

分置

SSC-Lによる原型炉2次系自然循環試験解析

1993年10月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

SSC-Lによる原型炉2次系自然循環試験解析

江沼 康弘*、山口 彰*

要 旨

ループ型高速増殖炉プラント動特性解析コードSSC-Lの検証と高速増殖原型炉「もんじゅ」性能試験解析に適用する上での問題点を摘出することを目的として、「もんじゅ」特性試験におけるポンプ入熱4.3MW時の2次系自然循環試験解析を実施した。試験データを分析した結果、準定常時に1次系での入熱が約4.3MWであるのに対して、2次系での除熱は約3.4MWでありバランスがとれていない。そこで、その差が系統放熱に等しいと仮定した解析を実施した結果、温度や流量の過渡変化がプラントの測定誤差範囲内で一致した。従って、SSC-Lで使用した圧損式は、低流量時においても十分な精度で適用可能であることが確認された。また、熱バランスがとれていない原因は系統放熱であると考えられる。今後は、個々の解析モデルの検証を継続するとともに、1次系を含む全体システムの自然循環力の評価を実施する。

* 大洗工学センター 安全工学部 原子炉工学室

An Analysis of The Secondary Loop Natural Circulation Test in Monju using SSC-L

Yasuhiro Enuma* and Akira Yamaguchi*

Abstract

Loop-Version of Super System Code (SSC-L) has been applied to the analysis of the secondary loop natural circulation test (heated up by the pumps:4.3MWt) in Monju. The purposes of this study are to validate the computer program and to point out the additional plant data necessary for the analysis of the proposed tests with better accuracy. From the test results, generated heat in the pumps is 4.3MWt while the removed heat at ACS is 3.4MWt in the initial steady state. The difference is caused by heat losses from the heat transport system and it is taken into account in the SSC model. The transient thermohydraulic performance in the secondary heat transport system simulated using SSC-L is in agreement with the test data. Hence, the pressure loss model in SSC-L is validated and the code is applicable to the natural circulation conditions. Validation of other component models in SSC-L is in progress using Monju data towards a whole plant natural circulation test.

* Reactor Engineering Section, Safety Engineering Division, O-arai Engineering Center

目 次

1. 序 論	1
2 .解析条件	2
2.1 試験概要	2
2.2 解析条件	2
2.3 解析モデル	3
2.4 追加オプション	3
3. 解析結果及び実験結果との比較	4
4. 考察	4
5. まとめ	5
謝 辞	6
参考文献	7

表リスト

- 表2.1 準定常時プラントデータ
- 表2.2 系統放熱

図リスト

- 図2.1 プラント変化
- 図2.2.1 空気冷却器空気流量
- 図2.2.2 中間熱交換器、空気冷却器出入口温度(Aループ)
- 図2.2.3 中間熱交換器、空気冷却器出入口温度(Bループ)
- 図2.2.4 中間熱交換器、空気冷却器出入口温度(Cループ)
- 図2.3 もんじゅ解析ループモデル
- 図3.1.1 空気冷却器出入口Na温度(Aループ)
- 図3.1.2 空気冷却器出入口Na温度(Bループ)
- 図3.1.3 空気冷却器出入口Na温度(Cループ)
- 図3.1.4 2次系流量(Aループ)
- 図3.1.5 2次系流量(Bループ)
- 図3.1.6 2次系流量(Cループ)

1. 序 論

Super System Code(SSC)は、高速増殖炉プラントシステムの応答を通常運転時から、異常な過渡事象、事故にわたるまで一貫して解析でき、しかも汎用性が高く検証実績の多い計算プログラムである。SSCのループ型バージョンであるSSC-Lは、1981年にアメリカのブルックヘブン国立研究所(BNL)より動燃事業団に導入された^[1]。SSC-Lは、これまでにアメリカ、ヨーロッパ各国において高速増殖炉の各種事象解析に適用されており、動燃事業団においても、高速増殖原型炉「もんじゅ」の安全評価、高速実験炉常陽の試験解析、大型実証炉の安全解析及び設計評価にSSC-Lが利用されている^{[2] [3] [4]}。

高速増殖原型炉「もんじゅ」では、自然循環による崩壊熱除去能力の確認とその評価手法の検証のために、臨界達成後の性能試験のひとつとして手動スクラムからの自然循環移行試験が計画されている。

原子炉工学室では、ループ型大型炉の自然循環崩壊熱除去に関するR&Dの一環として、「もんじゅ」自然循環試験に参加して実機試験データを収集するとともに、SSC-Lを用いて試験結果を評価解析してモデルの検証を行い、解析精度および信頼性の向上を図っている。本報では、自然循環による崩壊熱除去に関する評価手法の検証のために、高速増殖原型炉「もんじゅ」にて実施した2次冷却系自然循環試験の結果を用いて、SSCの適用解析結果について報告する。

2. 解析条件

2.1 試験概要

プラント特性予備試験の一部として実施された2次系自然循環試験は、蒸発器側流路の弁、バイパス弁を共に閉めて隔離し、補助冷却系の流路のみを使った自然循環試験である。システムへの入熱は炉心の発熱でなく1次系ポンプで行っている。1次系流量、空気冷却器ダンパー開度の時間変化を図2.1に、準定常時のプラントデータを表2.1に示す。試験の条件は以下の通りである。

初期設定:1次系流量100%流量(ポンプ回転数100%)、1次系ポンプ入熱約4.3MW

2次系自然循環流量(ポンプ回転数0%)

空気冷却器出口温度制御315℃固定(ダンパー、ベーン開度自動調整)

タイムテーブル

20:00 準定常状態到達

21:00 過渡開始

1次系流量100%から55%(ポンプ入熱約0.7MW)

空気冷却器出口温度制御320℃に変更

2.2 解析条件

境界条件としては、

- ・ 空気冷却器での空気流量
- ・ ポンプ入熱量変化

を用いた。空気流量は、空気冷却器除熱量データより作成した。(図2.2.1参照)

図2.2.2,図2.2.3,図2.2.4に中間熱交換器2次側出入口Na温度と空気冷却器出入口Na温度の試験結果を示す。試験データでは、中間熱交換器出口Na温度と空気冷却器入口Na温度が定常状態にて一致していない。また、ポンプ入熱量が約4.3MWであるのに対して空気冷却器除熱量は約3.4MWである。原因としてはシステムからの放熱が考えられる。

表2.2にもんじゅの機器配管放熱を示す。ポンプ入熱量は、準定常状態の入熱量と除熱量の差をシステム放熱として考え、その熱量を補正し境界条件として与えた。また、配管長、圧損等の各種入力データは、全て検査データ等を反映した最新のプラントデータを用いた^{[5] [6]}。

2.3 解析モデル

解析対象は、補助冷却系を含むプラント全体とした。図2.3に1ループ分のループ構成を示す。SSC-Lには、いくつかのモデルが用意されている。今回使用したモデルを以下に示す。

(1)2次系ループ非対称モデル

SSC-Lは、現象に関するループ非対称は扱えるが、ループ形状については対称としてモデル化されている。高速増殖原型炉「もんじゅ」の2次系ループの形状はそれぞれ異なっているため2次系ループ非対称モデルを使用した。

(2)炉心モデル

炉心モデルに関しては、同心円状に分割できる。今回の試験では、炉心での発熱はないため、炉心分割数を1とした。

(3)上部プレナムモデル

上部プレナムモデルには、点モデル、2領域モデル、2次元モデルがある。2次系ループ非対称モデル使用の場合、2次元モデルを使用すると非対称性を模擬できず、また計算時間も多く必要である。今回の試験は入熱量が少なく1次系の温度差が小さい。以上の事から、2領域モデルを使用した。

2.4 追加オプション

今回の解析を実施するにあたり、運転条件に対応した解析を可能とするため以下のようなオプション及びモデルの追加、作成をした。

- ・1次系、2次系ポンプ制御の独立化
- ・空気冷却器空気流量3ループの独立化
- ・空気冷却器空気側圧損補正係数の組み込み
- ・ポンプ入熱予測式モデルの組み込み
- ・1次系ポンプ制御タイムテーブルの組み込み

3. 解析結果及び試験結果との比較

補助冷却設備を含む3ループのプラント全体を解析した。空気冷却器での空気流量、ポンプ入熱量変化については、実測値より境界条件として与えた。また、定常時には、入熱量が除熱量よりも約0.9MW多いことを考慮し、それを系統への放熱として補正した解析を過渡開始から2時間後まで実施した。図3.1.1,図3.1.2,図3.1.3に各ループごとの空気冷却器出入口Na温度、図3.1.4,図3.1.5,図3.1.6に各ループごとの2次系流量を実測値と比較して示す。計測誤差は、熱電対にて $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、流量計にて $\pm 3\text{Kg/s}$ である^{[5] [6]}。入熱と除熱の差を放熱としてモデル化すれば、温度や流量の過渡変化がプラントの測定誤差範囲内で一致する。他のループに関しても、同様の結果が得られ、各ループの配管長の違いから生じる輸送遅れのずれも模擬できている。

4. 考察

解析を実施するにあたり、これまでは実際の試験の運転条件が確定していなかったため、適当に条件を仮定していた。そのため、運転条件を模擬するために、1次系及び2次系ポンプ制御の独立化、空気流量3ループの独立化及び空気側圧損補正係数の組み込み、ポンプ入熱予測式モデルの組み込み及びポンプ制御タイムテーブルの組み込みを実施した。

解析を実施した結果、解析値は計測誤差範囲の中に収まり一致している。そのことから、今回与えた境界条件の中の不確かな部分をなくせば、SSC-Lを用いて自然循環移行試験を精度良く評価することが可能である。境界条件として与えた空気冷却器除熱量に関して見てみると、SSCは空気冷却器除熱量変化を模擬するために、過渡時の空気流量を試験結果の除熱量から算出し使用している。そのため、事前にSSC-Lを用いて評価するためには、ダンパー、ベーン開度による空気冷却器制御を可能にする必要がある。ポンプ入熱量に関しては、熱バランスが取れていない原因として系統放熱を仮定している。表2.1から2次系の配管放熱について見てみると、0.293MW(LOOP A), 0.238MW(LOOP B), 0.294MW(LOOP C)が、設計値から考えられる。また、準定常時の2次系の受熱量と除熱量の差を算出してみると、0.104MW(LOOP A), 0.114MW(LOOP B), 0.156MW(LOOP C)となっている。この値は、計測誤差が含まれたものである。そのため、計測誤差を分離し正確な系統放熱を把握しておくことが必要である。

5. まとめ

プラント動特性解析コードSSCを、高速増殖原型炉「もんじゅ」2次系自然循環特性評価に適用した。温度や流量の過渡変化が誤差範囲内で一致することを確認し、熱輸送系モデルの妥当性を検証した。従って、SSC-Lで使用した圧損式は、低流量時においても十分な精度で適用可能である。今後は、個々の解析モデルの検証を継続するとともに、1次系を含む全体システムの自然循環力の評価を実施する。

謝 辞

本研究を実施するにあたって、安全工学部原子炉工学室の早船浩樹研究員には、円滑に作業を進めるべく多大なる協力を頂きました。また、安全工学部原子炉工学室の大島宏之副主任研究員には解析作業上貴重な助言を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- (1) J.G.Guppy , Super System Code [SSC Rev.2] An Advanced Thermohydraulic Simulation Code for Transients in LMFBRs , BNL-NUREG-51650 , April (1983)
- (2) 山口彰, 吉川信治, 長谷川俊行, 大島宏之, 「SSC-L:ループ型高速炉システムコード」, PNC N9410 87-143, 1983年10月
- (3) 大岩章夫, 山口彰, 吉川信治, 「SSC-Lによる「常陽」MK-II炉心自然循環試験解析」, PNC N9410 87-113, 1987年7月
- (4) 山口彰, 大島宏之, 「高速増殖大型炉の設計主要目に関する研究(I)」, PNC N9410 88-006, 1988年1月
- (5) 「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」分冊1, PNC ZJ2449 90-001(1), 1990年3月
- (6) 「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」分冊4, PNC ZJ2449 90-001(4), 1990年3月

表2.1 準定常時プラントデータ

	Aループ	Bループ	Cループ
炉容器出口温度	351.1℃	351.1℃	350.1℃
中間熱交換器1次側出口温度	351.0℃	348.6℃	350.1℃
中間熱交換器2次側入口温度	311.7℃	313.0℃	311.0℃
中間熱交換器2次側出口温度	350.0℃	351.1℃	351.7℃
空気冷却器入口温度	349.5℃	349.5℃	349.5℃
空気冷却器出口温度	315.0℃	315.5℃	314.0℃
1次系流量	1400Kg/s	1400Kg/s	1400Kg/s
1次系ポンプ回転数	760rpm	760rpm	760rpm
2次系流量	25Kg/s	25Kg/s	25Kg/s

表2.2 系統放熱

1次系：炉容器	88000	Kcal/h	2次系：ホットレグ配管	54600	Kcal/h	Loop A
ホットレグ配管	40000*3	Kcal/h		39600	Kcal/h	Loop B
コールドレグ配管	59000*3	Kcal/h		60600	Kcal/h	Loop C
P O F C	15000*3	Kcal/h	コールドレグ配管	98000	Kcal/h	Loop A
中間熱交換器	31000*3	Kcal/h		65000	Kcal/h	Loop B
				93000	Kcal/h	Loop C
			P O F C	16000	Kcal/h	
			ポンプ	6000	Kcal/h	
			空気冷却器	78000	Kcal/h	
合計	523000	Kcal/h (0.608MW)		710800	Kcal/h (0.826MW)	
						0.293MW (A)
						0.238MW (B)
						0.294MW (C)

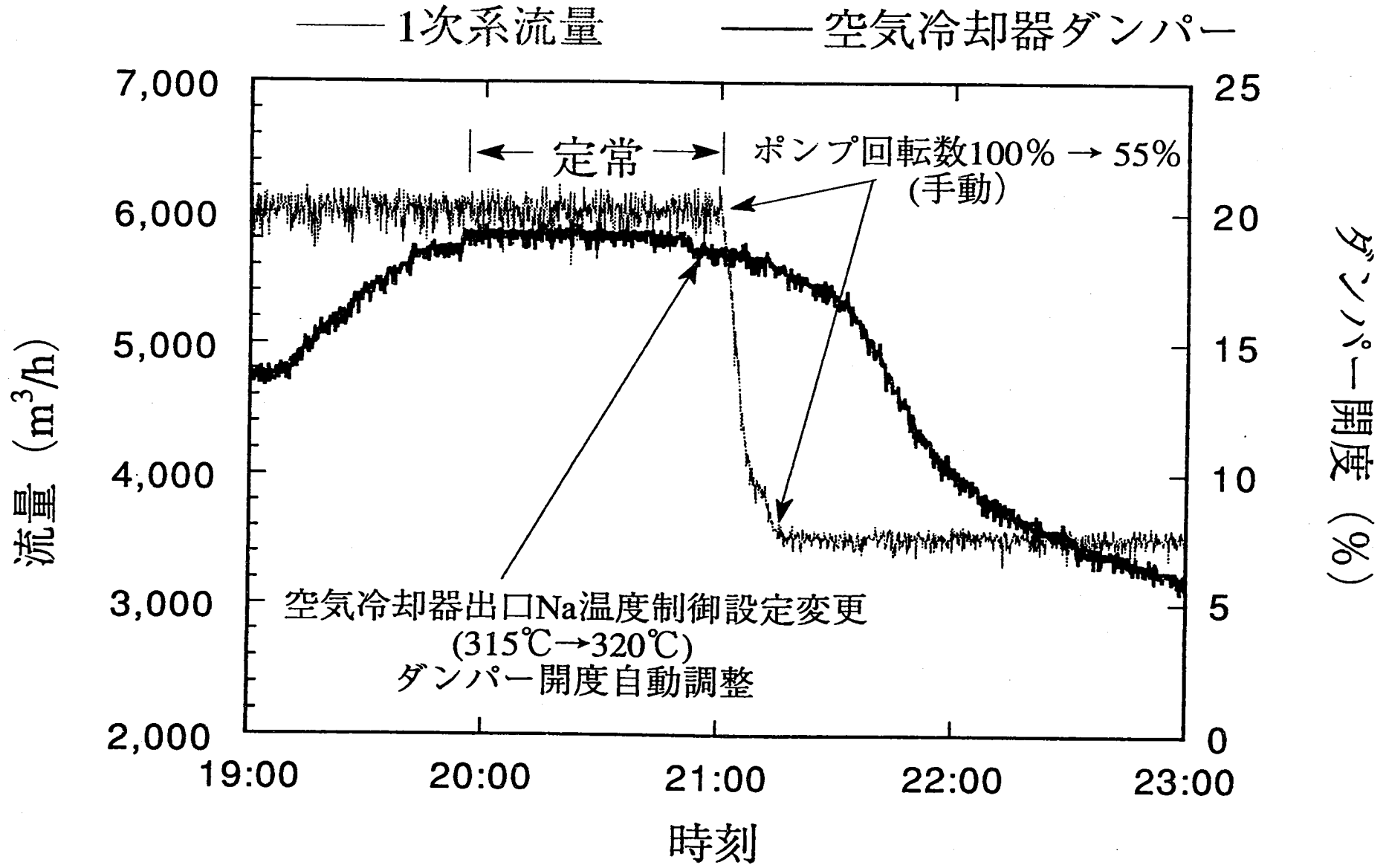


図2.1 プラント変化

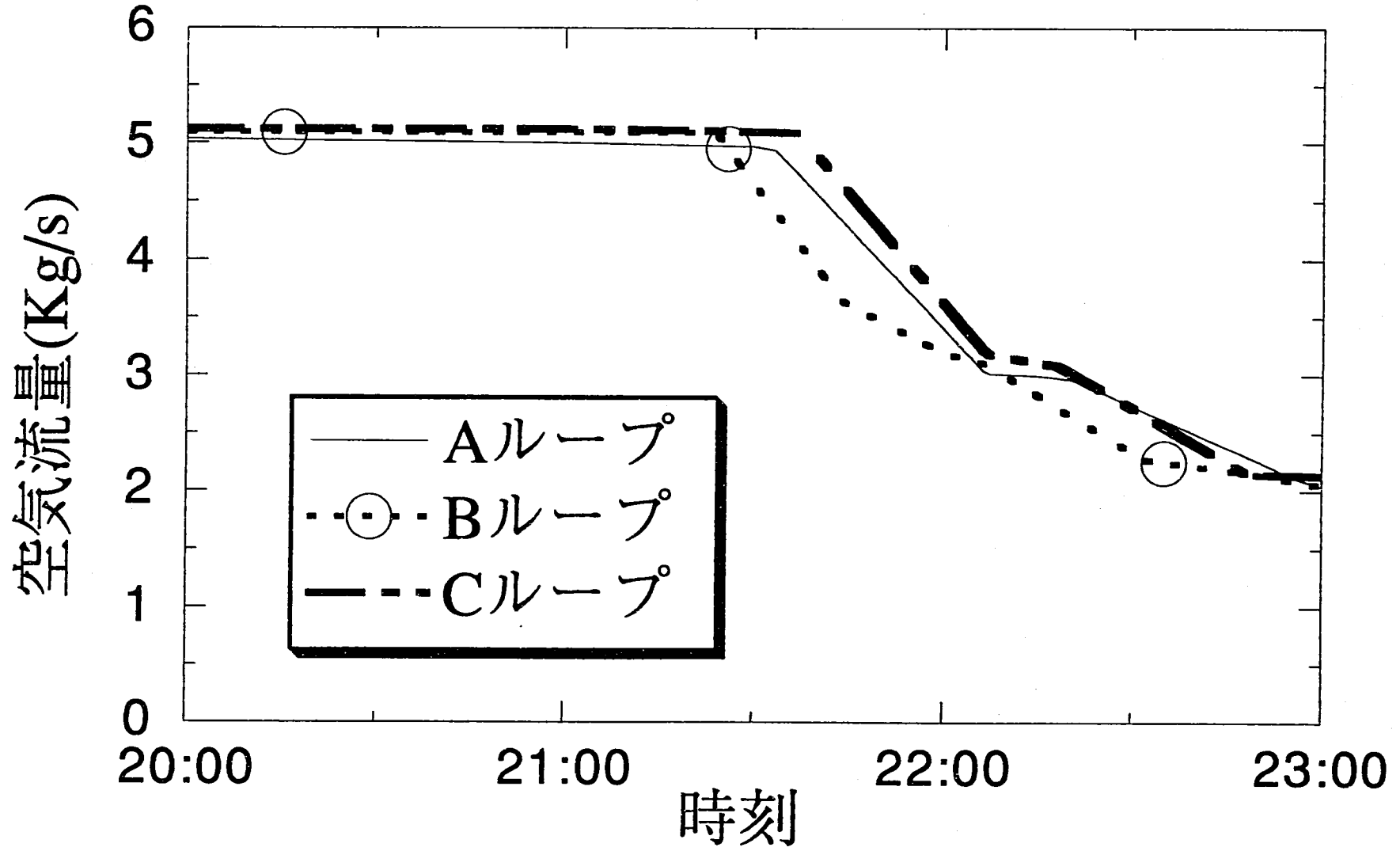


図2.2.1 空気冷却器空気流量

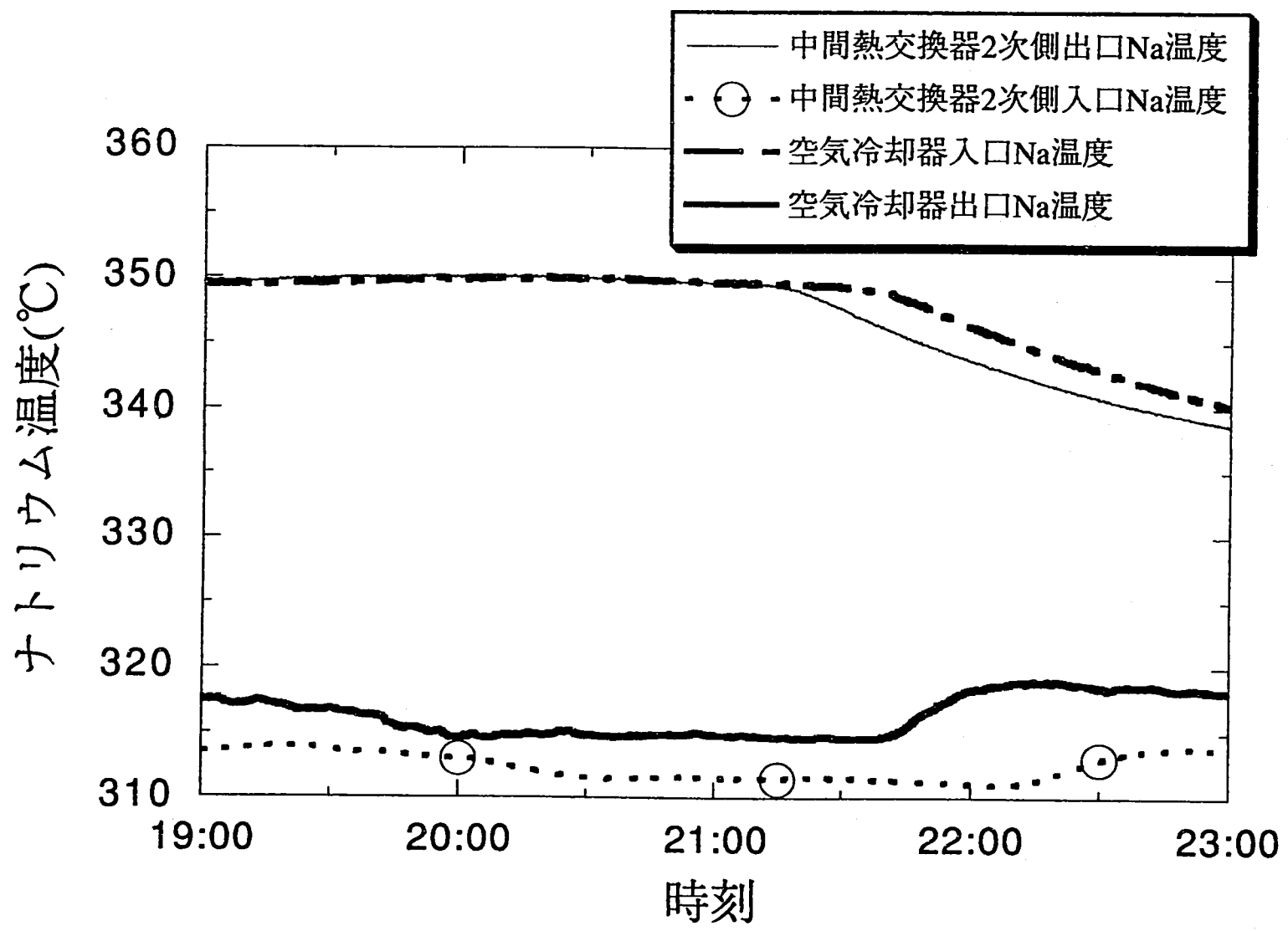


図2.2.2 中間熱交換器、空気冷却機出入口Na温度 (Aループ)

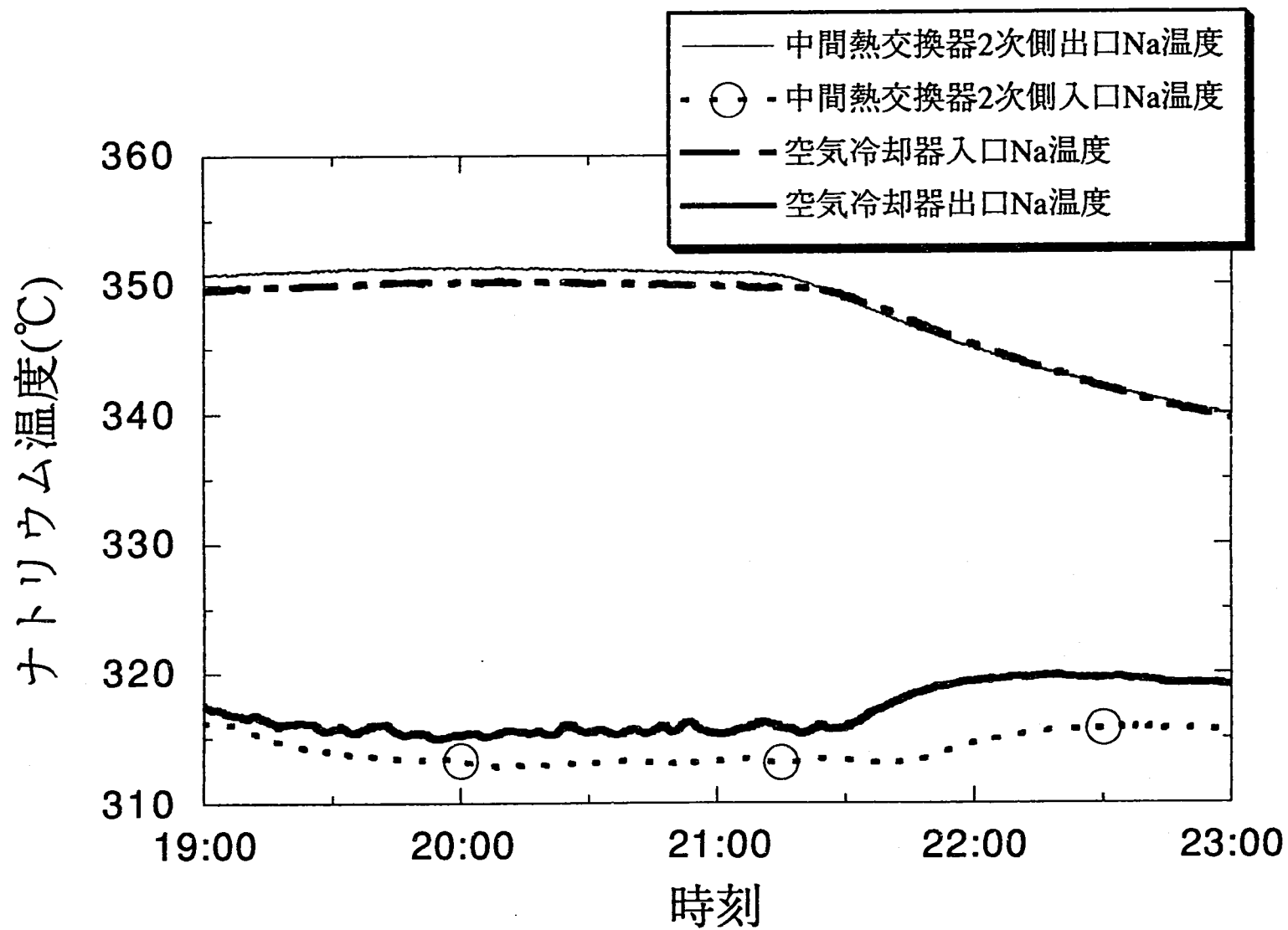


図2.2.3 中間熱交換器、空気冷却機出入口Na温度 (Bループ)

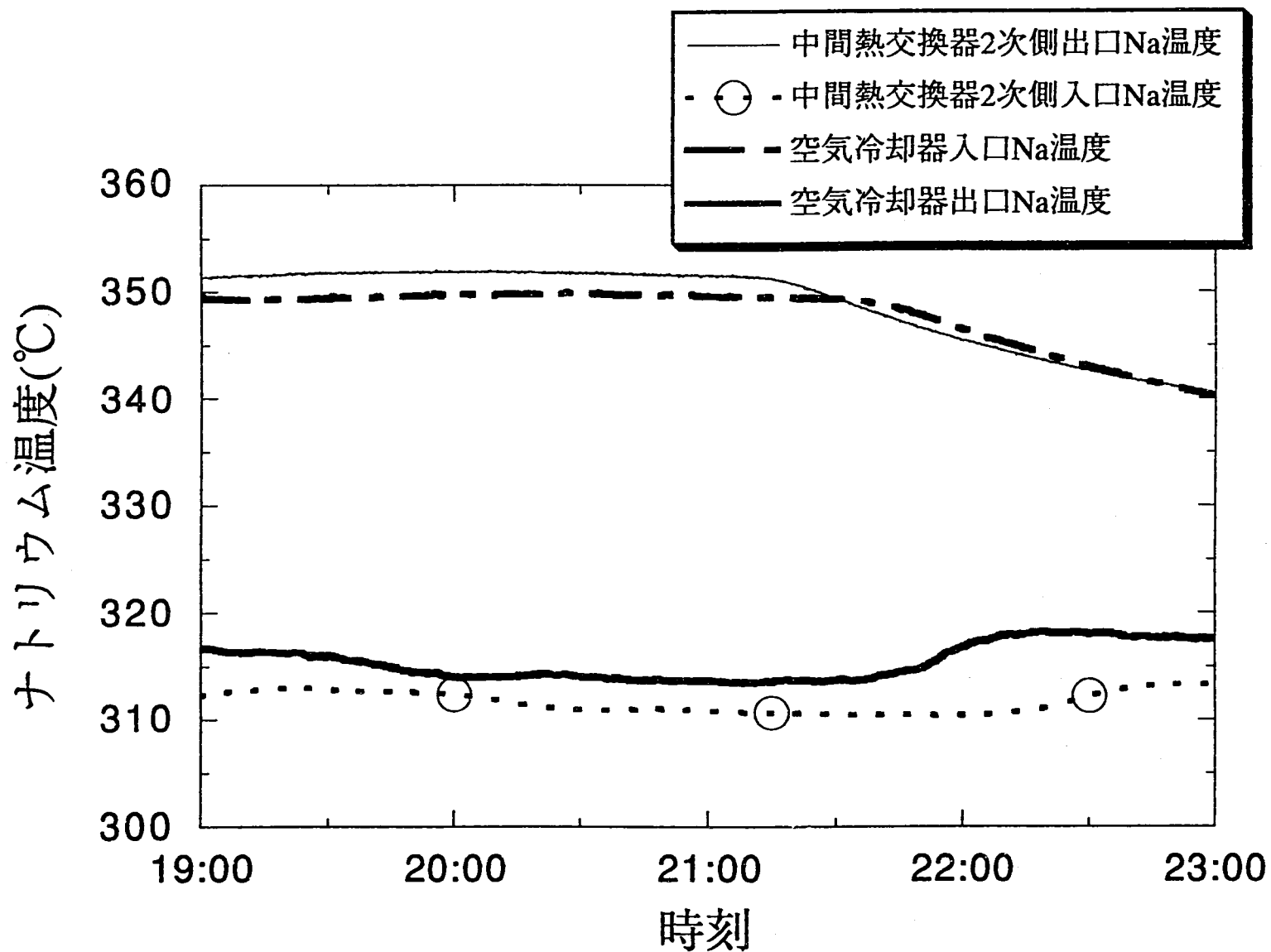


図2.2.4 中間熱交換器、空気冷却機出入口Na温度 (Cループ)

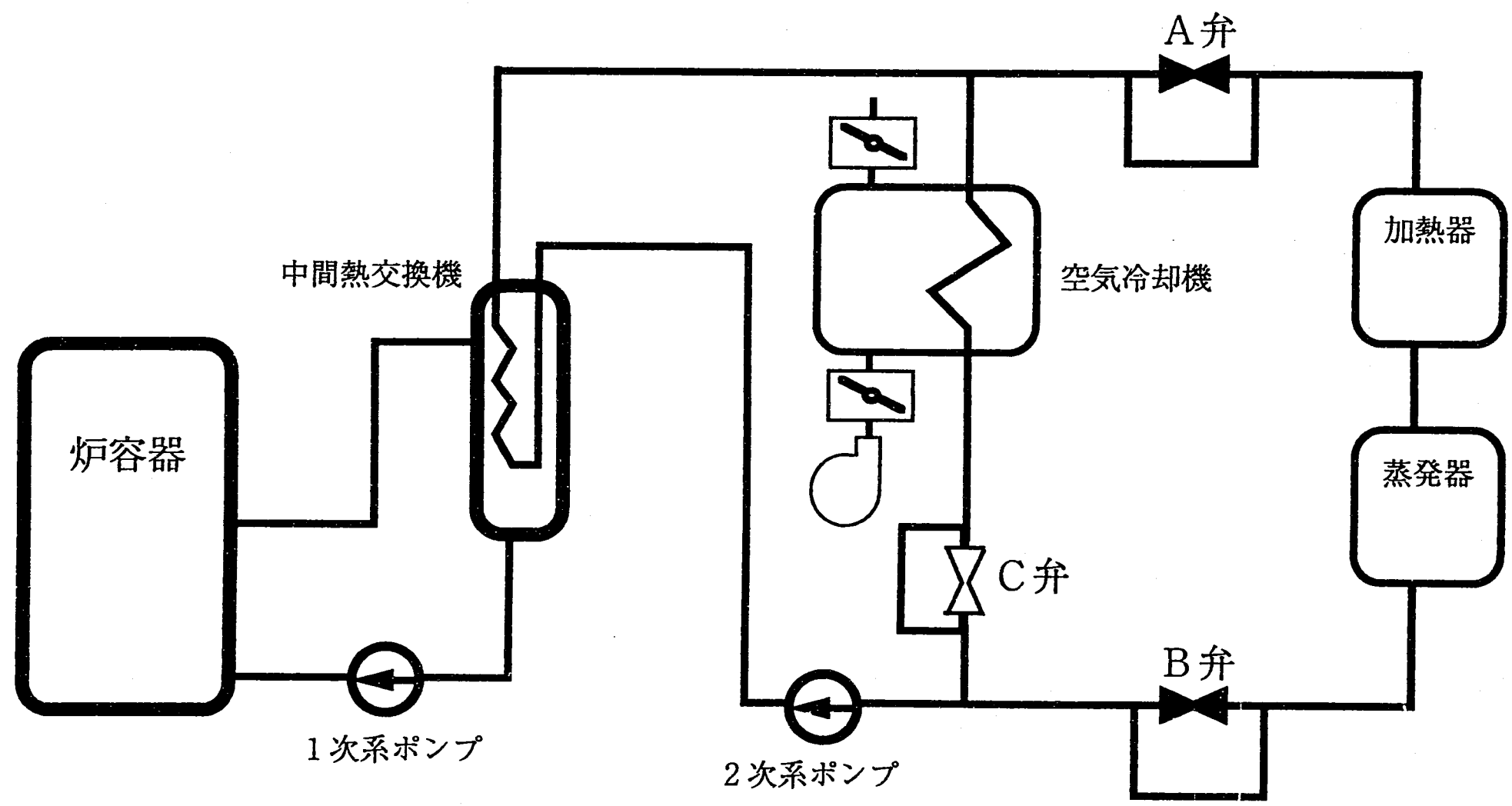


図2.3 もんじゅ解析ループモデル

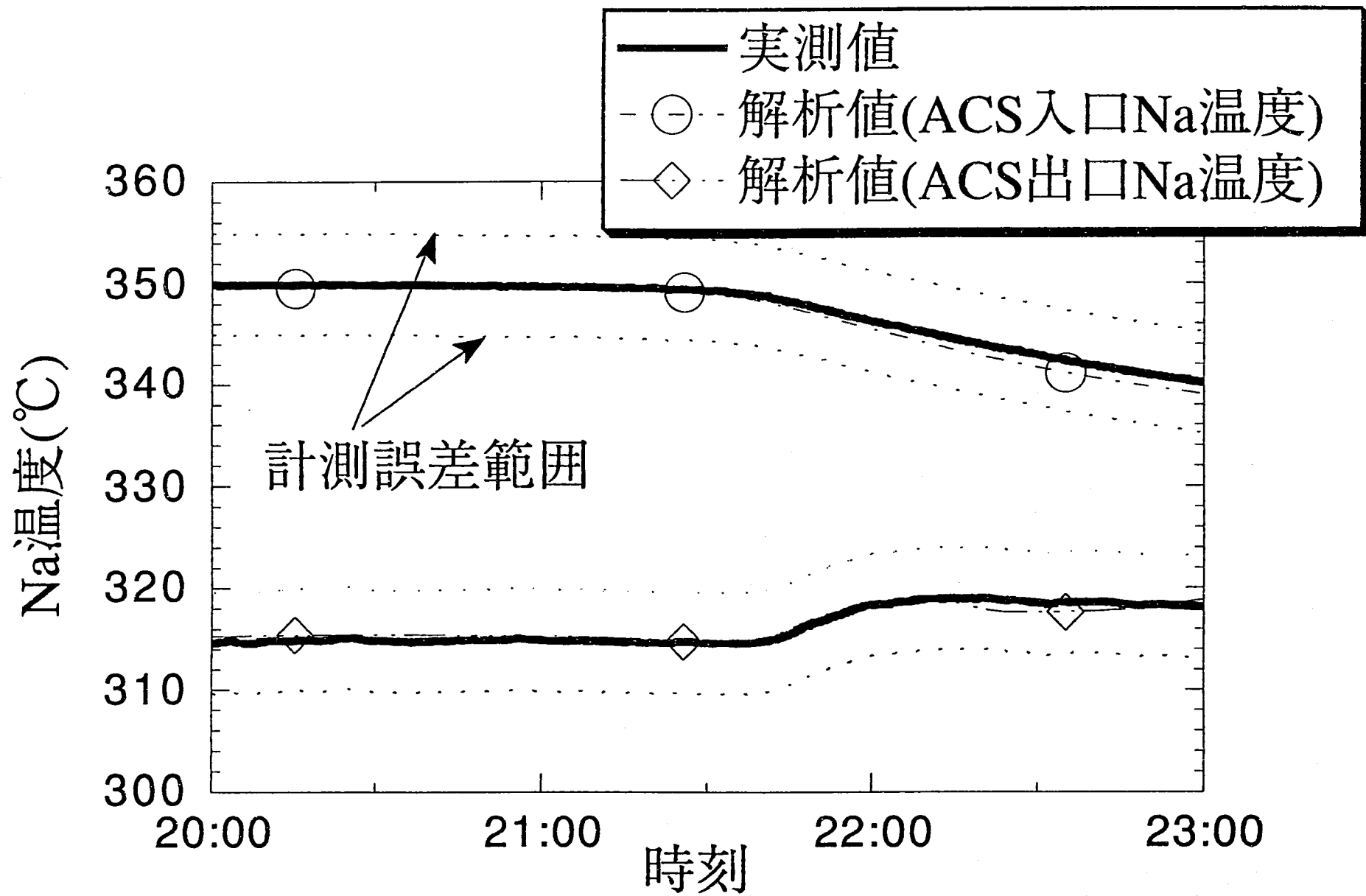


図3.1.1 空気冷却器出入口Na温度(Aループ)

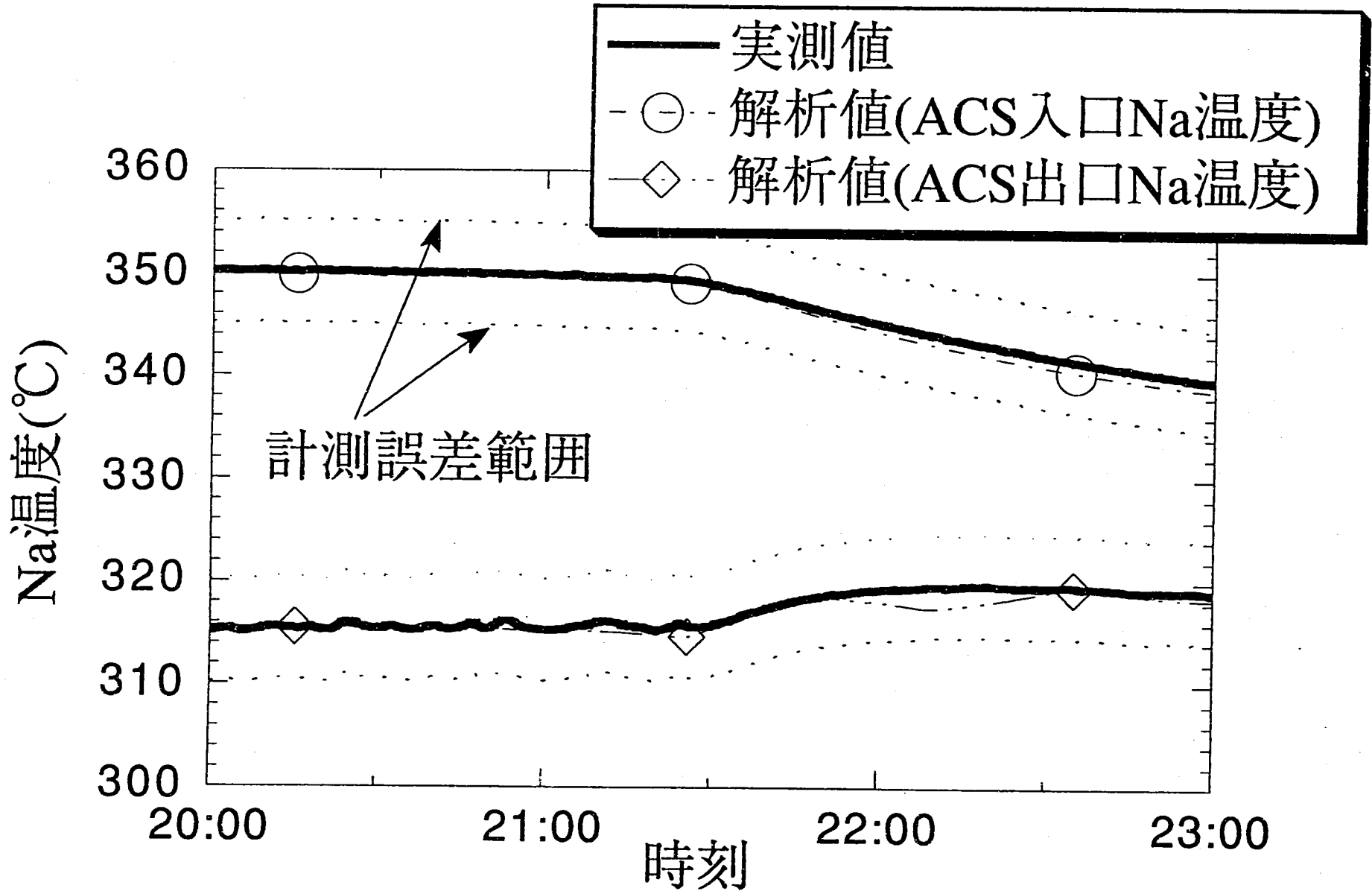


図3.1.2 空気冷却器出入口Na温度(Bループ)

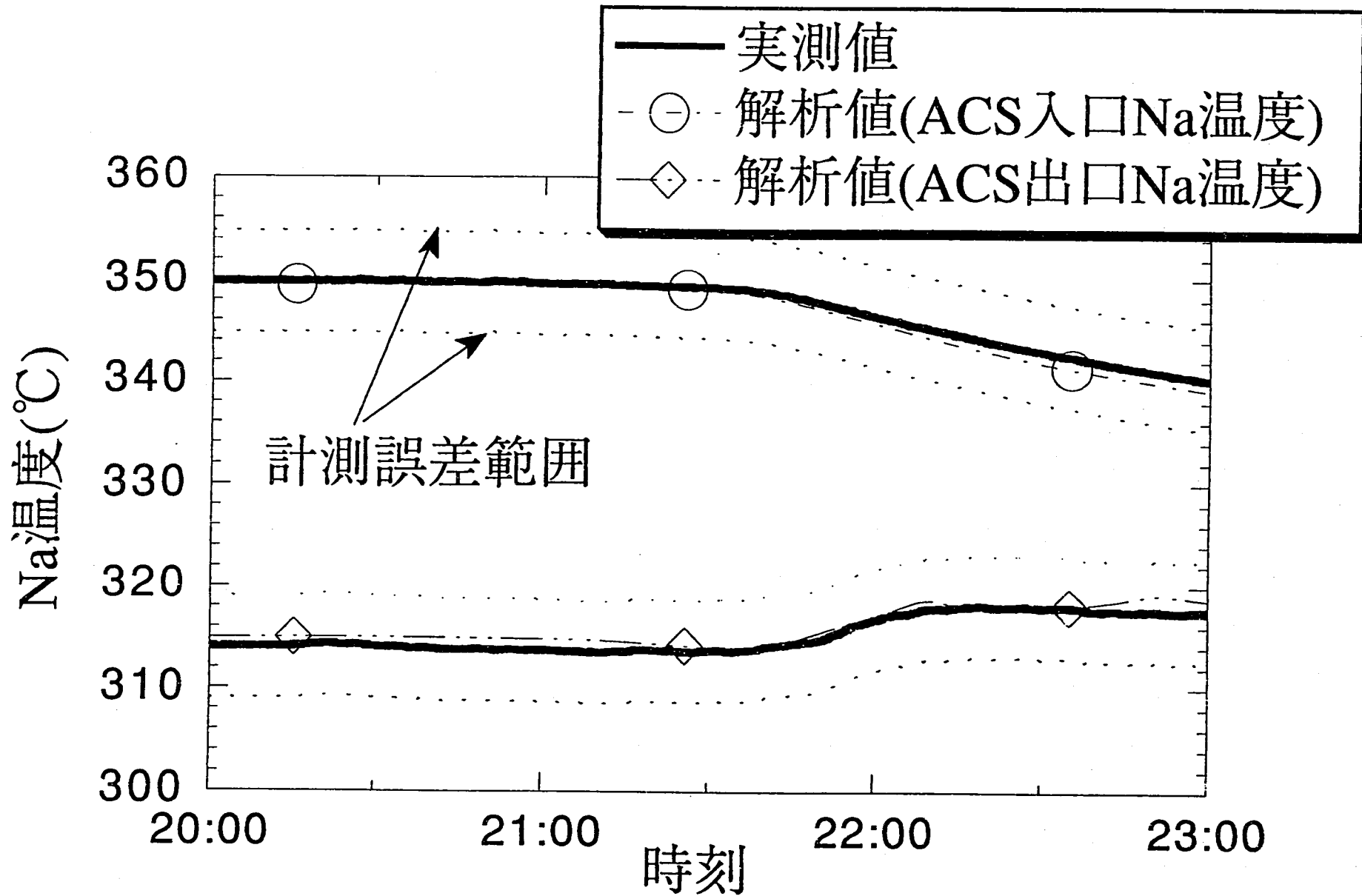


図3.1.3 空気冷却器出入口Na温度(Cループ)

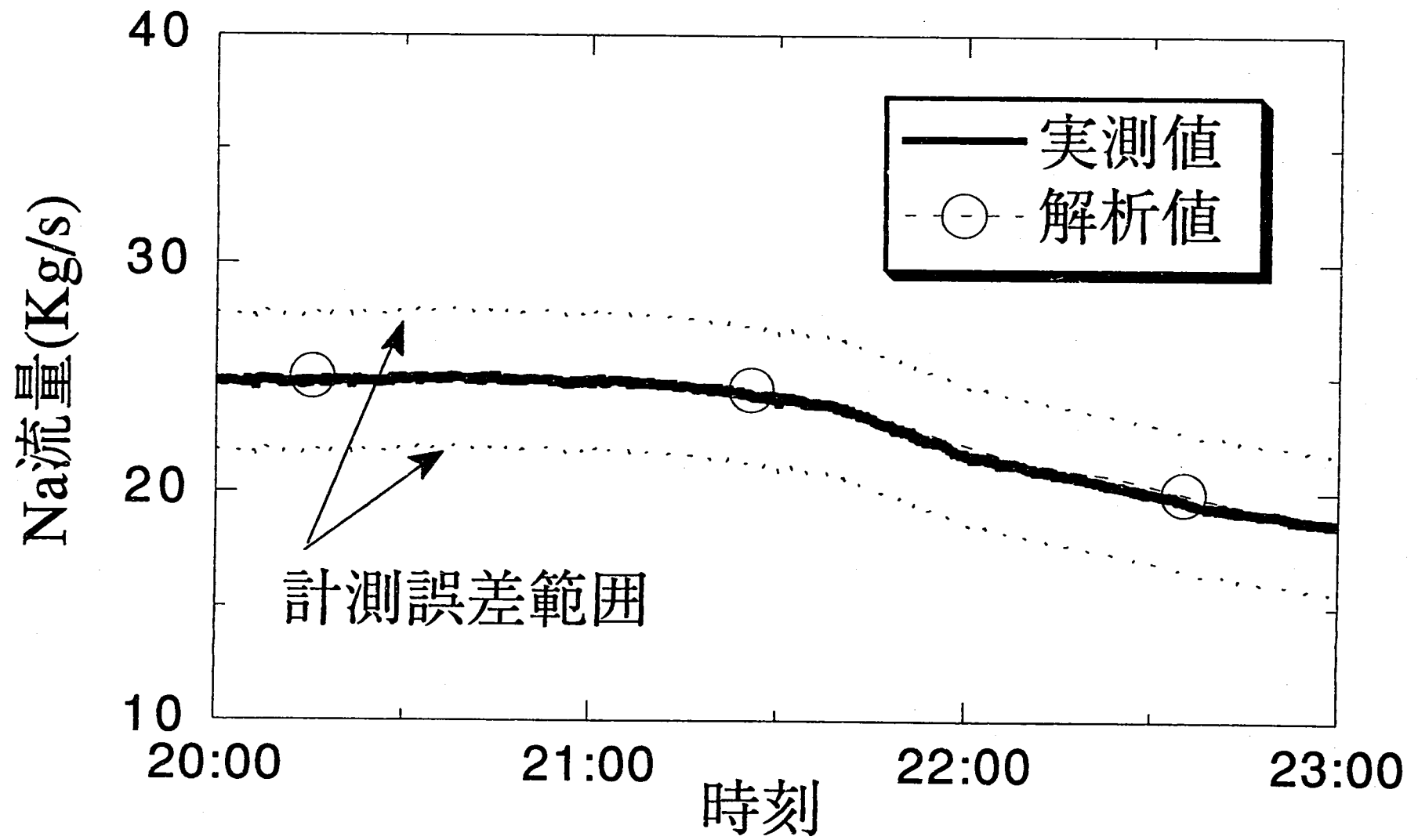


図3.1.4 2次系流量(Aループ)

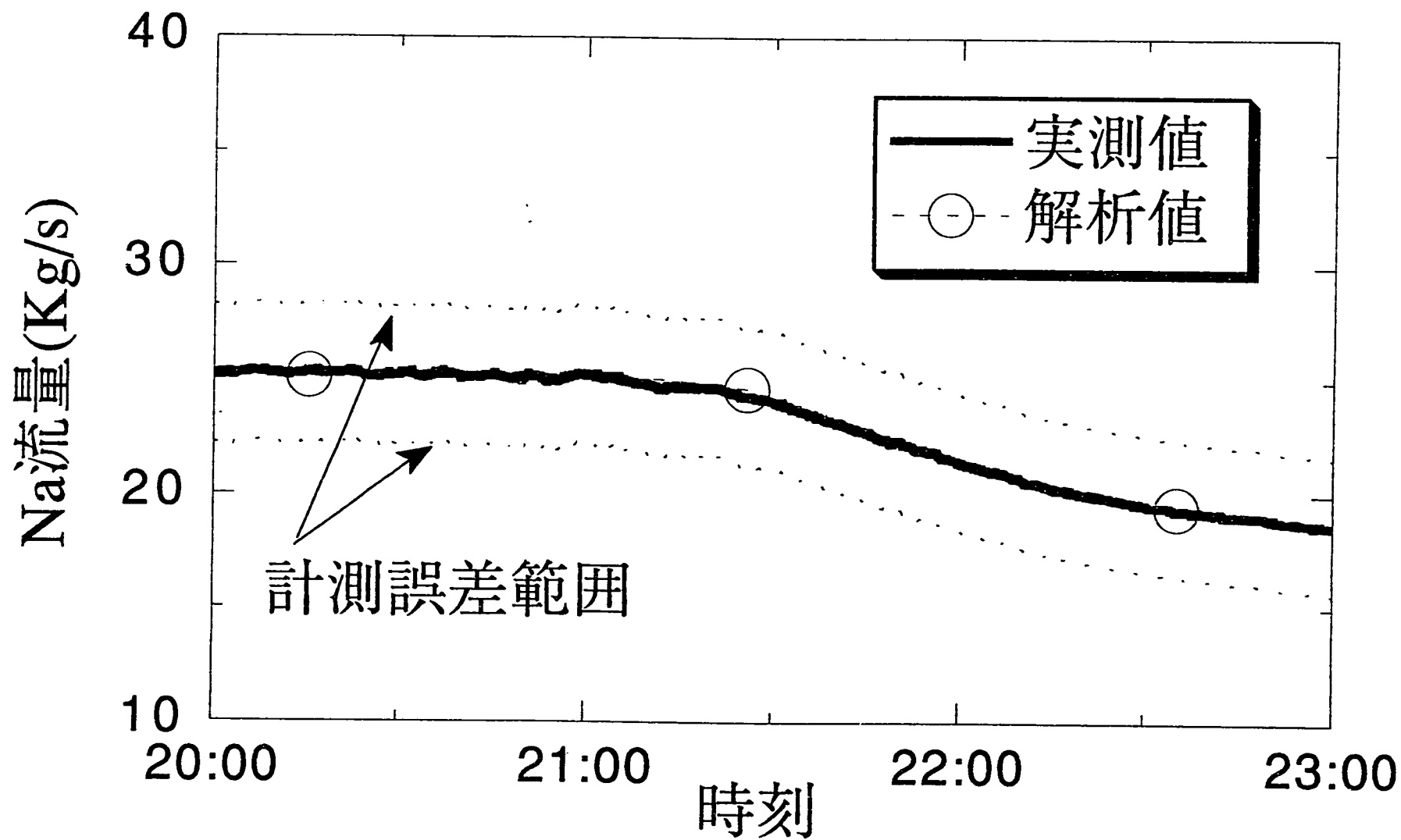


図3.1.5 2次系流量(Bループ)

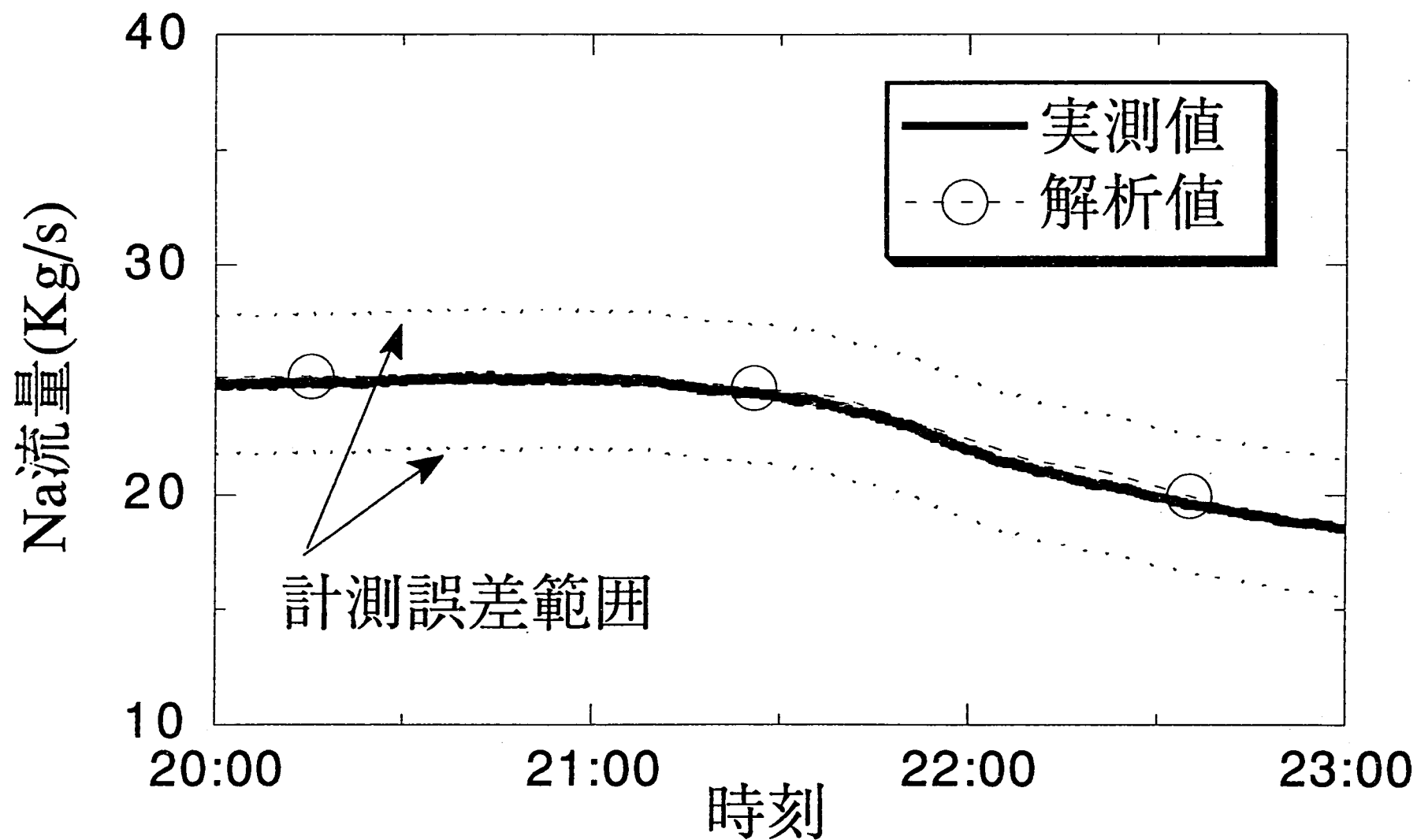


図3.1.6 2次系流量(Cループ)