

ナトリウム燃焼解析コードASSCOPS Version 2.0による
ナトリウム漏えい燃焼実験-I (Run-E6) の解析

1997年11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下さい。

〒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

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to : Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-machi, 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) 1997

ナトリウム燃焼解析コード ASSCOPS Version 2.0 による
ナトリウム漏えい燃焼実験－I (Run-E6) の解析

中桐 俊男*, 大野 修司*, 三宅 収*

要 旨

高速増殖原型炉「もんじゅ」（以下「もんじゅ」という。）2次主冷却系ナトリウム漏えい事故の原因究明のために大洗工学センターで実施されたナトリウム漏えい燃焼実験－I (Run-E6) に関して、ナトリウムの漏えい燃焼挙動の解析を、ナトリウム燃焼解析コードASSCOPS Version 2.0 を用いて実施した。

解析の結果、ナトリウム漏えい燃焼実験－I のセル内各部温度、酸素濃度等の履歴を再現でき、ナトリウム中小漏えい燃焼の解析で使用すべきパラメータの決定と、ASSCOPS Version 2.0 の検証ができた。

* : 大洗工学センター安全工学部プラント安全工学室

Calculation of Sodium Fire Test - I (Run - E6) using Sodium
combustion analysis code ASSCOPS Version 2.0

Toshio Nakagiri*, Shuji Ohno*, Osamu Miyake*

Abstract

The calculation of Sodium Fire Test - I (Run - E6) was performed using the ASSCOPS (Analysis of Simultaneous Sodium Combustions in Pool and Spray) code version 2.0 in order to determine the parameters used in the code for the calculations of sodium combustion behavior of small or medium scale sodium leak, and to validate the applicability of the code.

The parameters used in the code were determined and the validation of the code was confirmed because calculated temperatures, calculated oxygen concentration and other calculated values almost agreed with the test results.

* : Plant Safety Section, Safety Engineering Division, O-arai Engineering Center

目次

1. 目的	1
2. 実験の概要	2
2.1 実験の目的	2
2.2 実験条件	2
2.3 実験経過	2
2.4 実験結果	2
2.4.1 漏えいナトリウムの落下・飛散燃焼挙動	
2.4.2 換気空調ダクト、グレーチングの温度および実験後の状況	
2.4.3 受け皿の温度および実験後の状況	
2.4.4 堆積物とエアロゾルの量と化学組成	
2.4.5 エアロゾル発生量、漏えいナトリウムの落下中燃焼割合	
3. 解析条件	5
3.1 解析体系	5
3.2 ナトリウム漏えい・燃焼条件	5
3.3 雰囲気条件	7
3.4 化学反応	7
4. 解析結果	10
4.1 各部温度	10
4.2 酸素濃度	10
4.3 ナトリウム燃焼量	11
4.4 換気量	11
4.5 その他の解析結果	11
4.6 解析結果のまとめ	12
5. 結論	13
6. 謝辞	14
7. 参考文献	15
Appendix.1 パラメータサーベイ結果	40
A1.1 パラメータの選定、パラメータマトリックスの作成	40
A1.2 解析結果	41
Appendix.2 実験－I (Run-E6) 実験後解析のインプットデータ (Ref. case)	161

図表一覧

表一覧

- 表1 実験条件の計画値および実験値
 表2 漏えいナトリウムの配分
 表3 解析条件一覧
 表4 メッシュ分割、材質等
 表5 物性値一覧
 表A1-1 パラメーター一覧
 表A1-2 パラメータマトリックス

図一覧

- 図1 実験体系概念図
 図2 解析体系概念図
 図3 スpray液滴周辺の伝熱の概念図
 図4 プールからの伝熱の概念図
 図5 解析で使用した吸気流量の履歴
 図6 ナトリウムと酸素の反応に伴う Na_2O_2 と Na_2O の生成割合
 図7 雰囲気温度履歴
 図8 受け皿温度履歴
 図9 グレーチング温度履歴
 図10 内壁温度履歴
 図11 酸素濃度履歴
 図12 Na燃焼量解析結果
 図13 換気量(排気量)履歴
 図14 エアロゾル濃度履歴
 図15 エアロゾル濃度履歴(反応生成物ごと)
 図16 水蒸気濃度履歴
 図17 水素濃度履歴
 図18 受け皿上プール内 Na化合物生成量
 図19 受け皿上プール内 NaOH濃度履歴
 図A1-1-1 Spray液滴径をパラメータとした解析結果(ガス温度)
 図A1-1-2 " (受け皿温度)
 図A1-1-3 " (グレーチング温度)
 図A1-1-4 " (内壁温度)
 図A1-1-5 " (酸素濃度)
 図A1-1-6 " (水蒸気濃度)
 図A1-1-7 " (水素濃度)
 図A1-1-8 " (浮遊エアロゾル濃度)
 図A1-1-9 " (プール内NaOH濃度)

図A1-2-1	酸素供給速度 と熱移行速度をパラメータとした解析結果	(ガス温度)
図A1-2-2	〃	(受け皿温度)
図A1-2-3	〃	(グレーチング温度)
図A1-2-4	〃	(内壁温度)
図A1-2-5	〃	(酸素濃度)
図A1-2-6	〃	(水蒸気濃度)
図A1-2-7	〃	(水素濃度)
図A1-2-8	〃	(浮遊エアロゾル濃度)
図A1-2-9	〃	(プール内NaOH濃度)
図A1-3-1	反応生成物組成をパラメータとした解析結果	(ガス温度)
図A1-3-2	〃	(受け皿温度)
図A1-3-3	〃	(グレーチング温度)
図A1-3-4	〃	(内壁温度)
図A1-3-5	〃	(酸素濃度)
図A1-3-6	〃	(水蒸気濃度)
図A1-3-7	〃	(水素濃度)
図A1-3-8	〃	(浮遊エアロゾル濃度)
図A1-3-9	〃	(プール内NaOH濃度)
図A1-4-1	輻射係数をパラメータとした解析結果	(ガス温度)
図A1-4-2	〃	(受け皿温度)
図A1-4-3	〃	(グレーチング温度)
図A1-4-4	〃	(内壁温度)
図A1-4-5	〃	(酸素濃度)
図A1-4-6	〃	(水蒸気濃度)
図A1-4-7	〃	(水素濃度)
図A1-4-8	〃	(浮遊エアロゾル濃度)
図A1-4-9	〃	(プール内NaOH濃度)
図A1-5-1	実効面積割合をパラメータとした解析結果	(ガス温度)
図A1-5-2	〃	(受け皿温度)
図A1-5-3	〃	(グレーチング温度)
図A1-5-4	〃	(内壁温度)
図A1-5-5	〃	(酸素濃度)
図A1-5-6	〃	(水蒸気濃度)
図A1-5-7	〃	(水素濃度)
図A1-5-8	〃	(浮遊エアロゾル濃度)
図A1-5-9	〃	(プール内NaOH濃度)
図A1-6-1	エアロゾル径をパラメータとした解析結果	(ガス温度)
図A1-6-2	〃	(受け皿温度)
図A1-6-3	〃	(グレーチング温度)
図A1-6-4	〃	(内壁温度)
図A1-6-5	〃	(酸素濃度)
図A1-6-6	〃	(水蒸気濃度)

図A1-6-7	”	(水素濃度)
図A1-6-8	”	(浮遊エアロゾル濃度)
図A1-6-9	”	(プール内NaOH濃度)
図A1-7-1	Na ₂ S ₂ O ₃ 燃焼量 (CASE1)	
図A1-7-2	” (CASE2)	
図A1-7-3	” (CASE3)	
図A1-7-4	” (CASE4)	
図A1-7-5	” (CASE5)	
図A1-7-6	” (CASE6)	
図A1-7-7	” (CASE7)	
図A1-7-8	” (CASE8)	
図A1-7-9	” (CASE9)	
図A1-7-10	” (CASE10)	
図A1-7-11	” (CASE11)	
図A1-7-12	” (CASE12)	
図A1-7-13	” (CASE13)	
図A1-7-14	” (CASE14)	
図A1-7-15	” (CASE15)	
図A1-7-16	” (CASE16)	
図A1-7-17	” (CASE17)	
図A1-7-18	” (CASE18)	
図A1-7-19	” (CASE19)	
図A1-7-20	” (CASE20)	
図A1-8-1	各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE1)	
図A1-8-2	” (CASE2)	
図A1-8-3	” (CASE3)	
図A1-8-4	” (CASE4)	
図A1-8-5	” (CASE5)	
図A1-8-6	” (CASE6)	
図A1-8-7	” (CASE7)	
図A1-8-8	” (CASE8)	
図A1-8-9	” (CASE9)	
図A1-8-10	” (CASE10)	
図A1-8-11	” (CASE11)	
図A1-8-12	” (CASE12)	
図A1-8-13	” (CASE13)	
図A1-8-14	” (CASE14)	
図A1-8-15	” (CASE15)	
図A1-8-16	” (CASE16)	
図A1-8-17	” (CASE17)	
図A1-8-18	” (CASE18)	
図A1-8-19	” (CASE19)	

☒A1-8-20	"	(CASE20)
☒A1-9-1	受け皿上プール内Na化合物生成量	(CASE1)
☒A1-9-2	"	(CASE2)
☒A1-9-3	"	(CASE3)
☒A1-9-4	"	(CASE4)
☒A1-9-5	"	(CASE5)
☒A1-9-6	"	(CASE6)
☒A1-9-7	"	(CASE7)
☒A1-9-8	"	(CASE8)
☒A1-9-9	"	(CASE9)
☒A1-9-10	"	(CASE10)
☒A1-9-11	"	(CASE11)
☒A1-9-12	"	(CASE12)
☒A1-9-13	"	(CASE13)
☒A1-9-14	"	(CASE14)
☒A1-9-15	"	(CASE15)
☒A1-9-16	"	(CASE16)
☒A1-9-17	"	(CASE17)
☒A1-9-18	"	(CASE18)
☒A1-9-19	"	(CASE19)
☒A1-9-20	"	(CASE20)

1. 目的

「ナトリウム漏えい燃焼実験-I (Run-E6)」は、「もんじゅ」2次主冷却系ナトリウム漏えい事故の原因究明の一環として、「もんじゅ」事故時のナトリウム漏えい燃焼挙動を明らかにするために実施された。実験では、漏えい部試験体、換気空調ダクト、グレーチングの構造、寸法と床ライナの材質、板厚およびナトリウムの漏えい量、漏えい時間を「もんじゅ」事故と一致させ、漏えいナトリウムの飛散挙動、換気空調ダクト、グレーチングの破損挙動、床ライナが受ける影響等について調査した。

本実験解析の目的は、ASSCOPS Version 2.0¹⁾でナトリウム中小漏えいの解析を行う際に使用すべきパラメータを、中小漏えいで、比較的水蒸気濃度が低い「ナトリウム漏えい燃焼実験-I (Run-E6)」の実験条件、実験結果を用いて決定し、実験結果と解析結果の比較検討を通じて同コードの検証を行うことである。

2. 実験の概要²⁾

「ナトリウム漏えい燃焼実験－I (Run-E6)」は、平成8年4月8日(月)大洗工学センター内、大規模ナトリウム漏洩燃焼試験施設(SAPFIRE)内の大型密閉試験装置(SOLFA-2)を用いて行われた。実験では、「もんじゅ」の温度検出器と周囲の保温構造を部分的に模擬した漏えい部試験体から、480℃のナトリウムを約1.5時間(当初予定は約4時間であったが、排煙処理装置の排気流量低下のために約1.5時間で実験を終了した。)にわたって漏えいさせ、実機と同じ寸法・配置の換気空調ダクトとグレーチング上に落下させた。

2.1 実験の目的

本実験は、「もんじゅ」事故時のナトリウム漏えい燃焼挙動について、下記の項目を明らかにするために実施した。

- (1)漏えいナトリウムが換気空調ダクト、グレーチング上に落下して飛散する際のナトリウム漏えい挙動を確認する。
- (2)換気空調ダクト、グレーチングの破損挙動を確認する。
- (3)「もんじゅ」の床ライナと同様の材料、板厚の受け皿を使用することにより、ナトリウム漏えい燃焼挙動が床ライナに及ぼす影響を確認する。
- (4)ナトリウム漏えい量、漏えい時間を模擬して、堆積物及び燃焼によるエアロゾル量を確認するとともに化学組成についても調査する。

2.2 実験条件

実験条件の計画値および実験値を表1に示す。

2.3 実験経過

ナトリウム供給配管の弁開閉操作により実験を開始し、温度、圧力等の測定とCCDカメラ、赤外線カメラによる映像データ収録および試験装置内雰囲気へのサンプリングを実施した。

実験開始約1時間20分後に、酸素濃度の燃焼挙動に及ぼす影響を調べるため排煙処理装置を一旦停止して試験装置を7分間にわたって酸欠状態とした後、再び排煙処理装置を運転して、換気状態に戻した。その後、排煙処理装置の排気流量が著しく低下したことから、実験開始から1時間33分後に、ナトリウム供給配管の弁を閉じて実験を終了した。実験後の排煙処理系の検査により、排気流量低下の原因は、主に排煙ダクトのダンパ部へのエアロゾル付着によることがわかった。実験中の換気流量の推移を図5に示す。

2.4 実験結果

2.4.1 漏えいナトリウムの落下・飛散燃焼挙動

(1)漏えい部からのナトリウム漏えい挙動

ナトリウム供給タンクのナトリウム液位は時間とともに直線的に減少し、ナトリウム漏えい速度は約 44 g/sec 一定であった。

温度計付け根部に設置した熱電対の温度は、ナトリウム漏えい開始から終了まで、供給ナトリウム温度である 480℃に近い一定温度を示した。

(2)下部の落下・飛散燃焼挙動

漏えい開始直後に見られたフレキシブル管からの流線状の飛散の後には、フレキシブル管から液滴状に落下して燃焼するナトリウムが、ダクトの上で跳ね返ってさらに広範囲の液滴状燃焼になるのが観察された。実験開始後約 2 分には、ダクト表面をつたって落下したと思われるコラム状の燃焼も認められるようになった。

これらのこと等から、漏えいナトリウムはフレキシブル管の最下端部破損口からダクト上に落下し、ダクト外表面を流れ落ちてグレーチングや受け皿に落下するようなコラム状の燃焼も加わったものと推定された。

試験装置内部の雰囲気中酸素濃度は、実験開始から徐々に低下傾向を示し、排煙処理装置を停止した時期に急激に低下した。酸素濃度履歴は後述する解析結果とともに図 11 に示す。

試験装置内の雰囲気温度は実験開始とともに徐々に上昇し、密閉状態に維持した際に最高温度約 320℃に達した。雰囲気温度履歴は解析結果とともに図 7 に示す。また、試験装置内壁温度は、実験終了直後に約 250℃に達した。装置内壁温度履歴は解析結果とともに図 10 に示す。

2.4.2 換気空調ダクト、グレーチングの温度および実験後の状況

換気空調ダクト側端部は約 700℃で推移していたが、表面の熱電対の一部は断線した。裏面の温度についても、600℃～800℃以上で推移した。換気空調ダクトのナトリウム落下位置における外面温度は600℃～700℃の範囲で推移し、実験開始後約 7 5分で熱電対が断線した。内面温度については、約 2 分後で約 650℃に達し、その後は時間の経過とともにゆるやかに下降した。

グレーチングの上面の温度は、実験開始とともに振動しながら徐々に上昇し、ナトリウムの落下点付近で実験開始後約 3 5分で約 930℃となり、その後約 650℃と約 940℃の間を上下し、80分以降は徐々に下降した。グレーチング温度履歴は解析結果とともに図 9 に示す。

2.4.3 受け皿の温度および実験後の状況

漏えい部直下近傍の受け皿の表面温度は実験開始後約 10分で約 700℃に達し、その後は約 700℃～約 800℃で推移したが、実験開始後約 5 2分に断線した。裏面温度は実験開始後約 20分で 700℃に達し、その後約 1 時間 740℃～770℃の安定した温度を示した。実験中における受け皿裏面温度分布の時間変化より、ナトリウム漏えい開始初期の受け皿温度は漏えい部直下が最も高く、時間の経過とともに高温部分(約 700℃)の範囲も広がった。受け皿の表面および裏面の温度履歴は解析結果とともに図 8 に示す。

2.4.4 堆積物とエアロゾルの量と化学組成

実験中に容器内のエアロゾルを含んだ雰囲気ガスを孔径 $2 \mu\text{m}$ の焼結金属フィルタを通してサンプリングし、エアロゾル濃度を測定した。換気流量によって変動したものの、実験開始後 15 分以降は $10 \sim 30 \text{ g-Na/m}^3$ であった。実験後の試験装置各部から回収された堆積物の量は 243 kg であった。また、サンプリングフィルタに補集されたナトリウム化合物と受け皿上等の水溶液を化学分析した結果から得られたナトリウム量は合わせて 66 kg であった。実験後のナトリウム化合物の各部への堆積状況を、「もんじゅ」事故での結果と併せて表 2 に示す。

実験でのナトリウム堆積物の分布は、床 76%、グレーチング 4%、換気空調ダクト等 20% である。「もんじゅ」では床 67%、グレーチング 11%、換気空調ダクト等 22% であるので、実験のほうが受け皿に多くグレーチングに少ない傾向が見られるものの、概ね同様の分布が得られている。また、表 2 中のナトリウム量は堆積物及びエアロゾルの組成を同一のものと仮定した場合の推定値である。

受け皿の外側の堆積物は明らかにエアロゾルが沈降したもので、その化学組成は、過酸化ナトリウムが $60 \sim 70\%$ を占め、残りは酸化ナトリウムと炭酸ナトリウムであり、一部水酸化ナトリウムが含まれているものもあった。この結果は、過酸化ナトリウムが 1% であった「もんじゅ」と比べて成分比には大きな違いがあった。

2.4.5 エアロゾル発生量、漏えいナトリウムの落下中燃焼割合

漏えいナトリウムの落下中の燃焼割合を見積もる。漏えいナトリウムの落下中の燃焼割合を α とし、落下中に燃焼したナトリウムは全てエアロゾル化するものとする。また、プールで燃焼したナトリウムがエアロゾルとなる割合を β とする。エアロゾル発生量（エアロゾル化するナトリウム量）は次式で表わされる。

$$\text{エアロゾル発生量} = \text{ナトリウム漏えい量} \times (\alpha + (1 - \alpha) \beta) \quad (1)$$

表 2 に示すように、「もんじゅ」事故ではナトリウム漏えい量が 640 kg 、エアロゾル発生量（エアロゾル化するナトリウム量）が 306 kg 、実験-I ではナトリウム漏えい量が 241 kg 、エアロゾル発生量が 82 kg であり、既往研究で $\beta = 0.1 \sim 0.4$ （後述するように、本報告の解析では 0.25 を仮定する）であることから、落下中燃焼割合（ α ）は以下のように推定される。

$$\begin{aligned} \text{「もんじゅ」} & : \alpha = 0.13 \sim 0.42 \\ \text{実験-I} & : \alpha = 0 \sim 0.27 \\ \text{「もんじゅ」と実験-I に共通する範囲} & : \alpha = 0.13 \sim 0.27 \end{aligned}$$

従って、漏えいしたナトリウムが落下中に燃焼した割合は、 $13\% \sim 27\%$ 程度と推定することができる。

3. 解析条件

解析では、「もんじゅ」の安全審査当時に使用されたナトリウム燃焼解析コード ASSCOPS Version 1.1 に、ナトリウム中小漏えい時の床ライナ温度の解析および水分とナトリウムおよびナトリウム化合物との化学反応を考慮した解析が可能となるよう改良を施した ASSCOPS Version 2.0¹⁾ を使用した。

解析条件は、基本的には実験-Iの結果及び過去の知見を基に設定した。表3に解析条件をまとめる。しかし、実験-Iでは、ナトリウム漏えい箇所近傍に換気空調ダクトやグレーチングなどの構造物が存在したこと、中小漏えいであるためスプレイ燃焼時の燃焼形態、プール燃焼時の燃焼面積等が不確かなことなどから、実験結果と過去の知見のみから解析条件を決定することができなかった。このため、パラメータスタディを行って、残された不確定因子を決定した。パラメータスタディの結果は、Appendix.1 に述べる。

以下に解析体系、物性値、設定された解析条件及びその設定根拠、使用している化学反応式について述べる。

3.1 解析体系

解析体系及び使用した物性値等を以下に述べる。

(1) 解析体系

解析体系の概念図を図2に示す。

ASSCOPS コードでは、セル内のガス空間は一点近似であり、ガス容積は 90 m^3 に設定した。これは、実験で使用した SOLFA-1 試験装置の内容積 (約 100 m^3) から空調ダクト等の容積 (約 10 m^3) を差し引いたものである。

天井、側壁、床については、天井は1点、床はプールのある部分とそれ以外の部分の2点、側壁は東西南北で各1点で厚み方向に分割している。天井は面積が 21 m^2 、厚さは SUS304 が 18 mm 、保温材が 25 mm である。側壁は面積が 87 m^2 、厚さは SUS304 が 25 mm 、空気ギャップ 75 mm 、SUS304 6 mm 、保温材 25 mm である。床はプールのある部分とそれ以外の部分ともに SUS304 が 6 mm 、保温材が 25 mm である。各メッシュの厚み、材質等について表4にまとめる。

(2) 物性値

解析で使用した物質の物性値について表5にまとめる。

3.2 ナトリウム漏えい・燃焼条件

(1) 漏えい速度、漏えいナトリウム温度

漏えいナトリウム温度、漏えい速度ともに、実験中 (ナトリウム漏えい中) の平均値を用いて、 $480 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 44 g/s とした。漏えい時間は実験に合わせて 91 分 とした。

(2) スプレイ燃焼条件

温度計から漏えいしたナトリウムの燃焼はスプレー燃焼を仮定し、スプレーコーンの形状は、上部直径 10 cm 、スプレーの広がり角度 20 度 、高さ 3.6 m の円錐形状とした。こ

これは、実験後に測定された堆積物の面積 3.8 m^2 を考慮して、円錐形の底面積がこれと一致するようにコーン形状を仮定したものである。スプレー液滴径は、もんじゅ安全審査時の解析で使用された値を参考に、 4.6 mm とした。Appendix.2 に液滴径に関するパラメータサーベイの結果を示す。液滴分布の標準偏差はASSCOPSコードのデフォルト値である 2.64 mm を使用した。

また、パラメータサーベイの結果から、スプレー液滴の表面近傍の燃焼面への雰囲気からの酸素供給速度を熱移行とのアナロジーから求まる速度の3倍とし、熱の移行速度についても3倍した。実際には、シャーウッド数 (Sh) およびヌッセルト数 (Nu) を3倍にした。

(3) プール状燃焼ナトリウムの配分

漏えいしたナトリウムの一部は雰囲気中でスプレー（液滴状）で燃焼し、残りは装置の各部に落下しプール状で燃焼したと考えられる。実験後の各部（床ライナ上、グレーチング上、換気ダクト等）の堆積物の重量配分は床ライナ上に76%、グレーチング上に4%、換気ダクト等に20%であった。各部の堆積物の組成は同一と仮定して、堆積物の配分をプール状燃焼のナトリウム量の配分として解析した。

(4) プール広がり面積

実験後の堆積物の分布面積を実験中のプール面積とした。床ライナ上では 3.8 m^2 （上述のプール状燃焼分の76%に対応）、その他の構造物上では 1.6 m^2 （上述のグレーチングと換気ダクト等の合計24%に対応）とした。

(5) プール燃焼時の実効面積割合

燃焼時の燃焼面積、対流、輻射による放熱面積に関する実効面積割合は、パラメータサーベイの結果から1.0とした（プール広がり面積： 3.8 m^2 ）。

(6) スプレーからの伝熱条件

スプレーの液滴周辺にある火炎面から周囲への伝熱についての概念図を図3に示す。火炎面からの伝熱について以下に述べる。

- ・火炎面 <-> 液滴
 - (a) 対流：ヌッセルト数 (Nu)
 - (b) 輻射：輻射係数は内部計算
- ・火炎面 <-> コーン内ガス
 - (a) 対流：ヌッセルト数 (Nu)
- ・火炎面 <-> 壁面
 - (a) 輻射：輻射係数は内部計算
- ・コーン内ガス <-> コーン外ガス
 - (a) 対流：ヌッセルト数 (Nu)
- ・コーン内ガス <-> 壁面
 - (a) 輻射：輻射係数は0.5（SUS304に対する輻射係数（伝熱工学資料））

(7) プールからの伝熱条件

プールからの伝熱についての概念図を図4に示す。プールからの伝熱について以下に述べる。

- ・プール <-> ガス
 - (a)対流：ヌッセルト数 (Nu) を使用
 - (b)輻射：輻射係数は過去の知見およびパラメータスタディの結果から 0.65 を使用している。
- ・プール <-> 天井、壁面
 - 霧田気中のエアロゾルにより遮られるため、直接的な輻射はないものとする。
- ・プール <-> 床ライナ
 - (a)熱伝導：熱通過率で定義している。

3.3 霧田気条件

(1)セル容積

SOLFA-2 試験容器の内容容積から、ダクト等の内部構造物の容積を差し引いて、90 m³とした。

(2)セル内の初期温度、湿度および外気の温度、湿度

実験時に測定された値を使用した。セル内の初期温度は 20℃、湿度は 0.63 wt.% (相対湿度：41%RH)、外気の温度は 20℃、湿度は 0.63 wt.% (相対湿度：41%RH) である。

(3)換気流量

実験での換気(排気)履歴は初期には約 35 Nm³/min であり、漏えい開始から 1 時間 20 分後には酸素濃度の燃焼挙動に及ぼす影響を調べるために、約 7 分間排煙処理装置を停止し、酸欠状態とした後、再び排煙処理装置を運転して約 30 Nm³/min で換気した。しかしエアロゾルのため、排煙処理装置の能力が低下し、換気流量が低下したため、実験開始から 1 時間 33 分に実験を終了した。

ASSCOPSでは、強制換気条件は吸気流量(セルへの供給流量)として取り扱われる。実験時の吸気流量は測定されていないため、吸気流量と排気流量がほぼ同じであると仮定し、排気流量が実験と解析おおまかに一致するように、ASSCOPSの吸気流量を設定した。解析で使用した吸気流量の履歴を図5に示す(解析で得られた排気流量については、解析結果の項で述べる)。

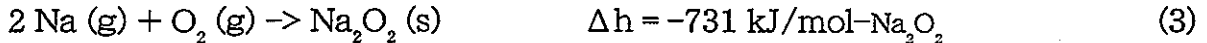
3.4 化学反応

(1)ナトリウムと酸素の反応時の生成物割合

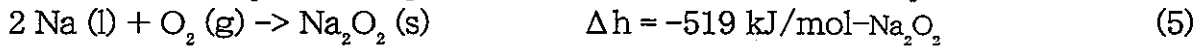
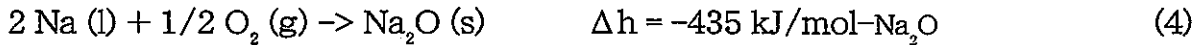
スプレイ燃焼、プール燃焼ともに、反応生成物の割合は過去の実験からの知見⁹⁾および図6に示す化学熱力学的な検討結果から Na₂O : Na₂O₂ = 60% : 40% とした。

スプレイ燃焼において考慮する反応は以下の2種類である。





また、プール燃焼において考慮する反応は以下の2種類である。



(2)ナトリウムと水蒸気の反応

ナトリウムと空気中の水蒸気の反応は、ナトリウムが過剰状態で生じる³⁾とされている反応式を使用した。スプレーについては以下の反応式を使用した。



また、プールについては以下の反応式を使用した。



なお水蒸気は後述のように雰囲気中に浮遊するエアロゾルとも反応するが、ASSCOPSでは反応の優先順位は以下のように扱われる。

- (a) まず、雰囲気中のエアロゾル (Na酸化物) と反応
- (b) (a) で余った水蒸気が落下液滴 (Na) と反応
- (c) (b) で余った水蒸気が堆積物 (Na および Na酸化物) と反応

スプレー液滴におけるナトリウムと水蒸気の反応速度は、ナトリウムの燃焼と同様に、液滴回りのガスの対流束により水蒸気が反応界面へ運ばれる反応速度モデルで扱う。燃焼計算と同様に、ASSCOPS コードでは、 H_2O 拡散速度補正係数 (V_h) を考慮している。 V_h は反応速度係数 (ε_h) を決める係数で、以下の式で表わされる。

$$\varepsilon_h = 1 / (1 + Dh_{2o} / V_h / \delta_{BC}) \quad (8)$$

Dh_{2o} : 水蒸気拡散係数

δ_{BC} : フィルム厚さ (液滴燃焼面半径と仮定している)

ε_h : 単液滴の反応速度に対するスプレー液滴群の反応速度の補正係数
(0~1.0)

本報告書の解析では、 $V_h = \infty$ とした。

プールにおけるナトリウムと水蒸気の反応速度は、ナトリウム燃焼と同様に、プール面を水平平板加熱面とした水蒸気の対流束によりモデル化されている。

(3)スプレー燃焼時のエアロゾル発生割合

ASSCOPSでは、スプレー燃焼で生成した反応生成物はすべてエアロゾルになるものと

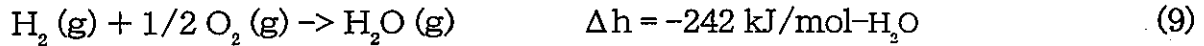
した。このため、床ライナ等のプール上に落下するのは未燃焼のナトリウムのみである。

(4) プール燃焼時のエアロゾル発生割合

床ライナ、グレーチング等の上でプール状に燃焼したナトリウムのうち 25% がエアロゾルに、残りの 75% がプール中に残るものとした。この比率は既往研究における実験的知見^{5),6)}から得られたものである。

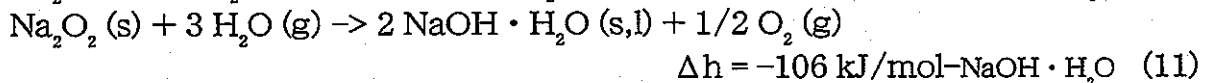
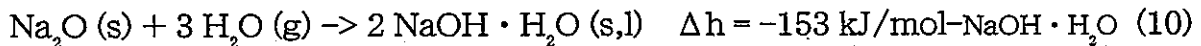
(5) 水素と酸素の再結合割合

ナトリウム-水反応等で生成した水素と酸素の再結合については、反応面は同時にナトリウムの燃焼面であるから火点が存在し、生成した水素はほとんどが再結合すると考えられる。今回の解析では、「ナトリウム燃焼実験-Ⅱ」の実験後解析の結果⁷⁾から 70% とした。化学反応式は次式を使用した。



(6) エアロゾルと水蒸気の反応

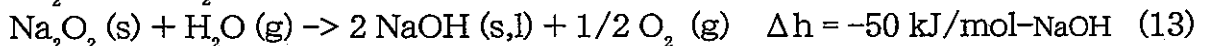
燃焼によって生成したエアロゾルと空気中の水蒸気の反応は、以下の 2 式によった。



(10)式、(11)式の生成自由エネルギーは、 Na_2O 、 Na_2O_2 と H_2O が反応して NaOH が生成する場合のエネルギーに NaOH が一水和物を生成するエネルギーを合わせたものである。エアロゾルと水蒸気の反応モデルは反応速度を考慮したモデルを使用した。

(7) 堆積物と水分の反応

プール燃焼により生成した反応生成物と水分の反応は以下の 2 式によった。



4. 解析結果

4.1 各部温度

(1) 雰囲気温度

雰囲気温度の解析結果を実験結果とともに図7に示す。

全体の履歴は実験結果に近いものが得られており、約70分後の換気の一時停止の頃までは実験結果をほぼ包絡する結果が得られている。約70分後からの雰囲気温度の上昇割合は実験よりも少なく、その後は実験終了まで実験結果の最小値に近い値をとる。

換気の一時停止後からの雰囲気温度の上昇割合が実験より小さいのは、後述する酸素濃度履歴からわかるように、ナトリウムの燃焼量が実験よりも小さくなっているためであろうと考えられる。

(2) 受け皿温度

受け皿温度の解析結果を実験結果とともに図8に示す。

全体の履歴は実験結果にほぼ一致する結果が得られている。初期の温度上昇時には、実験での上昇履歴をほぼ包絡しており、その後約10～20分後からの温度一定時には、実験値がほぼ750℃以下であるのに対し、解析結果は800℃を超えている。その後約75分過ぎからの温度低下履歴は、実験結果の平均的な履歴をほぼ模擬できている。

解析結果が実験結果より高くなる原因については、Appendix.1に示すパラメータサーベイの結果等から、実験では受け皿上に反応生成物が堆積し、実効的な伝熱面積割合が大きくなっている可能性が考えられる。また、他の可能性として、プール燃焼時の反応生成物の組成を $\text{Na}_2\text{O} : \text{Na}_2\text{O}_2 = 60\% : 40\%$ と設定したが、実際には Na_2O_2 の割合が高く、発熱量が小さかったことも考えられる。

(3) グレーチング温度

グレーチング温度の解析結果を実験結果とともに図9に示す。

グレーチング温度履歴は、実験では変動が激しいのに対し、解析結果では履歴がなめらかであり、絶対値も全体的に高い値を示していると考えられるが、実験での最高値をほぼ包絡する結果が得られていると考えられる。解析での最高温度は800℃以上になる。

(4) 内壁温度

セル内壁温度の解析結果を実験での内壁および天井の測定結果とともに図10に示す。

解析結果は実験結果のほぼ平均値に近くっており、実験結果をよく再現できていると考えられる。実験で1本だけ約240℃まで上昇している測定結果は、ナトリウム燃焼部に近い試験装置下部のグレーチング近傍のものである。

4.2 酸素濃度

セル内酸素濃度の解析結果を実験結果とともに図11に示す。

約70分過ぎの換気停止までは、実験結果に履歴、絶対値ともによく一致している。このことから、酸素の消費履歴も実験とよく一致しており、この時点までのナトリウム燃焼履歴、燃焼量が実験結果をよく再現できていると言える。しかし約70分後の換気停止以

降の酸素濃度は、実験結果よりも高い値を示しており、ナトリウム燃焼量が実験よりも小さくなっていることを示している。

この原因として、受け皿上プールの実効面積割合のパラメータ計算（Appendix 1、A1.1 (5)、A1.2 (5)）の結果にも見られるように、後期の時間域においてプールでの燃焼量が実験よりも小さくなっていることが考えられる。パラメータ計算では、受け皿上の堆積物の表面が次第に平坦ではなくなる効果として、実効面積割合を 2.0 程度まで増加させると、酸素濃度履歴が実験に近づく結果が得られている。

4.3 ナトリウム燃焼量

ナトリウム燃焼量の解析結果を図 1 2 に示す。解析対象時間の 1 2 0 分間で落下過程（スプレー）でのナトリウム燃焼総量は約 50 kg、ダクト及びグレーチング上での燃焼総量は約 50 kg、受け皿上での燃焼総量は約 115 kg であり、落下過程（スプレー）で約 1/4、ダクト及びグレーチング上で約 1/4、受け皿上で約 1/2 が燃焼したことになる。1 2 0 分間で、漏えいしたナトリウム量の 240 kg のうち約 215 kg が燃焼したことになり、残りのナトリウムは 1 2 0 分以降に燃焼することになる。

4.4 換気量

セルからの排気量の解析結果を、解析条件として設定した吸気量および排気量の実験結果とともに図 1 3 に示す。全体として、実験の排気流量の履歴は模擬できていると考えられる。

4.5 その他の解析結果

(1) エアロゾル濃度

セル内エアロゾル濃度の解析結果を実験結果とともに図 1 4 に示す。

換気一時停止までは、実験結果に近い約 20 (g-Na/m³) 一定で推移しているが、その後は解析結果が急上昇して約 60 (g-Na/m³) と、実験の 2 倍以上の値を示している。この時点では、前述のようにナトリウム燃焼量は実験よりも小さめと考えられるので、エアロゾル発生量も実験より小さいと考えられる。したがって、解析でエアロゾル濃度が高いのは、解析条件として近似的に設定した（図 5）換気量が特に約 8 0 分以降について実験よりも小さく、エアロゾルがセル外へ排出されないためであろうと考えられる。

また、図 1 5 からエアロゾルのほとんどは、Na₂O と Na₂O₂ からなり、NaOH の割合は低いことがわかる。

(2) 水蒸気濃度

セル内水蒸気濃度の解析結果を実験結果とともに図 1 6 に示す。

約 7 0 分後の換気一時停止までの履歴はほぼ再現できている。しかし、その後は、実験での水蒸気濃度が約 1,000 ppm 一定で推移すのに対し、解析ではほぼゼロになっている。これは、上記(1)で述べたように、解析条件として設定した換気量が低めであることから、外気からの吸入量が小さくなっていることと、上記エアロゾル濃度が実験の 2 倍以上と大きいため、エアロゾルと反応する水蒸気量が多く、水蒸気濃度が低下したものと考

えられる。

(3)水素濃度

セル内水素濃度の解析結果を実験結果とともに図17に示す。

初期の実験開始から約5分後に150 ppmまで上昇するが、その後は低下し、約50 ppm一定で推移する。

(4)プール内ナトリウム化合物生成量

受け皿上プール内のナトリウム化合物量の時間変化を図18に示す。この結果から、受け皿上のナトリウム化合物はほとんどが Na_2O と Na_2O_2 であり、 Na_2O がわずかに多い結果となった。また、 NaOH はわずかである。図19にも示すようにプール内の NaOH 濃度は実験中を通じて、約2%以下になっている。

4.6 解析結果のまとめ

(1)セル内の各部温度（雰囲気温度、受け皿温度、グレーチング温度、内壁温度）についてはほぼ実験結果に一致する解析結果が得られている。セル内の換気を停止した約70分後からの雰囲気温度上昇については、解析結果は測定より低い傾向があるが、これは時間とともに反応生成物が受け皿上に堆積し、実効的な伝熱面積が大きくなる効果があったと考えられる。

(2)受け皿温度に関しては、全体としては実験結果にほぼ一致する解析結果が得られているが、実験開始約20分後からの温度一定時には、実験結果がほぼ750℃以下であるのに対し、解析では800℃を超える高めの結果となっている。

解析結果が実験結果より高くなる原因は、実験では受け皿上に反応生成物が堆積し実効的な伝熱面積割合が大きくなっていること、プール燃焼時の Na_2O_2 生成割合が高く発熱量が小さかったことが考えられる。

(3)ナトリウム燃焼の総量についてはほぼ設定条件どおりの結果になっており、全体で見れば実験での燃焼を模擬できているものと考えられる。

(4)セル内酸素濃度については、換気停止までの履歴はほぼ実験結果を模擬できている。換気停止後の約80分後からの履歴は実験結果よりも高い値を示す。これは(1)で述べた堆積物表面の効果によるプール燃焼の変化に起因するものと考えられる。セル内の水蒸気濃度、水素濃度、エアロゾル濃度については、ほぼ実験結果を模擬できている。しかし、実験後期の水蒸気濃度、エアロゾル濃度についての測定と解析の違いは、換気流量の解析条件の近似によるものと考えられる。また、プール内の NaOH 濃度はほぼ2%以下となっている。

5. 結論

ナトリウム燃焼解析コード ASSCOPS Version 2.0 用いてナトリウム漏えい燃焼実験－I の解析を行った結果、以下の結論を得た。

(1) パラメータサーベイにより決定したパラメータを用いて解析した結果、ナトリウム漏えい燃焼実験－I での各部温度、セル内酸素濃度、水蒸気濃度、エアロゾル濃度の履歴にほぼ一致する解析結果を得られ、ナトリウム中小漏えい時の燃焼解析で使用するべきパラメータを決定することができた。

(2) 上記の解析結果とナトリウム漏えい燃焼実験－I の結果がほぼ一致したことから、ASSCOPS Version 2.0 の検証ができた。

6. 謝辞

この報告書を作成するにあたり、貴重な指摘・指導をしていただいたプラント安全工学室の田辺裕美室長、石川浩康研究員、解析およびグラフ作成作業をしていただいた原子力システム株式会社の豊原大輔氏、プラント安全工学室の北浦義和研究員に深く感謝します。

7. 参考文献

- 1) 石川浩康、二神敏、大野修司、清野裕、三宅収, " ナトリウム燃焼解析コード ASSCOPS Version 2.0 使用説明書, " PNC TN9520 97-001, 1997.
- 2) 高速増殖炉もんじゅ建設所, " 40%出力試験中における2次主冷却系ナトリウム漏洩事故について(第4報報告書), " PNC報告書, 1996.
- 3) W. Cherdron, S. Jordan, " Determination of Sodium Fire Aerosol Process Coefficients from FAUNA Experiments, " NUREG/CR-1724, 1980.
- 4) D. W. Cooper, " Prediction of the Rates of Chemical Transformation of Sodium Fire Aerosols, " NUREG/CR-1724, 1980.
- 5) R. N. Newman and J. F. B. Payne, " The Burning Rates of Sodium Pool Fires, " Combustion and Flame, 33, 1978.
- 6) S. C. Yung, " Sodium Pool Fire Model for CONACS Code, " ANS Winter Mtg., Nov. 1982.
- 7) 高速増殖炉もんじゅ建設所, " 40%出力試験中における2次主冷却系ナトリウム漏洩事故について(第5報報告書), " PNC報告書, 1997.

表1 実験条件

	項目	計画値	実験値
(1)	ナトリウム温度	480℃一定	482℃~479℃
(2)	ナトリウム漏えい速度	約 50~40 g/s (圧力時刻歴により変化)	約 44 g/s (平均)
(3)	ナトリウム漏えい圧力	1.65~1.00 kg/cm ² (温度検出器先端部圧力)	約 1.99~1.92 kg/cm ² (ナトリウム加熱器カバーガス圧力)
(4)	換気流量	~50 Nm ³ /min	約 0~35 Nm ³ /min
(5)	セル内酸素濃度	21%	約 3%~約 21%
(6)	ナトリウム漏えい時間	約 4 時間	1 時間 3 1 分
(7)	ナトリウム漏えい量	647 kg	241 kg

表2 漏洩ナトリウムの配分

		実験1				もんじゅ事故			
		回収量(2) (kg)	堆積物の配分	ナトリウム量 (3) (kg)	備考	回収量 (kg)	堆積物の配分	ナトリウム量 (kg)	備考
堆積物	床ライナ	167.2	76.2%	120.7	ナトリウム化合物の組成は同一と仮定	約289	約67%	約225	ナトリウム化合物の組成は同一と仮定
	グレーチング	9.0	4.1%	6.5		約48	約11%	約37	
	換気ダクト、他(1)	43.1+0.7(Na)	19.7%	31.8		約93	約22%	約72	
エアロゾル		23.8+64.8(Na)	-----	82.0		約393	-----	約306	
合計		243.1+65.5(Na)	-----	241(漏洩量)		約820	-----	約640	

(1) 換気空調ダクトの外表面、内部、配管周辺部の合計値

(2) フィルタに捕集されたもの、水溶液化したものは化学分析によりナトリウム重量を算出した。

(3) 堆積物、エアロゾルの組成は同一と仮定し、各部のナトリウム化合物量の割合から以下のように算出した。

各部のナトリウム量=各部の堆積物(エアロゾル)中のナトリウム量+化学分析から求まるナトリウム量

各部の堆積物(エアロゾル)中のナトリウム量=[241(漏洩量)-65.5(Na)]×[各部の堆積物(化合物状エアロゾル)量/243.1(堆積物等合計量)]

表3 解析条件

	項目	値	備考
ナトリウム漏えい ・ 燃焼条件	漏えいナトリウム量	240 kg	
	漏えい時間	91 分	
	漏えい流量	44 g/s	2~93分
	漏えいナトリウム温度	480 °C	
	スプレイコーン形状	上部直径：10 cm 広がり角度：20度 高さ：3.6 m	円錐形状
	スプレイ液滴径	4.6 mm (標準偏差 2.64 mm)	質量平均
	未燃焼ナトリウムの配分	床ライナ上：75% グレーチング上：4% 換気ダクト等：21%	Na2O:Na2O2 =60%:40% を仮定
	プール広がり面積	床ライナ上：3.8 m2 その他構造物上：1.6 m2	
雰囲気条件	セル容積	90 m3 (セル1：36 m3、セル2：54 m3)	
	セル内初期条件		
	温度	20°C	
	圧力	1.033 kg/cm2・a	
	酸素濃度	23.3 wt.%	
	湿度	0.63 wt.%	
	外気条件		
	温度	20°C	
	圧力	1.033 kg/cm2・a	
	酸素濃度	23.3 wt.%	
	湿度	0.63 wt.%	
	換気流量	約 0~35 m3/min	約 80分後に一時停止
	構造物条件	天井	面積：21 m2 厚さ：SUS304 18 mm 保温材 25 mm
側壁		面積：87 m2 厚さ：SUS304 25 mm 空気ギャップ 75 mm SUS304 6 mm 保温材 25 mm	
伝熱条件	スプレイ->ガス	自然対流伝熱	
	スプレイ->壁	輻射 (輻射係数：0.5)	
	ガス->壁	輻射 (輻射係数：0.5)	
	プール->ガス	自然対流伝熱 輻射 (輻射係数：0.65)	
	プール->壁	自然対流伝熱 考慮せず	
化学反応	ナトリウムと酸素の反応生成物	Na2O : Na2O2 = 60 : 40	
	ナトリウムと水蒸気の反応生成物	Na2O + H2	
	プール燃焼時のエアロゾル発生割合	25%	
	水素と酸素の再結合割合	70%	
	エアロゾルと水蒸気の反応	NaOH・H2O生成	瞬時反応
	堆積物と水分の反応	NaOH生成	対流拡散
	プール燃焼の実効面積割合	1.6	

表4 構造材のメッシュ分割

場所	面積(m ²)	厚さ(mm)	メッシュNo.	メッシュ厚さ(mm)	材質
床	10.2	206	f-1	25	INSU*
			f-2	25	INSU
			f-3	25	INSU
			f-4	25	INSU
			f-5	25	INSU
			f-6	25	INSU
			f-7	25	INSU
			f-8	6	SS
			f-9	25	SUS304
天井	21	43	c-1	2	SUS304
			c-2	3	SUS304
			c-3	4	SUS304
			c-4	4	SUS304
			c-5	3	SUS304
			c-6	2	SUS304
			c-7	12.5	INSU
			c-8	12.5	INSU
側壁 (東)	56	56	we-1	2	SUS304
			we-2	3	SUS304
			we-3	4	SUS304
			we-4	4	SUS304
			we-5	4	SUS304
			we-6	4	SUS304
			we-7	4	SUS304
			we-8	6	SUS304
			we-9	12.5	INSU
			we-10	12.5	INSU
側壁 (西)	21	50	ww-1	2	SUS304
			ww-2	3	SUS304
			ww-3	4	SUS304
			ww-4	4	SUS304
			ww-5	4	SUS304
			ww-6	4	SUS304
			ww-7	4	SUS304
			ww-8	12.5	INSU
			ww-9	12.5	INSU
グレーチング	1.6	3	g-1	3	SS

* INSU はファインフレックスを示す。

表5 物性値一覧

物質名	密度 (kg/m ³)	比熱 (kcal/kg-°C)	熱伝導率 (kcal/m-hr-°C)
Na	836.0	1.0	0.3008
SUS	7890.0	14.20	0.122
SS	7710.0	32.90	0.165
ファインフレックス	130.0	0.050	0.200
Na ₂ O	2390.0	1.0	0.36
Na ₂ O ₂	2600.0	1.0	0.36
NaOH	2130.0	1.0	0.51
空気 (外気)	1.2	0.24	0.033

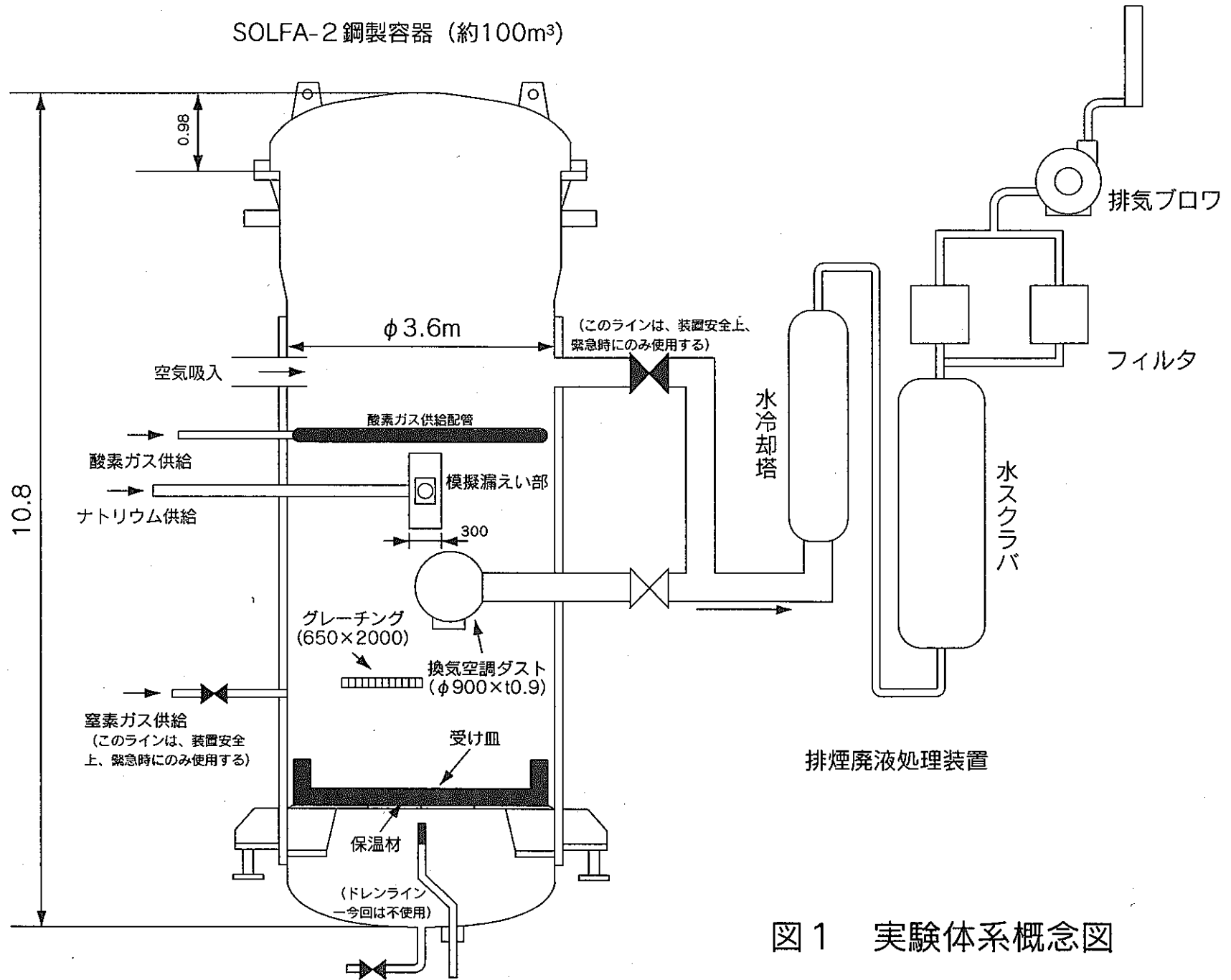


図1 実験体系概念図

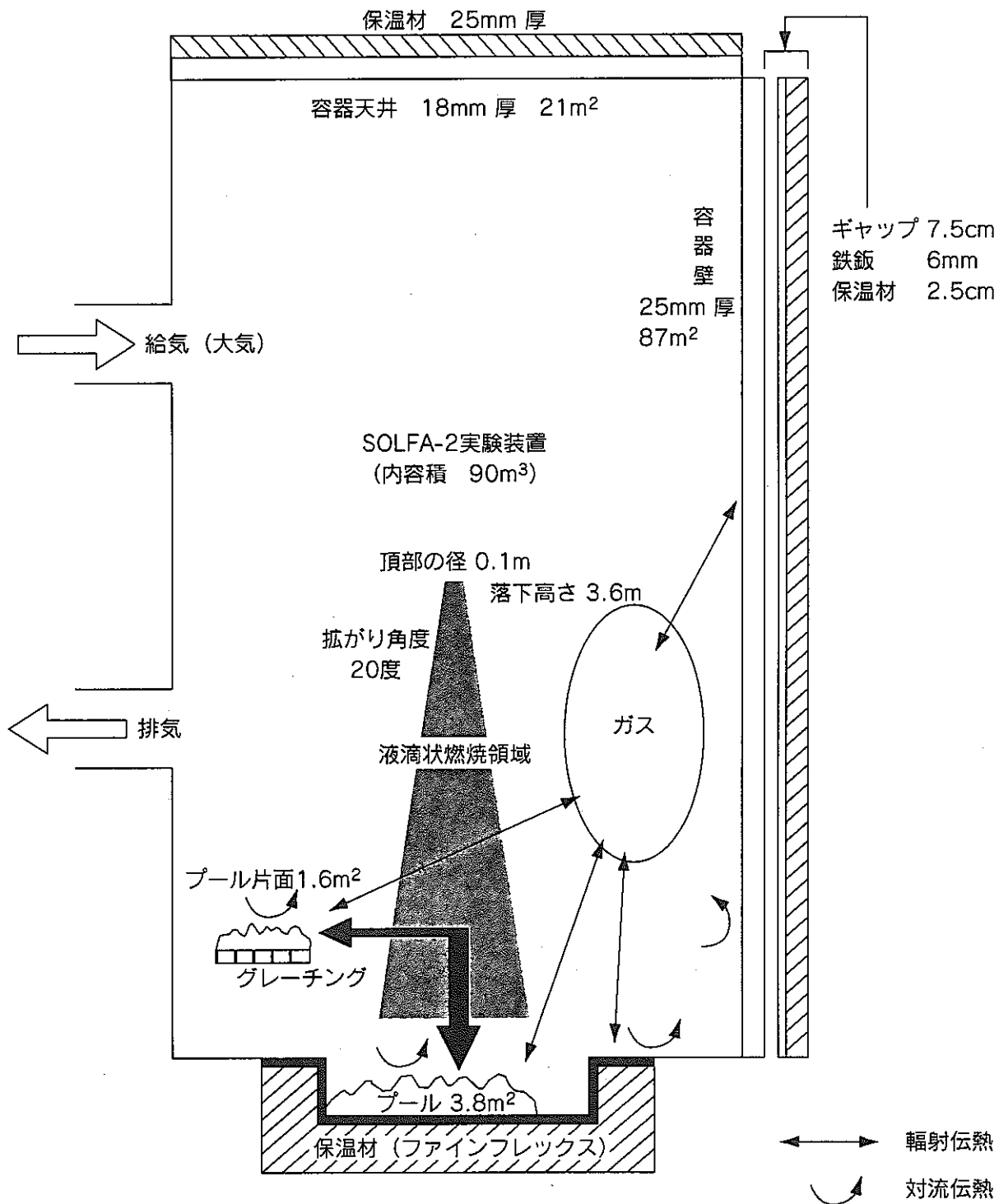
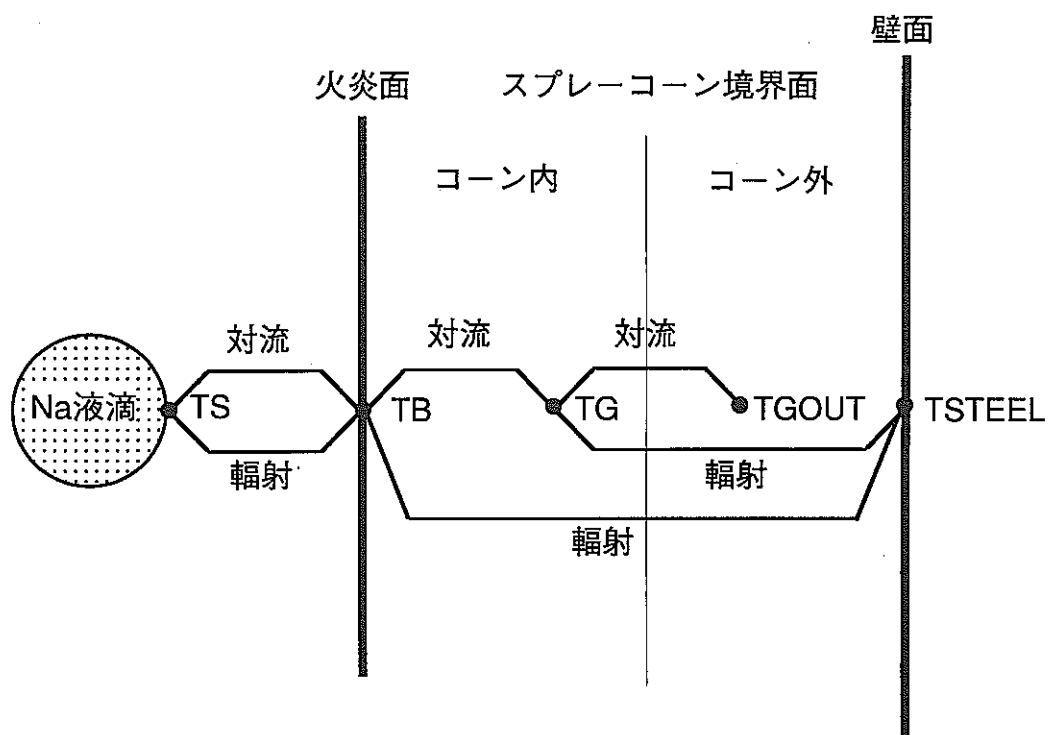
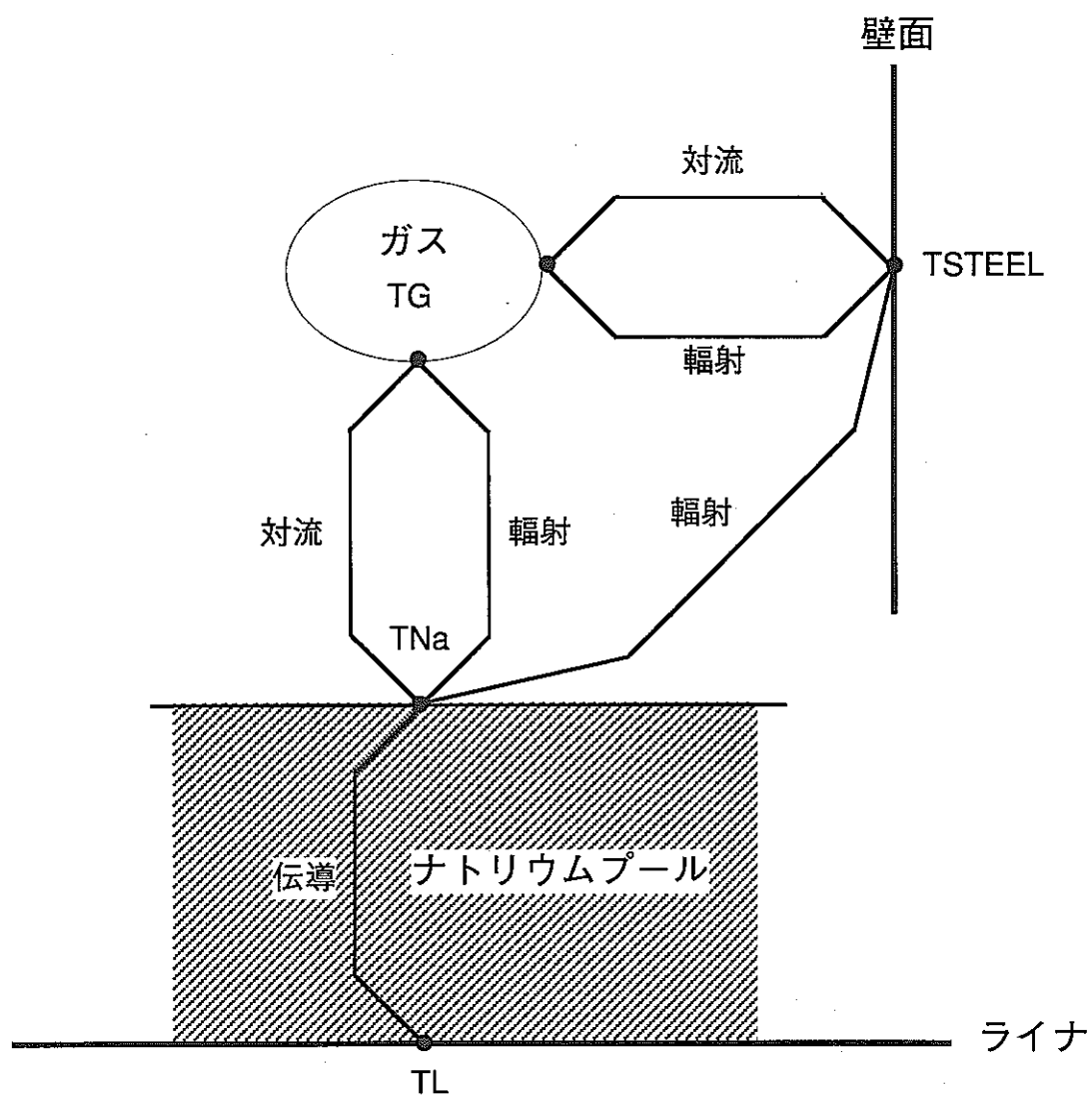


図2 解析体系概念図



TS : Na液滴温度 TB : 火炎面温度 TG : コーン内ガス温度
 TGOUT : コーン外ガス温度 TSTEEL : 壁面温度

図3 スプレー燃焼モデルの概念図



TG : ガス温度 TSTEEL : 壁面温度 TL : ライナ温度
TNa : ナトリウムプール温度

図4 プール燃焼モデルの概念図

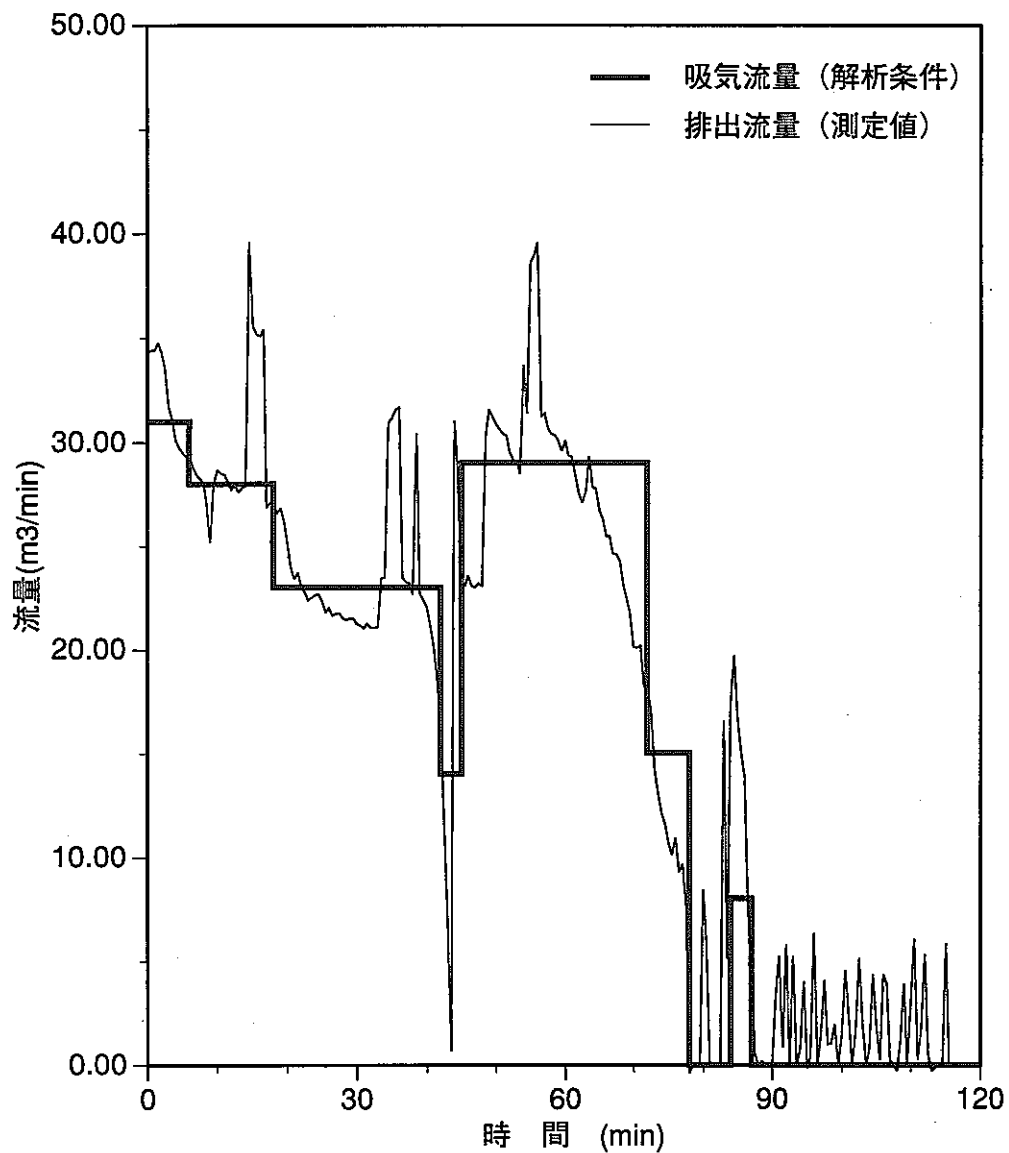


図5 解析で使⽤した吸気流量の履歴

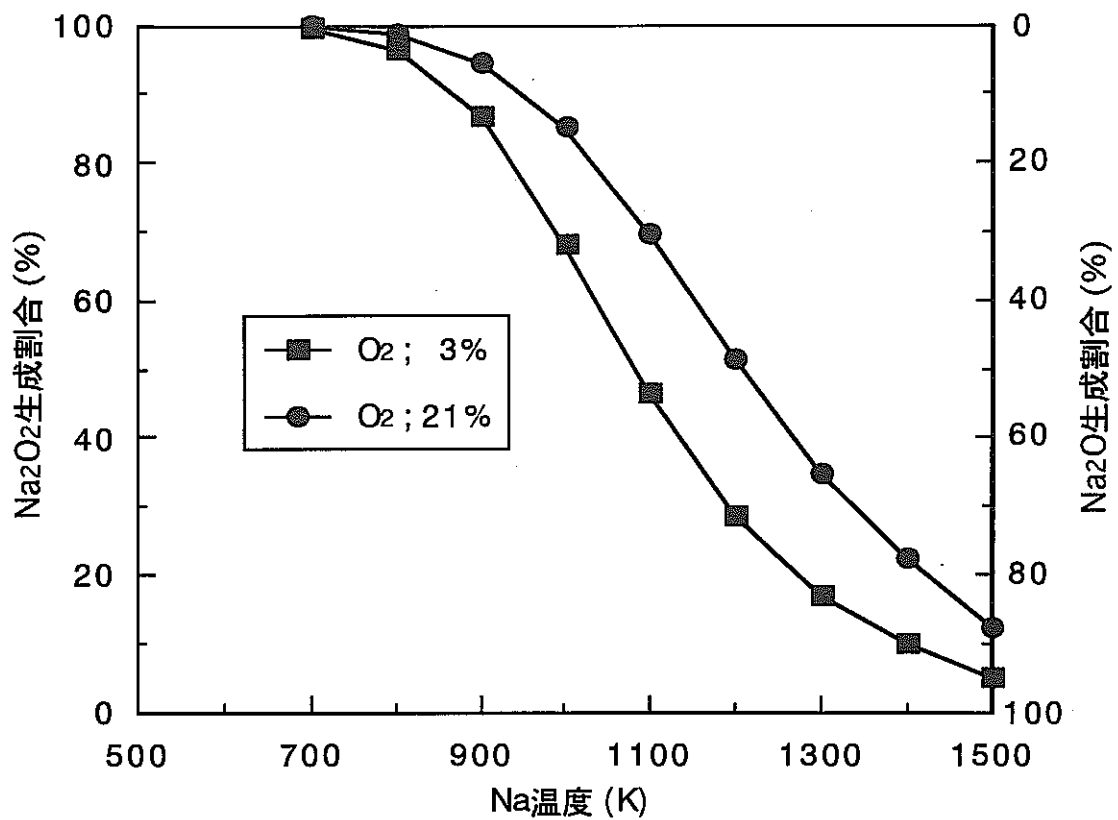


図6 ナトリウムと酸素の反応に伴う Na_2O と Na_2O_2 の生成割合

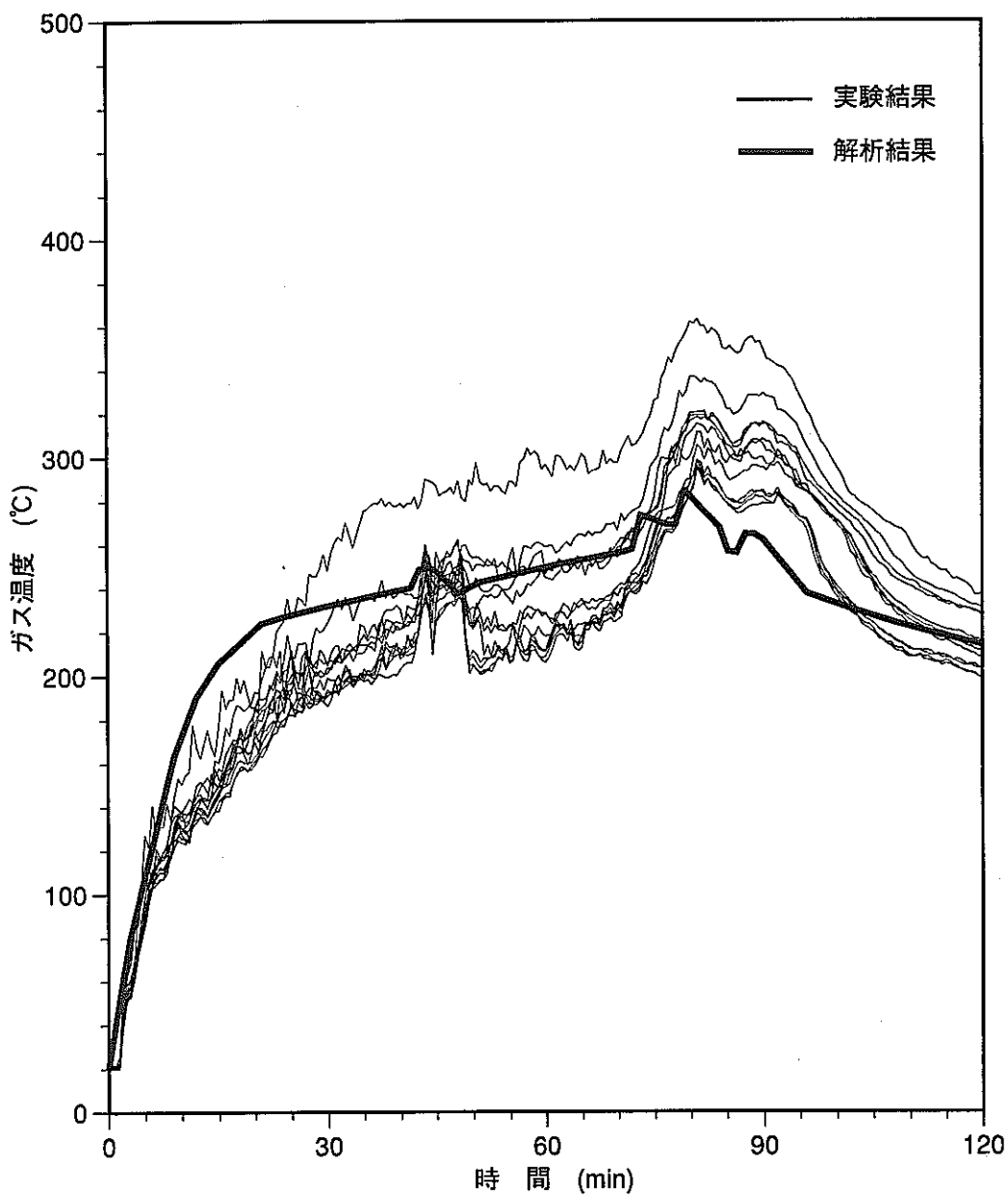


図7 霧囲気温度履歴

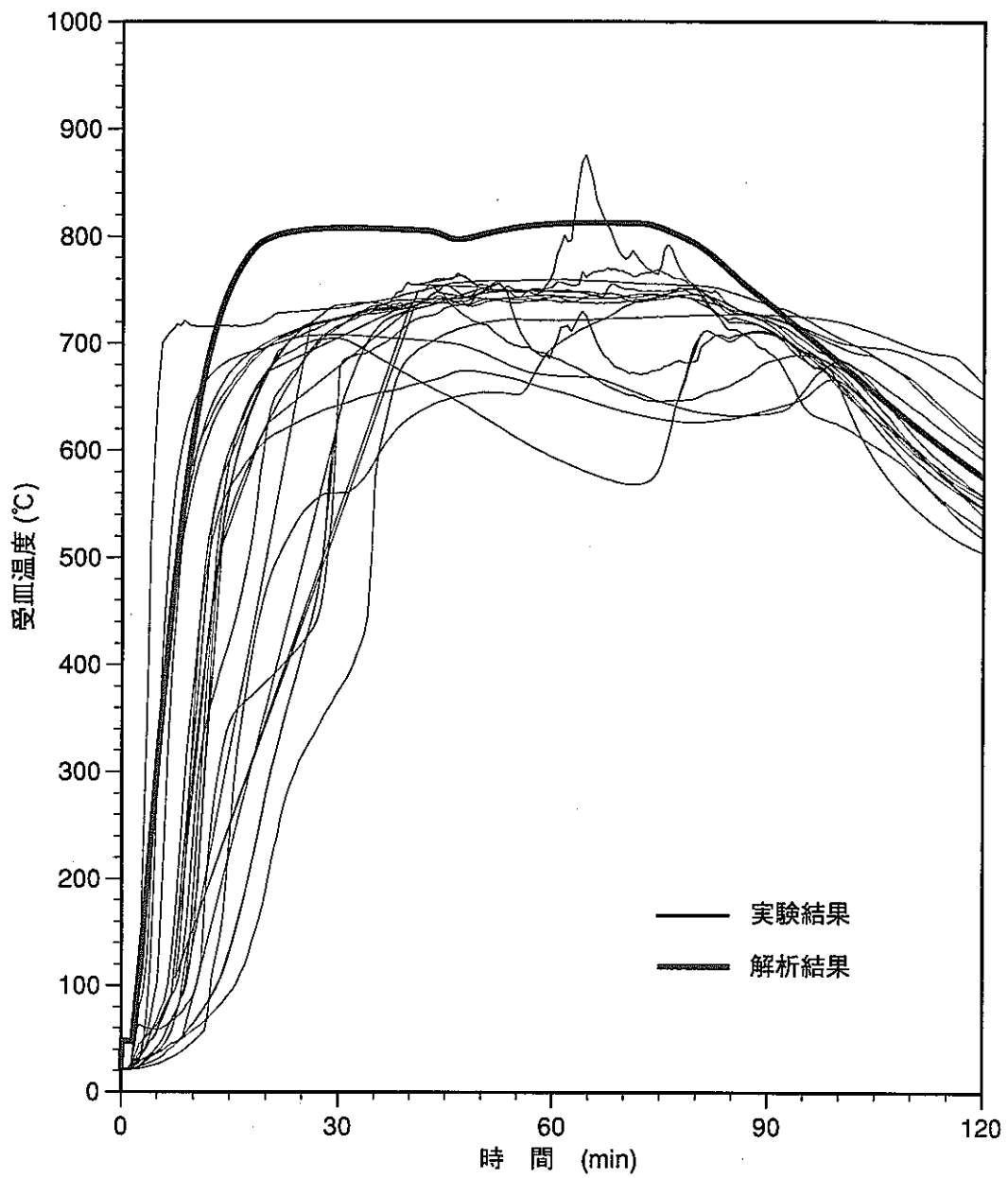


図 8 受け皿温度履歴

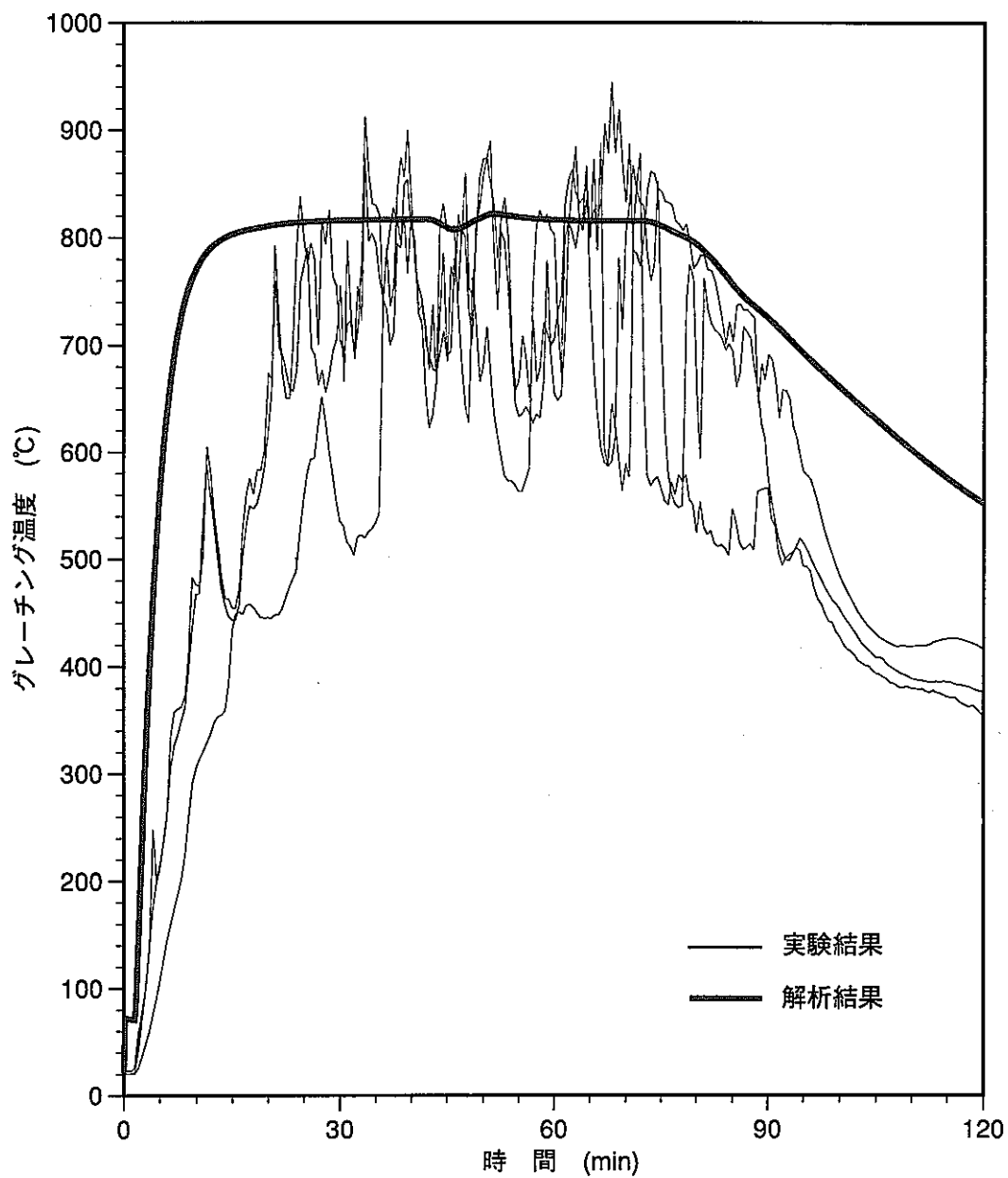


図9 グレーチング温度履歴

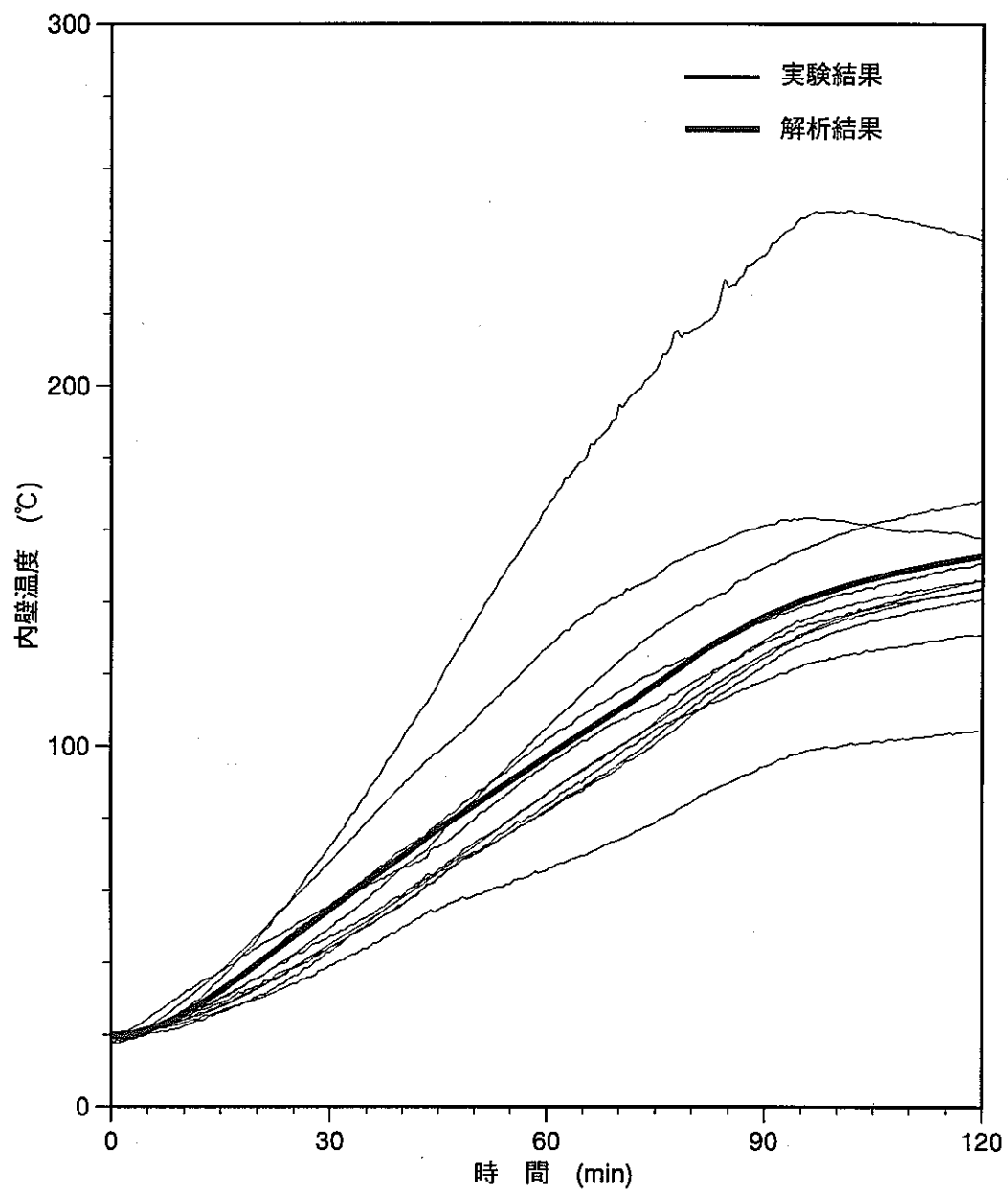


図10 内壁温度履歴

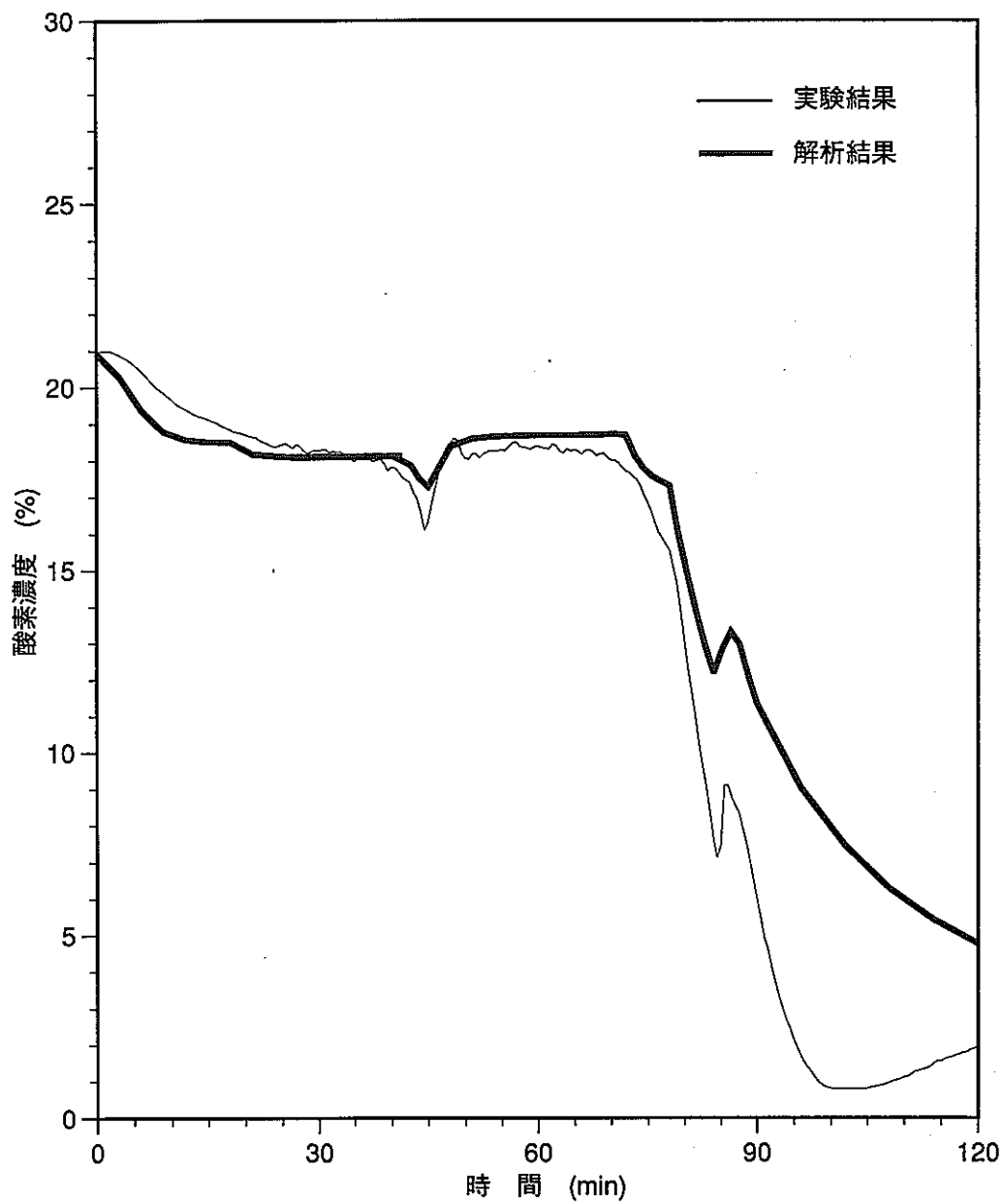


図 1 1 酸素濃度履歴

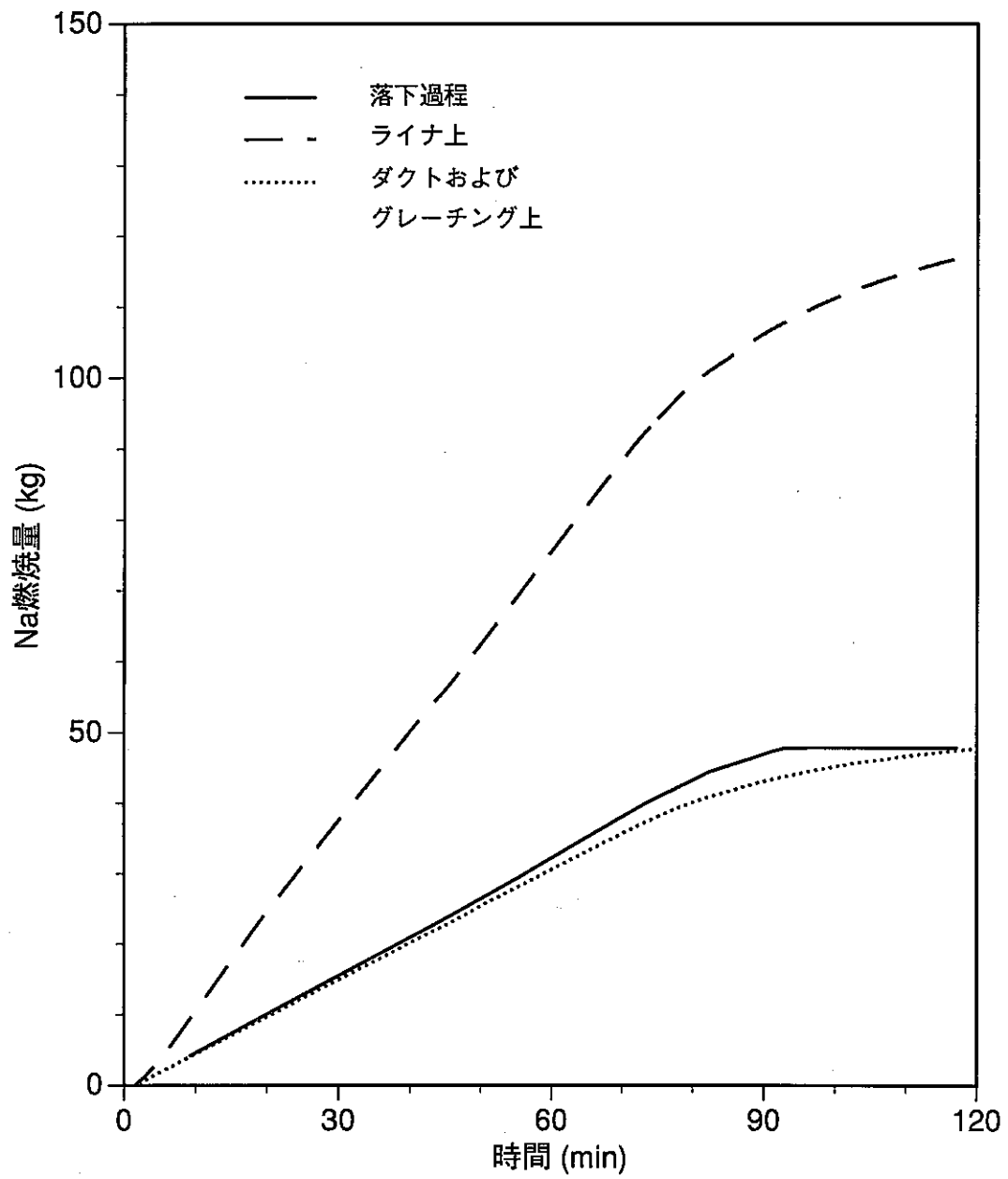


図 1 2 Na燃焼量解析結果

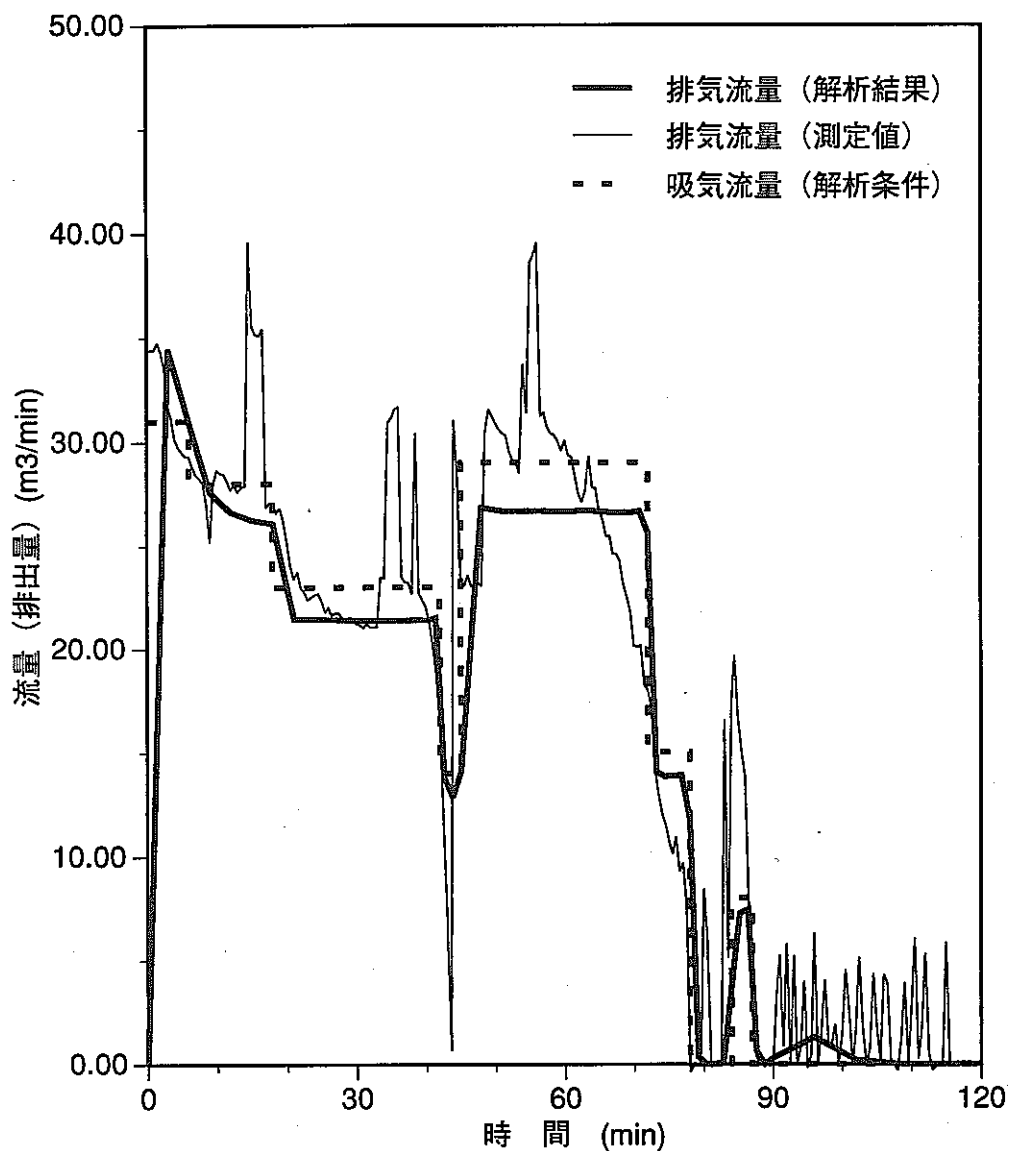


図 1 3 換気量 (排気流量) 履歴

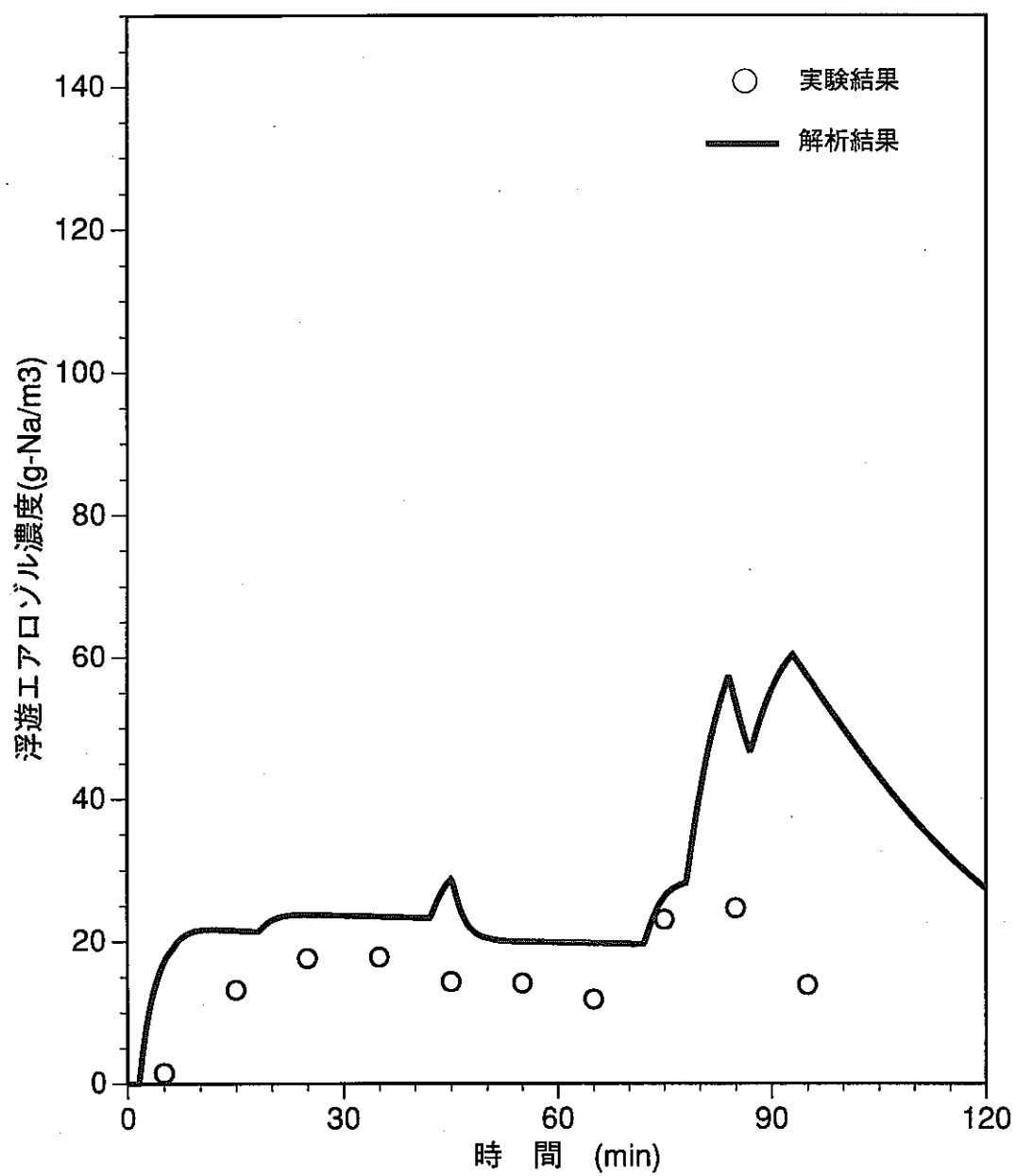


図 1 4 エアロゾル濃度履歴

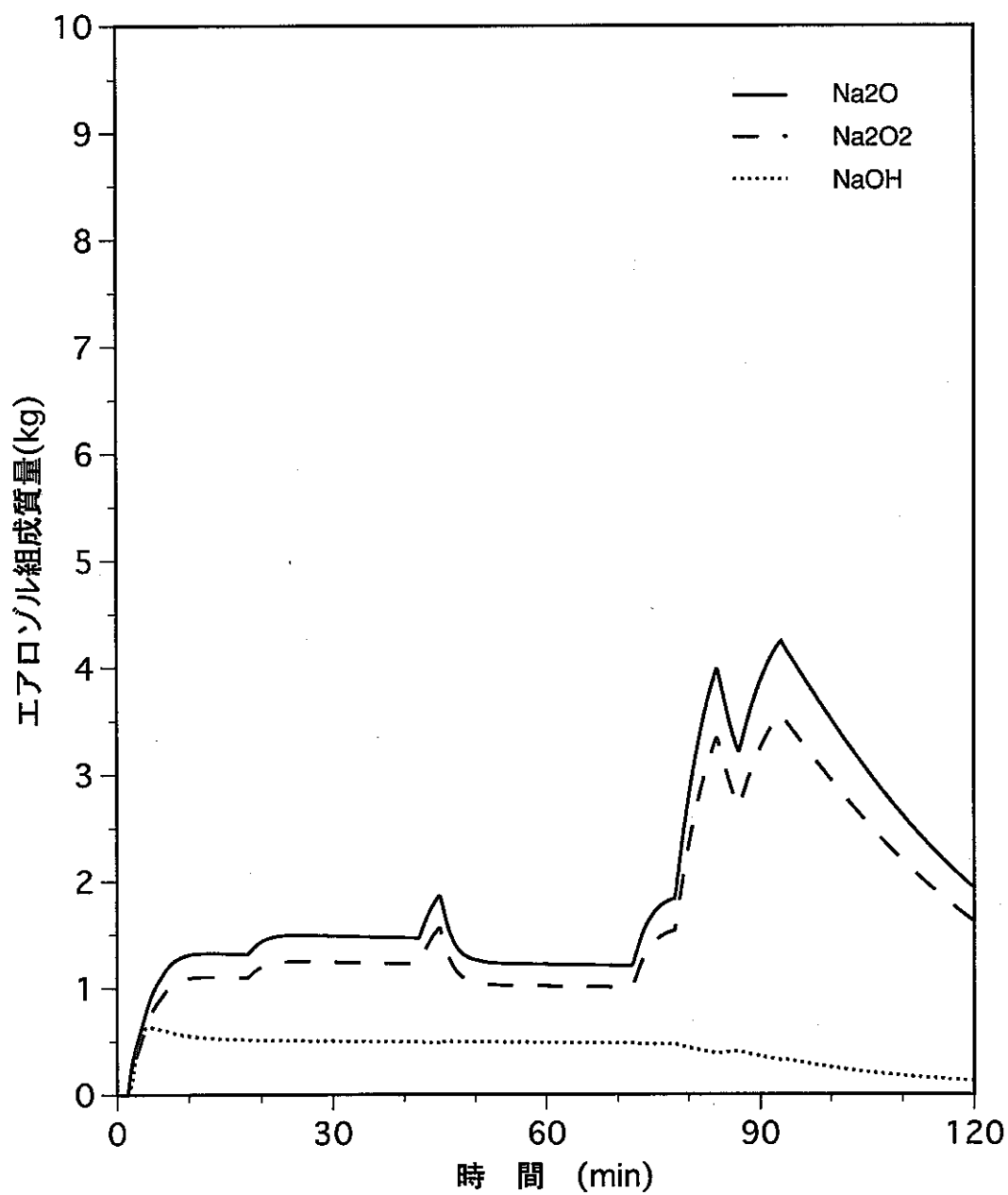


図15 エアロゾル濃度履歴 (反応生成物ごと)

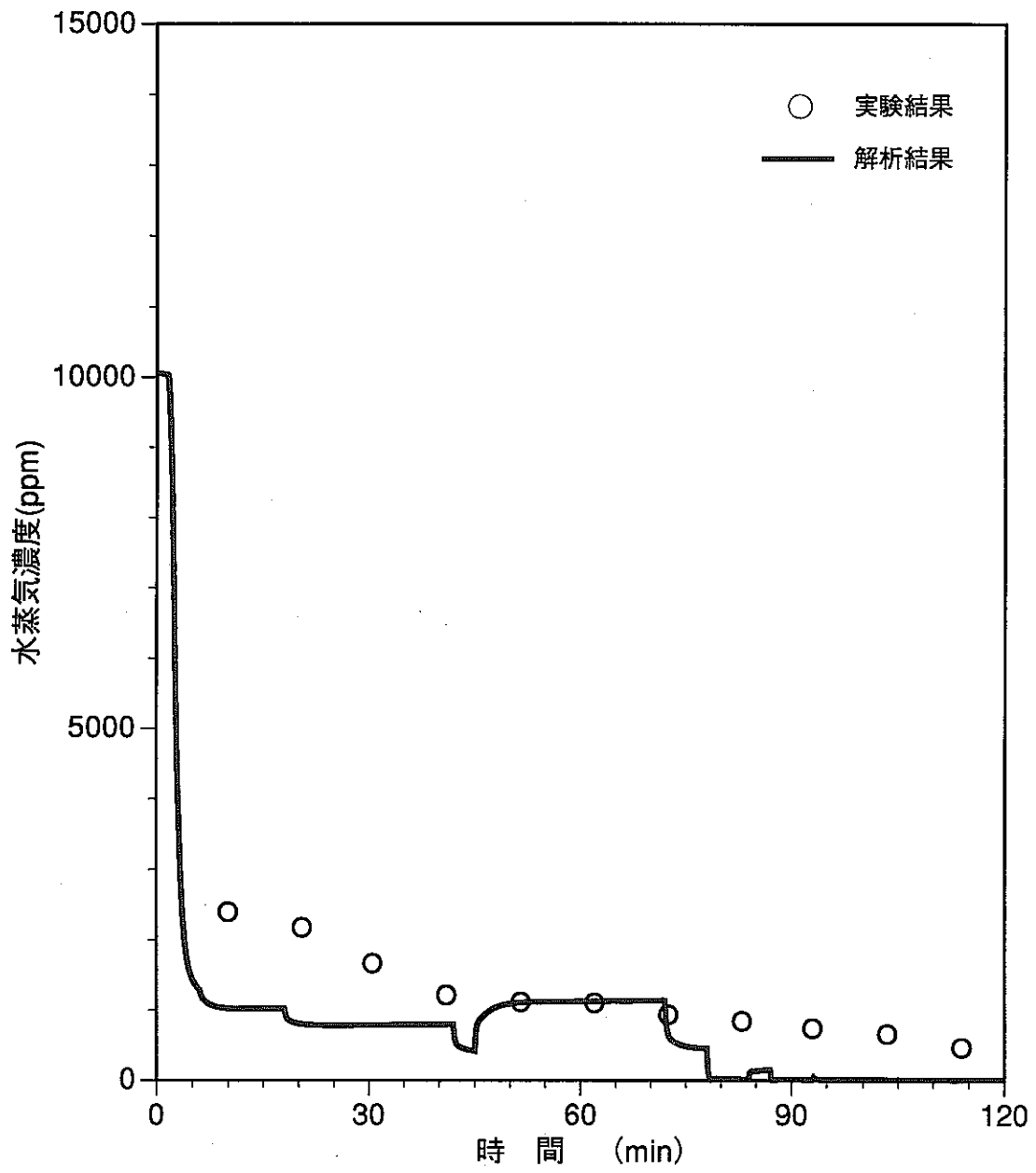


図 1 6 水蒸気濃度履歴

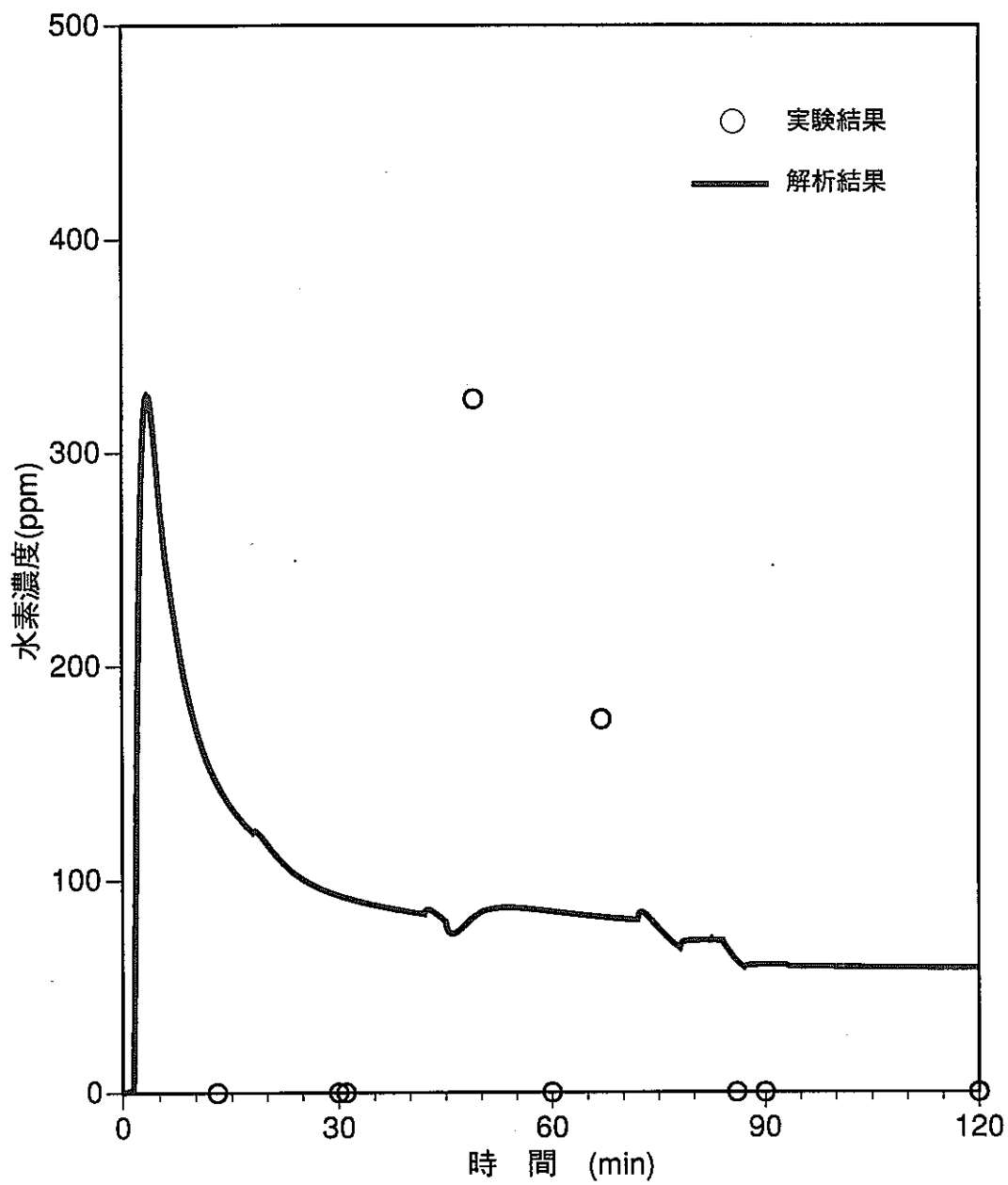


図 1 7 水素濃度履歴

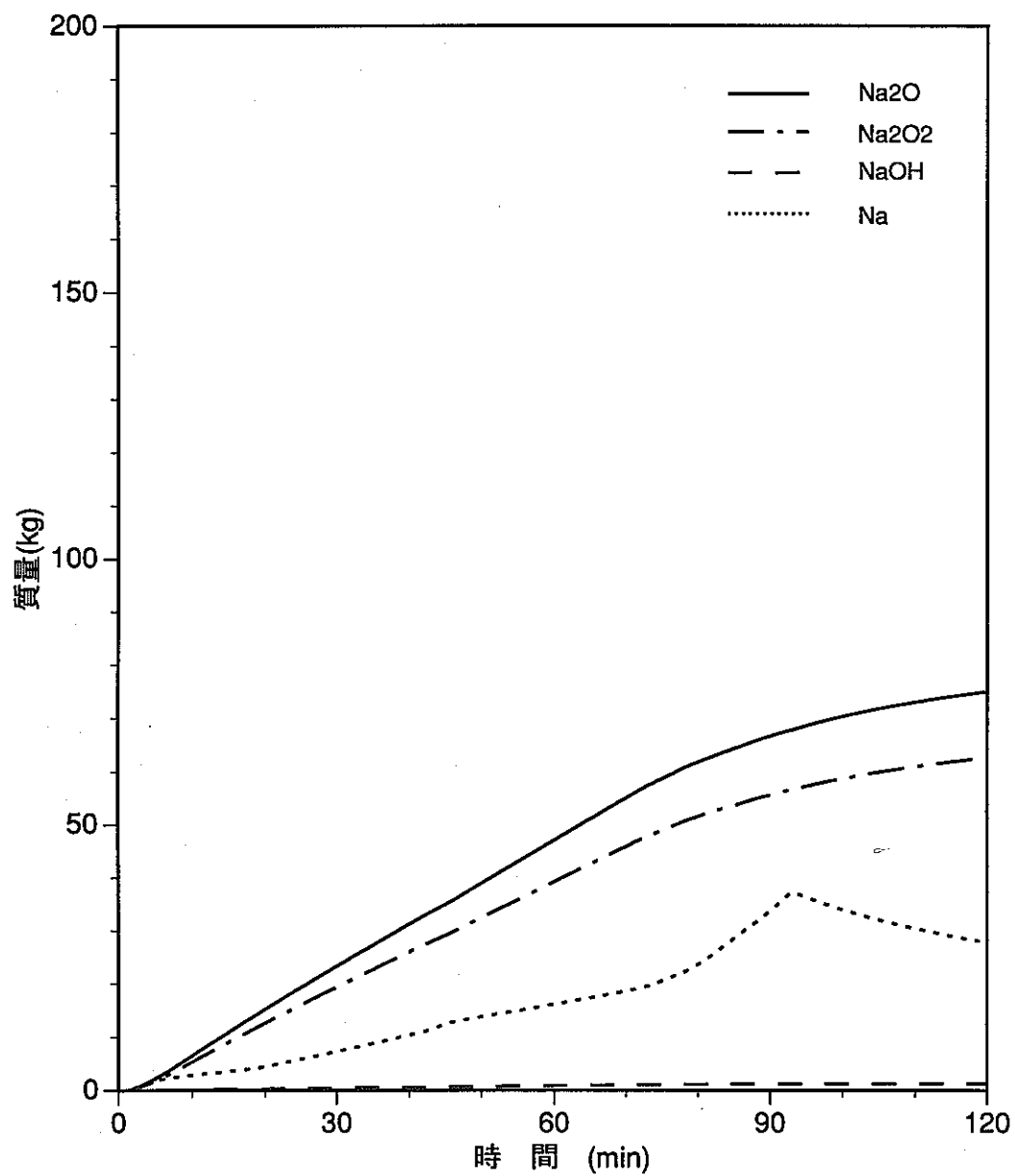


図 1 8 受け皿上プール内Na化合物生成量

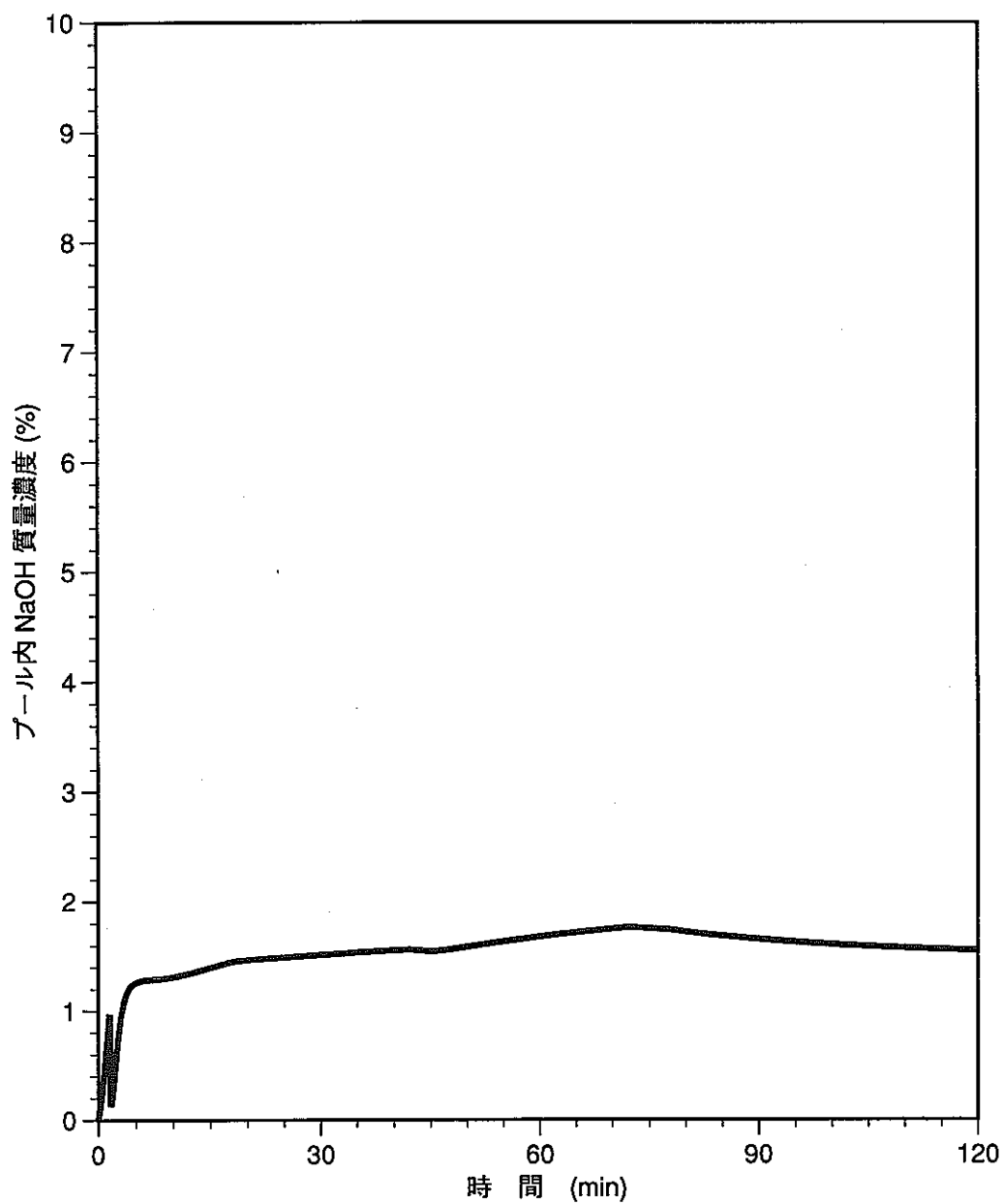


図 1 9 受け皿上プール内NaOH濃度履歴

Appendix.1 パラメータサーベイ結果

A1.1 パラメータの選定、パラメータマトリックスの作成

パラメータサーベイのためのパラメータとしては、実験結果、過去の知見から決定できないものを選んだ。パラメータの一覧を表 A1-1 に示す。また、パラメータマトリックスを表 A1-2 に示す。各パラメータの値の設定について以下に述べる。

(1) スプレイ液滴径

スプレイ液滴径はスプレイでの Na 燃焼量に大きく影響する。液滴径の範囲はもんじゅ設置時の解析で使用された 4.6 mm を中心に 3 mm から 7 mm とした。

(2) 液滴表面近傍の燃焼面への酸素供給速度（シャーウッド数 (Sh)）、燃焼面からの熱の移行速度（ネッセルト数 (Nu)）

セル内の雰囲気からスプレイ液滴表面近傍の燃焼面への酸素の供給速度、および燃焼面からガス空間と液滴への熱移行速度もスプレイでの Na 燃焼量に大きく影響する。酸素供給速度および熱移行速度の影響はそれぞれシャーウッド数 (Sh)、ヌッセルト数 (Nu) に係数を乗ずることにより調査した。係数は 1.0 から 7.0 までとした。

(3) 反応生成物の組成

燃焼により生成する反応生成物の組成は、過去の知見から $\text{Na}_2\text{O} : \text{Na}_2\text{O}_2 = 60 : 40$ とされているが、酸素濃度、燃焼部分の温度等により変わる可能性がある。このため、 $\text{Na}_2\text{O} : \text{Na}_2\text{O}_2 = 0 : 100$ から $\text{Na}_2\text{O} : \text{Na}_2\text{O}_2 = 100 : 0$ まで変化させた。

(4) 輻射係数（プール → 雰囲気）

受け皿上の Na プールからセル内雰囲気への輻射による熱の移行は、雰囲気温度、プール温度に大きく影響する。輻射熱の移行量の影響を調べるため、輻射係数を従来の知見による 0.65 を中心に 0.3 から 0.9 まで変化させた。

(5) 受け皿上プールの実効面積割合

実験 - I の場合にはプールは固体の生成物が堆積して、盛り上がっており、また表面も平らではない。このため、表面積は平らな場合よりも大きくなっていたと考えられる。プールの表面積はプールから雰囲気への熱の移行量、および Na の燃焼量に大きく影響するため、雰囲気温度、プール温度に大きく影響する。このため、実際の面積に係数を乗ずることにより、その影響を調べた。係数は平らな場合の 1.0 から 2.0 までとした。

(6) エアロゾル径

ASSCOPS では、雰囲気に存在するエアロゾルの沈降に関して重力沈降のみを考慮している。このため、エアロゾル径が雰囲気に存在するエアロゾルの量に大きく影響する。Na 燃焼により生成する反応生成物のエアロゾル径としては、過去の知見から $10 \mu\text{m}$ 程度が妥当であろうと考えられる。エアロゾル径の範囲としては、 $1 \mu\text{m}$ から $20 \mu\text{m}$ 位が妥当な範囲と考えられるため、この範囲をパラメータサーベイの対象とした。

A1.2 解析結果

主な解析結果を各パラメータごとにまとめて示すが、各部のNa燃焼量については図A1-7-1から図A1-7-20に、エアロゾル量の成分ごとの時間変化は図A1-8-1から図A1-8-20に、受け皿上Na化合物量は図A1-9-1から図A1-9-20にケースごとに示した。パラメータの影響について以下に述べる。

(1) スプレイ液滴径の影響

各部温度については、液滴径を3 mmとした場合のみ、他のケースと違いが見られるが、液滴径が5 mmと7 mmでは大きな違いはない。液滴径が3 mmの場合には、雰囲気温度、内壁温度が高く、グレーチング温度、受け皿温度は低くなる。これは、図A1-7-1からわかるように、スプレイでの燃焼量が増加し、グレーチングおよび受け皿上での燃焼量が減少するためである。

エアロゾル濃度についても、液滴径が3 mmの場合のみ高く、他の場合には大きな違いはない。

受け皿上プール内のNaOH濃度については、液滴径が3 mmの場合のみ初期に3%近くまで上昇するが、30分過ぎからはどのケースでもほぼ1%一定となっている。

酸素濃度、水蒸気濃度、水素濃度については、液滴径が3 mmの場合にわずかに違いが見られるが、どのケースでも大きな違いはない。

表A1-3に示すように、漏洩ナトリウムの落下中の燃焼割合は液滴径により大きく変化する。本文中の2.4.5章で算出したように、落下中の燃焼割合はほぼ13~27%範囲が妥当だと考えられるため、スプレイ液滴径はRef. caseの4.6 mmおよびCASE2の5 mm付近が妥当であろうと考えられる。

(2) 液滴表面近傍の燃焼面への酸素供給速度（シャーウッド数(Sh)）、燃焼面からの熱の移行速度（ネッセルト数(Nu)）の影響

各部温度については、違いが見られる。Sh数、Nu数に乗ずる係数が大きいほどガス温度、内壁温度が上昇し、逆にグレーチング温度、受け皿温度は低下している。これは、Na燃焼量の結果からもわかるように、係数が大きくなり、酸素の供給量が大きくなるほどスプレイでのNa燃焼量が増加し、また、熱の移行速度が増加し、ガスおよび内壁に移行する熱量が増加するためである。

エアロゾル濃度についても、係数が大きくなるにつれ増加する傾向が見られる。これは、上記のようにスプレイでのNa燃焼量が増加するためである。

その他の解析結果については、係数を変化させた影響はほとんどない。

表A1-3から、このシリーズ(CASE4~CASE7)で落下中の燃焼割合が妥当だと考えられる13~27%の範囲に入っているのはCASE5のみである。CASE5とRef.caseを比較してみると、受け皿温度、ガス温度等の各部温度はRef.caseのほうが実験結果に近いと考えられる。このため、Sh数、Nu数に乗ずる係数はRef.caseの3が妥当であろうと考えられる。

(3) 反応生成物の組成の影響

各部温度については、 Na_2O_2 生成割合が大きくなる (Na_2O 生成割合が低下する) ほど、温度も上昇する傾向が見られる。これは、 Na_2O_2 の燃焼熱が Na_2O よりも大きいことと、受け皿上での燃焼量が増加し、セル内全体での Na 燃焼量が増加したためである。

水素濃度については、 Na_2O_2 生成割合が大きいほど、水素濃度が低くなる傾向が見られる。これは、 Na_2O_2 生成割合が大きいほど、酸素濃度が高く、生成した水素が消費されやすいためであろうと考えられる。

その他の解析結果については、組成を変化させた影響はほとんどない。

実験でのガス温度、受け皿温度に近い解析結果が得られ、実験-II、もんじゅ事故解析で保守的な受け皿温度を算出できる反応生成物組成としては、過去の文献等からの知見も踏まえて、Ref. case の $\text{Na}_2\text{O} : \text{Na}_2\text{O}_2 = 60 : 40$ が妥当であろうと考えられる。

(4) 輻射係数 (プール → 雰囲気) の影響

各部温度のうち、輻射係数の影響が大きいのは、受け皿温度である。輻射係数の増加とともに受け皿温度は大きく低下する。その他の部分の温度はほとんど影響を受けない。

その他の解析結果については、輻射係数を変化させた影響はほとんどない。

実験での受け皿温度に近い解析結果が得られ、実験-II、もんじゅ事故解析で保守的な受け皿温度を算出できる輻射係数としては、過去の文献等からの知見も踏まえて、Ref. case の 0.65 が妥当であろうと考えられる。

(5) 受け皿上プールの実効面積割合の影響

各部温度のうち受け皿温度は、面積割合が 1.6 の場合が、雰囲気温度は面積割合 1.0 の場合が実験結果に近い値を示す。他の部分の温度は面積割合の影響はほとんどない。

酸素濃度は、換気を行っていた約 70 分過ぎまでは、面積割合の影響はないが、換気を停止した後は面積割合の増加とともに酸素濃度は低下する傾向を示す。面積割合が 2.0 の場合が最も実験結果に近い。

水素濃度は、面積割合が 1.0 の場合のみ初期のピーク値が低く、またその後の一定値が高くなる傾向が見られる。

その他の解析結果については、面積割合の影響はほとんど見られない。

以上より、受け皿上に堆積物が多くなる後期 (特に 70 分以降) については、面積割合を 2.0 とすることで、酸素濃度に関する測定と解析の一致が良くなるが、全般としては、受け皿温度の実験結果を再現できる実効面積割合として、case.15 の 1.6 が妥当であろうと考えられる。

しかし、面積割合を 1.6 とすることについては、実験時の測定データ等からの根拠は十分とは言えない。このため、安全評価において受け皿温度を保守的に見積もるための面積割合としては、Ref. case の 1.0 が妥当であろうと考えられる。

(6) エアロゾル径の影響

各部温度については、エアロゾル径の影響はほとんどない。また、酸素濃度についてもほとんど影響はない。

エアロゾル濃度は、エアロゾル径の増加とともに大きく低下する。これは、径の増加とともに、重力により沈降するエアロゾル量が増加するためである。

水蒸気濃度と水素の濃度は、エアロゾル径が大きくなるに従い、大きく増加する。これは、霧田気中に存在するエアロゾル量が減少し、エアロゾルと反応する水蒸気量が減少し、発生する水素量も減少するためである。

エアロゾル濃度の解析結果が、実験結果に最も近いRef. case の $10\mu\text{m}$ が妥当であろうと考えられる。

(7) 解析結果のまとめ

パラメータサーベイの結果から、受け皿温度を中心に、実験結果を再現できる解析条件としては、case 15 を選定した。解析条件を以下に示す。

(case 15 の解析条件)

- ・ スプレイ液滴径 : 4.6 mm
- ・ Sh数、Nu数 : $\times 3$
- ・ 反応生成物の組成 : $\text{Na}_2\text{O} : \text{Na}_2\text{O}_2 = 60 : 40$
- ・ 輻射係数 (プール \rightarrow ガス) : 0.65
- ・ 受け皿上プールの実効面積割合 : 1.6
- ・ エアロゾル径 : $10\mu\text{m}$

また、受け皿上プールの実効面積割合を 1.6 とすることについては、実験時の測定データ等からの根拠は十分とは言い難いことから、安全評価での解析条件としては、受け皿温度を保守的に解析できる条件の Ref. case が妥当であろうと考えられる。解析条件を以下に示す。

(Ref. case の解析条件)

- ・ スプレイ液滴径 : 4.6 mm
- ・ Sh数、Nu数 : $\times 3$
- ・ 反応生成物の組成 : $\text{Na}_2\text{O} : \text{Na}_2\text{O}_2 = 60 : 40$
- ・ 輻射係数 (プール \rightarrow ガス) : 0.65
- ・ 受け皿上プールの実効面積割合 : 1.0
- ・ エアロゾル径 : $10\mu\text{m}$

表A1-1 パラメータ一覧

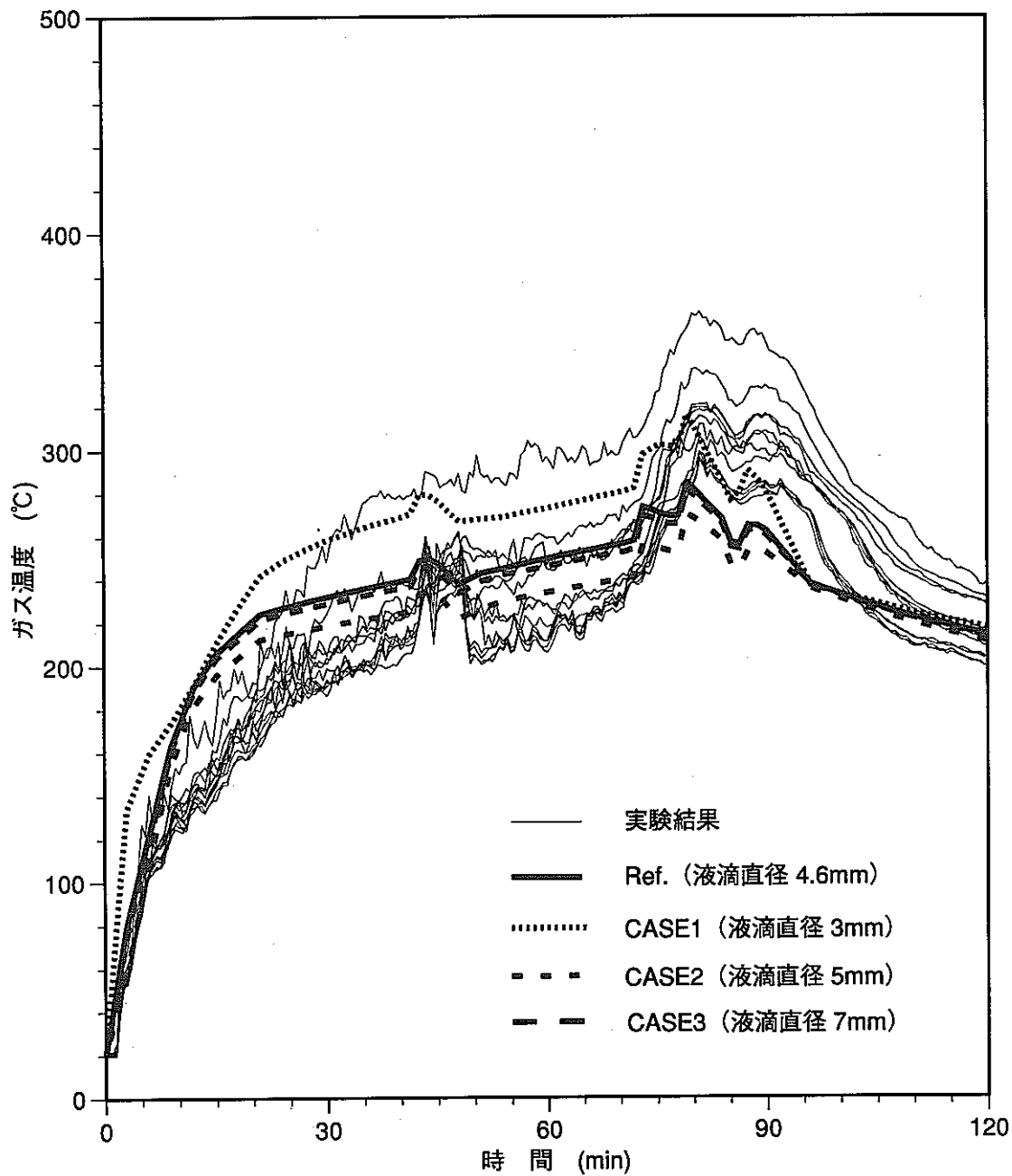
項目	デフォルト	パラメータ範囲	備考
1. スpray燃焼条件			
(1)質量平均液滴径	4.6 mm	1-7	もんじゅ設置時解析 4.572mm
(2)酸素供給速度	Sh*3	1-5	過去の実験より
2. 化学反応			
(1)反応生成物の組成			
1)酸素 10%以上	60:40	0:100-100:0	過去の知見より
2)酸素 10%以下	100:0	-	過去の知見より
(2)水素再結合割合	70%	-	
3. エアロゾル			
(1)エアロゾル水和割合	100%	-	過去の知見より
(2)水和の反応速度係数	1.0E-10	-	過去の知見より
(3)エアロゾル径	10 μm	1-20	過去の知見より
4. ふく射伝熱係数			
(1)プール->コーン外ガス	0.65	0.3-0.9	過去の知見より
(2)コーン外ガス->壁	0.5	-	伝熱工学資料(SUS304)
(3)コーン内->壁	0.5	-	伝熱工学資料(SUS304)
5. プール燃焼面積			
(1)ライナ上	3.8 m ²	-	実験1結果
(2)グレーチング上	0.26 m ²	-	実験1結果
(3)燃焼実効面積割合	1.0	1.0-2.0	実験1解析より
6. 漏洩Naの配分			
(1)受け皿上	75%	-	実験1結果(堆積物114kg-Na)
(2)グレーチング上	4%	-	実験1結果(6kg-Na)
(3)その他(換気ダクト等)	21%	-	実験1結果(31kg-Na)

表A1-2 パラメータマトリックス

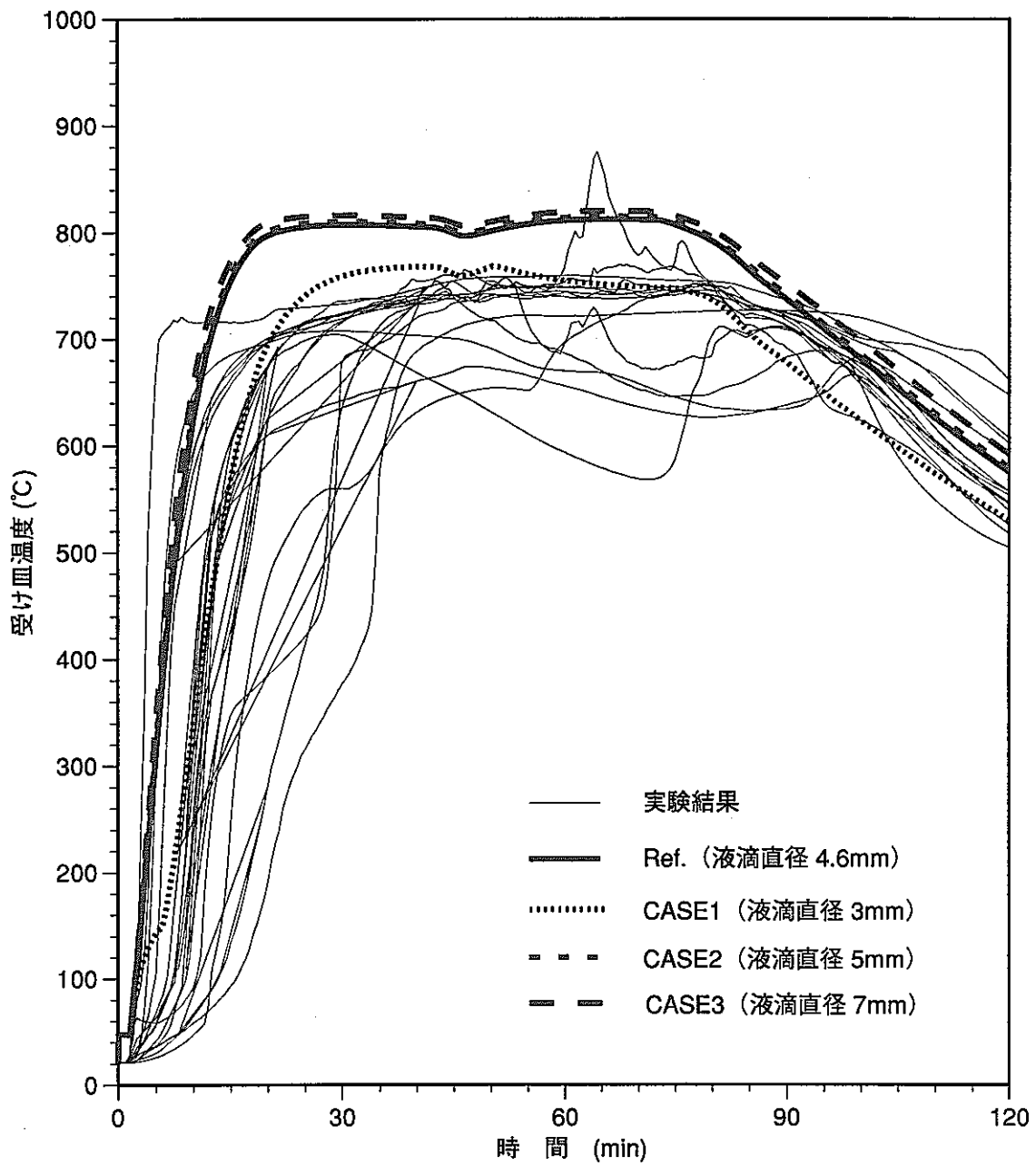
パラメータ	Case No.	液滴径	酸素供給速度(Sh) および 熱移行速度(Nu)	反応生成物組成	輻射係数 (pool->outgas)	実効面積割合	エアロゾル径
Ref.case		4.6mm	3倍	60:40	0.65	1.0	10 μ m
液滴径	Case-1	3.0mm	↑	↑	↑	↑	↑
	Case-2	5.0mm	↑	↑	↑	↑	↑
	Case-3	7.0mm	↑	↑	↑	↑	↑
酸素供給速度(Sh) および および熱移行速度(Nu)	Case-4	4.6mm	1倍	↑	↑	↑	↑
	Case-5	↑	2倍	↑	↑	↑	↑
	Case-6	↑	4倍	↑	↑	↑	↑
	Case-7	↑	5倍	↑	↑	↑	↑
反応生成物の組成	Case-8	↑	3倍	0:100	↑	↑	↑
	Case-9	↑	↑	50:50	↑	↑	↑
	Case-10	↑	↑	100:0	↑	↑	↑
輻射係数 (pool->outgas)	Case-11	↑	↑	60:40	0.3	↑	↑
	Case-12	↑	↑	↑	0.5	↑	↑
	Case-13	↑	↑	↑	0.7	↑	↑
	Case-14	↑	↑	↑	0.9	↑	↑
実効面積割合	Case-15	↑	↑	↑	0.65	1.6	↑
	Case-16	↑	↑	↑	↑	2.0	↑
エアロゾル径	Case-17	↑	↑	↑	↑	1.0	1 μ m
	Case-18	↑	↑	↑	↑	↑	5 μ m
	Case-19	↑	↑	↑	↑	↑	15 μ m
	Case-20	↑	↑	↑	↑	↑	20 μ m

表A1-3 漏洩Naの落下中燃焼割合

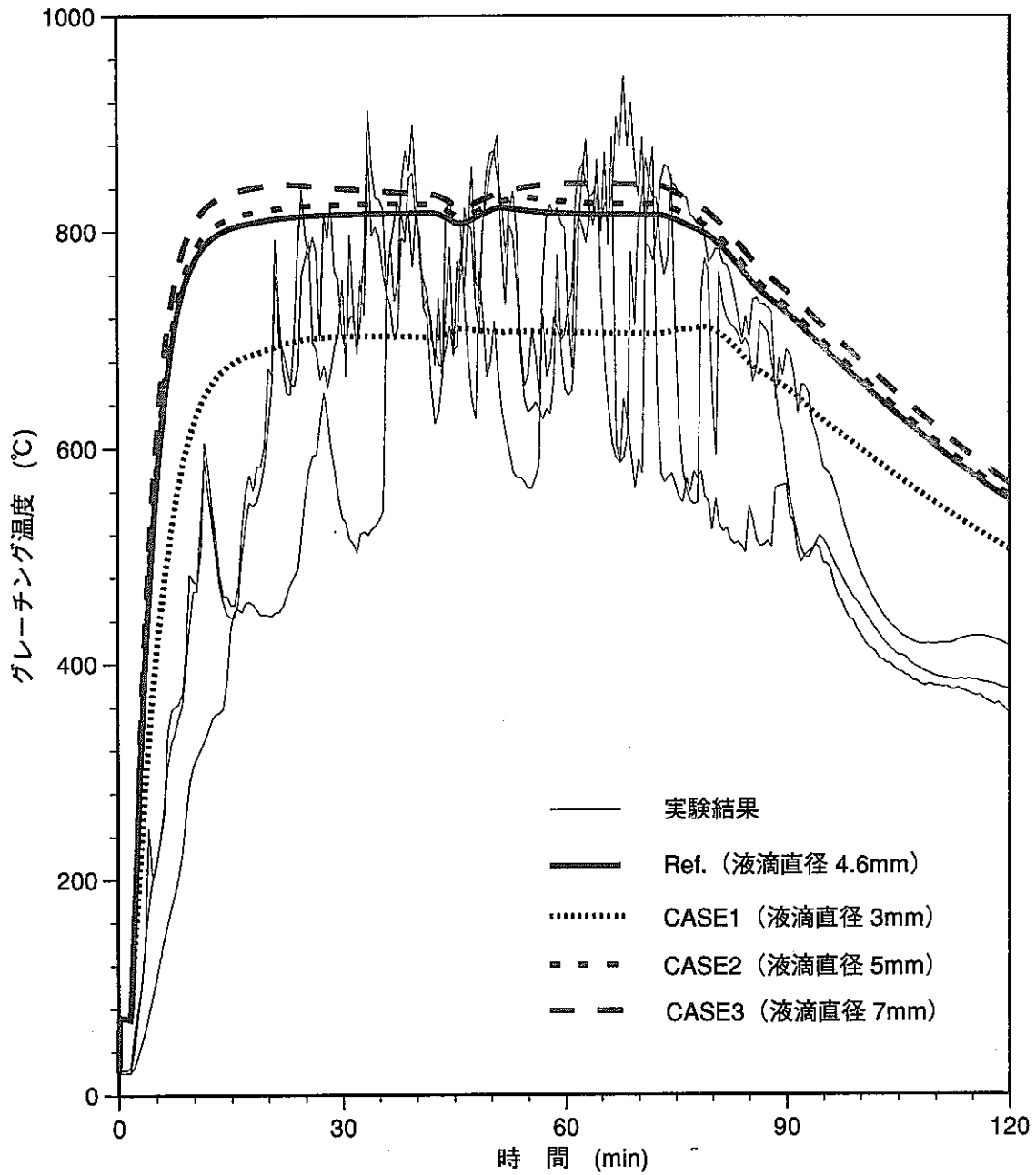
ケース No.	落下中燃焼量 (kg)	受け皿上プール での燃焼量 (kg)	グレーチング上 等での燃焼量 (kg)	落下中燃焼割合 (%)
Ref.	47.9	117.6	47.8	22.4
CASE1	115.4	89.8	31.4	48.8
CASE2	41.3	119.6	49.4	19.6
CASE3	21.3	126.4	53.3	10.6
CASE4	13.6	129.1	54.6	6.9
CASE5	28.7	123.8	52.0	14.0
CASE6	69.5	110.6	42.5	31.2
CASE7	90.1	104.2	37.5	38.9
CASE8	49.5	144.1	48.0	20.5
CASE9	47.6	109.4	46.5	23.4
CASE10	46.6	82.1	37.1	28.1
CASE11	47.0	138.6	45.9	20.3
CASE12	47.6	124.5	47.3	21.7
CASE13	47.9	115.6	47.9	22.7
CASE14	48.2	109.2	48.3	23.4
CASE15	46.8	140.9	48.7	19.8
CASE16	46.5	143.1	48.7	19.5
CASE17	47.7	117.0	47.8	22.5
CASE18	47.8	117.1	47.8	22.5
CASE19	48.1	118.3	47.7	22.5
CASE20	48.4	119.1	47.7	22.5



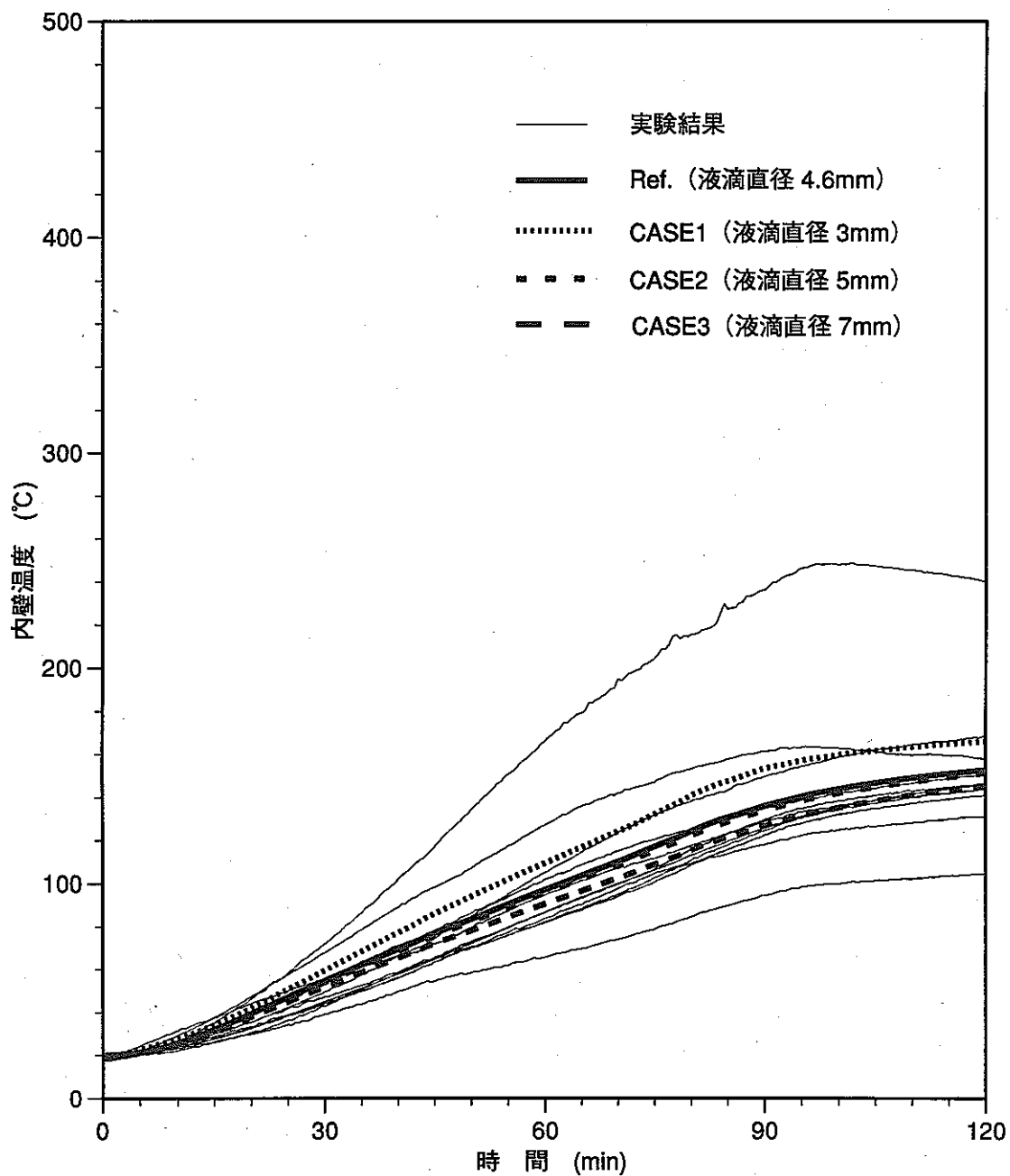
図A1-1-1 スpray液滴径をパラメータとした解析結果 (ガス温度)



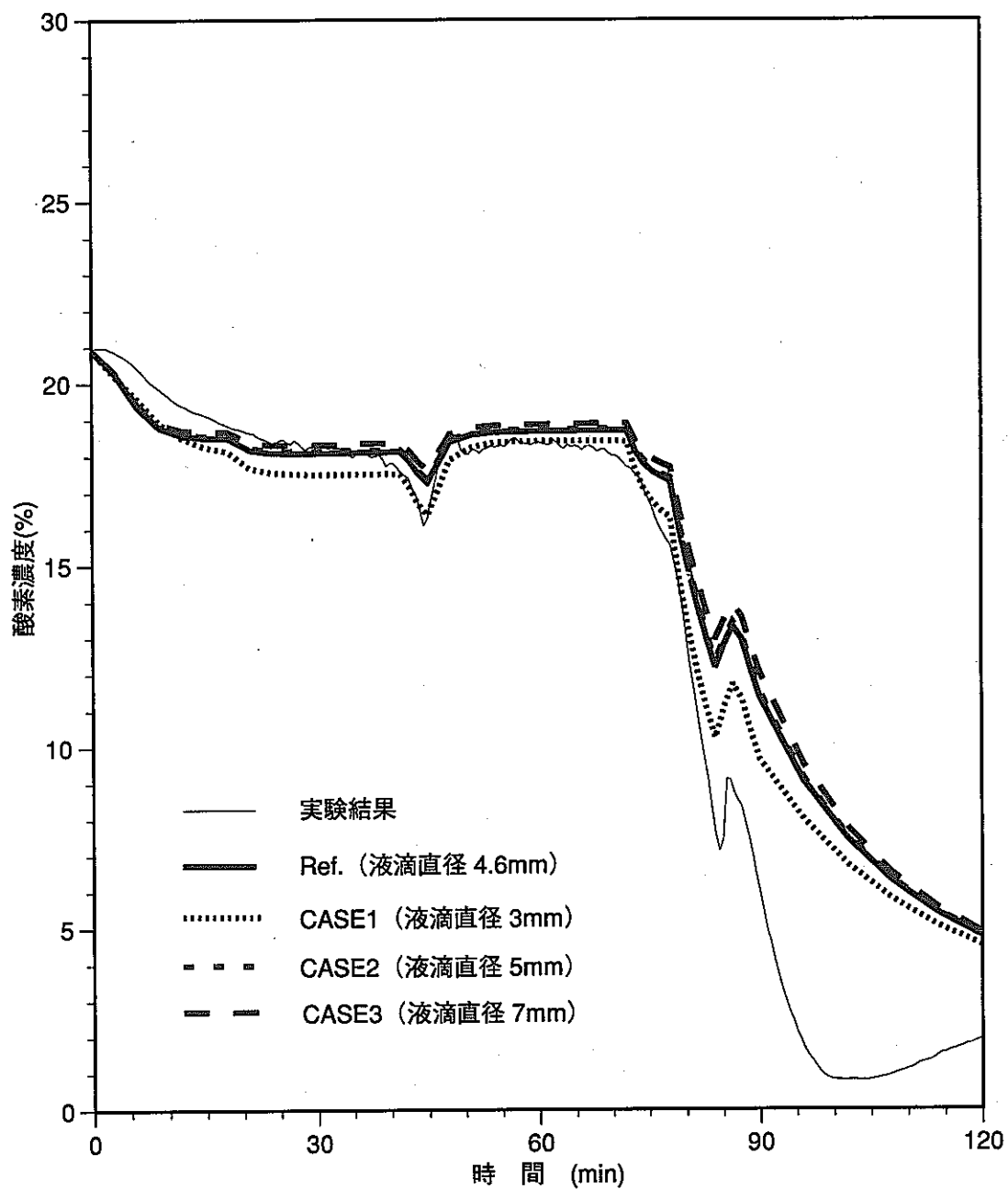
図A1-1-2 スpray液滴径をパラメータとした解析結果 (受皿温度)



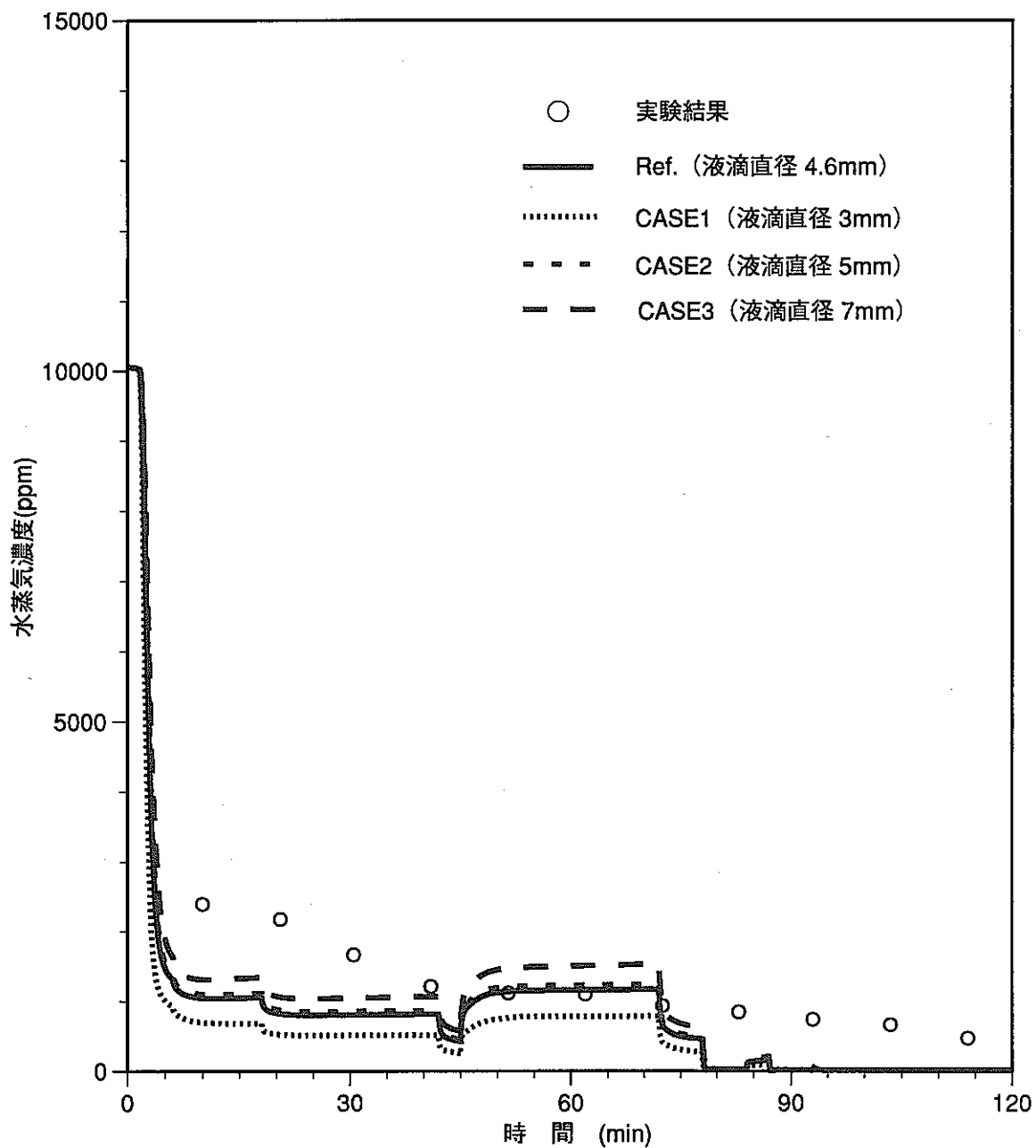
図A1-1-3 スpray液滴径をパラメータとした解析結果 (グレーチング温度)



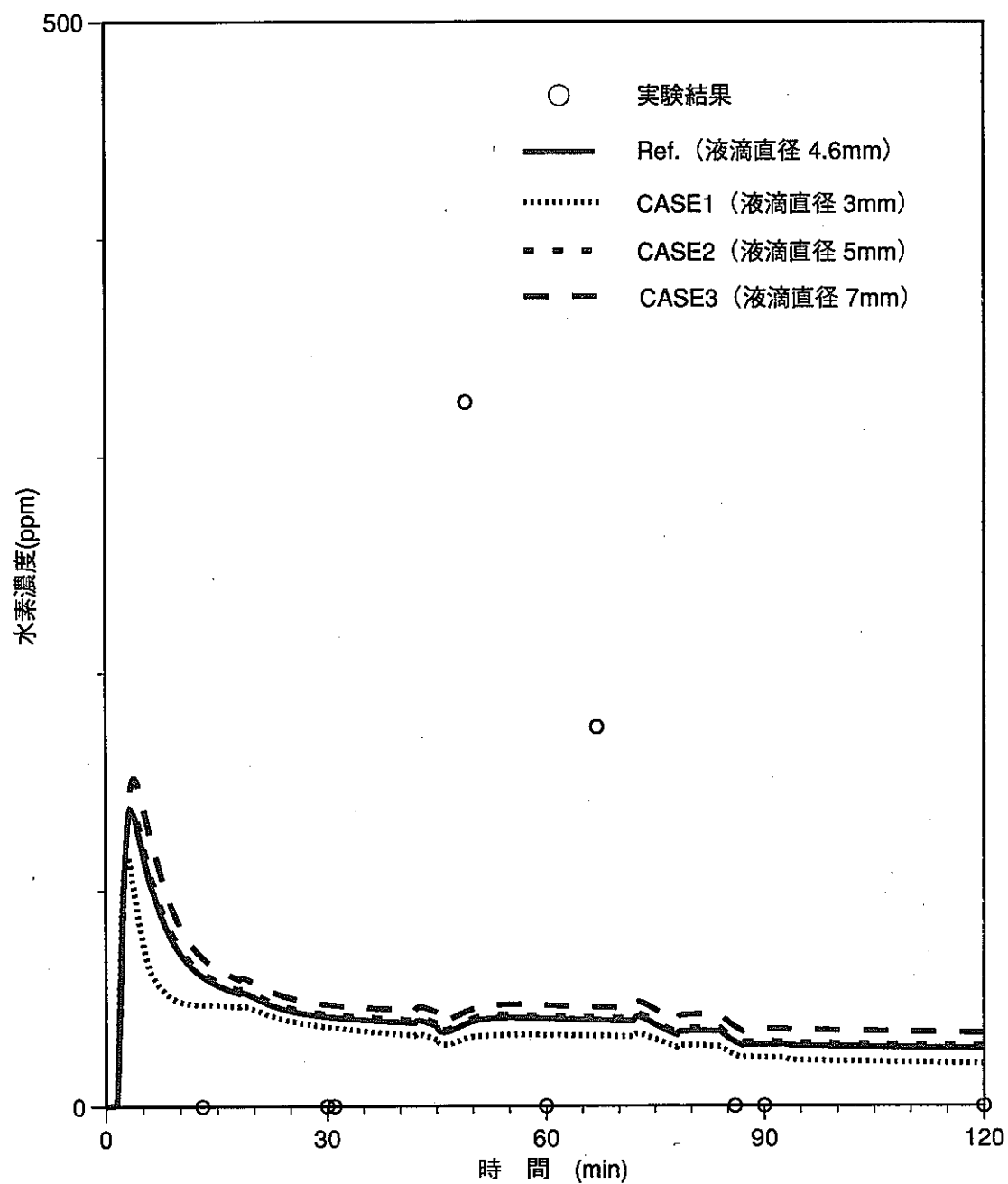
図A1-1-4 スpray液滴径をパラメータとした解析結果 (内壁温度)



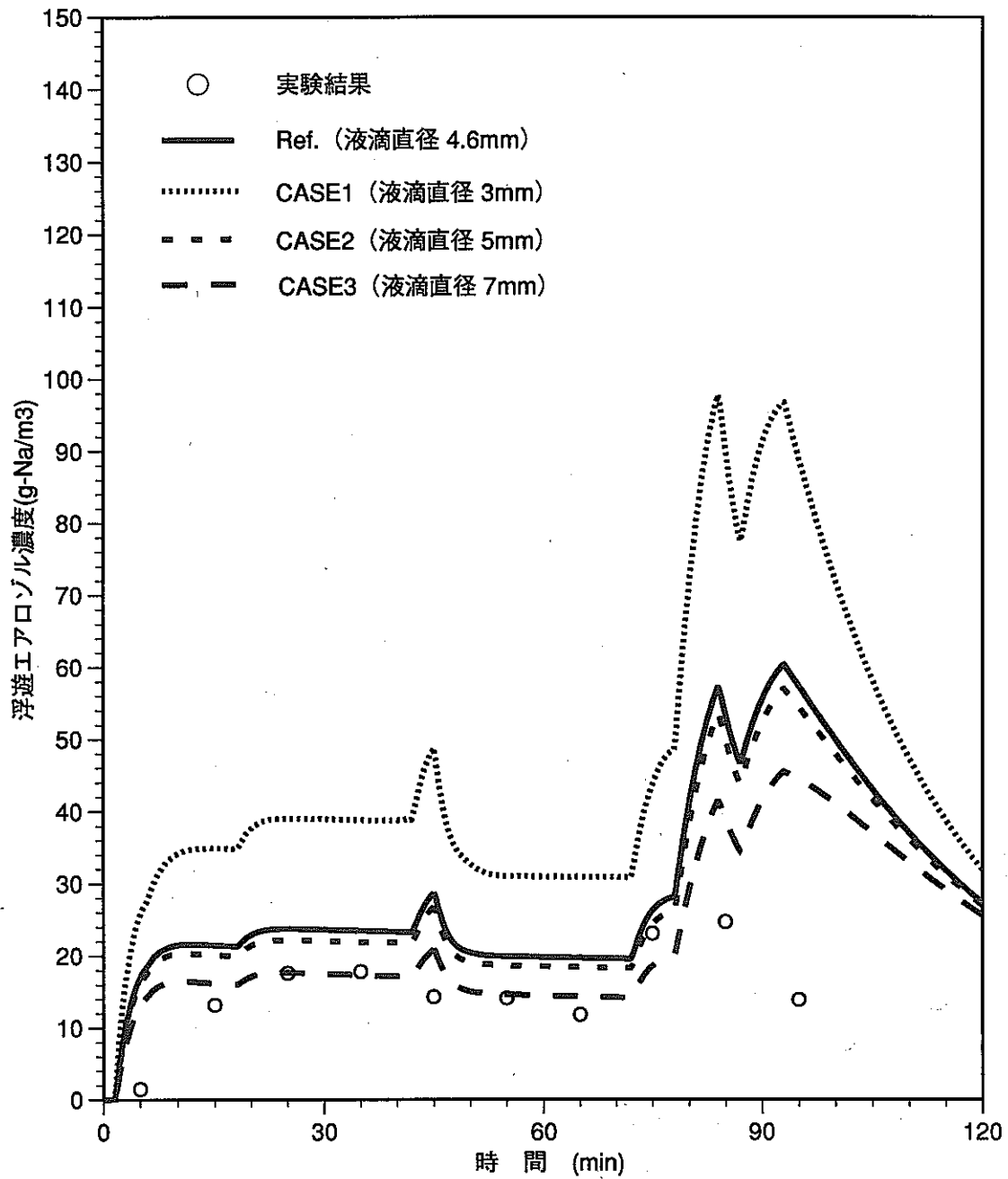
図A1-1-5 スpray液滴径をパラメータとした解析結果 (酸素濃度)



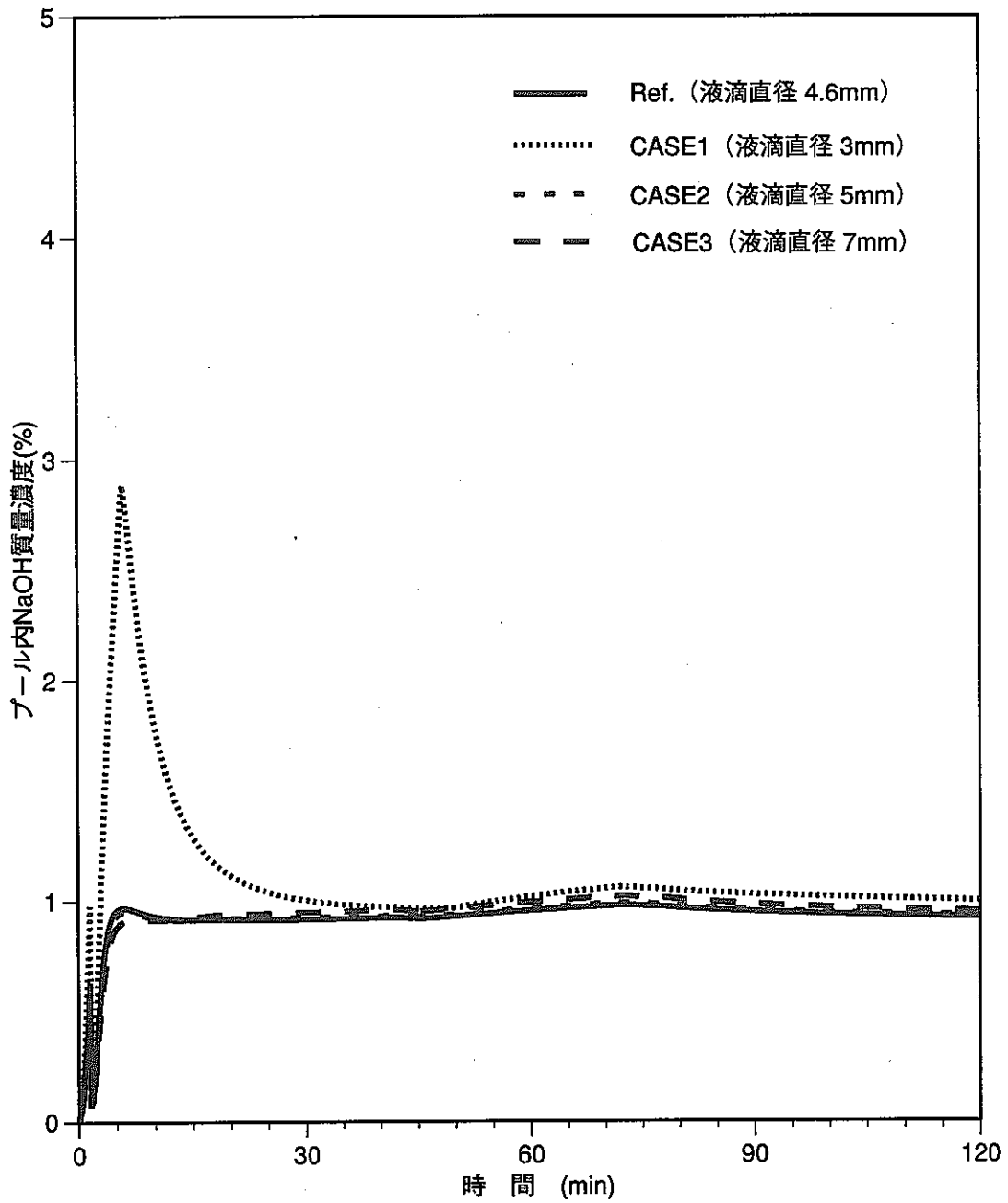
図A1-1-6 スpray液滴径をパラメータとした解析結果（水蒸気濃度）



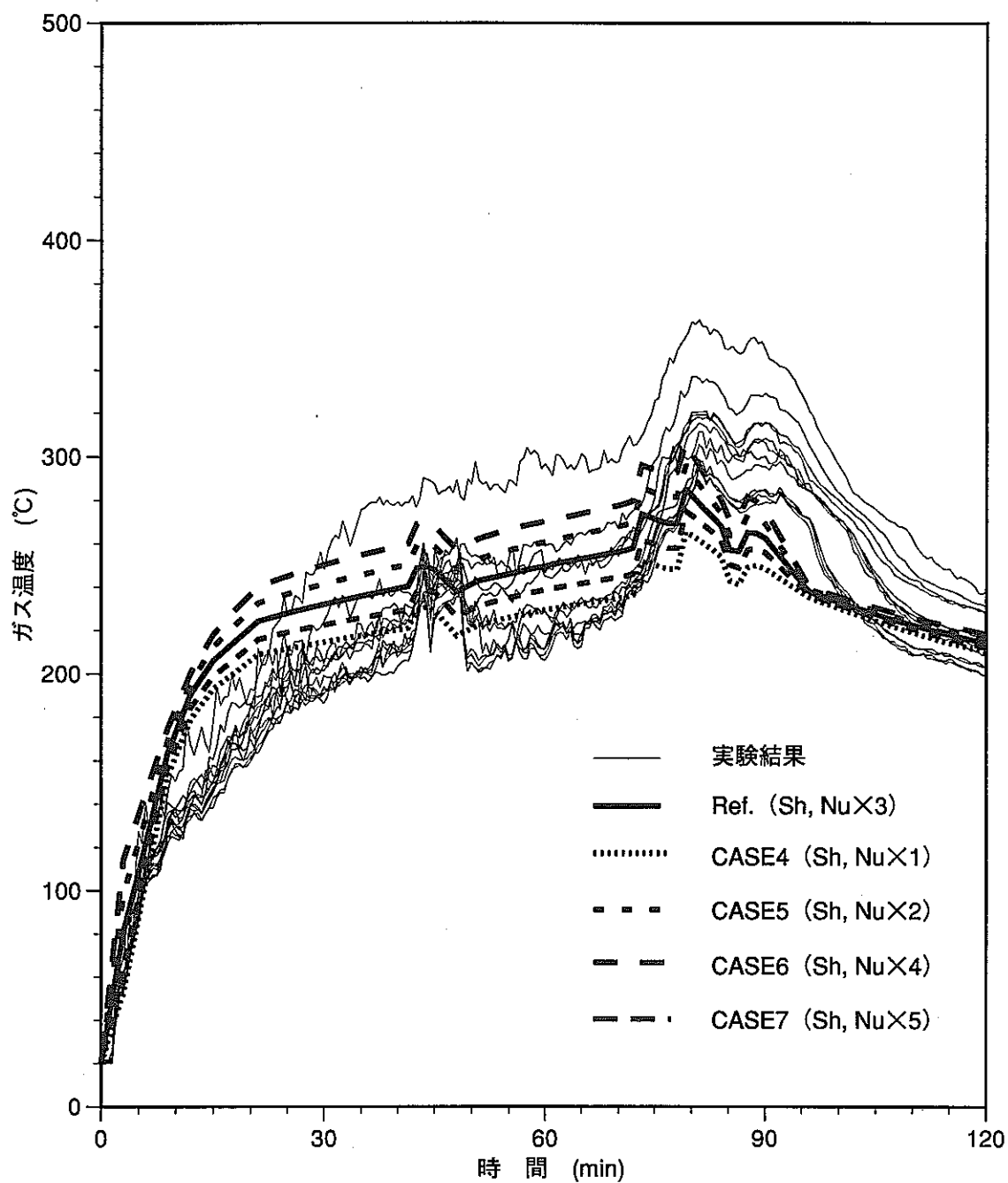
図A1-1-7 スpray液滴径をパラメータとした解析結果 (水素濃度)



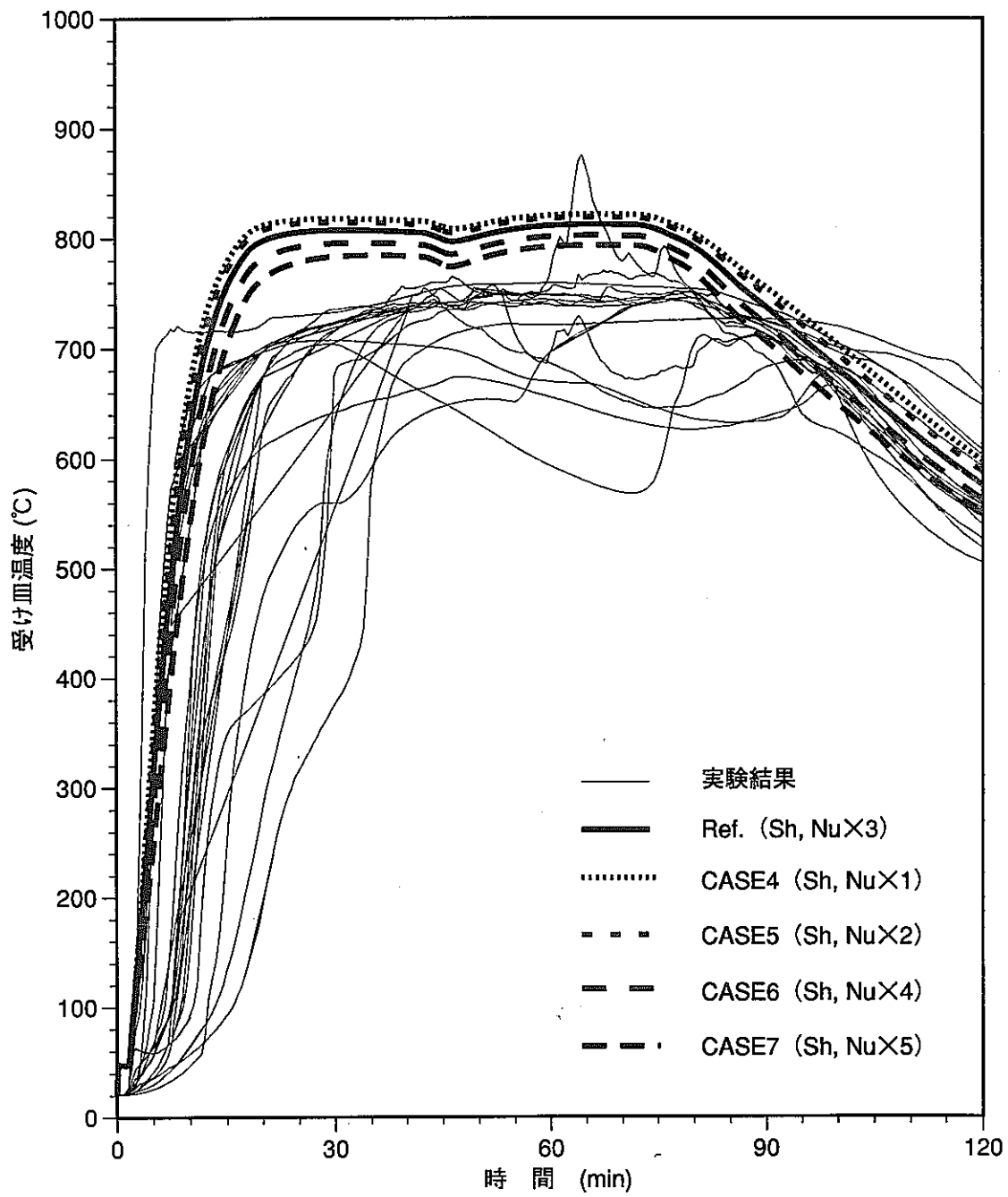
図A1-1-8 スpray液滴径をパラメータとした解析結果 (浮遊エアロゾル濃度)



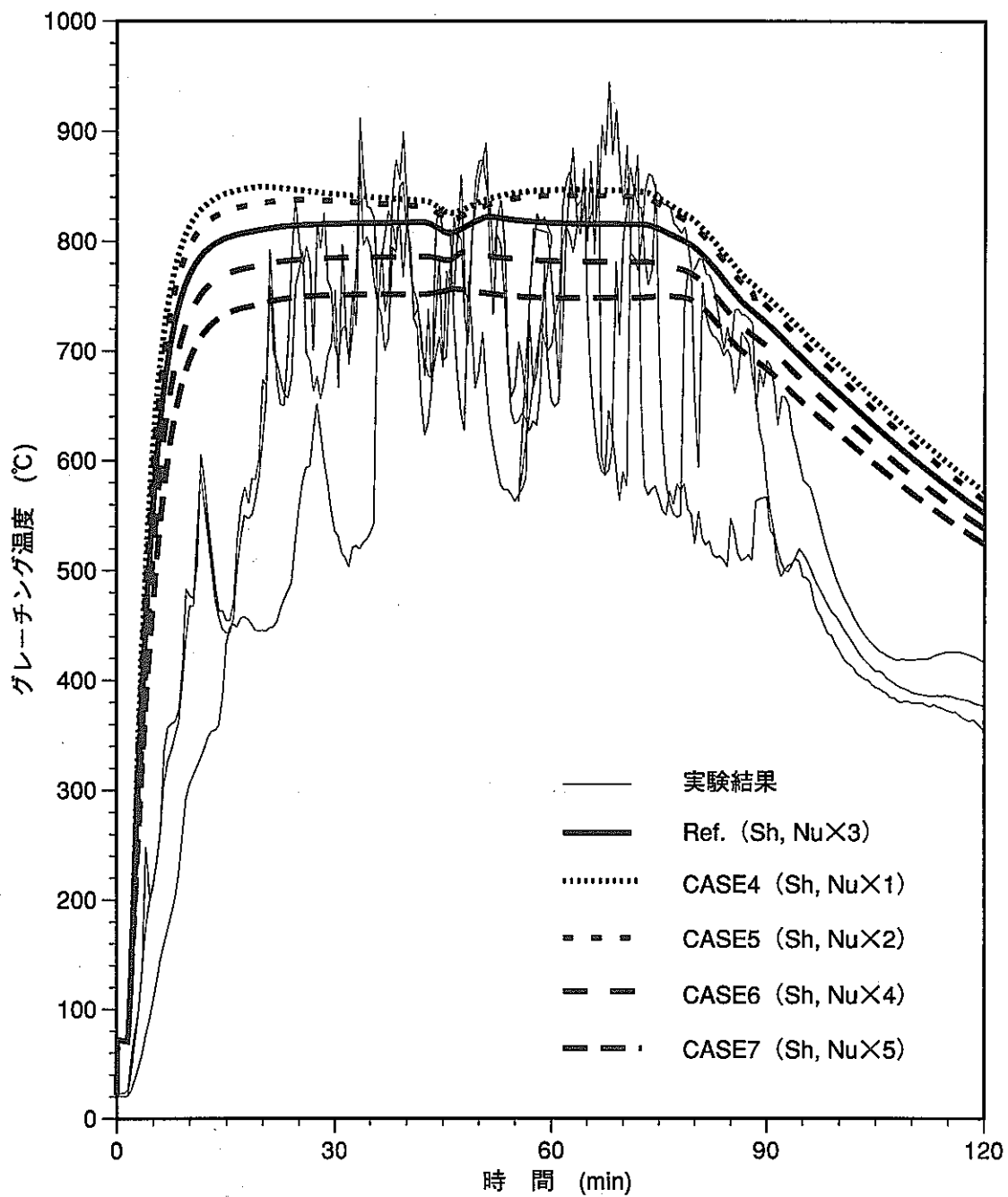
図A1-1-9 スpray液滴径をパラメータとした解析結果（プール内NaOH濃度）



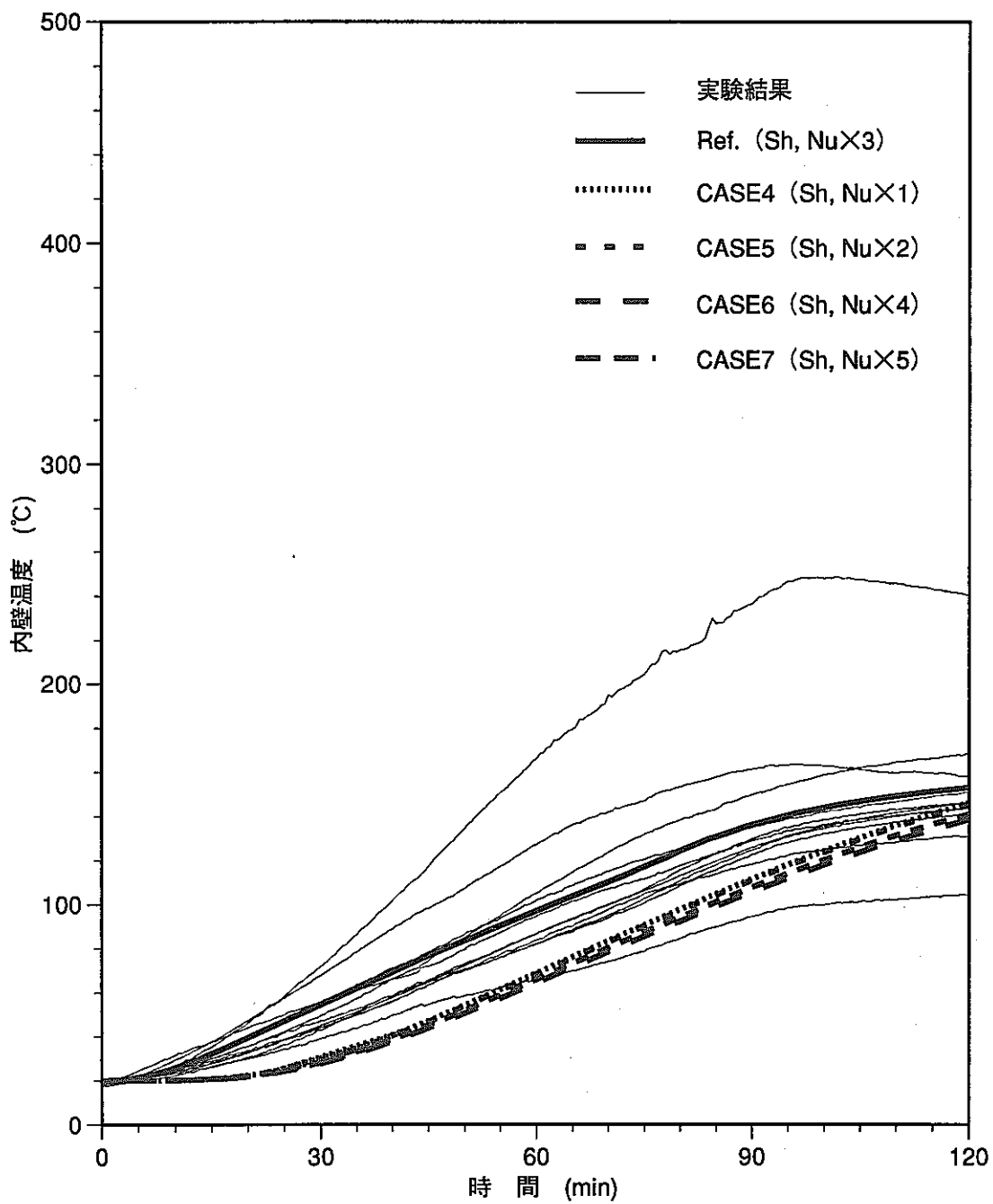
図A1-2-1 酸素供給速度と熱移行速度をパラメータとした解析結果 (ガス温度)



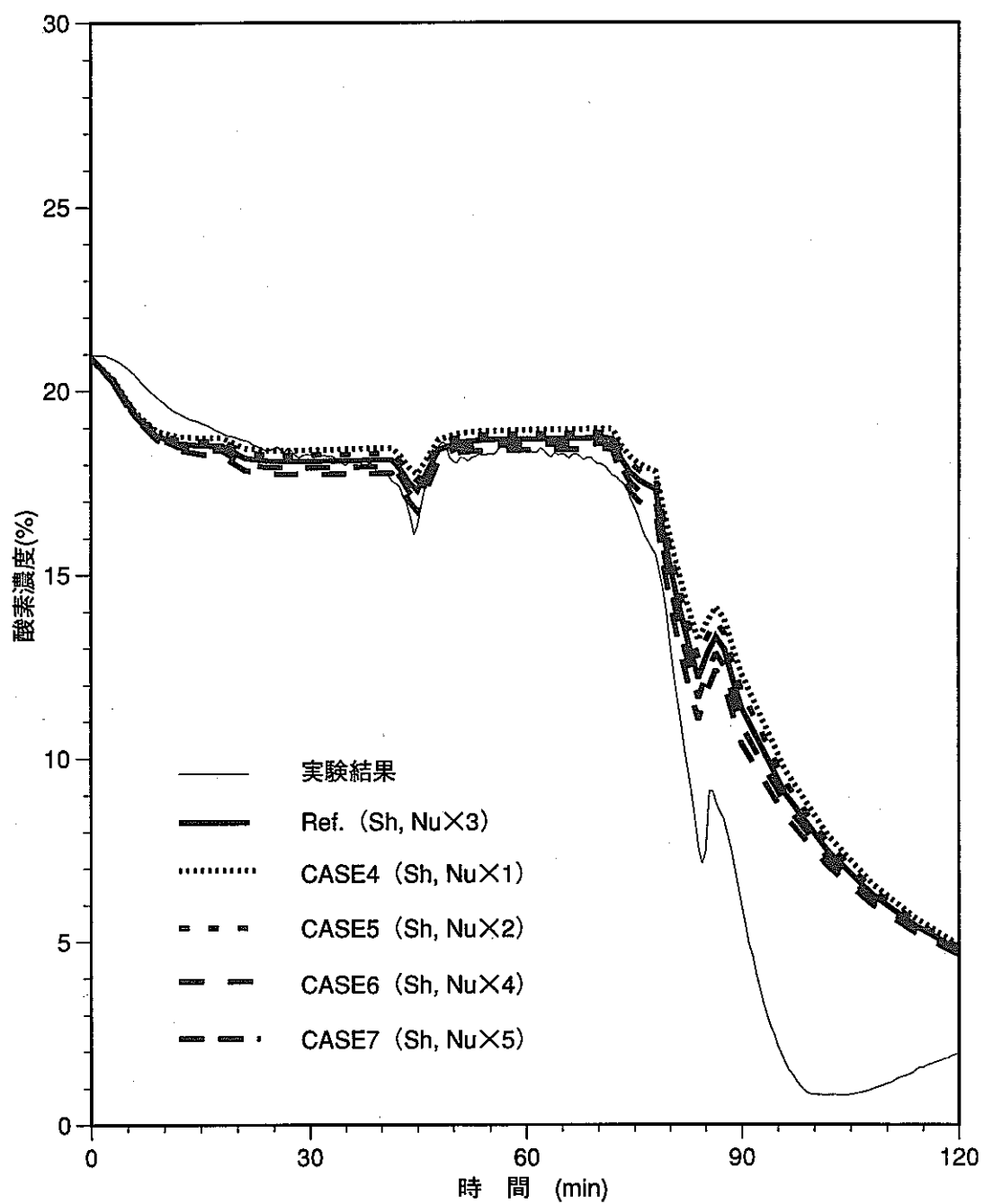
図A1-2-2 酸素供給速度と熱移行速度をパラメータとした解析結果 (受皿温度)



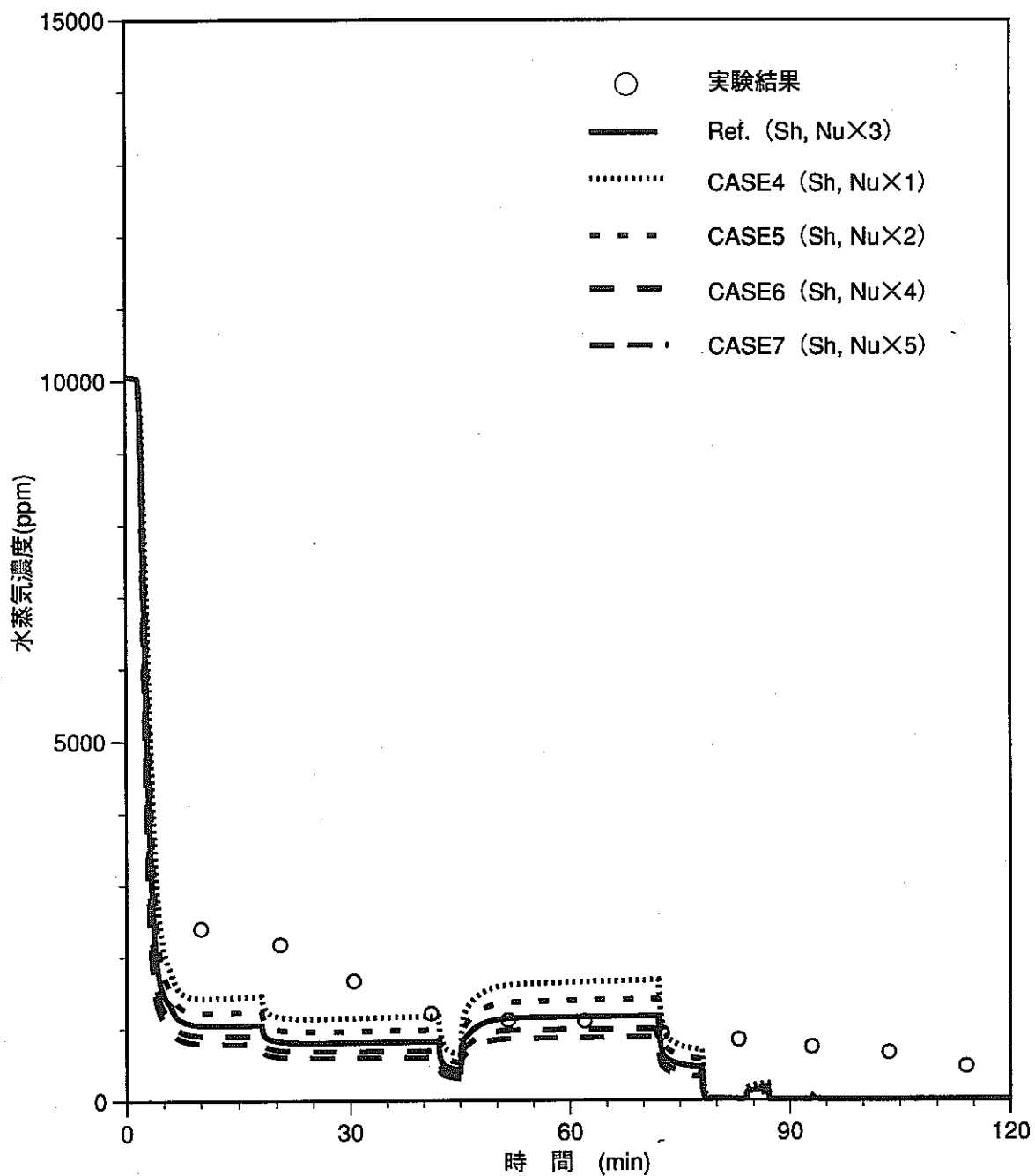
図A1-2-3 酸素供給速度と熱移行速度をパラメータとした
解析結果 (グレーチング温度)



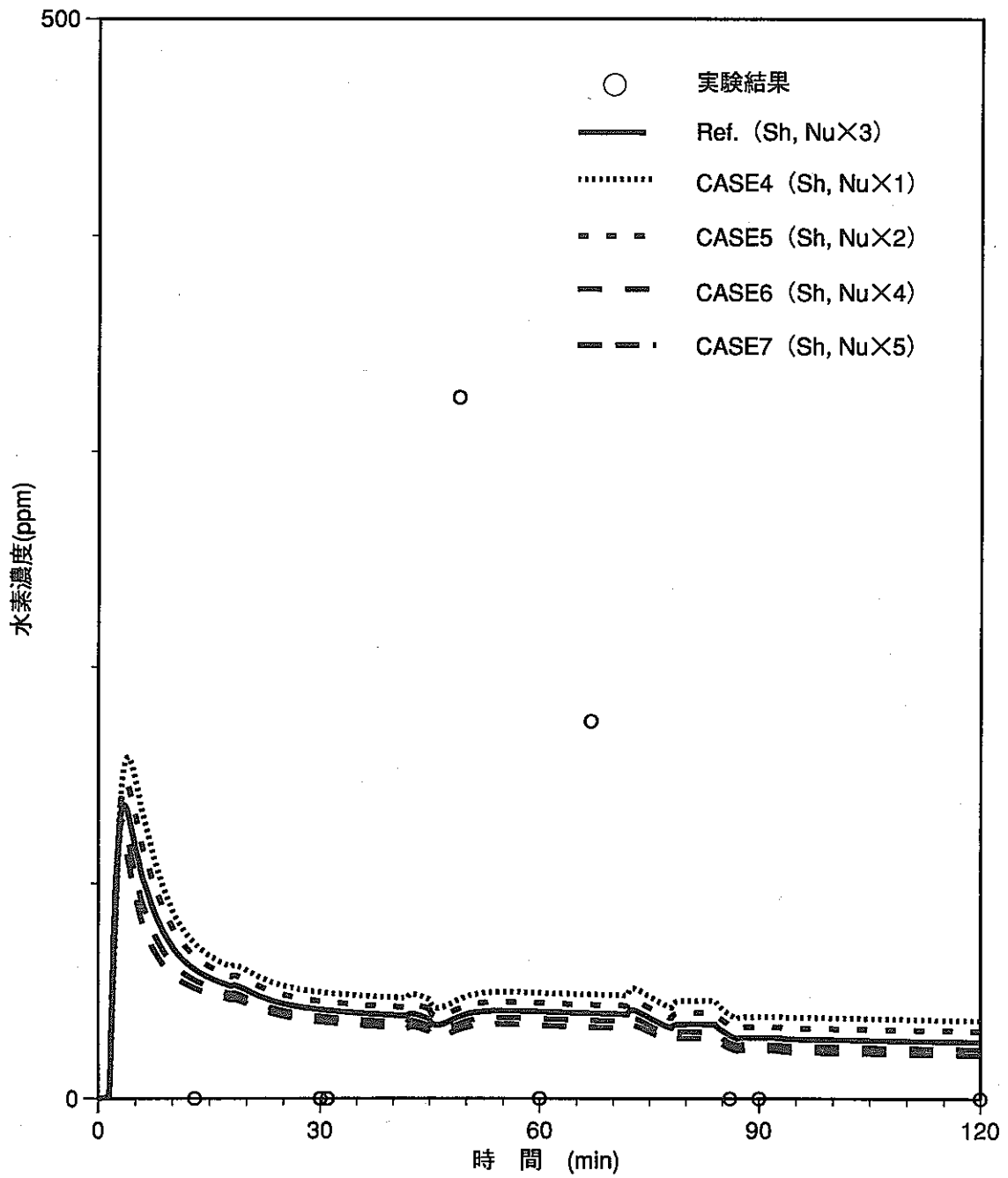
図A1-2-4 酸素供給速度と熱移行速度をパラメータとした解析結果 (内壁温度)



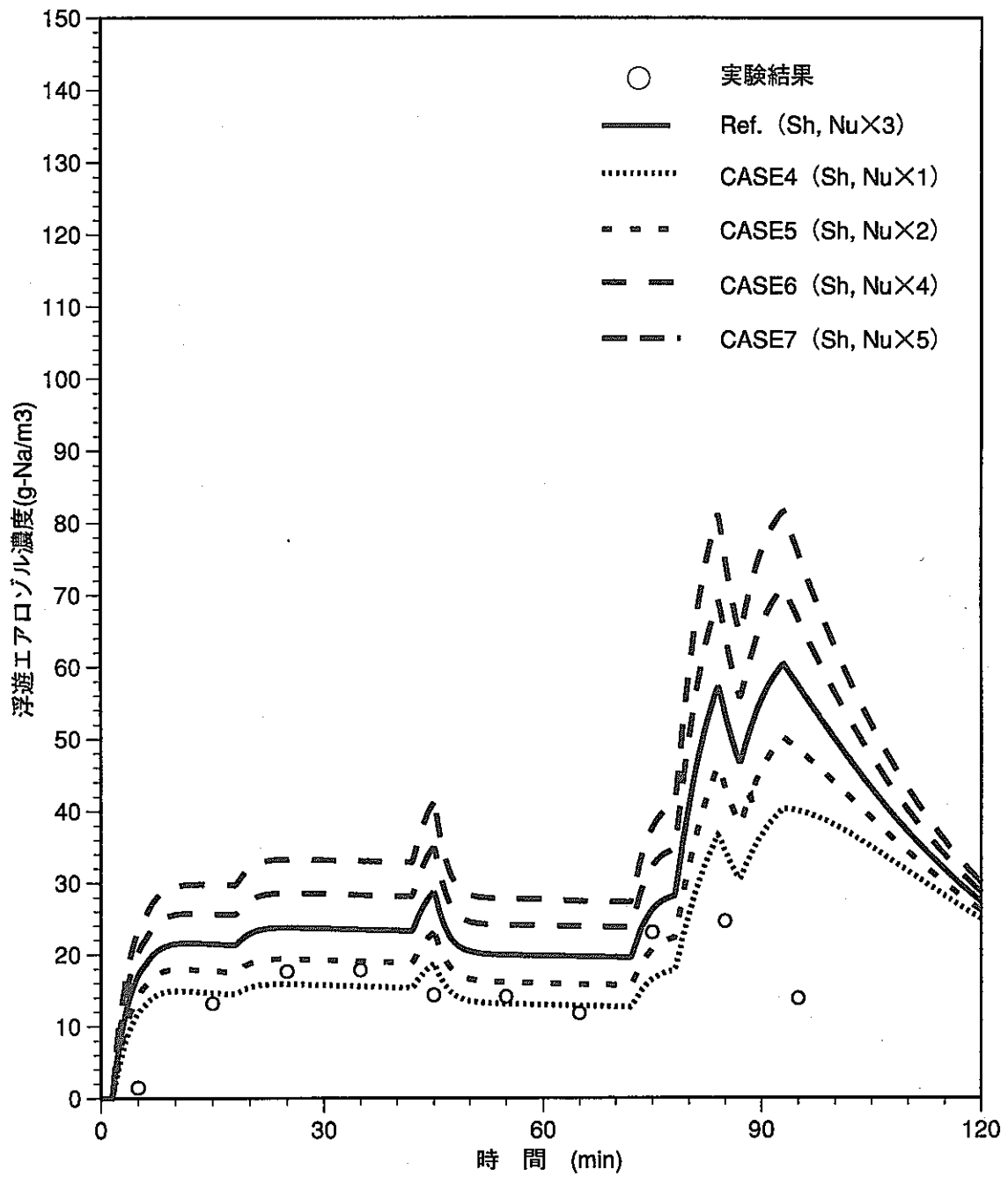
図A1-2-5 酸素供給速度と熱移行速度をパラメータとした解析結果（酸素濃度）



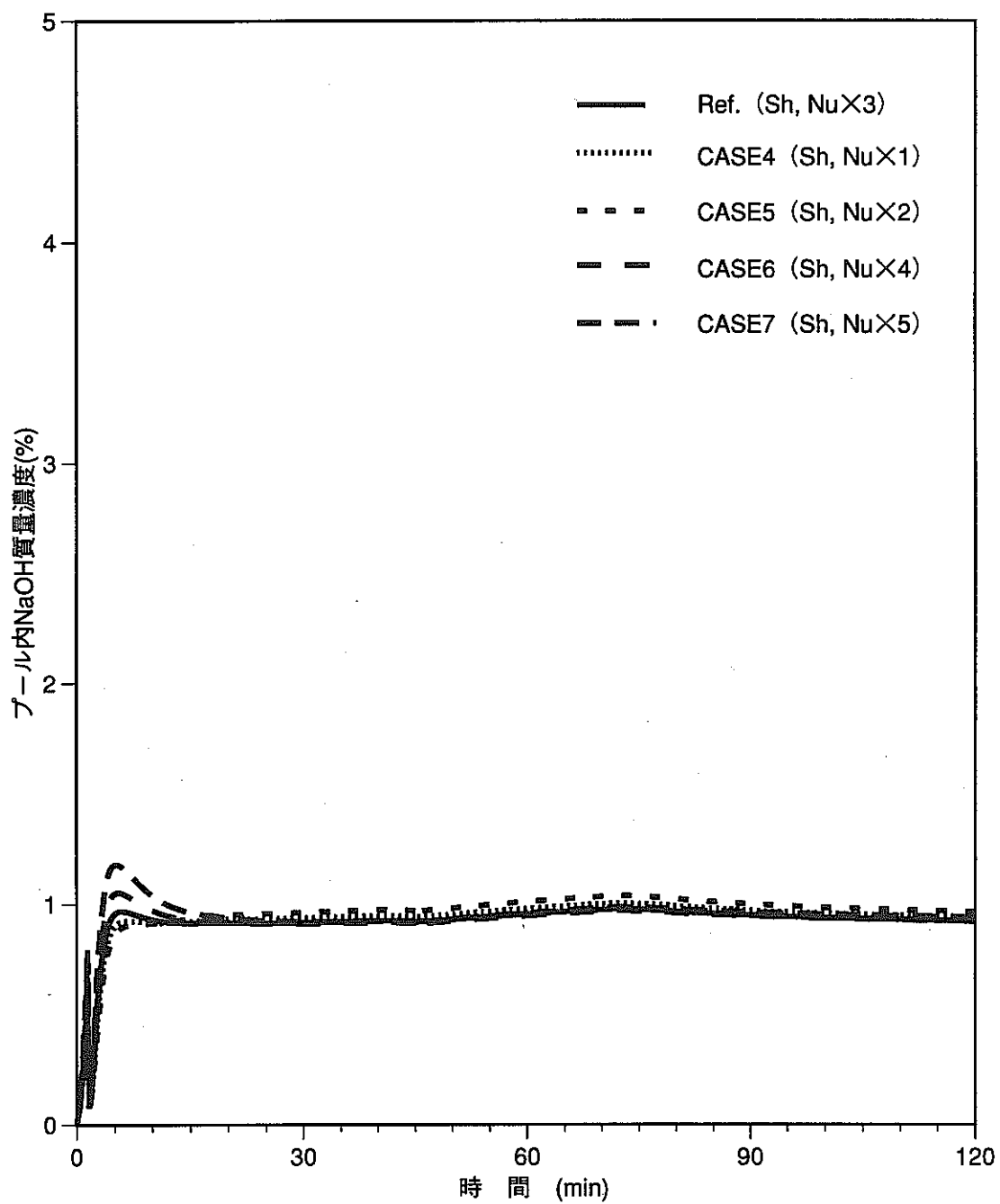
図A1-2-6 酸素供給速度と熱移行速度をパラメータとした解析結果 (水蒸気濃度)



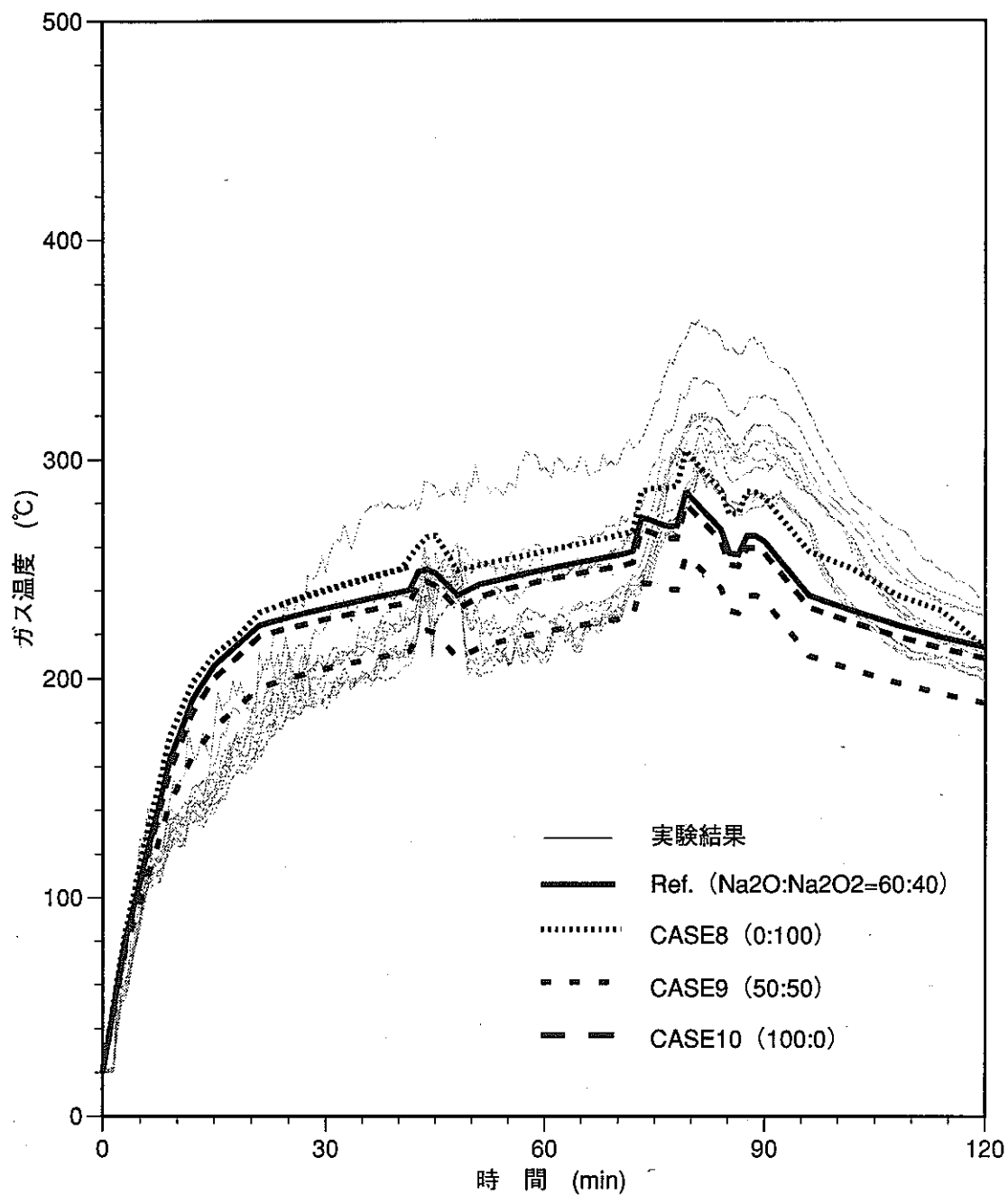
図A1-2-7 酸素供給速度と熱移行速度をパラメータとした解析結果（水素濃度）



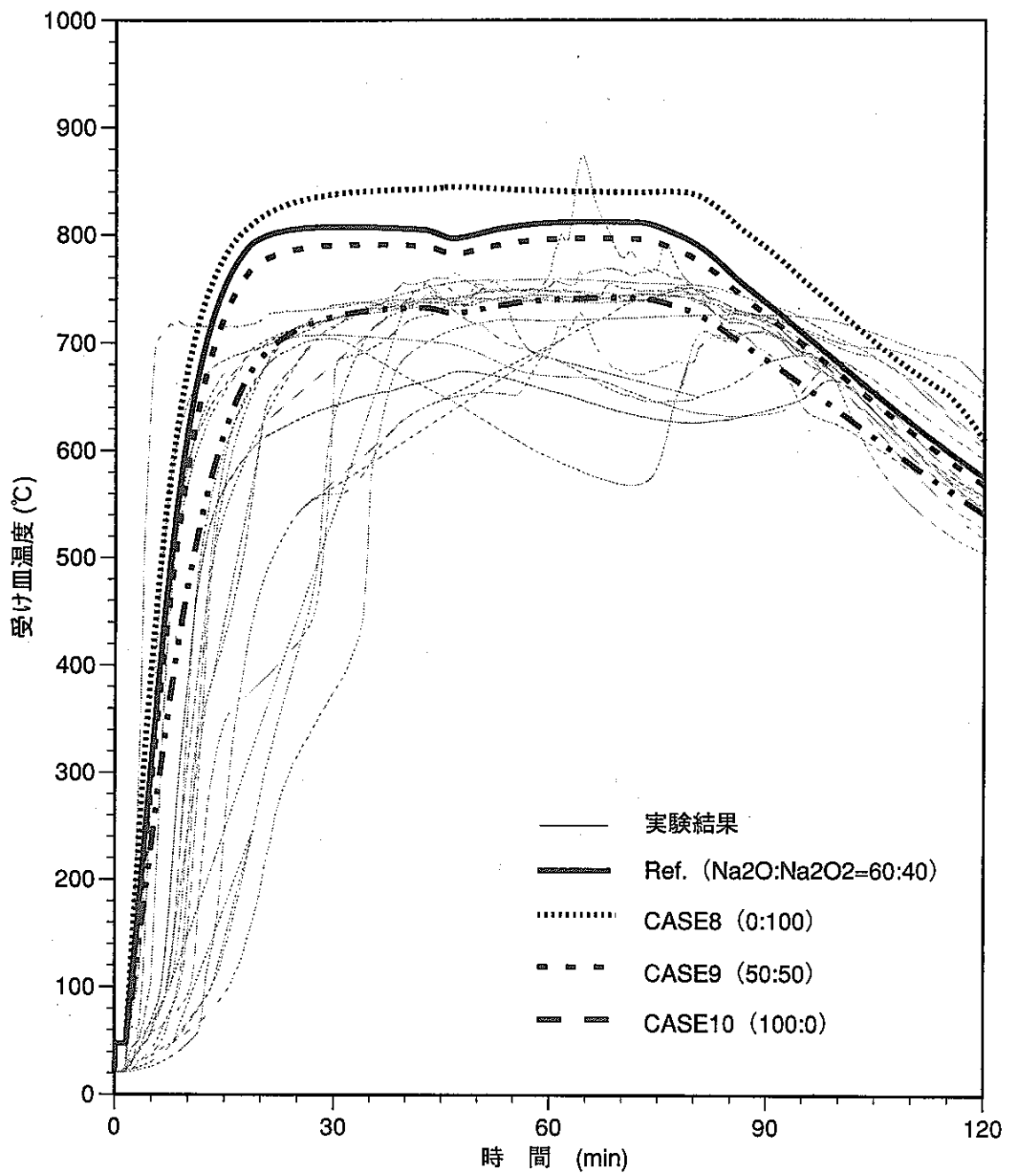
図A1-2-8 酸素供給速度と熱移行速度をパラメータとした解析結果 (エアロゾル濃度)



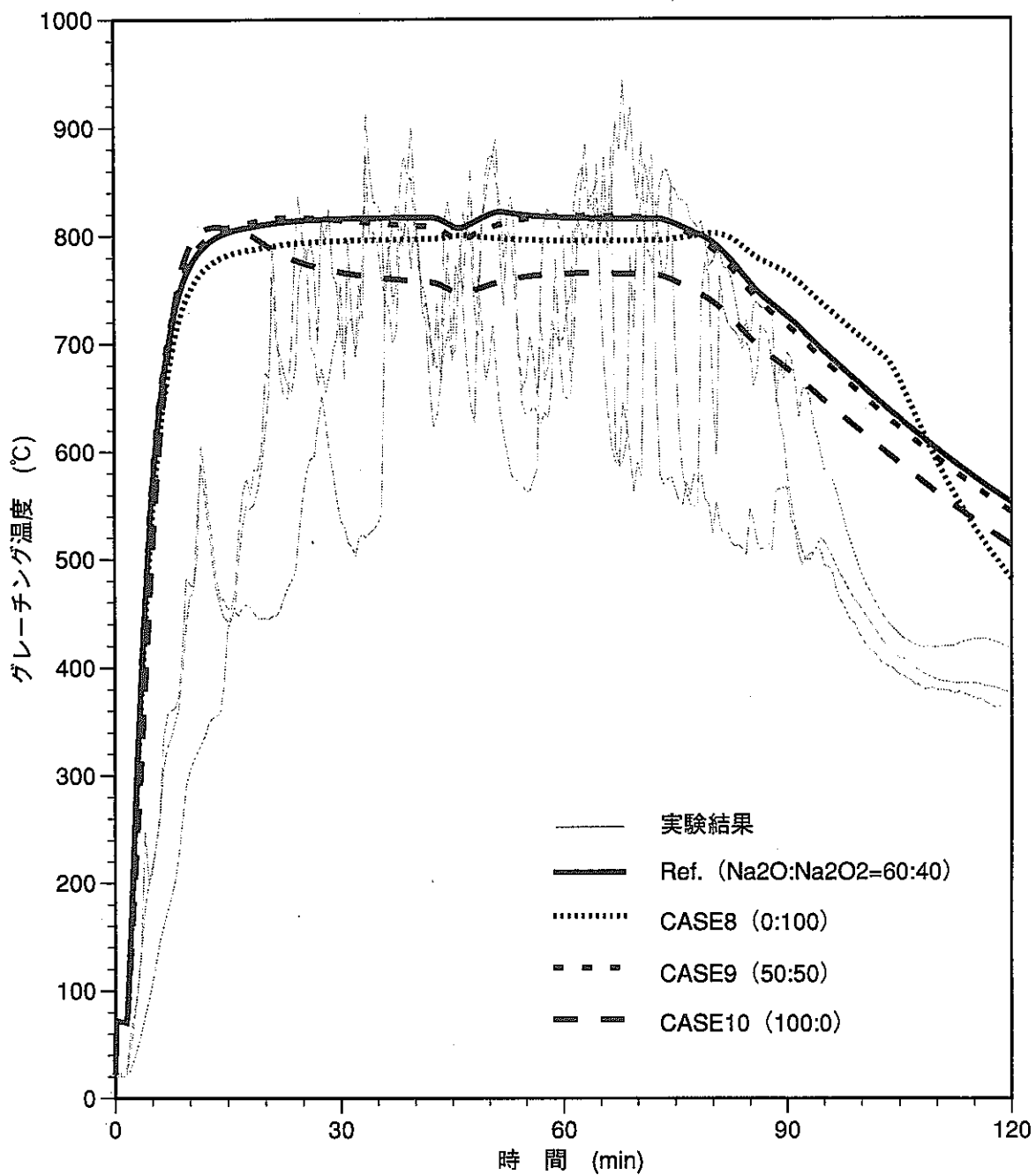
図A1-2-9 酸素供給速度と熱移行速度をパラメータとした解析結果（プール内NaOH濃度）



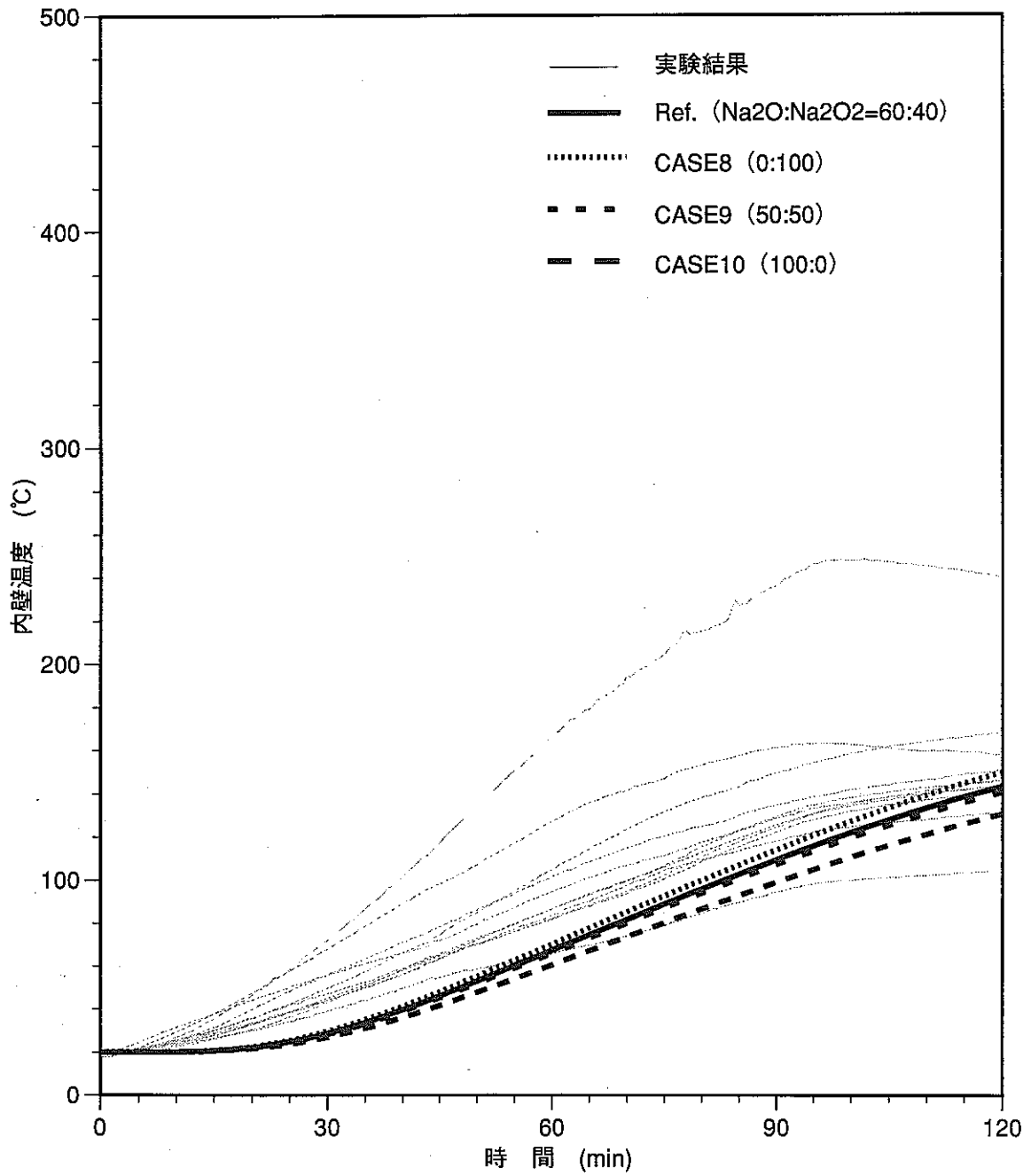
図A1-3-1 反応生成物組成をパラメータとした解析結果 (ガス温度)



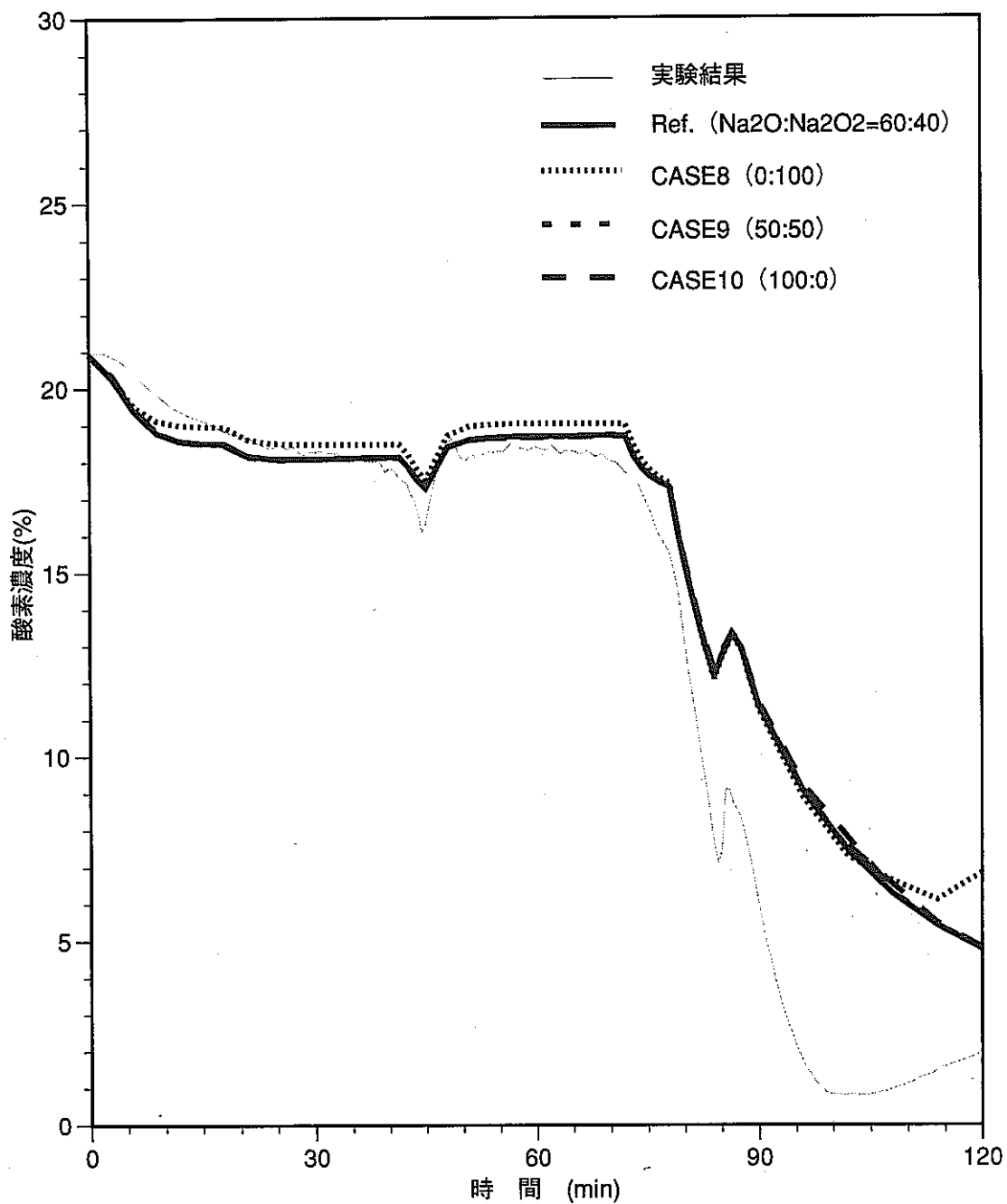
図A1-3-2 反応生成物組成をパラメータとした解析結果 (受皿温度)



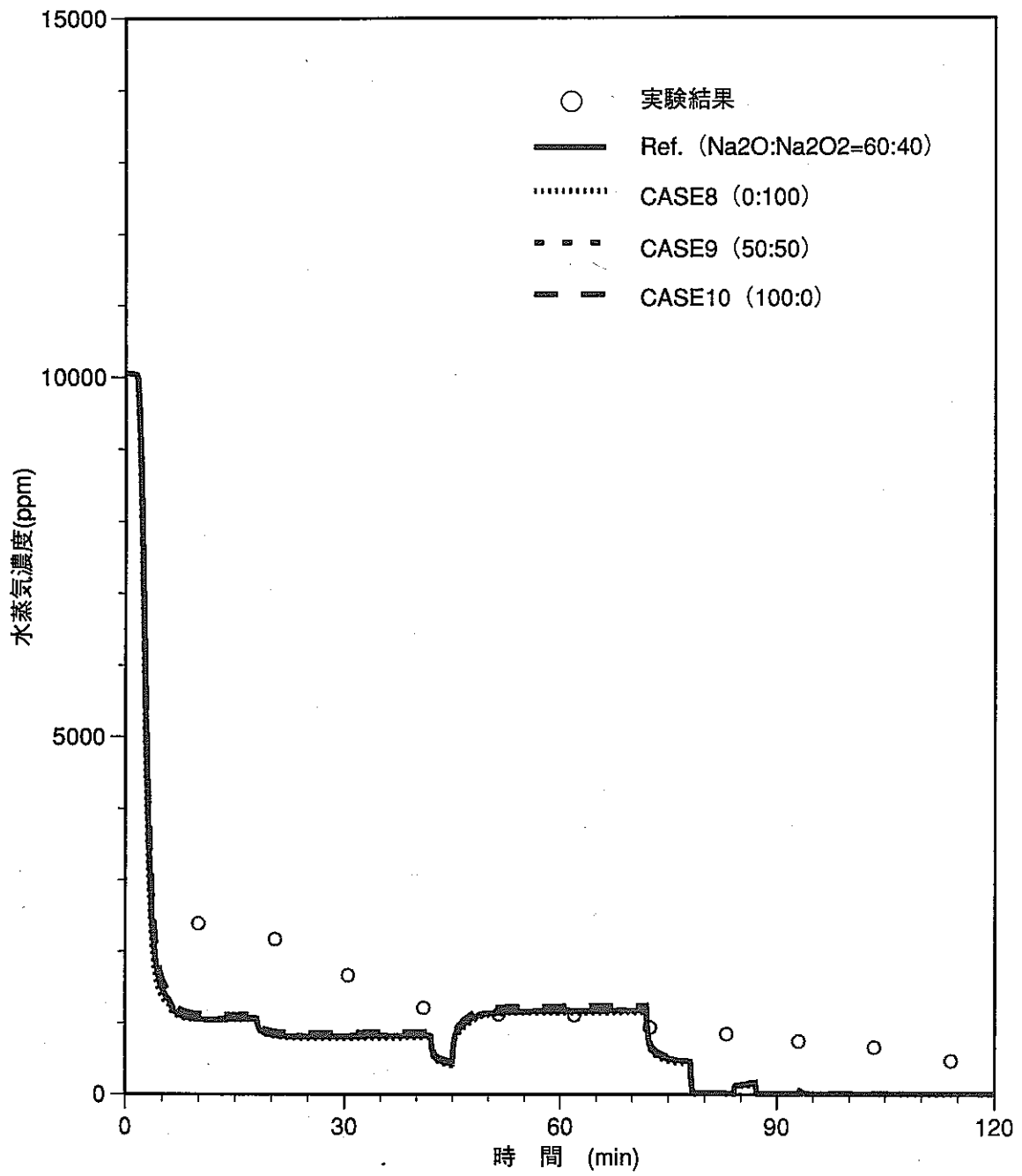
図A1-3-3 反応生成物組成をパラメータとした解析結果 (グレーチング温度)



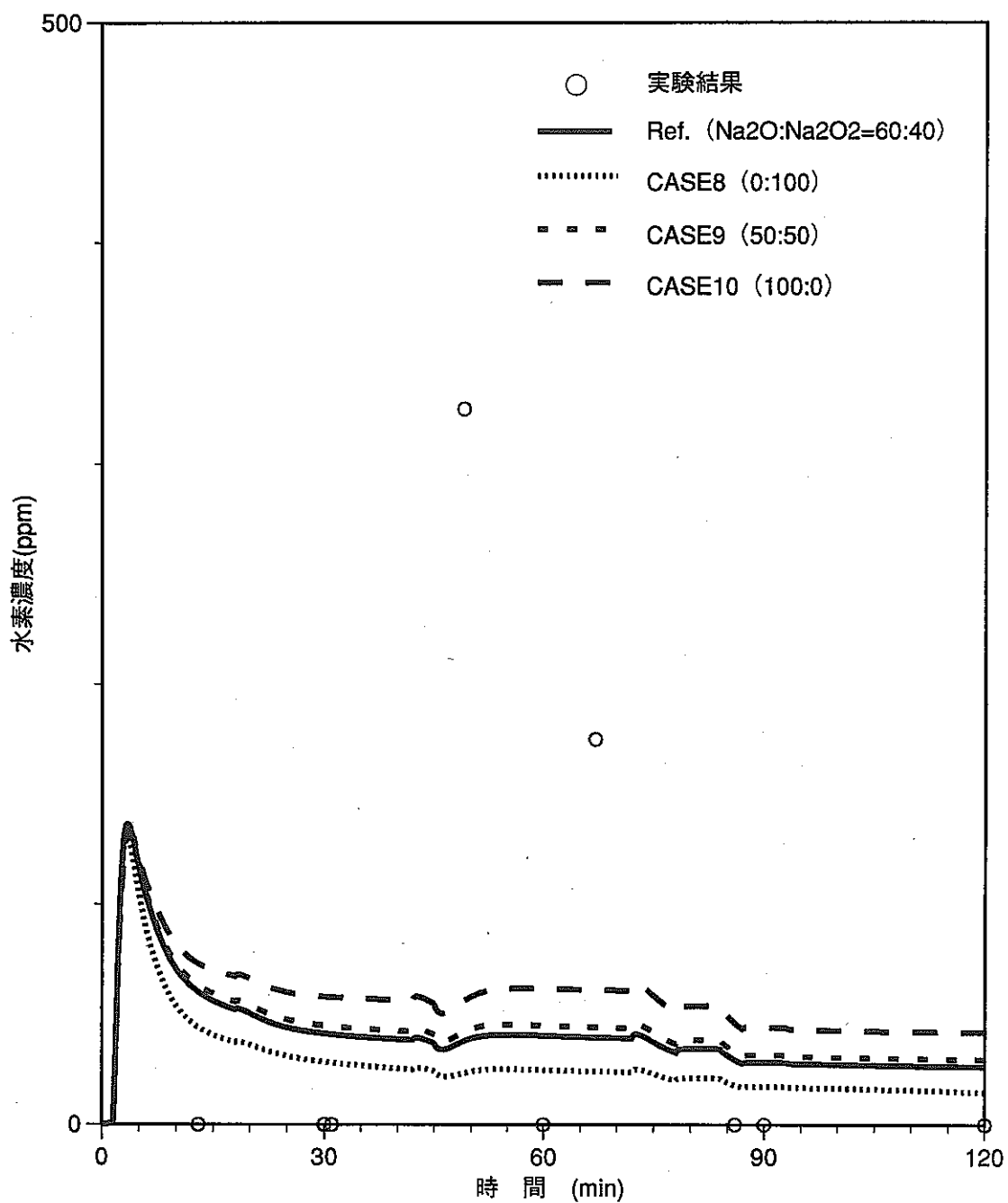
図A1-3-4 反応生成物組成をパラメータとした解析結果（内壁温度）



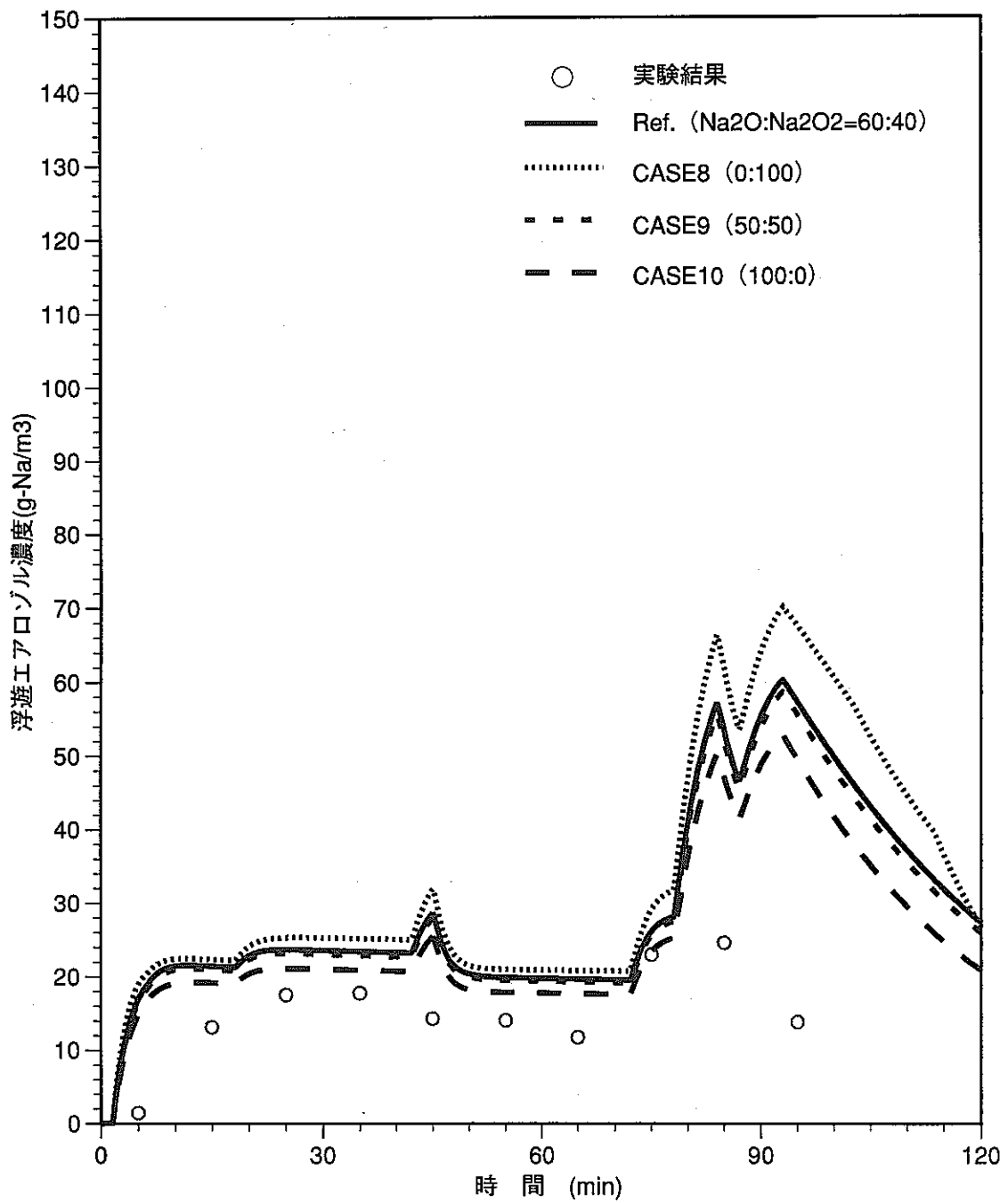
図A1-3-5 反応生成物組成をパラメータとした解析結果 (酸素濃度)



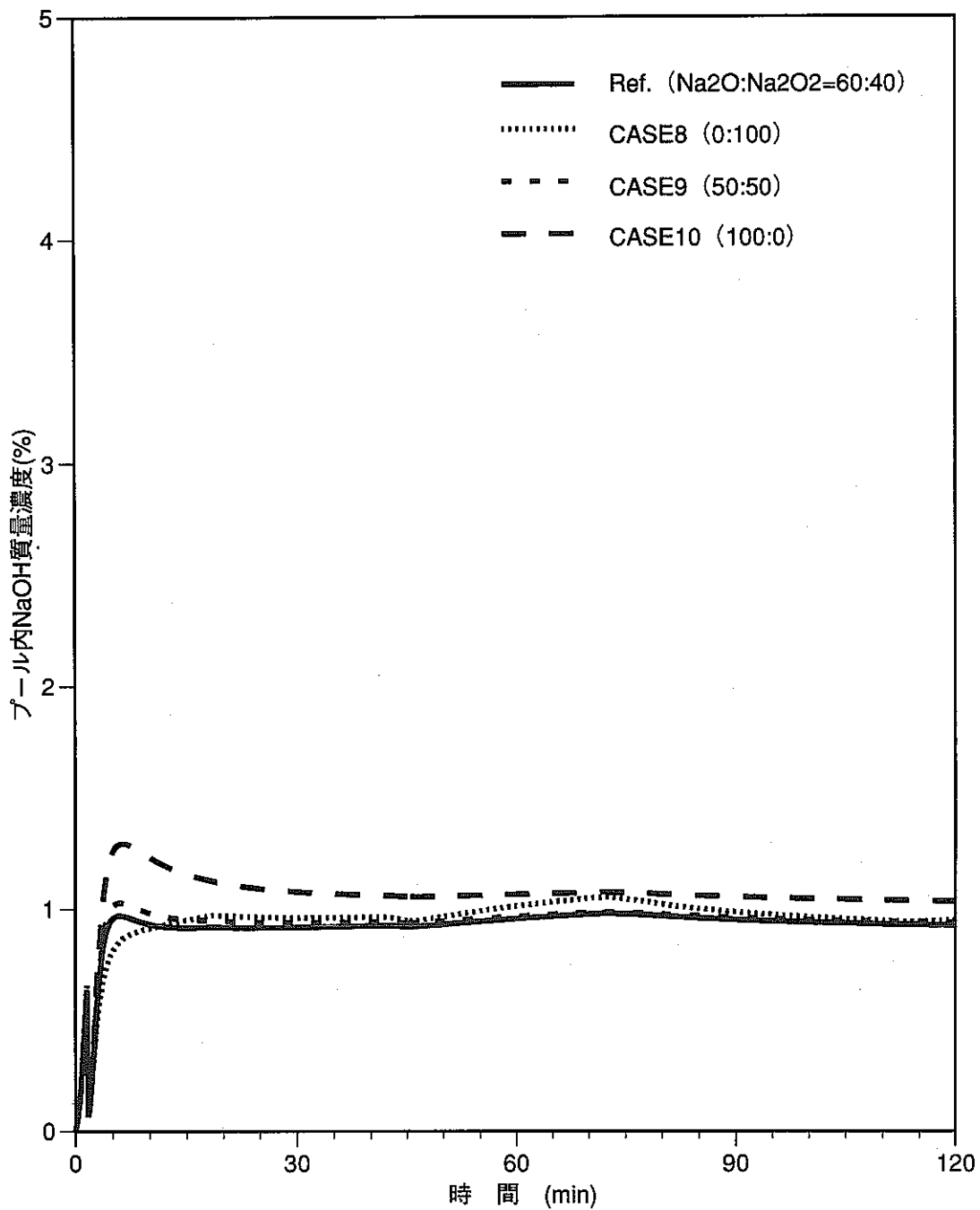
図A1-3-6 反応生成物組成をパラメータとした解析結果 (水蒸気濃度)



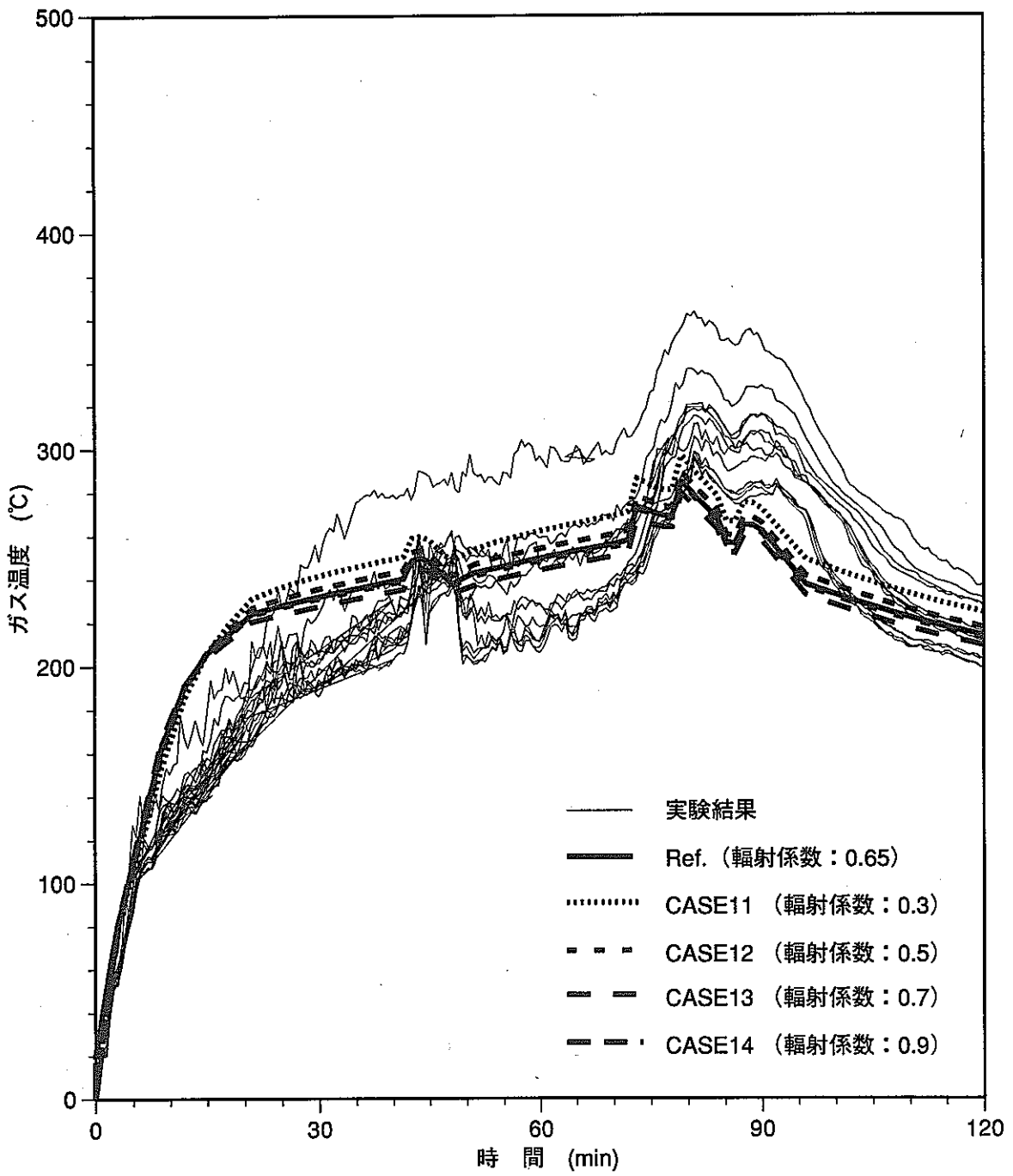
図A1-3-7 反応生成物組成をパラメータとした解析結果（水素濃度）



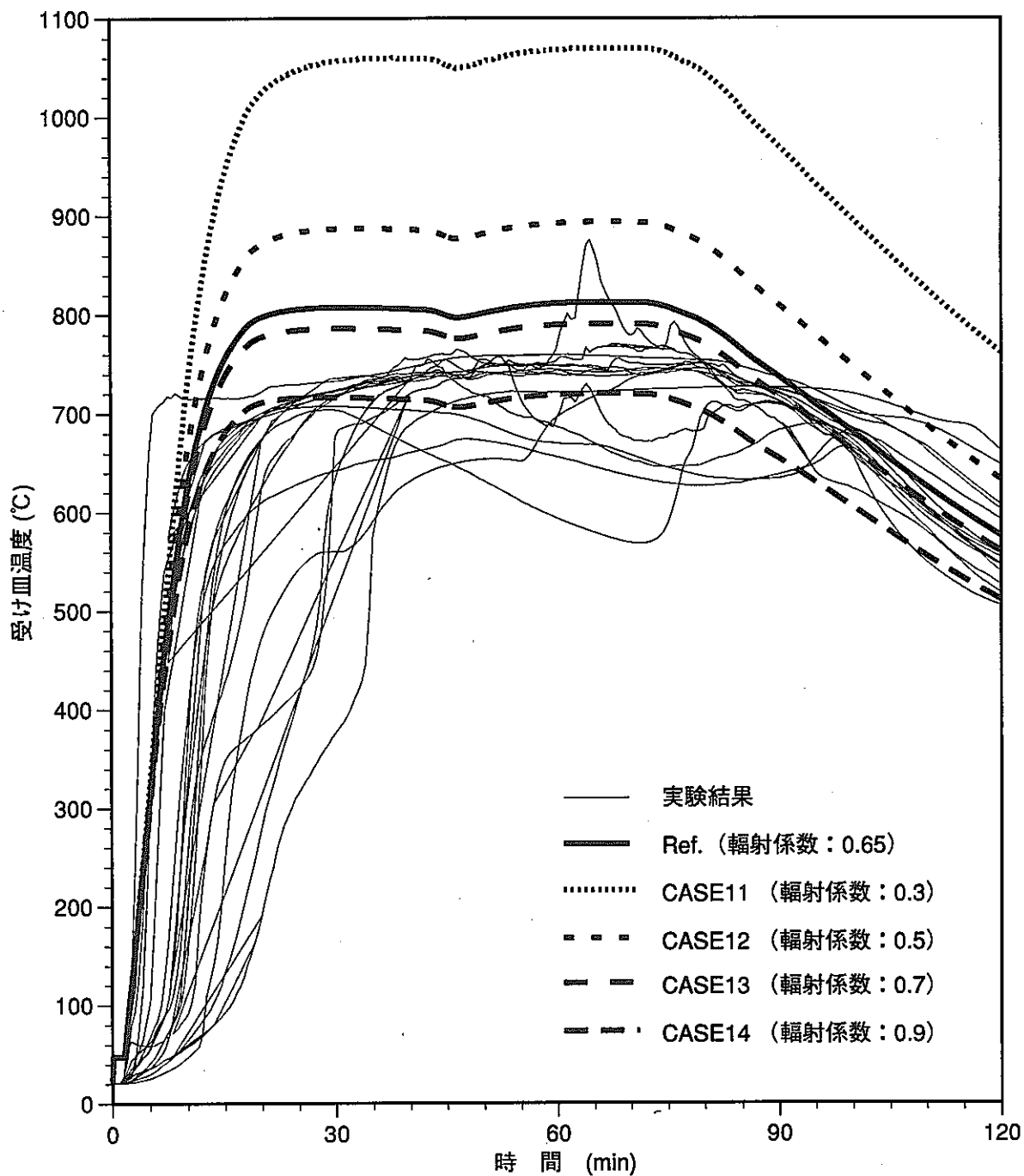
図A1-3-8 反応生成物組成をパラメータとした解析結果 (エアロゾル濃度)



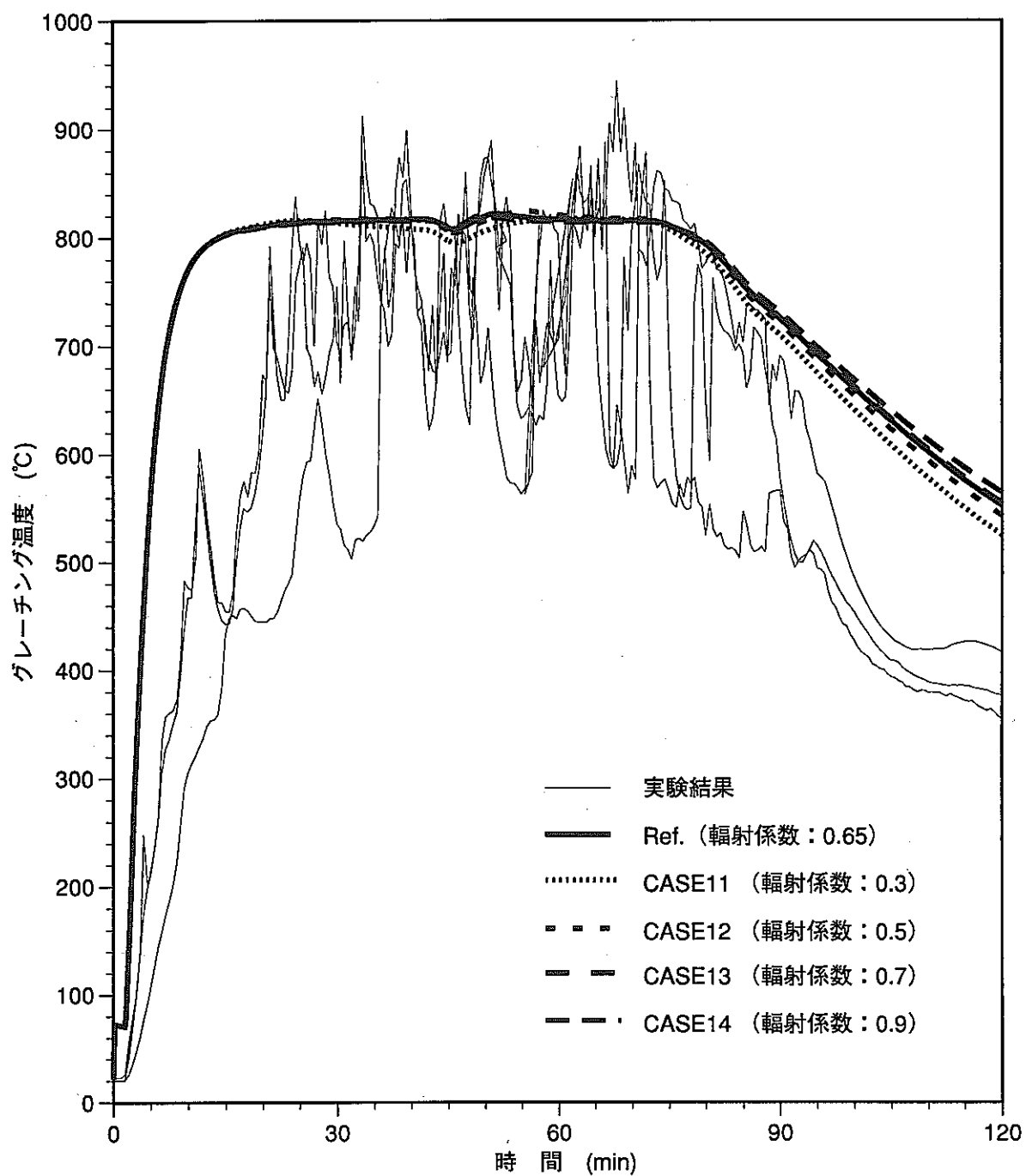
図A1-3-9 反応生成物組成をパラメータとした解析結果（プール内NaOH濃度）



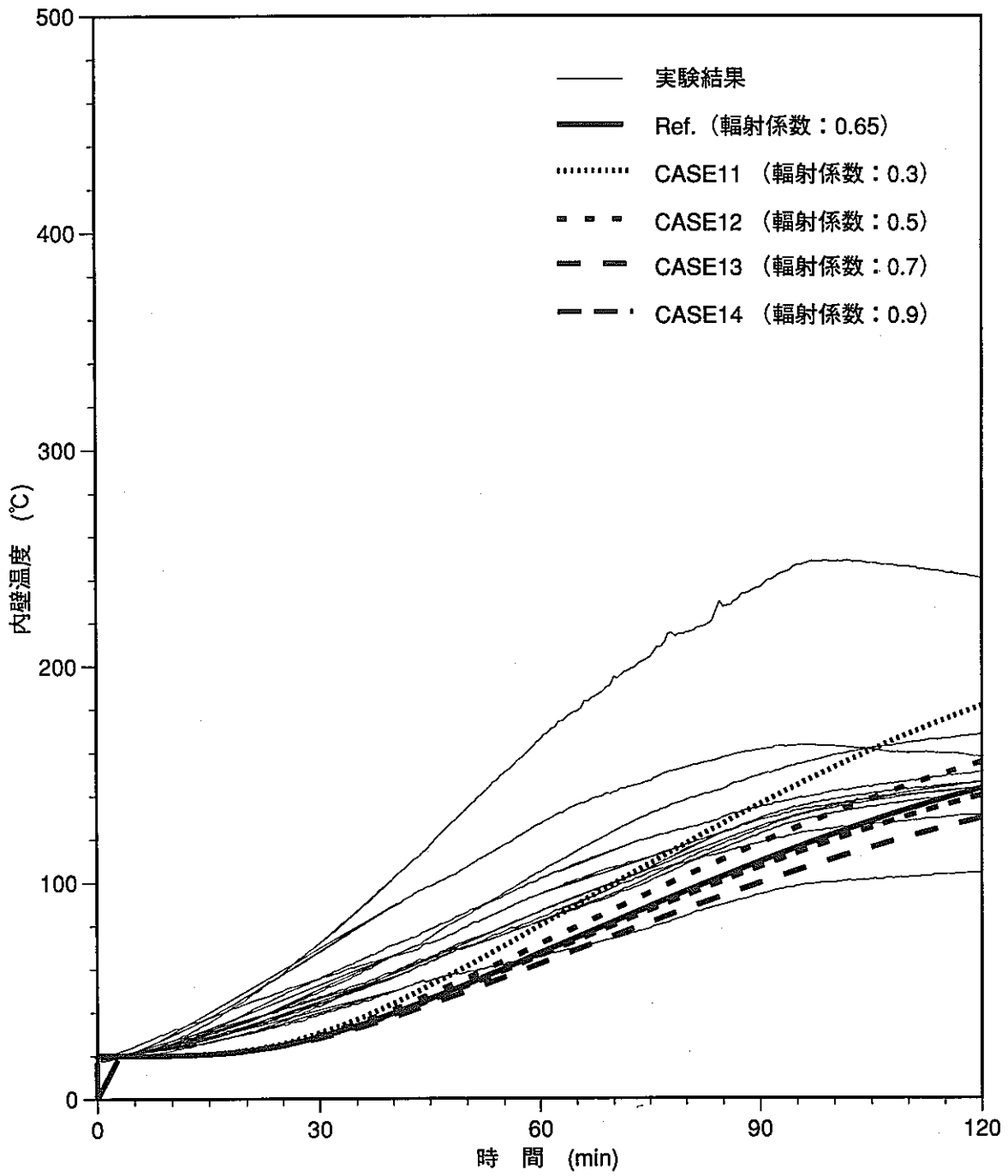
図A1-4-1 輻射係数をパラメータとした解析結果（ガス温度）



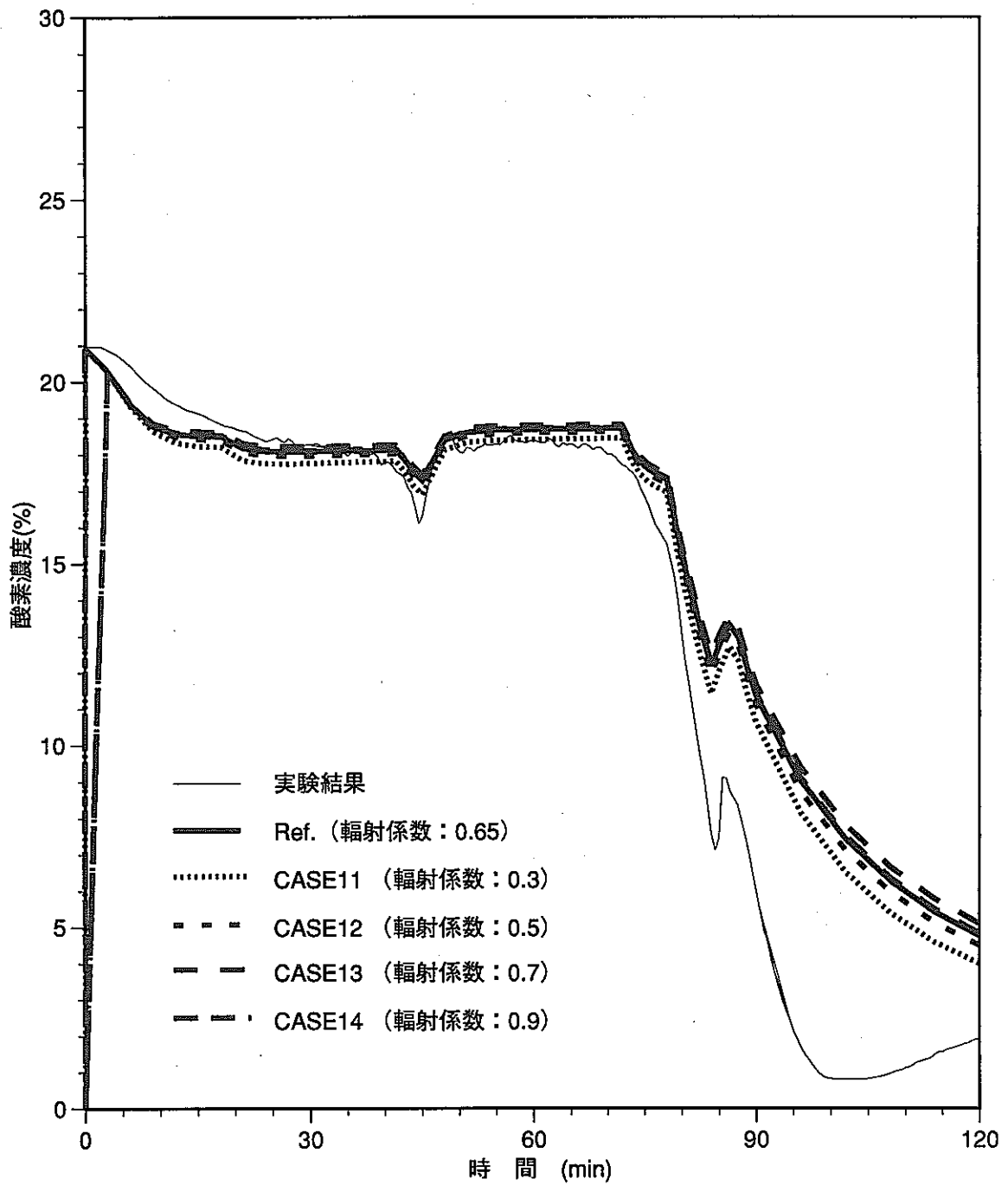
図A1-4-2 輻射係数をパラメータとした解析結果 (受皿温度)



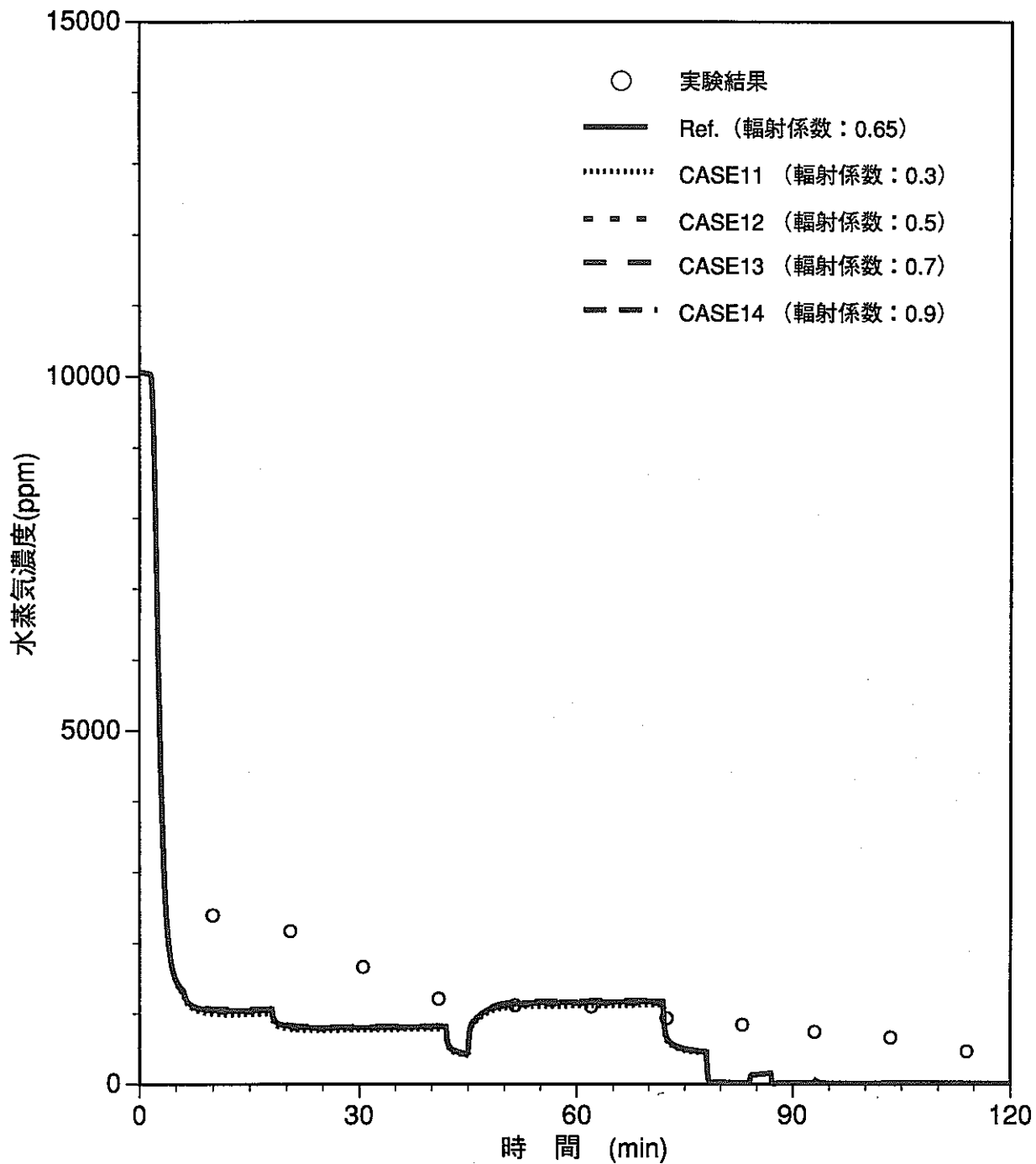
図A1-4-3 輻射係数をパラメータとした解析結果 (グレーチング温度)



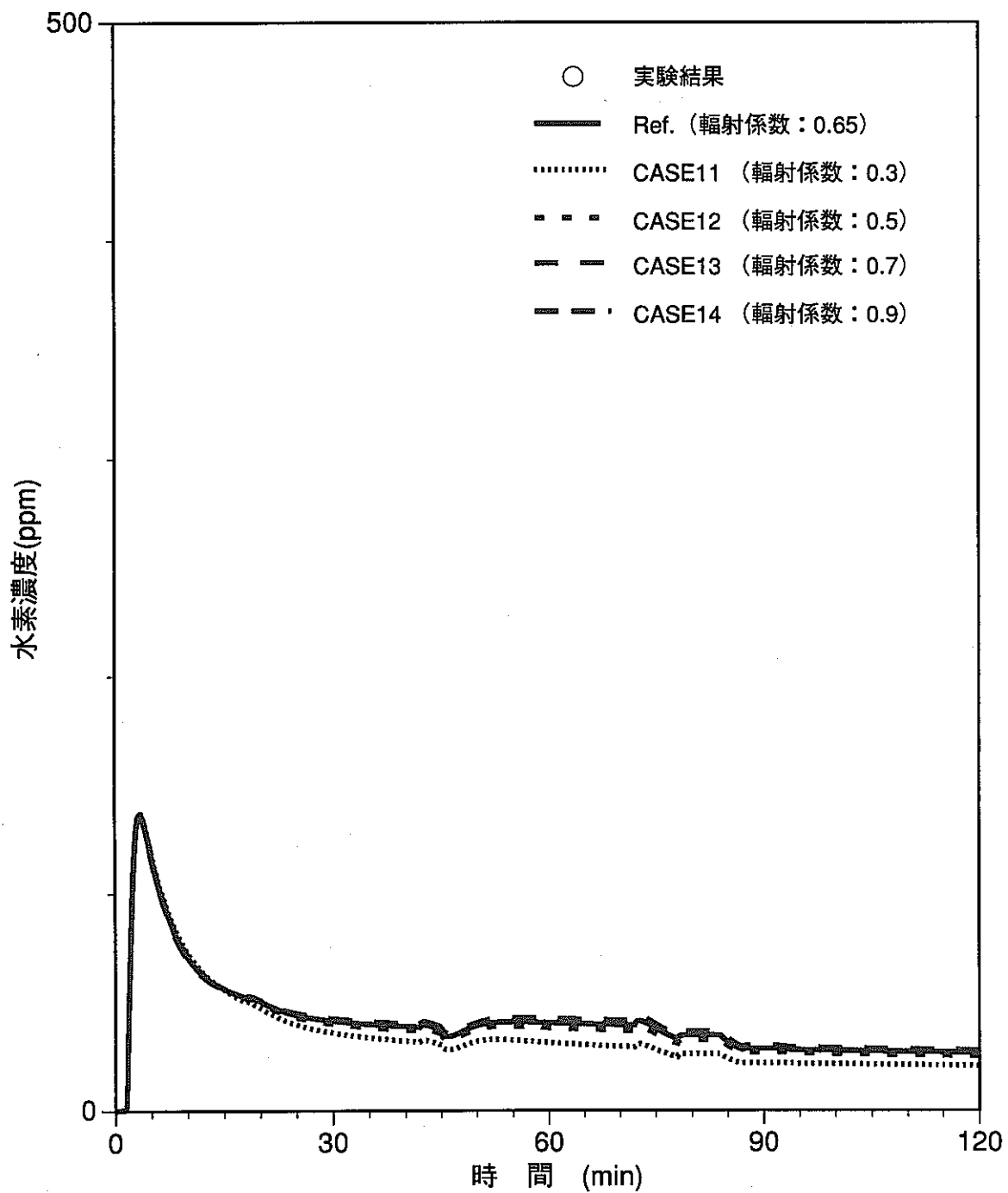
図A1-4-4 輻射係数をパラメータとした解析結果 (内壁温度)



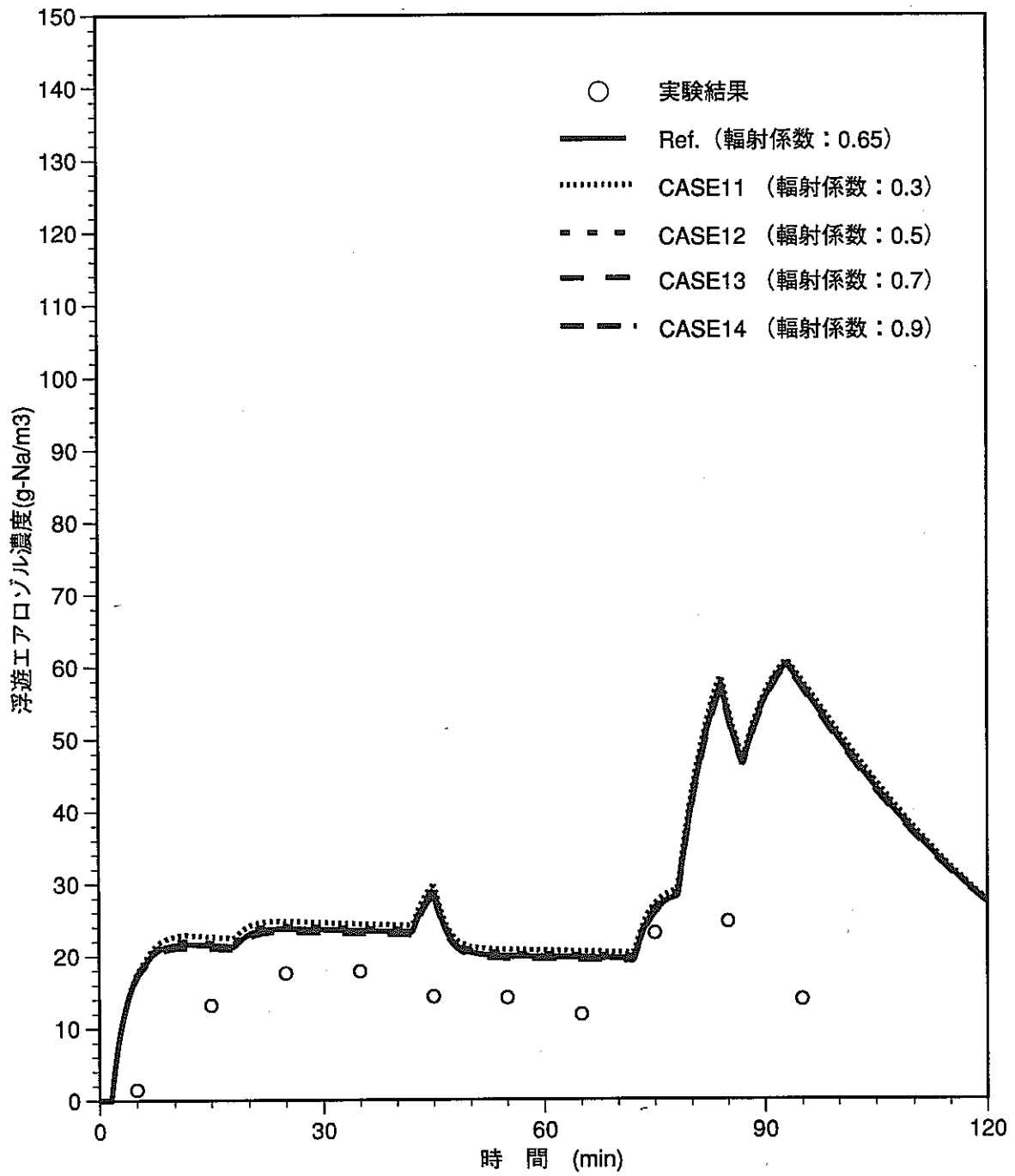
図A1-4-5 輻射係数をパラメータとした解析結果 (酸素濃度)



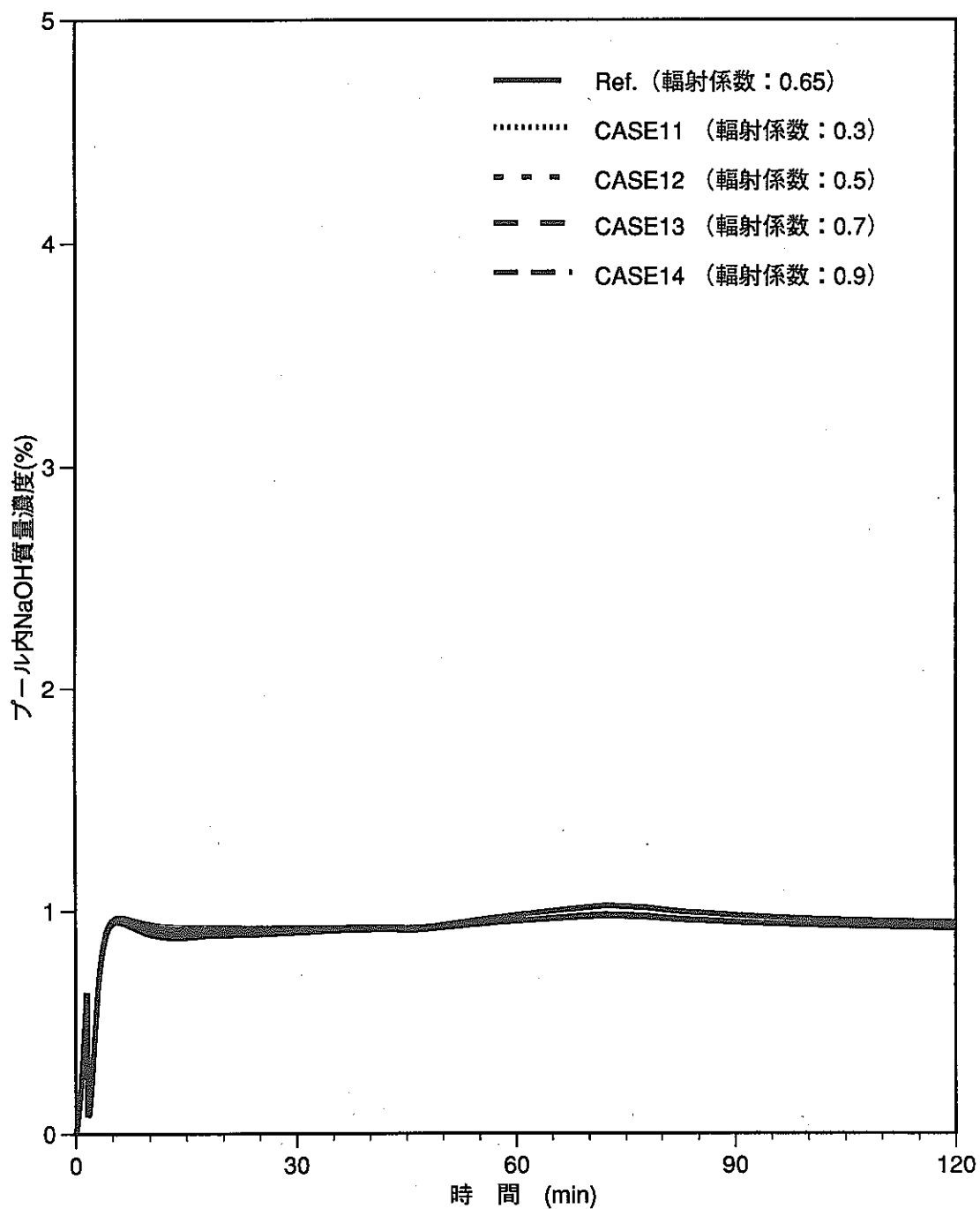
図A1-4-6 輻射係数をパラメータとした解析結果 (水蒸気濃度)



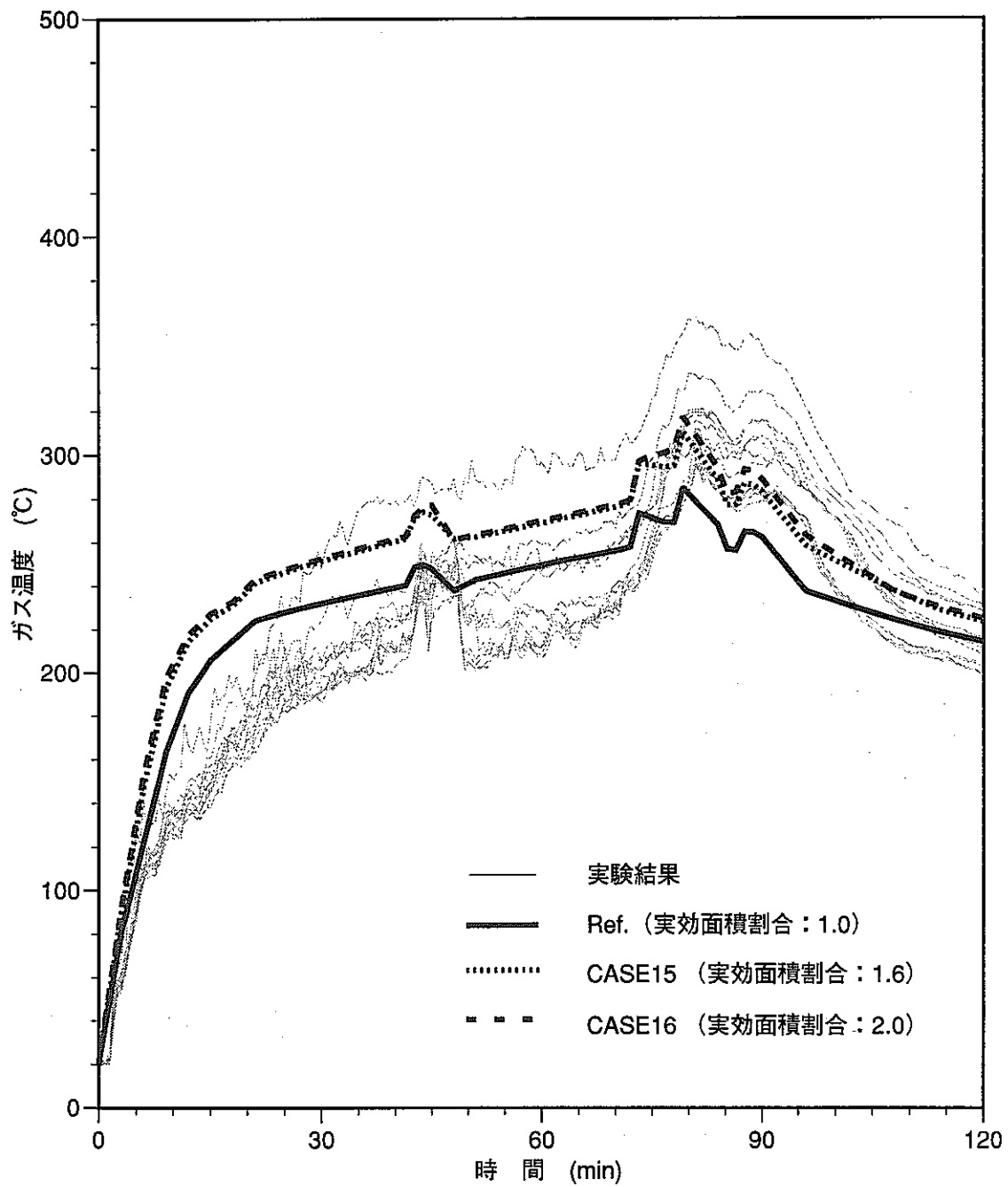
図A1-4-7 輻射係数をパラメータとした解析結果 (水素濃度)



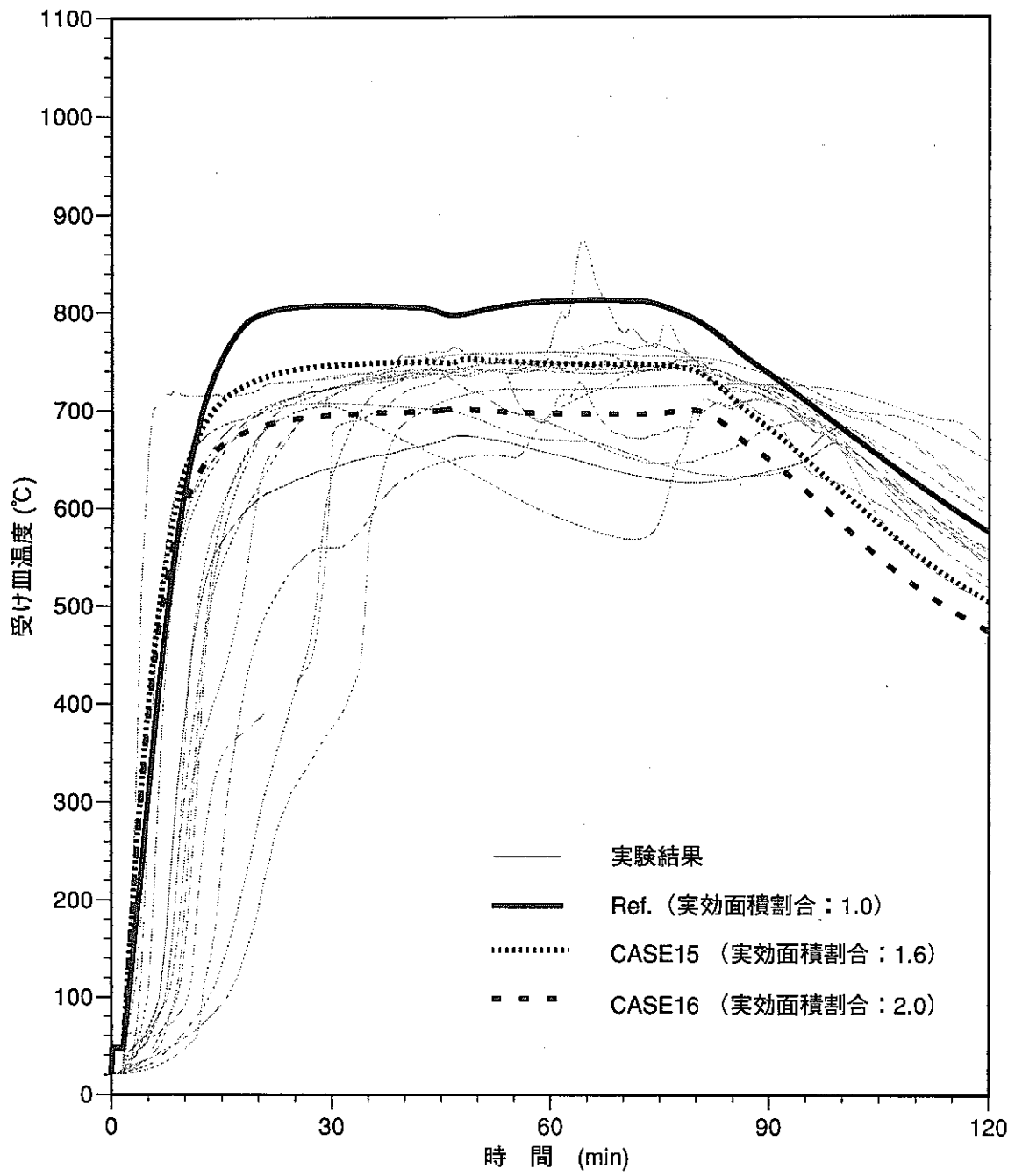
図A1-4-8 輻射係数をパラメータとした解析結果 (エアロゾル濃度)



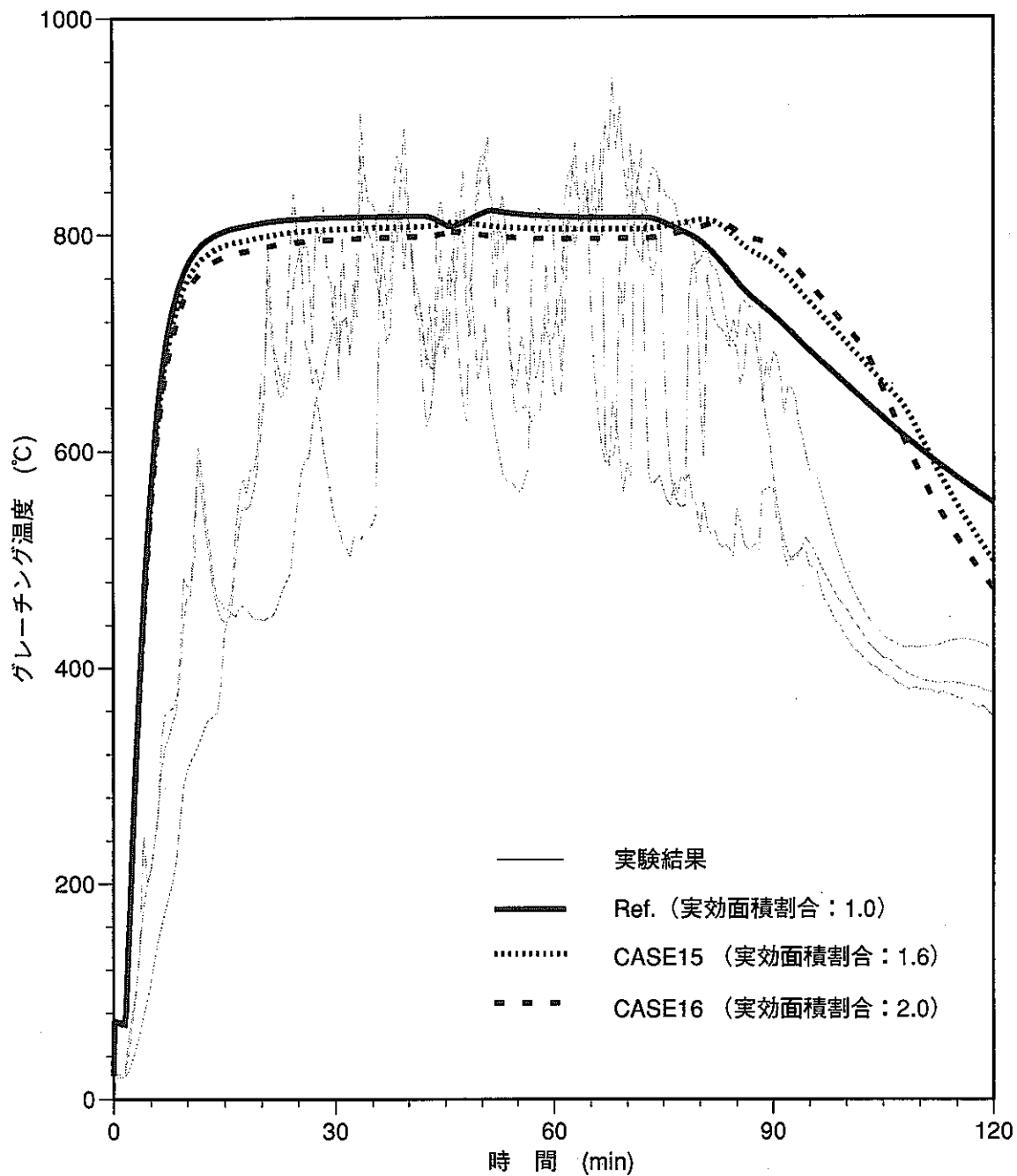
図A1-4-9 輻射係数をパラメータとした解析結果（プール内NaOH濃度）



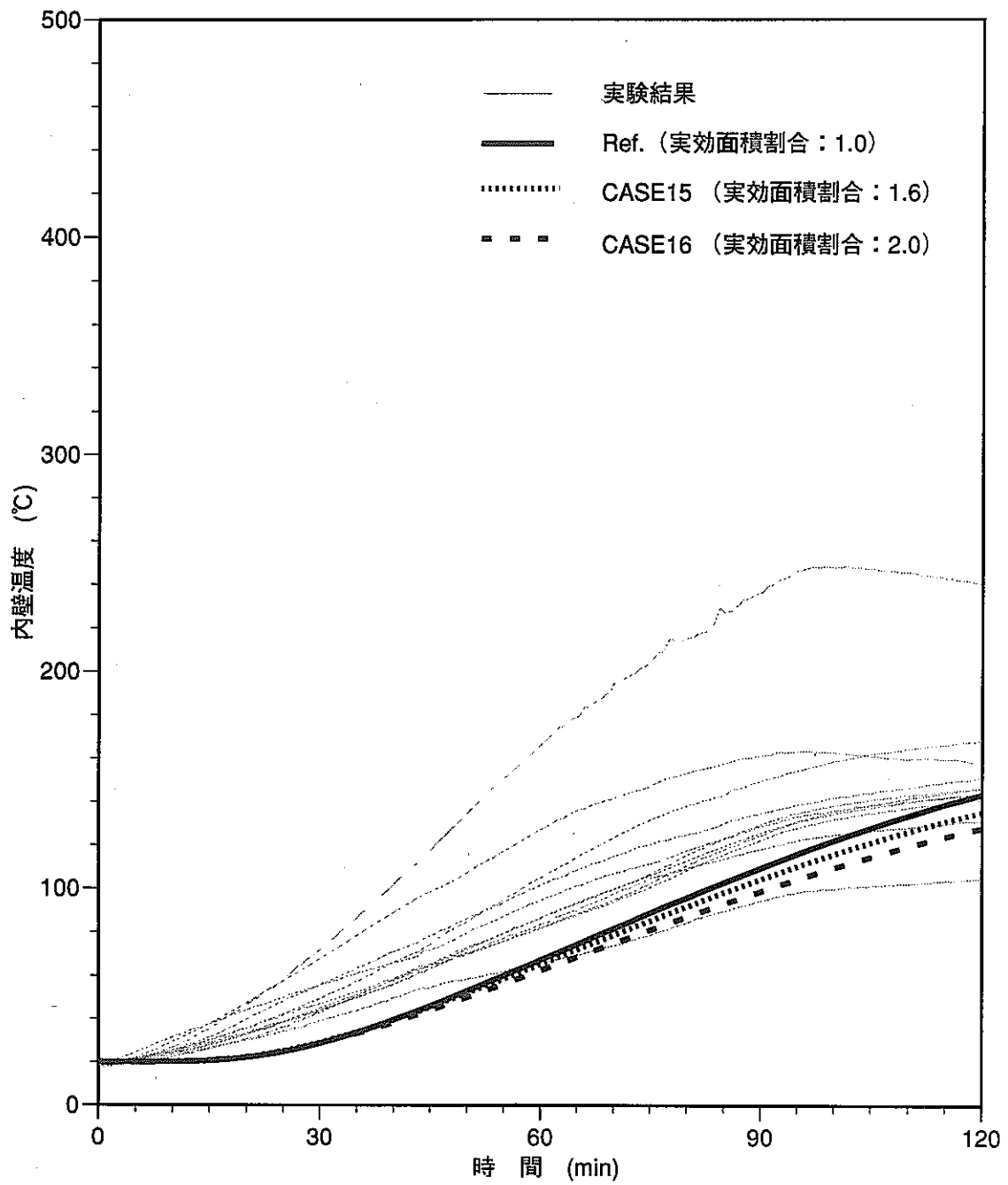
図A1-5-1 実効面積割合をパラメータとした解析結果 (ガス温度)



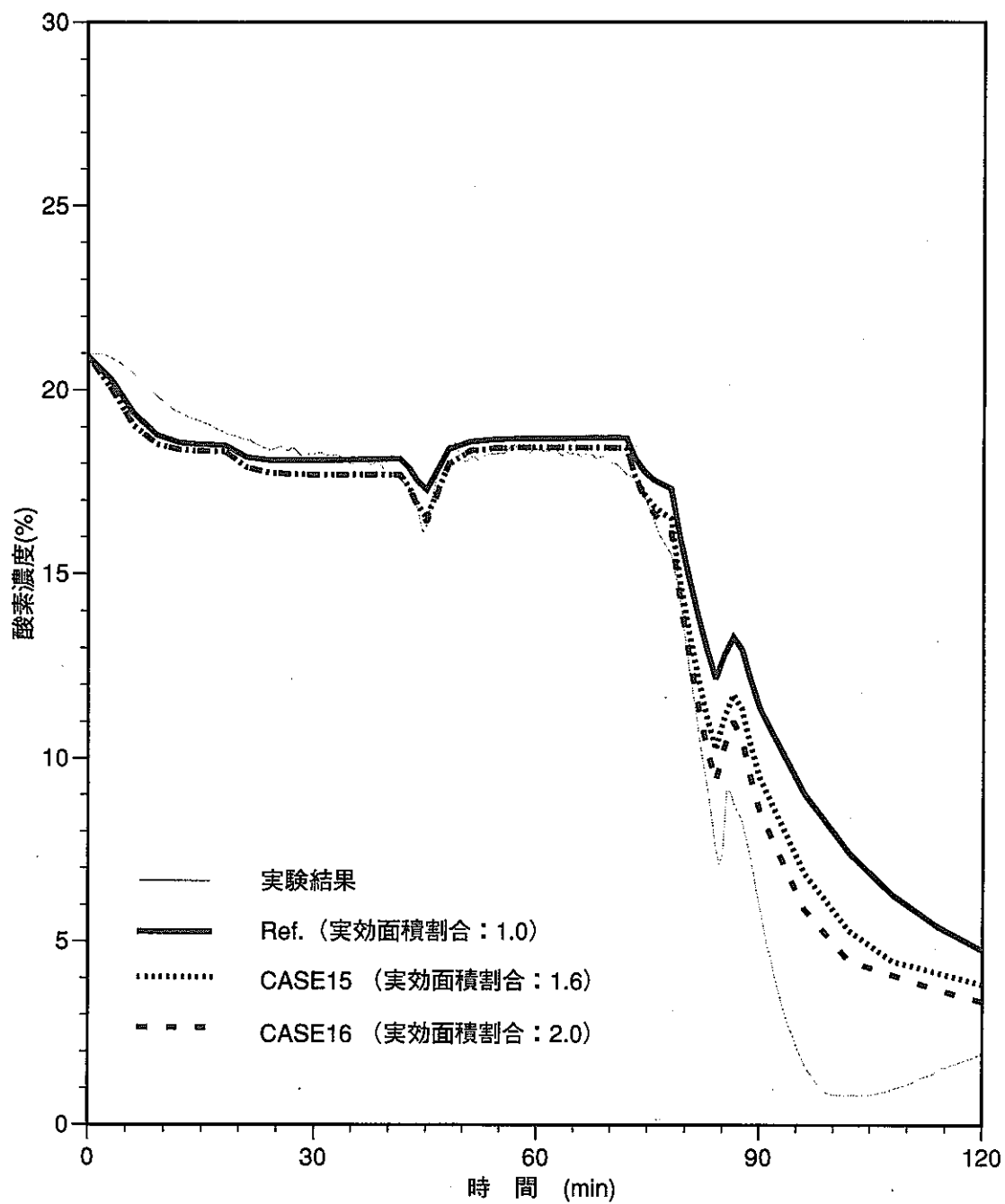
図A1-5-2 実効面積割合をパラメータとした解析結果 (受皿温度)



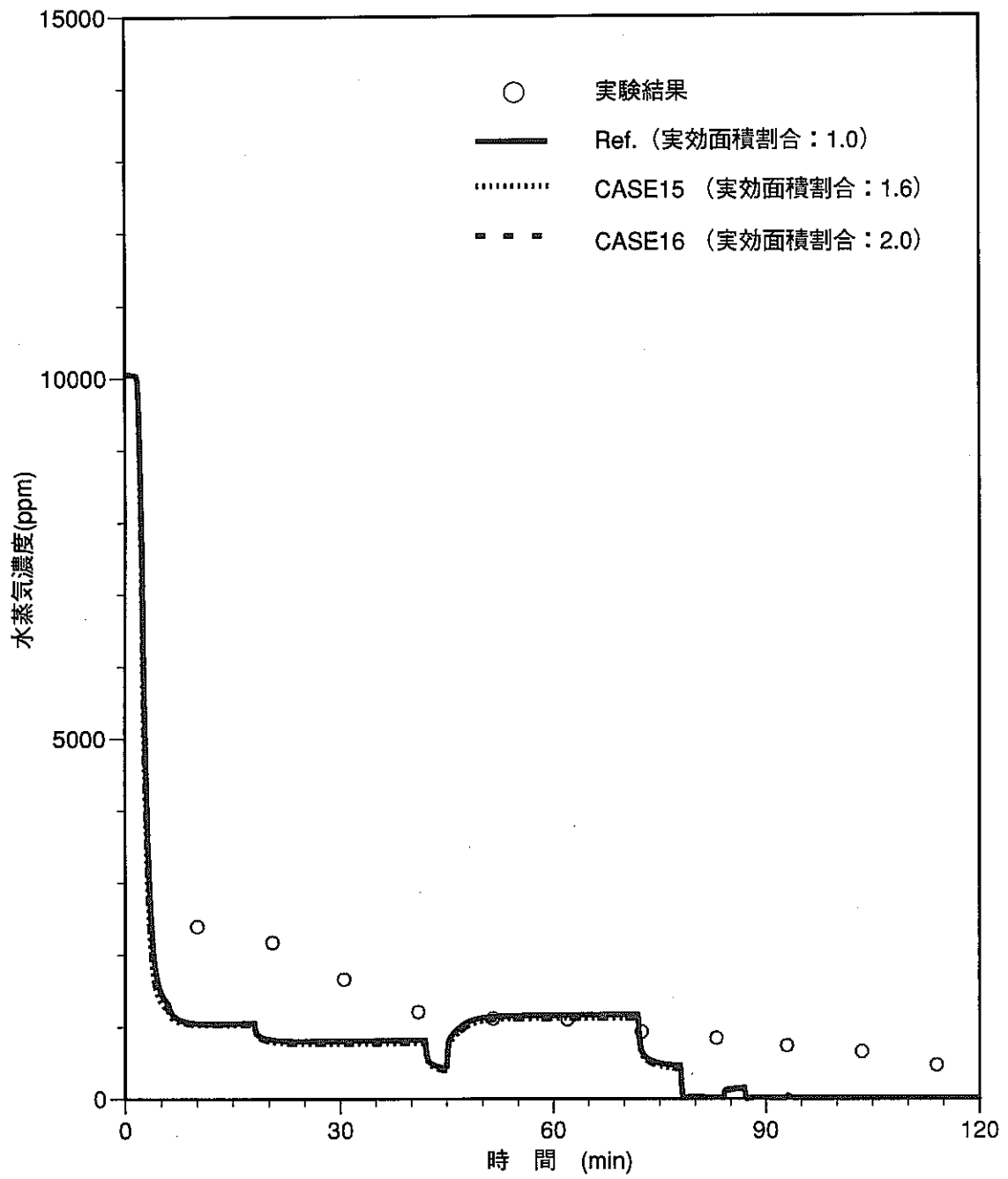
図A1-5-3 実効面積割合をパラメータとした解析結果 (グレーチング温度)



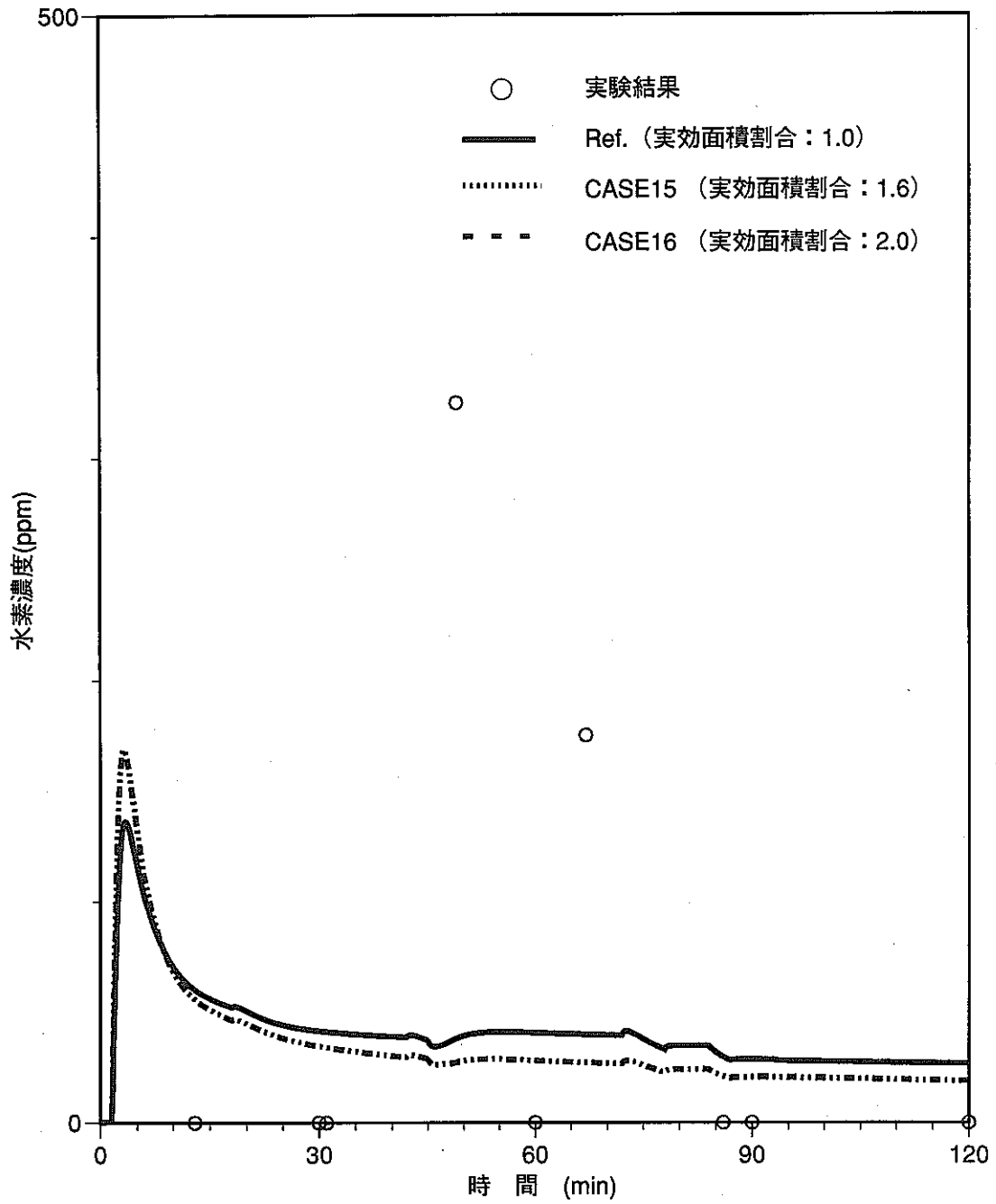
図A1-5-4 実効面積割合をパラメータとした解析結果 (内壁温度)



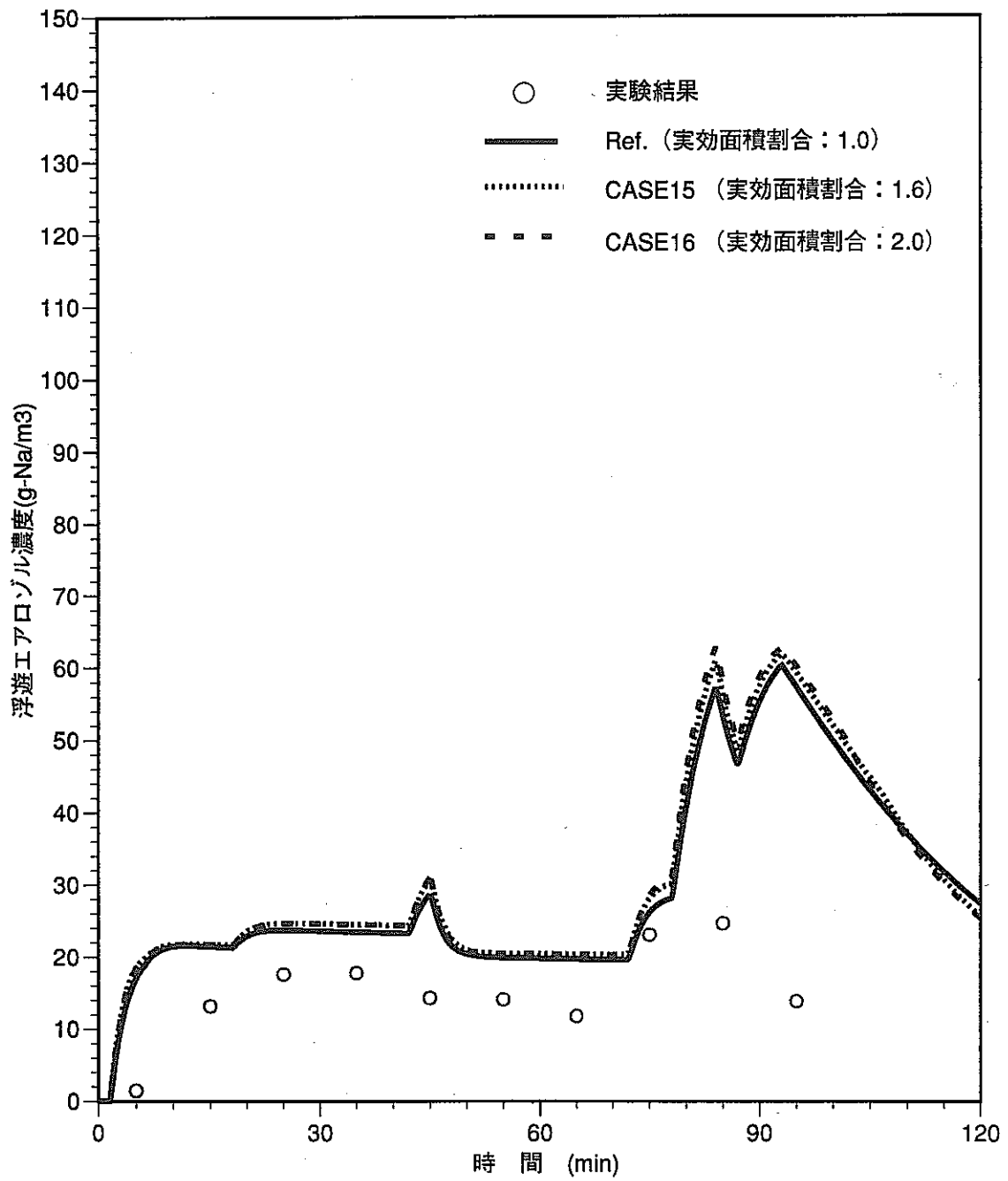
図A1-5-5 実効面積割合をパラメータとした解析結果 (酸素濃度)



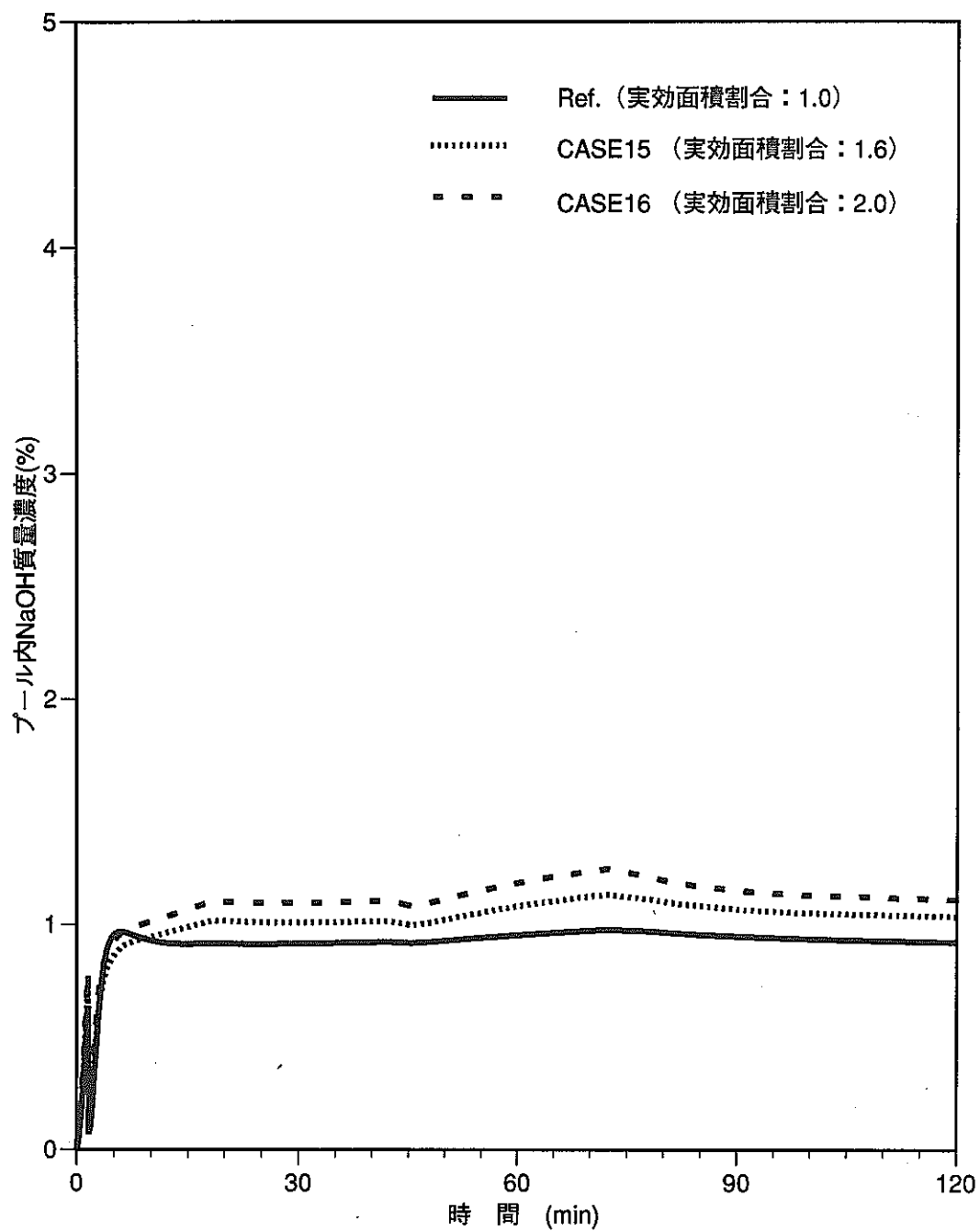
図A1-5-6 実効面積割合をパラメータとした解析結果 (水蒸気濃度)



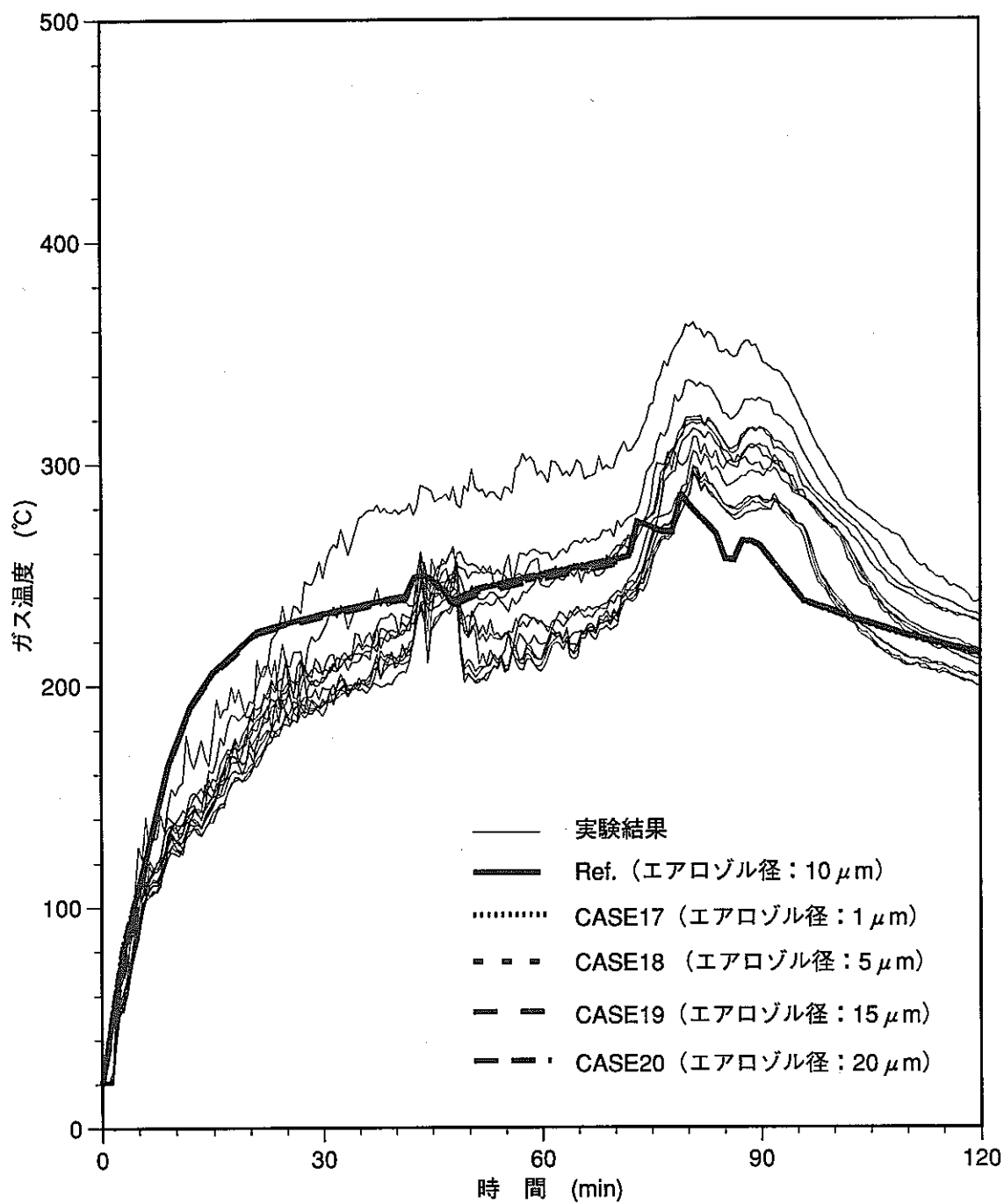
図A1-5-7 実効面積割合をパラメータとした解析結果 (水素濃度)



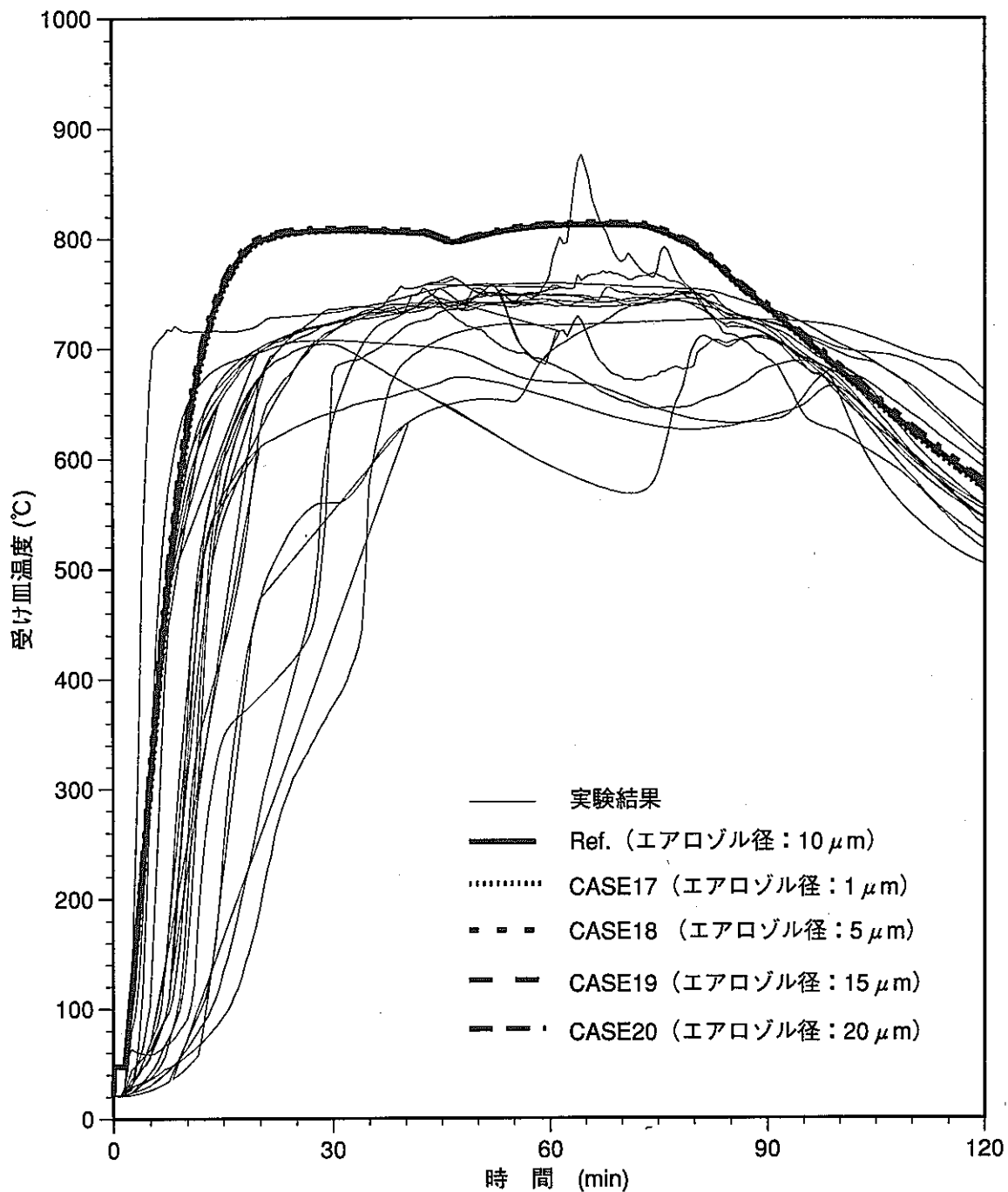
図A1-5-8 実効面積割合をパラメータとした解析結果 (エアロゾル濃度)



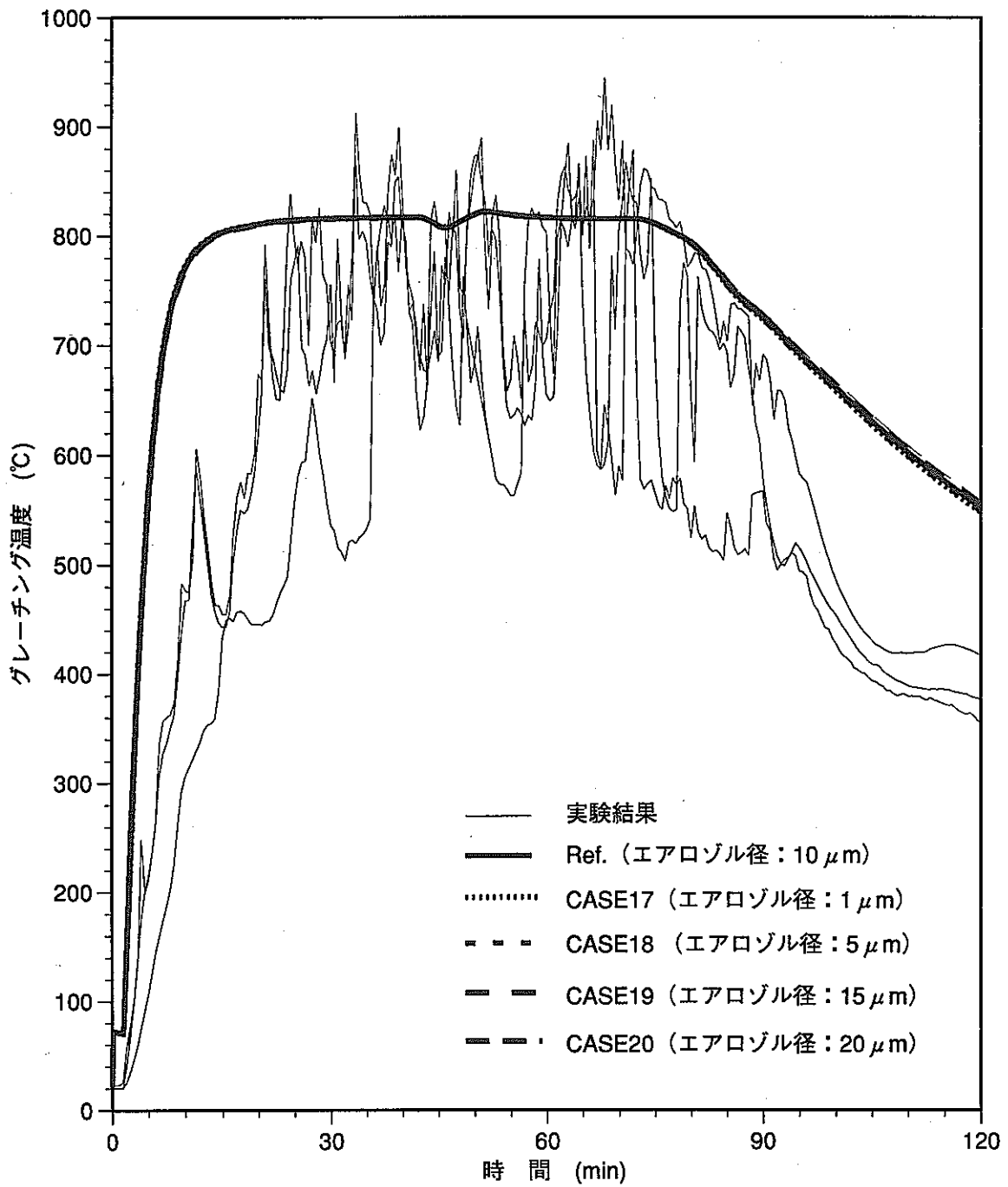
図A1-5-9 実効面積割合をパラメータとした解析結果（プール内NaOH濃度）



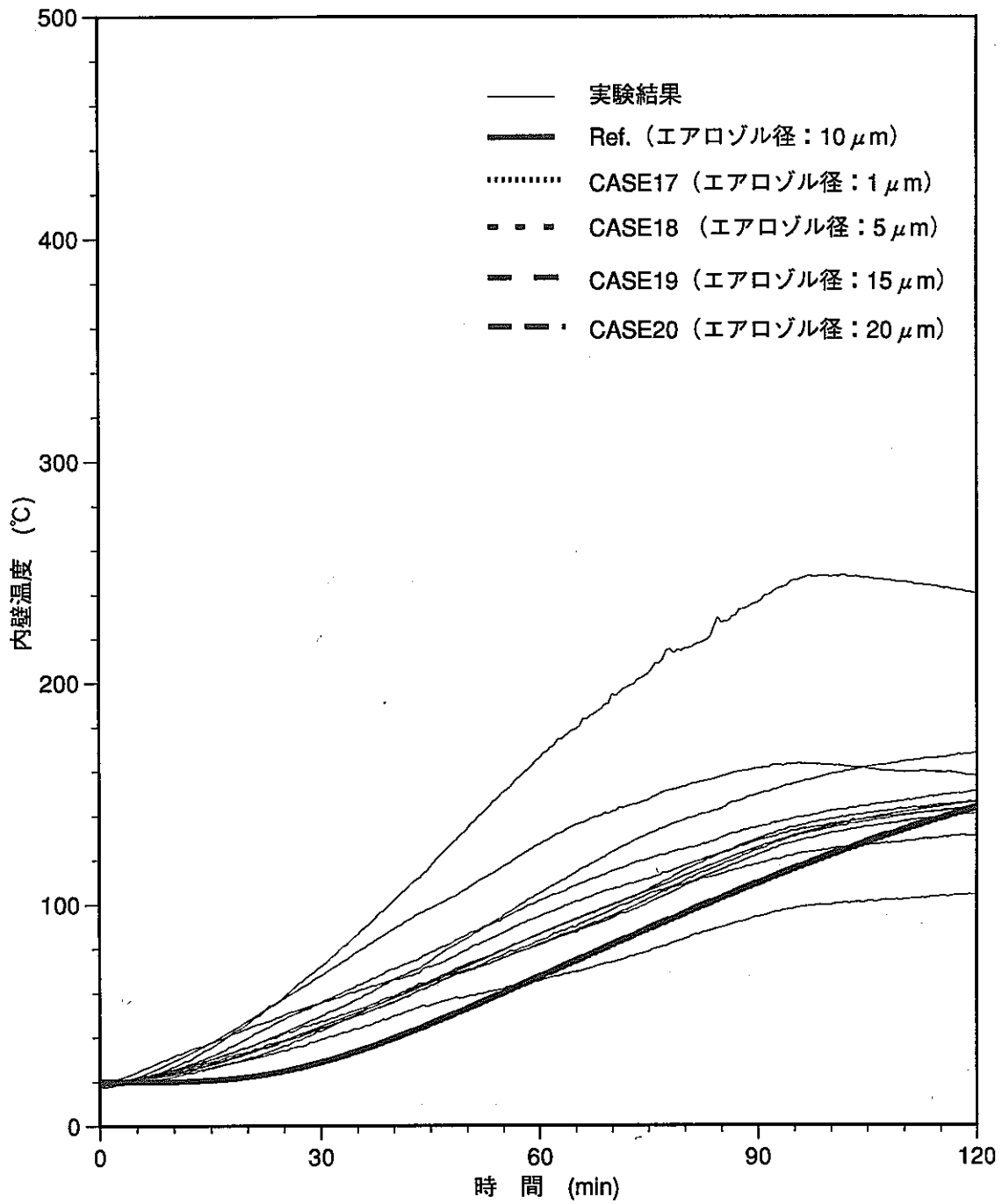
図A1-6-1 エアロゾル径をパラメータとした解析結果 (ガス温度)



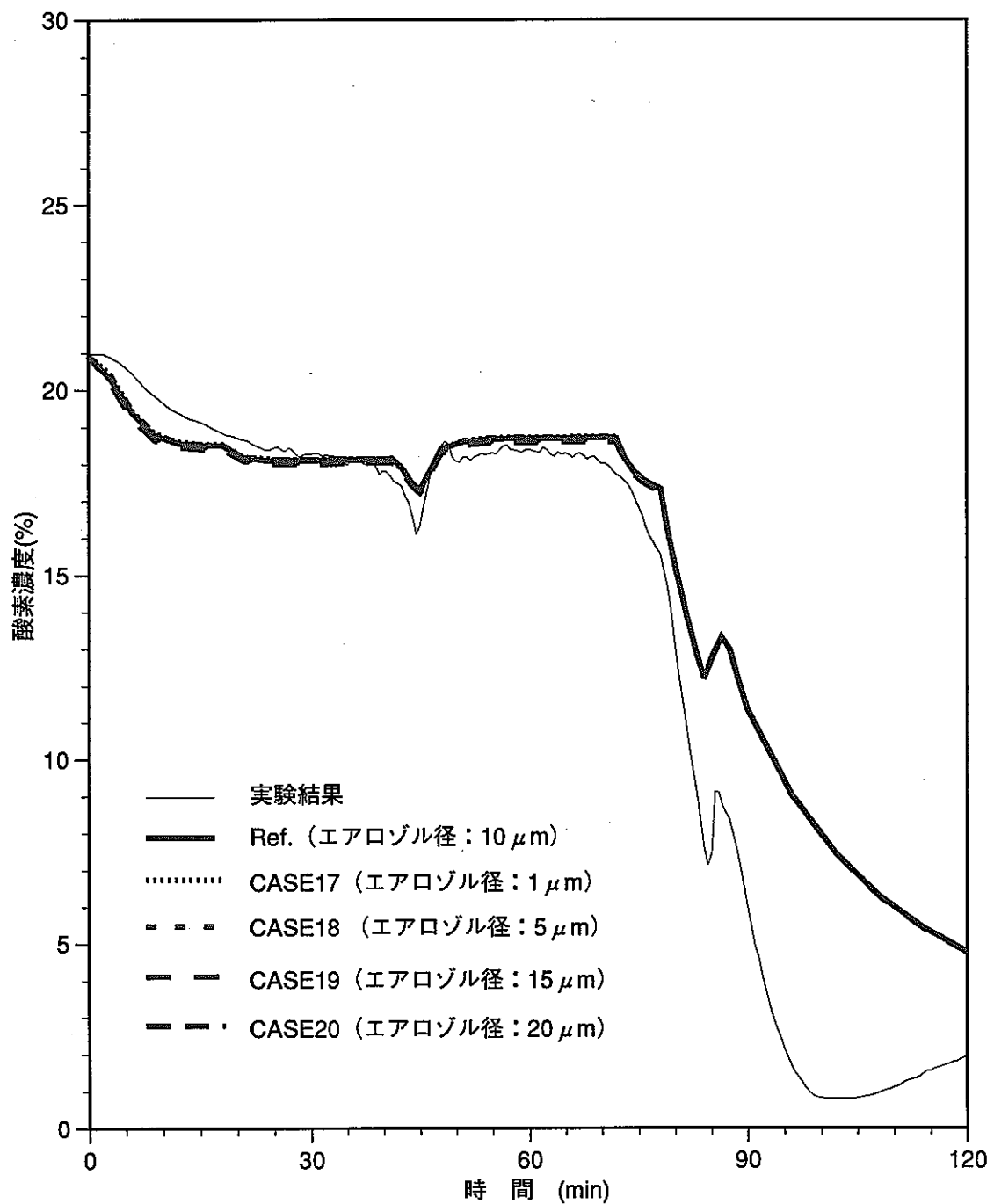
図A1-6-2 エアロゾル径をパラメータとした解析結果 (受皿温度)



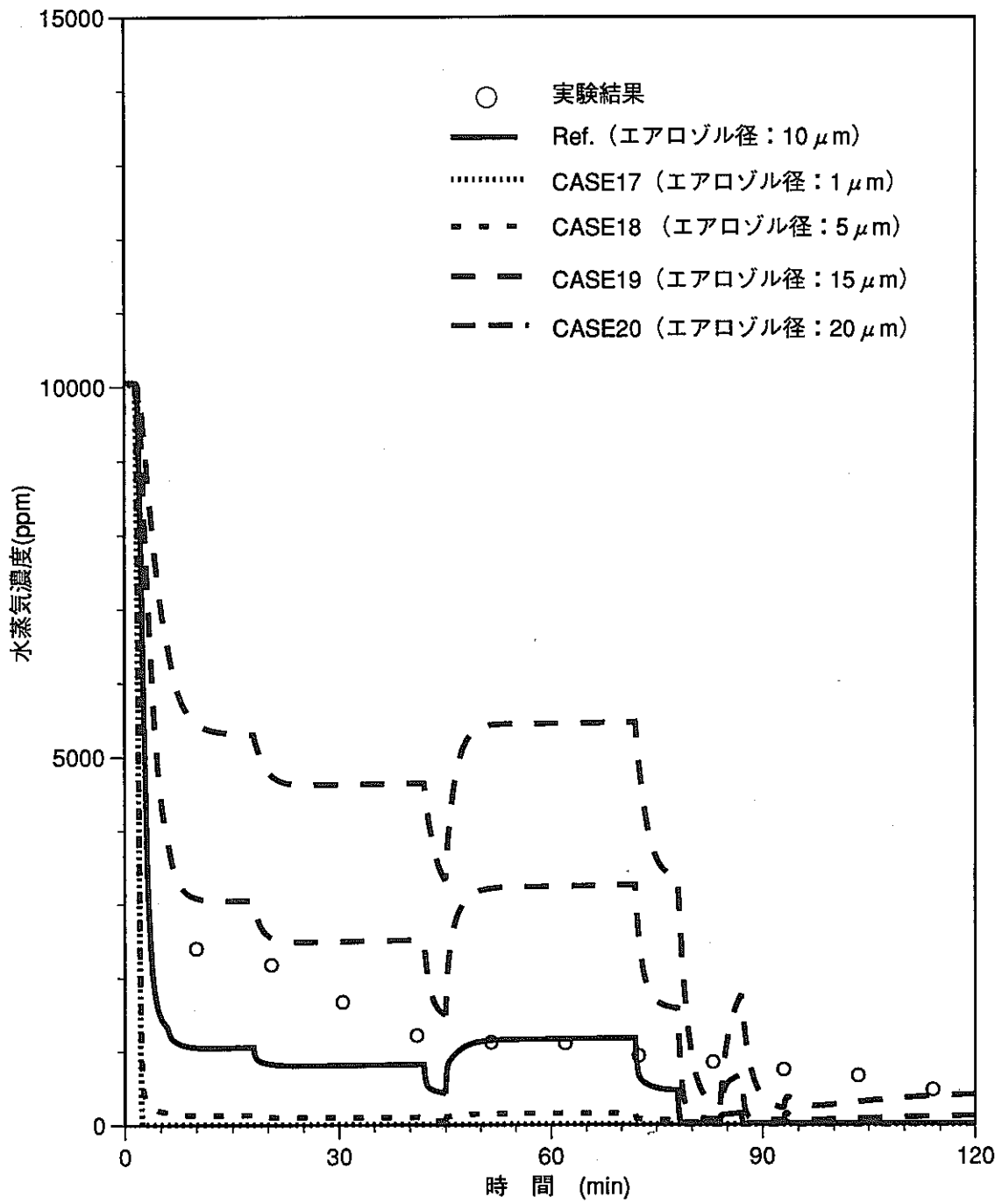
図A1-6-3 エアロゾル径をパラメータとした解析結果 (グレーチング温度)



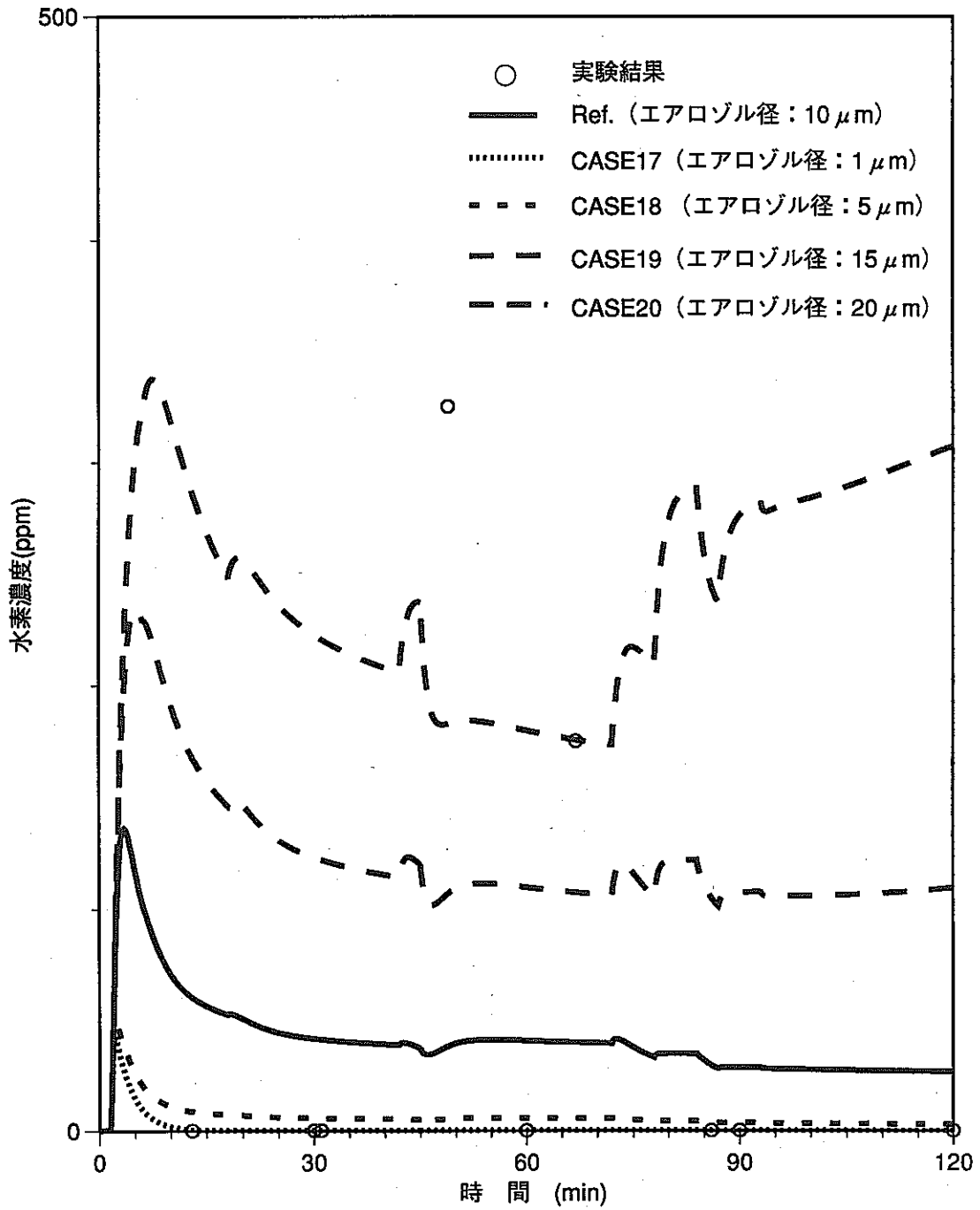
図A1-6-4 エアロゾル径をパラメータとした解析結果 (内壁温度)



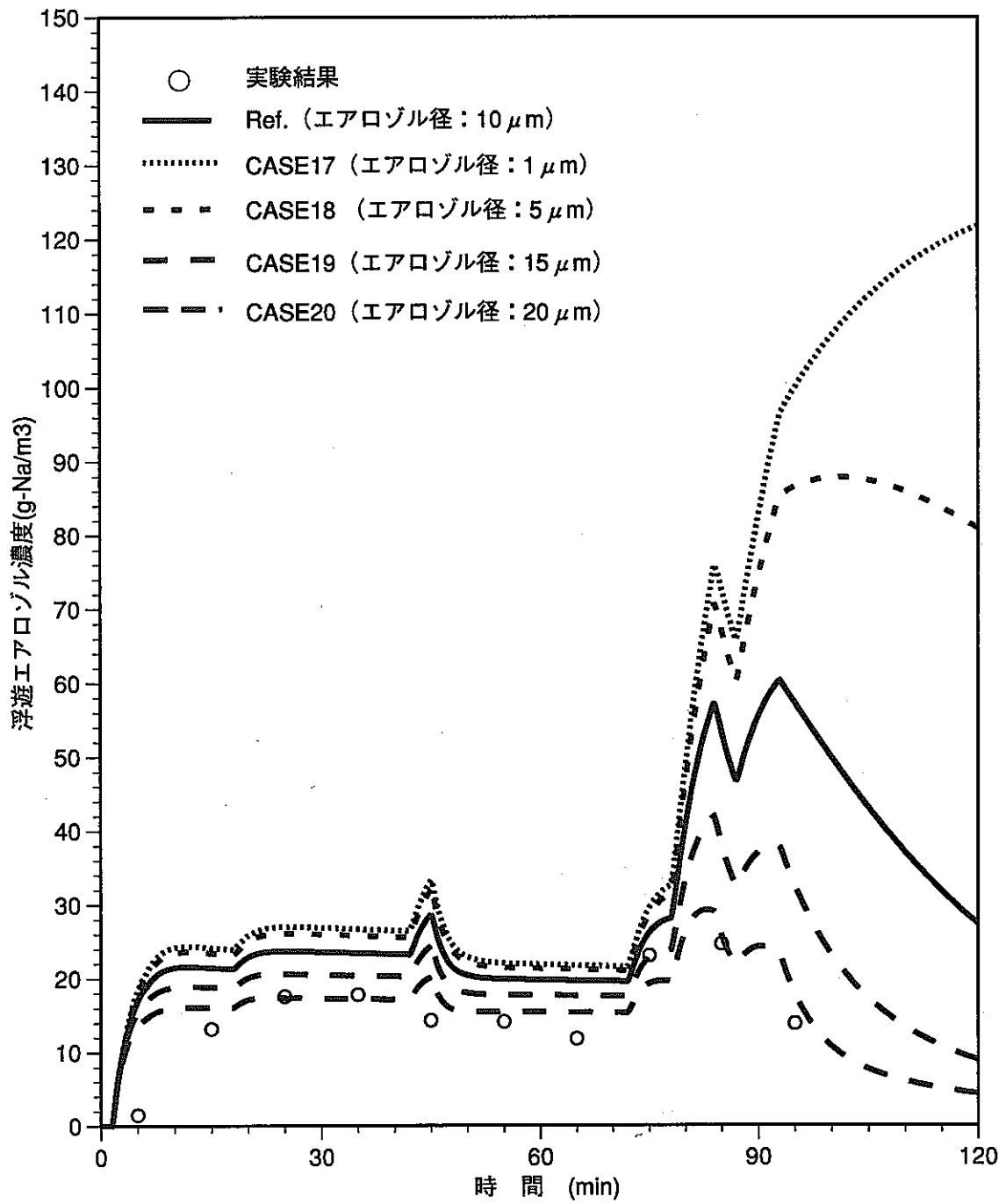
図A1-6-5 エアロゾル径をパラメータとした解析結果 (酸素濃度)



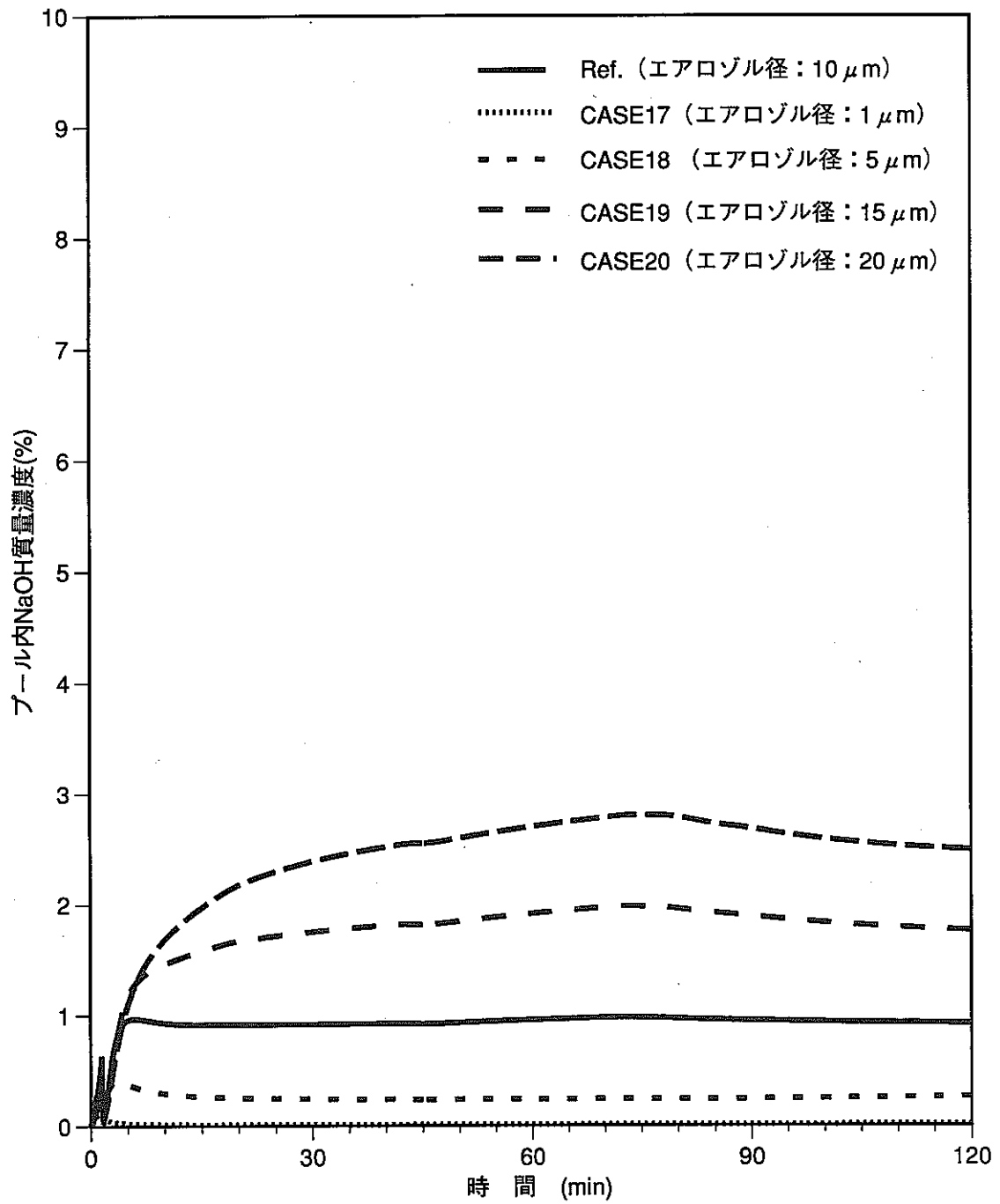
図A1-6-6 エアロゾル径をパラメータとした解析結果 (水蒸気濃度)



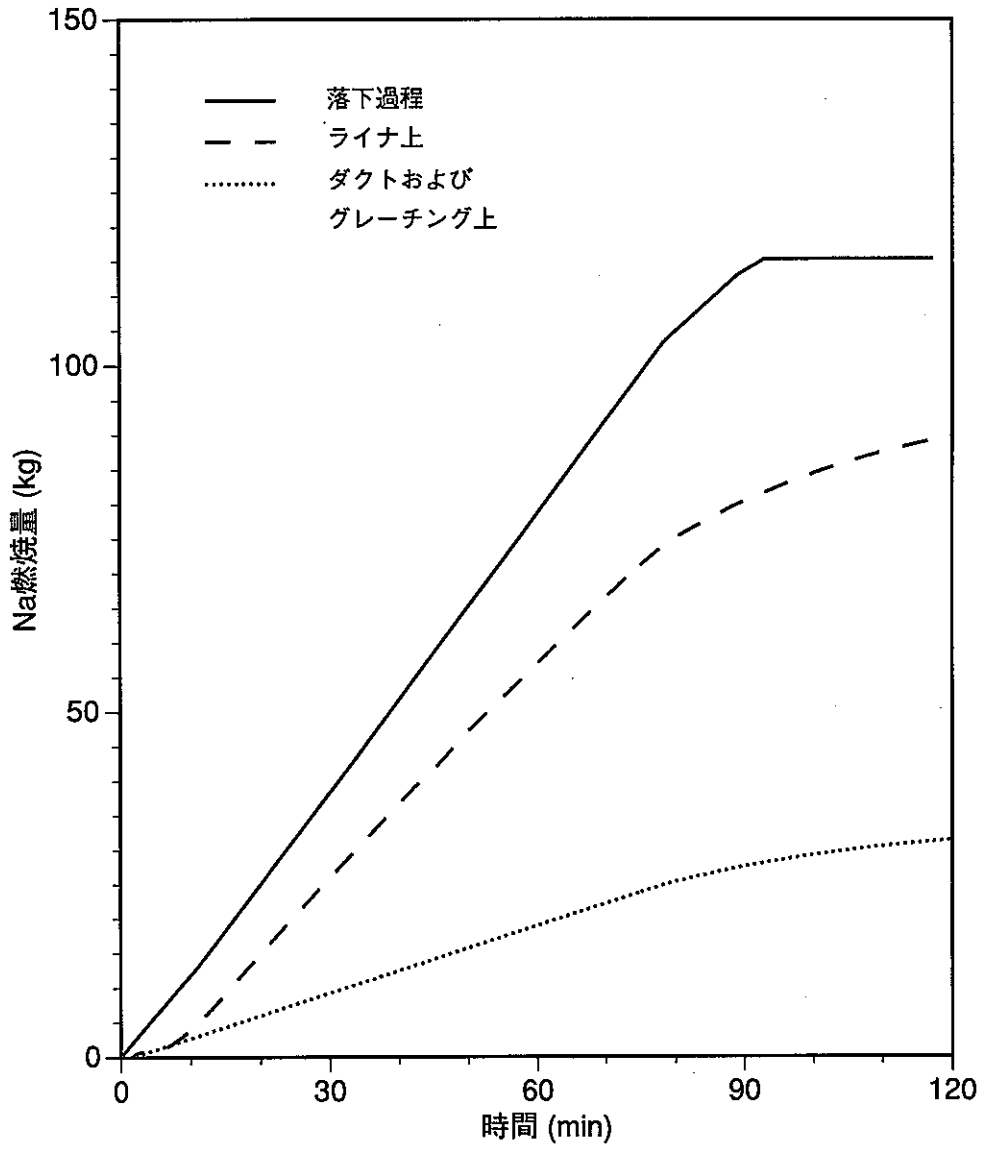
図A1-6-7 エアロゾル径をパラメータとした解析結果 (水素濃度)



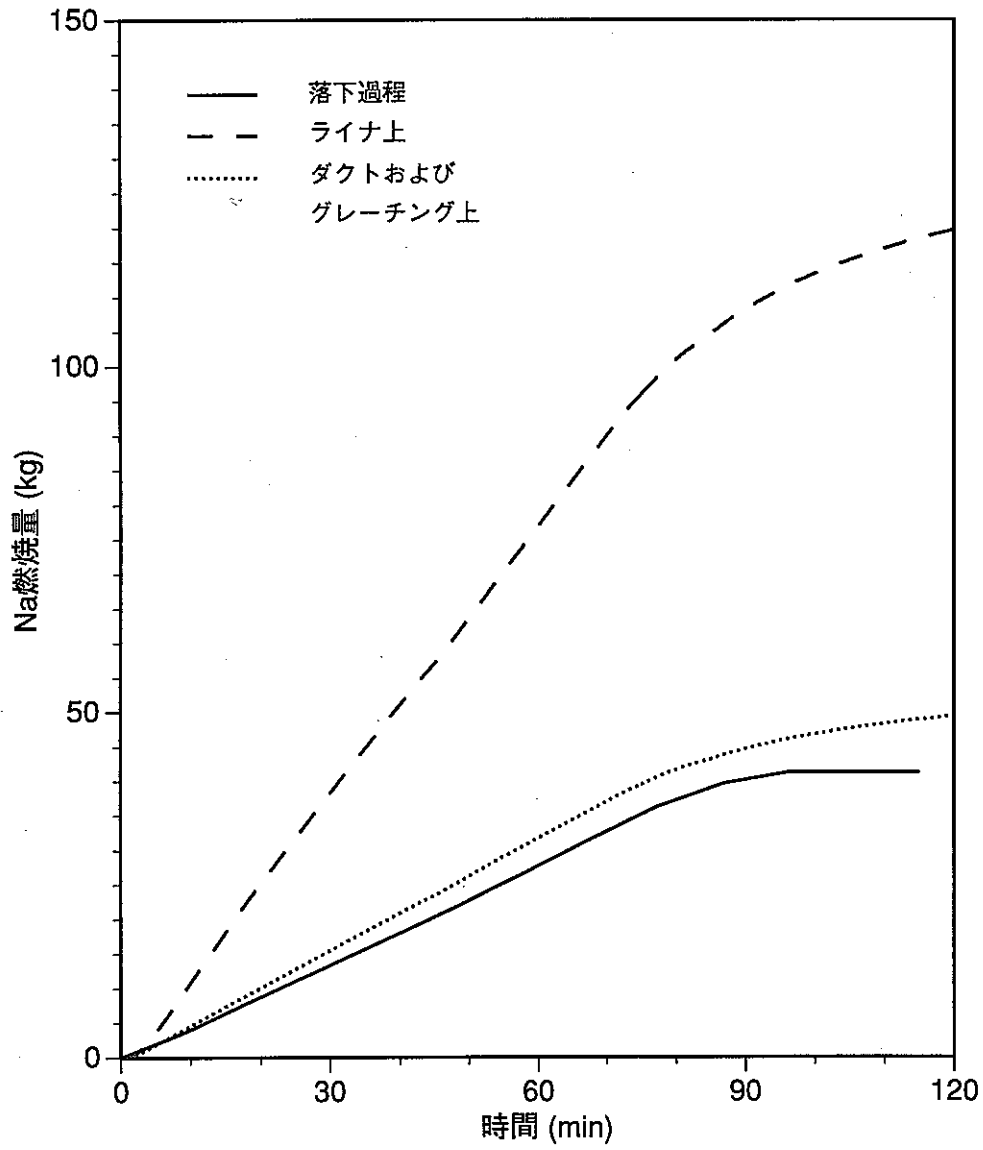
図A1-6-8 エアロゾル径をパラメータとした解析結果 (エアロゾル濃度)



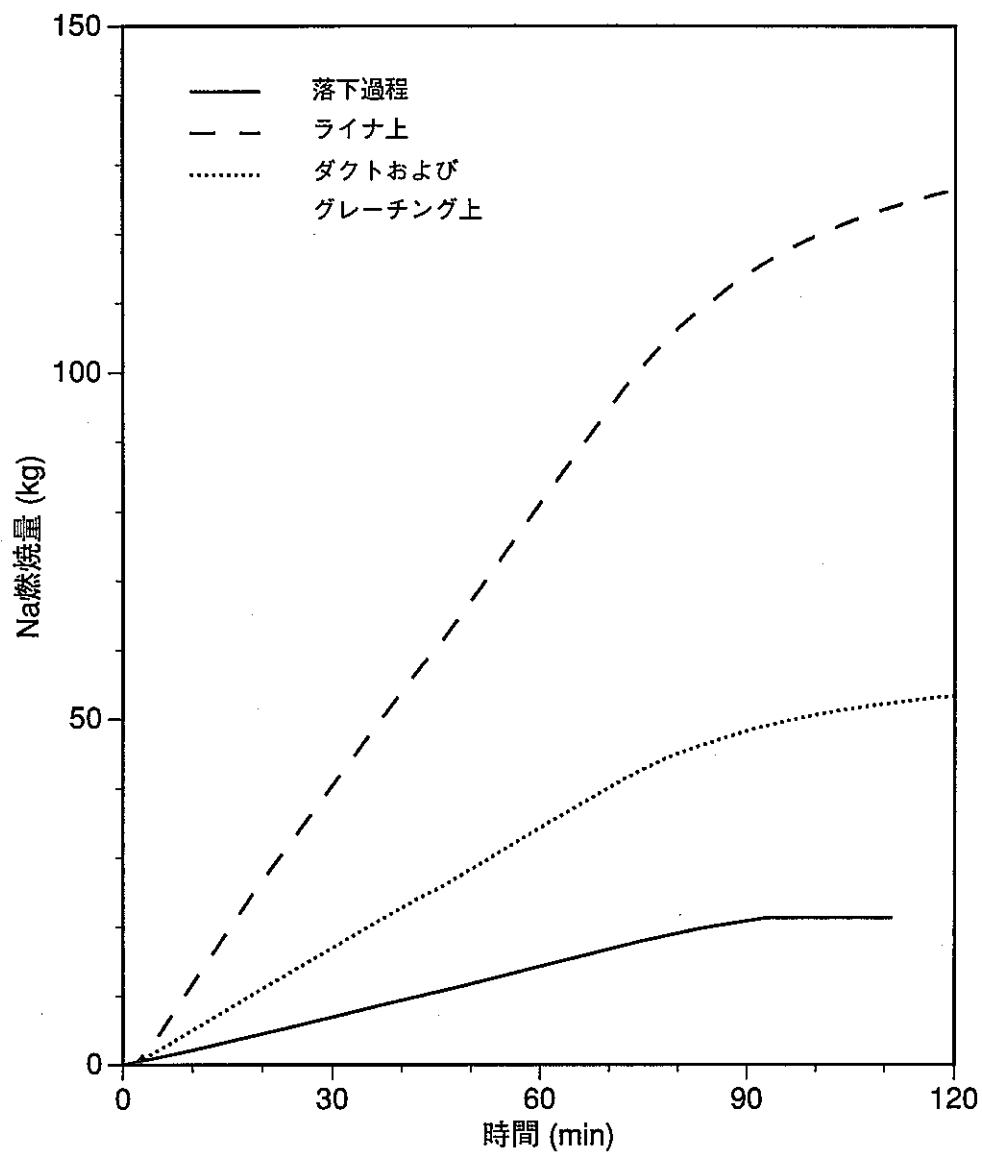
図A1-6-9 エアロゾル径をパラメータとした解析結果（プール内NaOH濃度）



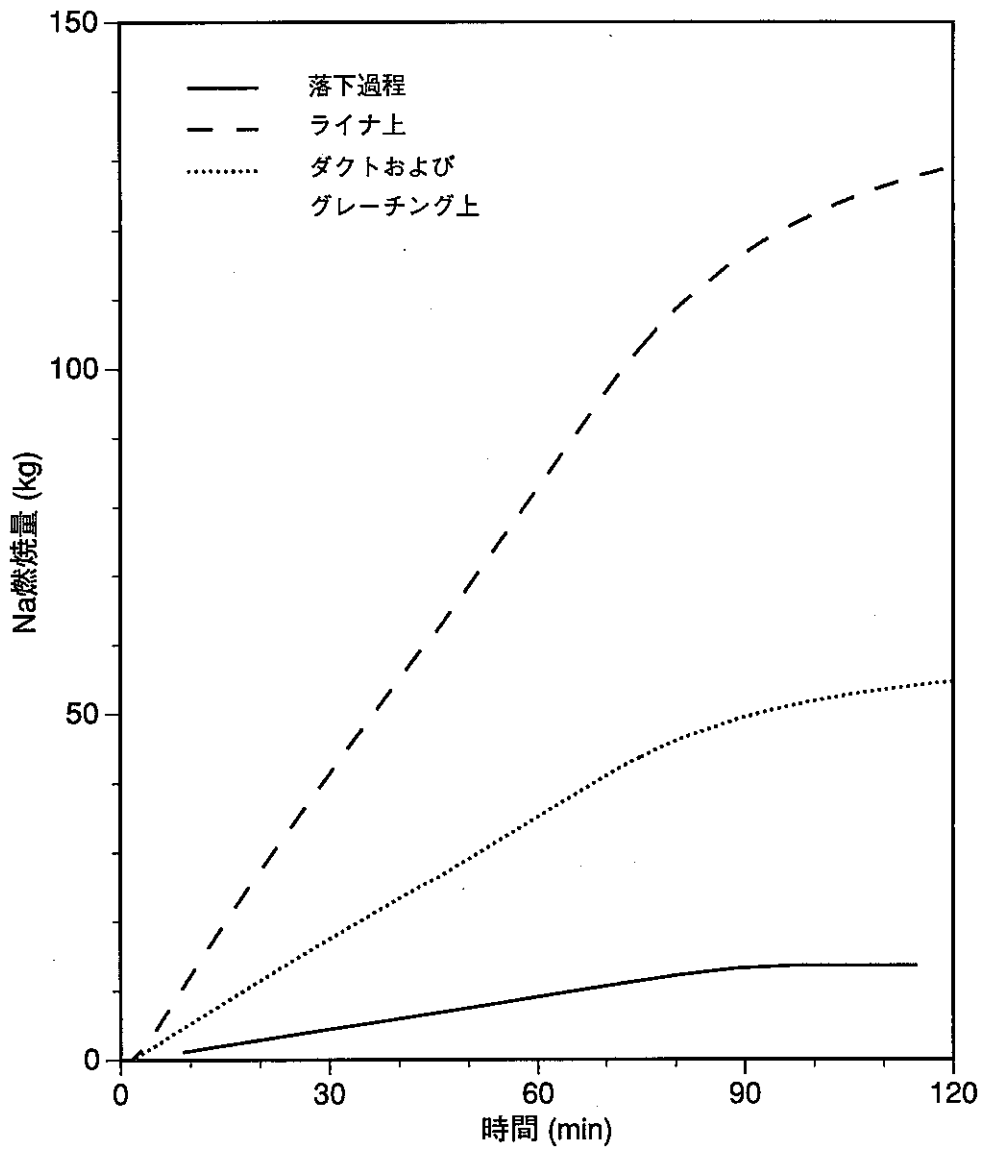
図A1-7-1 Na燃焼量 (CASE1)



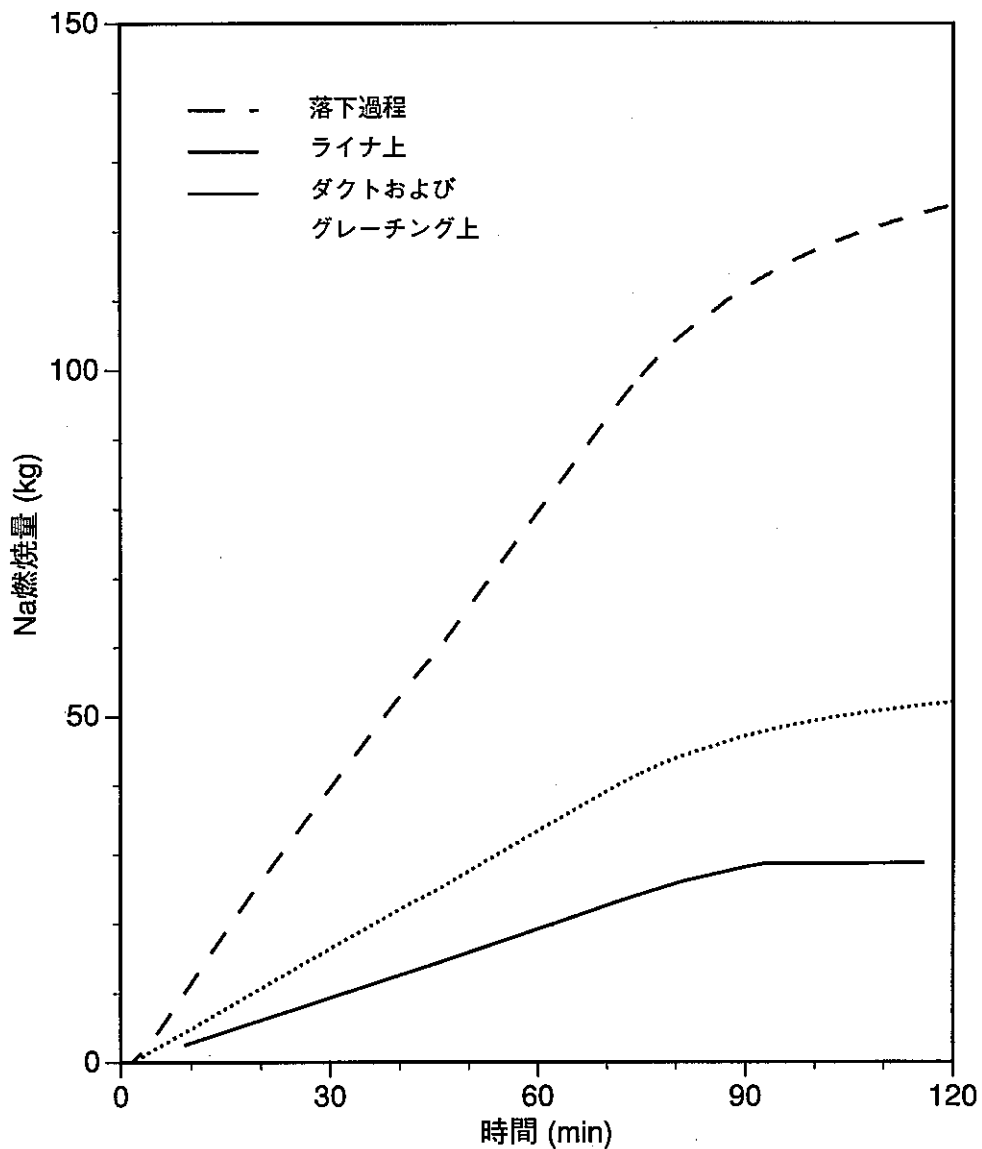
図A1-7-2 Na燃焼量 (CASE2)



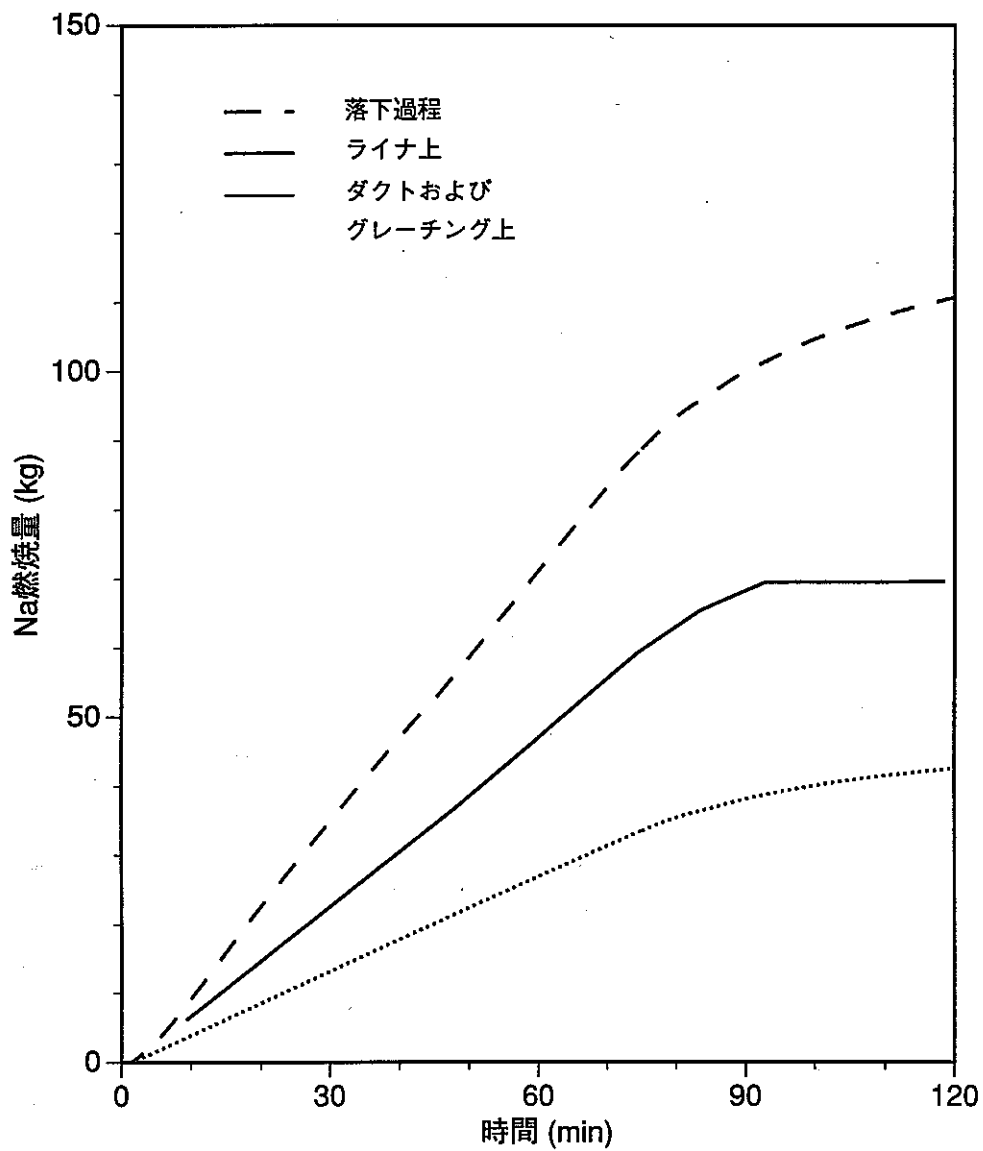
図A1-7-3 Na燃焼量 (CASE3)



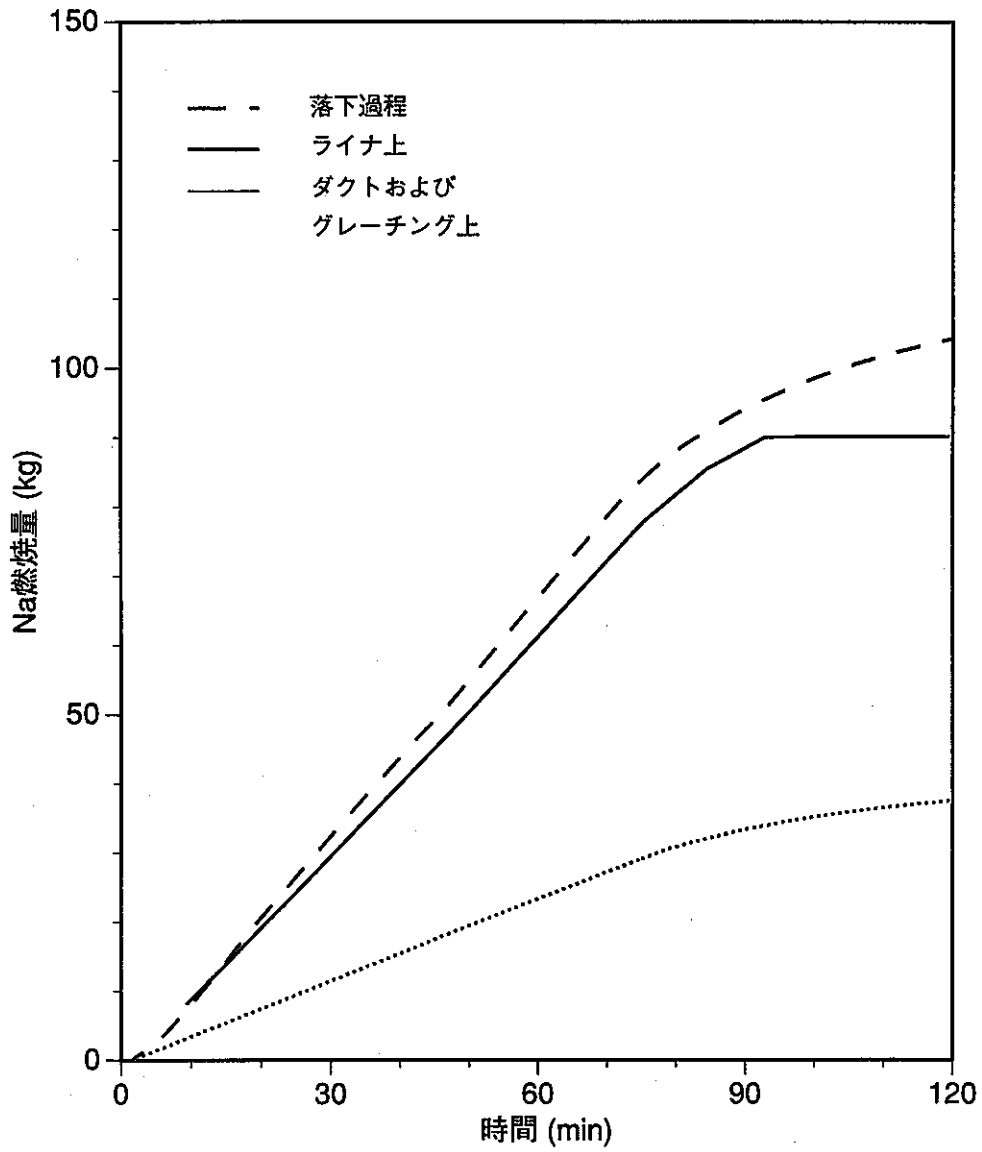
図A1-7-4 Na燃焼量 (CASE4)



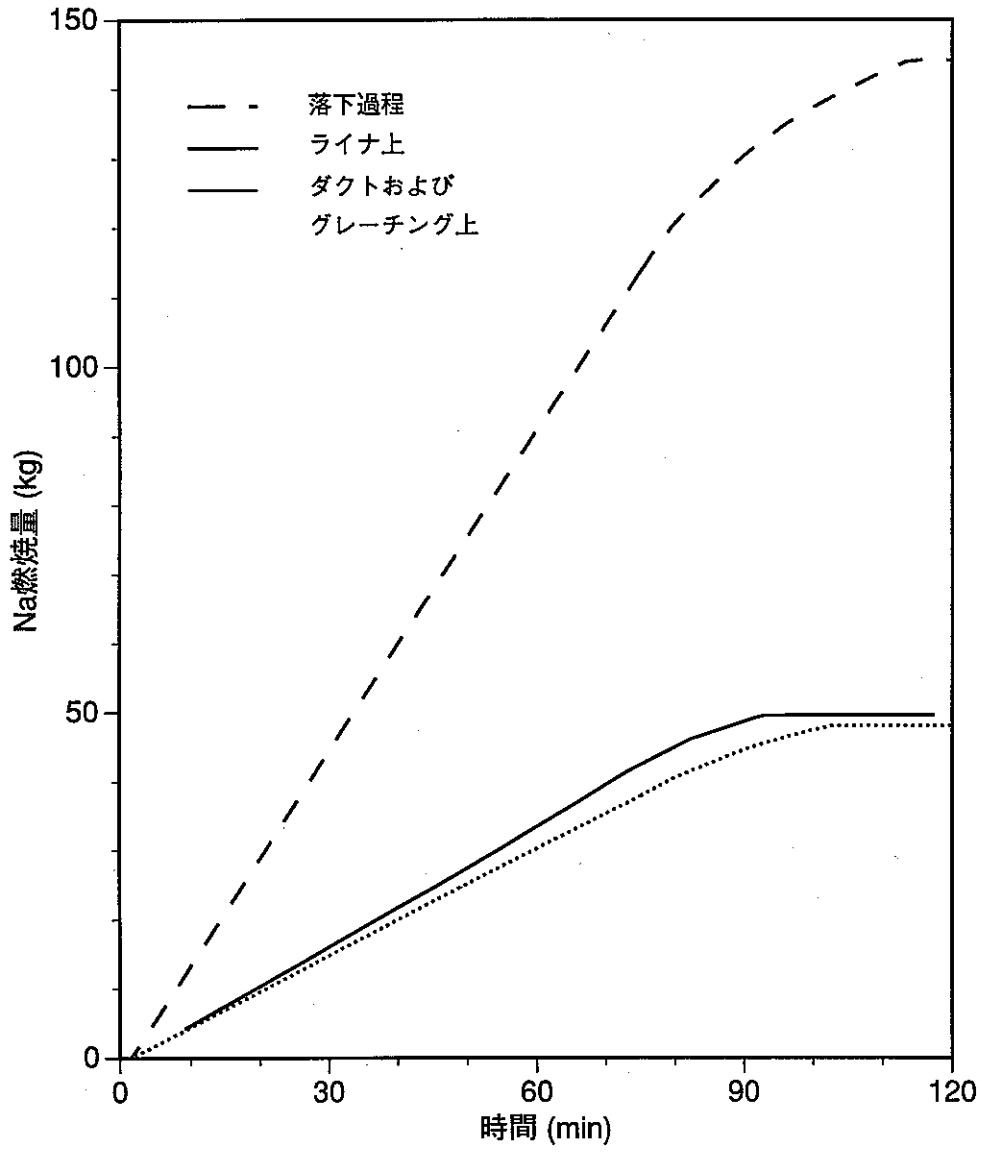
図A1-7-5 Na燃焼量 (CASE5)



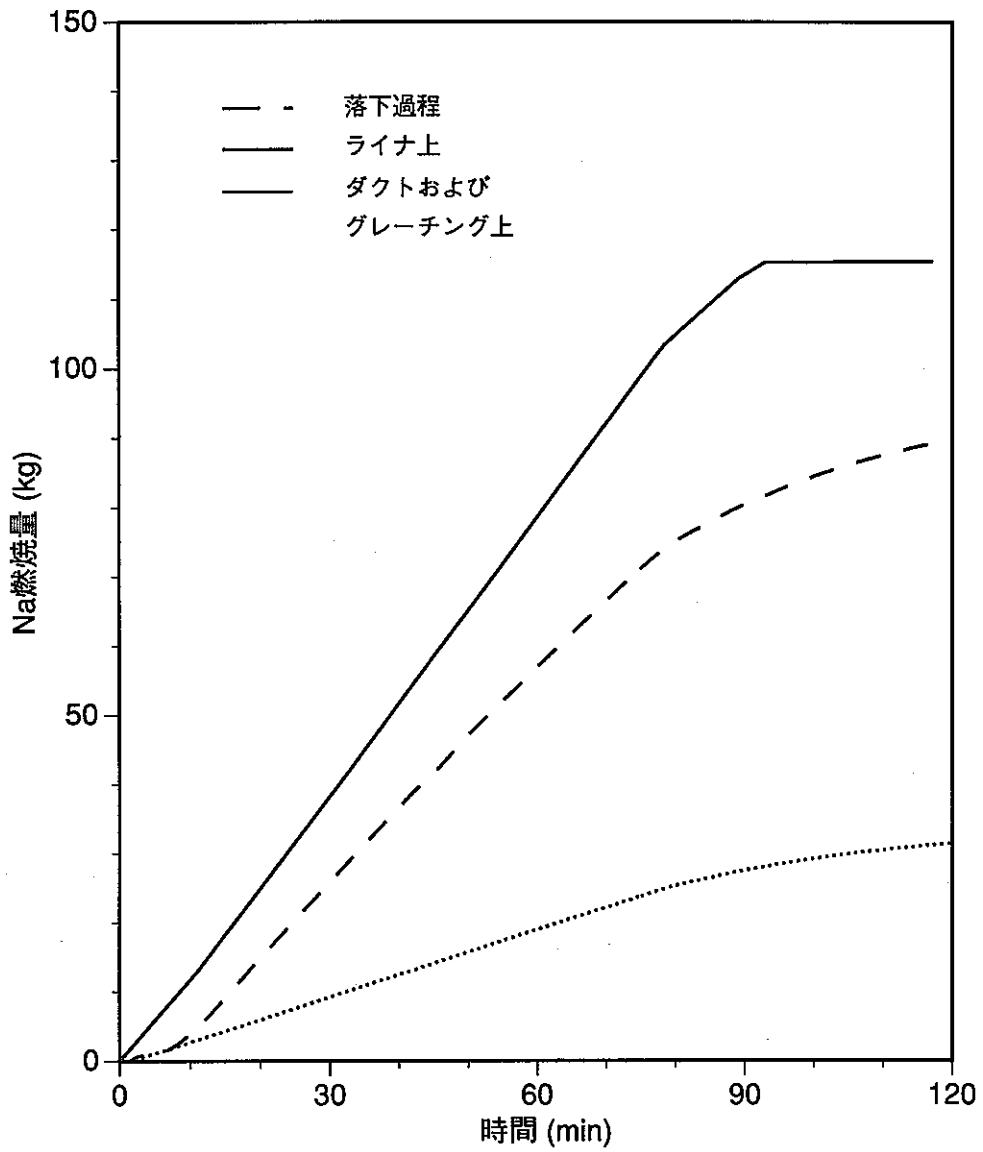
図A1-7-6 Na燃焼量 (CASE6)



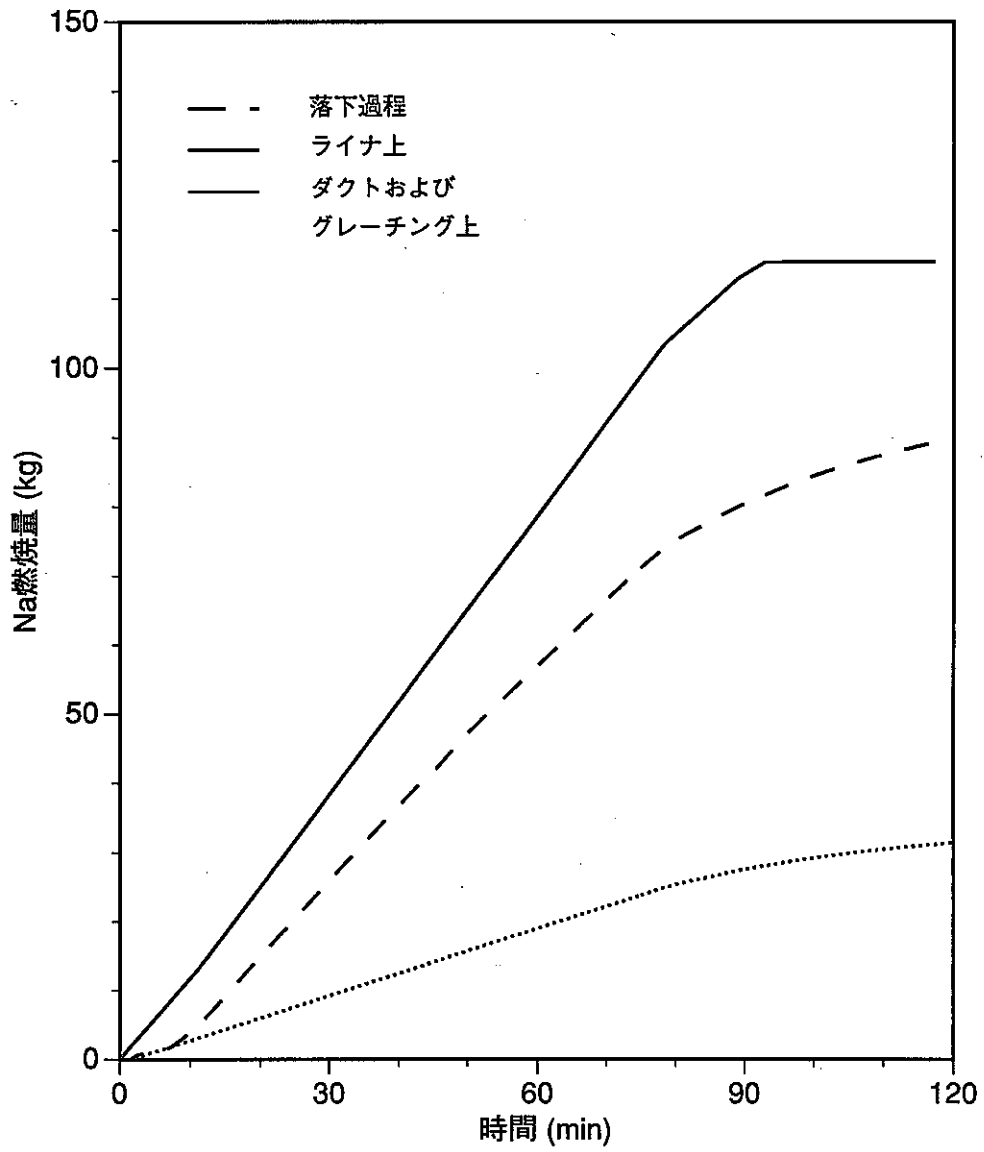
図A1-7-7 Na燃焼量 (CASE7)



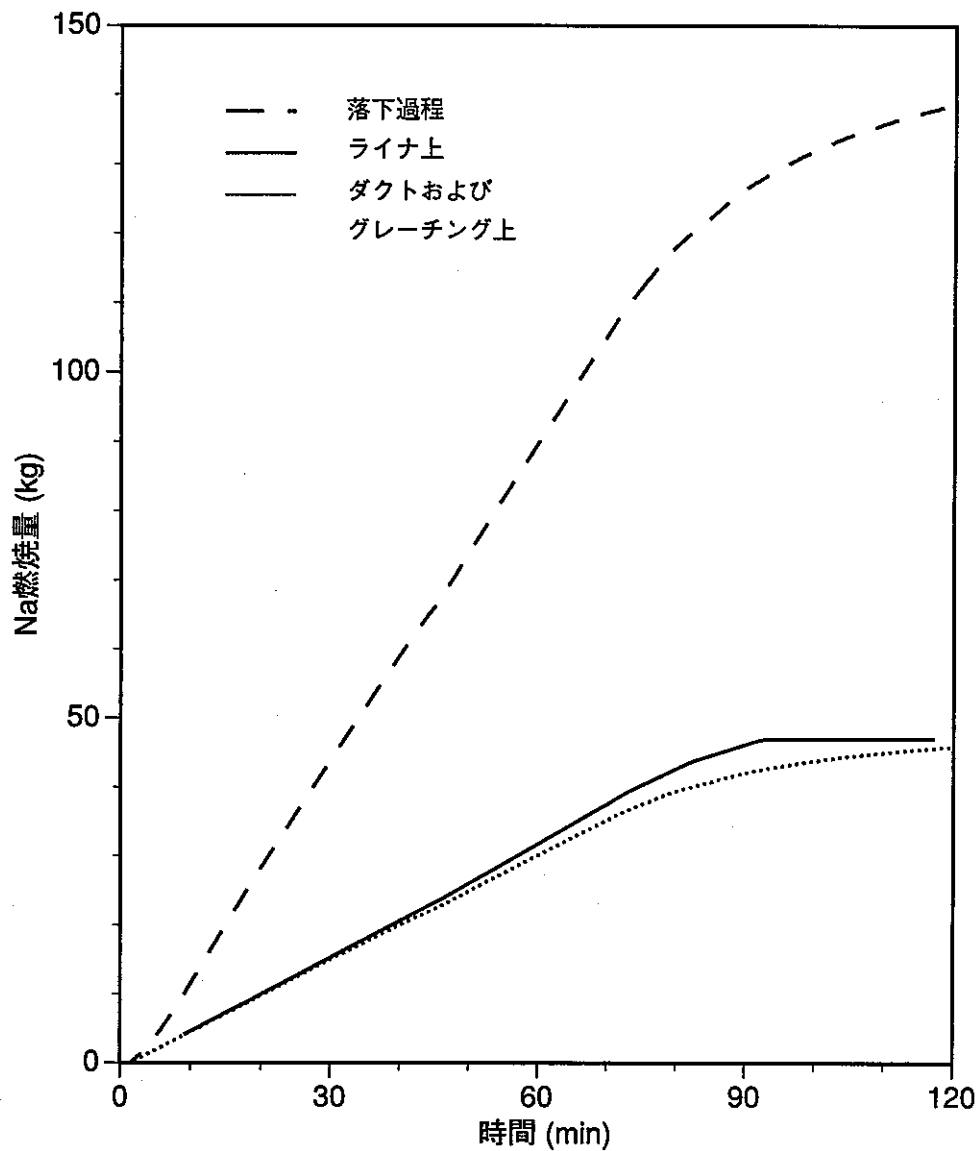
図A1-7-8 Na燃焼量 (CASE8)



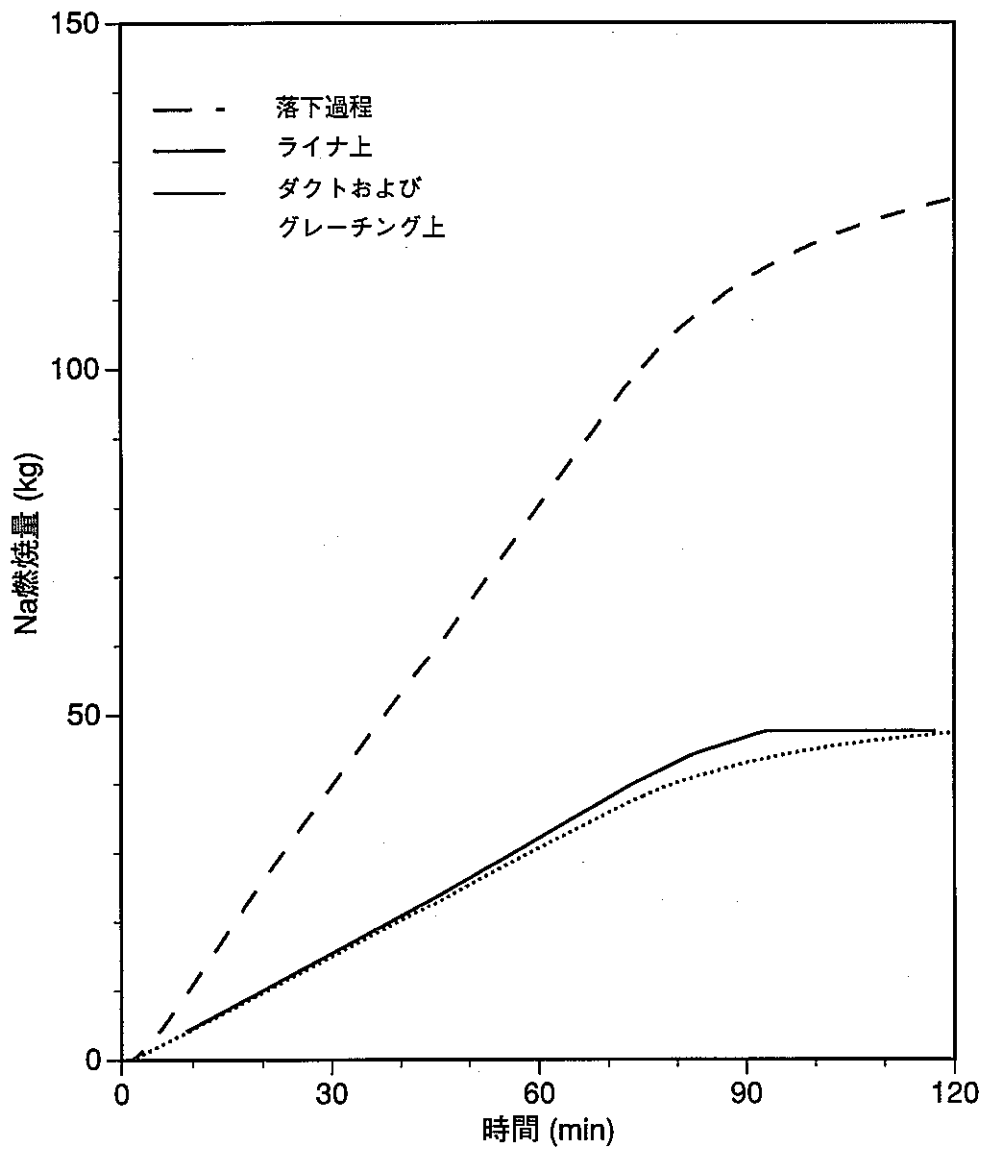
図A1-7-9 Na燃焼量 (CASE9)



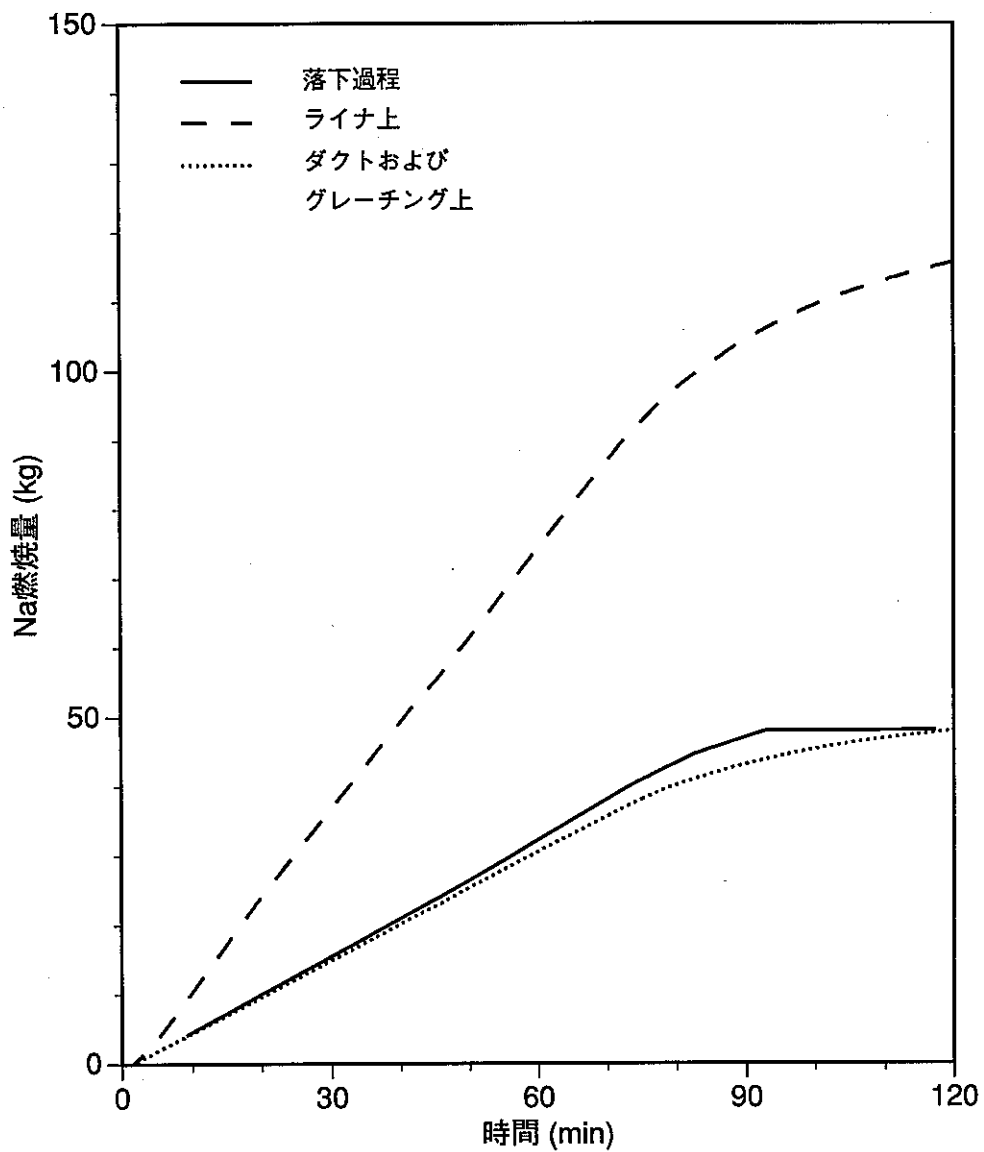
図A1-7-10 Na燃焼量 (CASE10)



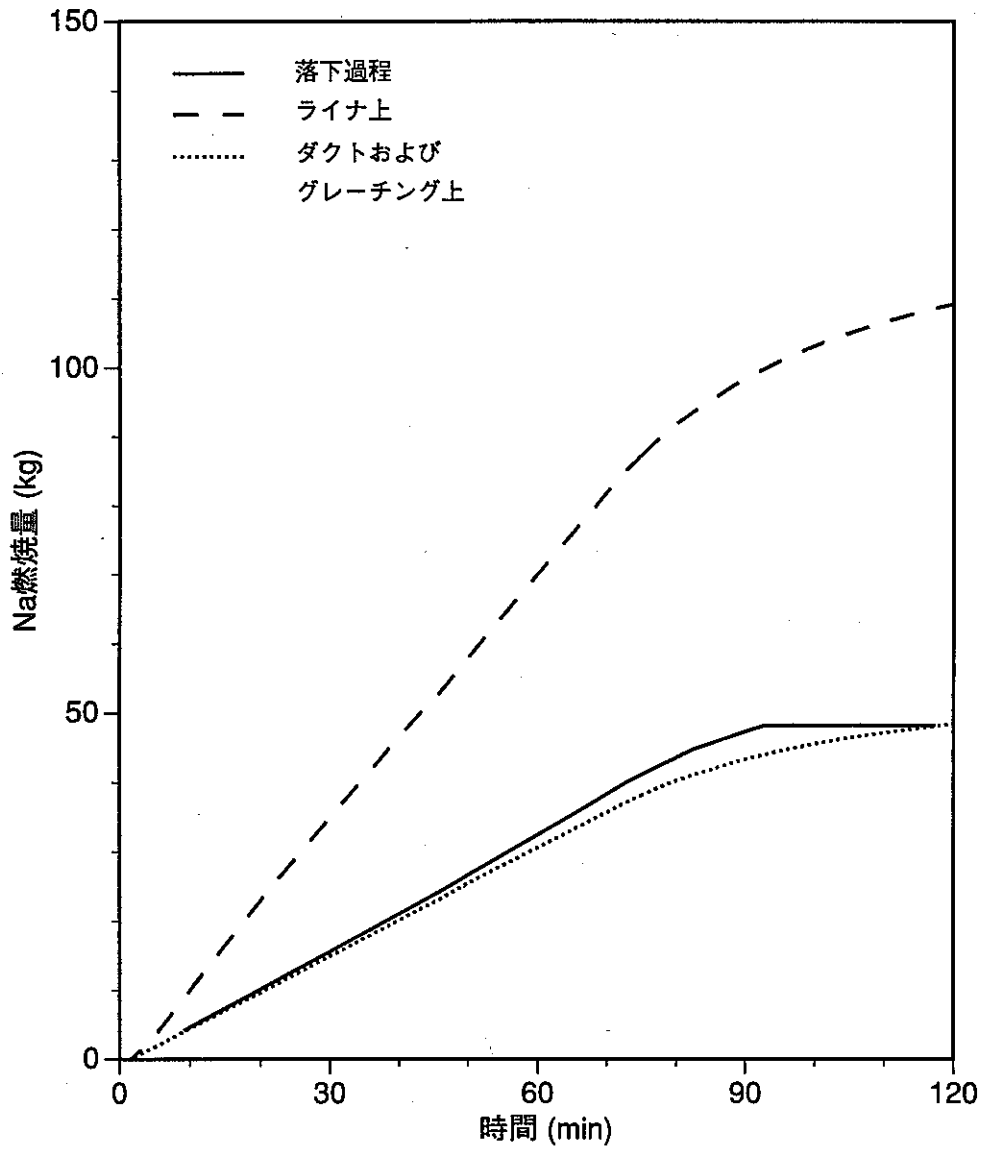
図A1-7-11 Na燃焼量 (CASE11)



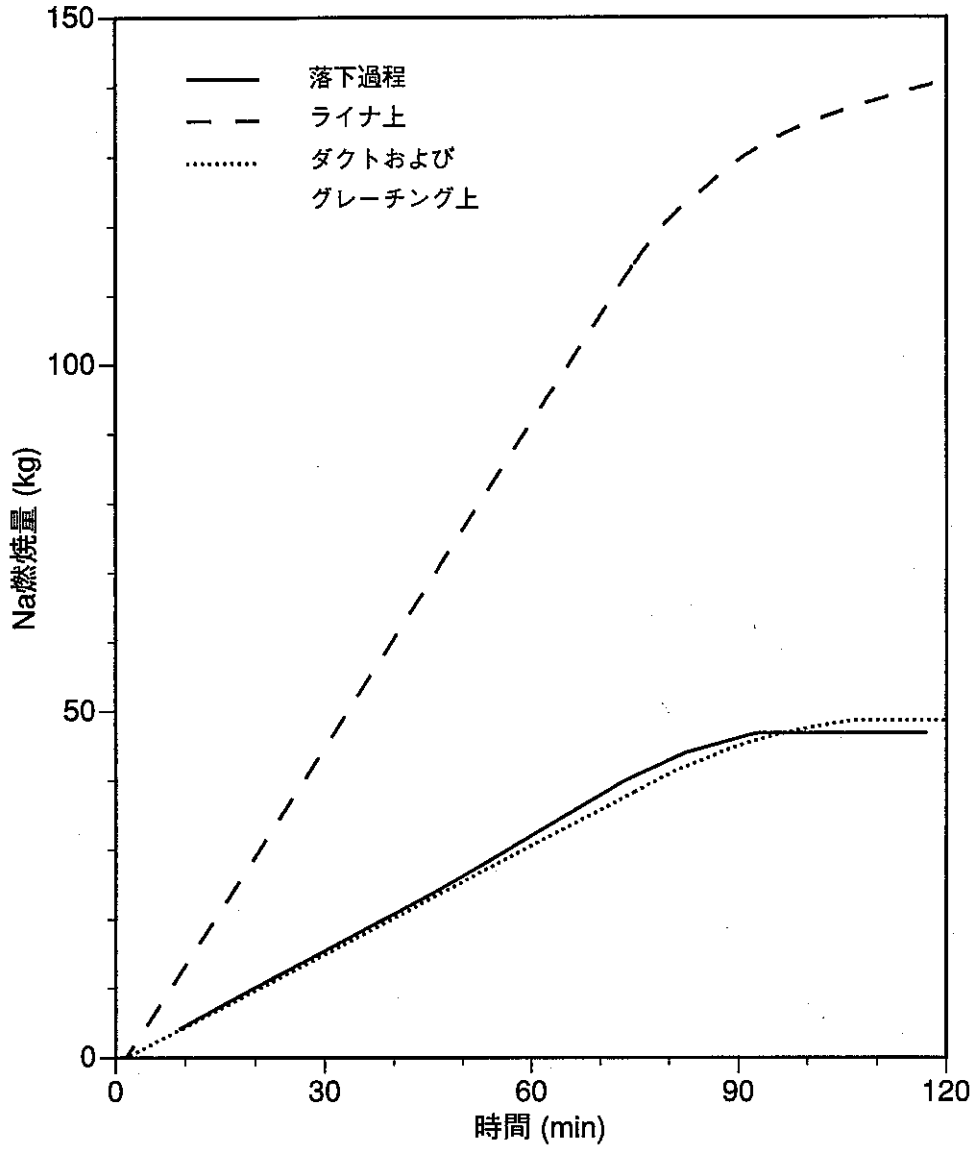
図A1-7-12 Na燃焼量 (CASE12)



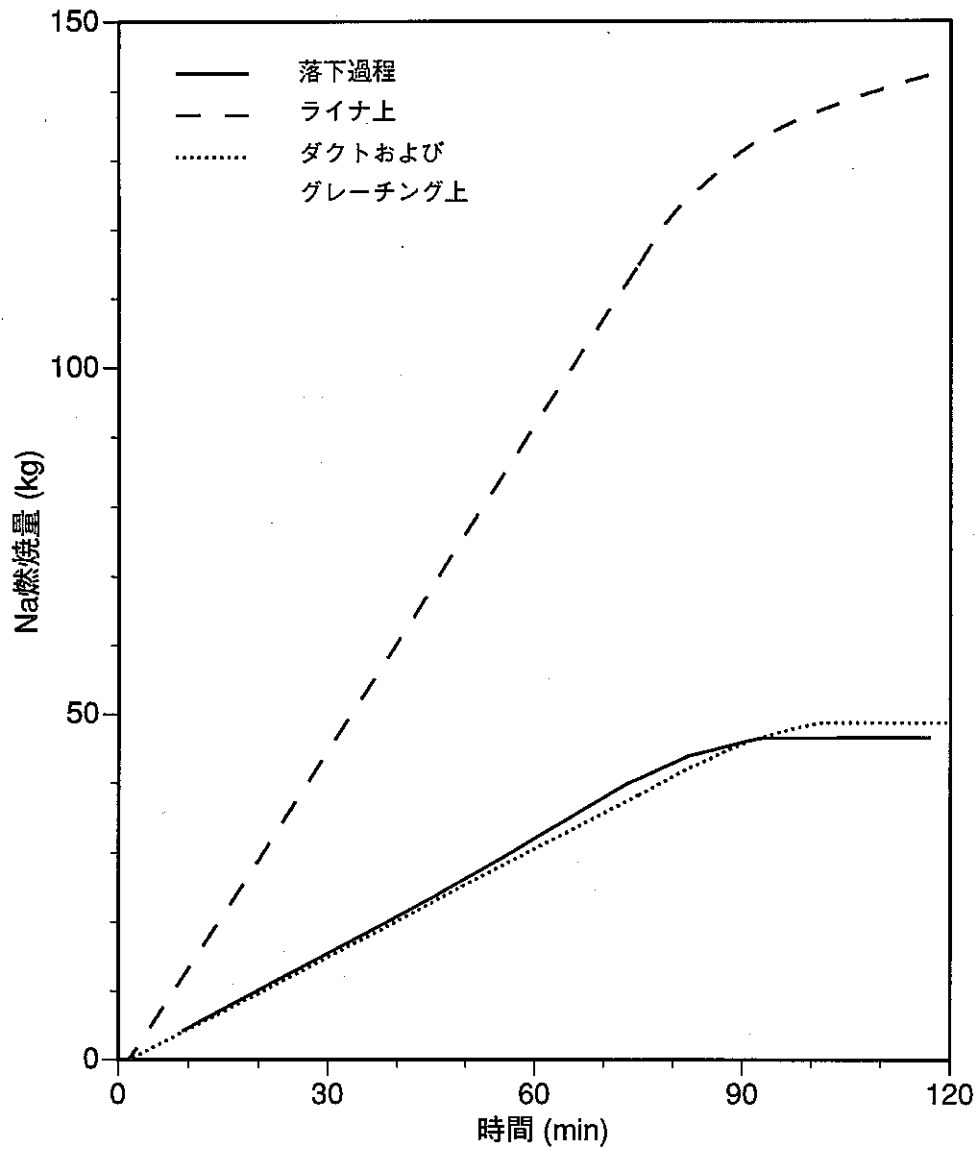
図A1-7-13 Na燃焼量 (CASE13)



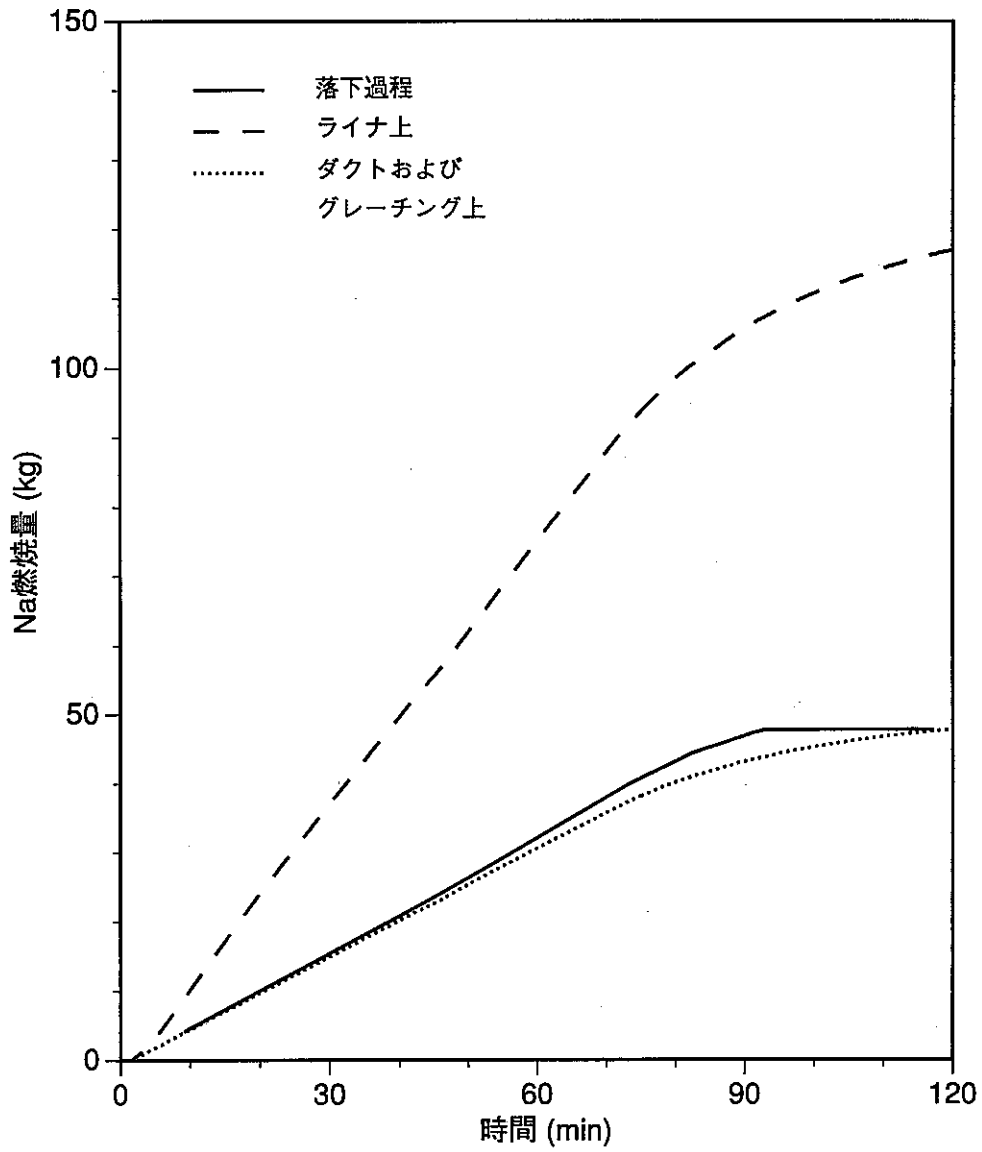
図A1-7-14 Na燃焼量 (CASE14)



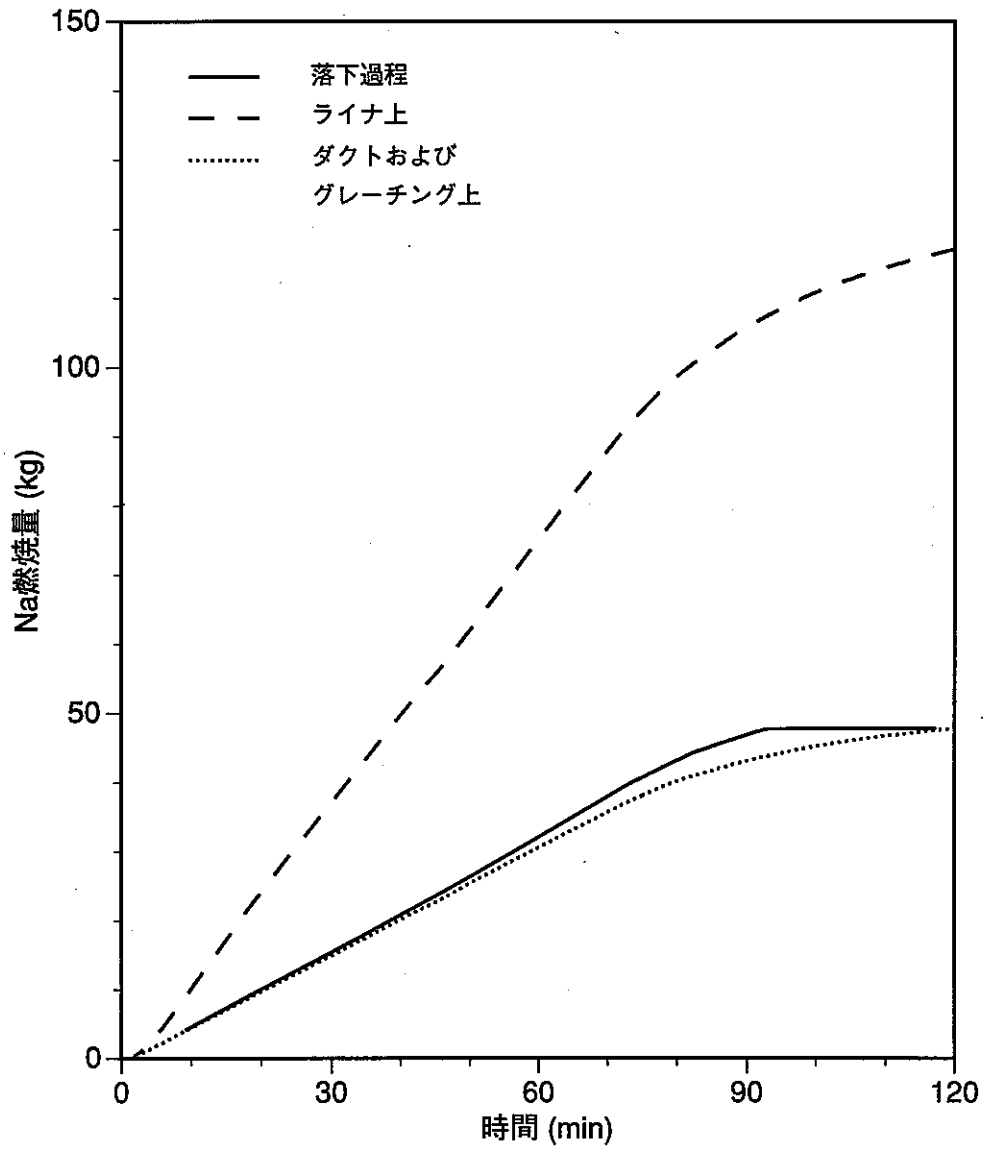
図A1-7-15 Na燃焼量 (CASE15)



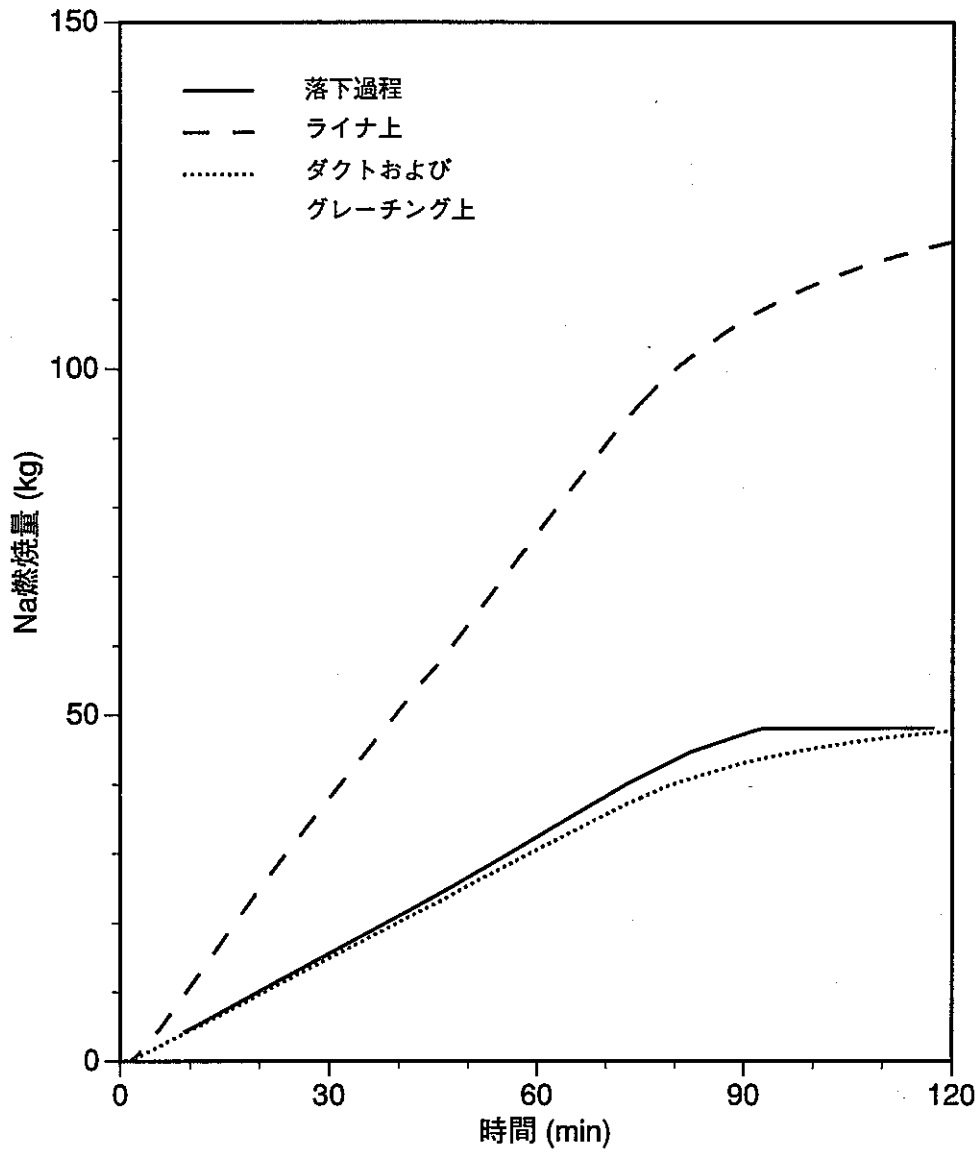
図A1-7-16 Na燃焼量 (CASE16)



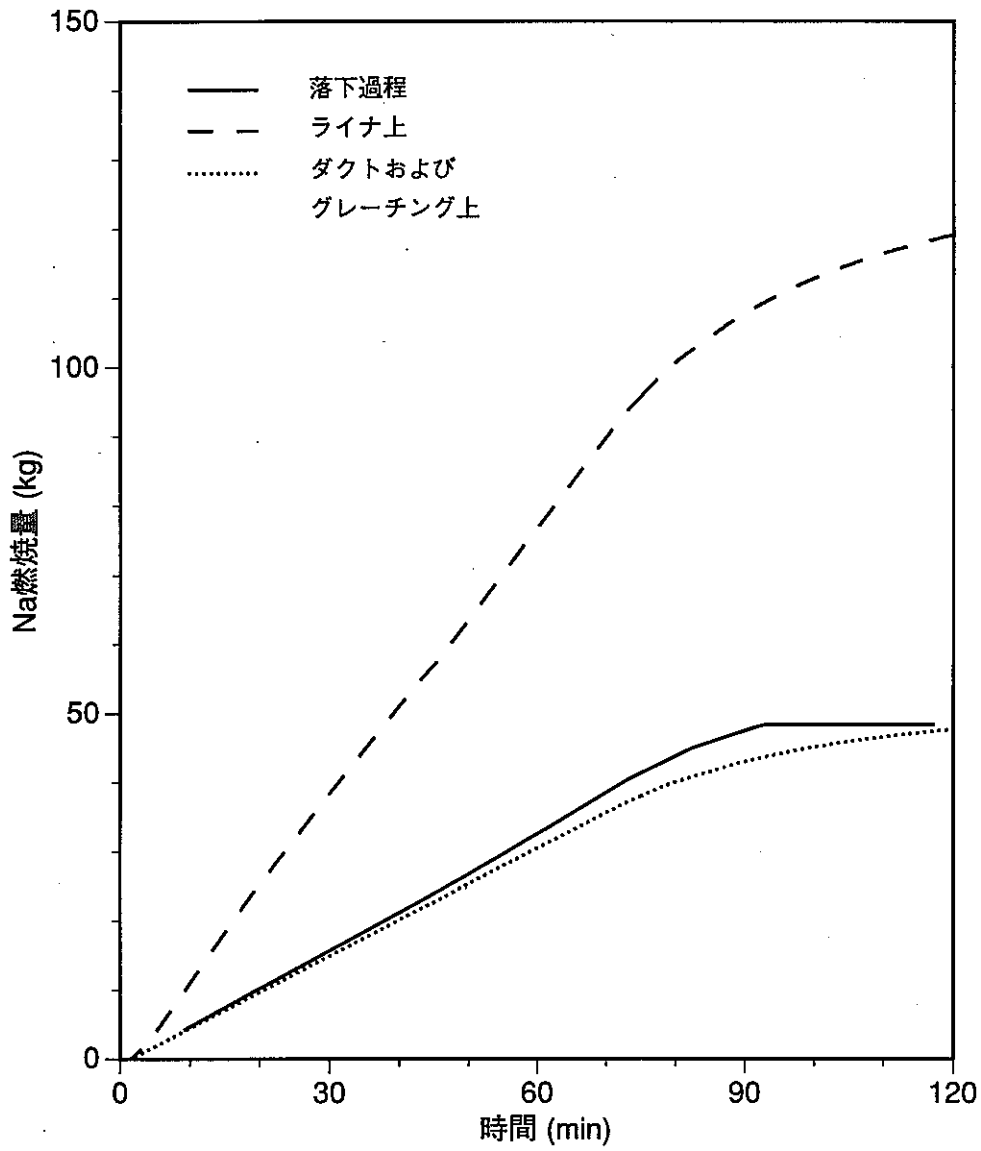
図A1-7-17 Na燃焼量 (CASE17)



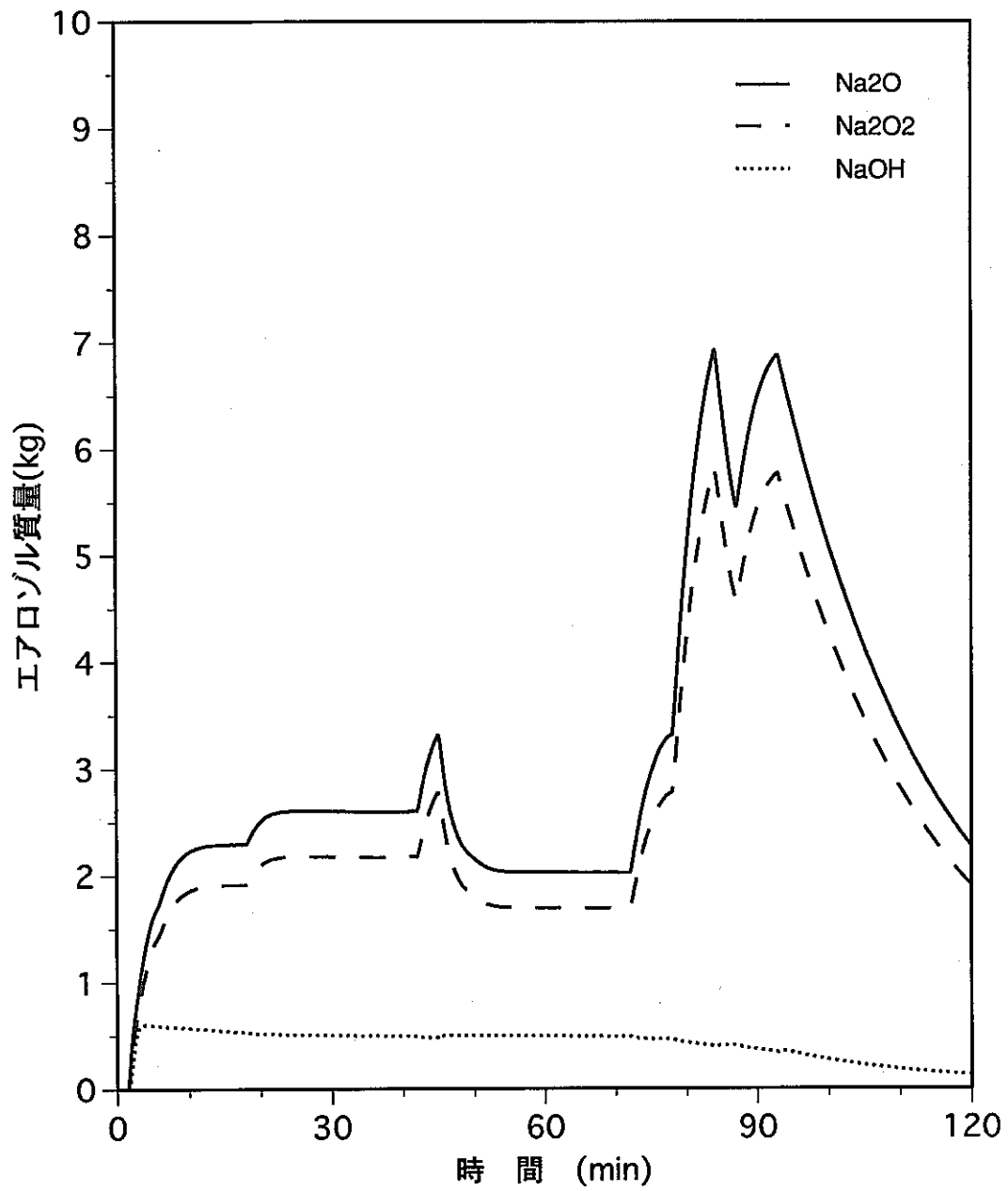
図A1-7-18 Na燃焼量 (CASE18)



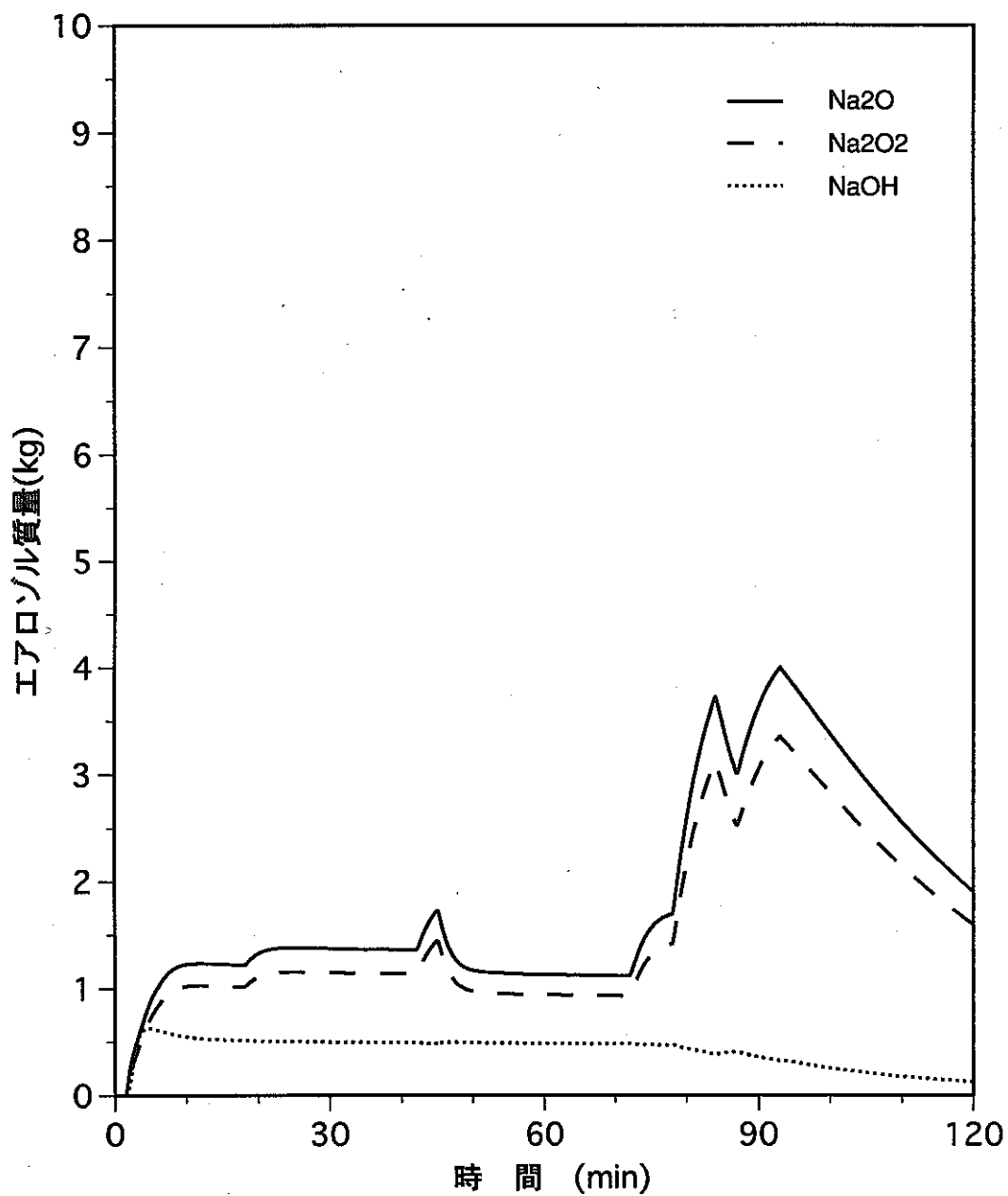
図A1-7-19 Na燃焼量 (CASE19)



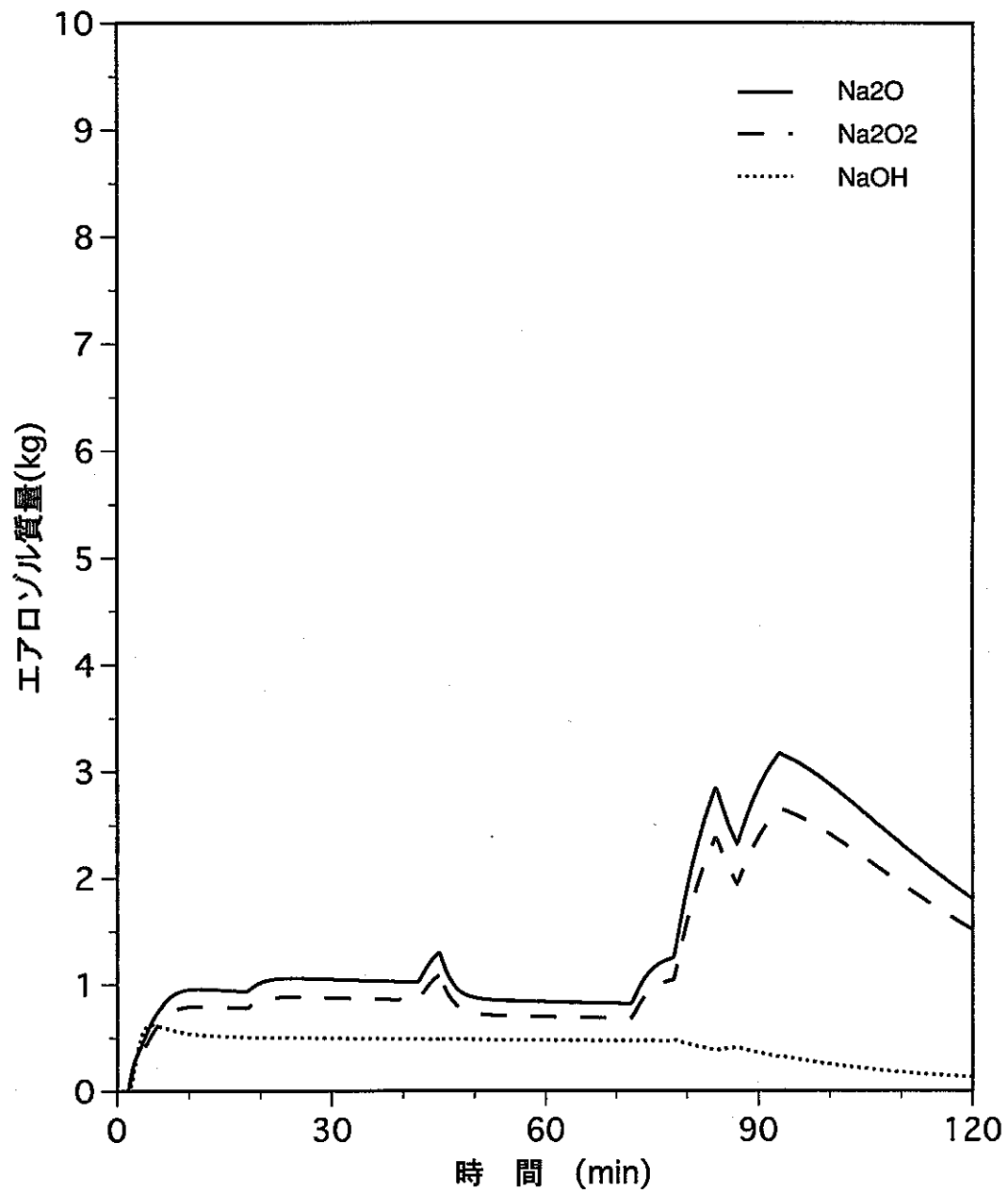
図A1-7-20 Na燃焼量 (CASE20)



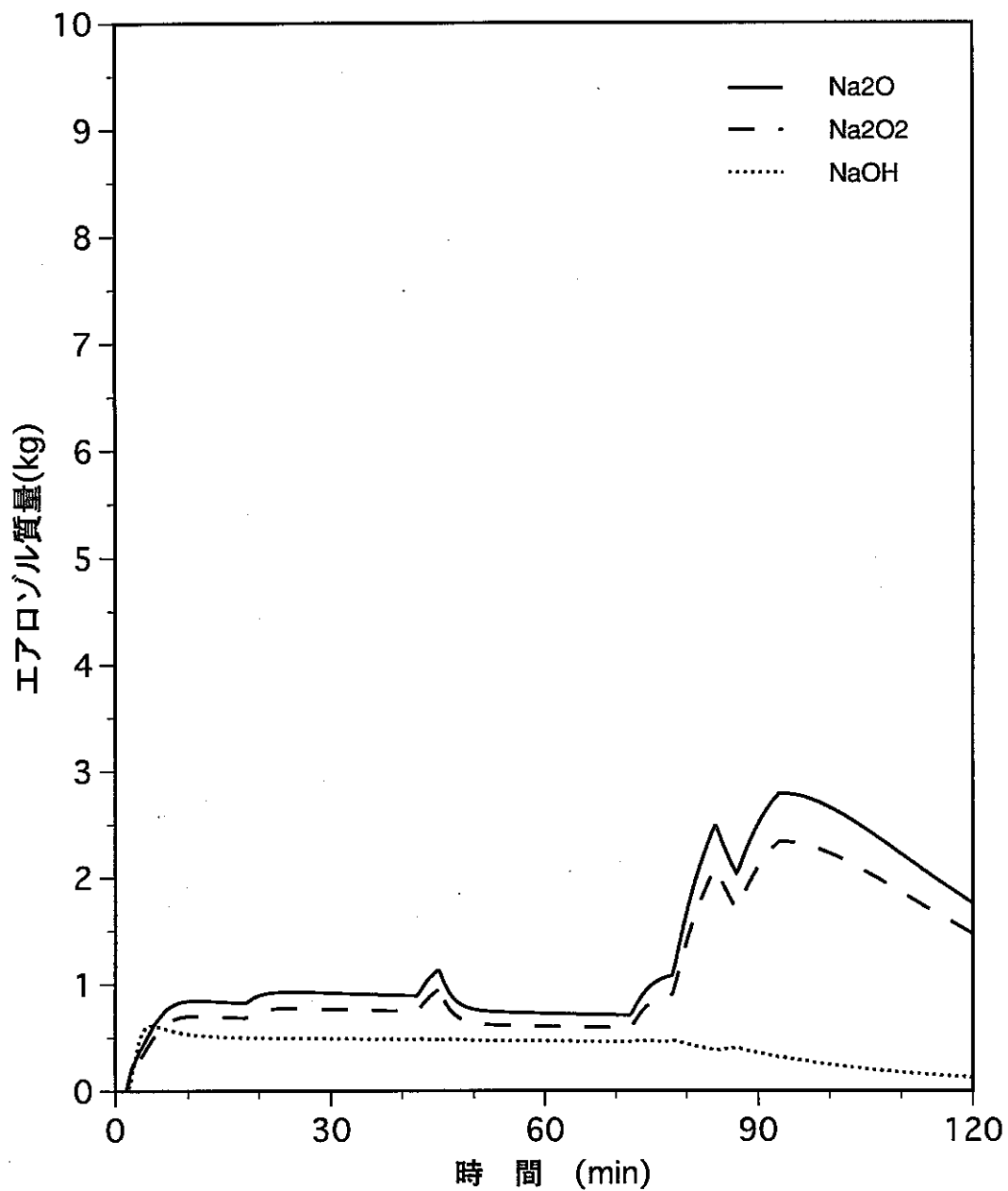
図A1-8-1 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE1)



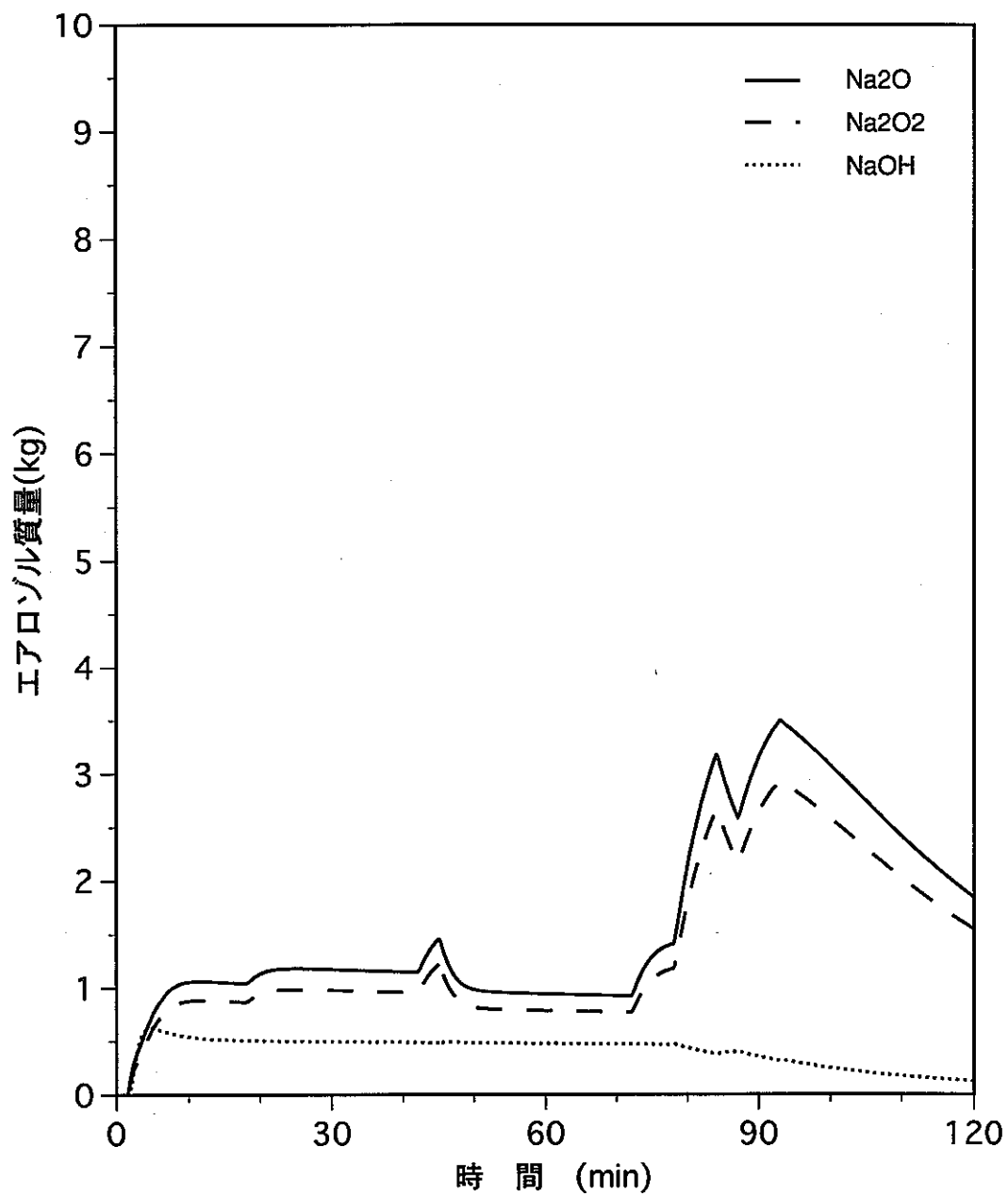
図A1-8-2 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE2)



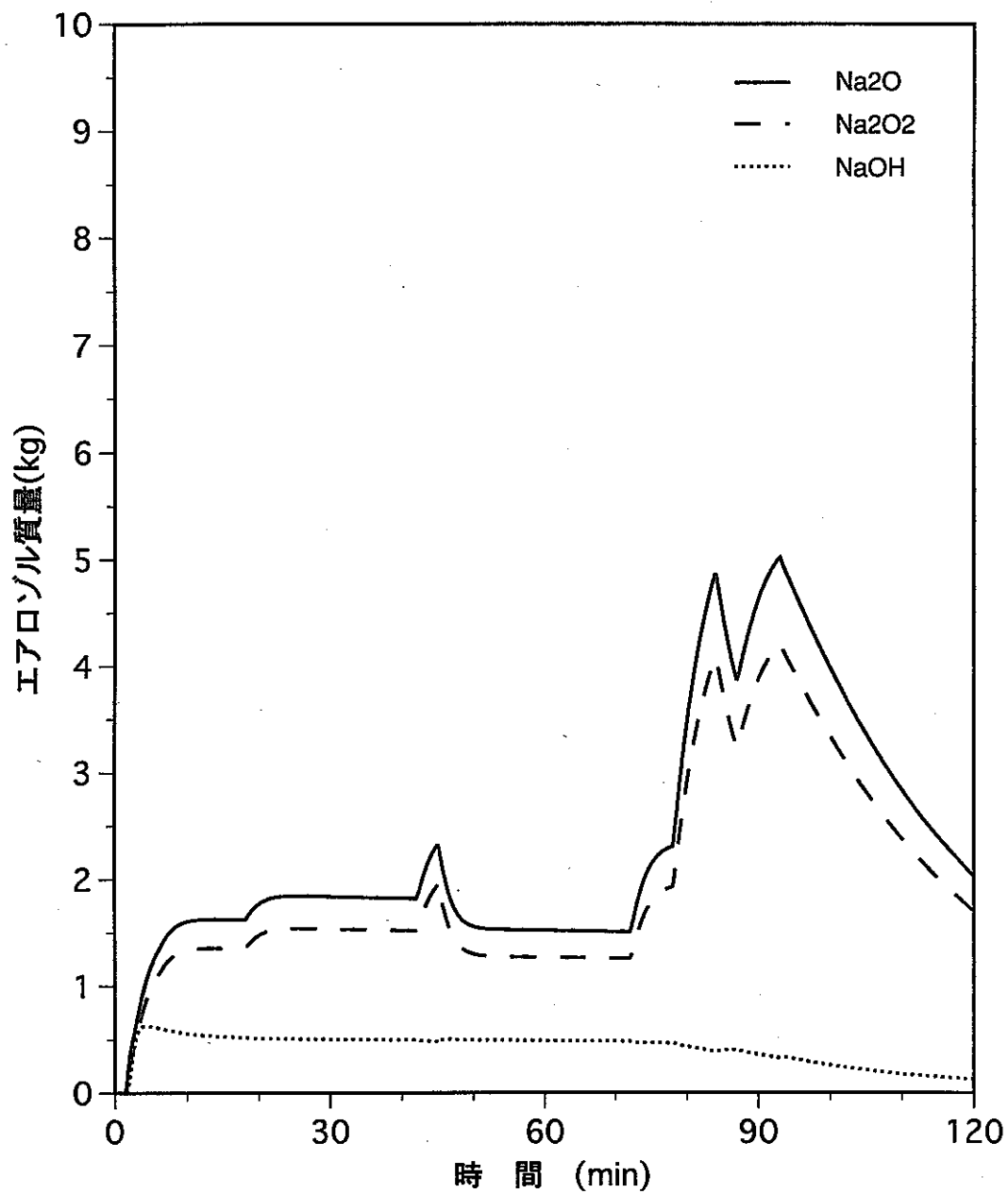
図A1-8-3 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE3)



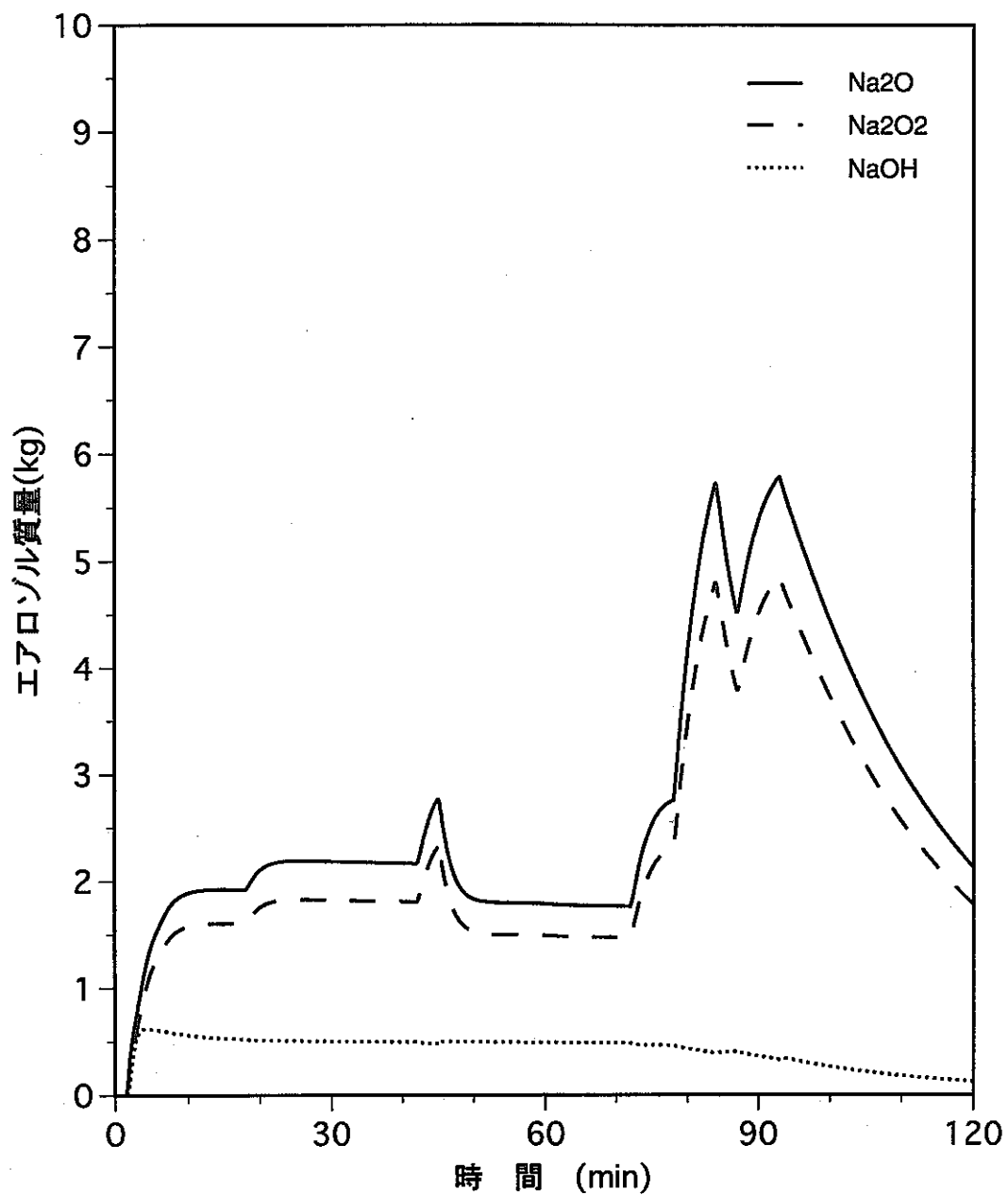
図A1-8-4 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE4)



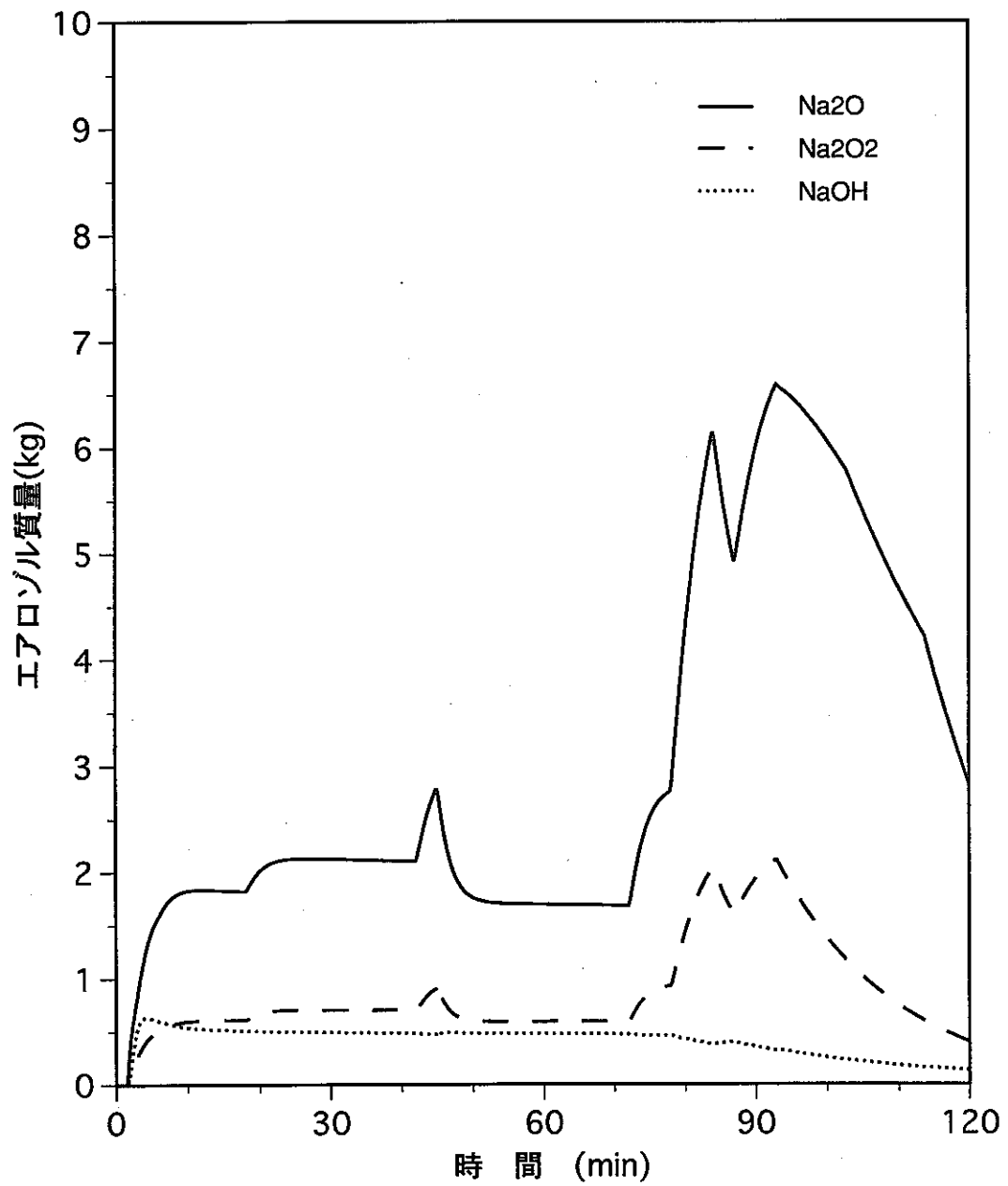
図A1-8-5 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE5)



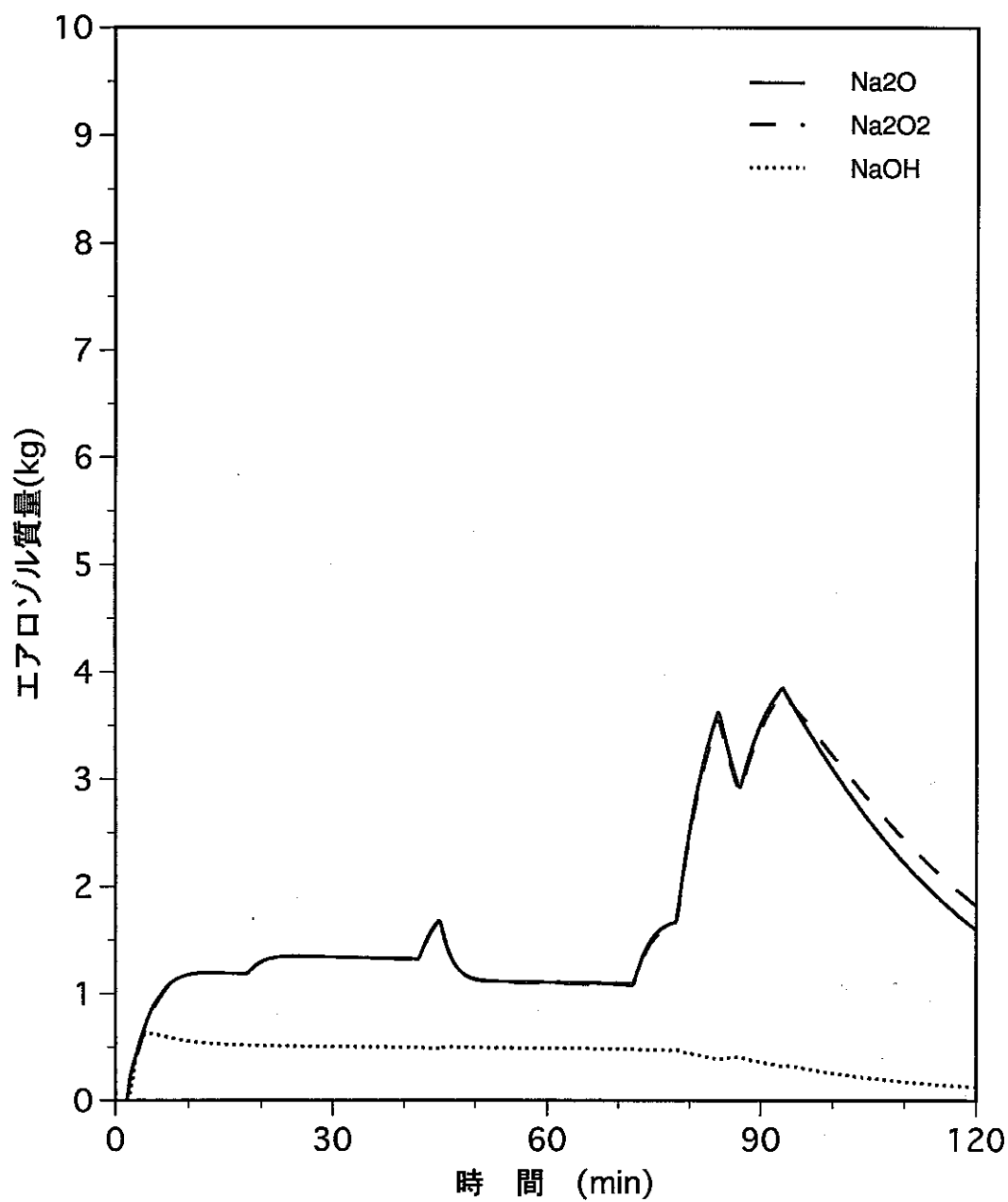
図A1-8-6 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE6)



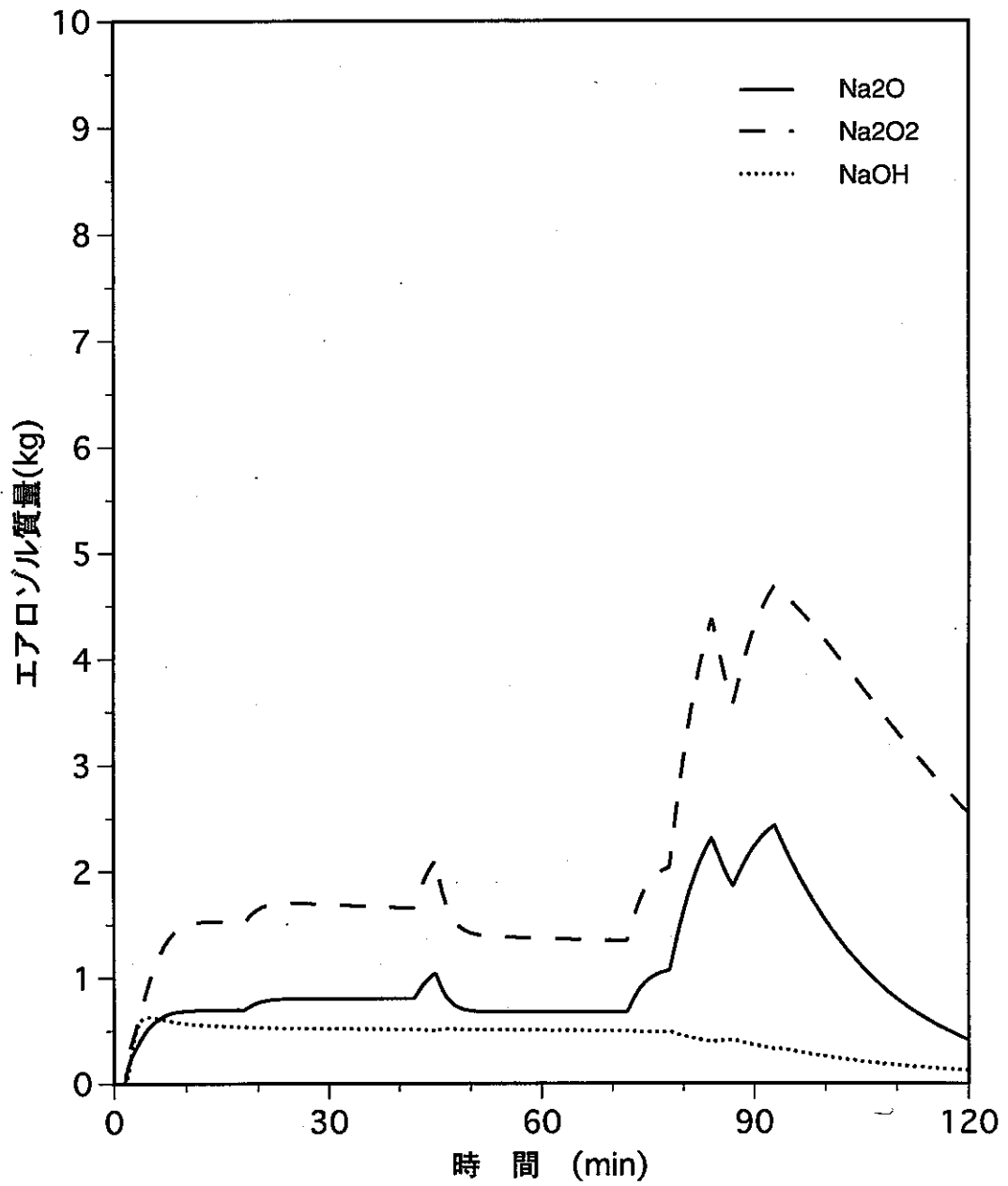
図A1-8-7 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE7)



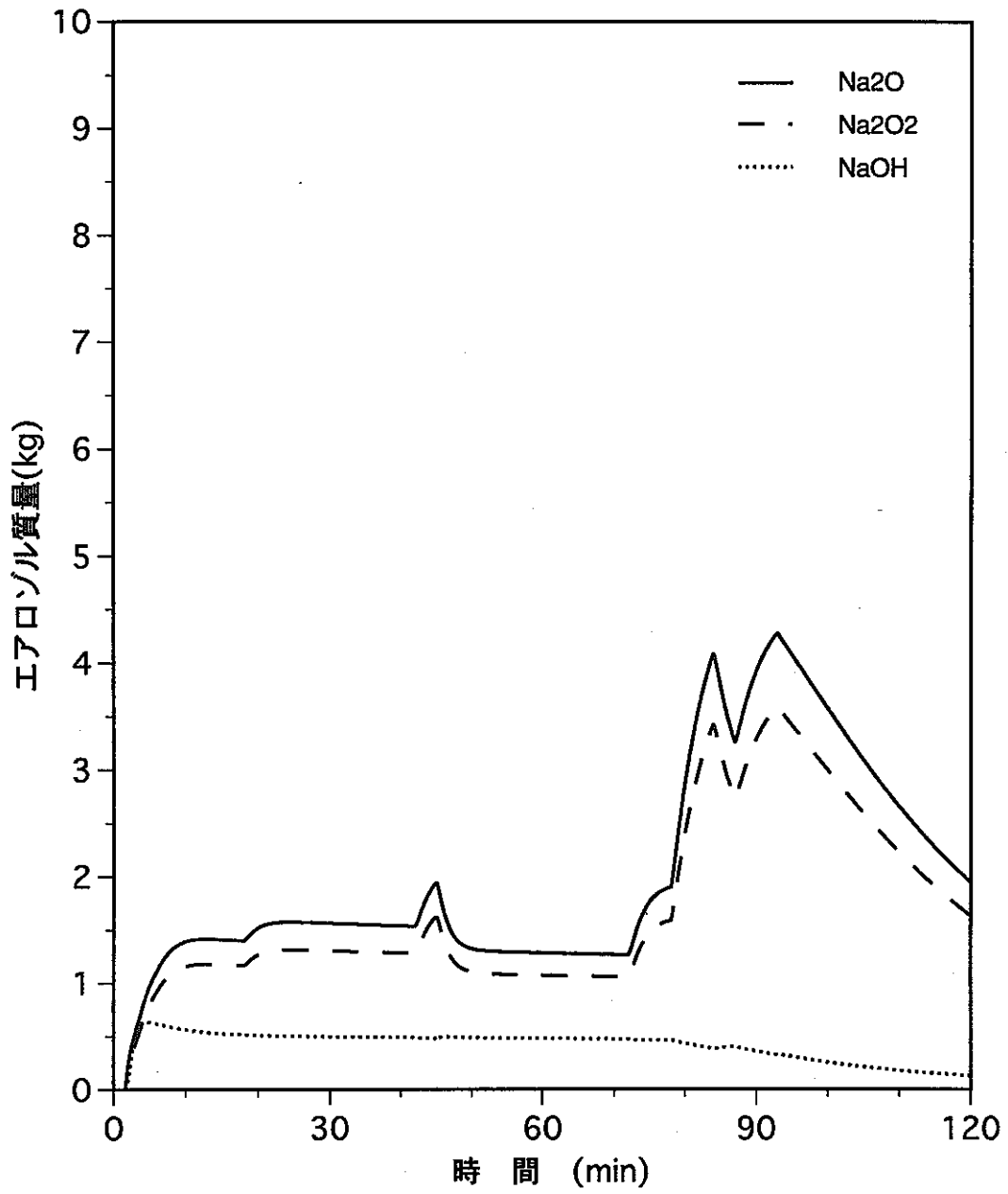
図A1-8-8 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE8)



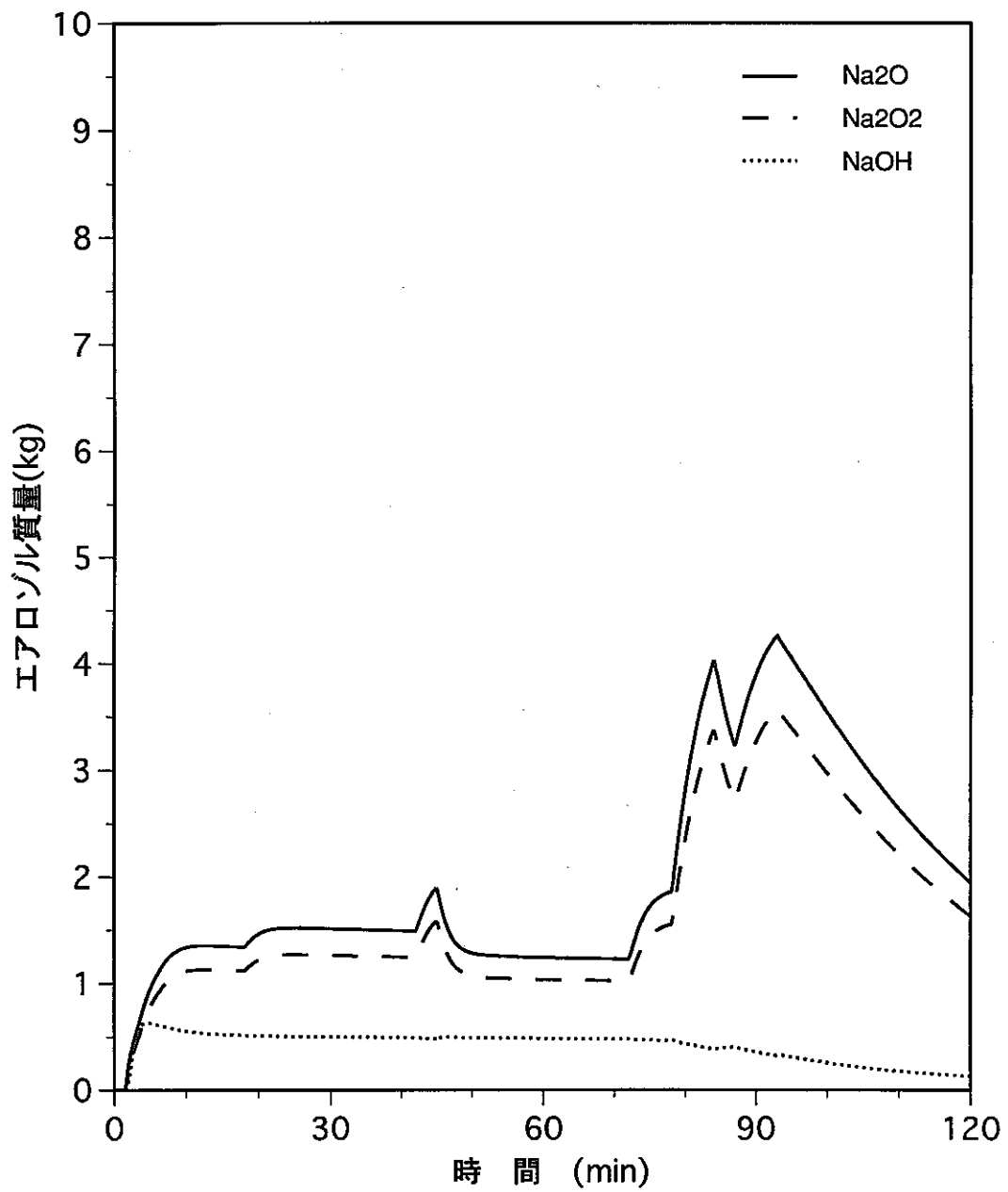
図A1-8-9 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE9)



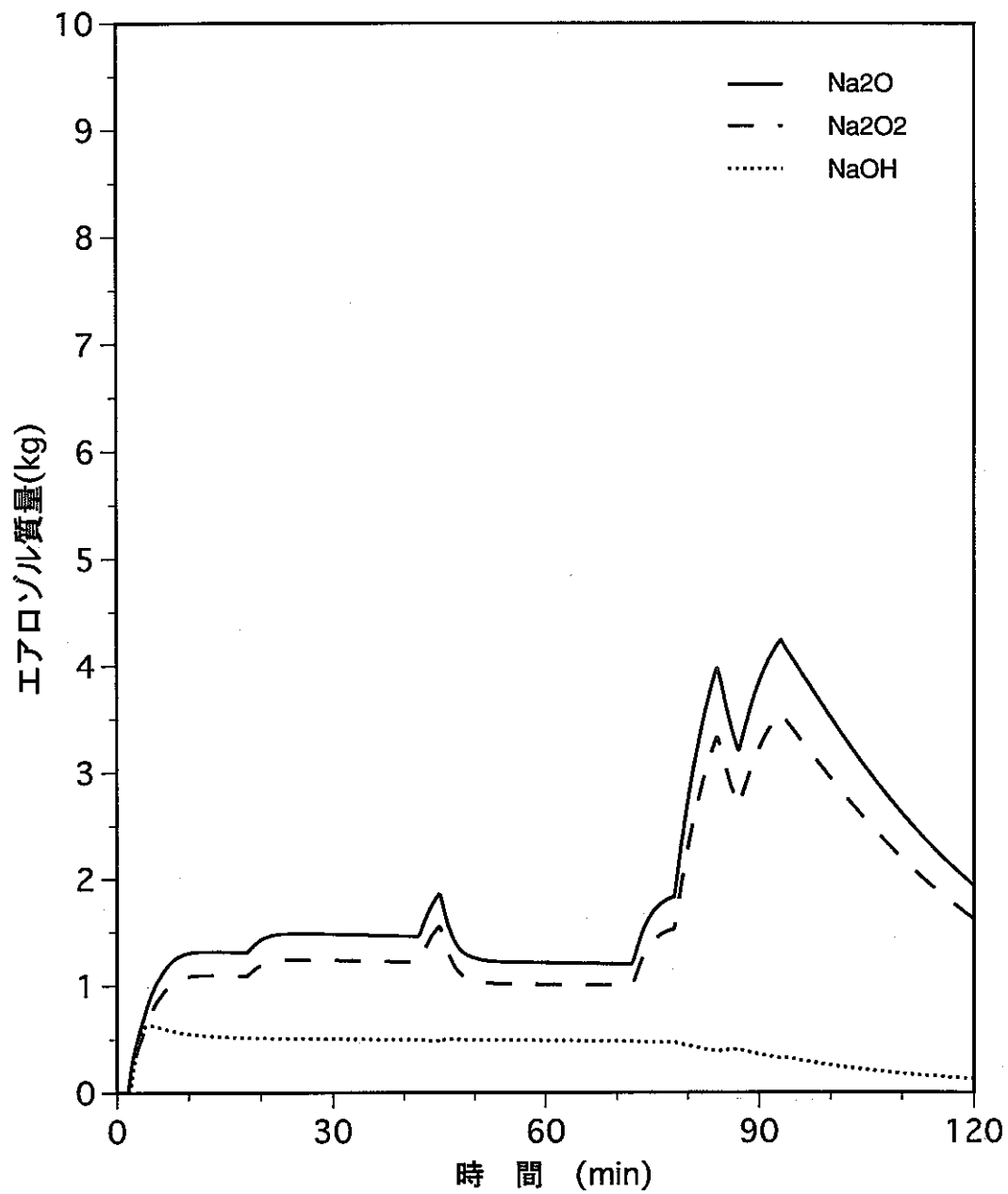
図A1-8-10 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE10)



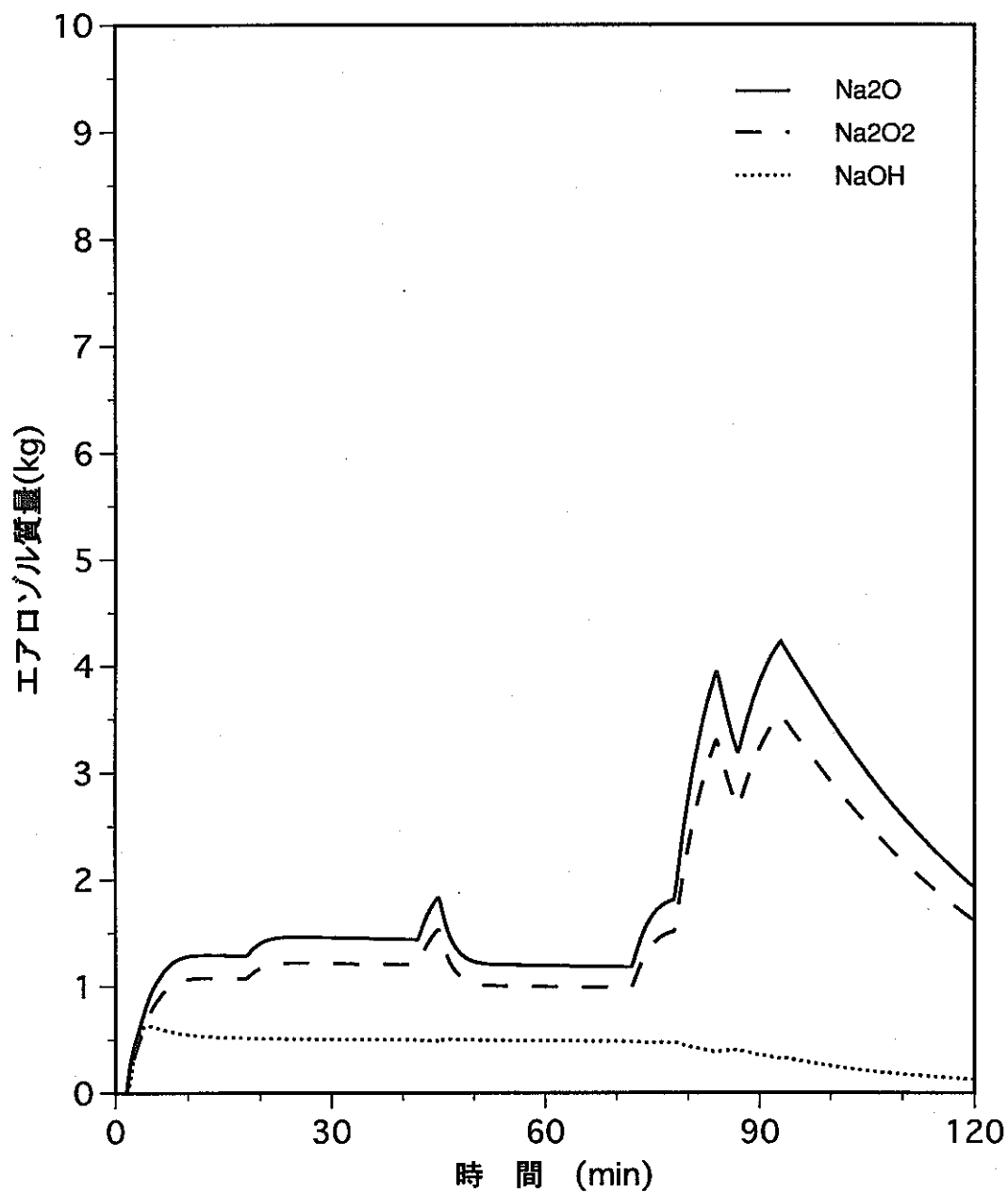
図A1-8-11 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE11)



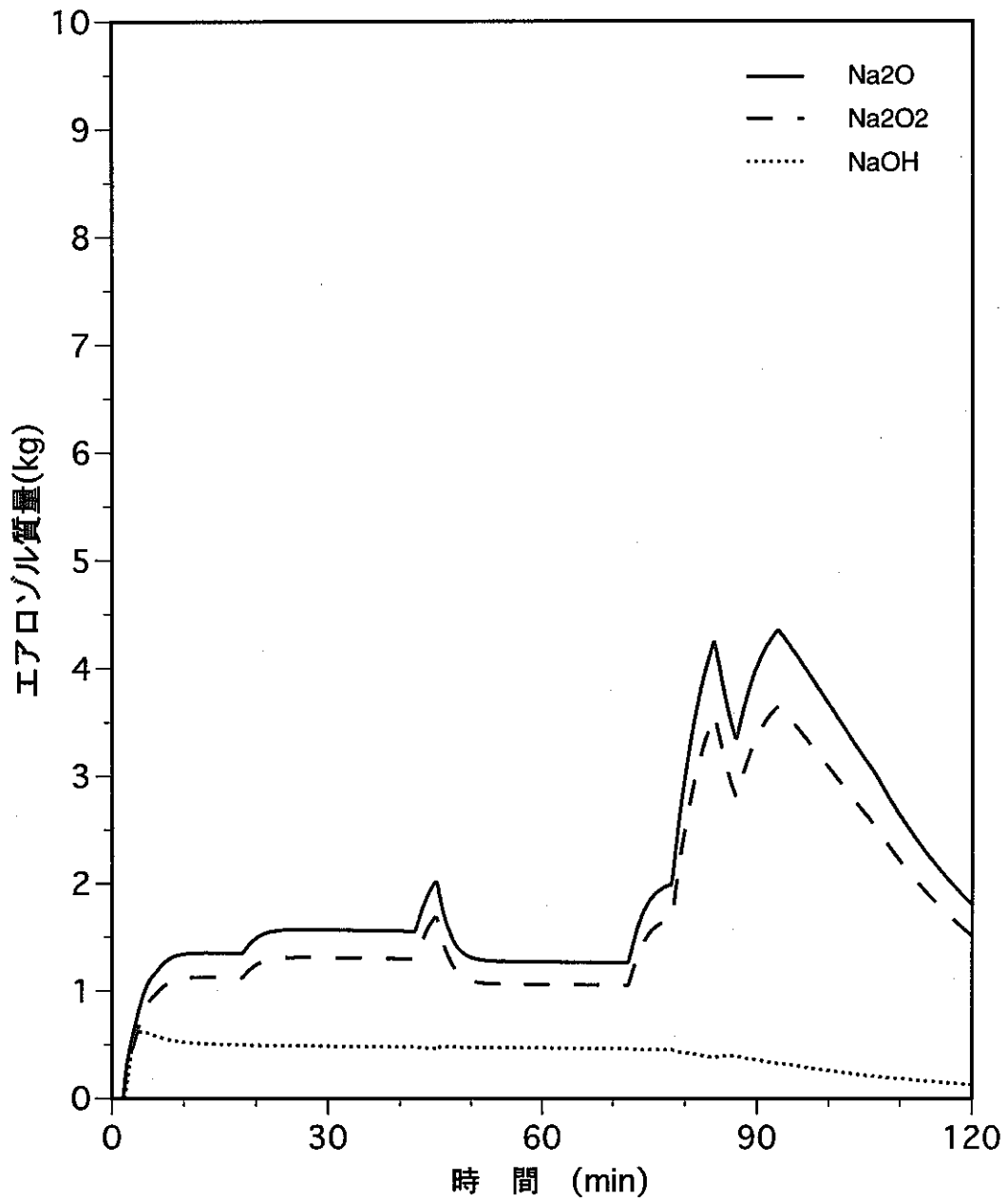
図A1-8-12 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE12)



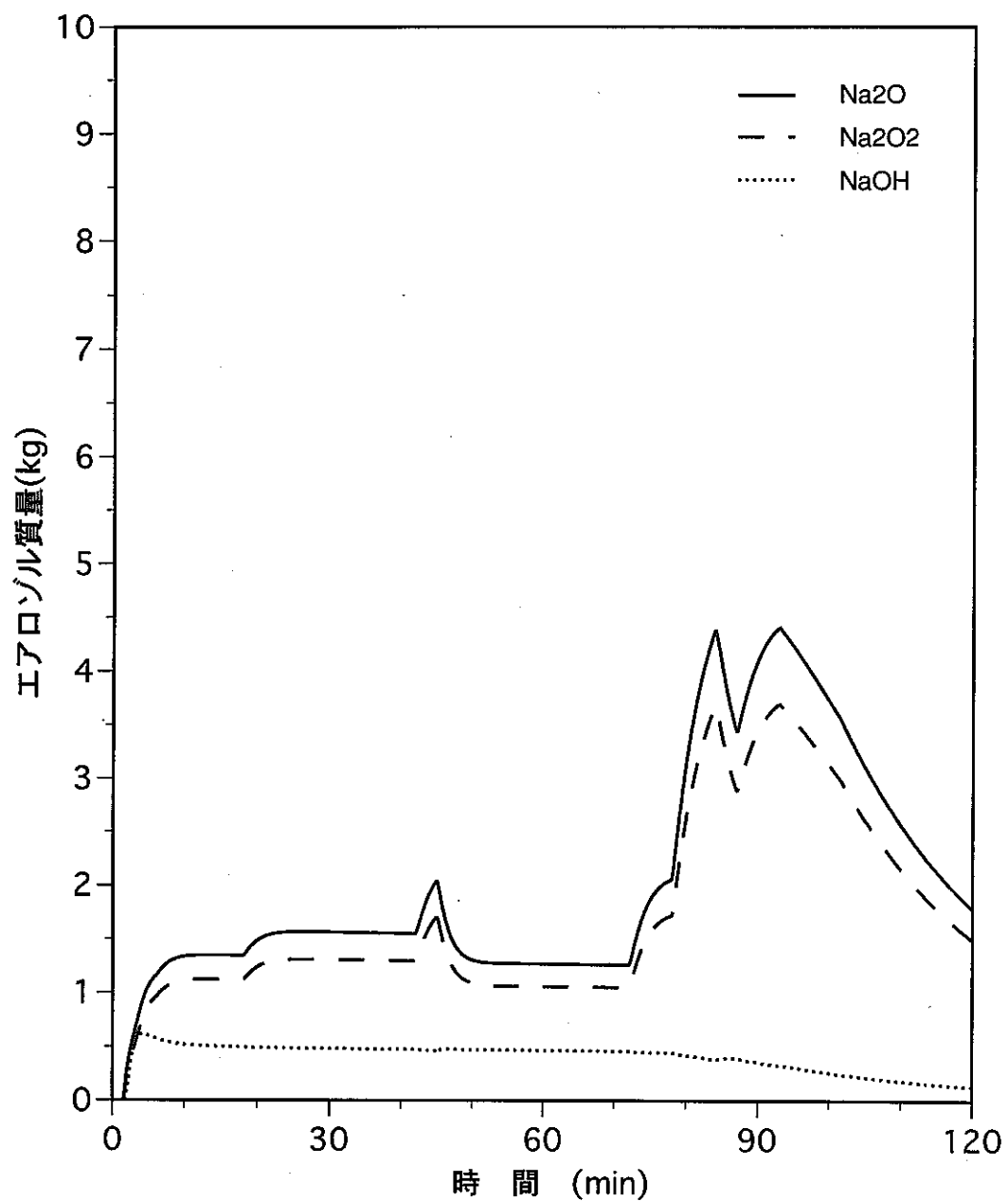
図A1-8-13 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE13)



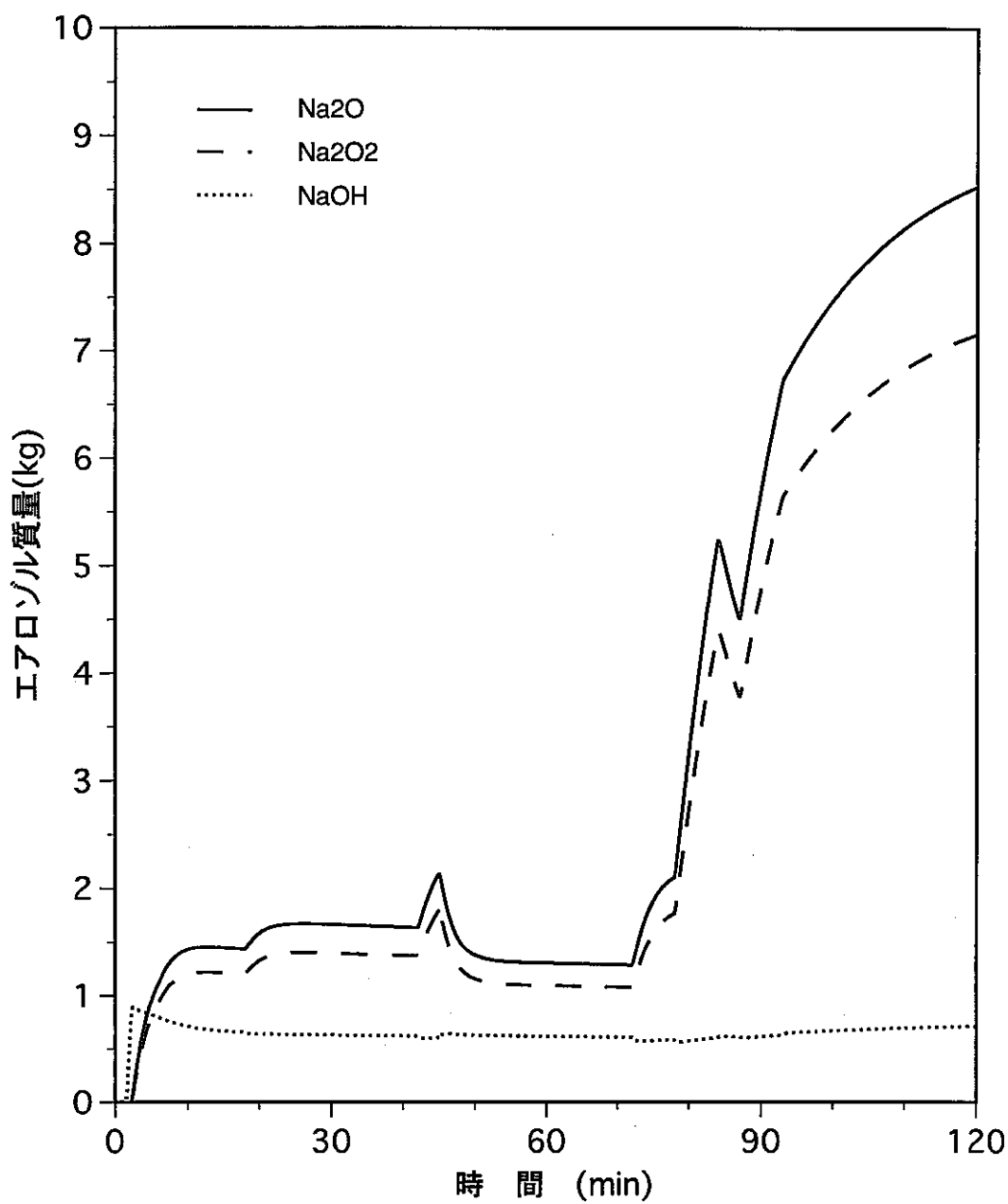
図A1-8-14 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE14)



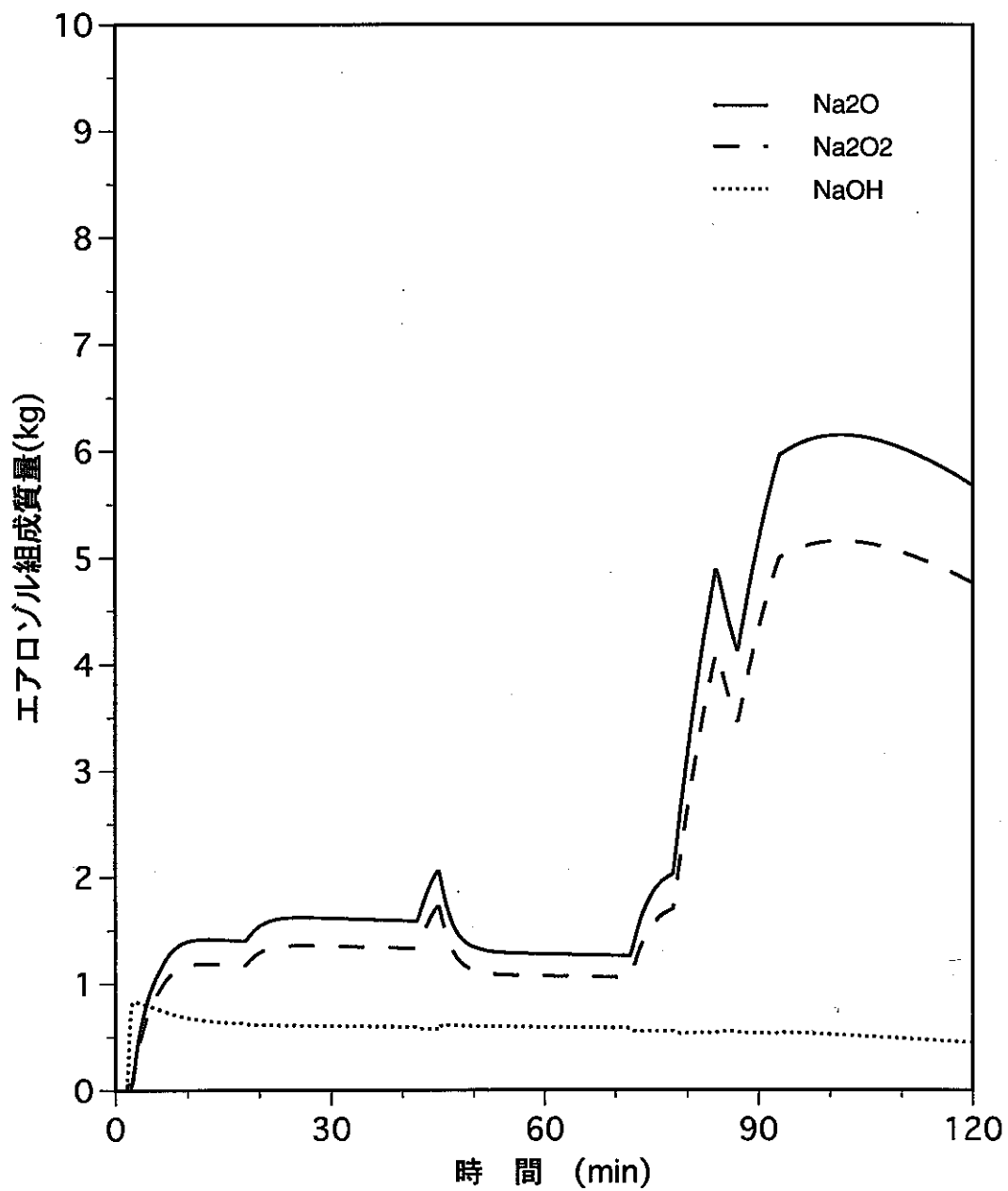
図A1-8-15 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE15)



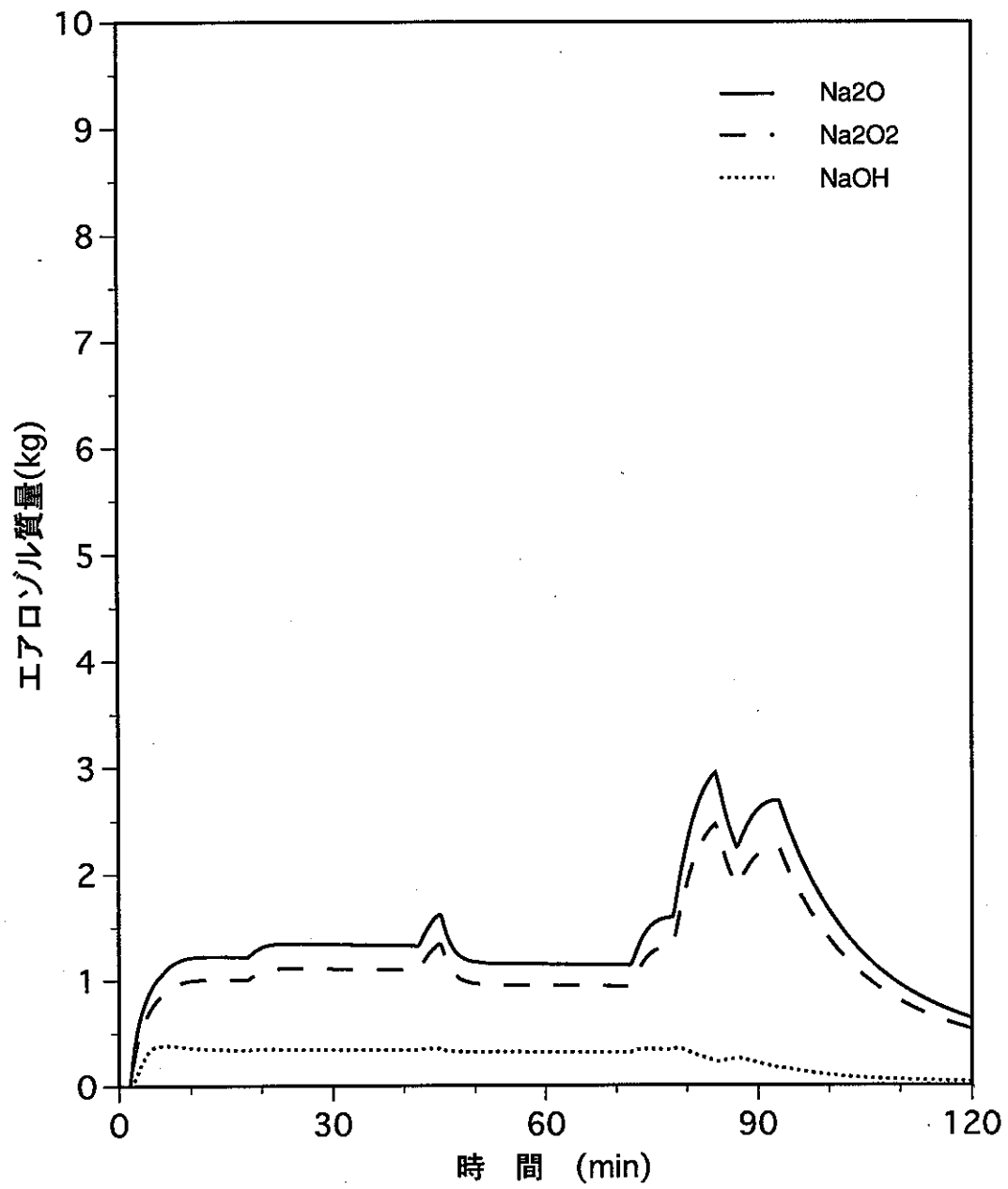
図A1-8-16 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE16)



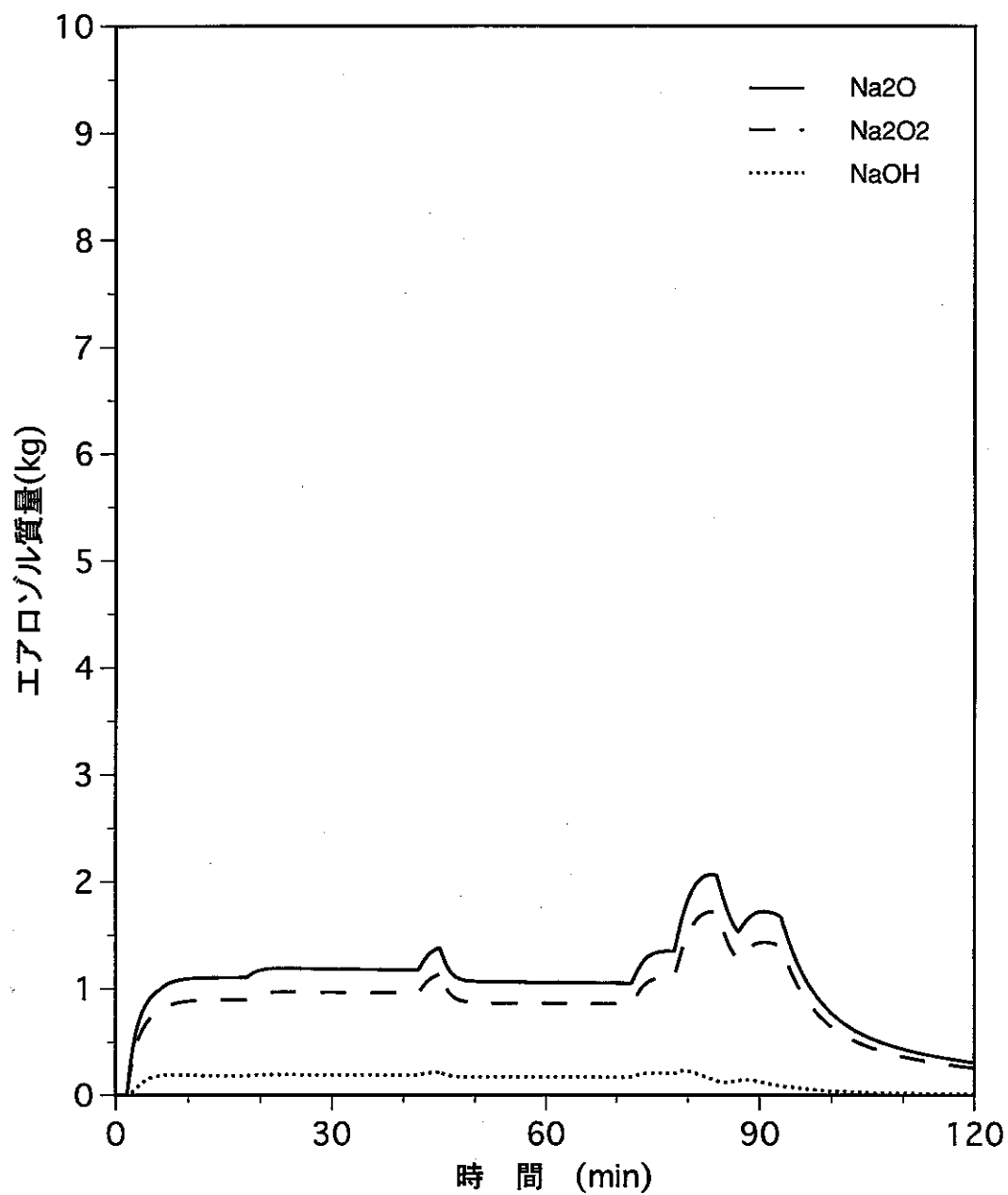
図A1-8-17 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE17)



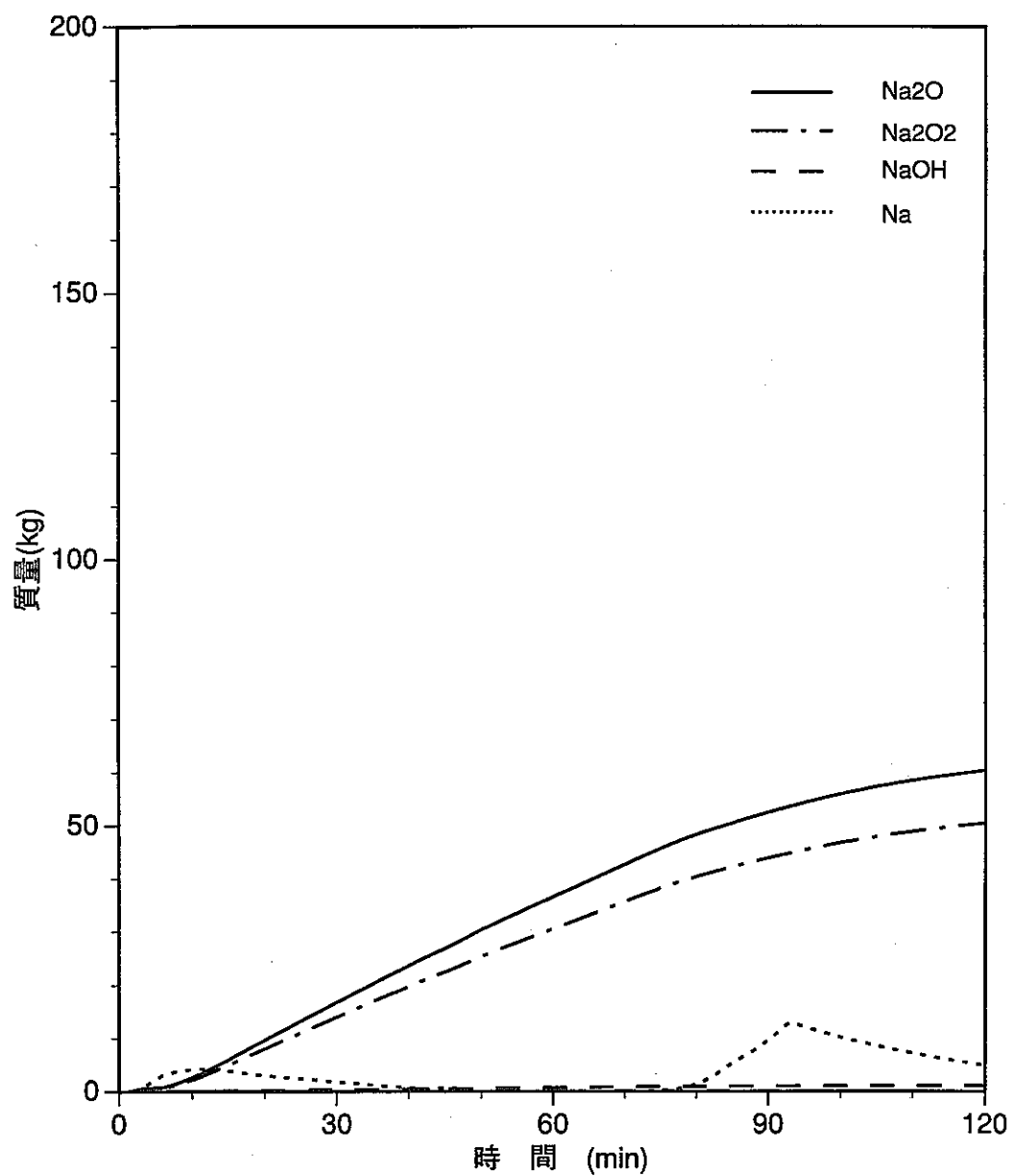
図A1-8-18 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE18)



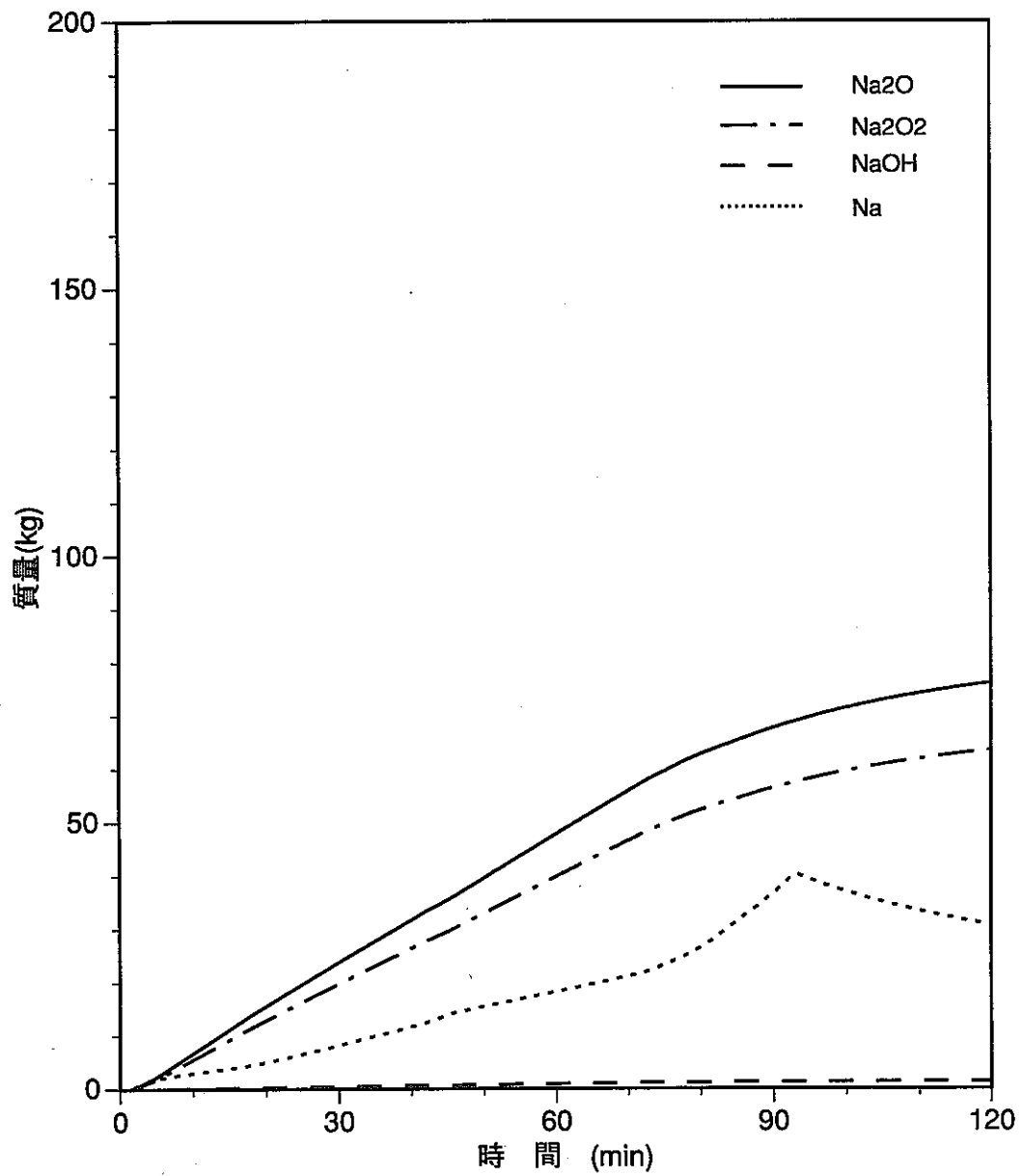
図A1-8-19 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE19)



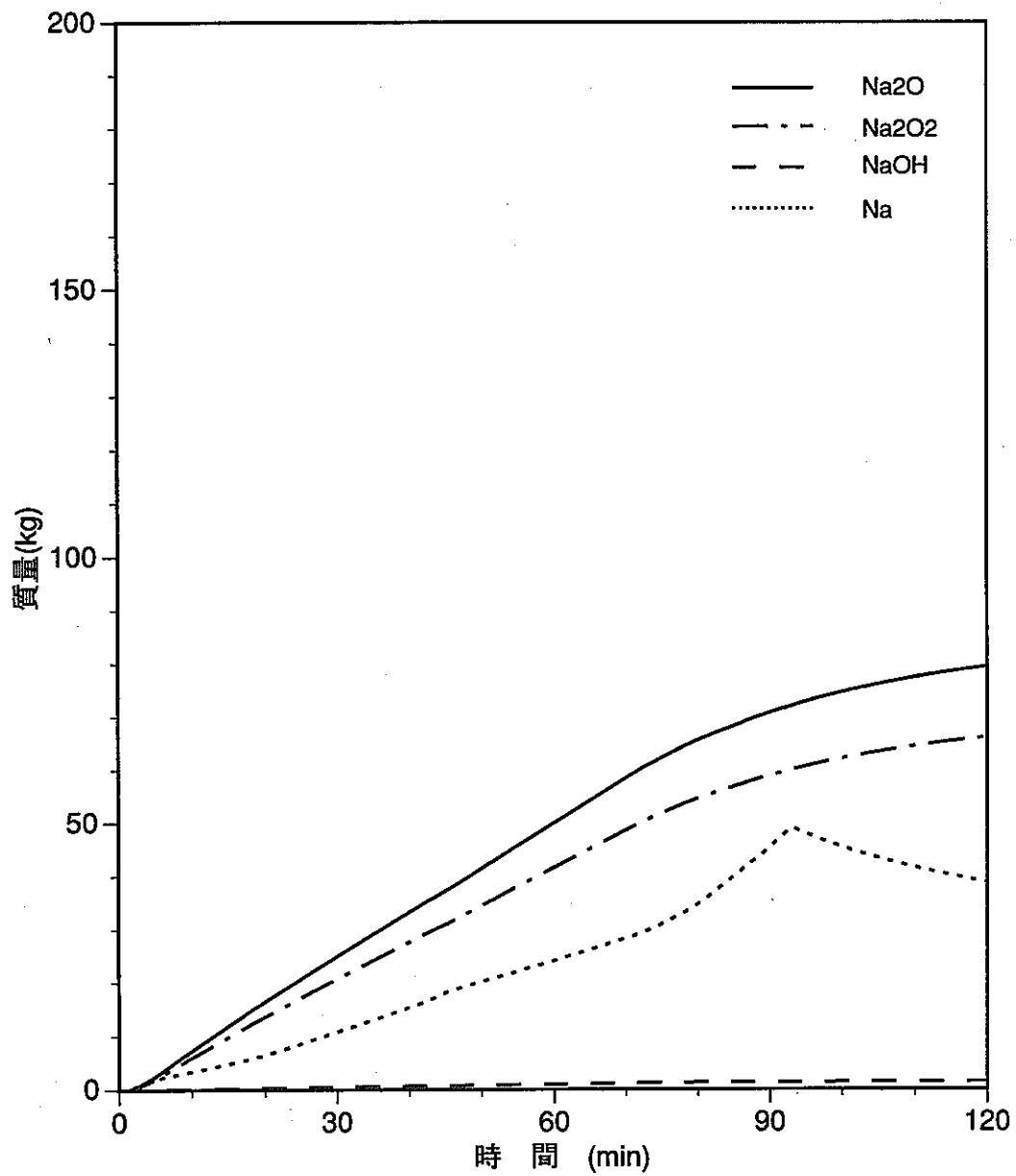
図A1-8-20 各エアロゾル成分の質量の時間変化 (CASE20)



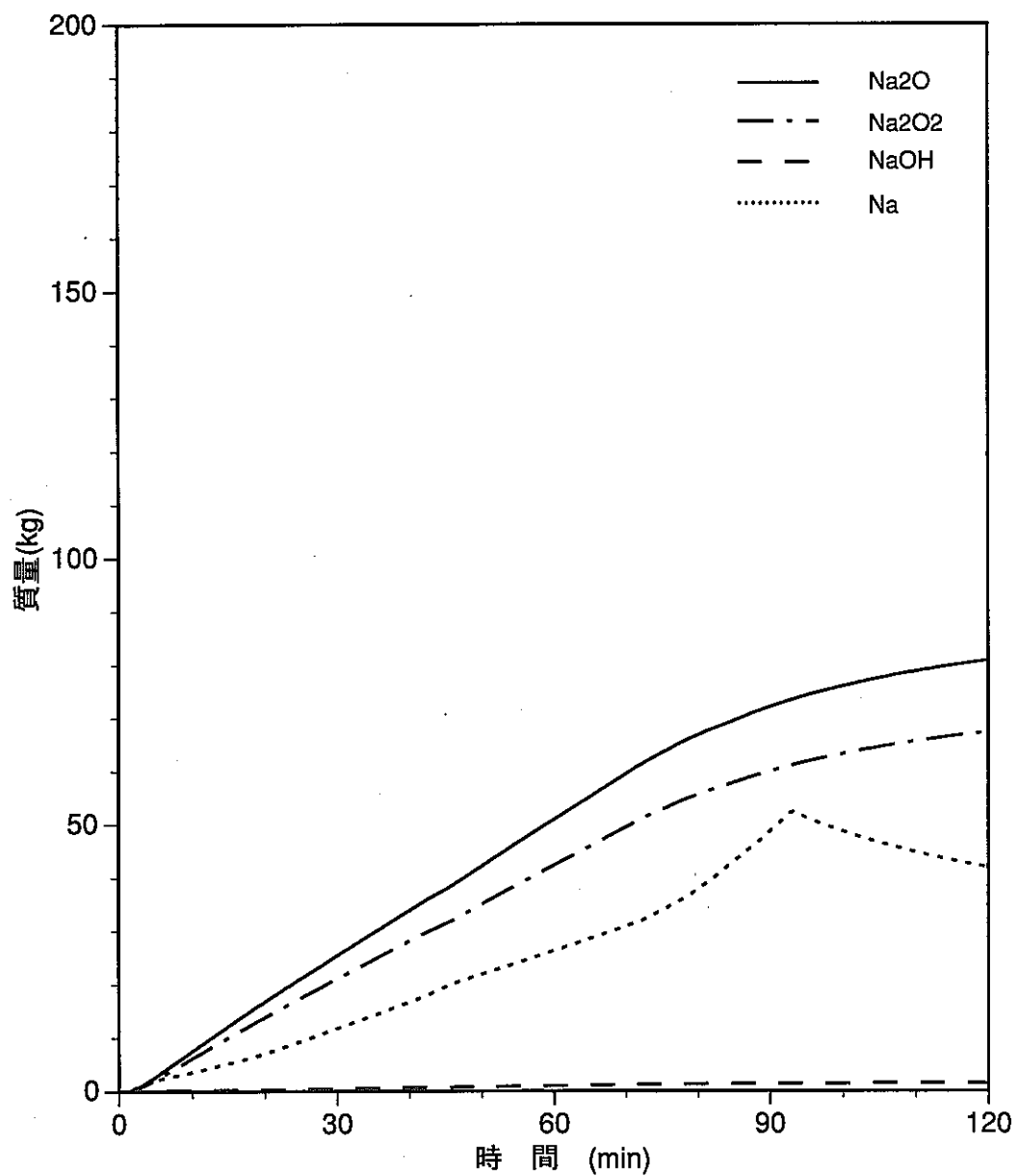
図A1-9-1 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE1)



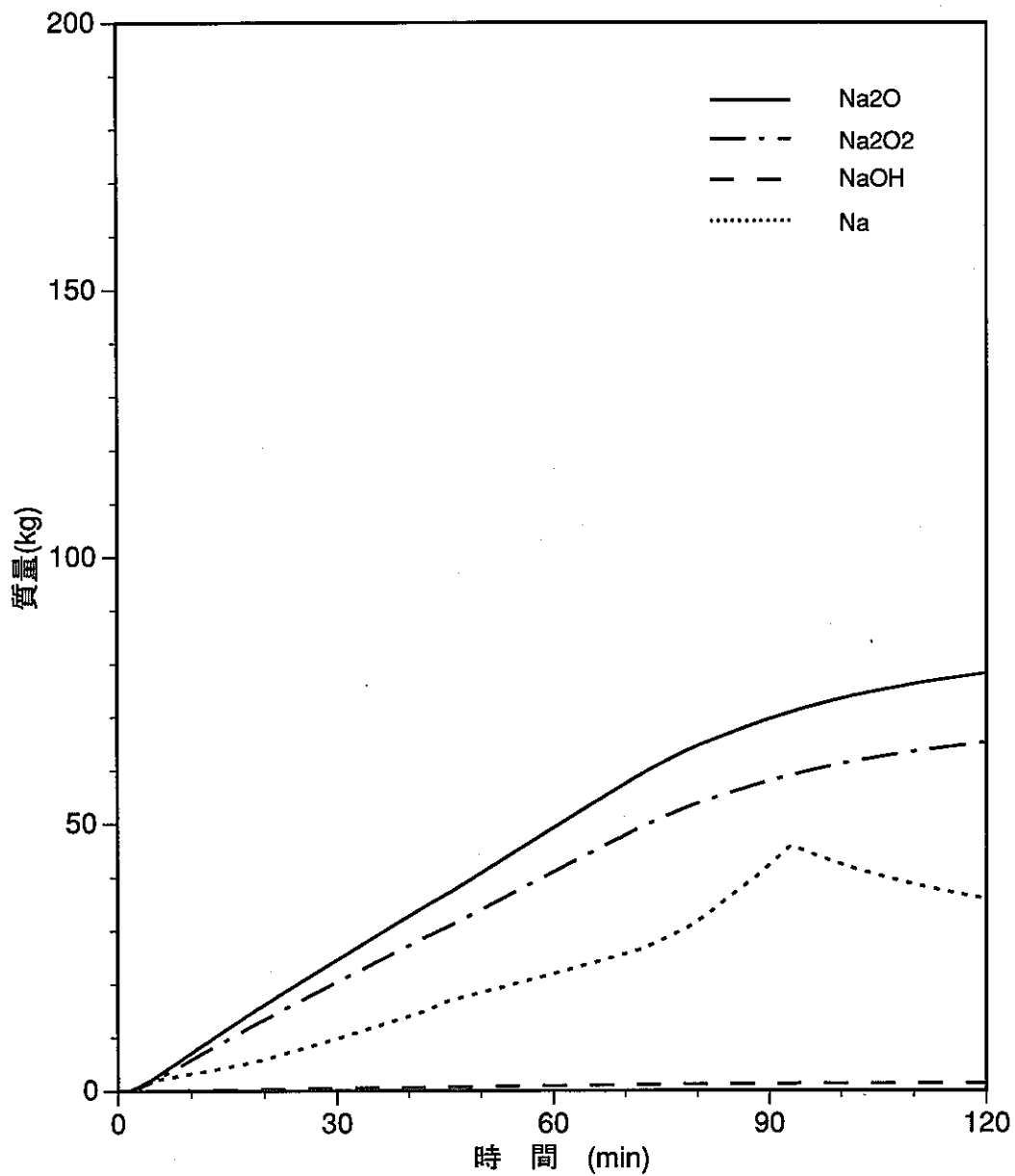
図A1-9-2 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE2)



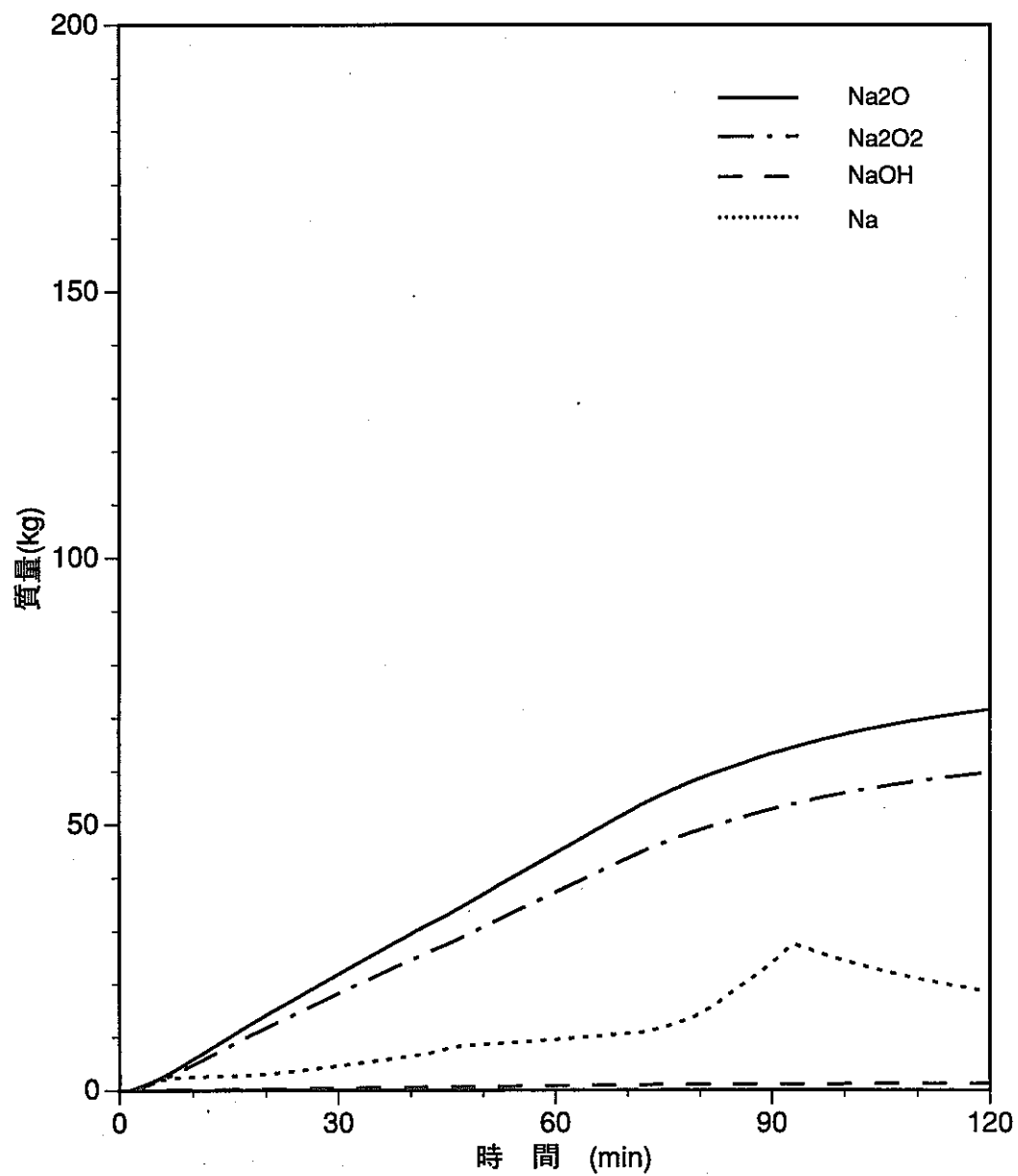
図A1-9-3 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE3)



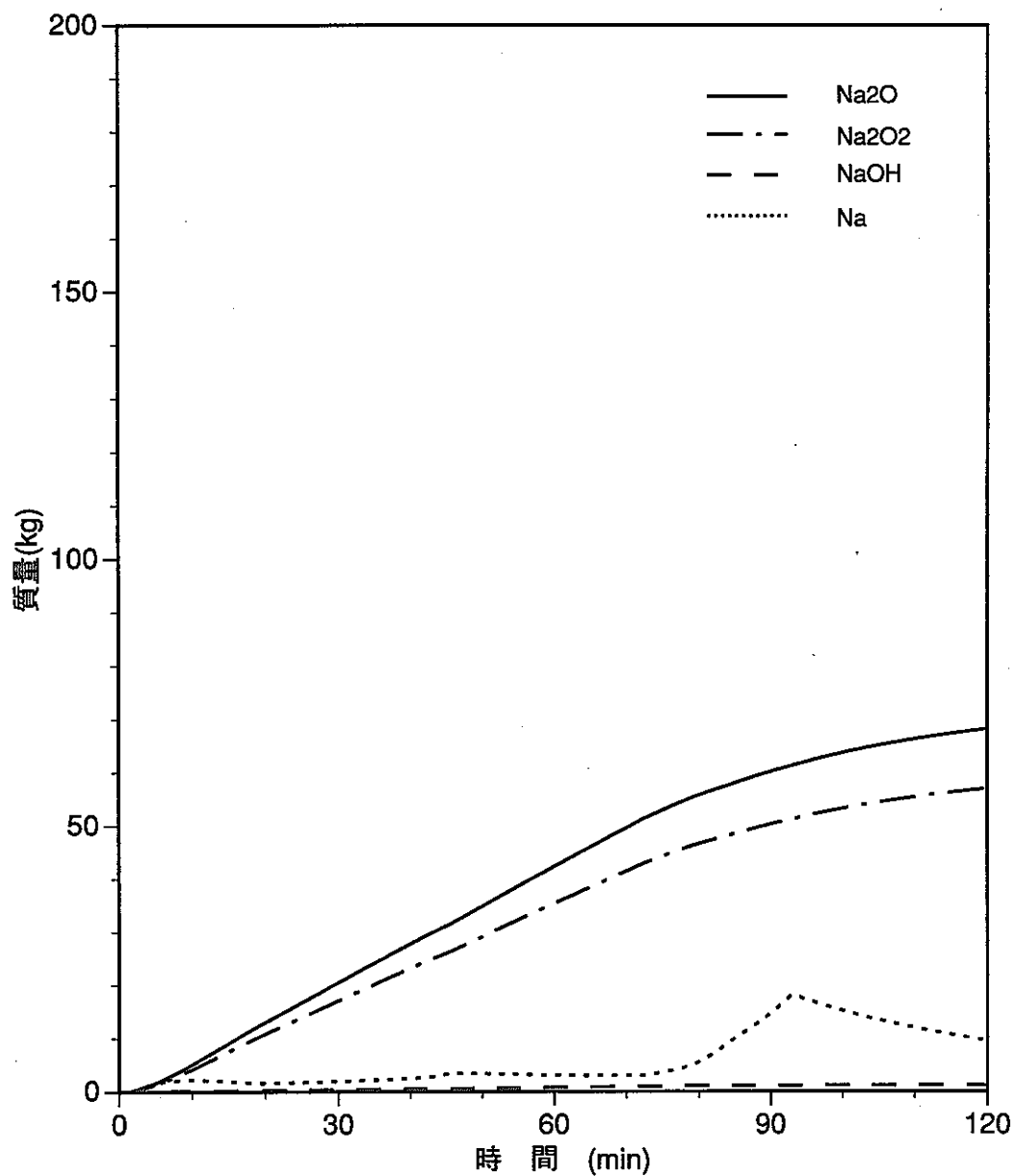
図A1-9-4 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE4)



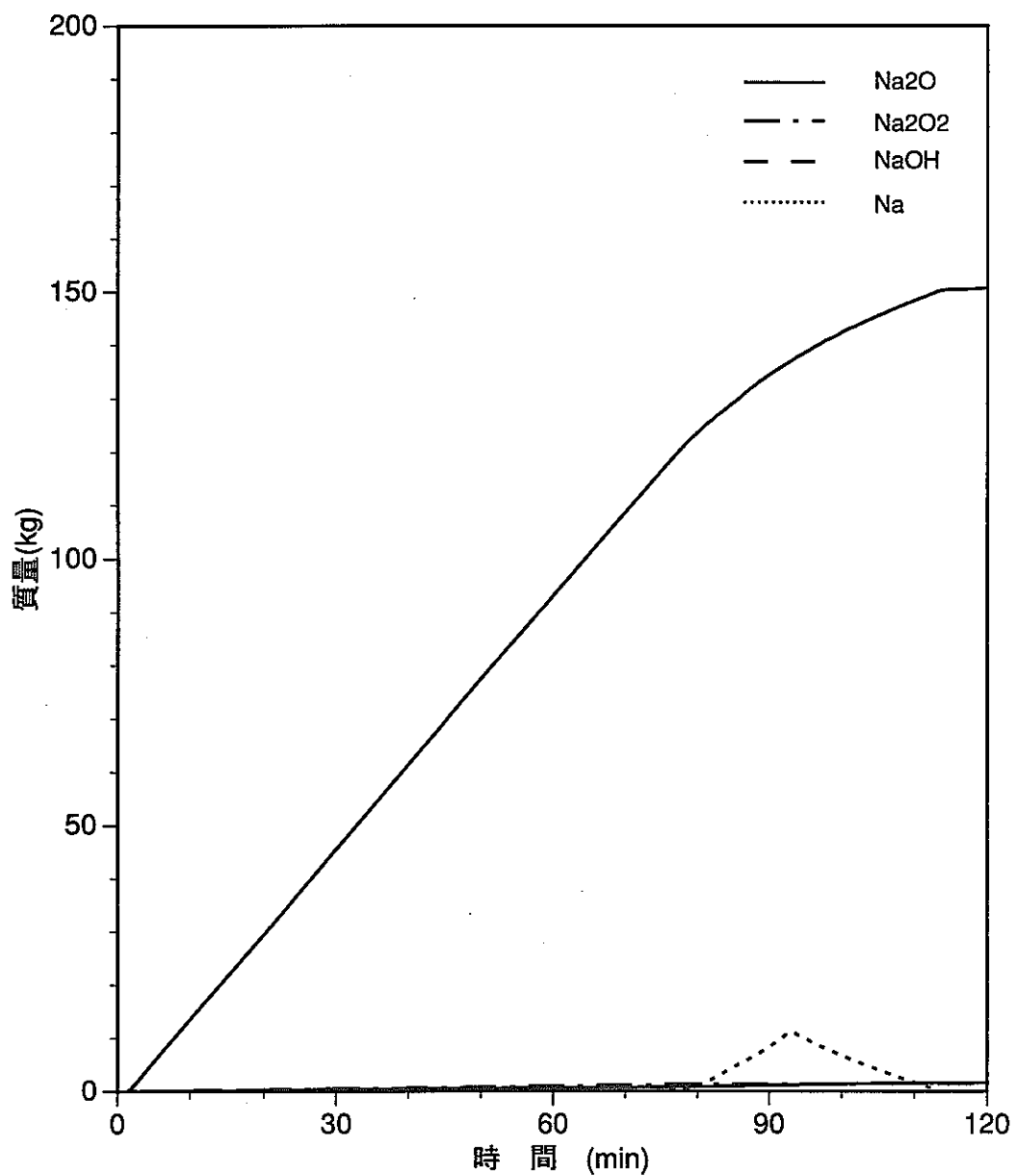
図A1-9-5 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE5)



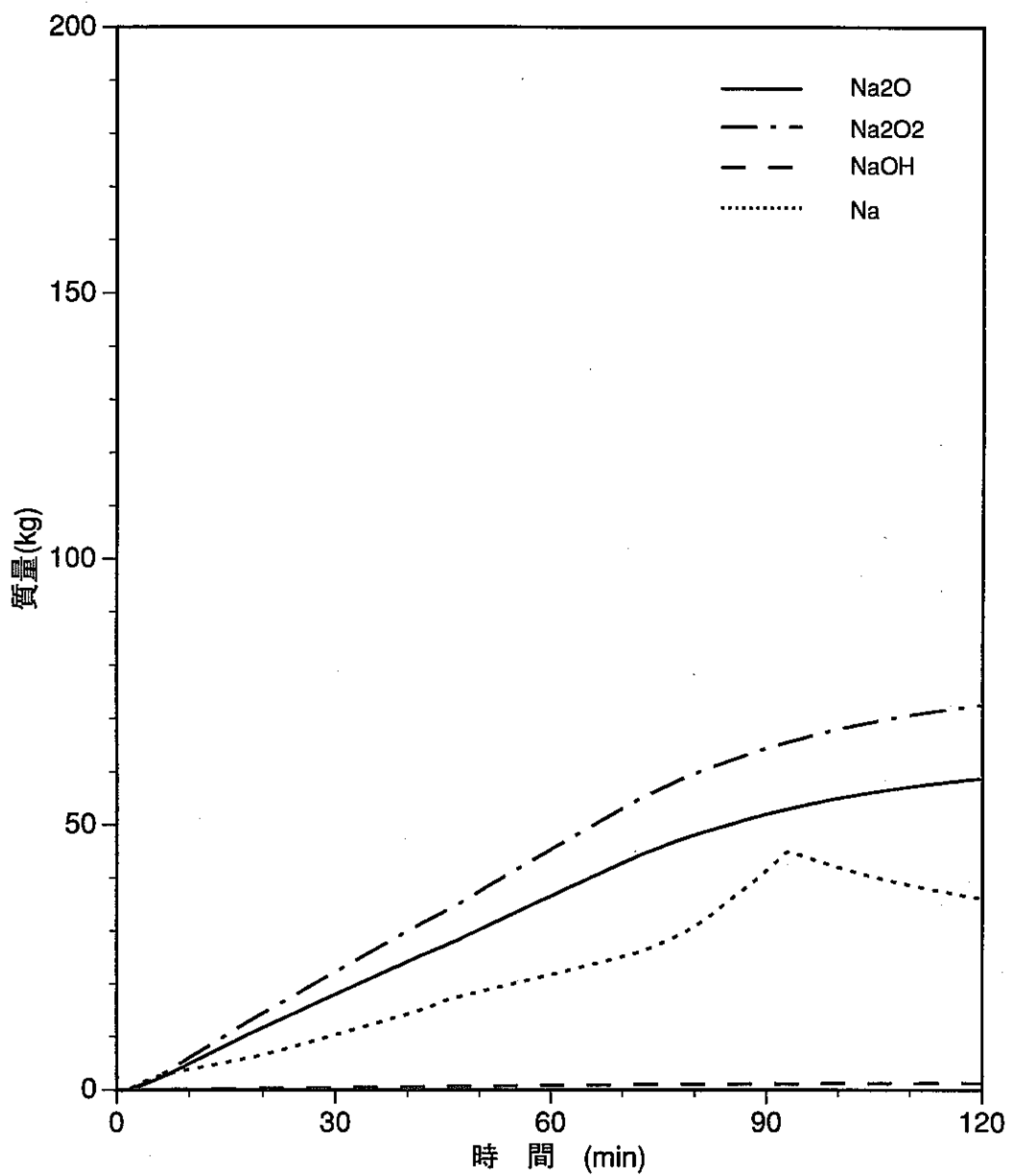
図A1-9-6 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE6)



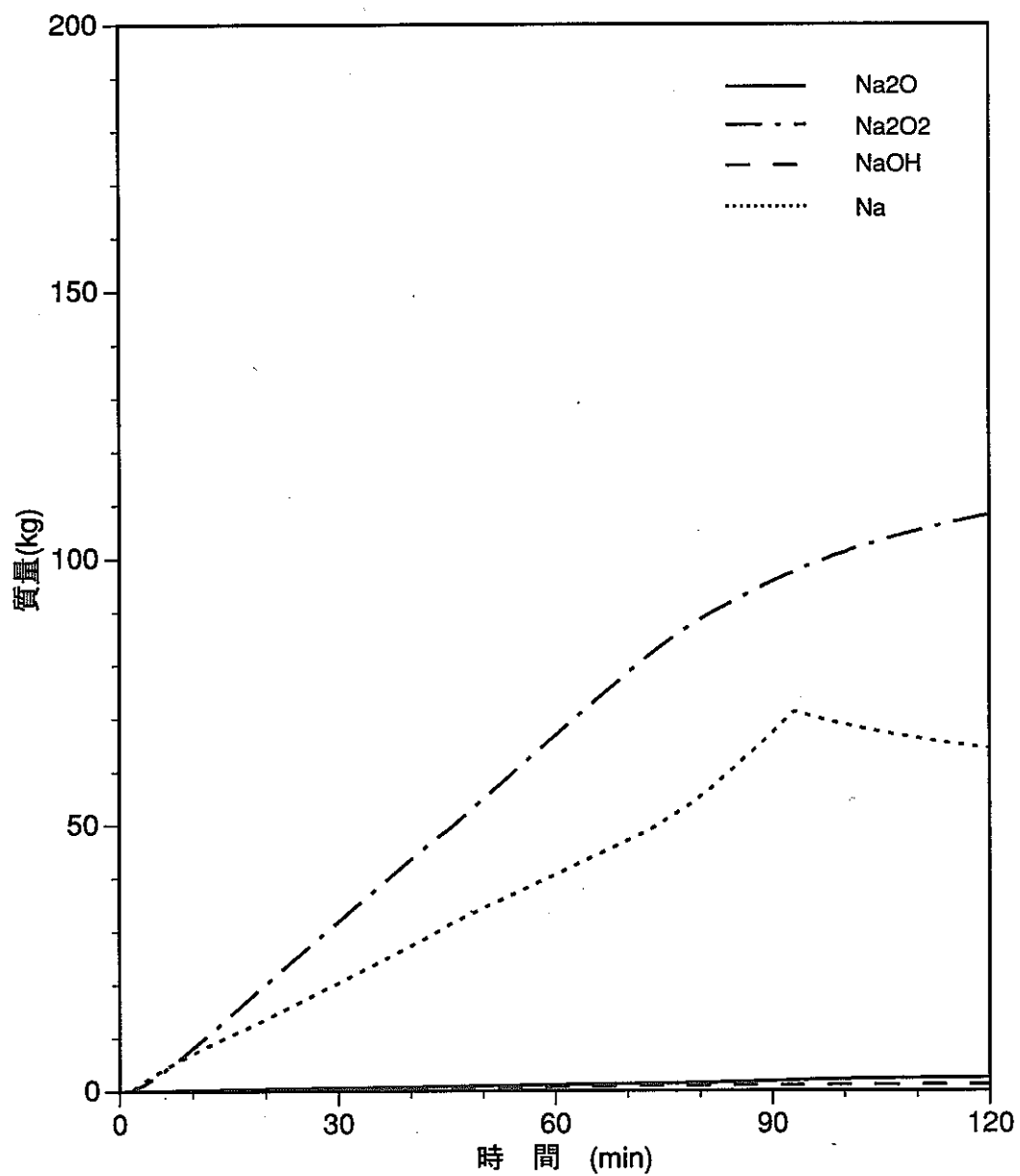
図A1-9-7 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE7)



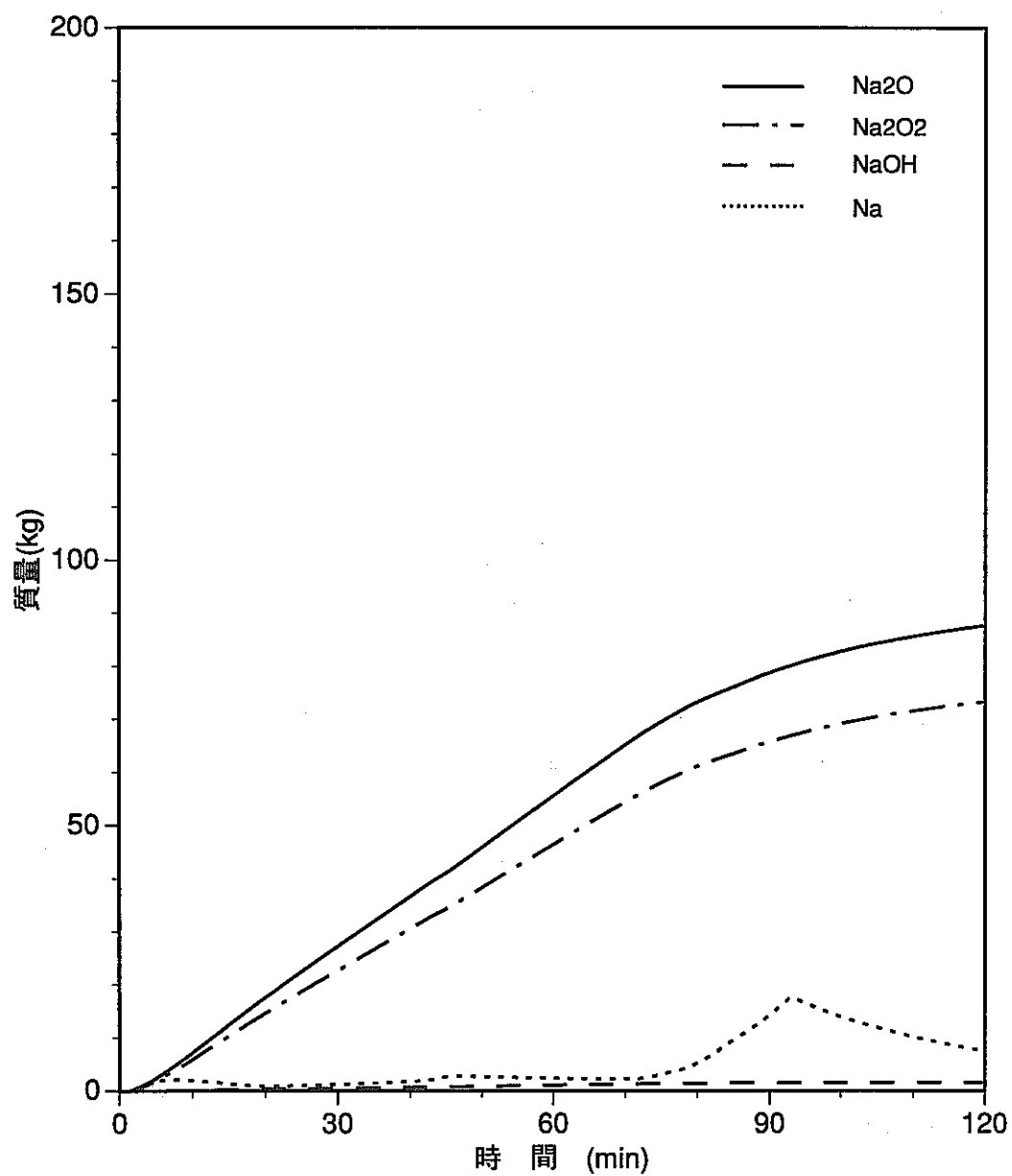
図A1-9-8 受け皿上プール内化合物生成量 (CASE8)



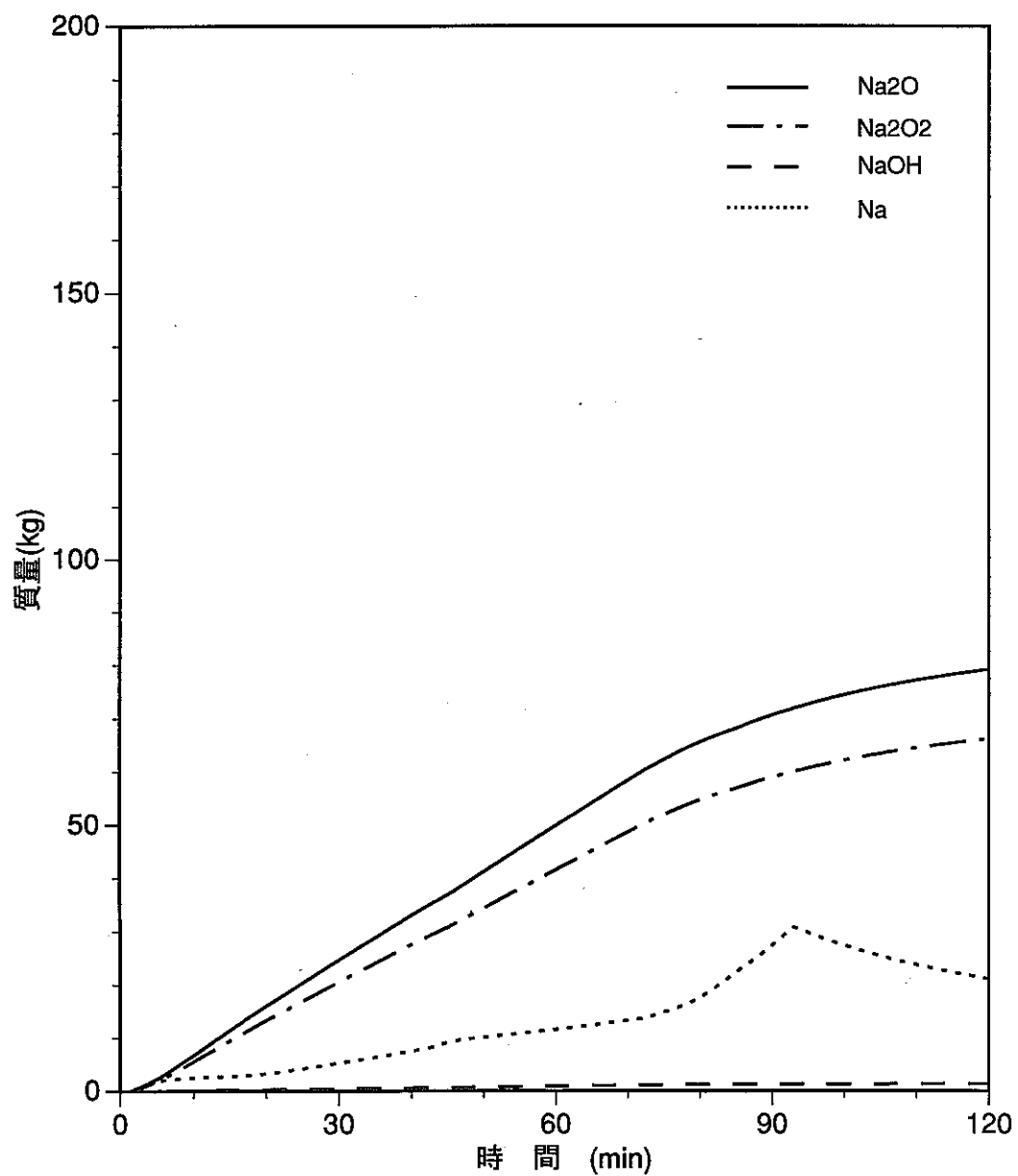
図A1-9-9 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE9)



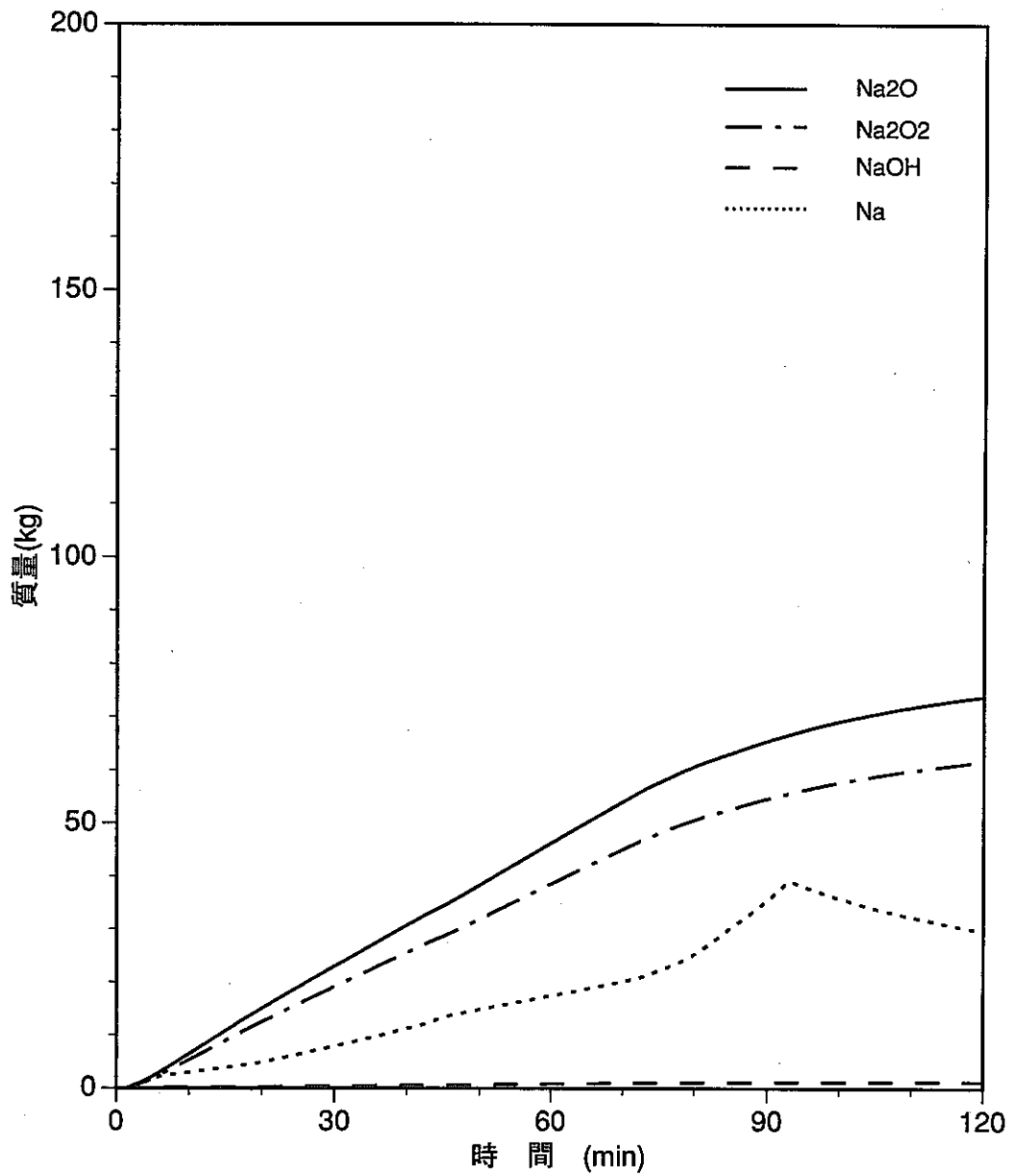
図A1-9-10 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE10)



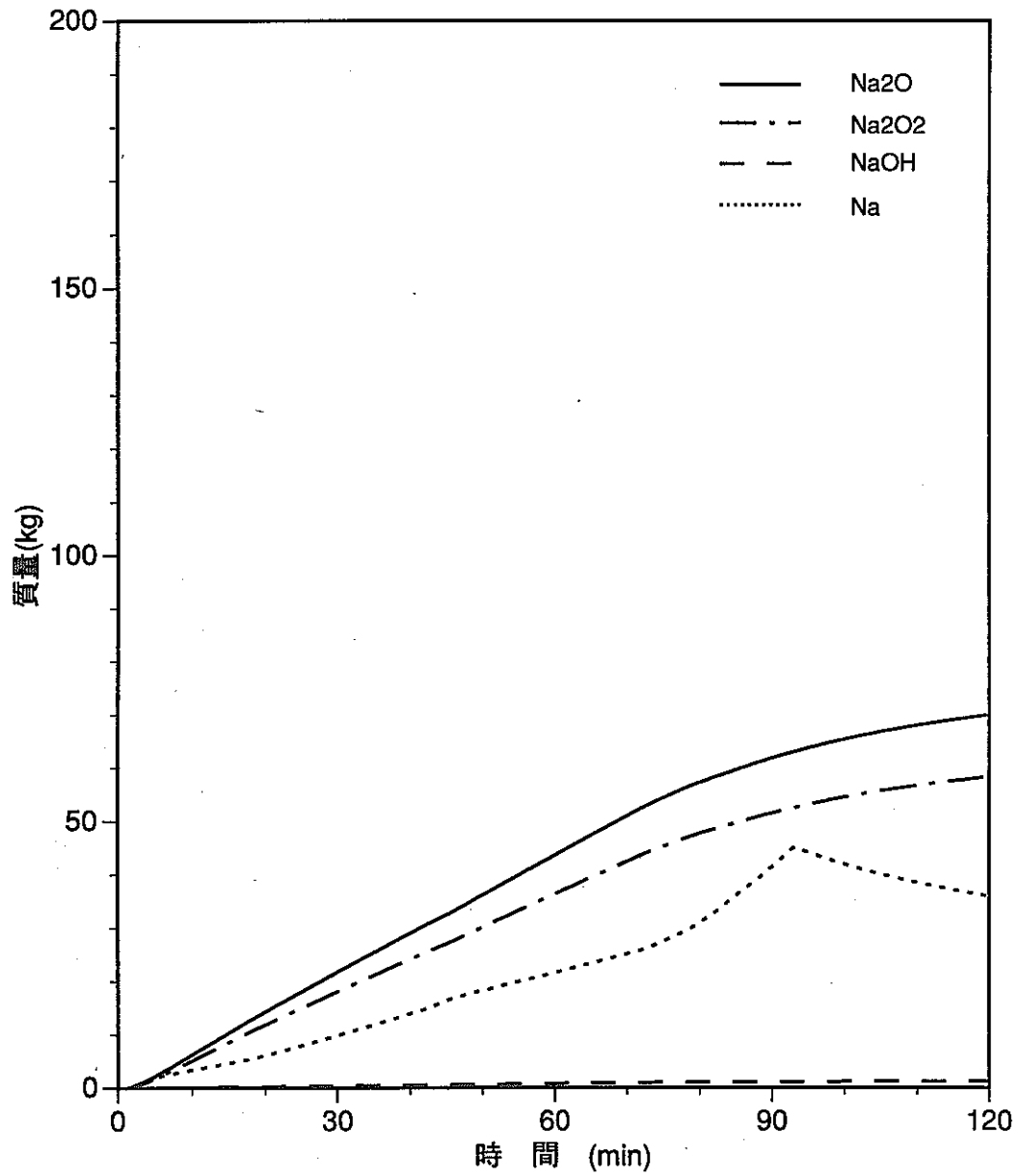
図A1-9-11 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE11)



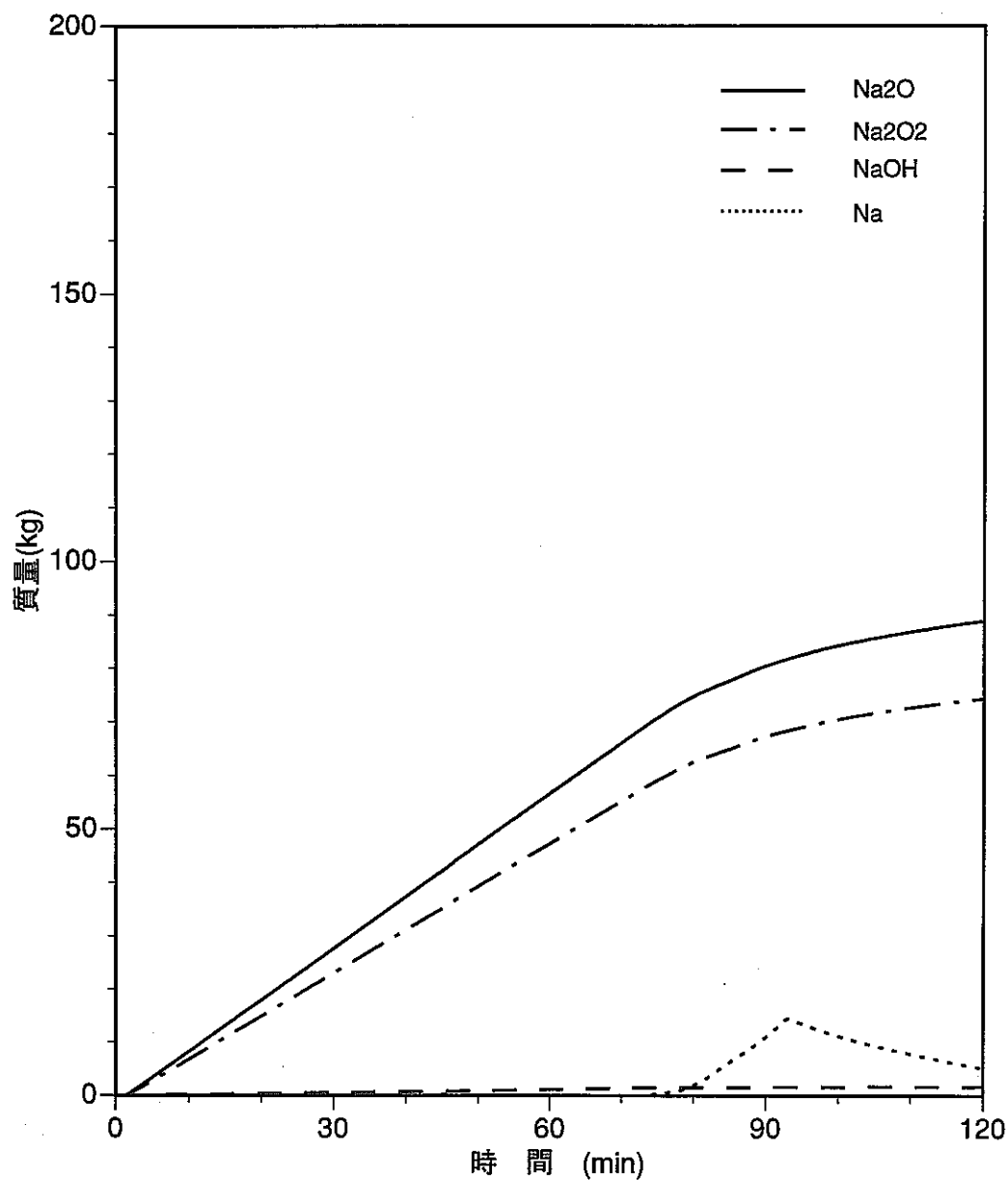
図A1-9-12 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE12)



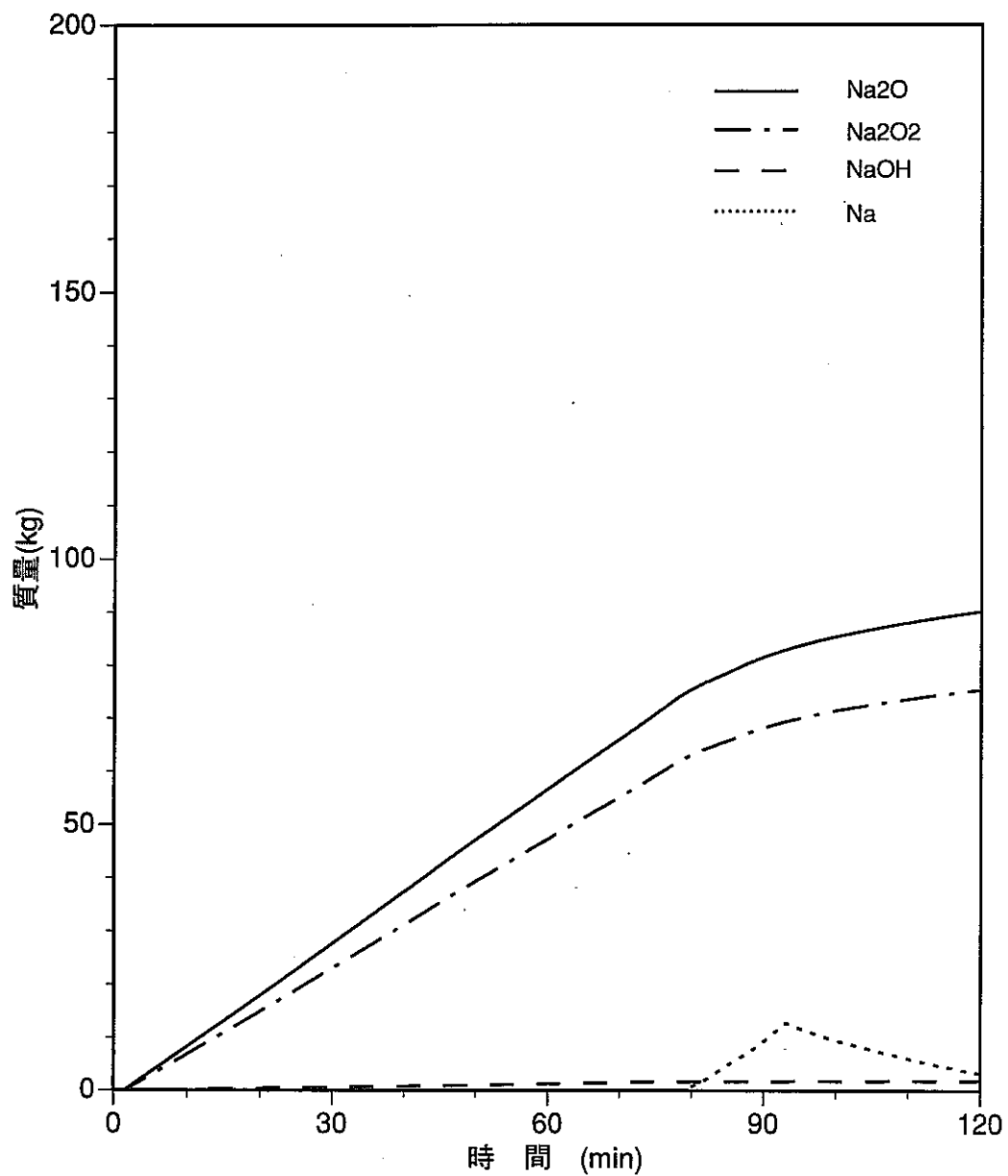
図A1-9-13 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE13)



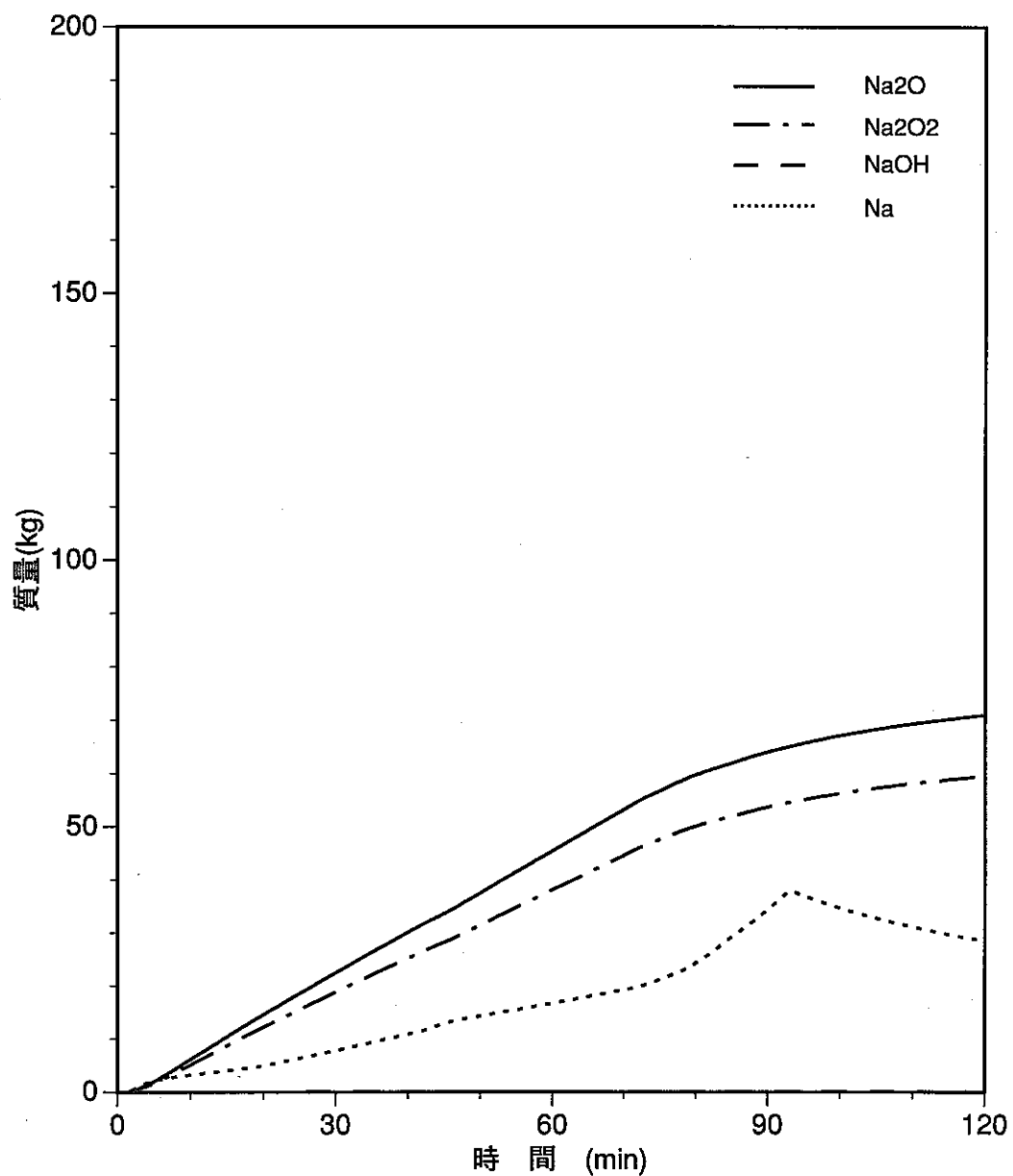
図A1-9-14 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE14)



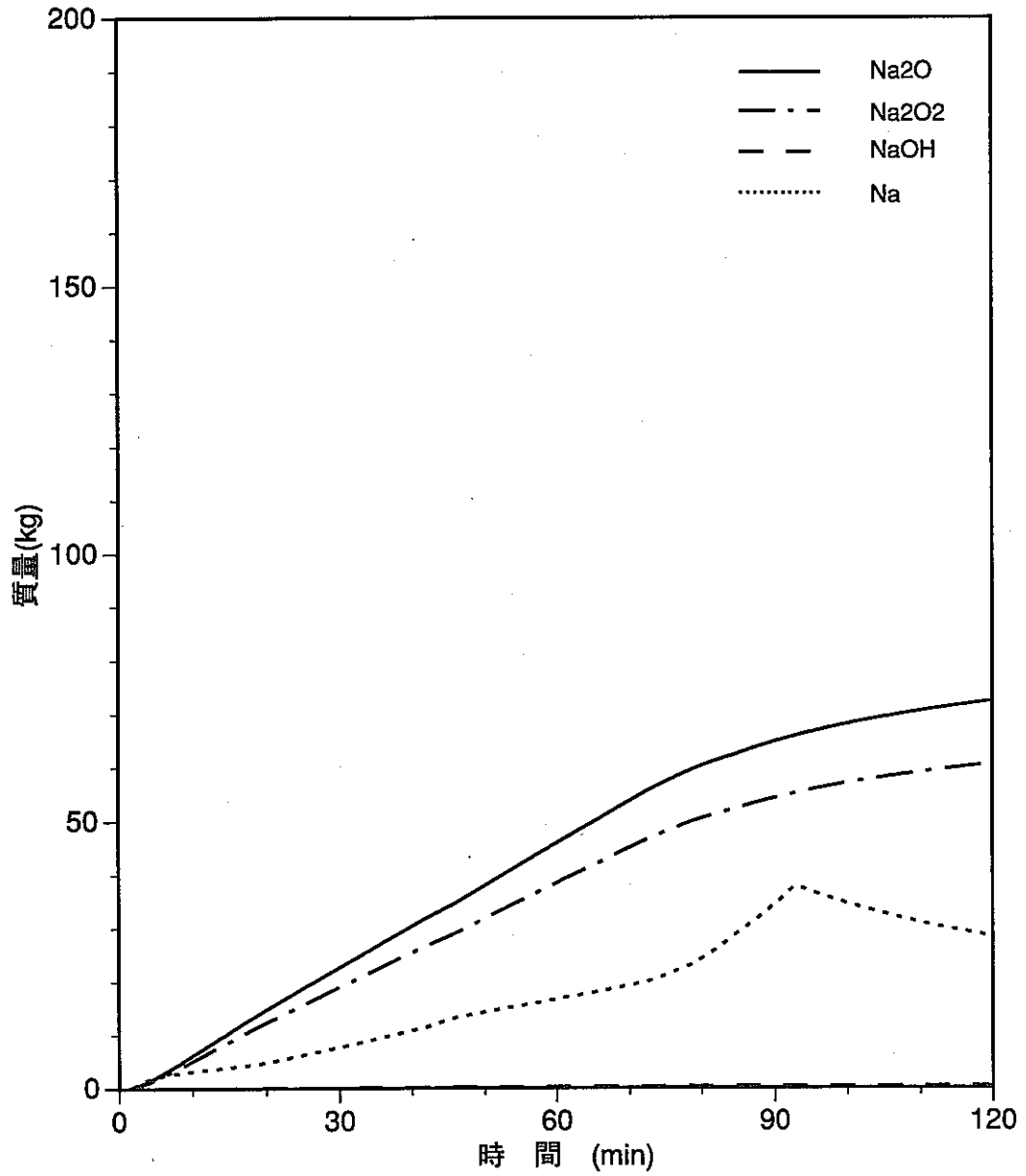
図A1-9-15 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE15)



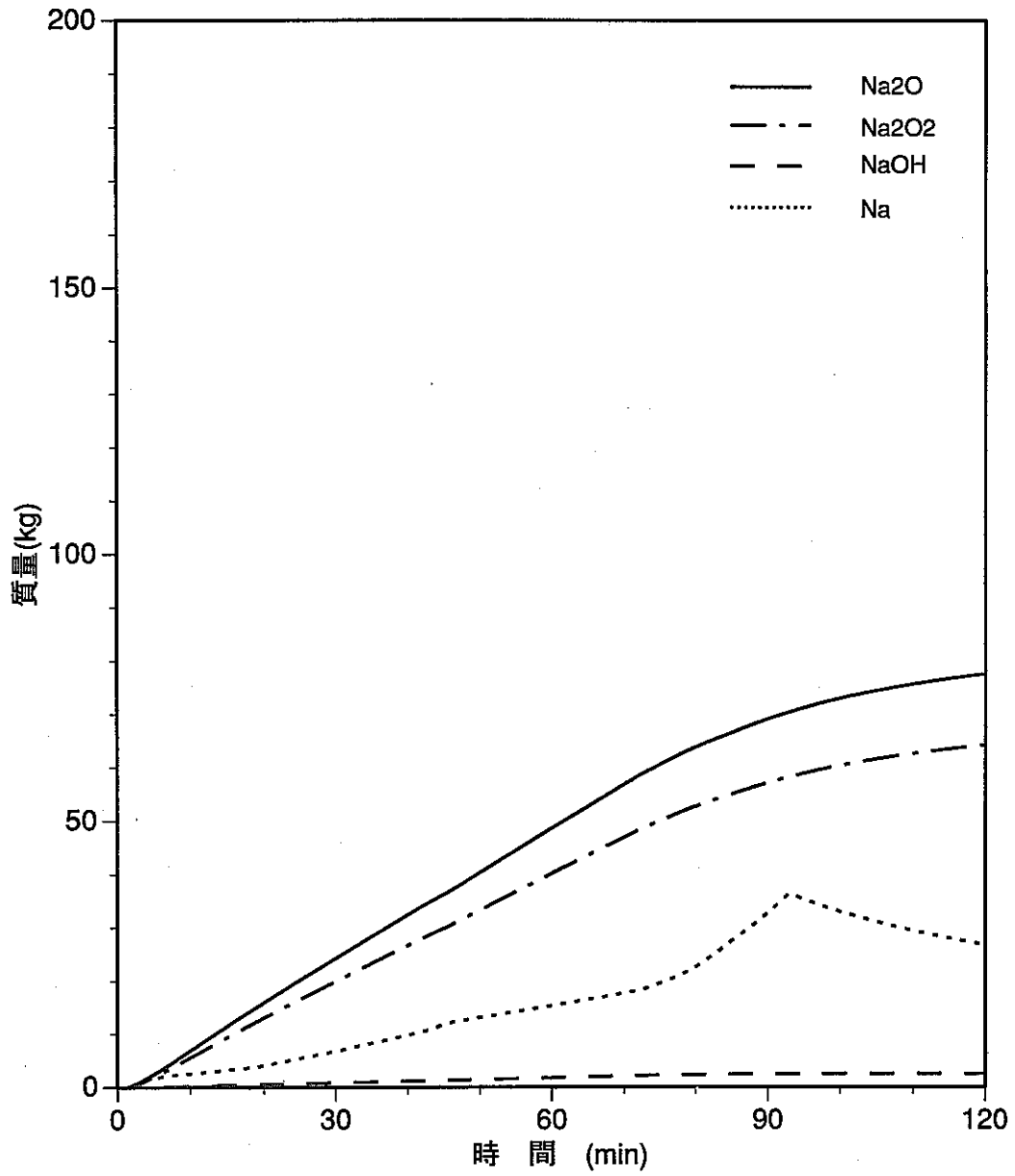
図A1-9-16 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE16)



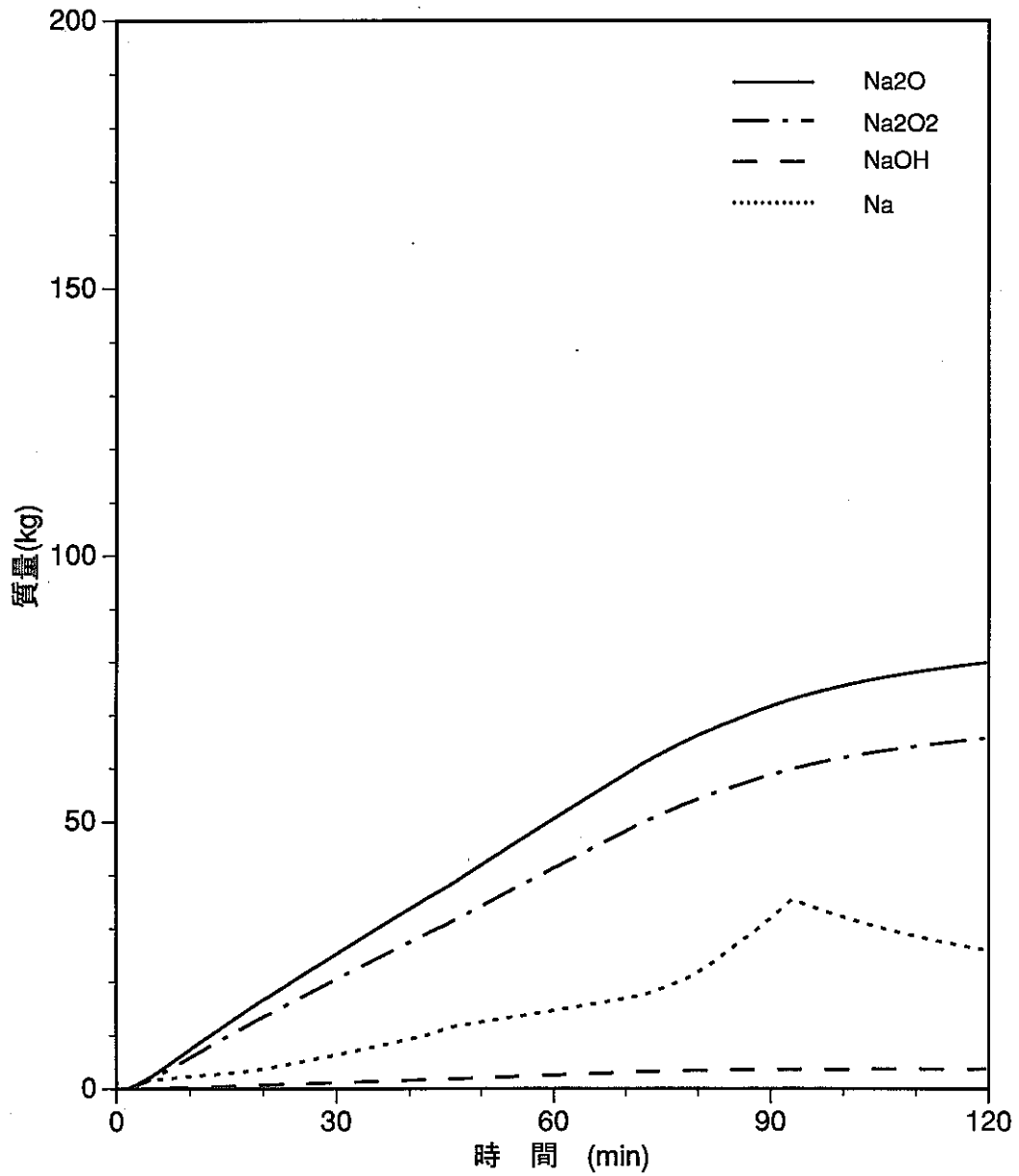
図A1-9-17 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE17)



図A1-9-18 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE18)



図A1-9-19 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE19)



図A1-9-20 受け皿上プール内Na化合物生成量 (CASE20)

Appendix.2 実験一I (Run-E6) 実験後解析のインプットデータ (Ref. case)

インプットデータとして以下の3つを使用した。

- (1) SPRAY MODULE のインプットデータ
- (2) SOFIRE MODULE のインプットデータ
- (3) SOFIRE MODULE のガスリーク・換気テーブルデータ

以下にRef.case で使用した3つのインプットデータを示す。

*** SPRAY MODULE のインプットデータ *****

```

0 30 1 1 0 2 1
Q RUN E-6 POST-TEST CALCULATION
0.4572 0. 0. 0. 480.0 0. 0. 3.6
0.0440 7200. 7200. 0.1 0.340 3.6 8.4
1.925 0. 0. 99999. 0. 0. 0. 0.
7 4000 4000 0 6 0 0 0
0.0 0.1 480.
92.9 0.1 480.
93.0 44.0 480.
5578.0 44.0 480.
5578.1 0.1 480.
7200.0 0.1 480.
0. 0.50 0.00
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0
0 0 0
0. 0.033 0. 0. 0. 0.
0.11267 0.11268
0.4 0.4
0.00 0.1 0.1E-35 99999. 99999. 0.0
0 0 0 6 7 8 70.0 500 0.75 1.0
0 0 250 0.
0 2 0 0 0 0 100 0 0. 1.0
1 0 1 0 1 1 70.0 0.0
0
0.75 0.25
1 1 4.4 4.4 5.1 0.001 2130. 1.E-05
0 0.
100. 1.0D-10 0 0. 0. 1

```

*** SOFIRE MODULE のインプットデータ *****

```

1NA 836.0 1.0 0.3008
2SUS 7890. 14.20 0.122

```

	3SS	7710.		32.90		0.165														
	4INSU	130.		0.050		0.200														
	5DUMM	1210.		0.001		999.9														
	6NA20	2390.		1.0		0.36														
	7NA02	2600.		1.0		0.36														
1	8NA0H	2130.		1.0		0.51														
1	SOLFA-2 PRE-CALC.																			
	1	13	IND	OP2	KMX	NMX	IHT	ICL	IGM	IFP	IRT	IPU	IGF							
			1	0	1	2	0	2	0	0	0	0	0	1						
	33	40	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8										
			1	1	0	0	0	1	0	0										
	41	46	M11	-2	-3	-4	-5	-6												
			1	1	3	3	4	4												
	47	55	M11	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9									
			4	4	4	4	4	4	4	3	2									
	67	74	M31	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8										
			2	2	2	2	2	2	4	4										
	87	96	M31	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10								
			2	2	2	2	2	2	2	2	4	4								
	107	115	M31	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9									
			2	2	2	2	2	2	2	4	4									
	147	147	M61																	
			3																	
	167	168	M11	-2																
			2	2																
	187	188	M21	-2																
			5	5																
	207	216	M31	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10								
			2	2	2	2	2	2	2	2	4	4								
	1127	1132	IW1	-2	-3	-4	-5	-6												
			9	8	10	9	0	1												
	1133	1135	IW1	IW2	IW3															
			2	2	10															
	1181	1186	IK1	IK2	IK3	-4	-5	-6												
			10	10	10	10	-1	-1												
	1187	1189	IK1	IK2	IK3															
1			-1	-1	10															
	1	5	TW01	-1					-2		-3		-4							-5
				20.					20.		20.		20.							20.
	6	9	TW01	-6					-7		-8		-9							
				20.					20.		20.		20.							
	21	25	TW03	-1					-2		-3		-4							-5
				20.					20.		20.		20.							20.
	26	28	TW03	-6					-7		-8									
				20.					20.		20.									
	41	45	TW03	-1					-2		-3		-4							-5
				20.					20.		20.		20.							20.
	46	50	TW03	-6					-7		-8		-9							-10
				20.					20.		20.		20.							20.
	61	65	TW03	-1					-2		-3		-4							-5
				20.					20.		20.		20.							20.
	66	69	TW03	-6					-7		-8		-9							

		20.	20.	20.	20.		
101	101	TW06 -1					
		20.					
121	122	TW01 -1	-2				
		20.	20.				
141	142	TW02 -1	-2				
		480.	480.				
161	165	TW03 -1	-2	-3	-4	-5	
		20.	20.	20.	20.	20.	
166	170	TW03 -6	-7	-8	-9	-10	
		20.	20.	20.	20.	20.	
1081	1085	DIS1 -1	-2	-3	-4	-5	
		0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	
1086	1089	DIS1 -6	-7	-8	-9		
		0.025	0.025	0.006	0.025		
1101	1105	DIS3 -1	-2	-3	-4	-5	
		0.002	0.003	0.004	0.004	0.003	
1106	1108	DIS3 -6	-7	-8			
		0.002	0.0125	0.0125			
1121	1125	DIS3 -1	-2	-3	-4	-5	
		0.002	0.003	0.004	0.004	0.004	
1126	1130	DIS3 -6	-7	-8	-9	-10	
		0.004	0.004	0.006	0.0125	0.0125	
1141	1145	DIS3 -1	-2	-3	-4	-5	
		0.002	0.003	0.004	0.004	0.004	
1146	1149	DIS3 -6	-7	-8	-9		
		0.004	0.004	0.0125	0.0125		
1181	1181	DIS6 -1					
		0.003					
1201	1202	DIS1 -1	-2				
		0.001	0.001				
1221	1222	DIS2 -1	-2				
		0.1	0.1				
1241	1245	DIS3 -1	-2	-3	-4	-5	
		0.002	0.003	0.004	0.004	0.004	
1246	1250	DIS3 -6	-7	-8	-9	-10	
		0.004	0.004	0.006	0.0125	0.0125	
2168	2168	GAPW1 -7					
		1.72					
2207	2207	GAPW3 -7					
		0.075					
2327	2327	GAPW3 -7					
		0.075					
3241	3244	AREW1-1	-2	-3	-4		
		10.2	21.	56.	21.		
3246	3246	AREW1-6					
		1.6					
3247	3249	AREW2-1	-2	-3			
		0.001	0.1	10.			
3302	3302	FW1 -7					
		0.33					
3341	3341	FW3 -7					

			0.33					
3461	3462	FW3	-7	-8				
			0.5	0.5				
9775	9779	T10	-1	-2	-3	-4	-5	
			480.	480.	20.	20.	20.	
9780	9780	T10	-6					
			20.					
9781	9785	DIS1	-1	-2	-3	-4	-5	
			0.	0.	0.006	0.006	0.025	
9786	9786	DIS1	-6					
			0.145					
9787	9791	ARE1	-1	-2	-3	-4	-5	
			1.6	3.80	3.80	9.48	3.80	
9792	9792	ARE1	-6					
			9.48					
9793	9797	AREF	-1	-2	-3	-4	-5	
			1.6	3.80	0.	9.48	0.	
9798	9802	AREF	-6	-7	-8	-9	-10	
			0.	0.	21.	56.	21.	
9817	9817	F1	-12					
			0.65					
9828	9828	F1	-23					
			0.65					
9847	9847	F1	-42					
			0.5					
9873	9873	F1	-72					
			0.5					
9877	9877	F1	-72					
			0.5					
9880	9880	F1	-2					
			0.5					
9885	9885	H1	-2					
			0.140					
9887	9887	H1	-4					
			0.0126					
9891	9893	H1	-8	H1 -9	H1 -10			
			0.14	0.129	0.129			
9897	9901	AREAC	-2	-3	-4	-5	-6	
			0.0410	3.80	9.48	0.173	3.80	
9907	9907	HCON1	-2					
			39.8					
9910	9912	HCON1	-5	-6	-7			
			0.0610	2.0	0.			
9947	9948	DISN	-1	-2				
			0.001	0.001				
9952	9953	DISN	-6	-7				
			0.001	0.001				
9964	9965	CVGAS		RPOOL				
			0.24	1.0				
9967	9968	PGAS	-1	-2				
			1.033	1.033				
9976	9977	TGAS	-1	-2				

		20.	20.			
9985	9986	C02 -1	-2			
		0.233	0.233			
9994	9995	V0L -1	-2			
		36.	54.			
10083	10083	F -15				
		0.5				
10239	10239	H -3				
		0.129				
10243	10243	HWA				
		0.129				
10265	10265	AOPN(1,2)				
		509.				
10310	10310	DOPN(1,2)				
		360.				
10355	10355	XL0PN(1,2)				
		0.001				
10453	10453	PD(1,A)				
		0.01				
10461	10461	PD(2,A)				
		0.01				
10498	10498	RL(1,A)				
		720.				
10506	10506	RL(2,A)				
		480.				
10537	10541	RAMN2	RHOA	PATH	TATM	C02A
		0.033	1.2	1.033	20.	0.233
10543	10547	TIMED	DTIME	DTMAX	DTMIN	EMAX
		0.	1.E-5	1.	1.E-6	5.E-4
10548	10550	EMIN	BETA	TMAX		
		1.E-5	0.75	2.		
10567	10571	TOUT-1	-2	-3	-4	-5
		0.65	0.75	1.1	1.5	2.0
10572	10576	TOUT-6	-7	-8	-9	-10
		100.	200.1	0.	0.	0.
10577	10581	DTOUT-1	-2	-3	-4	-5
		0.05	0.02	0.05	0.02	0.1
10582	10586	DTOUT-6	-7	-8	-9	-10
		0.2	0.4	0.	0.	0.
10599	10600	VTIME3	VNTFRA			
1		0.	532.8			
	1 2	CH20 -1	-2			
		0.0063	0.0063			
		CH20A	\$\$POOL	\$\$NAIN	1\$HEAT	T2PINT
		0.0063	0.	0.	1	0.0
		BOUNDARY CONDITION -1				
		0 0				
		BOUNDARY CONDITION -2				
		0				
		NA202 RATIO				
		2				
		O2 CONCENTRATION				

0.1126 0.1127
NA202 CONCENTRATION
0.4 0.4

*** SOFIRE MODULE のガスリーク・換気テーブルデータ*****

&TBLOPD

ILKOPT=1,

&END

&TBLLKD

TIMELK=0., 10.,

PD12 =0.,

PD13 =0.,

PD1A =0.01, 0.01,

PD23 =0.,

PD2A =0.01, 0.01,

PD3A =0.,

RL12 =0.,

RL13 =0.,

RL1A = 720., 720.,

RL23 =0.,

RL2A = 480., 480.,

RL3A =0.,

&END

&TBLVTD

TIMEVT=0., 0.1, 0.3, 0.7, 0.75, 1.2, 1.3, 1.4, 1.45, 10.,

VNT1 =1116., 1008., 828., 504., 1044., 540., 0.0, 288., 0.0,

VNT2 = 744., 672., 552., 336., 696., 360., 0.0, 192., 0.0,

&END

&TSBSD

TSBRNS = 99999.,

&END

&TBLWND

&END

&TBLGVG

&END

&TBLPRG

&END

&INPNPG

&END

&INPOPT

&END

&INPFLR

&END
