

| 資料センター | | |
|-----------|----|--------|
| 分類 コード | 第1 | 03 |
| | 第2 | 09 |
| | 第3 | 0 第4 |
| ファイルNo | | 2013 |

もんじゅプラント動特性解析コードの整備（5） (空気冷却器廻り入力データ整備)

1999年3月

核燃料サイクル開発機構 敦賀本部
高速増殖炉もんじゅ建設所
技 術 課

もんじゅプラント動特性解析コードの整備(5)

(空気冷却器廻り入力データ整備)

加藤 満也¹⁾, 宮川 明²⁾

要 旨

もんじゅでは、プラント熱流動挙動を精度良く評価するため、これまで総合機能試験や性能試験で得られたデータを使用して解析コードの整備を進めてきた。ここではトリップ後の、炉心を冷却する上で重要な空気冷却器について、Super-COPDコードで精度良い解析を行えるように、トリップ試験で測定したデータを用い、空気冷却器廻りに着目した入力データの整備を行ったのでその結果を報告する。

まず、トリップ試験で得られた空気冷却器出口Na温度のデータを整理し、従来データでの解析結果との比較を行った。その結果、トリップ後のベーンが全開となっている数分間は、解析結果が試験結果を上回ることが分った。この差異の原因を検討するため、空気冷却器の入口Na温度や流量等の試験結果を直接境界条件として解析コードに入力し、試験結果と計算結果を比較した。その結果、空気冷却器の熱交換量は設計よりも余裕を持って製作されており、設計値ベースの従来データは実機に比べ熱交換量が少なく設定されていることが分かった。この結果を踏まえて、空気冷却器プロワの性能を調節した結果、この領域では良く一致するようになった。

しかし、ベーンが制御され中間開度となる領域では解析結果の温度が試験結果を下回るようになった。これは、中間開度では風量が実際よりも大きく、それが原因となって空気冷却器での熱交換量が大きく計算されているためと考えられる。この結果を踏まえ、空気風量を下げ、結果として熱交換量が小さくなるようベーンの圧損係数を高く調整した。

以上の入力データの見直しを行った結果、調整前の結果と比べて空気冷却器廻りの温度挙動は良く改善されており、解析結果と試験結果は良く一致するようになった。

今後、より多くのデータの蓄積を待って、解析精度のより一層の向上を図る予定である。

1) 原子力システム(株) 敦賀事務所

2) 高速増殖原型炉 敦賀本部 もんじゅ建設所 技術課

Limited data
JNC TN2400 99-002
In February, 1999

The development of MONJU plant dynamics analysis code(5)
(The development of A/C analysis model)

Mitsuya KATO 1), Akira MIYAKAWA 2)

Abstract

In Monju, in order to evaluate a plant thermal behavior with sufficient accuracy, the analysis code has been improved according to the data acquired by SKS and SST which were carried out before. Here, the main purpose is improvement of the air cooler model which is the important component which remove the decay hot at the time of a trip. In order to improve, input data of air cooler model was arranged using data measured by the plant trip test. The result is as follows.

First, data of the air cooler the outlet Na temperature obtained by the plant trip test was arranged, and it compared with the result of the analysis carried out conventionally. After plant trip, the vane was completely open about 10 minutes. During this period it was found that the outlet Na temperature of an analysis exceeds that of the test. In order to examine the cause of this difference, we investigated using examination results, such as the inlet Na temperature and Na flow rate of an air cooler, and compared the examination result and the calculation result. As a result, the amount of heat exchange found to be calculate little than the actual value. Performance data of an air cooler blower was adjusted according to this result. Consequently, the analysis result has been improved.

However, when a vane is controlled and the half-opening state, the outlet Na temperature of an analysis result came to be less than the examination result. This reason is that the flow rate of air in a half-opening state is estimated more than the actual value. By the cause, it is considered to have calculated greatly the amount of heat exchange of an air cooler. Reflecting this result, to reduce the flow rate of air, the pressure loss coefficient of the vane was change to be high so that the amount of heat exchange might become small.

Input data was corrected as the above-mentioned. The air cooler model has been improved compared with the result before adjustment. As a result, close agreement between the analysis and the test was obtained.

From now on, after accumulation of data, the air cooler model will be improved to be able to calculate with high accuracy.

-
- 1) Nuclear Energy System Incorporated
 - 2) Engineering Section Monju Construction Office

目 次

| | |
|-----------------------------|----|
| 1. 目的及び概要 | 1 |
| 2. ACSモデル概要 | 1 |
| 2.1 実機と解析モデルの対応 | 1 |
| 2.2 基礎式 | 2 |
| 3. ACS廻り試験結果概要 | 3 |
| 3.1 データ測定概要 | 3 |
| 3.2 試験結果概要 | 4 |
| 4. 測定データと解析結果の比較 | 6 |
| 4.1 解析条件（2ケース共通） | 6 |
| 4.2 AC出口Na温度の比較（制御系を除いたケース） | 7 |
| 4.3 AC出口Na温度の比較（制御系を加えたケース） | 7 |
| 5. 入力データの調整とその結果 | 7 |
| 5.1 入力データの調整と結果（制御系を除いたケース） | 7 |
| 5.2 入力データの調整と結果（制御系を加えたケース） | 9 |
| 6. まとめ | 9 |
| 7. 参考資料 | 10 |

図・表リスト

| | | |
|---------|--|----|
| 表1 | 補助冷却設備計測点（1ループ） | 11 |
| 図2.1.1 | 補助冷却設備空気冷却器 | 12 |
| 図2.1.2 | ACS起動後の制御系 | 13 |
| 図2.1.3 | 補助冷却設備制御モード切換ロジック | 13 |
| 図2.1.4 | 手動トリップ時のインターロック (空気冷却器に関する部分) | 14 |
| 図3.1.1 | 空気冷却器出入口Na温度と流量測定位置 | 15 |
| 図3.1.2 | 補助冷却設備空気冷却器空気温度測定位置 | 16 |
| 図3.2.1 | 試験結果：ACS出入口Na温度（Aループ） | 17 |
| 図3.2.2 | 試験結果：ACS出入口Na温度（Bループ） | 17 |
| 図3.2.3 | 試験結果：ACS出入口Na温度（Cループ） | 18 |
| 図3.2.4 | A/Cプロペーンの動作モード変更所要時間（Aループ） | 18 |
| 図3.2.5 | A/Cプロペーンの動作モード変更所要時間（Bループ） | 19 |
| 図3.2.6 | A/Cプロペーンの動作モード変更所要時間（Cループ） | 19 |
| 図3.2.7 | 試験結果：ACS出入口Na流量 | 20 |
| 図3.2.8 | 試験結果：A/Cペーン開度 | 20 |
| 図3.2.9 | 試験結果：A/Cプロワ回転数 | 21 |
| 図3.2.10 | 試験結果：ACS出入口空気温度 | 21 |
| 図4.1.1 | 補助冷却設備空気冷却器 実機と解析モデルの位置関係（温度） | 22 |
| 図4.1.21 | 補助冷却設備空気冷却器 実機と解析モデルの位置関係（風量） | 23 |
| 図4.2.1 | 修正前モデルによる解析結果（Aループ） ACS出口Na温度（制御系モデルなし） | 24 |
| 図4.2.2 | 修正前モデルによる解析結果（Bループ） ACS出口Na温度（制御系モデルなし） | 24 |

| | |
|--------------------------------------|----|
| 図4.2.3 修正前モデルによる解析結果 (Cループ) | |
| ACS出口Na温度 (制御系モデルなし) | 25 |
| 図4.3.1 修正前モデルによる解析結果 (Aループ) | |
| ACS出口Na温度 (制御系モデルあり) | 26 |
| 図4.3.2 修正前モデルによる解析結果 (Bループ) | |
| ACS出口Na温度 (制御系モデルあり) | 26 |
| 図4.3.3 修正前モデルによる解析結果 (Cループ) | |
| ACS出口Na温度 (制御系モデルあり) | 27 |
| 図4.3.4 修正前モデルによる解析結果 (Aループ) | |
| ベーン開度 (制御系モデルあり) | 27 |
| 図4.3.5 修正前モデルによる解析結果 (Bループ) | |
| ベーン開度 (制御系モデルあり) | 28 |
| 図4.3.6 修正前モデルによる解析結果 (Cループ) | |
| ベーン開度 (制御系モデルあり) | 28 |
| 図5.1.1 空気冷却器によるNaと空気の交換熱量 [試験結果] | |
| (Na側から算出) | 29 |
| 図5.1.2 空気冷却器によるNaと空気の交換熱量 [解析結果—修正前] | |
| (Na側から算出: 制御系モデルなし) | 29 |
| 図5.1.3 空気冷却器によるNaと空気の交換熱量 [解析結果—修正後] | |
| (Na側から算出: 制御系モデルなし) | 30 |
| 図5.1.4 プロワ風量特性修正モデルによる解析結果 (Aループ) | |
| ACS出口Na温度 (制御系モデルなし) | 30 |
| 図5.1.5 プロワ風量特性修正モデルによる解析結果 (Bループ) | |
| ACS出口Na温度 (制御系モデルなし) | 31 |
| 図5.1.6 プロワ風量特性修正モデルによる解析結果 (Cループ) | |
| ACS出口Na温度 (制御系モデルなし) | 31 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| 図5.1.7 修正前後のベーン (+出口ダンバ) 開度vs抵抗係数 | 32 |
| 図5.1.8 修正後モデルによる解析結果 (Aループ) | |
| ACS出口Na温度 (制御系モデルなし) | 33 |
| 図5.1.9 修正後モデルによる解析結果 (Bループ) | |
| ACS出口Na温度 (制御系モデルなし) | 33 |
| 図5.1.10 修正後モデルによる解析結果 (Cループ) | |
| ACS出口Na温度 (制御系モデルなし) | 34 |
| 図5.2.1 修正後モデルによる解析結果 (Aループ) | |
| ACS出口Na温度 (制御系モデルあり) | 35 |
| 図5.2.2 修正後モデルによる解析結果 (Bループ) | |
| ACS出口Na温度 (制御系モデルあり) | 35 |
| 図5.2.3 修正後モデルによる解析結果 (Cループ) | |
| ACS出口Na温度 (制御系モデルあり) | 36 |
| 図5.2.4 修正後モデルによる解析結果 (Aループ) | |
| ベーン開度 (制御系モデルあり) | 36 |
| 図5.2.5 修正後モデルによる解析結果 (Bループ) | |
| ベーン開度 (制御系モデルあり) | 37 |
| 図5.2.6 修正後モデルによる解析結果 (Cループ) | |
| ベーン開度 (制御系モデルあり) | 37 |
| 図5.3.1 修正後モデルでのモード切換わり時間の差 (Aループ) | |
| ベーン開度 (制御系モデルあり) | 38 |
| 図5.3.2 修正後モデルでのモード切換わり時間の差 (Bループ) | |
| ベーン開度 (制御系モデルあり) | 38 |
| 図5.3.3 修正後モデルでのモード切換わり時間の差 (Cループ) | |
| ベーン開度 (制御系モデルあり) | 39 |

1. 目的及び概要

モジュール型汎用プラント動特性解析コードSuper-COPDの整備の一環として、補助冷却設備 空気冷却器（以下「A／C」という）廻りの入力データについて検討を行った。

A／Cはプラントトリップ時に安全保護系により起動し、その後のA／C出口Na温度の制御は制御系に引き継がれる。A／Cの制御は単に電気的な信号の伝達に留まらず、物理動作のフィードバックをモニターしているため、やや複雑な動作をする。そのため、ベーンやプロワ等の機器特性の検討を容易にする意味合いから制御系（インターロックを含む）を排してプロワ風量特性やベーン抵抗係数等の機器特性データを調整し、その後、制御系を含めたACS（A／C廻り）のデータ調整を行った。その結果、比較的良好な結果を得ることができたようになつた。

2. ACSモデル概要

2.1 実機と解析モデルの対応

もんじゅのA／Cは、2次主冷却系より分岐した補助冷却設備に設置されていて、プラントトリップ時に炉心崩壊熱の除去を行う。図2.1.1に示すように、フィン付き伝熱管を使用した15MW以上の除熱容量を持つ冷却器で、プロワ（送風機）による強制冷却方式を採用している。また、自然循環による除熱も可能なように、構造（出口ダクトを適切に長くすることで通風能力を高める）や配置上（伝熱中心が炉心や中間熱交換器より高くなるように配置しNaの循環を促す）の配慮がなされている。

A／Cは、図2.1.2に示す制御系により、制御目標温度（ACS起動5分前における蒸発器出口Na温度に設定）とA／C入口Na温度との偏差でベーン（プロワの吸気部分に設置されている、風量を調節する機器）及び出口ダンパ（出口ダクトの入口部分に設置されている、風量を調節する機器）の開度を変化させ、空気流量を調節することでA／C出口Na温度を制御する。

また、A／Cは、除熱量の違いによりI, II, IIIの3種類の制御モードを持っている。ACS起動直後はモードIになるように設定されており、制御モードの変更は、図2.1.3に示す制御モード切換ロジックで行われる。制御モード切換はベーン開度に連動して働くリミトルク（ベーンの回転軸に設置されているスイッチ）により、次のように切換していく。

モードⅠ：送風機高速運転 ベーン開度が10%以下になるとモードⅡに変化
回転速度は 約720 rpm (制御モード変更まで一定回転数を保持)

モードⅡ：送風機低速運転 [ベーン開度が10%以下になるとモードⅢに変化
ベーン開度が90%以上になるとモードⅠに変化]

回転速度は 約240 rpm (制御モード変更まで一定回転数を保持)

モードⅢ：送風機停止 ベーン開度が90%以上になるとモードⅡに変化

A/Cの機器については、コード上では以下に示すように4ブロックに分離され、各々独立したモジュールで模擬している。実機と解析モデルの対応については「4.1 解析条件」の項で述べる。

| | |
|----------------|---------|
| (1)送風機 | PPモジュール |
| (2)伝熱部 | ACモジュール |
| (3)ベーンおよび出口ダンパ | VVモジュール |
| (4)入口ダンパ | VVモジュール |

] パラメータは異なる

※ 伝熱部空気入口温度は一定であるとして、入口ダクト部はモデル化していない。

※ 実機では、ベーンと出口ダンパは同じ開度に制御されている。コード上ではこれら2個の機器を1個として模擬している。以後の説明ではこれらの機器を総称してベーンと呼ぶ。

また、空気流量の計算はFAモジュール(送風機、ベーン、入口ダンパの計算結果はこのモジュールのパラメータになる)、インターロック(図2.1.4)をLGモジュール、制御系はCLモジュールで模擬している。

ACSを構成する機器には、A/C以外にも空気冷却器出口止弁(以下「C弁」という)や空気冷却器出口止弁バイパス弁(以下「D弁」という)も含まれる。実際は、これらの弁によりNa流量が一定に制御されているが、今回のモデルでは、Na流量の試験結果を時系列データとして入力している。

2.2 基礎式

以下にA/Cで行われるNaと空気の伝達相関式を示す。

a) 伝面密度 s_1 (m^2/m) (Na、空気側共通：伝熱管肉厚中心基準)

$$s_1 = (d_1 + (d_2 - d_1)/2) \times \pi \times n$$

d_1 : 伝熱管内径 (m), d_2 : 伝熱管外径 (m), n : 伝熱管本数

今回の解析では伝面密度を調整パラメータとした。

b) ナトリウム側熱伝達率

$$Re = \frac{|G_n| \times d_n}{\rho_n \times A_n \times \nu_n}$$

G_n : Na流量 (kg/sec)
 d_n : 伝熱管内径 (m)
 ρ_n : Na密度 (kg/m³)
 A_n : Na側流路断面積 (m²)
 ν_n : Na動粘性係数

 $P_e = Pr \times Re$

$$Nu = 5.0 + 0.025 \times Pe^{0.8} \quad (\text{Subbotinの式})$$

c) 空気側熱伝達率

$$Re = \frac{G_a \times d_a}{\rho_a \times A_a \times \nu_a}$$

G_a : 空気流量 (kg/sec)
 d_a : 空気側伝熱管等価直径 (m)
 ρ_a : 空気密度 (kg/m³)
 A_a : 空気側流路断面積 (m²)
 ν_a : 空気動粘性係数

$$Nu = -0.24448 + 9.6069e-3 \times Re \quad (Re \leq 3520 \text{ のとき})$$

又は

$$Nu = 10.076 + 6.6733e-3 \times Re \quad (Re > 3520 \text{ のとき})$$

d) フィン効率

$$\eta_f = 0.99929 - 3.6095e-5 \times Re \quad (Re \leq 3200 \text{ のとき})$$

又は

$$\eta_f = 0.9449 - 1.9092e-5 \times Re \quad (Re > 3200 \text{ のとき})$$

3. ACS廻り試験結果概要

3.1 データ測定概要

マイダス収録装置で収集可能なACS廻りの設備計測点には表1に示す14点がある。これらのうち、今回のデータ整備と関連する9点の測定位置を以下に示す。

- ・ A/C入口Na温度 (図3.1.2 /マイダス収録装置への出力は1点)
- ・ A/C出口Na温度 (図3.1.2 /マイダス収録装置への出力は1点)
- ・ A/C入口空気温度 (図3.1.3 /内壁から約5cm離れた位置で計測)
- ・ A/C出口空気温度 (図3.1.3 /内壁から約5cm離れた位置で計測)
- ・ ACS出口Na流量 (図3.1.2 /マイダス収録装置への出力は1点)

- ・ A/Cベーン開度（開閉部の支点で計測）
- ・ A/C入口ダンパ開度（開閉部の支点で計測）
- ・ A/C出口ダンパ開度（開閉部の支点で計測／マイダス収録装置への出力は1点）
- ・ A/C送風機回転数（軸部で計測）

これらはマイダス収録装置にてサンプリングタイム0.1秒でデータ収録した。

3.2 試験結果概要

ここではA/C廻りの測定結果のうち、計算対象箇所についての概要を以下に述べる。

(1) A/C出入口Na温度

プラントトリップ時のA/C出入口Na温度を図3.2.1～図3.2.3に示す。

① Na側入口温度

- ・ Bループの温度の低下開始時間が、他ループに比べて早い。これはBループの2次系配管が他のループより短かいため、Naの循環時間が短くなり、1次系の低温なNaの影響が早く温度検出器に現れるためと考えられる。

以下に、各ループの配管長を示す。SG側とは通常運転において主流である、SGを経由する場合の一巡の配管長であり、ACS側とはトリップ後に主流になる、ACSを経由する場合の一巡の配管長である。Bループの配管長は他ループに比べ、約2/3程度であることが分かる。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Aループ: } 357.2 \text{m (SG側: 通常)}, 342.0 \text{m (ACS側)} \\ \text{Bループ: } 229.0 \text{m (")}, 213.8 \text{m (")} \\ \text{Cループ: } 363.2 \text{m (")}, 348.0 \text{m (")} \end{array} \right.$$

- ・ 各ループ共、トリップ後に約25°Cの温度上昇が見られる。これは、ACSの起動によってA/C内の流量が増加した際に、主冷却系内の高温Naが多量に流入するためである。ACS配管内のNa温度が主冷却系のNaよりも温度が低い理由としては、トリップ前のACS配管ではNa流量が少ないと想定され、大気への放熱による温度低下がA/C起動後より顕著に表れたためと考えられる。

② Na側出口温度

- ・ 各ループ共、ほぼ同様な温度低下を示す。トリップ後約90～105分付近で一時的な温度低下がある。これはA/Cの制御モードがIからIIへ変化したため

で、図3.2.4～図3.2.6に示すように、プロワが高速回転から低速回転に移行し安定するまでの時間（全ループ共、約140秒）よりも、ベーンが制御開度に至る時間（全ループ共、5秒以内）が短いため、風量が一時的に増大するのが原因であると考えられる。

(2) Na流量

ACS流量は図3.2.7に示すように、トリップ前の約1kg/secよりC弁が制御により開くことで、トリップ後約5分で所定の約6.5kg/secになる。この間、D弁は初期開度を維持する。

(3) ベーン開度

ベーン開度の変化を図3.2.8に示す。ベーンはトリップ後、制御されてほぼ全開になる。しかし制御系には、開閉動作を安定させるためにデッドバンドと呼ばれる不感帯が設けてあるため、完全に全開にならず、98%開程度となる。

その後の応答の傾向は全ループで共通だが、Bループは他ループより速い応答を示す特性がある。これは、A/C入口Na温度の推移の相違が影響している。

(4) プロワ回転数

プロワ回転数の変化を図3.2.9に示す。プロワは制御モードI, II, IIIに対応して、高速運転、低速運転、停止の3種類のモードがある。

プロワは起動後、制御モードIに対応して高速運転を行い、トリップ後90分以降、制御モード切換えに合わせて低速運転に移行している。

(5) A/C出入口空気温度

A/C出入口空気温度の変化を図3.2.10に示す。A/C入口空気温度はほぼ外気と等しく、殆ど変化しない。

A/C出口空気温度は、Bループは15分、他ループでは20分まで下降を続け、その後は上昇に転じる。ここでもBループの応答は他ループに比べて速い傾向がある。

(6) 測定結果のまとめ

A/C廻りの全ての機器は計画通りに動作（インターロック通り）し、A/C出口Na温度は所定の温度に安定して制御されていることが分かった。また、Bループは2次系配管が他のループより短かいため、Naが循環に要する時間が短くなり、他のループよりも先行して過渡変化が現れる傾向があることが分かった。

4. 測定データと解析結果の比較

プラントトリップ試験で測定したA/C出口Na温度と解析結果の比較を制御系モデルを除いたケースと制御系モデルを組込んだ場合のケースの、2ケースについて行った。以下にその内容を述べる。

4.1 解析条件（2ケース共通）

以下にACSの解析条件の概要を説明する。

(1) 解析モデルの概要

解析に使用したA/C廻りの解析モデルを図4.1.1～図4.1.2に示す。試験で収録しているA/C出入口温度計測器は、A/Cに接続する配管上に設置されているため、この部分をも含めた構成になっている。

(2) 境界条件

解析モデルの境界条件は、以下に示すプラントトリップ試験で測定した結果を直接入力データとして与えている。

- ・ ACS入口Na温度 (図3.2.1～図3.2.3 参照)
- ・ ACS入口空気温度 (図3.2.15参照)
- ・ ACSNa流量 (図3.2.7 参照)
- ・ A/Cプロワ回転数 (図3.2.14参照)
- ・ A/Cベーン開度 (図3.2.11～図3.2.13参照)

制御系を加えたモデルでは、上記条件のうちコード内で計算される、A/Cプロワ回転数及びA/Cベーン開度を除いたものが境界条件となる。

4.2 空気冷却器出口Na温度の比較（制御系を除いたケース）

空気冷却器出口Na温度の比較を図4.2.1～図4.2.3に、ベーン開度の比較を図4.2.4～図4.2.6に示す。全ループとも10～20℃の差異がある。この差異を細かく見てゆくとトリップ20分～30分後までは、解析結果の方が試験結果より温度が高く、これ以降は解析結果と試験結果の高低が逆転している。この要因としては、

- ① ベーンの圧損特性が実機の特性にあっていない

$\left[\begin{array}{ll} \text{圧損小: 同一開度において風量が増加し、A/C出口Na温度が下降する。} \\ \text{圧損大: " 減少し, " 上昇する。} \end{array} \right]$

- ② A/Cの除熱特性が実機の特性にあっていない

$\left[\begin{array}{ll} \text{伝熱効率良: 熱交換量が増加し、A/C出口Na温度が下降する。} \\ \text{伝熱効率否: " 減少し, " 上昇する。} \end{array} \right]$

- ③ プロワの風量特性が実機の特性にあっていない

$\left[\begin{array}{ll} \text{風量特性良: 熱交換量が増加し、A/C出口Na温度が下降する。} \\ \text{風量特性否: " 減少し, " 上昇する。} \end{array} \right]$

が考えられる。データの調整方法は5項で述べる。

※ 図4.2.1の解析結果では、トリップ直後のピークが試験値に比べて5℃程度高く現れている。この原因は、先に述べている「トリップ20分～30分後までは、解析結果の方が試験結果より温度が高くなっている。」のと同じ理由によるものである。後でこの部分のデータを調整するが、調整後の結果ではこのピークは試験結果ほぼ一致する。

4.3 空気冷却器出口Na温度の比較（制御系を加えたケース）

空気冷却器出口Na温度の比較を図4.3.1～図4.3.3に、ベーン開度の比較を図4.3.4～図4.3.6に示す。ACS出口Na温度制御系は、A/C出口温度を制御目標温度に合致させるために、ベーン開度を調整する働きをする。解析結果では、ベーンの開度が常に試験結果を上回っているものの、温度は試験結果に比較的合致している。つまり、この制御系モデルの特性からすれば、このモデルは正しく動作している。

5. データの調整とその結果

5.1 入力データの調整と結果（制御系を除いたケース）

① ブロワ風量特性の調整

トリップ直後はベーンがほぼ全開であり、この状態が600 秒前後持続する。この間、解析結果の出口Na温度は試験結果のそれよりも高くなっている。これは、ベーンの抵抗係数がほとんど0に近いことを考えれば、解析では実際よりも、A/Cの除熱能力を小さく見積もっているか、吸込み風量を小さく見積もっているかのどちらかである。このため交換熱量は、図5.1.1～図5.1.2 に示すようにトリップ直後で、試験データから算出される交換熱量は設計値15 MWを上回る。このような結果がでた理由は、従来データが設計値をベースに作成されているのに対して、実機は設計よりも良い性能に製作されているためである。

A/Cの除熱能力を正しく模擬できるようにするためにには4.2 項で述べている②か③を調節すればよい。今回は②が正しいものとして考え、③のブロワの風量特性を調節した。その結果得られた交換熱量は図5.1.3 に示すように非常に類似した結果が得られるようになった。

②を正しいとした理由は、平成6年度にもんじゅ総合機能試験データによる検証として整備を行っている。ただし、このデータは大洗工学センターにある50 MW SG-TFの実績値を外挿した暫定式（別添にて概要説明、参考資料5参照）であることから、多少パラメータを振っている。（4%伝面密度を増やしている）

② ベーン圧損特性の調整

前項の検討結果を踏まえて、トリップ直後のA/Cの除熱量を調整した。その結果得られたA/C出口Na温度の温度挙動を図5.1.4～図5.1.6 に示す。この結果から、トリップ直後のベーンが全開である領域において、解析結果と試験結果は比較的良く一致していることが分かる。ただし、それ以降のベーンが開度を制御されている状況下での、先の部位の挙動は解析結果が試験結果を下回る。差異が出る要因は4.2 項の①～③と同様である。②と③は、既に調節が済んでいるため、結論として、①のベーンの圧損特性が実機の特性にあっていないと考えられる。よって、この間のベーンの圧損特性を調整した。図5.1.7 に調整前後の開度vs抵抗係数の関係

図を示す。調整後のA／C出口Na温度の比較は図5.1.8～図5.1.10に示す。ベーン開度は境界条件であるため図4.2.4～図4.2.6と同じである。

上記結果から、全体としてモデルの改良をしなくても、データの調整のみで、試験と解析で良く一致するようになった。特に、30分後の準定常状態時の改善効果が大きいという結果を得た。

5.2 入力データの調整と結果（制御系を加えたケース）

制御系モデルを加えた場合のA／C出口Na温度の比較結果を図5.2.1～図5.2.3に、ベーン開度の比較結果を図5.2.4～図5.2.6に示す。ベーン開度及びACS出口Na温度とも良く模擬されている。しかし、制御系データについては何も手を加えていないことから、制御系を除いたケースで良い結果が得られれば、制御系を加えても良い結果が得られるようである。つまり、制御系モデルについては従来から良く模擬されていて、特に調整する必要はないといえる。

[補足]

ACSの制御モードが切換わるタイミングは、図5.3.1～図5.3.3に示す様に、データを調整した後でも模擬できない。この原因としては、リミトルクに装着されているリミットスイッチが、設計では10%に設定されているはずであるが、実際には多少ずれている為と思われる。30%開度以下の開度変化は非常に緩慢で、僅かな開度差でも数分のオーダーでタイミングがずれる。今回の一連のデータ整備解析において、図5.3.1～図5.3.3に示す解析を除いた全てで、制御モード切換わり信号の発信タイミングを時系列データにして、試験値を入力している。

6. まとめ

プラント動特性解析コード整備の一環としてACSモデルについて試験データとの比較を行い、入力データの調整を行った。その結果、概ねACS出口Na温度は良く模擬できるようになった。

今回の整備にでは、以下の手順で入力データの調整を図った。

- (1) トリップ試験のデータから、ACSの熱流動挙動を整理した。
- (2) 現状のACSモデルと実際の挙動から試験と解析の差異の原因を検討した。
- (3) (2)の検討結果を踏まえてデータ検討、調整を行った。

具体的には、以下の入力データの調整を行った。

- (1) 制御モードI、ベーン全開時のプロワ風量特性を調整した。
- (2) 制御開においてより精度良く模擬するため、ベーンの抵抗係数を調整した。

その結果、ACS出口Na温度の挙動が良い精度で計算できるようになった。

また、今後の課題として、トリップ直後からベーン全開保持時のACS出口Na温度挙動については更に検討の余地があると思われる。

7. 参考資料

- (1) PNC ZJ2449 90-001(1) 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)
- (2) もんじゅテクニカルレポート ES-08-013 プラントトリップ試験結果の整理（その4：A/C）
- (3) 大洗技術資料 6-SY-009 Super-COPD検証・整備 プログラム改修書
- (4) PNC N9520 89-001 モジュール型プラント動特性解析コード Super-COPD
コード使用説明書
- (5) PNC ZN6410 95-060 プラント動特性解析コードSuper-COPDの開発
もんじゅ総合機能試験データによる検証

表1 補助冷却設備計測点（1ループ）

| No. | 測定点 | 検出器数 | 用途 |
|-----|---------------------|------|--|
| 1 | 空気冷却器入口ナトリウム温度 | 3 | 空気冷却器出口ナトリウム温度制御, ACS待機時流量制御, 記録, 指示, 監視(計算機入力), 警報(偏差大) |
| 2 | 空気冷却器出口ナトリウム温度 | 3 | 空気冷却器出口ナトリウム温度制御, 記録, 警報(高, 低, 偏差大), 指示, 監視(計算機入力), 2/2 ポニーモータトリップ(高々), 2/2 送風機モータトリップ(低々) |
| 3 | 空気冷却器入口空気温度 | 1 | ACS待機時流量制御, 監視(計算機入力), 指示, |
| 4 | 空気冷却器出口空気温度 | 1 | 監視(計算機入力) |
| 5 | 補助冷却設備流量 | 3 | 流量制御, 記録, 監視(計算機入力), 指示, 警報(高, 偏差大), 2/2 主モータトリップ(高々), 2/2 ポニーモータトリップ(低) |
| 6 | 空気冷却器用送風機軸受温度 | 2 | 警報(高), 記録 |
| 7 | 空気冷却器用送風機駆動モータ軸受温度 | 2 | 警報(高), 記録 |
| 8 | 空気冷却器出口止め弁開度 | 1 | 指示, 監視(計算機入力) |
| 9 | 空気冷却器出口止め弁バイパス弁開度 | 1 | 指示, 監視(計算機入力) |
| 10 | 空気冷却器用送風機ベーン開度 | 1 | 指示, 監視(計算機入力) |
| 11 | 空気冷却器入口ダンパ開度 | 1 | 指示, 監視(計算機入力) |
| 12 | 空気冷却器出口ダンパ開度 | 2 | 指示, 監視(計算機入力) |
| 13 | 空気冷却器用送風機回転数 | 1 | 指示, 監視(計算機入力) |
| 14 | 空気冷却器出口止め弁バイパスライン流量 | 1 | ACS待機時流量制御, 警報(高), 空気冷却器出口止め弁バイパス弁停止(高) |

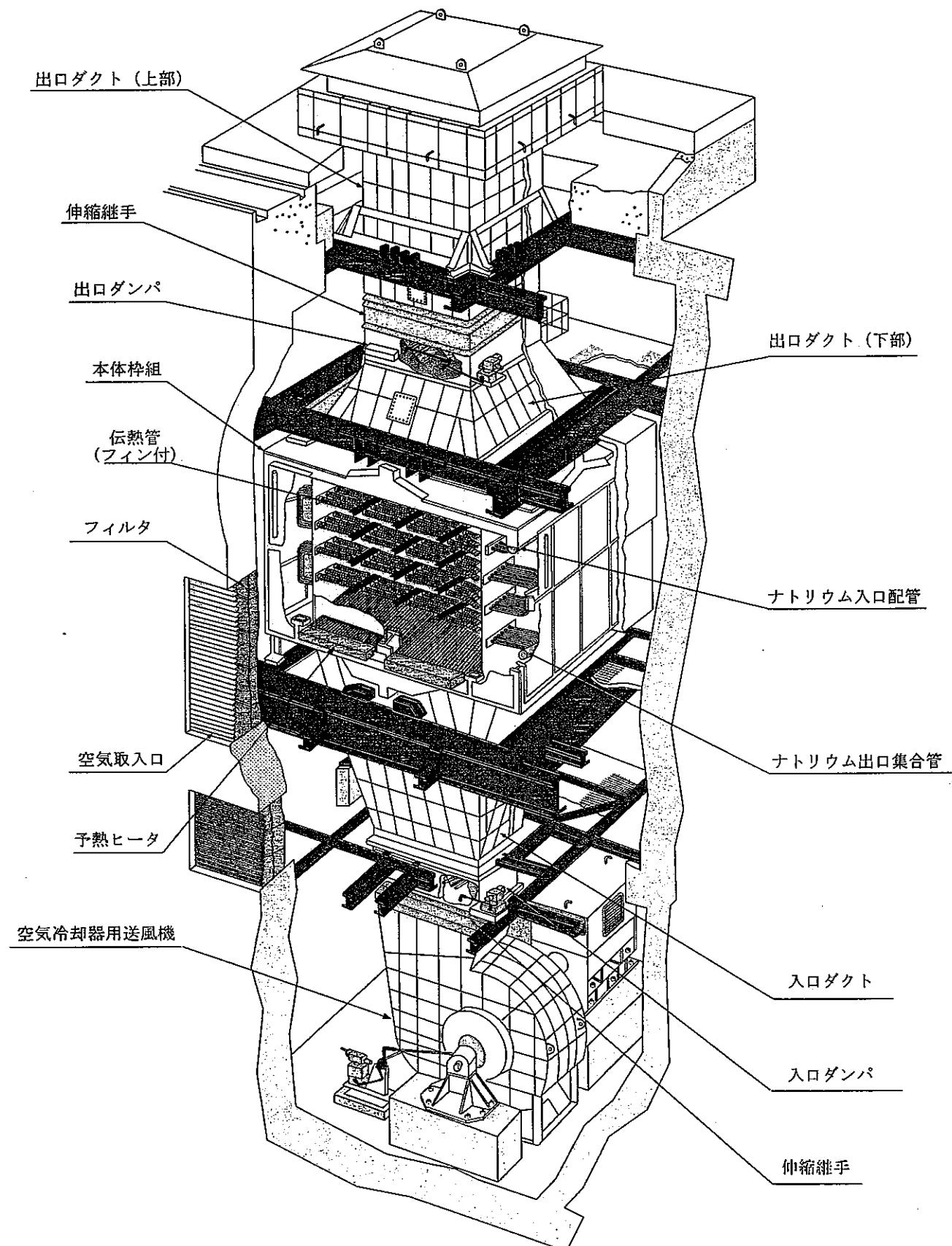


図2.1.1 補助冷却設備空気冷却器

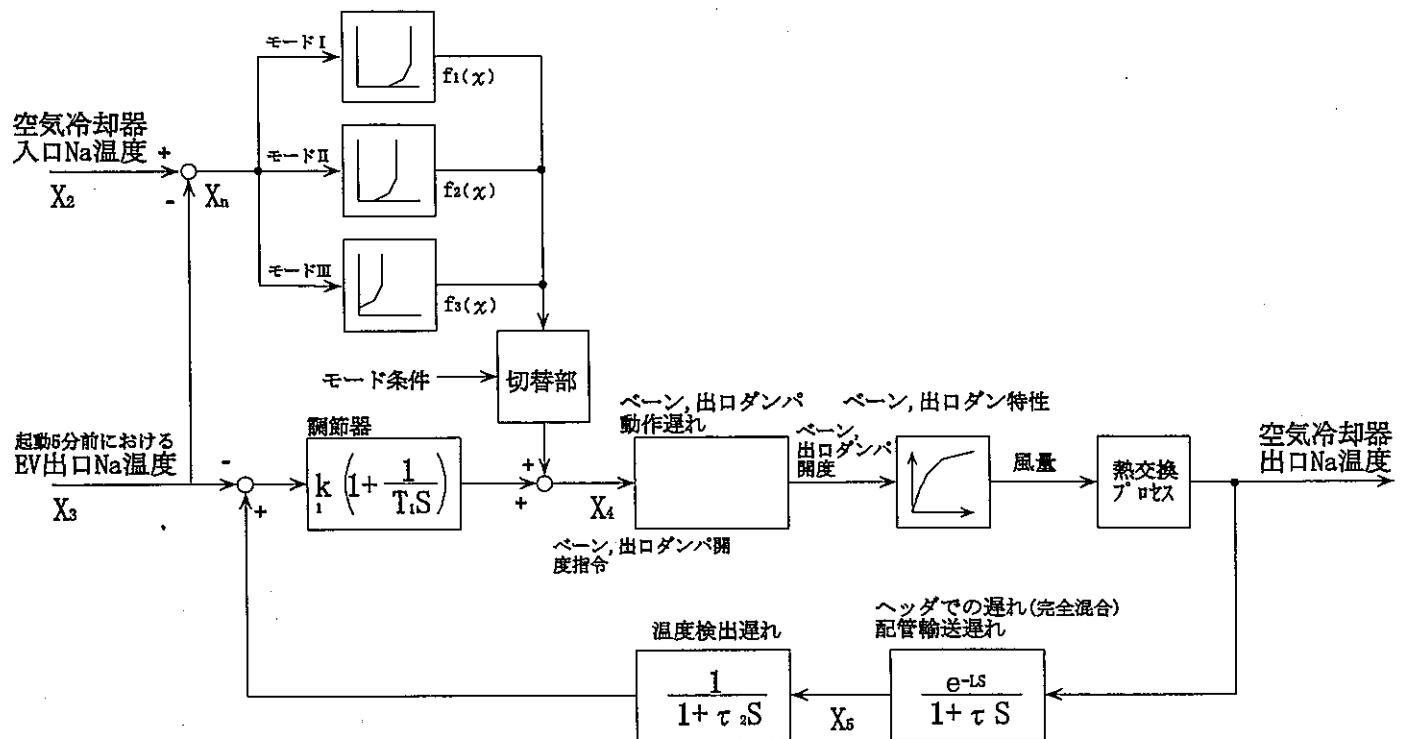


図2.1.2 ACS起動後の制御系

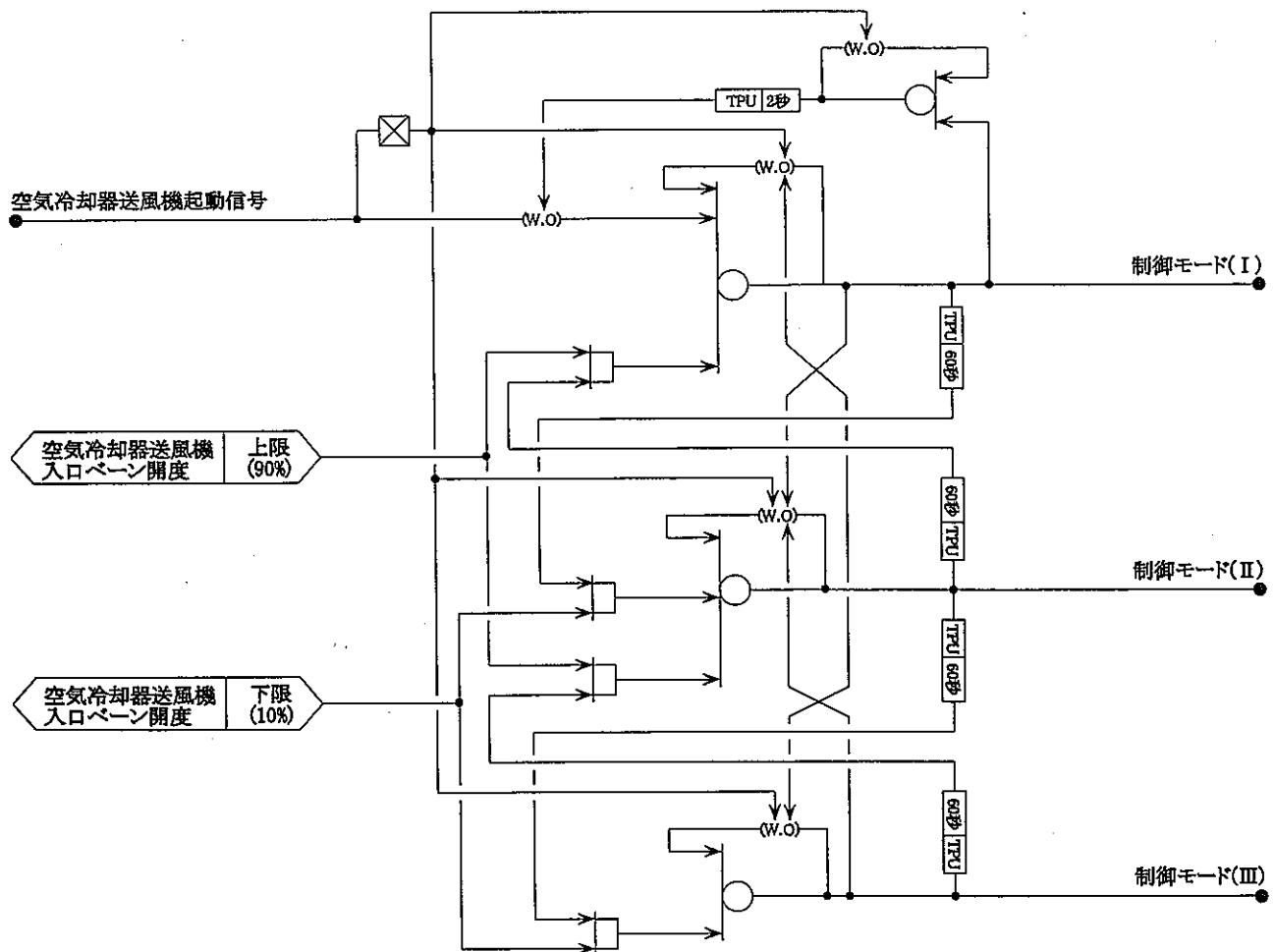


図2.1.3 補助冷却設備制御モード切換ロジック

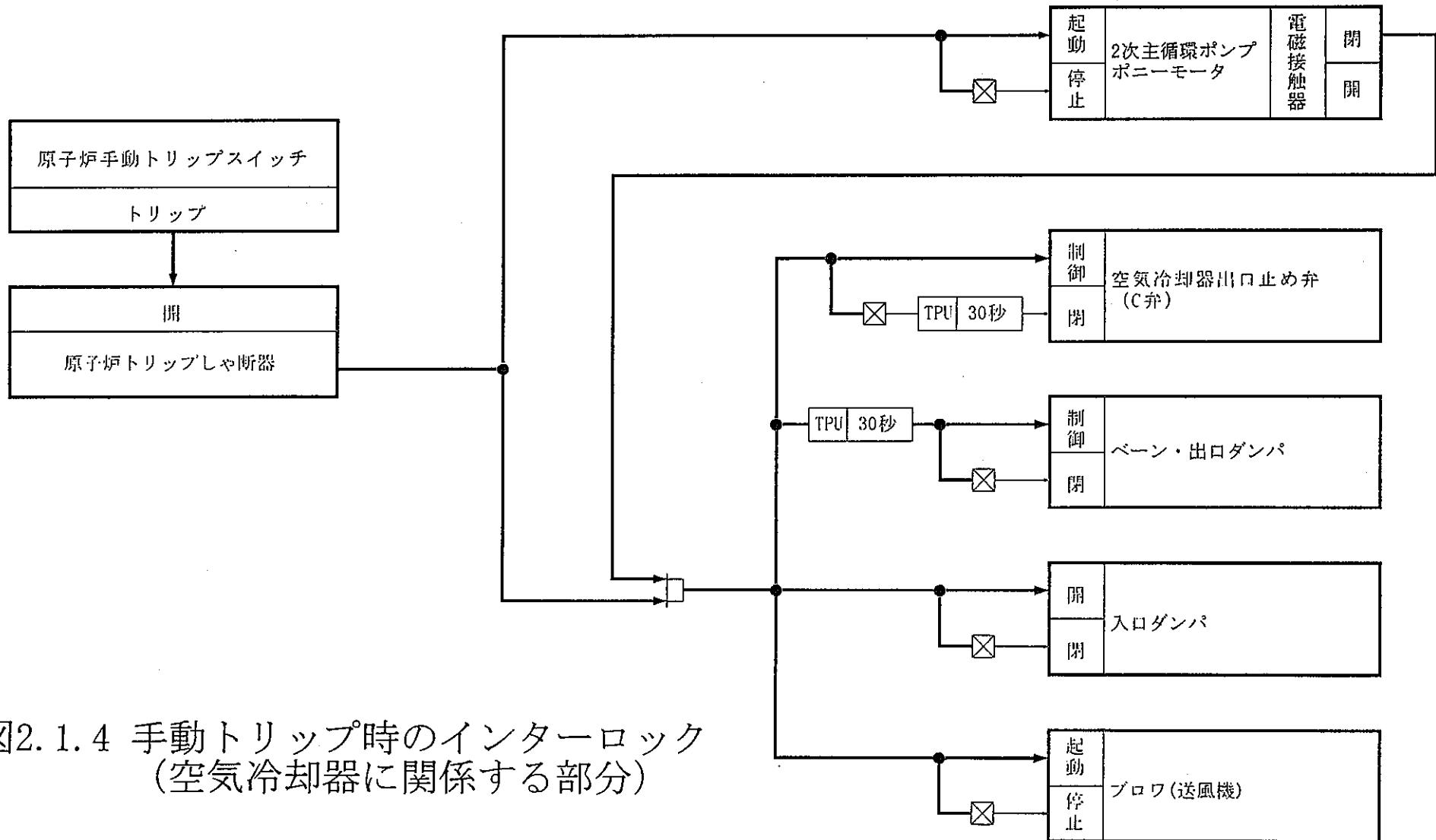


図2.1.4 手動トリップ時のインターロック
(空気冷却器に関係する部分)

Super-COPDコードの
LGモジュールに対応

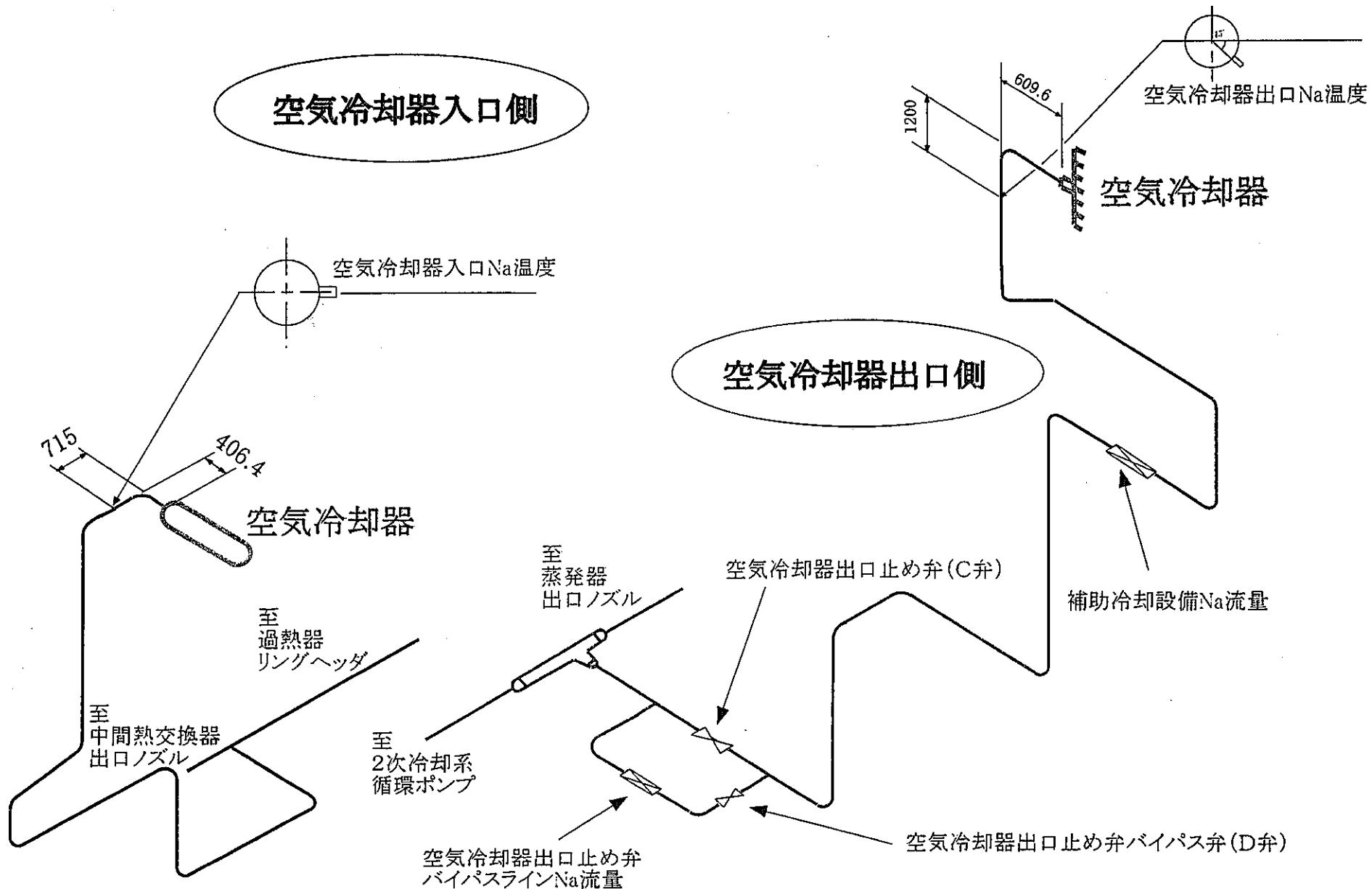


図3.1.1 空気冷却器出入口Na温度と流量測定位置

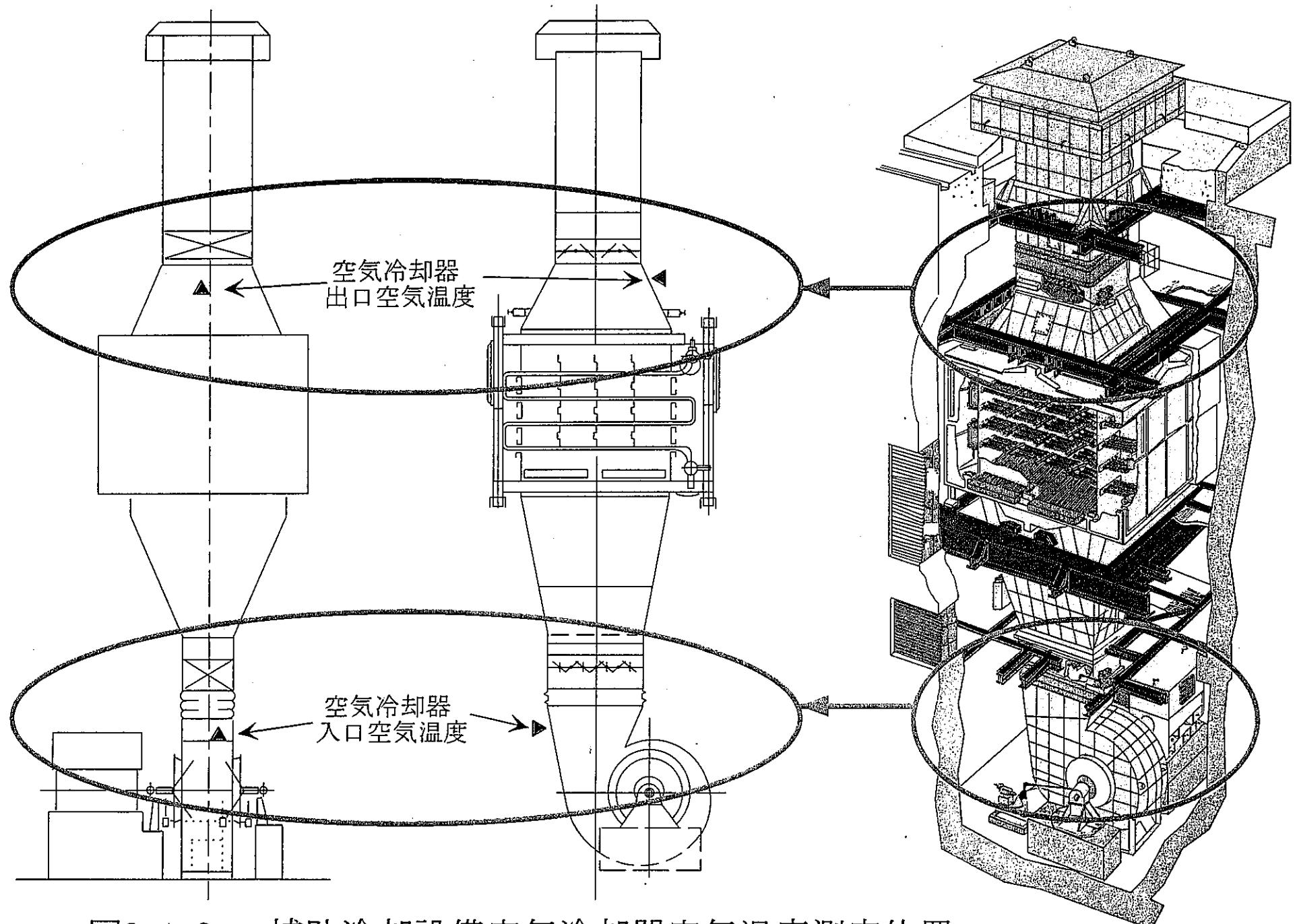


図3.1.2 補助冷却設備空気冷却器空気温度測定位置

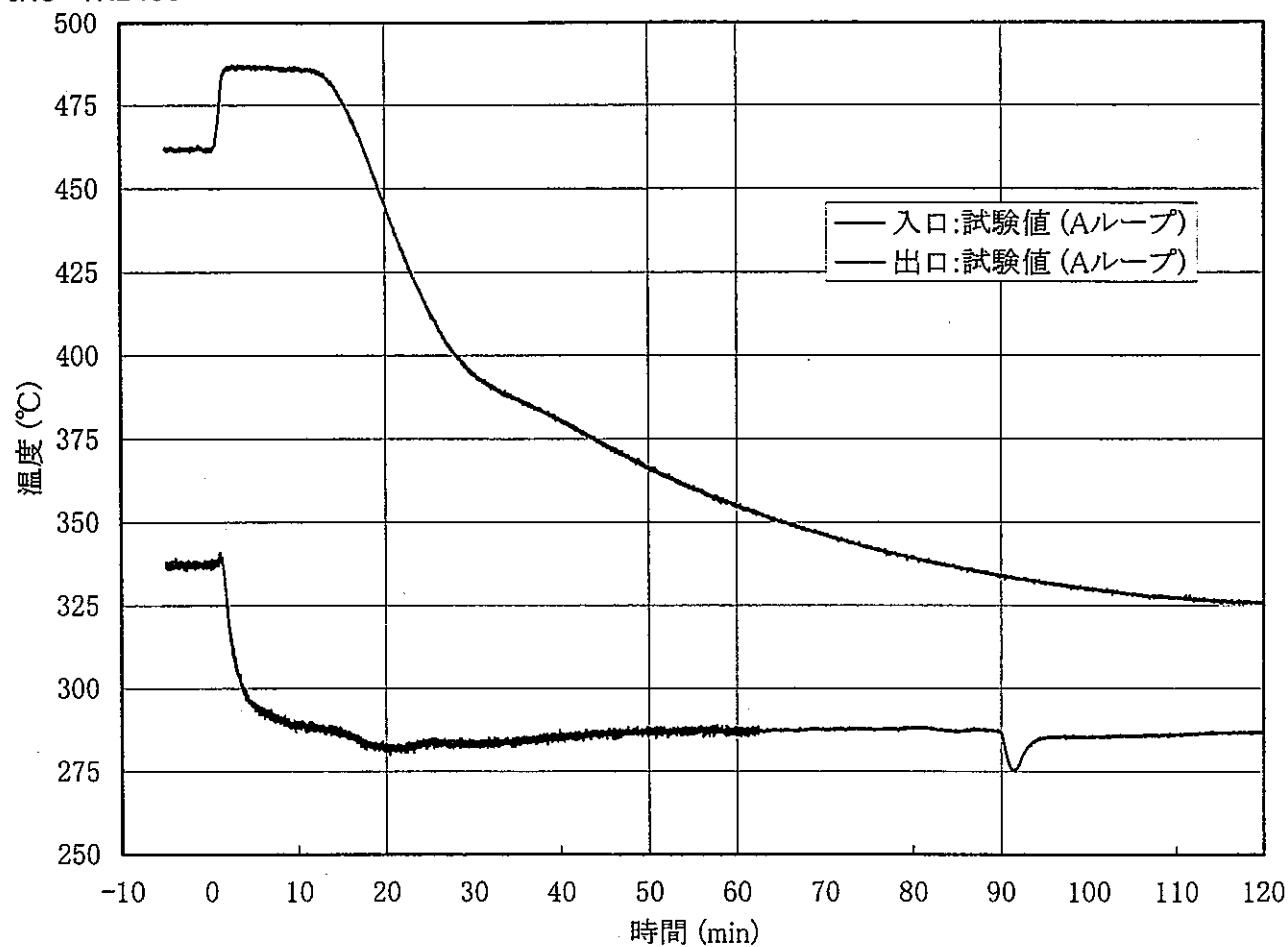


図3.2.1 試験結果:ACS出入口Na温度 (Aループ)

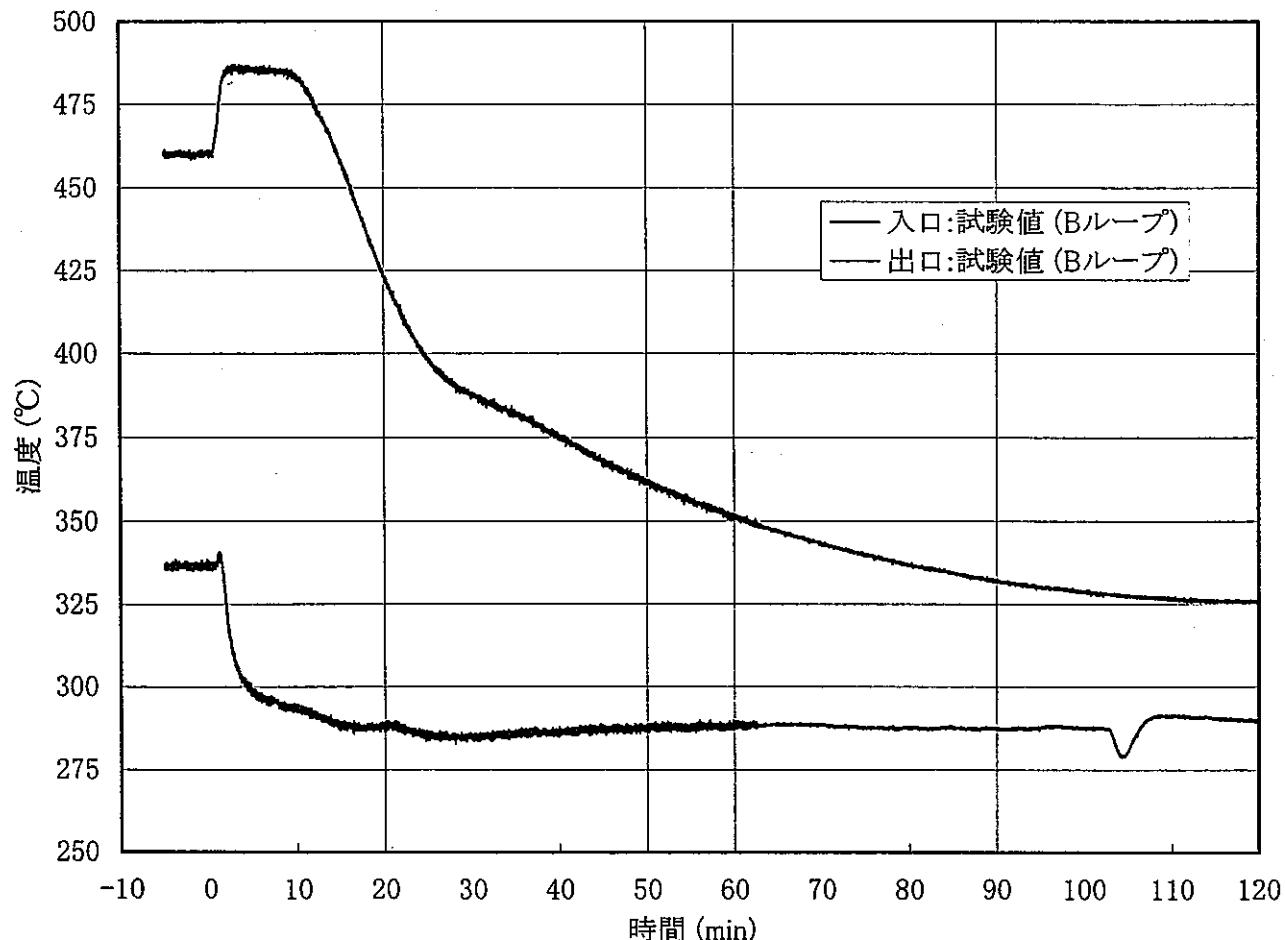


図3.2.2 試験結果:ACS出入口Na温度 (Bループ)

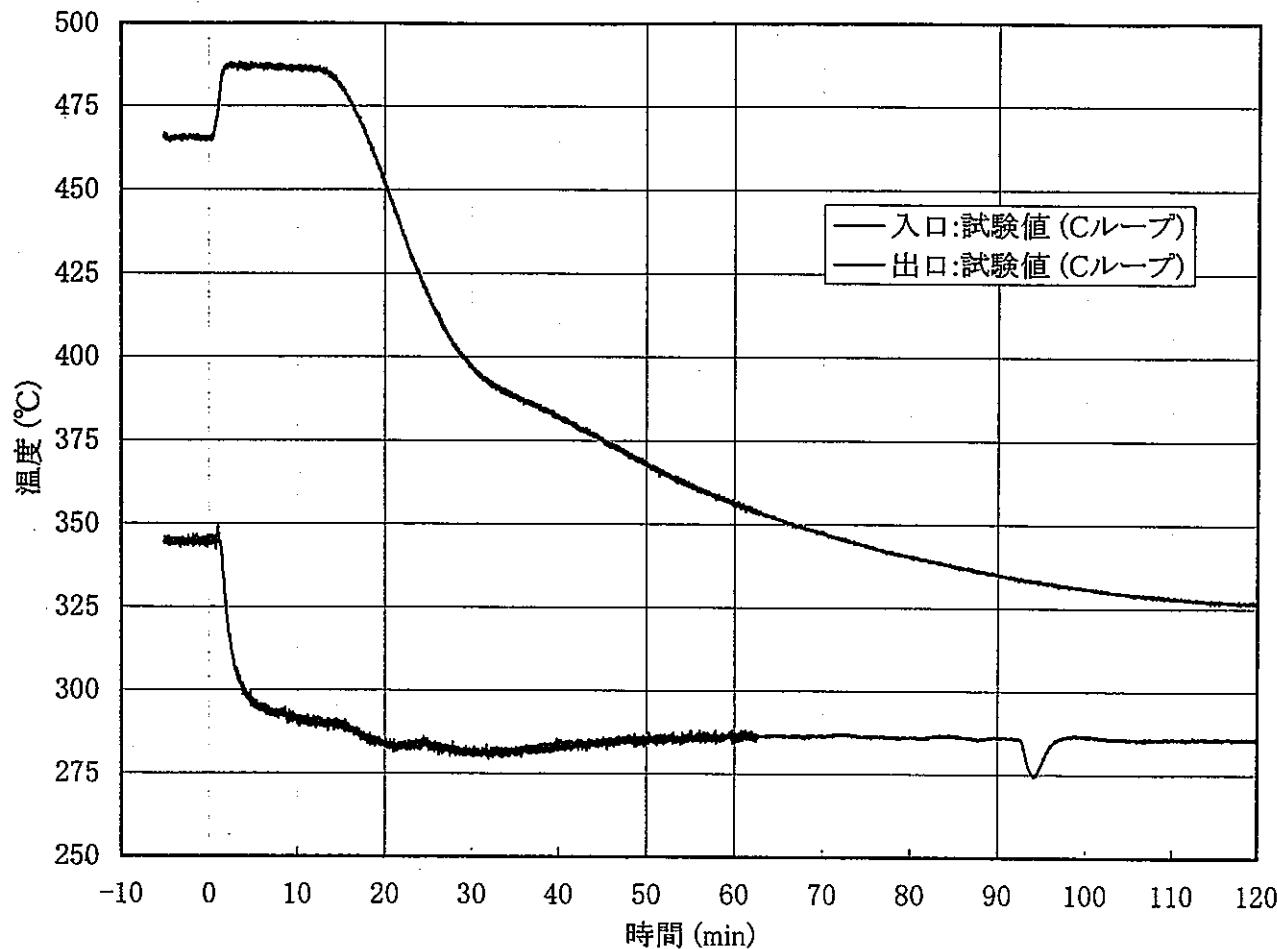


図3.2.3 試験結果:ACS出入口Na温度(Cループ)

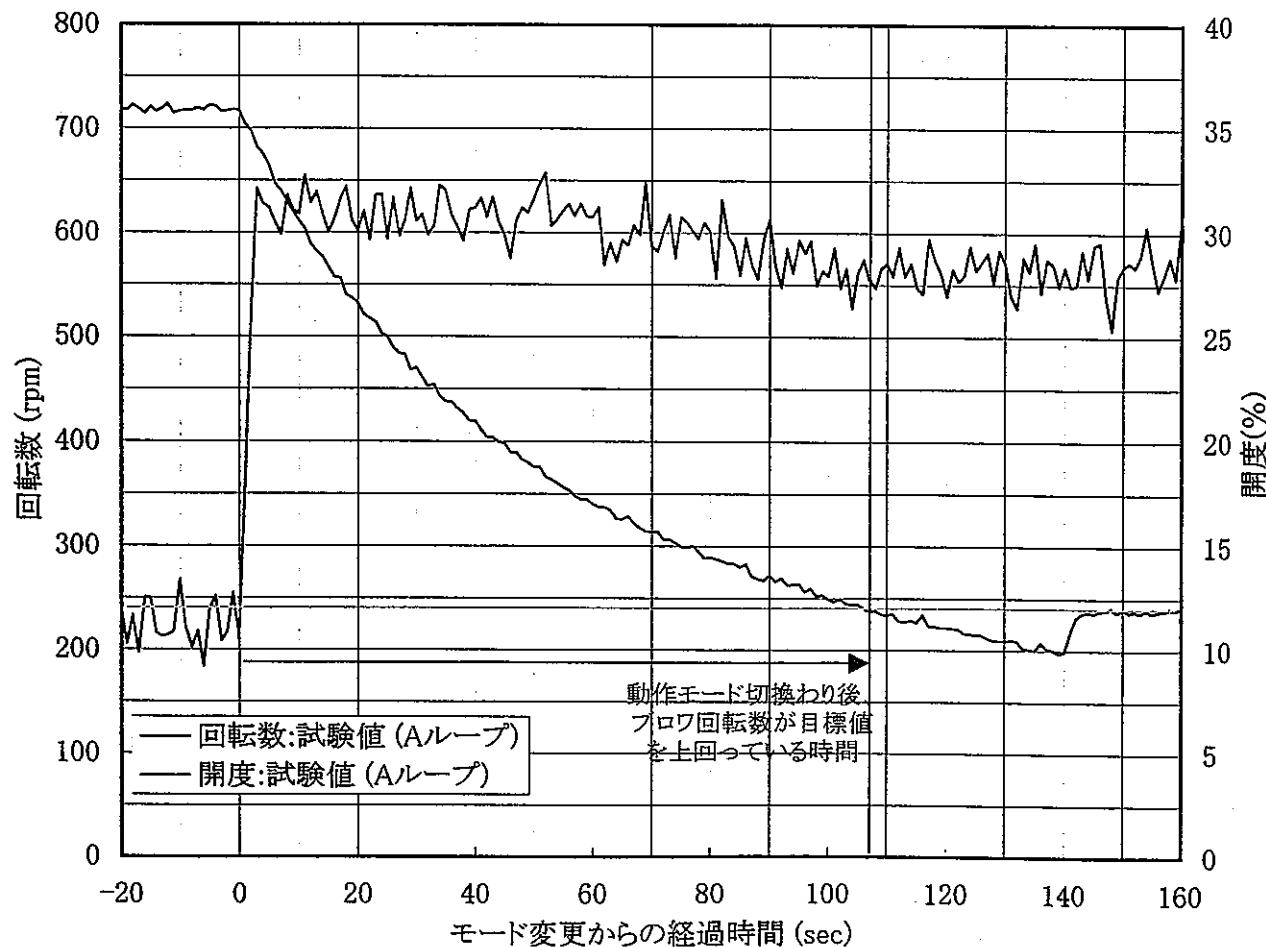


図3.2.4 A/Cプロワ,ベースの動作モード変更所要時間(Aループ)

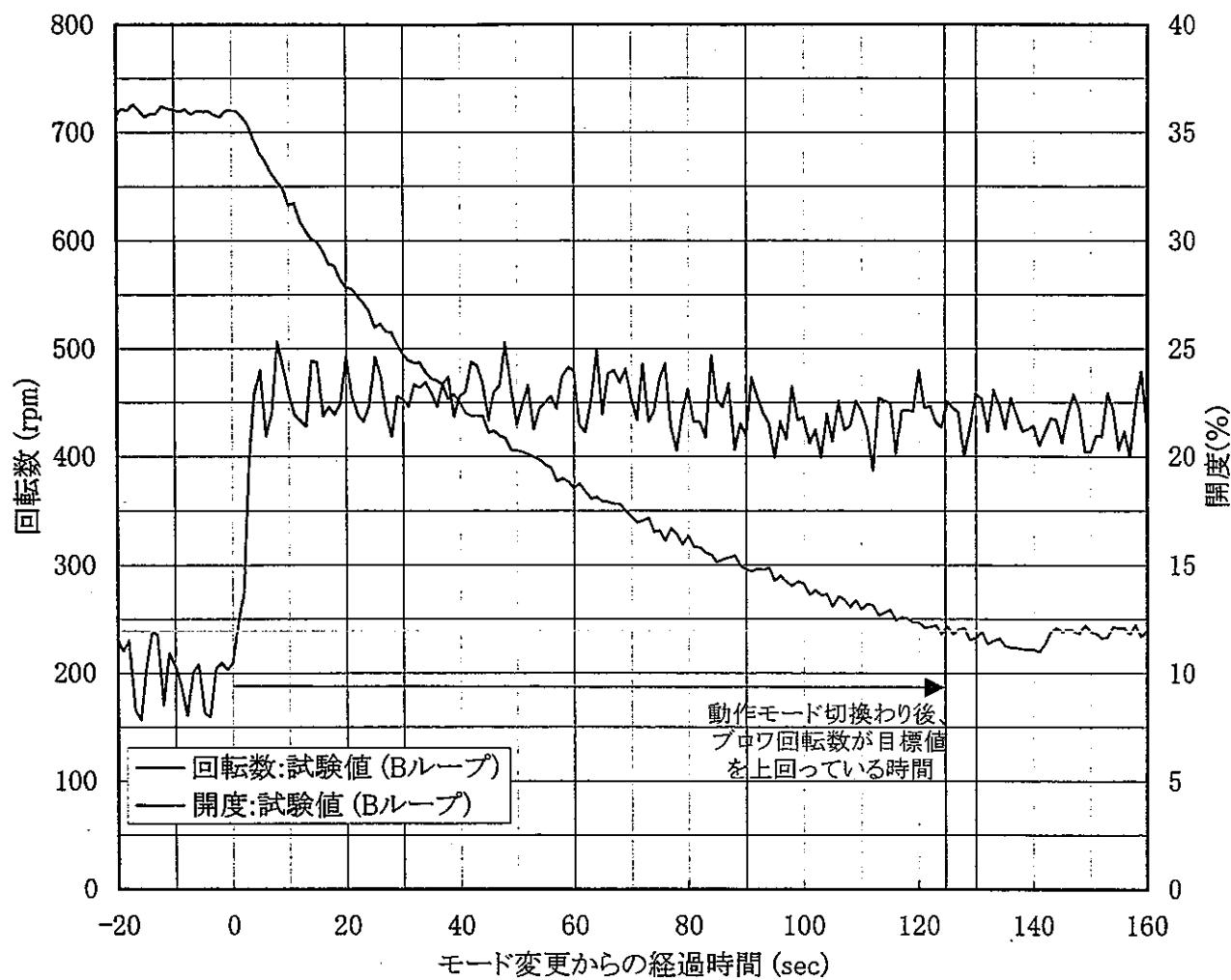


図3.2.5 A/Cプロワ, ベーンの動作モード変更所要時間 (Bループ)

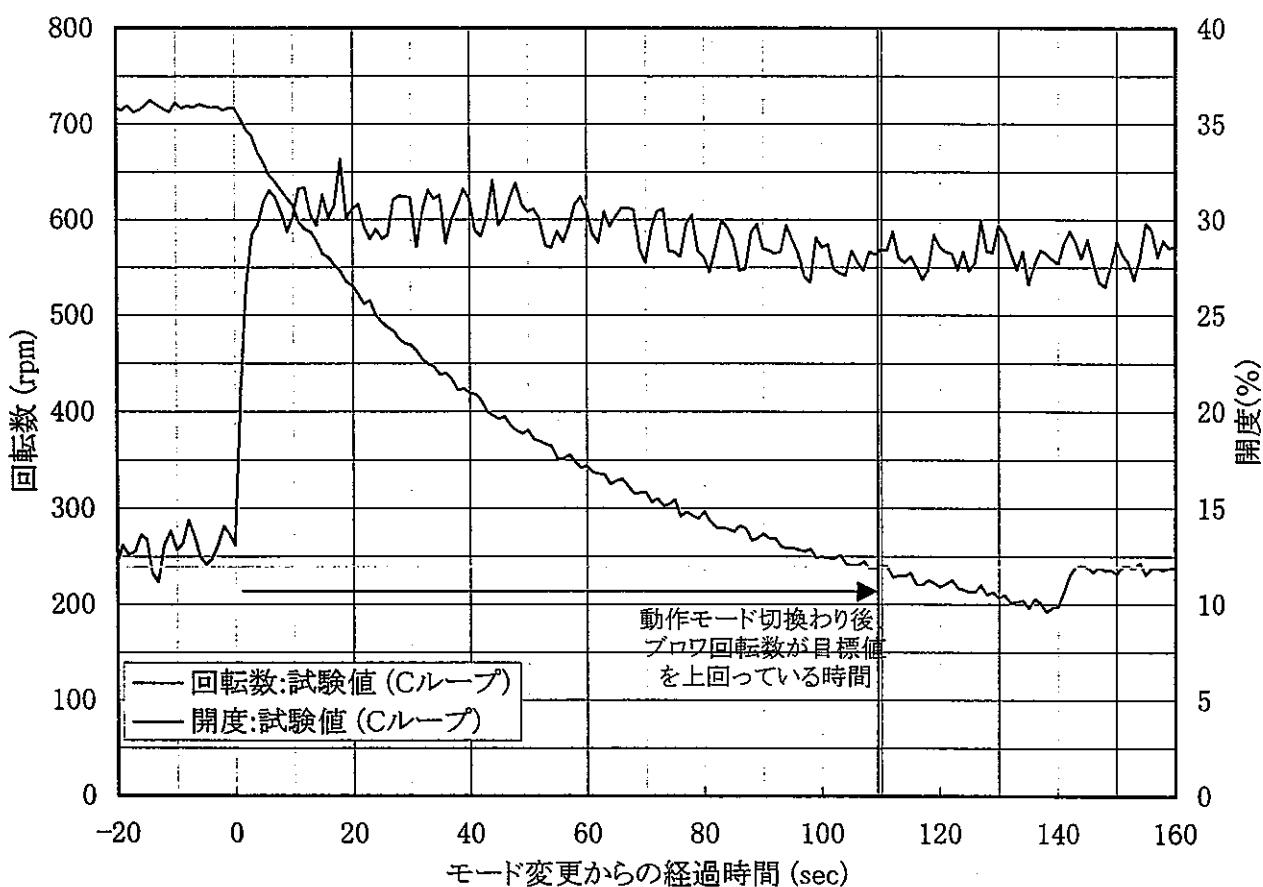


図3.2.6 A/Cプロワ, ベーンの動作モード変更所要時間 (Cループ)

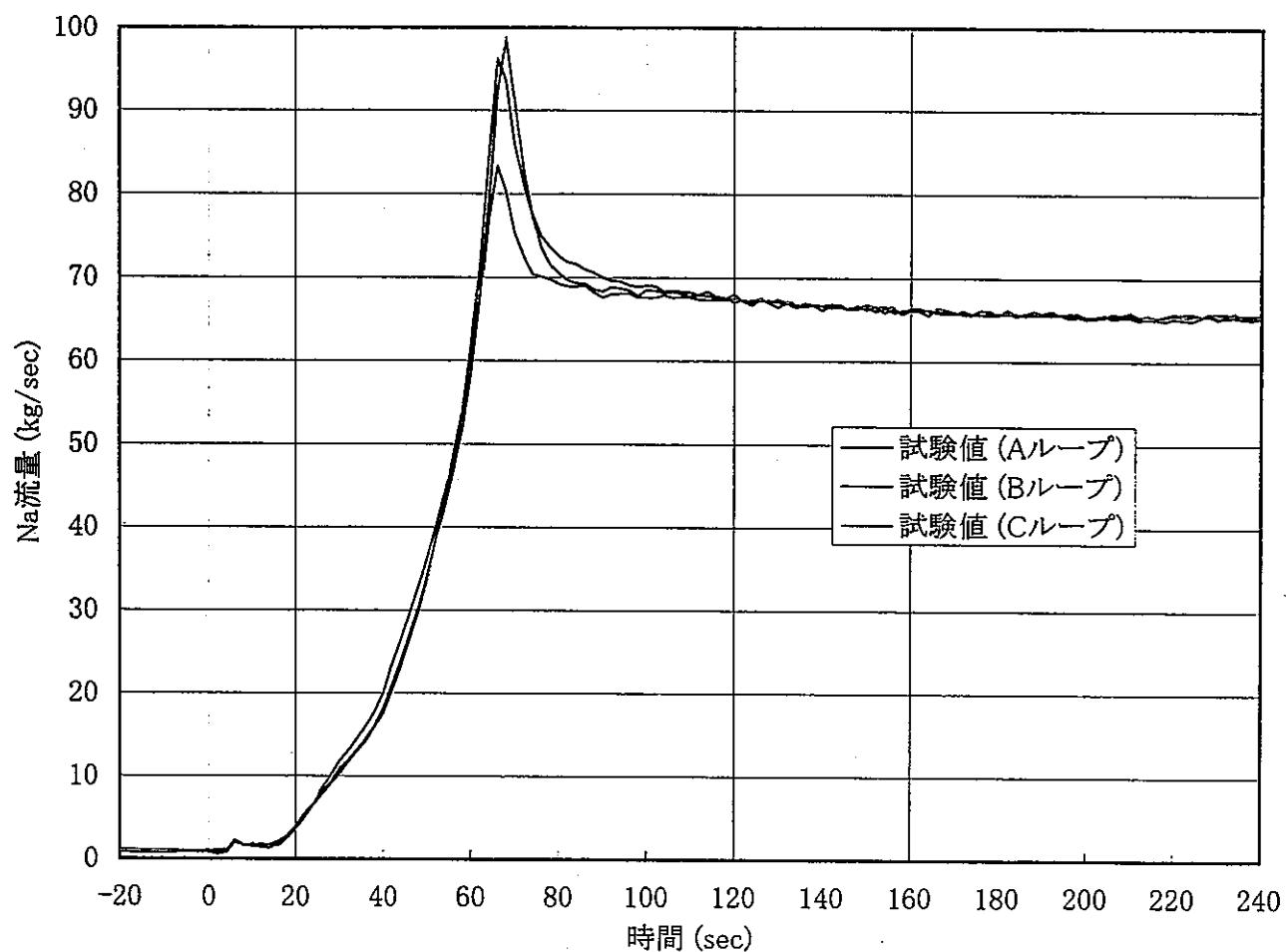


図3.2.7 試験結果:ACS出口Na流量

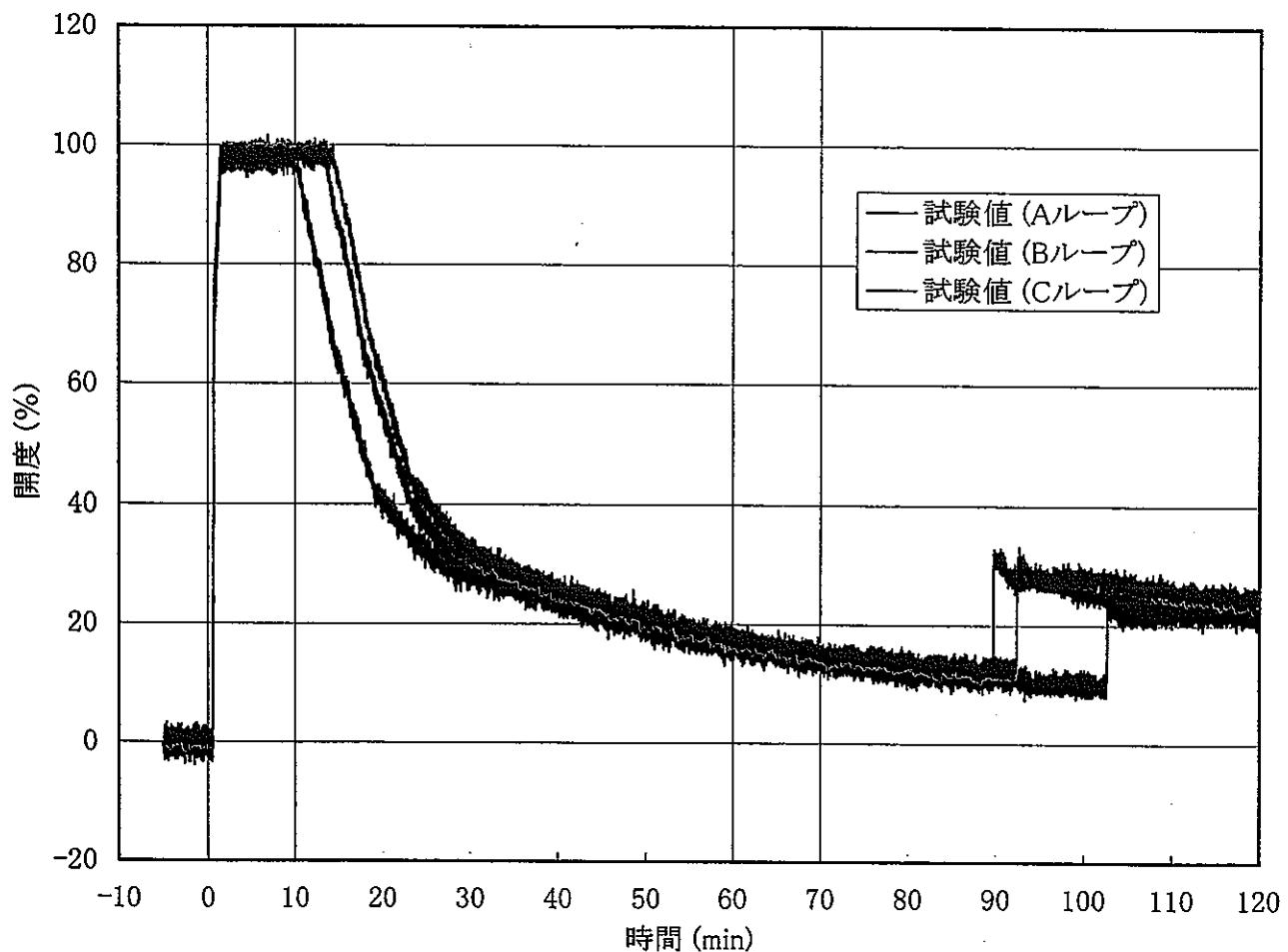


図3.2.8 試験結果:A/Cベン開度

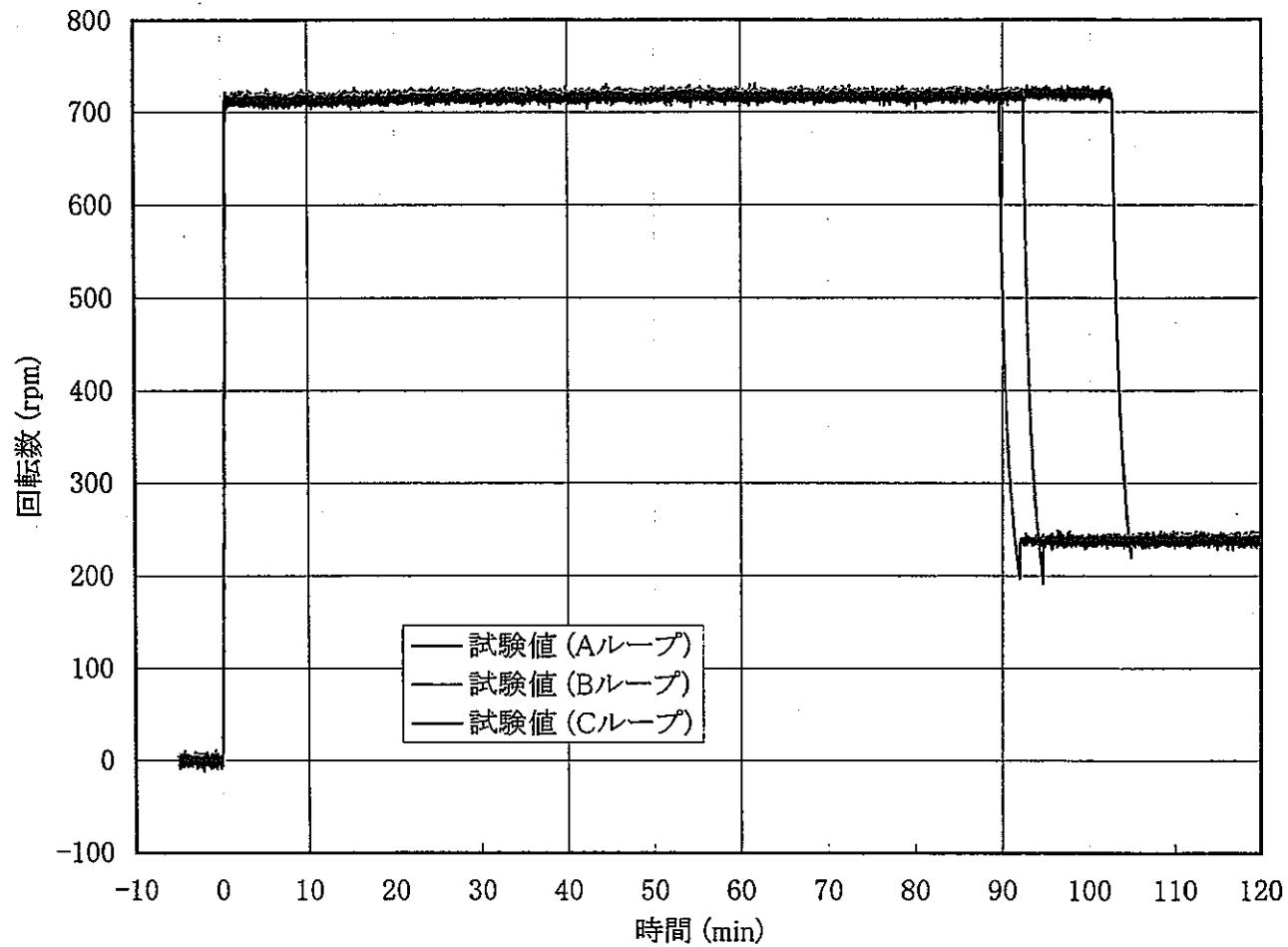


図3.2.9 試験結果:A/Cプロフ回転数

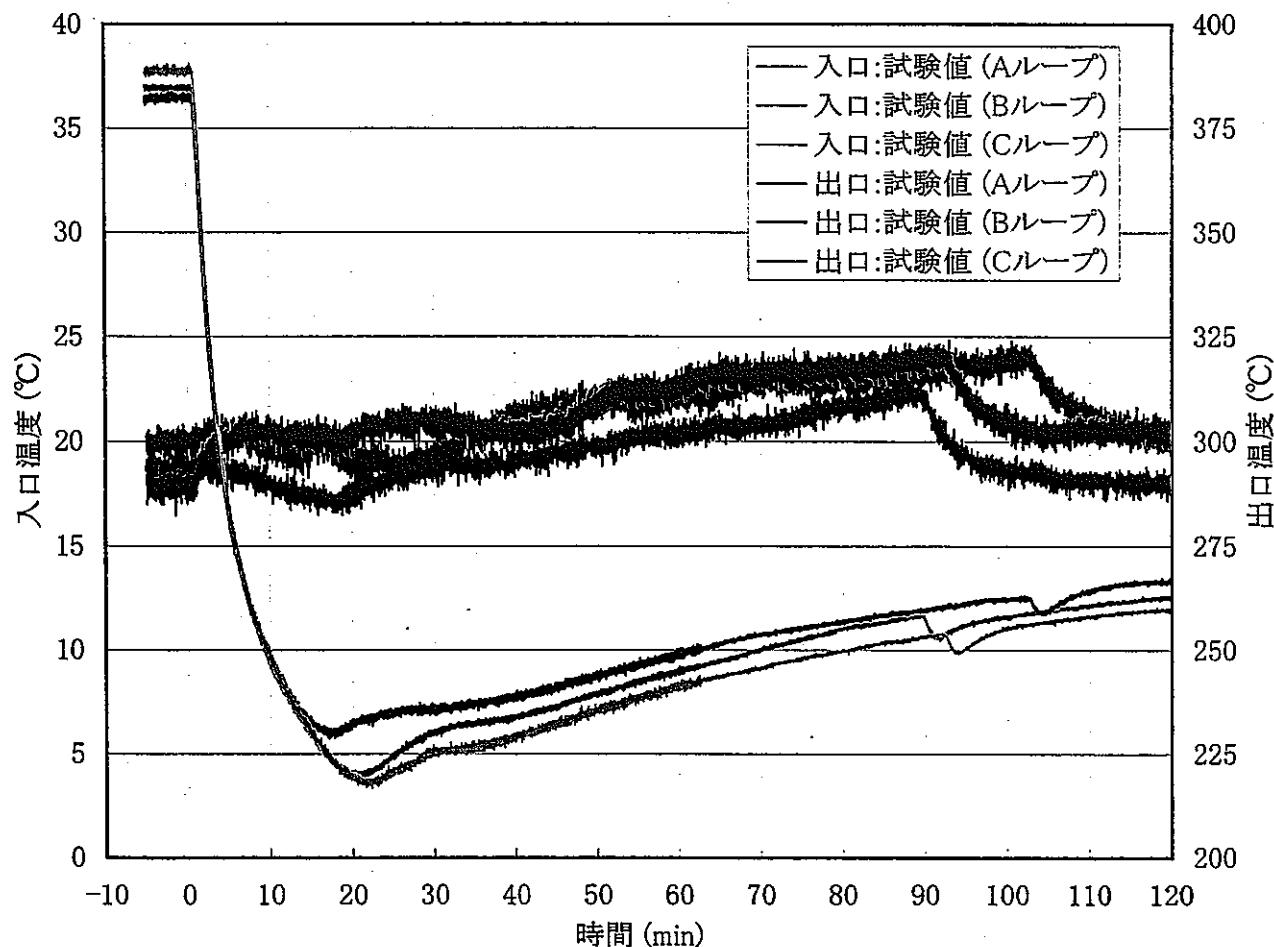


図3.2.10 試験結果:ACS出入口空気温度

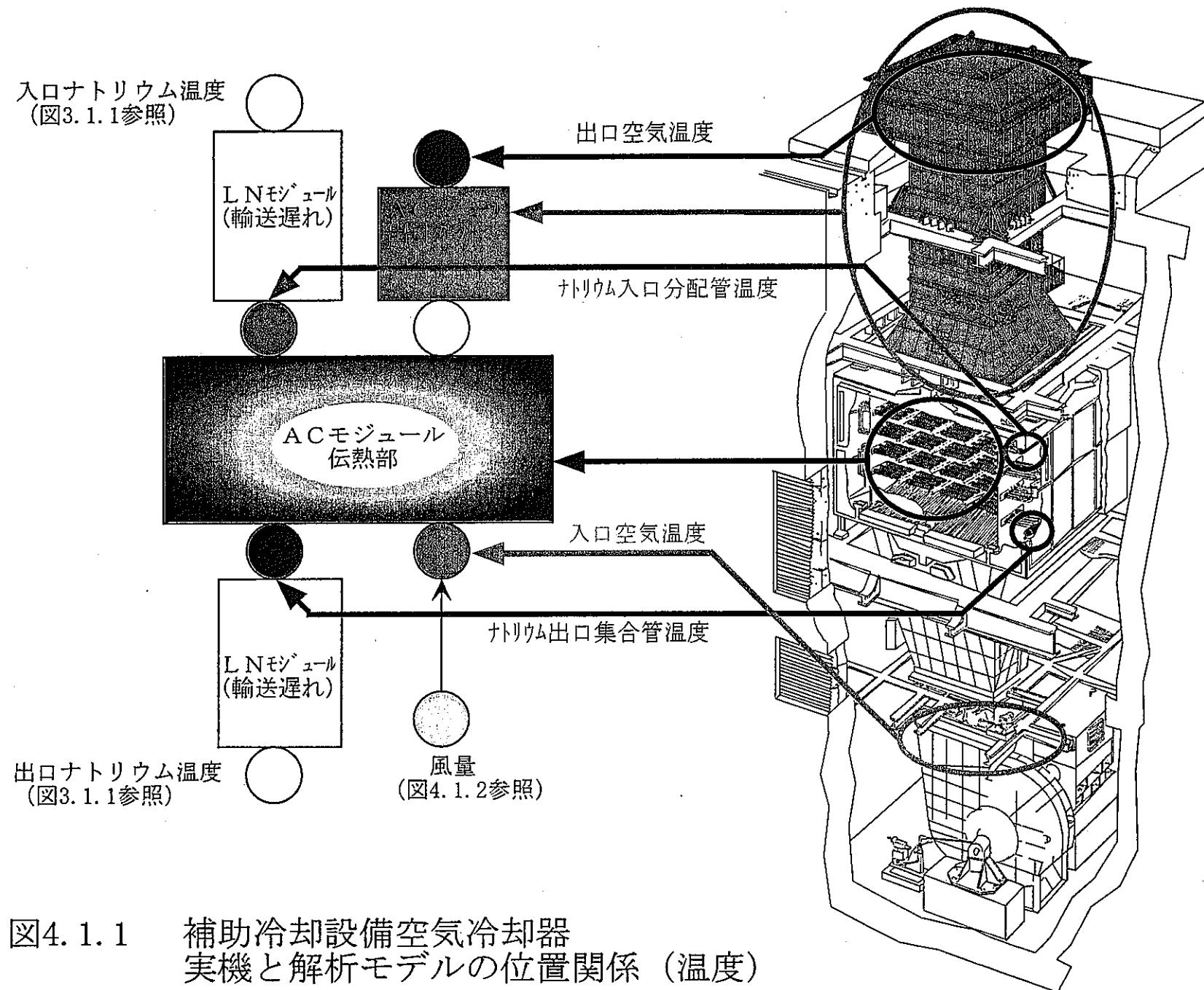


図4.1.1 補助冷却設備空気冷却器
実機と解析モデルの位置関係（温度）

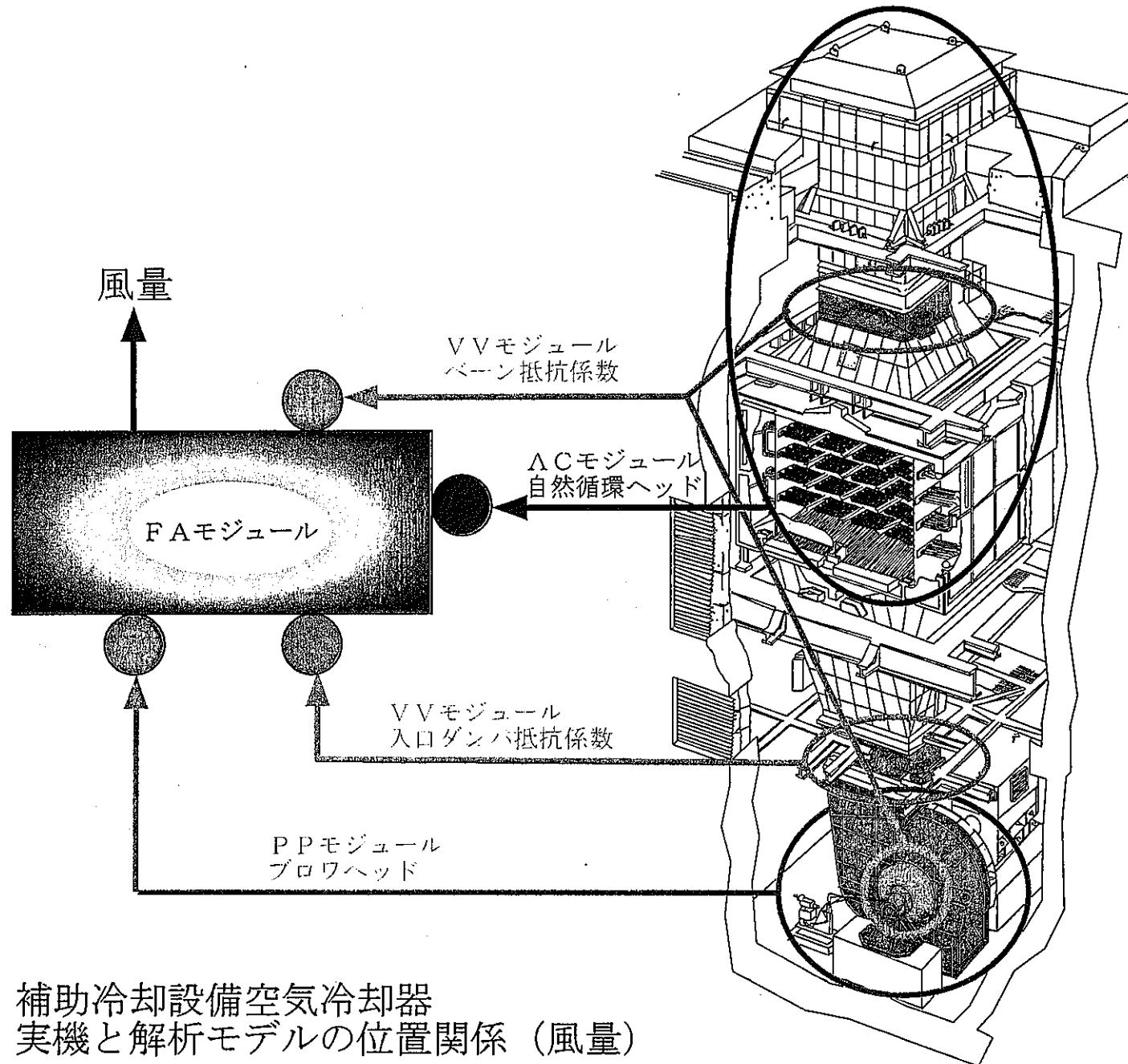


図4.1.2 補助冷却設備空気冷却器
実機と解析モデルの位置関係（風量）

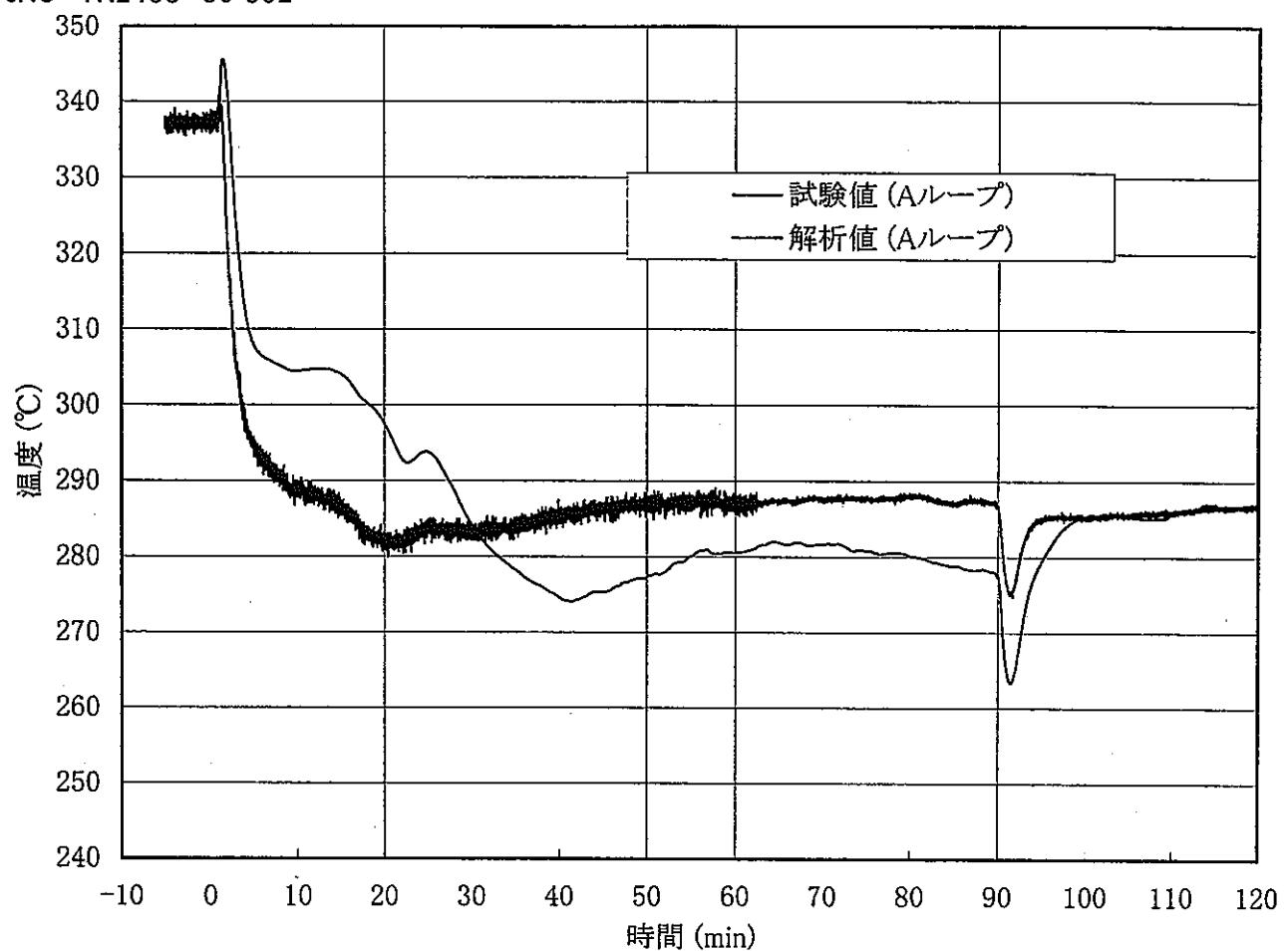


図4.2.1 修正前モデルによる解析結果 (Aループ)
ACS出口Na温度 (制御系モデルなし)

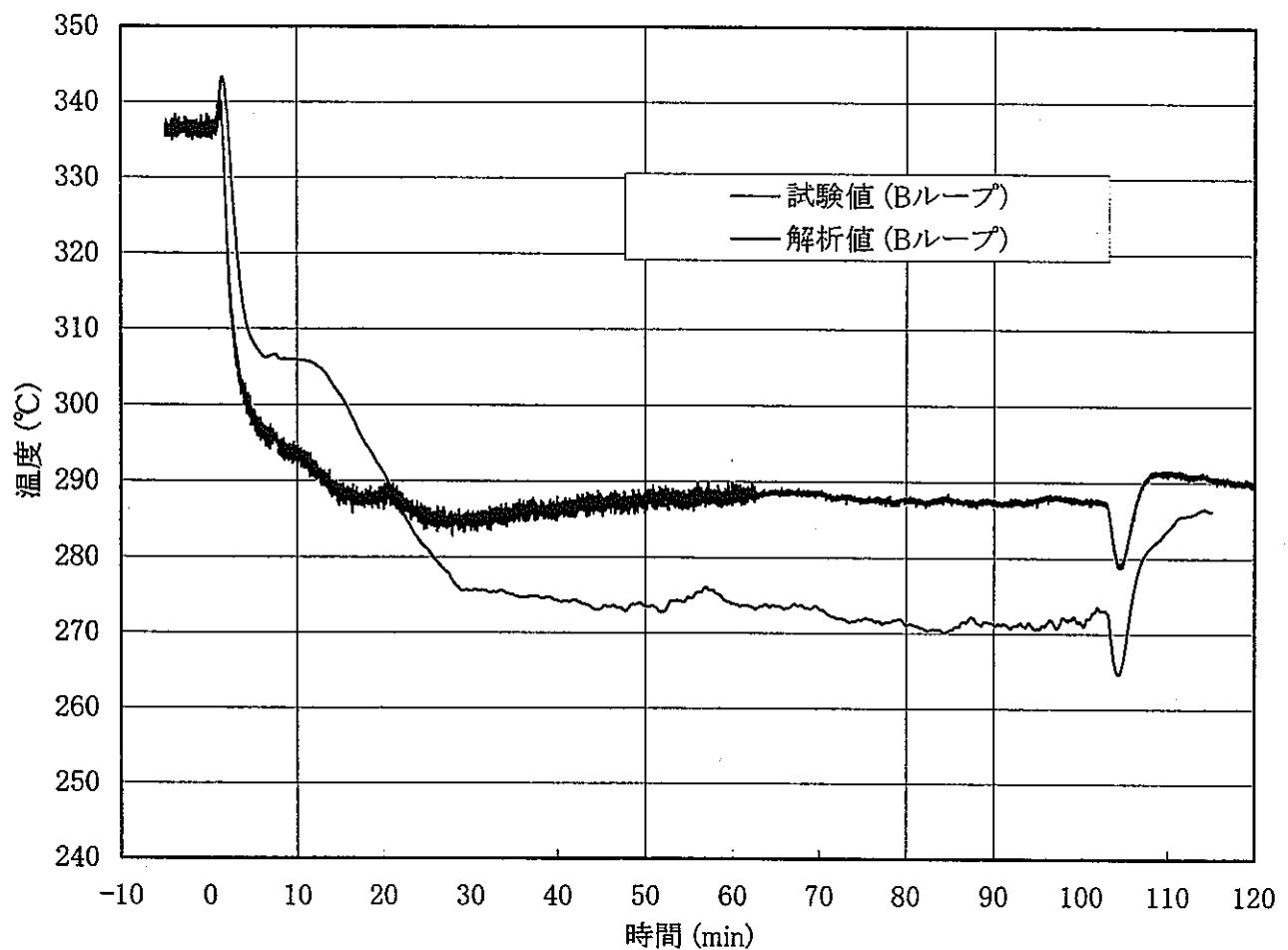


図4.2.2 修正前モデルによる解析結果 (Bループ)
ACS出口Na温度 (制御系モデルなし)

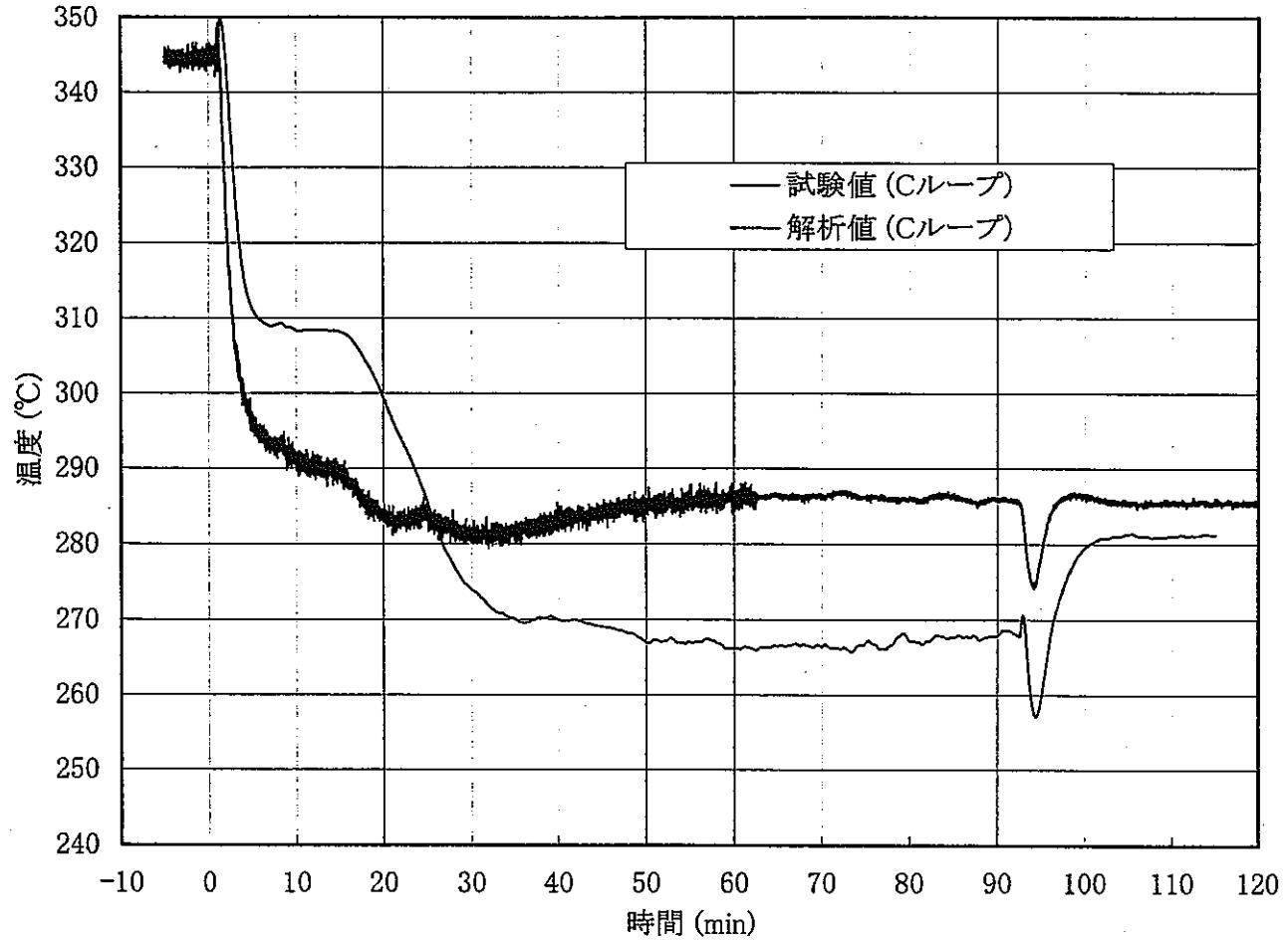


図4.2.3 修正前モデルによる解析結果 (Cループ)
ACS出口Na温度 (制御系モデルなし)

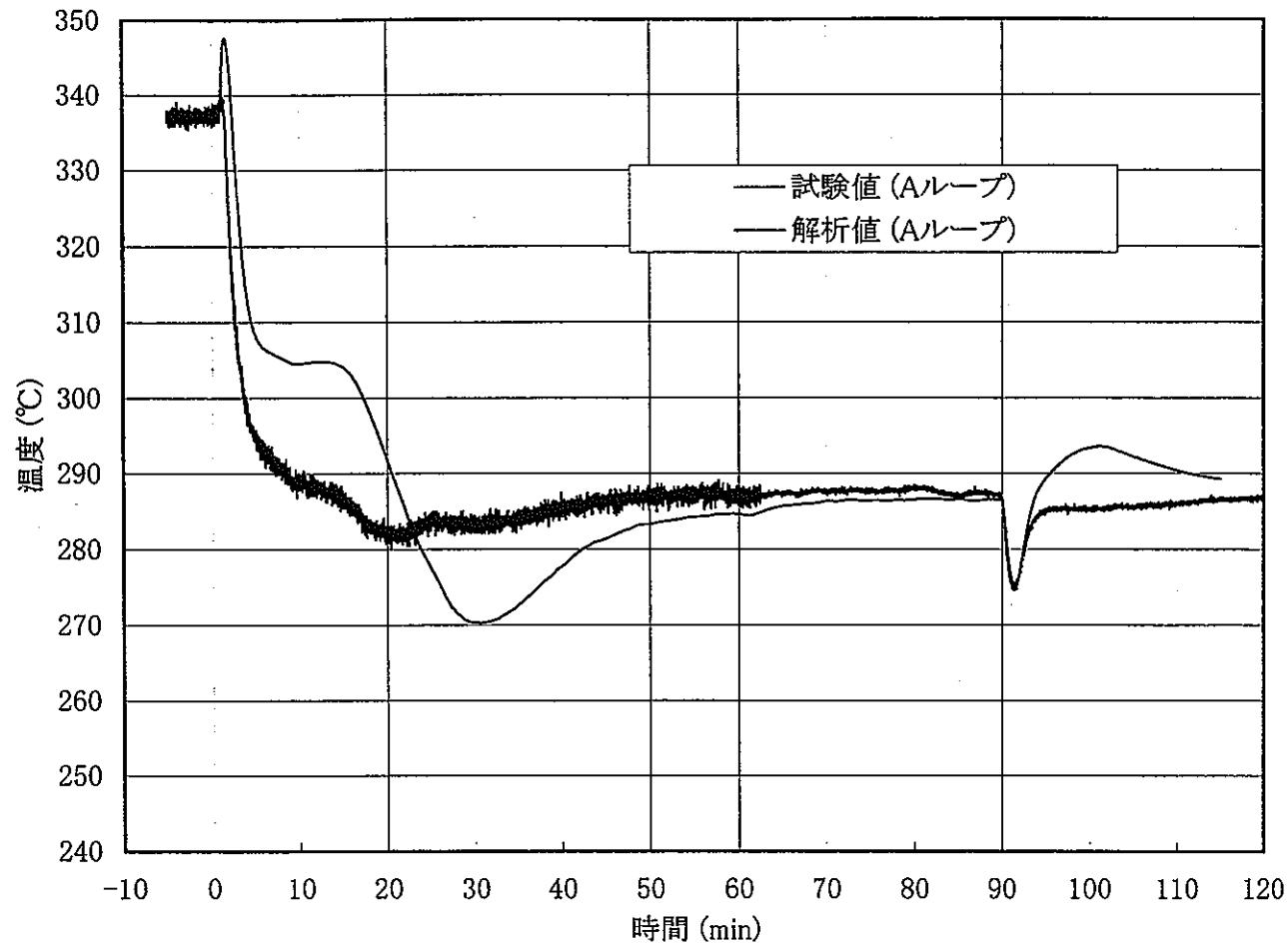


図4.3.1 修正前モデルによる解析結果 (Aループ)
ACS出口Na温度 (制御系モデルあり)

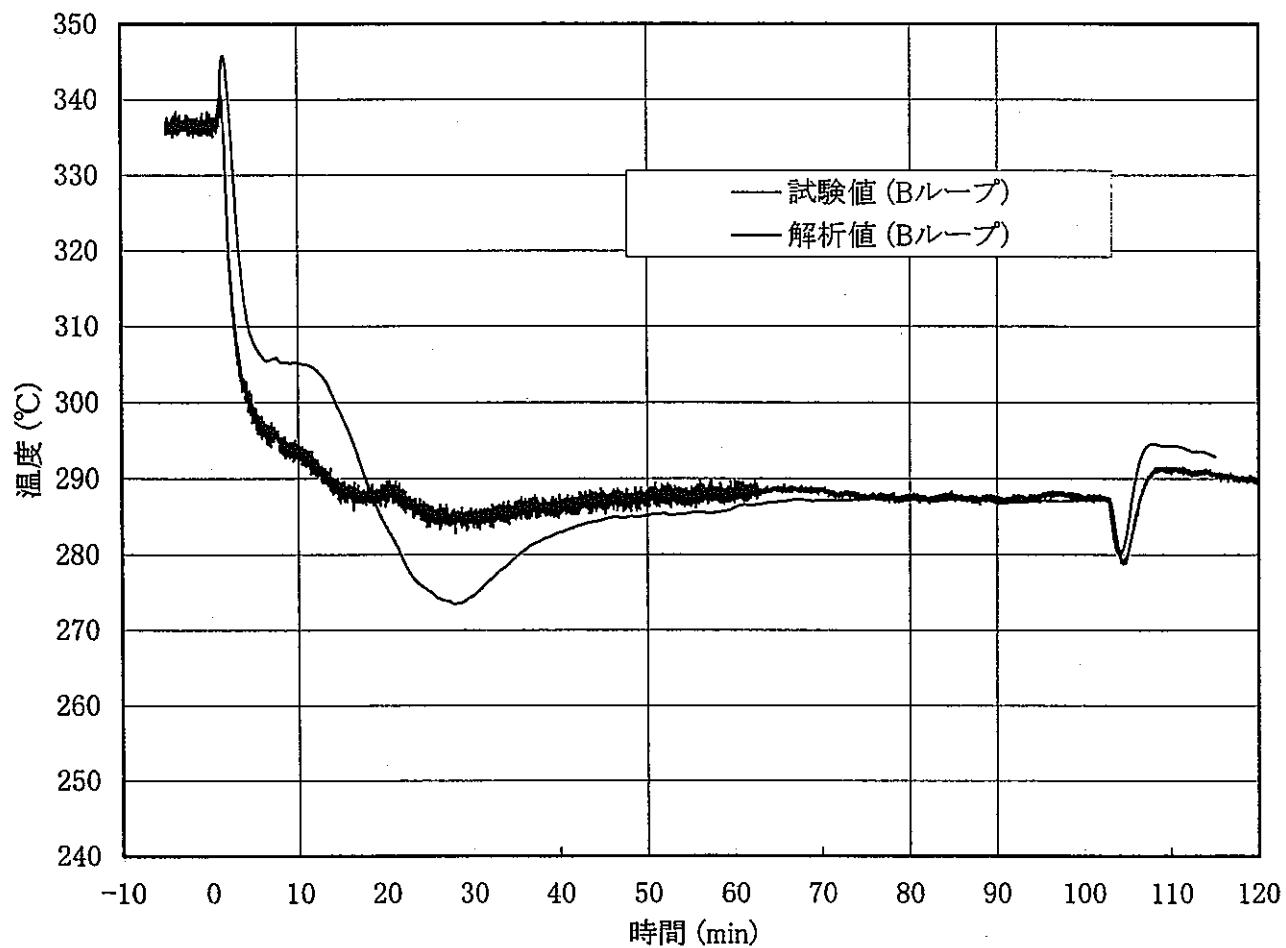


図4.3.2 修正前モデルによる解析結果 (Bループ)
ACS出口Na温度 (制御系モデルあり)

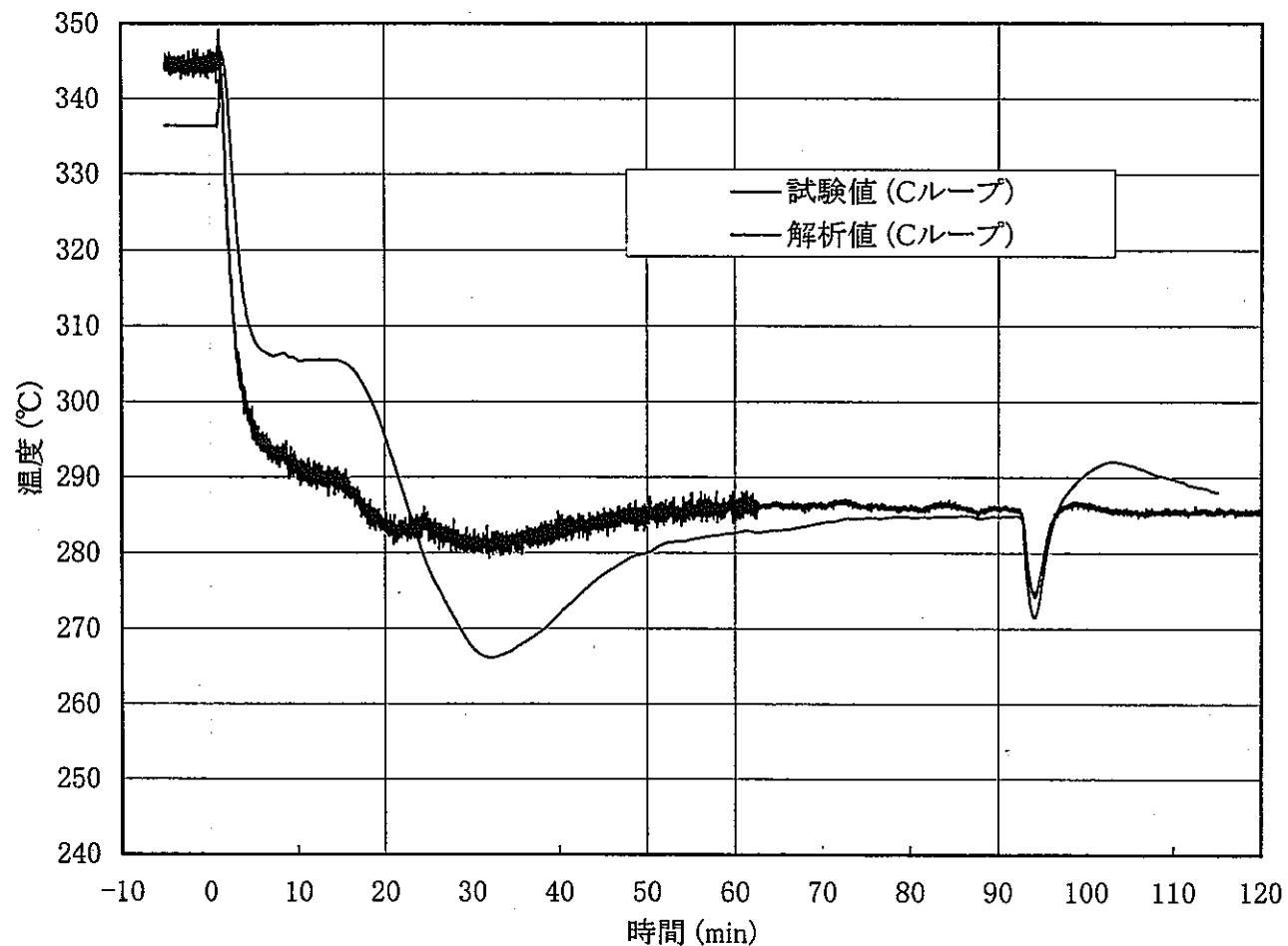


図4.3.3 修正前モデルによる解析結果 (Cループ)
ACS出口Na温度 (制御系モデルあり)

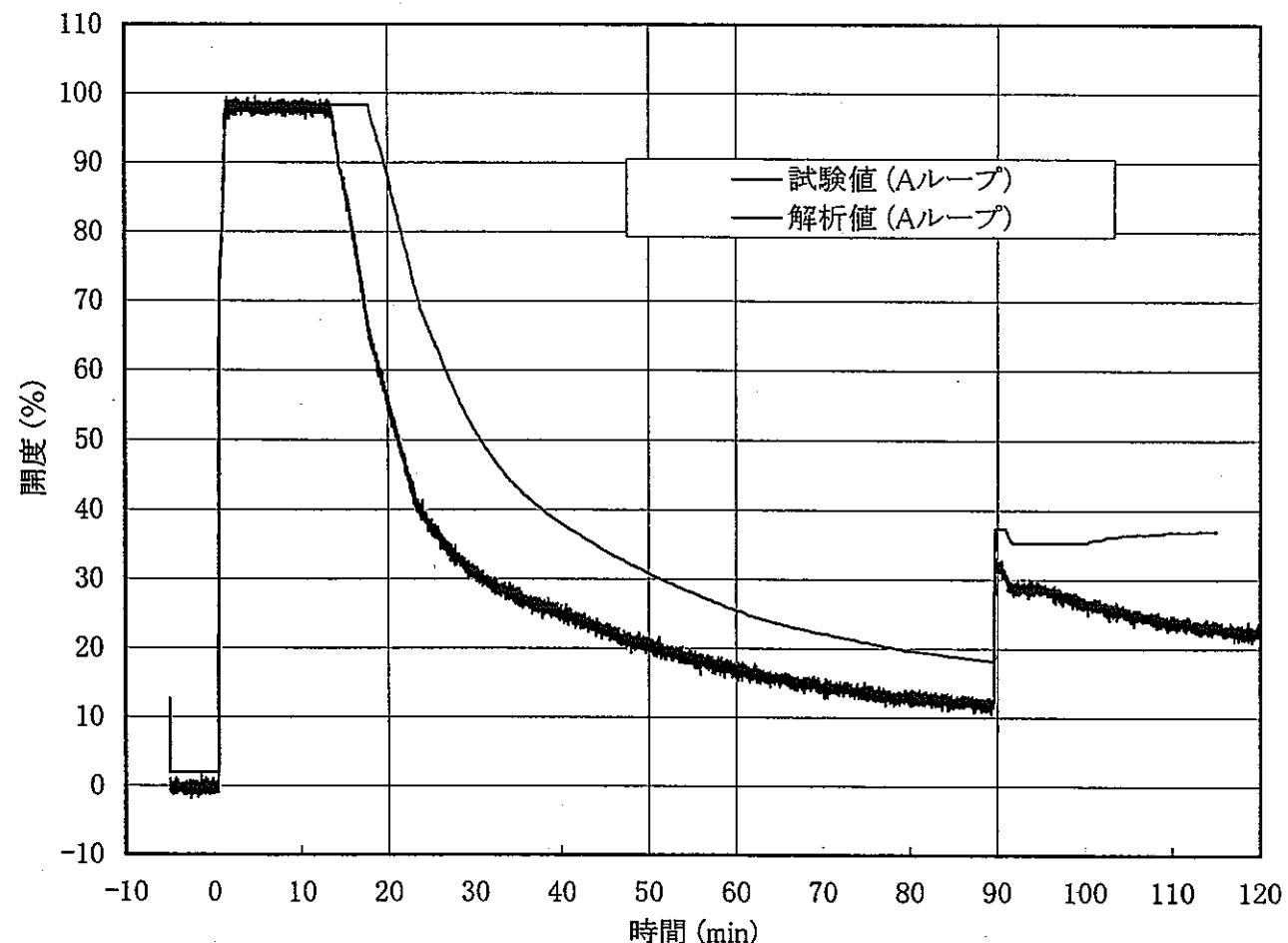


図4.3.4 修正前モデルによる解析結果 (Aループ)
ベーン開度 (制御系モデルあり)

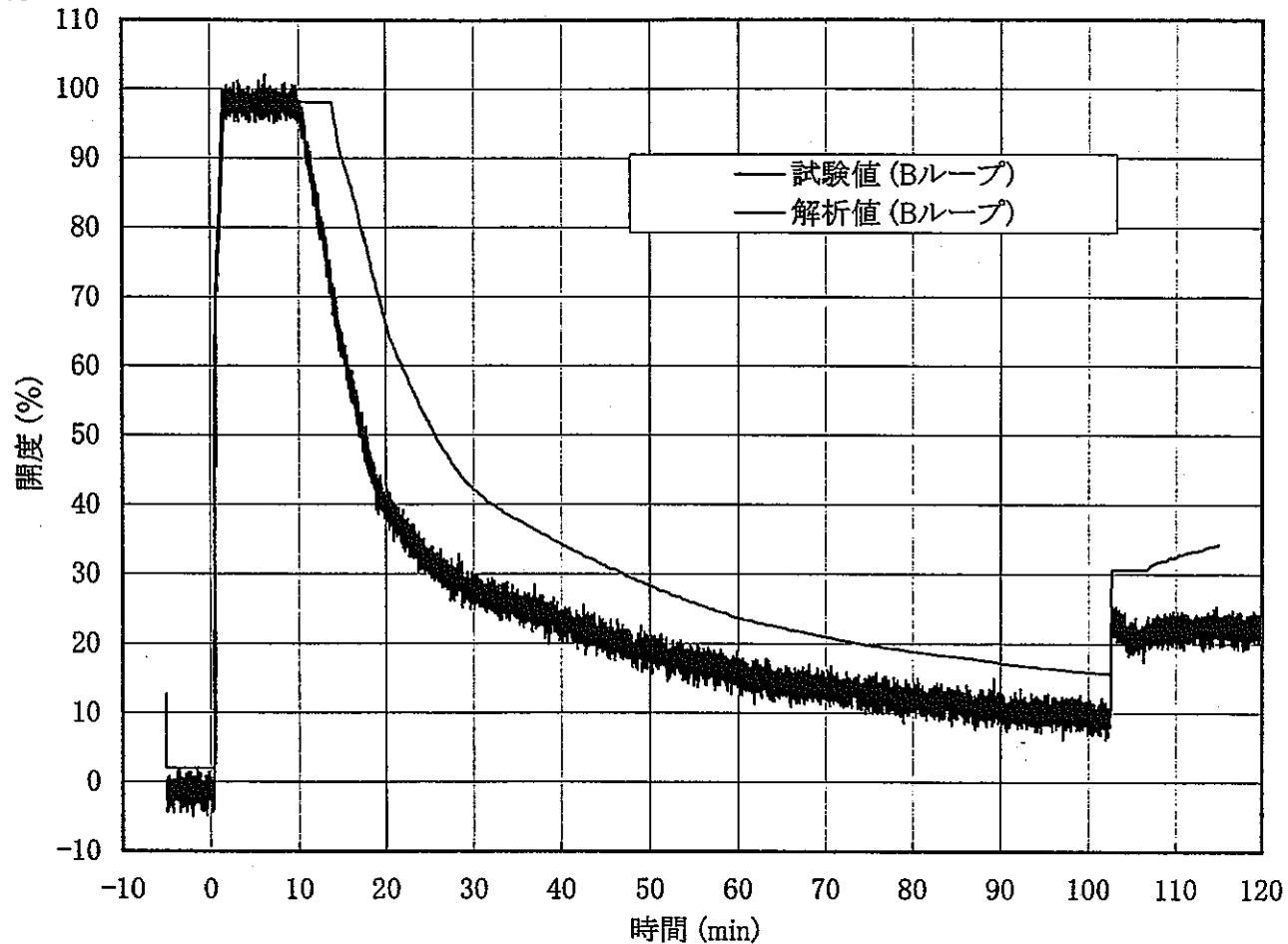


図4.3.5 修正前モデルによる解析結果 (Bループ)
ペーン、入口ダンパ開度 (制御系モデルあり)

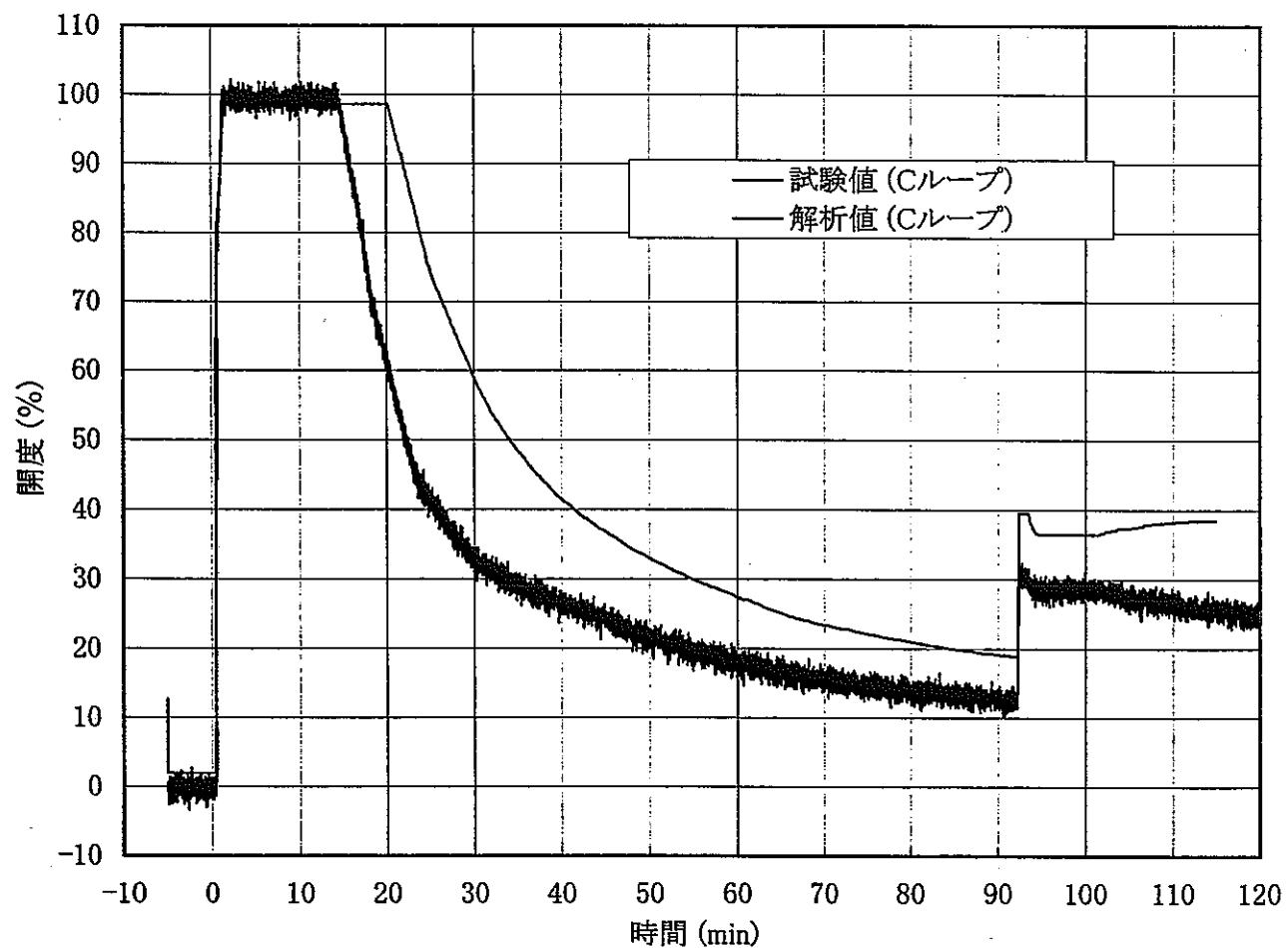


図4.3.6 修正前モデルによる解析結果 (Cループ)
ペーン開度 (制御系モデルあり)

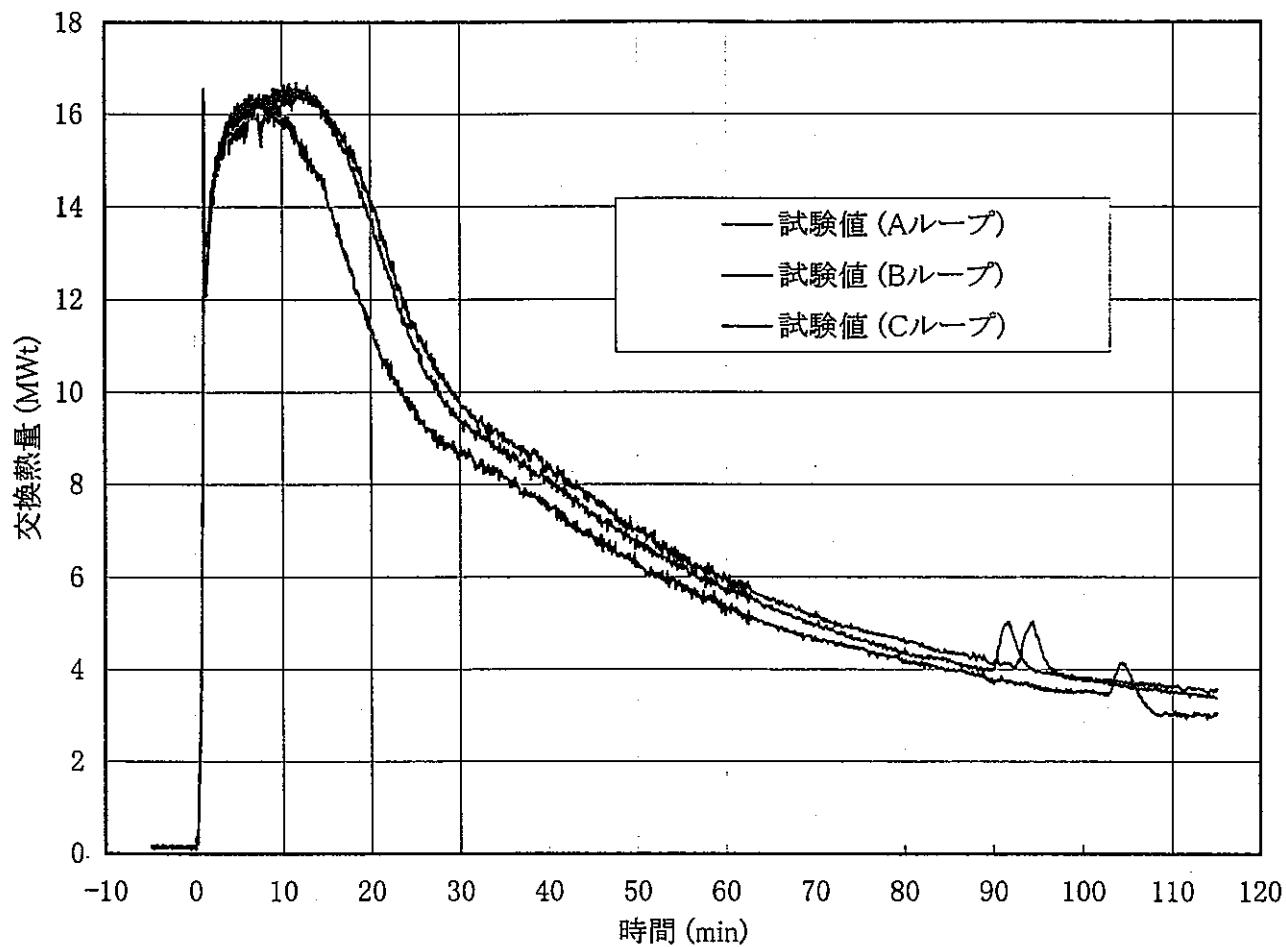


図5.1.1 空気冷却器によるNaと空気の交換熱量[試験結果]
(Na側から算出)

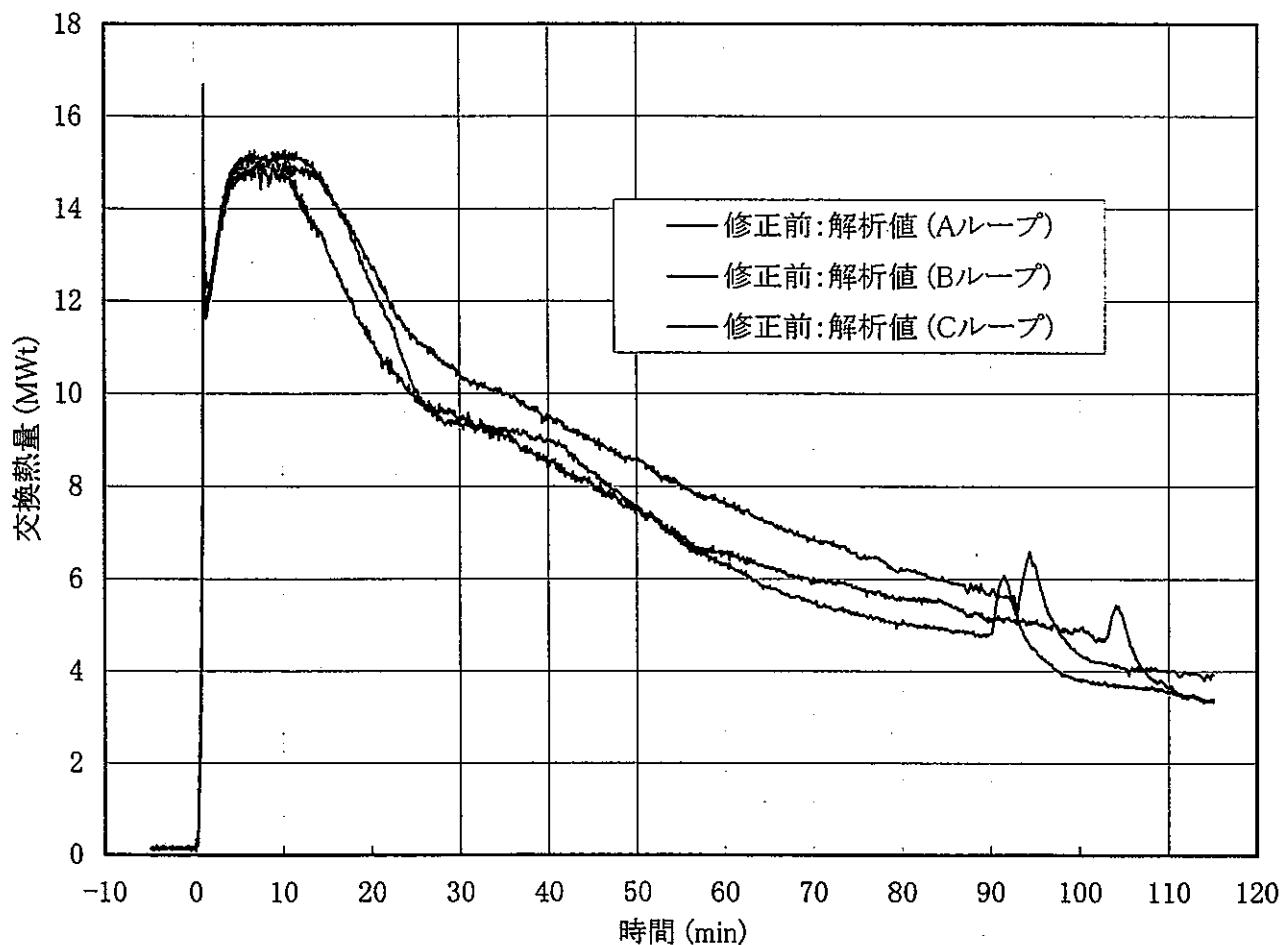


図5.1.2 空気冷却器によるNaと空気の交換熱量[解析結果-修正前]
(Na側から算出:制御系モデルなし)

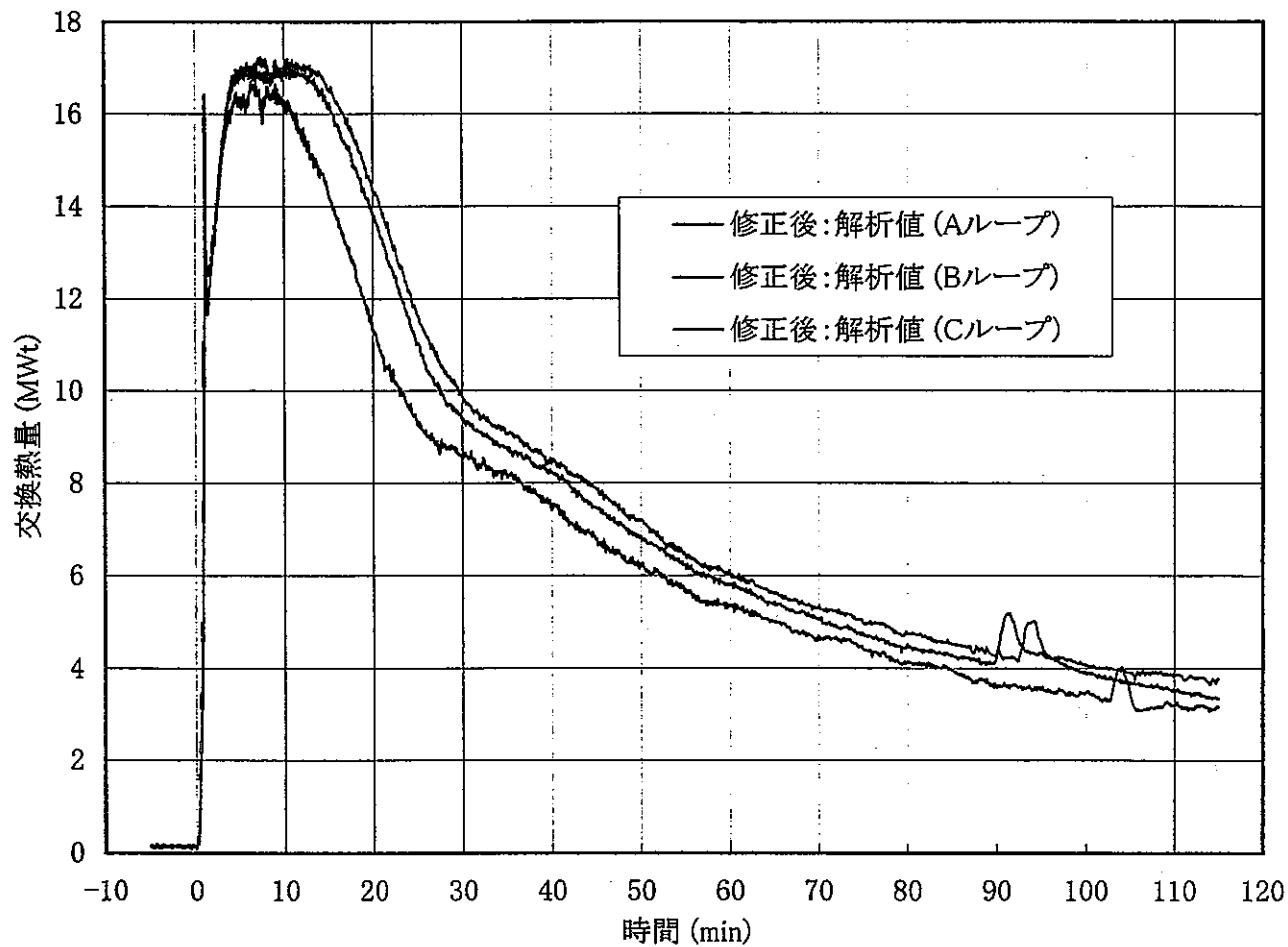


図5.1.3 空気冷却器によるNaと空気の交換熱量[解析結果-修正後]
(Na側から算出:制御系モデルなし)

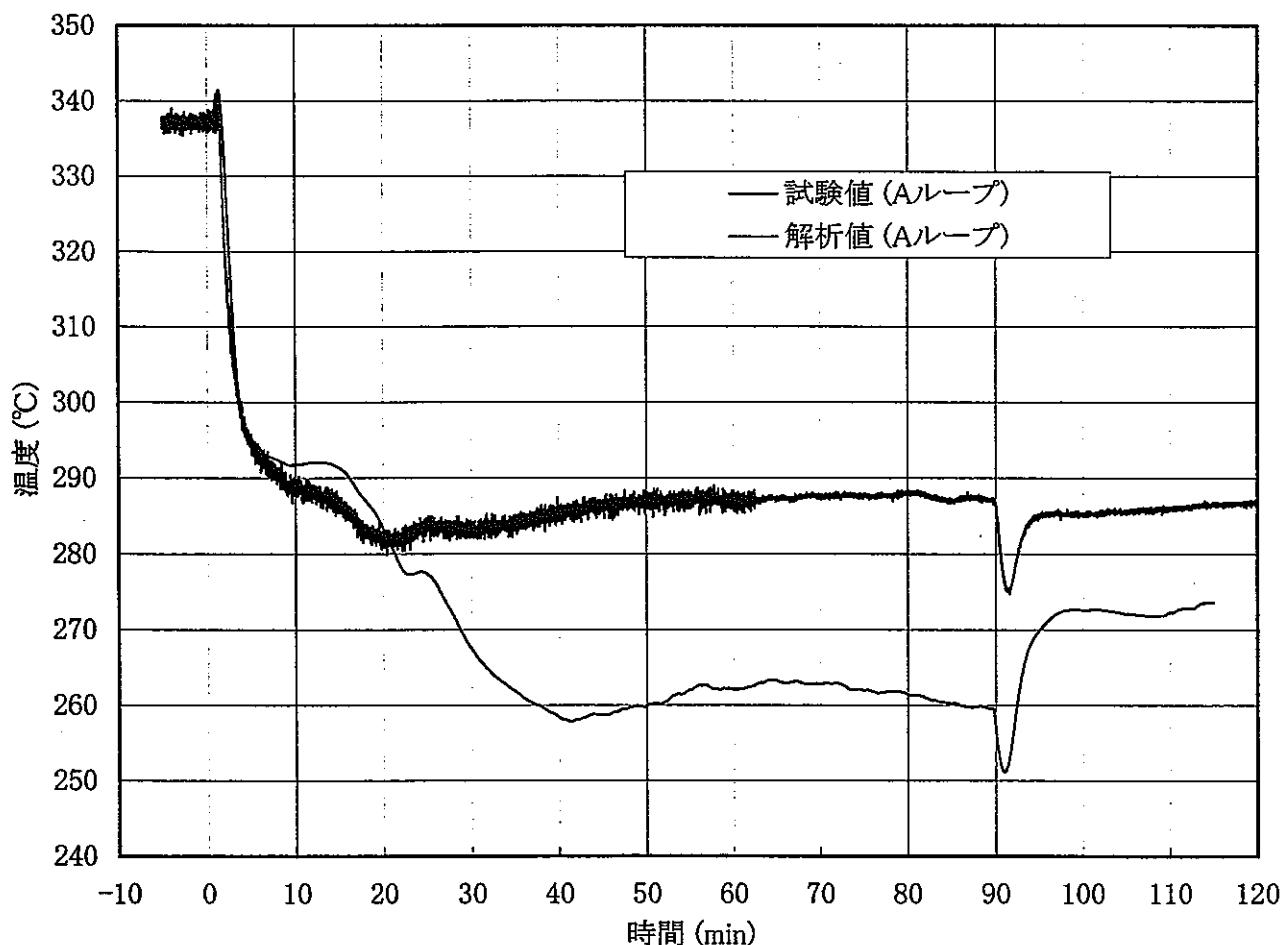


図5.1.4 ブロワ風量特性修正モデルによる解析結果(Aループ)
ACS出口Na温度(制御系モデルなし)

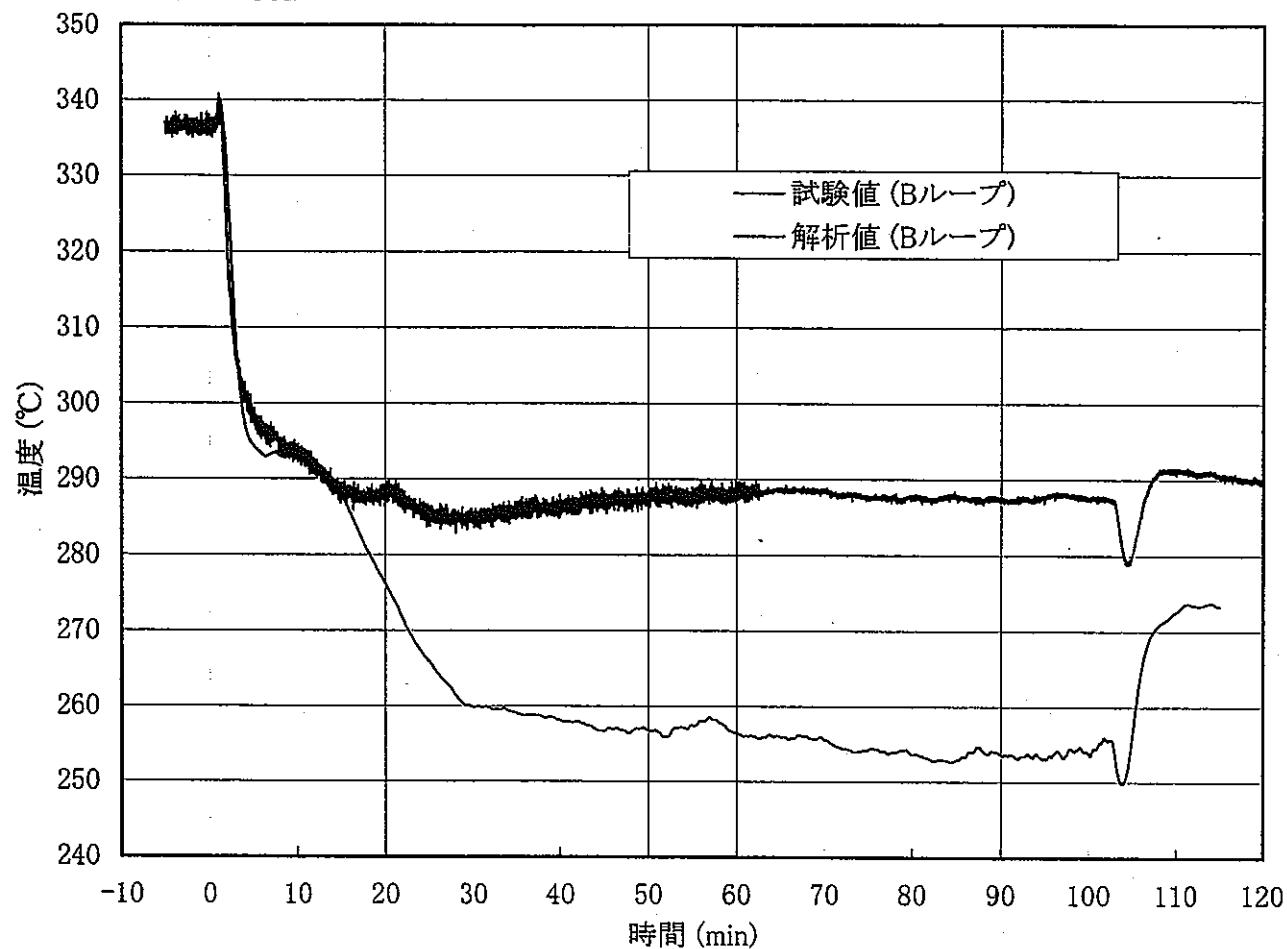


図5.1.5 プロワ風量特性修正モデルによる解析結果 (Bループ)
ACS出口Na温度 (制御系モデルなし)

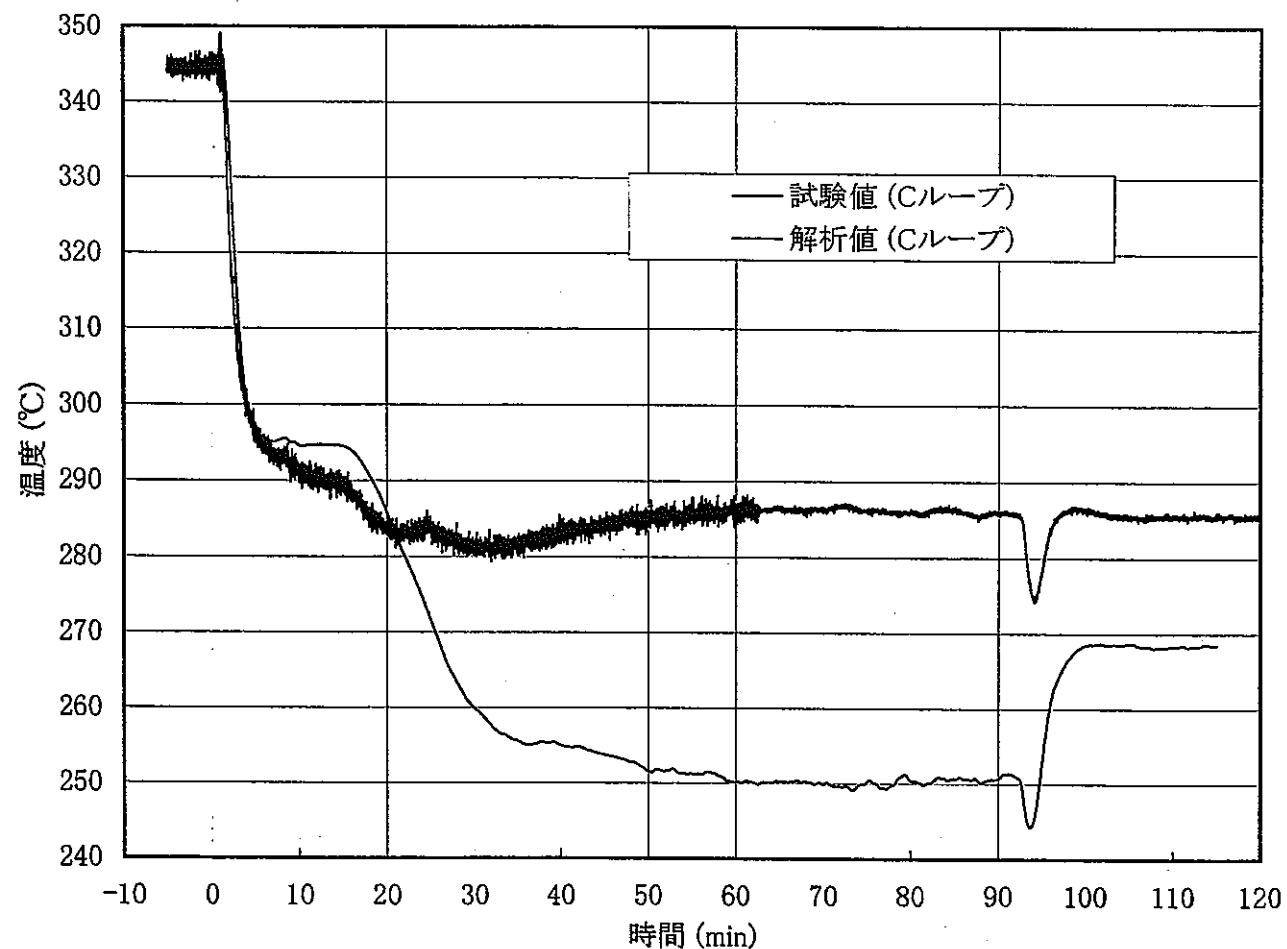


図5.1.6 プロワ風量特性修正モデルによる解析結果 (Cループ)
ACS出口Na温度 (制御系モデルなし)

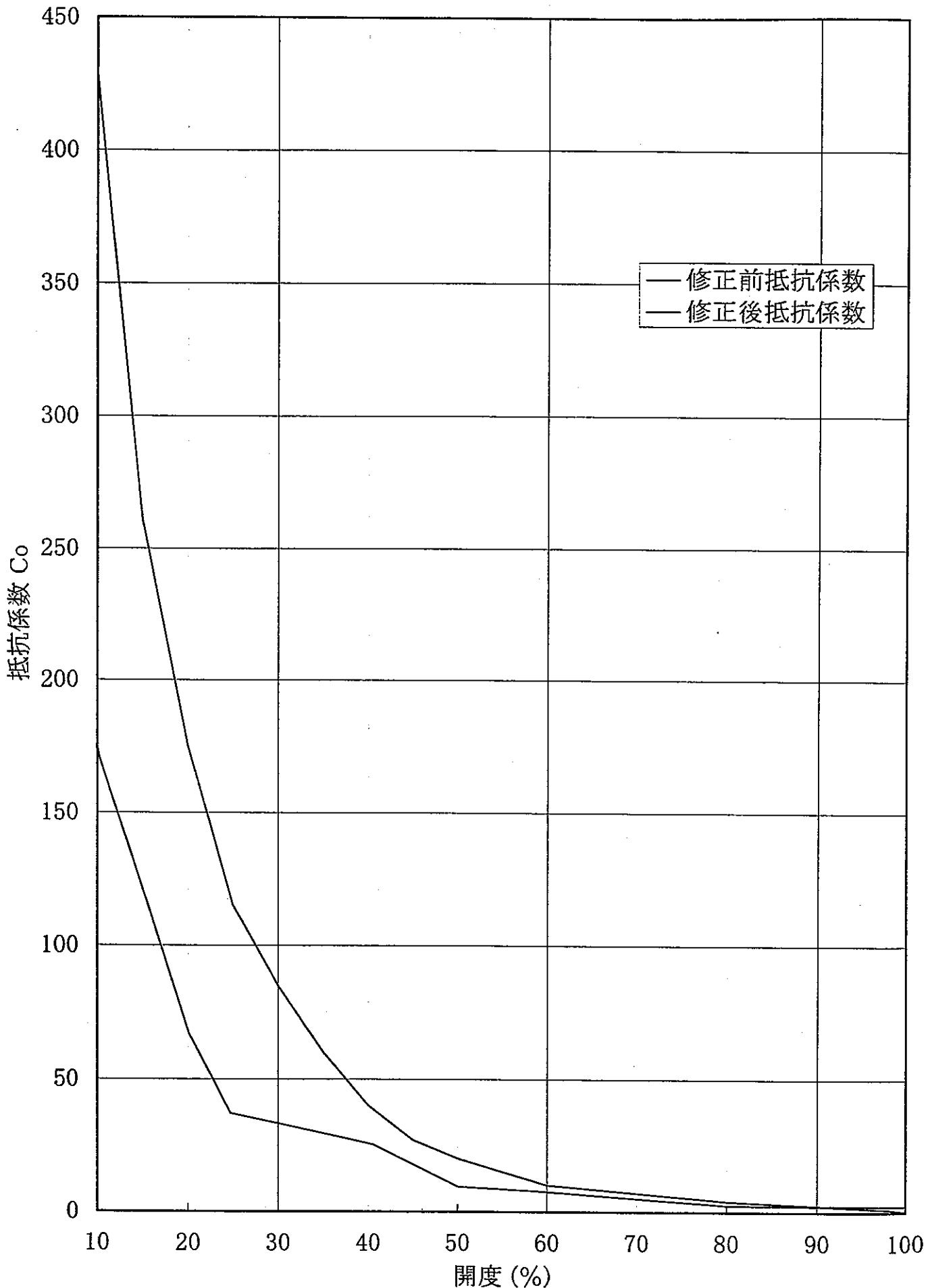


図5.1.7 修正前後の
ベーン(+出口ダンパ)開度vs抵抗係数

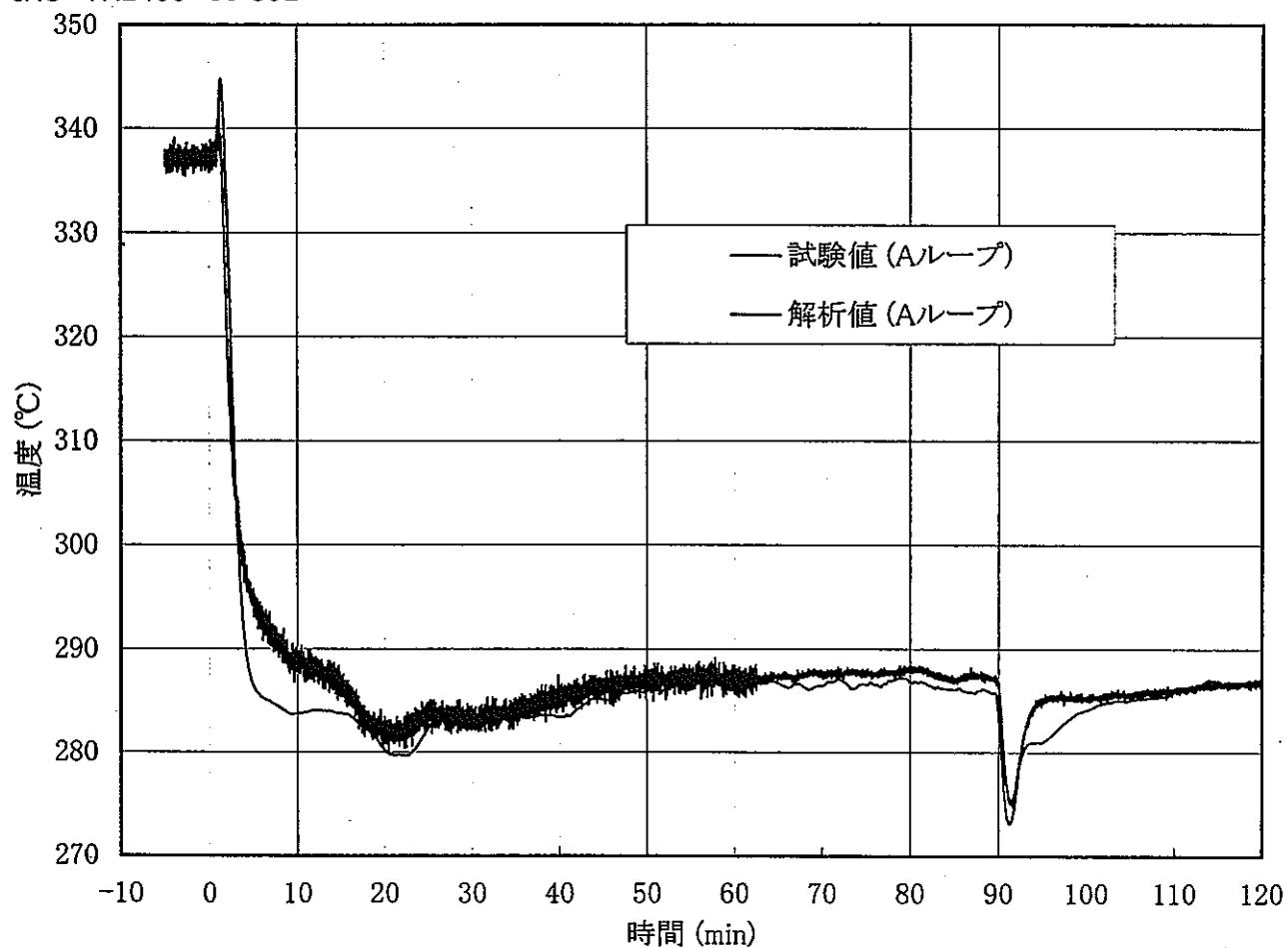


図5.1.8 修正後モデルによる解析結果 (Aループ)
ACS出口Na温度 (制御系モデルなし)

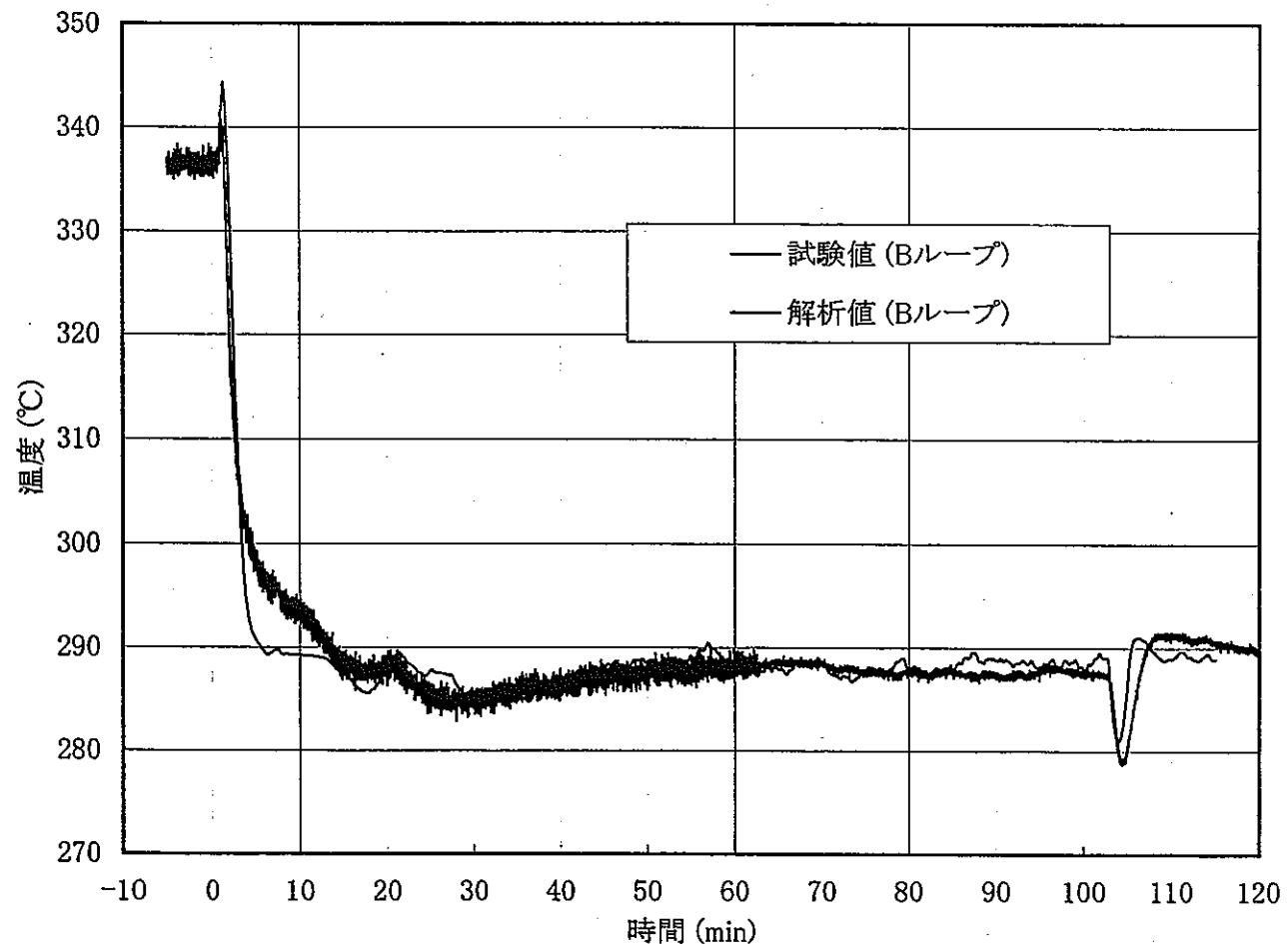


図5.1.9 修正後モデルによる解析結果 (Bループ)
ACS出口Na温度 (制御系モデルなし)

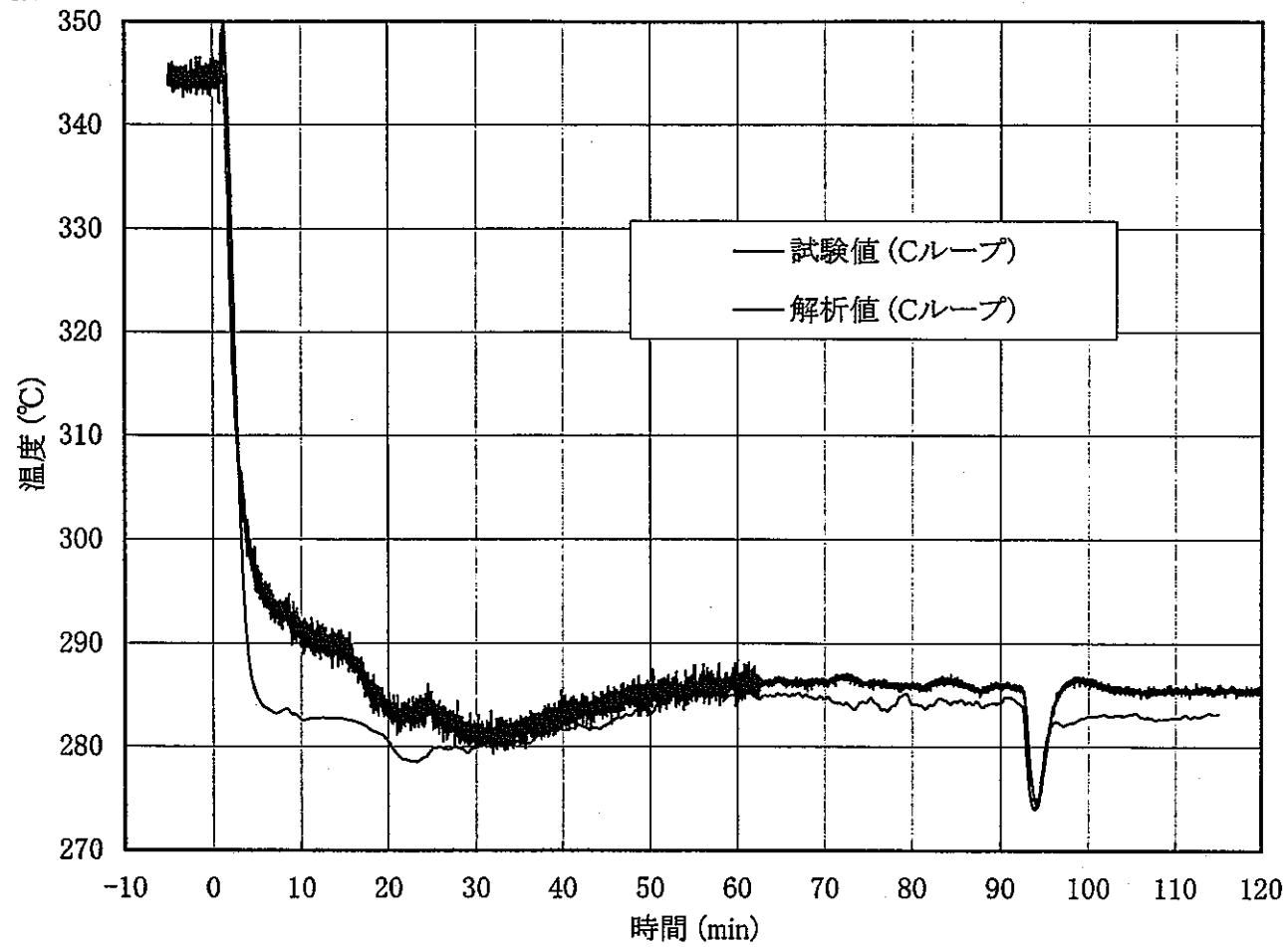


図5.1.10 修正後モデルによる解析結果 (Cループ)
ACS出口Na温度 (制御系モデルなし)

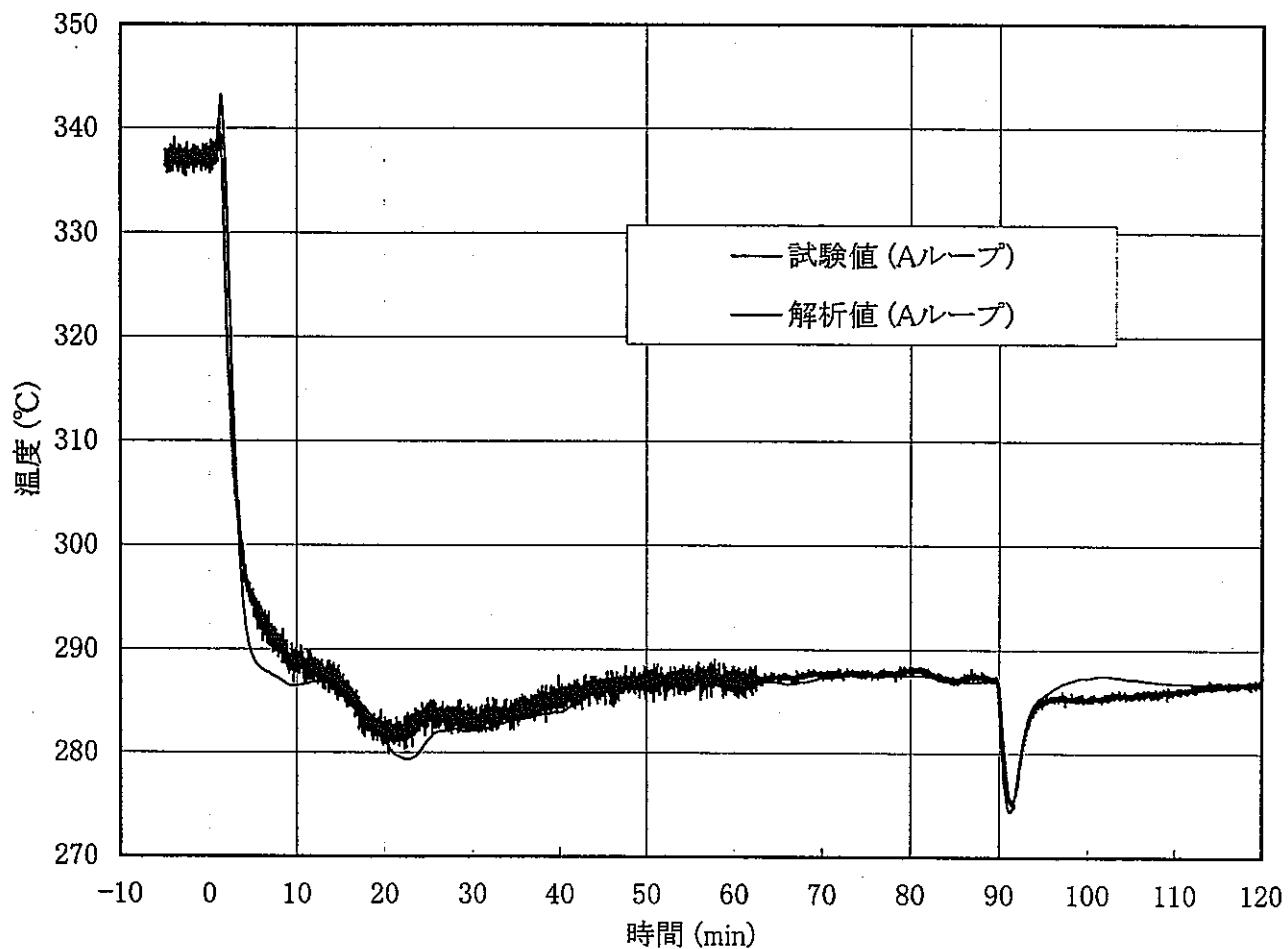


図5.2.1 修正後モデルによる解析結果 (Aループ)
ACS出口Na温度 (制御系モデルあり)

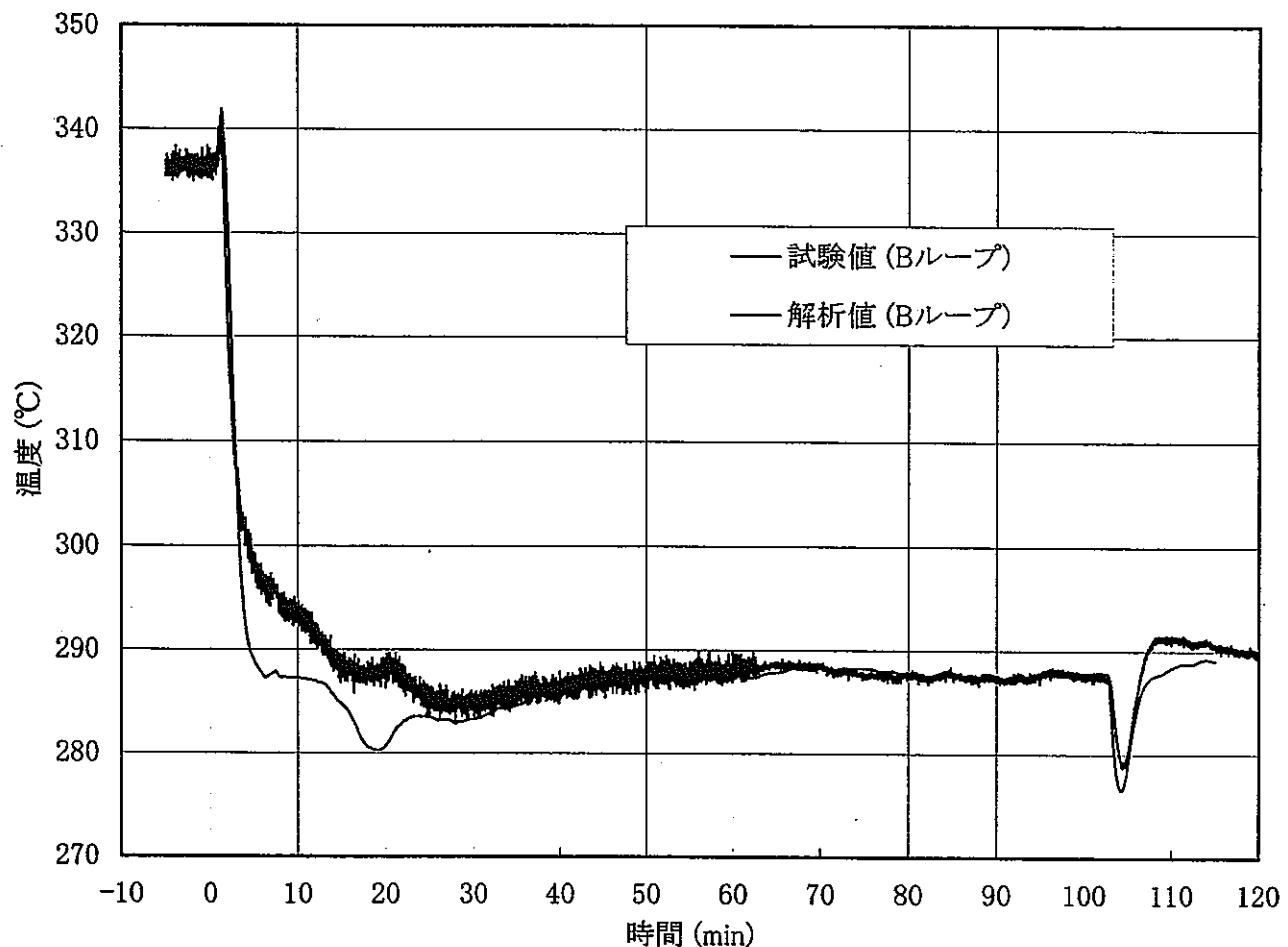


図5.2.2 修正後モデルによる解析結果 (Bループ)
ACS出口Na温度 (制御系モデルあり)

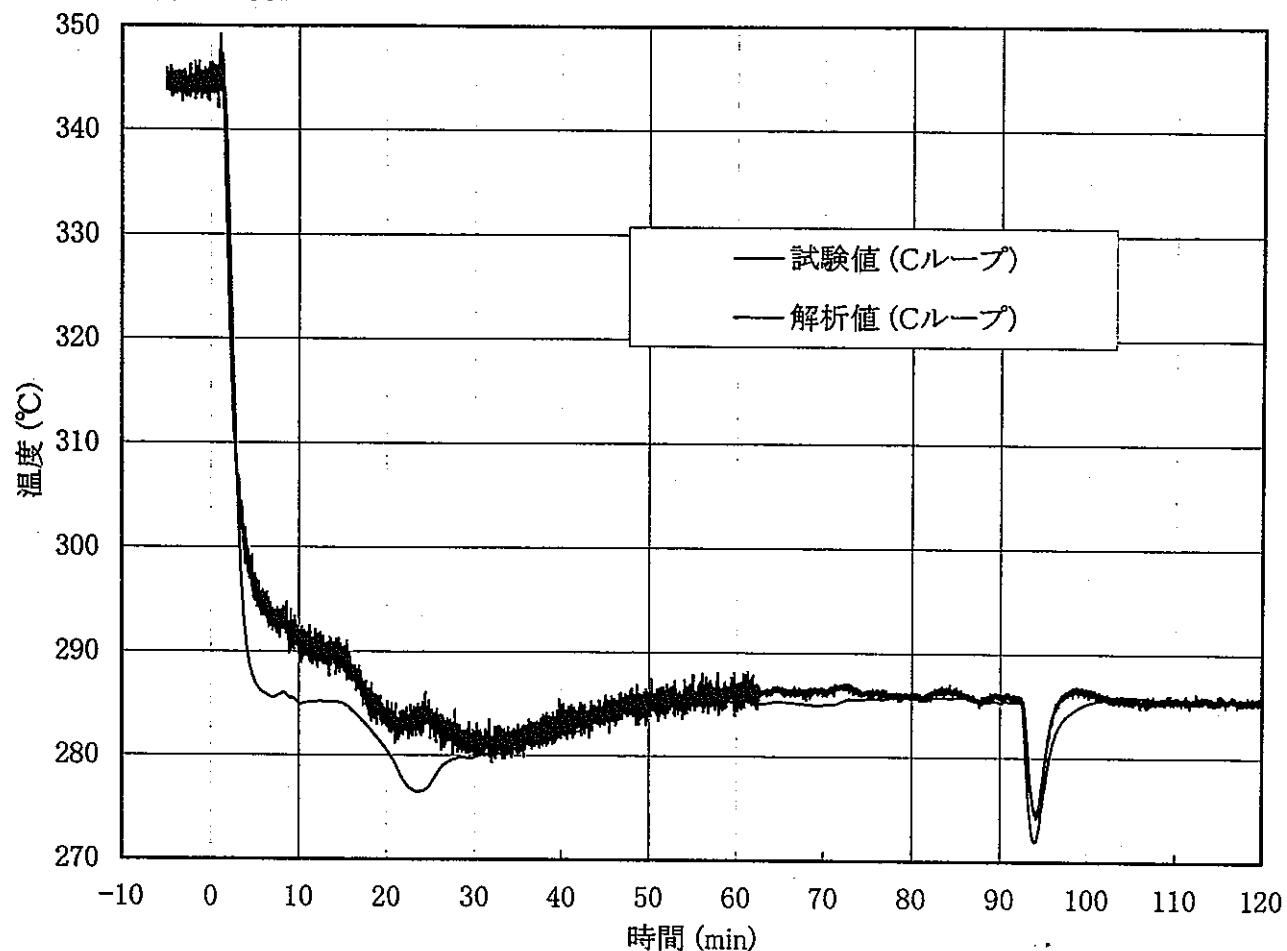


図5.2.3 修正後モデルによる解析結果 (Cループ)
ACS出口Na温度 (制御系モデルあり)

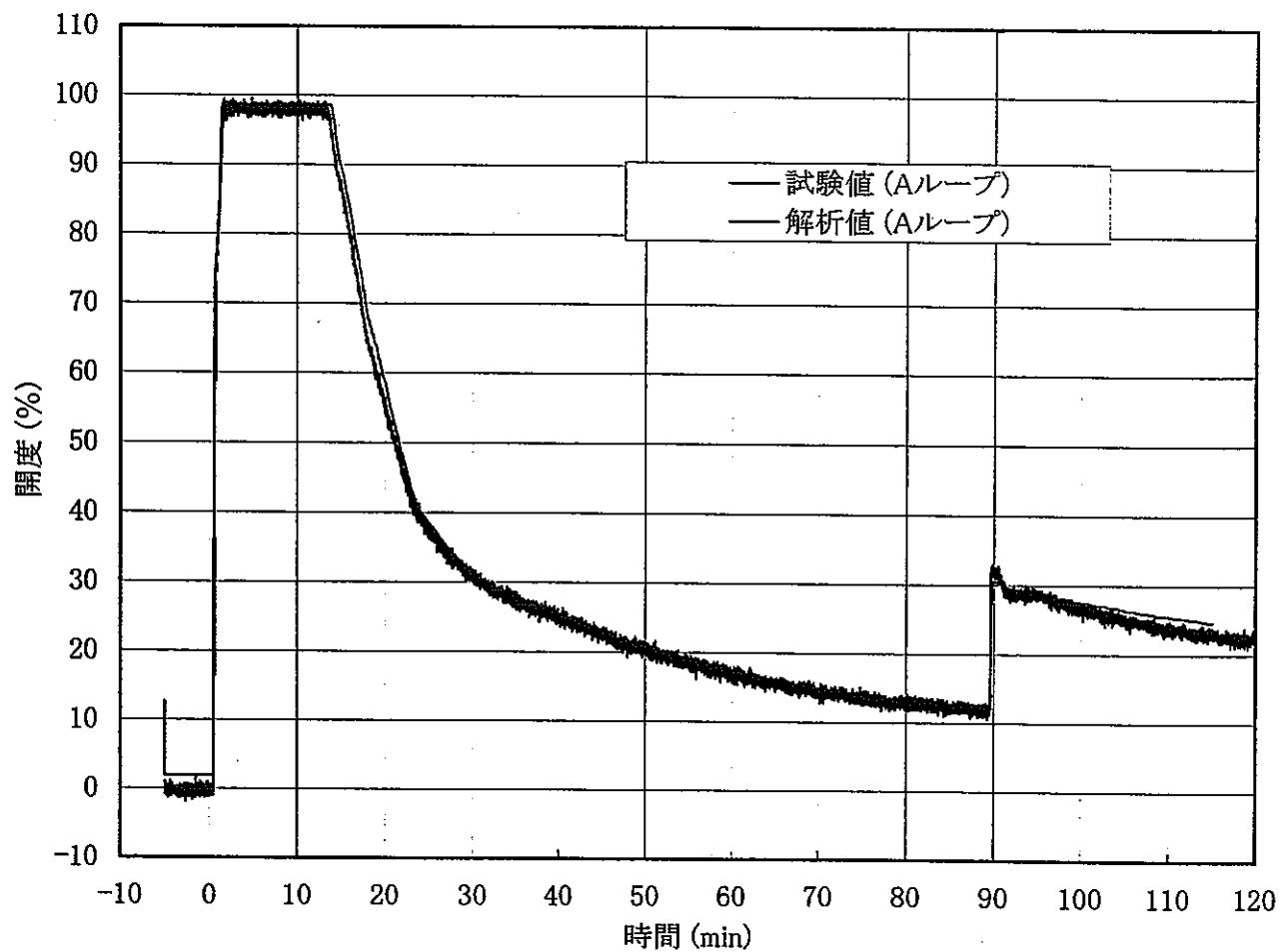


図5.2.4 修正後モデルによる解析結果 (Aループ)
ベーン開度 (制御系モデルあり)

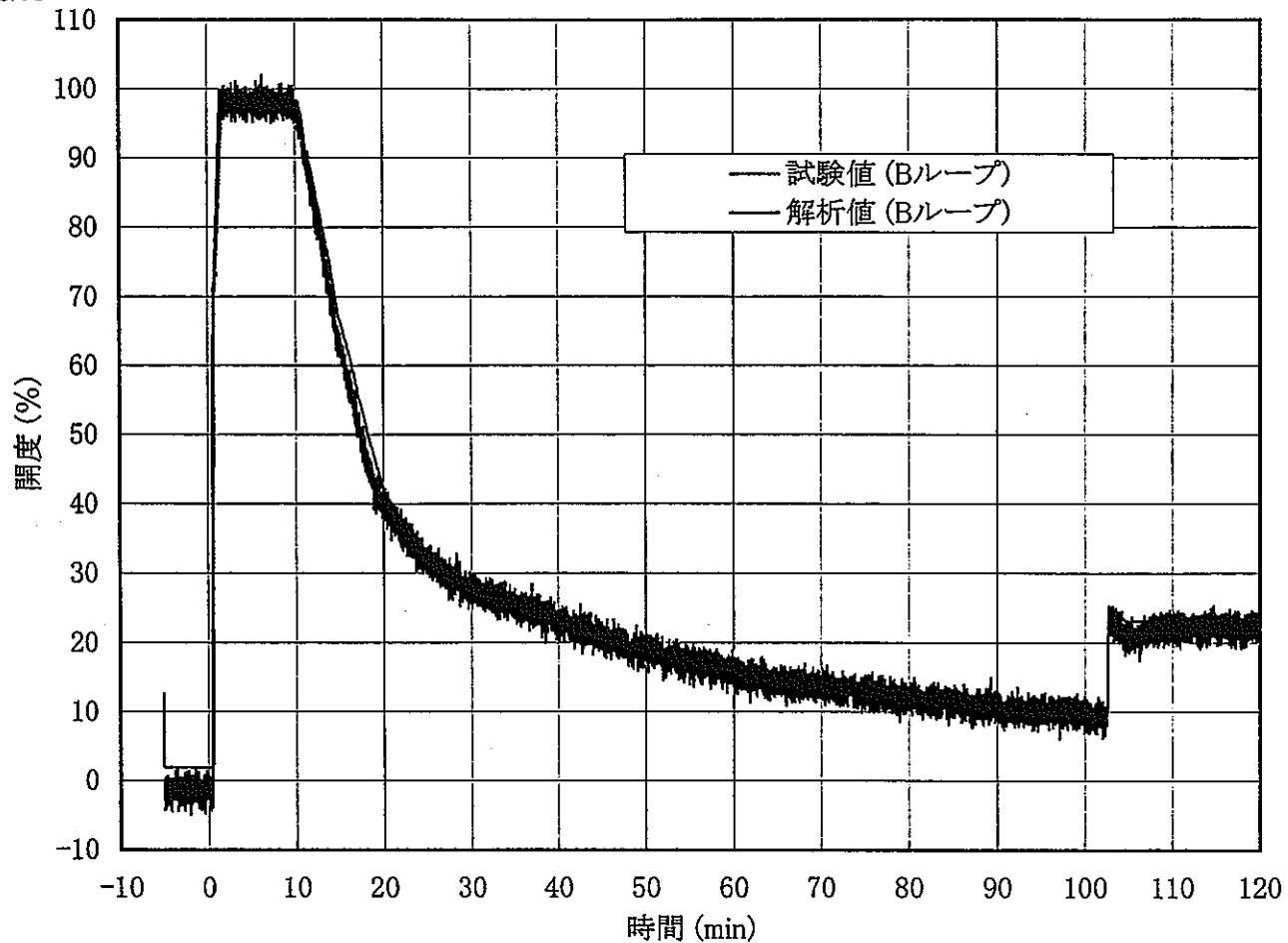


図5.2.5 修正後モデルによる解析結果(Bループ)
ベース開度(制御系モデルあり)

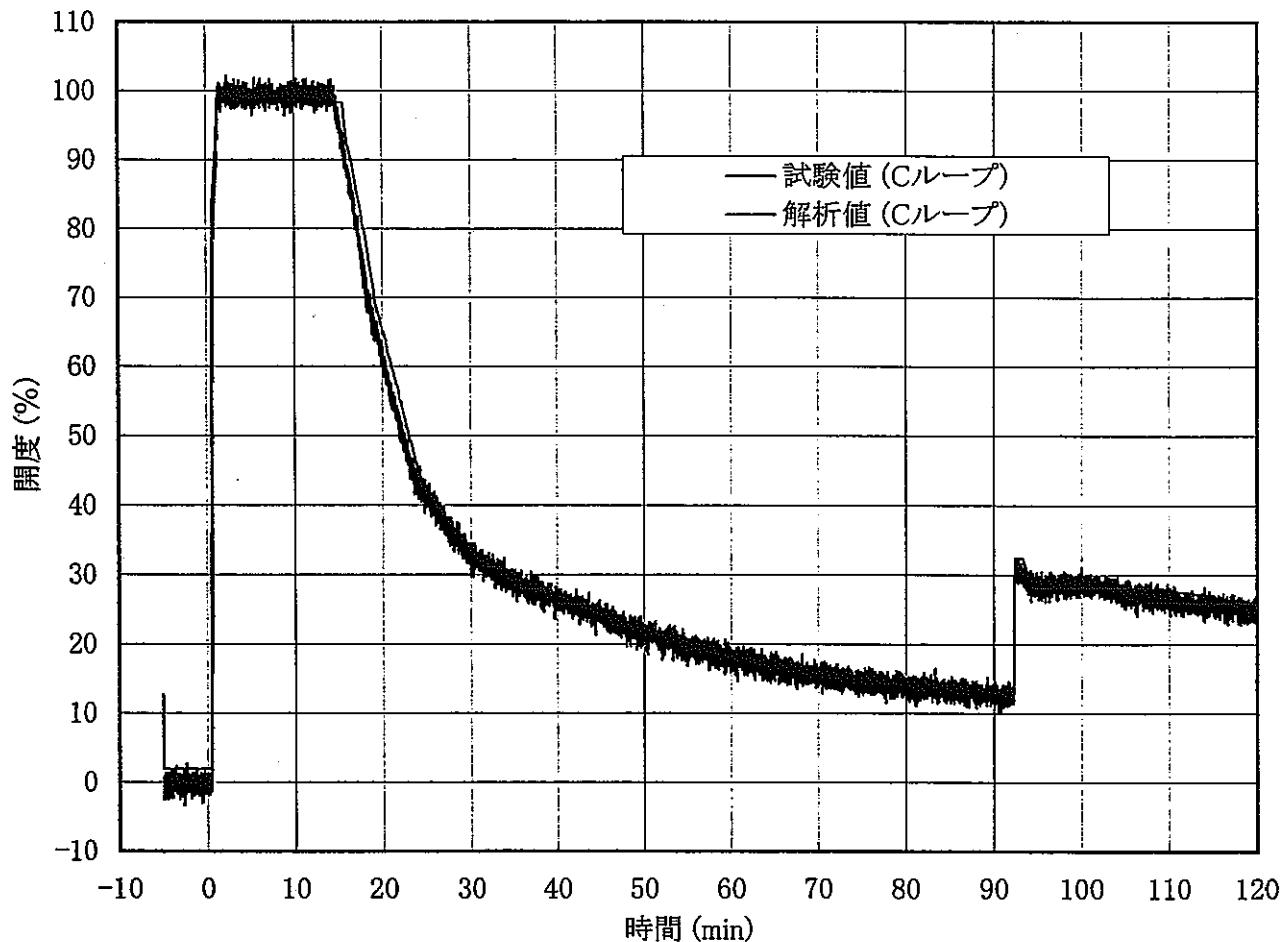


図5.2.6 修正後モデルによる解析結果(Cループ)
ベース開度(制御系モデルあり)

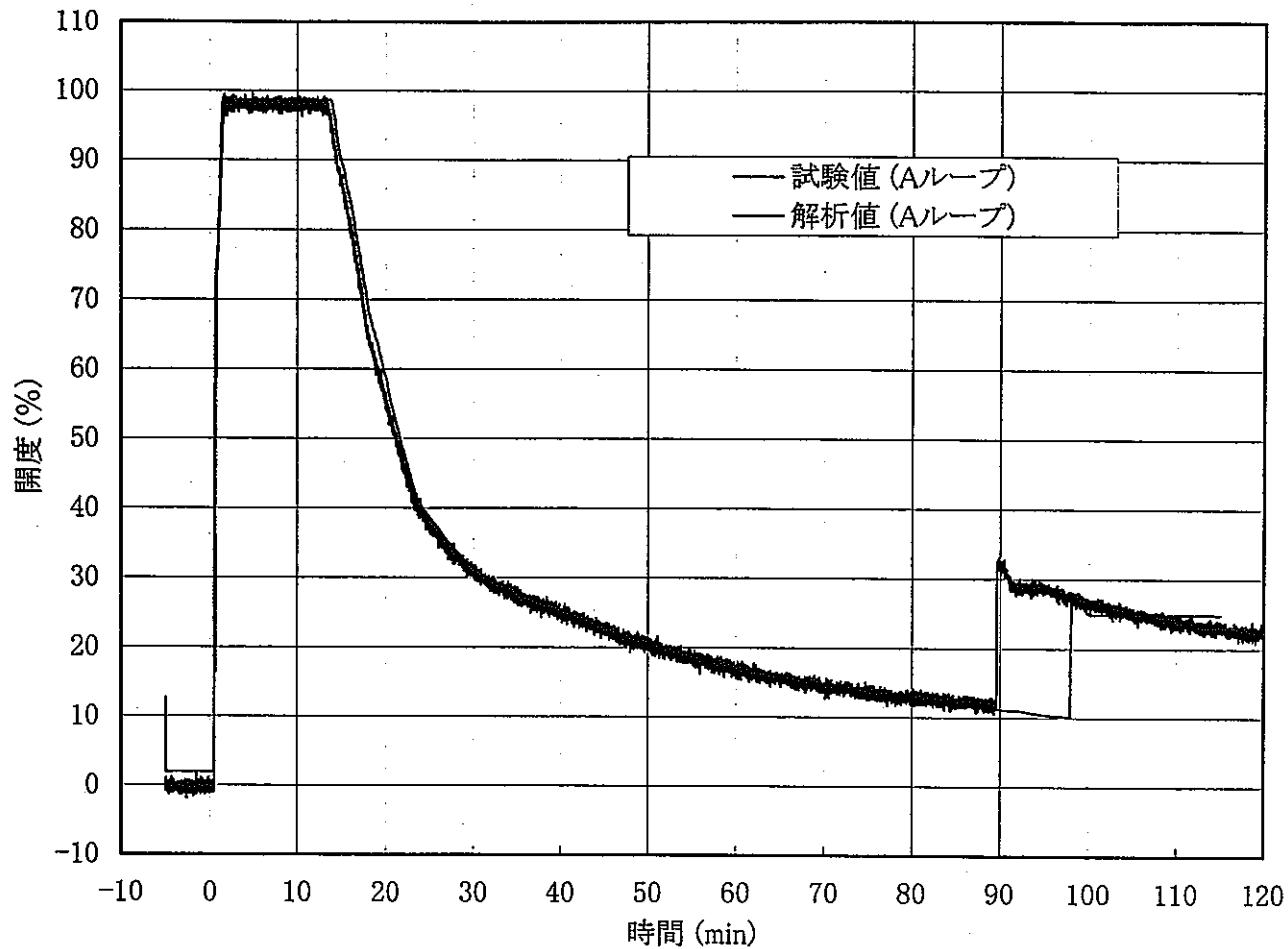


図5.3.1 修正後モデルでのモード切換わり時間の差 (Aループ)
ペーン開度 (制御系モデルあり)

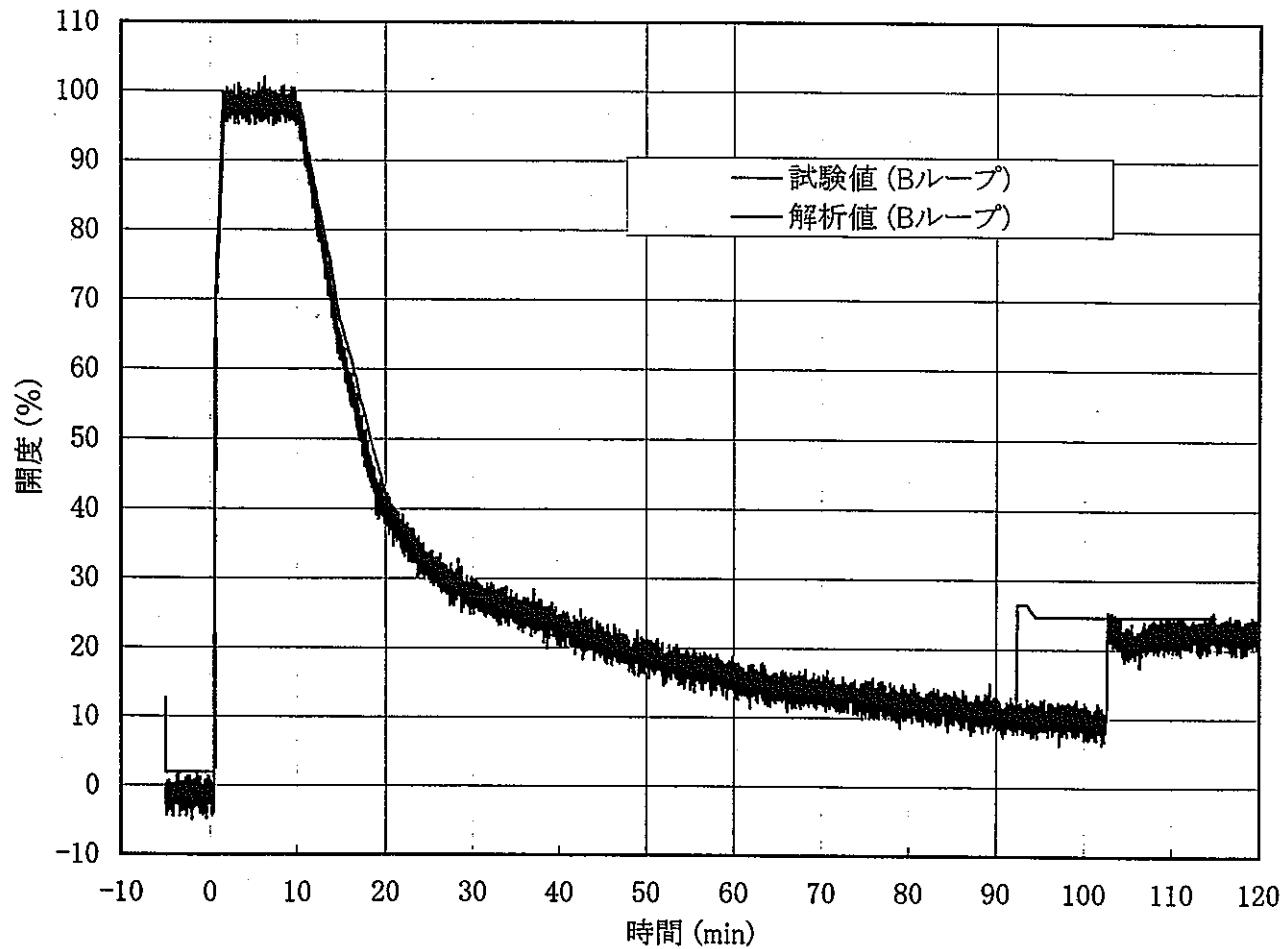


図5.3.2 修正後モデルでのモード切換わり時間の差 (Bループ)
ペーン開度 (制御系モデルあり)

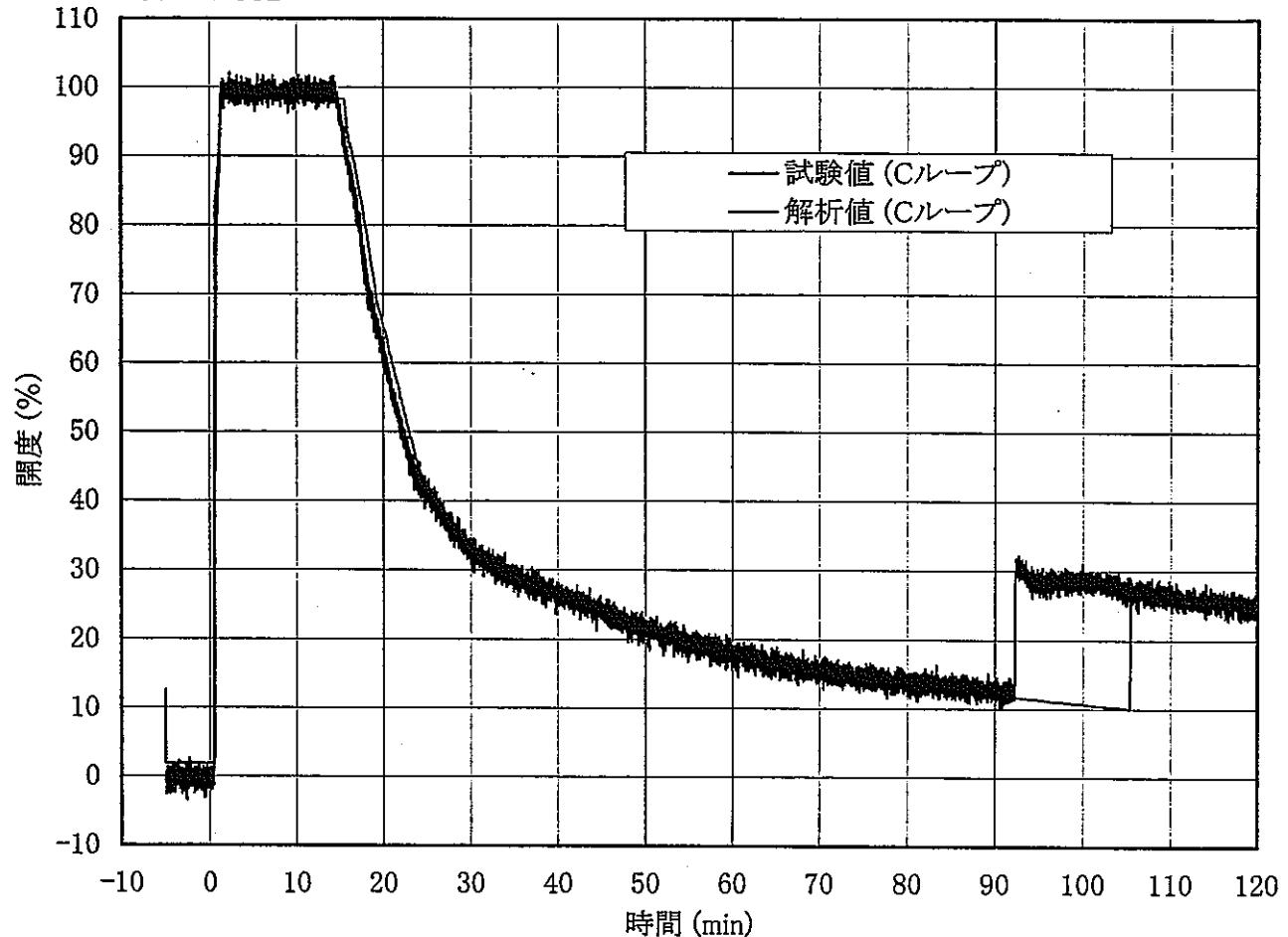


図5.3.3 修正後モデルでのモード切換わり時間の差 (Cループ)
ベーン開度 (制御系モデルあり)

別添

1. 報告書 PNC-SJ201 83-09 「補助冷却システム評価試験 一機器単体特性評価一」の概要

高速増殖炉「もんじゅ」発電所に設置する補助冷却設備について、それが設計上問題が無いことを確認するため、大型試験施設での実証試験が必要であった。そのため、大洗工学センター50MW蒸気発生器試験施設には「もんじゅ」補助冷却設備の設計・構成を模擬した評価試験装置が設置された。実機と試験装置の差を一覧にして別添表1に示す。この試験施設にて、昭和57年7月に試験が実施され基礎試験データの採取・機器特性評価が行われ、さらに昭和58年1～3月に実施された試験において特性の再現性が確認されたとしている。

2. 空気冷却器の単体除熱量 (PNC-SJ201 83-09 3章 抜粋要約)

2.1 全体除熱量

空気冷却器全体としての除熱評価を行う。使用した計測点は以下の通りである。

ナトリウム入口温度, ナトリウム出口温度, ナトリウム流量

空気入口温度, 空気出口温度

尚、空気風量はナトリウム側データより算出した除熱量と、空気側の上記出入口温度より算出した値を用いる。これは、低風量域における空気風量計の測定値のバラツキ誤差による影響を除外するためである。又、温度計測用熱電対の指示値は、常温（ナトリウム充填前）における指示値のバラツキおよび等温Na試験におけるバラツキを整理して得られた補正温度により補正している。

上記作業により以下の結果が得られた。

- ・空気風量及びナトリウム温度への依存性がある。
- ・設計値を十分満足した除熱量が得られた。

2.2 伝熱メカニズム

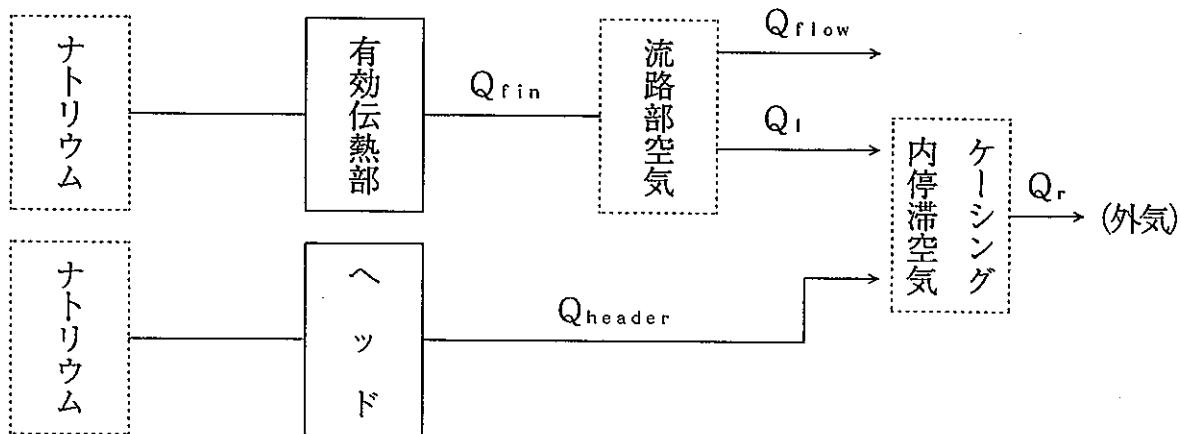
全体の熱の主要な流れは、

- (i) 有効伝熱部を介してナトリウム側から、流路部空気へ伝わる流れ : Q_{fin}
- (ii) 流路部空気が持ち去る流れ : Q_{flow}
- (iii) 流路部空気からケーシング内停滞空気へ伝わる流れ : Q_i

$$\text{ここで, } Q_{fin} = Q_{flow} + Q_i$$

- (iv) ヘッダを介してナトリウム側から、ケーシング内停滯空気へ伝わる流れ： Q_{header}
(v) ケーシング内停滯空気から外気へ伝わる流れ Q_r と内停滯空気へ伝わる流れ： Q_1

ここで、 $Q_r = Q_{header} + Q_1$



この熱のうち Q_r は定格では無視出来る程度、待機時で約50%というオーダとなる。又、 Q_{header} は、ナトリウム流量への依存性がみられる。これは、ナトリウム流量の増加が空気風量の増加を引き起こし、結果としてヘッダ室内の空気温度が下がる事に起因している。 Q_{fin} は2.4節で述べる。

2.3 全体伝熱特性

空気冷却器内部の伝熱メカニズムは、基本的には空気風量への依存性が強いので、空気冷却器全体としての伝熱特性を空気風量で表現してみる。この場合の空気冷却器の範囲は、

| | | |
|--------|------------------------------|---|
| ナトリウム側 | 入口配管 (ナトリウム入口温度：本体枠組内) | ～ |
| | 出口集合管 (ナトリウム出口温度：本体枠組内) | |
| 空気側 | 入口ダクト (空気入口温度：本体枠組外) | ～ |
| | 伝熱部上端と出口ダクトの間 (空気出口温度：本体枠組内) | |

である。

全体除熱量ベースで、空気側平均熱伝達率 h_a （フイン効果を含む）とレイノルズ数 Re との関係を求めた。

この空気側平均熱伝達率 h_a は、以下の式より算出したものである。

$$\frac{1}{h_a} = \frac{1}{K} - k - \frac{A_t}{A_i} - \frac{1}{h_{Na}}$$

但し、

$$K = \frac{Q_{Na}}{A \cdot LMTD} \quad \text{総括熱伝達率}$$

$$h_{Na} = \frac{\lambda_N}{d_i} (5 + 0.025 Pe^{0.8}) \quad \text{ナトリウム側熱伝達率}$$

$$k = \frac{A_t}{2 \lambda_m \pi} \ln \frac{d_o}{d_i} \quad \text{伝熱管熱抵抗}$$

ここで、 Q_{Na} : ナトリウム側データから評価した全体除熱量

A_t : 伝熱管外表面積

A_i : シ 内 シ

A : 有効伝熱面積

d_i : 伝熱管内径

d_o : シ 外径

LMTD: 対数平均温度差

λ_m : 伝熱管の熱伝導率 (出入口平均空気温度による)

λ_N : ナトリウムの熱伝導率

上記空気側平均熱伝達率 h_a により求めた相関は下記の様に整理される。

強制通風時: $Nu = 0.28 Re^{0.555}$

自然通風時: $Nu = 0.012 Re^{0.945}$

なお第2期試験におけるデータより、再現性が確認された。

2.4 有効部伝熱特性

有効伝熱部における伝熱特性を評価する。

$$\textcircled{1} \text{ 除熱量計算 } Q_{Na} = W_N \times (i_{No} - i_{Ni}) \quad i : \text{エンタルピ}$$

i) ナトリウム入口温度 T_{Ni}

ii) ナトリウム出口温度 T_{No}

iii) ナトリウム流量 W_N

$$\textcircled{2} \text{ 対数平均温度差 LMTD}$$

$$LMTD = \varphi \frac{(T_{Ni} - T_{a0}) - (T_{No} - T_{ai})}{\ln \frac{T_{Ni} - T_{a0}}{T_{No} - T_{ai}}} \quad \varphi : \text{直流に対する修正係数}$$

$$\varphi = \frac{\ln \frac{1 - \beta}{1 - \alpha \beta}}{\alpha - 1} \quad - n \cdot \ln \left[1 + \frac{1}{\alpha} \ln (1 - \gamma) \right]$$

$$\alpha = \frac{T_{ai} - T_{a0}}{T_{No} - T_{Ni}}$$

$$\beta = \frac{T_{No} - T_{Ni}}{T_{ai} - T_{Ni}}$$

$$\gamma = \frac{T_{ai} - T_{a0}}{T_{ai} - T_{Ni}}$$

使用データ

i) 上記の①の i), ii)

ii) 各パスにおける平均ナトリウム温度 \bar{T}_{Nj}

iii) 各パスの出入口部における平均空気温度 \bar{T}_{aj}

③ 総括熱伝達係数 K

$$K = \frac{Q_n}{A \cdot LMTD} \quad A : \text{伝熱面積 (フィンを含む)}$$

④ ナトリウム側熱伝達係数 h_{Na}

$$h_{Na} = \frac{\lambda_N}{d_i} (5 + 0.0025 Pe^{0.80}) \quad \lambda_N : \text{Na熱伝導率}$$

(Subbotine の式を用いるものとする)

必要試験データ

i) ①の i), ii), iii)

⑤ 伝熱管の熱抵抗 k

$$k = \frac{A_t}{2 \lambda_m \pi} \ln \frac{d_o}{d_i} \quad A_t : \text{単位長さ当たりの全表面積}$$

λ_m : 伝熱管の熱伝導率
 d_o : 伝熱管外径
 d_i : 内径

⑥ 空気側平均熱伝達率 h_a'

$$\frac{1}{h_a'} = \frac{1}{K} - \frac{A_t}{A_i} - \frac{1}{h_{Na}} \quad A_i : \text{単位長さ当たりの伝熱管内表面積}$$

ここで h_a' はフィン効果を含んでおり、フィン効果を含まない熱伝達率 h_a とは次の関係にある。

$$h_a' = \frac{A_0 + \Omega A_f}{A_t} h_a \quad A_0 : \text{フィン部を除いた単位長さ当たりの伝熱管面積}$$

A_f : フィン部の単位長さ当たりの面積

Ω : フィン効率

⑦ ヌッセルト数 Nu

$$Nu = h_a \times \frac{d_{eq}}{\lambda_a}$$

d_{eq} : 伝熱管等価直径
λ_a : 空気の平均熱伝導率

※ 整理結果

前節で求めたNu によれば、レイノルズ数が高い領域 (≥ 1000) では設計式

$$Nu = 0.092 Re^{0.723} Pr^{1/3} \times \frac{1}{1.16}$$

は妥当である事が分かる。

設計式はJameson の式の $\frac{1}{1.16}$ 倍であるが本式の適用範囲からみても、上記妥当性は確認される。

レイノルズ数が低い領域、即ち待機時及び自然通風時においては、全体除熱特性と同様に、レイノルズ数が高い領域と異なる傾向を示しており、近似式として

$$Nu = 0.023 Re^{0.88}$$

で整理される。

2.5 各種伝熱相関式との比較

高レイノルズ領域では、各式とも有意な差が見られないが、低レイノルズ領域はいずれも実験データを上回っている。これは、各式の適用範囲からみても理解出来る。

$$\text{Briggs \& Young} : \text{Nu} = 0.1378 \text{Re}^{0.718} \text{Pr}^{1/3} (s/h)$$

$$(5000 \leq \text{Re} \leq 1100)$$

s : フィン間距離

h : フィン高さ

$$\text{Schmidt} : \text{Nu} = 0.45 \text{Re}^{0.625} \text{Pr}^{1/3}$$

$$\text{Jameson} : \text{Nu} = 0.092 \text{Re}^{0.723} \text{Pr}^{1/3} \quad (1000 \leq \text{Re} \leq 100000)$$

(*1) 上記各種相関式のRe数の定義が異なっているためすべて Jameson の式のRe数に換算してしている。

Briggs & Young 等価直径=フィン根元径

$$\text{Schmidt} \quad \text{フィン根元径} \times \frac{\text{全表面積}}{\text{裸管面積}}$$

$$\text{Jameson} \quad \frac{2}{\pi} \times \frac{\text{全表面積}}{\text{投影周長}}$$

別添表1 実機と試験装置の差 系統主要目の比較
(1/4)

| 項 目 | | 「もんじゅ」の実機 | 大洗試験施設 | 備 考 | |
|-------------------|--------------|-------------------------|-----------|----------------------------|--|
| 一 般 | ループ数 | 3 | 1 | | |
| | | | | | |
| 定 格 運 転 状 態 | 主系統除熱量 | 238MWt/ループ [°] | 50MWt | | |
| | 2次ホットレグ温度 | 505°C | | | |
| | 2次コールドレグ温度 | 325°C | 310°C | | |
| | 蒸気発生器Na流量 | 3730ton/hr | 725ton/hr | | |
| | 基準カバーガス圧力 | 10000mmAq | | | |
| 崩 壊 熱 除 去 運 転 状 態 | 空気冷却器除熱量 | 15MWt/ループ [°] | 3MWt | *設備仕様 決定用公称運転 条件を示す。 | |
| | ホットレグ温度 | 505°C | | | |
| | コールドレグ温度 | 325°C | | | |
| | Na流量 | 1次系 | 497ton/hr | | |
| | | ACS | 235ton/hr | | |
| | | | 47ton/hr | | |
| 伝 热 中 心 差 | 中間熱交換機～加熱器 | 11.3m | 4.4m | | |
| | 中間熱交換機～蒸発器 | 10.0m | 2.6m | | |
| | 中間熱交換機～空気冷却器 | 17.4m | 18m | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

別添表1 実機と試験装置の差 空気冷却器主要目の比較
(2/4)

| 項 目 | | 「もんじゅ」の実機 | 大洗試験施設 | 備 考 | |
|-----------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|-----|--|
| 一 般 | 形式 | 多管フィンチューブ強制空冷式 | | | |
| | 熱交換量 | 15MWt | 3MWt | | |
| 伝 热 管 | 最高使用圧力 | 8kg/cm ² G | 10kg/cm ² G | | |
| | 最高使用温度 | 525°C | 535°C | | |
| | 材質 | SUS316TB | | | |
| | 管寸法 | 外形 | 50.8mm | | |
| | | 肉厚 | 2.9mm | | |
| 出 入 口 ヘッダ | パス数 | 4 | | | |
| | ピッチ | 116(正三角形千鳥) | | | |
| | 管本数 | 74 | 15 | | |
| | 管長(フィン付部) | 約16.1 | | | |
| | 伝熱面積 | 約1750 | 約350 | | |
| | フィン高さ | 16mm | | | |
| | フィン厚さ | 1.6mm | | | |
| | フィンピッチ | 5.08mm | | | |
| | 寸法 | 外形 | 406.4mm | | |
| | | 肉厚 | 12.7mm | | |
| そ の 他 | 材質 | SUS316TP | | | |
| | 外形寸法 | 5370 \times 6500 \times 4500 | L \times W \times H | | |
| | 伝熱部Naインヘントリー | 2450kg | 2250 \times 6500 \times 4000 | | |
| | 概略総重量 | 80ton | H | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

別添表1 実機と試験装置の差 空気冷却設備主要目の比較 (1/2)
(3/4)

| 項目 | 「もんじゅ」の実機 | 大洗試験施設 | 備考 |
|---------|-----------------|-------------------------|----------------|
| 送風機 | 形式 | 翼形両吸込両持直結式 | |
| | 吸込風量 | 5000m ³ /min | |
| | 吸込静圧 | -10mmAq | |
| | 吐出静圧 | 240mmAq | |
| | 回転速度 | 700rpm/≈230rpm | |
| | GD ² | 4100kg·m ² | |
| ベン | 風量制御方式 | 吸込ペーン及び電動機回転数変換 | *制御系にて 変更可能 |
| | 形式 | 扇状板形 | |
| | 材質 | SS41 | |
| | 駆動方式 | 電動機駆動 | |
| 送風機用電動機 | 開閉時間 | 20sec | *制御系にて 変更可能 |
| | 形式 | 防滴保護形 | |
| | 出力 | 350/15kw | |
| | 回転数 | 700rpm/240rpm (同期) | |
| 入口ダンパ | 極数 | 10/30p | *制御系にて 変更可能 |
| | 形式 | 平行翼式 | |
| | 駆動方式 | 電動機駆動 | |
| | 羽根数 | 4枚 | |
| | 開閉時間 | 30sec | |
| | 主要寸法 | 1500mm×2750mm | |
| 出口ダンパ | 材質 | SUS304HP | *制御系にて 変更可能 |
| | 形式 | 対向翼式 | |
| | 駆動方式 | 電動機駆動 | |
| | 羽根数 | 4枚 | |
| | 開閉時間 | 20sec | |
| | 主要寸法 | 2560mm×3000mm | |
| | 材質 | SUS304HP | |

別添表1 実機と試験装置の差 空気冷却設備主要目の比較 (2/2)
(4/4)

| 項目 | | 「もんじゅ」の実機 | 大洗試験施設 | 備考 | |
|-------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------|--|
| 入 口 連 絡 管 | 形式 | 該当部なし | 溶接鋼管 | *送風機吐出部から、入口ダンパ部 | |
| | 主要寸法 | | 1100mm $\phi \times 6\text{mm}$ t | | |
| | 概略長さ | | 25.7m | | |
| | 材質 | | SS | | |
| 出 口 連 絡 ダクト | 形式 | 角型鋼板製 | | *出口ダンパ部から、出口吐出部 | |
| | 主要寸法 | 2560mm \times 3000mm | 1700mm \times 948mm | | |
| | 材質 | SUS304(保温有) | SS(保温無) | | |
| | | | | | |
| 配 管 | 送風機中心～空気冷却器中心 高低差 | 11.1m | 33.7m | | |
| | 空気冷却器中心～出口吐出部 高低差 | 10.3m | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |