



JP0250161

**JAERI-Tech**  
**2002-031**



# TRACYの運転記録

2002年3月

會澤 栄寿・小川 和彦・櫻庭 耕一・塚本 導雄  
菅原 進・竹内 真樹・宮内 正勝・柳澤 宏司・大野 秋男

**日本原子力研究所**  
**Japan Atomic Energy Research Institute**

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2002

編集兼発行 日本原子力研究所

TRACYの運転記録

日本原子力研究所東海研究所安全性試験研究センター安全試験部

會澤 栄寿・小川 和彦・櫻庭 耕一・塚本 導雄

菅原 進・竹内 真樹・宮内 正勝・柳澤 宏司・大野 秋男

(2002年1月30日受理)

燃料サイクル安全工学施設 (NUCEF) の過渡臨界実験装置 (TRACY) は、硝酸ウラニル水溶液体系において添加反応度  $3\beta$  までの臨界事故を模擬した実験を行うことができる装置である。TRACY は 1995 年 12 月 20 日に初臨界を達成し、1996 年からは過渡臨界実験を中心に反応度測定や熱出力測定などの特性試験を実施してきた。本報告書は、初臨界から 2000 年度末までに実施された 176 回の運転記録についてまとめたものである。

JAERI-Tech 2002-031

Report of TRACY Operation

Eiju AIZAWA, Kazuhiko OGAWA, Khouichi SAKURABA, Michio TSUKAMOTO  
Susumu SUGAWARA, Masaki TAKEUCHI, Masakatsu MIYAUCHI, Hiroshi YANAGISAWA  
and Akio OHNO

Department of Safety Research Technical Support  
Nuclear Safety Research Center  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 30, 2002)

TRACY (Transient Experiment Critical Facility) in NUCEF (Nuclear Fuel Cycle Safety Engineering Research Facility) is a pulse-type critical facility using uranyl nitrate solution which can carry out various supercritical experiments changing reactivity addition up to 3\$. TRACY achieved its first criticality on 20<sup>th</sup> December 1995, and transient operations have been conducted since 1996. This report summarizes the operation data of 176 experiments from the first criticality to FY2000.

Keywords: NUCEF, TRACY, Uranyl Nitrate Solution, Transient Operation, Operation Data

目次

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1. はじめに                           | 1  |
| 2. 炉心構成及び計測機器                     | 2  |
| 2.1 主要機器の仕様                       | 2  |
| 2.2 過渡運転時の計測機器                    | 8  |
| 3. 燃料管理                           | 13 |
| 4. 運転データ                          | 16 |
| 4.1 臨界液位                          | 25 |
| 4.2 Tr 棒の反応度値                     | 25 |
| 4.3 核計装の出力較正                      | 27 |
| 4.4 過渡運転時の出力波形                    | 30 |
| 4.5 パルス引抜時における安定逆炉周期 $\omega$ の測定 | 31 |
| 4.6 ピーク出力及び積算出力の評価                | 33 |
| 4.7 反応度添加率と出力                     | 34 |
| 5. まとめ                            | 36 |
| 謝辞                                | 36 |
| 参考文献                              | 37 |
| 付録                                | 38 |

Contents

|  |    |
|--|----|
| 1. Introduction  | 1  |
| 2. Core Configuration and Measurement Equipments                         | 2  |
| 2.1 Main Equipments  | 2  |
| 2.2 Measurement Equipment at Transient Operation                         | 8  |
| 3. Fuel Management   | 13 |
| 4. Operation Data  | 16 |
| 4.1 Critical Height  | 25 |
| 4.2 Reactivity Worth of Transient Rod                                    | 25 |
| 4.3 Power Calibration of Neutron Instrumentation                         | 27 |
| 4.4 Power Profile at Transient Operation                                 | 30 |
| 4.5 Measurement of Inverse Period $\omega$ at Pulse Withdrawal Operation | 31 |
| 4.6 Evaluation of Peak Power and Integrated Power                        | 33 |
| 4.7 Reactivity Addition Rate and Power                                   | 34 |
| 5. Summary   | 36 |
| Acknowledgments  | 36 |
| References   | 37 |
| Appendix   | 38 |

## 1. はじめに

日本原子力研究所の燃料サイクル安全工学研究施設 (NUCEF) に設置されている過渡臨界実験装置 (TRACY) は、再処理施設などの溶液燃料体系で臨界事故が起こった場合の出力や温度、圧力などの挙動を評価して過渡臨界事象を支配する様々な因子を明らかにするとともに、放射性物質を系統内に安全に閉じ込められることを実証するための装置である<sup>[1], [2]</sup>。TRACY では濃縮度約 10%の硝酸ウラニル水溶液を用いて添加反応度 3\$までの臨界事故を模擬した実験を行うことができる。

TRACY の運転形態は基本的な炉特性を測定する「定出力運転」(添加反応度を 0.2\$以下) と過渡特性を測定する「過渡出力運転」(添加反応度 3\$以下) に大別される。さらに過渡出力運転には反応度の添加方法により、①Tr 棒を圧縮空気急速に引抜く「パルス引抜き」、②Tr 棒を電動駆動で連続的に引抜く「ランプ引抜き」、③炉心に燃料を連続的に供給する「ランプ給液」、の 3 つのモードがある。パルス引抜き及びランプ引抜きは非安全形状の貯槽に設置された中性子吸収材の脱落などによる反応度添加を想定しており、ランプ給液は非安全形状の貯槽に溶液燃料が臨界量を超えて供給された場合の臨界事故を想定したものである。

TRACY は 1995 年 12 月に初臨界を達成したのち、定出力運転において臨界量や核的制限値の測定などの性能試験を行った。1996 年 6 月から 12 月にかけては添加反応度を段階的に大きくして 1.8\$までの過渡臨界実験を行い、出力や圧力、温度などの測定を行うとともに装置の健全性が損なわれることなく安全に実験できることを確認した。このときの調整トランジェント棒はいかなる場合においても 3\$を超えることのないように大きな裕度を持った設計がなされていたため、実験で添加できる反応度は 1.8\$までにとどまっていたが、1997 年 4 月からはより大きな反応度を添加するために、それまでに得られた実験データを基に製作された 3\$の反応度値を持つ調整トランジェント棒 (以下 Tr 棒) を用いた実験を行ってきた。以後、2000 年末までに反射体無し of 体系において定出力運転 95 回、パルス引抜き 41 回、ランプ引抜き 25 回、ランプ給液 15 回、計 176 回の運転を行った。本報告書はこれまでに TRACY を用いて実施した運転のうち、過渡出力運転を中心とした運転記録をまとめたものである。

## 2. 炉心構成及び計測機器

ここでは TRACY の炉心を構成する主要な機器と計測機器について述べる。TRACY の炉心は炉心タンクとその上部に設置されている触針式液位計、安全棒、Tr 棒などから構成されている。炉心タンク内には主に過渡出力運転時に使用する圧力計や温度計などが設置されており、核計装は炉心タンクの周囲や炉室の天井部に設置されている。燃料を貯槽から炉心タンクに供給する際には給液ポンプを用いる。

### 2.1 主要機器の仕様

#### 2.1.1 炉心タンク

TRACY の炉心タンクは中心に Tr 棒の案内管が設置されているため円環円筒形状となっている。タンク下部には溶液燃料給排液配管、タンク上部には触針式液位計、安全棒装置、Tr 棒装置、ベントガス配管などが接続されている。図 2.1 に炉心タンク外形図を示す。

|           |           |
|-----------|-----------|
| 形状        | : 円環円筒形状  |
| 主要構造材材質   | : SUS304L |
| 高さ        | : 2000 mm |
| 内径        | : 500 mm  |
| タンク側面厚さ   | : 10 mm   |
| タンク底面厚さ   | : 80 mm   |
| Tr 棒挿入管外径 | : 76.3 mm |
| Tr 棒挿入管厚さ | : 3.5 mm  |

#### 2.1.2 触針式液位計

燃料液位の測定は、触針式液位計で行う。電動モーターにより触針が上下に駆動して、溶液燃料に接触することによる電導度の変化を検知して液位を測定する。触針式液位計は過渡出力運転時には使用しない。

|         |                      |
|---------|----------------------|
| 主要構造材材質 | : SUS304L            |
| 触針材質    | : チタン合金 (プラチナコーティング) |
| 測定範囲    | : 0~1000 mm          |
| 測定精度    | : $\pm 0.2$ mm       |

#### 2.1.3 Tr 棒 (調整トランジェント棒)

炉心タンクの中心に挿入されている制御棒で、圧縮空気による駆動若しくは電動モーターによる駆動が可能である。外管と内管の2重被覆材の中に中性子吸収材である円柱ペレット状のボロンカーバイト ( $B_4C$ ) が封入されている。Tr 棒は炉心タンク中心にある案内管の中に設置されることから、溶液燃料には直接接触しない。

1996 年度の運転 (RunNo.38) まで反応度値 1.8\$ の Tr 棒を使用した後、1997 年度 (RunNo.39) からは 3\$ の反応度値を持つ Tr 棒を製作して使用している。図 2.2 に Tr 棒の構造図を示す。



## (1)中性子吸収材

|             |                         |
|-------------|-------------------------|
| 材質          | : B <sub>4</sub> C      |
| B10 濃縮度     | : 19.9 atom%            |
| 密度          | : 2.4 g/cm <sup>3</sup> |
| 有効長         | : 1200 mm               |
| 外径 (3\$用)   | : 31.0 mm               |
| 外径 (1.8\$用) | : 18.7 mm               |

## (2)被覆材 (外管/内管)

|               |           |
|---------------|-----------|
| 材質            | : SUS304L |
| 外管外径          | : 61.9 mm |
| 外管厚さ          | : 3.5 mm  |
| 内管外径 (3\$用)   | : 36.0 mm |
| 内管厚さ (3\$用)   | : 2.0 mm  |
| 内管外径 (1.8\$用) | : 26.8 mm |
| 内管厚さ (1.8\$用) | : 3.5 mm  |

## (3)駆動速度

|             |                                  |
|-------------|----------------------------------|
| 圧縮空気による駆動   | : 0~1100 mm の範囲を約 0.18 s         |
| 電動モーターによる駆動 | : 1~900 cm/min (1cm/min 単位で任意設定) |

## 2.1.4 安全棒

原子炉の緊急停止用として安全棒が3基設置されている。Tr棒と同様にボロンカーバイトペレットがステンレスの被覆材に封入されている。

## (1) 中性子吸収材

|         |                         |
|---------|-------------------------|
| 材質      | : B <sub>4</sub> C      |
| B10 濃縮度 | : 19.9 atom%            |
| 密度      | : 2.4 g/cm <sup>3</sup> |
| 外径      | : 54.6 mm               |
| 有効長     | : 1136 mm               |

## (2) 被覆材

|    |           |
|----|-----------|
| 材質 | : SUS304L |
| 外径 | : 61.9 mm |
| 厚さ | : 3.5 mm  |

### 2.1.5 給液ポンプ

溶液燃料を燃料貯槽であるダンプ槽から炉心タンクへ給液するためのポンプである。流量を任意に設定することが可能であり、流量設定範囲の異なるポンプを2基使用している。

#### (1) 高速給液ポンプ

|          |                     |
|----------|---------------------|
| 型式       | : 3連無脈動ダブルダイヤフラム定量型 |
| 本体材質     | : SUS304L           |
| ダイヤフラム材質 | : テフロン              |
| 吐出量      | : 5~65ℓ/min         |

#### (2) 低速給液ポンプ

|          |                     |
|----------|---------------------|
| 型式       | : 3連無脈動ダブルダイヤフラム定量型 |
| 本体材質     | : SUS304L           |
| ダイヤフラム材質 | : テフロン              |
| 吐出量      | : 0.7~10ℓ/min       |

### 2.1.5 核計装

定出力運転用として4系統、過渡出力運転用として2系統の核計装が設置されている。これらのうち、炉心タンクの周囲に設置されている検出器には中性子を減速させるためのポリエチレンシートを巻いており、ポリエチレンの厚さは起動系が10mm、運転系対数出力系が20mm、運転系線型出力系が5mmである。

核計装の仕様を表2.1に、検出器の配置を図2.3に示す。

表2.1 核計装の仕様

| 系統                 | 系統数 | 検出器                          | 計測範囲                                       | ループ誤差              | 熱中性子感度                           |
|--------------------|-----|------------------------------|--|--------------------|----------------------------------|
| 起動系<br>(定出力用)      | 2   | B-10比例計数管<br>WL-22792        | 計数率: $1 \sim 2 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$ | $\pm 0.1$ デカド      | 3.7<br>(cps/nv)                  |
|                    |     |                              | 炉周期: $-30 \sim \infty \sim 2 \text{ s}$    | $\pm 1.5$ %FS      |                                  |
| 運転系対数出力系<br>(定出力用) | 2   | $\gamma$ 線補償型電離箱<br>WL-23084 | 出力: $10^{-5} \sim 200$ %                   | $\pm 0.1$ デカド      | $7.6 \times 10^{-14}$<br>(A/nv)  |
|                    |     |                              | 炉周期: $-30 \sim \infty \sim 2 \text{ s}$    | $\pm 1.5$ %FS      |                                  |
| 運転系線型出力系<br>(定出力用) | 2   | $\gamma$ 線補償型電離箱<br>WL-23084 | 出力: 0~100 %                                | $\pm 3 \sim 1$ %FS | $7.6 \times 10^{-14}$<br>(A/nv)  |
| 安全出力系<br>(定出力用)    | 2   | $\gamma$ 線補償型電離箱<br>WL-23084 | 出力: 0~20 kW                                | $\pm 3$ %FS        | $7.6 \times 10^{-14}$<br>(A/nv)  |
|                    |     |                              | 積分出力: 0~40 MWs                             | $\pm 3$ %FS        |                                  |
| 過渡線型出力系<br>(過渡出力用) | 2   | 核分裂電離箱<br>RS-C6-0201-231     | 出力: 0~100 %                                | $\pm 3$ %FS        | $1.80 \times 10^{-17}$<br>(A/nv) |
|                    |     |                              | 積分出力: 0~40 MWs                             | $\pm 3$ %FS        |                                  |
| 過渡対数出力系<br>(過渡出力用) | 1   | 核分裂電離箱<br>WL-23621           | 出力: 10k~10 GW                              | $\pm 0.1$ デカド      | $1.28 \times 10^{-17}$<br>(A/nv) |
|                    |     |                              | 炉周期: $-1 \sim 1 \text{ ms}$                | $\pm 1.5$ %FS      |                                  |

各検出器は、Westinghouse社製（過渡線型出力系を除く）。

過渡線型出力系は、Reuter-Stokes社製。

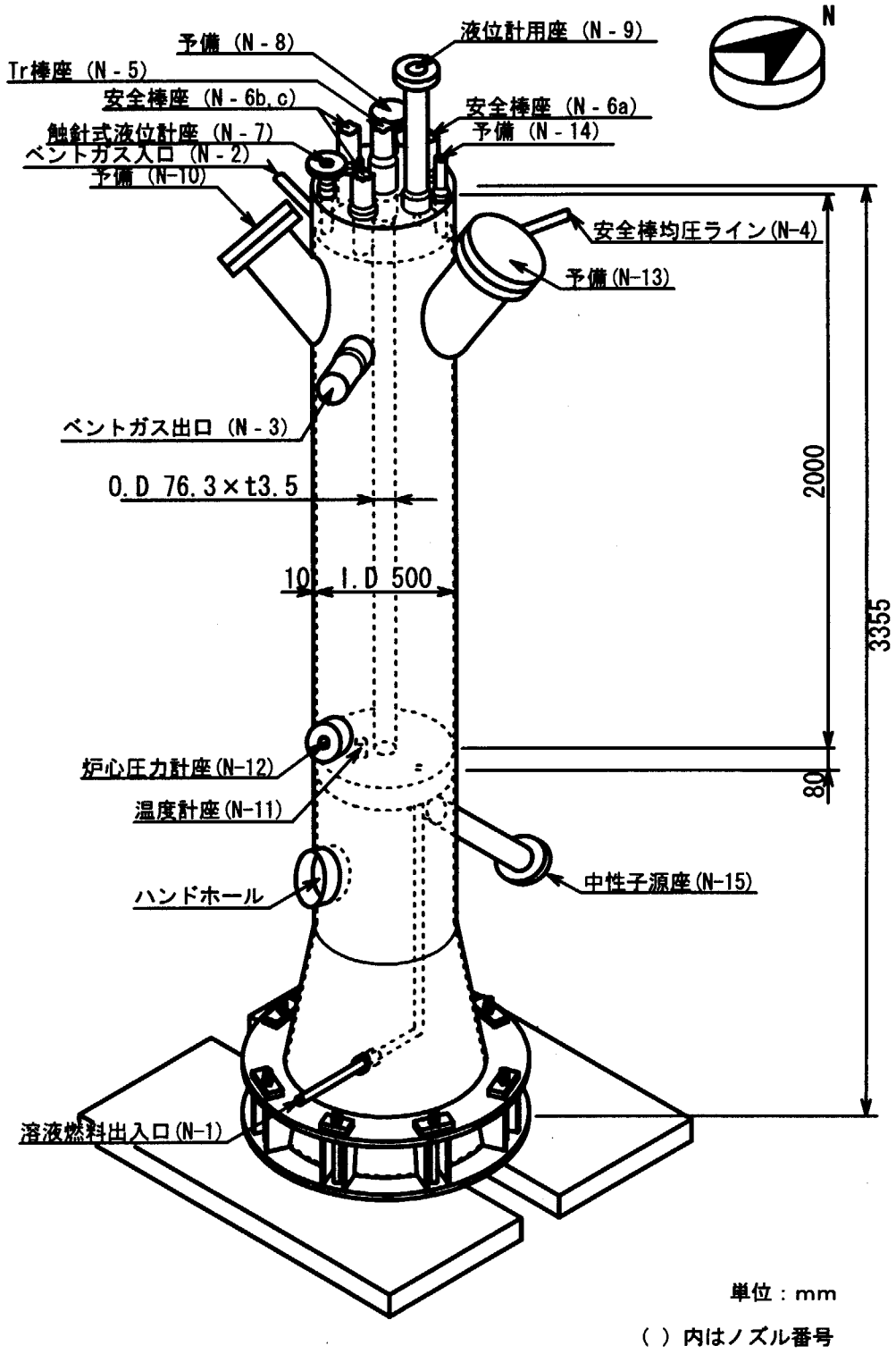


図 2.1 炉心タンク外形図

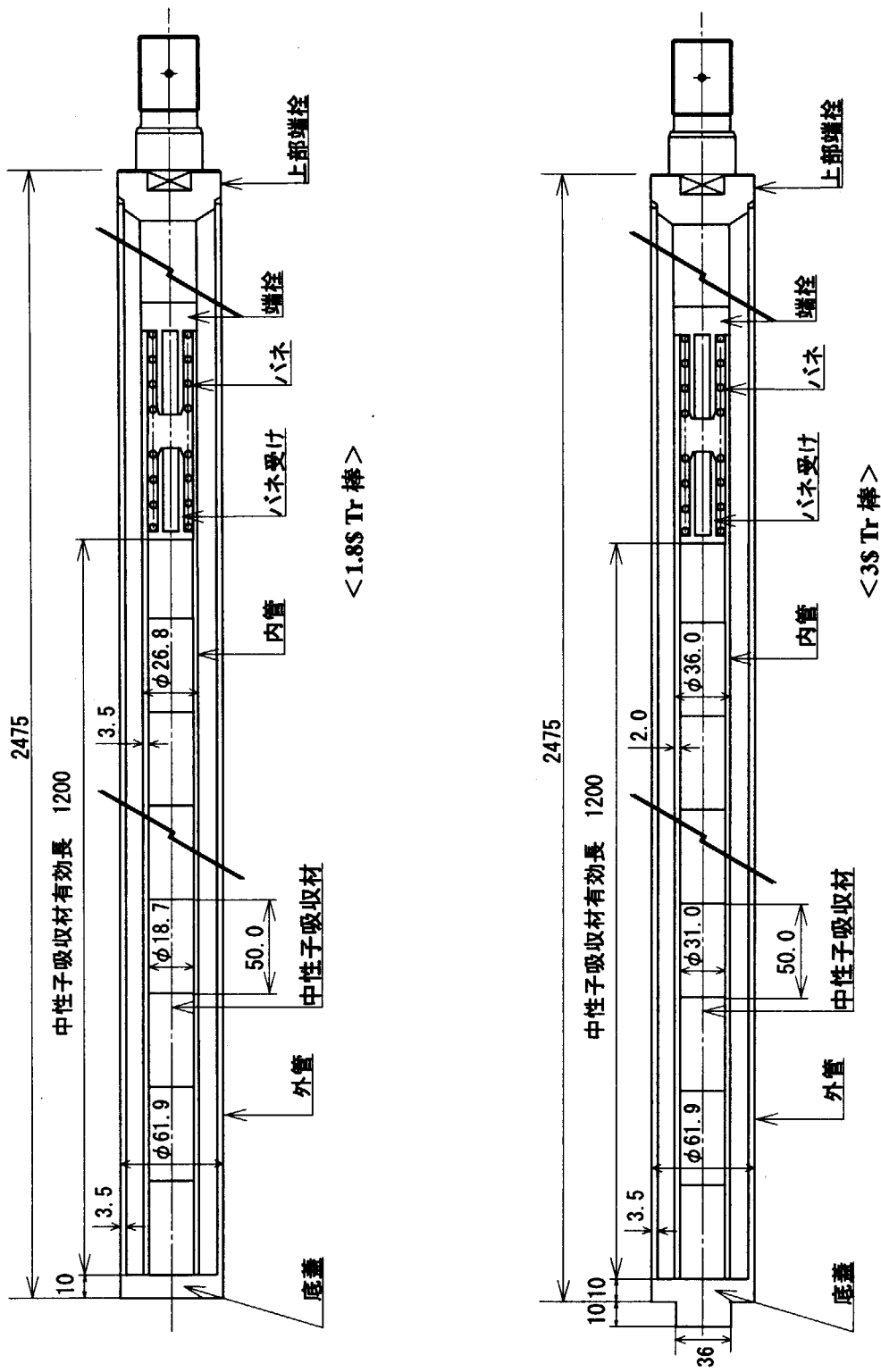


図 2.2 Tr 棒の構造図

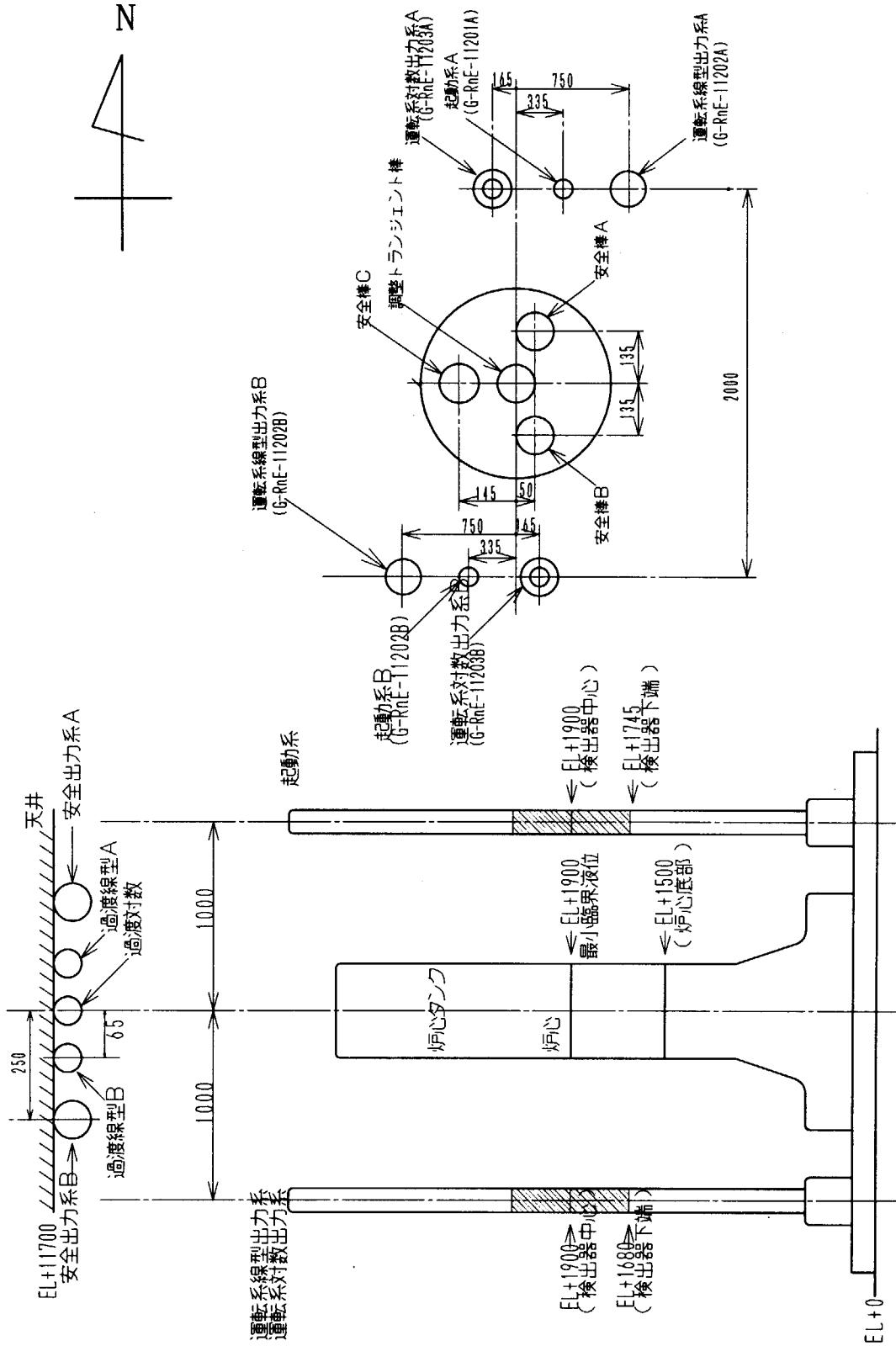


図 2.3 核計装検出器の配置図

## 2.2 過渡運転時の計測機器

過渡出力運転時には急激な出力の増大が起こり、温度が上昇する。また、放射線分解ガスの生成により圧力が発生する。ここではこれらを測定する機器について述べる。

### 2.2.1 測定項目

主な測定項目を以下に示す。アルファベット記載の信号名は付録の過渡出力運転データ履歴に対応するものである。

ベント圧力計及び実験系温度計の配置図を図 2.4 に、炉心タンク圧力計及び本体系温度計の配置図を図 2.5 に示す。

#### (1) 過渡対数出力系対数出力 : ELogE (信号名)

炉心タンク中心から約 10m 離れた炉室天井部に設置されている核分裂電離箱で測定。  
前置増幅器、主増幅器は制御室に設置されている。

計測範囲 : 10kW~10GW

測定精度 :  $\pm 0.1$  デカード

応答速度 : 約  $50 \mu\text{s}$  (10GW 相当電流入力時)

#### (2) 炉心タンク圧力 : TPres

炉心タンク壁面に設置されたダイヤフラム式圧力計で測定。

計測範囲 :  $0 \sim 15 \text{kg/cm}^2$

測定精度 :  $\pm 1.5\% \text{FS}$

応答周波数範囲 :  $0 \sim 10 \text{kHz}$

#### (3) 炉心タンクベント圧力 : VPres

ベント系配管に設置されたダイヤフラム式圧力計で測定。

計測範囲 :  $0 \sim 15 \text{kg/cm}^2$

測定精度 :  $\pm 1.5\% \text{FS}$

応答周波数範囲 :  $0 \sim 10 \text{kHz}$

#### (4) 本体系温度計 : Temp

炉心タンク底面に設置された熱電対で測定。

計測範囲 :  $0 \sim 150^\circ\text{C}$

測定精度 :  $\pm 1.5^\circ\text{C}$

応答周波数範囲 : 1Hz

#### (5) 実験系温度計 : TempA~J (軸方向)

炉心タンク上部ノズルより挿入された熱電対 (10 系統) で測定。

計測範囲 :  $0 \sim 130^\circ\text{C}$

測定精度 :  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$   
 応答周波数範囲 : 1Hz

(6)実験系温度計 : Temp1~10 (径方向)

炉心タンク上部ノズルより挿入された熱電対 (10 系統) で測定。  
 計測範囲 :  $0\sim 130^{\circ}\text{C}$   
 測定精度 :  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$   
 応答周波数範囲 : 0.1 Hz

(7)Tr 棒電動部位置

Tr 棒電動部位置 : Tr-P  
 Tr 棒の電動駆動部の位置を測定する。  
 Tr 棒の電動駆動部位置は実際の Tr 棒の下端位置より 90mm 上にある。  
 計測範囲 :  $0\sim 1500\text{ mm}$   
 測定精度 :  $\pm 0.4\text{ mm}$

(8)給液流量

給液流量 : Flow  
 ランプ給液時における給液流量を示す。給液系配管に設置された流量計で測定。  
 計測範囲 :  $0\sim 75\text{ l/min}$   
 測定精度 :  $\pm 0.4\text{ l/min}$

(9)その他

リミットスイッチによる Tr 棒の位置検出信号  
 給液ポンプの起動・停止

2.2.2 データロガー

過渡運転時のデータは 3 台のデータロガーで収集している。第 1 出力パルスの半値幅は非常に短く、最も早い出力パルスでは約 5ms である。また、各データの相関関係を調べる必要があるため、多数のデータを同期させて収集している。

サンプリングレートについては、運転条件や検出器の応答速度に応じた設定をしている。これまで、温度については 100S/s (1s あたり 100 回サンプリング、10ms 間隔) を上限、その他の項目は 10kS/s (1s あたり 10000 回サンプリング、0.1ms 間隔) を上限として測定を行った。

データロガーの主な仕様を以下に示す。

(1)データロガーNo.1、No.2

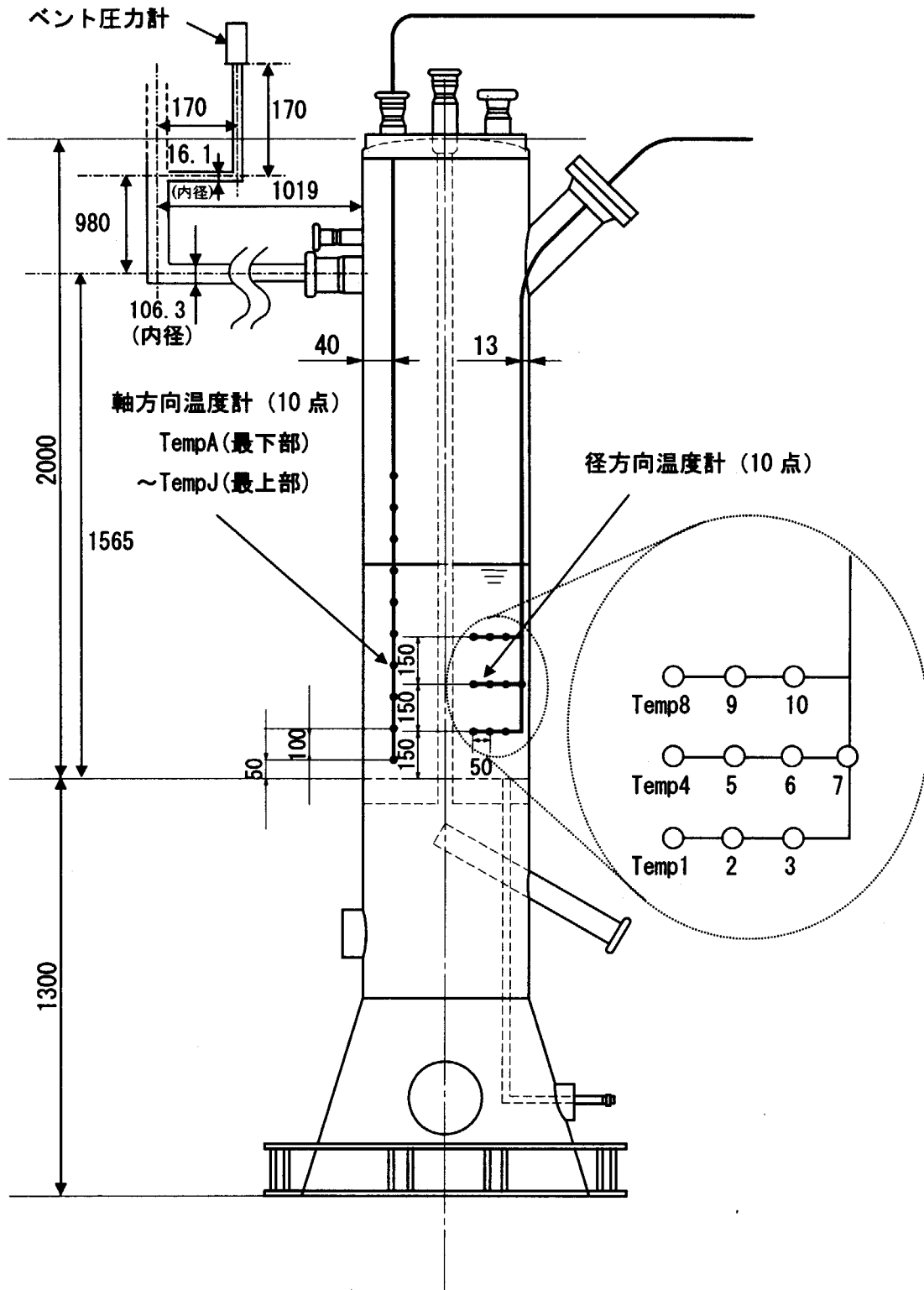
本体 : AR4800 702423 (横河電機(株)製)  
 入力ユニット : ユニバーサルユニット 702611 (横河電機(株)製)

入力チャンネル数 : 最大 32ch  
入力抵抗 :  $1\text{M}\Omega$   
最大入力範囲 : DC60V  
サンプルレート : 最大 100kS/s (S/s=sample/sec)  
確度 :  $\pm(0.25\%FS+50\mu\text{V})$  (200mV~50V レンジ時)

(2)データロガーNo.3

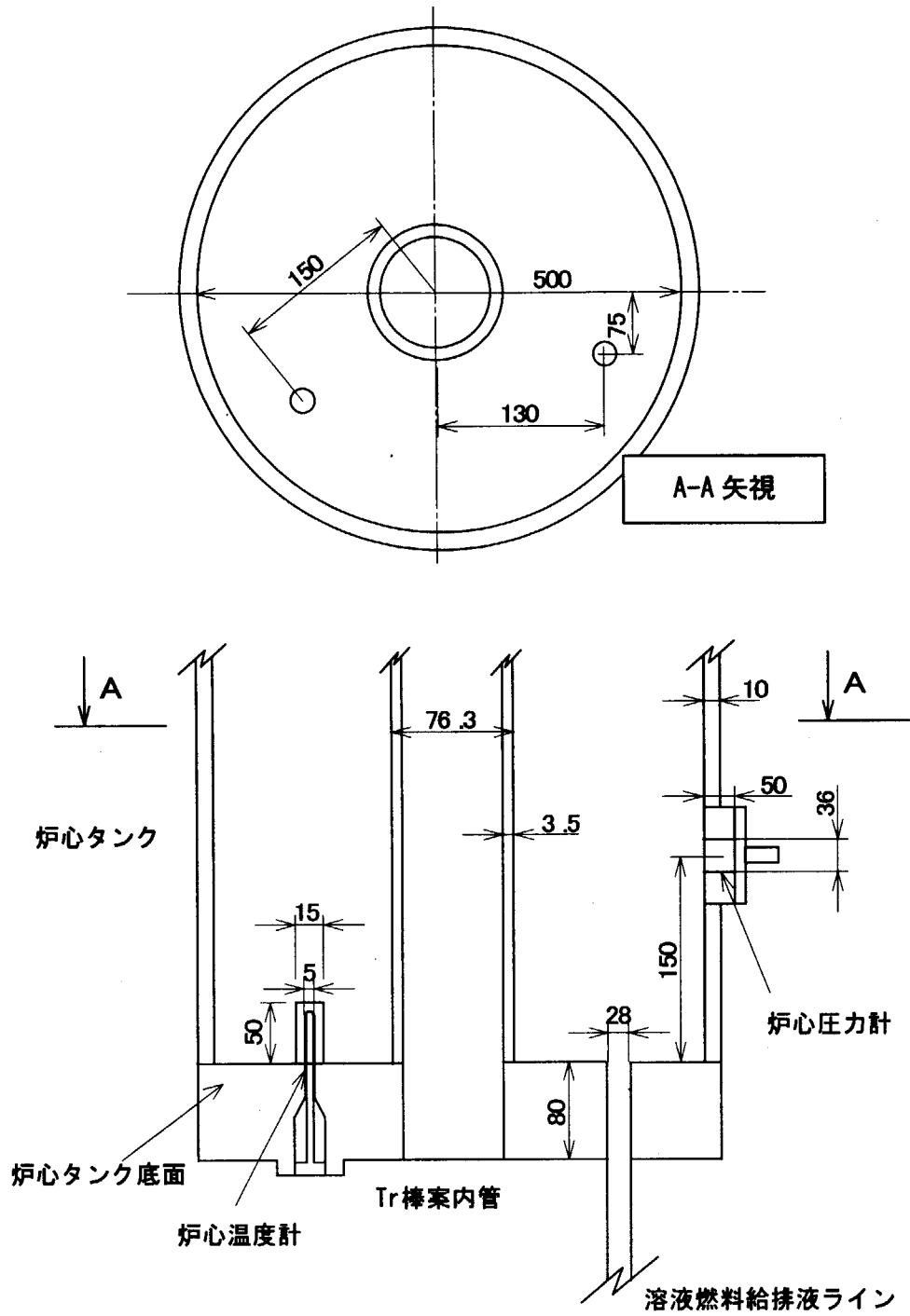
本体 : WE7000 707002 (横河電機(株)製)  
入力チャンネル数 : 最大 32ch  
入力ユニット : アイソレーションデジタルモジュール 707271 (横河電機(株)製)  
入力抵抗 :  $1\text{M}\Omega$   
最大入力範囲 : DC50V  
サンプルレート : 最大 100kS/s  
確度 :  $\pm(0.04\%rdg+1.3\text{mV})$  (5V レンジ時)





単位 : mm

図 2.4 ベント圧力計・実験系温度計配置図



単位：mm

図 2.5 炉心タンク圧力計・本体系温度計配置図

### 3. 燃料管理

TRACY で用いる燃料は U-235 濃縮度が 9.98% の硝酸ウラニル水溶液である。運転中以外、燃料はダンプ槽に貯蔵されており、運転の前後に燃料のサンプルを採取して燃料組成を分析する。分析項目はウラン濃度、硝酸濃度、密度、FP の放射能強度である。定期検査時には被ばくや汚染の拡大を最小限に止めるために系統内を硝酸水で洗浄する。また、PIT/PIV (核物質の实在庫調査及び实在庫検認) 時の作業においても、系統内のウランを集めるために洗浄を行う。洗浄を実施した場合、系統内に残留した硝酸水によって燃料が希釈される傾向にある。図 3.1 から図 3.3 にダンプ槽液位とウラン濃度、ウラン量、硝酸濃度の推移を示す。運転開始当初にウラン濃度が減少しているのはダンプ槽の燃料液位の管理に用いる差圧式液位計の湿り空気がダンプ槽に流入して水分を与えているためと考えられる。また、運転を重ねるごとにダンプ槽の液位が低下してウラン濃度が上昇する傾向がある。これは過渡出力運転や高出力運転を行った際の燃料温度の上昇による水分の蒸発及び放射線分解ガスの発生によるものである。ダンプ槽液位が低下する理由としてはこの他にダンプ槽内のウラン量が減少していることから、過渡運転時に溶液燃料がミストやエアロゾルとして気相に移行することが考えられる。硝酸濃度は減少傾向にあるが、NUCEF で同様の燃料管理を行っている定常臨界実験装置 STACY ではこのような傾向は見られないことが確認されている<sup>[3]</sup>。TRACY では STACY と比較して出力が大きいため燃料が強い放射線に曝され、さらに燃料の温度が上昇するために硝酸の分解が起こり、NO<sub>x</sub> ガスが発生しているものと思われるが詳細については調査中である。

ウラン濃度は臨界液位を決定する要素の 1 つであり、臨界液位の変化は Tr 棒の反応度価値の変化に繋がる。図 3.4 にウラン濃度と Tr 棒反応度価値の関係を示す。近似曲線の傾きから、ウラン濃度 1gU/l あたりの反応度効果は 1.8\$ の Tr 棒で 0.26¢、3\$ の Tr 棒では 0.35¢ となる。現在の体系において測定されたこれまでのデータを外挿して 3\$ のウラン濃度を求めると、370.4 gU/l となり、ウラン濃度の調整を行う際にはこの濃度を下回ることが無いように留意する必要がある。

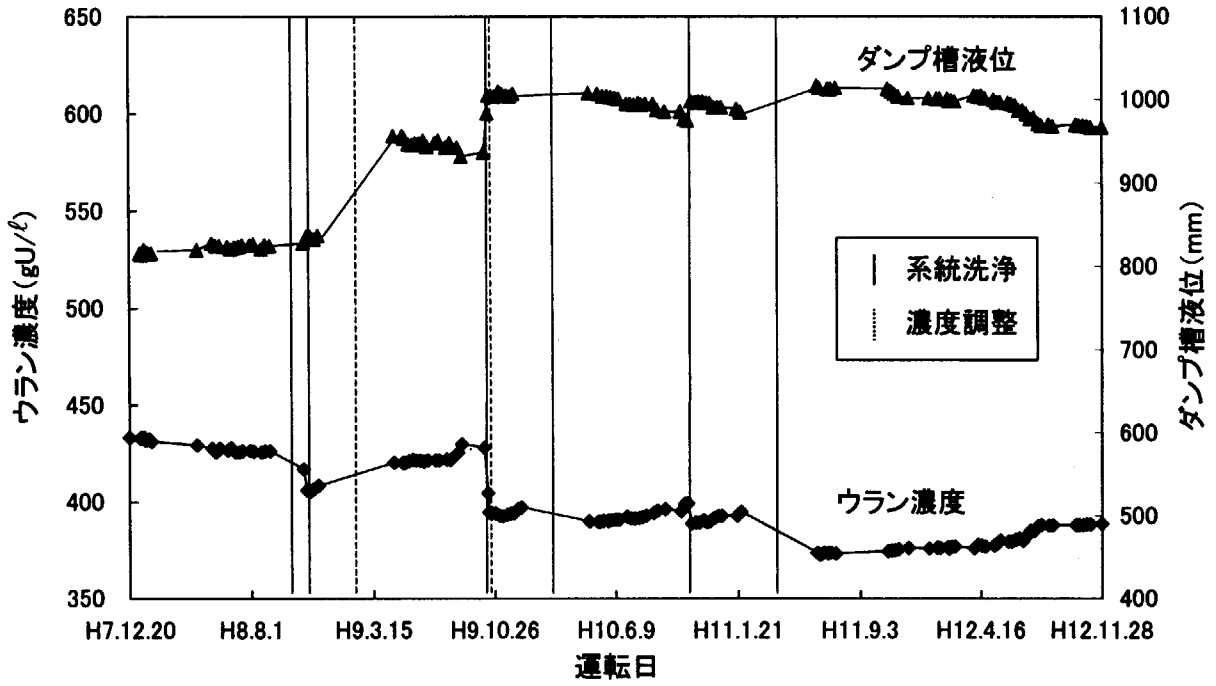


図 3.1 ウラン濃度とダンプ槽液位の変化

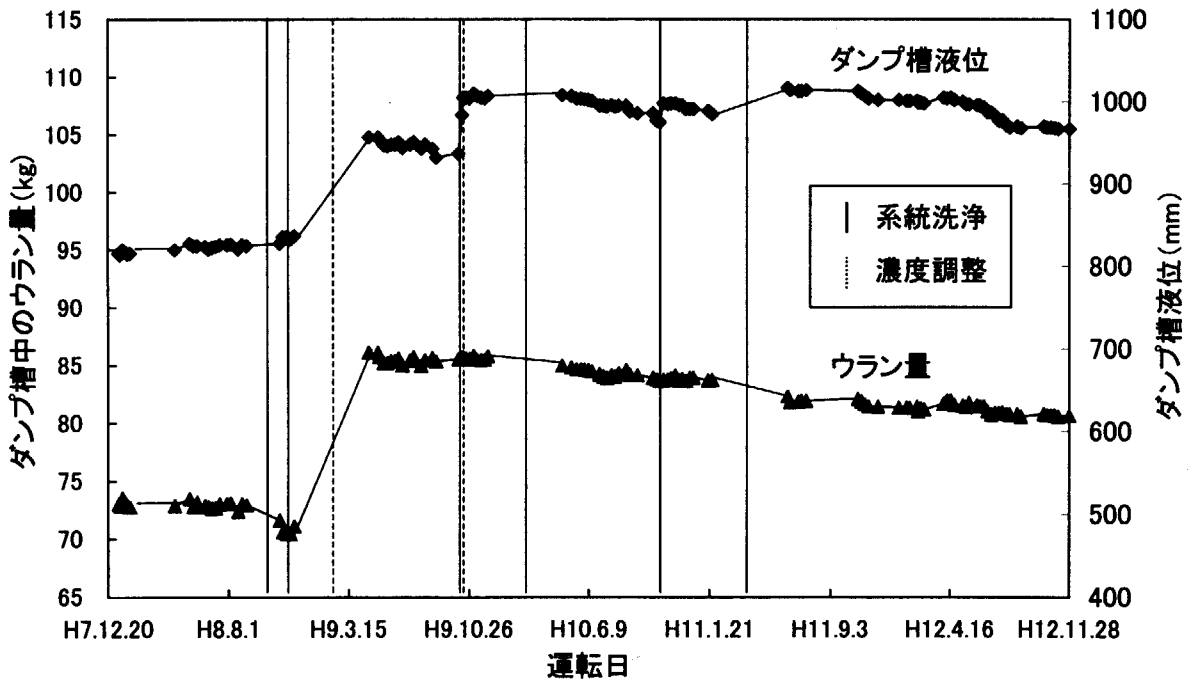


図 3.2 ウラン量とダンプ槽液位の変化

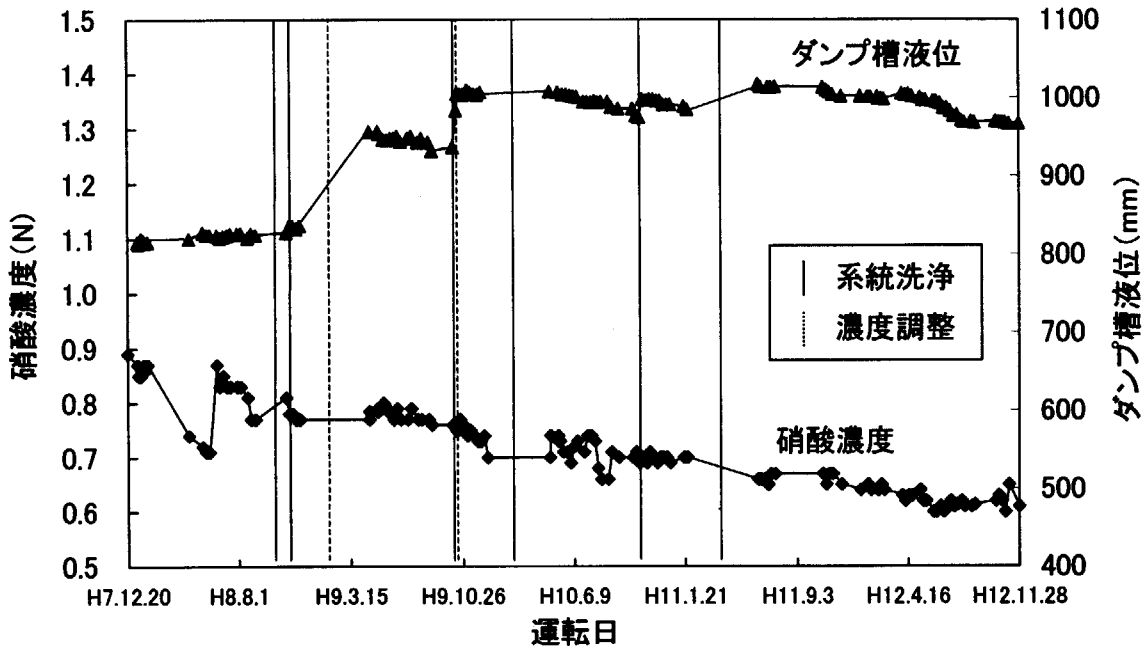


図 3.3 硝酸濃度とダンプ槽液位の変化

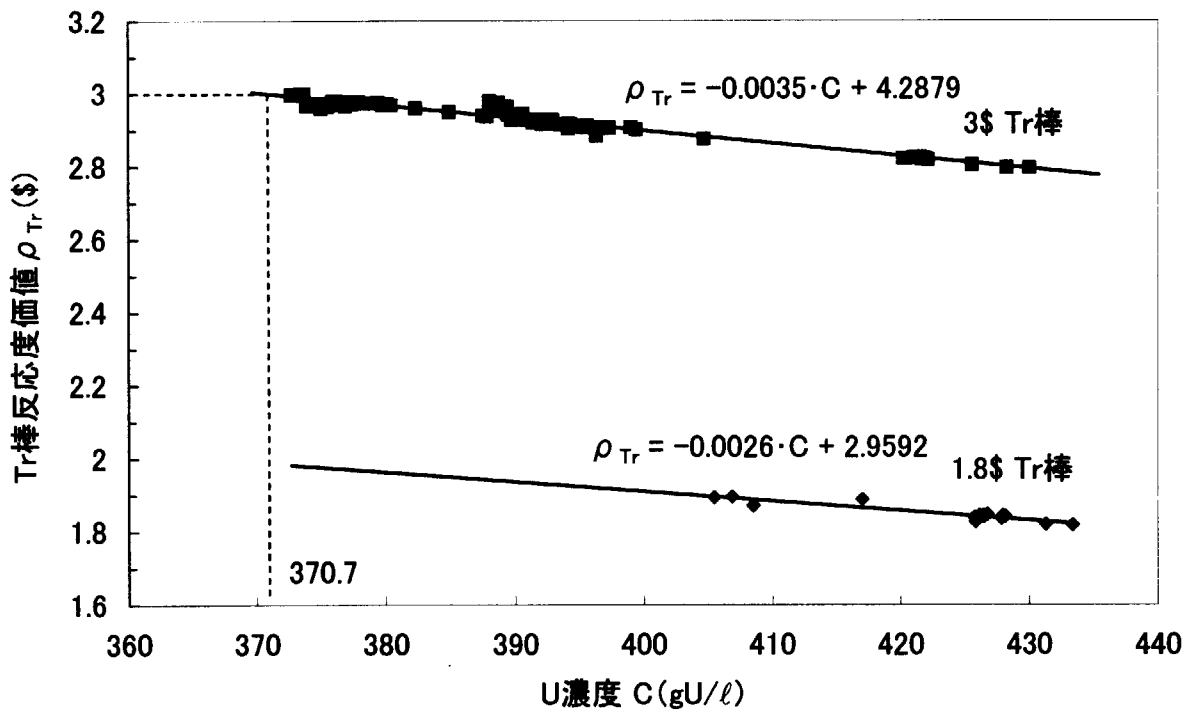


図 3.4 ウラン濃度と Tr 棒反応度値

## 4. 運転データ

TRACY 運転手順の概要を以下に示す。

- ①Tr 棒が無い状態で臨界近接を行い、臨界液位  $H_{Co}$  を測定したのち、Tr 棒を挿入する。
- ②Tr 棒が挿入された状態で臨界近接を行い、臨界液位  $H_{Cl}$  を測定する。
- ③ $H_{Co}$  と  $H_{Cl}$  の液位差から Tr 棒の反応度値を算出する。

(パルス引抜・ランプ引抜の場合)

- ④ $H_{Co}$ ～ $H_{Cl}$  の範囲で液位調整を行う。この液位が反応度添加液位となる。
- ⑤Tr 棒を圧縮空気もしくは電動モーターで引抜くことにより過渡出力運転を開始する。
- ⑥Tr 棒を挿入して過渡出力運転を終了させる。
- ⑦燃料を排液する。

(ランプ給液の場合)

- ④ $H_{Co}$  の測定結果より反応度添加液位を決定する。
- ⑤ $H_{Co}$  以下まで燃料を排液したのち、Tr 棒を引抜く。
- ⑥給液ポンプにより燃料の給液を行い、過渡出力運転を開始する。
- ⑦反応度添加液位まで給液したのち、給液を停止する。
- ⑧Tr 棒を挿入して過渡出力運転を終了させる。
- ⑨燃料を排液する。

ここで、反応度添加液位とは過渡運転の設定液位であり、パルス引抜及びランプ引抜においては Tr 棒引抜直前の液位、ランプ給液では給液が終了した時の液位（温度上昇による体積膨張分は除く）となる。いずれの場合も添加する反応度はこの反応度添加液位と Tr 棒未挿入時の臨界液位の液位差から決定される。

表 4.1 に年度毎の運転時間、出力等を示す。また、表 4.2 に運転時の主要なデータを示す。

表 4.1 ウラン濃度と臨界液位

| 年度                | 項目 | 運転回数<br>(回) | 過渡運転<br>回数(回) | 年間運転時間<br>(hr:min) | 時間利用率<br>(%) | 年間最大<br>出力 (W) | 年間積算<br>出力(MW·s) |
|-------------------|----|-------------|---------------|--------------------|--------------|----------------|------------------|
| 1995年度            |    | 18          | 0             | 36:41              | 0.017%       | 9.60E+00       | 0                |
| 1996年度            |    | 20          | 11            | 66:12              | 0.031%       | 3.25E+08       | 73.4             |
| 1997年度            |    | 39          | 15            | 134:35             | 0.064%       | 1.10E+09       | 247.4            |
| 1998年度            |    | 41          | 25            | 128:17             | 0.061%       | 1.58E+09       | 369.2            |
| 1999年度            |    | 33          | 11            | 95:16              | 0.045%       | 1.70E+09       | 195.3            |
| 2000年度            |    | 25          | 19            | 110:37             | 0.053%       | 1.59E+09       | 274.4            |
| 1995～<br>2000年度総計 |    | 176         | 81            | 571:43             | 0.045%       | 1.70E+09       | 1159.6           |

表4.2 運転データ (1/8)

| RUNNo. | 運転日      | 運転モード | 定出力運転データ     |              |                         |                              |                  | 過渡運転データ                     |            |                            |                        |           | 出力               |              |          |
|--------|----------|-------|--------------|--------------|-------------------------|------------------------------|------------------|-----------------------------|------------|----------------------------|------------------------|-----------|------------------|--------------|----------|
|        |          |       | ウラン濃度 (gU/l) | 硝酸濃度 (mol/l) | 密度 (g/cc) <sup>*1</sup> | Tr棒未挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> | 臨界液位 (mm)        | Tr棒挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> | Tr棒反応度 (β) | 反応度添加液位 (mm) <sup>*3</sup> | 初期出力 (W) <sup>*4</sup> | 添加反応度 (β) | Tr棒駆動速度 (cm/min) | 給液流量 (l/min) | 最大出力 (W) |
| R0001  | H7.12.20 | 定出力   | 433.4 ± 0.1  | 0.89 ± 0.02  | 1.60440                 | 450.03 (23.4 °C)             |                  |                             |            |                            |                        |           |                  | 1.00E-02     | 0.0      |
| R0002  | H8.1.19  | 定出力   | 433.1 ± 0.2  | 0.87 ± 0.02  | 1.60420                 | 451.15 (23.7 °C)             |                  |                             |            |                            |                        |           |                  | 4.36E+00     | 0.0      |
| R0003  | H8.1.19  | 定出力   | 433.1 ± 0.2  | 0.87 ± 0.02  | 1.60420                 | 451.31 (24.0 °C)             |                  |                             |            |                            |                        |           |                  | 3.22E-02     | 0.0      |
| R0004  | H8.1.11  | 定出力   | 433.4 ± 0.9  | 0.85 ± 0.02  | 1.60300                 | 451.54 (23.8 °C)             |                  |                             |            |                            |                        |           |                  | 3.55E-02     | 0.0      |
| R0005  | H8.1.11  | 定出力   | 433.4 ± 0.9  | 0.85 ± 0.02  | 1.60300                 | 451.62 (24.0 °C)             |                  |                             |            |                            |                        |           |                  | 3.22E-02     | 0.0      |
| R0006  | H8.1.11  | 定出力   | 433.4 ± 0.9  | 0.85 ± 0.02  | 1.60300                 | 451.66 (24.0 °C)             |                  |                             |            |                            |                        |           |                  | 3.55E-02     | 0.0      |
| R0007  | H8.1.11  | 定出力   | 433.4 ± 0.9  | 0.85 ± 0.02  | 1.60300                 | 451.58 (24.1 °C)             |                  |                             |            |                            |                        |           |                  | 3.69E-02     | 0.0      |
| R0008  | H8.1.16  | 定出力   | 433.4 ± 0.9  | 0.85 ± 0.02  | 1.60300                 | 451.71 (23.5 °C)             |                  |                             |            |                            |                        |           |                  | 3.69E-02     | 0.0      |
| R0009  | H8.1.16  | 定出力   | 433.4 ± 0.9  | 0.85 ± 0.02  | 1.60300                 | 451.85 (23.9 °C)             |                  |                             |            |                            |                        |           |                  | 4.02E-02     | 0.0      |
| R0010  | H8.1.16  | 定出力   | 433.4 ± 0.9  | 0.85 ± 0.02  | 1.60300                 | 451.88 (23.9 °C)             | 497.22 (23.8 °C) | 1.82                        |            |                            |                        |           |                  | 3.82E-02     | 0.0      |
| R0011  | H8.1.18  | 定出力   | 432.1 ± 0.5  | 0.86 ± 0.01  | 1.60270                 |                              | 497.76 (23.6 °C) |                             |            |                            |                        |           |                  | 3.69E-02     | 0.0      |
| R0012  | H8.1.18  | 定出力   | 432.1 ± 0.5  | 0.86 ± 0.01  | 1.60270                 |                              | 497.99 (23.9 °C) |                             |            |                            |                        |           |                  | 4.09E-02     | 0.0      |
| R0013  | H8.1.18  | 定出力   | 432.1 ± 0.5  | 0.86 ± 0.01  | 1.60270                 |                              | 497.93 (23.9 °C) |                             |            |                            |                        |           |                  | 4.69E-02     | 0.0      |
| R0014  | H8.1.22  | 定出力   | 432.3 ± 0.3  | 0.87 ± 0.01  | 1.60200                 | 452.31 (23.6 °C)             |                  |                             |            |                            |                        |           |                  | 9.60E+00     | 0.0      |
| R0015  | H8.1.25  | 定出力   | 432.5 ± 0.6  | 0.86 ± 0.01  | 1.60160                 | 452.91 (23.7 °C)             |                  |                             |            |                            |                        |           |                  | 4.02E-02     | 0.0      |
| R0016  | H8.1.25  | 定出力   | 432.5 ± 0.6  | 0.86 ± 0.01  | 1.60160                 | 452.99 (23.9 °C)             |                  |                             |            |                            |                        |           |                  | 4.02E+00     | 0.0      |
| R0017  | H8.1.30  | 定出力   | 431.3 ± 0.2  | 0.87 ± 0.01  | 1.60110                 | 453.18 (23.5 °C)             | 498.92 (23.5 °C) | 1.82                        |            |                            |                        |           |                  | 4.20E-02     | 0.0      |
| R0018  | H8.1.30  | 定出力   | 431.3 ± 0.2  | 0.87 ± 0.01  | 1.60110                 |                              | 499.45 (23.9 °C) |                             |            |                            |                        |           |                  | 4.09E-02     | 0.0      |
| R0019  | H8.4.23  | 定出力   | 429.4 ± 0.4  | 0.74 ± 0.02  | 1.59863                 | 457.35 (24.9 °C)             |                  |                             |            |                            |                        |           |                  | 8.00E+02     | 1.0      |
| R0020  | H8.5.21  | 定出力   | 427.8 ± 0.4  | 0.72 ± 0.04  | 1.59714                 | 458.10 (25.9 °C)             | 505.65 (25.7 °C) | 1.84                        |            |                            |                        |           |                  | 5.00E+03     | 4.2      |
| R0021  | H8.5.28  | 定出力   | 425.8 ± 0.6  | 0.71 ± 0.01  | 1.59664                 | 457.43 (24.9 °C)             | 504.53 (24.8 °C) | 1.83                        |            |                            |                        |           |                  | 3.89E+00     | 0.0      |
| R0022  | H8.6.4   | 定出力   | 427.9 ± 0.4  | 0.71 ± 0.01  | 1.59605                 | 458.80 (26.0 °C)             | 506.76 (26.0 °C) | 1.84                        |            |                            |                        |           |                  | 1.00E+04     | 2.8      |
| R0023  | H8.6.19  | 定出力   | 426.7 ± 0.2  | 0.87 ± 0.01  | 1.59501                 | 459.33 (25.6 °C)             | 507.54 (25.6 °C) | 1.85                        |            |                            |                        |           |                  | 1.00E+04     | 3.1      |

\*1:密度分析時の温度は25°C

\*2:燃料温度は本体系温度計の値

\*3:sub=未臨界状態を表す

\*4:ランプ給液における反応度添加液位は給液終了時の液位

表4.2 運転データ (2/8)

| RUNNo. | 運転日      | 運転モード | 定出力運転データ     |              |                         |                              |                             |                            | 過渡運転データ                 |           |                  |              |          | 出力          |  |
|--------|----------|-------|--------------|--------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------|------------------|--------------|----------|-------------|--|
|        |          |       | ウラン濃度 (gU/l) | 硝酸濃度 (mol/l) | 密度 (g/cc) <sup>*1</sup> | 臨界液位 (mm)                    |                             | 反応度添加液位 (mm) <sup>*3</sup> | 初期出力 (W) <sup>**4</sup> | 添加反応度 (β) | Tr棒駆動速度 (cm/min) | 給液流量 (l/min) | 最大出力 (W) | 積算出力 (MW·s) |  |
|        |          |       |              |              |                         | Tr棒未挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> | Tr棒挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> |                            |                         |           |                  |              |          |             |  |
| R0024  | H8.6.25  | ハリス引抜 | 428.1 ± 0.6  | 0.83 ± 0.01  | 1.59550                 | 459.14 (25.2 °C)             | 507.15 (25.2 °C)            | 478.53 (25.3 °C)           | sub                     | 0.80      |                  | 4.20E+05     | 2.0      |             |  |
| R0025  | H8.7.2   | ハリス引抜 | 426.1 ± 0.2  | 0.85 ± 0.01  | 1.59393                 | 459.90 (25.5 °C)             | 508.18 (25.5 °C)            | 489.91 (25.5 °C)           | sub                     | 1.20      |                  | 2.52E+07     | 4.5      |             |  |
| R0026  | H8.7.9   | ハリス引抜 | 425.7 ± 0.1  | 0.83 ± 0.01  | 1.59363                 | 460.23 (25.6 °C)             | 508.43 (25.5 °C)            | 508.43 (25.5 °C)           | 0.99                    | 1.84      |                  | 3.00E+08     | 7.0      |             |  |
| R0027  | H8.7.16  | 定出力   | 426.4 ± 0.5  | 0.83 ± 0.01  | 1.59285                 | 460.24 (26.0 °C)             |                             |                            |                         |           |                  | 5.00E+02     | 0.3      |             |  |
| R0028  | H8.7.30  | ハリス引抜 | 426.5 ± 0.3  | 0.83 ± 0.01  | 1.59500                 | 459.69 (25.5 °C)             | 507.87 (25.4 °C)            | 507.87 (25.4 °C)           | 1.04                    | 1.84      |                  | 3.00E+08     | 7.0      |             |  |
| R0029  | H8.8.6   | ランブ引抜 | 426.1 ± 0.2  | 0.83 ± 0.01  | 1.59442                 | 459.82 (25.6 °C)             | 507.72 (25.6 °C)            | 507.72 (25.6 °C)           | 1.02                    | 1.84      | 875              | 7.30E+07     | 7.2      |             |  |
| R0030  | H8.8.20  | ランブ給液 | 425.8 ± 0.4  | 0.81 ± 0.01  | 1.59280                 | 459.84 (25.5 °C)             | 507.70 (25.4 °C)            | 489.71 (25.6 °C)           | sub                     | 1.20      | 60               | 2.28E+07     | 8.0      |             |  |
| R0031  | H8.8.27  | ランブ給液 | 426.3 ± 0.2  | 0.77 ± 0.01  | 1.59462                 | 459.15 (25.3 °C)             | 507.13 (25.3 °C)            | 500.32 (25.4 °C)           | sub                     | 1.61      | 60               | 2.55E+07     | 8.5      |             |  |
| R0032  | H8.9.5   | ランブ給液 | 426.4 ± 0.5  | 0.77 ± 0.01  | 1.59422                 | 459.35 (25.4 °C)             | 507.49 (25.3 °C)            | 494.66 (25.5 °C)           | sub                     | 1.40      | 60               | 1.14E+07     | 4.0      |             |  |
| R0033  | H8.11.6  | ハリス引抜 | 417.0 ± 0.3  | 0.81 ± 0.01  | 1.58883                 | 469.40 (26.3 °C)             | 521.81 (26.4 °C)            | 490.27 (26.4 °C)           | sub                     | 0.81      |                  | 5.50E+05     | 4.0      |             |  |
| R0034  | H8.11.12 | 定出力   | 406.1 ± 0.2  | 0.78 ± 0.01  | 1.56716                 | 482.11 (26.1 °C)             |                             |                            |                         |           |                  | 8.60E-01     | 0.0      |             |  |
| R0035  | H8.11.19 | ハリス引抜 | 405.5 ± 0.4  | 0.78 ± 0.01  | 1.56633                 | 483.61 (25.1 °C)             | 540.63 (25.1 °C)            | 540.63 (25.1 °C)           | 1.02                    | 1.89      |                  | 3.25E+08     | 7.0      |             |  |
| R0036  | H8.11.26 | ハリス引抜 | 406.9 ± 0.4  | 0.77 ± 0.01  | 1.56885                 | 482.06 (25.7 °C)             | 538.63 (25.7 °C)            | 488.74 (25.8 °C)           | sub                     | 0.25      |                  | 1.80E+04     | 2.8      |             |  |
| R0037  | H8.12.3  | 定出力   | 408.5 ± 0.1  | 0.77 ± 0.01  | 1.56837                 | 479.24 (25.4 °C)             | 534.09 (25.3 °C)            |                            |                         | 1.87      |                  | 1.00E+00     | 0.0      |             |  |
| R0038  | H8.12.4  | 定出力   | 408.5 ± 0.1  | 0.77 ± 0.01  | 1.56837                 | 479.99 (25.5 °C)             |                             |                            |                         |           |                  | 1.94E+02     | 0.1      |             |  |
| R0039  | H9.4.22  | 定出力   | 420.4 ± 0.3  | 0.78 ± 0.01  | 1.56837                 | 483.74 (25.6 °C)             | 545.14 (25.6 °C)            |                            |                         | 2.82      |                  | 3.08E+00     | 0.0      |             |  |
| R0040  | H9.4.22  | 定出力   | 420.4 ± 0.3  | 0.78 ± 0.01  | 1.58718                 |                              | 545.79 (26.1 °C)            |                            |                         |           |                  | 3.28E-02     | 0.0      |             |  |
| R0041  | H9.4.23  | 定出力   | 420.4 ± 0.3  | 0.78 ± 0.01  | 1.58718                 | 483.84 (25.9 °C)             |                             |                            |                         |           |                  | 3.82E-02     | 0.0      |             |  |
| R0042  | H9.4.23  | 定出力   | 420.4 ± 0.3  | 0.78 ± 0.01  | 1.58718                 | 483.92 (26.2 °C)             |                             |                            |                         |           |                  | 3.82E-02     | 0.0      |             |  |
| R0043  | H9.4.23  | 定出力   | 420.4 ± 0.3  | 0.78 ± 0.01  | 1.58718                 | 483.89 (26.2 °C)             |                             |                            |                         |           |                  | 5.00E+03     | 4.2      |             |  |
| R0044  | H9.5.9   | 定出力   | 420.4 ± 0.3  | 0.78 ± 0.01  | 1.58718                 | 476.92 (32.6 °C)             |                             |                            |                         |           |                  | 5.40E-01     | 0.0      |             |  |
| R0045  | H9.5.9   | 定出力   | 420.2 ± 0.3  | 0.79 ± 0.01  | 1.58700                 | 464.03 (26.2 °C)             |                             |                            |                         |           |                  | 4.09E-02     | 0.0      |             |  |

\*1:密度分析時の温度は25°C

\*2:燃料温度は本体系温度計の値

\*3:sub=未臨界状態を表す

\*4:ランブ給液における反応度添加液位は給液終了時の液位



表4.2 運転データ (3/8)

| RUNNo. | 運転日      | 運転モード | 定出力運転データ     |              |                         |                              |                             | 過渡運転データ       |                            |                        |                  |                  | 出力           |          |             |     |
|--------|----------|-------|--------------|--------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------|----------------------------|------------------------|------------------|------------------|--------------|----------|-------------|-----|
|        |          |       | ウラン濃度 (gU/l) | 硝酸濃度 (mol/l) | 密度 (g/cc) <sup>*1</sup> | Tr棒未挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> | Tr棒挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> | Tr棒反応度 (価値)\$ | 反応度添加液位 (mm) <sup>*3</sup> | 初期出力 (W) <sup>*4</sup> | 添加反応度 (\$)       | Tr棒駆動速度 (cm/min) | 給液流量 (ℓ/min) | 最大出力 (W) | 積算出力 (MW・s) |     |
| R0046  | H9.5.9   | 定出力   | 420.2 ± 0.3  | 0.79 ± 0.01  | 1.58700                 | 464.05 (26.2 °C)             |                             |               |                            |                        |                  |                  |              |          | 3.95E-02    | 0.0 |
| R0047  | H9.5.12  | 定出力   | 420.2 ± 0.3  | 0.79 ± 0.01  | 1.58700                 | 464.09 (26.1 °C)             | 545.71 (25.9 °C)            | 2.82          |                            |                        |                  |                  |              |          | 4.29E-02    | 0.0 |
| R0048  | H9.5.12  | 定出力   | 420.2 ± 0.3  | 0.79 ± 0.01  | 1.58700                 |                              | 546.07 (26.2 °C)            |               |                            |                        |                  |                  |              |          | 4.36E-02    | 0.0 |
| R0049  | H9.5.12  | 定出力   | 420.2 ± 0.3  | 0.79 ± 0.01  | 1.58700                 |                              | 546.01 (26.3 °C)            |               |                            |                        |                  |                  |              |          | 4.49E-02    | 0.0 |
| R0050  | H9.5.13  | 定出力   | 420.2 ± 0.3  | 0.79 ± 0.01  | 1.58700                 |                              | 545.76 (25.9 °C)            |               |                            |                        |                  |                  |              |          | 1.00E+04    | 4.2 |
|        |          |       |              |              |                         |                              | 565.38 (30.5 °C)            |               |                            |                        |                  |                  |              |          |             |     |
| R0051  | H9.5.20  | 定出力   | 421.2 ± 0.5  | 0.80 ± 0.01  | 1.58763                 | 463.57 (25.7 °C)             |                             |               |                            |                        |                  |                  |              |          | 1.02E+00    | 0.0 |
| R0052  | H9.5.27  | 定出力   | 421.8 ± 0.2  | 0.79 ± 0.01  | 1.58820                 | 463.40 (25.6 °C)             | 544.70 (25.6 °C)            | 2.82          |                            |                        |                  |                  |              |          | 3.55E-01    | 0.0 |
| R0053  | H9.5.28  | 定出力   | 421.8 ± 0.2  | 0.79 ± 0.01  | 1.58820                 |                              | 544.87 (25.6 °C)            |               |                            |                        |                  |                  |              |          | 1.00E+04    | 4.3 |
| R0054  | H9.6.3   | ハルス引抜 | 421.5 ± 0.4  | 0.78 ± 0.01  | 1.58782                 | 463.27 (25.6 °C)             | 544.56 (25.5 °C)            | 2.82          | 2.00                       |                        | 517.37 (25.6 °C) | sub              |              | 4.17E+08 | 6.2         |     |
| R0055  | H9.6.10  | ハルス引抜 | 421.4 ± 0.2  | 0.77 ± 0.01  | 1.58738                 | 462.95 (25.6 °C)             | 544.04 (25.6 °C)            | 2.82          | 2.50                       |                        | 533.03 (25.7 °C) | sub              |              | 7.67E+08 | 9.2         |     |
| R0056  | H9.6.17  | ハルス引抜 | 421.0 ± 0.2  | 0.79 ± 0.01  | 1.58761                 | 462.19 (25.5 °C)             | 542.93 (25.6 °C)            | 2.82          | 2.82                       |                        | 542.93 (25.6 °C) | 0.98             |              | 1.02E+09 | 11.3        |     |
| R0057  | H9.6.24  | 定出力   | 421.7 ± 0.7  | 0.77 ± 0.01  | 1.58806                 | 461.46 (25.5 °C)             |                             |               |                            |                        |                  |                  |              |          | 5.00E+00    | 0.0 |
| R0058  | H9.7.8   | 定出力   | 421.7 ± 0.7  | 0.77 ± 0.01  | 1.58806                 | 459.86 (25.5 °C)             |                             |               |                            |                        |                  |                  |              |          | 2.68E+00    | 0.0 |
| R0059  | H9.7.8   | 定出力   | 421.7 ± 0.7  | 0.77 ± 0.01  | 1.58806                 | 460.03 (25.5 °C)             |                             |               |                            |                        |                  |                  |              |          | 1.02E-01    | 0.0 |
| R0060  | H9.7.15  | ハルス引抜 | 421.6 ± 0.4  | 0.79 ± 0.01  | 1.58853                 | 461.67 (25.4 °C)             | 542.03 (25.6 °C)            | 2.82          | 2.82                       |                        | 542.03 (25.6 °C) | 0.98             |              | 1.03E+09 | 15.9        |     |
| R0061  | H9.7.29  | ランブ給液 | 422.1 ± 0.4  | 0.77 ± 0.01  | 1.58928                 | 461.38 (25.7 °C)             | 541.54 (25.6 °C)            | 2.82          | 2.64                       |                        | 535.27 (25.8 °C) | 1.02             |              | 2.12E+07 | 8.6         |     |
| R0062  | H9.8.5   | ランブ引抜 | 421.9 ± 0.5  | 0.77 ± 0.01  | 1.58946                 | 460.73 (25.7 °C)             | 540.63 (25.6 °C)            | 2.82          | 2.82                       | 875                    | 540.63 (25.6 °C) | 1.2              |              | 1.07E+08 | 20.0        |     |
| R0063  | H9.8.19  | ハルス引抜 | 425.5 ± 0.5  | 0.77 ± 0.01  | 1.59361                 | 456.91 (25.6 °C)             | 534.41 (25.5 °C)            | 2.80          | 2.80                       |                        | 534.41 (25.5 °C) | 1.04             |              | 1.01E+09 | 25.5        |     |
| R0064  | H9.8.26  | ハルス引抜 | 430.0 ± 0.3  | 0.76 ± 0.01  | 1.59746                 | 453.06 (25.4 °C)             | 528.47 (25.5 °C)            | 2.80          | 1.50                       |                        | 489.96 (25.6 °C) | sub              |              | 1.21E+08 | 7.3         |     |
| R0065  | H9.10.7  | 定出力   | 428.2 ± 0.1  | 0.76 ± 0.01  | 1.59612                 | 454.47 (25.6 °C)             | 530.55 (25.5 °C)            | 2.80          |                            |                        |                  |                  |              | 1.00E+00 | 0.0         |     |
| R0066  | H9.10.14 | 定出力   | 404.7 ± 0.1  | 0.75 ± 0.01  | 1.56493                 | 484.91 (25.6 °C)             | 579.63 (25.6 °C)            | 2.88          |                            |                        |                  |                  |              | 1.06E+00 | 0.0         |     |
| R0067  | H9.10.16 | 定出力   | 394.7 ± 0.2  | 0.75 ± 0.01  | 1.55157                 | 500.82 (25.6 °C)             | 606.56 (25.6 °C)            | 2.91          |                            |                        |                  |                  |              | 1.32E+00 | 0.0         |     |

\*1:密度分析時の温度は25°C

\*2:燃料温度は本体系温度計の値

\*3:sub=未臨界状態を表す

\*4:ランブ給液における反応度添加液位は給液終了時の液位

表4.2 運転データ (4/8)

| RUNNo. | 運転日      | 運転モード | 定出力運転データ     |              |                         |                              |                             | 過渡運転データ   |                         |                            |                        |           | 出力               |              |          |
|--------|----------|-------|--------------|--------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------|-------------------------|----------------------------|------------------------|-----------|------------------|--------------|----------|
|        |          |       | ウラン濃度 (gU/l) | 硝酸濃度 (mol/l) | 密度 (g/cc) <sup>*1</sup> | Tr棒未挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> | Tr棒挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> | 臨界液位 (mm) | Tr棒反応度 (値) <sup>3</sup> | 反応度添加液位 (mm) <sup>*3</sup> | 初期出力 (W) <sup>*4</sup> | 添加反応度 (度) | Tr棒駆動速度 (cm/min) | 給液流量 (l/min) | 最大出力 (W) |
| R0068  | H9.10.21 | 定出力   | 394.2 ± 0.2  | 0.77 ± 0.01  | 1.55118                 | 501.20 (25.8 °C)             | 607.25 (25.8 °C)            | 2.91      |                         |                            |                        |           | 2.08E+00         | 0.0          |          |
| R0069  | H9.10.28 | ハルス引抜 | 394.3 ± 0.1  | 0.76 ± 0.01  | 1.55085                 | 501.02 (25.8 °C)             | 607.13 (25.8 °C)            | 2.92      | 2.92                    | 607.13 (25.8 °C)           | 1.02                   | 2.92      | 1.10E+09         | 14.3         |          |
| R0070  | H9.11.5  | ランプ引抜 | 392.9 ± 0.4  | 0.74 ± 0.01  | 1.54836                 | 504.13 (25.7 °C)             | 612.40 (25.6 °C)            | 2.92      | 2.92                    | 612.40 (25.6 °C)           | 1.02                   | 2.92      | 6.89E+07         | 24.4         |          |
| R0071  | H9.11.11 | ランプ給液 | 392.7 ± 0.2  | 0.75 ± 0.01  | 1.54776                 | 503.37 (25.8 °C)             | 611.11 (25.8 °C)            | 2.92      | 2.92                    | 603.00 (26.1 °C)           | sub                    | 2.75      | 40               | 1.03E+07     | 25.1     |
| R0072  | H9.11.19 | ハルス引抜 | 393.5 ± 0.4  | 0.74 ± 0.01  | 1.55001                 | 502.53 (25.8 °C)             | 609.55 (25.7 °C)            | 2.92      | 2.92                    | 537.05 (26.0 °C)           | sub                    | 1.10      |                  | 1.30E+07     | 11.8     |
| R0073  | H9.11.26 | 定出力   | 394.1 ± 0.2  | 0.73 ± 0.01  | 1.54978                 | 500.17 (25.7 °C)             |                             |           |                         |                            |                        |           | 8.60E-01         |              |          |
| R0074  | H9.11.26 | 定出力   | 394.1 ± 0.2  | 0.73 ± 0.01  | 1.54978                 | 500.30 (26.1 °C)             | 605.44 (25.9 °C)            | 2.91      |                         |                            |                        |           | 1.00E+00         |              |          |
| R0075  | H9.12.2  | ランプ引抜 | 394.1 ± 0.3  | 0.73 ± 0.01  | 1.54913                 | 502.25 (25.8 °C)             | 609.16 (25.9 °C)            | 2.92      | 2.92                    | 609.16 (25.9 °C)           | 0.78                   | 2.92      | 3.00E+07         | 24.9         |          |
| R0076  | H9.12.9  | ランプ給液 | 396.2 ± 0.4  | 0.74 ± 0.01  | 1.55305                 | 496.26 (25.3 °C)             | 598.97 (25.3 °C)            | 2.91      | 2.65                    | 587.69 (26.9 °C)           | sub                    | 2.65      | 20               | 3.74E+06     | 24.6     |
| R0077  | H9.12.16 | ハルス引抜 | 397.3 ± 0.3  | 0.70 ± 0.01  | 1.55415                 | 496.15 (25.9 °C)             | 598.80 (25.3 °C)            | 2.91      | 1.00                    | 526.27 (26.1 °C)           | sub                    |           |                  | 3.49E+06     | 5.6      |
| R0078  | H10.4.21 | 定出力   | 390.0 ± 0.2  | 0.70 ± 0.01  | 1.54527                 | 508.65 (27.2 °C)             | 620.58 (27.3 °C)            | 2.94      |                         |                            |                        |           |                  | 1.06E+00     | 0.0      |
| R0079  | H10.4.21 | 定出力   | 390.0 ± 0.2  | 0.70 ± 0.01  | 1.54527                 | 517.94 (31.9 °C)             |                             |           |                         |                            |                        |           |                  | 4.56E-02     | 0.0      |
| R0080  | H10.4.22 | 定出力   | 389.8 ± 0.1  | 0.74 ± 0.01  | 1.54504                 | 509.41 (27.8 °C)             |                             |           |                         |                            |                        |           |                  | 4.56E-02     | 0.0      |
| R0081  | H10.4.22 | 定出力   | 389.8 ± 0.1  | 0.74 ± 0.01  | 1.54504                 | 509.88 (28.2 °C)             |                             |           |                         |                            |                        |           |                  | 5.30E+03     | 2.3      |
| R0082  | H10.5.8  | 定出力   | 389.8 ± 0.1  | 0.74 ± 0.01  | 1.54504                 | 510.25 (28.3 °C)             |                             |           |                         |                            |                        |           |                  | 7.40E-01     | 0.0      |
| R0083  | H10.5.8  | 定出力   | 389.7 ± 0.2  | 0.73 ± 0.01  | 1.54510                 | 510.50 (28.6 °C)             |                             |           |                         |                            |                        |           |                  | 4.60E-02     | 0.0      |
| R0084  | H10.5.8  | 定出力   | 389.7 ± 0.2  | 0.73 ± 0.01  | 1.54510                 | 510.23 (28.6 °C)             |                             |           |                         |                            |                        |           |                  | 5.00E-02     | 0.0      |
| R0085  | H10.5.11 | 定出力   | 389.7 ± 0.2  | 0.73 ± 0.01  | 1.54510                 | 509.89 (28.2 °C)             | 622.29 (28.0 °C)            | 2.93      |                         |                            |                        |           |                  | 6.20E-01     | 0.0      |
| R0086  | H10.5.11 | 定出力   | 389.7 ± 0.2  | 0.73 ± 0.01  | 1.54510                 |                              | 622.74 (28.3 °C)            |           |                         |                            |                        |           |                  | 5.00E-02     | 0.0      |
| R0087  | H10.5.11 | 定出力   | 389.7 ± 0.2  | 0.73 ± 0.01  | 1.54510                 |                              | 622.23 (28.2 °C)            |           |                         |                            |                        |           |                  | 5.20E-02     | 0.0      |
| R0088  | H10.5.12 | 定出力   | 389.7 ± 0.2  | 0.73 ± 0.01  | 1.54510                 |                              | 619.87 (27.0 °C)            |           |                         |                            |                        |           |                  | 1.00E+04     | 5.6      |
|        |          |       |              |              |                         |                              | 649.38 (32.2 °C)            |           |                         |                            |                        |           |                  |              |          |

\*1:密度分析時の温度は25°C

\*2:燃料温度は本体系温度計の値

\*3:sub=未臨界状態を表す

\*4:ランプ給液における反応度添加液位は給液終了時の液位

表4.2 運転データ (5/8)

| RUNNo. | 運転日       | 運転モード | 定出力運転データ     |              |                         |                              |                             |                             | 過渡運転データ          |                            |                        |            |                  |              | 出力       |             |
|--------|-----------|-------|--------------|--------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|----------------------------|------------------------|------------|------------------|--------------|----------|-------------|
|        |           |       | ウラン濃度 (gU/l) | 硝酸濃度 (mol/l) | 密度 (g/cc) <sup>*1</sup> | 臨界液位 (mm)                    |                             | Tr棒挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> | Tr棒反応度 (価値\$)    | 反応度添加液位 (mm) <sup>*3</sup> | 初期出力 (W) <sup>*4</sup> | 添加反応度 (\$) | Tr棒駆動速度 (cm/min) | 給液流量 (l/min) | 最大出力 (W) | 積算出力 (MW-s) |
|        |           |       |              |              |                         | Tr棒未挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> | Tr棒挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> |                             |                  |                            |                        |            |                  |              |          |             |
| R0089  | H10.5.18  | 定出力   | 390.3 ± 0.3  | 0.71 ± 0.01  | 1.54581                 | 506.13 (25.9 °C)             |                             |                             |                  |                            |                        |            |                  | 5.00E+01     | 0.2      |             |
| R0090  | H10.5.26  | 定出力   | 390.3 ± 0.4  | 0.71 ± 0.01  | 1.54512                 | 505.53 (25.7 °C)             | 615.21 (25.7 °C)            | 2.93                        |                  |                            |                        |            |                  | 9.60E-01     | 0.0      |             |
| R0091  | H10.5.27  | 定出力   | 390.3 ± 0.4  | 0.71 ± 0.01  | 1.54512                 | 505.43 (25.7 °C)             |                             |                             |                  |                            |                        |            |                  | 1.00E+04     | 4.8      |             |
| R0092  | H10.6.2   | ハルス引抜 | 390.6 ± 0.4  | 0.69 ± 0.01  | 1.54565                 | 505.30 (25.7 °C)             | 614.73 (25.6 °C)            | 2.93                        | 614.73 (25.6 °C) | 1                          | 2.93                   |            |                  | 1.58E+09     | 20.2     |             |
| R0093  | H10.6.9   | ハルス引抜 | 390.9 ± 0.4  | 0.72 ± 0.01  | 1.54652                 | 504.10 (25.5 °C)             | 612.75 (25.5 °C)            | 2.93                        | 612.75 (25.5 °C) | 0.68                       | 2.93                   |            |                  | 1.57E+09     | 19.9     |             |
| R0094  | H10.6.16  | ハルス引抜 | 390.9 ± 0.4  | 0.73 ± 0.01  | 1.54616                 | 502.95 (25.5 °C)             | 610.84 (25.5 °C)            | 2.93                        | 610.84 (25.5 °C) | 0.78                       | 2.93                   |            |                  | 1.55E+09     | 20.1     |             |
| R0095  | H10.6.30  | ハルス引抜 | 392.5 ± 0.4  | 0.71 ± 0.01  | 1.54942                 | 502.20 (25.5 °C)             | 609.36 (25.6 °C)            | 2.92                        | 523.71 (25.7 °C) | sub                        | 0.71                   |            |                  | 5.29E+05     | 4.6      |             |
| R0096  | H10.7.7   | ハルス引抜 | 391.5 ± 0.3  | 0.74 ± 0.01  | 1.54761                 | 501.97 (25.9 °C)             | 608.95 (26.1 °C)            | 2.92                        | 516.84 (26.1 °C) | 0.96                       | 0.50                   |            |                  | 1.81E+05     | 4.9      |             |
| R0097  | H10.7.14  | ハルス引抜 | 391.4 ± 0.2  | 0.74 ± 0.01  | 1.54791                 | 501.31 (25.8 °C)             | 607.77 (25.7 °C)            | 2.92                        | 531.66 (25.9 °C) | 1.01                       | 0.98                   |            |                  | 1.76E+07     | 9.0      |             |
| R0098  | H10.7.22  | ランプ給液 | 391.7 ± 0.2  | 0.73 ± 0.01  | 1.54716                 | 500.53 (25.9 °C)             | 606.47 (25.8 °C)            | 2.92                        | 559.50 (26.1 °C) | sub                        | 1.80                   |            | 60               | 2.54E+07     | 15.3     |             |
| R0099  | H10.7.28  | ランプ引抜 | 392.1 ± 0.2  | 0.68 ± 0.01  | 1.54811                 | 500.26 (26.0 °C)             | 605.92 (26.0 °C)            | 2.92                        | 559.23 (25.9 °C) | sub                        | 1.80                   |            | 200              | 4.48E+07     | 14.3     |             |
| R0100  | H10.8.4   | ハルス引抜 | 392.9 ± 0.3  | 0.66 ± 0.01  | 1.54934                 | 499.76 (25.6 °C)             | 605.11 (25.6 °C)            | 2.92                        | 508.52 (25.7 °C) | 1                          | 0.30                   |            |                  | 3.26E+04     | 4.6      |             |
| R0101  | H10.8.18  | ランプ引抜 | 394.3 ± 0.3  | 0.66 ± 0.01  | 1.54945                 | 499.35 (25.5 °C)             | 604.43 (25.5 °C)            | 2.92                        | 557.96 (25.6 °C) | 1                          | 1.80                   |            | 172              | 1.79E+07     | 14.4     |             |
| R0102  | H10.8.25  | ハルス引抜 | 395.6 ± 0.2  | 0.71 ± 0.01  | 1.55158                 | 495.66 (26.1 °C)             | 598.27 (25.5 °C)            | 2.91                        | 507.17 (26.3 °C) | 1                          | 0.40                   |            |                  | 8.58E+04     | 4.5      |             |
| R0103  | H10.9.8   | ランプ引抜 | 396.3 ± 0.3  | 0.70 ± 0.01  | 1.55243                 | 494.48 (25.5 °C)             | 595.14 (25.5 °C)            | 2.88                        | 595.14 (25.6 °C) | 3.35E-04                   | 2.88                   |            | 300              | 7.05E+07     | 21.9     |             |
| R0104  | H10.10.7  | ハルス引抜 | 395.3 ± 0.4  | 0.70 ± 0.01  | 1.55017                 | 493.60 (25.4 °C)             | 594.77 (25.4 °C)            | 2.91                        | 594.77 (25.4 °C) | 1                          | 2.91                   |            |                  | 1.50E+09     | 20.7     |             |
| R0105  | H10.10.14 | ハルス引抜 | 399.0 ± 0.8  | 0.71 ± 0.01  | 1.55570                 | 490.84 (25.2 °C)             | 590.35 (25.2 °C)            | 2.91                        | 577.61 (25.2 °C) | 1.02                       | 2.61                   |            |                  | 1.11E+09     | 17.1     |             |
| R0106  | H10.10.20 | ハルス引抜 | 399.4 ± 0.1  | 0.69 ± 0.01  | 1.55618                 | 490.11 (25.2 °C)             | 588.94 (25.3 °C)            | 2.90                        | 547.23 (25.4 °C) | sub                        | 1.84                   |            |                  | 4.05E+08     | 9.7      |             |
| R0107  | H10.10.27 | ランプ引抜 | 398.8 ± 0.2  | 0.70 ± 0.01  | 1.54249                 | 508.87 (25.5 °C)             | 622.20 (25.6 °C)            | 2.96                        | 622.71 (25.6 °C) | 194.3                      | 2.97                   |            | 300              | 2.20E+07     | 21.4     |             |
| R0108  | H10.11.4  | ランプ引抜 | 399.4 ± 0.7  | 0.69 ± 0.02  | 1.54310                 | 508.56 (25.4 °C)             | 620.92 (25.4 °C)            | 2.95                        | 620.88 (25.5 °C) | 3.02E-03                   | 2.94                   |            | 875              | 1.93E+08     | 8.7      |             |
| R0109  | H10.11.10 | ランプ引抜 | 399.4 ± 0.4  | 0.71 ± 0.01  | 1.54353                 | 508.99 (25.6 °C)             | 622.55 (25.7 °C)            | 2.96                        | 622.95 (25.7 °C) | 194.3                      | 2.97                   |            | 875              | 8.94E+07     | 11.7     |             |
| R0110  | H10.11.18 | ランプ引抜 | 390.6 ± 0.1  | 0.70 ± 0.01  | 1.54312                 | 508.82 (25.8 °C)             | 621.33 (25.9 °C)            | 2.95                        | 621.33 (25.9 °C) | 1.02                       | 2.95                   |            | 50               | 3.24E+06     | 20.4     |             |
| R0111  | H10.11.25 | ランプ引抜 | 389.5 ± 0.4  | 0.69 ± 0.01  | 1.54374                 | 507.36 (25.6 °C)             | 618.81 (25.6 °C)            | 2.94                        | 618.81 (25.6 °C) | 3.42E-03                   | 2.94                   |            | 50               | 5.37E+06     | 11.8     |             |

\*1:密度分析時の温度は25°C

\*2:燃料温度は本体系温度計の値

\*3:sub=未臨界状態を表す

\*4:ランプ給液における反応度添加液位は給液終了時の液位

表4.2 運転データ (6/8)

| RUNNo. | 運転日       | 運転モード | 定出力運転データ     |              |                         |                              |                             |                             | 過速運転データ          |                             |                         |             |                    | 出力            |           |              |
|--------|-----------|-------|--------------|--------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------|--------------------|---------------|-----------|--------------|
|        |           |       | ウラン濃度 (gU/l) | 硝酸濃度 (mol/l) | 密度 (g/cc) <sup>*1</sup> | 臨界液位 (mm)                    |                             | Tr棒挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> | Tr棒反応度 価値(\$)    | 反応度添加 液位 (mm) <sup>*3</sup> | 初期 出力 (W) <sup>*4</sup> | 添加 反応度 (\$) | Tr棒 駆動 速度 (cm/min) | 給液 流量 (l/min) | 最大 出力 (W) | 積算 出力 (MW·s) |
|        |           |       |              |              |                         | Tr棒未挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> | Tr棒挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> |                             |                  |                             |                         |             |                    |               |           |              |
| R0112  | H10.12.1  | ランプ引抜 | 390.1 ± 0.6  | 0.70 ± 0.01  | 1.54407                 | 507.37 (26.0 °C)             | 618.69 (26.1 °C)            | 2.94                        | 618.69 (26.1 °C) | 2.94                        | 1                       | 2.94        | 100                | 8.88E+06      | 18.7      |              |
| R0113  | H10.12.8  | ランプ引抜 | 391.7 ± 0.5  | 0.70 ± 0.01  | 1.54711                 | 503.14 (25.8 °C)             | 611.22 (25.8 °C)            | 2.93                        | 612.27 (25.9 °C) | 2.93                        | 194.3                   | 2.95        | 50                 | 2.10E+06      | 7.5       |              |
| R0114  | H10.12.15 | ランプ引抜 | 392.8 ± 0.5  | 0.70 ± 0.01  | 1.54732                 | 502.63 (25.6 °C)             | 610.38 (25.6 °C)            | 2.93                        | 610.38 (25.6 °C) | 2.93                        | 0.99                    | 2.93        | 10                 | 8.00E+05      | 20.0      |              |
| R0115  | H10.12.22 | ランプ引抜 | 392.9 ± 0.1  | 0.69 ± 0.01  | 1.54780                 | 502.00 (25.5 °C)             | 609.27 (25.5 °C)            | 2.93                        | 609.27 (25.5 °C) | 2.93                        | 0.99                    | 2.93        | 6                  | 4.40E+05      | 10.9      |              |
| R0116  | H11.1.19  | ランプ引抜 | 392.9 ± 0.8  | 0.70 ± 0.01  | 1.54782                 | 499.87 (25.8 °C)             | 605.60 (25.8 °C)            | 2.92                        | 605.60 (25.8 °C) | 2.92                        | 1.03                    | 2.92        | 600                | 9.30E+07      | 19.0      |              |
| R0117  | H11.1.26  | 定出力   | 394.9 ± 0.3  | 0.70 ± 0.01  | 1.55028                 | 496.48 (25.8 °C)             |                             |                             |                  |                             |                         |             |                    | 1.88E+02      | 0.4       |              |
| R0118  | H11.1.26  | 定出力   | 394.9 ± 0.3  | 0.70 ± 0.01  | 1.55028                 | 496.88 (26.0 °C)             |                             |                             |                  |                             |                         |             |                    | 6.00E+03      | 4.5       |              |
|        |           |       |              |              |                         | 512.65 (30.2 °C)             |                             |                             |                  |                             |                         |             |                    |               |           |              |
|        |           |       |              |              |                         | 509.00 (31.1 °C)             |                             |                             |                  |                             |                         |             |                    |               |           |              |
| R0119  | H11.6.16  | 定出力   | 373.7 ± 0.3  | 0.66 ± 0.02  | 1.52183                 | 537.77 (26.2 °C)             | 674.19 (26.2 °C)            | 3.00                        |                  |                             |                         |             |                    | 1.00E+00      | 0.0       |              |
| R0120  | H11.6.17  | 定出力   | 373.7 ± 0.3  | 0.66 ± 0.02  | 1.52183                 | 538.94 (26.2 °C)             |                             |                             |                  |                             |                         |             |                    | 4.82E-02      | 0.0       |              |
| R0121  | H11.6.17  | 定出力   | 373.7 ± 0.3  | 0.66 ± 0.02  | 1.52183                 | 538.83 (26.2 °C)             |                             |                             |                  |                             |                         |             |                    | 4.82E-02      | 0.0       |              |
| R0122  | H11.6.17  | 定出力   | 373.7 ± 0.3  | 0.66 ± 0.02  | 1.52183                 | 554.93 (29.8 °C)             |                             |                             |                  |                             |                         |             |                    | 5.00E+03      | 3.7       |              |
| R0123  | H11.6.21  | 定出力   | 372.7 ± 0.4  | 0.66 ± 0.02  | 1.52075                 | 538.69 (26.2 °C)             |                             |                             |                  |                             |                         |             |                    | 4.56E-02      | 0.0       |              |
| R0124  | H11.6.21  | 定出力   | 372.7 ± 0.4  | 0.66 ± 0.02  | 1.52075                 | 538.78 (26.3 °C)             |                             |                             |                  |                             |                         |             |                    | 4.42E-02      | 0.0       |              |
| R0125  | H11.6.21  | 定出力   | 372.7 ± 0.4  | 0.66 ± 0.02  | 1.52075                 | 538.72 (26.4 °C)             |                             |                             |                  |                             |                         |             |                    | 4.69E-02      | 0.0       |              |
| R0126  | H11.6.21  | 定出力   | 372.7 ± 0.4  | 0.66 ± 0.02  | 1.52075                 | 538.80 (26.4 °C)             |                             |                             |                  |                             |                         |             |                    | 4.69E-02      | 0.0       |              |
| R0127  | H11.6.22  | 定出力   | 372.7 ± 0.4  | 0.66 ± 0.02  | 1.52075                 |                              | 675.12 (26.1 °C)            |                             |                  |                             |                         |             |                    | 4.82E-02      | 0.0       |              |
| R0128  | H11.6.22  | 定出力   | 372.7 ± 0.4  | 0.66 ± 0.02  | 1.52075                 |                              | 675.62 (26.3 °C)            |                             |                  |                             |                         |             |                    | 4.62E-02      | 0.0       |              |
| R0129  | H11.6.22  | 定出力   | 372.7 ± 0.4  | 0.66 ± 0.02  | 1.52075                 |                              | 675.24 (26.3 °C)            |                             |                  |                             |                         |             |                    | 4.56E-02      | 0.0       |              |
| R0130  | H11.6.23  | 定出力   | 372.7 ± 0.4  | 0.66 ± 0.02  | 1.52075                 | 538.13 (26.1 °C)             | 674.60 (26.1 °C)            | 3.00                        |                  |                             |                         |             |                    | 1.00E+04      | 7.5       |              |
| R0131  | H11.6.29  | 定出力   | 373.9 ± 0.3  | 0.66 ± 0.01  | 1.52113                 | 533.89 (25.9 °C)             | 665.26 (25.9 °C)            | 2.97                        |                  |                             |                         |             |                    | 2.68E-01      | 0.0       |              |
| R0132  | H11.7.6   | 定出力   | 373.4 ± 0.2  | 0.65 ± 0.01  | 1.52143                 | 536.78 (25.9 °C)             | 672.12 (25.9 °C)            | 3.00                        |                  |                             |                         |             |                    | 3.22E-01      | 0.0       |              |

\*1:密度分析時の温度は25°C

\*2:燃料温度は本体系温度計の値

\*3:sub=未臨界状態を表す

\*4:ランプ給液における反応度添加液位は給液終了時の液位

表4.2 運転データ (7/8)

| RUNNo. | 運転日       | 運転モード | 定出力運転データ     |              |                         |                              |                             | 過渡運転データ       |                            |                        |            |                  | 出力           |          |             |
|--------|-----------|-------|--------------|--------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------|----------------------------|------------------------|------------|------------------|--------------|----------|-------------|
|        |           |       | ウラン濃度 (gU/l) | 硝酸濃度 (mol/l) | 密度 (g/cc) <sup>*1</sup> | 臨界液位 (mm)                    |                             | Tr棒反応度 (価値\$) | 反応度添加液位 (mm) <sup>*3</sup> | 初期出力 (W) <sup>*4</sup> | 添加反応度 (\$) | Tr棒駆動速度 (cm/min) | 給液流量 (l/min) | 最大出力 (W) | 積算出力 (MW·s) |
|        |           |       |              |              |                         | Tr棒未挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> | Tr棒挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> |               |                            |                        |            |                  |              |          |             |
| R0133  | H11.7.7   | 定出力   | 373.4 ± 0.2  | 0.65 ± 0.01  | 1.52143                 | 536.99 (26.0 °C)             |                             |               |                            |                        |            |                  | 1.00E+04     | 7.3      |             |
| R0134  | H11.7.12  | ハルス引抜 | 373.7 ± 0.4  | 0.67 ± 0.01  | 1.52109                 | 566.14 (31.9 °C)             |                             |               | 3.00                       |                        |            |                  | 1.70E+09     | 21.2     |             |
| R0135  | H11.7.21  | ハルス引抜 | 373.3 ± 0.5  | 0.67 ± 0.01  | 1.52195                 | 535.71 (26.0 °C)             | 672.42 (26.0 °C)            | 3.00          | 3.00                       |                        |            |                  | 1.70E+09     | 21.2     |             |
| R0136  | H11.10.26 | 定出力   | 374.5 ± 0.3  | 0.67 ± 0.01  | 1.52195                 | 533.84 (26.5 °C)             | 670.36 (26.0 °C)            | 3.00          | 3.00                       |                        |            |                  | 3.69E-01     | 0.0      |             |
| R0137  | H11.11.2  | 定出力   | 374.8 ± 0.3  | 0.65 ± 0.02  | 1.52141                 | 535.74 (27.3 °C)             | 665.27 (26.5 °C)            | 2.97          |                            |                        |            |                  | 1.06E+00     | 0.0      |             |
| R0138  | H11.11.2  | ハルス引抜 | 374.8 ± 0.3  | 0.65 ± 0.02  | 1.52141                 | 535.78 (27.4 °C)             | 668.97 (27.4 °C)            | 2.97          | 2.00                       |                        |            |                  | 5.80E+08     | 12.0     |             |
| R0139  | H11.11.8  | 定出力   | 375.0 ± 0.5  | 0.67 ± 0.01  | 1.52239                 | 530.98 (25.1 °C)             |                             |               |                            |                        |            |                  | 1.04E+00     | 0.0      |             |
| R0140  | H11.11.8  | ハルス引抜 | 375.0 ± 0.5  | 0.67 ± 0.01  | 1.52239                 | 531.40 (25.5 °C)             | 660.57 (25.4 °C)            | 2.96          | 2.96                       |                        |            |                  | 1.65E+09     | 20.6     |             |
| R0141  | H11.11.15 | ハルス引抜 | 375.5 ± 0.3  | 0.67 ± 0.02  | 1.52306                 | 531.16 (24.8 °C)             | 660.42 (24.9 °C)            | 2.96          | 2.96                       |                        |            |                  | 1.65E+09     | 21.0     |             |
| R0142  | H11.12.3  | ハルス引抜 | 376.2 ± 0.4  | 0.65 ± 0.01  | 1.52318                 | 528.29 (24.6 °C)             | 656.28 (24.6 °C)            | 2.98          | 2.98                       |                        |            |                  | 1.65E+09     | 20.5     |             |
| R0143  | H12.1.11  | ハルス引抜 | 375.9 ± 0.2  | 0.64 ± 0.01  | 1.52371                 | 527.81 (24.7 °C)             | 655.05 (24.7 °C)            | 2.98          | 0.70                       |                        |            |                  | 5.15E+05     | 4.8      |             |
| R0144  | H12.1.26  | 定出力   | 376.3 ± 0.4  | 0.65 ± 0.01  | 1.52385                 | 525.95 (24.2 °C)             |                             |               |                            |                        |            |                  | 3.00E+01     | 0.3      |             |
| R0145  | H12.1.27  | 定出力   | 376.3 ± 0.4  | 0.65 ± 0.01  | 1.52385                 | 525.81 (24.2 °C)             |                             |               |                            |                        |            |                  | 3.00E+01     | 0.3      |             |
| R0146  | H12.2.1   | 定出力   | 376.2 ± 0.3  | 0.64 ± 0.01  | 1.52430                 | 526.20 (24.3 °C)             |                             |               |                            |                        |            |                  | 3.08E-02     | 0.0      |             |
| R0147  | H12.2.1   | ランブ引抜 | 376.2 ± 0.3  | 0.64 ± 0.01  | 1.52430                 | 526.22 (24.5 °C)             | 652.17 (24.4 °C)            | 2.97          | 1.50                       |                        |            |                  | 5.25E+06     | 16.5     |             |
| R0148  | H12.2.14  | 定出力   | 376.6 ± 0.4  | 0.64 ± 0.01  | 1.52471                 | 525.38 (24.3 °C)             |                             |               |                            |                        |            |                  | 3.00E+04     | 0.4      |             |
| R0149  | H12.2.17  | ランブ給液 | 375.7 ± 0.2  | 0.64 ± 0.01  | 1.52414                 | 525.86 (24.4 °C)             | 651.10 (24.4 °C)            | 2.97          | 1.49                       |                        |            | 60               | 1.80E+07     | 11.3     |             |
| R0150  | H12.2.22  | ランブ引抜 | 376.7 ± 0.6  | 0.65 ± 0.01  | 1.52475                 | 524.95 (24.3 °C)             | 649.93 (24.4 °C)            | 2.97          | 1.50                       |                        |            |                  | 5.80E+07     | 9.5      |             |
| R0151  | H12.2.28  | ランブ引抜 | 376.9 ± 0.3  | 0.64 ± 0.01  | 1.52503                 | 524.71 (24.4 °C)             | 649.31 (24.3 °C)            | 2.97          | 2.97                       |                        |            |                  | 3.25E+07     | 17.2     |             |
| R0152  | H12.4.4   | ランブ引抜 | 376.1 ± 0.3  | 0.63 ± 0.01  | 1.52460                 | 526.52 (24.6 °C)             | 652.77 (24.6 °C)            | 2.97          | 2.97                       |                        |            |                  | 3.25E+07     | 17.6     |             |
| R0153  | H12.4.11  | ランブ引抜 | 377.9 ± 0.3  | 0.62 ± 0.01  | 1.52395                 | 526.42 (24.9 °C)             | 652.86 (25.0 °C)            | 2.98          | 2.98                       |                        |            |                  | 3.20E+06     | 21.3     |             |
| R0154  | H12.4.18  | ランブ引抜 | 377.4 ± 0.7  | 0.63 ± 0.01  | 1.52435                 | 525.54 (24.9 °C)             | 651.01 (24.9 °C)            | 2.97          | 2.97                       |                        |            |                  | 6.90E+05     | 16.9     |             |

\*1:密度分析時の温度は25°C

\*2:燃料温度は本体系温度計の値

\*3:sub=未臨界状態を表す

\*4:ランブ給液における反応度添加液位は給液終了時の液位

表4.2 運転データ (8/8)

| RUNNo. | 運転日       | 運転モード | 定出力運転データ     |              |                         |                              |                             | 過渡運転データ                    |                        |           |                  |              | 出力       |             |
|--------|-----------|-------|--------------|--------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|-----------|------------------|--------------|----------|-------------|
|        |           |       | ウラン濃度 (gU/l) | 硝酸濃度 (mol/l) | 密度 (g/cc) <sup>*1</sup> | 臨界液位 (mm)                    |                             | 反応度添加液位 (mm) <sup>*3</sup> | 初期出力 (W) <sup>*4</sup> | 添加反応度 (β) | Tr棒駆動速度 (cm/min) | 給液流量 (l/min) | 最大出力 (W) | 積算出力 (MW·s) |
|        |           |       |              |              |                         | Tr棒未挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> | Tr棒挿入時 (燃料温度) <sup>*2</sup> |                            |                        |           |                  |              |          |             |
| R0155  | H12.4.25  | ラング引抜 | 377.0 ± 0.4  | 0.63 ± 0.01  | 1.52463                 | 525.83 (25.3 °C)             | 651.80 (25.4 °C)            | 2.98                       | 651.80 (25.4 °C)       | 1         | 2.98             | 875          | 1.38E+08 | 19.9        |
| R0156  | H12.5.11  | ハルス引抜 | 377.5 ± 0.1  | 0.64 ± 0.01  | 1.52476                 | 526.17 (26.1 °C)             | 652.33 (26.2 °C)            | 2.98                       | 581.29 (26.2 °C)       | sub       | 1.50             |              | 1.71E+08 | 9.6         |
| R0157  | H12.5.17  | ハルス引抜 | 378.4 ± 0.9  | 0.62 ± 0.01  | 1.52532                 | 524.75 (26.5 °C)             | 649.74 (26.5 °C)            | 2.97                       | 649.74 (26.5 °C)       | 1.04      | 2.97             |              | 1.59E+09 | 22.3        |
| R0158  | H12.5.23  | ハルス引抜 | 380.1 ± 0.3  | 0.62 ± 0.01  | 1.52630                 | 524.36 (27.0 °C)             | 649.04 (27.1 °C)            | 2.97                       | 614.51 (27.1 °C)       | sub       | 2.30             |              | 8.30E+08 | 15.5        |
| R0159  | H12.6.7   | ラング給液 | 379.4 ± 0.4  | 0.6 ± 0.02   | 1.52649                 | 524.50 (26.1 °C)             | 649.46 (26.2 °C)            | 2.98                       | 540.90 (26.4 °C)       | sub       | 0.49             | 60           | 1.26E+05 | 5.1         |
| R0160  | H12.6.13  | ラング給液 | 379.5 ± 0.8  | 0.6 ± 0.01   | 1.52672                 | 524.21 (26.3 °C)             | 648.84 (26.3 °C)            | 2.97                       | 541.08 (26.6 °C)       | sub       | 0.51             | 60           | 1.22E+05 | 5.4         |
| R0161  | H12.6.20  | ラング給液 | 380.4 ± 0.4  | 0.61 ± 0.01  | 1.52766                 | 522.89 (26.1 °C)             | 646.25 (26.2 °C)            | 2.97                       | 550.90 (26.4 °C)       | sub       | 0.82             | 60           | 7.70E+05 | 8.4         |
| R0162  | H12.6.27  | 定出力   | 381.2 ± 0.4  | 0.6 ± 0.01   | 1.52876                 | 520.59 (26.1 °C)             |                             |                            |                        |           |                  |              | 1.00E+02 | 0.5         |
| R0163  | H12.7.4   | ラング給液 | 379.8 ± 0.4  | 0.61 ± 0.01  | 1.52901                 | 520.96 (26.3 °C)             | 642.96 (26.3 °C)            | 2.97                       | 564.51 (26.5 °C)       | sub       | 1.25             | 60           | 1.56E+07 | 13.2        |
| R0164  | H12.7.11  | ラング給液 | 382.3 ± 0.3  | 0.62 ± 0.01  | 1.53097                 | 516.90 (26.1 °C)             | 635.65 (26.2 °C)            | 2.96                       | 569.85 (26.4 °C)       | sub       | 1.51             | 60           | 1.91E+07 | 16.3        |
| R0165  | H12.7.18  | 定出力   | 385.1 ± 0.2  | 0.61 ± 0.01  | 1.53396                 | 511.37 (26.1 °C)             |                             |                            |                        |           |                  |              | 9.80E+00 | 0.0         |
| R0166  | H12.7.25  | ハルス引抜 | 384.9 ± 0.1  | 0.61 ± 0.01  | 1.53445                 | 512.58 (26.4 °C)             | 627.80 (26.4 °C)            | 2.95                       | 563.73 (26.5 °C)       | sub       | 1.50             |              | 1.62E+08 | 16.1        |
| R0167  | H12.8.2   | ラング給液 | 387.5 ± 0.2  | 0.62 ± 0.01  | 1.53845                 | 505.71 (26.0 °C)             | 615.90 (26.1 °C)            | 2.94                       | 601.69 (26.1 °C)       | sub       | 2.64             | 60           | 1.68E+07 | 26.5        |
| R0168  | H12.8.8   | 定出力   | 388.2 ± 0.2  | 0.61 ± 0.01  | 1.53882                 | 504.92 (26.2 °C)             |                             |                            |                        |           |                  |              | 9.80E-01 | 0.0         |
| R0169  | H12.8.22  | ラング給液 | 387.8 ± 0.3  | 0.61 ± 0.01  | 1.53841                 | 505.88 (26.1 °C)             | 616.11 (26.1 °C)            | 2.94                       | 599.69 (26.2 °C)       | sub       | 2.59             | 60           | 2.10E+07 | 25.0        |
| R0170  | H12.8.29  | 定出力   | 387.9 ± 0.1  | 0.61 ± 0.01  | 1.53839                 | 504.39 (26.0 °C)             |                             |                            |                        |           |                  |              | 7.60E+00 | 0.0         |
| R0171  | H12.10.11 | 定出力   | 388.0 ± 0.4  | 0.62 ± 0.01  | 1.53897                 | 512.32 (26.0 °C)             | 628.90 (26.0 °C)            | 2.98                       |                        |           |                  |              | 9.80E-01 | 0.0         |
| R0172  | H12.10.17 | ハルス引抜 | 388.0 ± 0.5  | 0.63 ± 0.01  | 1.53885                 | 512.38 (25.7 °C)             | 628.77 (25.7 °C)            | 2.97                       | 559.53 (25.8 °C)       | sub       | 1.39             |              | 1.05E+08 | 6.5         |
| R0173  | H12.10.24 | 定出力   | 388.0 ± 0.3  | 0.62 ± 0.01  | 1.53880                 | 510.92 (25.0 °C)             |                             |                            |                        |           |                  |              | 1.00E+00 | 0.0         |
| R0174  | H12.10.31 | ハルス引抜 | 388.4 ± 0.8  | 0.60 ± 0.02  | 1.53878                 | 511.07 (25.1 °C)             | 626.48 (25.1 °C)            | 2.97                       | 527.36 (25.1 °C)       | sub       | 0.52             |              | 1.86E+05 | 5.6         |
| R0175  | H12.11.7  | ラング引抜 | 388.4 ± 0.8  | 0.65 ± 0.02  | 1.53878                 | 510.63 (25.6 °C)             | 625.85 (25.6 °C)            | 2.98                       | 625.92 (25.6 °C)       | 1.14E-03  | 2.98             | 875          | 1.86E+05 | 19.2        |
| R0176  | H12.11.28 | ハルス引抜 | 388.7 ± 0.8  | 0.61 ± 0.02  | 1.53878                 | 509.70 (25.1 °C)             | 624.27 (25.2 °C)            | 2.97                       | 525.20 (25.3 °C)       | sub       | 0.50             |              | 1.86E+05 | 3.5         |

\*1:密度分析時の温度は25°C

\*2:燃料温度は本体系温度計の値

\*3:sub=未臨界状態を表す

\*4:ラング給液における反応度添加液位は給液終了時の液位

#### 4.1 臨界液位

体系に中性子源が無い状態において、運転系線型出力系の出力指示値が一定になったときを臨界として臨界液位を測定する。臨界液位の測定は触針式液位計（精度±0.2mm）で行う。ウラン濃度と臨界液位の関係を図4.1に示す。TRACYではTr棒未挿入時の体系とTr棒挿入時の体系があるため、2通りの臨界液位が測定される。臨界液位は概ねウラン濃度により決定され、ウラン濃度の減少と共に臨界液位は上昇する。

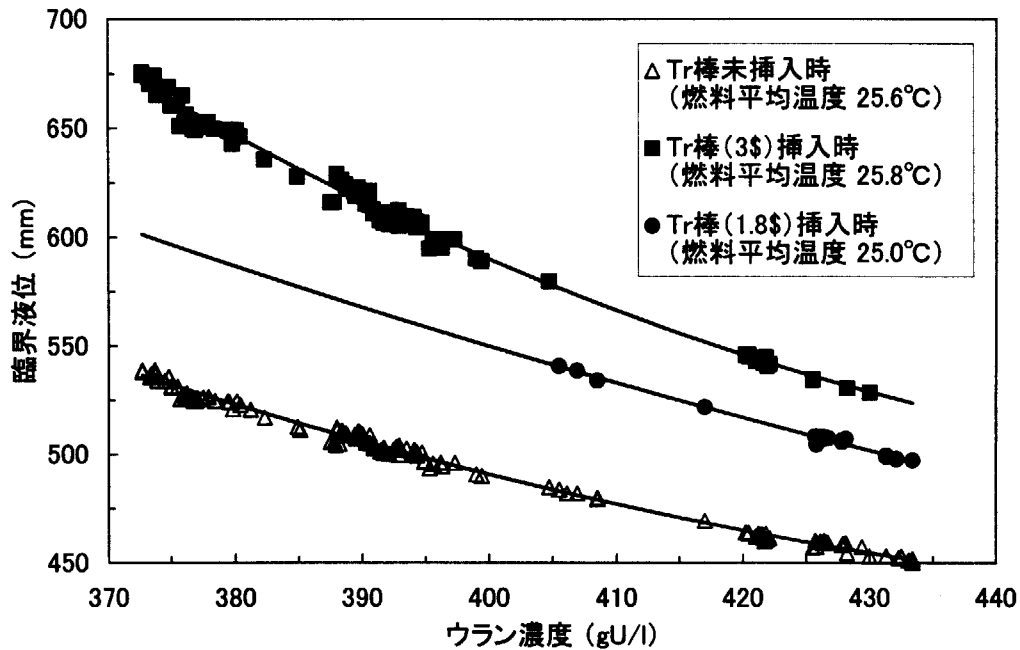


図 4.1 ウラン濃度と臨界液位

#### 4.2 Tr 棒の反応度価値

##### 4.2.1 Tr 棒反応度価値の測定

Tr 棒の反応度価値は Tr 棒の有無による臨界液位の差から算出する。各液位における液位反応度  $d\rho/dH$  ( $\phi/mm$ ) は次式で与えられる。ここで  $C$  及び  $\lambda$  は 1.8\$Tr 棒の反応度価値評価用に臨界液位と液位反応度の関係をフィッティングして求めたものである。

$$\frac{d\rho}{dh} = \frac{C}{(H + \lambda)^3} \quad (C = 7.671 \times 10^8 \text{ (}\phi/mm^2\text{)}, \lambda = 102 \text{ (mm)})$$

Tr 棒未挿入時、挿入時の臨界液位をそれぞれ  $H_1$ 、 $H_2$  とすると Tr 棒の反応度価値  $\rho_{Tr(\$)}$  は次式で表される。

$$\rho_{Tr} = \int_{H_1}^{H_2} \frac{d\rho}{dh} dh = \frac{C}{2} \left( \frac{1}{(H_1 + \lambda)^2} - \frac{1}{(H_2 + \lambda)^2} \right)$$

過渡運転時の添加反応度  $\rho_{ex}$  についても同様に初期液位を  $H_i$  とすると

$$\rho_{ex} = \int_{H_i}^{H_i} \frac{d\rho}{dh} dh = \frac{C}{2} \left( \frac{1}{(H_i + \lambda)^2} - \frac{1}{(H_i + \lambda)^2} \right)$$

となる。

臨界液位と液位反応度の関係を図 4.2 に示す。1.8\$Tr 棒において求めた C 及び  $\lambda$  は、3\$Tr 棒を用いた時の高い臨界液位 (>550mm) においても適用できることを確認した。

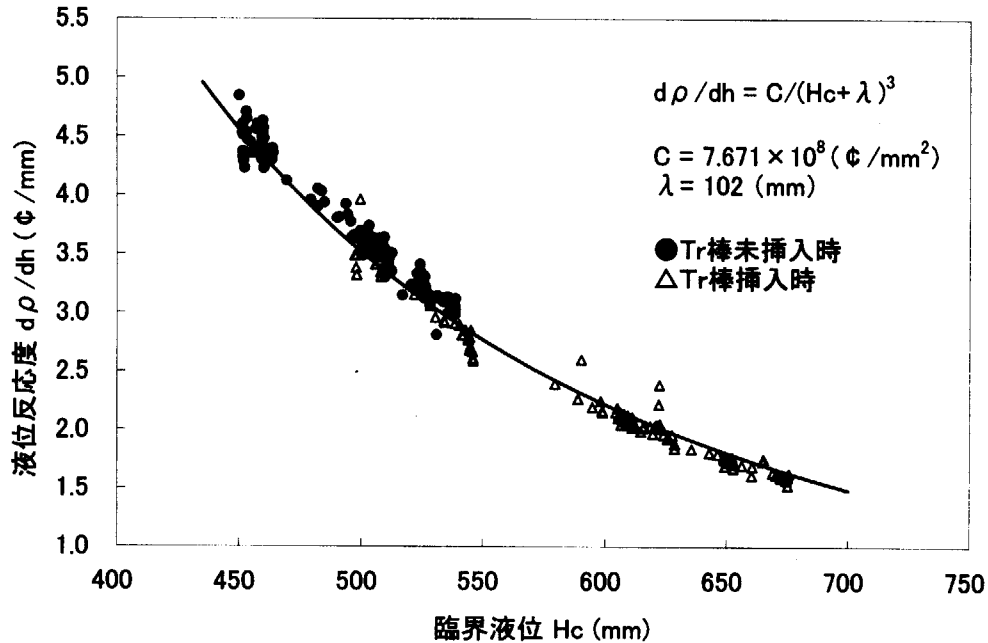


図 4.2 臨界液位と液位反応度

#### 4.2.2 Tr 棒位置による反応度効果

Tr 棒の反応度値を中性子源増倍法及びパルス中性子法により求めた<sup>[4]</sup>。

##### (1) 中性子源増倍法による測定<sup>[5],[6]</sup>

臨界液位  $H_c$ (mm)と液位反応度  $d\rho/dh$ (\$/mm)を測定する。燃料を少し排液して未臨界状態とし、中性子源を挿入する。未臨界度は排液後の液位  $H$  で決まり、中性子計数率  $N$  は未臨界度に応じた一定値となる。このときの液位  $H$ (mm)と計数率  $N$ (cps)を測定すると、未臨界度は  $d\rho/dh \cdot (H_c - H)$  で表されるので反応度と計数率の積  $S$ (\$·cps)は、 $S = N \cdot d\rho/dh \cdot (H_c - H)$  で表される定数となる。液位を一定に保ったまま Tr 棒の位置を変えて計数率  $N$  を測定すると、Tr 棒の反応度値  $\rho$  (\$)は  $\rho = S/N$  で求められる。未臨界度が大きくなると、中性子束分布が歪むためにこの式は適用できなくなる。このため、計算によりこの歪みを補正する必要がある。ここでは MVP コード<sup>[7]</sup> (核データライブラリ: JENDL3.2<sup>[8]</sup>) を用いた計算により補正を行った。

##### (2) パルス中性子法による測定<sup>[5],[6]</sup>

Tr 棒未挿入の未臨界状態において、即発中性子減衰定数  $\alpha$  をパルス中性子法により測定する。液位を変えることにより未臨界度を変えて測定を行い、得られた結果を未臨界度 0、すなわち臨界まで外挿することで、Tr 棒未挿入時の臨界液位における即発中性子減衰定数  $\alpha_c$  が求められる。Tr 棒の位置を変えて  $\alpha$  を求めると、Tr 棒の反応度値は  $\rho = \alpha / \alpha_c - 1$  で求められる。

図 4.3 に測定結果を示す。中性子源増倍法とパルス中性子法による測定結果はほぼ一致した。また、この測定結果のフィッティングカーブを Tr 棒の位置について微分することにより Tr 棒位



置による微分反応度を求めた。測定時の臨界液位は約 460mm であり Tr 棒の中性子吸収材の下端が炉心中心部を移動するとき最も Tr 棒の微分反応度効果が大きくなることを確認した。

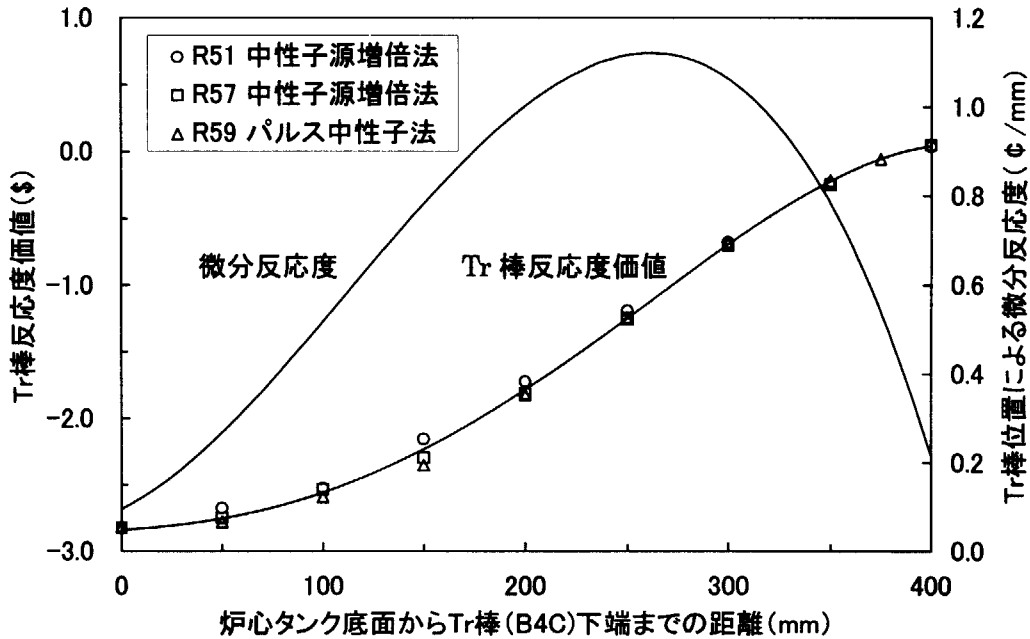


図 4.3 Tr 棒の位置による反応度価値及び微分反応度の測定結果

### 4.3 核計装の出力校正

3 章にも述べたように運転の前後には貯槽から溶液燃料をサンプリングして分析を行う。分析では運転前、運転後それぞれの燃料に含まれる FP 核種の放射能強度を測定し、運転によりどのくらいの FP が生成したかを知ることができるので、FP の生成量と U-235 の核分裂収率から核分裂数がわかり、積算出力を求めることができる。この FP 分析による積算出力と核計装で測定される積算出力が一致するように核計装のゲイン調整を行うことで核計装の出力校正を行う。

#### 4.3.1 積算出力評価式

表 4.3 に出力校正において着目した FP 核種を示す。La-140 は Ba-140 の娘核種であるが、測定時間内には放射平衡に達しないため、Ba-140、La-140 の崩壊定数を用いた微分方程式を解いて Ba-140 の放射能に変換することで評価した。

表 4.3 TRACY の出力校正に用いる F P 核種<sup>[9],[10]</sup>

| 項目 \ 核種 | Ce-143   | Ba-140   | Zr-95    | Ru-103   | La-140   | Mo-99    |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 半減期 (d) | 1.38     | 12.75    | 64.02    | 39.26    | 1.68     | 2.75     |
| 崩壊定数    | 5.813E-6 | 6.291E-7 | 1.253E-7 | 2.043E-7 | 4.780E-6 | 2.917E-6 |
| 核分裂収率   | 0.0594   | 0.0629   | 0.0650   | 0.0303   | 0.0629   | 0.0611   |

積分出力の評価式を以下に示す。

(1) ダンプ槽貯留燃料中の放射能の評価

$$A_j = \frac{B_j}{0.5} \times V_j \times 1000$$

$$V_j = 0.2566h_j - 40.66 \quad (h > 280)$$

$A_j$  : 時刻  $j$  におけるダンプ槽貯留燃料中の放射能 [Bq]

$B_j$  : 時刻  $j$  における FP 分析結果 [Bq/0.5cc]

$V_j$  : 時刻  $j$  におけるダンプ槽ⅢA 貯留燃料の体積 [ℓ]

$h_j$  : 時刻  $j$  におけるダンプ槽ⅢA の液位指示値 [mm]

(2) 運転により生成した放射能の評価

$$C_1 = A'_{j+1} - A'_j$$

$$= A_{j+1} \cdot \exp(\lambda \cdot t_a) - A_j \cdot \exp(-\lambda \cdot t_b)$$

$C_1$  : 運転終了時の正味の放射能生成量 [Bq]

$A'_j$  : 運転終了時のバックグラウンド放射能 [Bq]

$A'_{j+1}$  : 運転終了時の放射能 [Bq]

$A_j$  : 運転前の FP 分析時 (時刻  $j$ ) の放射能 [Bq]

$A_{j+1}$  : 運転後の FP 分析時 (時刻  $j+1$ ) の放射能 [Bq]

$t_b$  : 運転前の FP 分析 (時刻  $j$ ) から運転終了までの時間 [s]

$t_a$  : 運転終了から運転後の FP 分析 (時刻  $j+1$ ) までの時間 [s]

$\lambda$  : FP の崩壊定数 [ $s^{-1}$ ]

(3) FP 分析結果に基づく積算出力評価

$$IP_n = \frac{C_n \cdot E}{\lambda \cdot Y}$$

$IP_n$  : FP 分析結果に基づく積算出力 [ $W \cdot h$ ]

$E$  :  $^{235}\text{U}$  の 1 核分裂当たりの放出熱エネルギー ( $= 8.89 \times 10^{-15}$ ) [ $W \cdot h/\text{fission}$ ]

$\lambda$  : FP の崩壊定数 [ $s^{-1}$ ]

$Y$  : FP の核分裂収率 [1/fission]

(4) La-140 の放射能評価 (Ba-140 の放射能への変換)

時間  $t$  における Ba-140, La-140 それぞれの放射能は

$$A_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} A_{10} (\exp(-\lambda_1 \cdot t) - \exp(-\lambda_2 \cdot t)) + A_{20} \exp(-\lambda_2 \cdot t)$$

$A_2$  : 時間  $t$  における La の放射能 [Bq]

$\lambda_1$  : Ba-140 の崩壊定数 [ $s^{-1}$ ]

$\lambda_2$  : La-140 の崩壊定数 [ $s^{-1}$ ]

$A_{10}$  :  $t=0$  における Ba の放射能 [Bq]

$A_{20}$  :  $t=0$  における La-140 の放射能 [Bq]

$t=t_1$  における La-140 の放射能  $A_{21}$  は

$$A_{21} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} A_{10} (\exp(-\lambda_1 \cdot t_1) - \exp(-\lambda_2 \cdot t_1)) + A_{20} \exp(-\lambda_2 \cdot t_1)$$

$t=t_2$  における La-140 の放射能  $A_{22}$  は

$$A_{22} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} A_{10} (\exp(-\lambda_1 \cdot t_2) - \exp(-\lambda_2 \cdot t_2)) + A_{20} \exp(-\lambda_2 \cdot t_2)$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} = a$$

$$\exp(-\lambda_2 \cdot t_1) = b$$

$$\exp(-\lambda_2 \cdot t_2) = c$$

$$\exp(-\lambda_1 \cdot t_1) - \exp(-\lambda_2 \cdot t_1) = d$$

$$\exp(-\lambda_1 \cdot t_2) - \exp(-\lambda_2 \cdot t_2) = e$$

として簡略化すると

$$A_{10} = \frac{\left( \frac{A_{22}}{c} - \frac{A_{21}}{b} \right)}{\left( \frac{ae}{c} - \frac{ad}{b} \right)}$$

したがって  $t=t_1$ 、 $t=t_2$  時の La-140 の放射能から  $t=0$  における Ba-140 の放射能を求めることができる。

#### 4.3.2 積算出力評価結果

代表的な運転状況において、FP 分析により求めた積算出力を表 4.4 に示す。尚、放射能強度の測定誤差やダンプ槽における燃料体積の誤差などを考慮した積算出力の誤差は 5~10% 程度である。定出力運転におけるそれぞれの核種の積算出力は平均値に対して 8% 以内に収まっており、Zr-95 を除いた場合には 2% 以内で一致する。Zr-95 は半減期が長いので、定出力運転のように積算出力が小さいケースでは十分な放射能強度が得られず、誤差が大きくなる傾向にある。過渡出力運転時には、Ba-140/La-140 を除いた核種については平均値に対して 6% 以内で一致しているが、Ba-140/La-140 による評価結果が他の核種の平均値に対して 20~35% 程度低くなることが分かった。この原因として Ba-140、La-140 の生成過程に存在する半減期約 13.6s の放射性ガス Xe-140 (半減期約 13.6s、収率 3.8%) が過渡運転時に気相に移行することが考えられる。Mo-99 や Ce-143 の生成過程にも Kr、Xe、I などの放射性ガスが存在するが、収率が小さく ( $1 \times 10^{-9} \sim 0.04\%$ )、半減期も短い (0.1~1s) ことから影響が少ないと思われる。過渡出力運転時には短時間のうちに放射線分解ガスが発生して気相に移行するが、その際に Xe-140 が放射線分解ガスに同伴して気相部へ放出されていると考えられる。それに対して、定出力運転時には放射線分解ガスの発生や気相への移行が無いので Xe-140 は溶液内に閉じ込められ、気相へ放出されないものと思われる。

これらの傾向を踏まえて、定出力運転時には Zr 以外の核種、過渡出力運転時には Ba-140、La-140 を除く核種の平均値をとって積算出力の真値としている。

表 4.4 FP 分析による積算出力評価結果

| RunNo. | 運転状況 (最大出力)          | 各着目核種による積分出力 (MW・s) |       |      |       |       |      |
|--------|----------------------|---------------------|-------|------|-------|-------|------|
|        |                      | Ce143               | Ba140 | Zr95 | Ru103 | La140 | Mo99 |
| 43     | 定出力運転 (5kW)          | 4.03                | 4.04  | 3.67 | 4.11  | 3.98  | 4.05 |
| 53     | 定出力運転 (10kW)         | 4.28                | 4.15  | 3.89 | 4.24  | 4.13  | 4.25 |
| 56     | パルス引抜 2.8\$ (1020MW) | 16.8                | 12.0  | 17.3 | 17.6  | 11.2  | 17.2 |
| 61     | ランプ給液 2.6\$ (21MW)   | 17.8                | 14.3  | 16.2 | 17.0  | 14.1  | 17.7 |
| 62     | ランプ引抜 2.8\$ (107MW)  | 20.2                | 17.3  | 20.0 | 20.5  | 16.5  | 20.8 |

#### 4.4 過渡運転時の出力波形

図 4.4 に過渡運転時の出力波形の一例を示す。過渡運転時には出力が急激に上昇して燃料温度の上昇や放射線分解ガスの生成が起こる。この結果、中性子の漏れ量の増加やドップラー効果による共鳴吸収の増加により出力は急激に低下する(初期バースト)が、ガスが溶液中から抜けると出力は再び上昇する。出力の上昇と下降を何度か繰り返したのち(出力振動)、添加した反応度が温度の上昇による負の反応度と平衡して臨界となり出力はほぼ一定(プラトー)となる。3つの運転モードにおける第1パルス出力波形の比較を図 4.5 に示す。図中の各波形は出力上昇の開始時刻を基準としたものである。図に示すようにピーク出力やパルスの半値幅、出力振動の様子は運転条件により異なっている。(各運転の詳細は付録の図参照)

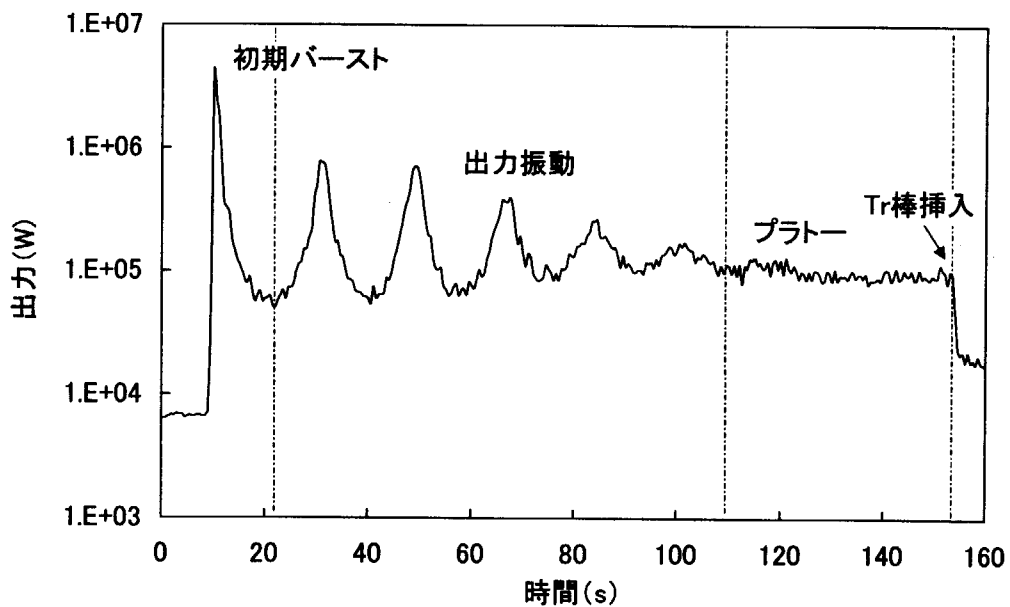


図 4.4 過渡運転時の出力波形 (R76 : ランプ給液 2.65\$, 20ℓ/min)

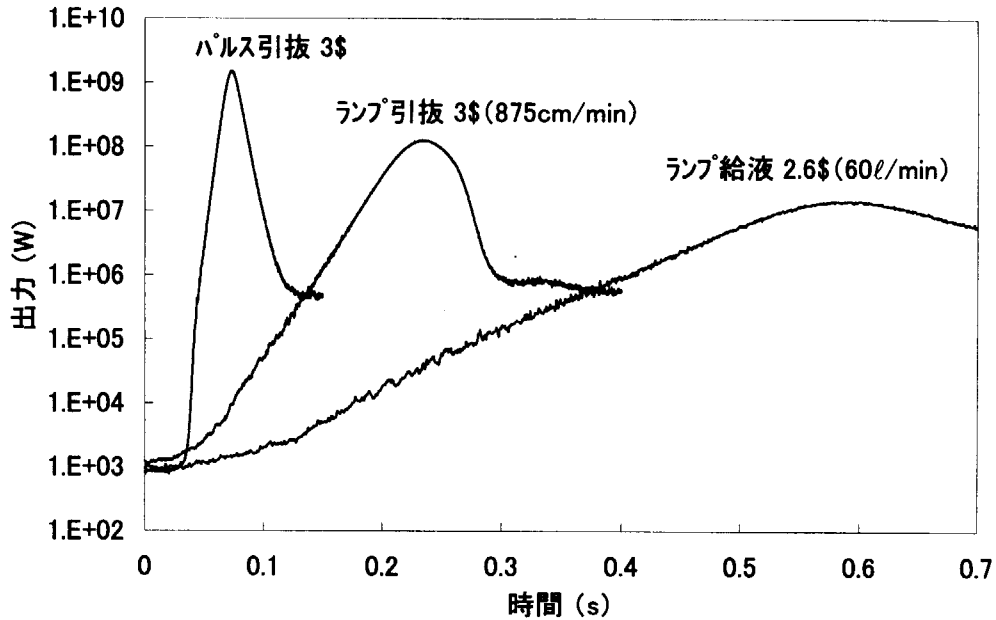


図 4.5 第 1 パルス出力波形の比較

#### 4.5 パルス引抜時における安定逆炉周期 $\omega$ の測定<sup>[11]</sup>

安定逆炉周期  $\omega$  ( $s^{-1}$ ) は過渡臨界事象を理解するための有用なパラメータの 1 つである。1\$ を超える反応度をステップ状に添加した場合、ピーク出力  $N_p$  (W)、第 1 ピークまでの放出エネルギー  $E_p$  (J) は Nordheim-Fuchs モデル<sup>[12]</sup> により  $N_p \propto \omega^2$ 、 $E_p \propto \omega$  の関係にある。

##### 4.5.1 即発中性子減衰定数 $\alpha_c$ の測定

安定逆炉周期  $\omega$  はステップ状の添加反応度を  $\rho$  (\$), 即発中性子減衰定数を  $\alpha_c$  ( $s^{-1}$ ) すると  $\omega = (\rho - 1) \alpha_c$  の関係にあることから、 $\alpha_c$  は  $\omega$  を評価する上で重要なパラメータである。

測定では燃料液位を変えることにより未臨界度をいくつか設定し、パルス中性子法で  $\alpha$  を求めた。この未臨界度に対する  $\alpha$  の測定結果を未臨界度 0 まで外挿して臨界時の  $\alpha_c$  を求めた。ウラン濃度と  $\alpha_c$  の関係を図 4.6 に示す。測定値を SRAC95<sup>[13]</sup> コードシステム内蔵の CITATION<sup>[14]</sup> コードによる計算値 (中性子エネルギー: 17 群、核データライブラリ: JENDL3.2) と比較したところ、両者は誤差の範囲内で一致した。 $\alpha_c$  は遅発中性子割合を  $\beta$ 、即発中性子寿命を  $l$  とすると  $\alpha_c = \beta / l$  で表される。 $\alpha_c$  はウラン濃度の上昇に伴って増加するが、これは臨界液位の低下による中性子の漏れ量の増加や、燃料に吸収される中性子の増加により即発中性子寿命が短くなることによると考えられる。

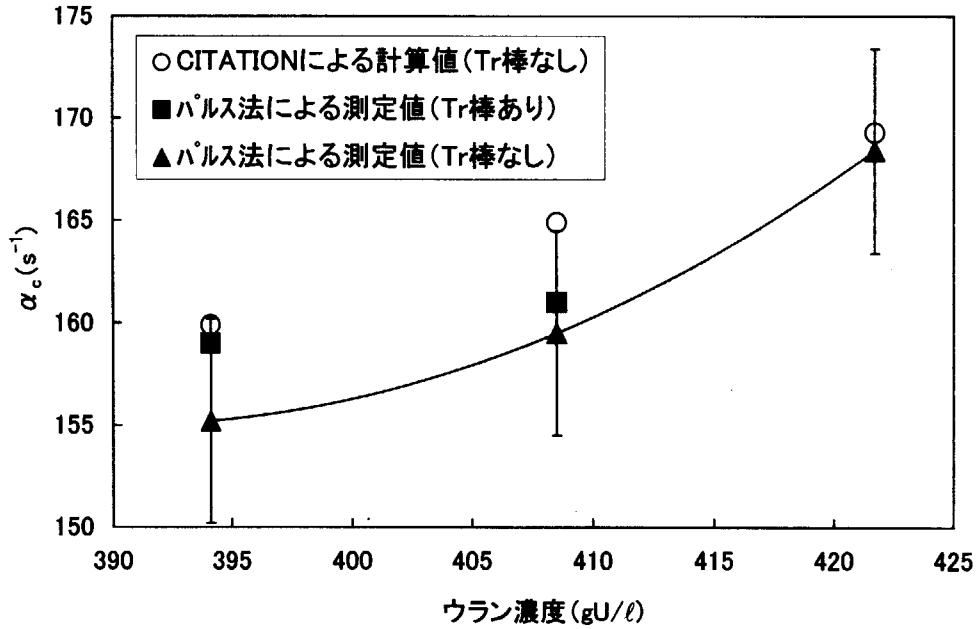


図 4.6 ウラン濃度と  $\alpha_c$

#### 4.5.2 逆炉周期 $\omega$ の測定

パルス中性子法で求めた  $\alpha_c$  と CITATIONI により求めた  $\alpha_c$  を  $\omega = (\rho - 1)\alpha_c$  の関係式に用いてそれぞれの  $\omega$  を算出する。ここで用いる  $\alpha_c$  は Tr 棒が無い体系における値である。

また、1\$を超える反応度をステップ状に添加（パルス引抜）したときの核計装（過渡対数出力系）による炉周期 T の測定値を用いて  $\omega = 1/T$  (s<sup>-1</sup>) の関係式より  $\omega$  を求めた。

ステップ状の添加反応度と逆炉周期の関係を図 4.7 に示す。パルス中性子法及び CITATIONI により求めた  $\alpha_c$  を用いて算出した逆炉周期と核計装による測定値はほぼ誤差の範囲内で一致した。

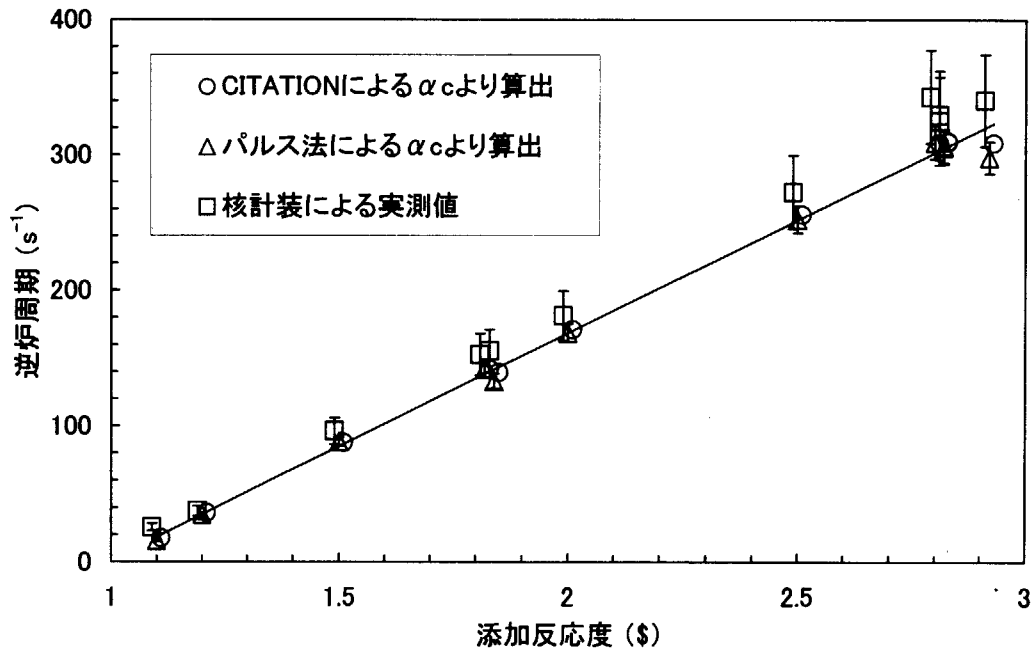


図 4.7 ステップ状添加反応度と逆炉周期

#### 4.6 ピーク出力及び積算出力の評価

ピーク出力  $N_p$  及び第 1 パルスピークまでの積算出力  $E_p$  について、次式に示す Nordheim-Fuchs モデルによる計算値と実測値の比較を行った。

$$N_p = -C_p \cdot d \cdot l \cdot V \cdot \omega^2 \cdot (2\alpha_t \cdot W)^{-1}$$

$$E_p = -C_p \cdot d \cdot l \cdot V \cdot \omega \cdot (\alpha_t \cdot W)^{-1}$$

$$C_p : \text{比熱 (J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}) \quad [2.5 \times 10^3]$$

$$d : \text{密度 (kg} \cdot \text{m}^{-3}) \quad [1.6 \times 10^3]$$

$$l : \text{即発中性子寿命 (s)} \quad [4.3 \times 10^{-5}]$$

$$V : \text{炉心の体積 (m}^3) \quad [0.1]$$

$$\alpha_t : \text{温度反応度係数 (°K/k} \cdot \text{°C}^{-1}) \quad [-3.6 \times 10^{-4}]$$

[ ] 内は TRACY の解析に使用している値<sup>[15][16]</sup>である。

逆炉周期  $\omega$  とピーク出力、第 1 パルスピークまでの積算出力の関係を図 4.8 及び図 4.9 に示す。ピーク出力、積算出力共に  $\omega$  が大きくなるに従って計算値と実測値の差が大きくなるが、この要因はボイドの発生によると考えられる。Nordheim-Fuchs モデルは温度反応度効果を考慮しているが、放射線分解ガスの発生に伴うボイド反応度効果は考慮されていない。また、核計装検出器の応答特性が影響している可能性もあり、出力についてはさらに詳細な評価を進めているところである。

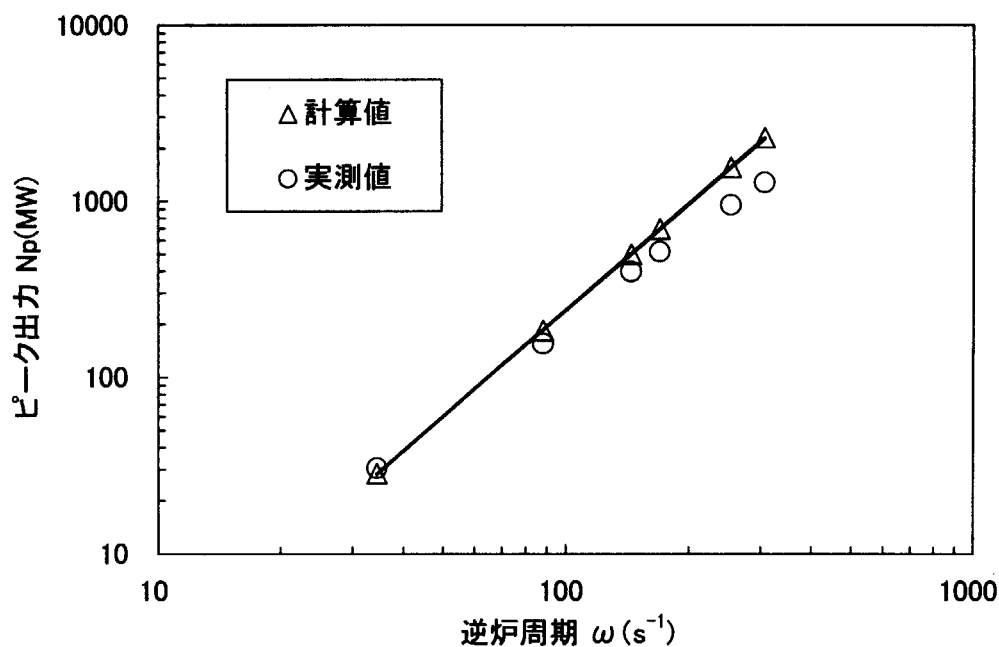


図 4.8 逆炉周期とピーク出力

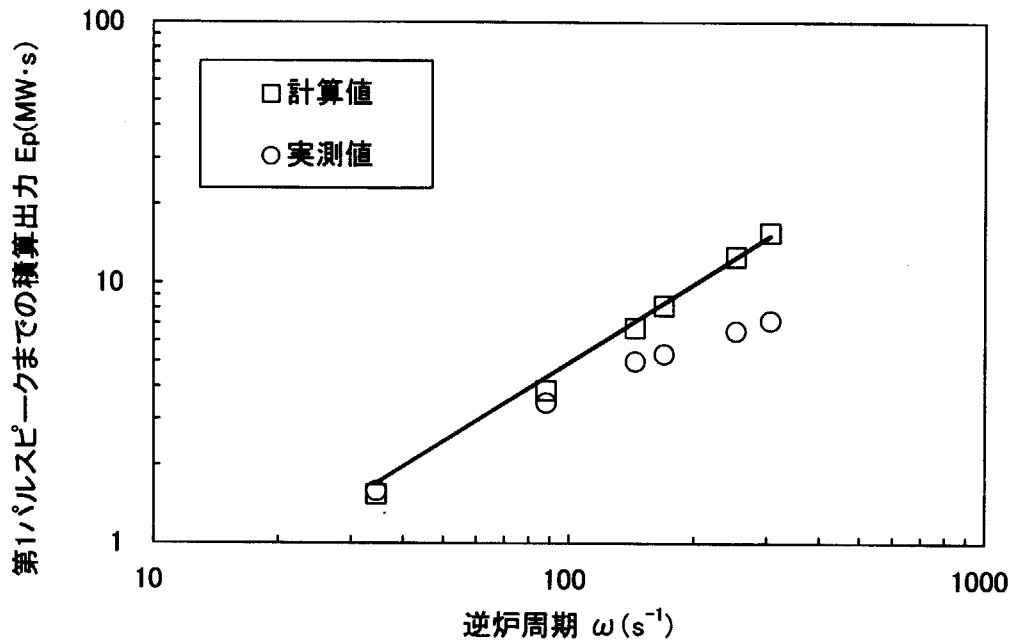


図 4.9 逆炉周期と第 1 パルスピークまでの積算出力

#### 4.7 反応度添加率と出力

##### 4.7.1 反応度添加率とピーク出力

図 4.10 にランプ給液及びランプ引抜時の平均反応度添加率とピーク出力の関係を示す。ここで述べる平均反応度添加率とは添加反応度を添加時間で除したものであり、添加時間はランプ給液においては臨界液位 (Tr 棒無し) を超えてから初期設定液位に達するまでの時間、ランプ引抜においては Tr 棒が初期設定液位から完全に抜けきるまでの時間としている。

実際には 4.2 節に述べたようにランプ給液時には燃料液位による液位反応度の違い (4.2.1 項) があり、ランプ引抜時には Tr 棒の位置 (4.2.2 項) によって反応度の効果が異なる。よって反応度添加率は時間とともに変化するようになるが、ここでは平均の反応度添加率を使って整理した。

反応度添加率とピーク出力は比例関係にあるが、過渡運転開始前の初期出力が高い程ピーク出力は低くなる傾向にある。これは初期出力が高い場合、温度などによる負の反応度フィードバックが早い段階で現れるためであると考えられる。



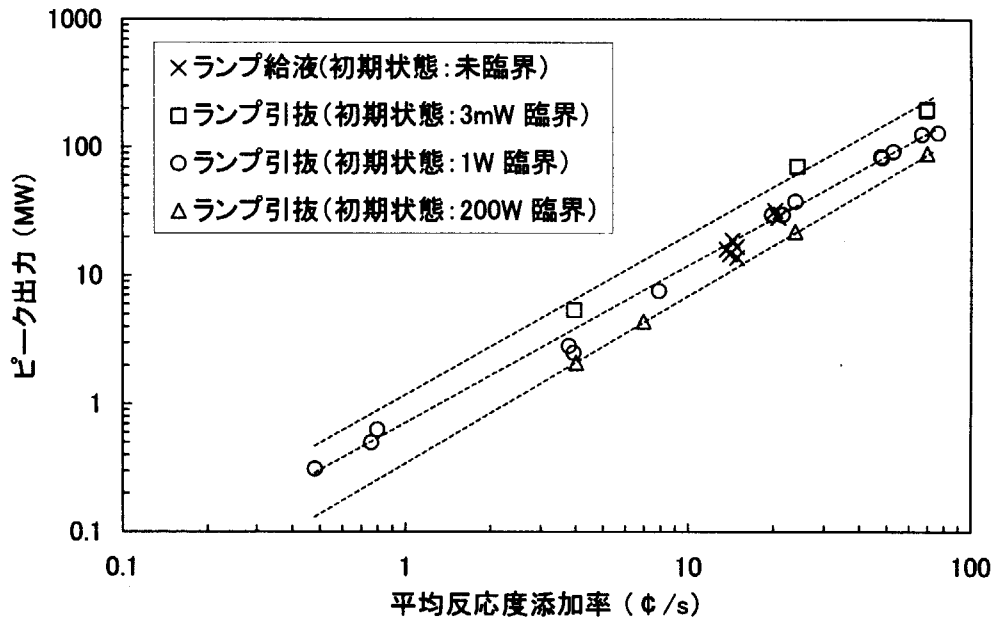


図 4.10 平均反応度添加率とピーク出力

#### 4.7.2 反応度添加率と核分裂密度

平均反応度添加率と第1パルスの核分裂密度の関係を図 4.11 に示す。反応度添加率は 4.7.1 項同様、平均反応度添加率を用いた。核分裂密度は第1パルス終了までの核分裂数を過渡運転開始前の燃料体積で除したものである。TRACY のこれまでの実験条件では約 1700 ¢/s 以下の範囲において反応度の添加量や添加方法、未臨界度等に依らず約  $1.44 \times 10^{15}$  (fission/l) となった。

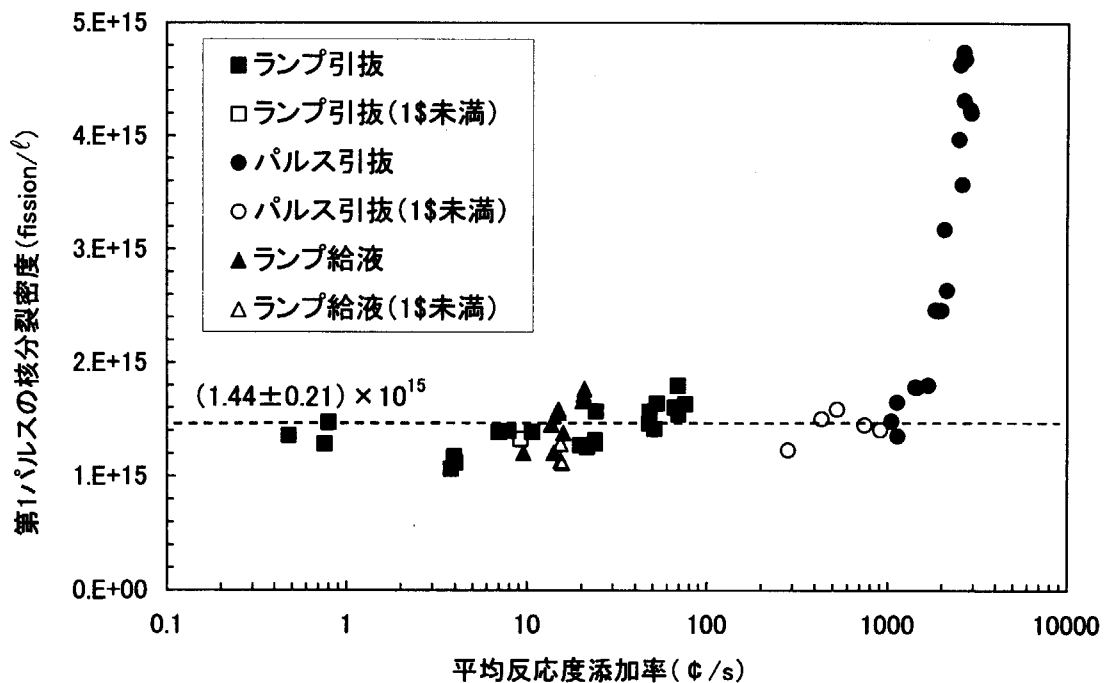


図 4.11 平均反応度添加率と第1パルスの核分裂密度

## 5. まとめ

TRACY では、1995 年から 2000 年末までに反射体無しの体系において定出力運転 95 回、過渡出力運転 81 回、(パルス引抜き 41 回、ランプ引抜き 25 回、ランプ給液 15 回) 計 176 回の運転を行った。本報告書はそれらの TRACY の運転記録についてまとめたものである。

溶液燃料の管理を行う中でウラン濃度、硝酸濃度の経時変化データが得られた。詳細は調査中であるが、放射線の照射と燃料温度の上昇によるものと思われる硝酸濃度の減少傾向が見られた。

TRACY では添加反応度 3\$までの実験が許可されており、1995 年から 1996 年度は 1.8\$の反応度値を有する Tr 棒を用いて実験を行い、1997 年度からは 3\$の Tr 棒を製作・設置して実験を行った。1.8\$の Tr 棒の反応度値を求める際には臨界液位と液位反応度の関係から求めたフィッティング式を用いたが、このフィッティング式は 3\$の Tr 棒に対しても適用できることを確認した。

過渡出力運転においては反応度の添加方法、添加量、添加速度、初期出力等を主なパラメータとして扱い、出力(中性子束)、温度、圧力等のデータを収集した。

FP 分析による積算出力の算出では、過渡出力運転時に Ba-140/La-140 が低く評価される結果となった。これは Ba-140/La-140 が生成する過程に存在する希ガス Xe-140 が気相に移行することによると考えられる。このような傾向は定出力運転時には見られず、過渡臨界特有の現象である。

逆炉周期  $\omega$  でピーク出力及び積算出力を評価したところ、 $\omega$  の値が大きくなるに従い、Nordheim-Fuchs モデルによる評価値と実験による測定値との差が大きくなる傾向があった。

また、平均の反応度添加率を用いてピーク出力や核分裂密度を整理すると、反応度添加率とピーク出力は比例関係を示し、初期出力が高いほどピーク出力が低くなることがわかった。さらにこれまでに TRACY で行われた実験条件においては、平均反応度添加率 1700  $\phi/s$  までの範囲において核分裂密度がほぼ一定の値 ( $1.44 \times 10^{15} \text{MJ/l}$ ) をとることが分かるなど、反応度添加率や初期出力、逆炉周期が出力と相関を持つことが明らかになった。

その他、炉心燃料温度を直接測定する実験系温度計の追加、炉心タンク内をリアルタイムで監視できる可視化装置や  $\gamma$  線測定装置等の製作・設置など、機器の追加を含め様々な角度から過渡臨界時のデータ取得、事象解明に取り組んできた。

2001 年度以降は引き続き様々な条件における運転を実施して、データの信頼性向上と新たな知見の探求を行う。

## 謝辞

本報告を作成するにあたり、種々の助言を頂いた安全試験部長鈴木康文氏に深く感謝致します。臨界安全研究室の中島健氏には臨界安全研究分野における広い知見から様々な助言を頂くと共に、本報告の閲読をして頂きました。TRACY の運転、点検等においては、東京ニュークリアサービス(株)の七字勇氏、根本憲司氏、高倉耕祐氏、市村正秀氏に様々な協力を頂きました。また、データの測定、計測システムの構築等においては千代田メンテナンスの二上和弘氏より協力を頂きました。最後に TRACY の運転を支援していただいている安全試験部 NUCEF 管理課、同技術第 2 課、同技術第 3 課、技術部施設第 3 課、保健物理部施設放射線管理第 2 課の皆様、TRACY 原子炉主任技術者である臨界安全研究室の外池幸太郎氏に厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] H.YANAGISAWA et al., "Experiments on Transient Behavior of a Low-Enriched Uranyl Nitrate Solution System with TRACY to Study Hypothetical Criticality Accidents in Reprocessing Plants," Proc. Int. Conf. Nuclear Criticality Safety (ICNC'99), Versailles, France, September 20-24,1999, Vol. II, p.900, Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (1999)
- [2] 小川 和彦 他, 私信「溶液状 10%濃縮ウラン燃料を用いた過渡臨界実験装置 (TRACY) の特性試験 (I)」(1997)
- [3] 曾野 浩樹 他, "平成 7 年における定常臨界実験装置 STACY の運転記録-600 φ 円筒炉心・10%濃縮ウラン硝酸水溶液-", JAERI-Tech 97-005 (1997)
- [4] 大野 秋男, 他, "TRACY 調整トランジェント棒反応度価値の測定", 日本原子力学会 1997 年秋の大会 予稿集, F36 (1997)
- [5] 伏見 康治 (編), "原子炉", 共立出版株式会社 (1972)
- [6] 溝尾 宣辰, 私信「大きな負の反応度の測定に関する研究」(1978)
- [7] 森 貴正, 中川 正幸, "MVP/GMVP 連続エネルギー法及び多群法に基づく汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード", JAERI-Data/Code 94-007 (1994)
- [8] T.NAKAGAWA et al., "Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-2: JENDL-3.2," J.Nucl.Sci.Technol.,32,12,1259 (1995)
- [9] Firestone R.B., et al., "Table of Isotopes (8<sup>th</sup> edition)", vol.1 (A=1-150) Jone Wiley & Sons, Inc., New York (1996)
- [10] K.TASAKA et al., "JDNC Nuclear Data Library of Fission Products -Second Version-" JAERI 1320 (1990)
- [11] 會澤 栄寿 他, "TRACY における逆炉周期  $\omega$  の評価", 日本原子力学会 1998 年春の年会 予稿集, G28 (1998)
- [12] D.L.HETRICK, "Dynamics of Nuclear Reactors", The University of Chicago Press, Chicago (1971)
- [13] 奥村 啓介 他, "SRAC95;汎用核計算コードシステム", JAERI-Data/Code 96-015 (1996)
- [14] Fowler, T.B., et al., "Nuclear Reactor Analysis Code: CITATION," ORNL-TM-2496, (1969)
- [15] K.NAKAJIMA et al., "Experimental Study on Criticality Accidents using the TRACY", Proc. of Physor '96, Ibaraki, Japan, Vol.4, p. L-83 (1996)
- [16] K.OGAWA et al., "Measurement of the Power Profile During Nuclear Excursions Initiated by Various Reactivity Additions Using TRACY," Proc. Int. Conf. Nuclear Criticality Safety (ICNC'99), Versailles, France, September 20-24,1999, Vol. II, p.1277, Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (1999)

## 付録

表 A1 に過渡出力運転時にデータロガーで収集した Tr 棒の引抜及び落下時刻と給液ポンプの起動及び停止時刻を示す。時刻はデータ収集開始を 0 としたものである。また、中性子束、圧力、温度等の波形を図 A1 から A81 に示す。表 A1 と図 A1～A81 の時刻は同期したものである。

表 A1 における Tr 棒引抜開始時刻とは Tr 棒が炉心タンク底面（下限位置）を離れた時刻、Tr 引抜終了時刻とは Tr 棒が 1100mm の位置（上端位置）に到達した時刻を示す。同様に Tr 棒落下開始時刻は Tr 棒が 1100mm の位置（上端位置）を離れた時刻、Tr 棒落下終了時刻とは Tr 棒が炉心タンク底面（下限位置）に到達した時刻を指す。

パルス引抜及びランプ引抜時には引抜前に Tr 棒の位置を調整することで臨界調整をするケースがあるため、引抜直前の Tr 棒の位置を引抜前 Tr 棒位置として示した。

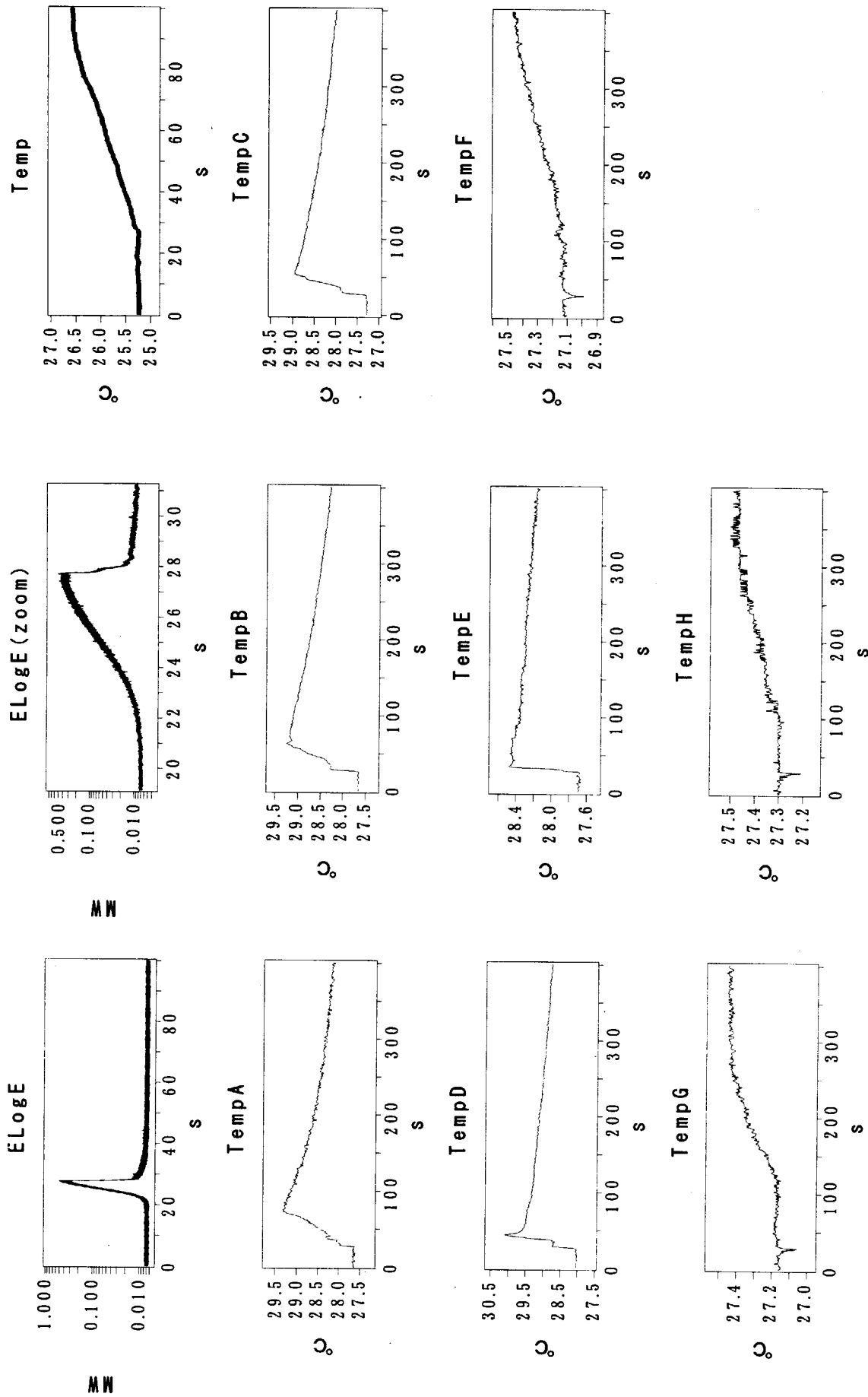
表 A1. Tr 棒の引抜及び落下時刻と給液ポンプの起動及び停止時刻 (1/2)

| Run No. | 付録図番号 | (データ収集開始時)    |               |                |               |               |                |                |               |
|---------|-------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
|         |       | Tr棒引抜開始時刻 (s) | Tr棒引抜終了時刻 (s) | Tr棒引抜開始位置 (mm) | 給液ポンプ起動時刻 (s) | 給液ポンプ停止時刻 (s) | 給液流量増加開始時刻 (s) | 給液流量減少終了時刻 (s) | Tr棒落下開始時刻 (s) |
| 24      | A1    | -             | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | -             |
| 25      | A2    | -             | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | -             |
| 26      | A3    | -             | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | -             |
| 28      | A4    | 8.0868        | 8.2623        | 0              | -             | -             | -              | -              | 19.7129       |
| 29      | A5    | 15.6569       | 22.6182       | 0              | -             | -             | -              | -              | 67.707        |
| 30      | A6    | -             | -             | -              | 13.7          | 39.9          | -              | -              | -             |
| 31      | A7    | -             | -             | -              | 21.6          | 43.7          | -              | -              | -             |
| 32      | A8    | -             | -             | -              | 30.3          | 50.7          | -              | -              | 61.8122       |
| 33      | A9    | 7.8922        | 8.0677        | 0              | -             | -             | -              | -              | 56.5534       |
| 35      | A10   | 3.7805        | 3.956         | 0              | -             | -             | -              | -              | -             |
| 36      | A11   | 16.9095       | 17.0828       | 0              | -             | -             | -              | -              | -             |
| 54      | A12   | 8.3086        | 8.4996        | 0              | -             | -             | -              | -              | 22.5529       |
| 55      | A13   | 8.5608        | 8.7521        | 0              | -             | -             | -              | -              | 28.0099       |
| 56      | A14   | 11.6639       | 11.8561       | 0              | -             | -             | -              | -              | 51.3247       |
| 60      | A15   | 8.2152        | 8.4038        | 0              | -             | -             | -              | -              | 19.6107       |
| 61      | A16   | -             | -             | -              | 6.7149        | 34.304        | -              | -              | -             |
| 62      | A17   | 12.3496       | 19.3396       | 0              | -             | -             | -              | -              | -             |
| 63      | A18   | 16.3112       | 16.503        | 0              | -             | -             | -              | -              | 129.411       |
| 64      | A19   | 15.578        | 15.7712       | 0              | -             | -             | -              | -              | 29.146        |
| 69      | A20   | 10.3536       | 10.544        | 0              | -             | -             | -              | -              | 18.4852       |
| 70      | A21   | 9.6732        | 19.8626       | 0              | -             | -             | -              | -              | 115.027       |
| 71      | A22   | -             | -             | -              | 12.3105       | 70.3275       | -              | -              | 177.993       |
| 72      | A23   | 11.1425       | 11.3325       | 0              | -             | -             | -              | -              | 18.4852       |
| 75      | A24   | 5.595         | 25.9755       | 0              | -             | -             | -              | -              | 123.136       |
| 76      | A25   | -             | -             | -              | 4.25          | 115.076       | -              | -              | 223.746       |
| 77      | A26   | 7.6935        | 7.8845        | 0              | -             | -             | -              | -              | 31.421        |
| 92      | A27   | 2.8296        | 3.0196        | 0              | -             | -             | -              | -              | 13.3186       |
| 93      | A28   | 2.142         | 2.3318        | 0              | -             | -             | -              | -              | 7.7006        |
| 94      | A29   | 2.894         | 3.0844        | 0              | -             | -             | -              | -              | 10.103        |
| 95      | A30   | 1.3288        | 1.5186        | 0              | -             | -             | -              | -              | 60.3348       |
| 96      | A31   | -             | 2.5545        | 361.7          | -             | -             | -              | -              | 151.77        |
| 97      | A32   | -             | 2.5776        | 307.4          | -             | -             | -              | -              | 95.6446       |
| 98      | A33   | -             | -             | -              | 5.3975        | 37.1075       | -              | -              | 164.143       |
| 99      | A34   | 2.8345        | 33.382        | 0              | -             | -             | -              | -              | 132.728       |

表 A1. Tr 棒の引抜及び落下時刻と給液ポンプの起動及び停止時刻 (2/2)

(データ収集開始時

| Run No. | 付録図番号 | Tr棒引抜開始時刻 (s) | Tr棒引抜終了時刻 (s) | Tr棒引抜開始位置 (mm) | 給液ポンプ起動時刻 (s) | 給液ポンプ停止時刻 (s) | 給液流量増加開始時刻 (s) | 給液流量減少終了時刻 (s) | Tr棒落下開始時刻 (s) |
|---------|-------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
| 100     | A35   | -             | -             | 381.7          | -             | -             | -              | -              | 557.71        |
| 101     | A36   | -             | 27.629        | 252.2          | -             | -             | -              | -              | 121.42        |
| 102     | A37   | -             | 1.932         | 367.7          | -             | -             | -              | -              | 255.431       |
| 103     | A38   | 3.186         | 23.5565       | 0              | -             | -             | -              | -              | 112.32        |
| 104     | A39   | 2.329         | 2.5107        | 0              | -             | -             | -              | -              | 17.5531       |
| 105     | A40   | -             | 3.8536        | 157.5          | -             | -             | -              | -              | 19.1591       |
| 106     | A41   | 0.7103        | 0.9025        | 0              | -             | -             | -              | -              | 13.9545       |
| 107     | A42   | 2.8825        | 23.241        | 0              | -             | -             | -              | -              | 94.4695       |
| 108     | A43   | 0.732         | 7.7146        | 0              | -             | -             | -              | -              | 9.834         |
| 109     | A44   | 1.549         | 8.5282        | 0              | -             | -             | -              | -              | 25.8104       |
| 110     | A45   | 11.2985       | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | -             |
| 111     | A46   | 12.7524       | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | -             |
| 112     | A47   | 7.7004        | 68.7408       | 0              | -             | -             | -              | -              | 70.9568       |
| 113     | A48   | 12.825        | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | -             |
| 114     | A49   | 48.927        | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | -             |
| 115     | A50   | 93.888        | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | -             |
| 116     | A51   | 3.3338        | 13.518        | 0              | -             | -             | -              | -              | 43.1692       |
| 134     | A52   | 6.0564        | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | 6.6731        |
| 135     | A53   | 7.6423        | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | 8.3724        |
| 138     | A54   | 2.2829        | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | 30.9846       |
| 140     | A55   | 2.4367        | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | 12.1968       |
| 141     | A56   | 2.2593        | 2.4572        | 0              | -             | -             | -              | -              | 14.711        |
| 142     | A57   | 2.4153        | 2.6126        | 0              | -             | -             | -              | -              | 15.5792       |
| 143     | A58   | 1.625         | 1.8236        | 0              | -             | -             | -              | -              | 15.5792       |
| 147     | A59   | -             | 56.4598       | 294.7          | -             | -             | -              | -              | -             |
| 149     | A60   | -             | -             | -              | 5.6765        | 42.8465       | -              | -              | 145.284       |
| 150     | A61   | -             | 10.554        | 293.6          | -             | -             | -              | -              | 69.302        |
| 151     | A62   | 5.649         | 28.895        | 0              | -             | -             | -              | -              | 56.151        |
| 152     | A63   | 6.248         | 29.487        | 0              | -             | -             | -              | -              | 55.75         |
| 153     | A64   | 14.487        | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | -             |
| 154     | A65   | 58.402        | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | -             |
| 155     | A66   | 4.428         | 11.481        | 0              | -             | -             | -              | -              | 45.876        |
| 156     | A67   | 3.6256        | 3.8226        | 0              | -             | -             | -              | -              | 51.3368       |
| 157     | A68   | 3.5996        | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | 9.122         |
| 158     | A69   | 3.3346        | 3.5324        | 0              | -             | -             | -              | -              | 17.0538       |
| 159     | A70   | -             | -             | -              | -             | -             | 4.4            | 41.78          | -             |
| 160     | A71   | -             | -             | -              | -             | -             | 4.31           | 41.38          | -             |
| 161     | A72   | -             | -             | -              | -             | -             | 1.9            | 41.32          | -             |
| 163     | A73   | -             | -             | -              | 2.97          | 36.575        | 3.9            | 45.8           | -             |
| 164     | A74   | -             | -             | -              | 3.38          | 38.148        | 3.9            | 45.9           | -             |
| 166     | A75   | 6.15          | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | -             |
| 167     | A76   | -             | -             | -              | 4.36          | 45.84         | 5.65           | 55.15          | -             |
| 169     | A77   | -             | -             | -              | 3.72          | 53.78         | -              | -              | -             |
| 172     | A78   | 3.3564        | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | 4.557         |
| 174     | A79   | 3.2051        | 3.4039        | 0              | -             | -             | -              | -              | -             |
| 175     | A80   | 4.4566        | 11.3589       | 0              | -             | -             | -              | -              | 61.7138       |
| 176     | A81   | 3.808         | -             | 0              | -             | -             | -              | -              | 163.33        |



図A1 過渡出力運転データ履歴 (R24 パルス引抜 0.80S)

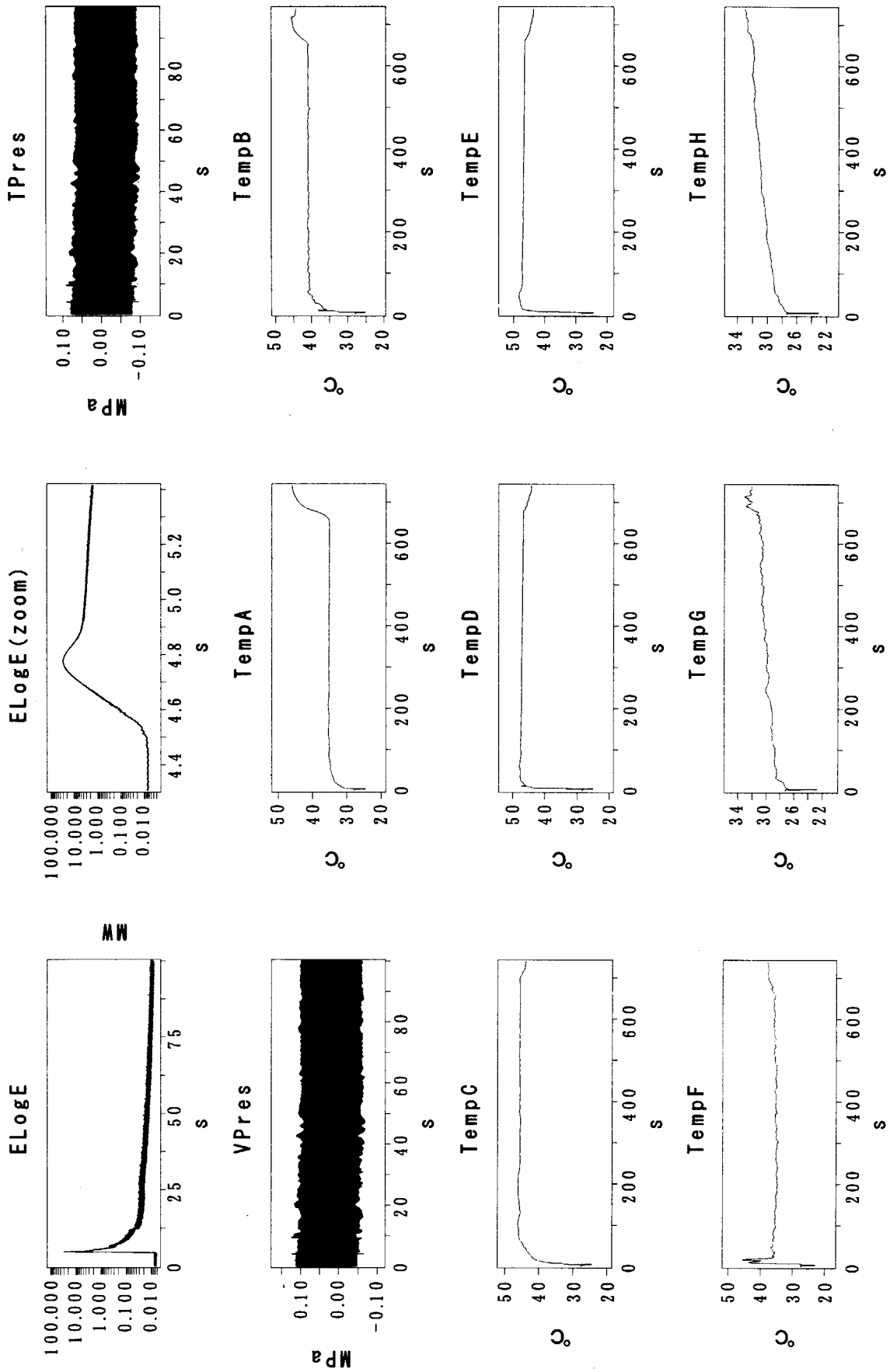
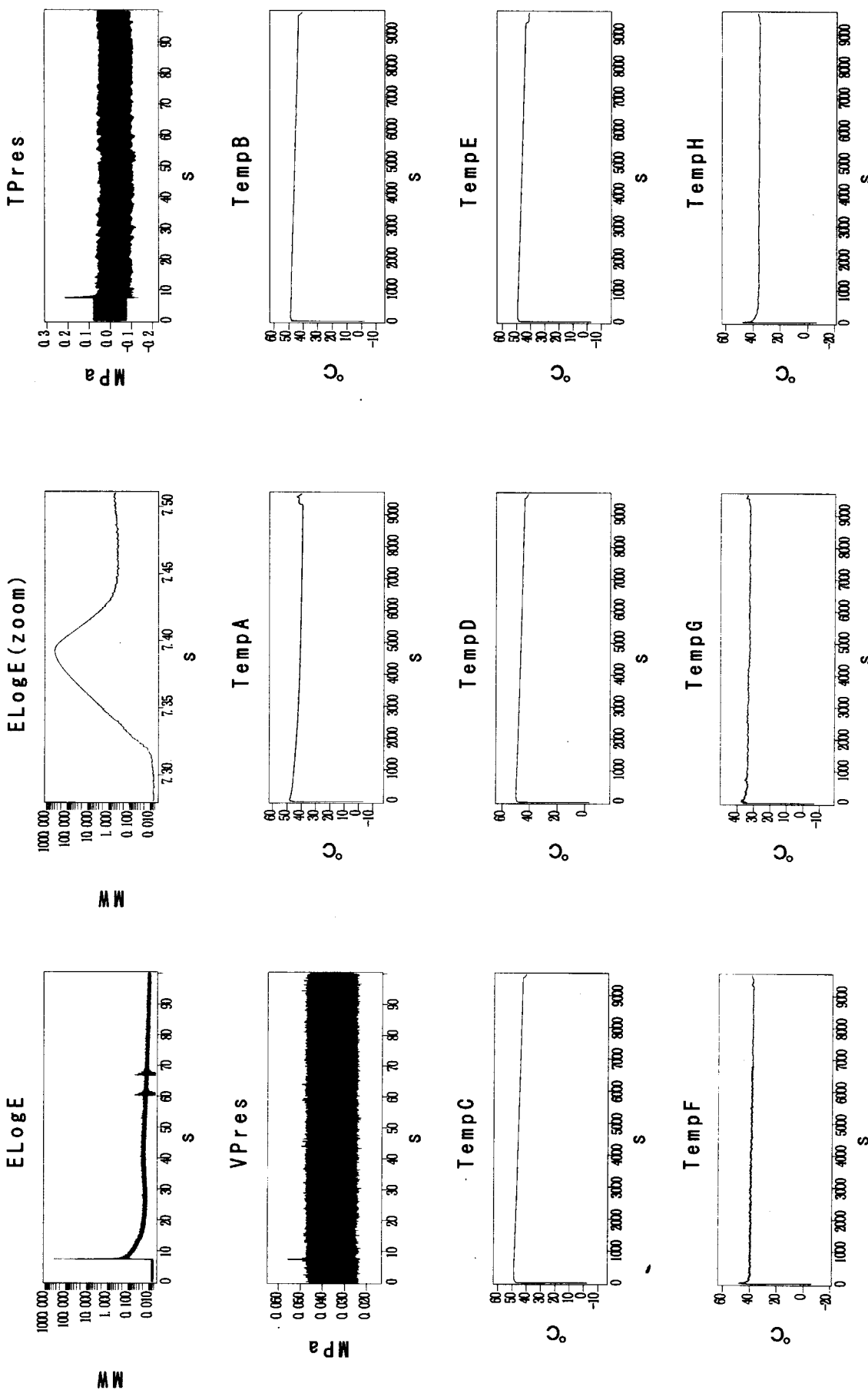
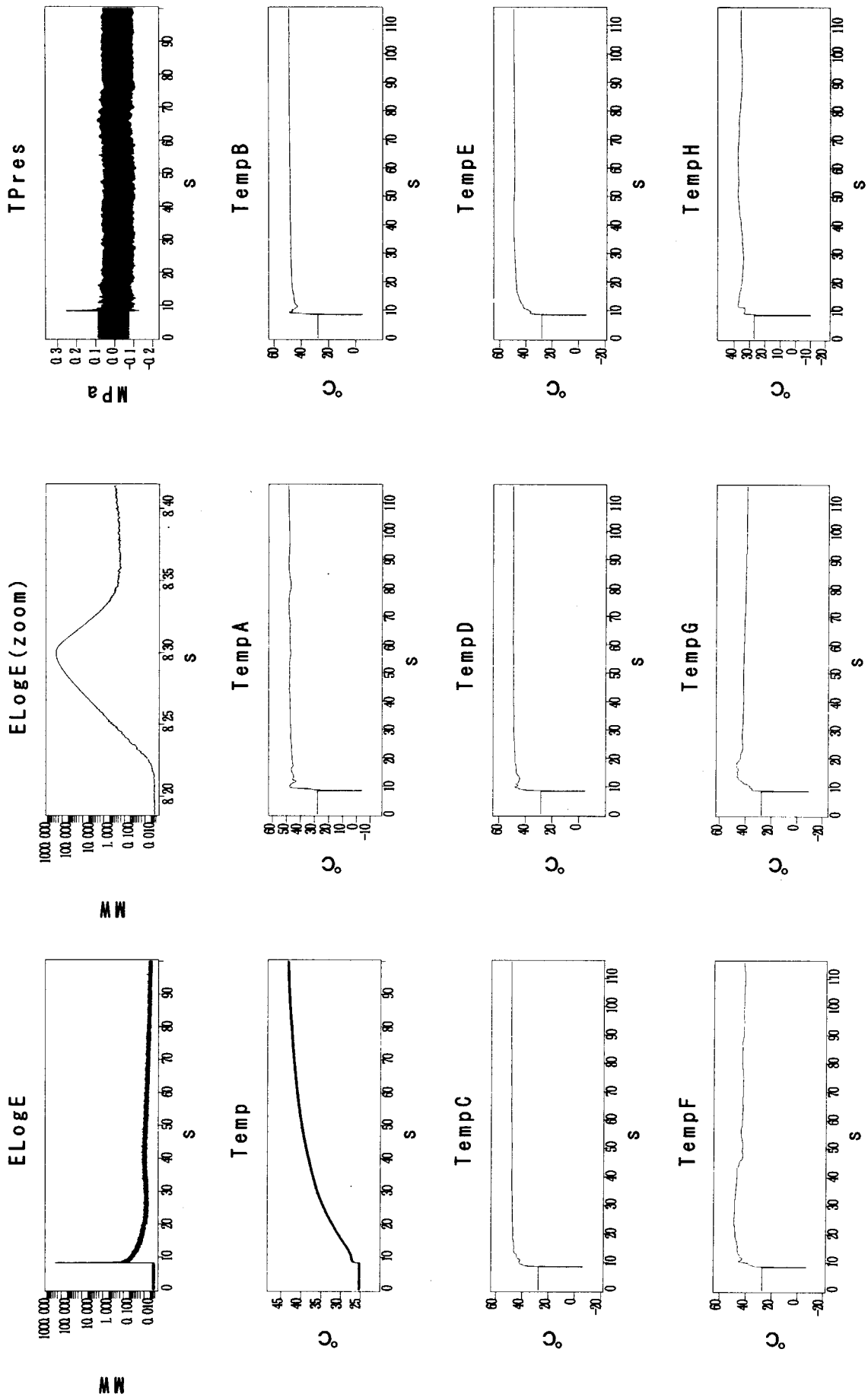


図 A2 過渡出力運転データ履歴 (R25 パルス引抜 1.20\$)



図A3 過渡出力運転データ履歴 (R26 パルス引抜 1.80\$)





図A4 過渡出力運転データ履歴 (R28ノボルス引抜 1.80S)

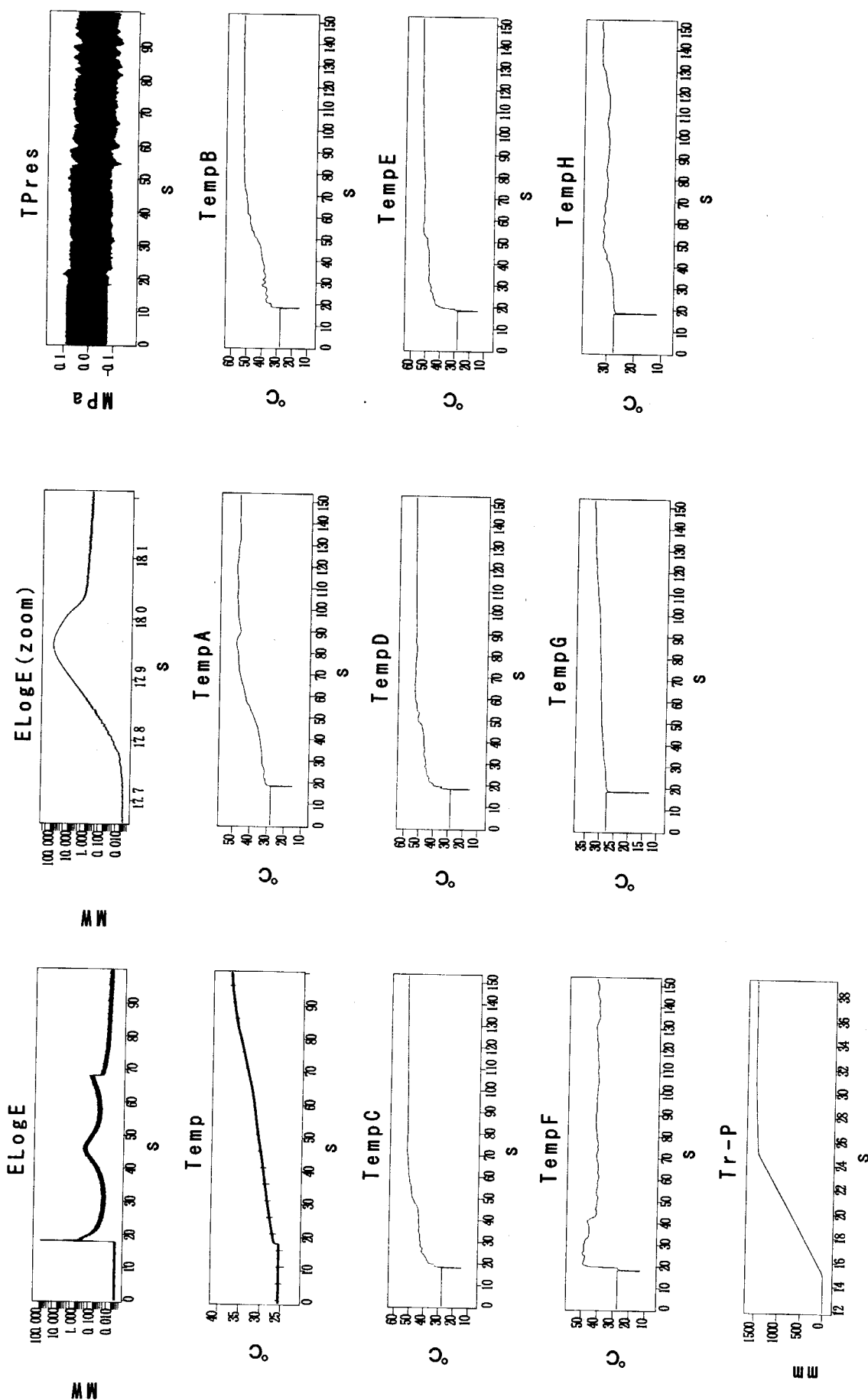


図 A5 過渡出力運転データ履歴 (R29 ランプ引抜 1.84\$ 875cm/min)

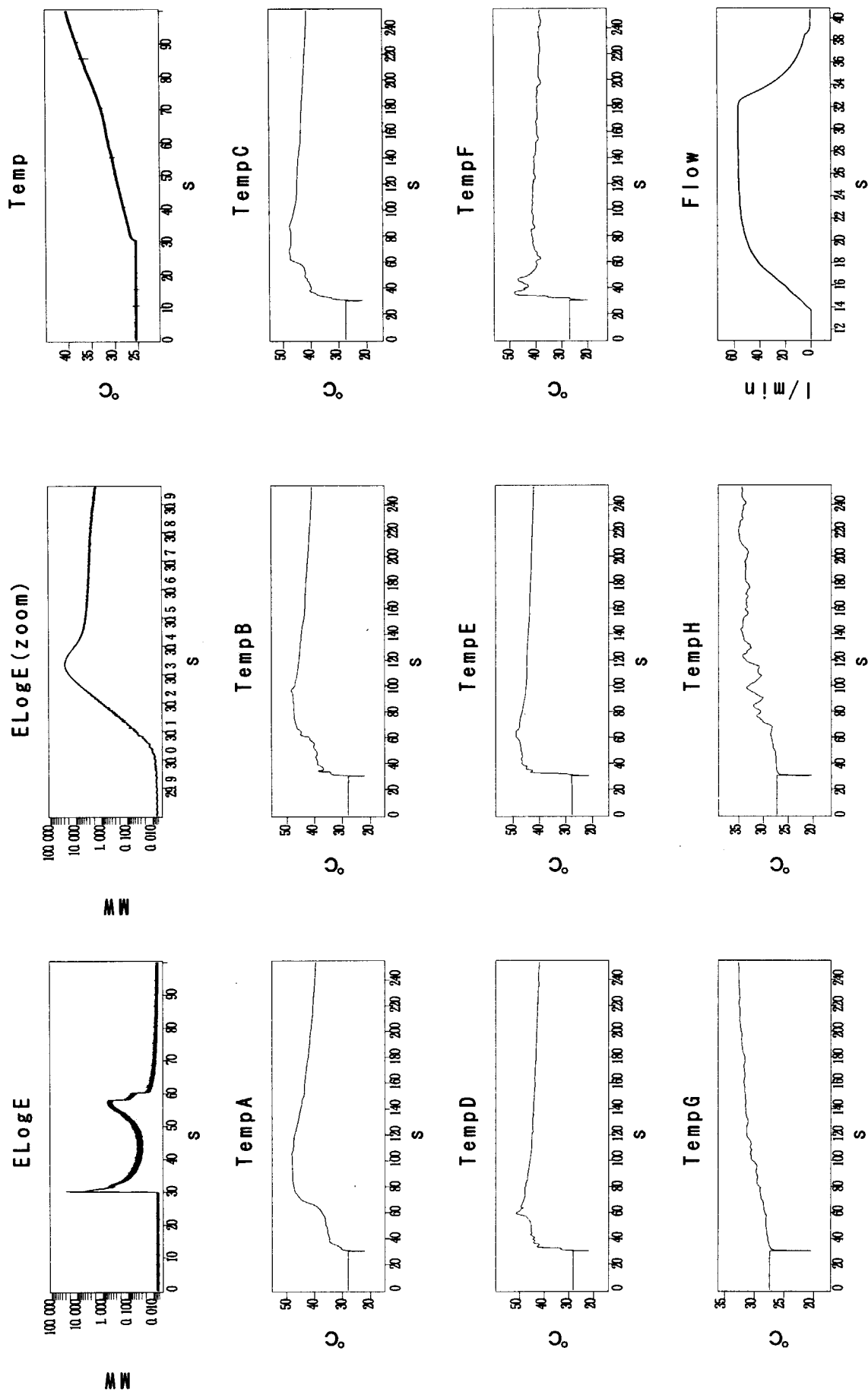
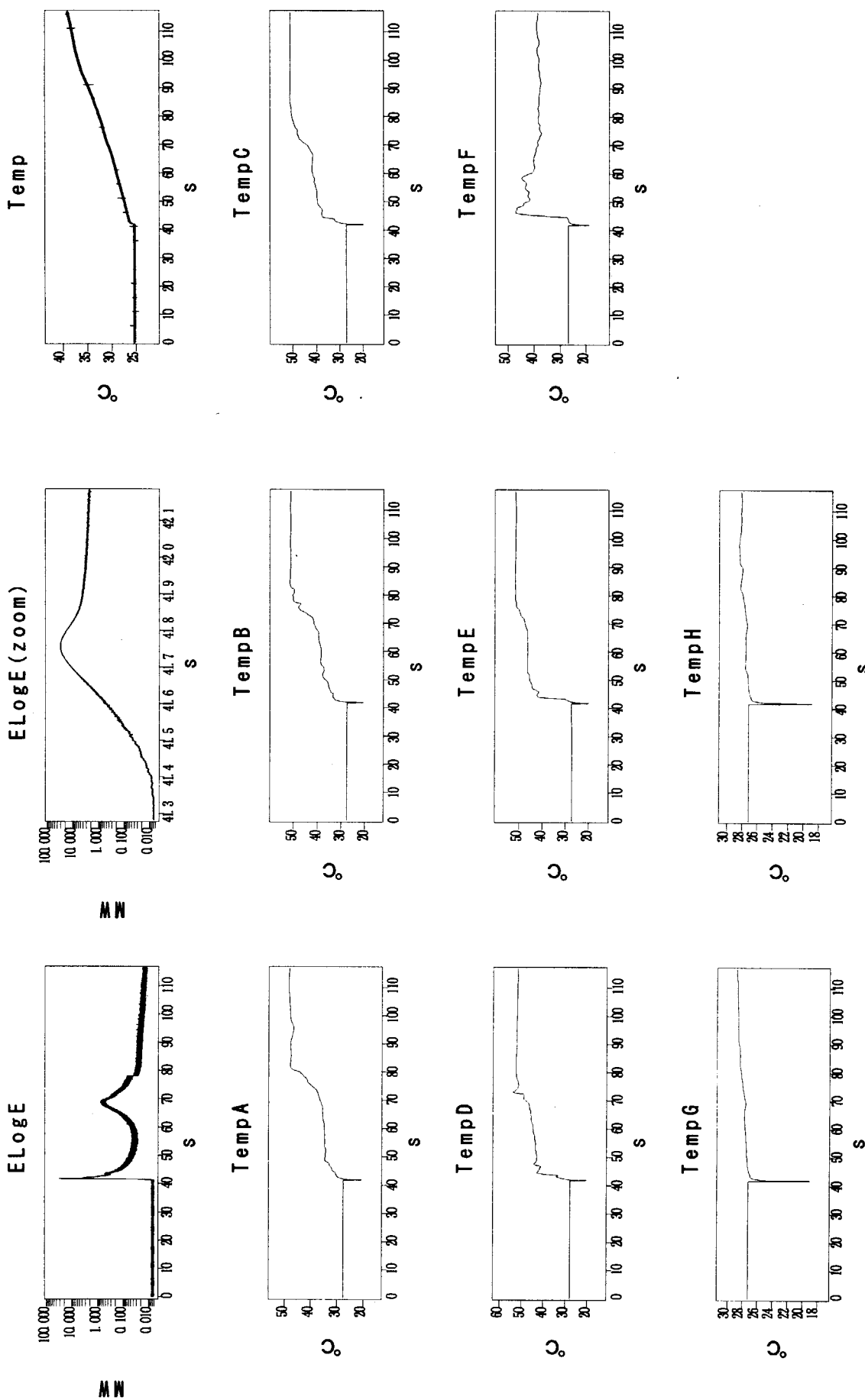


図 A6 過渡出力運転データ履歴 (R30 ランプ給液 1.20\$ 60ℓ/min)



図A7 過渡出力運転タータ履歴 (R31 ランプ給液 1.61\$ 60\$/min)

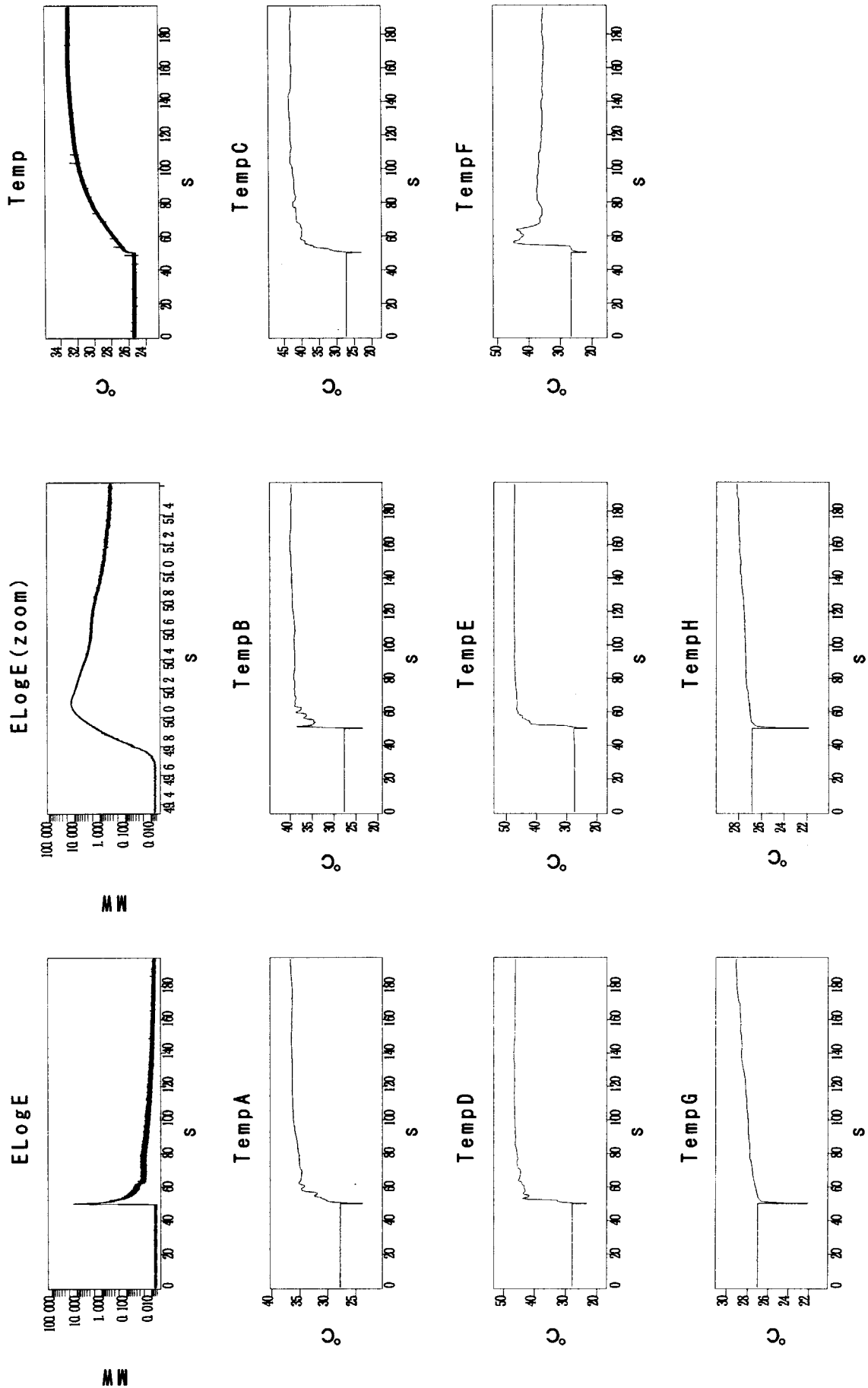
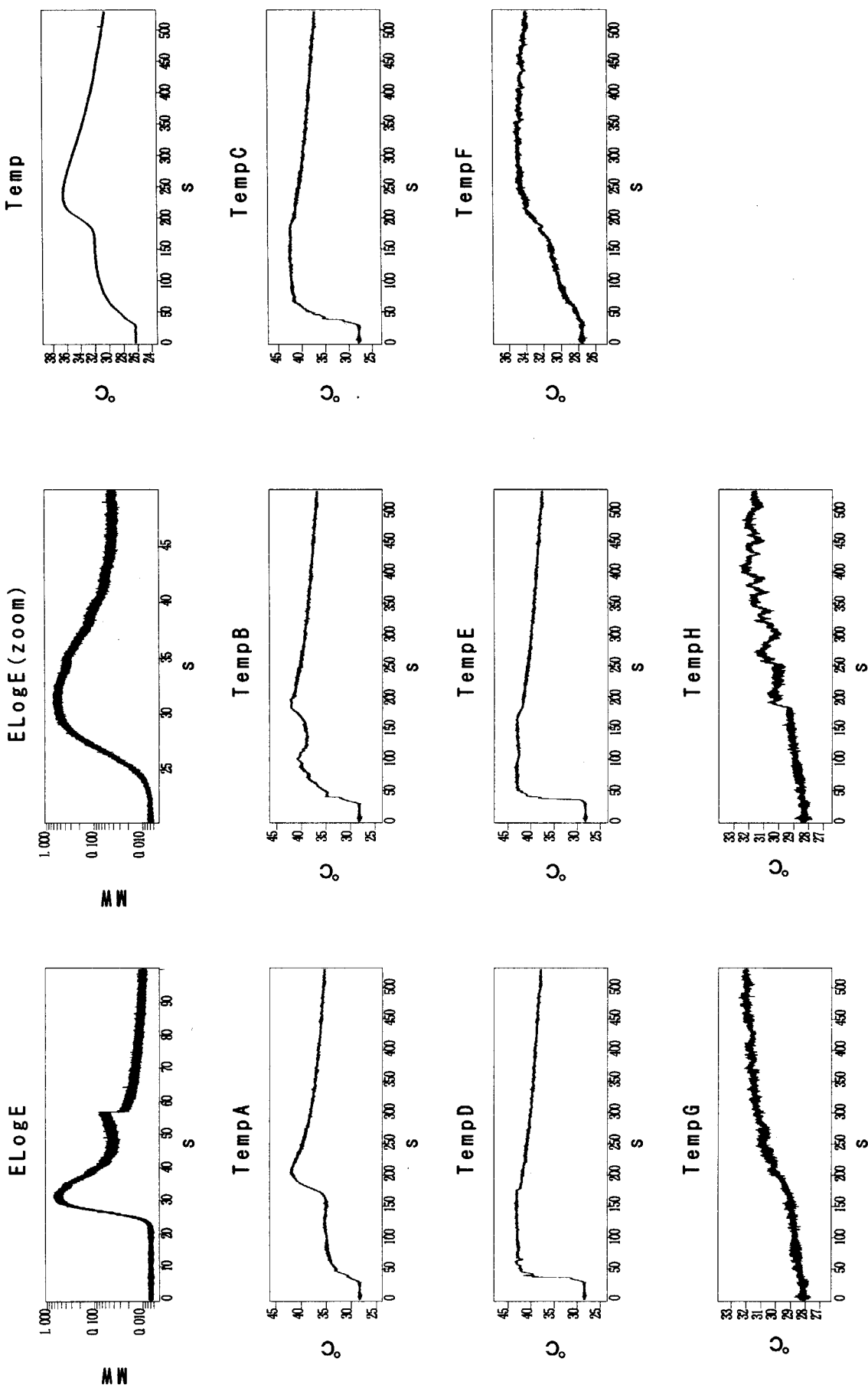
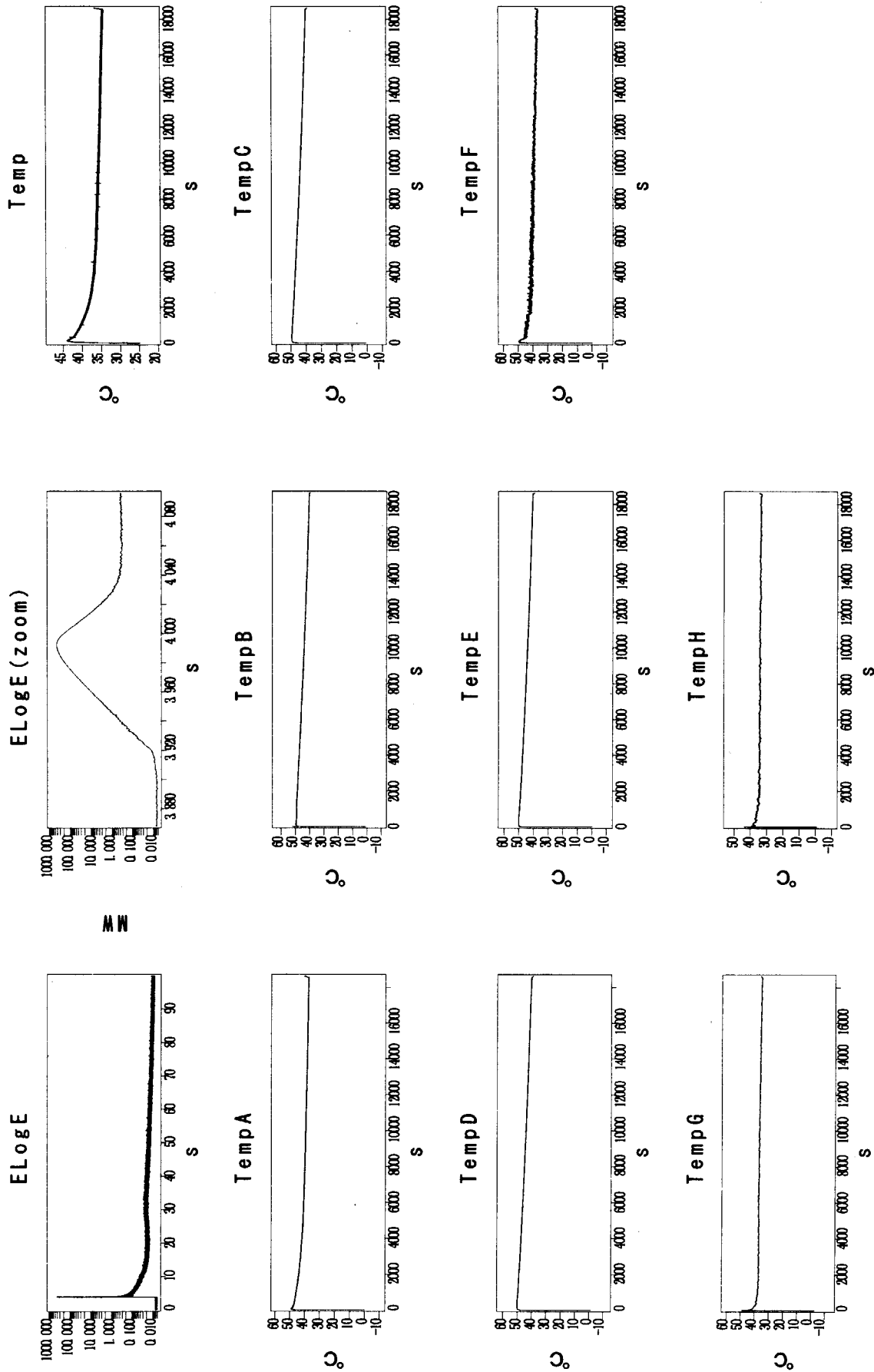


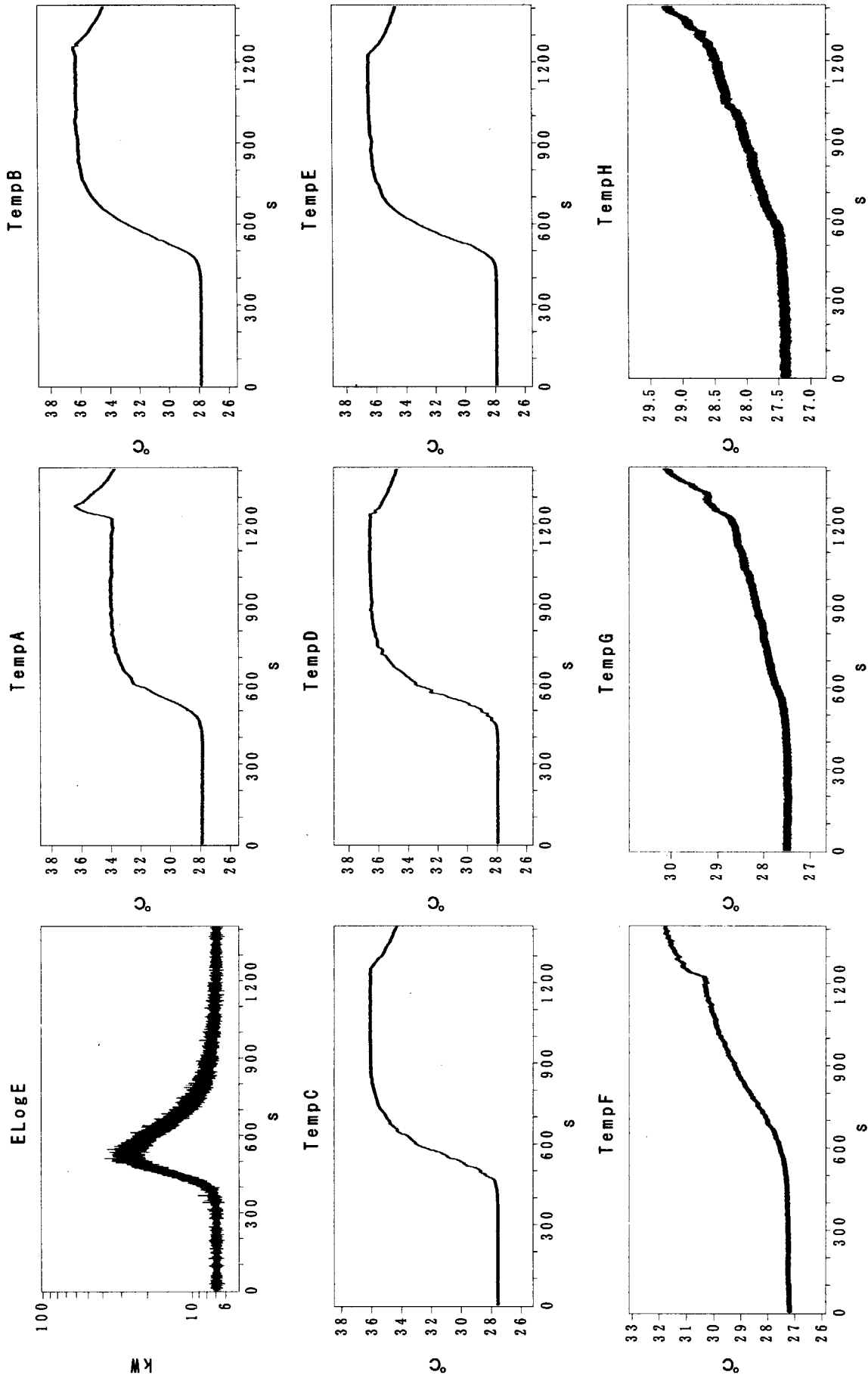
図 A8 過渡出力運転データ履歴 (R32 ランプ給液 1.40\$ 60ℓ/min)



図A9 過渡出力運転データ履歴 (R33 パルス引抜 0.81S)



図A10 過渡出力運転データ履歴 (R35 パルス引抜 1.89\$)



図A11 過渡出力運転ターボ履歴 (R36 パルス引抜 0.25\$)



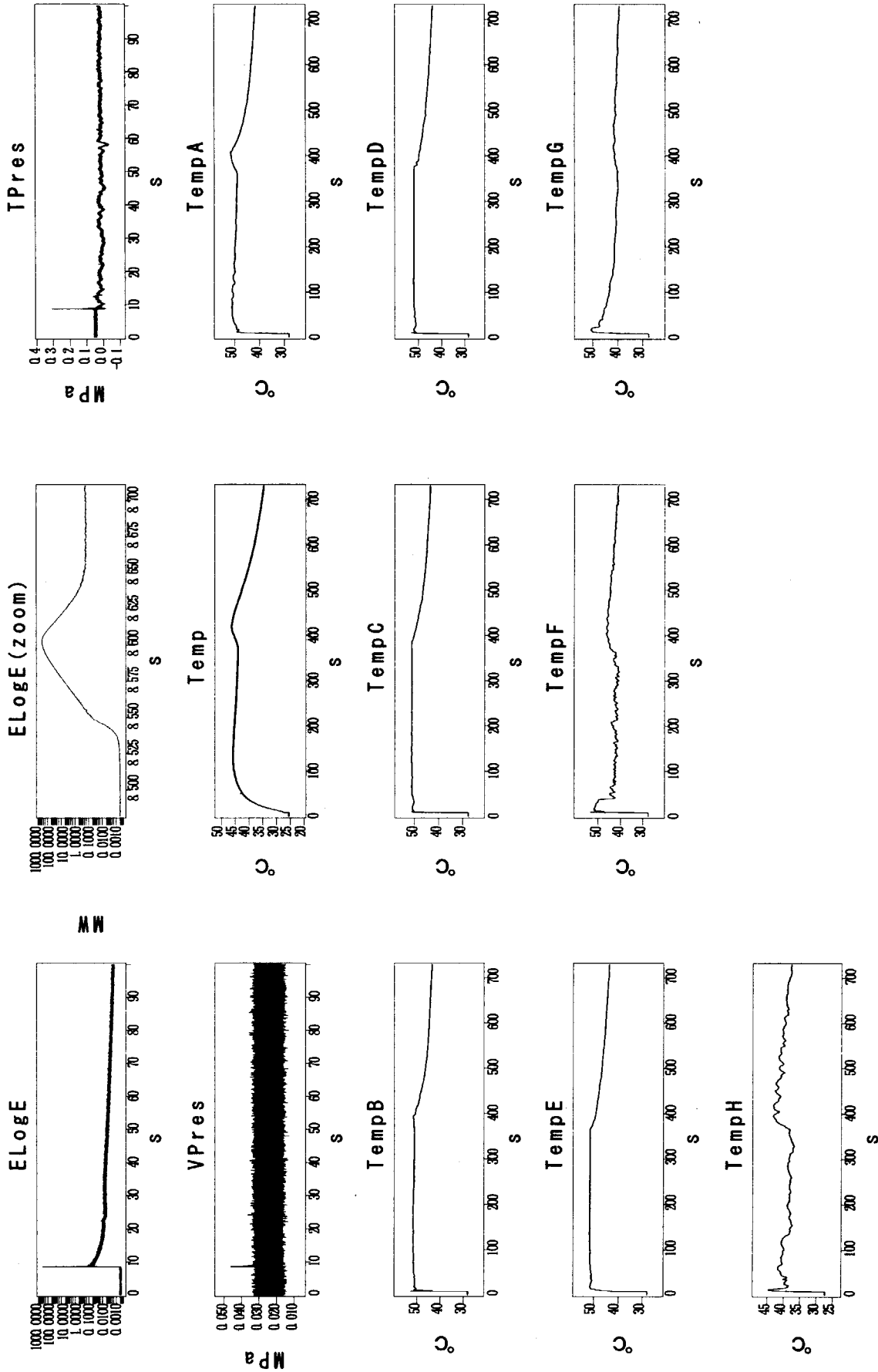


図 A12 過渡出力運転データ履歴 (RS4 パルス引抜 2.00\$)

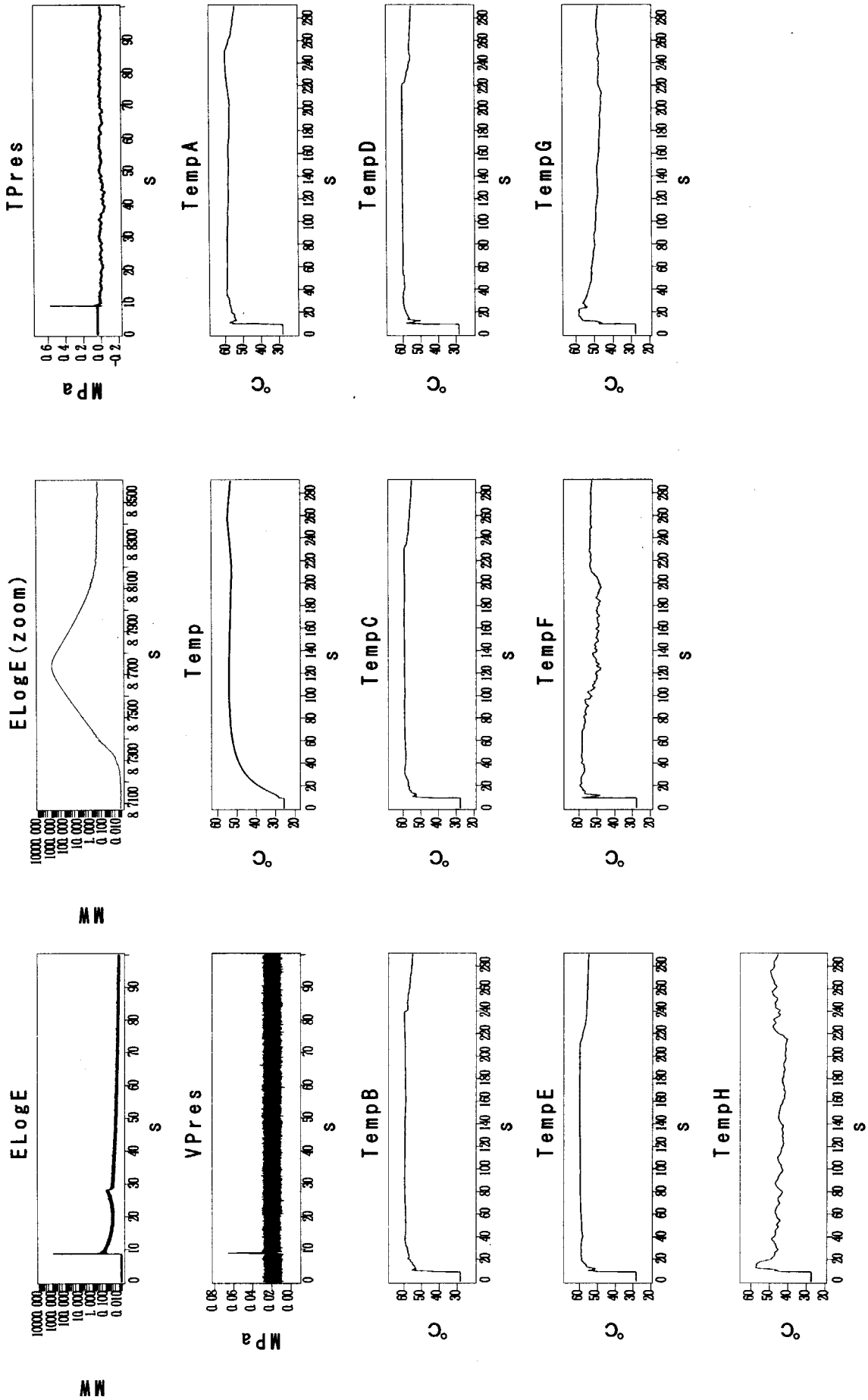


図 A13 過渡出力運転データ履歴 (R55 パルス引抜 2.50\$)

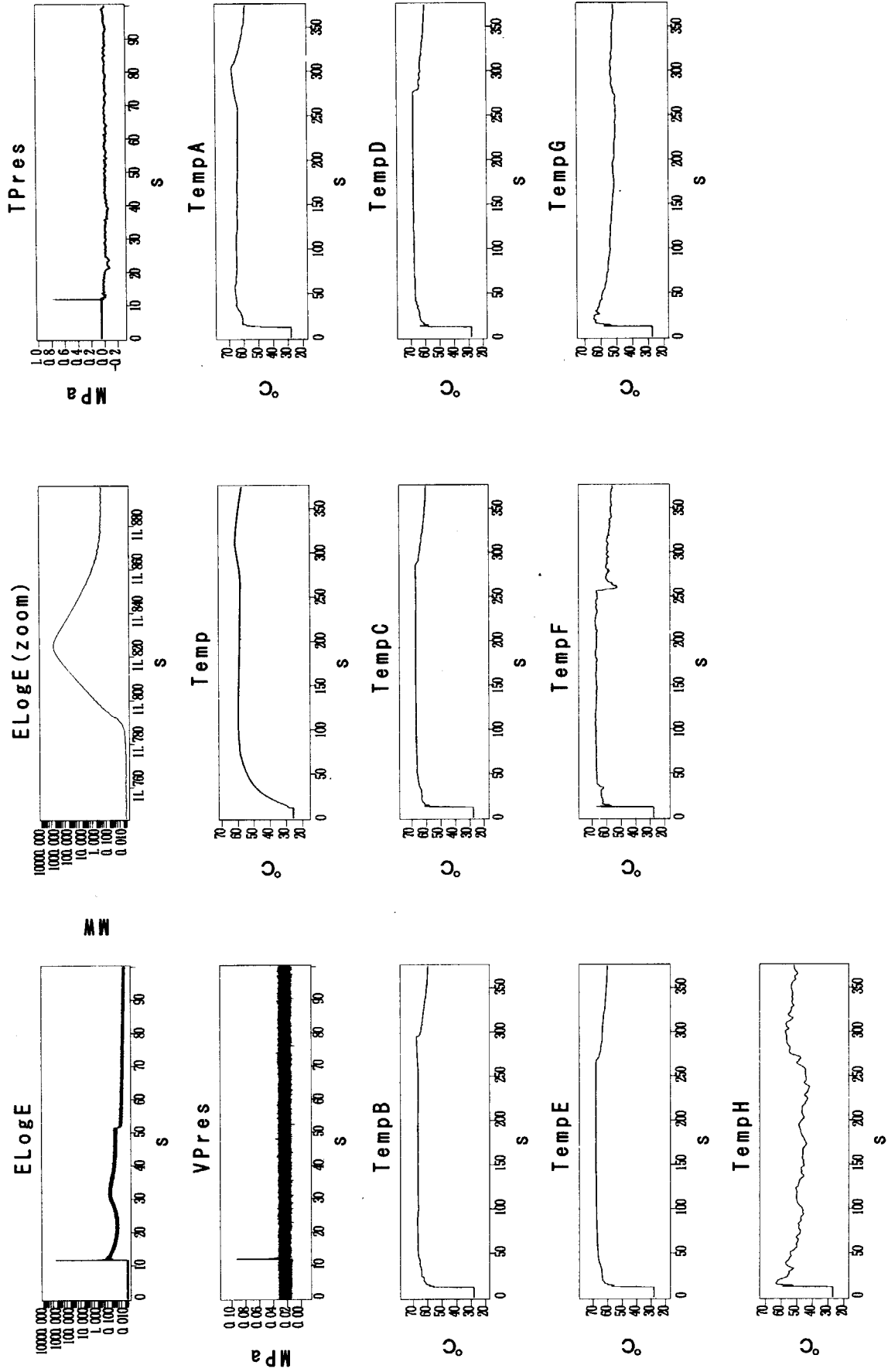
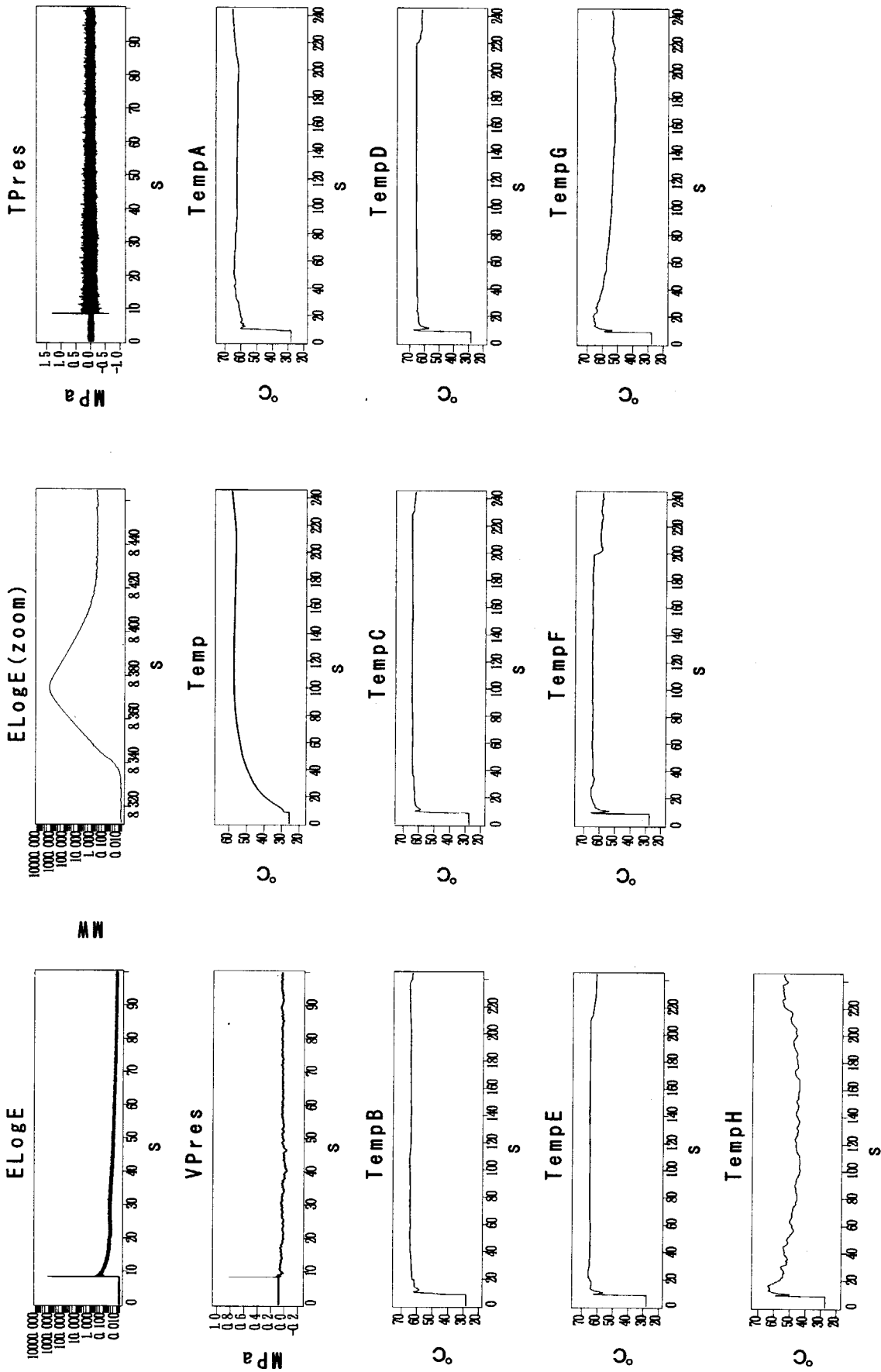


図 A14 過渡出力運転データ履歴 (R56 パルス引抜 2.82\$)



図A15 過渡出力運転データ履歴 (R60 パルス引抜 2.82S)

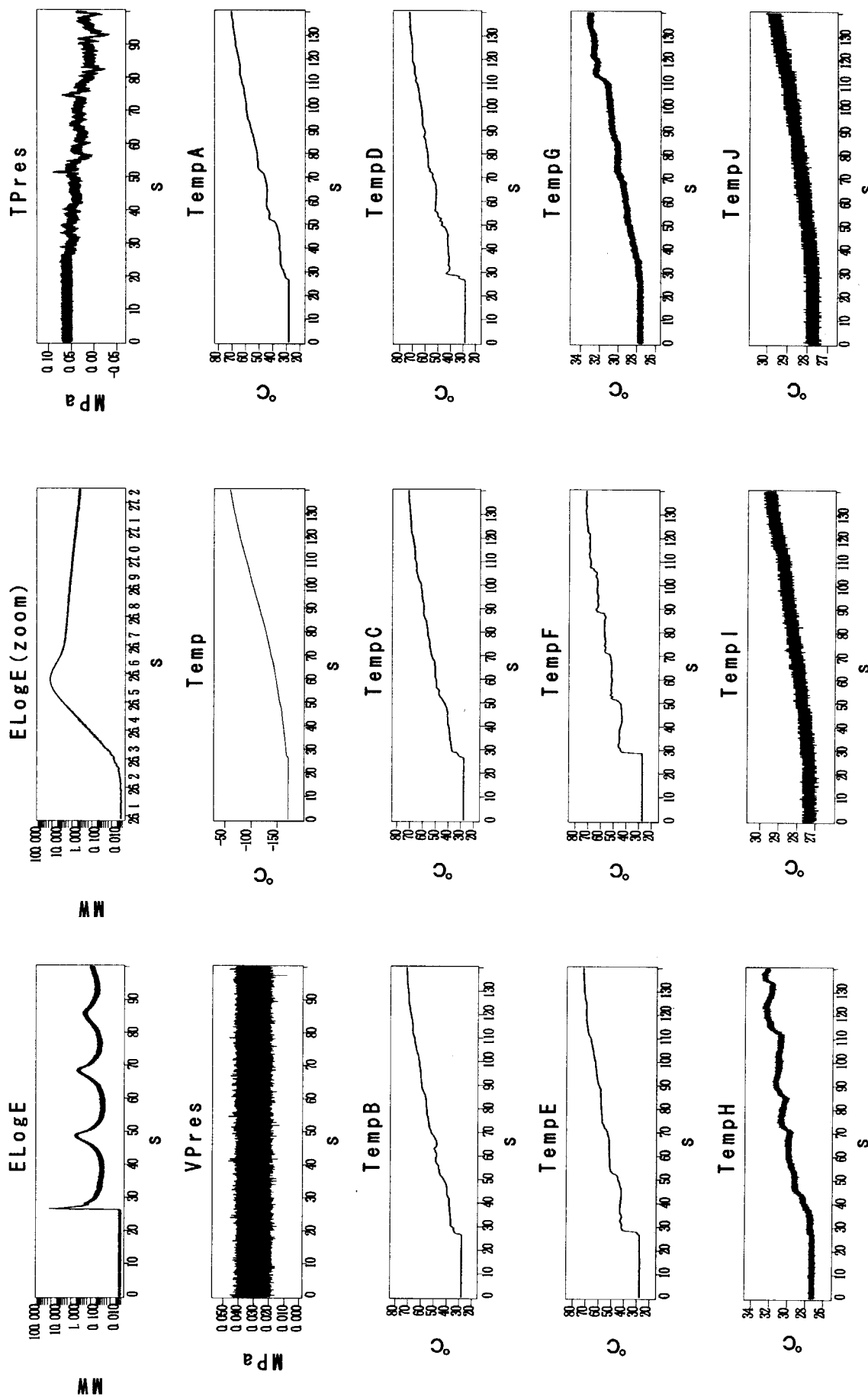
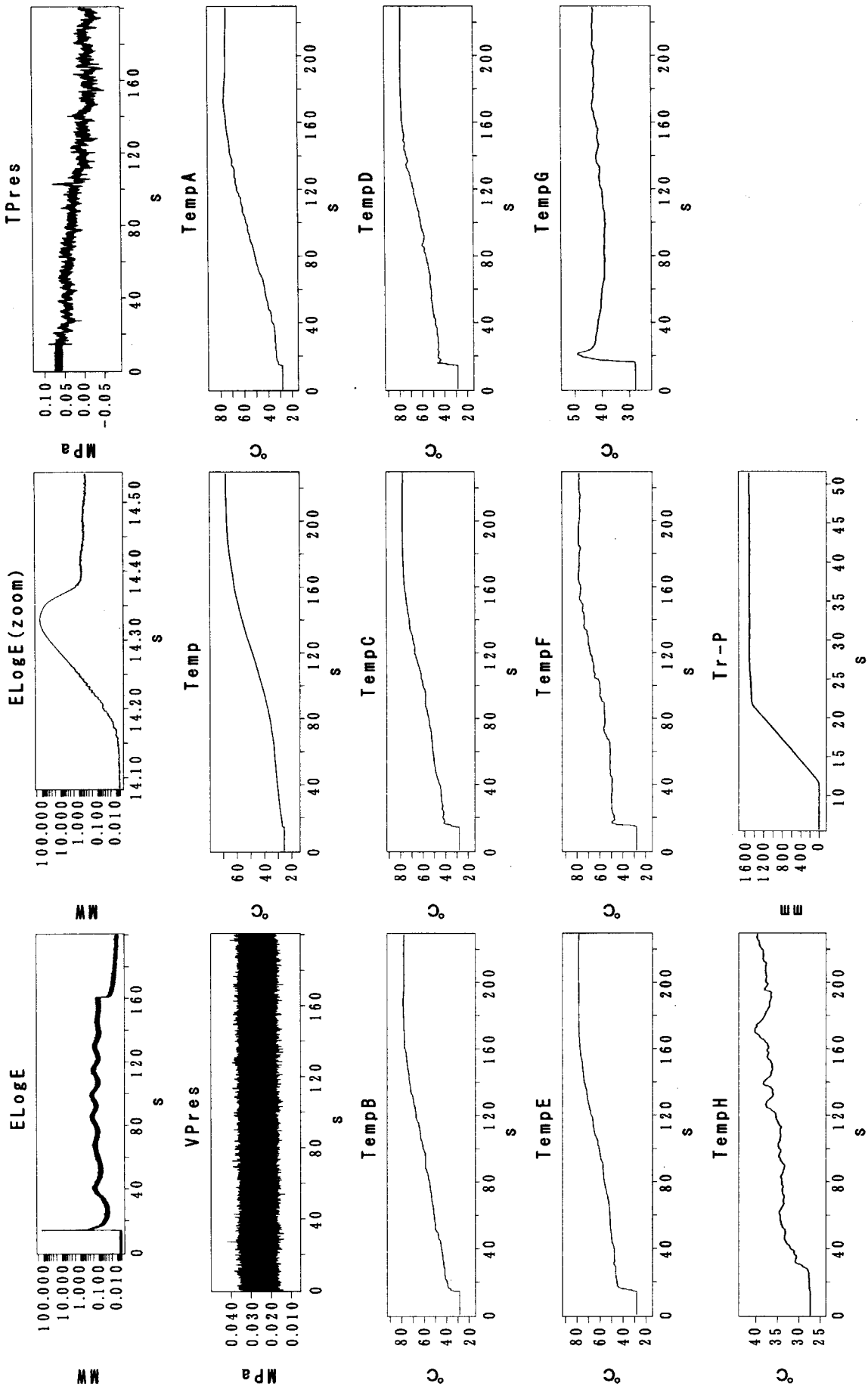
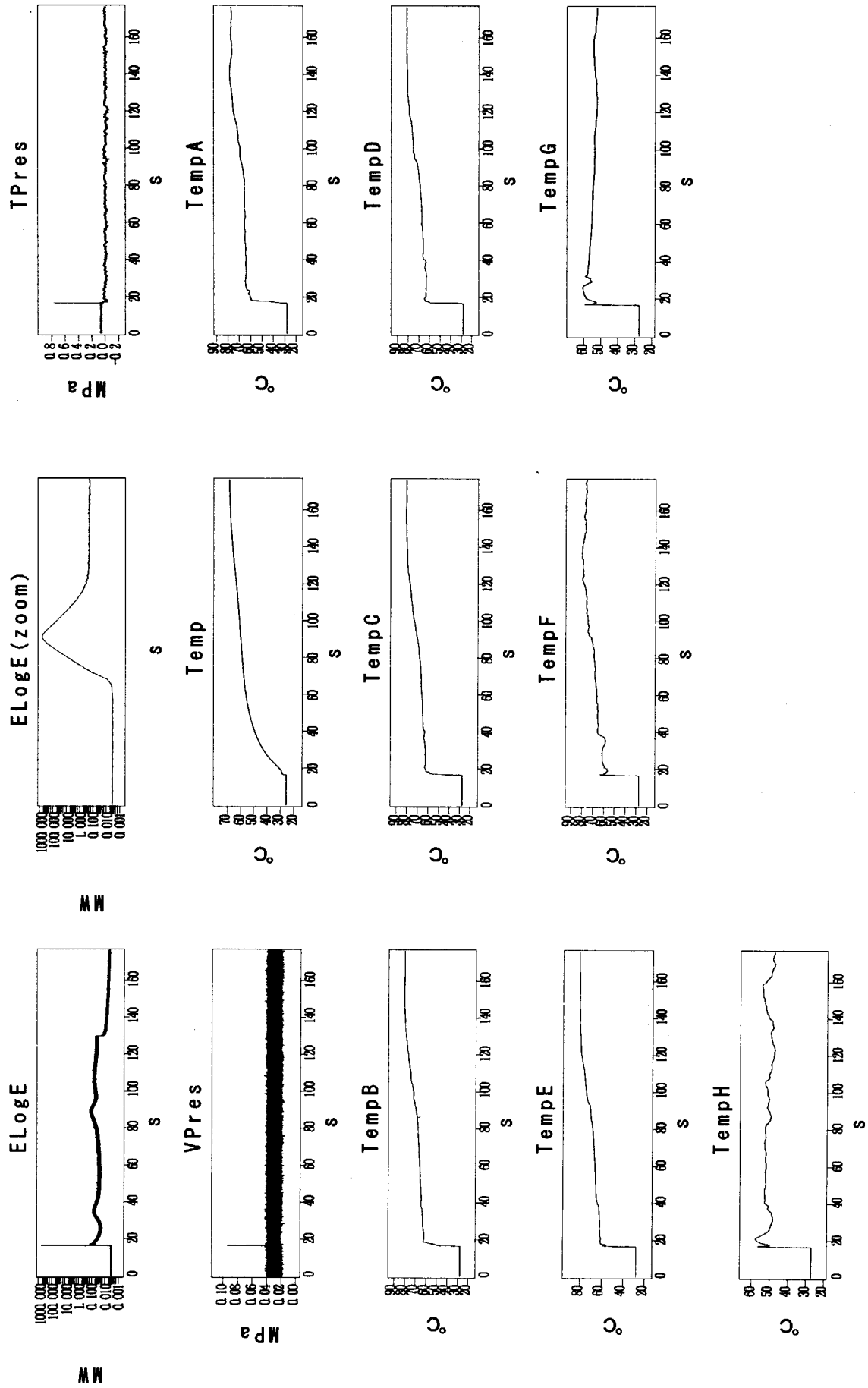


図 A16 過渡出力運転データ履歴 (R61 ランプ給液 2.64\$ 60l/min)



図A17 過渡出力運転データ履歴 (R62 パルス引抜 2.82\$)



図A18 過渡出力運転データ履歴 (R63 パルス引抜 2.80%)

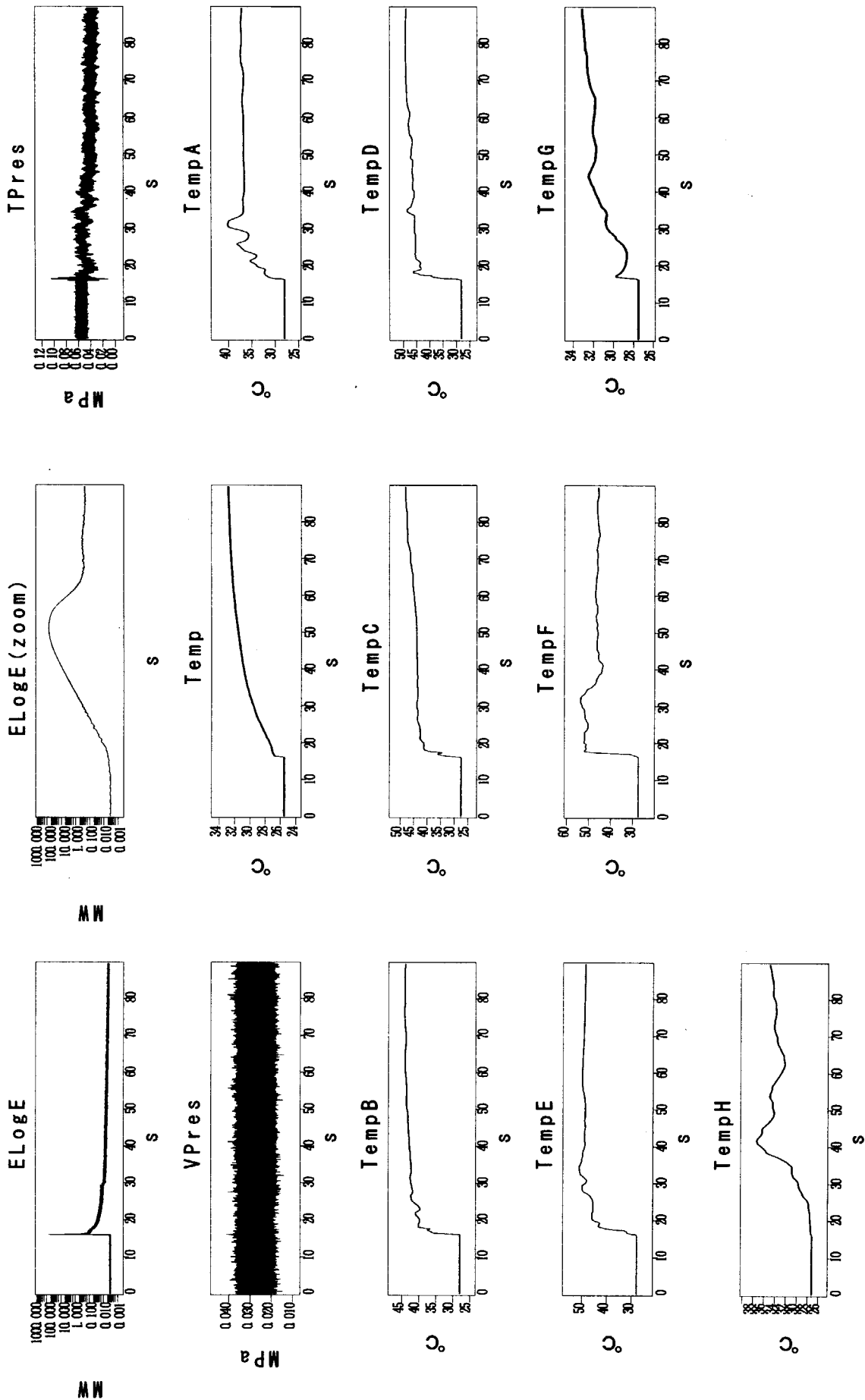
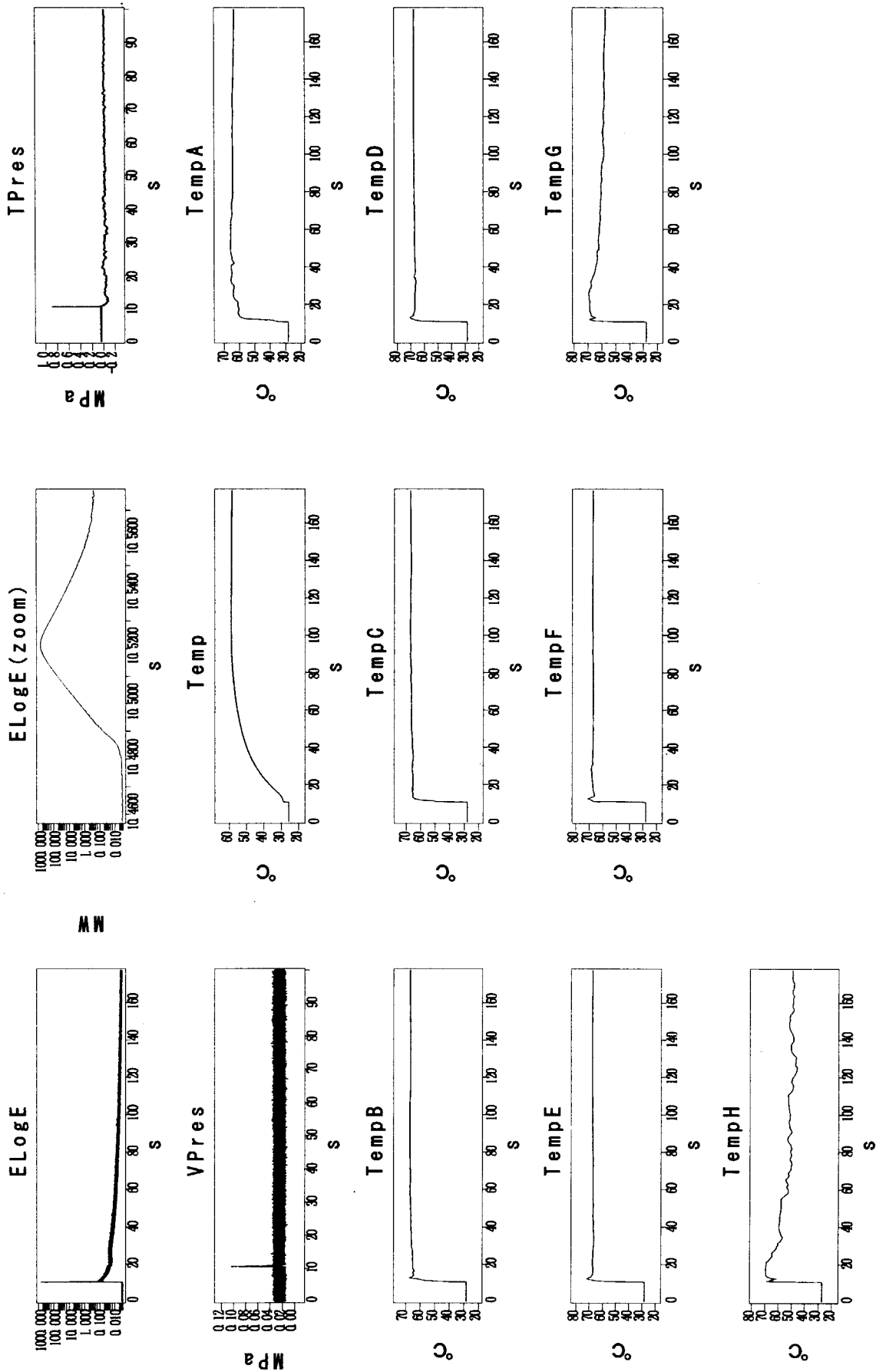


図 A19 過渡出力運転データ履歴 (R64 パルス引抜 1.50S)





図A20 過渡出力運転データ履歴 (R69 パルス引抜 2.92\$)

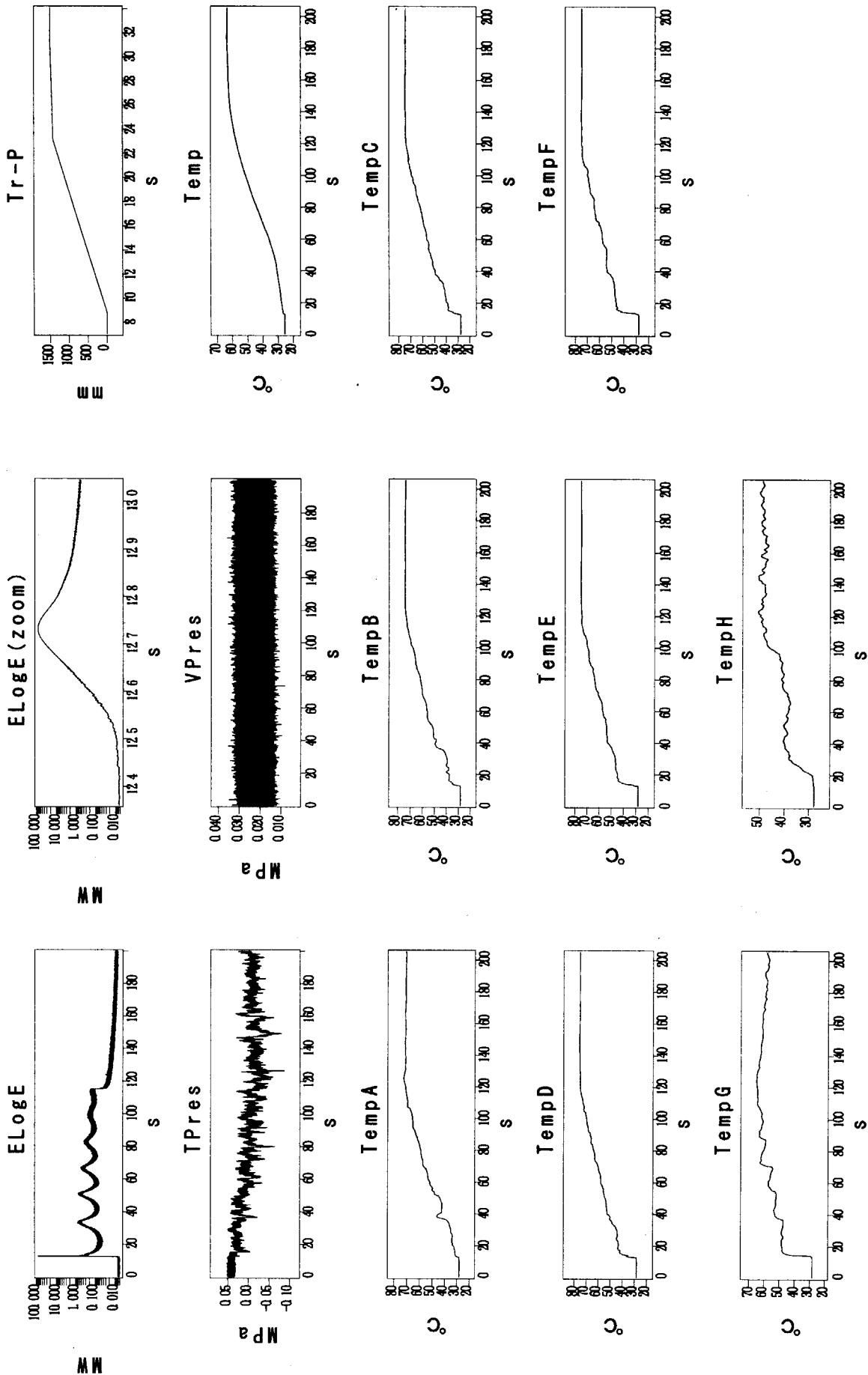


図 A21 過渡出力運転データ履歴 (R70 ランプ引抜 2.92\$ 600cm/min)

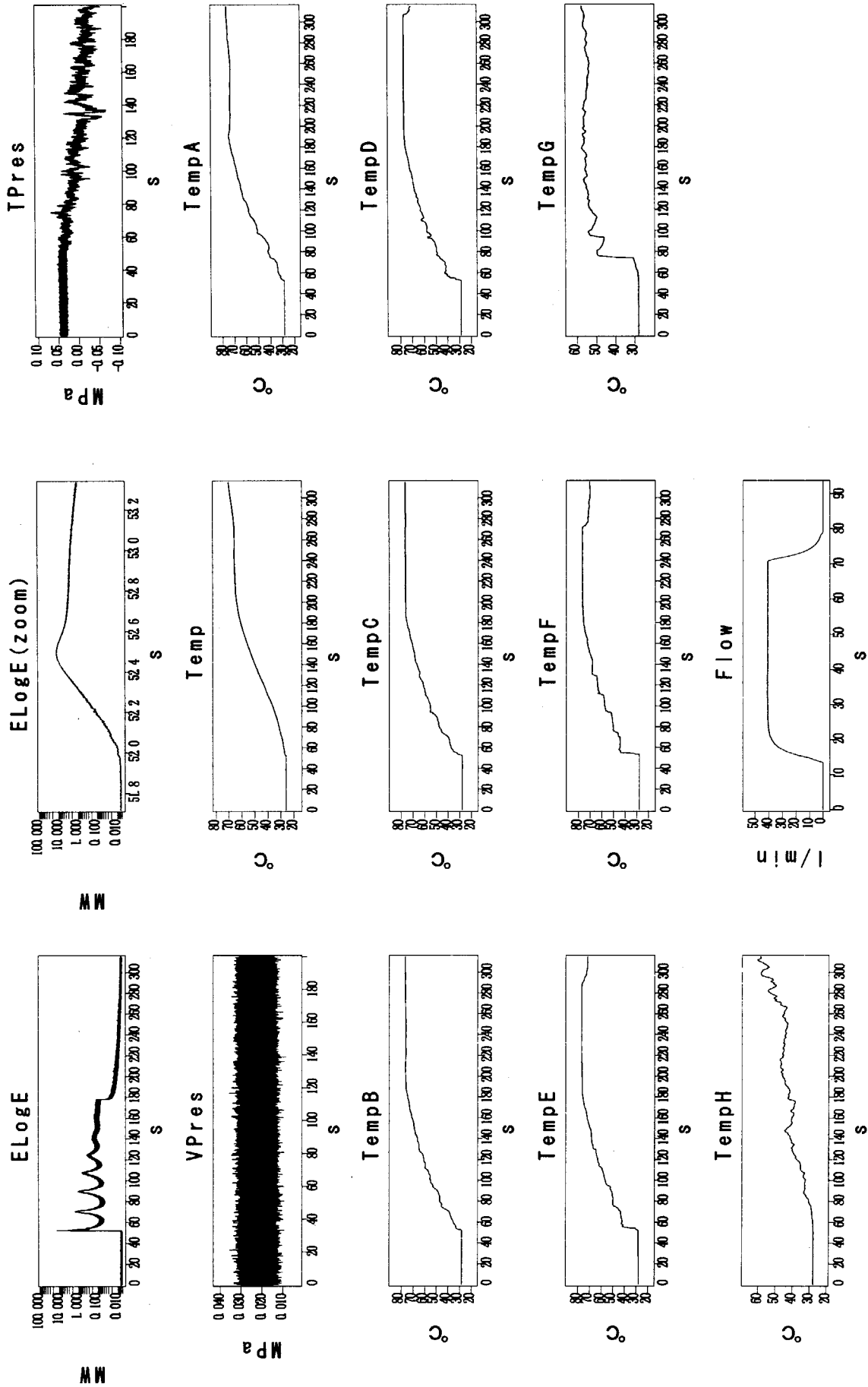


図 A22 過渡出力運転データ履歴 (R71 ランプ給液 2.75\$ 600/min)

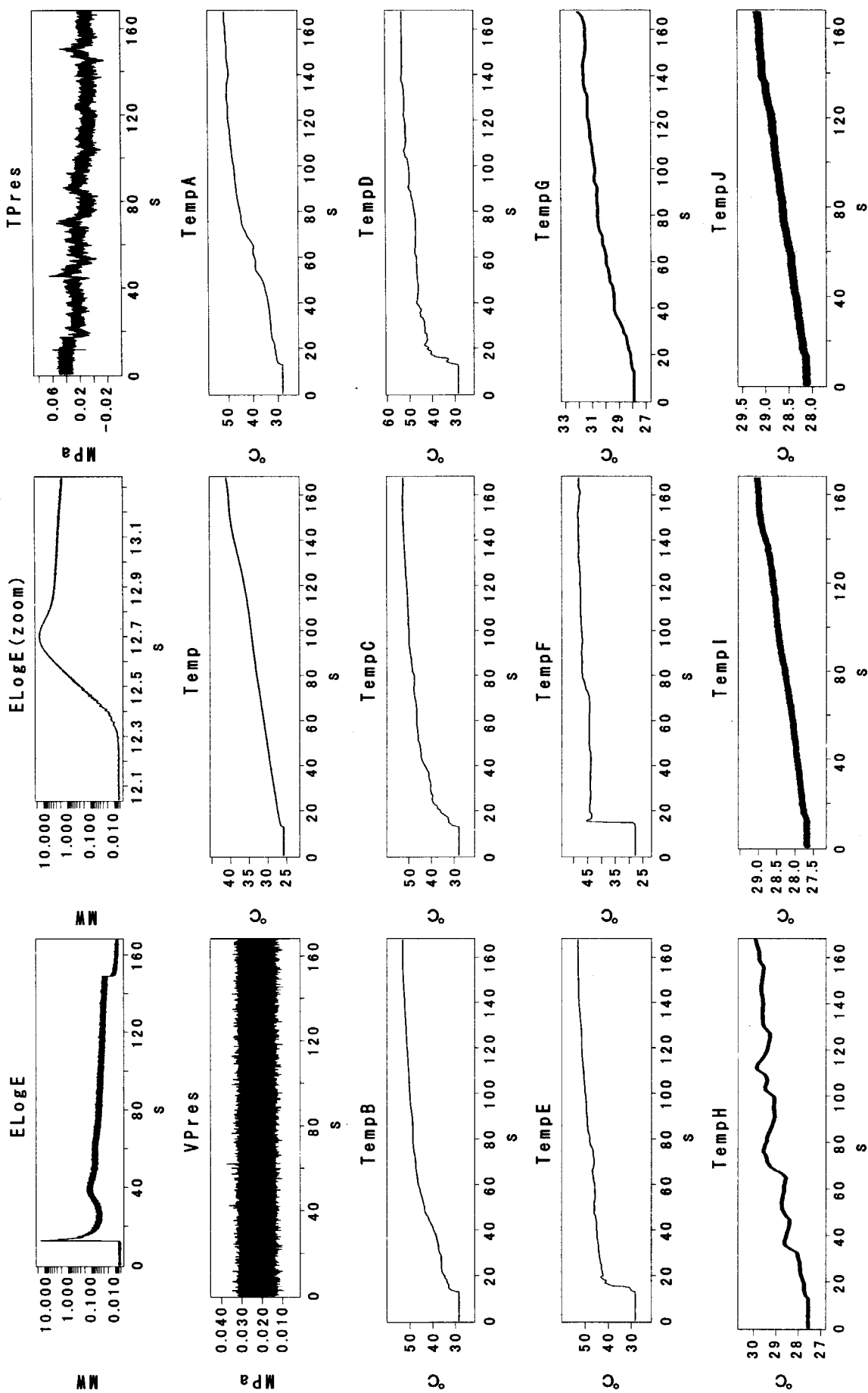
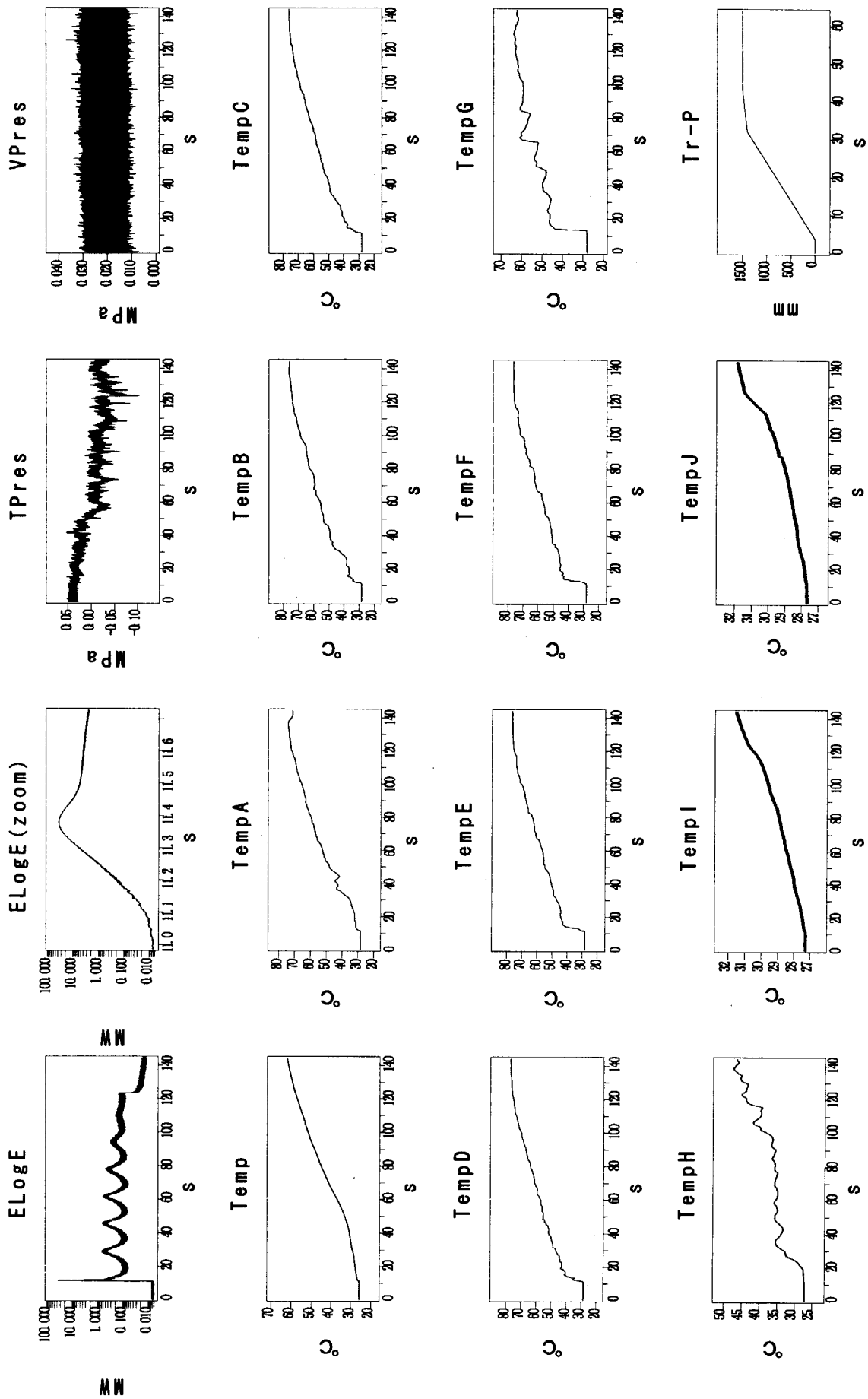


図 A23 過渡出力運転データ履歴 (R72 パルス引抜 2.92S)



図A24 過渡出力運転データ履歴 (R75 パルス引抜 2.92\$ 300cm/min)

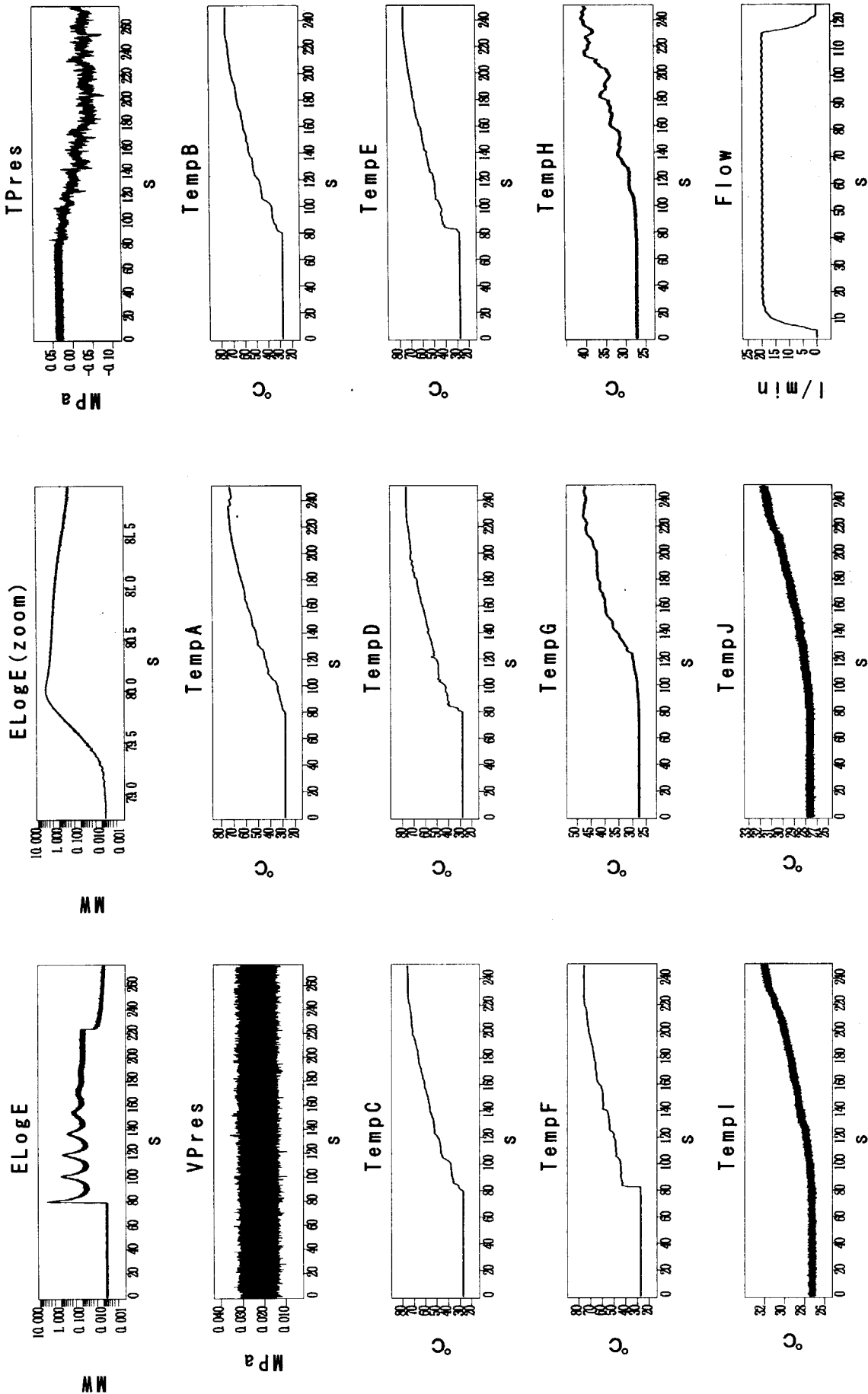
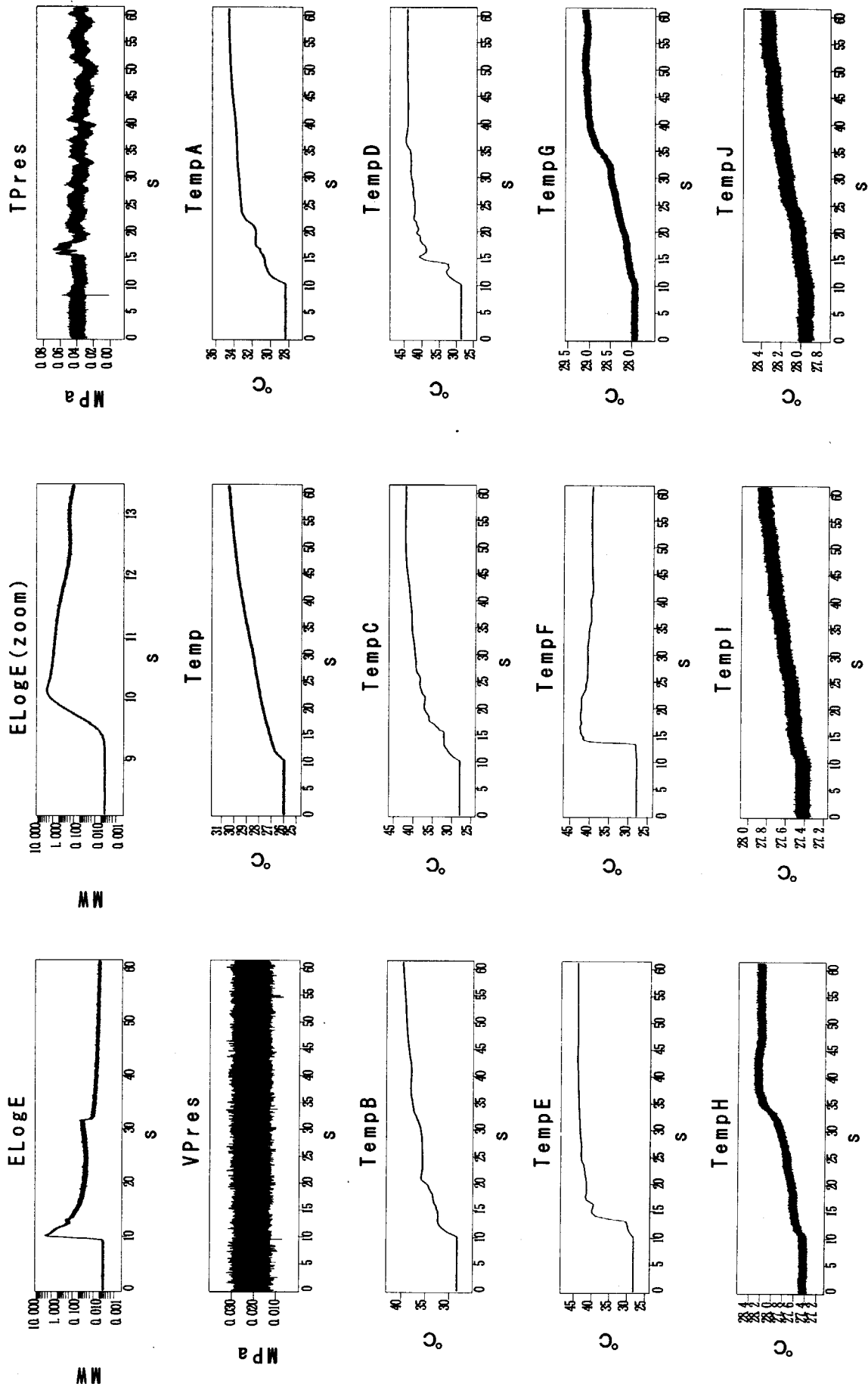
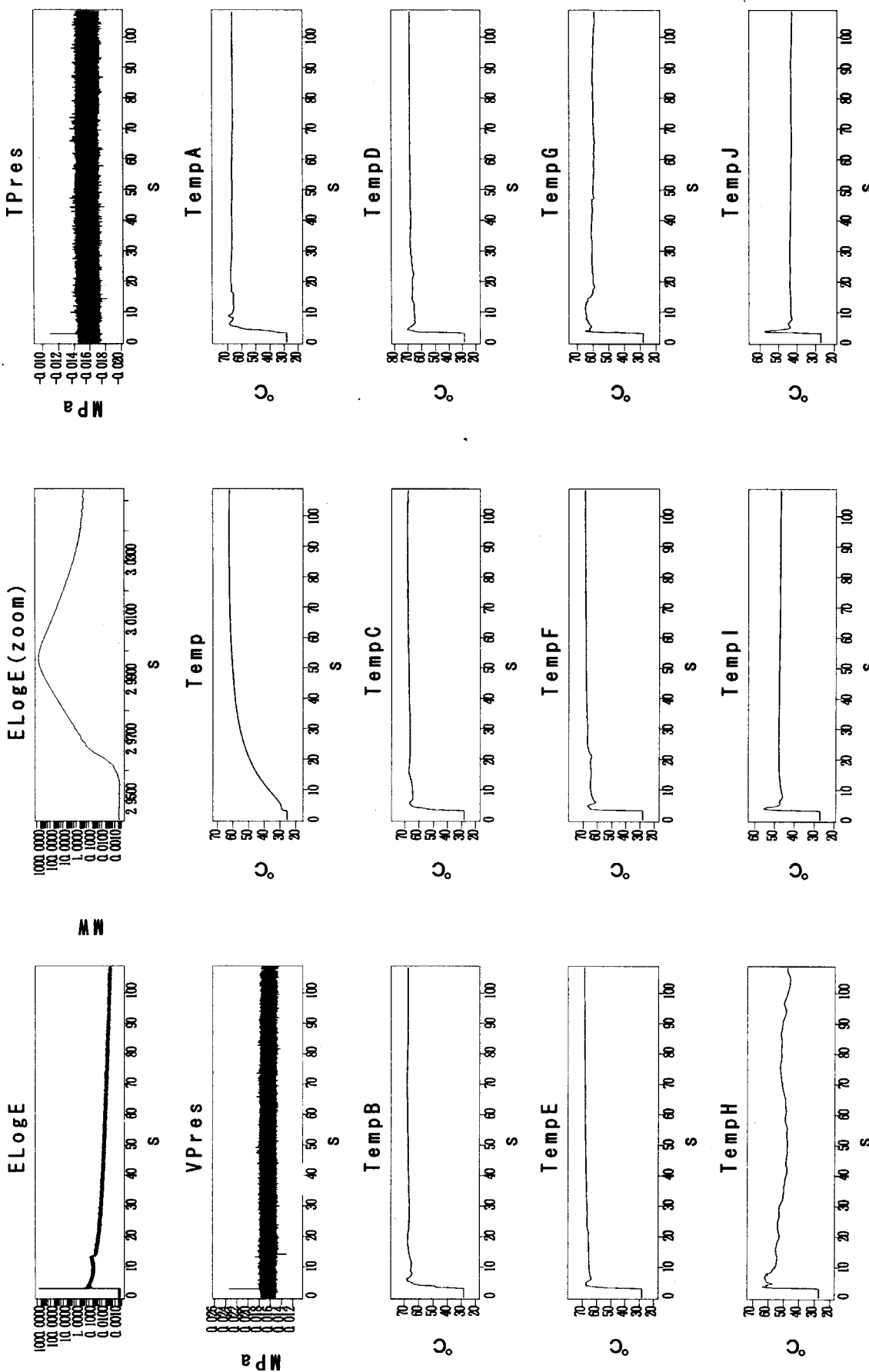


図 A25 過渡出力運転データ履歴 (R76 ランプ給液 2.65\$ 60l/min)



図A26 過渡出力運転データ履歴 (R77 パルス引抜 1.00\$)



図A27 過渡出力運転データ履歴 (R92 パルス引抜 2.93\$)



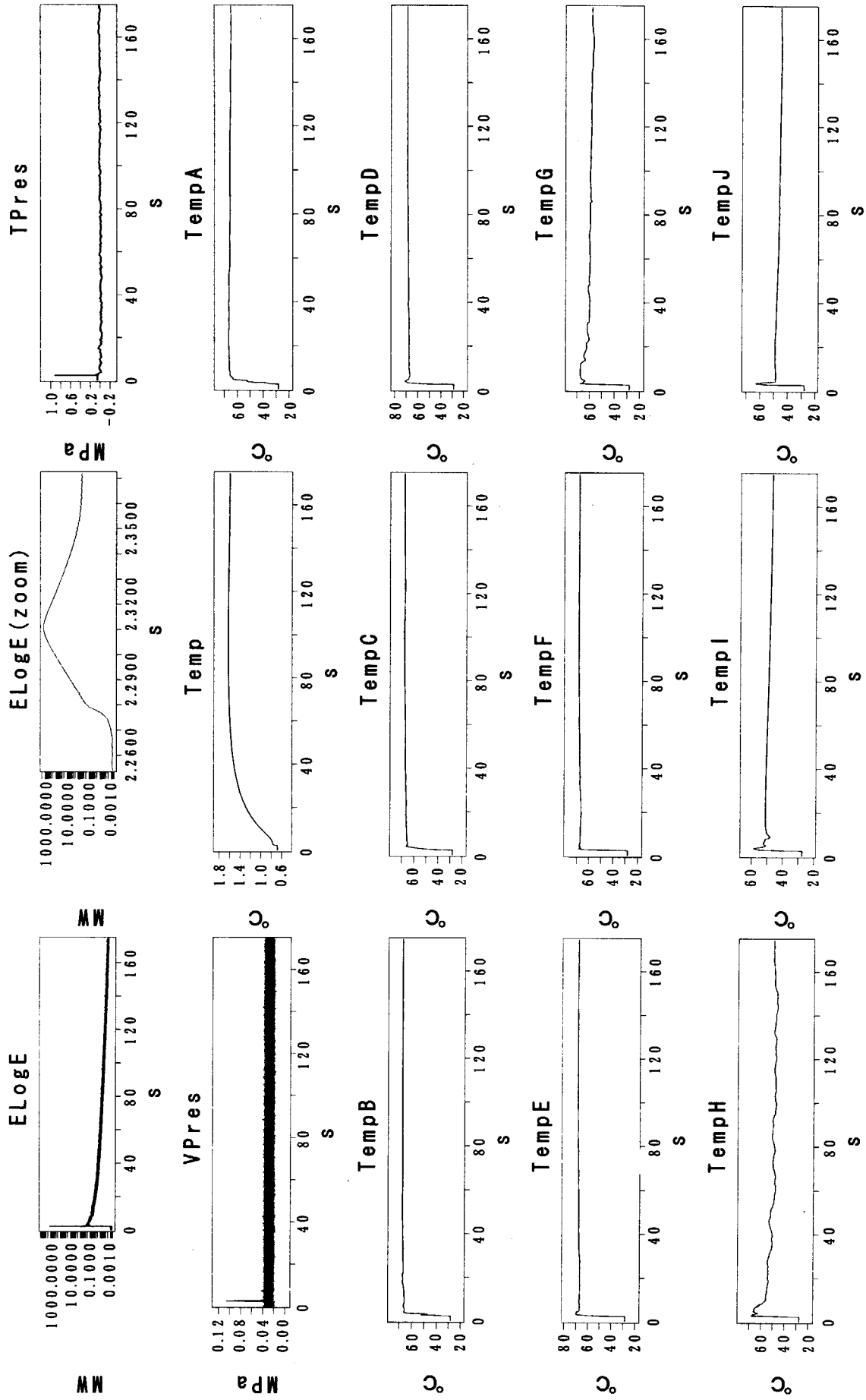


図 A28 過渡出力運転データ履歴 (R93 パルス引抜 0.70\$)

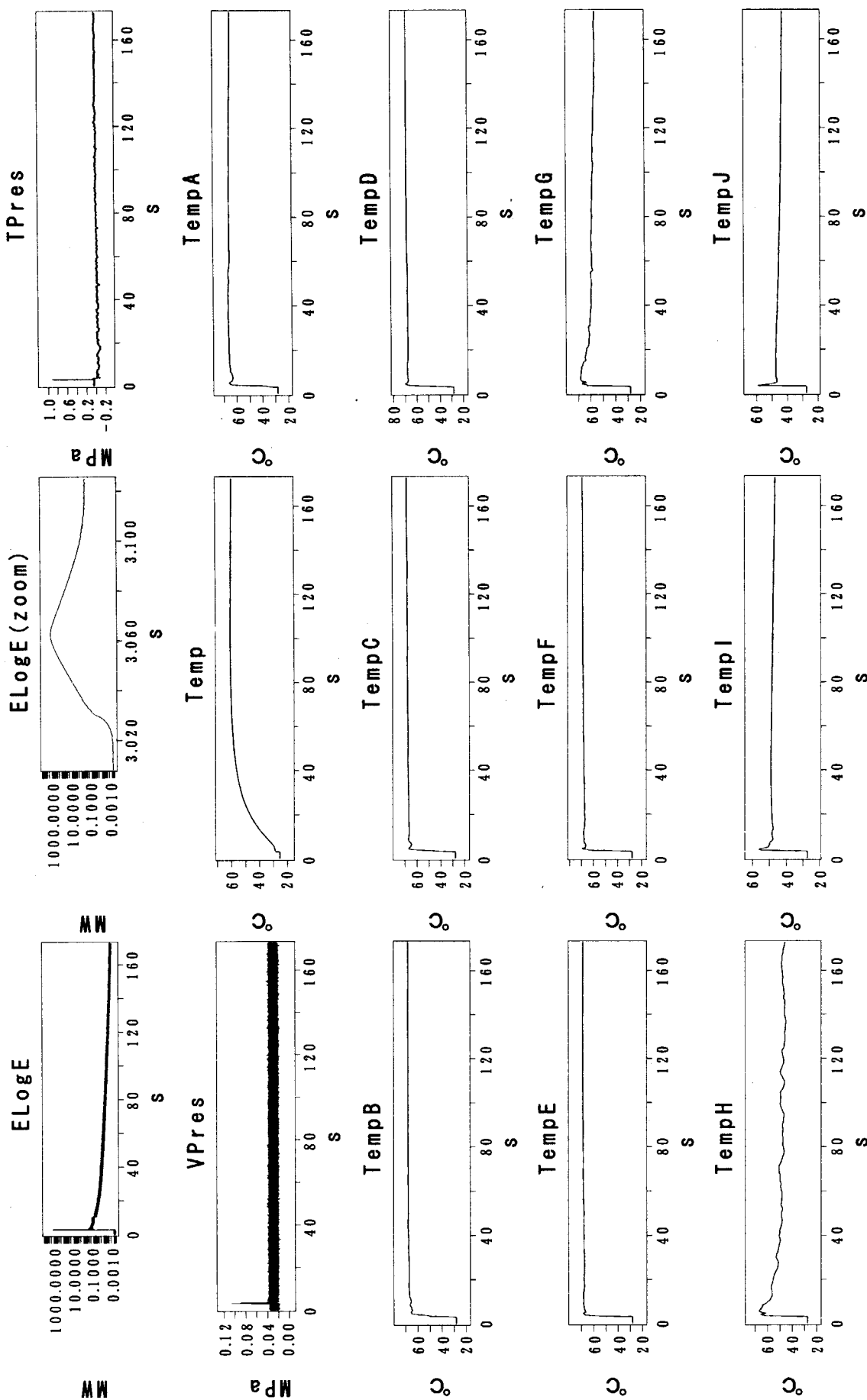


図 A29 過渡出力運転データ履歴 (R94 パルス引抜 2.93\$)

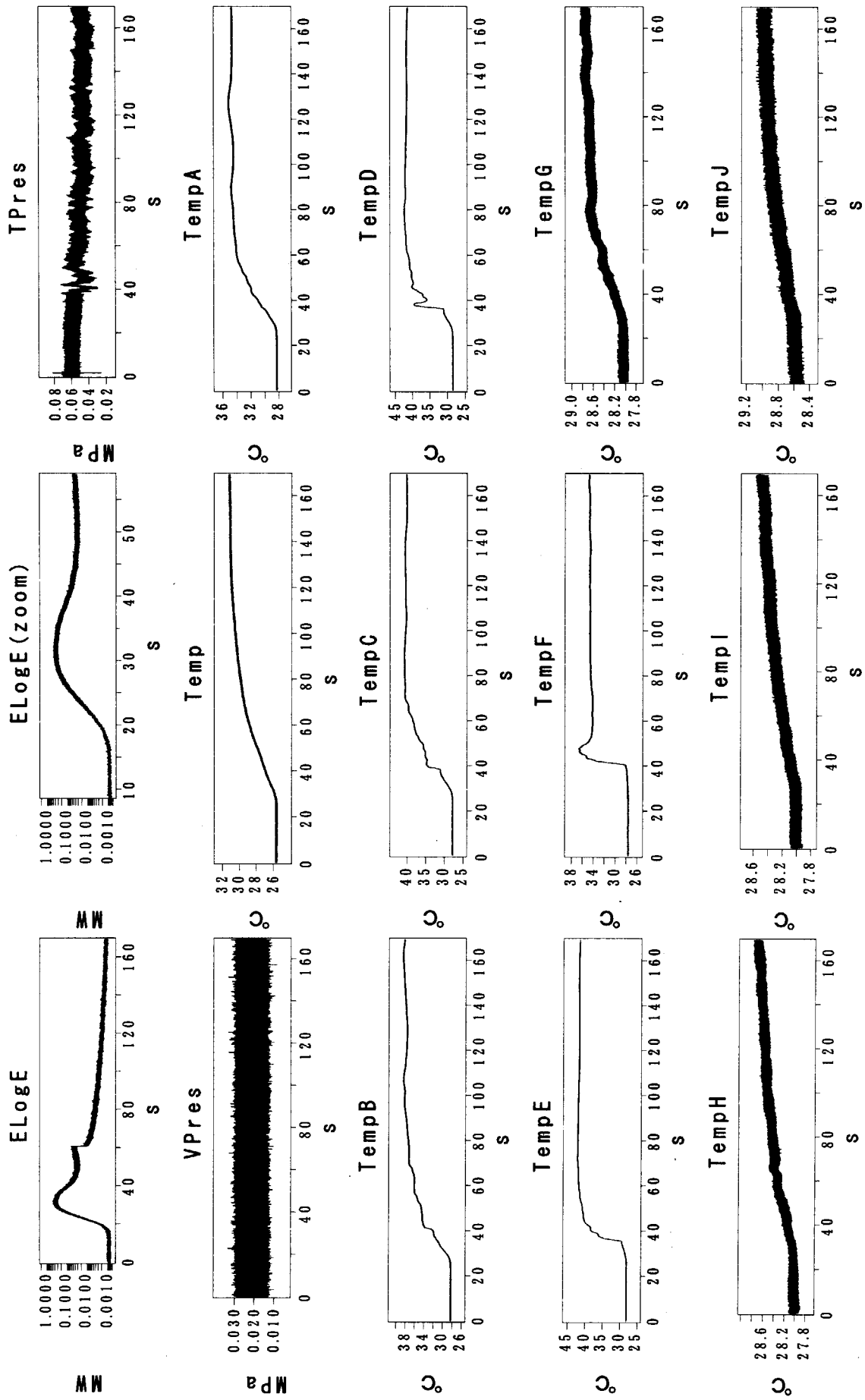


図 A30 過渡出力運転データ履歴 (R95 パルス引抜 0.70s)

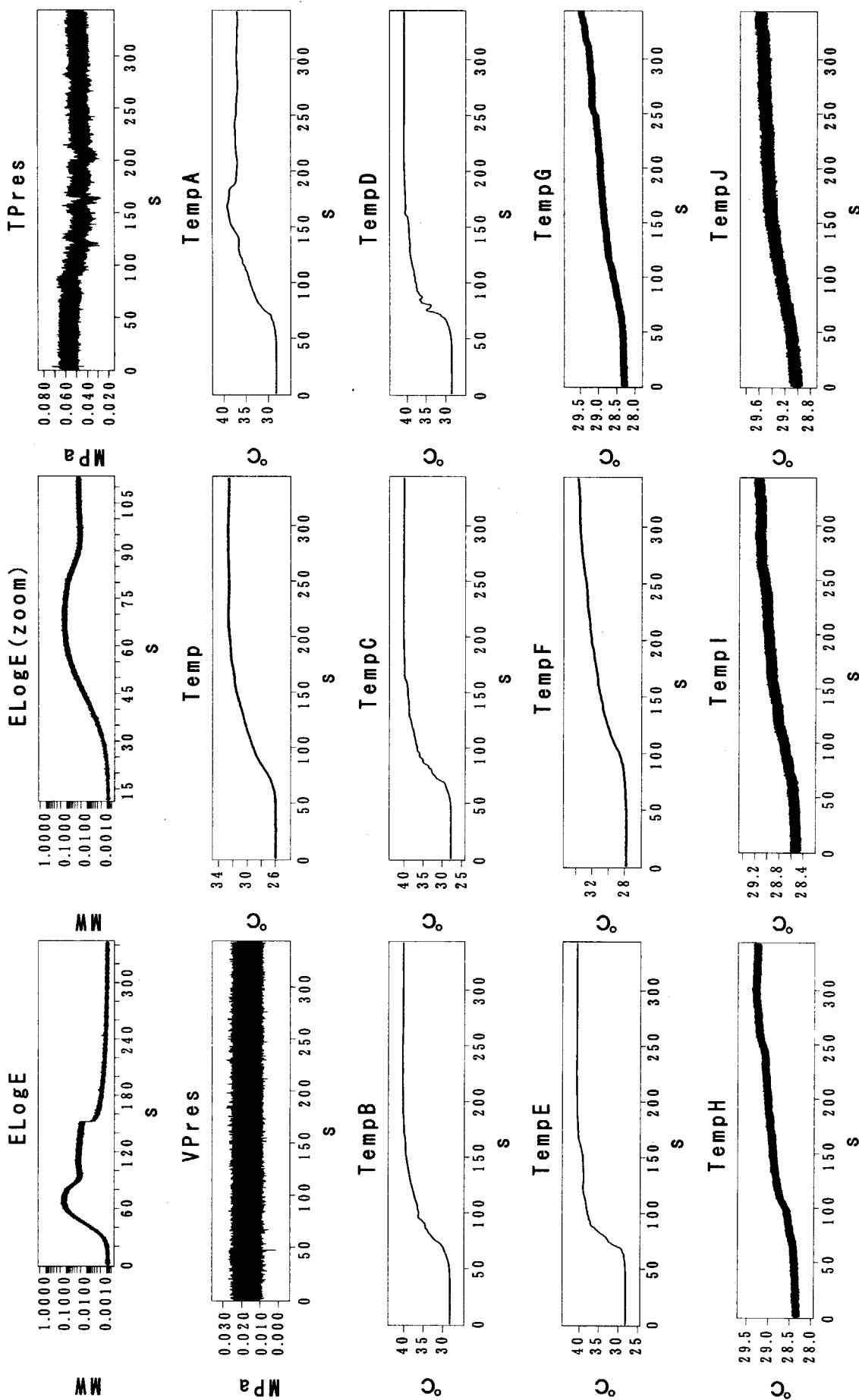


図 A31 過渡出力運転データ履歴 (R96 ハルス引抜 0.50\$)

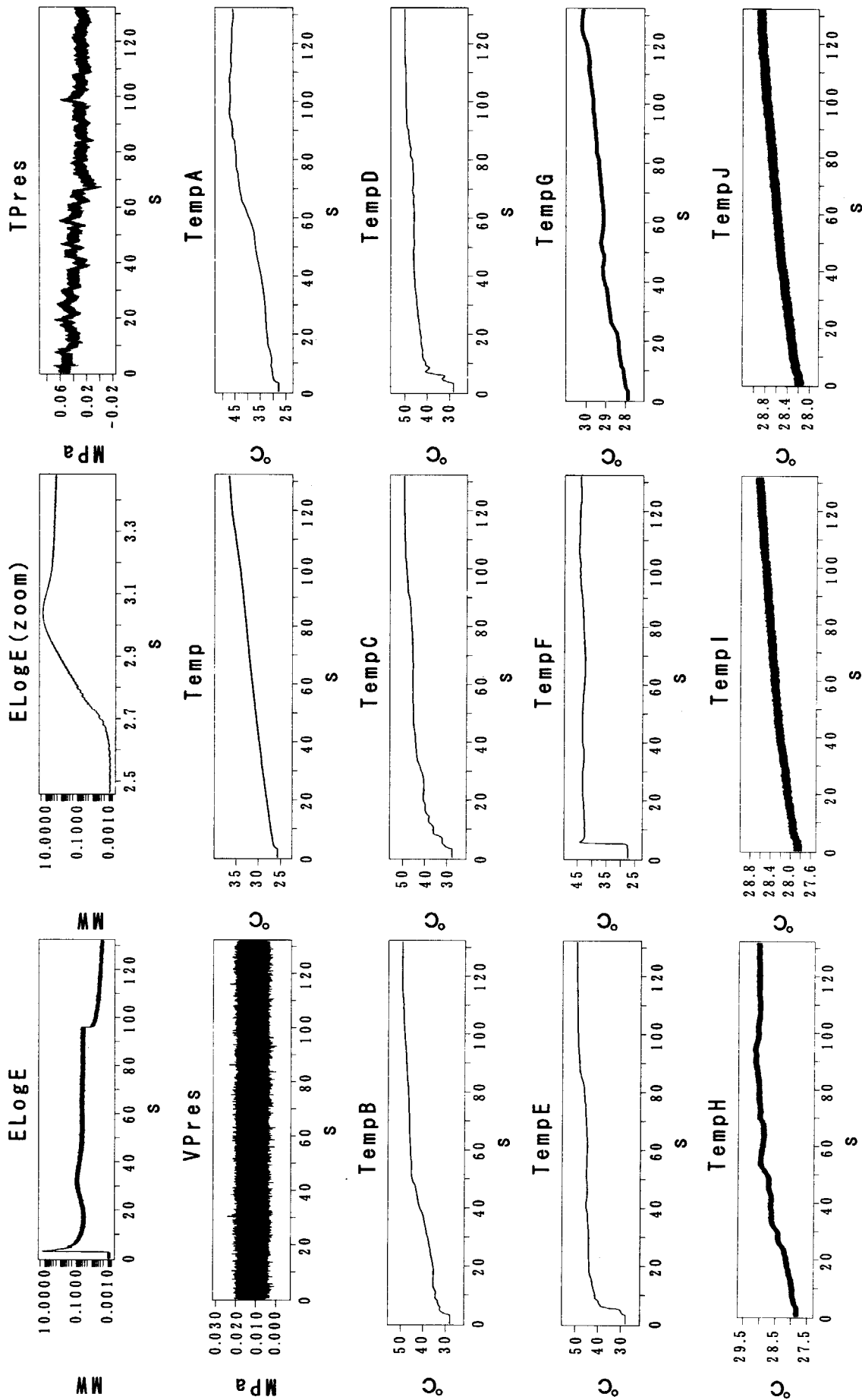


図 A32 過渡出力運転データ履歴 (R97 パルス引抜 0.98%)

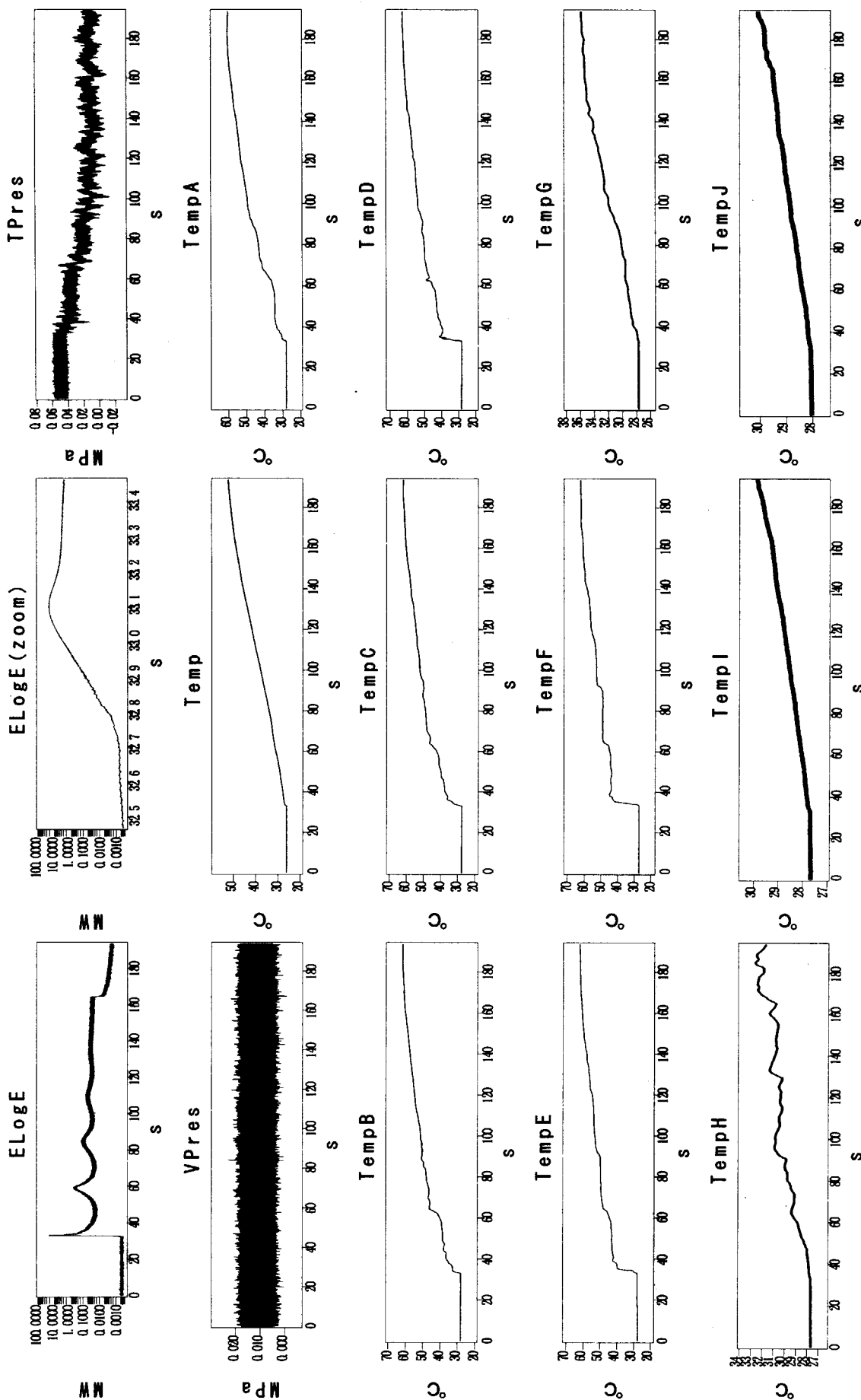


図 A33 過渡出力運転データ履歴 (R98 ランプ給液 1.80\$ 60ℓ/min)

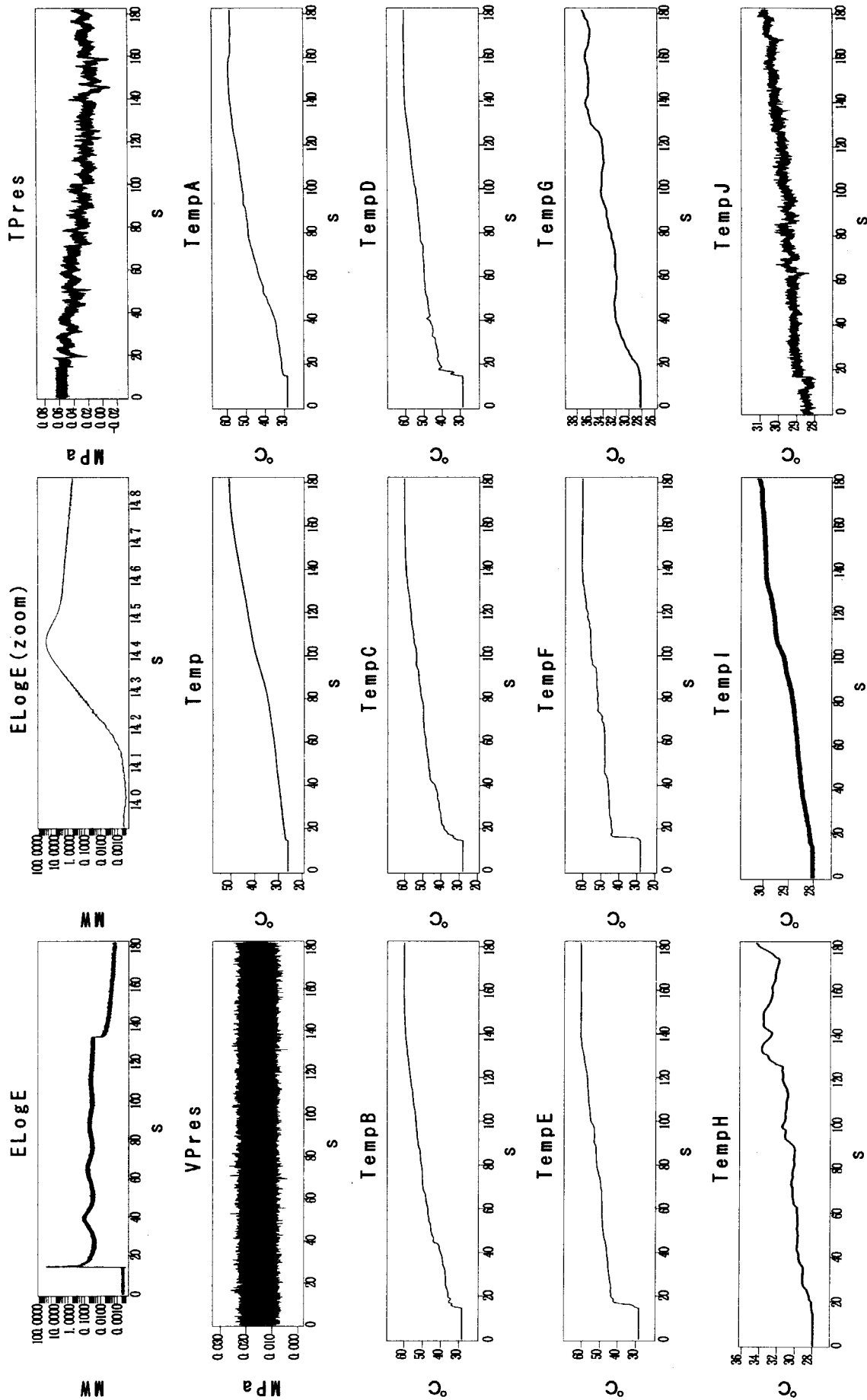


図 A34 過渡出力運転データ履歴 (R99 ノボルス引抜 1.80\$)

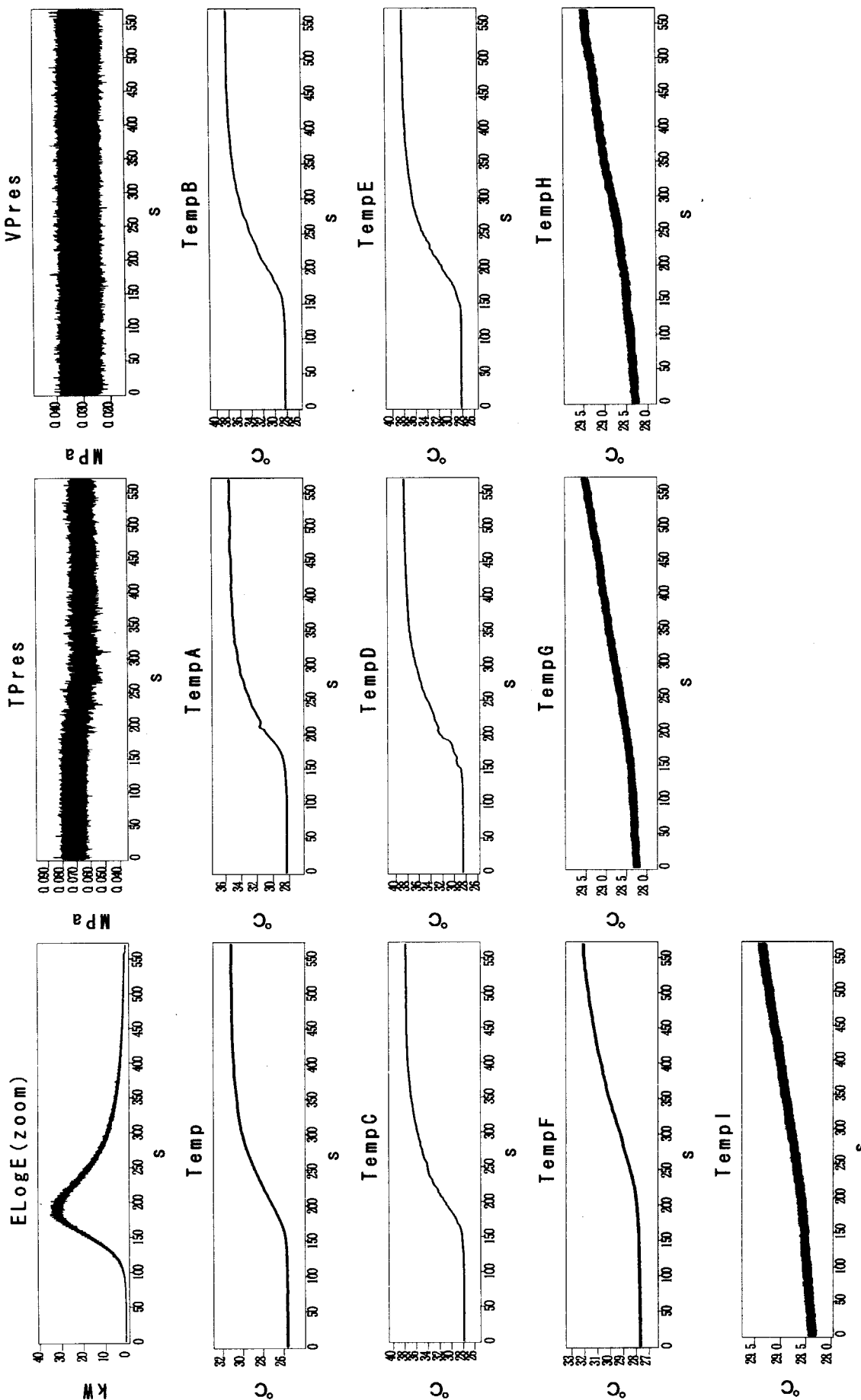


図 A35 過渡出力運転データ履歴 (R100 パルス引抜 0.30\$)



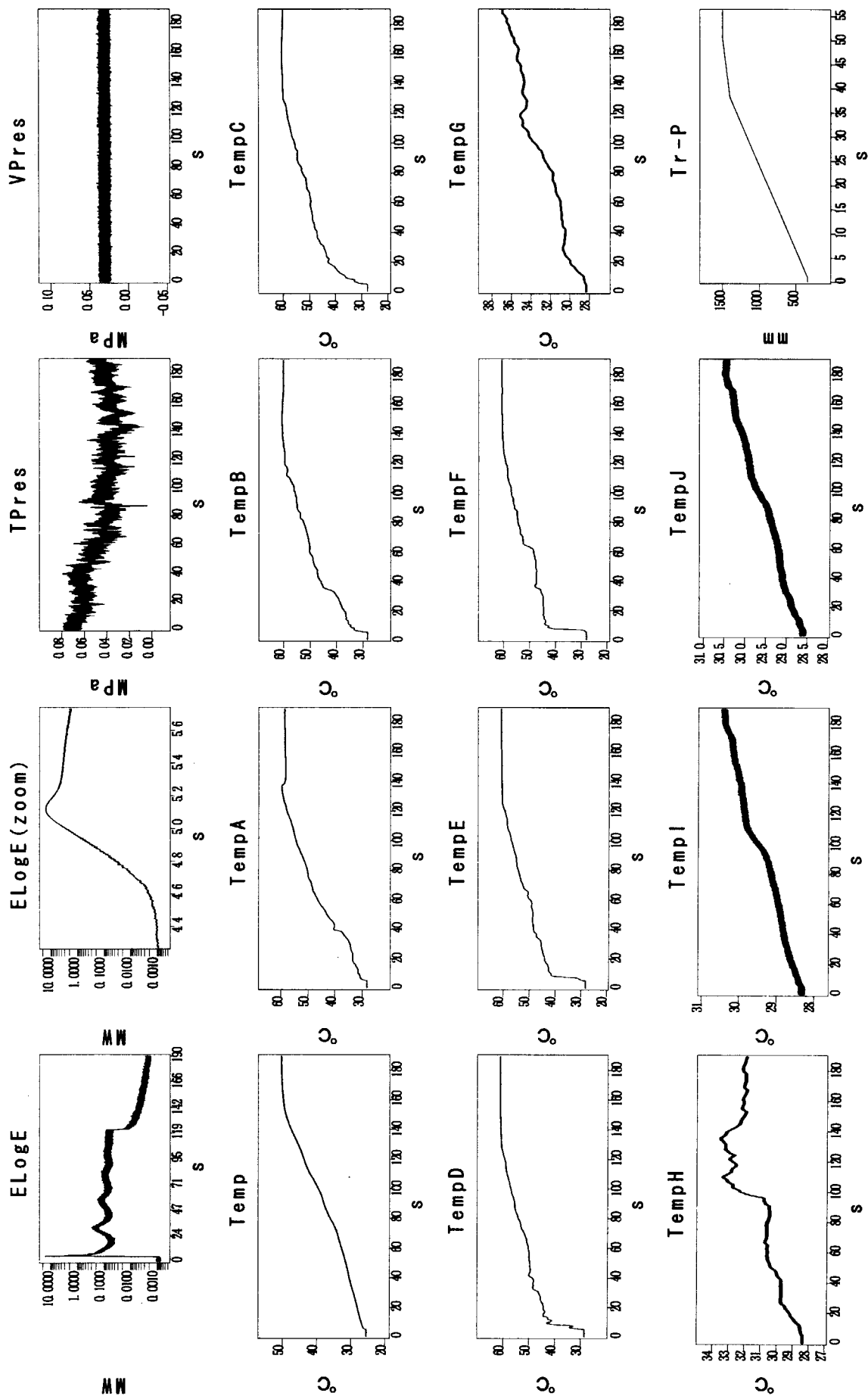


図 A36 過渡出力運転データ履歴 (R101 ランプ引抜 1.80\$ 172cm/min)

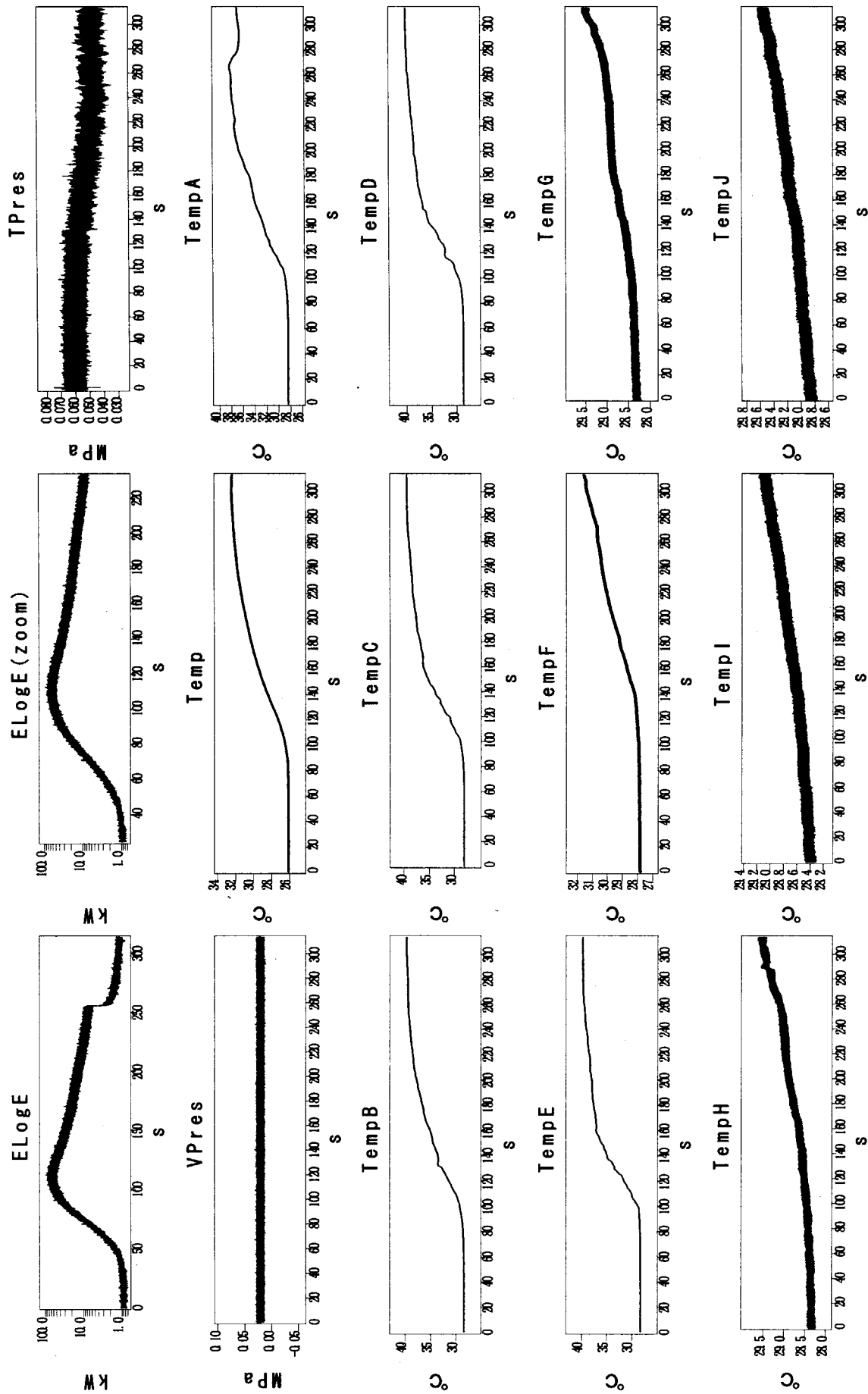
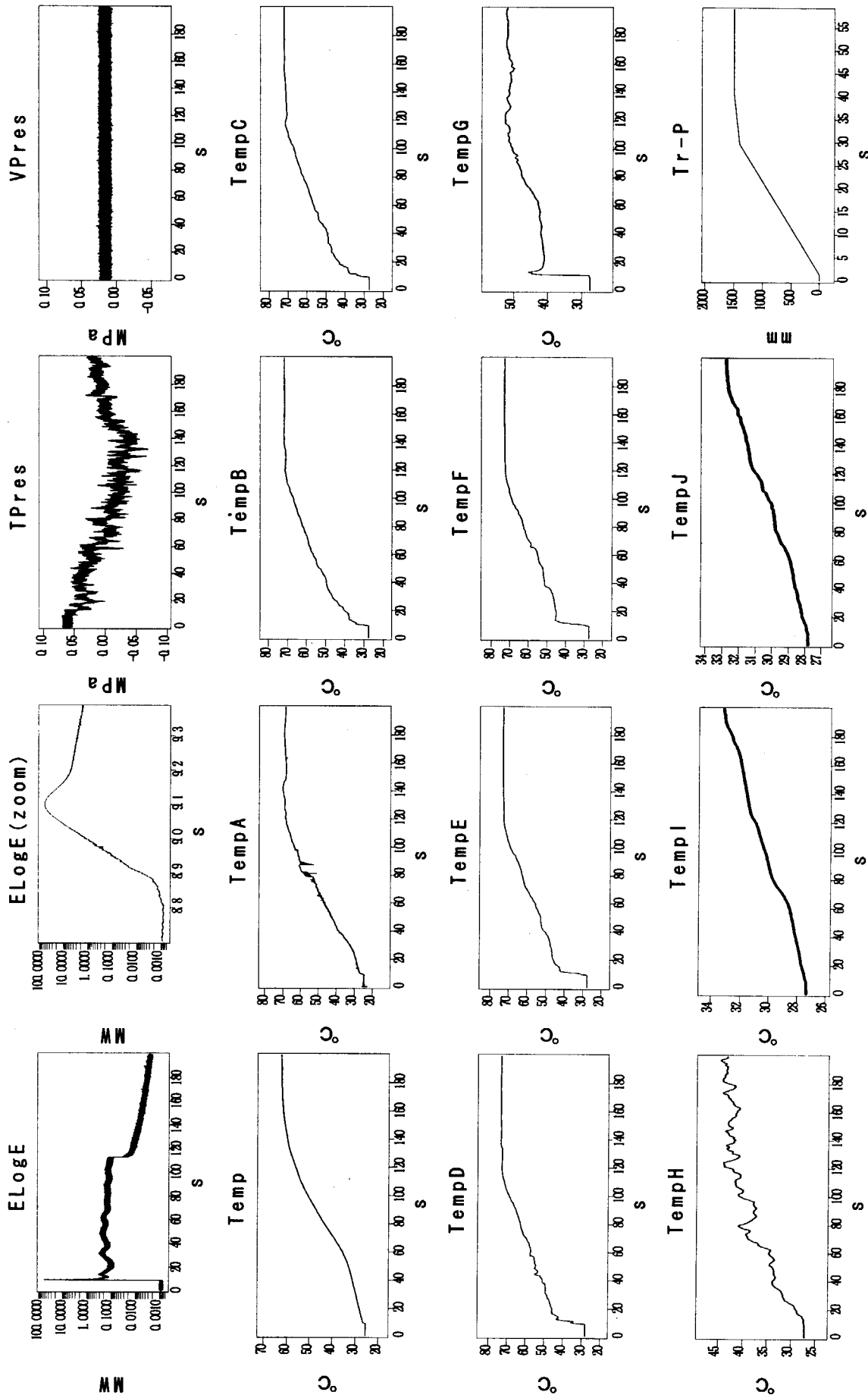
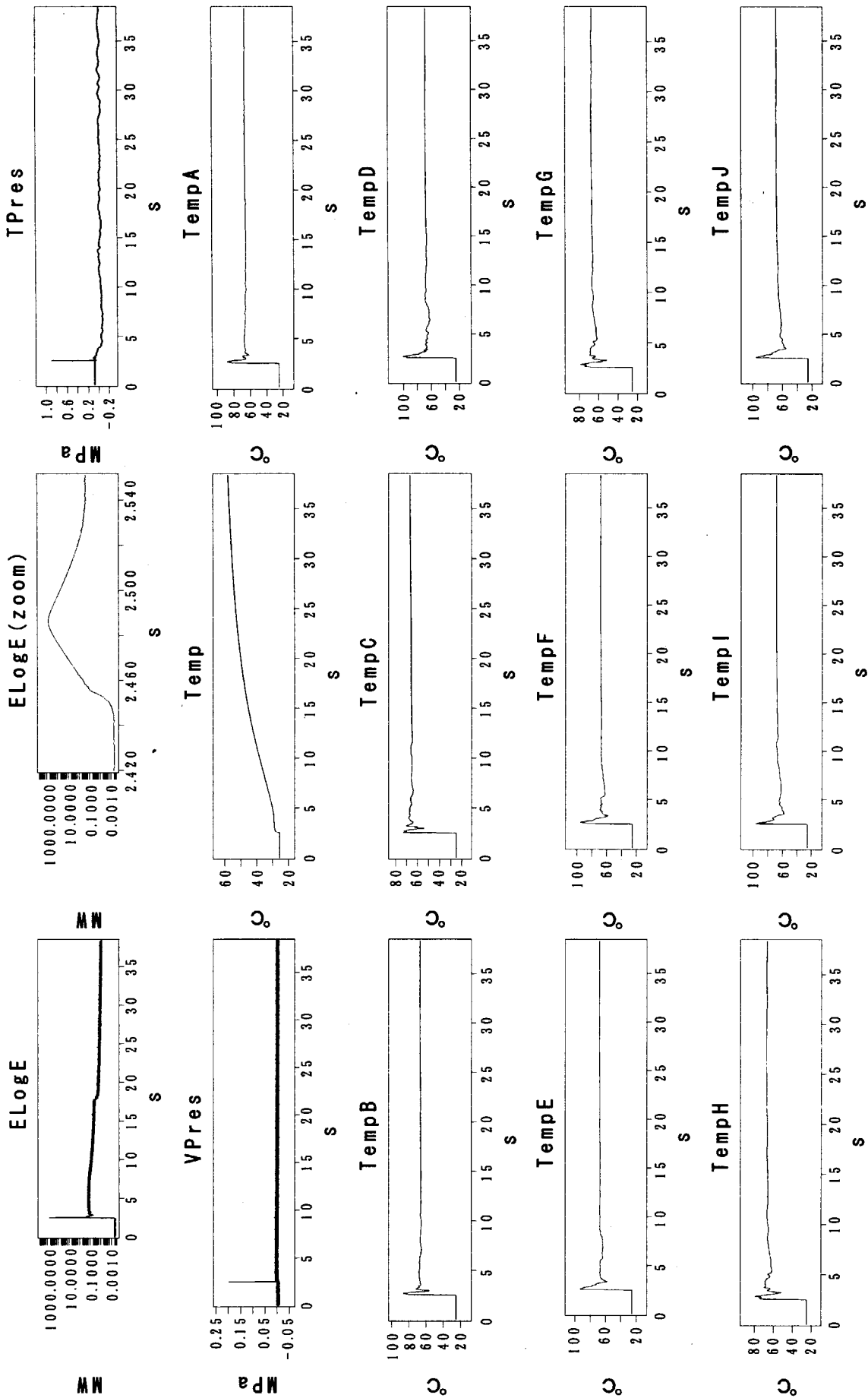


図 A37 過渡出力運転データ履歴 (R102 パルス引抜 0.40\$)



図A38 過渡出力運転データ履歴 (R103 ランプ引抜 2.88\$ 300cm/min)



図A39 過渡出力運転データ履歴 (R104 パルス引抜 2.91\$)

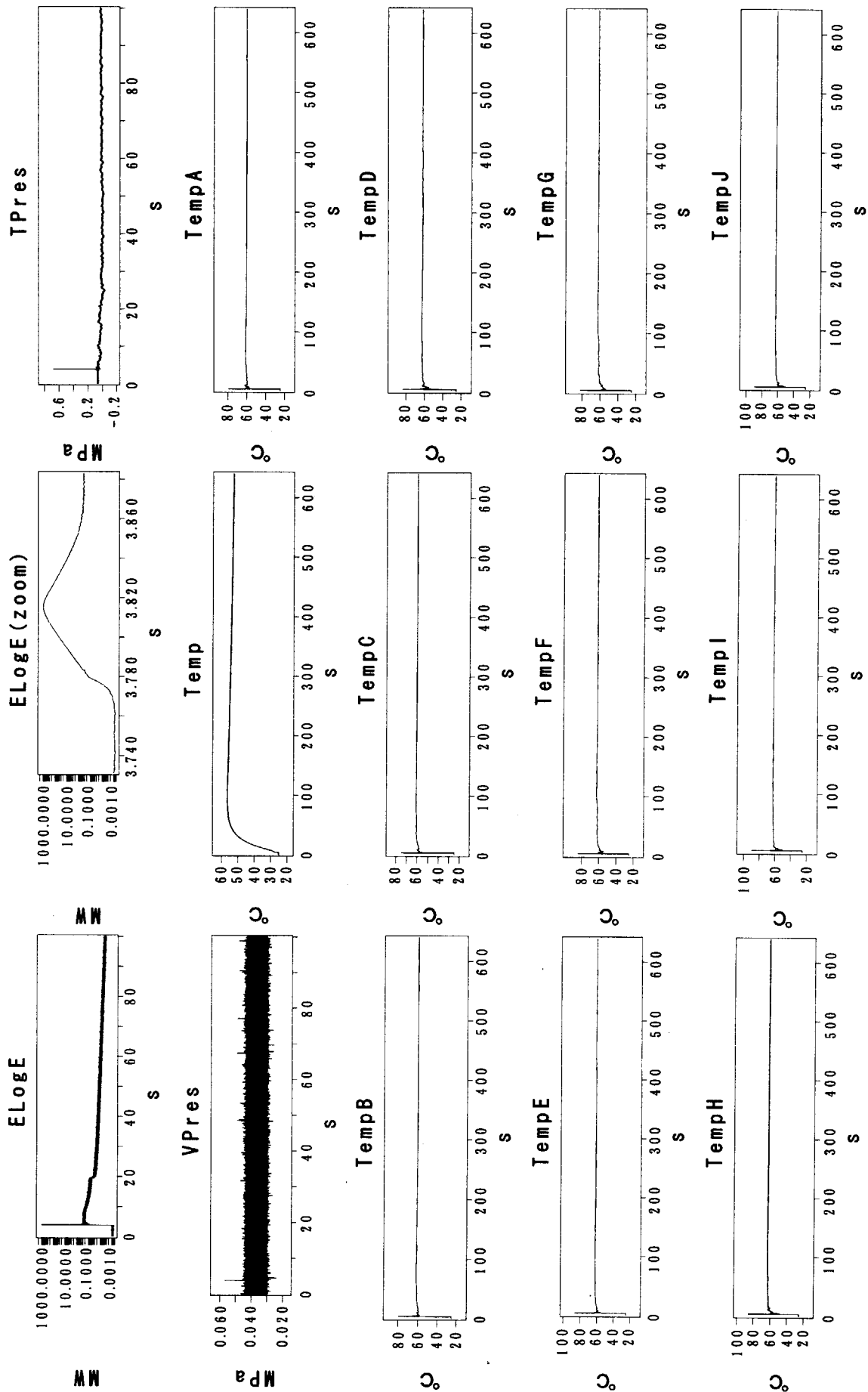


図 A40 過渡出力運転データ履歴 (R105 パルス引抜 2.61S)

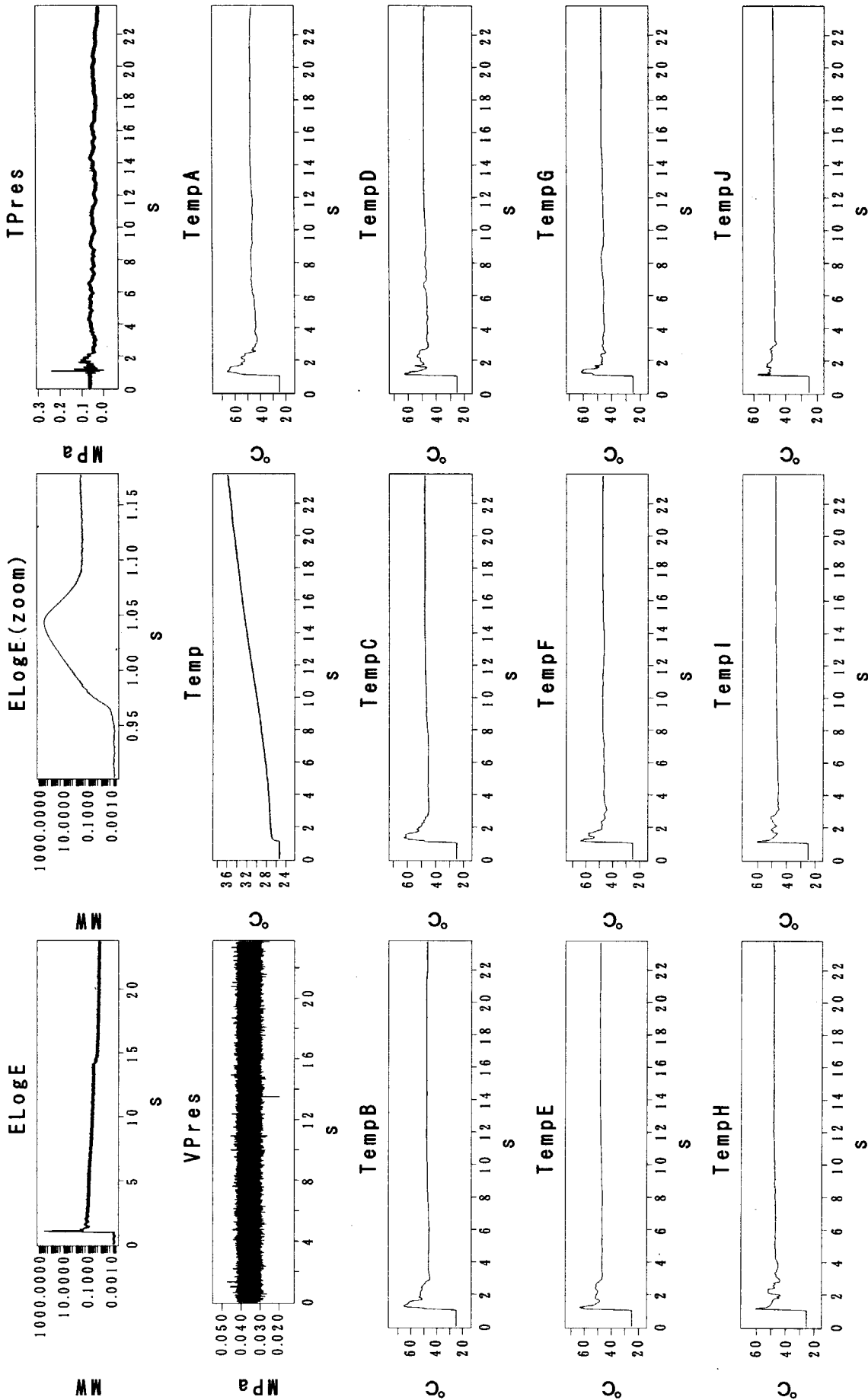
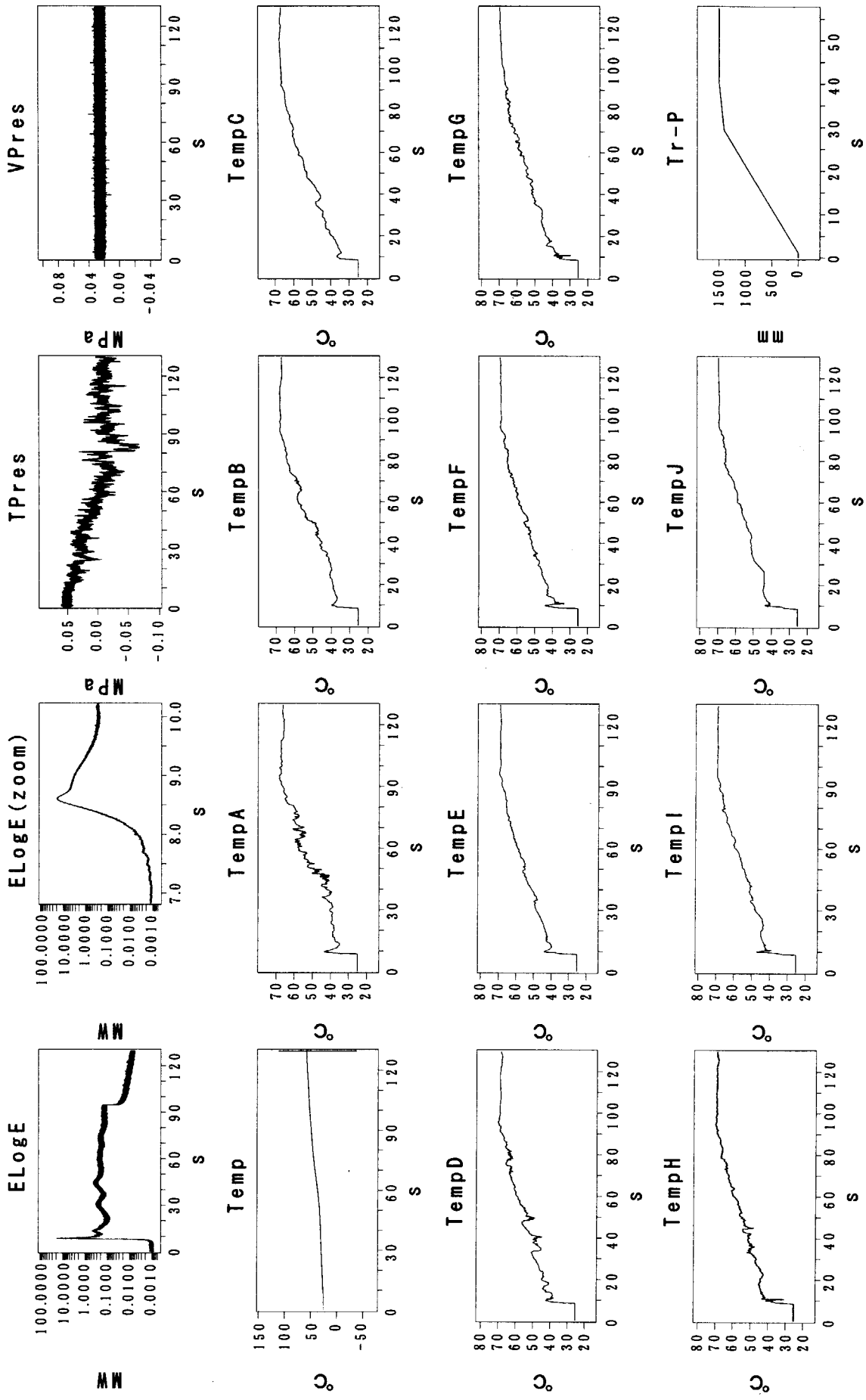


図 A41 過渡出力運転データ履歴 (R106 パルス引抜 1.84\$)



図A42 過渡出力運転データ履歴 (R107 ランプ引抜 2.97\$ 300cm/min)

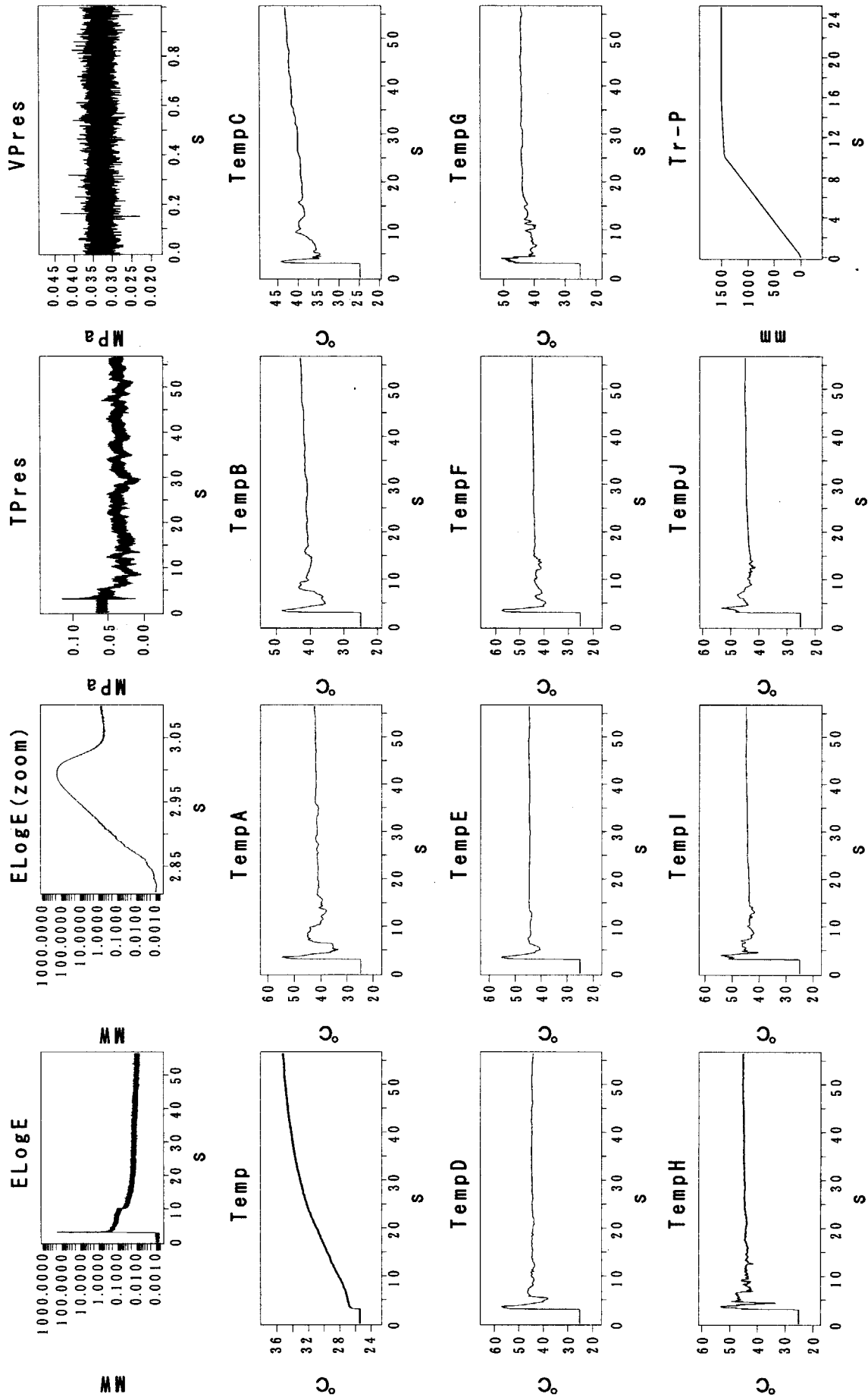


図 A43 過渡出力運転データ履歴 (R108 ランプ引抜 2.94\$ 875cm/min)



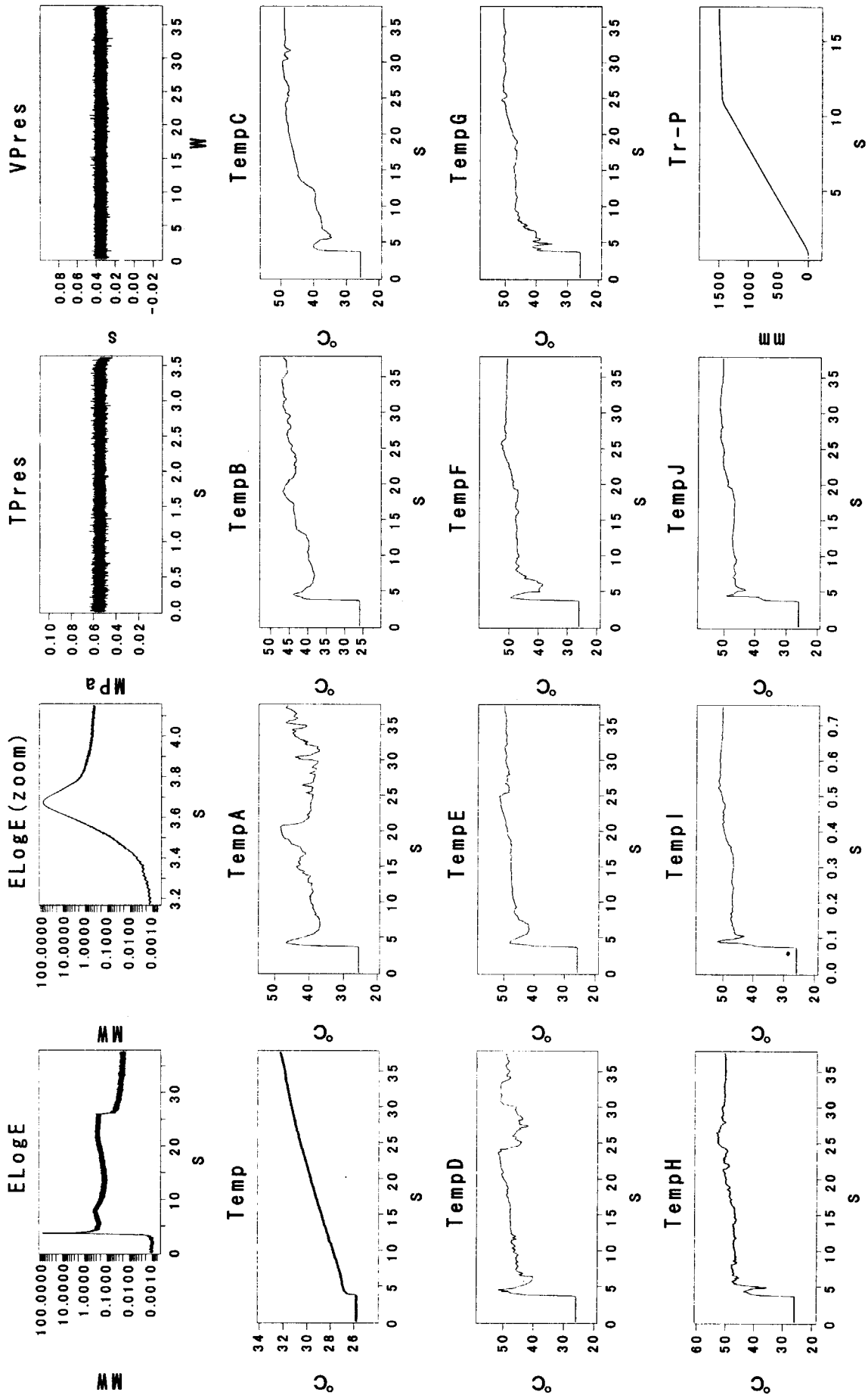


図 A44 過渡出力運転データ履歴 (R109 ランプ引抜 2.97\$ 875cm/min)

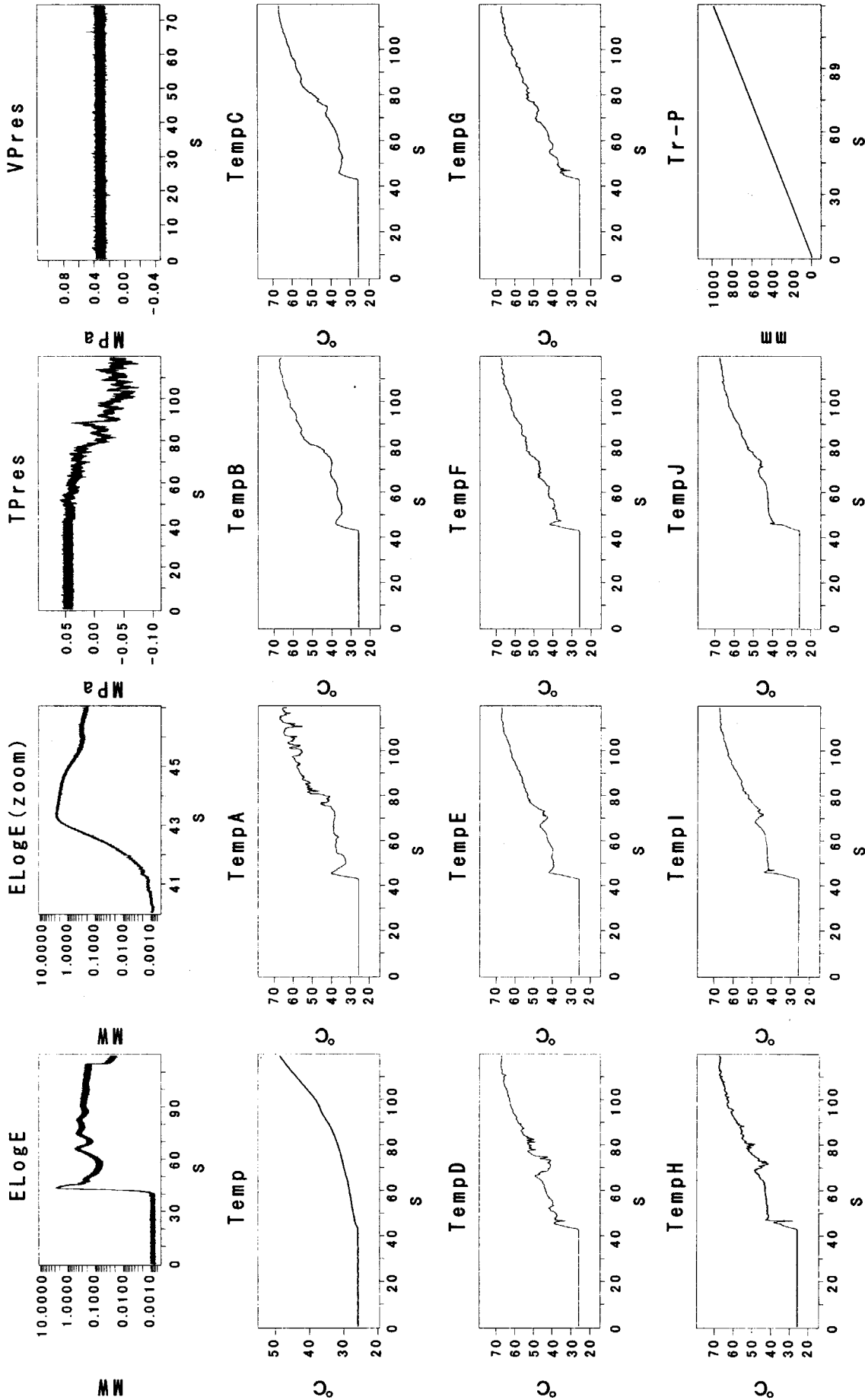
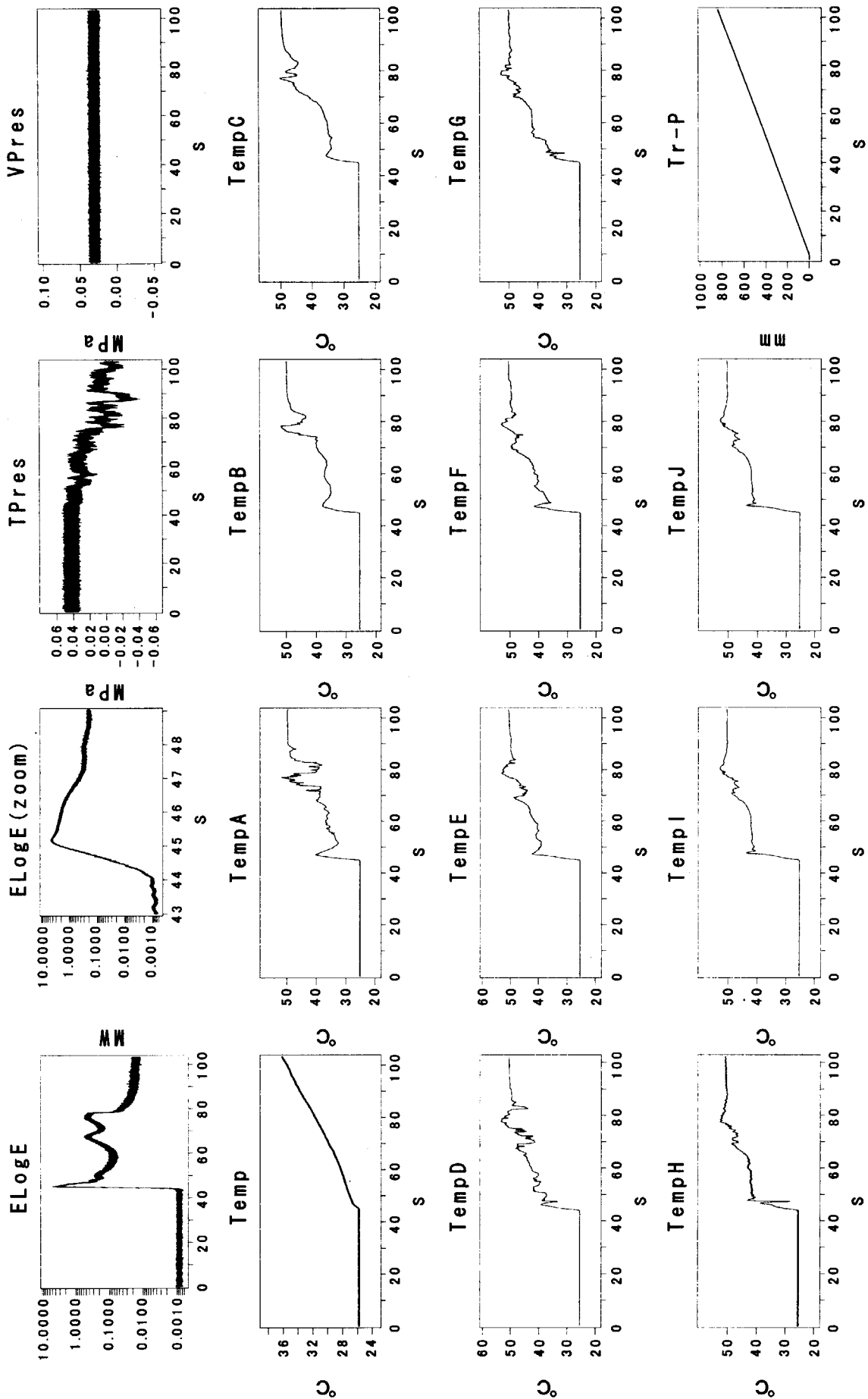
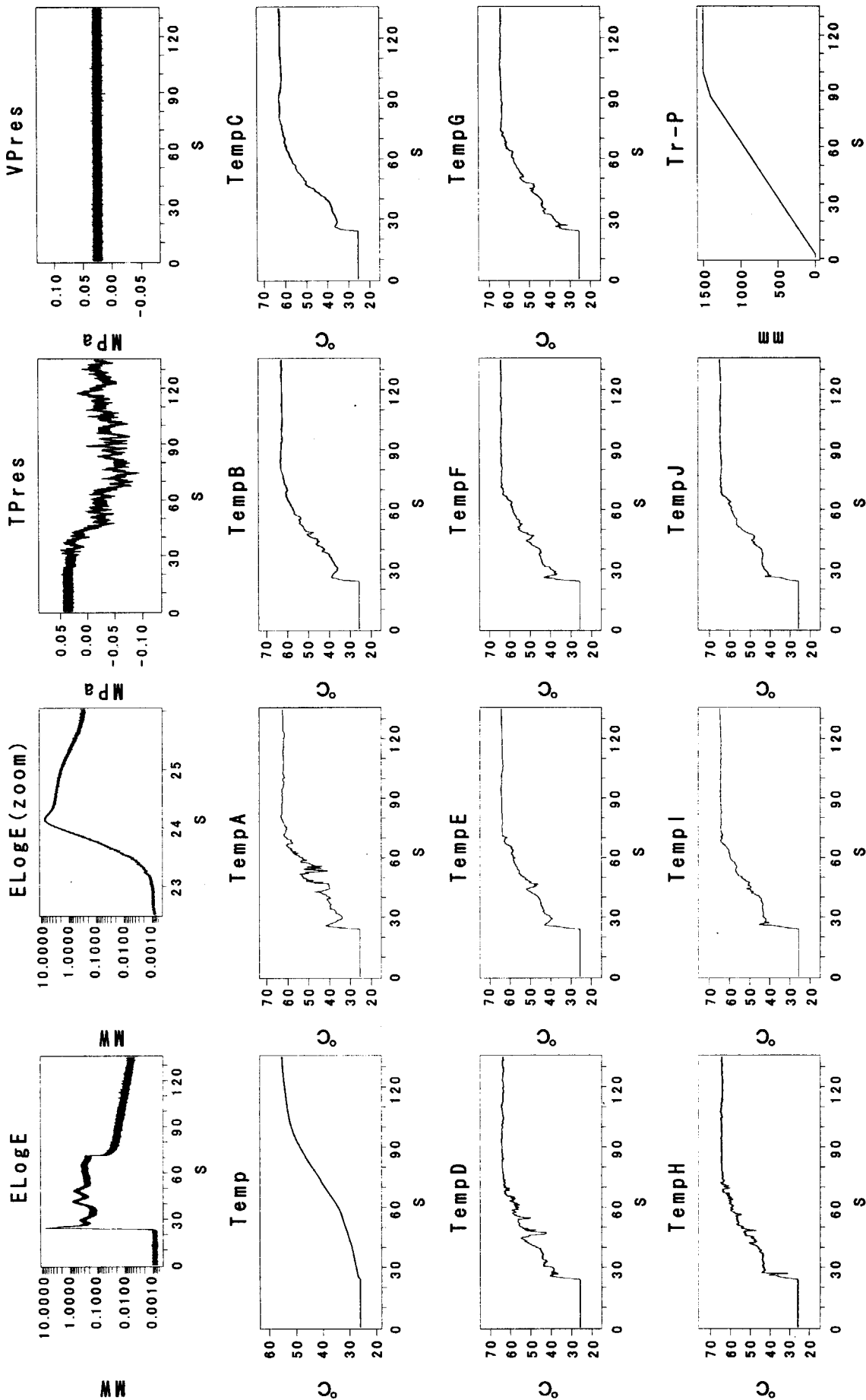


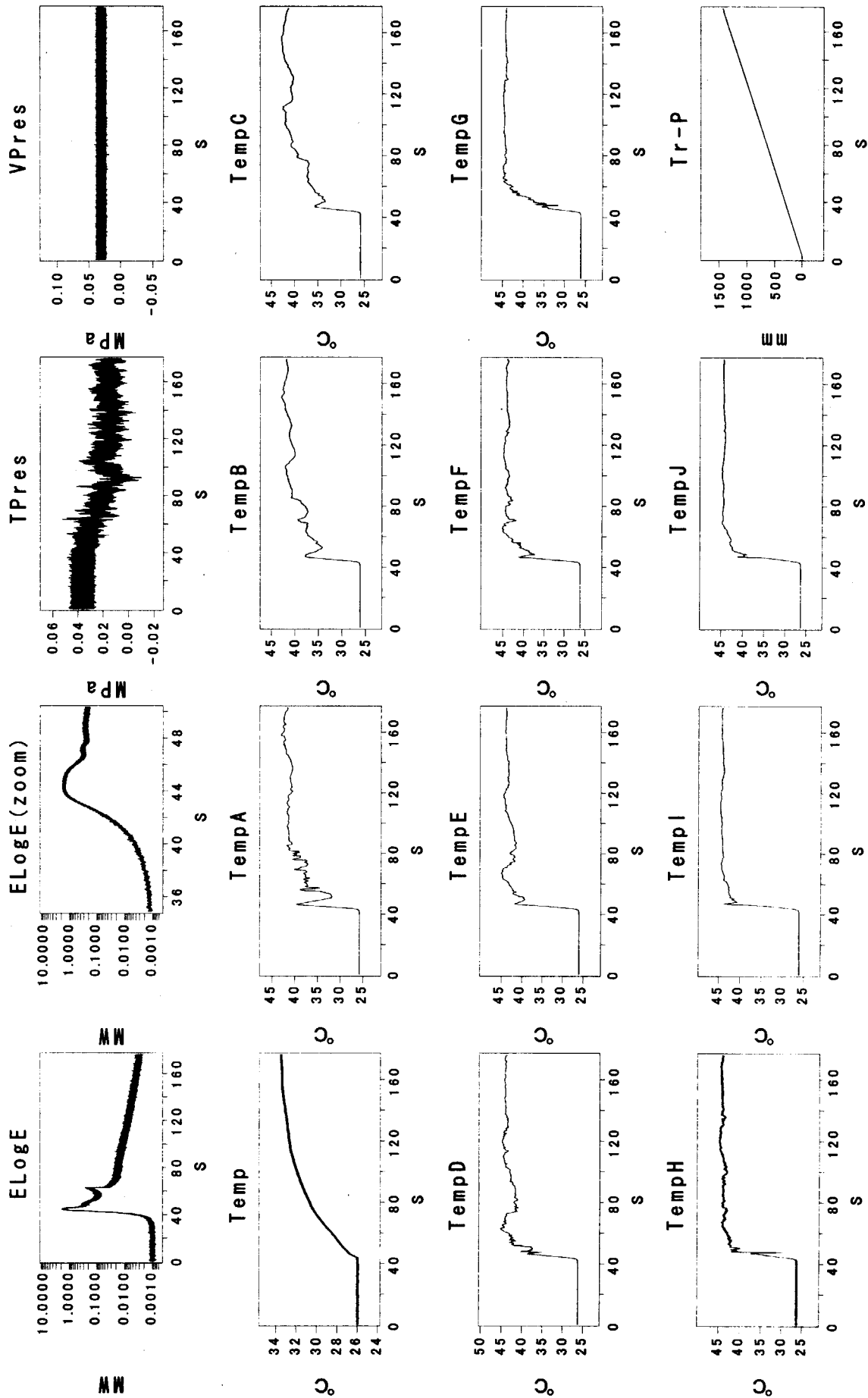
図 A45 過渡出力運転データ履歴 (R110 ランプ引抜 2.95\$ 50cm/min)



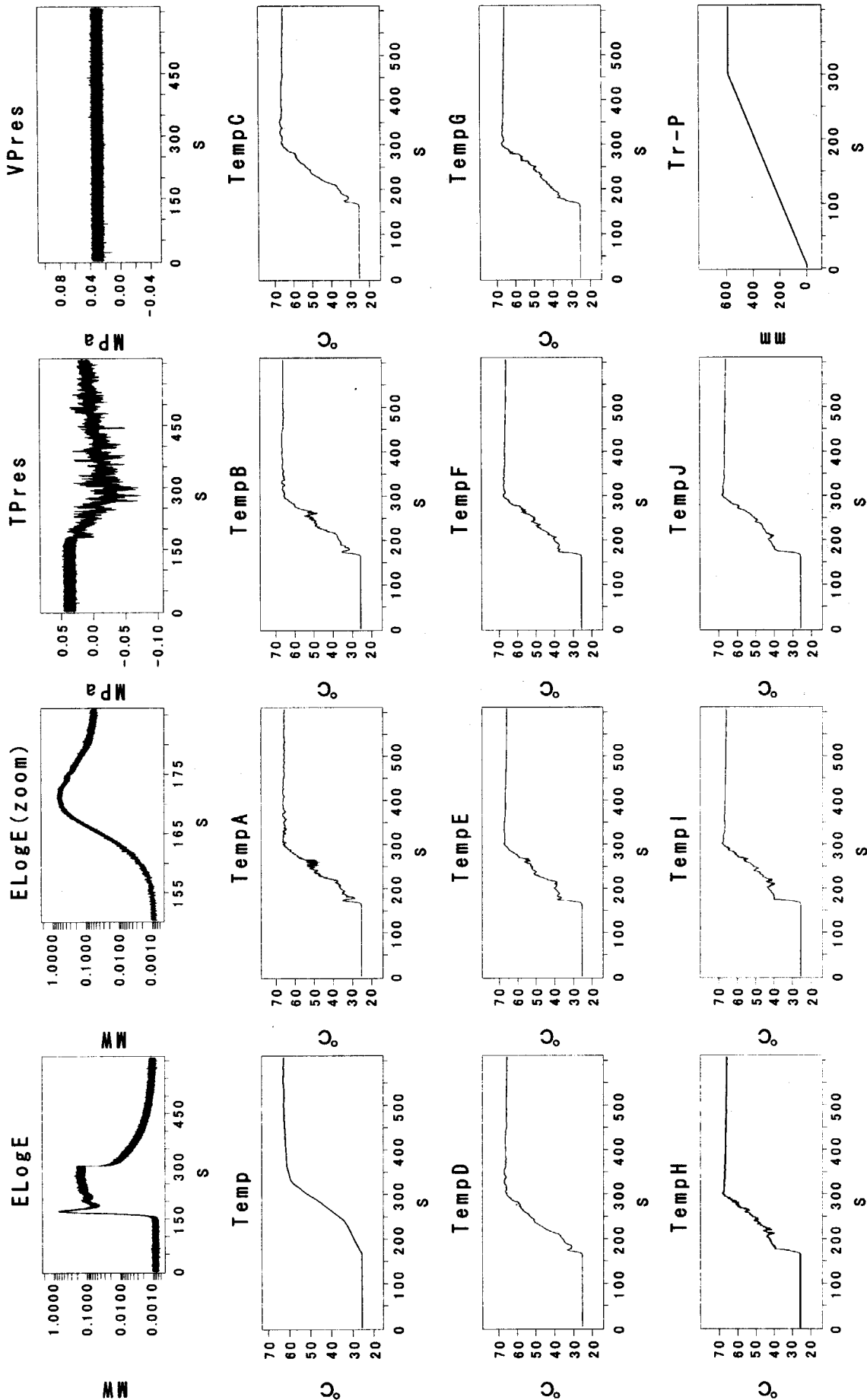
図A46 過渡出力運転データ履歴 (R111 ランプ引抜 2.94\$ 50cm/min)



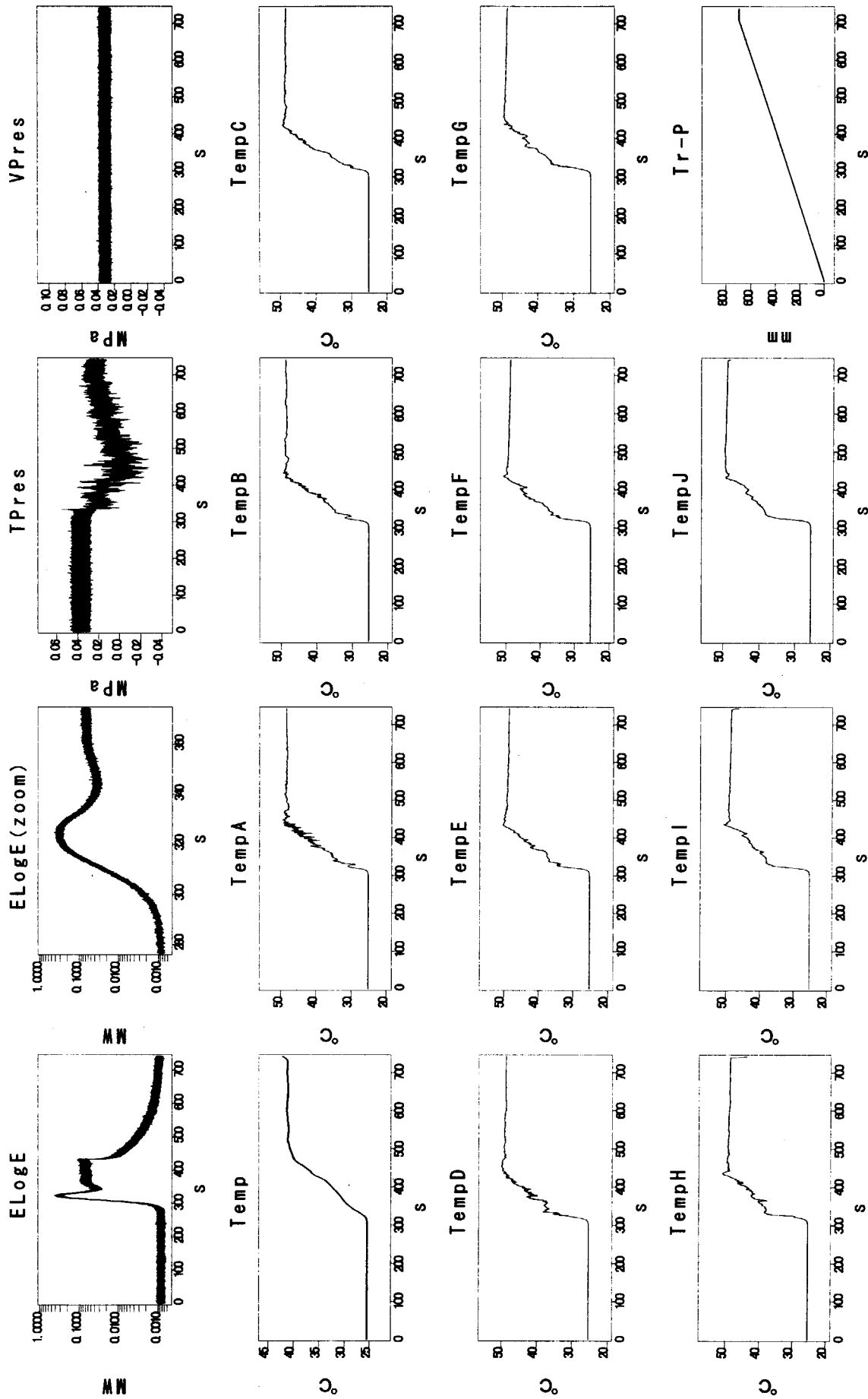
図A47 過渡出力運転データ履歴 (R112 ランプ引抜 2.94\$ 100cm/min)



図A48 過渡出力運転データ履歴 (R113 ランプ引抜 2.95\$ 50cm/min)



図A49 過渡出力運転データ履歴 (R114 ランプ引抜 2.93\$ 10cm/min)



図A50 過渡出力運転データ履歴 (R115 ランプ引抜 2.93\$ 6cm/min)

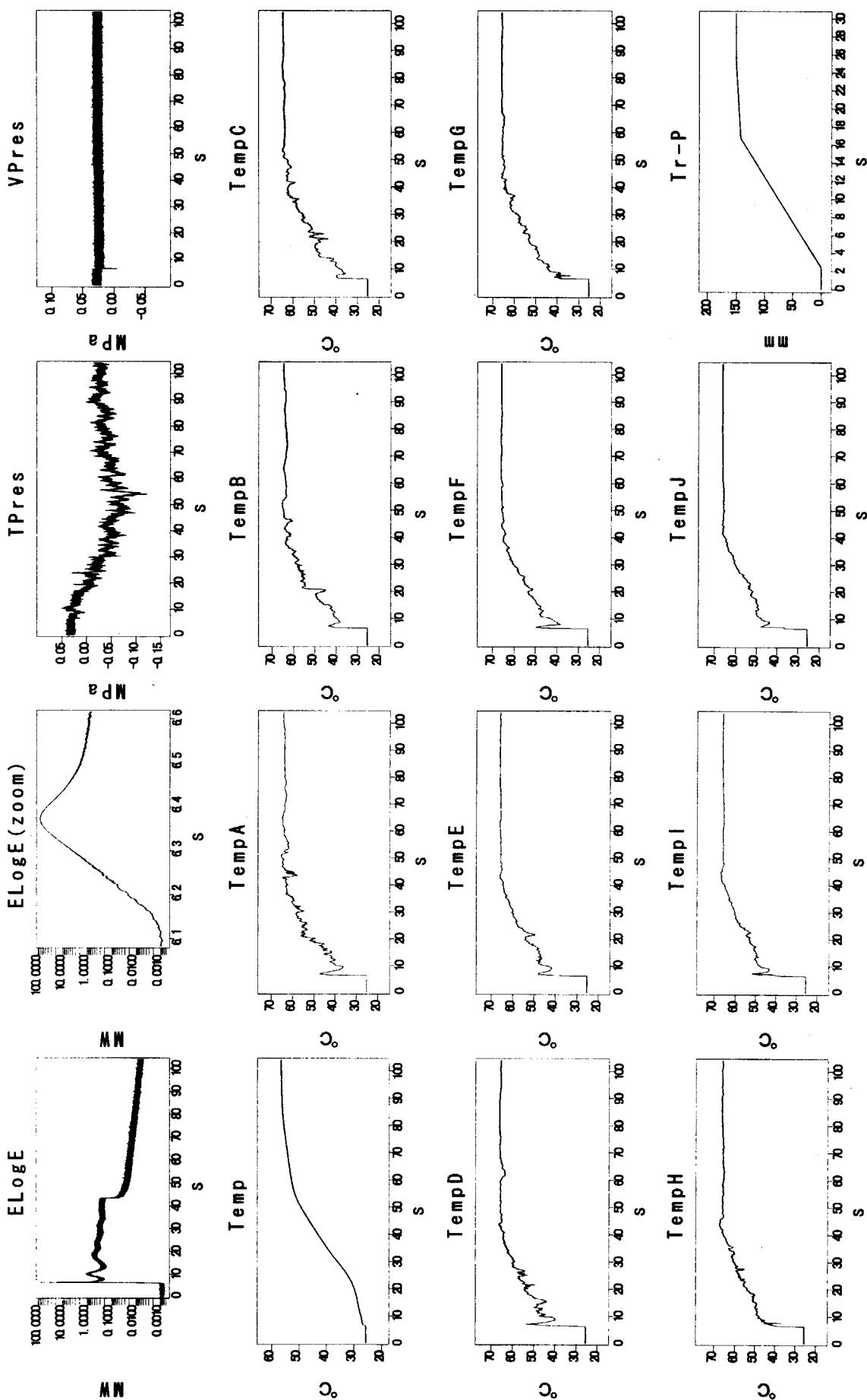
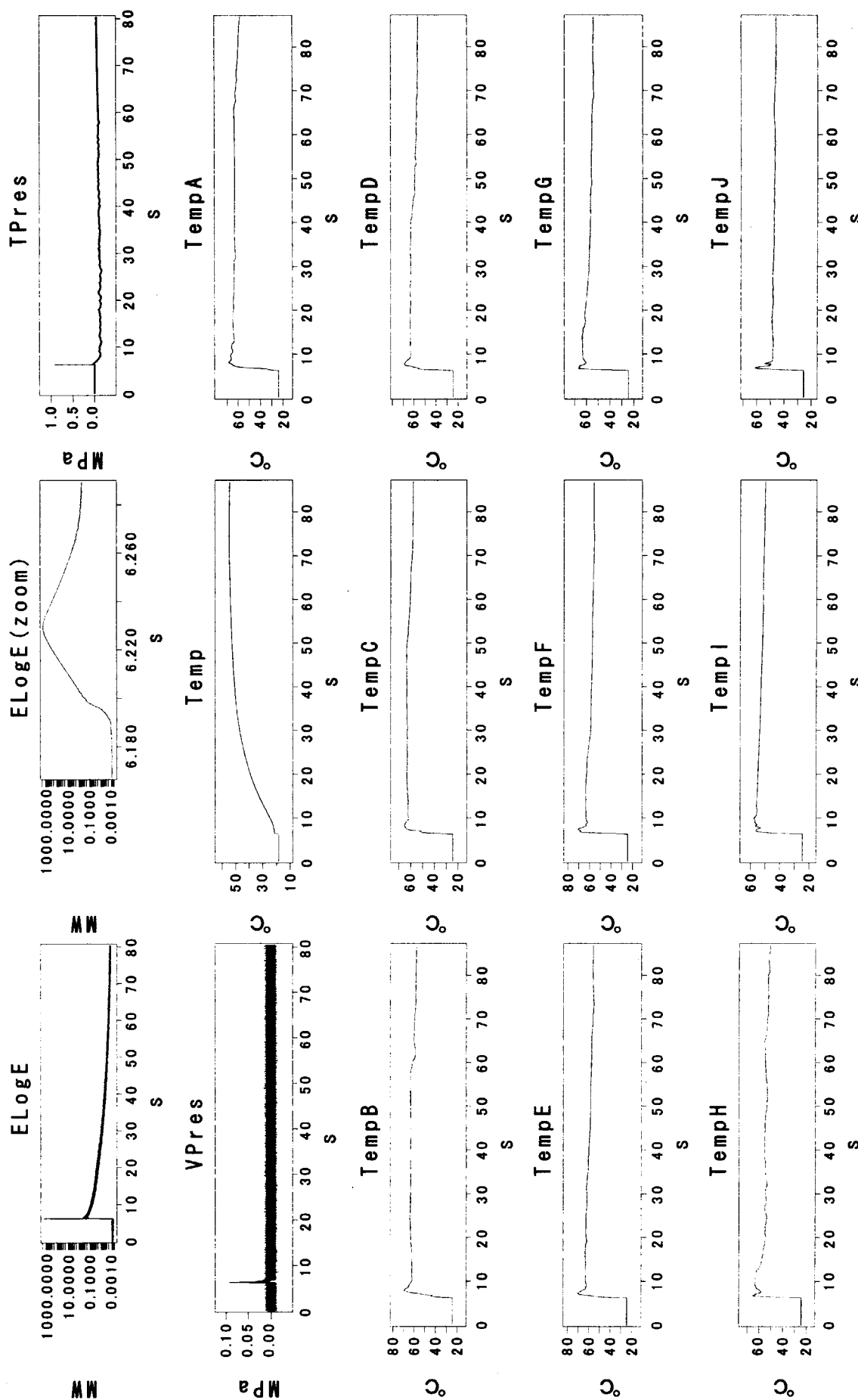


図 A51 過渡出力運転データ履歴 (R116 ランプ引抜 2.92\$ 600cm/min)





図A52 過渡出力運転データ履歴 (R134 パルス引抜 3.00\$)

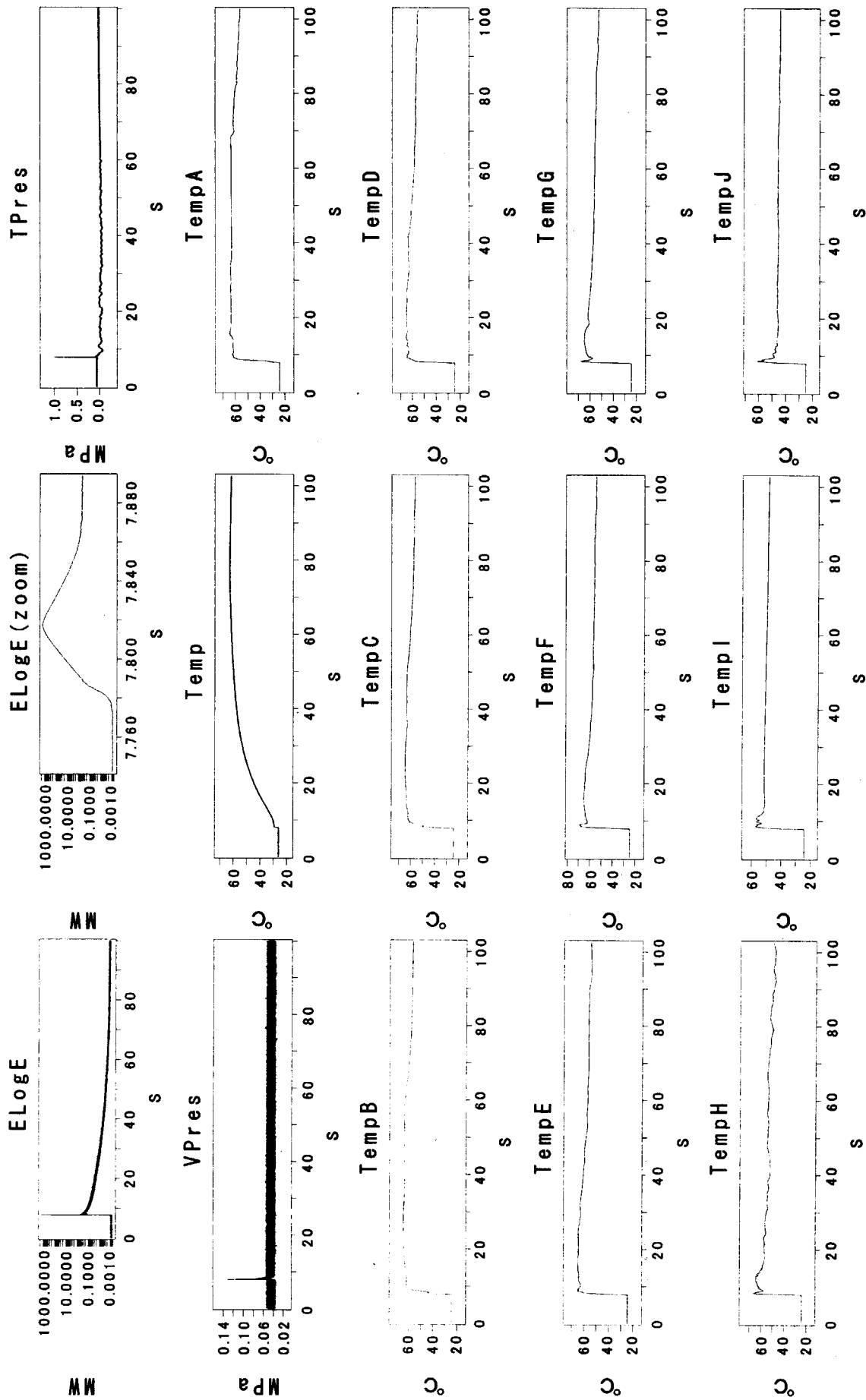


図 A53 過渡出力運転データ履歴 (R135 パルス引抜 3.00%)

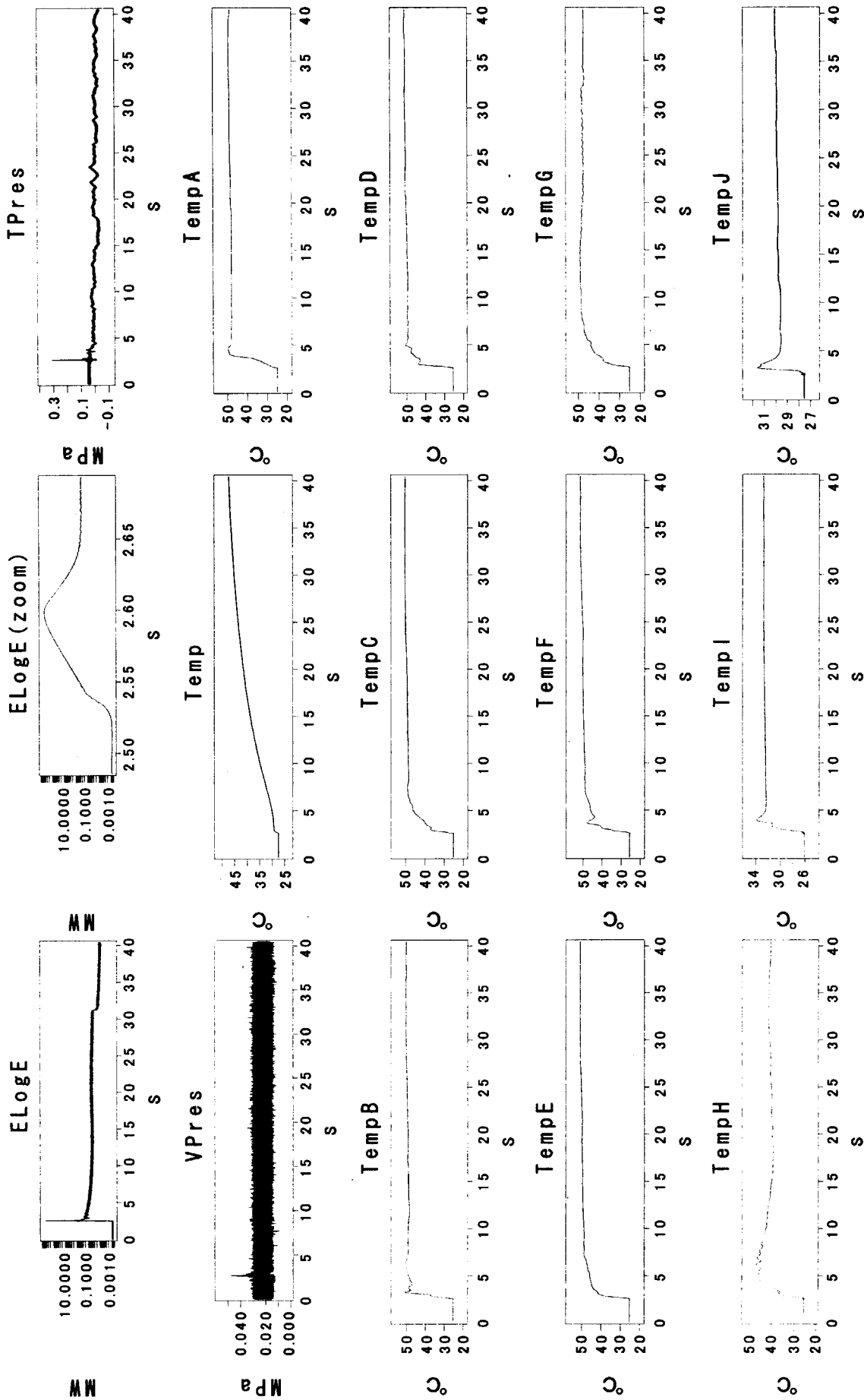


図 A54 過渡出力運転データ履歴 (R138 パルス引抜 3.00S)

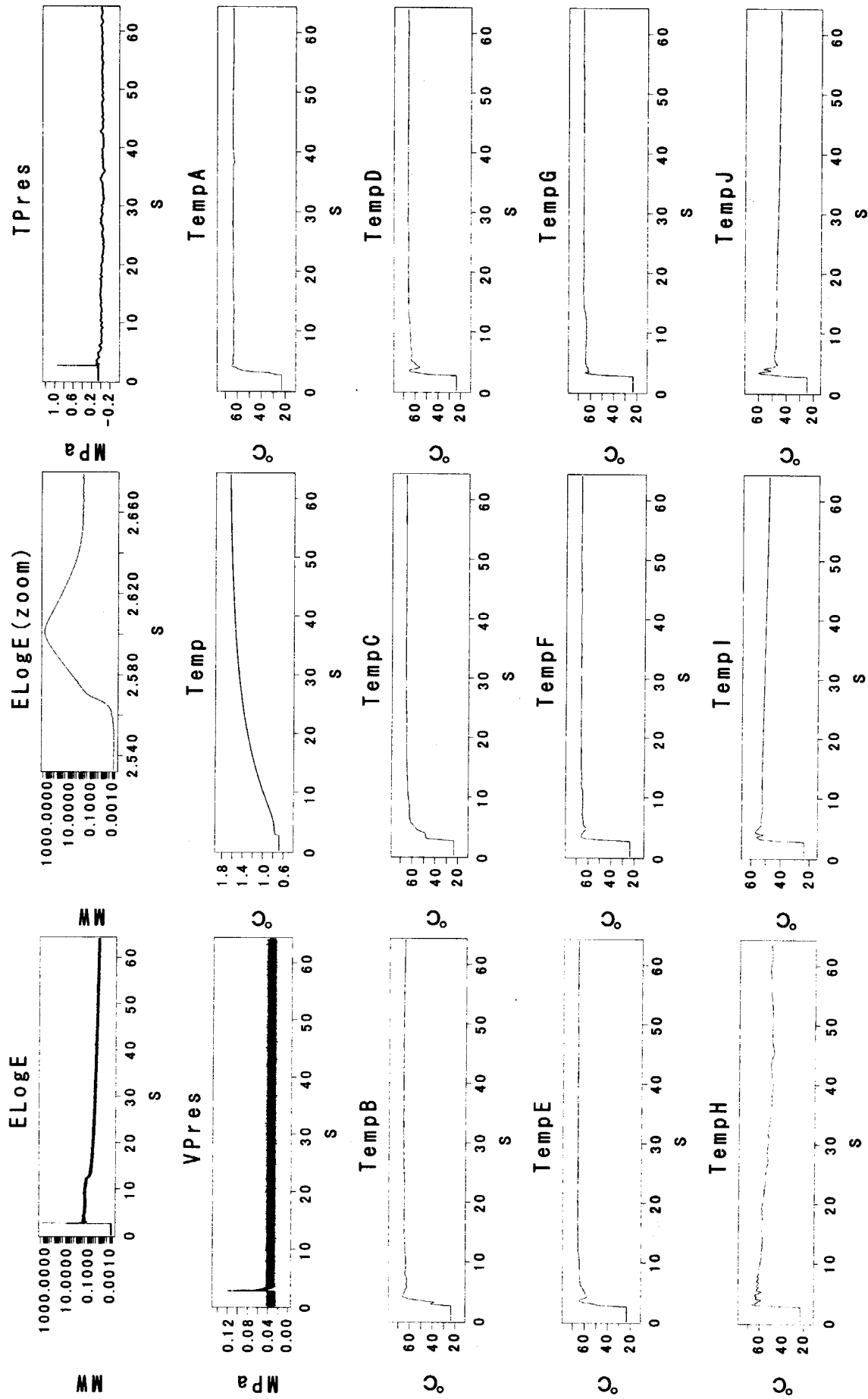


図 A55 過渡出力運転データ履歴 (R140 パルス引抜 2.96S)

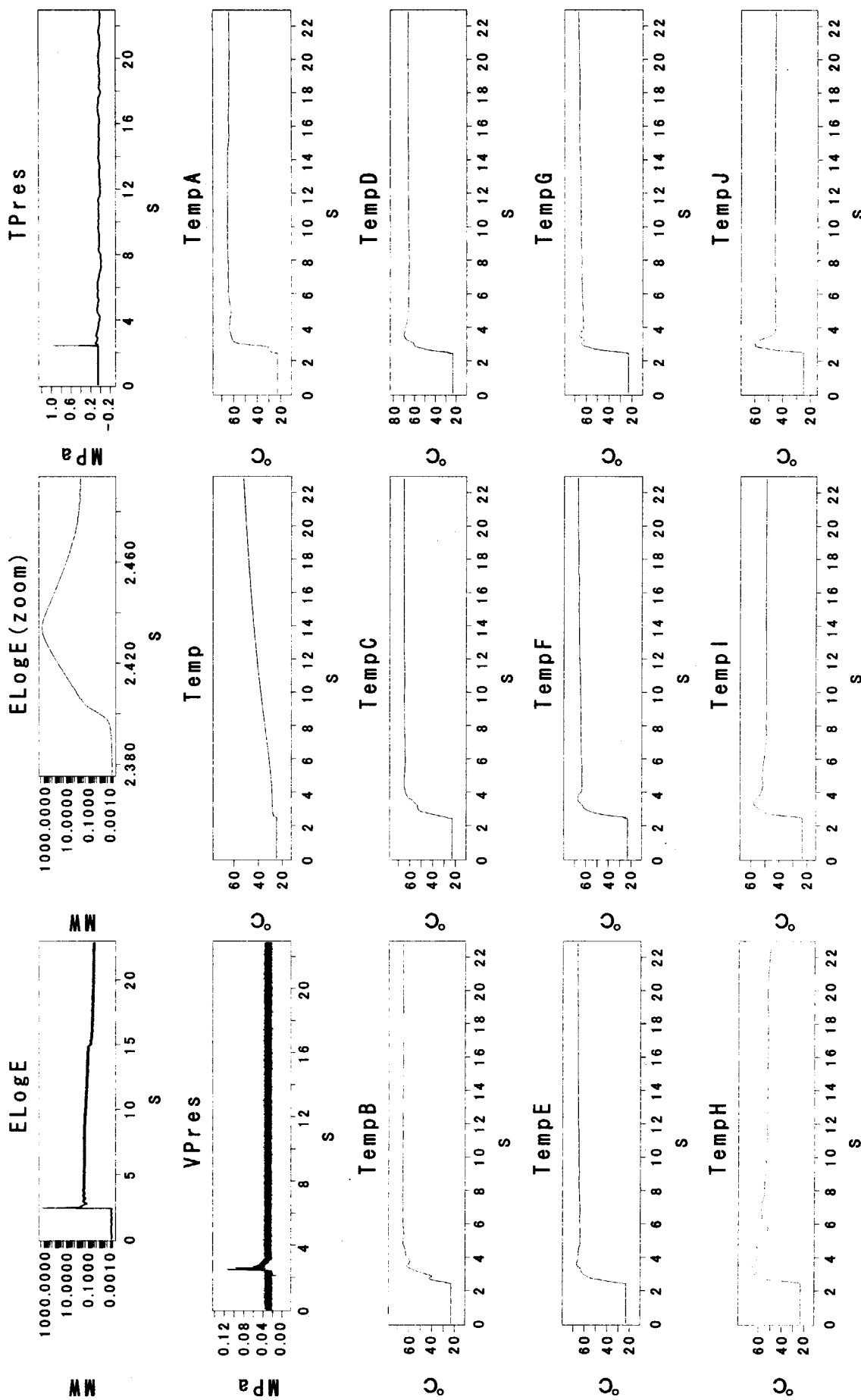


図 A56 過渡出力運転データ履歴 (RI41 パルス引抜 2.96S)

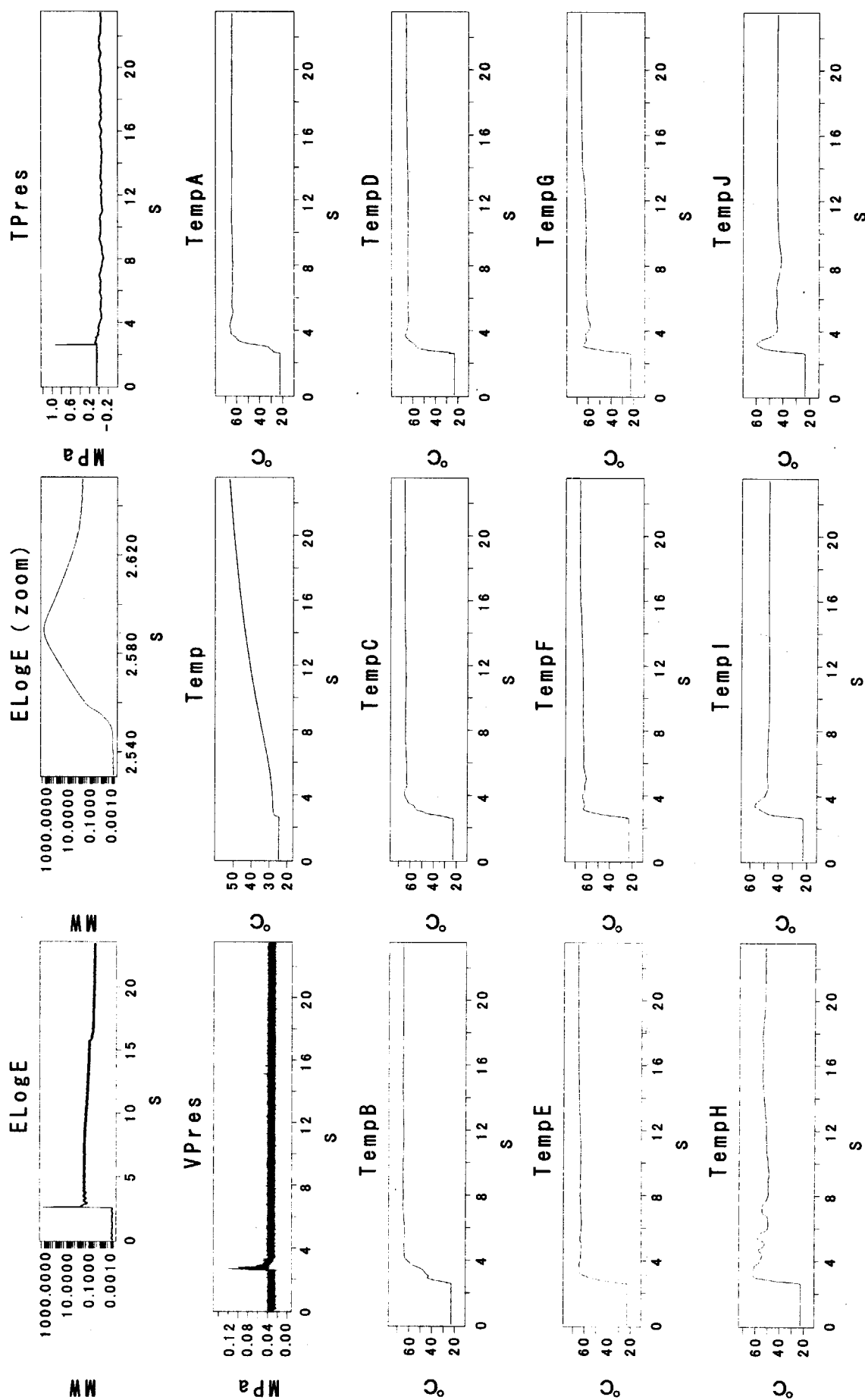
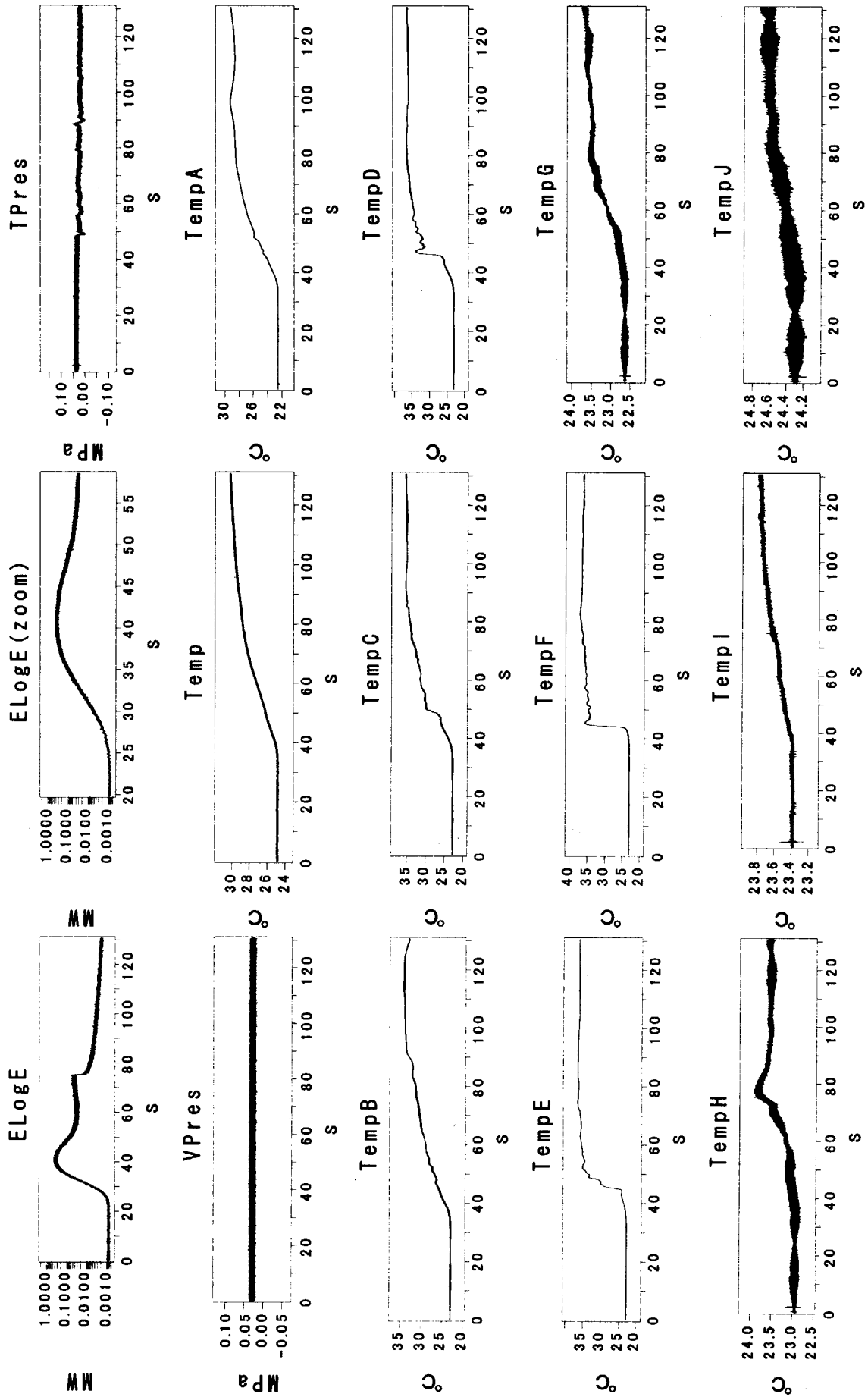


図 A57 過渡出力運転データ履歴 (RI42 パルス引抜 2.98\$)



図A58 過渡出力運転データ履歴 (R143 パルス引抜 2.96S)

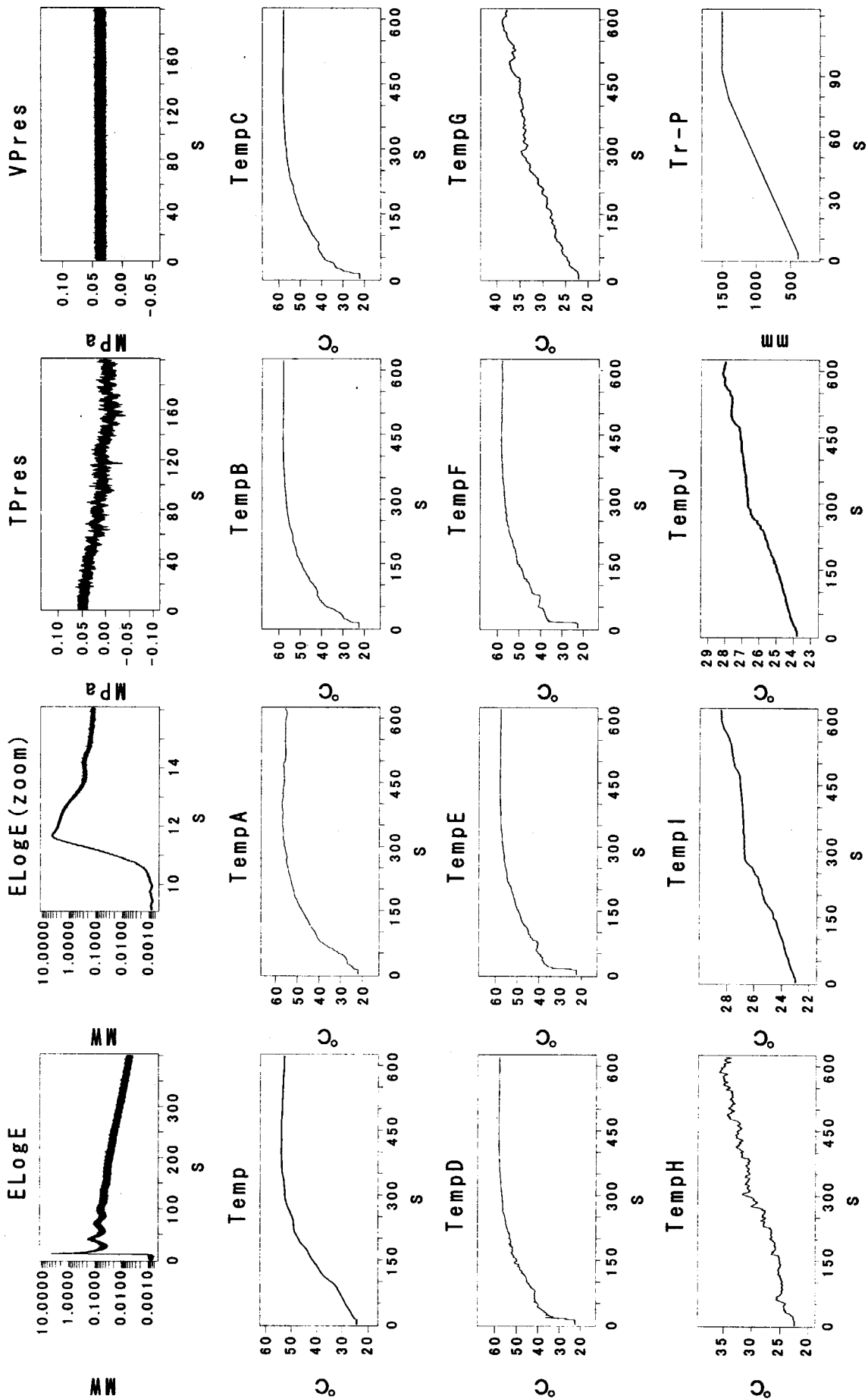


図 A59 過渡出力運転データ履歴 (R147 ランプ引抜 1.50\$ 80cm/min)



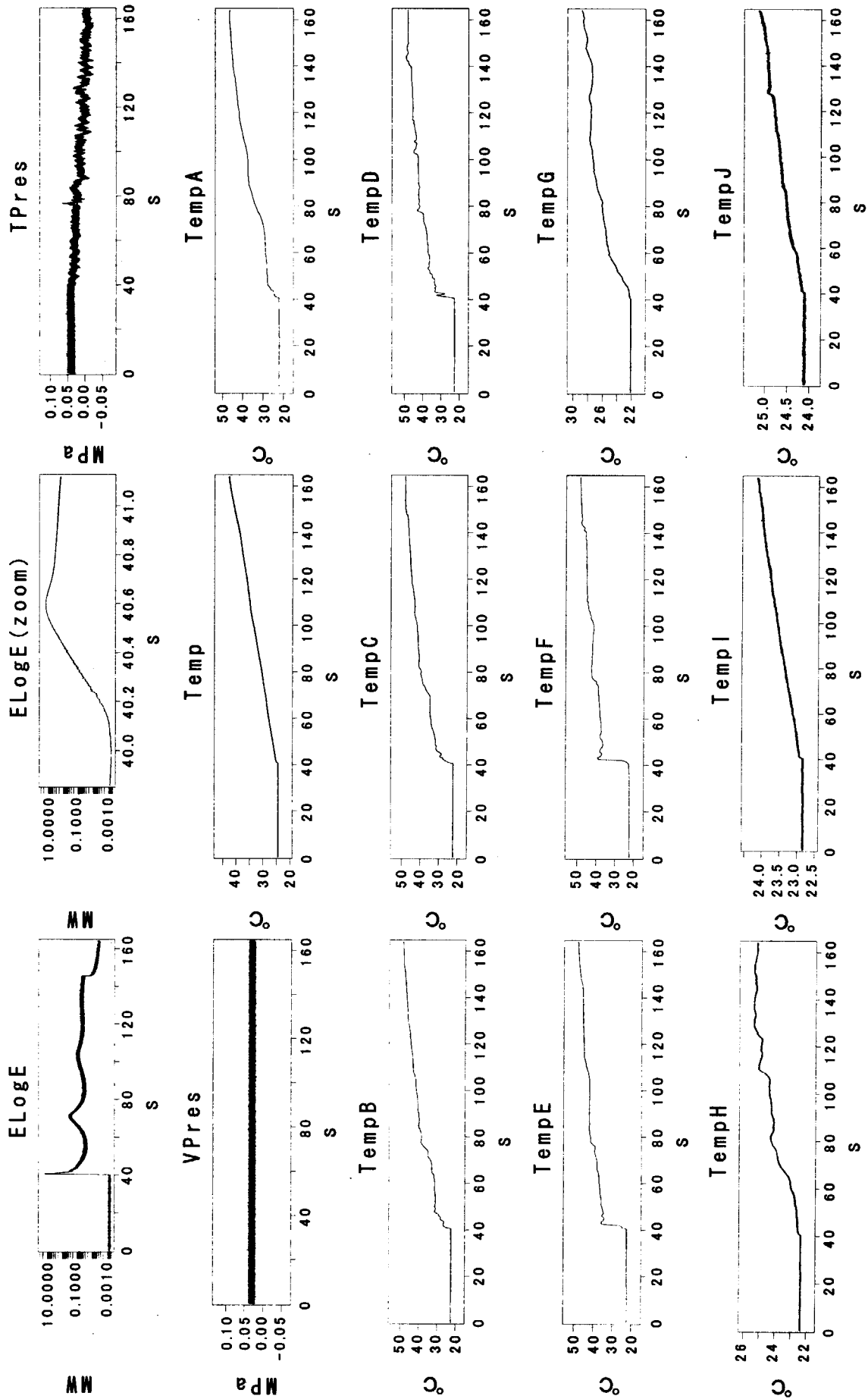


図 A60 過渡出力運転データ履歴 (R149 ランプ給液 1.49\$ 60/min)

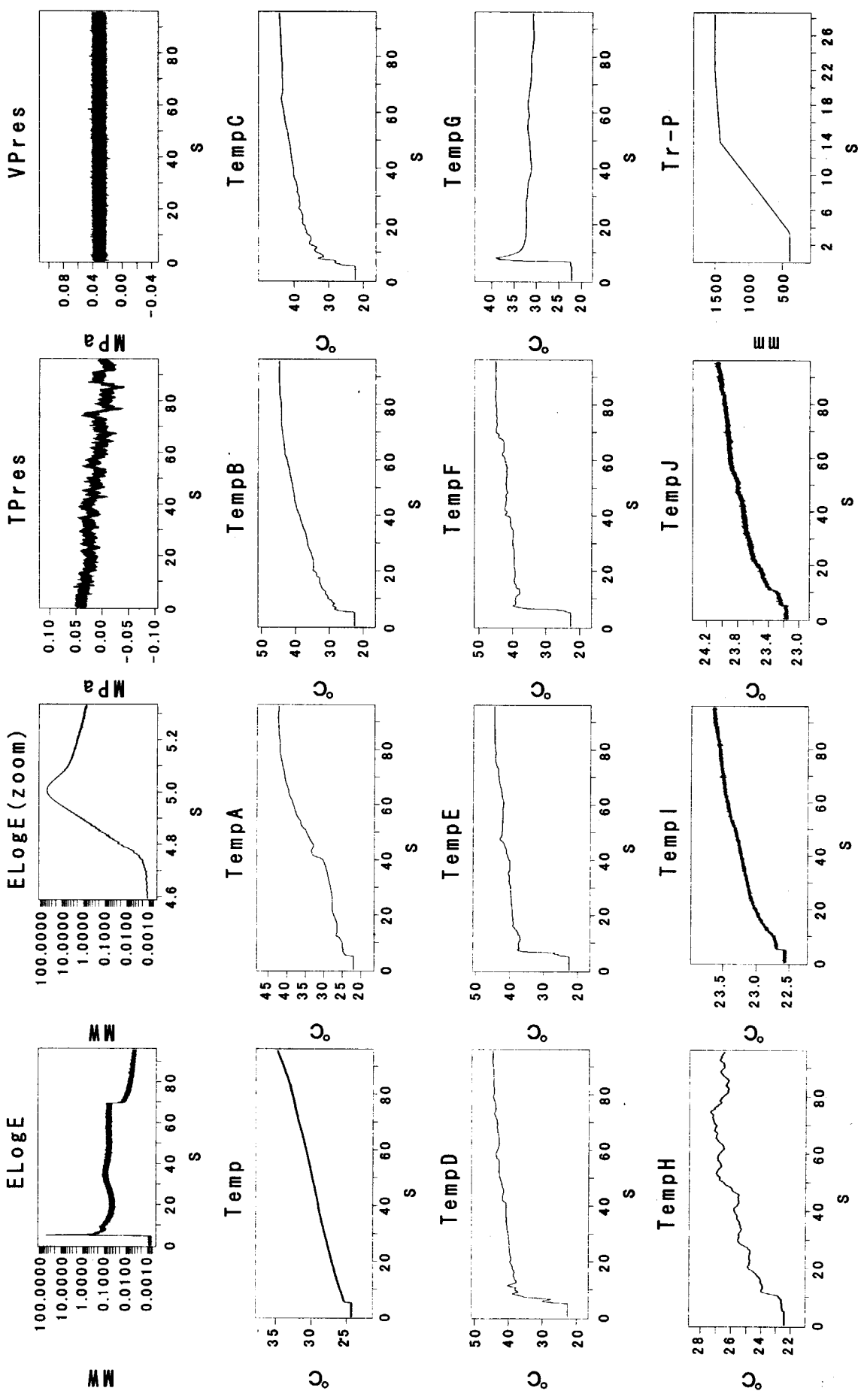


図 A61 過渡出力運転データ履歴 (R150 ランプ引抜 1.50\$ 600cm/min)

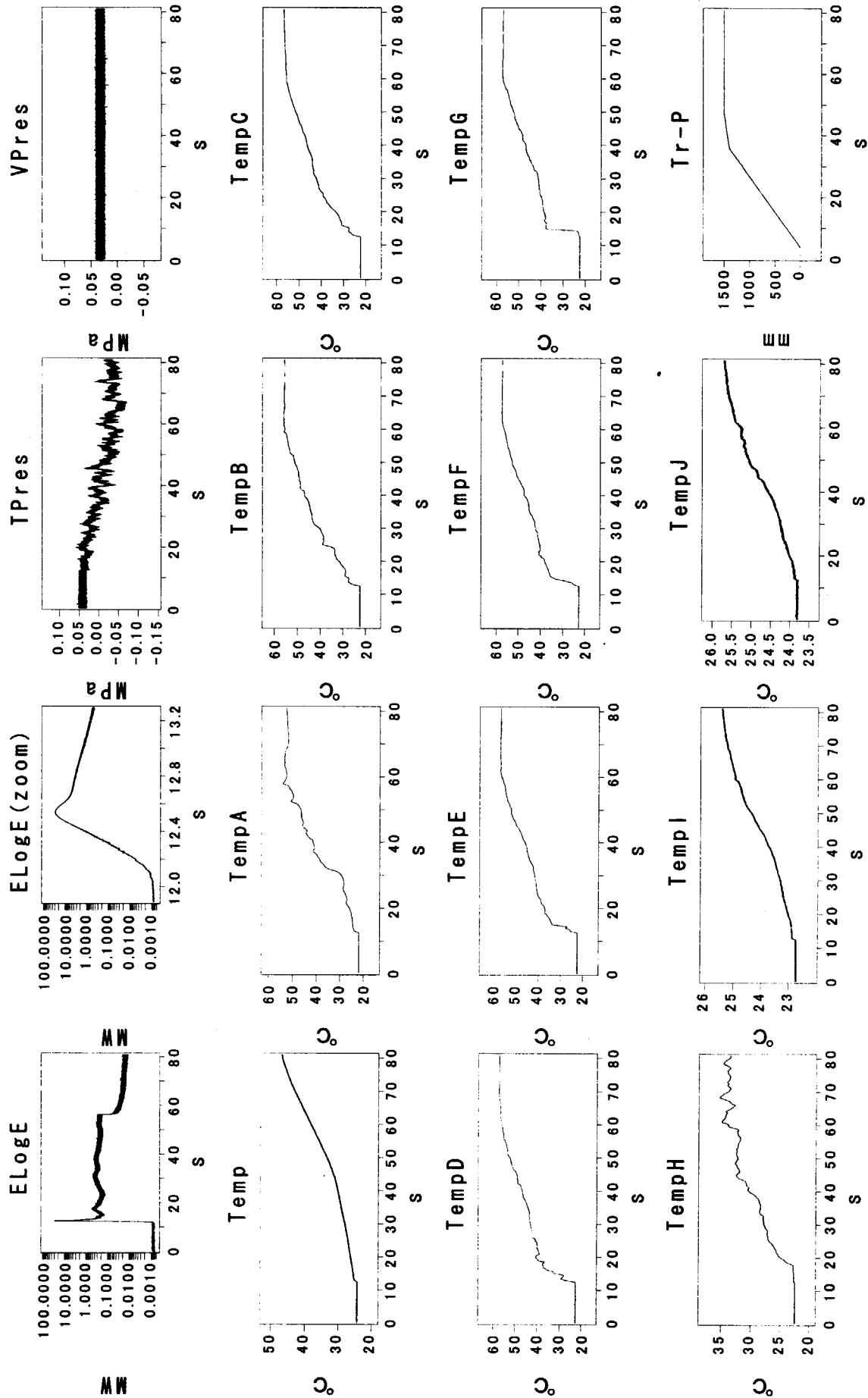


図 A62 過渡出力運転データ履歴 (R151 ランプ引抜 2.97\$ 260cm/min)

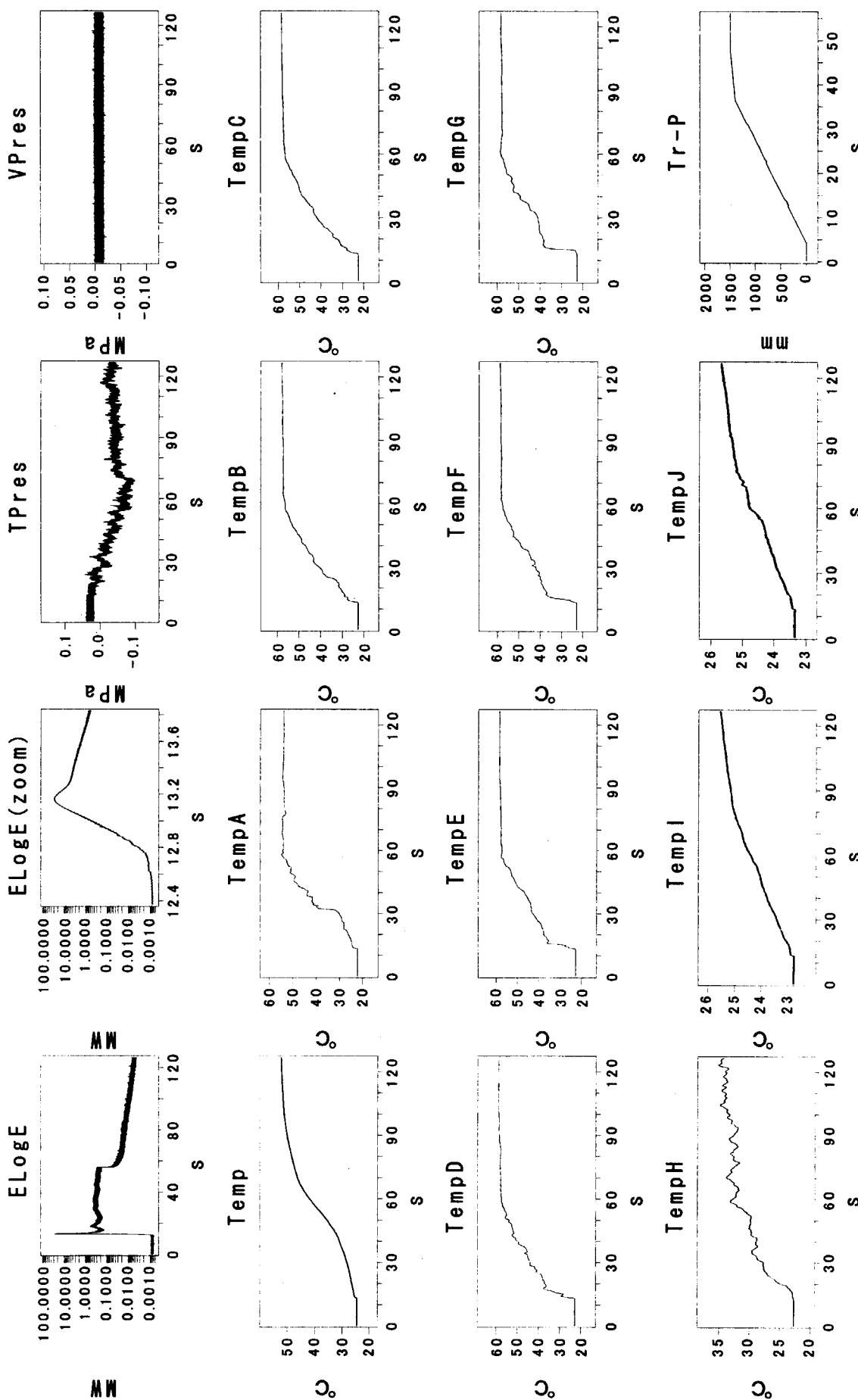
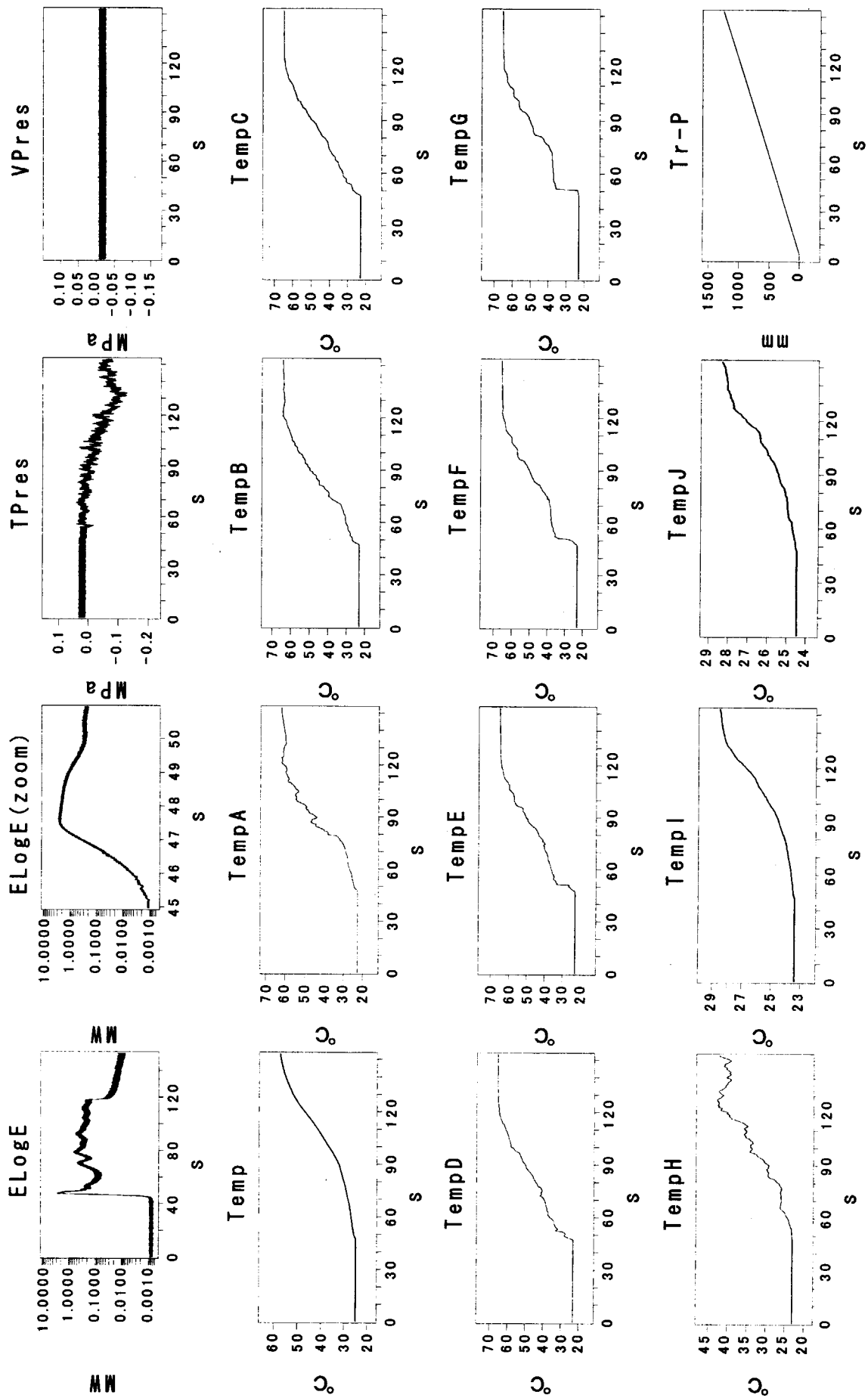


図 A63 過渡出力運転データ履歴 (R152 ランプ引抜 2.97\$ 285cm/min)



図A64 過渡出力運転データ履歴 (R153 ランプ引抜 2.98\$ 50cm/min)

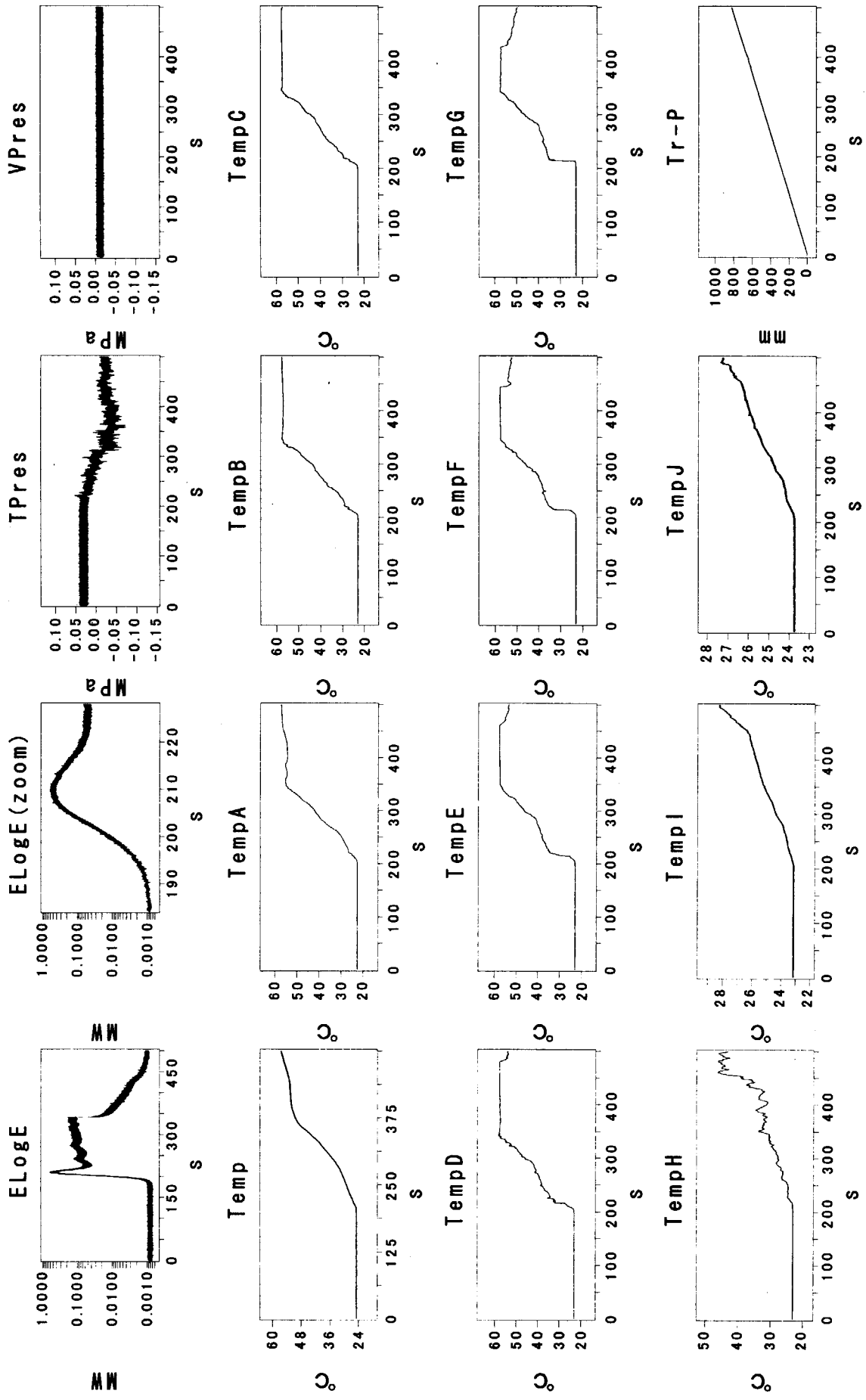


図 A65 過渡出力運転データ履歴 (R154 ランプ引抜 2.97\$ 10cm/min)

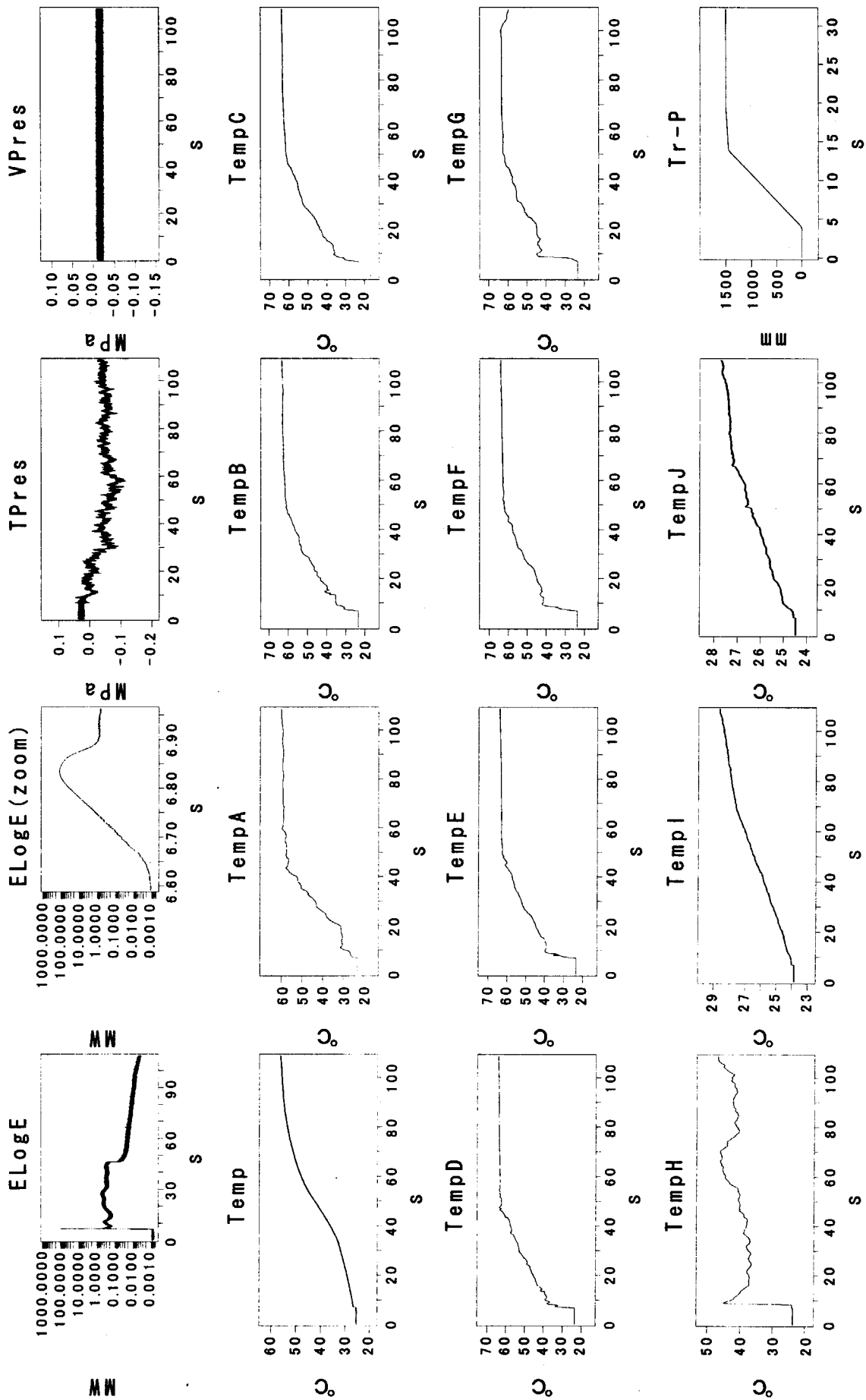


図 A66 過渡出力運転データ履歴 (R155 ランプ引抜 2.98\$ 875cm/min)

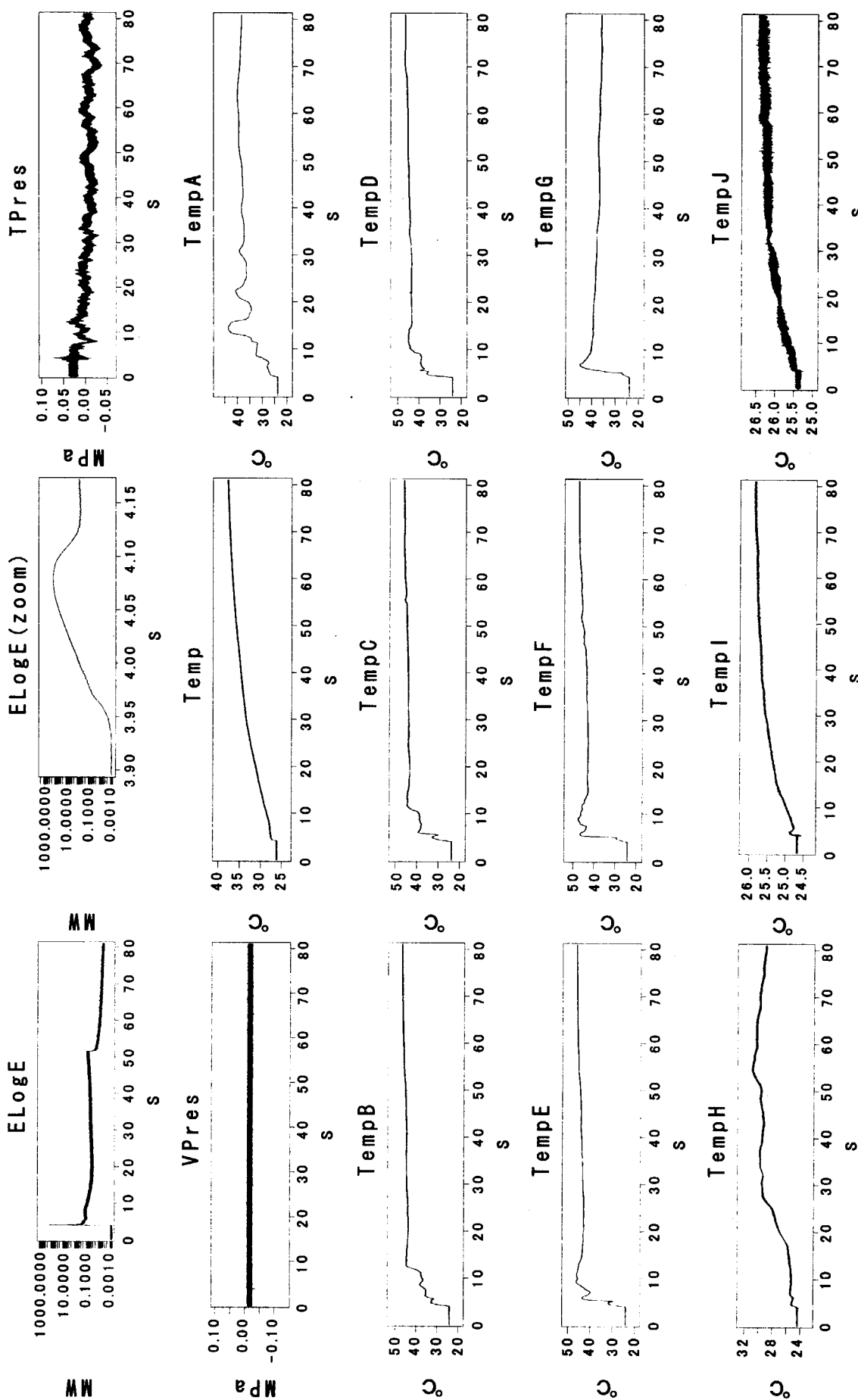


図 A67 過渡出力運転データ履歴 (R156 パルス引抜 1.50\$)



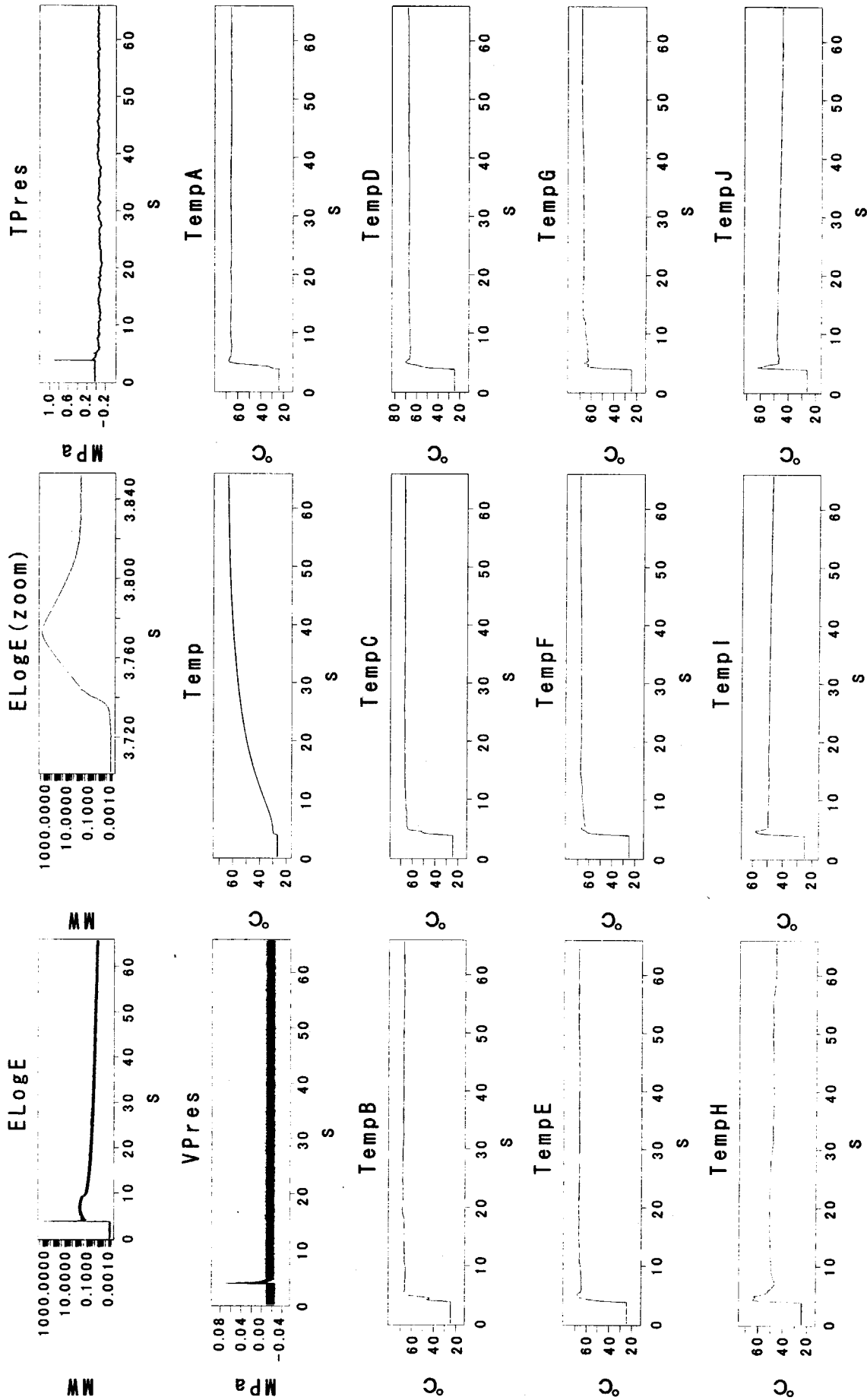


図 A68 過渡出力運転データ履歴 (R157 パルス引抜 2.97\$)

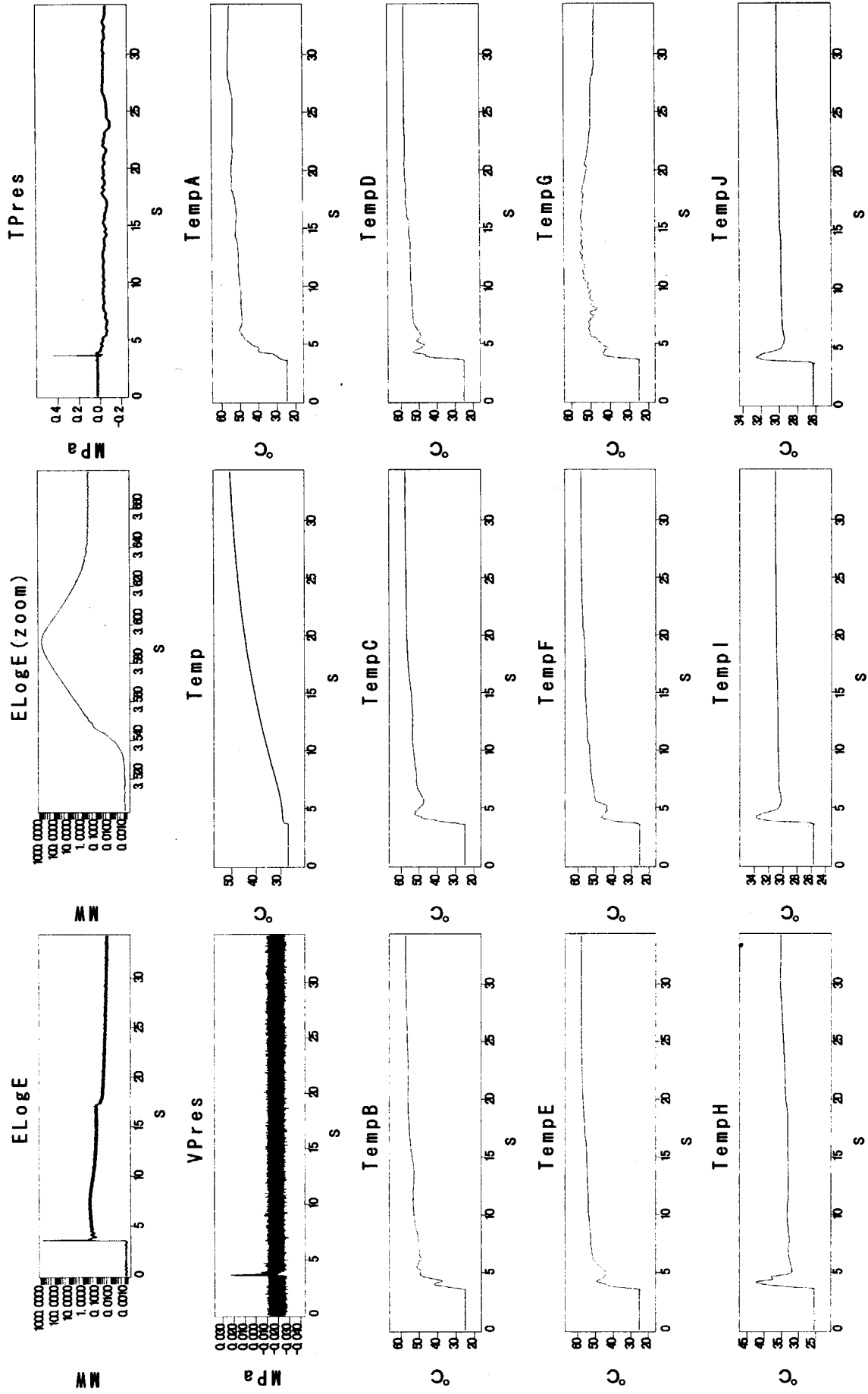


図 A69 過渡出力運転データ履歴 (R158 パルス引抜 2.30S)

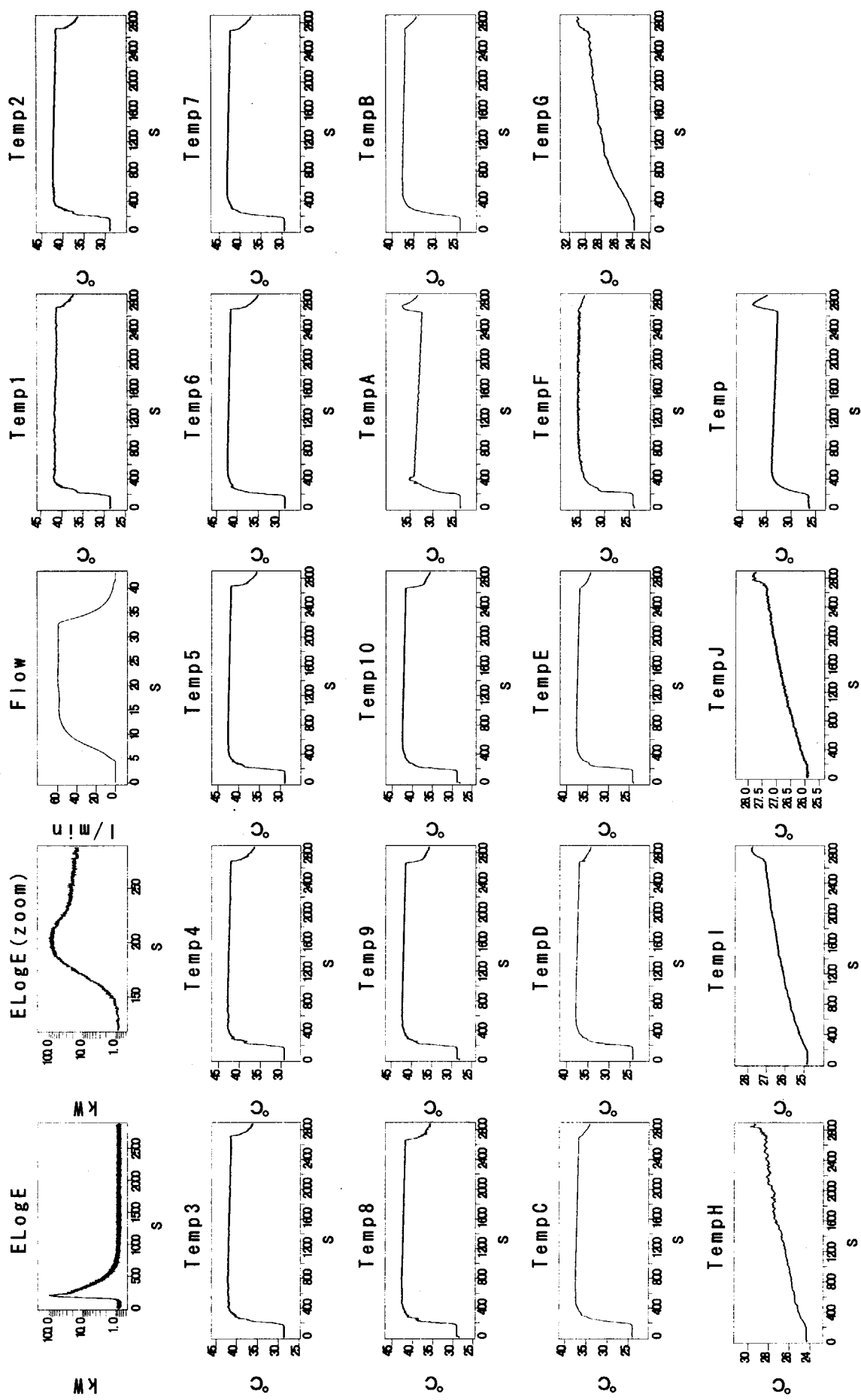
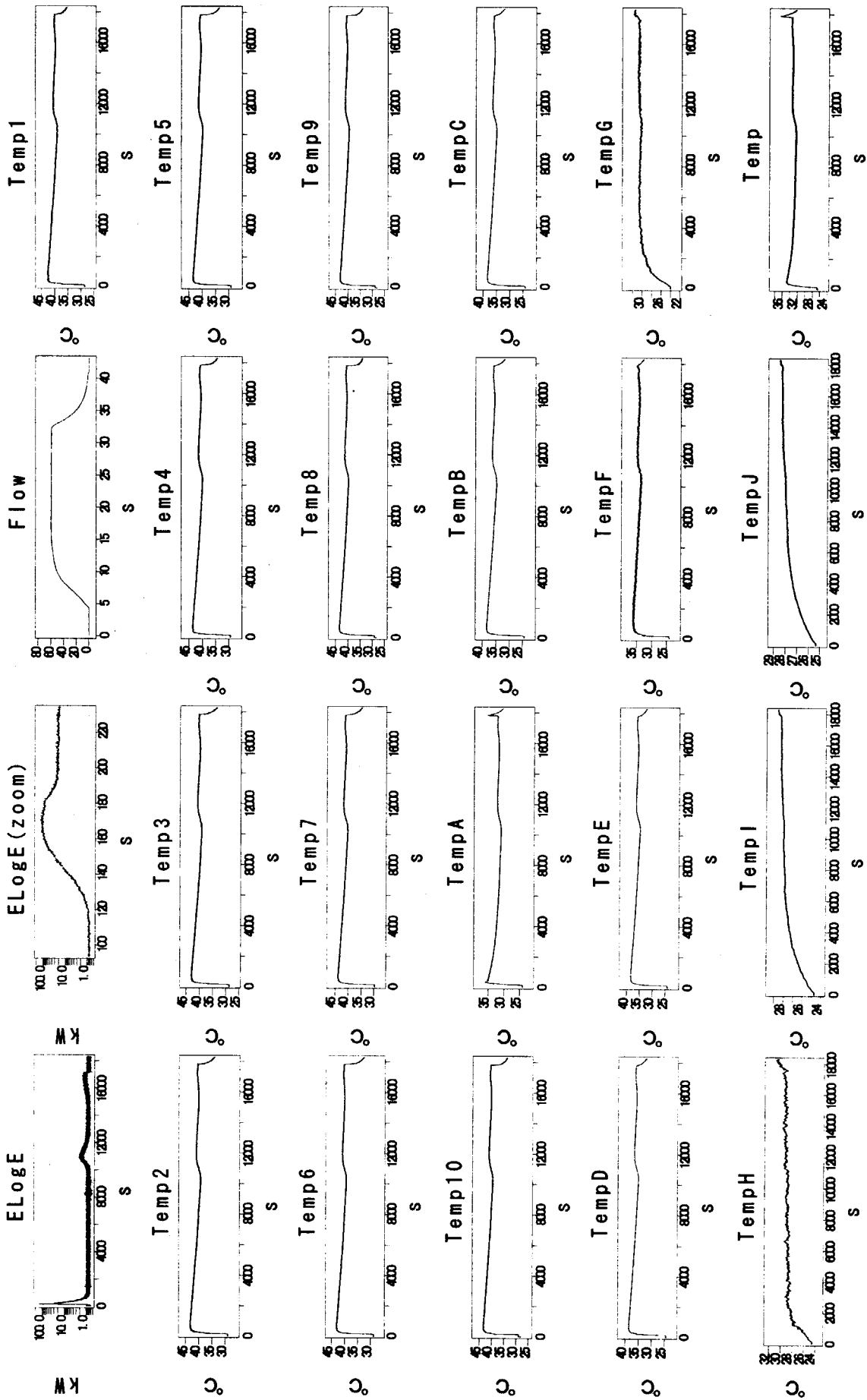
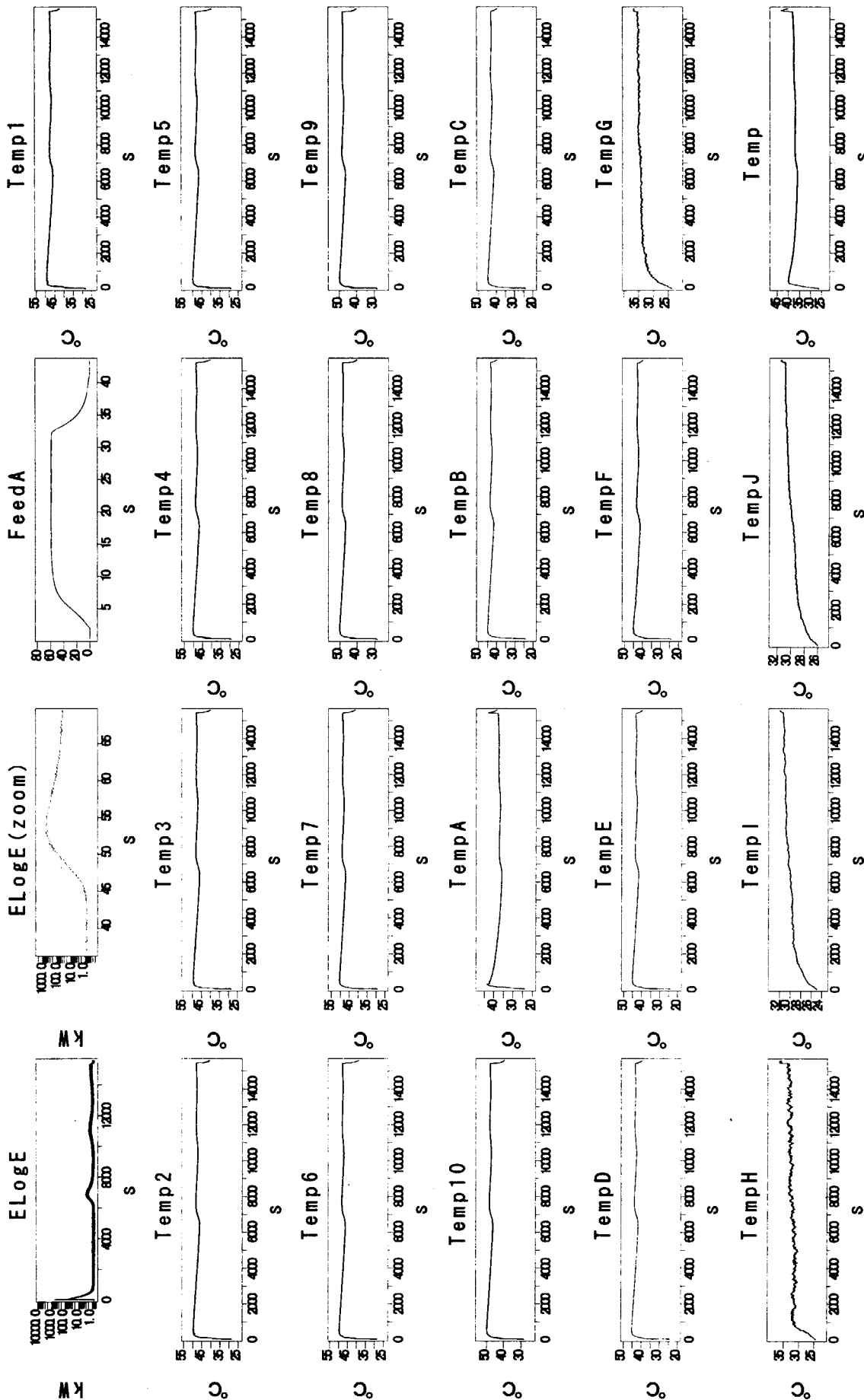


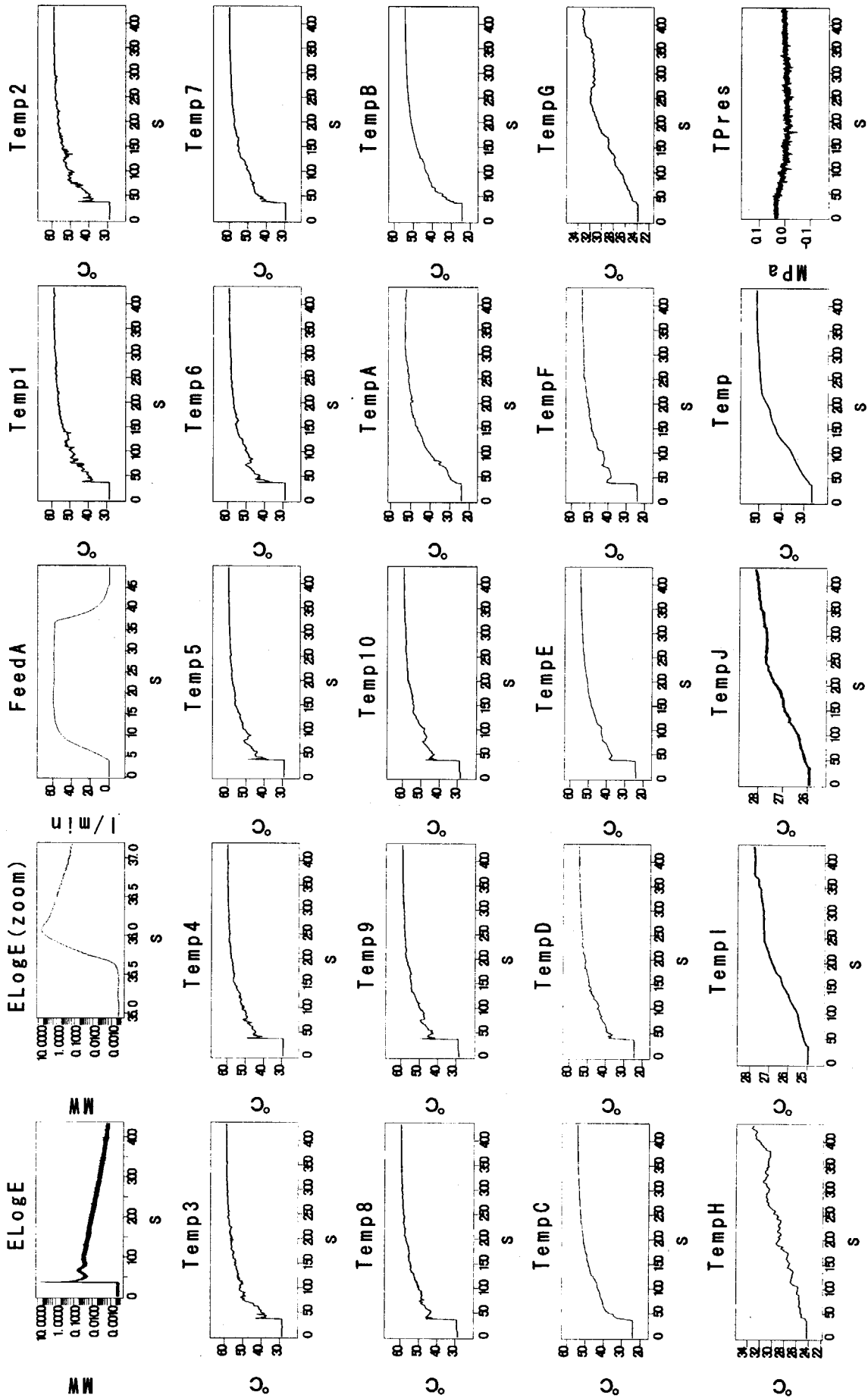
図 A70 過渡出力運転データ履歴 (RI59 ランプ給液 0.49\$ 60l/min)



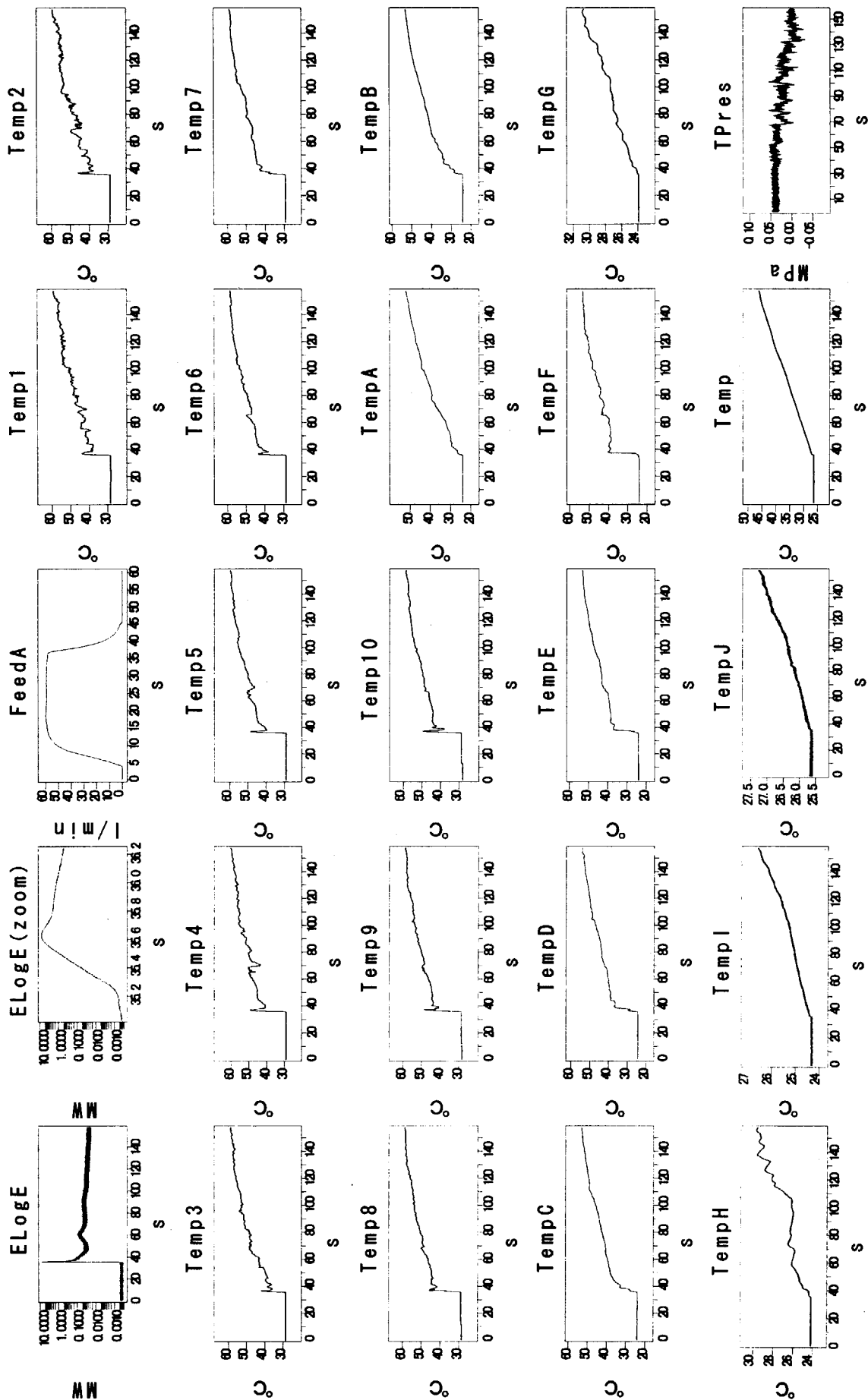
図A71 過渡出力運転データ履歴 (R160 ランプ給液 0.51\$ 60l/min)



図A72 過渡出力運転データ履歴 (R161 ランプ給液 0.82\$ 60/min)



図A73 過渡出力運転データ履歴 (R163 ランプ給液 1.25\$ 60l/min)



図A74 過渡出力運転データ履歴 (R164 ランプ給液 1.51\$ 60ℓ/min)

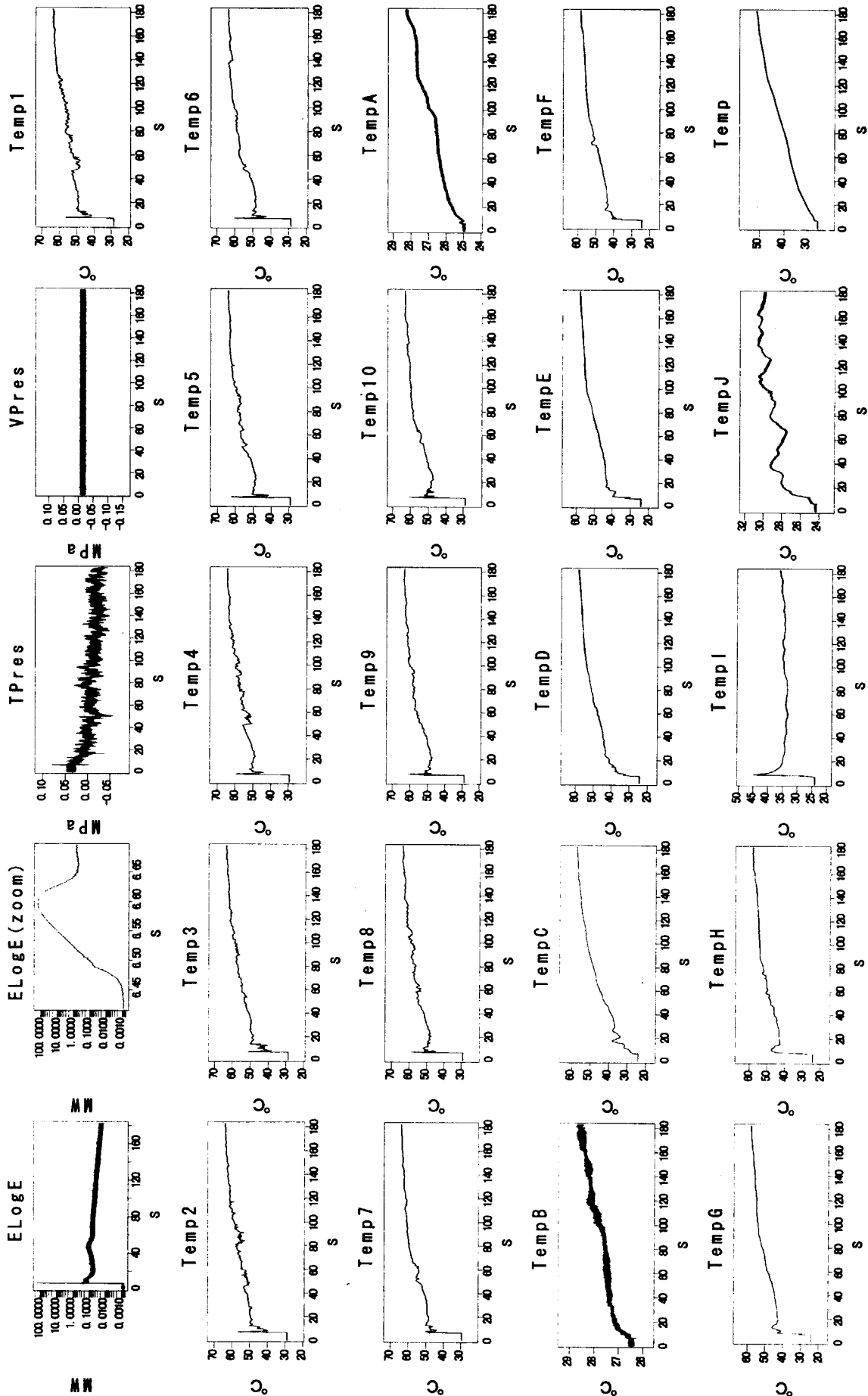
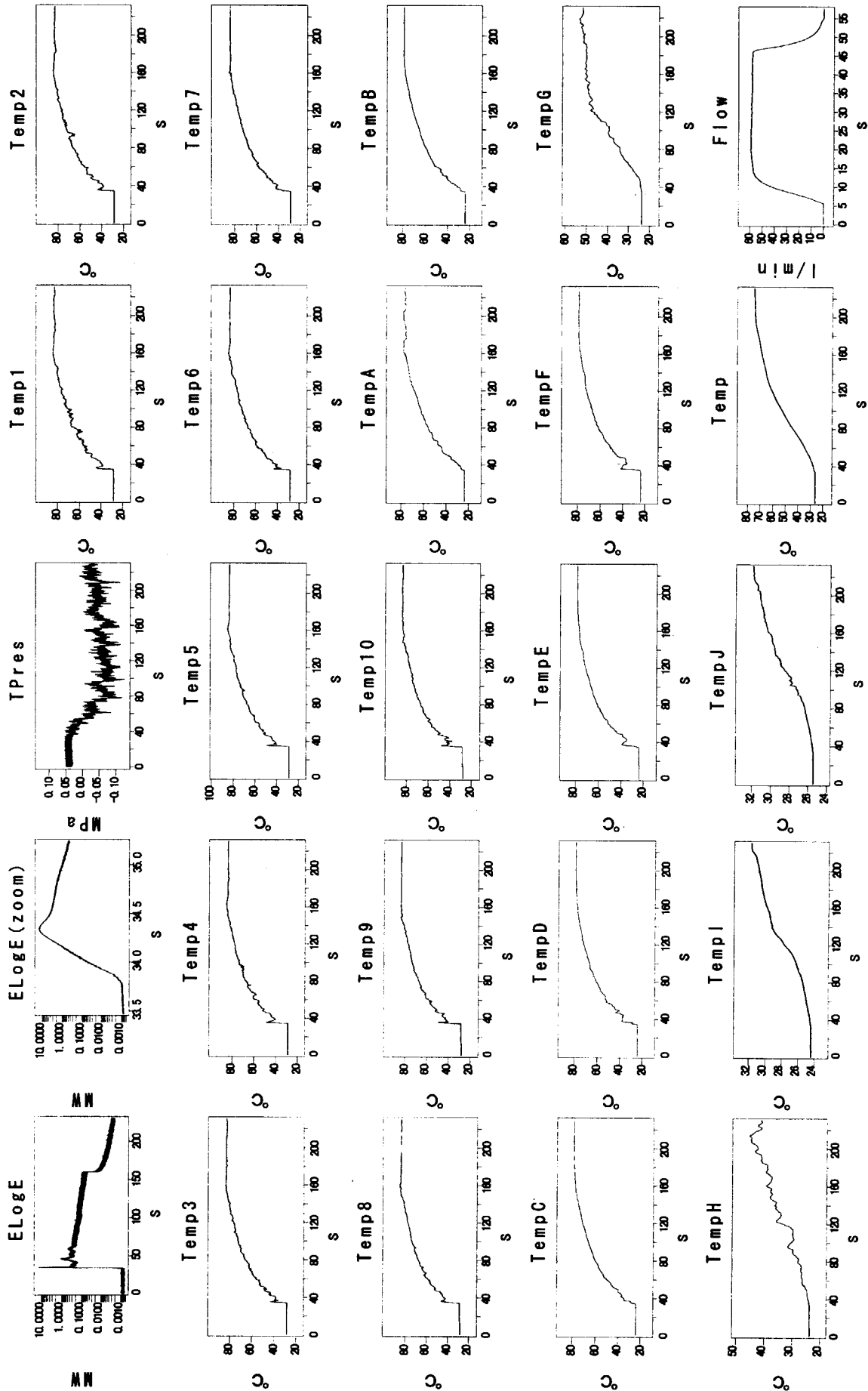


図 A75 過渡出力運転データ履歴 (R166 パルス引抜 1.50S)





図A76 過渡出力運転データ履歴 (R167 ランプ給液 2.64\$ 60ℓ/min)

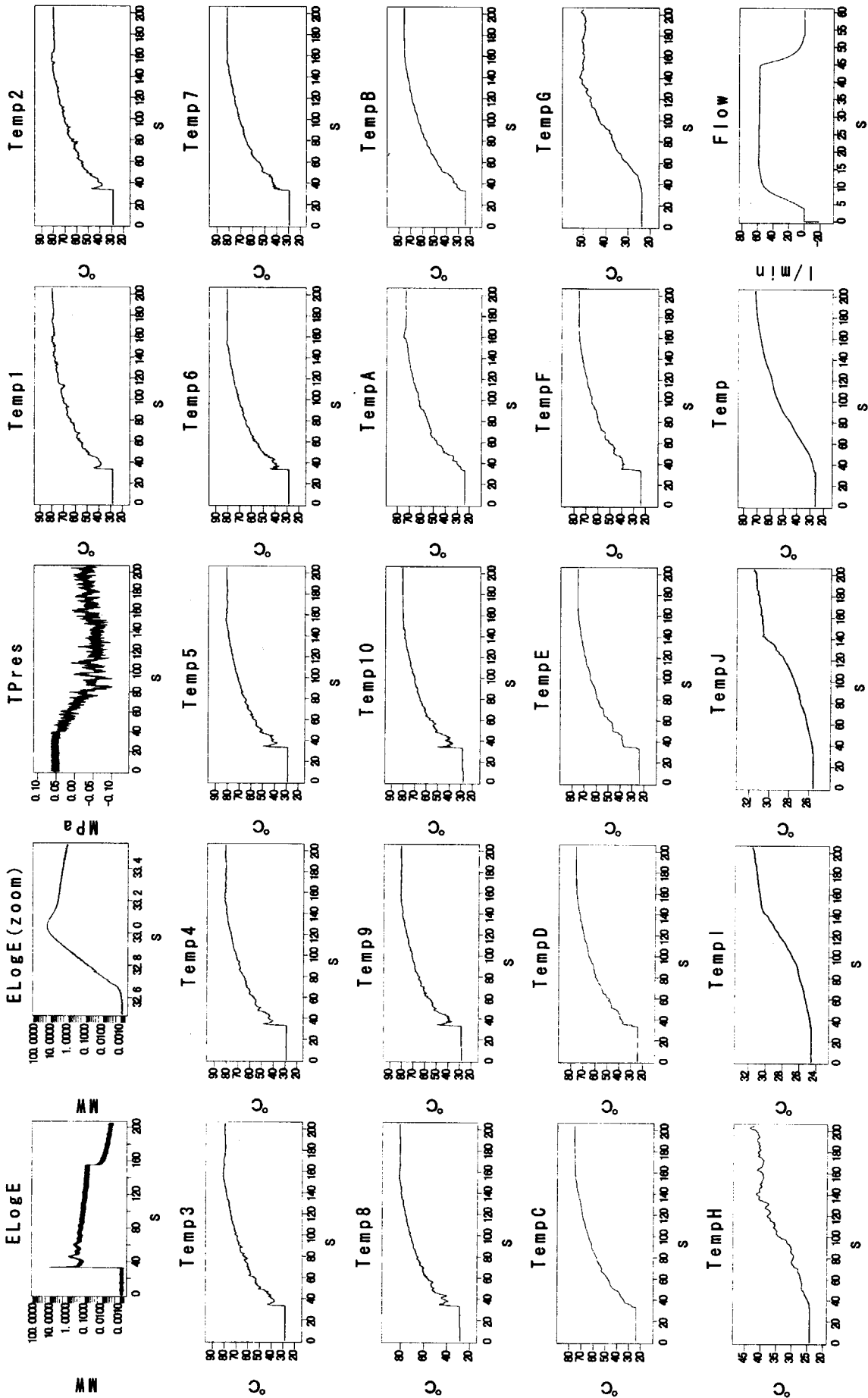
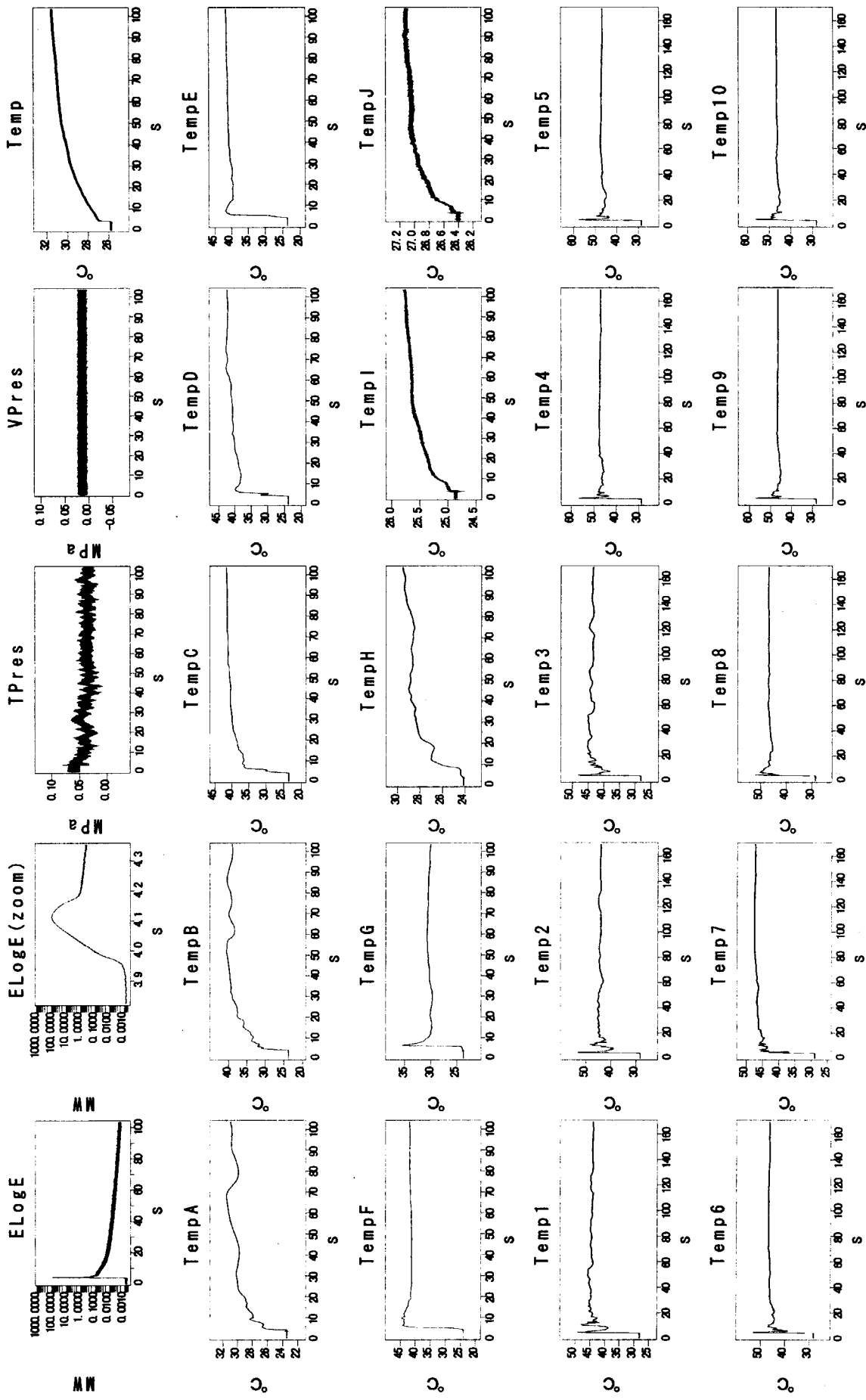


図 A77 過渡出力運転データ履歴 (R169 ランプ給液 2.59\$ 60ℓ/min)



図A78 過渡出力運転データ履歴 (R172 パルス引抜 1.39%)

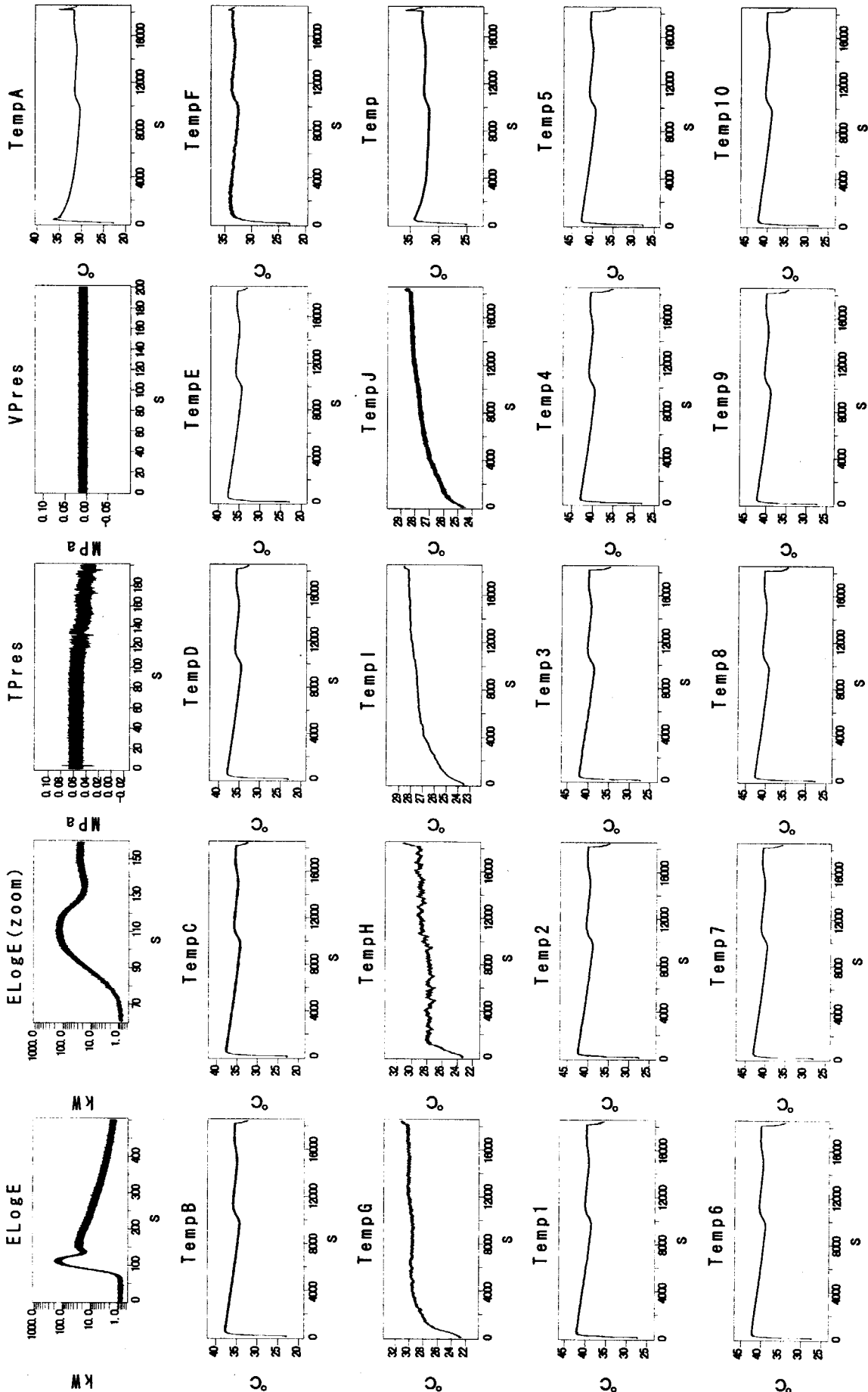
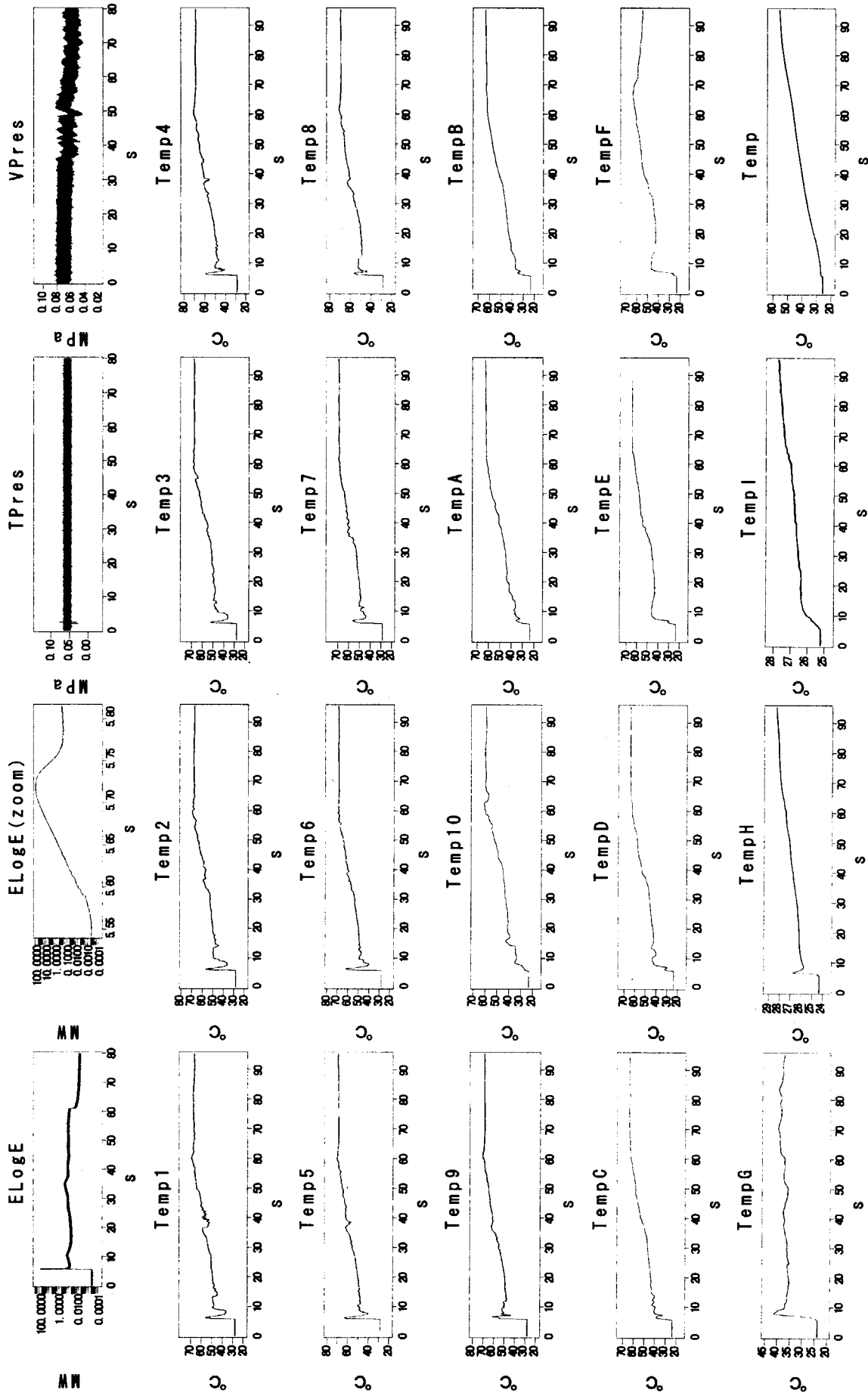


図 A79 過渡出力運転データ履歴 (R174 パルス引抜 0.52\$)



図A80 過渡出力運転データ履歴 (R175 ランプ引抜 2.98\$ 875cm/min)

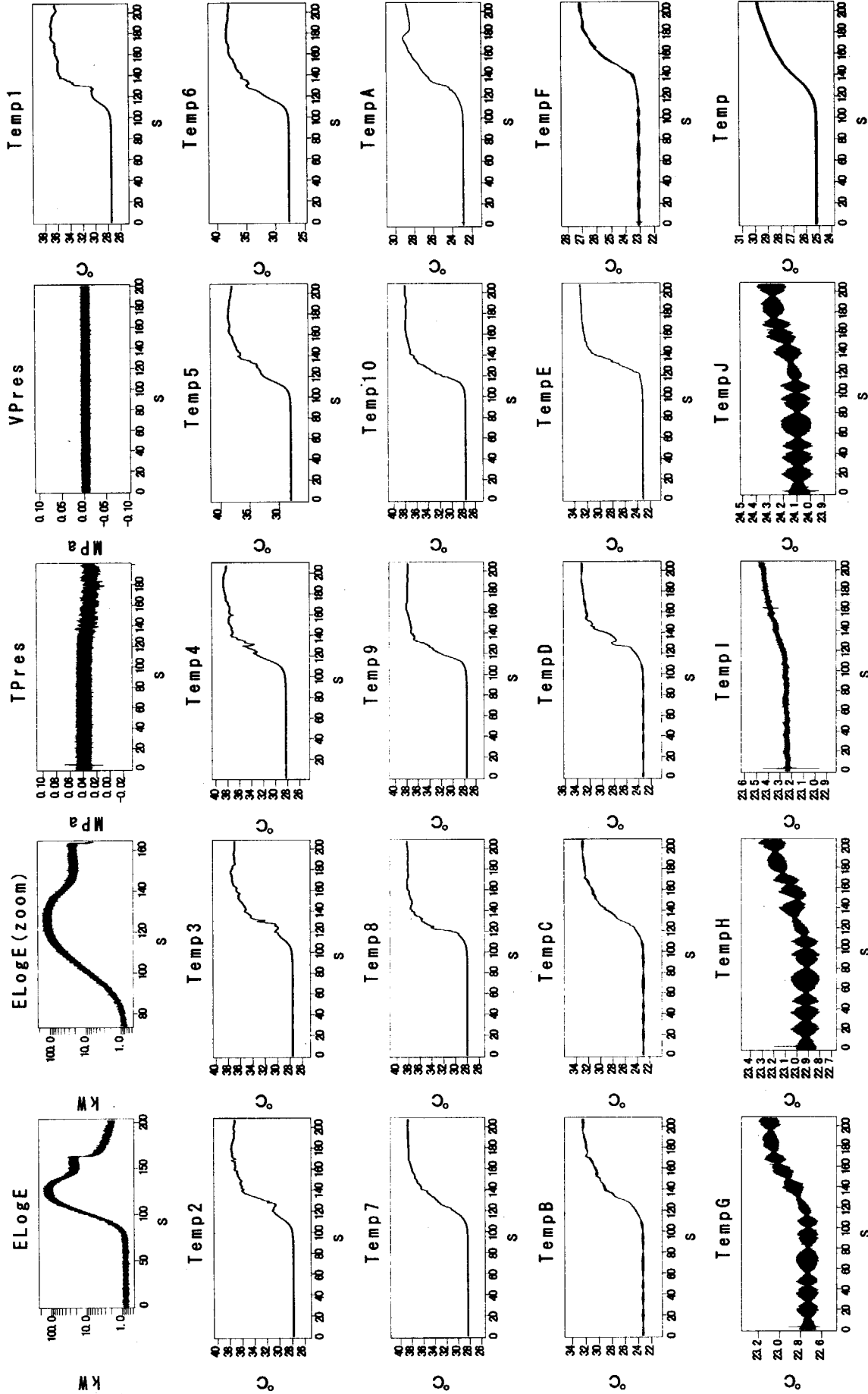


図 A81 過渡出力運転データ履歴 (R176 パルス引抜 0.50s)

# 国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

| 量     | 名称     | 記号  |
|-------|--------|-----|
| 長さ    | メートル   | m   |
| 質量    | キログラム  | kg  |
| 時間    | 秒      | s   |
| 電流    | アンペア   | A   |
| 熱力学温度 | ケルビン   | K   |
| 物質    | モル     | mol |
| 光度    | カンデラ   | cd  |
| 平面角   | ラジアン   | rad |
| 立体角   | ステラジアン | sr  |

表3 固有の名称をもつSI組立単位

| 量             | 名称     | 記号 | 他のSI単位による表現         |
|---------------|--------|----|---------------------|
| 周波数           | ヘルツ    | Hz | s <sup>-1</sup>     |
| 力             | ニュートン  | N  | m·kg/s <sup>2</sup> |
| 圧力, 応力        | パスカル   | Pa | N/m <sup>2</sup>    |
| エネルギー, 仕事, 熱量 | ジュール   | J  | N·m                 |
| 工率, 放射束       | ワット    | W  | J/s                 |
| 電気量, 電荷       | クーロン   | C  | A·s                 |
| 電位, 電圧, 起電力   | ボルト    | V  | W/A                 |
| 静電容量          | ファラド   | F  | C/V                 |
| 電気抵抗          | オーム    | Ω  | V/A                 |
| コンダクタンス       | ジーメンズ  | S  | A/V                 |
| 磁束            | ウェーバ   | Wb | V·s                 |
| 磁束密度          | テスラ    | T  | Wb/m <sup>2</sup>   |
| インダクタンス       | ヘンリー   | H  | Wb/A                |
| セルシウス温度       | セルシウス度 | °C |                     |
| 光度            | ルーメン   | lm | cd·sr               |
| 照射度           | ルクス    | lx | lm/m <sup>2</sup>   |
| 放射能           | ベクレル   | Bq | s <sup>-1</sup>     |
| 吸収線量          | グレイ    | Gy | J/kg                |
| 線量等量          | シーベルト  | Sv | J/kg                |

表2 SIと併用される単位

| 名称      | 記号        |
|---------|-----------|
| 分, 時, 日 | min, h, d |
| 度, 分, 秒 | °, ', "   |
| リットル    | l, L      |
| トン      | t         |
| 電子ボルト   | eV        |
| 原子質量単位  | u         |

1 eV=1.60218×10<sup>-19</sup>J  
1 u=1.66054×10<sup>-27</sup>kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

| 名称       | 記号  |
|----------|-----|
| オングストローム | Å   |
| バーン      | b   |
| バル       | bar |
| ガロン      | Gal |
| キュリー     | Ci  |
| レントゲン    | R   |
| ラド       | rad |
| レム       | rem |

1 Å=0.1nm=10<sup>-10</sup>m  
1 b=100fm<sup>2</sup>=10<sup>-28</sup>m<sup>2</sup>  
1 bar=0.1MPa=10<sup>5</sup>Pa  
1 Gal=1cm/s<sup>2</sup>=10<sup>-2</sup>m/s<sup>2</sup>  
1 Ci=3.7×10<sup>10</sup>Bq  
1 R=2.58×10<sup>-4</sup>C/kg  
1 rad=1cGy=10<sup>-2</sup>Gy  
1 rem=1cSv=10<sup>-2</sup>Sv

表5 SI接頭語

| 倍数                | 接頭語  | 記号 |
|-------------------|------|----|
| 10 <sup>18</sup>  | エクサ  | E  |
| 10 <sup>15</sup>  | ペタ   | P  |
| 10 <sup>12</sup>  | テラ   | T  |
| 10 <sup>9</sup>   | ギガ   | G  |
| 10 <sup>6</sup>   | メガ   | M  |
| 10 <sup>3</sup>   | キロ   | k  |
| 10 <sup>2</sup>   | ヘクト  | h  |
| 10 <sup>1</sup>   | デカ   | da |
| 10 <sup>-1</sup>  | デシ   | d  |
| 10 <sup>-2</sup>  | センチ  | c  |
| 10 <sup>-3</sup>  | ミリ   | m  |
| 10 <sup>-6</sup>  | マイクロ | μ  |
| 10 <sup>-9</sup>  | ナノ   | n  |
| 10 <sup>-12</sup> | ピコ   | p  |
| 10 <sup>-15</sup> | フェムト | f  |
| 10 <sup>-18</sup> | アト   | a  |

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局1985年刊行による。ただし, 1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは, JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- E C閣僚理事会指令では bar, barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

## 換算表

| 力 | N(=10 <sup>5</sup> dyn) | kgf      | lbf      |
|---|-------------------------|----------|----------|
|   | 1                       | 0.101972 | 0.224809 |
|   | 9.80665                 | 1        | 2.20462  |
|   | 4.44822                 | 0.453592 | 1        |

粘度 1Pa·s(N·s/m<sup>2</sup>)=10P(ポアズ)(g/(cm·s))

動粘度 1m<sup>2</sup>/s=10<sup>4</sup>St(ストークス)(cm<sup>2</sup>/s)

| 圧 | MPa(=10bar)              | kgf/cm <sup>2</sup>      | atm                      | mmHg(Torr)              | lbf/in <sup>2</sup> (psi) |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|
|   | 1                        | 10.1972                  | 9.86923                  | 7.50062×10 <sup>3</sup> | 145.038                   |
| 力 | 0.0980665                | 1                        | 0.967841                 | 735.559                 | 14.2233                   |
|   | 0.101325                 | 1.03323                  | 1                        | 760                     | 14.6959                   |
|   | 1.33322×10 <sup>-4</sup> | 1.35951×10 <sup>-3</sup> | 1.31579×10 <sup>-3</sup> | 1                       | 1.93368×10 <sup>-2</sup>  |
|   | 6.89476×10 <sup>-3</sup> | 7.03070×10 <sup>-2</sup> | 6.80460×10 <sup>-2</sup> | 51.7149                 | 1                         |

| エネルギー・仕事・熱量 | J(=10 <sup>7</sup> erg)   | kgf·m                     | kW·h                      | cal(計量法)                  | Btu                       | ft·lbf                    | eV                       |
|-------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
|             | 1                         | 0.101972                  | 2.77778×10 <sup>-7</sup>  | 0.238889                  | 9.47813×10 <sup>-4</sup>  | 0.737562                  | 6.24150×10 <sup>18</sup> |
|             | 9.80665                   | 1                         | 2.72407×10 <sup>-6</sup>  | 2.34270                   | 9.29487×10 <sup>-3</sup>  | 7.23301                   | 6.12082×10 <sup>19</sup> |
|             | 3.6×10 <sup>6</sup>       | 3.67098×10 <sup>5</sup>   | 1                         | 8.59999×10 <sup>5</sup>   | 3412.13                   | 2.65522×10 <sup>6</sup>   | 2.24694×10 <sup>25</sup> |
|             | 4.18605                   | 0.426858                  | 1.16279×10 <sup>-6</sup>  | 1                         | 3.96759×10 <sup>-3</sup>  | 3.08747                   | 2.61272×10 <sup>19</sup> |
|             | 1055.06                   | 107.586                   | 2.93072×10 <sup>-4</sup>  | 252.042                   | 1                         | 778.172                   | 6.58515×10 <sup>21</sup> |
|             | 1.35582                   | 0.138255                  | 3.76616×10 <sup>-7</sup>  | 0.323890                  | 1.28506×10 <sup>-3</sup>  | 1                         | 8.46233×10 <sup>18</sup> |
|             | 1.60218×10 <sup>-19</sup> | 1.63377×10 <sup>-20</sup> | 4.45050×10 <sup>-26</sup> | 3.82743×10 <sup>-20</sup> | 1.51857×10 <sup>-22</sup> | 1.18171×10 <sup>-19</sup> | 1                        |

1 cal= 4.18605J (計量法)  
= 4.184J (熱化学)  
= 4.1855J (15°C)  
= 4.1868J (国際蒸気表)  
仕事率 1 PS(仏馬力)  
= 75 kgf·m/s  
= 735.499W

| 放射能 | Bq                   | Ci                        |
|-----|----------------------|---------------------------|
|     | 1                    | 2.70270×10 <sup>-11</sup> |
|     | 3.7×10 <sup>10</sup> | 1                         |

| 吸収線量 | Gy   | rad |
|------|------|-----|
|      | 1    | 100 |
|      | 0.01 | 1   |

| 照射線量 | C/kg                  | R    |
|------|-----------------------|------|
|      | 1                     | 3876 |
|      | 2.58×10 <sup>-4</sup> | 1    |

| 線量当量 | Sv   | rem |
|------|------|-----|
|      | 1    | 100 |
|      | 0.01 | 1   |

