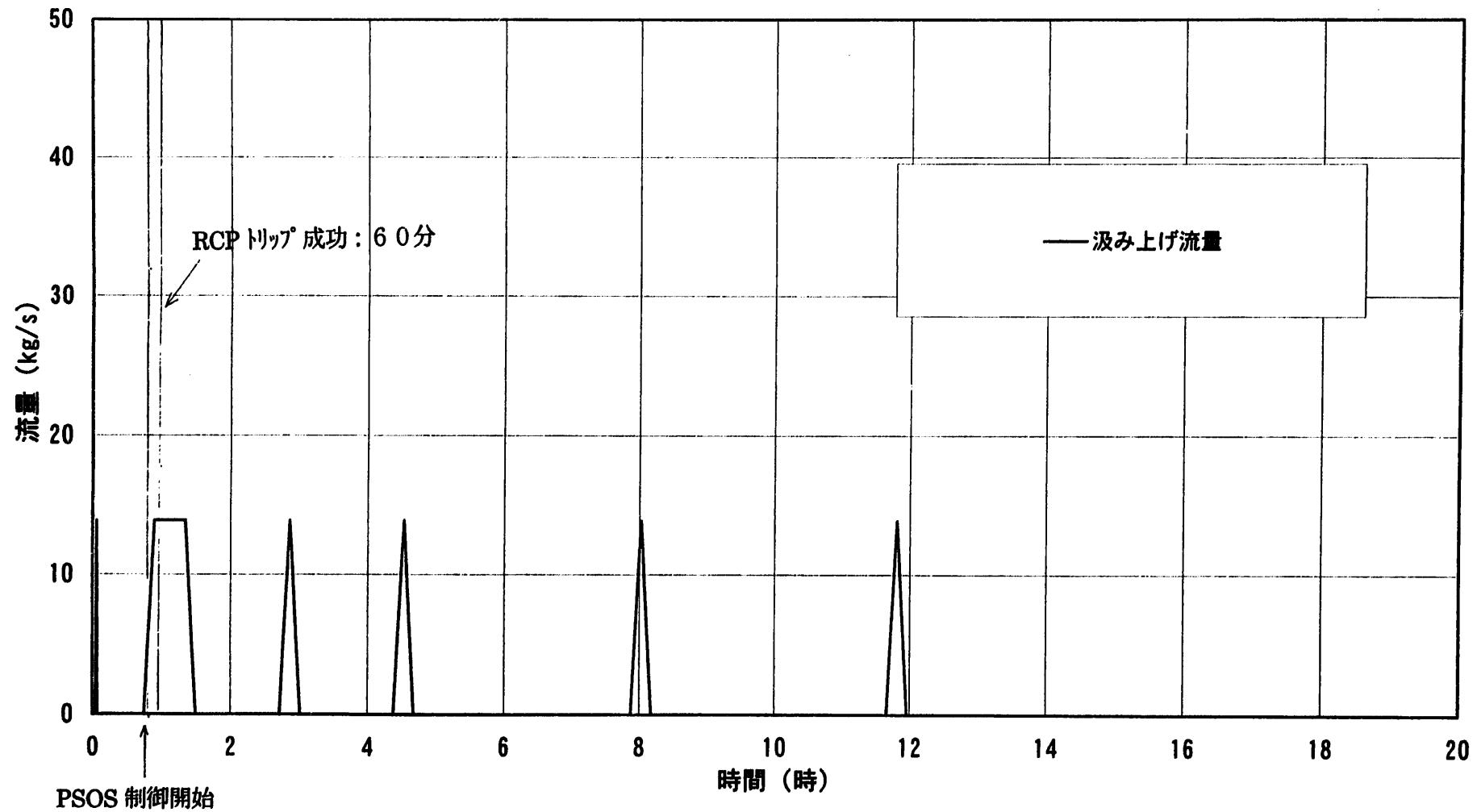


図 4.3-3(5/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス : (3)-2-①-B)

4.3-25

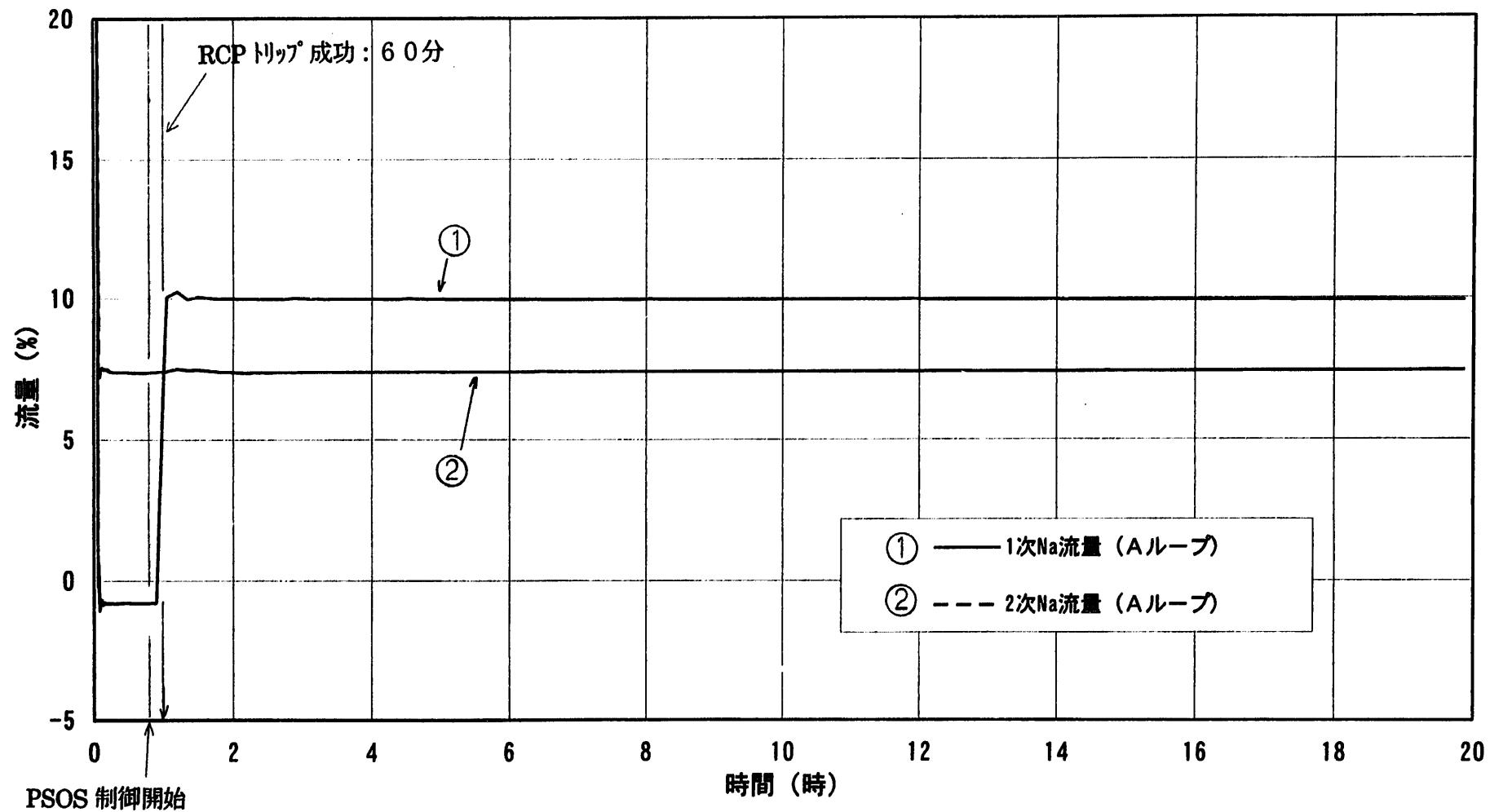


図 4.3-3(6/7) 解析結果 (L O R L - G シーケンス : (3)-2-①-B)

4.3-26

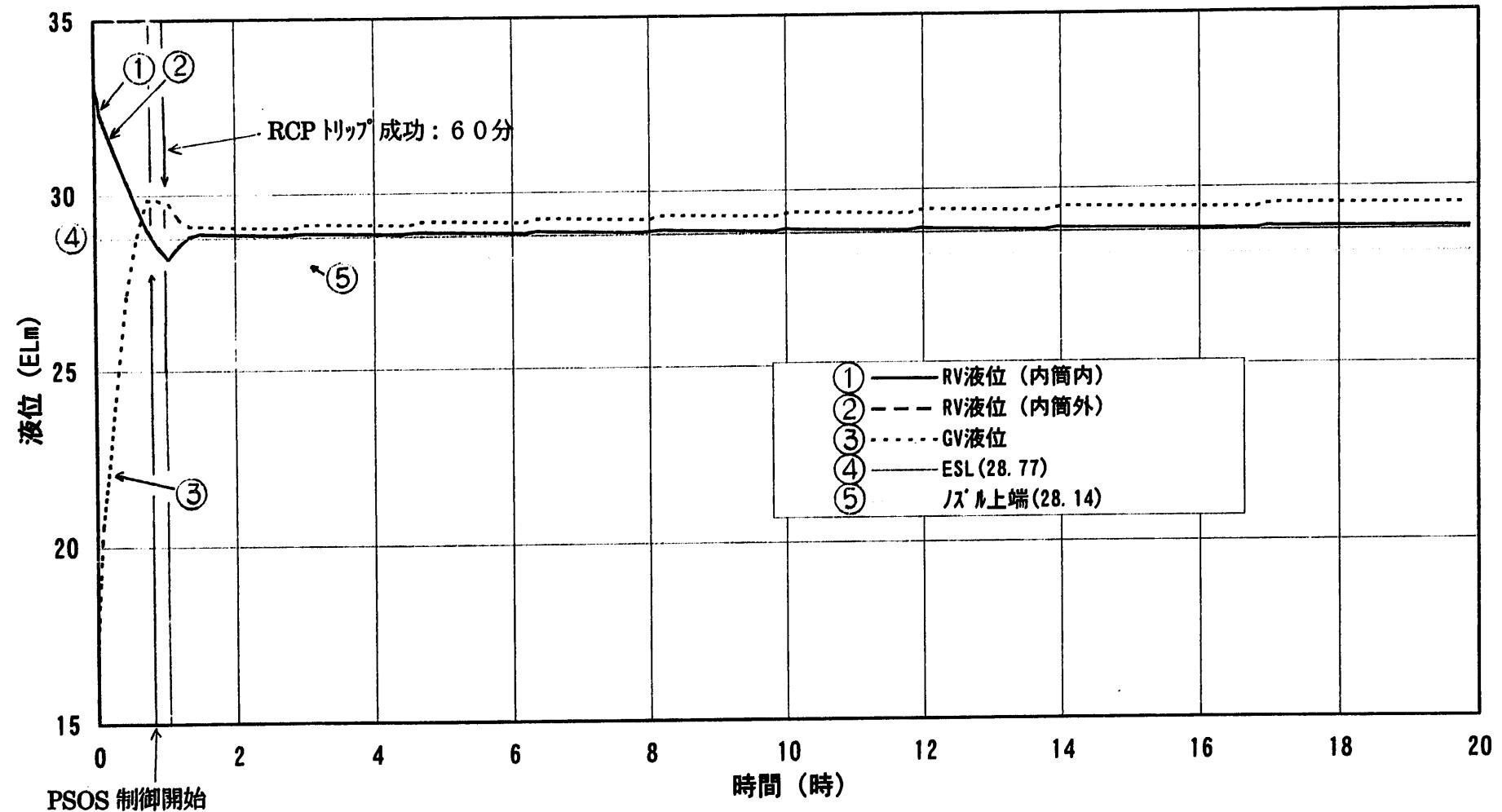


図 4.3-3(7/7) 解析結果 (LORL-G シーケンス : (3)-2-(1)-B)

#### 4. 4 LORL-I シーケンス

##### (1) 解析ケース

LORL-I シーケンスの解析一覧表を表4. 4-1 に示す。解析一覧表には各ケースの主な解析条件及び解析結果（炉容器液位が出口ノズル上端を下回る時間）を記している。また、主要な解析ケースについて解析条件の詳細を表4. 4-2 にまとめた。

LORL-I シーケンスの解析では、B ループでの  $1/4 D_t$  配管破損を想定し、CG 隔離失敗を想定する。また、主冷却系の運転状態を3 ループポンモータ運転、P SOS 起動、ACS の運転状態は  $-15^{\circ}\text{C}/\text{hr}$  としている。CG 隔離に成功する時刻をパラメトリックに3 ケース変更した解析を行っている。1 次系の放散熱については、LORL-J 同様、格納容器隔離に至るため、考慮しないこととする。したがって、LORL-I シーケンスの解析ケース数は、ベースケースを含め4 ケースである。

なお、各ケースのケース番号は、以下の要領で定めている。

(4) -□-○-△

(4) は、LORL-I シーケンスであることを示す。

□ : CG 隔離に関する分類を示す。

1 … CG 隔離失敗

2 … 隔離失敗後、隔離に成功する

○ : -

△ : 隔離失敗後、隔離に成功する時刻に関する分類を示す。

##### (2) 解析結果

各ケースの解析結果図（漏えい流量、原子炉容器廻りナトリウム温度、原子炉容器液位、カバーガス圧力等）を図4. 4-1～6 に示す。

このシーケンスでは、CG 隔離に失敗することを仮定するため、CG 圧力が低下せず、ナトリウム漏えい流量が大きくなり、原子炉容器液位は約2. 1 時間で出口ノズルの上端を下回り、サイフォンブレークに至る（ケース (4) - 1 - ①）。

隔離失敗後、CG 隔離に成功すると、原子炉容器液位の低下は緩和される。原子炉スクラム後、約4.5 分以内にCG 隔離に成功すれば、原子炉容器液位は出口ノズル上端を下回らない結果が得られている。

表4. 4-1 解析一覧表 (LORL-I シーケンス)

LORL-I		解析条件			解析結果	
解析ケース名	主冷却系 運転状態	ACS 運転状態	CG隔離(*1)	PSOS 運転状態	炉容器液位 ≤出口ノズル上端	バウンダリ温度 ≥650°C
(4)-1-(1)	3ループ PM運転	-15°C/hr	失敗	起動	2. 1 hr	-
(4)-2-(1)-A			60分 後隔離成功		2. 8 hr	-
(4)-2-(1)-B			30分 後隔離成功		- hr	-
(4)-2-(1)-C			45分 後隔離成功		- hr	-
(4)-2-(1)-D			40分 後隔離成功		- hr	-
(4)-2-(1)-E			50分 後隔離成功		4. 3 hr	-

(\*1) 原子炉トリップからの経過時間

表 4.4-2(1/2) 解析条件表 (L O R L - I シーケンス : (4) - 1 - ①)

ケースの概要		(2)-1-①にカバーガス系隔離失敗を重ねる							
トリップ条件		R / V 液位低							
崩壊熱	ノミナル	シクリンク	考慮	空調	停止	放熱	考慮		
系統・機器		ループ	時間で変更する条件						
1 次主ポンプ	A								
	B								
	C								
1 次系 P M	A								
	B								
	C								
2 次主ポンプ	A								
	B								
	C								
2 次系 P M	A								
	B								
	C								
A C S	運転条件の概要		(2) - 1 - ①と同じ						
	C弁	A							
		B							
		C							
	D弁	A							
		B							
		C							
	ペーン・ ダンパ	A							
		B							
		C							
メンテナンス冷却系									
1 次オーバーフロー系									
カバーガス系隔離		失敗 (カバーガス圧一定制御)							
備考									

表 4.4-2(2/2) 解析条件表 (LORL-I シーケンス: (4) - 2 - ① - N)

ケースの概要		(4)-1-①でカバーガス系隔離にN h後、成功する。													
トリップ条件		R / V 液位低													
崩壊熱	ノミナル	ショリンク	考慮	空調	停止	放熱	考慮								
系統・機器	ループ	時間で変更する条件													
1次主ポンプ	A														
	B														
	C														
1次系 PM	A														
	B														
	C														
2次主ポンプ	A														
	B														
	C														
2次系 PM	A														
	B														
	C														
ACS	運転条件の概要		(2) - 1 - ①と同じ												
	C弁	A													
		B													
		C													
	D弁	A													
		B													
		C													
	ペーン・ダンパ	A													
		B													
		C													
メンテナンス冷却系															
1次オーバーフロー系															
カバーガス系隔離		失敗 (カバーガス圧一定制御)。N h後、隔離成功。													
備考															

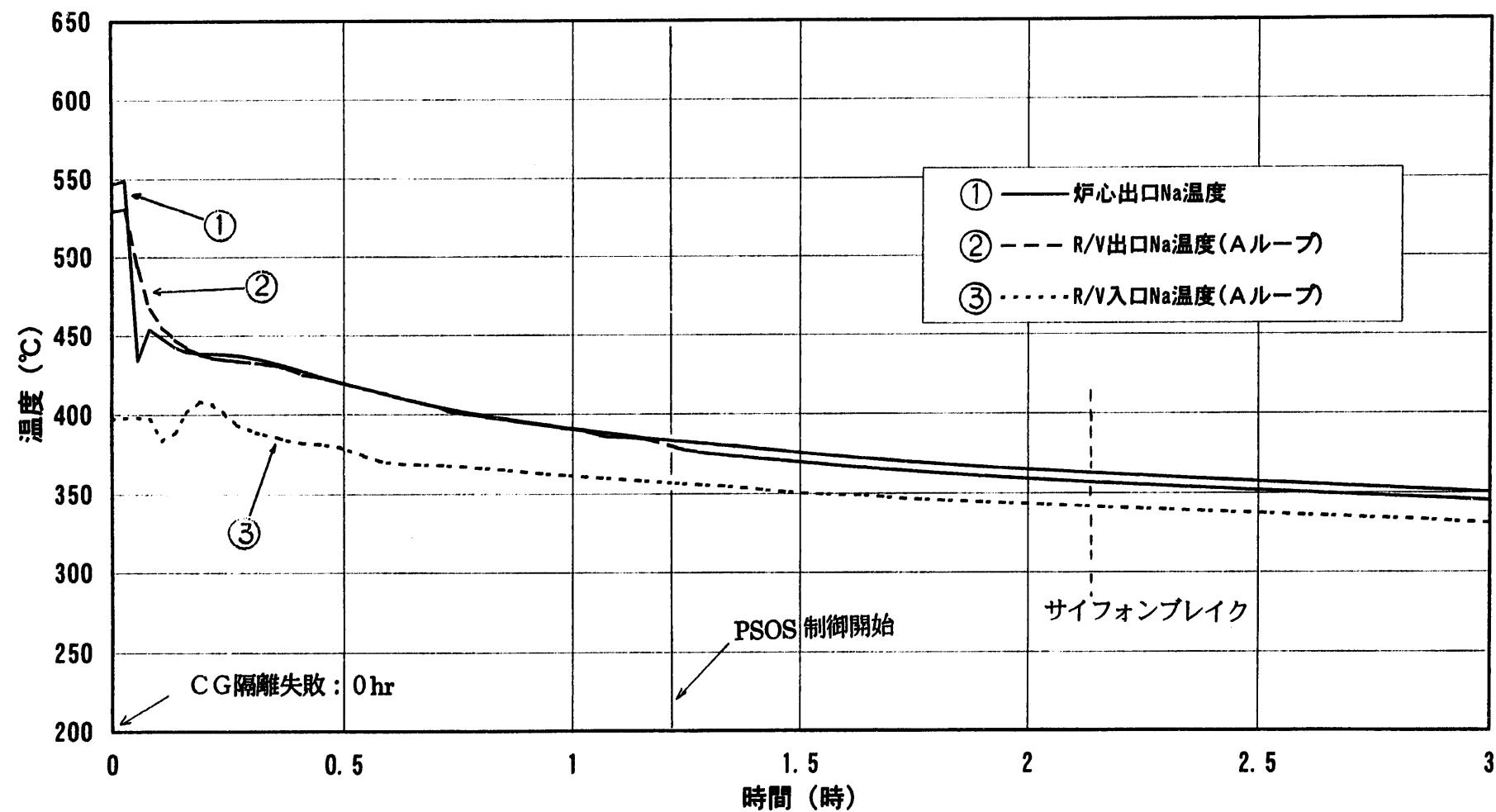


図 4.4-1(1/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス : (4)-1-(1))

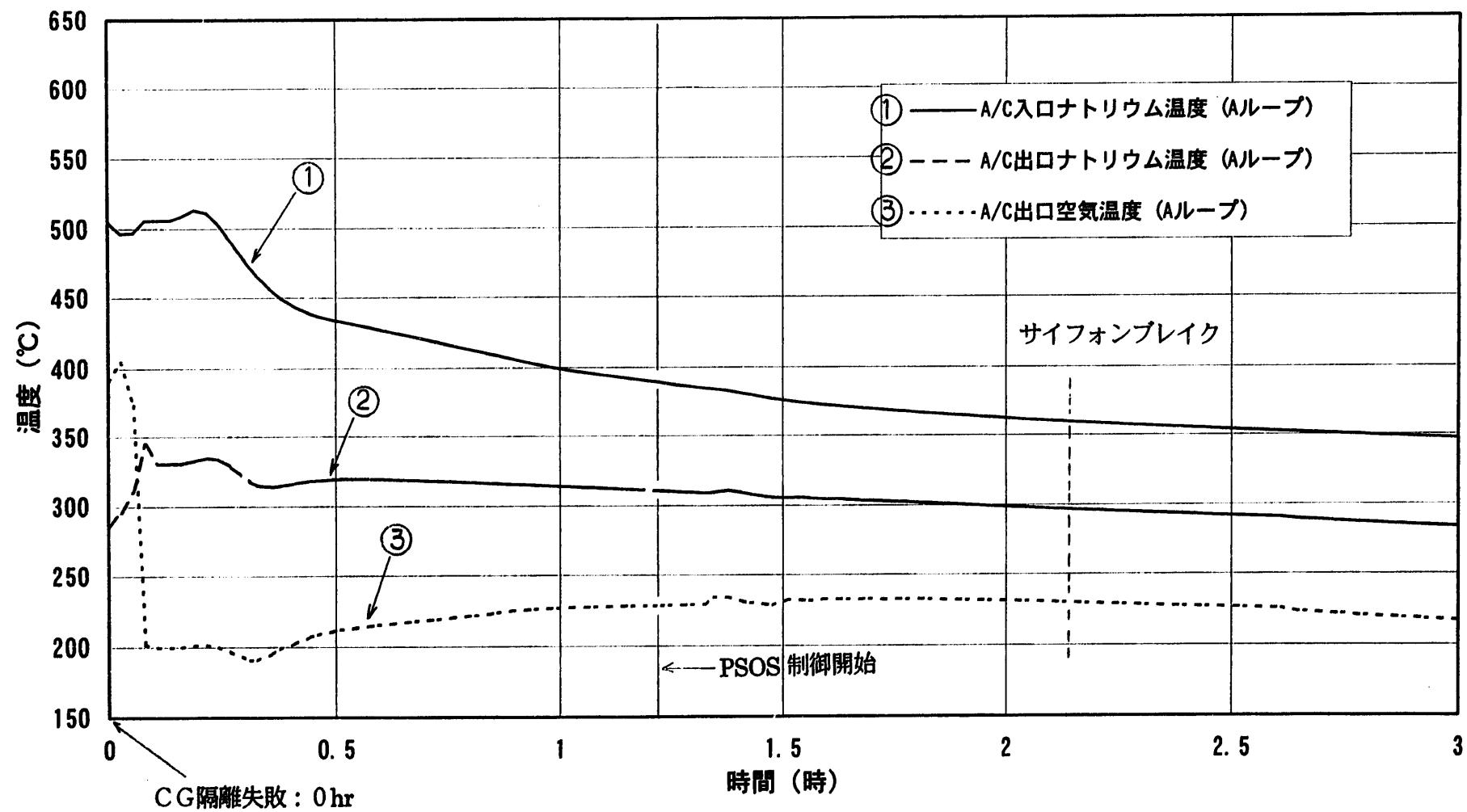


図 4.4-1(2/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス : (4)-1-(1))

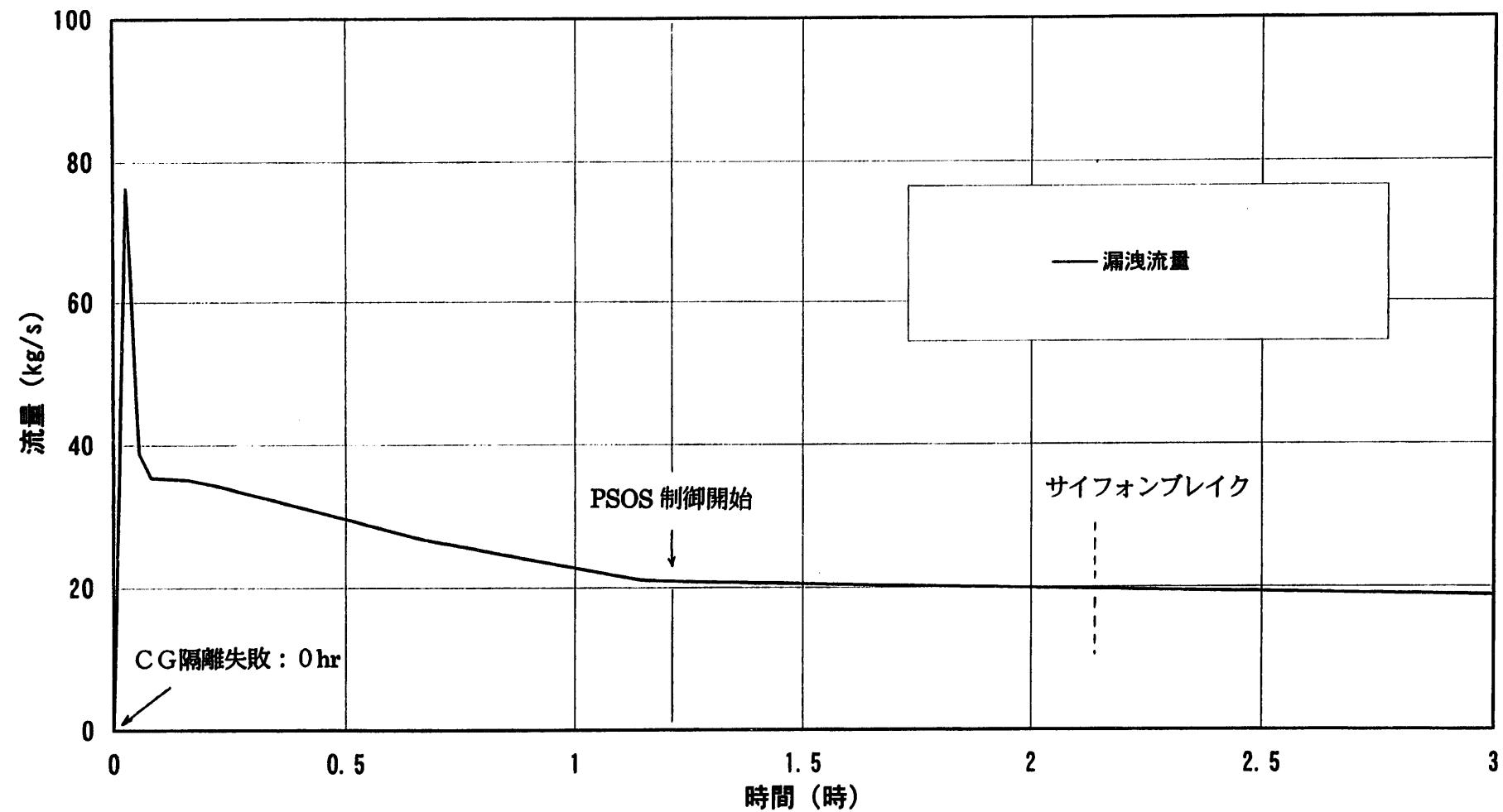


図 4.4-1(3/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス : (4)-1-①)

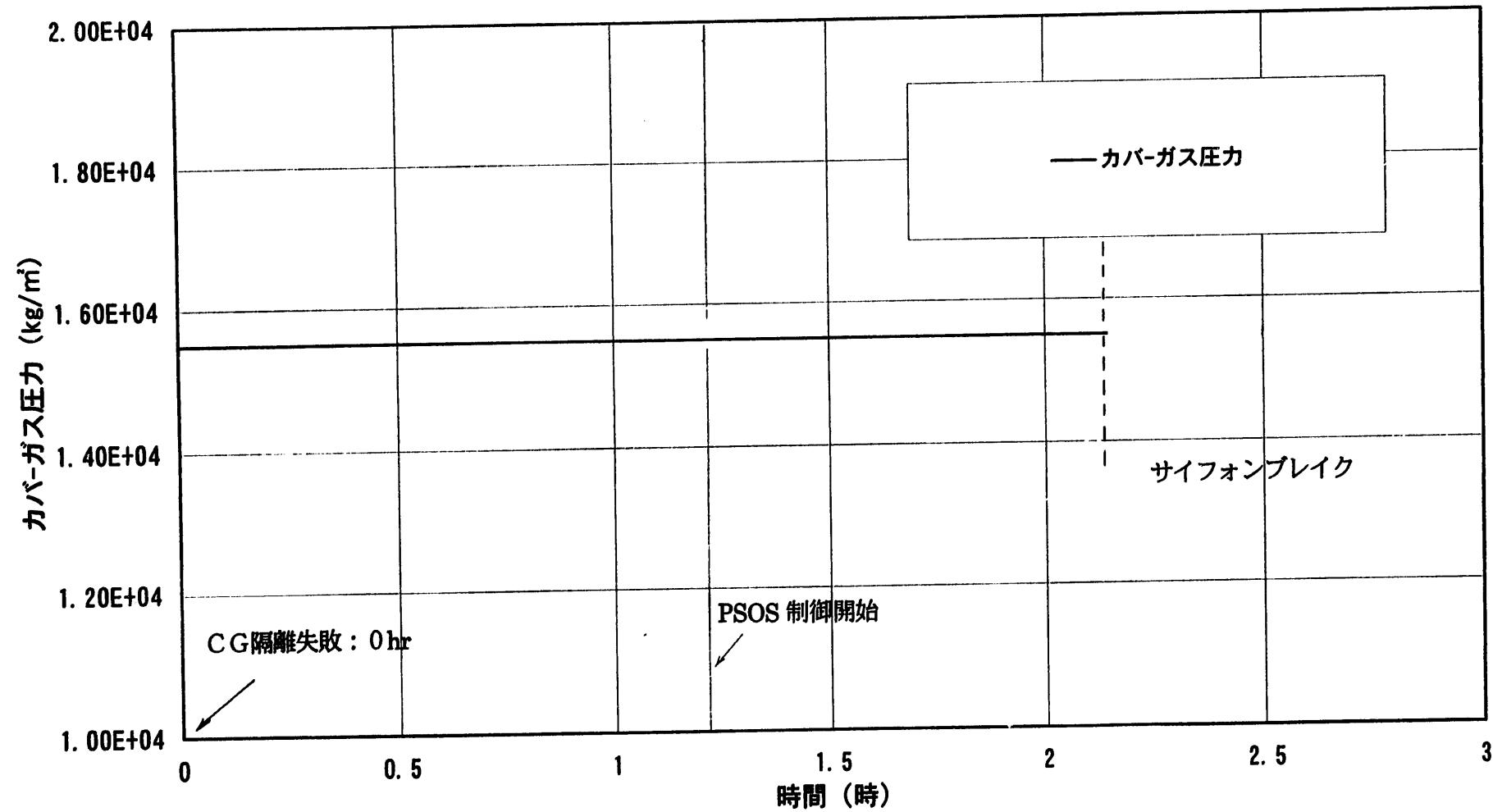


図 4.4-1(4/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス : (4)-1-(①))

4.4-9

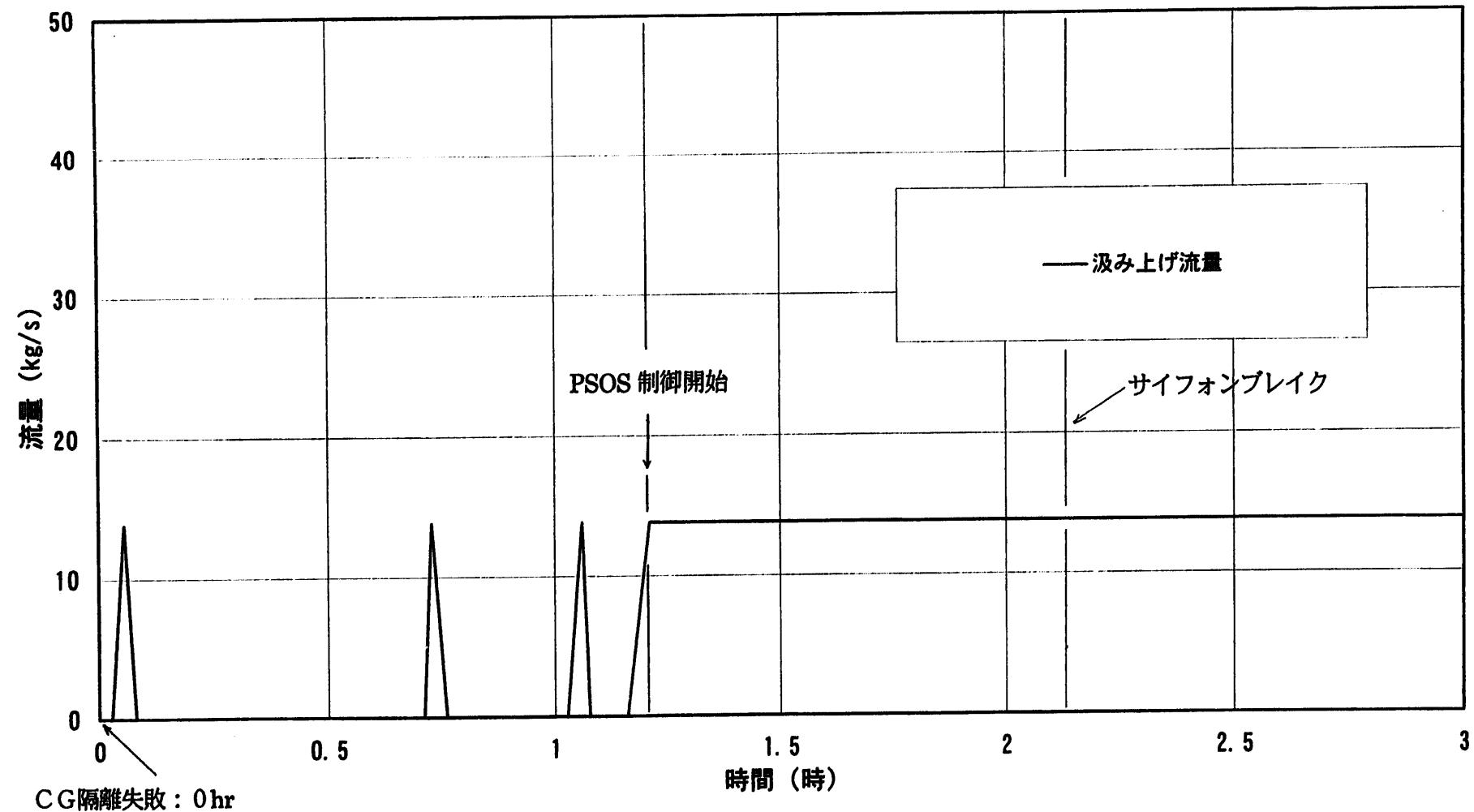


図 4.4-1(5/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス : (4)-1-(1))

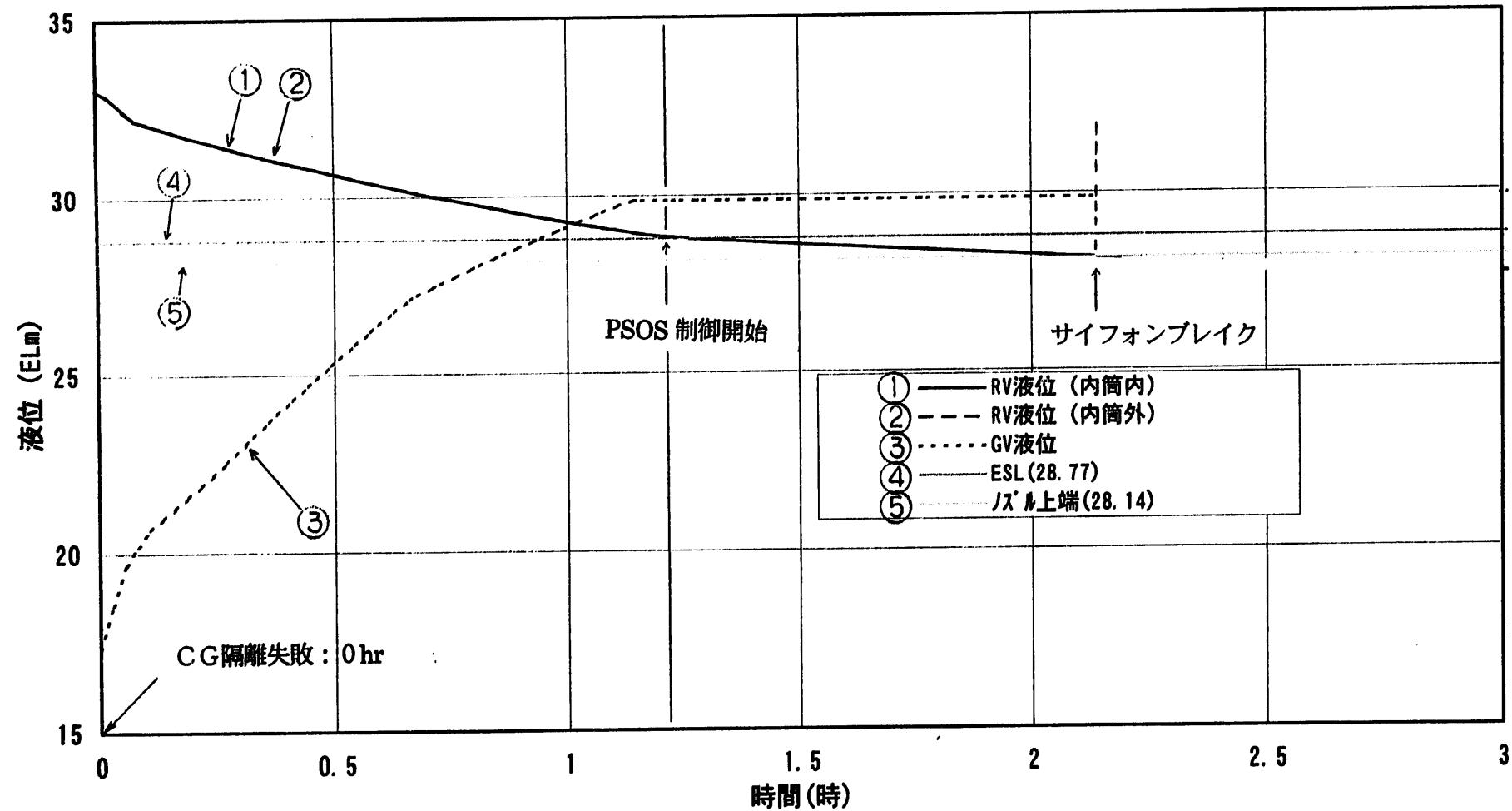


図 4.4-1(6/6) 解析結果 (LORL-I シーケンス : (4)-1-(1))

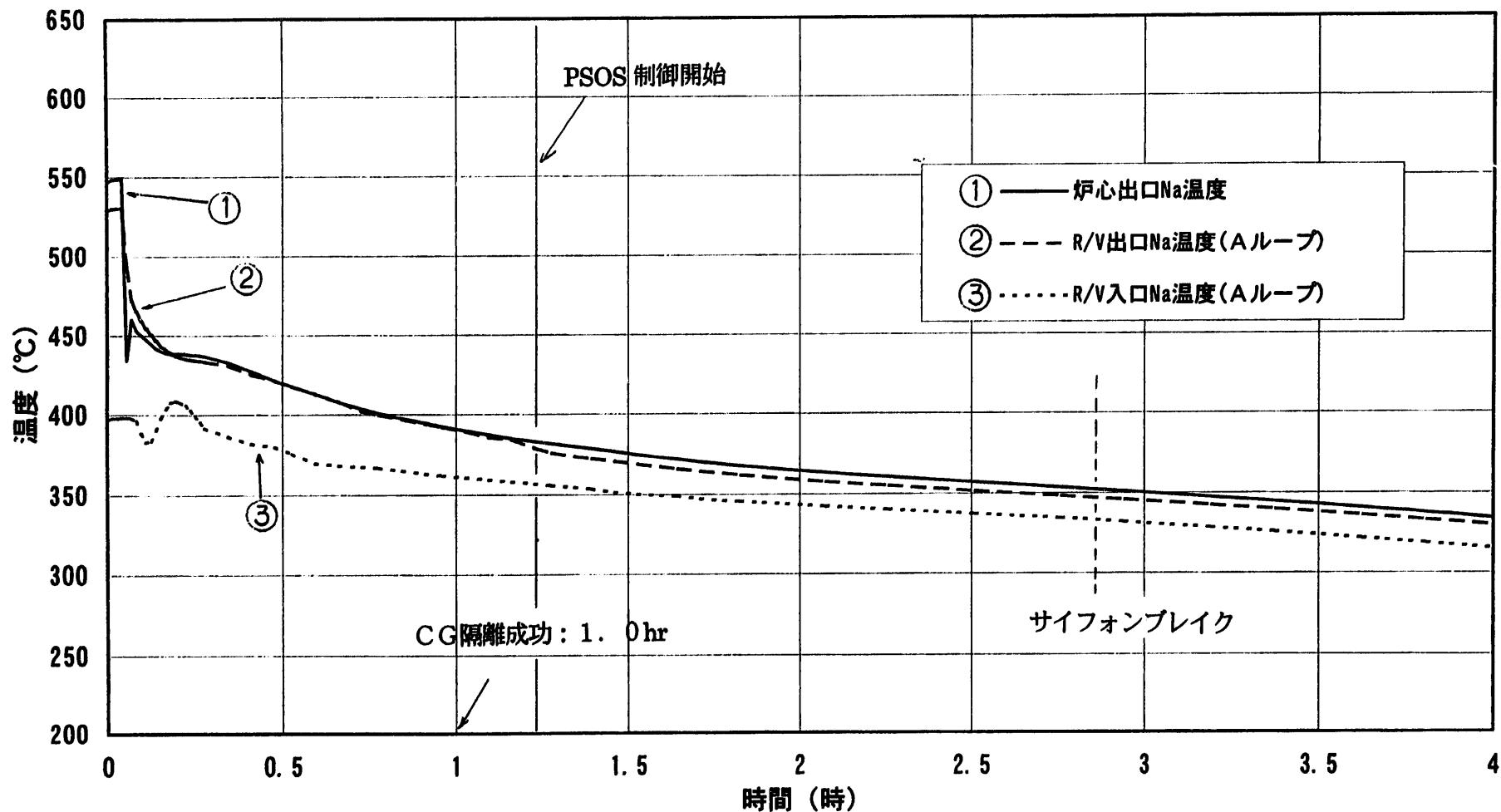


図 4.4-2(1/6) 解析結果 (LORL-I シーケンス : (4)-2-(1)-A)

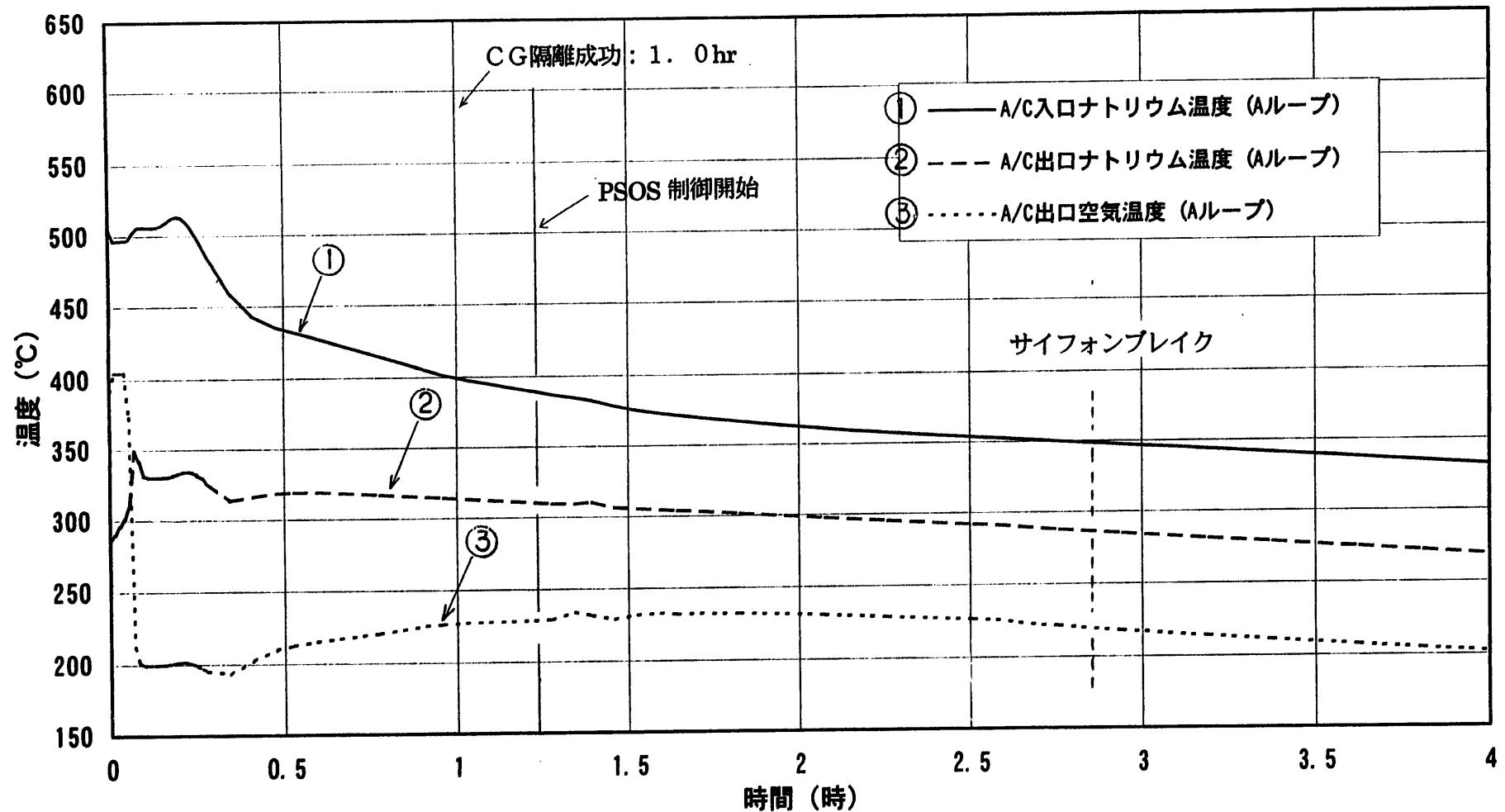


図 4.4-2(2/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス: (4)-2-①-A)

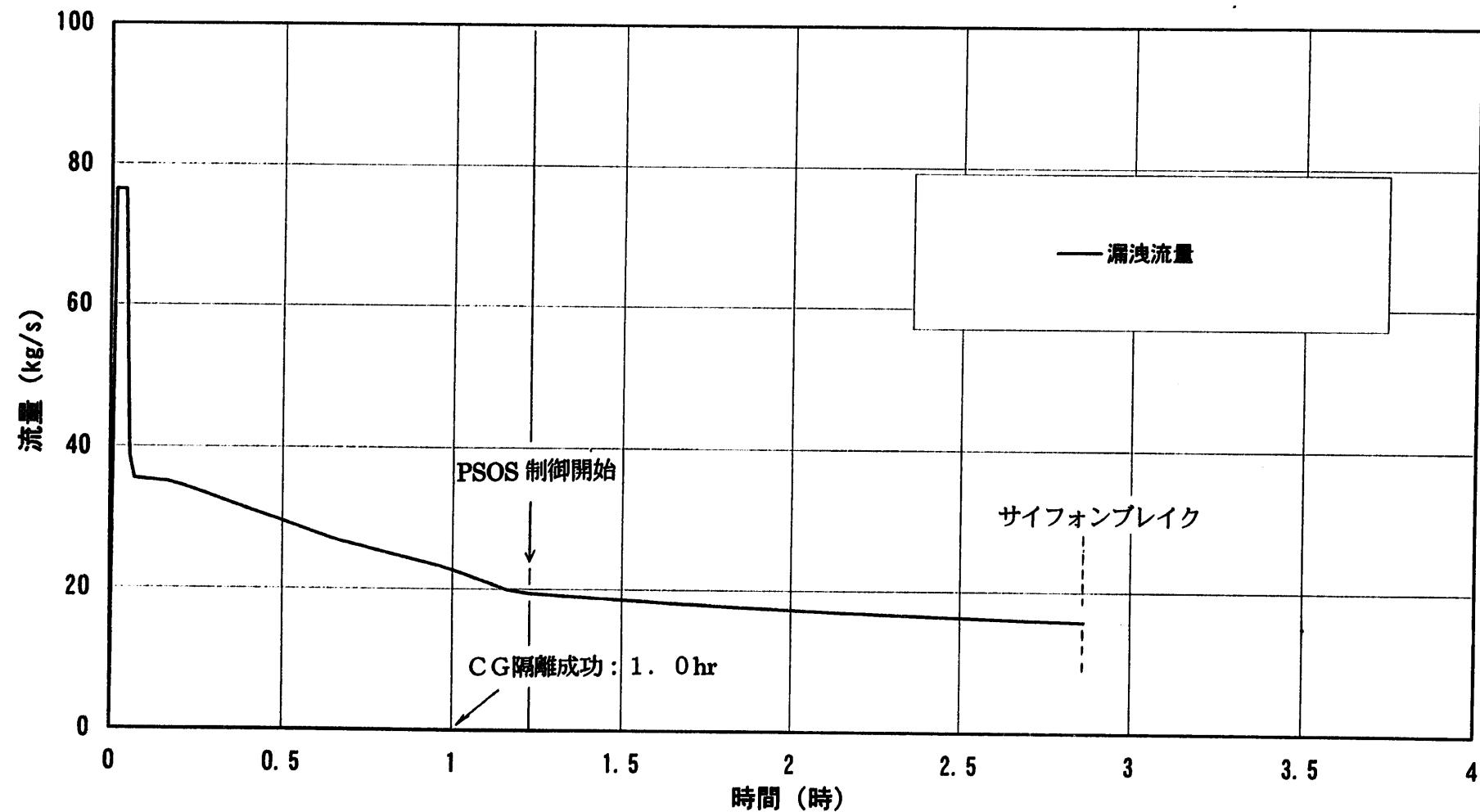


図 4.4-2(3/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス: (4)-2-(1)-A)

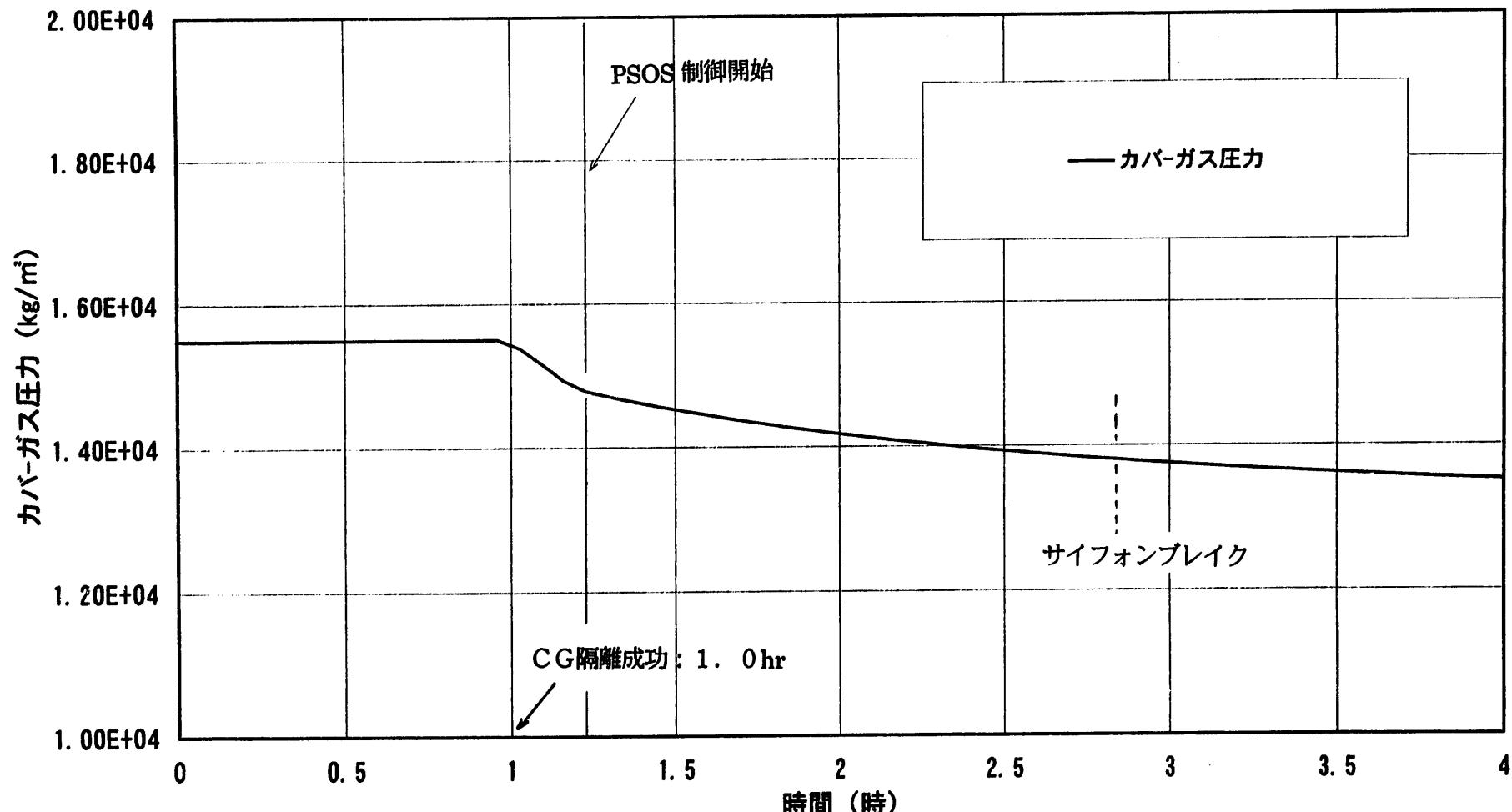


図 4.4-2(4/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス: (4)-2-①-A)

4.4-15

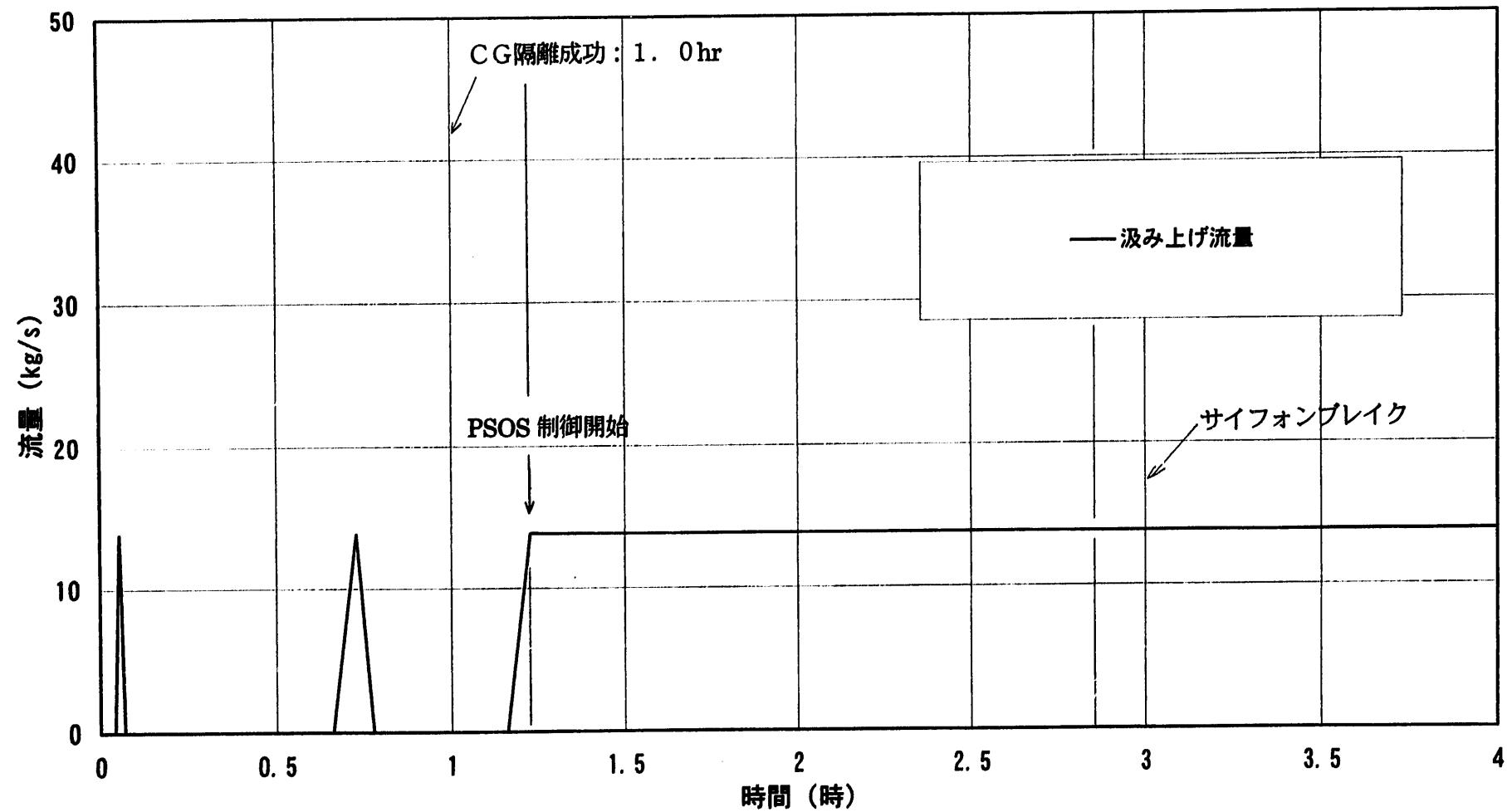


図 4.4-2(5/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス: (4)-2-(1)-A)

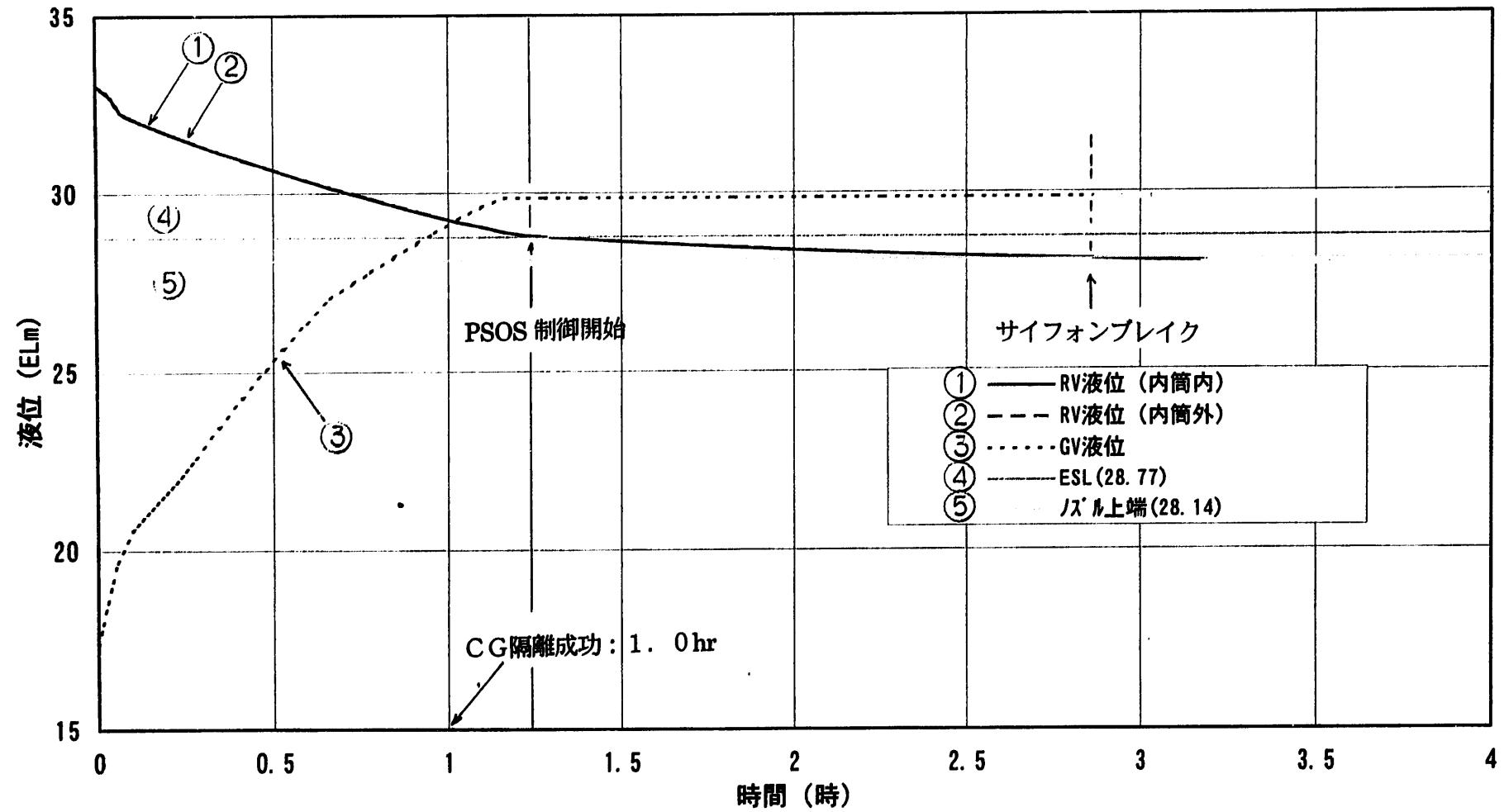


図 4.4-2(6/6) 解析結果 (LORL-I シーケンス : (4)-2-(1)-A)

4.4.17

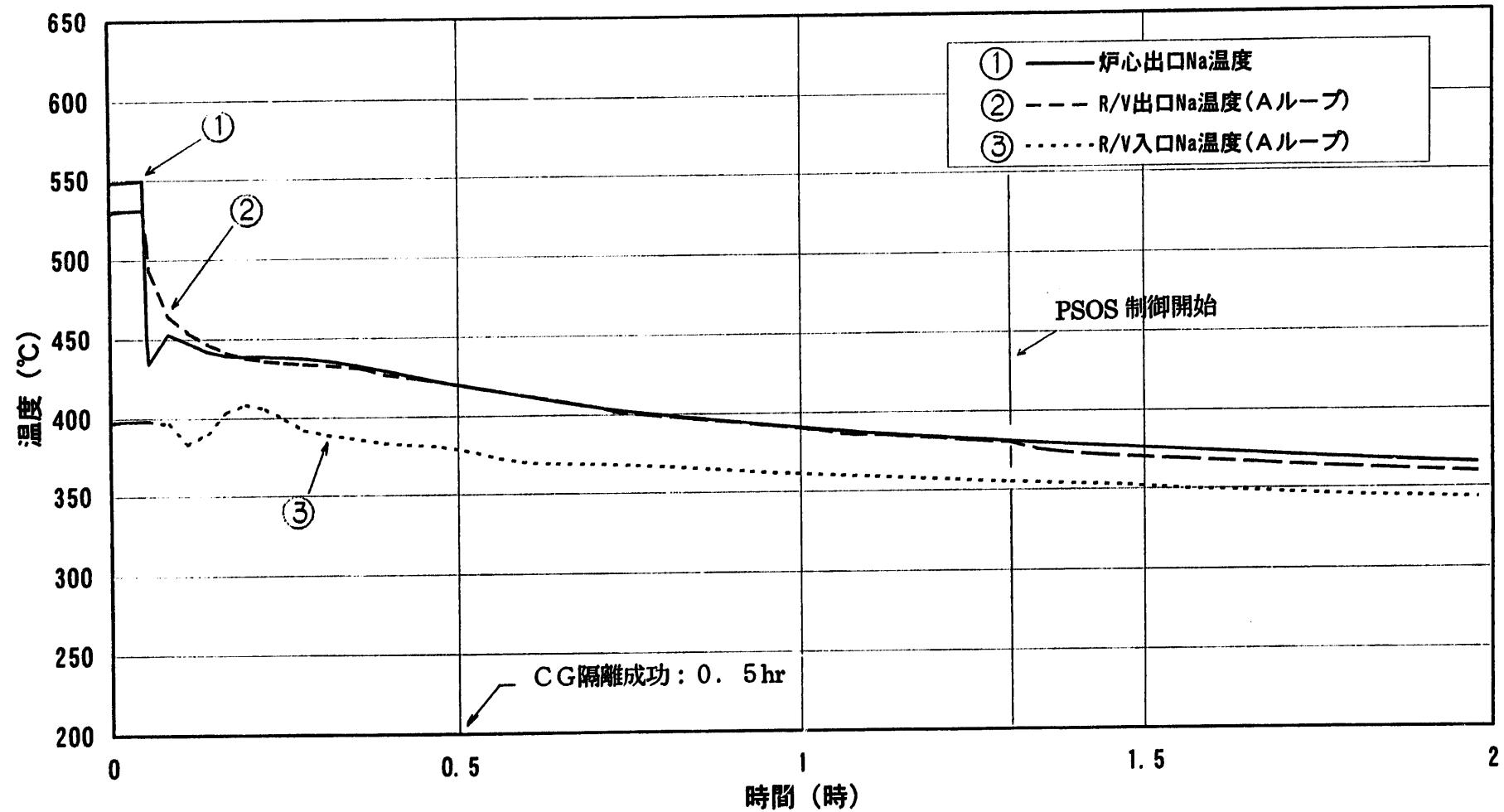


図 4.4-3(1/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス: (4)-2-①-B)

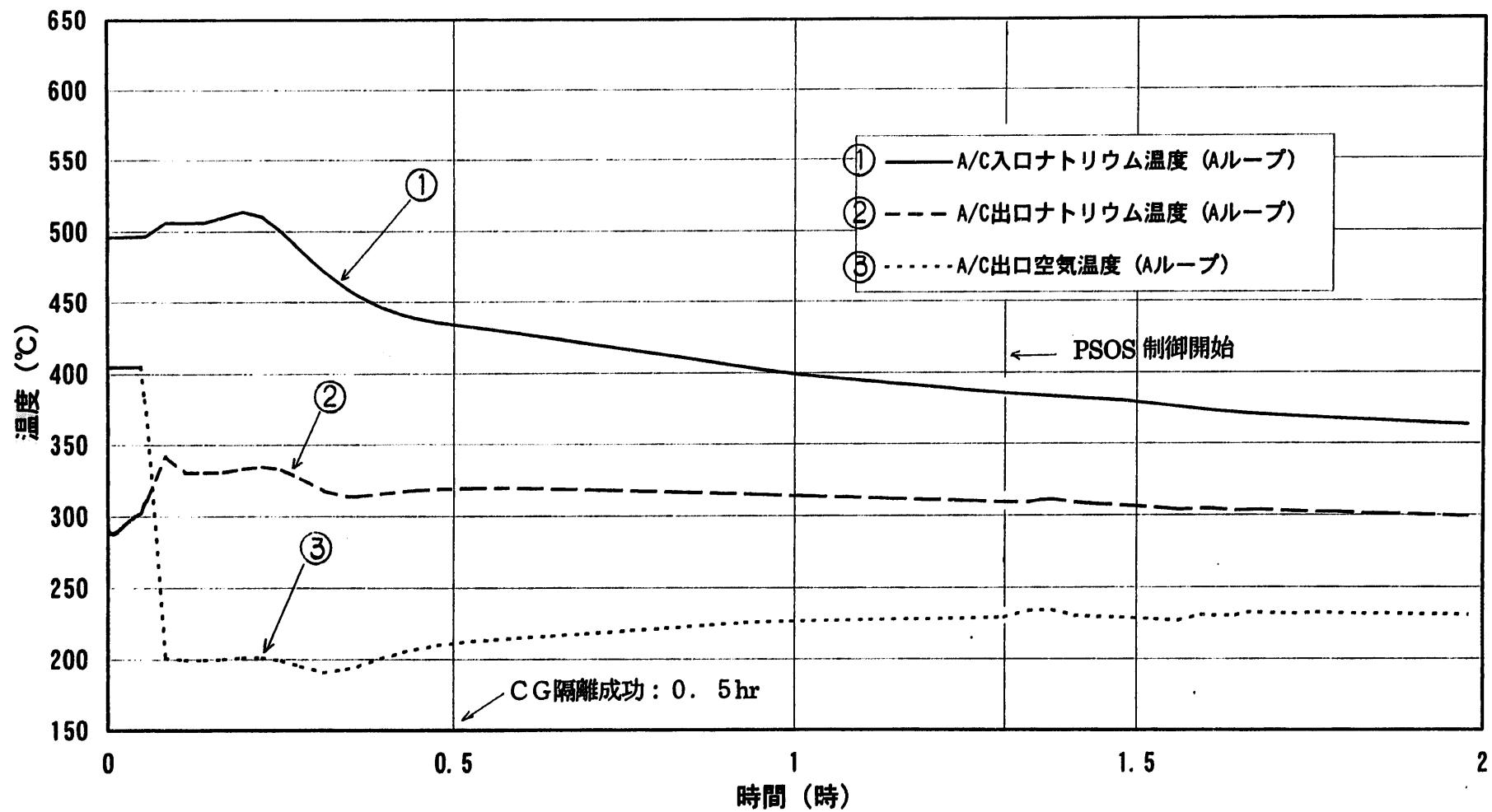


図 4.4-3(2/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス : (4) - 2 - ① - B )

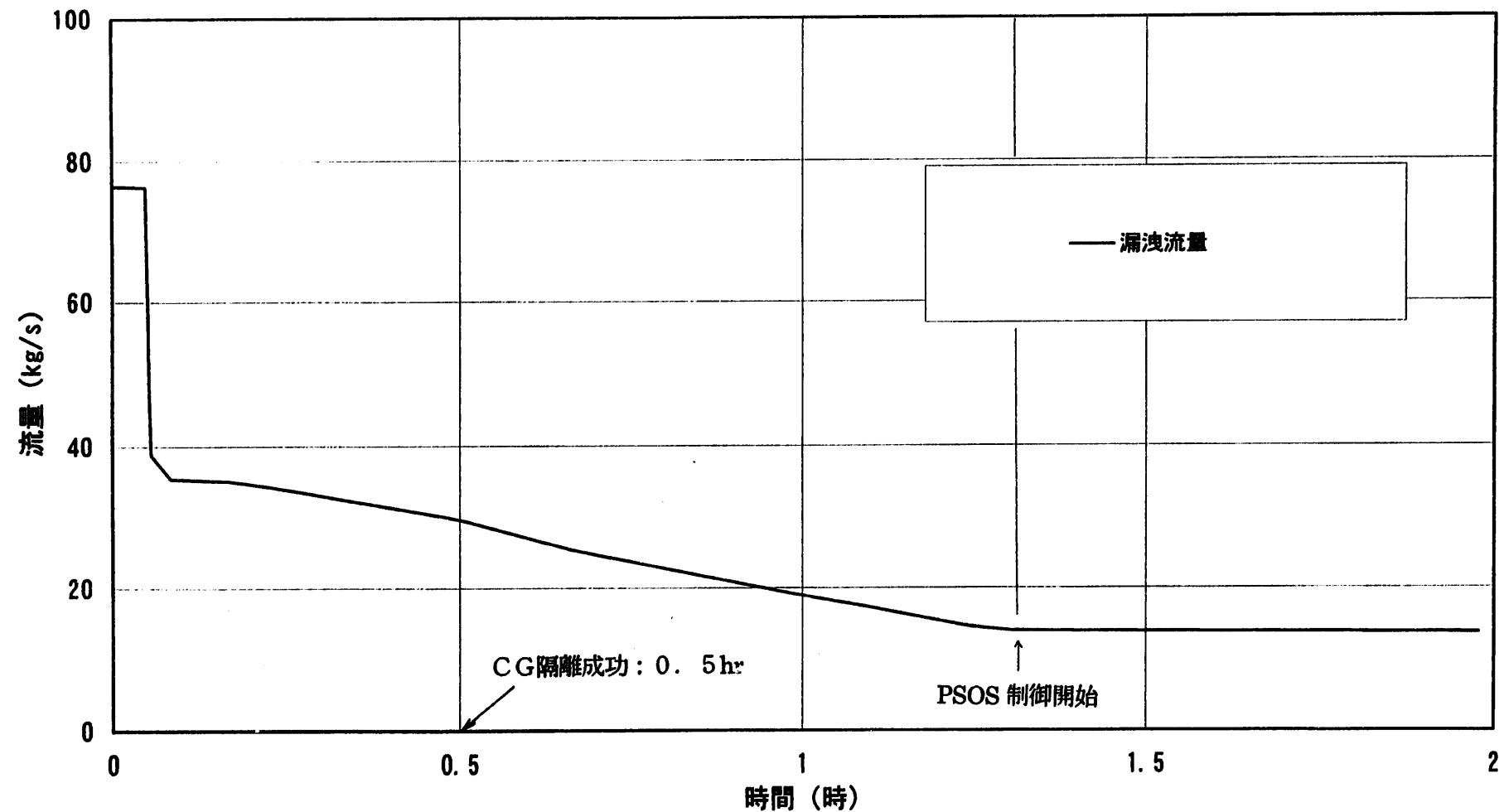


図 4.4-3(3/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス : (4)-2-①-B)

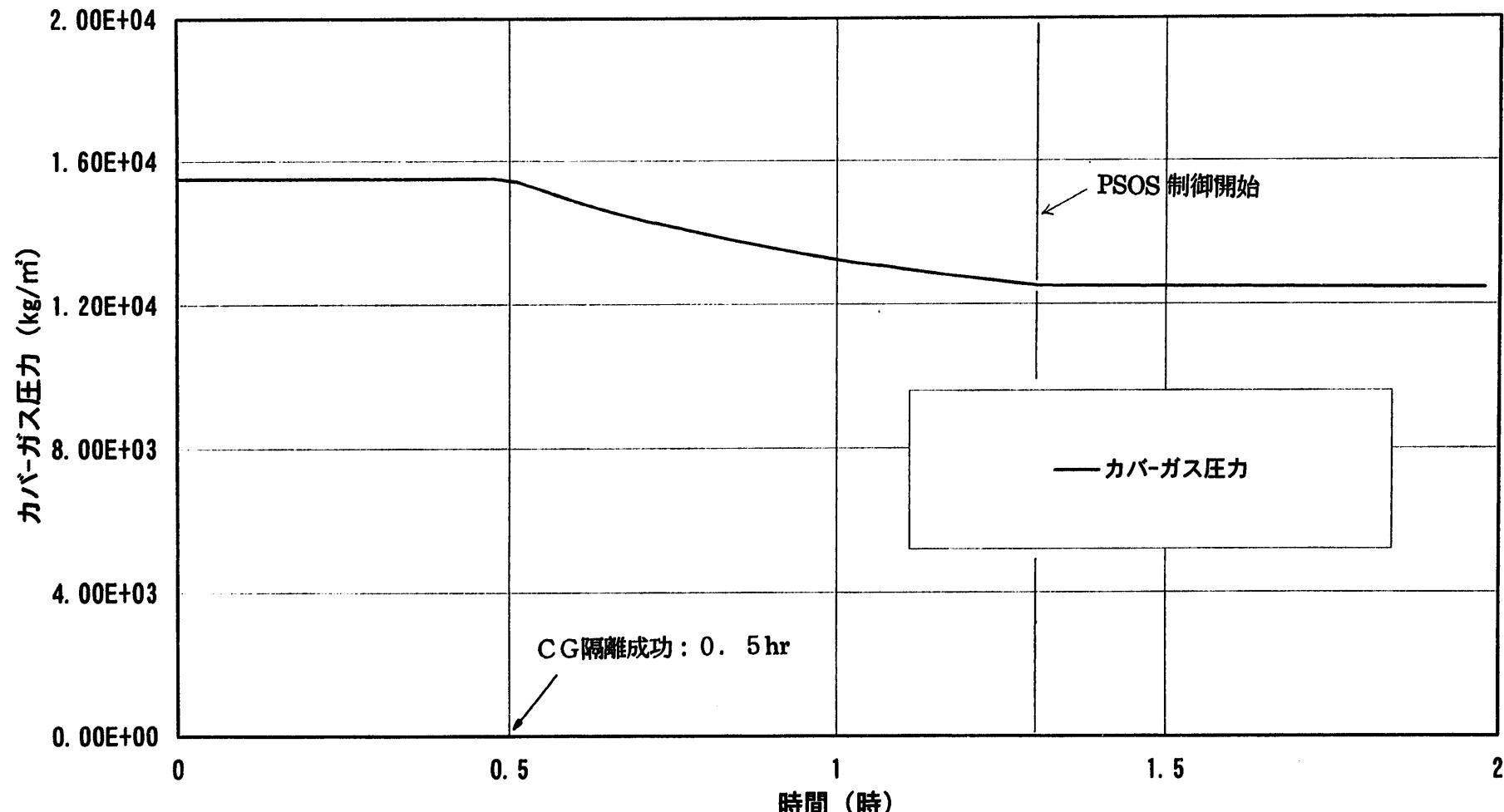


図 4.4-3(4/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス: (4)-2-①-B)

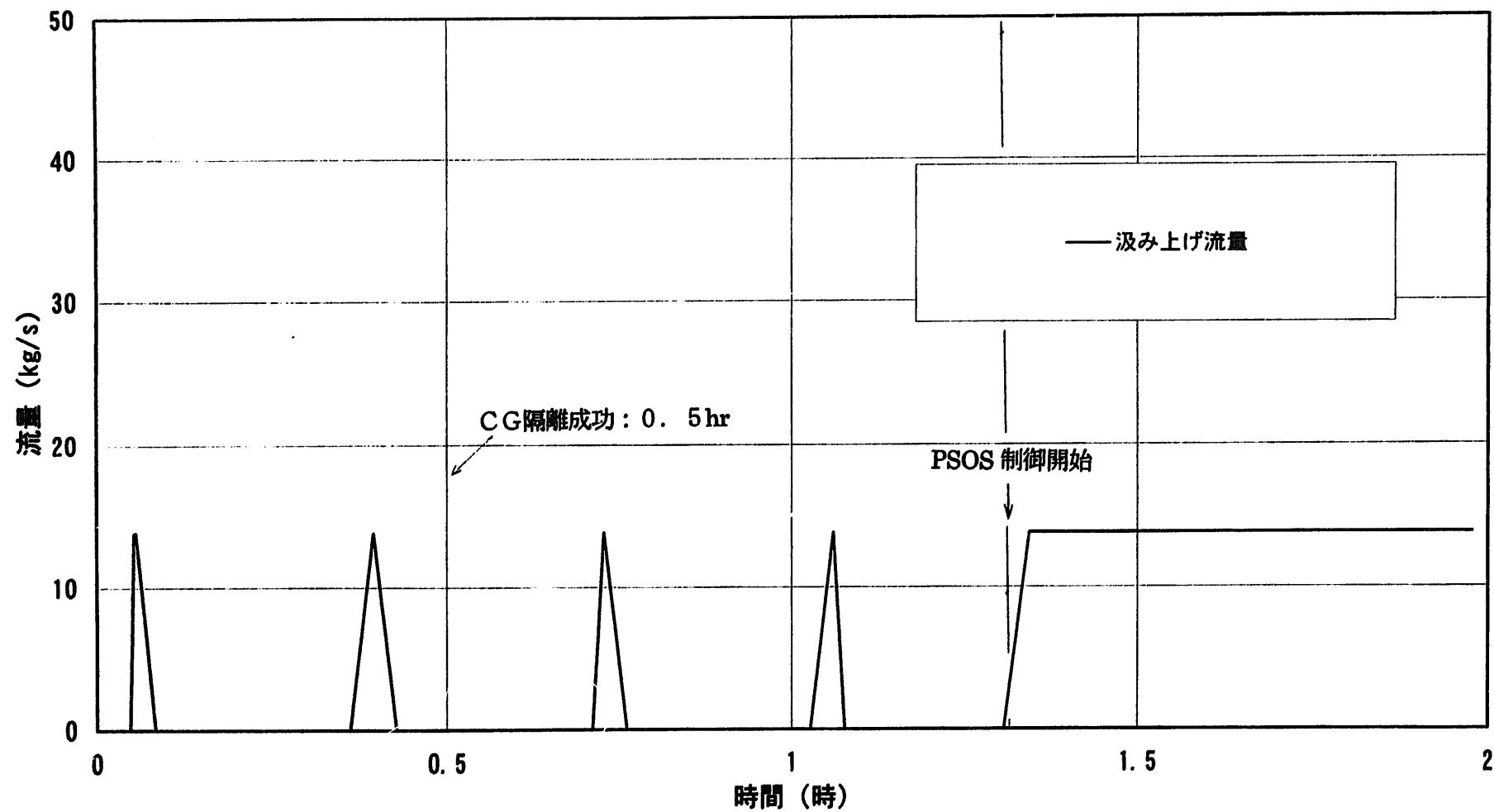


図 4.4-3(5/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス: (4)-2-(1)-B)

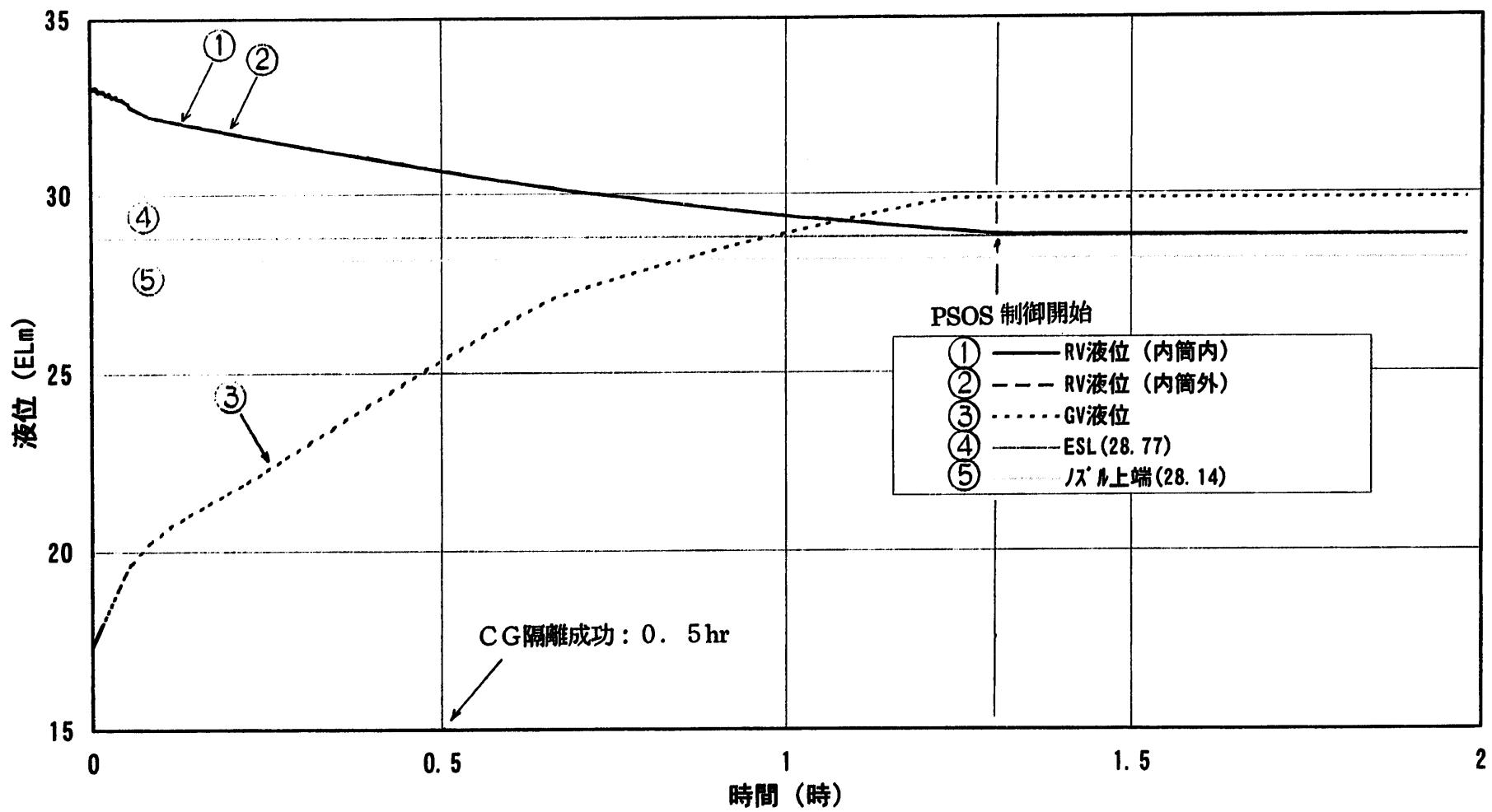


図 4.4-3(6/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス: (4)-2-①-B)

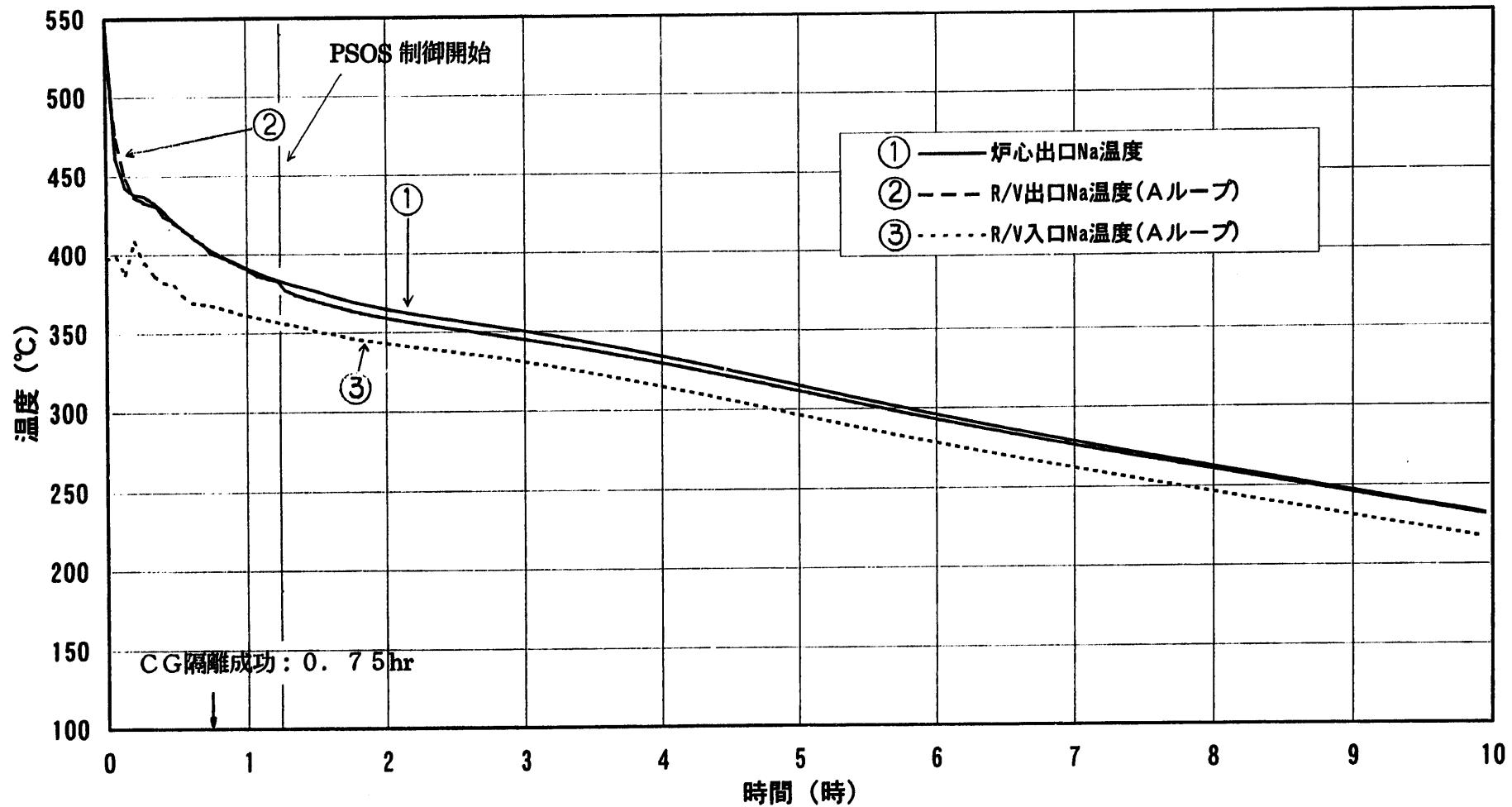
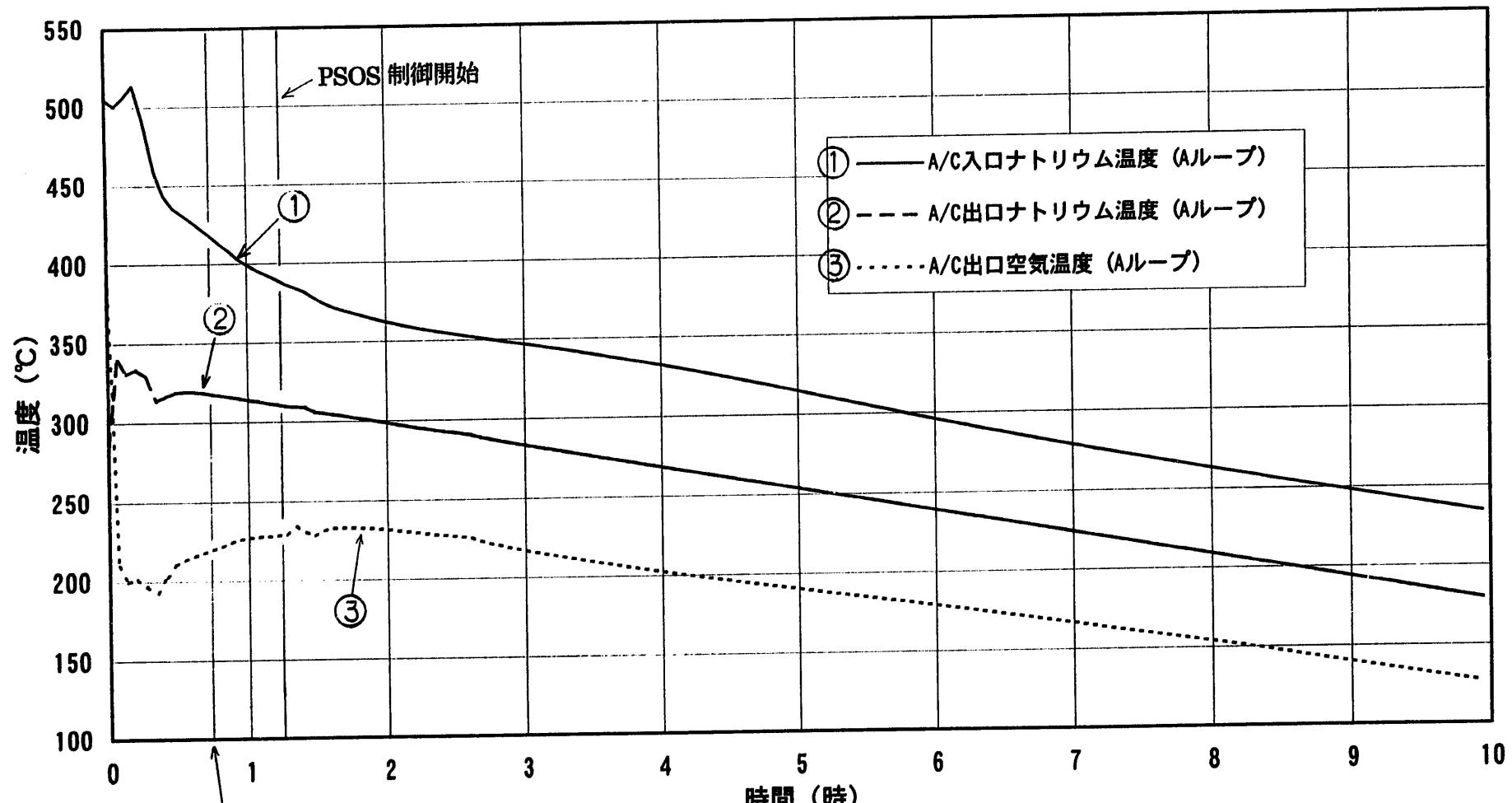


図 4.4-4(1/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス: (4)-2-(1)-C)



CG隔離成功 : 0. 75 hr

図 4.4-4(2/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス : (4)-2-①-C)

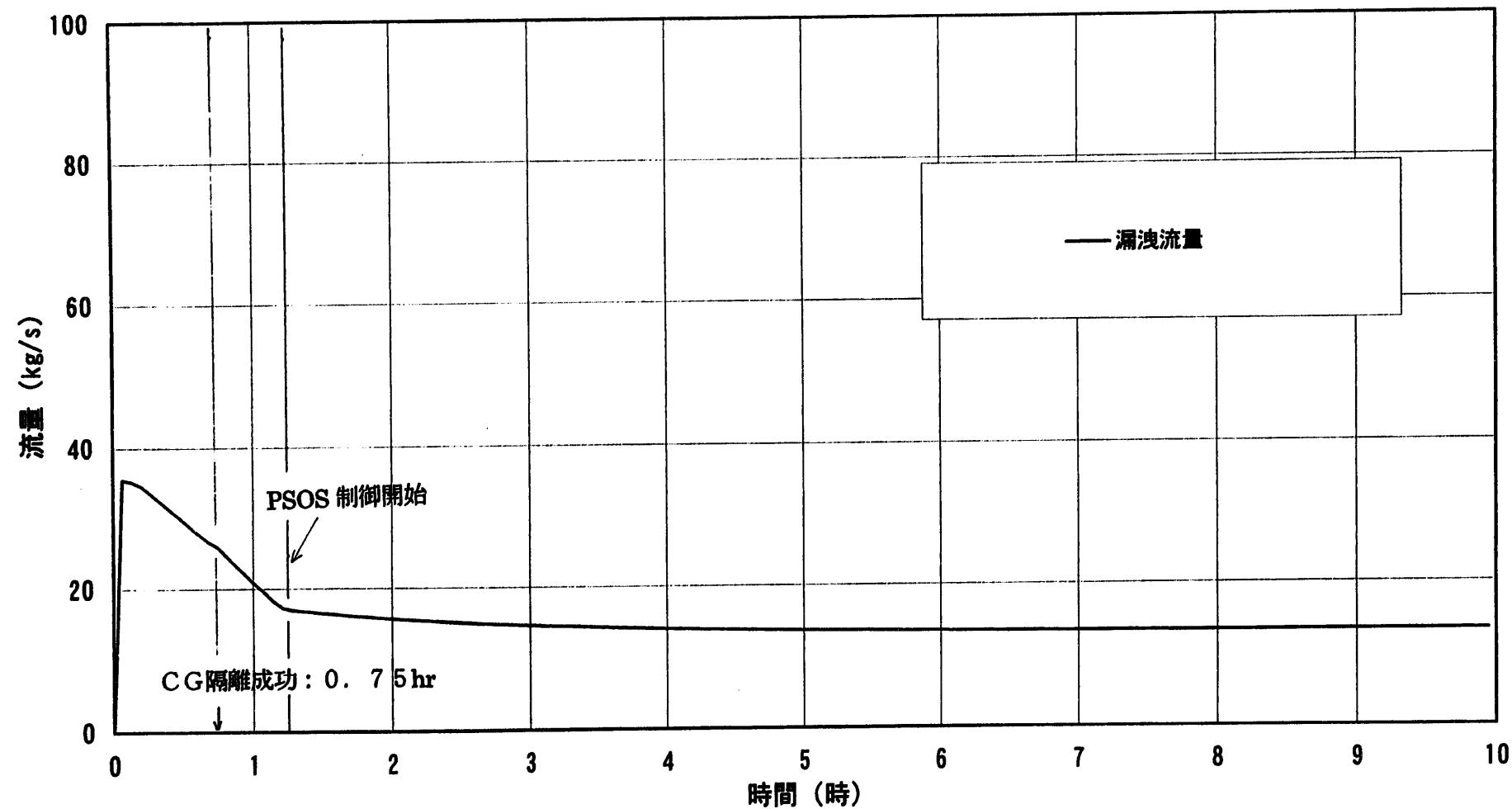


図 4.4-4(3/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス : (4)-2-①-C)

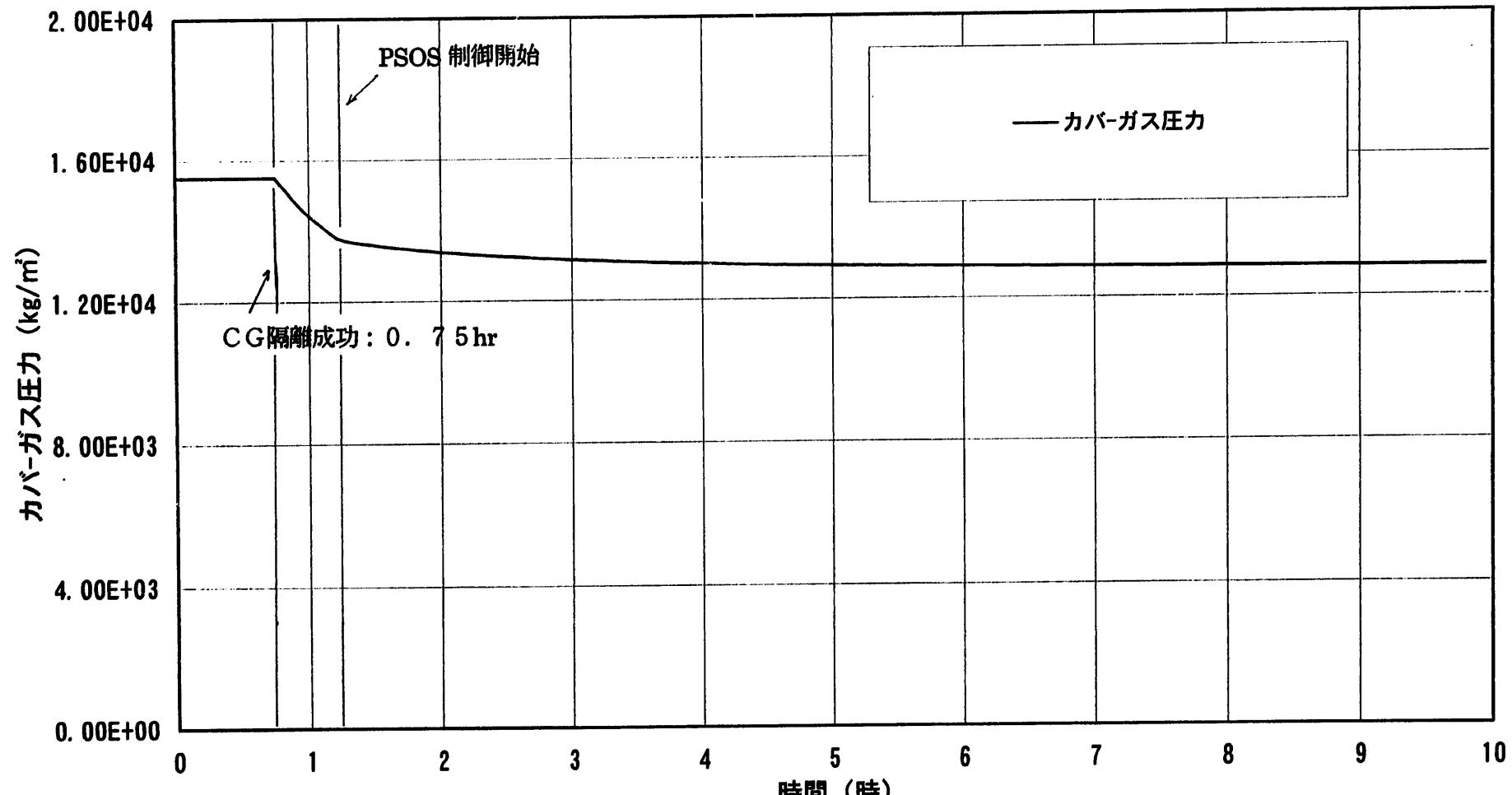


図 4.4-4(4/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス : (4)-2-①-C)

4.4-27

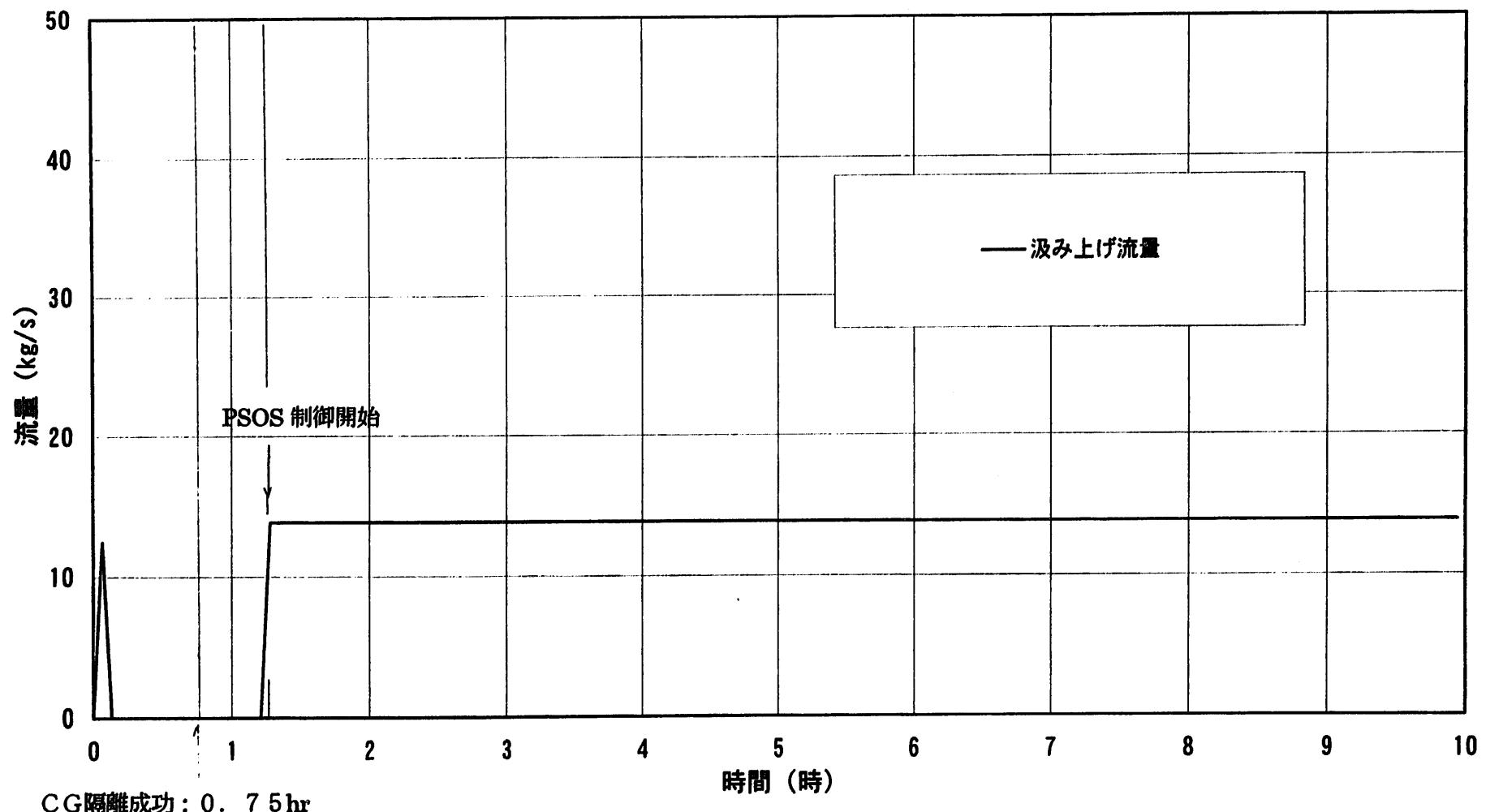


図 4.4-4(5/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス: (4)-2-(1)-C)

4.4.28

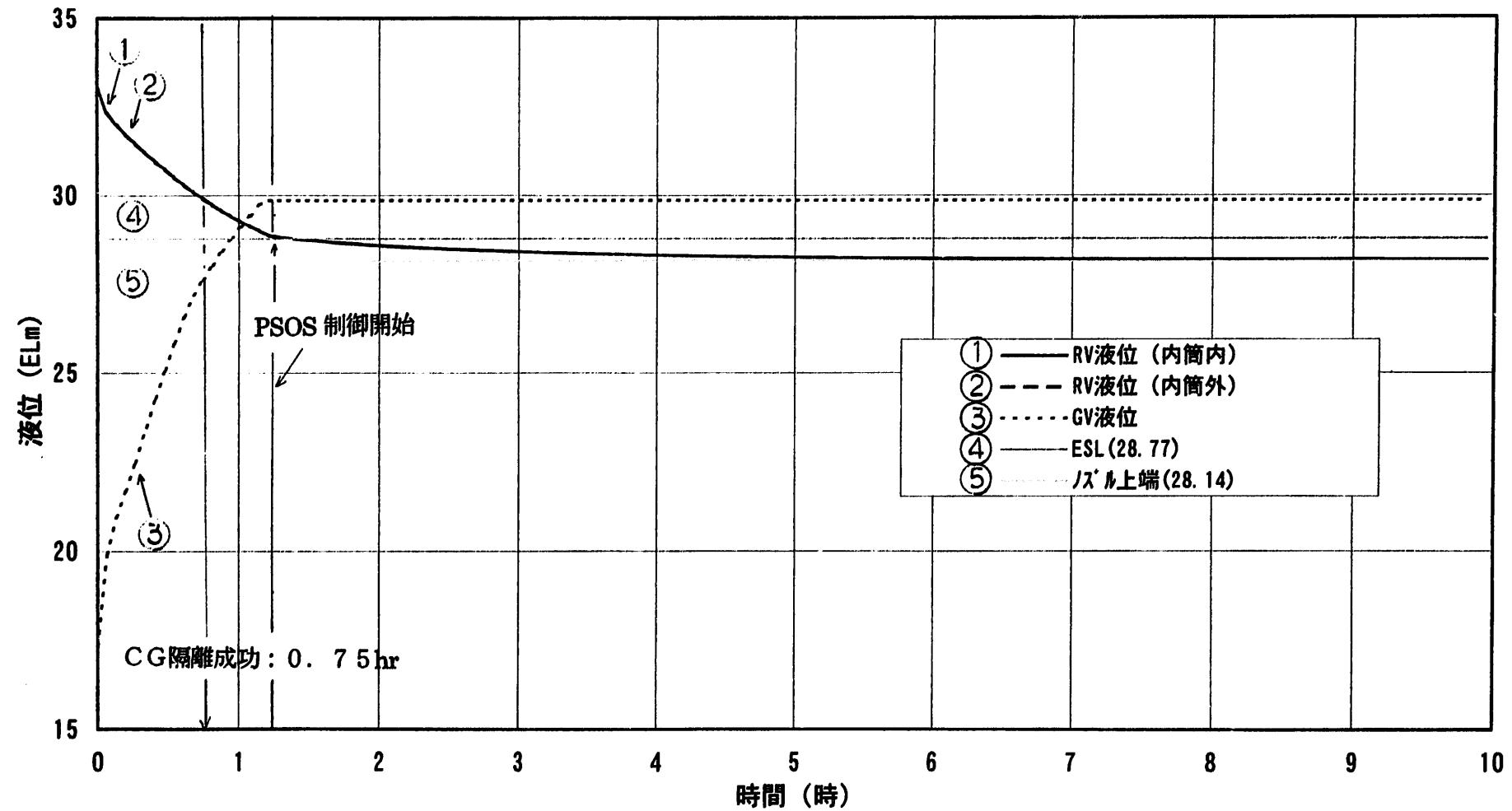


図 4.4-4(6/6) 解析結果 (L O R L - I シーケンス: (4)-2-①-C)

4.4-29

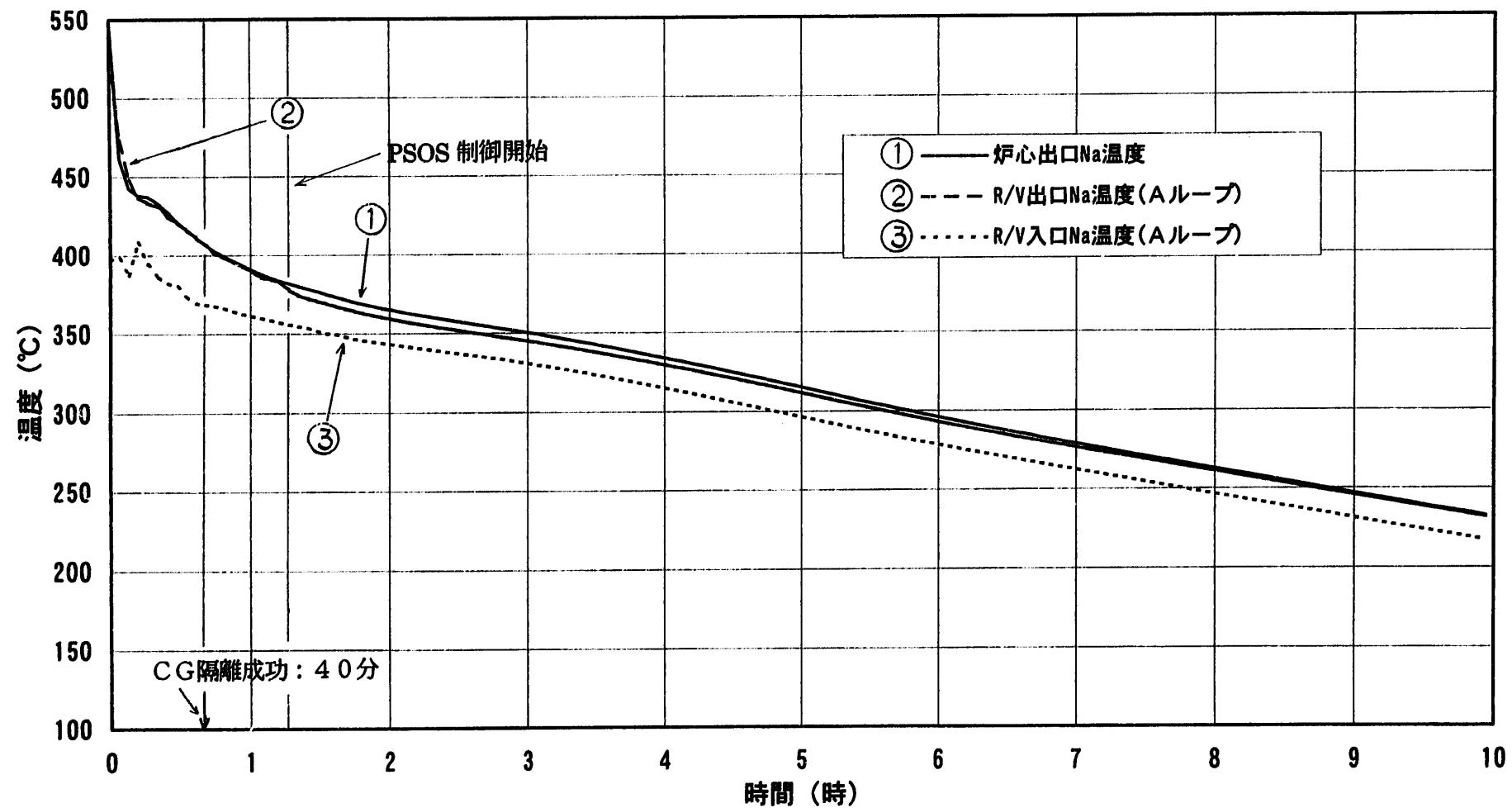


図 4.4-5(1/6) 解析結果 (LORL-I シーケンス: (4)-2-(1)-D)

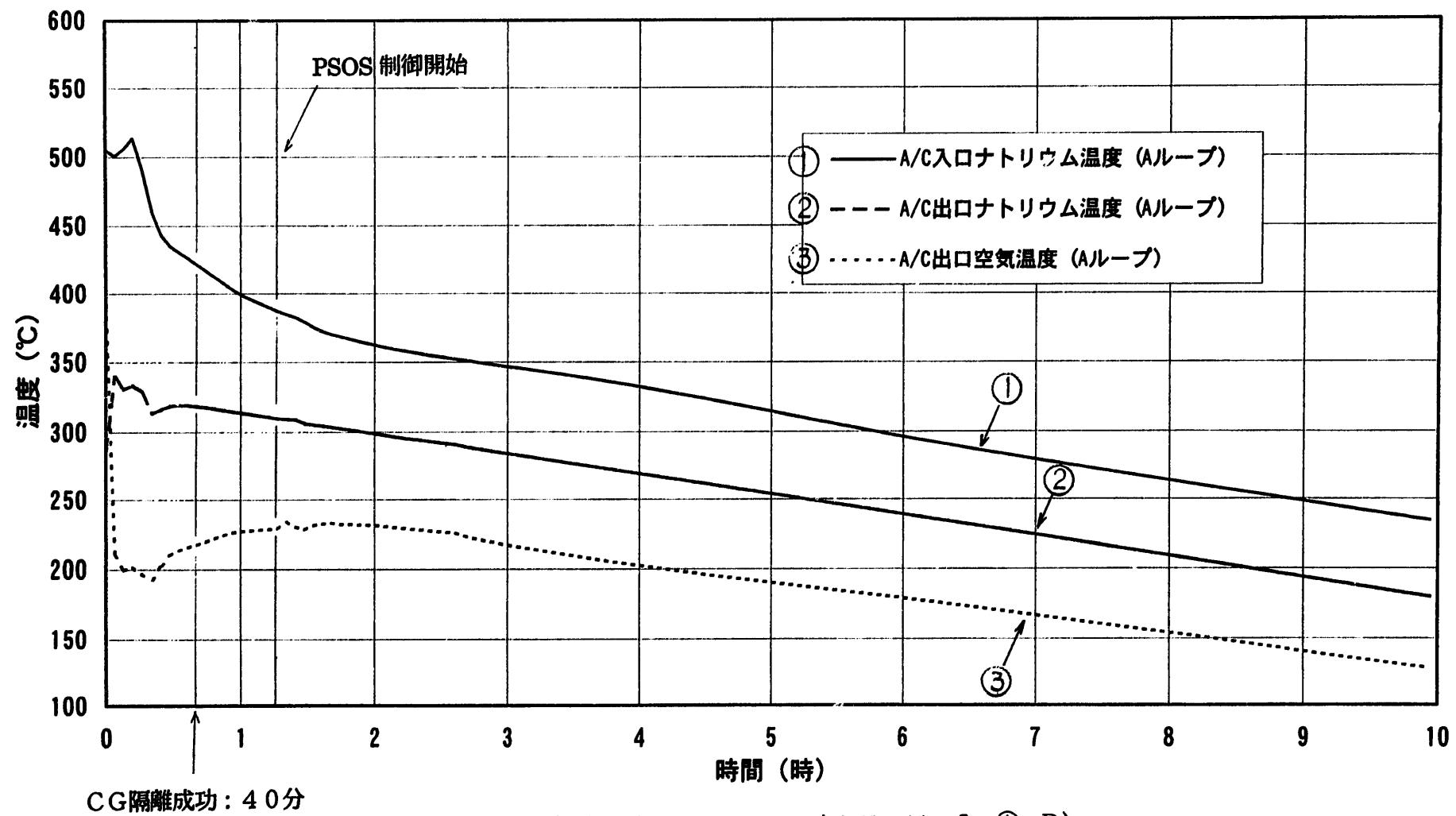


図 4.4-5(2/6) 解析結果 (LORL-I シーケンス: (4)-2-(1)-D)

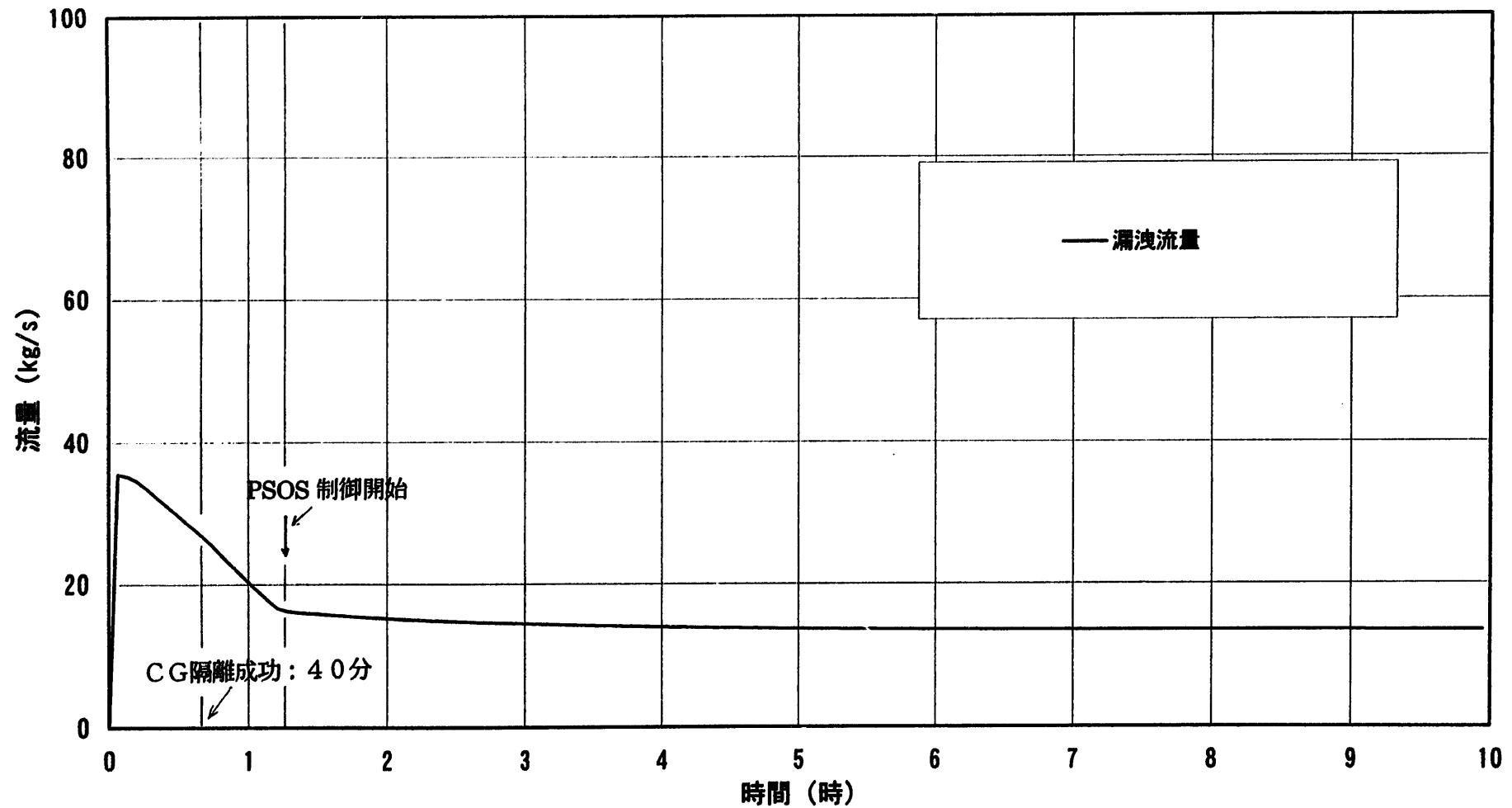


図 4.4-5(3/6) 解析結果 (LORL-I シーケンス: (4)-2-①-D)

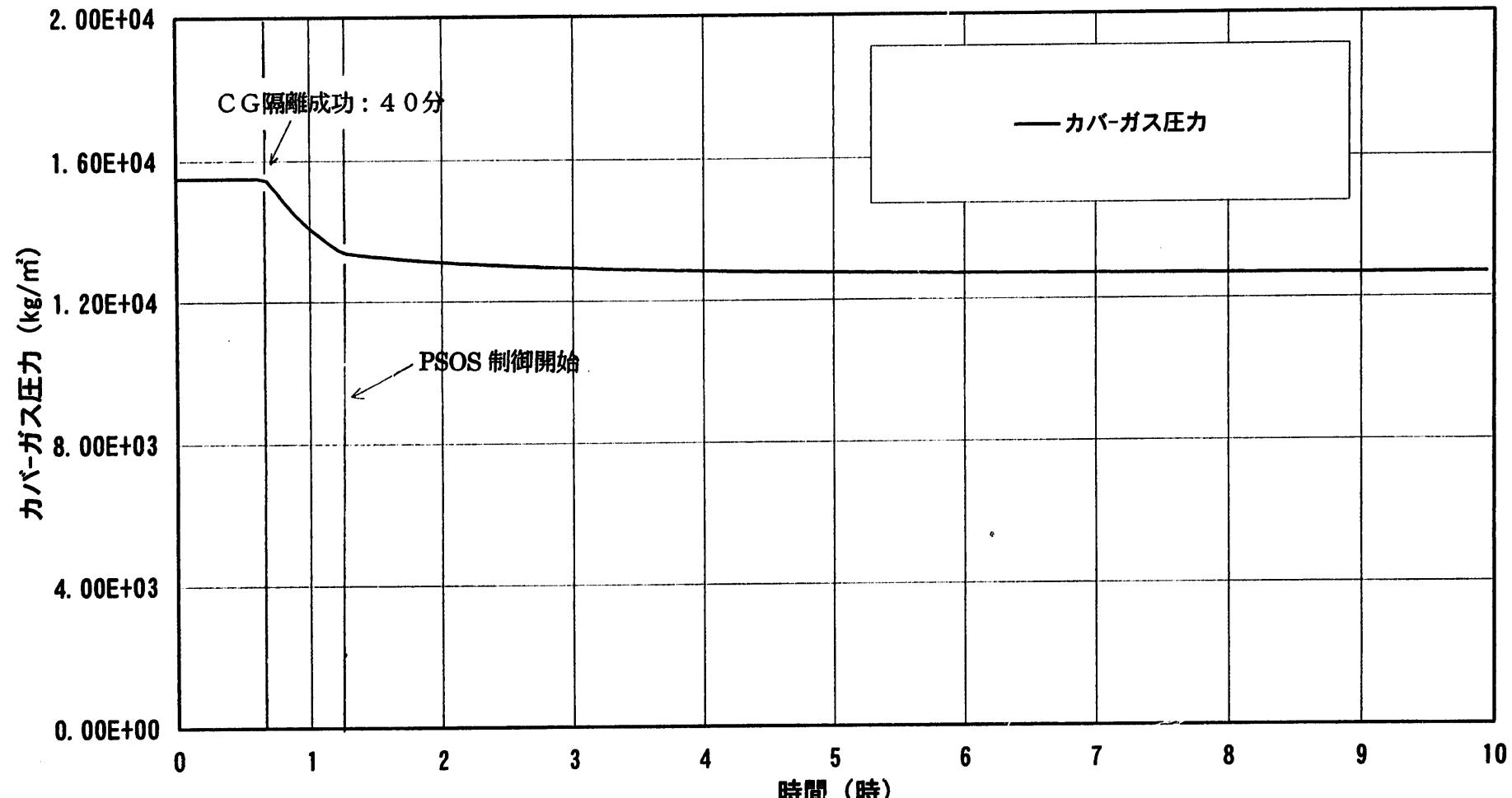


図 4.4-5(4/6) 解析結果 (LORL-I シーケンス : (4)-2-①-D)

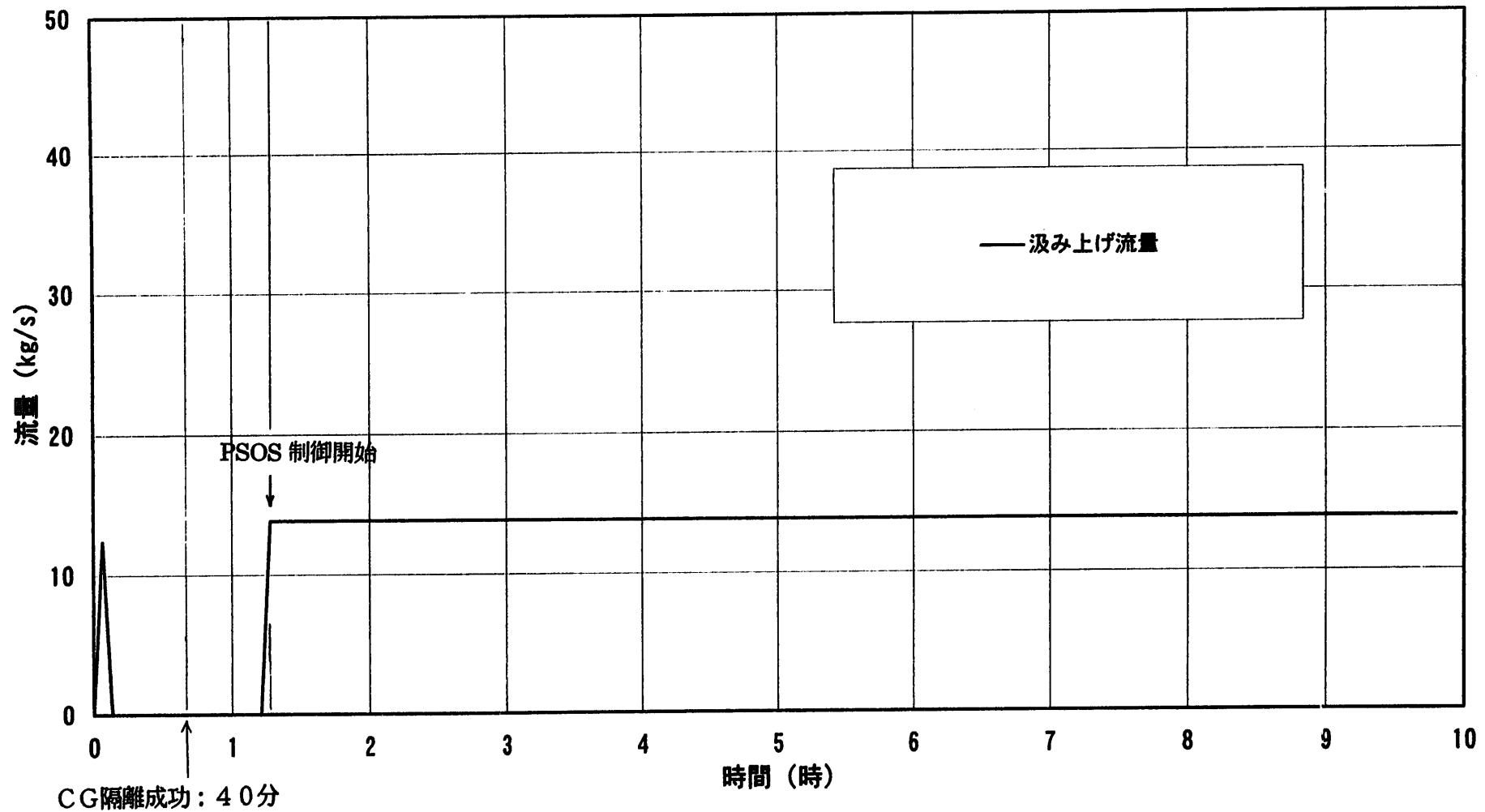


図 4.4-5(5/6) 解析結果 (LORL-I シーケンス:(4)-2-①-D)

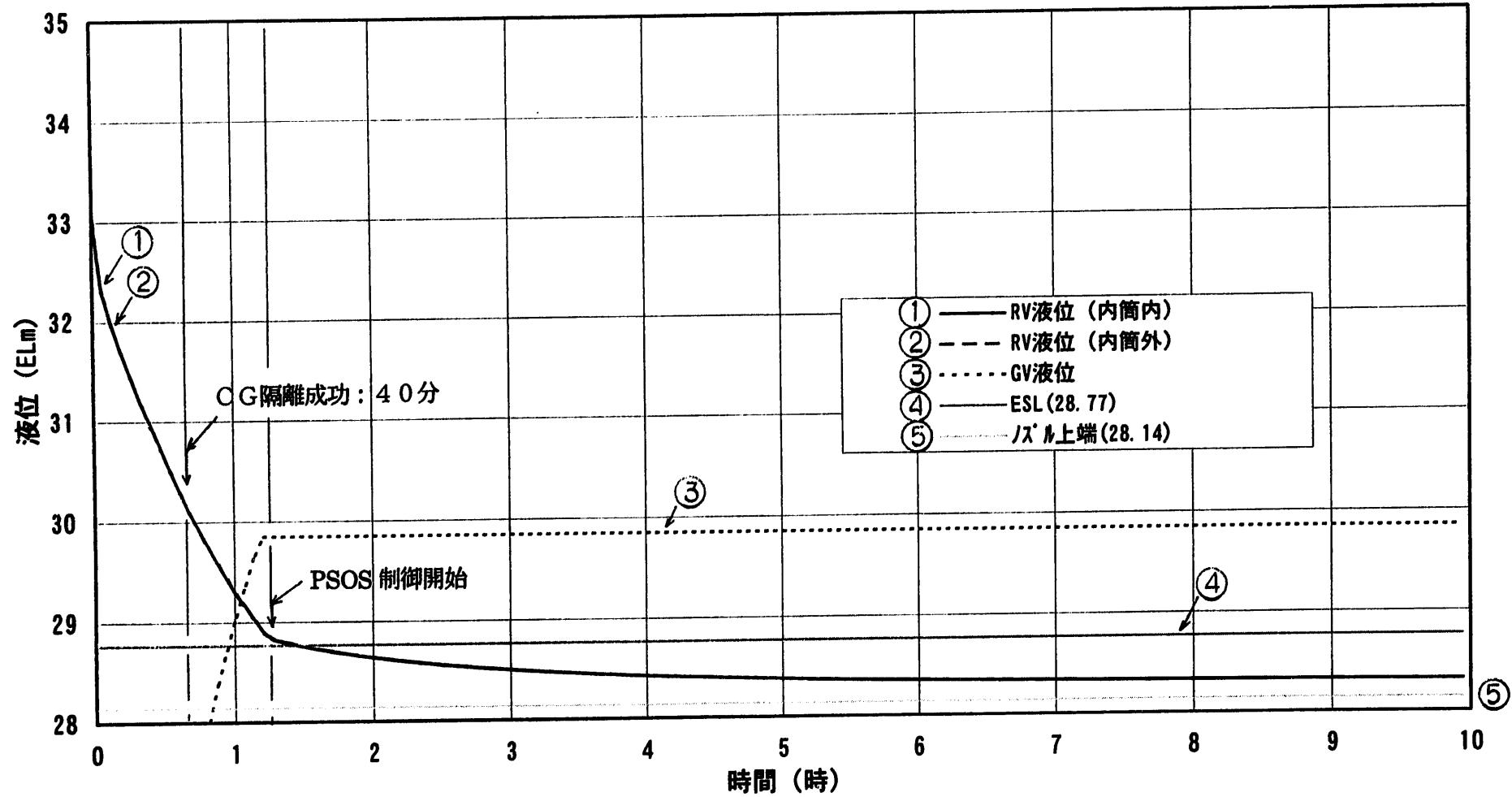


図 4.4-5(6/6) 解析結果 (LORL-I シーケンス: (4)-2-(1)-D)

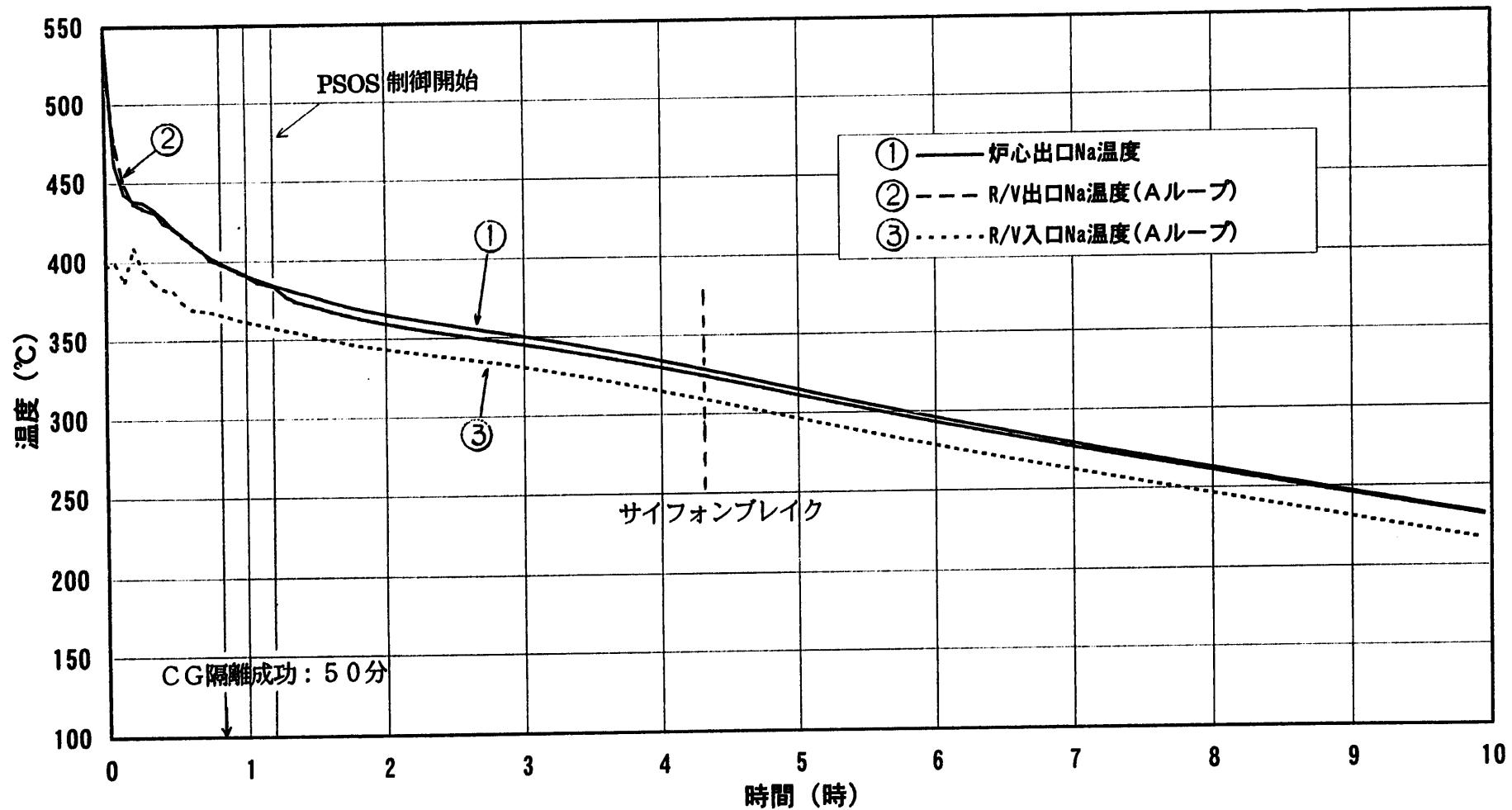


図 4.4-6(1/6) 解析結果 (LORL-I シーケンス : (4)-2-(1)-E)

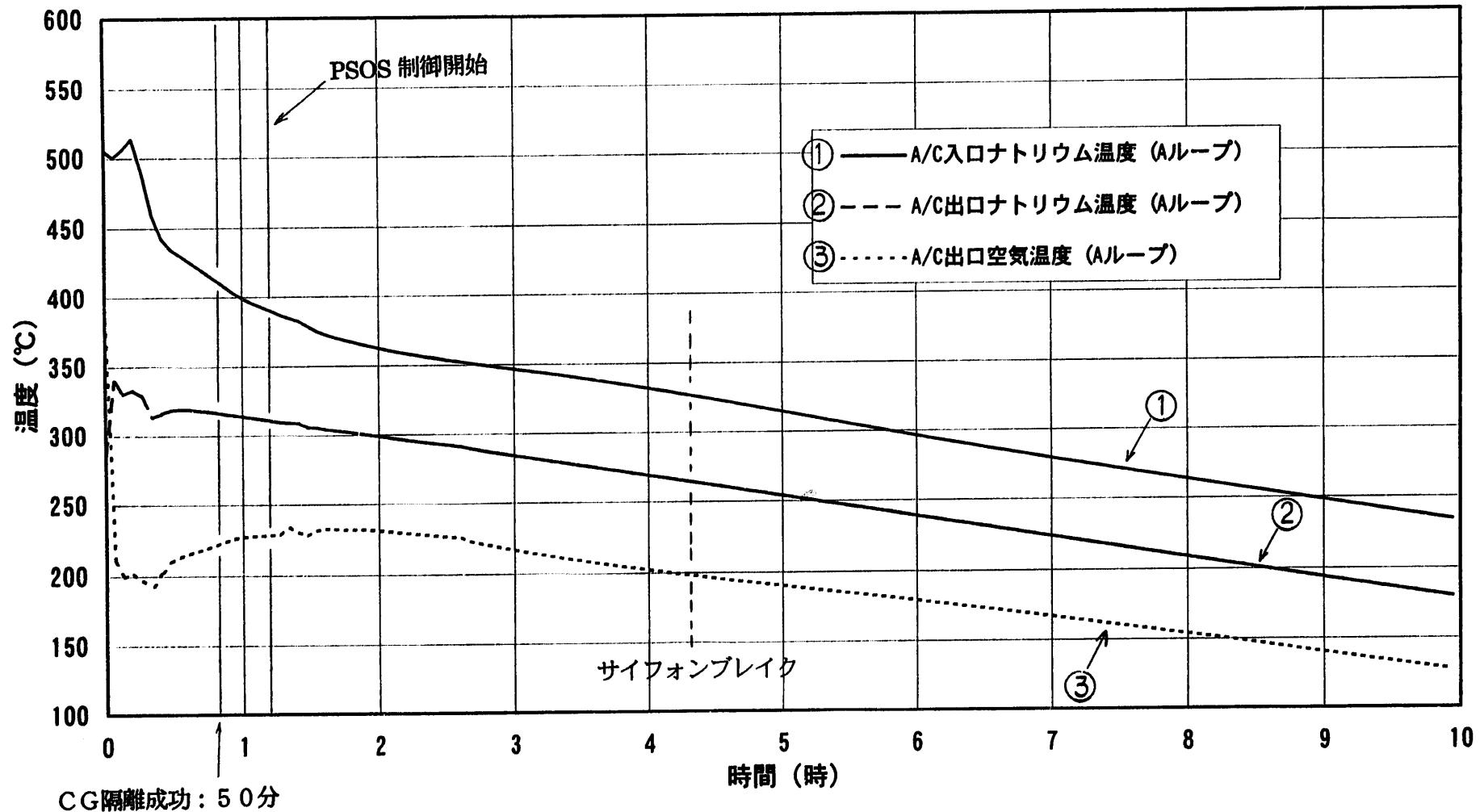


図 4.4-6(2/6) 解析結果 (LORL-I シーケンス:(4)-2-①-E)

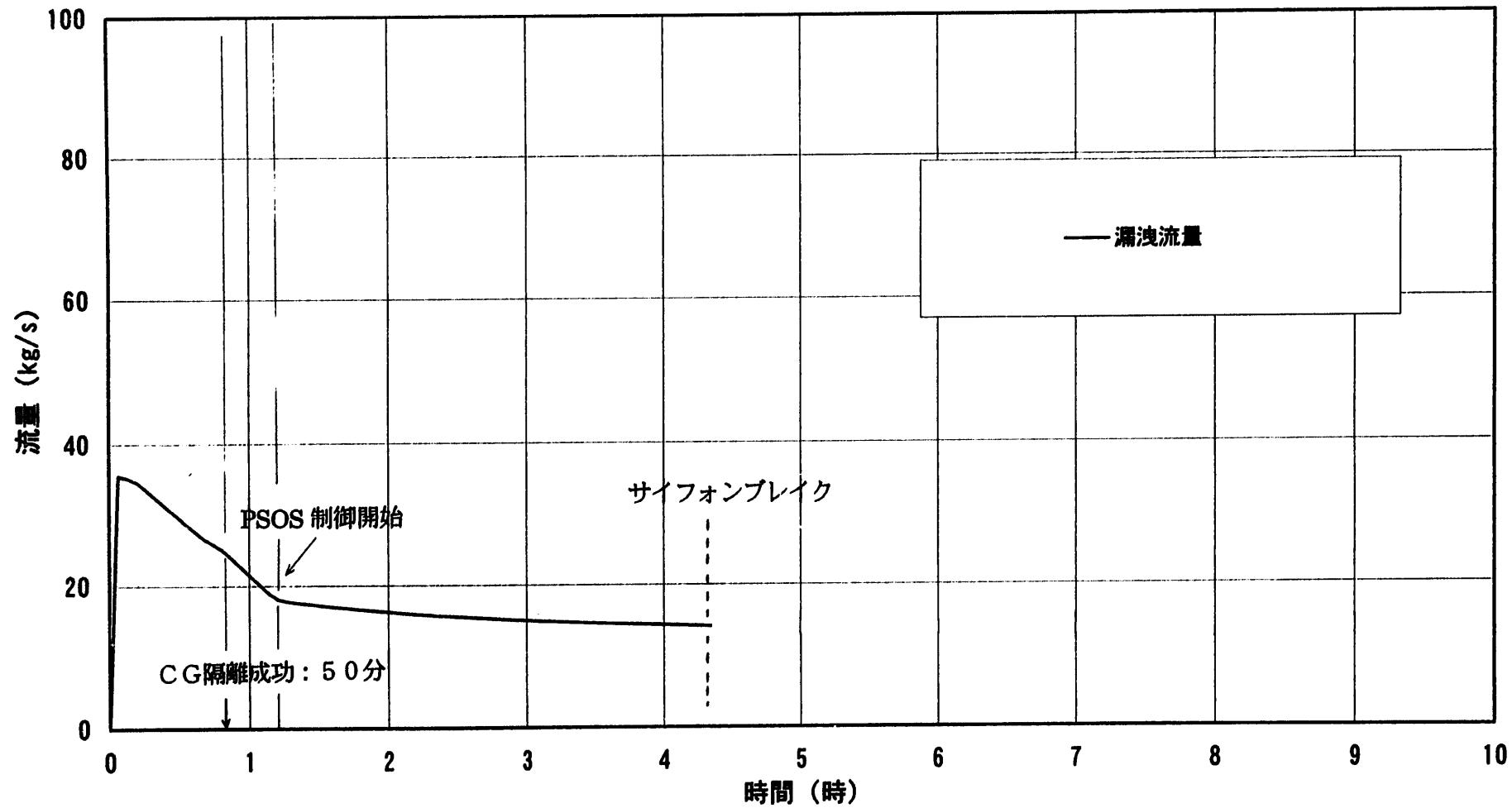


図 4.4-6(3/6) 解析結果 (LORL-I シーケンス : (4)-2-(1)-E)

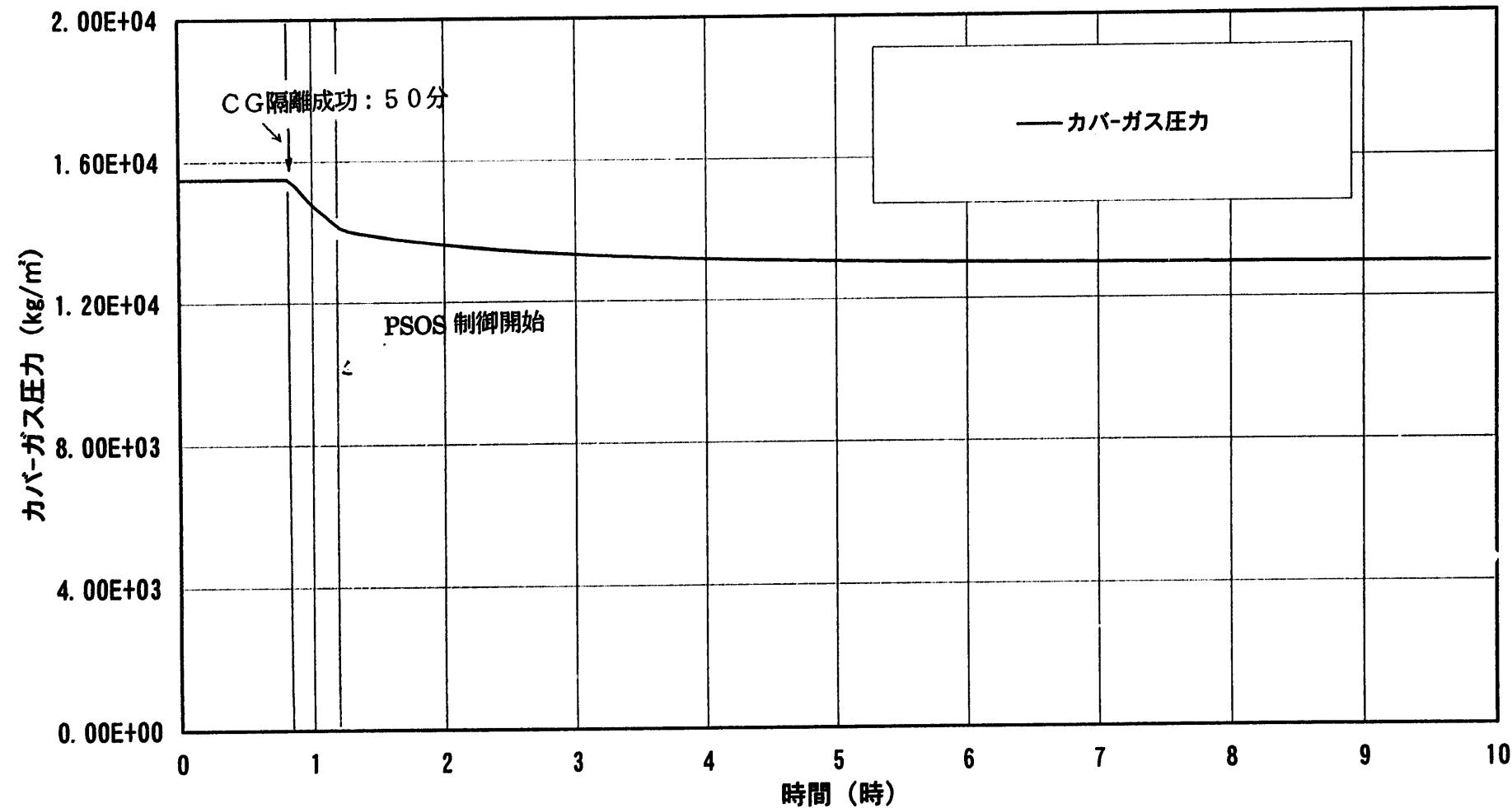


図 4.4-6(4/6) 解析結果 (LORL-I シーケンス: (4)-2-(1)-E)

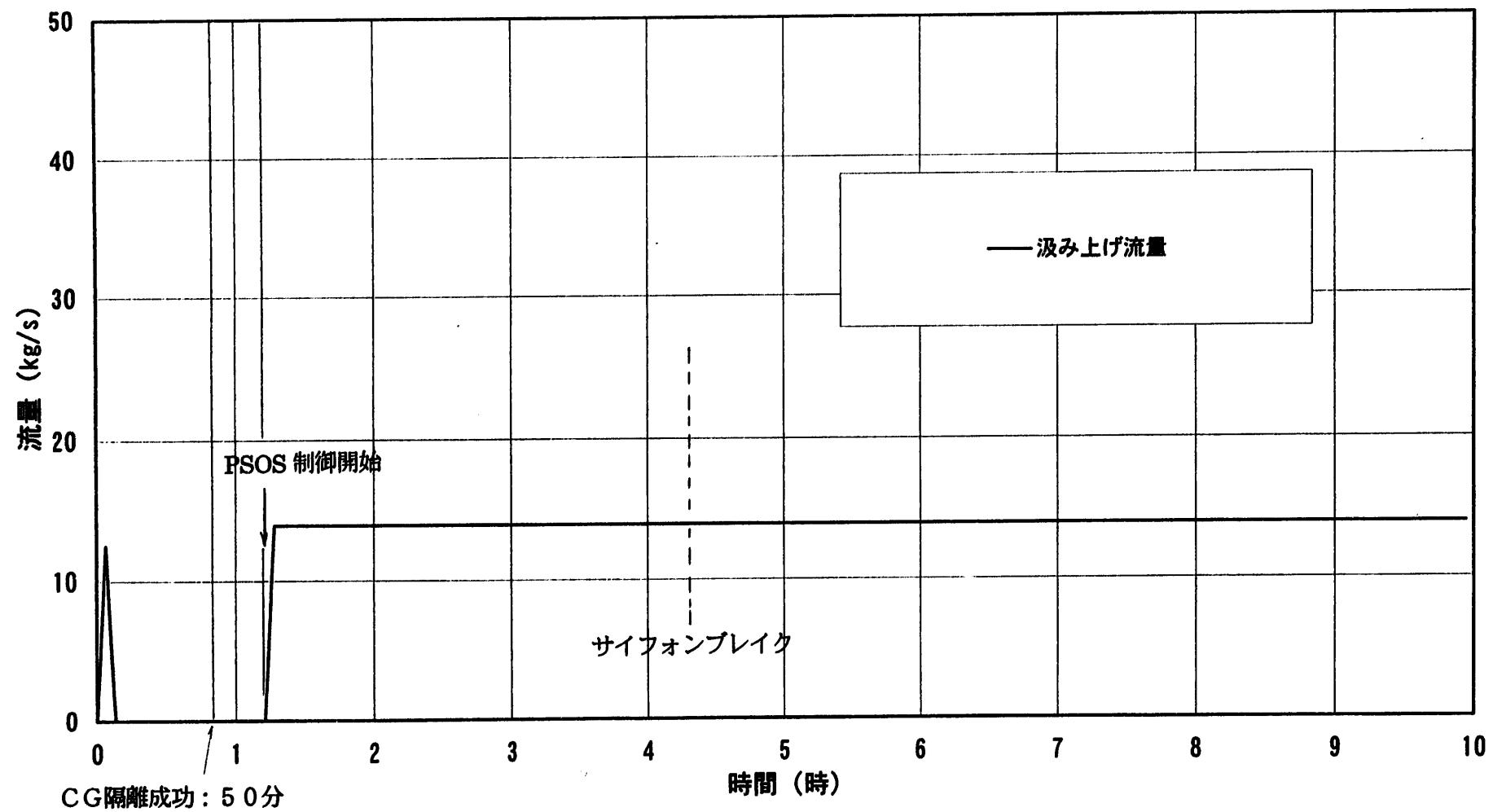


図 4.4-6(5/6) 解析結果 (LORL-I シーケンス：(4)-2-①-E)

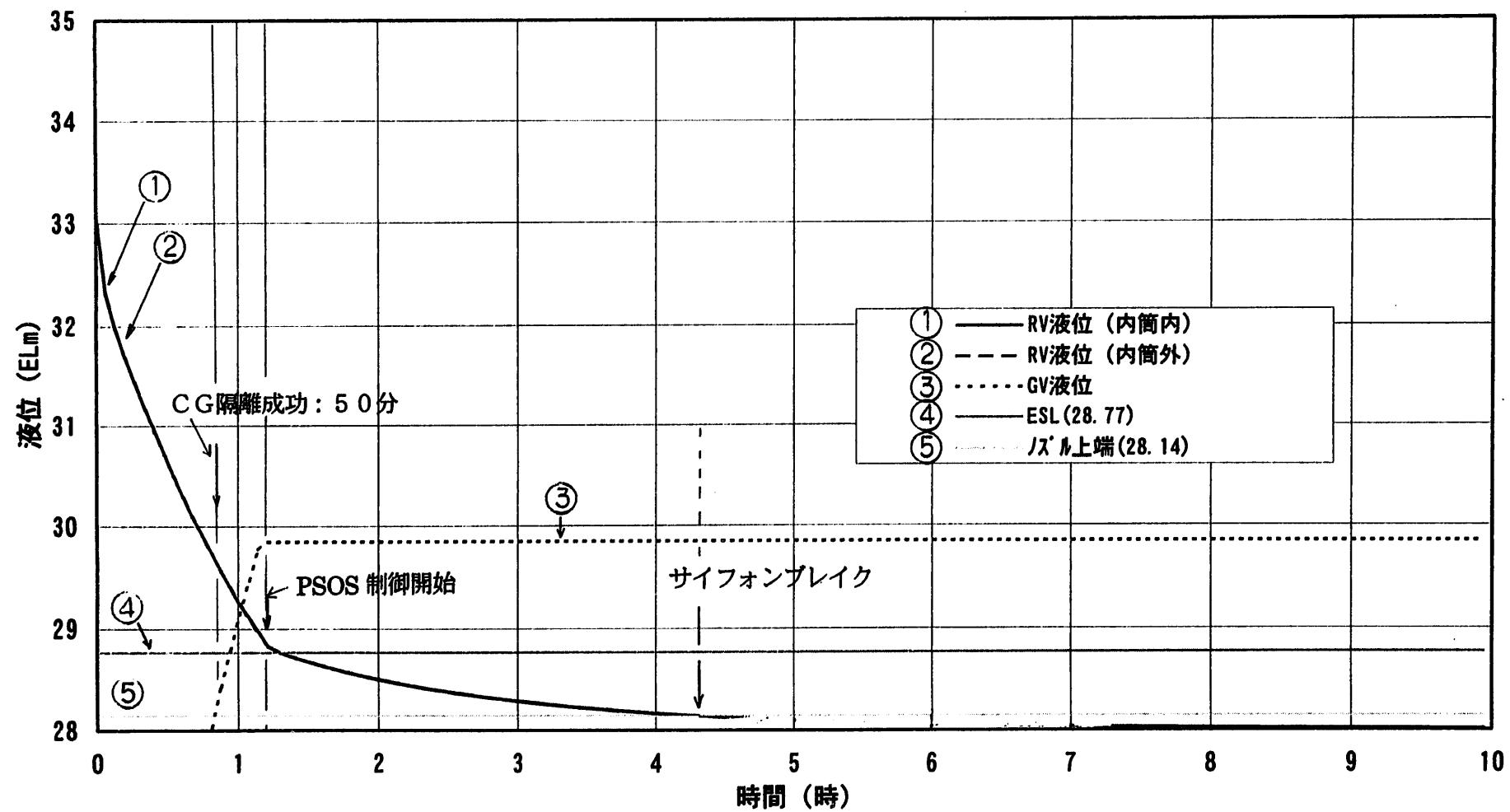


図 4.4-6(6/6) 解析結果 (LORL-I シーケンス : (4)-2-(1)-E)

#### 4. 5 1次主冷却系室換気装置による冷却

##### (1) 解析ケース

本シーケンスの解析一覧表を表4. 5-1に示す。解析一覧表には各ケースの主な解析条件及び解析結果（原子炉冷却材バウンダリ温度が650℃を超える時間）を記している。また、主要な解析ケースについて解析条件の詳細を表4. 5-2にまとめた。

本シーケンスの解析では、原子炉停止後、200℃の等温状態で、通常の崩壊熱除去機能が全て失われた際に、1次主冷却系室換気装置による冷却が行われている場合の挙動を解析する。主冷却系の運転状態は、運転ループ数が1ループで、1次系はボニーモータ作動又は不作動とし、2次系はボニーモータ不作動とする。1次系のボニーモータ作動及び不作動のそれぞれについて、崩壊熱レベルをパラメータとした解析（炉停止後の日数をパラメータとして各3ケース）を行う。したがって、本シーケンスの解析ケース数は、ベースケースを含め8ケースである。

なお、各ケースのケース番号は、以下の要領で定めている。

(5) -□-○

(5) は1次主冷却系室換気装置による冷却に関する解析であることを示す。

□ : 1次系ボニーモータの運転状態に関する分類を示す。

1 … 1次系ボニーモータ作動

2 … 1次系ボニーモータ不作動

○ : 崩壊熱レベルに関する分類を示す。

本シーケンスの解析では、崩壊熱は高燃焼度平衡炉心末期条件（熱過渡解析用設計条件）の1.1倍の値を使用している（表4. 5-3）。このデータはヒートバランスデータ条件（原子炉容器出口ナトリウム温度529℃）の考え方方に合わせたものであり、安全側の評価となる。

出典：PNC ZJ2449 90-001(2)

原型炉技術総合機能試験予測解析のための入力データの整備（II）

[別冊：データ集（1／3）]

本データ集には、低燃焼度初装荷炉心（初期出力100%出力到達後12日間運転

後原子炉トリップのノミナル値)、低燃焼度初装荷炉心(初期45%出力到達直後のノミナル値)のデータが示されているが、トリップ後70日(6.048E+06秒)で比べると、それぞれ約8%、0.3%と小さい値である。

また、本シーケンスの解析では、機器・配管からの放散熱のみによる除熱を考慮しているが、除熱量に関するモデル及び入力データに関して、以下のことを仮定している。

- a. 原子炉容器、1次主冷却系(1ループ分)、1次補助系及び1次純化系からの放熱を考慮するケースと原子炉容器、1次主冷却系(1ループ分)のみを考慮するケースを実施する。なお、2次冷却系からの放熱は考慮しない。
- b. 放散熱量に関するデータは、性能試験における実測データに基づき設定する。
- c. 解析上は、上記b. で与えられる熱量が1次主冷却系配管のみから放散されるものとし、設計で予測されている放熱量の割合に応じて、1次主冷却系配管各部に上記b. の放散熱量を割り振る。
- d. 実測データの温度条件で、放散熱量が上記b. で与えられる値となるよう、配管から外気までの間の熱貫流率を定め、入力する。これにより、配管内ナトリウム温度の変化に応じた放散熱量の増減を計算できるものとする。
- e. R/V上部プレナムの液位は、E s L相当まで低下しているものとする。

なお、解析はAループのみとしている。これは、B、Cループがドレン状態であることを想定しているためである。ここで、ドレン状態としてB、Cループの計算を停止させる方法としては、1次系は初期流量を $10^{-5}$  kg/s とし、この流量を維持するため、逆止弁抵抗をこの流量になるように大きな値とした。2次系は流動計算を行わず、また、IHX等の熱計算もすべて計算を行わないように設定することで対応している。

## (2) 解析結果

各ケースの解析結果図(原子炉容器廻りナトリウム温度)を図4. 5-1~6に示す。

このシーケンスでは、時間の経過とともに各部の温度が上昇して行くが、温度が上昇すると機器・配管からの放熱量も増加するので、放熱量が炉心の崩壊熱とほぼ均衡する時点で各部温度の上昇は頭打ちとなる。

ここでは、参考として、冷却材温度を変化させたときの放熱量を手計算で求め、その計算結果から、各崩壊熱レベルに対して冷却材温度がどこまで上昇するかを検討すると共に、解析結果と比較した。

#### (a) 計算条件

ここでは、R/V、1次系（1ループ分）、1次補助系及び1次純化系からの放熱を考えるケースAとR/V、1次系（1ループ分）のみの放熱を考えるケースBについて検討する。計算上は、1ループの1次主配管のみからの放熱をモデル化しており、性能試験にて測定された放熱量データに基づいて、配管から外気への熱貫流率を以下のように定めている。

配 管	伝面 (m <sup>2</sup> )	熱貫流率 (kcal/m <sup>2</sup> sec°C)	
		ケースA	ケースB
R/V～IHX	86.4	2.73×10 <sup>-3</sup>	1.68×10 <sup>-3</sup>
IHX～POFC戻り点	36.8	1.55×10 <sup>-3</sup>	0.96×10 <sup>-3</sup>
POFC戻り点～ポンプ	37.0	1.56×10 <sup>-3</sup>	0.95×10 <sup>-3</sup>
ポンプ～R/V	71.4	2.77×10 <sup>-3</sup>	1.71×10 <sup>-3</sup>

#### (b) 計算結果

冷却材温度を変化させたときの放熱量は下記の式で表される。なお、ここでは、H/LとC/Lの温度差ではなく、全冷却材が均一温度と仮定している。

ケースA

$$Q = 2.296 \times 10^{-3} \times (T - 55) \quad \dots \dots (1)$$

ケースB

$$Q = 1.414 \times 10^{-3} \times (T - 55) \quad \dots \dots (2)$$

ここで、Q：放熱量 (MW)

T：冷却材温度 (°C)

具体的には、表4.5-4のとおりとなる。

#### (c) 整定温度の予測

##### ① 崩壊熱レベル

原子炉スクラムの10、15、20、30、40、45、50日後の各崩壊熱は以下のとおり。

スクラム後の日数	崩壊熱
10日	1. 68 MW
15日	1. 357 MW
20日	1. 18 MW
30日	0. 957 MW
40日	0. 81 MW
45日	0. 76 MW
50日	0. 724 MW

## ② 整定温度

上記の (1)式より各崩壊熱に見合う冷却材温度を逆算すると以下のとおりとなる。

スクラム後の日数	整定温度（予測）	
	ケースA	ケースB
10日	787°C	1243°C
15日	646°C	1015°C
20日	569°C	890°C
30日	472°C	732°C
40日	408°C	628°C
45日	386°C	592°C
50日	370°C	567°C

## (d) 解析結果との比較

表4. 5-1 及び解析結果の図4. 5-1～6に示すように、ケースAでは、解析結果は崩壊熱が20日～50日の条件に対しては、解析した日数ではバウンダリ温度制限値（温度制限条件であり、650°Cとする）に対して低く、予想した整定値より低い温度で推移している。解析時間を延長してもバウンダリ温度を超えることはないし、予想した整定温度に近づく程度と考えられる。また、10日の条件に対しては、崩壊熱が大きいため温度上昇が大きく、1次系が強制循環の場合7.3日、自然循環の場合5.4日でバウンダリ温度をこえる。

なお、崩壊熱が15日の場合、ほぼバウンダリ温度に達する推定値となっているが、バウンダリ温度に近づくのに自然循環の場合でも6日以上必要と予想される。

一方、ケースBでは、放散熱が小さいため、温度上昇が早くなり、崩壊熱が20日

後の条件では5日後の段階で約587°Cとなっており、この傾向を延長すると7日弱(6. 6日)で650°Cに達すると予想される。30日後の崩壊熱の条件では、10日後で600°C弱であり、このまま温度上昇が継続すれば、15日を超えるところで650°Cを超えるものと思われる。これらは、整定温度に近づく傾向はあるが、解析終了時点では整定温度よりかなり低い。

また、整定温度の予測値からは、ケースB (R/Vと1次系1ループのみの放散熱を考慮) であっても35日後以降の崩壊熱であればバウンダリ温度制限値（温度制限条件であり、650°Cとする）を超えることがないと予想できる。

#### (e) まとめ

以上の結果から、崩壊熱がトリップ後10日以上の条件では、HVACによる除熱でバウンダリ温度に達するのに自然循環時でも5日以上必要であり、その間、崩壊熱は少なくなっていくため、この日数は更に延びるものと予想される。

表4. 5-1 解析一覧表（1次主冷却系室換気装置による冷却）

1次主冷却系室換気装置による冷却		解析条件			解析結果	
解析ケース名	崩壊熱レベル	主冷却系 運転状態	A C S 運転状態	放熱・空調	バウンダリ温度 $\geq 650^{\circ}\text{C}$	その他
(5)-1-①	30日後の崩壊熱	1ループ ・1次PM作動 ・2次PM不作動	除熱なし	空調作動 1次補助系、 純化系からの 放散熱を考慮	-	-
(5)-1-②	10日後の崩壊熱				7. 3 day	-
(5)-1-③	50日後の崩壊熱				-	-
(5)-2-①	30日後の崩壊熱	1ループ ・1次PM不作動 ・2次PM不作動	除熱なし	空調作動 (*1)	-	-
(5)-2-②	20日後の崩壊熱				-	-
(5)-2-③	10日後の崩壊熱				5. 4 day	-
(5)-2-④追	20日後の崩壊熱				(*2)	-
(5)-2-④	30日後の崩壊熱				(*2)	-

(\*1) 1次補助系、純化系からの放散熱は考慮しない。

(\*2) 解析実施時間内ではバウンダリ温度を超えない。

表 4.5-2(1/2) 解析条件表（1次主冷却室換気装置による冷却：(5)-1-○）

ケースの概要		1, 2次系とも、200℃等温状態で崩壊熱除去運転中に除熱機能を喪失する。1ループ解析（2ループドレン）とする。													
トリップ条件		なし。													
崩壊熱	ノミナル	シクリン	考慮せず	空調	作動	放熱	考慮								
系統・機器	ループ	時間で変更する条件													
1次主ポンプ	A	トリップ													
	B														
	C														
1次系PM	A	作動（相互インタロック不作動）													
	B														
	C														
2次主ポンプ	A	トリップ													
	B														
	C														
2次系PM	A	不作動													
	B														
	C														
ACS	運転条件の概要		機能喪失												
	C弁	A	閉												
		B													
		C													
	D弁	A	初期開度一定												
		B													
		C													
	ペーン・ダンパ	A	閉												
		B													
		C													
メンテナンス冷却系		停止													
1次オーバーフロー系		停止													
カバーガス系隔離		隔離													
備考	崩壊熱レベルは、原子炉スクラム後〇日後の値。														

表 4.5-2(2/2) 解析条件表 (1次主冷却室換気装置による冷却 : (5)-2-○)

ケースの概要		(5)-1-○で、1次系PM不作動とする。													
トリップ条件		なし。													
崩壊熱	ノミナル	シーリング	考慮せず	空調	作動	放熱	考慮								
系統・機器		ループ	時間で変更する条件												
1次主ポンプ	A	トリップ													
	B														
	C														
1次系PM	A	不作動													
	B														
	C														
2次主ポンプ	A	トリップ													
	B														
	C														
2次系PM	A	不作動													
	B														
	C														
ACS	運転条件の概要														
	C弁	A													
		B													
		C													
	D弁	A													
		B													
		C	(5)-1-①と同じ												
	ベーン・ダンパ	A													
		B													
		C													
メンテナンス冷却系															
1次オーバーフロー系															
カバーガス系隔離															
備考	崩壊熱レベルは、原子炉スクラム後〇日後の値。														

表4. 5-3 使用した崩壊熱データ

高燃焼度 平衡炉心末期崩壊熱 ( $P/P_0$ )

冷却時間 (Sec)	全崩壊熱	
	ノミナル値	最大値
1 0.0	6.2935E-02	6.9118E-02
2 1.0000E-01	6.2285E-02	6.8513E-02
3 2.0000E-01	6.1772E-02	6.7949E-02
4 3.0000E-01	6.1290E-02	6.7419E-02
5 5.0000E-01	6.0408E-02	6.6449E-02
6 7.0000E-01	5.9614E-02	6.5576E-02
7 1.0000E 00	5.8553E-02	6.4408E-02
8 2.0000E 00	5.5774E-02	6.1351E-02
9 3.0000E 00	5.2718E-02	5.9090E-02
10 5.0000E 00	5.0759E-02	5.5834E-02
11 7.0000E 00	4.8657E-02	5.3522E-02
12 1.0000E 01	4.6372E-02	5.1009E-02
13 2.0000E 01	4.1982E-02	4.6131E-02
14 3.0000E 01	3.9489E-02	4.3438E-02
15 5.0000E 01	3.6367E-02	4.0004E-02
16 7.0000E 01	3.4310E-02	3.7741E-02
17 1.0000E 02	3.2176E-02	3.5394E-02
18 2.0000E 02	2.8388E-02	3.1227E-02
19 3.0000E 02	2.6405E-02	2.9045E-02
20 5.0000E 02	2.3987E-02	2.6385E-02
21 7.0000E 02	2.2345E-02	2.4579E-02
22 1.0000E 03	2.0516E-02	2.2567E-02
23 1.5000E 03	1.8341E-02	2.0175E-02
24 2.0000E 03	1.5781E-02	1.8459E-02
25 2.5000E 03	1.5599E-02	1.7159E-02
26 3.0000E 03	1.4675E-02	1.6142E-02
27 4.0000E 03	1.3327E-02	1.4640E-02
28 5.0000E 03	1.2397E-02	1.3637E-02
29 6.0000E 03	1.1717E-02	1.2889E-02
30 7.0000E 03	1.1197E-02	1.2317E-02
31 1.0000E 04	1.0160E-02	1.1176E-02
32 1.5000E 04	9.1907E-03	1.0110E-02
33 2.0000E 04	8.5920E-03	9.4512E-03
34 2.5000E 04	8.1586E-03	8.9744E-03
35 3.0000E 04	7.8159E-03	8.5974E-03
36 4.0000E 04	7.2840E-03	8.0124E-03
37 5.0000E 04	6.8750E-03	7.5625E-03
38 6.0000E 04	6.5431E-03	7.1974E-03
39 7.0000E 04	6.2645E-03	6.3910E-03
40 8.6400E 04	5.8376E-03	6.4764E-03
41 1.17280E 05	4.5649E-03	5.1313E-03
42 2.5920E 05	3.9592E-03	4.3551E-03
43 4.3200E 05	3.1047E-03	3.4151E-03
44 6.0480E 05	2.5950E-03	2.8556E-03
45 8.6400E 05	2.1377E-03	2.3515E-03
46 1.17280E 06	1.4986E-03	1.6485E-03
47 2.5920E 06	1.2192E-03	1.3400E-03
48 4.3200E 06	9.2284E-04	1.0151E-03
49 6.0480E 06	7.4521E-04	8.4173E-04
50 8.6400E 06	6.2251E-04	6.8477E-04
51 1.17280E 07	3.8767E-04	4.2643E-04
(200回)		

表4. 5-4 放熱量の推定値

冷却材温度	放熱量	
	ケースA	ケースB
200°C	0. 33 MW	0. 21 MW
250°C	0. 45 MW	0. 28 MW
300°C	0. 56 MW	0. 35 MW
350°C	0. 68 MW	0. 42 MW
400°C	0. 79 MW	0. 49 MW
450°C	0. 91 MW	0. 56 MW
500°C	1. 02 MW	0. 63 MW
550°C	1. 14 MW	0. 70 MW
600°C	1. 25 MW	0. 77 MW
650°C	1. 34 MW	0. 84 MW
700°C	1. 48 MW	0. 91 MW
750°C	1. 60 MW	0. 98 MW

(注) ケースA : R/V、1次系(1ループ分)、1次補助系及び1次純化系からの放熱を考えるケース

ケースB : R/V、1次系(1ループ分)のみの放熱を考えるケース

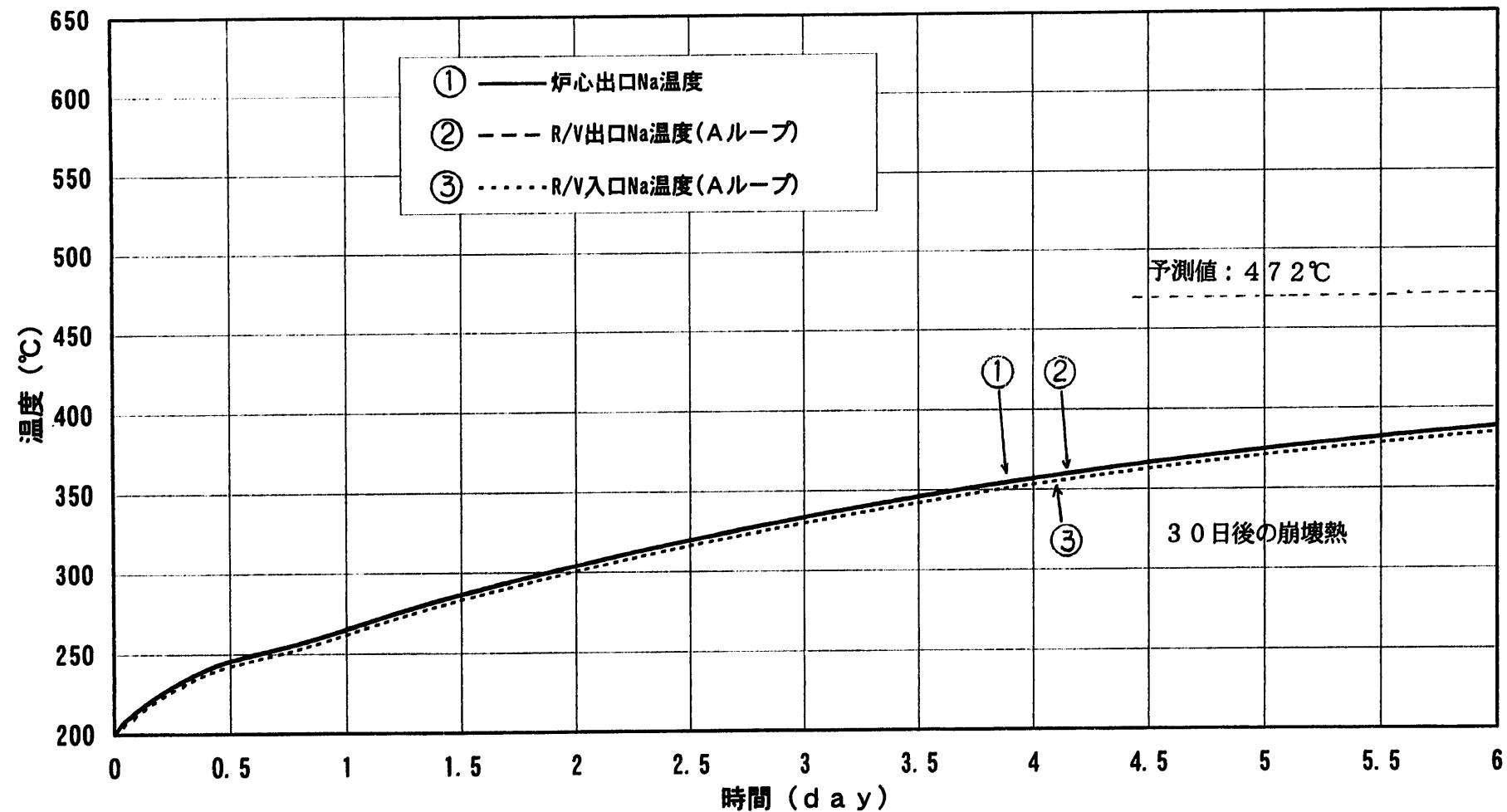


図 4.5-1 解析結果 (1次冷却系室換気装置による冷却: (5)-1-(1))

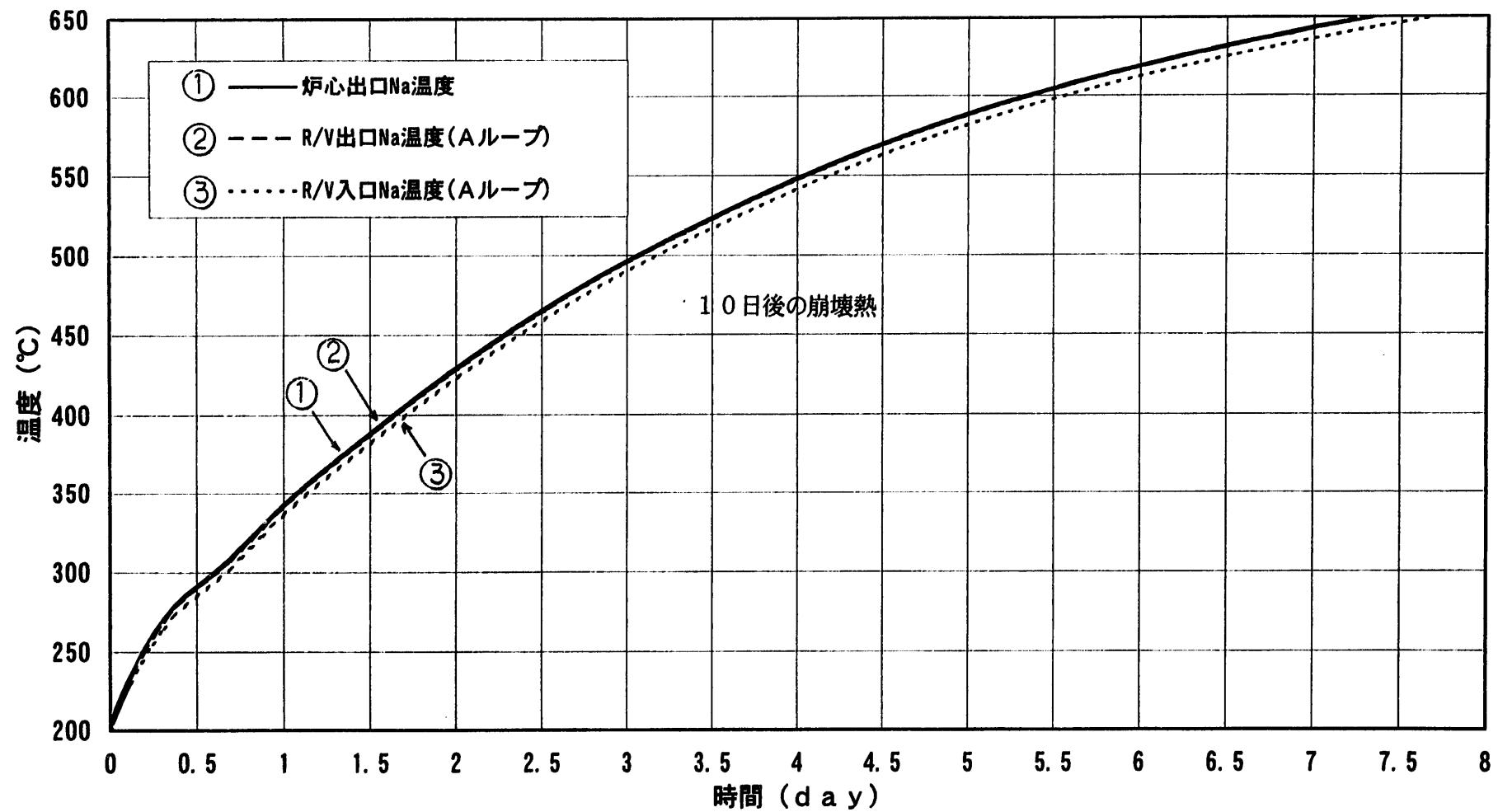


図 4.5-2 解析結果（1次冷却系室換気装置による冷却：(5)-1-(2)）

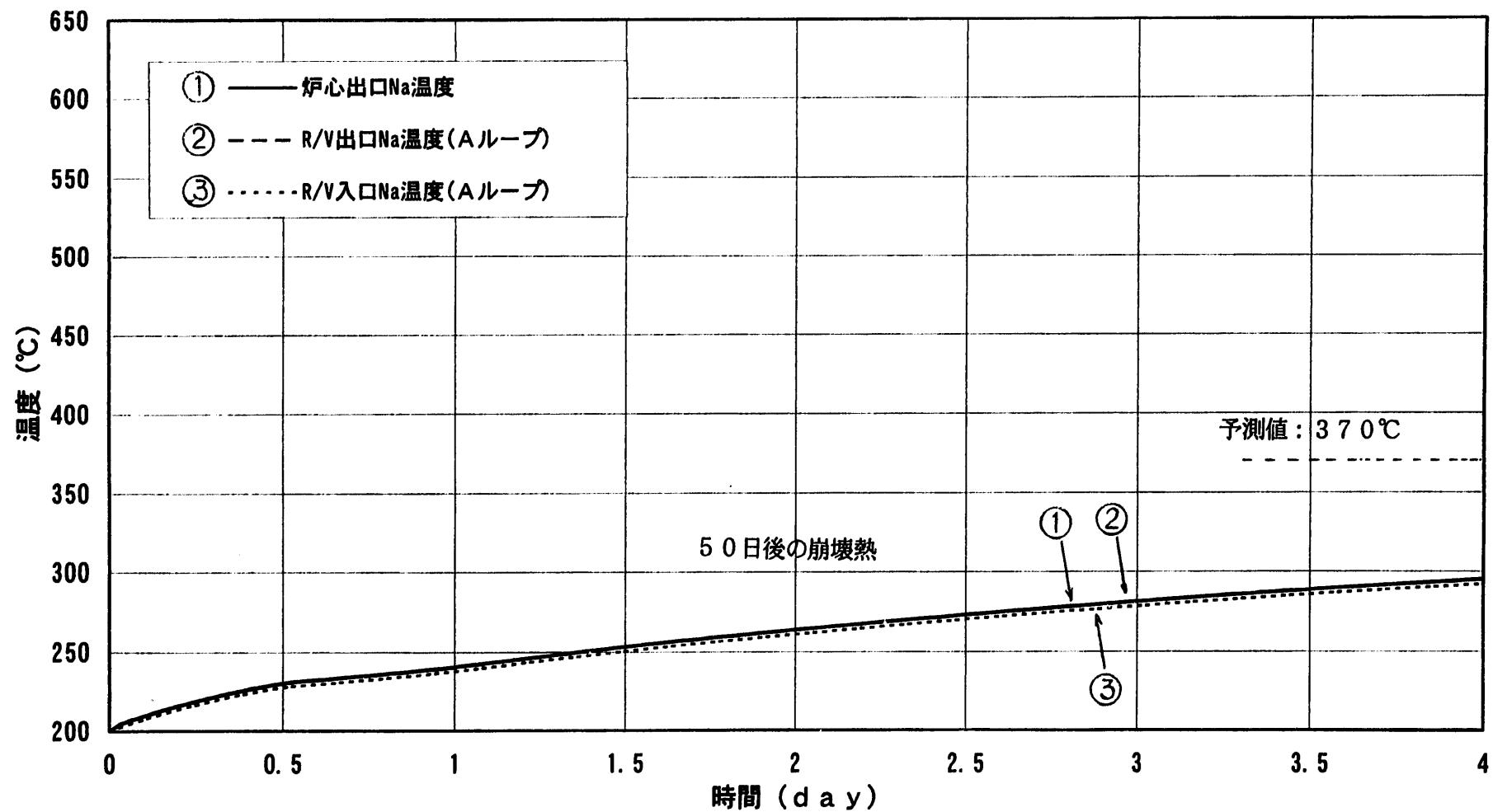


図 4.5-3 解析結果（1次冷却系室換気装置による冷却：(5)-1-(3)）

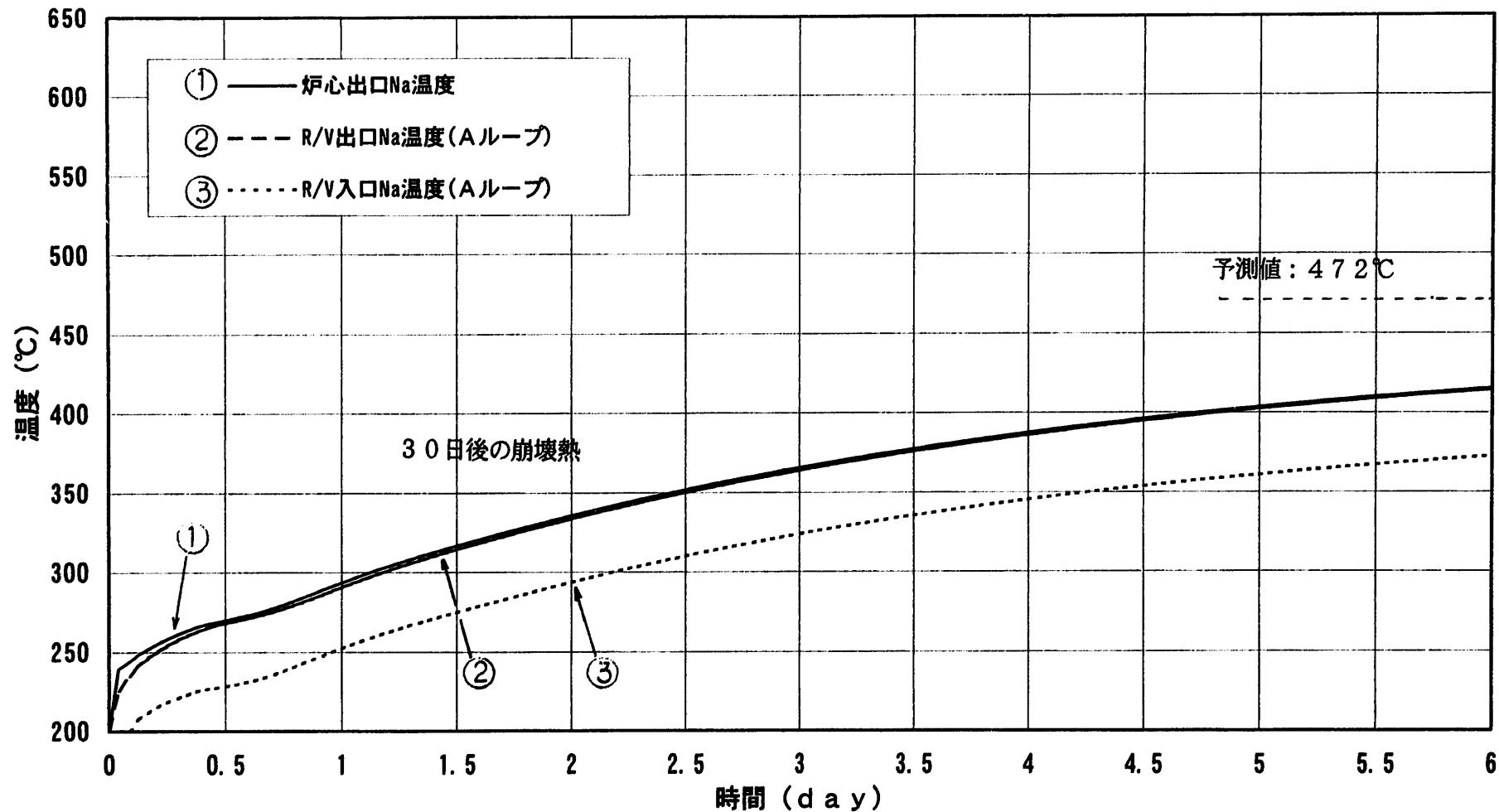


図 4.5-4 解析結果（1次冷却系室換気装置による冷却：(5)-2-(1)）

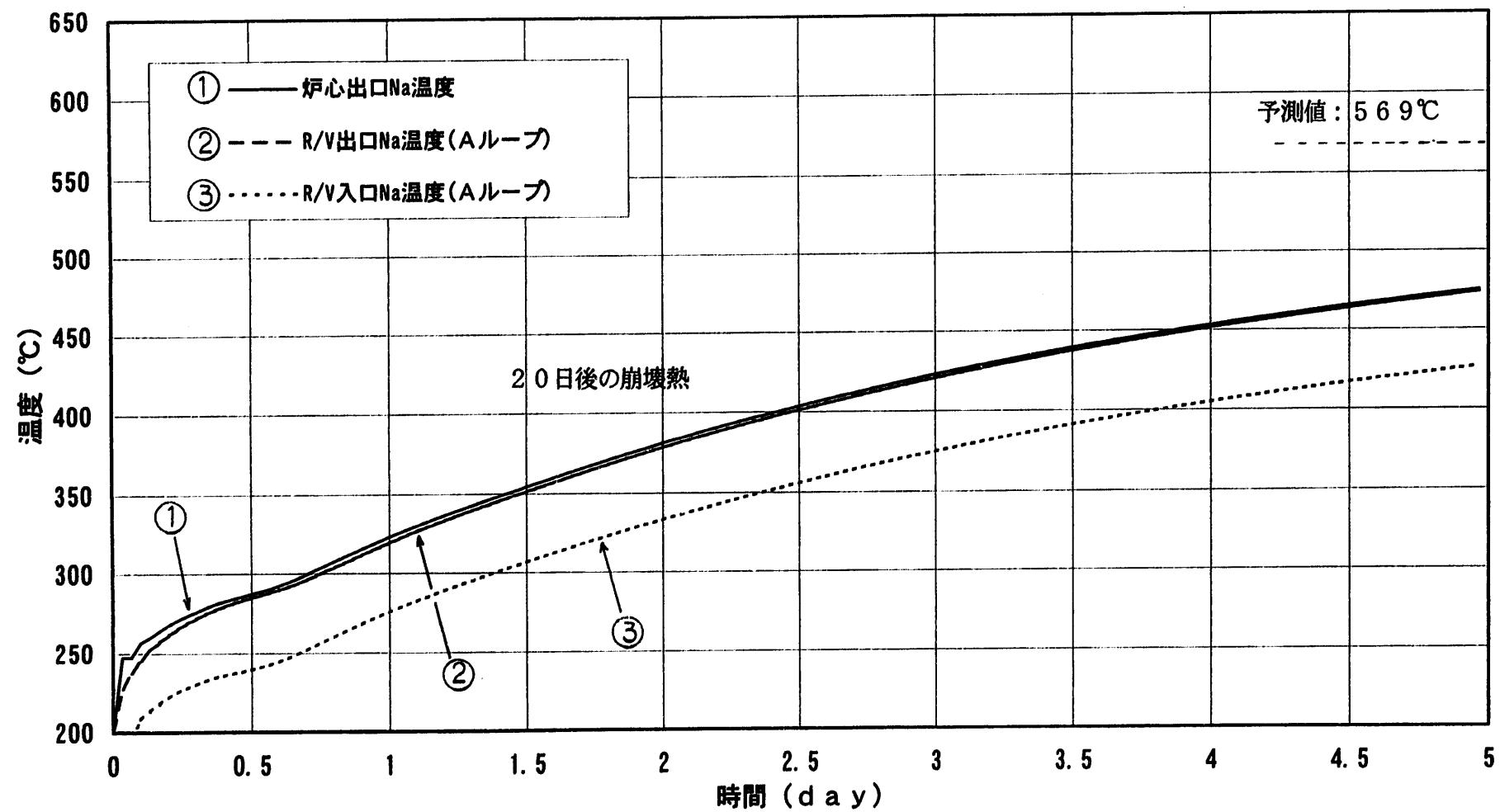


図 4.5-5 解析結果（1次冷却系室換気装置による冷却：(5)-2-(2)）

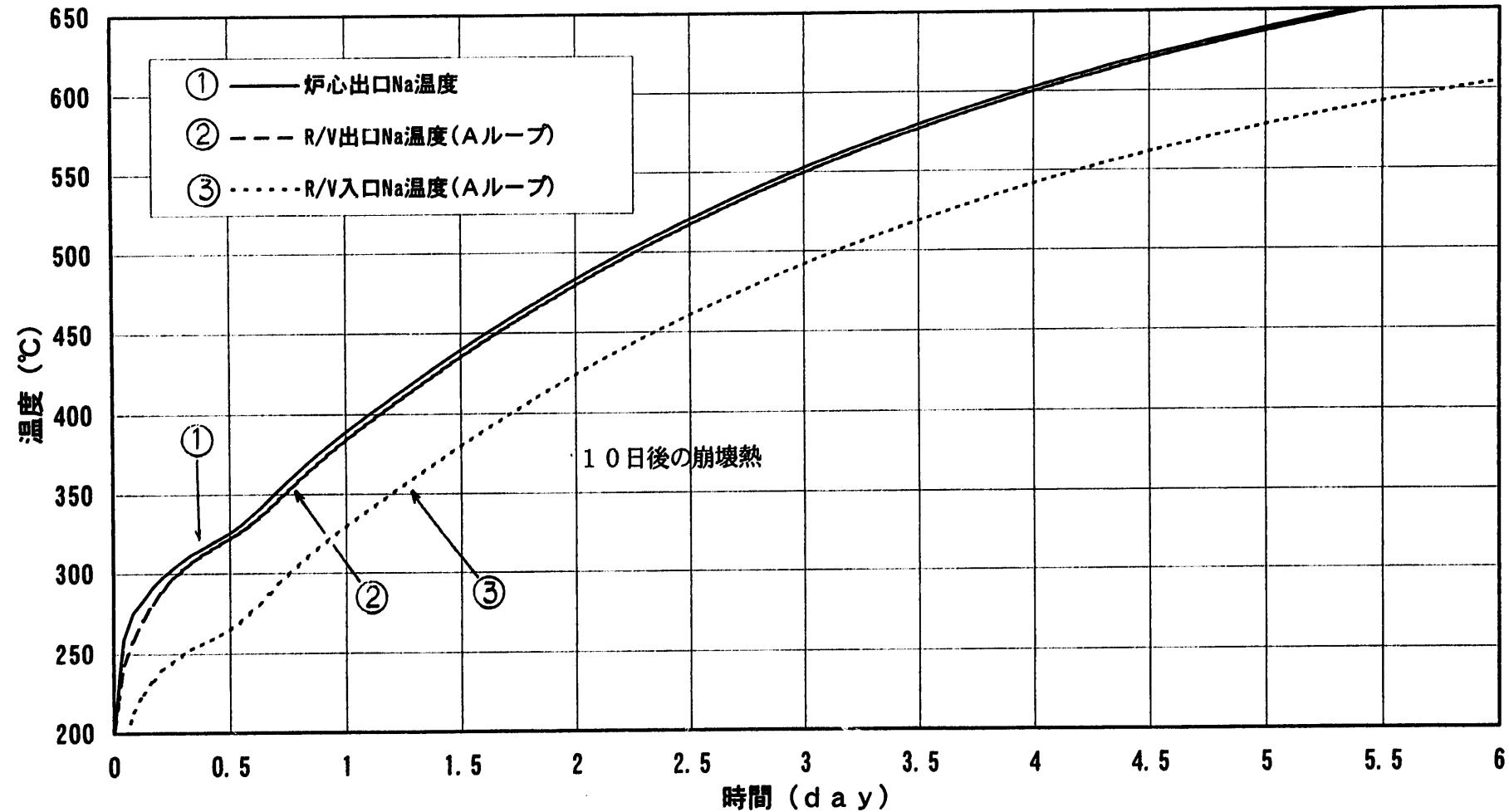


図 4.5-6 解析結果 (1次冷却系室換気装置による冷却 : (5)-2-(3))

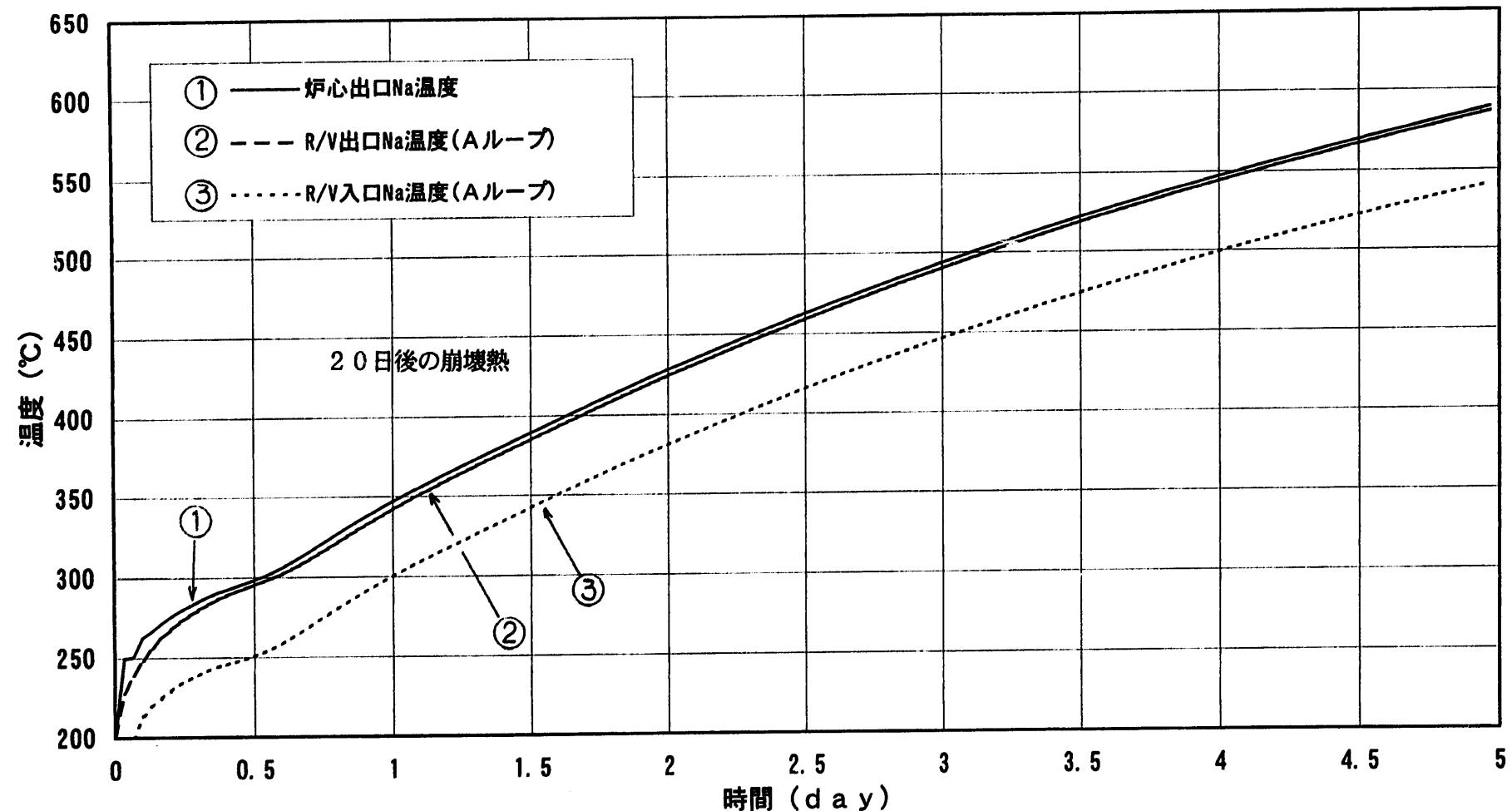


図 4.5-7 解析結果（1次冷却系室換気装置による冷却：(5)-2-②追）

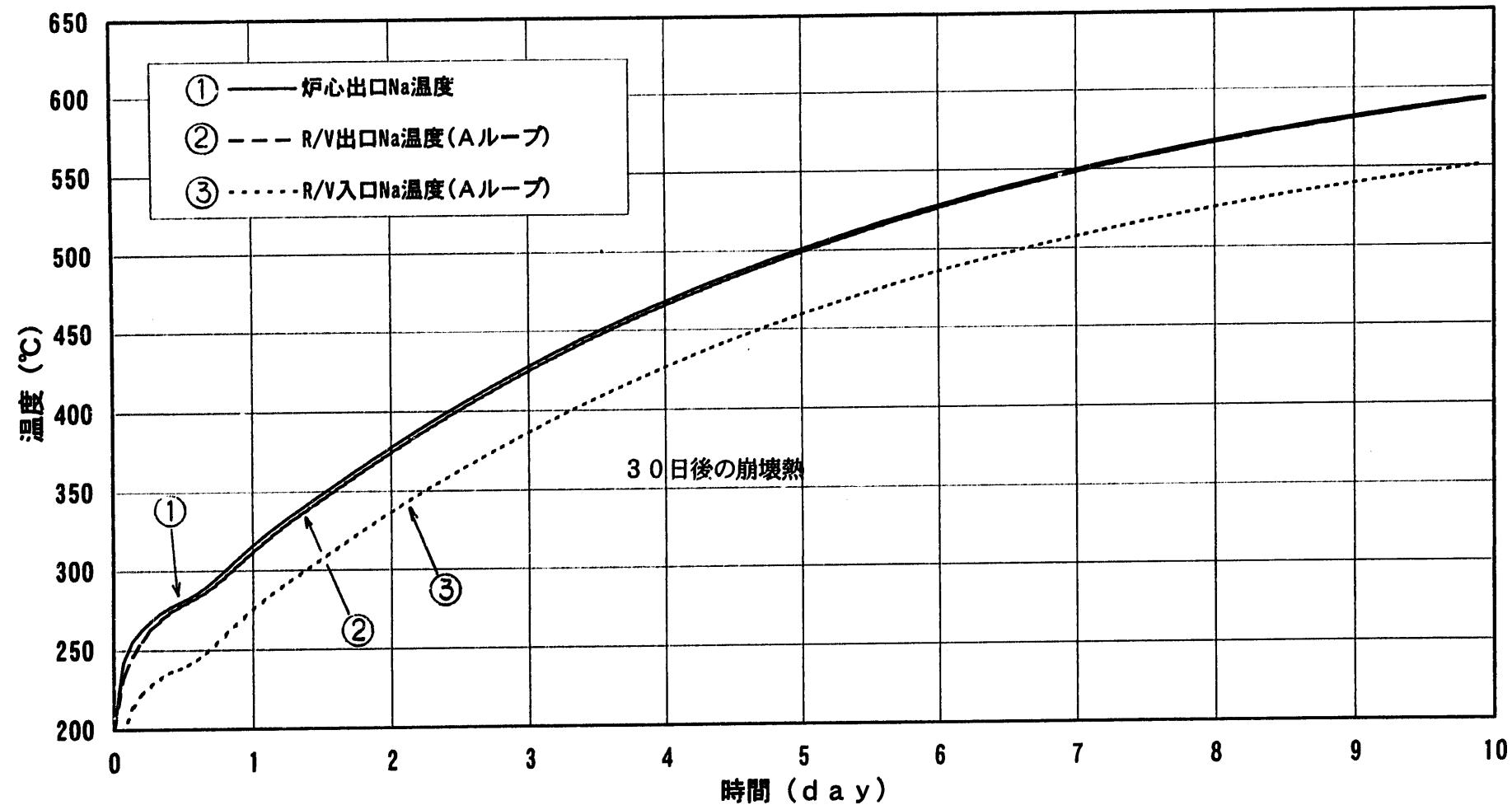


図 4.5-8 解析結果（1次冷却系室換気装置による冷却：(5)-2-(4)）

## 5. 参考文献

(1) PNC ZJ2449 90-001(2)

原型炉総合機能試験予測解析のための入力データの整備（Ⅱ）

別冊：データ集（1／3）、（2／3）

(2) PNC ZJ2214 92-001(3)

もんじゅ自然循環試験計画の検討－解析結果集－

（100% 出力時自然循環測定 ステップ8より）