

JAERI-M

9624

冷却材喪失事故条件下での模擬燃料
集合体の破裂試験 (II)

—No.7806 試験結果—

1981年8月

大友 隆・橋本 政男・川崎 了
古田 照夫・上塚 寛

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

冷却材喪失事故条件下での模擬燃料集合体の破裂試験(II)

— No 7806 試験結果 —

日本原子力研究所東海研究所安全工学部

大友 隆・橋本 政男・川崎 了

古田 照夫・上塚 寛

(1981年7月24日受理)

軽水炉の冷却材喪失事故時における炉心の流路閉塞量を定量的に推定するための基礎データをを得るために、模擬燃料集合体による水蒸気中膨れ破裂試験No 7806を行った。この実験は、初期圧力 20 kg/cm^2 、蒸気流量 $0.4 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}$ 、昇温速度 9°C/秒 の条件で行ったものである。

その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 最高圧力は約 28 kg/cm^2 で、破裂圧力は約 26 kg/cm^2 であった。また、その時の破裂温度は $885 \sim 962^\circ\text{C}$ と考えられる。
- (2) 34%以上膨れた領域の軸方向長さは、大部分の燃料棒で $0 \sim 40 \text{ mm}$ の範囲であり他の条件に比べて短い。
- (3) 集合体全体 (7×7) の流路閉塞量の最大値は 36.2% である。しかし、温度分布が比較的均一であると考えられる内部燃料棒 (5×5) に限れば 43.4% であった。又、これらの値も他の条件で試験した結果に比べて小さい。

Multi-rod Burst Test under A Loss-of-Coolant
Accident Condition (II)

— Experimental Result of The Bundle No.7806 —

Takashi OTOMO, Masao HASHIMOTO, Satoru KAWASAKI
Teruo FURUTA and Hiroshi UETSUKA

Division of Reactor Safety, Tokai Research Establishment,
JAERI

(Received July 24, 1981)

Multi-rod burst test No.7806 was performed with a view to estimating the quantitative channel blockage caused by the ballooning of fuel assembly during a postulated LOCA.

The test was conducted under conditions of initial internal pressure 20 kg/cm², steam flow rate 0.4 g/cm²min and heating rate 9 °C/sec.

Following results were obtained :

- (1) Internal pressure increased up to 28 kg/cm² during the heat-up stage, the average burst pressure of 49 rods being measured to be about 26 kg/cm².
- (2) Almost all ruptured claddings had relatively short ballooned region length expanded above 34%.
The length ranged from 0 to 40mm, being much shorter than those measured in other tests performed under different conditions.
- (3) Maximum channel blockage of the assembly(7×7) was measured to be 36.2%, while was 43.4% in the interior rods(5×5) which had relatively uniform temperature distribution in the radial direction of the rod.
These values were also smaller than those measured in other tests.

Keywords : LOCA, Zircaloy Cladding, Internal Pressure,
Multi-rod Burst, Ballooning, Channel Blockage,
Temperature Distribution

目 次

1. はじめに.....	1
2. 方 法.....	1
2.1 実験装置の概要.....	1
2.2 模擬燃料集合体.....	2
2.3 模擬燃料棒.....	2
2.4 温度測定.....	2
2.5 実験手順.....	2
2.6 初期条件.....	3
2.7 測 定 点.....	3
2.8 集合体解体ならびに観察.....	3
2.9 流路閉塞量測定.....	4
3. 結果及び討論.....	4
3.1 用語の定義.....	4
3.2 温度分布と昇温速度.....	5
3.2.1 半径方向.....	5
3.2.2 軸 方 向.....	5
3.3 圧力変化.....	6
3.3.1 最高圧力と破裂圧力.....	6
3.3.2 圧力降下と降下時間.....	6
3.4 破 裂.....	7
3.4.1 破裂位置.....	7
3.4.2 破裂温度.....	7
3.5 膨れ観察.....	7
3.5.1 各列毎の観察.....	7
3.5.2 燃料棒毎の観察.....	7
3.5.3 断面の観察.....	8
3.6 34%の膨れ長さ.....	8
3.7 流路閉塞率.....	8
4. 総 括.....	9
参考文献.....	10

CONTENTS

1.	Introduction	1
2.	Experimental Methods	1
2.1	General Description of Experimental Apparatus	1
2.2	Fuel Assembly Simulator	2
2.3	Fuel Rod Simulator	2
2.4	Temperature Measurements	2
2.5	Experimental Procedures	2
2.6	Initial Condition	3
2.7	Measuring Points	3
2.8	Disassembling of Burst Bundle and Observation	3
2.9	Channel Blockage Measurements	4
3.	Results and Discussion	4
3.1	Definition of Technical Terms	4
3.2	Temperature Distribution and Heating Rate	5
3.2.1	Radial Direction	5
3.2.2	Axial Direction	5
3.3	Internal Pressure	6
3.3.1	Maximum and Burst Pressure	6
3.3.2	Pressure Drop from Maximum to Burst and its Duration	6
3.4	Burst Behavior	7
3.4.1	Burst Location	7
3.4.2	Burst Temperature	7
3.5	Observation of Ballooning	7
3.5.1	Side Views of Bundle	7
3.5.2	Views of Fuel Rod	7
3.5.3	Views of Cross Section	8
3.6	Length of Ballooned Region Having Expansion above 34%	8
3.7	Channel Blockage	8
4.	Summary	9
	References	10

1. はじめに

軽水型動力炉の想定冷却材喪失事故 (LOCA) のとき、放射性核分裂生成物が原子炉周辺に放出されることを抑制するためには、炉心がすみやかに冷却されなければならない。したがって、「燃料集合体が冷却可能な形状を保っている」ことが必要とされる。又、この事故が起こったならば、燃料被覆管は高温の水蒸気にさらされ、燃料棒内外の圧力差の増大によって膨れ変形を生じる。このような、被覆管の膨れは炉心における非常用炉心冷却水の流路閉塞の主因となる。このため、被覆管の膨れによる集合体の流路閉塞量は非常用炉心冷却系等の機能や性能を評価するうえで非常に重要な値である。被覆管の膨れ現象は管に与えられる条件によって変化するから、燃料集合体の流路閉塞量もそれに応じて変わり得る。この値を求めるには、集合体に配列された燃料棒の幾何学的配置を念頭に置かねばならない。したがって、単に燃料棒のみの膨れ試験を積み重ねるだけでは十分でなく、隣接燃料棒の干渉下での膨れ試験、即ち、集合体を用いた膨れ試験が必要である。この種の試験は、米⁽¹⁾(ORNL)・西独⁽²⁾⁽³⁾(KfK)においても行われている。

集合体を用いて流路閉塞量を求めるにあたり、動力炉に装荷されている集合体と全く同一のものを使用して行うことは、技術上の困難さが増大するばかりでなく、必要とされる経費も多額なものとなる。しかし、集合体の幾何学的配置や炉内における燃料棒の出力分布から考えて、1グリッド間隔をもつ7行7列(49本)で構成された集合体による破裂試験を行えば、隣接燃料棒の干渉下での膨れに関して十分な情報を得ることができると考えられる。しかも、流路閉塞量について定量的な情報も得ることができる。

我々は上記の理由にもとづいて小型の集合体を用いて、水蒸気中膨れ試験を1977年から実施し、集合体毎に膨大な量の測定を行った。これらの内のいくつかの測定結果は現在解析に利用する予定のないものもあるが、ふくれ挙動と試験パラメータの因果関係が十分に解明されていない状況下では、今後どのようなデータが必要であるか適確に予測できない。したがって、得られた結果で今後の解析に利用する可能性のある総てのデータが集録されていることが必要である。そこで、各集合体毎のデータを中心にまとめを行った。

2. 方 法

実験装置ならびに燃料棒についての詳細は、先に報告したJAERI-M 9233⁽⁴⁾のAppendixにまとめられているので参照されたい。従って、試験体の概要と実験方法について以下に記す。

2.1 実験装置の概要

装置はFig. 3に示す試験体(集合体)、49本の燃料棒を各々制御する電力制御装置、水蒸気

1. はじめに

軽水型動力炉の想定冷却材喪失事故 (LOCA) のとき、放射性核分裂生成物が原子炉周辺に放出されることを抑制するためには、炉心がすみやかに冷却されなければならない。したがって、「燃料集合体が冷却可能な形状を保っている」ことが必要とされる。又、この事故が起こったならば、燃料被覆管は高温の水蒸気にさらされ、燃料棒内外の圧力差の増大によって膨れ変形を生じる。このような、被覆管の膨れは炉心における非常用炉心冷却水の流路閉塞の主因となる。このため、被覆管の膨れによる集合体の流路閉塞量は非常用炉心冷却系等の機能や性能を評価するうえで非常に重要な値である。被覆管の膨れ現象は管に与えられる条件によって変化するから、燃料集合体の流路閉塞量もそれに応じて変わり得る。この値を求めるには、集合体に配列された燃料棒の幾何学的配置を念頭に置かねばならない。したがって、単に燃料棒のみの膨れ試験を積み重ねるだけでは十分でなく、隣接燃料棒の干渉下での膨れ試験、即ち、集合体を用いた膨れ試験が必要である。この種の試験は、米⁽¹⁾(ORNL)・西独⁽²⁾⁽³⁾(KfK)においても行われている。

集合体を用いて流路閉塞量を求めるにあたり、動力炉に装荷されている集合体と全く同一のものを使用して行うことは、技術上の困難さが増大するばかりでなく、必要とされる経費も多額なものとなる。しかし、集合体の幾何学的配置や炉内における燃料棒の出力分布から考えて、1グリッド間隔をもつ7行7列(49本)で構成された集合体による破裂試験を行えば、隣接燃料棒の干渉下での膨れに関して十分な情報を得ることができると考えられる。しかも、流路閉塞量について定量的な情報も得ることができる。

我々は上記の理由にもとづいて小型の集合体を用いて、水蒸気中膨れ試験を1977年から実施し、集合体毎に膨大な量の測定を行った。これらの内のいくつかの測定結果は現在解析に利用する予定のないものもあるが、ふくれ挙動と試験パラメータの因果関係が十分に解明されていない状況下では、今後どのようなデータが必要であるか適確に予測できない。したがって、得られた結果で今後の解析に利用する可能性のある総てのデータが集録されていることが必要である。そこで、各集合体毎のデータを中心にまとめを行った。

2. 方 法

実験装置ならびに燃料棒についての詳細は、先に報告したJAERI-M 9233⁽⁴⁾のAppendixにまとめられているので参照されたい。従って、試験体の概要と実験方法について以下に記す。

2.1 実験装置の概要

装置はFig. 3に示す試験体(集合体)、49本の燃料棒を各々制御する電力制御装置、水蒸気

雰囲気を作るための水蒸気発生及びその配管装置、及び燃料棒の温度、圧力そして出力などの計測値を記録するデータ収録再生装置から構成される。試験本体は7行7列(7×7)の模擬燃料棒(以下、燃料棒と記す)をもつ模擬燃料集合体(以下、集合体と記す)、チャンネルボックス、集合体を水蒸気雰囲気に保つためのステンレス槽及び集合体の放熱を防ぐ補助加熱炉などから構成される。

2.2 模擬燃料集合体

集合体は7行7列の格子に商用PWR(15×15)と同じ間隔(14.3mm)で燃料棒を配列したものであり、Fig. 2に概略を示す。集合体は100.1mm中で約2,500mmの高さを持ち、49本の燃料棒と1対のインコネル718製のスペーサグリッドで構成され、グリッド間隔はグリッド中心間で650mmである。また、集合体の全発熱量は最大196kW(30V)である。この集合体の外周106.5mm中の位置にステンレス製のチャンネルボックス(厚さ1.0mm)を配置する。

2.3 模擬燃料棒

燃料棒はTable 1に示す化学組成をもつPWR用ジルカロイ-4被覆管(外径10.72mm ϕ , 内径9.48mm), 直径0.6mmのW-Re発熱体素子6本と燃料ペレットで構成され、Fig. 1に示される。発熱体素子は発熱長850mmで最大出力4kW(30V)であり、燃料棒中心から2.6mmのところ6本配列されている。UO₂ペレットを模擬したアルミナペレットは純度99.5%以上、密度3.9以上で外径9.2mm, 長さ20mmである。被覆とアルミナペレットとの半径ギャップは0.14mm, 燃料棒内の空隙と圧力変化を計測する圧力変換器までの全内部空隙量は23.5 \pm 1.5ccで、この空隙にはヘリウムガスを充填する。

2.4 温度測定

燃料棒の温度測定は、Fig. 4に示した燃料棒各位置の被覆管表面にタンタル板を挟んで点溶接したCA非接地型シーース熱電対で行う。燃料棒に関する温度測定点は、ヒーター発熱長中心より75mm上方を基準測定点とした。基準測定点で燃料棒全数の温度を測定し、更に、燃料棒の配列を考慮して基準の上下の点、グリッド位置などでも測定した。測定点総数は66点である。なお、補助加熱炉、蒸気配管の温度についても測定を行っている。

2.5 実験手順

実験は水蒸気中で加圧燃料棒を加熱することによって被覆管に膨れを起こさせ、燃料棒全数が破裂した時点で加熱を停止し冷却を行う。以下に詳細を記す。(Fig. 6参照)

- (1) 室温にて、各燃料棒にヘリウムガスを所定の圧力(20 kg/cm²)まで充填する。
- (2) 補助加熱炉の電源を投入し、集合体及びステンレス槽の加熱を行う。

- (3) 補助加熱炉で集合体外周燃料棒の温度が上昇し始めた時、燃料棒ヒーターの加熱を開始する。
- (4) 集合体が約 400°C に達した時に、あらかじめ用意された水蒸気をステンレス槽内に供給する。その後、約 400°C で 15 分間保持する。
- (5) 保持時間経過後、補助加熱炉の加熱を停止すると同時に全燃料棒に全出力を負荷して集合体の加熱を行う。但し加熱炉の熱容量が大きく、ステンレス槽はその後も昇温を続ける。この加熱により集合体は昇温し被覆管は膨れ及び破裂する。
- (6) 全数の被覆管が破裂した時点で、燃料棒ヒーターの加熱を直ちに停止する。
- (7) 破裂した集合体を水蒸気によって冷却する。

2.6 初期条件

実験開始時における各項目の値を以下にまとめる。

- (1) 燃料棒初期内圧 (室温) 20 kg/cm² (各燃料棒)
- (2) ステンレス槽入口蒸気温度 300 °C
- (3) 水蒸気流量 0.4 g/cm²・min
- (4) 燃料棒発熱条件 全数均一

2.7 測定点

データは下記項目について 2 秒間隔毎に収集する。

- (1) 被覆管表面温度 総数 66 点
- (2) 燃料棒圧力 総数 49 点
- (3) 燃料棒消費電力量 総数 49 点

2.8 集合体解体ならびに観察

破裂後冷却された集合体を試験装置から取りはずし、以下の手順で集合体の解体及び観察を行う。解体の手順をわかりやすく Fig. 5 に示す。

- (1) 上下のグリッド部を樹脂で固定した後切断する。この操作により 1 グリッド間隔の集合体を得られる。(図中の③)
- (2) グリッド間隔を 1 列毎に切断して 7 列にする。(図中の④)
- (3) 各列の正面、裏面ならびに側面からの写真撮影を行う。
- (4) 各列に解体されたものを、さらに 1 本毎の燃料棒に切離す。(図中の⑤)
- (5) 1 本毎に 34 % 以上の膨れを示す部分の軸方向長さ測定ならびに写真撮影を行う。
- (6) 49 本の燃料棒に分離されたものから再び各列毎、そして集合体に再組立てを行う。(図中の⑥)
- (7) 再組立された集合体全体を樹脂で固定する。

- (8) 固定後, 10mm間隔の水平断面に集合体を切断する。(図中の⑦)
- (9) 各断面の上面及び下面の写真撮影を行う。この写真をもとに画像解析装置を用いて流路閉塞量を測定する。

2.9 流路閉塞量測定

各断面写真をもとに画像解析装置(QTM720)を利用して, 被覆管の全断面積測定を行い, 流路閉塞量を求める。測定は, 7行7列全体, 内部の5行5列及び中心の3行3列などについて行う。なお, 被覆管の破裂開口部の測定は破裂端の両端を直線で結び, それで囲まれる部分を被覆管断面積と規定して測定する。

3. 結果及び討論

実験中に得られた温度, 内圧などのデータ及び破裂後の観察によって得られる各種のデータにつき, 以下項目毎に整理した。

3.1 用語の定義

(1) 破裂時刻及び破裂圧力

測定間隔が2秒毎であるので, 測定された圧力値が零となった時刻より2秒前の時刻を破裂時刻, その時の圧力値を破裂圧力とする。

(2) 破裂温度

破裂時刻の燃料棒軸方向における温度分布を求め, 破裂位置に内外挿した温度を破裂温度とする。

(3) 破裂位置

燃料棒ヒーターの発熱長中心を基点として, 破裂開口の中心までの距離を測定し, 破裂位置として表わす。

(4) 34%の膨れ長さ

集合体内の各燃料棒が水平面上均一に膨れたとき, 隣接燃料棒と接触する場合の膨れは, 燃料棒間隔が14.3mmであるから34%となる。この膨れ量以上を持つ各燃料棒軸方向の長さを34%膨れ長さとして規定する。

(5) 膨れ (Ballooning)

破裂試験前の被覆管全断面積 S_0 に対する破裂後の被覆管全断面積 S の百分率で表わす。

(6) 流路閉塞率 (Channel Blockage)

破裂試験前の被覆管全断面積 S_0 , 破裂後の被覆管全断面 S 及び集合体の試験前の全断面積 S_A から次式によって算出する。

$$\text{Channel Blockage (\%)} = (S - S_0) / (S_A - S_0) \times 100$$

- (8) 固定後，10mm間隔の水平断面に集合体を切断する。(図中の⑦)
- (9) 各断面の上面及び下面の写真撮影を行う。この写真をもとに画像解析装置を用いて流路閉塞量を測定する。

2.9 流路閉塞量測定

各断面写真をもとに画像解析装置(QTM720)を利用して，被覆管の全断面積測定を行い，流路閉塞量を求める。測定は，7行7列全体，内部の5行5列及び中心の3行3列などについて行う。なお，被覆管の破裂開口部の測定は破裂端の両端を直線で結び，それで囲まれる部分を被覆管断面積と規定して測定する。

3. 結果及び討論

実験中に得られた温度，内圧などのデータ及び破裂後の観察によって得られる各種のデータにつき，以下項目毎に整理した。

3.1 用語の定義

(1) 破裂時刻及び破裂圧力

測定間隔が2秒毎であるので，測定された圧力値が零となった時刻より2秒前の時刻を破裂時刻，その時の圧力値を破裂圧力とする。

(2) 破裂温度

破裂時刻の燃料棒軸方向における温度分布を求め，破裂位置に内外挿した温度を破裂温度とする。

(3) 破裂位置

燃料棒ヒーターの発熱長中心を基点として，破裂開口の中心までの距離を測定し，破裂位置として表わす。

(4) 34%の膨れ長さ

集合体内の各燃料棒が水平面上均一に膨れたとき，隣接燃料棒と接触する場合の膨れは，燃料棒間隔が14.3mmであるから34%となる。この膨れ量以上を持つ各燃料棒軸方向の長さを34%膨れ長さとして規定する。

(5) 膨れ(Ballooning)

破裂試験前の被覆管全断面積 S_0 に対する破裂後の被覆管全断面積 S の百分率で表わす。

(6) 流路閉塞率(Channel Blockage)

破裂試験前の被覆管全断面積 S_0 ，破裂後の被覆管全断面 S 及び集合体の試験前の全断面積 S_A から次式によって算出する。

$$\text{Channel Blockage (\%)} = (S - S_0) / (S_A - S_0) \times 100$$

なお、試験前の集合体全断面積 S_A は集合体の外周にも燃料棒が同様に配列されると仮定して、燃料棒間隔の $\frac{1}{2}$ に相当する長さだけ外側に拡大された線（仮想の集合体境界）で囲まれる面積であると規定する。したがって、この定義では仮想の集合体境界を越える燃料棒の膨れも流路閉塞率に含まれるため、流路閉塞率を大きめに評価している。

3.2 温度分布と昇温速度

3.2.1 半径方向

ここでは、集合体の基準温度測定位置の水平面上、即ち、発熱長中心より軸方向75mm上方に取付けた熱電対TC-2、49本（Fig. 4参照）について考察を行った。Fig. 7に集合体の対角線上に配列された燃料棒、D列及び第4列の燃料棒の温度分布を、全出力を各燃料棒に負荷した時刻（0秒とする）から全燃料棒が破裂するまでの時刻について表わしている。全出力負荷時（0秒）および最初の破裂が生じた時刻（74秒）、更に最後の破裂が生じた時刻（86秒）までの2秒毎の各時刻における中心燃料棒（D4）と各燃料棒との温度差をTable 7, 8に示す。この結果から、燃料棒の温度は初めほぼ平坦な分布を示しているものの時間が経過するにつれて（全体の温度が上昇するにつれて）中心付近が最も高く、外周燃料棒になるにつれ徐々に低くなるのがわかる。特に最外周になると中心部との温度差が大きくなっている。Fig. 7及びTable 7, 8からわかるように、同じ最外周に配列された燃料棒の温度でも、第7列の温度と第1列の温度を比べると、第1列の方が時間の経過に伴う温度上昇は小さい。この原因は、Fig. 4からわかるように、第7列燃料棒と第1列燃料棒に取付けられた熱電対の位置の違いにもとづいている。即ち、熱電対の取付位置が第7列では集合体内側であるのに対して、第1列では逆に外側であるためである。また、温度分布を均一にするために補助加熱炉による加熱を行っているが、集合体側の昇温が速いためチャンネルボックスに向かって熱の逃げが生じる。なお、水蒸気の流れは集合体内部より外周部でより多く、そのために水蒸気による冷却効果が集合体内部と外周部で温度差が生じることに寄与した可能性もある。

以上のことにより、外周燃料棒では内部燃料棒に比べて、被覆管の半径方向に生じた温度差は大きいと考えられる。

次に、各燃料棒の昇温速度をTable 6に、また、昇温速度のヒストグラムをFig. 10に示す。この昇温速度の値は、中心燃料棒（D4）の熱電対（TC-2）が498°Cに達した時刻から破裂を生じた時刻までの平均として表わしている。この表より最外周部を除いた内部燃料棒25本の昇温速度は8.5~9.7°C/秒で、最外周燃料棒23本（G1を除く）では7.3~9.0°C/秒であることがわかる。ただし、周辺燃料棒の第1列の昇温速度は前述した原因のために明らかに遅い。

以上の結果より、集合体の昇温速度は約9°C/秒程度と考えられる。

3.2.2 軸方向

軸方向の温度分布も測定するために49本の燃料棒のうち10本について軸方向に2~3本の熱電対が取付けてある。しかし、これら10本の燃料棒の破裂位置はTC-3取付位置付近及びそれより下方である。破裂は軸方向で最も温度が高い位置で起こると考えられるため、軸方向

に取付けた2～3本の熱電対による温度測定結果からだけでは、集合体の軸方向の温度分布を推測するのは困難である。従って、ここでは熱電対による測定結果だけでなく破裂位置も考慮に入れて集合体の軸方向温度分布の推測を行う。軸方向に2本ないし3本の熱電対を取付けた燃料棒10本(Fig. 4参照)の最高圧及び破裂時刻における温度分布をFig. 8, 9に、また49本の破裂位置をFig. 14に示す。これらより、外周燃料棒では、ばらつきが多いものの、TC-3取付位置から下方90mmの範囲で破裂が生じ、また内部燃料棒では、発熱長中心とTC-3取付位置の間で大部分の破裂が生じていることがわかる。

以上のことより、集合体の軸方向の温度分布は、半径方向の温度分布が比較的均一と考えられる内部燃料棒では、発熱長中心から下方75mmの間が最も高いと考えられる。

3.3 圧力変化

3.3.1 最高圧力と破裂圧力

個々の燃料棒の最高及び破裂圧力値と各々の時刻をTable 2に示す。この表から最高圧及び破裂圧力値のヒストグラムをFig. 11にまとめた。最高圧力は、初期圧力(20 kg/cm²)に比べ30%増加の26 kg/cm²から45%増加の29 kg/cm²までの値を示す。一方、破裂圧力は13～28 kg/cm²と最高圧力に比べ広い範囲に分布している。しかし、最外周燃料棒(24本)の92%が24～28 kg/cm²であり、又、内部燃料棒(25本)の84%は破裂圧力が25～27 kg/cm²である。従って、全燃料棒の多く(約88%)が24～28 kg/cm²で破裂している。燃料棒内の圧力が最高及び破裂圧力に達するまでの時間についてのヒストグラムをFig. 12に示す。外周燃料棒では全出力負荷後56～74秒、内部燃料棒では54～68秒で最高圧に達し、破裂は外周燃料棒で78～86秒、内部燃料棒は74～78秒で起こっている。しかし、外周燃料棒のうち最高圧に到達するのが特に遅い(72～74秒)燃料棒(A1, A2, A3, A6, A7)は、破裂も遅くなっている。

3.3.2 圧力降下と降下時間

燃料棒内の圧力が、最高圧力から破裂圧力までに降下した圧力値とそれに要した時間をTable 3にまとめ、各々についてヒストグラムをFig. 13に示す。圧力降下に要した時間は8～22秒であり、内部と最外周部の燃料棒で、それほど大きな違いは認められない。その時の圧力降下は0～14 kg/cm²の範囲で、全燃料棒の80%は1～2 kg/cm²である。ここで、Table 4に圧力降下が起こっている時間内の温度上昇と昇温速度を各燃料棒毎に示す。昇温速度は、燃料棒毎に違っているが、内部燃料棒が最外周燃料棒に比べて一般的に速いという傾向がみられる。

また、圧力降下中に上昇した燃料棒温度は52～198°Cである。

3.4 破 裂

3.4.1 破裂位置

各燃料棒における破裂開口の方向および位置、そして破裂時刻をTable 9に示す。破裂開口の位置は発熱長中心を原点として、上下にどれだけ隔たっているかを表わしている。最外周燃料棒の破裂開口の向きは、すべて集合体内部に向いており前述した半径方向の温度分布が内側で高いという結果と一致している。破裂位置は発熱長中心より上方約100mmから上方約200mmの範囲である。しかし、最外周燃料棒では、発熱長中心より下方75～160mmの間で、内部燃料棒は発熱長中心と下方75mmまでの間で大部分が破裂しており、最外周燃料棒は内部燃料棒に比べ低い位置で破裂している傾向が認められる。

3.4.2 破裂温度

各燃料棒破裂時におけるTC-2位置の温度をTable 15に示す。各燃料棒破裂時におけるTC-2位置の温度は825～962℃である。しかし、TC-2位置は多くの場合破裂位置と一致しないので、この温度が、そのまま破裂温度であるとは言えない。しかも、第1列は前述したように熱電対の取付位置の違いから、実際より低目の温度を示している可能性がある。既に述べたように燃料棒のうち10本には軸方向の温度分布を調べるために、軸方向の2～3点に熱電対を取付けてある。そこで、これらで得られた温度分布をFig. 8, 9に示す。破裂位置の温度から内挿によって求まる範囲に入っている例は2例(B2, D4)しかないが、内挿して得られる破裂温度はTC-2の温度と同程度かわずかに高い程度である。又、他の例については内挿できないが、いずれの場合にも軸方向温度分布は、比較的なだらかであるので破裂時におけるTC-2位置の測定温度を破裂温度とみなしても、それほど大きな誤差は含まれないと思われる。

このようにして推定した破裂温度は885～962℃の範囲である。但し、前述の理由から第1列の結果は除外している。従って、本試験における破裂温度は、初期内圧を50 kg/cm²として実験したNo. 7805の結果(800～860℃)より80℃程度高いと考えることができる。

3.5 膨れ観察

3.5.1 各列毎の観察

Fig. 5に示した集合体解体順序にしたがって、燃料棒の膨れを観察した。Fig. 5中の④に相当する集合体の各列毎の写真をPhoto. 1～8に示す。Photo. 1, 4, 5, 8から最外周燃料棒の破裂開口が内側を向いているのが観察できる。Photo. 6中のD3(矢印↑)は被覆と熱電対シース部とが共晶をおこし溶融したものである。これらの写真から燃料棒がわずかながら曲っているのが観察できる。

3.5.2 燃料棒毎の観察

集合体を構成している49本の燃料棒の外観をPhoto. 9～12に示す。写真は破裂開口の正面から観察しており、Photo. 9, 10は最外周部燃料棒を、Photo. 11, 12は内部燃料棒を示してい

る。最外周燃料棒と内部燃料棒を比較すると、全体的に内部燃料棒は最外周燃料棒に比べ、軸方向の膨れが大きいことが認められる。また、Photo. 13より破裂開口の大きさも内部燃料棒で、外周燃料棒より大きい傾向がみられる。これは前述したように、外周燃料棒は半径方向の温度差が大きいためであると考えられる。

3.5.3 断面の観察

解体した燃料棒をFig. 5中の⑥のように再び組み立てた後、樹脂で固定し、⑦のように10mm間隔毎の水平断面に集合体を切断した。断面の数例をPhoto. 16～29に示す。

破裂部をふくむ断面からわかるように隣接する燃料棒が同じ位置で破裂を起こし、お互いに接触しているのが認められるが、相手の膨れに対して影響を与えるまでにはいたっていない。

3.6 34%の膨れ長さ

燃料棒がお互いに34%膨れた場合、たとえ曲がりが起こらなくても燃料棒同士が接触して相手の膨れに対して影響を与えることになる。そこで、各燃料棒毎に34%以上の膨れを示す位置とその長さをFig. 14に、そのヒストグラムをFig. 15に示す。34%以上の膨れ長さは、全燃料棒では0～60mmの範囲で認められるが、0～40mm範囲の燃料棒は全体の96%であり、0～20mmの範囲の燃料棒は全体の78%である。また、前述したと同じ影響により最外周燃料棒は内部燃料棒に比べ34%の膨れ長さが短かい傾向がみられる。

3.7 流路閉塞率

各断面写真より求められたふくれ量と流路閉塞率を集合体の断面位置によって整理し、Table 10～14およびFig. 16～18に示す。Fig. 17は集合体断面のなかで、中心部燃料棒の9本(3×3)、内部燃料棒の25本(5×5)、そして、全燃料棒の49本(7×7)について、流路閉塞率を測定した結果である。7×7での最大流路閉塞率は36.2%で発熱長中心より下方77.1mmの位置(Photo. 23参照)で認められ、流路閉塞率が30%を越える集合体の長さは130mmである。5×5では最大流路閉塞率は43.4%で発熱長中心より下方53.5mmの位置(Photo. 20参照)で認められ、30%を越える集合体の長さは約130mmである。3×3では最大流路閉塞率は55%で発熱長中心より下方43.1mmの位置(Photo. 19参照)で認められ、30%を越える集合体の長さは約140mmである。流路閉塞率のピークは7×7では、はっきりしないが5×5、3×3になるにしたがってはっきりし、最大流路閉塞率を示す位置は7×7、5×5、3×3の順に少しずつ上の方に上っている。また、30%を越える軸方向の長さは、あまり変っていない。また、これまで述べてきたように集合体内部と外周部では温度差が生じているから、燃料棒の膨れ挙動も内部と外周部では異なっていると考えられる。最外周部燃料棒24本(7口)、内部燃料棒の外周16本(5口)、中心燃料棒9本(3×3)における流路閉塞率をFig. 18に示す。7口についての最大流路閉塞率は34.4%で発熱中心より下方93.0mmの位置(Photo. 25参照)で、5口では最大流路閉塞率は46.9%で発熱中心より下方73.1mmの

位置 (Photo. 22 参照) で認められ、 3×3 では最大流路閉塞率は 55.0 % で発熱長中心より下方 43.1 mm の位置 (Photo. 19 参照) である。以上のことより、大きな温度差のついた外周燃料棒 (7 口) の流路閉塞率は内部燃料棒 (5 口, 3×3) のそれに比べかなりの違いがみられる。また、これらのことより内部燃料棒 (5×5) による流路閉塞率が集合体内の温度分布がほぼ均一である場合を表わしていると考えられる。測定された流路閉塞率は、3.1 (6) で述べたように仮想の集合体境界を越える燃料棒の膨れも含んでいるため、真の流路閉塞率より大きめに評価している。しかし、本試料ではあまり膨れが大きくないために仮想境界をこえている量は少ないと考えられるが、仮想の集合体境界を越える燃料棒の膨れを除いて測定を行うことを今後予定している。

本実験で観察された集合体 (7×7) での最大流路閉塞率は、36.2 % である。この値は、初期内圧 50 kg/cm^2 で行った破裂実験⁽⁴⁾ (No 7805) で求められた最大流路閉塞率 92.1 % と比較すると明らかに小さい。この違いは、破裂温度が異なることによる。つまり、本実験で推定された破裂温度は $885 \sim 962^\circ\text{C}$ であり、ジルカロイの ($\alpha + \beta$) 二相域温度に相当する。一方、No 7805 における破裂温度は $800 \sim 860^\circ\text{C}$ であり、この温度領域は α 相の高温領域あるいは ($\alpha + \beta$) 二相域の低温側に相当する。ジルカロイの破裂温度と変形量の関係については、単一棒の破裂実験⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾ によって、すでに明らかにされている。

その結果、ジルカロイは ($\alpha + \beta$) 二相域温度 ($900 \sim 930^\circ\text{C}$) で最小 (あるいは極小) の膨れを示すことが知られている。したがって、本実験は膨れが比較的小さくなる条件のもとで行われたものであると言える。

4. 総 括

隣接燃料棒の干渉下での燃料棒膨れを求めるために、1 スパン長をもつ小型集合体の破裂試験を行った結果、以下の事柄が明らかになった。

- (1) 最外周燃料棒は半径方向に温度差がついたために、内部燃料棒とは膨れ傾向が異なる。
- (2) 最外周の燃料棒を除く他の燃料棒の昇温速度は、中心燃料棒 (D4) が 498°C に到達した時点から破裂時刻までの平均で約 $9^\circ\text{C}/\text{秒}$ である。
- (3) 最高圧力は初期内圧 20 kg/cm^2 に比べ約 40 % 増の約 28 kg/cm^2 であり、破裂圧力は約 26 kg/cm^2 であった。破裂温度は $885 \sim 962^\circ\text{C}$ であると考えられる。また、破裂時刻の隔りは全燃料棒で 12 秒以内であった。又、最高圧力から破裂圧力までの圧力降下は、 $0 \sim 14 \text{ kg/cm}^2$ でありその時間は $8 \sim 22$ 秒である。
- (4) 燃料棒同士が接触する 34 % 以上の膨れ長さは、全燃料棒の 96 % が $0 \sim 40 \text{ mm}$ の範囲であり、最も長いもので 56 mm と、全体的に初期内圧の違う他の場合 (No 7805, No 7807, No 7808) と比べて短い。
- (5) 燃料棒の膨れ観察から、被覆管の周方向で温度差が存在するとき、破裂開口は温度の高い方向へ向かっていることが認められた。同じ軸方向位置で隣接棒の破裂が起こり、接触している場合もみられたが燃料棒の膨れが小さいために、相手の膨れに対して影響を与え

位置 (Photo. 22 参照) で認められ、 3×3 では最大流路閉塞率は 55.0 % で発熱長中心より下方 43.1 mm の位置 (Photo. 19 参照) である。以上のことより、大きな温度差のついた外周燃料棒 (7 口) の流路閉塞率は内部燃料棒 (5 口, 3×3) のそれに比べかなりの違いがみられる。また、これらのことより内部燃料棒 (5×5) による流路閉塞率が集合体内の温度分布がほぼ均一である場合を表わしていると考えられる。測定された流路閉塞率は、3.1 (6) で述べたように仮想の集合体境界を越える燃料棒の膨れも含んでいるため、真の流路閉塞率より大きめに評価している。しかし、本試料ではあまり膨れが大きくないために仮想境界をこえている量は少ないと考えられるが、仮想の集合体境界を越える燃料棒の膨れを除いて測定を行うことを今後予定している。

本実験で観察された集合体 (7×7) での最大流路閉塞率は、36.2 % である。この値は、初期内圧 50 kg/cm^2 で行った破裂実験⁽⁴⁾ (No 7805) で求められた最大流路閉塞率 92.1 % と比較すると明らかに小さい。この違いは、破裂温度が異なることによる。つまり、本実験で推定された破裂温度は $885 \sim 962^\circ\text{C}$ であり、ジルカロイの ($\alpha + \beta$) 二相域温度に相当する。一方、No 7805 における破裂温度は $800 \sim 860^\circ\text{C}$ であり、この温度領域は α 相の高温領域あるいは ($\alpha + \beta$) 二相域の低温側に相当する。ジルカロイの破裂温度と変形量の関係については、単一棒の破裂実験⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾ によって、すでに明らかにされている。

その結果、ジルカロイは ($\alpha + \beta$) 二相域温度 ($900 \sim 930^\circ\text{C}$) で最小 (あるいは極小) の膨れを示すことが知られている。したがって、本実験は膨れが比較的小さくなる条件のもとで行われたものであると言える。

4. 総 括

隣接燃料棒の干渉下での燃料棒膨れを求めるために、1 スパン長をもつ小型集合体の破裂試験を行った結果、以下の事柄が明らかになった。

- (1) 最外周燃料棒は半径方向に温度差がついたために、内部燃料棒とは膨れ傾向が異なる。
- (2) 最外周の燃料棒を除く他の燃料棒の昇温速度は、中心燃料棒 (D4) が 498°C に到達した時点から破裂時刻までの平均で約 $9^\circ\text{C}/\text{秒}$ である。
- (3) 最高圧力は初期内圧 20 kg/cm^2 に比べ約 40 % 増の約 28 kg/cm^2 であり、破裂圧力は約 26 kg/cm^2 であった。破裂温度は $885 \sim 962^\circ\text{C}$ であると考えられる。また、破裂時刻の隔りは全燃料棒で 12 秒以内であった。又、最高圧力から破裂圧力までの圧力降下は、 $0 \sim 14 \text{ kg/cm}^2$ でありその時間は $8 \sim 22$ 秒である。
- (4) 燃料棒同志が接触する 34 % 以上の膨れ長さは、全燃料棒の 96 % が $0 \sim 40 \text{ mm}$ の範囲であり、最も長いもので 56 mm と、全体的に初期内圧の違う他の場合 (No 7805, No 7807, No 7808) と比べて短い。
- (5) 燃料棒の膨れ観察から、被覆管の周方向で温度差が存在するとき、破裂開口は温度の高い方向へ向かっていることが認められた。同じ軸方向位置で隣接棒の破裂が起こり、接触している場合もみられたが燃料棒の膨れが小さいために、相手の膨れに対して影響を与え

るまでには至っていない。

- (6) 多くの燃料棒が破裂した位置で流路閉塞量は大きくなり、最大値は36.2%である。しかし、温度分布が比較的均一と考えられる内部燃料棒では、43.4%であった。
- (7) 本実験で、観察された破裂燃料棒の膨れが比較的小さいのは、破裂温度がジルカロイの $(\alpha + \beta)$ 二相域に相当する温度であったからである。

参 考 文 献

- (1) Chapman, R. H. et al., : ORNL/NUREG/TM-322 (1979), 337 (1979), 390 (1980) and 392 (1980)
- (2) Wiehr, K. et al., : "Results of REBEKA Test-3", 4th JAERI-FRG-NRC Annual Fuel Behavior Information Exchange, Idaho Falls, Idaho, June 22-29 (1979)
- (3) Weidinger, H. G. : "Results of Burst Test at KWU", 4th JAERI-FRG-NRC Annual Fuel Behavior Information Exchange, Idaho Falls, Idaho, June 22-29 (1979)
- (4) 橋本政男 他, : JAERI-M 9233 (1980)
- (5) 鈴木元衛, : JAERI-M 8523 (1979)
- (6) Chapman, R. H. : Significant Results from Single-Rod and Multirod Burst Tests in Steam with Transient Heating, Fifth Water Reactor Safety Research Information Meeting, Gaithersburg, Maryland, Nov. 7-10, (1977)
- (7) Chung, H. M., Kassner, T. F. : Deformation Characteristics of Zircaloy Cladding in Vacuum and Steam under Transient-Heating Conditions : Summary Report, NUREG/CR-0344, ANL-77-31 (1978)

るまでには至っていない。

- (6) 多くの燃料棒が破裂した位置で流路閉塞量は大きくなり、最大値は36.2%である。しかし、温度分布が比較的均一と考えられる内部燃料棒では、43.4%であった。
- (7) 本実験で、観察された破裂燃料棒の膨れが比較的小さいのは、破裂温度がジルカロイの $(\alpha + \beta)$ 二相域に相当する温度であったからである。

参 考 文 献

- (1) Chapman, R. H. et al., : ORNL/NUREG/TM-322 (1979), 337 (1979), 390 (1980) and 392 (1980)
- (2) Wiehr, K. et al., : "Results of REBEKA Test-3", 4th JAERI-FRG-NRC Annual Fuel Behavior Information Exchange, Idaho Falls, Idaho, June 22-29 (1979)
- (3) Weidinger, H. G. : "Results of Burst Test at KWU", 4th JAERI-FRG-NRC Annual Fuel Behavior Information Exchange, Idaho Falls, Idaho, June 22-29 (1979)
- (4) 橋本政男 他, : JAERI-M 9233 (1980)
- (5) 鈴木元衛, : JAERI-M 8523 (1979)
- (6) Chapman, R. H. : Significant Results from Single-Rod and Multirod Burst Tests in Steam with Transient Heating, Fifth Water Reactor Safety Research Information Meeting, Gaithersburg, Maryland, Nov. 7-10, (1977)
- (7) Chung, H. M., Kassner, T. F. : Deformation Characteristics of Zircaloy Cladding in Vacuum and Steam under Transient-Heating Conditions : Summary Report, NUREG/CR-0344, ANL-77-31 (1978)

TABLE 1 CHEMICAL COMPOSITION OF ZRY-4 (WT %).

Sn	Fe	Cr	Fe+Cr
1.54	0.20	0.11	0.31

		(ppm)						
Al	B	Cd	C	Co	Cu	Hf	Mn	Si
49	0.2	0.2	150	10	21	58	25	55

		(ppm)						
W	U	Ni	Cl	H	Pb	Mg	N	Ti
25	1.4	35	5	5	25	10	33	25

TABLE 2 RESULT OF BURST PRESSURE AND BURST TIME

	1	2	3	4	5	6	7
A	29-74	28-72	28-72	27-64	28-62	27-72	29-74
	27-84	27-82	26-82	26-82	27-80	25-84	28-86
B	28-68	28-62	28-54	28-64	27-68	28-58	29-66
	22-80	27-76	26-76	25-78	25-78	27-78	28-80
C	28-64	28-64	28-62	27-54	28-56	28-58	29-60
	21-78	26-76	26-76	13-76	18-76	27-76	28-78
D	29-58	28-62	29-62	26-60	28-58	28-62	28-66
	26-78	27-74	27-74	26-74	26-74	21-76	27-78
E	28-58	27-62	28-66	28-66	27-66	28-62	28-62
	27-78	26-76	26-74	26-74	25-74	27-76	26-80
F	29-60	28-66	27-56	27-62	27-66	27-66	28-68
	28-80	26-76	25-76	26-76	13-76	25-78	26-78
G	28-66	27-58	27-64	27-56	28-62	28-66	28-66
	27-82	26-78	25-78	25-78	26-80	26-78	24-82

Pm-Tm

Pb-Tb

Pm : Maximum pressure (kg/cm²)

Tm : Time of maximum pressure (sec)

Pb : Burst pressure (kg/cm²)

Tb : Burst time (sec)

TABLE 3 PRESSURE DECREASE AND DURATION BETWEEN MAXIMUM AND BURST PRESSURES AND PRESSURE DROP RATE.

	1	2	3	4	5	6	7
A	0.14 1.4 10	0.12 1.2 10	0.12 1.2 10	0.07 1.2 18	0.04 0.8 20	0.11 1.3 12	0.08 0.9 12
B	0.54 6.5 12	0.06 0.9 14	0.06 1.4 22	0.17 2.4 14	0.20 2.0 10	0.06 1.2 20	0.06 0.9 14
C	0.53 7.4 14	0.13 1.6 12	0.14 2.0 14	0.67 14.7 22	0.48 9.5 20	0.06 1.0 18	0.05 0.9 18
D	0.11 2.2 20	0.10 1.2 12	0.10 1.2 12	0.05 0.7 14	0.08 1.3 16	0.54 7.6 14	0.13 1.5 12
E	0.05 1.0 20	0.11 1.5 14	0.18 1.4 8	0.16 1.3 8	0.25 2.0 8	0.13 1.8 14	0.08 1.5 18
F	0.08 1.6 20	0.16 1.6 10	0.10 1.9 20	0.12 1.7 14	1.41 14.1 10	0.23 2.7 12	0.15 1.5 10
G	0.08 1.2 16	0.06 1.1 20	0.14 1.9 14	0.08 1.8 22	0.09 1.6 18	0.15 1.8 12	0.24 3.8 16

0.00 — Average pressure drop rate from maximum (kg/cm²/sec)
 0.0 — pressure to burst pressure
 00 — Pressure drop (kg/cm²)
 — Duration of pressure drop (sec)

TABLE 4 TEMPERATURE INCREASE AND DURATION BETWEEN MAXIMUM AND BURST PRESSURES AND HEATING RATE.

	1	2	3	4	5	6	7
A	5.4 54 10	6.8 68 10	5.2 52 10	7.2 129 18	7.8 141 18	6.8 81 12	6.8 82 12
B	4.7 56 12	7.6 106 14	8.9 195 22	7.9 111 14	8.3 83 10	9.0 180 20	7.1 100 14
C	6.6 92 14	8.8 105 12	8.9 125 14	9.0 198 22	9.3 186 20	9.1 163 18	8.9 160 18
D	6.6 132 20	8.4 101 12	8.8 106 12	7.9 110 14	9.2 147 16	8.3 116 14	7.5 90 12
E	6.9 138 20	8.7 122 14	9.8 78 8	7.3 58 8	6.5 52 8	9.0 126 14	7.4 133 18
F	6.5 130 20	7.2 72 10	8.9 177 20	8.6 121 14	6.7 67 10	6.7 80 12	7.4 74 10
G	8.8 141 16	7.5 149 20	7.6 106 14	8.5 188 22	8.2 147 18	6.6 79 12	6.4 102 16

0.0 — Heating rate (°C/sec)
 000 — temperature increase (°C)
 00 — Duration(sec)

TABLE 5 TEMPERATURE AT MAXIMUM PRESSURE

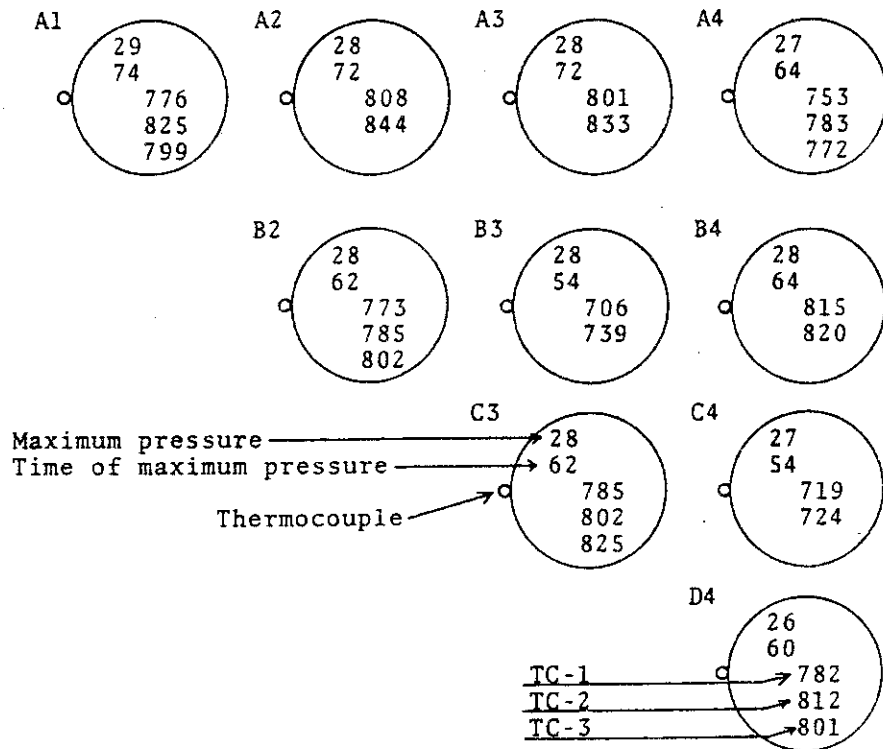


TABLE 6 AVERAGE HEATING RATES OF CLADDINGS

Heating rate was obtained from the temperature increase in the time of which the temperature of the rod, D-4 Tc-2 changed from 498°C to burst (922°C)

	1	2	3	4	5	6	7
A	7.8	8.6	8.4	8.5	8.7	8.7	8.1
B	8.2	8.8	8.7	8.8	9.0	9.0	8.5
C	8.0	9.2	9.0	8.7	9.3	9.1	8.9
D	7.8	9.0	9.2	9.2	9.2	9.4	8.7
E	7.3	8.8	9.7	9.2	9.0	9.1	8.8
F	7.8	8.7	8.8	9.5	8.5	8.6	8.9
G	-	8.2	9.0	9.0	8.5	8.6	8.4

(°C/SEC)

TABLE 7 TEMPERATURE DIFFERENCE BETWEEN D4(TC-2) AND OTHERS DURING HEAT-UP STAGE.

0 (sec) *D4-TEMP.410 °C

	1	2	3	4	5	6	7
A	-27	-35	-52	-25	-34	-36	-48
B	-24	-21	-17	-17	-20	-24	-19
C	-19	-10	-18	-21	-17	-23	-28
D	-14	- 8	-14	*	-16	- 5	-13
E	-35	-18	- 7	- 3	- 8	-16	-15
F	-21	-17	-15	- 5	- 3	-13	-18
G		-36	-14	-18	-37	-49	-41

74 (sec) *D4-TEMP.922 °C

	1	2	3	4	5	6	7
A	-97	-56	-73	-68	-49	-53	-89
B	-54	-47	-36	- 9	-24	-25	-47
C	-79	- 4	-11	-21	+ 3	-13	-44
D	-75	-15	- 6	*	+ 6	+ 4	-26
E	-116	-13	+ 5	- 1	+ 1	+ 6	-31
F	-101	-27	- 6	+10	-37	-22	- 6
G		-53	+ 7	+ 7	-65	-43	-50

76 (sec) *D4-TEMP.950 °C

	1	2	3	4	5	6	7
A	-107	-66	-98	-77	-62	-60	-103
B	-80	-59	-45	-26	-39	-36	-63
C	-98	- 6	-23	-28	- 9	-24	-53
D	-100	-27	- 7	*	- 9	- 7	-32
E	-130	-32	- 8	- 4	- 6	- 9	-48
F	-111	-38	-16	- 2	-54	-29	-19
G		-71	- 9	- 8	-78	-59	-71

78 (sec) *D4-TEMP.973 °C

	1	2	3	4	5	6	7
A	-119	-81	-109	-81	-80	-75	-113
B	-99	-65	-51	-37	-46	-38	-71
C	-120	-14	-31	-32	-18	-31	-49
D	-116	-37	-15	*	-20	- 9	-34
E	-148	-48	-11	- 4	-11	-22	-55
F	-123	-46	-32	- 9	-59	-39	-38
G		-79	-19	-11	-86	-69	-82

TABLE 8 TEMPERATURE DIFFERENCE BETWEEN D4(TC-2) AND OTHERS DURING HEAT-UP STAGE.

80 (sec) *D4-TEMP.991 °C

	1	2	3	4	5	6	7
A	-131	-87	-114	-91	-91	-79	-115
B	-115	-70	-55	-39	-49	-38	-72
C	-139	-14	-36	-24	-19	-33	-48
D	-132	-43	-16	*	-19	-11	-38
E	-156	-47	-14	- 5	- 8	-20	-62
F	-134	-57	-33	-11	-68	-40	-41
G		-87	-18	-24	-87	-75	-87

82 (sec) *D4-TEMP.1015 °C

	1	2	3	4	5	6	7
A	-144	-103	-130	-103	-99	-92	-125
B	-133	-79	-59	-46	-62	-47	-76
C	-156	-18	-40	-23	-22	-39	-60
D	-148	-49	-18	*	-25	-21	-44
E	-169	-53	-28	- 8	- 5	-26	-77
F	-151	-61	-36	-25	-85	-41	-49
G		-99	-23	-30	-99	-86	-99

84 (sec) *D4-TEMP.1034°C

	1	2	3	4	5	6	7
A	-155	-116	-133	-108	-106	-107	-133
B	-140	-80	-59	-47	-67	-45	-76
C	-163	-26	-38	-23	-20	-38	-58
D	-145	-47	-21	*	-24	-20	-47
E	-180	-52	-28	- 8	- 1	-26	-79
F	-173	-58	-38	-31	-92	-37	-55
G		-103	-25	-29	-105	-88	-105

86 (sec) *D4-TEMP.1048 °C

	1	2	3	4	5	6	7
A	-166	-118	-126	-116	-104	-112	-133
B	-134	-78	-57	-37	-60	-44	-72
C	-159	-29	-31	-20	-11	-31	-57
D	-136	-44	-22	*	-15	-13	-48
E	-185	-41	-21	- 7	+ 4	-15	-71
F	-185	-56	-32	-23	-99	-32	-48
G		-94	-17	-24	-102	-81	-94

TABLE 9 BURST LOCATIONS AND BURST TIME.

	1	2	3	4	5	6	7
A	-98 84	-71 80	-155 82	-155 82	-122 80	-154 84	-207 86
B	-182 74	-40 76	-120 76	-80 78	-74 78	-79 78	7 80
C	-128 78	-119 76	-130 76	-40 76	-131 76	-50 76	-112 78
D	-87 78	-51 74	-2 74	-46 74	-46 74	-8 76	-99 78
E	-100 78	-6 76	-1 74	-59 74	-80 74	-71 76	-85 80
F	-5 80	-27 76	-63 76	-60 72	46 76	76 78	-14 78
G	-123 82	-107 78	-66 78	-91 78	-118 80	-7 78	13 82

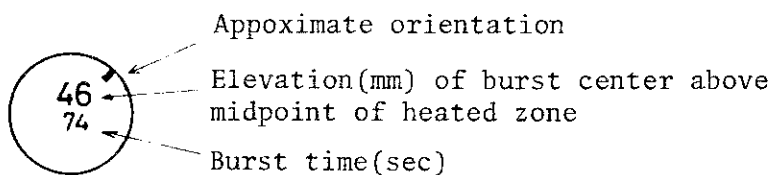


TABLE 10 AMOUNT OF BALLOONING AND CHANNEL BLOCKAGE IN 7806-(7x7).

ASSEMBLY NO. 7806 DATA(7*7)

AMOUNT OF BALLOONING AND CHANNEL BLOCKAGE (1)			AMOUNT OF BALLOONING AND CHANNEL BLOCKAGE (2)		
D (MM)	S (MM2)	BALLOONING CHANNEL BLOCKAGE (PERCENT)	D (MM)	S (MM2)	BALLOONING CHANNEL BLOCKAGE (PERCENT)
222.5	5129.	16.0	-33.1	6065.	37.1
214.1	5150.	16.4	-36.7	6101.	37.9
211.0	5197.	17.5	-43.1	6285.	42.1
204.8	5289.	19.6	-47.0	6265.	41.7
203.1	5287.	19.6	-53.5	6280.	42.0
195.9	5216.	17.9	-57.0	6291.	42.2
184.7	5372.	21.5	-63.5	6306.	42.6
181.7	5391.	21.9	-67.2	6373.	44.1
174.7	5419.	22.5	-73.1	6383.	44.3
172.0	5557.	25.6	-77.1	6450.	45.8
164.9	5387.	21.8	-83.3	6414.	45.0
162.4	5581.	26.2	-85.5	6373.	44.1
155.2	5462.	23.5	-93.0	6234.	41.0
152.6	5482.	24.0	-97.0	6152.	39.1
145.0	5478.	23.9	-103.4	6034.	36.4
142.8	5479.	23.9	-107.1	6069.	37.2
134.6	5531.	25.1	-113.3	6095.	37.8
132.0	5509.	24.6	-117.0	6203.	40.3
125.1	5441.	23.0	-123.6	6121.	38.4
115.6	5473.	23.7	-127.7	6183.	39.8
113.0	5582.	26.2	-132.6	5910.	33.6
105.2	5428.	22.7	-136.0	5843.	32.1
102.9	5412.	22.4	-142.7	5797.	31.1
95.5	5432.	22.8	-146.7	5791.	31.1
93.4	5475.	23.8	-153.6	5781.	30.7
86.6	5464.	23.6	-157.4	5848.	32.2
83.6	5412.	22.4	-163.4	5703.	29.0
76.3	5476.	23.8	-167.4	5640.	27.5
73.7	5579.	26.1	-173.0	5437.	22.9
66.5	5532.	25.1	-176.5	5622.	27.1
63.4	5670.	28.2	-182.6	5530.	25.0
57.4	5575.	26.1	-186.3	5549.	23.5
54.3	5622.	27.1	-193.1	5447.	23.2
47.0	5690.	28.7	-196.4	5434.	22.9
43.5	5771.	30.5	-202.4	5320.	20.3
35.0	5756.	30.2	-206.2	5359.	21.2
32.6	5602.	26.7	-212.9	5339.	20.7
26.9	5565.	25.8	-216.4	5293.	19.7
23.3	5729.	29.5	-222.4	5273.	19.2
17.6	5824.	31.7	-226.4	5300.	19.8
13.4	5850.	32.3	-232.7	5260.	18.9
7.5	5850.	32.3	-236.4	5194.	17.4
3.6	6020.	36.1	-243.1	5086.	15.0
-2.5	6277.	41.9	-246.7	5126.	15.9
-6.4	6256.	41.5	-251.9	5073.	14.7
-12.4	6105.	38.0	-255.5	5107.	15.3
-16.3	5974.	35.1	-262.4	5020.	13.5
-22.1	5995.	35.6	-266.5	5032.	13.8
-26.1	5896.	33.3	-272.1	4985.	12.7

D = DISTANCE FROM MIDPOINT.

S = TOTAL CROSS SECTION AREA OF 49 ROD AFTER BURST TEST.

TABLE 11 AMOUNT OF BALLOONING AND CHANNEL BLOCKAGE IN 7806-(5x5).

ASSEMBLY NO. 7806 DATA(5*5)

AMOUNT OF BALLOONING AND CHANNEL BLOCKAGE (1)			AMOUNT OF BALLOONING AND CHANNEL BLOCKAGE (2)		
D (MM)	S (MM2)	BALLOONING CHANNEL BLOCKAGE (PERCENT)	D (MM)	S (MM2)	BALLOONING CHANNEL BLOCKAGE (PERCENT)
222.5	2644.	17.2	-33.1	3242.	43.7
214.1	2657.	17.8	-36.7	3309.	46.6
211.0	2678.	18.7	-43.1	3493.	54.8
204.8	2714.	20.3	-47.0	3485.	54.5
203.1	2722.	20.6	-53.5	3495.	54.9
195.9	2698.	19.6	-57.0	3469.	53.7
184.7	2770.	22.8	-63.5	3443.	52.6
181.7	2785.	23.4	-67.2	3443.	52.6
174.7	2807.	24.4	-73.1	3469.	53.7
172.8	2859.	26.7	-77.1	3479.	54.2
164.9	2794.	23.8	-83.3	3361.	49.0
162.4	2880.	27.6	-85.5	3274.	45.1
155.2	2821.	25.0	-93.0	3125.	38.5
152.6	2847.	26.2	-97.0	3053.	35.3
145.0	2836.	25.7	-103.4	3038.	35.5
142.8	2833.	25.6	-107.1	3058.	35.5
134.6	2847.	26.2	-113.3	3068.	36.0
132.0	2847.	26.2	-117.0	3114.	38.0
125.1	2842.	25.9	-123.6	3099.	37.5
115.6	2836.	25.7	-127.7	3168.	40.4
113.0	2894.	28.3	-132.6	3047.	35.0
105.2	2816.	24.8	-136.0	2996.	32.8
102.9	2802.	24.2	-142.7	2960.	30.3
95.5	2797.	23.9	-146.7	2919.	29.4
93.4	2813.	24.7	-153.6	2837.	25.7
86.6	2828.	25.4	-157.4	2852.	26.4
83.6	2823.	25.1	-163.4	2837.	25.7
76.3	2843.	26.0	-167.4	2792.	23.7
73.7	2917.	29.3	-173.0	2724.	20.7
66.5	2870.	27.2	-176.5	2801.	24.1
63.4	2952.	30.8	-182.6	2755.	22.1
57.4	2909.	28.9	-186.3	2770.	22.7
54.3	2949.	30.7	-193.1	2744.	21.6
47.0	3032.	34.4	-196.4	2738.	21.3
43.5	3063.	35.7	-202.4	2676.	18.6
35.0	3027.	34.2	-206.2	2680.	18.8
32.6	2824.	29.6	-212.9	2685.	19.0
26.9	2902.	28.6	-216.4	2669.	18.3
23.3	2979.	32.0	-222.4	2657.	17.8
17.6	3026.	34.1	-226.4	2650.	17.9
13.4	3021.	33.9	-232.7	2633.	16.8
7.5	3058.	35.5	-236.4	2630.	16.6
3.6	3168.	40.4	-243.1	2566.	13.7
-2.5	3355.	48.7	-246.7	2594.	13.0
-6.8	3324.	47.3	-251.9	2563.	13.6
-12.4	3188.	41.3	-255.5	2584.	14.5
-16.3	3110.	37.8	-262.4	2541.	12.6
-22.1	3162.	40.1	-266.5	2531.	12.2
-26.1	3135.	38.9	-272.1	2503.	10.9
					8.6

D = DISTANCE FROM MIDPOINT.
S = TOTAL CROSS SECTION AREA OF 25 ROD AFTER BURST TEST.

TABLE 12 AMOUNT OF BALLOONING AND CHANNEL BLOCKAGE IN 7806-(3x3).

ASSEMBLY NO. 7806 DATA(3*3)

AMOUNT OF BALLOONING AND CHANNEL BLOCKAGE (1)			AMOUNT OF BALLOONING AND CHANNEL BLOCKAGE (2)		
D (MM)	S (MM2)	BALLOONING CHANNEL BLOCKAGE (PERCENT)	D (MM)	S (MM2)	BALLOONING CHANNEL BLOCKAGE (PERCENT)
222.5	954	17.5	-33.1	1197	47.3
214.1	964	18.7	-36.7	1255	54.5
211.0	966	18.9	-63.1	1378	69.6
204.8	984	21.1	-47.0	1344	65.6
203.1	978	20.3	-53.5	1249	53.7
195.9	979	20.5	-37.0	1239	52.5
184.7	1001	23.2	-63.5	1187	46.2
181.7	1010	24.3	-67.2	1161	43.0
174.7	1015	25.0	-73.1	1167	43.6
172.8	1033	27.2	-77.1	1197	47.4
164.9	1023	25.9	-83.3	1197	47.4
162.4	1037	27.6	-85.5	1172	44.3
155.2	1031	27.0	-93.0	1116	37.3
152.6	1038	27.8	-97.0	1086	33.7
145.0	1047	28.9	-103.4	1074	32.2
142.8	1049	29.1	-107.1	1073	32.1
134.6	1063	30.9	-113.3	1059	30.3
132.0	1054	29.8	-117.0	1069	31.6
125.1	1058	30.2	-123.6	1084	33.5
115.6	1052	29.6	-127.7	1149	41.5
113.0	1060	30.4	-132.6	1154	42.0
105.2	1028	26.5	-136.0	1126	38.6
102.9	1021	25.7	-142.7	1074	32.2
92.5	1017	25.3	-146.7	1050	29.3
93.4	1021	25.7	-153.6	1009	24.2
86.6	1021	25.7	-157.4	1014	24.8
83.6	1011	24.4	-163.4	1002	23.4
76.3	1040	24.4	-167.4	983	21.1
73.7	1042	28.3	-173.0	971	19.6
66.5	1042	28.3	-176.5	997	22.7
63.4	1058	30.2	-182.6	976	20.2
57.4	1042	28.3	-186.3	983	21.0
54.3	1049	29.1	-193.1	973	19.8
47.0	1064	31.0	-196.4	971	19.5
43.5	1084	33.5	-202.4	950	17.0
35.0	1110	36.7	-206.2	956	17.7
32.6	1069	31.6	-212.9	961	18.4
26.9	1043	28.5	-216.4	921	17.1
23.3	1070	31.7	-222.4	946	16.4
17.6	1083	33.4	-226.4	945	16.4
13.4	1083	33.4	-232.7	943	16.1
7.5	1120	37.9	-236.4	943	16.1
3.6	1189	46.4	-243.1	922	13.5
-2.5	1297	59.7	-246.7	922	13.5
-6.4	1257	54.8	-283.1	912	12.2
-12.4	1136	39.9	-251.9	927	14.1
-16.3	1110	36.6	-255.5	927	14.1
-22.1	1137	40.0	-262.4	907	11.6
-26.1	1130	39.1	-266.5	905	11.4
			-272.1	894	10.1
					8.0

D = DISTANCE FROM MIDPOINT.
S = TOTAL CROSS SECTION AREA OF 9 ROD AFTER BURST TEST.

TABLE 13 AMOUNT OF BALLOONING AND CHANNEL BLOCKAGE IN 7806-(5□).
ASSEMBLY NO. 7806 DATA(5□)

AMOUNT OF BALLOONING AND CHANNEL BLOCKAGE (1)				AMOUNT OF BALLOONING AND CHANNEL BLOCKAGE (2)			
D (MM)	S (MM2)	BALLOONING (PERCENT)	CHANNEL BLOCKAGE (PERCENT)	D (MM)	S (MM2)	BALLOONING (PERCENT)	CHANNEL BLOCKAGE (PERCENT)
222.5	1690.	17.0	13.4	-33.1	2045.	41.6	32.9
214.1	1693.	17.3	13.6	-36.7	2054.	42.2	33.4
211.0	1712.	18.6	14.7	-43.1	2115.	46.5	36.7
204.8	1730.	19.8	15.6	-47.0	2142.	48.3	38.2
203.1	1744.	20.8	16.4	-53.5	2246.	55.5	43.9
195.9	1719.	19.0	15.0	-57.0	2230.	54.5	43.0
184.7	1769.	22.5	17.8	-63.5	2256.	56.2	44.4
181.7	1775.	22.9	18.1	-67.2	2282.	58.0	45.8
174.7	1792.	24.1	19.0	-73.1	2302.	59.4	47.0
172.8	1826.	26.5	20.9	-77.1	2282.	58.0	45.8
164.9	1772.	22.7	17.9	-83.3	2164.	49.8	39.4
162.4	1843.	27.6	21.6	-85.5	2102.	45.6	36.0
155.2	1789.	23.9	18.9	-93.0	2009.	39.1	30.9
152.6	1808.	25.2	19.9	-97.0	1967.	36.2	28.6
145.0	1789.	23.9	18.9	-103.4	1984.	37.4	29.5
136.6	1784.	23.6	18.6	-107.1	1985.	37.5	29.6
132.0	1792.	24.1	19.0	-113.3	2009.	39.2	30.9
125.1	1784.	23.5	18.6	-117.0	2045.	41.6	32.9
115.6	1784.	23.5	18.6	-123.6	2015.	39.5	31.2
113.0	1834.	27.0	21.4	-127.7	2019.	39.8	31.4
105.2	1788.	23.4	18.8	-132.6	1893.	31.1	24.6
102.9	1781.	23.4	18.5	-136.0	1871.	29.5	23.3
95.5	1779.	23.2	18.3	-142.7	1866.	29.2	23.1
86.6	1807.	25.1	19.9	-146.7	1869.	29.4	23.2
83.6	1813.	25.5	20.2	-153.6	1828.	26.6	21.0
76.3	1832.	26.9	21.2	-157.4	1838.	27.3	21.5
73.7	1875.	29.9	23.6	-163.4	1835.	27.1	21.4
66.5	1828.	26.6	21.0	-167.4	1808.	25.2	19.9
63.4	1894.	31.1	24.6	-173.0	1753.	21.4	16.9
57.4	1867.	29.3	23.1	-176.5	1804.	24.9	19.7
54.3	1900.	31.6	24.9	-182.6	1778.	23.1	18.3
47.0	1968.	36.2	28.6	-186.5	1786.	23.7	18.7
43.5	1979.	37.0	29.2	-193.1	1774.	22.6	17.9
35.0	1917.	32.7	25.9	-196.4	1767.	22.3	17.6
32.6	1855.	28.5	22.5	-202.4	1725.	19.5	15.4
26.9	1859.	28.7	22.7	-208.2	1723.	19.3	15.3
23.3	1910.	32.2	25.5	-212.9	1723.	19.3	15.3
17.6	1943.	34.5	27.3	-216.4	1718.	19.0	15.0
13.4	1938.	34.2	27.0	-222.4	1711.	18.5	14.6
7.5	1938.	34.2	27.0	-226.4	1715.	18.7	14.8
3.6	1979.	37.0	29.2	-232.7	1692.	17.2	13.6
-2.5	2058.	42.5	33.6	-236.4	1687.	16.8	13.3
-6.4	2066.	43.1	34.0	-243.1	1644.	13.9	10.9
-12.4	2032.	42.1	33.3	-246.7	1672.	15.8	12.5
-16.3	2000.	38.5	30.4	-251.9	1651.	14.3	11.3
-22.1	2024.	40.2	31.8	-255.5	1658.	14.8	11.7
-26.1	2005.	38.4	30.7	-262.4	1634.	13.1	10.4
				-266.5	1626.	12.6	10.0
				-272.1	1609.	11.4	9.0

D = DISTANCE FROM MIDPOINT.
S = TOTAL CROSS SECTION AREA OF 16 ROD AFTER BURST TEST.

TABLE 14 AMOUNT OF BALLOONING AND CHANNEL BLOCKAGE IN 7806-(70).

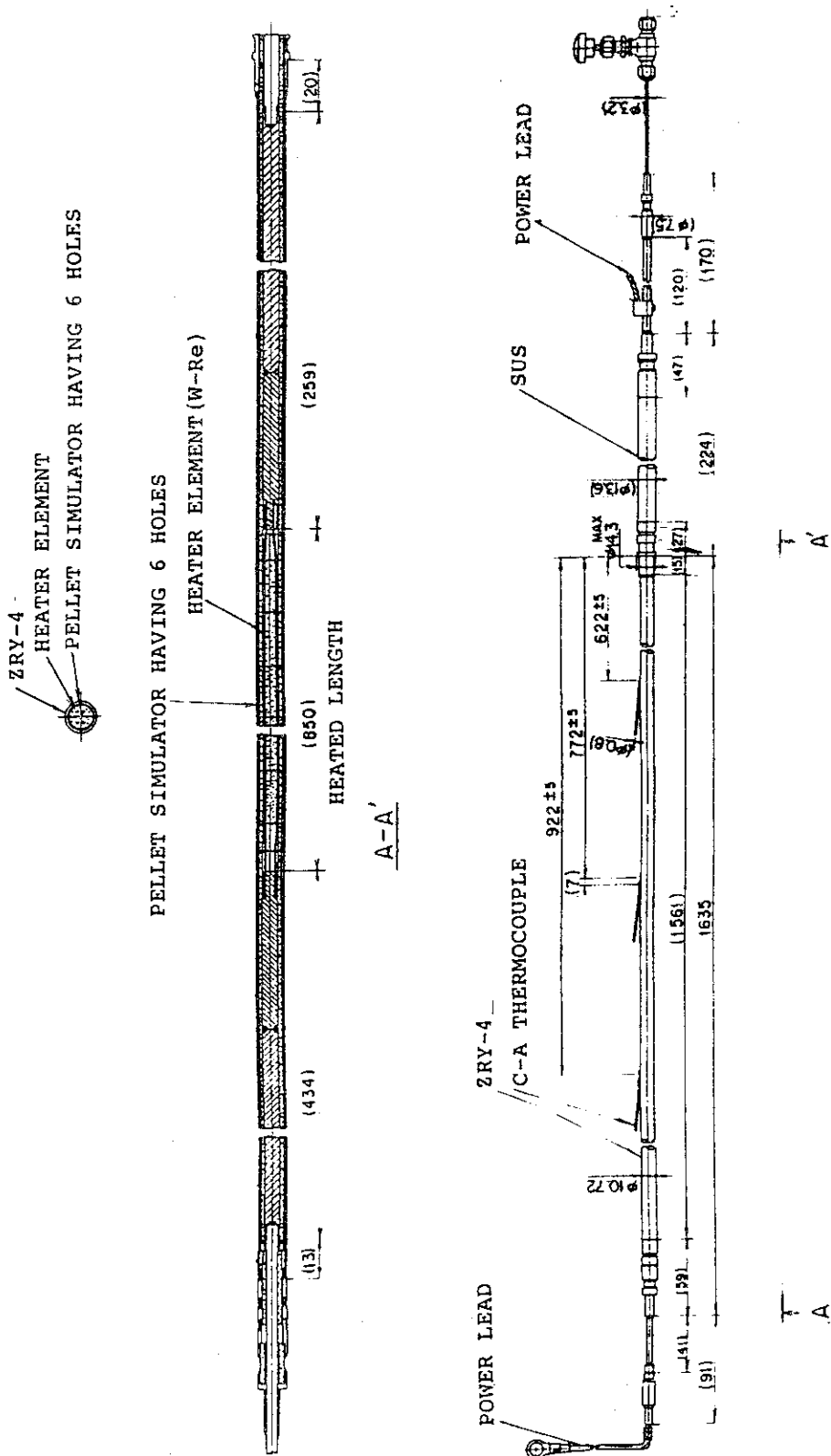
ASSEMBLY NO. 7806 DATA (70)

AMOUNT OF BALLOONING AND CHANNEL BLOCKAGE (1)			AMOUNT OF BALLOONING AND CHANNEL BLOCKAGE (2)		
D (MM)	S (MM2)	BALLOONING CHANNEL BLOCKAGE (PERCENT)	D (MM)	S (MM2)	BALLOONING CHANNEL BLOCKAGE (PERCENT)
222.5	2485.	14.7	-33.1	2823.	30.3
214.1	2492.	15.1	-36.7	2792.	28.9
211.0	2519.	16.3	-43.1	2792.	28.9
204.8	2576.	18.9	-47.0	2780.	28.3
203.1	2565.	18.4	-53.5	2786.	28.6
195.9	2518.	16.3	-57.0	2822.	30.3
184.7	2602.	20.1	-63.5	2863.	32.1
181.7	2606.	20.3	-67.2	2929.	35.2
174.7	2612.	20.6	-73.1	2914.	34.5
172.8	2698.	24.5	-77.1	2971.	37.1
164.9	2593.	19.7	-83.3	3001.	38.6
162.4	2702.	24.7	-85.3	3099.	43.1
155.2	2642.	22.0	-93.0	3109.	43.5
152.6	2636.	21.7	-97.0	3099.	43.1
145.0	2642.	22.0	-103.4	2976.	37.4
142.8	2645.	22.1	-107.1	3011.	39.0
134.6	2684.	23.9	-113.3	3027.	39.7
132.0	2662.	22.9	-117.0	3089.	42.6
125.1	2600.	20.0	-123.6	3022.	39.5
115.6	2636.	21.7	-127.7	3013.	39.2
113.0	2688.	24.1	-132.6	2863.	32.2
105.2	2612.	20.6	-136.0	2847.	31.4
102.9	2610.	20.5	-142.7	2857.	31.9
95.5	2635.	21.6	-146.7	2878.	32.8
93.4	2662.	22.9	-153.6	2945.	35.9
86.6	2636.	21.7	-157.4	2996.	38.3
83.6	2589.	19.5	-163.4	2868.	32.4
76.5	2633.	21.6	-167.4	2848.	31.5
73.7	2922.	34.9	-173.0	2714.	25.3
66.5	2662.	22.9	-176.5	2822.	30.3
63.4	2719.	25.5	-182.6	2775.	28.1
57.4	2666.	23.1	-186.3	2780.	28.3
54.5	2674.	23.4	-193.1	2703.	24.8
47.0	2658.	22.7	-196.4	2696.	24.5
43.5	2708.	25.0	-202.4	2645.	22.1
35.0	2729.	26.0	-206.2	2680.	23.7
32.6	2678.	23.6	-212.9	2654.	22.5
26.9	2663.	22.9	-216.4	2623.	21.1
23.3	2750.	26.9	-222.4	2616.	20.8
17.6	2797.	29.1	-226.4	2639.	21.8
13.4	2828.	30.6	-232.7	2625.	21.2
7.5	2792.	28.9	-236.4	2564.	18.3
3.6	2852.	31.7	-243.1	2520.	16.3
-2.5	2922.	34.9	-246.7	2532.	16.9
-6.4	2932.	35.4	-251.9	2511.	15.9
-12.4	2916.	34.6	-255.3	2522.	16.4
-16.3	2864.	32.2	-262.4	2479.	14.4
-22.1	2833.	30.8	-266.5	2501.	15.4
-26.1	2761.	27.5	-272.1	2482.	14.6
					11.5

D = DISTANCE FROM MIDPOINT.
S = TOTAL CROSS SECTION AREA OF 24 ROD AFTER BURST TEST.

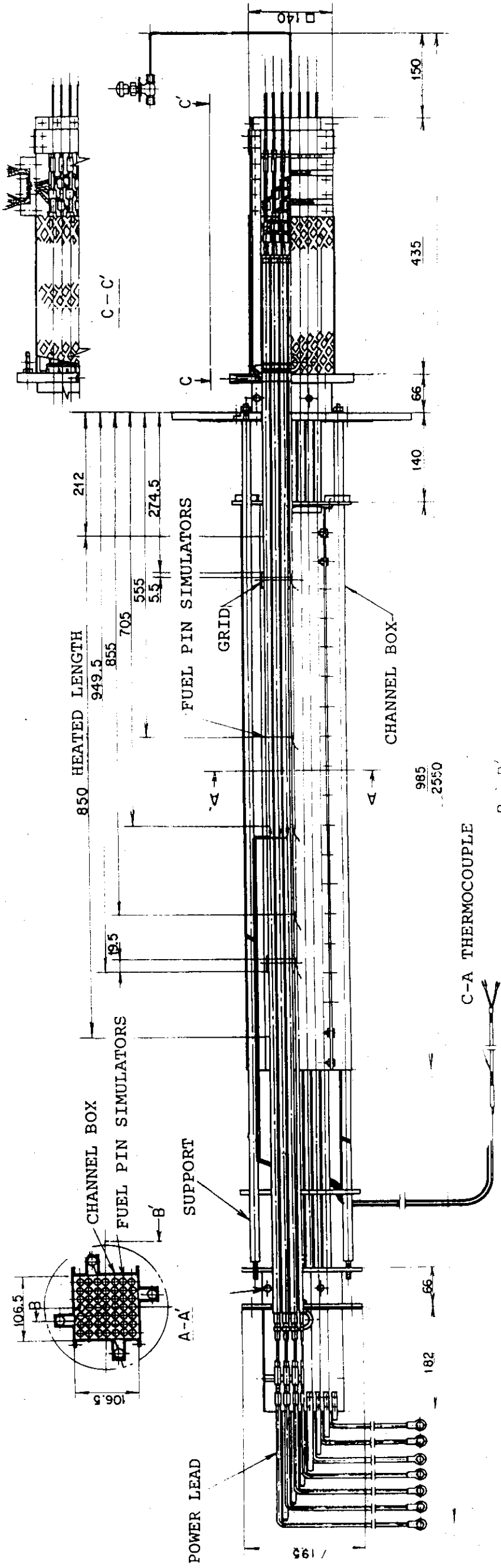
TABLE 15 TEMPERATURE AT BURST TIME, MEASURED AT THE POSITION OF TC-2.

	1	2	3	4	5	6	6
A	379	912	885	912	900	927	915
B	376	891	905	936	927	935	919
C	853	944	927	922	941	926	924
D	857	907	916	922	928	943	939
E	825	918	927	921	923	941	929
F	857	912	934	948	896	934	935
G	*	894	954	962	904	904	916



FUEL PIN SIMULATOR (W-Re 0.6 φ)

FIG.1 TYPICAL FUEL PIN SIMULATOR.



FUEL ASSEMBLY SIMULATOR

FIG.2 SCHEMATIC OF 7806 TEST ASSEMBLY.

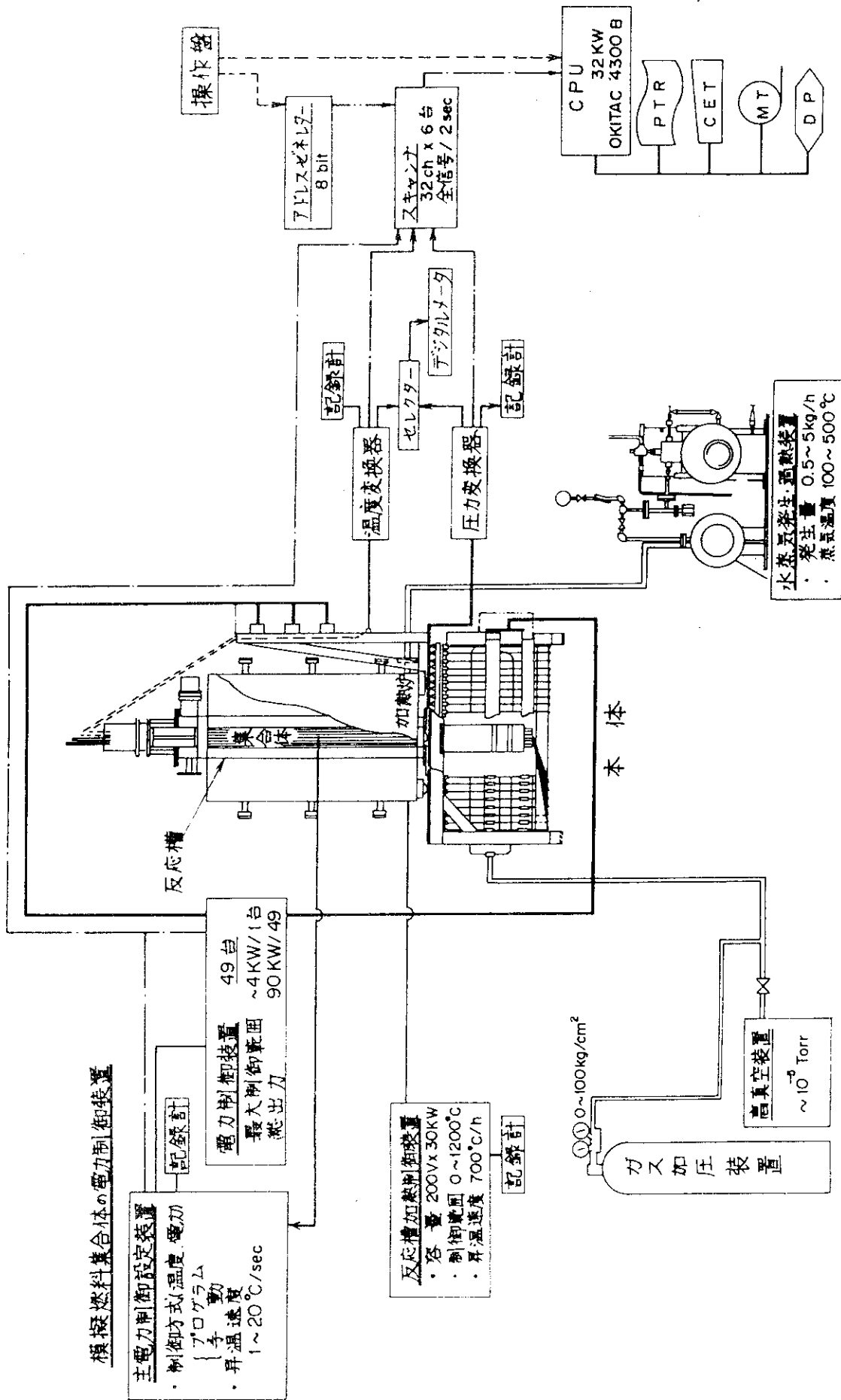
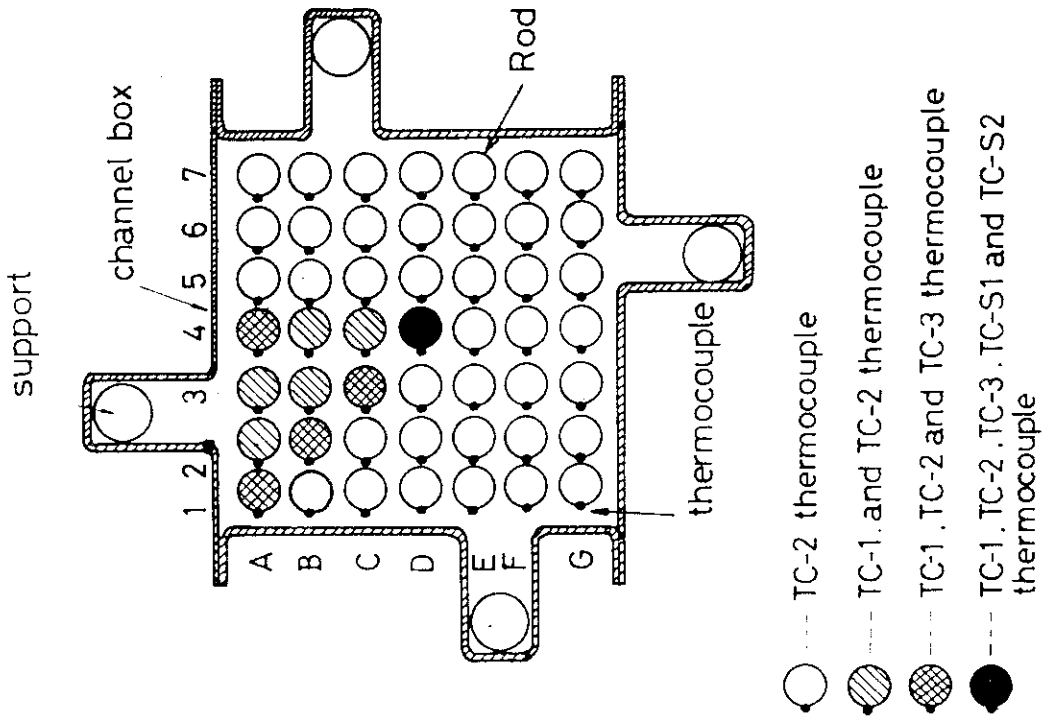
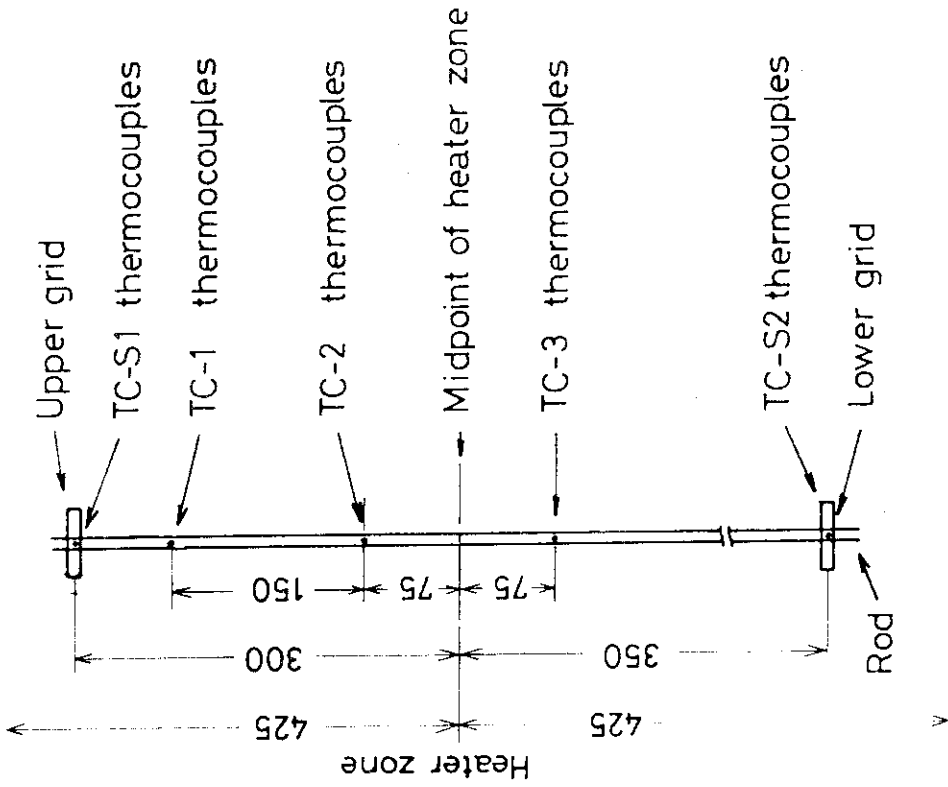


FIG. 3 SCHEMATIC DIAGRAM OF A FACILITY FOR BURST TEST OF A FUEL ASSEMBLY.



Axial locations of thermocouple

Radial locations of thermocouple

FIG.4 LOCATIONS OF THERMOCOUPLE.

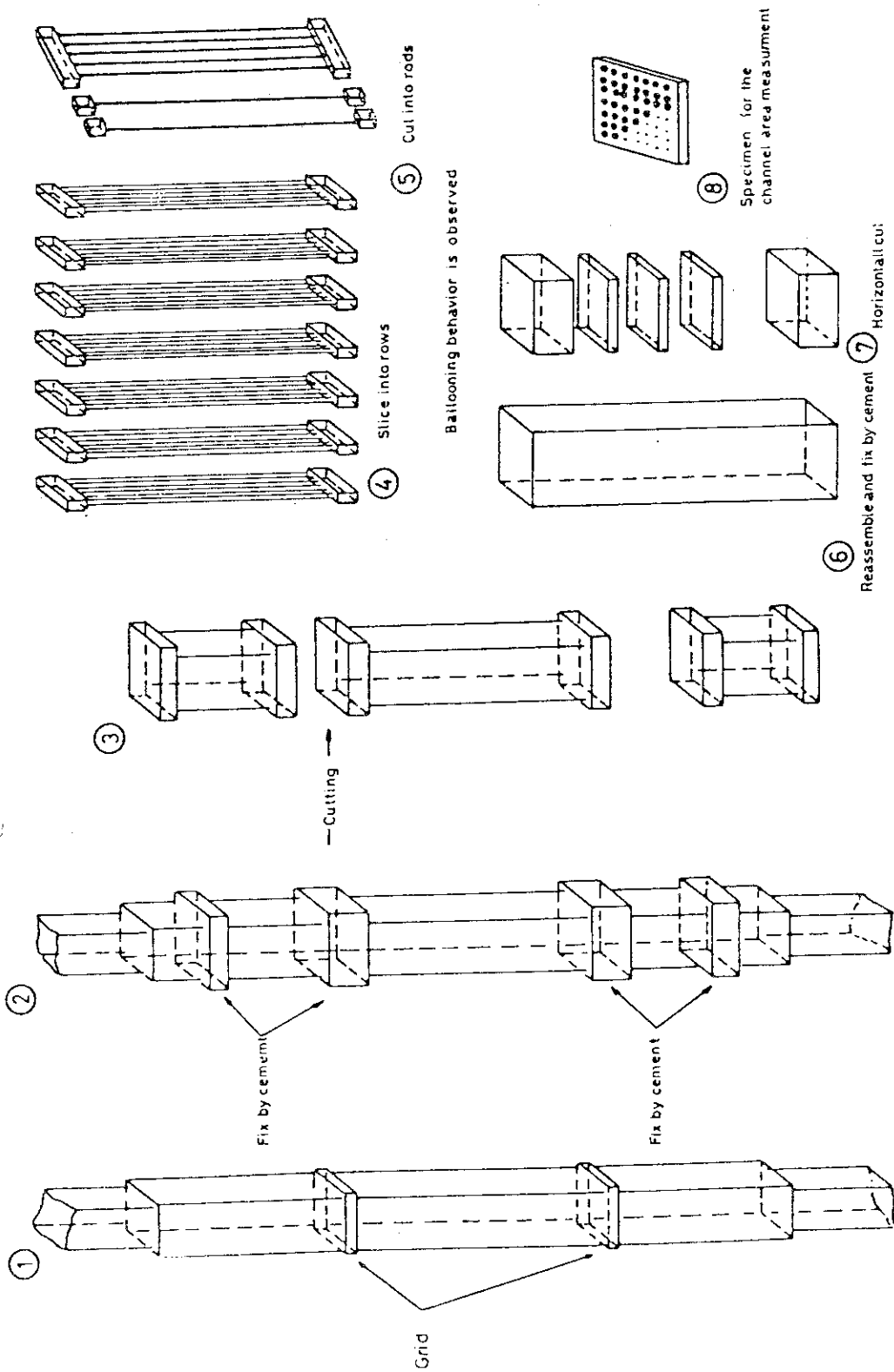


FIG. 5 SEQUENCE OF THE POST BURST EXAMINATION OF A ASSEMBLY.

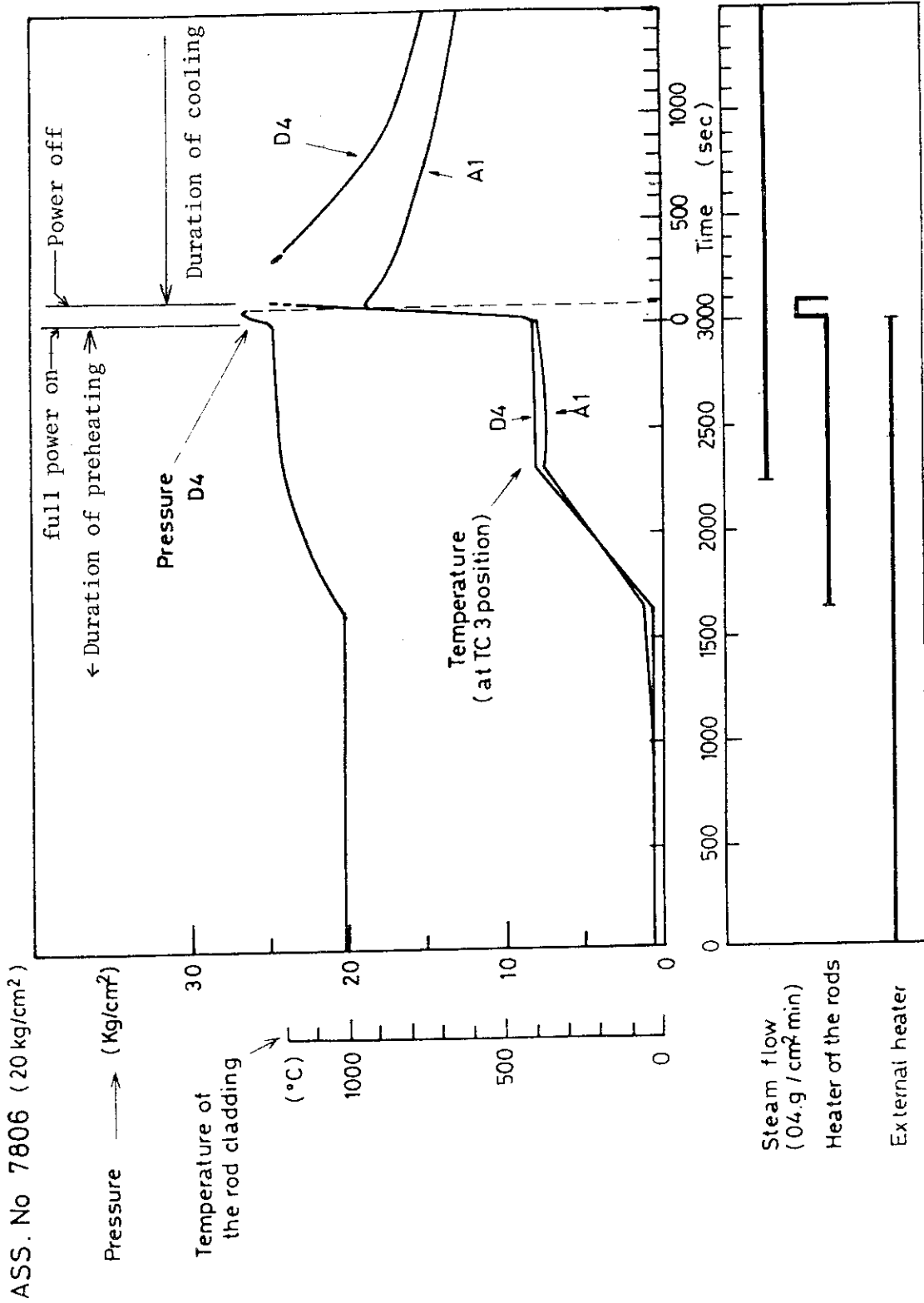


FIG. 6 HISTORIES OF CLADDING TEMPERATURES, INTERNAL PRESSURES AND OPERATING CONDITIONS.

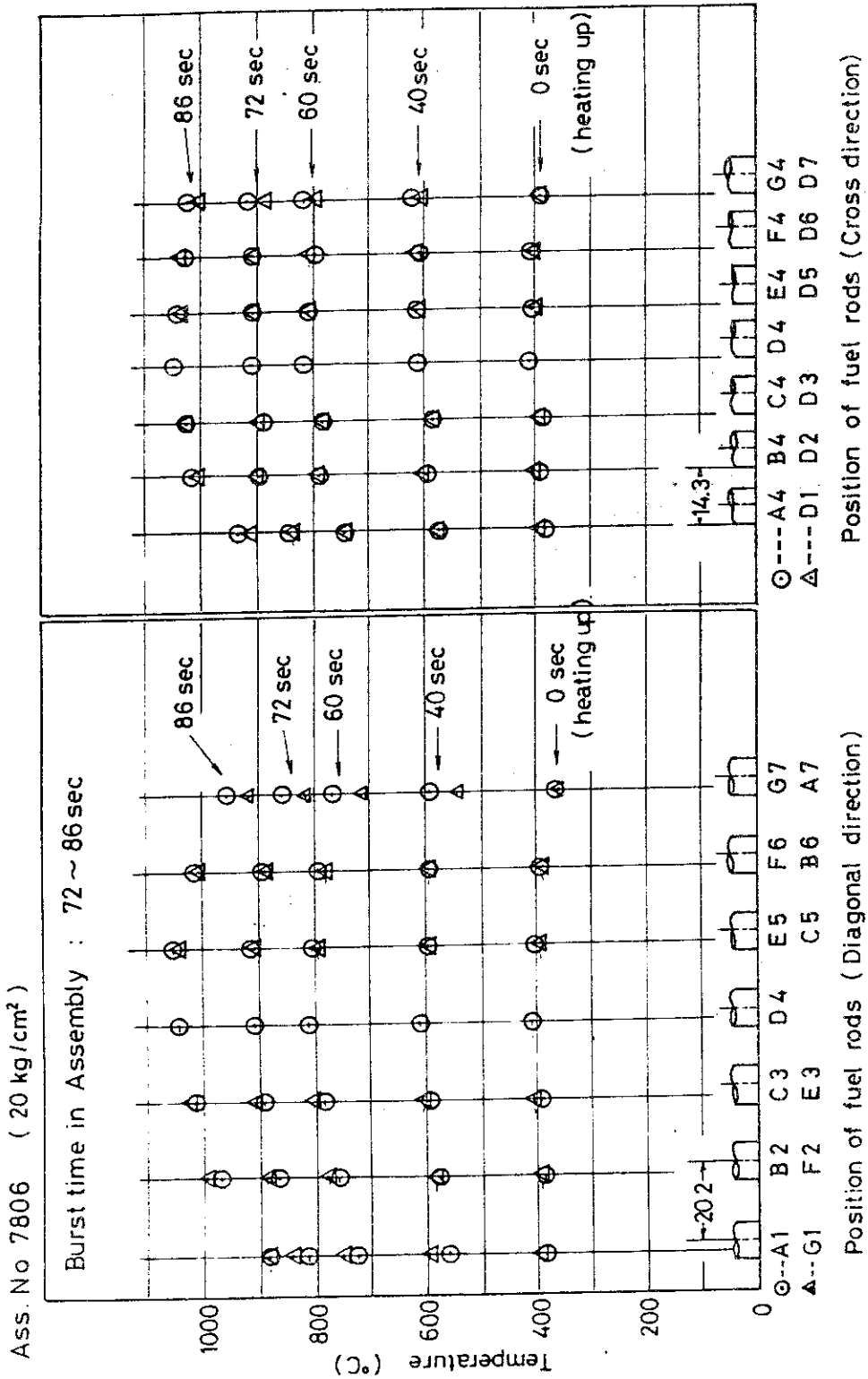


FIG.7 HORIZONTAL TEMPERATURE DISTRIBUTION OF THE CLADDING AS A FUNCTION OF TIME(TC-2).

ASS.No 7806

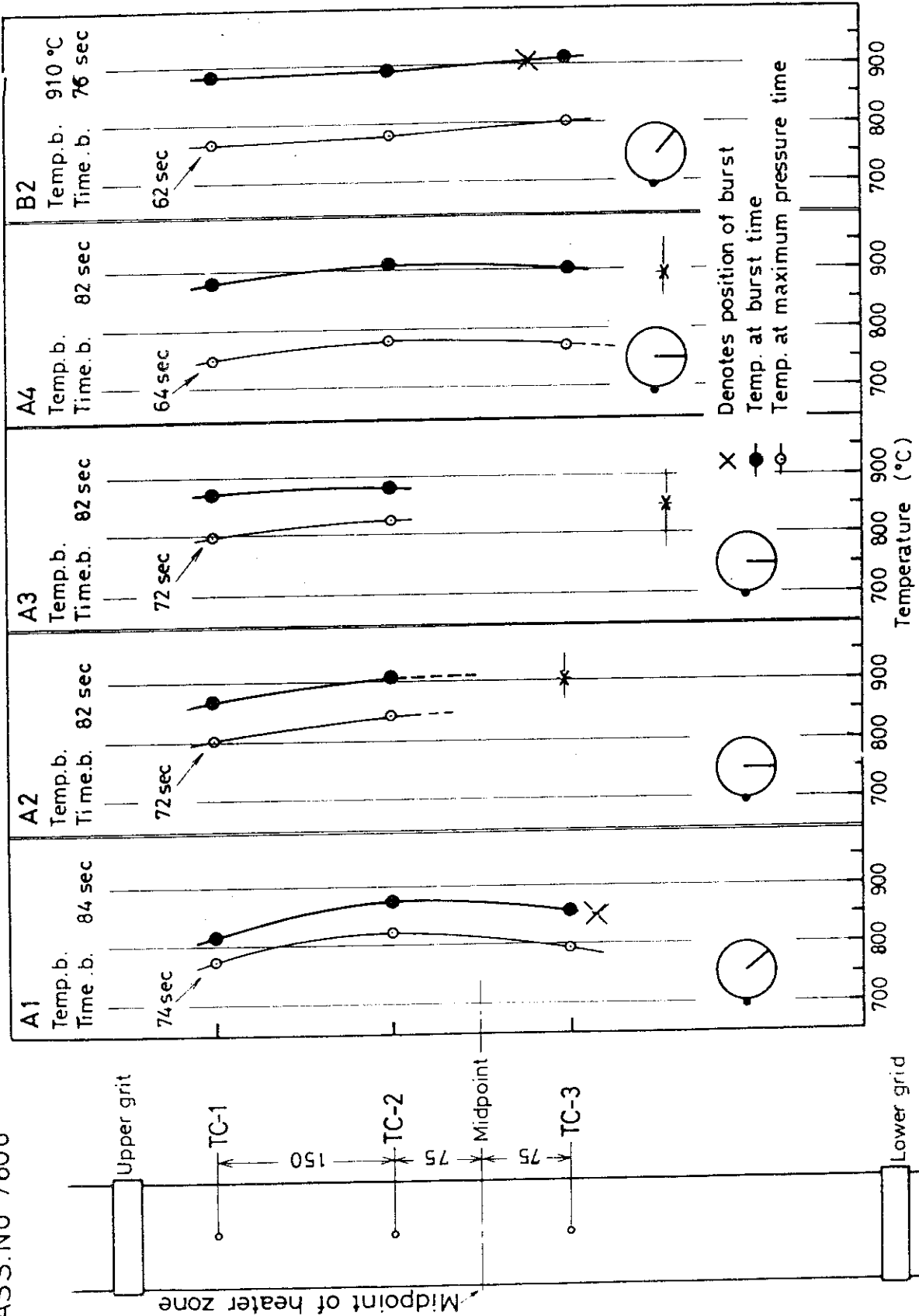


FIG. 8 AXIAL DISTRIBUTION OF TEMPERATURE AT BURST TIME.

ASS.No 7806

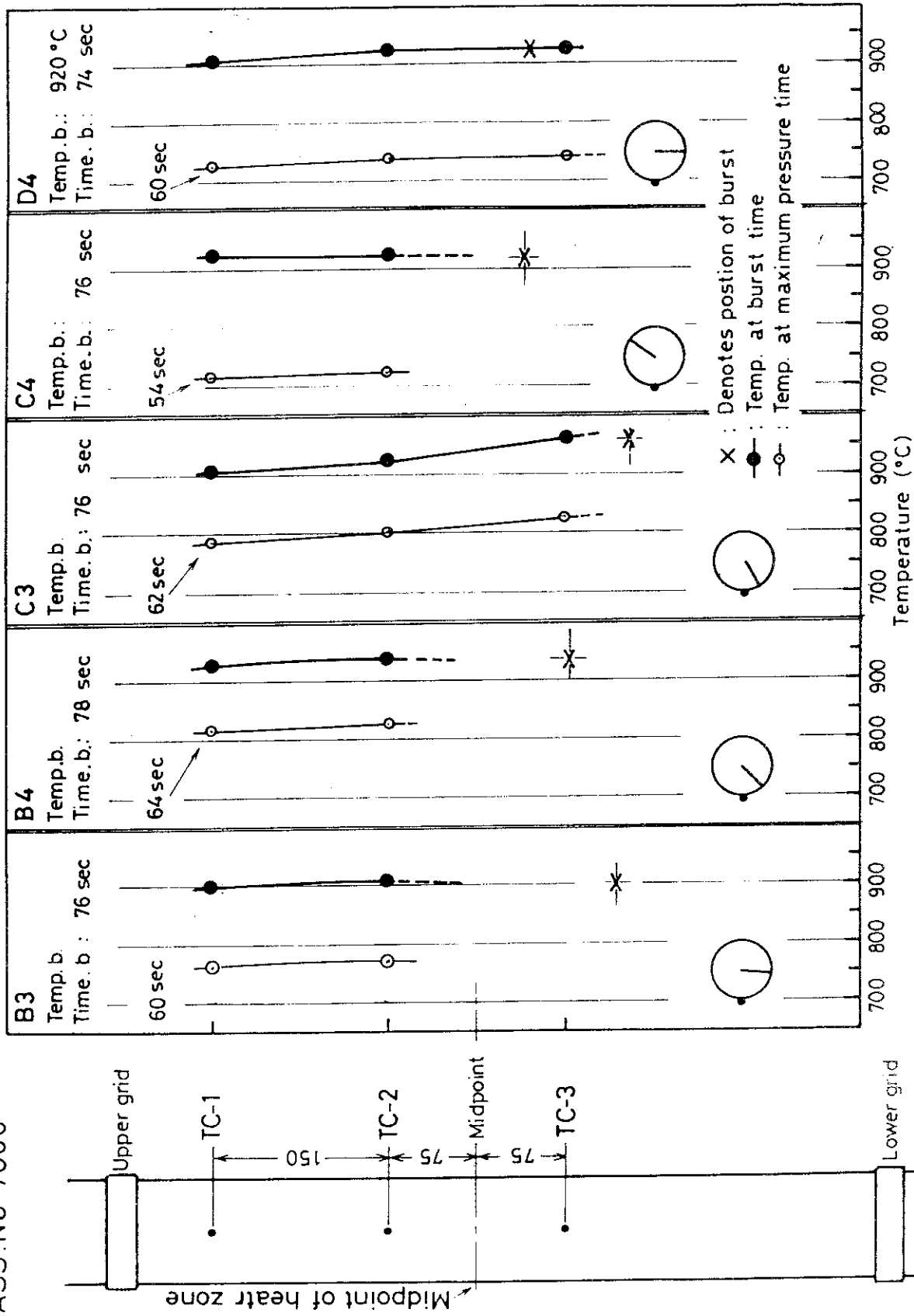


FIG.9 AXIAL DISTRIBUTION OF TEMPERATURE AT BURST TIME.

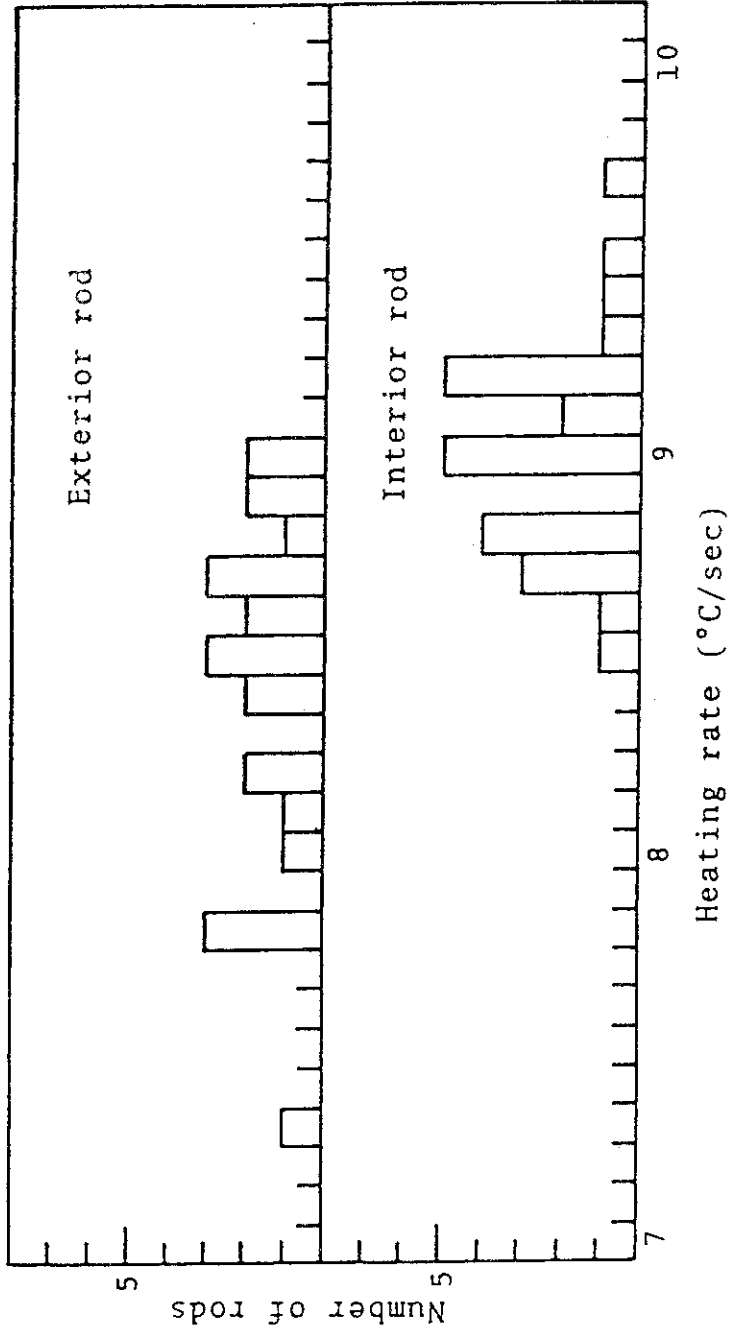


FIG.10 FREQUENCY DISTRIBUTION OF HEATING RATE IN 7806 TEST.

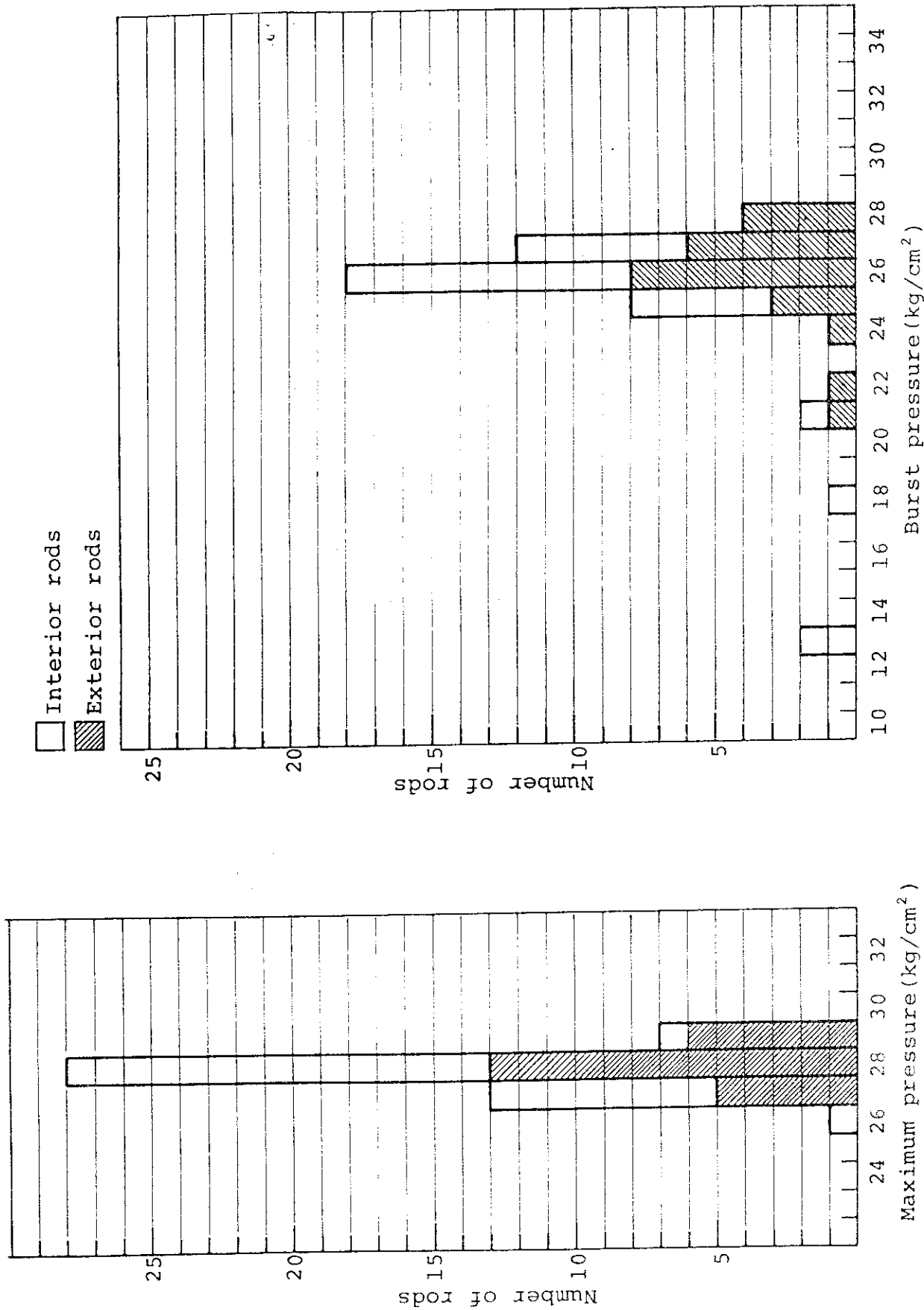


FIG.1.1 FREQUENCY DISTRIBUTION OF MAXIMUM PRESSURE AND BURST PRESSURE IN 7806 TEST.

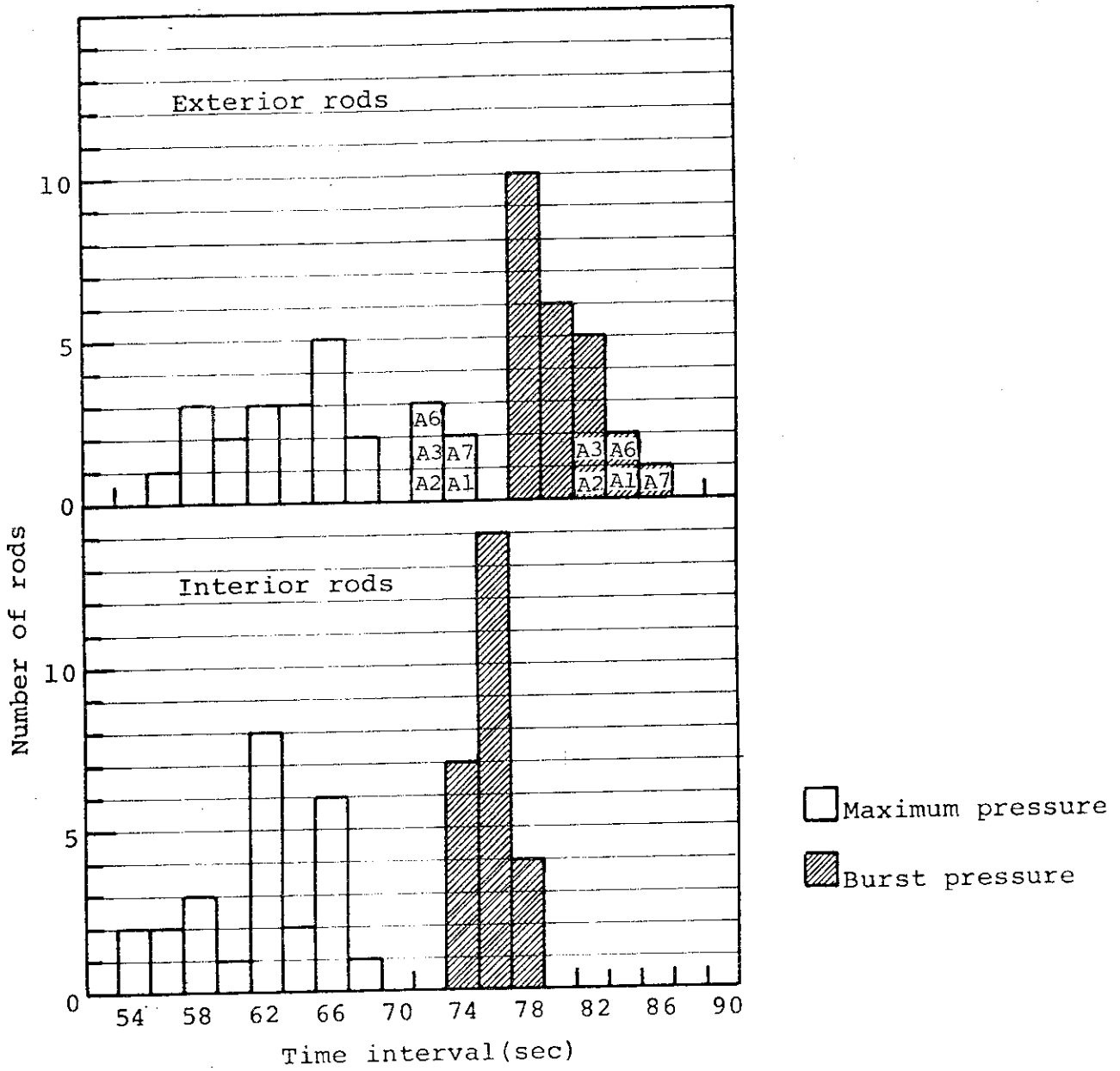


FIG.12 FREQUENCY DISTRIBUTION OF MAXIMUM PRESSURE AND BURST PRESSURE IN 7806 TEST.

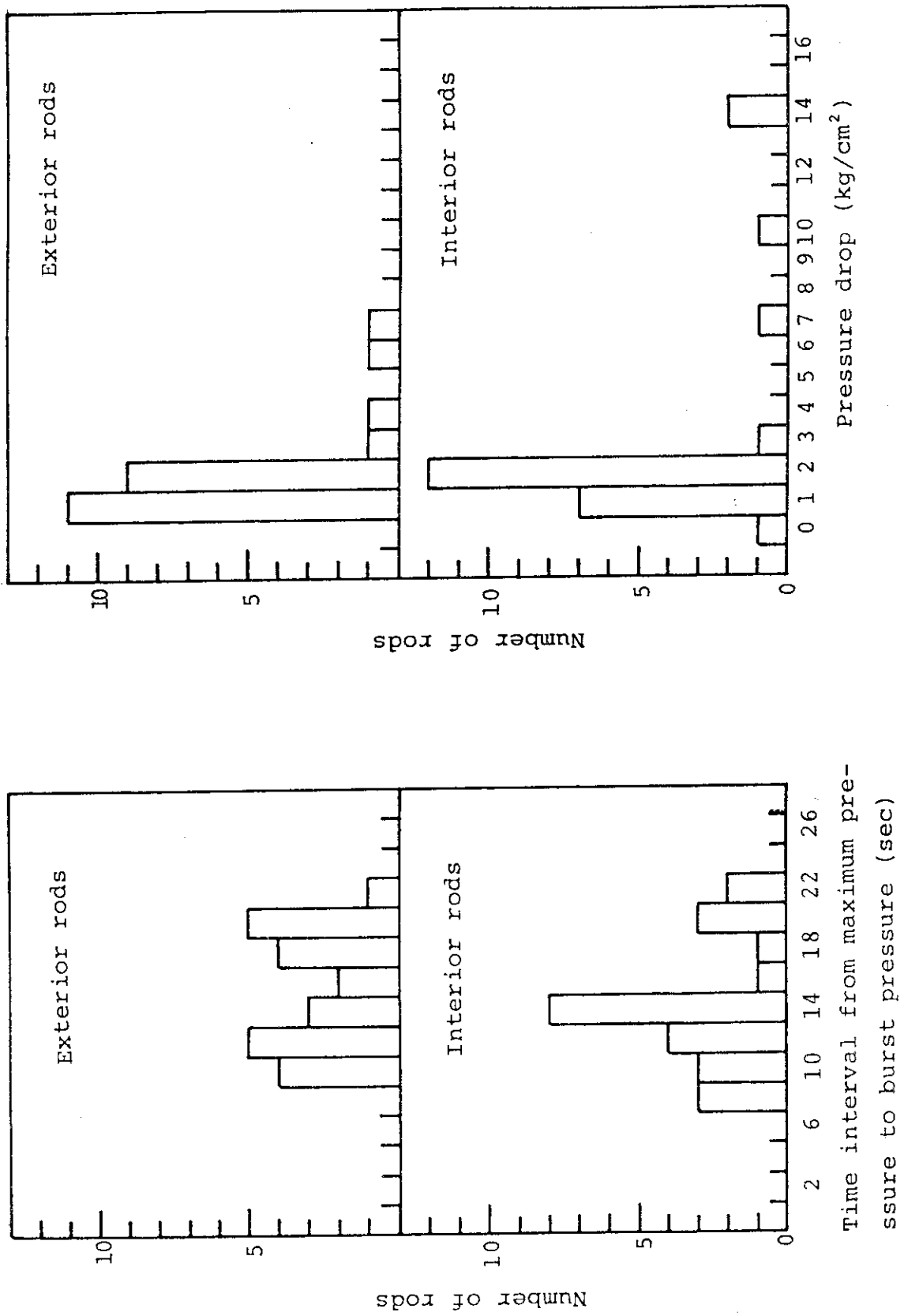


FIG.13 FREQUENCY DISTRIBUTION OF TIME INTERVAL AND PRESSURE DROP IN 7806 TEST.

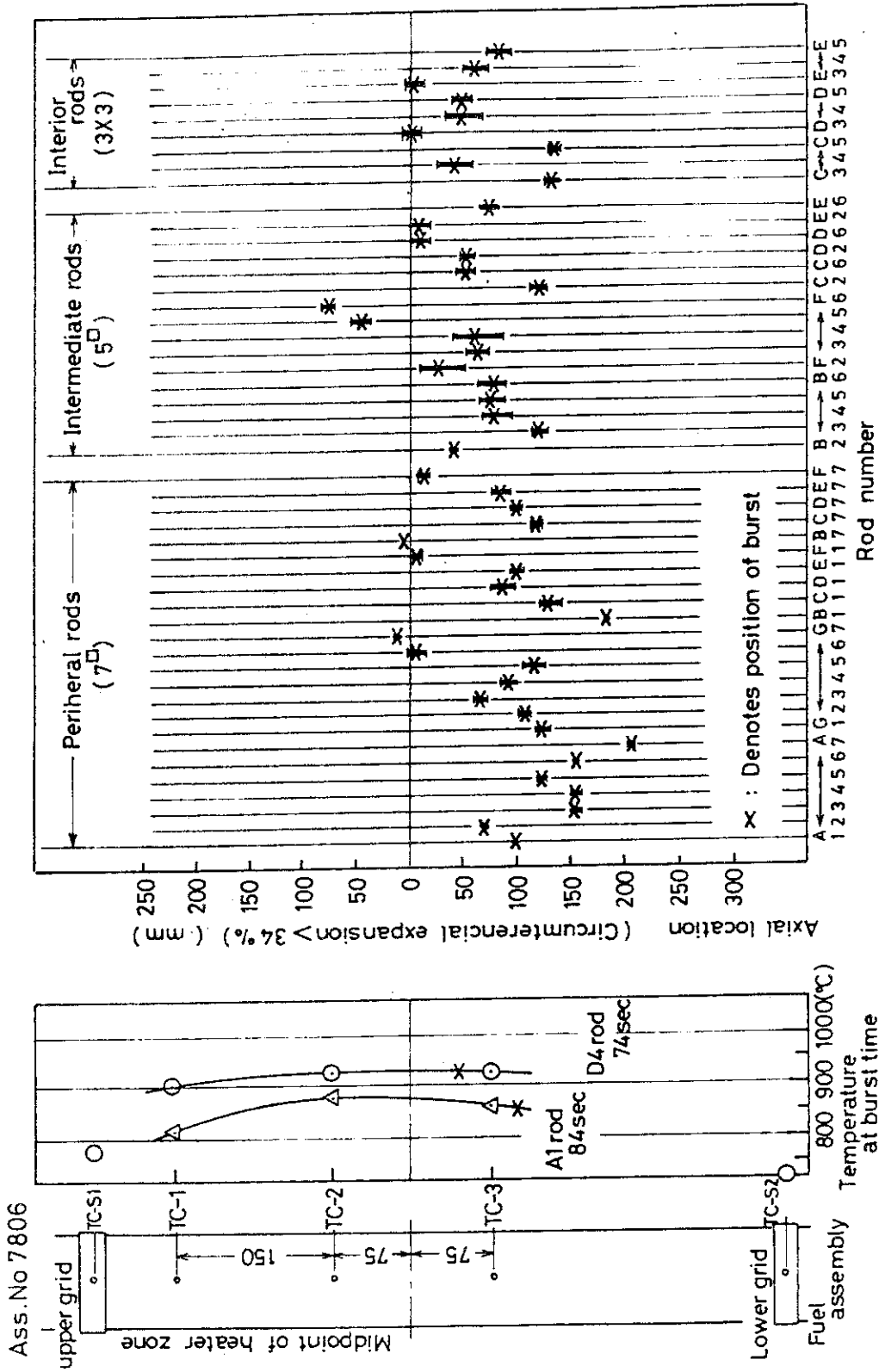


FIG.14 AXIAL LOCATIONS OF BURST POSITION AND BALLOONED REGION.

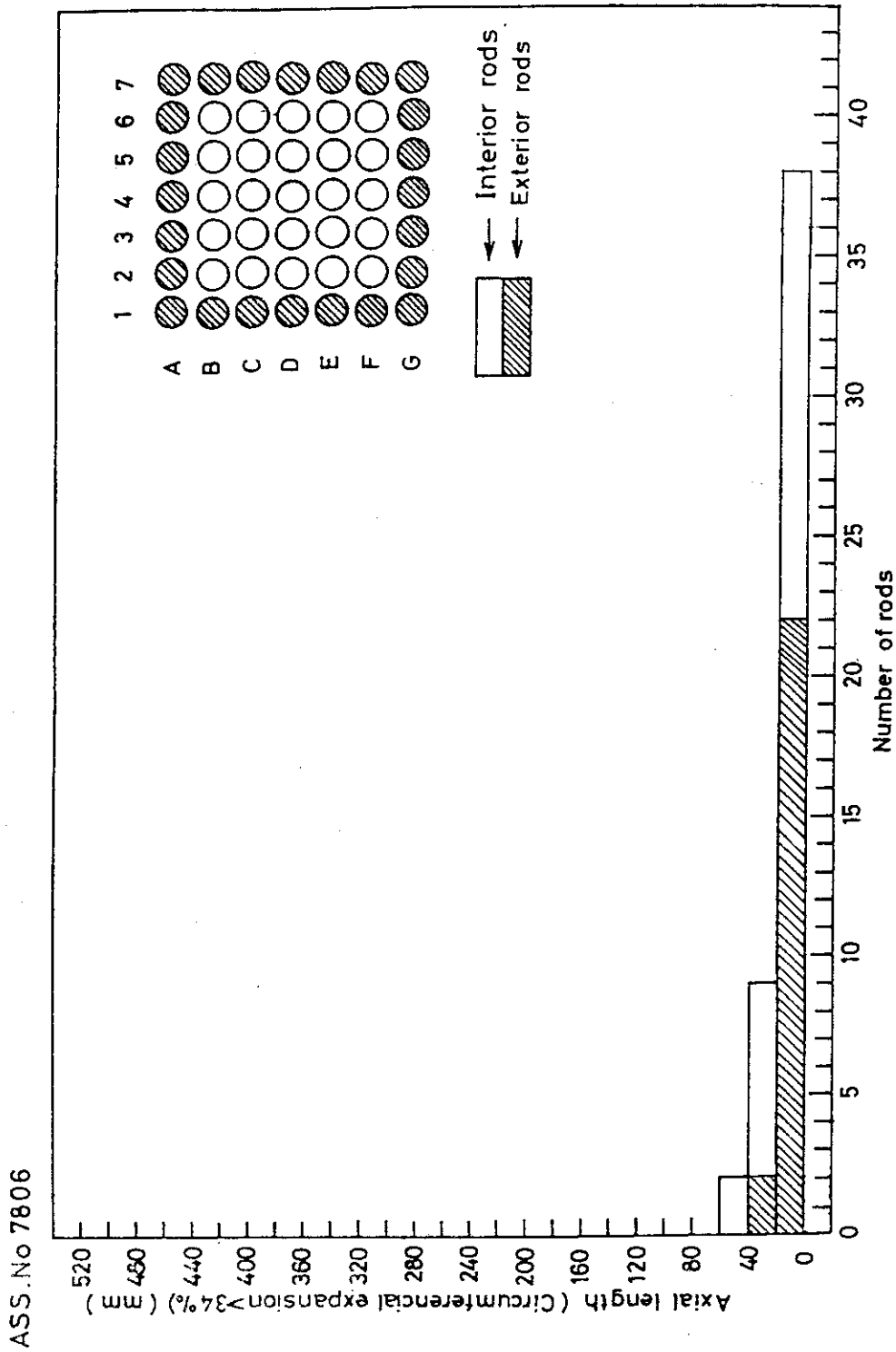


FIG.15 FREQUENCY DISTRIBUTION OF BALLOONED REGION (EXPANDED ABOVE 34%).

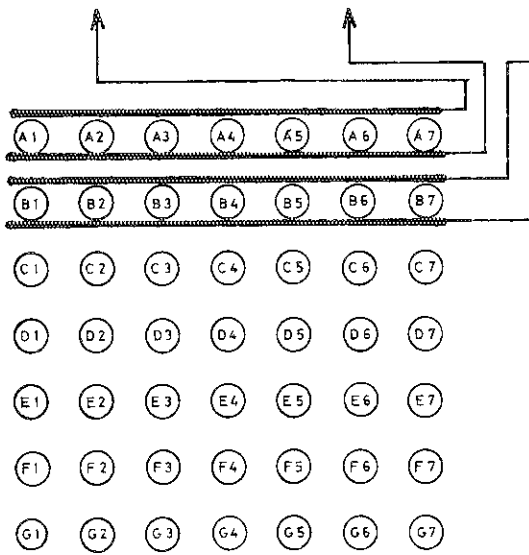
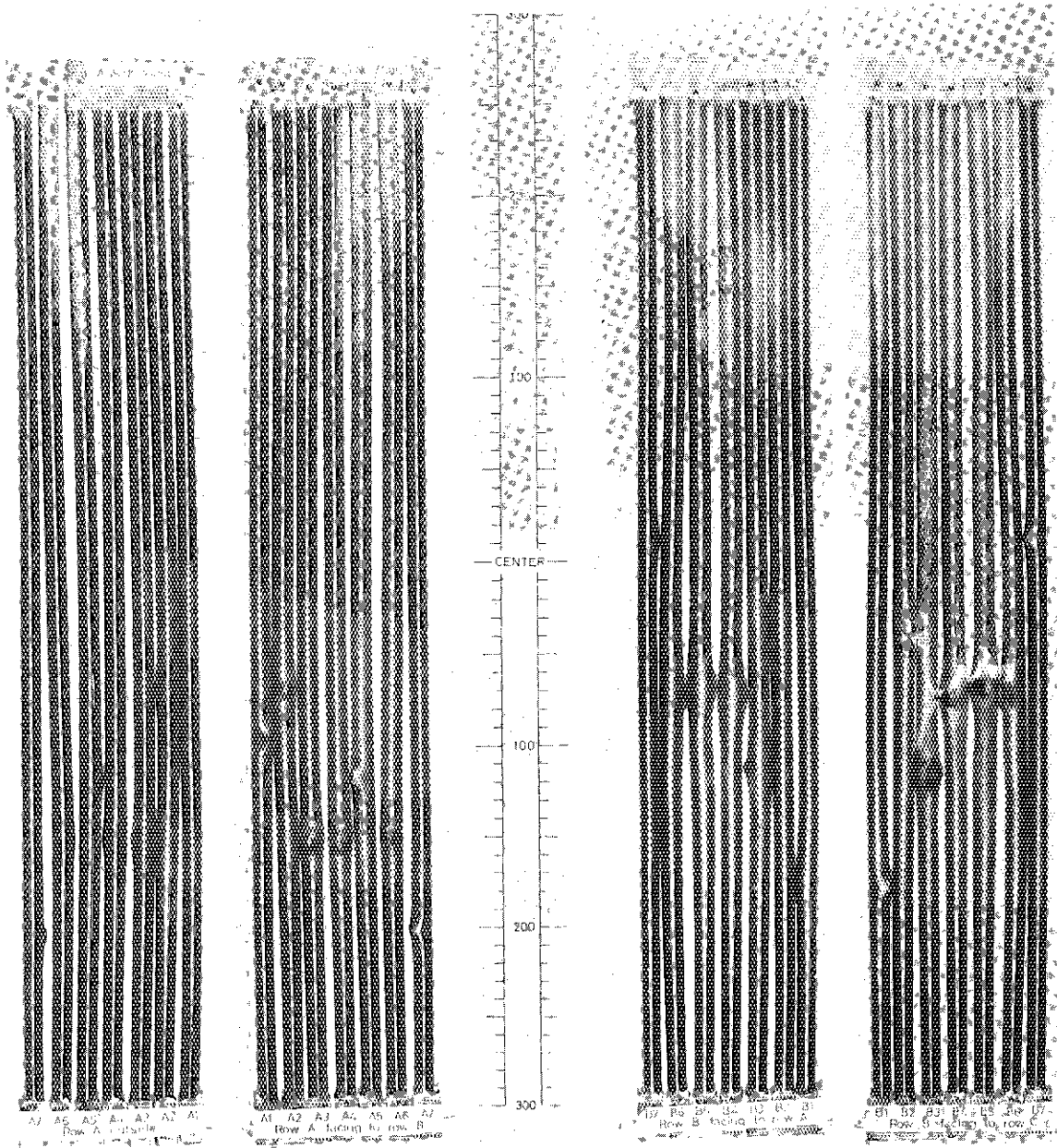


PHOTO.1 THE SIDE VIEWS OF A FUEL BUNDLE BURST AND CUT VERTICALLY (7806)

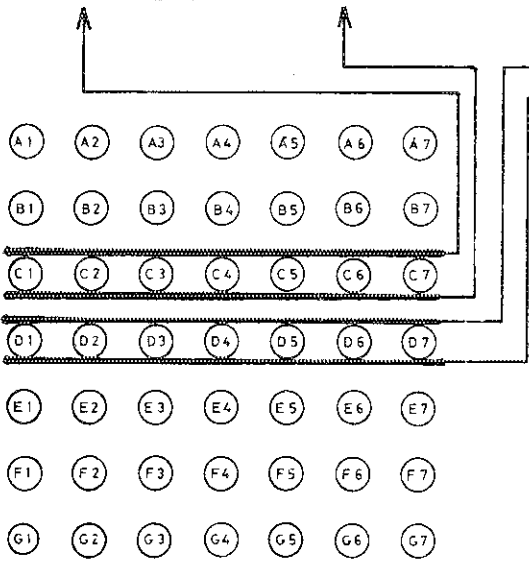
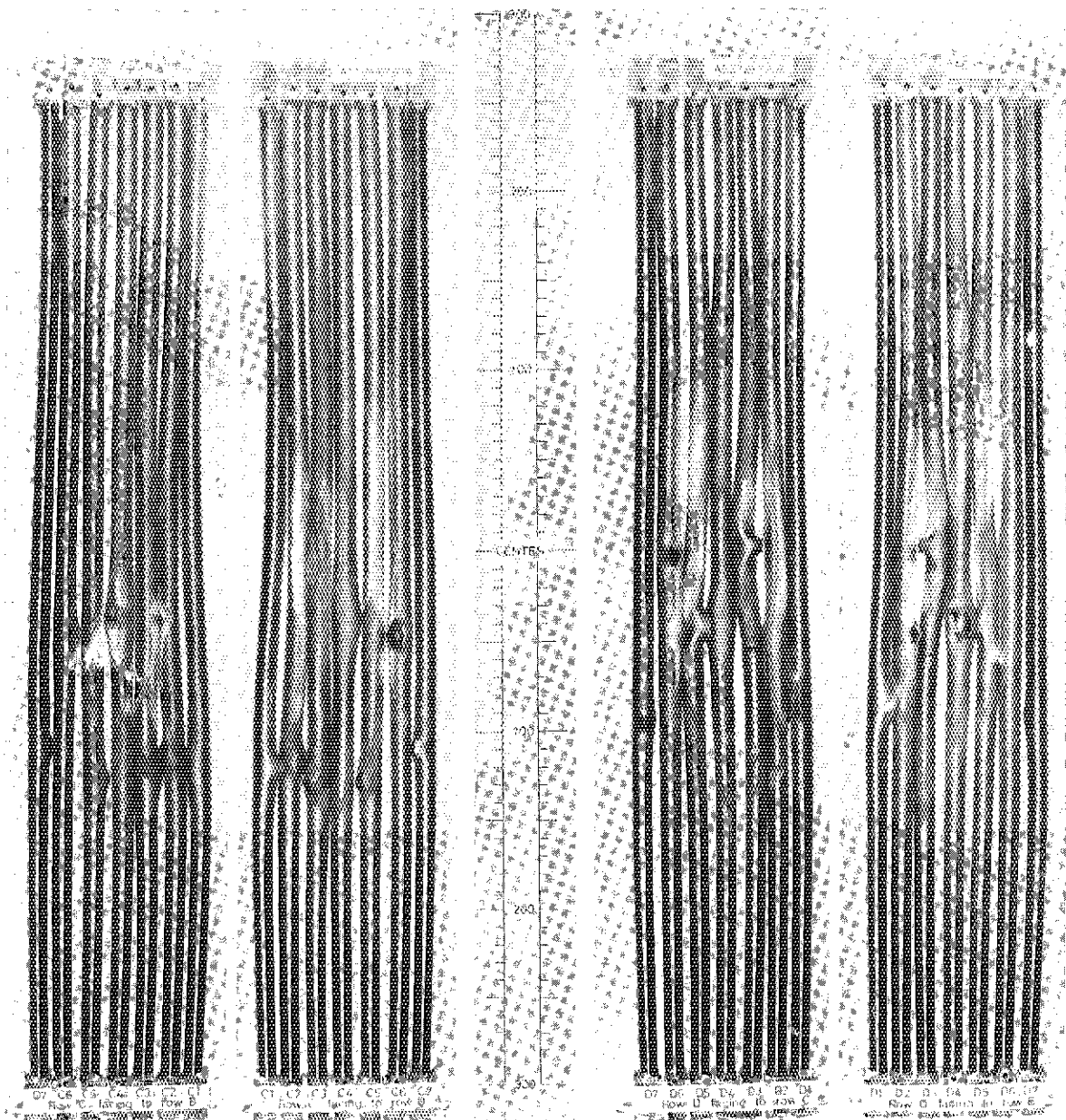


PHOTO.2 THE SIDE VIEWS OF AFUEL BUNDLE BURST AND CUT VERTICALLY. (7806)

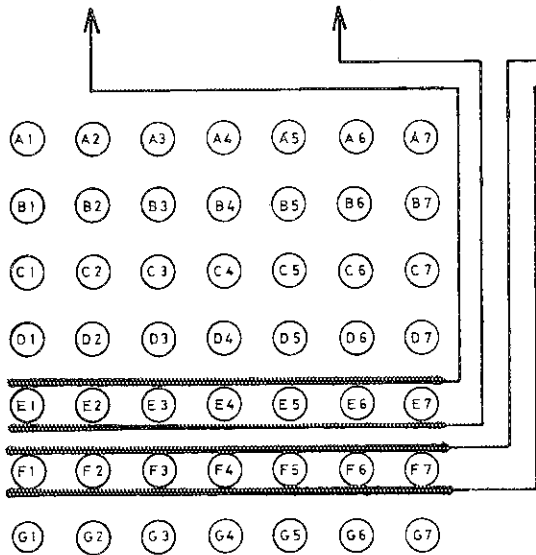
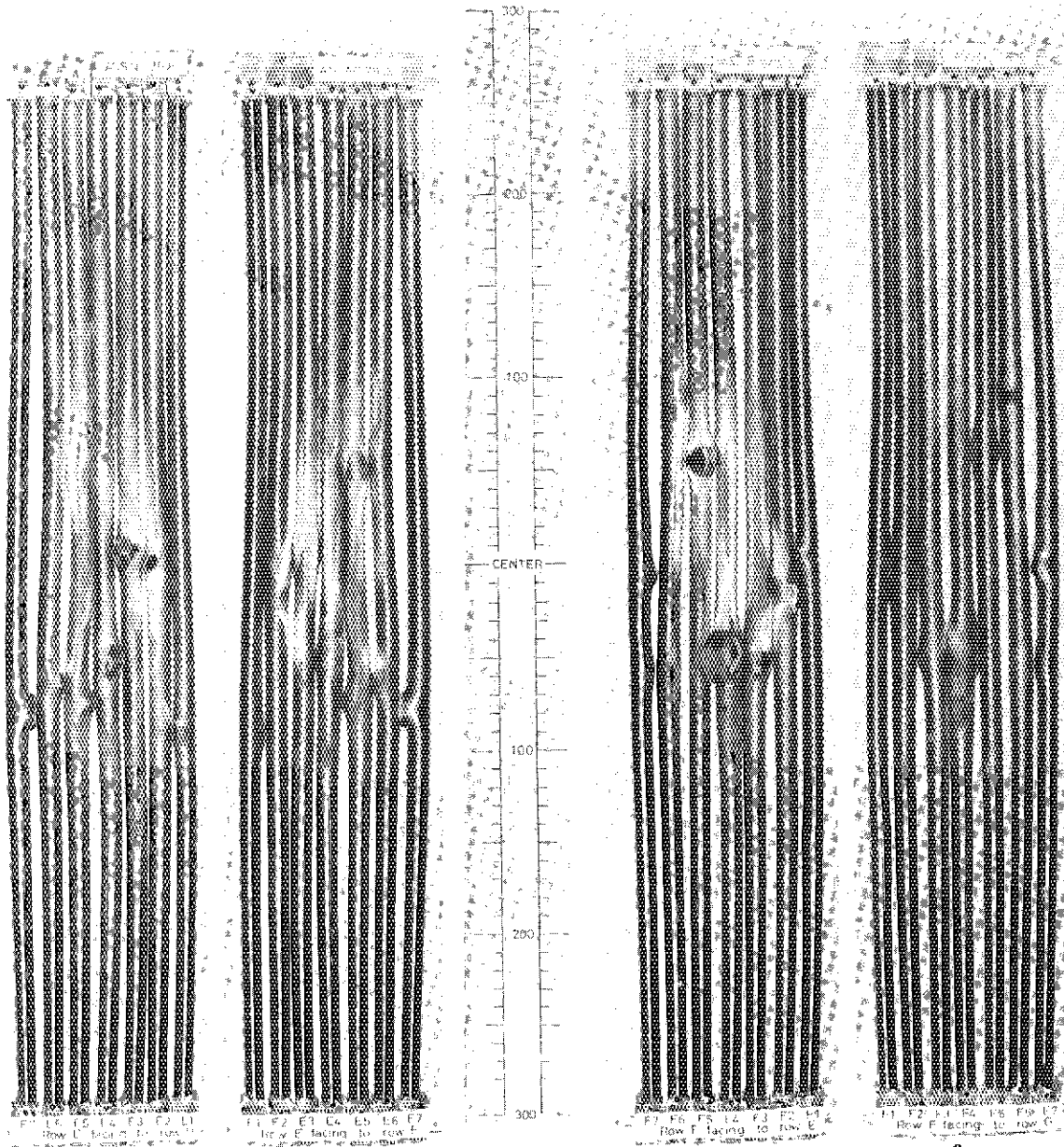


PHOTO.3 THE SIDE VIEWS OF A FUEL BUNDLE BURST AND CUT VERTICALLY. (7806)

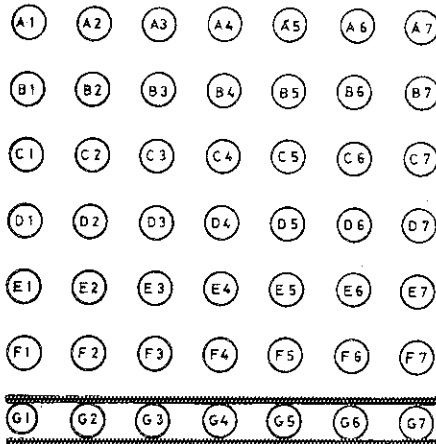
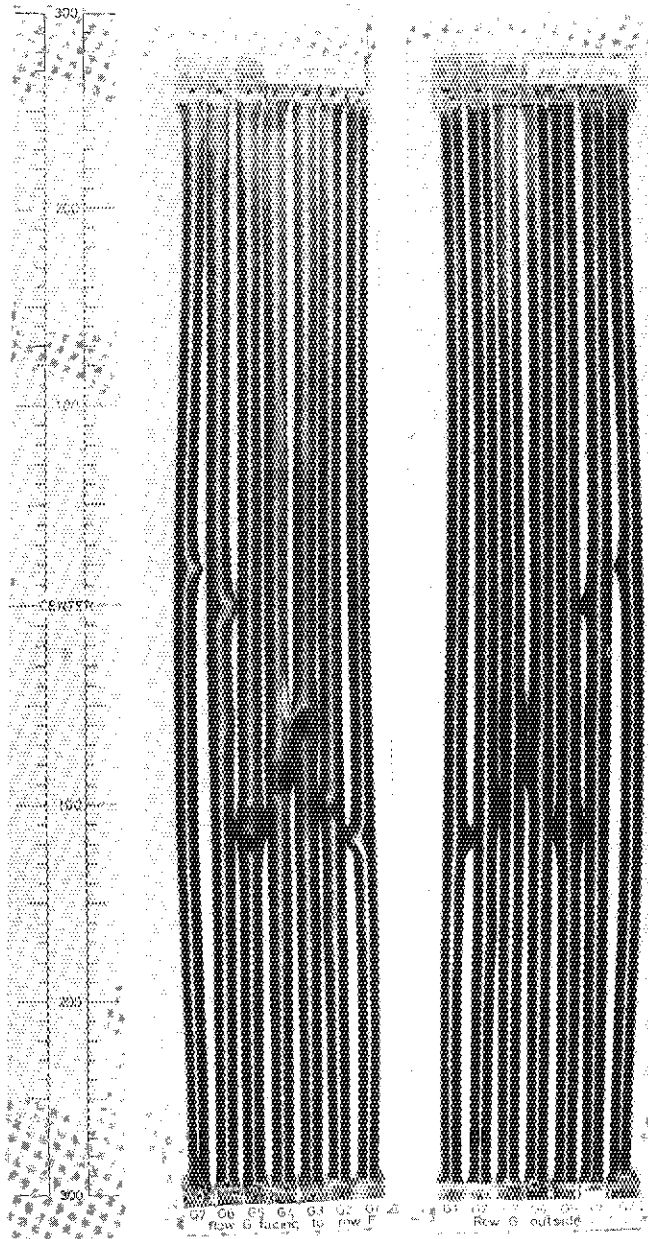


PHOTO.4 THE SIDE VIEWS OF A FUEL BUNDLE BURST AND CUT VERTICALLY. (7806)

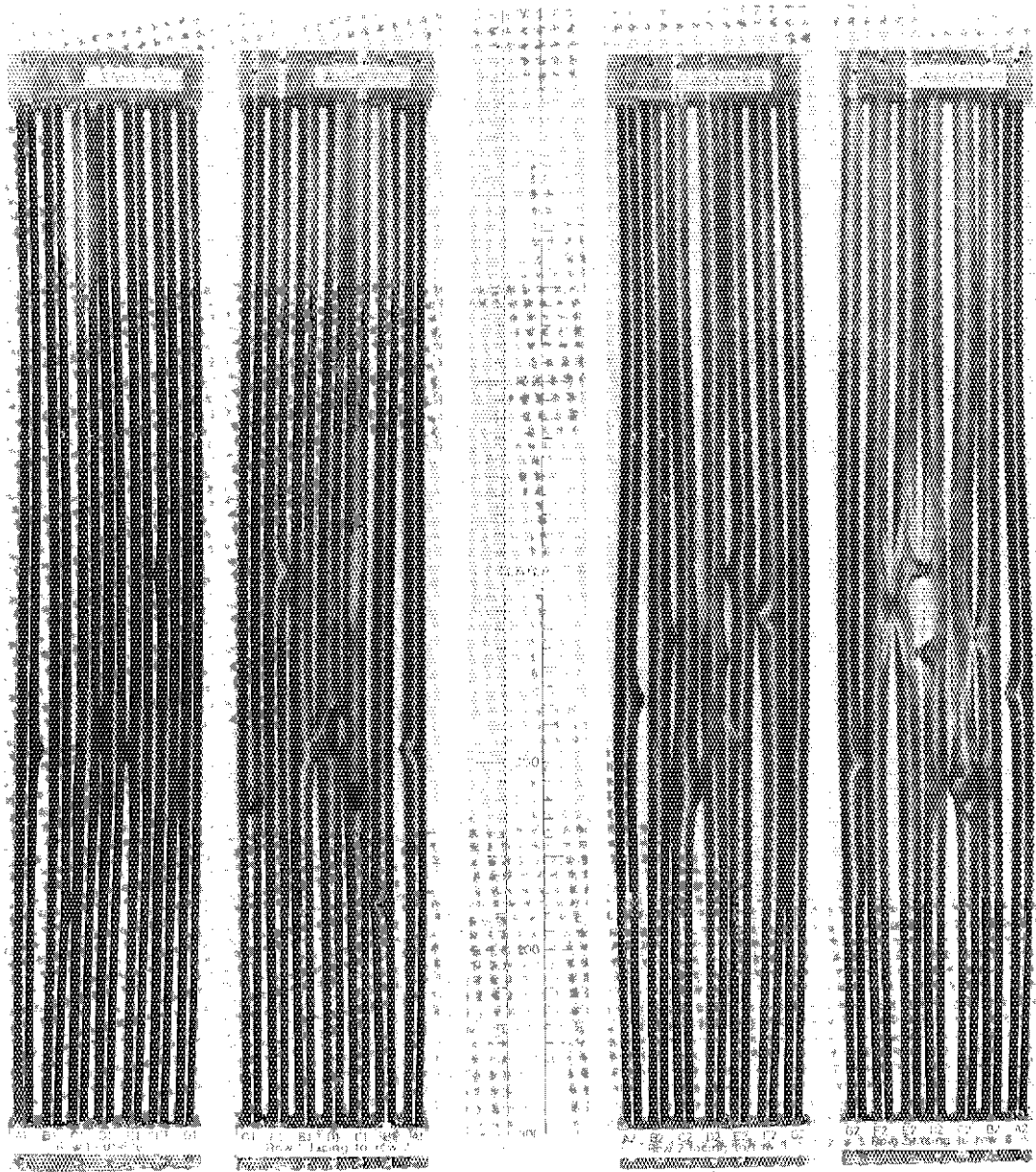
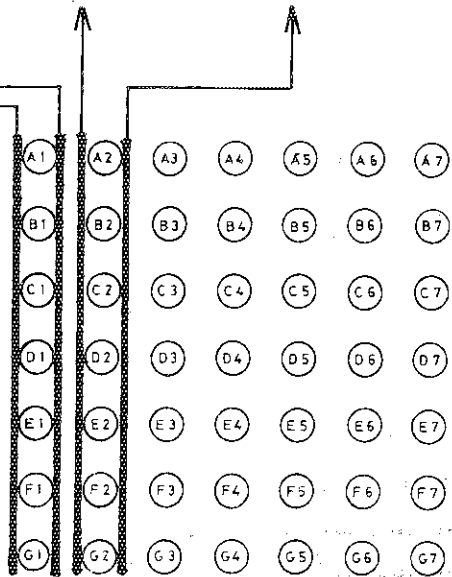


PHOTO.5 THE SIDE VIEWS OF A FUEL BUNDLE BURST AND CUT VERTICALLY. (7806)



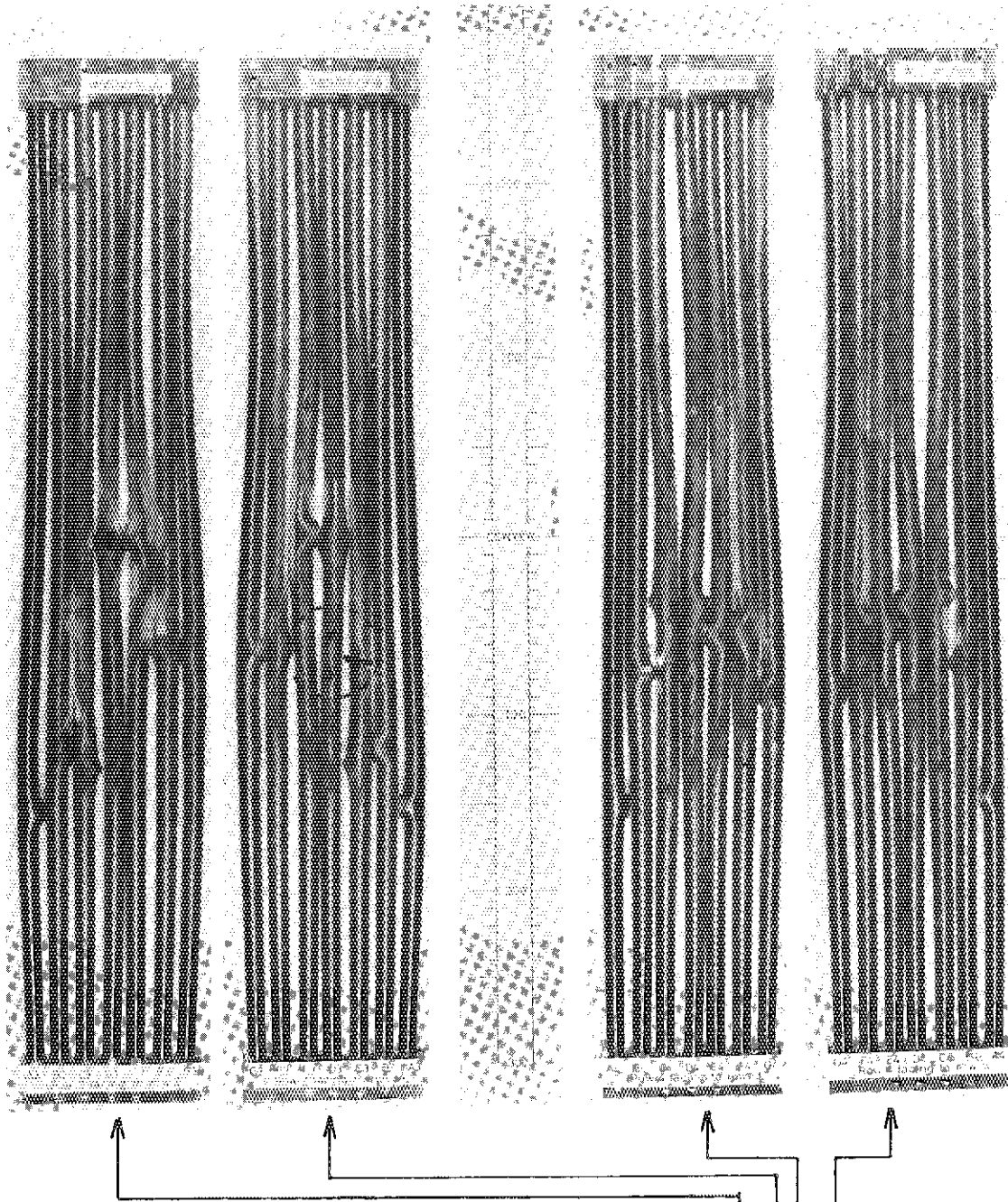
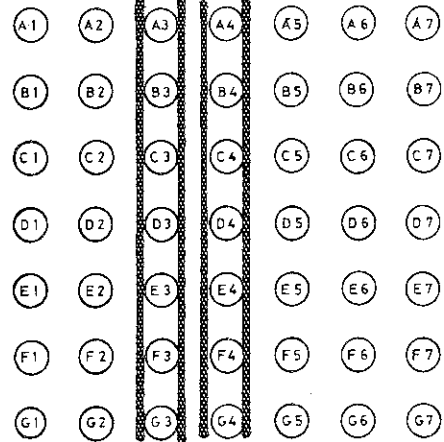


PHOTO.6 THE SIDE VIEWS OF A FUEL BUNDLE BURST AND CUT VERTICALLY. (7806)



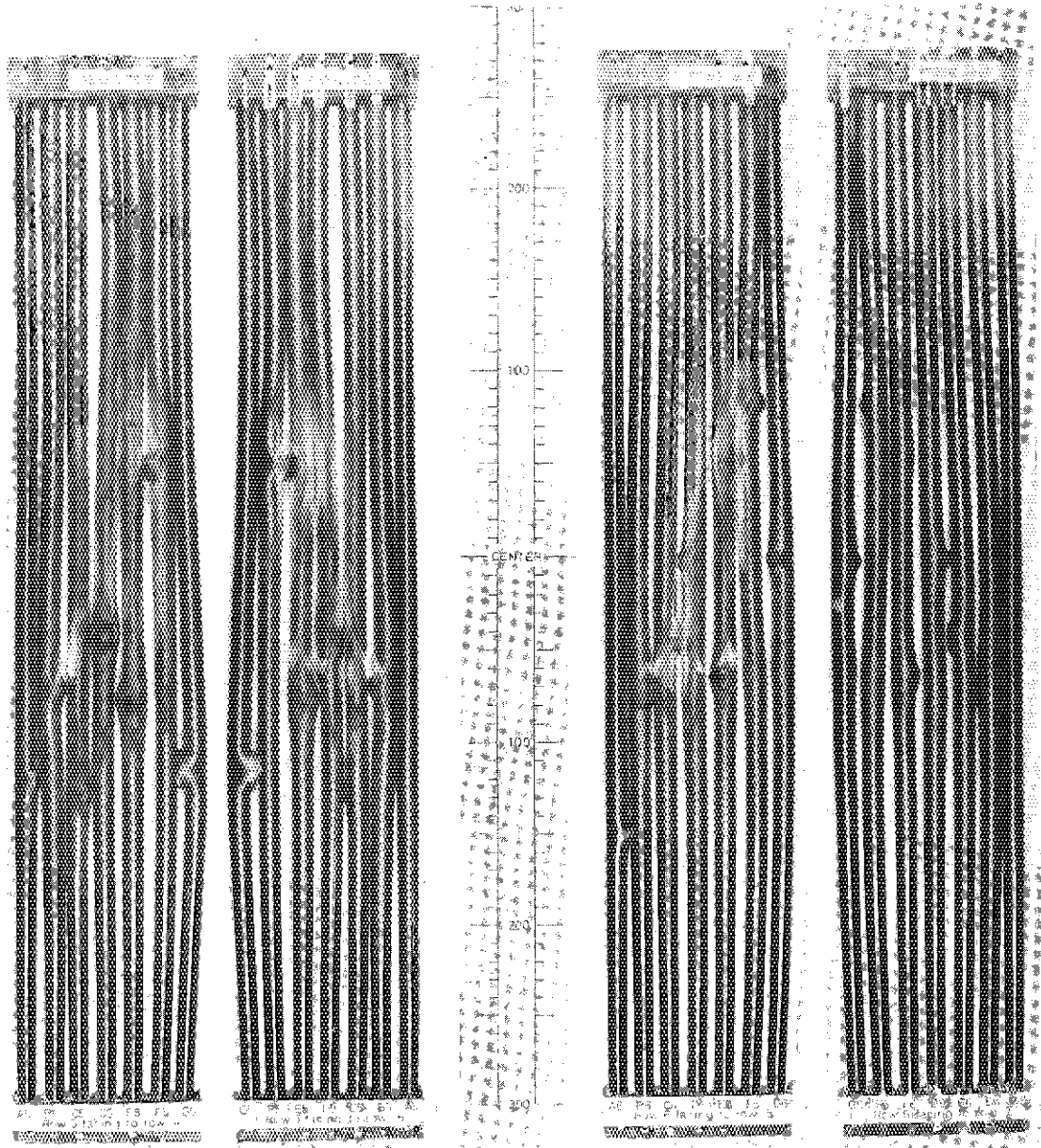
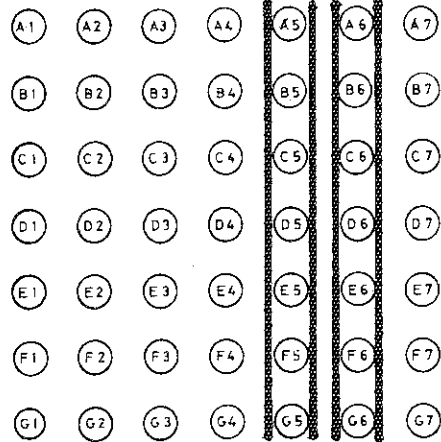


PHOTO.7 THE SIDE VIEWS OF A FUEL BUNDLE BURST AND CUT VERTICALLY. (7806)



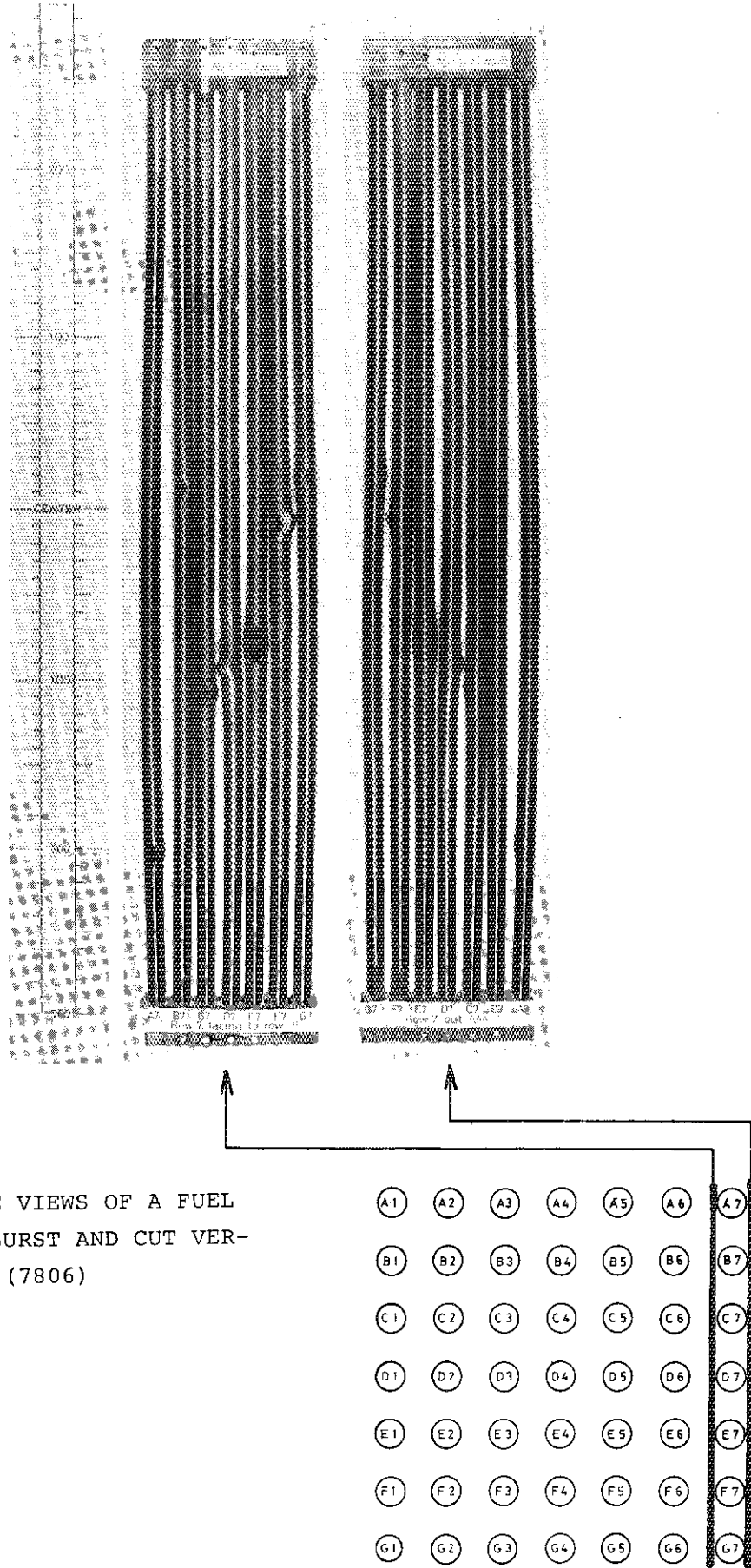


PHOTO.8 THE SIDE VIEWS OF A FUEL BUNDLE BURST AND CUT VERTICALLY. (7806)

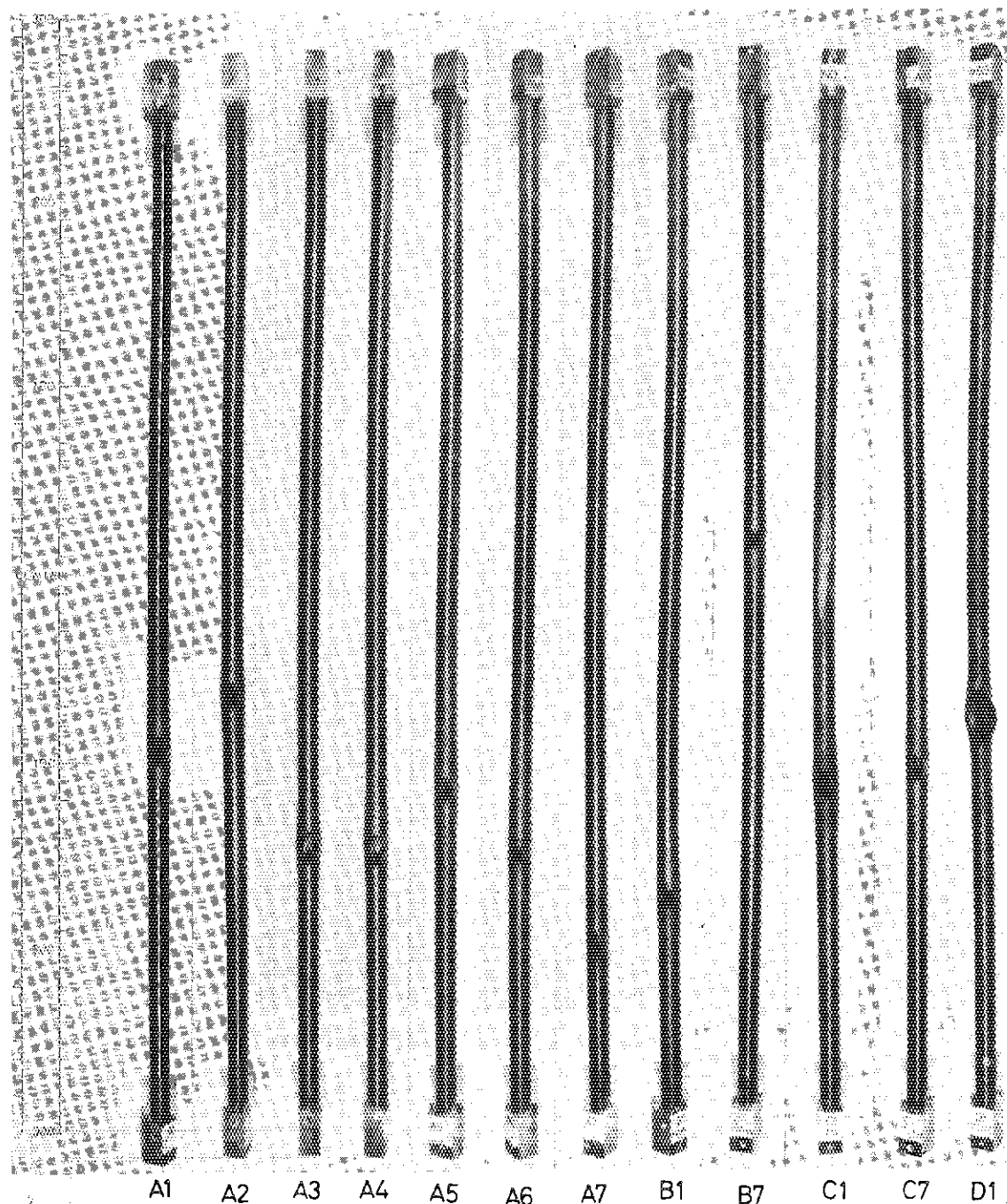


PHOTO.9 OVERALL VIEWS OF FUEL RODS IN 7806 TEST.

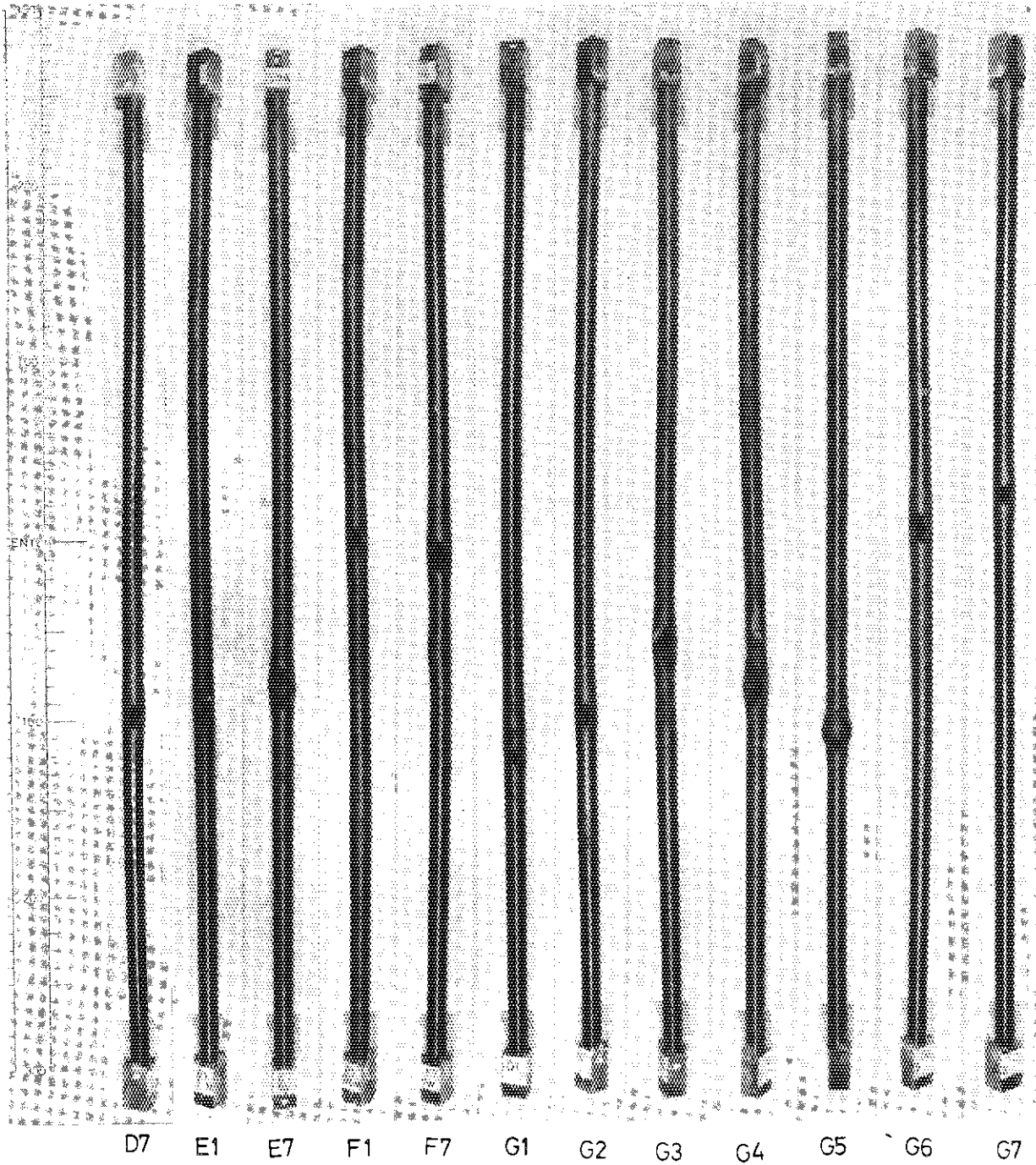


PHOTO.10 OVERALL VIEWS OF FUEL RODS IN 7806 TEST.

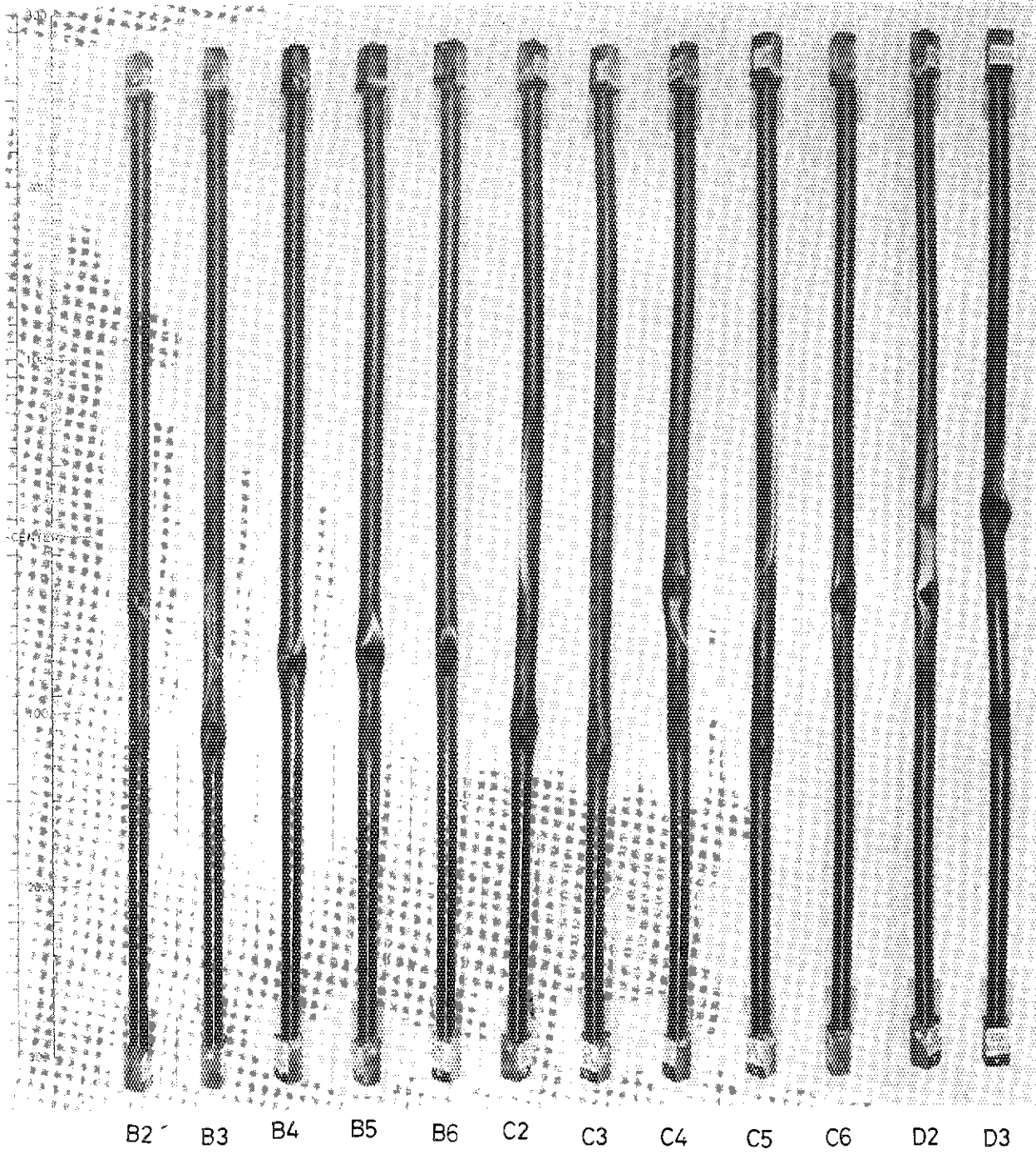


PHOTO.11 OVERALL VIEWS OF FUEL RODS IN 7806 TEST.

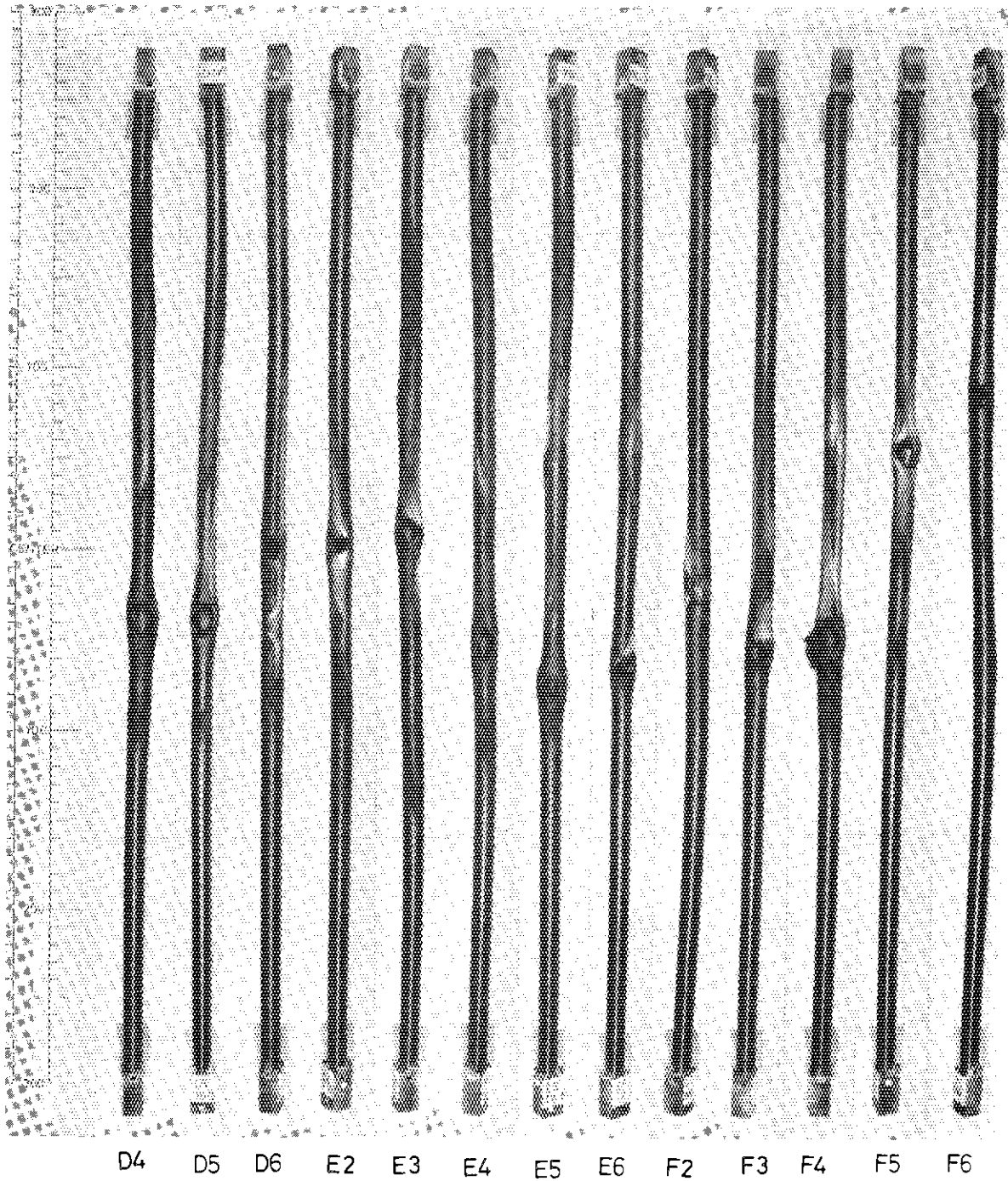


PHOTO.12 OVERALL VIEWS OF FUEL RODS IN 7806 TEST.

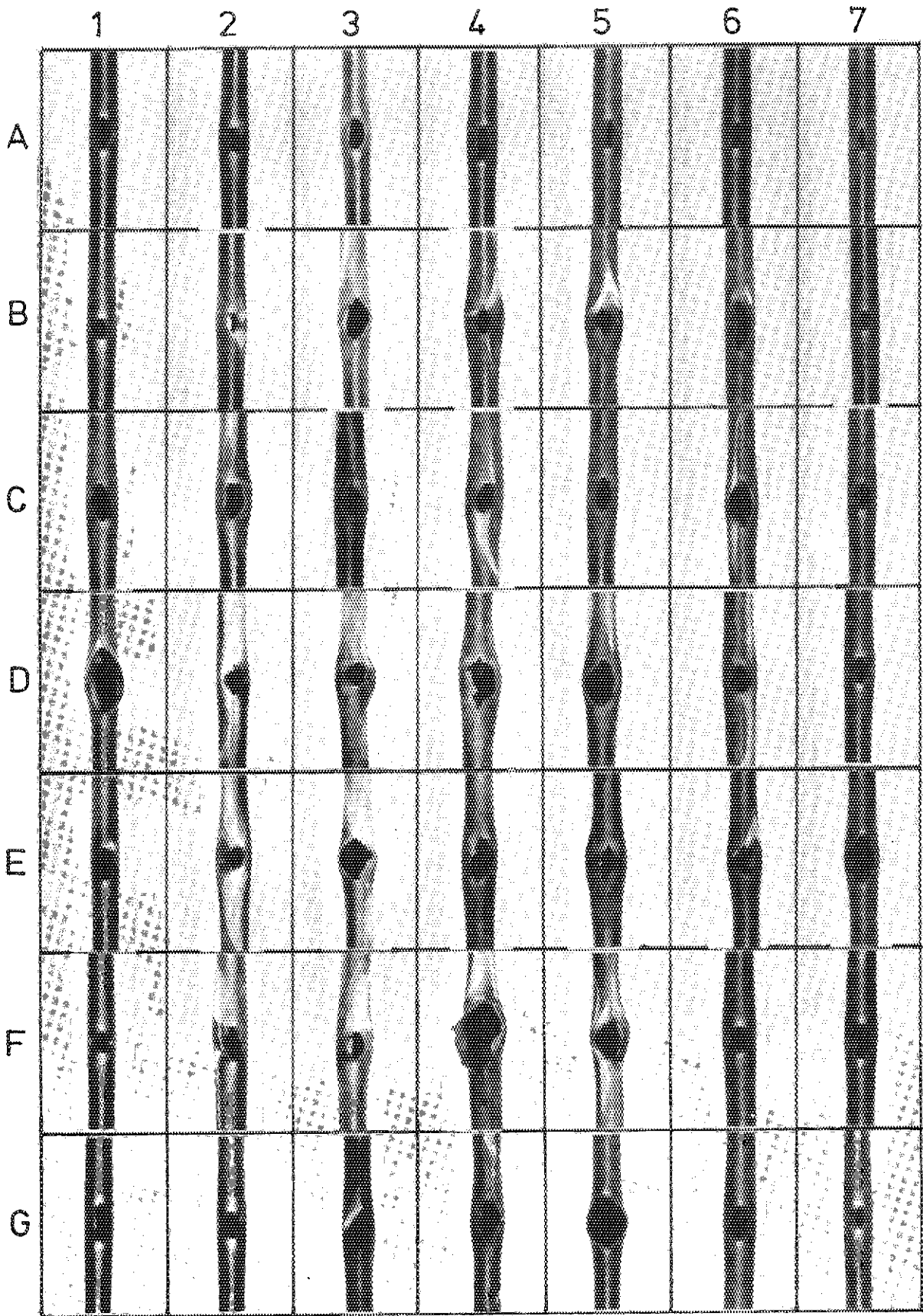


PHOTO.13 CLOSE-UP VIEWS OF RUPTURE OPENING AREAS.

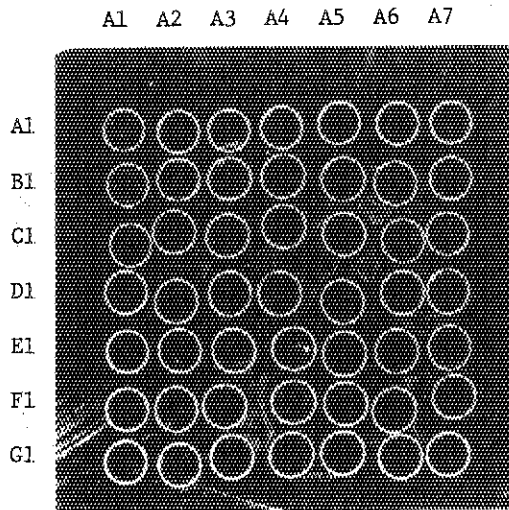


PHOTO.14 SECTION OF 7806 AT +222.5-MM ELEVATION.

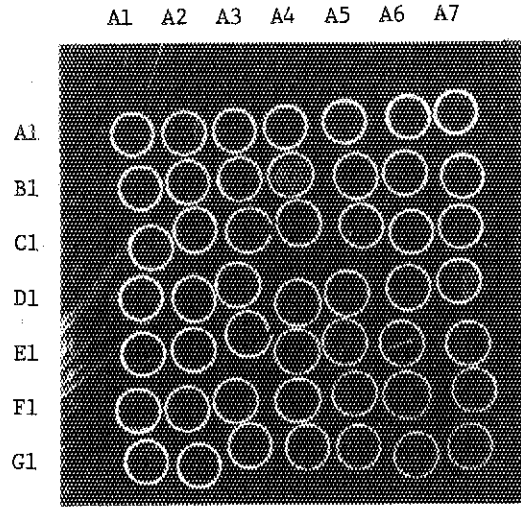


PHOTO.15 SECTION OF 7806 AT +102.9-MM ELEVATION.

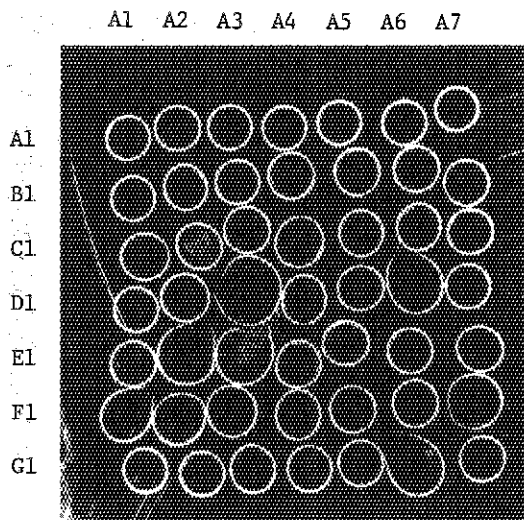


PHOTO.16 SECTION OF 7806 AT -6.4-MM ELEVATION.

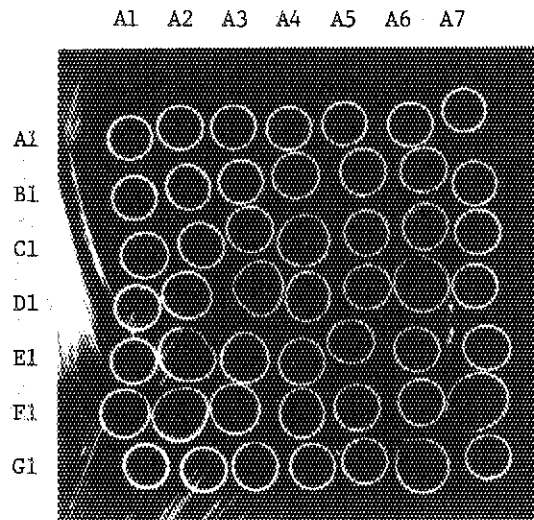


PHOTO.17 SECTION OF 7806 AT -12.4-MM ELEVATION.

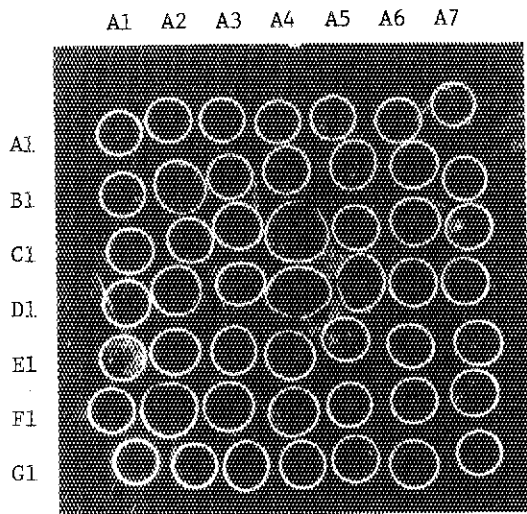


PHOTO.18 SECTION OF 7806 AT -36.7-MM ELEVATION.

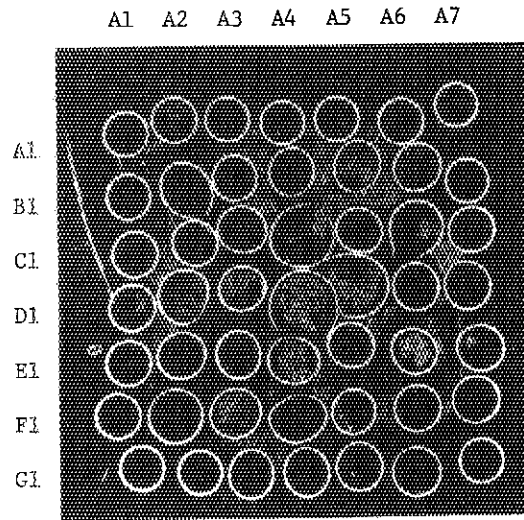


PHOTO.19 SECTION OF 7806 AT -43.1-MM ELEVATION.

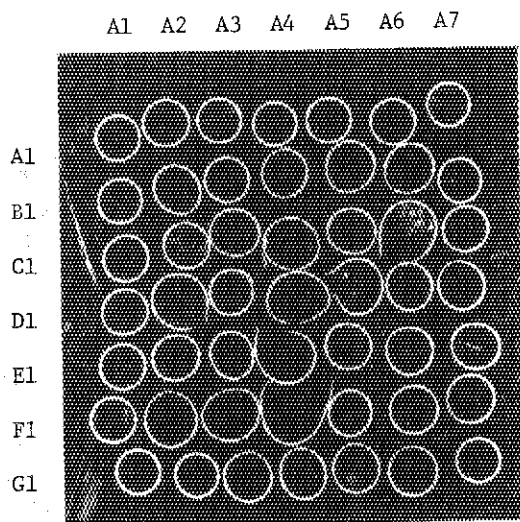


PHOTO.20 SECTION OF 7806 AT -53.5-MM ELEVATION.

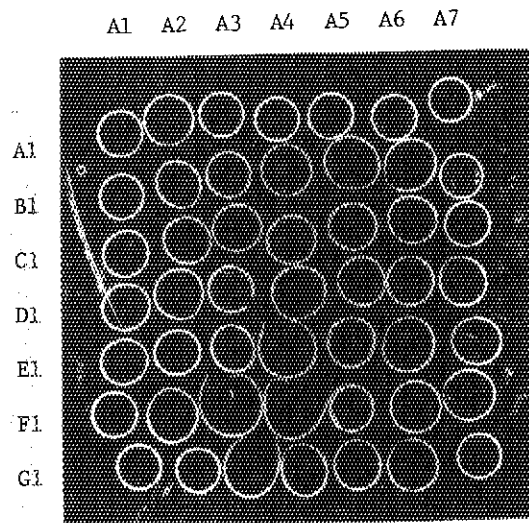


PHOTO.21 SECTION OF 7806 AT -63.5-MM ELEVATION.

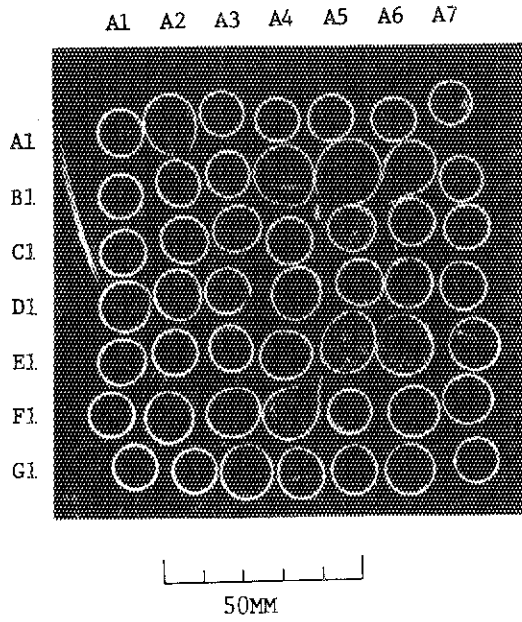


PHOTO.22 SECTION OF 7806 AT -73.1-MM ELEVATION.

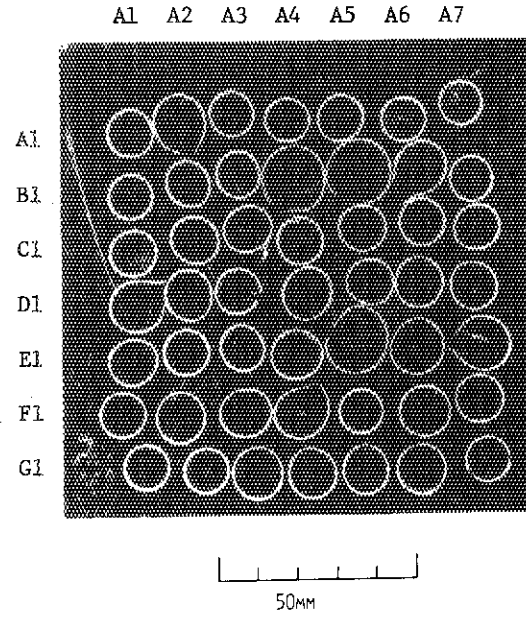


PHOTO.23 SECTION OF 7806 AT -77.1-MM ELEVATION.

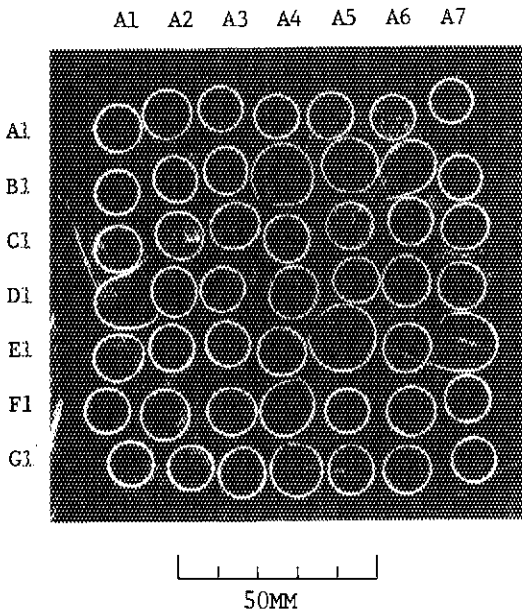


PHOTO.24 SECTION OF 7806 AT -83.3-MM ELEVATION.

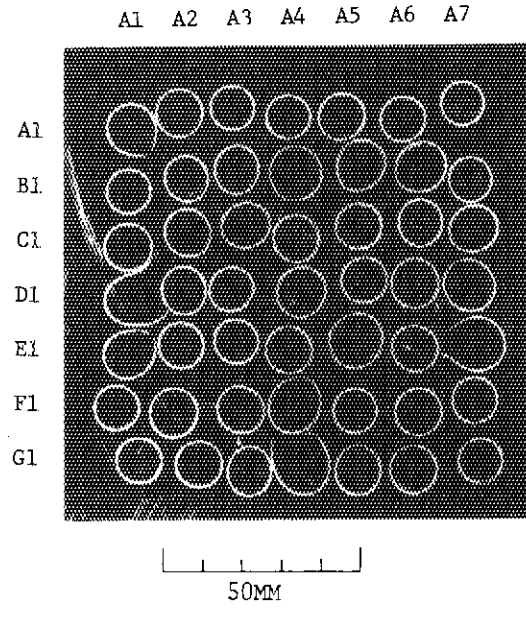


PHOTO.25 SECTION OF 7806 AT -93.0-MM ELEVATION.

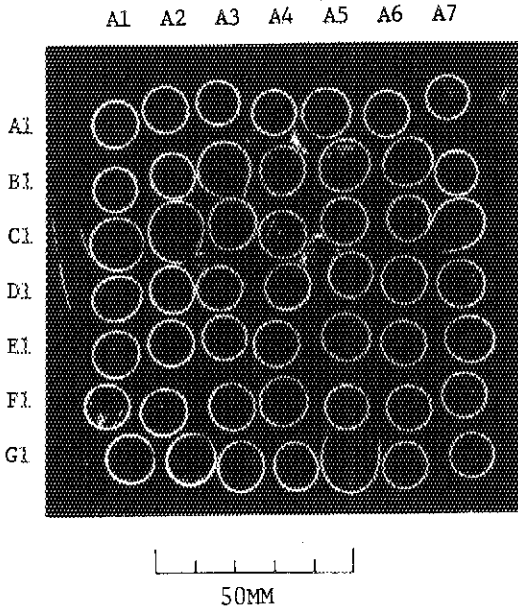


PHOTO.26 SECTION OF 7806 AT -113.3-MM ELEVATION.

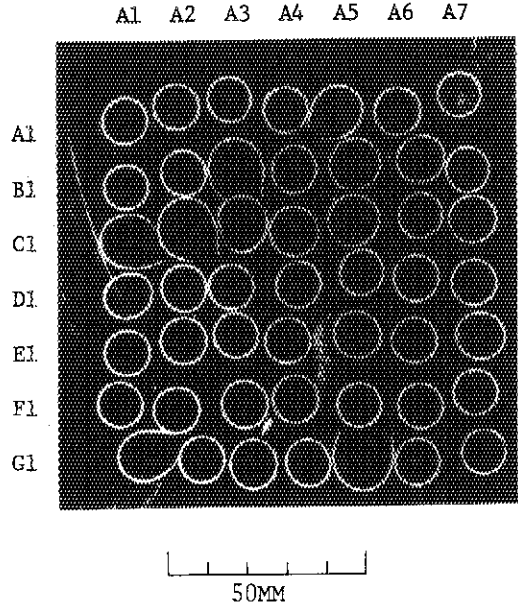


PHOTO.27 SECTION OF 7806 AT -123.6-MM ELEVATION.

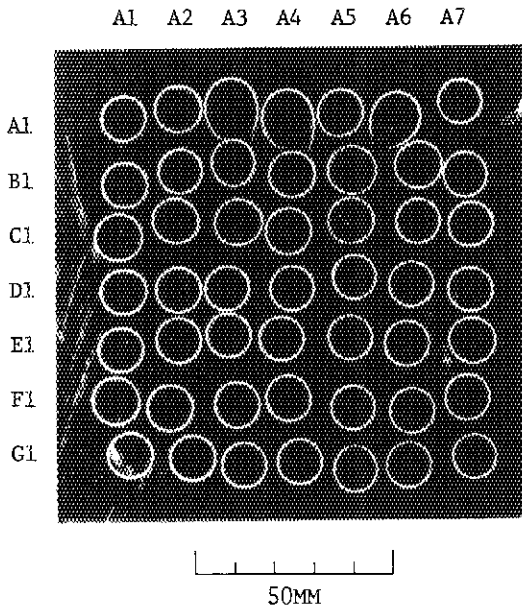


PHOTO.28 SECTION OF 7806 AT -153.6-MM ELEVATION.

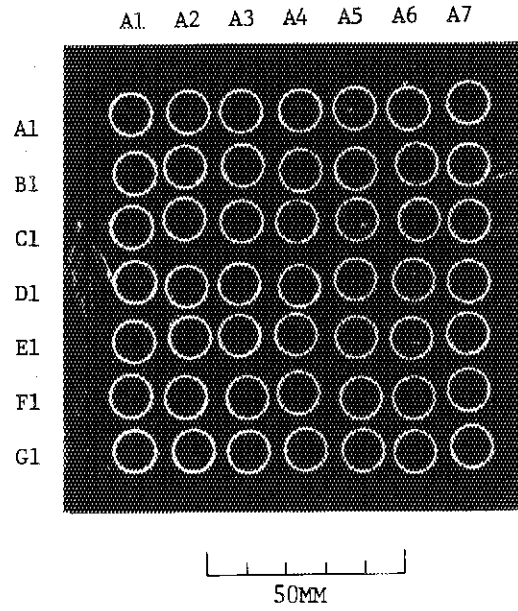


PHOTO.29 SECTION OF 7806 AT -272.1-MM ELEVATION.