

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。

2001. 6. 20

[技術情報室]

ハルデンプロジェクト出張報告

ATR実証炉燃料の第3回出力急昇試験
(IFA-591照射試験)

1995年5月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001



ハルデンプロジェクト出張報告
ATR実証炉燃料の第3回出力急昇試験
(IFA-591照射試験)

報告者 矢野 総一郎*
飯島 隆**

要 旨

ノルウェーのハルデン市にあるOECD Halden Reactor Project (以下ハルデンという) へ、1995年1月31日から2月12日までの約2週間出張した。出張の目的は、次の2点であり、ほぼ当初の目的を達成できた。

- ①ハルデンにおいて実施するATR実証炉仕様燃料の第3回出力急昇試験 (IFA-591.3) に立会った結果、以下の通りである。
 - ・燃料破損しきい線出力を確認することを目的にシングル出力急昇試験 (保持時間1時間) を実施し、各燃料棒毎に到達線出力が、それぞれ64kW/m、60kW/m、60kW/m、であり、過去の知見から予想される破損線出力 (37kW/m以下) より高い線出力でも破損のないことを確認した。
 - ・出力急昇時の燃料挙動データを取得した。
 - ・これらの燃料挙動は、第1回のマルチステップの試験結果と同様であることを確認した。
- ②シェラー研究所において実施する照射後試験 (IFA-555/1中間結果、IFA-554/555, 565計画) 打ち合わせ及び施設見学

本報告では、出力急昇試験に供したATR実証炉仕様燃料の仕様、「ふげん」におけるベース照射データ、ハルデンにおける出力急昇試験結果及びシェラー研究所において実施する照射後試験打ち合わせについて述べる。

* 核燃料技術開発部 プルトニウム燃料開発室

** ふげん発電所 技術課 (ハルデンプロジェクトへ海外留学中)

目 次

1. まえがき	1
2. スケジュール	2
3. IFA-591セグメント燃料の出力急昇試験	3
3.1 全体計画	3
3.1.1 試験目的	3
3.1.2 スケジュール	3
3.1.3 燃料仕様	3
3.1.4 出力急昇試験用燃料の試験前非破壊試験	3
3.1.5 出力急昇試験	4
3.1.6 照射後試験	5
3.1.7 まとめ	6
3.2 第3回出力急昇試験	23
3.2.1 目的	23
3.2.2 燃料仕様	23
3.2.3 試験前の非破壊試験結果	23
3.2.4 出力急昇試験の試験方法	25
3.2.5 出力急昇試験前のハルデンでの照射履歴	27
3.2.6 被覆管伸び計のリファレンスデータ採取	28
3.2.7 出力急昇試験結果	30
4. PIEデータについての打ち合わせ	70
5. まとめ	73
別添1 パワーピーク (NDS) の影響評価	74
別添2 リハーサル試験指示書	76
別添3 出力急昇試験指示書	78

<データ集>

1. リハーサル時の3ペンレコーダ出力
2. リハーサル時の8ペンレコーダ出力
3. 出力急昇試験時の3ペンレコーダ出力
4. 出力急昇試験時の8ペンレコーダ出力
 - 3ペンレコーダ：伸び計出力、リグのポジションインジケータ出力（2種類）
 - 8ペンレコーダ：伸び計出力、中性子検出器出力、リグのポジションインジケータ出力及びγモニター出力

1. まえがき

ノルウェーのハルデン市にあるOECD Halden Reactor Project (以下ハルデンという) へ、1995年1月31日から2月12日までの約2週間出張した。出張の目的は、次の2点であり、ほぼ当初の目的を達成できた。

- ①ハルデンにおいて実施するATR実証炉仕様燃料の第3回出力急昇試験 (IFA-591.3) に立会い
 - ・燃料破損しきい線出力を確認する
 - ・出力急昇時の燃料挙動データを取得する
- ②シェラー研究所において実施する照射後試験 (IFA- 555/1中間結果、IFA-554/555, 565計画) 打ち合わせ及び施設見学

本報告では、出力急昇試験に供したATR実証炉仕様燃料の仕様、「ふげん」におけるベース照射データ、ハルデンにおける出力急昇試験結果及びシェラー研究所において実施する照射後試験打ち合わせについて述べる。

2. スケジュール

出張スケジュールを表2-1に示す。

出力急昇試験（ハルデン研究所）は、ハルデンプロジェクトのMr. Minagawa, Mr. Svanholm, Mr. Haaland, Miss. A-C Pettersenの実験グループが実施し、動燃から飯島（ハルデンプロジェクトへ海外留学中）、矢野（海外出張者）が立ち合った。平成7年2月2日に、状況を確認の上、同日15時からプレコンディショニングを開始し、2月8日まで5日間継続した。2月8日に伸び計のリファレンスデータを取得するとともに、明日の出力急昇試験のリハーサルを実施した。この結果1本（IFA-591-9）の燃料に取り付けた伸び計の出力が変化しないことから、対応策を検討し、リハーサルにおいて出力が得られる見通しを得た。2月8日に3本の燃料の出力急昇試験を連続して実施しつつ、燃料が破損していないことを確認して試験を終了した。

PIE結果打ち合わせ（シェラー研究所）は、2月3日にInstitutt for Energiteknikk (IFE) からMr. Lunde, Mr. Arnesen, Mr. Ingebrigtsen, Mr. Jenssen, Miss. Oberländerが、動燃から飯島、矢野が出席し、シェラー研究所において実施しているIFA-555/1の照射後試験の中間結果及びこれから実施するIFA-554/555, 591の照射後試験計画について打ち合わせた。また、（研究炉JEEP-II、ハルデン炉用）燃料製造施設及び照射後試験施設を見学した。

表2-1 出張スケジュール

平成 年 月 日	曜	訪問先・会議名	記事
平成7年1月31日	火		成田発→パリ
2月 1日	水		パリ→オスロ→ハルデン着
2日	木	ハルデン研究所（ハルデンプロジェクト）	プレコン状況立会 出力急昇試験方法打ち合わせ
3日	金	シェラー研究所（ハルデンプロジェクト）	照射後試験打ち合わせ （ハルデン≧シェラー）
4日	土		休日
5日	日		休日
6日	月	ハルデン研究所（ハルデンプロジェクト）	出力急昇試験準備
7日	火	〃	〃
8日	水	〃	伸び計のリファレンスデータ取得
9日	木	〃	出力急昇試験立会
10日	金	〃	データ整理
11日	土		ハルデン→オスロ→
12日	日		→成田着

3. IFA-591 セグメント燃料の出力急昇試験

3.1 全体計画

3.1.1 試験計画

新型転換炉（ATR）実証炉燃料の開発を行うために、ふげんにてベース照射を行った実証炉用MOX燃料について、ハルデン炉において出力急昇試験を行い、以下の目的を達成する。

- (1) ATR実証炉の安全審査に資するため、これまでに得られている軽水炉の出力急昇試験データが、ATR実証炉燃料に適用できることの確認を行う。また、ATR実証炉燃料の破損しきい値を求める。
 - (2) 改良型燃料（Zrライナー付き被覆管、中空ペレット）の標準燃料に対するPCI特性の改善効果を確認する。
 - (3) 異常な過渡変化における挙動を模擬する燃料挙動解析コードの検証に資する。
- なお、本試験は国の安全研究としても位置付けられている。

3.1.2 スケジュール

表3.1-1に出力急昇試験に係わるスケジュールを示す。ふげんにおいて集合体2体のベース照射を行い、原研で非破壊試験を行った後にハルデンへ輸送し、出力急昇試験を行う。出力急昇試験を行うセグメント燃料は計40本あり、平成5年から4回に分けて輸送を行い試験する。出力急昇試験を行う燃料は、原研での非破壊試験とは別にハルデンにおいて試験前の非破壊試験を行う。また、出力急昇試験後にはシェラー研究所において照射後試験を実施する。出力急昇試験を行わない燃料については大洗工学センターにて破壊試験を行う。すべての試験は平成10年度までに終了する予定である。

3.1.3 燃料仕様

ふげんにおいてベース照射を行う集合体にはPPFE06とPPFE07の2体あり、それぞれ、ベース照射の燃焼度が異なる。集合体の構造はATR実証炉と同様に36本3層クラスター構造である。36本のうち6本の燃料は短尺燃料6本から構成されているセグメント燃料であり、図3.1-1に示すように内層と中間層に装荷されている。燃料の種類には表3.1-2に示すようにType-I～IVの4種類があり、4種類の燃焼度の異なるセグメント燃料が得られる。ベース照射の結果を表3.1-3に示す。また、燃料の主要な仕様及び構造図を表3.1-4、図3.1-2に示す。

出力急昇試験に供する燃料のリストを表3.1-5に示す。

3.1.4 出力急昇試験用燃料の試験前非破壊試験

出力急昇試験に供する燃料は、ハルデンへの輸送前後に原研に及びシェラー研究所にて、非破壊試験を実施し、燃料の健全性を確認する。原研での非破壊試験は、外観観察、燃料要素全長測定、直径測定、X線透過試験、 γ スキャンについて行う。この他に、長尺燃料について渦電流探傷試験、酸化膜厚さの測定を行い参考とする。シェラーでの非破壊試験は、外観検査、寸法測定、外径プロフィロメトリ、中性子ラジオグラフィ、渦電流探傷試験について行う。

3.1.5 出力急昇試験

出力急昇試験に用いるリグは、セグメント燃料3本を装荷することができる。出力急昇の方法は、以下のどちらかである。

(1)リグの下部には出力変化させるための ^3He の流れるコイルがある。出力急昇試験はコイル内の ^3He の圧力を変化させることにより、1本ずつの燃料を順次、試験する。

あるいは、

(2)リグ内のセグメント燃料を水圧により上下させることで実施する。まず、セグメント燃料をリグ上部のパーク位置（シールドされて線出力が低い）から所定の高い線出力が得られる出力急昇位置（(1)の ^3He コイル部に対応）に降下させることにより、1本ずつの燃料を順次、試験する。

冷却水の温度及び圧力は、それぞれ552～559K（279～286℃）、 $7.06 \times 10^6 \text{Pa}$ （72kg/cm²）である。

出力急昇試験の条件は、表3.1-6,7、及び図3.1-3,4 に示すように、1種類のマルチステップ出力急昇試験と3種類のシングルステップ出力急昇試験を行う。各出力急昇試験の内容について以下に示す。

(1)マルチステップ出力急昇試験

マルチステップモードは、具体的な過渡事象を模擬していないが、破損しきい線出力に対する評価を1回の試験で行うことができる。そのため、各燃料要素の破損しきい線出力の燃焼度依存性及び燃料パラメータの依存性を調べることを目的とする。

図3.1-5,6 にBWRのマルチステップ出力急昇試験の公開データを到達線出力密度－燃焼度、到達線出力密度－保持時間の図中にプロットした。これらの図から UO_2 燃料のしきい線出力は図中の実線のように表わすことができる。一方、ATR燃料の破損しきい線出力は、これまでの試験データから UO_2 燃料より約8kW/m高くなることが予測されている。このことより、図3.1-5にATR燃料の破損しきい線出力を点線及び実線で想定した。本出力急昇試験の試験条件は想定した破損しきい線出力をもとに、それより低い線出力で破損することも考えて表3.1-6に示すように設定した。その設定理由を以下に示す。

① 線出力上昇幅： $\Delta P=5\text{kW/m}$

最大線出力までに要するステップを回数等考慮し、他の UO_2 燃料の出力急昇試験を同じ値に設定した。

② 線出力上昇速度： $P=1.0\text{kW/m/s}$

ATR実証炉設計において想定される過渡事象のうちもっとも速い値に設定した。

③ 保持時間： $T=3600\text{s}$

破損の判断をするためには、長いほうがよいが、 UO_2 燃料のデータとの比較の観点から、他の出力急昇試験の値と同じに設定している。

④ プレコンディショニングレベル： $P_0=25\text{kW/m}$

想定した破損しきい曲線において、もっとも高い燃焼度の燃料では、約

30kW/mで破損する可能性があるため、これより低い25kW/mとした。

- ⑤ プレコンディショニング時間： $T_{pre}=4.32 \times 10^5 \text{s}$ (5d)
 ベース照射終了時の出力レベルとプレコンディショニングレベルの差を考慮して決めた。

マルチステップ出力急昇試験を行う燃料要素には、被覆管伸び計または内圧計のいずれかを取り付け、破損検出とPCMI挙動データまたはFPガス放出挙動データを取得する。

(2) シングルステップ出力急昇試験

シングルステップ出力急昇試験は、具体的な過渡事象を模擬しており、本試験では設計上想定されるもっともシビアな条件での燃料の健全性評価とマルチステップ出力急昇試験で得られた破損しきい線出力を確認するための試験を行う。

本試験では、Type-A, B, B'の3種類のシングルステップ出力急昇試験を行う。図3.1-7にATR実証炉設計において模擬した過渡事象について示す。図3.1-8,9にATR実証炉設計において想定している過渡事象とType-Aの条件との関係を示す。また、図3.1-10, 11にシングルステップ出力急昇試験の公開データの到達線出力に対する線出力上昇幅と保持時間との関係を示した。本試験で行うType-Aの試験条件を図中に示した。Type-Aの条件は、到達線出力、線出力幅のいずれでも破損しきい値を上回る条件であり、設計時に想定している過渡事象を包絡している。

Type-B, B'の試験は、マルチステップ出力急昇試験で求められた破損しきい値を確認するために行う試験である。各試験の条件を表3.1-7と以下に示す。

① Type-A

到達線出力、線出力上昇速度、プレコンディショニング時間についてはマルチステップ出力急昇試験と同じとする。線出力上昇幅は、ATR実証炉設計において要求しているもっともシビアな線出力上昇幅である30kW/mと設定した。

② Type-B, B'

Type-B及びB'のシングルステップ出力急昇試験は、マルチステップ出力急昇試験の確認のために行う。Type-Bの試験条件は、マルチステップ出力急昇試験において破損した出力レベルより5kW/m低い出力レベルに設定し、破損が起こらないことの確認をする。

一方、Type-B'の試験は破損が発生した出力レベルと同じ到達線出力レベルとし、破損の起こることを確認する。その他の試験条件はマルチステップ出力急昇試験と同じとする。

シングルステップ出力急昇試験を行う燃料要素にはすべての燃料に被覆管伸び計を取り付け、破損検出と過渡時のPCMI挙動のオンラインデータを取得する。

3.1.6 照射後試験

出力急昇試験の終了したセグメント燃料は、シェラー研究所で照射後試験を行う。試験項目について以下に示す。

(1)非破壊試験

- ・ 外観観察
- ・ 中性子ラジオグラフィ
- ・ 渦電流探傷試験
- ・ γ スキャン

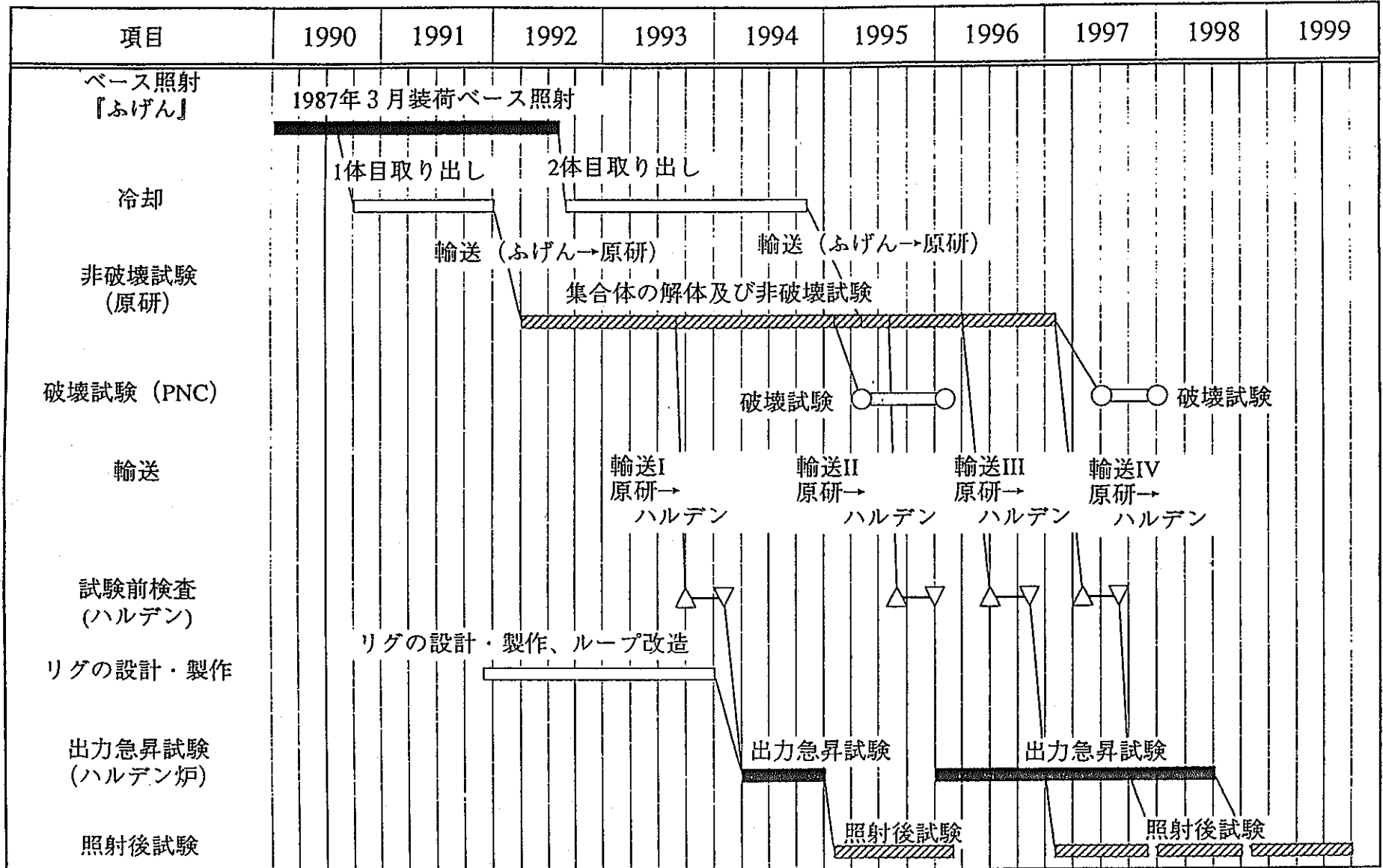
(2)破壊試験

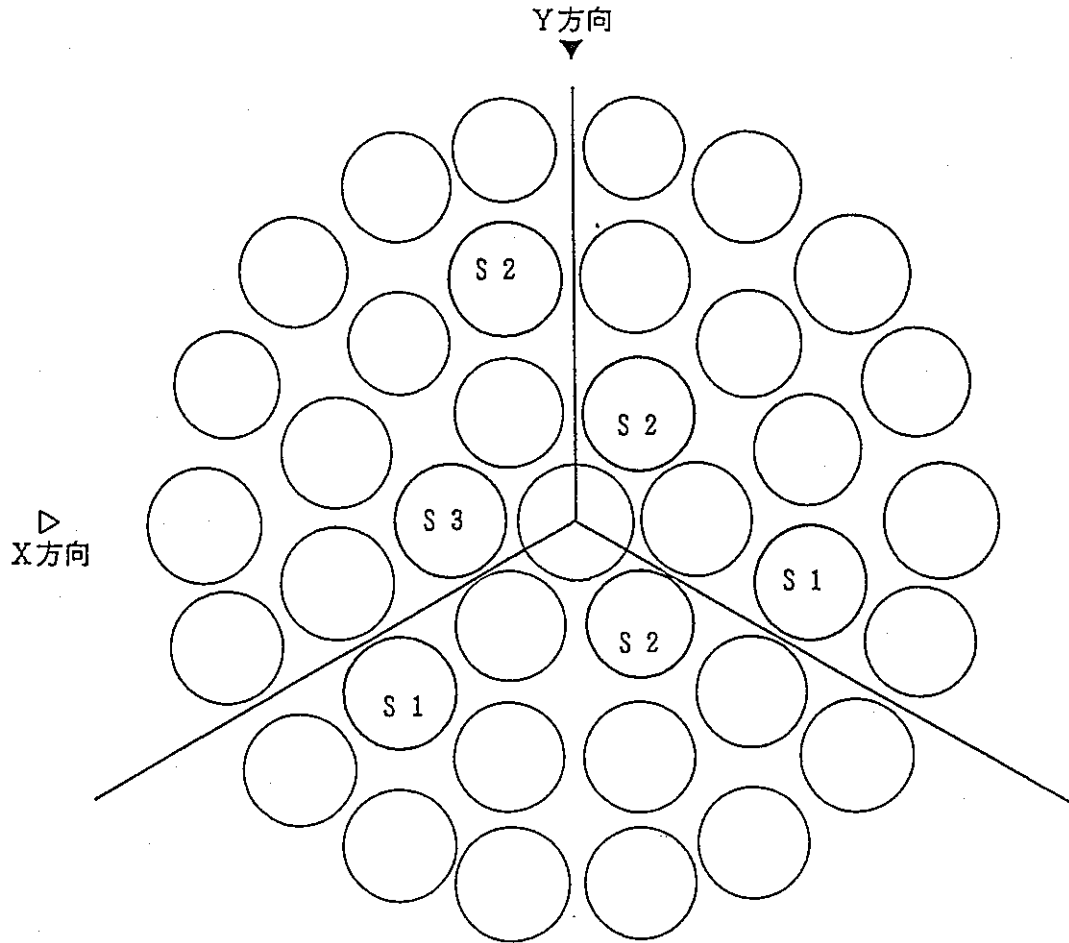
- ・ パンクチャー試験
- ・ 金相
- ・ マイクロ γ スキャン
- ・ α 、 β/γ オートラジオグラフィ
- ・ 燃焼度分析
- ・ 残留ガス分析
- ・ 密度測定
- ・ 被覆管内面観察

3.1.7 まとめ

本試験は、ATR実証炉燃料の開発を目的に、標準燃料及び改良型燃料の出力急昇試験を行い、破損限界及び過渡時の照射挙動を調べる。各燃料の破損限界、照射データ及び照射後試験データは、燃焼度のパラメータで整理し、各タイプの燃料の出力変化時の照射挙動を総合的に解析評価する。

表3.1-1 ATR実証炉燃料の出力急昇試験スケジュール





		上部短尺 燃料要素	中間短尺燃料要素				下部短尺 燃料要素
S 1	被覆管	Zry-2	Zry-2	Zry-2	Zry-2	Zry-2	Zry-2
	ペレット	中実	中実	中空	中空	中実	中実
S 2	被覆管	Zry-2	Zrライナ	Zrライナ	Zrライナ	Zrライナ	Zry-2
	ペレット	中実	中実	中空	中空	中実	中実
S 3	被覆管	Zry-2	Zrライナ	Zrライナ	Zrライナ	Zry-2	Zry-2
	ペレット	中実	中実	中実	中実	中実	中実

図3.1-1 照射用セグメント燃料集合体のセグメント燃料要素配置

表3.1-2 燃料要素のタイプ

燃料要素のタイプ	ペレット	被覆管
Type-I	中実	Zry-2
Type-II	中空	Zry-2
Type-III	中実	Zrライナー
Type-IV	中空	Zrライナー

表3.1.3 ベース照射結果

集合体	層位置	セグメント位置	経験最大* 線出力密度 kW/m	到達燃焼度 ** GWd/t	核分裂物質濃度 *** (²³⁵ U+ ²³⁹ Pu+ ²⁴¹ Pu)	
					(U+Pu) wt%	
集合体 I (PPFE07) 16サイクル 平均燃焼度 19GWd/t	BI-1 (内層)	1	18.1	約15.5	約2.2	
		2		約14.8	約2.2	
		3		約16.6	約2.1	
		4		約16.3	約2.1	
	BI-2 (中間層)	1	23.7	約21.2	約1.7	
		2		約20.4	約1.8	
		3		約22.6	約1.6	
		4		約22.2	約1.7	
	BO-1 (外層)		23.8	約19.7	—	
	集合体 II (PPFE06) 19サイクル 平均燃焼度 27GWd/t	BI-3 (内層)	1	20.7	約24.4	約2.1
			2 (中実)		約22.9	約2.3
2 (中空)			—		約2.3	
3 (中実)			約25.2		約2.1	
3 (中空)			—		約2.0	
4			約24.5		約2.1	
BI-2 (中間層)		1	24.7	約31.5	約1.5	
		2 (中実)		約29.8	約1.7	
		2 (中空)		—	約1.7	
		3 (中実)		約32.4	約1.4	
		3 (中空)		—	約1.4	
		4		約31.6	約1.5	
BO-1 (外層)			—	—	—	

* FODESからの集合体データを基に、炉燃室で内層、中間層、外層ピンの軸方向の平均的な線出力分布及びその最大値を求めた。その最大値のうち、ベース照射期間中の最大値を求めた。

** Eシート 炉燃-06-111「セグメント燃料 (E07) の中間短尺燃料要素の燃料組成評価」及びEシート 炉燃-06-196「照射用セグメント燃料集合体 (E06) の燃料組成の算出」(WIMS値を選択) から引用した。

*** 同上Eシート中の核種組成から計算した。

表3.1-4 燃料要素の主要仕様

	中間短尺燃料	長尺燃料
I. ペレット		
種類	中実 / 中空	同 左
材質	MOX	同 左
外径	12.4 mm	同 左
内径(中空ペレット)	3.5 mm	同 左
高さ	13.0 mm	同 左
形状	ディッシュ・チャンファ付 (中空ペレットはチャンファのみ)	同 左
密度	95%TD	同 左
核分裂物質質量	3.71wt%	3.71wt% 内層中間層/2.2wt% 外層
II. 被覆管		
種類	Zry-2 / Zrライナ付Zry-2	同 左
外径	14.5 mm	同 左
内径	12.7 mm	同 左
Zrライナ層厚さ (Zrライナ付)	0.075 mm	同 左
III. 燃料要素		
全長	520 mm	4398 mm
有効長	365 mm	3647 mm
封入ガス	He	同 左
封入圧力	3 Kg/cm ²	同 左
プレナム体積比	0.2	0.1
端部出力調整ペレット長	10 mm (上端, 下端)	—

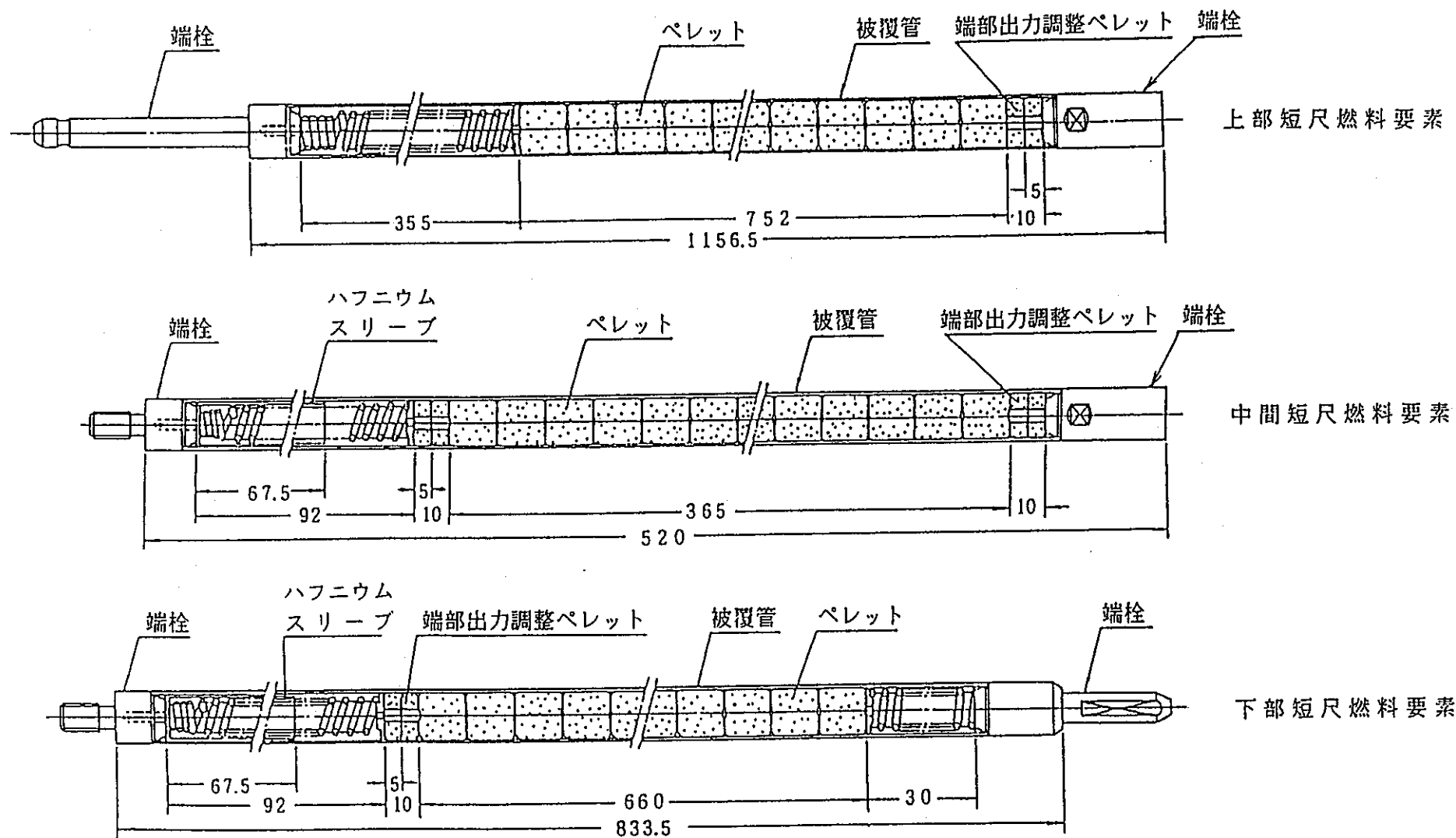


図3.1-2 セグメント燃料構造図

表3.1-5 ランプ試験に供する燃料のリスト

輸送	試験No.	要素位置	燃料No.	燃料タイプ	燃焼度	ランプ試験モード	計装
Transport I 1993	IFA 591-1	I 3	A4004	I	1	Multi	EC
	IFA 591-2	I 5	A6002	III	1	Multi	EC
	IFA 591-3	M 8	A4015	I	2	Multi	EC
	IFA 591-4	I 3	A4005	I	1	Multi	PF
	IFA 591-5	I 5	A6014	III	1	Multi	PF
	IFA 591-6	M 8	A4018	I	2	Multi	PF
	IFA 591-7	I 1	A4012	I	1	Type-A	EC
	IFA 591-8	I 1	A6016	III	1	Type-A	EC
	IFA 591-9	I 1	A6018	III	1	Type-B	EC
	IFA 591-10	M 16	A4006	I	2	Type-B	EC
	IFA 591-11	M 16	A4017	I	2	Type-B'	EC
	IFA 591-12	M 16	A5009	II	2	spare rod	T.B.D.
Transport II 1995	IFA 591-13	M8	A5003	II	2	Multi	EC
	IFA 591-14	M9	A5017	II	2	Multi	PF
	IFA 591-15	M12	A6010	III	2	Multi	EC
	IFA 591-16	M12	A6022	III	2	Multi	PF
	IFA 591-17	M12	A7010	IV	2	Multi	EC
	IFA 591-18	M12	A7011	IV	2	Multi	PF
	IFA 591-19	I 3	A4002	I	3	Multi	EC
	IFA 591-20	I 3	A4003	I	3	Multi	PF
	IFA 591-21	I 5	A6001	III	3	Multi	EC
	IFA 591-22	I 5	A6006	III	3	Multi	PF
	IFA 591-23	M12	A4009	I	4	Multi	EC
	IFA 591-24	M8	A4010	I	4	Multi	PF
Transport III 1996	IFA 591-25	M8	A5011	II	4	Multi	EC
	IFA 591-26	M8	A5016	II	4	Multi	PF
	IFA 591-27	M12	A6009	III	4	Multi	EC
	IFA 591-28	M12	A6017	III	4	Multi	PF
	IFA 591-29	M12	A7001	IV	4	Multi	EC
	IFA 591-30	M12	A7005	IV	4	Multi	PF
	IFA 591-31	I 1	A4007	I	3	Type-B	EC
	IFA 591-32	I 1	A6012	III	3	Type-B	EC
	IFA 591-33	I 1	A6015	III	3	Type-B'	EC
	IFA 591-34	M16	A4011	I	4	Type-B	EC
	IFA 591-35	M16	A4019	I	4	Type-B'	EC
	IFA 591-36	I 3	A5005	II	1	spare rod	T.B.D.
Transport IV 1997	IFA 591-37	I 5	A7006	IV	1	spare rod	T.B.D.
	IFA 591-38	I 3	A5002	II	3	spare rod	T.B.D.
	IFA 591-39	M16	A5012	II	4	spare rod	T.B.D.
	IFA 591-40	I 5	A7002	IV	3	spare rod	T.B.D.

燃料タイプ I:Solid,Zry-2 II:Hollow,Zry-2 III:Solid, Zr-liner IV:Hollow,Zr-liner
燃焼度 1 : 13.5Gwd/t 2 : 18.6Gwd/t 3 : 24Gwd/t 4 : 32Gwd/t

表3.1-6 マルチステップ出力急昇試験条件

項 目	条 件
線出力上昇幅 (ΔP)	5 KW/m
線出力上昇速度 (P)	1.0 KW/ m \cdot S
保持時間 (T)	60 min
プレコンディショニングレベル (P)	25 KW/m
プレコンディショニング時間 (T)	5 days

表3.1-7 シングルステップ出力急昇試験条件

項 目	Type -A	Type - B	Type - B'
到達線出力密度 (P_{max})	60 KW/m	* 1	* 1
線出力上昇幅 (ΔP)	30 KW/m	* 1	* 1
線出力上昇速度 (P)	1.0 KW/m/ \cdot S	1.0 KW/ m \cdot S	1.0 KW/ m \cdot S
保持時間 (T)	2 min	60 min	60 min
プレコンディショニングレベル (P)	30 KW/m	25 KW/m	25 KW/m
プレコンディショニング時間 (T)	5 days	5 days	5 days

* 1 マルチステップ出力急昇試験より定める。

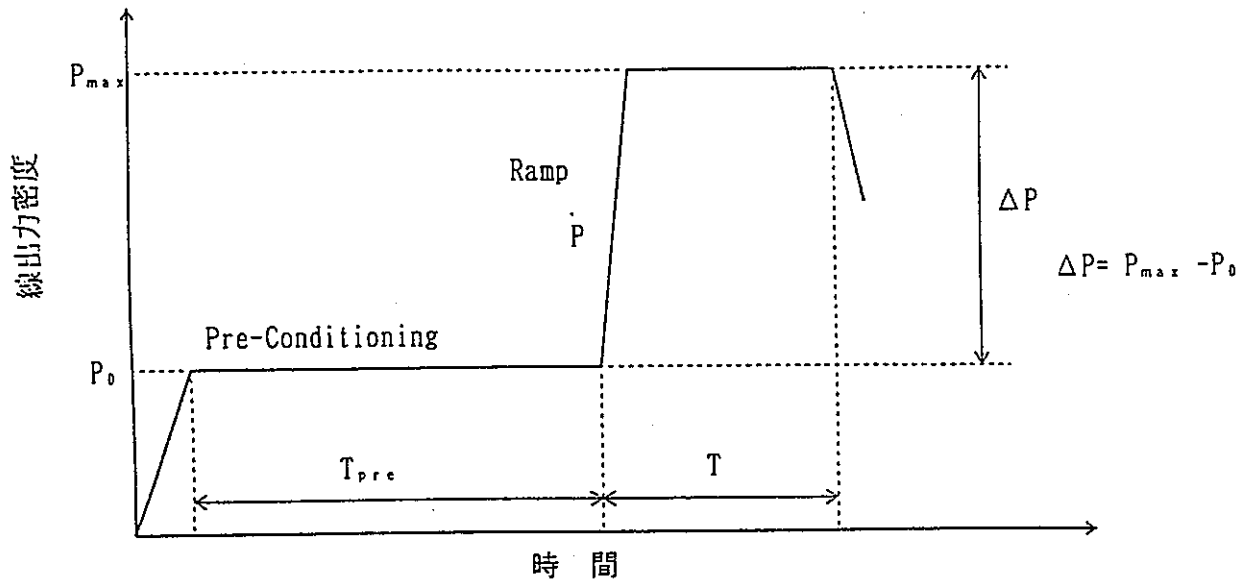


図3.1-3 シングルステップ出力急昇試験条件

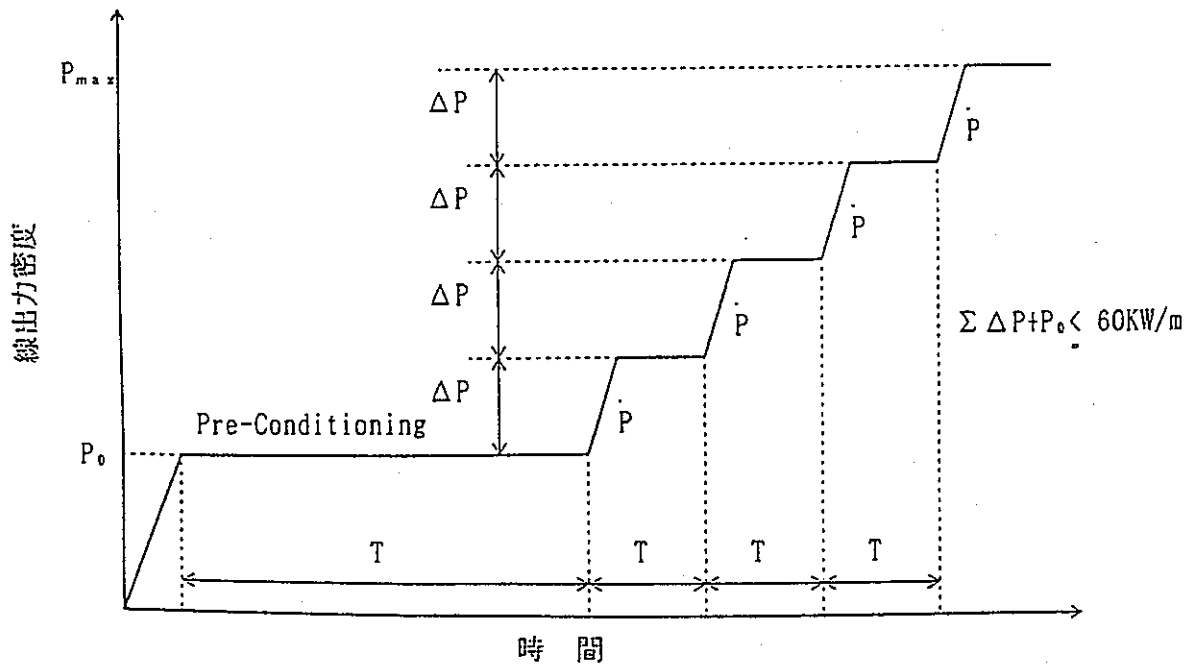


図3.1-4 マルチステップ出力急昇試験条件

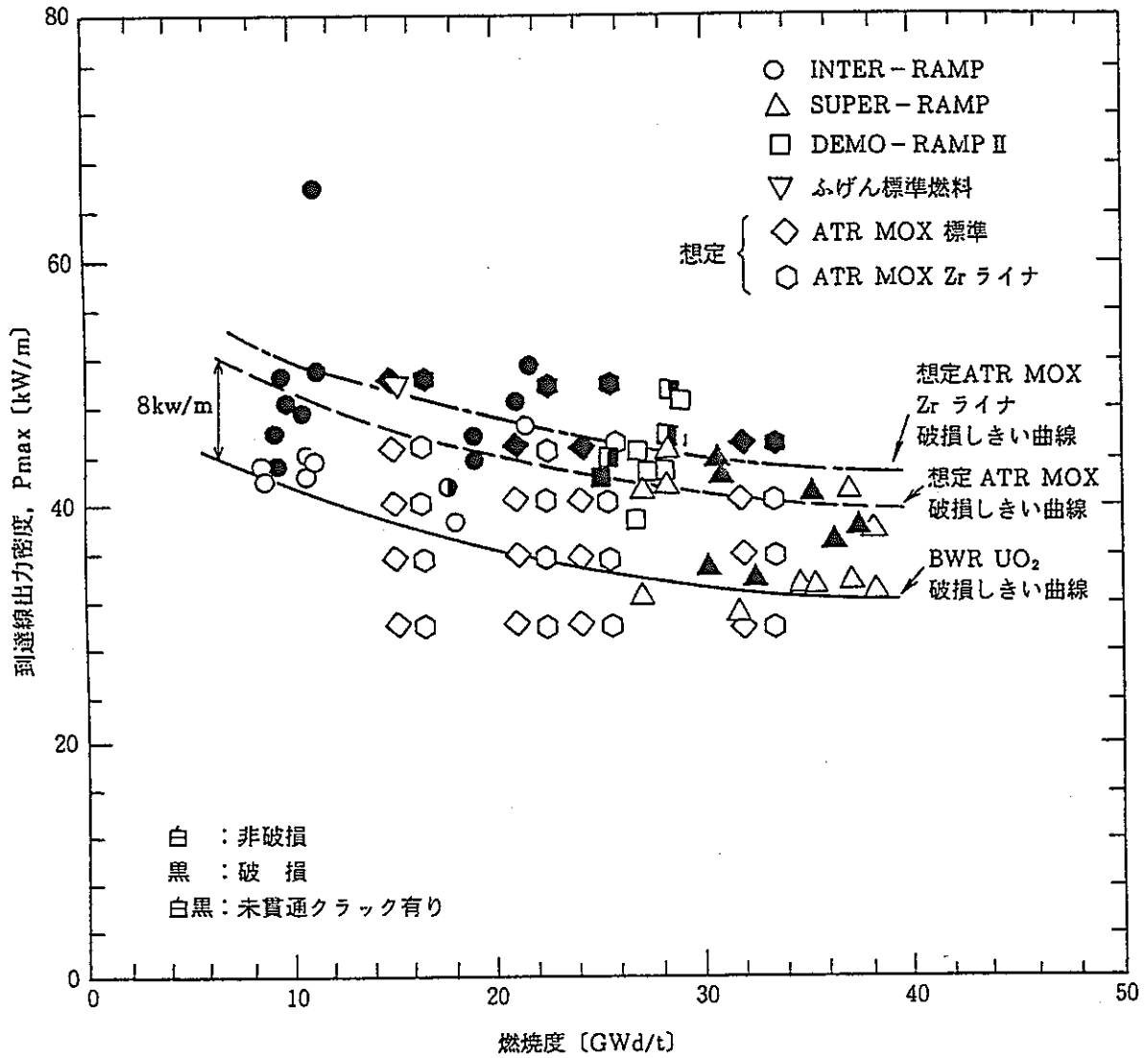


図3.1-5 BWR燃料マルチステップ出力急昇試験結果の到達線出力密度と燃焼度の関係

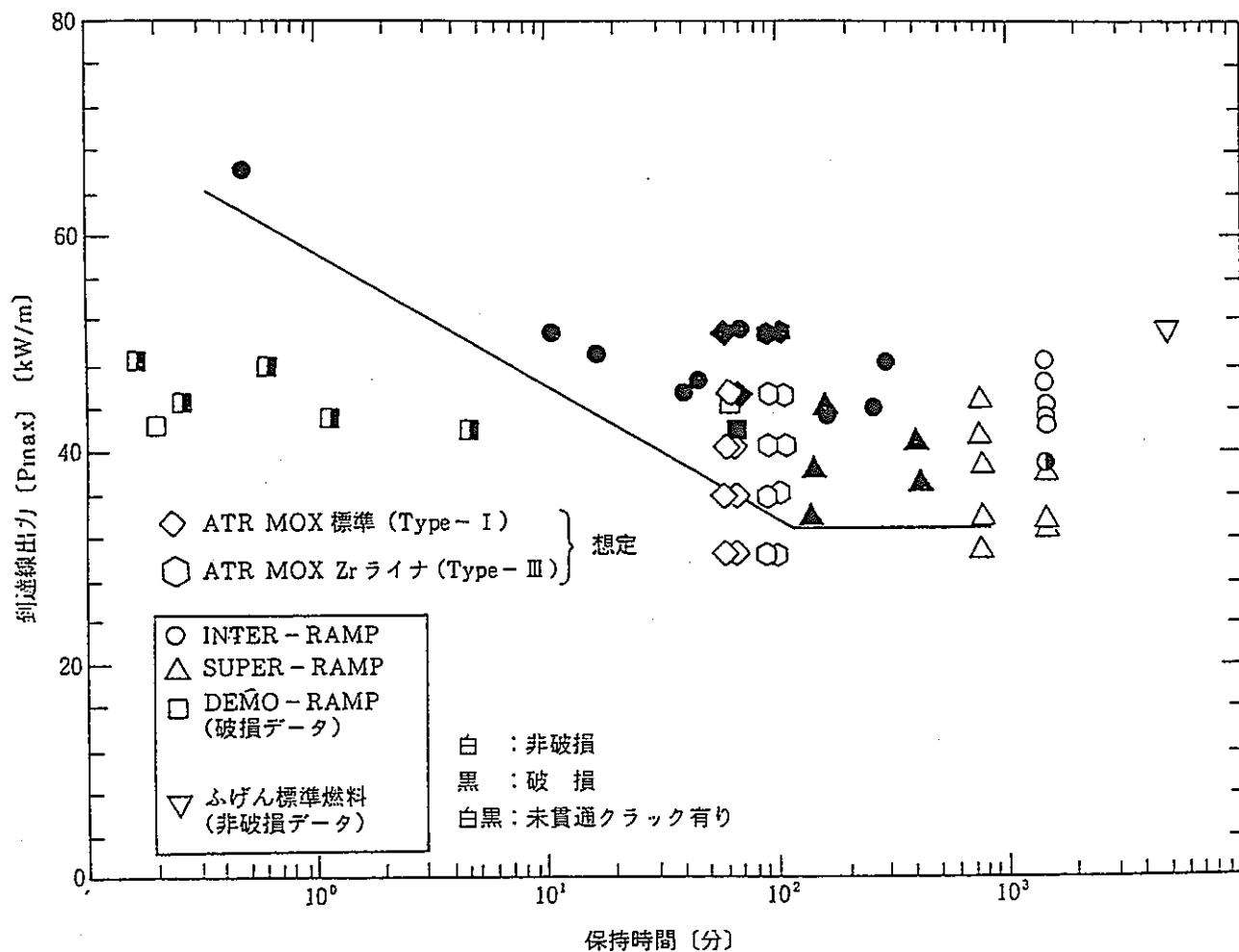


図3.1-6 BWR燃料マルチステップ出力急昇試験結果の到達線出力密度と保持時間の関係

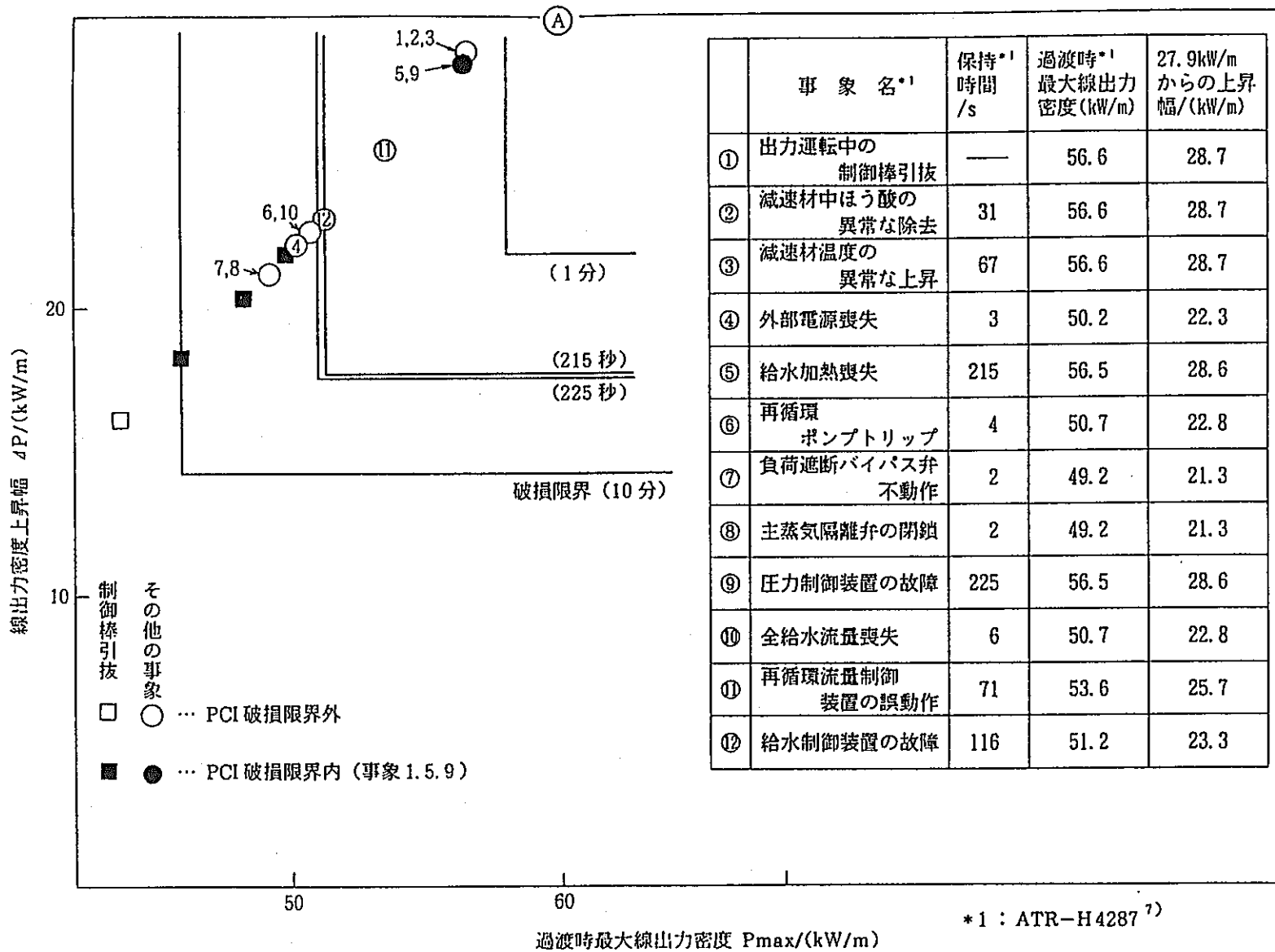


図3.1-7 異常時過渡事象のPCI評価

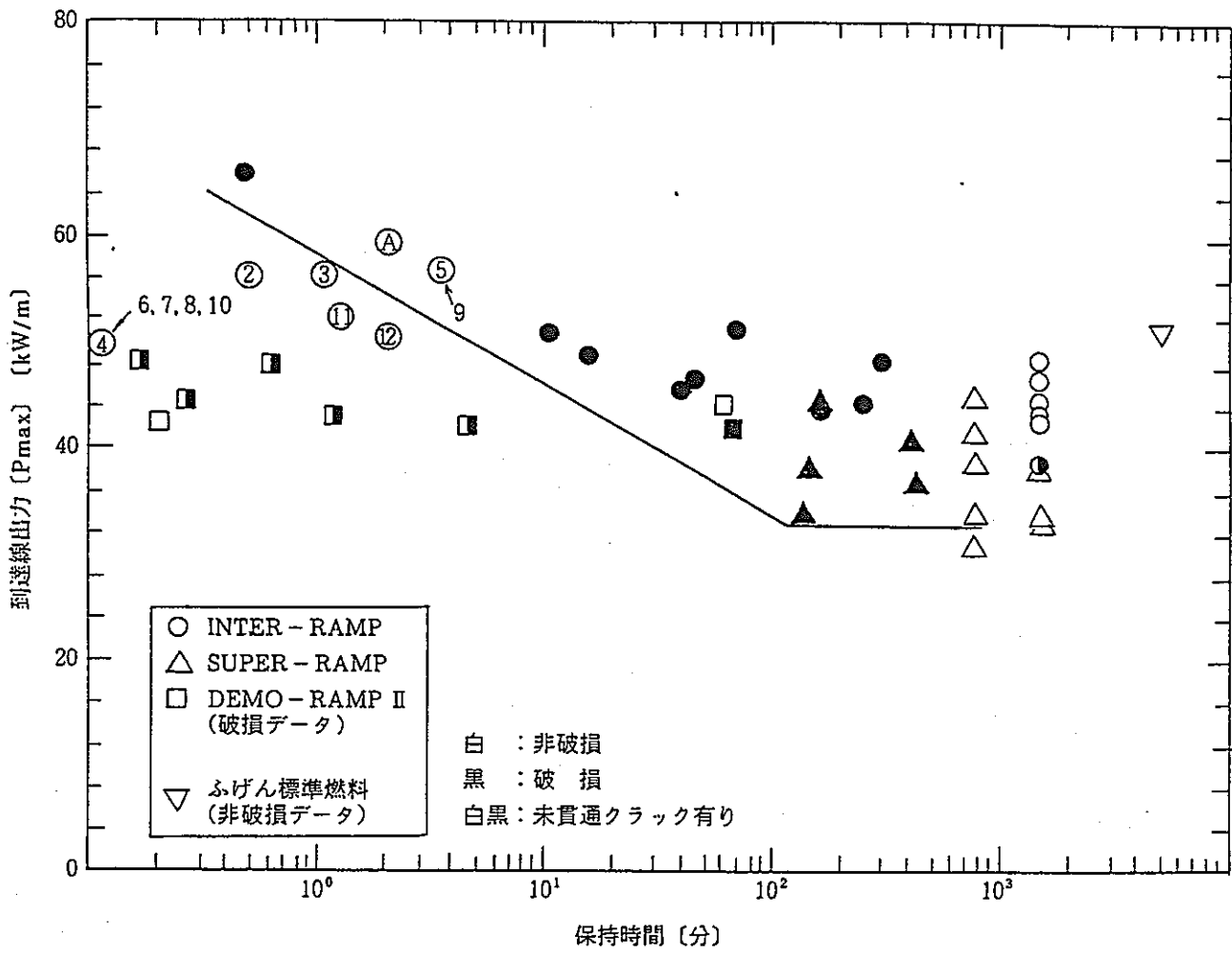


図3.1-8 BWR燃料シングルステップ出力急昇試験結果の到達線出力密度と保持時間の関係

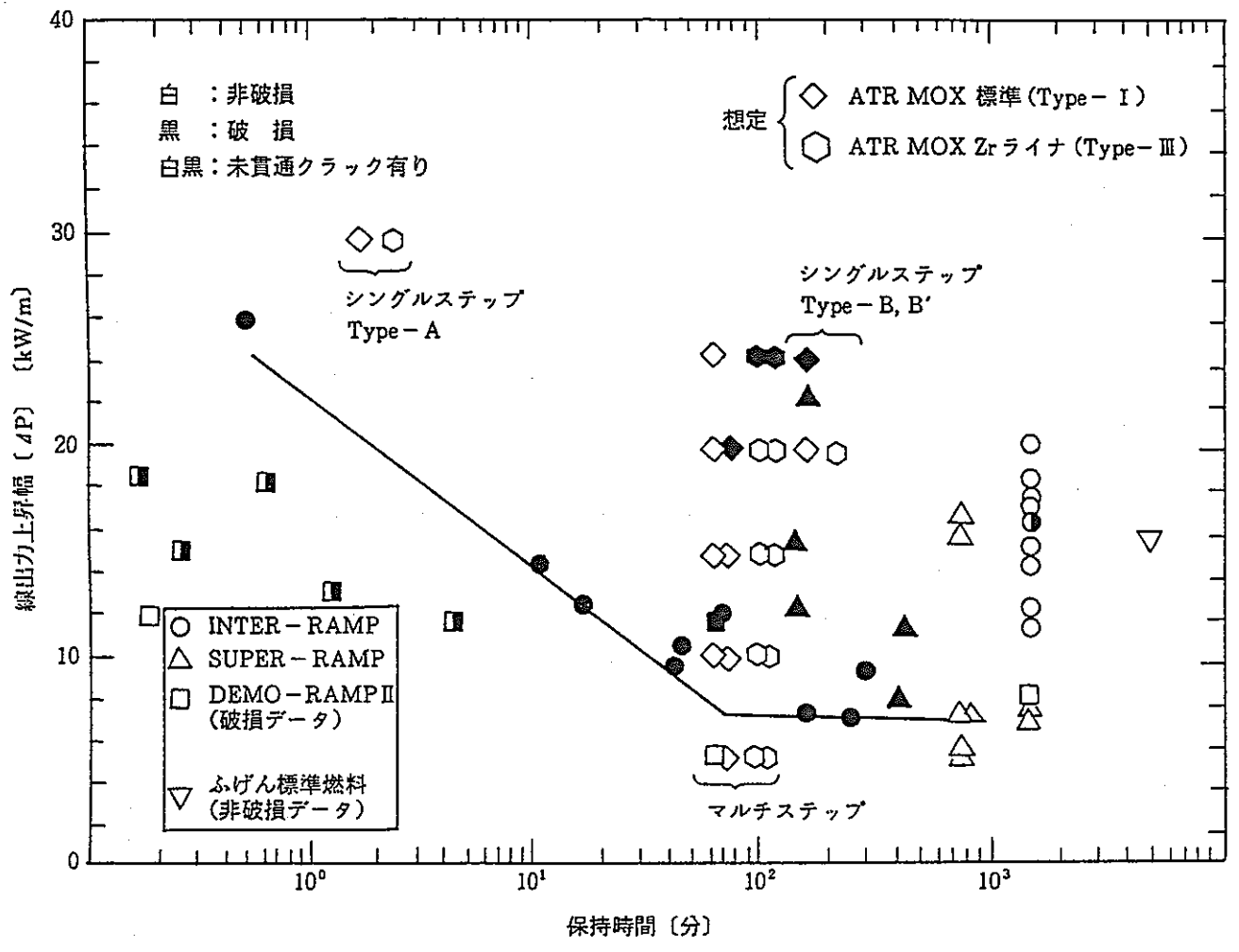


図3.1-9 BWR燃料シングルステップ出力急昇試験結果の線出力上昇幅と保持時間の関係

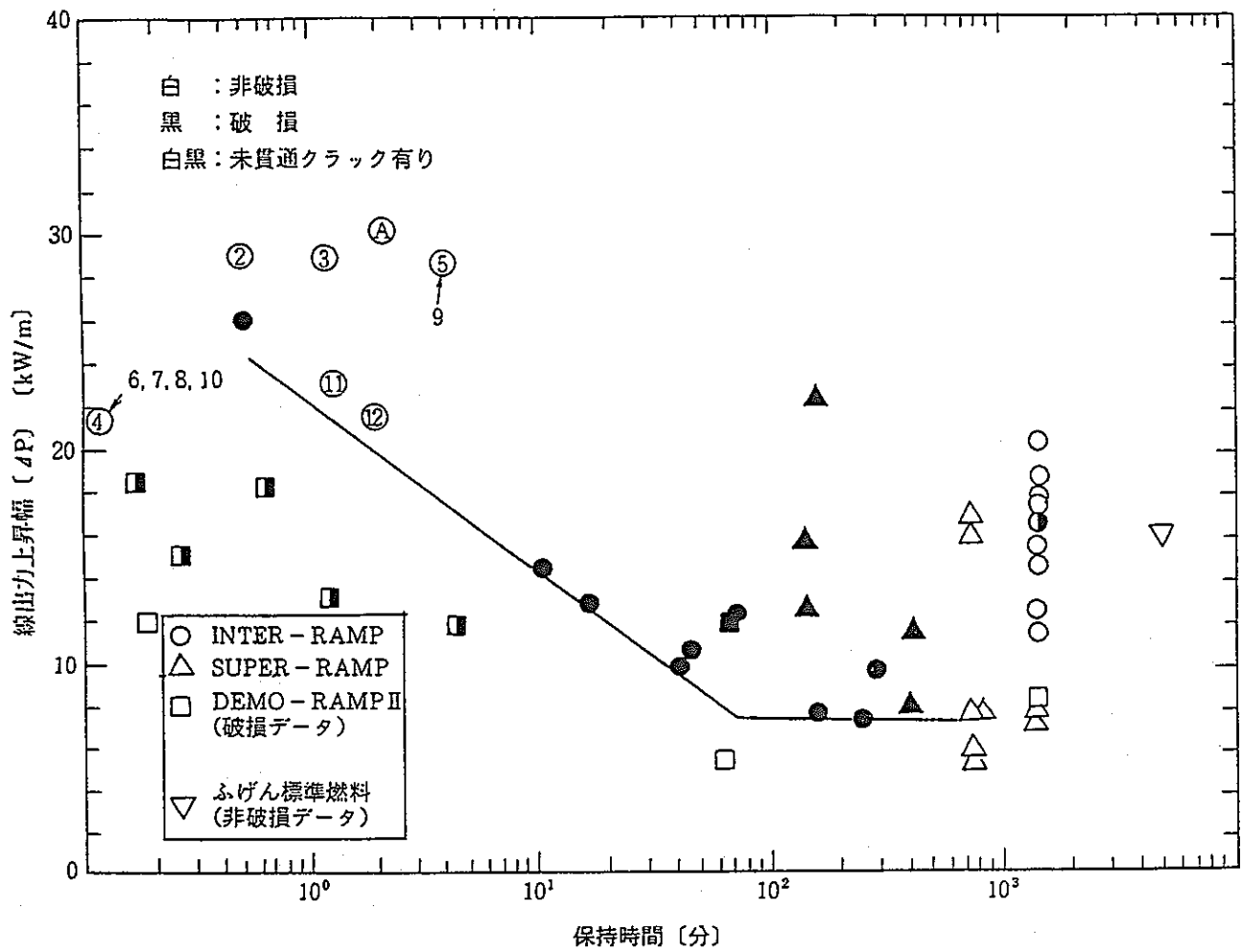


図3.1-10 BWR燃料シングルステップ出力急昇試験結果の線出力上昇幅と保持時間の関係 (異常事象との対応)

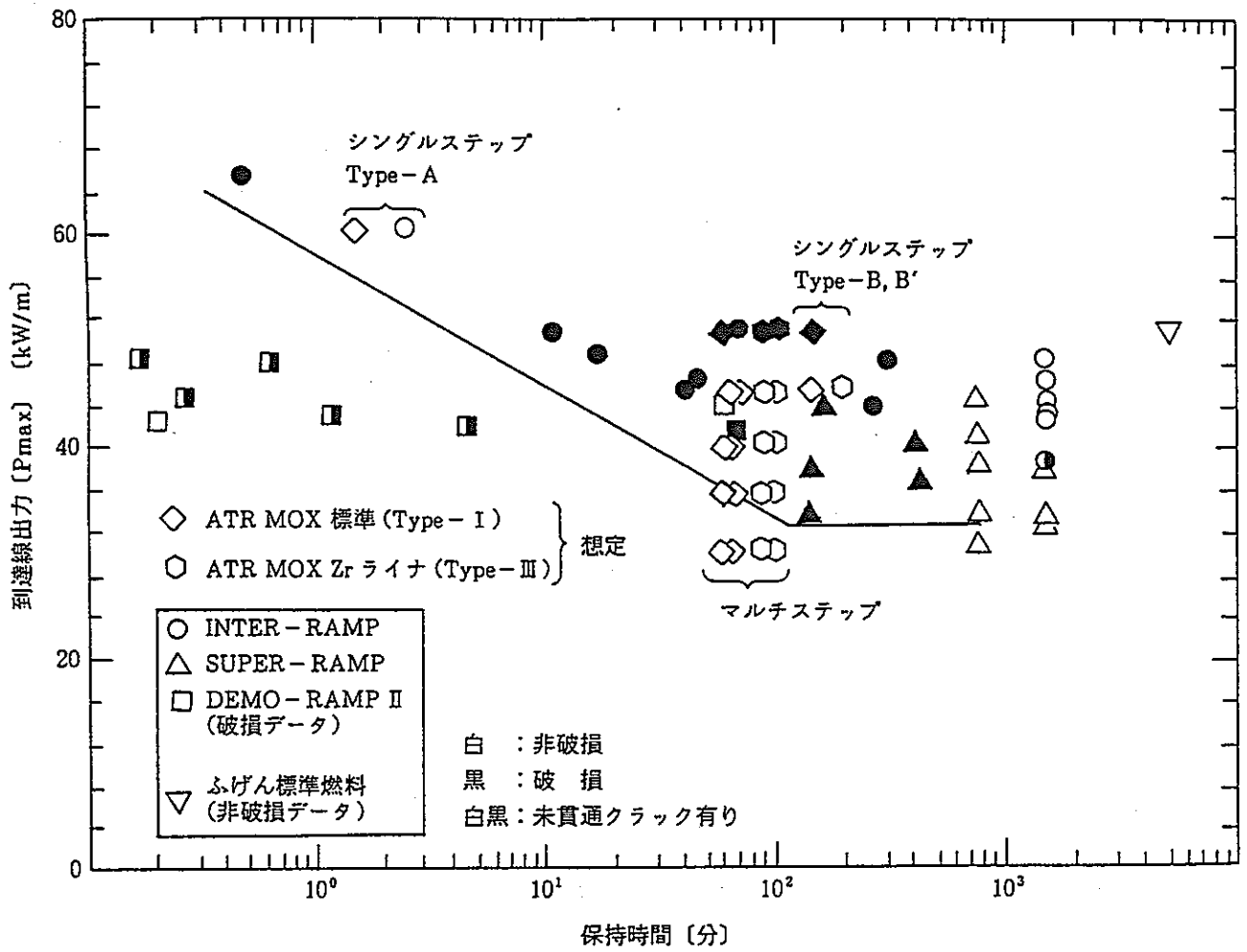


図3.1-11 BWR燃料シングルステップ出力急昇試験結果の到達線出力密度と保持時間の関係

3.2 第3回出力急昇試験

3.2.1 目的

第3回出力急昇試験は、A6018, A4006, A4017の3本のセグメント燃料について、シングルステップ出力急昇試験を行い、破損限界を調べることを目的とする。本試験に用いるセグメント燃料は、「ふげん」に装荷されていた1体目の燃料集合体（PPFE07）の一部であり、平成4年4月に「ふげん」から取り出され、その後原研にて解体、非破壊試験を行い、第1～3回の出力急昇試験用セグメント燃料計12本を平成5年1月に船便にてハルデンへ輸送されたセグメント燃料のうちの3本である。

3.2.2 燃料仕様

第3回出力急昇試験に供する3本のセグメント燃料の燃料仕様を表3.2-1に示す。

IFA-591-10、11は標準燃料であるが、「ふげん」におけるベース照射位置が異なるため、燃焼度が異なる。IFA-591-9は、Zrライナー管の改良型燃料であり、他の2つよりも燃焼度、最大線出力とも低い。各セグメント燃料には、ハルデンにおいて被覆管伸び計が被覆管を破ることなく取り付けられ、シングル出力急昇試験時の被覆管伸びをオンラインで測定する。

表3.2-1 出力急昇試験用セグメント燃料の主仕様

試験No.	IFA-591-9	IFA-591-10	IFA-591-11
燃料No.	A6018	A4006	A4017
集合体内位置	内層 (I-1)	中間層 (M-16)	中間層 (M-16)
燃焼度 GWd/t	16.6	21.2	22.2
ベース照射時の最大線出力 kW/m	18.1	23.7	23.7
ペレットの種類	中実	中実	中実
被覆管の種類	Zrライナー	Zry-2	Zry-2
計装付き端栓の種類	被覆管伸び計	被覆管伸び計	被覆管伸び計
テストモード	シングルB	シングルB	シングルB'

3.2.3 出力急昇試験前の非破壊試験結果

出力急昇試験前の非破壊試験結果は、原研及びシェラー研究所で行った。各セグメント燃料についての試験結果を以下に示す。

(1) IFA-591-9 (A6018) (Zrライナー管)

図3.2-1～5にそれぞれ外観観察、中性子ラジオグラフィ、外径測定、プロフィロメトリ及び渦電流探傷試験の結果を示す。このセグメント燃料は、中実ペレットのZrライナー被覆管の改良型燃料である。外観の写真を見ると、①下端から160～189mmの

間（スペーサ部）で剥離が全方向で観察された。②原研における外観観察では、上部プレナム部が一部白色化している。③また、ペレット・ペレット・インタフェースが観察された。④軸方向に2カ所白い部分を観察することができる。④の部分は、渦電流探傷試験において大きな乱れが現われており、外径測定の結果、直径で約 $100\mu\text{m}$ の膨らみがあった。原研での長尺燃料の酸化膜厚さから推定すると、 $50\sim 60\mu\text{m}$ 程度が予想される。また、スペーサ部以外の酸化膜厚さは、 $7\sim 15\mu\text{m}$ 程度と推定される。また、直径測定の結果からスペーサ部のすぐ横で直径で約 $60\mu\text{m}$ の減肉（あるいは剥離）がみられる。セグメント燃料ロッドの曲がりは 0.15mm である。また、原研でのX線透過写真から求めた製造時からのスタック長の減少率は 0.3% である。

中性子ラジオグラフィの写真からは、ペレットの割れは確認されるが、燃料スタック、ペレットギャップは健全であり、被覆管に水素化物は確認されない。原研でのセグメント燃料に対するガンマスキャンの結果から、スペーサ部で強度がわずかに減少しているものの、軸方向で大きな強度変化はほとんどなく、燃焼度はほぼ一定であると思われる。その他、Csの軸方向への移動など特異な事象はなかった。

(2)IFA-591-10 (A4006) (Zry-2管)

図3.2-6～10にそれぞれ外観観察、中性子ラジオグラフィ、外径測定、プロフィロメトリ及び渦電流探傷試験の結果を示す。このセグメント燃料は、中実ペレットのZr-2被覆管の標準型燃料である。外観の写真を見ると、①いくつかの傷跡及び引っ掻き傷が観察され、特に上部側に見られた。②原研における外観観察では、ペレット・ペレット・インタフェースが観察された。③軸方向に2カ所白い部分を観察することができる。③の部分は、渦電流探傷試験において大きな乱れが現われており、外径測定の結果、直径で約 $70\mu\text{m}$ の膨らみがあった。原研での長尺燃料の酸化膜厚さから推定すると、 $60\sim 70\mu\text{m}$ 程度が予想される。また、スペーサ部以外の酸化膜厚さは、 $7\sim 15\mu\text{m}$ 程度と推定される。また、直径測定の結果からスペーサ部のすぐ横で直径で約 $10\mu\text{m}$ の減肉がみられる。燃料ロッドの曲がりは 0.12mm である。また、原研でのX線透過写真から求めた製造時からのスタック長の減少率は 0.4% である。

中性子ラジオグラフィの写真からは、ペレットの割れは確認されるが、燃料スタック、ペレットギャップは健全であり、被覆管に水素化物は確認されない。原研でのセグメント燃料に対するガンマスキャンの結果から、スペーサ部で強度がわずかに減少しているものの、軸方向で大きな強度変化はほとんどなく、燃焼度はほぼ一定であると思われる。その他、Csの軸方向への移動など特異な事象はなかった。

(3)IFA-591-11 (A4017) (Zry-2管)

図3.2-11～15にそれぞれ外観観察、中性子ラジオグラフィ、外径測定、プロフィロメトリ及び渦電流探傷試験の結果を示す。このセグメント燃料は、中実ペレットのZr-2被覆管の標準型燃料である。外観の写真を見ると、①下端から $61\sim 86\text{mm}$ の間の全方向で、いくつかの局所的な剥離が観察された。②原研における外観観察では、上部プレナム部が一部白色化している。③軸方向に2カ所白い部分を観察することができる。③の部分は、渦電流探傷試験において大きな乱れが現われており、外径測定の結果、直径で約 $95\mu\text{m}$ の膨らみがあった。原研での長尺燃料の酸化膜厚さから推定す

ると、60～70 μ m程度が予想される。また、スペーサ部以外の酸化膜厚さは、7～15 μ m程度と推定される。また、直径測定の結果からスペーサ部のすぐ横での減肉はみられない。燃料ロッドの曲がりは0.12mmである。また、原研でのX線透過写真から求めた製造時からのスタック長の減少率は0.04%である。

中性子ラジオグラフィの写真からは、ペレットの割れは確認されるが、燃料スタック、ペレットギャップは健全であり、被覆管に水素化物は確認されない。原研でのセグメント燃料に対するガンマスキャンの結果から、スペーサ部で強度がわずかに減少しているものの、軸方向で大きな強度変化はほとんどなく、燃焼度はほぼ一定であると思われる。その他、Csの軸方向への移動など特異な事象はなかった。

(4)まとめ

以上の出力急昇試験前のセグメント燃料の非破壊試験結果から、第1～3出力急昇試験に供したセグメント燃料と比較して、表3.2-2にまとめた。前2回と比較して、被覆管外観上、スペーサ部での剥離、傷（IFA-591-9,10,11）及び上部プレナム部の白色化（IFA-591-9,11）が特異な点であり、IFA-591-9の損傷が最もひどい。燃料スタック長の減少率については、IFA-591-11が特異に低く0.04%（他は、0.2～0.4%）となっており、これはセグメント燃料のスエリングによるものと考えられる。その他の項目すなわち、スペーサ部の酸化膜厚さ、燃料棒曲がり、ペレット外観状態に差はないと考えられる。

3.2.4 出力急昇試験の試験方法

(1)データ採取

各データの取得方法について以下に示す。

①データ採取

デジタルデータは、以下の3種類に分類される。

(a)TFDB (Test Fuel Data Bank system) : ハルデン炉の全計装データ (IFA-591.3を含む) を15分間隔 (設定によってはさらに短い間隔となる) で採取する。データは1週間分まとめて月曜日に変換される。このデータは出力急昇試験前の照射履歴 (プレコンディショニングを含む) の確認に利用できる。

(b)EXMON: 出力急昇試験時のIFA-591.3関連の全計装データを20秒間隔で採取する。

(c)Fast Scan: 出力急昇試験時の計装データのうち選定したものについて0.1秒間隔で採取する。今回採取した計装データは、中性子検出器 (NDco)、被覆管伸び計 (EC1～3)、ループ圧力 (ループ10)、セグメント燃料のポジションインジケータ (ペリオディックとリニアの2種類)、 γ モニター (GM13)、冷却剤入口温度 (TI1)、冷却剤出口温度 (TO1,TO2) である。

アナログデータは、2種類のチャート紙に記録される。

(d)8ペンレコーダ: 被覆管伸び計 (EC1～3)、中性子検出器 (NDco)、セグメント燃料のポジションインジケータ (ペリオディック)、 γ モニターを記録した。

(e)3ペンレコーダ: 該当する被覆管伸び計 (EC1,2,3)、セグメント燃料のポジションインジケータ (ペリオディック、リニアの2種類) を記録した。

②破損検出

セグメント燃料の破損検出は、ECと冷却剤のactivityの測定により行う。ECによる検出は、恩地効果と呼ばれる破損時に被覆管が縮む現象（ハルデンでの経験では例えば100 μ m程度）を検知する。本試験の照射条件は、冷却剤の圧力が 7.06×10^6 Pa (72kg/cm²)と高いため、逆に伸びる現象が起こる可能性もある。冷却剤のactivityの測定は、ループに簡易の γ スペクトロメトリを取り付け、連続観察した。破損検出までの時間遅れは、概算で3分も見積もられた。

③中性子フラックスの測定

中性子フラックスの測定は、図3.2-16に示すように、軸方向及び径方向に配置された7つのV中性子検出器と1つのCo中性子検出器で行う。V中性子検出器は安定したデータが得られるが、時間遅れがある。そのため、出力急昇試験時はV中性子検出器で補正しながら、レスポンスの早いCo中性子検出器で測定する。

④熱出力の測定

熱出力の計算は、出力急昇試験前に様々なセグメント燃料配置で校正試験を行いリグ内の入口及び出口の冷却剤温度から計算式を求めておき、計算に用いた。図3.2-17にリグの概念図を示す。冷却剤の流れる方向を→で示した。図中の2箇所の熱電対で冷却剤温度を測定する。詳細は平成6年8月に実施された第1回出力急昇試験時と同様である。

⑤燃焼度から高速中性子フルエンスの計算式（参考）

Fast Flex : 8×10^{10} × リグ中の全セグメント燃料の出力 (W/m)

Fast Fluence : Fast Fluxの積分

Burn up : リグの全出力の積分

(2)実験手順

本試験の目標出力履歴を図3.2-18に示す。第3回の出力急昇試験は、線出力上昇速度は、前2回と同様1kW/m/sであるが、線出力上昇幅は最大35kW/mと前2回の5kW/mに比べてはるかに高く、³Heのガス圧による調整幅を超えている。このため、出力急昇試験方法として、2.5節で前述のセグメント燃料をパーク位置から出力急昇位置に降下させる方法を採用した。試験要領は以下に示す通りである。

- ① V中性子検出器から、目標到達線出力に達したときのCo中性子検出器の値を見積もる。Co中性子検出器は感度がよいため、出力急昇試験時はこの検出器で制御する。
- ② セグメント燃料をパーク位置（シールドされており低フラックス）から出力急昇位置（目標の線出力が得られる高フラックス）に所定のスピードで降下することで目標線出力まで1kW/m/sの線出力上昇率で出力急昇する。
- ③ 被覆管伸び計の変化あるいは γ スペクトロメトリの変化により破損の有無を確認し、続く試験の目標到達線出力を定めることとした。この選定方法を図3.2-19に示す。燃料破損した場合には、目標到達線出力を低下させることとしており、これには炉出力を低下させる必要がある。なお、それ以外の方法として、制御棒により局所的に出力調整する方法も考えられるが、採用しなかった。理由は、制御棒の出し入れによりフラックスのプロファイルが変化してしまうため、目標線出力に合わせることも、はるかに難しくなるからである。

目標到達線出力については、第1、2回のマルチステップ出力急昇試験結果から、68.9kW/mでも燃料破損に至らなかったことから、これ以上の値をシングルステップの目標値とすることが希望された。しかし、ハルデンの見解としては、これを達成するために炉出力を高めると、他の照射試験燃料の線出力が限界を超えてしまうため、今回の場合、65kW/m（ベース照射16.6GWd/t；IFA-591-9）あるいは60kW/m（ベース照射 21.2、22.2GWd/t；IFA-591-10、-11：燃焼度が高いため前者と比べて約8%の出力低下が見込まれる）が上限となる。このため、当初、破損線出力を挟んでType-BとB'を計画していたが、破損線出力を超えて試験することができないため、第3回の3セグメント燃料とも破損しないことの確認を行うType-Bとなった。

3.2.5 出力急昇試験前のハルデンでの照射履歴

図3.2-20にIFA-591.3が炉内に装荷された以降の照射履歴を示す。1月7日に校正試験が行われた。校正試験は、中性子フラックスから熱出力を求めるため、様々なセグメント燃料ロッドの配置での試験を行った。その後、後述するプリコンディショニングの出力以下の線出力で他の照射試験が行われた。プレコンディショニングは、2月2日から8日までの5日間強、目標線出力25kW/mで調整された。また、2月8日に炉出力を低下させ、被覆管伸び計のリファレンスデータの取得と出力急昇試験リハーサルを兼ねた試験を実施した後、再び炉出力を高め2月9日の出力急昇試験を待った。照射条件の詳細を以下に示す。

(1) リグ内のフラックス分布

図3.2-21にリグ内の軸方向のフラックス分布を示す。破線及び実線は、ハルデンから報告（Ep-1591.1、1994/06/07）された計算値である。図中の記号は第3回出力急昇試験に係る以下の値を示している。

●印；プレコンディショニング時（炉出力15.6MW）の測定値

×印；●印のND5部（パーク位置と出力急昇試験位置の中間部分）でのプロファイルが大きく迫り出しているのを抑えるため最寄りの制御棒（CS33、34）を挿入（150cm）した場合の計算値

△印；出力急昇試験時（炉出力18.2MW）の出力での計算値（制御棒の挿入なし）

上部のパーク位置にあるセグメント燃料は、フラックスシールドの効果によりフラックス分布ができるだけ平坦になるようになっている。下部の出力急昇試験の位置は、最もフラックスの高い位置で、セグメント燃料軸方向では出力はほぼ一定（下部に向かって若干低下）である。

今回の試験では、所定の時間で上部のパーク位置から下部の出力急昇位置に降ろす方法を採用することから、中間部にあるND5の値をチェックしたところ出力急昇位置よりも高いフラックスであることが判明した。このため、以下の2つの方法について検討した。

- ① IFA-591.3のリグに最寄りの制御棒を挿入して、ND5部のフラックスを抑える
- ② ND5部の高フラックス部分は通過するのみで、高フラックスが維持されるわけではなく、この部分を通過しても燃料温度の急激な上昇につながらない、つまり、出力急昇試験に影響しないことを確認の上、そのまま試験する

①の方法では、前述の図3.2-21に×印で示したようにND5部のみならず、出力急昇部のフラックスまで低下させてしまうことになる。一方、②の方法は、ハルデンの計算では、別添1に示すように燃料中心温度がオーバーシュートすることなく2473K(図中2200℃)に漸近する。なお、76kW/m(図中760W/cm)のND5部を15秒で通過する最後のケースは、通過時間を徐々に遅くした場合に、初めて温度がオーバーシュートする場合のケーススタディである。これらから、②の方法を採用することとした。

今回使用するセグメント燃料の燃焼度には2種類あり、ハルデンでの計算によると燃焼度の高いIFA-591-10、-11は同じフラックス分布中で8%低い出力となる。

(2)校正試験

図3.2-20に1月7日に校正試験時の出力変化を見ることができ、その時の最高出力は、約24kW/mである。

(3)プレコンディショニング

プレコンディショニングは、図3.2-22に示すように、2月2日15時から8日7時までの5日間強、実施された。線出力は、目標の25kW/mに対して2月2日15時の開始時点では、炉出力17MWに対応した線出力23kW/m(IFA-591-9)、21kW/m(IFA-591-10、-11)で行われた。線出力が異なるのは前述のとおり「ふげん」でのベース照射の燃焼度が異なるからである。目標より低い線出力となったのは、これ以上、線出力を高めようとして炉出力を高めると、他の照射試験燃料の線出力限界を超えるためである。なお、該当する照射試験燃料の線出力限界について、今回の出力急昇試験中だけ除外する措置を取ることにより、炉出力を翌日の2月3日14時から18MWに高め、これに対応した線出力24kW/m(IFA-591-9)、23kW/m(IFA-591-10、-11)を得て、プレコンディショニングを継続した。

3.2.6 被覆管伸び計のリファレンスデータ採取

被覆管伸び計のリファレンスデータ採取とセグメント燃料を所定の速度でパーク位置から出力急昇位置に降下させるリハーサルを実施した。図3.2-23に経緯を示す。試験指示書を別添2に示す。

プレコンディショニングレベルで維持してきた炉出力を2月8日7時から8MWまで降下させた。これはセグメント燃料を3本ともパーク位置から出力急昇位置に移動しても、各燃料がプレコンディショニングレベル以上の線出力を経験しない炉出力である。その後、2月9日の出力急昇試験を模擬したセグメント燃料の昇降リハーサルを実施した。これにより、出力急昇試験時もセグメント燃料の昇降による炉のスクラムは、発生しない見通しが得られた。リハーサルの途中で、IFA-591-9に取り付けた被覆管伸び計(EC1)に出力変動が得られないというトラブルが発生した。3セグメント燃料とも出力急昇試

験位置に移動した後、炉出力を昇降（8→11.5→8MW）させ、被覆管伸び計（EC2、3）のリファレンスデータを取得した。EC1について、出力が得られるよう対応試験を実施し、8MWでのEC1リファレンスデータを取得したが、最終的には伸び出力に変換することができなかった。一連の試験終了後、3セグメント燃料がパーク位置にあることを確認して、出力急昇試験に必要な18MWの炉出力に上昇させた。

(1)出力急昇試験リハーサル

表3.2-2に2回のリハーサルで確認した線出力上昇速度をまとめた。目標の線出力上昇速度1kW/m/sに対して2回目のデータでは70%程度でコントロールできることを確認した。

表3.2-2 線出力上昇速度の確認（リハーサル時）

	想定線出力 上昇幅 kW/m	目標時間 s	1回目 kW/m/s (s)	2回目 kW/m/s (s)
EC1 (IFA-591-9)	40 (25→65)	40	0.55 (73)	0.70 (57)
EC2 (IFA-591-10)	35 (25→60)	35	0.51 (69)	0.76 (46)
EC3 (IFA-591-11)	35 (25→60)	35	0.65 (54)	0.76 (46)

速度調整方法は、セグメント燃料を上下する水圧バルブの開度により行うが、この際、3ペンチャートに記録されるサインカーブの周期的な変位量（以降、「ペリオディック」という）及びその積算変位量（ただし移動方向が一定の場合に限る；以降、「リニア」という）を確認しながら作業を進める。

リハーサル時の3ペン及び8ペンレコーダ出力をデータ集に収めた。

(2)被覆管伸び計のリファレンスデータ

リハーサル時の被覆管伸び計（EC2、3）と線出力の関係をそれぞれ図3.2-24、-25に示す。線出力の上昇に追従して被覆管はほぼ直線的に伸びた後、線出力の降下に対応して急激に縮み、線出力上昇前の伸びに戻っている。このことから、以下のことが分かった。

- ①伸び計（EC2、3）は正常に作動している。なお、伸び計（EC1）は出力変化が得られず、故障している。
- ②伸びが確認されている部分について、線出力との関係を図3.2-26に示す。それらの関係がよい直線性を示すことから、最小二乗法により近似し、同図中に近似式を示した。
- ③線出力の降下時の急激な縮みは、ペレットのクリープ及びペレット-被覆管間の滑り等によりリラクゼーションしたものと考えられる。
- ④伸び線出力の昇降前後で変化しなかったことから、PCMIによる被覆管の塑性変形には至っていないと考えられる。

(3)IFA-591-9被覆管伸び計（EC1）対応

パーク位置から降下して出力急昇位置にあるセグメント燃料は上部のストッパー

(図3.2-27 (A)) で支えられており、EC測定部 (同図下部) はすき間の開いたフリーの状態から下方に伸びることで出力変化が得られる。今回のようにEC1の値が4側にでる理由としては、何らかの原因でセグメント燃料の全長が所定の長さより長くなったため、まずEC測定部にセグメント燃料が当たり、上部ストッパーによって支えられていない状況となる (図3.2-27(B))。このため、セグメント燃料の伸びは、上方に向かい、EC1出力が変動しなかったものと推定した。

セグメント燃料の全長が長くなった理由としては、以下が考えられる。IFA-591-9のセグメント燃料長は約422mmで、他のIFA-591-10、-11に比べて大差ない。一方、セグメント燃料の上下に取り付けられたEC端栓等のねじ込みが不十分であったため、セグメント燃料長が所定の長さより長くなった可能性もあるが、取り付け後の全長が測定されておらず確認できない。

いずれにせよこのままでは、EC1に係る全てのデータが得られなくなるので、以下の対策案を立てた。セグメント燃料を上下させるための水圧バルブの微妙な開度調節により、セグメント燃料をわずかに浮かせた状態を維持させるという方法である (図3.2-27 (C))。調節の目安となるのは、リハーサル時の3ペンレコード出力のうちポジションインジケータ (ペリオディック) である。これは、1サイクルがセグメント燃料の上下方向の18mmに対応するサインカーブを描く。サインカーブのうち図3.2-28のA部分の範囲内をキープすることができれば、セグメント燃料を少し浮かした状態でコントロールすることができる、一方、この範囲を超えるとセグメント燃料が上昇しているのか、降下しているのか、判別できなくなる。以上の方法を試みて見たところ、前述の範囲内をキープすることができ、EC1出力が得られた。ただし、このデータにはセグメント燃料の被覆管伸びの他、セグメント燃料の上下動が含まれることになる。出力急昇試験後、Fast Scanデータを用いて被覆管伸びのみを抽出するというデータ解析が、ハルデンで実施されたが、成功しなかった。

セグメント燃料長が長い理由について、出力急昇試験後、セグメント燃料を取り出して確認したところ、炉内で運転中にネジが緩み約7mm伸びていることが判明した。従来、端栓をねじ込んだ後、接合部にタガネでW印の刻みを入れて食い込ませ、緩み防止としていた。今後は、これを強化するため、あらかじめ端栓の端部にV刻みを入れた上で、同様の処置を実施することとした。

3.2.7 出力急昇試験結果 (試験指示書; 別添3)

(1)出力急昇試験時の出力変化

図3.2-29～31にIFA-591-9～11の出力急昇試験時のセグメント燃料棒最大線出力履歴 (Co中性子検出器信号からの換算値でkW/m)、被覆管伸び (mm)、冷却剤の放射線量の変化 (mR/h) を示す。図より、シングルステップによる出力急昇試験が予定通り順調に行われ、冷却剤の放射線量から、セグメント燃料に破損等がなく、出力急昇試験が終了したことを確認した。なお、IFA-591-9 (EC1) (図3.2-29参照) は、データを採取したが、被覆管伸びへの変換ができなかった。

図3.2-29～31から、出力急昇試験時のセグメント燃料の最大線出力はそれぞれ、IFA-591-9が64kW/m、IFA-591-10が60kW/m、IFA-591-11が60kW/mであり、第1～2回マルチステップの出力急昇試験で破損しなかった最大線出力68.9kW/mまでは達する

ことができなかったが、シングルステップでもセグメント燃料破損がなかったことを確認した。また、出力急昇試験時にパーク位置に位置しているセグメント燃料の線出力がプレコンディショニング（線出力約25kW/m）以下の線出力であったことを確認した。

なお、表3.2-3に出力急昇率について示す。目標の出力急昇率は1 kW/m/sであるが、実績は表に示すとおり、±10%以内の出力急昇率であった。

表3.2-3 出力急昇試験時の出力急昇率

	線出力上昇幅 kW/m	所要時間 s	出力急昇率 kW/m/s
EC1 (IFA-591-9)	40 (24→64)	38	1.05
EC2 (IFA-591-10)	37 (23→60)	37	1.00
EC3 (IFA-591-11)	37 (23→60)	40	0.93

(2)被覆管伸び

各被覆管伸び計ともパーク位置から出力急昇位置に降下させるのに約40秒かかるが、この間、EC出力が得られない。なお、EC出力の出始め部分の詳細について、図3.2-32～34に0.1秒間隔のFast Scanデータを示す。この場合も、伸び計のピークを確認することはできなかった。

①IFA-591-9

前述のとおり、被覆管の伸びデータを採取したが、被覆管伸びへの変換ができなかった。参考までに、図3.2-29に被覆管伸び計のEXMONデータをセグメント燃料出力の変化とともに示す。また、データ集に3ペン及び8ペンレコーダ出力を示す。図3.2-32に出力急昇直後の被覆管伸び計のFast Scanデータを示す。8ペンレコーダ出力で確認できるように、セグメント燃料を出力急昇位置に一旦降下させた後、予定通りわずかに浮かせた状態とするが、コントロールできなくなり、降下させて、再度、浮かせた状態とした。最大線出力を1時間保持した後、セグメント燃料をパーク位置に上昇させ、試験を終了した。燃料破損がなかったことから炉出力をそのままとして次の試験に移った。

②IFA-591-10

図3.2-30に被覆管伸び計のEXMONデータをセグメント燃料出力の変化とともに示す。また、データ集に3ペン及び8ペンレコーダ出力を示す。図3.2-33に出力急昇直後の被覆管伸び計のFast Scanデータを示す。これらの図から、出力急昇時に被覆管が急激に伸びた後の（少なくとも0.25mmの）リラクゼーションが観察される。セグメント燃料を降下させた後でないと伸び計出力が得られないため、出力急昇前及び最大伸びのデータは得られなかった。最大線出力を1時間保持した後、セグメント燃料をパーク位置に上昇させ、試験を終了した。燃料破損がなかったことから炉出力をそのままとして次の試験に移った。

③ IFA-591-11

図3.2-31に被覆管伸び計のEXMONデータをセグメント燃料出力の変化とともに示す。また、データ集に3ペン及び8ペンレコーダ出力を示す。図3.2-34に出力急昇直後の被覆管伸び計のFast Scanデータを示す。これらの図から、出力急昇時に被覆管が急激に伸びた後の（少なくとも0.21mmの）リラクゼーションが観察される。セグメント燃料を降下させた後でない限り伸び計出力が得られないため、出力急昇前及び最大伸びのデータは得られなかった。最大線出力を1時間保持した後、セグメント燃料をパーク位置に上昇させ、試験を終了した。

④ 被覆管最大伸びの推定

図3.2-26に示す被覆管伸び計（EC2,3）と線出力の相関式（14～23kW/m）を最大到達線出力60kW/mまで外挿する。この外挿は過小評価となり、最大伸びはこれを超えることが予想される。これは、同図の線出力範囲では、塑性変形に至るPCMIを経験していないが、線出力60kW/mでは塑性変形に至るPCMIによる伸びが加算されるためである。プレコンディショニング時の線出力23kW/mから60kW/mに上昇した場合の被覆管最大伸びは、それぞれ0.77, 0.74mm以上と推定される。

(3) セグメント燃料照射挙動検討

① 照射条件及び照射挙動

照射条件については、(a)出力上昇率は1kW/m/s±10%であった。(b)最大線出力は第1、2回出力急昇試験結果から68.9kW/mでも破損に至らなかったことから、それ以上が求められたが、炉内にある他リグの線出力限界からIFA-591-9で64kW/m、IFA-591-10、-11で60kW/mが限界となった。第4回以降の出力急昇試験でさらに高い線出力を希望する場合は、リグの装荷位置を炉中心部に移す他、近傍に線出力限界の低いリグが装荷されないよう配慮することが必要となる。(c)リグ内のフラックス分布についてND5部でフラックスが高くなる（換算前値：295nA、図3.2-21）ことが予測されていたが、出力急昇試験を通じて256-275nAと計算値以下であり、ND5通過によるセグメント燃料の温度オーバーシュートはなかったと考えられる。(d)プレコンディショニングの線出力については、目標の25kW/mに対して24kW/m（IFA-591-9）、23kW/m（IFA-591-10、-11）と差がでるのは同一リグ内にベース照射の燃焼度の異なるセグメント燃料を配置しているため、同一リグ内同一燃焼度を基本とすべきである。

照射挙動については、第1、2回のマルチステップの出力急昇試験結果から、線出力35-40kW/mをしきい値として、サーマルフィードバックが生じることにより、線出力を一定に保っても被覆管の伸びあるいはFPガスの放出が続くことが確認されていた。サーマルフィードバックは、FPガス放出の温度依存性により、セグメント燃料内へのFPガス放出により（ギャップコンダクタンスが低下して）セグメント温度が上昇すれば、この温度依存性のため、さらにFPガス放出があり、その結果また温度が上昇するというものである。サーマルフィードバックのかかっている時間については、第1回の出力急昇試験の場合、1～2分間であった。第3回の3セグメント燃料ともこのしきい値を挟んだ出力急昇試験を実施しているが、図3.2-32（IFA-591-9）は別としても、図3.2-33、34（IFA-591-10、11）では、サーマルフィ

ードバックは確認できない。

②被覆管の変形量について

第1回出力急昇試験の場合と同様に、出力上昇時と低下時のヒステリシス量から塑性変形量を求めることを目的として図3.2-35～36に各被覆管の伸びを冷却剤出口温度に対してプロットしたが、明確なヒステリシスは表われなかった。これは試験方法の違いによるもので、第1、2回出力急昇試験では各セグメント燃料が、出力急昇試験を通じて出力の上昇、低下を経験しており、この時のヒステリシス量が求められたのに対して、第3回では炉出力は、試験期間を通じて一定であるため、ヒステリシスが表われなかったものである。このため、第1回出力急昇試験結果で示された塑性変形量及びひずみ量の解析はできない。なお、出力急昇試験後の照射後試験において、セグメント燃料の全長を測定することにより、塑性変形量を求めることが可能である。

図3.2-30、31 (IFA-591-10、11) を重ねると、IFA-591-11の方がリラクゼーション部でわずかに下側にあり、リラクゼーションが早いことが観察される。一方、これらの燃料は、同一の燃料仕様（中実ペレット、Zry-2被覆管）、同一のベース照射条件（同一M16ピン）であり、再現性についてこの程度の幅を持つものと考えられる。

セグメント燃料をパーク位置から出力急昇位置に所定の速度で降下させることで出力急昇させる方法では、降下中は被覆管伸び計の出力が得られないため、出力急昇前及び最大伸び値が得られない。ハルデンでは特殊なケースとして、降下中も計装出力が得られるリグを製作した経験を有しており、今後とも、動燃が高い出力急昇率と幅を必要とし、セグメント燃料の降下による出力急昇方法を選択するのであれば、リグ設計段階からハルデンと調整の上、降下中も計装データの得られるリグとすることが望ましい。

③被覆管伸びについて

表3.2-4に、IFA-591-10、11の被覆管伸びの推定値を第1回出力急昇試験（マルチステップ）時のデータと比較して示す。第1回出力急昇試験は、マルチステップであり、ステップによってはリラクゼーションが確認されており、被覆管の最大伸びは、リラクゼーションを考慮しない（各ステップでの伸びを積算する）場合1.2mm程度、考慮する（マルチステップ前後の伸びの）場合0.5mm程度となっている。今回のシングルステップでの推定値（PCMIによる塑性変形分が加味されていない）は、0.7mm以上で、リラクゼーションを考慮する場合を超えていることから、妥当な推定であると考えられる。

表3.2-4 出力急昇時の被覆管最大伸び

		最大伸びmm	
		各ステップでの最大伸びの積算	リラクゼーションによる縮みを考慮した最大伸び
第1回出力急昇試験 (マルチステップ)	IFA-591-1	1.181	0.50
	IFA-591-2	1.226	0.63
	IFA-591-3	1.145	0.52
第3回出力急昇試験 (シングルステップ)	IFA-591-10	0.77 (推定)	
	IFA-591-11	0.74 (推定)	

④破損線出力について

第1、2回マルチステップの出力急昇試験結果から予測していた破損線出力は、68.9kW/m以上であり、今回のシングルステップの出力急昇試験では、この破損線出力まで一気に出力急昇した場合のセグメント燃料健全性を調べることにしていたが、炉側の制約から、3セグメント燃料（IFA-591-9、-10、-11）をそれぞれ最大到達線出力64kW/m、60kW/m、60kW/mまで出力急昇し、燃料破損がなかったことを確認した。

比較検討のため、ATRに類似のBWR仕様UO₂燃料の出力急昇試験結果を図3.2-37に示す。今回の試験に対応する中段のRAMP SEQUENCE Bの結果に、今回の結果を追記した。これらのBWRデータから、最近のBWR仕様UO₂燃料における破損線出力は55～60kW/mの間に存在しているものと考えられる。一方、第1～3の出力急昇試験を実施したセグメント燃料は、これより高い線出力を経験したにも係わらず1本も破損していないことから、MOX燃料の方がUO₂燃料に比べ耐PCMI性が良く、出力急昇時の破損線出力はUO₂燃料より高いと言える。

なお、従来、破損限界を示すのに用いてきた図3.1-5と図3.2-37等の最近のBWR仕様UO₂燃料データの破損線出力を比較すると、後者の破損線出力が上がっている。つまり最近のBWR仕様UO₂燃料の破損線出力が上がっている傾向が見られる。この原因として、被覆管にZrライナー管を用いたこと及び化学成分を規格内で変えていることが考えられる。このことは、ATR燃料用被覆管にもいえることであり、そのため、当初予測していた破損線出力以上のかなり高い線出力を経験しても燃料破損が生じなかったのではないかと考えられる。

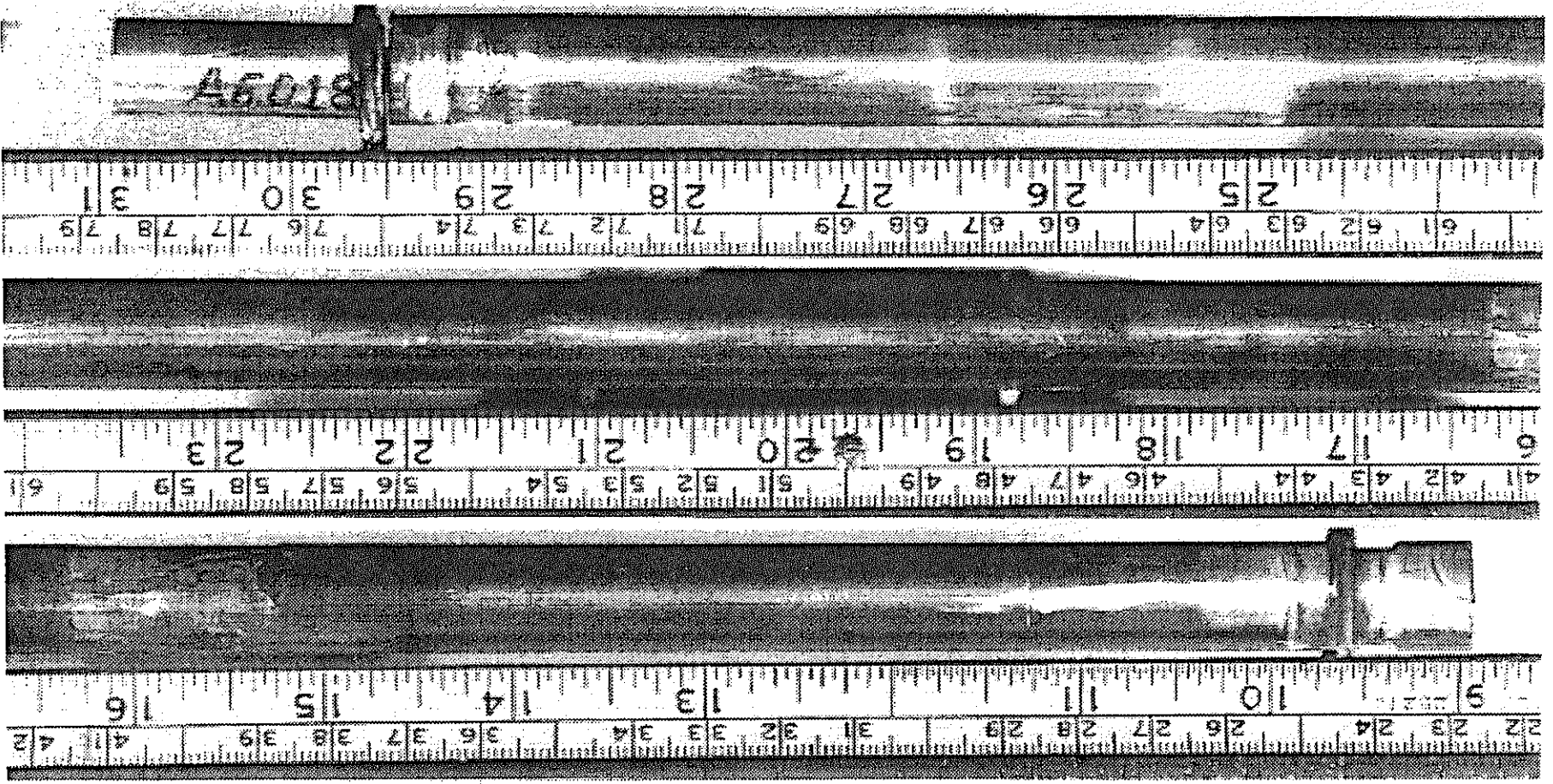


图3.2-1 IFA-591-9 出力急昇試験前検査結果 (外觀觀察)

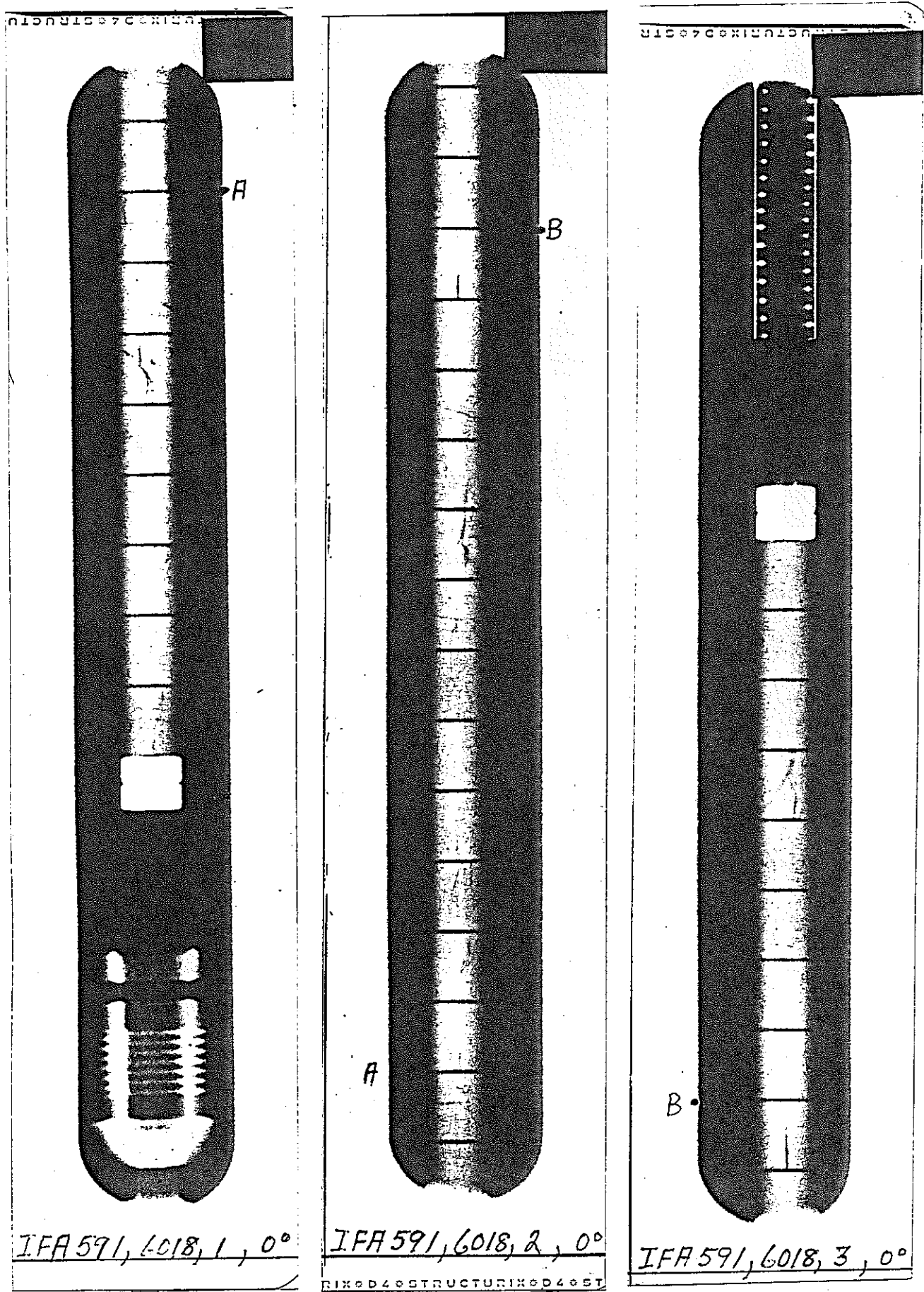


図3.2-2 IFA-591-9 出力急昇試験前検査結果 (中性子ラジオグラフィ)

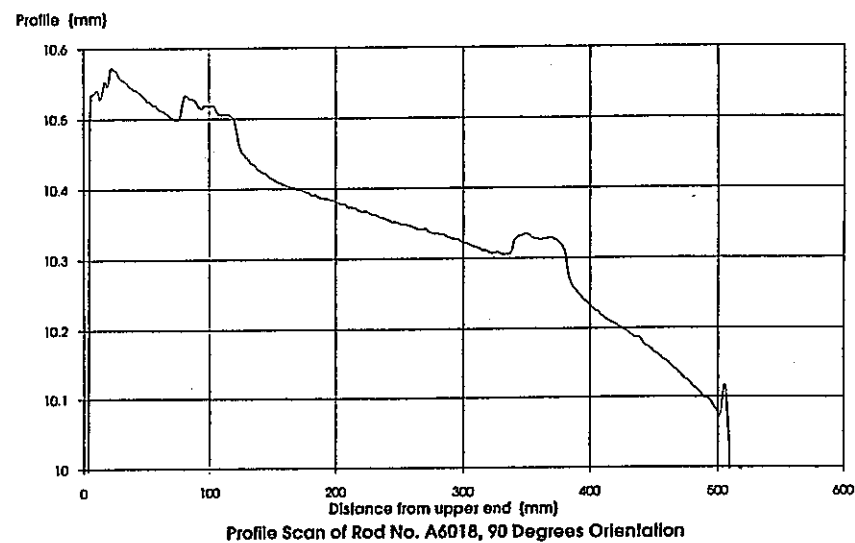
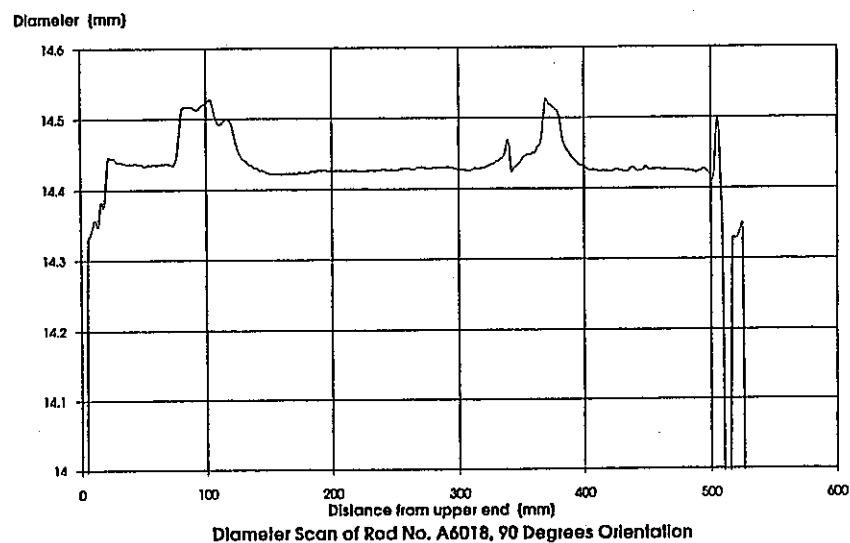
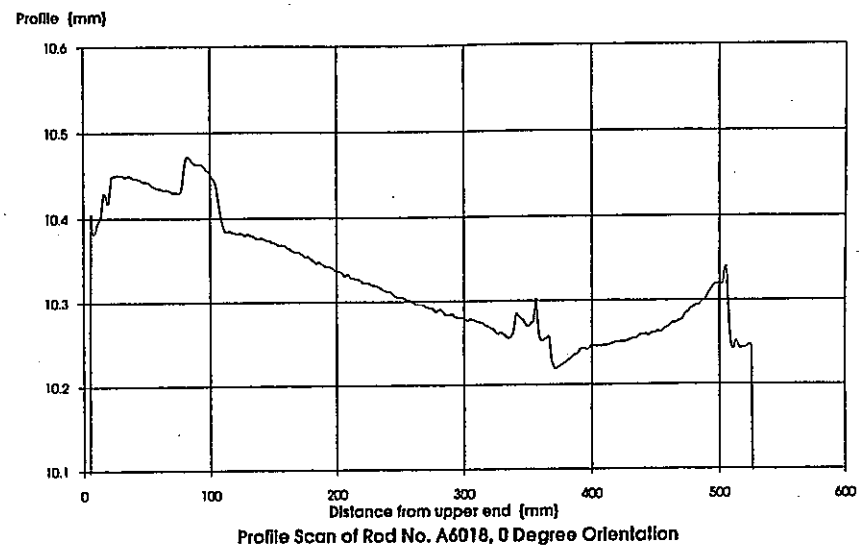
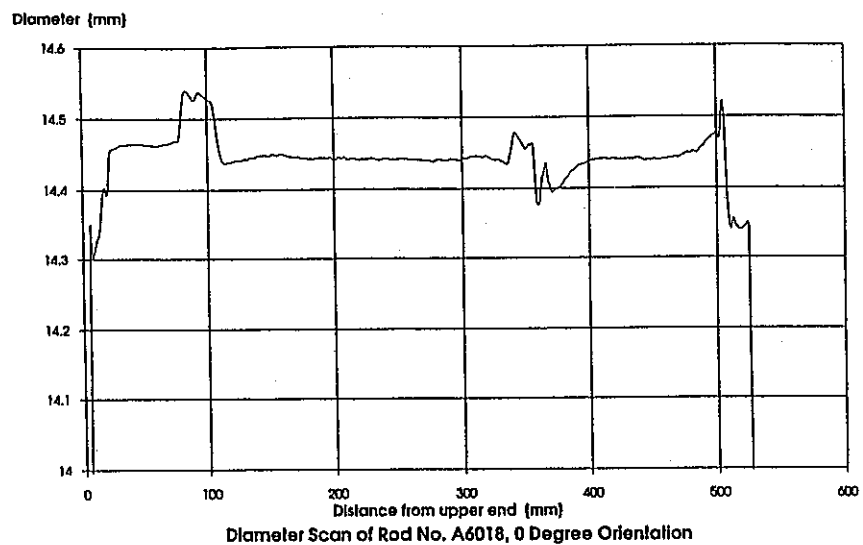


図3.2-3 IFA-591-9 出力急昇試験前検査結果
(外径測定)

図3.2-4 IFA-591-9 出力急昇試験前検査結果
(プロファイロメトリ)

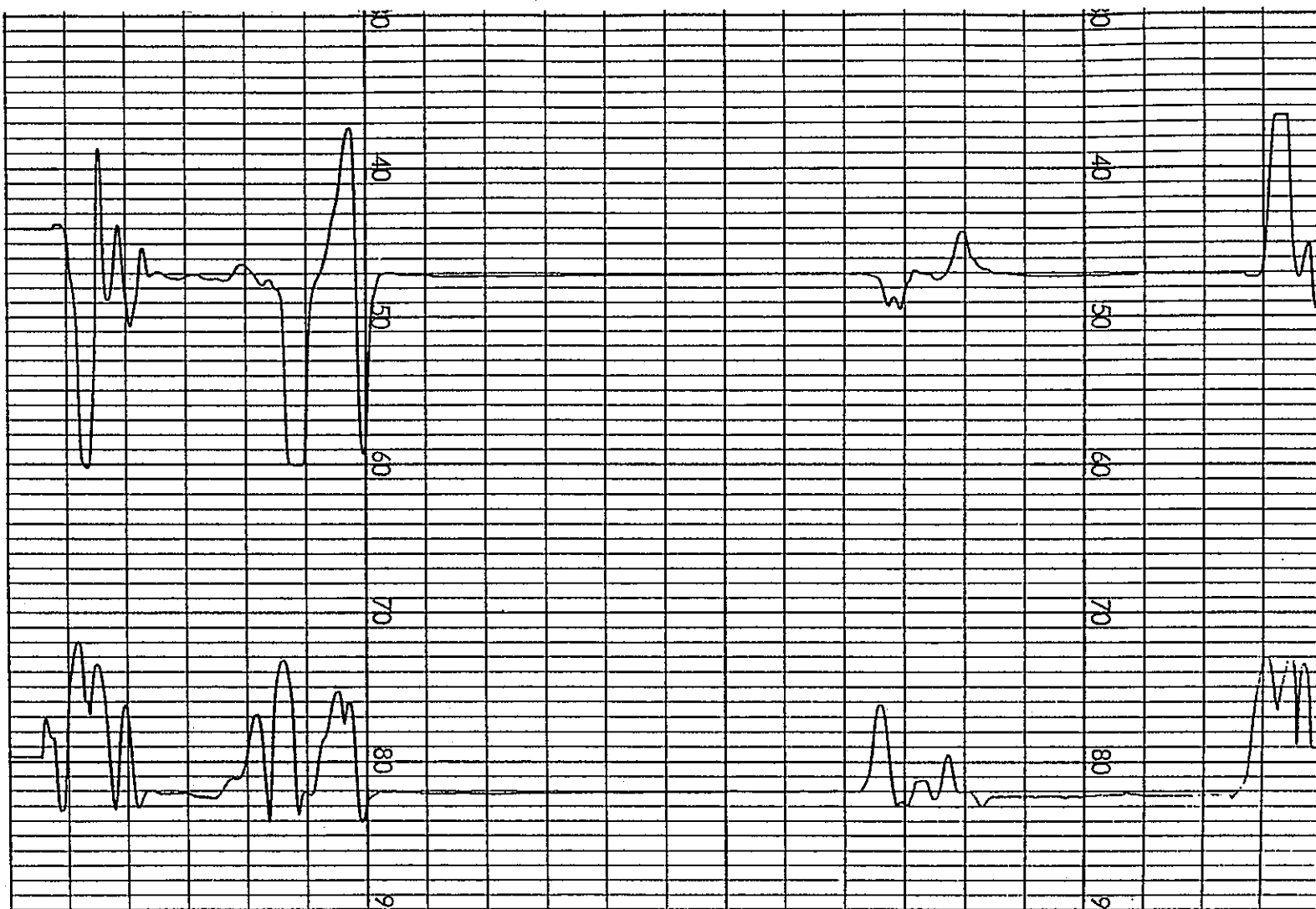


図3.2-5 IFA-591-9 出力急昇試験前検査結果 (渦電流探傷試験)

Upper Curve : Phase Signal, Lower Curve : Amplitude Signal

Gain : 4, Phase : 1.75

Axial Scale : 25.2 mm/Sc. div. Upper End to the Left

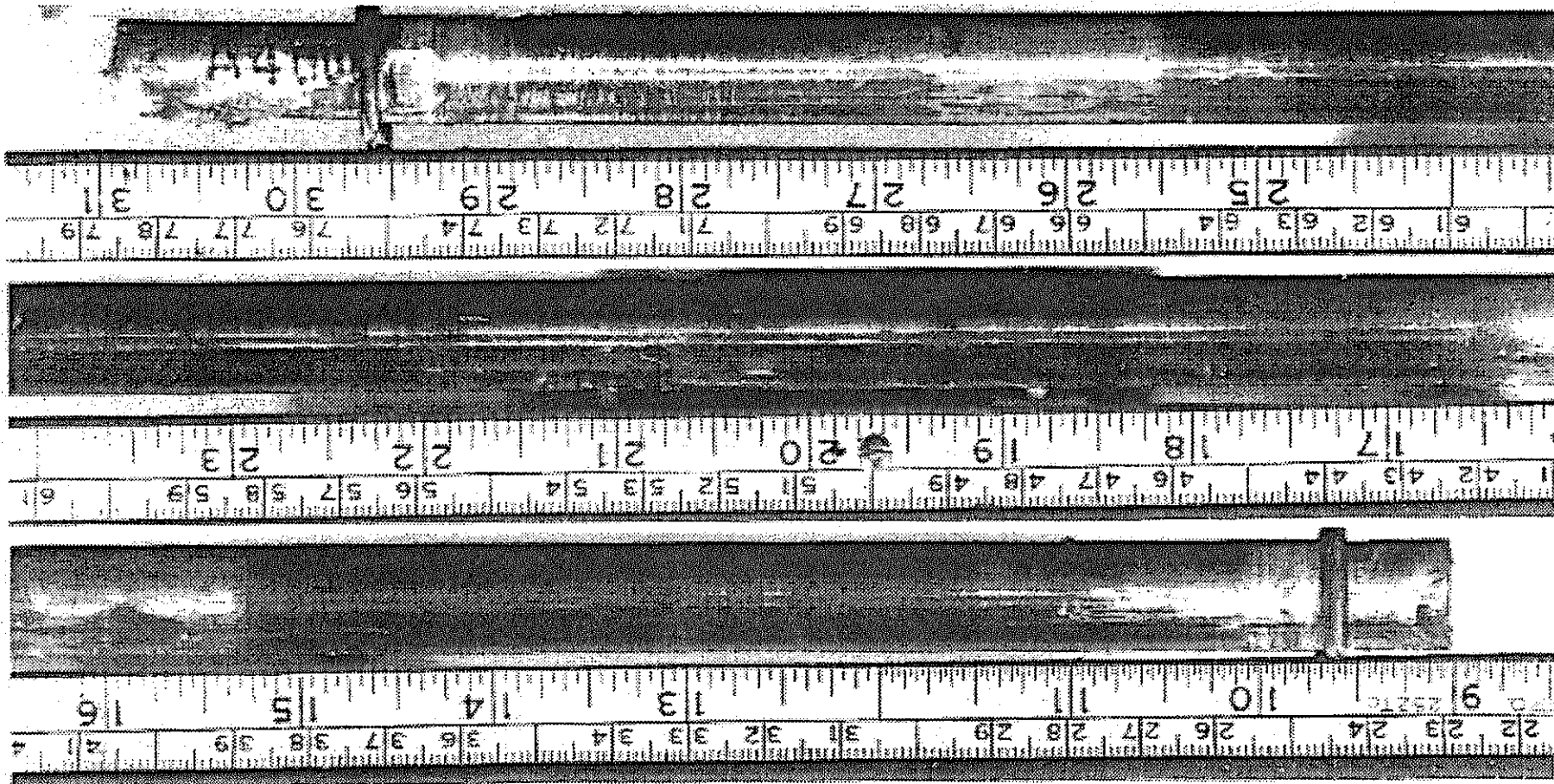


图3.2-6 IFA-591-10 出力急昇試験前检查结果 (外觀觀察)

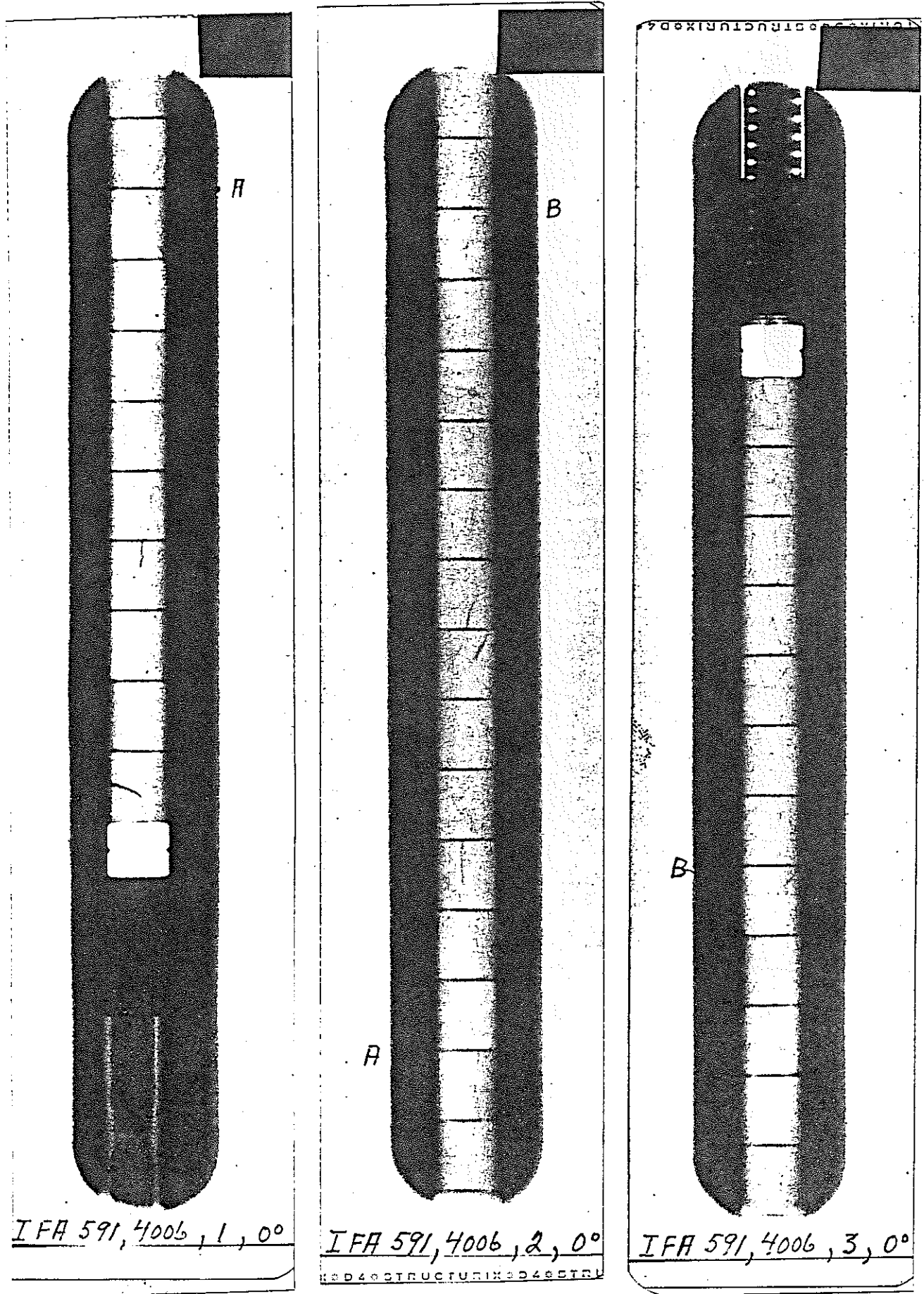


図3.2-7 IFA-591-10 出力急昇試験前検査結果 (中性子ラジオグラフィ)

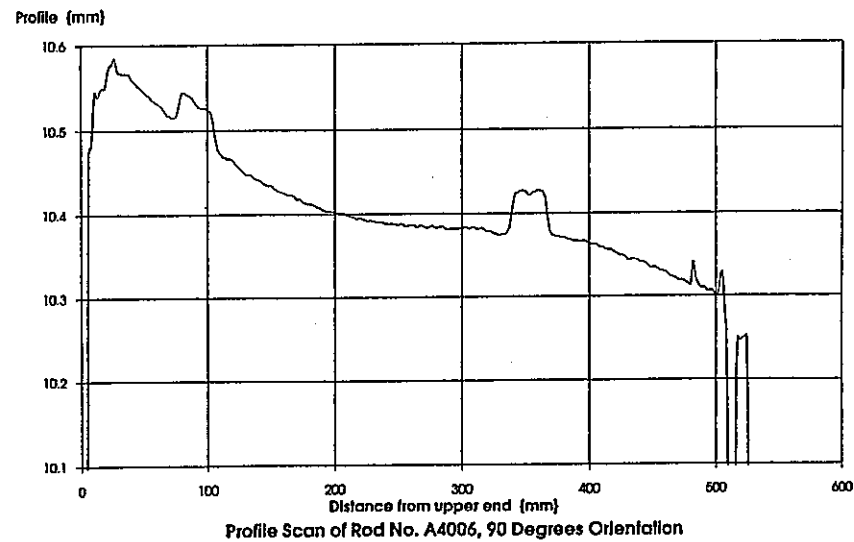
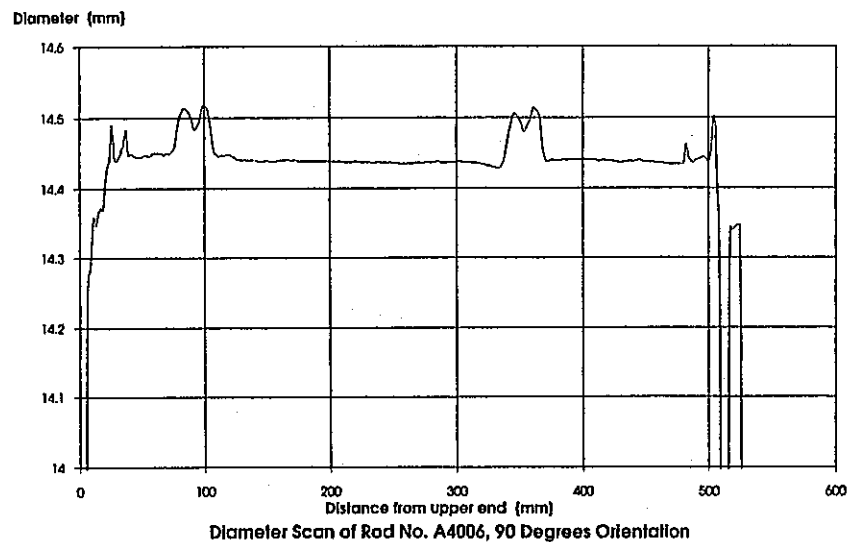
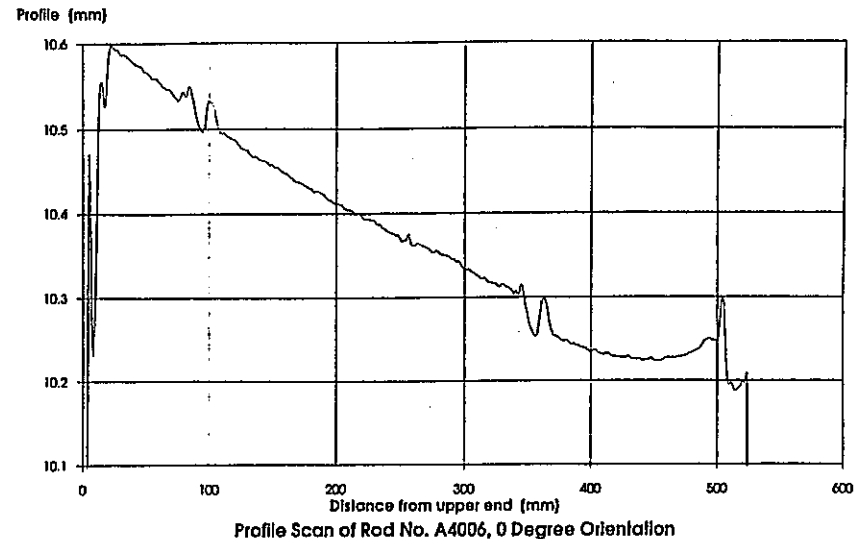
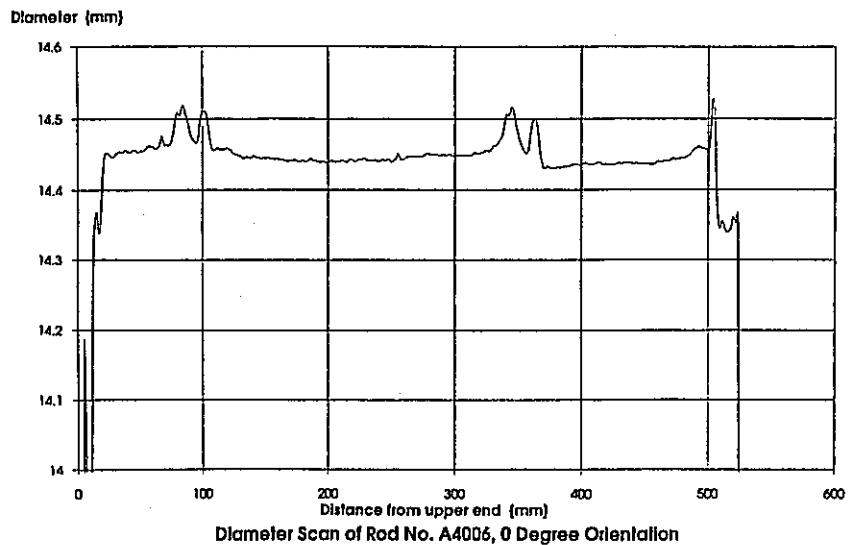


図3.2-8 IFA-591-10 出力急昇試験前検査結果
(外径測定)

図3.2-9 IFA-591-10 出力急昇試験前検査結果
(プロフィロメトリ)

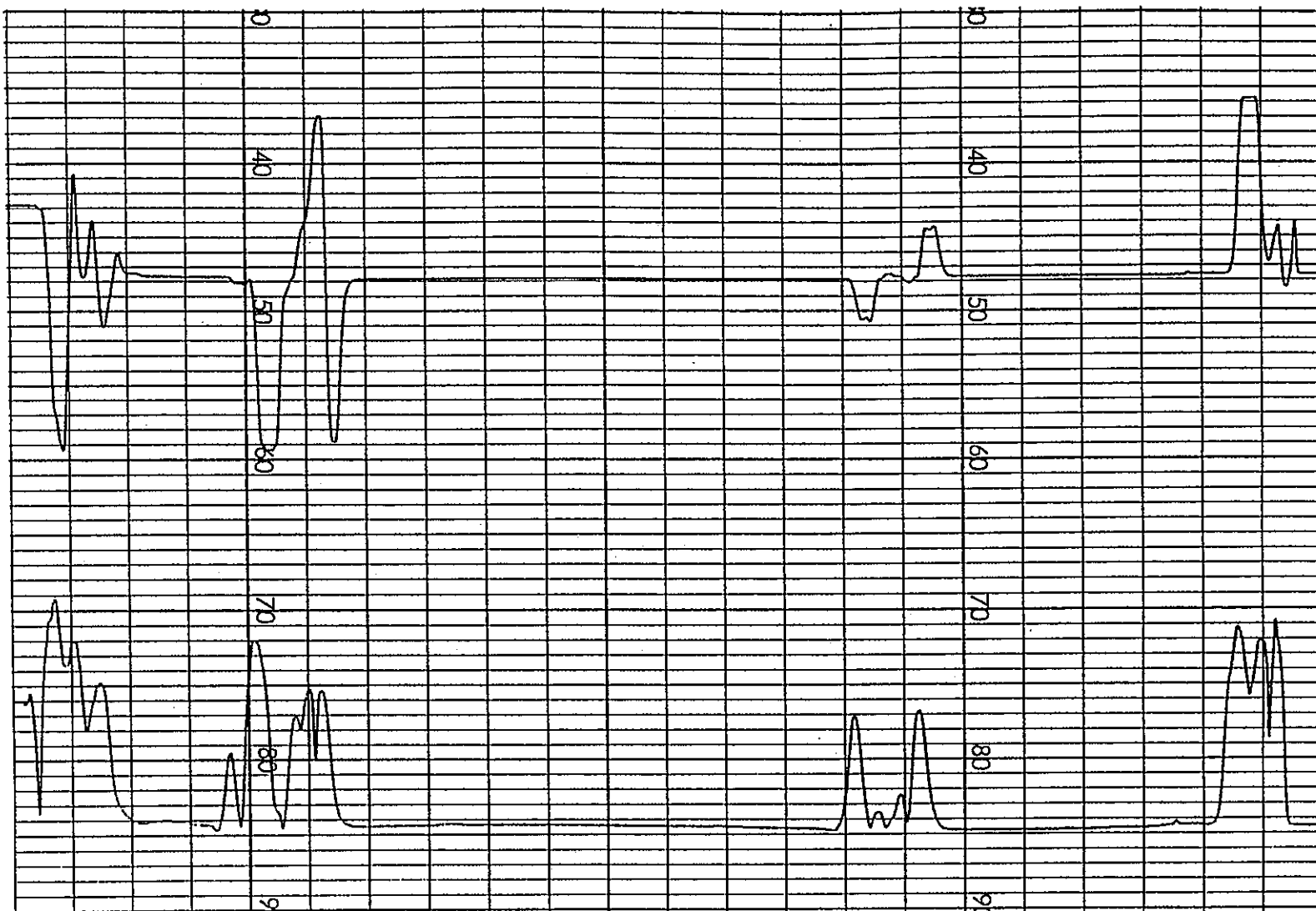


図3.2-10 IFA-591-10 出力急昇試験前検査結果 (渦電流探傷試験)
Upper Curve : Phase Signal, Lower Curve : Amplitude Signal
Gain : 4, Phase : 1.75
Axial Scale : 25.2 mm/Sc. div. Upper End to the Left

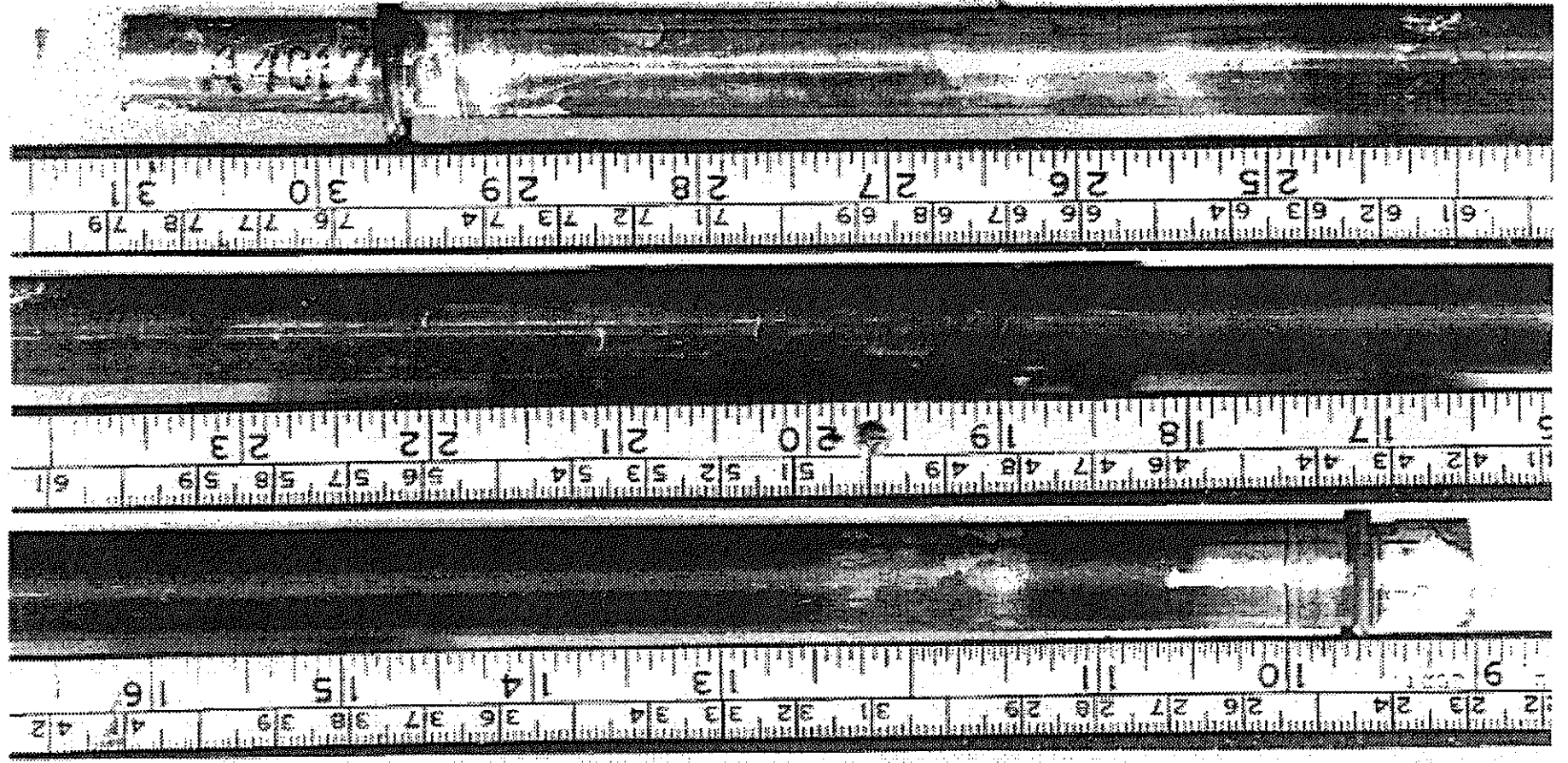


图3.2-11 IFA-591-11 出力急昇試験前検査結果 (外觀觀察)

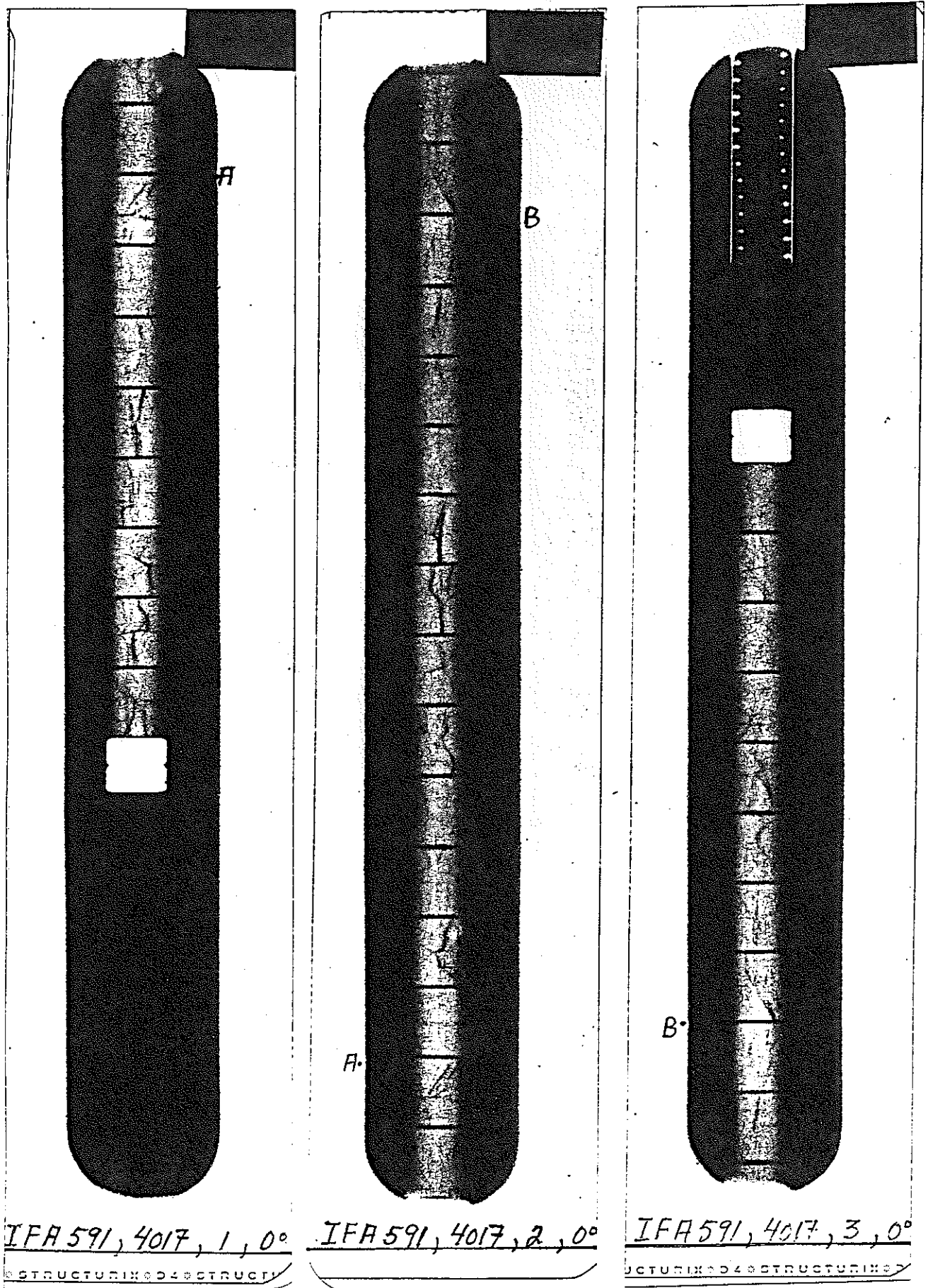


図3.2-12 IFA-591-11 出力急昇試験前検査結果 (中性子ラジオグラフィ)

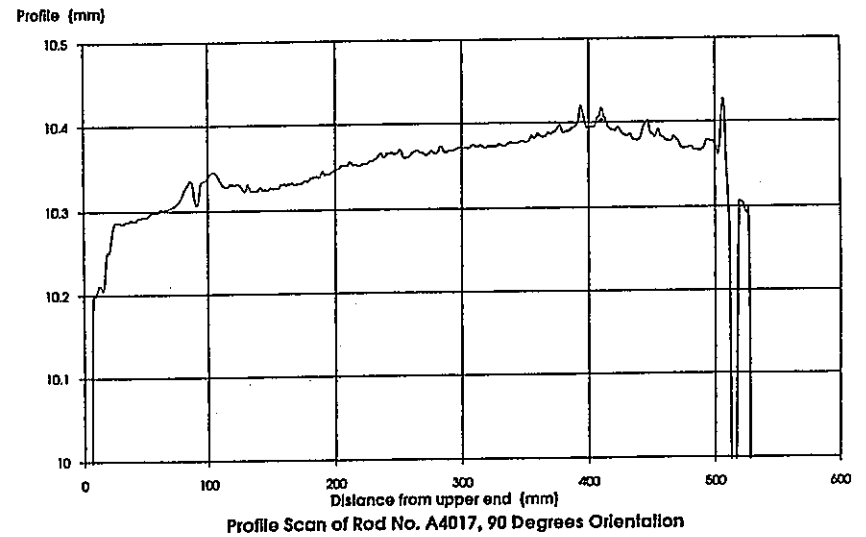
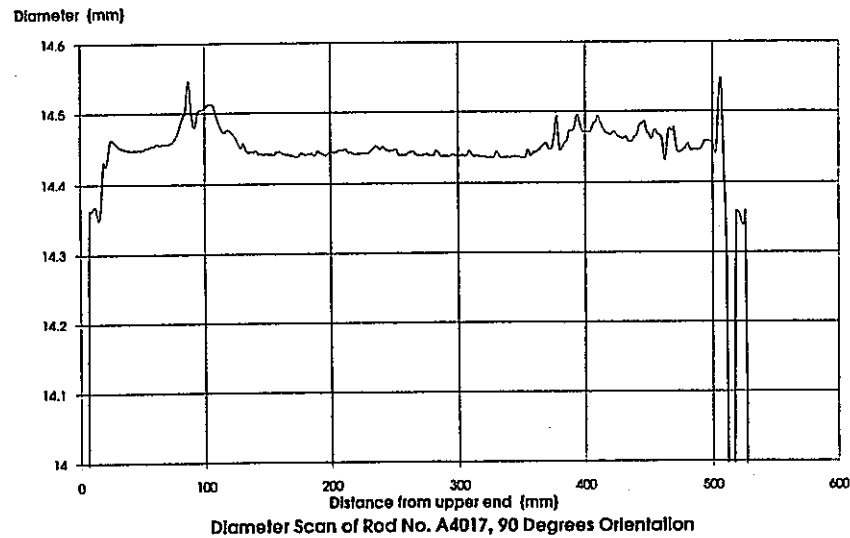
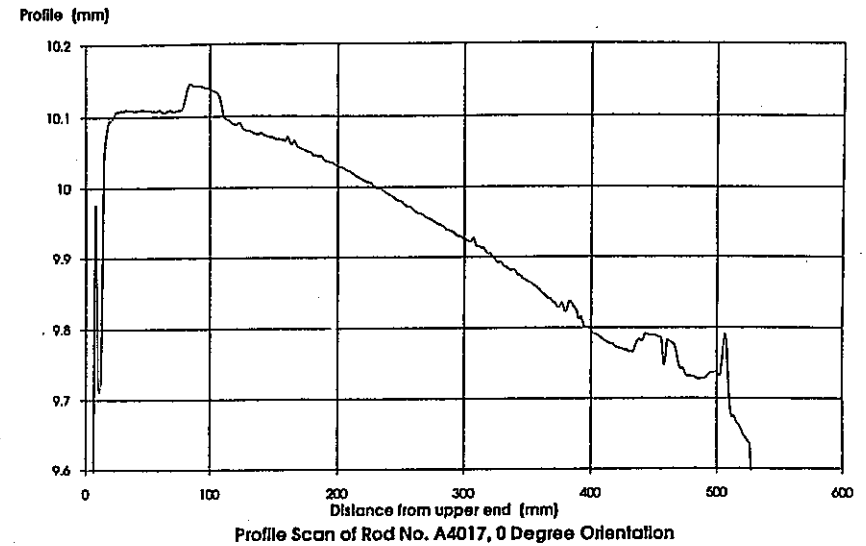
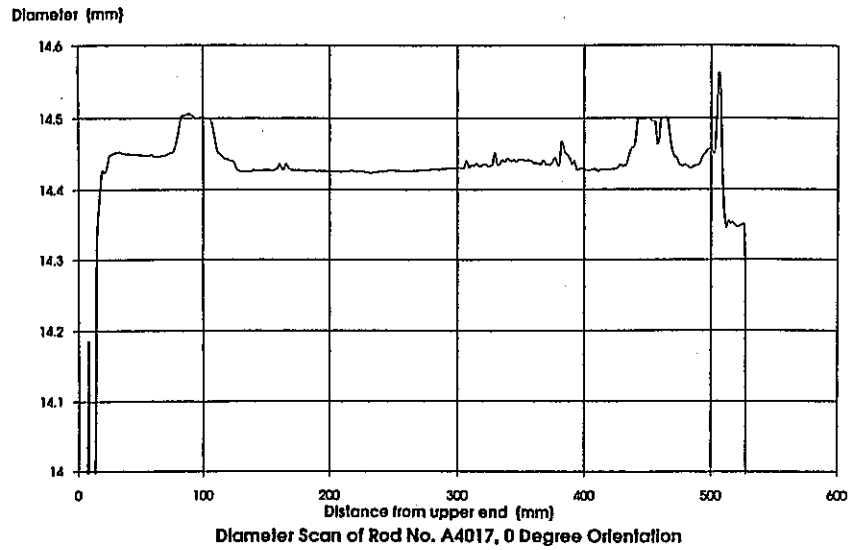


図3.2-13 IFA-591-11 出力急昇試験前検査結果
(外径測定)

図3.2-14 IFA-591-11 出力急昇試験前検査結果
(プロフィロメトリ)

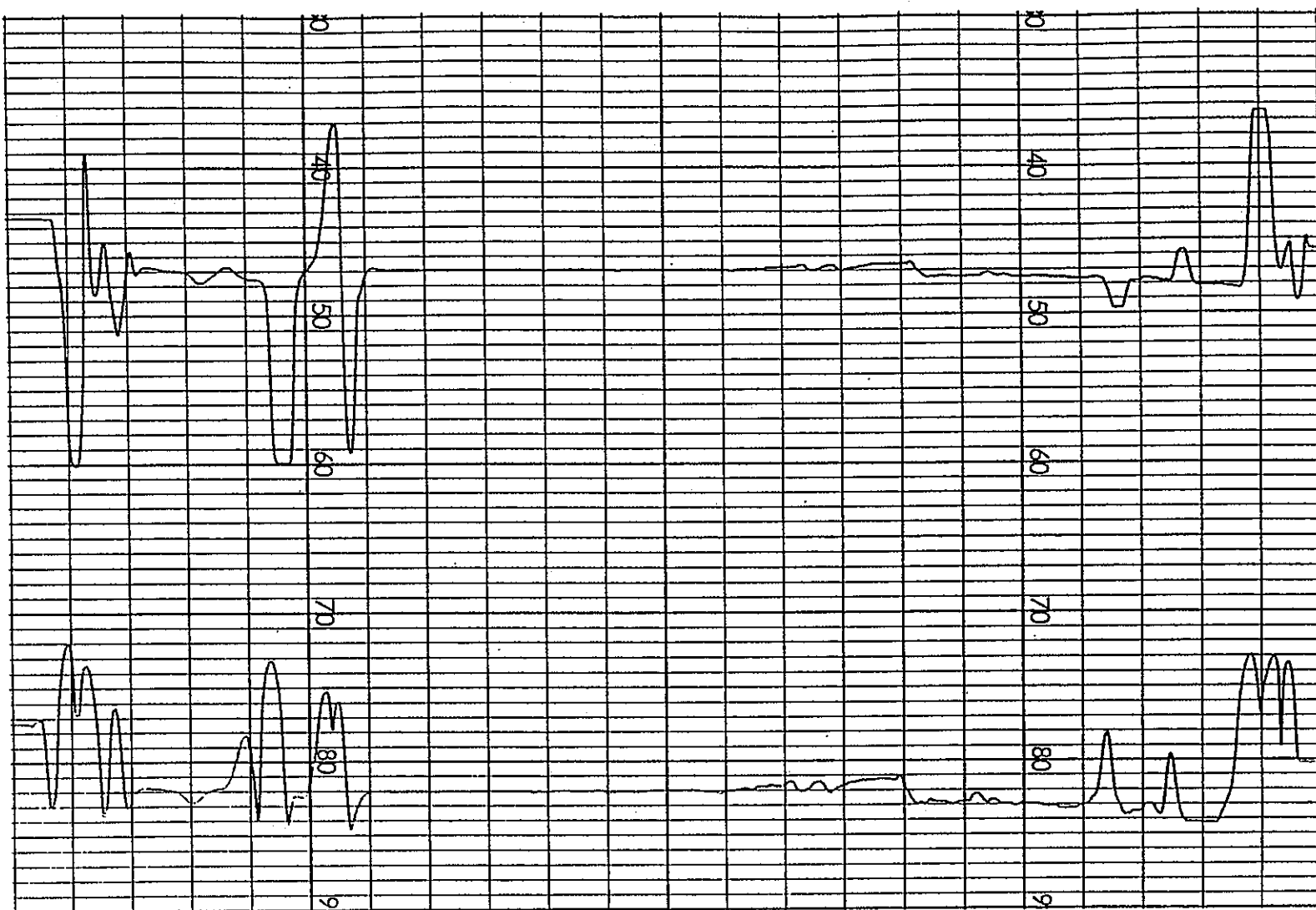


图3.2-15 IFA-591-11 出力急昇試験前検査結果 (渦電流探傷試験)

Upper Curve : Phase Signal, Lower Curve : Amplitude Signal

Gain : 4, Phase : 1.75

Axial Scale : 25.2 mm/Sc. div. Upper End to the Left

表3.2-2 ランプ試験に供した燃料棒の非破壊試験結果

回数	第1回ランプ試験			第2回ランプ試験			第3回ランプ試験		
燃料棒	IFA-591-1 (A4004)	IFA-591-2 (A6002)	IFA-591-3 (A4015)	IFA-591-4 (A4005)	IFA-591-5 (A6014)	IFA-591-6 (A4018)	IFA-591-9 (A6018)	IFA-591-10 (A4006)	IFA-591-11 (A4017)
	標準燃料 中実ペレット Zry-2管	改良型燃料 中実ペレット Zrライナー管	標準燃料 中実ペレット Zry-2管	標準燃料 中実ペレット Zry-2管	改良型燃料 中実ペレット Zrライナー管	標準燃料 中実ペレット Zry-2管	改良型燃料 中実ペレット Zrライナー管	標準燃料 中実ペレット Zry-2管	標準燃料 中実ペレット Zry-2管
外観観察	①白色部 (スベ サ2箇所)	①白色部 (スベ サ2箇所) (追記) ②下部スベ-サ部で剥 離	①白色部 (スベ サ2箇所)	①白色部 (スベ サ2箇所)	①白色部 (スベ サ2箇所) ②上部プレナム部 白色化 ③ペレット-ペレット-インク エ-スを観察	①白色部 (スベ サ2箇所)	①剥離 (下端から 160-189mmスベ サ部) ②上部プレナム部白 色化 ③ペレット-ペレット-インク エ-スを観察 ④白色部 (スベ サ2箇所)	①傷跡、引っ掻き 傷 (特に上部) ②ペレット-ペレット-インク エ-スを観察 ③白色部 (スベ サ2箇所)	①局所的な剥離 (下 端から61-86mm) ②上部プレナム部白 色化 ③白色部 (スベ サ2箇所)
渦電流探傷試験	①部で大きな乱れ	①部で大きな乱れ	①部で大きな乱れ	①部で大きな乱れ	①部で大きな乱れ	①部で大きな乱れ	④部で大きな乱れ	③部で大きな乱れ	③部で大きな乱れ
外径測定	①部で80 μ m膨ら み、すぐ横で20 μ m減肉	①部で90 μ m膨ら み、すぐ横で30 μ m減肉	①部で90 μ m膨ら み、すぐ横減肉な し	①部で60 μ m膨ら み、すぐ横で15 μ m減肉	①部で78、68 μ m膨 らみ、すぐ横で25 μ m減肉	①部で90、60 μ m膨 らみ、すぐ横で減 肉なし	④部で100 μ m膨ら み、すぐ横で60 μ m 減肉 (剥離)	③部で70 μ m膨ら み、すぐ横で10 μ m 減肉	③部で95 μ m膨ら み、すぐ横で減肉な し
酸化膜厚さ (推定)	スベ-サ部: 60 μ m 以外: 7-15 μ m	スベ-サ部: 65 μ m 以外: 7-15 μ m	スベ-サ部: 73 μ m 以外: 7-15 μ m	スベ-サ部: 60 μ m 以外: 7-15 μ m	スベ-サ部: 60 μ m 以外: 7-15 μ m	スベ-サ部: 60-80 μ m 以外: 7-15 μ m	スベ-サ部: 50-60 μ m 以外: 7-15 μ m	スベ-サ部: 60-70 μ m 以外: 7-15 μ m	スベ-サ部: 60-70 μ m 以外: 7-15 μ m
プロファイル 燃料ロッドの最大 曲がり	70 μ m	50 μ m	170-180 μ m	>0.29mm	0.32mm	0.10mm	0.15mm	0.12mm	0.12mm
X線透過写真 スタック長の増加率	-0.45%	-0.35%	-0.26%	-0.24%	-0.25%	-0.21%	-0.3%	-0.4%	-0.04%
中性子放射線 異常なし	ペレット割れ 異常なし	同左	同左	同左	同左	同左	燃料スタック健全 ペレットキヤブ健全 被覆管水素化物なし	同左	同左
ガンマスキャン (推定)	燃焼度ほぼ一定 特異事象なし	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左

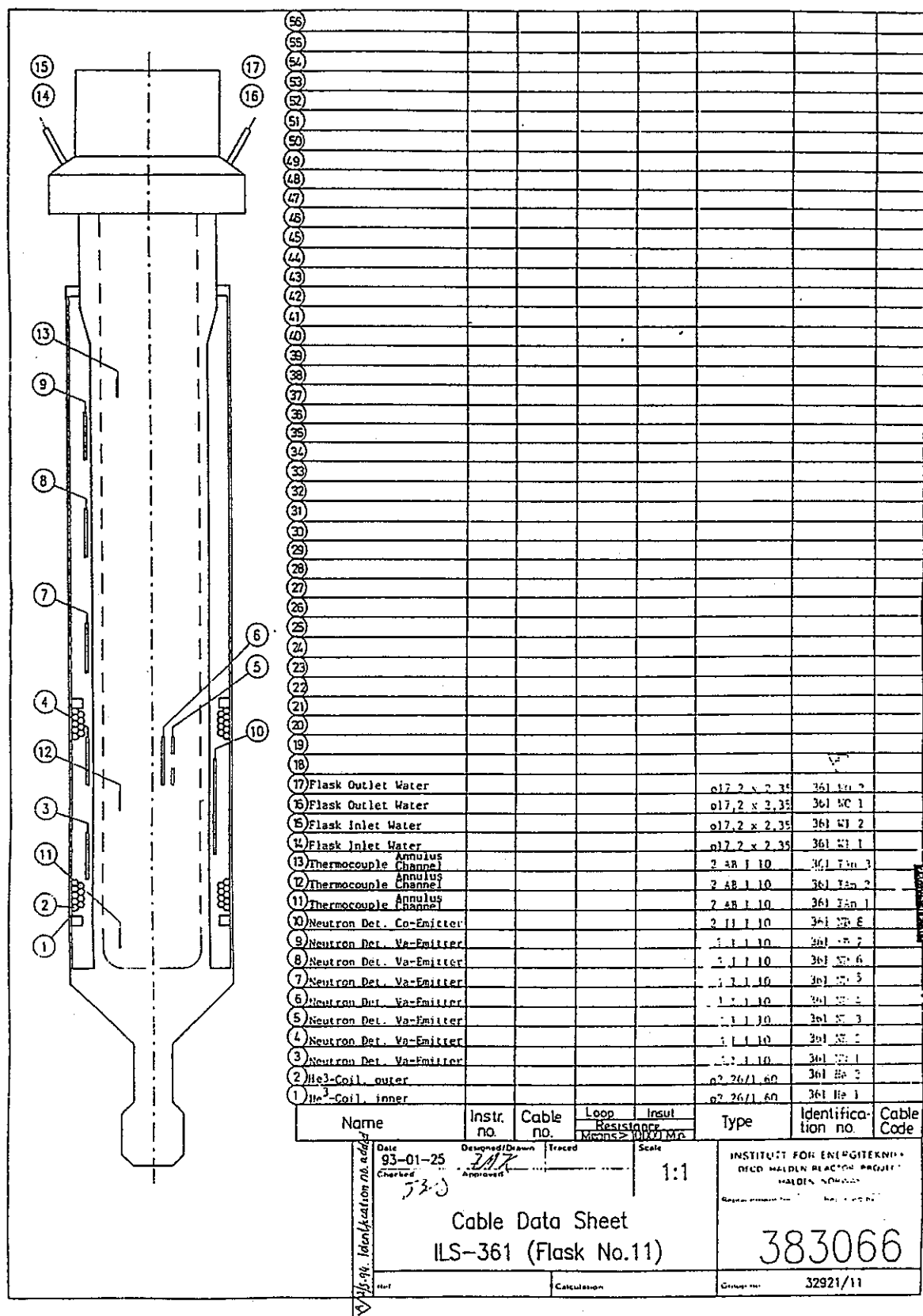
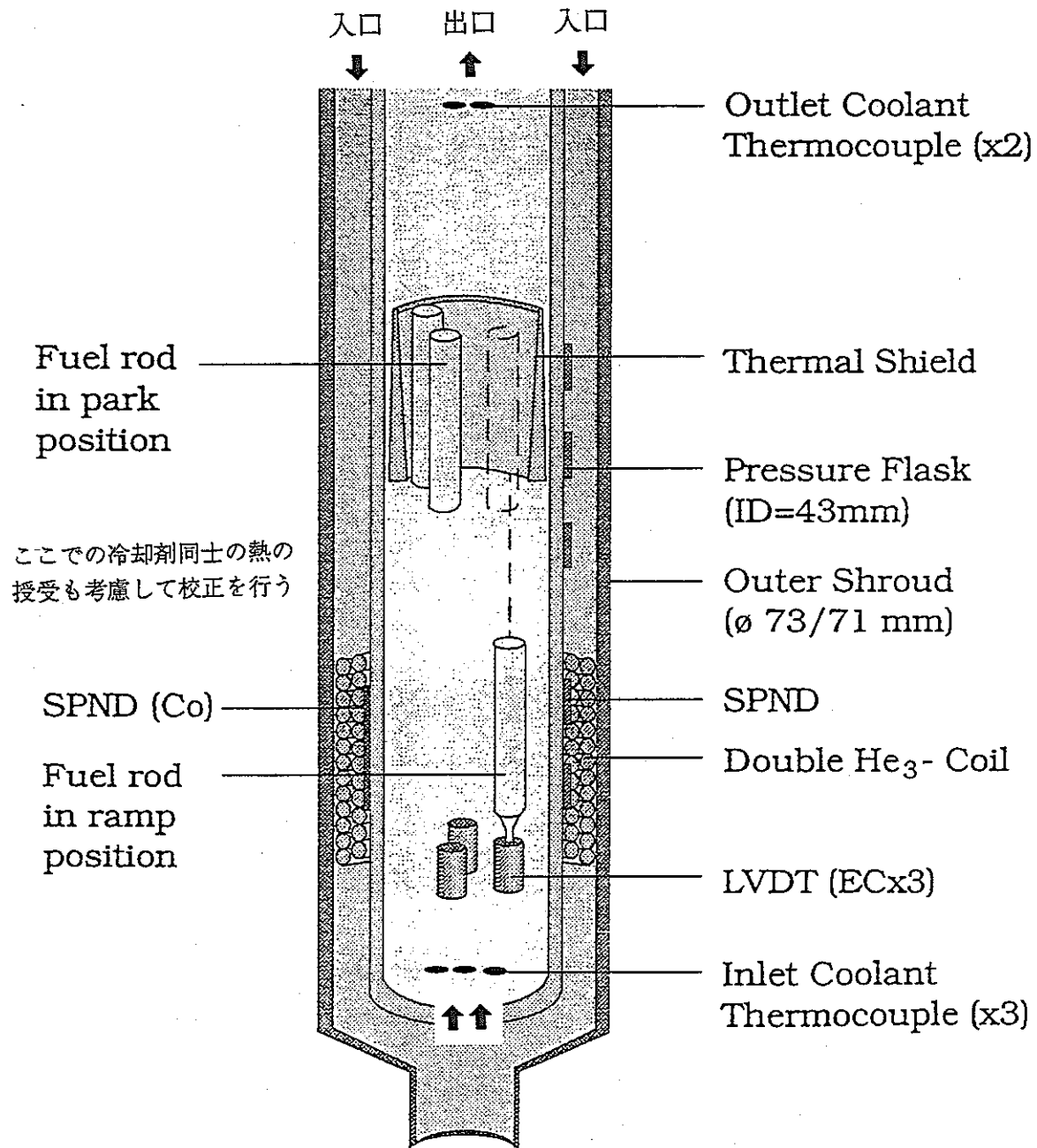


图3.2-16 中性子検出器配置図



INSTITUTT FOR ENERGITEKNIKK
HALDEN REACTOR PROJECT

IFA-591, PNC ATR RAMP TEST RIG. (3 - RODS)



Tegn H.S-O 10/4-94 Uacrs/Hil/Aarrest4.drw

図3.2-17 リグの概念図

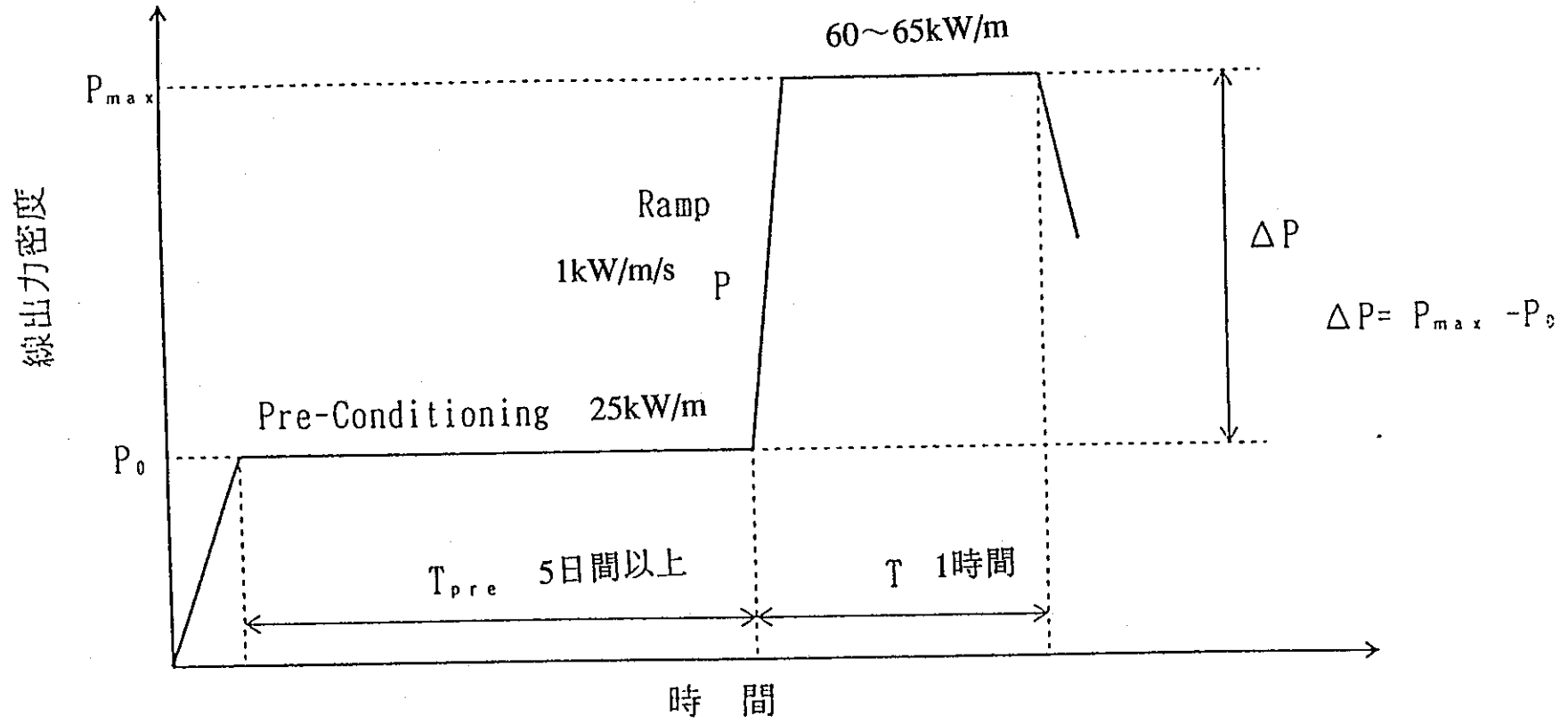
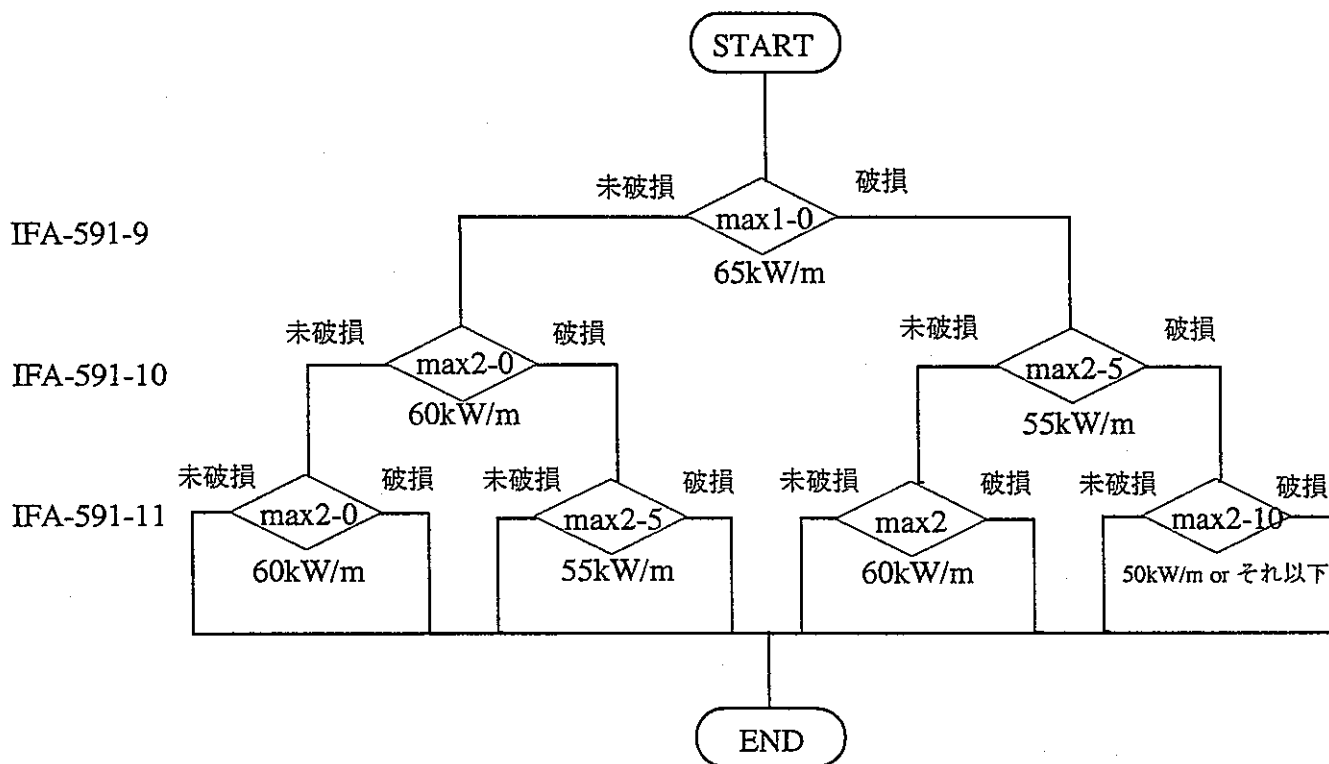


図3.2-18 シングルステップ出力急昇試験モード模式図



max1 : ベース照射13.0GWd/tで得られる最大到達線出力65kW/m
 max2 : ベース照射17.9GWd/tで得られる最大到達線出力60kW/m
 (65*(1-0.08)) =59.8kW/m

図3.2-19 目標到達線出力の決定方法



INSTITUTT FOR ENERGITEKNIKK
OECD Halden Reactor Project

From: 1995/01/01 00:00
To : 1995/02/10 12:00

ALHR9,10,11 and QTERM vs Time ECリファレンスデータ取得&リハーサル ランプ試験

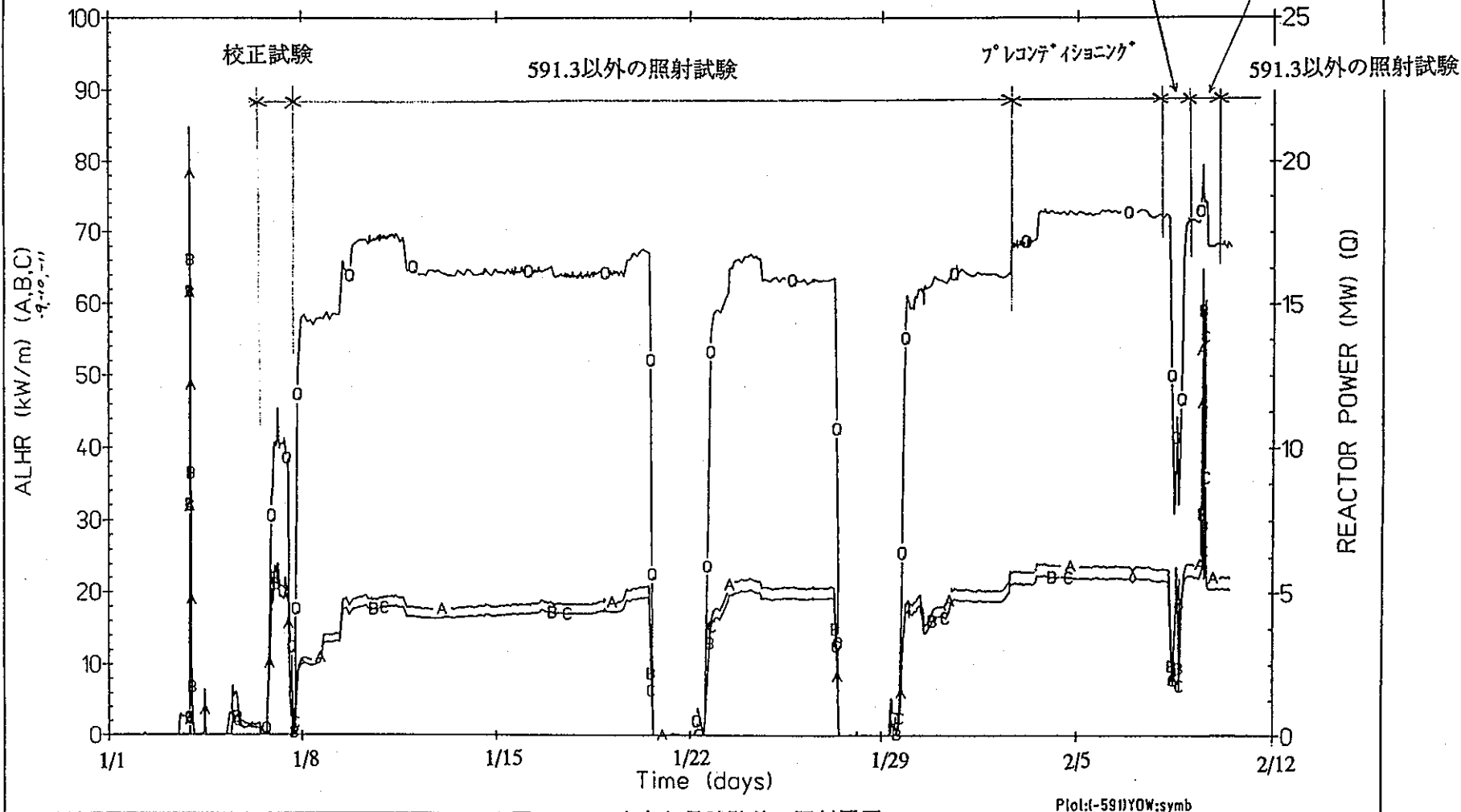


図3.2-20 出力急昇試験前の照射履歴

Plot:(-591)YOW:symb



INSTITUTT FOR ENERGITERNIKK
OECD Halden Reactor Project

IFA-591.1 AXIAL FLUX DISTRIBUTION

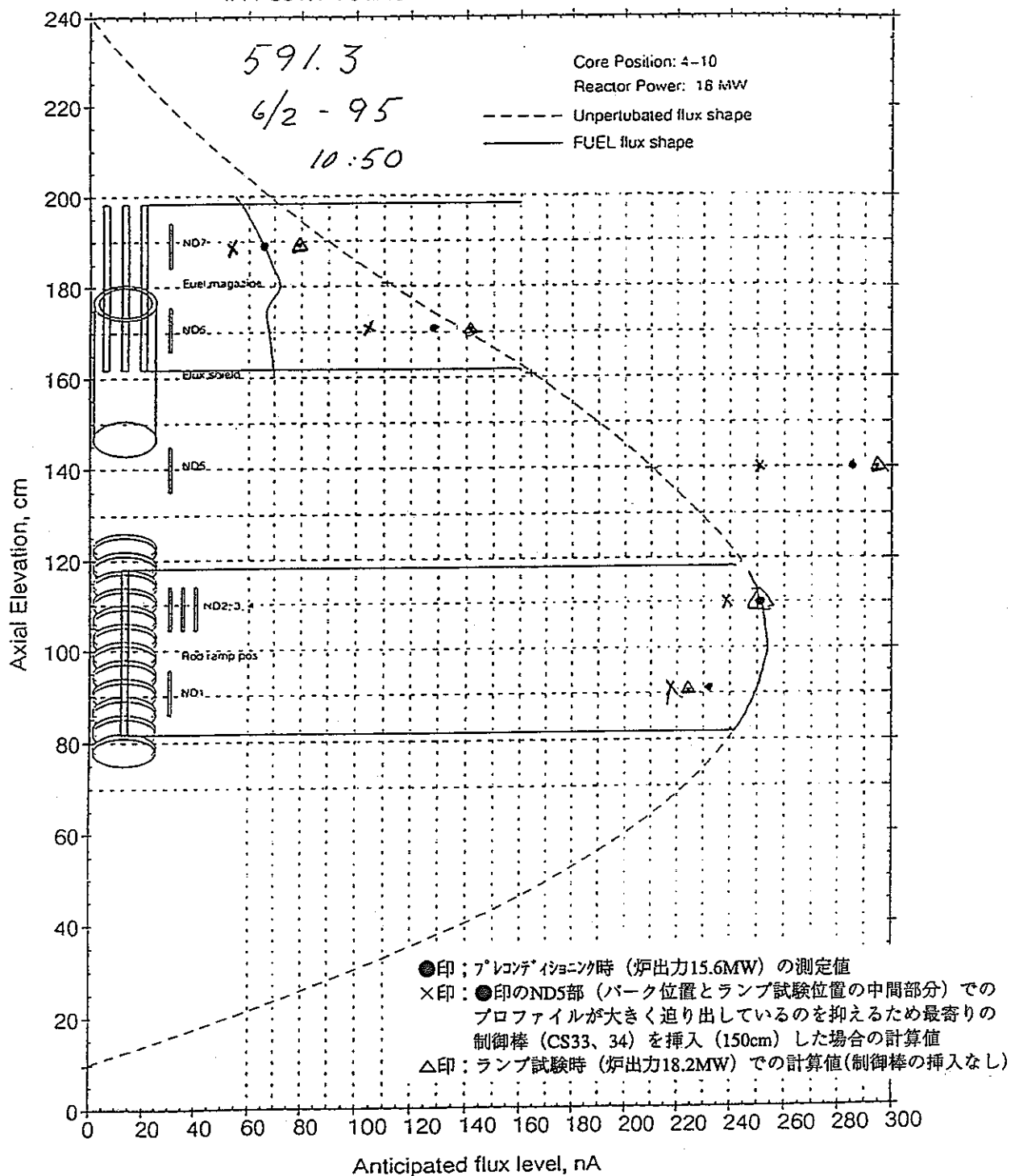


図3.2-21 軸方向フラックスプロファイル

Plot name flux591:plot
Plotted: 1994/06/07 09:48



INSTITUTT FOR ENERGITEKNIKK
OECD Halden Reactor Project

From: 1995/02/02 00:00
To : 1995/02/08 10:00

ALHR9,10,11 and QTERM vs Time

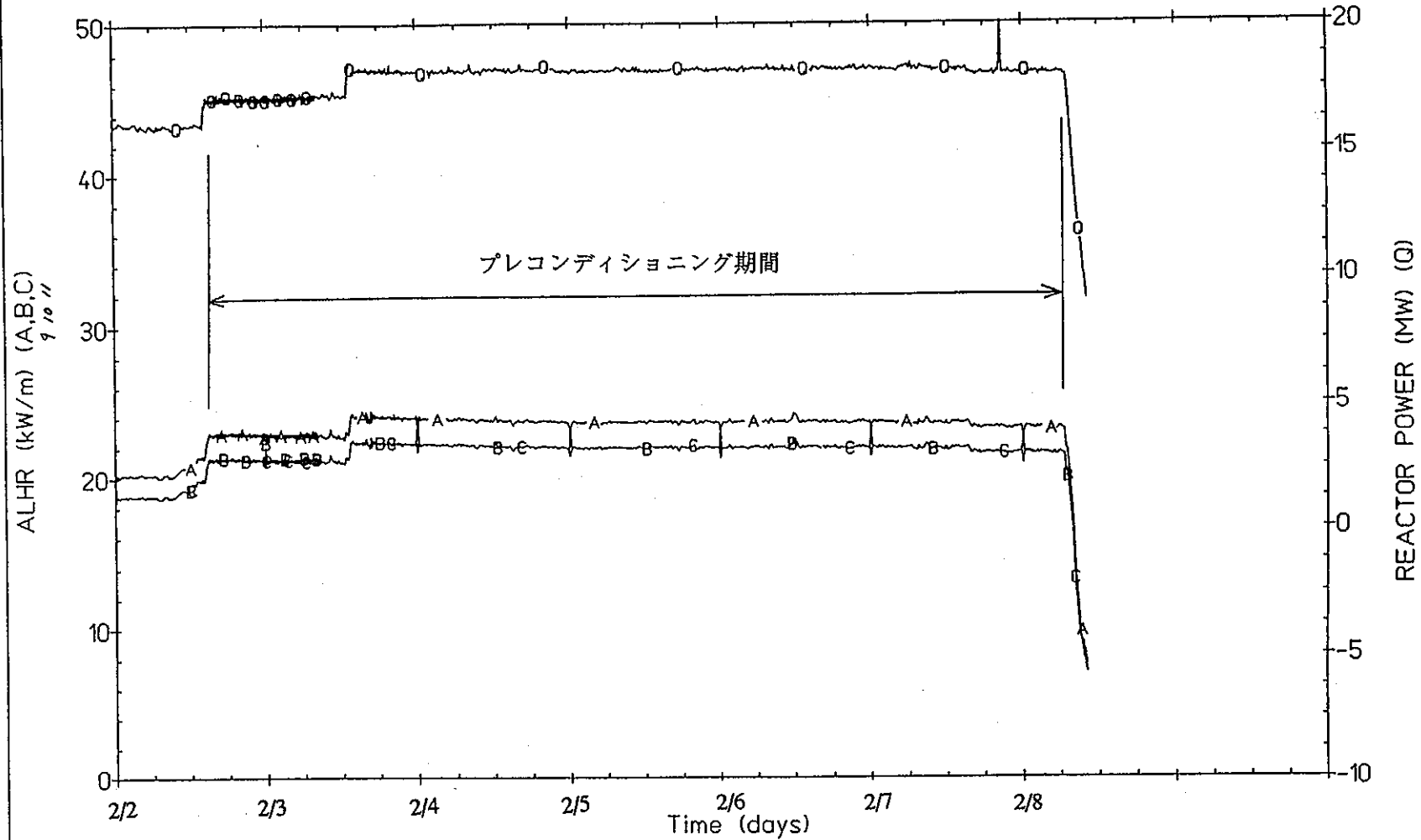


図3.2-22 プレコンディショニング時の照射履歴



INSTITUT FÜR ENERGIEKNIKK
OECD Holden Reactor Project

From: 1995/02/08 06:00
To : 1995/02/08 20:00

ALHR9,10,11 and QTERM vs Time

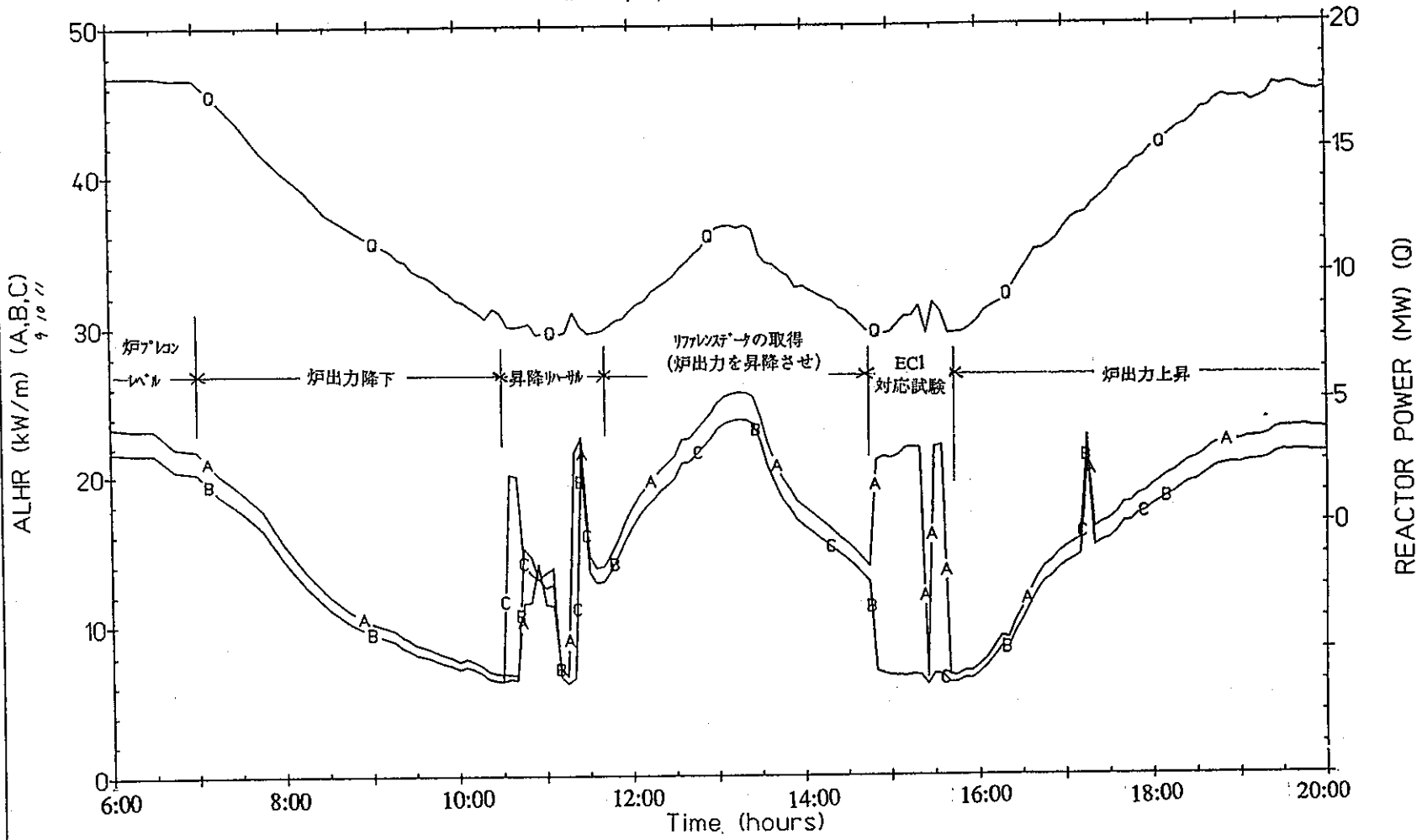


図3.2-23 被覆管伸び計のリファレンスデータ取得時の照射履歴

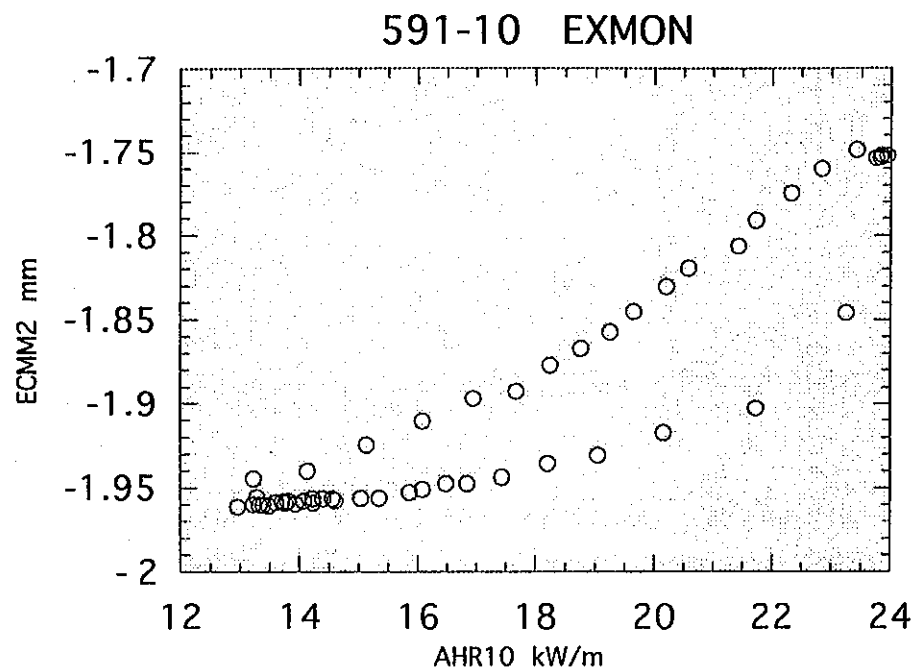


図3.2-24 IFA-591-10の被覆管伸びと線出力の関係 (リハーサル時)

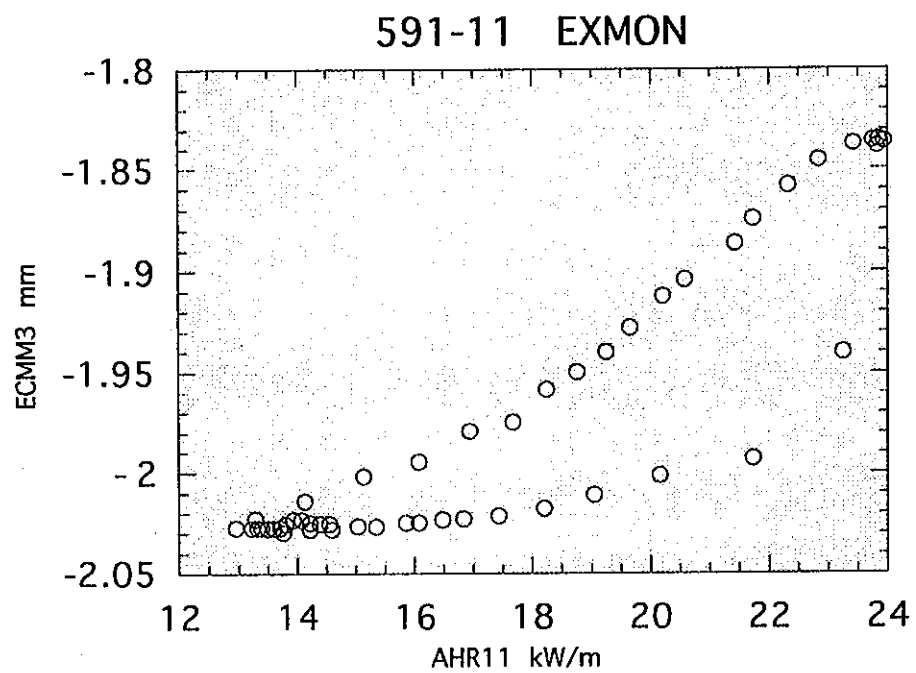


図3.2-25 IFA-591-11の被覆管伸びと線出力の関係 (リハーサル時)

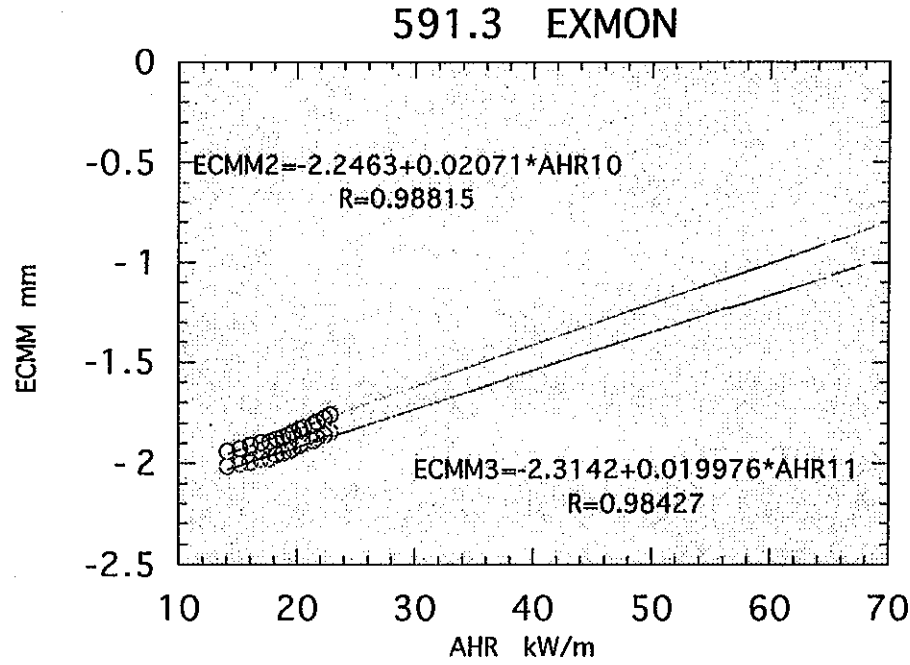
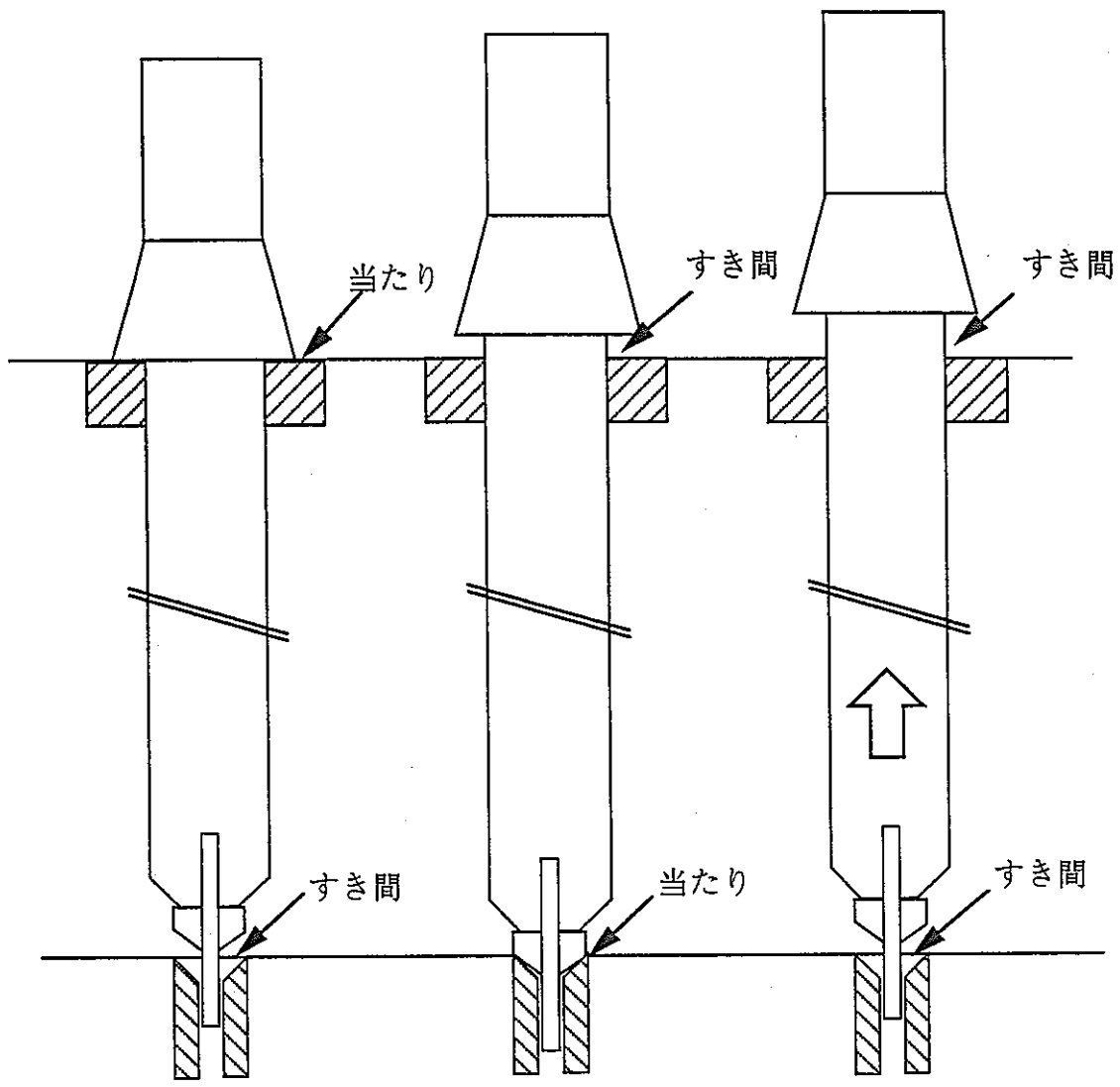


図3.2-26 IFA-591-10、11の被覆管伸び（収縮部を含まない）
と線出力の関係（リハーサル時）



(A)正常な状態

(B)EC出力が変化しない
今回の状態

(C)改善策

セグメント燃料をわずかに
浮かせてEC出力を得る

図3.2-27 セグメント燃料と被覆管伸び計出力の関係

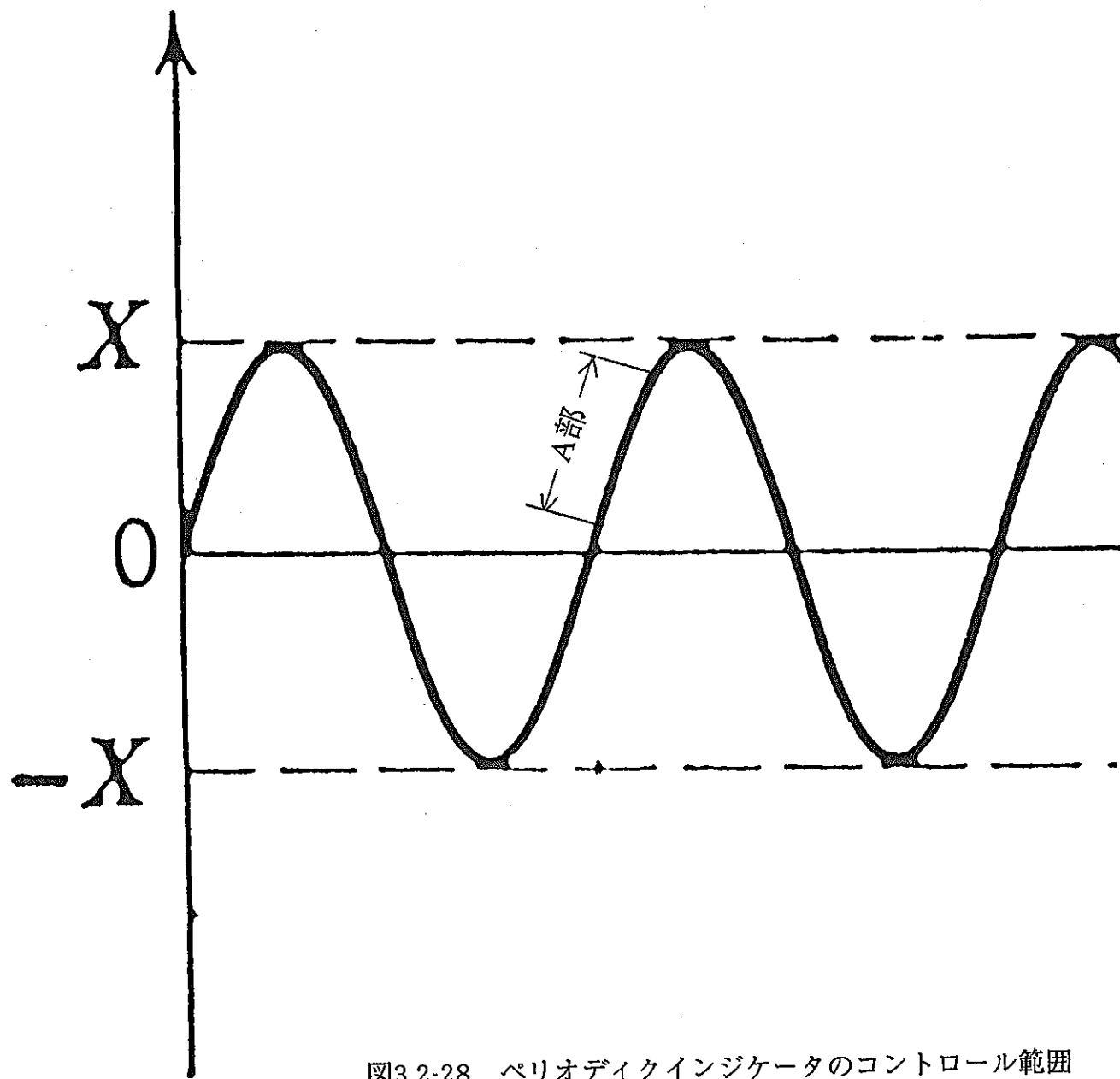


図3.2-28 ペリオディクインジケータのコントロール範囲



INSTITUTT FOR ENERGITEKNIKK
OECD Halden Reactor Project

EP-212

IFA-591.3, EC,ND8 and Gamma Monitor

Data from: 1995/02/09 10:00
Data to : 1995/02/09 11:30

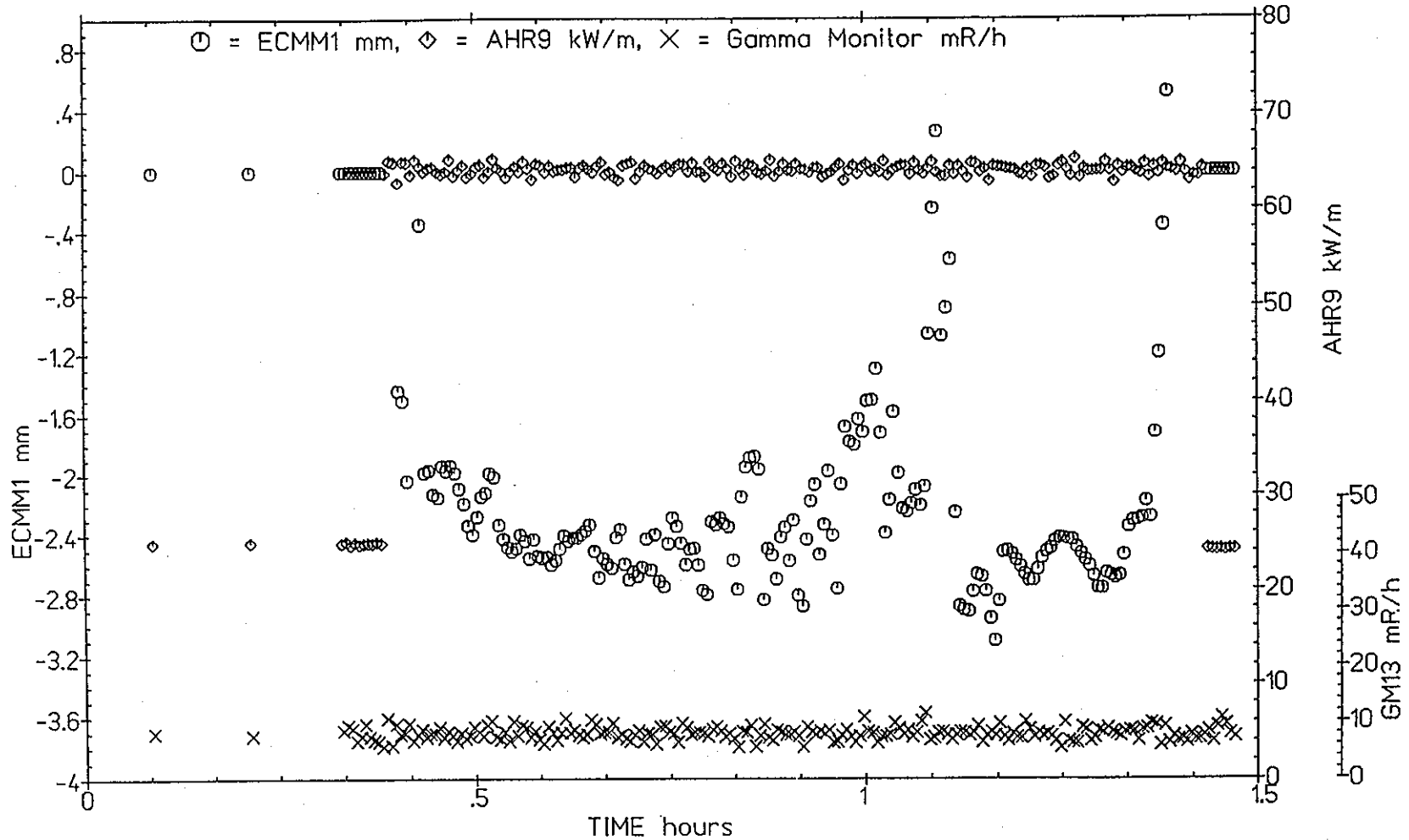


図3.2-29 IFA-591-9 の被覆管伸びと出力変化 (EXMONデータ)

(ECMM1には被覆管伸びにセグメント燃料の上下動が含まれる)

591-EC Plotted 1995/02/10 16:06



INSTITUTT FOR ENERGITEKNIKK
OECD Halden Reactor Project

EP-212

IFA-591.3, EC,ND8 and Gamma Monitor

Data from: 1995/02/09 11:30

Data to : 1995/02/09 13:00

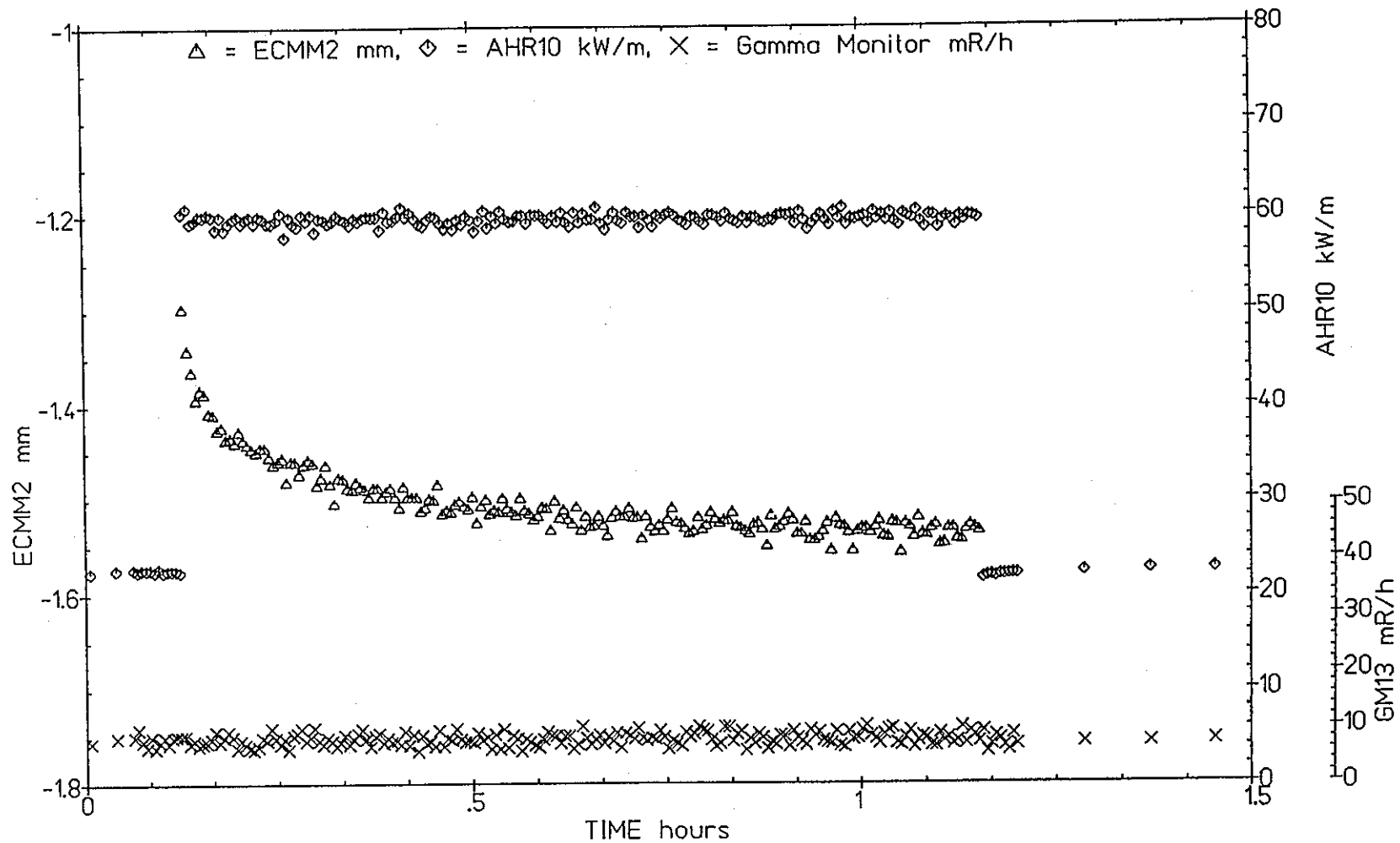


図3.2-30 IFA-591-10 の被覆管伸びと出力変化(EXMONデータ)

591-EC Plotted 1995/02/10 16:07



INSTITUTT FOR ENERGITEKNIKK
OECD Holden Reactor Project

EP-212

IFA-591.3, EC,ND8 and Gamma Monitor

Data from: 1995/02/09 13:00

Data to : 1995/02/09 14:30

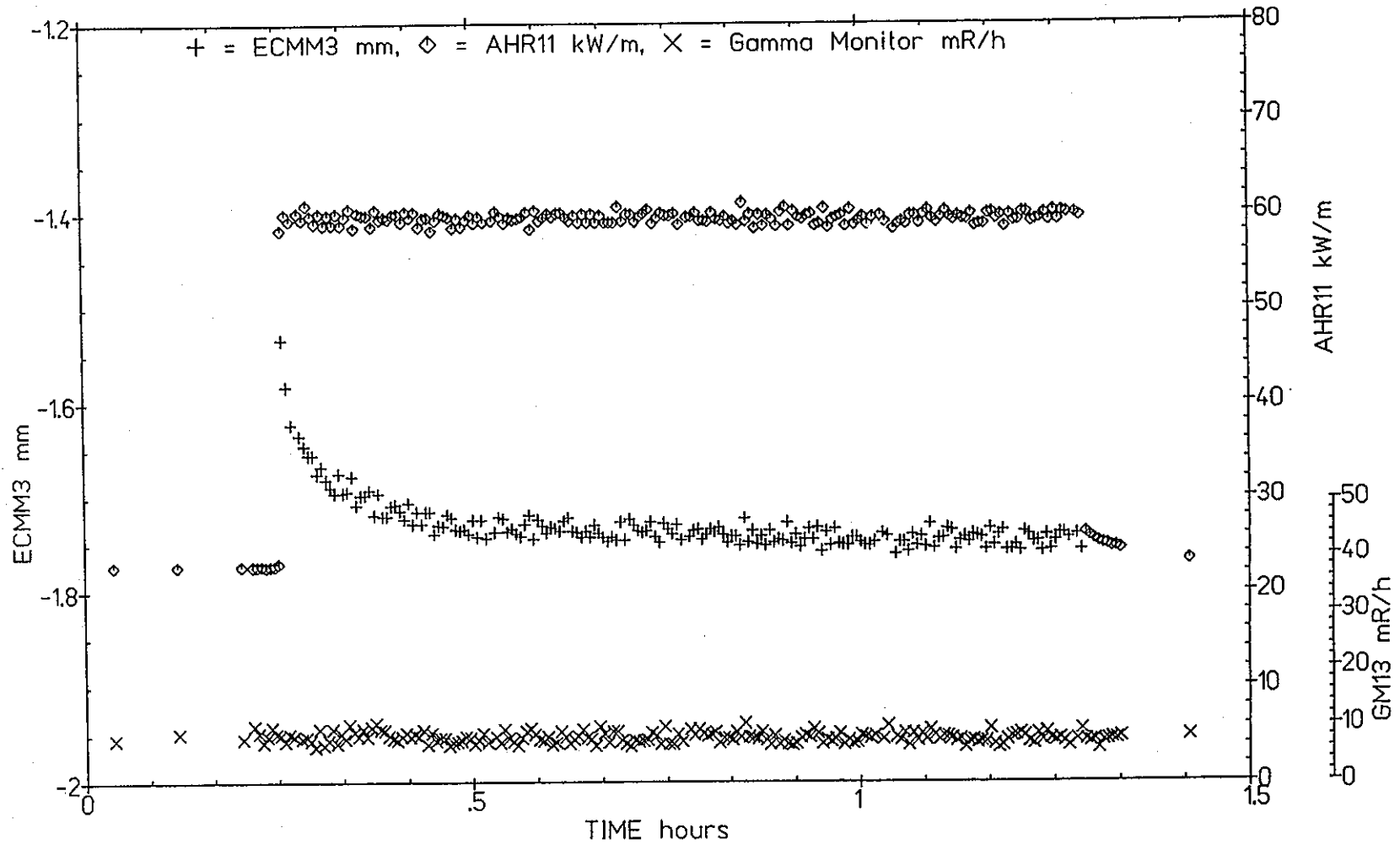


図3.2-31 IFA-591-11 の被覆管伸びと出力変化(EXMONデータ)

591-EC Plotted 1995/02/10 16:09

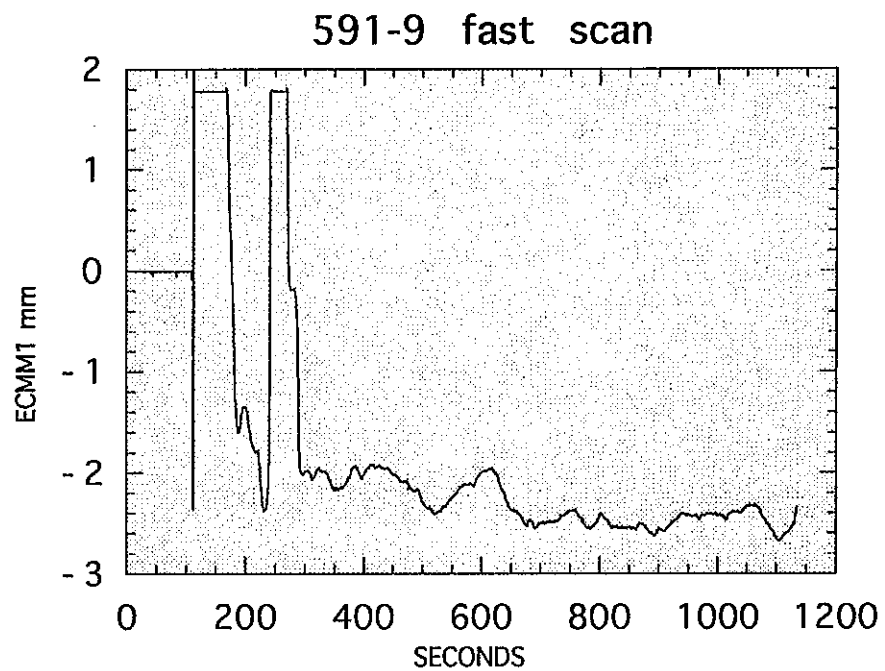


図3.2-32 IFA-591-9 の被覆管伸びと出力変化 (Fast Scanデータ)
(ECMM1には被覆管伸びにセグメント燃料の上下動が含まれる)

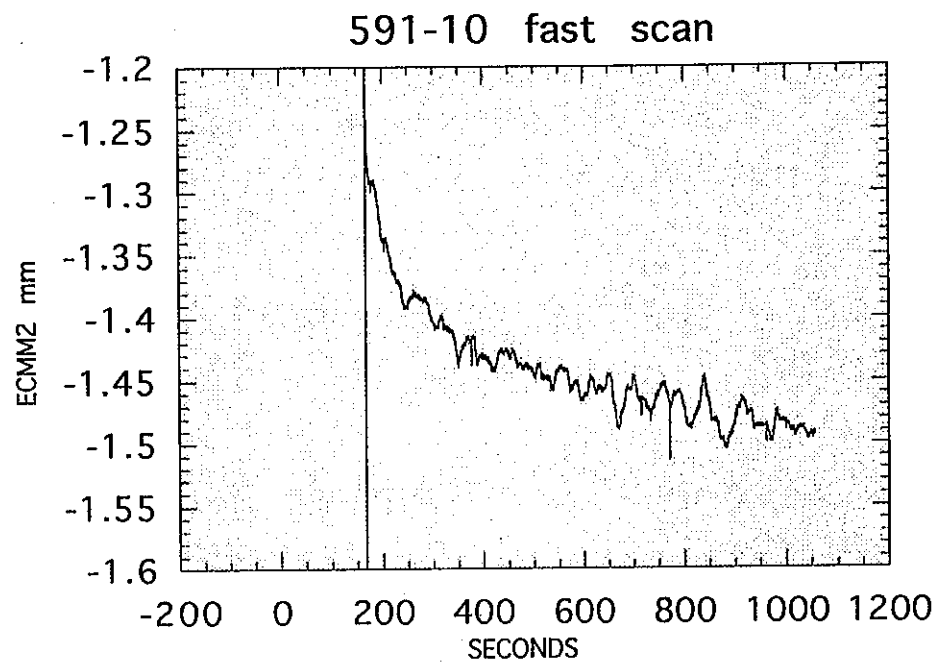


図3.2-33 IFA-591-10 の被覆管伸びと出力変化 (Fast Scanデータ)

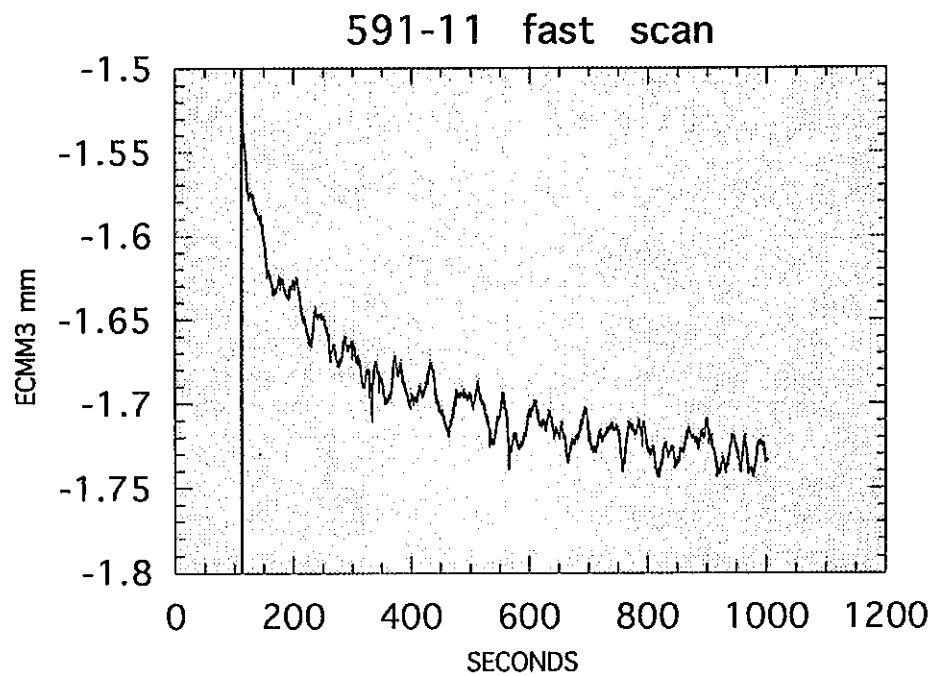


図3.2-34 IFA-591-11 の被覆管伸びと出力変化 (Fast Scanデータ)



INSTITUT FOR ENERGITEKNIKK
OECD Halden Reactor Project

EP-212

Data from: 1995/02/09 11:30
Data to : 1995/02/09 13:00

IFA-591.3, EC versus TO

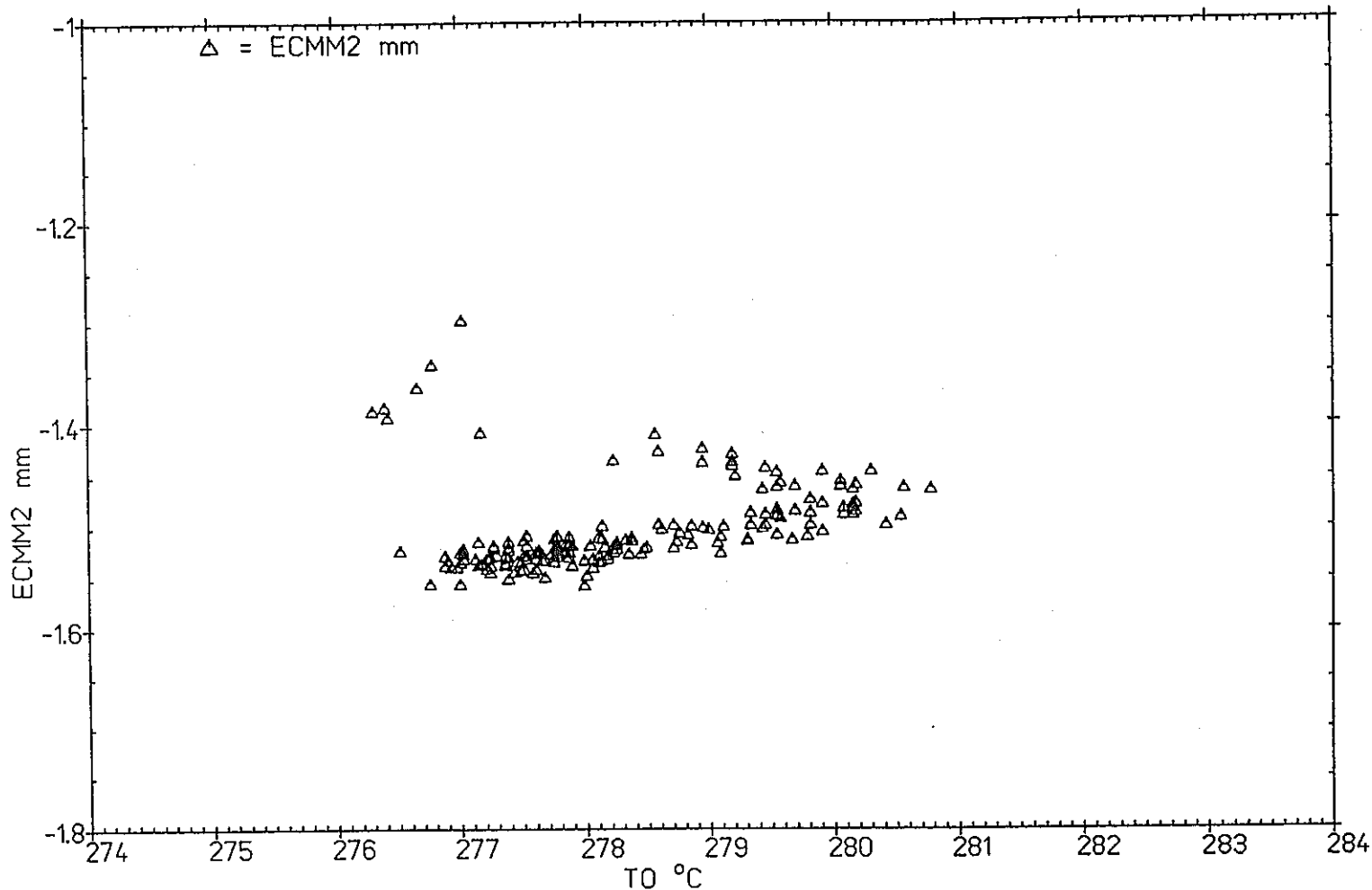


図3.2-35 IFA-591-10 の被覆管伸びと冷却剤出口温度の関係

591-EC Plotted 1995/02/10 16:35



INSTITUTT FOR ENERGITEKNIKK
OECD Holden Reactor Project

EP-212

Data from: 1995/02/09 13:00
Data to : 1995/02/09 14:30

IFA-591.3, EC versus TO

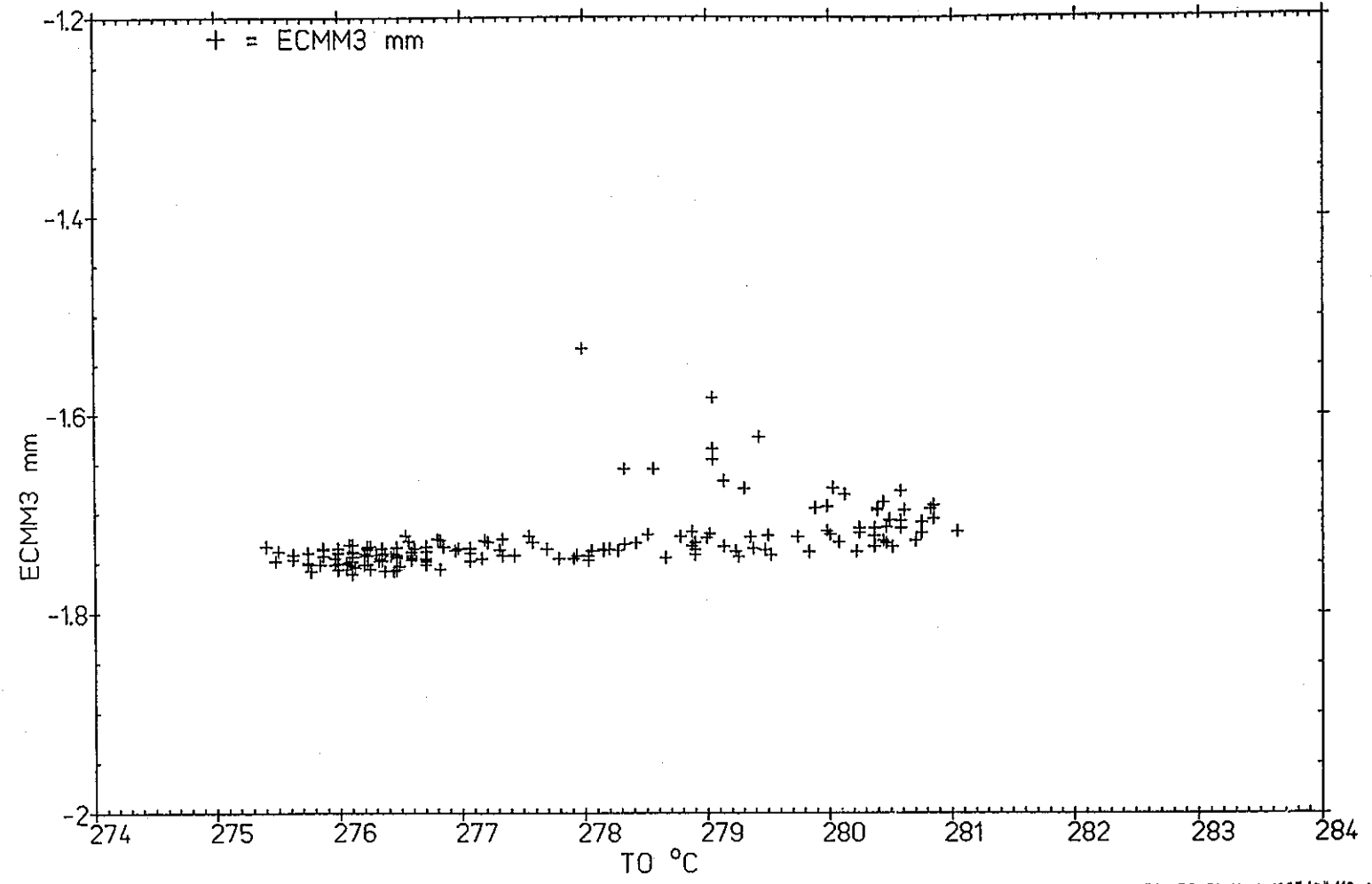
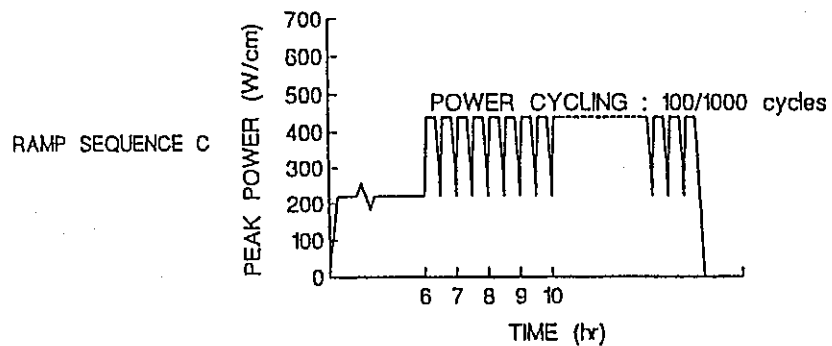
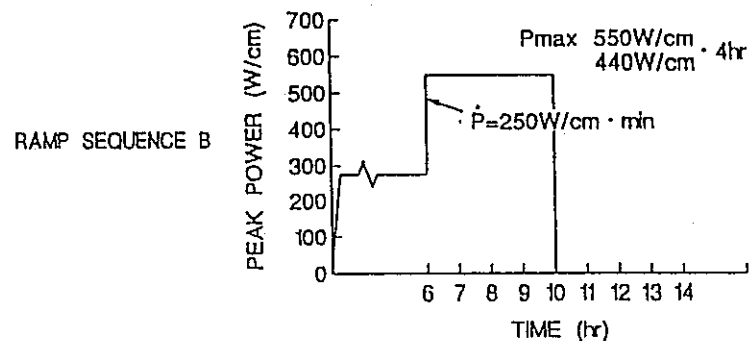
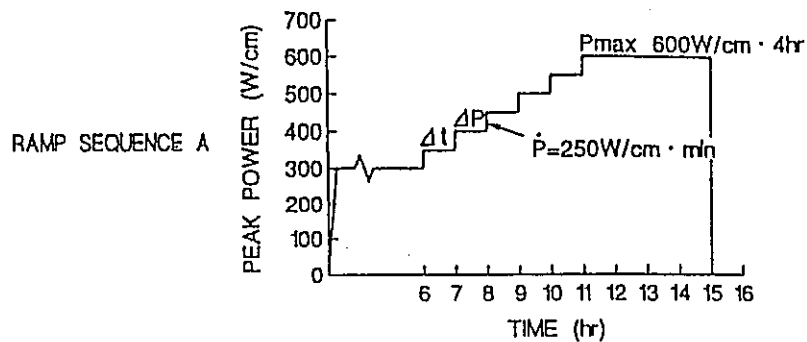
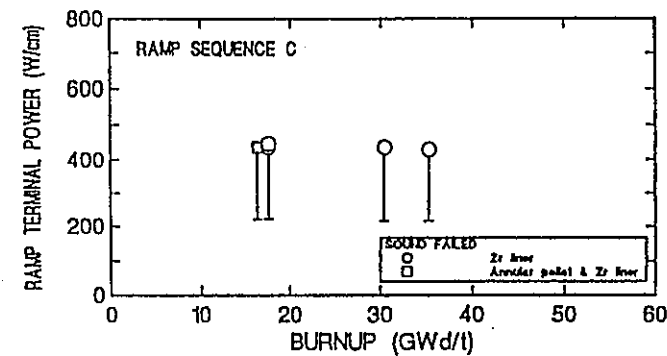
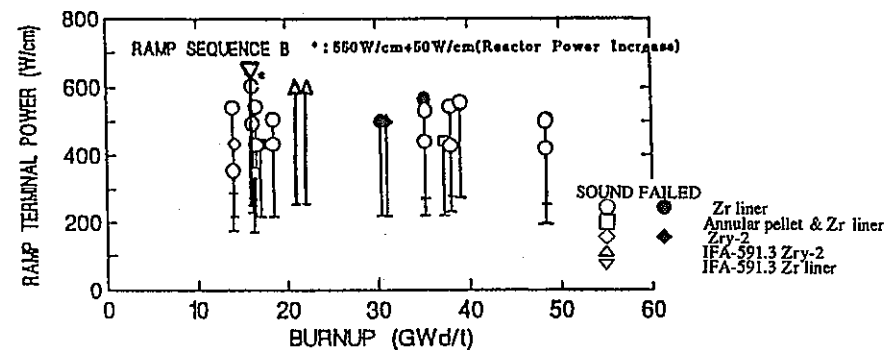
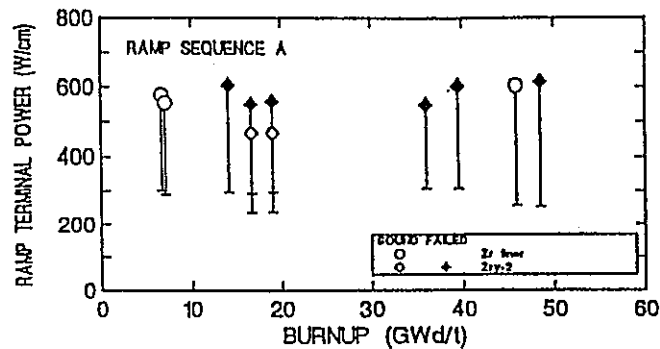


図3.2-36 IFA-591-11 の被覆管伸びと冷却剤出口温度の関係

591-EC Plotted 1995/02/10 16:31



POWER RAMP SEQUENCE



RAMP TEST RESULTS

図3.2-37 BWR仕様 UO_2 燃料の出力急昇試験結果

"Fuel Behavior During Power Ramp Test" H. Ohara, et al., Int. Topical Meeting on LWR Fuel Performance, West Palm Beach (1994)

4. PIEデータについての打ち合わせ

4.1 照射後試験についての打ち合わせ

2月3日にInstitutt for Energiteknikk (IFE) からMr. Lunde, Mr. Arnesen, Mr. Ingebrigtsen, Mr. Jenssen, Miss. Oberländerが、動燃から飯島、矢野が出席し、以下の打ち合わせを行った。

4.1.1 IFA-555ロッド1の破壊試験結果 (途中)

表4.1-1に試験計画を示す。試験項目の右側に「レ」の入っている項目は試験を終了したものであり、ほぼ計画通りに進捗している。なお、報告書は、2分冊とし、第1分冊については試験は終了し、報告書の校正段階に入っている。

すでに終了している試験の概要は以下の通りである。

- (1)外観観察用の写真からは、ロッド上部で燃料、被覆管とも著しい破損が確認できた。
- (2)SEM観察では、結晶粒界のポイドが鮮明に写っており良好な写真が得られている。
- (3) γ/β スキャンデータはフロッピーディスク (ASCIIコード) でも提供される。
- (4)リング引っ張り、水素濃度分析の結果は、軸方向4点で測定し、上部にいくに従い、それぞれ脆く、高くなる傾向を示している。

4.1.2 IFA-565及びIFA-554ロッド1,2,3,4,6の破壊試験 (計画)

両者ともこれから破壊試験に入るところであり、以下の予定であることを確認した。

- (1)IFA-565は、2/13の週にカッティング
- (2)IFA-554ロッド1,2,3,4,6は、2/10以降にパンクチャ試験、カッティング後、2/28以降に試験セルに搬入

4.2 燃料輸送に関する打ち合わせ

2月7日にハルデンプロジェクトからMr. Knudsen, Mr. Minagawaが、動燃から飯島、矢野が出席し、以下の打ち合わせを行った。

4.2.1 IFA-591

(1)動燃側から以下を連絡した。

- ①2回目のハルデンへの輸送時期は、輸送容器をTN6-5からTN6-4に変更するため、この許認可に関連して、当初計画から6ヵ月遅れの96年度中頃の見通しである。
- ②輸送容器の変更 (TN6-5→TN6-4) に伴い、輸送容器長が長く、重量が増加する。新容器のハルデンでの受け入れの可否についての検討依頼した。なお、第1回目と同様、ハルデンサイトで小さめのB型輸送容器に詰め替えた後、シェラー研究所に持ち込むため、シェラー研究所での受け入れに関する問題は発生しない。

(2)ハルデン側からは以下の要請があった。

- ①ハルデンへの輸送を日本側で実施するとしても、ノルウェー国内輸送 (オスロ港以降) はハルデン側でも対応することになる。例えば、日本はパリ条約に加盟していないが、これに基づく保険の対応等、ハルデン側で実施することになるので、必要な情報の提供等密な協力を要請された。

- ②空容器の返送の内、日本国内輸送分については、動燃側で対応するよう要請された。
- ③動燃側のコンタクトパーソンを連絡するよう要請された。本件については、滞在中に、東海プル開室上村室長をコンタクトパーソンとする旨、回答した。なお、ハルデンサイトでの輸送容器（TN6-4）受け入れの可否についてもコンタクトパーソン宛に回答することとした。

4.2.2 IFA-590

(1)動燃側から以下を連絡した。

- ①輸送時期は、最短の場合、当初計画通り95年9月動燃発、10月ハルデン着

4.3 IFA-590部品等について

ハルデンプロジェクト Mr. Minagawaを通じて同Mr. Aarrestadに標記の件について以下のとおり確認した。

- (1)ハルデンでのリグ製作は先行して進められていたが、動燃での製造計画が遅れる見通しであることから中断している。
- (2)ハルデンで製作した部品の内、動燃での検査でスペックアウトとなっていた以下の部品について再製作する。再製作品を持ち返った。
 - ①ネジ部に打痕傷のあったEC End Plug（1ヶ）
 - ②有効巻き数が足らなかったプレナムスプリング（24ヶ）

表4.1-1 IFA-555ロッド1の破壊試験計画

PIE of IFA-555.1
DE time-schedule

Nov. '94	:	Met/Cer of 4 samples	✓	}	Vol I
"	:	$\alpha + \beta/\gamma$ -autoradiography of 2 samples	✓		
Dec. '94	:	SEM-inspection of fuel replica, 3 samples	✓		
Jan. '95	:	Micro gamma scanning of 3 samples	✓	}	Vol II
"	:	Ring tensile test of 4 samples	✓		
"	:	Hydrogen analysis of 4 samples	✓		
"	:	Visual inspection of internal cladding surface, 4 samples			
"	:	SEM inspection of 4 samples			
Feb. '95	:	Retained fission gas analysis, 9 samples			
"	:	Burn-up analysis, 3 samples			
"	:	Micro hardness test of 4 samples	✓		
Spring '95	:	Burst test of one sample			
June 30 '95	:	Final report			

Except for the final report, the given time schedule is tentative. It will be influenced by the work-out of DE of IFA-554 and IFA-565, and also by re-instrumentation work to be carried through in the concrete cells. It is particularly difficult to give the time for the burst test measurement, but it will be carried through some time next spring, probably in April or May.

5. まとめ

(1) ATR実証炉燃料の出力急昇試験

以下の3本のセグメント燃料についてシングルステップ出力急昇試験を行った。

- ・ IFA-591-9 (Zrライナー燃料、16.6GWd/t)
- ・ IFA-591-10 (標準燃料、21.2GWd/t)
- ・ IFA-591-11 (標準燃料、22.2GWd/t)

その結果は以下のとおりである。

- ①各セグメント燃料ともそれぞれ、64、60、60kW/mの到達線出力まで破損することなく照射され、試験が終了した。照射条件についても、満足できるものであった。
- ②IFA-591-10、-11の出力急昇約40秒後からの被覆管伸びデータからリラクゼーションを確認した。
- ③低出力時のリファレンスデータから、最大伸びをそれぞれ0.77、0.74mm以上と推定した。

これらの燃料挙動は、第1回のマルチステップの試験結果と同様であることを確認した。

(2) 照射後試験

すでに照射試験の終了しているIFA-554/555、565の照射後試験について、計画通り試験が進められていることを確認した。

別添1 パワーピーク (ND5) の影響評価

Institutt for energiteknikk
OECD Halden Reactor Project

FC-note 27
7 Feb. 1995

To: C. Vitanza, K. Svanholm, Y. Minagawa
From: W. Wiesenack
Copy: E. Kolstad

Effect of power peak during movement of IFA-591 rods for ramping

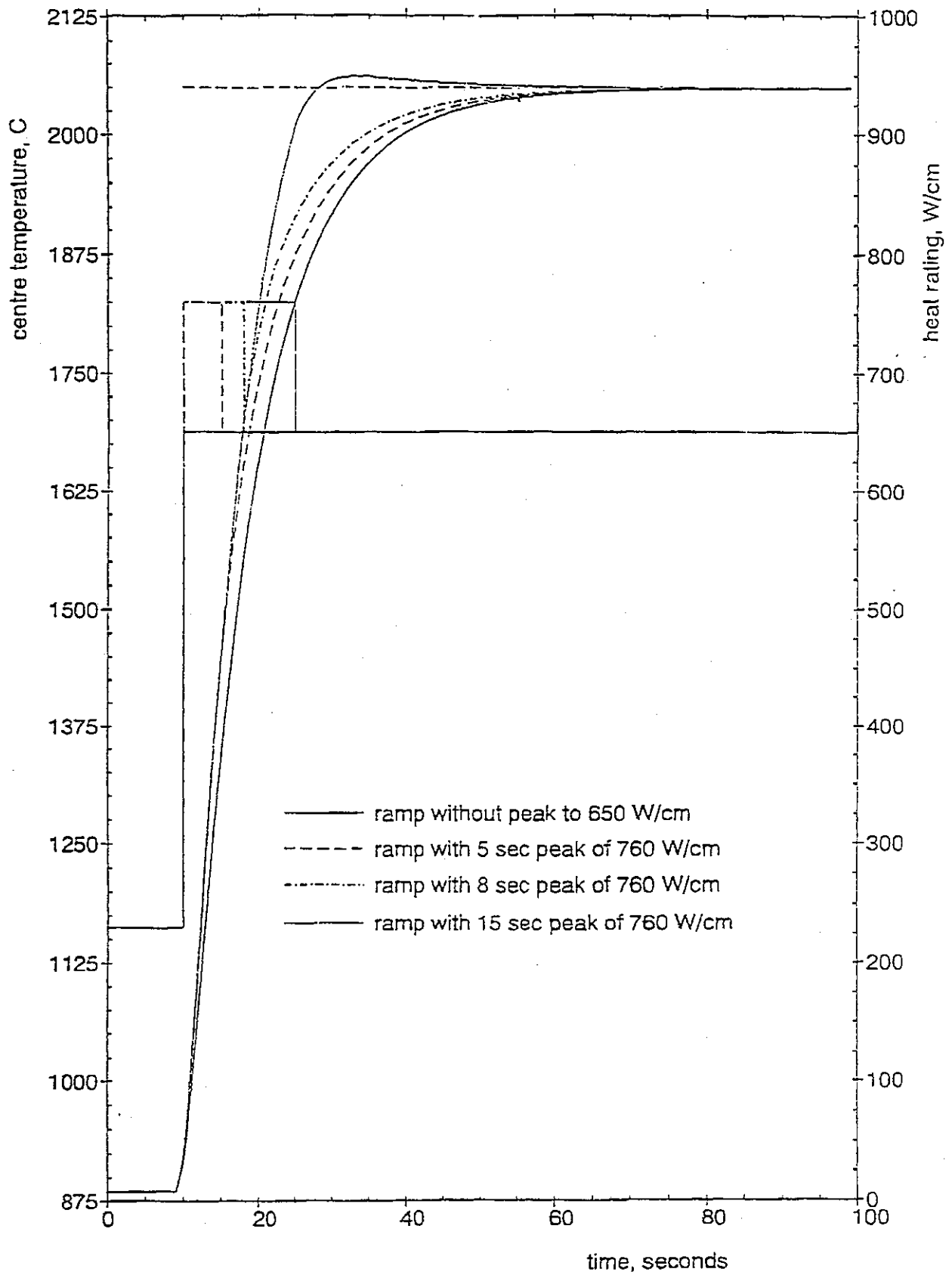
When moving the IFA-591 rods into the ramping position, they will pass a flux peak which exists in the gap between the upper cluster shield and the lower cluster. Neutron detector readings indicate that the peak flux is about 17 % larger than the ramp position flux.

The time to move the rod from upper to lower position is 40 seconds or shorter, the position change is about 100 cm, and the gap with higher flux is about 20 cm. This means that the fuel is exposed to higher flux for a maximum of 8 seconds, conservatively assuming that the peak exists over the entire length of the gap, while in reality the flux increases and decreases over this length, effectively shortening the exposure time.

Calculations with SCTEMP show that the fuel does not reach its maximum temperature during the time spent in the peak position (see attached figure) under conditions as planned. A small overshoot of the final temperature level is first obtained when the time spent in the high flux area is 15 seconds corresponding to a movement time of 75 seconds.

Conclusion: exposing the fuel for a short time to the flux peak should not have an impact on the outcome of the ramp test. The time to move the rod should be 60 seconds or less.

IFA-591 RAMP FUEL TEMPERATURE



別添2 リハーサル試験指示書

1995.02.07

PRE-TEST OPERATION MODE FOR IFA-591.3

Feb. 8 (Wed)

07:00 : Start reactor power reduction towards 8 MW by using CS33 & 34.

08:00 - 10:00

- . Operate CS33 & 34 further down (preferably down to 80 cm) against CS39 up (if necessary use CS 30 as well), to suppress IFA-591 power.
- . Stop the power reduction when NDAVL shows the value corresponding to 24 KW/m in Rod-591-9 when only one rod is at down position.

Note : EXMON for IFA-591.3 should be prepared and be operated.

10:00 -

- . Operate the fuel rods carefully down to the lower position with the sequence of rod pos. 3, 2 & 1.
- . Operate all the fuel rods back to the upper position with the same sequence.
- . Operate the rods down with the actual ramp speed (ca. 40 sec.) with the same sequence.

Note : Co-operate with the reactor operator to obtain the maximum acceptable ramp speed as well.

Note : The position indicator signals should be carefully monitored during the up and down operations.

11:00 - 11:30 : Evaluate the power level of Rod-591-9.

11:30 - 12:30 : Increase the reactor power to obtain the preconditioning power level of Rod-591-9 (24 KW/m). All three rods at down pos.

12:30 - 13:00 : Maintain the power level to obtain the stable power data.

13:00 - 14:00 : Reduce the reactor power down to the level where Rod-591-9 is less or equal to 24 KW/m when only one rod is at down pos.

14:00 - 14:30 : Confirmation of the above condition.

14:30 - 15:00 : Operate all three rods back to the upper position with the sequence of rod pos. 3, 2 & 1.

15:00 - : Retrieve the reactor power back to ca. 18.2 MW.

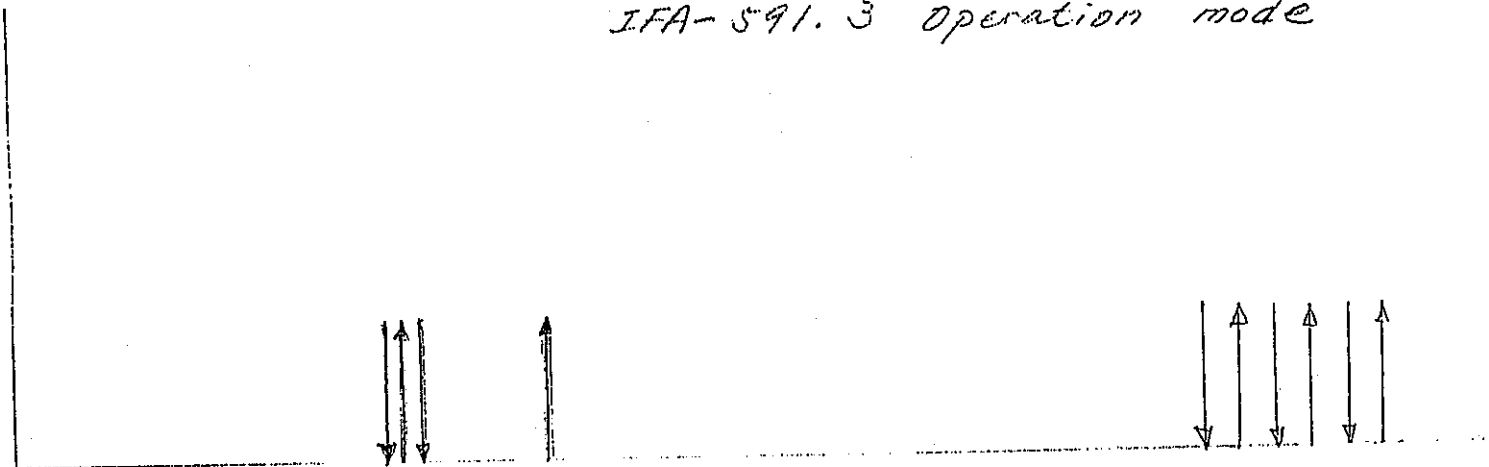
- . CS39 (and CS30) should be adjusted back to the original level against CS33 & CS34 outwards operation before reaching the reactor power 15 MW.

- . Then operate the reactor towards 18.2 MW by using CS33 and 34.

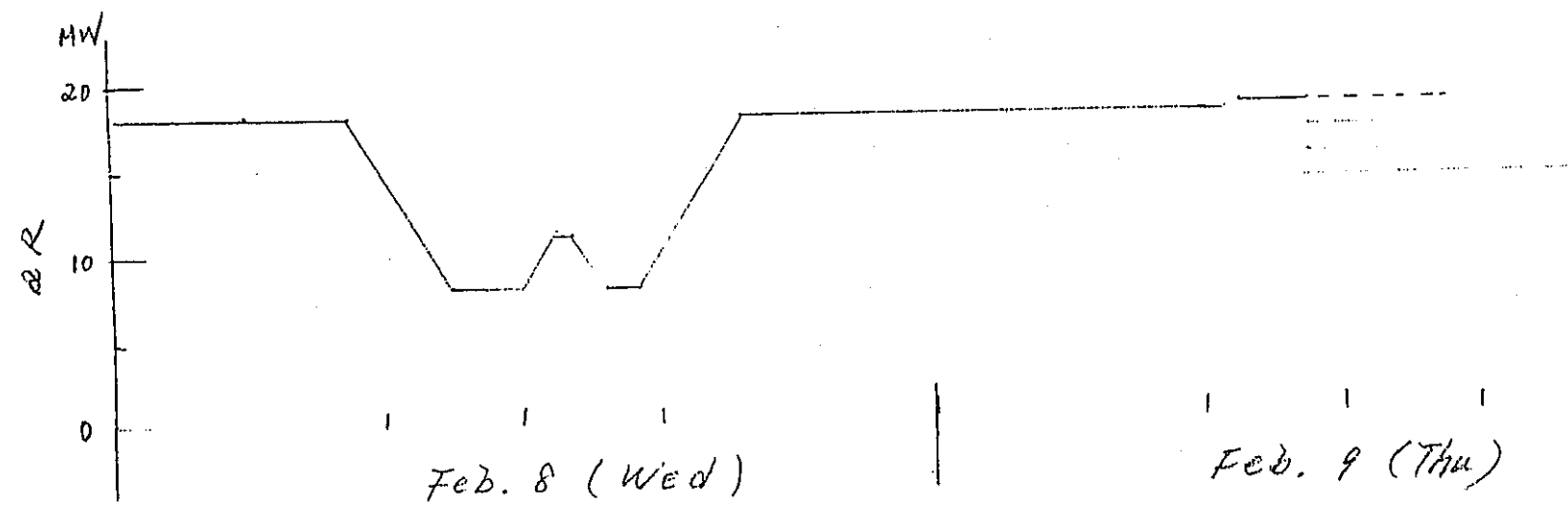
After the retrieval, the reactor power should be kept constant until a further instruction is given.

95.2.7

IFA-591.3 operation mode



-77-



別添3 出力急昇試験指示書

1995.02.08

SINGLE STEP RAMP TEST MODE, IFA-591.3

Feb. 9 (Wed)

The 1st Ramp Test (Rod-591-9)

- Ca. 08:30 - : Final power adjustmet of Rod-591-9 to 65 KW/m (18.5 MW ?)
- Ca. 09:00 - : Obtain stable data. Preparation the 1st ramp test.
- Ca. 09:30 - : . Increase EXMON logging time to (?). Start Fast scan.
 - . Rod down, lift little bit and fully up after 1 hr holding at the lower position.
 - . Stop Fast scan. Reduce EXMON logging interval time to 300 sec.

The 2nd Ramp Terst (Rod-591-10)

- Ca. 10:30 - : Adjust the reactor power depending on the 1st test result.
- Ca. 11:00 - : Obtain stable data. Prepare the 2nd ramp test.
- Ca. 11:30 - : . Increase EXMON logging time to (?). Start Fast scan.
 - . Rod down and fully up after 1 hr holding at the lower position.
 - . Stop Fast scan. Reduce EXMON logging interval time to 300 sec.

The 3rd Ramp Test (Rod-591-11), Alternative I

- Ca. 12:30 - : Adjust the reactor power depending on the 1st test result.
- Ca. 13:00 - : Obtain stable data, preparation of 3rd ramp test.
- Ca. 13:30 - : 3rd ramp test.
 - . Increase EXMON logging time to (?) and start Fast scan.
 - . Rod-591-11 down and fully up after 1 hr holding at the lower position.
 - . Stop Fast scan and reduce EXMON logging interval time to 300 sec.

The 3rd Ramp Test (Rod-591-11), Alternative II

- Ca. 12:30 - : Adjust the reactor power depending on the 1st test result.
- Ca. 13:30 - : Obtain stable data, preparation of 3rd ramp test.
- Ca. 14:00 - : 3rd ramp test.
 - . Increase EXMON logging time to (?) and start Fast scan.
 - . Rod-591-11 down and fully up after 1 hr holding at the lower position.
 - . Stop Fast scan and reduce EXMON logging interval time to 300 sec.

After the 3rd ramp test, Alternative I

- Ca. 14:30 - : Retrieve the reactor power back to ca. 17 MW.

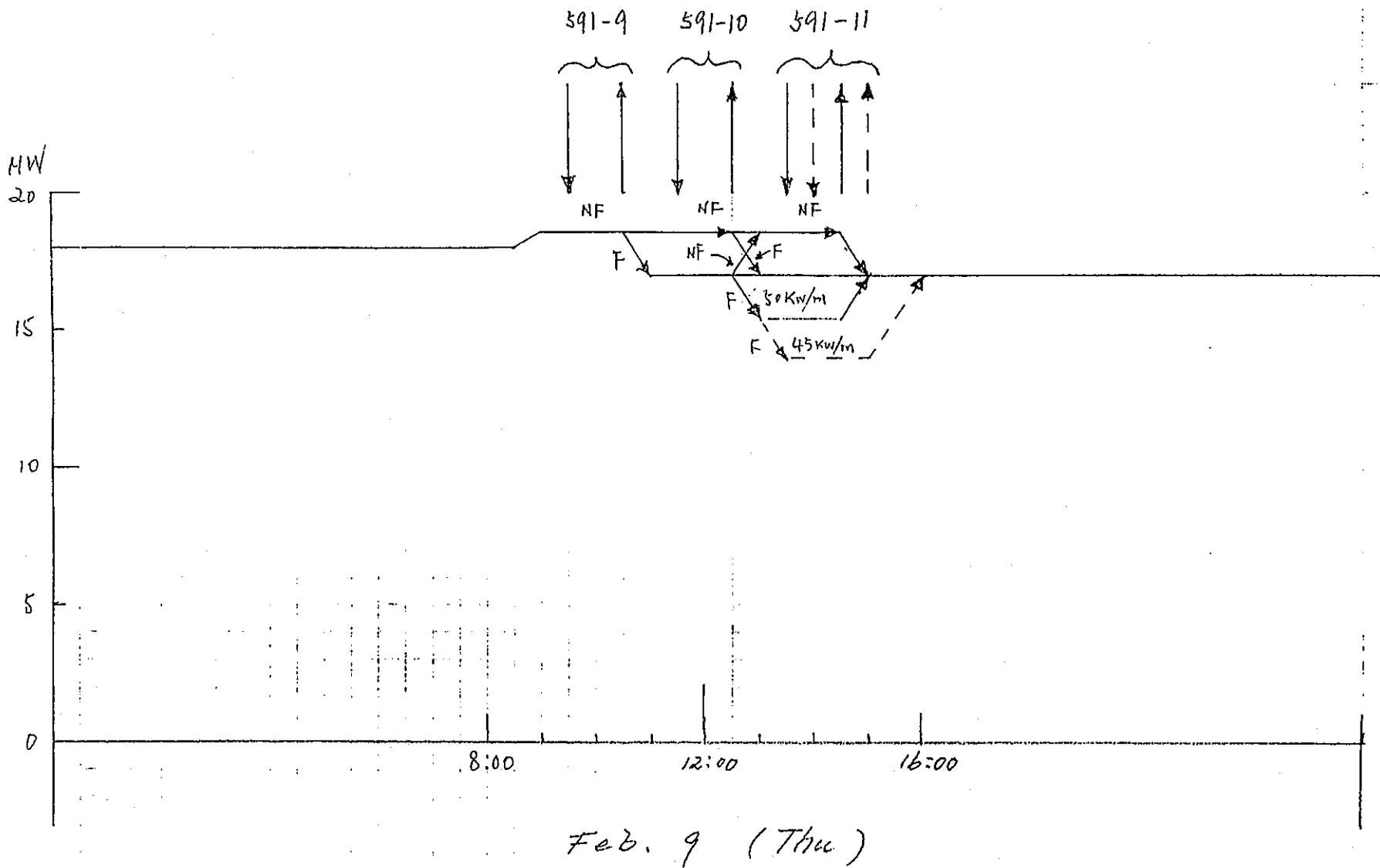
After the 3rd ramp test, Alternative II

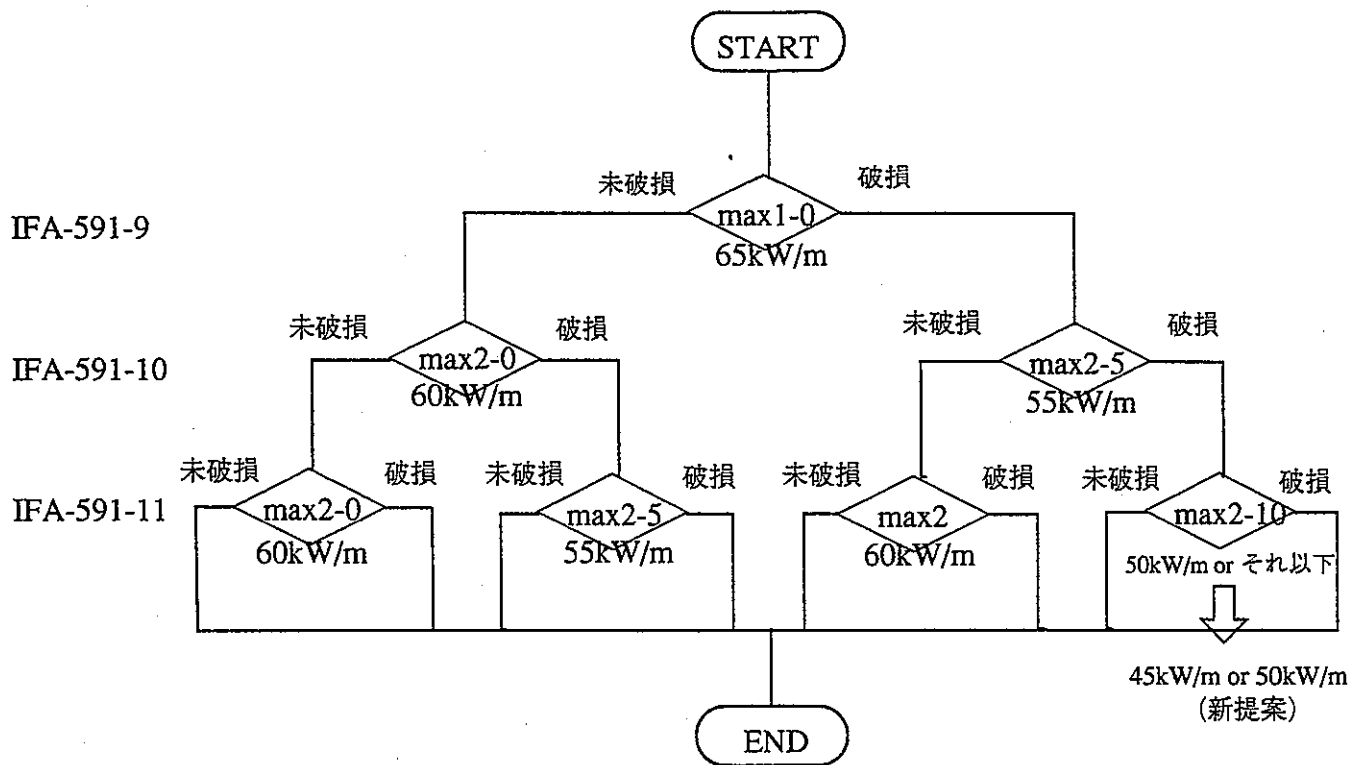
- Ca. 15:00 - : Retrieve the reactor power back to ca. 17 MW.

IFA-591.3 Single Step Ramp Test

95.2.8

PNC PN8600 95-001





max1：ベース照射13.0GWd/tで得られる最大到達線出力65kW/m
 max2：ベース照射17.9GWd/tで得られる最大到達線出力60kW/m
 (65kW/m*(1-0.08)) =59.8kW/m
 8%：燃焼度が高い場合の出力低下率

項目	Type-B	Type-B'
到達線出力 (Pmax)	*1	*1
線出力上昇幅 (ΔP)	*2	*2
線出力上昇速度 (P)	1.0 kW/ms	1.0 kW/ms
保持時間 (T)	60 min	60 min
プレコンデショニングレベル (Po)	25kW/m	25kW/m
プレコンデショニング時間 (Tpre)	5 days	5 days

*1：マルチステップ出力急昇試験より定める

*2：ΔP = Pmax - Po

<データ集>

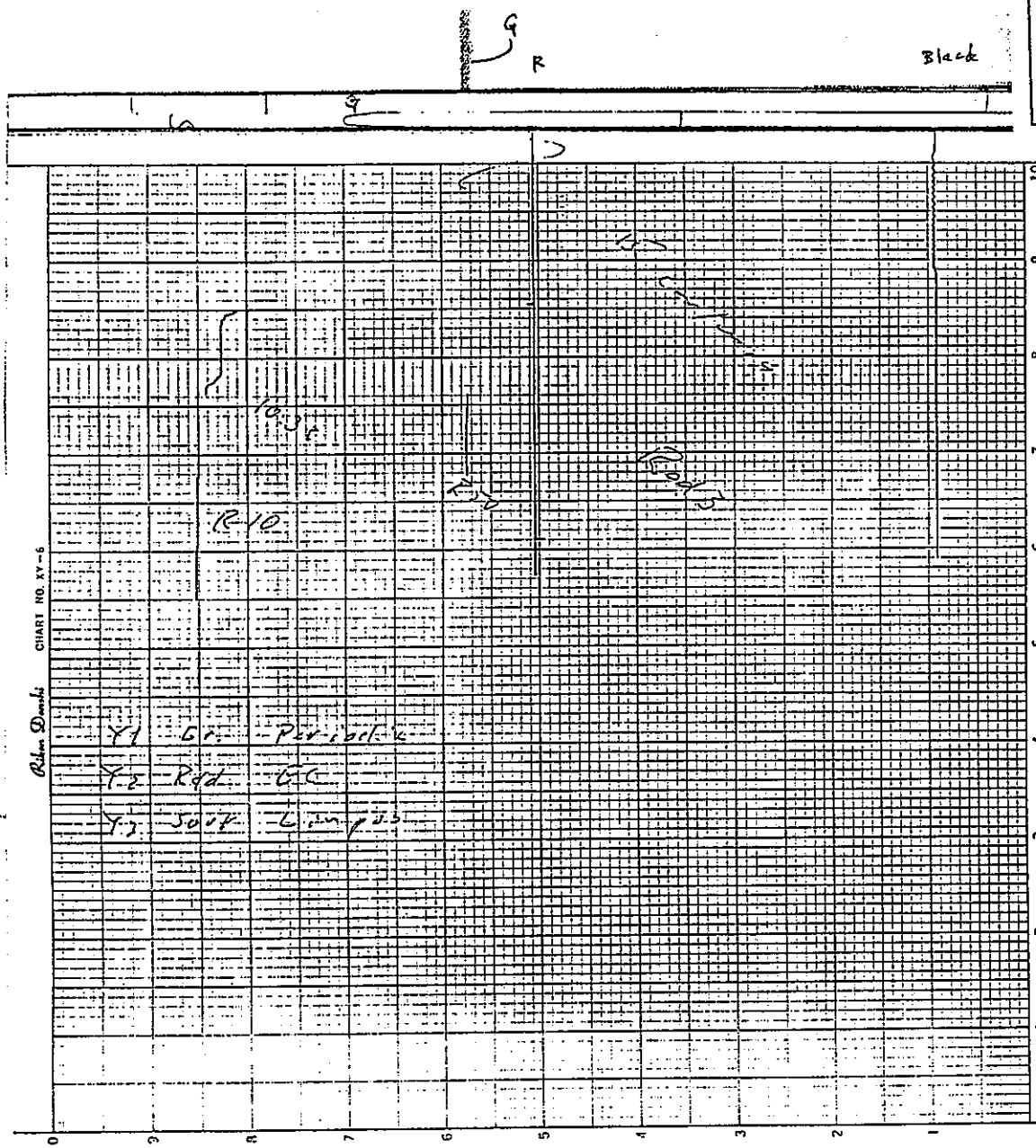
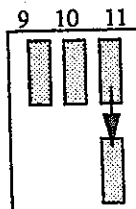
1. リハーサル時の3ペンレコード出力

被覆管伸び計出力 (EC1/2/3 : R)

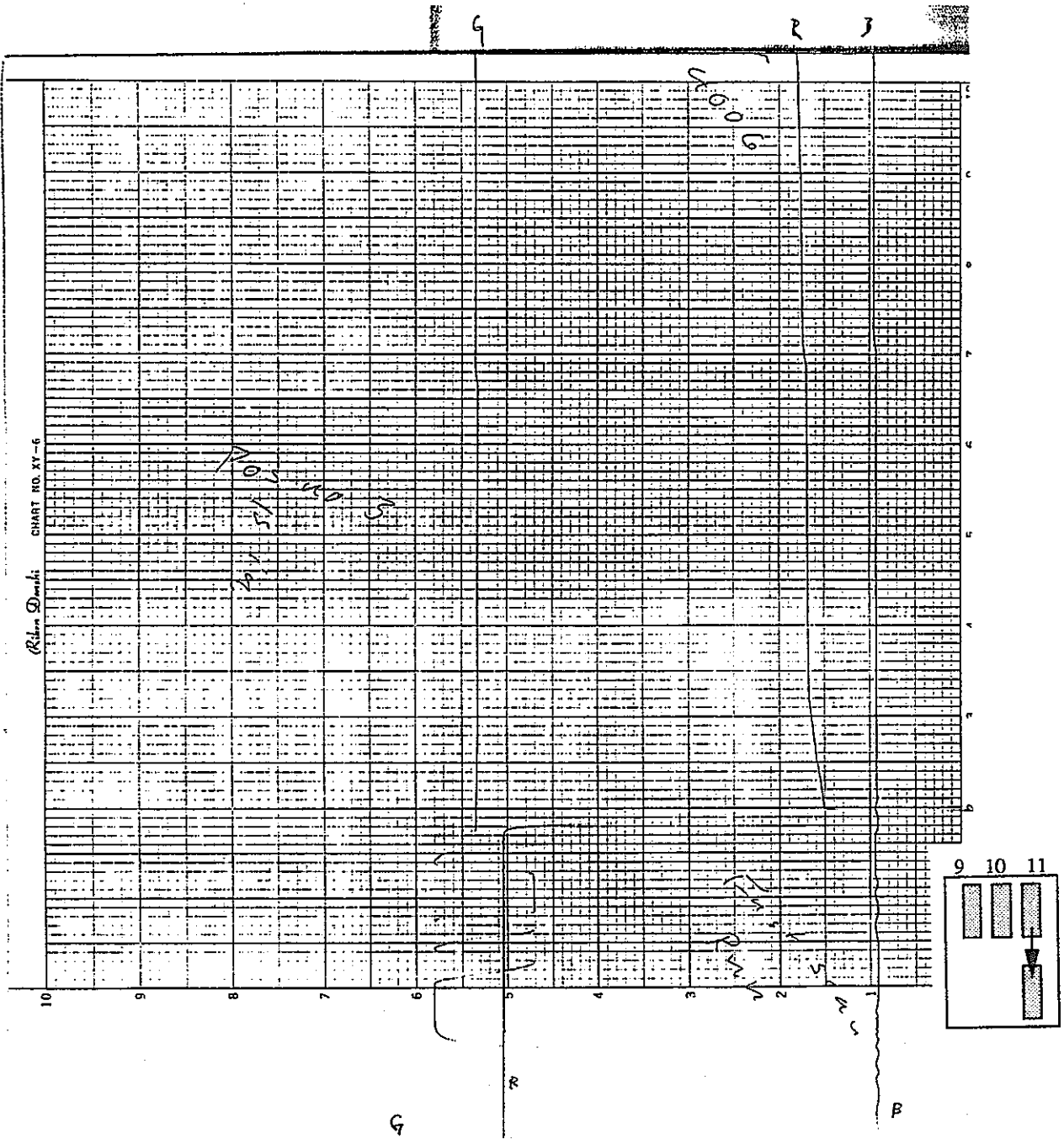
リグのポジションインジケータ出力 (ハ°リテック : G)

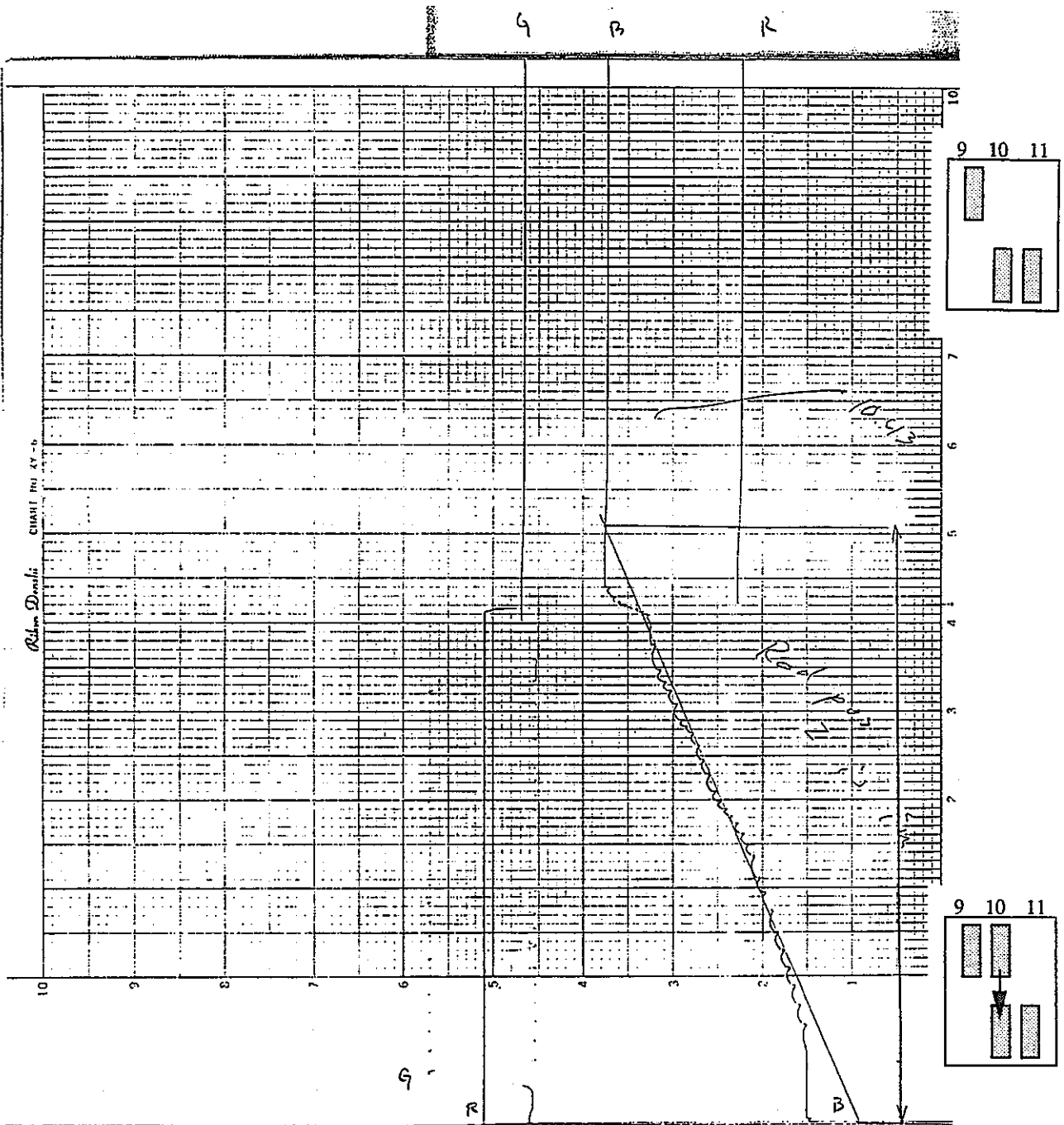
リグのポジションインジケータ出力 (リニア : B)

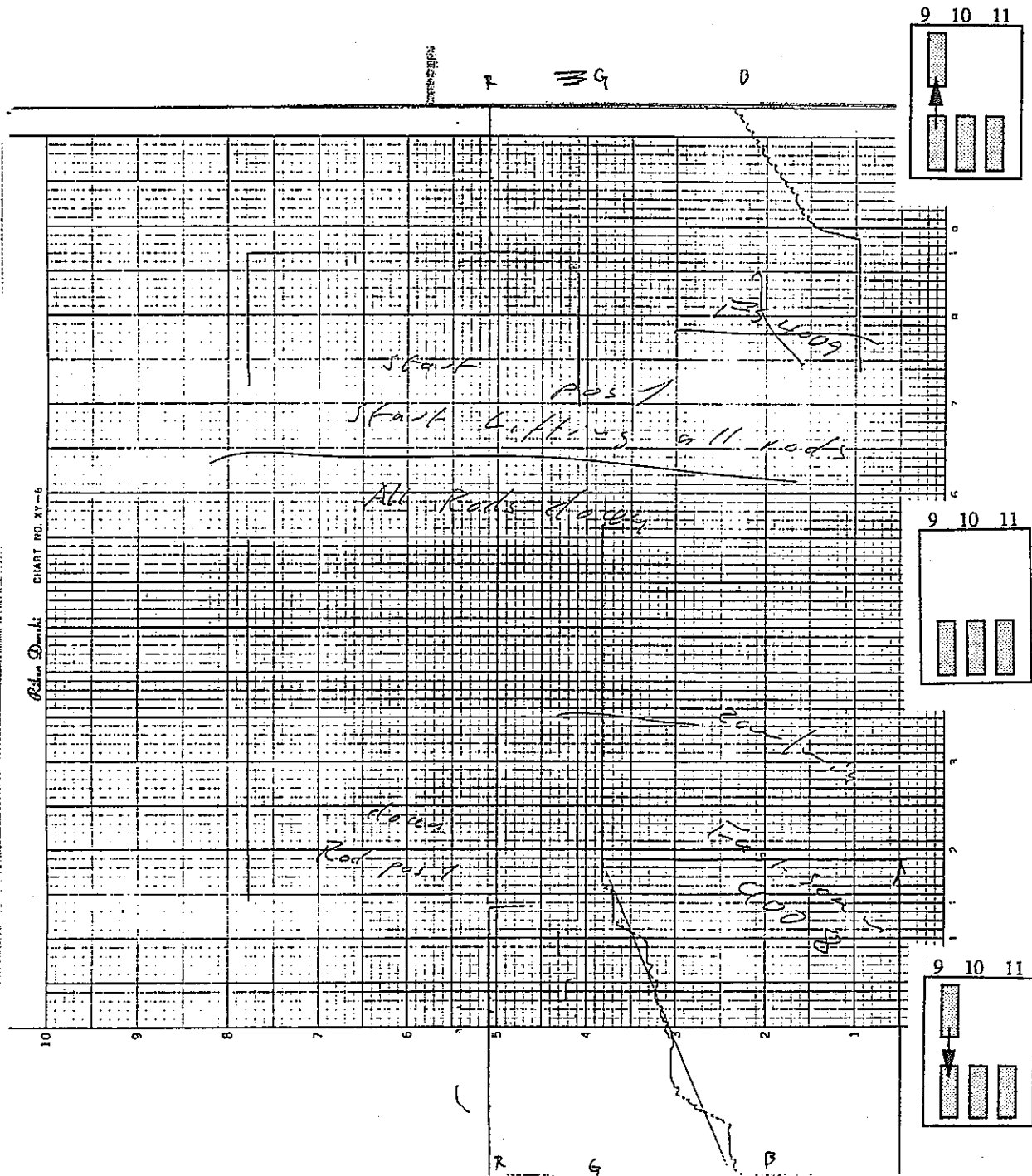
注：グラフ右側の図がIFA-591-9、-10、-11セグメント燃料の
位置あるいは移動を示す。

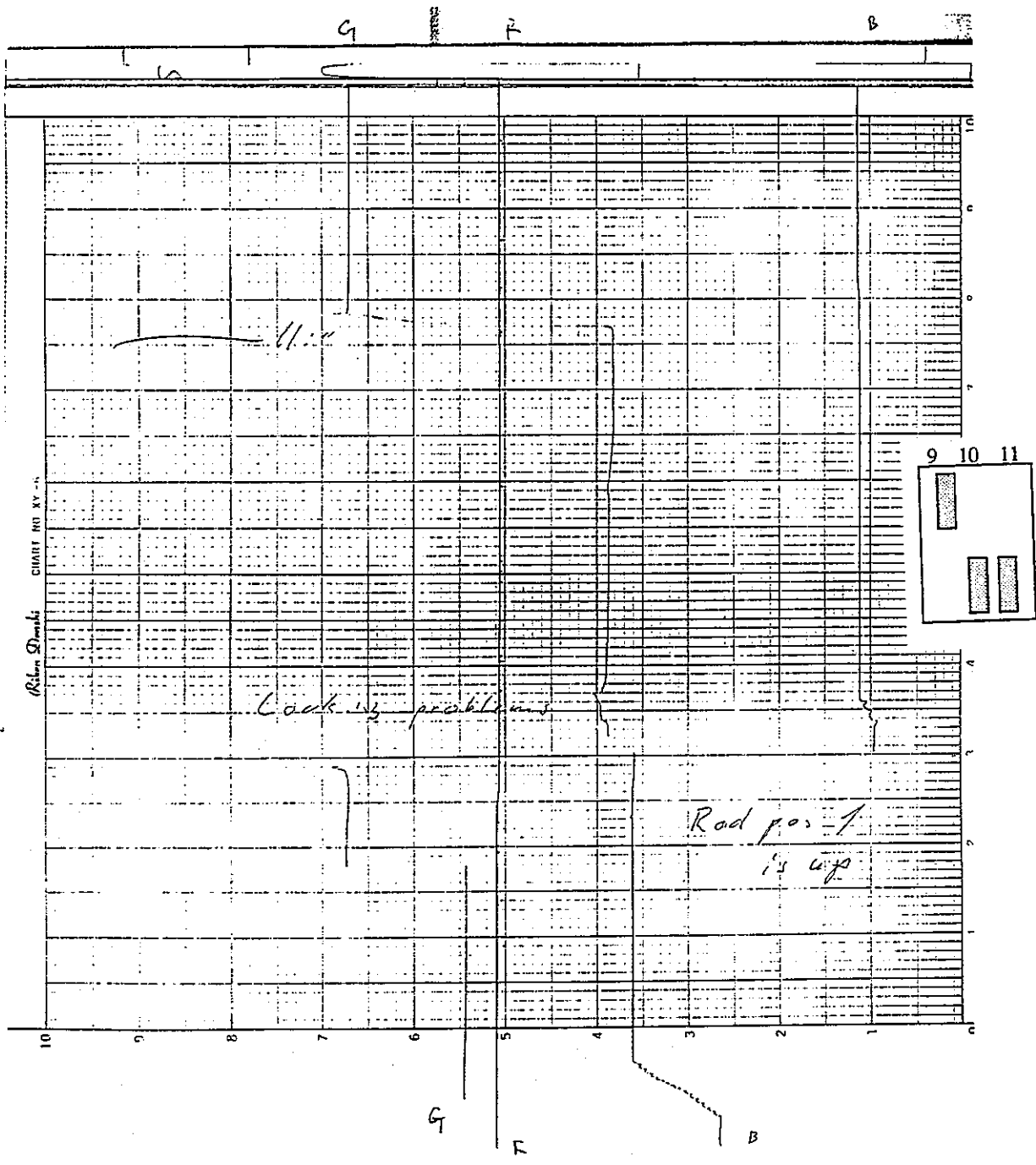


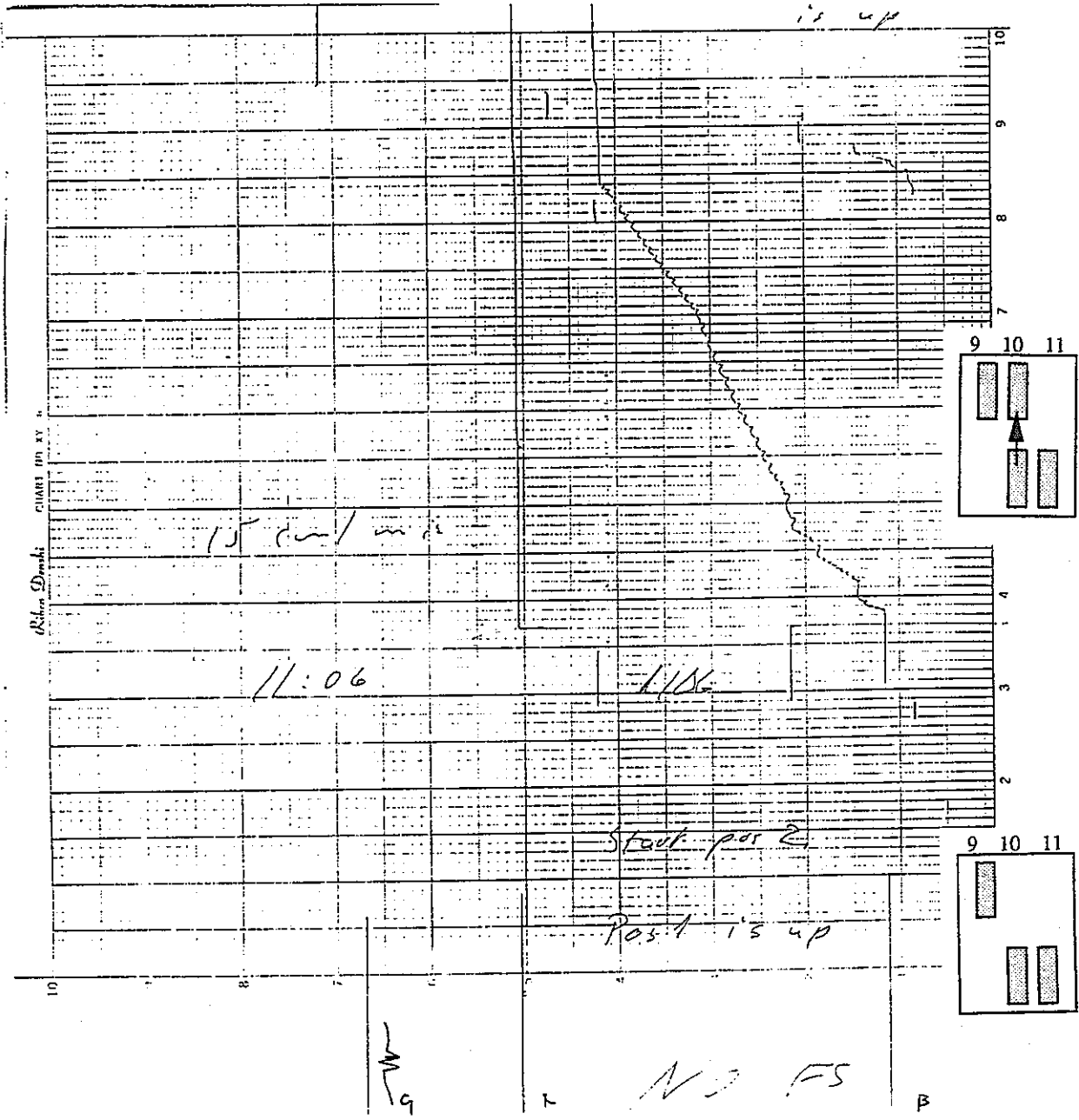
1FA 591 Test op. 8/2-95

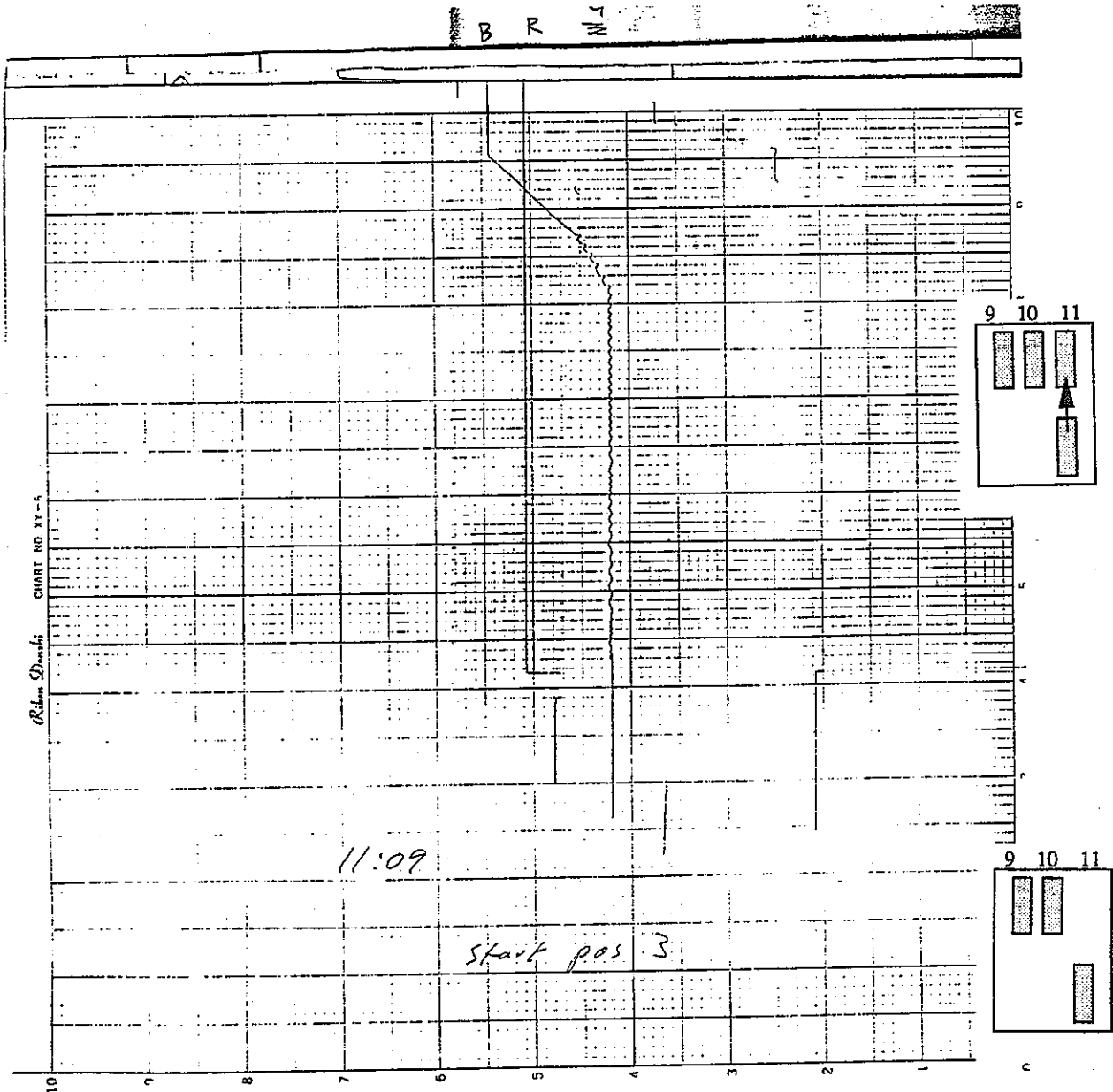


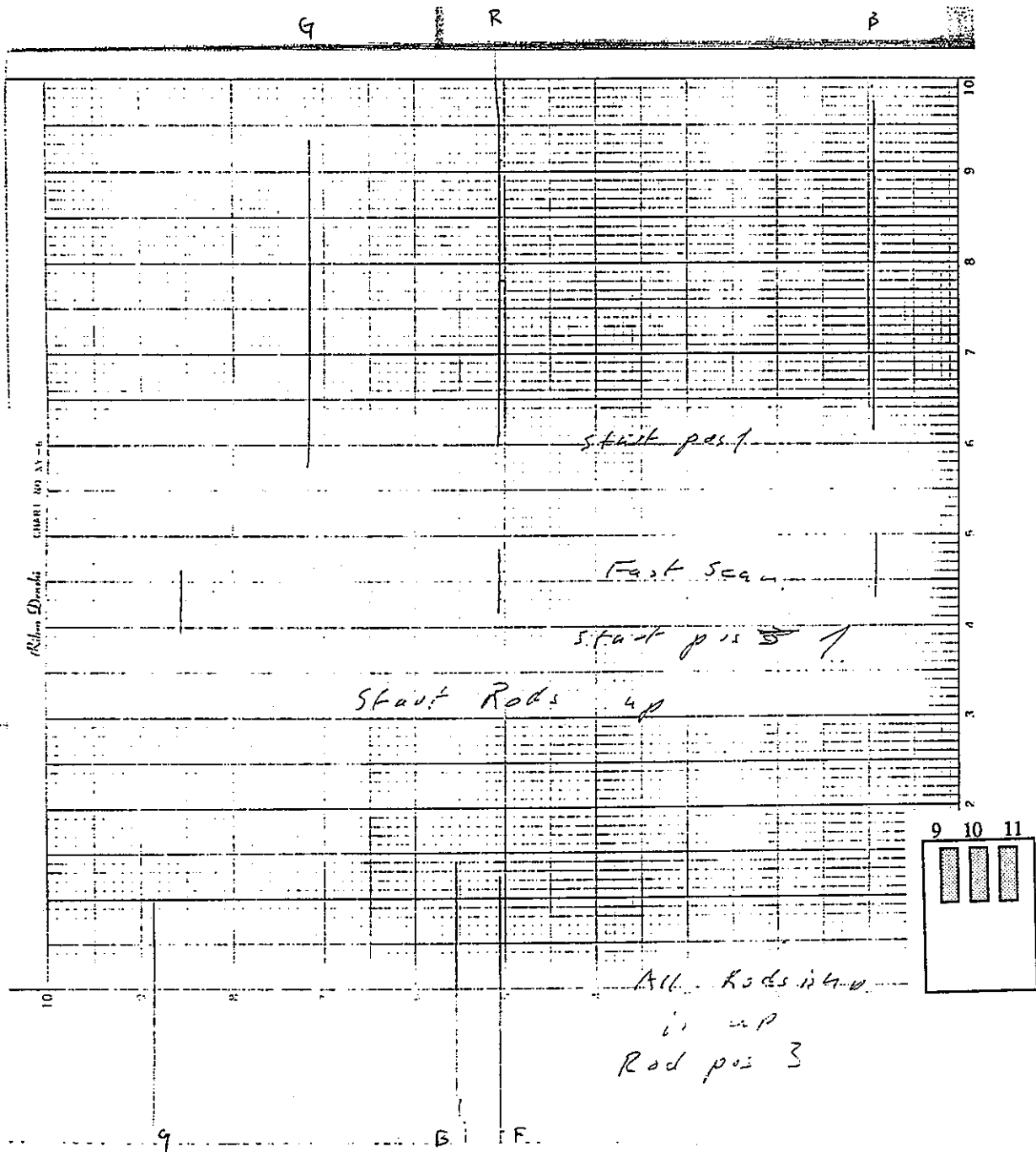


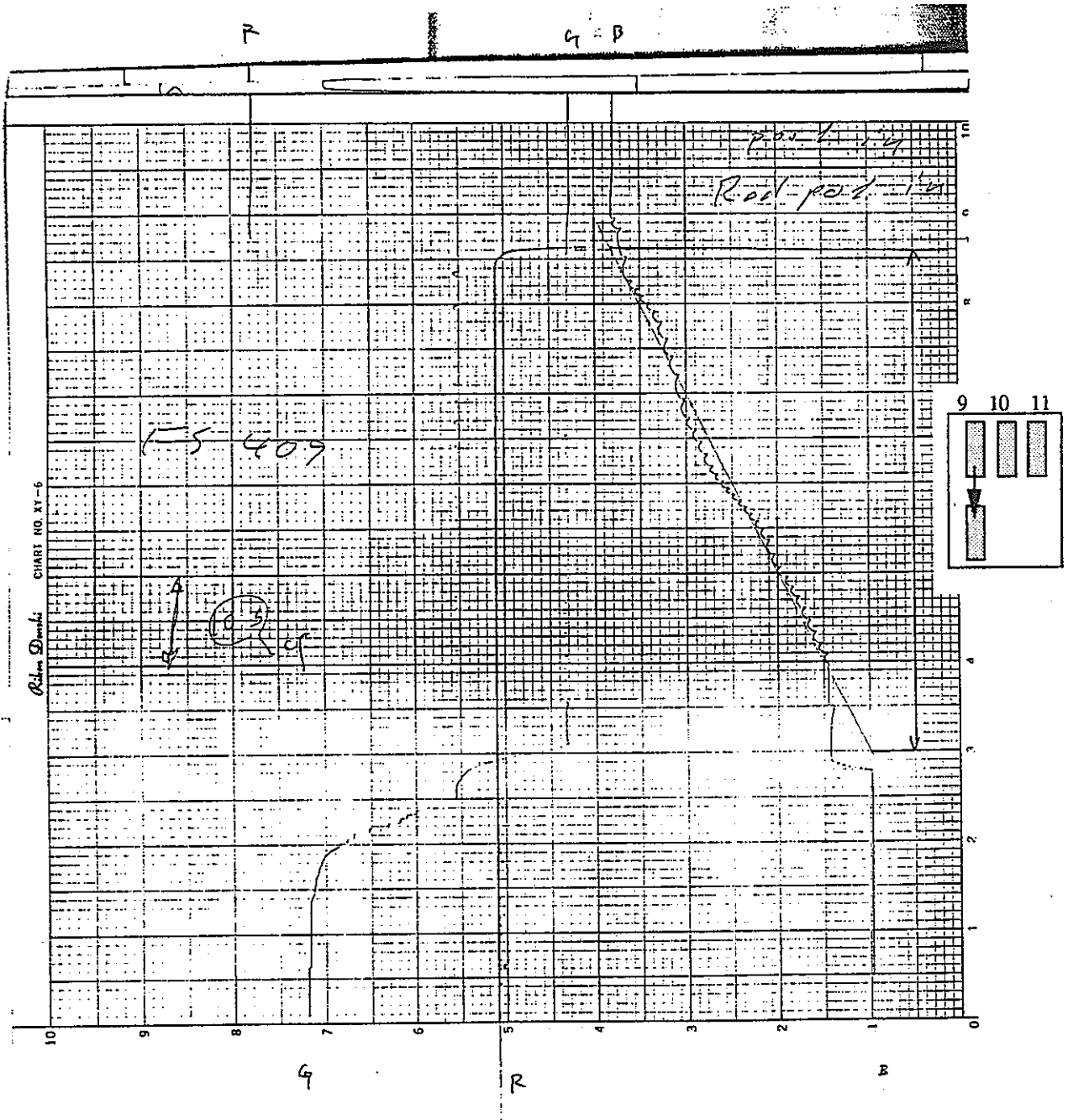


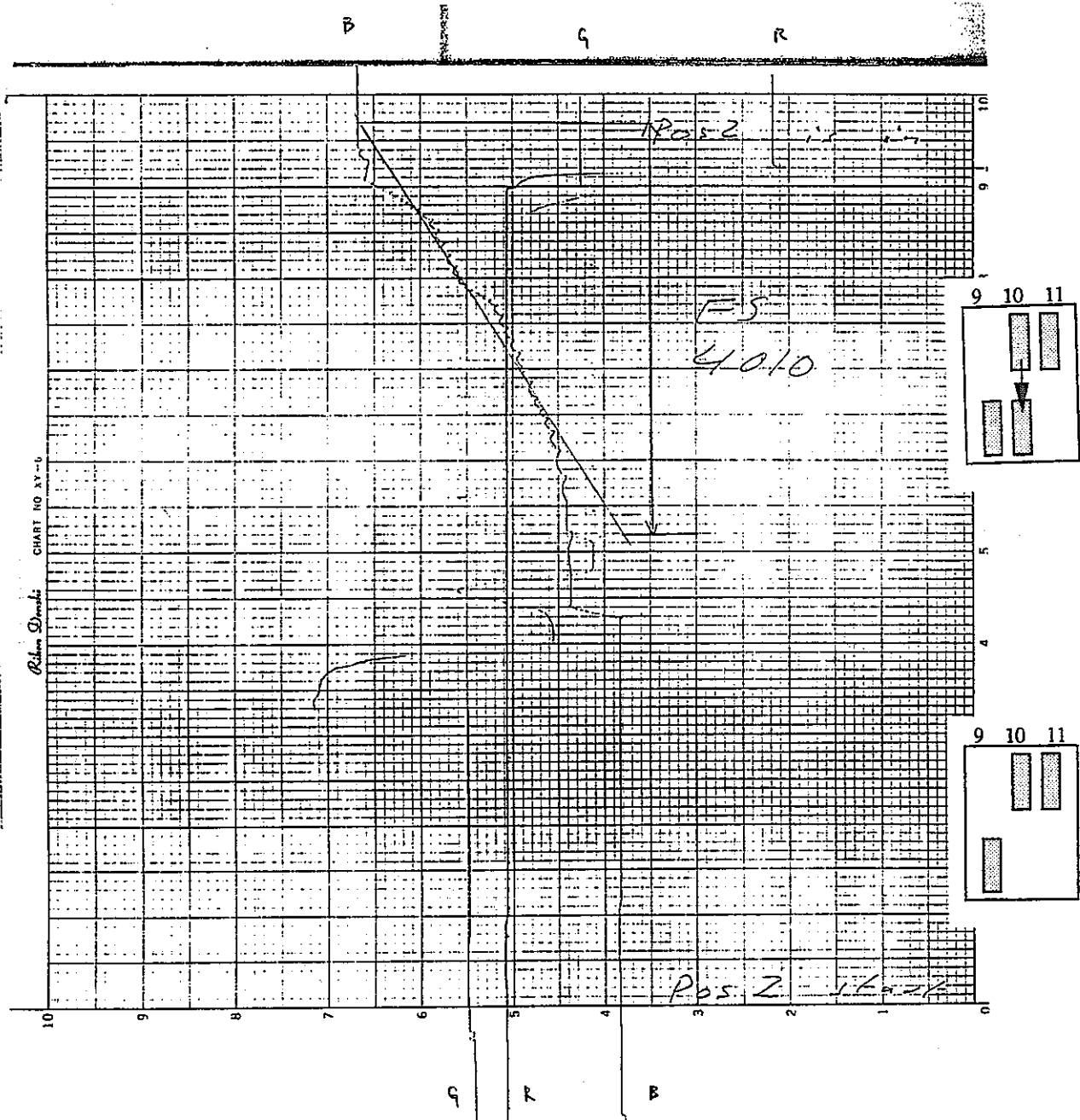


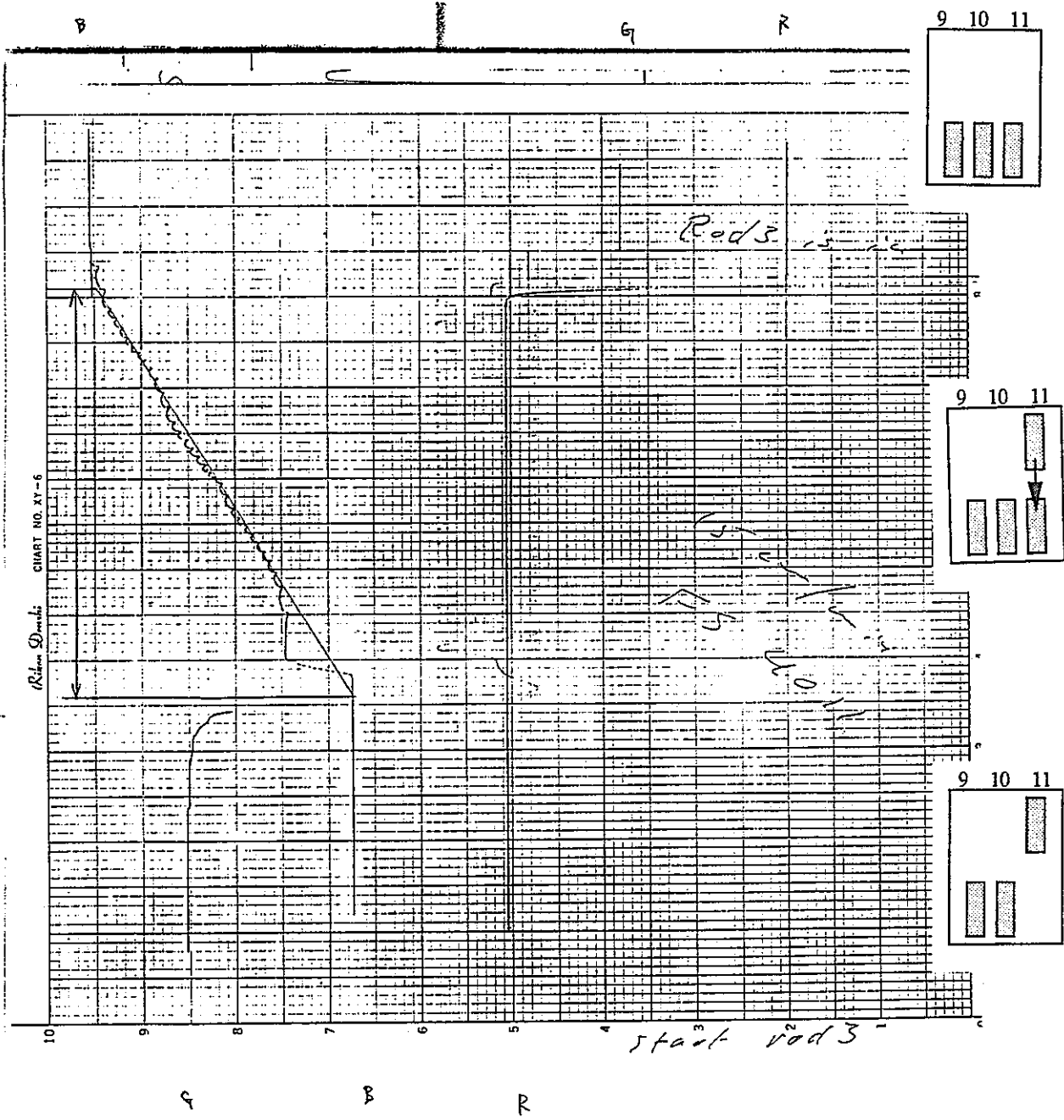


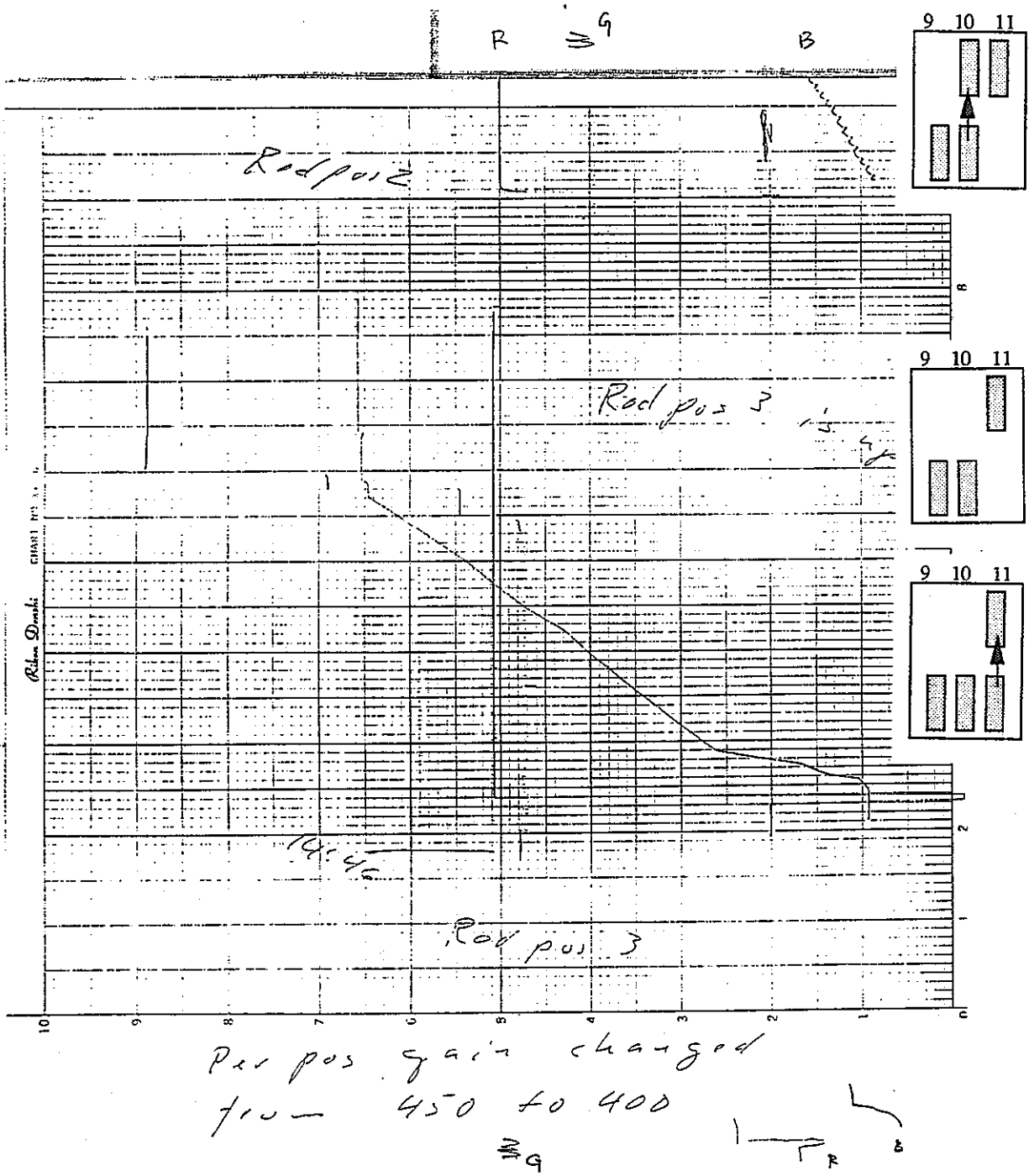


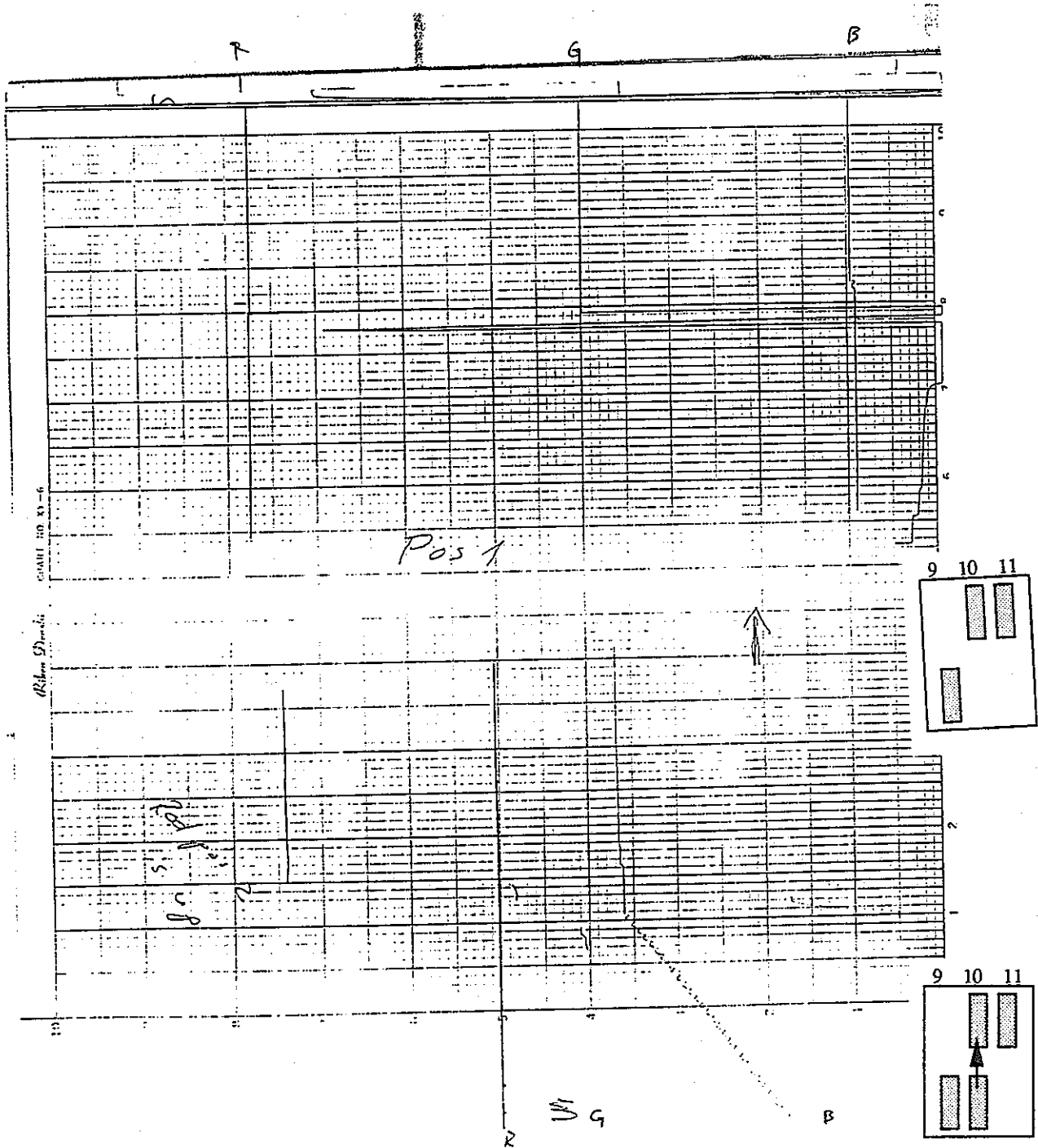


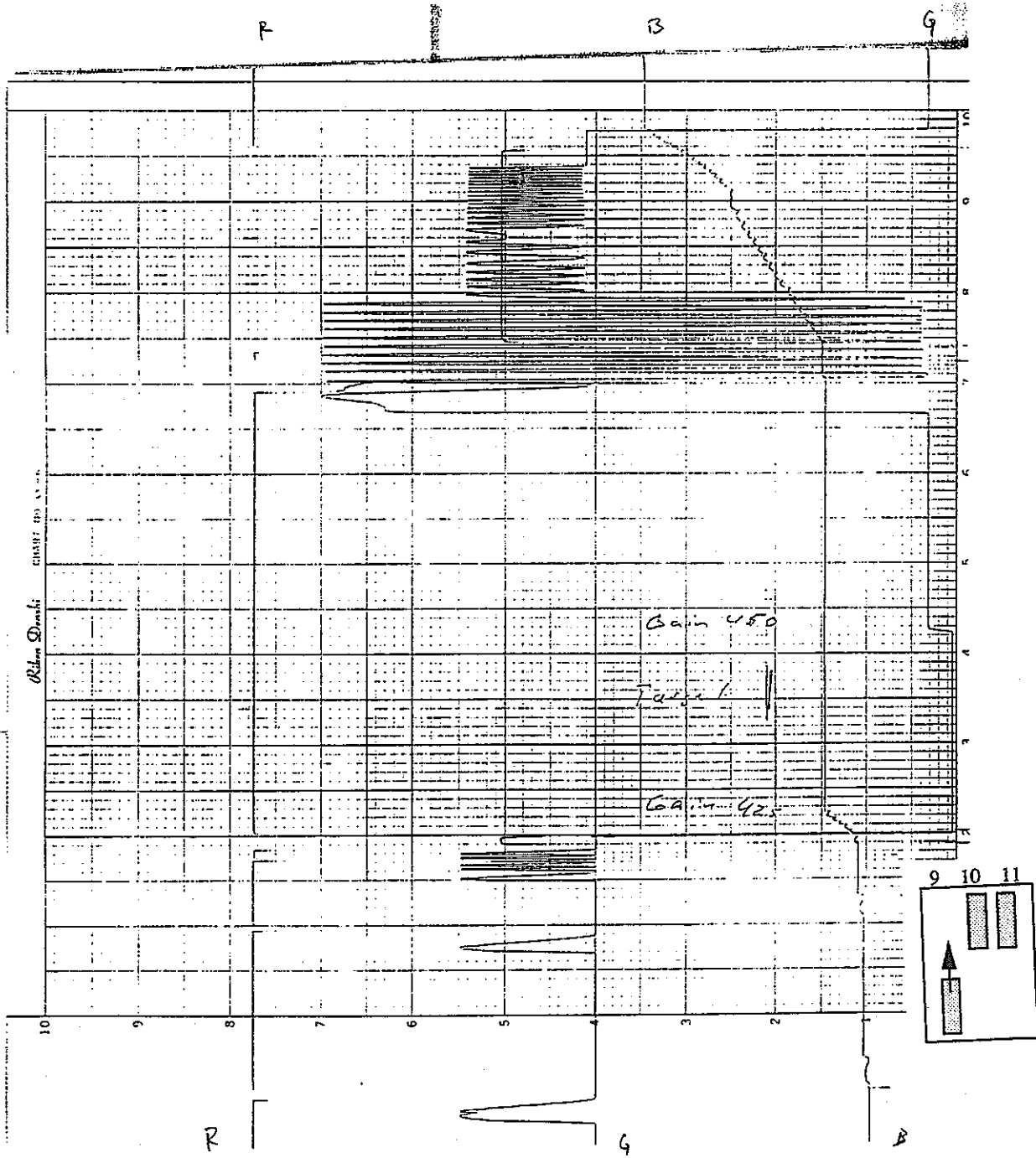


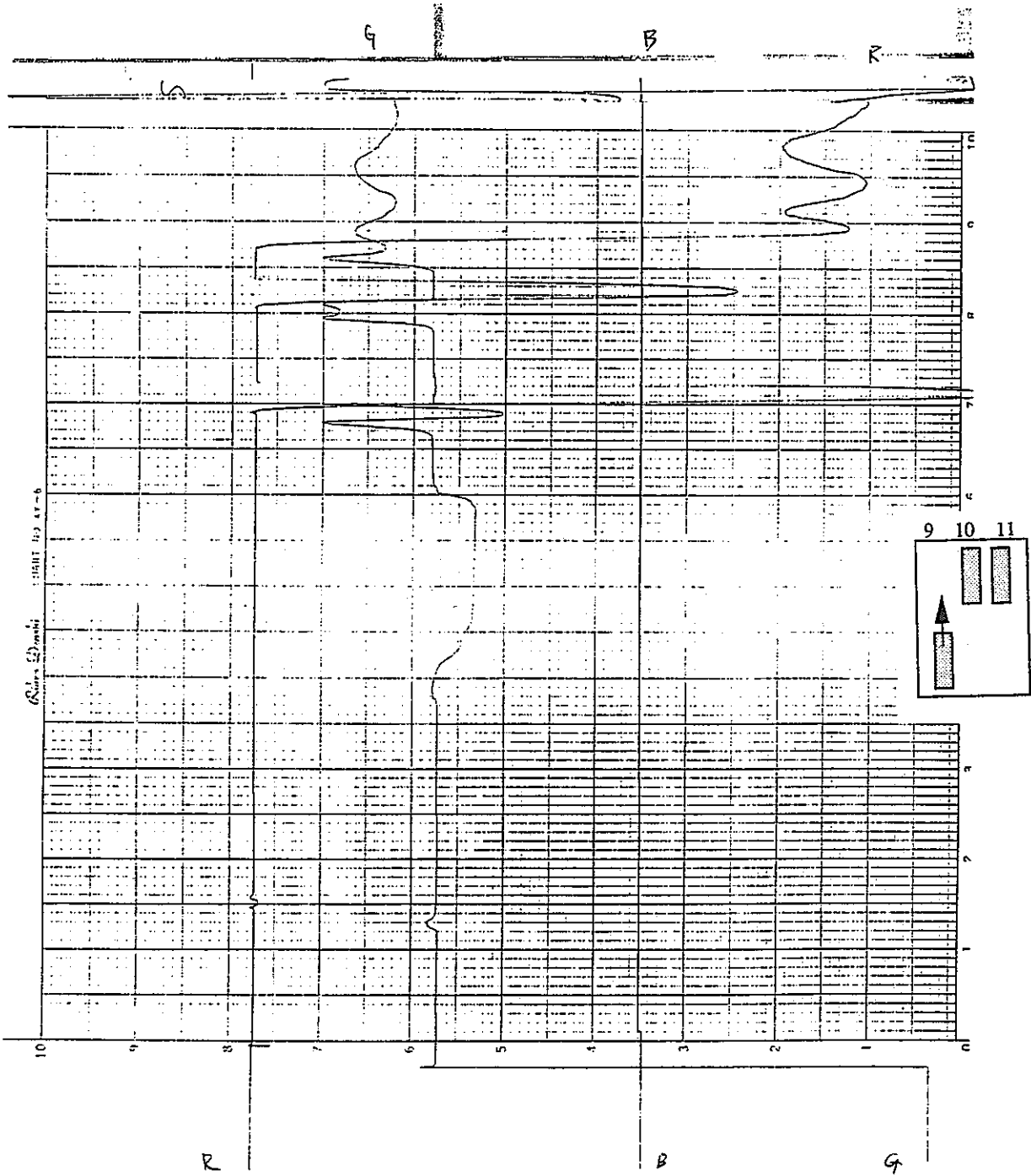


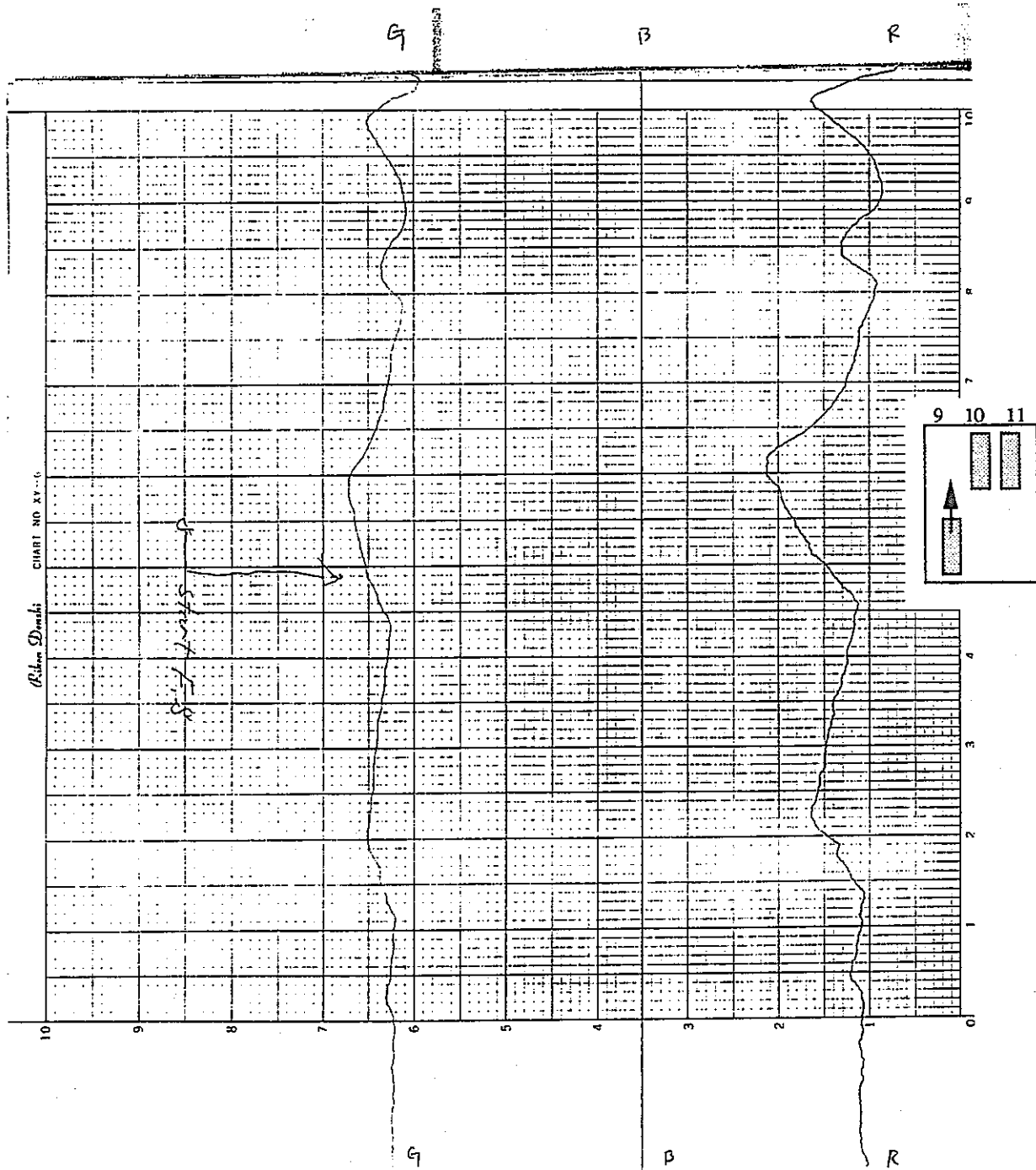


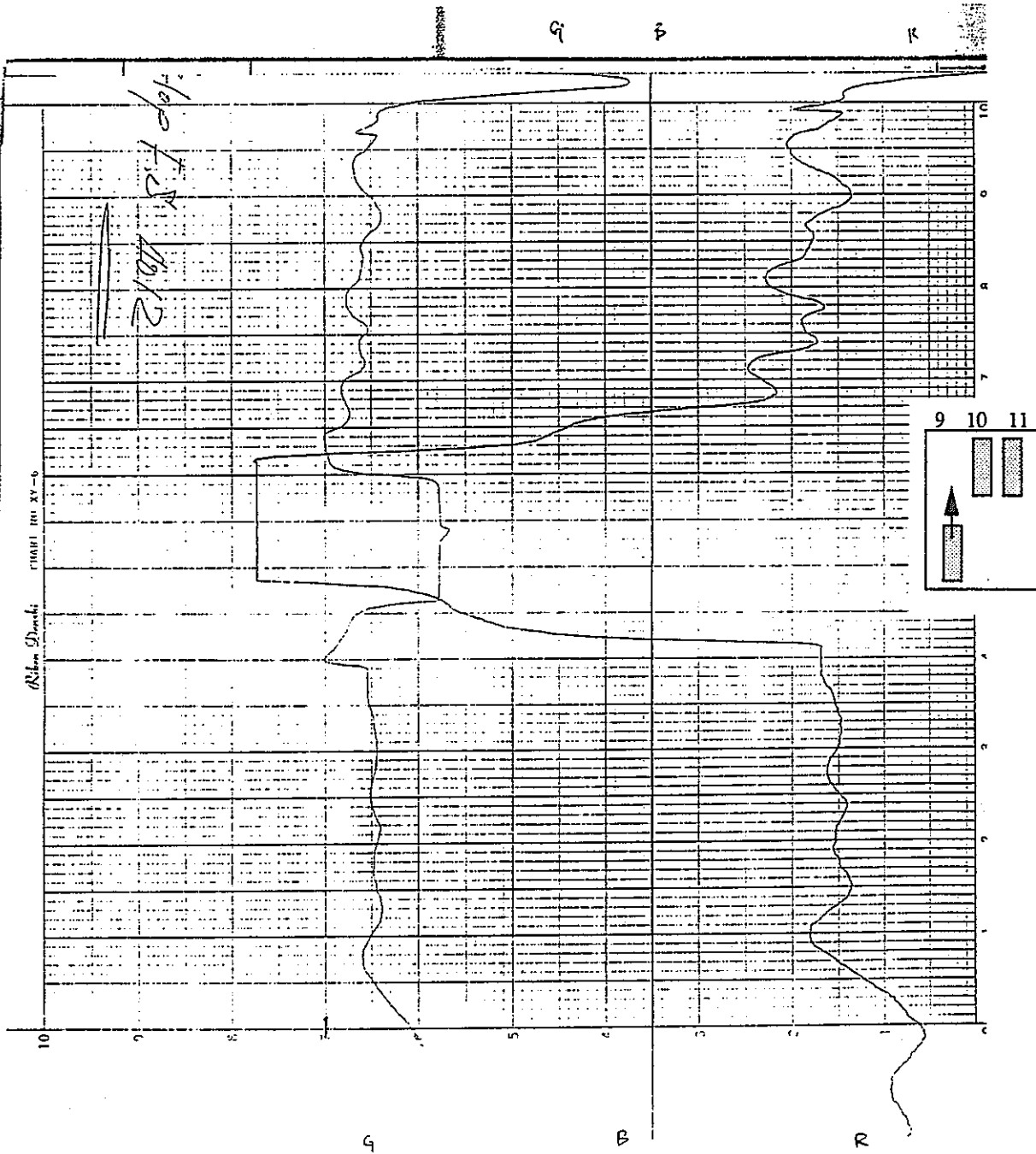


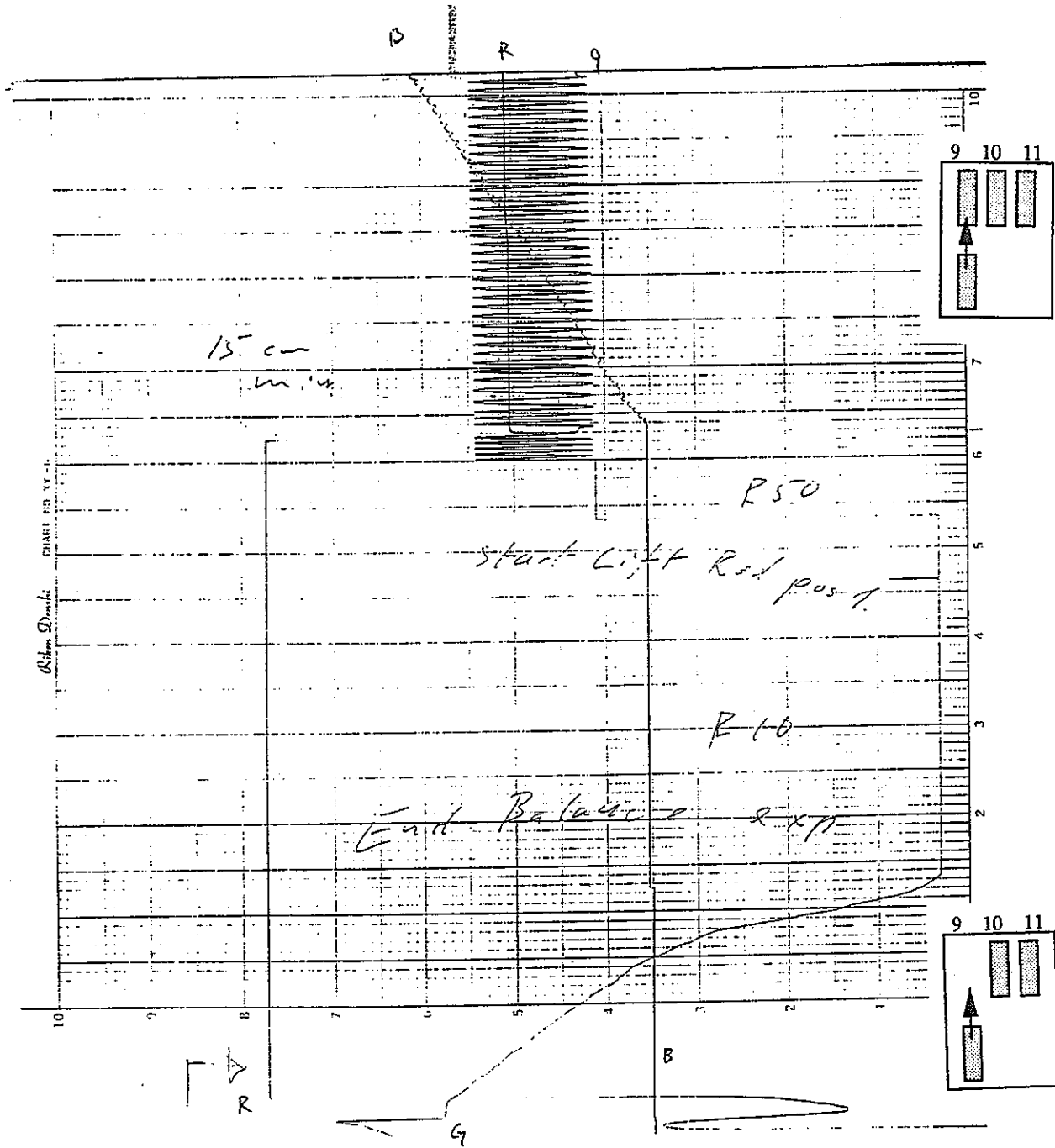


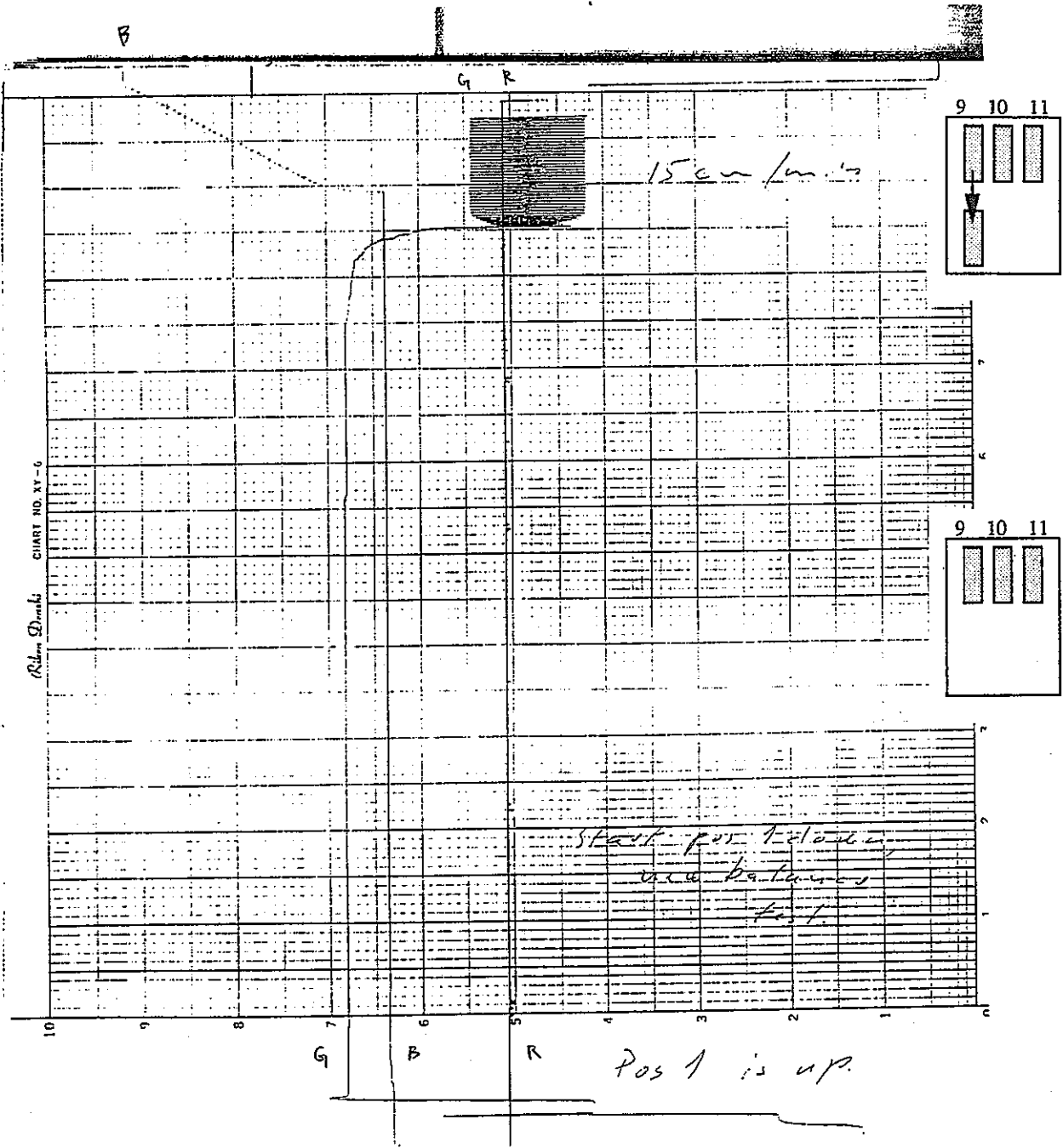


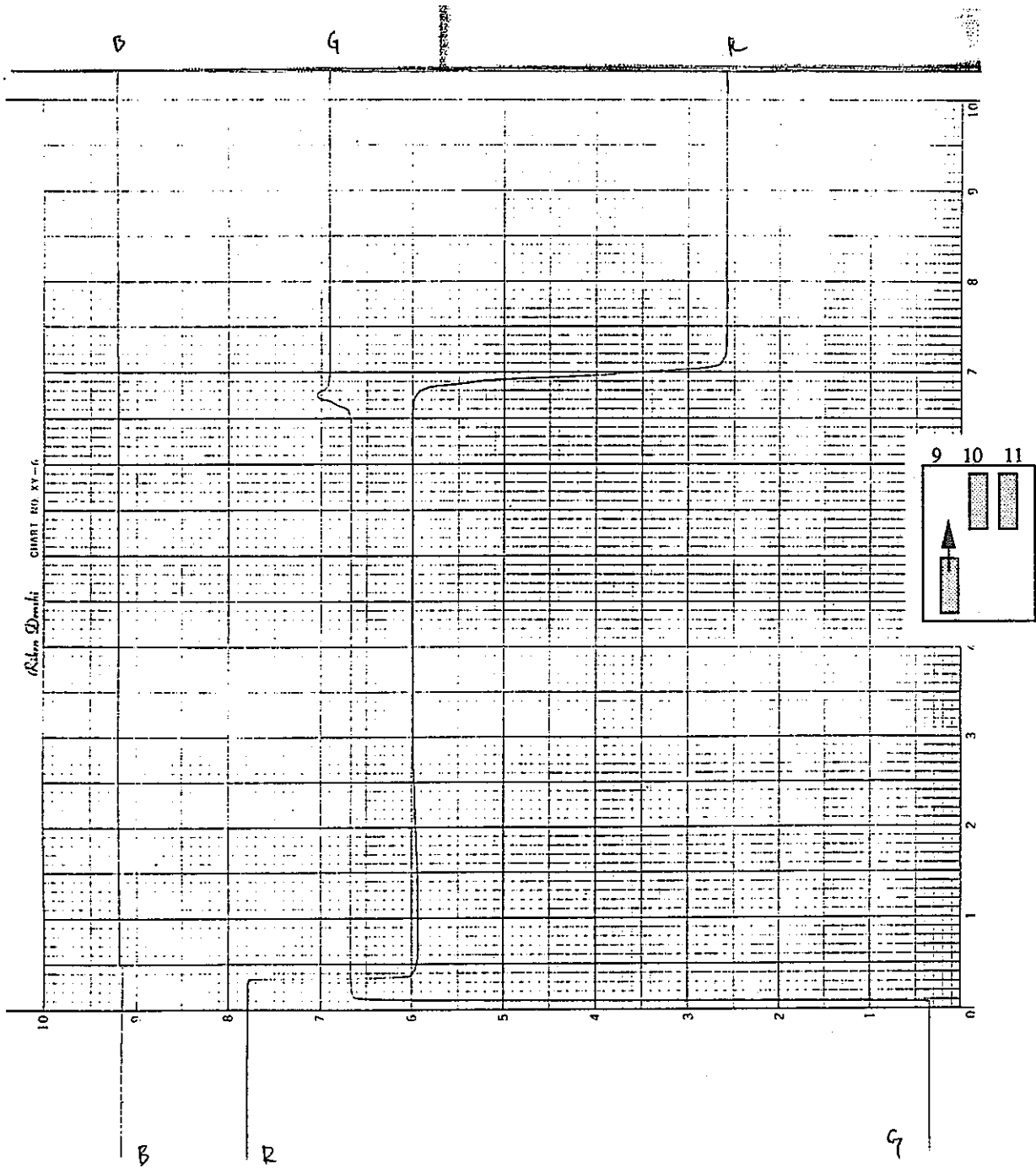


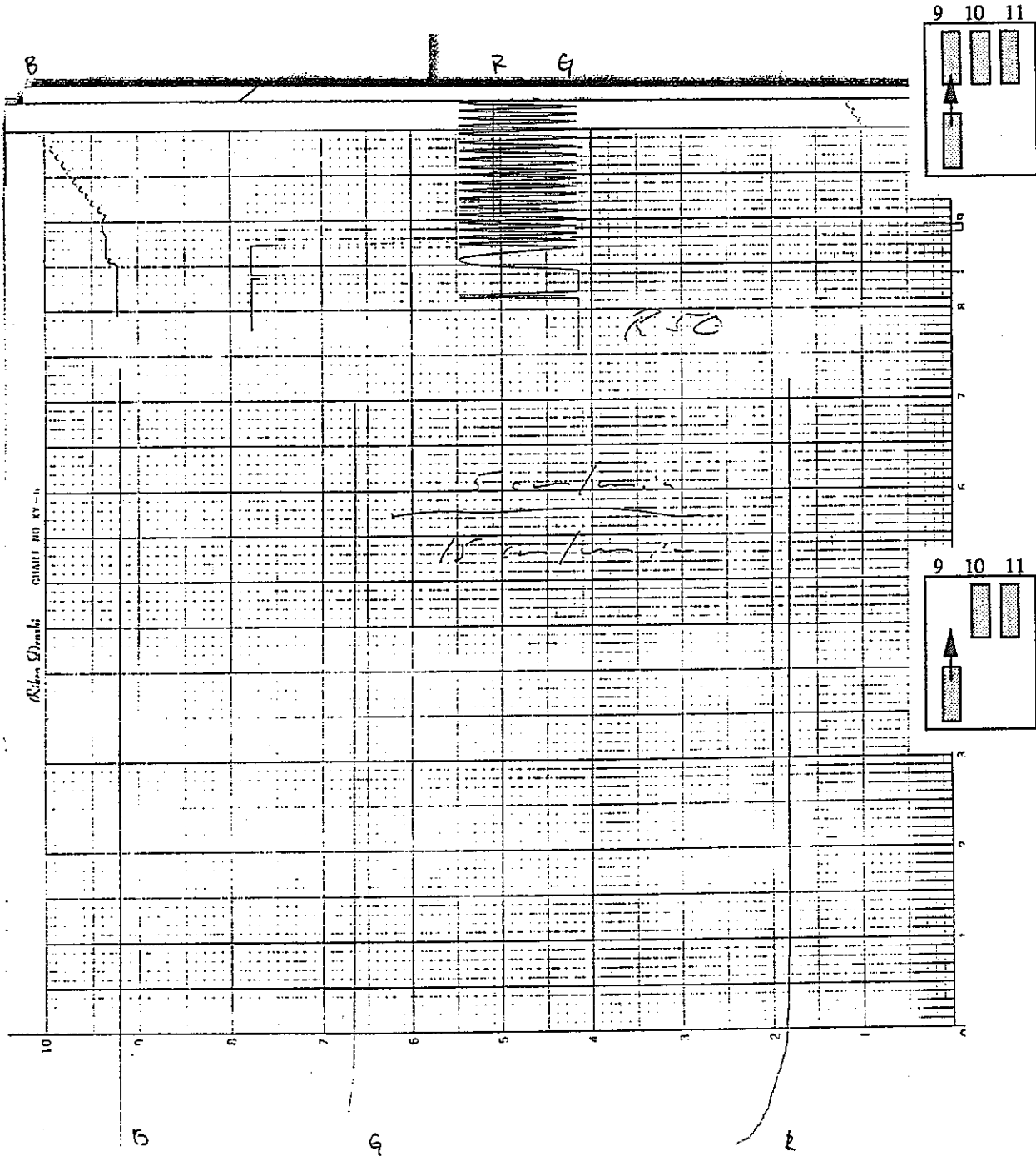


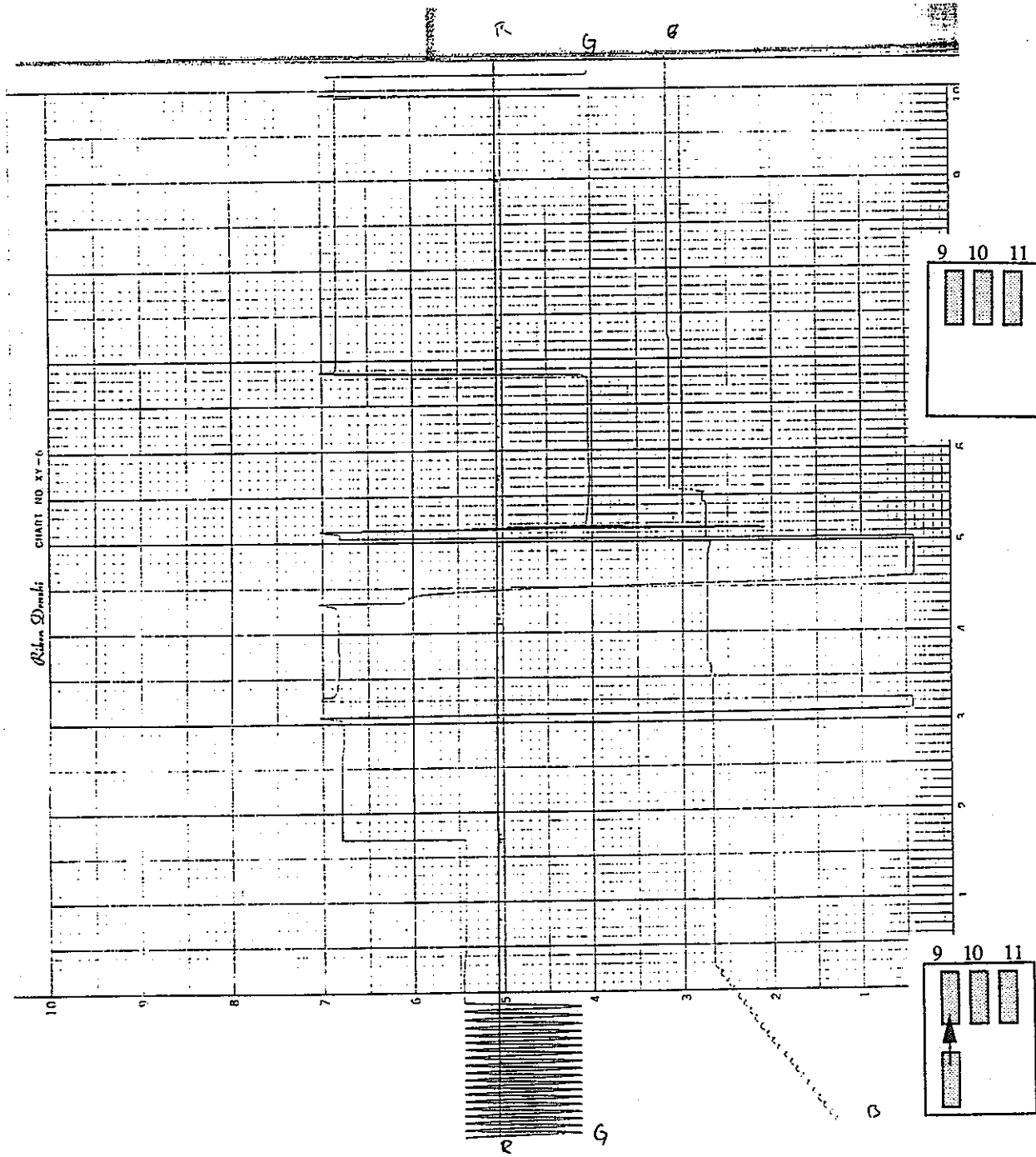












<データ集>

2. リハーサル時の8ペンレコーダ出力

被覆管伸び計出力 (EC1)

被覆管伸び計出力 (EC2)

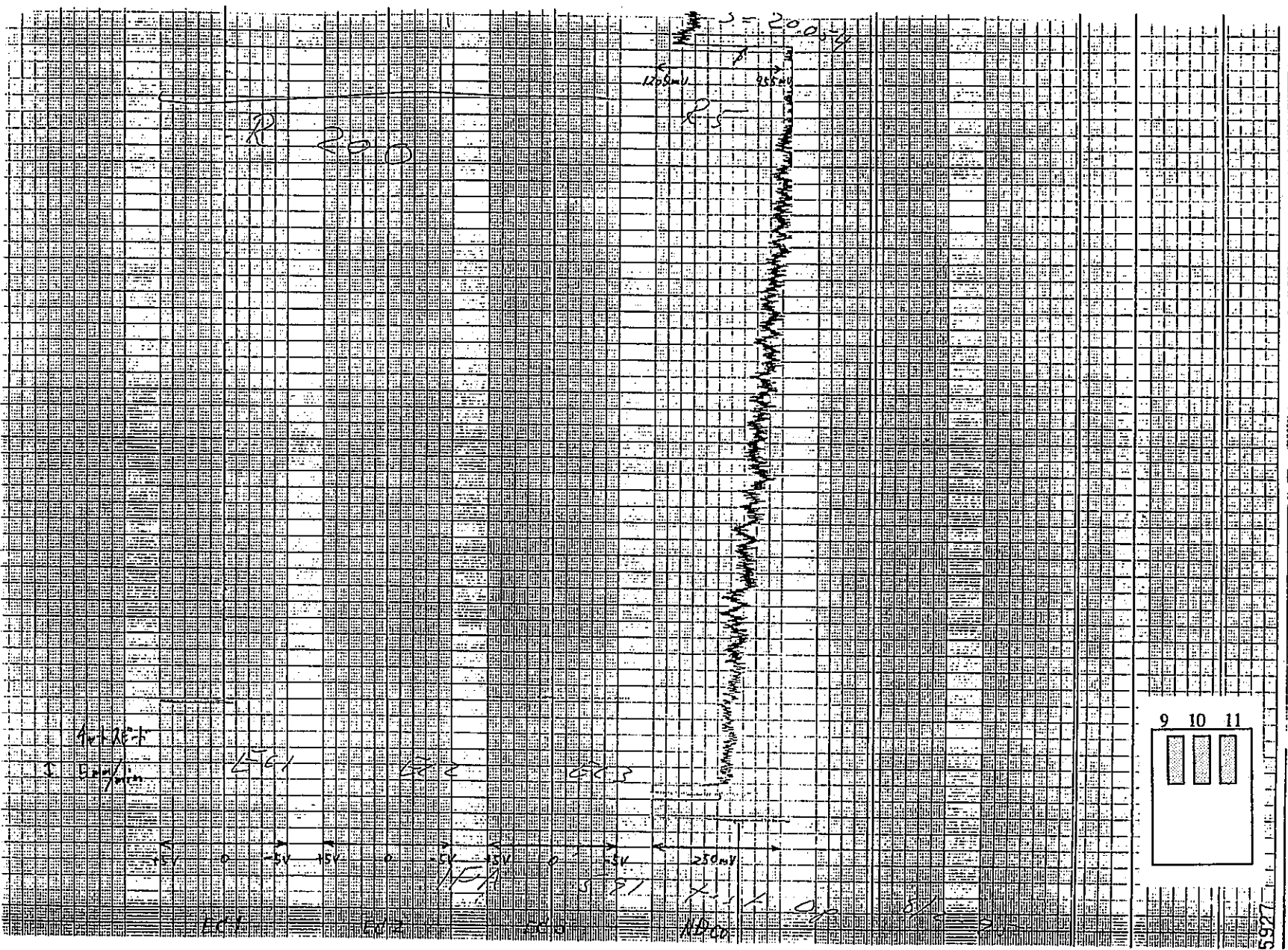
被覆管伸び計出力 (EC3)

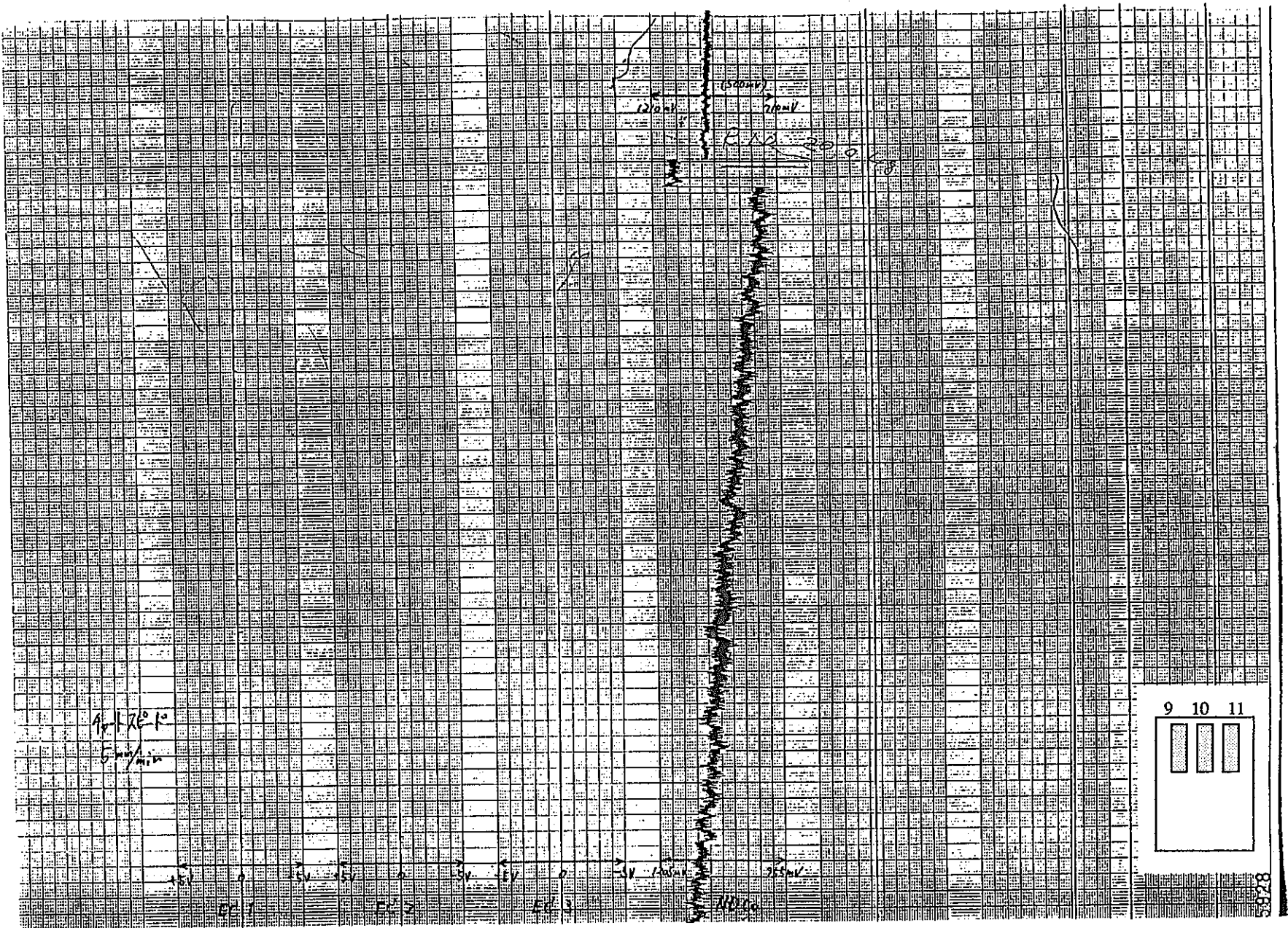
中性子検出器出力 (NDco)

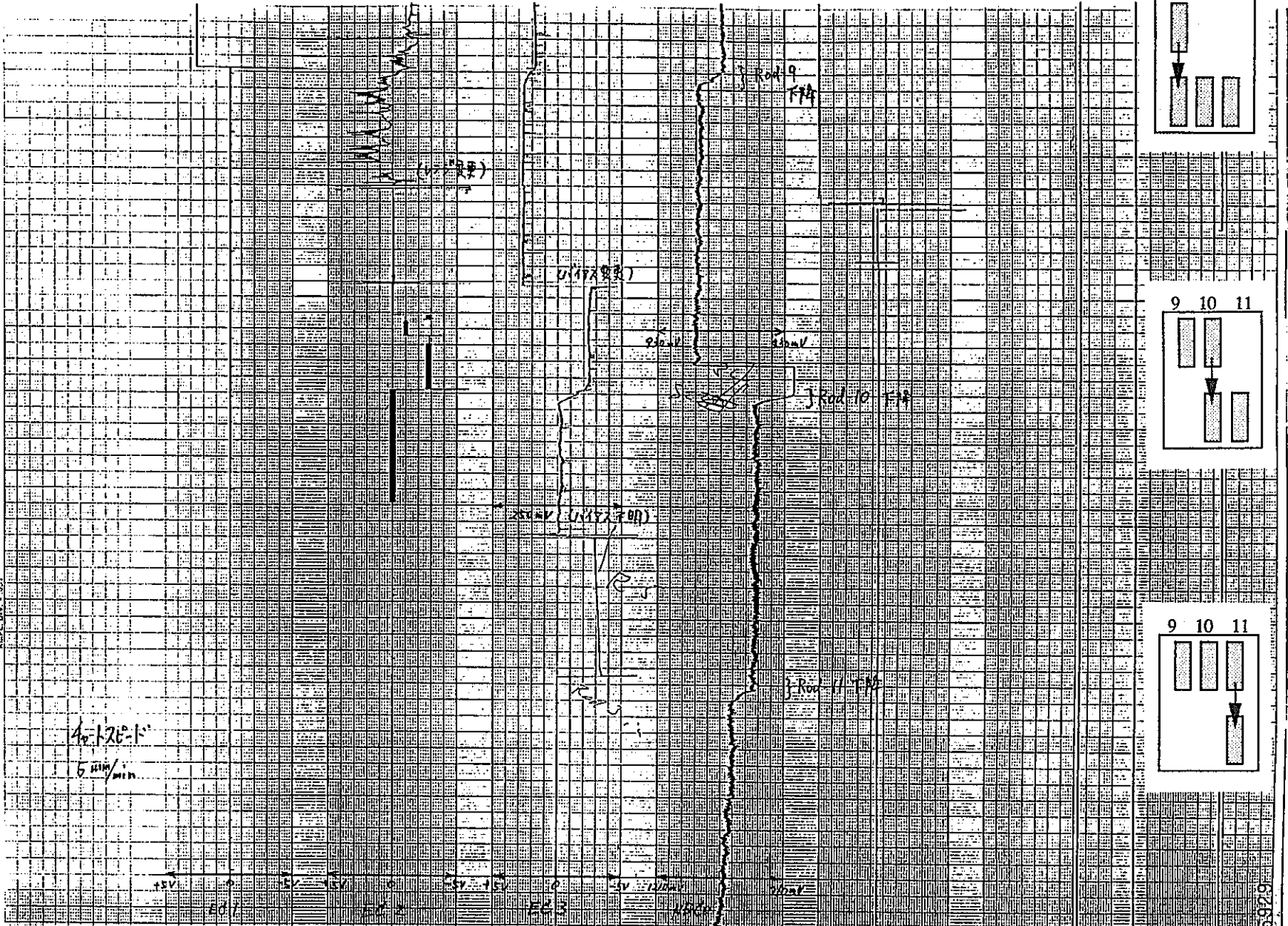
リグのポジションインジケータ出力 (パリアディック)

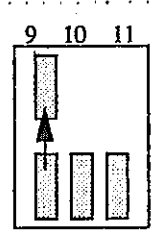
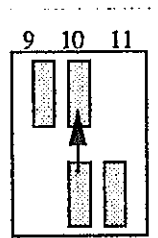
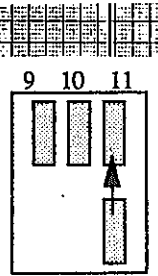
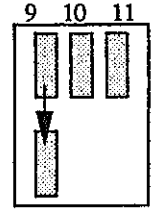
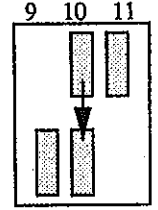
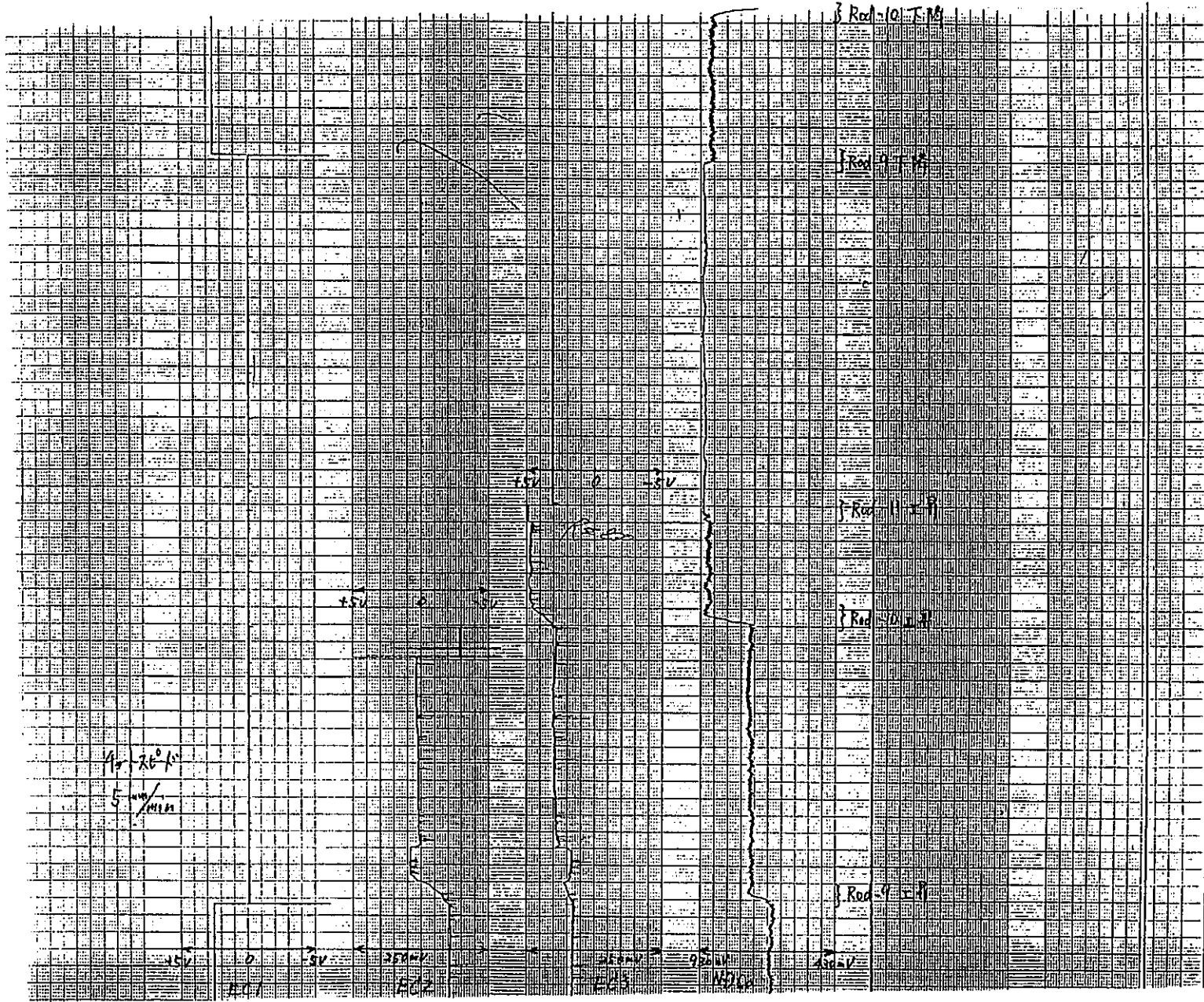
γモニター出力 (GM13)

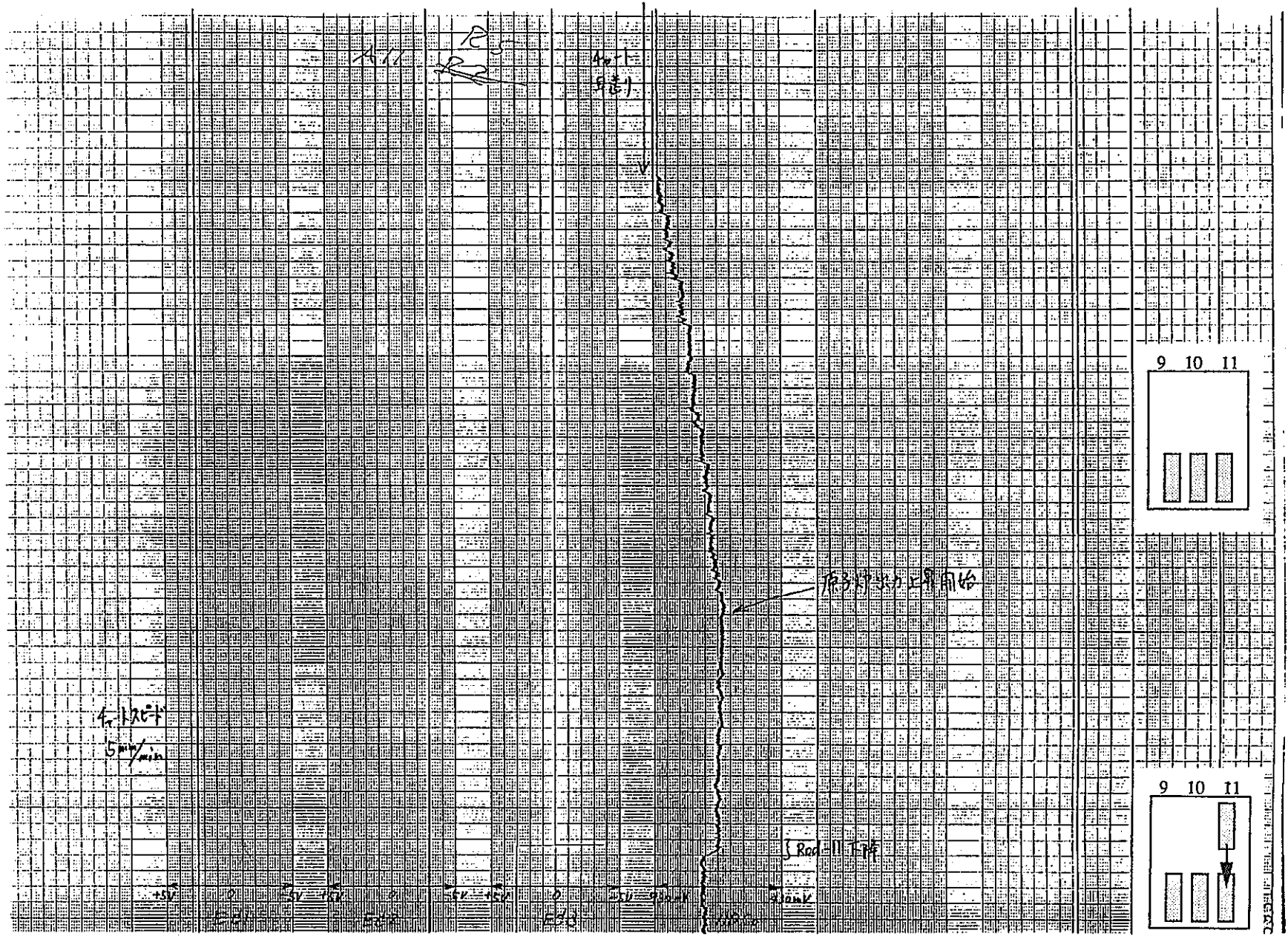
注：グラフ右側の図がIFA-591-9、-10、-11セグメント燃料の位置あるいは移動を示す。

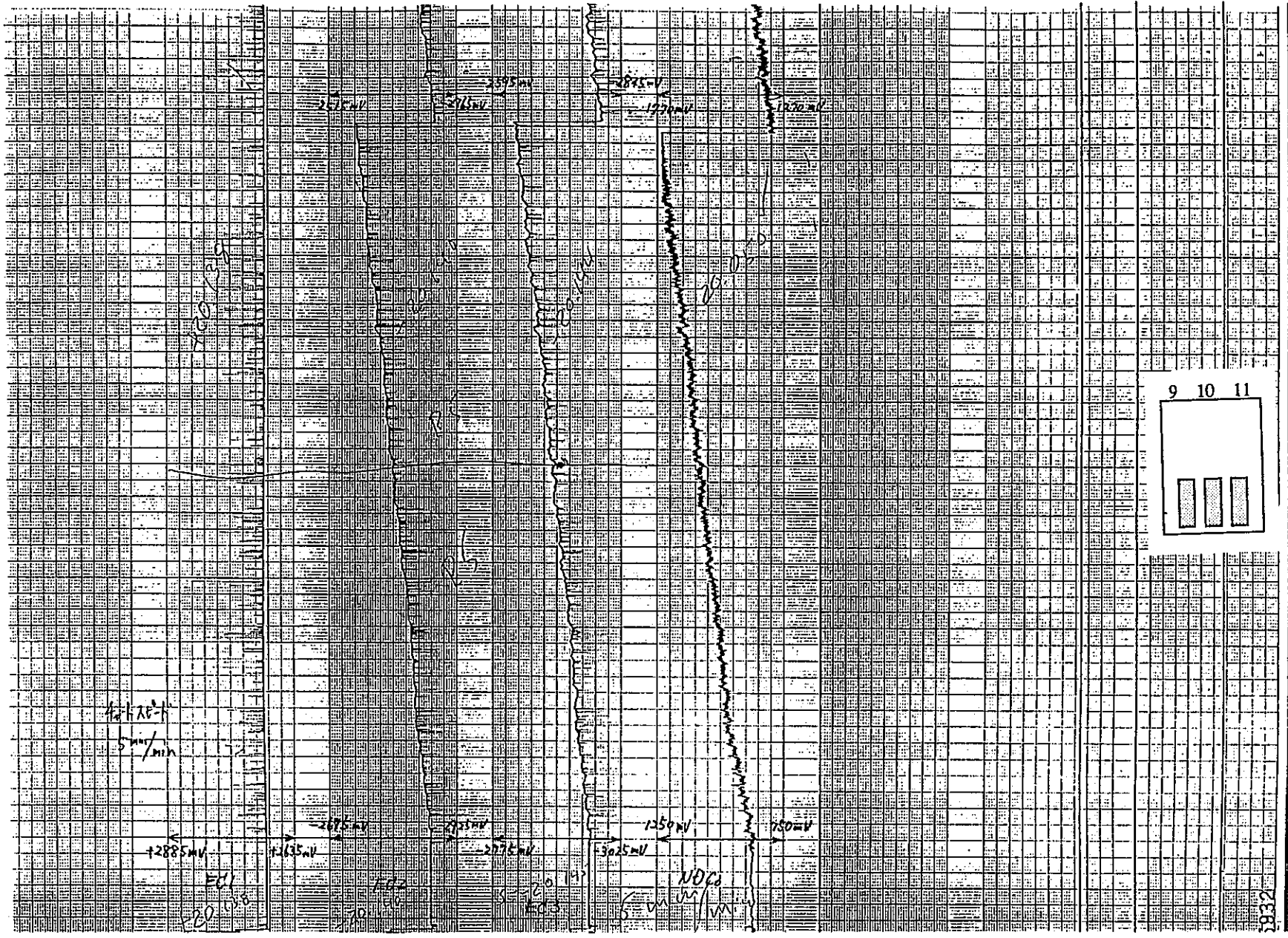


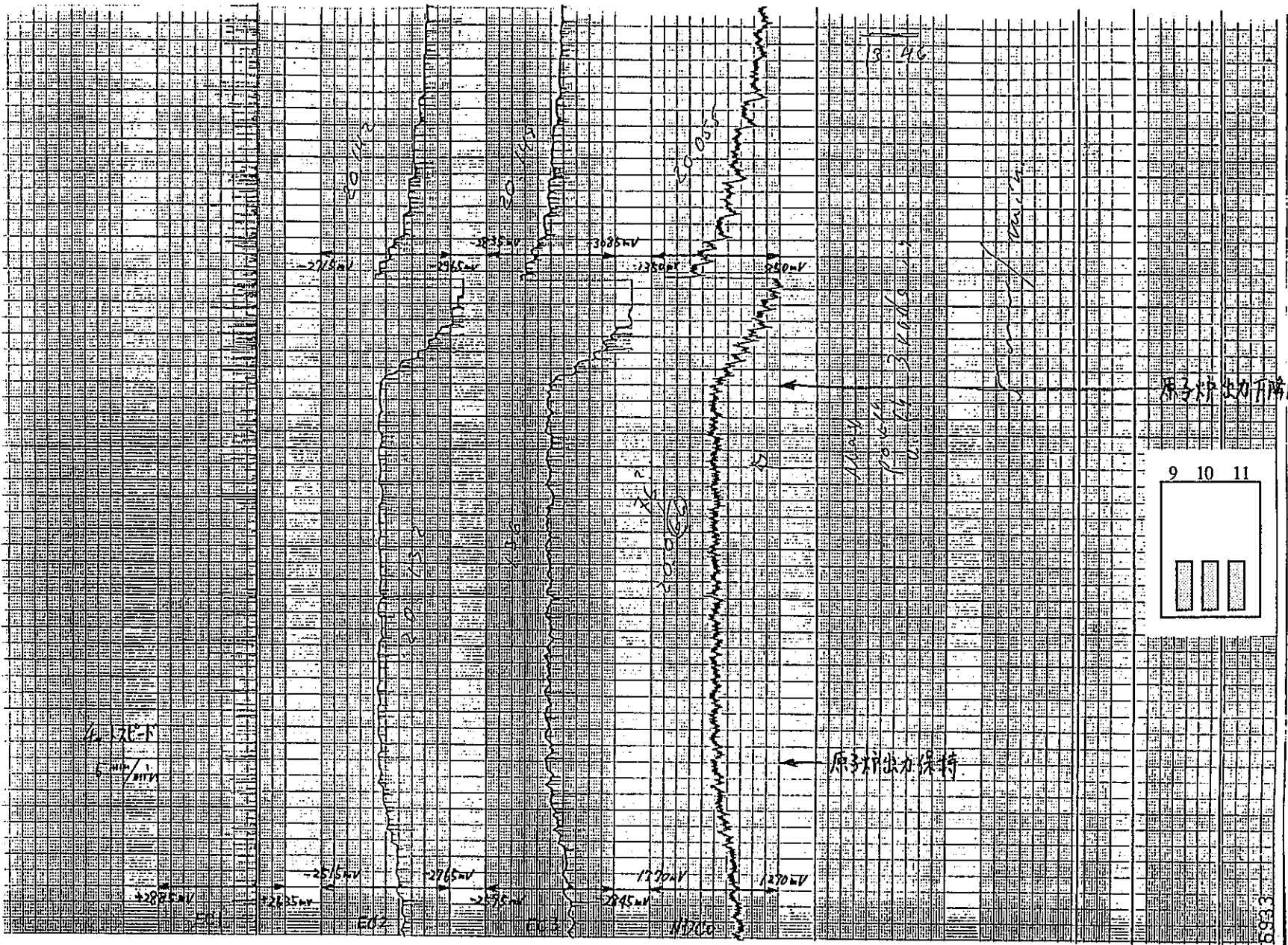


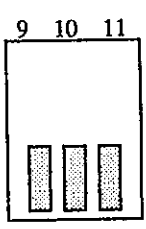
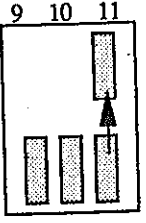
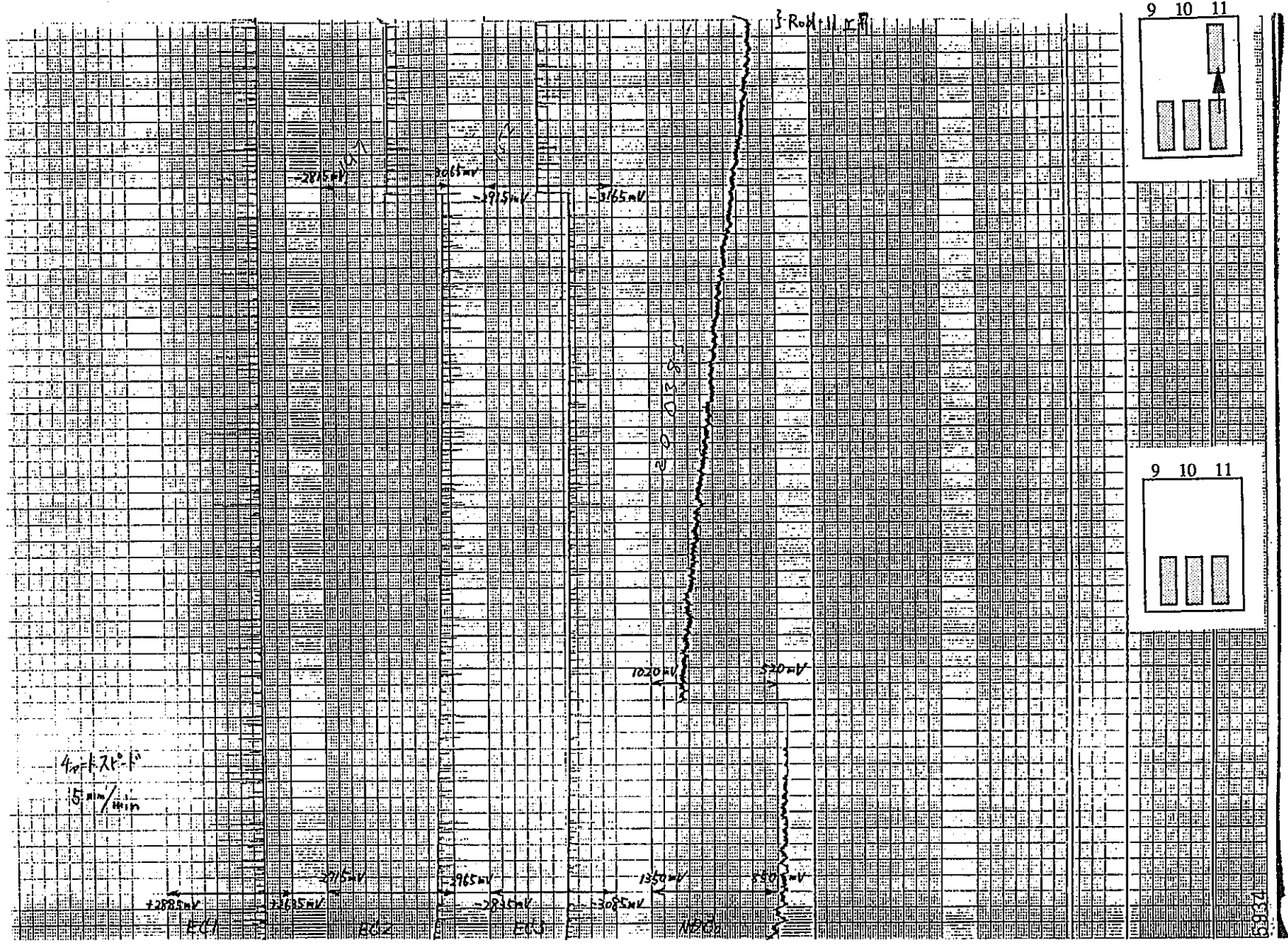




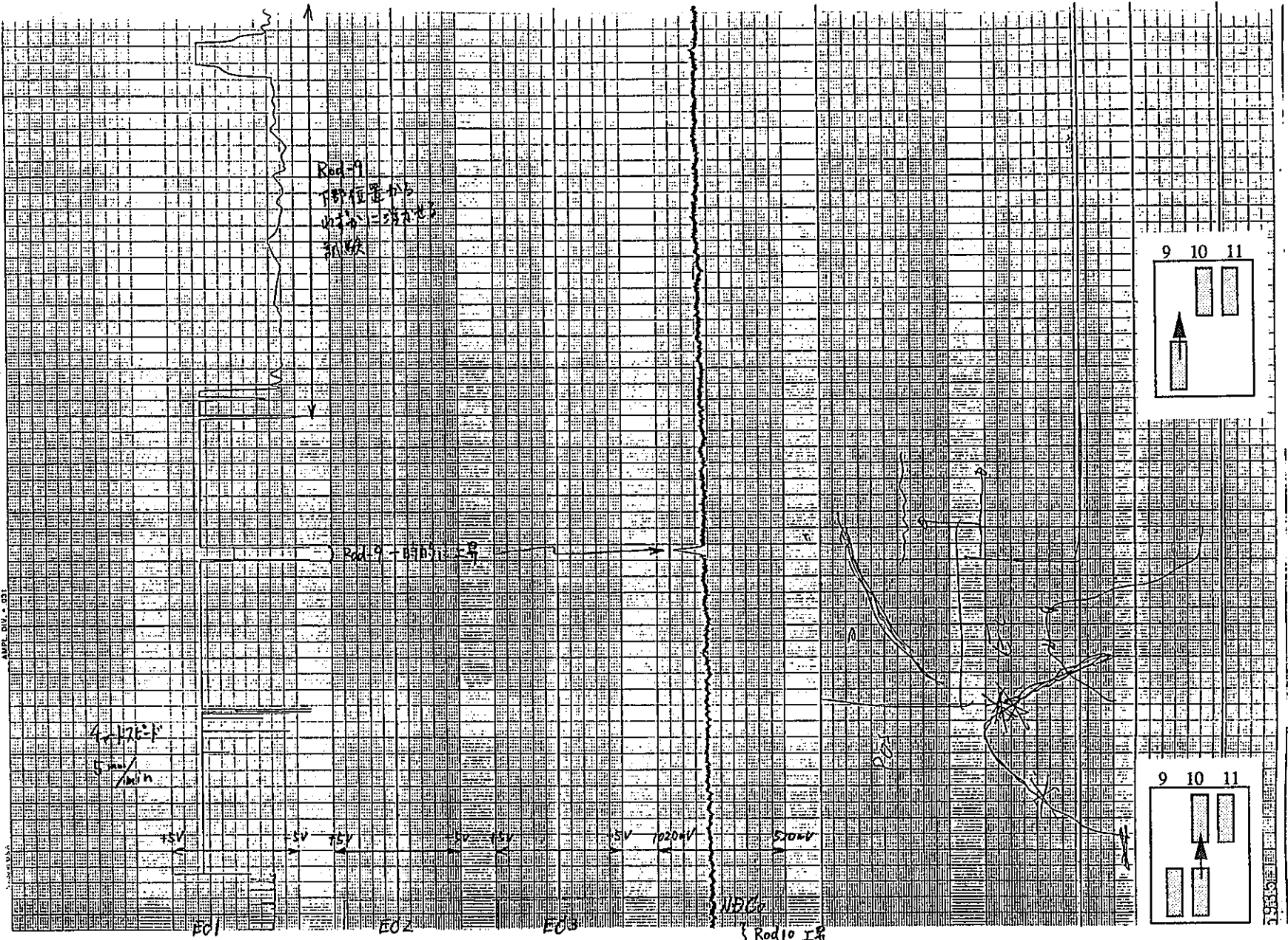


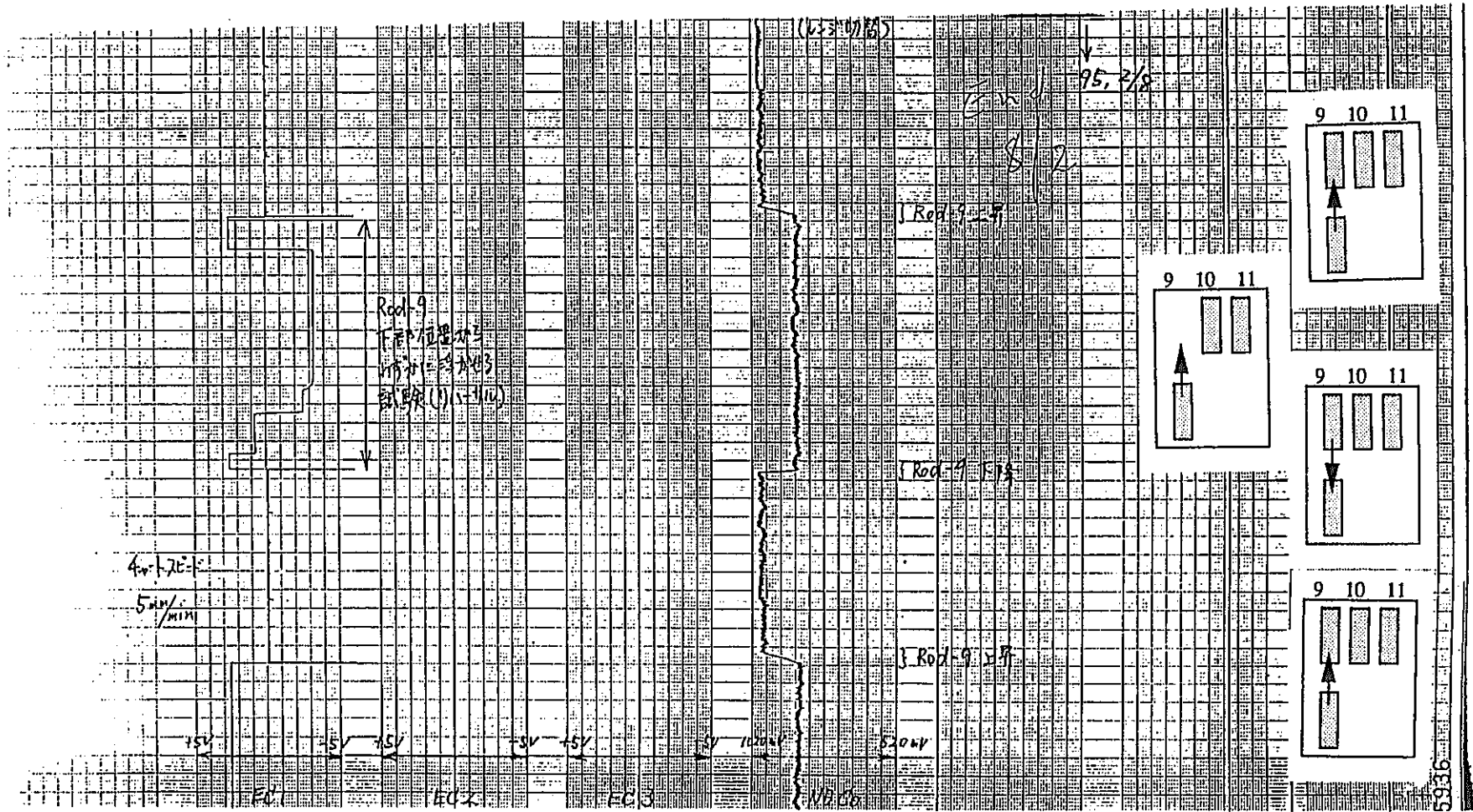






2589





<データ集>

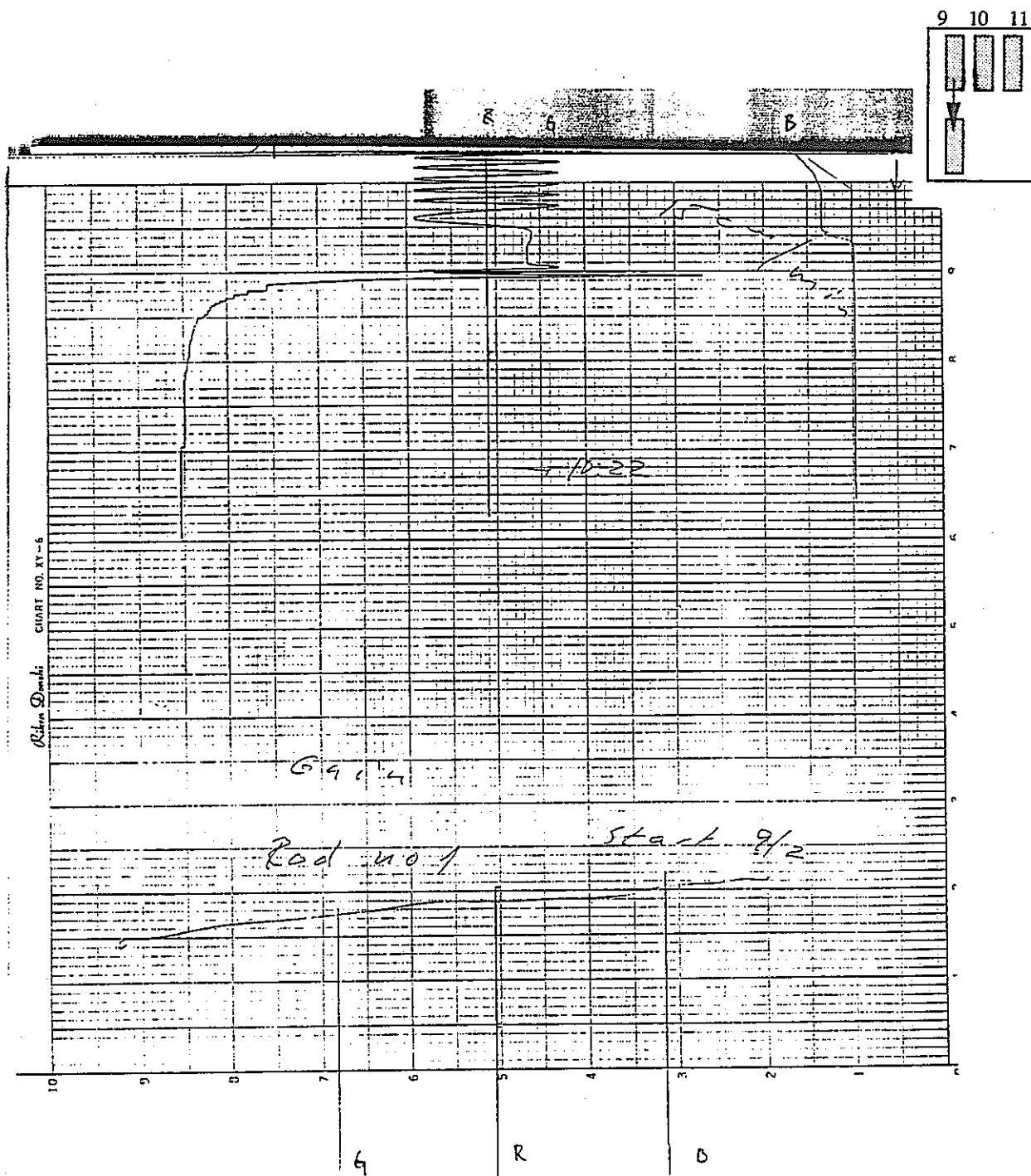
3. 出力急昇試験時の3ペンレコーダ出力

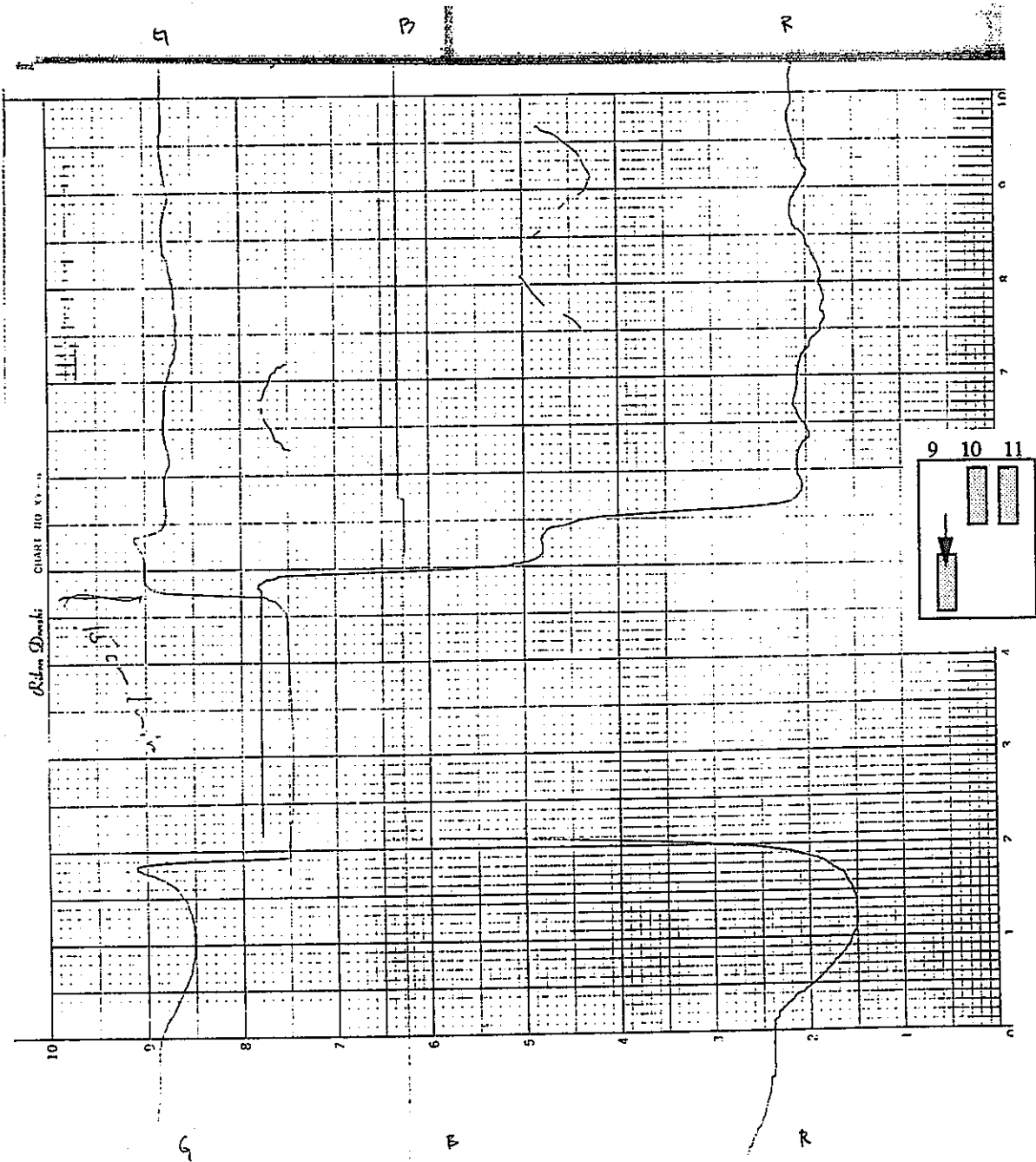
被覆管伸び計出力 (EC1/2/3 : R)

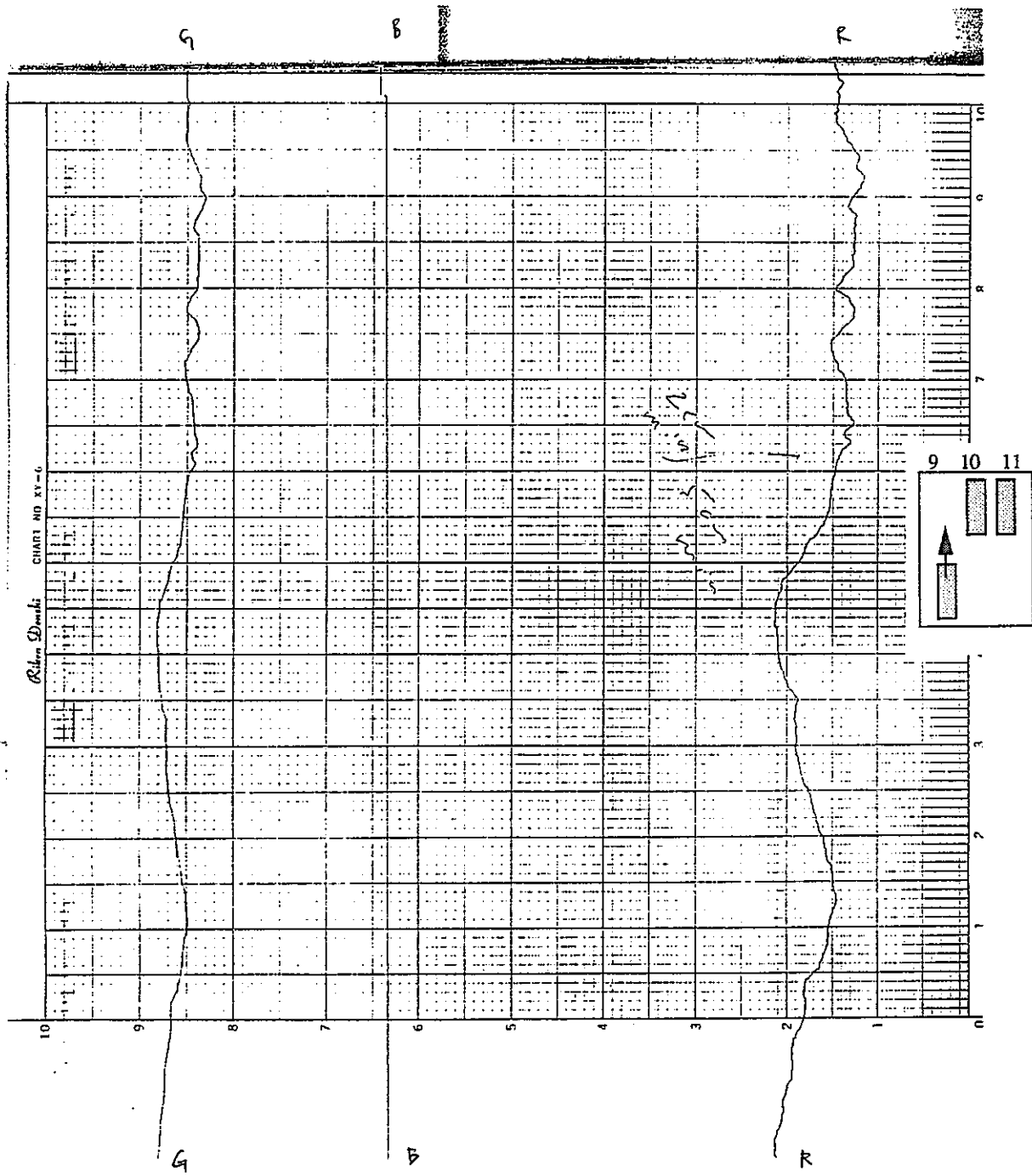
リグのポジションインジケータ出力 (ペリデック : G)

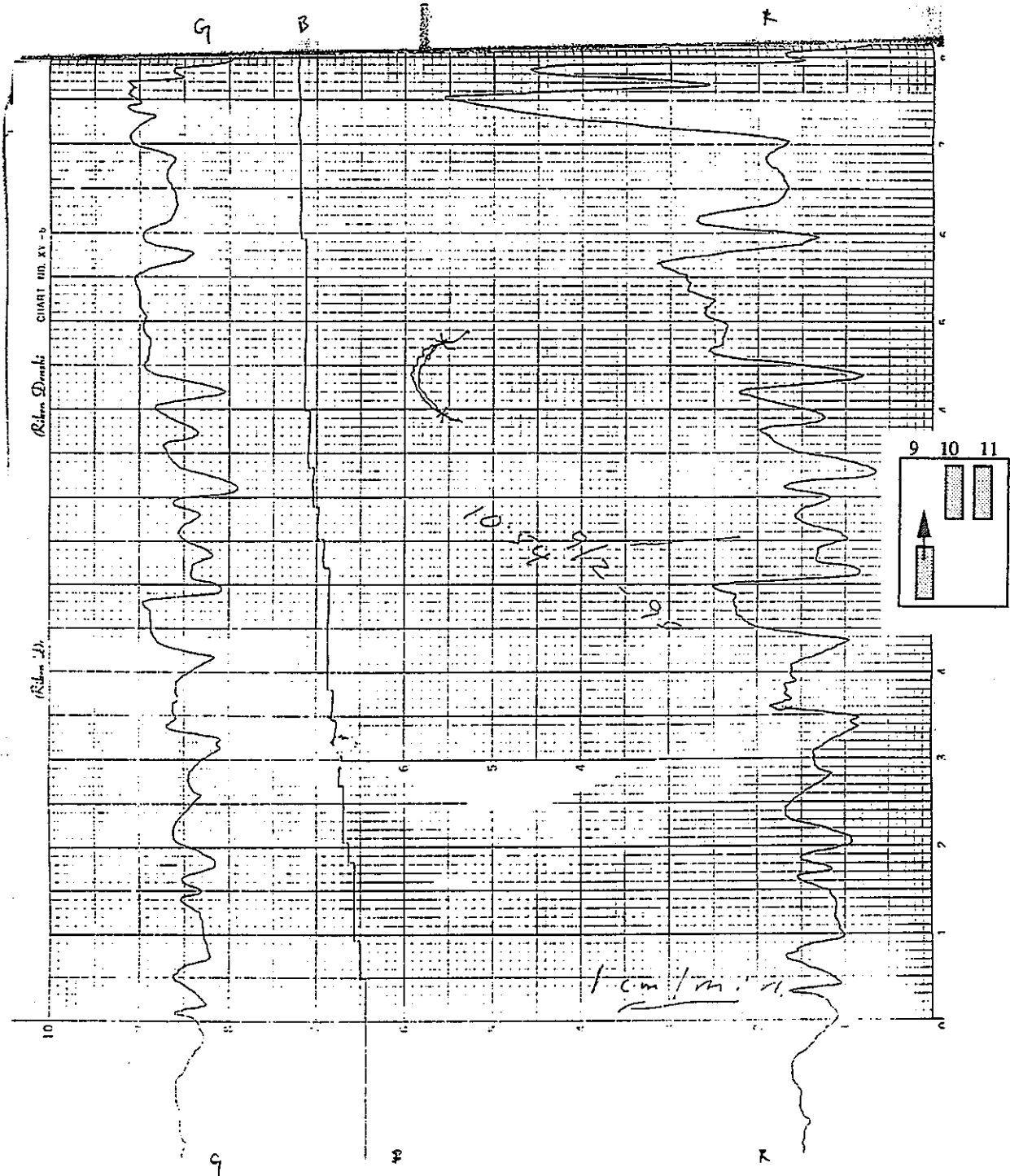
リグのポジションインジケータ出力 (リニア : B)

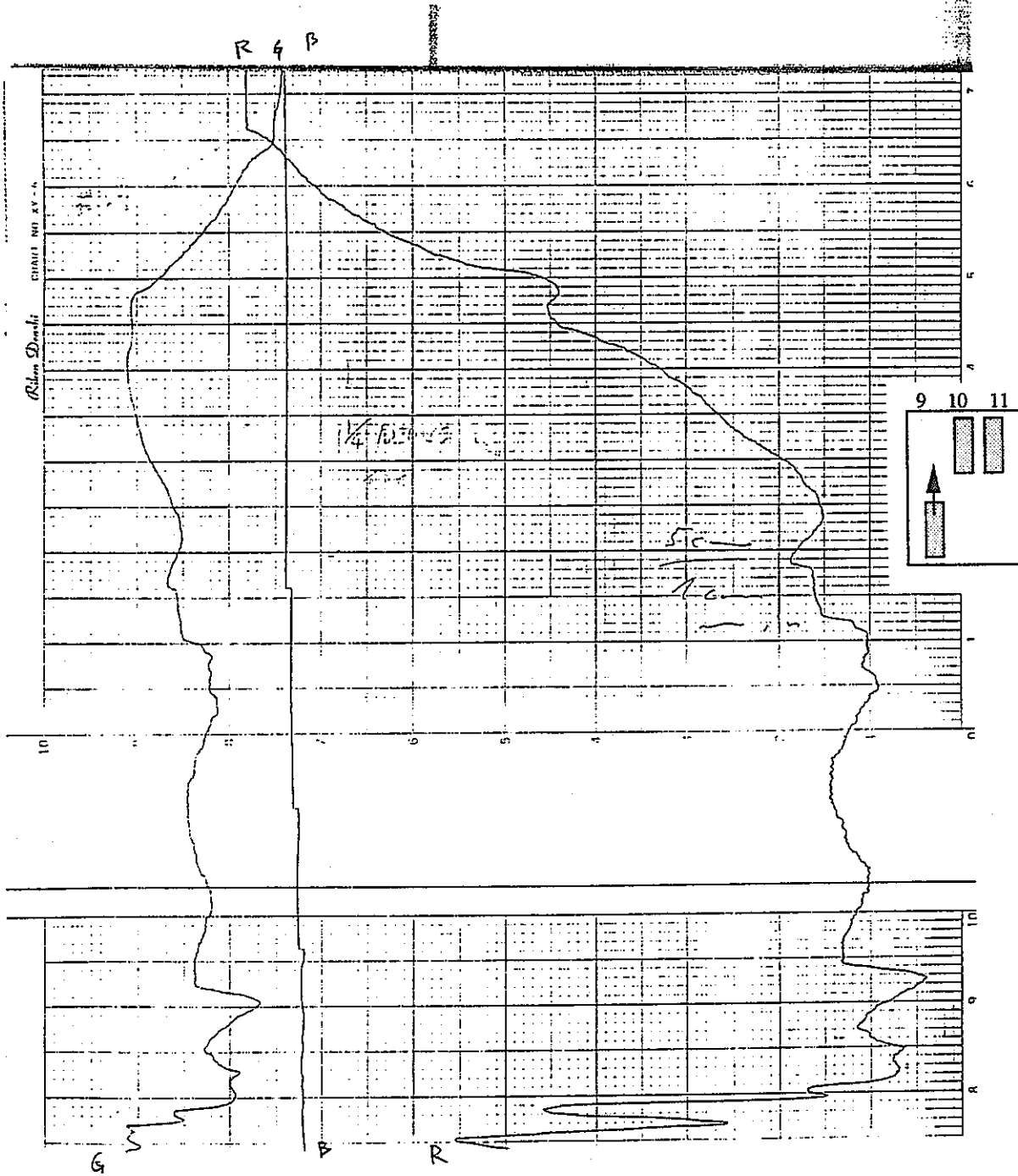
注：グラフ右側の図がIFA-591-9、-10、-11セグメント燃料の位置あるいは移動を示す。

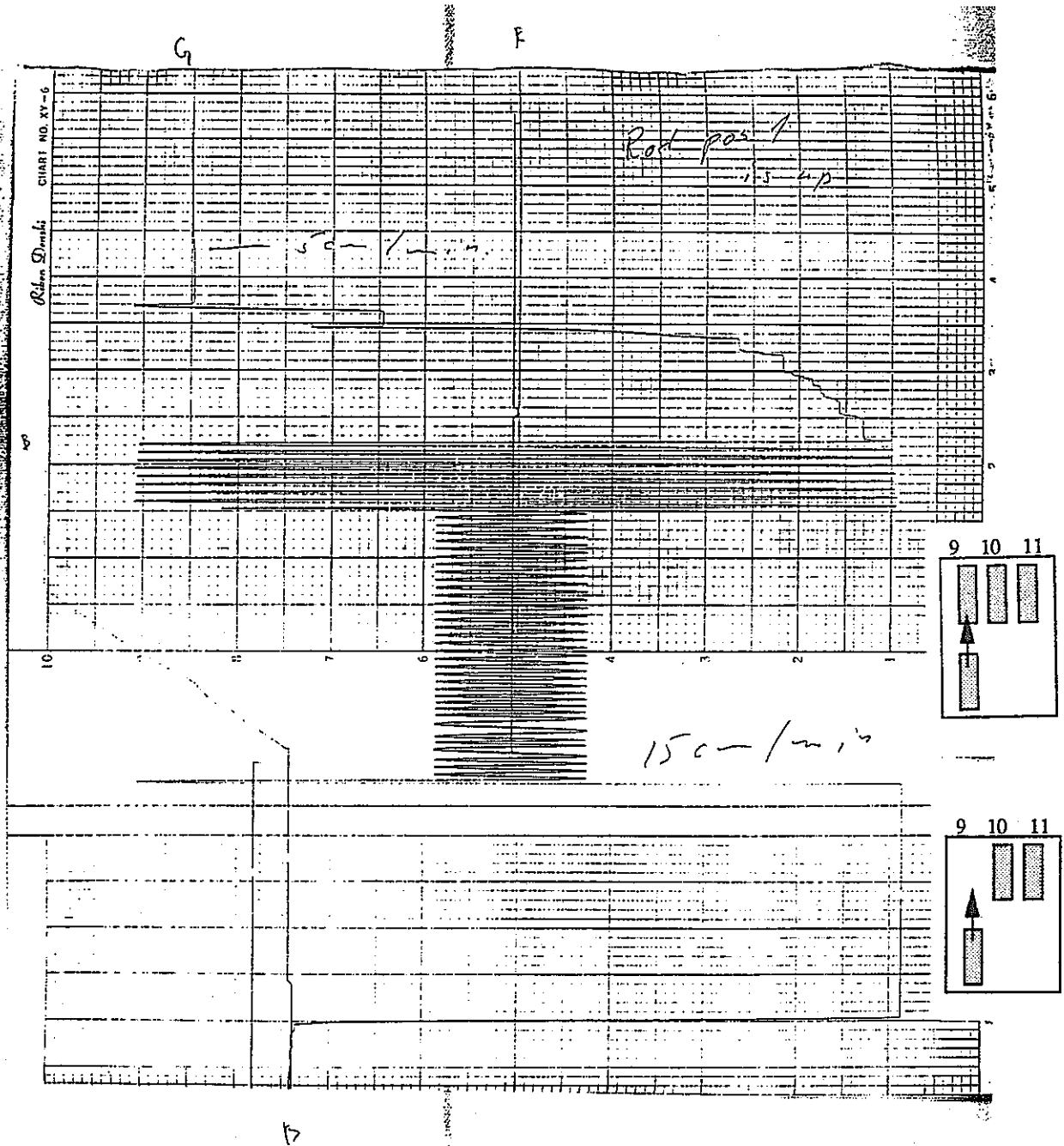


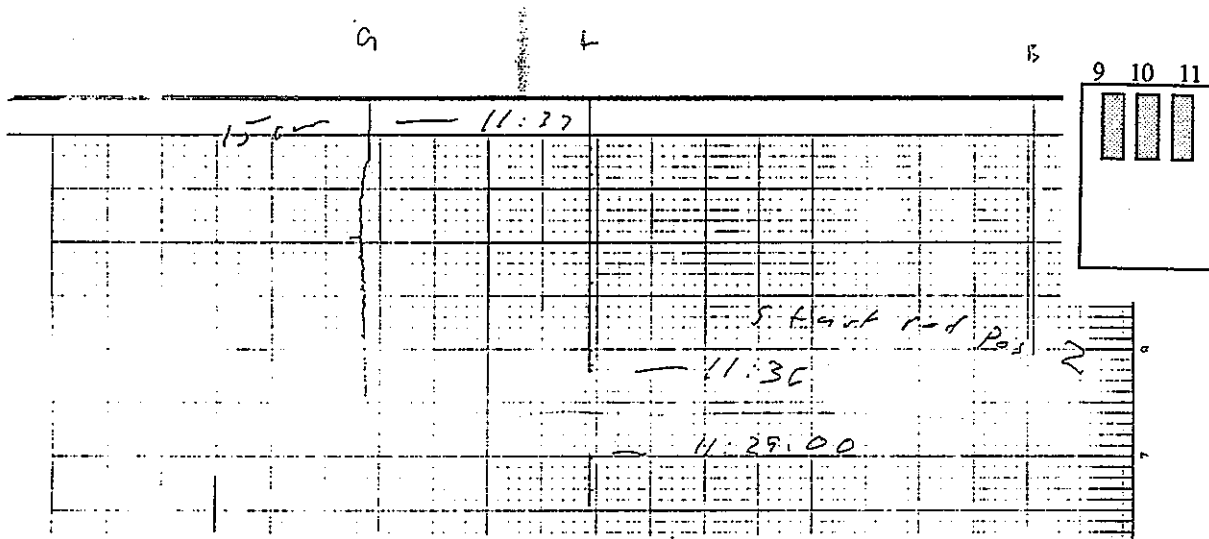


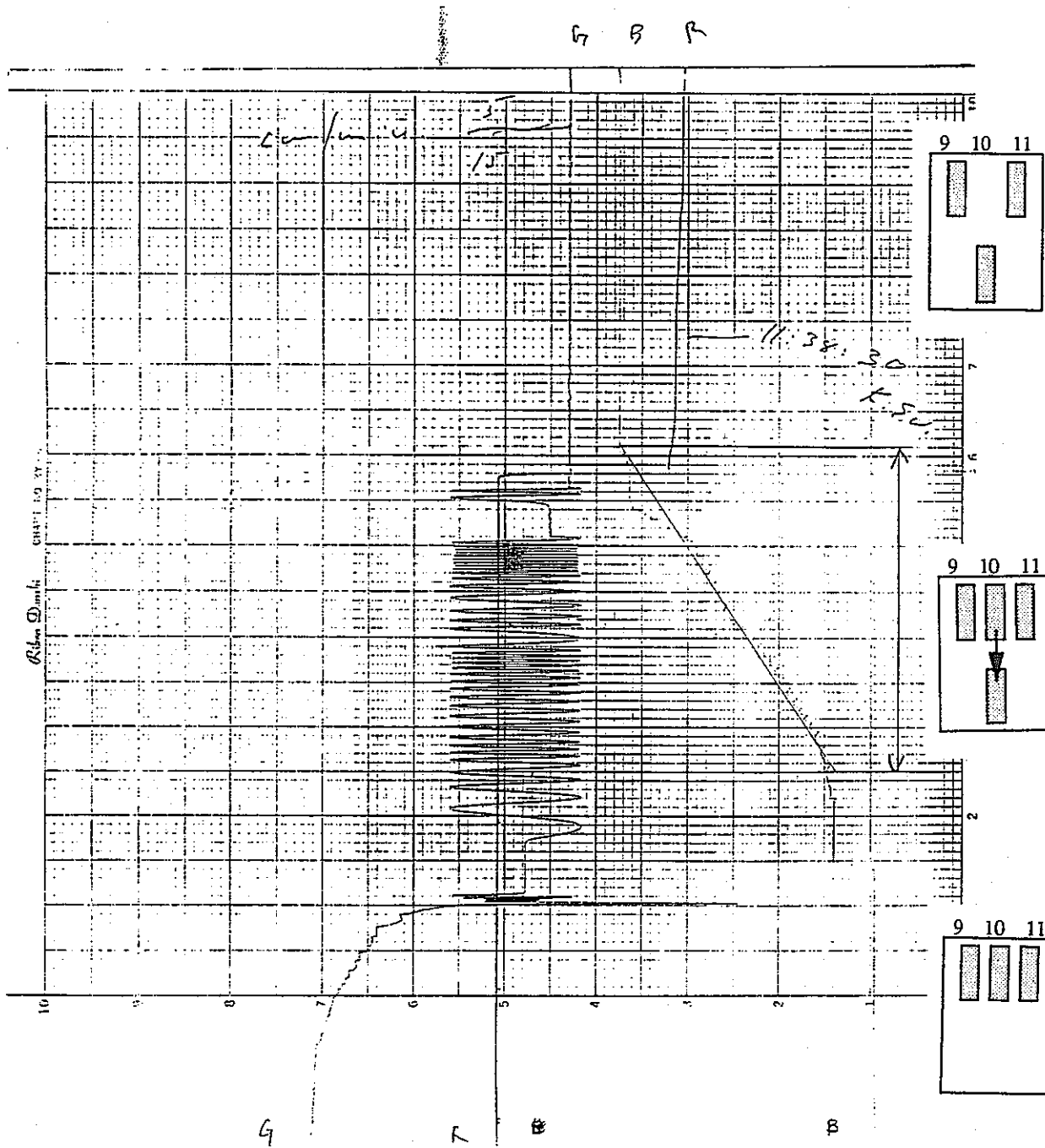


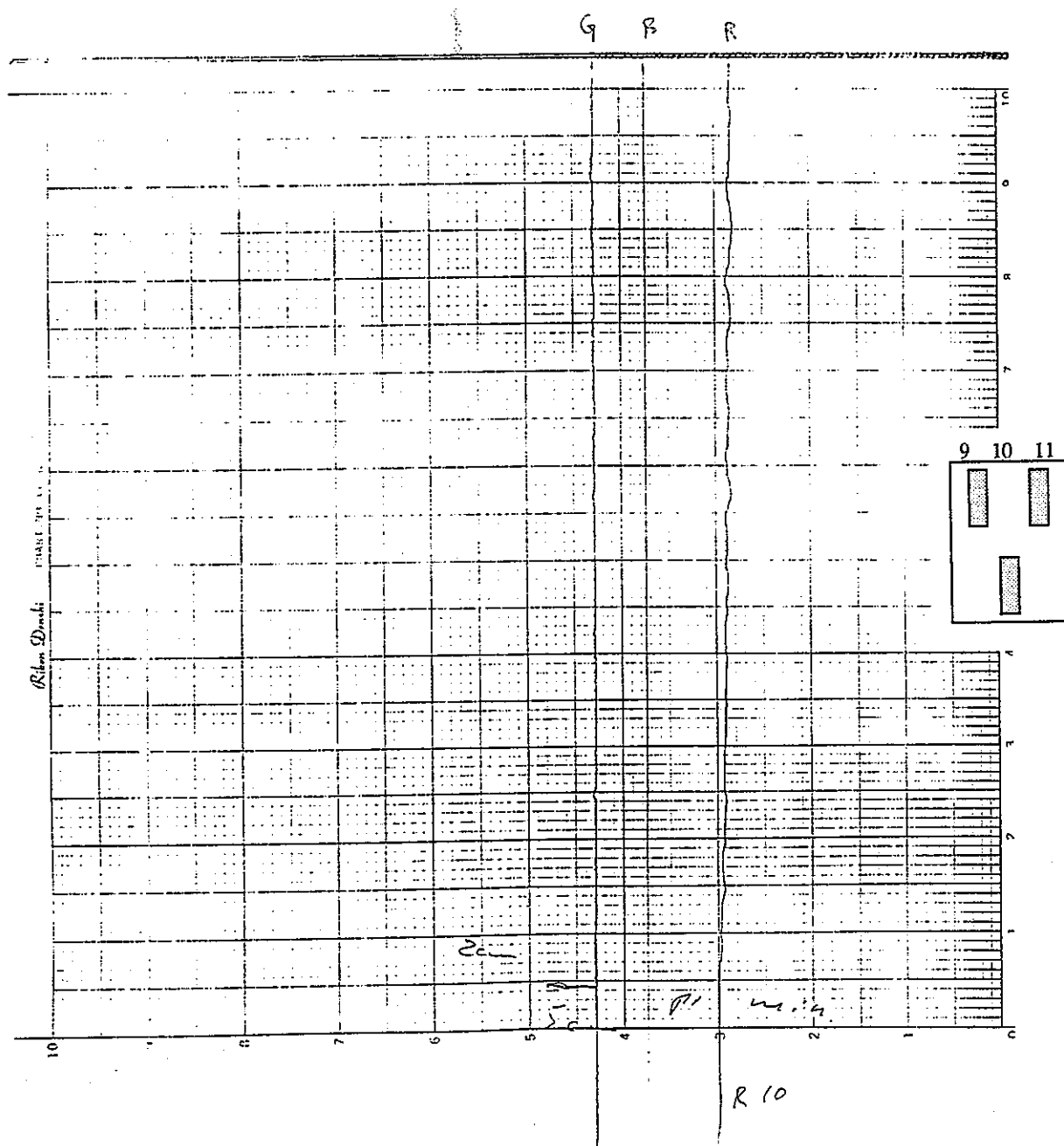


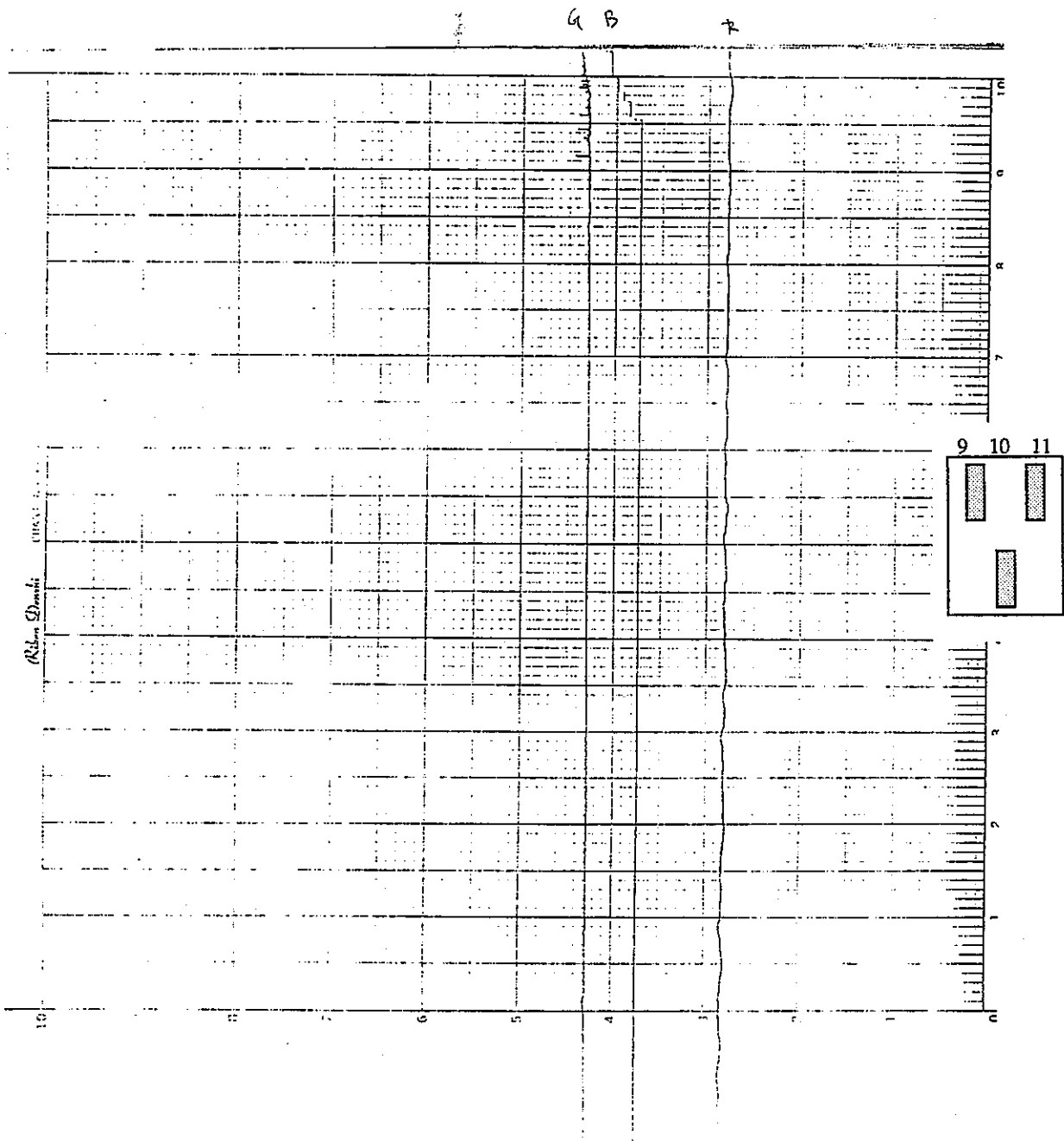








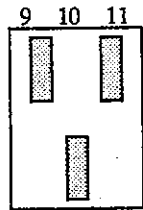
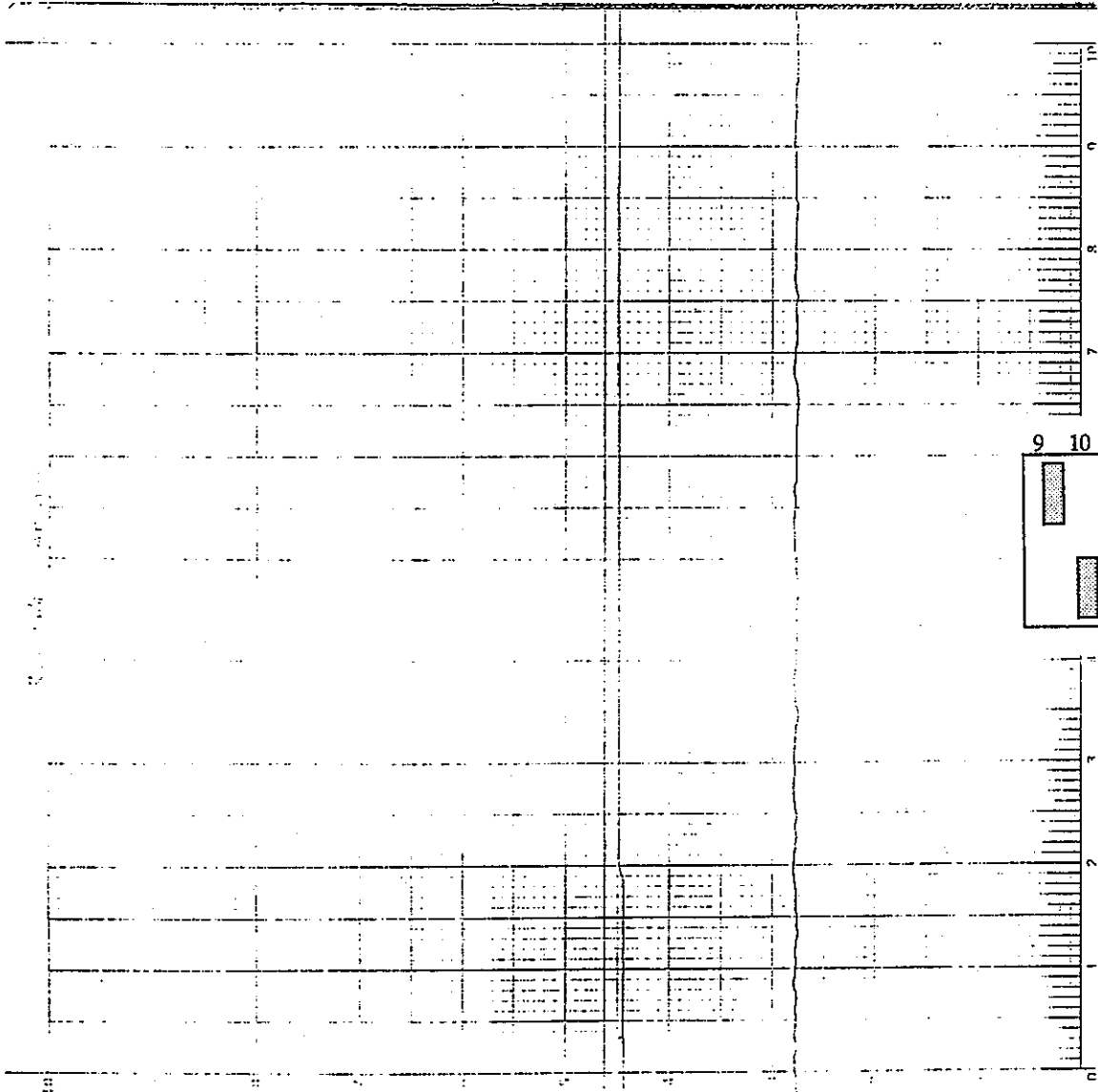




3

B9.

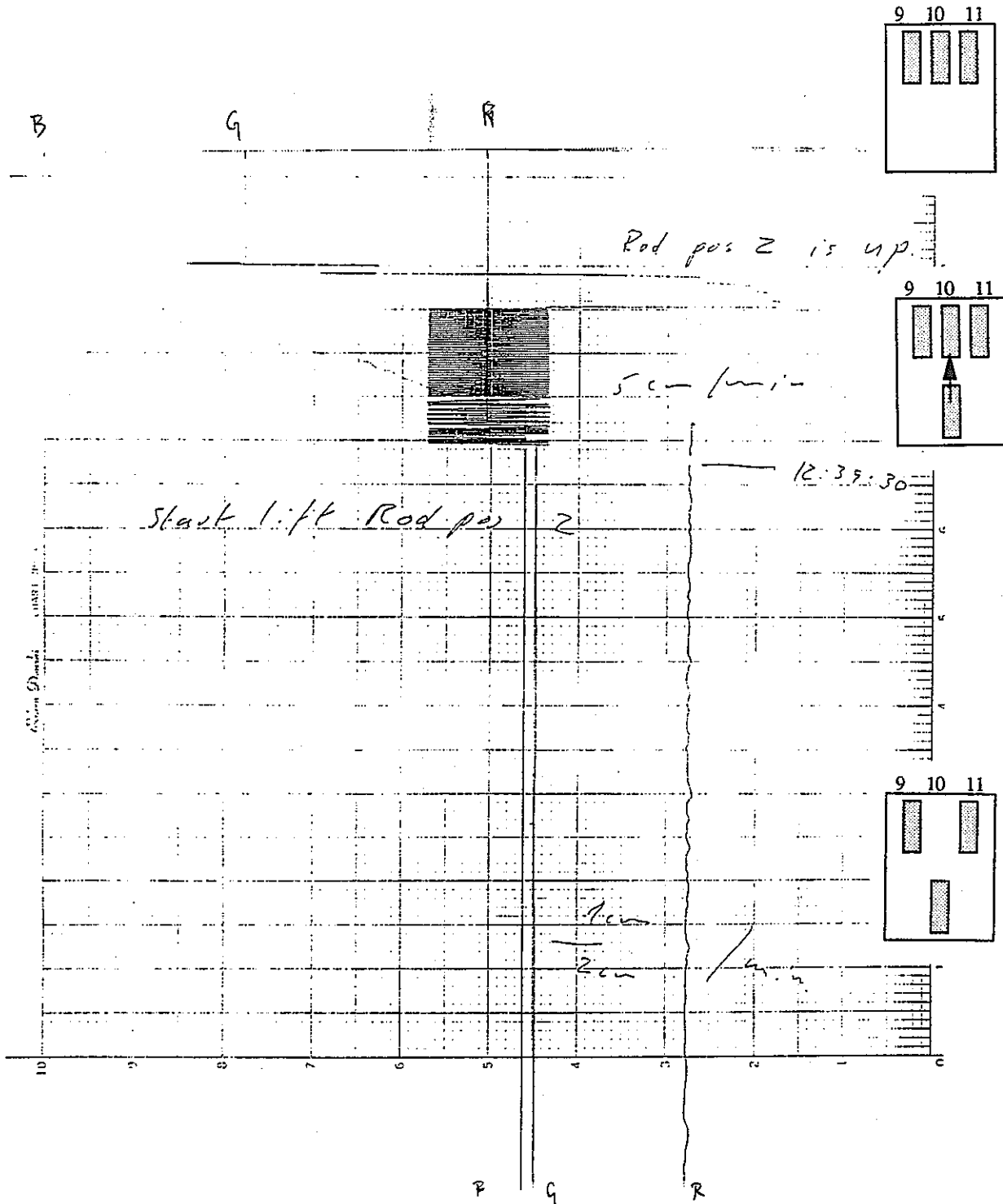
R

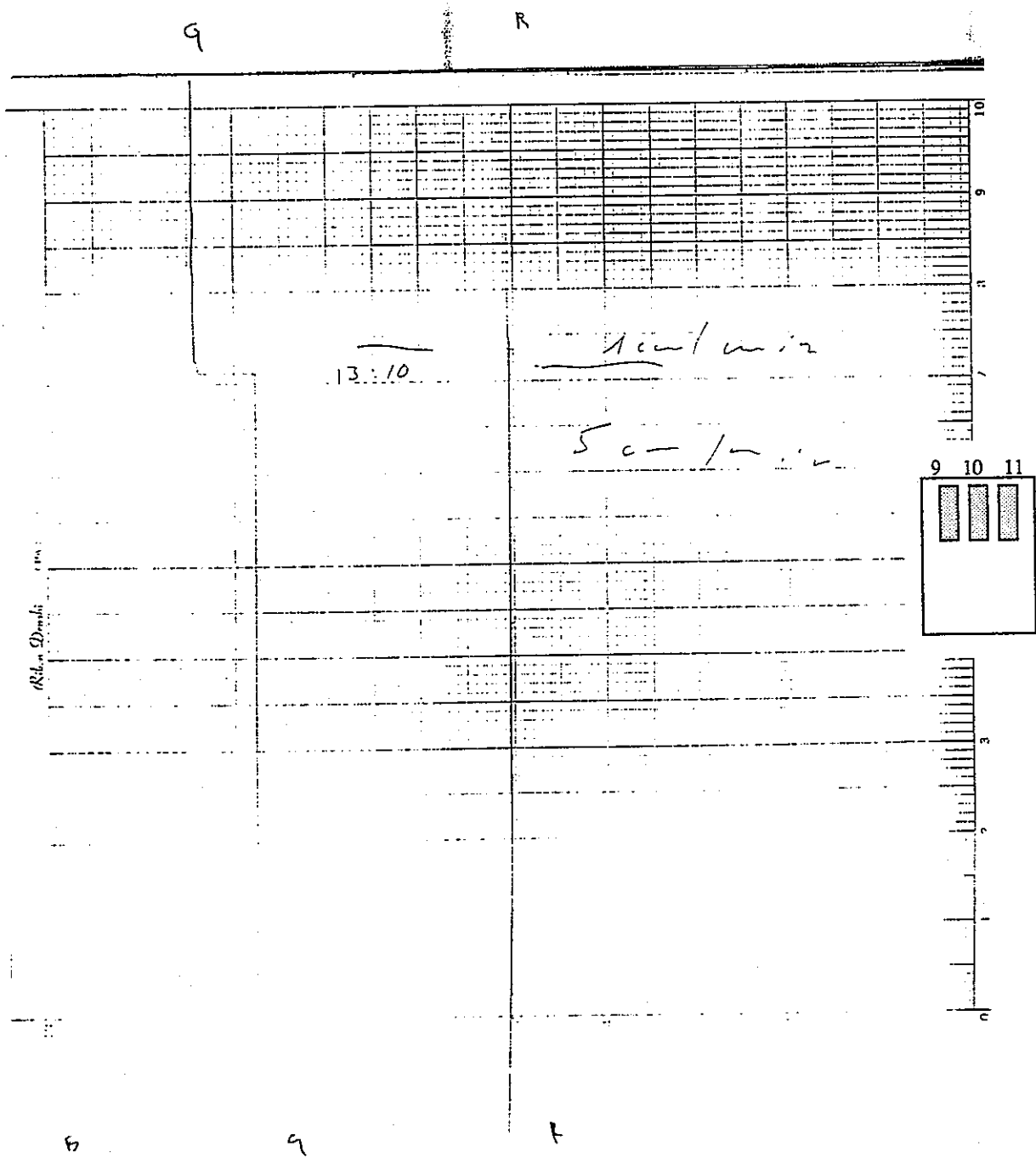


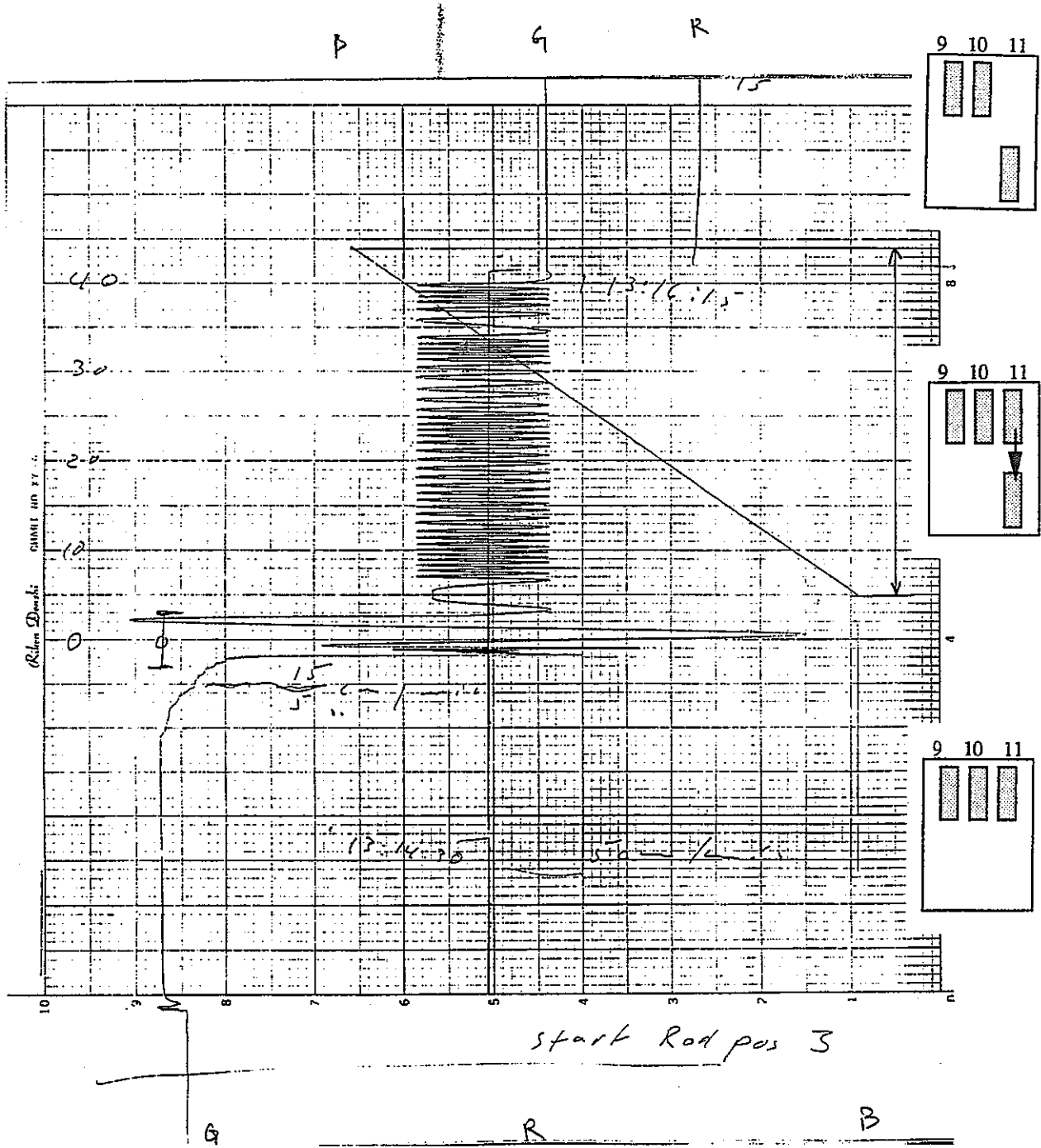
R

R

R



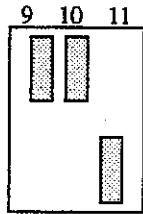
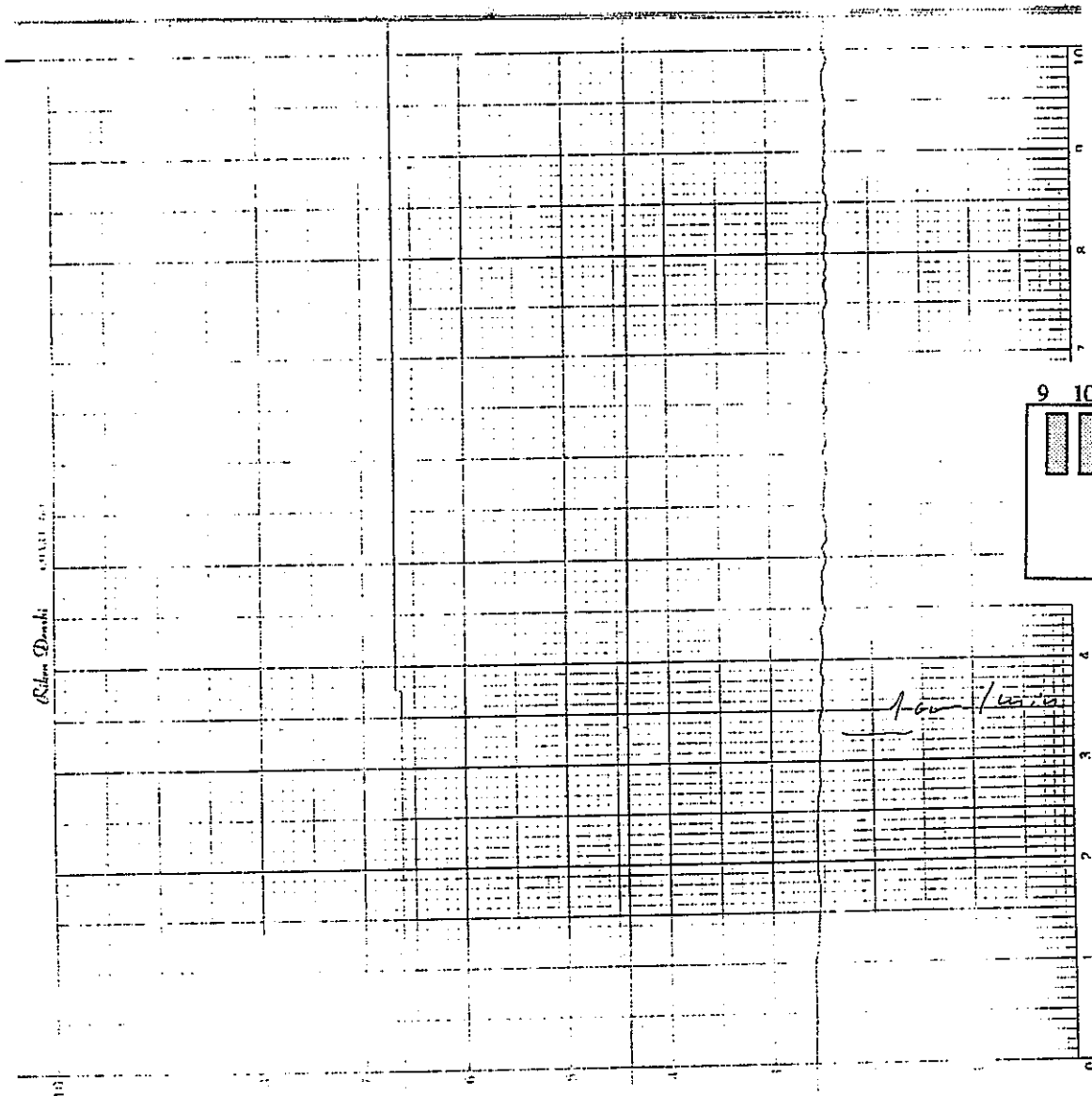




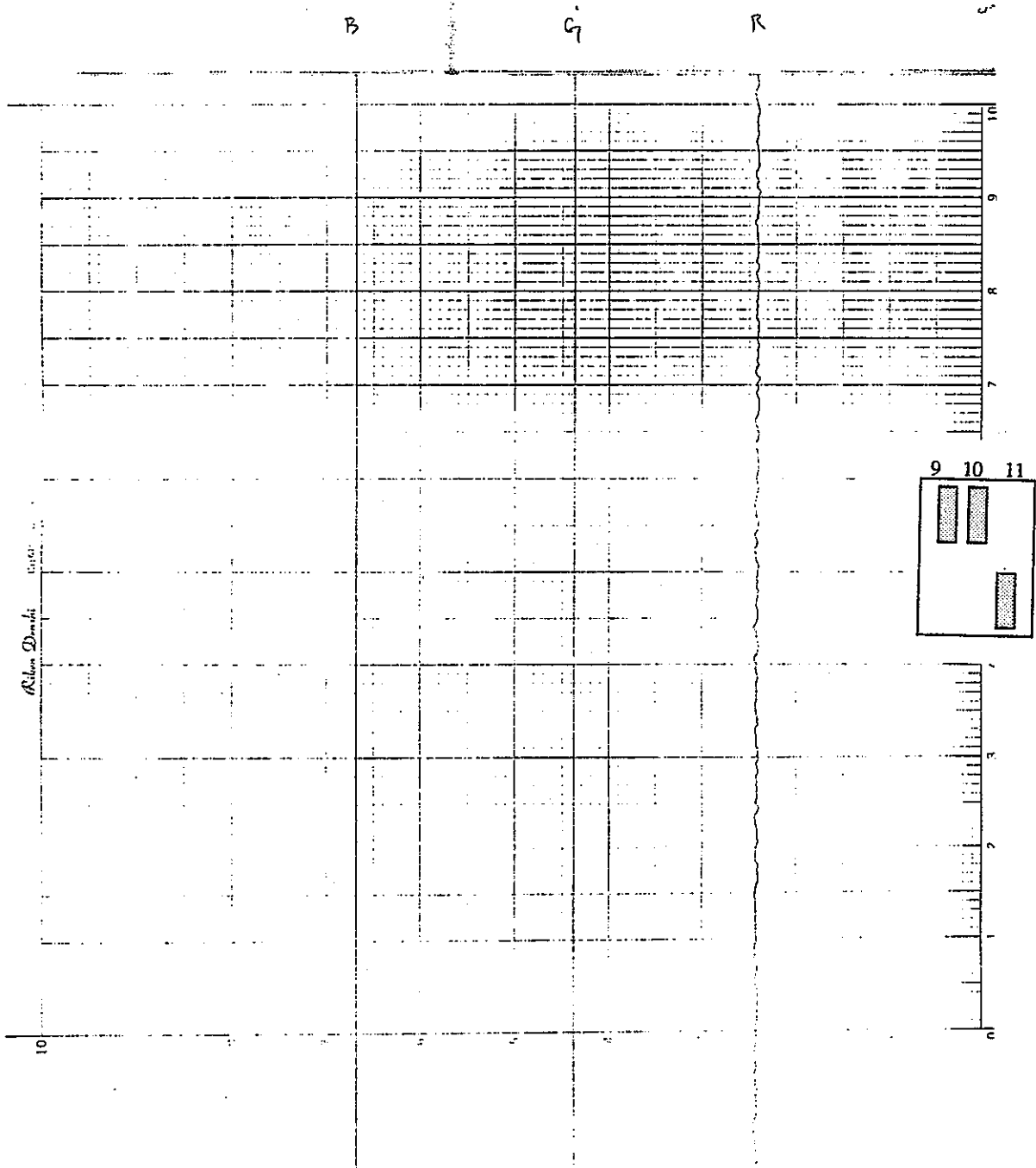
B
G

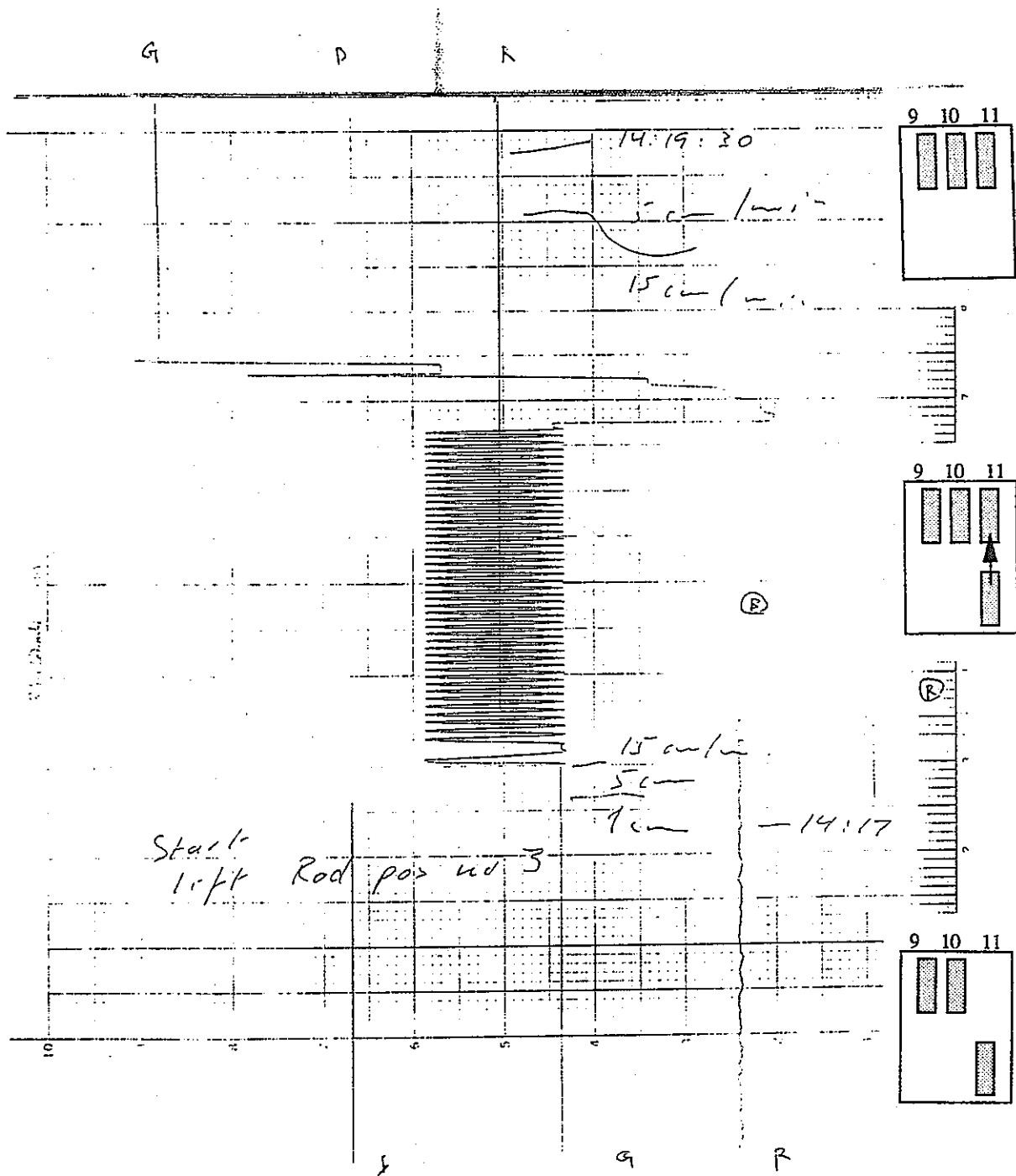
G

R



Silva D. ...

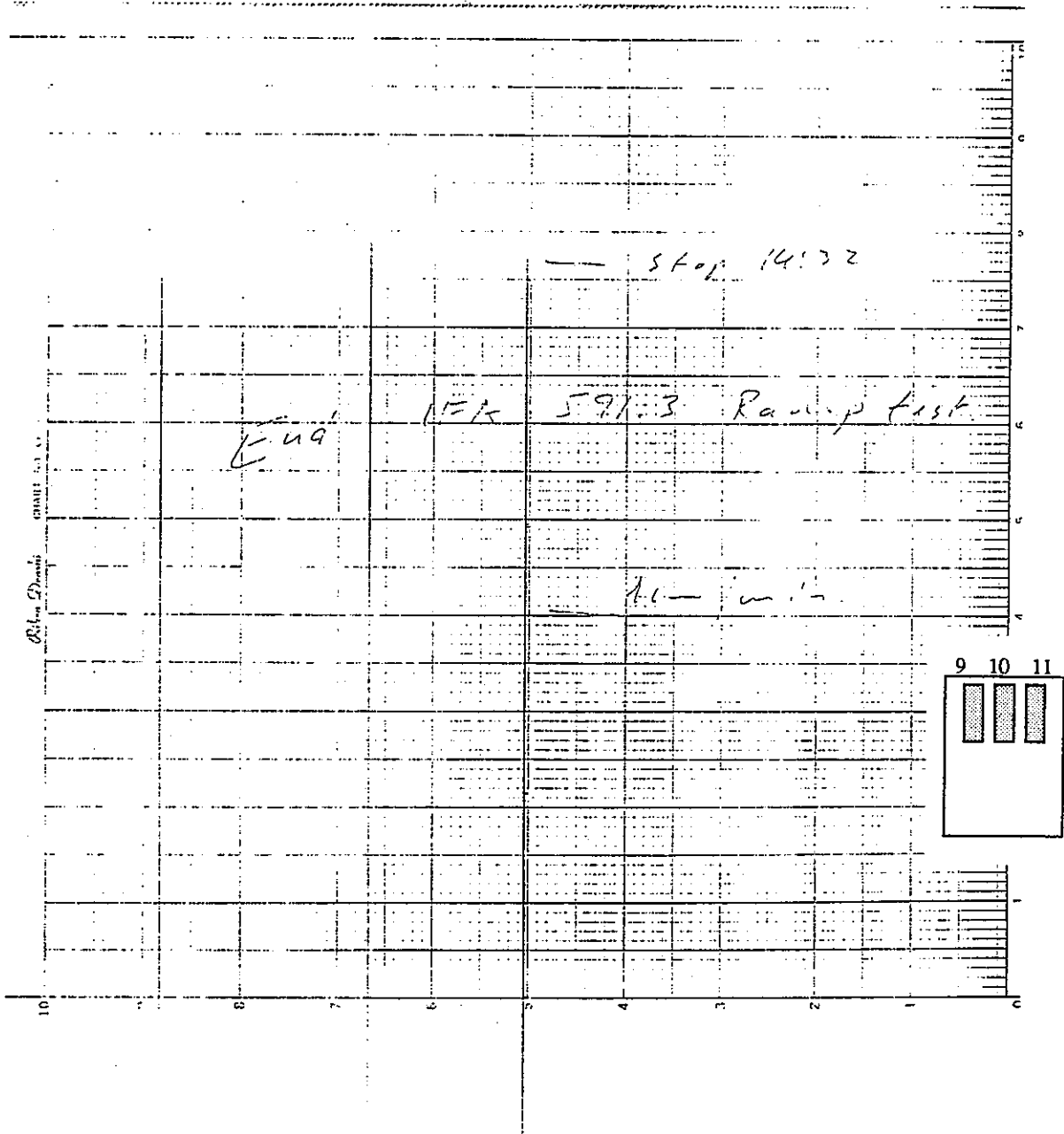




Green

Black

Red



<データ集>

4. 出力急昇試験時の8ペンレコーダ出力

被覆管伸び計出力 (EC1)

被覆管伸び計出力 (EC2)

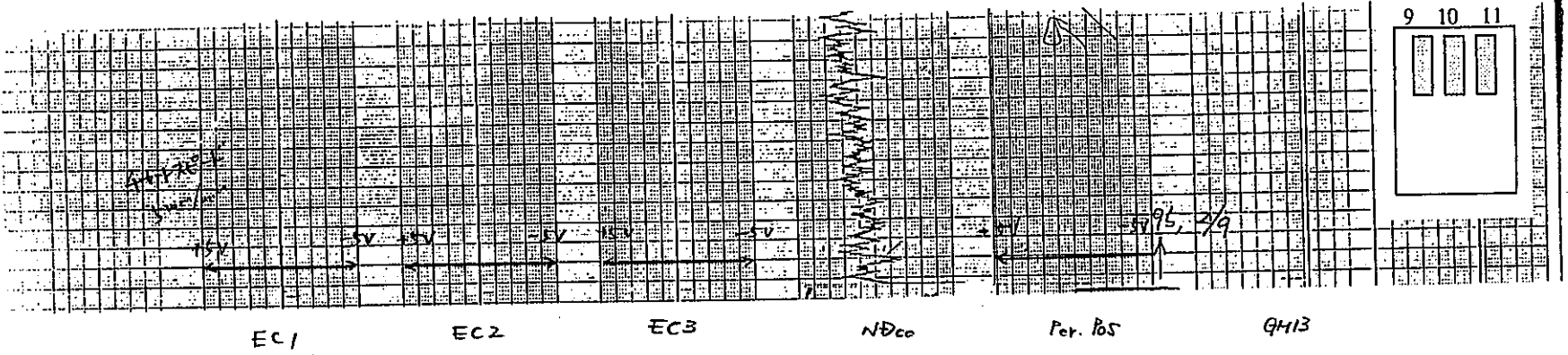
被覆管伸び計出力 (EC3)

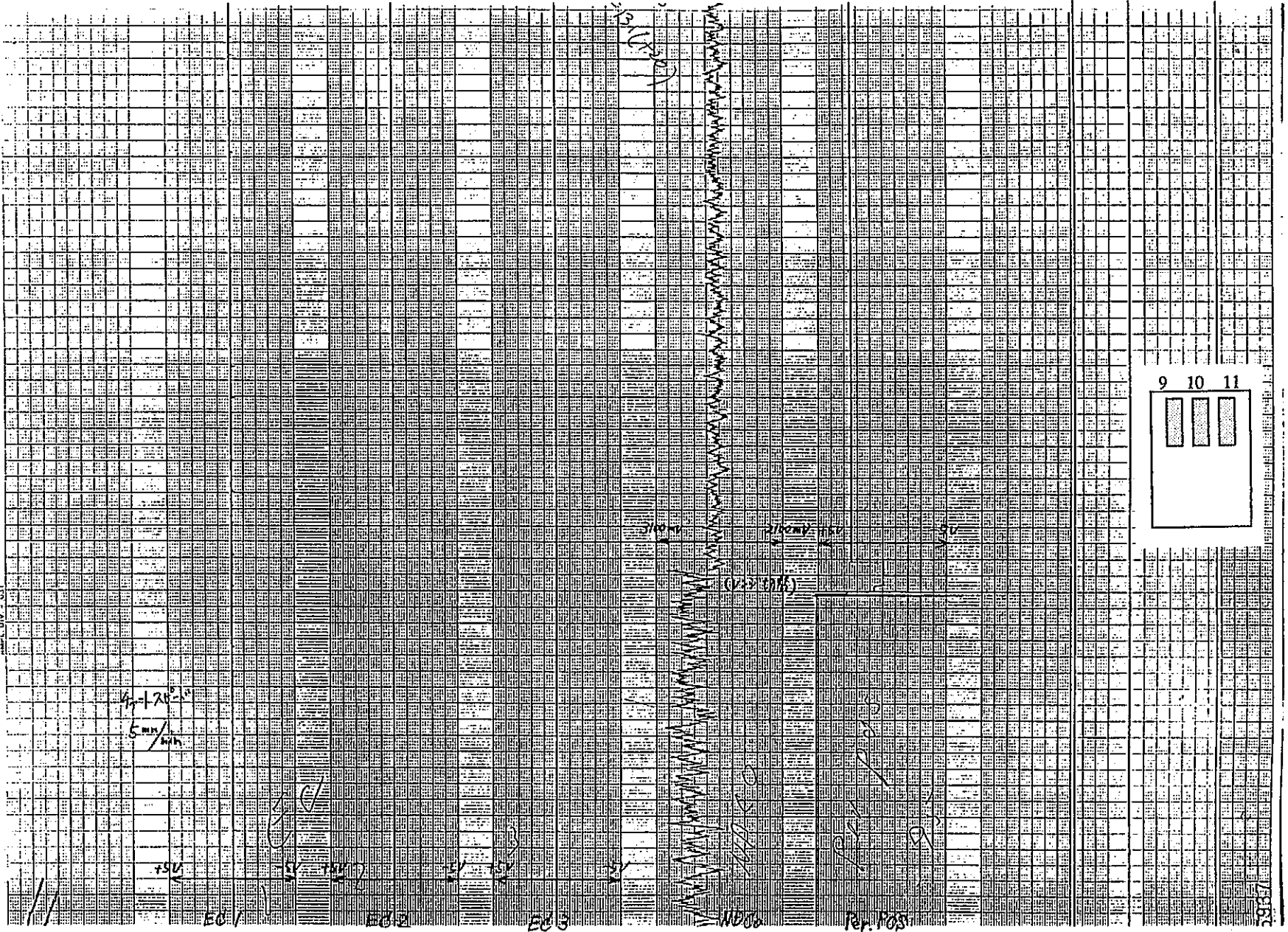
中性子検出器出力 (NDco)

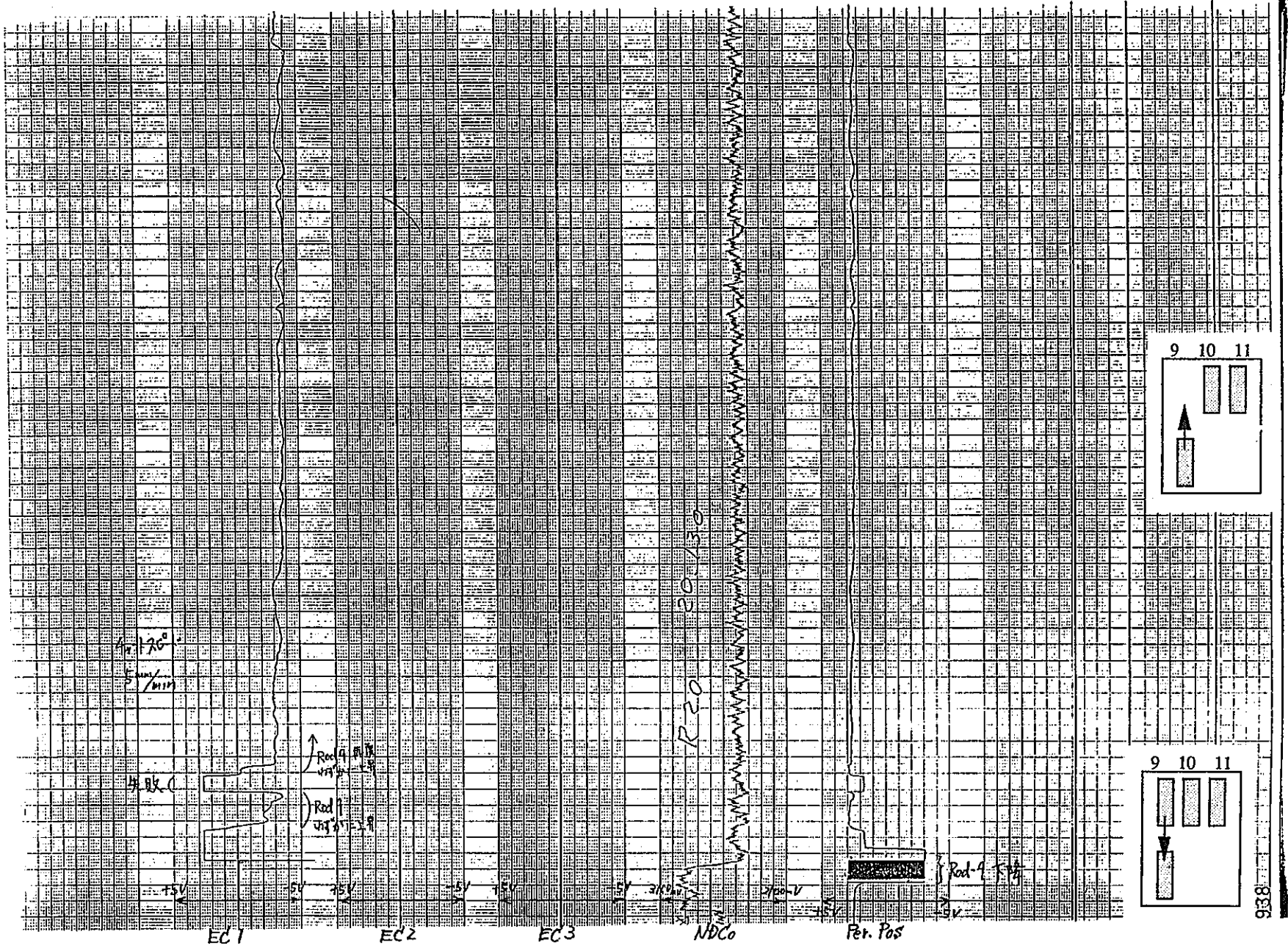
リグのポジションインジケータ出力 (パリアティック)

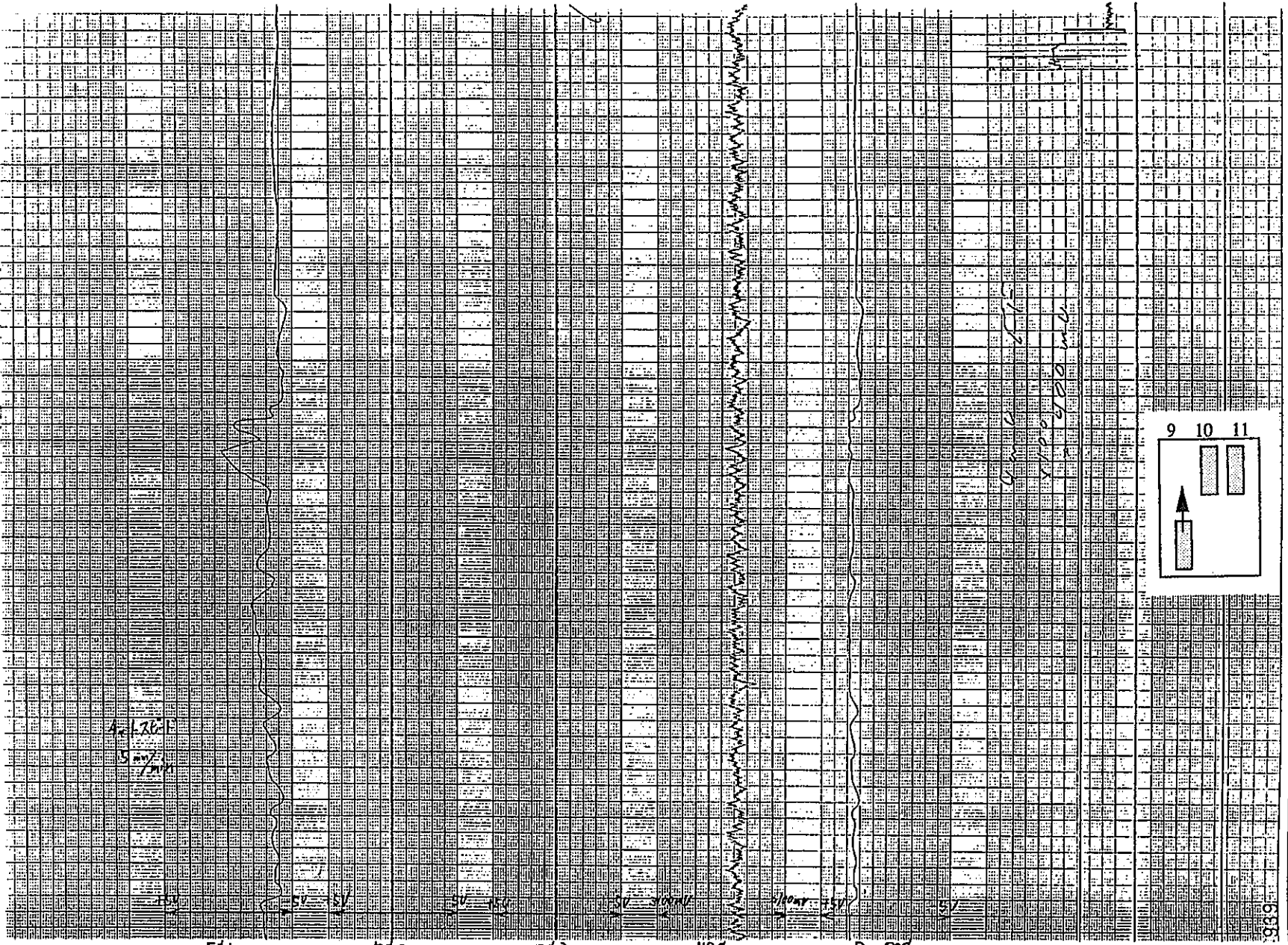
γ モニター出力 (GM13)

注：グラフ右側の図がIFA-591-9、-10、-11セグメント燃料の位置あるいは移動を示す。









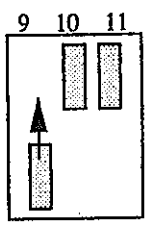
EC1

EC2

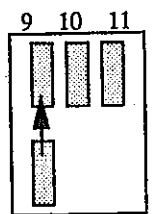
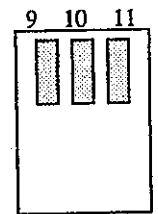
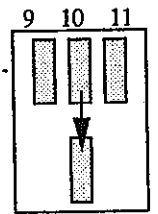
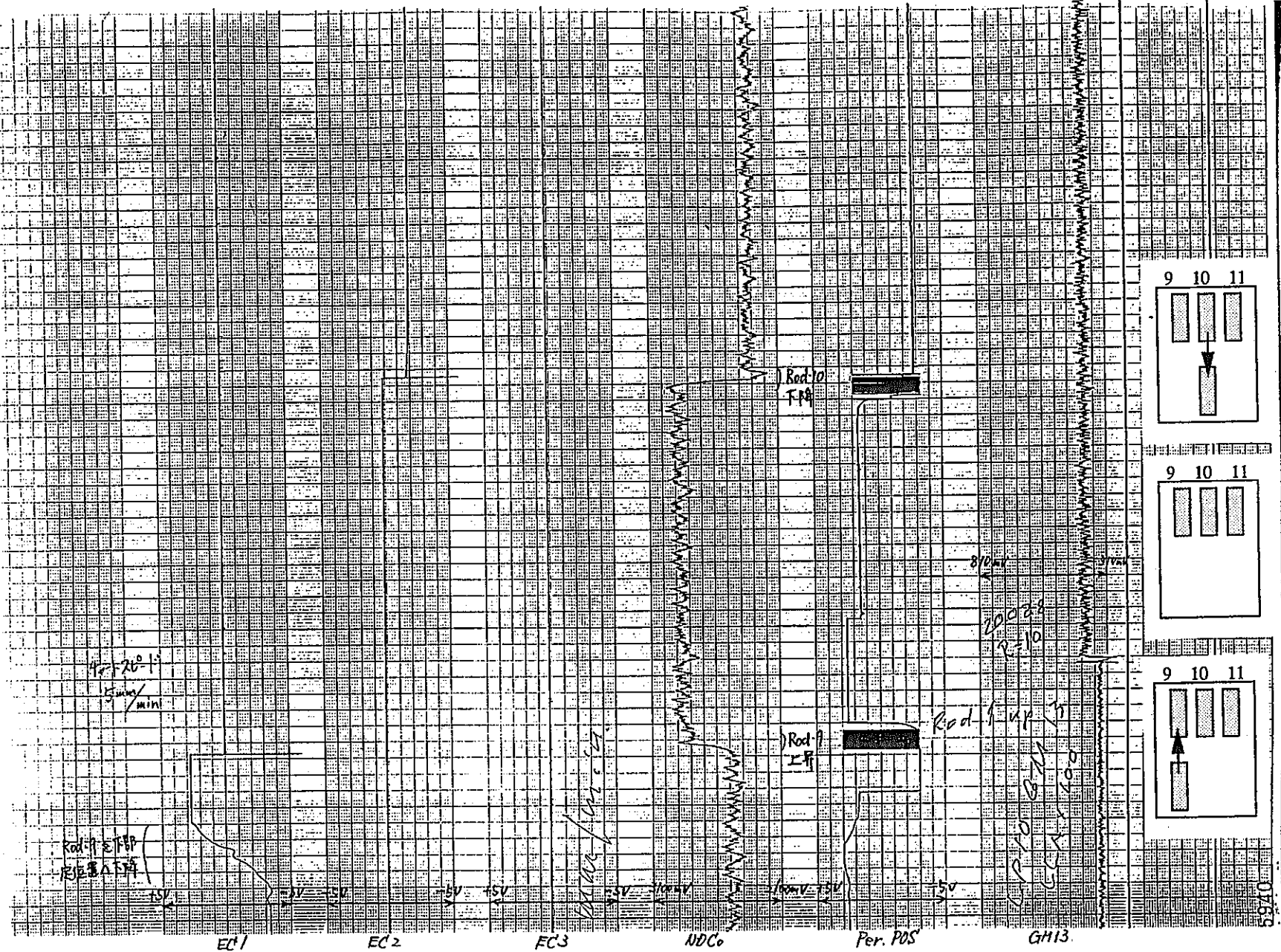
EC3

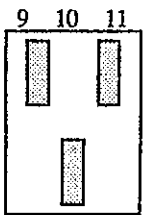
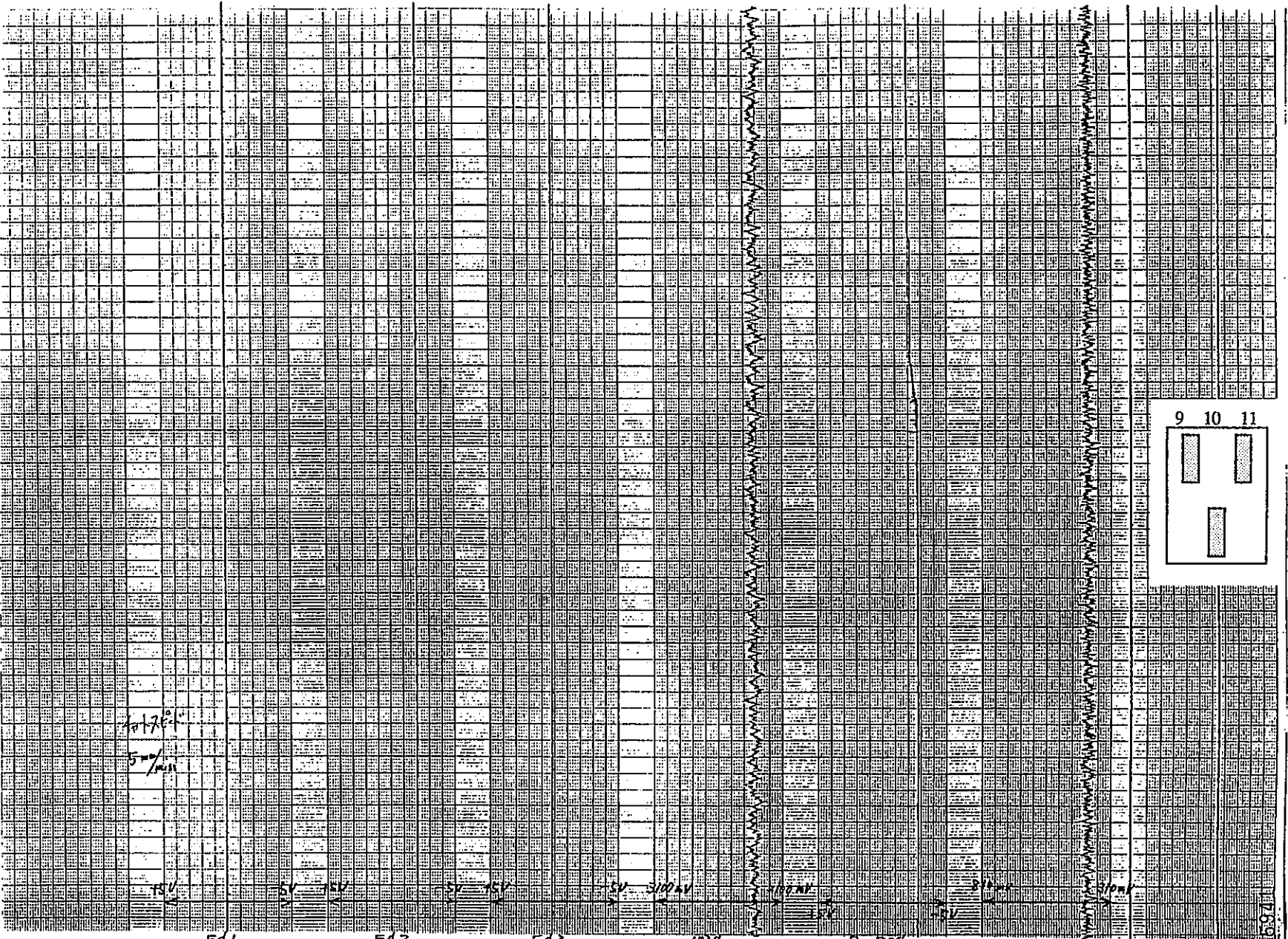
NDC0

Per. POS



696





EC1

EC2

EC3

MDC0

Ter. POS

GH13.

