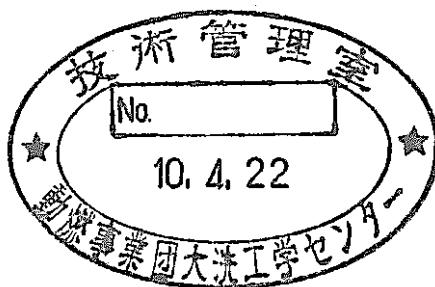


蒸気発生器水ブロー系の最適運用に係わる計算 (2)

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)



1997年12月

新型炉技術開発株式会社

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ください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

1997年12月

蒸気発生器水ブロー系の最適運用に係わる計算 (2)

岸田雅子(*),吉岡直樹(*)
長田博夫(*)

要　旨

蒸気発生器 (SG) の安全性評価上重要な課題と考えられている伝熱管の過熱型破損事象に関する研究が進められている。この事象では伝熱管内の除熱効果が評価結果に大きな影響を及ぼすことから、通常運転時及び水ブロー中を含めて水蒸気系の挙動を詳細評価して、除熱条件を定めることが重要である。本作業では”その1”作業に引き続き過熱型破損事象の評価に必要な除熱条件を定めることを目的に、主に水蒸気系の設備仕様や運転条件をパラメータとしたBLOOPHコードによる水ブロー解析、及び、反応熱を考慮した水側状態量の補正を行った。

また、BLOOPHコードによる解析の妥当性を確認するため、汎用熱流動解析コードRELAP5/Mod.2による水ブロー解析を行った。

これら作業により以下の結果が得られた。

- (1) 放出弁容量等を変更した場合のブロー特性の変化を把握できた。
- (2) 過熱型破損事象の評価に必要な除熱条件を定めることができた。
- (3) Na—水反応による加熱伝熱管を考慮したRELAP5による解析結果との比較から、この加熱を考慮しない伝熱管モデルのBLOOPHによる解析は、ブロー時のSG全体の熱流動挙動把握のためには妥当であるが、加熱部でのブロー開始後初期の流量を若干大きめに評価することが判った。
- (4) 放出弁条件を変えても、RELAP5とBLOOPHの解析結果は圧力及び流動挙動に関して、概ね一致することが確認できた。特に、伝熱管内水／蒸気極低流量域が同様に発生することがわかった。
- (5) 今後、実機で予定されているブロー試験の結果により、これら解析結果の妥当性を最終的に確認すると共に、必要なモデル改良による解析精度の向上が必要である。

本報告書は、新型炉技術開発株式会社が動力炉・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。
契約番号：09C2388

事業団担当部課室及び担当者：大洗工学センター安全工学部プラント安全工学室 浜田 広次

* 新型炉技術開発株式会社

一 目 次 一

| | 頁 |
|---------------------------------|-------|
| 1. まえがき | 1-1 |
| 2. BLOOPH による水ブロー解析 | 2.1-1 |
| 2.1 解析モデル | 2.1-1 |
| 2.2 解析条件 | 2.2-1 |
| 2.3 解析ケース | 2.3-1 |
| 2.4 解析結果 | 2.4-1 |
| 3. 反応熱を考慮した水側状態量の補正 | 3.1-1 |
| 3.1 補正計算の条件 | 3.1-1 |
| 3.2 計算ケースと計算結果 | 3.2-1 |
| 4. RELAP5/Mod.2 による水ブロー解析 | 4.1-1 |
| 4.1 伝熱管モデルの詳細化解析 | 4.1-1 |
| 4.2 異なる放出弁条件での解析 | 4.2-1 |
| 5. まとめ | 5-1 |
| 6. 謝辞 | 6-1 |
| 7. 参考文献 | 7-1 |

表リスト

| | | | |
|---------|---------------------------------|-------|-------|
| 表 2.2-1 | SG 回りの運転条件 | ..... | 2.2-2 |
| 表 2.2-2 | 蒸気発生器伝熱管小破損時水ブロー解析条件 | ..... | 2.2-3 |
| 表 2.2-3 | 放出弁容量の最新データと解析使用値 | ..... | 2.2-4 |
| 表 2.3-1 | MjSG ブロー解析(BLOOPH)ケース(新値採用) | ..... | 2.3-2 |
| 表 3.2-1 | MjSG ブロー解析ポスト処理(RUPIN)解析ケース(新値) | … | 3.2-2 |
| 表 4.2-1 | SG 出入口放出弁条件変更 | ..... | 4.2-5 |

図リスト

| | | | |
|------------|---------------------------------------|-------|--------|
| 図 2.1-1 | 蒸気発生器回り水蒸気系配管系統図 | ..... | 2.1-2 |
| 図 2.1-2 | “BLOOPH” コードの計算モデル (水側ノード、流路番号の対応) | ..... | 2.1-3 |
| 図 2.2-1 | SG 回り制御弁の開度特性 | ..... | 2.2-5 |
| 図 2.4(1)-1 | SG 出入口圧力変化(定格運転状態からのブロー) | ..... | 2.4-2 |
| 図 2.4(1)-2 | EV コイル下部流量変化(定格運転状態からのブロー) | ..... | 2.4-3 |
| 図 2.4(1)-3 | EV 管束部上部流量変化(定格運転状態からのブロー) | ..... | 2.4-4 |
| 図 2.4(1)-4 | SG 出入口放出弁流量(定格運転状態からのブロー) | ..... | 2.4-5 |
| 図 2.4(1)-5 | EV ナトリウム温度変化(定格運転状態からのブロー) | ..... | 2.4-6 |
| 図 2.4(1)-6 | EV コイル下部温度変化(定格運転状態からのブロー) | ..... | 2.4-7 |
| 図 2.4(1)-7 | EV コイル上部温度変化(定格運転状態からのブロー) | ..... | 2.4-8 |
| 図 2.4(1)-8 | EV コイル下部熱伝達係数変化(定格運転状態からのブロー) | ... | 2.4-9 |
| 図 2.4(1)-9 | EV コイル上部熱伝達係数変化(定格運転状態からのブロー) | ... | 2.4-10 |
| 図 2.4(2)-1 | SG 出入口圧力変化(40%負荷状態からのブロー) | ..... | 2.4-11 |
| 図 2.4(2)-2 | EV コイル下部流量変化 (40%負荷状態からのブロー) | ..... | 2.4-12 |
| 図 2.4(2)-3 | EV 管束部上部流量変化 (40%負荷状態からのブロー) | ..... | 2.4-13 |
| 図 2.4(2)-4 | SG 出入口放出弁流量 (40%負荷状態からのブロー) | ..... | 2.4-14 |
| 図 2.4(2)-5 | EV ナトリウム温度変化 (40%負荷状態からのブロー) | ..... | 2.4-15 |
| 図 2.4(2)-6 | EV コイル下部温度変化 (40%負荷状態からのブロー) | ..... | 2.4-16 |
| 図 2.4(2)-7 | EV コイル上部温度変化 (40%負荷状態からのブロー) | ..... | 2.4-17 |
| 図 2.4(2)-8 | EV コイル下部熱伝達係数変化 (40%負荷状態からのブロー) | ... | 2.4-18 |
| 図 2.4(2)-9 | EV コイル上部熱伝達係数変化 (40%負荷状態からのブロー) | ... | 2.4-19 |
| 図 2.4(3)-1 | SG 出入口圧力変化(定格運転状態からのブロー) | ..... | 2.4-20 |
| 図 2.4(3)-2 | EV コイル下部流量変化(定格運転状態からのブロー) | ..... | 2.4-21 |
| 図 2.4(3)-3 | EV 管束部上部流量変化(定格運転状態からのブロー) | ..... | 2.4-22 |
| 図 2.4(3)-4 | SG 出入口放出弁流量(定格運転状態からのブロー) | ..... | 2.4-23 |
| 図 2.4(3)-5 | EV ナトリウム温度変化(定格運転状態からのブロー) | ..... | 2.4-24 |
| 図 2.4(3)-6 | EV コイル下部温度変化(定格運転状態からのブロー) | ..... | 2.4-25 |

| | | |
|-------------|---------------------------------|----------|
| 図 2.4(3)-7 | EV コイル上部温度変化(定格運転状態からのブロー) | 2.4-26 |
| 図 2.4(3)-8 | EV コイル下部熱伝達係数変化(定格運転状態からのブロー) | … 2.4-27 |
| 図 2.4(3)-9 | EV コイル上部熱伝達係数変化(定格運転状態からのブロー) | … 2.4-28 |
| 図 2.4(4)-1 | SG 出入口圧力変化(40%負荷状態からのブロー) | … 2.4-29 |
| 図 2.4(4)-2 | EV コイル下部流量変化 (40%負荷状態からのブロー) | … 2.4-30 |
| 図 2.4(4)-3 | EV 管束部上部流量変化 (40%負荷状態からのブロー) | … 2.4-31 |
| 図 2.4(4)-4 | SG 出入口放出弁流量 (40%負荷状態からのブロー) | … 2.4-32 |
| 図 2.4(4)-5 | EV ナトリウム温度変化 (40%負荷状態からのブロー) | … 2.4-33 |
| 図 2.4(4)-6 | EV コイル下部温度変化 (40%負荷状態からのブロー) | … 2.4-34 |
| 図 2.4(4)-7 | EV コイル上部温度変化 (40%負荷状態からのブロー) | … 2.4-35 |
| 図 2.4(4)-8 | EV コイル下部熱伝達係数変化 (40%負荷状態からのブロー) | … 2.4-36 |
| 図 2.4(4)-9 | EV コイル上部熱伝達係数変化 (40%負荷状態からのブロー) | … 2.4-37 |
| 図 2.4(5)-1 | SG 出入口圧力変化(定格運転状態からのブロー) | … 2.4-38 |
| 図 2.4(5)-2 | EV コイル下部流量変化(定格運転状態からのブロー) | … 2.4-39 |
| 図 2.4(5)-3 | EV 管束部上部流量変化(定格運転状態からのブロー) | … 2.4-40 |
| 図 2.4(5)-4 | SH コイル流量変化(定格運転状態からのブロー) | … 2.4-41 |
| 図 2.4(5)-5 | SH コイル部流量変化 | … 2.4-42 |
| 図 2.4(5)-6 | SG 出入口放出弁流量(定格運転状態からのブロー) | … 2.4-43 |
| 図 2.4(5)-7 | EV ナトリウム温度変化(定格運転状態からのブロー) | … 2.4-44 |
| 図 2.4(5)-8 | EV コイル下部温度変化(定格運転状態からのブロー) | … 2.4-45 |
| 図 2.4(5)-9 | EV コイル上部温度変化(定格運転状態からのブロー) | … 2.4-46 |
| 図 2.4(5)-10 | EV コイル下部熱伝達係数変化(定格運転状態からのブロー) | … 2.4-47 |
| 図 2.4(5)-11 | EV コイル上部熱伝達係数変化(定格運転状態からのブロー) | … 2.4-48 |
| 図 2.4(6)-1 | SG 出入口圧力変化 | … 2.4-49 |
| 図 2.4(6)-2 | EV コイル下部流量変化 | … 2.4-50 |
| 図 2.4(6)-3 | EV 管束部上部流量変化 | … 2.4-51 |
| 図 2.4(6)-4 | SG 出入口放出弁流量 | … 2.4-52 |
| 図 2.4(6)-5 | EV ナトリウム温度変化 | … 2.4-53 |
| 図 2.4(6)-6 | EV コイル下部温度変化 | … 2.4-54 |
| 図 2.4(6)-7 | EV コイル上部温度変化 | … 2.4-55 |

| | | | |
|------------|------------------------|-------|--------|
| 図 2.4(6)-8 | EV コイル下部熱伝達係数変化 | ..... | 2.4-56 |
| 図 2.4(6)-9 | EV コイル上部熱伝達係数変化 | ..... | 2.4-57 |
| 図 2.4(7)-1 | SG 出入口圧力変化 | ..... | 2.4-58 |
| 図 2.4(7)-2 | EV コイル下部流量変化 | ..... | 2.4-59 |
| 図 2.4(7)-3 | EV 管束部上部流量変化 | ..... | 2.4-60 |
| 図 2.4(7)-4 | SG 出入口放出弁流量 | ..... | 2.4-61 |
| 図 2.4(7)-5 | EV ナトリウム温度変化 | ..... | 2.4-62 |
| 図 2.4(7)-6 | EV コイル下部温度変化 | ..... | 2.4-63 |
| 図 2.4(7)-7 | EV コイル下部熱伝達係数変化 | ..... | 2.4-64 |
| 図 2.4(7)-8 | EV コイル上部熱伝達係数変化 | ..... | 2.4-65 |
| 図 3.2(1)-1 | 伝熱管中心温度と水側温度(EV リンク 6) | ..... | 3.2-3 |
| 図 3.2(1)-2 | 伝熱管中心温度と水側温度(EV リンク 8) | ..... | 3.2-4 |
| 図 3.2(1)-3 | 伝熱管中心温度と水側温度(EV リンク 9) | ..... | 3.2-5 |
| 図 3.2(1)-4 | 水側熱伝達率と流量(EV リンク 6) | ..... | 3.2-6 |
| 図 3.2(1)-5 | 水側熱伝達率と流量(EV リンク 8) | ..... | 3.2-7 |
| 図 3.2(1)-6 | 水側熱伝達率と流量(EV リンク 9) | ..... | 3.2-8 |
| 図 3.2(2)-1 | 伝熱管中心温度と水側温度(EV リンク 6) | ..... | 3.2-9 |
| 図 3.2(2)-2 | 伝熱管中心温度と水側温度(EV リンク 8) | ..... | 3.2-10 |
| 図 3.2(2)-3 | 伝熱管中心温度と水側温度(EV リンク 9) | ..... | 3.2-11 |
| 図 3.2(2)-4 | 水側熱伝達率と流量(EV リンク 6) | ..... | 3.2-12 |
| 図 3.2(2)-5 | 水側熱伝達率と流量(EV リンク 8) | ..... | 3.2-13 |
| 図 3.2(2)-6 | 水側熱伝達率と流量(EV リンク 9) | ..... | 3.2-14 |
| 図 3.2(3)-1 | 水側熱伝達率と流量(EV リンク 6) | ..... | 3.2-15 |
| 図 3.2(3)-2 | 水側熱伝達率と流量(EV リンク 8) | ..... | 3.2-16 |
| 図 3.2(3)-3 | 水側熱伝達率と流量(EV リンク 9) | ..... | 3.2-17 |
| 図 3.2(3)-4 | 伝熱管中心温度と水側温度(EV リンク 6) | ..... | 3.2-18 |
| 図 3.2(3)-5 | 伝熱管中心温度と水側温度(EV リンク 8) | ..... | 3.2-19 |
| 図 3.2(3)-6 | 伝熱管中心温度と水側温度(EV リンク 9) | ..... | 3.2-20 |
| 図 3.2(4)-1 | 水側熱伝達率と流量(EV リンク 6) | ..... | 3.2-21 |
| 図 3.2(4)-2 | 水側熱伝達率と流量(EV リンク 8) | ..... | 3.2-22 |

| | | | |
|------------|---|-------|--------|
| 図 3.2(4)-3 | 水側熱伝達率と流量(EV リンク 9) | ..... | 3.2-23 |
| 図 3.2(4)-4 | 伝熱管中心温度と水側温度(EV リンク 6) | ..... | 3.2-24 |
| 図 3.2(4)-5 | 伝熱管中心温度と水側温度(EV リンク 8) | ..... | 3.2-25 |
| 図 3.2(4)-6 | 伝熱管中心温度と水側温度(EV リンク 9) | ..... | 3.2-26 |
| 図 3.2(5)-1 | 伝熱管中心温度と水側温度(EV リンク 6) | ..... | 3.2-27 |
| 図 3.2(5)-2 | 伝熱管中心温度と水側温度(EV リンク 8) | ..... | 3.2-28 |
| 図 3.2(5)-3 | 伝熱管中心温度と水側温度(EV リンク 9) | ..... | 3.2-29 |
| 図 3.2(5)-4 | 水側熱伝達率と流量(EV リンク 6) | ..... | 3.2-30 |
| 図 3.2(5)-5 | 水側熱伝達率と流量(EV リンク 8) | ..... | 3.2-31 |
| 図 3.2(5)-6 | 水側熱伝達率と流量(EV リンク 9) | ..... | 3.2-32 |
| 図 3.2(6)-1 | 水側熱伝達率と流量(起動時水側流量 10%からのプロ－) | ..... | 3.2-33 |
| 図 3.2(6)-2 | 水側熱伝達率と流量(起動時水側流量 10%からのプロ－) | ..... | 3.2-34 |
| 図 3.2(6)-3 | 水側熱伝達率と流量(起動時水側流量 10%からのプロ－) | ..... | 3.2-35 |
| 図 3.2(6)-4 | 伝熱管中心温度と水側温度(起動時水側流量 10%からのプロ－) | ..... | 3.2-36 |
| 図 3.2(6)-5 | 伝熱管中心温度と水側温度(起動時水側流量 10%からのプロ－) | ..... | 3.2-37 |
| 図 3.2(6)-6 | 伝熱管中心温度と水側温度(起動時水側流量 10%からのプロ－) | ..... | 3.2-38 |
| 図 4.1-1 | もんじゅ SG プローダウン解析モデル (2 チャンネル:加熱部考慮) | ..... | 4.1-8 |
| 図 4.1-2 | もんじゅ SG プローダウン解析モデル(1 チャンネル) | ..... | 4.1-9 |
| 図 4.1-3 | もんじゅ SG プローダウン解析モデル(2 チャンネル) | ..... | 4.1-10 |
| 図 4.1-4 | 定常計算における流量変化(定常運転状態) (2 チャンネルモデル) | ..... | 4.1-12 |
| 図 4.1-5 | EV コイル流量変化(定常運転状態からのプロ－) (2 チャンネルモデル) | ..... | 4.1-13 |
| 図 4.1-6 | EV コイル温度変化(定格運転状態からのプロ－) (2 チャンネルモデル) | ..... | 4.1-14 |
| 図 4.1-7 | EV コイル熱伝達係数変化(定格運転状態からのプロ－) (2 チャンネルモデル) | ..... | 4.1-15 |
| 図 4.1-8 | EV コイルクオリティ変化(定格運転状態からのプロ－) (2 チャンネルモデル) | ..... | 4.1-16 |

| | | |
|----------|---|--------|
| 図 4.1-9 | SG 出入口放出弁流量(定格運転状態からのブロー) | 4.1-17 |
| 図 4.1-10 | SG 出入口圧力変化(定格運転状態からのブロー) | 4.1-18 |
| 図 4.1-11 | EV コイル流量(定格運転状態からのブロー) | 4.1-19 |
| 図 4.1-12 | EV コイル流量(定格運転状態からのブロー) | 4.1-20 |
| 図 4.2-1 | “BLOOPH” コードの計算モデル (水側ノード、流路番号の対応) | 4.2-6 |
| 図 4.2-2 | “RELAP” コードの計算モデル | 4.2-7 |
| 図 4.2-3 | SG 出入口放出弁流量(定格運転状態からのブロー (新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-8 |
| 図 4.2-4 | SG 出入口圧力変化(定格運転状態からのブロー (新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-9 |
| 図 4.2-5 | EV コイル下部流量変化(定格運転状態からのブロー (新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-10 |
| 図 4.2-6 | EV コイル上部流量変化(定格運転状態からのブロー (新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-11 |
| 図 4.2-7 | EV コイル下部温度変化(定格運転状態からのブロー (新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-12 |
| 図 4.2-8 | EV コイル上部温度変化(定格運転状態からのブロー (新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-13 |
| 図 4.2-9 | EV コイル下部クオリティ変化(定格運転状態からのブロー (新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-14 |
| 図 4.2-10 | EV コイル上部クオリティ変化(定格運転状態からのブロー (新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-15 |
| 図 4.2-11 | EV コイル熱伝達係数変化(1/12) (定格運転状態からのブロー(新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-16 |
| 図 4.2-12 | EV コイル熱伝達係数変化(2/12) (定格運転状態からのブロー(新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-17 |
| 図 4.2-13 | EV コイル熱伝達係数変化(3/12) (定格運転状態からのブロー(新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-18 |

| | | |
|----------|--|--------|
| 図 4.2-14 | EV コイル熱伝達係数変化(4/12) (定格運転状態からのブロー(新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-19 |
| 図 4.2-15 | EV コイル熱伝達係数変化(5/12) (定格運転状態からのブロー(新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-20 |
| 図 4.2-16 | EV コイル熱伝達係数変化(6/12) (定格運転状態からのブロー(新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-21 |
| 図 4.2-17 | EV コイル熱伝達係数変化(7/12) (定格運転状態からのブロー(新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-22 |
| 図 4.2-18 | EV コイル熱伝達係数変化(8/12) (定格運転状態からのブロー(新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-23 |
| 図 4.2-19 | EV コイル熱伝達係数変化(9/12) (定格運転状態からのブロー(新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-24 |
| 図 4.2-20 | EV コイル熱伝達係数変化(10/12) (定格運転状態からのブロー(新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-25 |
| 図 4.2-21 | EV コイル熱伝達係数変化(11/12) (定格運転状態からのブロー(新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-26 |
| 図 4.2-22 | EV コイル熱伝達係数変化(12/12) (定格運転状態からのブロー(新値 3B * 1、4B * 4)) | 4.2-27 |

1. まえがき

動燃事業団殿（以下動燃殿と呼称）では、蒸気発生器（SG）伝熱管の過熱型破損事象を対象とした健全性評価が実施されている。この事象では伝熱管内の除熱効果が評価結果に大きな影響を及ぼすことから、通常運転時及び水ブロー中を含めて水蒸気系の挙動を詳細評価して、除熱条件を定めることが重要である。本作業では、前に実施した“蒸気発生器水ブロー系の最適運用に係わる計算”¹⁾（以下その1作業と略称）に引き続き、蒸気発生器伝熱管健全性評価に必要な除熱条件を定めることを目的に、主に水蒸気系の設備仕様や運転条件をパラメータにした水ブロー解析を行った。

従って、使用した解析コード、解析モデル、および、主要な解析条件はその1作業と基本的に同じであり、本報告書での記載も一部簡略化している。また、BLOOPHによる水ブロー解析結果の圧力、流動等の挙動も基本的には、その1作業の結果と同じなので説明を省略している。

なお、本作業の主要項目は以下の通りである。

- (1) BLOOPHによる水ブロー解析
- (2) 反応熱の影響を考慮した水側状態量の補正
- (3) RELAP5/Mod.2による水ブロー解析

このうち、上記(3)は、BLOOPH²⁾による水ブロー解析の妥当性を確認するために実施したものである。後述するように、BLOOPHは実機SGの水ブロー時SG回りの熱過渡解析用に開発されたもので、50MWSGTFの水ブロー試験により、主にナトリウム側温度及び水側圧力、SG出入ヘッダ温度に注目した検証がなされている。過熱型破損評価に大きな影響を及ぼす水／蒸気側因子は圧力と伝熱管内流動（除熱条件）であるが、伝熱管内流動に注目した検証実績はない。

従って、ここでは、FBR SG体系で検証されてはいないが、水／蒸気熱流動モデルがBLOOPHより精緻化されており、軽水炉LOCA解析等で広く使用されている汎用熱流動解析コードRELAP5/Mod.2により水ブロー解析を行い、両者の結果の比較・検討により、特に伝熱管内の流動挙動に関するBLOOPHによる解析の妥当性の確認を意図したものである。

2. BLOOPHによる水ブロー解析

SG水ブロー解析には、50MWSGTFの水ブロー試験により検証され、実機の水ブローワー時SG回りの熱過渡解析に用いられた、SG水ブローダウン解析コード“BLOOPH”²⁾を使用した。

2.1 解析モデル

実機の水／蒸気系の配管系統図を図2.1-1に示す。また、解析計算モデルを図2.1-2に示す。

解析計算モデルは、SG回りのNa系、水／蒸気系を対象とし、Na系については過熱器（SH）入口から蒸発器（EV）出口までを、また、水／蒸気系についてはEV入口止弁からSH出口止弁までとしている。これらの境界のうち、Na側についてはSH入口のNa流量、温度を境界条件とし、水／蒸気側については、EV入口の流量、SH出口の圧力を境界条件としている。尚、これら境界条件としては、プラント全体の過渡解析の結果（実機熱過渡解析の結果）を入力データとして与えた。

2.1-2

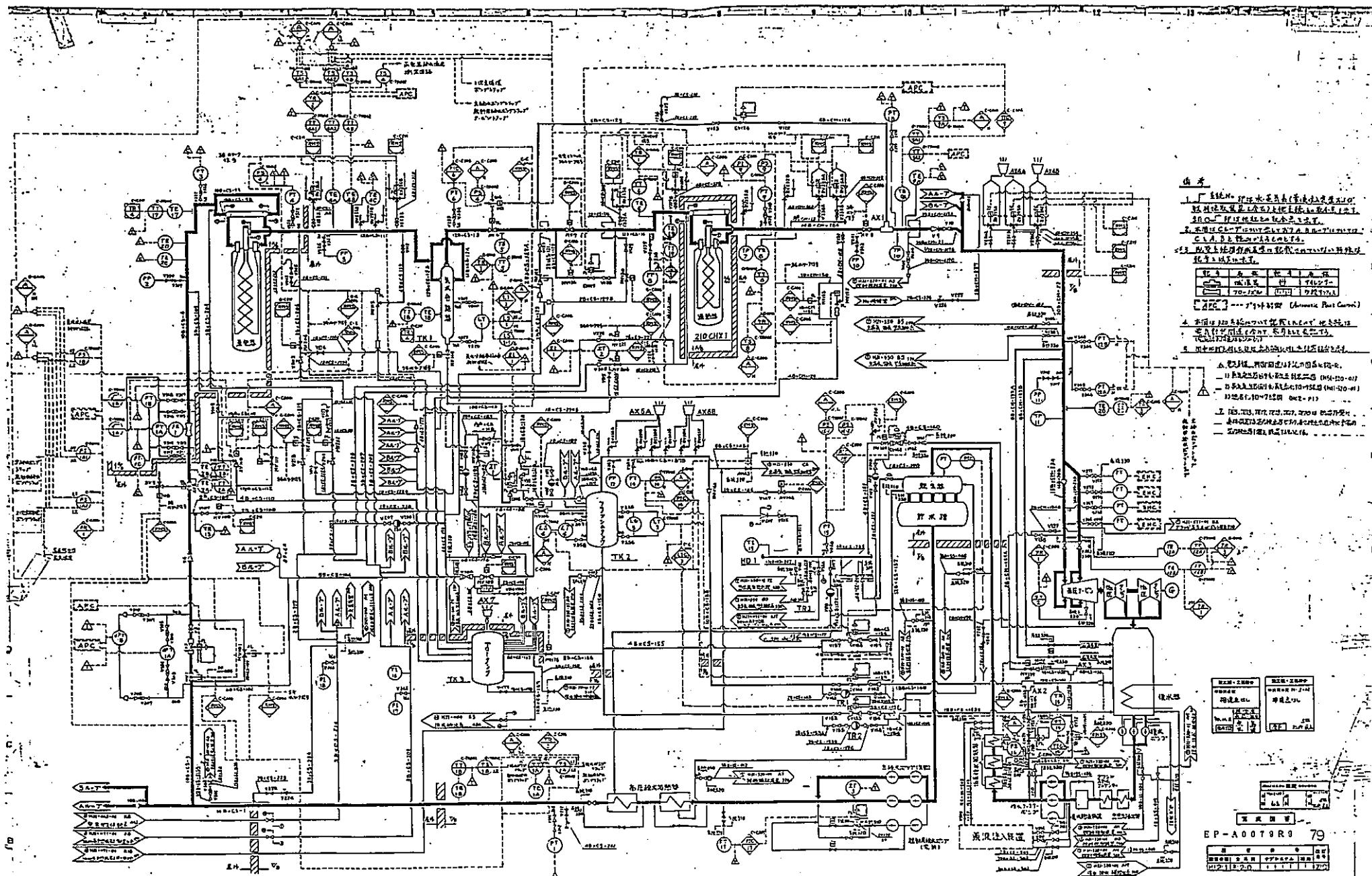


图2.1-1

系统番号:320

| NAME | PART NUMBER | MANUFACTURER | ITEM DESCRIPTION | | |
|---------|-------------|---|------------------|------|------|
| | | | QTY | SIZE | UNIT |
| 1. PUMP | 5501445 | UNIVERSAL-MARINE Heavy Industries Co., Ltd. | 1 | 1/2" | PCP |
| 2. PUMP | 076K011E | UNIVERSAL-MARINE Heavy Industries Co., Ltd. | 1 | 1/2" | PCP |
| 3. PUMP | 05A02032 | UNIVERSAL-MARINE Heavy Industries Co., Ltd. | 1 | 1/2" | PCP |
| 4. PUMP | 05A02032 | UNIVERSAL-MARINE Heavy Industries Co., Ltd. | 1 | 1/2" | PCP |
| 5. PUMP | 05A02032 | UNIVERSAL-MARINE Heavy Industries Co., Ltd. | 1 | 1/2" | PCP |

2.1-3

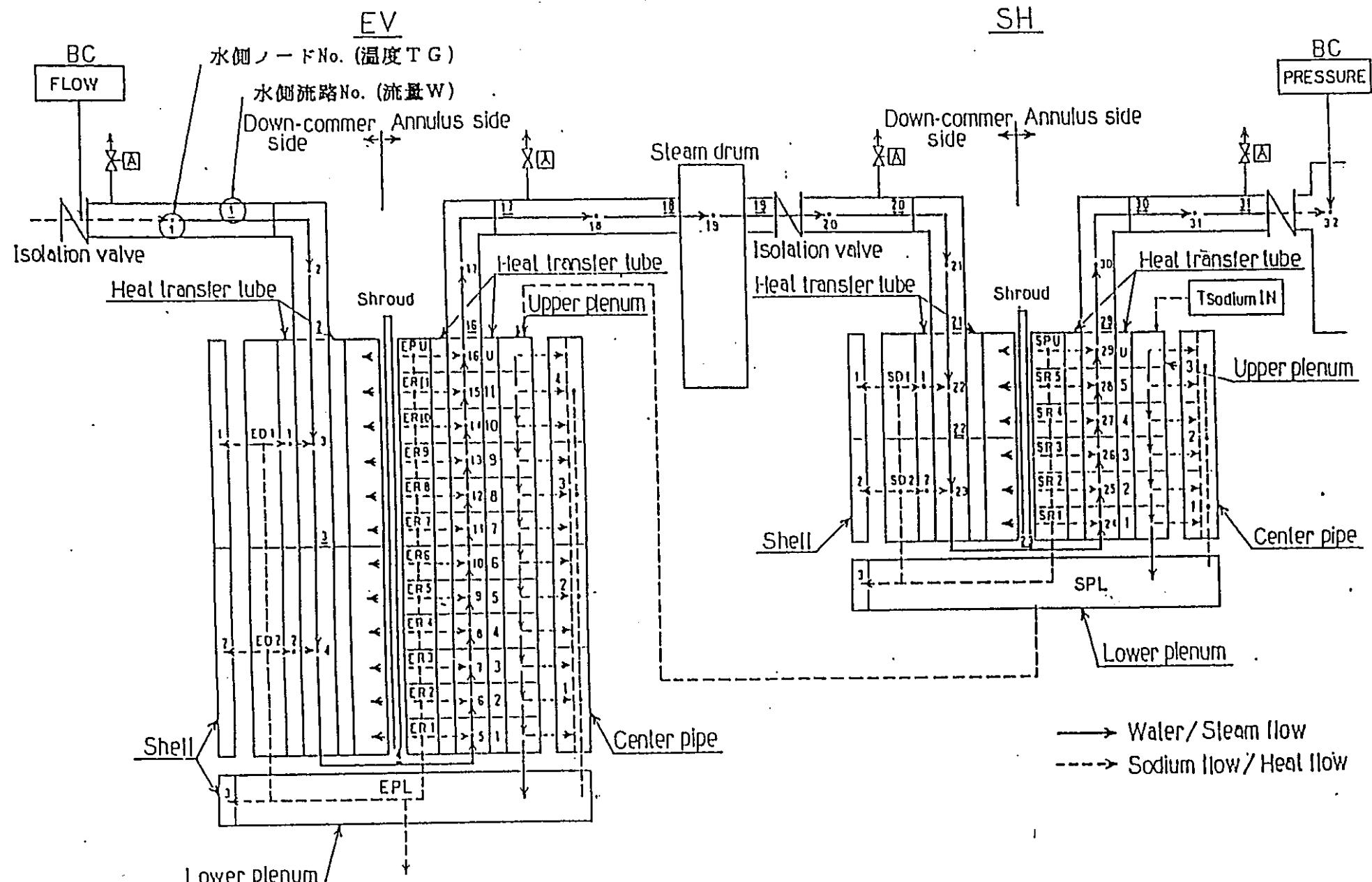


図2.1-2 "BLOOPH" コードの計算モデル（水側ノード、流路番号の対応）

2.2 解析条件

100% 定格出力運転、40% 部分出力運転および10% 給水流量運転時の SG 回りの運転条件を表2.2-1 に示す。また、実機 SG 回りの系統機器構成のモデル図と現状設備に対する主要解析条件を表2.2-2 に、更に、SG 回りの制御弁の開度特性を図2.2-1 に示す。

なお、放出弁容量（流路断面積）データは現状の最新データ（実測値ベース：以下、新値と略称）を基とする。（その1作業では実機熱過渡解析用データ：以下、旧値と略称を用いた）

これらデータのうち、EV 出口ドレン弁、SH 出口ドレン弁を除く放出弁の、解析上の流路断面積は、表2.2-3に示すように算定した。

表2.2-1 SG回りの運転条件

| 項目 | 単位 | 定格出力 | 40% 部分出力 | 起動時、水側 10% 流量 |
|---------|--------|----------------------|----------------------|--------------------|
| Na 入口温度 | °C | SH: 505 EV: 468.9 | SH: 489 EV: 456 | SH: 300 EV: 300 |
| Na 出口温度 | °C | EV: 325 | EV: 284 | 約290 |
| Na 流量 | ton/hr | 3730 | 1438 | 1455 (39%相当) |
| 給水入口温度 | °C | 240 | 195 | 195 |
| 蒸気出口温度 | °C | SH: 487 EV: 368.4 | SH: 486 EV: 368 | SH:— EV: 300 |
| 給水流量 | ton/hr | 379 | 155 | 37.9 (10%相当) |
| 蒸気出口圧力 | atg | SH: 132 EV: 145 | SH: 128 EV: 130.5 | SH:— EV: 127 |
| 給水入口圧力 | atg | 153 | 131.0 | 127+圧損 |

表2.2-2 蒸気発生器伝熱管小破損時水ブロー解析条件

| 事象の概要 | Bループの蒸発器で水リークが発生し、Na中水素濃度上昇高々等により、Bループカクリ2次ポンプトリップ(2.0sec)→原子炉トリップとなる。解析は、水リーケスイッチONから開始し、1sec遅れて給水しゃ断、SH出口止弁閉、SH入口止弁閉、EV入口放出弁、EV出口放出弁、SH入口放出弁、SH出口放出弁、2sec遅れでSH出口ドレン弁開、SH入口止弁閉後1sec遅れてEV出口ドレン弁開 | | |
|--|--|-------------|--|
| 初期条件 | 100%出力 | 解析 使用弁名 | 弁作動状況(図2.2-1 参照) |
| ナ ト リ ウ ム 側 | SG入口流量 | EV入口止弁 | 1~6secで閉止 |
| | SH入口温度 | SH出口止弁 | 1~133secで閉←逆止弁がはやいのでむし |
| | SH出口温度 | EV入口放出弁 | 1~2secで全開 $A_{co} = 1.18 \times 10^{-3}$ |
| | EV入口温度 | EV出口ドレン弁 | 7~43secで全開 $A_{co} = 1.8 \times 10^{-3}$ |
| | EV出口温度 | EV出口放出弁 | 1~1.3secで全開 $A_{co} = 4.36 \times 10^{-3}$ |
| | | SH入口放出弁 | 1~1.3secで全開 $A_{co} = 3.94 \times 10^{-3}$ |
| 水 ・ 蒸 氣 側 | 給水流量 | SH出口放出弁 | 1~1.3secで全開 $A_{co} = 4.41 \times 10^{-3}$ |
| | 給水温度 | SH出口ドレン弁 | 2~38secで全開 $A_{co} = 1.8 \times 10^{-3}$ |
| | EV出口温度 | 気水分離器ドレン弁 | |
| | SH入口温度 | SH入口止弁出口放出弁 | |
| | SH出口温度 | EV出口安全弁 | |
| | 主蒸気温度 | SH出口安全弁 | |
| SG廻り解析関連系統説明図 | | SH出口逆止弁 | 逆流後閉止 |
| <p>The diagram illustrates the SG loop system with the following components and valve numbers:</p> <ul style="list-style-type: none"> SG (Steam Generator): Represented by two vertical rectangles with internal zig-zag patterns. EV (Evaporator): Represented by a rectangle with a zig-zag pattern. SH (Steam Header): Represented by a rectangle with a zig-zag pattern. EV入口放出弁 (EV inlet relief valve): Valve N=1, located between SG and EV. EV出口安全弁 (EV outlet safety valve): Valve N=18, located on the EV side. SH入口止弁 (SH inlet check valve): Valve N=19, located on the SH side. SH出口止弁 (SH outlet check valve): Valve N=20, located on the SH side. SH出口放出弁 (SH outlet relief valve): Valve N=31, located on the SH side. SH出口逆止弁 (SH outlet check valve): Valve N=31, located on the SH side. EV出口ドレン (EV outlet drain): Located between EV and SH. SH出口ドレン (SH outlet drain): Located on the SH side. SH出口ドレン (SH outlet drain): Located on the SH side. ACS (Auxiliary Coolant System): Indicated by arrows pointing from SG to EV and from EV to SH. Thermal Expansion Tank (TET): Indicated by a small circle with a zig-zag pattern. Notes: A note indicates "N = ノード番号" (Node number) and "■ 注壳点" (Shell point). | | | |

表 2.2-3 放出弁容量の最新データと解析使用値

| | 設備データ | | 解析使用値 | | 備考 |
|-----------|---|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| | 旧値 | 新値 | 旧値 | 新値 | |
| EV 入口放出弁 | 3B 360t/h (95%) | 構造図はあり ^{①)} | $1.18 \times 10^{-3} m^2$ | 同左 ^{①)} | 1) 旧データと同方法で C_v 値等から、定格条件での流量を算出して、求められるが、保守的に旧値を用いる。 (動燃殿指示) |
| EV 出口ドレン弁 | $C_v=223$ の弁 (1800 ± 20)mm ² フローノスル | 同左 | $1.8 \times 10^{-3} m^2$ | 同左 | |
| EV 出口放出弁 | 198t/h/2基 (52%/2基) | 244t/h/2基 (64.4%/2基) | $4.36 \times 10^{-3} m^2/2$ 基 | $5.40 \times 10^{-3} m^2/2$ 基 | $4.36 \times 10^{-3} \times \frac{64.4}{52}$ |
| SH 入口放出弁 | 177t/h/2基 (46.7%/2基) | 237.2t/h/2基 (62.6%/2基) | $3.94 \times 10^{-3} m^2/2$ 基 | $5.28 \times 10^{-3} m^2/2$ 基 | $3.94 \times 10^{-3} \times \frac{62.6}{46.7}$ |
| SH 出口放出弁 | 147.5t/h/2基 (38.9%/2基) | 185.2t/h/2基 (48.9%/2基) | $4.41 \times 10^{-3} m^2/2$ 基 | $5.54 \times 10^{-3} m^2/2$ 基 | $4.41 \times 10^{-3} \times \frac{48.9}{38.9}$ |
| SH 出口ドレン弁 | $C_v=223$ の弁 (1800 ± 20)mm ² フローノスル | 同左 | $1.8 \times 10^{-3} m^2$ | 同左 | |

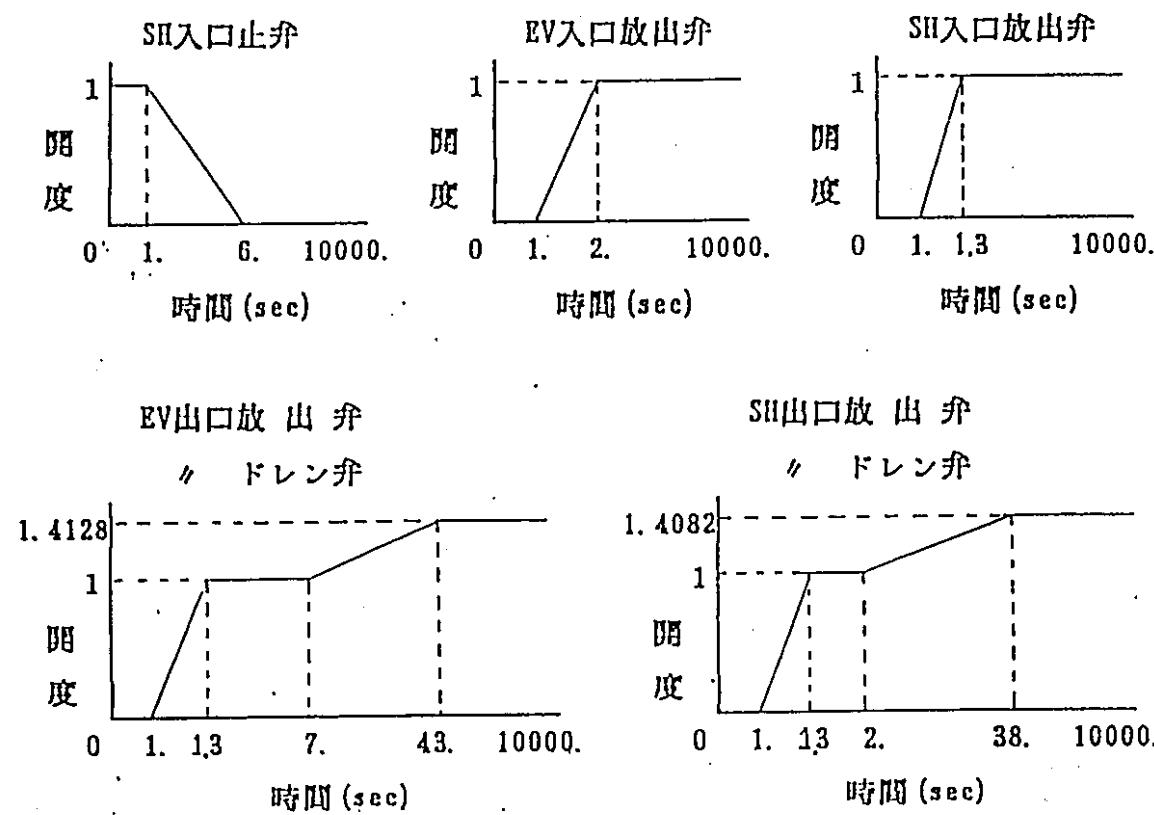


図 2.2-1 SG 回り制御弁の開度特性

2.3 解析ケース

主に初期運転状態、及び、ブロー設備（放出弁容量と放出弁設置基数）変更の影響を把握するための解析を実施した。実施した解析ケースと解析条件は表2.3-1 の通りである。また、放出弁設置基数を増大させたケースの計算では弁流路面積を（設置基数/基準ケースの設置基数）倍して入力データとした。

表2.3-1 MjSGブロード解析(BLOOPH)ケース(新値採用)

| ケース名 | 出力 | EV入口放出弁 | EV出口放出弁 | 備考 |
|-------|-------|------------|------------|--------------------------------|
| ケースN1 | 定格 | 新値 3B*1 | 新値 4B*4 | case-1をベース |
| ケースN2 | 40% | 新値 3B*1 | 新値 4B*4 | case-6をベース |
| ケースN3 | 定格 | 新値 3B*1 | 新値 4B*2 | case-N1をベース |
| ケースN4 | 40% | 新値 3B*1 | 新値 4B*2 | case-N2をベース |
| ケースN5 | 定格 | 新値 3B*1 | 新値 4B*1 | case-N3をベース |
| ケースN6 | 10%流量 | 新値 3B*1 | 新値 4B*2 | case-N3をベース |
| ケースN7 | 10%流量 | 新値 3B*1 | 新値 4B*2 | case-N6をベース (気水分離器の前に隔離弁追設) |
| | | | | |
| | | | | |

注) 上記case-1~6は、その1作業で実施したケースである。

2.4 解析結果

解析結果のうち次の諸量の結果を各ケースごとに示す。

なお、設備変更の影響が把握し易いよう、結果は主に基準としたケースのものと比較する形で示した。

各ケースと図番号の対比は以下の通り。

| | |
|---------------------------------|--------------|
| ケースN1 (現状データベースのケース1との比較) | 図2.4 (1) - N |
| ケースN2 (現状データベースのケース6との比較) | 図2.4 (2) - N |
| ケースN3 (ケースN1との比較) | 図2.4 (3) - N |
| ケースN4 (ケースN2との比較) | 図2.4 (4) - N |
| ケースN5 (ケースN3との比較) | 図2.4 (5) - N |
| ケースN6 (ケースN3との比較) | 図2.4 (6) - N |
| ケースN7 (ケースN3との比較) | 図2.4 (7) - N |

ここで、ケース1、ケース6はその1作業で実施したケースである。

また、Nは次の諸量を示す。

- 1: SG 出入口圧力変化
- 2: EV コイル下部流量変化
- 3: EV コイル上部流量変化
- 4: SG 出入口放出弁流量
- 5: EVナトリウム温度変化
- 6: EV コイル下部温度変化*
- 7: EV コイル上部温度変化*
- 8: EV コイル下部熱伝達係数*
- 9: EV コイル上部熱伝達係数*

* これらは BLOOPHによる解析結果そのものであり、温度補正前の値である。

これらの温度補正結果については、第3章に示す。

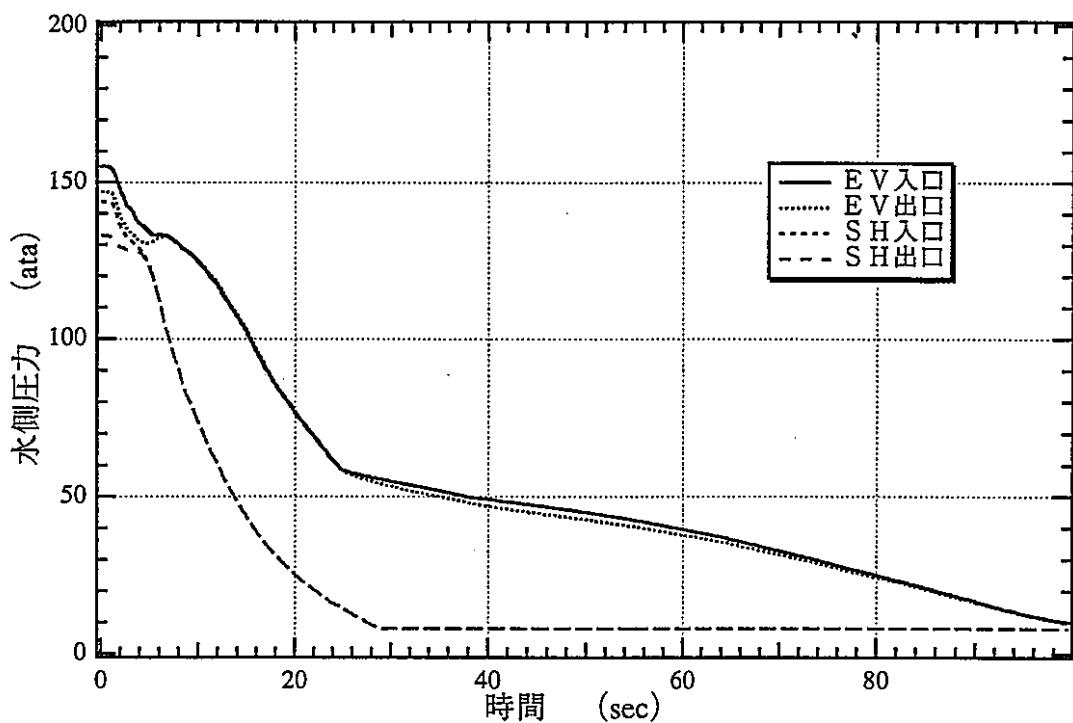
なお、図中の記号の意味は次の通り。

node K : BLOOPHの計算モデル（図2.1-2）のノード番号K

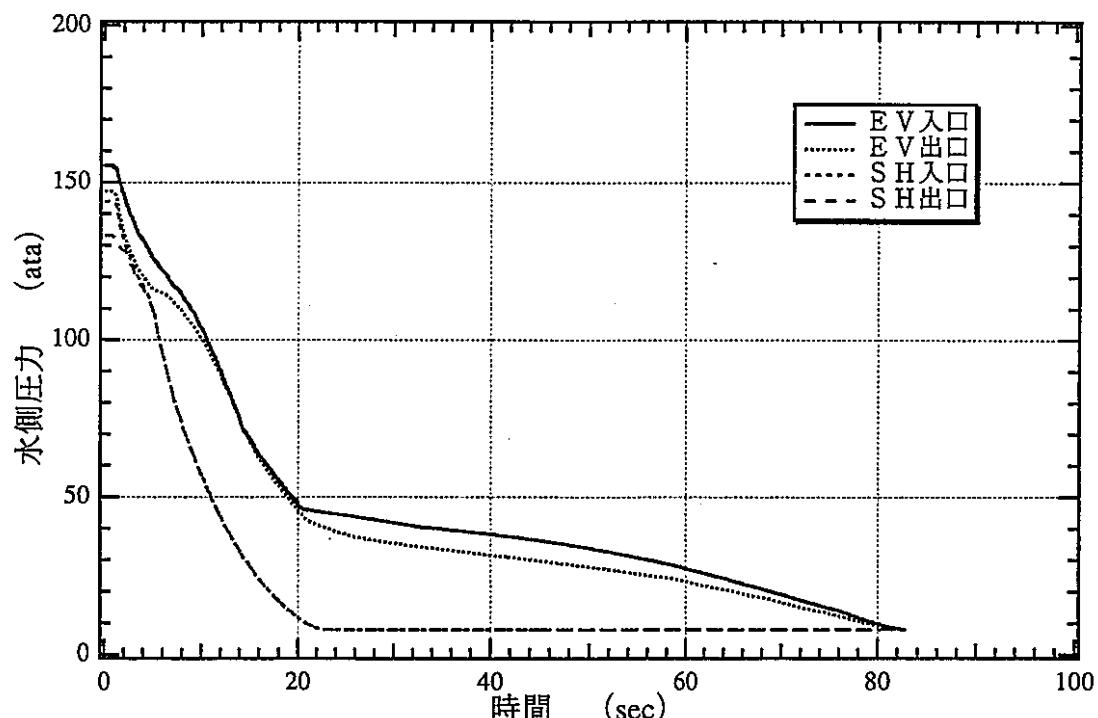
Link J : BLOOPHの計算モデル（図2.1-2）のリンク番号J

TN K : BLOOPHの計算モデル（図2.1-2）のノードKのナトリウム温度

AW K : BLOOPHの計算モデル（図2.1-2）のノードKの水側熱伝達係数

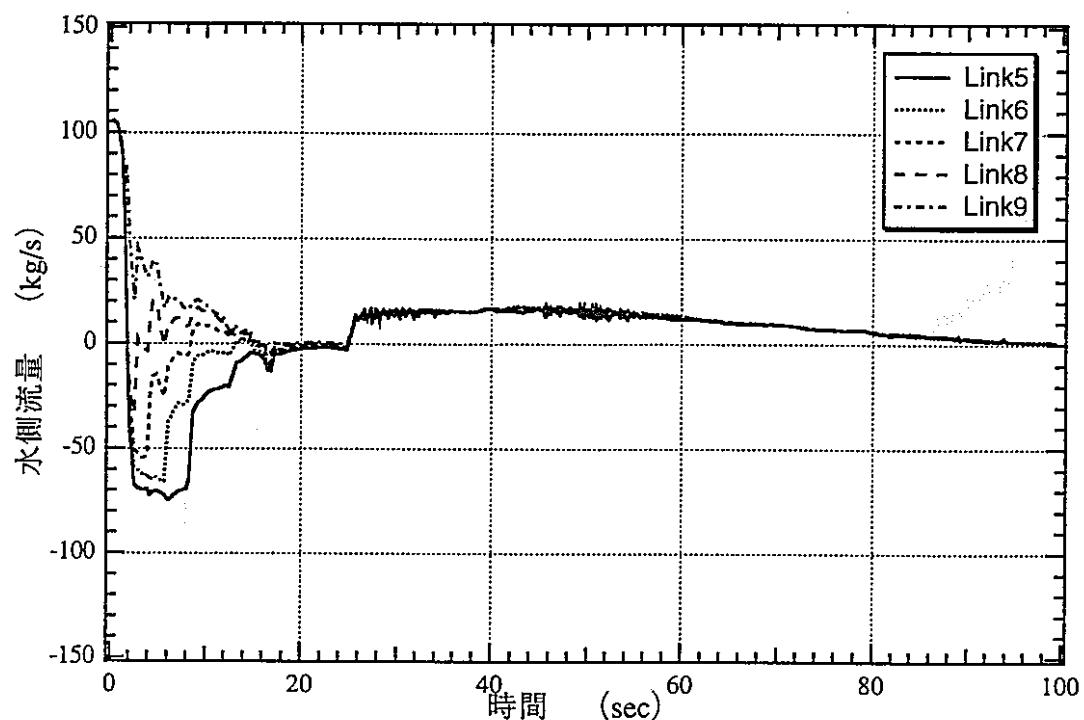


ケース1 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

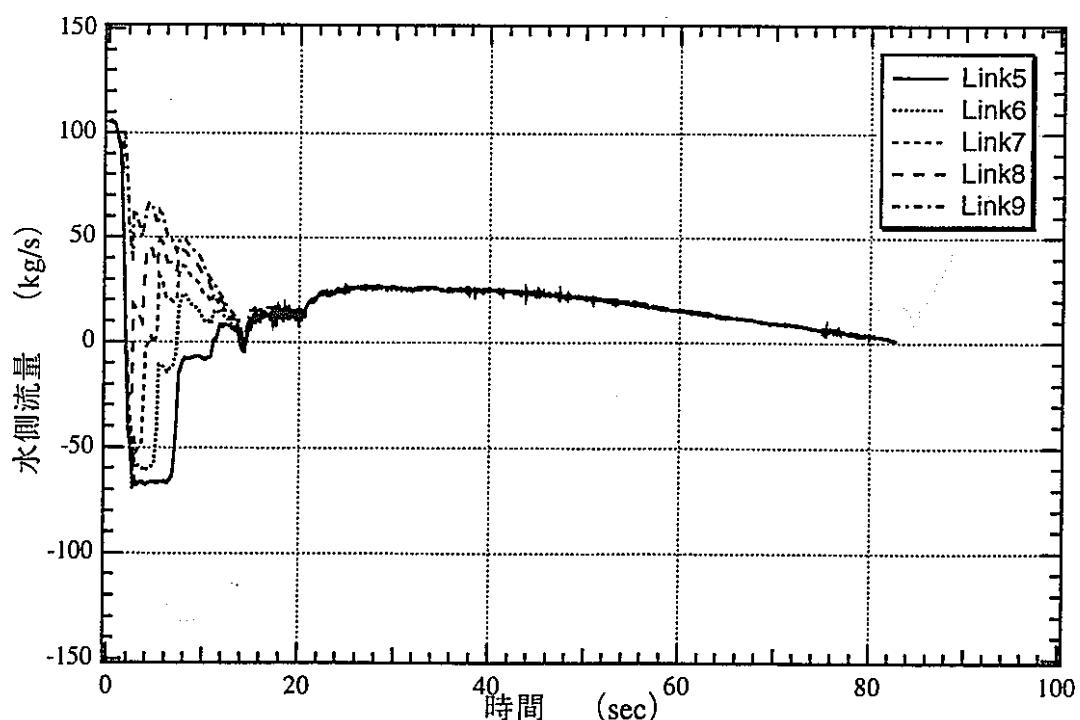


ケースN 1 (新値 3B*1,4B*4)

図2.4(1)-1 SG出入口圧力変化 (定格運転状態からのプロード)

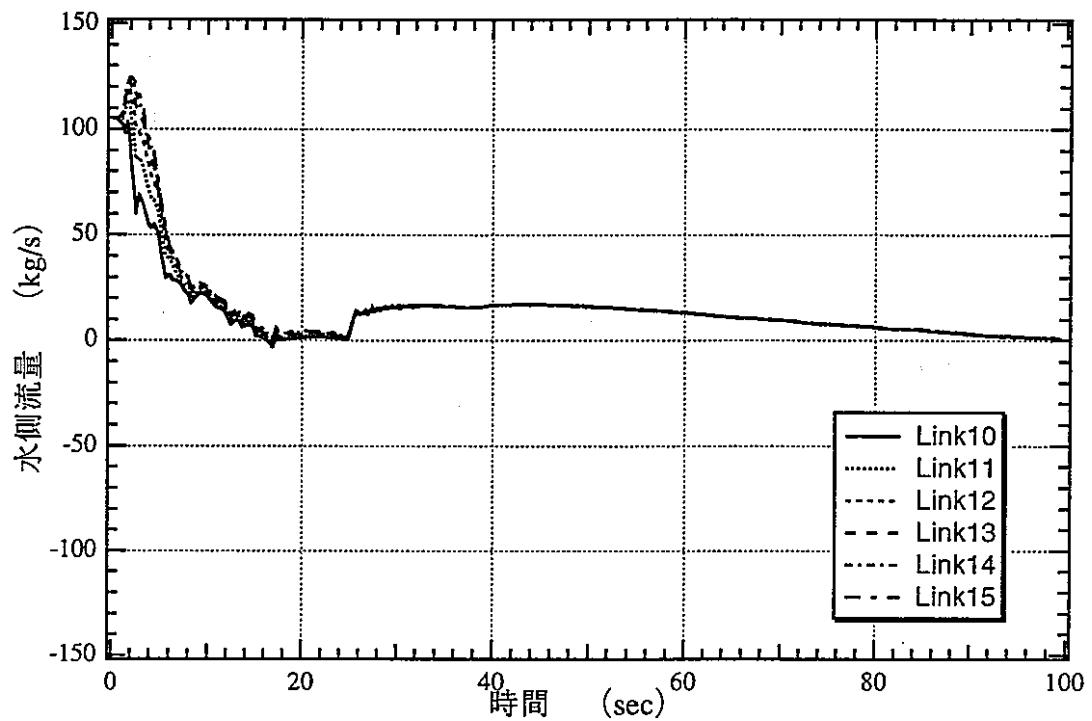


ケース1 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

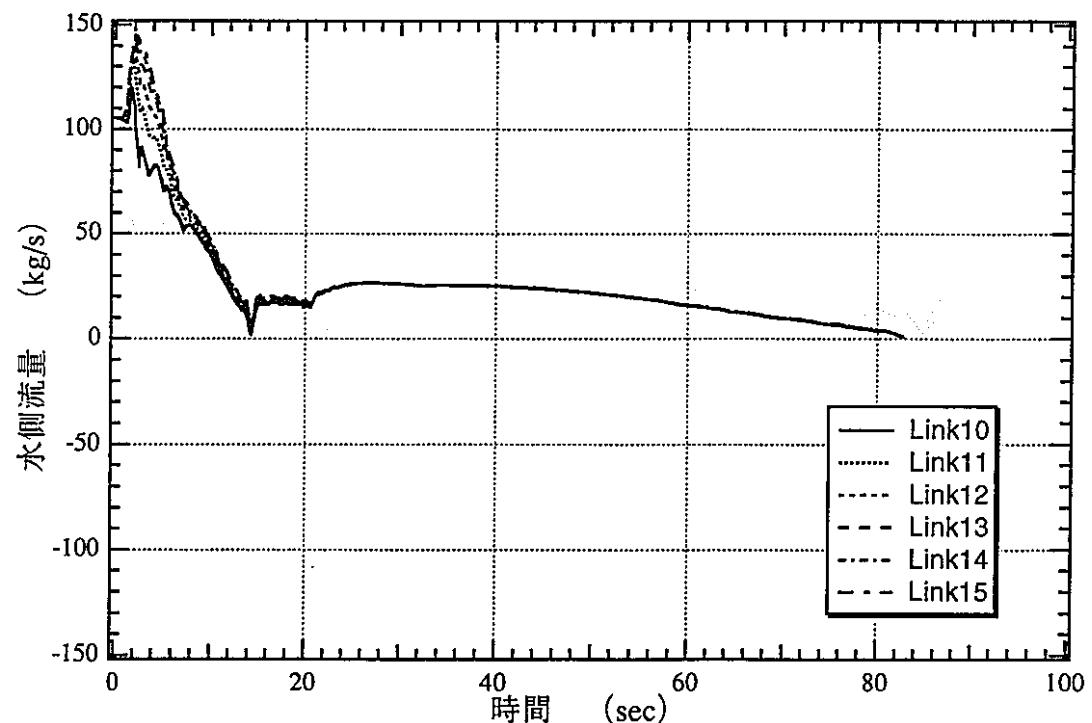


ケースN1 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(1)-2 EVコイル下部流量変化 (定格運転状態からのブロー)

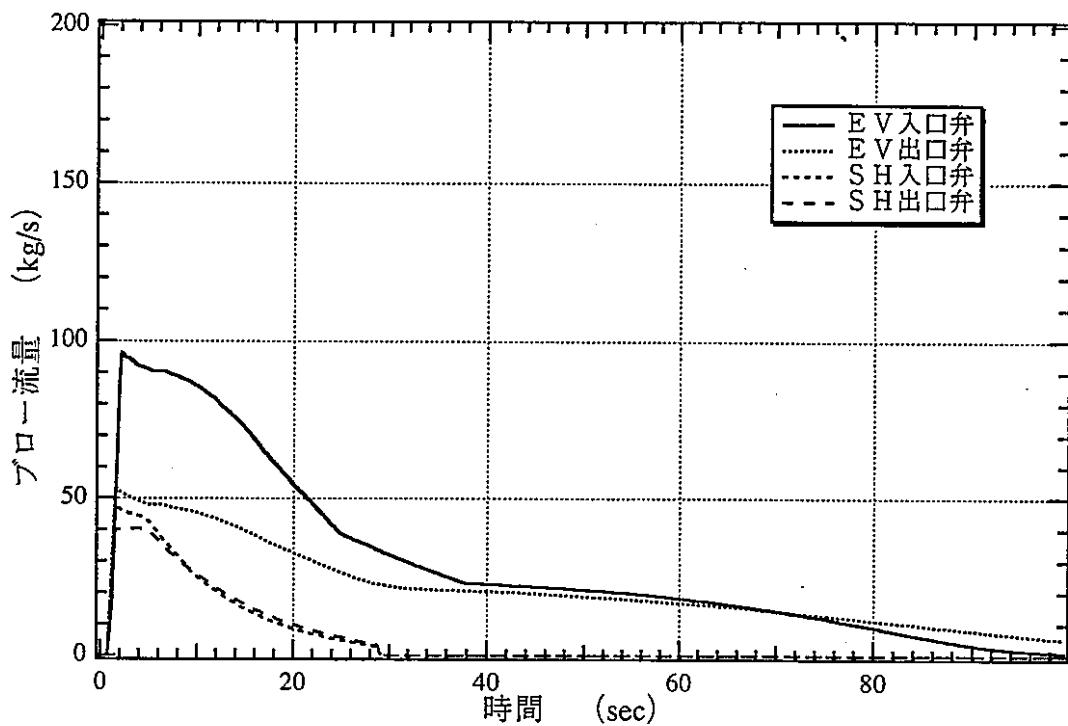


ケース1 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

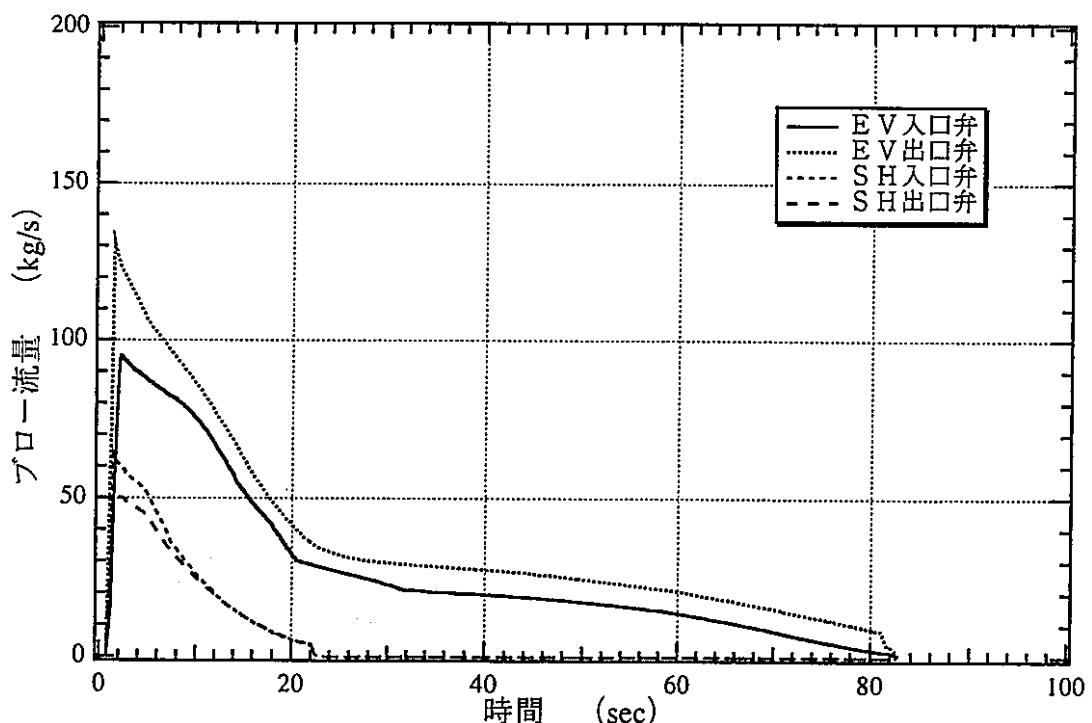


ケースN1 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(1)-3 EV管束部上部流量変化 (定格運転状態からのブロー)

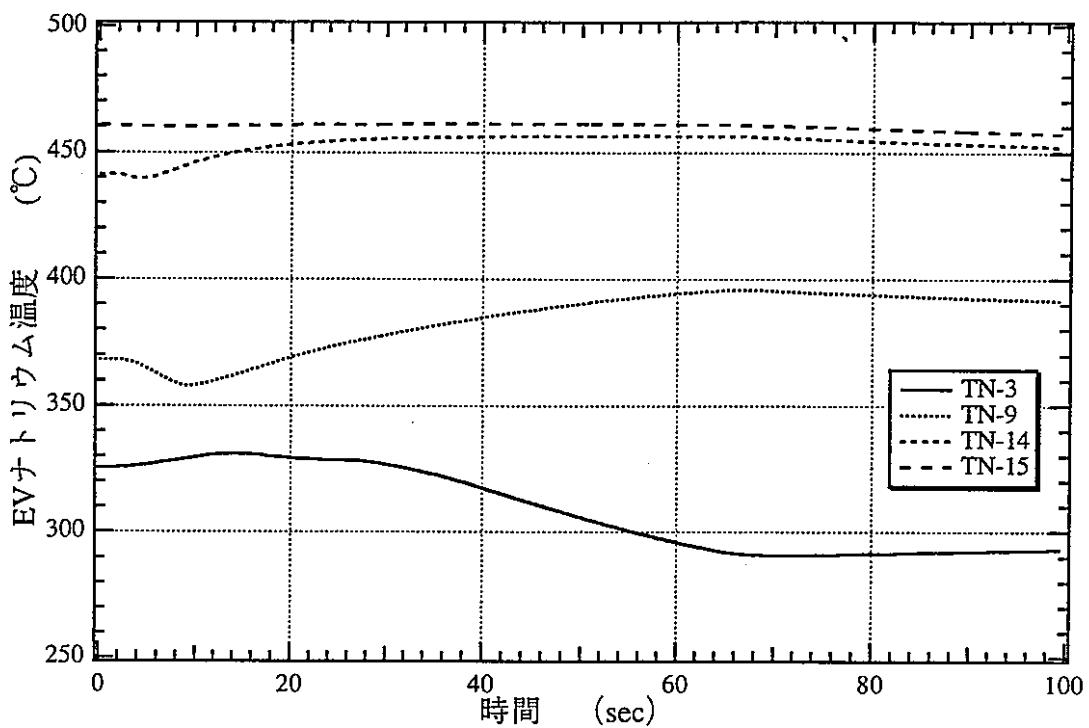


ケース1 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

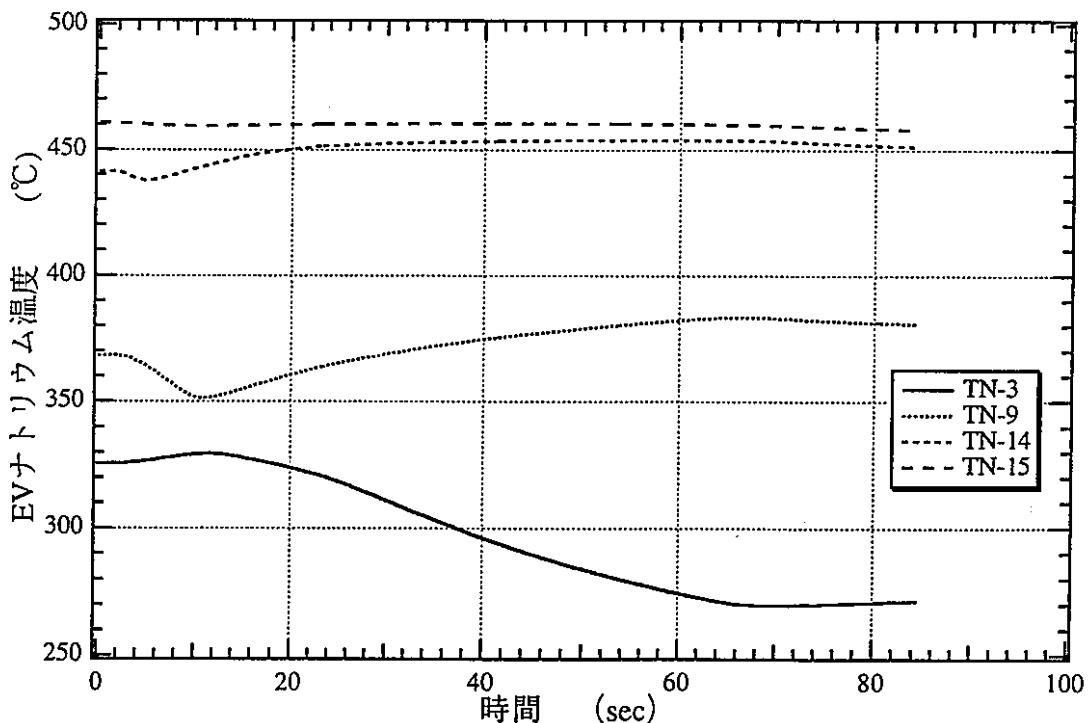


ケースN1 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(1)-4 SG出入口放出弁流量 (定格運転状態からのブロー)

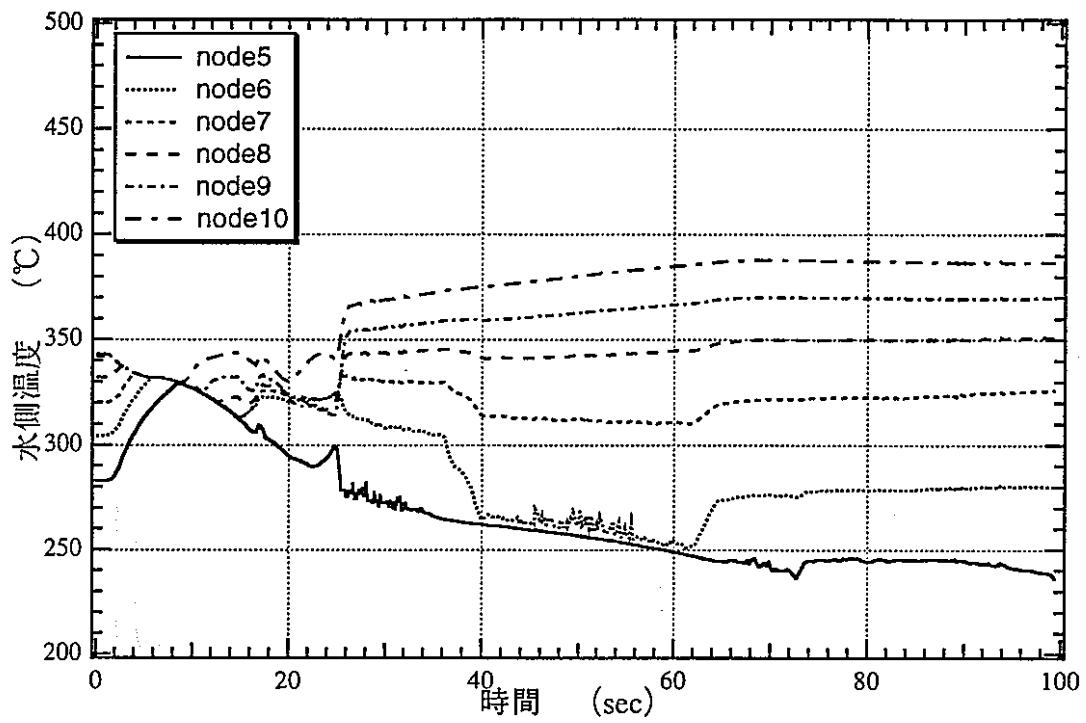


ケース1 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

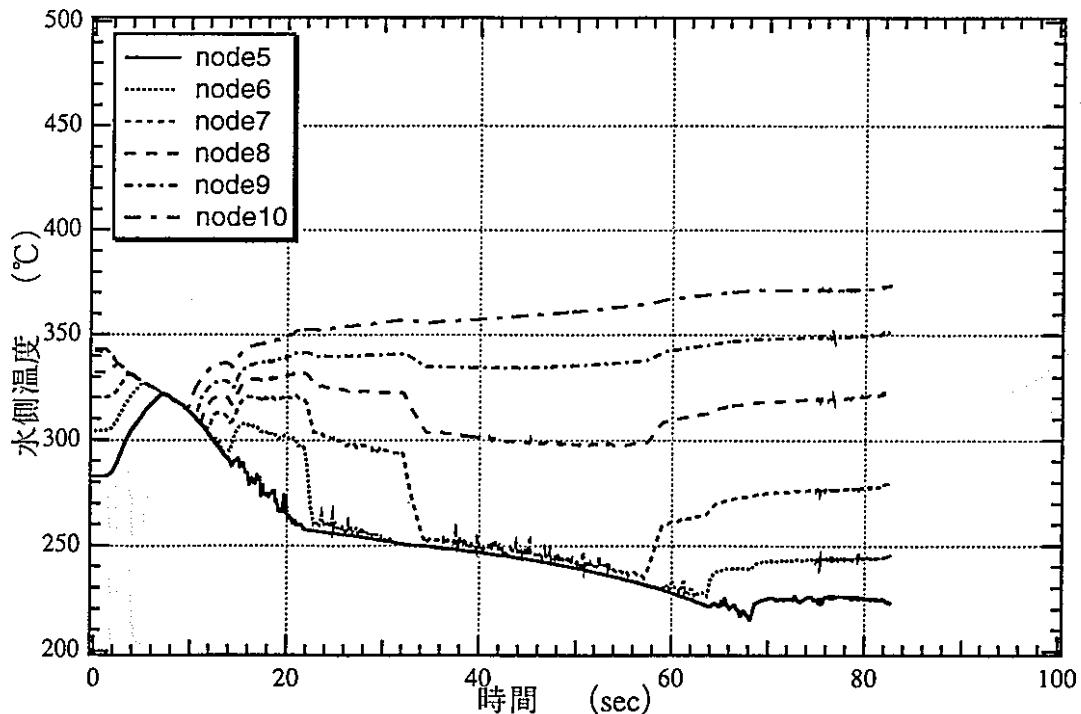


ケースN1 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(1)-5 EVナトリウム温度変化 (定格運転状態からのブロー)

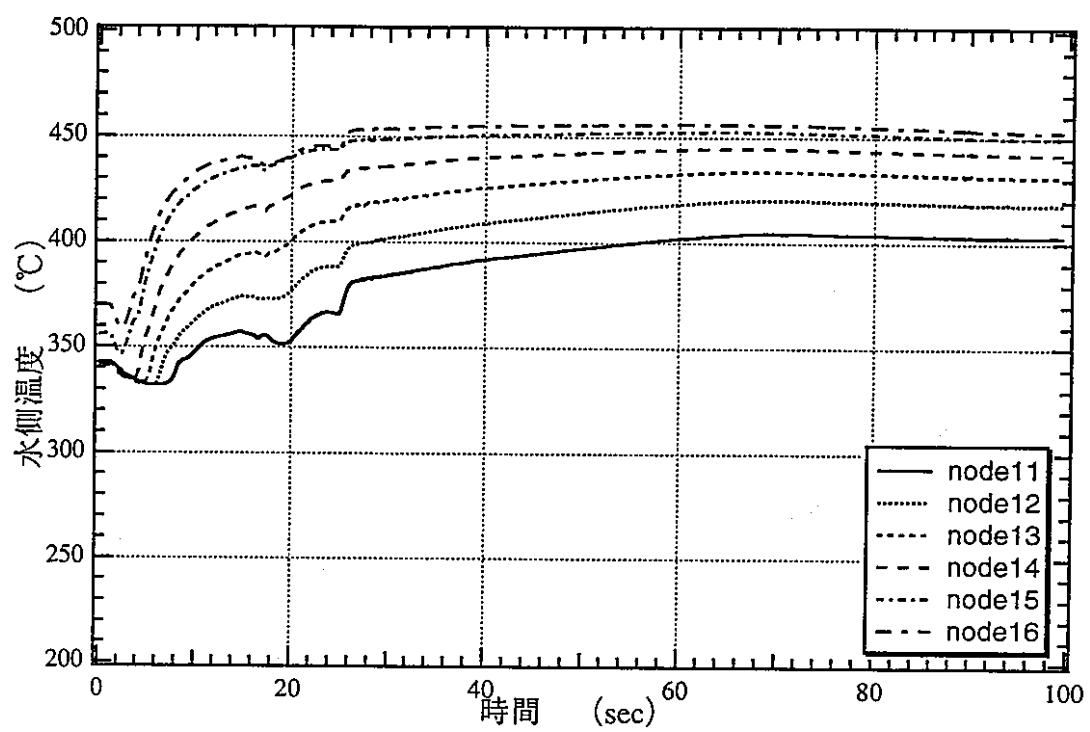


ケース1 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

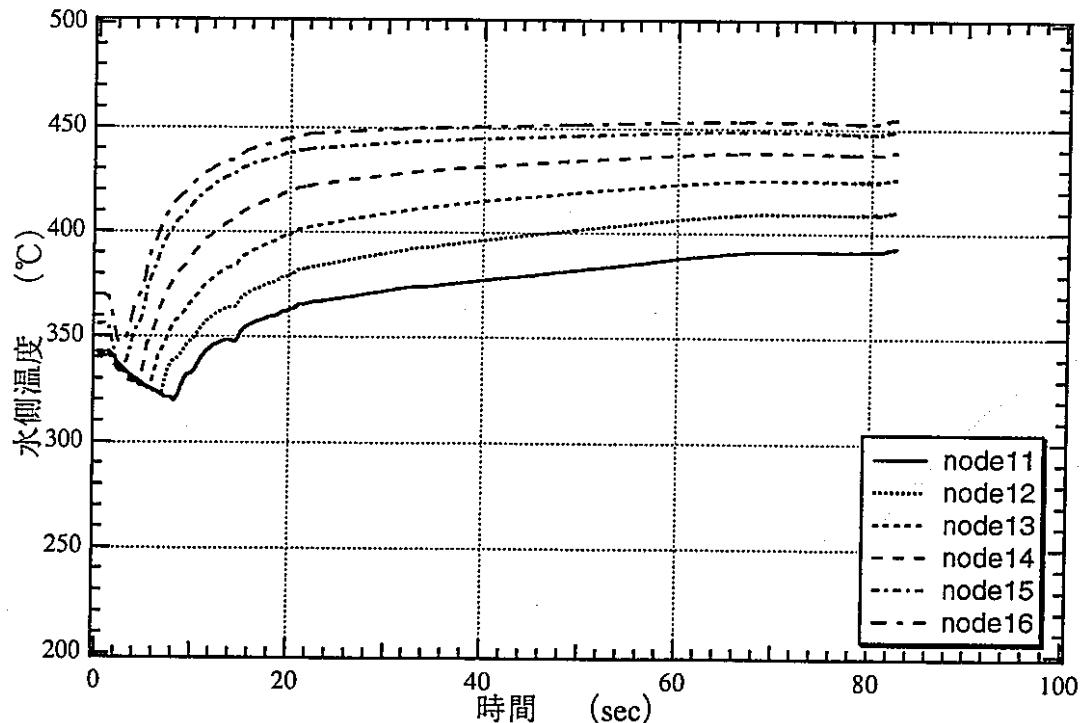


ケースN1 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(1)-6 EVコイル下部温度変化 (定格運転状態からのブロー)

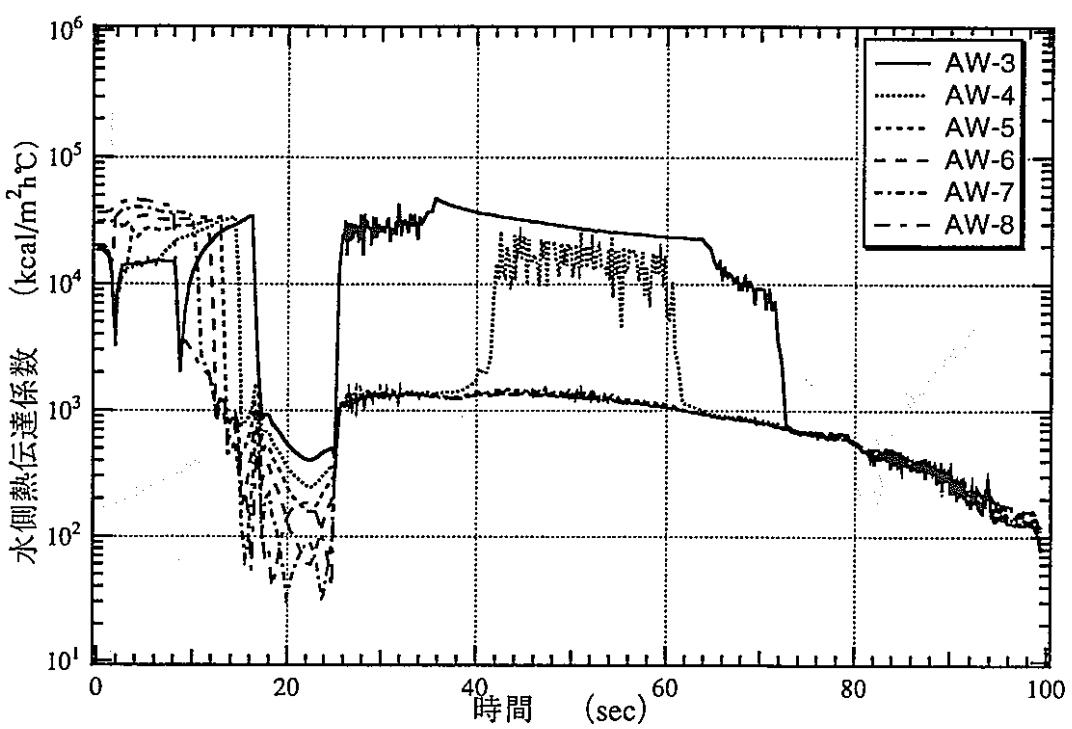


ケース1 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

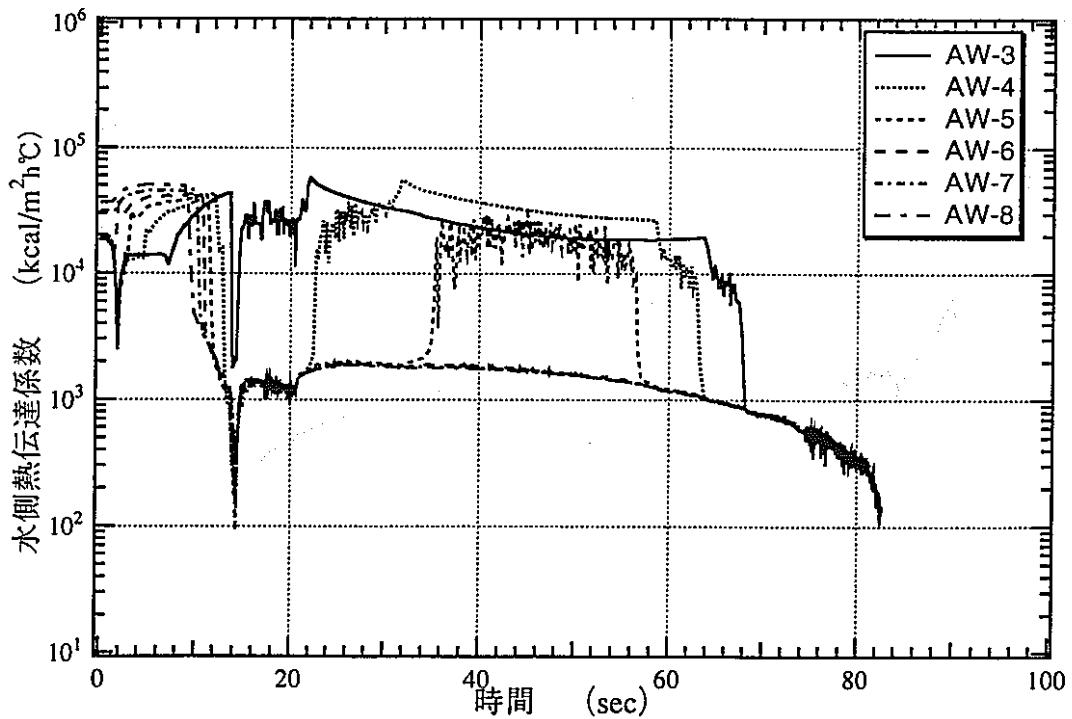


ケースN1 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(1)-7 EVコイル上部温度変化 (定格運転状態からのブロー)

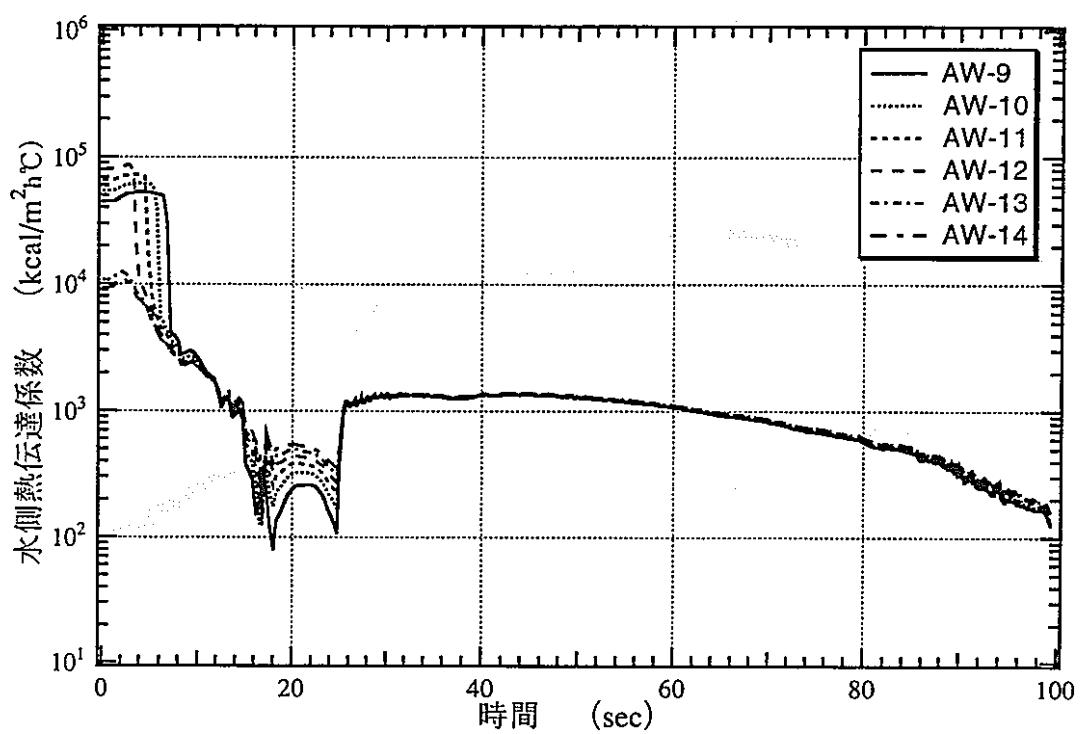


ケース1 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

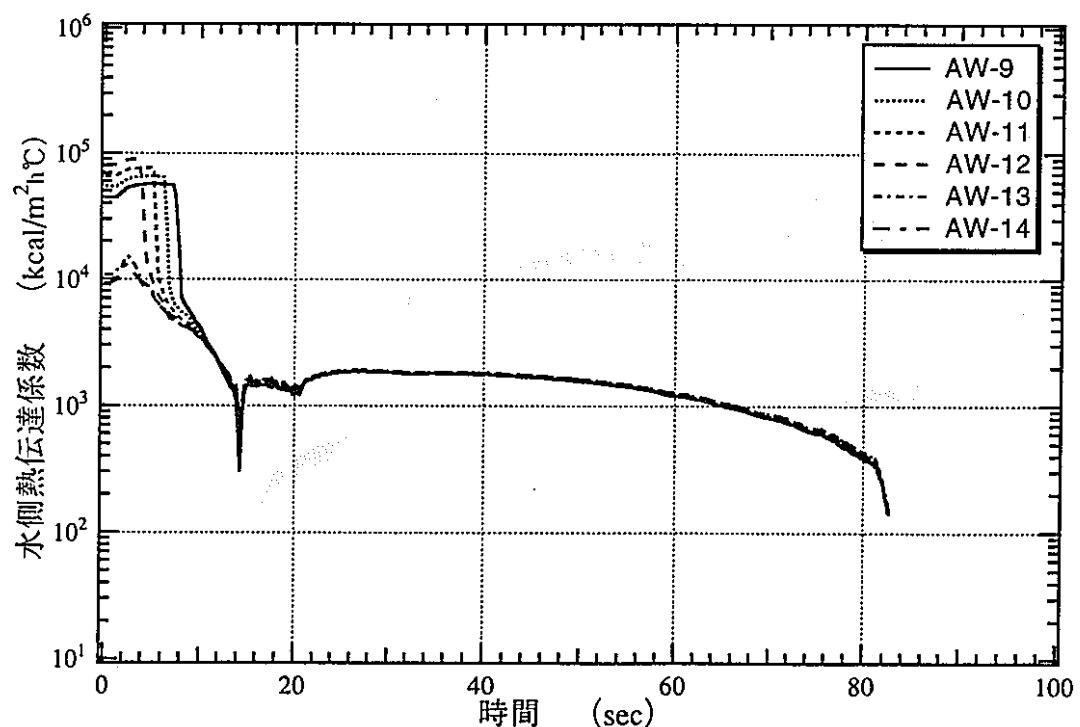


ケースN1 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(1)-8 EVコイル下部熱伝達係数変化 (定格運転状態からのプロード)

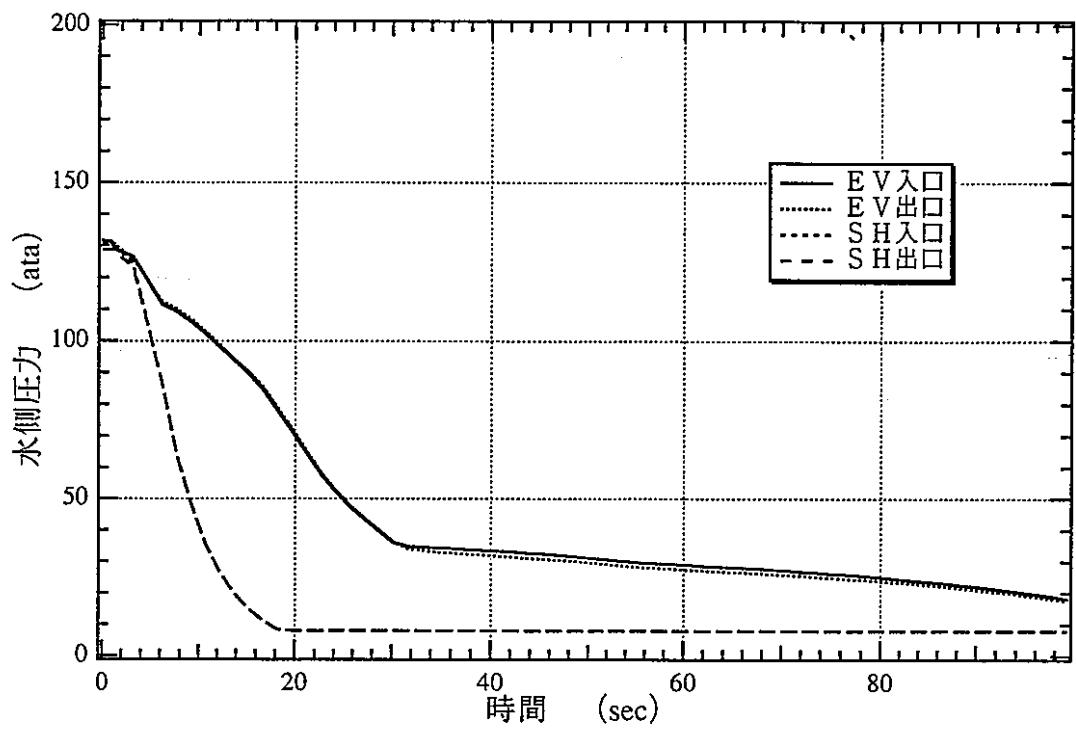


ケース1 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

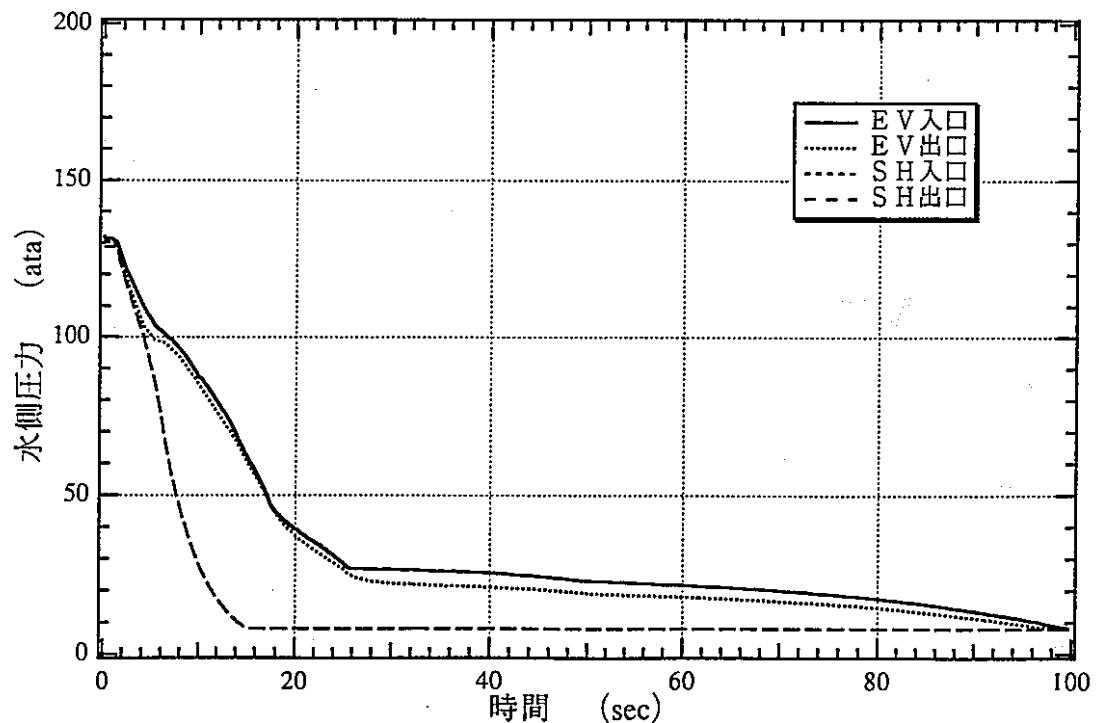


ケースN1 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(1)-9 E Vコイル上部熱伝達係数変化 (定格運転状態からのブロー)

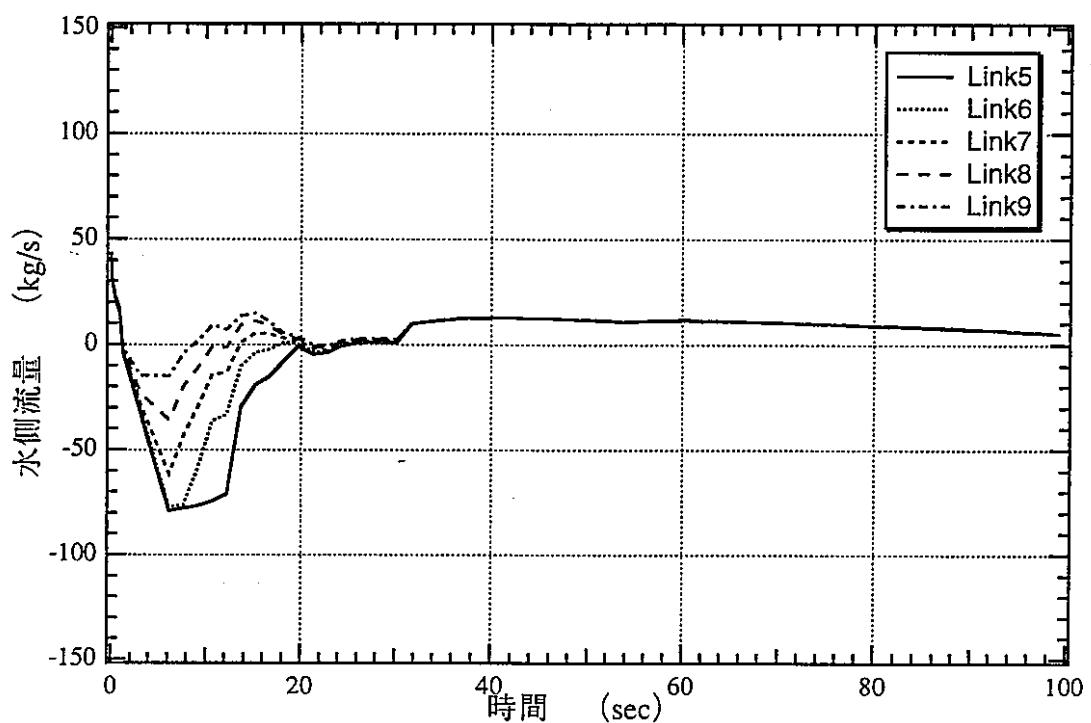


ケース6 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

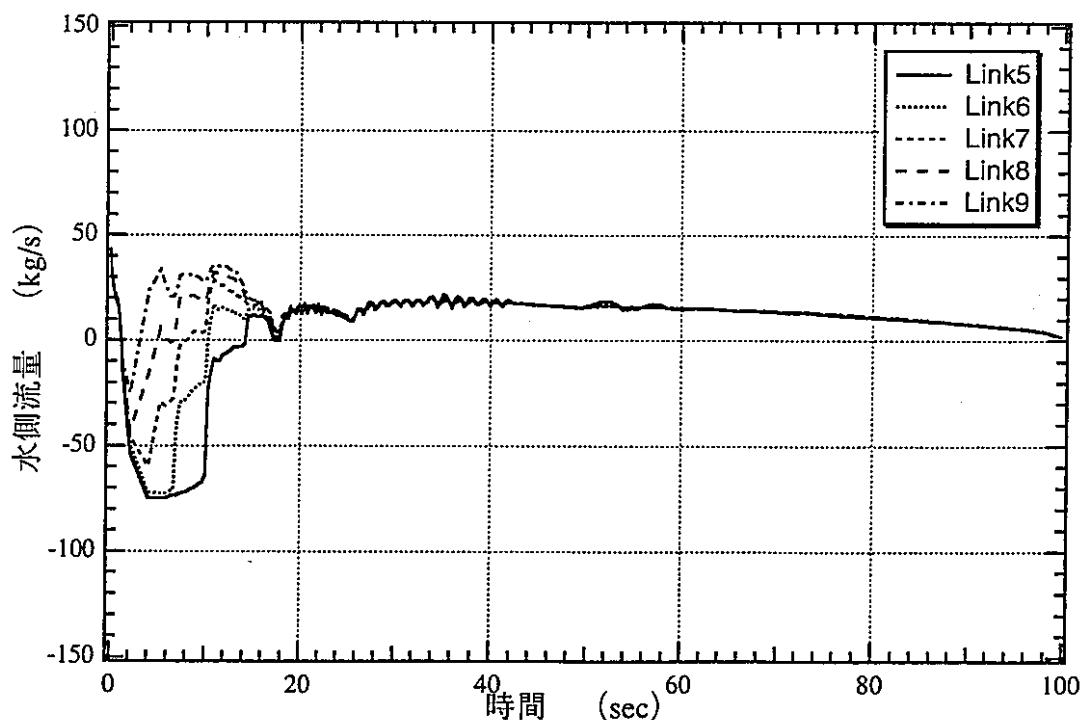


ケースN2 (新値 3B*1,4B*4)

図2.4(2)-1 SG出入口圧力変化 (40%負荷状態からのブロー)

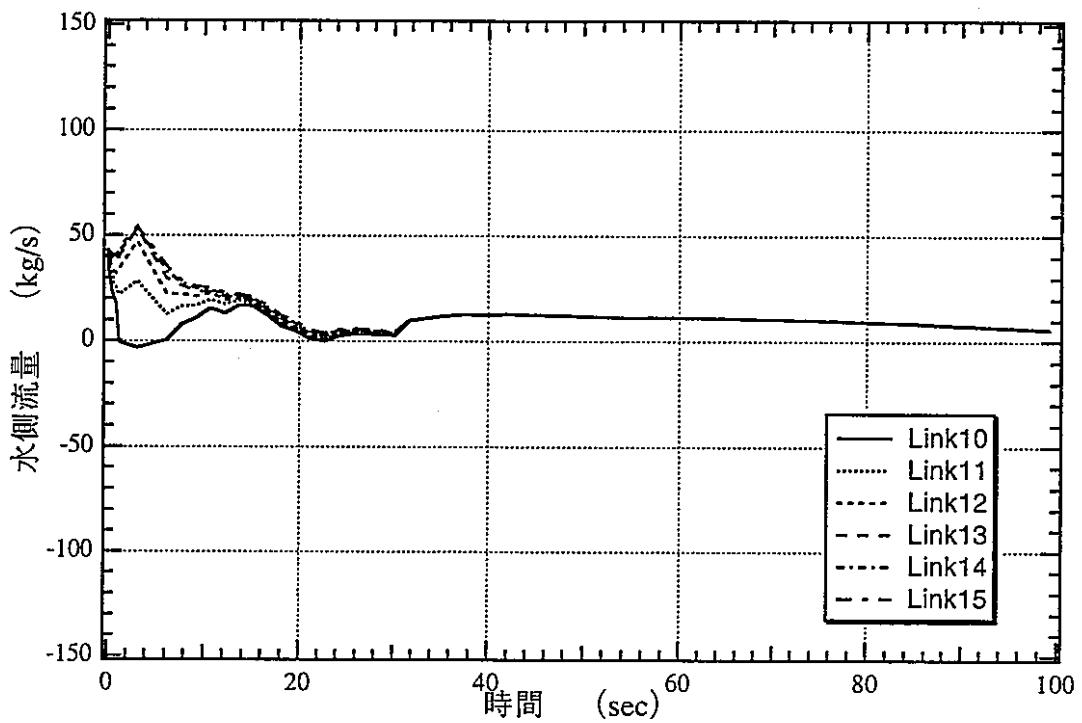


ケース6 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

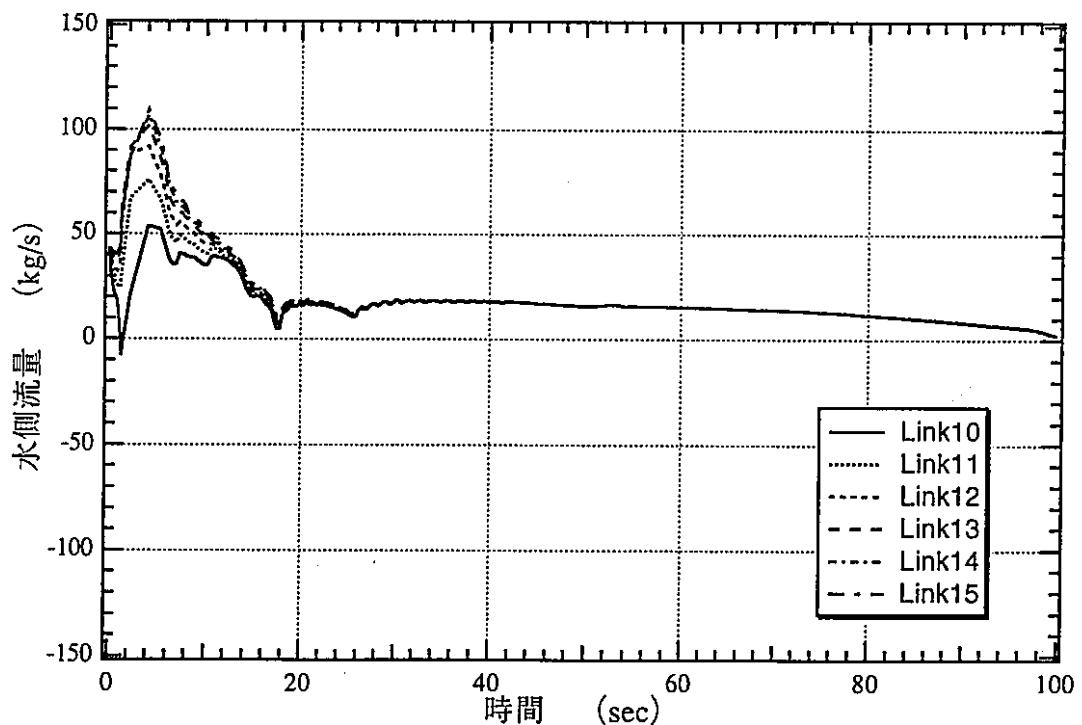


ケースN2 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(2)-2 EVコイル下部流量変化 (40%負荷状態からのプロード)

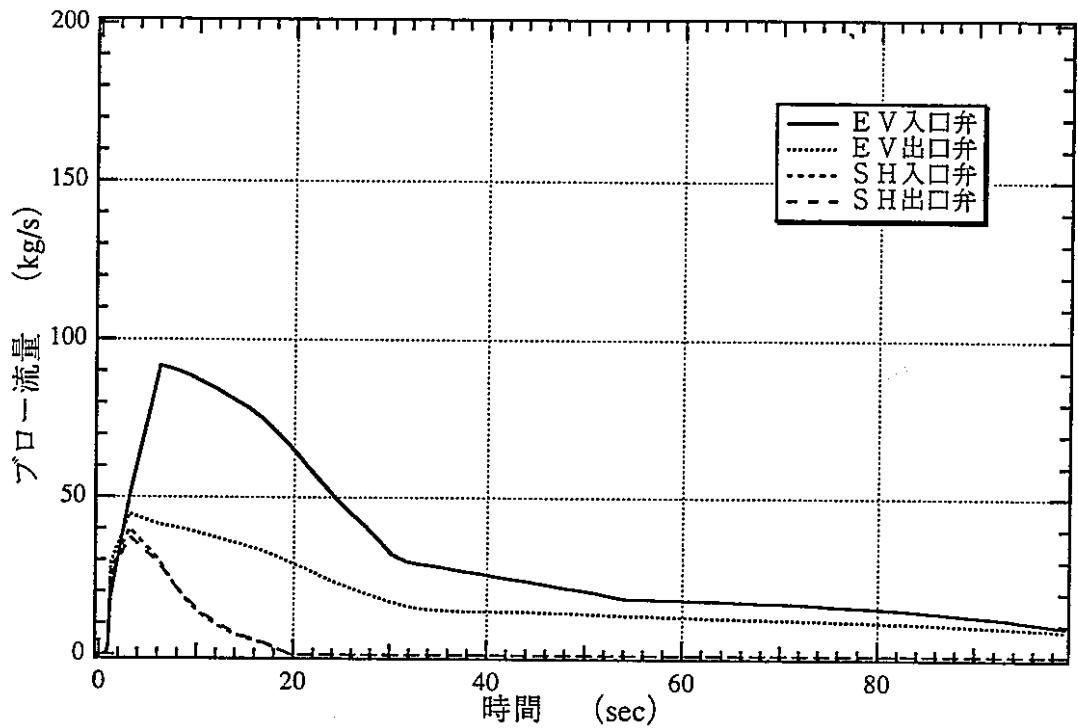


ケース6 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

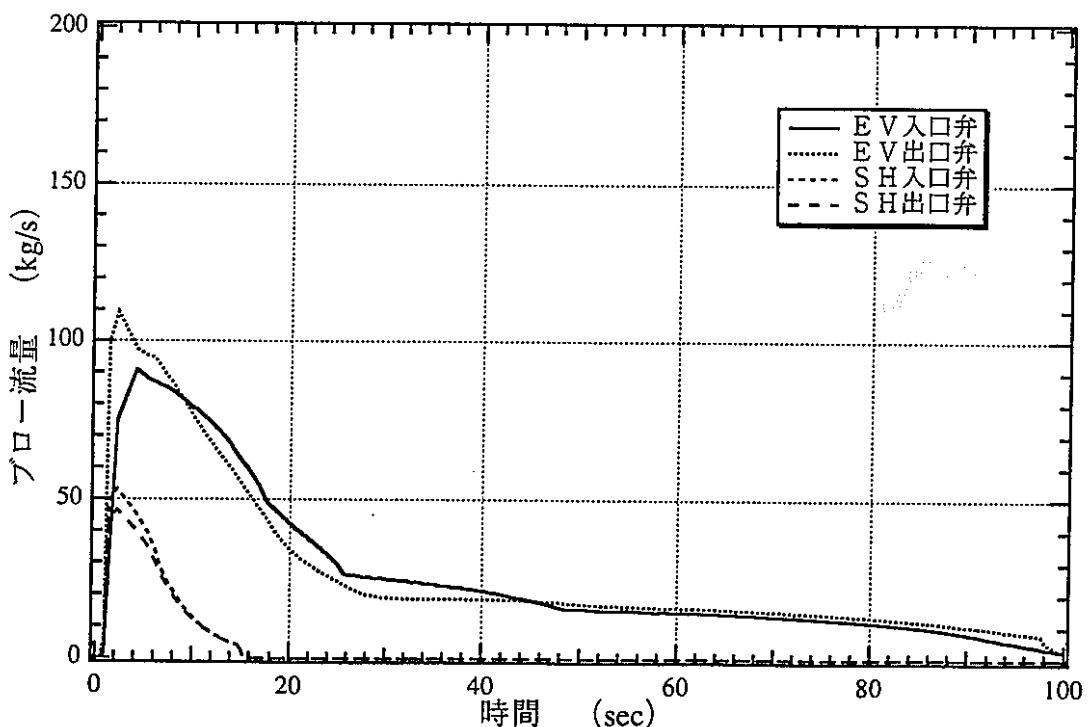


ケースN2 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(2)-3 EV管東部上部流量変化 (40%負荷状態からのブロー)

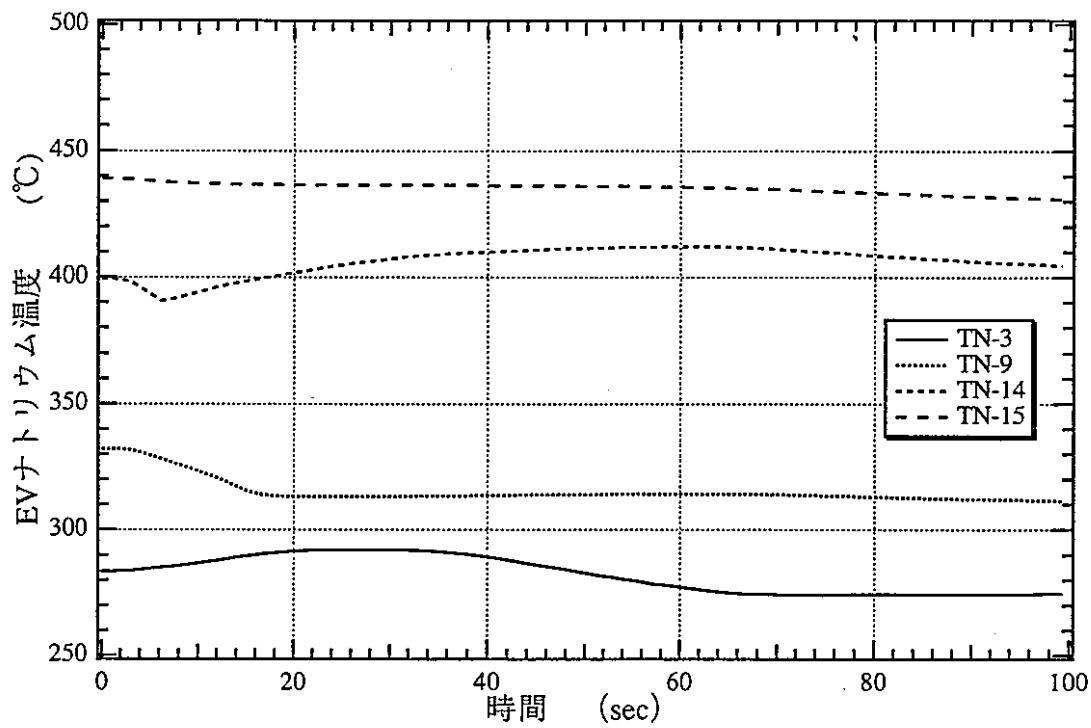


ケース6 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

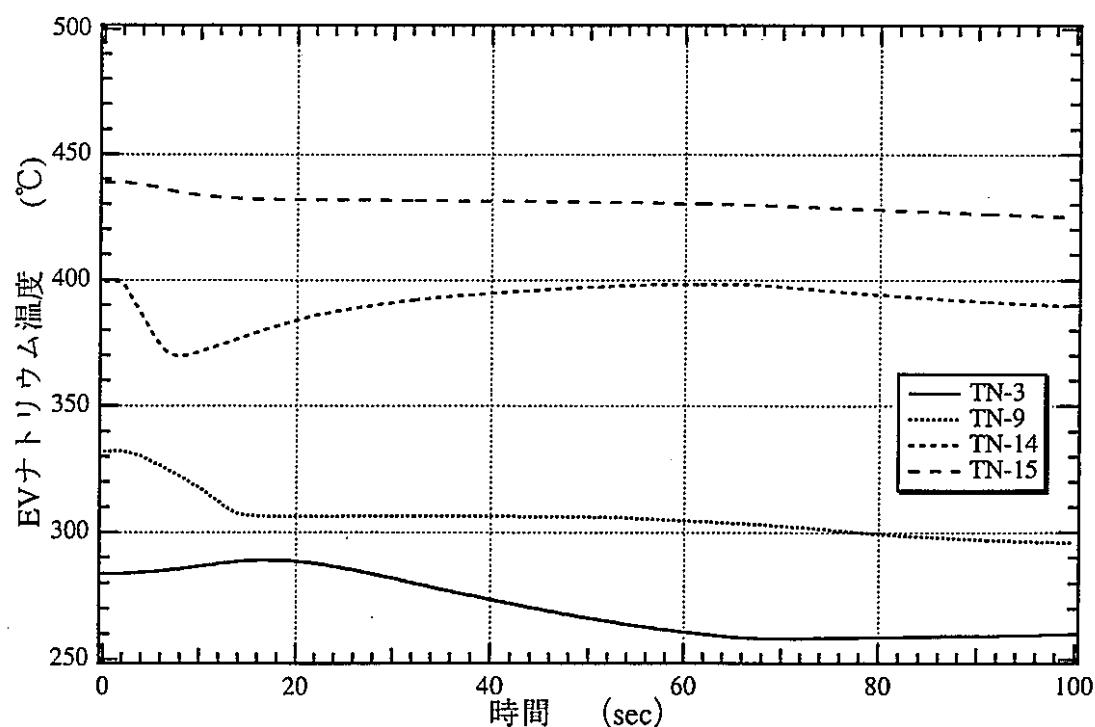


ケースN2 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(2)-4 SG出入口放出弁流量 (40%負荷状態からのブロー)

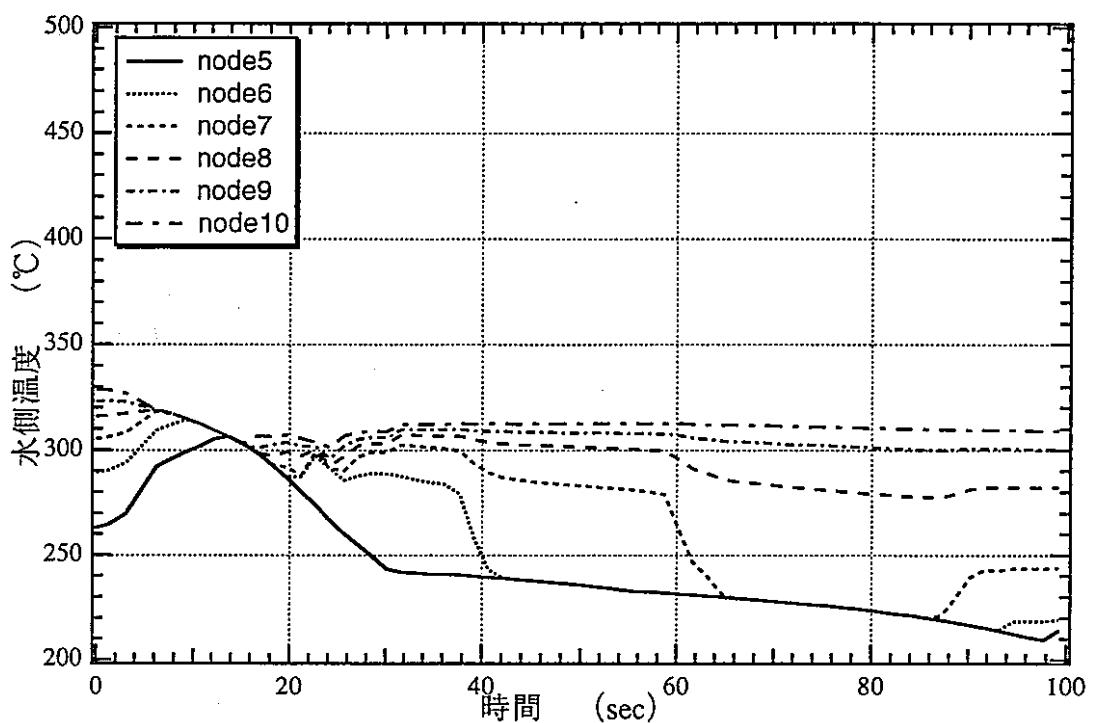


ケース6 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

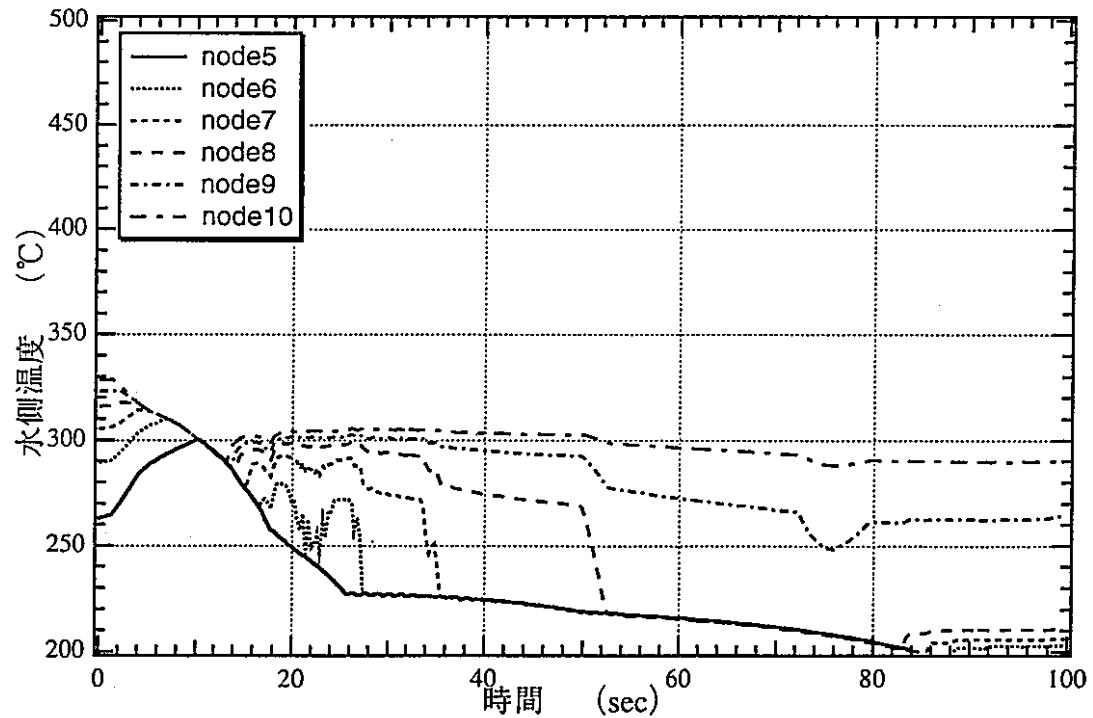


ケースN2 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(2)-5 EVナトリウム温度変化 (40%負荷状態からのプロード)

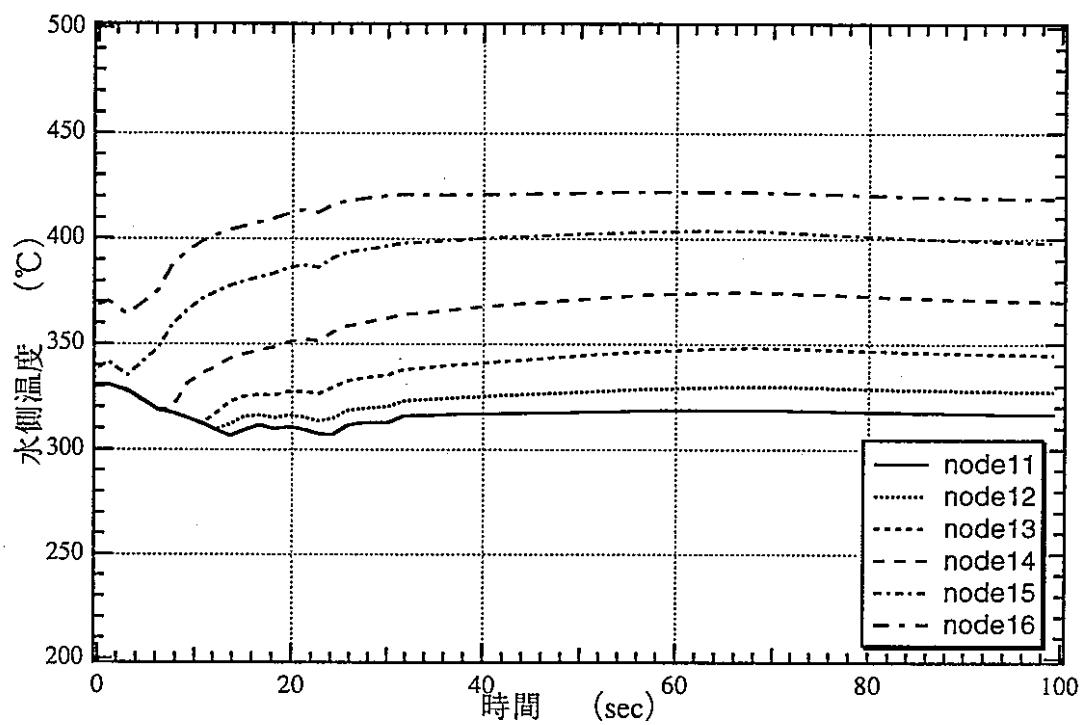


ケース6 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

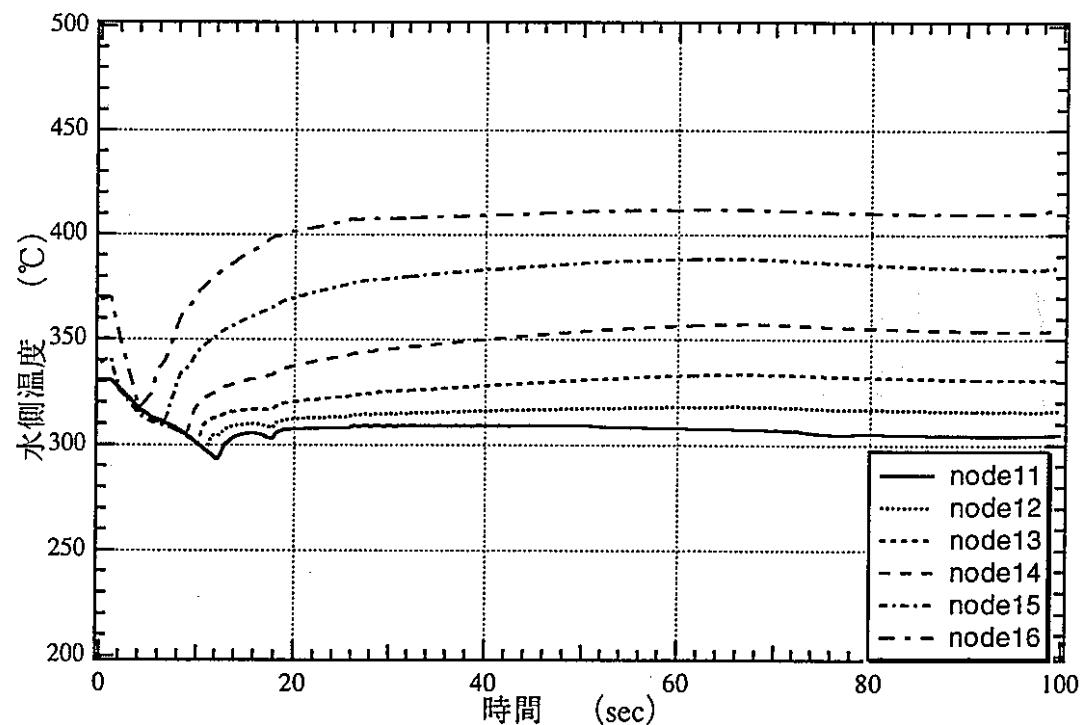


ケースN2 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(2)-6 EVコイル下部温度変化 (40%負荷状態からのブロー)

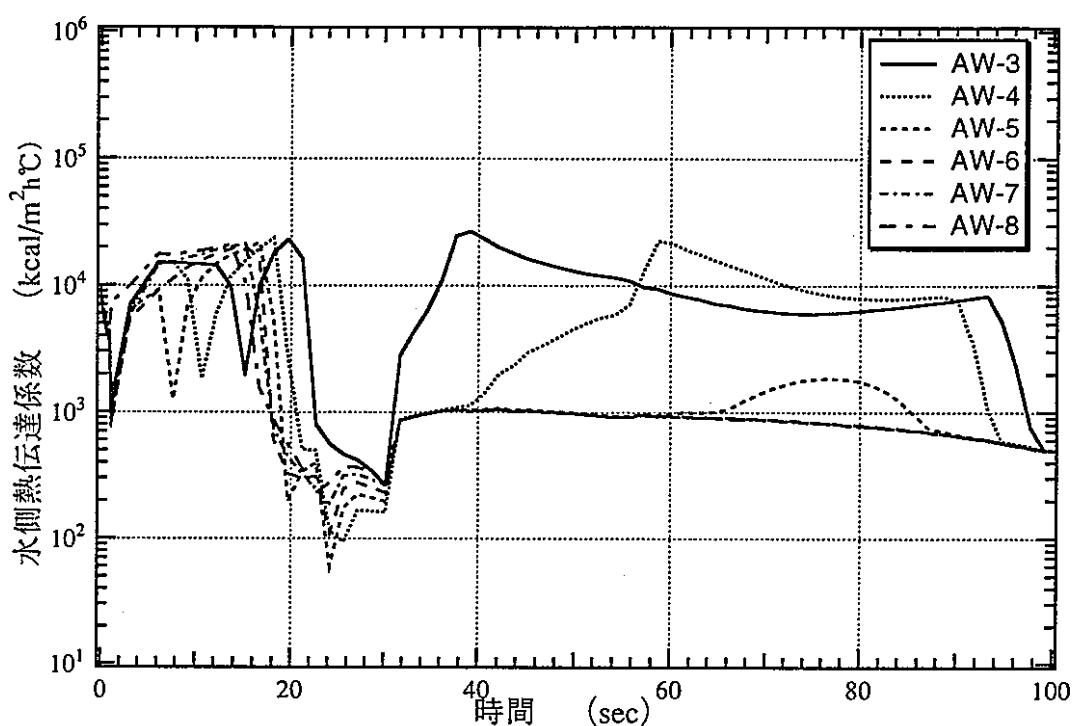


ケース6 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

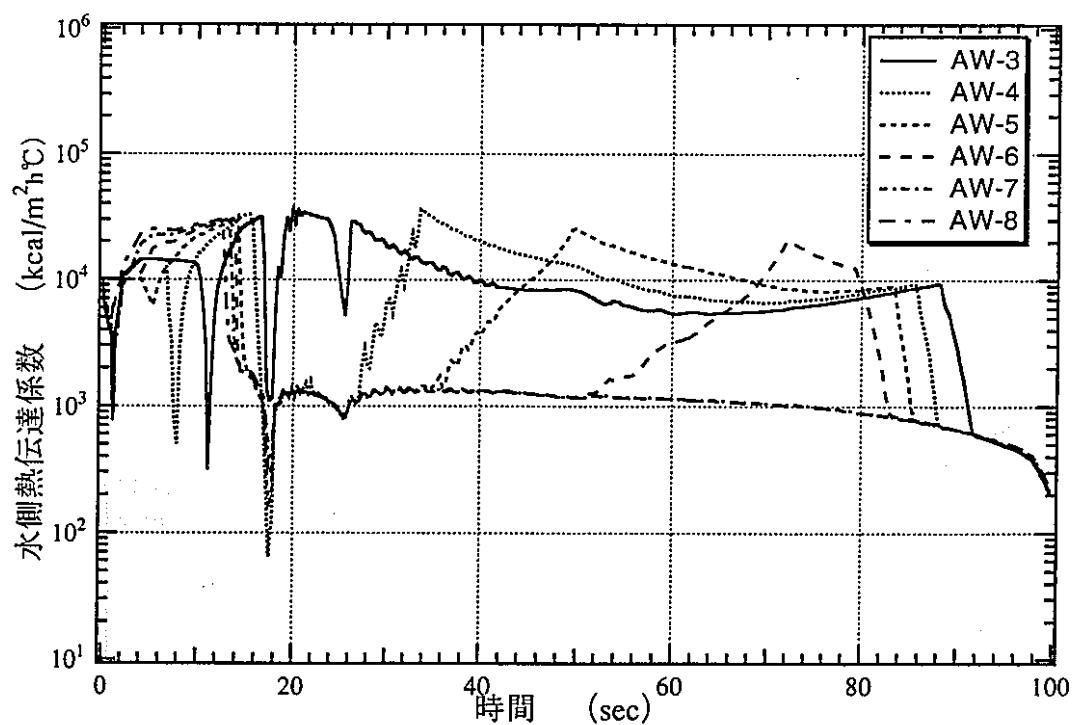


ケースN2 (新値 3B*1, 4B*4)

図2.4(2)-7 EVコイル上部温度変化 (40%負荷状態からのプロー)

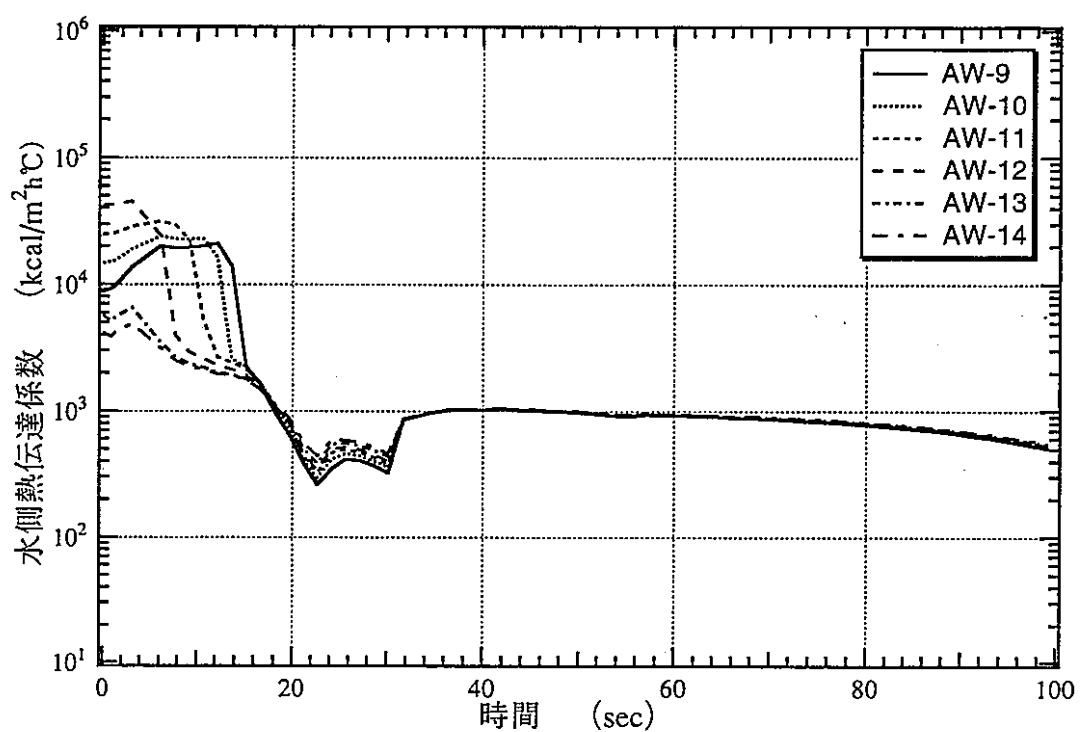


ケース6 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

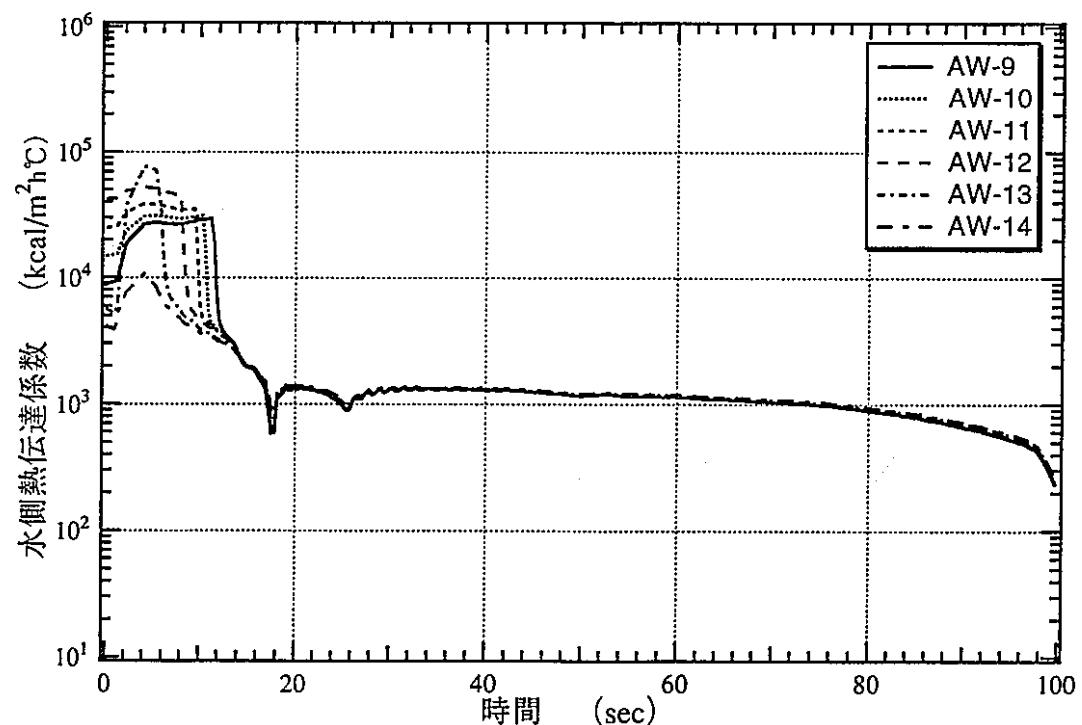


ケースN2 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(2)-8 EVコイル下部熱伝達係数変化 (40%負荷状態からのプロード)

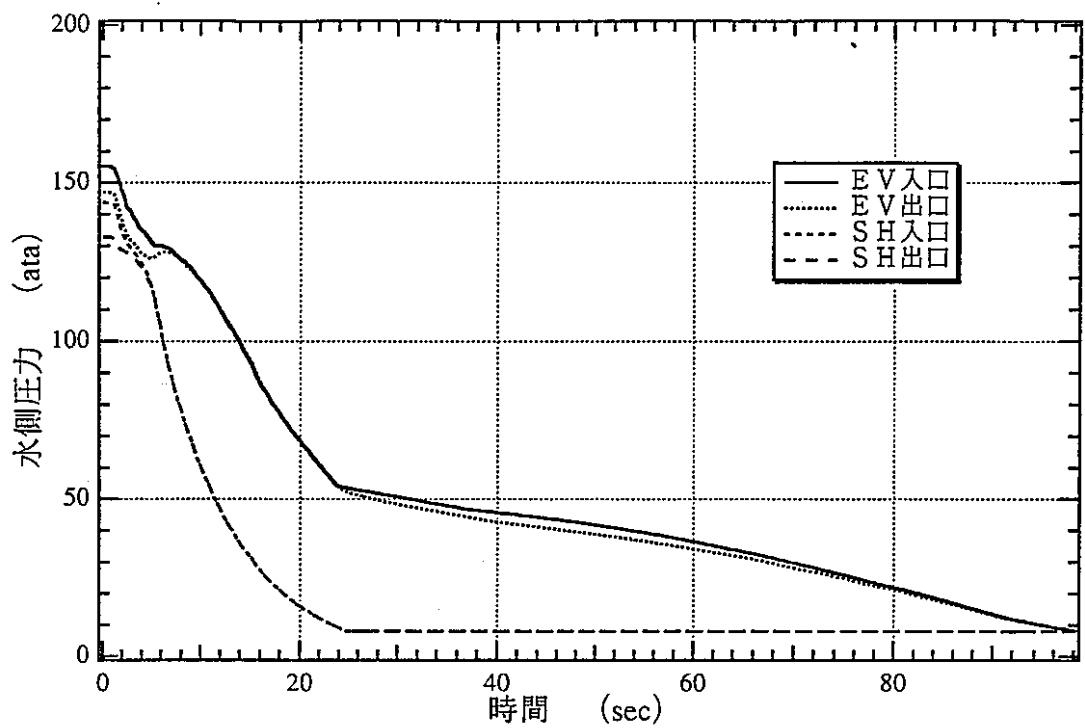


ケース6 (EV入口弁3B、EV出口弁4B)

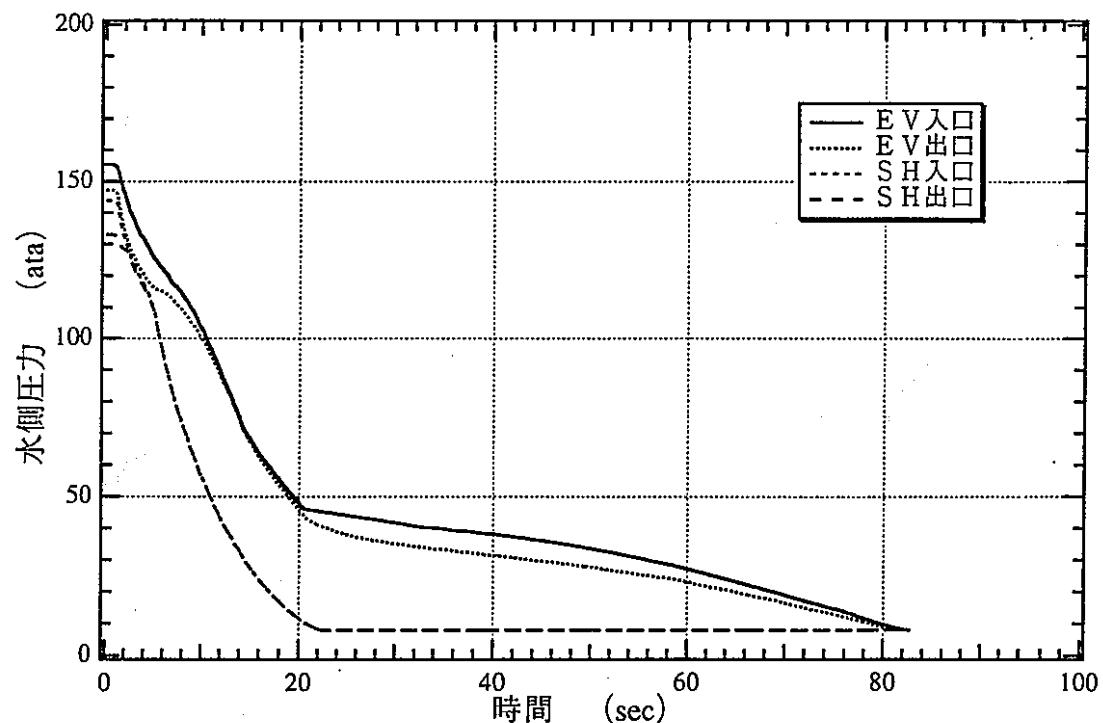


ケースN2 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(2)-9 EVコイル上部熱伝達係数変化 (40%負荷状態からのプロード)

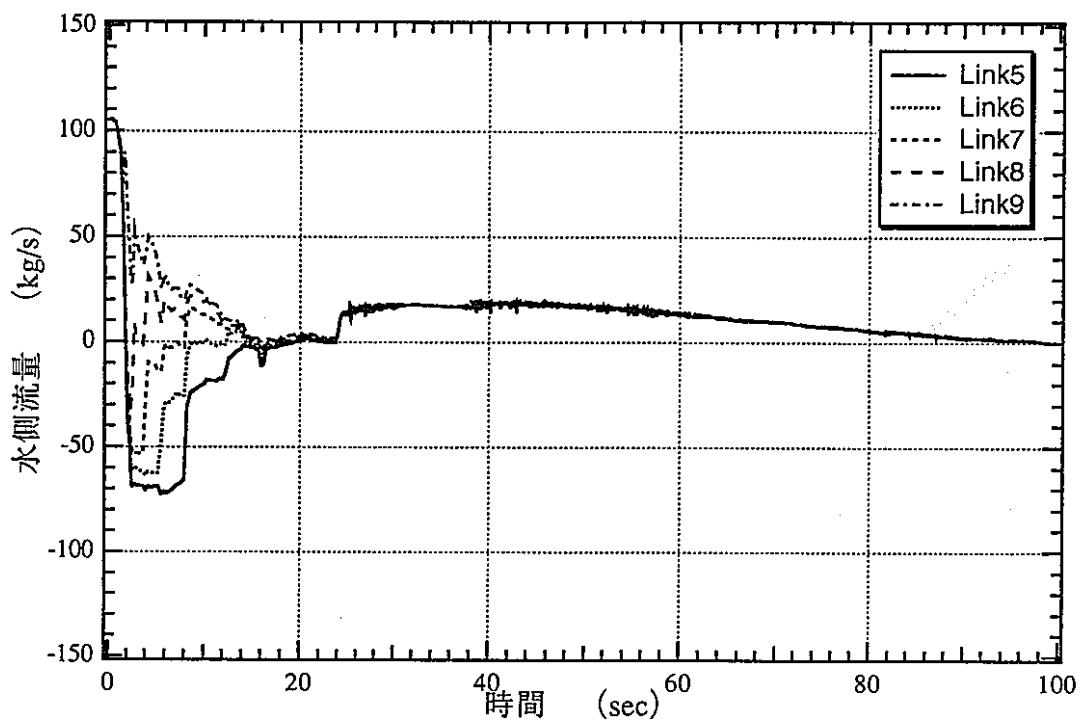


ケースN3 (新値 3B*1,4B*2)

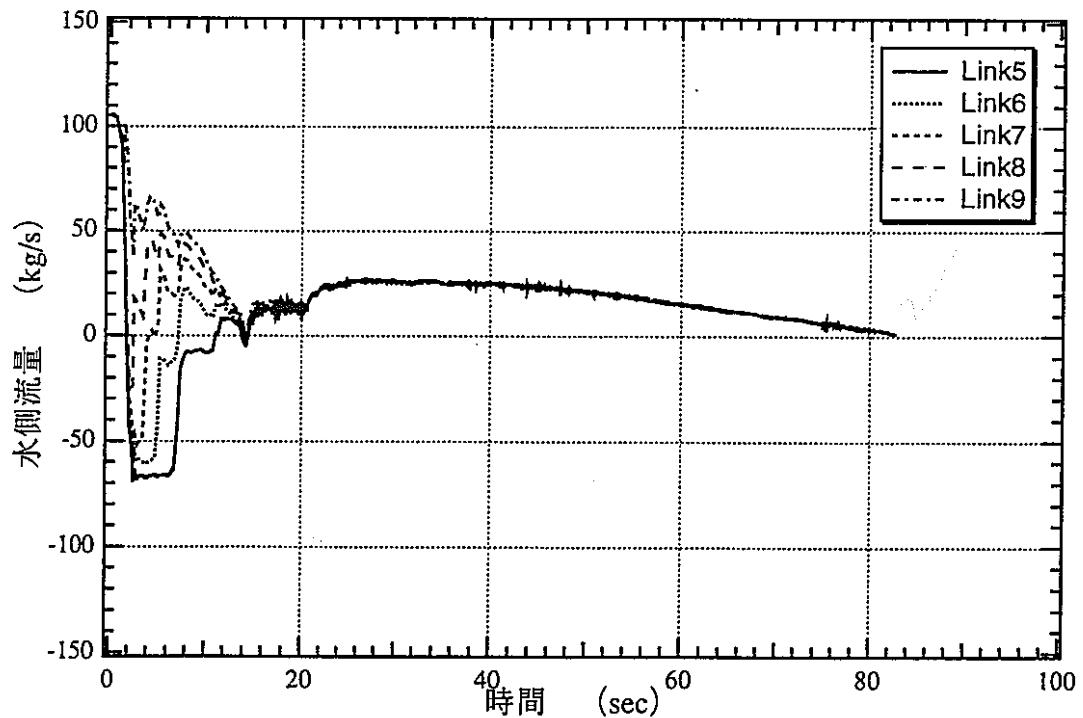


ケースN1 (新値 3B*1,4B*4)

図2.4(3)-1 SG出入口圧力変化 (定格運転状態からのブロー)

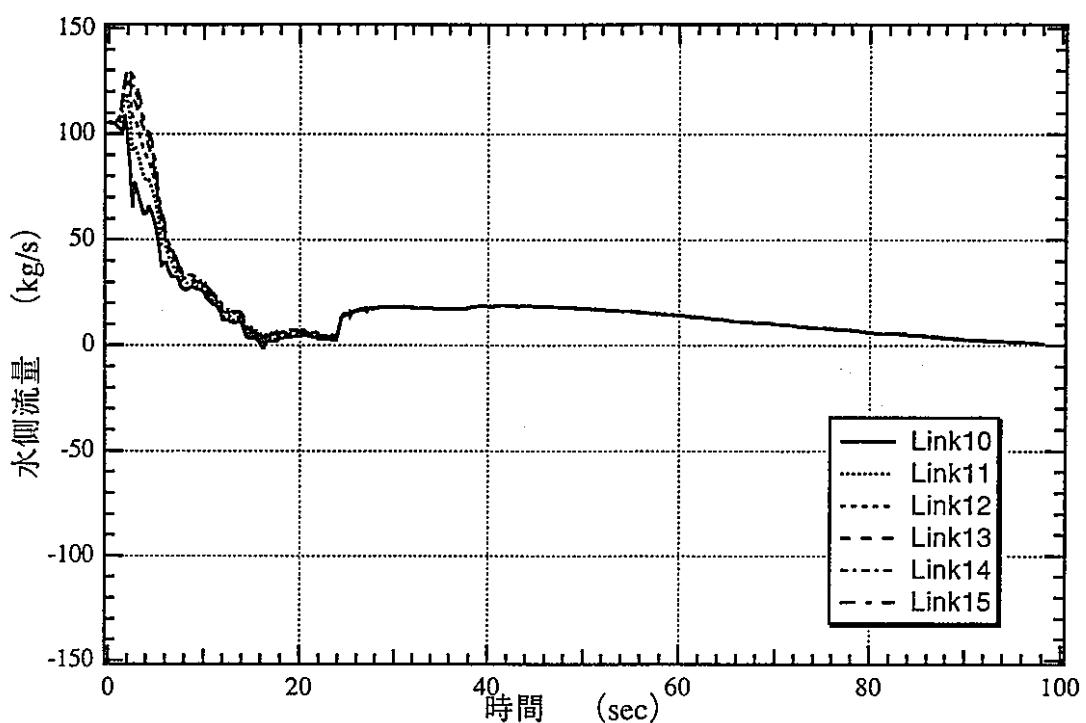


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2)

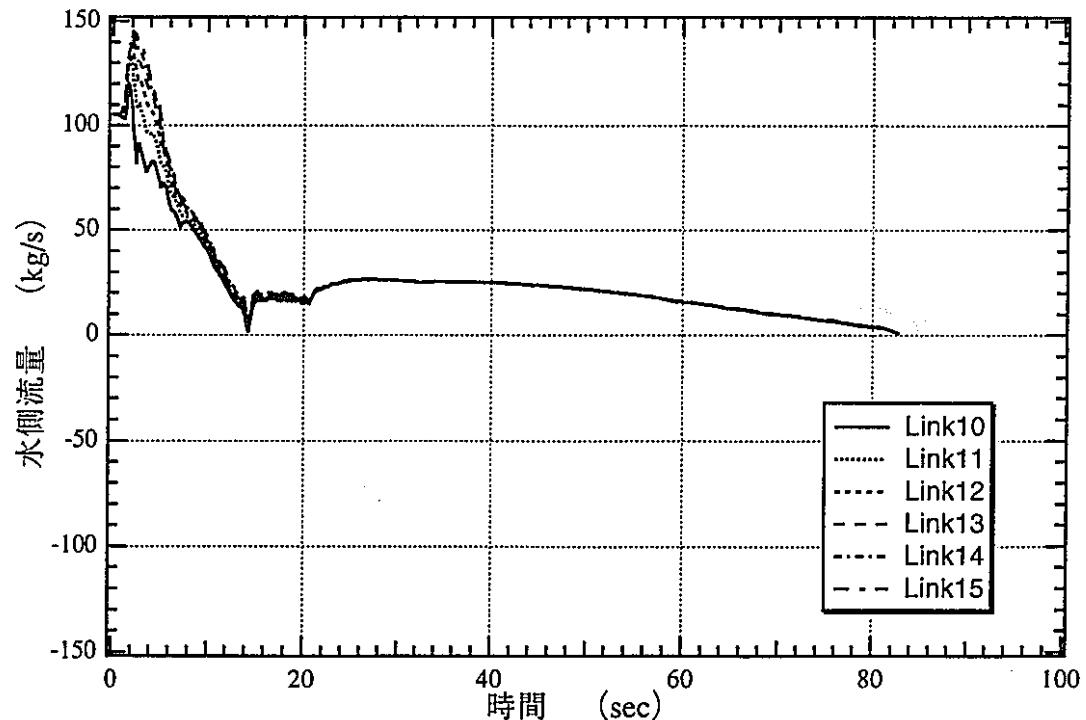


ケースN1 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(3)-2 E Vコイル下部流量変化 (定格運転状態からのプロー)

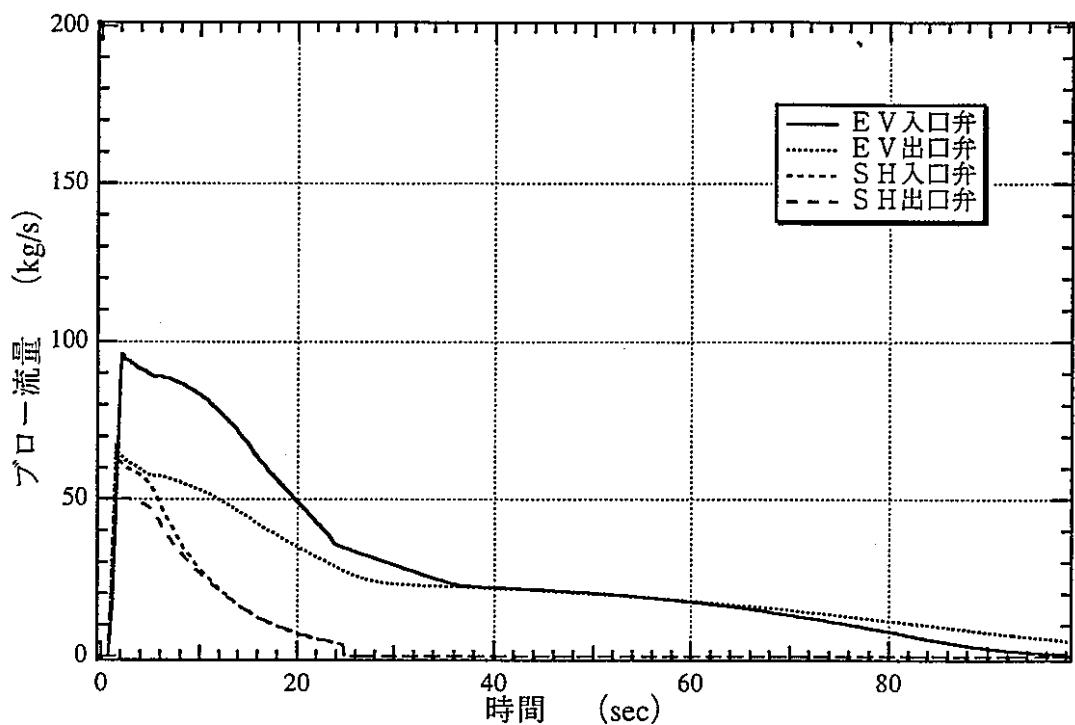


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2)

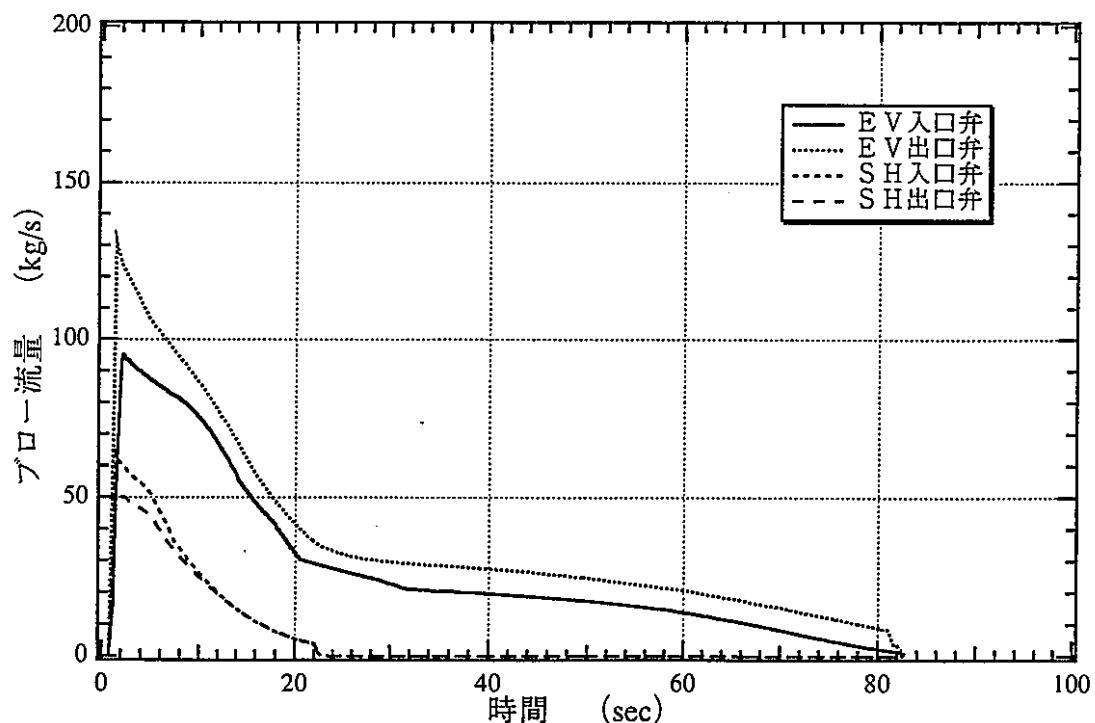


ケースN1 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(3)-3 E V管東部上部流量変化 (定格運転状態からのブロー)

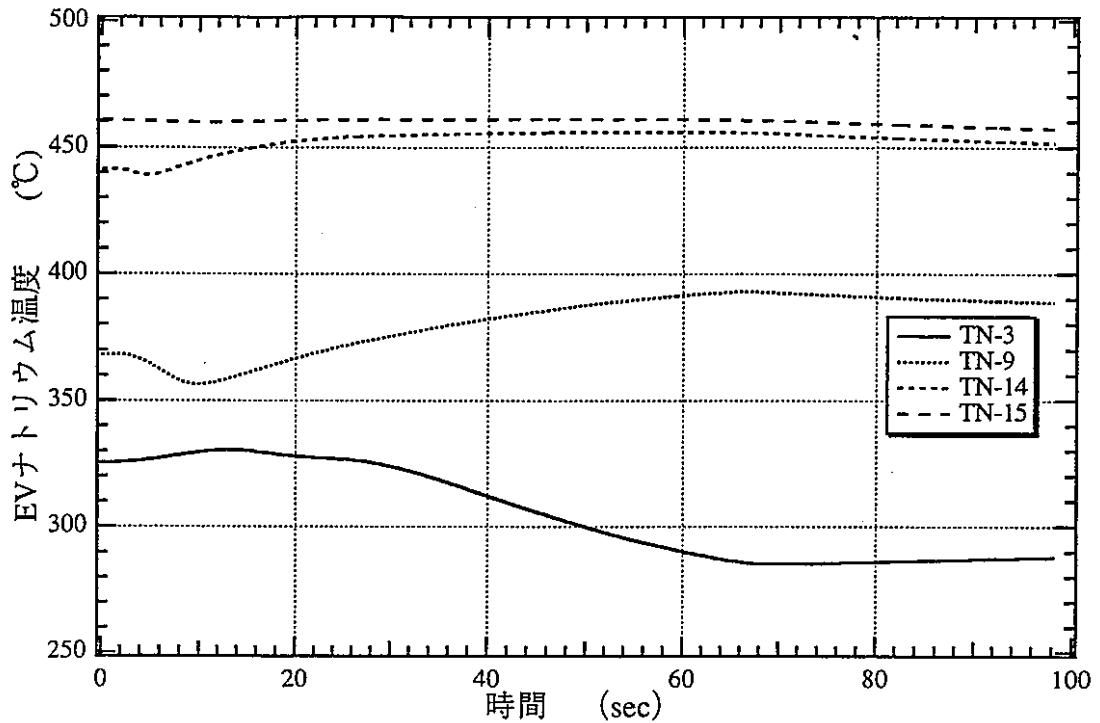


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2)

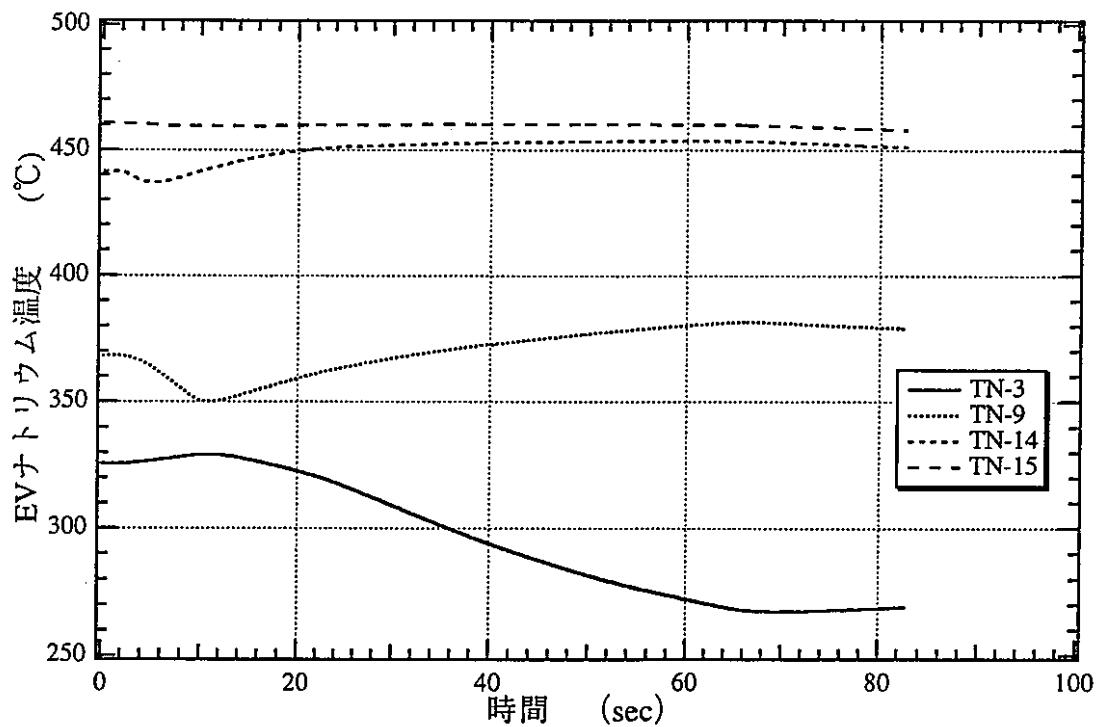


ケースN1 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(3)-4 SG出入口放出弁流量 (定格運転状態からのブロー)

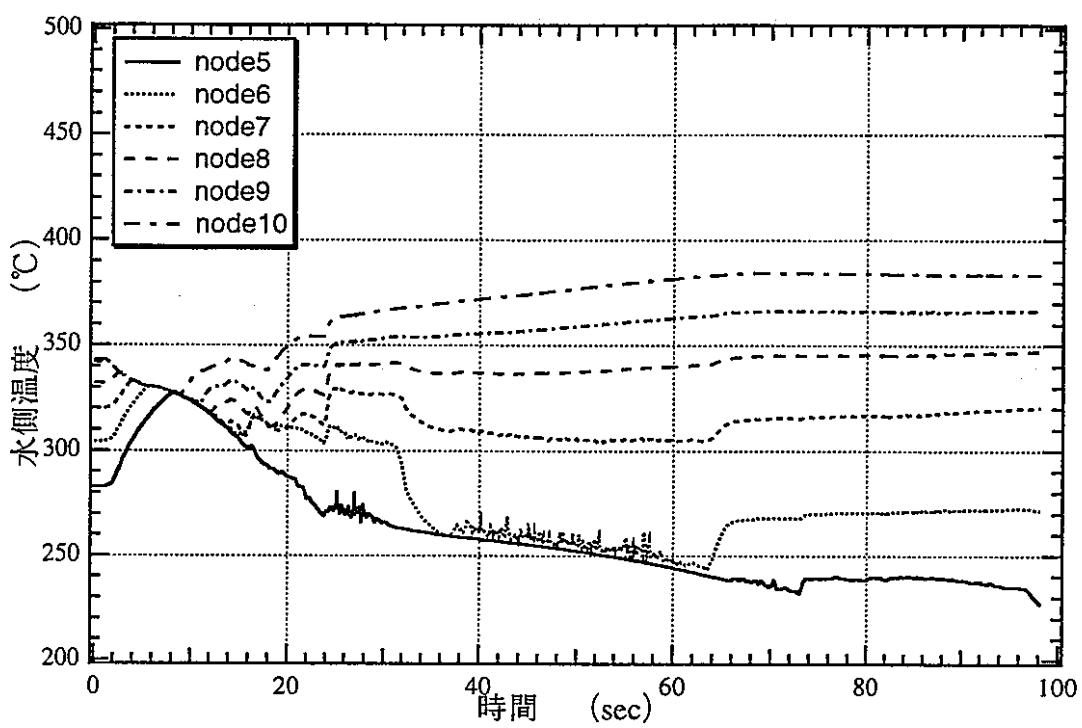


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2)

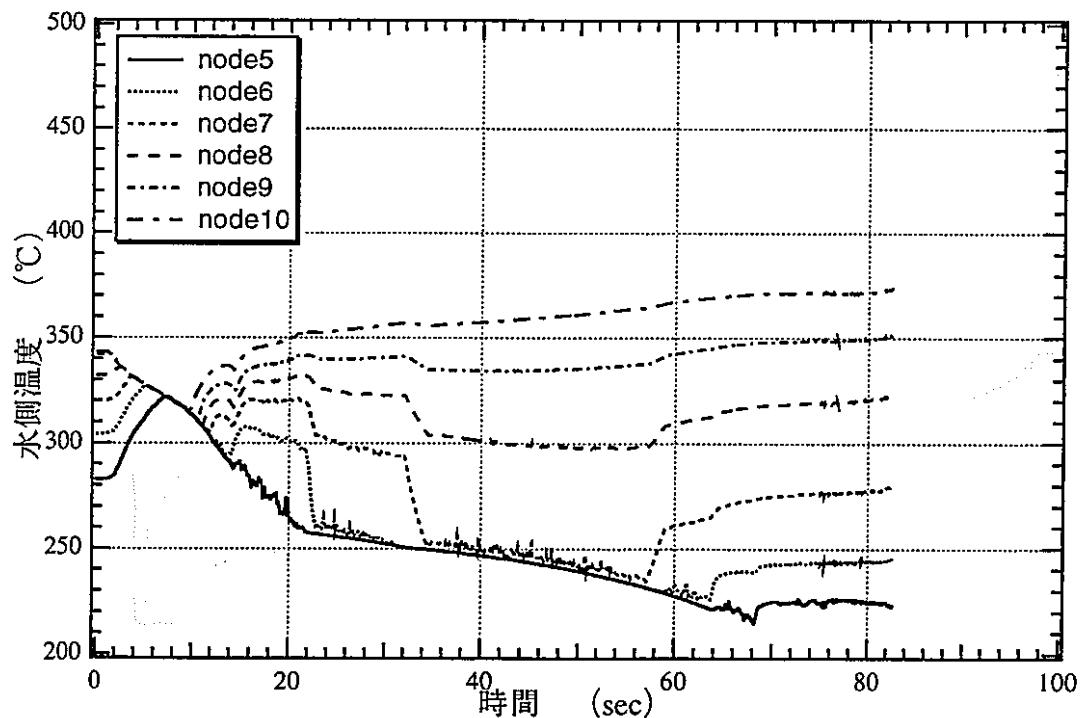


ケースN1 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(3)-5 EVナトリウム温度変化 (定格運転状態からのプロ-)

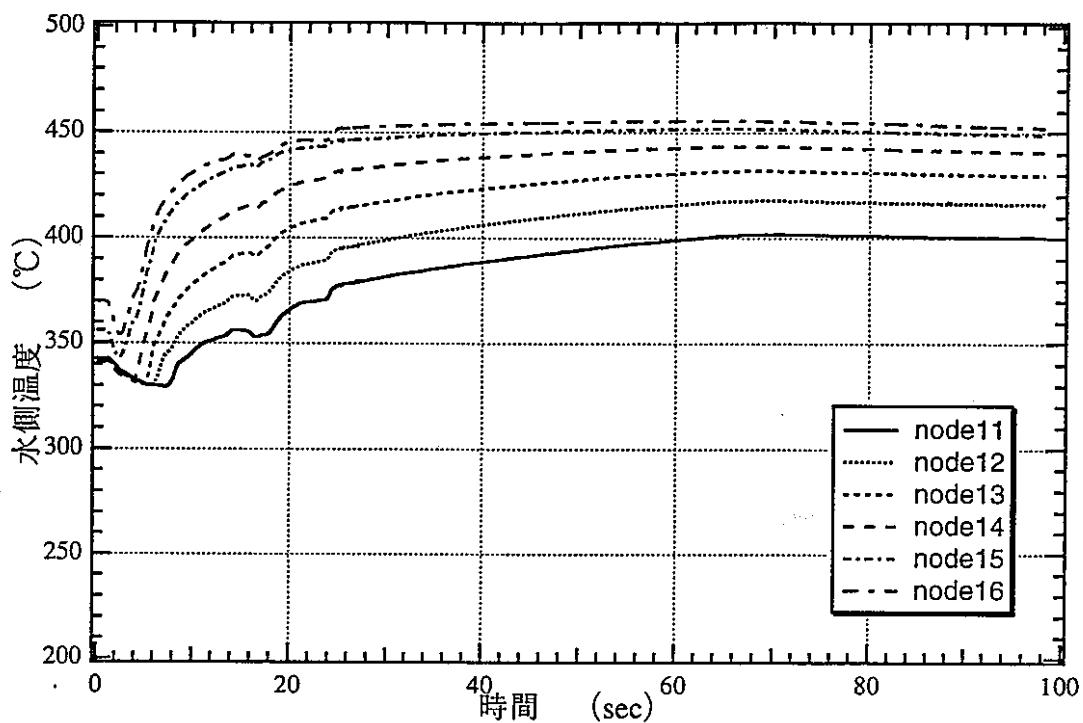


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2)

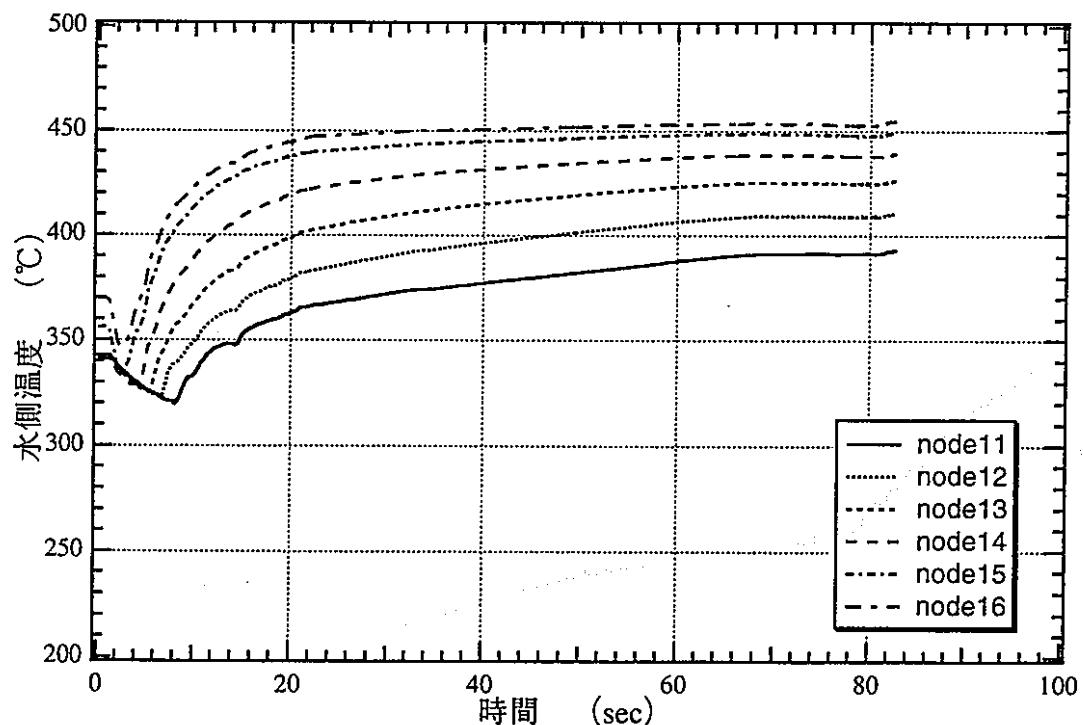


ケースN1 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(3)-6 E Vコイル下部温度変化 (定格運転状態からのブロー)

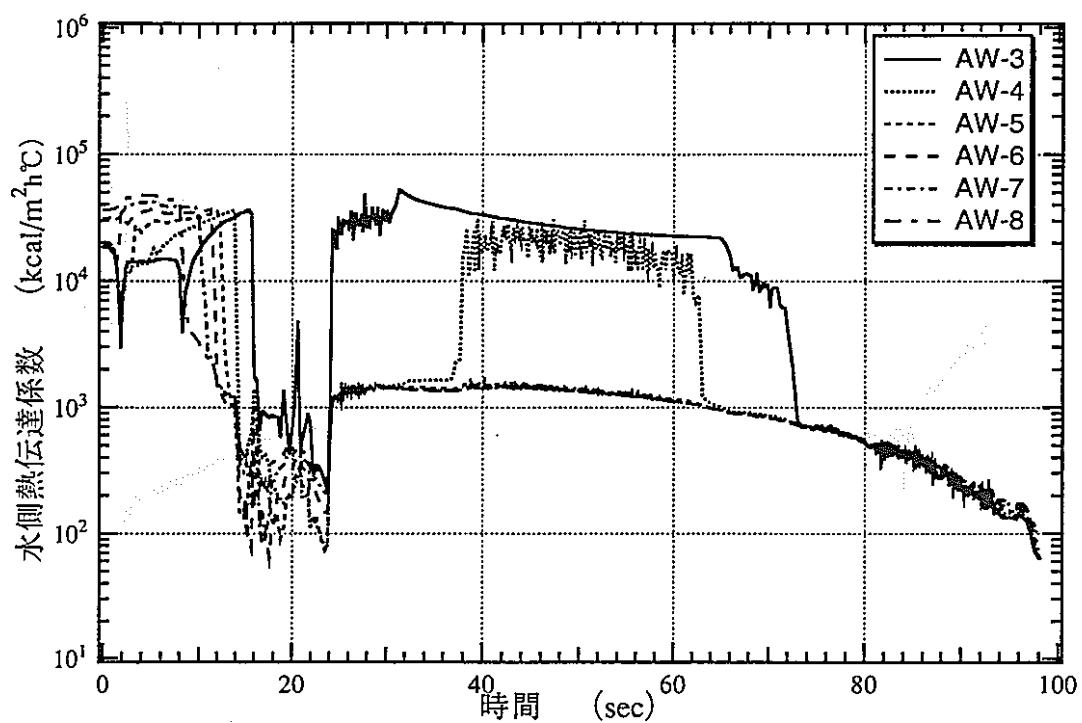


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2)

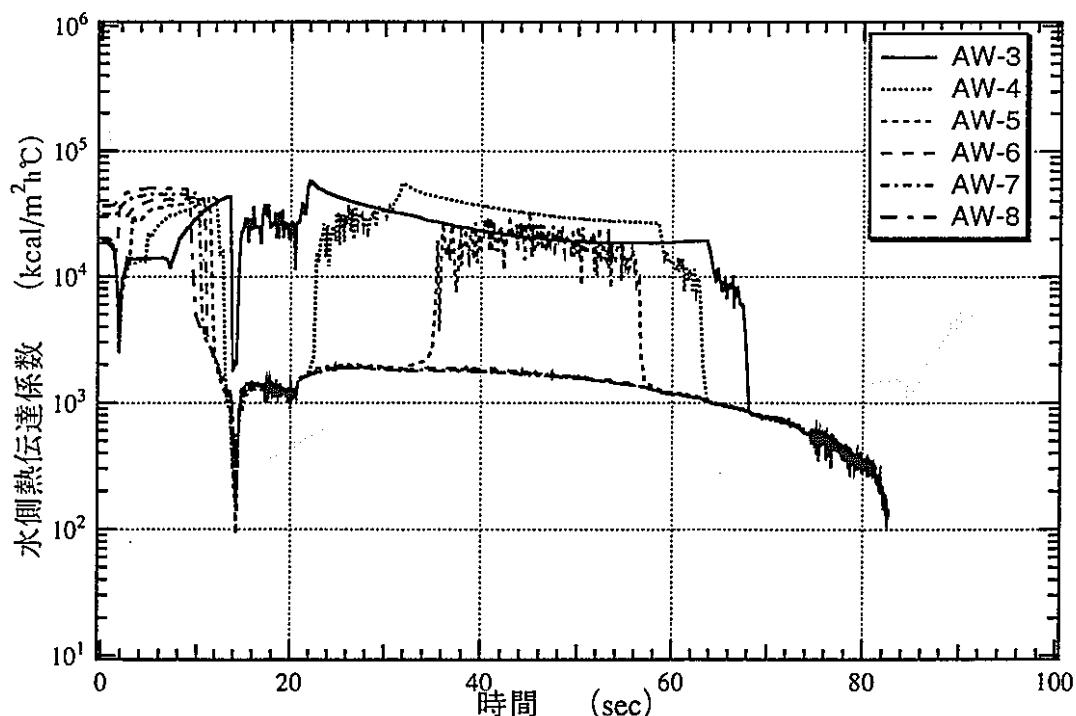


ケースN1 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(3)-7 E Vコイル上部温度変化 (定格運転状態からのブロー)

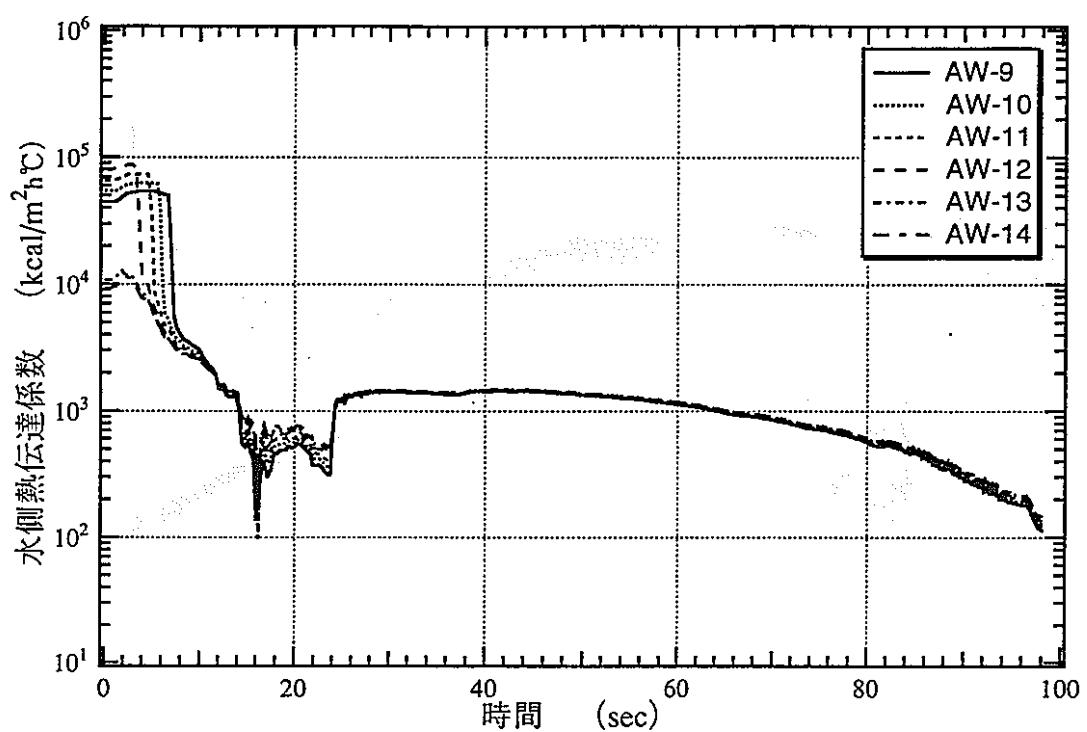


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2)

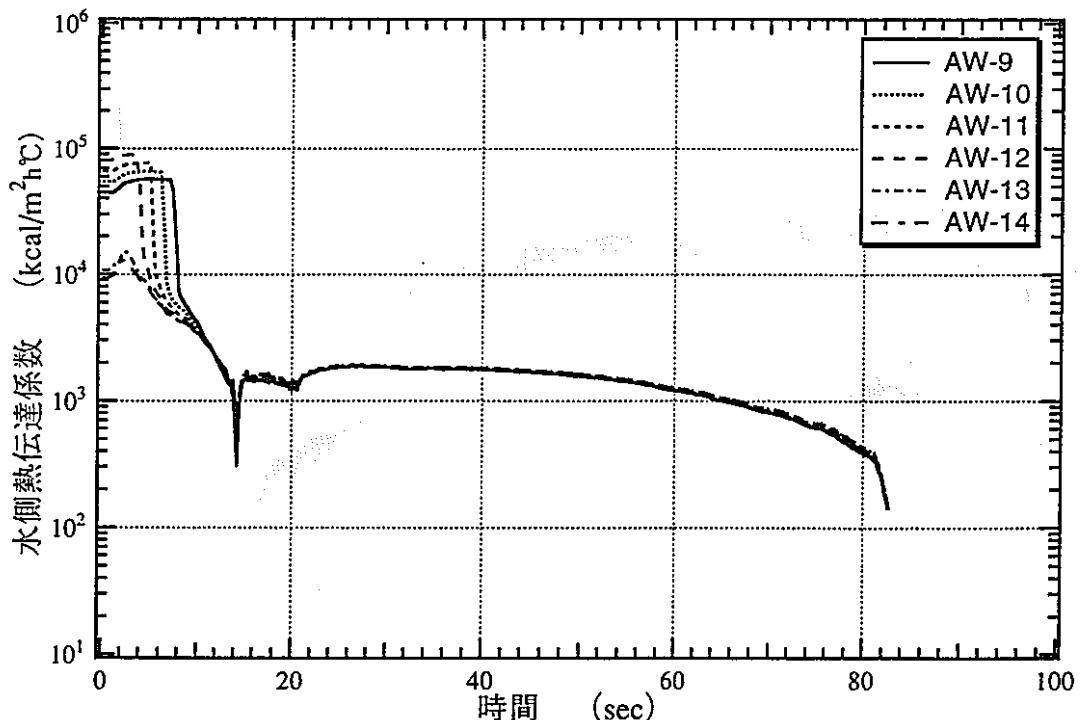


ケースN1 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(3)-8 EVコイル下部熱伝達係数変化 (定格運転状態からのブロー)

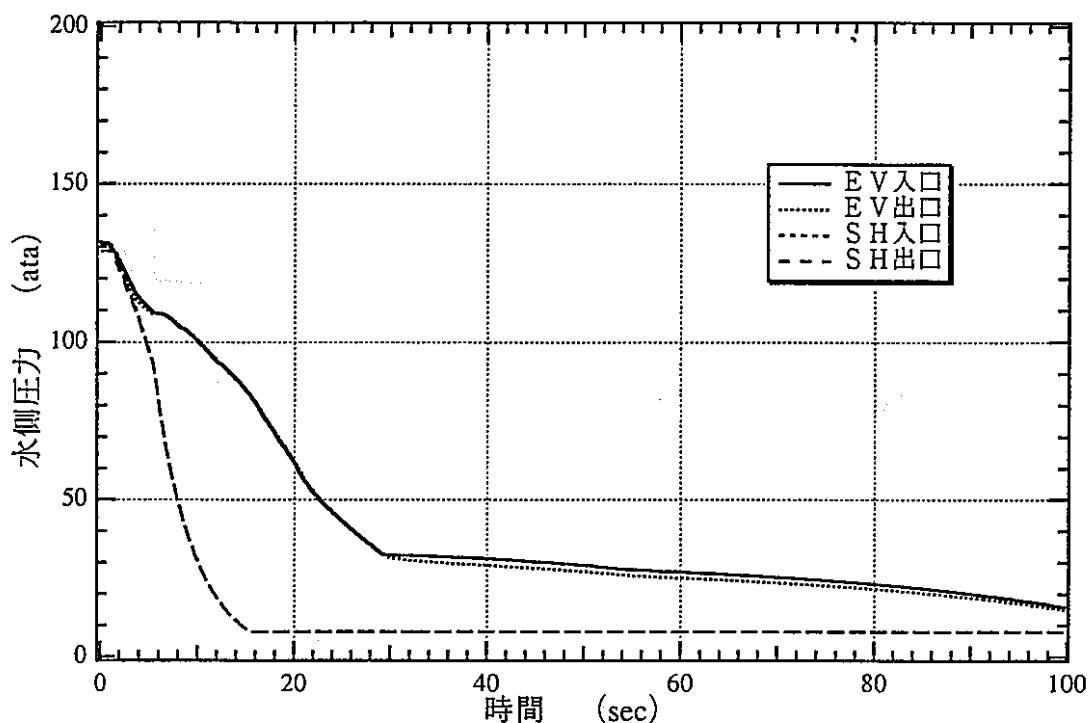


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2)

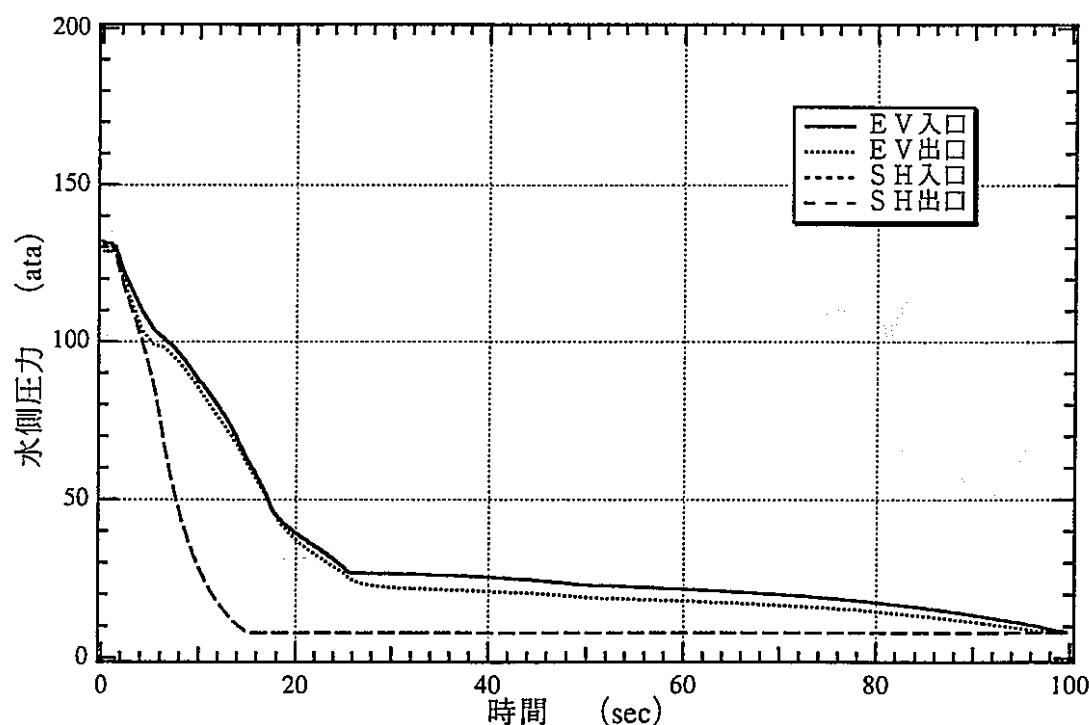


ケースN1 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(3)-9 E Vコイル上部熱伝達係数変化 (定格運転状態からのブロー)

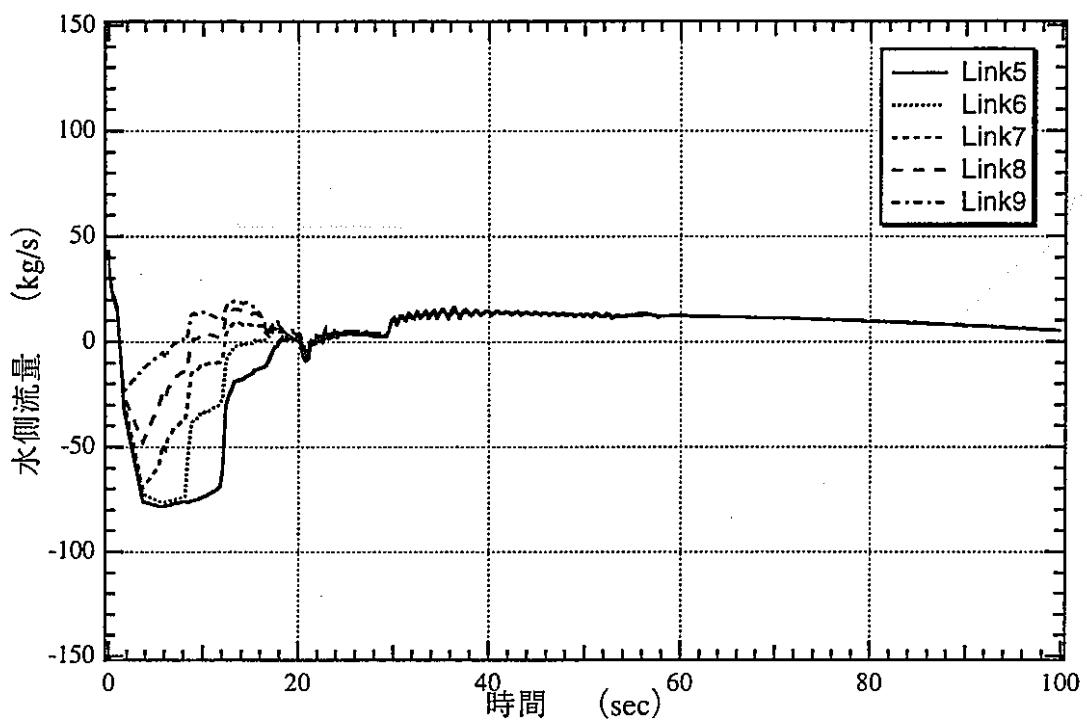


ケースN4 (新値 3B*1,4B*2)

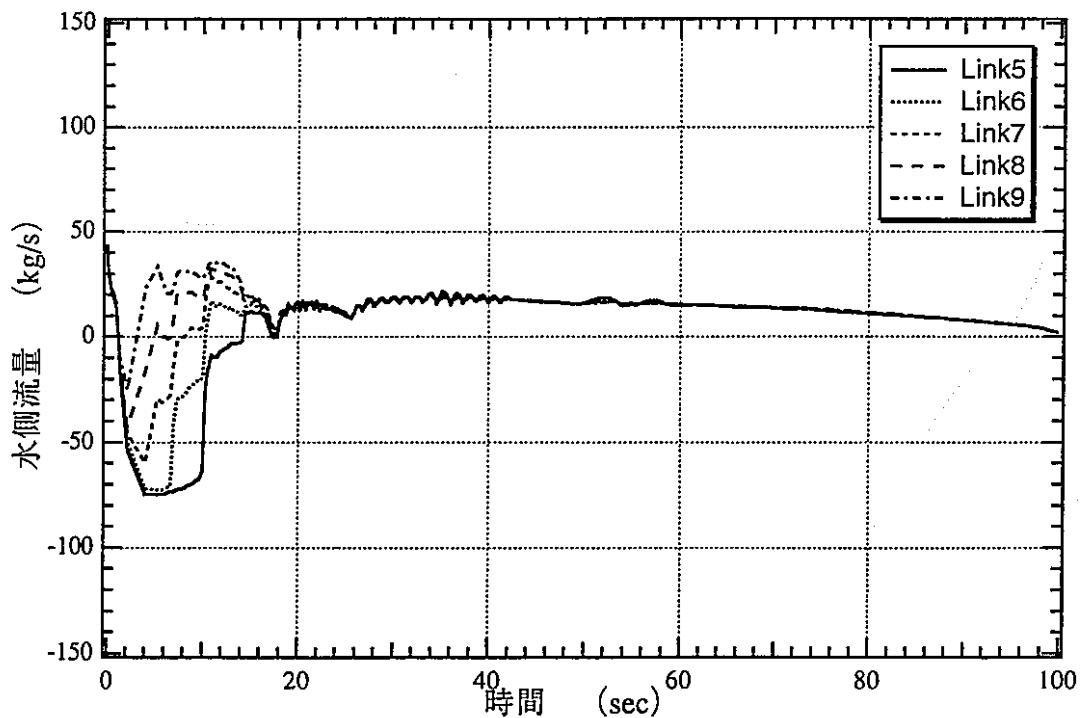


ケースN2 (新値 3B*1,4B*4)

図2.4(4)-1 SG出入口圧力変化 (40%負荷状態からのプロー)

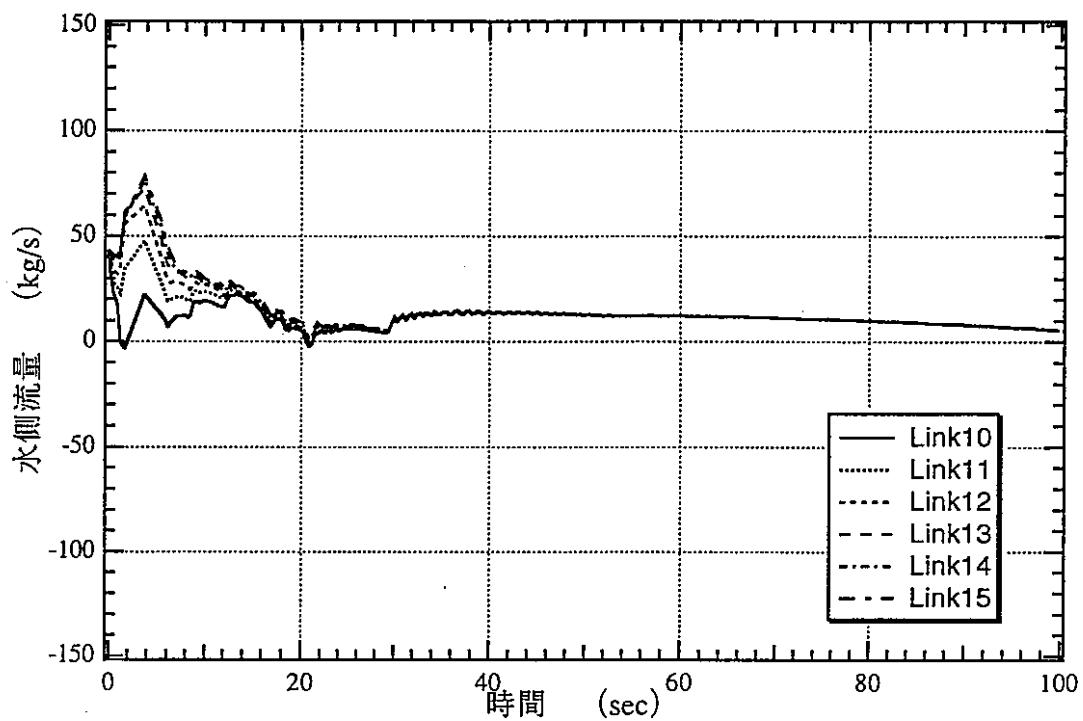


ケースN4 (新値 3B*1、4B*2)

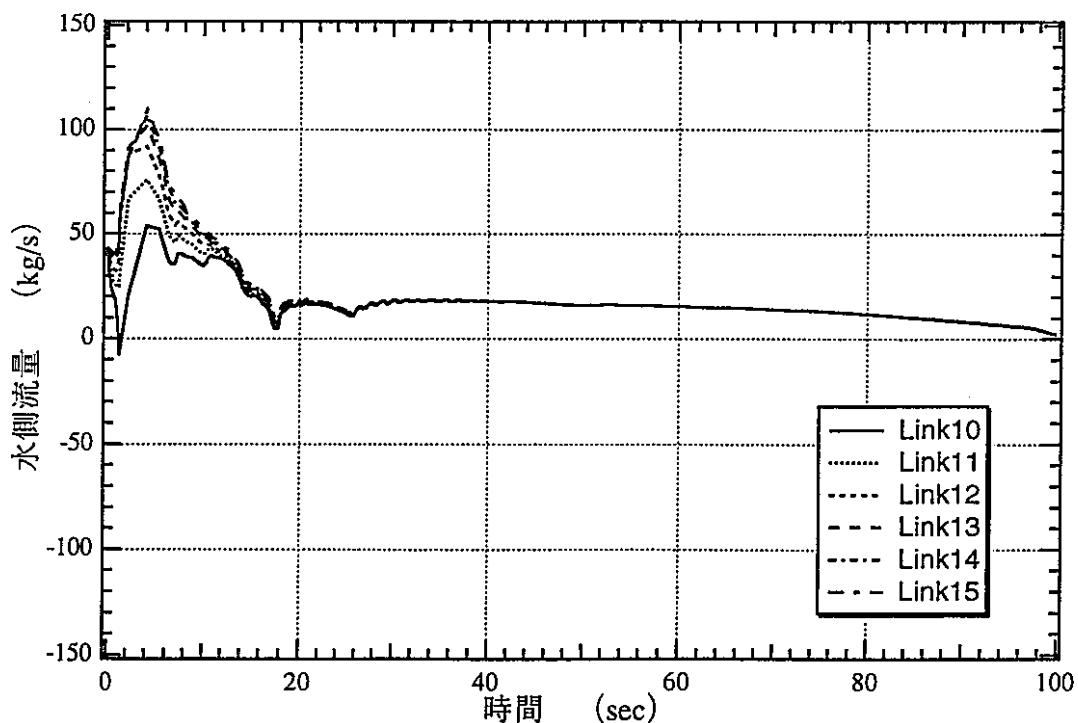


ケースN2 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(4)-2 E Vコイル下部流量変化 (40%負荷状態からのブロー)

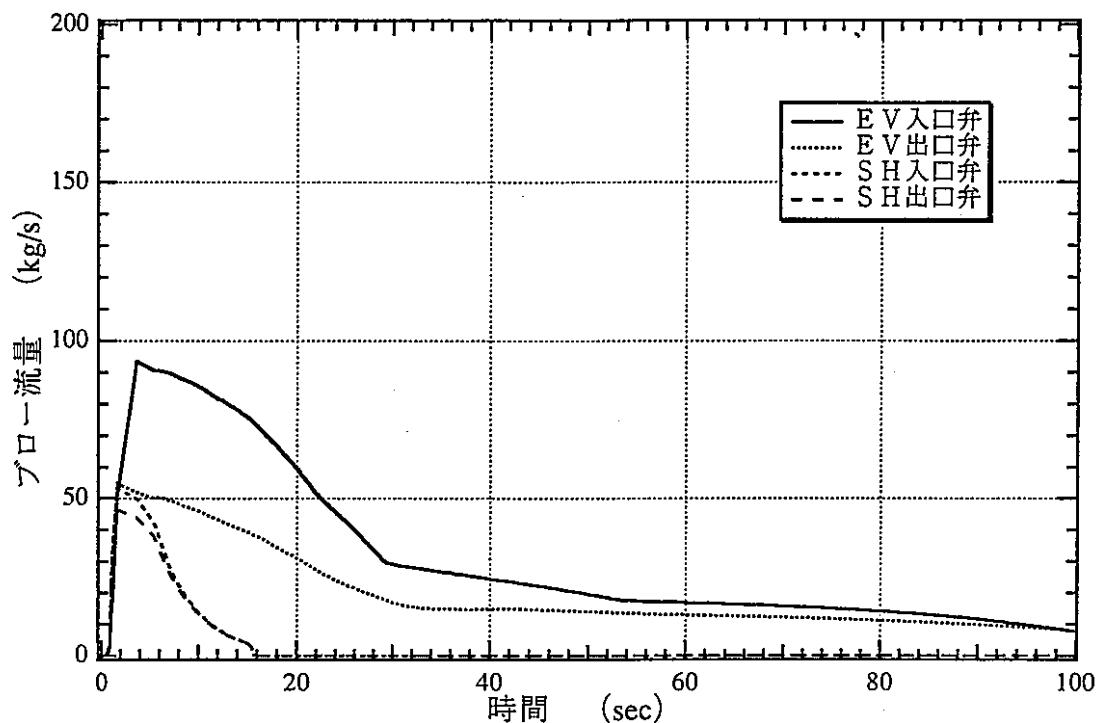


ケースN4 (新値 3B*1、4B*2)

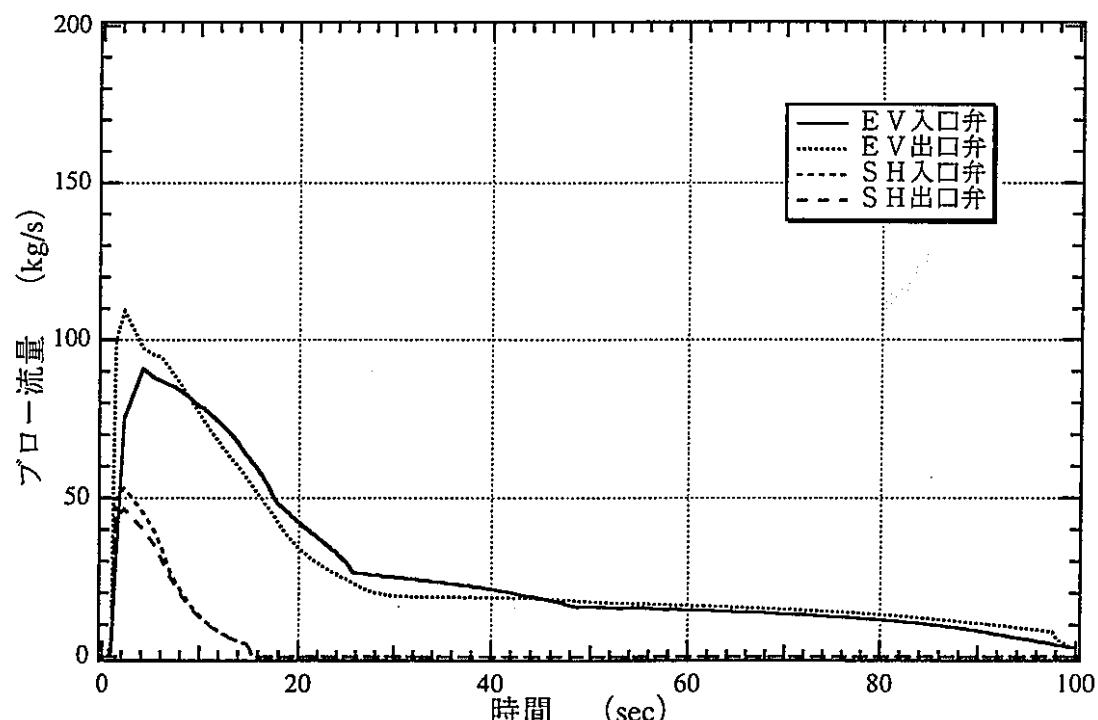


ケースN2 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(4)-3 E V管束部上部流量変化 (40%負荷状態からのブロー)

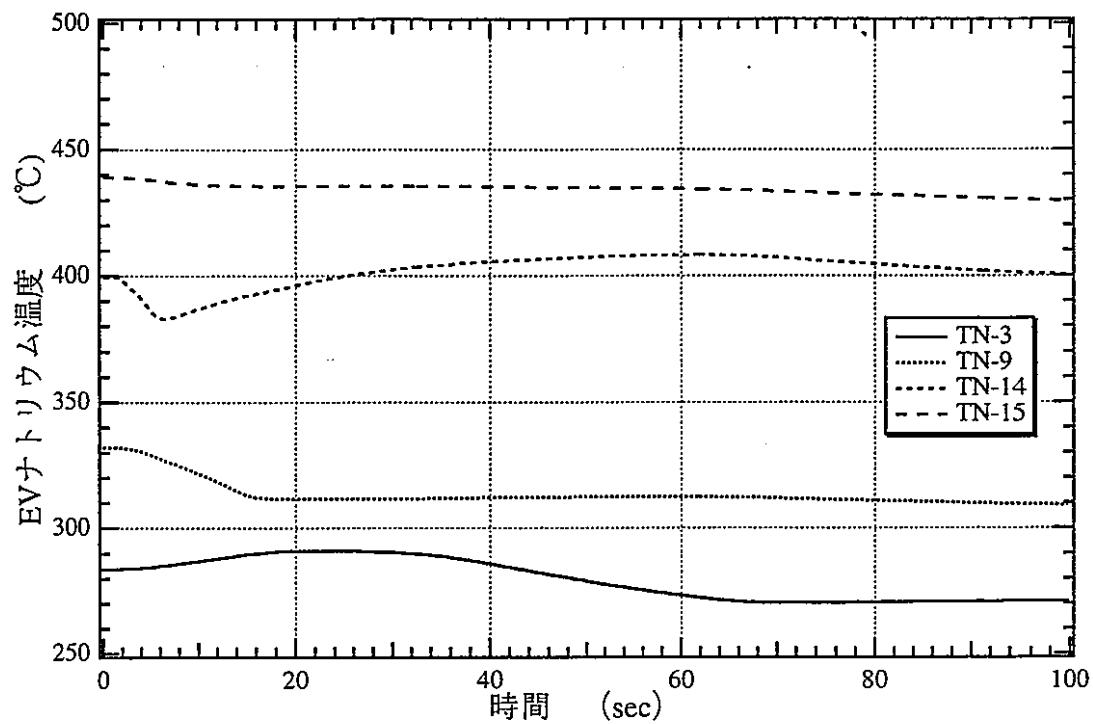


ケースN4 (新値 3B*1、4B*2)

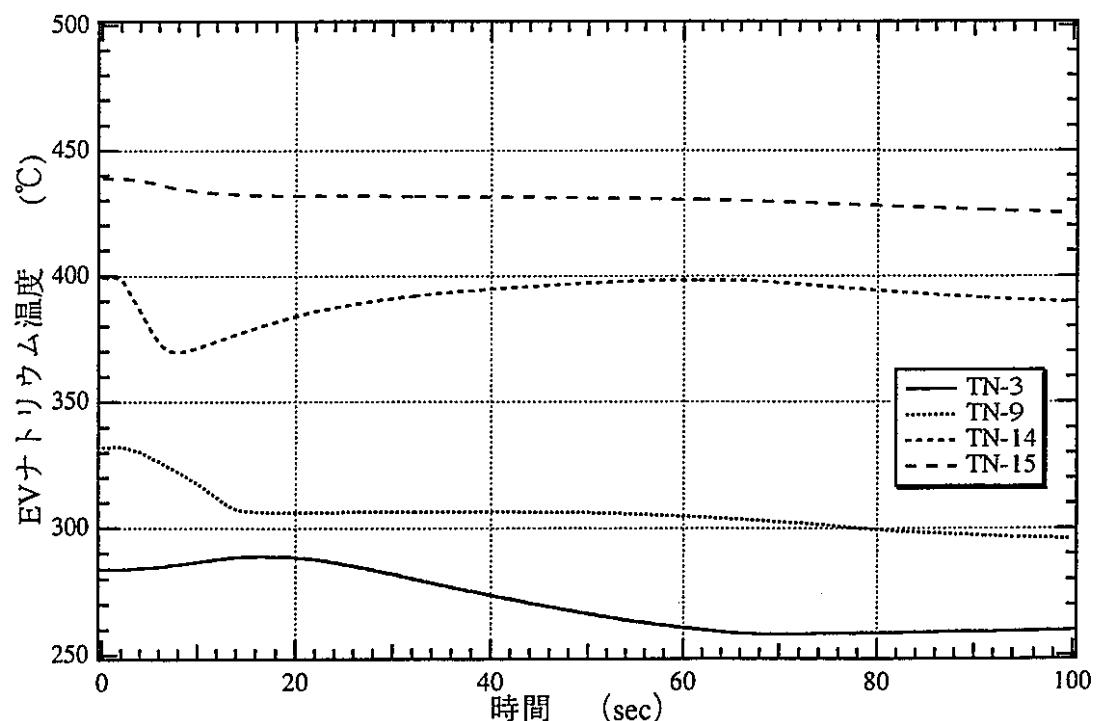


ケースN2 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(4)-4 SG出入口放出弁流量 (40%負荷状態からのブロー)

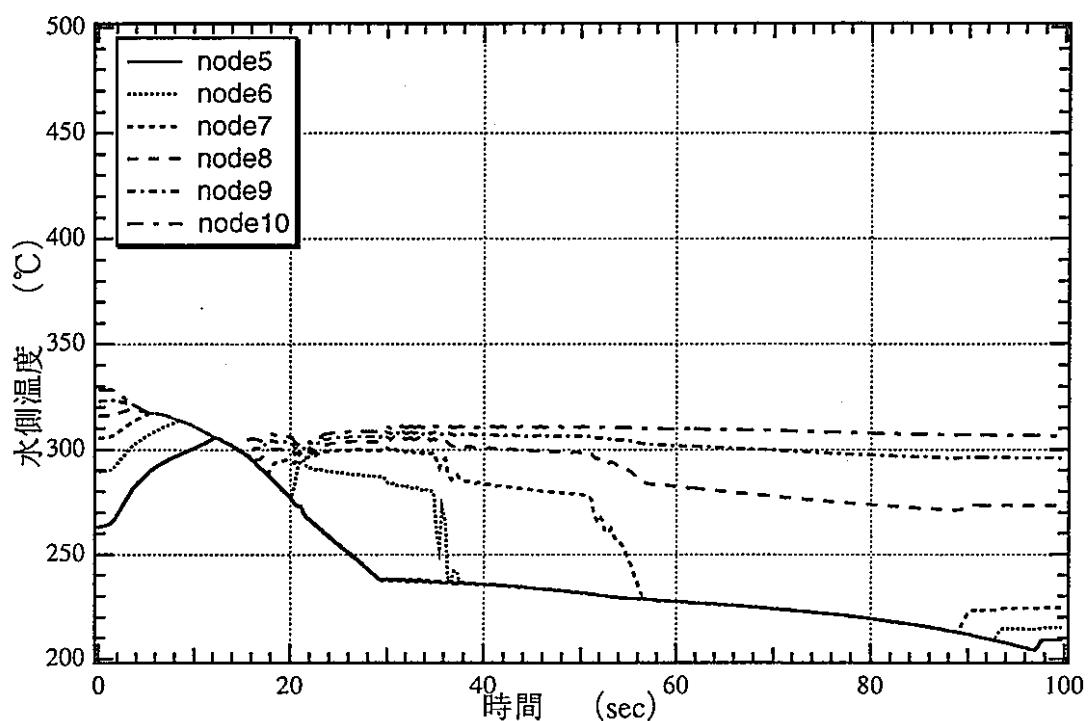


ケースN4 (新値 3B*1、4B*2)

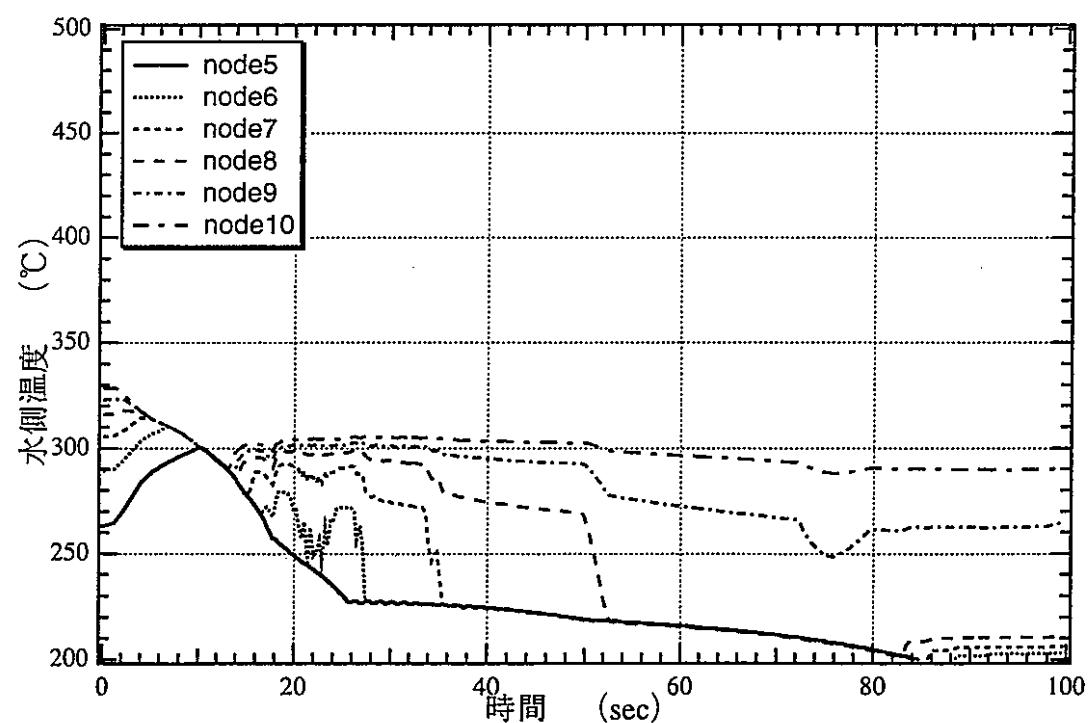


ケースN2 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(4)-5 EVナトリウム温度変化 (40%負荷状態からのブロー)

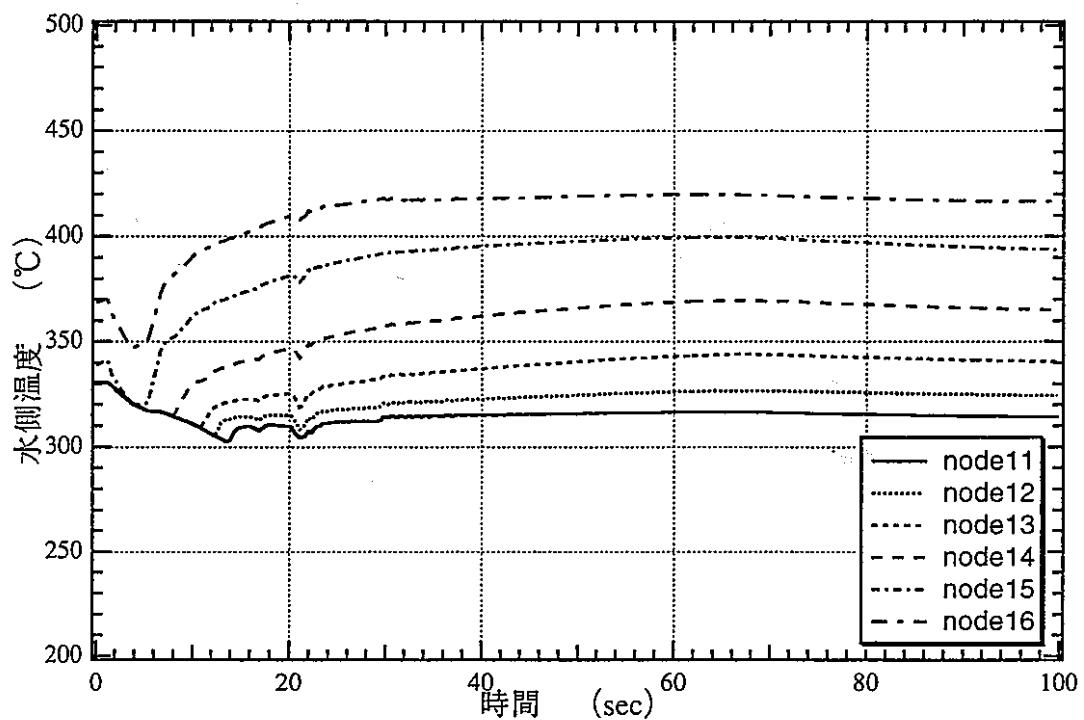


ケースN4 (新値 3B*1、4B*2)

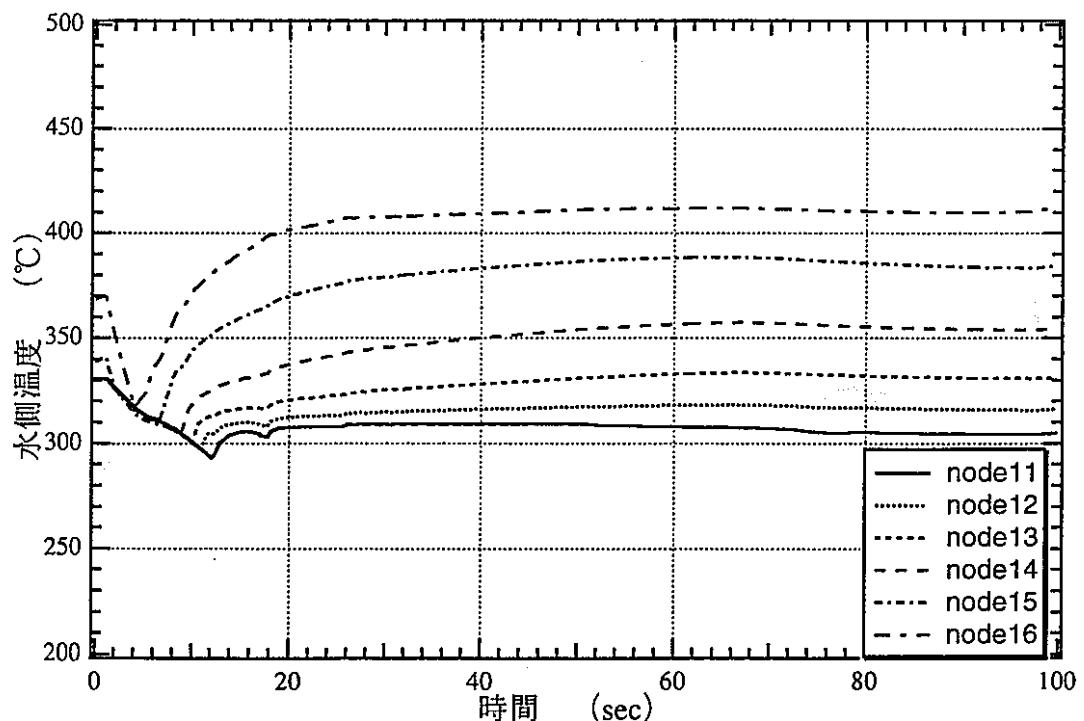


ケースN2 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(4)-6 E Vコイル下部温度変化 (40%負荷状態からのプロー)

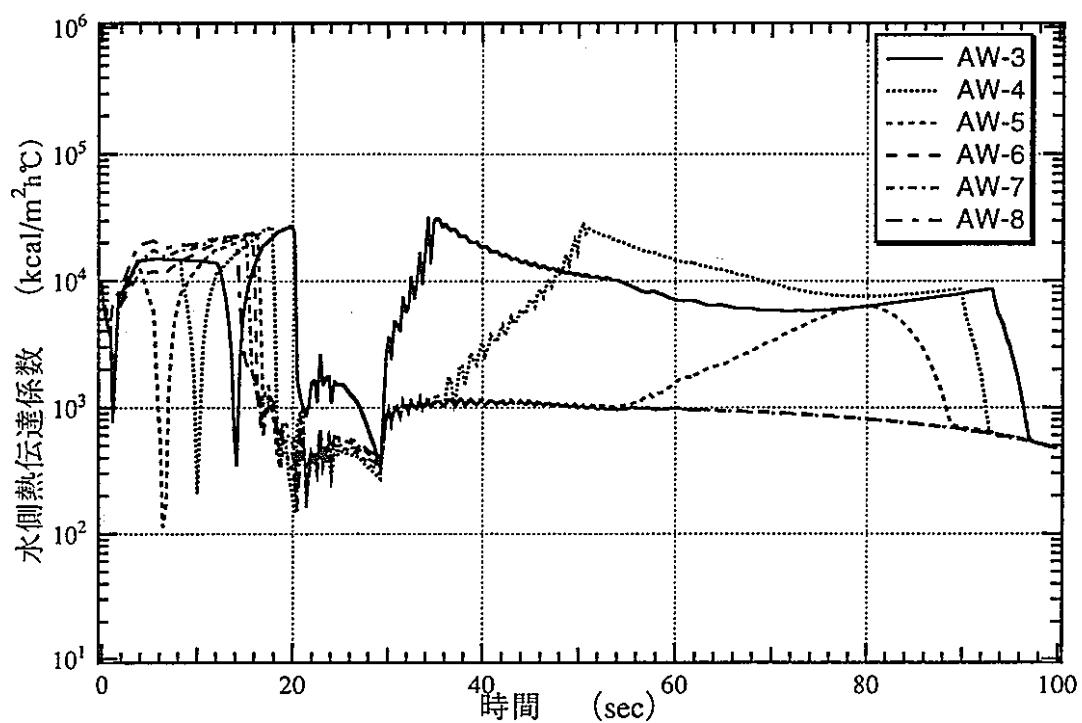


ケースN4 (新値 3B*1、4B*2)

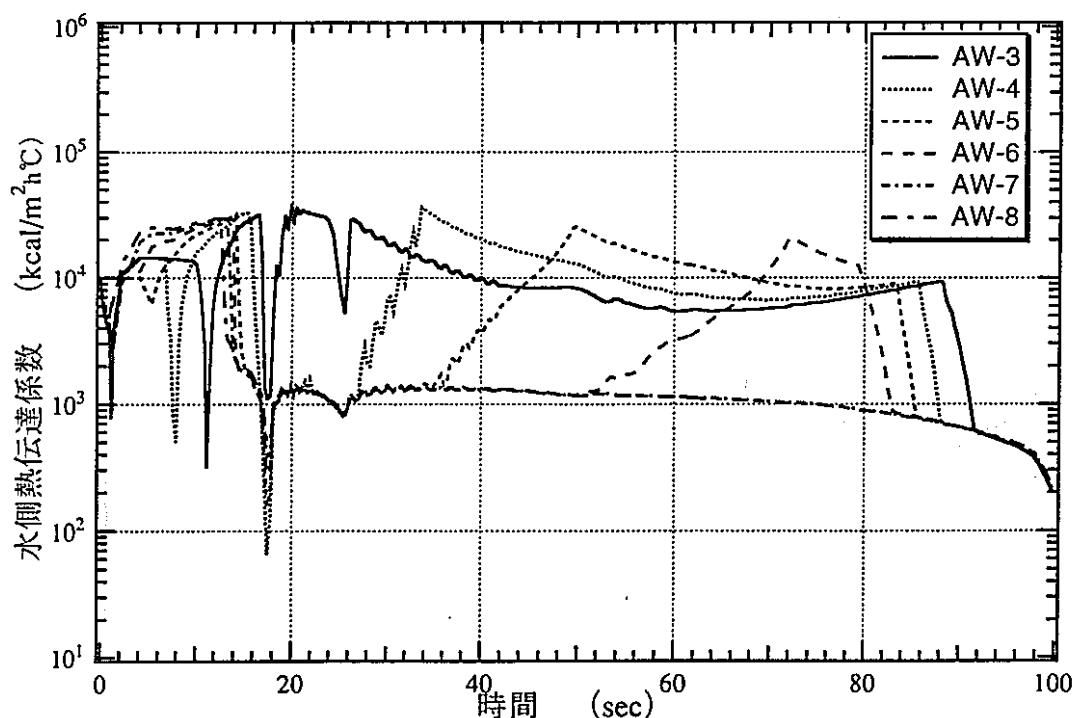


ケースN2 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(4)-7 E Vコイル上部温度変化 (40%負荷状態からのプロー)

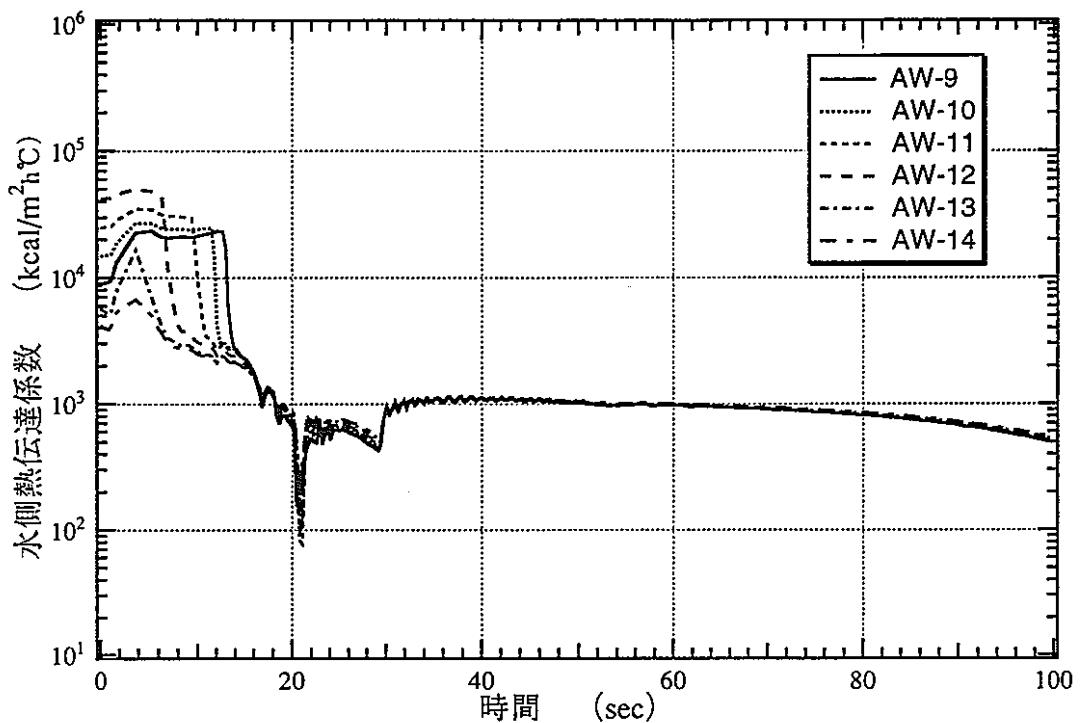


ケースN4 (新値 3B*1、4B*2)

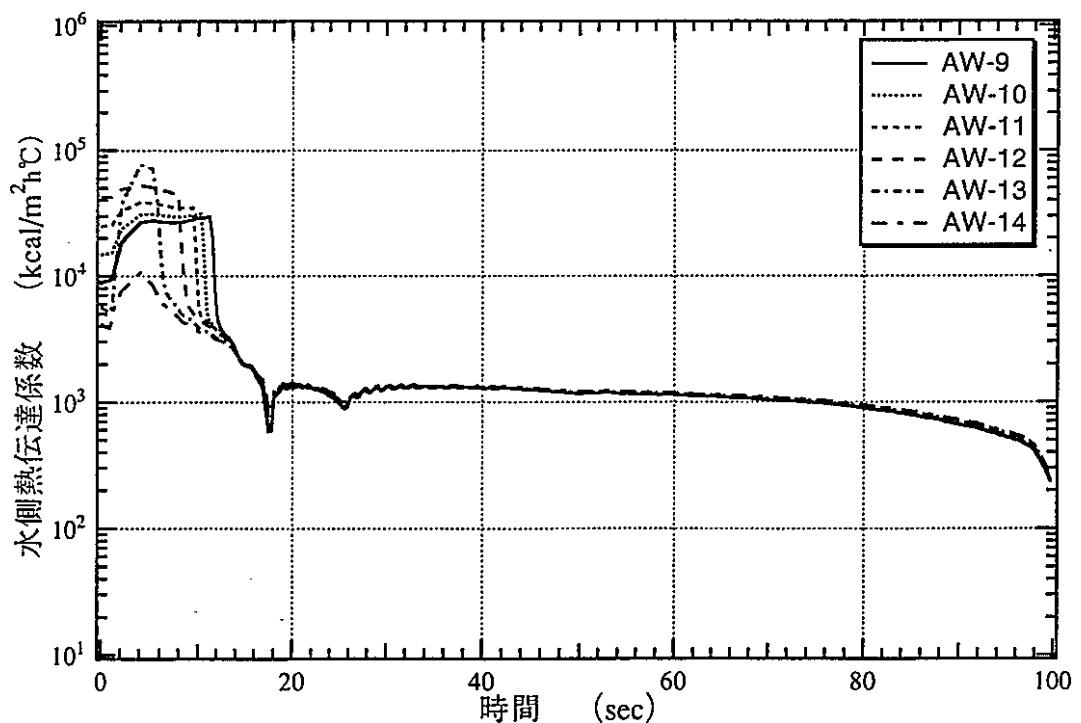


ケースN2 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(4)-8 EVコイル下部熱伝達係数変化 (40%負荷状態からのプロー)

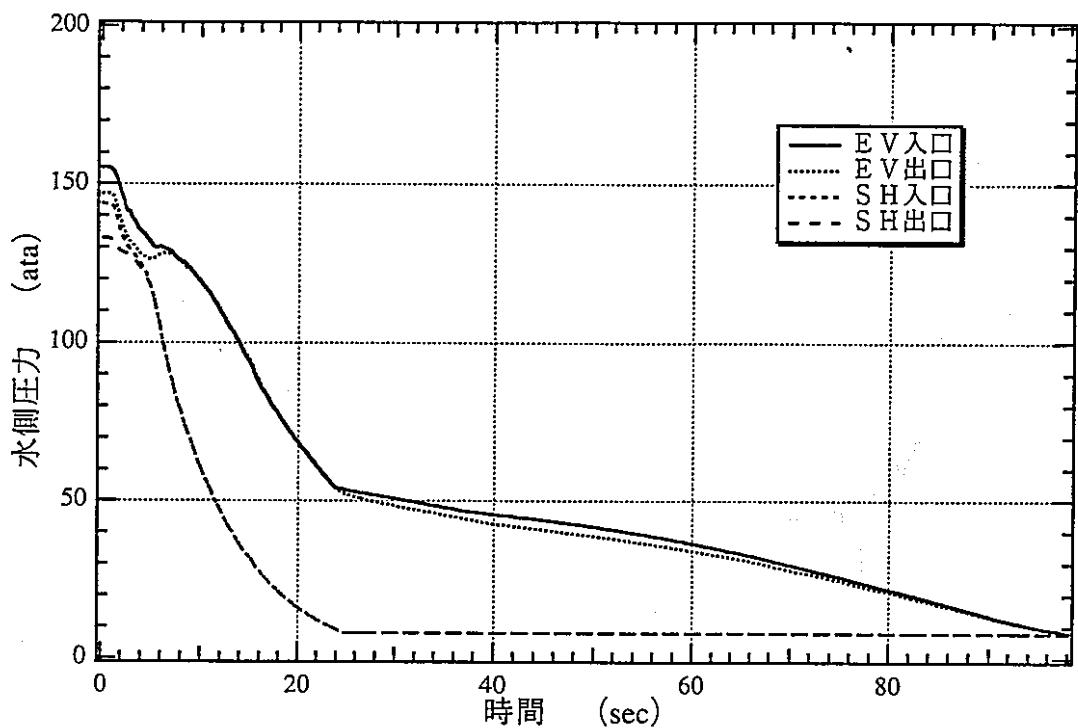


ケースN4 (新値 3B*1、4B*2)

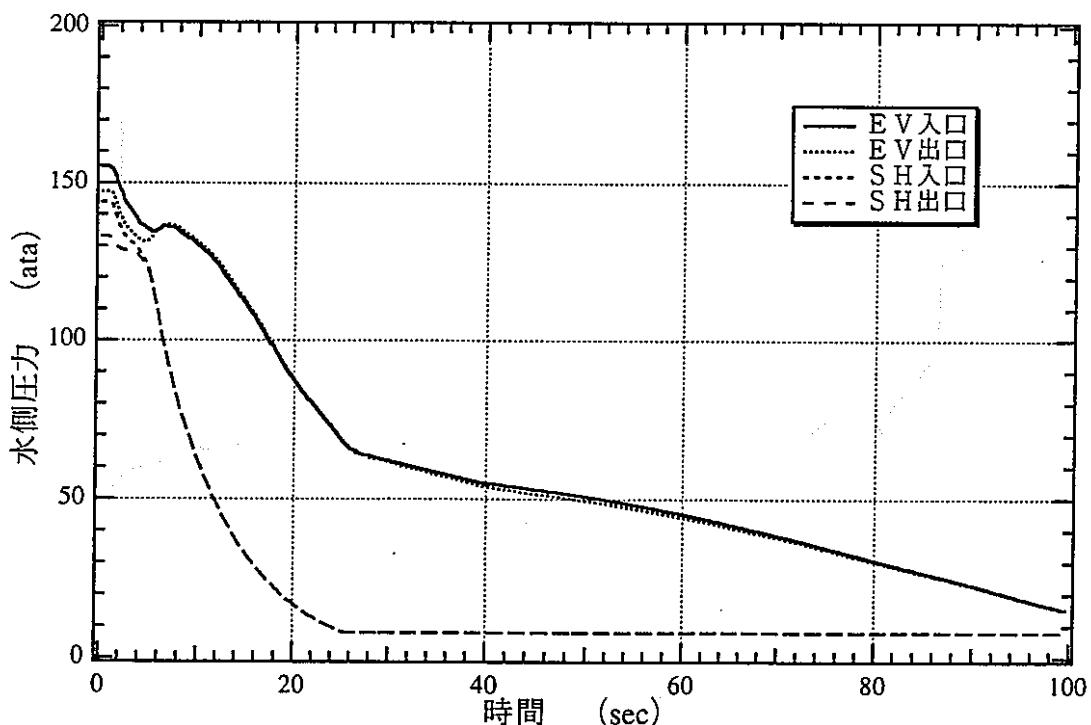


ケースN2 (新値 3B*1、4B*4)

図2.4(4)-9 E Vコイル上部熱伝達係数変化 (40%負荷状態からのブロー)

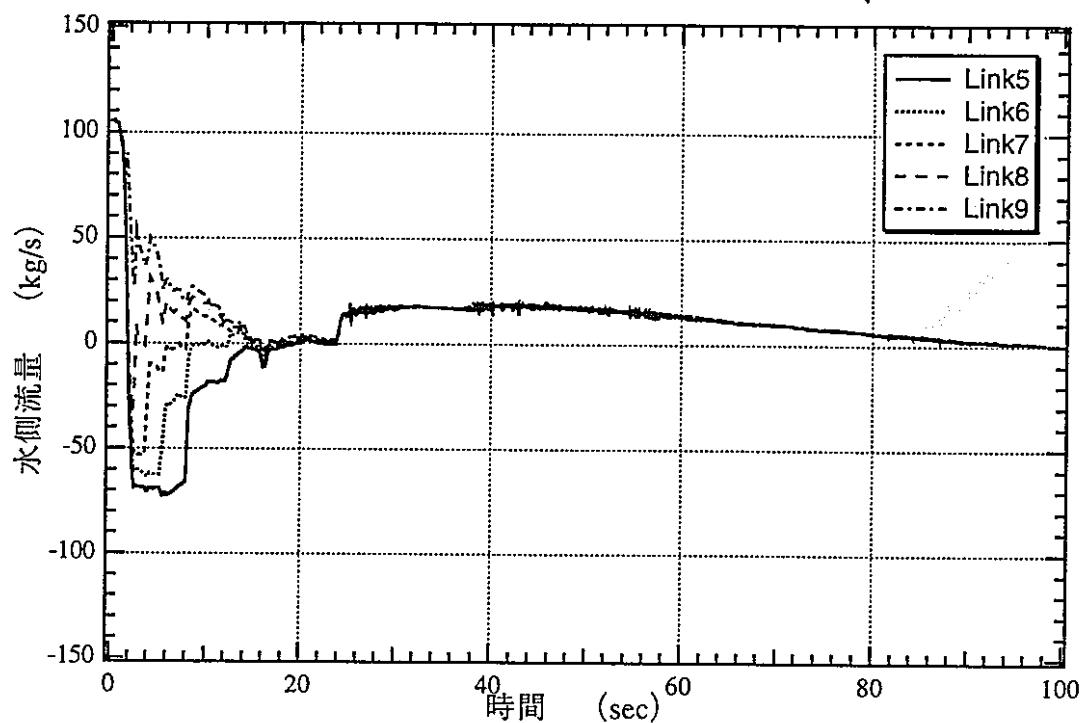


ケースN3 (新値 3B*1,4B*2)

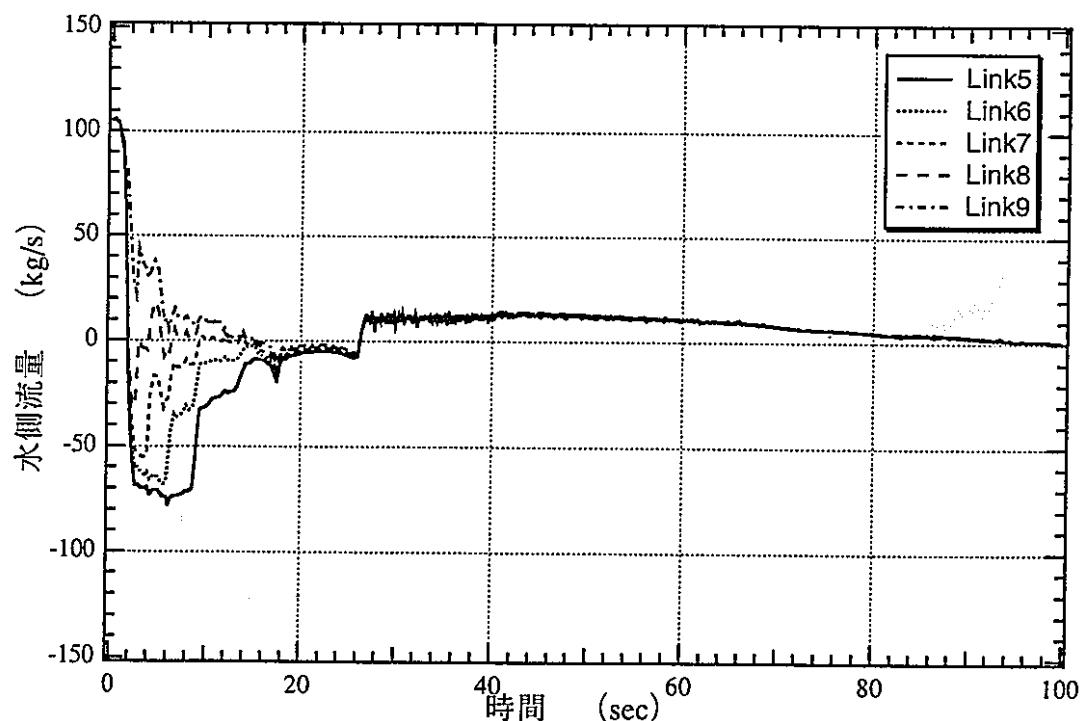


ケースN5 (新値 3B*1,4B*1)

図2.4(5)-1 SG出入口圧力変化 (定格運転状態からのブロー)

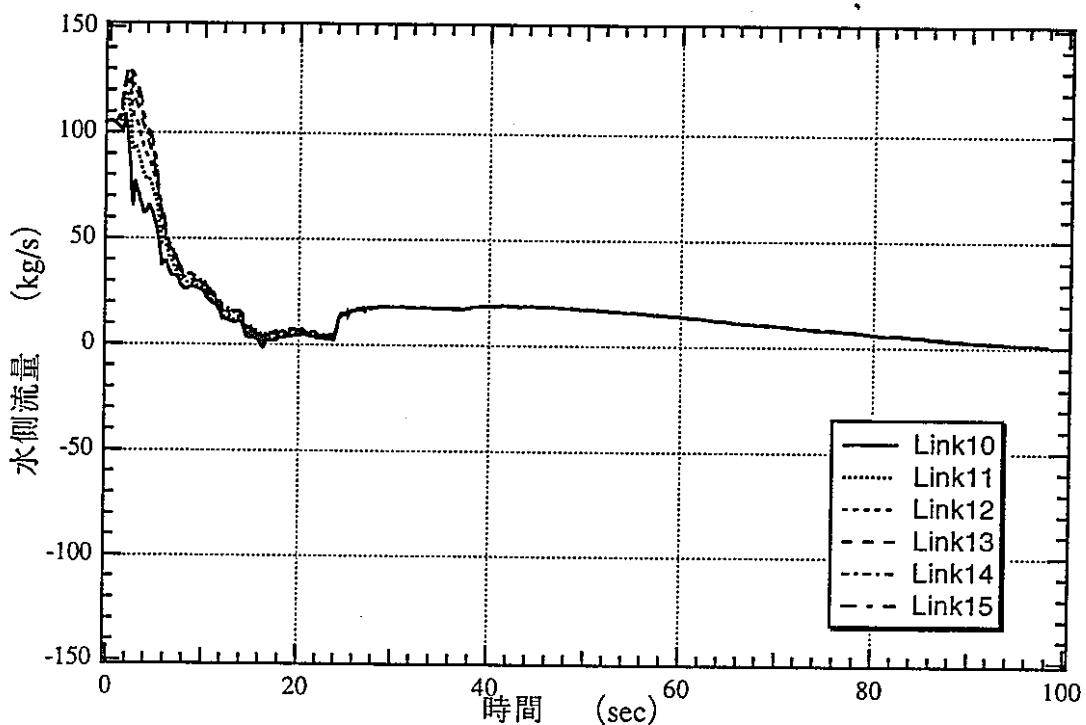


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2)

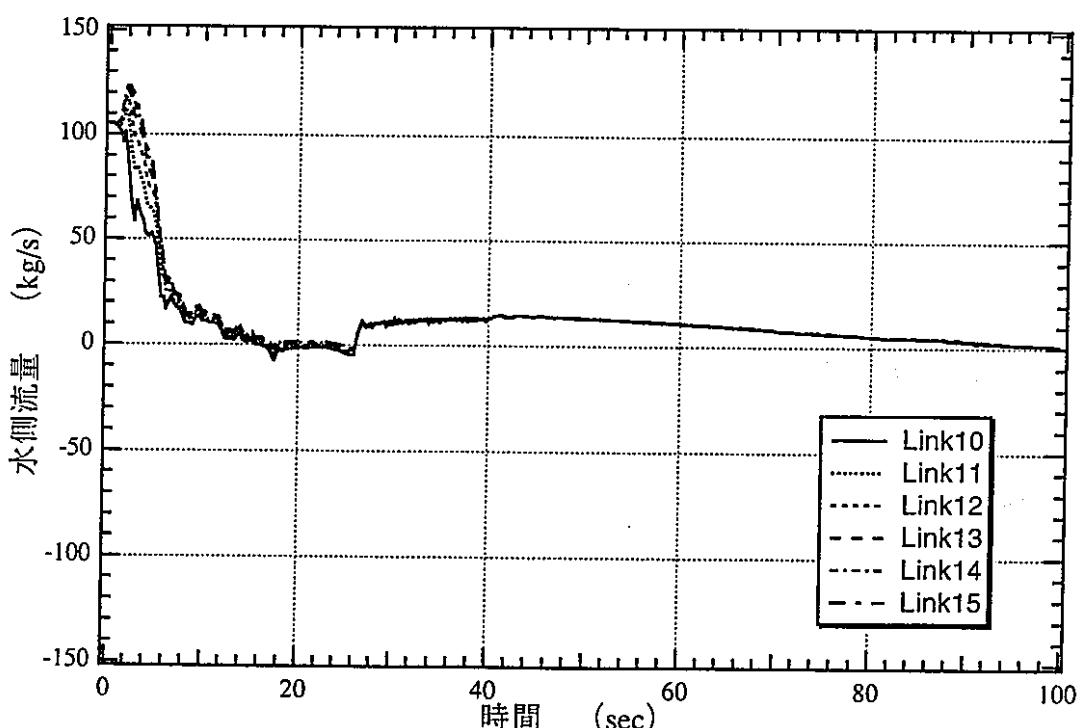


ケースN5 (新値 3B*1、4B*1)

図2.4(5)-2 E Vコイル下部流量変化 (定格運転状態からのブロー)

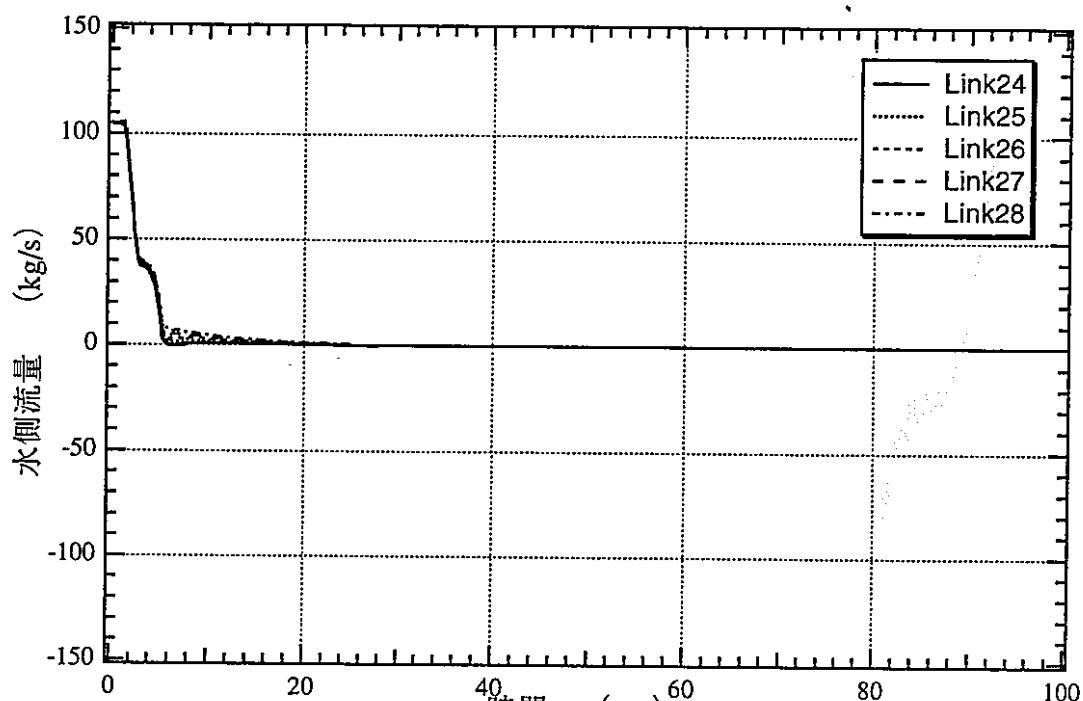


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2)

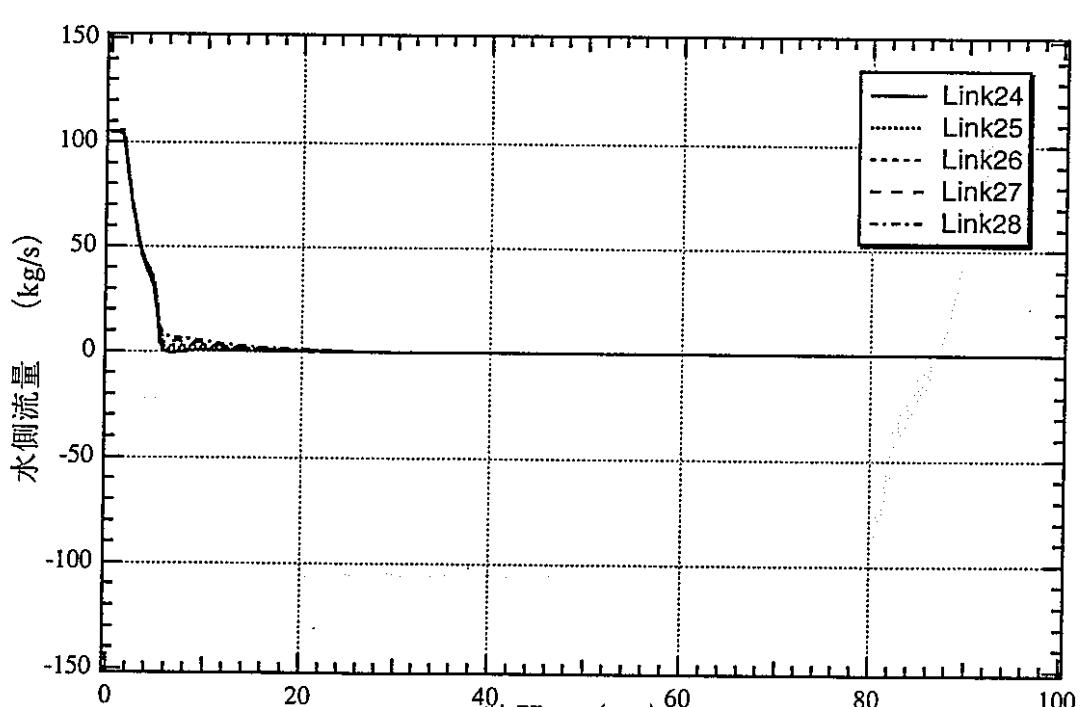


ケースN5 (新値 3B*1、4B*1)

図2.4(5)-3 E V管東部上部流量変化 (定格運転状態からのブロー)

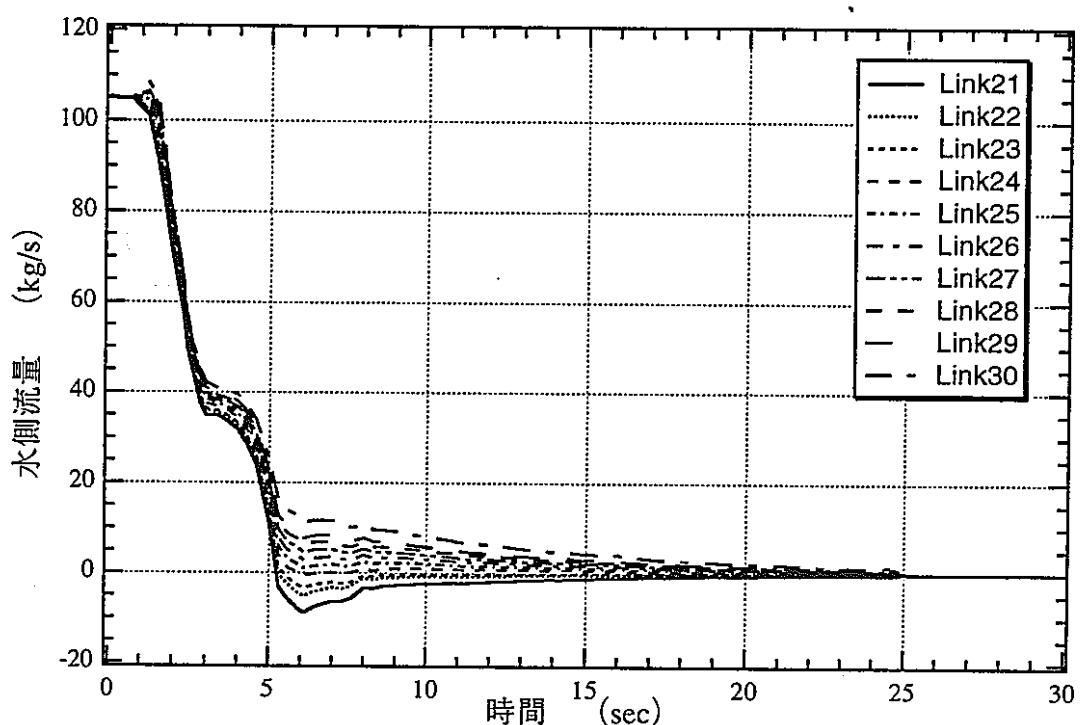


ケース N3 (BLOOPH)

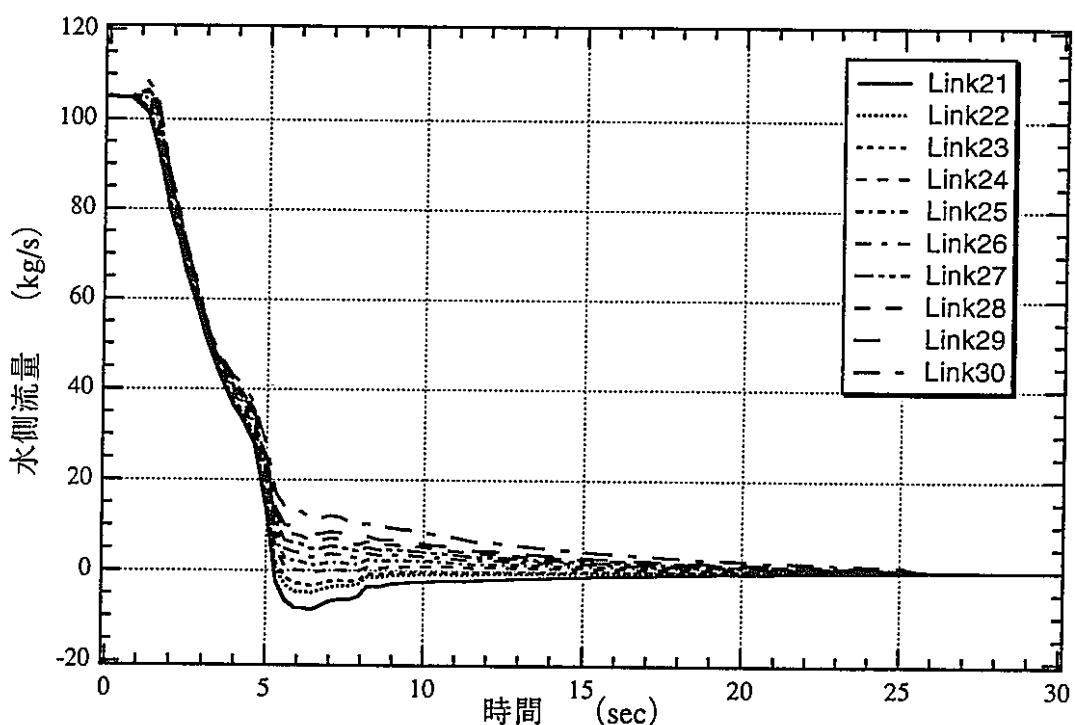


ケース N5 (BLOOPH)

図2.4(5)-4 SHコイル流量変化 (定格運転状態からのブロー)

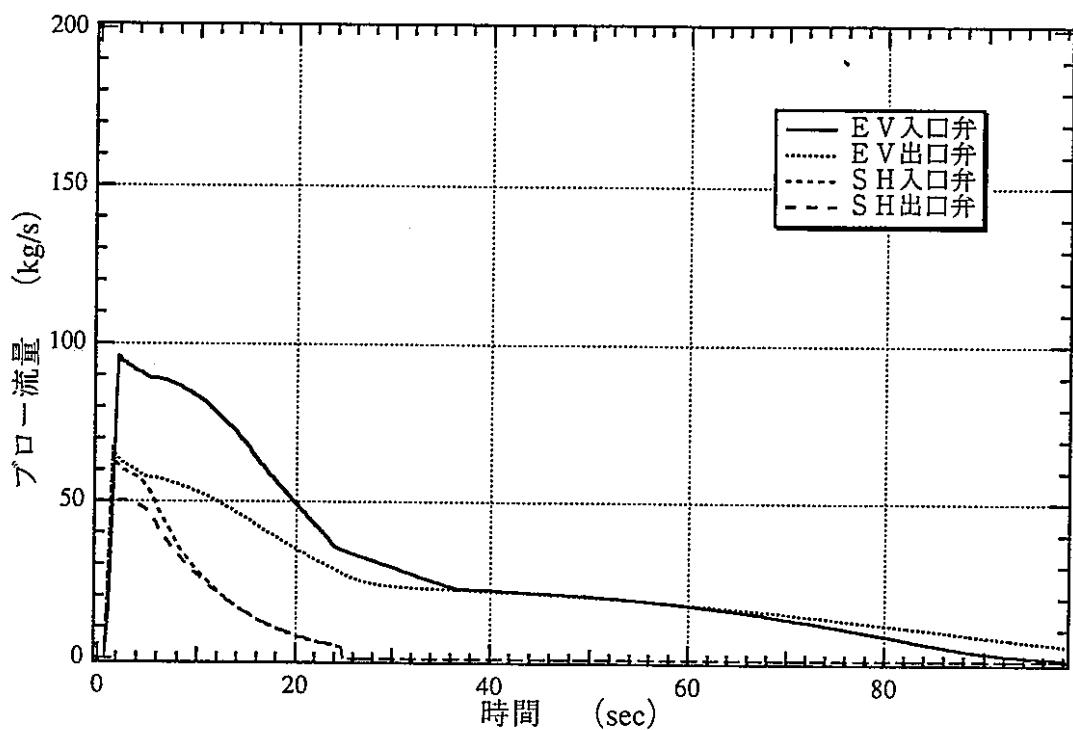


ケース N3 (新値 3B*1、4B*2) 定格運転からのプロ-

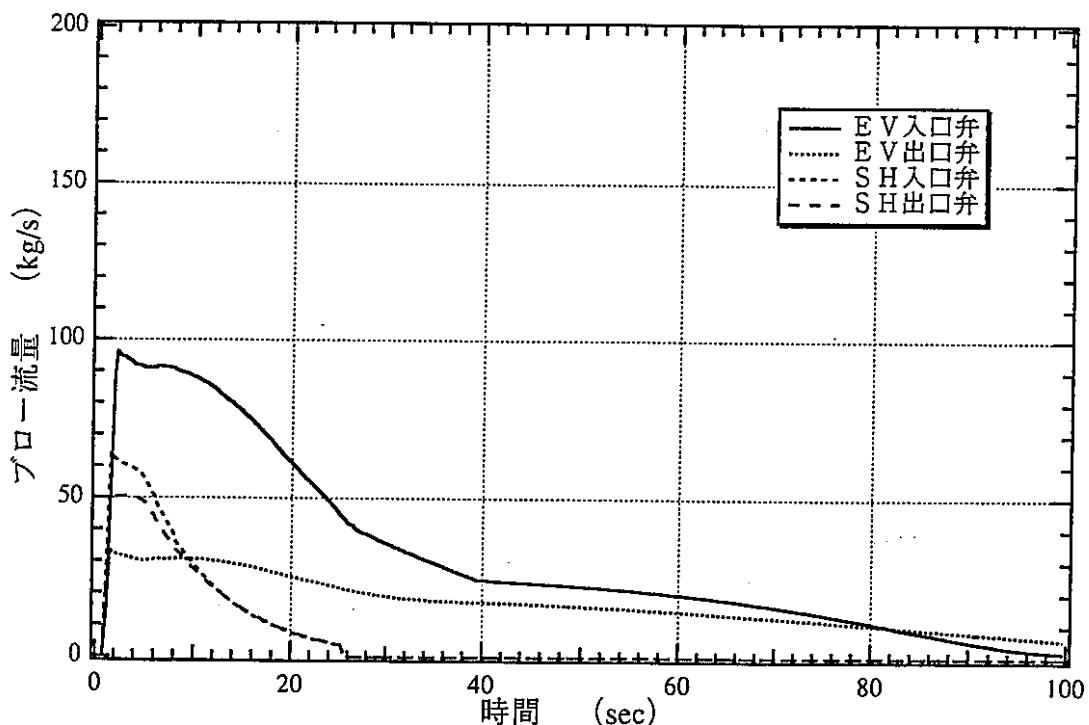


ケース N5 (新値 3B*1、4B*1) 定格運転からのプロ-

図2.4(5)-5 SHコイル部流量変化

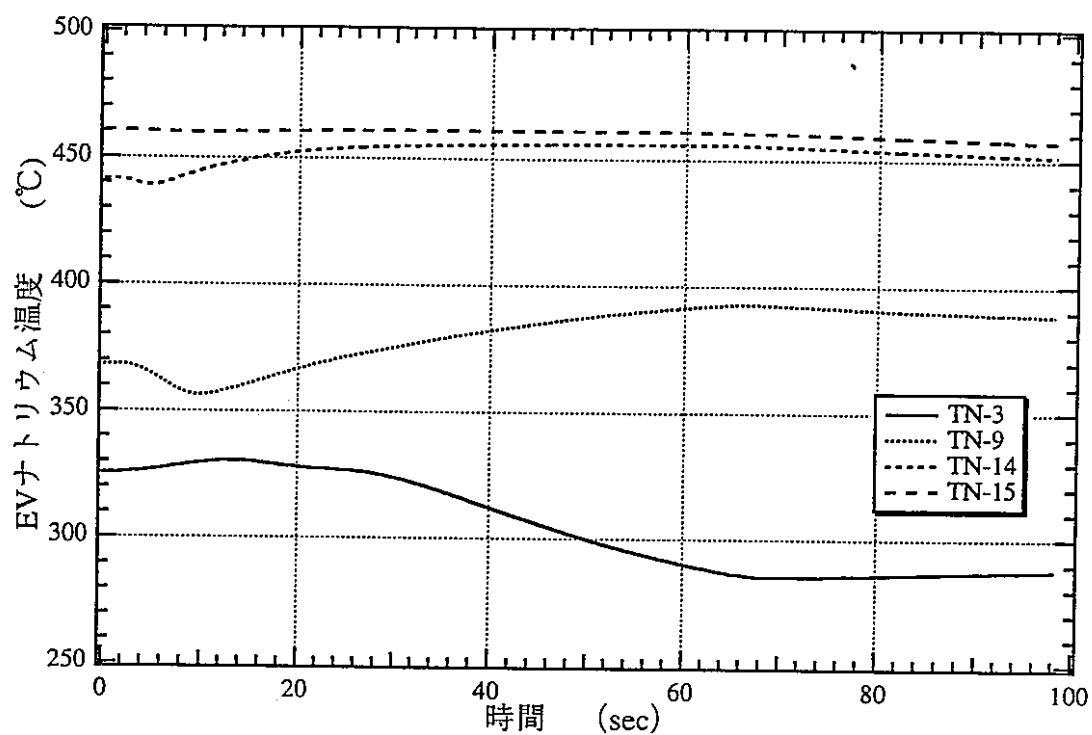


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2)

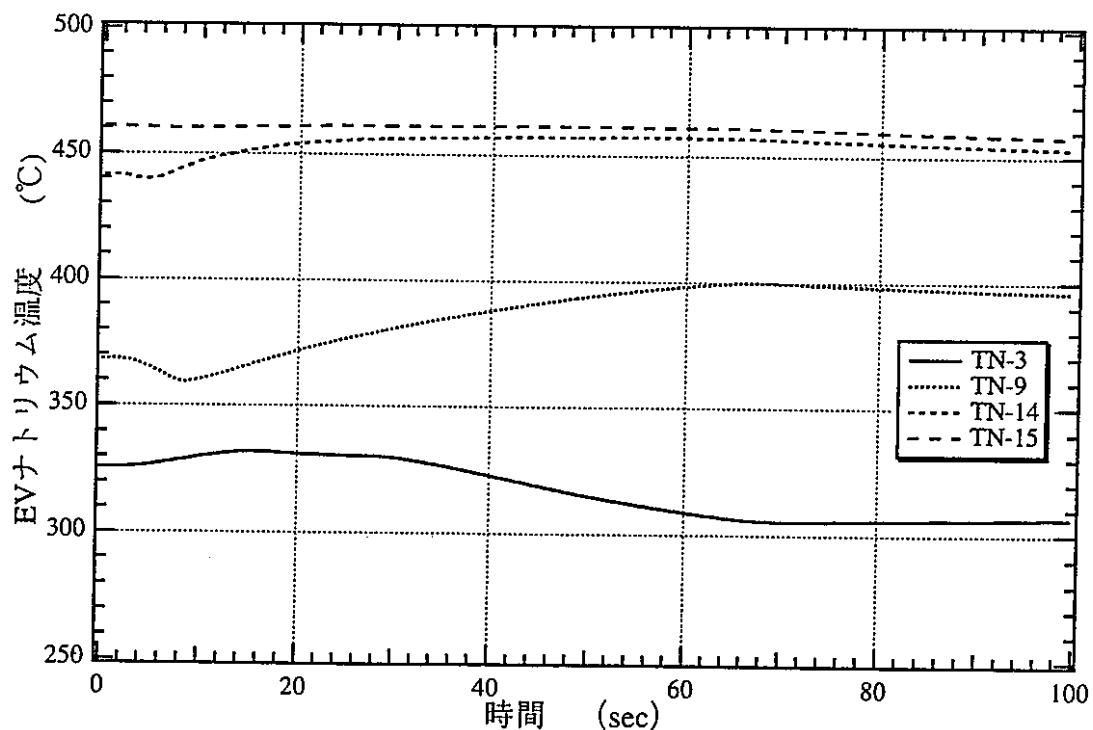


ケースN5 (新値 3B*1、4B*1)

図2.4(5)-6 SG出入口放出弁流量 (定格運転状態からのブロー)

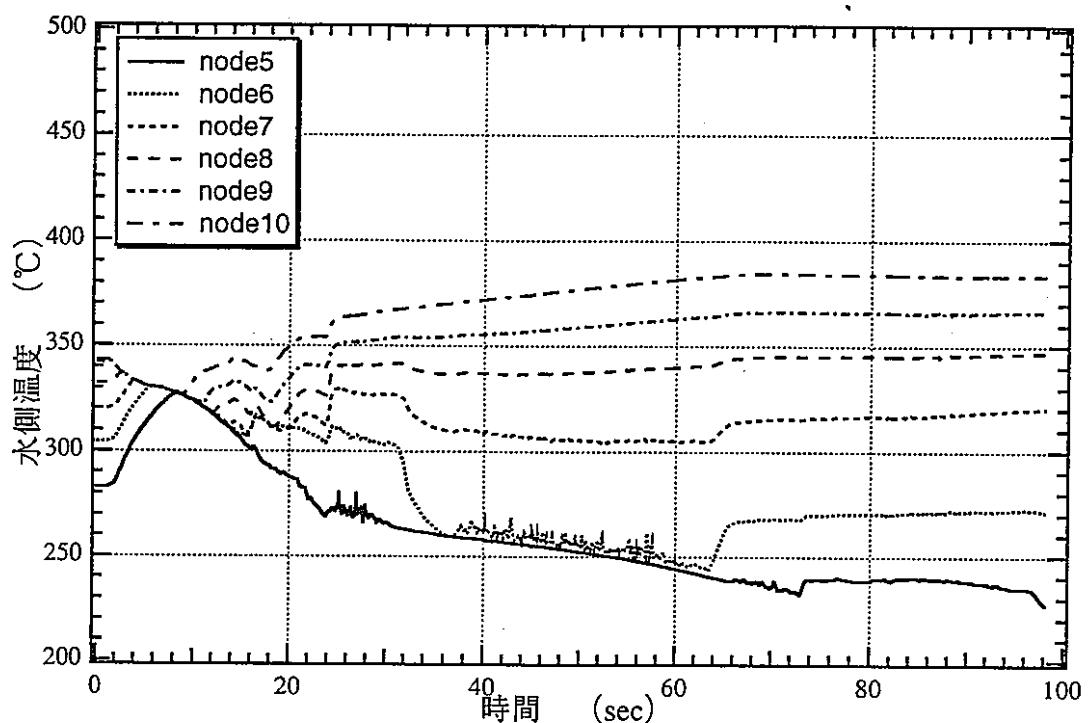


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2)

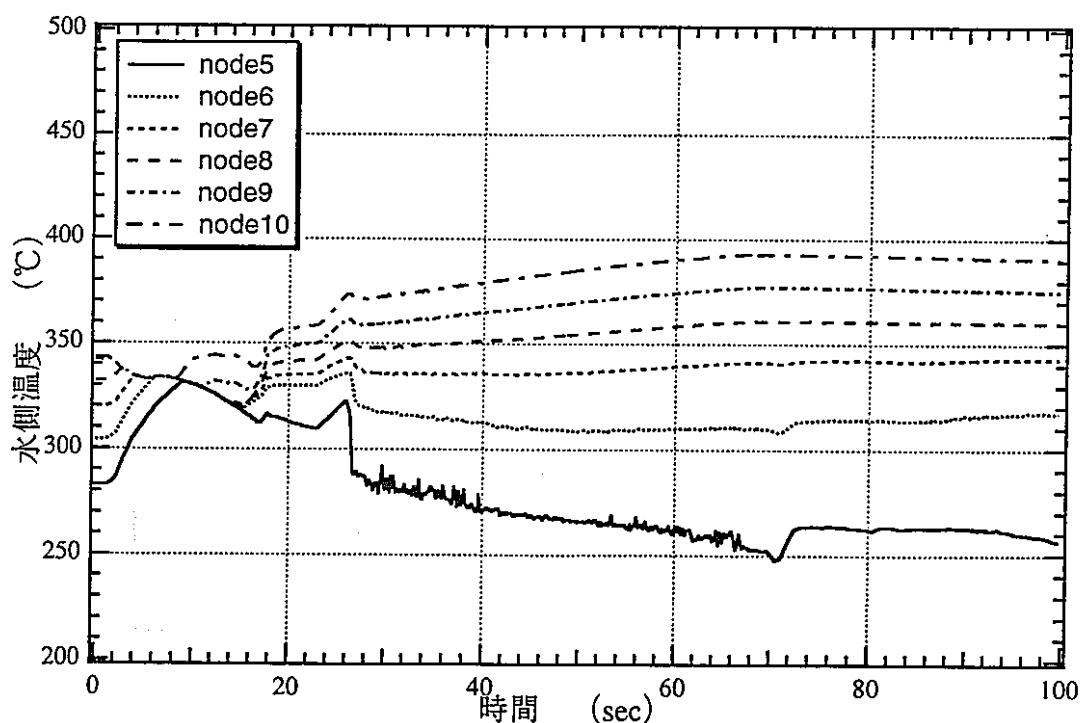


ケースN5 (新値 3B*1、4B*1)

図2.4(5)-7 E V ナトリウム温度変化 (定格運転状態からのブロー)

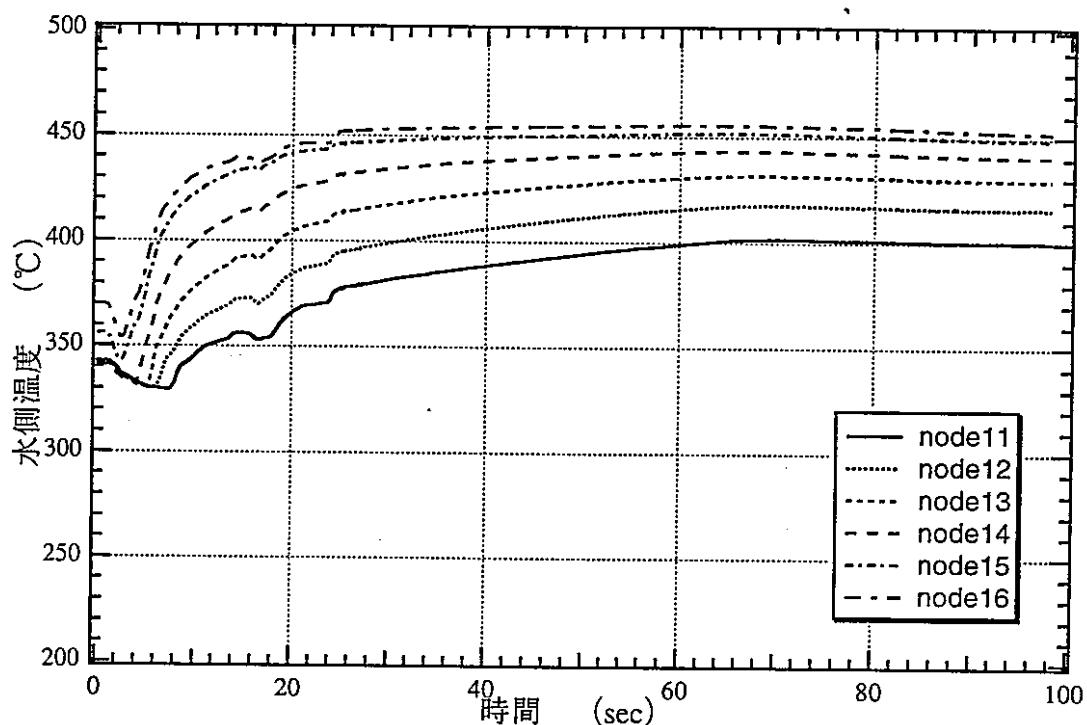


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2)

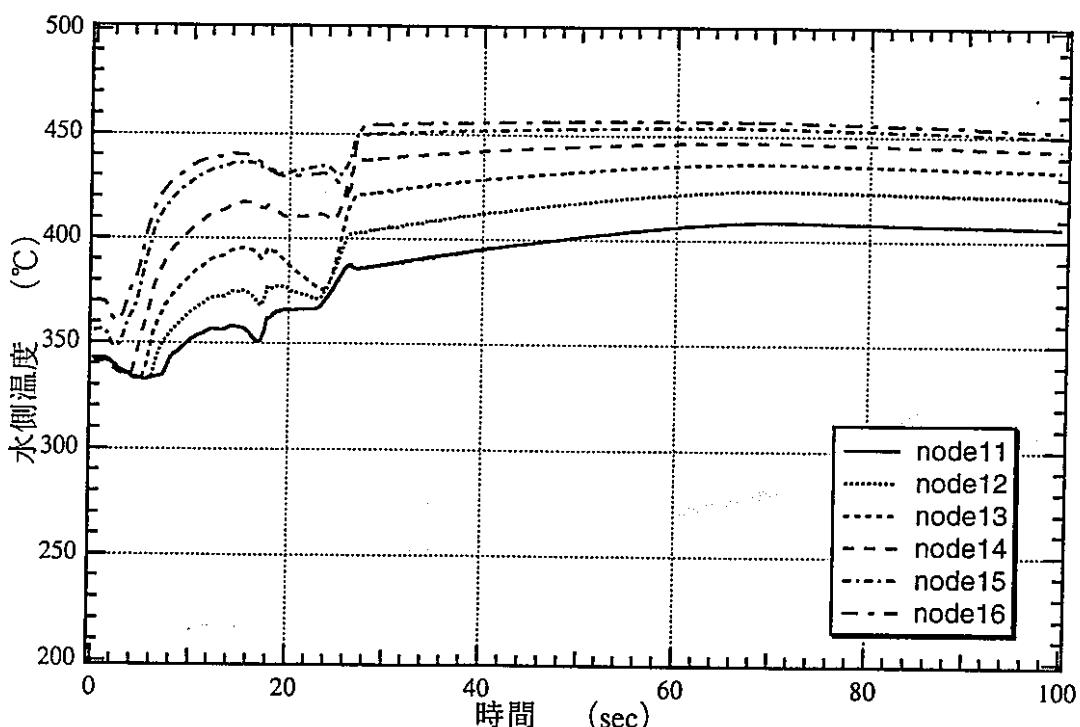


ケースN5 (新値 3B*1、4B*1)

図2.4(5)-8 E Vコイル下部温度変化 (定格運転状態からのブロー)

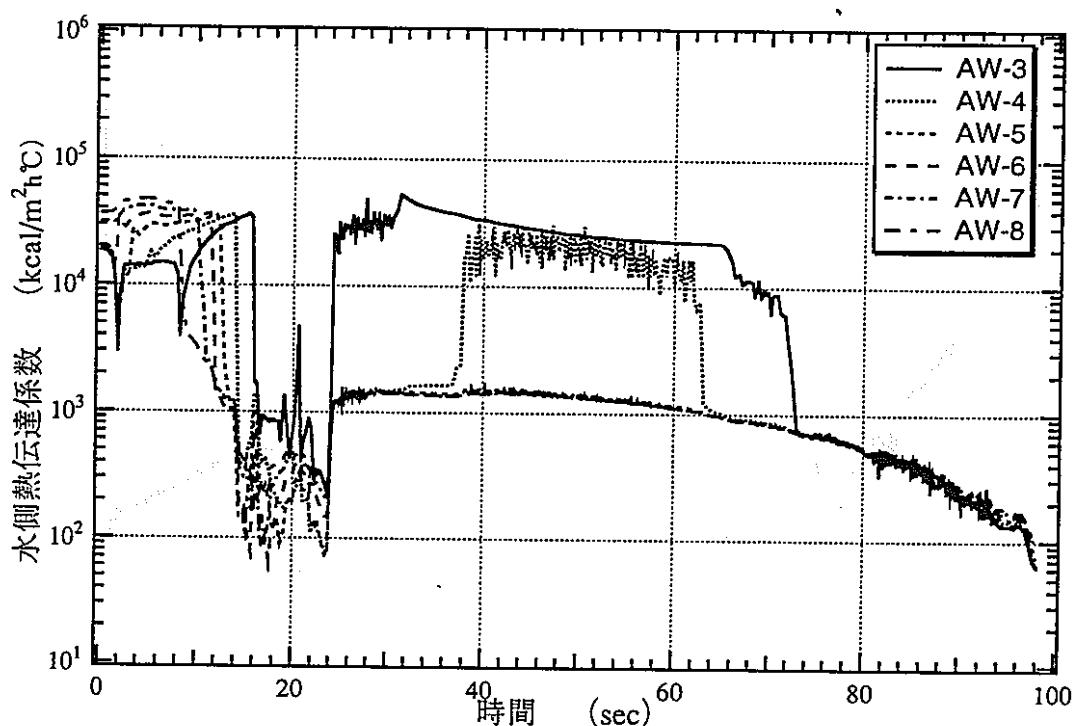


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2)

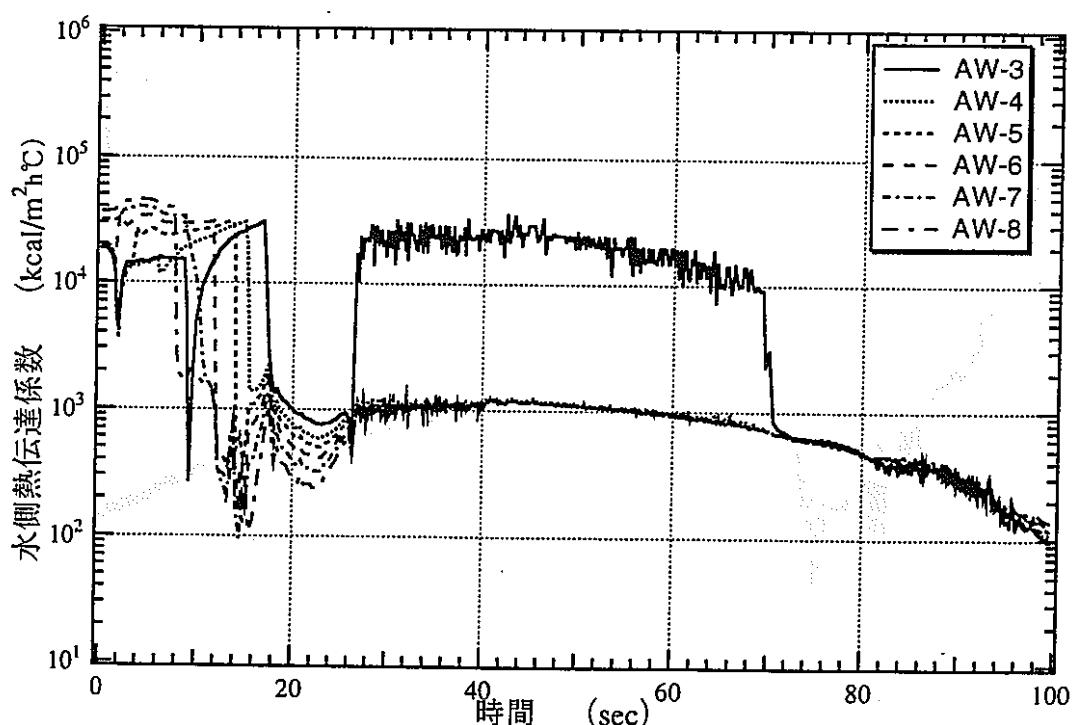


ケースN5 (新値 3B*1、4B*1)

図2.4(5)-9 E Vコイル上部温度変化 (定格運転状態からのプロ－)

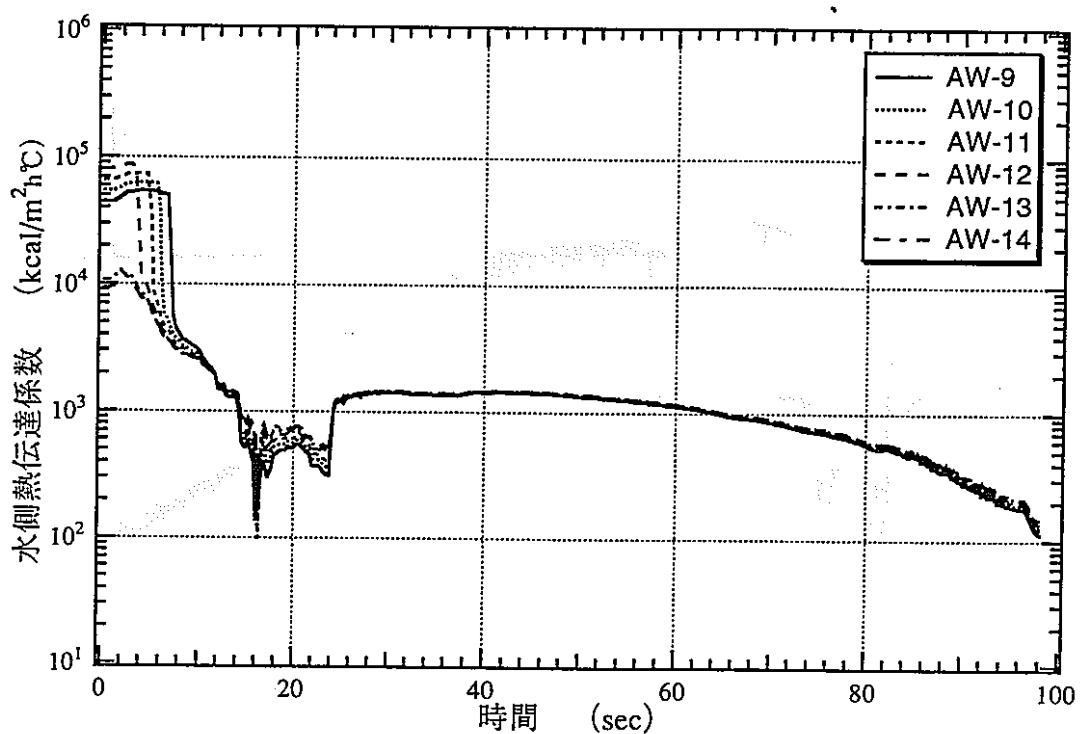


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2)

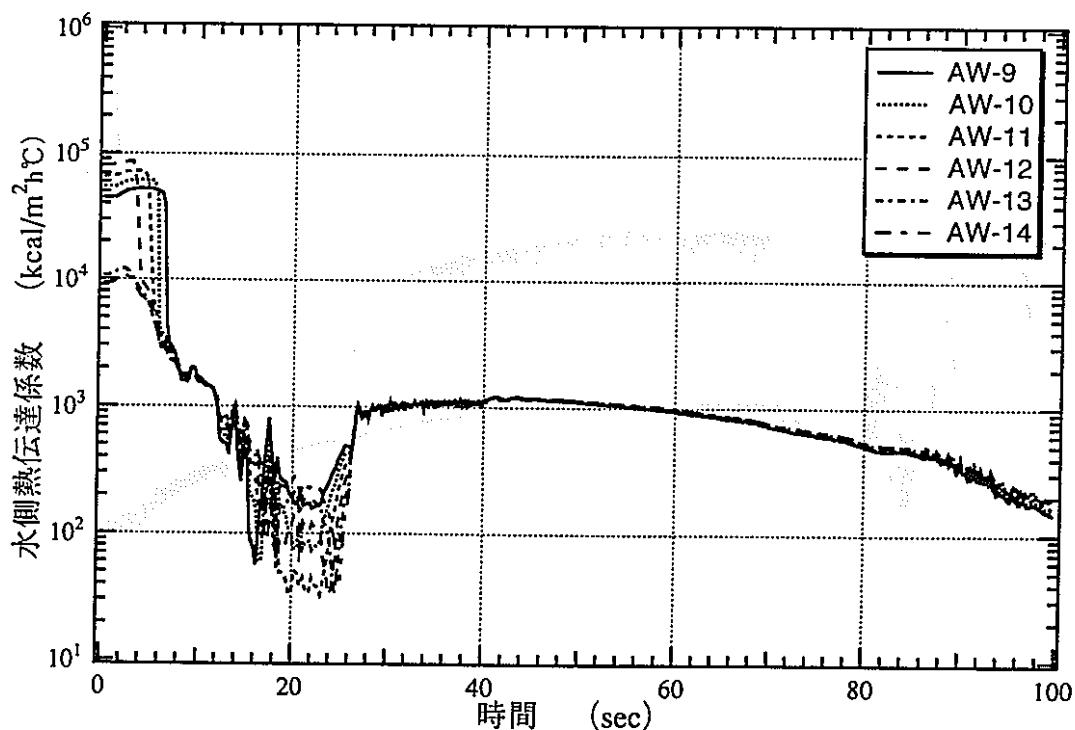


ケースN5 (新値 3B*1、4B*1)

図2.4(5)-10 E Vコイル下部熱伝達係数変化 (定格運転状態からのブロー)

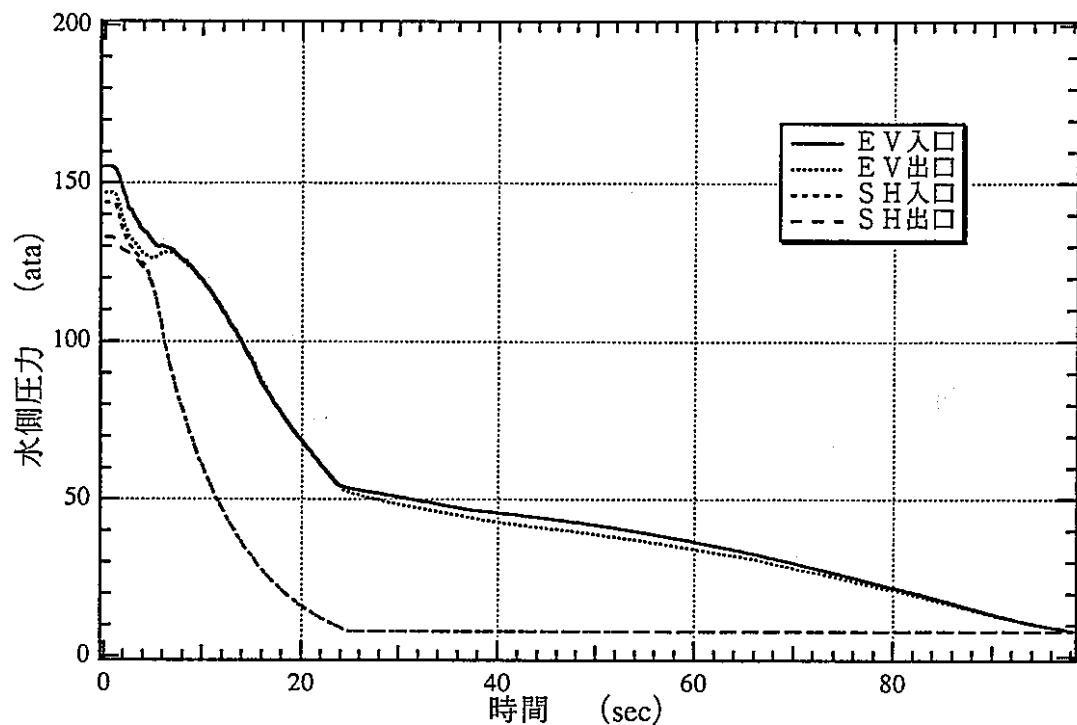


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2)

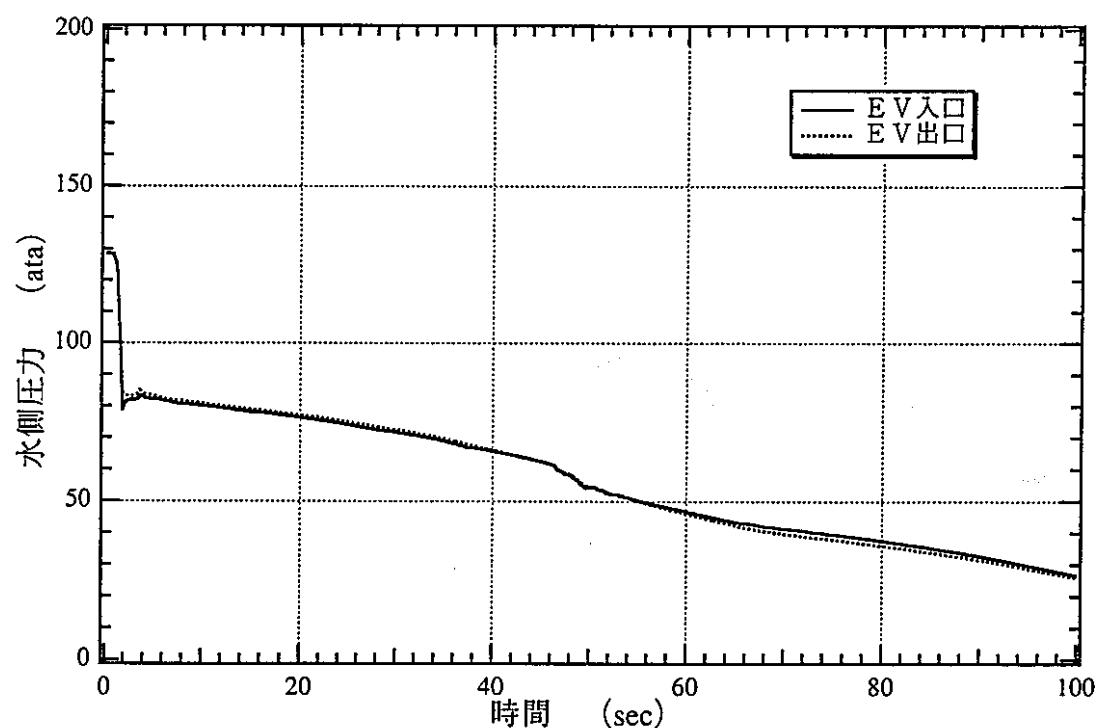


ケースN5 (新値 3B*1、4B*1)

図2.4(5)-11 E Vコイル上部熱伝達係数変化 (定格運転状態からのブロー)

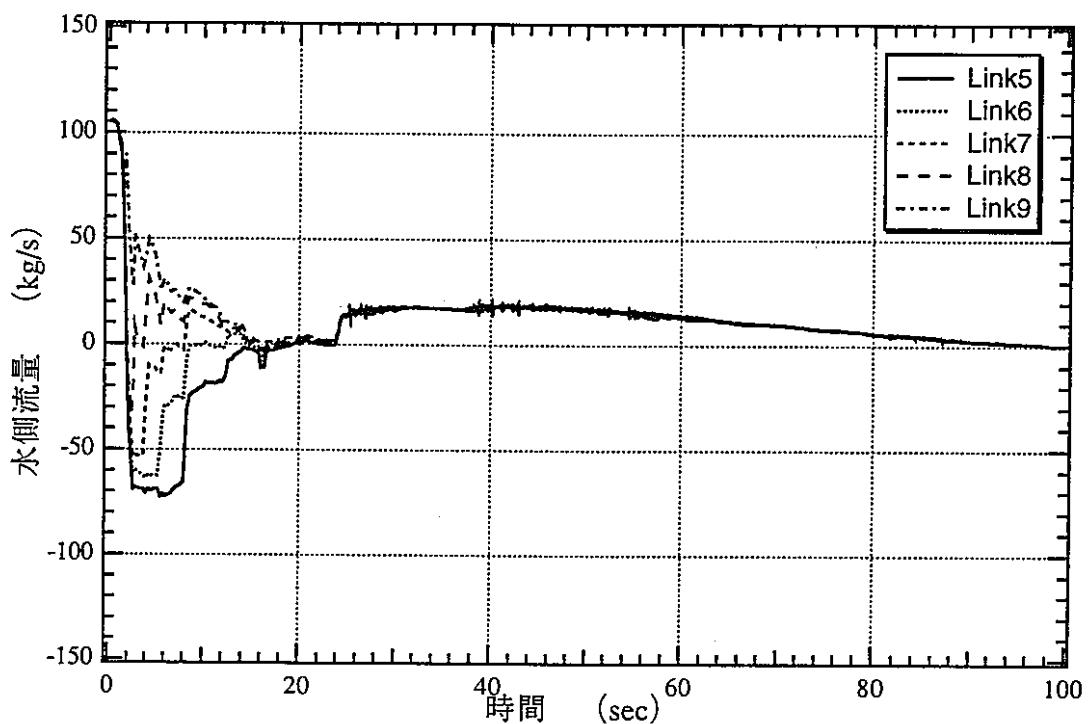


ケースN3 (新値 3B*1,4B*2) (定格運転状態からのプロー)

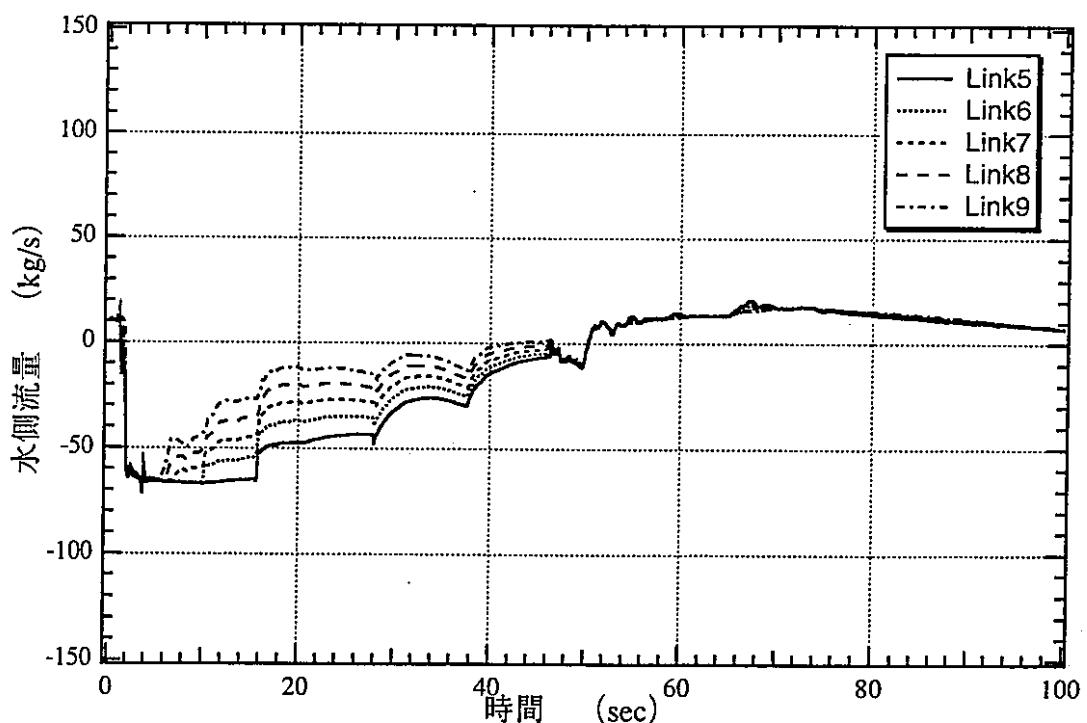


ケースN6 (新値 3B*1,4B*2) (起動時水側流量 10 %からのプロー)

図2.4(6)-1 SG出入口圧力変化

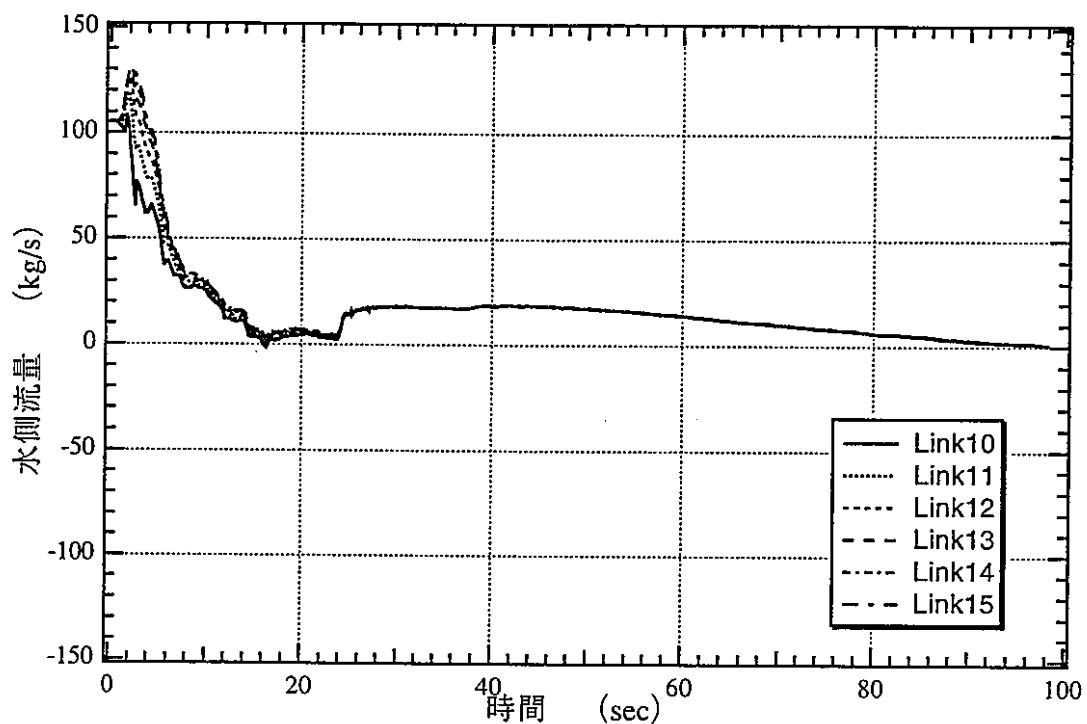


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (定格運転状態からのプロー)

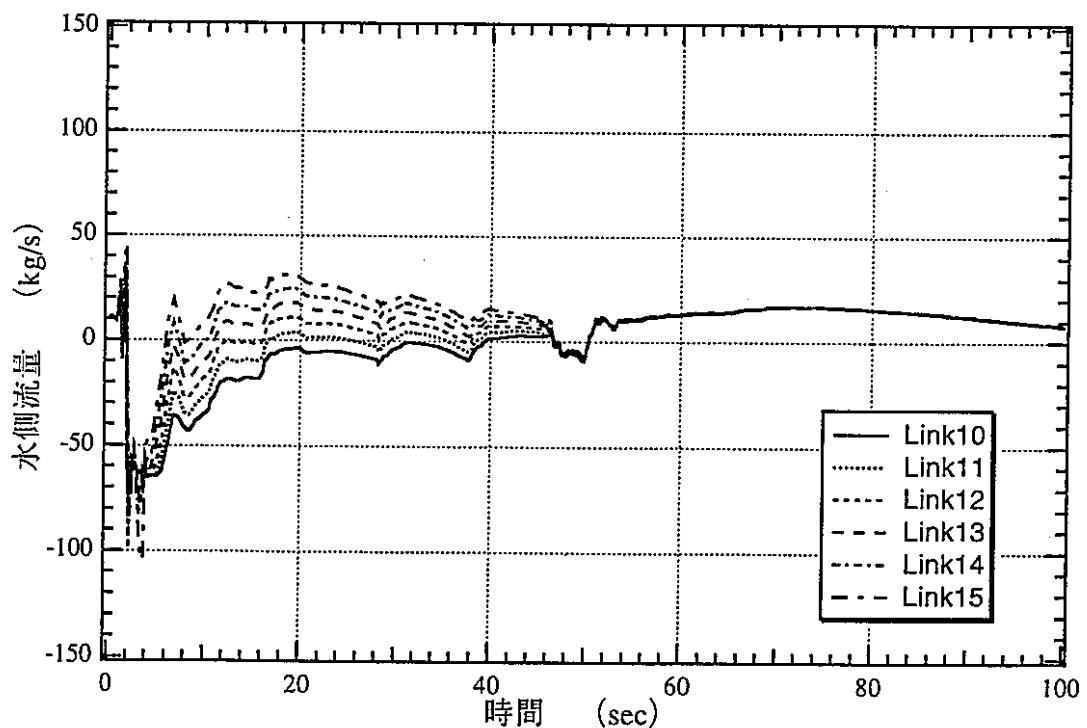


ケースN6 (新値 3B*1、4B*2) (起動時水側流量 10 %からのプロー)

図2.4(6)-2 E Vコイル下部流量変化

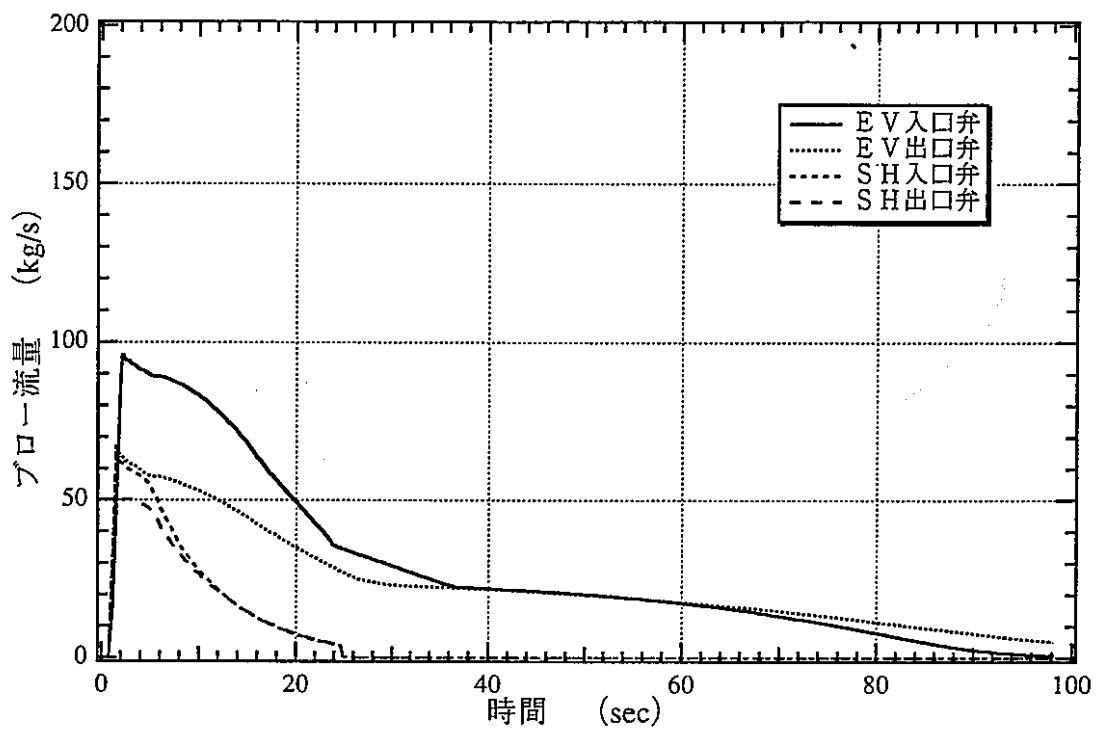


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (定格運転状態からのプロー)

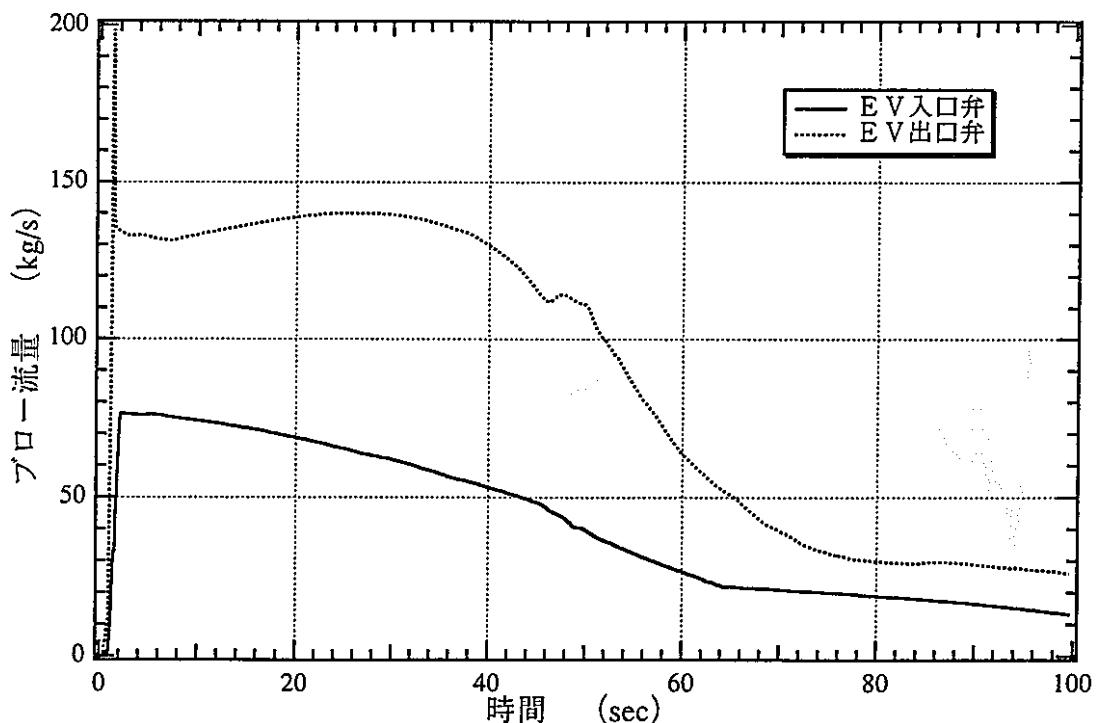


ケースN6 (新値 3B*1、4B*2) (起動時水側流量 10 %からのプロー)

図2.4(6)-3 EV管束部上部流量変化

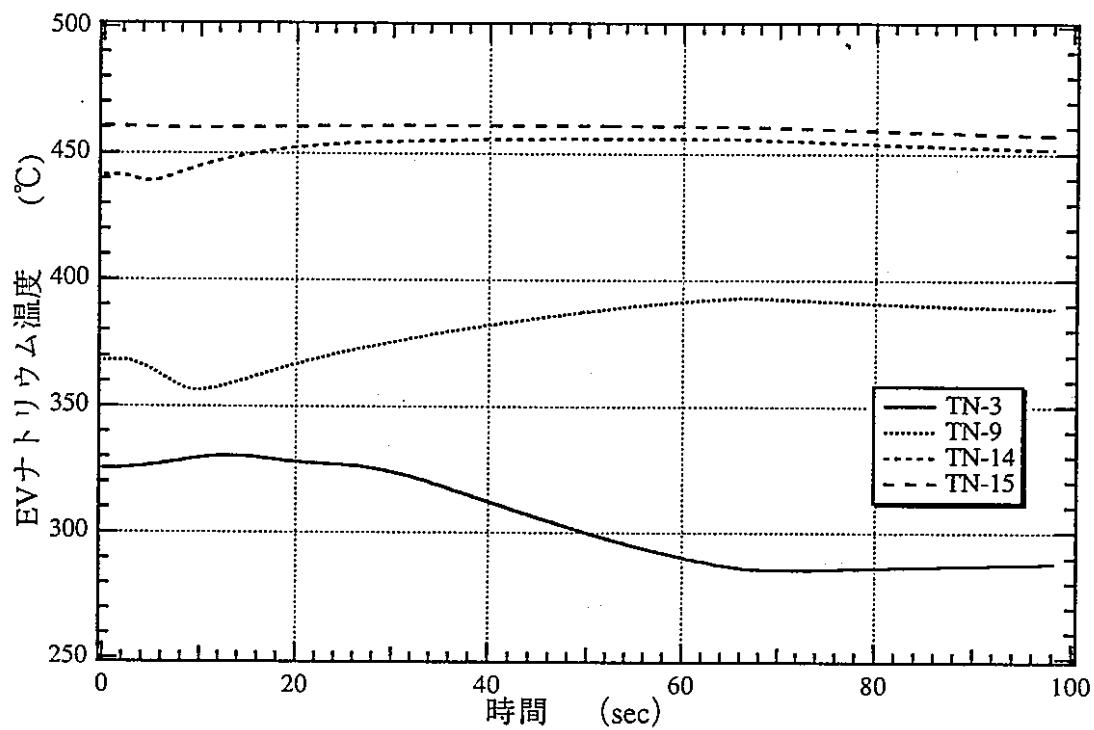


ケースN3（新値 3B*1、4B*2）（定格運転状態からのプロ－）

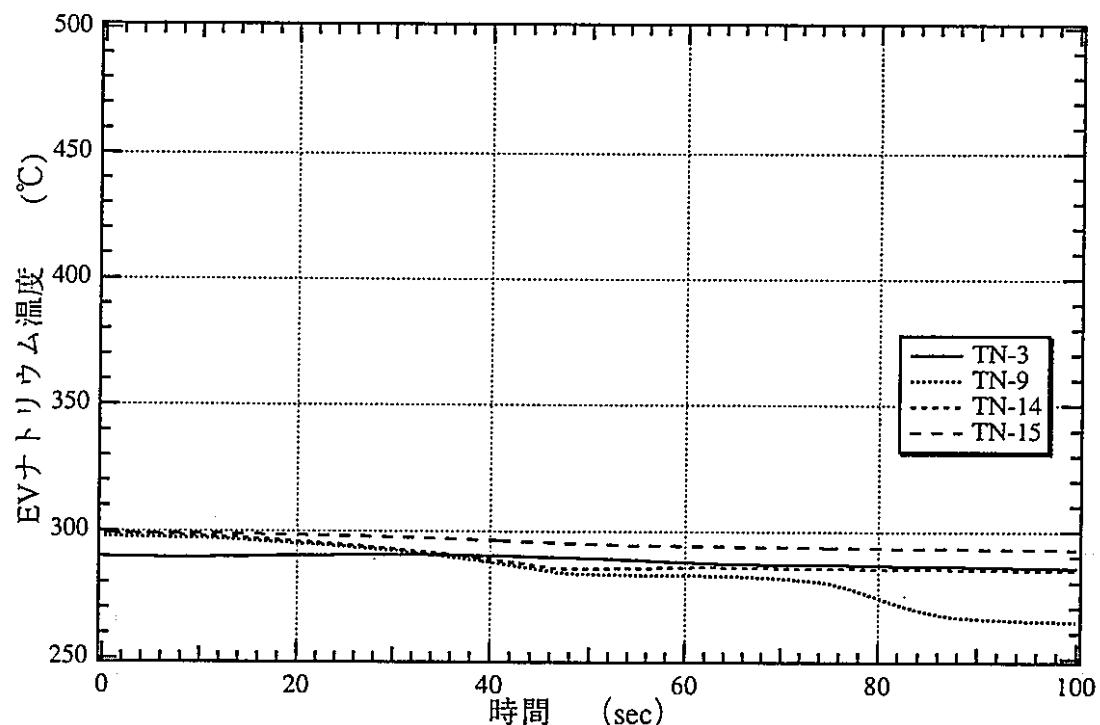


ケースN6（新値 3B*1、4B*2）（起動時水側流量 10 %からのプロ－）

図2.4(6)-4 SG出入口放出弁流量

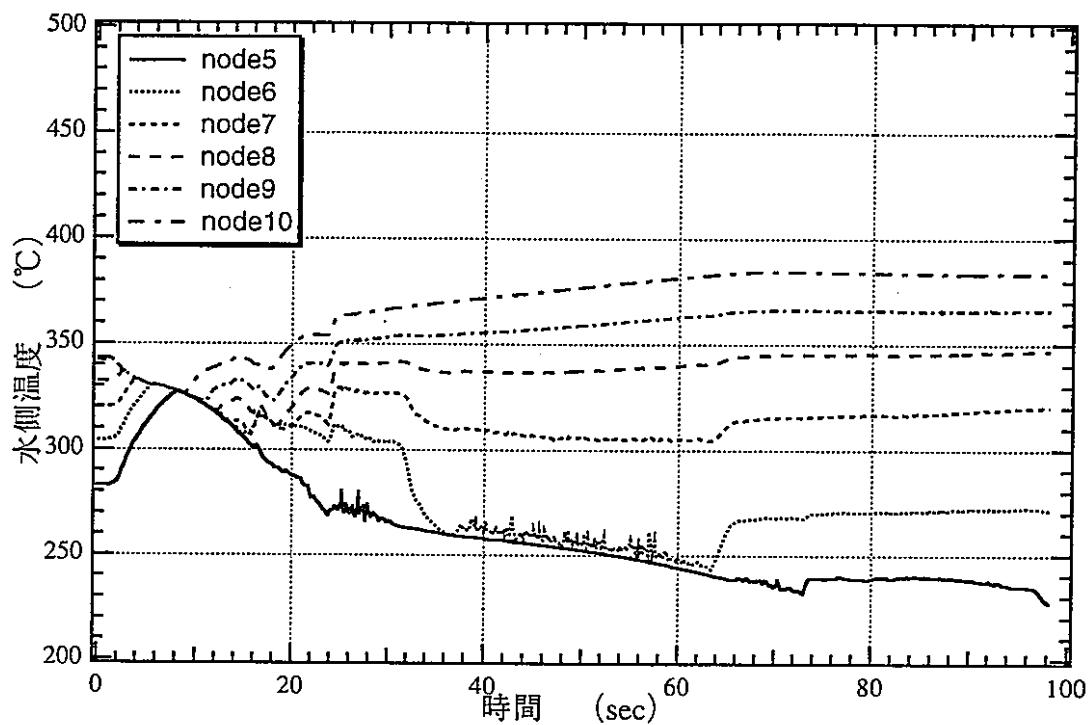


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (定格運転状態からのプロー)

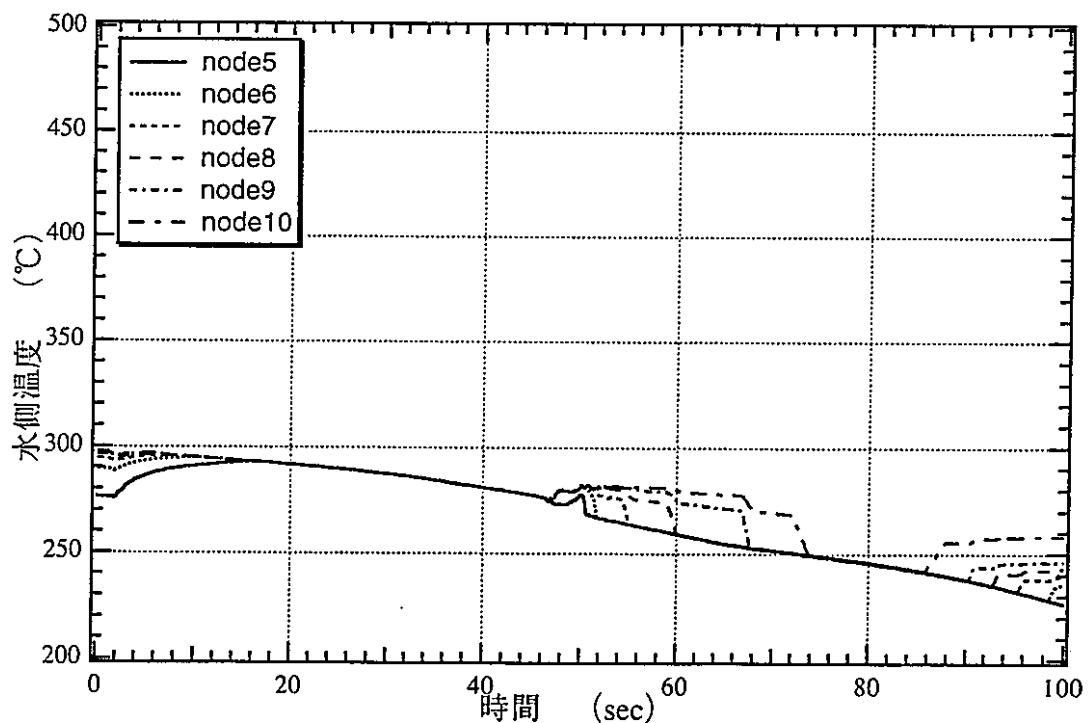


ケースN6 (新値 3B*1、4B*2) (起動時水側流量 10 %からのプロー)

図2.4(6)-5 EVナトリウム温度変化

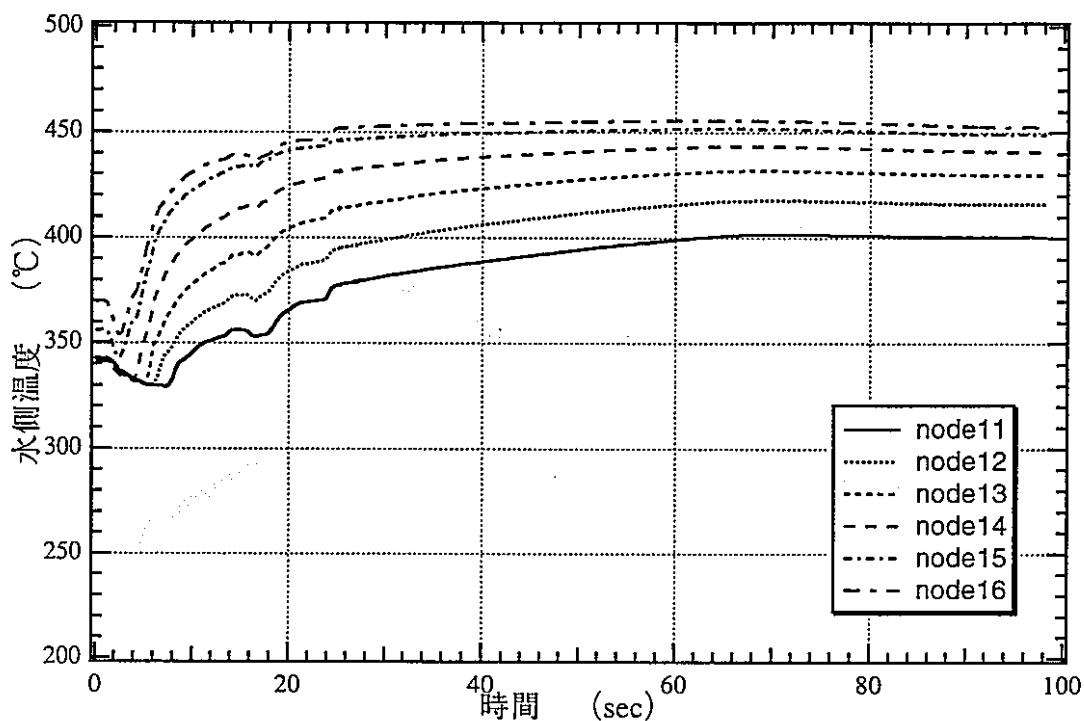


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (定格運転状態からのプロー)

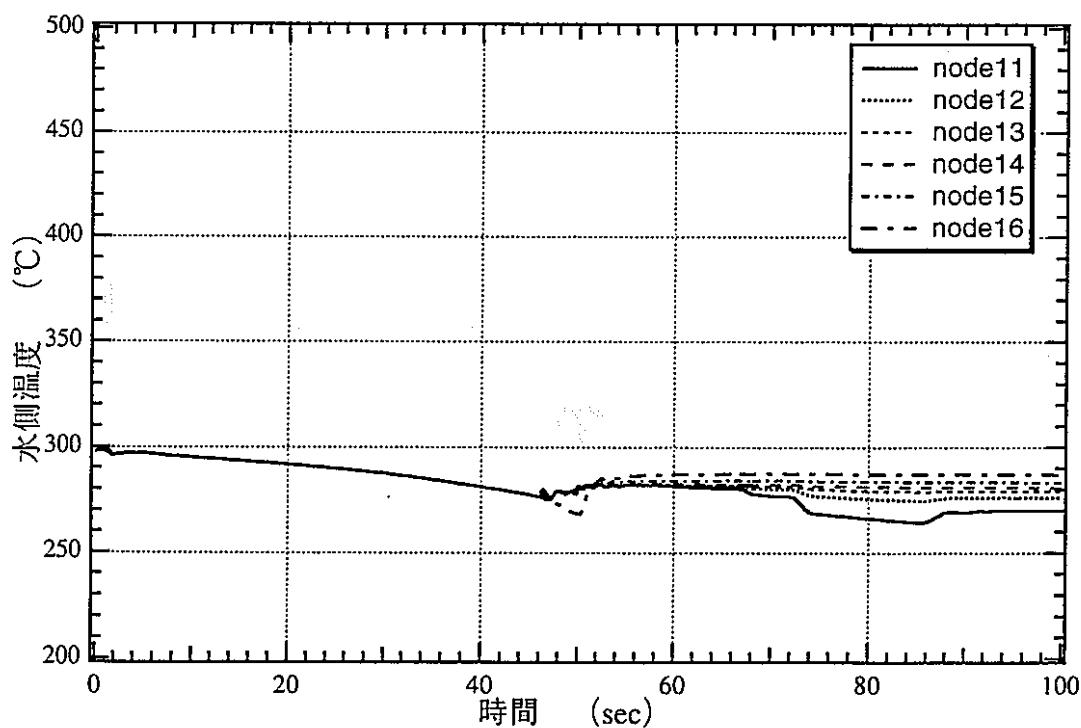


ケースN6 (新値 3B*1、4B*2) (起動時水側流量 10 %からのプロー)

図2.4(6)-6 EVコイル下部温度変化

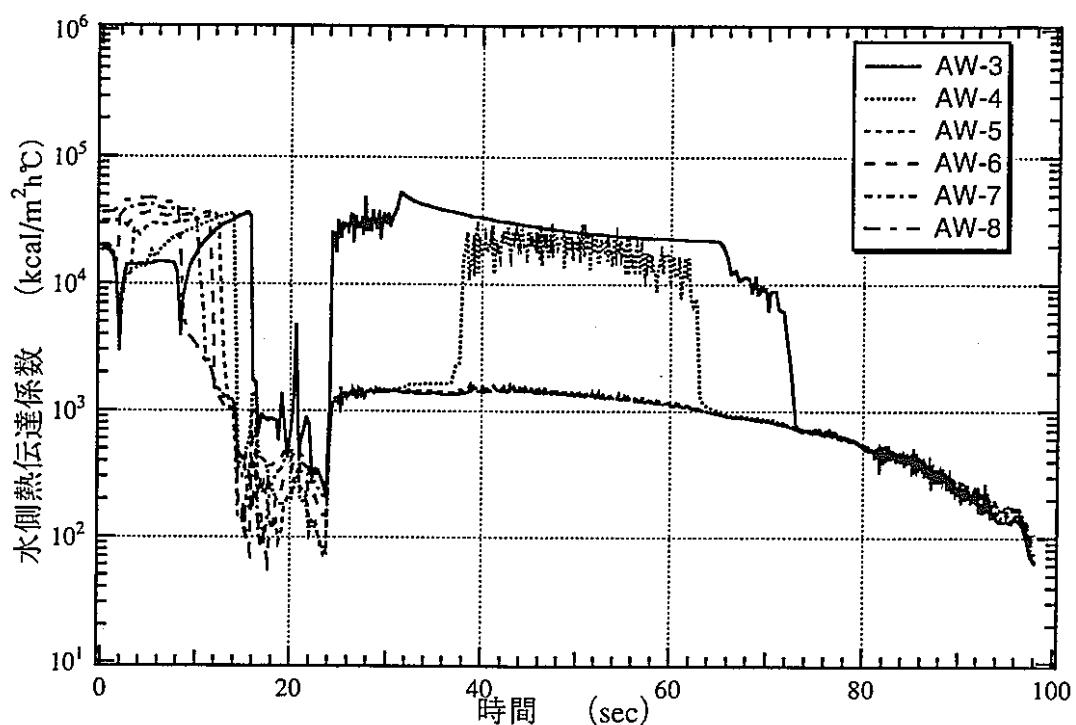


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (定格運転状態からのプロー)

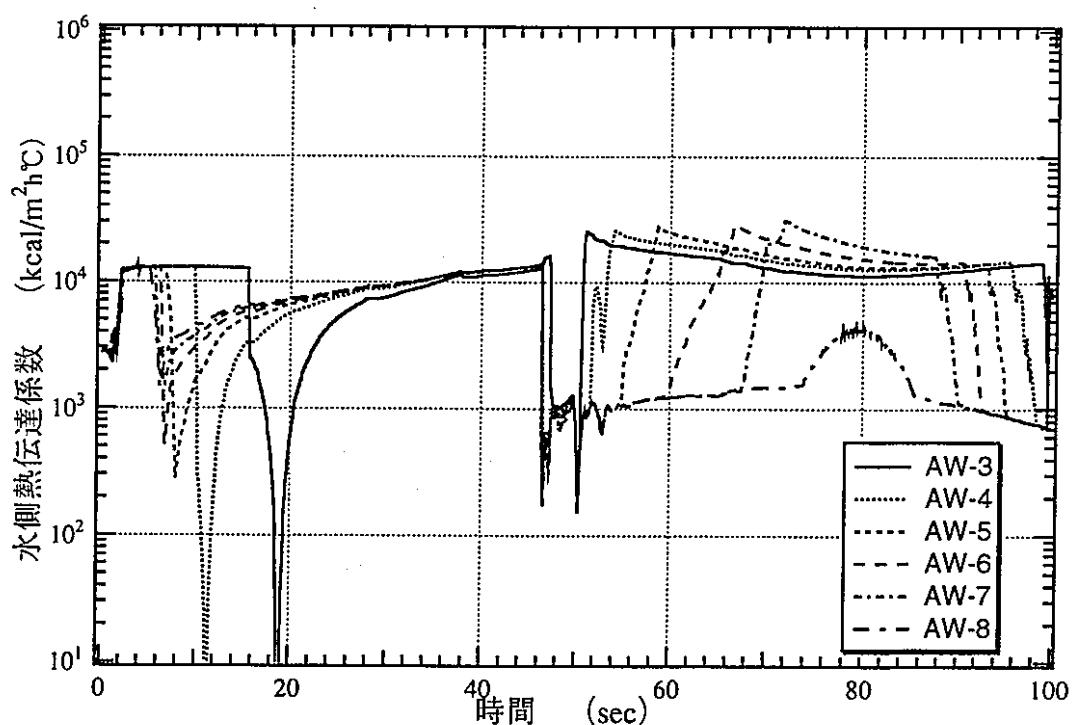


ケースN6 (新値 3B*1、4B*2) (起動時水側流量 10 %からのプロー)

図2.4(6)-7 E Vコイル上部温度変化

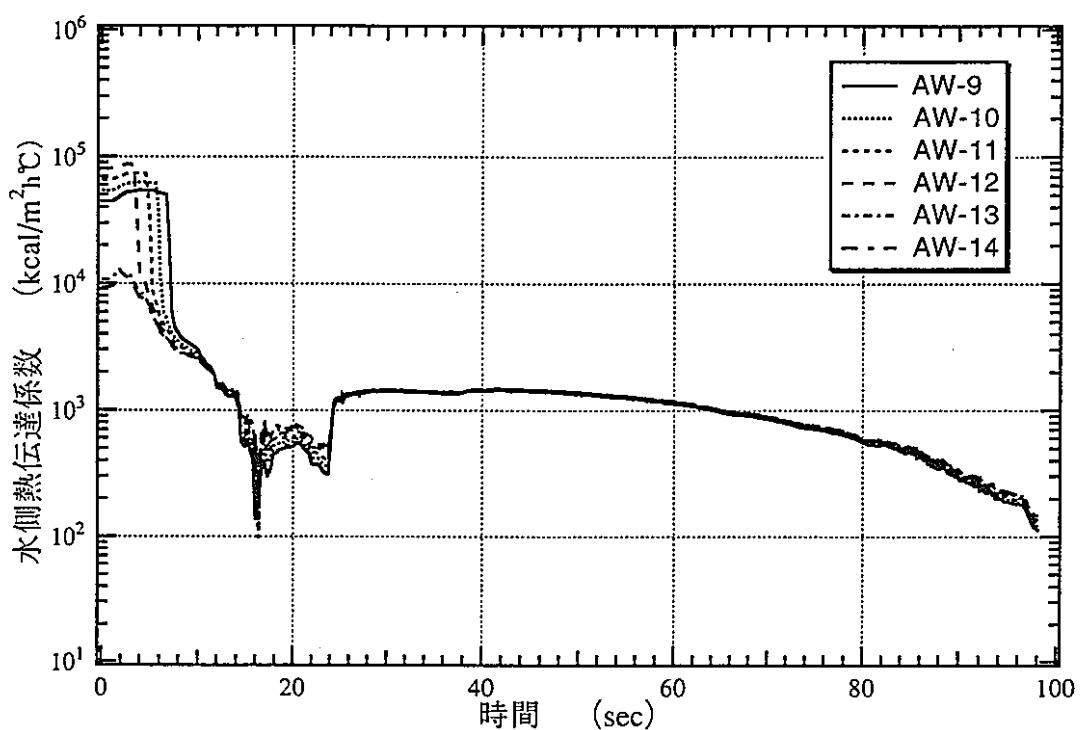


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (定格運転状態からのプロー)

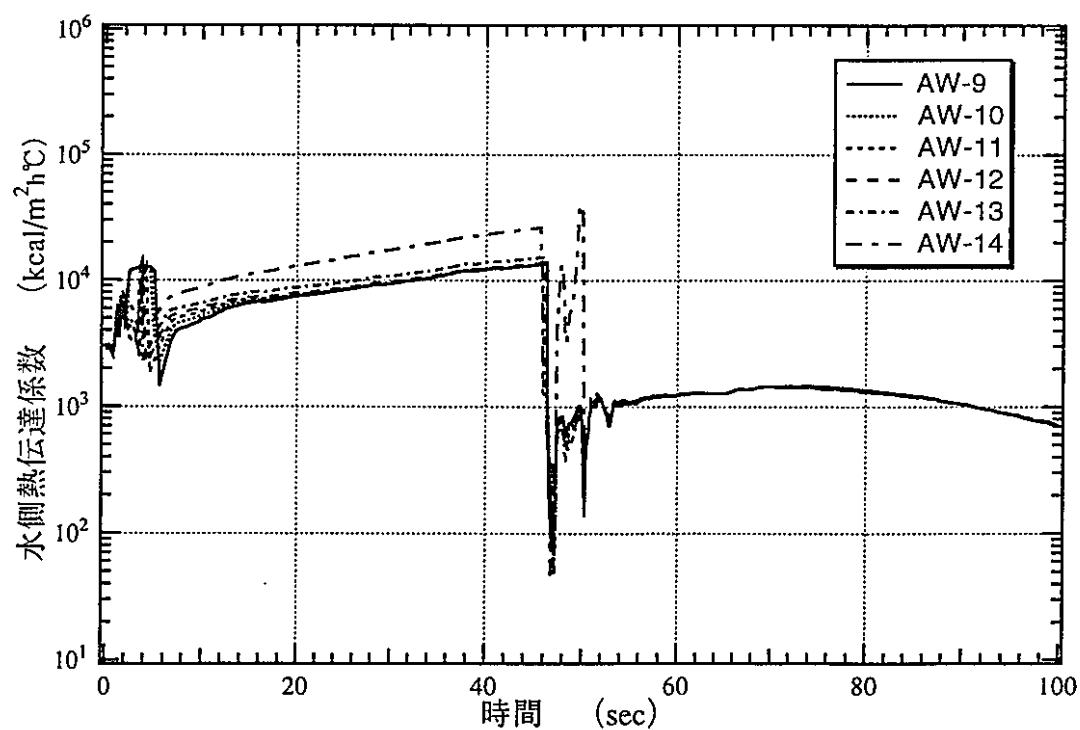


ケースN6 (新値 3B*1、4B*2) (起動時水側流量 10 %からのプロー)

図2.4(6)-8 E Vコイル下部熱伝達係数変化

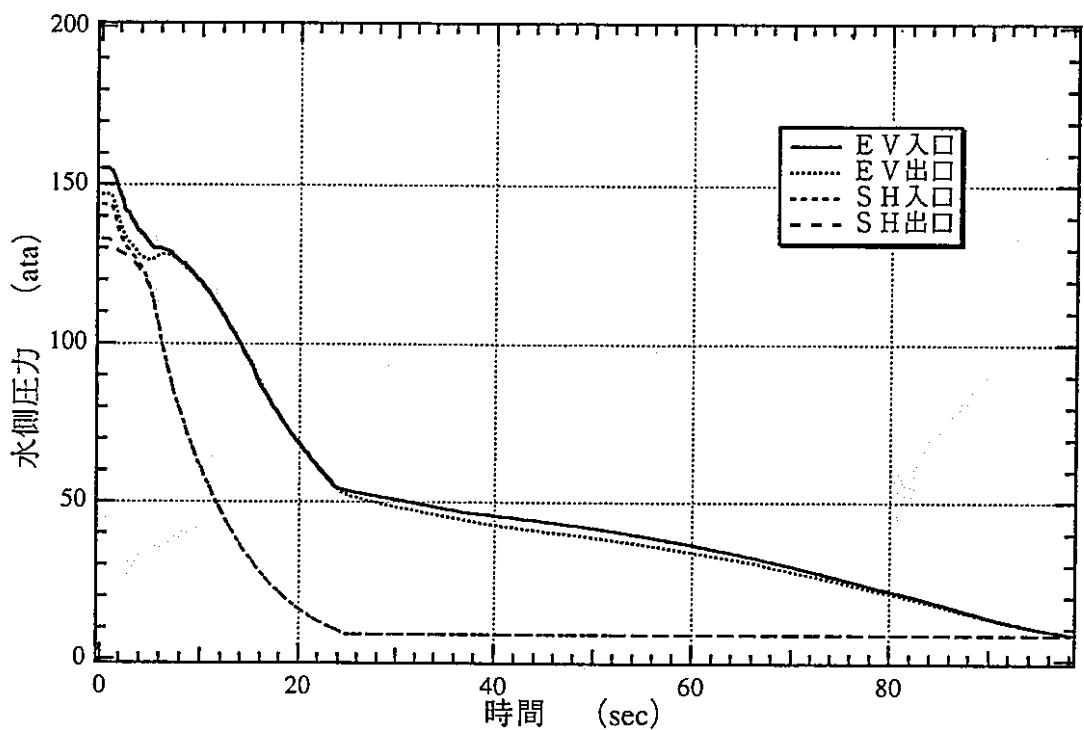


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (定格運転状態からのプロー)

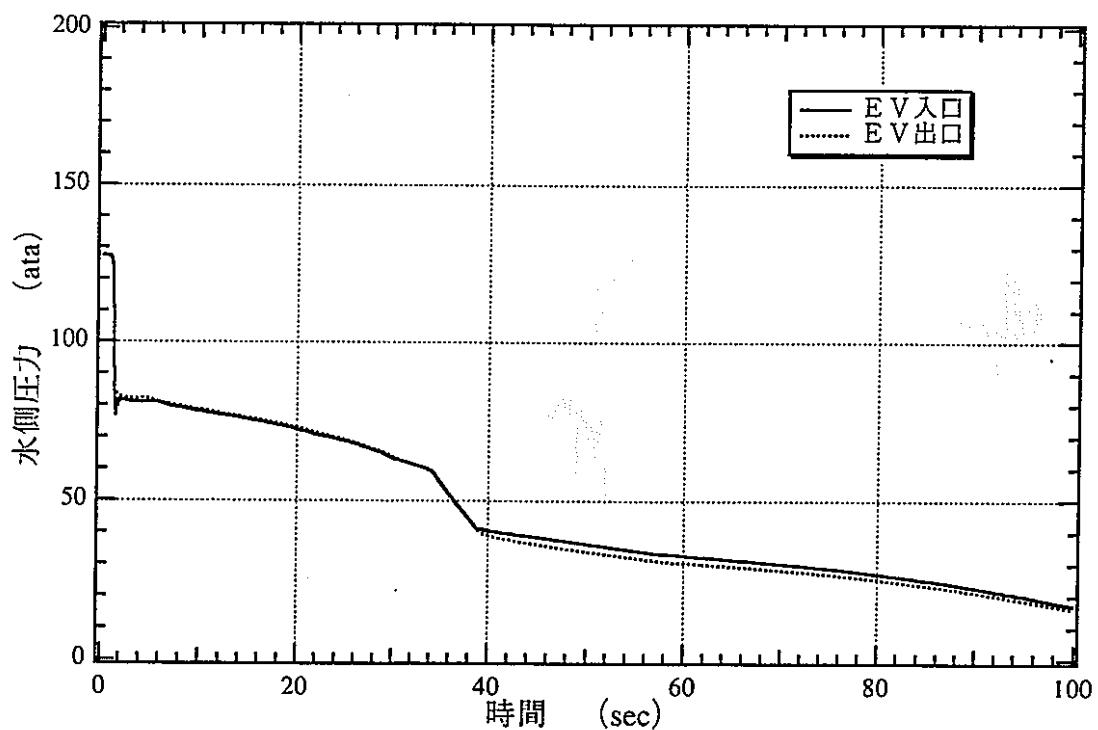


ケースN6 (新値 3B*1、4B*2) (起動時水側流量 10 %からのプロー)

図2.4(6)-9 EVコイル上部熱伝達係数変化

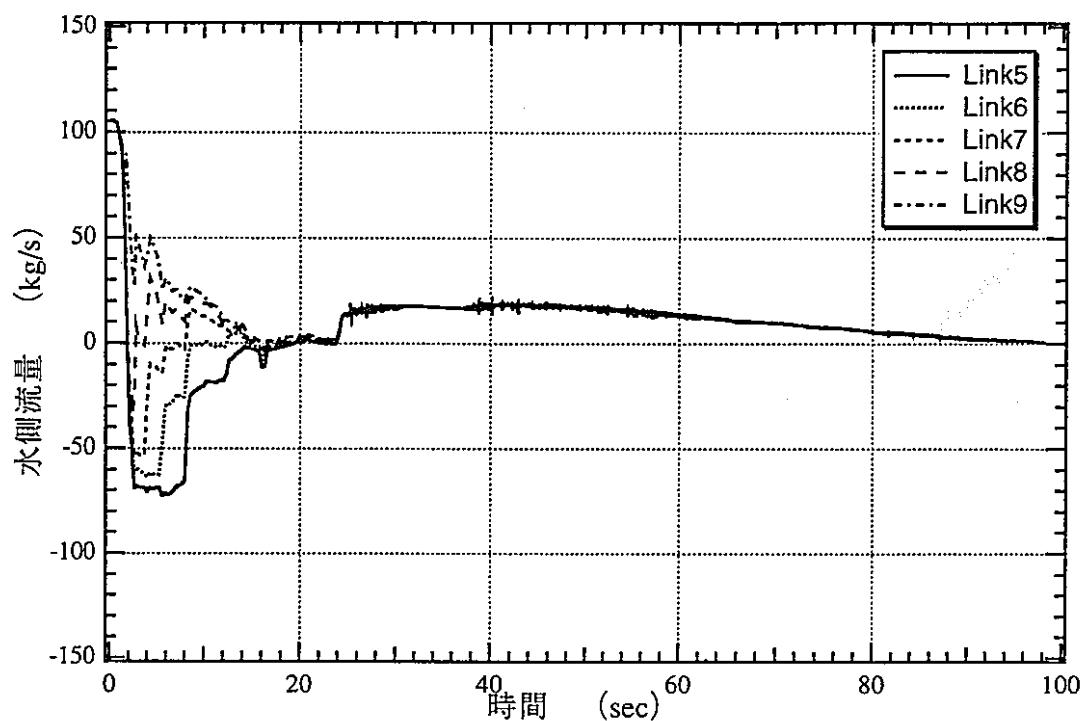


ケースN3 (新値 3B*1,4B*2) (定格運転状態からのプロー)

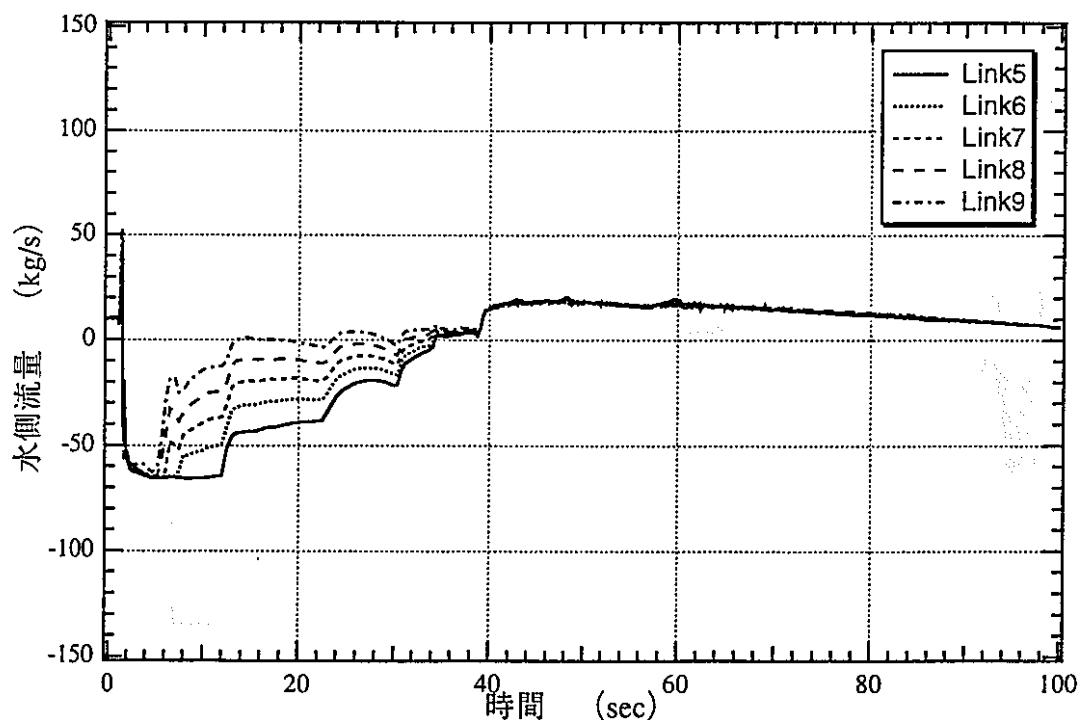


ケースN7 (新値 3B*1,4B*2) (起動時水側流量 10 %からのプロー)

図2.4(7)-1 SG出入口圧力変化

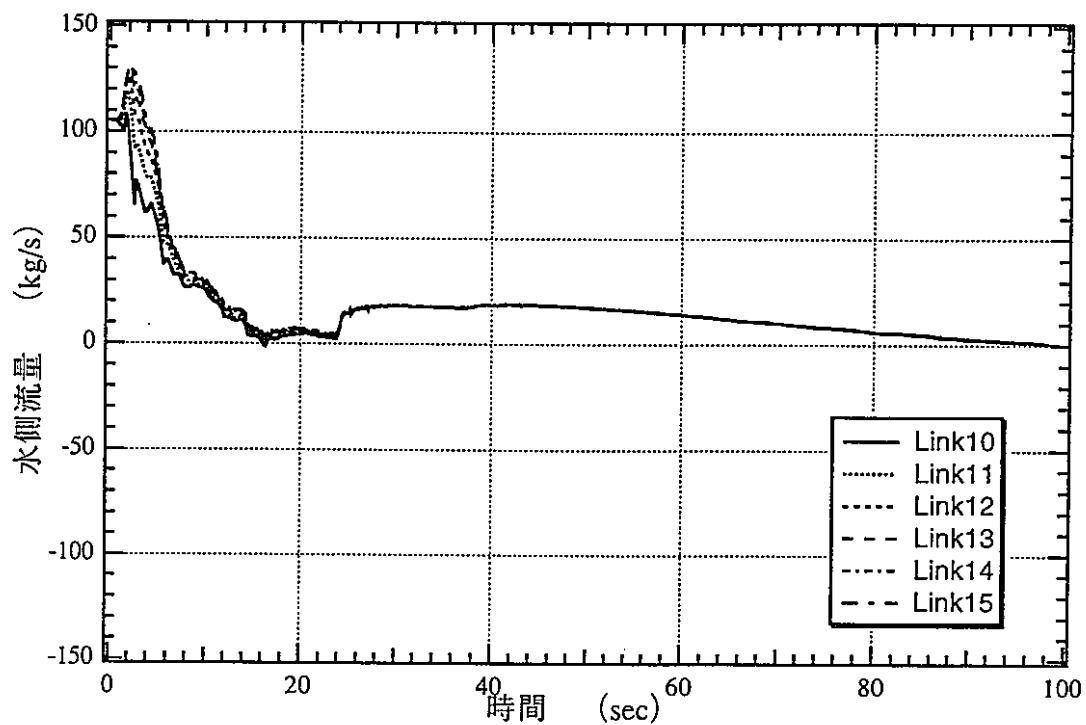


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (定格運転状態からのプロー)

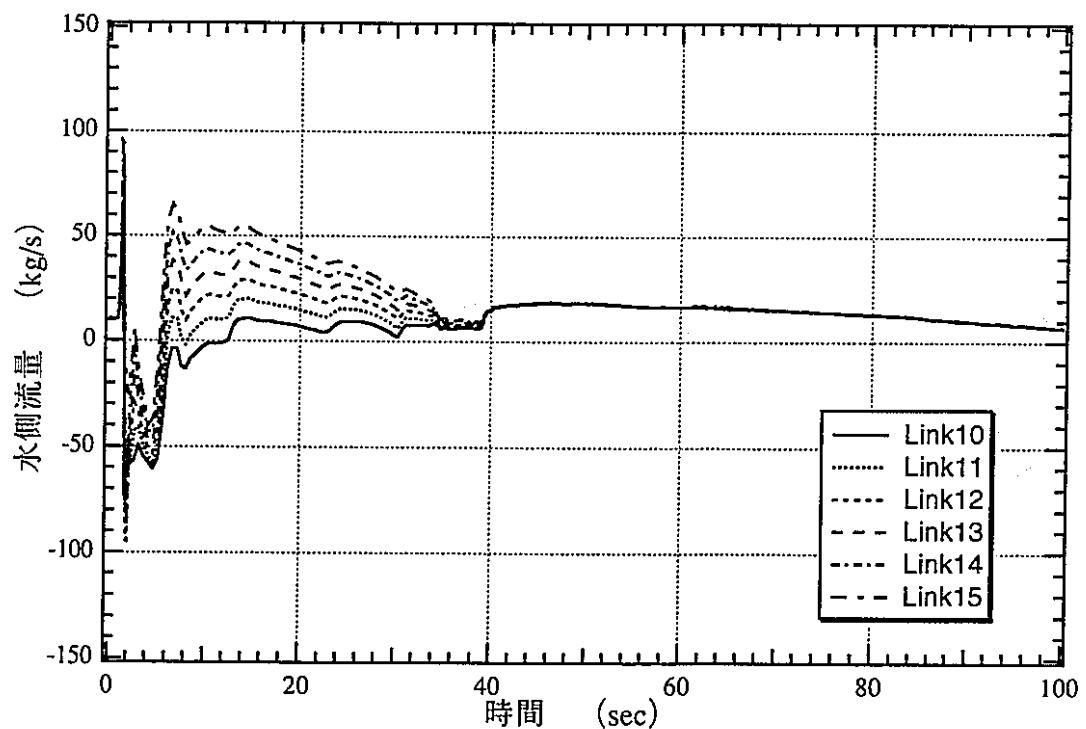


ケースN7 (新値 3B*1、4B*2) (起動時水側流量 10 %からのプロー)

図2.4(7)-2 EVコイル下部流量変化

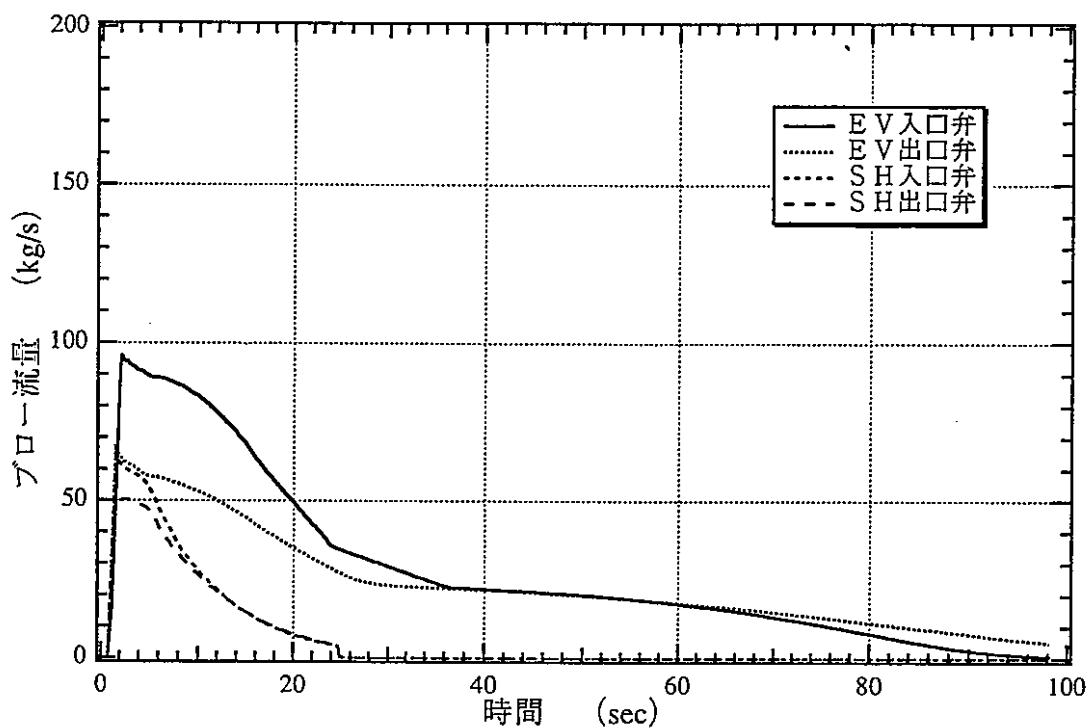


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (定格運転状態からのプロー)

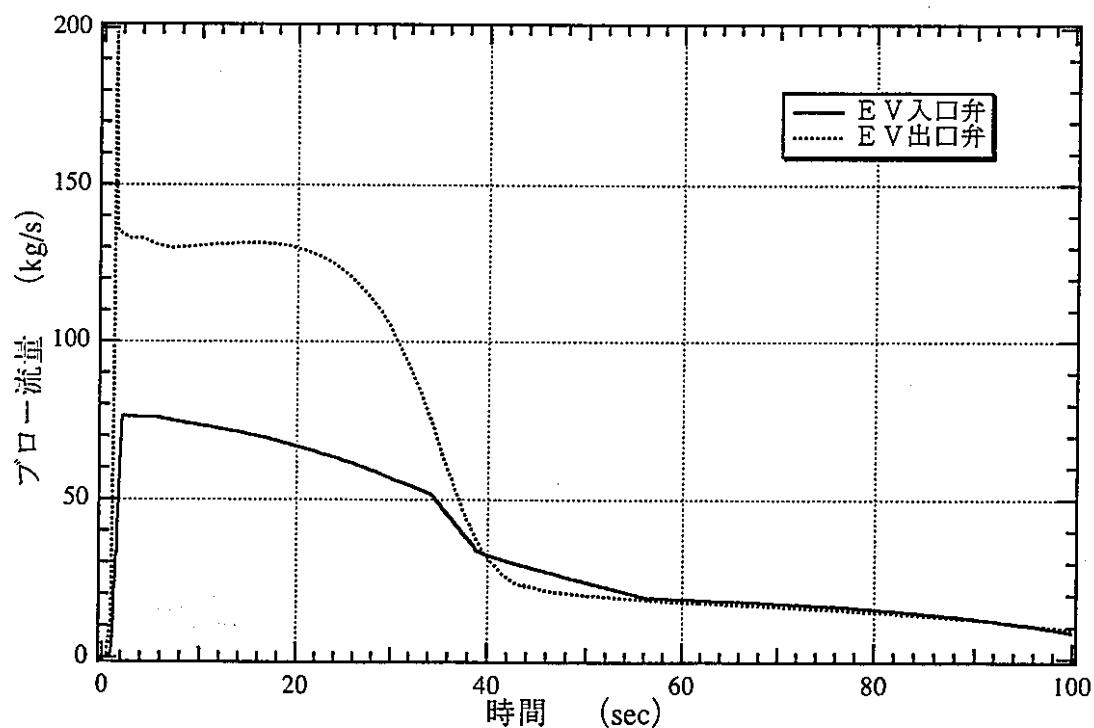


ケースN7 (新値 3B*1、4B*2) (起動時水側流量 10 %からのプロー)

図2.4(7)-3 EV管東部上部流量変化

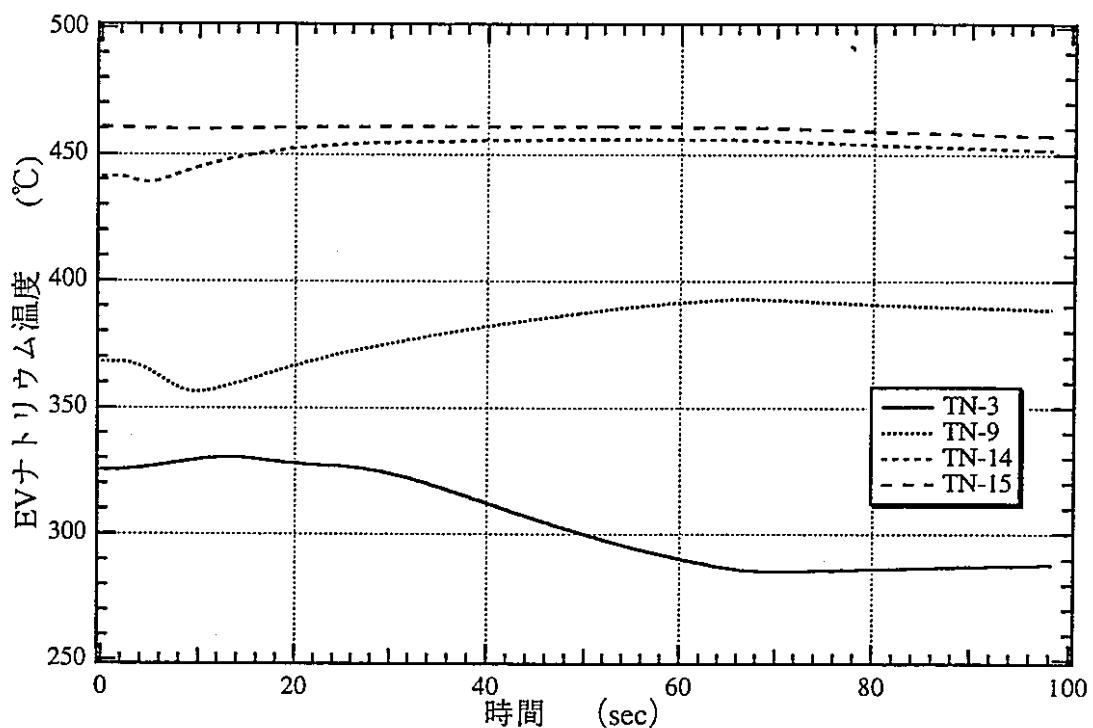


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (定格運転状態からのプロー)

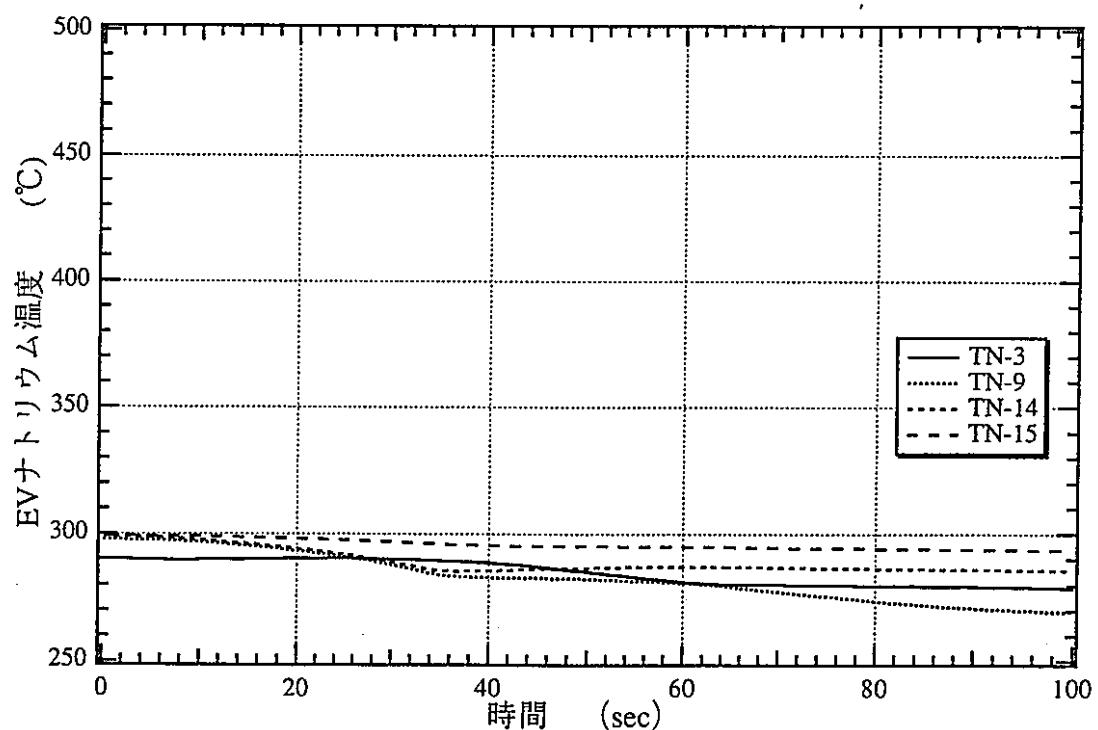


ケースN7 (新値 3B*1、4B*2) (起動時水側流量 10 %からのプロー)

図2.4(7)-4 SG出入口放出弁流量

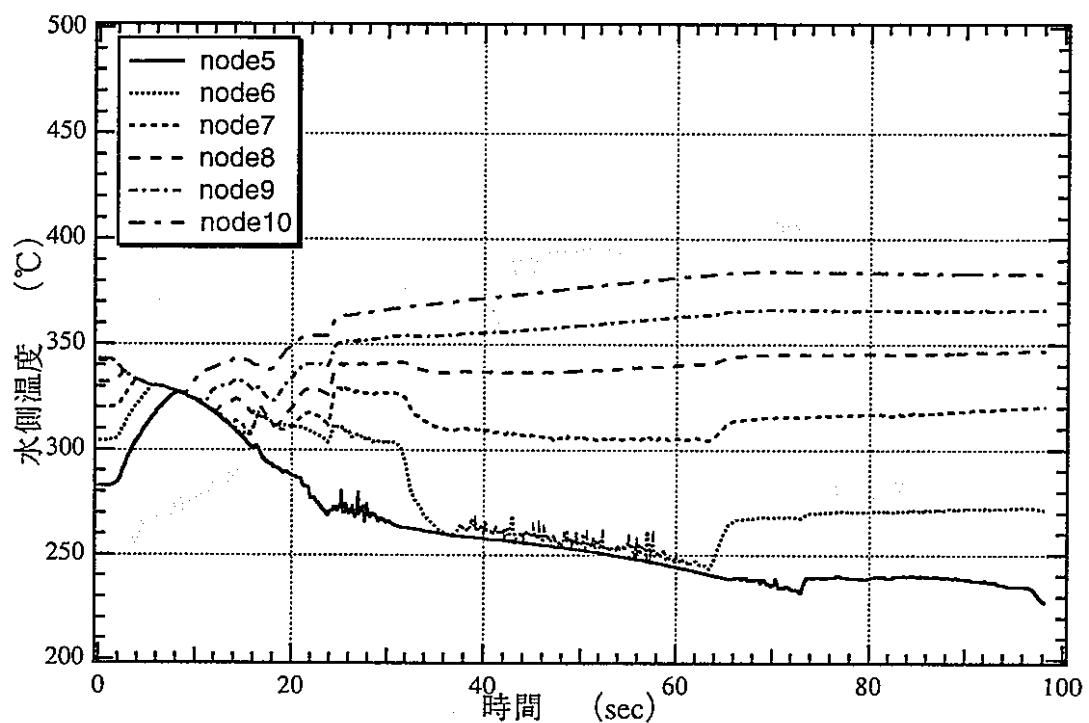


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (定格運転状態からのプロー)

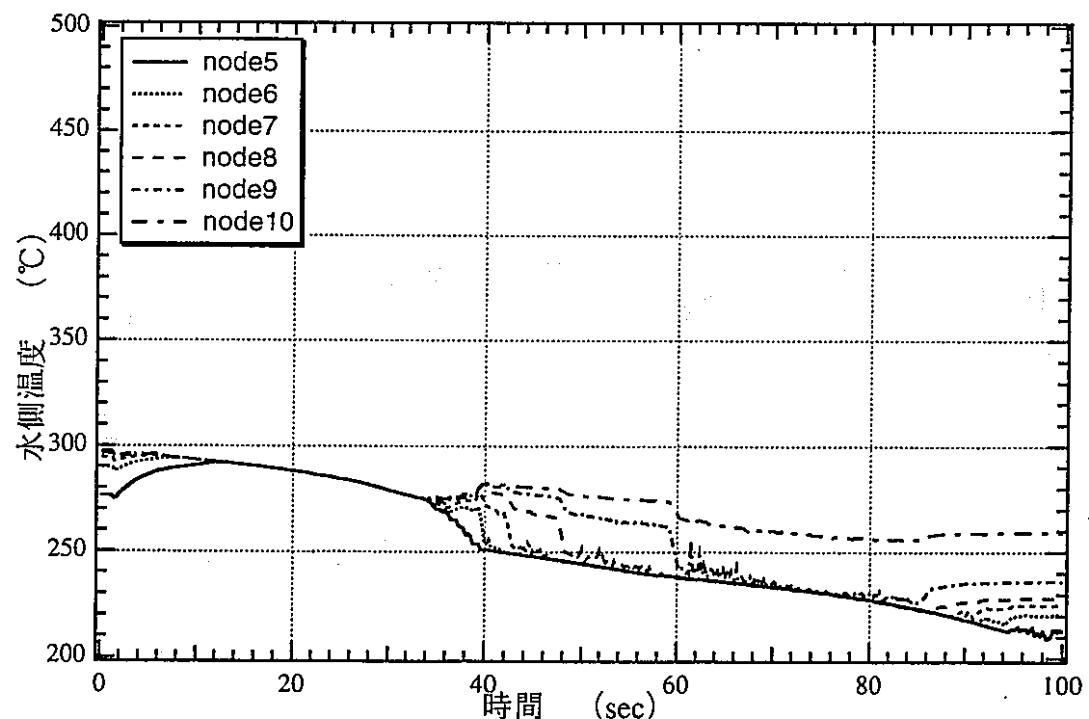


ケースN7 (新値 3B*1、4B*2) (起動時水側流量 10 %からのプロー)

図2.4(7)-5 E V ナトリウム温度変化

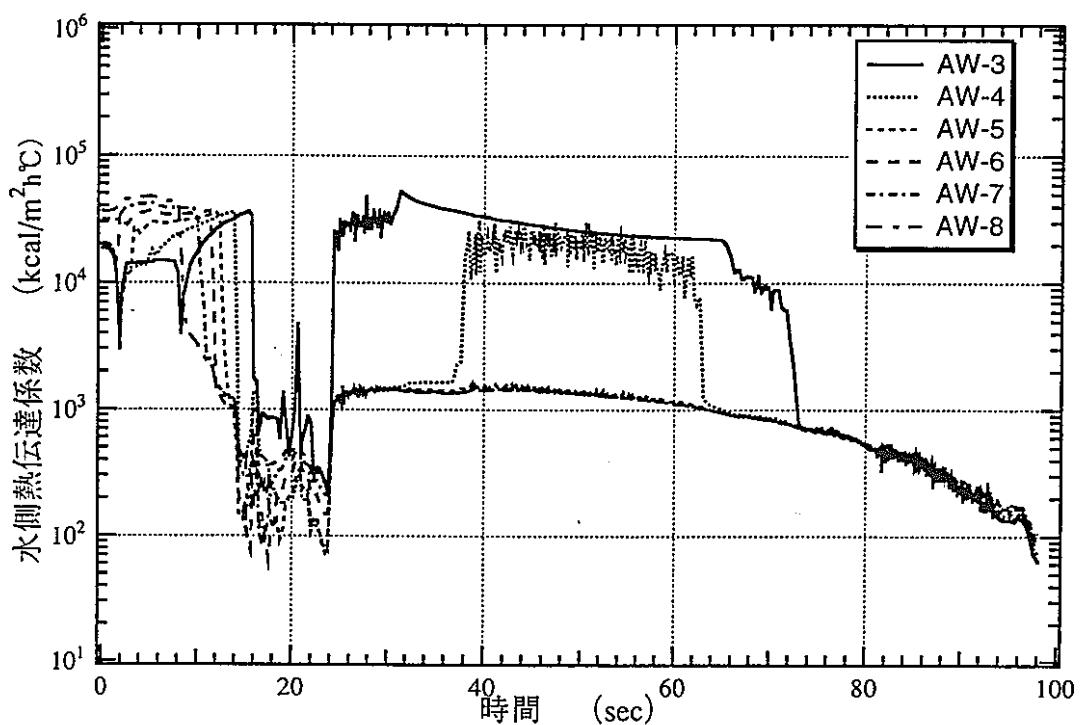


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (定格運転状態からのプロー)

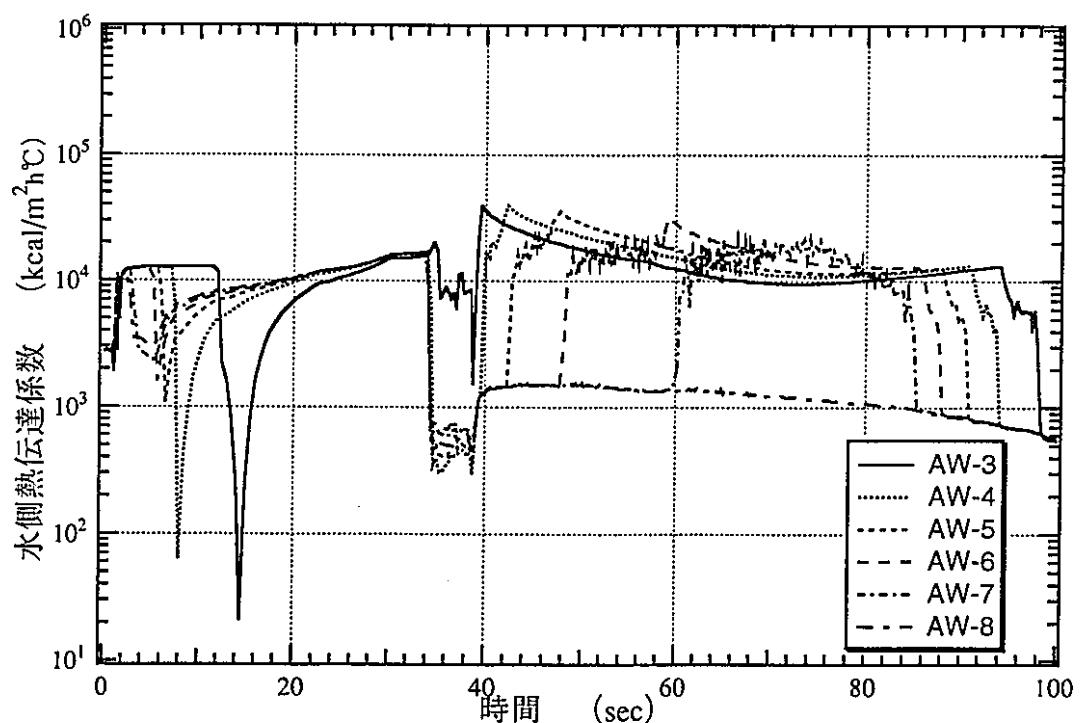


ケースN7 (新値 3B*1、4B*2) (起動時水側流量 10 %からのプロー)

図2.4(7)-6 E Vコイル下部温度変化

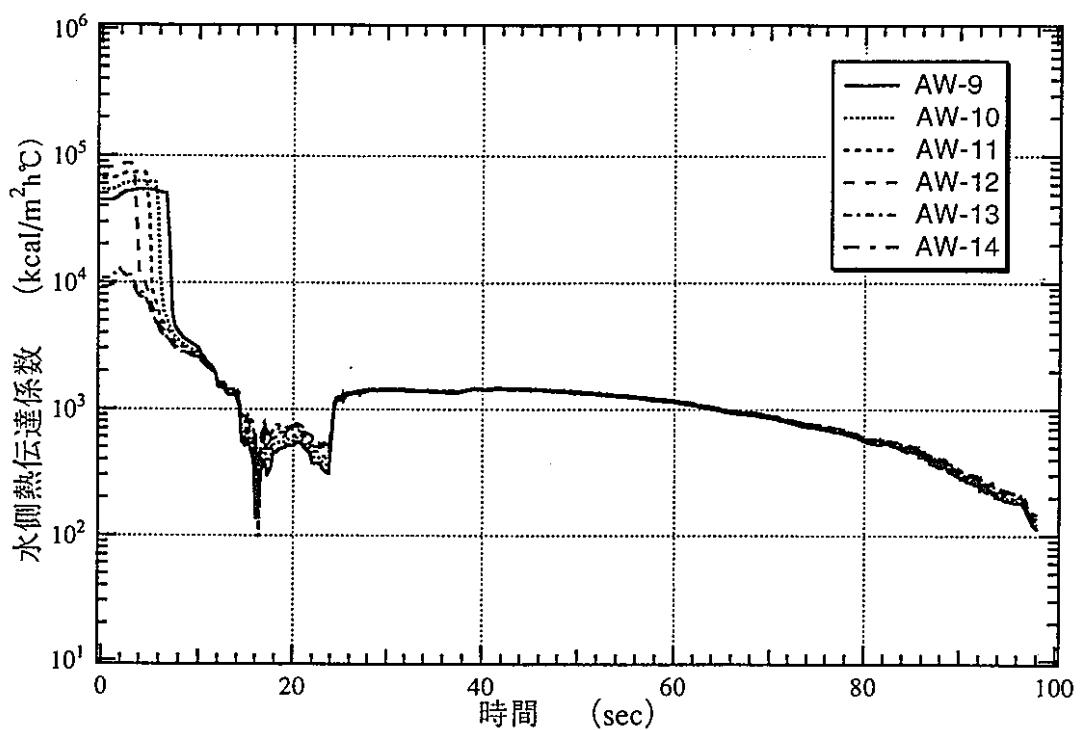


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (定格運転状態からのプロー)

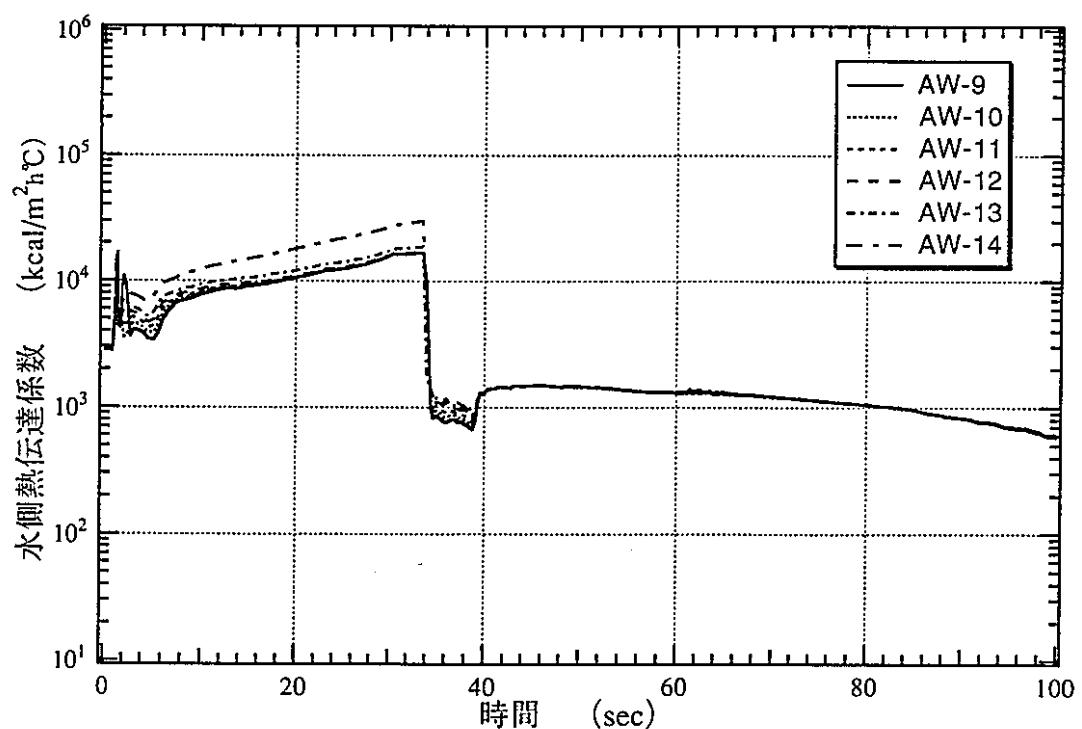


ケースN7 (新値 3B*1、4B*2) (起動時水側流量 10 %からのプロー)

図2.4(7)-7 E Vコイル下部熱伝達係数変化



ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (定格運転状態からのプローブ)



ケースN7 (新値 3B*1、4B*2) (起動時水側流量 10 %からのプローブ)

図2.4(7)-8 E Vコイル上部熱伝達係数変化

3. 反応熱を考慮した水側状態量の補正

3.1 補正計算の条件

前節で記載した水ブロー解析結果に対して補正を行った。この結果得られる水側流量、温度、熱伝達率が過熱型破損評価に必要な除熱条件である。補正計算の条件は以下の通りである。

- ・反応域側温度、熱伝達率条件

SWAT-3 Run-16、19 のデータを基に設定された下記条件とする。

反応域中心より上下（左右）±100 mm 1200°C 3500 kcal/m²h°C

反応域中心より上下（左右）±150 mm 1150°C 4000 kcal/m²h°C

反応域中心より上下（左右）±200 mm 1100°C 5000 kcal/m²h°C

反応域中心より上下（左右）±250 mm 1000°C 8600 kcal/m²h°C

- ・水側熱伝達率相關 LOCA の式

- ・反応域長さ 0.5 m

尚、水ブロー途中の評価対象部位は、過熱型破損評価上厳しいと考えられる部位とした。

3.2 計算ケースと計算結果

計算ケースを表3.2-1に示す。

また、計算結果を以下の通り各ケースごとに示す。

なお、設備変更の影響が把握し易いよう、結果は主に基準としたケースのものと比較する形で示した。

各ケースと図番号の対比は以下の通り。

| | |
|---------------------------------|-----------|
| ケースN1 (現状データベースのケース1との比較) | 図3.2(1)-N |
| ケースN2 (現状データベースのケース6との比較) | 図3.2(2)-N |
| ケースN3 (ケースN1との比較) | 図3.2(3)-N |
| ケースN4 (ケースN2との比較) | 図3.2(4)-N |
| ケースN5 (ケースN3との比較) | 図3.2(5)-N |
| ケースN6とケースN7 | 図3.2(6)-N |

ここで、ケース1、ケース6はその1作業の結果である。

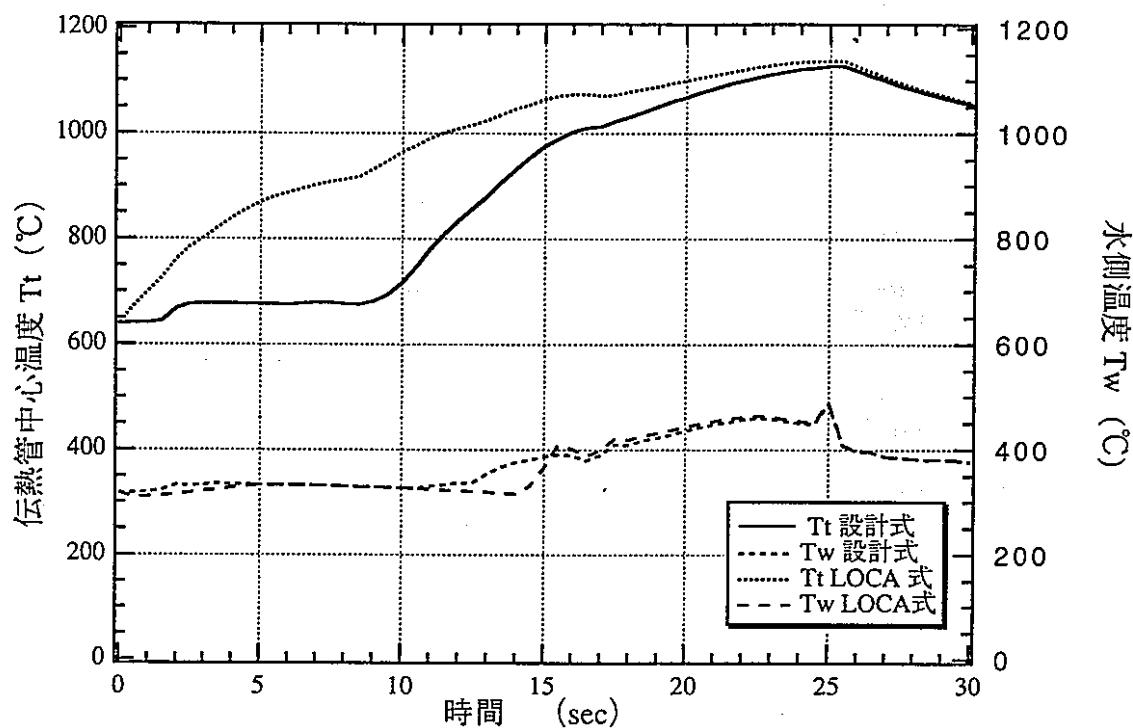
但し、Nは高温ラップチャ評価上厳しいと考えられる部位（条件によって異なる）のそれぞれの次の諸量を示す。

1~3：水側熱伝達率と流量

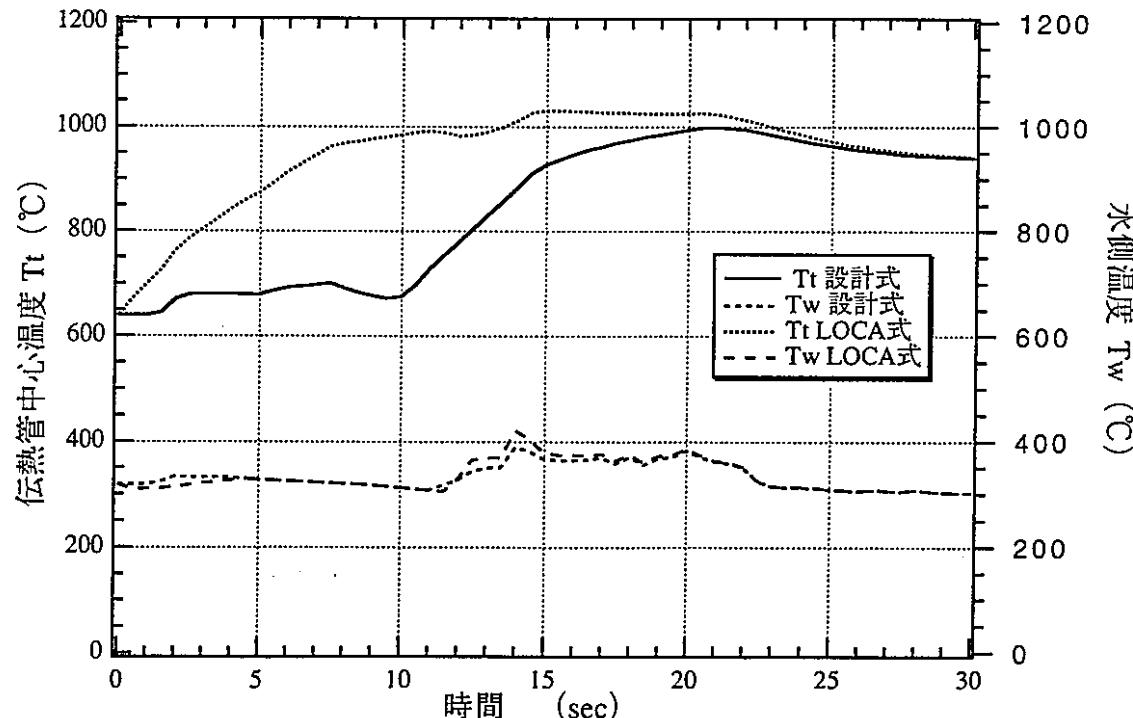
4~6：伝熱管中心温度と水側温度

表3.2-1 MjSGプロセス解析ポスト処理(RUPIN)解析ケース(新値)

| 解析ケース名 | プロセス条件 | 反応条件サーバイバラメータ | | | 出力 |
|--------|--------------------------------|---------------|----------------------------------|----------|-------|
| | | 反応温度(℃) | 反応域熱伝達率(kcal/m ² h°C) | 反応域長さ(m) | |
| N1-J | EV入口弁, 出口弁 新値 3B*1, 4B*4 | 1200~1000 | 3500~8600 | 0.5 | 100% |
| N2-J | EV入口弁, 出口弁 新値 3B*1, 4B*4 | 1200~1000 | 3500~8600 | 0.5 | 40% |
| N3-J | EV入口弁, 出口弁 新値 3B*1, 4B*2 | 1200~1000 | 3500~8600 | 0.5 | 100% |
| N4-J | EV入口弁, 出口弁 新値 3B*1, 4B*2 | 1200~1000 | 3500~8600 | 0.5 | 40% |
| N5-J | EV入口弁, 出口弁 新値 3B*1, 4B*1 | 1200~1000 | 3500~8600 | 0.5 | 100% |
| N6-J | EV入口弁, 出口弁 新値 3B*1, 4B*2 | 1200~1000 | 3500~8600 | 0.5 | 流量10% |
| N7-J | EV入口弁, 出口弁 新値 3B*1, 4B*2 | 1200~1000 | 3500~8600 | 0.5 | 流量10% |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

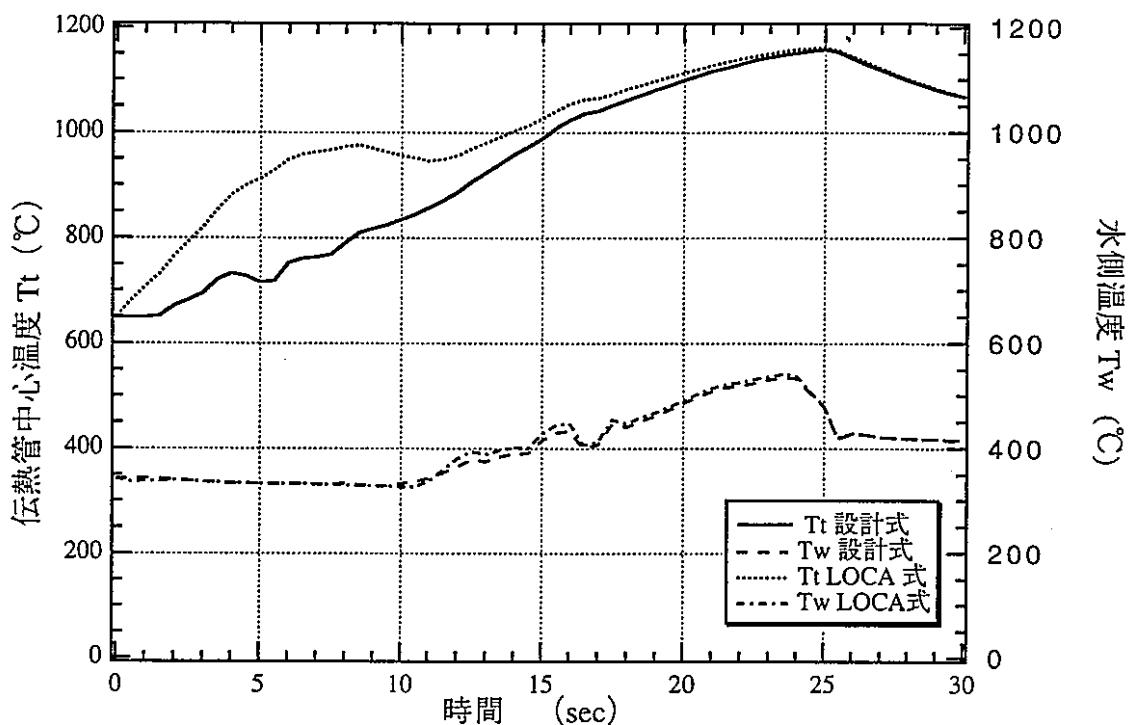


ケース1J (EV入口弁3B、EV出口弁4B) (メッシュ番号14)

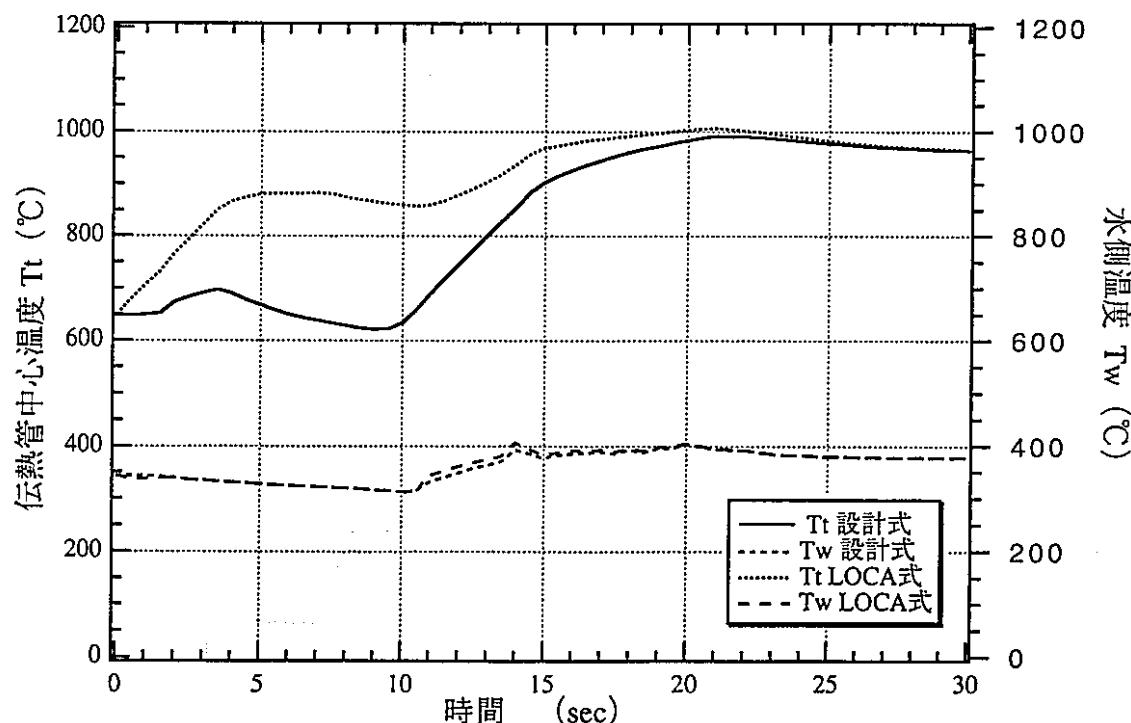


ケースN 1 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(1)-1 伝熱管中心温度と水側温度 (EVリンク6)

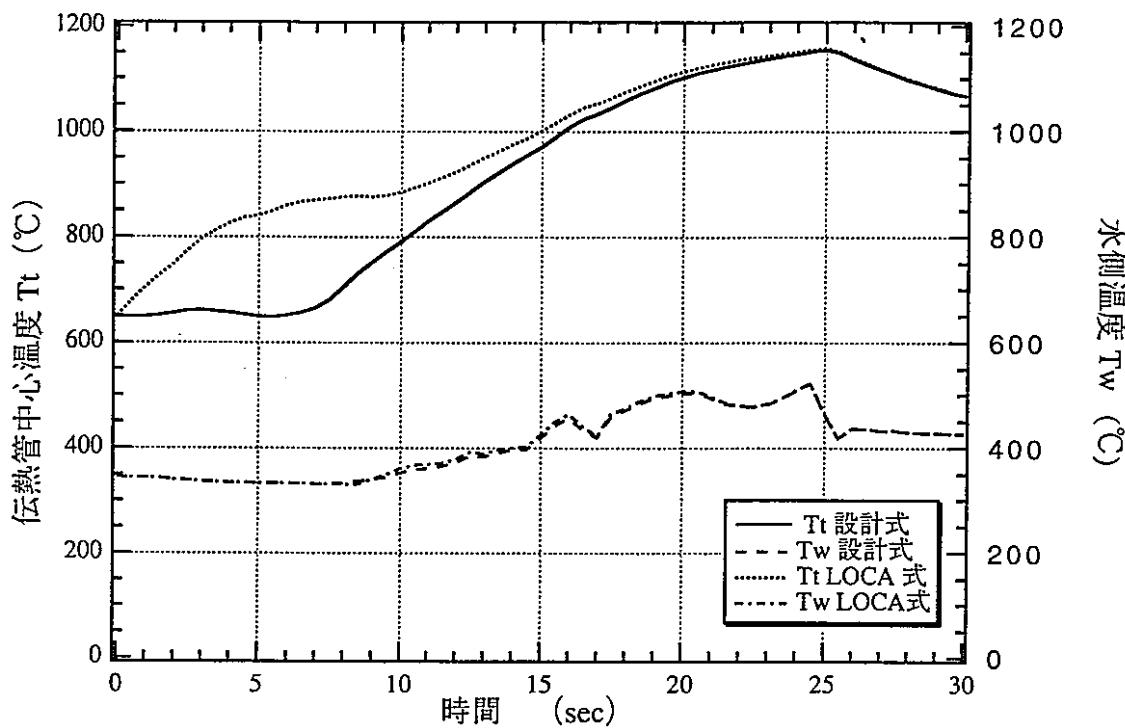


ケース1J (EV入口弁3B、EV出口弁4B) (メッシュ番号14)

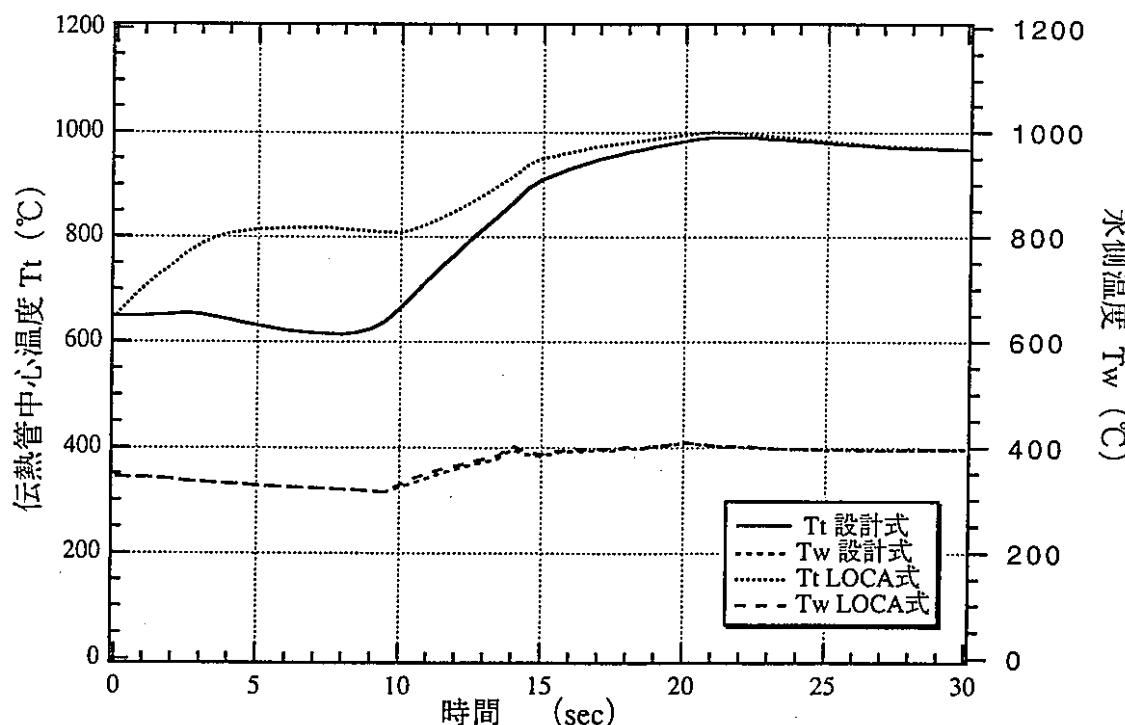


ケースN 1 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(1)-2 伝熱管中心温度と水側温度 (EVリンク8)

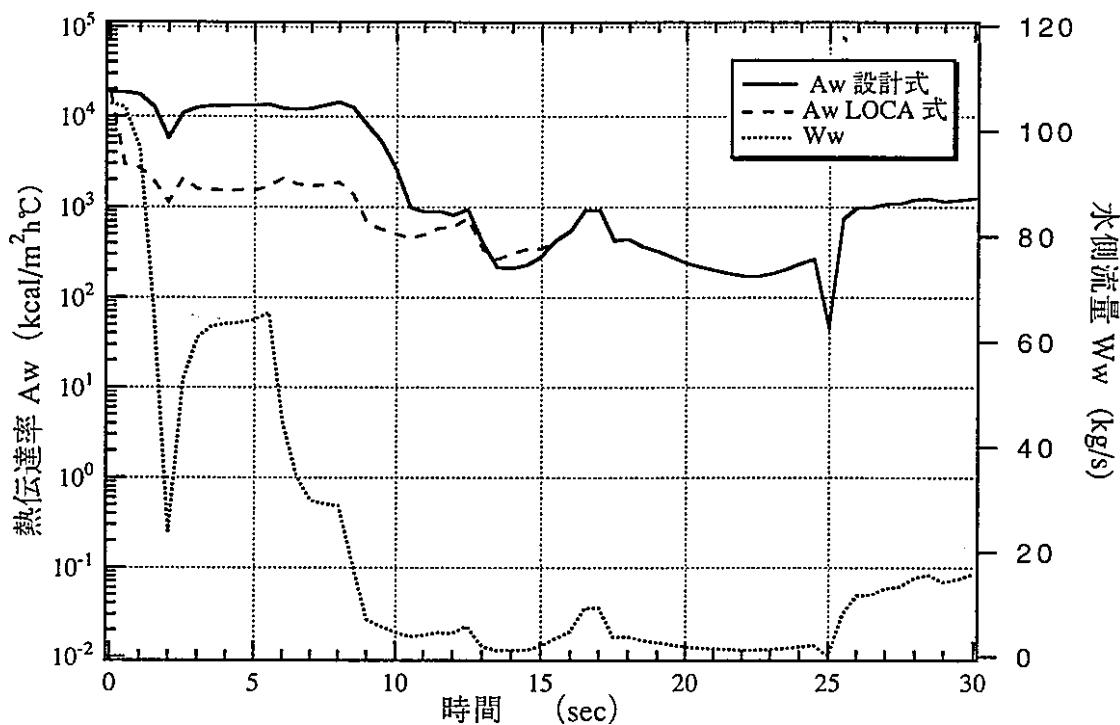


ケース1J (EV入口弁3B、EV出口弁4B) (メッシュ番号14)

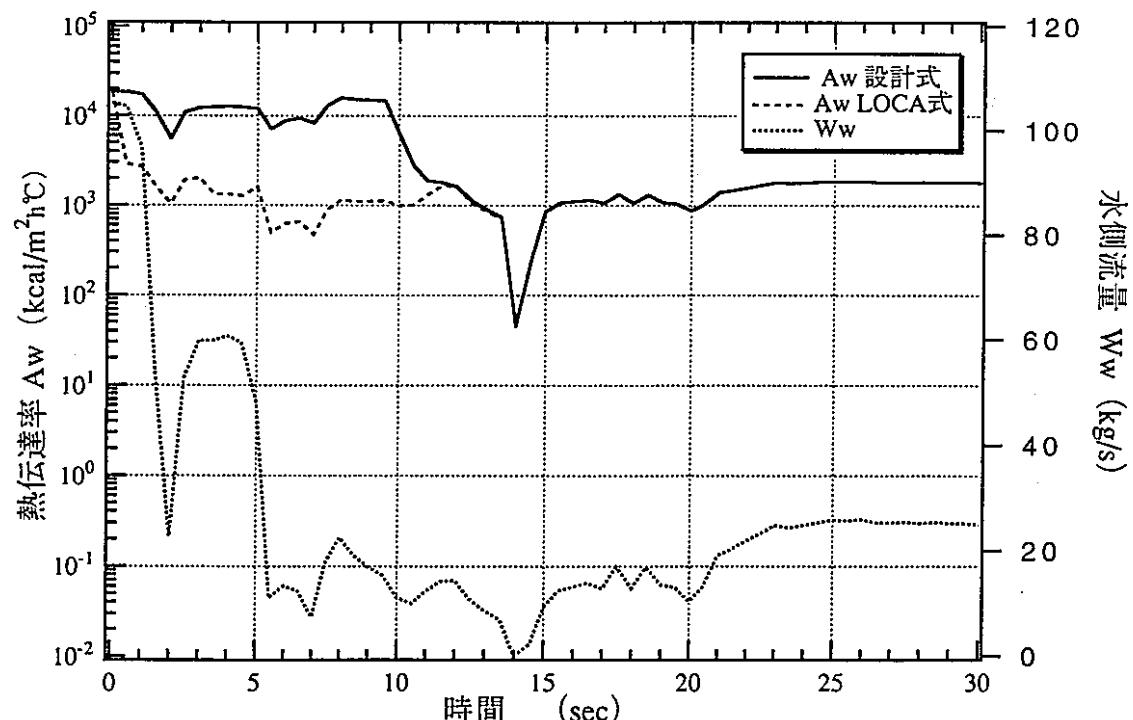


ケースN 1 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(1)-3 伝熱管中心温度と水側温度 (EVリンク9)

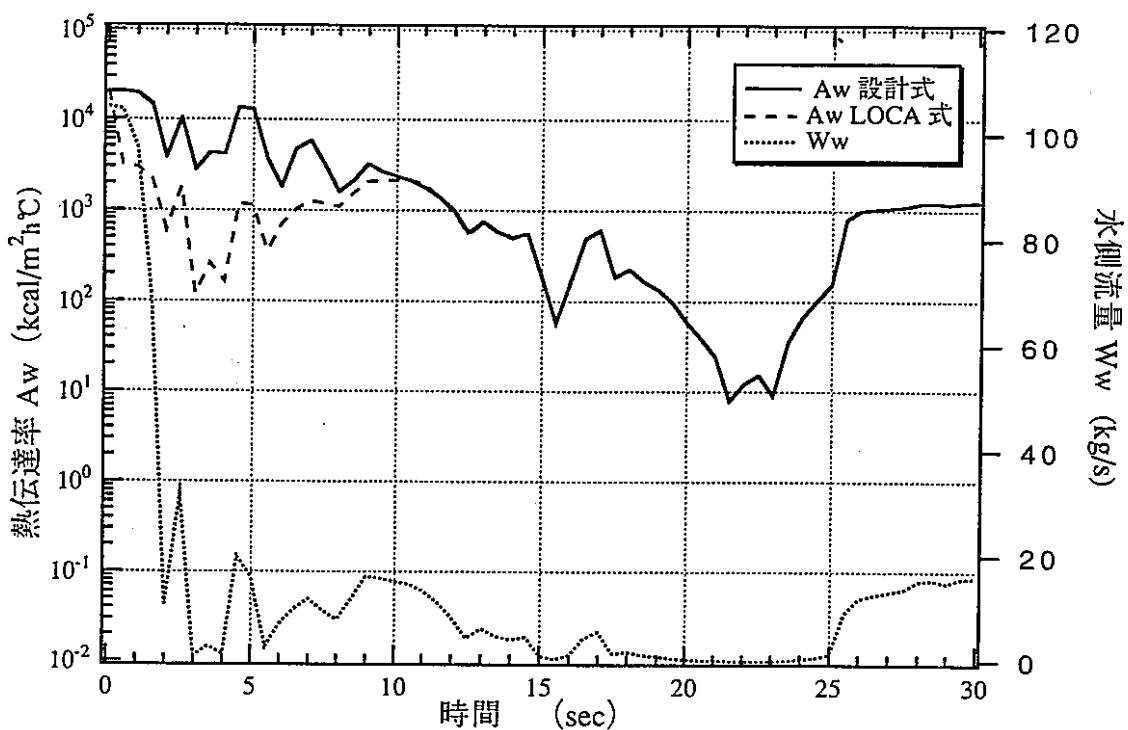


ケース1J (EV入口弁3B、EV出口弁4B) (メッシュ番号14)

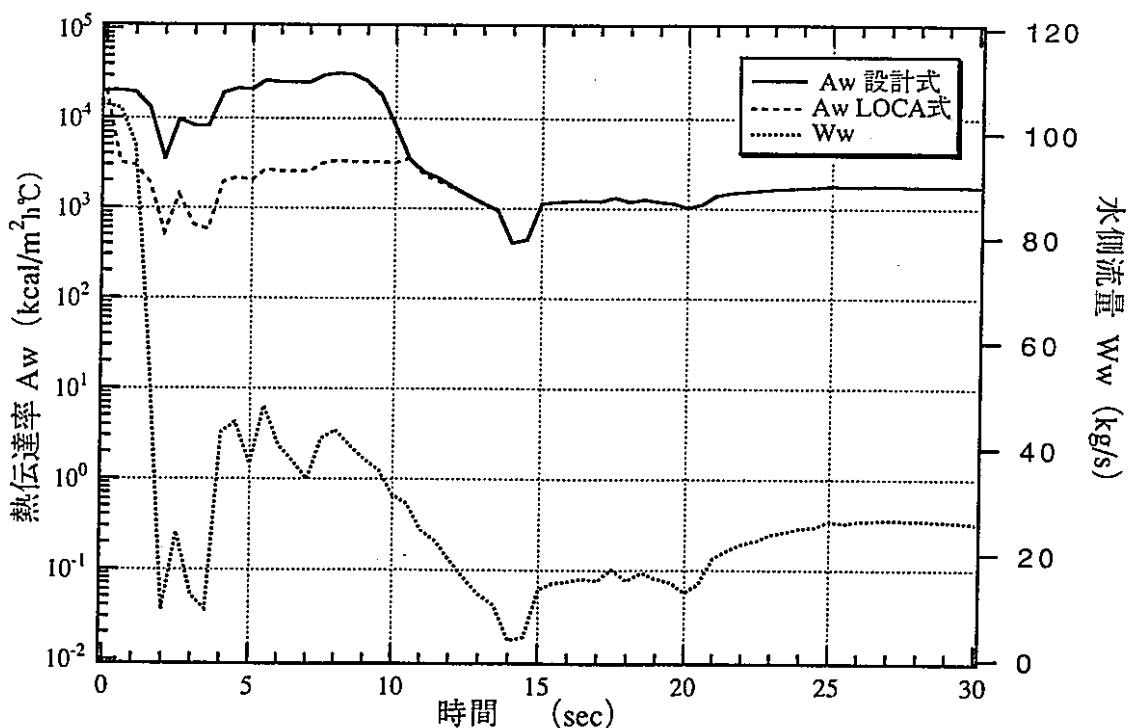


ケースN1 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(1)-4 水側熱伝達率と流量 (EVリンク6)

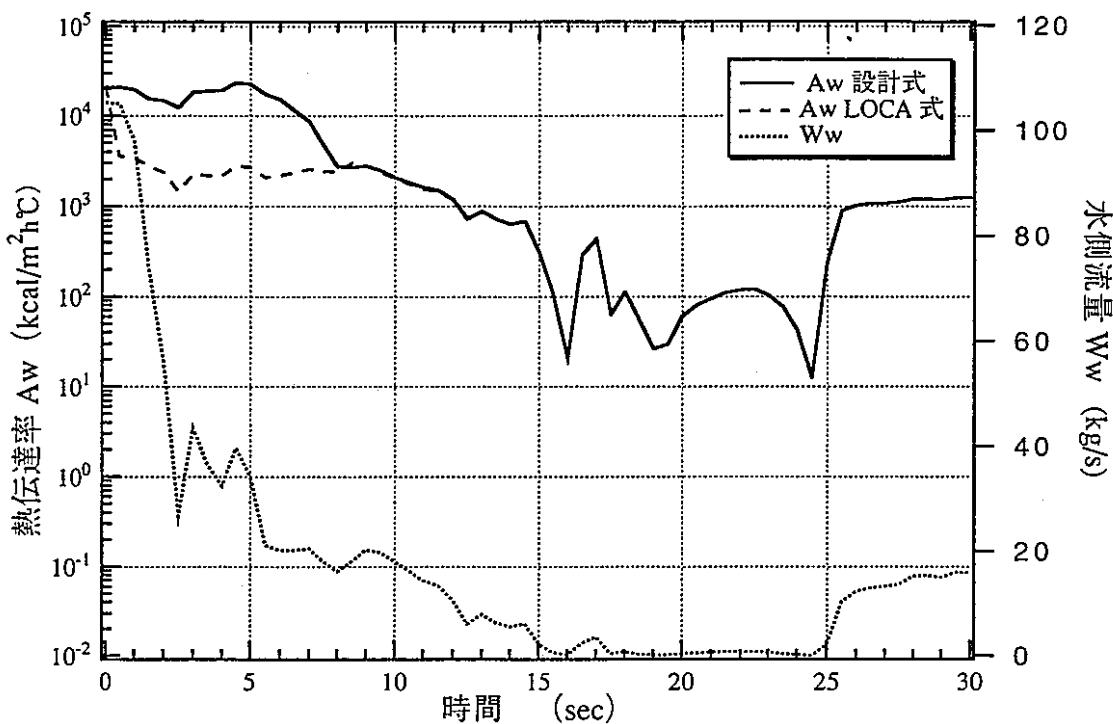


ケース1J (EV入口弁3B、EV出口弁4B) (メッシュ番号14)

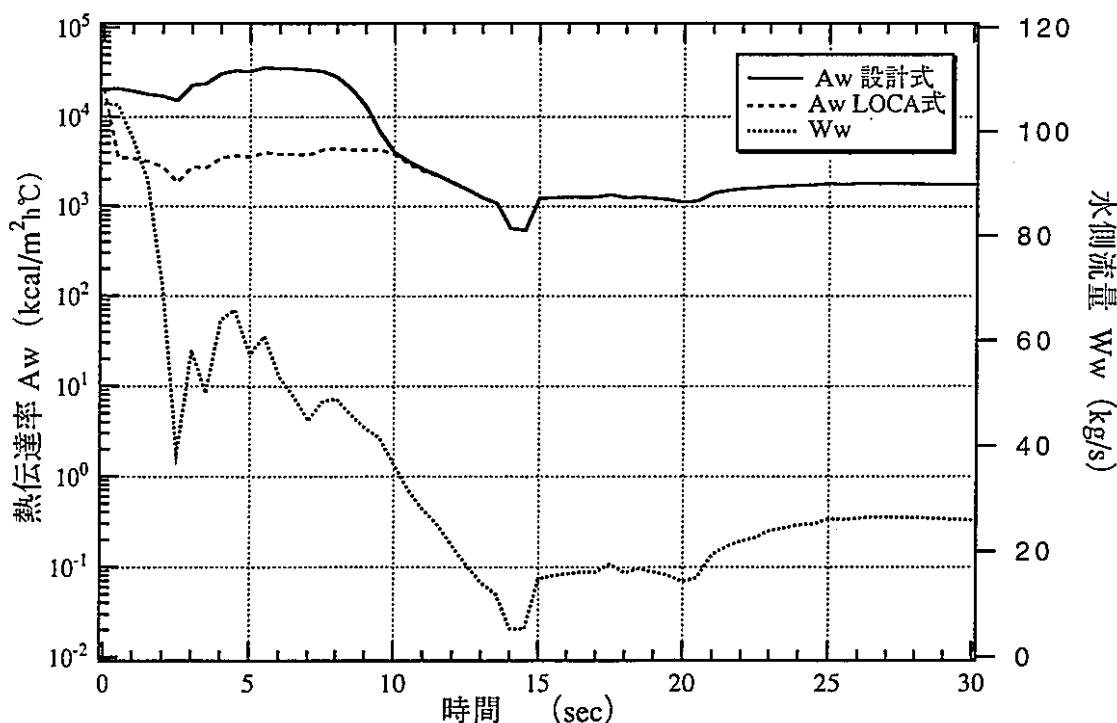


ケースN 1 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(1)-5 水側熱伝達率と流量 (EVリンク8)

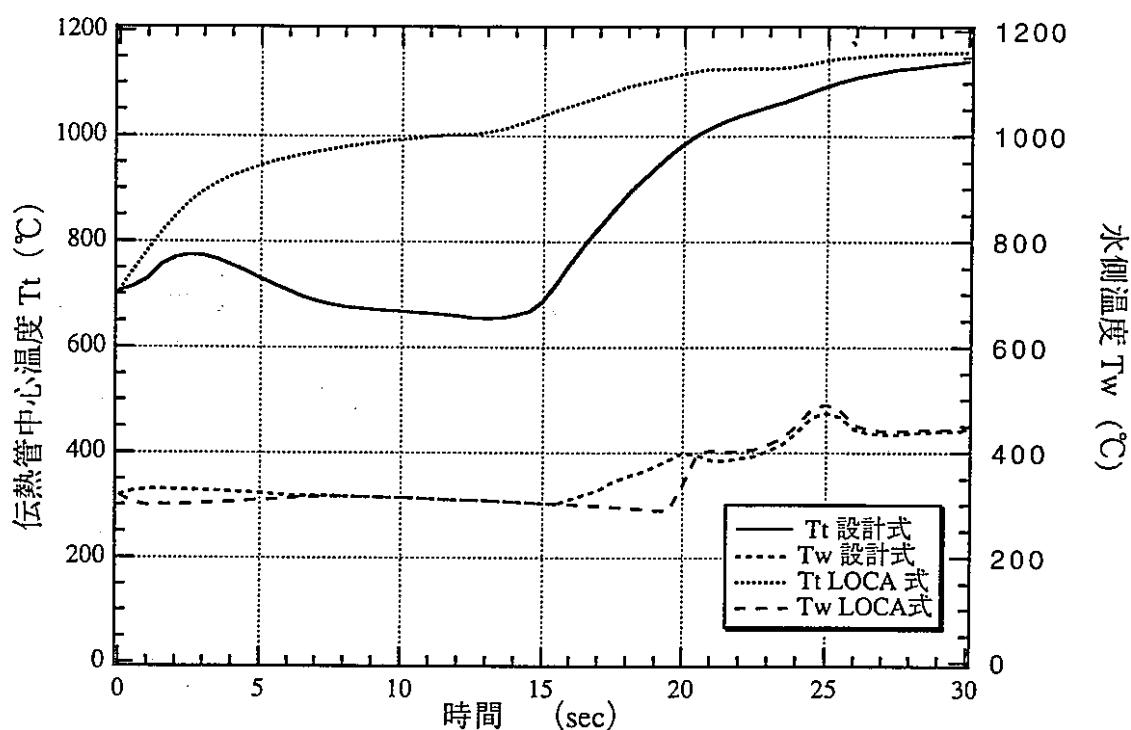


ケース1J (EV入口弁3B、EV出口弁4B) (メッシュ番号 14)

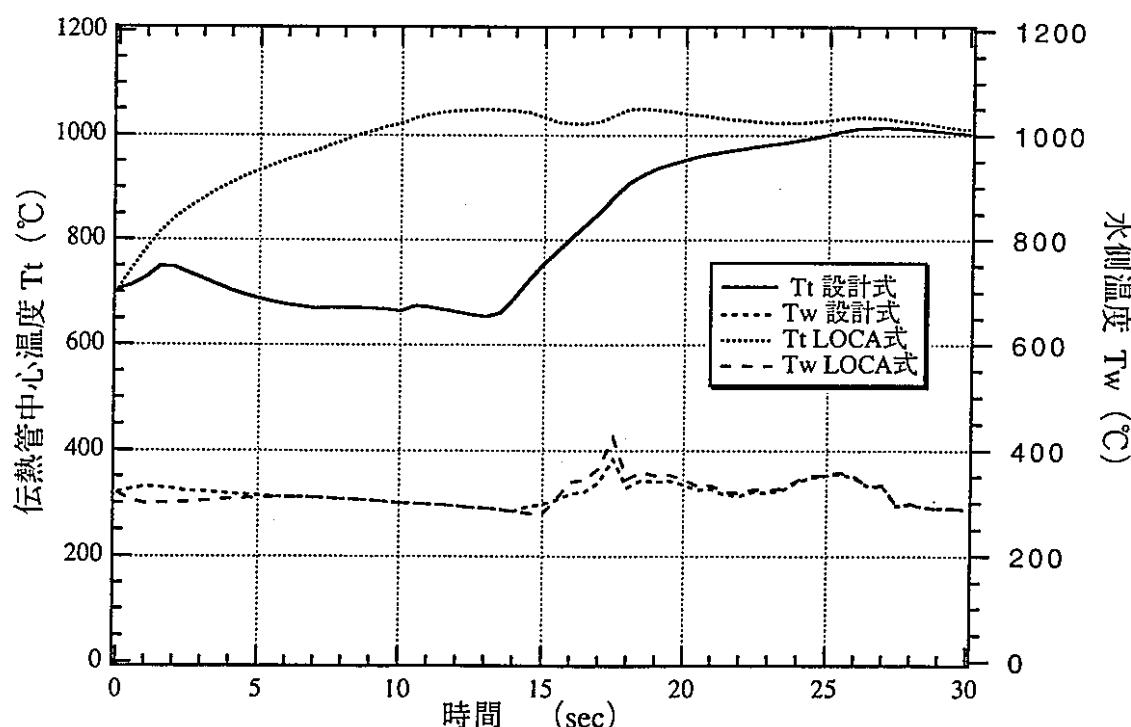


ケースN1 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(1)-6 水側熱伝達率と流量 (EVリンク9)

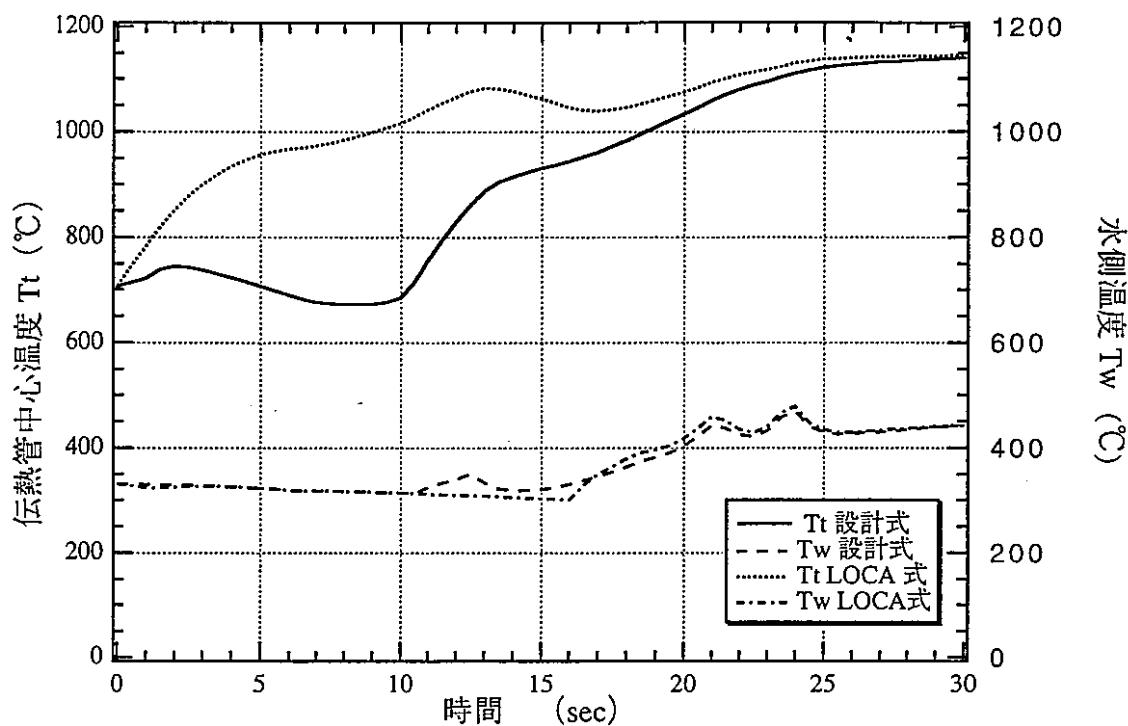


ケース6J (EV入口弁3B、EV出口弁4B) (メッシュ番号14)

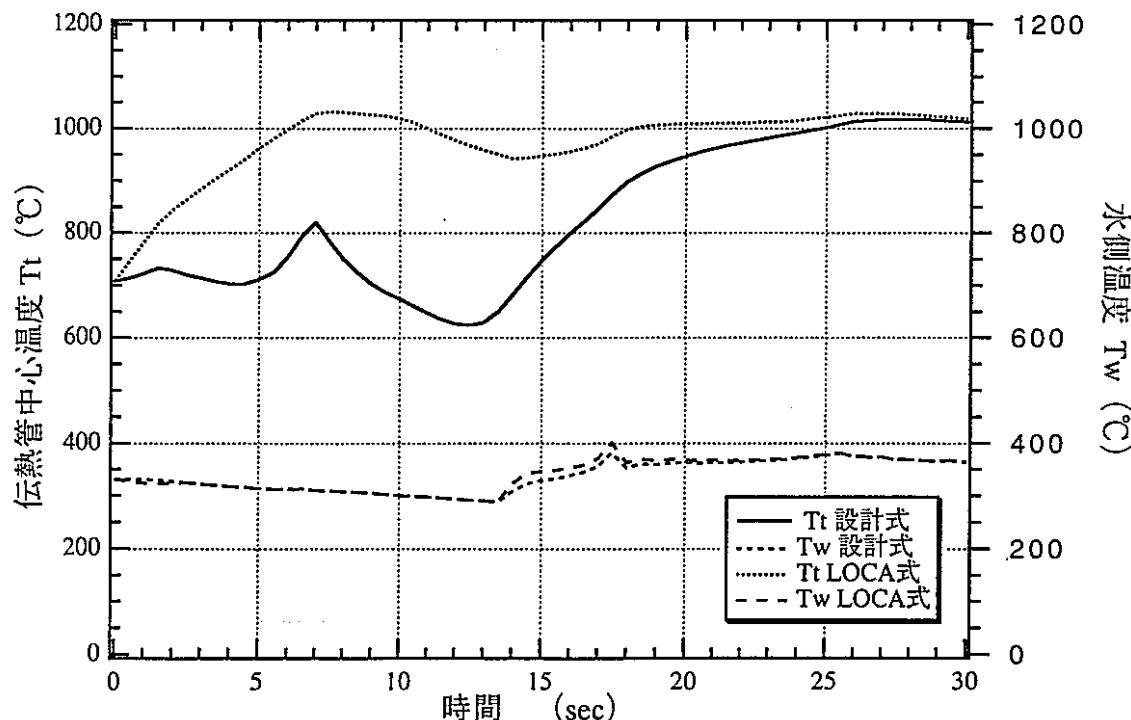


ケースN2 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(2)-1 伝熱管中心温度と水側温度 (EVリンク6)

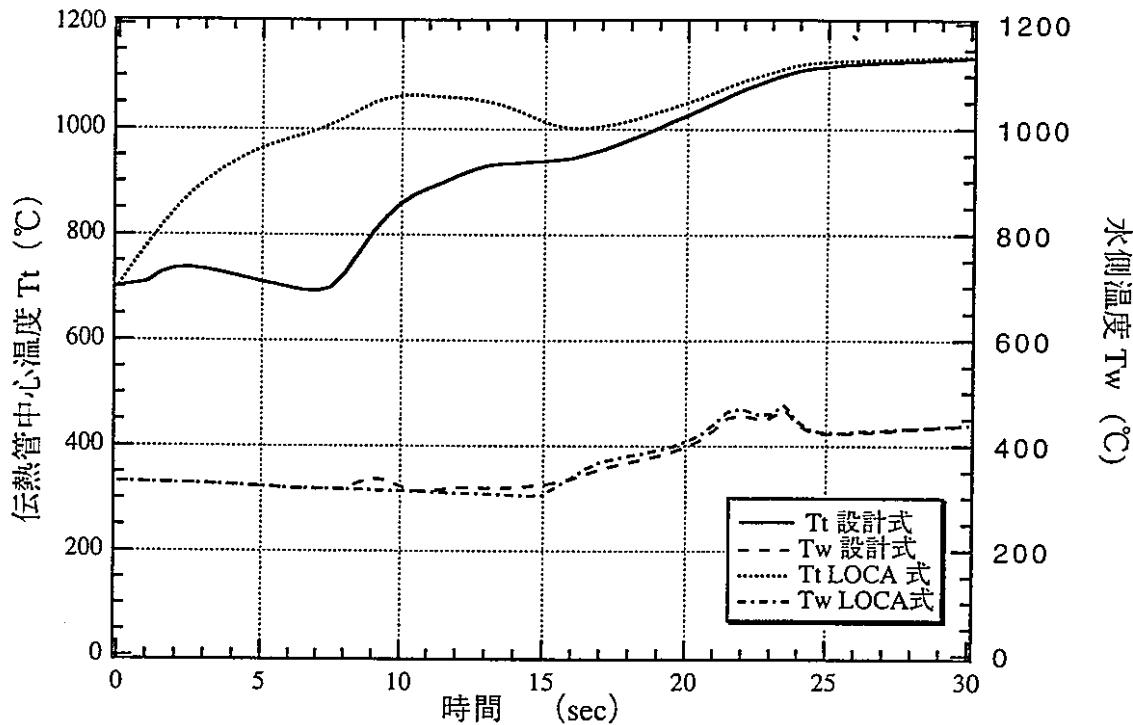


ケース6J (EV入口弁3B、EV出口弁4B) (メッシュ番号14)

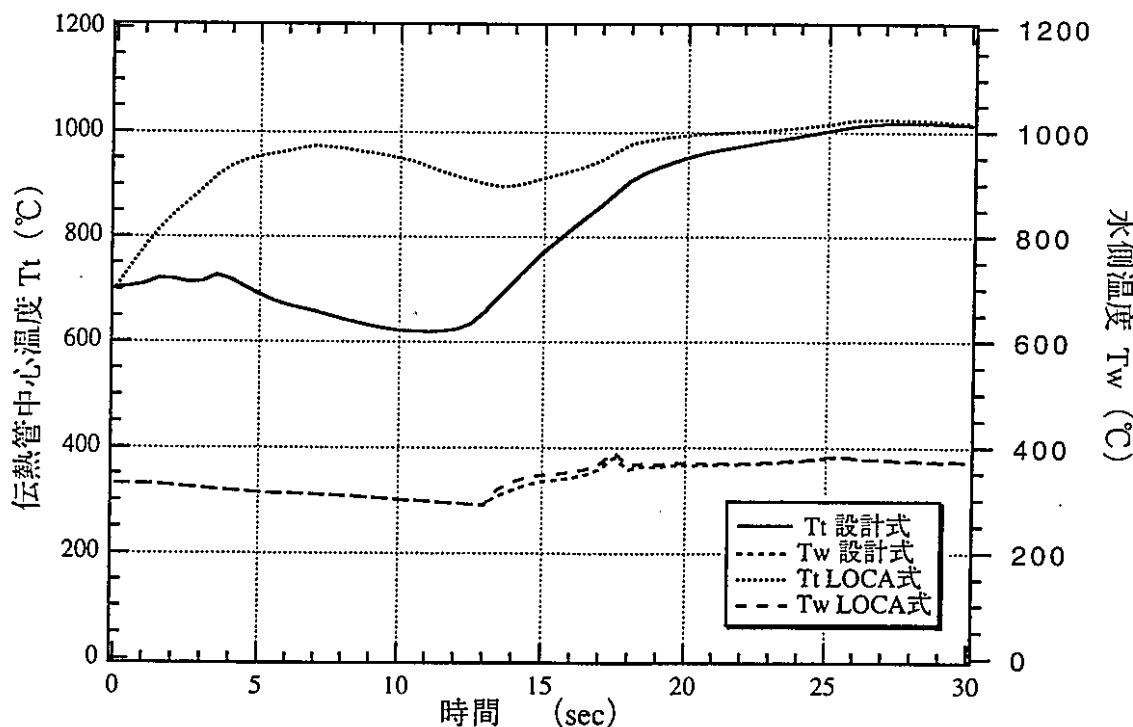


ケースN2 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(2)-2 伝熱管中心温度と水側温度 (EVリンク8)

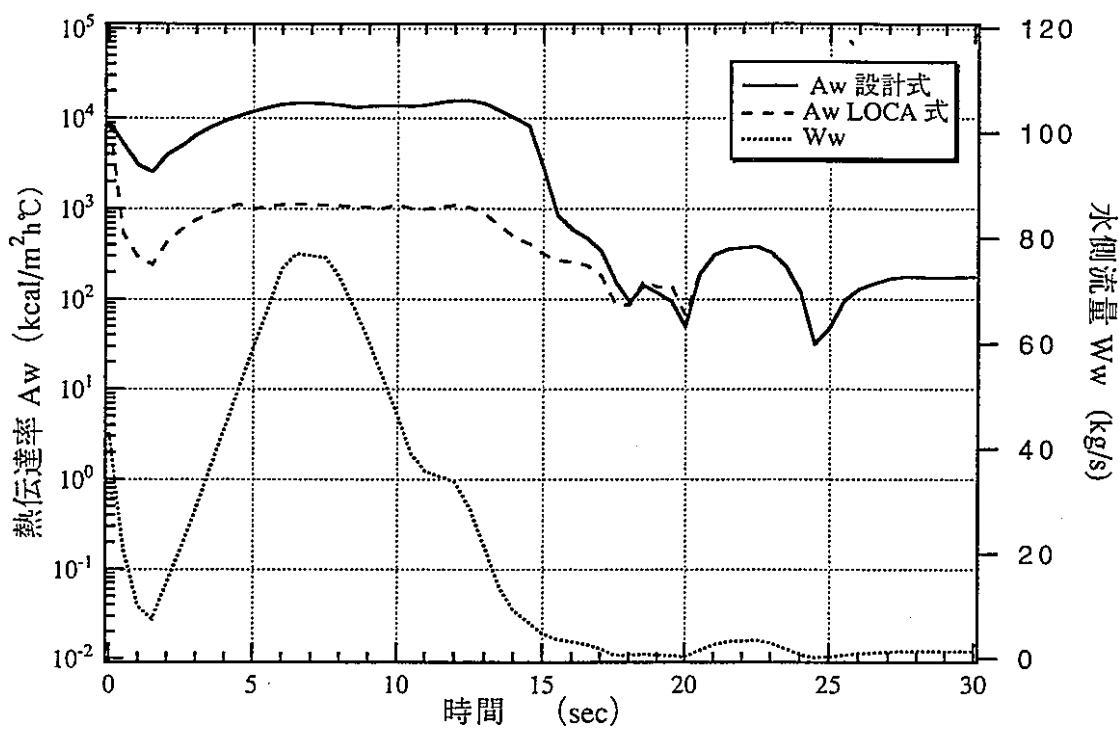


ケース6J (EV入口弁3B、EV出口弁4B) (メッシュ番号14)

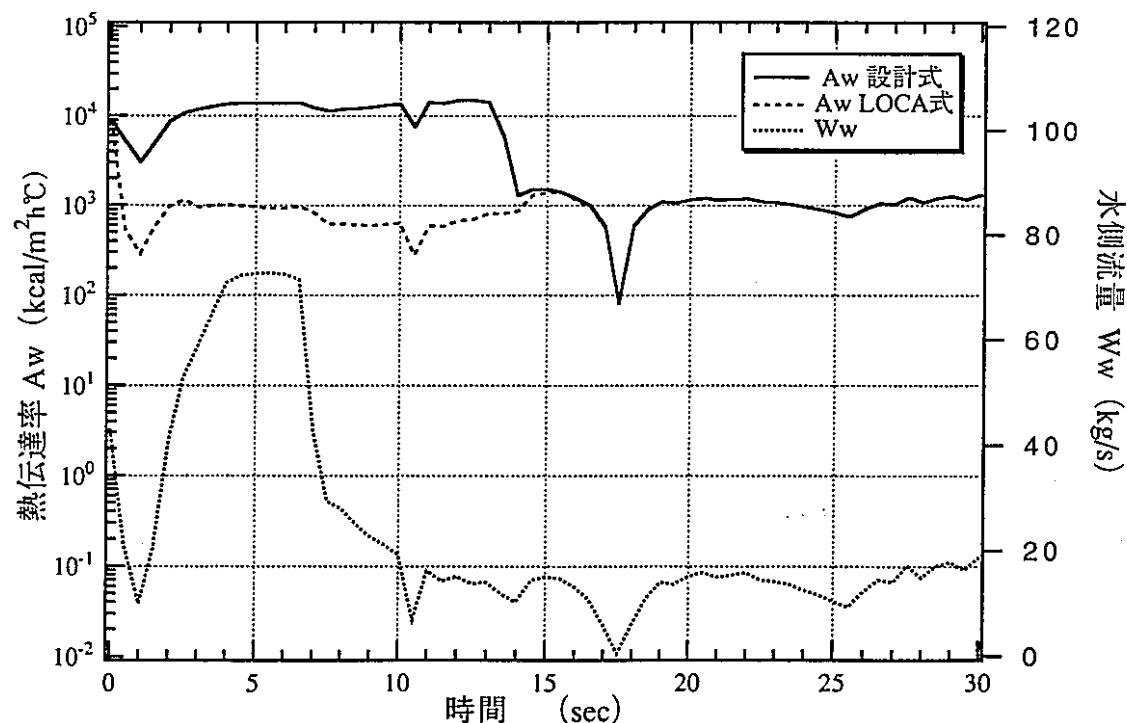


ケースN2 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(2)-3 伝熱管中心温度と水側温度 (EVリンク9)

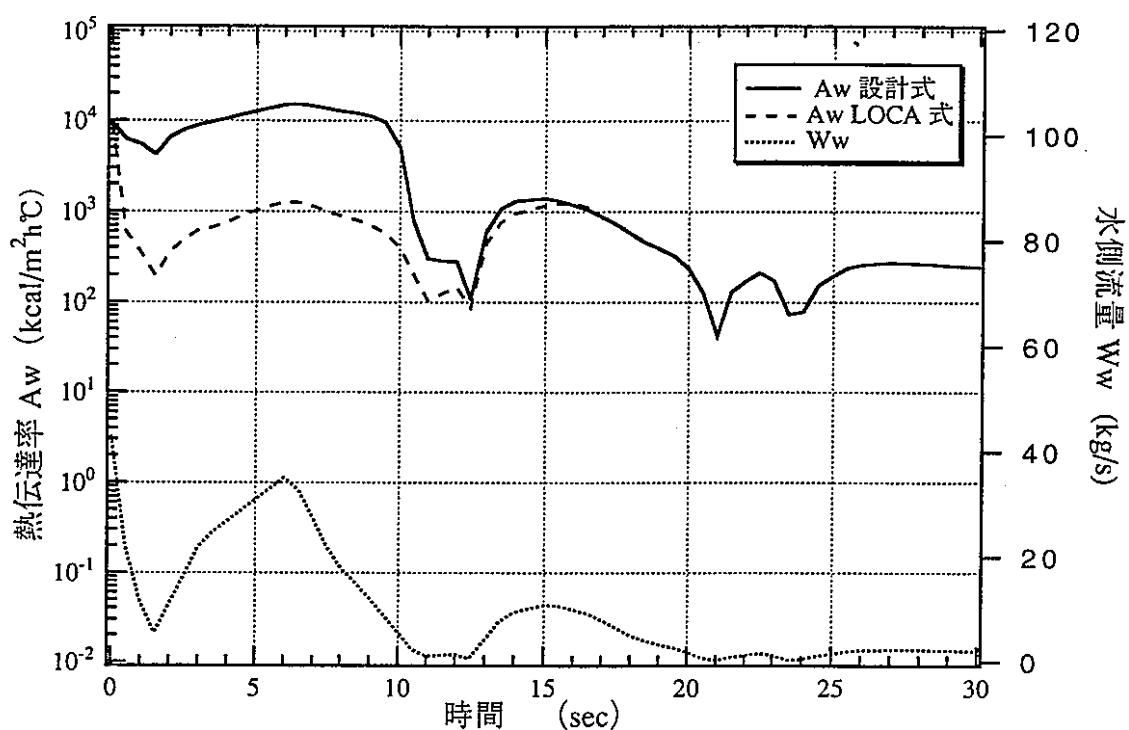


ケース6J (EV入口弁3B、EV出口弁4B) (メッシュ番号14)

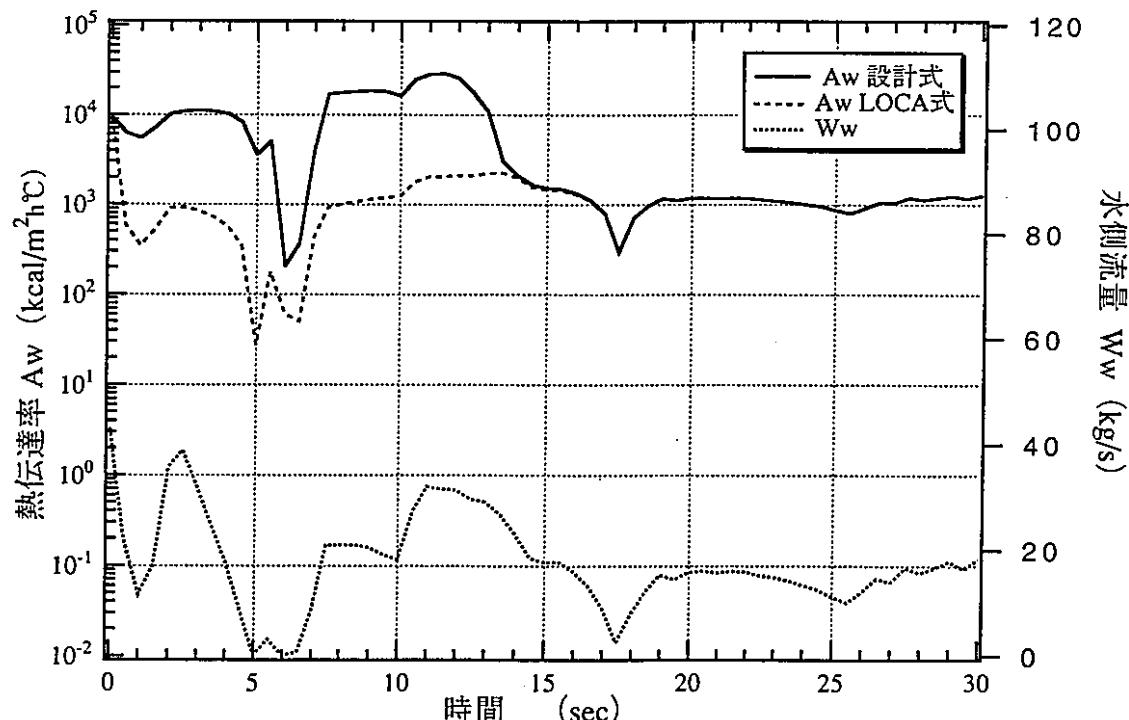


ケースN2 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(2)-4 水側熱伝達率と流量 (EVリンク6)

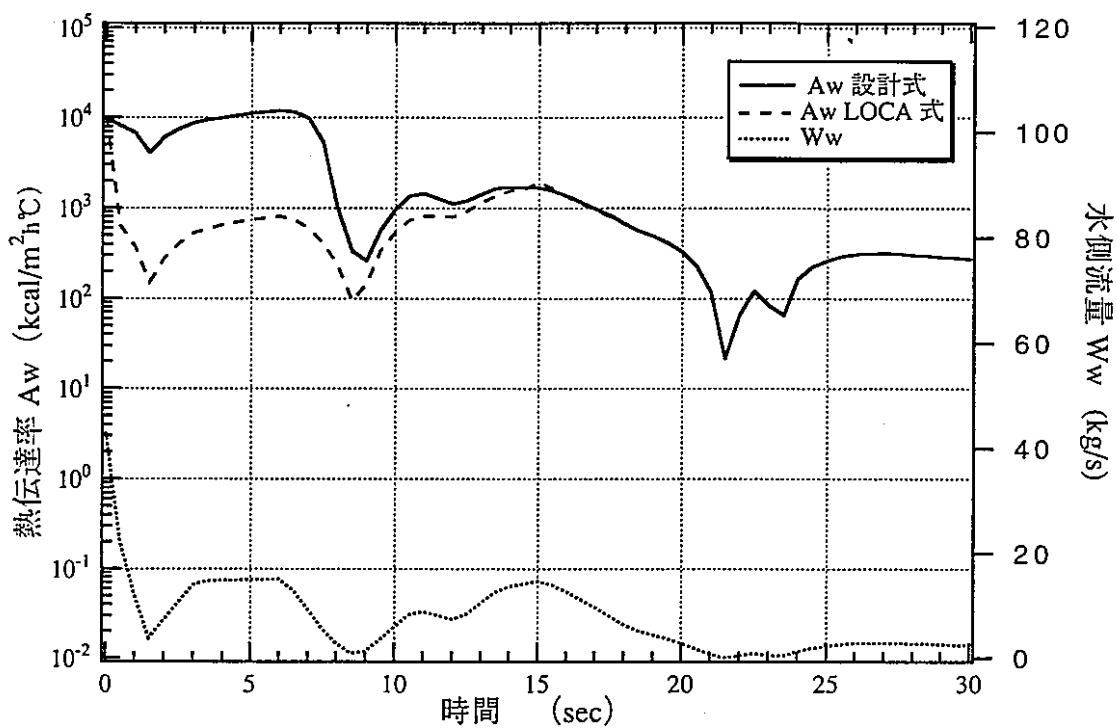


ケース6J (EV入口弁3B、EV出口弁4B) (メッシュ番号14)

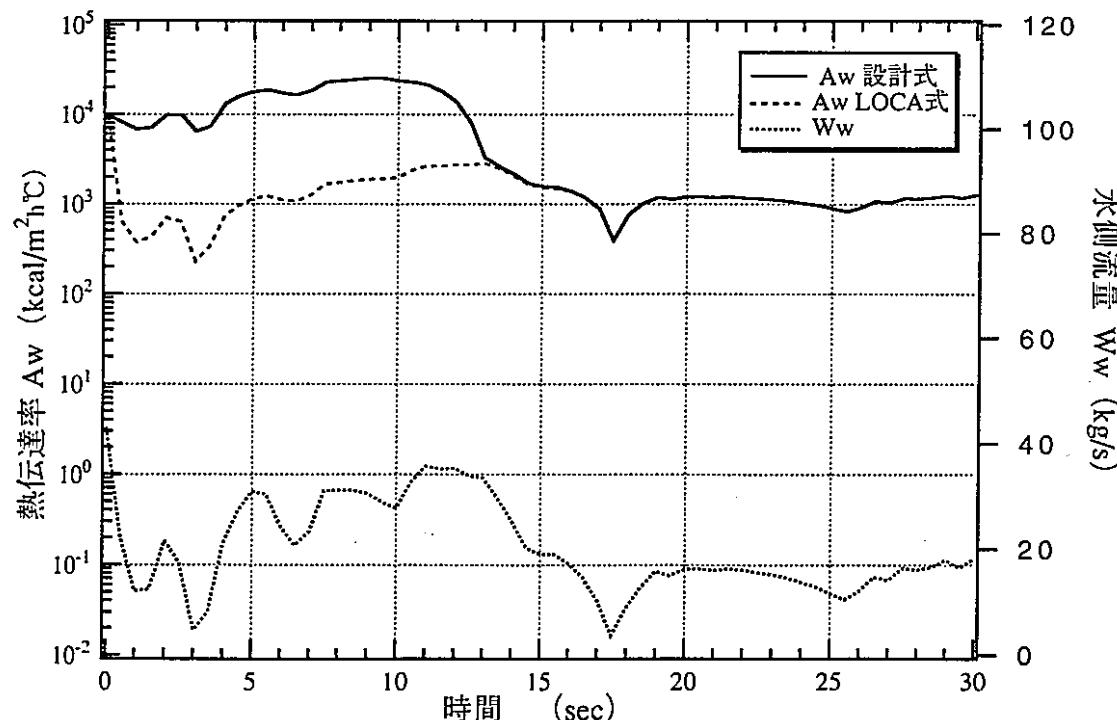


ケースN2 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(2)-5 水側熱伝達率と流量 (EVリンク8)

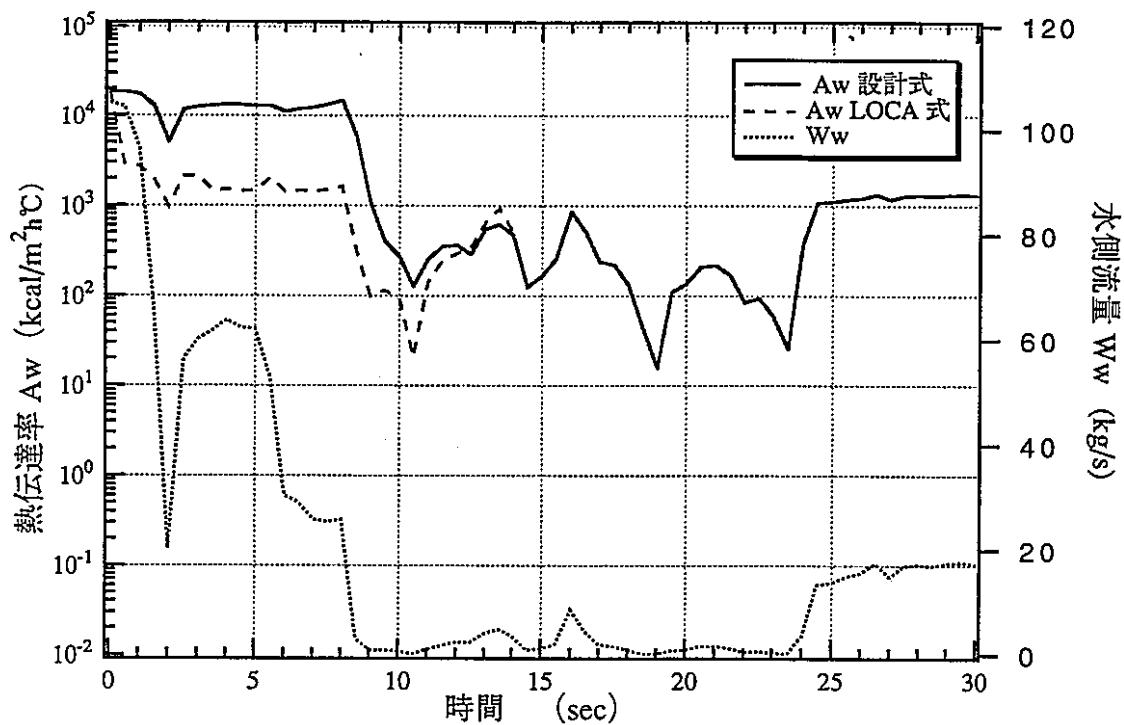


ケース6J (EV入口弁3B、EV出口弁4B) (メッシュ番号14)

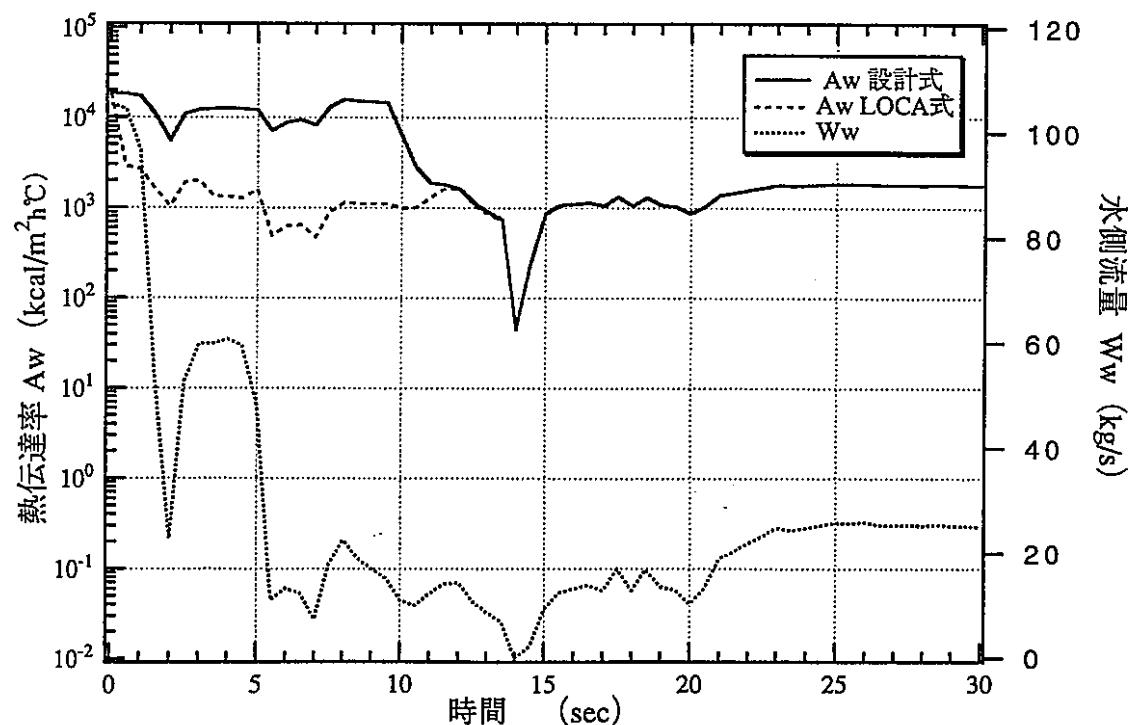


ケースN2 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(2)-6 水側熱伝達率と流量 (EVリンク9)

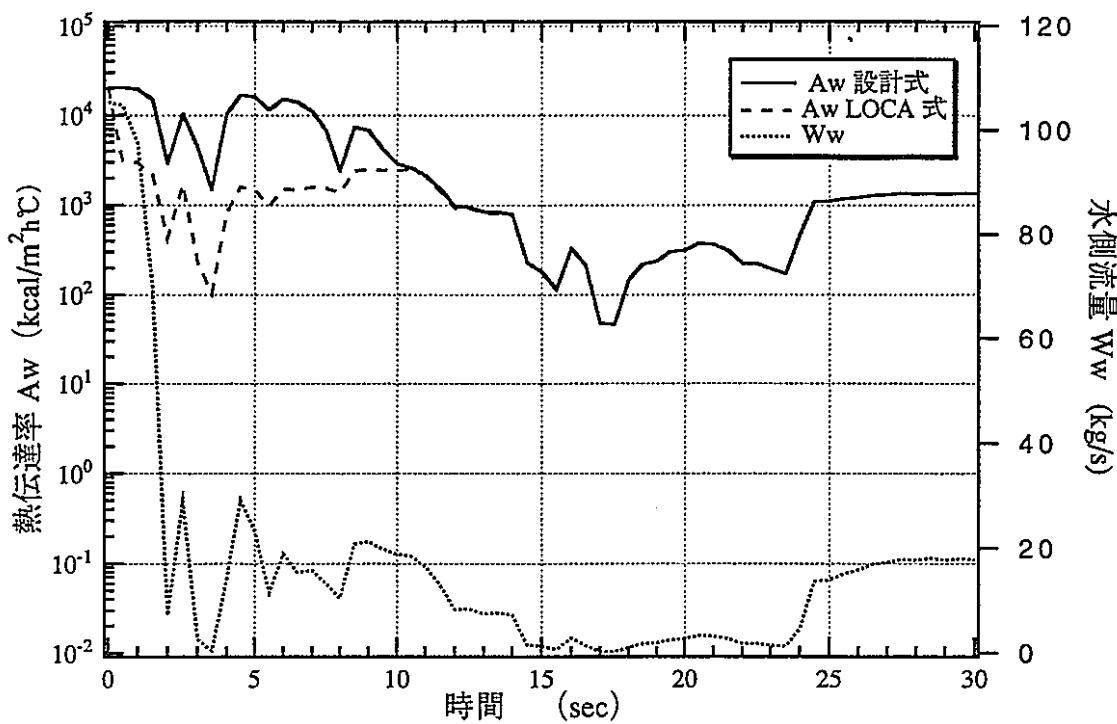


ケース N3 (新値 3B*1,4B*2) (メッシュ番号14)

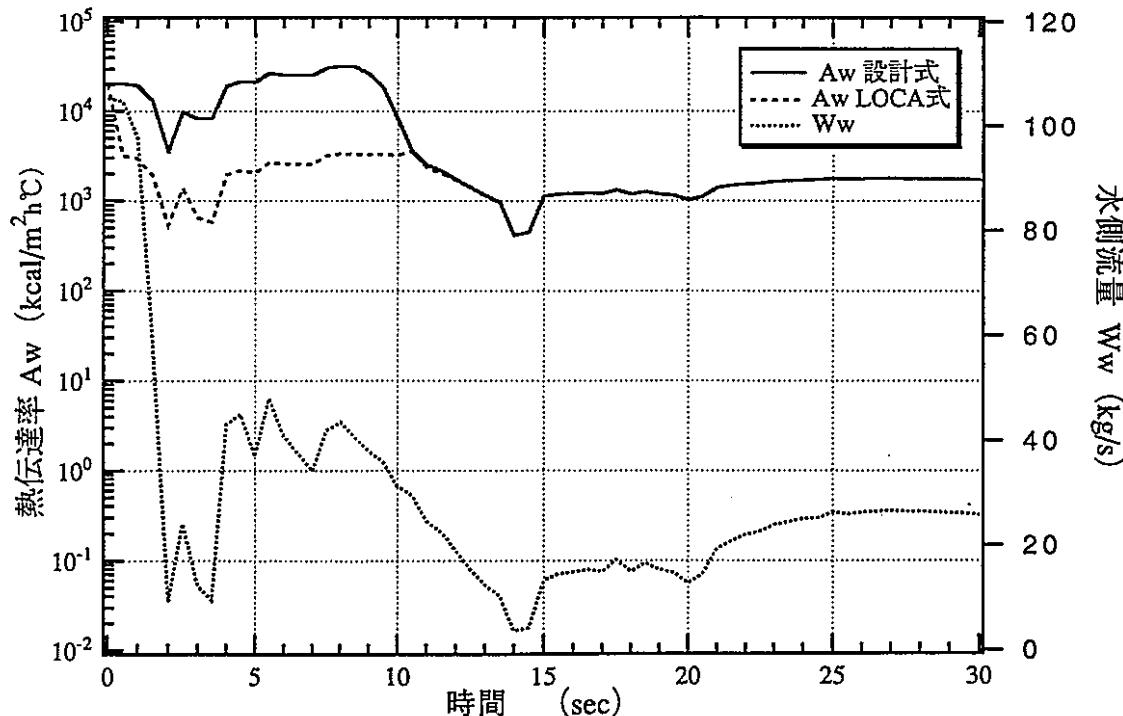


ケース N1 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(3)-1 水側熱伝達率と流量 (EVリンク6)

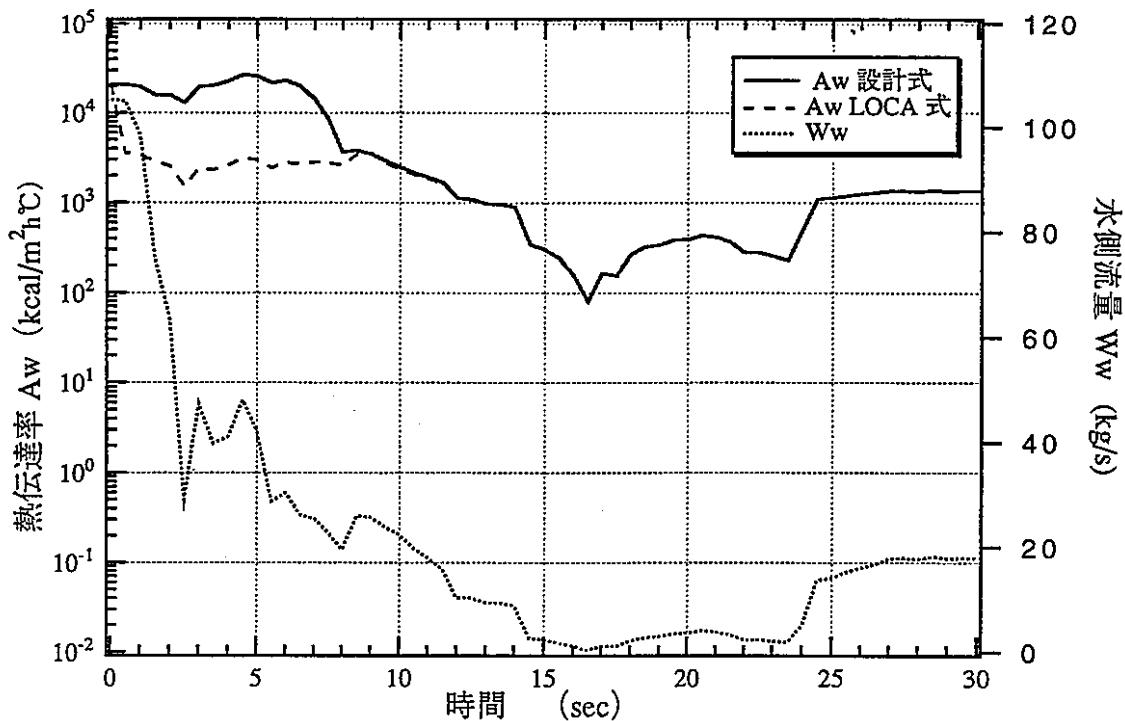


ケースN3 (新値 3B*1,4B*2) (メッシュ番号14)

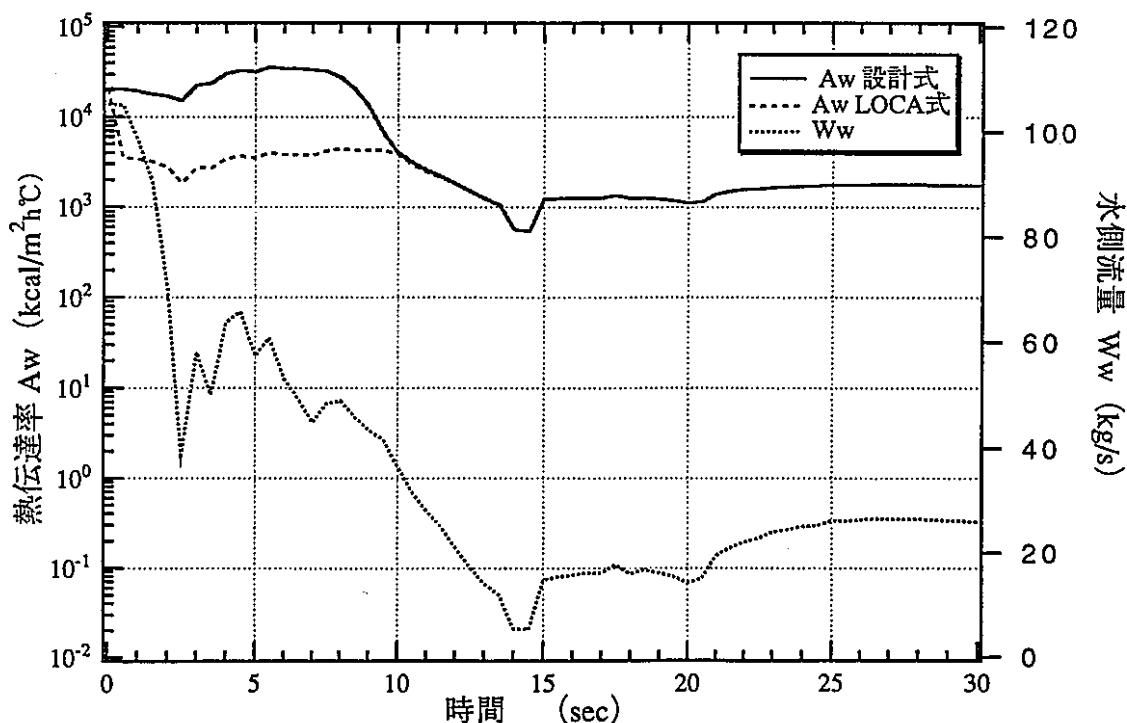


ケースN1 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(3)-2 水側熱伝達率と流量 (EVリンク8)

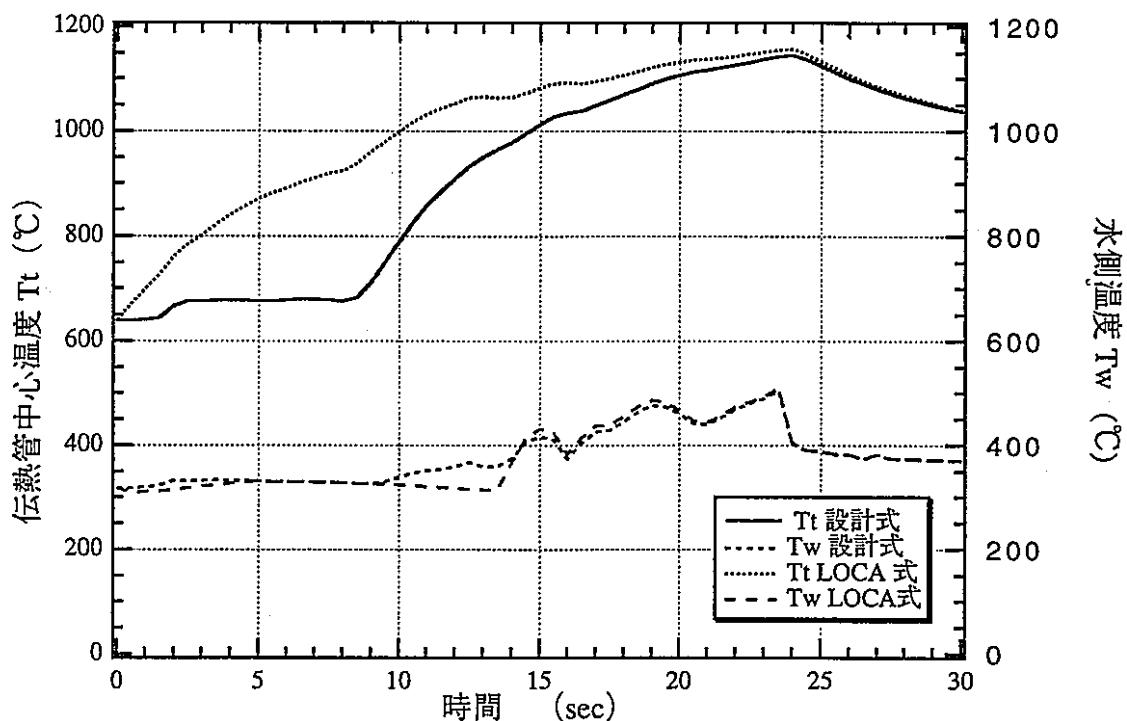


ケースN3 (新値 3B*1,4B*2) (メッシュ番号14)

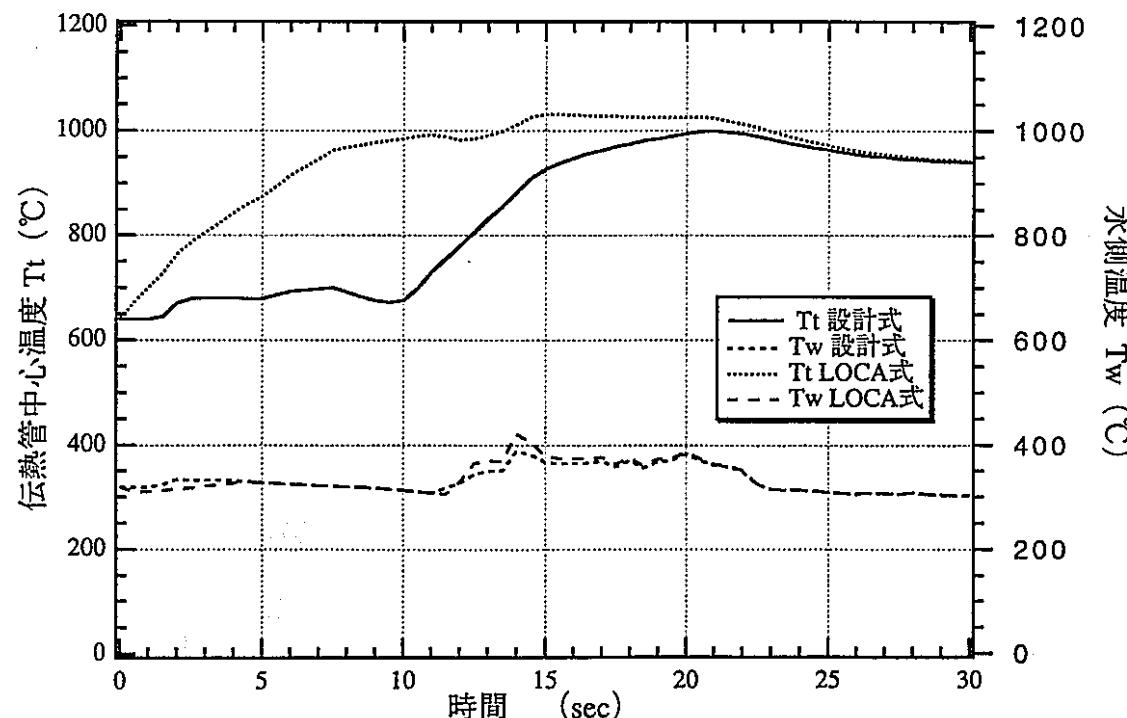


ケースN1 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(3)-3 水側熱伝達率と流量 (EVリンク9)

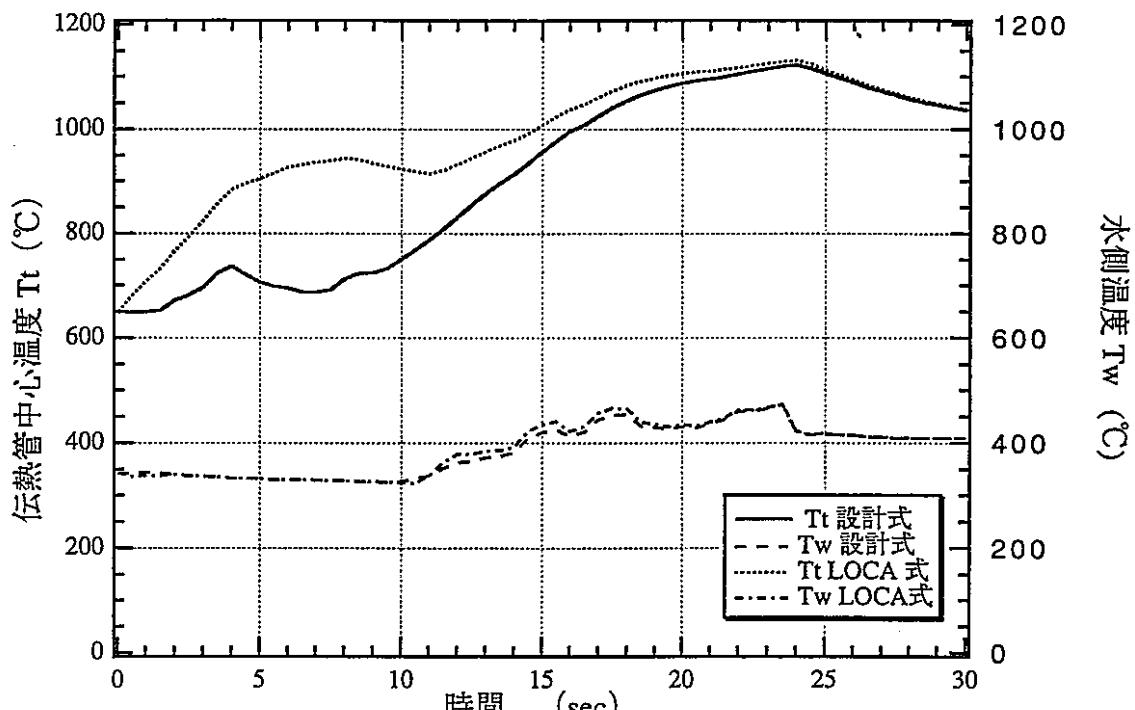


ケースN3 (新値 3B*1,4B*2) (メッシュ番号14)

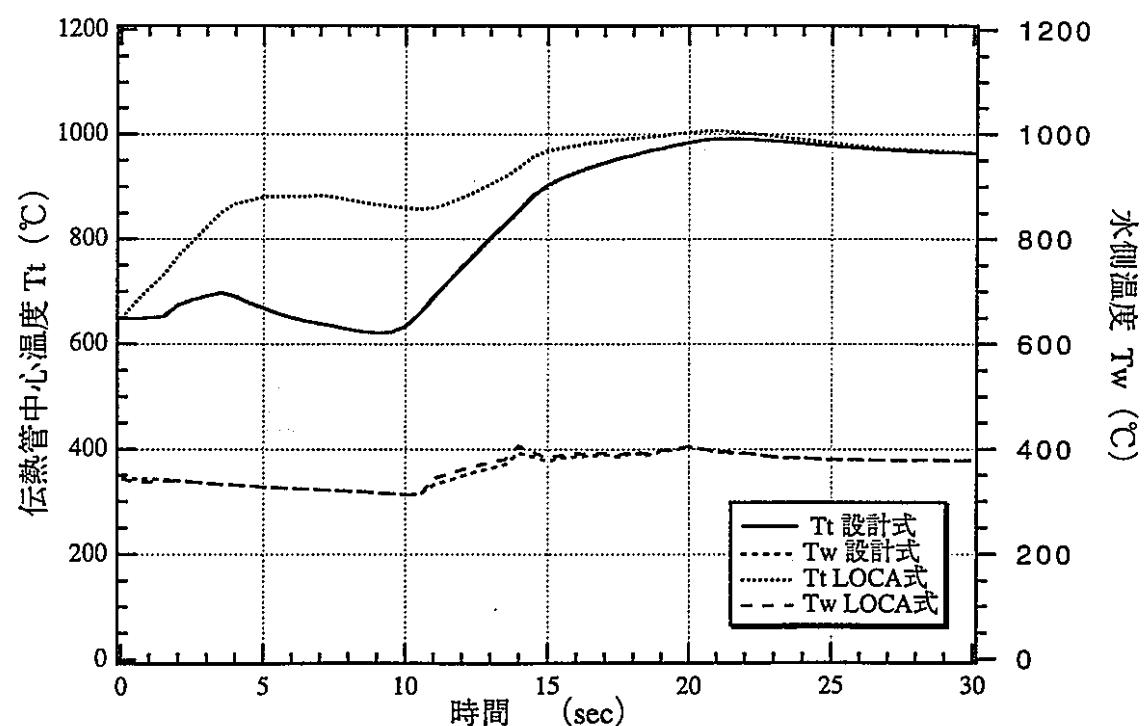


ケースN1 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(3)-4 伝熱管中心温度と水側温度 (EVリンク6)

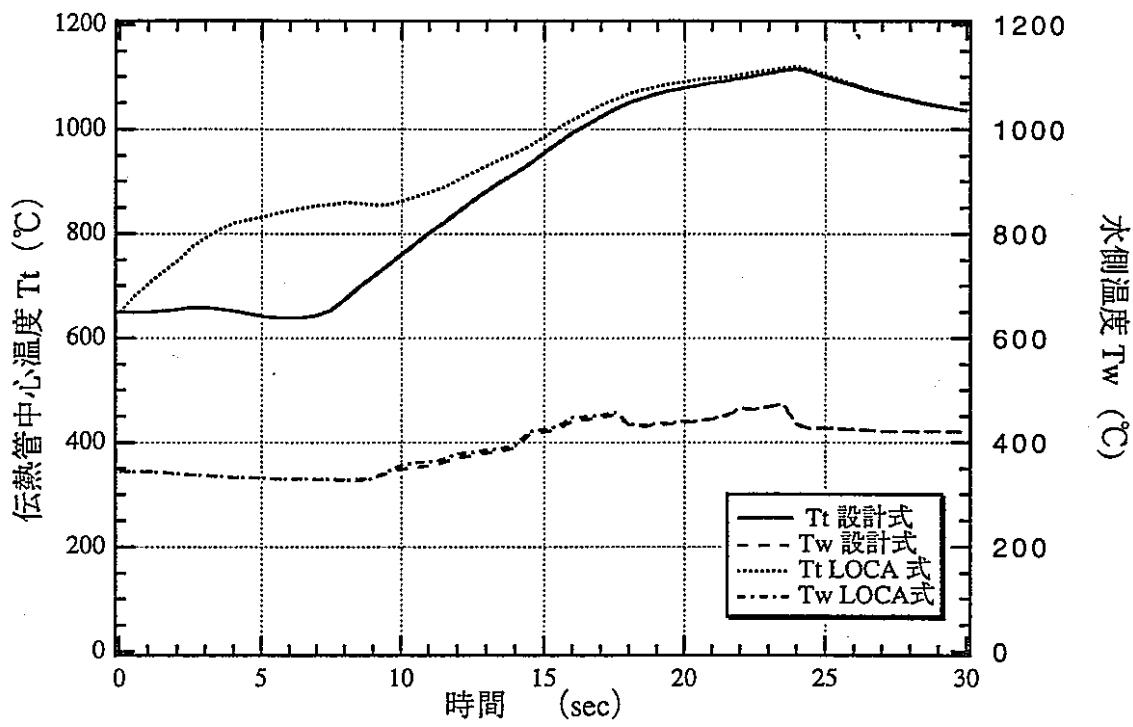


ケースN3 (新値 3B*1,4B*2) (メッシュ番号14)

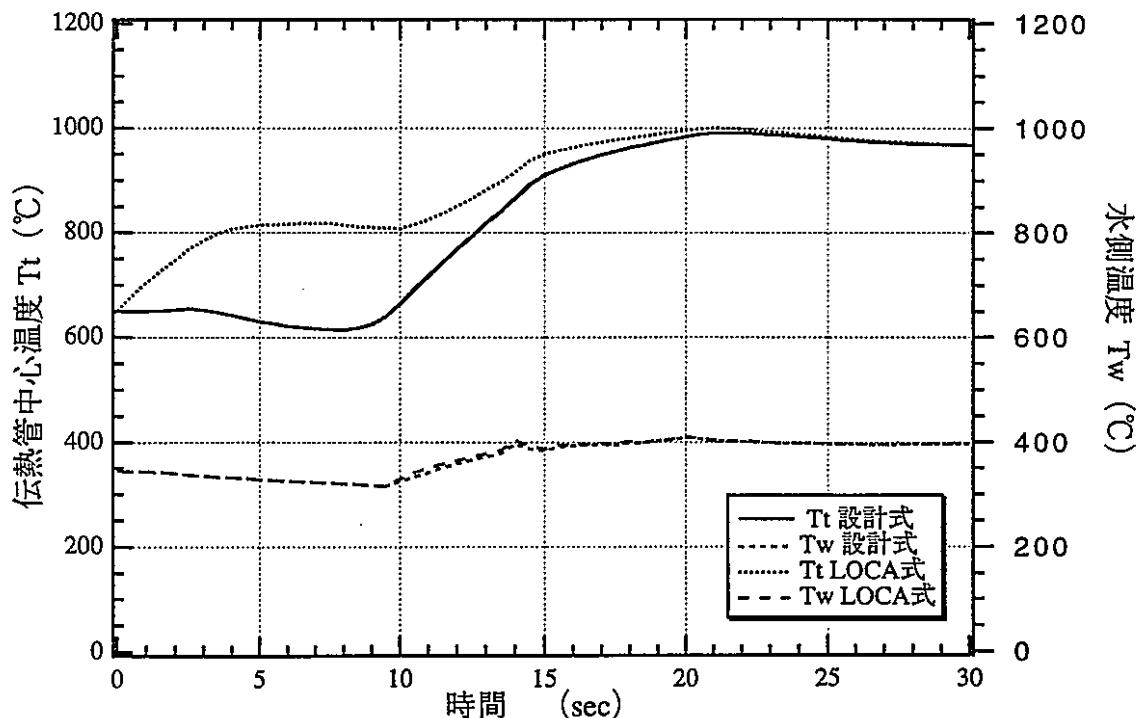


ケースN1 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(3)-5 伝熱管中心温度と水側温度 (EVリンク8)

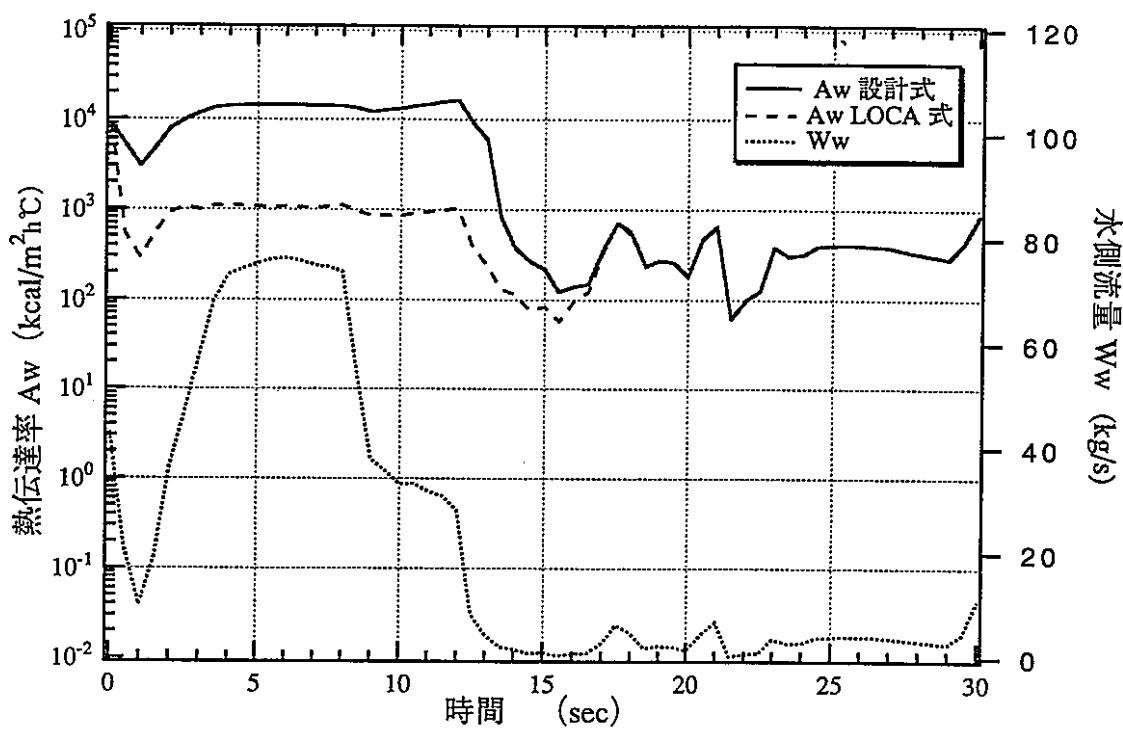


ケースN3 (新値 3B*1,4B*2) (メッシュ番号14)

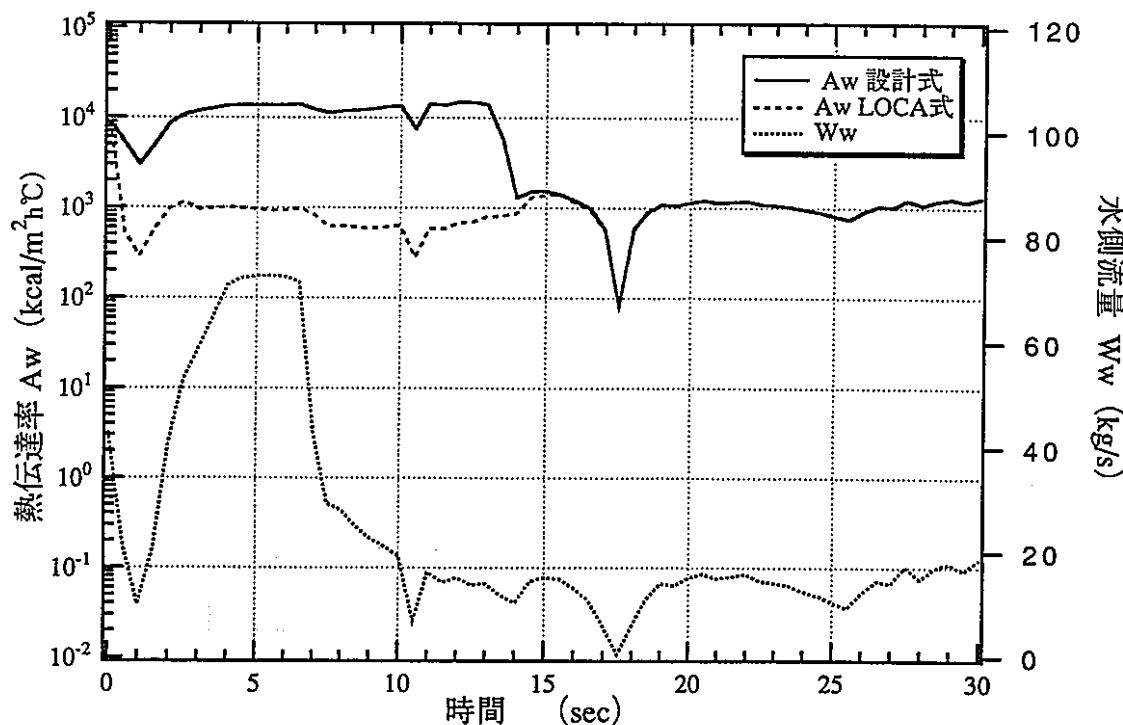


ケースN1 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(3)-6 伝熱管中心温度と水側温度 (EVリンク9)

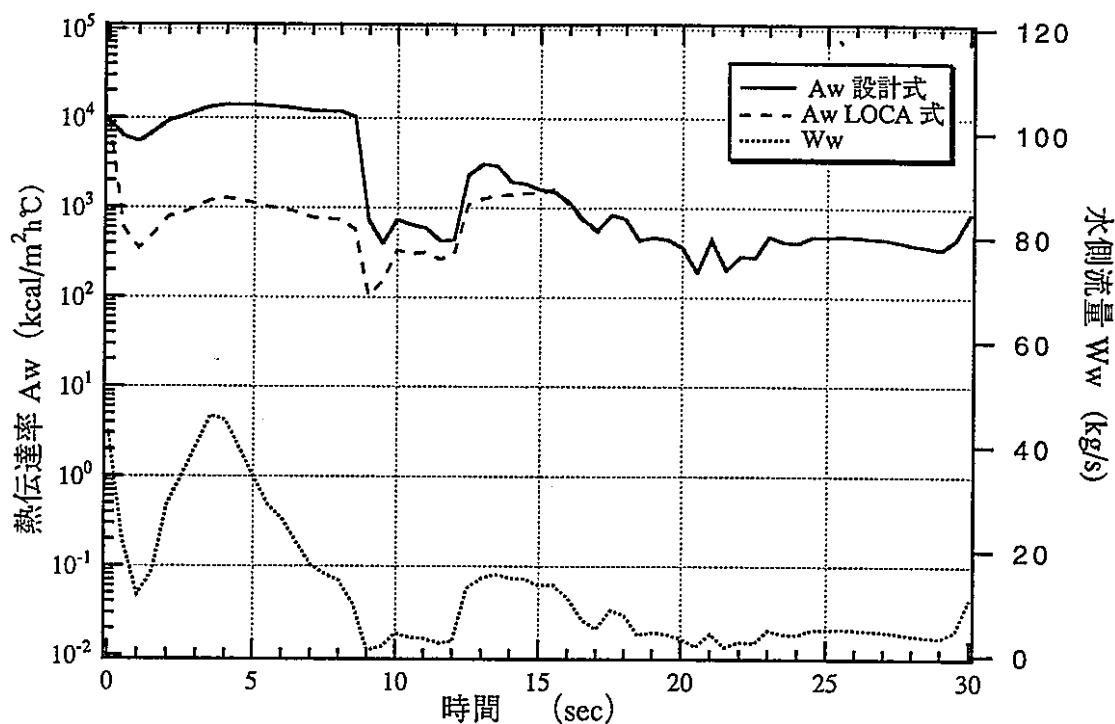


ケースN4 (新値 3B*1,4B*2) (メッシュ番号14)

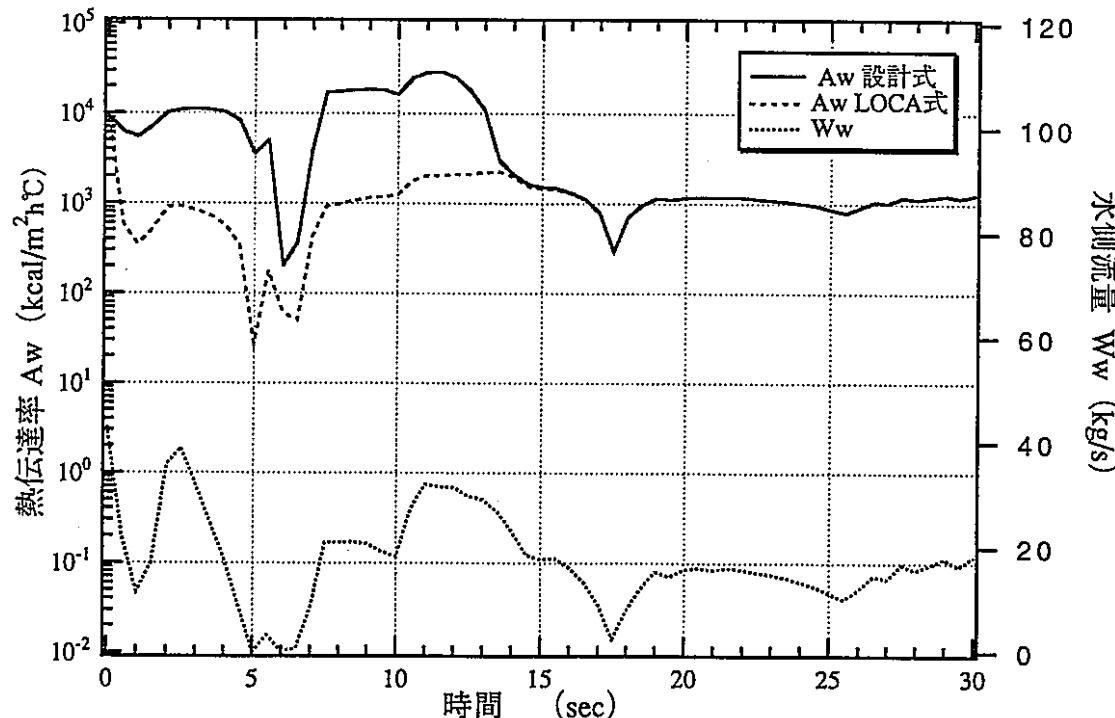


ケースN2 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(4)-1 水側熱伝達率と流量 (EVリンク6)

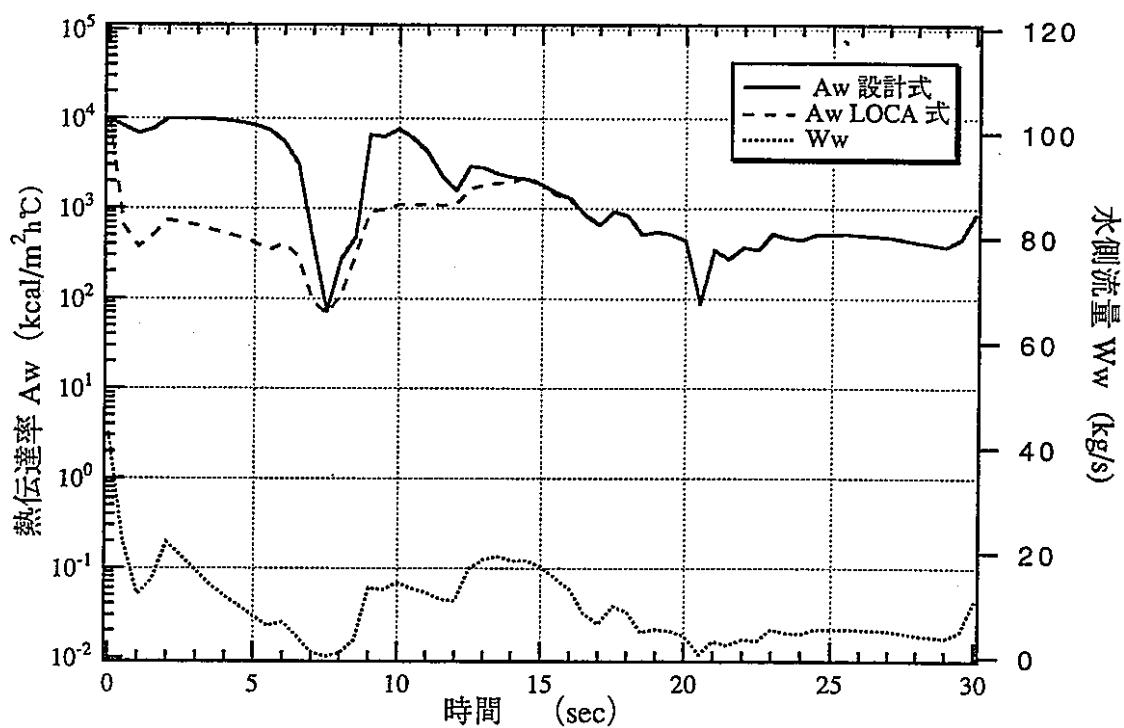


ケースN4 (新値 3B*1,4B*2) (メッシュ番号14)

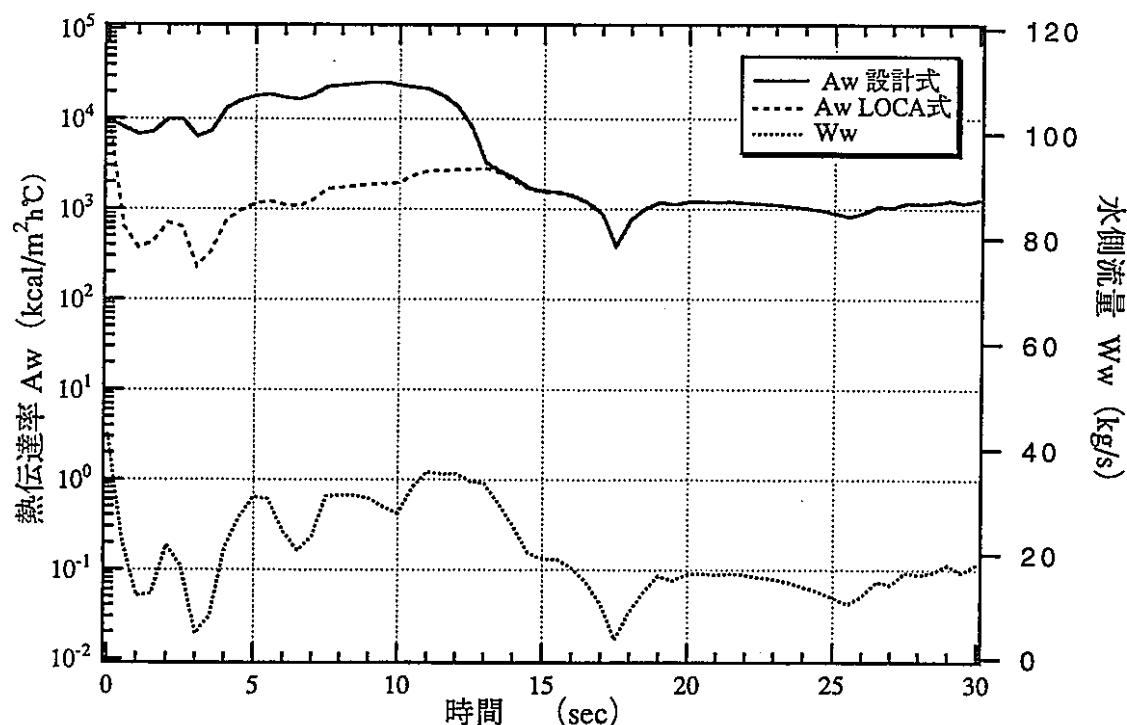


ケースN2 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(4)-2 水側熱伝達率と流量 (EVリンク8)

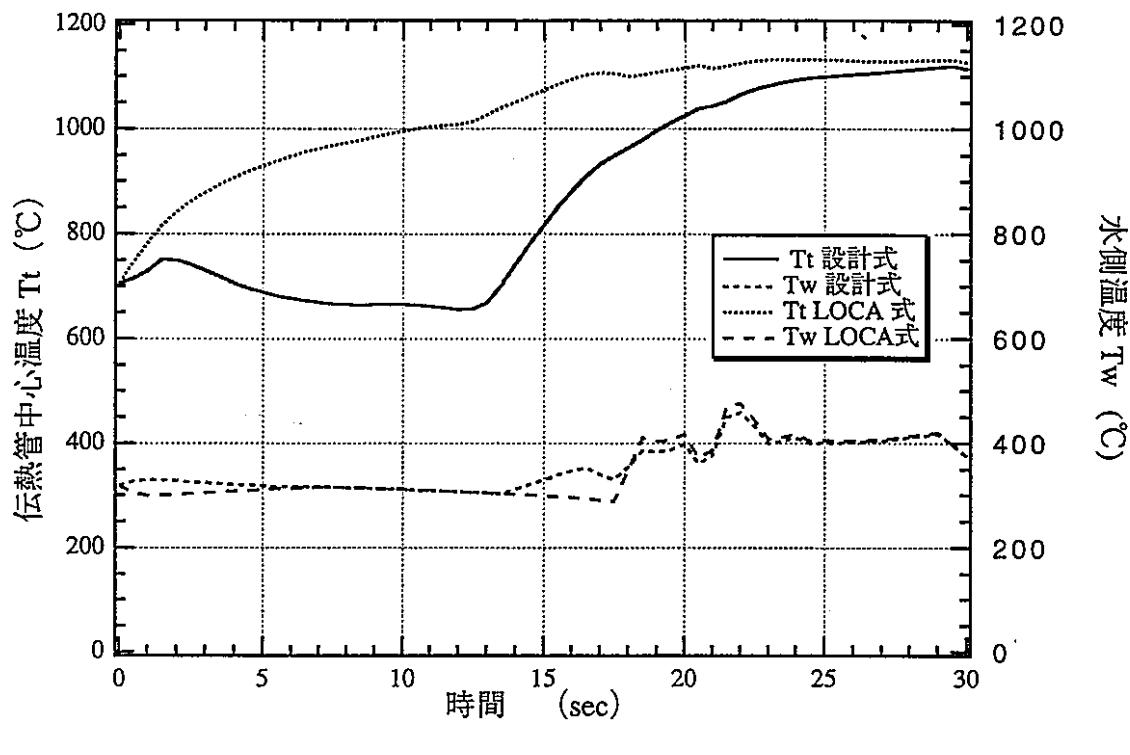


ケースN4 (新値 3B*1,4B*2) (メッシュ番号14)

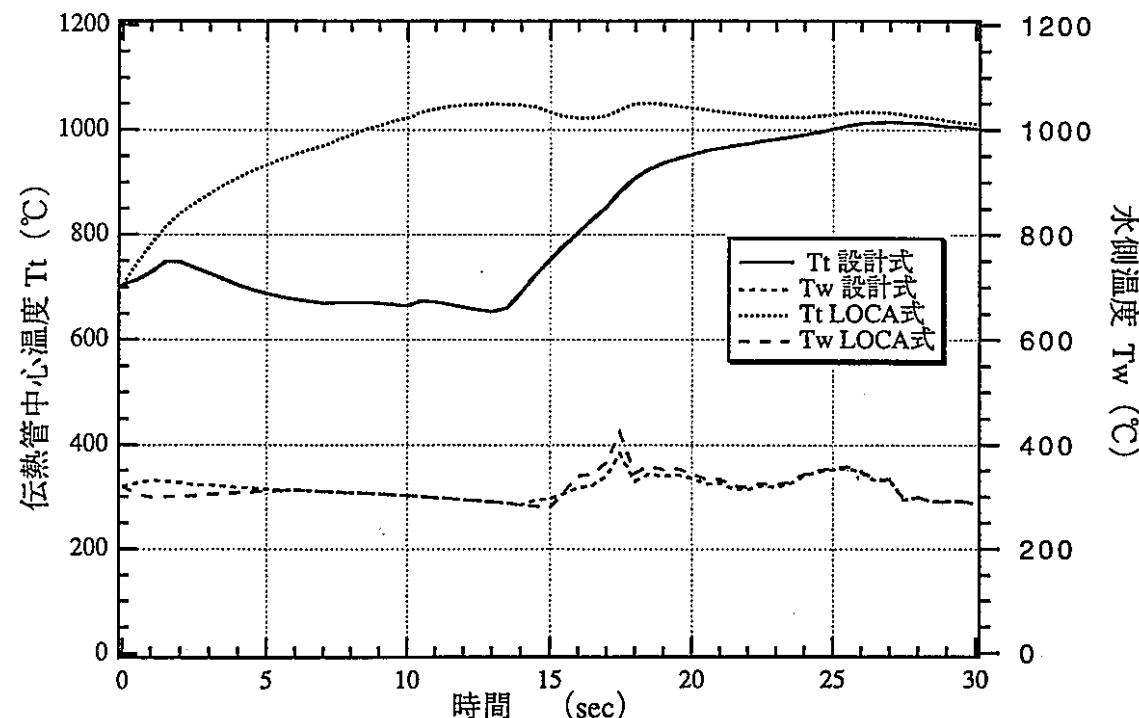


ケースN2 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(4)-3 水側熱伝達率と流量 (EVリンク9)

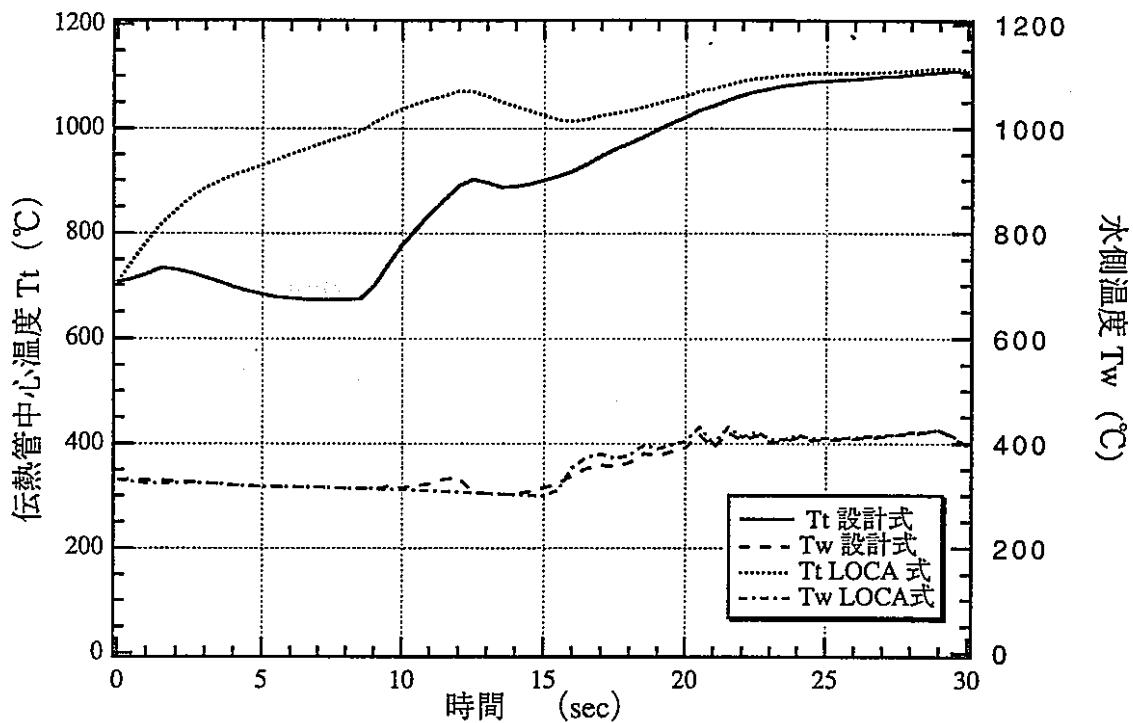


ケースN4 (新値 3B*1,4B*2) (メッシュ番号14)

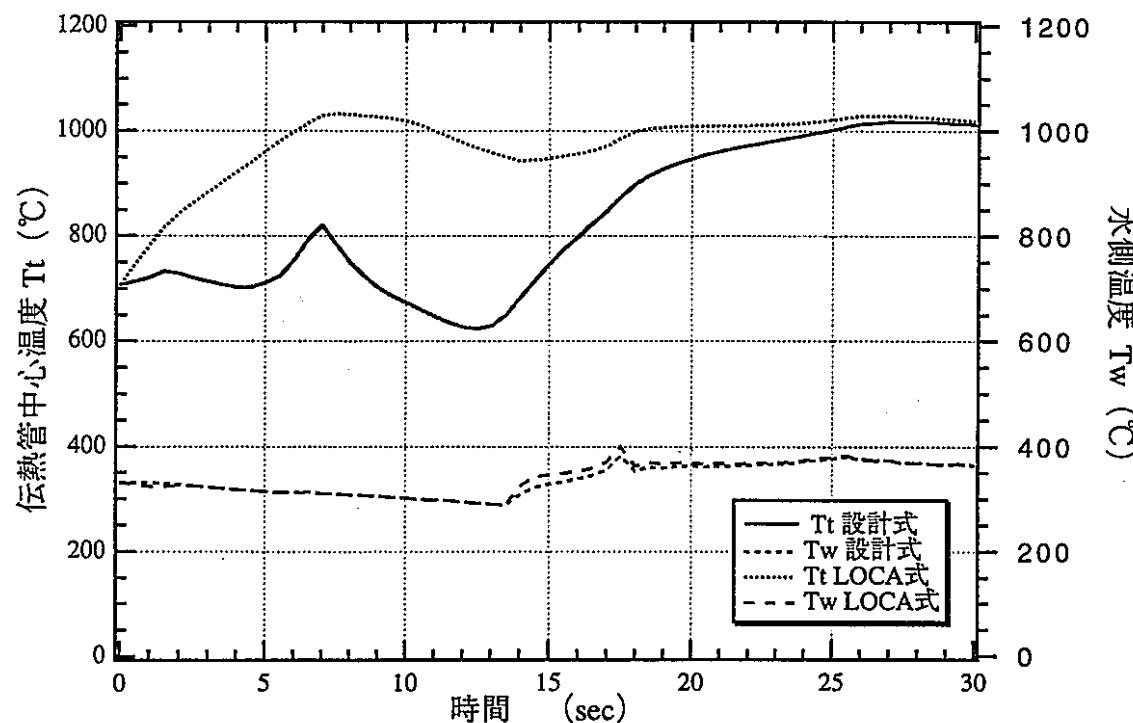


ケースN2 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

|図3.2(4)-4 伝熱管中心温度と水側温度 (EVリンク6)

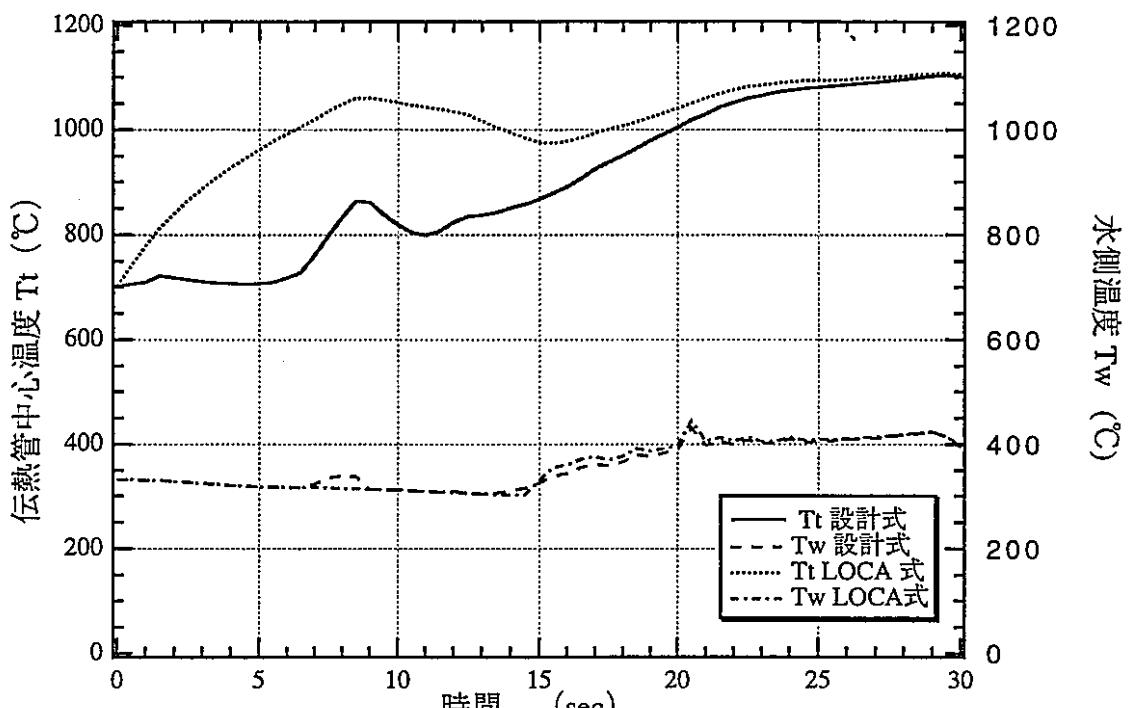


ケースN4 (新値 3B*1,4B*2) (メッシュ番号14)

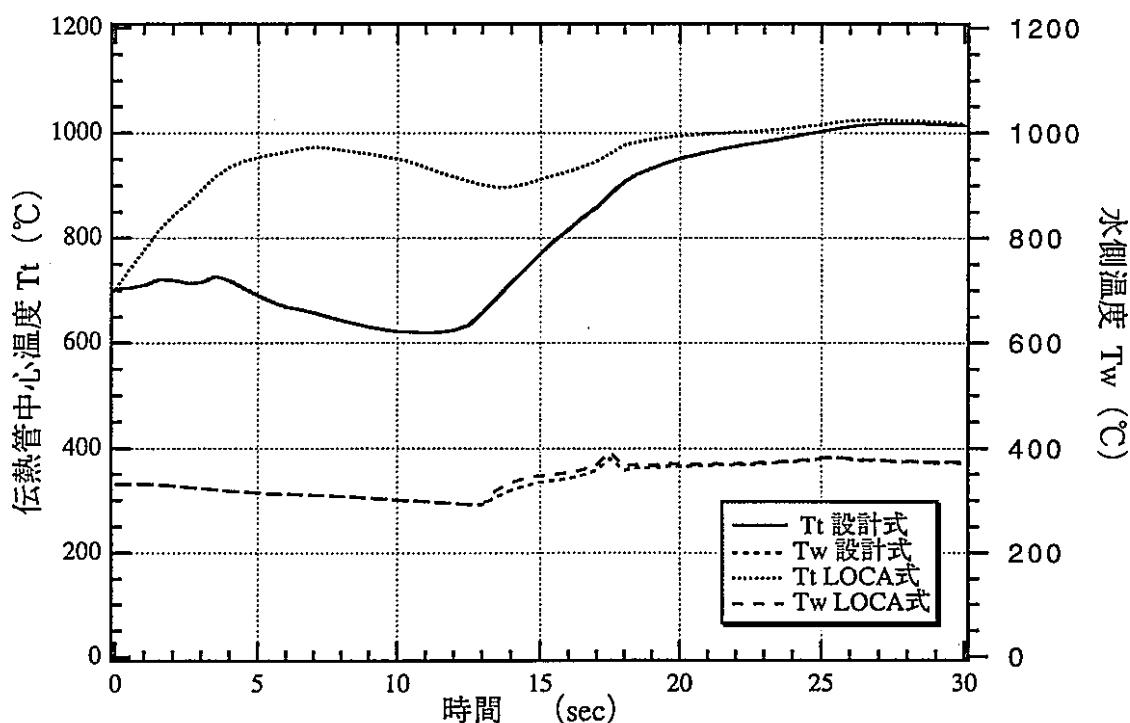


ケースN2 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(4)-5 伝熱管中心温度と水側温度 (EVリンク8)

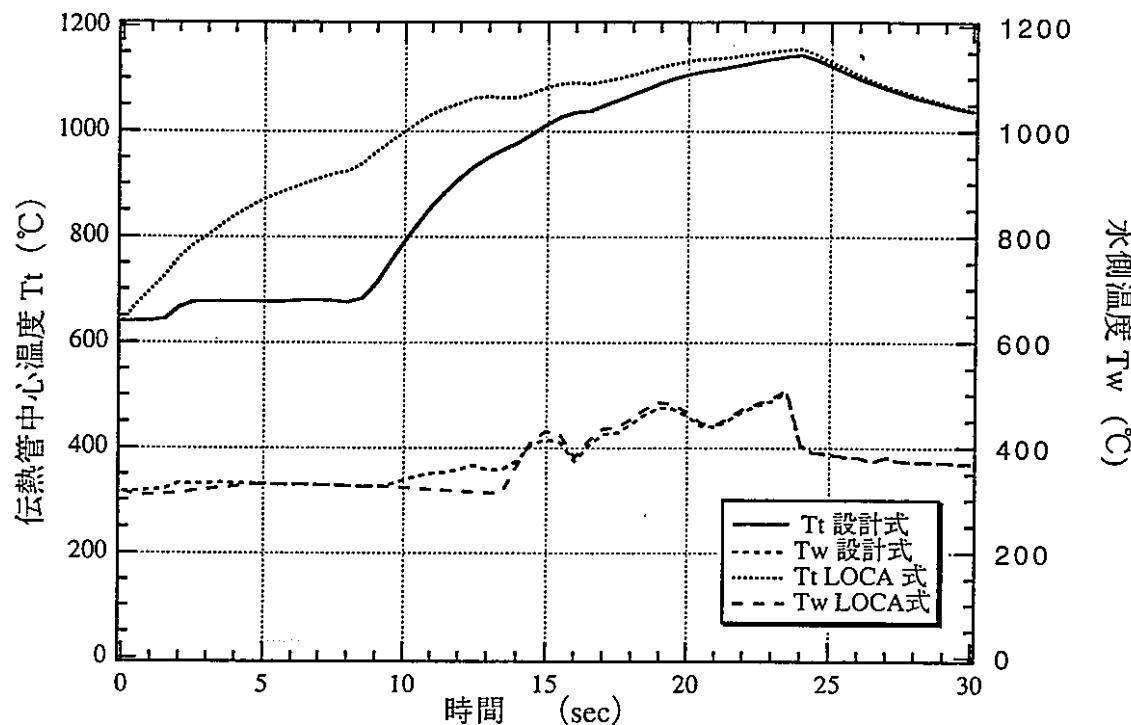


ケースN4 (新値 3B*1,4B*2) (メッシュ番号14)

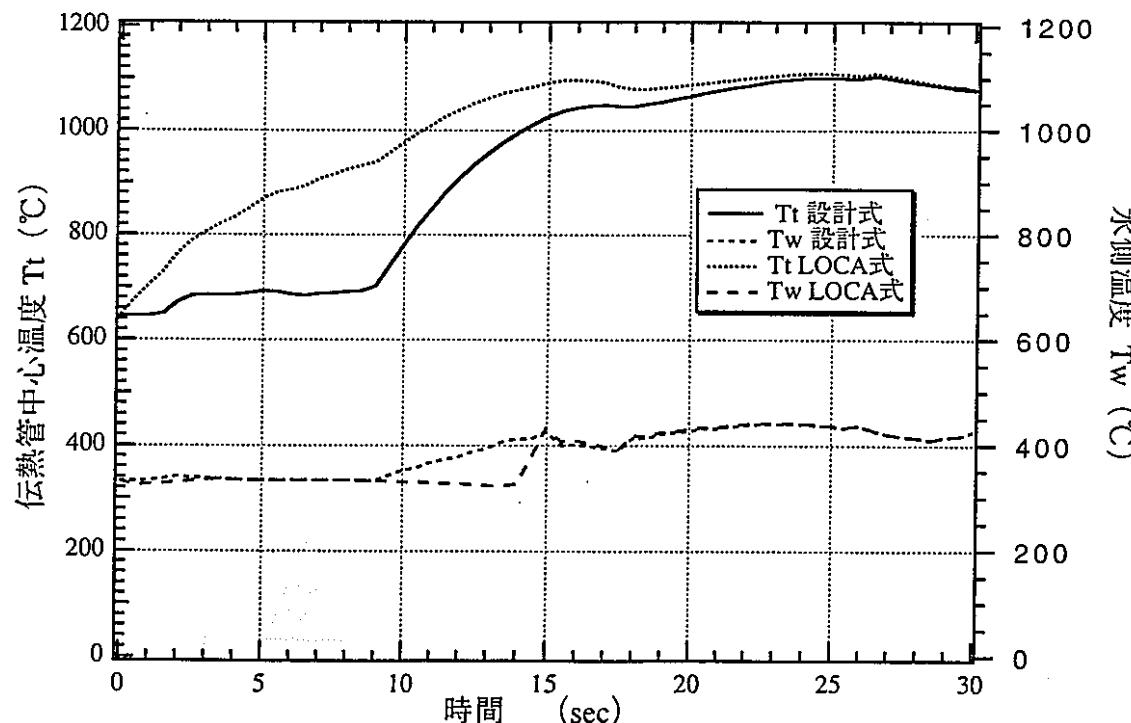


ケースN2 (新値 3B*1,4B*4) (メッシュ番号14)

図3.2(4)-6 伝熱管中心温度と水側温度 (EVリンク9)

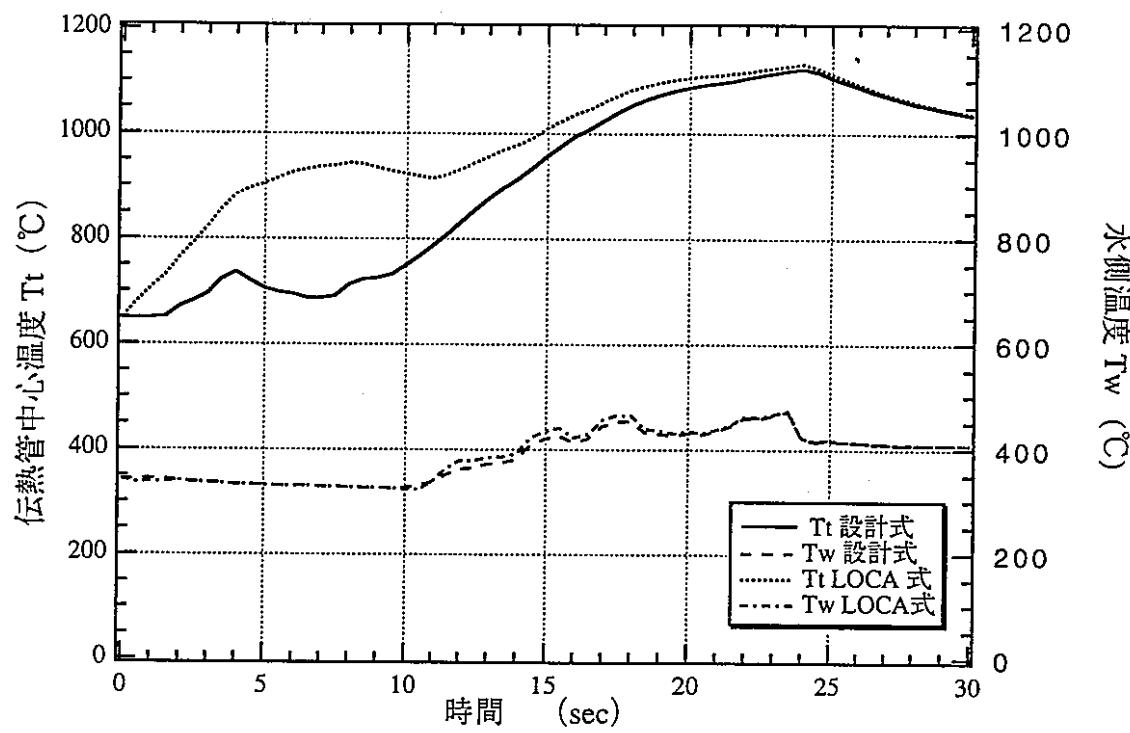


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク6、メッシュ番号14)

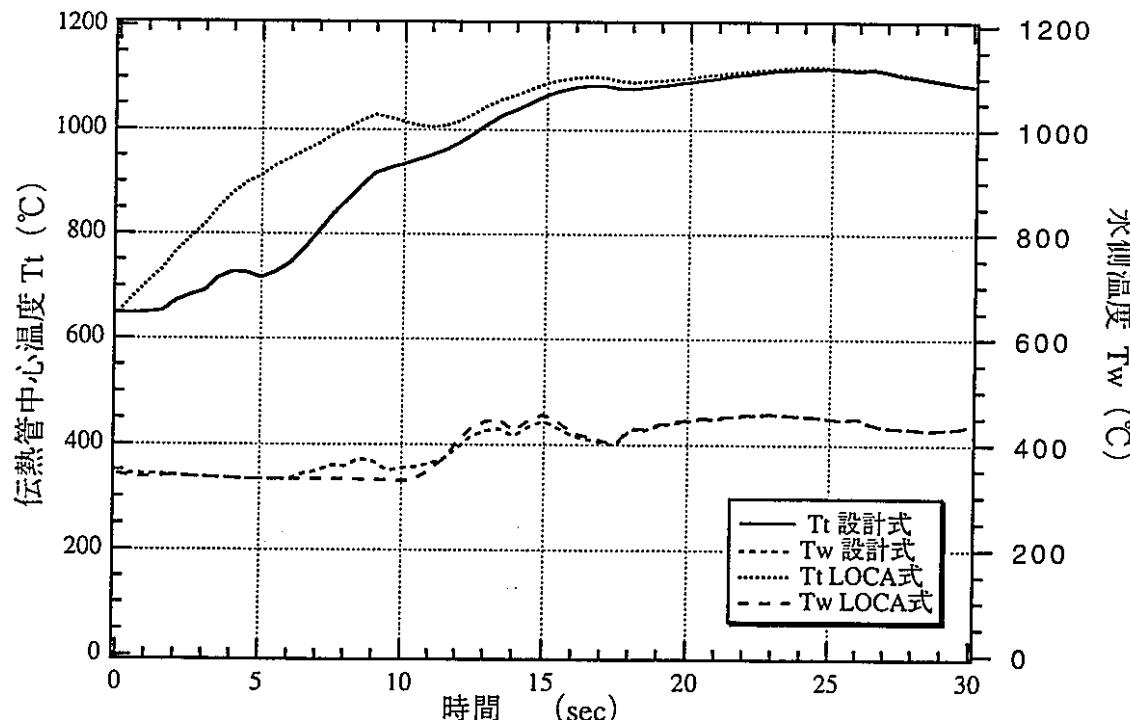


ケースN5 (新値 3B*1、4B*1) (EVリンク7、メッシュ番号14)

図3.2(5)-1 伝熱管中心温度と水側温度

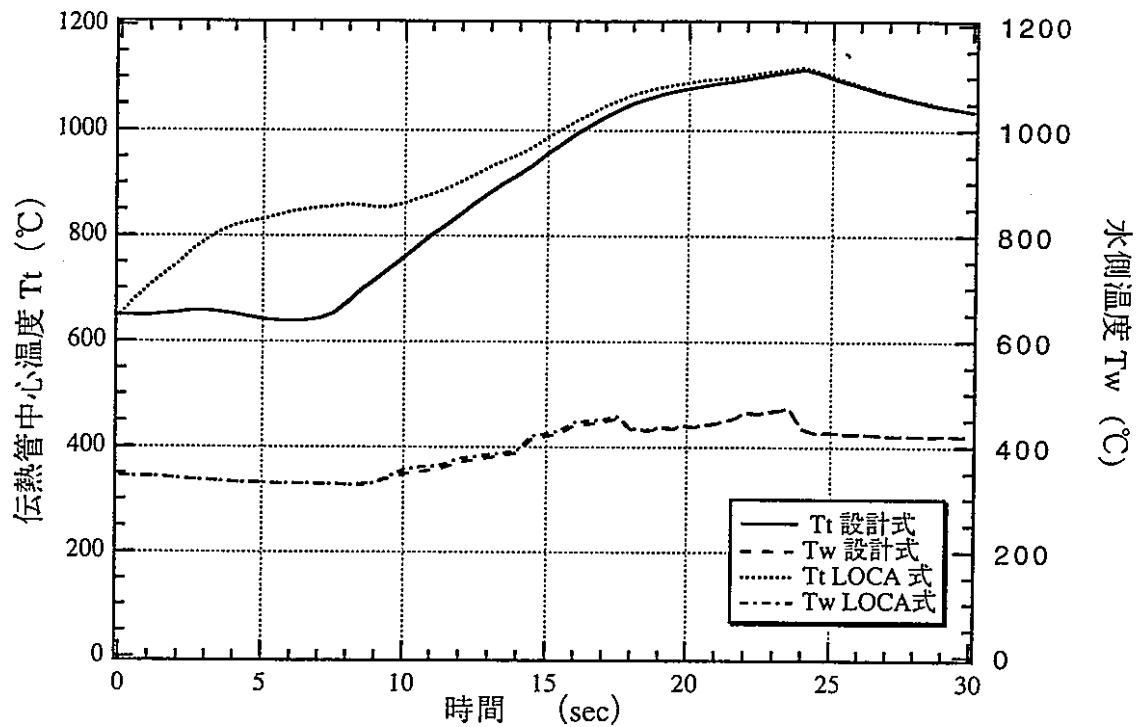


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク8、メッシュ番号14)

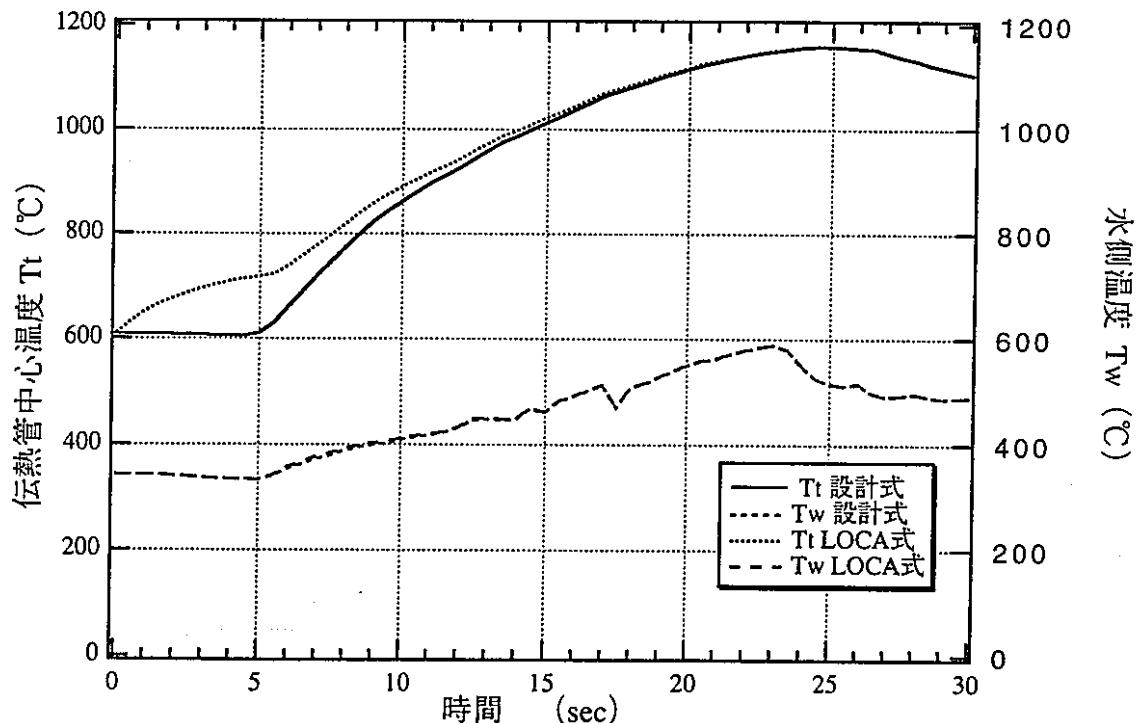


ケースN5 (新値 3B*1、4B*1) (EVリンク8、メッシュ番号14)

図3.2(5)-2 伝熱管中心温度と水側温度

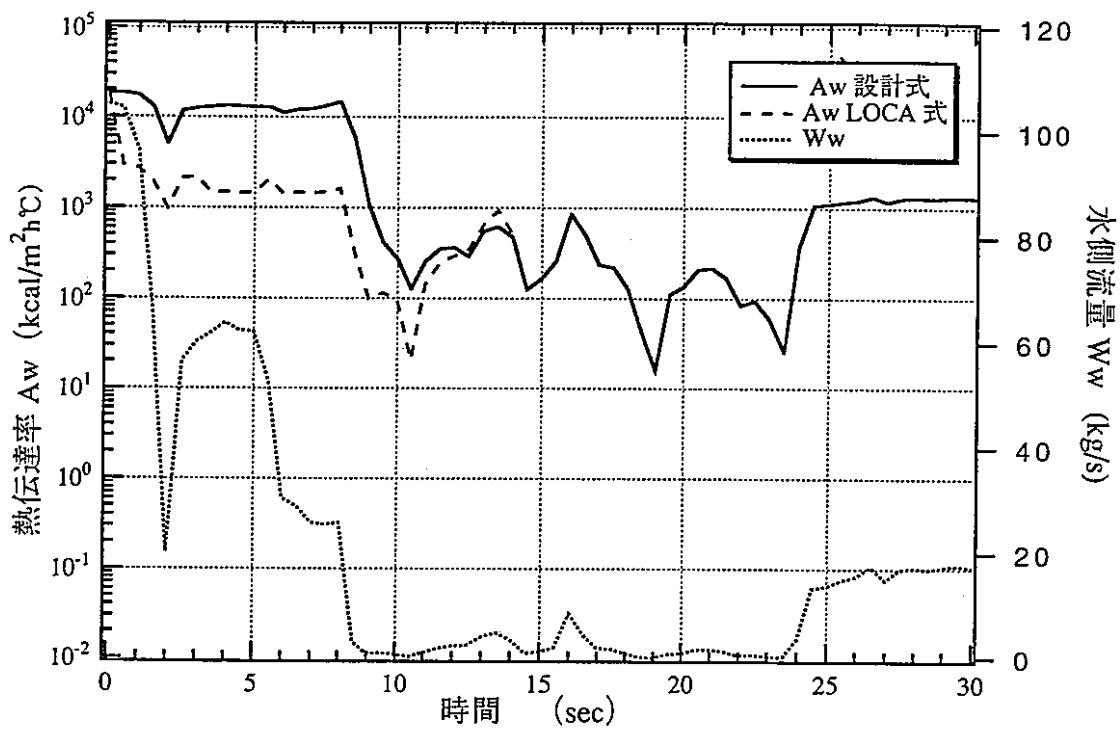


ケース N3 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク 9、メッシュ番号14)

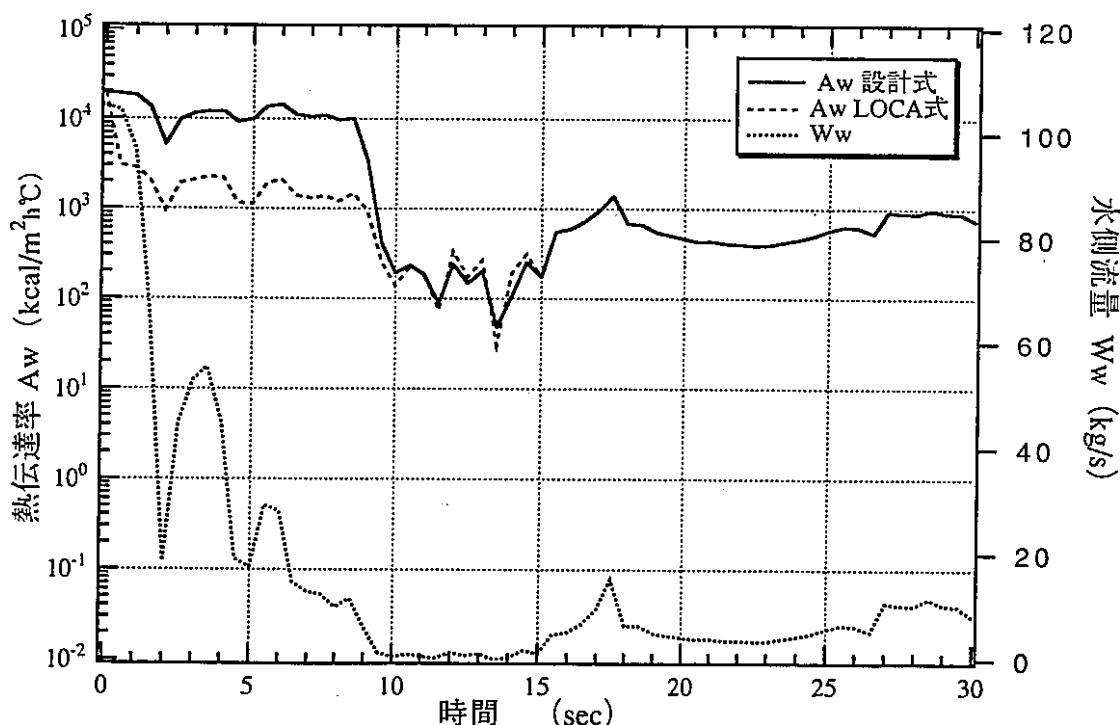


ケース N5 (新値 3B*1、4B*1) (EVリンク 12、メッシュ番号14)

図3.2(5)-3 伝熱管中心温度と水側温度

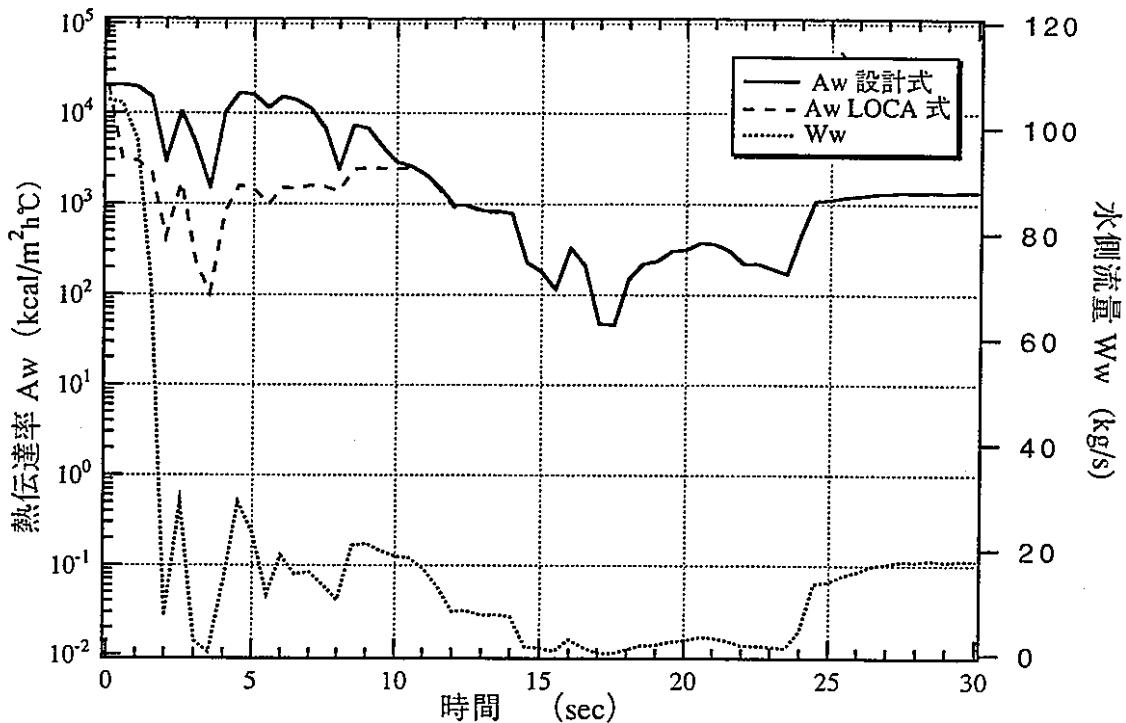


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク6、メッシュ番号14)

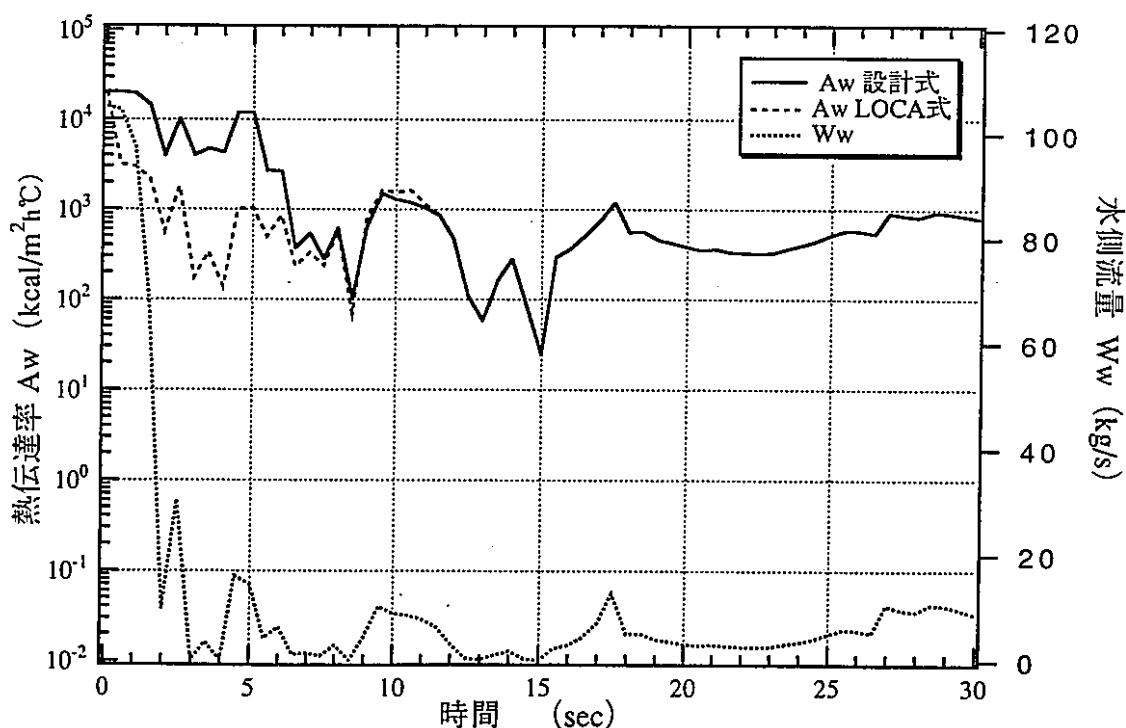


ケースN5 (新値 3B*1、4B*1) (EVリンク7、メッシュ番号14)

図3.2(5)-4 水側熱伝達率と流量

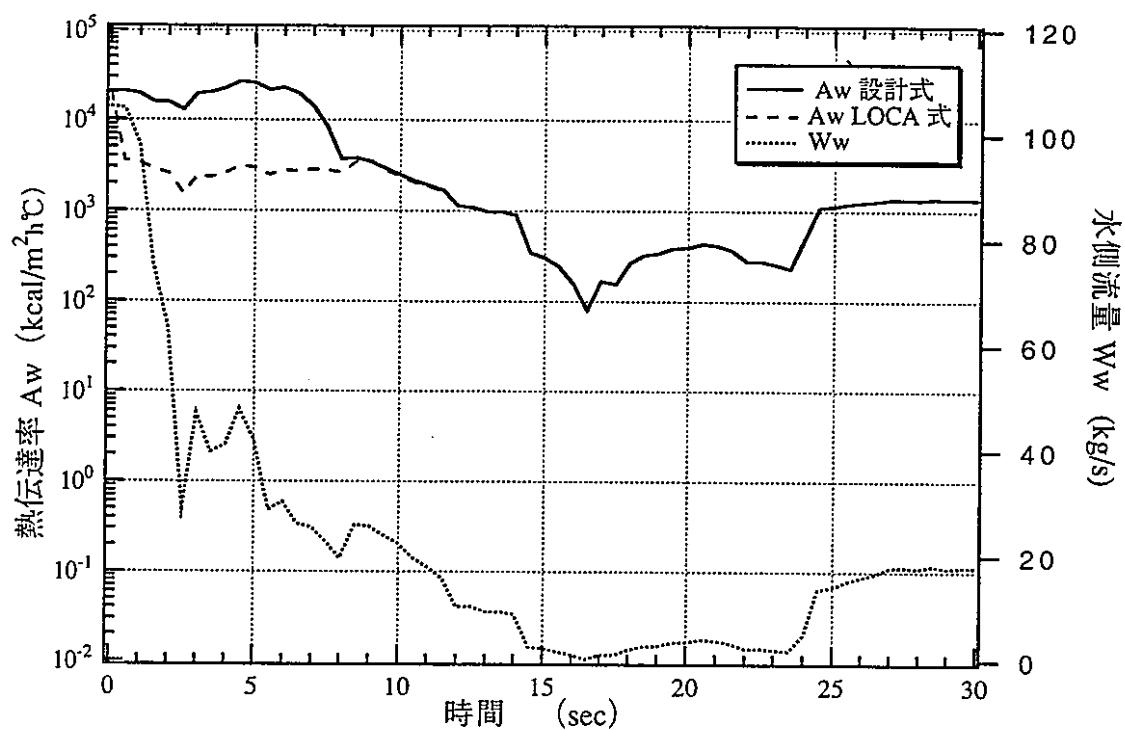


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク8、メッシュ番号14)

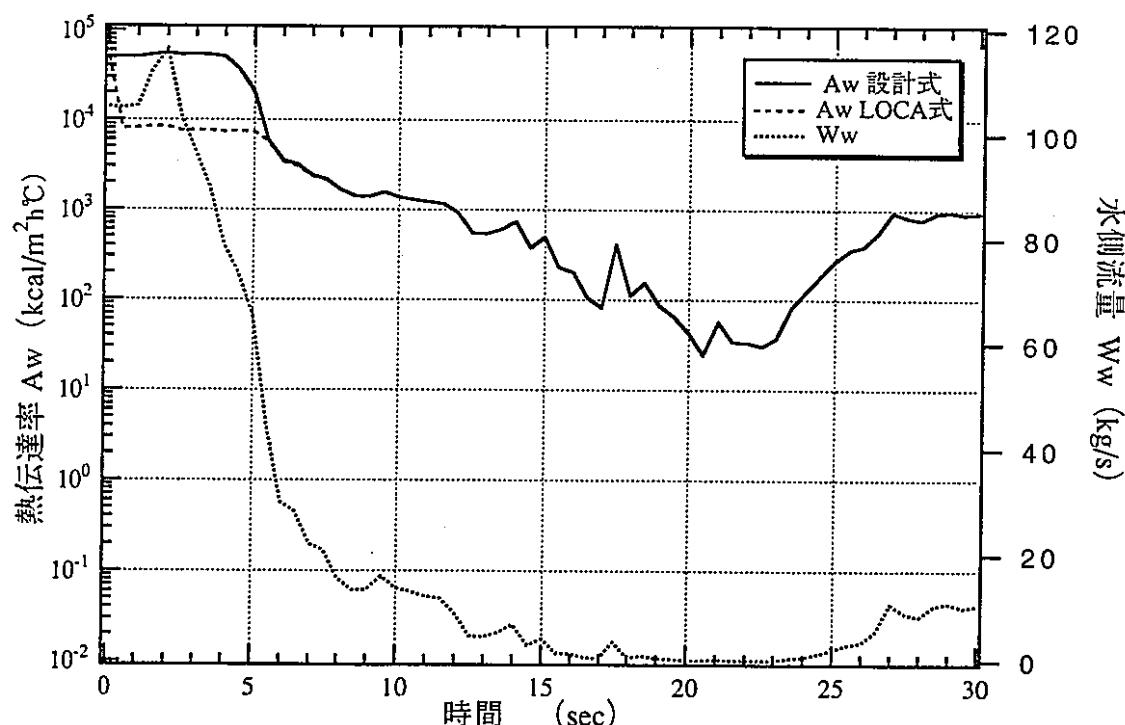


ケースN5 (新値 3B*1、4B*1) (EVリンク8、メッシュ番号14)

図3.2(5)-5 水側熱伝達率と流量

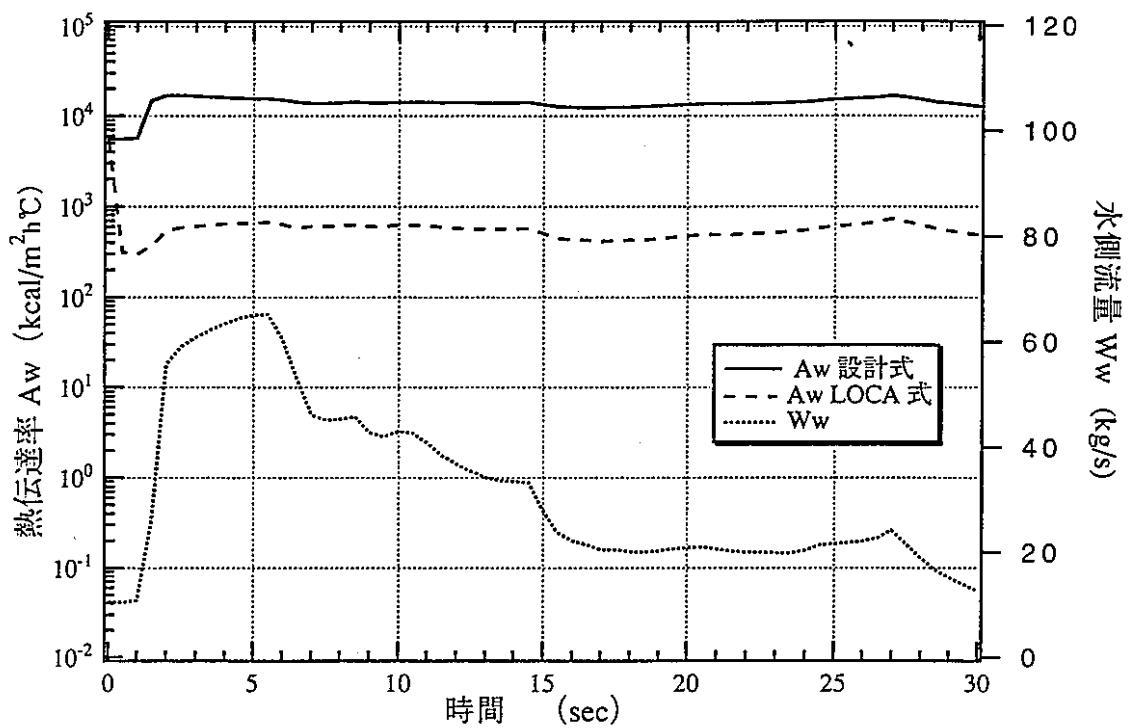


ケースN3 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク 9、メッシュ番号14)

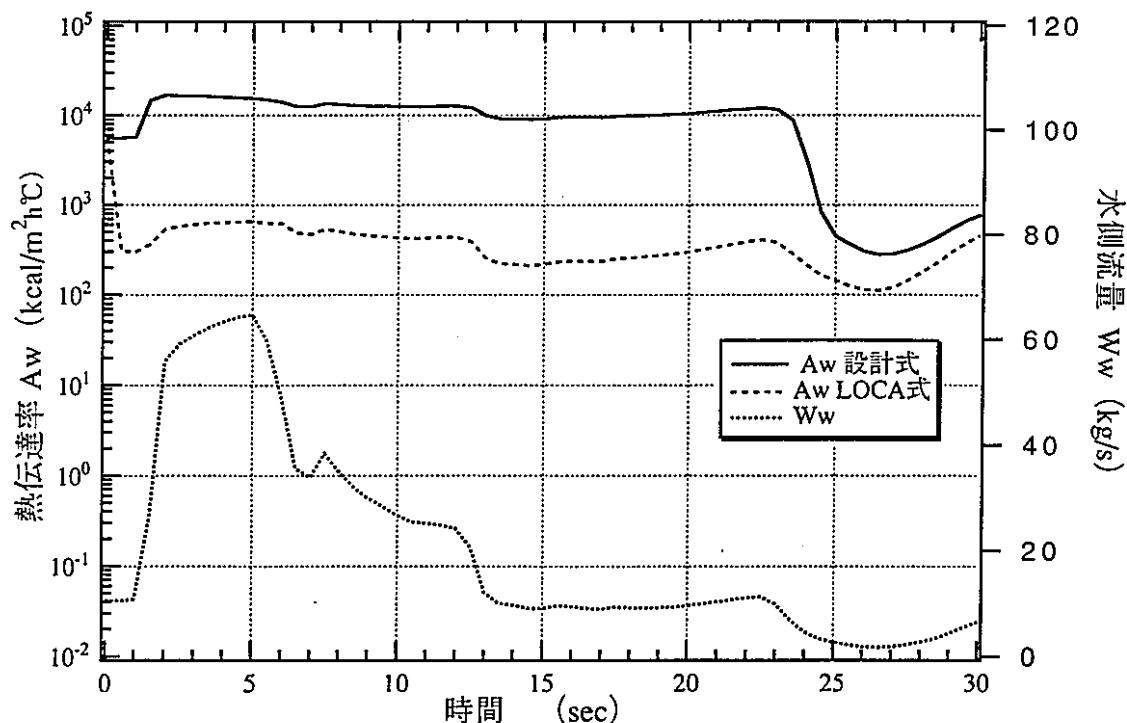


ケースN5 (新値 3B*1、4B*1) (EVリンク 12、メッシュ番号14)

図3.2(5)-6 水側熱伝達率と流量

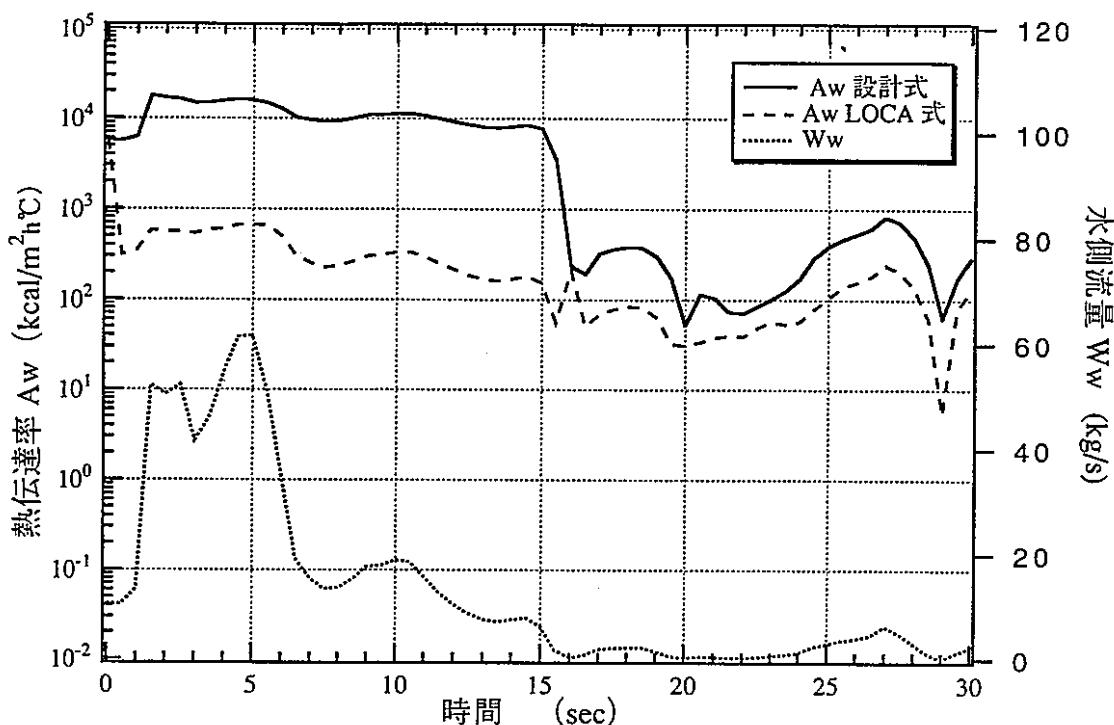


ケースN6 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク8、メッシュ番号14)

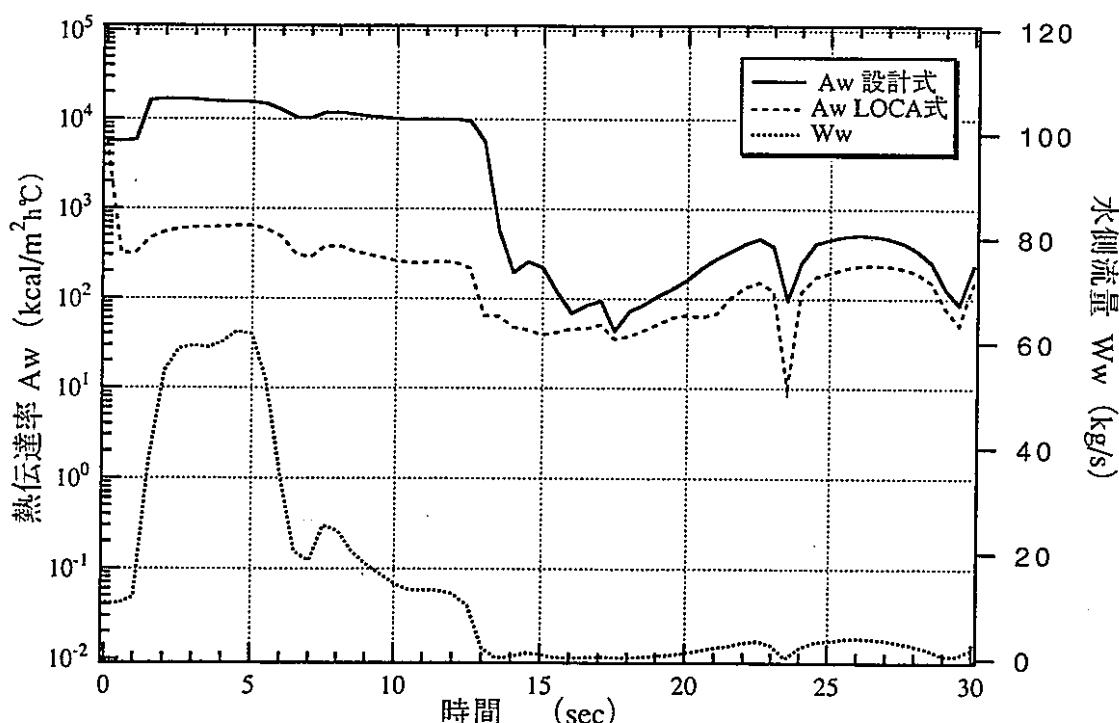


ケースN7 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク8、メッシュ番号14)

図3.2(6)-1 水側熱伝達率と流量 (起動時水側流量 10 %からのブロー)

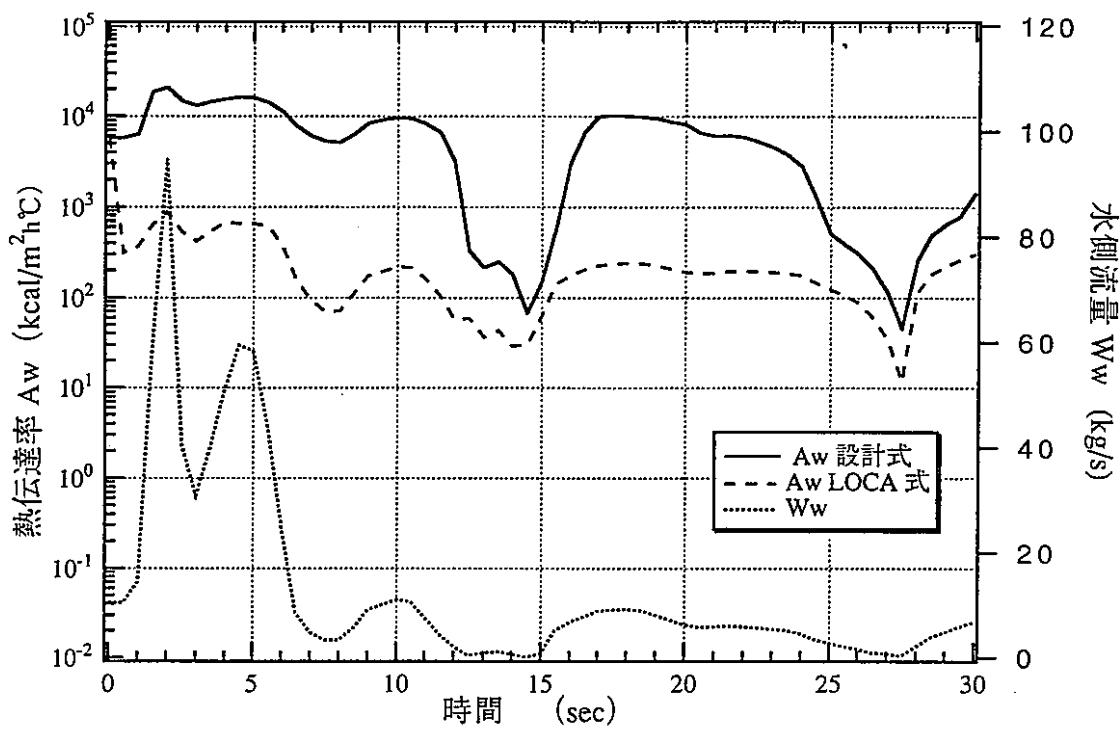


ケース N6 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク 11、メッシュ番号14)

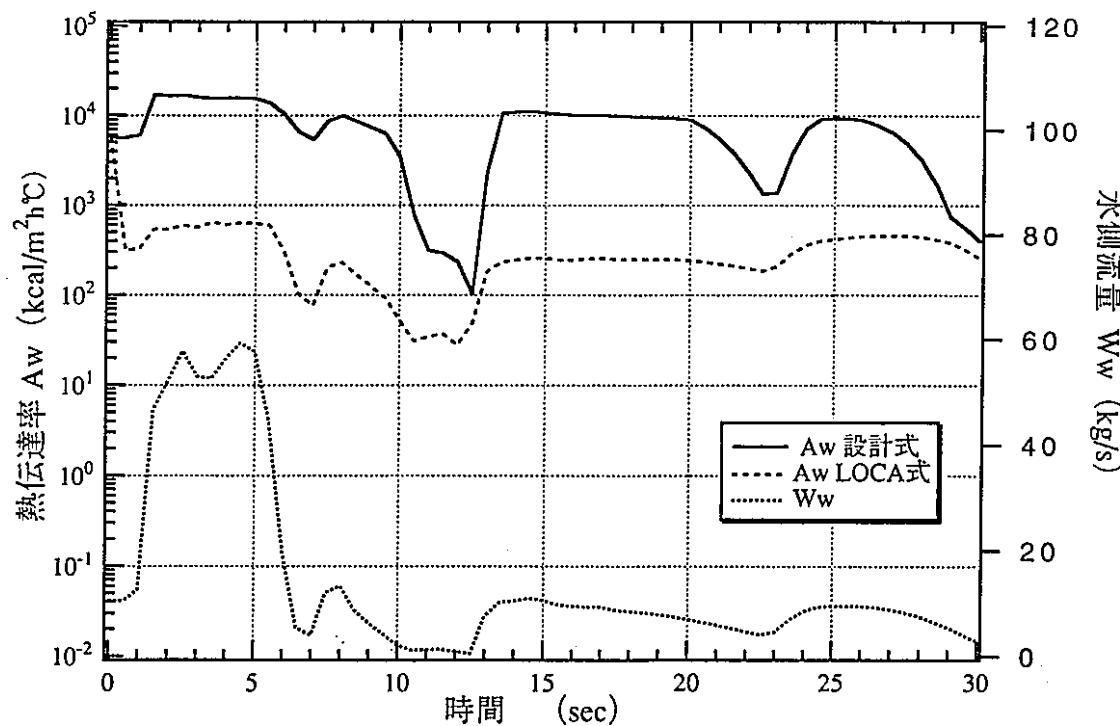


ケース N7 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク 9、メッシュ番号14)

図3.2(6)-2 水側熱伝達率と流量 (起動時水側流量 10 %からのプロード)

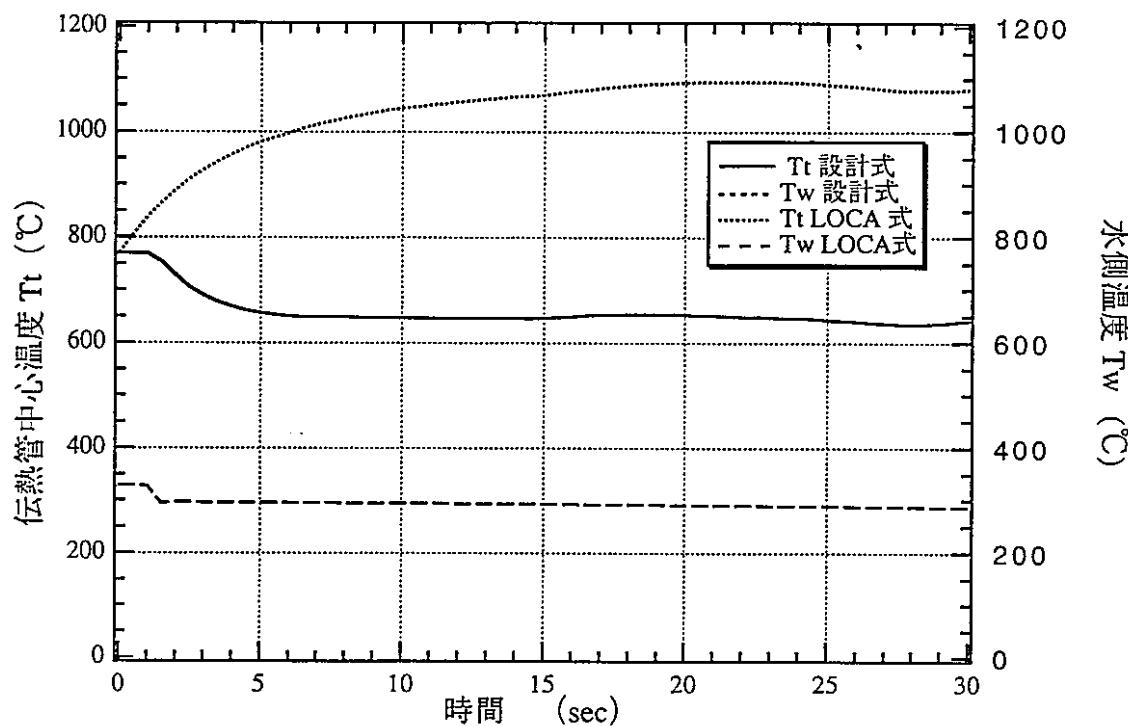


ケースN6 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク 12、メッシュ番号14)

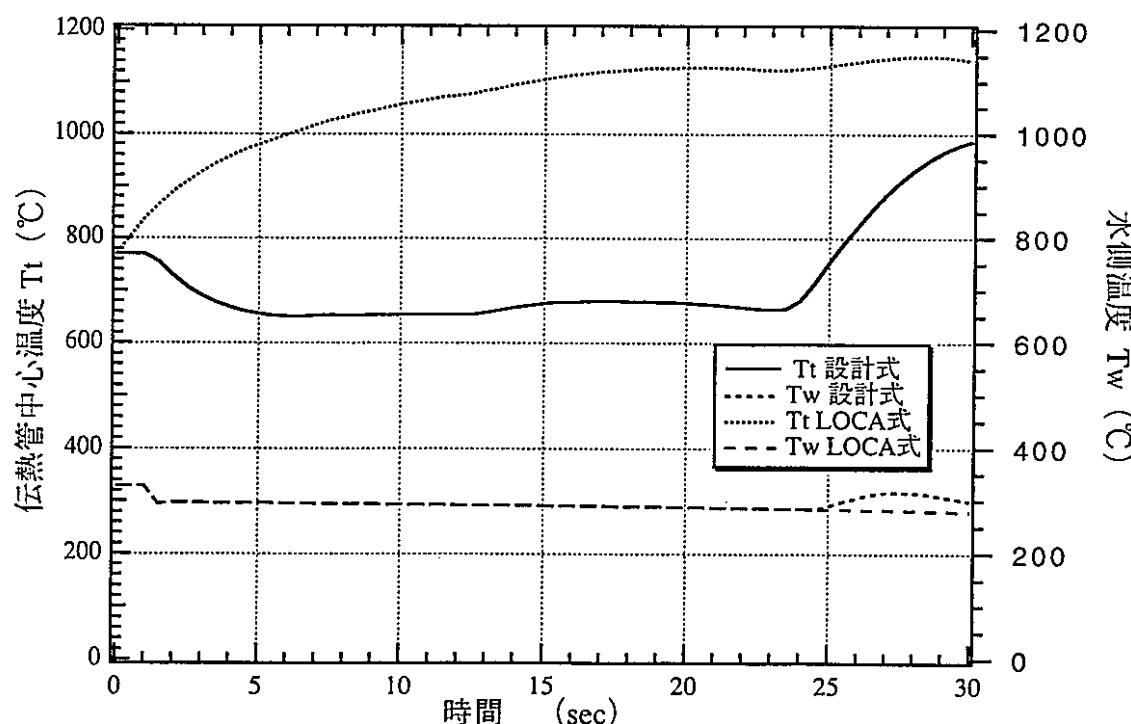


ケースN7 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク 10、メッシュ番号14)

図3.2(6)-3 水側熱伝達率と流量 (起動時水側流量 10 %からのプロー)

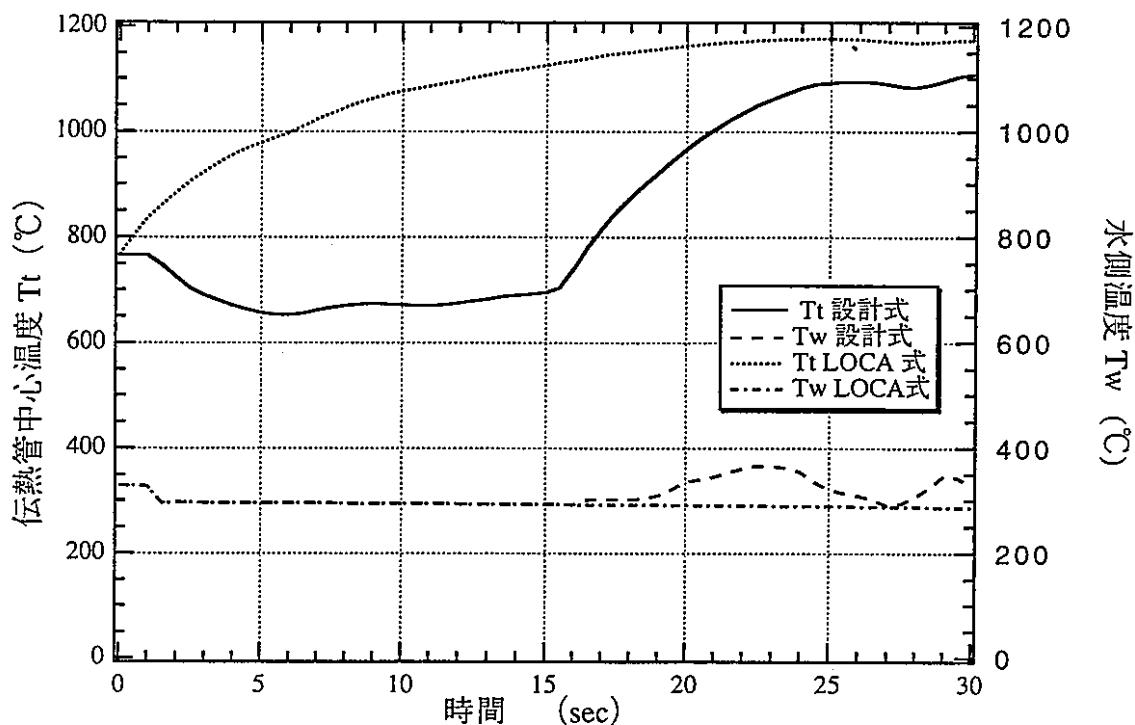


ケース N6 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク 8、メッシュ番号14)

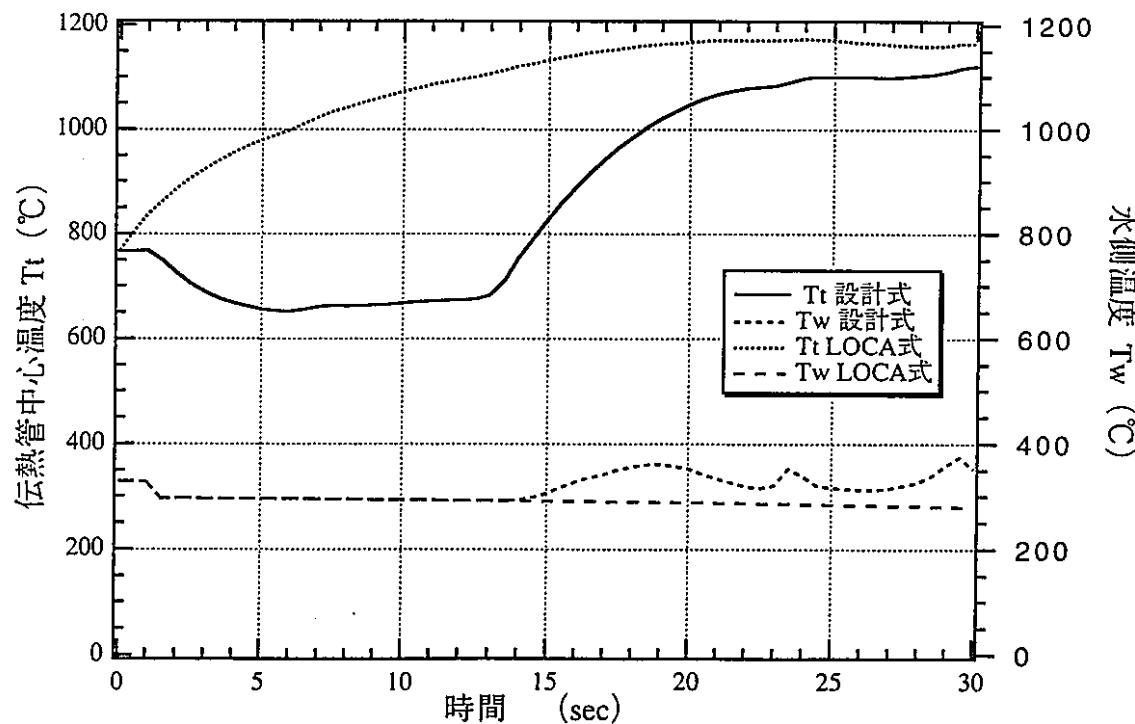


ケース N7 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク 8、メッシュ番号14)

図3.2(6)-4 伝熱管中心温度と水側温度 (起動時水側流量 10 %からのプロ-

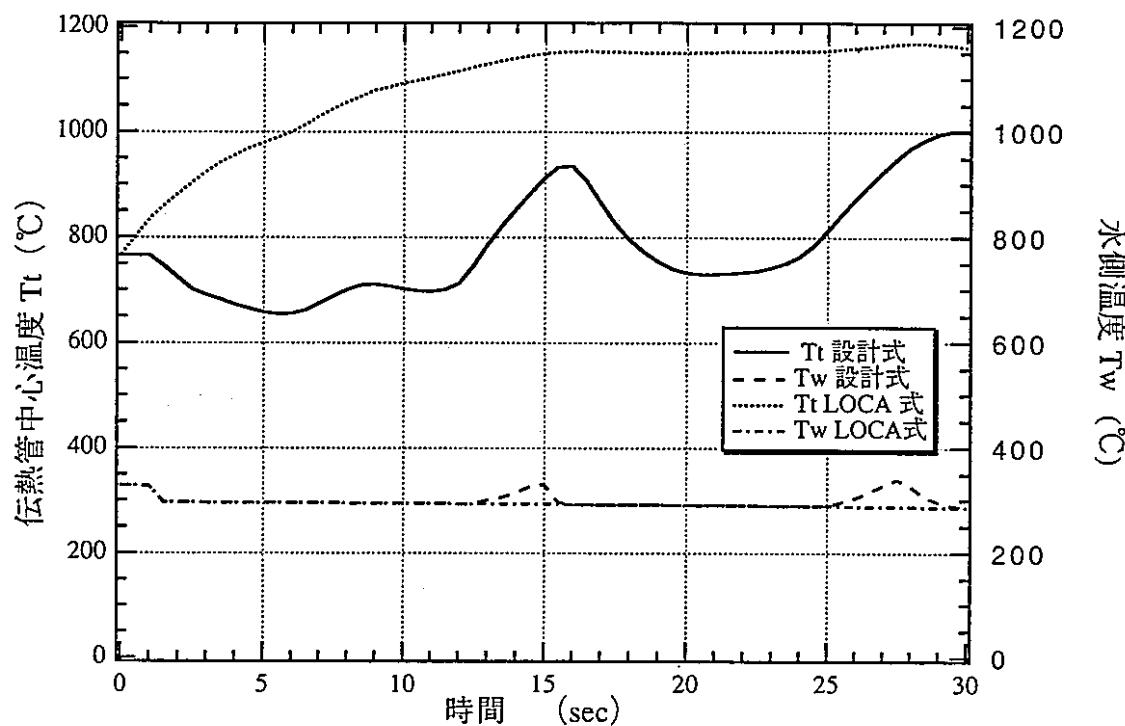


ケースN6 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク 11、メッシュ番号14)

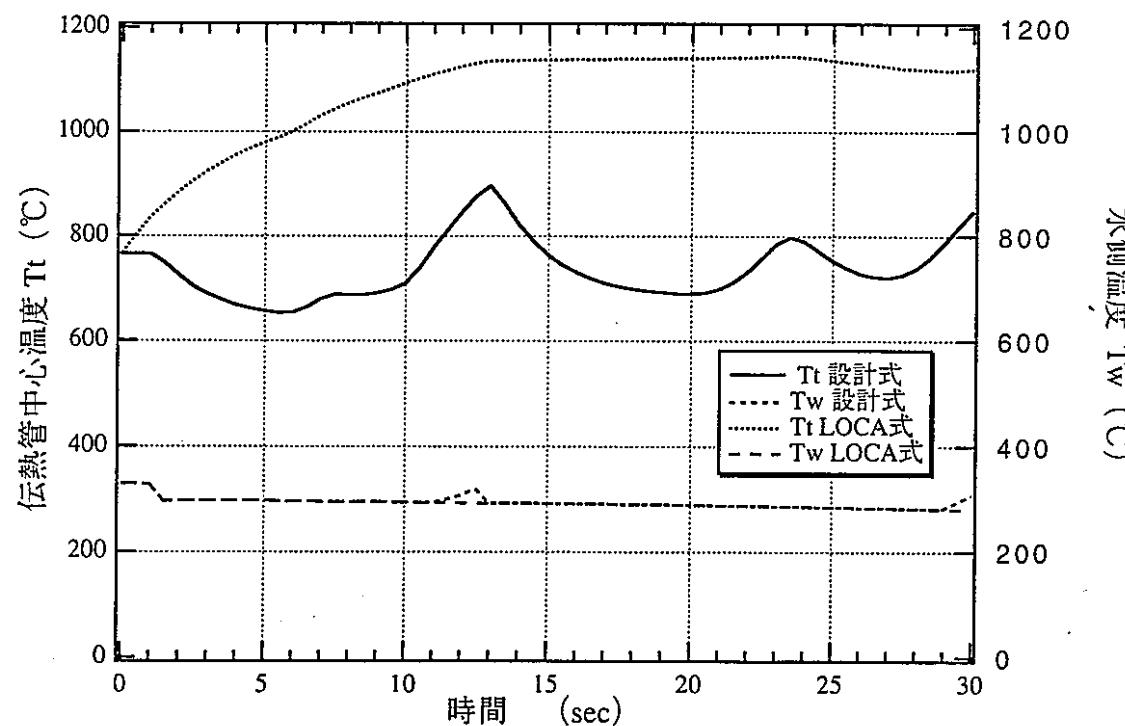


ケースN7 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク 9、メッシュ番号14)

図3.2(6)-5 伝熱管中心温度と水側温度 (起動時水側流量 10 %からのプロー)



ケースN6 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク 12、メッシュ番号14)



ケースN7 (新値 3B*1、4B*2) (EVリンク 10、メッシュ番号14)

図3.2(6)-6 伝熱管中心温度と水側温度 (起動時水側流量 10 %からのプロ-

4. RELAP5/Mod.2³⁾による水ブロー解析

その 1 作業では、放出弁容量旧値ベースで 100%出力運転からの水ブロー解析を行い、BLOOPH による解析結果と比較し、BLOOPH 解析の妥当性を検討した。ここでは更に、次の 2 つのケースについて RELAP5 による解析を行い、より広い見地から BLOOPH 解析の妥当性をチェックする。それぞれの解析目的も合わせて次に示す。

① 蒸発器（EV）伝熱管モデルの詳細化解析

……BLOOPH モデルでは、伝熱管 140 本を全て同じモデル（1 チャンネルモデル）で扱うが、実際には、リーク管、ナトリウム・水反応で加熱される管とされない管が存在すると考えられる。これら伝熱管をより現実的に異なるモデル（後述するように、加熱される管とされない管の 2 チャンネルモデル）で解析することにより、その影響を評価し、BLOOPH の伝熱管モデルの妥当性を検討する。

② 異なる放出弁条件での解析

……その 1 作業では、上記の通り、放出弁容量は旧値ベースであり、設置基数も現状条件で解析を実施し、RELAP5 解析でも BLOOPH 解析と同様、伝熱管内水／蒸気極低流量域が発生することが確認された。放出弁容量を新値とし、設置基数を増加して放出弁条件を変えた場合も、BLOOPH 解析と同様な結果が得られることを確認する。

4.1 伝熱管モデルの詳細化解析

4.1.1 目的

その 1 作業では、EV、SH とも伝熱管はナトリウム-水反応の影響を無視した代表 1 チャンネルでモデル化した。しかしながら、水リーク時、リーク SG の伝熱管は水リーク及び Na-水反応の影響により、以下のように 3 つの種類に区分して考えることができる。

① 水リーク伝熱管

② Na-水反応により局所的に加熱される伝熱管（加熱伝熱管）

③ Na-水反応による局所加熱を受けない伝熱管（健全伝熱管）

このうち、水リーク伝熱管の数は、破損伝播が生じないとすれば 1 本であ

る。一方、加熱伝熱管の数はリーク規模にも依存するが数 kg/s 程度のリークであれば十数本である。

ここでは、BLOOPH に比べて、様々な体系を比較的に容易にモデル化できる RELAP5/Mod.2 を用いた解析により、この加熱伝熱管が水ブロー挙動、特に、極低流量域の発生に及ぼす影響を把握する。

4.1.2 解析モデルと解析条件

RELAP5 による解析の主要解析条件とモデル化について以下に示す。

- ① 初期運転状態は、100% 出力運転状態とする。定常状態で加熱、その後、ブローを開始するものとする。
- ② リーク SG (EV) の伝熱管としては、加熱伝熱管と健全伝熱管をモデル化し、1 本のリーク伝熱管は無視する。
- ③ 加熱伝熱管本数は、SWAT-3、Run-19 の反応域温度分布の検討結果を参考に 14 本（全伝熱管本数 140 本の 10%）とし、健全伝熱管は残り 126 本とする。
- ④ 水リーク位置（モデル上は加熱位置）は EV 管東部下部とする。管束下部は初期加圧水状態であり、加熱によるブロー中管内水流動への影響が比較的大きいと予想されるためである。
- ⑤ 加熱伝熱管を考慮した解析モデルを図 4.1-1 に示す。EV 伝熱管は健全伝熱管（126 本を 1 チャンネル）と加熱伝熱管（14 本を 1 チャンネル）の 2 チャンネルでモデル化した。また、加熱部は管束下部として、パイプボリューム 270 の ②に設けるものとする。
EV 内を除き、解析体系、境界条件はその 1 作業のものと同じである。
比較のため、その 1 作業での伝熱管 1 チャンネル（健全伝熱管）モデルを図 4.1-2 に示す。
- ⑥ Na-水反応による加熱条件は保守的に 1100°C、5000 kcal/m²h°C、0.5 m とする。
- ⑦ 水ブロー系設備はその 1 作業で実施した 1 チャンネルモデルによる結果と比較するため EV 入口 3B×1、EV 出口 4B×2 とし、それぞれ旧値を用い

るものとする。

- ⑧ 水ブロー系の運用（弁作動時間遅れ等）はその1作業通りとする。

4.1.3 計算手順

解析計算の手順を以下に示す。

- ① その1作業の1チャンネルモデル（図4.1-2 参照）のデータを基に、2チャンネルモデル（図4.1-3 参照）でのデータを作成し、定常計算を行う。この計算結果がその1作業の1チャンネルの定常計算結果と変わりの無いことを確認した。
- ② Na-水反応による加熱条件（1100℃、5000 kcal/m²h℃、0.5 m）を、パイプボリューム270の②に設けるため、EV管東部のボリュームを変更する（図4.1-1 参照）。このモデルで定常計算を行い、計算結果がその1作業の1チャンネルの定常計算結果と変わりの無いことを確認した。
- ③ 図4.1-1のモデル図より、Na-水反応による加熱条件（1100℃、5000 kcal/m²h℃、0.5 m）を、パイプボリューム270の③として設け、定常計算を行った。尚、加熱条件を与えた場合のタイムステップの最大値は、その1作業の1/10とし数値計算を安定化させた。
- ④ 手順③での定常化確認後、各弁を作動させ水ブロー計算を行った。

4.1.4 定常計算

本解析の定常計算は、計算モデルの変更（1チャンネル→2チャンネル）に伴う計算条件（4.1.2 解析モデルと解析条件を参照）の変更以外は、その1作業の解析条件を使用し定常計算を行った。

上記計算手順③における、加熱条件下での定常計算（実際にはリークが発生して、検出される前の状態）の加熱チャネルと健全チャネルの流量変化の結果を図4.1-4に示す。（図中130はEVダウンカマ入口、310はEVコイル出口を示す。）

両者とも流量は安定しており、チャンネル間の振動等は生じていない。

なお、局所加熱部の水側熱伝達率は、通常の18000 kcal/m²h℃（サブクール

核沸騰) から 1900 kcal/m²h°C (サブクール膜沸騰) に、1/10 の値に小さくなるが、伝熱管 1 本当たりの水側流量は、健全管 0.75kg/s、加熱管 0.73kg/s である。また、蒸気側出口温度は、健全管 360°C、加熱管 364°C 程度の差であり、SG 全体熱流動に及ぼす局所加熱の影響は小さいと言える。

4.1.5 水ブロー計算結果と考察

上記手順③で 100% 定格出力運転状態の定常確認後、水ブロー計算を行った。前述の通り、境界条件はその 1 作業の解析条件と同じであり、計算時間は、100 秒間とした。

EV コイル部各チャンネルの温度、流量、熱伝達率及びクオリティの計算結果をチャンネル間で比較して図 4.1-5～図 4.1-8 に示す。また、1 チャンネルモデル（その 1 作業の結果）と 2 チャンネルモデルの結果を、放出弁流量、圧力及び伝熱管流量について比較して図 4.1-9～図 4.1-12 に示す。

先ず、2 チャンネルモデルの解析結果により、健全伝熱管と加熱伝熱管との差異を以下に述べる。比較部位は、健全伝熱管 PV220 (パイプボリューム 220) に対して、加熱伝熱管 PV270 (パイプボリューム 270) とする。

① 図 4.1-5 の EV コイル流量変化は、健全管と加熱管 1 本当たりの流量で示し、直接両者を比較した。また、比較部位は、EV ダウンカマ入口（図中の 130：以下同様）、EV コイル入口 (211 と 261)、出口 (310) と加熱部（健全伝熱管ではその部分に相当する位置）(220-2 と 270-2) の 4箇所とした。

EV コイル出口 (310) では、ブロー中全期間にわたって正流を維持するが、両者とも傾向、流量ともほぼ同一である。初期加圧水状態にあるダウンカマ入口 (130)、コイル入口 (211 と 261)、加熱部相当位置 (220-2 と 270-2) では、ブロー直後に逆流に転じ、減圧に伴う沸騰点の移動により、EV 出口側から順次流量零に近づき、やがて正流に戻るという大まかな挙動も両者ほぼ同様に見られる。但し、加熱管の加熱部 (270-2) では、ナトリウム側からの入熱が大きいため、減圧初期 (リーク信号発信後 2 秒) に下流側よりも早く、実質的な沸騰が始まる（図 4.1-8 のクオリティ変化参照）ため、流量が一旦停止 0 に近づく。また、これに伴い、EV ダウンカマ入口でも流量が一旦 0

に近づく。その後、加熱部の下流側ボリュームが沸騰し始める（5～8秒後）と、これにより流動は支配され再び逆流となる。

このような逆流中の流動の一時停止は、加圧管に特有な事象である。更に、その後、沸騰部がダウンカマ部、水室に移動してくると、流量振動が生じるのは両者同傾向である。これはクオリティの比較的小さな水が管東部に流入し、管東部で急速な加熱・沸騰が生じるためと考えられるが、加熱管の方が、初期はピークの大きな振動が生じている。

- ② EV コイルの温度変化（図 4.1-6）については、EV コイル入口（220-1 と 270-1）、出口（220-12 と 270-13）と加熱部（健全伝熱管ではその部分に相当する場所）（220-2 と 270-3）の3つの位置で比較した。コイル出口温度は、両者ほとんど同じ変化である。また、コイル入口温度も、多少の相違はあるがほぼ同様な変化を示した。加熱部の温度は、加熱管の方が、入熱が大きく、流量も前述した通り小さいことから5秒から25秒までは、健全管より30°C程度温度が高い状態が続く。その後、25秒以降90秒までわずかであるが加熱管の方が温度が低くなるのは、振動流量の違いによるものと考えられる。
- ③ EV コイル熱伝達係数変化（図 4.1-7）については、EV コイル加熱部（健全伝熱管ではその部分に相当する位置）（220-2 と 270-3）のみを比較した。局所加熱部の水側熱伝達率は、ブロー開始後、十数秒間程度まで健全管の熱伝達率が核沸騰の 20000 kcal/m²h°C 程度であるのに対し、加熱管の熱伝達率は 1900 から数百 kcal/m²h°C のオーダーでサブクール膜沸騰から飽和膜沸騰の小さい値となる。十数秒で加熱管、健全管共にクオリティが 1 の状態になった後は、加熱部の熱伝達率は健全管部に比べ 2～3 割程度低い値で推移する。しかし、上述した通り、流量の変化は振動パターンの相違はあるもののほぼ同等であり、ブロー時 SG 全体熱流動に及ぼす局所加熱の影響は小さいと言える。
- ④ EV コイルクオリティ変化（図 4.1-8）については、EV コイル入口（220-1 と 270-1）、出口（220-12 と 270-13）と加熱部（健全伝熱管ではその部分に相当する場所）（220-2 と 270-3）の3つの位置で比較した。加熱管の加熱部（270-3）では、健全管（220-2）より早く、また同じ加熱管の下流ボリューム

より僅かだが早く上昇し始めている。前述した通り、これがブロー直後の加熱部の特徴的な流量変化の要因と考えられる。

続いて、1 チャンネルモデルと 2 チャンネルモデルの計算結果を比較した。

- ⑤ 図 4.1-9 では、各 SG 出入口放出弁流量を比較した。各弁流量とも、両モデルはほぼ同じ値であり、加熱管の影響は極く小さい。
- ⑥ 図 4.1-10 では、各 SG 出入口圧力変化を比較した。各圧力とも両モデルはほぼ同じ値であり、加熱管の影響は極く小さい。
- ⑦ 図 4.1-11 と図 4.1-12 では、EV コイル加熱部（健全伝熱管ではその部分に相当する位置）(220-2 と 270-2) 及びコイル出口部(221, 310-1, 310-2)での流量変化を比較した。1 チャンネルモデルの流量(220-2 と 221) と 2 チャンネルモデルの健全管の流量(220-2 と 370-1)は、加熱部及びコイル出口とも良く一致している。2 チャンネルモデルの加熱部(270-2) 及びその近傍の流量は、前述した通り、健全管及び 1 チャンネルモデルの流量(220-2)と異なっている。

4.1.6 伝熱管モデル詳細化解析のまとめ

RELAP5Mod.2 コードにより、局所加熱される伝熱管（加熱部は初期加圧水部：EV 管束下部）と受けない伝熱管の 2 チャンネルモデルで 100% 出力運転状態での定常及びブロー計算を行い、その 1 作業の 1 チャンネルモデルでの結果と比較した。それらの結果は以下のようにまとめられる。

- (a) 定常状態（リーク検出・ブロー前）では、局所加熱により、加熱伝熱管出口の蒸気温度は約 4°C（約 1%）上昇し、流量は 0.2kg/s・本（約 3%）減少するものの、SG 全体の熱流動挙動への影響は極く小さく、流動不安定が生じることもなかった。
- (b) SG ブロー特性に関しても、SG 全体圧力、放出弁流量変化等、SG 全体の熱流動挙動に対する局所加熱の影響は極く小さいと言える。

但し、局所加熱部の流量変化に着目すると、ブロー開始直後の逆流時間域において、局所加熱部の早い時期での沸騰開始のため、短時間（1～2 秒）

ではあるが流量が零に近づく領域が発生する。

これは、管内冷却確保の観点からは不利な現象であり、過熱型破損評価上、必要に応じて考慮すべきである。

- (c) 以上より、局所加熱を考慮しない（現状では考慮できない）伝熱管モデルの BLOOPH による解析は、ブロー時の SG 全体の熱流動挙動把握のために妥当であることがわかった。但し、初期加圧水部（EV 管束下部）での水リーケを想定する場合の過熱型破損評価等においては、逆流時間域での低流量現象を念頭におく必要がある。
- (d) 初期加圧水部以外の場所での、局所加熱による管内流量への影響も評価しておくことが望ましい。

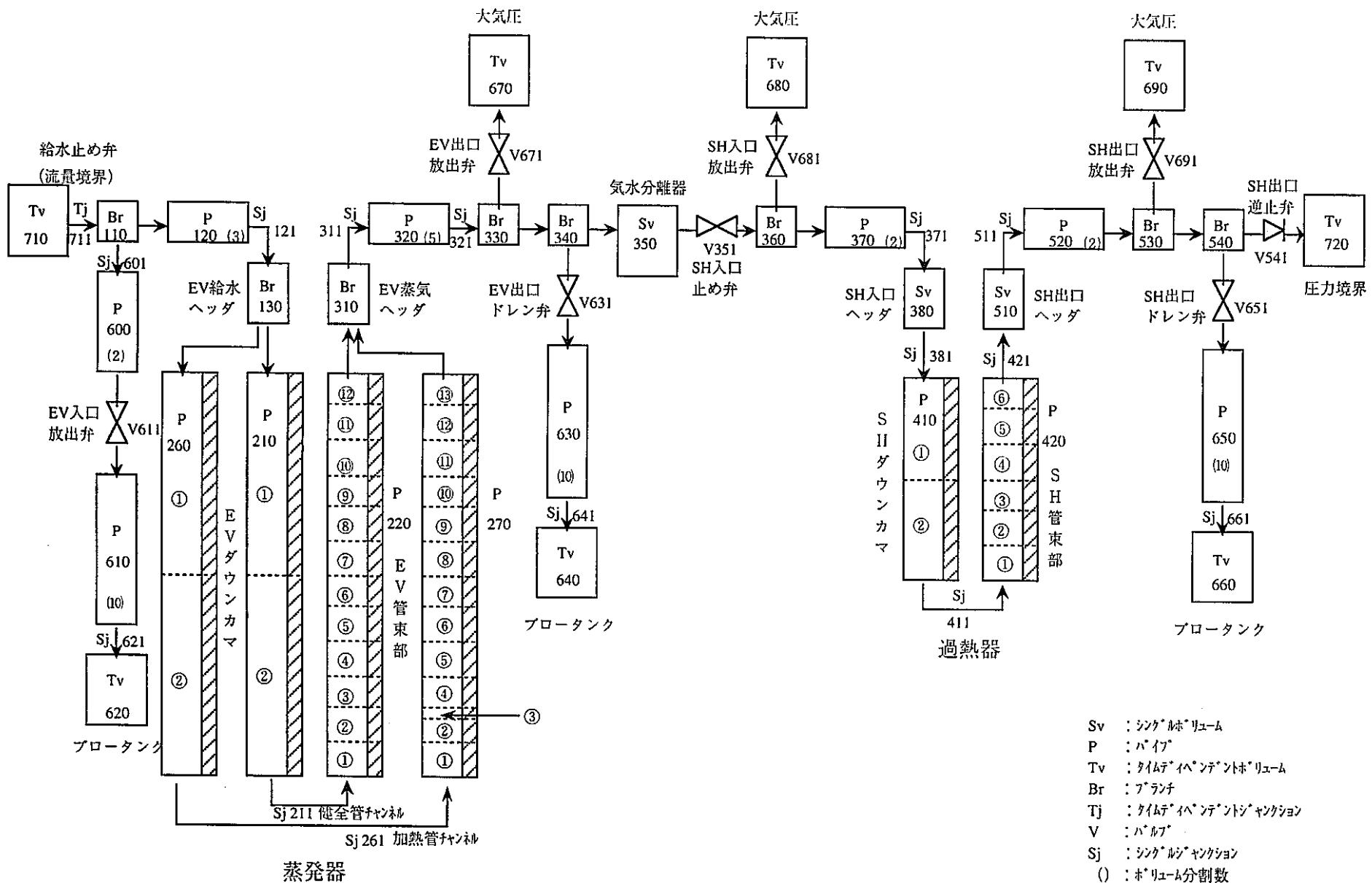


図 4.1-1 もんじゅ SG ブローダウン解析モデル (2 チャンネル: 加熱部考慮)

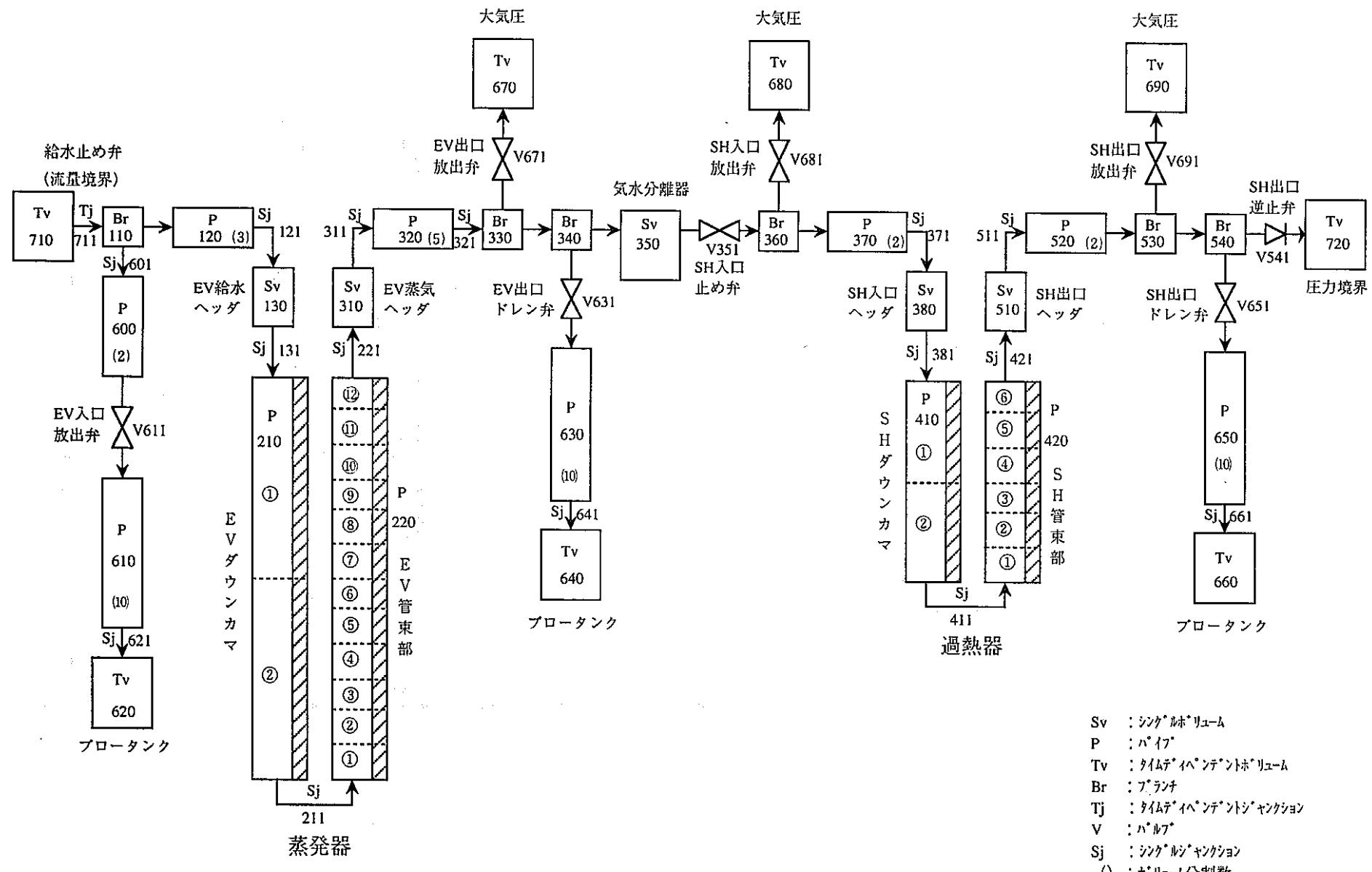


図 4.1-2 もんじゅ SG プローダウン解析モデル(1 チャンネル)

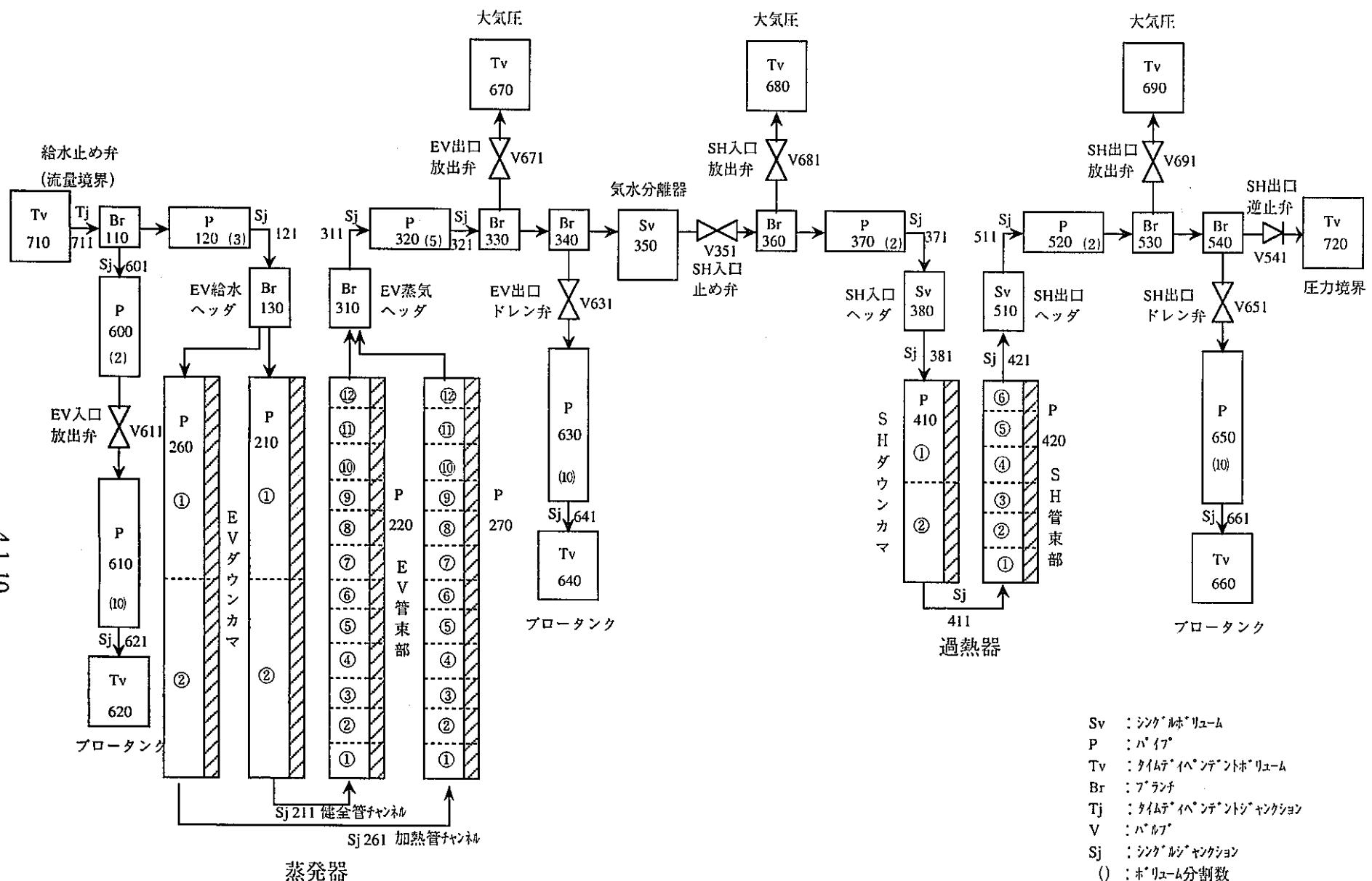
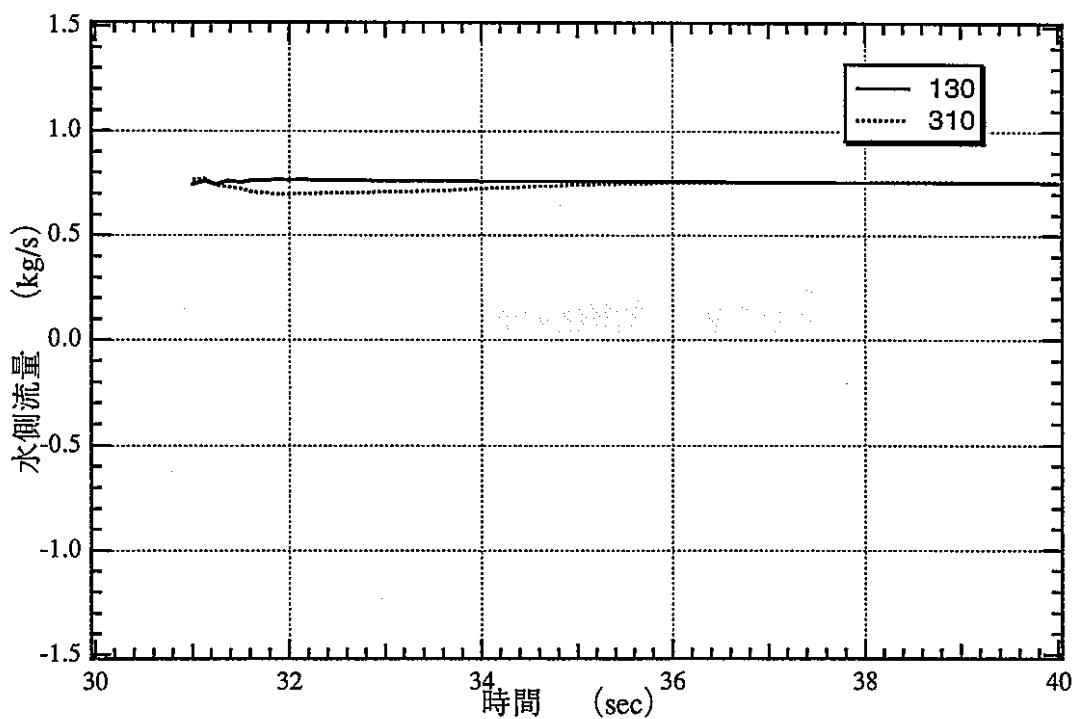
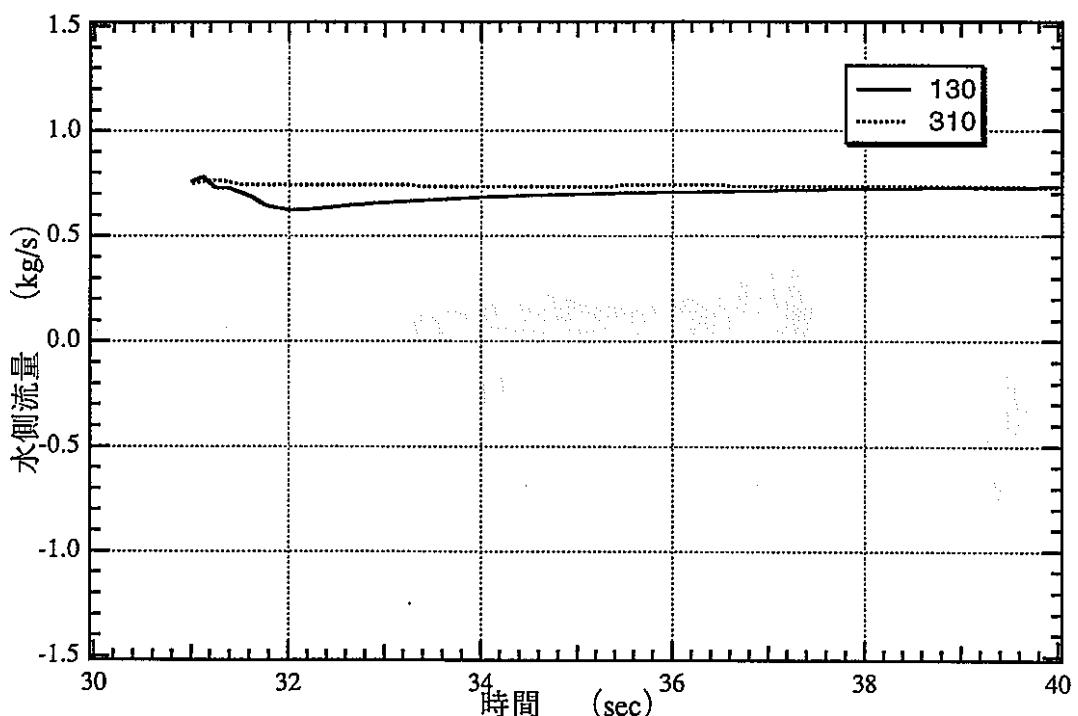


図 4.1-3 もんじゅ SG ブローダウン解析モデル

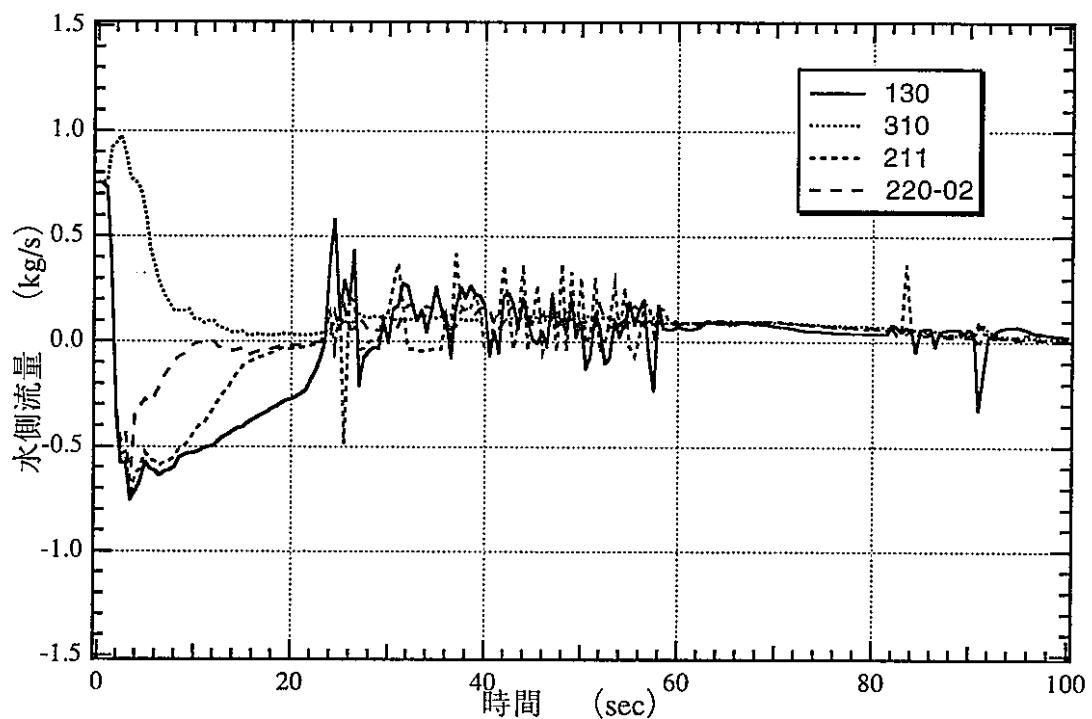


健全側（伝熱管1本相当）

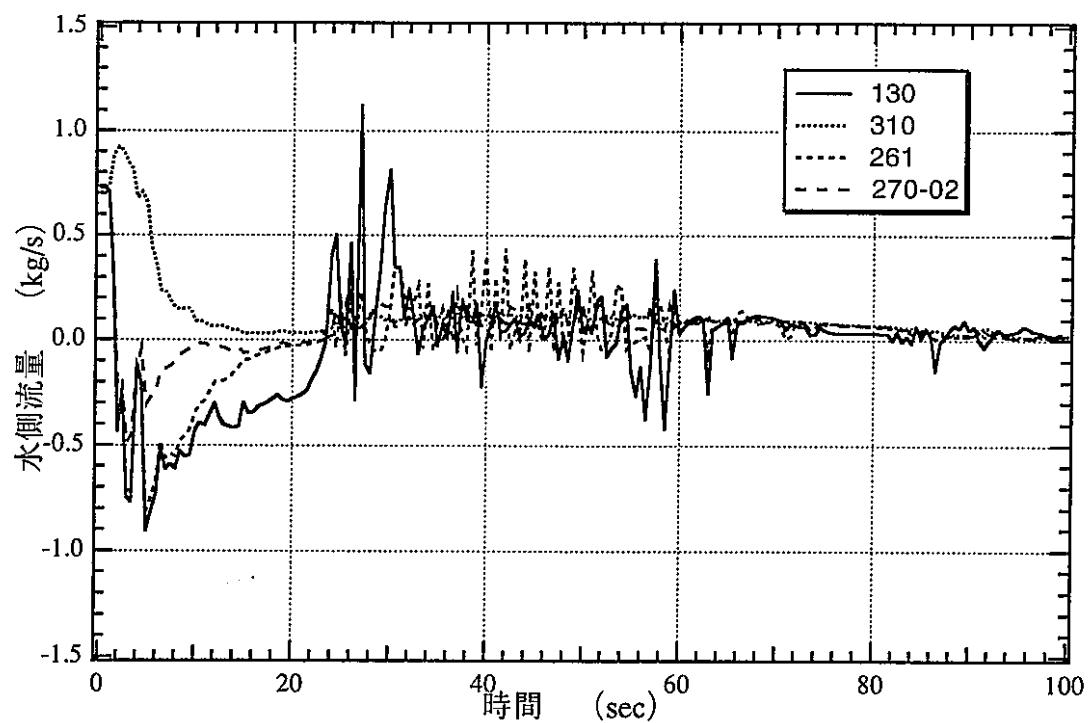


加熱側（伝熱管1本相当）

図 4.1-4 定常計算における流量変化(定常運転状態)
(2チャンネルモデル)

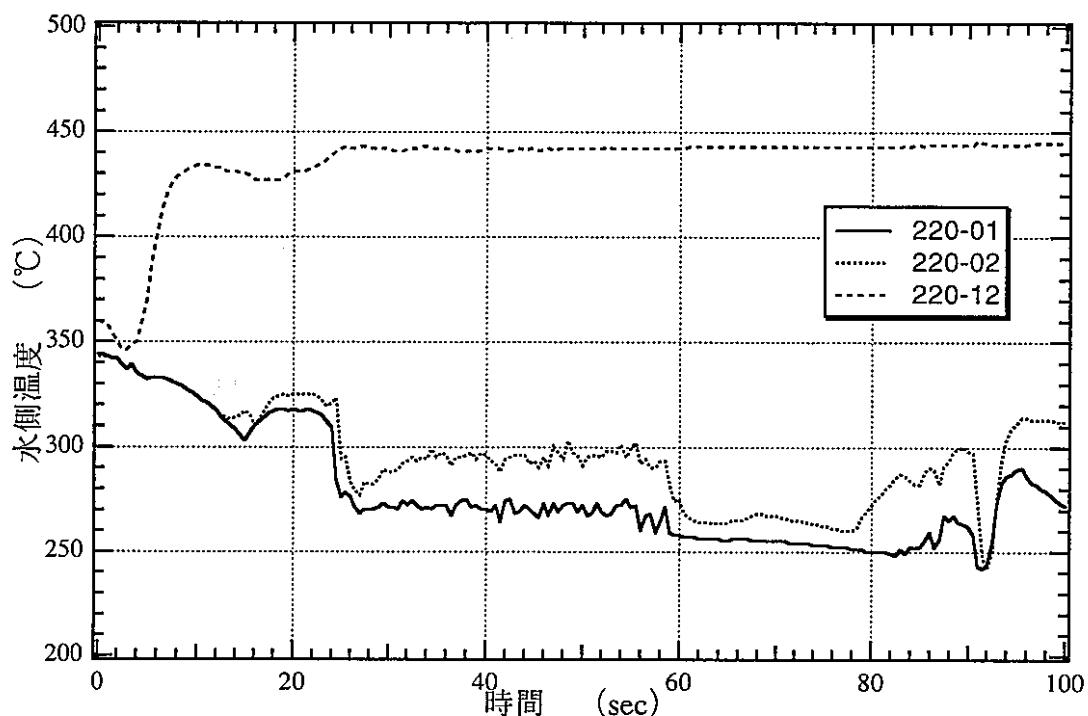


EV (健全管: PV-220) (伝熱管 1 本相当)

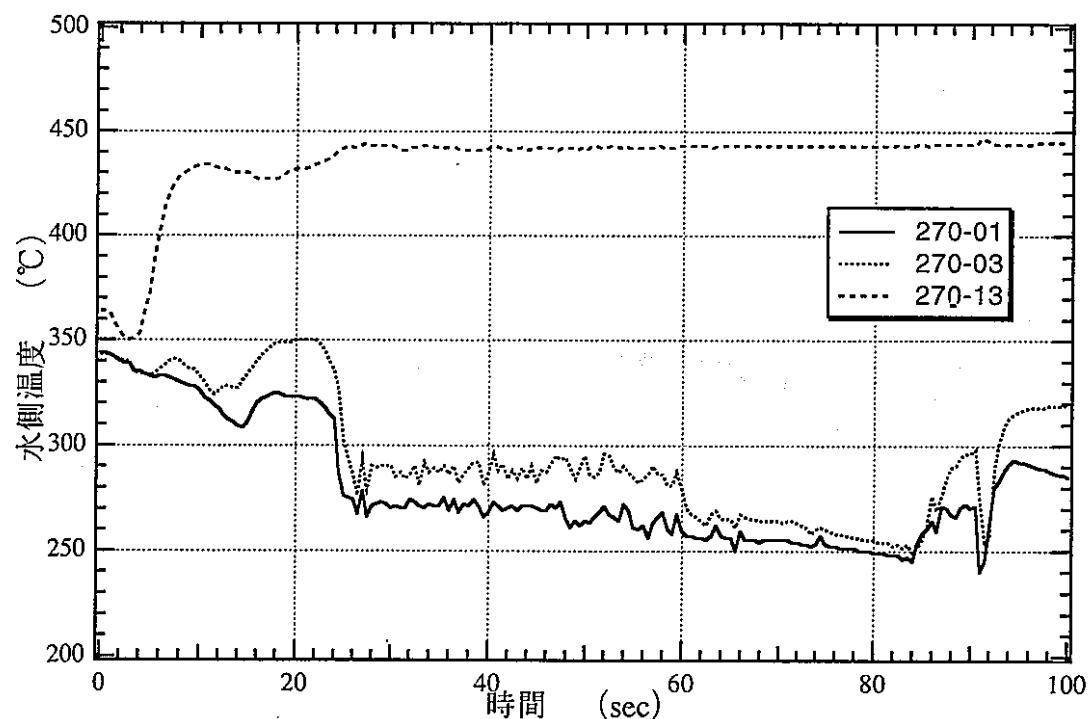


EV (加熱管: PV-270) (伝熱管 1 本相当)

図 4.1-5 E Vコイル流量変化 (定常運転状態からのブロー)
(2チャンネルモデル)

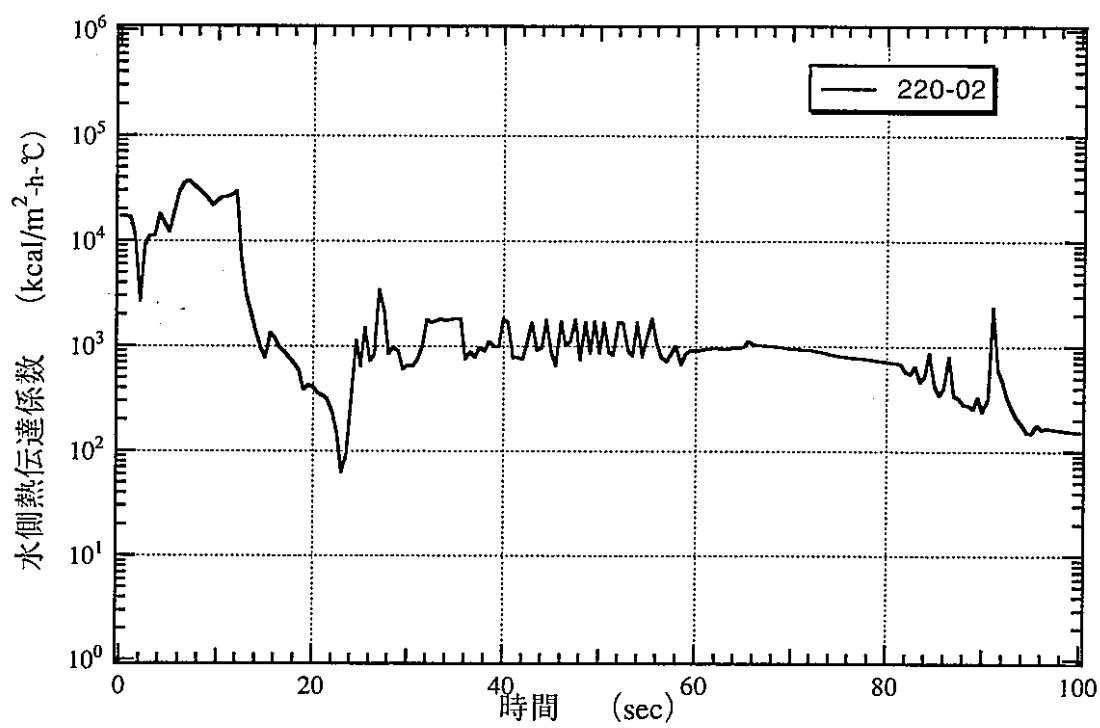


EV管東部（健全管：PV-220）

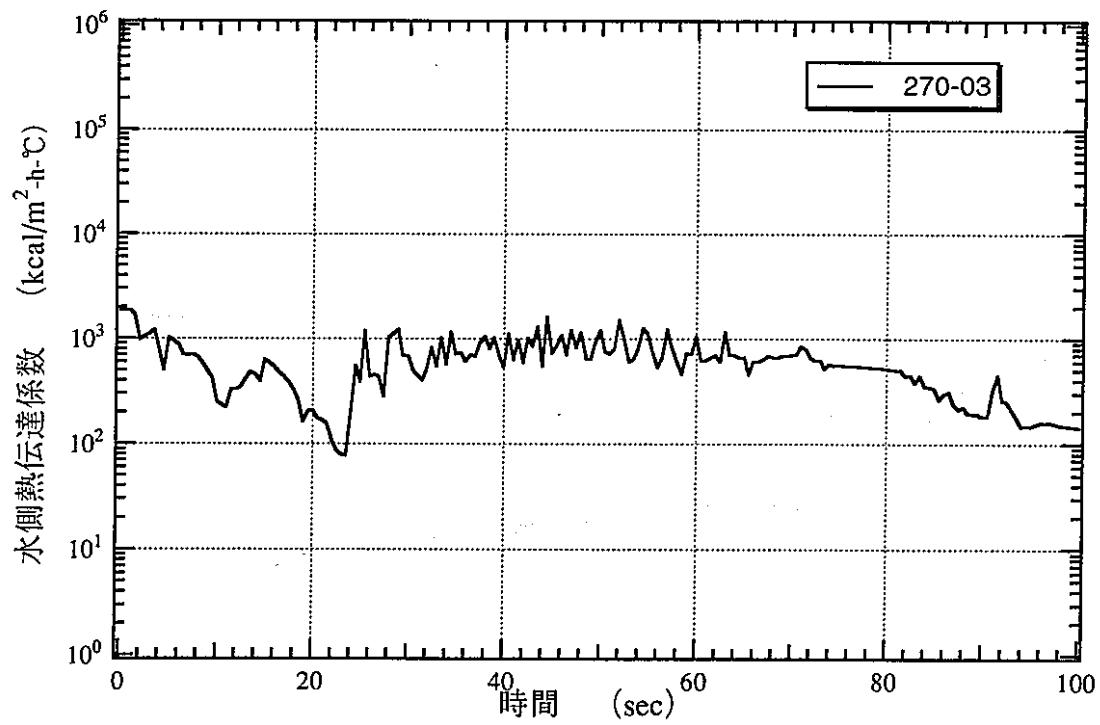


EV管東部（加熱管：PV-270）

図 4.1-6 E Vコイル温度変化（定格運転状態からのブロー）
(2チャンネルモデル)

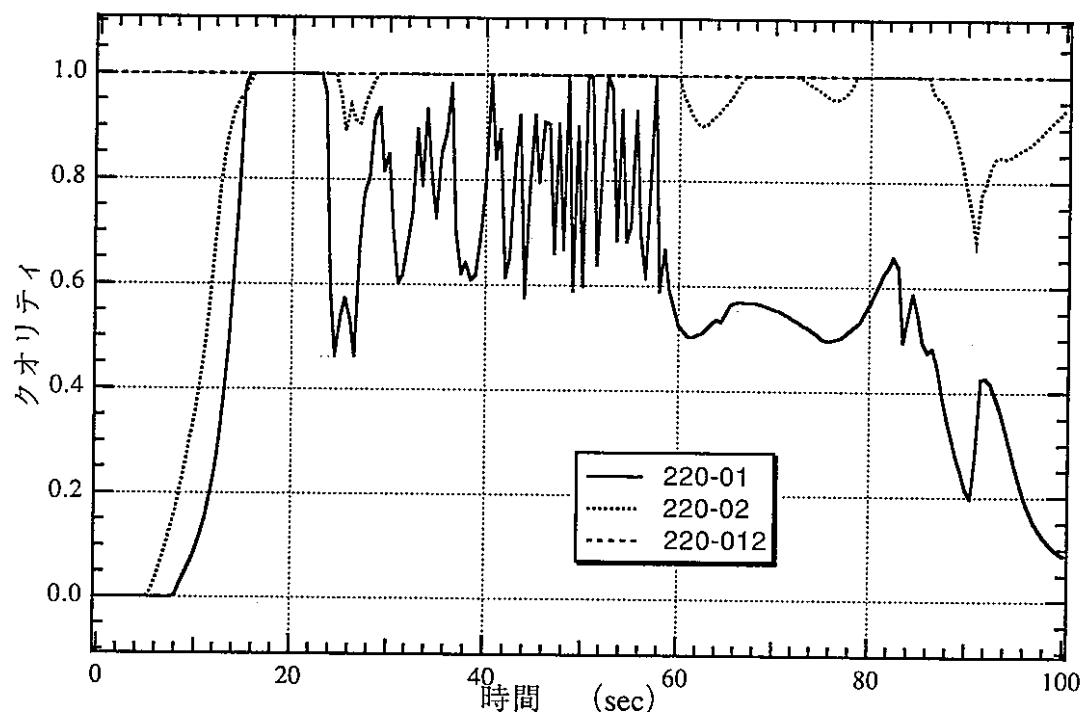


EV管東部（健全管：PV-220）

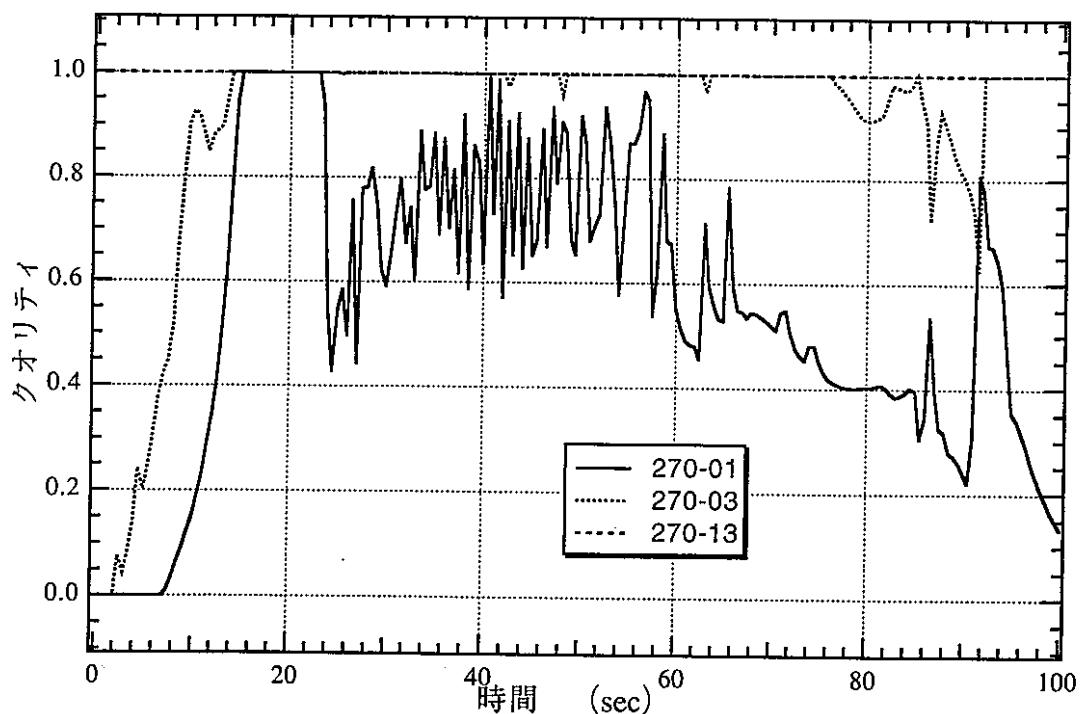


EV管東部（加熱管：PV-270）

図 4.1-7 EVコイル熱伝達係数変化（定格運転状態からのブロー）
(2 チャンネルモデル)

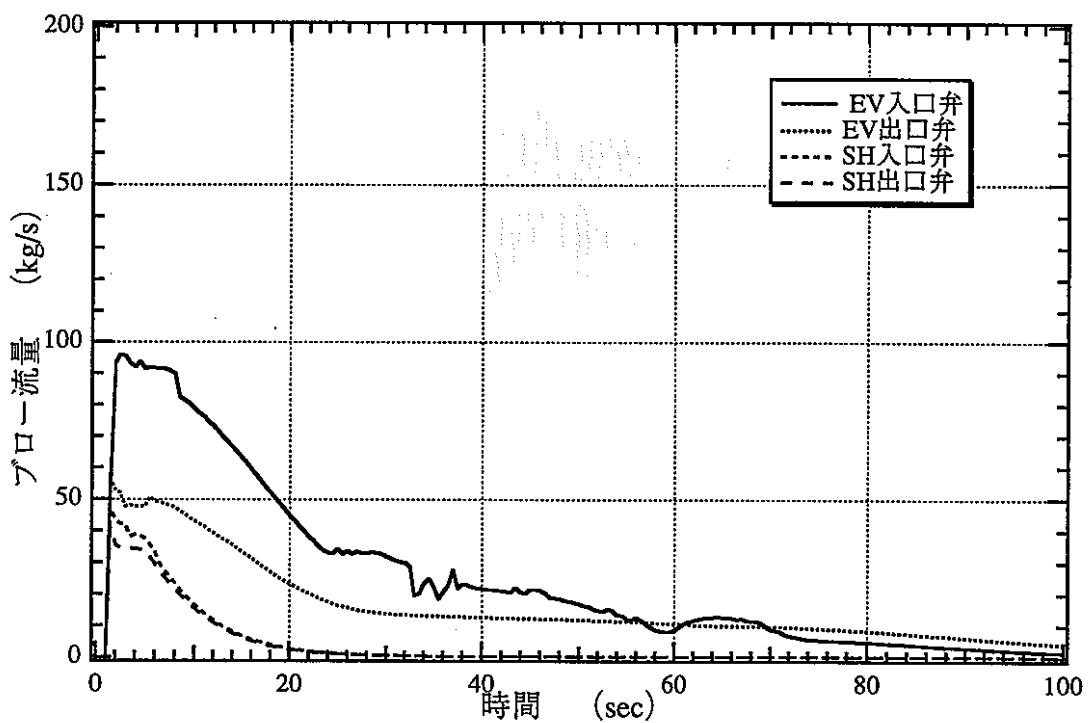


EV管東部（健全管：PV-220）

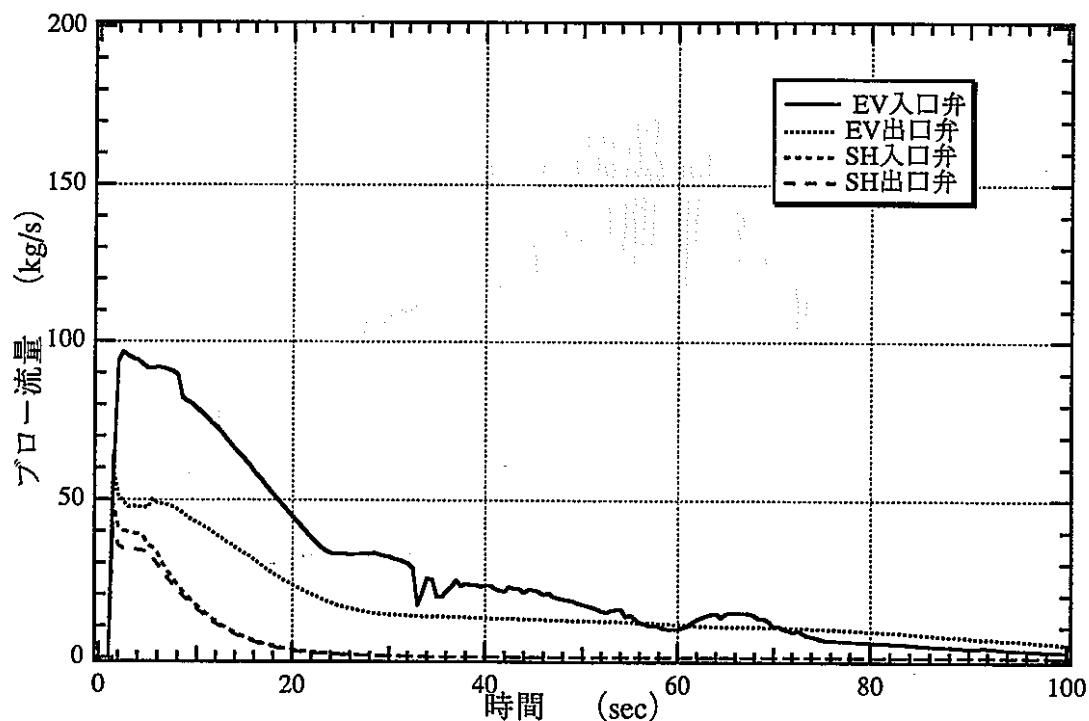


EV管東部（加熱管：PV-270）

図4.1-8 EVコイルクオリティ変化（定格運転状態からのブロー）
(2チャンネルモデル)

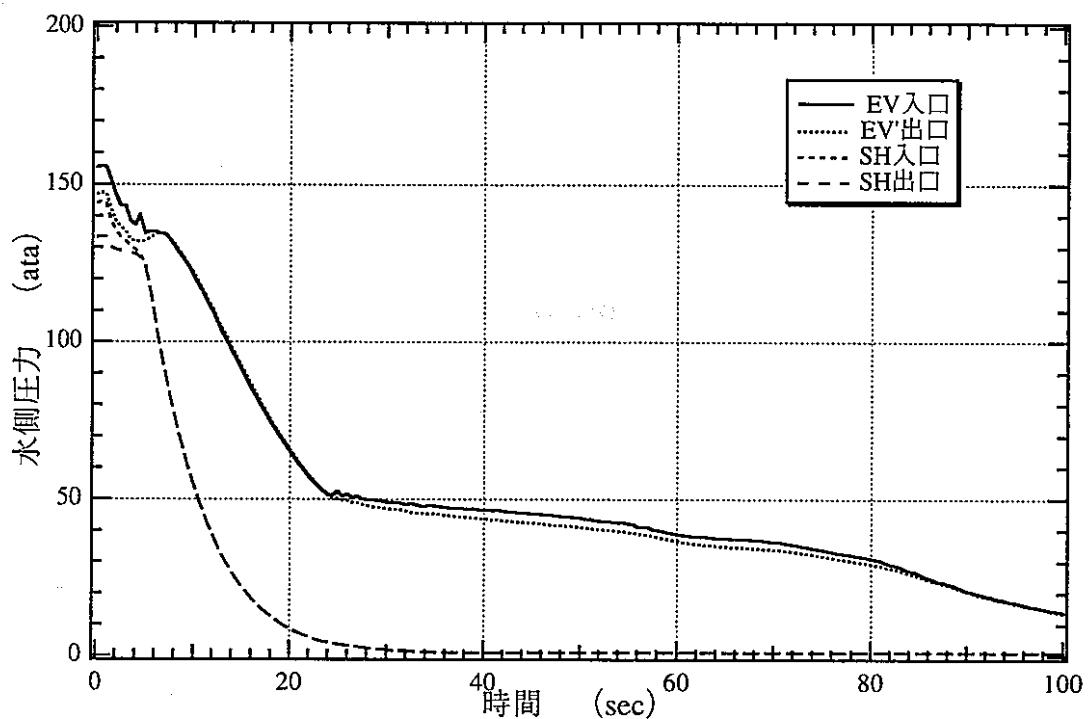


1 チャンネルモデル

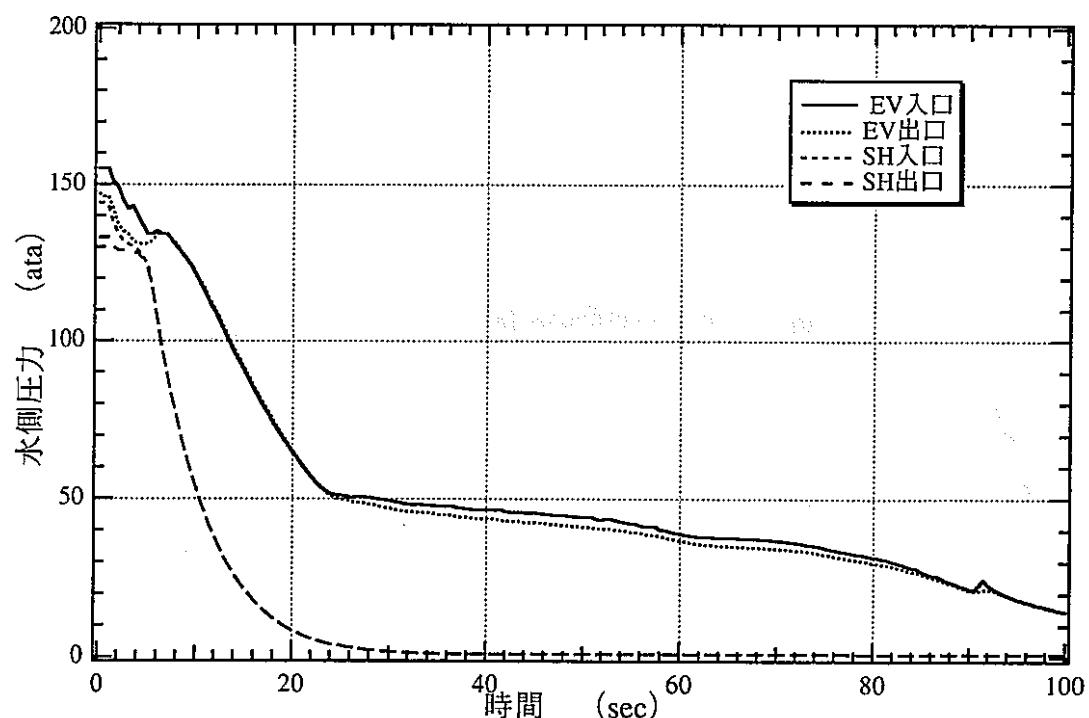


2 チャンネルモデル

図 4.1-9 SG出入口放出弁流量（定格運転状態からのブロー）

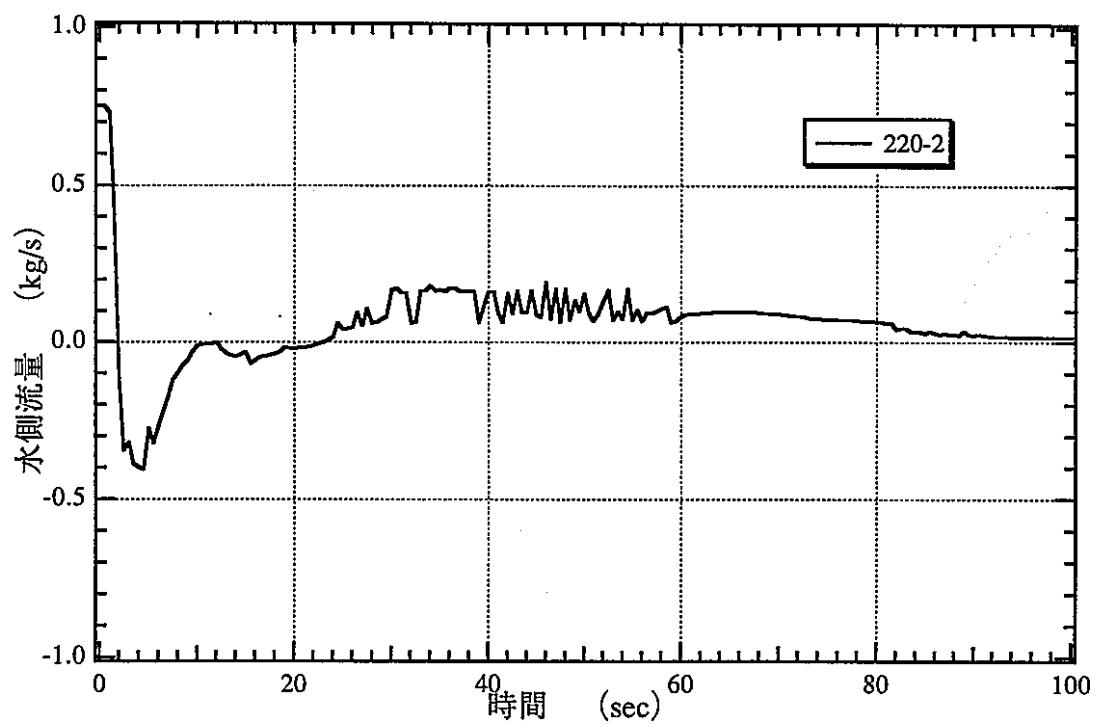


1 チャンネルモデル

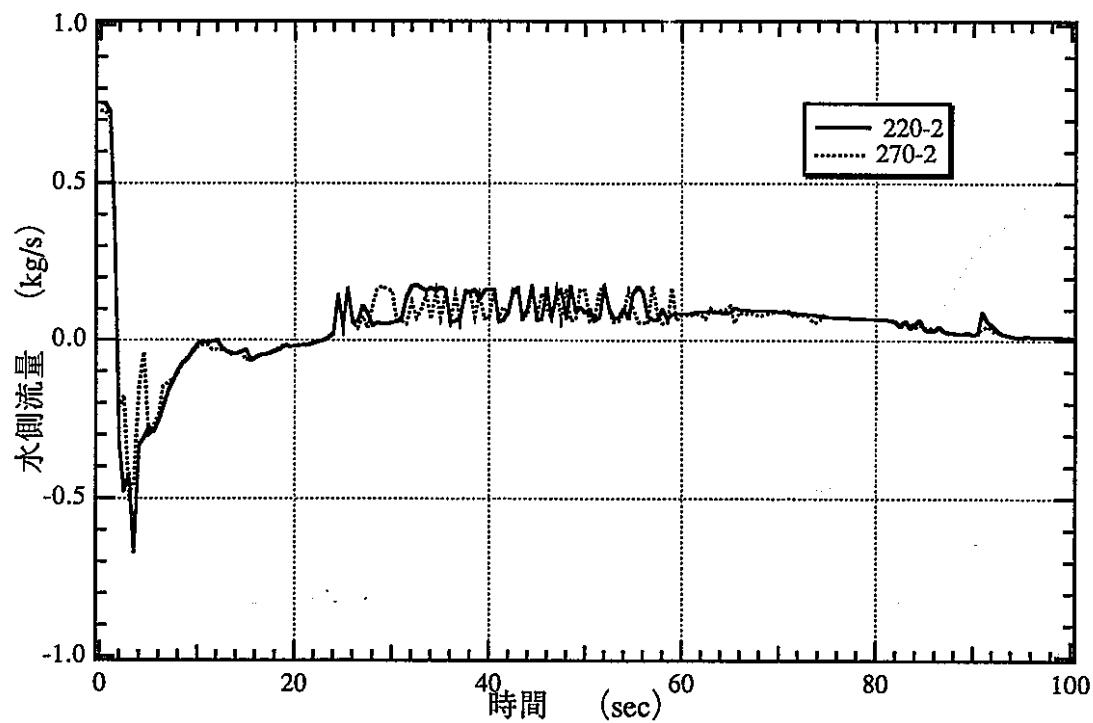


2 チャンネルモデル

図 4.1-10 SG出入口圧力変化（定格運転状態からのブロー）

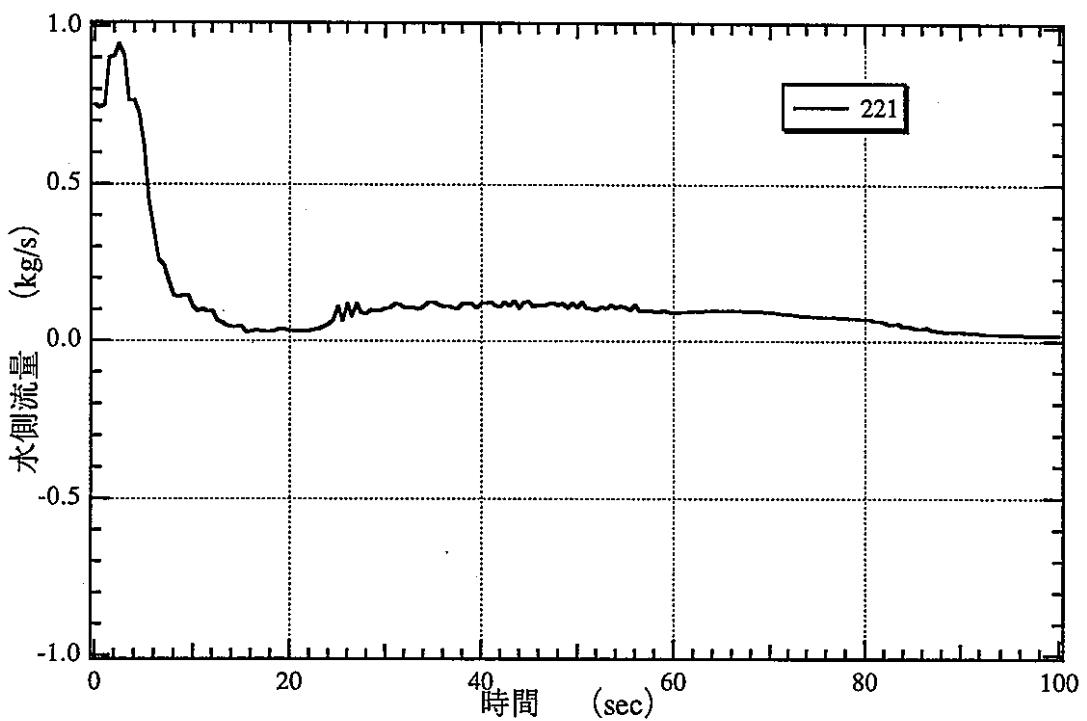


1 チャンネルモデル（伝熱管1本相当）

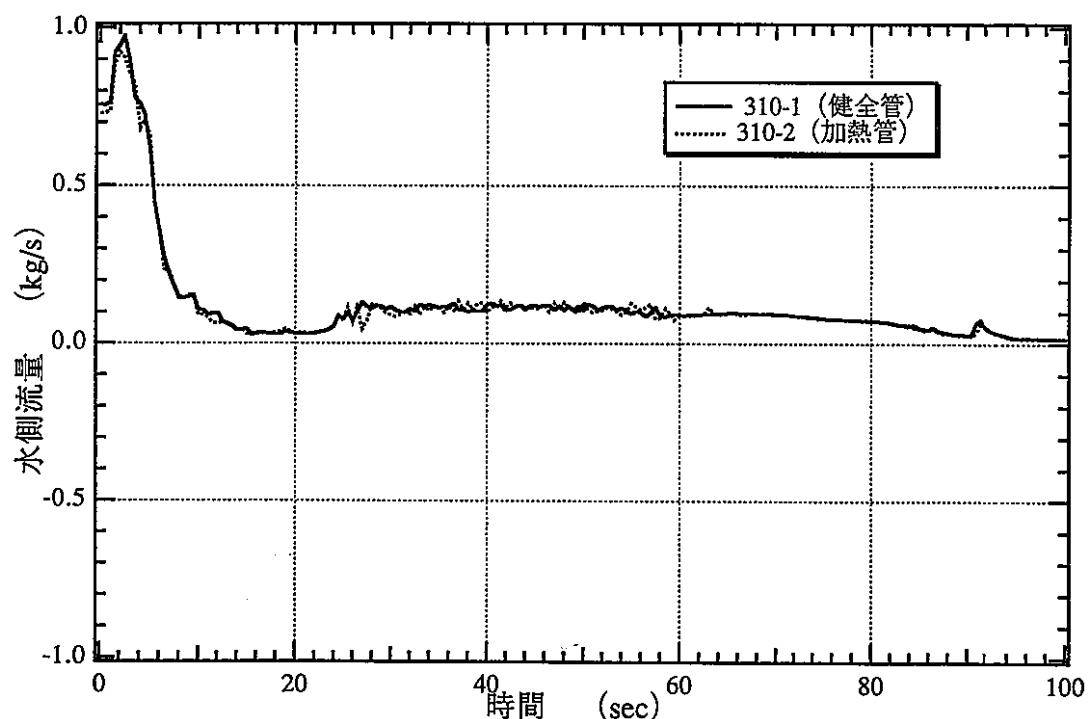


2 チャンネルモデル（伝熱管1本相当）

図 4.1-11 EVコイル流量（定格運転状態からのブロー）



1 チャンネルモデル（伝熱管1本相当）



2 チャンネルモデル（伝熱管1本相当）

図4.1-12 EVコイル流量（定格運転状態からのブロー）

4.2 異なる放出弁条件での解析

4.2.1 目的

その 1 作業では、放出弁容量は旧値ベース、設置基数は現状条件で水ブロー解析を実施し、BLOOPH 解析で発生した、伝熱管内水／蒸気極低流量域が RELAP5 解析でも発生することが確認された。放出弁容量を新値とし、設置基数を増加して放出弁条件を変えた場合も BLOOPH 解析と同様な結果が得られることを確認する。

4.2.2 解析モデルと解析条件

比較対象とする BLOOPH による計算は、2.2 節に示すケース N1 である。解析モデルと解析条件に関してその 1 作業と異なるのは放出弁条件だけであるが、主なものを以下に示す。

- ① BLOOPH と RELAP5 の解析モデルをそれぞれ図 4.2-1 と図 4.2-2 に示す。
- ② 初期運転状態は 100% 定格出力運転状態とする。
- ③ 境界条件は、その 1 作業と同じである。
- ④ 放出弁条件としては EV 入口放出弁 3B×1、EV 出口放出弁 4B×4 とし、それぞれ最新のデータ（新値）を使用する。変更前（その 1 作業での条件）と変更後（今回解析の条件）の値を表 4.2-1 に示した。

4.2.3 水ブロー計算結果と考察

BLOOPH と RELAP5 / Mod.2 の計算結果を比較して、以下の図に示す。

- | | |
|-----------------|-------------------|
| 図 4.2-3 | ： SG 出入口放出弁流量変化 |
| 図 4.2-4 | ： SG 出入口圧力変化 |
| 図 4.2-5 | ： EV コイル下部流量変化 |
| 図 4.2-6 | ： EV コイル上部流量変化 |
| 図 4.2-7 | ： EV コイル下部温度変化 |
| 図 4.2-8 | ： EV コイル上部温度変化 |
| 図 4.2-9 | ： EV コイル下部クオリティ変化 |
| 図 4.2-10 | ： EV コイル上部クオリティ変化 |
| 図 4.2-11～4.2-22 | ： EV コイル熱伝達係数変化 |

(a) SG 出入口放出弁流量変化を図 4.2-3 に示す。各放出弁とも、流量変化は両者ほぼ一致している。RELAP5 の解析による EV 出口放出弁流量で水リーク信号発信から 6 秒付近にピークが見られるが、これは SH 入口止弁閉止に伴う圧力上昇によるものと考えられる。

このピークが BLOOPH に見られず RELAP5 で見られるのは、RELAP5 の場合、EV 出口放出弁取付位置のボリュームの蒸気状態が、ブロー開始による圧力急減に伴い、僅かではあるが湿ってくる（クオリティで 0.99 以上）ことにより、SH 入口止弁閉止時のスティームハンマの影響がより顕著になることが考えられる。（また、放出弁流量も小さめとなる）

この蒸気の湿りの差の要因としては、EV 内伝熱モデルの差が考えられる。なお、上記のクオリティは約 20 秒以降は再び 1.0 に戻る。

また、RELAP5 解析による EV 入口放出弁流量で、約 8 秒後に急減部分が見られるが、これは入口放出弁下流のブロー配管内圧力が上昇し、この時点で放出弁の流量は臨界条件ではなく、上下の差圧に支配されるようになるためである。この状態は、約 14 秒程度まで続き、その後再び臨界となる。約 20 秒後の変曲点は、BLOOPH と同じ、単相から二相放出への変化によるものと考えられる。

(b) 図 4.2-4 から、SG 出入口圧力変化は両者比較的良く一致していることがわかる。SH 出入口の最終的な圧力が異なるのは、給水ヘッダ圧力が 8kg/cm²a 以下になると N2 ガスでバージされることを RELAP5 では模擬していないためである。EV 出入口で、20 秒付近まで RELAP5 の方が圧力低下がやや早く、その後は逆により緩慢になるのは、EV 入口放出弁の臨界流モデル及び伝熱管における伝熱モデルの違いが主要因と思われる。また、6 秒前後で RELAP5 の圧力が一旦上がるが、これは前述した通り、SH 入口止弁閉止に伴うスティームハンマによる圧力上昇がより顕著になったものと考えられる。

(c) EV 内流量変化は、BLOOPH と RELAP5 で同様の傾向を示している（図 4.2-5、図 4.2-6）。特に、約 10 秒近傍での極低流量域発生の状況は良く一致している。約 2 秒付近で、RELAP5 のノード 220-5、220-6 がピーク

をもっているが、その理由として数値解析上の圧力振動（Water-Packing）が考えられる。サブクール状態のボリュームが沸騰した直後、再びサブクール状態に戻った時に Water-Packing による圧力スパイクが発生したと考えられ、圧力パルスがプロット上、巾をもってしまったものと思われる。また、BLOOPH と RELAP5 を比較した時、RELAP5 のほうが総じて振動が目立つ理由は、BLOOPH では計算結果をスマージング処理して、プロット図を描いているが、RELAP5 は、出力点が粗く生データをそのままプロットしているためである。また、10 数秒後から EV ダウンカマ部及び水室で沸騰が始まると、数値解析上非常に周期の短い流量振動が発生している。この振動は、ダウンカマ部或は水室のクオリティの低い水が高温のコイル部に流入するとそこで急激な相変化が生じ、水は押し戻される、そのため相変化部の圧力が減少し、再び低クオリティ水が流入する、これらの繰り返しで発生するものと考えられる。そのため、沸騰熱伝達率も大きく振動していると考えられる。この際、流れと熱伝達率の振動が相乗している可能性もある。

- (d) EV 内水側温度変化は、BLOOPH、RELAP5 とも、コイル下部（図 4.2-7）で 10~15 秒に急激に温度上昇し、コイル上部（図 4.2-8）ではブロー直後~10 秒以内に急上昇する。しかし、ブロー後 80 秒付近での温度は、BLOOPH が全ての点で高く、特にコイル下部でその傾向は著しい。
- (e) EV 内クオリティ変化（図 4.2-9、図 4.2-10）で、解析時間 0 秒のクオリティが異なるのは、定常状態で同じクオリティ分布が得られなかつたためである。解析時間 20~70sec 辺りで BLOOPH はコイル最下端部のクオリティが低下しているが、RELAP5 では 80 秒過ぎから更に大きく下がって、100 秒では液単相に近い。対向流を含む RELAP5 の流動モデルの特徴が現われたものと考えられる。
- (f) EV コイル部熱伝達係数変化（図 4.2-11~図 4.2-22）は、全般的によく一致した傾向を示す。しかし、コイル下部（220-02、220-03）の解析時間中盤（30~70 秒）では、RELAP5 の方がクオリティが低いにも係わらず熱伝達係数が低い結果となっている。この時点での流量には大差ないことから、熱伝達モデルの相違（特にドライアウト・クオリティ）が、両

者の差異の要因となっていると考えられる。

- (g) 上記の両解析の比較検討の結果より、RELAP5 と BLOOPH の解析結果は、圧力及び流動挙動に関し、概ね一致した。特に、BLOOPH の結果で見られた極低流量域の発生が、RELAP5 の解析でも見られる。
- (h) ブロー後半部分で、RELAP5 の方が圧力降下がやや遅くなることや、ダウンカマ部、管束下部でのクオリティにやや差が生じるが、基本的には流動モデルの差、あるいは臨界流モデルの差によるものと考えられる。

4.2.5 異なる放出弁解析のまとめ

RELAP5/Mod.2 コードにより、その 1 作業での同コードによる解析から、放出弁の条件（容量、基数）を変更した解析を行い、BLOOPH による解析結果と比較した。その結果、放出弁条件を変えてても、RELAP5 と BLOOPH の解析結果は圧力及び流動挙動に関して、概ね一致することが確認できた。特に、伝熱管内水／蒸気極低流量域が同様に発生することがわかった。

表 4.2-1 SG 出入口放出弁条件変更

| | 変更前（旧値） | | 変更後（新値） | |
|-----------|---------|--|---------|--|
| EV 入口放出弁 | 3B*1 | $1.18 \times 10^{-3}(\text{m}^2/\text{1 基})$ | 3B*1 | $1.18 \times 10^{-3}(\text{m}^2/\text{1 基})$ |
| EV 出口放出弁 | 4B*2 | $4.36 \times 10^{-3}(\text{m}^2/\text{2 基})$ | 4B*4 | $10.8 \times 10^{-3}(\text{m}^2/\text{4 基})$ |
| EV 出口ドレン弁 | 4B*1 | $1.80 \times 10^{-3}(\text{m}^2/\text{1 基})$ | 4B*1 | $1.80 \times 10^{-3}(\text{m}^2/\text{1 基})$ |
| SH 入口放出弁 | 4B*2 | $3.94 \times 10^{-3}(\text{m}^2/\text{2 基})$ | 4B*2 | $5.28 \times 10^{-3}(\text{m}^2/\text{2 基})$ |
| SH 出口放出弁 | 4B*2 | $4.41 \times 10^{-3}(\text{m}^2/\text{2 基})$ | 4B*2 | $5.54 \times 10^{-3}(\text{m}^2/\text{2 基})$ |
| SH 出口ドレン弁 | 4B*1 | $1.80 \times 10^{-3}(\text{m}^2/\text{1 基})$ | 4B*1 | $1.80 \times 10^{-3}(\text{m}^2/\text{1 基})$ |

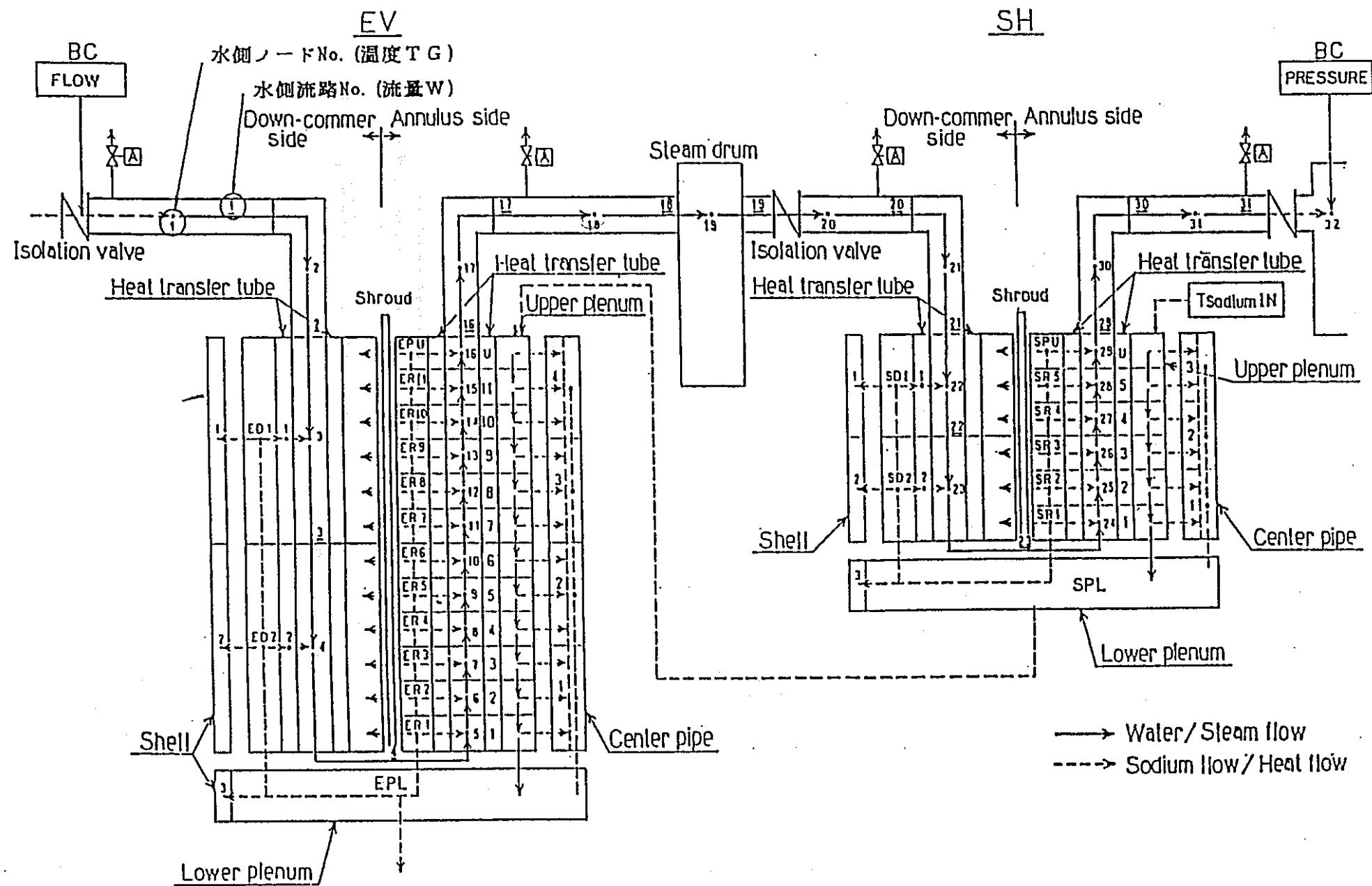


図 4.2-1 “BLOOPII”コードの計算モデル（水側ノード、流路番号の対応）

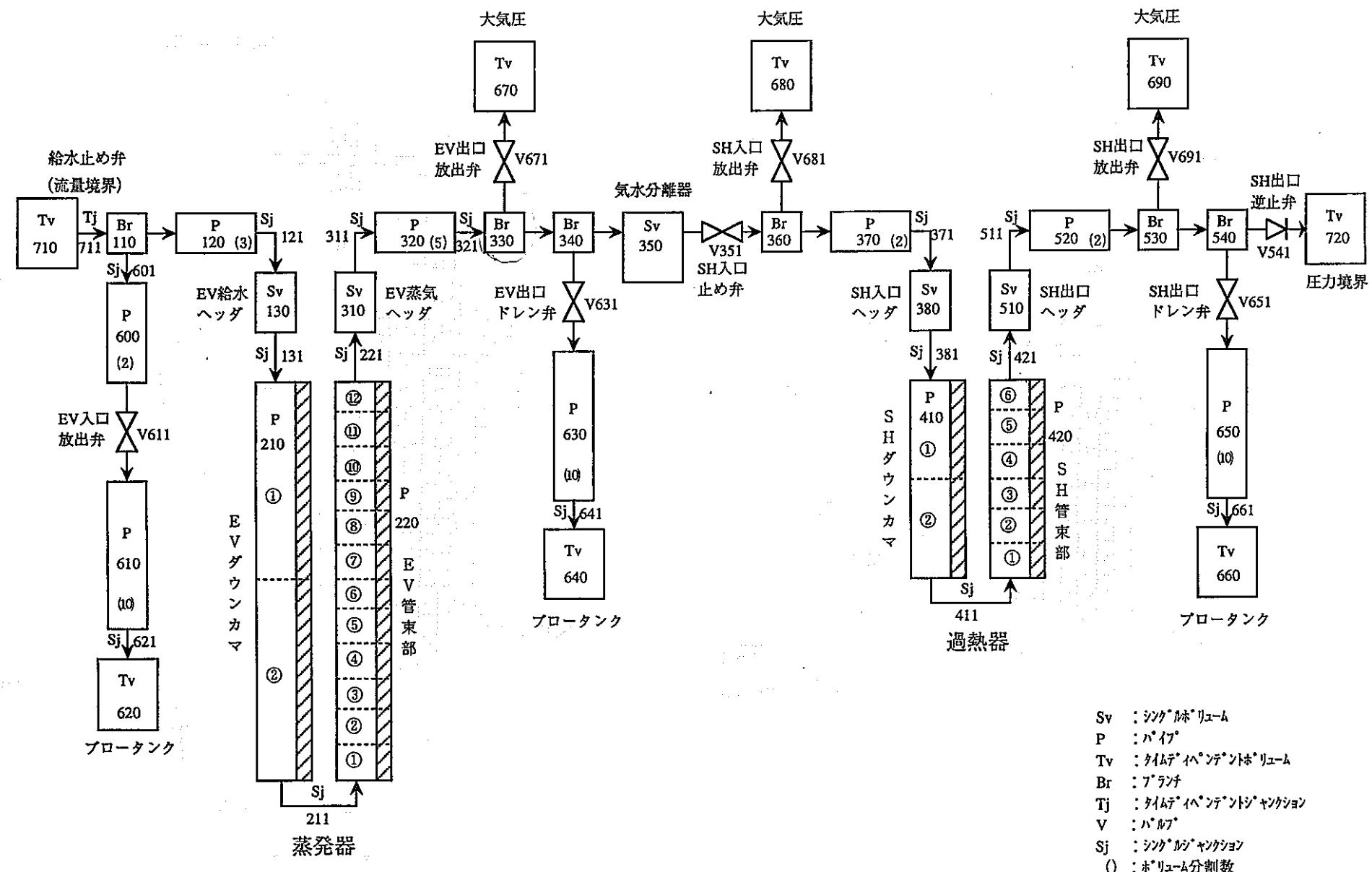
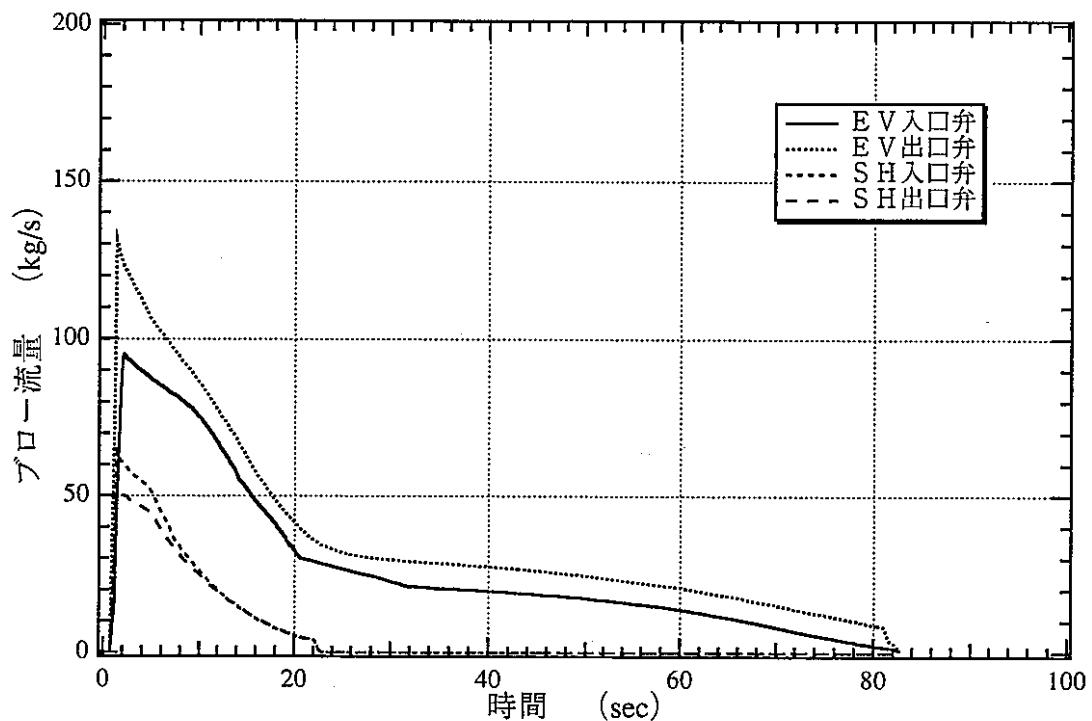
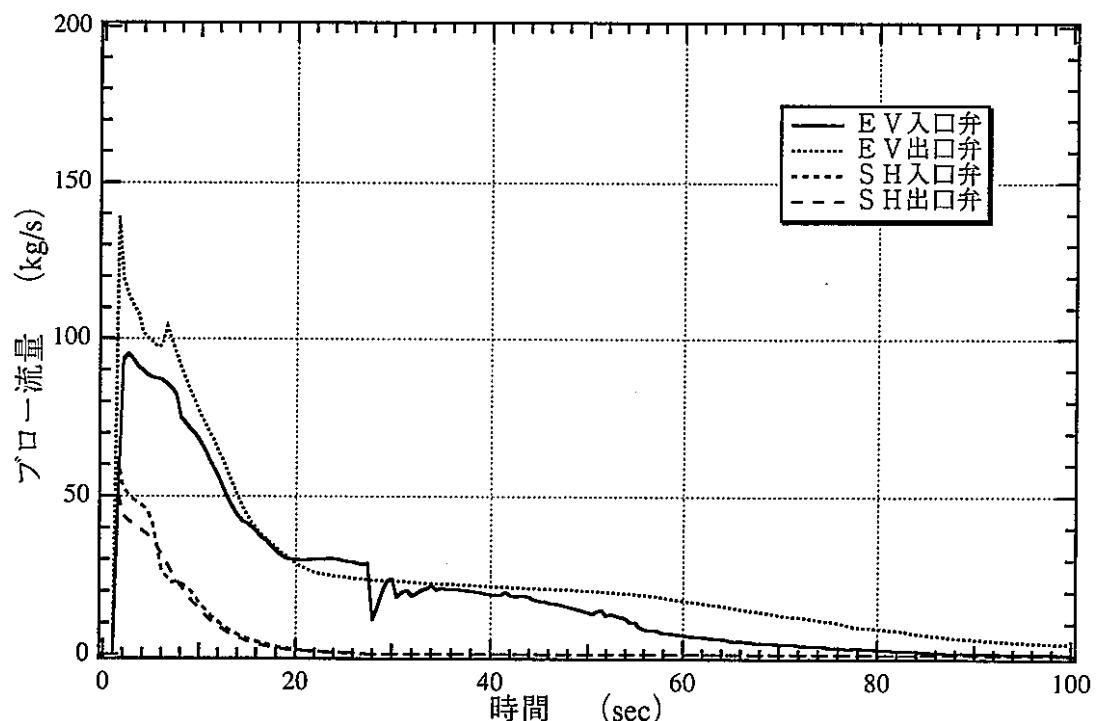


図 4.2-2 "RELAP" コードの計算モデル

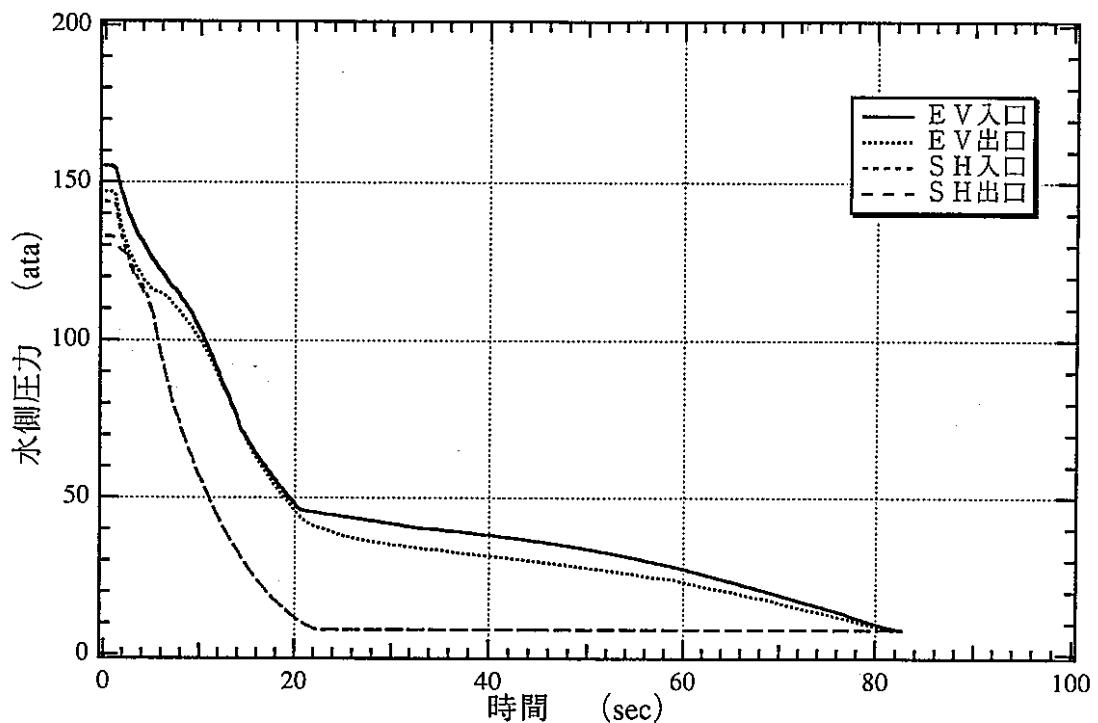


BLOOPH

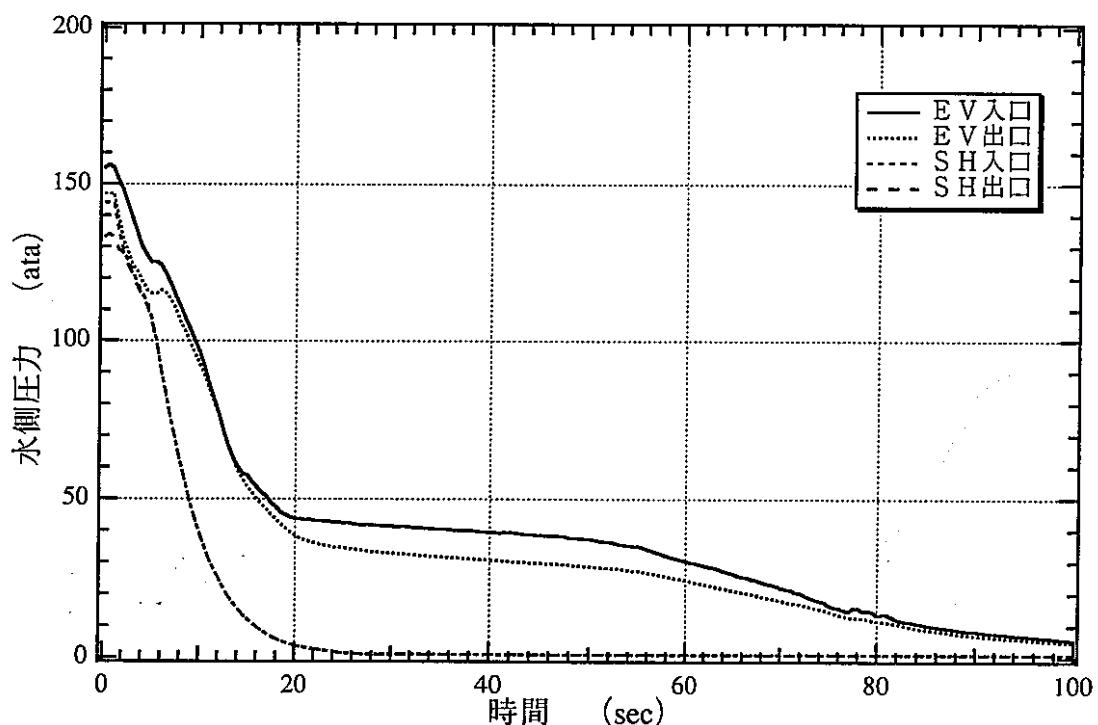


RELAP

図 4.2-3 SG出入口放出弁流量
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1、4B*4))

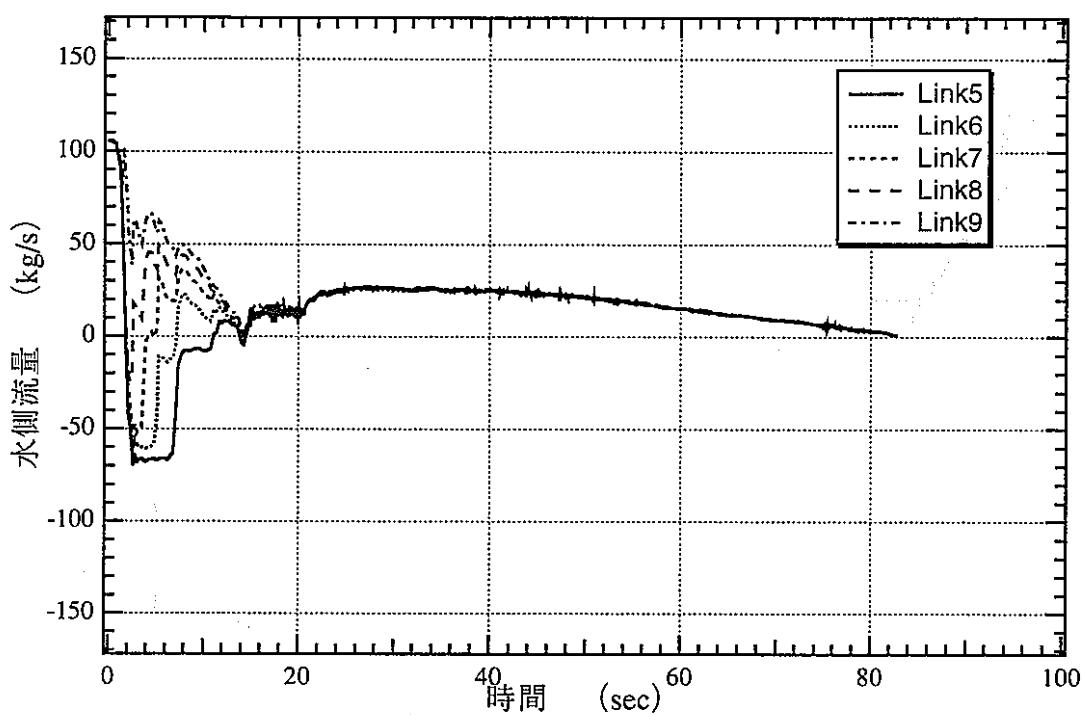


BLOOPH

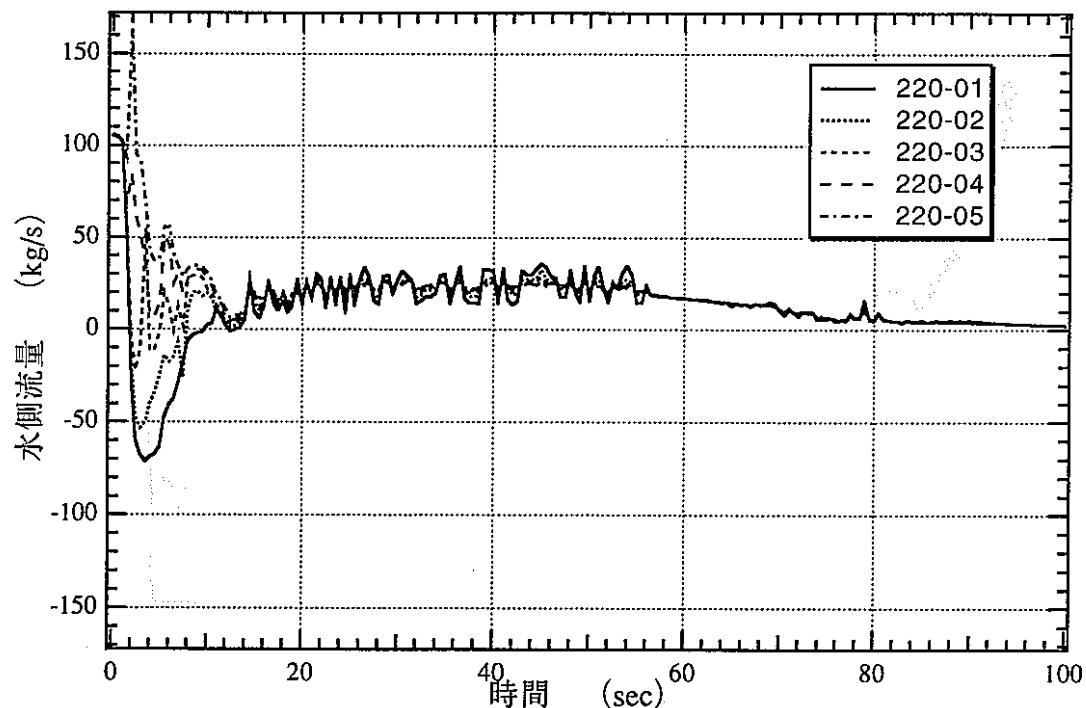


RELAP

図 4.2-4 SG出入口圧力変化
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1, 4B*4))

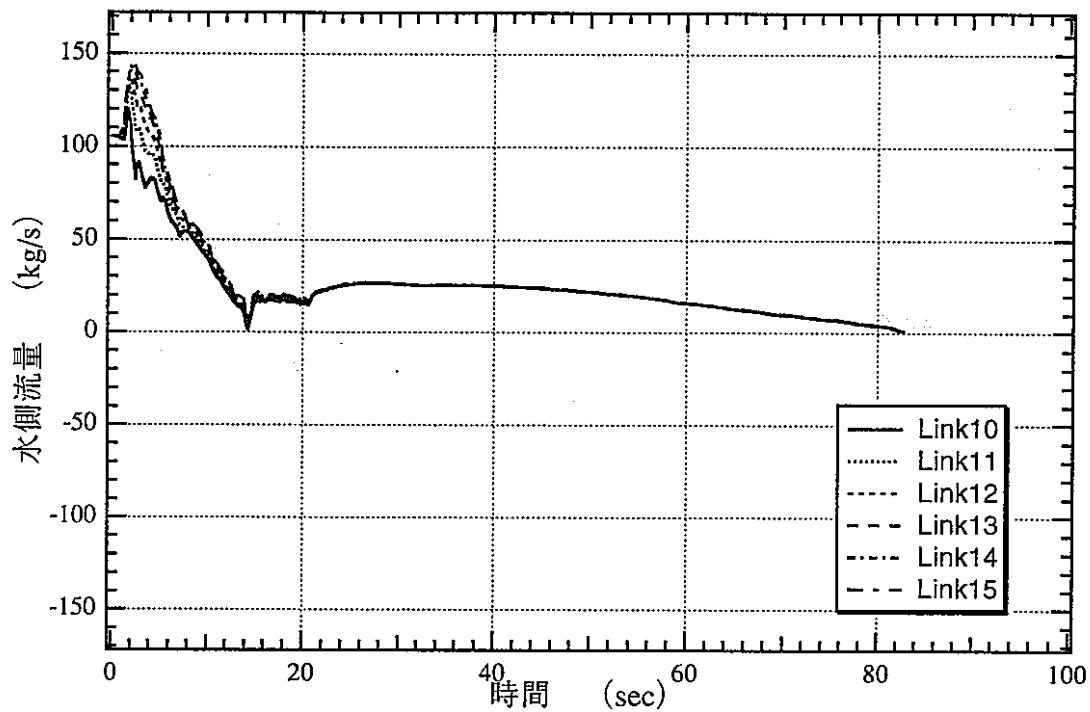


BLOOPH

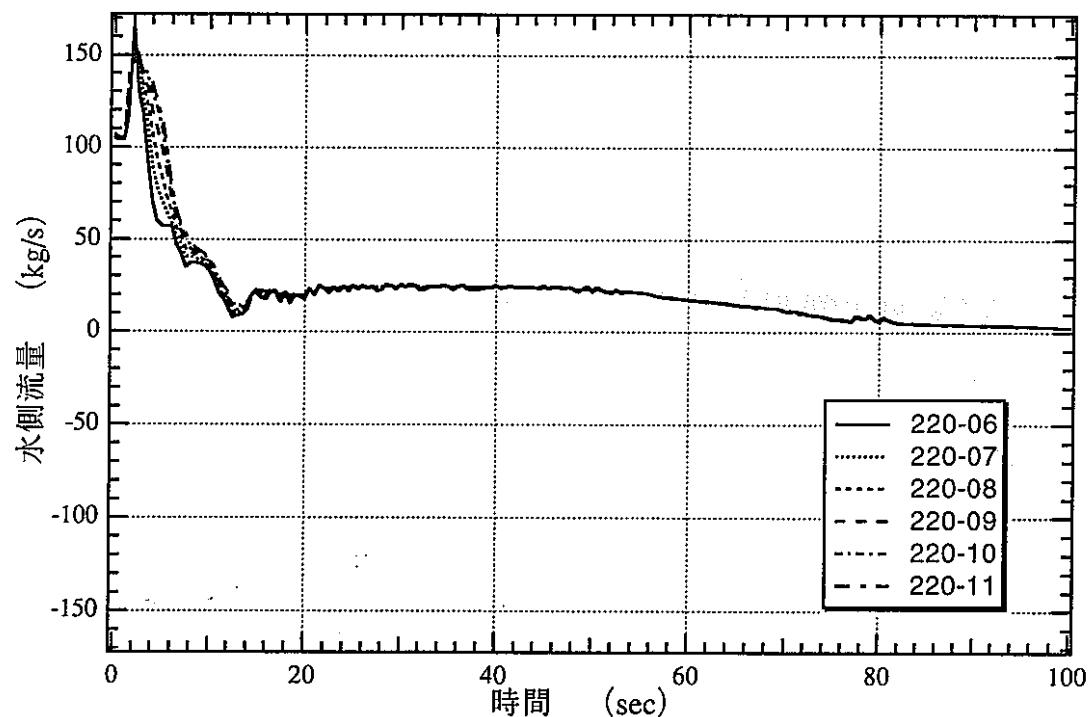


RELAP

図 4.2-5 E V コイル下部流量変化
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1、4B*4))

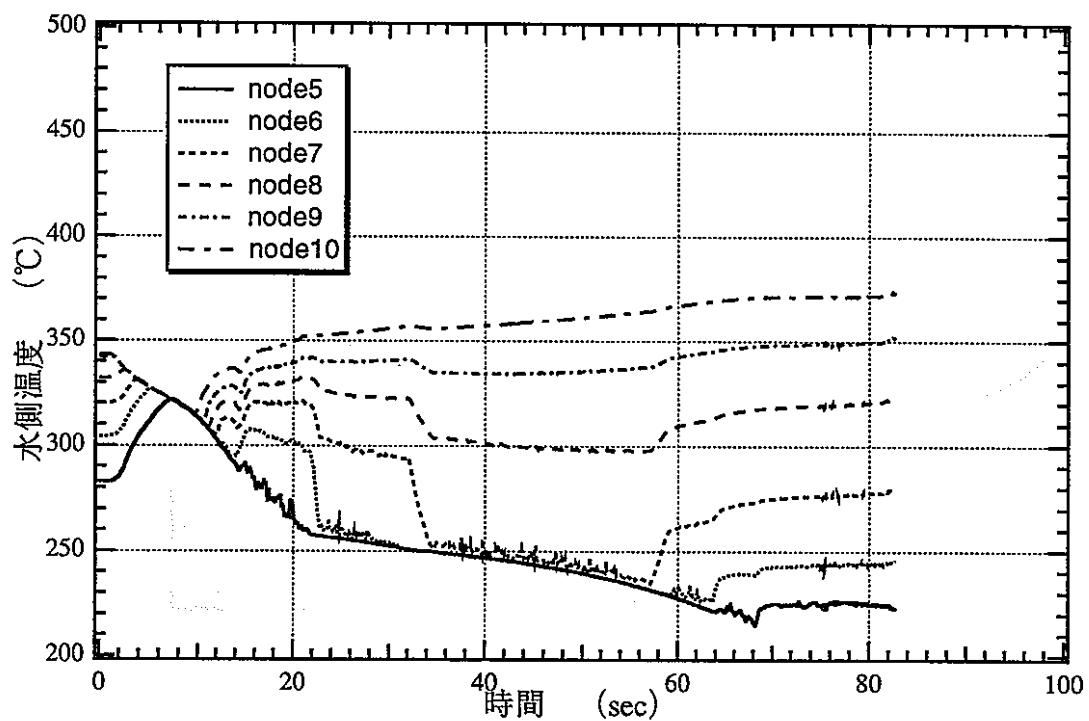


BLOOPH

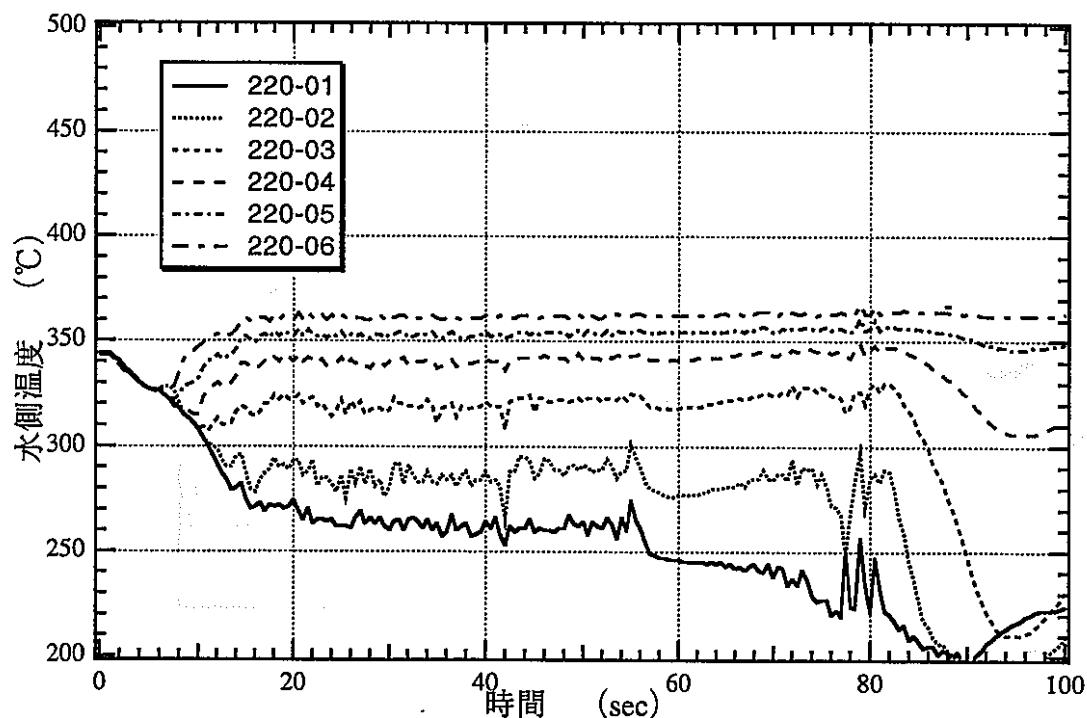


RELAP

図 4.2-6 E Vコイル上部流量変化
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1、4B*4))

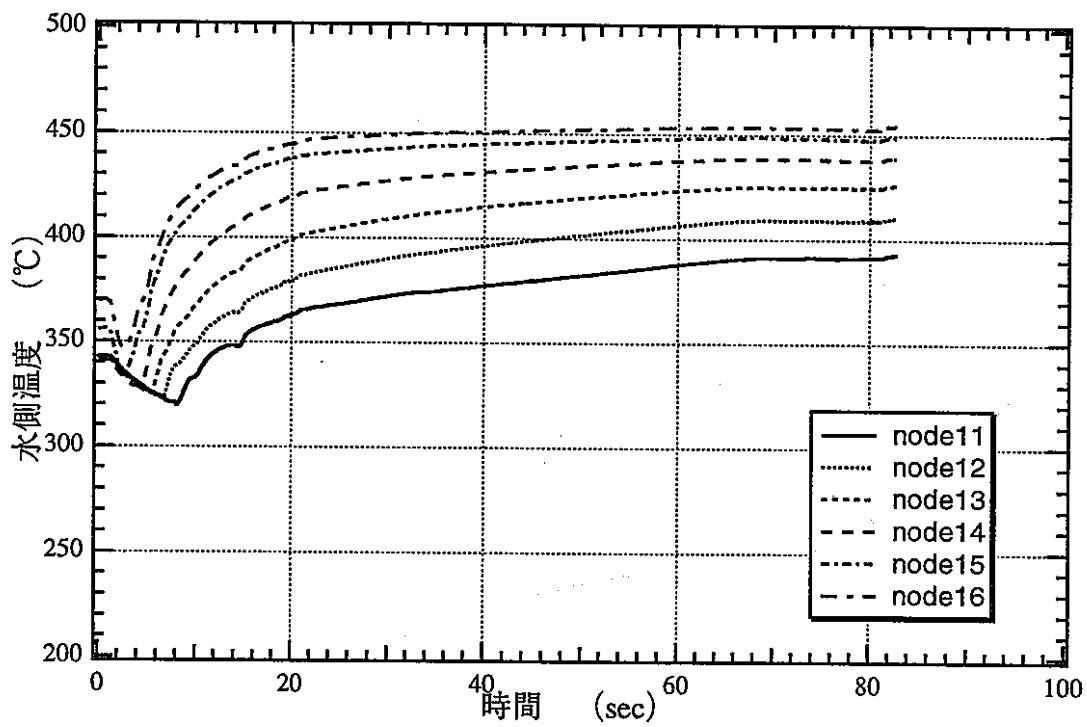


BLOOPH

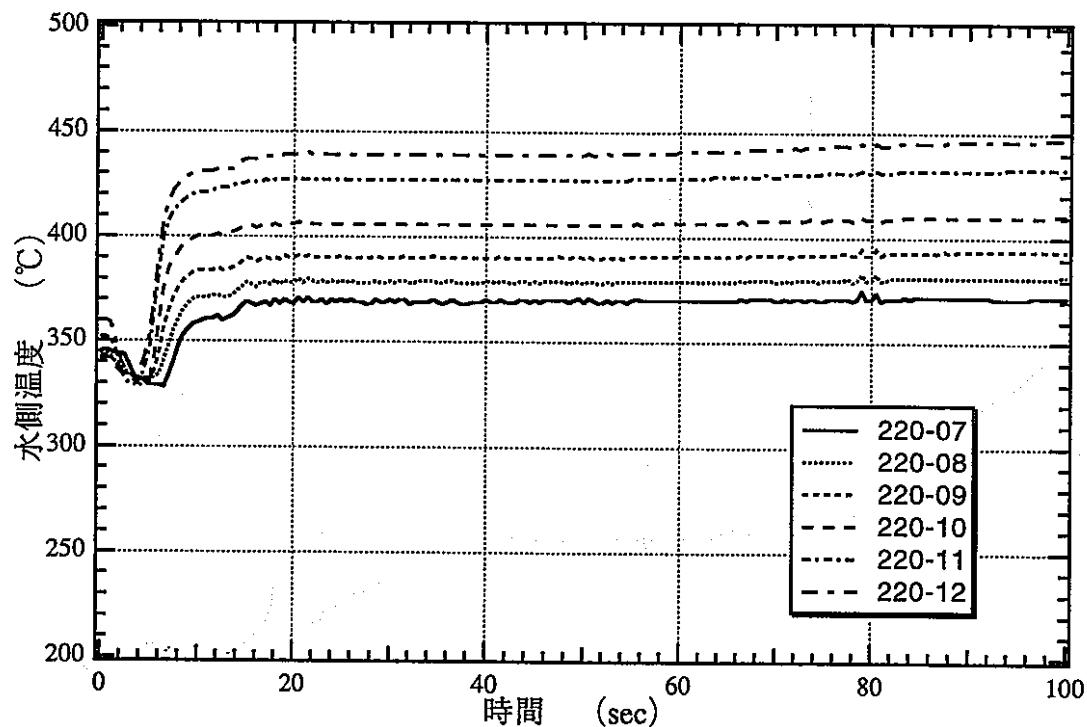


RELAP (蒸気温度)

図 4.2-7 E Vコイル下部温度変化
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1、4B*4))



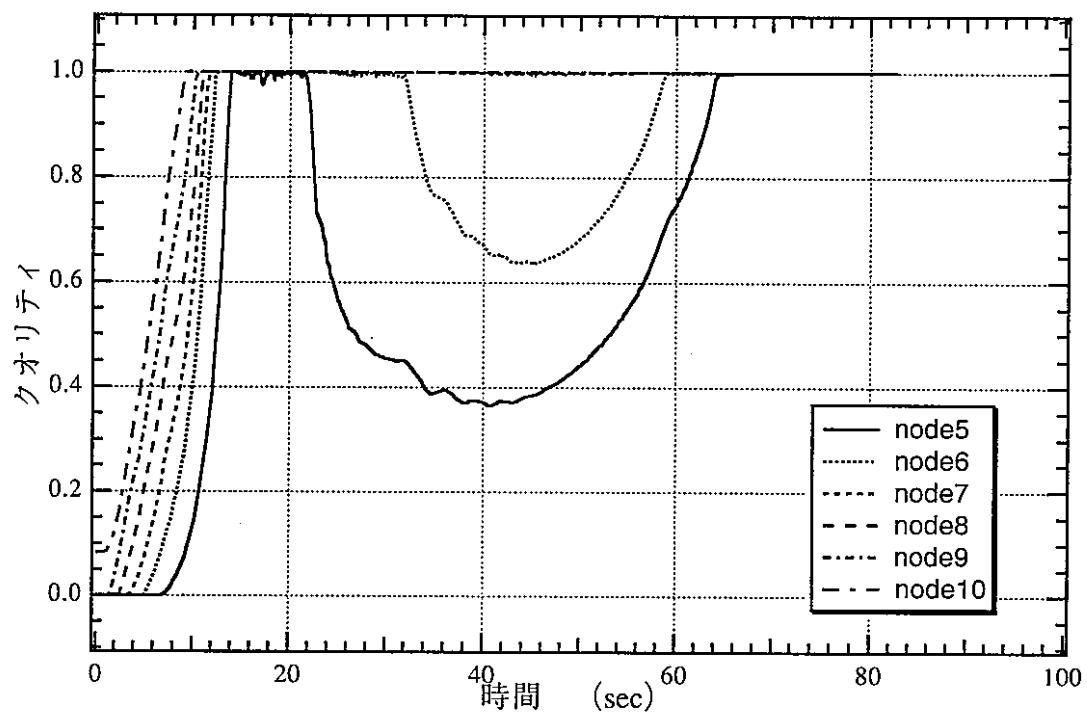
BLOOPH



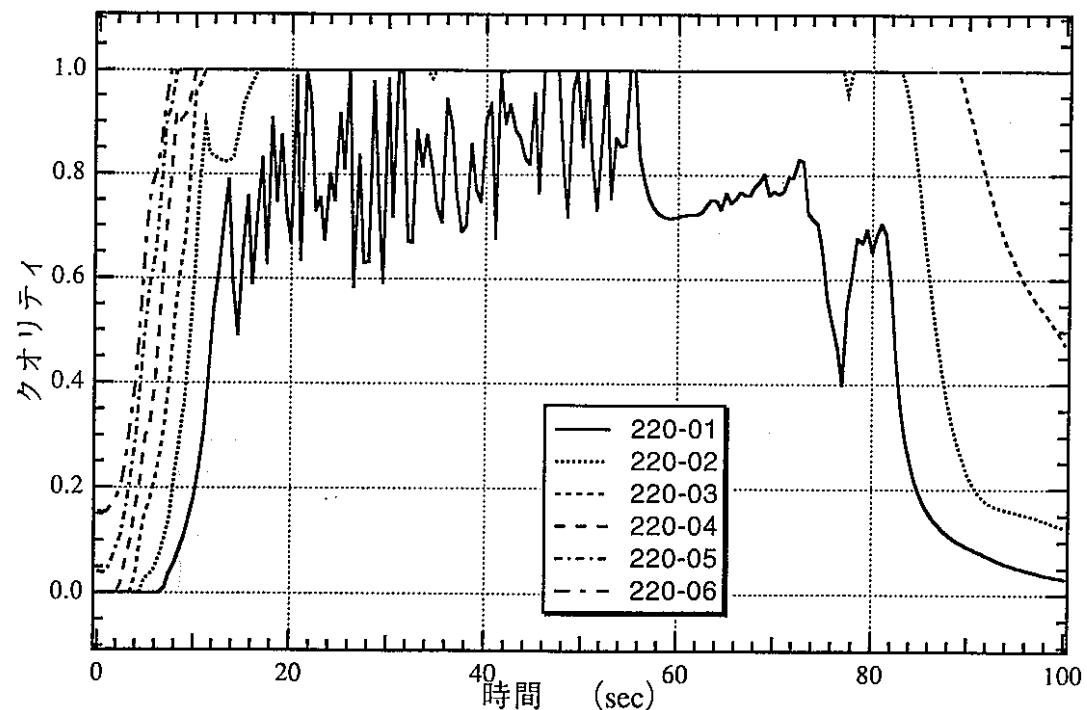
RELAP

(蒸気温度)

図 4.2-8 E Vコイル上部温度変化
(定格運転状態からのプロー (新値 3B*1、4B*4))

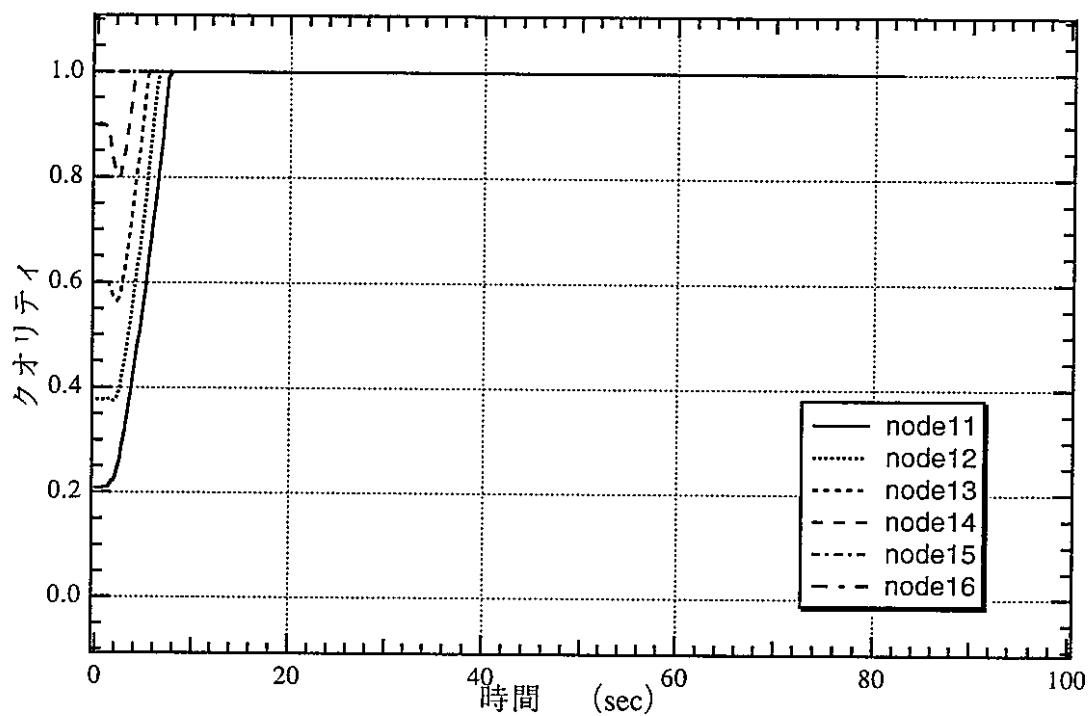


BLOOPH

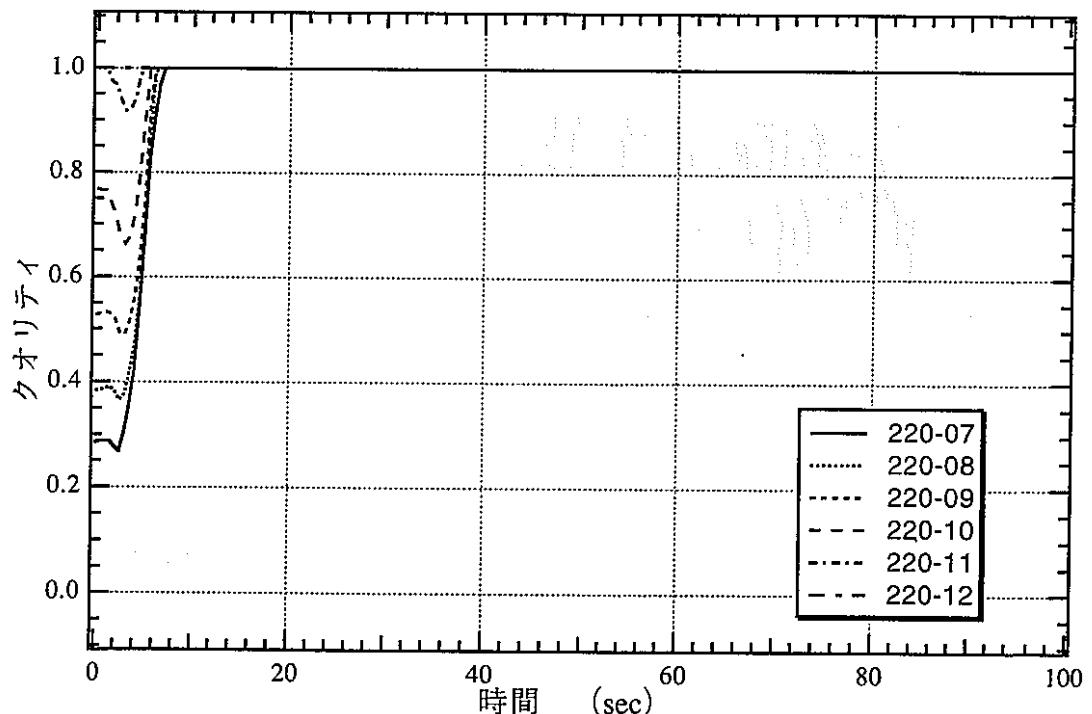


RELAP

図 4.2-9 E Vコイル下部クオリティ変化
(定格運転状態からのプロー (新値 3B*1、4B*4))

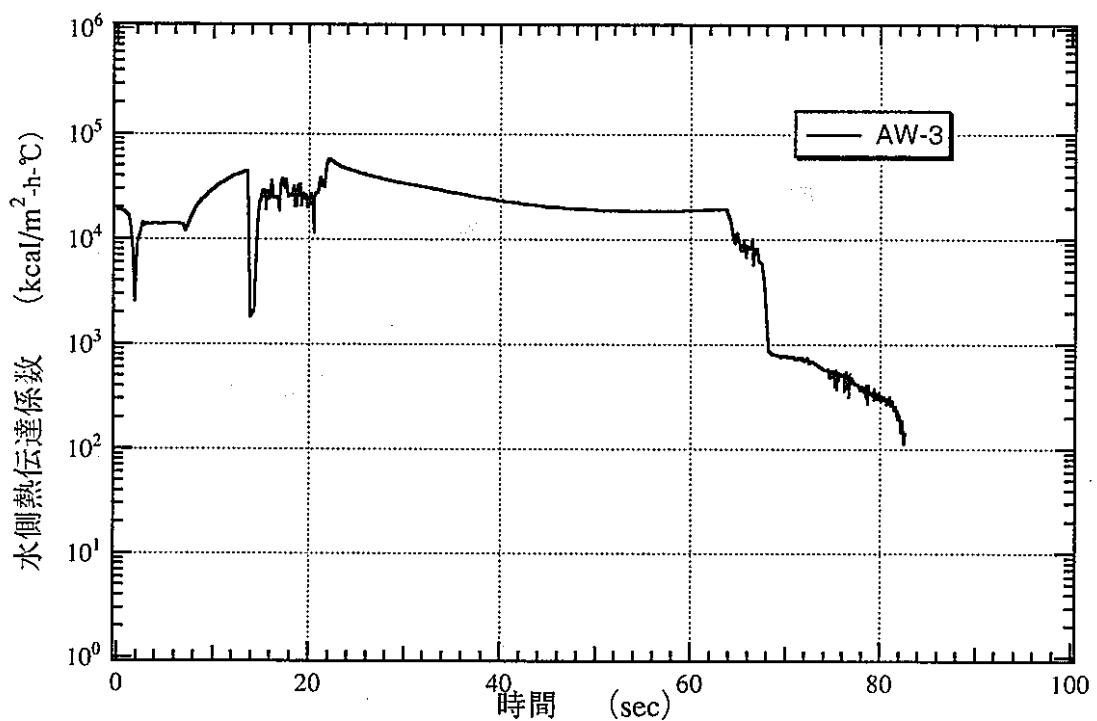


BLOOPH

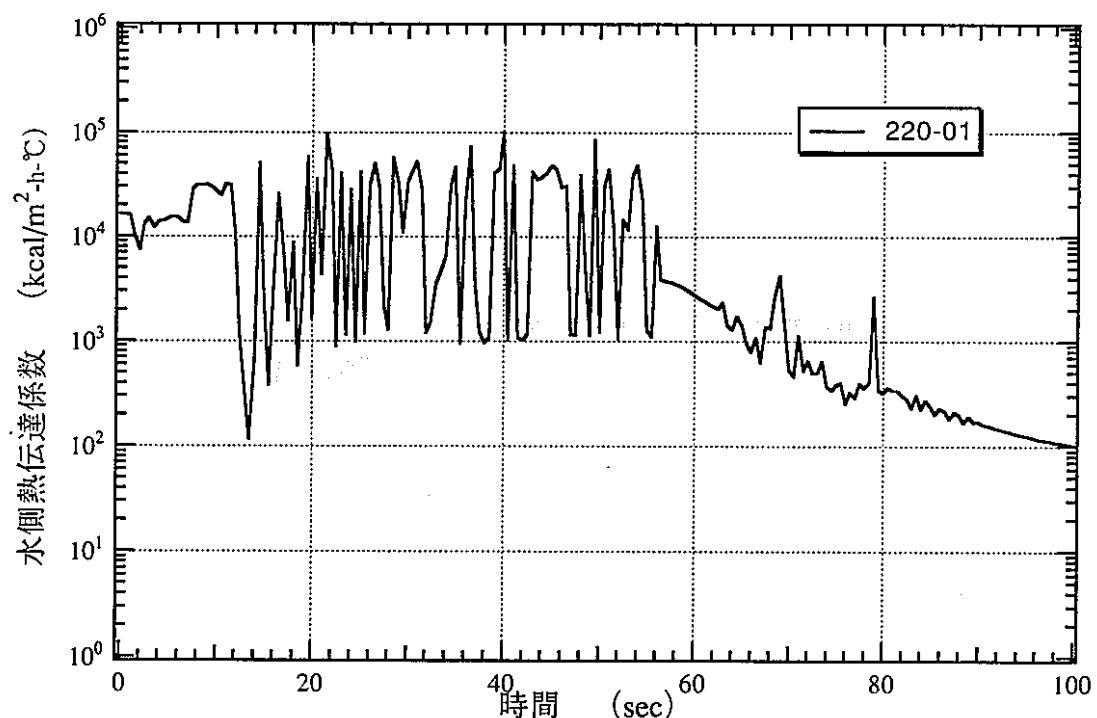


RELAP

図 4.2-10 E Vコイル上部クオリティ変化
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1、4B*4))

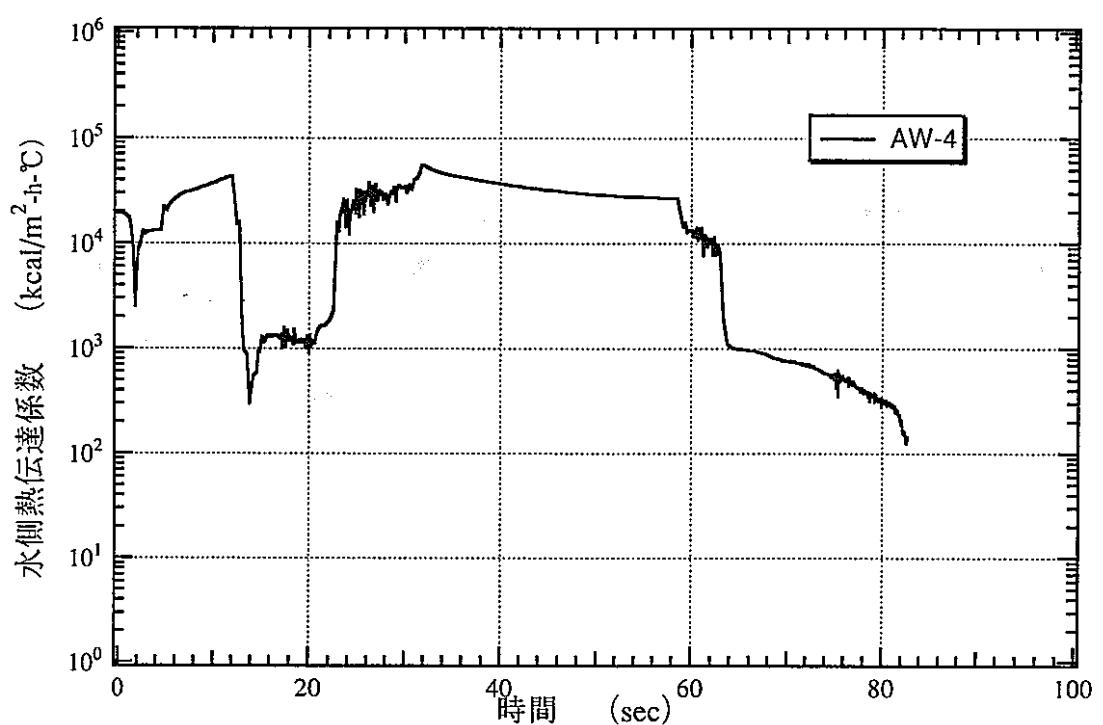


BLOOPH

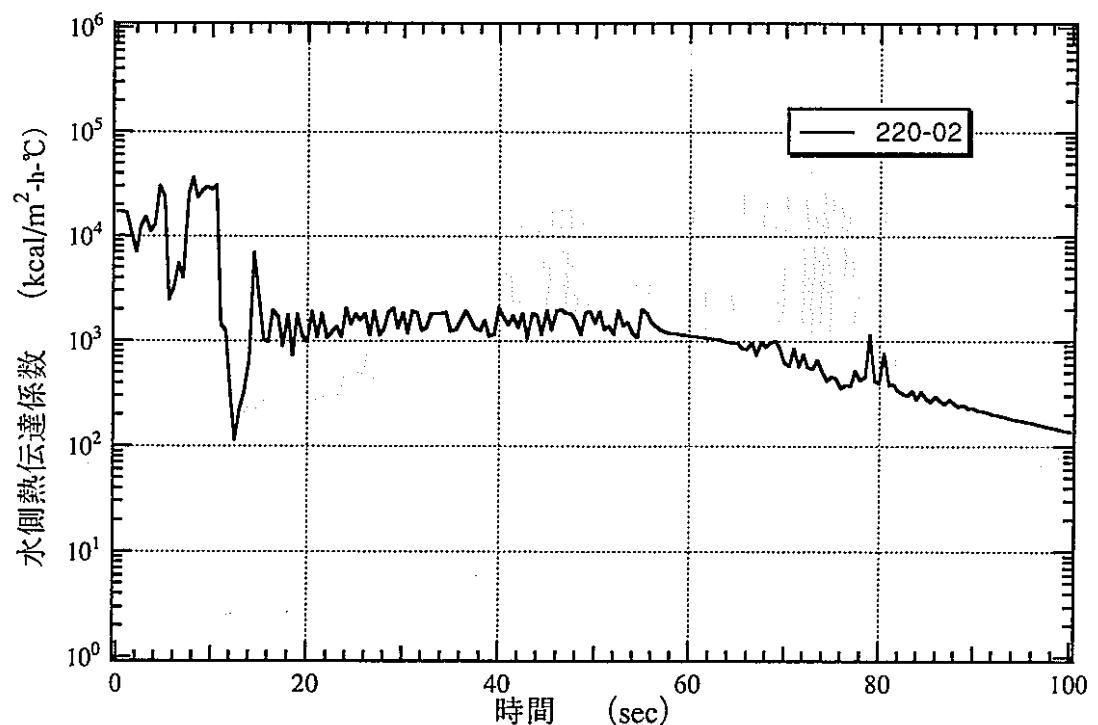


RELAP

図 4.2-11 E Vコイル熱伝達係数変化 (1/12)
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1、4B*4))

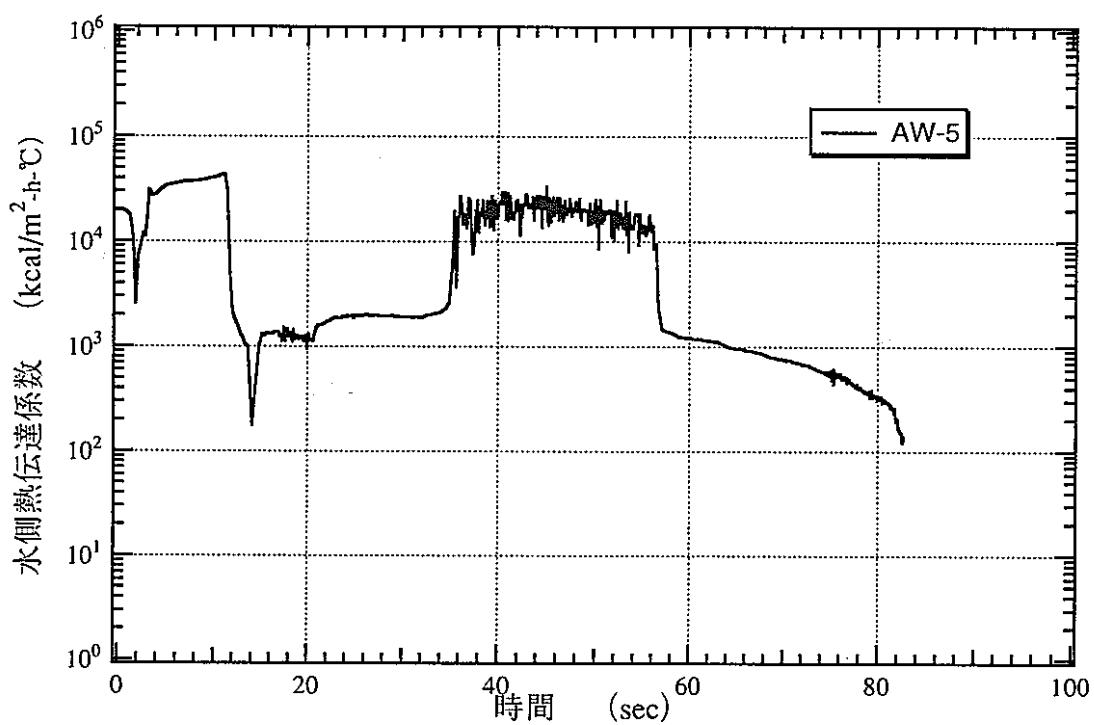


BLOOPH

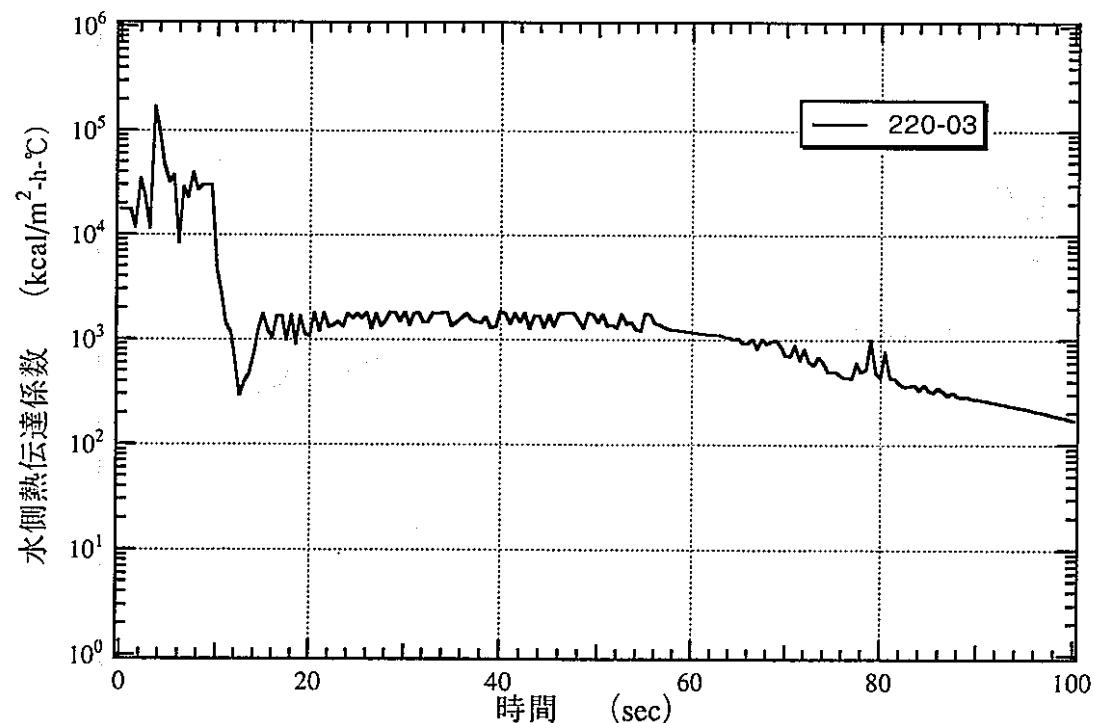


RELAP

図 4.2-12 E Vコイル熱伝達係数変化 (2/12)
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1、4B*4))

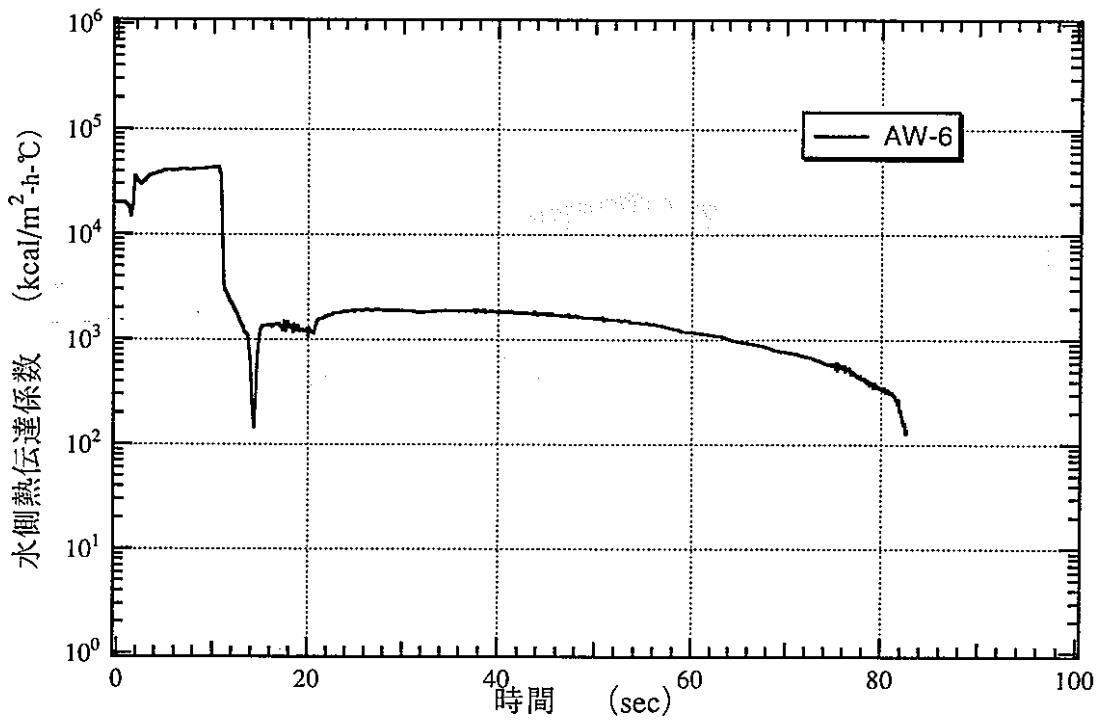


BLOOPH

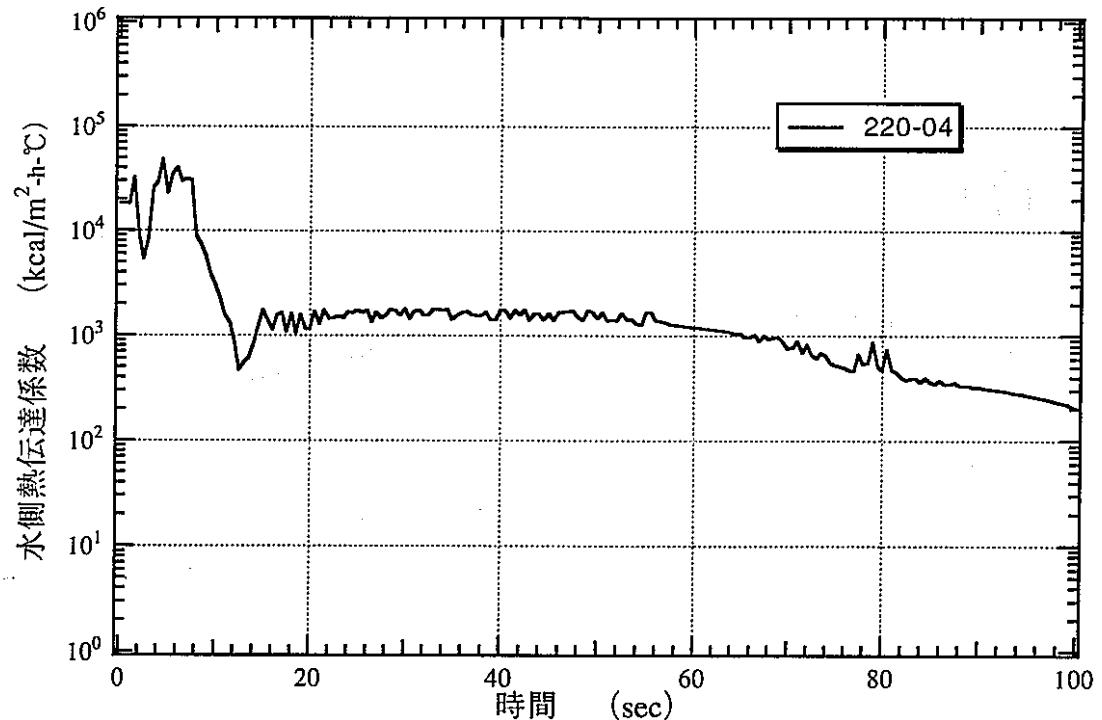


RELAP

図 4.2-13 E Vコイル熱伝達係数変化 (3/12)
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1、4B*4))

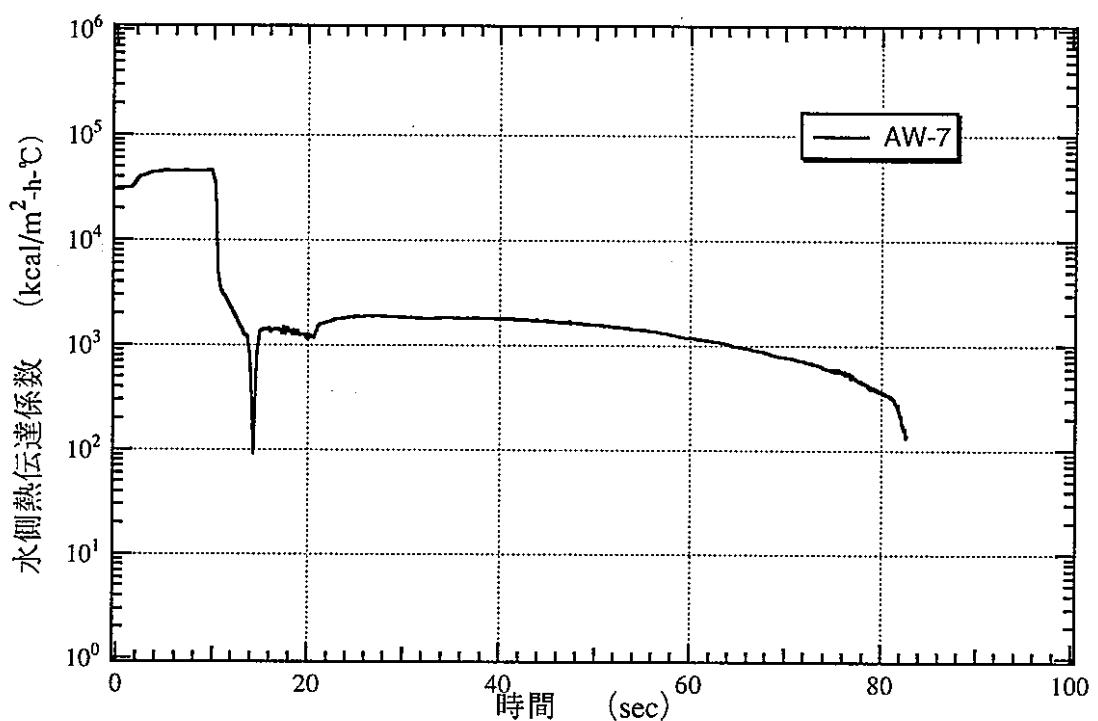


BLOOPH

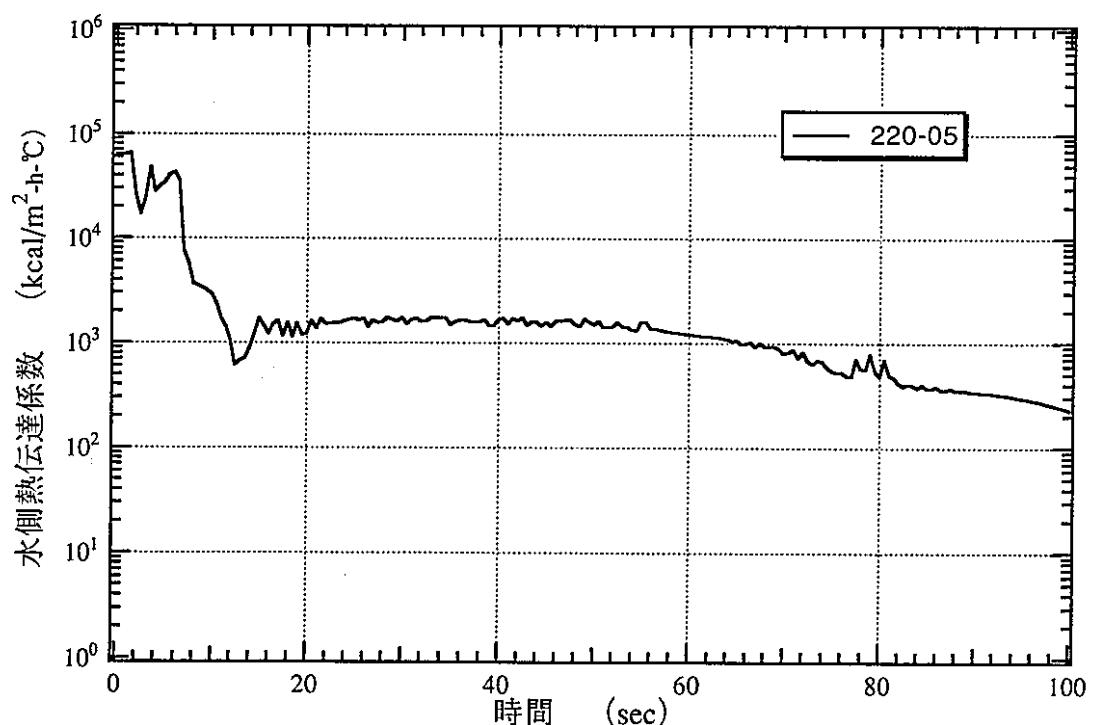


RELAP

図 4.2-14 E Vコイル熱伝達係数変化 (4/12)
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1、4B*4))

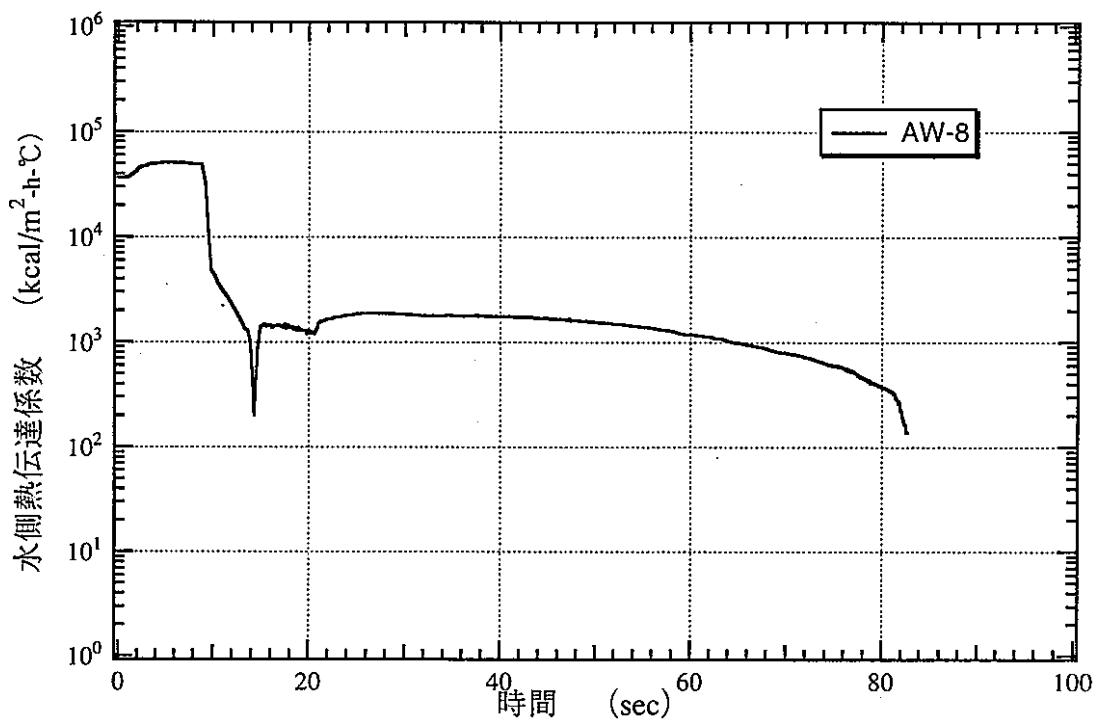


BLOOPH

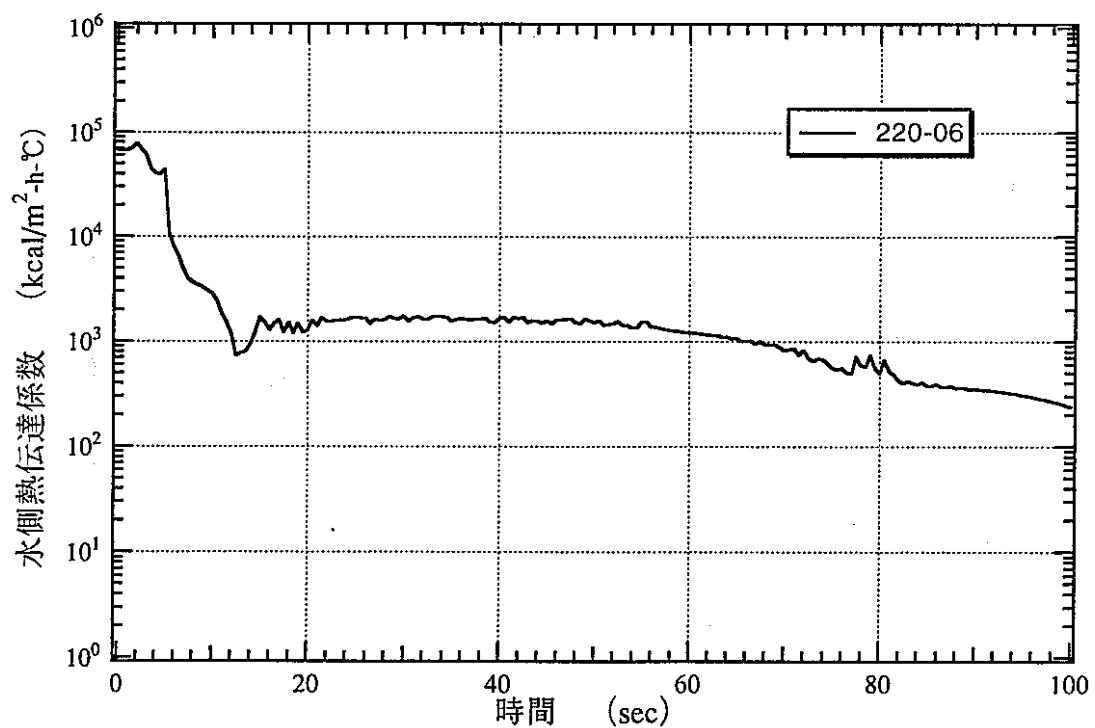


RELAP

図 4.2-15 E Vコイル熱伝達係数変化 (5/12)
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1、4B*4))

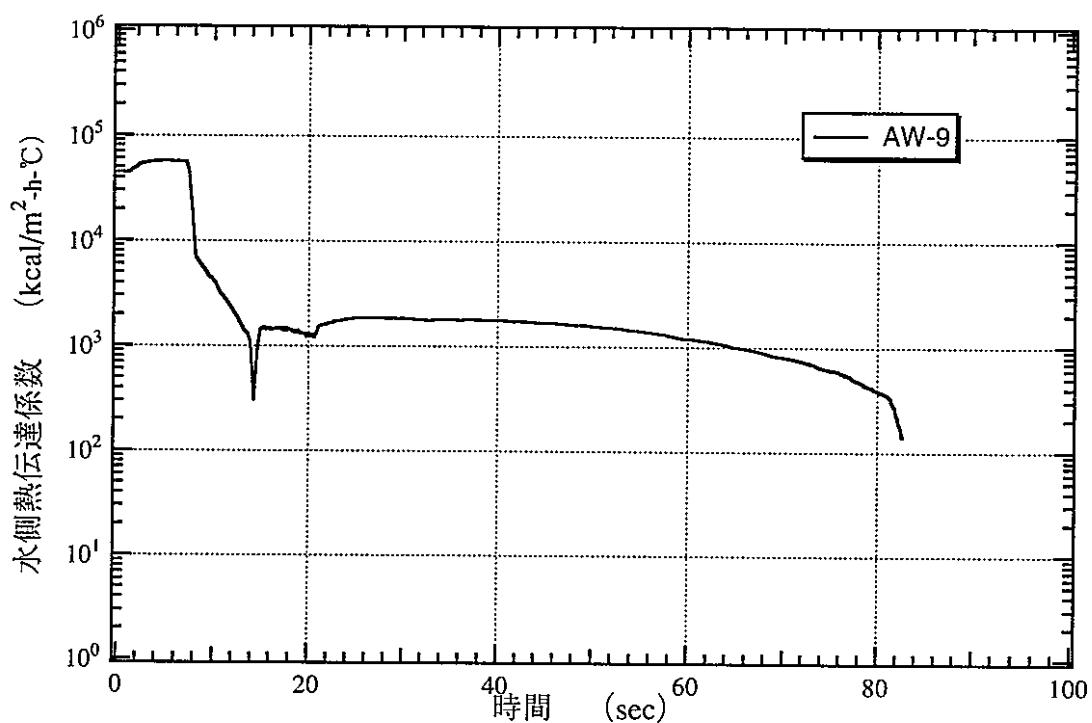


BLOOPH

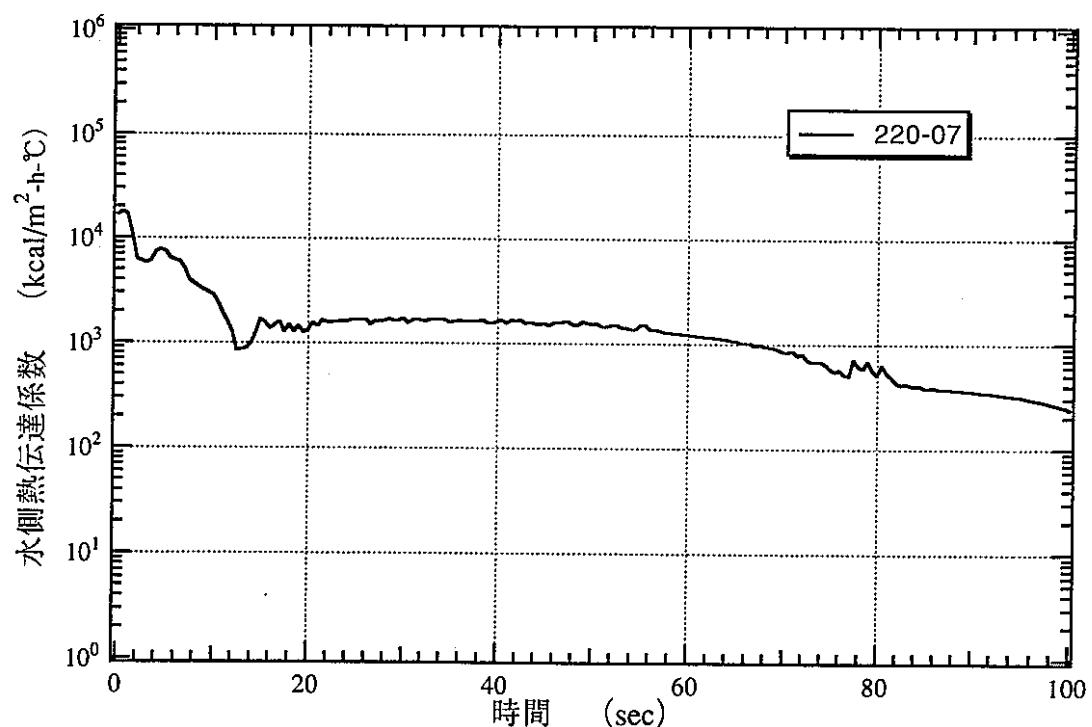


RELAP

図 4.2-16 E V コイル熱伝達係数変化 (6/12)
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1、4B*4))

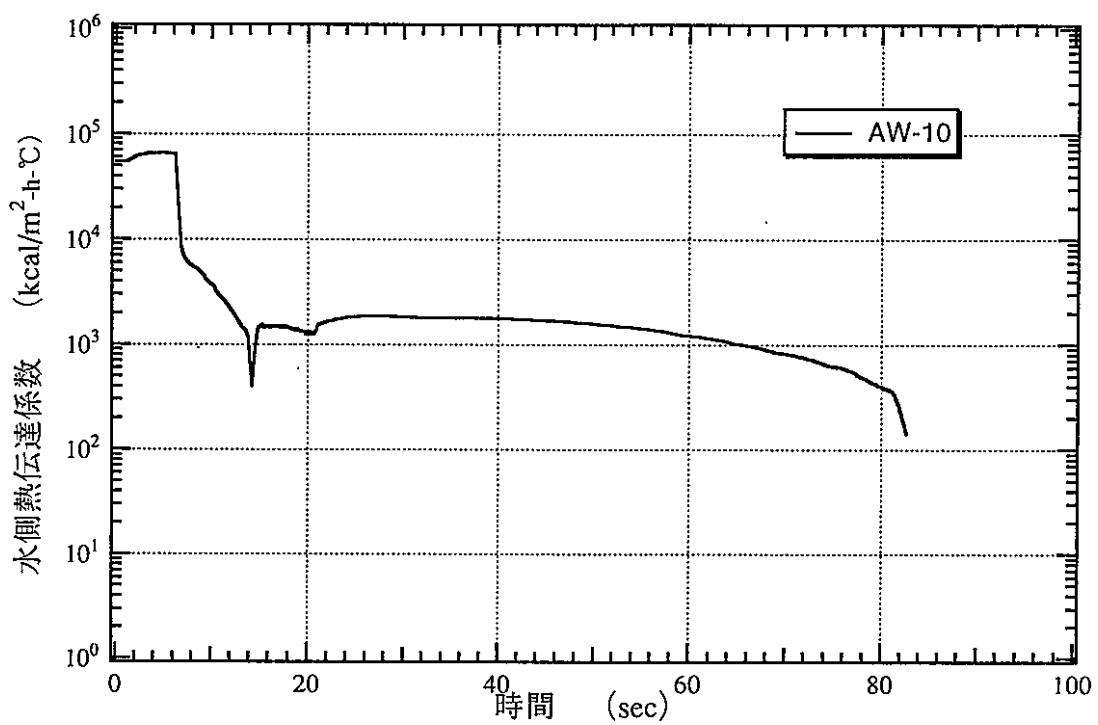


BLOOPH

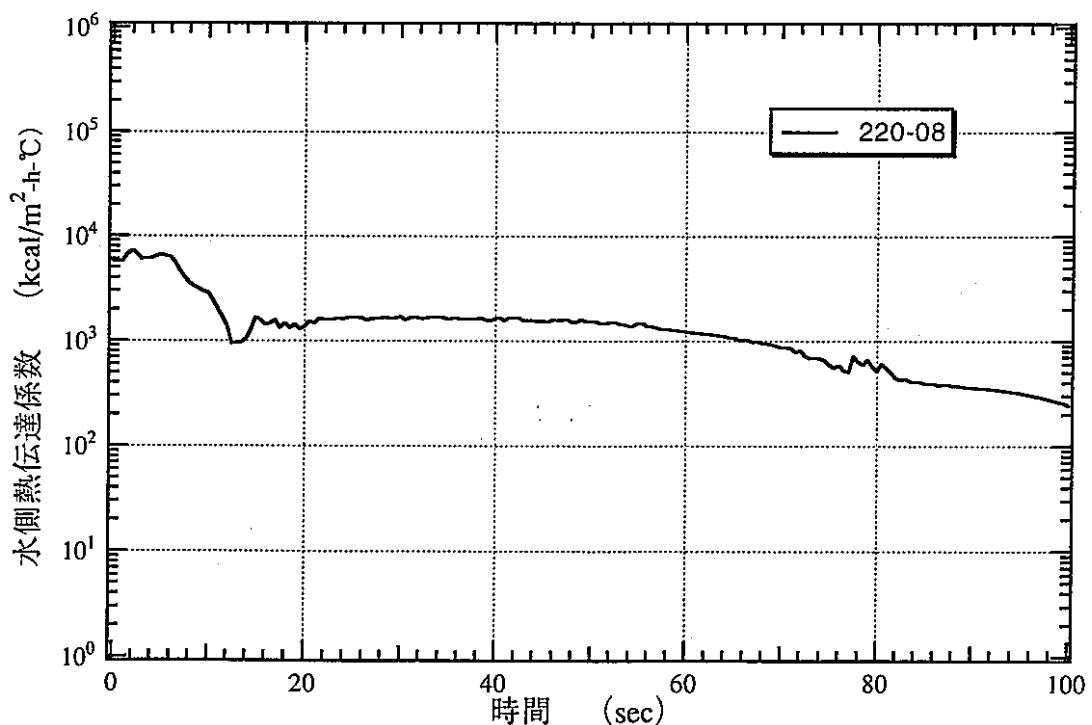


RELAP

図 4.2-17 E Vコイル熱伝達係数変化 (7/12)
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1、4B*4))

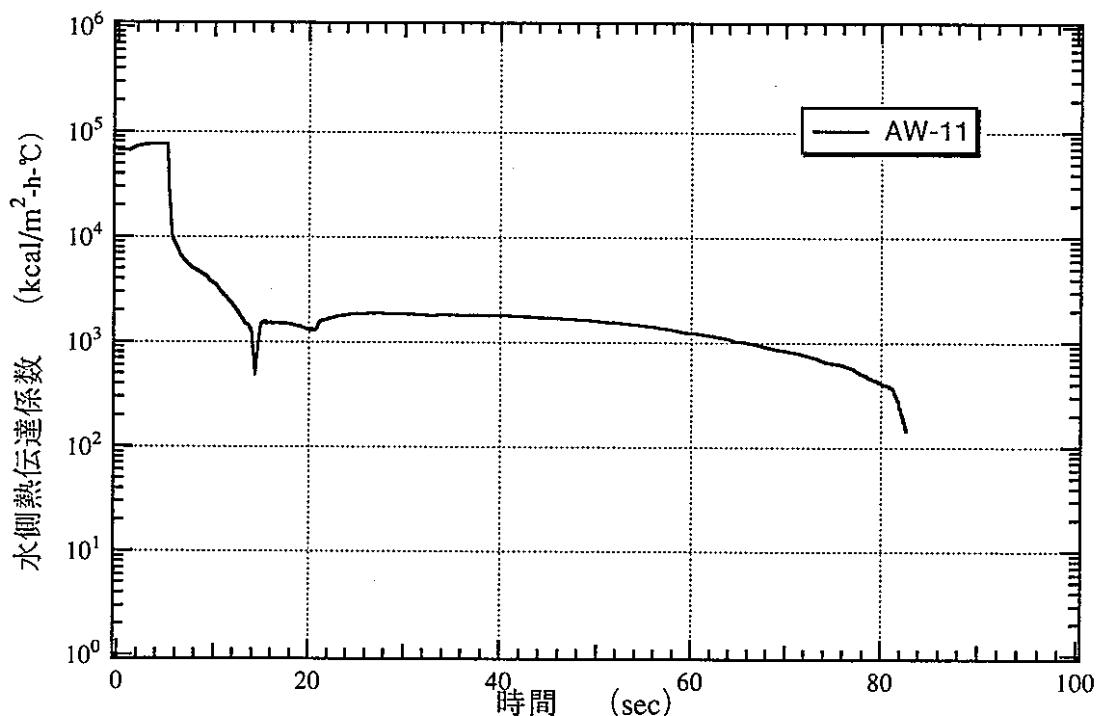


BLOOPH

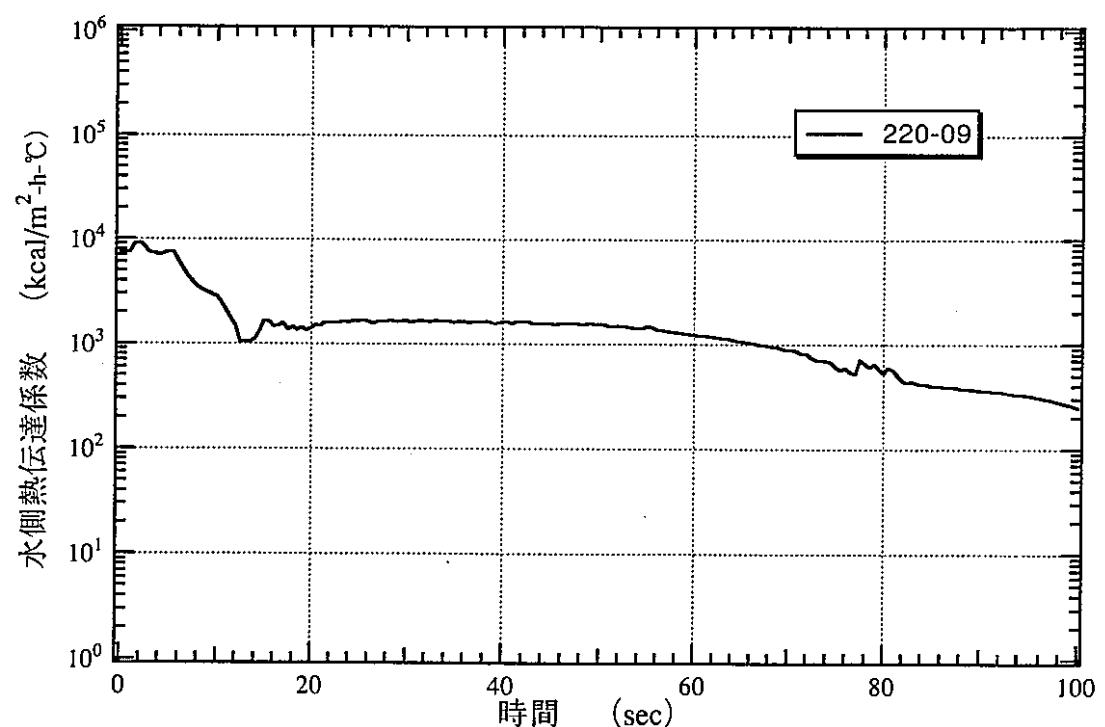


RELAP

図 4.2-18 E Vコイル熱伝達係数変化 (8/12)
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1、4B*4))

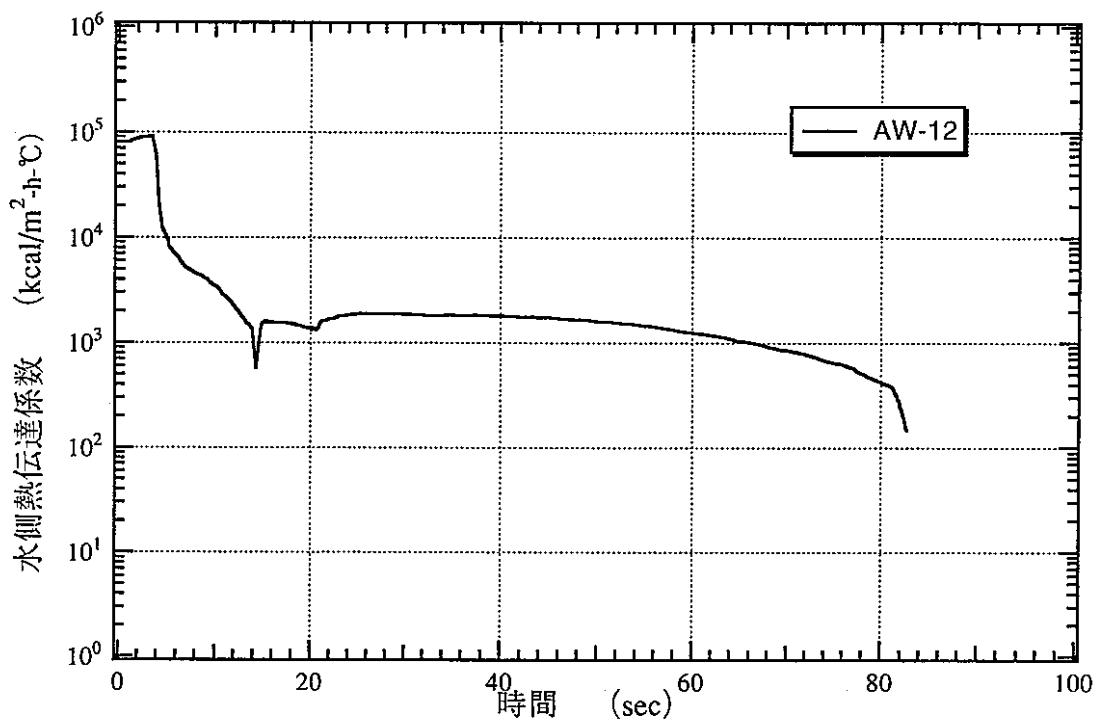


BLOOPH

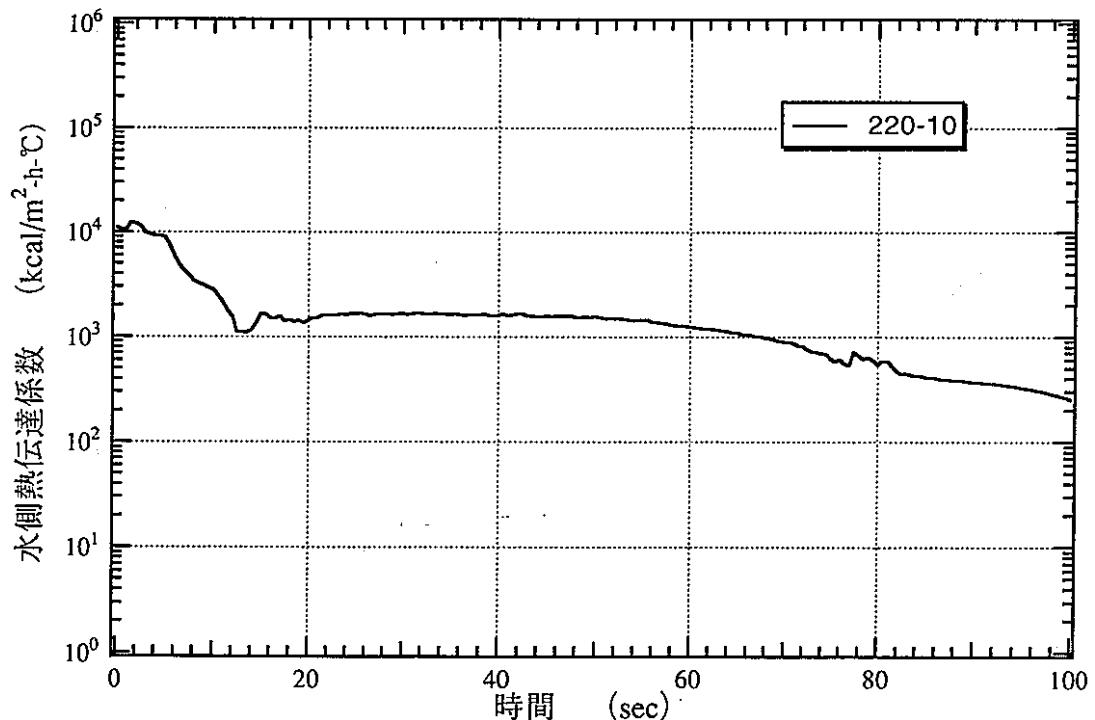


RELAP

図 4.2-19 E Vコイル熱伝達係数変化 (9/12)
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1、4B*4))

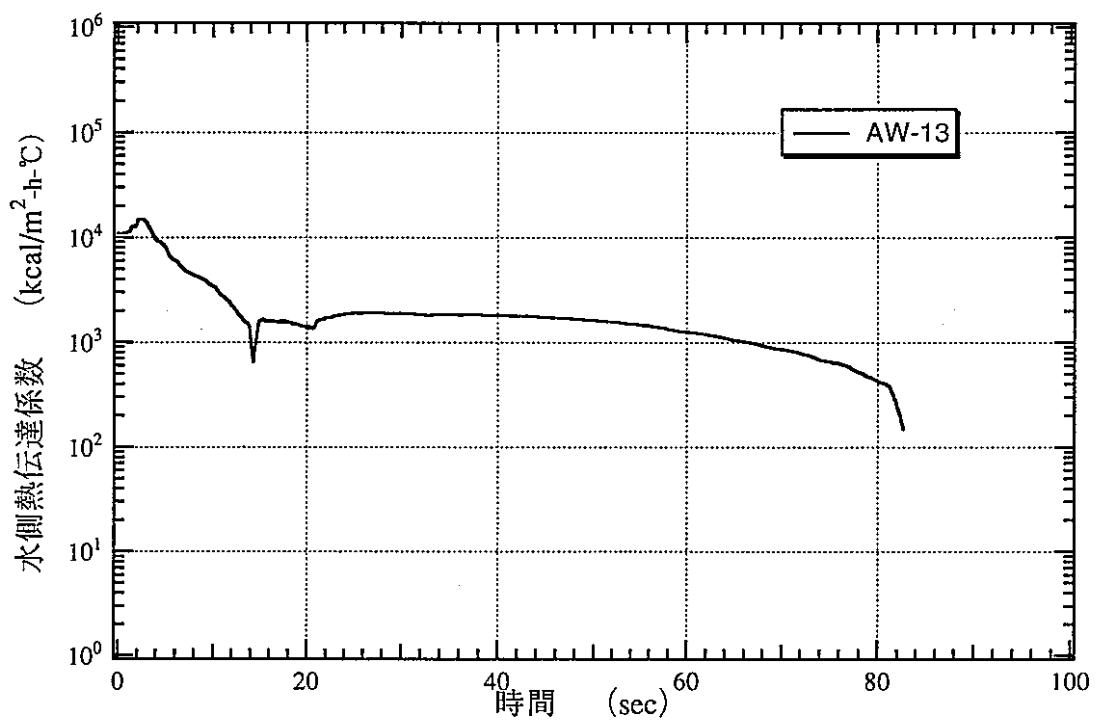


BLOOPH

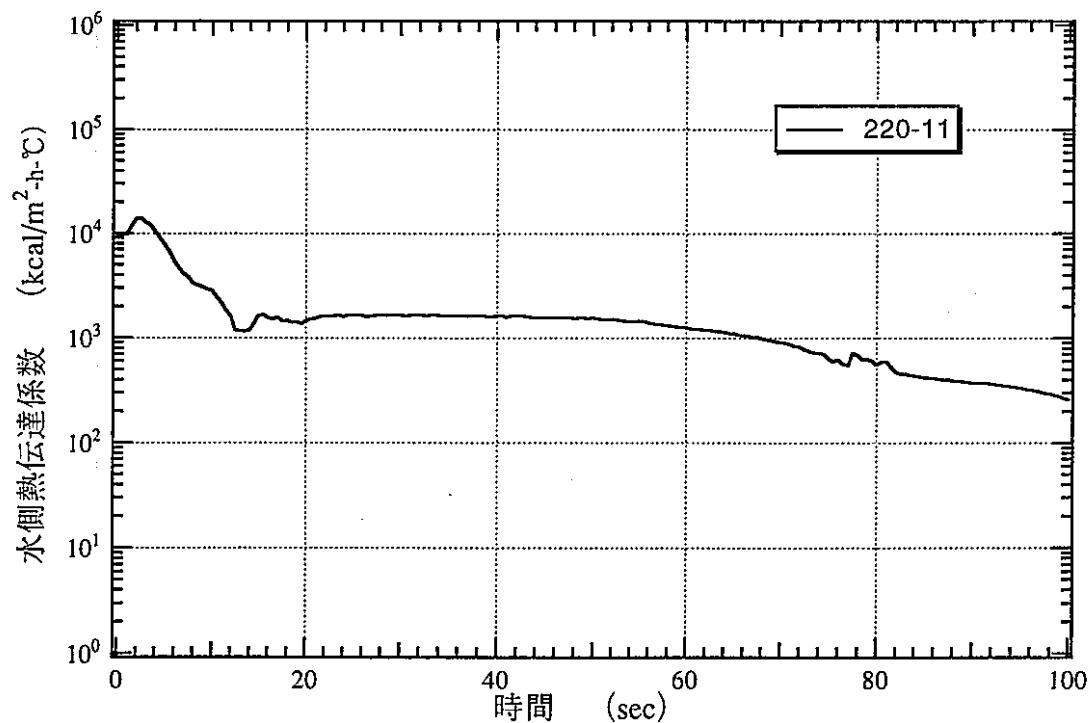


RELAP

図 4.2-20 E V コイル熱伝達係数変化 (10/12)
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1、4B*4))

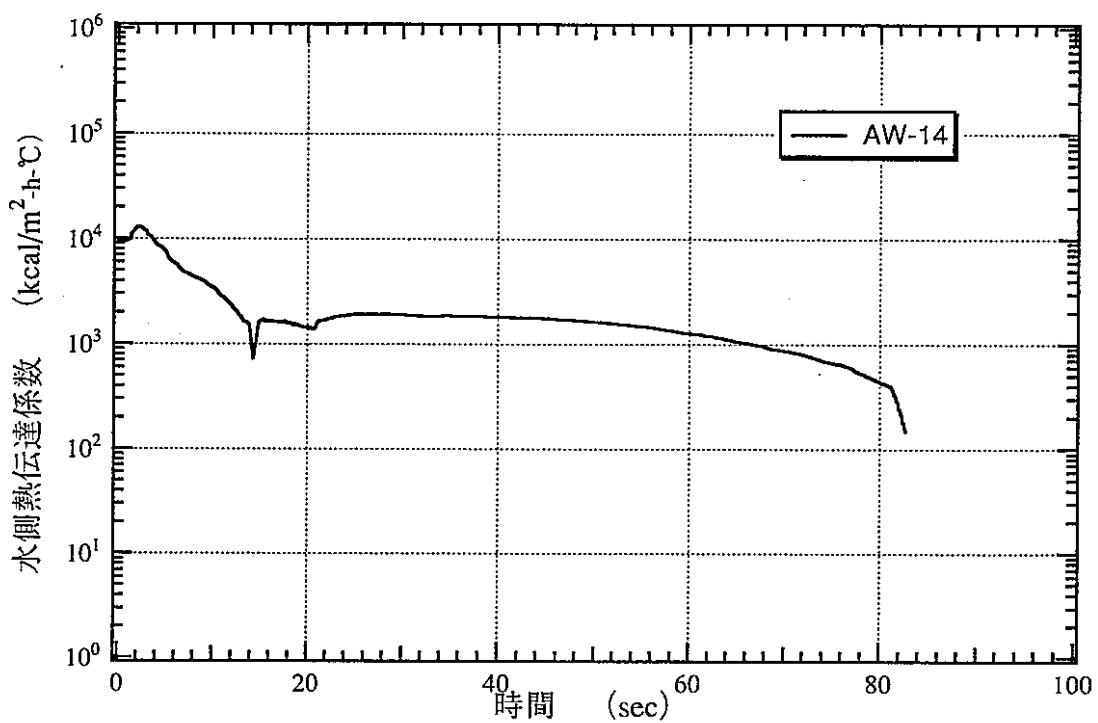


BLOOPH

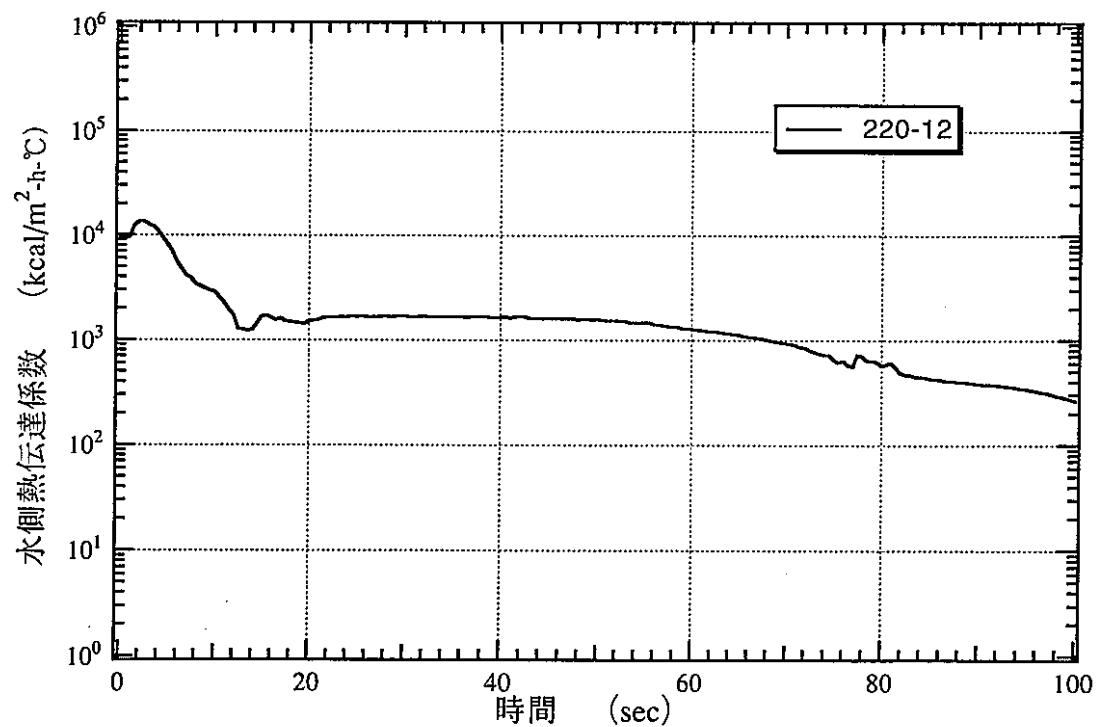


RELAP

図 4.2-21 E Vコイル熱伝達係数変化 (11/12)
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1、4B*4))



BLOOPH



RELAP

図 4.2-22 E V コイル熱伝達係数変化 (12/12)
(定格運転状態からのブロー (新値 3B*1、4B*4))

5.まとめ

本作業では、その1作業に引き続き SG 伝熱管健全性評価に必要な除熱条件を定めることを目的に主に水蒸気放出系設備仕様や運転条件をパラメータとした解析を行った。また、BLOOPH による水ブロー解析の妥当性を確認するため、RELAP5/Mod.2 による水ブロー解析を行った。それらの主な結果は以下の通りである。

- (1) 放出弁容量等をパラメータとした BLOOPH による水ブロー解析により、それらを変更した場合のブロー特性の変化を把握できた。
- (2) BLOOPH による水ブロー解析結果（水蒸気状態量）を、Na-水反応による加熱を考慮して補正を行い、補正結果を水側除熱条件として伝熱管健全性評価用に提示した。
- (3) RELAP5/mod.2 コードにより、局所加熱される伝熱管（加熱部は初期加圧水部：EV 管束下部）と受けない伝熱管の2チャンネルモデルで 100% 出力運転状態での定常及びブロー計算を行い、その1作業の1チャンネルモデルでの結果と比較した。
 - (a) 定常状態（リーク検出・ブロー前）では、局所加熱により、加熱伝熱管出口の蒸気温度は約 4°C（約 1%）上昇し、流量は 0.2kg/s・本（約 3%）減少するものの、SG 全体の熱流動挙動への影響は極く小さく、流動不安定が生じることもなかった。
 - (b) SG ブロー特性に関するもの、SG 全体圧力、放出弁流量変化等、SG 全体の熱流動挙動に対する局所加熱の影響は極く小さいと言える。
但し、局所加熱部の流量変化に着目すると、ブロー開始直後の逆流時間域において、局所加熱部の早い時期での沸騰開始のため、短時間（1~2 秒）ではあるが流量が零に近づく領域が発生する。
これは、管内冷却確保の観点からは不利な現象であり、高温ラップチャ評価上、必要に応じて考慮すべきである。
 - (c) 以上より、局所加熱を考慮しない（現状では考慮できない）伝熱管モデルの BLOOPH による解析は、ブロー時の SG 全体の熱流動挙動把握のために妥当であることがわかった。但し、初期加圧水部（EV 管束下部）での水リークを想定する場合の過熱型破損評価等においては、逆流時間域での低流

- (d) 初期加圧水部以外の場所での、局所加熱による管内流量への影響も評価しておくことが望ましい。
- (4) RELAP5/Mod.2 コードにより、その 1 作業での同コードによる解析から、放出弁の条件（容量、基数）を変更した解析を行い、BLOOPH による解析結果と比較した。その結果、放出弁条件を変えてても、RELAP5 と BLOOPH の解析結果は圧力及び流動挙動に関して、概ね一致することが確認できた。特に、伝熱管内水／蒸気極低流量域が同様に発生することがわかった。
- (5) 今後、実機で予定されているブロー試験の結果により、これら解析結果の妥当性を最終的に確認すると共に、必要なモデル改良による解析精度の向上が必要である。

6. 謝辞

本作業の実施に当たって、動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター安全工学部プラント安全工学室の田辺裕美室長、浜田広次副主任研究員、栗原成計研究員には数々のご指導並びにご助言を頂きました。

ここに深く感謝の意を表します。

7. 参考文献

- 1) 吉岡他、”蒸気発生器水ブロー系の最適運用に係わる計算”、PNC PJ 9678 98-001、(1977).
- 2) 遠藤他、“もんじゅ模擬制御性関連試験 - Na - 水反応時 SG まわりの運転法の検討 - (Na - 水反応時のSGブロー及びN2置換法)”、PNC SJ206 80-19、(1980).
- 3) Victor H. Ransom, et al., "RELAP5/MOD2 Code Manual Volume 2 : Users Guide and Input Requirements", NUREG/CR-2396, (1984).