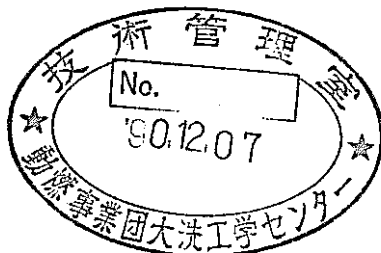


制御棒移設後の想定事象の計算

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)



1990年 6 月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	J 9214 90-004
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

三菱原子力工業株式会社

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒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 O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

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

1990年 6月30日

制御棒移設後の想定事象の計算*

千歳 敬子** 森井 正**

要旨

「常陽」高性能炉心への移行の準備として、制御棒2本を炉心第3列から第5列に移設し、照射スペースを拡大することが計画されており、まず第1段階として制御棒1本を移設する。この場合、スクラム反応度値の小さい外側の領域に制御棒を移設するため、制御棒反応度値が現在の炉心よりも小さくなる。

本研究では、現行申請書の添付書類10記載の想定事象について、スクラム反応度値が減少した場合に生じる炉心各部の最高温度の変化の検討を行った。

解析は、スクラム反応度値を現在の解析に使用している値7.4%ΔK/Kから、6.7%ΔK/Kに減少させて行った。各事象をその特性から、TOP型、LOF型、LOHS型に分けて結果を考察すると、スクラム反応度値の減少による影響が現れる事象は、TOP型であり、他の事象ではほとんどその影響は出なかった。また、TOP型事象で、最も各部最高温度の変化が大きい事象でも、その最高温度は健全性判断基準を満足していることが確認できた。

*本報告書は三菱原子力工業株式会社が動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。

**三菱原子力工業株式会社 新型炉統括部

JUNE 30, 1990

Analysis of the Postulated Accidents of the Core
After the Shift of Control Rod

Keiko Chitose, Tadashi Morii

Abstract

In the experimental fast reactor "JOYO", PNC (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) schedules to move two control rods from the third row of core to the fifth row, for the expansion of irradiation space, as the preparation for the shift to high power core. Firstly, only one control rod is moved. In this case, the reactivity worth of the control rod will decrease, because the control rod is shifted to outer region which has small reactivity worth. This study investigates the effect of the decrease of the reactivity worth of control rods on the transient of the accidents described in the present application of license.

If the scram worth is about $0.067 \Delta K/K$ (decreasing from $0.074 \Delta K/K$), the maximum temperatures of core increase. The change of the scram worth has an effect on the TOP (Transient Overpower) accidents, but little effect on the LOF (Loss of Flow) and LOHS (Loss of Heat Sink) accidents. Then it proves that all of these maximum temperatures satisfy the safety criteria.

* Work performed under contracts between Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corp. and Mitsubishi Atomic Power Industries, Inc.

** Advanced reactor division, Mitsubishi Atomic Power Industries, Inc.

目次

要旨

Abstract

List of Tables

List of Figures

1. 序論

2. 制御棒移設に伴う HARHO-INコードのデータ変更

2.1 動特性パラメータ

2.2 反応度係数

2.3 スクラム反応度価値

2.4 制御棒ストローク曲線

2.5 制御棒誤引き抜き事象の挿入反応度

3. 「運転時の異常な過渡変化」事象の計算

3.1 解析ケース

3.2 健全性判断基準

3.3 解析条件と解析結果

4. 「事故」の計算

4.1 解析ケース

4.2 健全性判断基準

4.3 解析条件と解析結果

5. 結論

5.1 制御棒の移設に伴う「制御棒の引き抜き」事象での反応度付加率の増加の影響

5.2 制御棒の移設に伴うスクラム反応度価値の減少の影響

5.3 まとめ

6. 謝辞

7. 参考文献

《添付資料 A》「未臨界状態からの制御棒の異常な引き抜き」事象におけるドップラー定数の効果について

List of Tables

表2.1-1	動特性パラメータ
表3.3-1	主要解析条件（異常な過渡変化）
表3.3-2	炉心流量変化（1次冷却材流量減少）
表3.3-3	炉心入口温度変化（1次冷却材流量増大）
表3.3-4	炉心流量変化（外部電源喪失）
表3.3-5	炉心入口温度変化（2次冷却材流量減少）
表3.3-6	炉心入口温度変化（主冷却器空気流量減少）
表3.3-7	炉心入口温度変化（主冷却器空気流量増大）
表3.3-8	「運転時の異常な過渡変化」解析結果のまとめ
表4.3-1	主要解析条件（事故）
表4.3-2	炉心流量変化（1次冷却系循環ポンプ軸固着事故）
表4.3-3	炉心入口温度変化（2次冷却系循環ポンプ軸固着事故）
表4.3-4	炉心入口温度変化（主冷却器送風機軸固着事故）
表4.3-5	炉心入口温度変化（2次冷却材漏洩事故）
表4.3-6	「事故」解析結果のまとめ
表5.1-1	反応度付加率の増加（ $3.6 \text{ } \phi / \text{s} \rightarrow 5.0 \text{ } \phi / \text{s}$ ）による各部最高温度の変化
表5.2-1	スクラム値の減少（ $7.4\% \Delta K / K \rightarrow 6.7\% \Delta K / K$ ）による各部最高温度の上昇

List of Figures

- 図2.4-1 制御棒ストローク曲線
- 図3.3-1 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム値7.4%ΔK/K）
—原子炉出力及び炉心流量—
- 図3.3-2 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム値7.4%ΔK/K）
—反応度—
- 図3.3-3 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム値7.4%ΔK/K）
—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—
- 図3.3-4 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム値7.4%ΔK/K）
—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—
- 図3.3-5 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム値6.7%ΔK/K）
—原子炉出力及び炉心流量—
- 図3.3-6 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム値6.7%ΔK/K）
—反応度—
- 図3.3-7 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム値6.7%ΔK/K）
—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—
- 図3.3-8 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム値6.7%ΔK/K）
—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—
- 図3.3-9 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き（移設前、スクラム値7.4%ΔK/K）
—原子炉出力及び炉心流量—
- 図3.3-10 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き（移設前、スクラム値7.4%ΔK/K）
—反応度—
- 図3.3-11 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き（移設前、スクラム値7.4%ΔK/K）
—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—
- 図3.3-12 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き（移設前、スクラム値7.4%ΔK/K）
—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—
- 図3.3-13 出力運転中の制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム値7.4%ΔK/K）
—原子炉出力及び炉心流量—

- 図3.3-14 出力運転中の制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム価値7.4%ΔK/K）
 -反応度-
- 図3.3-15 出力運転中の制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム価値7.4%ΔK/K）
 -炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-16 出力運転中の制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム価値7.4%ΔK/K）
 -炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-17 出力運転中の制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -原子炉出力及び炉心流量-
- 図3.3-18 出力運転中の制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -反応度-
- 図3.3-19 出力運転中の制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-20 出力運転中の制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-21 出力運転中の制御棒の異常な引抜き（移設前、スクラム価値7.4%ΔK/K）
 -原子炉出力及び炉心流量-
- 図3.3-22 出力運転中の制御棒の異常な引抜き（移設前、スクラム価値7.4%ΔK/K）
 -反応度-
- 図3.3-23 出力運転中の制御棒の異常な引抜き（移設前、スクラム価値7.4%ΔK/K）
 -炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-24 出力運転中の制御棒の異常な引抜き（移設前、スクラム価値7.4%ΔK/K）
 -炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-25 制御棒落下（移設後）
 -原子炉出力と各部温度-
- 図3.3-26 制御棒落下（移設後）
 -反応度-
- 図3.3-27 1次冷却材流量減少（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -原子炉出力及び炉心流量-
- 図3.3-28 1次冷却材流量減少（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -反応度-

- 図3.3-29 1次冷却材流量減少（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-30 1次冷却材流量減少（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-31 1次冷却材流量増大（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -原子炉出力及び炉心流量-
- 図3.3-32 1次冷却材流量増大（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -反応度-
- 図3.3-33 1次冷却材流量増大（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-34 1次冷却材流量増大（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-35 外部電源喪失（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -原子炉出力及び炉心流量-
- 図3.3-36 外部電源喪失（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -反応度-
- 図3.3-37 外部電源喪失（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-38 外部電源喪失（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-39 2次冷却材流量減少（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -原子炉出力及び炉心流量-
- 図3.3-40 2次冷却材流量減少（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -反応度-
- 図3.3-41 2次冷却材流量減少（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-42 2次冷却材流量減少（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-43 2次冷却材流量増大（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -原子炉出力及び炉心流量-

- 図3.3-44 2次冷却材流量増大（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -反応度-
- 図3.3-45 2次冷却材流量増大（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-46 2次冷却材流量増大（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-47 主冷却器空気流量減少（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -原子炉出力及び炉心流量-
- 図3.3-48 主冷却器空気流量減少（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -反応度-
- 図3.3-49 主冷却器空気流量減少（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-50 主冷却器空気流量減少（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-51 主冷却器空気流量増大（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -原子炉出力及び炉心流量-
- 図3.3-52 主冷却器空気流量増大（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -反応度-
- 図3.3-53 主冷却器空気流量増大（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図3.3-54 主冷却器空気流量増大（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図4.3-1 燃料スランピング事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -原子炉出力及び炉心流量-
- 図4.3-2 燃料スランピング事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -反応度-
- 図4.3-3 燃料スランピング事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-
- 図4.3-4 燃料スランピング事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-

- 図4.3-5 1次冷却系循環ポンプ軸固着事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
—原子炉出力及び炉心流量—
- 図4.3-6 1次冷却系循環ポンプ軸固着事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
—反応度—
- 図4.3-7 1次冷却系循環ポンプ軸固着事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—
- 図4.3-8 1次冷却系循環ポンプ軸固着事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—
- 図4.3-9 2次冷却系循環ポンプ軸固着事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
—原子炉出力及び炉心流量—
- 図4.3-10 2次冷却系循環ポンプ軸固着事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
—反応度—
- 図4.3-11 2次冷却系循環ポンプ軸固着事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—
- 図4.3-12 2次冷却系循環ポンプ軸固着事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—
- 図4.3-13 主冷却器送風機軸固着事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
—原子炉出力及び炉心流量—
- 図4.3-14 主冷却器送風機軸固着事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
—反応度—
- 図4.3-15 主冷却器送風機軸固着事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—
- 図4.3-16 主冷却器送風機軸固着事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—
- 図4.3-17 2次冷却材漏洩事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
—原子炉出力及び炉心流量—
- 図4.3-18 2次冷却材漏洩事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
—反応度—
- 図4.3-19 2次冷却材漏洩事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

図4.3-20 2次冷却材漏洩事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）

—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

1. 序論

次年度初から予定している高速実験炉「常陽」の制御棒移設に係わる設置変更許可申請の為に、変更後の原子炉施設の安全性の確認を行う必要がある。本作業では、主に以下の目的で解析を行った。

- ・ 制御棒移設前後の炉心における添10想定事象の解析結果の比較

第2章では、制御棒移設後の炉心の解析を行うための、HARHO-INコード上のインプットデータについて整理する。

第3章では、制御棒移設後の炉心の炉心特性及び制御棒特性を反映し、制御棒移設後の炉心について「運転時の異常な過渡変化」の事象の計算を行う。また、制御棒移設前の結果を整理し、制御棒移設後の炉心についての解析結果と比較検討する。

第4章では、同様に、制御棒移設後の炉心の炉心特性及び制御棒特性を反映し、制御棒移設後の炉心について「事故」の事象の計算を行う。また、制御棒移設前の結果を整理し、制御棒移設後の炉心についての解析結果と比較検討する。

2. 制御棒移設に伴う HARHO-INコードのデータ変更

先に実施された「制御棒移設炉心の炉心特性計算」の結果²⁻¹⁾に基づき、制御棒移設後の炉心について、添付書類10の想定事象の計算を行い、制御棒移設前後の解析結果の差について、検討を行った。

使用コードは、HARHO-INコードを用いる。以下に、制御棒移設に伴い、本解析用に設定しなおしたデータを中心に、HARHO-INで使用する核データについてまとめる。

炉心熱流力データに関しては、制御棒移設に伴う出力の軸方向分布の変動は小さく、燃料最高温度、被覆管肉厚中心最高温度は従来の熱的制限値を超えないことが確認されている²⁻¹⁾。

2.1 動特性パラメータ

表2.1-1 に示す移設後の炉心に対する核計算値を使用する。

2.2 反応度係数

「制御棒移設炉心の炉心特性計算」²⁻¹⁾により、反応度係数は現申請書範囲内に入っていることが確認されているので、制御棒移設前の使用値を使用する。

2.3 スクラム反応度価値

核計算より、制御棒移設後の炉心のスクラム時（ワンロードスタック条件）に挿入される反応度価値（以下略してスクラム価値と記述する）は、移設前の炉心に対しての使用値 $7.4\% \Delta K/K$ を上回っていることが確認された。ただし、核計算時の評価で使用している制御棒反応度価値の補正係数には、若干の不確定要素が含まれている。移設後の炉心において、現行申請書ベースの補正值を用いて算出すると、 $6.7\% \Delta K/K$ となる。そこで安全審査時の説明のバックアップとして、スクラム反応度価値 $6.7\% \Delta K/K$ の場合についての評価も行う²⁻²⁾。

2.4 制御棒ストローク曲線

図2.4-1 に示す通り、移設に伴う変化は殆どない。従って、移設前の値を使用する。

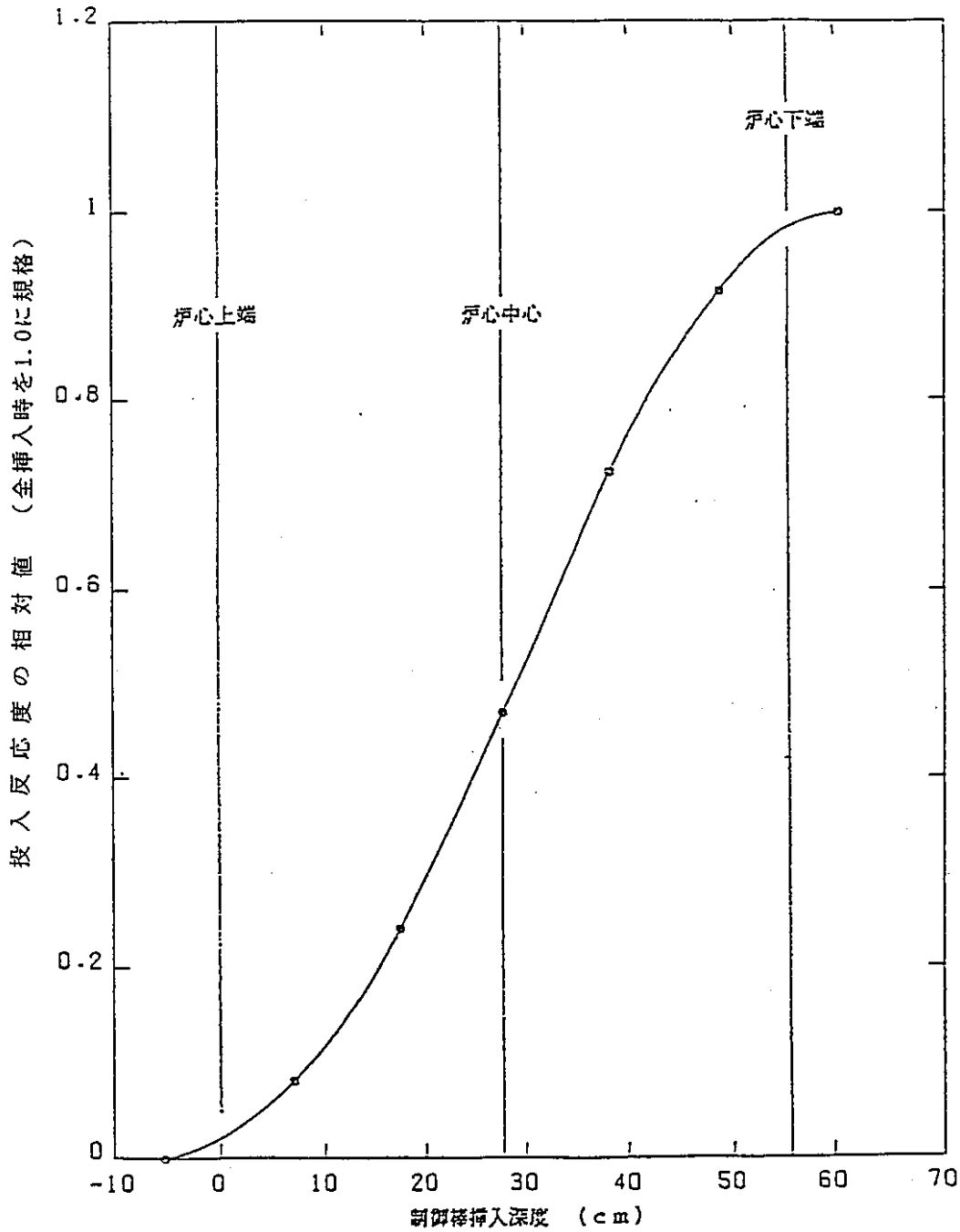
2.5 制御棒誤引き抜き事象の挿入反応度

制御棒移設に伴い、移設しない制御棒の反応度価値が増加した為、 3.6¢/s から 5.0¢/s へと増加させた値を反応度付加率として使用する²⁻³⁾。

表2.1-1 動特性パラメータ

	現行炉心	移設後の炉心
実効遅発中性子割合 β_{eff}	$4.47 * 10^{-3}$	同 左
β_1	$1.29 * 10^{-4}$	同 左
β_2	$9.65 * 10^{-4}$	同 左
β_3	$8.36 * 10^{-4}$	同 左
β_4	$1.70 * 10^{-3}$	$1.71 * 10^{-3}$
β_5	$6.71 * 10^{-4}$	同 左
β_6	$1.67 * 10^{-4}$	$1.68 * 10^{-4}$
遅発中性子崩壊定数 λ_1	$1.28 * 10^{-2}$	} 同 左
λ_2	$3.13 * 10^{-2}$	
λ_3	$1.26 * 10^{-2}$	
λ_4	$3.31 * 10^{-1}$	
λ_5	$1.41 * 10^0$	
λ_6	$3.78 * 10^0$	
即発中性子寿命 ($* 10^{-6}$)	0.374	0.364

出典 「常陽」制御棒移設炉心の炉心特性計算²⁻²⁾



HARHO-IN インプット	
デジタル値	
時刻 (秒)	挿入反応度 (相対比)
0.0	0.0
0.3	0.0
0.437	0.015
0.494	0.031
0.538	0.050
0.575	0.075
0.607	0.105
0.636	0.140
0.688	0.225
0.776	0.440
0.849	0.690
0.882	0.795
0.898	0.845
0.914	0.880
0.944	0.938
0.958	0.960
0.973	0.975
0.986	0.988
1.0	1.0
1000.0	1.0

図2.4-1 制御棒ストローク曲線

出典 「常陽」制御棒移設炉心の炉心特性計算²⁻²⁾

3. 「運転時の異常な過渡変化」事象の計算

3.1 解析ケース

- (1)未臨界状態からの制御棒の異常な引き抜き
- (2)出力運転中の制御棒の異常な引き抜き
- (3)制御棒落下
- (4)1次冷却材流量減少
- (5)1次冷却材流量増大
- (6)外部電源喪失
- (7)2次冷却材流量減少
- (8)2次冷却材流量増大
- (9)主冷却器空気流量減少
- (10)主冷却器空気流量増大

3.2 健全性判断基準

炉心燃料の健全性判断基準は以下の通りである。

まず、被覆管は、機械的に破損しないこと（被覆管肉厚中心温度は 810°C 以下であること）、冷却材が沸騰しないこと（冷却材最高温度は 910°C 以下であること）、燃料の最高温度が熔融温度を下回ることである（ペレット最高温度は 2650°C 以下であること）。

3.3 解析条件と解析結果

主な解析条件を表3.3-1 にまとめる。

3.3.1 未臨界状態からの制御棒の異常な引き抜き

(1) 解析条件

(a)原子炉の初期出力は、 1.0 W とし、また、反応度付加率は制御棒の配列及び位置を考慮に入れて最大と計算される値約 $5\phi/\text{s}$ とする。さらに、ペレット、冷却材等の初期温度は、運転方式から考えて最も余裕の少ない温度 370°C とする。

(b)原子炉は、起動領域及び中間領域における「中性子束高」及び「炉周期短」によるスクラムを無視して、出力領域における「中性子束高」（定格値の 107% ）によりスクラムするものとし、その遅れ時間を 200ミリ秒 とする。

(c)スクラム時にそう入される反応度値は、最大の反応度値を有する制御棒1本が全引き抜き位置に固着してそう入されない場合のものとする。

- (d) 1次冷却材流量及び2次冷却材流量は、定格流量とする。
- (e) 燃料集合体出力が最大となる炉心中心の炉心燃料集合体の軸方向出力分布は、制御棒の配置による歪みが微小であるので、これを出力ピーキング係数に含めるものとする。
- (f) ペレット-被覆管間隙のギャップ熱伝達率は、定格運転時よりも小さい値 $500 \text{ Btu/h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$ とする。
- (g) 反応度係数は、ドップラー定数、構造材膨張係数及び冷却材膨張係数を考慮し、原子炉出力のピーク値が最大となるよう、それぞれの最大値（絶対値が最小の負の値）とする。

(2) 解析結果

まずスクラム値を $7.4\% \Delta K/K$ としたケース（ケース1-1）について、図3.3-1 に原子炉出力及び炉心流量、図3.3-2 に反応度、図3.3-3、図3.3-4 に炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

原子炉出力（中性子束）は約19秒後にスクラム設定値（107%）に達し、その最高（ピーク出力）は、約436MWに達する。その後、原子炉出力は原子炉スクラムにより急激に低下する。事象が収束するまでの放出エネルギー量は、約228MWsである。

次に、スクラム値を $6.7\% \Delta K/K$ としたケース（ケース1-2）について、図3.3-5 に原子炉出力及び炉心流量、図3.3-6 に反応度、図3.3-7、図3.3-8 に炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

ここで、制御棒移設前の炉心との（引き抜き時反応度付加率 $3.6 \text{ } \phi/s$ 、スクラム値を $7.4\% \Delta K/K$ としたケース（ケース1-3））、主に反応度付加率の増加の影響の点からの比較を行う。ケース1-3の結果は、図3.3-9 に原子炉出力及び炉心流量、図3.3-10 に反応度、図3.3-11、図3.3-12 に炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。移設前と、今回の2ケースの炉心ホットチャンネル及び炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管、冷却材最高温度の比較を表3.3-8に示す。ケース1-3とケース1-1を比較すると、反応度付加率の増加により、スクラム設定値到達時刻は約7秒はやくなり、ピーク出力は310MWから、436MWへと増加する。温度も炉心ホットチャンネルのペレット最高温度

で 320℃、被覆管肉厚中心最高温度で47℃、冷却材最高温度で44℃の上昇となり、炉心平均チャンネルでも、それぞれ、262℃、32℃、30℃の上昇として表れている。

次に、スクラム価値の低下が結果に与える影響について、ケース1-1 とケース1-2 の比較を行う。スクラム価値の低下により各部の最高温度到達時刻は0.01～0.02秒遅くなり、温度も炉心ホットチャンネルのペレット最高温度で17℃、被覆管肉厚中心最高温度で2℃、冷却材最高温度で2℃の上昇となり、炉心平均チャンネルでも、それぞれ、14℃、11℃、1℃の上昇として表れている。しかし、スクラム価値6.7%ΔK/Kとしたケースでも、制御棒移設後の炉心ホットチャンネルのペレット最高温度は2017℃、被覆管肉厚中心最高温度は578℃、冷却材最高温度は568℃であり、それらはすべて健全性判断基準を満足している。

*ドップラー定数の影響を考察する為に、ケース1-1 で、ドップラー定数を現在の使用値 $-0.30E-3Tdk/dT$ から、 $-0.37E-3Tdk/dT$ へ変化させたケースについても解析を行った。詳細は添付資料Aに記載する。

3.3.2 出力運転中の制御棒の異常な引き抜き

(1) 解析条件

- (a)原子炉は、定格で運転されているものとする。
- (b)反応度付加率は、制御棒の配列及び位置を考慮に入れて最大と計算される値約5¢/sとする。
- (c)原子炉は、出力領域の「中性子束高」（定格値の107%）によりスクラムするものとし、その遅れ時間を200ミリ秒とする。
- (d)スクラム時にそう入される反応度価値は、最大の反応度価値を有する制御棒1本が全引き抜き位置に固着してそう入されない場合のものとする。
- (e)反応度係数は、ドップラー定数、構造材膨張係数及び冷却材膨張係数を考慮し原子炉出力のピーク値が最大となるよう、それぞれの最大値（絶対値が最小の負の値）とする。

(2) 解析結果

まずスクラム価値を7.4%ΔK/Kとしたケース（ケース2-1）について、図3.3-13に原子炉出力及び炉心流量、図3.3-14に反応度、図3.3-15、図3.3-16に炉心ホットチャン

ネル、炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

原子炉出力の上昇は緩慢であり、約 1.2秒後にスクラム設定点(107%)に達し、その後のオーバーシュートも殆どない。

次に、スクラム値を6.7% Δ K/K としたケース (ケース2-2)について、図3.3-17に原子炉出力及び炉心流量、図3.3-18に反応度、図3.3-19、図3.3-20に炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

ここで、制御棒移設前の炉心との(引き抜き時反応度付加率3.6 ϕ /s、スクラム値を7.4% Δ K/K としたケース (ケース2-3))、主に反応度付加率の増加の影響の点からの比較を行う。ケース2-3の結果は、図3.3-21に原子炉出力及び炉心流量、図3.3-22に反応度、図3.3-23、図3.3-24に炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。移設前と、今回の2ケースの炉心ホットチャンネル及び炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管、冷却材最高温度の比較を表3.3-8に示す。ケース2-3とケース2-1を比較すると、反応度付加率の増加により、スクラム設定点到達時刻は約0.4秒速くなり、ピーク出力は110MWから、111MWへとわずかながら増加する。しかし、出力上昇スピードが速まるため、事象が収束するまでの時間が短くなり、その結果放出エネルギー量は、ケース2-3で約273MWsであるのに対して、ケース2-1では、約235MWsに減少している。この為温度も炉心ホットチャンネルのペレット最高温度で4 $^{\circ}$ C、被覆管肉厚中心最高温度で1 $^{\circ}$ Cの減少し、炉心平均チャンネルでも、同程度の温度減少となる。

次に、スクラム値の低下が結果に与える影響について、ケース2-1とケース2-2の比較を行う。スクラム値の低下により各部の最高温度到達時刻は0.01秒ほど遅くなるが、温度は炉心平均チャンネルのペレット最高温度で1 $^{\circ}$ C上昇する程度で、ほとんど変化はしない。よって、スクラム値6.7% Δ K/Kとしたケースでも、制御棒移設後の炉心ホットチャンネルのペレット最高温度は2539 $^{\circ}$ C、被覆管肉厚中心最高温度は658 $^{\circ}$ C、冷却材最高温度は643 $^{\circ}$ Cであり、それらはすべて健全性判断基準を満足している。

3.3.3 制御棒落下

(1) 解析条件

- (a)原子炉は、定格で運転されているものとする。
- (b)制御棒6本のうち、第5列に移設した1本以外のワースは $-1.9\% \Delta K/K$ ($2.7 \pm 0.694 = 1.8738$)以上であり、落下しても炉心は低温未臨界状態になり問題はない。
- (c)挿入反応度は、定格運転中に、移設した制御棒1本が落下した場合を想定し、 $-0.97\% \Delta K/K$ (ノミナル値)に補正係数を乗じた値($-0.67\% \Delta K/K$)を用いる。
- (d)制御棒落下によるホットチャンネルの最大線出力の増加率は、 2.5% とする³⁻¹⁾。
本値は移設した制御棒1本が落下した場合の、最大線出力の増加率の最大値である。
- (e)制御棒落下に伴い、原子炉出力は低下し、炉容器出口温度も低下する。それが、1次系を一巡して来て、炉心入口温度が低下し、反応度が挿入される。
- (f)反応度係数としては、原子炉出力のピーク値が最大に評価されるように、ドップラー定数、被覆管膨張係数、冷却材膨張係数及び構造材膨張係数は、各々の最小値(絶対値が最大の負の値)を用いる。

(2) 解析結果

図3.3-25に原子炉出力、炉心入口温度及び炉心ホットチャンネルのペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度を、図3.3-26に反応度をそれぞれ示す。

制御棒落下によって、原子炉出力は低下する。それに伴う温度低下によって正の反応度が添加されるが、制御棒落下による反応度を上回ることはなく、原子炉出力の上昇もない。炉心ホットチャンネルのペレット、被覆管、冷却材最高温度を表3.3-8に示す。本事象におけるペレット最高温度、被覆管肉厚中心最高温度、冷却材温度はいずれも初期温度であり、それらはすべて健全性判断基準を満足している。

3.3.4 1次冷却材流量減少

(1) 解析条件

- (a)原子炉は、定格で運転されているものとする。
- (b)1次冷却材流量が減少する場合として、1次主冷却系循環ポンプ2台がトリップするものとする。
- (c)原子炉は、「1次冷却材循環ポンプトリップ」により自動停止し、その遅れは200ミリ秒とする。

(d)過渡期における原子炉出力を最大に評価するために、反応度係数としては被覆管膨張係数、冷却材膨張係数及び構造材膨張係数は最大値（絶対値が最小の負の値）を、また、ドップラー定数及び燃料軸方向膨張係数は最小値（絶対値が最大の負の値）を用いる。

(2) 解析結果

スクラム値を $6.7\% \Delta K/K$ としたケースについて、図3.3-27に原子炉出力及び炉心流量、図3.3-28に反応度、図3.3-29、図3.3-30に炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

1回路のポンプトリップ事象により、炉心流量は約6秒後に定格の50%まで減少する。出力は約2秒後に定格の10%まで減少し、その後緩やかに減少し続け、200秒の時点では定格の3%となる。各部の温度はスクラムにより一旦低下するがその後流量の減少速度が出力の減少速度を上回るため、約100秒で2次ピークをむかえることになる。

次に、スクラム値 $7.4\% \Delta K/K$ での解析結果との比較を行う。この2ケースの炉心ホットチャンネル及び炉心平均チャンネルのペレット、被覆管、冷却材最高温度の比較を表3.3-8に示す。スクラム値の低下により各部の最高温度到達時刻は0.04～0.06秒遅くなるが、最高温度の差は、炉心ホットチャンネルの被覆管肉厚中心最高温度、冷却材最高温度でそれぞれ 1°C 、炉心平均チャンネルの被覆管肉厚中心最高温度での 1°C の上昇にとどまっている。よって、制御棒移設後の炉心ホットチャンネルのペレット最高温度は初期温度 2500°C 、被覆管肉厚中心最高温度は 659°C 、冷却材最高温度は 645°C であり、それらはすべて健全性判断基準を満足している。

3.3.5 1次冷却材流量増大

(1) 解析条件

- (a)原子炉は出力100%とする。
- (b)1次系および2次系の流量は定格流量とする。
- (c)中性子束定格値の107%にスクラムレベルを仮定し、スクラム遅れは200mミリ秒とする。
- (d)スクラム時に挿入される反応度値は、最大の反応度値を有する制御棒1本が全引き抜き位置に固着して挿入されないものとする。

(e) 反応度係数としては原子炉出力のピーク値が最大に評価されるように、被覆管膨張係数、冷却材膨張係数及び構造材膨張係数は、各々の最小値（絶対値が最大の負の値）を考え、ドップラー定数については最大値（絶対値が最小の負の値）を用いる。

(f) 1次系冷却材流量の増加は瞬時に起こるものとする。

(2) 解析結果

スクラム価値を $6.7\% \Delta K/K$ としたケースについて、図3.3-31に原子炉出力及び炉心流量、図3.3-32に反応度、図3.3-33、図3.3-34に炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

定格流量で運転されている1次系のポンプの駆動モータが短絡をおこすと、1次系流量は炉心部で約10%増加する。そのため冷却材温度が低下し、これによる反応度付加のため出力は上昇するが、約54秒後にスクラム設定点（107%）に達する。

次に、スクラム価値 $7.4\% \Delta K/K$ での解析結果との比較を行う。この2ケースの炉心ホットチャンネル及び炉心平均チャンネルのペレット、被覆管、冷却材最高温度の比較を表3.3-8に示す。スクラム価値の低下により各部の最高温度到達時刻は約0.02秒遅くなるが、各部の最高温度の差は 1°C 未満であり、殆ど変化しない。よって、制御棒移設後の炉心ホットチャンネルのペレット最高温度は 2611°C 、被覆管肉厚中心最高温度は初期温度 650°C 、冷却材最高温度も初期温度 635°C であり、それらはすべて健全性判断基準を満足している。

3.3.6 外部電源喪失

(1) 解析条件

(a) 外部電源の喪失により原子炉はスクラムされ、その遅れは1.2秒とする。

(b) 1次系の流量は時定数にして10秒で減少し、ポンプの羽根車の慣性による寄与が期待できなくなった後は、既にポニーモータが駆動しているので5%の流量を保持できると仮定する。

(c) 原子炉は、電源喪失により自動停止し、その遅れは1.2秒とする。

(d) 過渡期における原子炉出力を最大に評価するために、反応度係数としては被覆管膨張係数、冷却材膨張係数及び構造材膨張係数は最大値（絶対値が最小の負の値）を、また、ドップラー定数及び燃料軸方向膨張係数は最小値（絶対値が最大の負の値）を用いる。

(2) 解析結果

スクラム値を6.7% $\Delta K/K$ としたケースについて、図3.3-35に原子炉出力及び炉心流量、図3.3-36に反応度、図3.3-37、図3.3-38に炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

外部電源喪失事象により、炉心流量は約6秒後に定格の50%まで減少する。出力は約3秒後に定格の10%まで減少し、その後緩やかに減少し続け、200秒の時点では定格の3%となる。各部の温度はスクラムにより一旦低下するがその後流量の減少速度が出力の減少速度を上回るため、約100秒で2次ピークをむかえることになる。

次に、スクラム値7.4% $\Delta K/K$ での解析結果との比較を行う。この2ケースの炉心ホットチャンネル及び炉心平均チャンネルのペレット、被覆管、冷却材最高温度の比較を表3.3-8に示す。スクラム値の低下により各部の最高温度到達時刻は約0.04秒遅くなるが、最高温度の差は、炉心ホットチャンネルの被覆管肉厚中心最高温度で1℃、冷却材最高温度で2℃、炉心平均チャンネルの被覆管肉厚中心最高温度、冷却材最高温度での1℃の上昇にとどまっている。よって、制御棒移設後の炉心ホットチャンネルのペレット最高温度は初期温度2500℃、被覆管肉厚中心最高温度は690℃、冷却材最高温度は678℃であり、それらはすべて健全性判断基準を満足している。

3.3.7 2次冷却材流量減少

(1) 解析条件

- (a)原子炉は、定格で運転されているものとする。
- (b)2次冷却材流量が減少する場合として、2次主冷却系循環ポンプ1台がトリップするものとする。
- (c)原子炉は「2次主冷却系循環ポンプトリップ」の信号により制御棒一斉挿入動作が行われ、その遅れは200ミリ秒とする。
- (d)反応度係数は原子炉出力を最大に評価するよう各反応度係数の最小値（絶対値が最大の負の値）を用いる。

(2) 解析結果

スクラム値を6.7% $\Delta K/K$ としたケースについて、図3.3-39に原子炉出力及び炉心流量、図3.3-40に反応度、図3.3-41、図3.3-42に炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

冷却回路 2 系統中、1 系統の 2 次冷却回路の冷却材流量が失われると、その系統の 1 次冷却材は中間熱交換器で十分に冷却されず、原子炉へ戻ることになる。これにより炉心入口冷却材温度は約 50℃ 上昇する。しかし、原子炉は「2 次主冷却系循環ポンプトリップ」により制御棒が一斉挿入されるので、炉心各部の温度は初期温度よりも上昇することはない。

次に、スクラム値 7.4%ΔK/K での解析結果との比較を行う。この 2 ケースの炉心ホットチャンネル及び炉心平均チャンネルのペレット、被覆管、冷却材最高温度の比較を表 3.3-8 に示す。スクラム値の低下による影響は各部の温度低下の速度が若干遅くなることに表れるが、本事象におけるペレット最高温度、被覆管肉厚中心最高温度、冷却材最高温度はいずれも初期温度であり、それらはすべて健全性判断基準を満足している。

3.3.8 2 次冷却材流量増大

(1) 解析条件

- (a) 原子炉は出力 100% とする。
- (b) 1 次系および 2 次系の流量は定格流量とする。
- (c) 中性子束定格値の 107% にスクラムレベルを仮定し、スクラム遅れは 200 ミリ秒とする。
- (d) スクラム時に挿入される反応度値は、最大の反応度値を有する制御棒 1 本が全引き抜き位置に固着して挿入されないものとする。
- (e) 反応度係数としては原子炉出力のピーク値が最大に評価されるように、被覆管膨張係数、冷却材膨張係数及び構造材膨張係数は、各々の最小値（絶対値が最大の負の値）を考え、ドップラー定数については最大値（絶対値が最小の負の値）を用いる。
- (f) 2 次系冷却材流量の増加は瞬時に起こるものとする。

(2) 解析結果

スクラム値を 6.7%ΔK/K としたケースについて、図 3.3-43 に原子炉出力及び炉心流量、図 3.3-44 に反応度、図 3.3-45、図 3.3-46 に炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

定格流量で運転されている 2 次系のポンプの駆動モータが短絡をおこすと、2 次系

流量は約20%増加し、IHX 1次出口Na温度が低下する。これによる入口ナトリウム温度の低下は約4℃であり、炉心支持板の収縮により1.7φ、および冷却材の収縮により約1φの、合計2.7φの反応度付加のため出力は上昇する。そして、約43秒後にスクラム設定点に達する。

次に、スクラム値7.4%ΔK/Kでの解析結果との比較を行う。この2ケースの炉心ホットチャンネル及び炉心平均チャンネルのペレット、被覆管、冷却材最高温度の比較を表3.3-8に示す。スクラム値の低下により各部の最高温度到達時刻は0.04～0.06秒遅くなるが、各部の最高温度の差は0℃未満であり、殆ど変化しない。よって、制御棒移設後の炉心ホットチャンネルのペレット最高温度は2620℃、被覆管肉厚中心最高温度は665℃、冷却材最高温度も649℃であり、それらはすべて健全性判断基準を満足している。

3.3.9 主冷却器空気流量減少

(1) 解析条件

- (a)原子炉は出力100%、各系の流量は定格の100%とする。
- (b)主冷却器空気流量が減少する場合として、送風機がトリップするものとする。
- (c)原子炉は「原子炉入口冷却材温度高」により制御棒一斉挿入動作が行われ、その遅れは10秒とする。
- (d)原子炉出力を最大に評価するために、反応度係数としては、被覆管膨張係数、冷却材膨張係数及び構造材膨張係数には最大値（絶対値が最小の負の値）を、またドップラー定数及び燃料軸方向膨張係数には最小値（絶対値が最大の負の値）を用いる。

(2) 解析結果

スクラム値を6.7%ΔK/Kとしたケースについて、図3.3-47に原子炉出力及び炉心流量、図3.3-48に反応度、図3.3-49、図3.3-50に炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

空気流量の低下により、2次冷却材の温度が上昇し、中間熱交換器を介して1次冷却材温度が上昇する。原子炉出力は、主に冷却材膨張効果による負の反応度のため、ごくわずかずつ減少し、120秒後に「原子炉入口冷却材温度高」による制御棒一斉挿入のため急減する。

次に、スクラム値7.4% $\Delta K/K$ での解析結果との比較を行う。この2ケースの炉心ホットチャンネル及び炉心平均チャンネルのペレット、被覆管、冷却材最高温度の比較を表3.3-8に示す。スクラム値の低下により各部の最高温度到達時刻は約0.02秒遅くなるが、各部の最高温度の差は0℃未満であり、殆ど変化しない。よって、制御棒移設後の炉心ホットチャンネルのペレット最高温度は初期温度2500℃、被覆管肉厚中心最高温度は652℃、冷却材最高温度も649℃であり、それらはすべて健全性判断基準を満足している。

3.3.10 主冷却器空気流量増大

(1) 解析条件

- (a)原子炉は出力100%とする。
- (b)1次系および2次系の流量は定格流量とする。
- (c)中性子束定格値の107%にスクラムレベルを仮定し、スクラム遅れは200ミリ秒とする。
- (d)スクラム時に挿入される反応度値は、最大の反応度値を有する制御棒1本が全引き抜き位置に固着して挿入されないものとする。
- (e)反応度係数としては原子炉出力のピーク値が最大に評価されるように、被覆管膨張係数、冷却材膨張係数及び構造材膨張係数は、各々の最小値（絶対値が最大の負の値）を考え、ドップラー定数については最大値（絶対値が最小の負の値）を用いる。
- (f)主冷却器流量の増加は瞬時に起こるものとする。

(2) 解析結果

スクラム値を6.7% $\Delta K/K$ としたケースについて、図3.3-51に原子炉出力及び炉心流量、図3.3-52に反応度、図3.3-53、図3.3-54に炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

100%出力運転時に風量制御系の誤動作により空気流量が上昇し、これにより2次側Na温度及び1次側Na温度が低下する。原子炉部分では冷却材入口温度が、約1℃/40sの割合で低下し、炉心支持板及び冷却材の温度低下に伴う正の反応度挿入により出力が上昇するが、約208秒でスクラム設定点に達する。

次に、スクラム値7.4% $\Delta K/K$ での解析結果との比較を行う。この2ケースの炉心ホットチャンネル及び炉心平均チャンネルのペレット、被覆管、冷却材最高温度の比

較を表3.3-8に示す。スクラム価値の低下により各部の最高温度到達時刻は約0.03秒遅くなるが、各部の最高温度の差は0°C未満であり、殆ど変化しない。よって、制御棒移設後の炉心ホットチャンネルのペレット最高温度は2621°C、被覆管肉厚中心最高温度は664°C、冷却材最高温度も648°Cであり、それらはすべて健全性判断基準を満足している。

表3.3-1 主要解析条件 (1/2)

(異常な過渡変化)

解析事象 解析条件		未臨界状態からの 制御棒の異常な 引き抜き	出力運転中の 制御棒の異常な 引き抜き	制御棒落下	1次冷却材 流量減少	1次冷却材 流量増大
初期運転状態		1.0W	定 格	定 格	定 格	定 格
反 応 度 係 数	ドブラー	最大 -0.30×10^{-3}	最大 -0.30×10^{-3}	最小 -1.78×10^{-3}	最小 -1.78×10^{-3}	最大 -0.30×10^{-3}
	燃 料	—	—	—	最小 -0.45×10^{-5}	(炉心支持板最小) -19.0×10^{-6}
	被 覆 管	最大 -0.63×10^{-6}	最大 -0.63×10^{-6}	最小 -1.60×10^{-6}	最大 -0.63×10^{-6}	最小 -1.60×10^{-6}
	冷 却 材	最大 -5.60×10^{-6}	最大 -5.60×10^{-6}	最小 -1.37×10^{-5}	最大 -5.60×10^{-6}	最小 -1.37×10^{-5}
	構 造 材	最大 -0.39×10^{-6}	最大 -0.39×10^{-6}	最小 -0.98×10^{-6}	最大 -0.39×10^{-6}	最小 -0.98×10^{-6}
原子炉 トリップ	信 号	出力領域中性子束高	出力領域中性子束高	/	1次主冷却系循環	出力領域中性子束高
		107%	107%		ポンプトリップ	107%
	遅れ時間	0.2秒	0.2秒		0.2秒	0.2秒
単一故障重ね合わせ		1ロッドスタック	1ロッドスタック		1ロッドスタック	1ロッドスタック
解析時間		30秒	5 秒	200秒	200秒	100秒
熱出力		5000tu/h・ft ² ・°F	10000tu/h・ft ² ・°F	10000tu/h・ft ² ・°F	10000tu/h・ft ² ・°F	10000tu/h・ft ² ・°F
挿入反応度		5.0φ/s	5.0φ/s	-0.67%ΔK/K	な し	な し
炉心流量		一 定	一 定	一 定	表3.3-2	100%→110%
炉心入口温度		一 定	一 定	図3.3-26	一 定	表3.3-3
炉心各部温度		370℃	定 格	定 格	定 格	定 格
その他					他ポンプトリップ	一斉挿入

表3.3-1 主要解析条件 (2/2)

(異常な過渡変化)

解析事象		外部電源喪失	2次冷却材 流量減少	2次冷却材 流量増大	主冷却器空気 流量減少	主冷却器空気 流量増大
解析条件						
初期運転状態		定 格	定 格	定 格	定 格	定 格
反 応 度 係 数	ドブラー	最小 -1.78×10^{-3}	最小 -1.78×10^{-3}	最大 -0.30×10^{-3}	最小 -1.78×10^{-3}	最大 -0.30×10^{-3}
	燃 料	最小 -0.45×10^{-5}	最小 -0.45×10^{-5}	(炉心支持板最小) -19.0×10^{-6}	最小 -0.45×10^{-5}	(炉心支持板最大) -11.0×10^{-6}
	被 覆 管	最大 -0.63×10^{-6}	最小 -1.60×10^{-6}	最小 -1.60×10^{-6}	最大 -0.63×10^{-6}	最小 -1.60×10^{-6}
	冷 却 材	最大 -5.60×10^{-6}	最小 -1.37×10^{-5}	最小 -1.37×10^{-5}	最大 -5.60×10^{-6}	最小 -1.37×10^{-5}
	構 造 材	最大 -0.39×10^{-6}	最小 -0.98×10^{-6}	最小 -0.98×10^{-6}	最大 -0.39×10^{-6}	最小 -0.98×10^{-6}
原子炉 トリップ	信 号	外部電源喪失	2次主冷却系循環	出力領域中性子束高	原子炉入口冷却材	出力領域中性子束高
			ポンプトリップ	107%	温 度 高	107%
	遅れ時間	1.2秒	0.2秒	0.2秒	10秒	0.2秒
単一故障重ね合わせ		1ロッドスタック	1ロッドスタック	1ロッドスタック	1ロッドスタック	1ロッドスタック
解析時間		200秒	200秒	100秒	200秒	300秒
熱出力		1000Btu/h-ft ² ・°F	1000Btu/h-ft ² ・°F	1000Btu/h-ft ² ・°F	1000Btu/h-ft ² ・°F	1000Btu/h-ft ² ・°F
挿入反応度		な し	な し	な し	な し	な し
炉心流量		表3.3-4	一 定	一 定	一 定	一 定
炉心入口温度		一 定	表3.3-5	瞬時に4℃下げる	表3.3-6	表3.3-7
炉心各部温度		定 格	定 格	定 格	定 格	定 格
その他			一斉挿入	一斉挿入	一斉挿入	一斉挿入

表3.3-2 炉心流量变化 (1次冷却材流量减少)

时 刻 (s e c)	流 量 比	时 刻 (s e c)	流 量 比
0. 0	1. 000	30. 0	0. 1680
0. 2	0. 9941	35. 0	0. 1471
0. 6	0. 9532	40. 0	0. 1278
0. 8	0. 9291	45. 0	0. 1097
1. 0	0. 9051	50. 0	0. 09957
1. 4	0. 8591	55. 0	0. 08972
1. 8	0. 8161	60. 0	0. 08043
2. 0	0. 7959	65. 0	0. 07020
2. 4	0. 7574	70. 0	0. 06426
2. 8	0. 7215	75. 0	0. 05962
3. 0	0. 7045	80. 0	0. 05659
4. 0	0. 6279	84. 0	0. 05448
5. 0	0. 5631	90. 0	0. 05298
6. 0	0. 5165	100. 0	0. 05179
7. 0	0. 4692	150. 0	0. 05159
8. 0	0. 4285	200. 0	0. 05139
9. 0	0. 3931	300. 0	0. 05100
10. 0	0. 3623	420. 0	0. 05100
11. 0	0. 3352		
12. 0	0. 3114		
16. 0	0. 2573		
20. 0	0. 2200		
25. 0	0. 1921		

表3.3-3 炉心入口温度变化 (1次冷却材流量增大)

時 間 (sec)	温 度 (℃)
0.0	370.0
20.0	369.9
40.0	370.0
53.0	369.9
80.0	371.3
100.0	373.7
120.0	374.9
140.0	372.9
160.0	367.7
180.0	361.7
200.0	656.5
240.0	348.0
260.0	341.0
280.0	331.5
300.0	323.0
327.0	318.3
340.0	319.4
360.0	323.8
380.0	328.7
420.0	333.5

表3.3-4 炉心流量变化 (外部电源丧失)

时 刻 (s e c)	流 量 比	时 刻 (s e c)	流 量 比
0. 0	1. 0 0 0	30. 0	0. 1 6 8 0
0. 2	0. 9 9 4 1	35. 0	0. 1 4 7 1
0. 6	0. 9 5 3 2	40. 0	0. 1 2 7 8
0. 8	0. 9 2 9 1	45. 0	0. 1 0 9 7
1. 0	0. 9 0 5 1	50. 0	0. 0 9 9 5 7
1. 4	0. 8 5 9 1	55. 0	0. 0 8 9 7 2
1. 8	0. 8 1 6 1	60. 0	0. 0 8 0 4 3
2. 0	0. 7 9 5 9	65. 0	0. 0 7 0 2 0
2. 4	0. 7 5 7 4	70. 0	0. 0 6 4 2 6
2. 8	0. 7 2 1 5	75. 0	0. 0 5 9 6 2
3. 0	0. 7 0 4 5	80. 0	0. 0 5 6 5 9
4. 0	0. 6 2 7 9	84. 0	0. 0 5 4 4 8
5. 0	0. 5 6 3 1	90. 0	0. 0 5 2 9 8
6. 0	0. 5 1 6 5	100. 0	0. 0 5 1 7 9
7. 0	0. 4 6 9 2	150. 0	0. 0 5 1 5 9
8. 0	0. 4 2 8 5	200. 0	0. 0 5 1 3 9
9. 0	0. 3 9 3 1	300. 0	0. 0 5 1 0 0
10. 0	0. 3 6 2 3	420. 0	0. 0 5 1 0 0
11. 0	0. 3 3 5 2		
12. 0	0. 3 1 1 4		
16. 0	0. 2 5 7 3		
20. 0	0. 2 2 0 0		
25. 0	0. 1 9 2 1		

表3.3-5 炉心入口温度变化 (2次冷却材流量减少)

時刻 (sec)	温度 (℃)	時刻 (sec)	温度 (℃)
0. 000	370. 00	470. 00	358. 13
10. 000	370. 00	480. 00	358. 62
20. 000	370. 06	490. 00	359. 00
30. 000	371. 05	500. 00	359. 18
40. 000	375. 66	510. 00	359. 14
50. 000	384. 64	520. 00	358. 89
60. 000	395. 08	530. 00	358. 50
70. 000	403. 98	540. 00	358. 01
80. 000	409. 95	550. 00	357. 49
90. 000	412. 56	560. 00	356. 98
100. 000	411. 89	570. 00	356. 53
110. 000	408. 58	580. 00	356. 13
120. 000	403. 66	590. 00	355. 79
130. 000	398. 24	600. 00	355. 49
140. 000	393. 22		
150. 000	389. 16		
160. 000	386. 27		
170. 000	384. 48		
180. 000	383. 49		
190. 000	382. 91		
200. 000	382. 35		
210. 000	381. 44		
220. 000	379. 96		
230. 000	377. 87		
240. 000	375. 29		
250. 000	372. 49		
260. 000	369. 78		
270. 000	367. 50		
280. 000	365. 84		
290. 000	364. 90		
300. 000	364. 61		
310. 000	364. 78		
320. 000	365. 19		
330. 000	365. 58		
340. 000	365. 76		
350. 000	365. 59		
360. 000	365. 01		
370. 000	364. 06		
380. 000	362. 80		
390. 000	361. 39		
400. 000	359. 97		
410. 000	358. 72		
420. 000	357. 77		
430. 000	357. 20		
440. 000	357. 04		
450. 000	357. 21		
460. 000	357. 61		

表3.3-6 炉心入口温度变化 (主冷却器空气流量减少)

时 刻 (s e c)	温 度 (℃)	时 刻 (s e c)	温 度 (℃)
0. 000	370. 00	460. 00	359. 61
10. 000	370. 00	470. 00	358. 96
20. 000	370. 18	480. 00	358. 20
30. 000	370. 65	490. 00	357. 38
40. 000	371. 07	500. 00	356. 55
50. 000	371. 33	510. 00	355. 73
60. 000	371. 47	520. 00	355. 15
70. 000	371. 54	530. 00	354. 63
80. 000	371. 60	540. 00	354. 20
90. 000	371. 71	550. 00	353. 38
100. 00	371. 98	560. 00	353. 44
110. 00	372. 54	570. 00	352. 98
120. 00	373. 49	580. 00	352. 41
130. 00	374. 91	590. 00	351. 73
140. 00	376. 79	600. 00	350. 95
150. 00	379. 07		
160. 00	381. 67		
170. 00	384. 44		
180. 00	387. 23		
190. 00	389. 80		
200. 00	391. 93		
210. 00	393. 42		
220. 00	394. 18		
230. 00	394. 26		
240. 00	393. 81		
250. 00	392. 99		
260. 00	392. 00		
270. 00	391. 03		
280. 00	390. 16		
290. 00	389. 40		
300. 00	388. 63		
310. 00	387. 66		
320. 00	386. 29		
330. 00	384. 38		
340. 00	381. 90		
350. 00	378. 93		
360. 00	375. 67		
370. 00	372. 38		
380. 00	369. 31		
390. 00	366. 67		
400. 00	364. 58		
410. 00	363. 04		
420. 00	361. 97		
430. 00	361. 23		
440. 00	360. 67		
450. 00	360. 16		

表3.3-7 炉心入口温度变化 (主冷却器空气流量增大)

時 間 (sec)	温 度 (℃)
0.0	370.0
20.0	369.7
40.0	369.1
60.0	368.9
80.0	368.5
100.0	367.8
120.0	366.9
140.0	366.4
160.0	366.0
180.0	365.8
200.0	365.6
220.0	365.5
240.0	365.4
260.0	365.3
280.0	365.3
300.0	365.2
320.0	365.2
350.0	365.2
380.0	365.3
420.0	365.3

表3.3-8 「運転時の異常な過渡変化」解析結果のまとめ (1/2)

事 象 名			炉心ホットチャンネル温度 (°C)			炉心平均チャンネル温度 (°C)		
			ペレット	被 覆 管	冷 却 材	ペレット	被 覆 管	冷 却 材
未臨界状態からの 制御棒の異常な引き抜き	引き抜き反応度 3.6¢/S	スクラム反応度 7.4%ΔK/K	1681/370	529/370	522/370	1294/370	477/370	471/370
	引き抜き 反応度 5.0¢/S	スクラム反応度 7.4%ΔK/K	2001/370	576/370	566/370	1556/370	509/370	501/370
		スクラム反応度 6.7%ΔK/K	2017/370	578/370	568/370	1570/370	510/370	502/370
出力運転中の 制御棒の異常な引き抜き	引き抜き反応度 3.6¢/S	スクラム反応度 7.4%ΔK/K	2543/2500	659/650	643/635	1913/1871	556/550	544/538
	引き抜き 反応度 5.0¢/S	スクラム反応度 7.4%ΔK/K	2539/2500	658/650	643/635	1909/1871	555/550	543/538
		スクラム反応度 6.7%ΔK/K	2539/2500	658/650	643/635	1910/1871	555/550	543/538
制 御 棒 落 下			2500/2500	650/650	635/635			
1次冷却材流量減少		スクラム反応度 7.4%ΔK/K	2500/2500	658/650	644/635	1871/1871	555/550	544/538
		スクラム反応度 6.7%ΔK/K	2500/2500	659/650	645/635	1871/1871	556/550	544/538
1次冷却材流量増大		スクラム反応度 7.4%ΔK/K	2611/2500	650/650	635/635	1967/1871	550/550	538/538
		スクラム反応度 6.7%ΔK/K	2611/2500	650/650	635/635	1967/1871	550/550	538/538

最高温度 / 初期温度

表3-3-8 「運転時の異常な過渡変化」解析結果のまとめ (2/2)

事 象 名		炉心ホットチャンネル温度 (°C)			炉心平均チャンネル温度 (°C)		
		ペレット	被 覆 管	冷 却 材	ペレット	被 覆 管	冷 却 材
外部電源喪失	スクラム反応度 7.4%ΔK/K	2500/2500	689/650	676/635	1871/1871	574/550	564/538
	スクラム反応度 6.7%ΔK/K	2500/2500	690/650	678/635	1871/1871	575/550	565/538
2次冷却材流量減少	スクラム反応度 7.4%ΔK/K	2500/2500	650/650	635/635	1871/1871	550/550	538/538
	スクラム反応度 6.7%ΔK/K	2500/2500	650/650	635/635	1871/1871	550/550	538/538
2次冷却材流量増大	スクラム反応度 7.4%ΔK/K	2620/2500	665/650	649/635	1973/1871	558/550	545/538
	スクラム反応度 6.7%ΔK/K	2620/2500	665/650	649/635	1973/1871	558/550	545/538
主冷却器空気流量減少	スクラム反応度 7.4%ΔK/K	2500/2500	652/650	637/635	1871/1871	552/550	540/538
	スクラム反応度 6.7%ΔK/K	2500/2500	652/650	637/635	1871/1871	552/550	540/538
主冷却器空気流量増大	スクラム反応度 7.4%ΔK/K	2621/2500	664/650	648/635	1973/1871	557/550	545/538
	スクラム反応度 6.7%ΔK/K	2621/2500	664/650	648/635	1973/1871	557/550	545/538

最高温度/初期温度

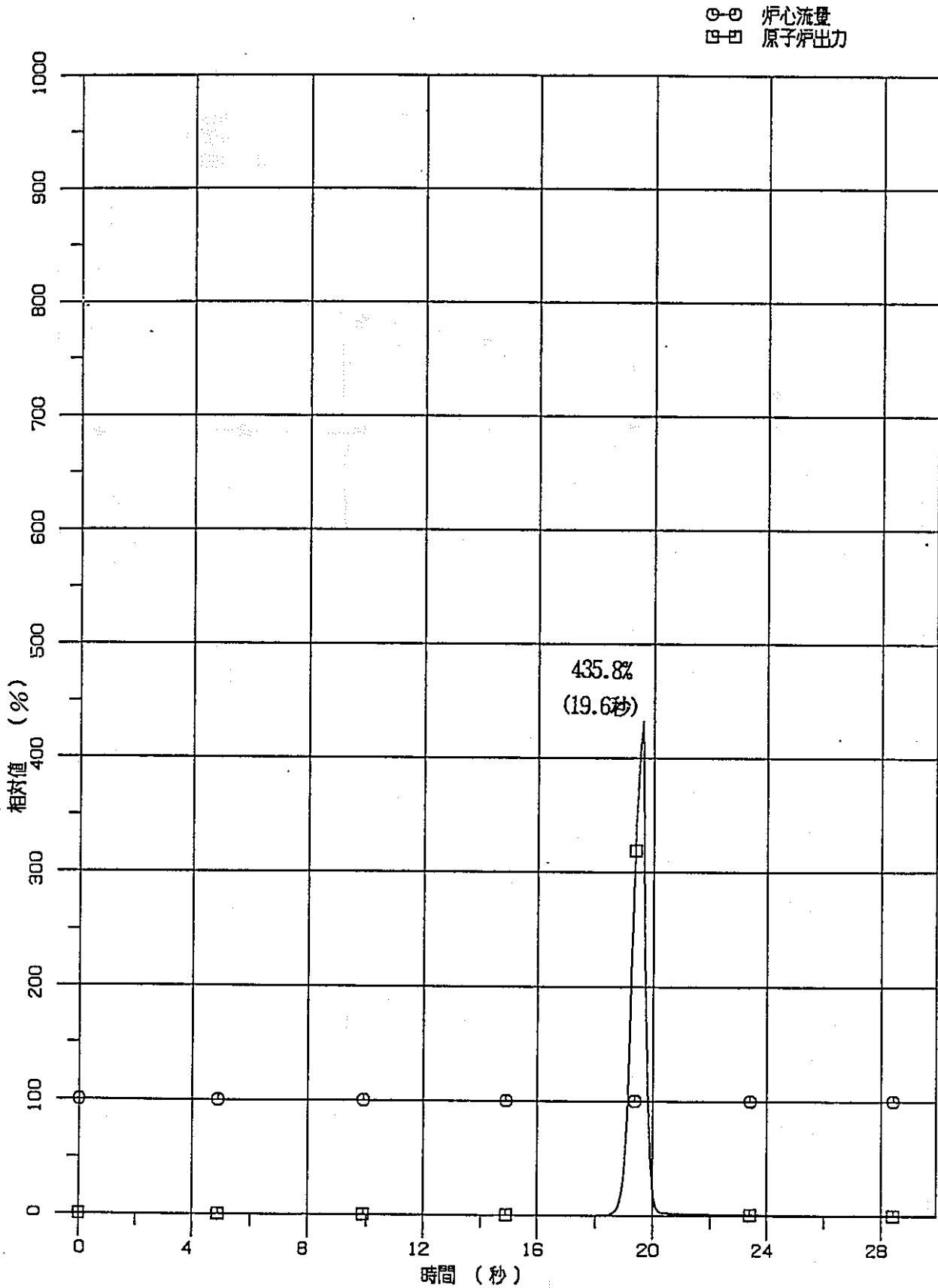


図3.3-1 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き (移設後、スクラム価値7.4%ΔK/K)

—原子炉出力及び炉心流量—

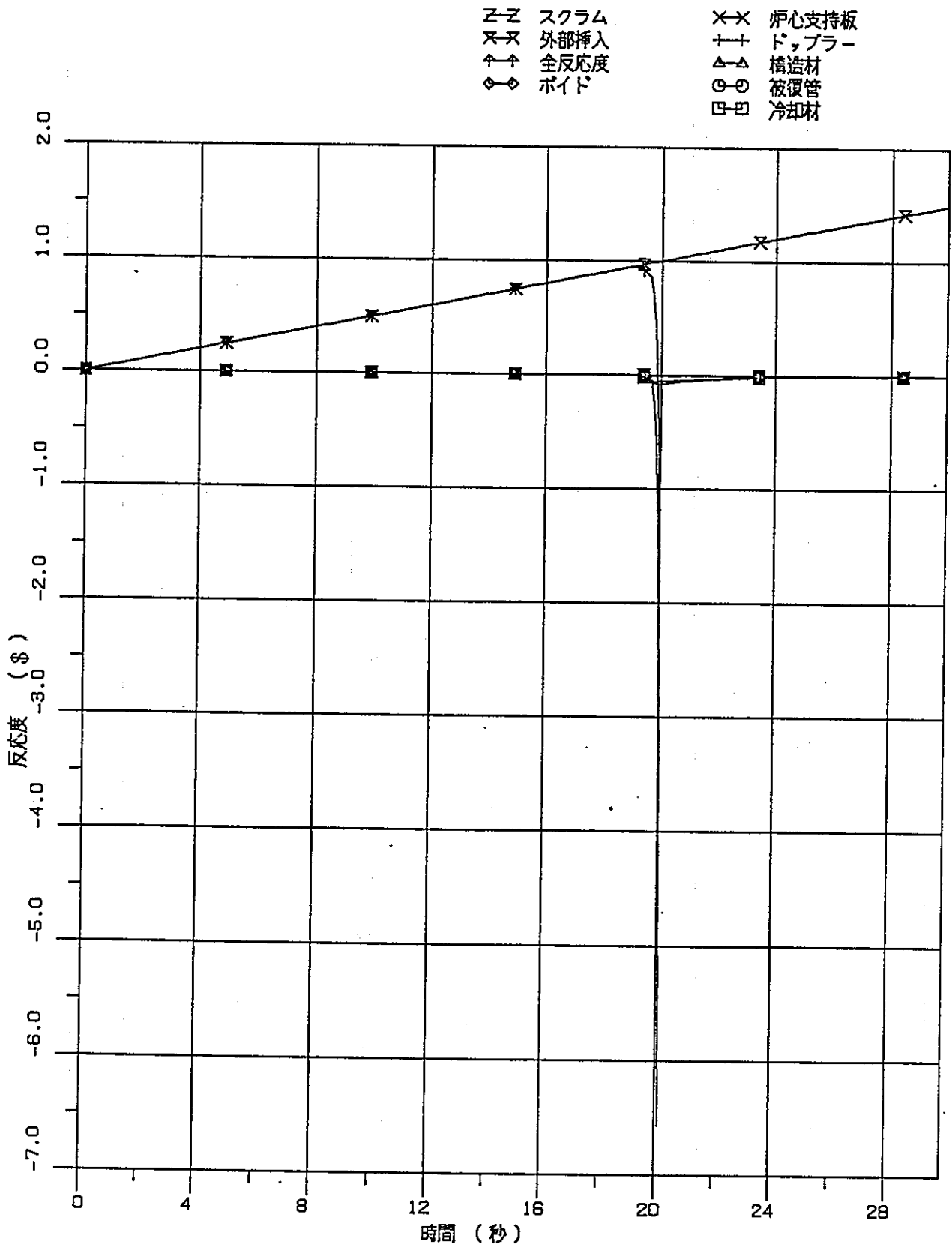


図3.3-2 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き (移設後、スクラム価値7.4%ΔK/K)

- 反応度 -

炉心ホットチャンネル

△△ 冷却材
 ○○ 被覆管
 □□ 燃料

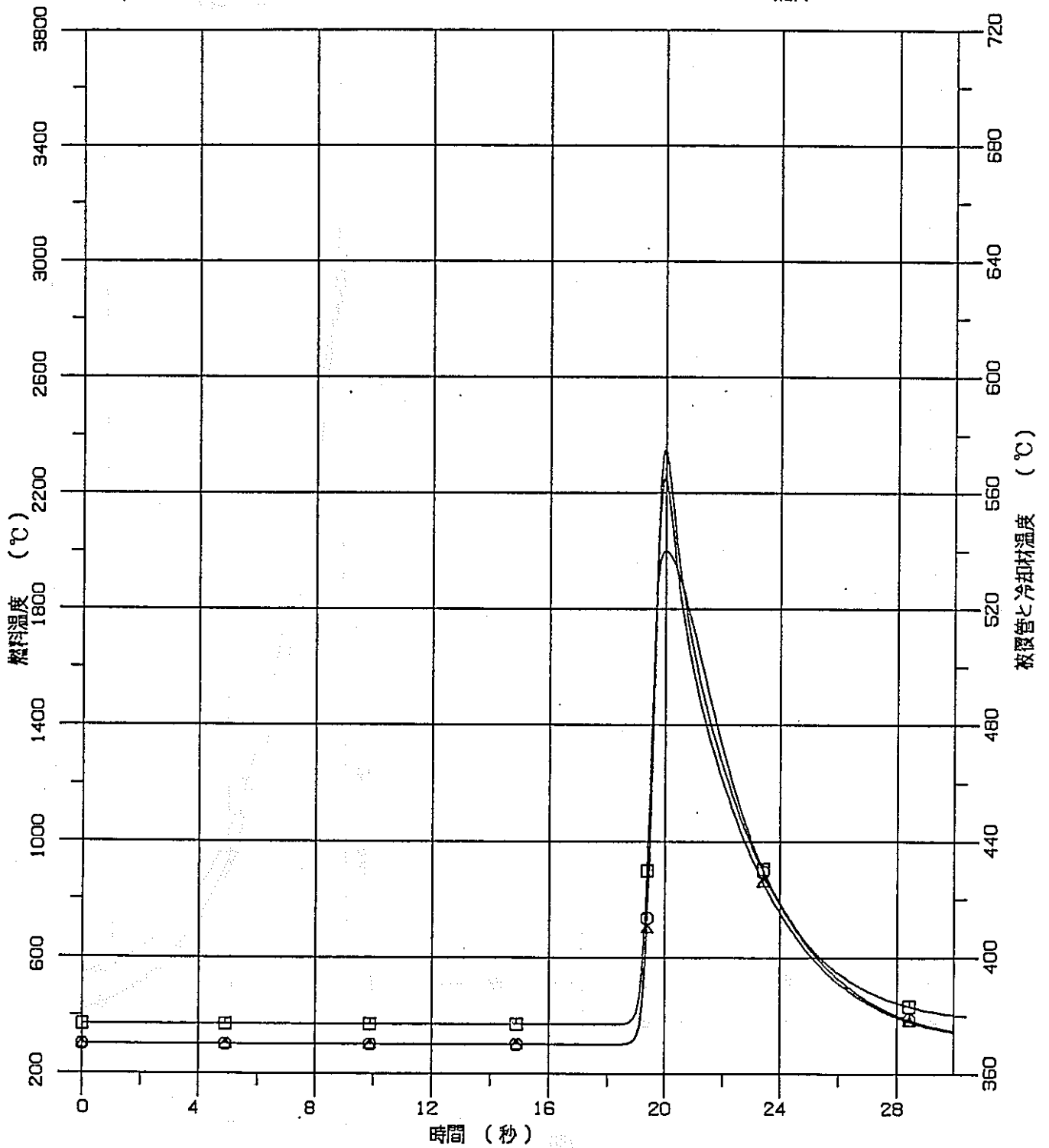


図3.3-3 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き (移設後、スクラム値7.4%ΔK/K)

—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

炉心平均チャンネル

△△ 冷却材
 ⊙⊙ 被覆管
 □□ 燃料

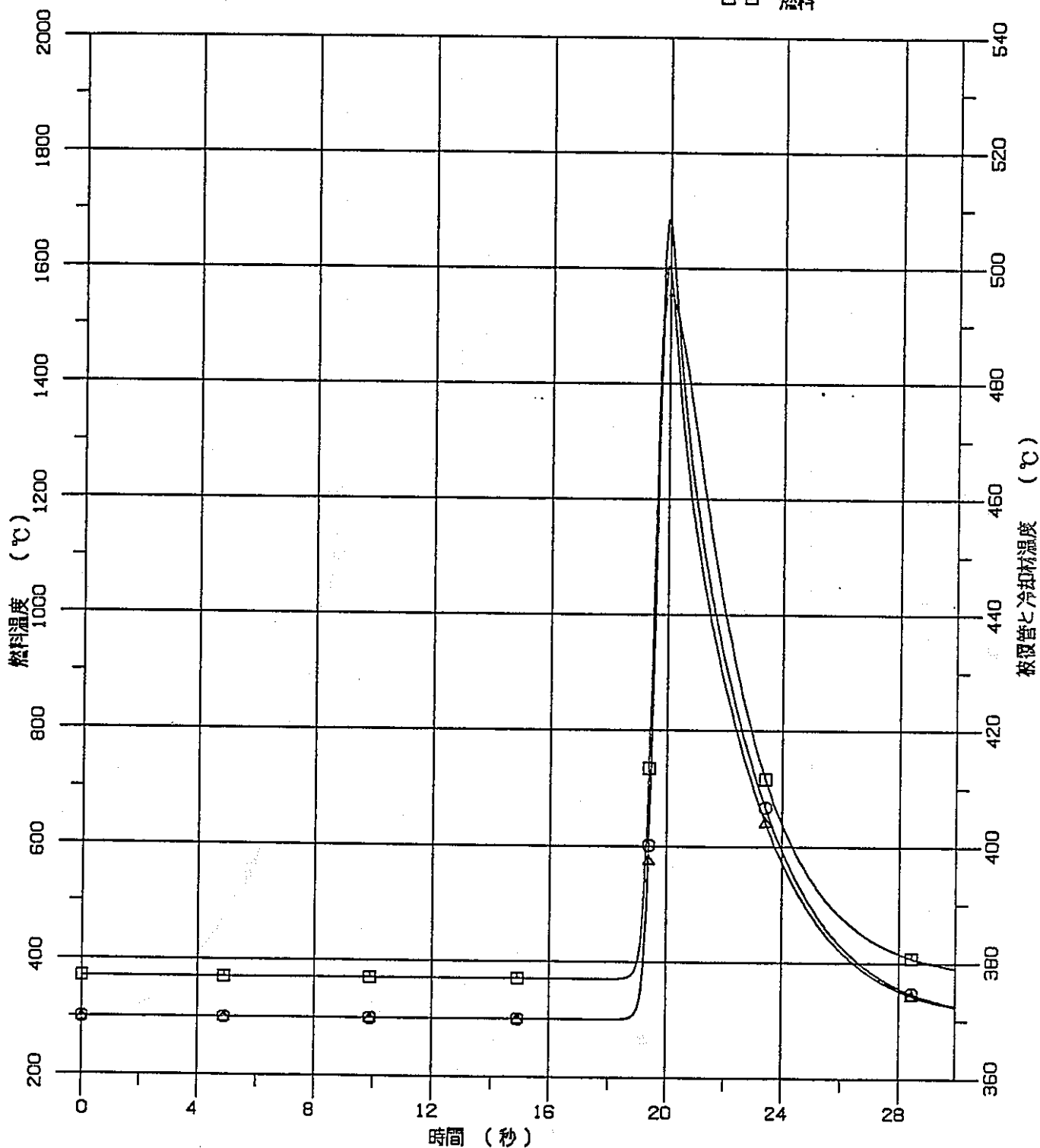


図3.3-4 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き (移設後、スクラム値7.4%ΔK/K)

—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

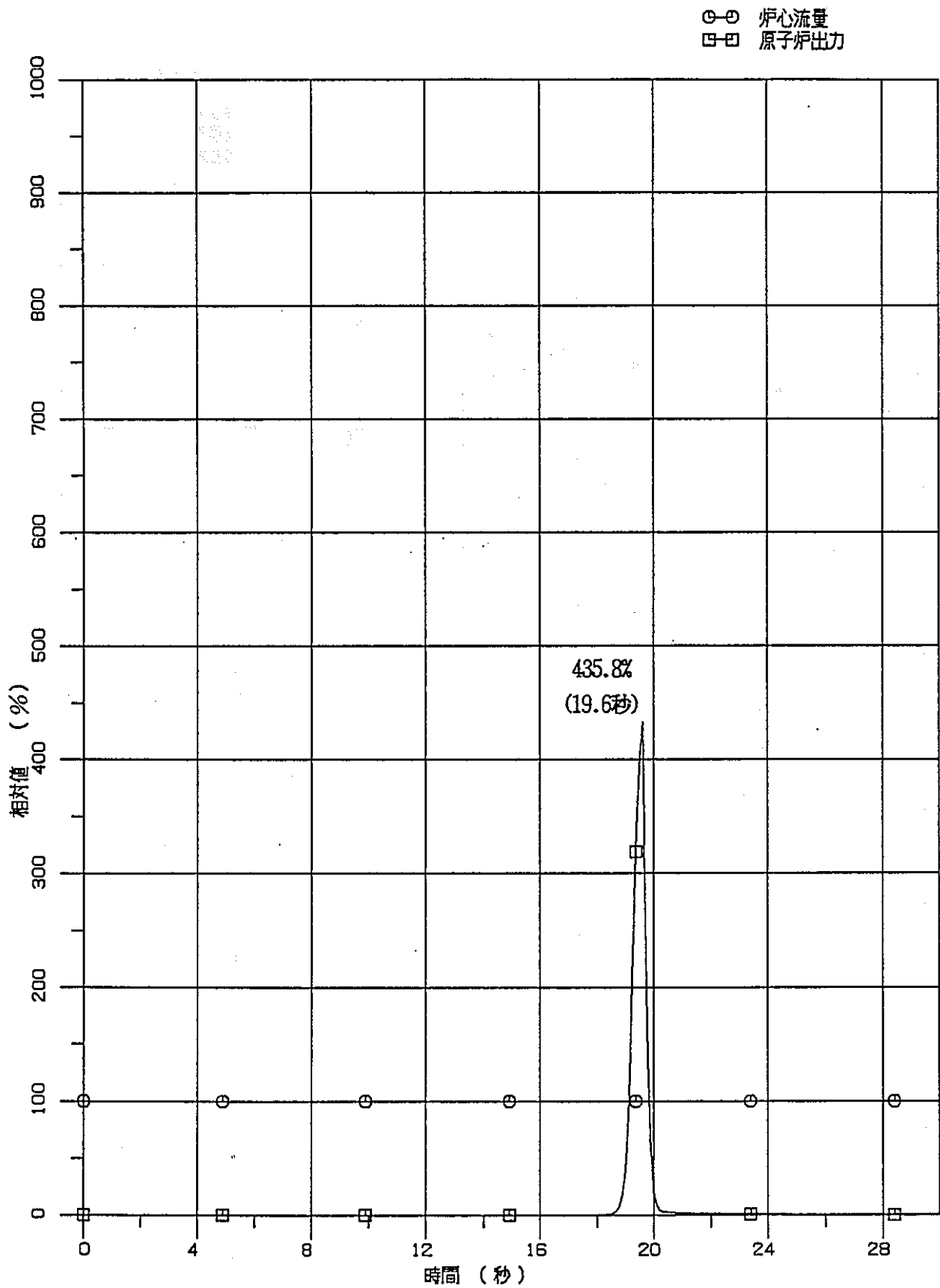


図3.3-5 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)

—原子炉出力及び炉心流量—

- | | | | |
|-----|------|----|-------|
| ⌘-⌘ | スクラム | ×× | 炉心支持板 |
| ×× | 外部挿入 | ++ | ドブラー |
| ↑↑ | 全反応度 | △△ | 構造材 |
| ◇◇ | ボイド | ○○ | 被覆管 |
| | | □□ | 冷却材 |

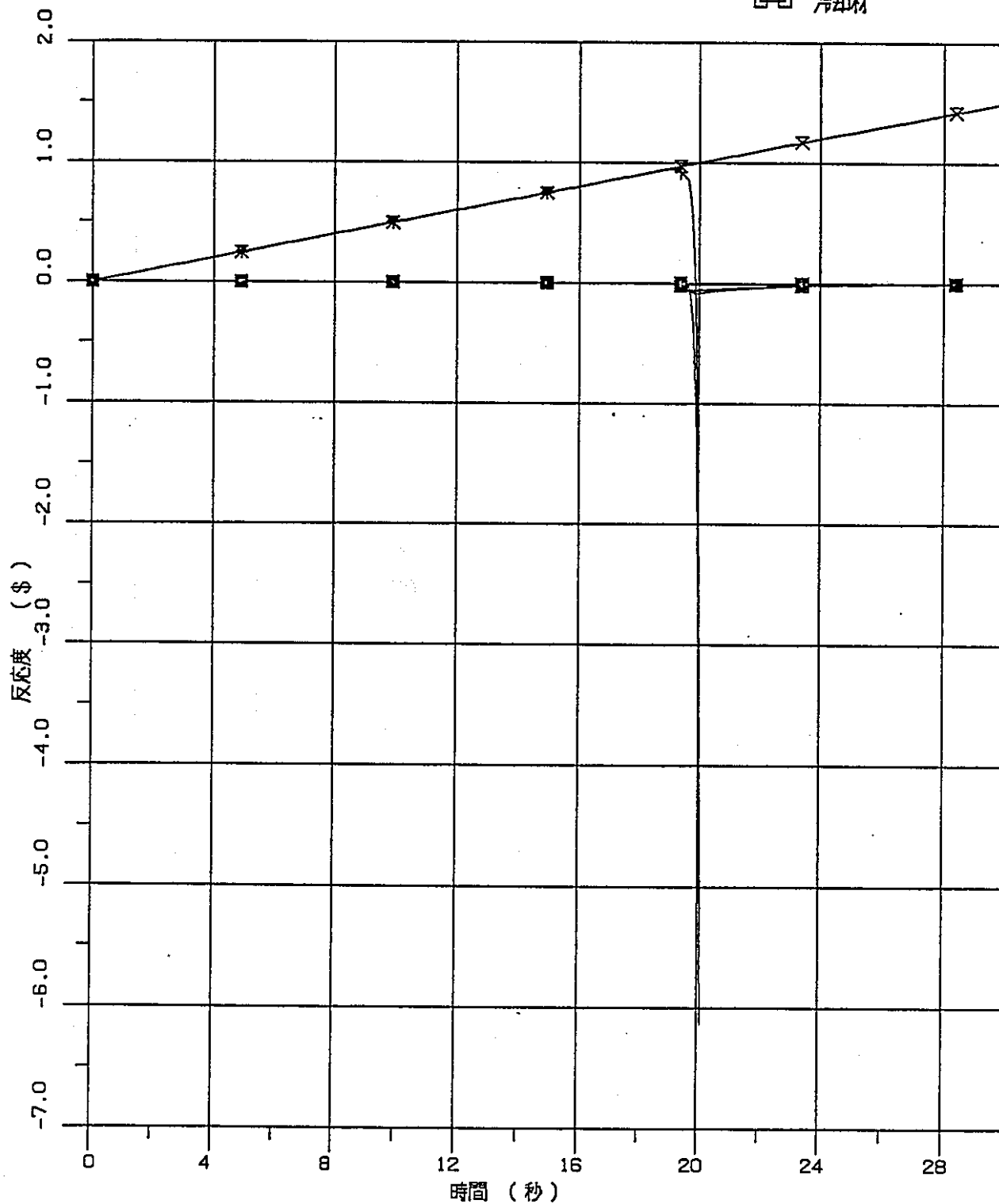


図3.3-6 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)

- 反応度 -

炉心ホットチャンネル

△△ 冷却材
 ⊙⊙ 被覆管
 □□ 燃料

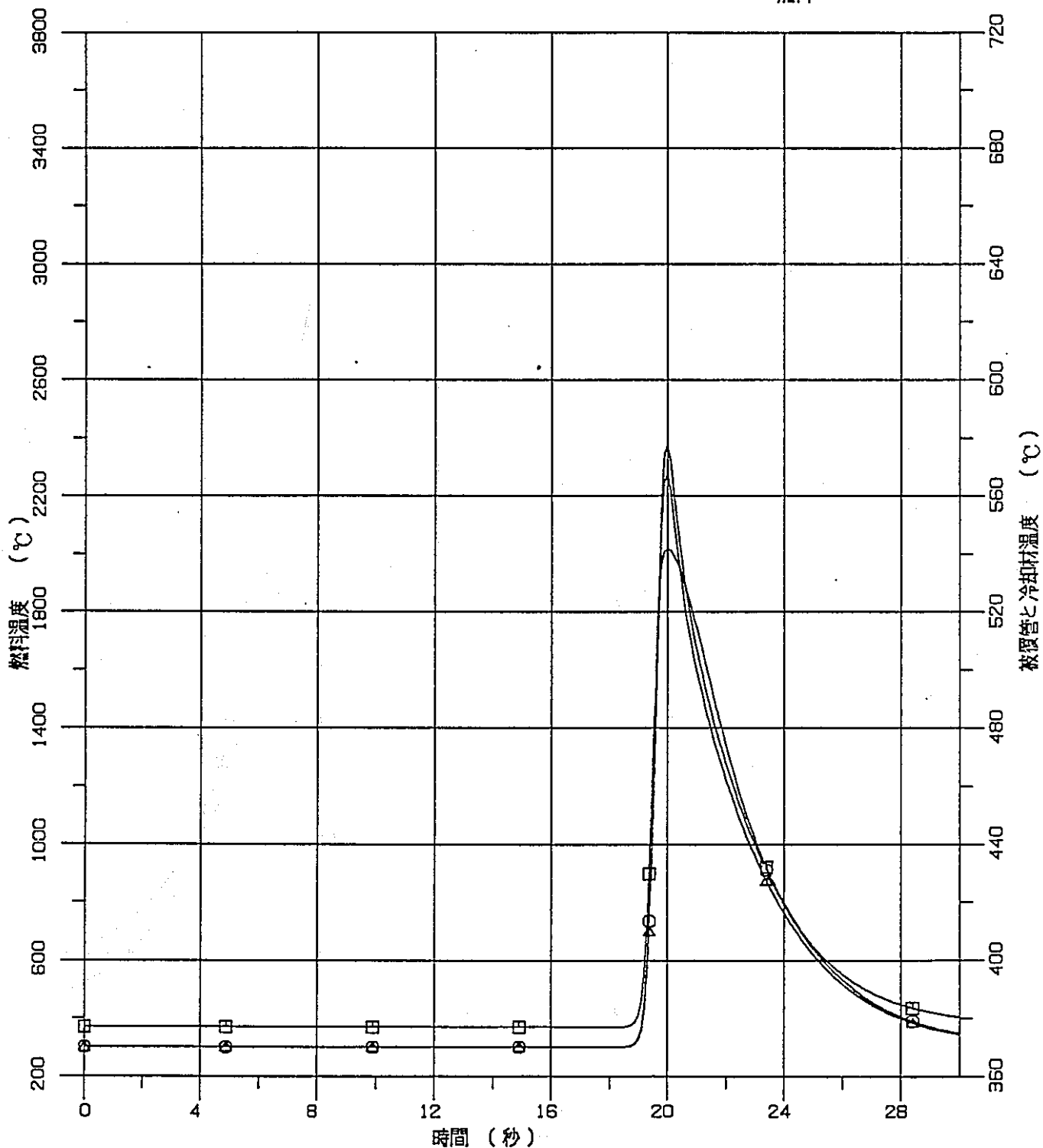


図3.3-7 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)

—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

炉心平均チャンネル

△△ 冷却材
 ○○ 被覆管
 □□ 燃料

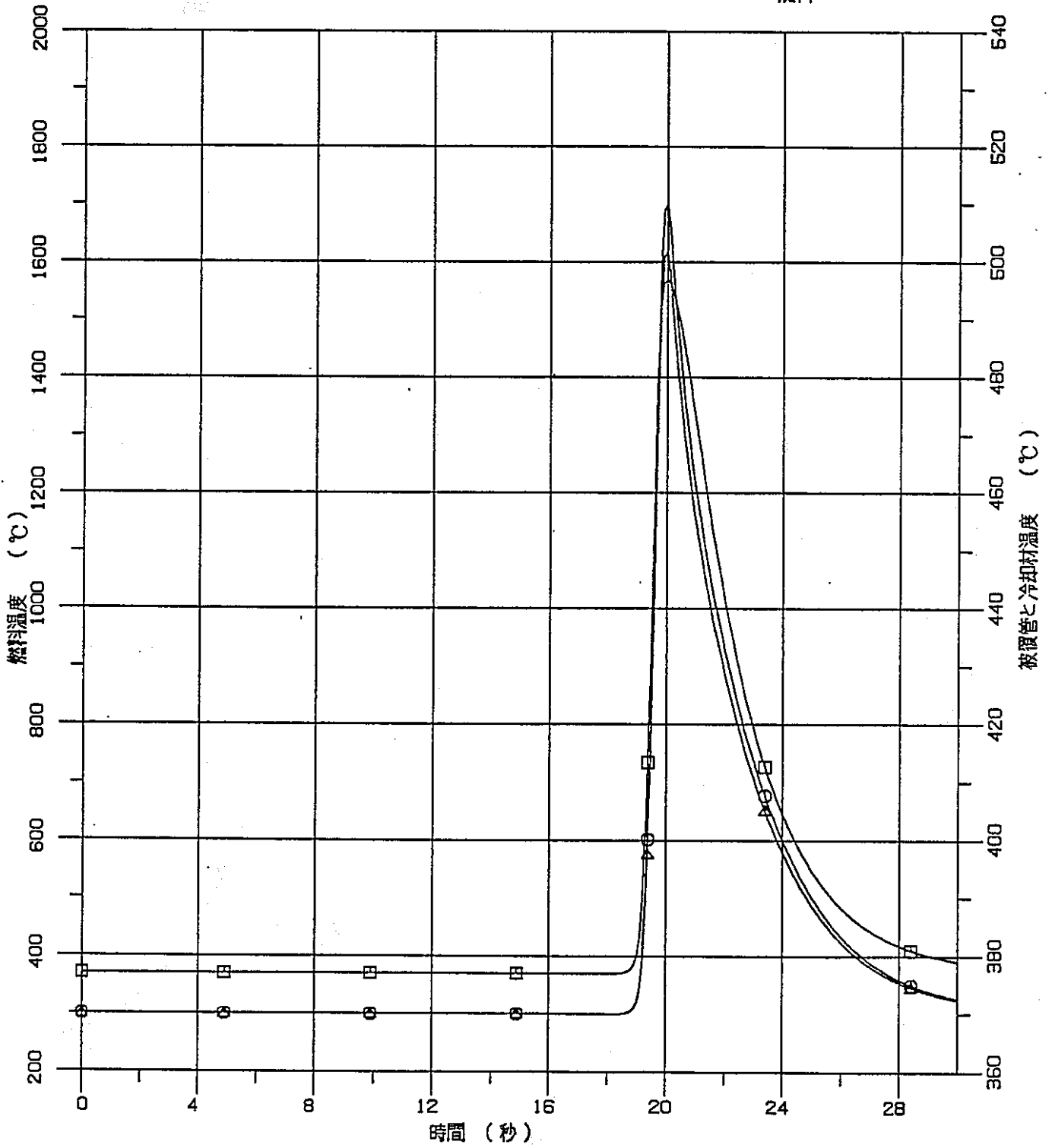


図3.3-8 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)

—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

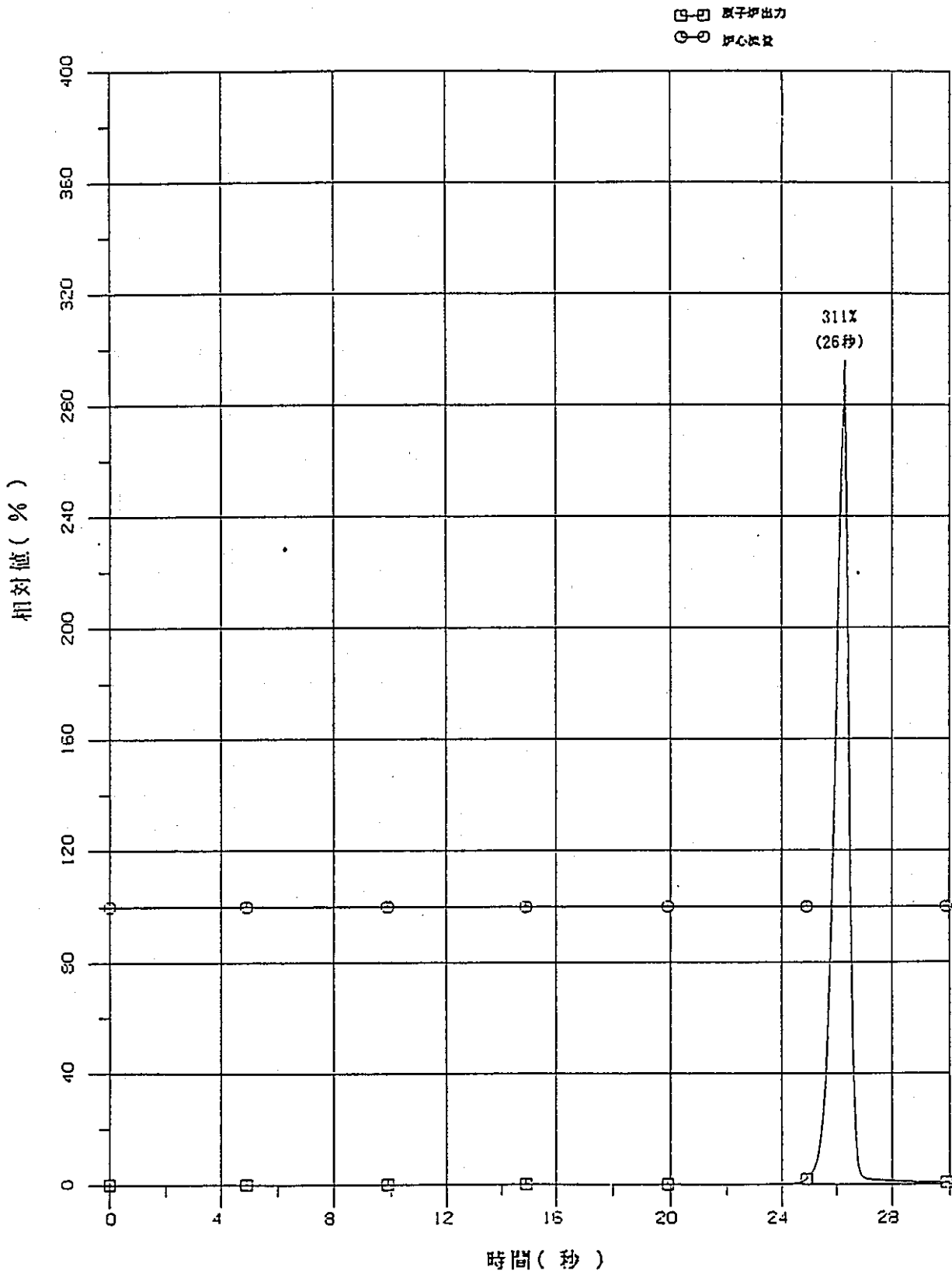


図3.3-9 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き (移設前、スクラム値7.4%ΔK/K)

—原子炉出力及び炉心流量—

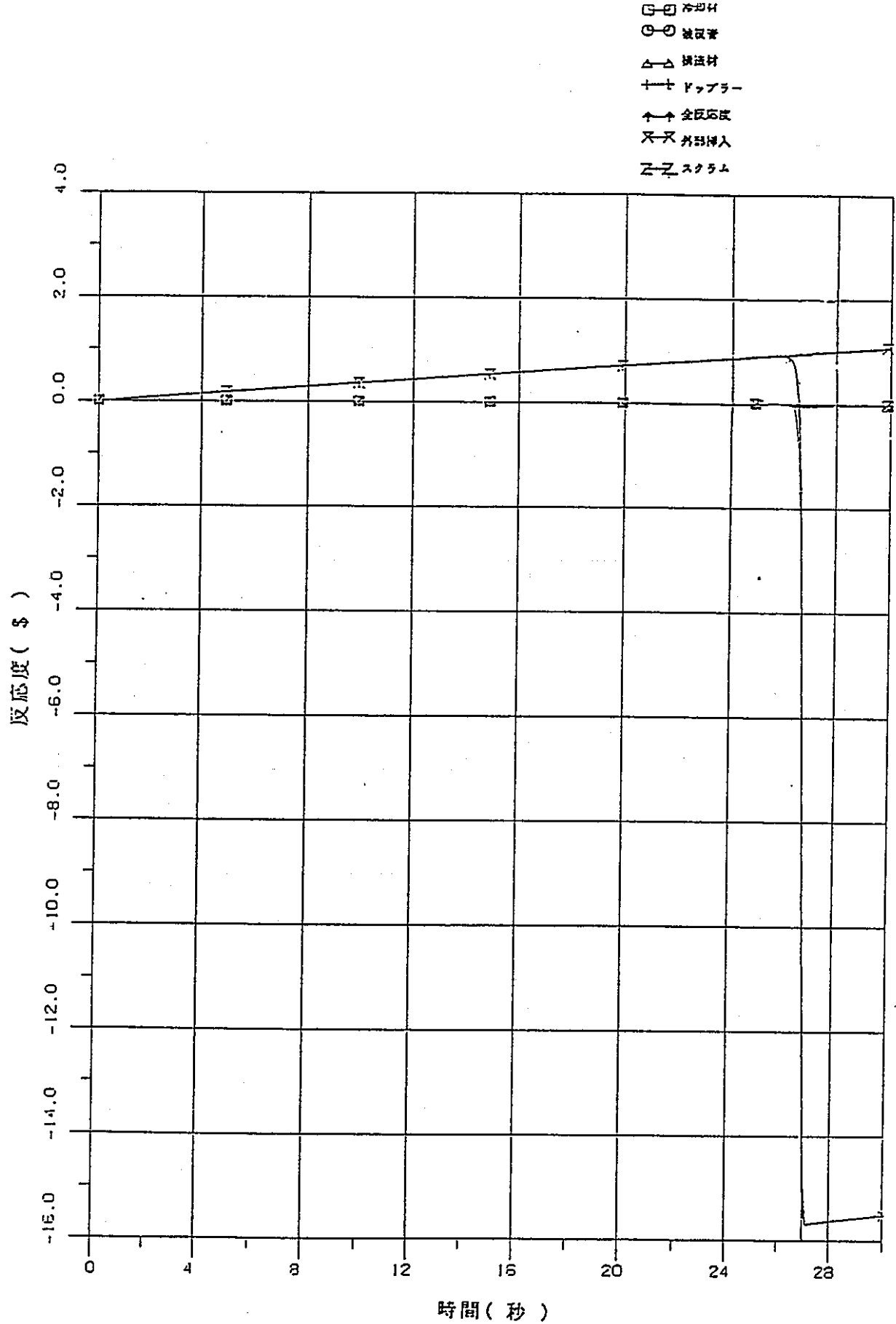


図3.3-10 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き (移設前、スクラム価値7.4%ΔK/K)

- 反応度 -

炉心ホットチャンネル

□-□ 燃料
○-○ 被覆管
△-△ 冷却材

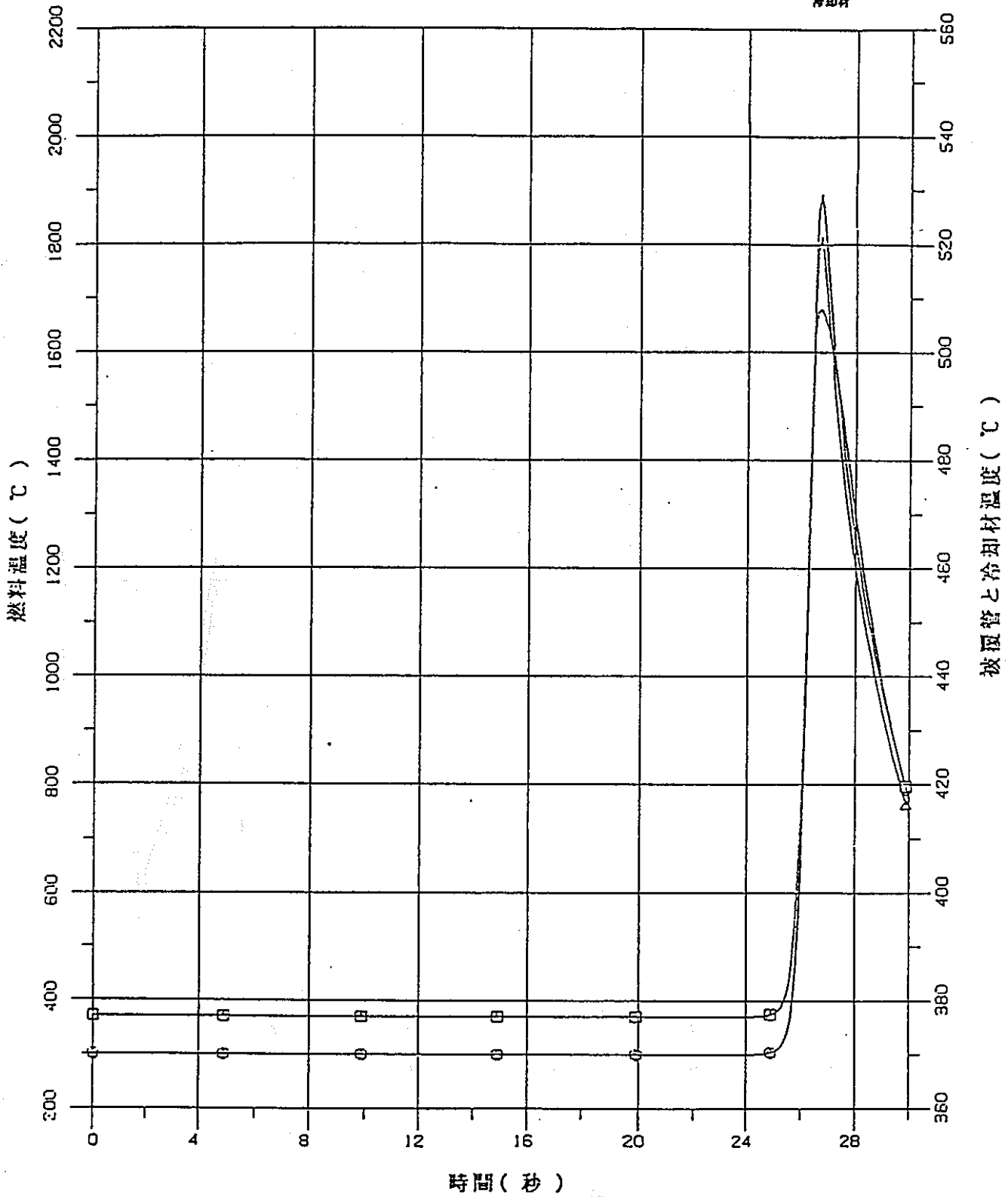


図3.3-11 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き (移設前、スクラム価値7.4%ΔK/K)

—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

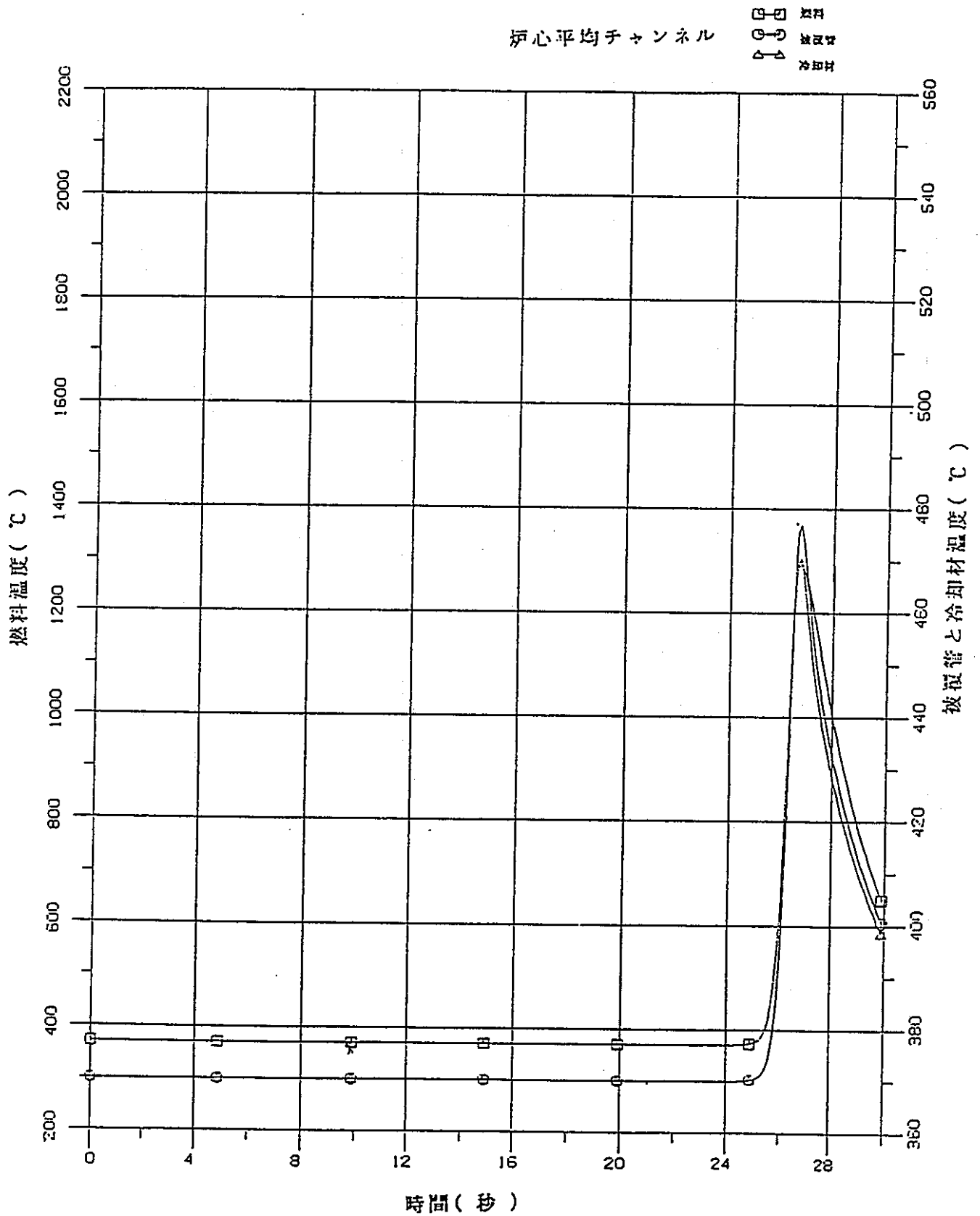


図3.3-12 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き (移設前、スクラム値7.4%ΔK/K)

—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

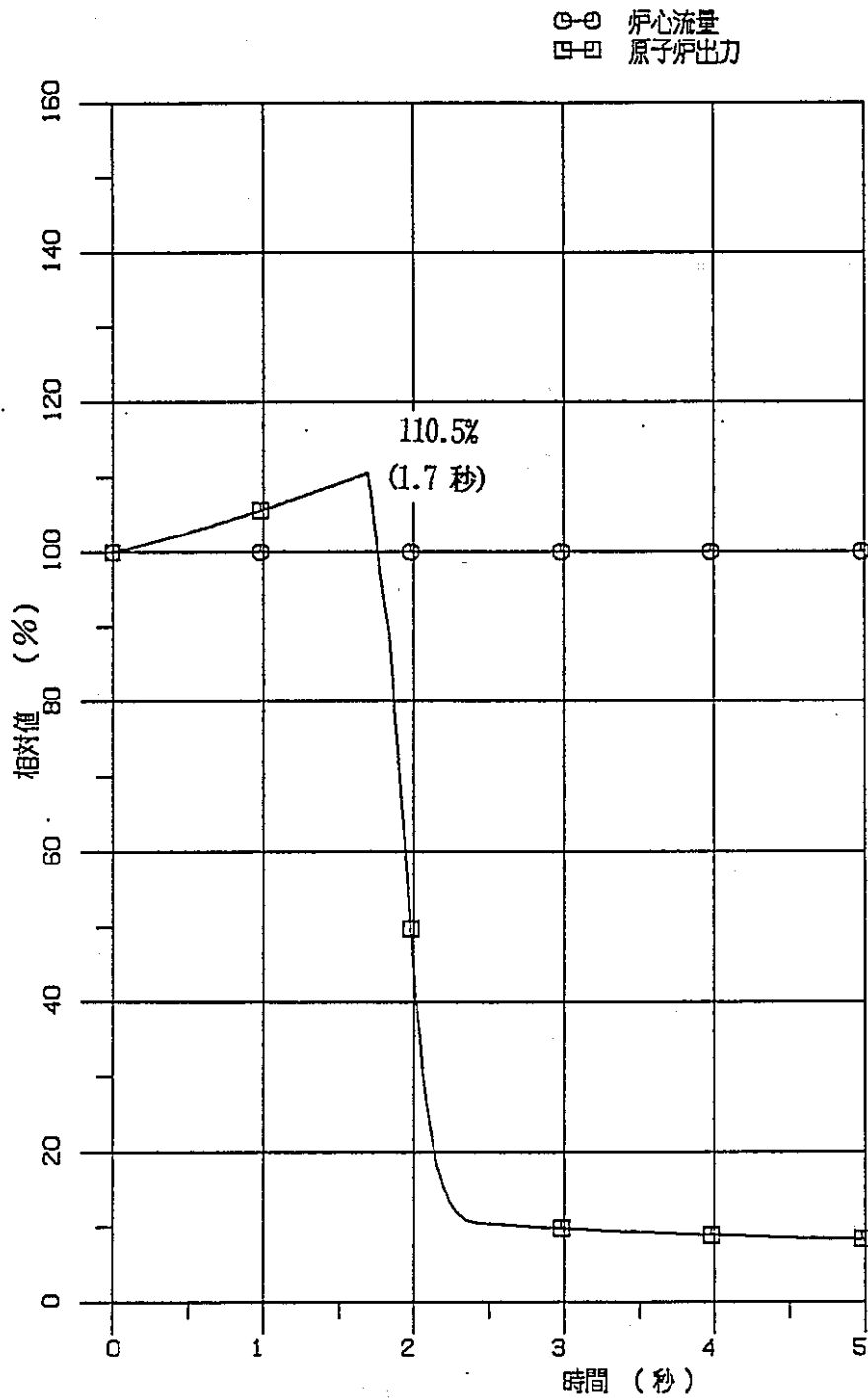


図3.3-13 出力運転中の制御棒の異常な引抜き (移設後、スクラム価値7.4%ΔK/K)

—原子炉出力及び炉心流量—

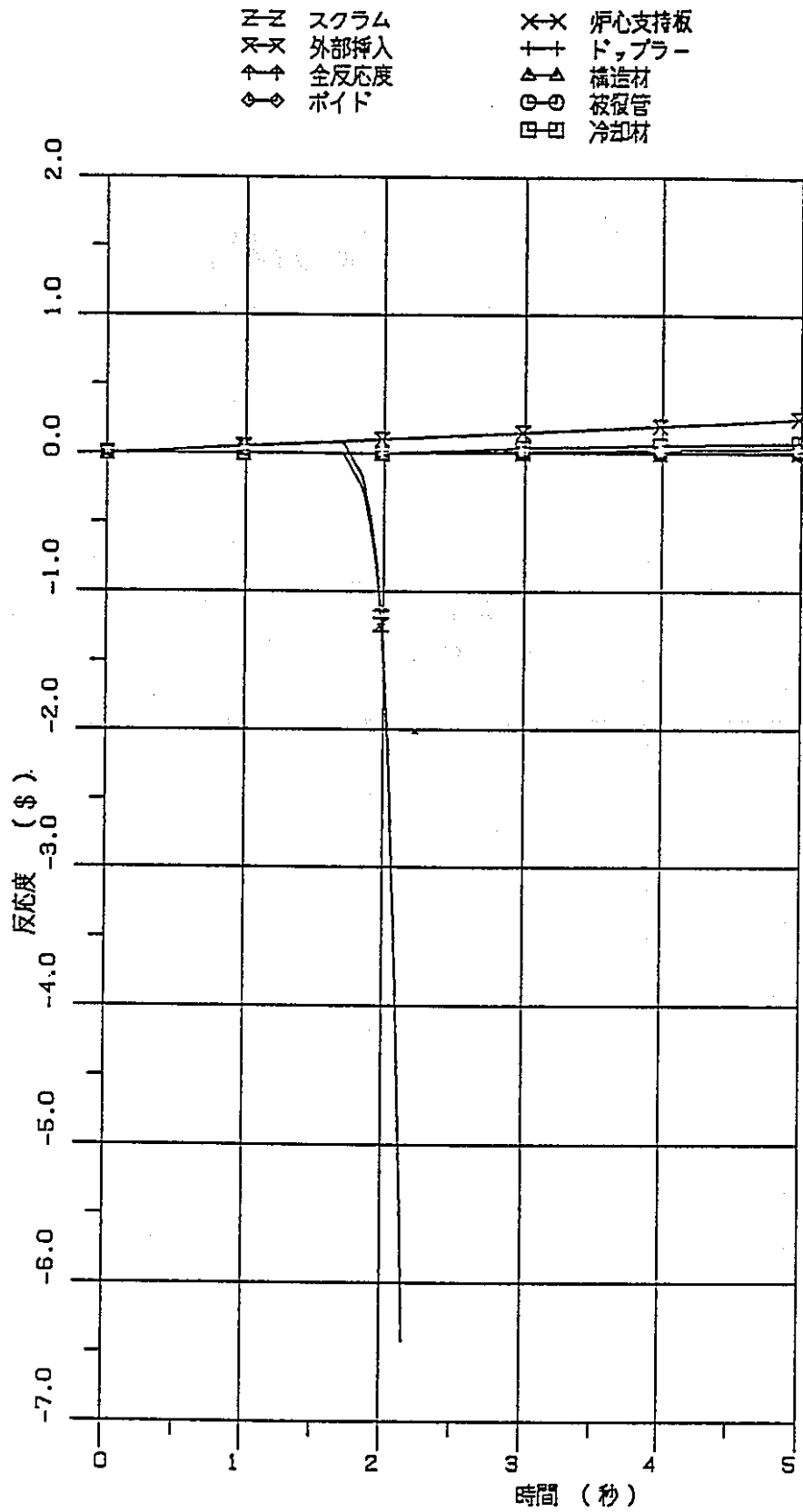


図3.3-14 出力運転中の制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム価値7.4%ΔK/K）

- 反応度 -

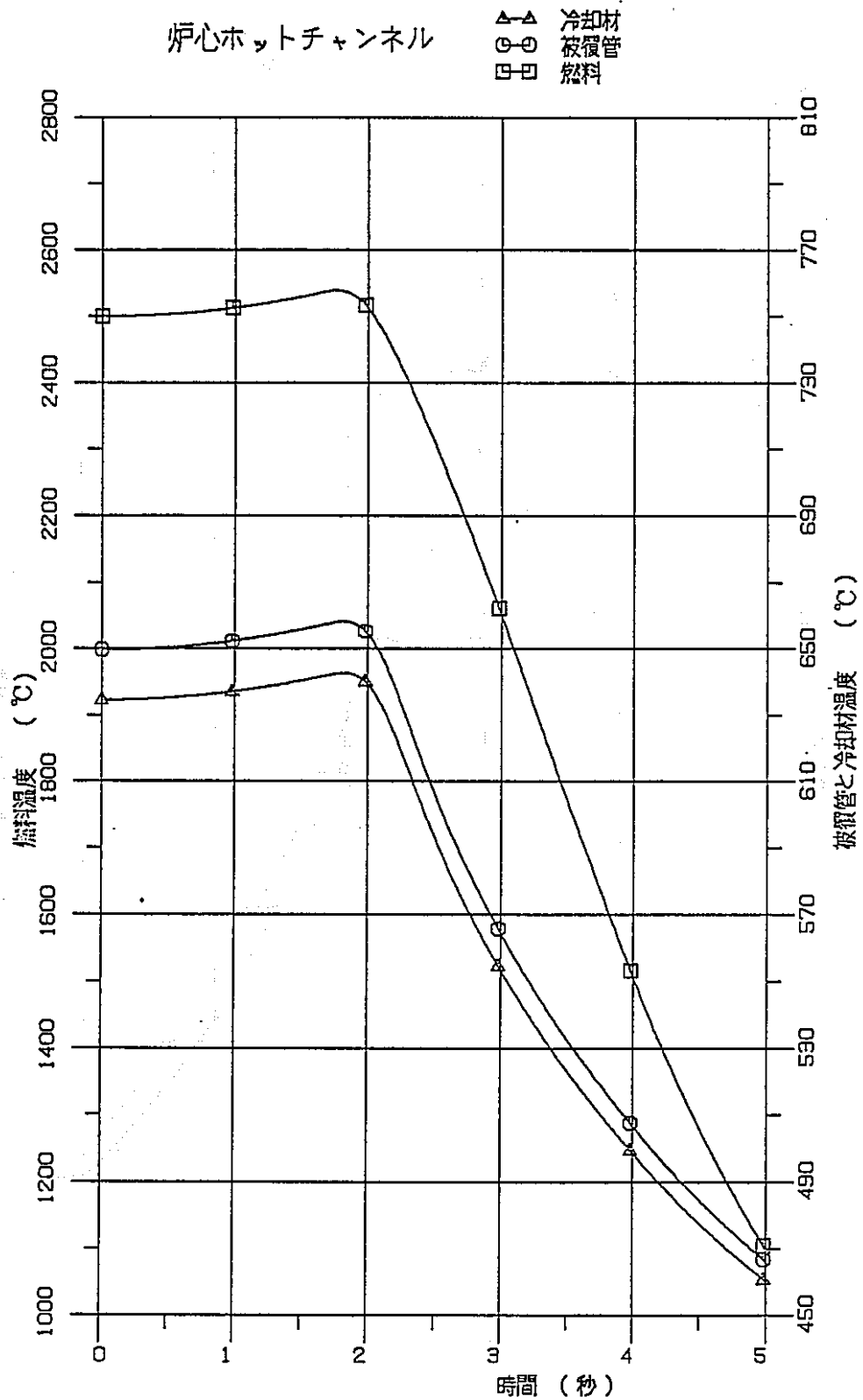


図3.3-15 出力運転中の制御棒の異常な引抜き（移設後、スクラム価値7.4%ΔK/K）

—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

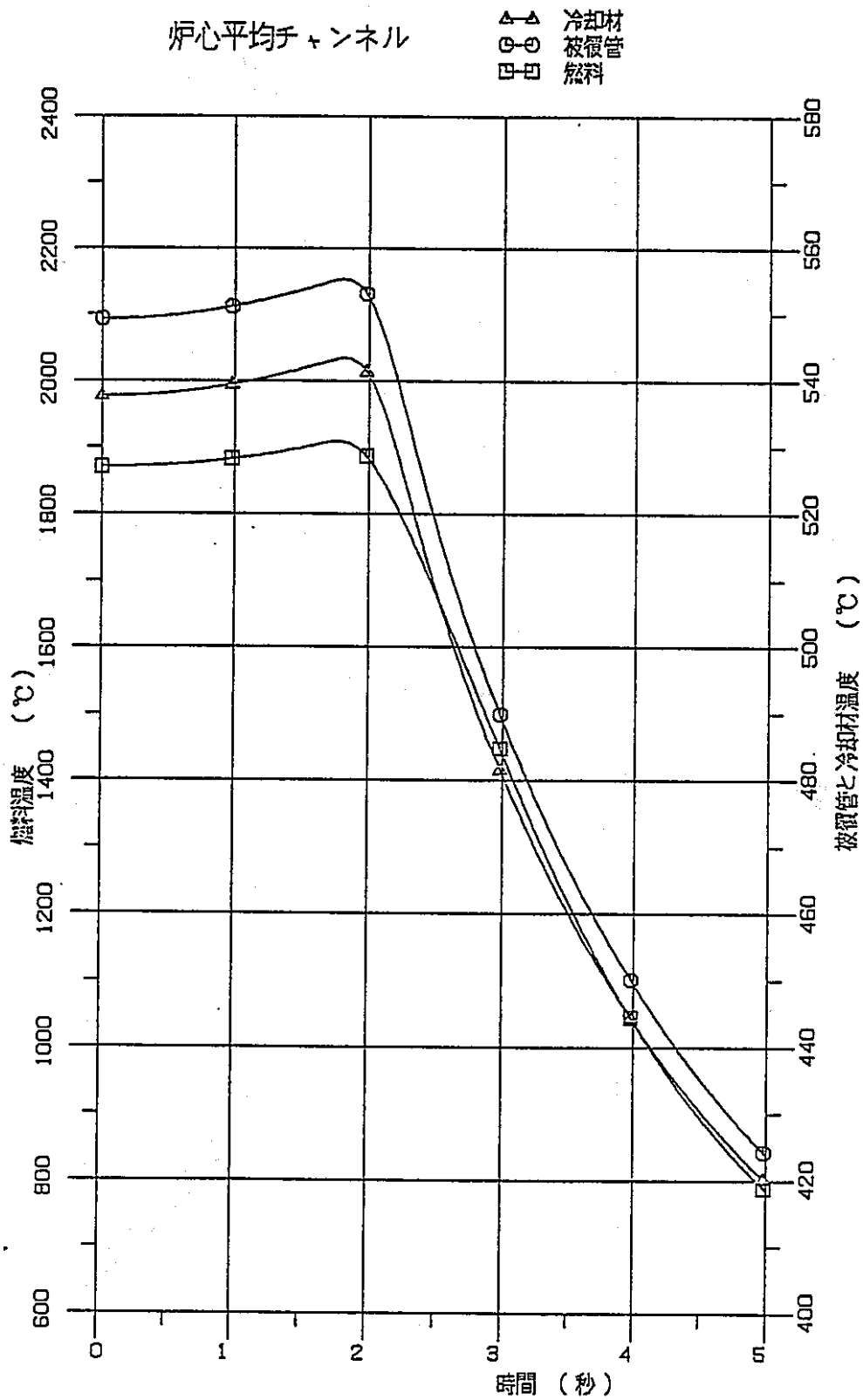


図3.3-16 出力運転中の制御棒の異常な引抜き (移設後、スクラム価値7.4%ΔK/K)

—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

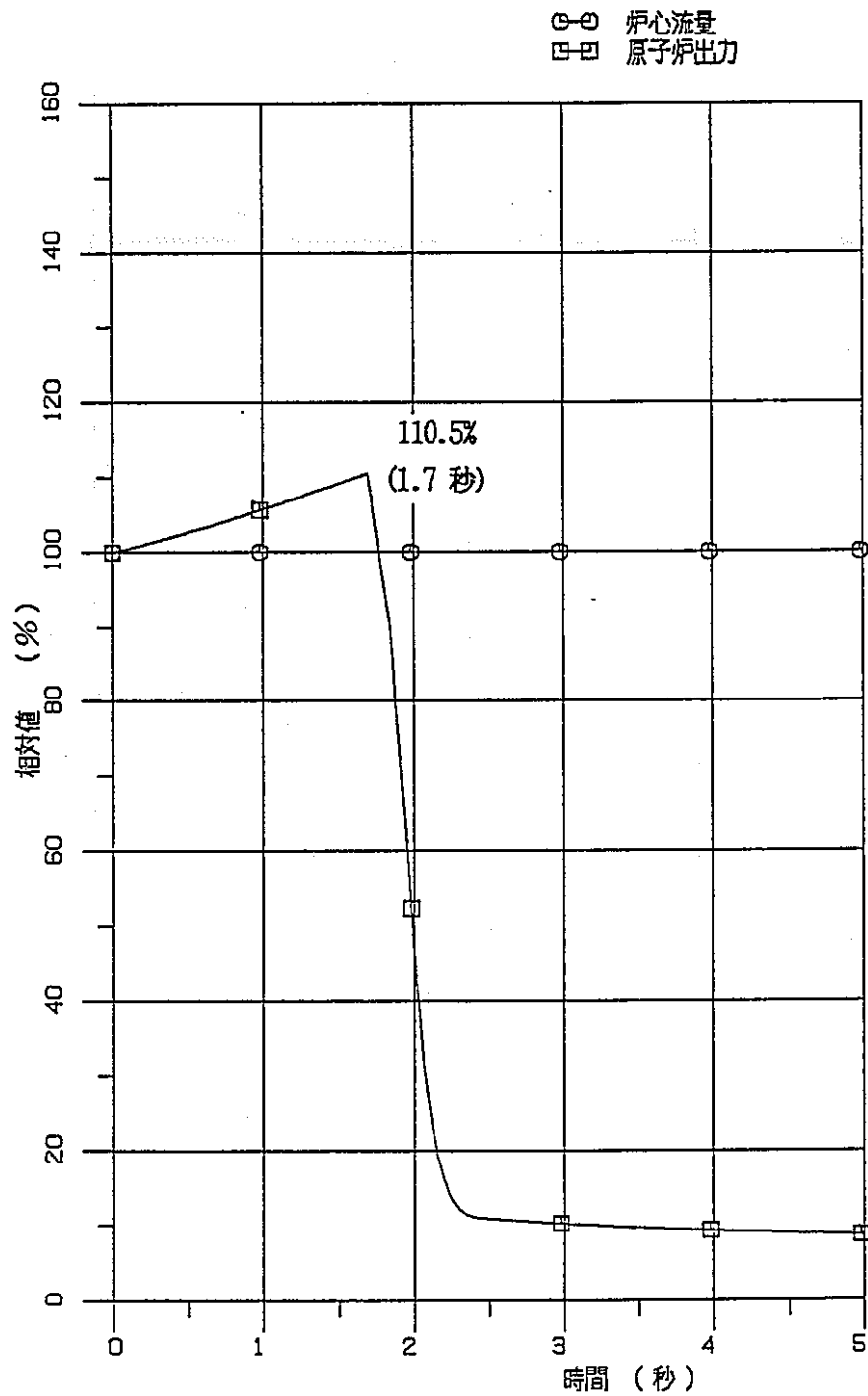


図3.3-17 出力運転中の制御棒の異常な引抜き (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)

—原子炉出力及び炉心流量—

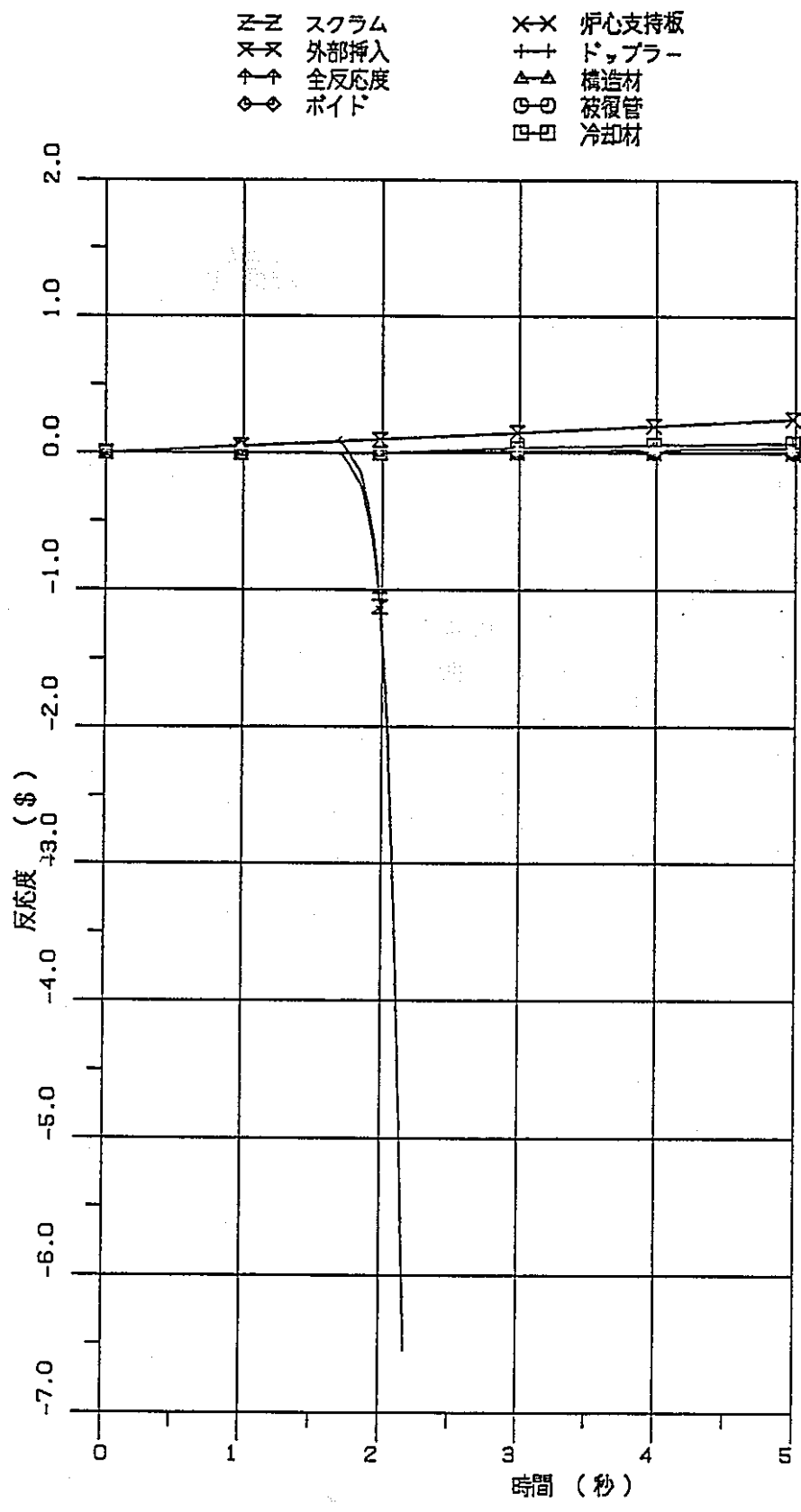


図3.3-18 出力運転中の制御棒の異常な引抜き (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)

- 反応度 -

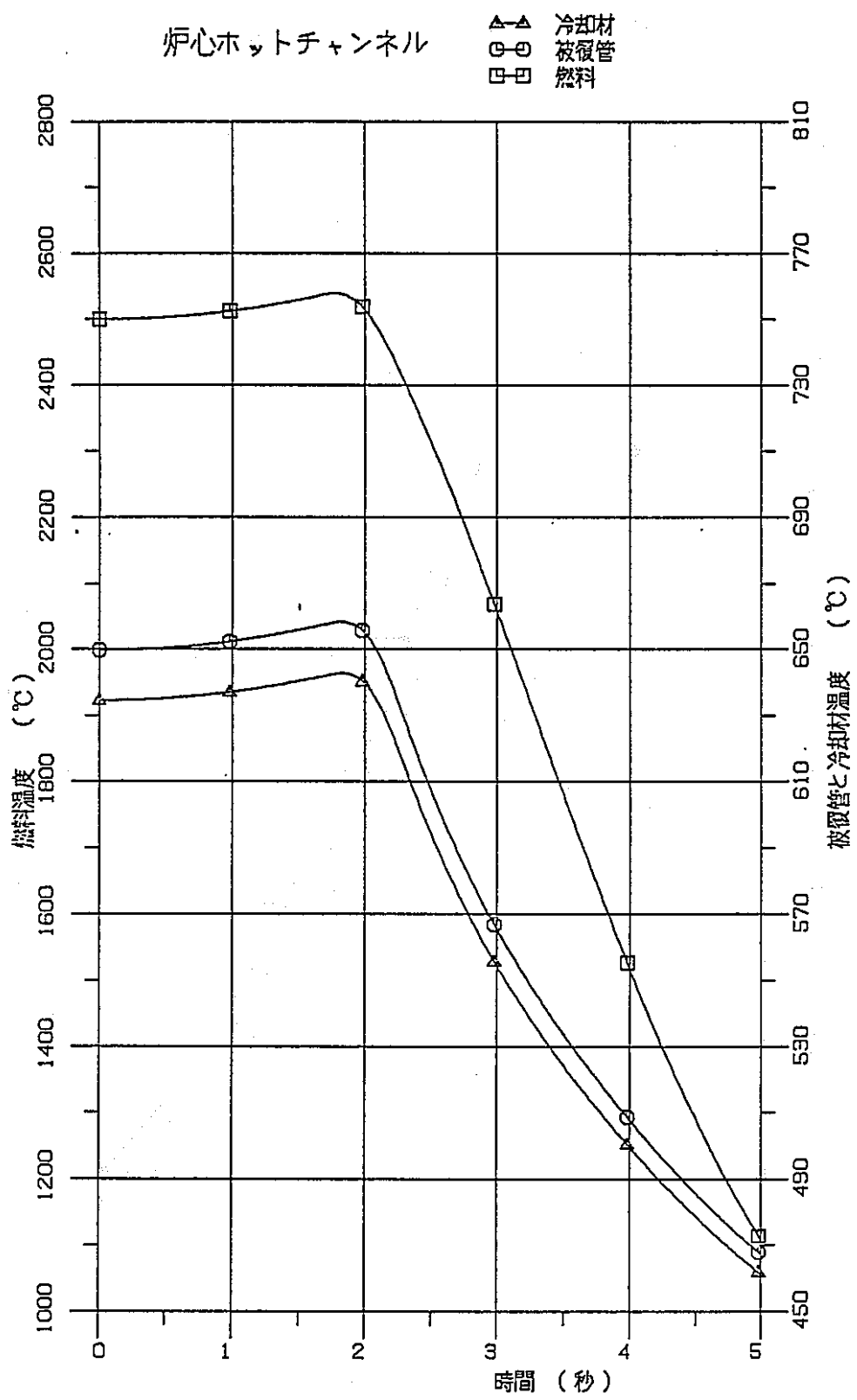


図3.3-19 出力運転中の制御棒の異常な引抜き (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)

— 炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度 —

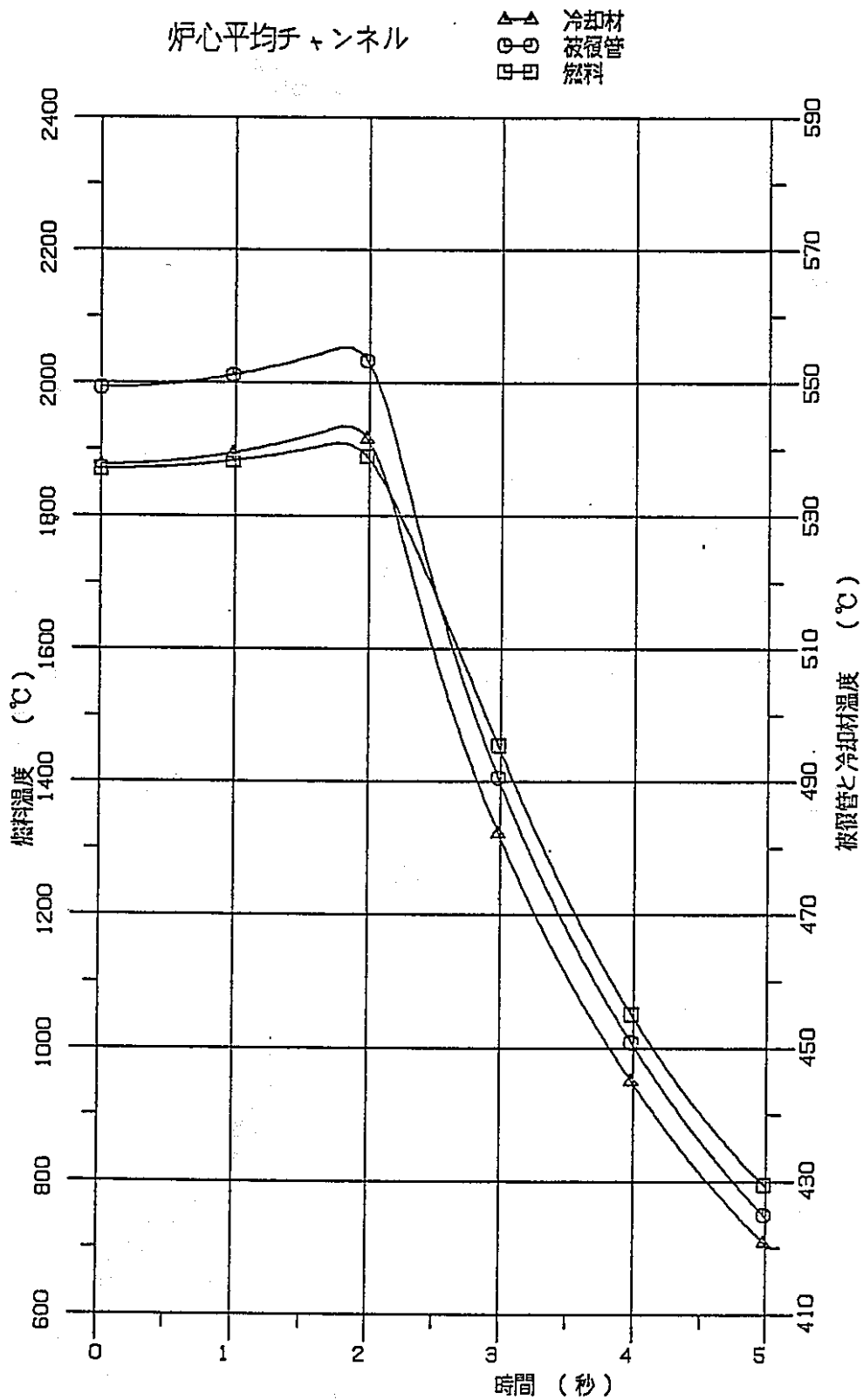


図3.3-20 出力運転中の制御棒の異常な引抜き (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)

—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

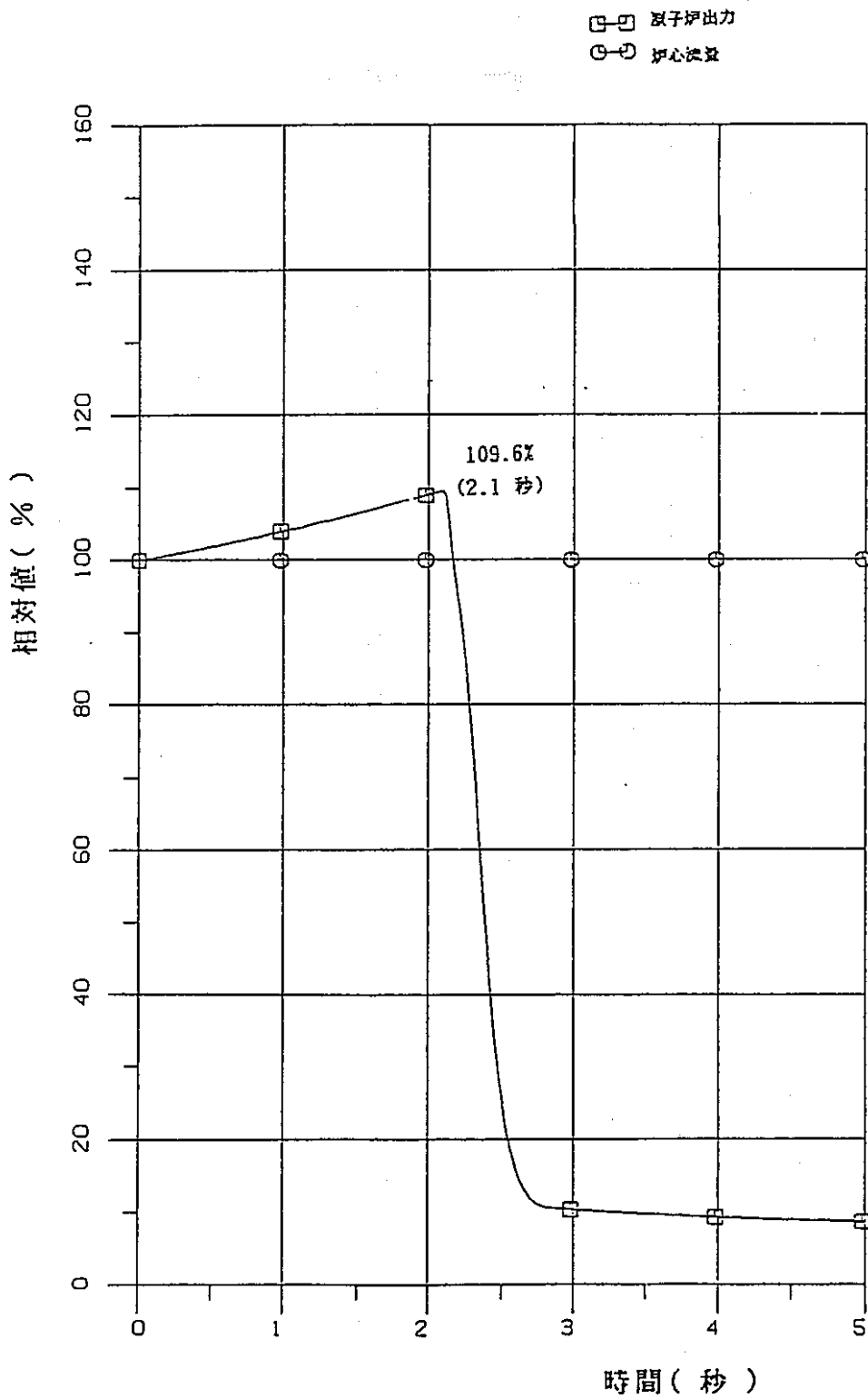


図3.3-21 出力運転中の制御棒の異常な引抜き (移設前、スクラム価値7.4% $\Delta K/K$)

—原子炉出力及び炉心流量—

- △△ 横注材
- ++ ドブラー
- ←→ 全反応度
- ×× 外部挿入
- Z-Z スクラム

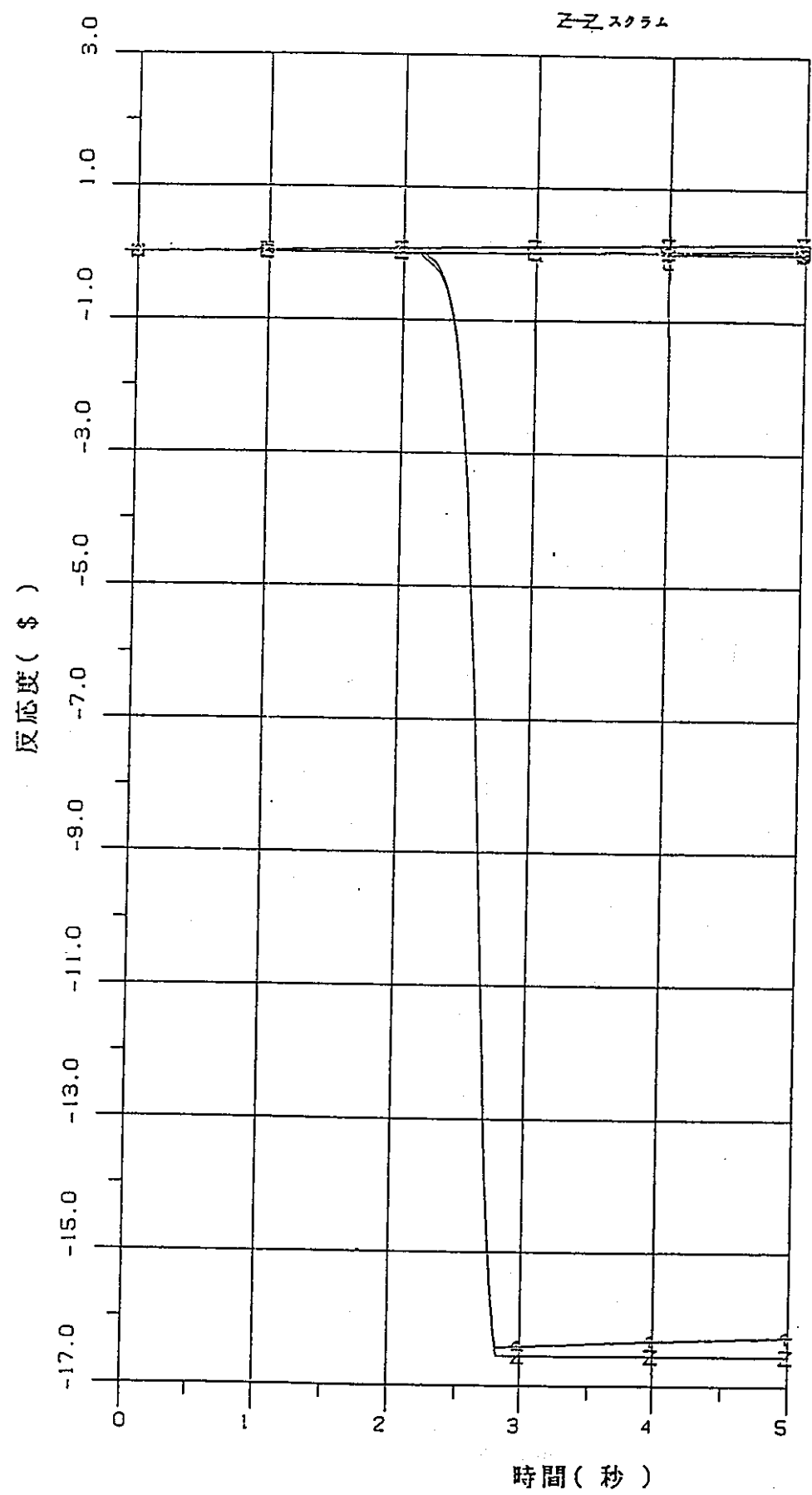


図3.3-22 出力運転中の制御棒の異常な引抜き (移設前、スクラム価値7.4%ΔK/K)

- 反応度 -

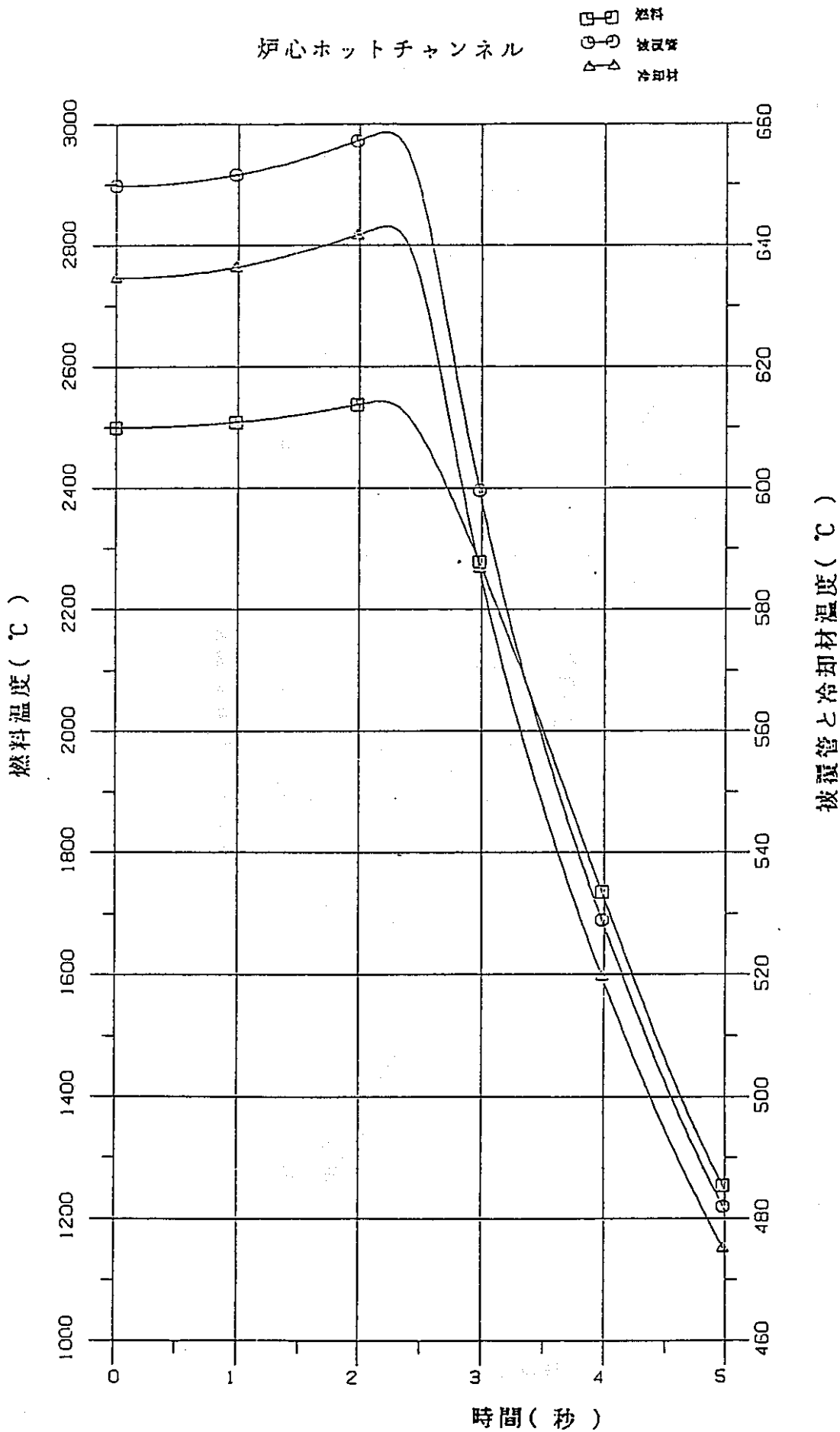


図3.3-23 出力運転中の制御棒の異常な引抜き (移設前、スクラム値7.4%ΔK/K)

—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

炉心平均チャンネル

- 燃料
- 被覆管
- △ 冷却材

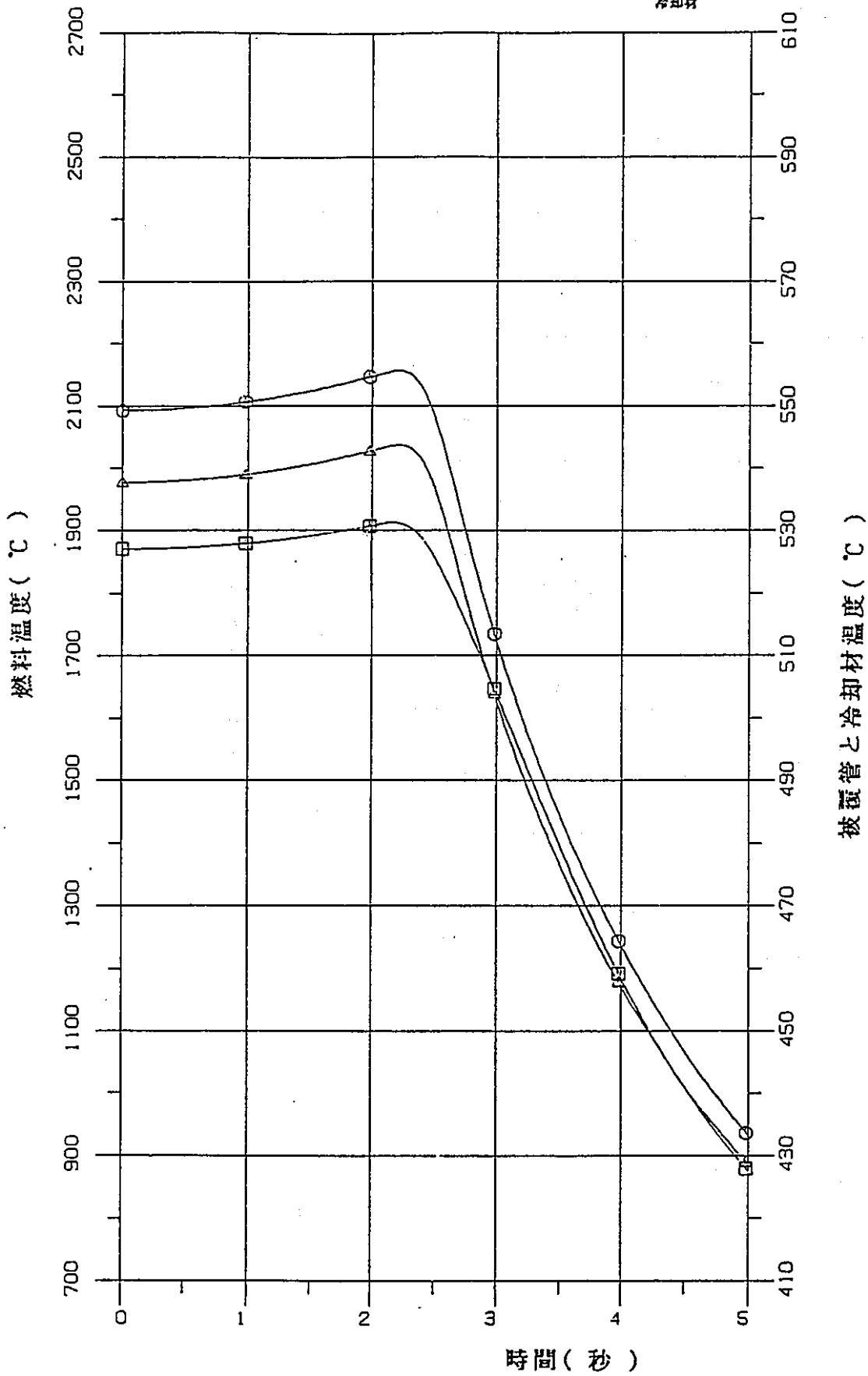


図3.3-24 出力運転中の制御棒の異常な引抜き (移設前、スクラム値7.4%ΔK/K)

—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

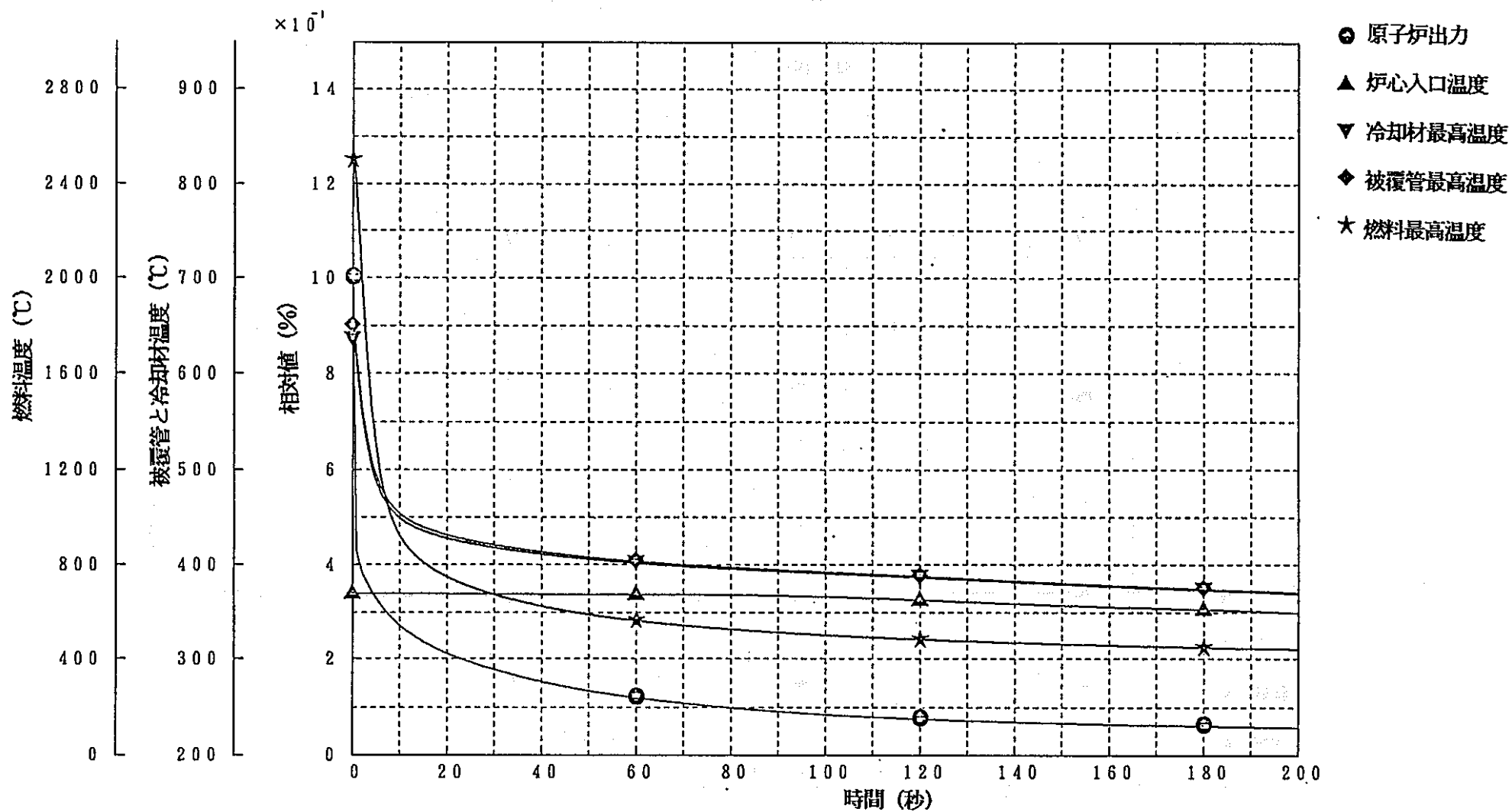


図3.3-25 制御棒落下 (移設後)

- 原子炉出力と各部温度 -

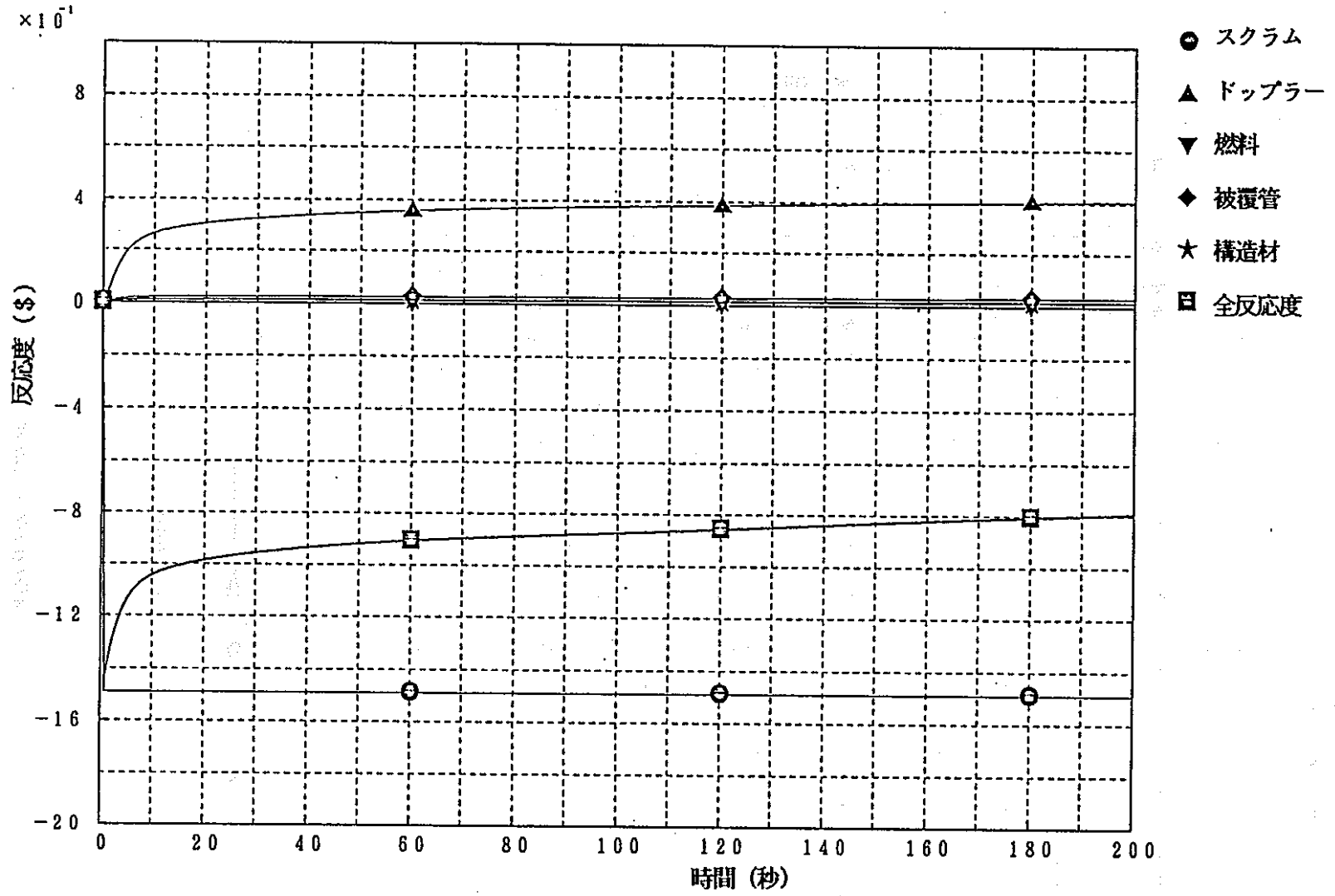


図3.3-26 制御棒落下 (移設後)

- 反応度 -

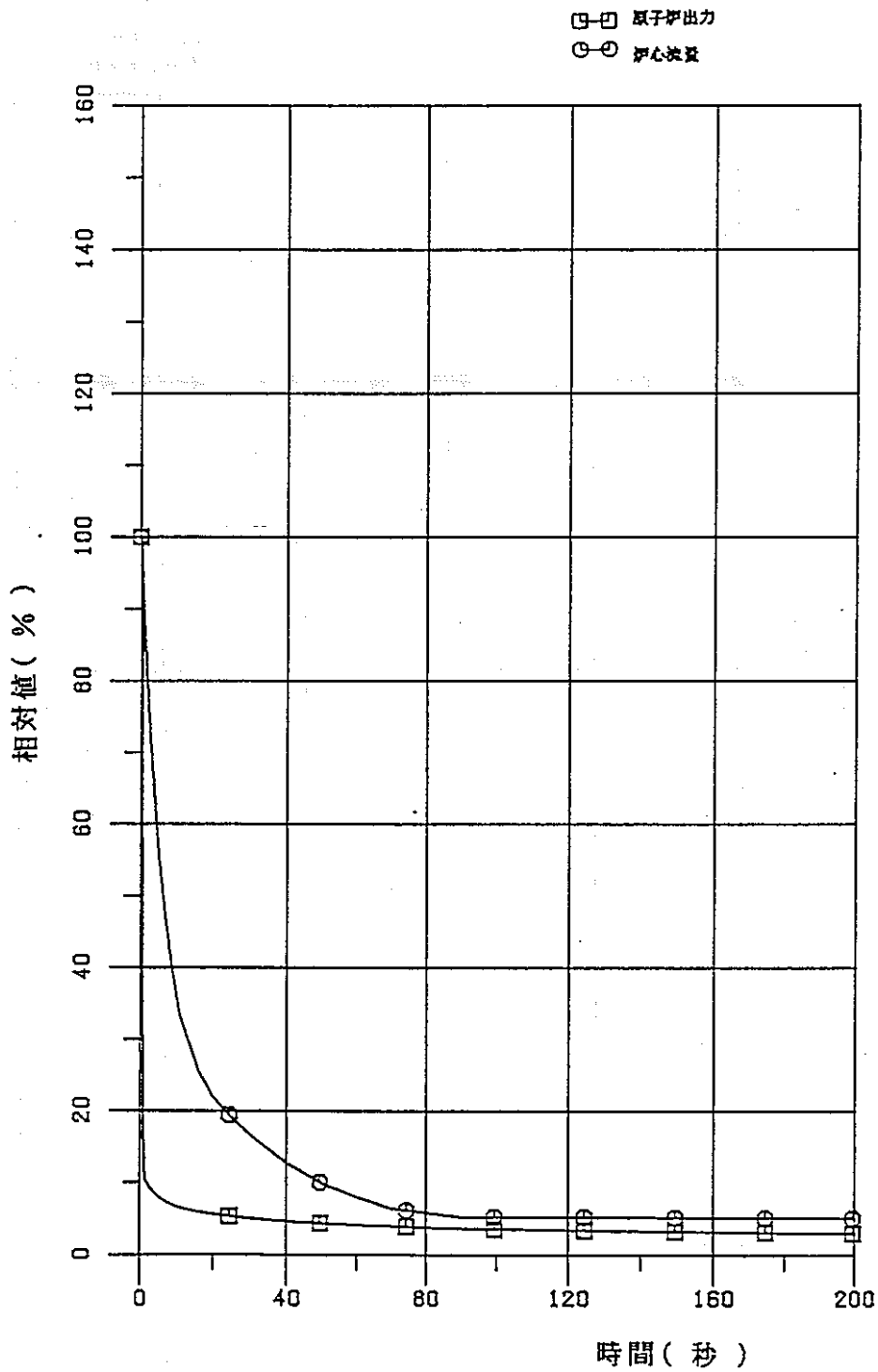


図3.3-27 1次冷却材流量減少 (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)

—原子炉出力及び炉心流量—

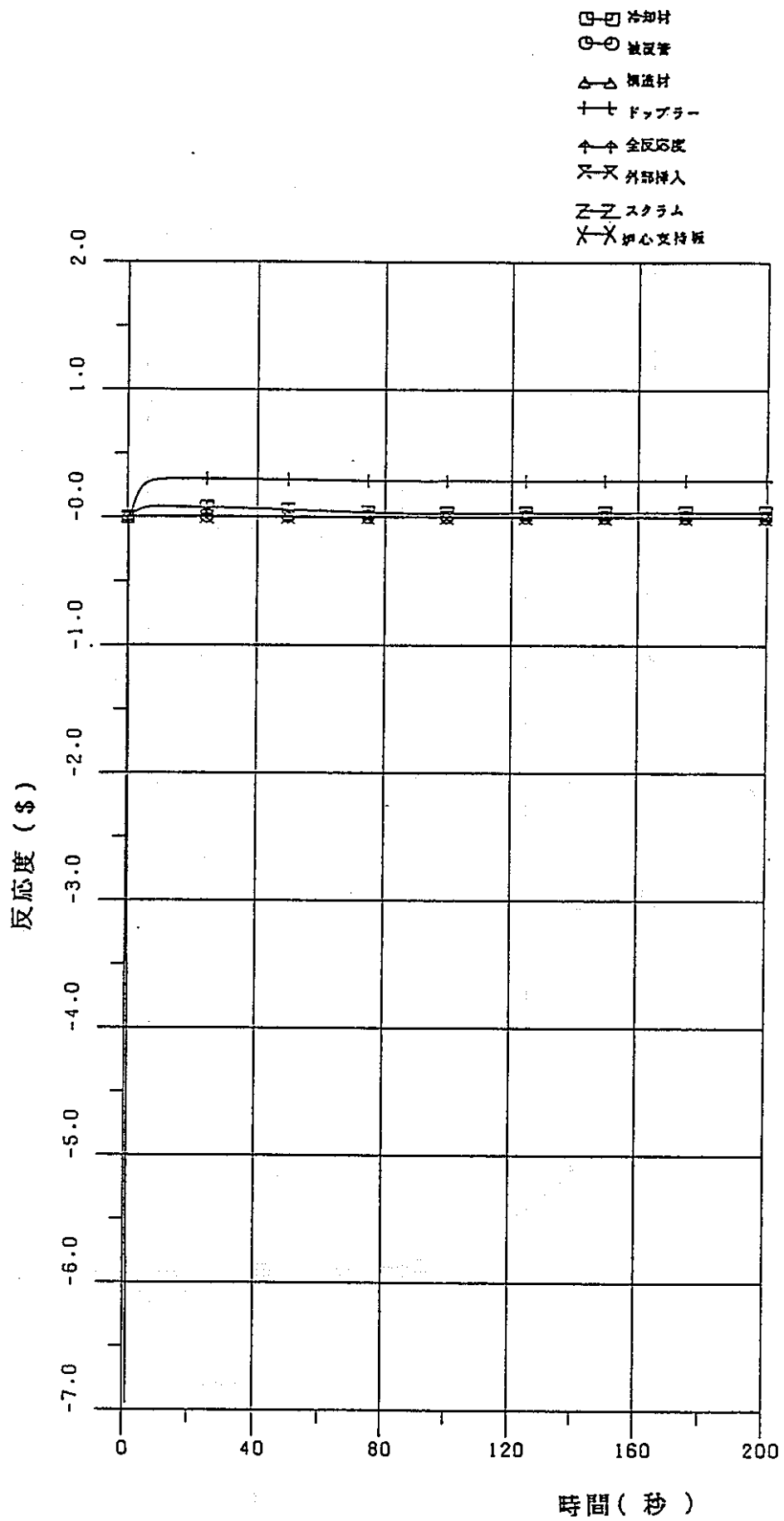


図3.3-28 1次冷却材流量減少 (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)

- 反応度 -

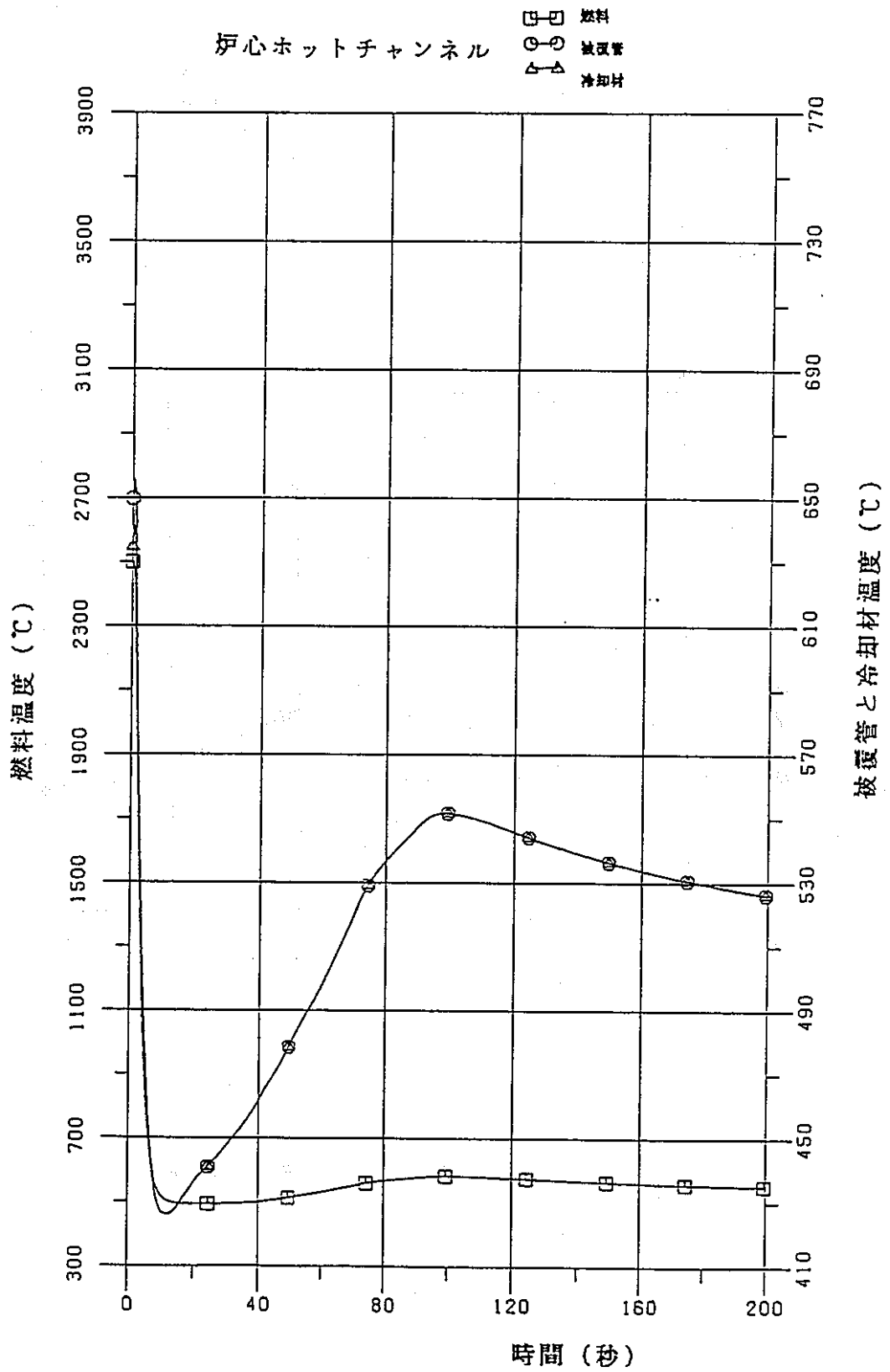


図3.3-29

1次冷却材流量減少 (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)

—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

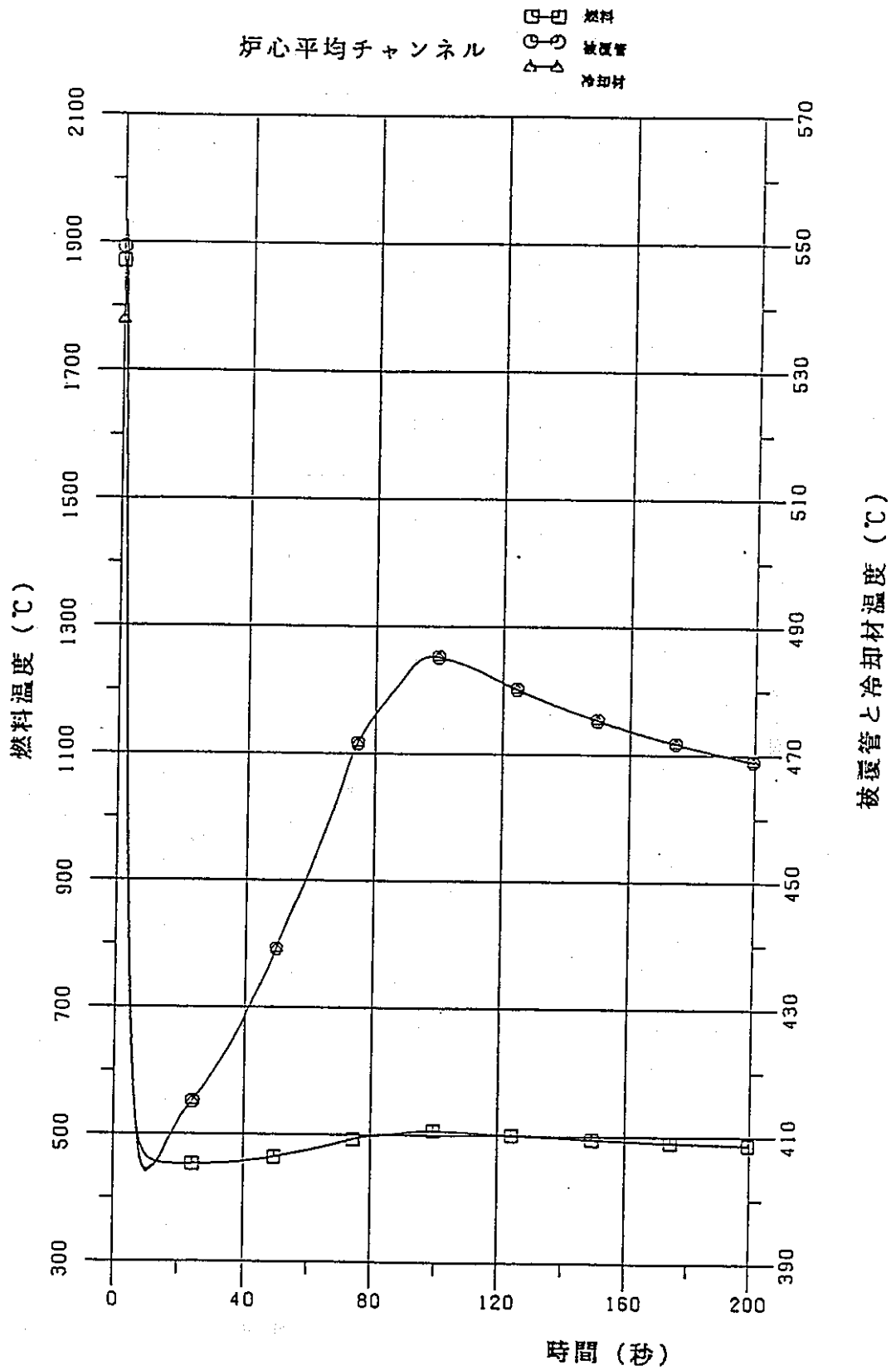


図3.3-30

1次冷却材流量減少（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)

—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

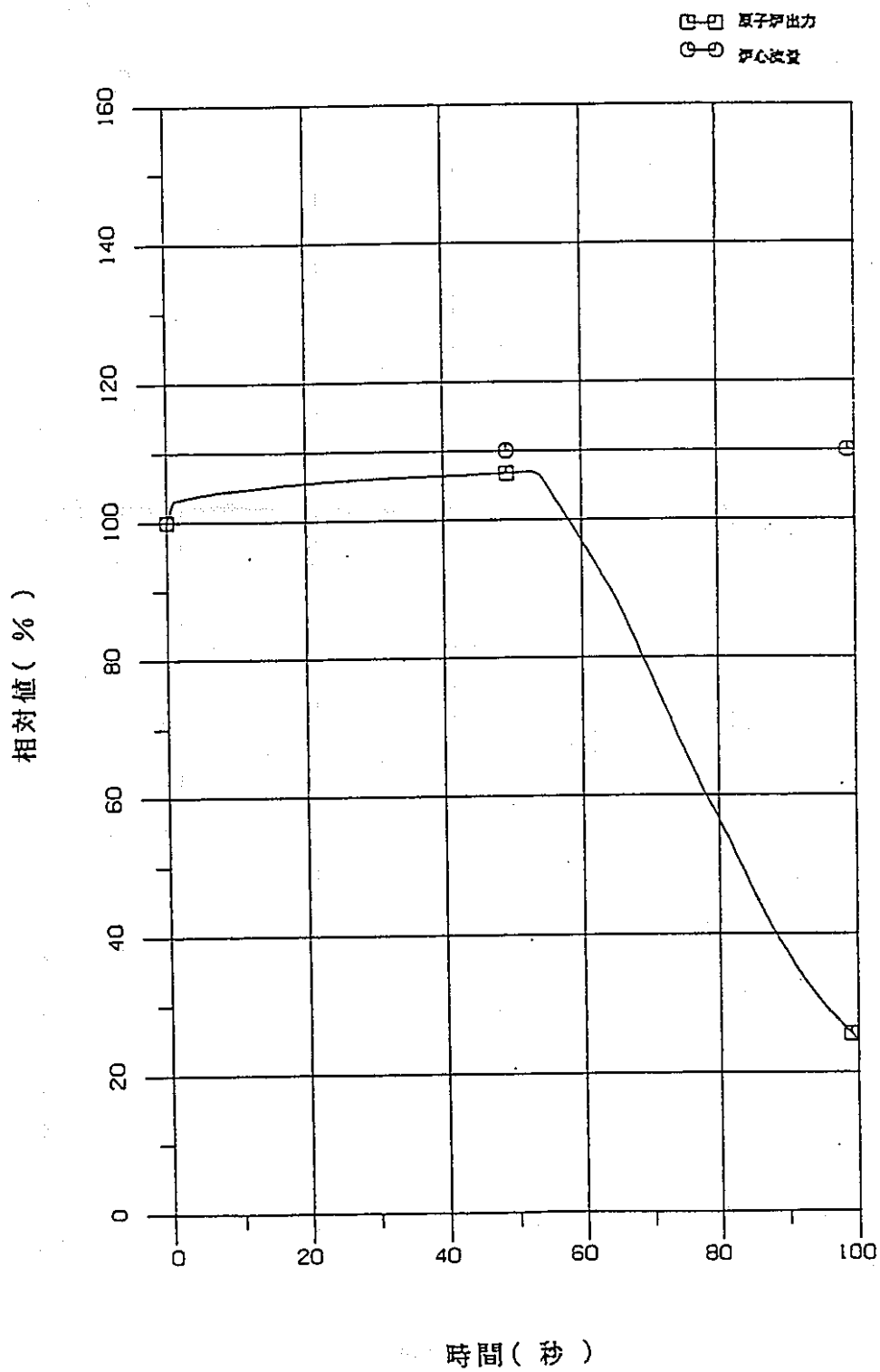


図3.3-31 1次冷却材流量増大 (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)

—原子炉出力及び炉心流量—

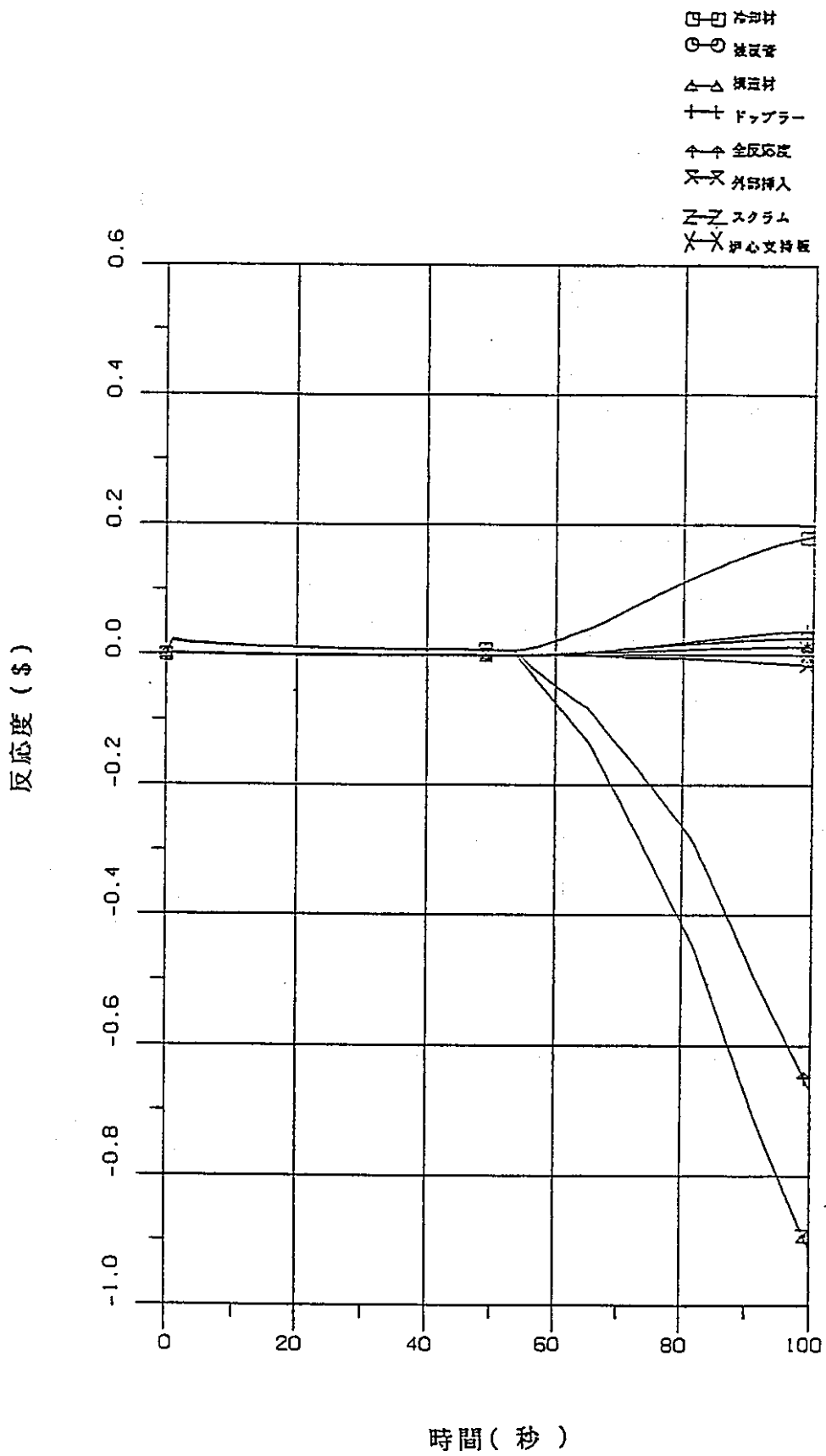


図3.3-32 1次冷却材流量増大 (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)

-反応度-

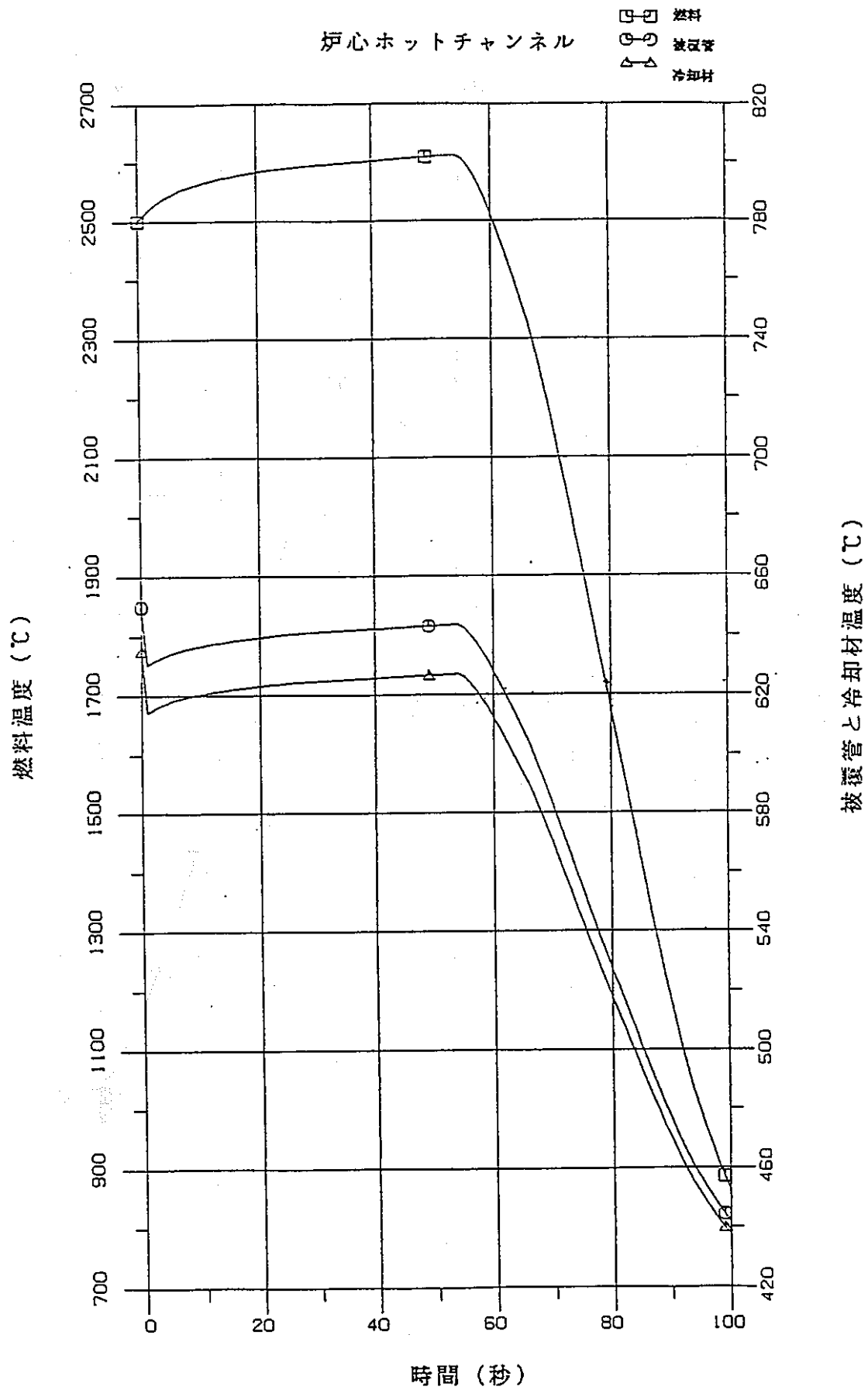


図3.3-33 1次冷却材流量増大 (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)

—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

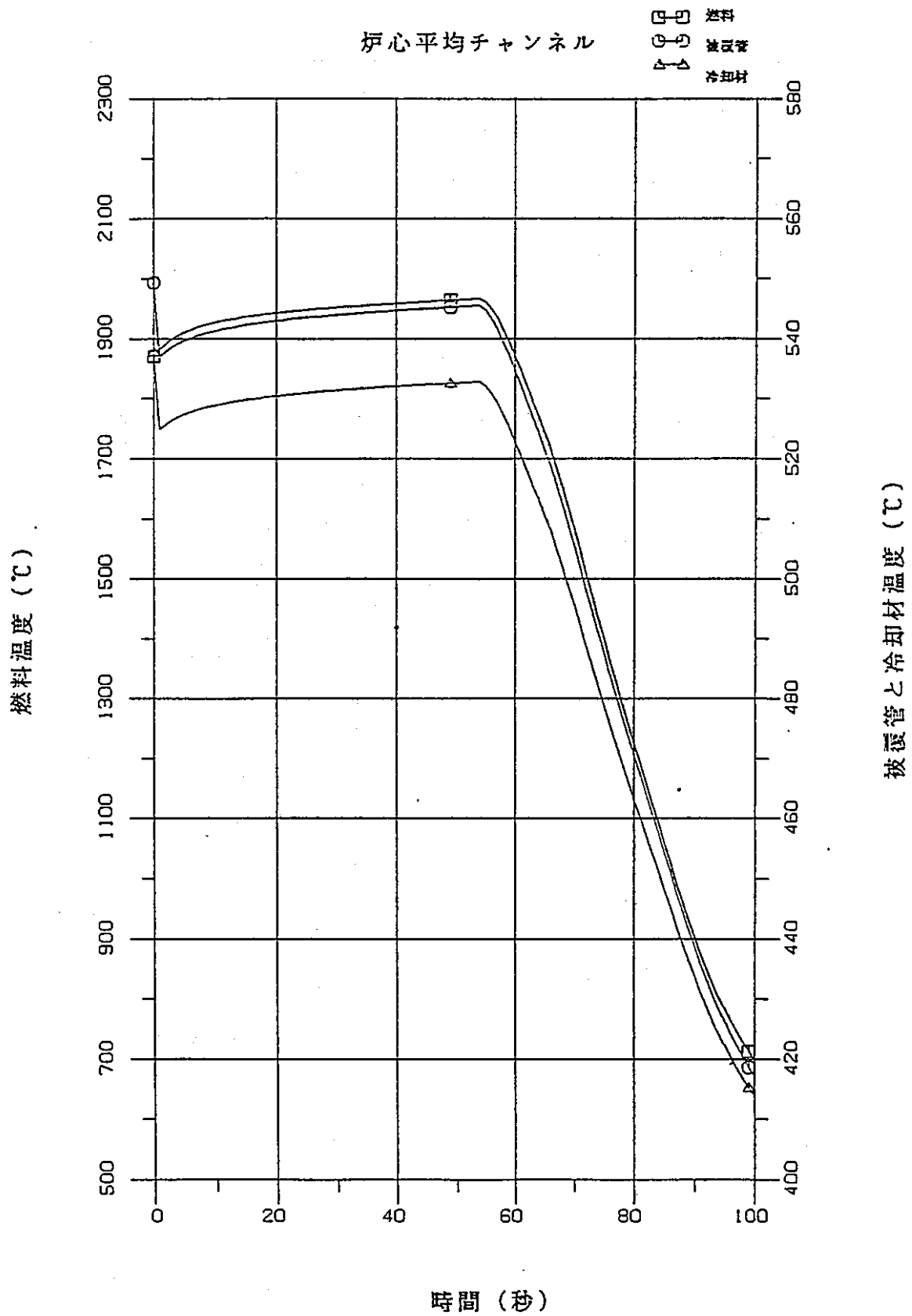


図3.3-34 1次冷却材流量増大 (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)
 —炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

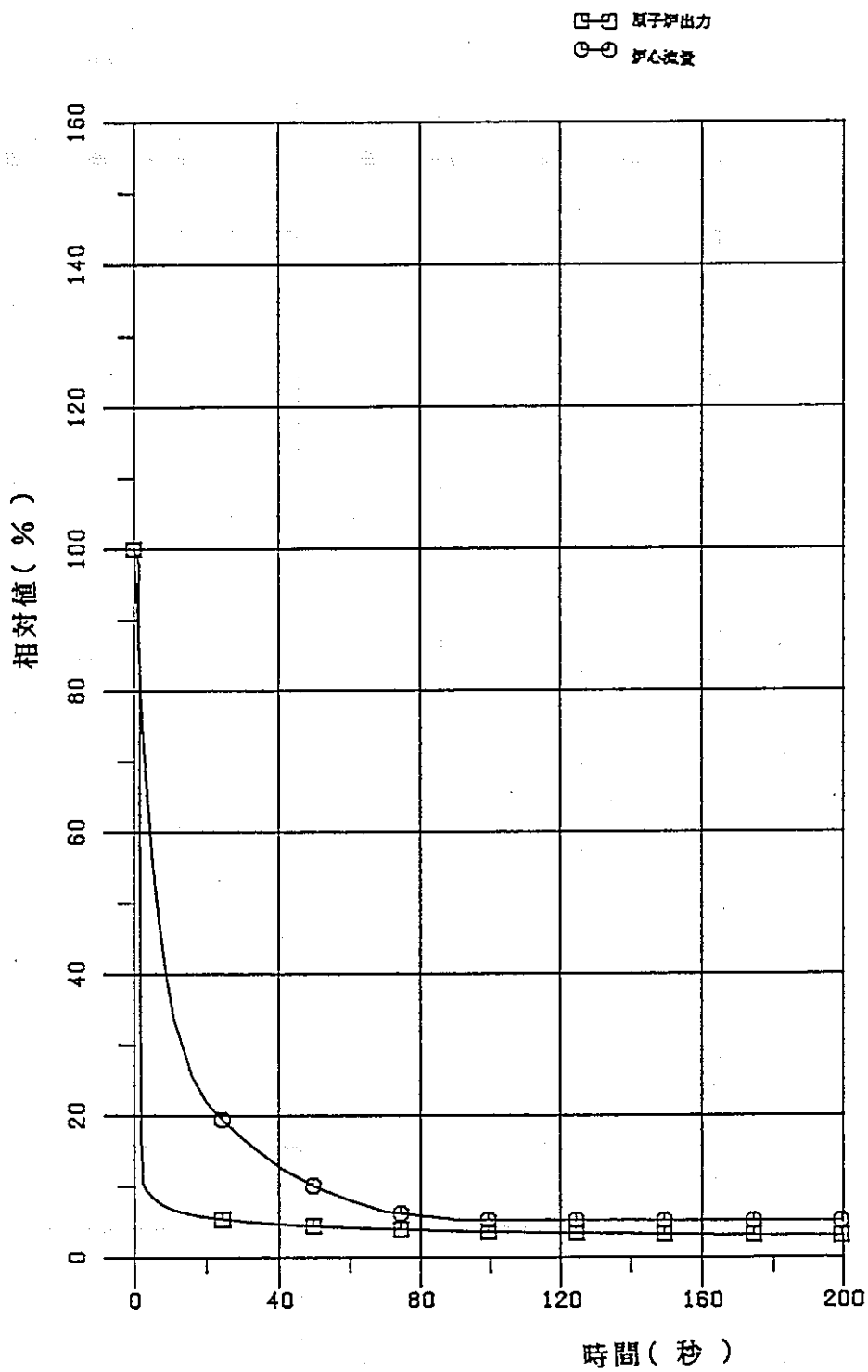


図3.3-35 外部電源喪失（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）

—原子炉出力及び炉心流量—

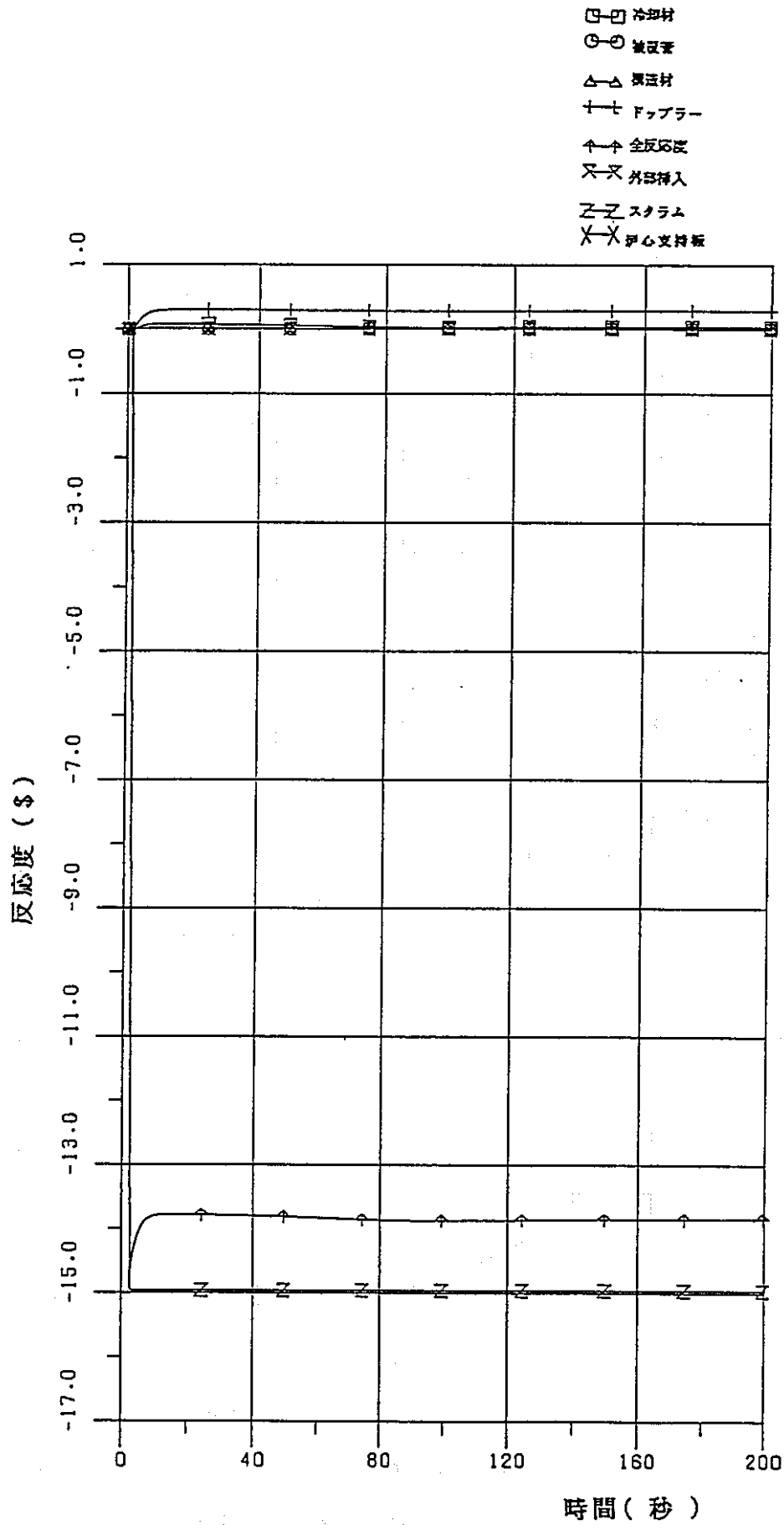


図3.3-36 外部電源喪失 (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)

- 反応度 -

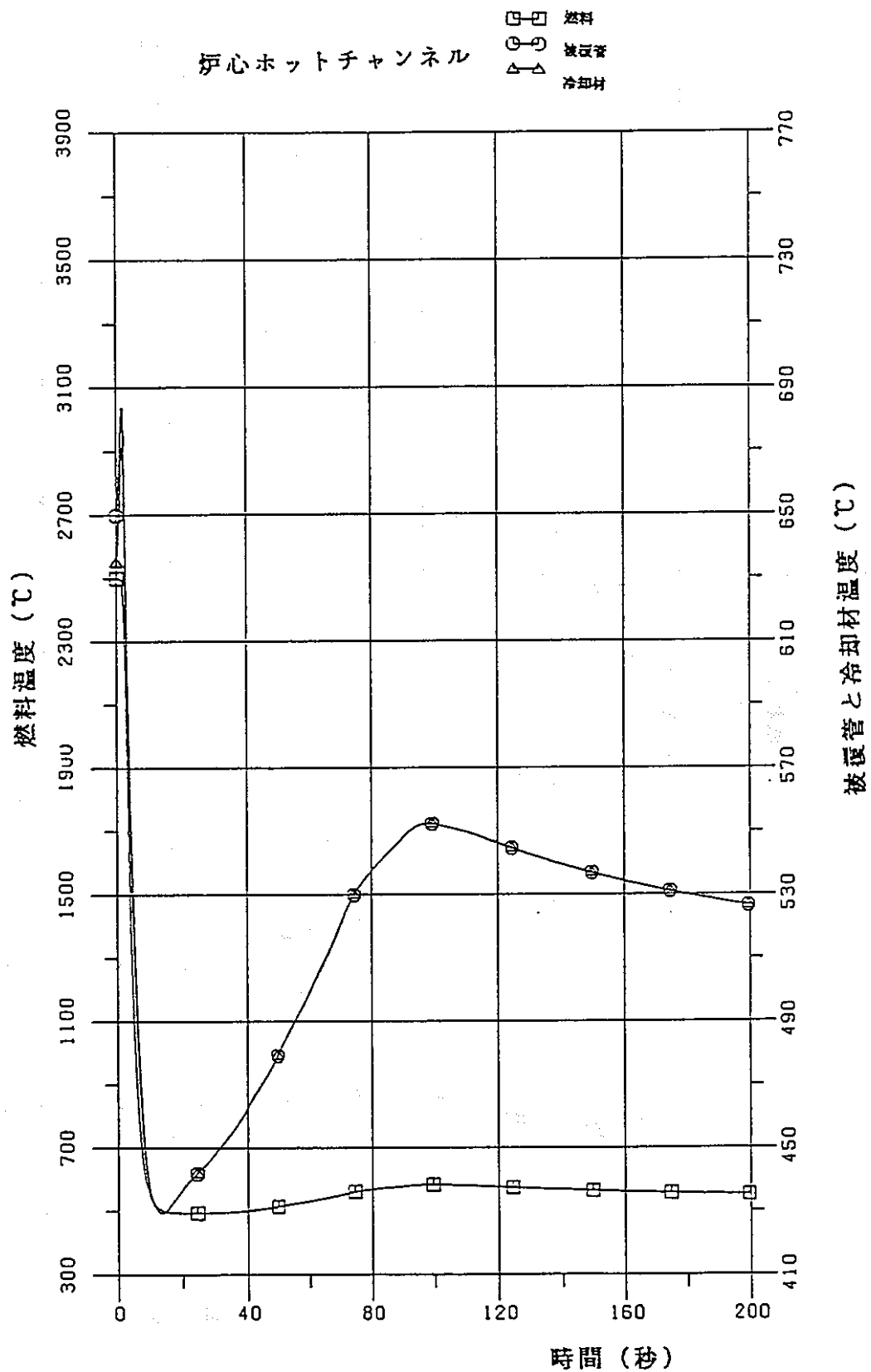


図3.3-37 外部電源喪失 (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)

—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

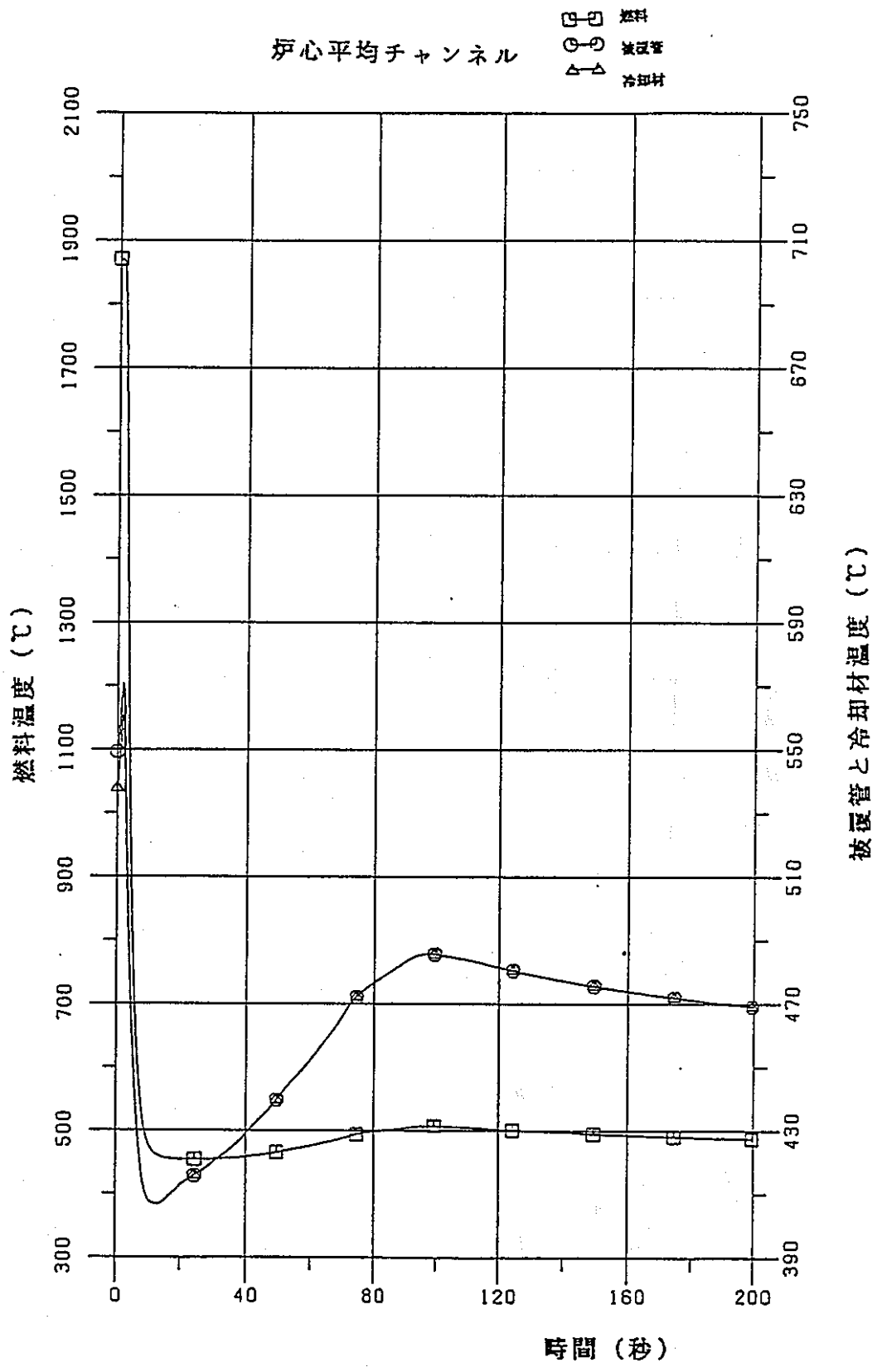


図3.3-38 外部電源喪失（移設後、スクラム値6.7%ΔK/K）

—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

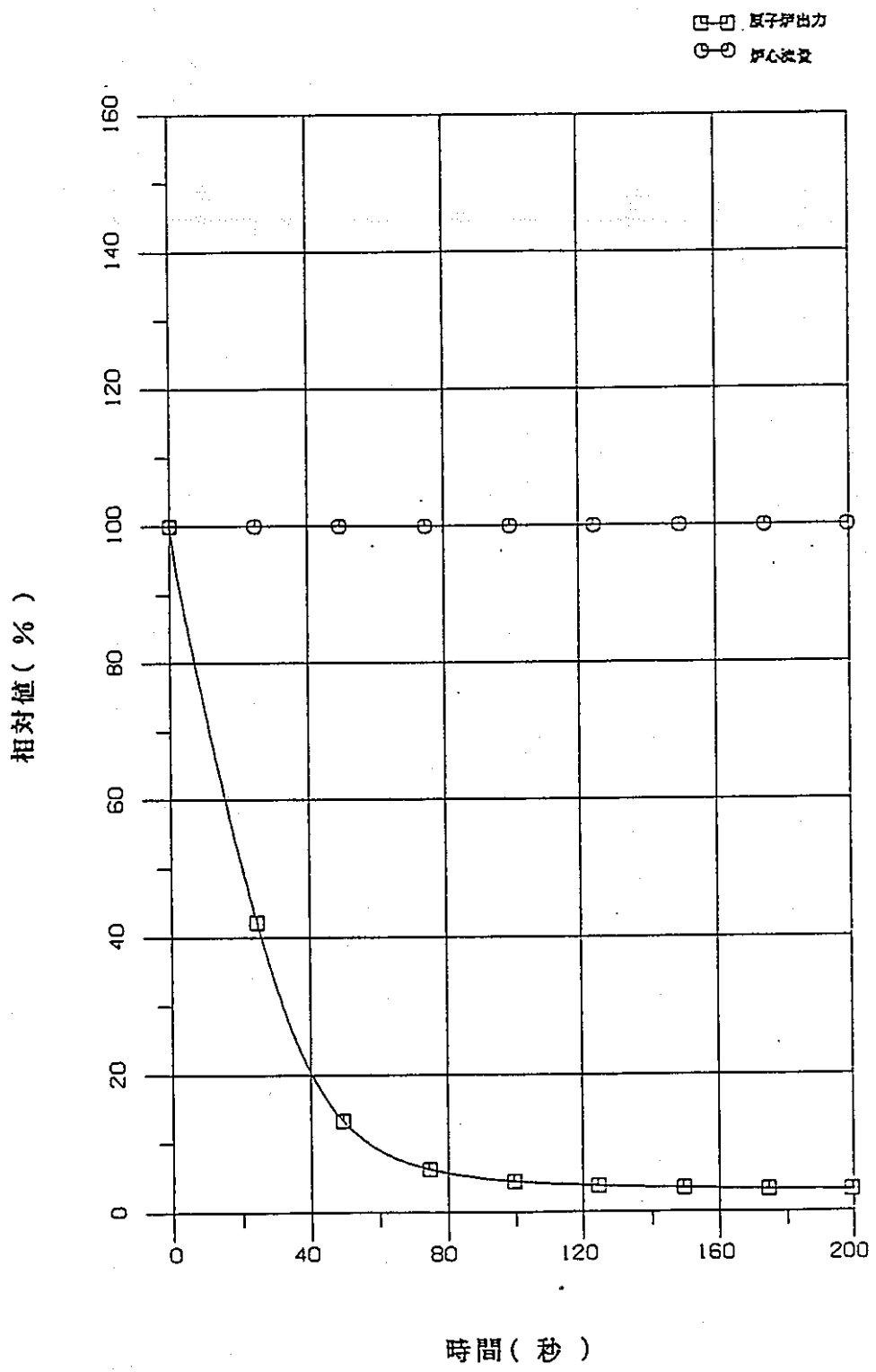


図3.3-39 2次冷却材流量減少（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 —原子炉出力及び炉心流量—

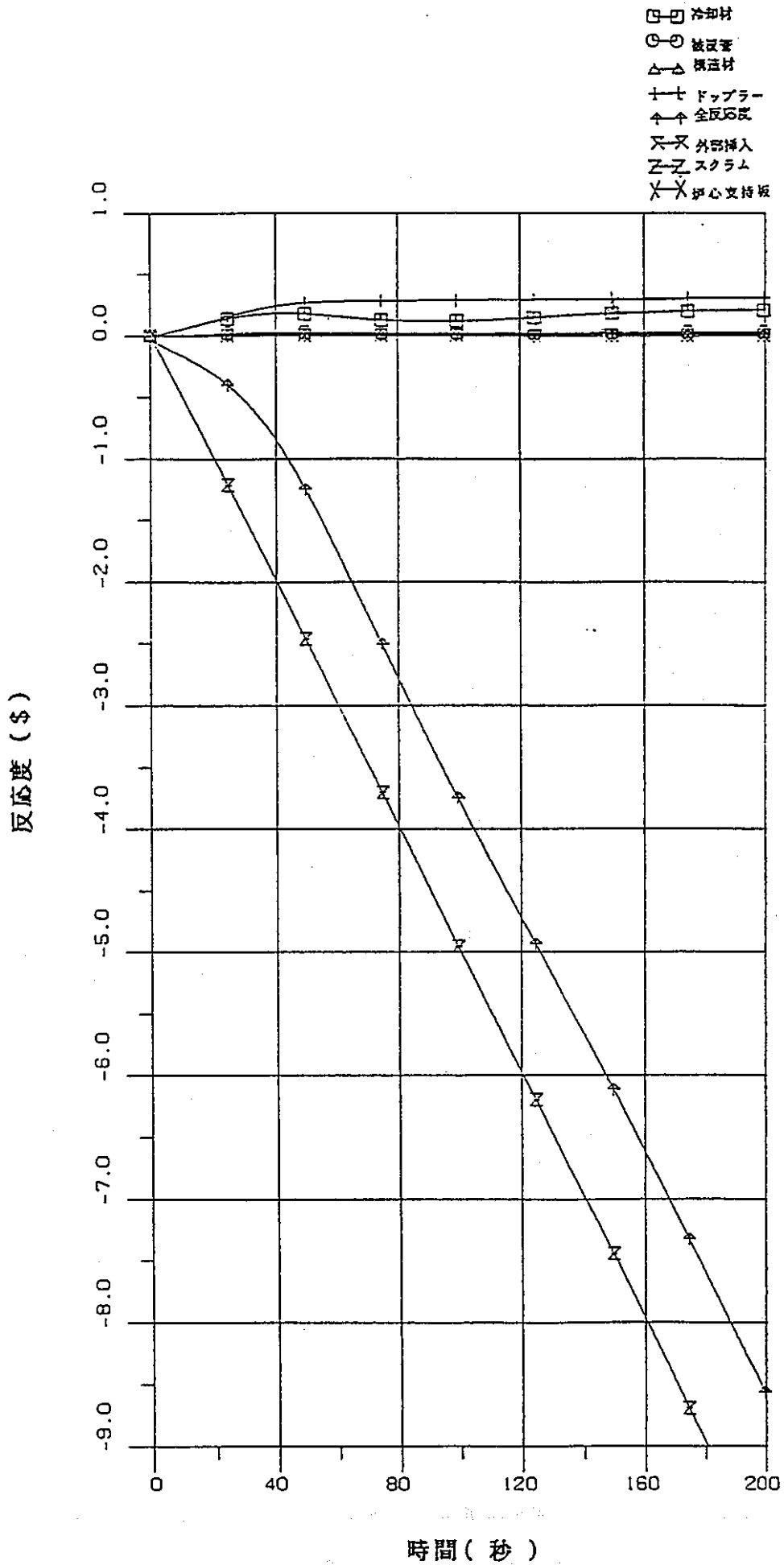


図3.3-40 2次冷却材流量減少 (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)

-反応度-

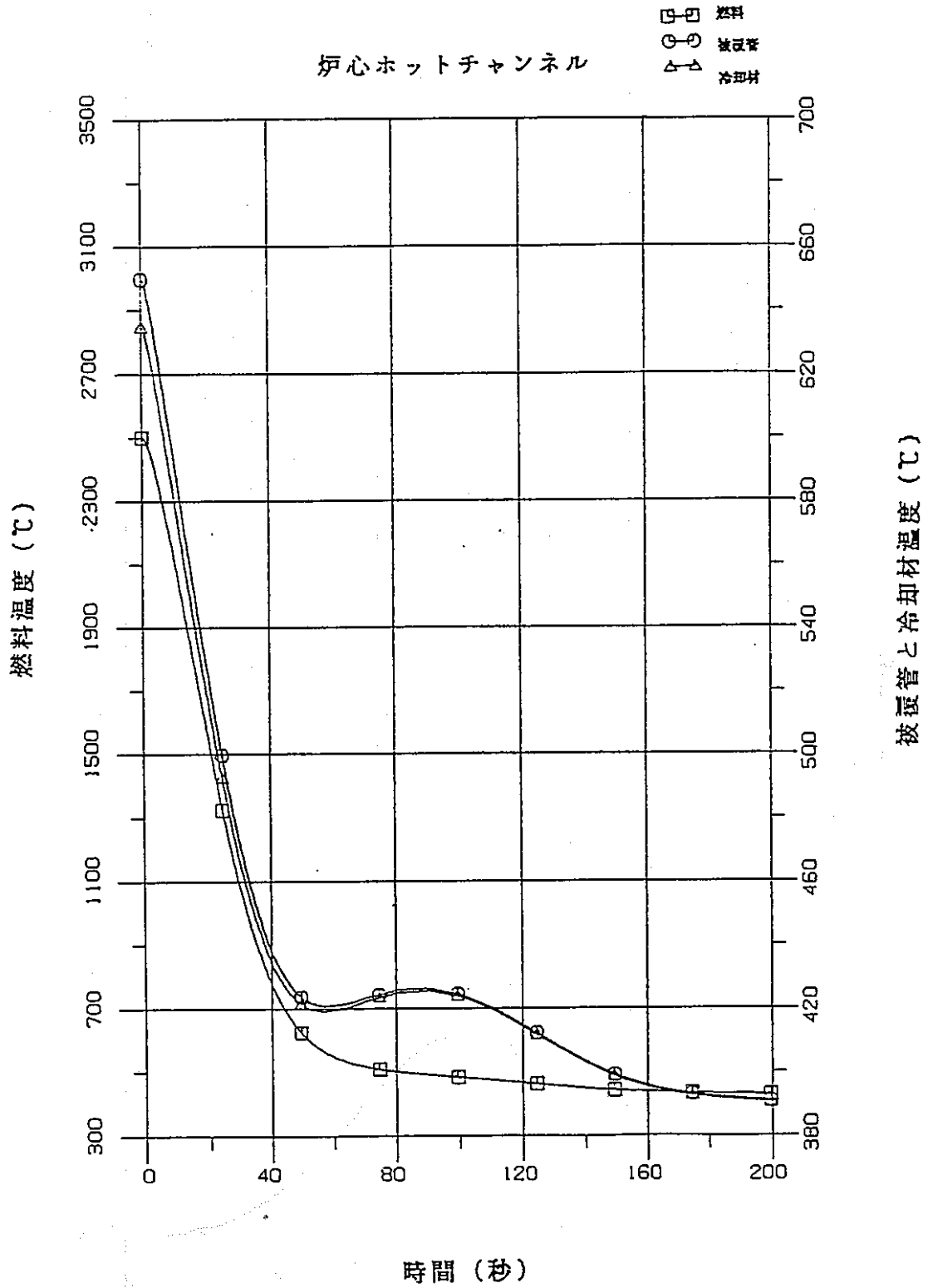


図3.3-41 2次冷却材流量減少（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）

—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

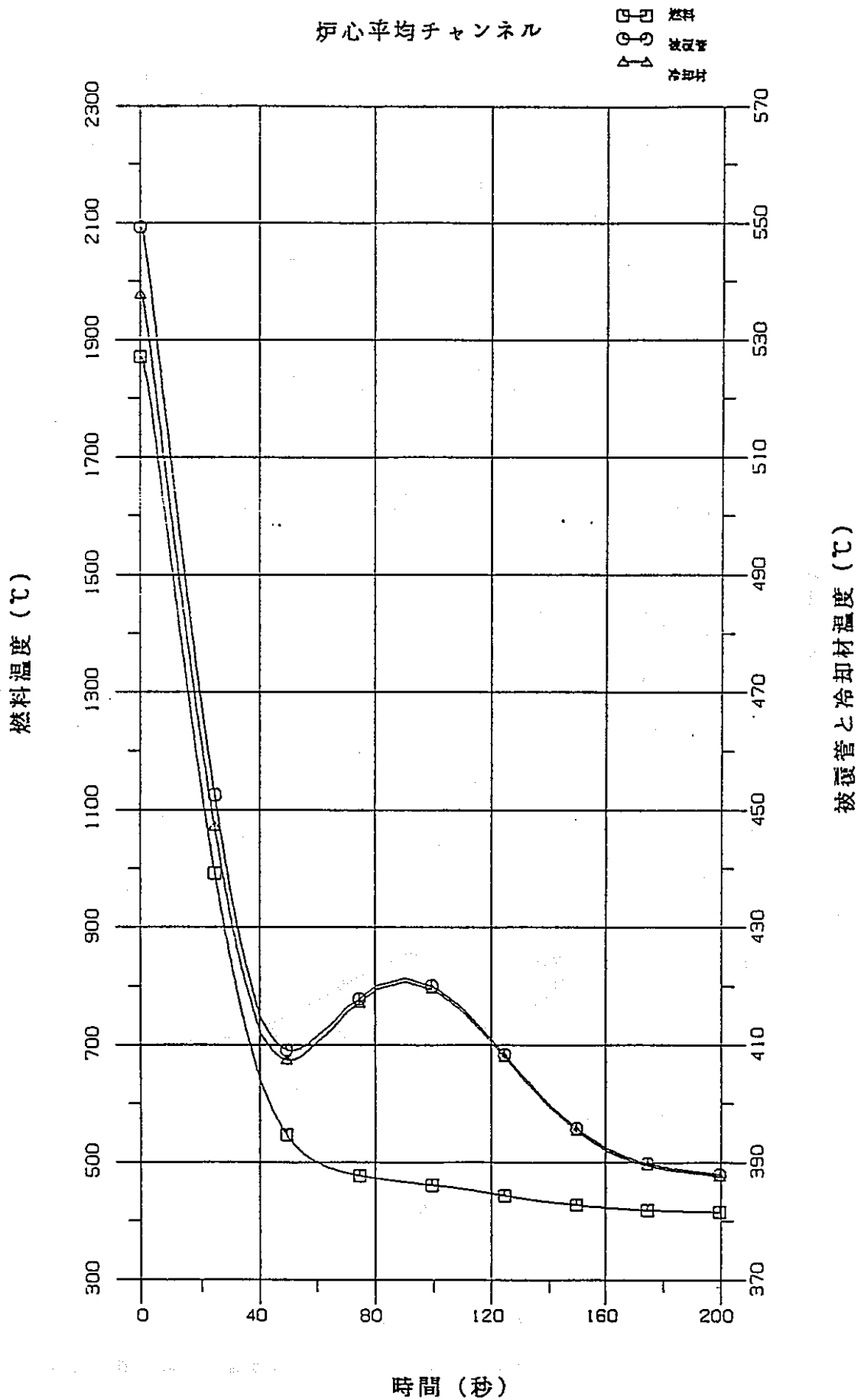


図3.3-42 2次冷却材流量減少（移設後、スクラム値6.7%ΔK/K）

—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

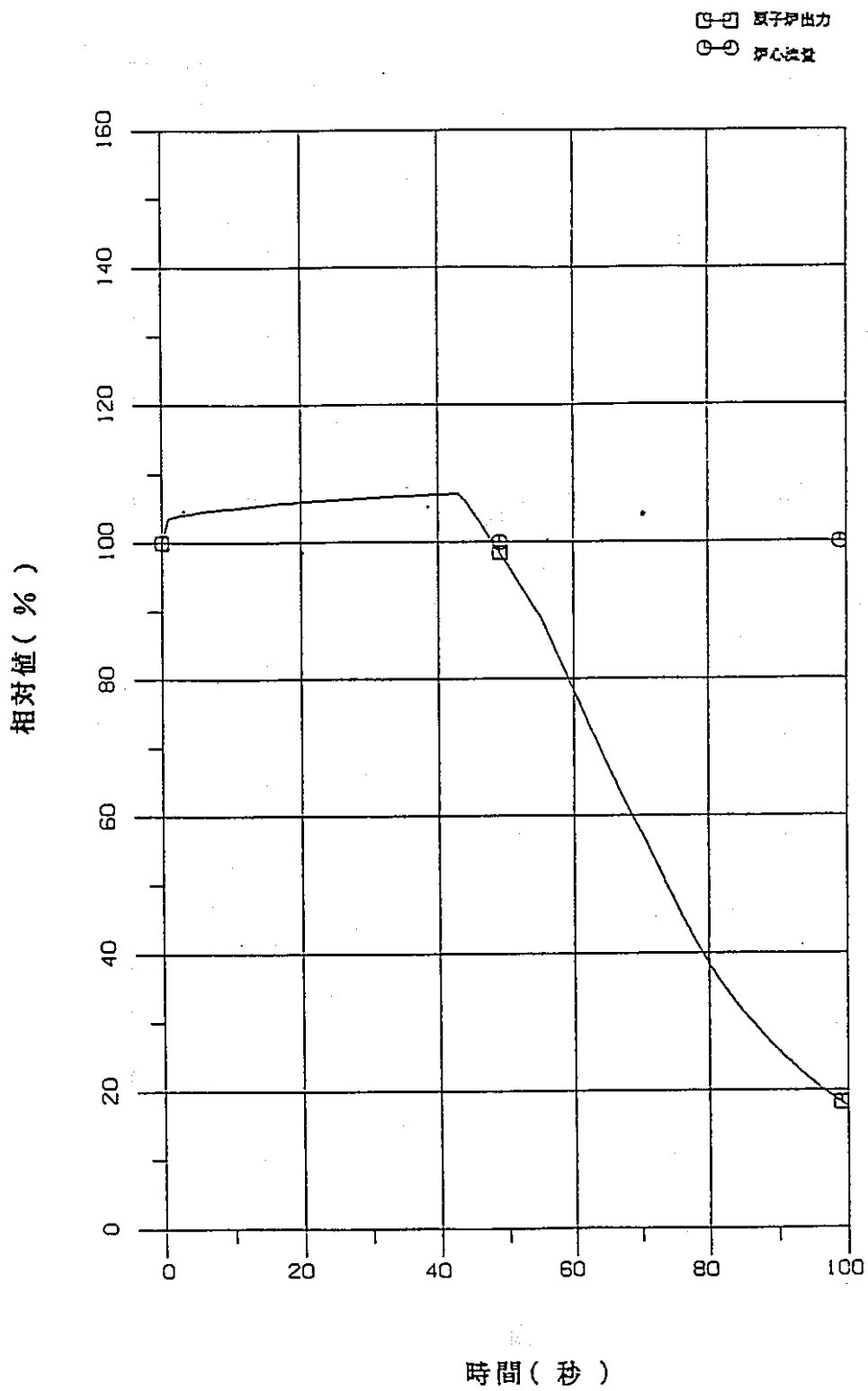


図3.3-43 2次冷却材流量増大 (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)

—原子炉出力及び炉心流量—

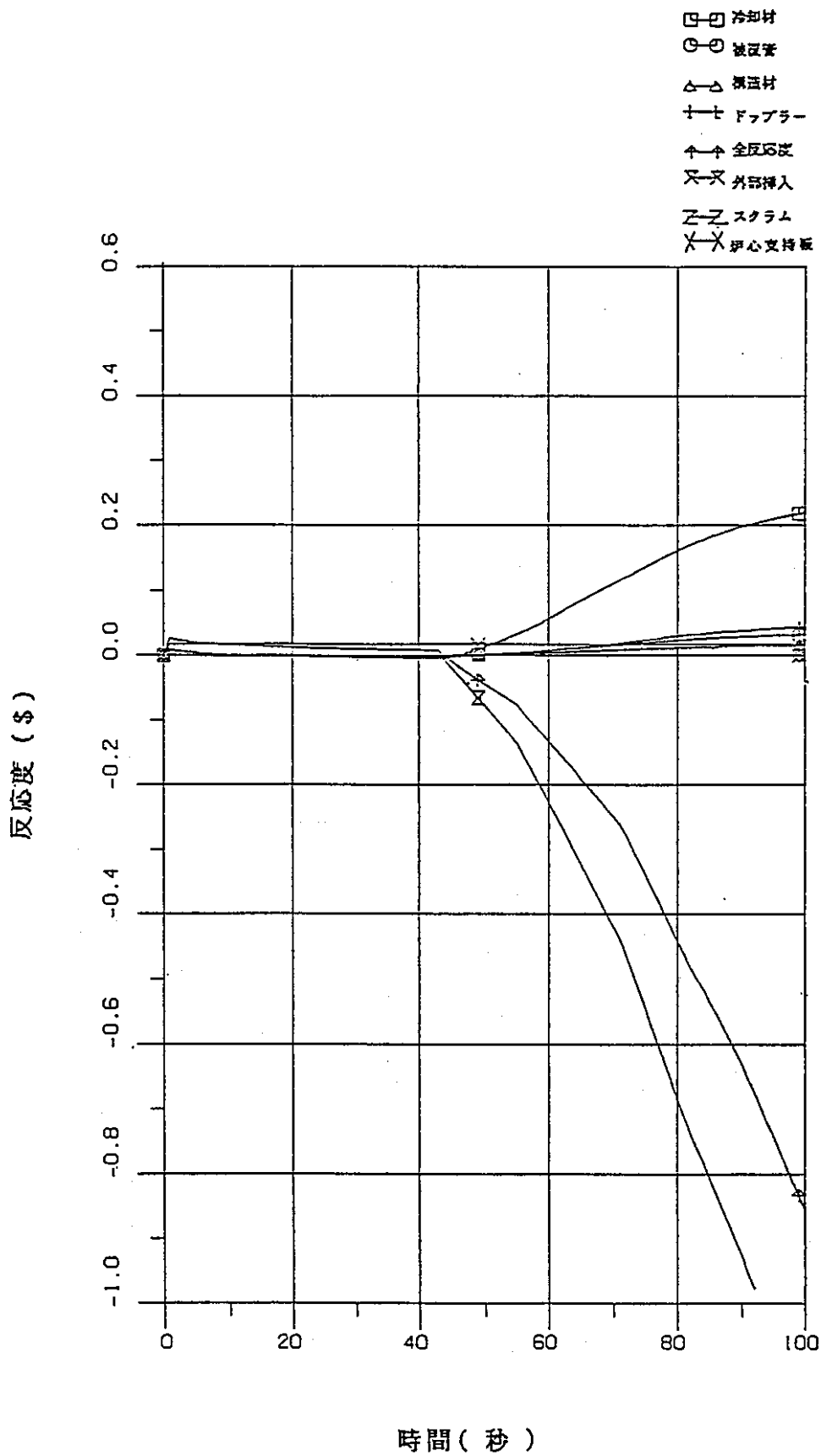


図3.3-44 2次冷却材流量増大 (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)

- 反応度 -

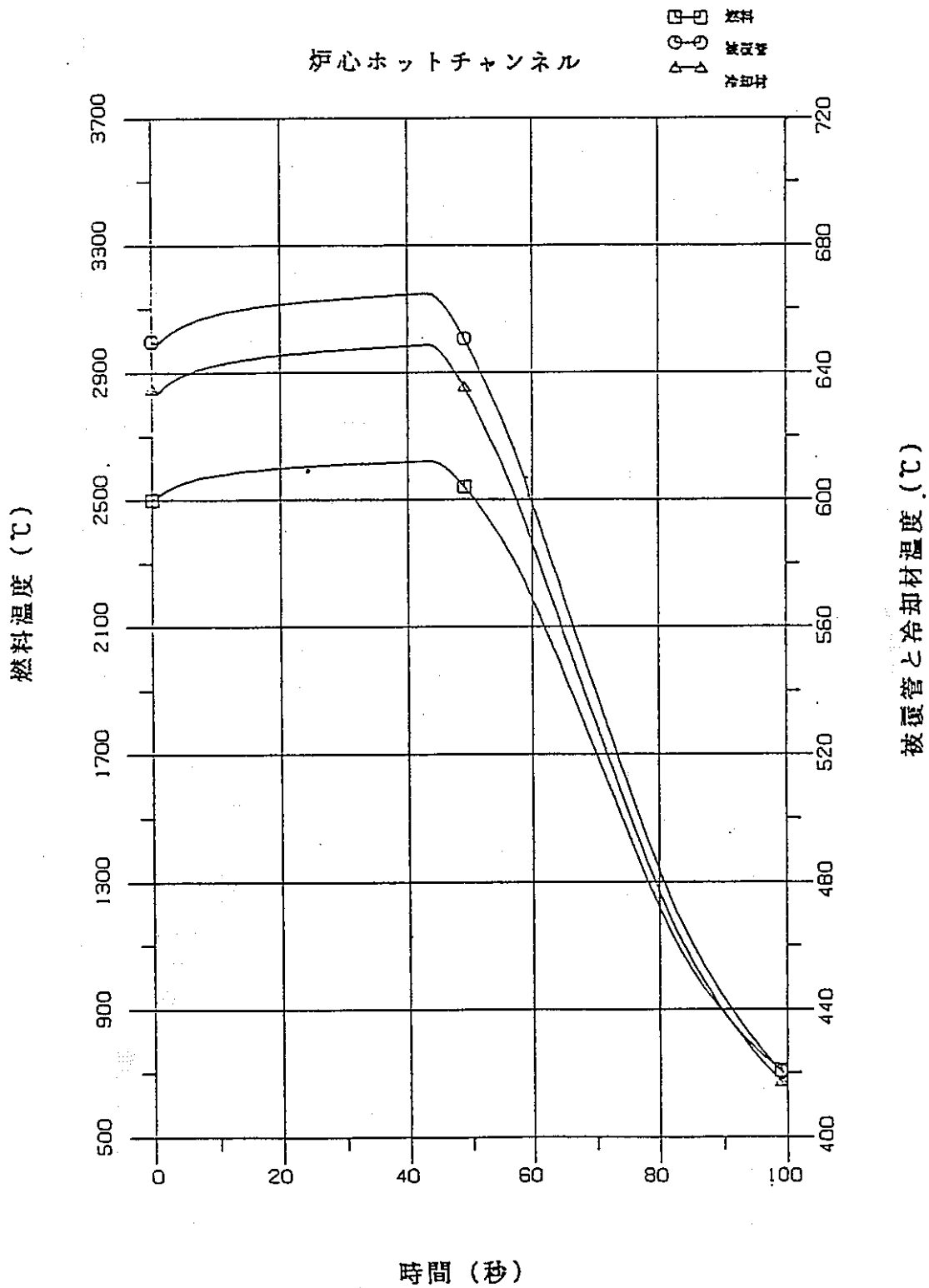


図3.3-45 2次冷却材流量増大 (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)
 -炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-

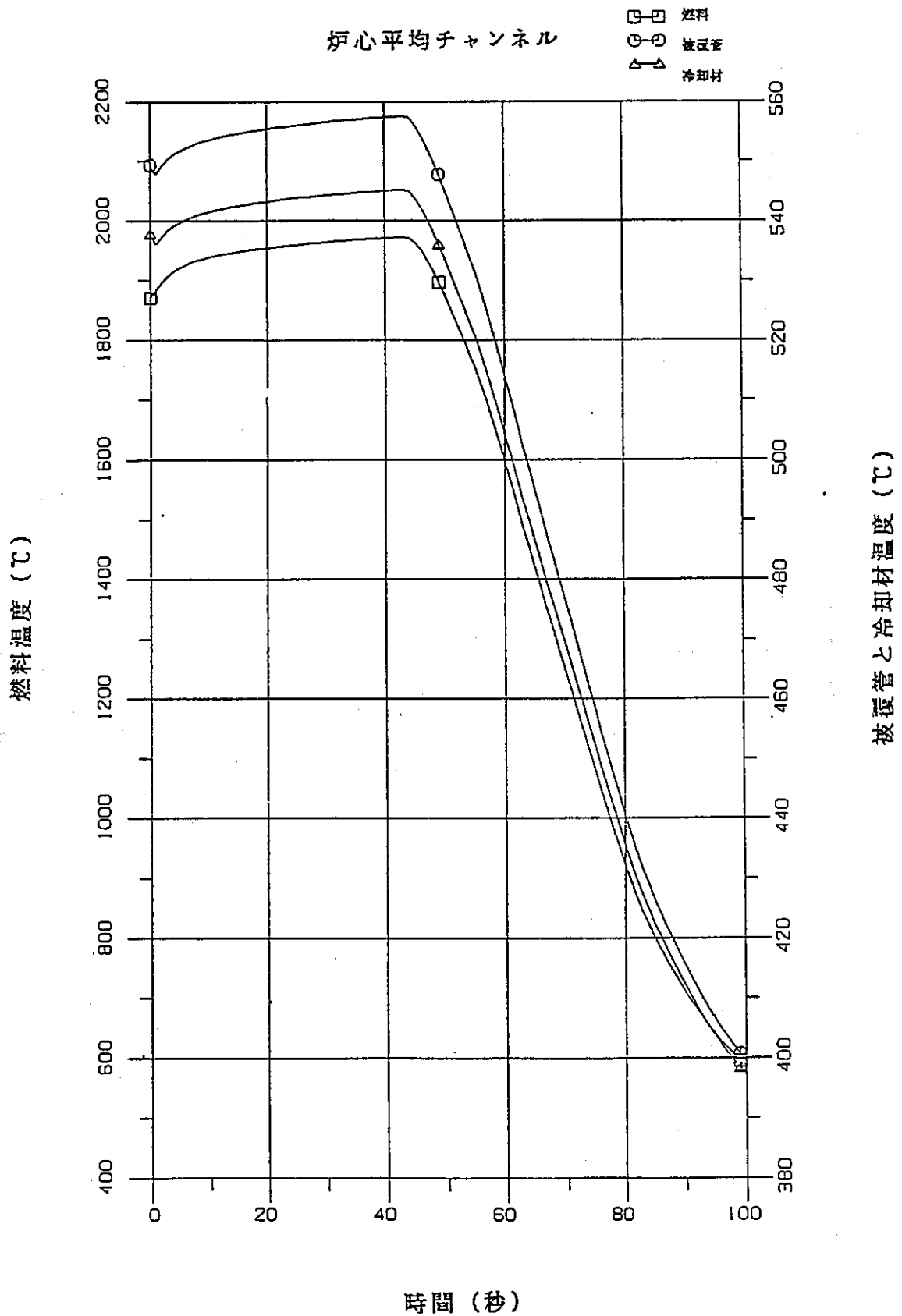


図3.3-46 2次冷却材流量増大 (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)
 -炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-

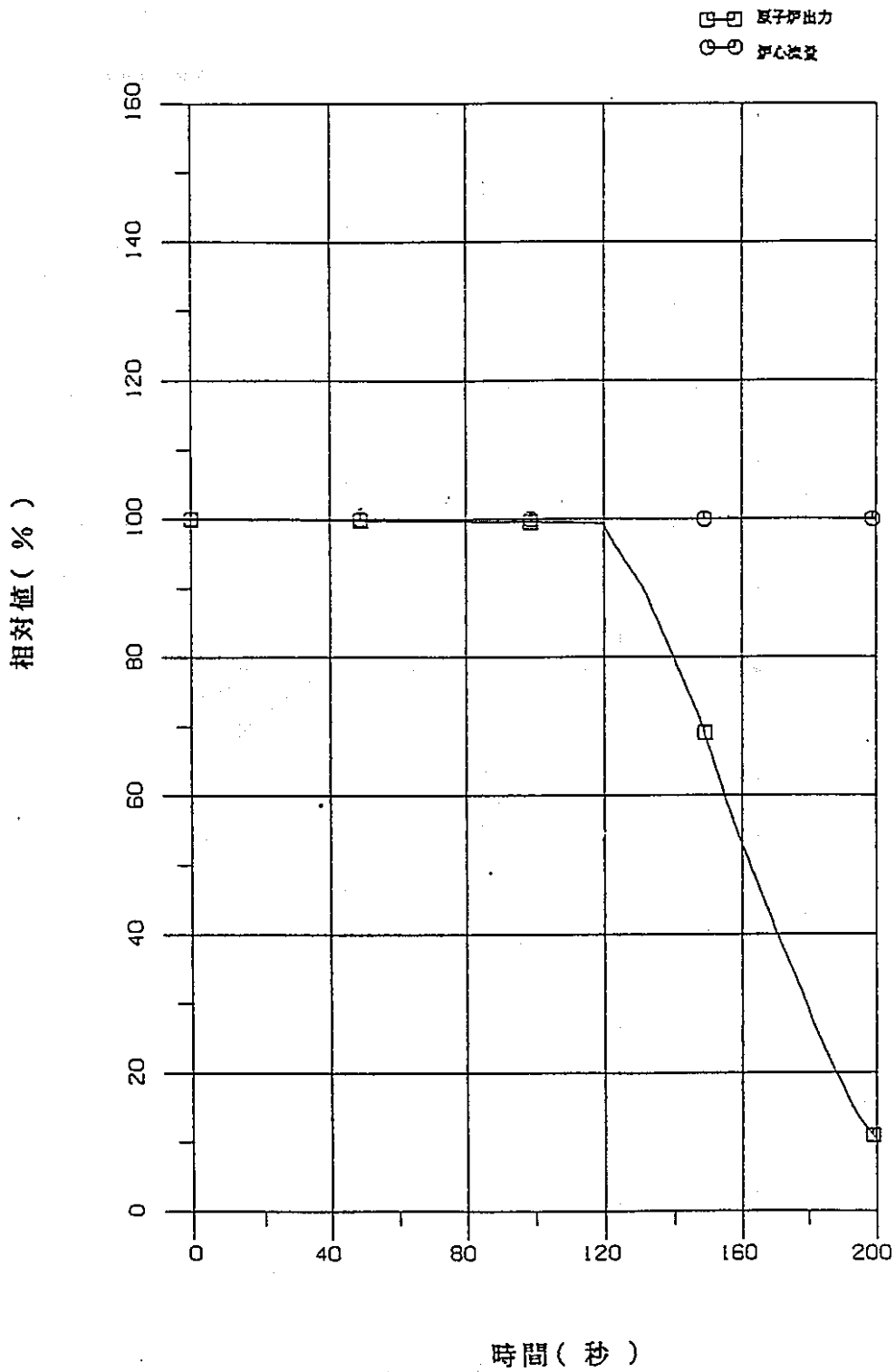


図3.3-47 主冷却器空気流量減少（移設後、スクラム値6.7%ΔK/K）
—原子炉出力及び炉心流量—

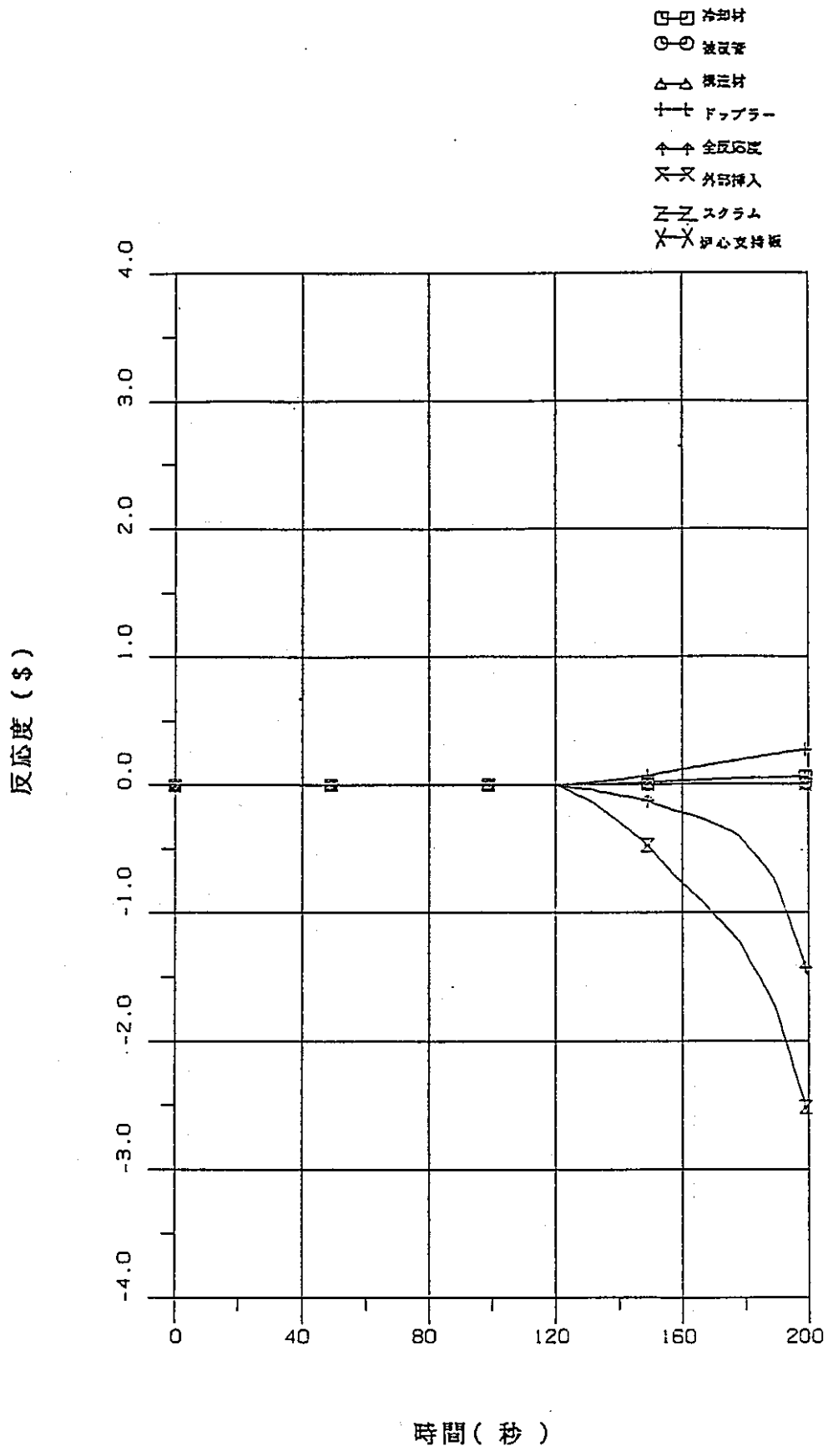


図3.3-48 主冷却器空気流量減少（移設後、スクラム価値6.7% $\Delta K/K$ ）
 -反応度-

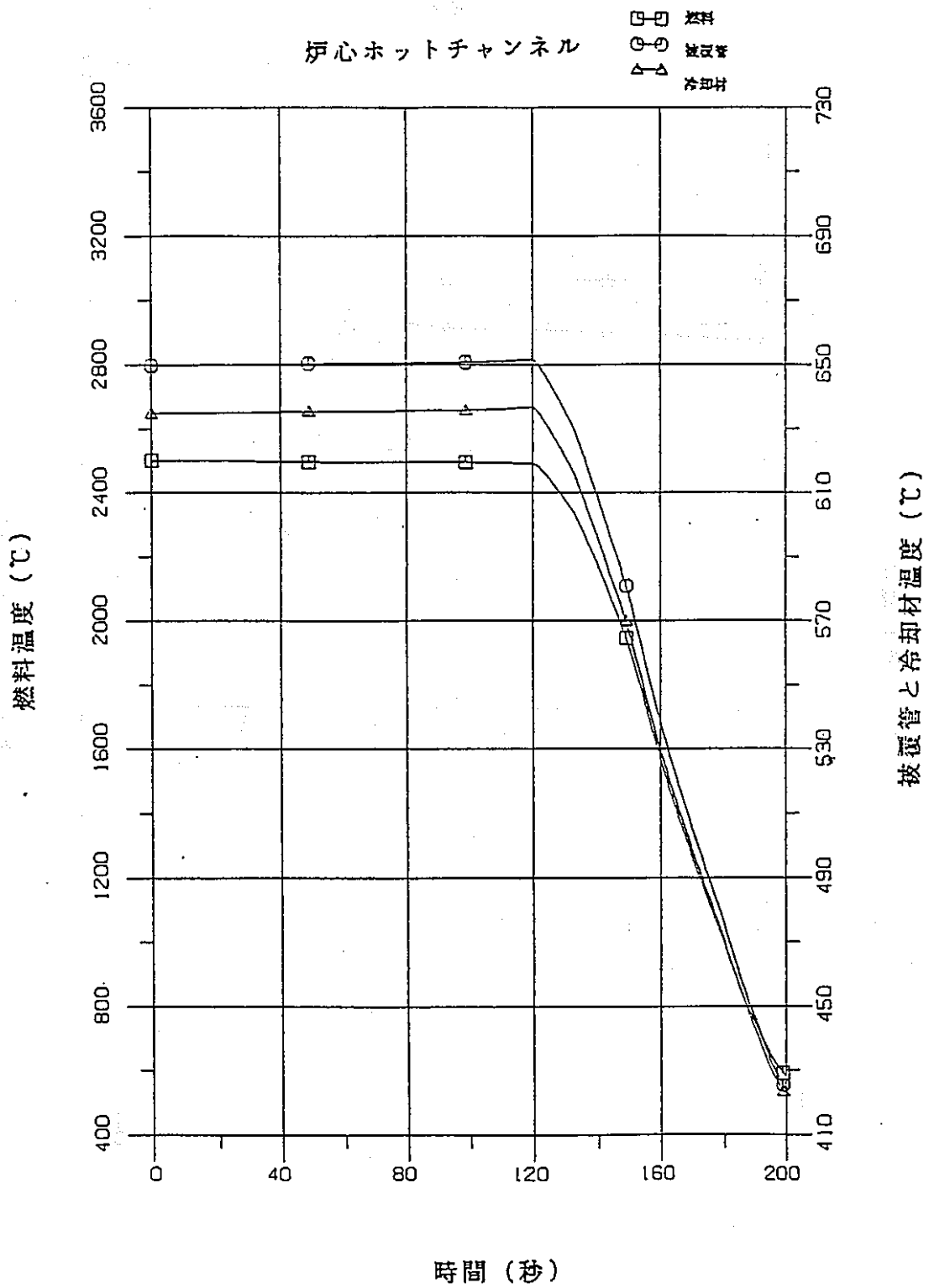


図3.3-49 主冷却器空気流量減少（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）
 -炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-

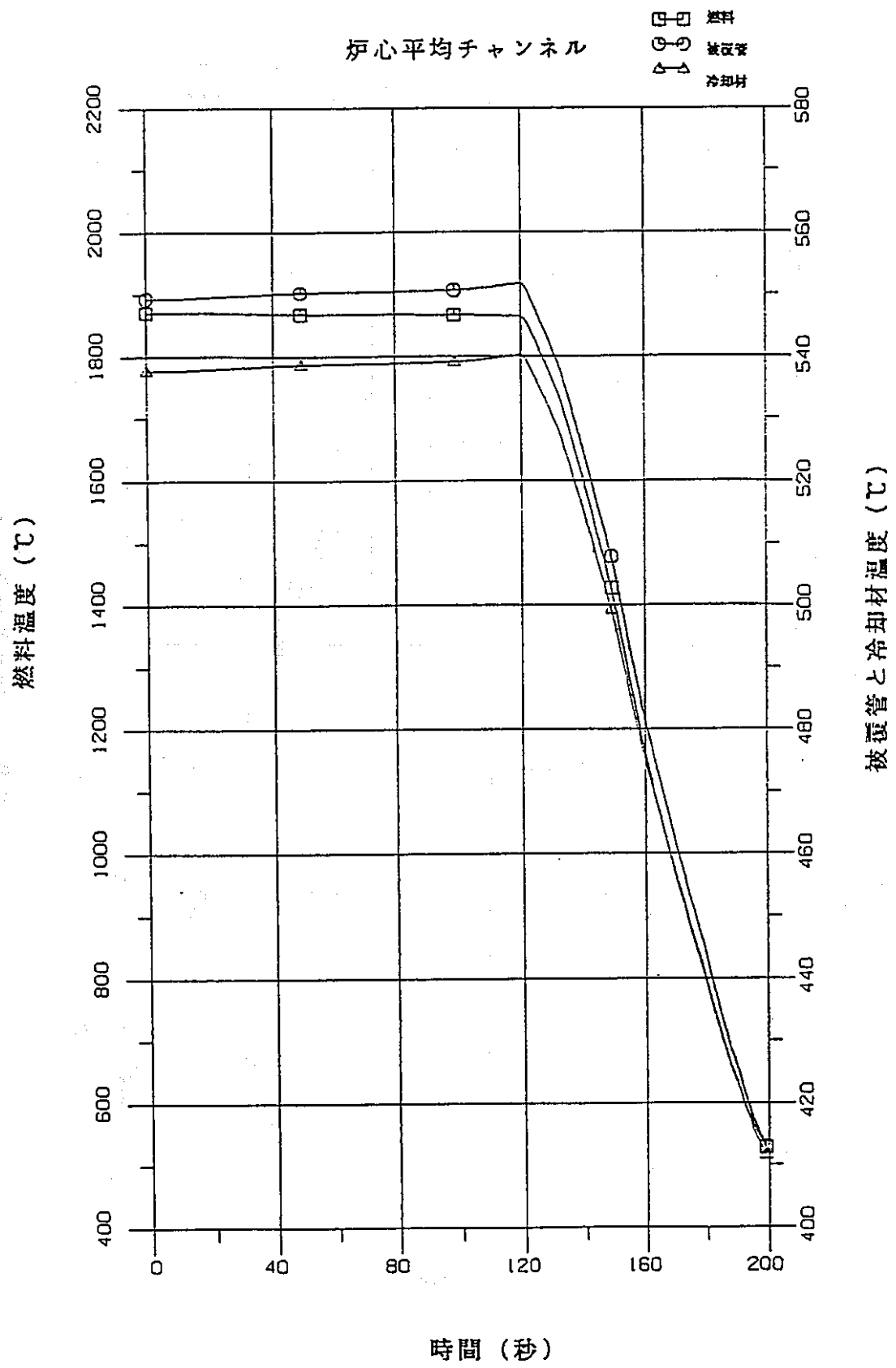


図3.3-50 主冷却器空気流量減少（移設後、スクラム値6.7%ΔK/K）
 —炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

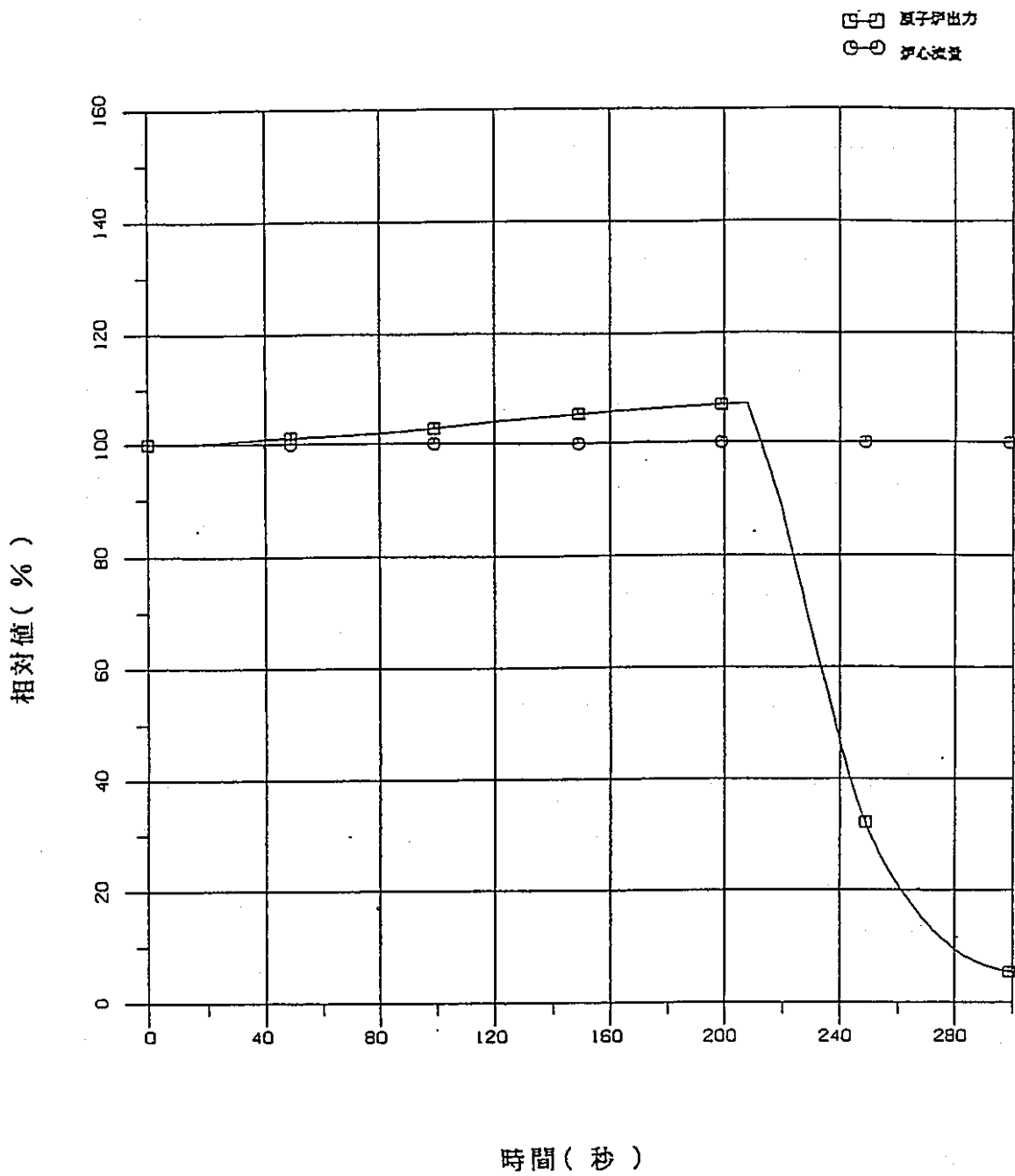


図3.3-51 主冷却器空気流量増大 (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)

—原子炉出力及び炉心流量—

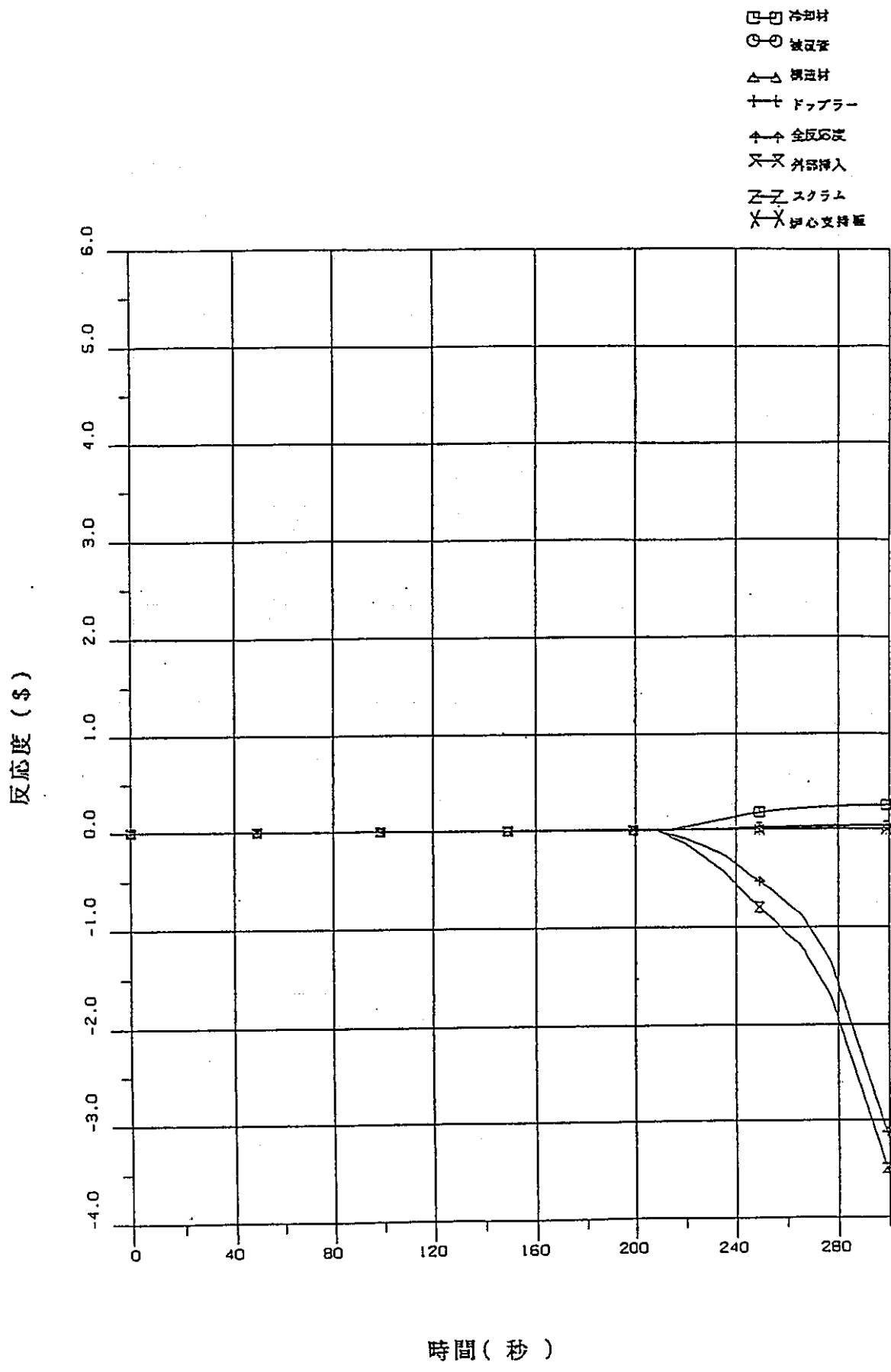


図3.3-52 主冷却器空気流量増大 (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)

- 反応度 -

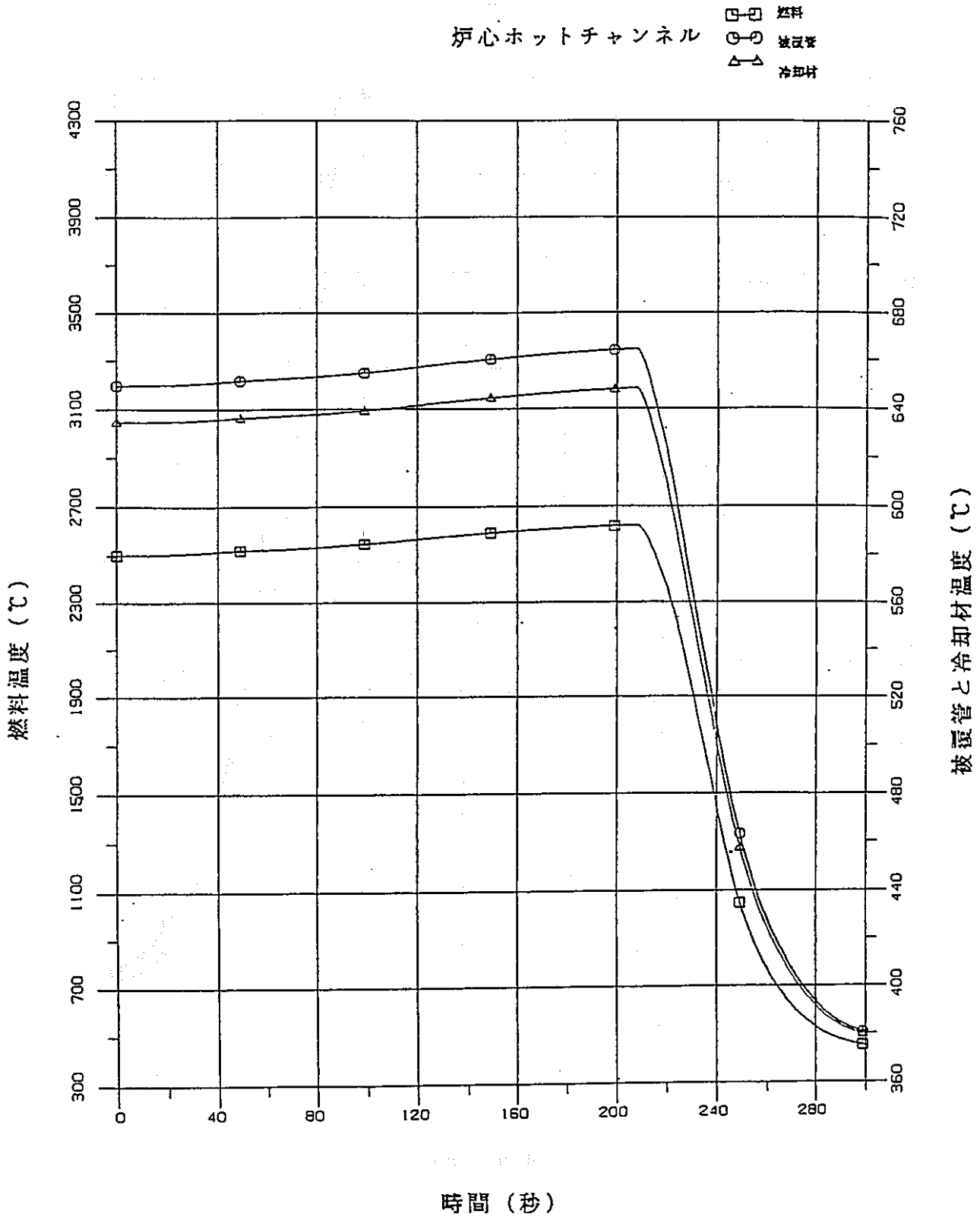


図3.3-53 主冷却器空気流量増大 (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)

—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

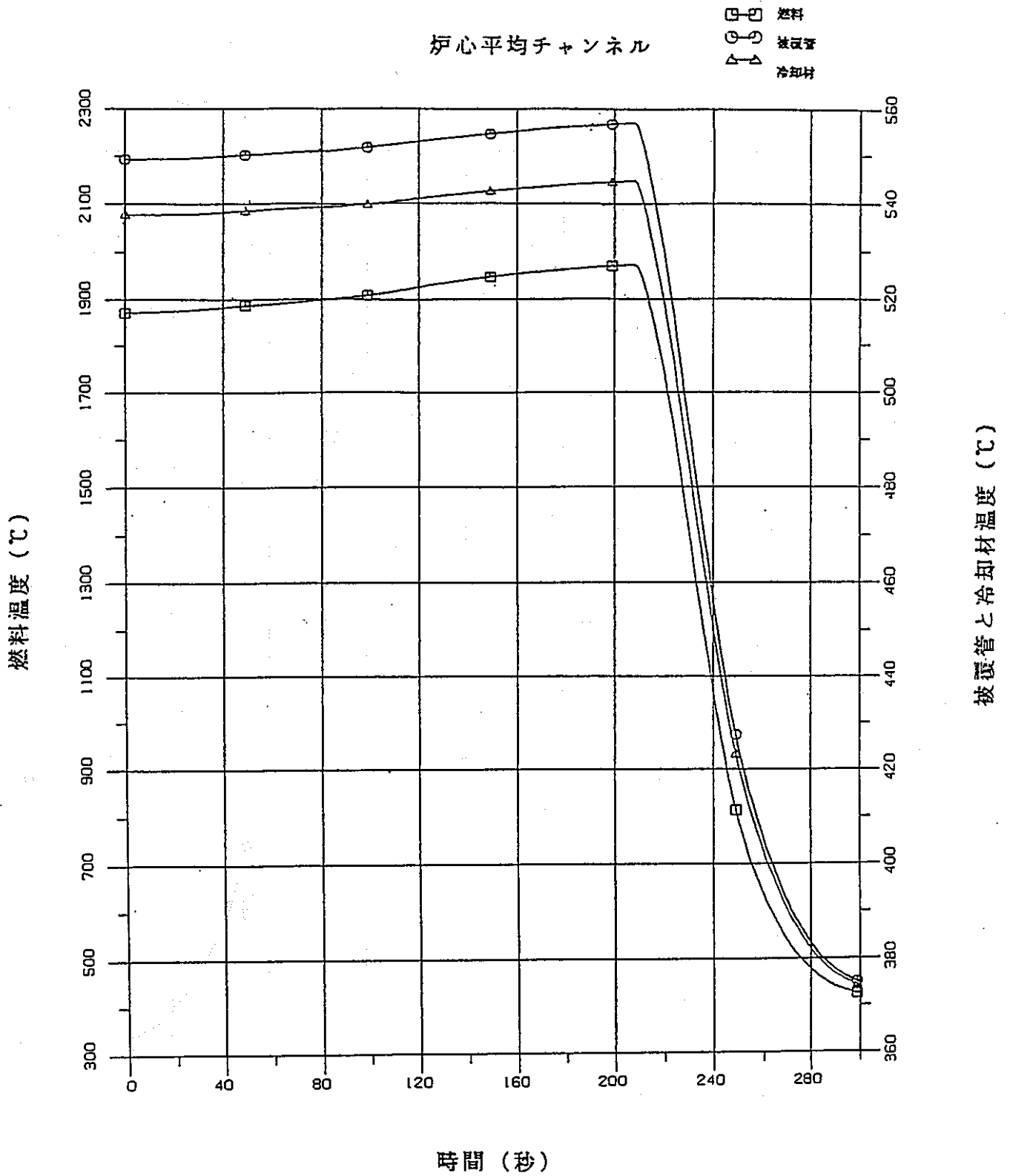


図3.3-54 主冷却器空気流量増大 (移設後、スクラム値値6.7%ΔK/K)

—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

4. 「事故」の計算

4.1 解析ケース

- (1) 燃料スランピング事故
- (2) 1次冷却系循環ポンプ軸固着事故
- (3) 2次冷却系循環ポンプ軸固着事故
- (4) 主冷却器送風機軸固着事故
- (5) 2次冷却材漏洩事故

4.2 健全性判断基準

「運転時の異常な過渡変化」時と同じ値を用いて、判断基準を保守的なものとする。

4.3 解析条件と解析結果

主な解析条件を表4.3-1にまとめる。

4.3.1 燃料スランピング事故

(1) 解析条件

- (a) スランピング現象は同時には最大の1燃料集合体で起こるとする。
- (b) スランピングにより燃料は理論密度の100%になり炉心下部に落下するとする。上部軸方向反射体については密度変化はなく炉心燃料の上に落下する。
- (c) スランピングによる反応度付加はステップ状とする。
- (d) 原子炉は出力100%で運転され、冷却材流量は定格流量とする。
- (e) 中性子束定格値の107%で原子炉はスクラムすると仮定し、その遅れ時間は200ミリ秒とする。
- (f) スクラム時にそう入される反応度価値は、最大の反応度価値を有する制御棒1本が全引き抜き位置に固着してそう入されない場合のものとする。
- (g) 反応度温度係数としてはドップラー係数、被覆管膨張係数、ナトリウム膨張係数及び構造材膨張係数を考え、その値としては、原子炉出力のピーク値が最大に評価されるよう各々の最大値（絶対値が最小の負の値）を用いる。

(2) 解析結果

スクラム価値を $6.7\% \Delta K/K$ としたケースについて、図4.3-1に原子炉出力及び炉心流量、図4.3-2に反応度、図4.3-3、図4.3-4に炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

1燃料集合体のスランピングによる反応度付加は炉心中心において約 27ϕ で半径方

向外側に向かうほど小さくなり、炉心最外列で約9φとなる。27φの正の反応度のステップ挿入により、原子炉出力は瞬時に定格の130%に上昇し、「中性子束高」信号により、原子炉はスクラムする。しかしスクラム遅れのため原子炉出力は定格の約140%にまで上昇する。

次に、スクラム価値7.4%ΔK/Kでの解析結果との比較を行う。この2ケースの炉心ホットチャンネル及び炉心平均チャンネルのペレット、被覆管、冷却材最高温度の比較を表4.3-6に示す。スクラム価値の低下により各部の最高温度到達時刻は0.04～0.05秒遅くなり、温度も炉心ホットチャンネルのペレット最高温度で7℃、被覆管肉厚中心最高温度で1℃、冷却材最高温度で2℃の上昇となり、炉心平均チャンネルでも、それぞれ、7℃、1℃、1℃の上昇として表れている。しかし、制御棒移設後の炉心ホットチャンネルのペレット最高温度は2609℃、被覆管肉厚中心最高温度は677℃、冷却材最高温度は659℃であり、それらはすべて健全性判断基準を満足している。

4.3.2 1次冷却系循環ポンプ軸固着事故

(1) 解析条件

- (a)原子炉は出力100%で運転され、冷却材流量は定格流量とする。
- (b)事故を想定する冷却回路の1次主冷却系循環ポンプは最も厳しい場合を想定して瞬時に回転を停止するものとする。
- (c)原子炉は故障側冷却系回路流量80%により自動停止し、その遅れは0.7秒とする。
- (d)単一故障の仮定として1回路のポンプスティックと同時に、他の1回路のポンプもトリップするものとする。
- (e)過渡期における原子炉出力を最大に評価するために、反応度温度係数としては被覆管膨張係数、ナトリウム膨張係数及び構造材膨張係数は最大値（絶対値が最小の負の値）を、また、ドップラー係数及び燃料軸方向膨張係数は最小値（絶対値が最大の負の値）を用いる。

(2) 解析結果

スクラム価値を6.7%ΔK/Kとしたケースについて、図4.3-5に原子炉出力及び炉心流量、図4.3-6に反応度、図4.3-7、図4.3-8に炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心最高、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

1回路のポンプスティック事故により炉心流量は2秒後に定格の約50%にまで減少

する。0.2秒で、「故障側冷却系回路流量低信号」により、原子炉はスクラムする。原子炉出力は、1.2秒間で91%にまで減少し、その後スクラム反応度が大きく効くため10%にまで低下する。被覆管、冷却材最高温度は、流量の減少速度が出力の減少速度を上回るため、一旦は上昇するが、スクラムによって低下する。

次に、スクラム価値 $7.4\% \Delta K/K$ での解析結果との比較を行う。この2ケースの炉心ホットチャンネル及び炉心平均チャンネルのペレット、被覆管、冷却材最高温度の比較を表4.3-6に示す。スクラム価値の低下により各部の最高温度到達時刻は約0.03秒遅くなるが、最高温度の差は炉心ホットチャンネルの被覆管肉厚中心最高温度、冷却材最高温度でそれぞれ 1°C 、炉心平均チャンネルの被覆管肉厚中心最高温度、冷却材最高温度でもそれぞれ 1°C の上昇にとどまっている。よって、制御棒移設後の炉心ホットチャンネルのペレット最高温度は初期温度 2500°C 、被覆管肉厚中心最高温度は 805°C 、冷却材最高温度は 796°C であり、それらはすべて健全性判断基準を満足している。

4.3.3 2次主冷却系循環ポンプ軸固着事故

(1) 解析条件

事故の経過を実際よりも十分に厳しい結果を得るために、解析条件を次のように仮定する。

- (a)原子炉は出力100%で運転され、冷却材流量は定格流量とする。
- (b)事故を想定する冷却回路の2次主冷却系循環ポンプは最も厳しい場合を仮定して瞬時に回転を停止するものとする。
- (c)原子炉は故障側2次冷却系回路の「2次冷却材流量低」の信号により制御棒一斉そく入動作が行われ、その遅れは0.4秒とする。
- (d)単一故障の仮定として1回路のポンプスティックと同時に、他の1回路のポンプもトリップするものとする。
- (e)反応度温度係数は原子炉出力を最大に評価するように各反応度係数の最小値（絶対値が最大の負の値）を用いる。

(2) 解析結果

スクラム価値を $6.7\% \Delta K/K$ としたケースについて、図4.3-9に原子炉出力及び炉心流量、図4.3-10に反応度、図4.3-11、図4.3-12に炉心ホットチャンネル、炉心平均チ

チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

原子炉出力は「2次冷却材流量低」の信号による制御棒一斉挿入でゆるやかに減少し、120秒の時点では、定格の約3.7%となる。

次に、スクラム値7.4% $\Delta K/K$ での解析結果との比較を行う。この2ケースの炉心ホットチャンネル及び炉心平均チャンネルのペレット、被覆管、冷却材最高温度の比較を表4.3-6に示す。スクラム値の低下により影響は各部の温度低下の速度が若干遅くなることに表れるが、本事象におけるペレット最高温度、被覆管肉厚中心最高温度、冷却材最高温度はいずれも初期温度であり、それらはすべて健全性判断基準を満足している。

4.3.4 主冷却器送風器軸固着事故

(1) 解析条件

事故の経過を実際よりも十分に厳しい結果を得るために、解析条件を次のように仮定する。

- (a) 原子炉は出力100%各系の流量は定格の100%とする。
- (b) 事故により空気流量が0%に低下したとする。
- (c) 原子炉は「原子炉入口冷却材温度高」により自動停止され、その遅れは10秒とする。
- (d) 単一故障の仮定として1回路の送風機スティックと同時に、他の1回路の送風機もトリップするものとする。
- (e) 反応度温度係数は原子炉出力を最大に評価するように各反応度係数の最小値（絶対値が最大の負の値）を用いる。

(2) 解析結果

スクラム値を6.7% $\Delta K/K$ としたケースについて、図4.3-13に原子炉出力及び炉心流量、図4.3-14に反応度、図4.3-15、図4.3-16に炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルのペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

原子炉出力は、炉心入口温度が上昇するにつれ冷却材の負の反応度が挿入されるので、徐々に低下し、約78秒後に「原子炉入口冷却材温度高」によるスクラムで急激に減少し、200秒後には4%で落ち着く。

次に、スクラム値7.4% $\Delta K/K$ での解析結果との比較を行う。この2ケースの炉心

ホットチャンネル及び炉心平均チャンネルのペレット、被覆管、冷却材最高温度の比較を表4.3-6に示す。スクラム価値の低下により各部の最高温度到達時刻は0.03～0.05秒遅くなるが、各部の最高温度の差は0℃未満であり殆ど変化しない。よって、制御棒移設後の炉心ホットチャンネルのペレット最高温度は初期温度2500℃、被覆管肉厚中心最高温度は653℃、冷却材最高温度も638℃であり、それらはすべて健全性判断基準を満足している。

4.3.5 2次冷却材漏洩事故

(1) 解析条件

事故の経過を実際よりも十分に厳しい結果を得るために、解析条件を次のように仮定する。

(a)原子炉は出力100%冷却材流量は定格流量とする。

(b)小規模な漏洩事故が発生すれば漏洩検出器により検出され運転員に注意を喚起し、原子炉停止等の適切な処理がとられるので直接原子炉に影響を与えることはない。そこで、ここでは2次主冷却系2ループのうち1ループ配管が万一瞬時に破断した場合を想定する。

(2) 解析結果

スクラム価値を6.7% $\Delta K/K$ としたケースについて、図4.3-17に原子炉出力及び炉心流量、図4.3-18に反応度、図4.3-19、図4.3-20に炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルのペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

原子炉出力は、炉心入口温度が上昇するにつれ冷却材の負の反応度が挿入されるので徐々に低下する。約27秒で炉心入口温度がさらに上昇するため、原子炉出力は低下し、約56秒後に「原子炉入口冷却材温度高」によるスクラムで、急激に減少し、200秒後に3.5%で落ち着く。

次に、スクラム価値7.4% $\Delta K/K$ での解析結果との比較を行う。この2ケースの炉心ホットチャンネル及び炉心平均チャンネルのペレット、被覆管、冷却材最高温度の比較を表4.3-6に示す。スクラム価値の低下により各部の最高温度到達時刻は0.02～0.06秒遅くなるが、各部の最高温度の差は0℃未満であり、殆ど変化しない。よって、制御棒移設後の炉心ホットチャンネルのペレット最高温度は初期温度2500℃、被覆管肉厚中心最高温度は681℃、冷却材最高温度も668℃であり、それらはすべて健全性判

断基準を満足している。

表4.3-1 主要解析条件

(事故)

解析事象 解析条件		燃料スランピング 事故	1次冷却系 循環ポンプ 軸固着事故	2次冷却系 循環ポンプ 軸固着事故	主冷却器 送風機 軸固着事故	2次冷却材 漏洩事故
初期運転状態		定 格	定 格	定 格	定 格	定 格
反 応 度 係 数	ドップラー	最大 -0.30×10^{-3}	最小 -1.78×10^{-3}	最小 -1.78×10^{-3}	最小 -1.78×10^{-3}	最小 -1.78×10^{-3}
	燃 料	—	最小 -0.45×10^{-5}	最小 -0.45×10^{-5}	最小 -0.45×10^{-5}	最小 -0.45×10^{-5}
	被 覆 管	最大 -0.63×10^{-6}	最大 -0.63×10^{-6}	最小 -1.60×10^{-6}	最大 -0.63×10^{-6}	最大 -0.63×10^{-6}
	冷 却 材	最大 -5.60×10^{-6}	最大 -5.60×10^{-6}	最小 -1.37×10^{-5}	最大 -5.60×10^{-6}	最大 -5.60×10^{-6}
	構 造 材	最大 -0.39×10^{-6}	最大 -0.39×10^{-6}	最小 -0.98×10^{-6}	最大 -0.39×10^{-6}	最大 -0.39×10^{-6}
原子炉 トリップ	信 号	出力領域中性子束高	1次冷却材流量低	2次冷却材流量低	原子炉入口冷却材	原子炉入口冷却材
		107%	80%	80%	温度高	温度高
	遅れ時間	0.2秒	0.7秒	0.4秒	10秒	10秒
単一故障重ね合わせ		1ロッドスタック	1ロッドスタック	1ロッドスタック	1ロッドスタック	1ロッドスタック
解析時間		3 秒	4 秒	120秒	200秒	200秒
熱出力		1000Btu/h・ft ² ・°F	1000Btu/h・ft ² ・°F	1000Btu/h・ft ² ・°F	1000Btu/h・ft ² ・°F	1000Btu/h・ft ² ・°F
挿入反応度		27φステップ	なし	なし	なし	なし
炉心流量		一 定	表4.3-2	一 定	一 定	一 定
炉心入口温度		一 定	一 定	表4.3-3	表4.3-4	表4.3-5
炉心各部温度		定 格	定 格	定 格	定 格	定 格
その他			他ポンプトリップ	一斉挿入	一斉挿入	一斉挿入

表4.3-2 炉心流量変化（1次冷却系循環ポンプ軸固着事故）

時 間 (sec)	流 量 比
0.00	1.00000
0.04	0.93950
0.08	0.89185
0.12	0.85360
0.16	0.82237
0.20	0.79644
0.40	0.70663
0.60	0.64473
0.80	0.59162
1.00	0.58710
1.40	0.56155
2.00	0.51368
3.00	0.44598
4.00	0.39189
5.00	0.34815
6.00	0.31268
7.00	0.28320
8.00	0.25819
9.00	0.23715
9.96	0.21963

表4.3-3 炉心入口温度変化（2次冷却系循環ポンプ軸固着事故）

時 間 (sec)	温 度 (℃)
0.0	370.00
6.0	370.01
12.0	369.97
18.0	370.01
24.0	371.50
30.0	376.36
36.0	384.92
42.0	395.34
48.0	405.09
54.0	412.63
60.0	417.70
66.0	420.78
72.0	422.49
78.0	423.23
81.0	423.31
84.0	423.21
90.0	422.50
100.0	419.72
110.0	415.10
120.0	409.24

表4.3-4 炉心入口温度变化 (主冷却器送风机轴固着事故)

時間 (sec)	温度 (℃)
0.0	370.00
10.0	370.04
20.0	370.04
30.0	371.22
40.0	371.30
50.0	371.28
70.0	372.54
80.0	375.56
100.0	388.42
110.0	396.15
120.0	402.88
130.0	407.84
140.0	410.88
150.0	412.22
155.0	412.39
160.0	412.29
170.0	411.50
180.0	410.16
190.0	408.54
200.0	406.93

表4. 3-5 炉心入口温度变化 (2次冷却材漏洩事故)

時 間 (sec)	温 度 (℃)
0.0	370.0
27.0	380.8
40.0	407.3
56.0	426.8
60.0	428.8
70.0	431.3
80.0	432.1
90.0	432.4
100.0	432.6
110.0	432.9
120.0	433.6
130.0	434.8
140.0	436.2
150.0	437.2
154.0	437.3
160.0	437.1
170.0	435.7
180.0	433.1
190.0	429.5
200.0	425.2

表4.3-6 「事故」解析結果のまとめ

事 象 名		炉心ホットチャンネル温度 (°C)			炉心平均チャンネル温度 (°C)		
		ペレット	被 覆 管	冷 却 材	ペレット	被 覆 管	冷 却 材
燃料スランピング事故	スクラム反応度 7.4% ΔK/K	2602/2500	676/650	659/635	1973/1871	568/550	555/538
	スクラム反応度 6.7% ΔK/K	2609/2500	677/650	661/635	1980/1871	569/550	556/538
1次冷却系 循環ポンプ軸固着事故	スクラム反応度 7.4% ΔK/K	2500/2500	804/650	795/635	1871/1871	648/550	640/538
	スクラム反応度 6.7% ΔK/K	2500/2500	805/650	796/635	1871/1871	649/550	641/538
2次冷却系 循環ポンプ軸固着事故	スクラム反応度 7.4% ΔK/K	2500/2500	650/650	635/635	1871/1871	550/550	538/538
	スクラム反応度 6.7% ΔK/K	2500/2500	650/650	635/635	1871/1871	550/550	538/538
主冷却器 送風機軸固着事故	スクラム反応度 7.4% ΔK/K	2500/2500	653/650	638/635	1871/1871	553/550	541/538
	スクラム反応度 6.7% ΔK/K	2500/2500	653/650	638/635	1871/1871	553/550	541/538
2次冷却材漏洩事故	スクラム反応度 7.4% ΔK/K	2500/2500	681/650	668/635	1871/1871	589/550	579/538
	スクラム反応度 6.7% ΔK/K	2500/2500	681/650	668/635	1871/1871	589/550	579/538

最高温度 / 初期温度

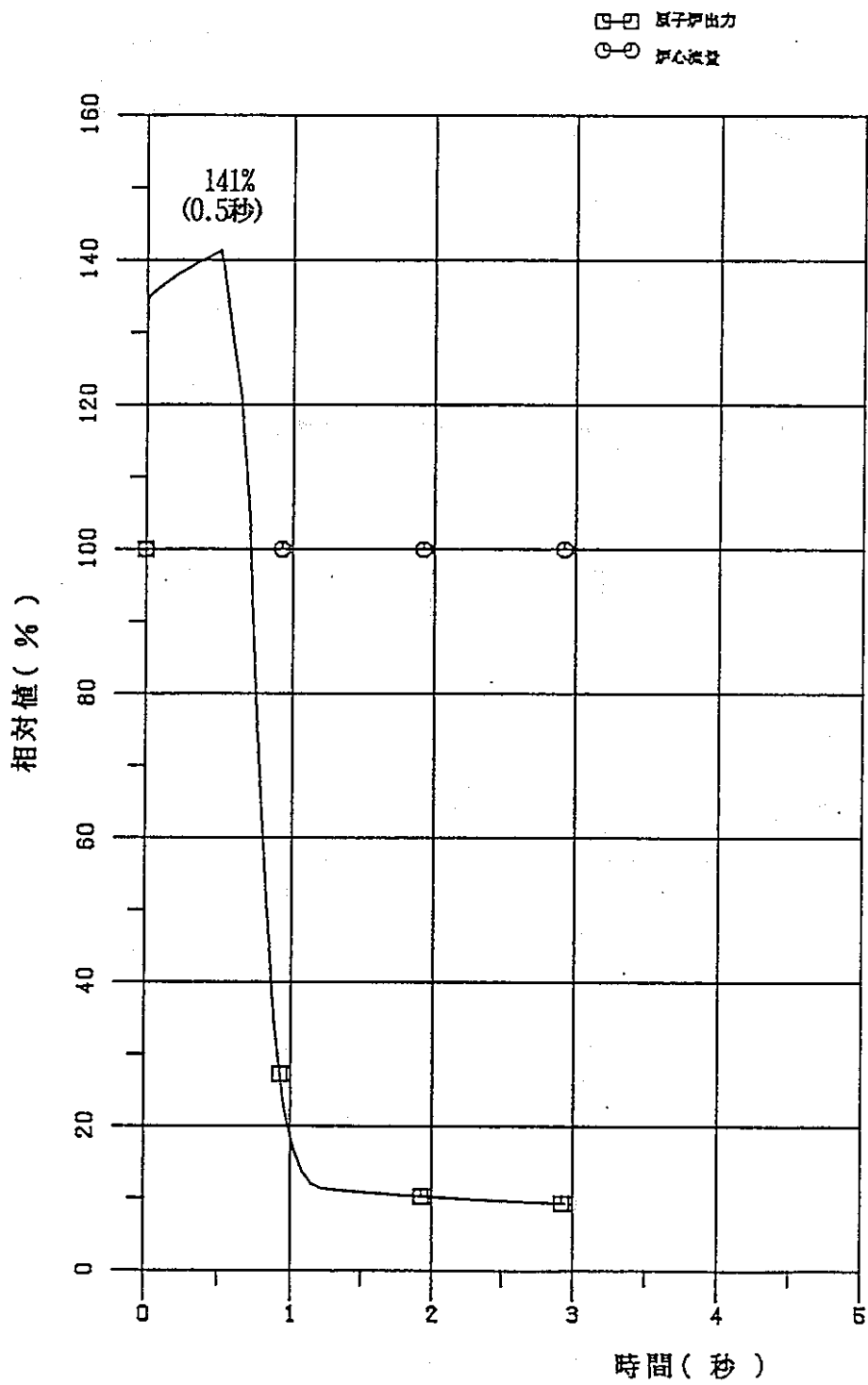


図4.3-1 燃料スランピング事故 (移設後、スクラム価値6.7% $\Delta K/K$)

—原子炉出力及び炉心流量—

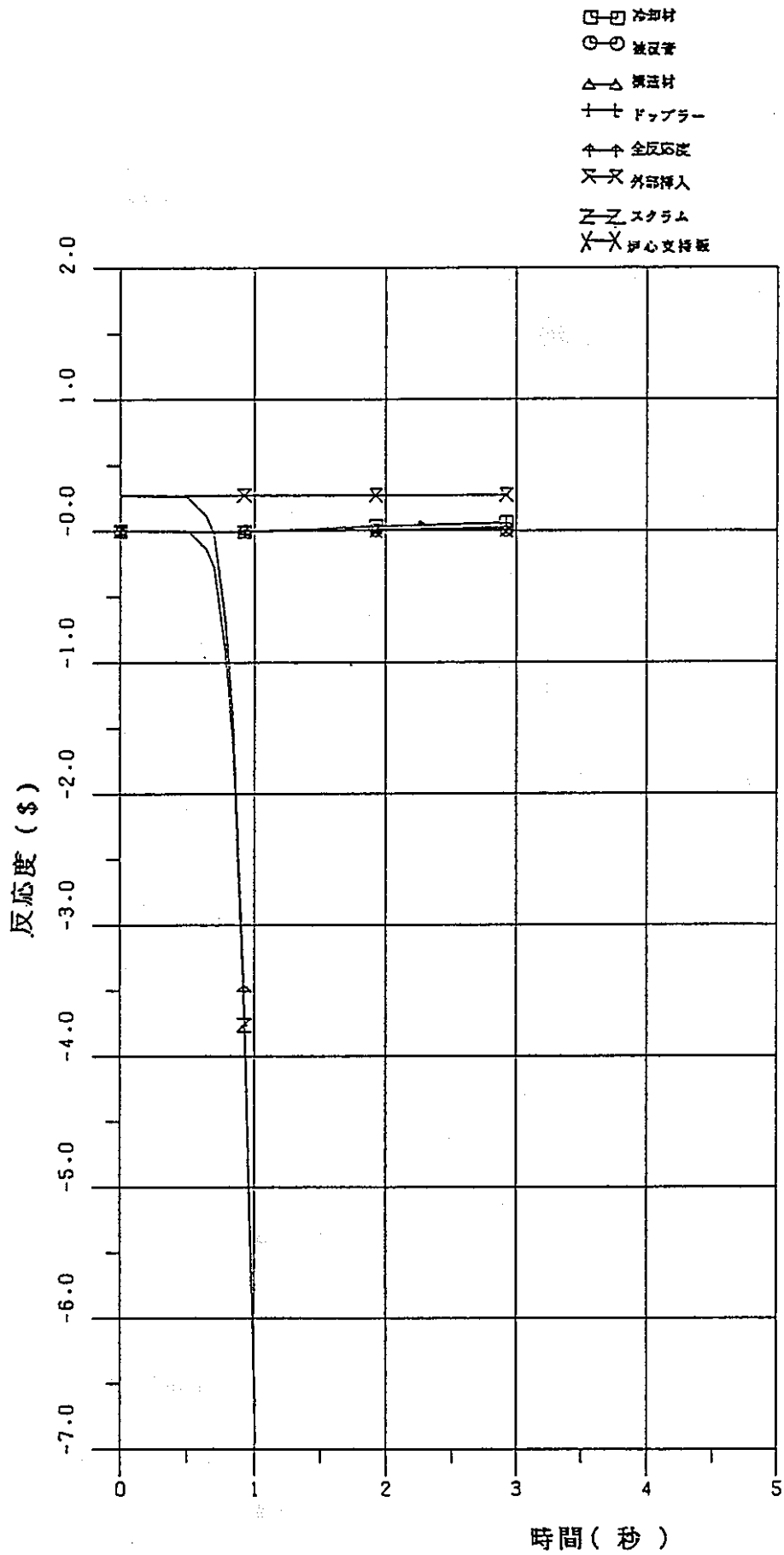


図4.3-2 燃料スランピング事故 (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)

-反応度-

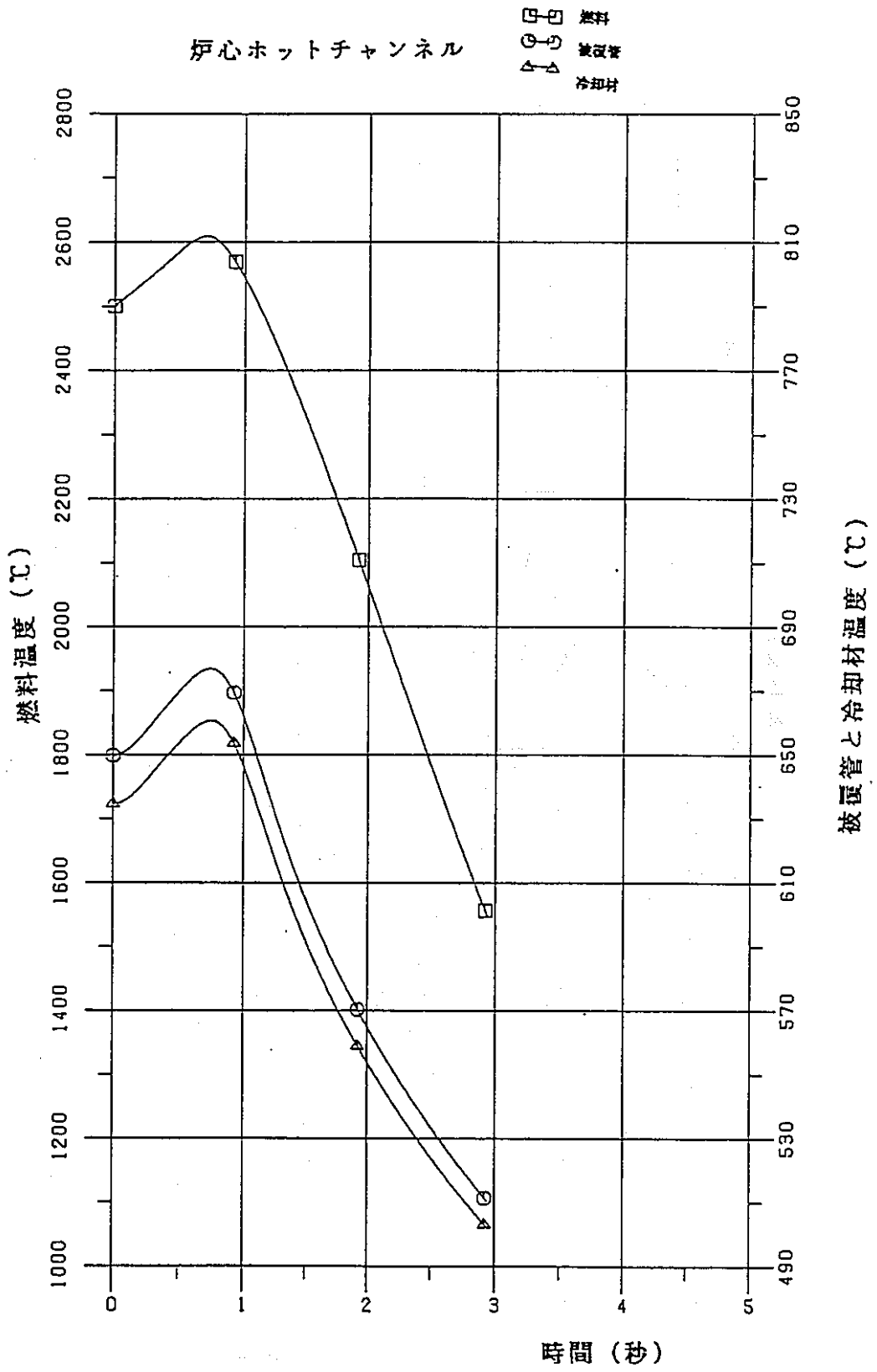


図4.3-3 燃料スランピング事故 (移設後、スクラム価値6.7% $\Delta K/K$)

—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

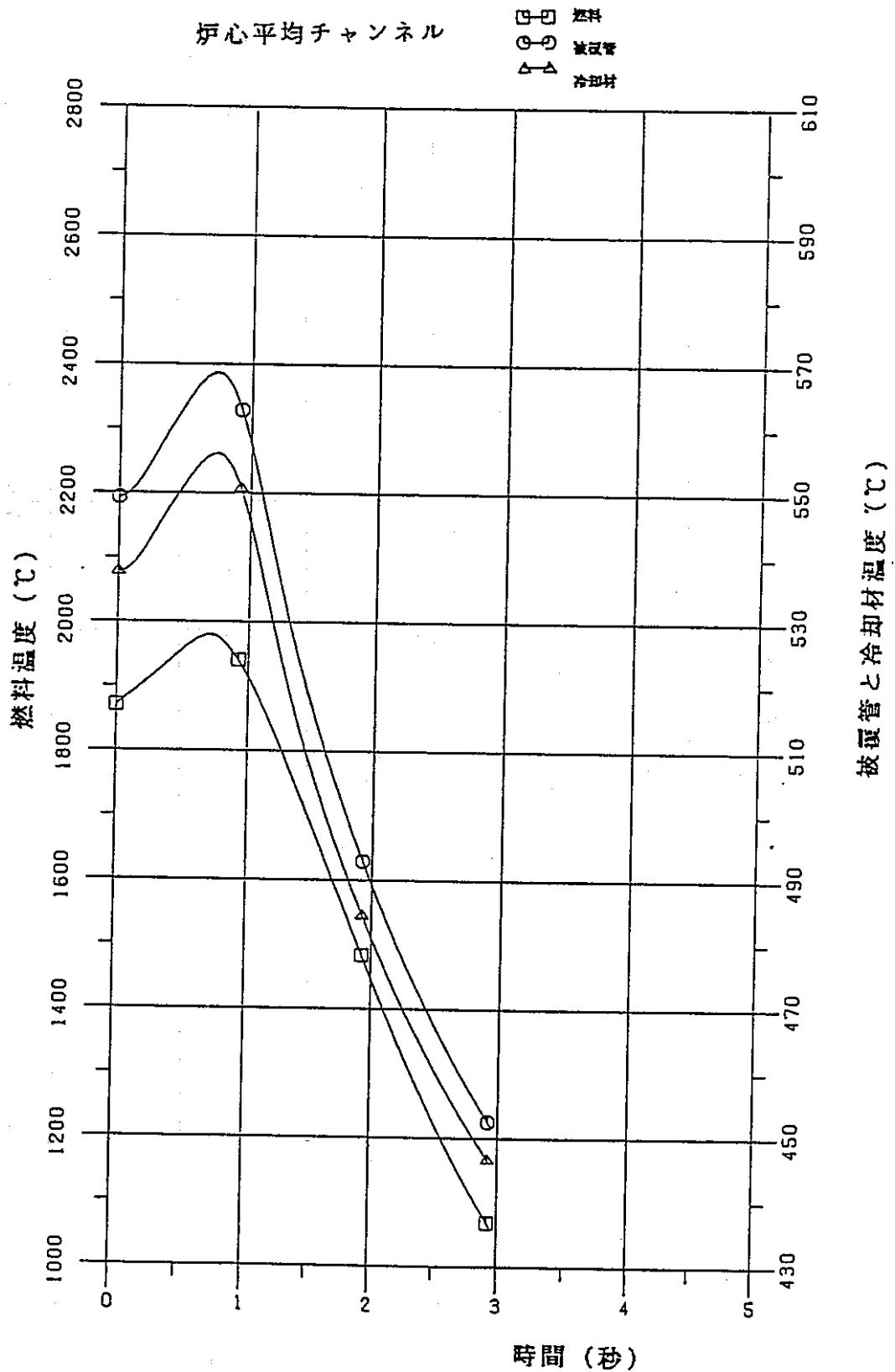


図4.3-4 燃料スランピング事故 (移設後、スクラム値6.7% $\Delta K/K$)

—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

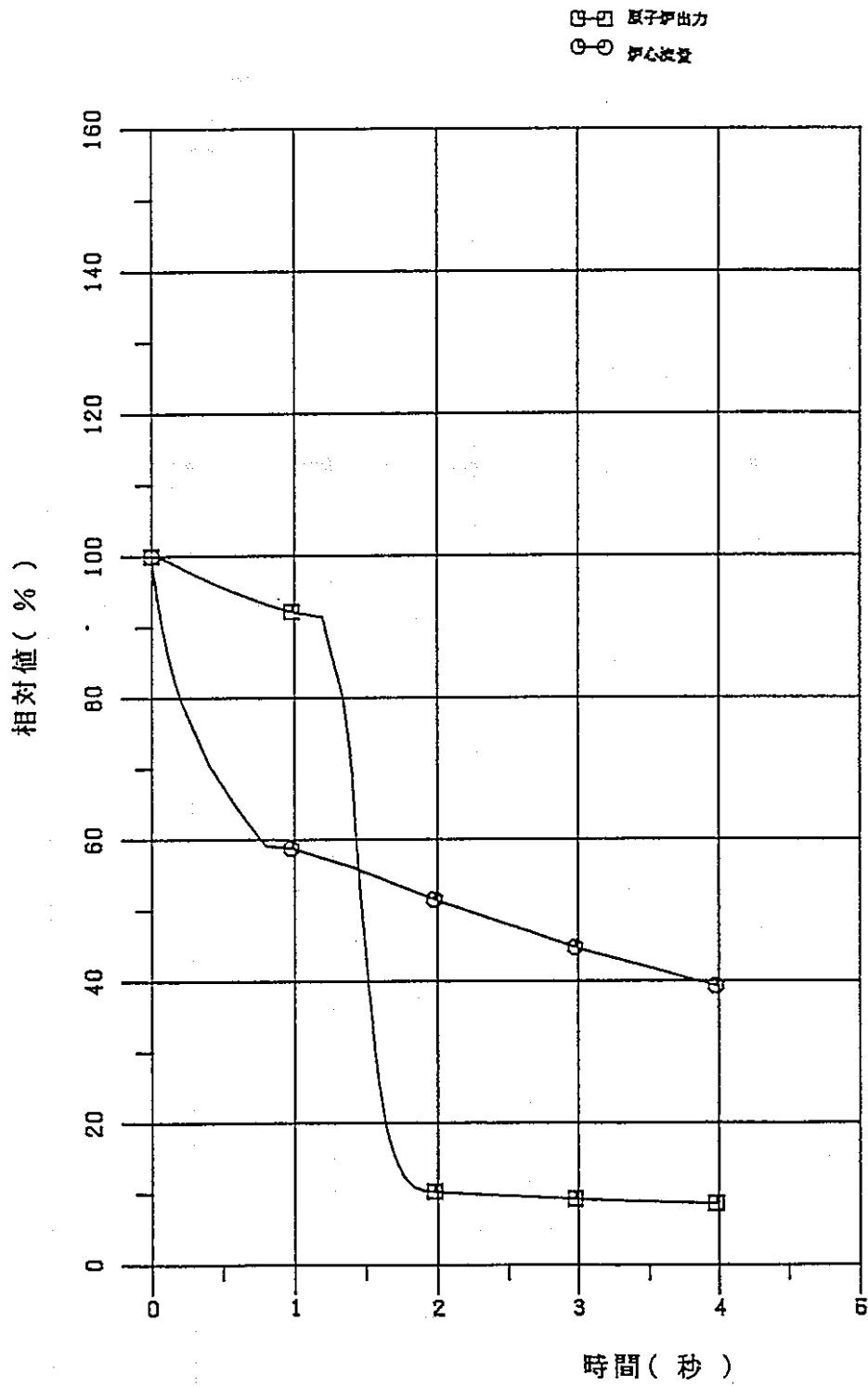


図4.3-5 1次冷却系循環ポンプ軸固着事故 (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)

—原子炉出力及び炉心流量—

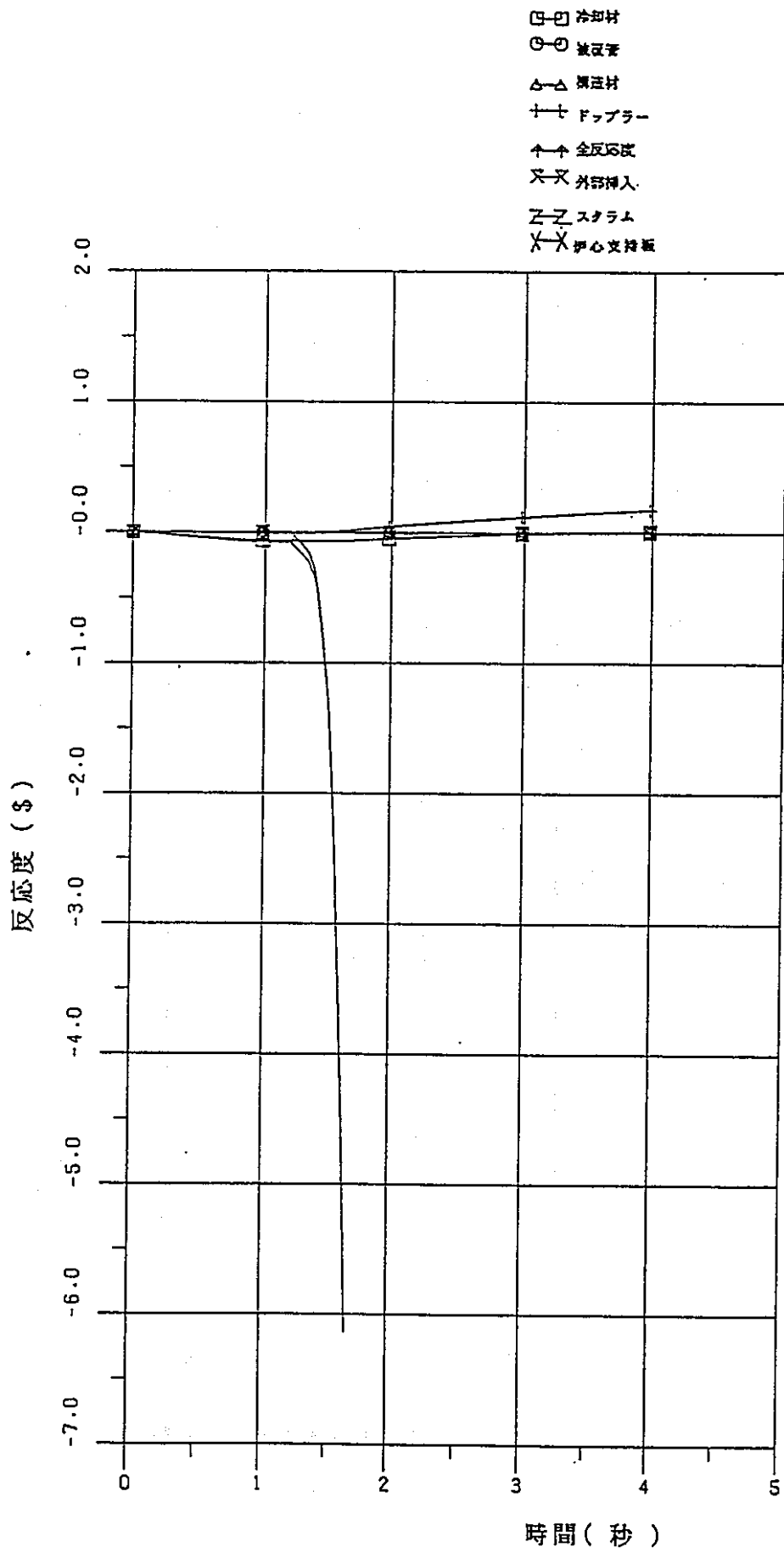


図4.3-6 1次冷却系循環ポンプ軸固着事故 (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)

- 反応度 -

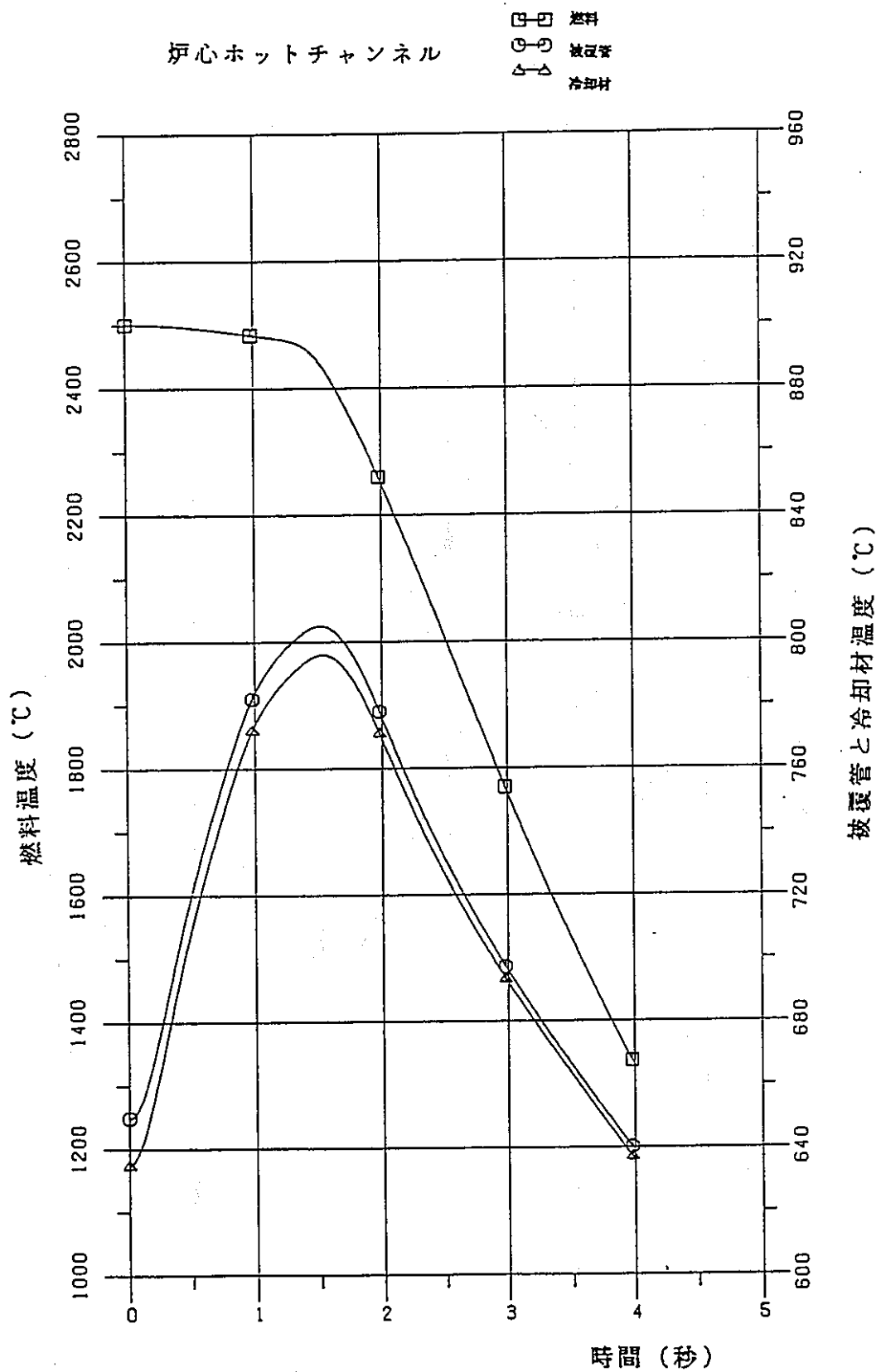


図4.3-7 1次冷却系循環ポンプ軸固着事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）

—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

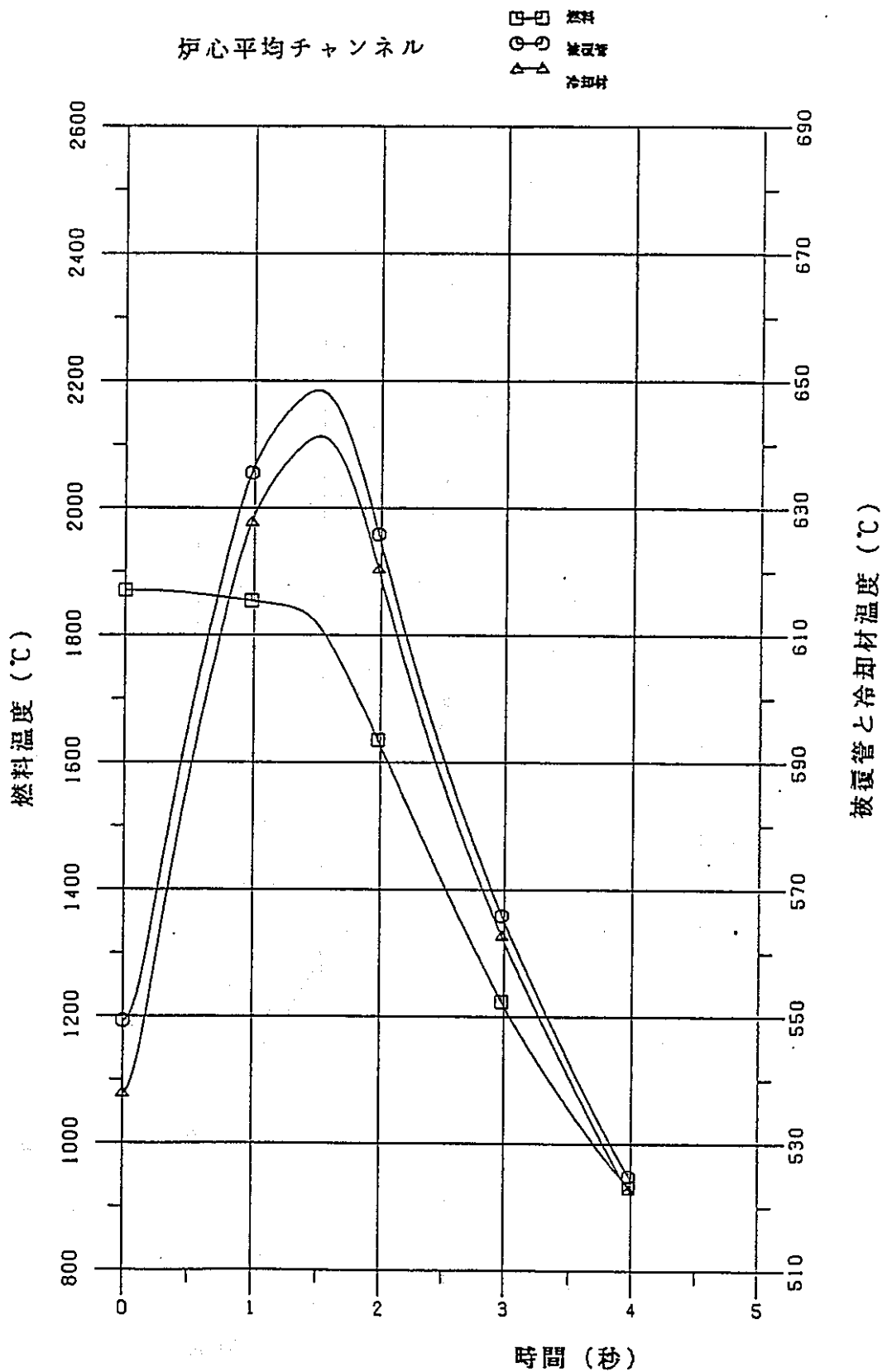


図4.3-8 1次冷却系循環ポンプ軸固着事故 (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)

—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

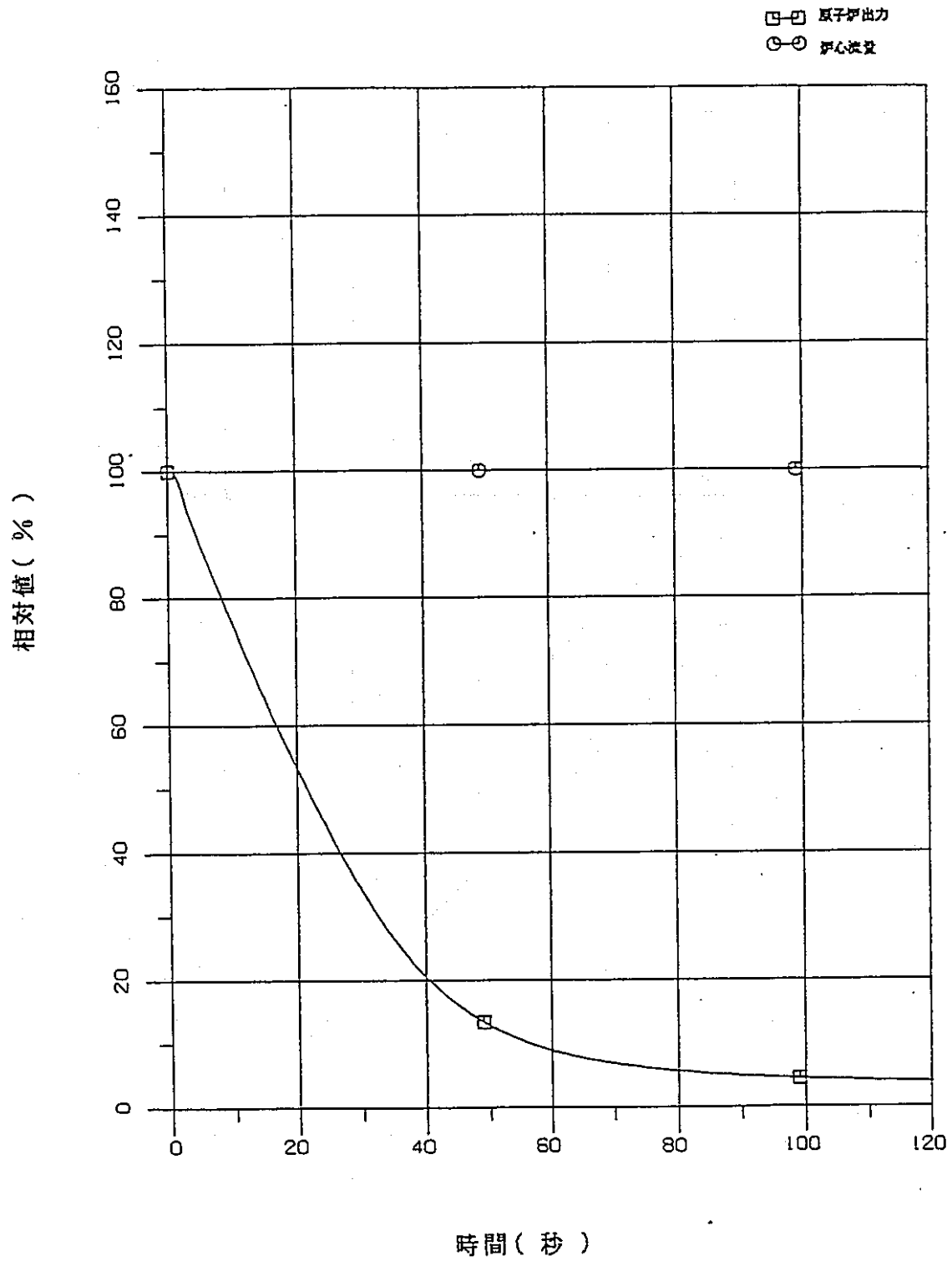


図4.3-9 2次冷却系循環ポンプ軸固着事故 (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)

—原子炉出力及び炉心流量—

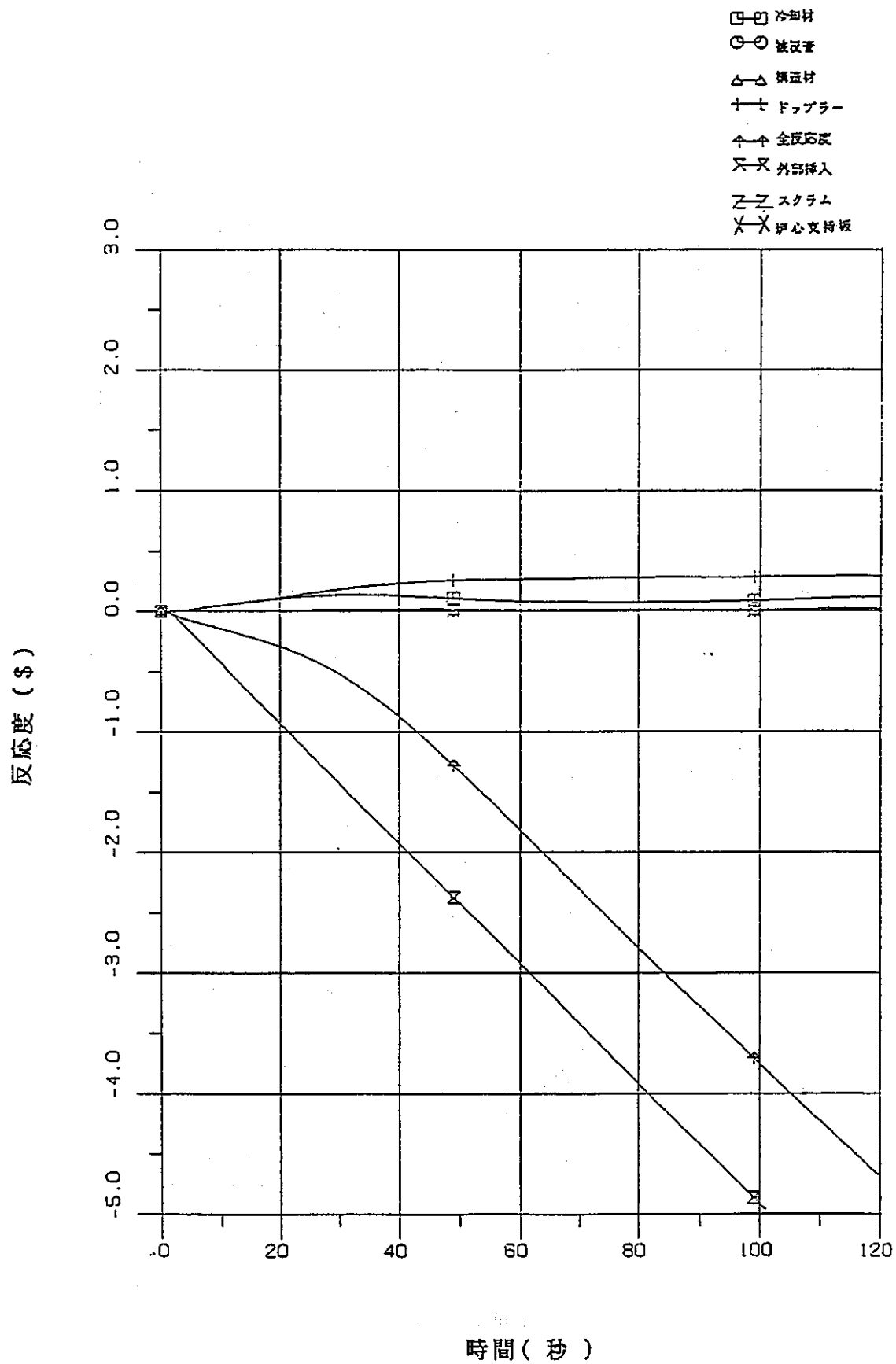


図4.3-10 2次冷却系循環ポンプ軸固着事故 (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)

-反応度-

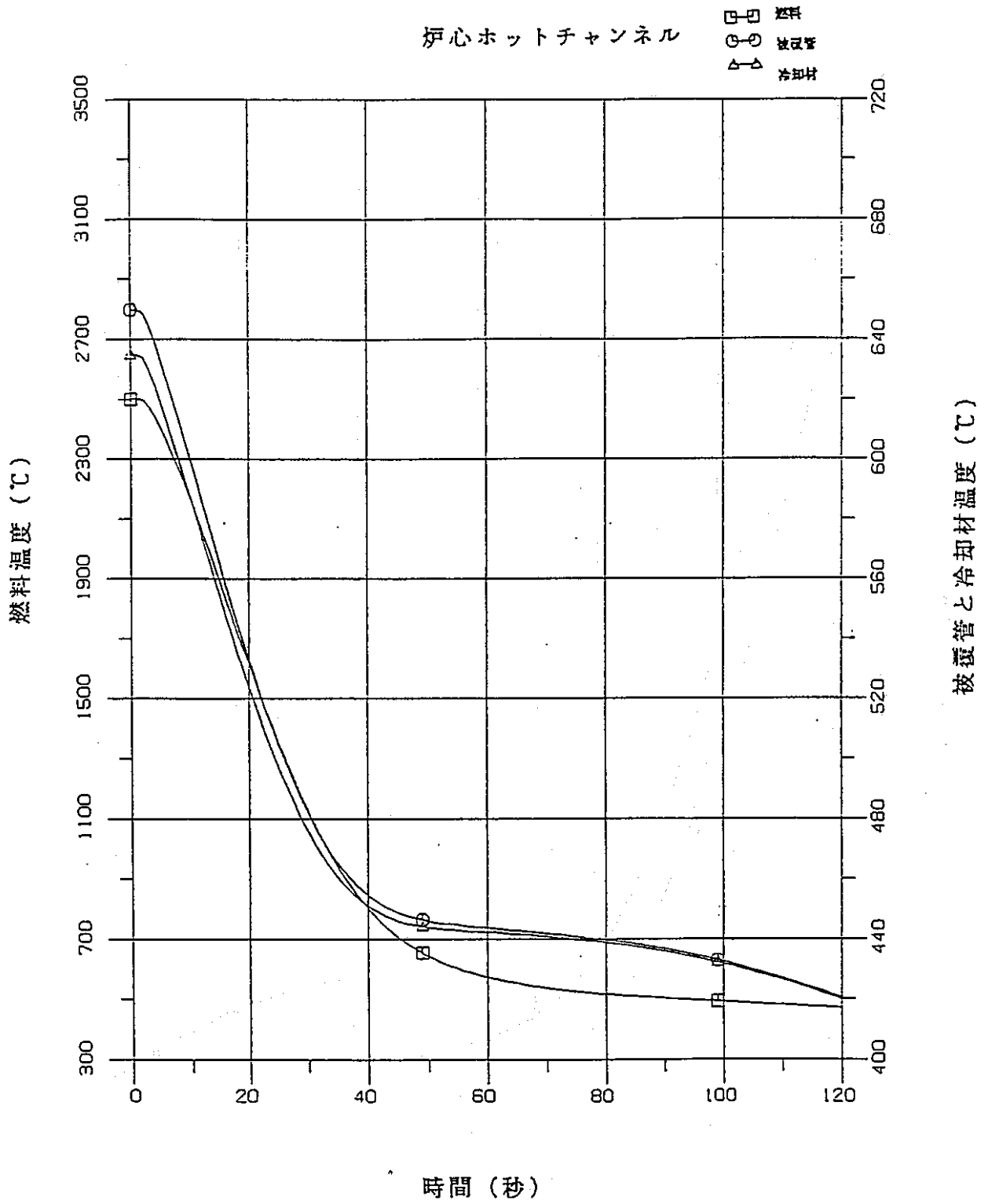


図4.3-11 2次冷却系循環ポンプ軸固着事故 (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)

—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

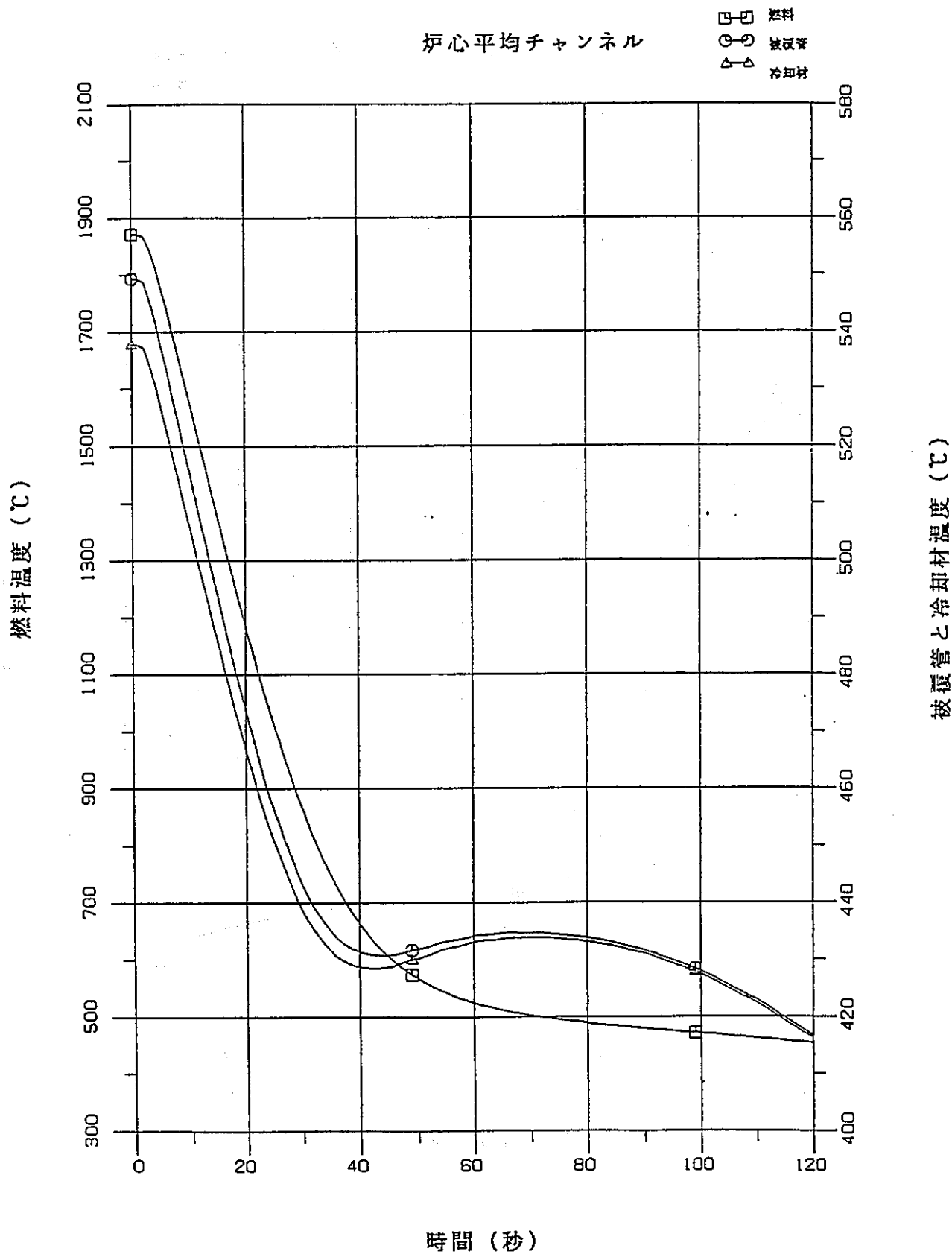


図4.3-12 2次冷却系循環ポンプ軸固着事故 (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)
 -炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-

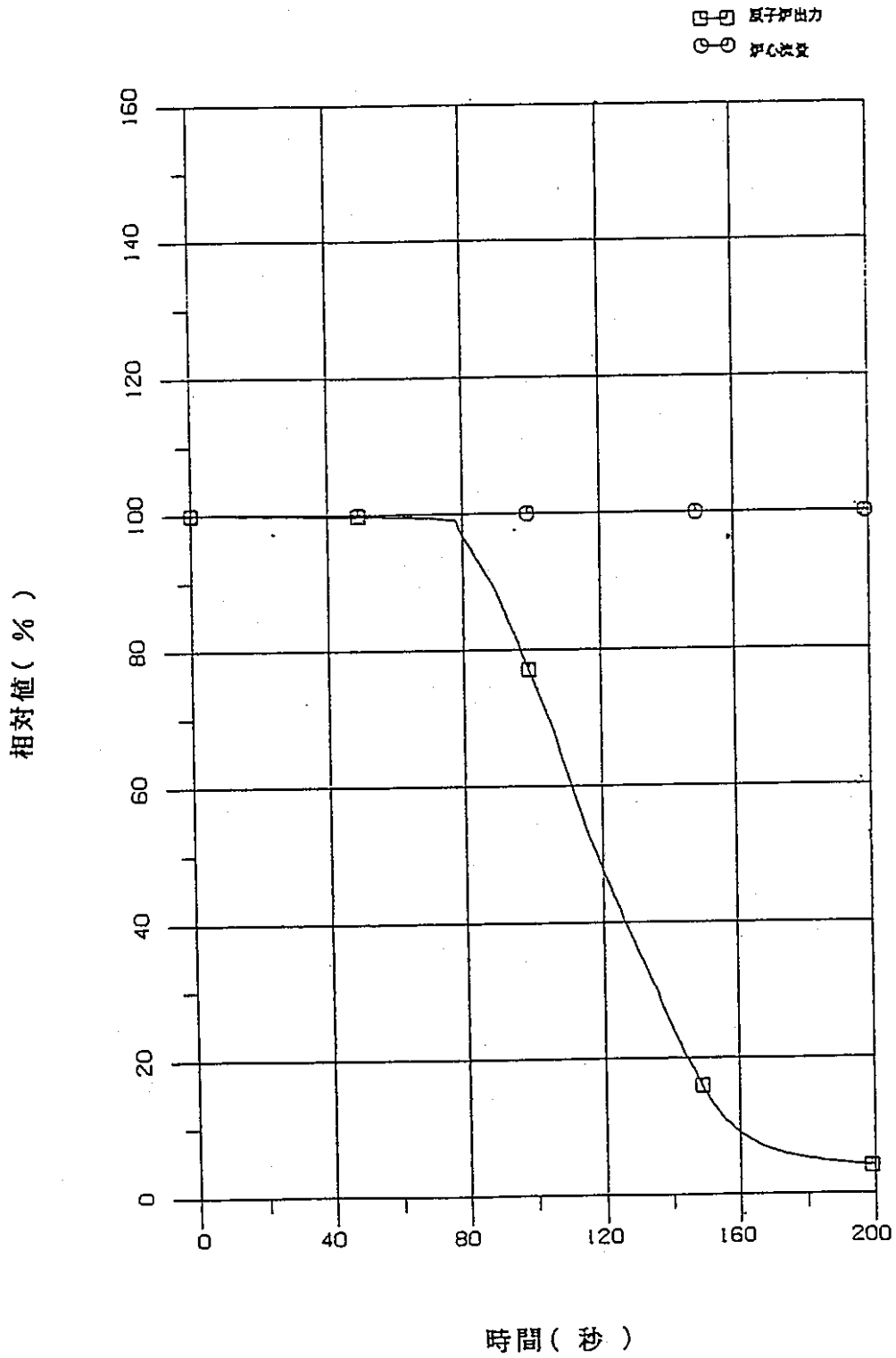


図4.3-13 主冷却器送風機軸固着事故 (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)
—原子炉出力及び炉心流量—

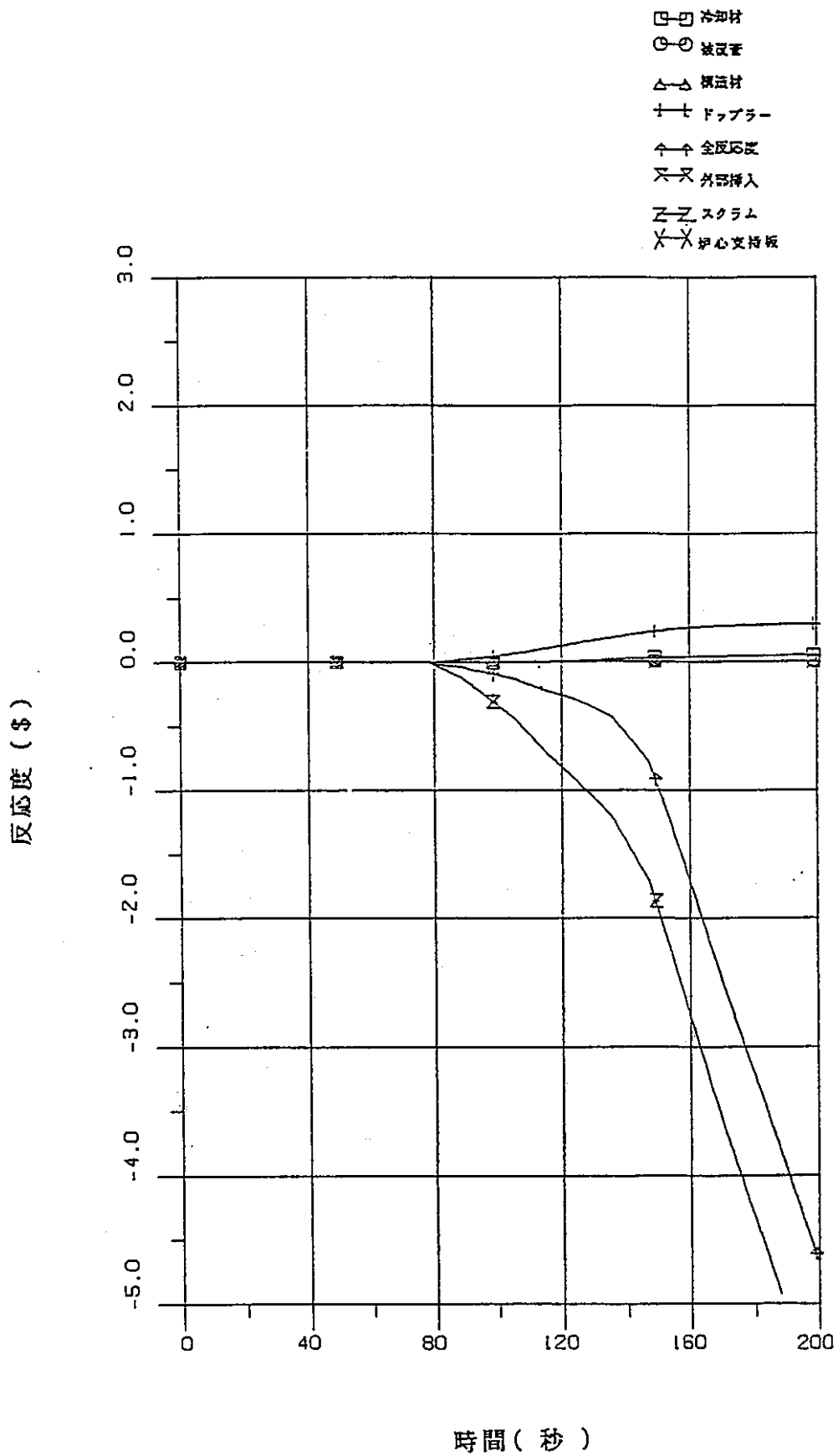


図4.3-14 主冷却器送風機軸固着事故 (移設後、スクラム価値6.7% $\Delta K/K$)

- 反応度 -

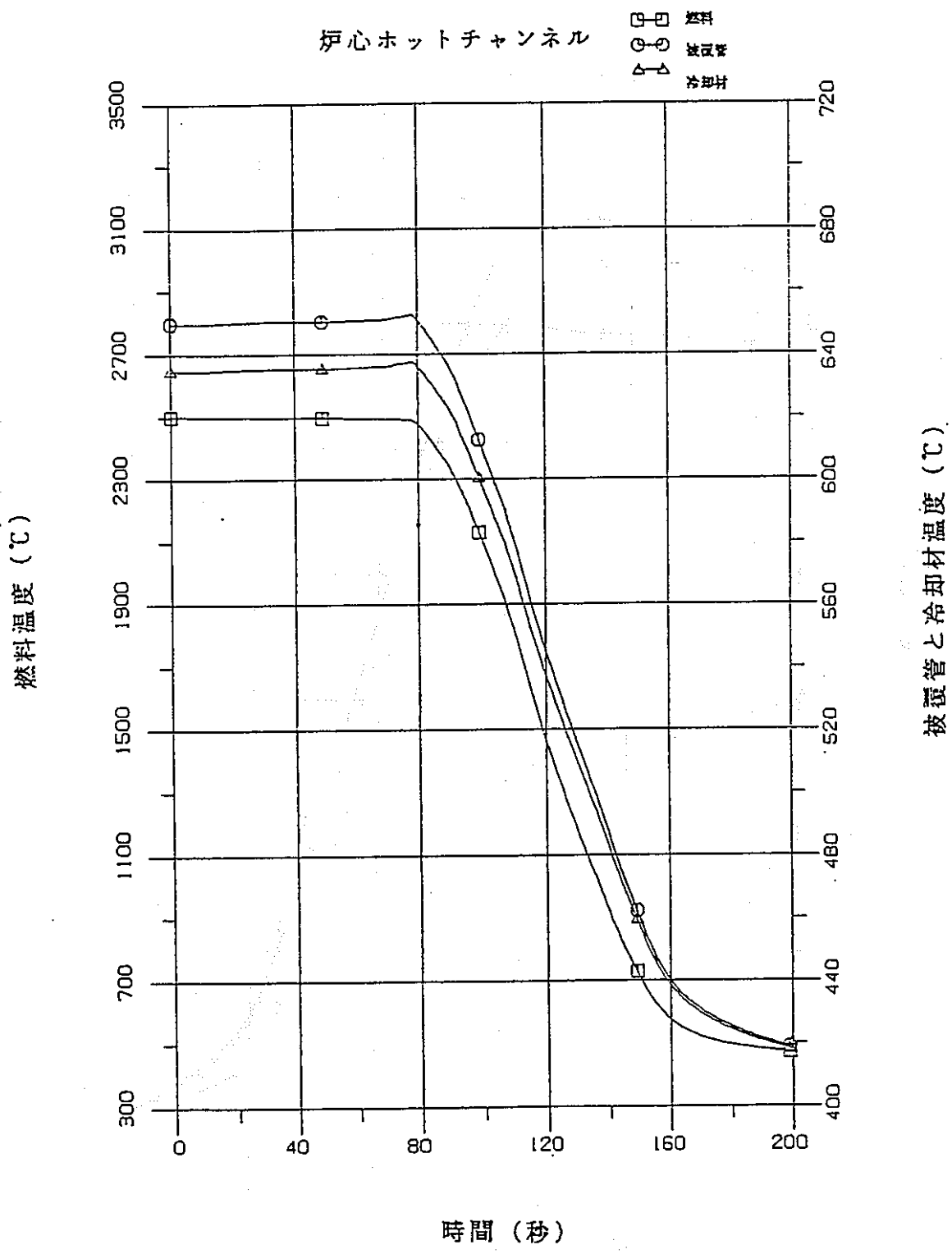


図4.3-15 主冷却器送風機軸固着事故（移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K）

—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

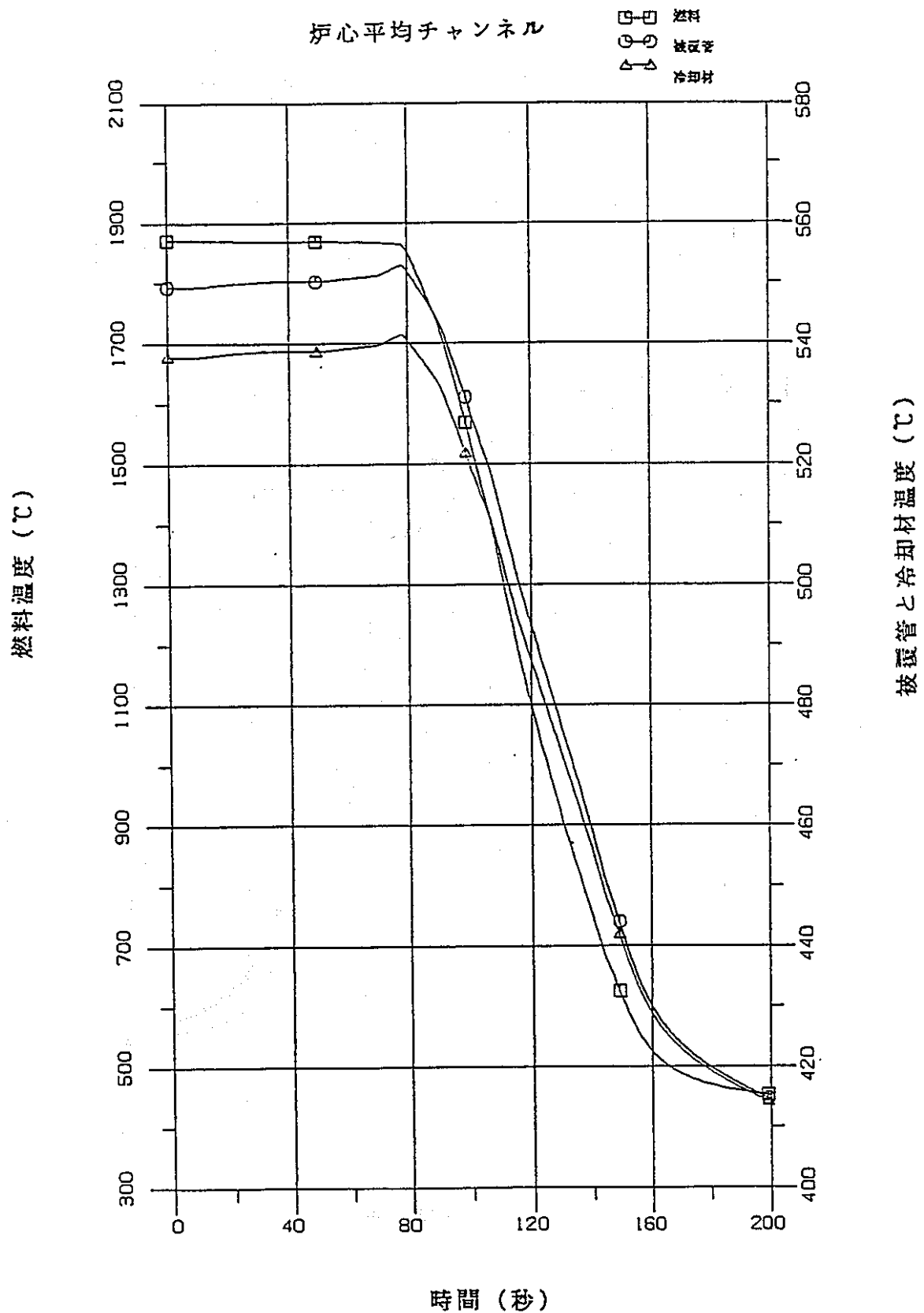


図4.3-16 主冷却器送風機軸固着事故 (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)

—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

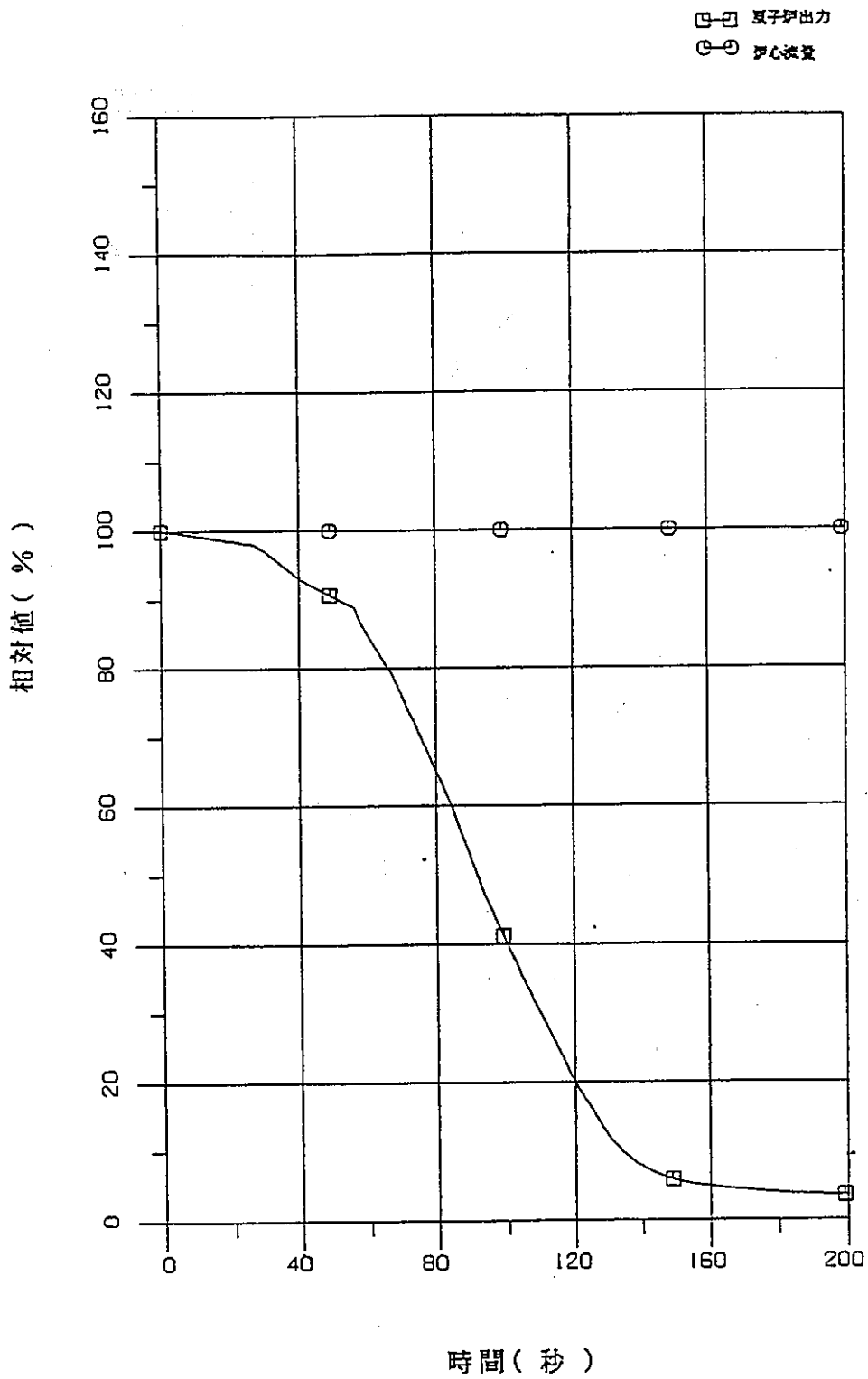


図4.3-17 2次冷却材漏洩事故 (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)

—原子炉出力及び炉心流量—

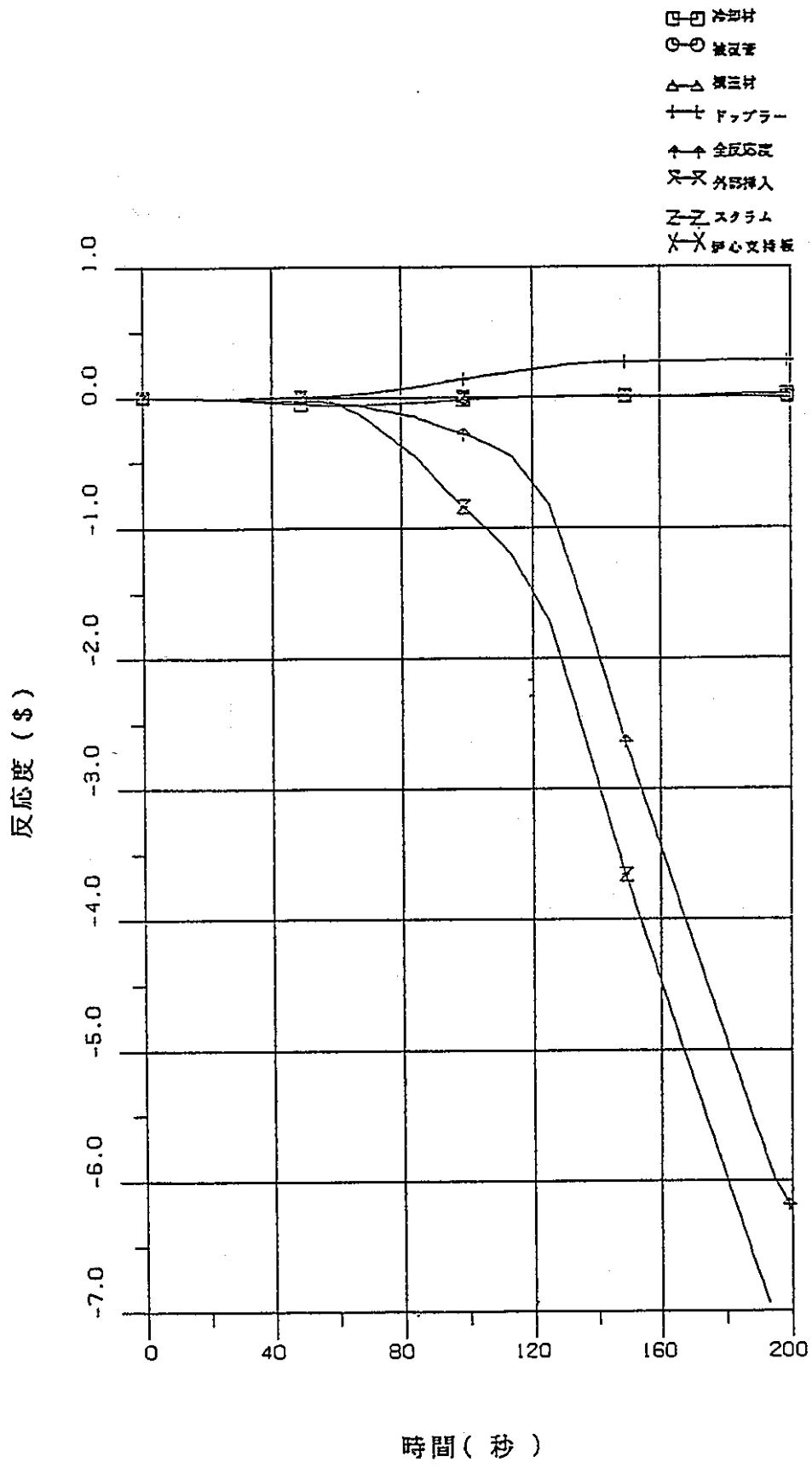


図4.3-18 2次冷却材漏洩事故 (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)

- 反応度 -

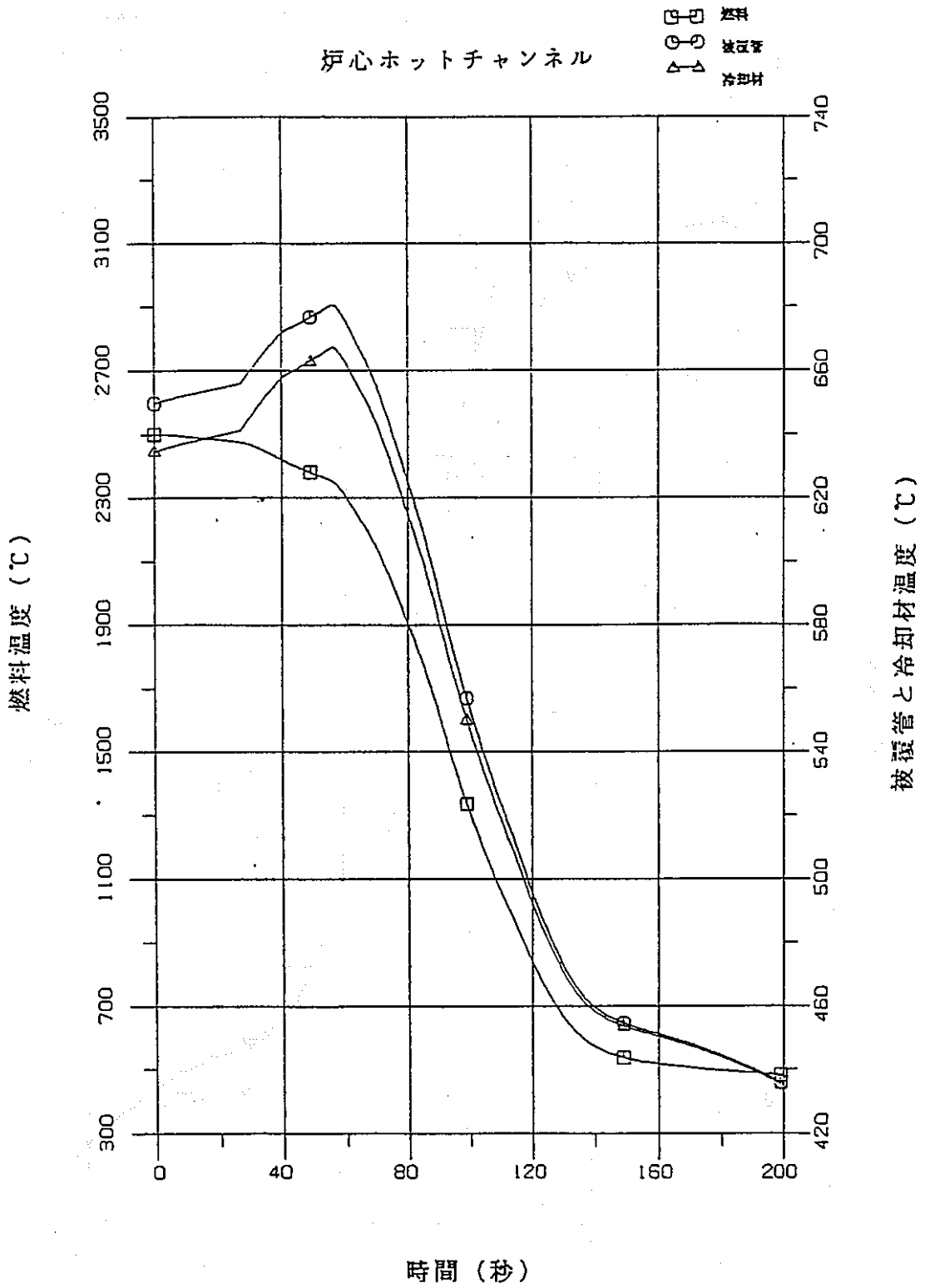


図4.3-19 2次冷却材漏洩事故 (移設後、スクラム値6.7%ΔK/K)

—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

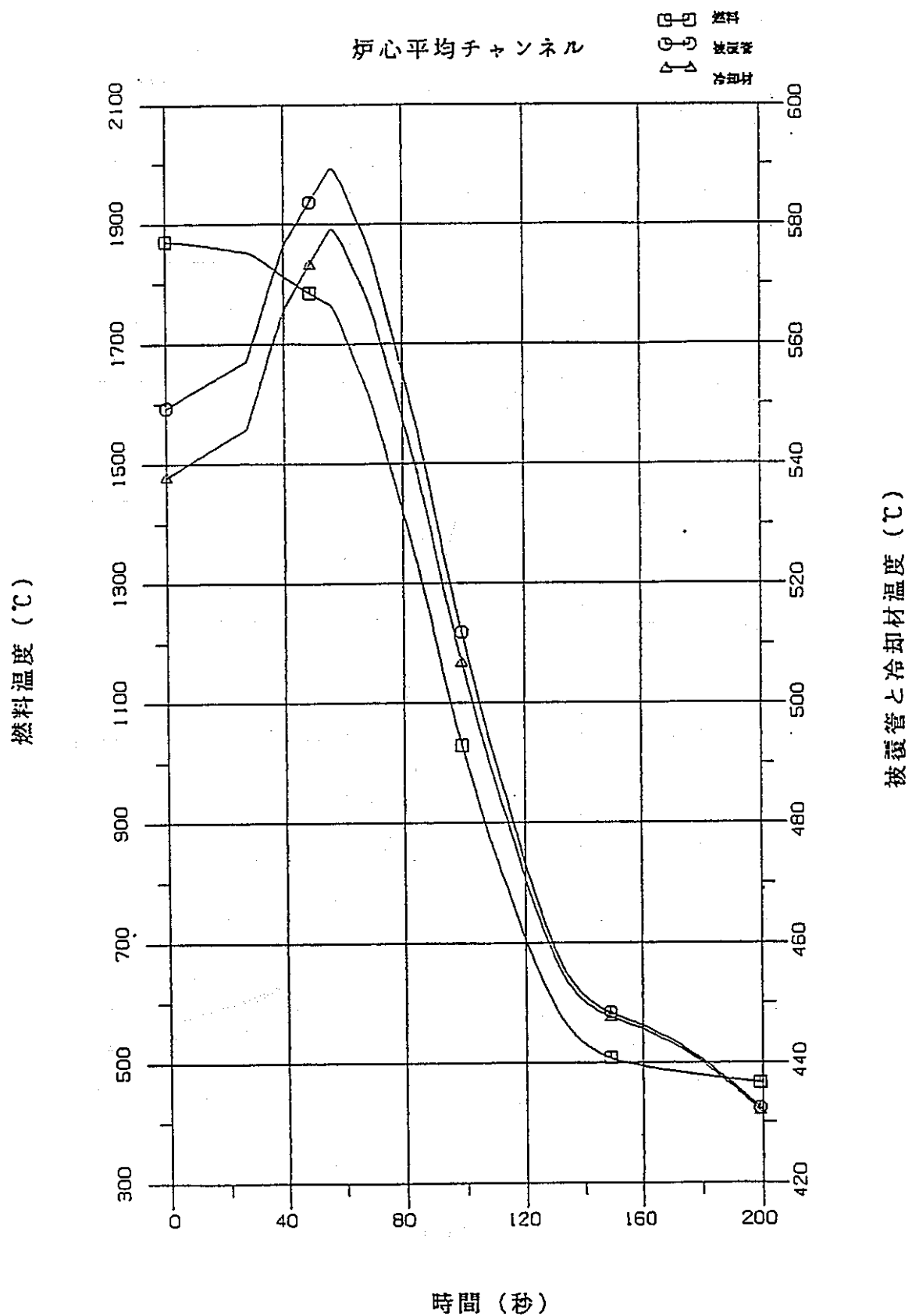


図4.3-20 2次冷却材漏洩事故 (移設後、スクラム価値6.7%ΔK/K)
 -炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度-

5. 結論

5.1 制御棒の移設に伴う「制御棒の引き抜き」事象での反応度付加率の増加の影響

反応度付加率が $3.6\phi/s$ から $5.0\phi/s$ に増加することにより、ピーク出力も増加する。その増加量はスクラム開始時点における炉心全体の正の反応度の大きさに依存する（すなわち、炉出力の上昇速度が大きいほど、ピーク出力は大きくなる）。「未臨界状態からの制御棒の異常な引き抜き」事象では、ピーク出力は 310MW から 436MW へと増加し、「出力運転中の制御棒の異常な引き抜き」事象では、ピーク出力が 109MW から 111MW へと若干増加する。

一方、燃料温度に関しては、ピーク出力の変化と各部の最高温度は、比例関係にはならない。よって「未臨界状態からの制御棒の異常な引き抜き」事象では、ピーク出力の増加に伴い、炉心ホットチャンネルの燃料最高温度は 320°C 上昇するが、「出力運転中の制御棒の異常な引き抜き」事象では、事象進展速度が速まることにより、全体のエネルギーが減少し、最高温度は逆に低下することになる。反応度付加率と、各部最高温度の変化について、表 5.1-1 にまとめる。

5.2 制御棒の移設に伴うスクラム反応度値の減少の影響

制御棒移設によるスクラム反応度値の減少は、主に燃料温度に影響を与え、被覆管冷却材温度には、さほど影響を与えない。この観点から今回解析を行ったケースを、以下の 3 種類に分類する。

- ・ TOP 型事象
- ・ LOF 型事象
- ・ LOHS 型事象

(1) TOP 型事象

事象 未臨界状態からの制御棒の異常な引き抜き
出力運転中の制御棒の異常な引き抜き
1 次冷却材流量増大
2 次冷却材流量増大
主冷却器空気流量増大
燃料スランピング事故

本分類に入る事象のうち、「未臨界状態からの制御棒の異常な引き抜き」、「出力運転中の制御棒の異常な引き抜き」、「燃料スランピング」事象は、スクラム時における炉心出力上昇速度が以下に示すLOF、LOHS型事象に比べて大きい為、その最高温度にスクラム反応度値の差が出やすい事象である。その影響は、スクラムした時点での炉心全体の正の反応度が大きいほど、大きい。「未臨界状態からの制御棒の異常な引き抜き」事象ではスクラム時の炉心の反応度は0.92%であり、炉心ホットチャンネルのペレット最高温度は、スクラム反応度値が7.4%ΔK/Kから6.7%Δ/K/Kに減少した事により、約16°C上昇した。スクラム時の炉心の反応度と、各部最高温度の変化について表5.2-1にまとめる。

(2) LOF型事象

事象 1次冷却材流量減少

外部電源喪失

1次冷却系循環ポンプ軸固着事故

これらの事象では、ペレット温度は初期温度から減少するのみであるので、スクラム反応度値の差は、スクラム反応度挿入初期の温度減少速度に若干影響を与えるのみである。被覆管、冷却材最高温度は、スクラム反応度値が7.4%ΔK/Kから6.7%Δ/K/Kに減少した事により、上昇したが、その上昇温度は1～2°Cにとどまっている。

(3) LOHS型事象

事象 2次冷却材流量減少

主冷却器空気流量減少

2次冷却系循環ポンプ軸固着事故

主冷却器送風機軸固着事故

2次冷却材漏洩事故

各事象での最高温度に、スクラム反応度値の差が殆ど現れない事象である。スクラム反応度値が7.4%ΔK/Kから6.7%Δ/K/Kに減少した事により変化する温度もみな1°C未満である。

5.3 まとめ

以上より、制御棒移設後の炉心各部の最高温度は安全上の制限条件を満足していることがいえる。

表5.1-1 反応度付加率の増加(3.6 ϕ /s \rightarrow 5.0 ϕ /s)による各部最高温度の変化

事象名	炉心ホットチャンネル：最高温度の上昇			炉心平均チャンネル：最高温度の上昇		
	ペレット	被覆管肉厚中心	冷却材	ペレット	被覆管肉厚中心	冷却材
未臨界状態からの制御棒の異常な引き抜き	320℃	47℃	44℃	262℃	32℃	30℃
出力運転中の制御棒の異常な引き抜き	-4℃	-1℃	0℃	-4℃	-1℃	-1℃

表5.2-1 スクラム値の減少(7.4% ΔK/K →6.7%ΔK/K)による各部最高温度の上昇

事象名	スクラム時の 炉心全体の 反応度 (\$)	炉心ホットチャンネル：最高温度の上昇			炉心平均チャンネル：最高温度の上昇		
		ペレット	被覆管肉厚中心	冷却材	ペレット	被覆管肉厚中心	冷却材
未臨界状態からの制御棒の異常な引き抜き	0.92	16℃	2℃	2℃	14℃	1℃	1℃
燃料スランピング事故	0.20	7℃	1℃	2℃	7℃	1℃	2℃
出力運転中の制御棒の異常な引き抜き	0.066	0℃	0℃	0℃	1℃	0℃	0℃
2次冷却材流量増大	0.0077	0℃	0℃	0℃	0℃	0℃	0℃
1次冷却材流量増大	0.0064	0℃	0℃	0℃	0℃	0℃	0℃
主冷却器空気流量増大	0.0032	0℃	0℃	0℃	0℃	0℃	0℃

6. 謝辞

本研究の実施にあたって、動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター実験炉部の山下芳興課長、小林孝良副主研並びに青山卓史氏には数々の御指導並びに御助言をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

7. 参考文献

2-1 PNC SJ9214 90-001 「『常陽』制御棒移設炉心の炉心特性計算」

三菱原子力工業（株）、1990/3

2-2 技-1-357 技術課メモ「制御棒移設後炉心の安全解析用データの支給」

動力炉・核燃料開発事業団、1990/3

2-3 本解析条件はPNC担当よりの指示（FAX連絡）に従った。

3-1 技-1-357 技術課メモ「制御棒移設後炉心の安全解析用データの支給」

動力炉・核燃料開発事業団、1990/3

添付資料A 「未臨界状態からの制御棒の異常な引き抜き」事象におけるドップラー定数の効果について

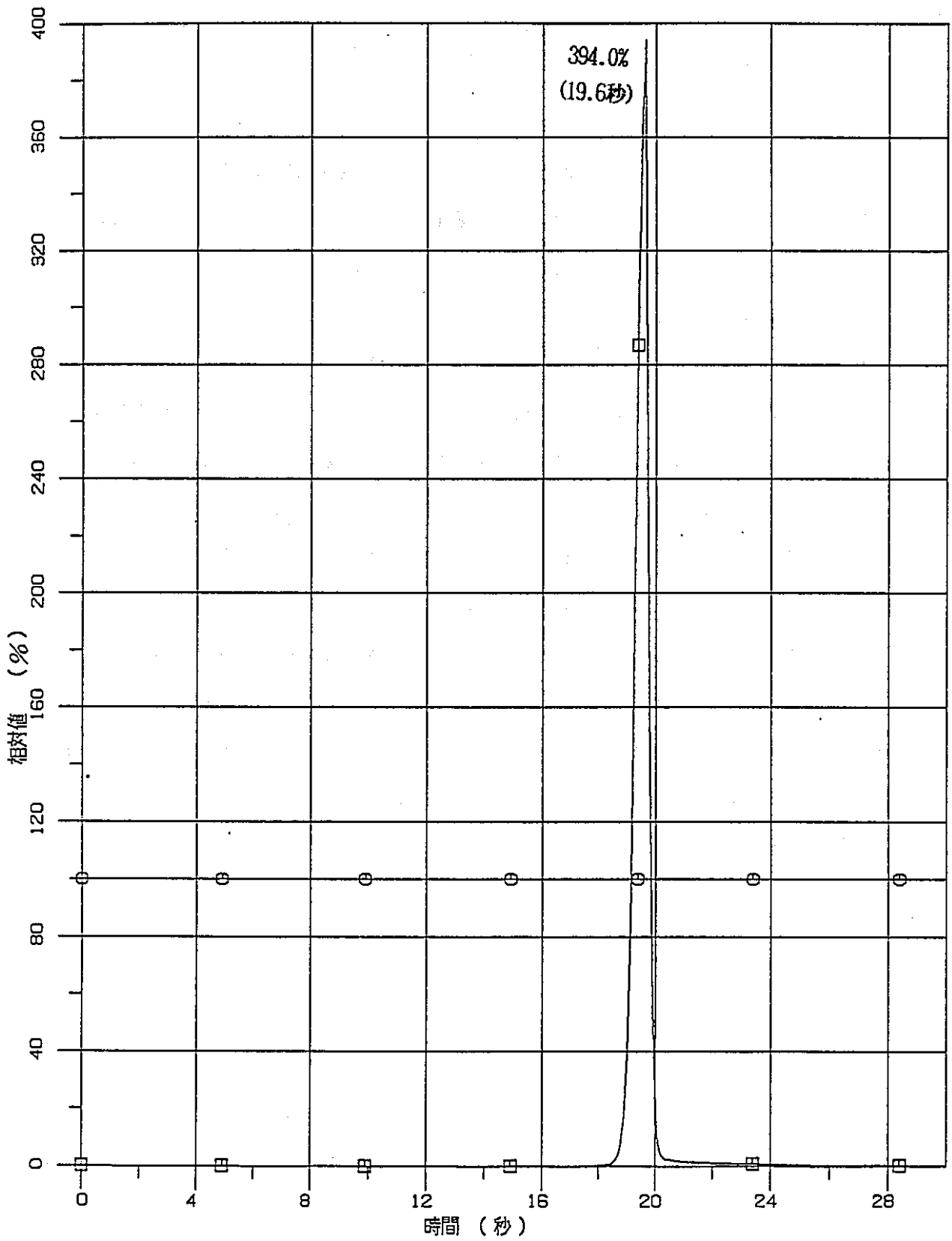
本文のケース1-1で、ドップラー定数を現在の使用値 $-0.30E-3Tdk/dt$ から、 $-0.37E-3Tdk/dt$ へ変化させたケースについても解析を行った。図A-1に原子炉出力及び炉心流量、図A-2に反応度、図A-3、図A-4に炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

原子炉出力（中性子束）は約19秒後にスクラム設定点（107%）に達し、その最高（ピーク出力）は、約394MWに達する。その後、原子炉出力は原子炉スクラムにより急激に低下する。事象が収束するまでの放出エネルギー量は、約228MWsである。

ここで、ドップラー定数を $-3.0E-3Tdk/dt$ としたケースとの比較を行う。表A-1にピーク出力、スクラム設定点到達時刻、その他炉心ホットチャンネル、炉心平均チャンネルの、ペレット、被覆管肉厚中心、冷却材の最高温度をそれぞれ示す。

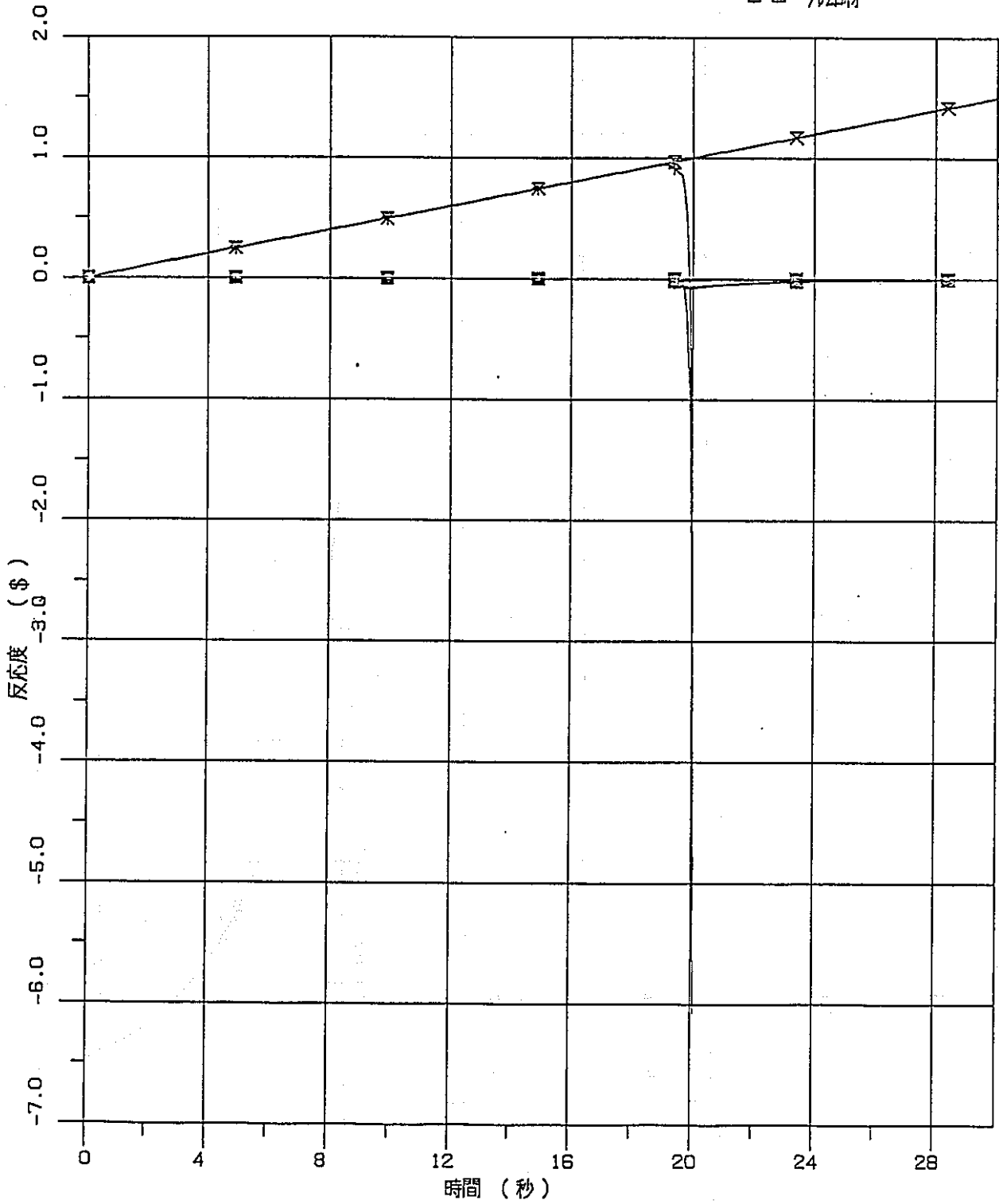
ドップラー定数の減少により、スクラム設定点到達時刻は0.01秒遅くなる。スクラム時の炉心の正の反応度が若干小さくなるために、ピーク出力は436MWから394MWに減少し、温度も炉心ホットチャンネルのペレット最高温度で96℃、被覆管肉厚中心最高温度で15℃、冷却材最高温度で14℃の減少となり、炉心平均チャンネルでも、それぞれ82℃、10℃、10℃の減少として表れている。

○-○ 炉心流量
□-□ 原子炉出力



図A-1 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き
—原子炉出力及び炉心流量—

- | | | | |
|-----|------|-----|-------|
| Σ-Σ | スクラム | ×× | 炉心支持板 |
| ×× | 外部挿入 | ++ | ドブラー |
| ↑↑ | 全反応度 | △△ | 構造材 |
| ◇◇ | ポイド | ○-○ | 被覆管 |
| | | □-□ | 冷却材 |

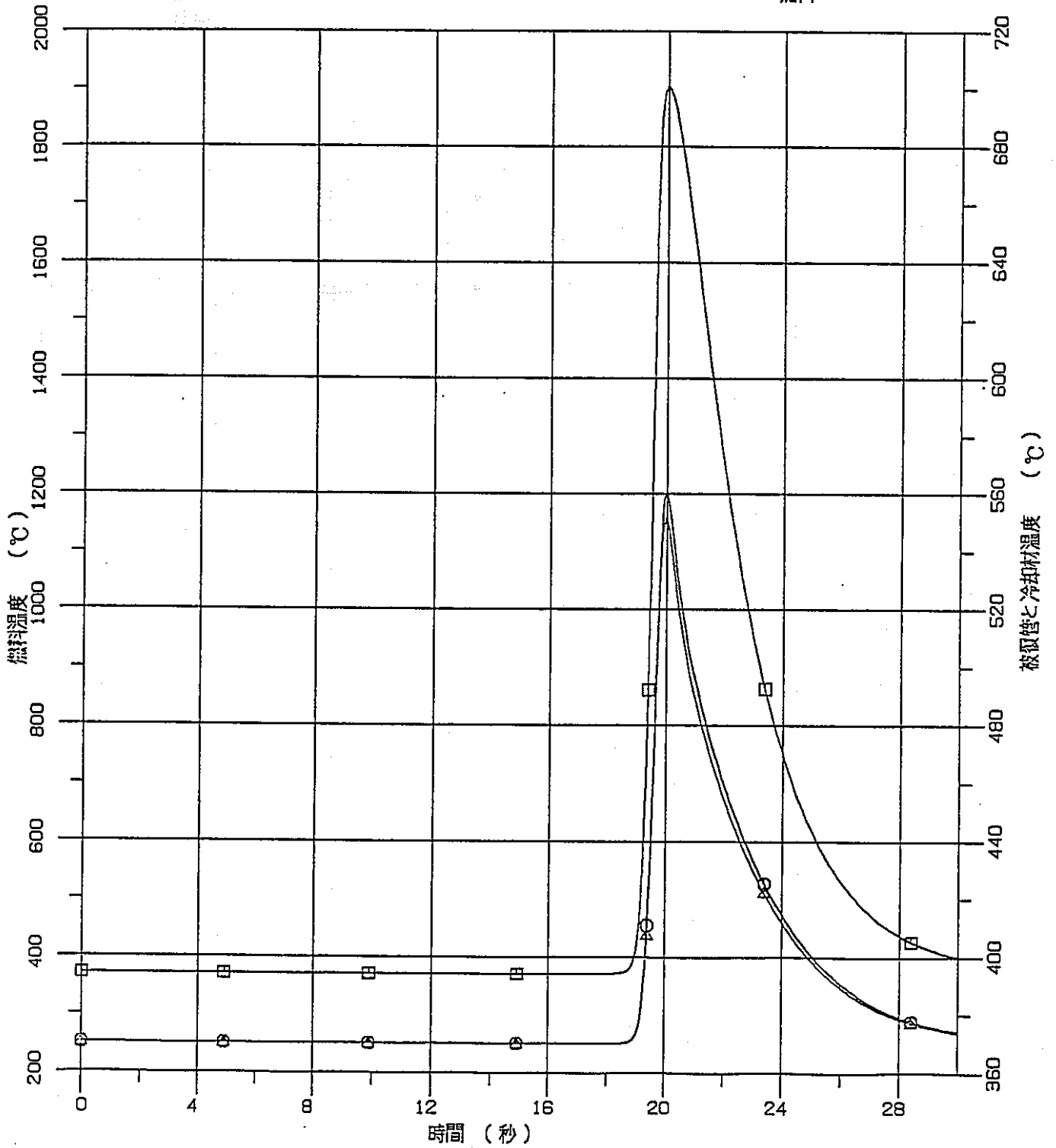


図A-2 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き

-反応度-

炉心ホットチャンネル

△△ 冷却材
 ○○ 被覆管
 □□ 燃料

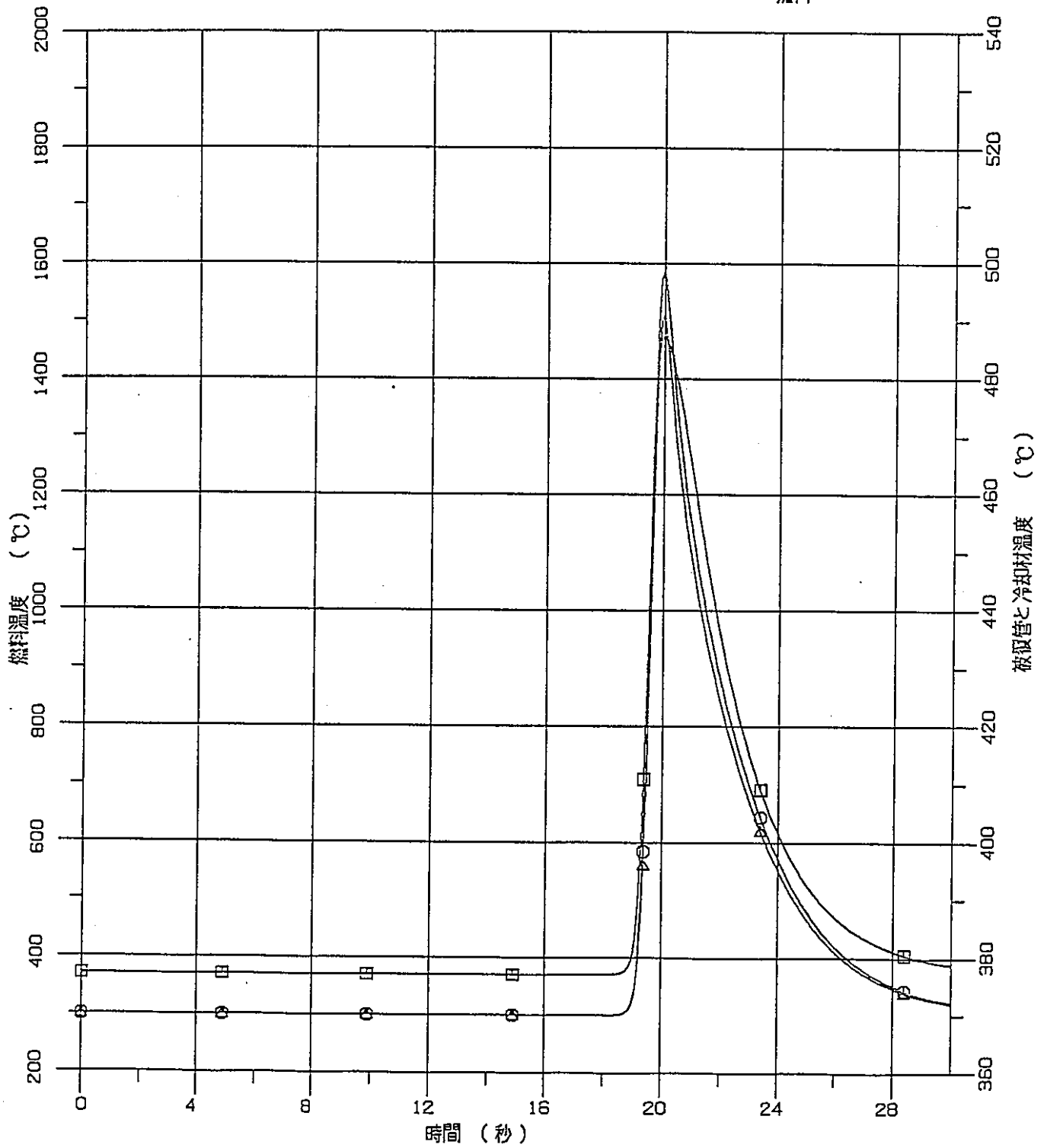


図A-3 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き

—炉心ホットチャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—

炉心平均チャンネル

△△ 冷却材
 ○○ 被覆管
 □□ 燃料



図A-4 未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き

—炉心平均チャンネル：ペレット、被覆管、冷却材最高温度—