

JAERI-M

5015

J PDB-II ポイズンカーテンの設計，製作

1972年10月

泉 文男，森島淳好，原山泰雄

藤田 操，白鳥徹雄

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

J P D R - II ボイズンカーテンの設計，製作

日本原子力研究所東海研究所燃料工学部

泉 文男，森島淳好，原山泰雄

藤田 操，白鳥徹雄

( 1972年9月27日受理 )

J P D R - II プロジェクトの一環として，J P D R - II 用燃料集合体と，J P D R - II 用ボイズンカーテンを設計製作した。

J P D R - II ボイズンカーテンの設計製作に当っては，従来の J P D R のボイズンカーテンの炉内挙動に関する問題点を考慮して，スウェリングに対する構造上の改良を加えた。

このレポートは，J P D R - II 用ボイズンカーテンの設計製作記録と共に，従来のボイズンカーテンとの設計の相異点，配慮した点について述べたものである。

JAERI-M 5015

Design and construction of the poison curtain for JPDR-II

Fumio IZUMI, Atsuyoshi MORISHIMA, Yasuo HARAYAMA,  
Misao FUJITA and Tetsuo SHIRATORI

Div. of Nuclear Fuel Research, Tokai, JAERI.

(Received September 27, 1972)

New fuel assemblies and poison curtain (JPDR-II Poison Curtain) were designed and constructed as part of the JPDR-II Project. In this poison curtain, improvement was made to prevent the trouble in the preceding JPDR-I that the poison curtain bended due to swelling of the boron stainless-steel..

The following are described.

- 1) construction of JPDR-II poison curtain,
- 2) difference between JPDR-I and JPDR-II poison curtains, and
- 3) improvements made in the JPDR-II poison curtain.

# 目 次

1. はじめに	1
2. JPDRボイズンカーテンの概要	2
3. JPDRボイズンカーテンの問題点, その他	5
3.1 JPDRボイズンカーテンのスウェリングによる彎曲	5
3.2 T.C.A 実験用ボイズンカーテン	5
4. JPDR-IIボイズンカーテンの設計	8
4.1 設計について	8
4.2 JPDR-IIボイズンカーテン仕様の主要点	9
4.2.1 ボロン含有率	9
4.2.2 試験・検査	9
5. JPDR-IIボイズンカーテンの製作	10
5.1 ボロン入りステンレス鋼板の製造	14
5.1.0 まえおき	14
5.1.1 組成および機械的性質	14
5.1.2 製造方法	14
5.1.3 ボロン入りステンレス鋼板の品質管理	16
5.1.4 ボロン入りステンレス鋼板立合検査	24
5.2 ボイズンカーテン組立作業前の試験検査	27
5.2.1 リベット機械試験	27
5.2.2 リベット接合強度試験	27
5.2.3 ハンドル溶接部試験	27
5.3 試験用ボイズンカーテンについての試験	30
5.3.1 非破壊検査	30
5.3.2 試験用ボイズンカーテン組立後のオートクレーブによる腐食試験	30
5.3.3 オートクレーブ試験後の破壊試験	41
5.4 構成部品の検査	44
5.5 JPDR-IIボイズンカーテン完成品検査	44
5.5.1 外観検査	44
5.5.2 寸法検査	44
5.5.3 立会検査のまとめ	46
5.6 ボイズンカーテン受入検査	46
6. JPDR-IIボイズンカーテンの反応度測定	47
謝 辞	52
参考文献	52
Appendix-A JPDR-Iボイズンカーテン彎曲の解析	53
Appendix-B JPDR-IIボイズンカーテン完成品寸法記録	56

## 1. はじめに

JFDR-I ボイズンカーテン (このレポートではJFDR-IIに改造される前に使用されていたボイズンカーテンをJFDR-I ボイズンカーテンと呼び、これに対して、JFDR-II用として今回製作されたボイズンカーテンをJFDR-II ボイズンカーテンと呼ぶことにする)は、JFDRの建設者である米国GE社によって設計製作されて、燃料と共にJFDR炉心に装荷された。

JFDRは1963(昭和38)年10月28日から運転を開始し、1969(昭和44)年9月17日まで運転された。その後、JFDR-II計画のもとに改造が行なわれ、JFDR-IIとして1972(昭和47)年2月18日運転が再び開始された。

JFDR-IIにおいて使用する燃料は、すべて国内製造の新燃料にとりかえることになり、これにともない初期反応度を制御するためのボイズンカーテンをも新たに製作することになった。

このボイズンカーテンの設計と仕様の決定は、JFDR-II炉内設計グループの意見を参考にしてJFDR-IIプロジェクトの燃料設計グループ(燃料工学部、燃料設計研究室)が担当した。

設計と仕様の決定は1969(昭和44)年12月より1970(昭和45)年2月までにかけて行なわれた。

1970(昭和45)年3月 東京芝浦電気との間に契約が成立し、1971(昭和46)年4月に製作が完了しJFDRに納入された。

このレポートで報告するボイズンカーテンは、BWR型原子炉にのみ使用されるもので、FWR型原子炉ではケミカルシムが使用されるためボイズンカーテンを使用しない。

本来、ボイズンカーテンは、炉心燃料がすべて新しく、炉心の高い過剰反応度を吸収する必要があるときに用いられるもので、燃料のBurn up が進展し、一部交換された新燃料と旧燃料が炉心に共存するようになるとボイズンカーテンは必要なくなる。

しかし、最近のBWRにおいてはボイズンカーテンを用いず、燃料の $UO_2$ ペレットにGd等を添加した燃料を使用する方向に進んでいる。

## 2. JPDRポイズンカーテンの概要

JPDRポイズンカーテンは、JPDR炉心の初期過剰反応度を吸収するために用いられ、初装荷燃料炉心にのみ使用される。JPDR-Iの燃料(72体)、ポイズンカーテン(24体)は、ともにJPDRを設計した米国GE社によって設計、製作された。

JPDR-I, JPDR-IIポイズンカーテンの要目を表2-1に示す。

JPDR-Iポイズンカーテンの概略図と主要寸法を図2-1に示す。

ポイズンカーテンはボロンを添加したステンレス鋼板(以下この章ではボロン鋼板と略す)と、これを支持し炉心に装荷するための支持具より構成される。添加するボロンは $^{10}\text{B}$ を18.8%含んだNatural Boronである。

ボロン鋼板の寸法は、 $1,667\text{L} \times 248\text{W} \times 3.2\text{t}$ である。この側面に $1,667\text{L} \times 16\text{W} \times 9.5\text{h}$ の支持体(板)が取付けられる。取付は溶接によっている。上部にはポイズンカーテンを炉心に取付けるための取手が設けられている。この取手によって炉心上部グリッドに懸けてポイズンカーテンが炉心に装荷される。

ボロン鋼板の両側面には突起が設けられる。この突起は、隣接する燃料集合体のチャンネルボックス間の間隙にあつて、ポイズンカーテンの振れ止めストッパーとして作用する。

JPDR-IIポイズンカーテンの概略図と主要寸法を図2-2に示す。JPDR-Iとの相違点は、

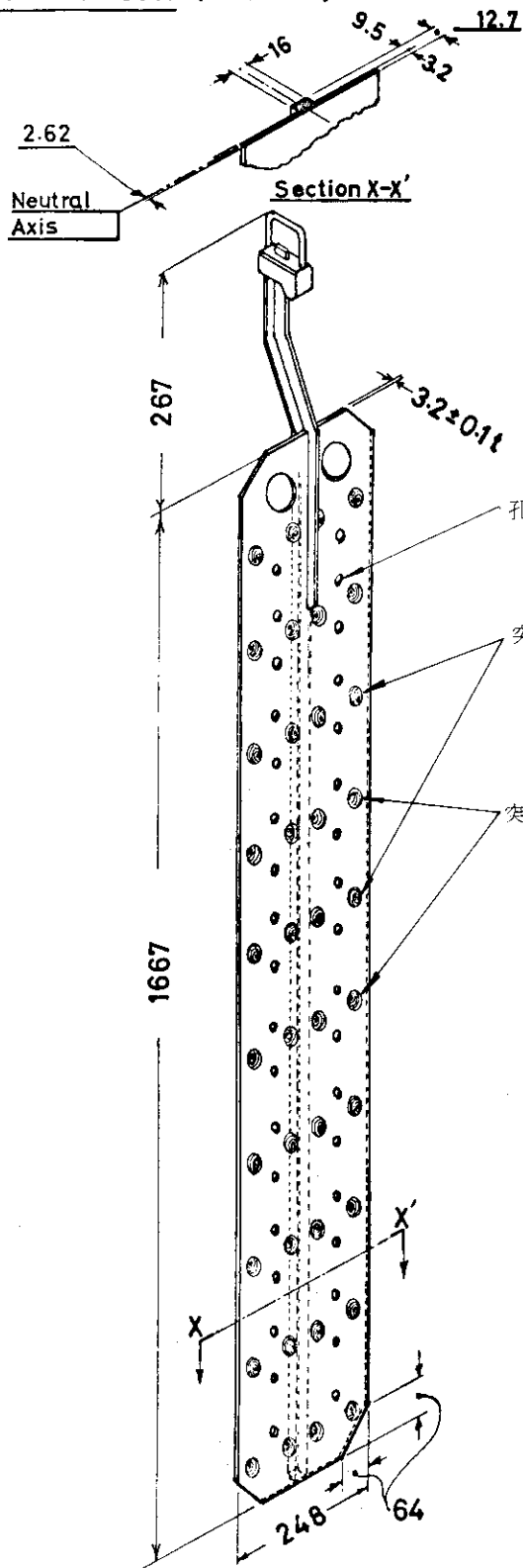
- 1) ボロン板を支持する支持体(板)が $1,667\text{L} \times 16\text{W} \times 5\text{h}$ となり、これをボロン鋼板の両側面に配置したこと、
  - 2) ボロン鋼板への支持体の取付けをリベット型式としたこと
- の2点である。その他機能等すべてJPDR-Iポイズンカーテンと同一である。

表2-1 JPDR Poison Curtain Data Sheet

	JPDR-I	JPDR-II
Form	B-SS Curtains, Hung Between Control Rods.	B-SS Curtains, Hung Between Control Rods.
Length	$65 \frac{5}{8}$ in (1667mm)	1667mm
Width	975in (248mm)	248mm
Thickness	$\frac{1}{8}$ in (32mm)	32mm
Boron Content	Natural Boron 0.093-0.113%	Natural Boron 0.093-0.113%

1967.7.13

Drg.No. 9F-0011 (141F-901)



**Base Metal**

AISI Type 304 Stainless Steel

**Poison Content**

930 ~ 1130 ppm Boron (natural)

**Approx. Weight**

13.6 ~ 14.5 kg

**Moment of Inertia of the Cross Section**

$I = 6964.15 \text{ mm}^4$

**Section Modulus of the Cross Section**

$Z_1 = 690.89 \text{ mm}^3$

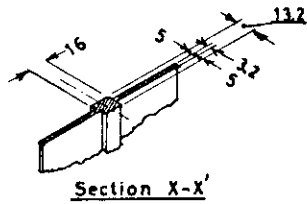
$Z_2 = 2658.07 \text{ mm}^3$

D-550

图 2-1 JPDR-I POISON CURTAIN

1970.1.9

Drg.No. 9F-0020



Base Metal

AISI Type 304 Stainless Steel

Poison Content

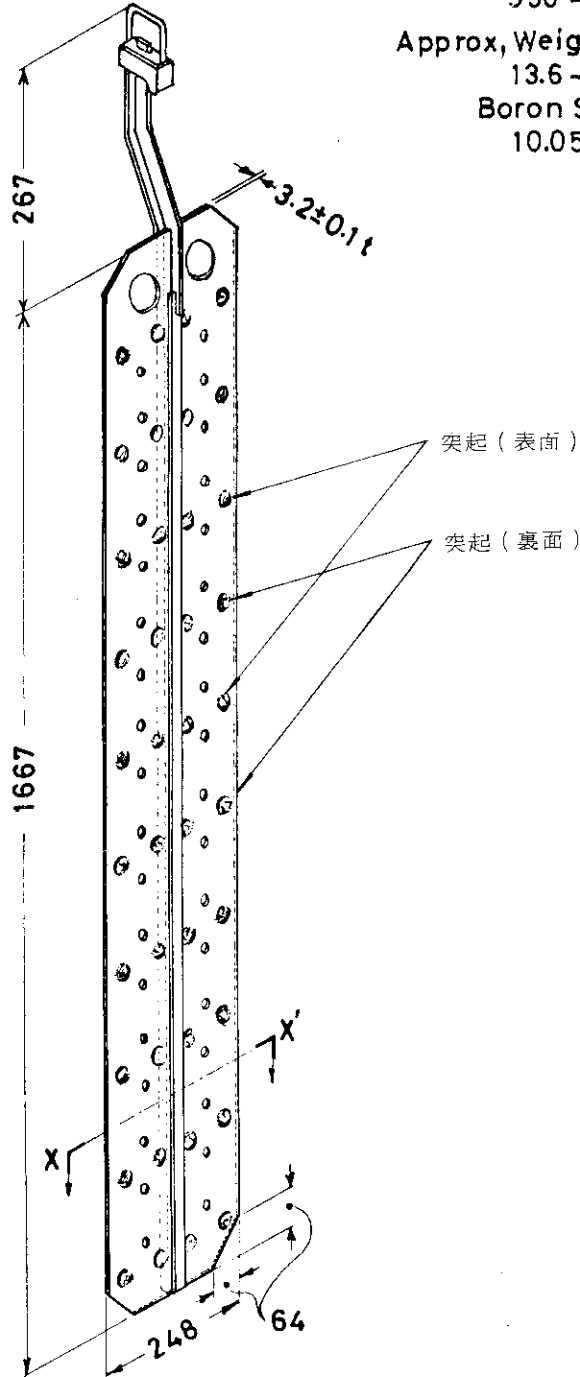
930 ~ 1130 ppm Boron (natural)

Approx. Weight ( Total )

13.6 ~ 14.5 kg

Boron Stainless Steel Plate

10.05 kg



D-761

By. F.IZUMI D-761

図 2-2 JPDR-II POISON CURTAIN



### 3. J P D R - I ポイズンカーテンの問題点, その他

#### 3.1 J P D R - I ポイズンカーテンのスウェリングによる彎曲

ポイズンカーテンは中性子照射によってスウェリングを起す。ポイズンカーテンの本体は、ボロンを含有したステンレス鋼板（以下本章ではボロン鋼板と略す）であるが、カーテン本体の補強板はボロンを含まない普通のステンレス鋼板である。このため両者のスウェリング率が異なり、設計如何によっては彎曲を起す。

J P D R ポイズンカーテンのトラブルは、スウェリングによる彎曲に起因するもので、このトラブルは、J P D R の圧力容器の炉内検査の時にたまたま発見された。

J P D R の圧力容器検査のため、全燃料は燃料プールに移動されていた。再起動のために、燃料を炉心に装荷しようとし、炉心にかけているポイズンカーテンを観察したところ、ポイズンカーテンが垂直になっていないのではないかとの疑いが持たれた。数体の燃料を炉心に装荷したところ、となりの空いている燃料セルにポイズンカーテンが張り出していることが認められた。また、そのような燃料セルへ燃料を装荷することは装荷困難であることが分った。このような状態のポイズンカーテンが数体あった。

そこで、ポイズンカーテンを燃料プールに移動し詳細に観察したところ、明らかに彎曲が認められた。

この状態の概略を図3-1に示す。

観察の結果は次の通りであった。

1) ポイズンカーテン彎曲の状態は、ボロン鋼板を彎曲の外側とし、支持体を彎曲の内側にしていた。

2) 彎曲によるポイズンカーテン先端の最大たわみは約5 cmと見積られた。この彎曲の原因は、スウェリングによると判断された。すなわち、支持体(SUS-304)とボロン鋼板とにスウェリング率の差があり、かつ支持体とボロン鋼板が溶接で取付けられているため、支持体、ボロン鋼板とも独立には変位できないためと推定した。

また、このポイズンカーテンの断面は図3-2に示されるようにX軸について対称でないためスウェリングによる彎曲がおこると、X軸に関して力のバランスがとれないのも一つの原因と考えられた。

ポイズンカーテン彎曲のトラブルをJ P D R - II ポイズンカーテンの設計に生かすため、ポイズンカーテンに発生した力、スウェリングによる歪についての評価を行なった。

その評価方法の詳細はAppendix-Aに示す通りである。その結果、支持体とボロン鋼板の接合面に作用している力は約200kgであり、またボロン鋼板はスウェリングによって支持体より全長について約0.5mm大きい伸びをおこしたと推定された。

#### 3.2 T.C.A 実験用ポイズンカーテン

J P D R - II ポイズンカーテンの設計、製作に至るまでにJ P D R 用ポイズンカーテンを国内メーカーに発注し製作したことはなかった。ただ、J P D R ポイズンカーテンと同種なもの

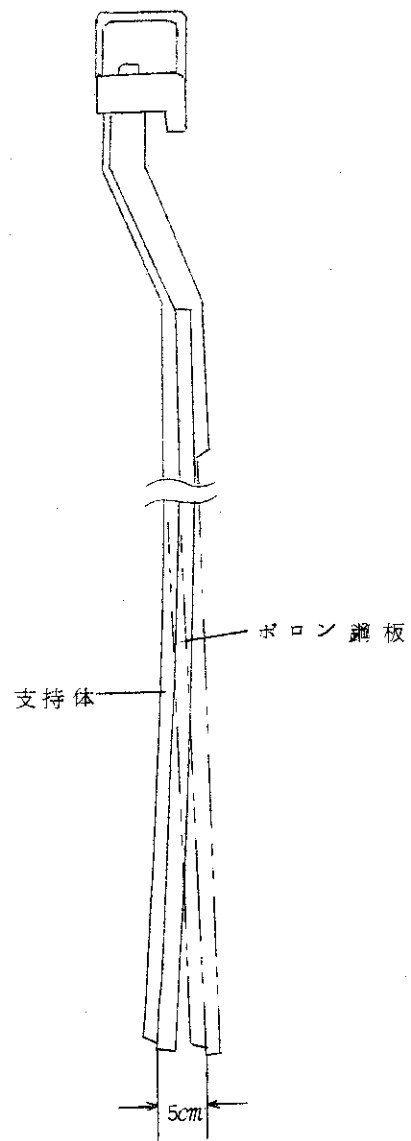


図 3 - 1

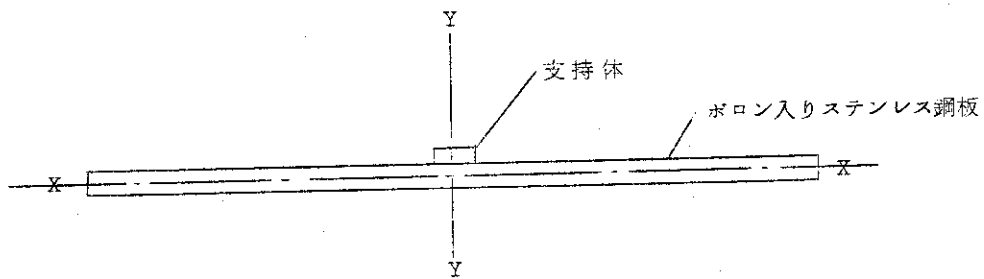


図 3 - 2 JPDR-I ボイズンカーテン断面図

として T. C. A 実験用ボイゾンカーテンが製作されたことがあり、今回 J P D R - II ボイゾンカーテンの製作に当っては、このときの製作経験を利用した。

T. C. A 実験用ボイゾンカーテンは、ボロン入りステンレス鋼板 (1,667  $l \times 247.7 w \times 3.2 t$ ) のみ 4 枚を製作しただけである。

この製作において、いくつかの問題があったが、今回のボイゾンカーテン製作上重視した問題点は次の事項であった。

1) ボロン板の平面度

T. C. A 用ボロン鋼板は、平面の凹凸が多く、この凹凸は、ボロン鋼板全体の曲りとも重畳し、平面度の悪いものであった。

2) ボロン含有量

T. C. A ボロン鋼板を製造したインゴット中のボロン含有率には、Top, Middle, Bottom において、かなり差があり、1枚のボロン鋼板についてもボロン含有率の分布の均一性に疑問がもたれた。

## 4. J P D R - II ボイズンカーテンの設計

### 4.1 設計について

J P D R 炉心を J P D R - II 炉心に改造するに際し、ボイズンカーテンの核的性能の変更は行なわないことに決定したため、この点に関する設計計算は特に行なわれなかった。したがって設計の重点は構造に関するものが中心となった。設計上最も配慮したのは 2 に述べたボイズンカーテンの彎曲を防止することであった。彎曲防止の対策として、次の設計方針を採用した。

1) 断面の形状を、ボロン入りステンレス鋼板（以下、本章においてはボロン鋼板と略す）および支持体につき図 4-1 の如くとしボロン鋼板に関して左右対称とすること。すなわち、ボイズンカーテン全体の断面二次モーメントの中立軸をボロン鋼板の中心線（図 4-1 の X-X 軸）に一致させる。

2) ボロン鋼板と支持体の取付において、ボロン鋼板と支持体とが相対的に動きうる構造とする。

上記の設計方針のもとに、J P D R - II ボイズンカーテンが設計された。

J P D R - II ボイズンカーテンの特長は次の通りである。

1) J P D R - I ボイズンカーテンでは支持体の板は  $16w \times 9.5h$  であり、これをボロン鋼板の片側のみに取り付けていた（図 3-2 参照）。J P D R - II ボイズンカーテンは、支持板を  $16w \times 5h$  の二枚とし、ボロン鋼板の両側面に取付けることとした（図 4-1 参照）。

これにより、ボイズンカーテンの断面二次モーメントの中立軸は、図 4-1 の X-X 軸に一致し、かりに曲げモーメントが作用したとしても、中立軸について力のバランスがとれる。

2) J P D R - I ボイズンカーテンのボロン鋼板と支持体との取付方法は溶接であったが、J P D R - II ボイズンカーテンにおいては、溶接による取付けをやめ、ボロン鋼板と支持体とが相互に動きうるよう、リベットによる取付けとした。さらに、ボロン鋼板に穿孔するリベット孔はボロン鋼板長手方向に長い長孔とし、ボロン鋼板がスウェリングによって伸びたとしても、支持体によって拘束されないでボロン鋼板のみ伸び、ボイズンカーテン全体に彎曲をおこす力は発生しない。

また、スウェリングによって伸びが生じたとき、測定可能とするため、J P D R - II ボイズンカーテンの下端部に測定用のゲージマークを設けた。ゲージマークは製作時支持体とボロン鋼板との基準線からの長さが一致する同一直線になるよう計画した。

組立後のゲージマーク記録については、5.5.2 に述べる。

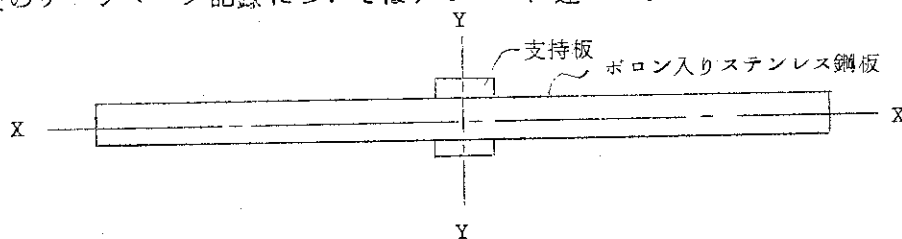


図 4-1 J P D R - II ボイズンカーテン断面図

## 4.2 JPDR-IIボイズンカーテン仕様の主要点

### 4.2.1 ボロン含有率

JPDR-IボイズンカーテンとJPDR-IIボイズンカーテンとにおいて、ボロン含有率の変更は行なわなかった。

ボロン鋼板の素地金にはASTM-A-167-63による304不銹鋼(SUS-304と同等)を使用することにし、添加するボロンはNatural Boronとした。

すなわち、ボロン含有率の仕様値は、Natural Boronで $1030 \pm 200$  ppm (目標値 $1030 \pm 100$  ppm)と決定した。

仕様においては、ボロン分布の均一性をうるため、Nd添加を許した。通常SUS-304中の炭化物は、Crを主成分とする $M_{23}C_6$ タイプの炭化物であり(ここでMとはCr, Ni, Fe等である)、これにボロンを加えると $M_{23}(C, B)_6$ の形でボロンが地金中に分布するが、このボロンを含んだものは、金属の結晶粒界に集りやすい。NdあるいはTiを添加すると、ボロンは、TiC中にボロンを含んだTi(B, O)となって、結晶粒内に微細に析出する。

上記の方法をとることによりボロンが微細になり、かつ金属組織中に均一に分布されるため、スウェリング率をも小さくする効果をもつ。

この種の添加元素としては、Tiの方がNdより効果的であるが、核的性質を考慮してNdのみとした。また、通常のNdに含まれているTaも核性能上悪い影響を与えるので、Ndを添加する場合には純粋なNdを添加するよう規制した。

### 4.2.2 試験・検査

JPDR-IIボイズンカーテンの設計と平行して、ボイズンカーテンの試験・検査項目、判定基準、検査方法、等について検討し、試験・検査基準要領書としてまとめ、これを仕様書に添付した。

この試験検査要領のうち主な事項は次の通りである。

#### 1) ボロン含有率の測定

ボロン鋼板中のボロン含有率の分布の均一性を確認するため、インゴット、ボロン鋼板について分析用試料のサンプリング個所を細かく指定した。

2) 先に製作したTCA用ボイズンカーテンの製作経験より全長に対する曲りとして1667 mmにつき曲り2 mm以下という基準を設けた。

3) ボイズンカーテン完成品につき、オートクレーブ試験を行なうこととし、オートクレーブによって曲りの増加、腐食の進行がみられるかどうかを試験することにした。

4) リベットの取付具合を見るため、ボイズンカーテン完成品についての曲げ破断検査を行なうこととした。

以上の試験・検査について検査方法等詳細は5章に詳述されるのでここでは省略する。

## 5. J P D R - II ポイズンカーテンの製作

ポイズンカーテンは、図5-0-1製作手順に示すような、9種類の部品によって組立てられた。構成部品の材質は、カーテンにボロン入りステンレス鋼板を使用する以外他の部品には市販されているSUS-304を使用した。組立は溶接及び、リベット溶接作業により行なわれた。

ポイズンカーテン製品の品質管理は、J P D R - II、ポイズンカーテン試験検査要領書に基づいて行なわれた。試験検査の種類と検査項目を表5-0-1に示す。

試験・検査の全体について、次の様な大筋の流れを設定した。

各構成部品について材質、及び寸法検査等の検査を行ない、規格内であったらこの部品を使用し、組立前の予備試験を行なう。この基準に合格したならば、同一条件の溶接方法により試験用ポイズンカーテンを組立て、ポイズンカーテン組立試験を行なう。これらの試験に合格したのちに本番の組立作業を行なうことにする。

J P D R - II ポイズンカーテン検査結果を表5-0-1の試験、検査要領書検査項目の順序に従って以下本章において記述する。

なお、J P D R - II ポイズンカーテンの製作に当り、実施した工場立会検査の延人員等を表5-0-2に示す。

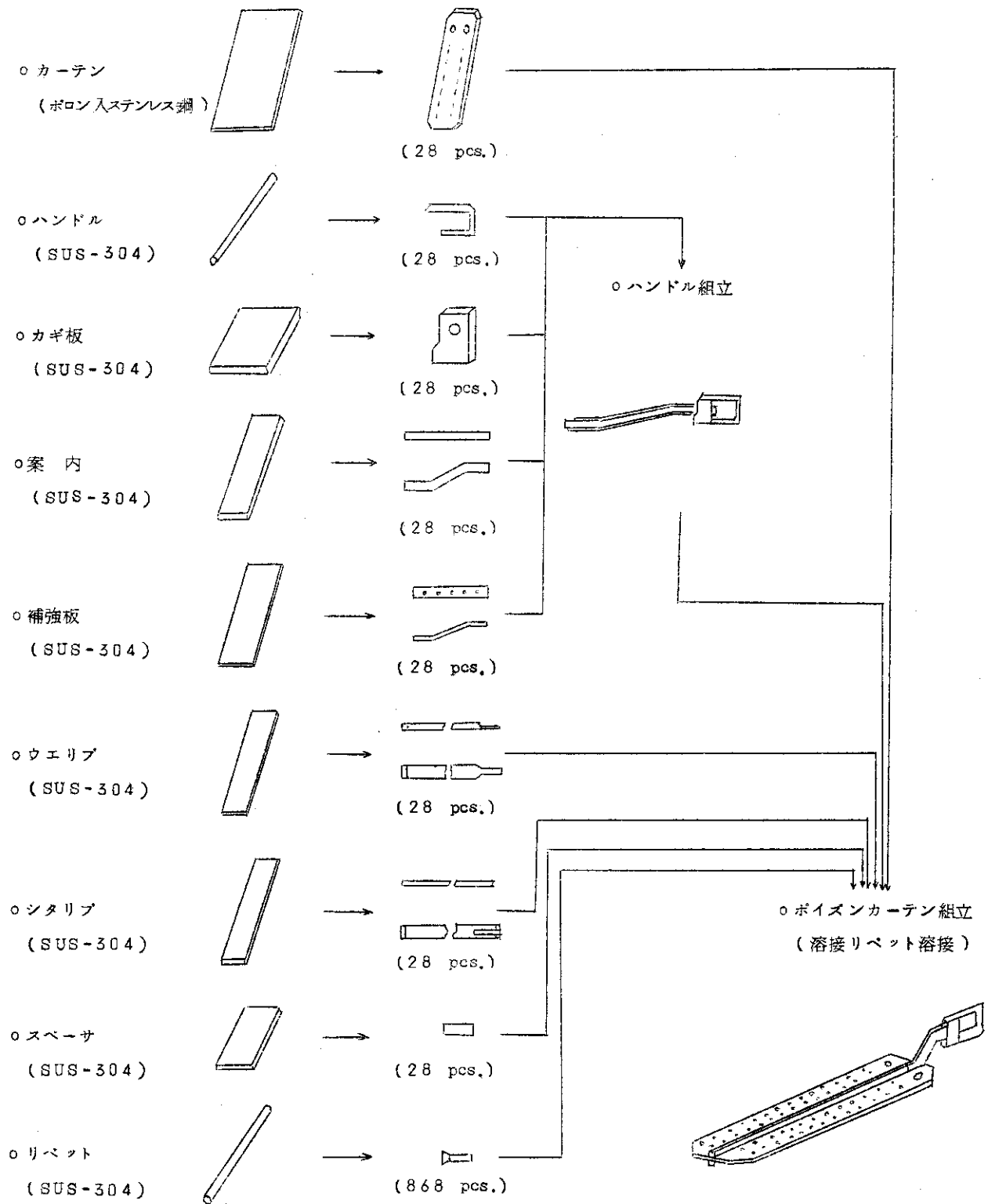


図5-0-1 ポイズンカーテン製作手順図

表5-G-1 JFDR-IIボイズンカーテン試験・検査要領検査項目

Inspection No	名称	検査項目
0-15	ボロン入りステンレス鋼板	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 製造方法</li> <li>2. 外観</li> <li>3. 組成</li> <li>4. 機械的性質</li> </ol>
11-0	ボイズンカーテン作業基準	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 構成部品</li> <li>2. 予備試験 <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1 参考溶接試験</li> <li>2.2 リベット接合強度試験</li> </ol> </li> <li>3. ボイズンカーテン組立試験 <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1 非破壊検査</li> <li>3.2 オートクレーブ試験</li> <li>3.3 オートクレーブ試験後非破壊検査</li> <li>3.4 オートクレーブ試験後破壊検査</li> </ol> </li> </ol>
11-1	ボイズン・カーテン	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 構成部品</li> <li>2. 寸法</li> </ol>
11-2	カーテン	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 素材</li> <li>2. 製品番号及び分析用試料の採取</li> <li>3. 外観</li> <li>4. 寸法</li> <li>5. 試料の分析</li> <li>6. 重量</li> </ol>
11-3	補強板	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 素材</li> <li>2. 外観</li> <li>3. 寸法</li> </ol>
11-4	案内	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 素材</li> <li>2. 外観</li> <li>3. X線検査</li> <li>4. 溶接棒の検査</li> <li>5. 寸法</li> </ol>
11-5	カギ板	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 素材</li> <li>2. 外観</li> <li>3. 寸法</li> </ol>



Inspection No	名 称	検 査 項 目
11-6	ハンドル	1. 素 材 2. 外 観 3. 寸 法
11-7	スペーサー	1. 素 材 2. 外 観 3. 寸 法
11-8	1667×16リブ	1. 素 材 2. 外 観 3. 寸 法
11-9	1632×16リブ	1. 素 材 2. 外 観 3. 寸 法
11-10	リベット	1. 素 材 2. 外 観 3. 機械の性質

表 5 - 0 - 2 立会検査まとめ

回	Date	延人員 (man×day)	主 要 検 査 対 象	検 査 場 所	出 席 者
1	1970-12-17	2	ボロン入りステンレス鋼 8枚	東芝鶴見工場	小池, 泉
2	1971- 1-20	3	ボロン入りステンレス鋼 20枚	"	塙, 原山, 泉
3	1971- 3-10	3	○ボイズンカーテンオートクレーブ試験 2枚 ○ボイズンカーテン破壊試験 1枚 ○機械試験 10試料	"	木下, 小池, 泉
4	1971- 4-26, 27	4×2	ボイズンカーテン組立 28体	"	森島, 泉, 小池, 塙
5	1971-4-30	6	ボイズンカーテン28体受入検査	原研, T.C.A	木下, 塙, 小池, 原山, 泉, 藤田
計		22			

## 5.1 ボロン入りステンレス鋼板の製造

### 5.1.0 まえおき

ボロン入りステンレス鋼板は、ステンレス鋼の地金中に、中性子吸収材となるボロンを拡散させたものである。

これは、ボイズンカーテンそのものと言ってもよい。他の部品は、これを支持するために使われるものである。

そのため、ボロン入りステンレス鋼板については、インゴットの分析より、最終の加工板に至るまで、厳重な品質管理が行なわれ、ほとんど全数についての製造記録がとられた。

### 5.1.1 組成及び機械的性質

ボロン入りステンレス鋼板の組成は、ASTM, A 167-63, Corrosion-Resisting, Chromium-Nichel Steel plate and Strip タイプ304 ステンレス鋼を準規規格として、試験検査要領書：0-15 "ボロン入りステンレス鋼板" が作成された。

組成及び機械的性質の仕様は

1) 組成	w/o	
C	0.08	
Si	1.00	
Mn	2.00	
P	0.04	
S	0.03	
Co	0.20	
Ni	8.00	to 11.00
Cr	18.00	to 20.00
B	0.103	± 0.02
	(目標値 0.103 ± 0.01)	

### 2) 機械的性質

引張試験	52 kg/mm <sup>2</sup>	min
伸び	40%	min
かたさ	90 HRB	max

である。

### 5.1.2 製造方法

ボロン入りステンレス鋼板の製造方法は、図5-1-1に示すように、まず高周波誘導溶解炉を用いて、鋼塊を真空溶解(約250kg)したものに、天然ボロンを添加し、ボロン入りステンレス鋳鋼品を造る。熱間圧延および冷間圧延によって板に加工され、固溶化熱処理を施した後、両面共ASTM-A167-63によるNo.7(準鏡面)仕上げを経て、板厚3.2mmのボロン入りステンレス鋼板に仕上げる。

J P D R - II ボイズンカーテン2.8体用のボロン入りステンレス鋳鋼品の製造は、東芝 柳

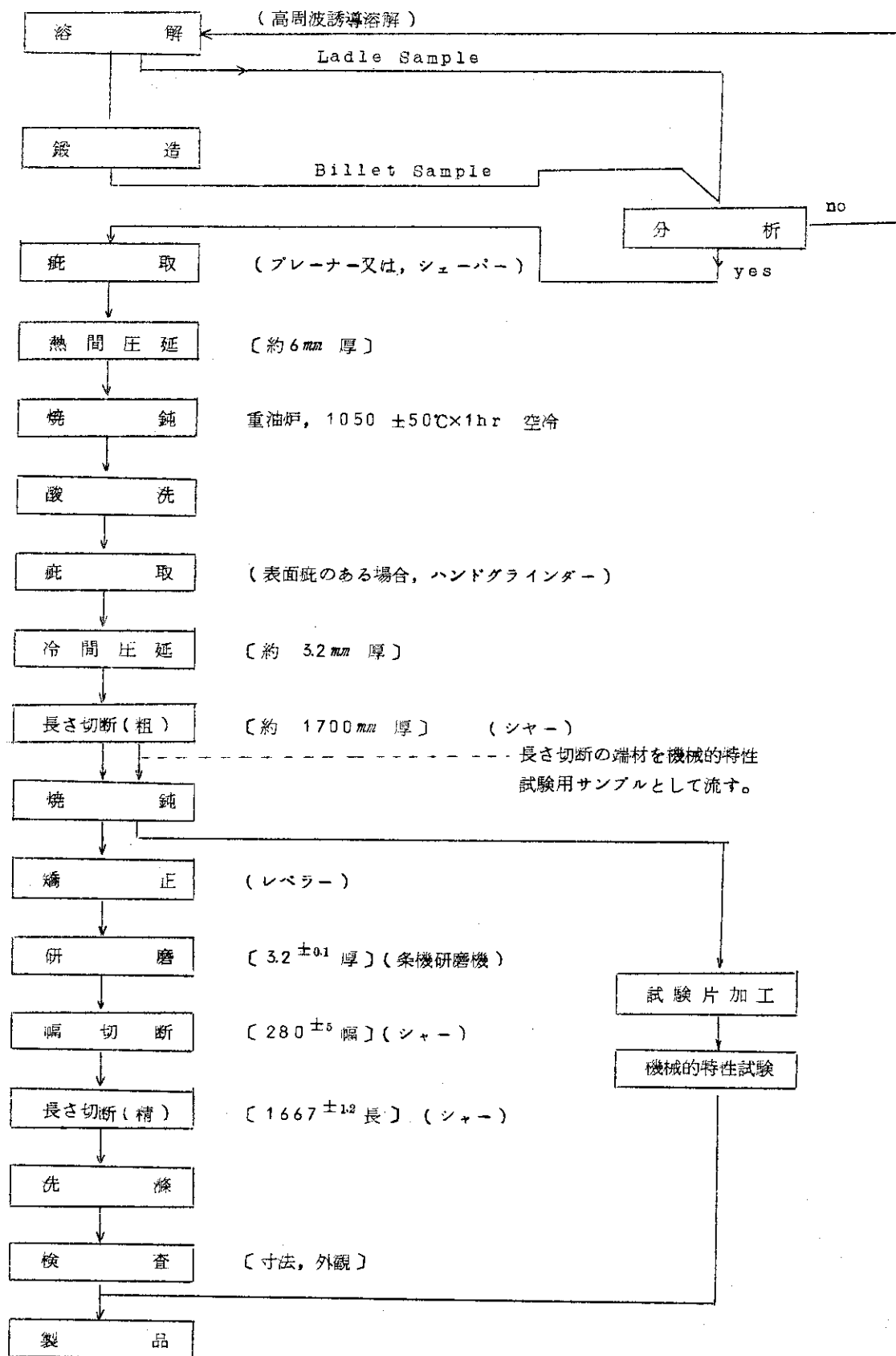


図 5-1-1 ボロン入りステンレス鋼板, 製造フローチャート

町工場において行われた。溶解作業は5回に分けて行われ、この5個の鋳塊よりポイズンカーテン28体が製造された。

鋳鋼品から鋼板への製作は、図5-1-2に示すように、まず1つの鋳鋼品を4つのピレットに分割する。次にこの分割された1つのピレットから2枚の鋼板が製造される。したがって1個の鋳鋼品より8枚の鋼板が出来上がる。

### 5.1.3 ボロン入りステンレス鋼板の品質管理

ボロン入りステンレス鋼材質の品質を知るために、組成の分析を行なった。その結果を表5-1-1に示す。全分析試料は規格を満足している。又分析試験の他に、この板の材質を調べるために、図5-1-1、製造フローチャート中に示す焼鈍を行った後、機械的特性試験用試験片を加工製作し、引張試験、伸び、硬度の試験を行なった。その結果の測定値を表5-1-1に示す。

表5-1-1に示す分析値の分析試料は、5個の鋳鋼品全数から、溶解時のレードルサンプルより採取されたものである。また鋳鋼品中のボロン濃度の均一性を調べるため図5-1-2に示すように、同一の鋳鋼品から5個の試料、計25個の分析試料を採取した。分析結果は、図5-1-3に見られるように若干のばらつきはあるが、規格値(0.103±0.02%)内であった。ボロン入りステンレス鋳鋼品の分析後、ピレットが加工され、鋼板になってからも組成の分析が行なわれた。この分析試料の採取は、まず製品になる出来上がったボロン入りステンレス鋼板28枚中からランダムに2枚を指定し、次にそれぞれの1枚につき、図5-1-4に示す個所より、3個の分析試料を採取した。この分析試料によって、不純物の分析と、ボロンの定量分析が行なわれすべて規格を満足した。その結果を表5-1-2に示す。ボロン入りステンレス鋼板のボロン含有量のばらつきを図5-1-5に示す。

ボロンの定量分析は、まず本番の鋳鋼品を製造する以前に東芝よりボロンの定量分析方案を提出してもらった。さらに東芝のTest-Runとして、23kgを溶解し鋼板にしたなかから試料、約150w×300ℓを原研に提出してもらい、この試料について東芝による分析値と、原研の分析センターによる分析値とを比較してみた。その結果次の値を得た。

	分析値 (1) ボロン (ppm)	分析値 (2) ボロン (ppm)
東芝	980 ppm	990 ppm
原研	940 ppm	960 ppm

分析方法は、同者共にメチレンブルー光度定量法であり、この分析方法では、測定値の精度が±50 ppm (±5%)位であるので、東芝の分析方案を承認した。薬品化されたポイズンカーテンの分析値は、信頼出来る値と考える。ボロン入りステンレス鋼板から、カーテン寸法に切断したときの残材は(参照、図5-1-6、製品28体全数)原研に提出してもらった。

ボロン鋼板完成品28体の重量を測定した。この重量は、後日、TGAにて反応度測定を行うために測定したものである。表5-1-3に重量の測定値を示す。

ポイズンカーテンの重量を、図面に基ついて計算した結果を図5-1-7に示す。

この結果、板厚3.2mmのNom.の場合は10.05kgである。表5-1-4に規格内であるが板

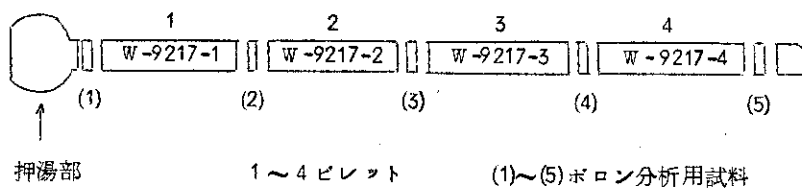


図 5 - 1 - 2 鋳鋼の形状，分割方法及びボロン分析用試料採取場所。

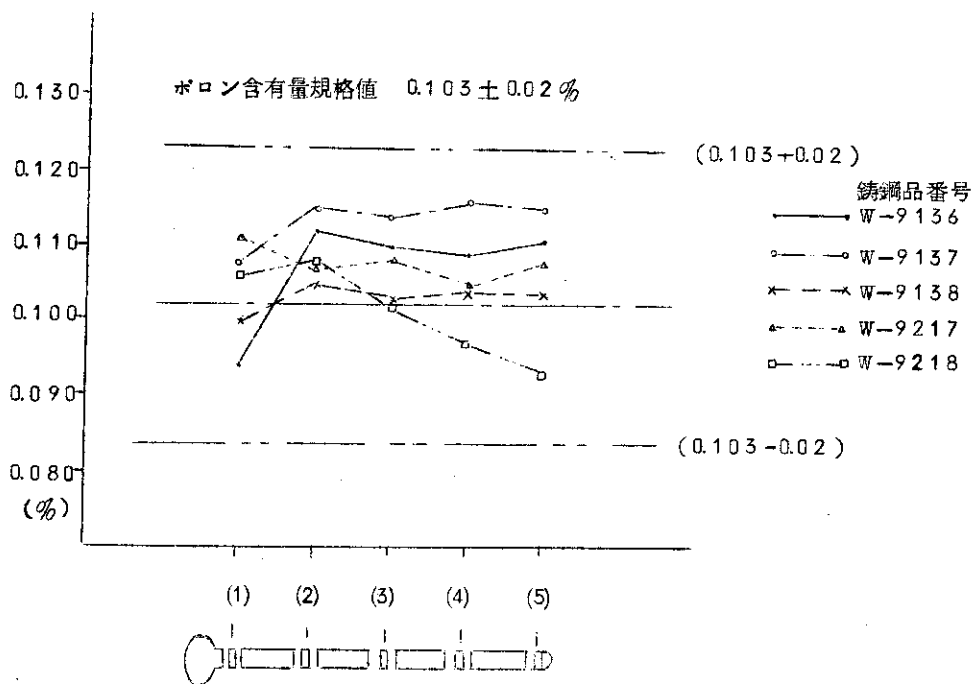


図 5 - 1 - 3 ボロン分析試料による分析値

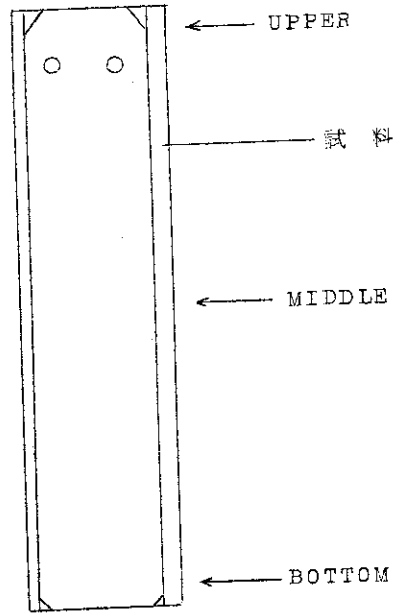


図 5-1-4 ボロン入りステンレス鋼板分析用試料採取箇所

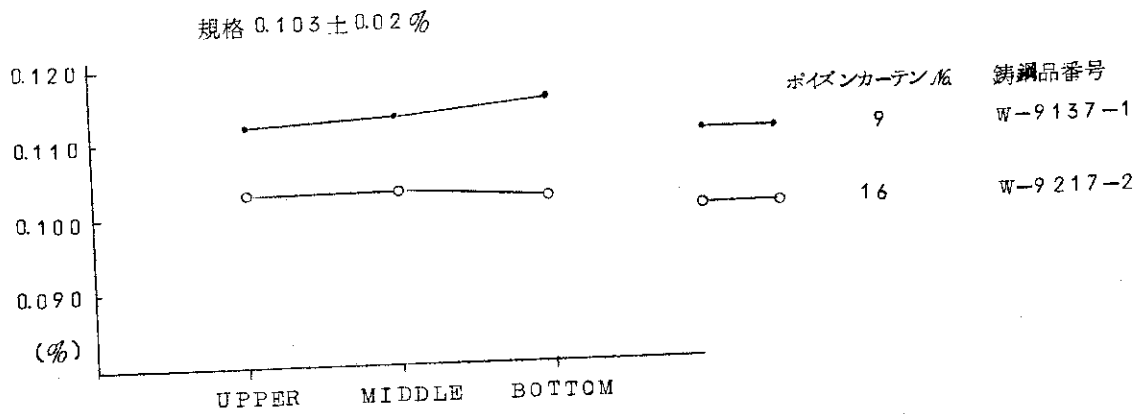
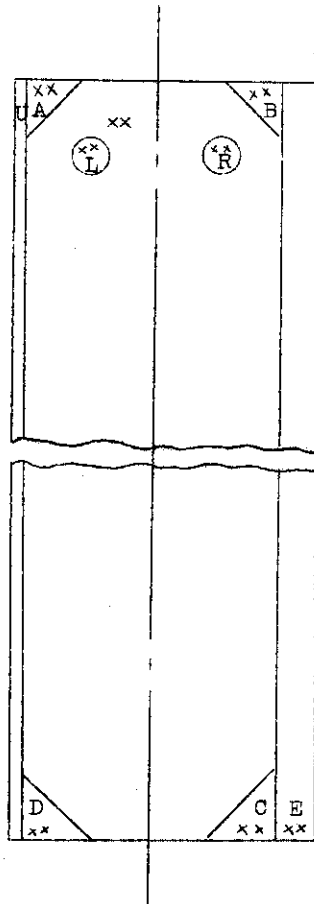


図 5-1-5 ボロン入りステンレス鋼板, ボロン定量値



xx 製品番号

A : }  
 B : } 4隅の位置を示す  
 C : }  
 D : }

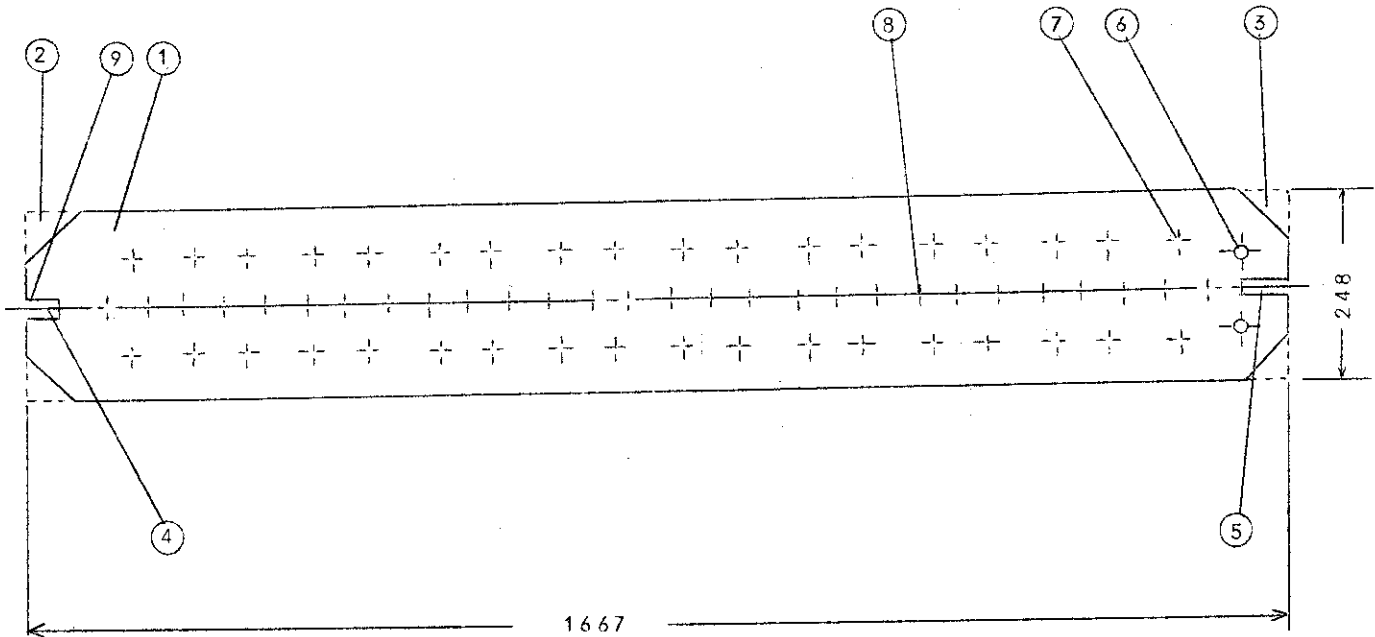
R : 右 (Right) の穴

L : 左 (Left) の穴

E : 下の位置を示す

U : 上の位置を示す

図 5-1-6 ボロン入りステンレス鋳鋼品の残材の刻印



計 算

- ①  $1667 \times 248 \times 3.2 \times 0.00793 = 10,490.84 \text{ gr}$
  - ②  $64 \times 64 \times 3.2 \times 0.00793 = 103.94 \text{ gr}$
  - ③  $60 \times 60 \times 3.2 \times 0.00793 = 91.35 \text{ gr}$
  - ④  $52 \times 17 \times 3.2 \times 0.00793 = 22.43 \text{ gr}$
  - ⑤  $60 \times 4 \times 3.2 \times 0.00793 = 6.09 \text{ gr}$
  - ⑥  $3.14 \times 19^2 \times 3.2 \times 0.00793 \times 2 = 57.56 \text{ gr}$
  - ⑦  $3.14 \times 6.5^2 \times 3.2 \times 0.00793 \times 36 = 121.19 \text{ gr}$
  - ⑧  $3.14 \times 3^2 \times 3.2 \times 0.00793 \times 28 = 20.08 \text{ gr}$   
 $4 \times 6 \times 3.2 \times 0.00793 \times 28 = 17.05 \text{ gr}$
  - ⑨  $2 \times 2 \times 3.2 \times 0.00793 = 0.10 \text{ gr}$
  - ① - (② + ③ + ④ + ⑤ + ⑥ + ⑦ + ⑧ + ⑨) = 10,051.05 gr
- 10.05 Kg

Stainless Steel 密度は JIS G-4310 により,  $7.93 \text{ gr/cm}^3$  とした。

図 5-1-7 JPDR-II POISON CURTAIN PLATE の重量  
 Drg. No. 9F-0064



表 5 - 1 - 1 JFDR-II FOILSON CURTAIN MATERIAL DATA

Name	Drawing %	Material	Mill Sheet %	Charge %	Chemical Analysis								
					C	Si	Mn	P	S	Co	Ni	Cr	
Curtain	M-8BZ01121#1	B H R (水ロソ鋼板)	PN-860535	W-9136	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.
					.08	1.00	2.00	.04	.03	.20	11.00	20.00	
					.037	.76	1.48	.012	.006	TRACE	9.77	18.15	
					.036	.76	1.47	.013	.007	TRACE	9.72	18.57	
					.032	.78	1.51	.011	.006	TRACE	9.83	18.70	
				W-9217	.76	1.54	.011	.005	TRACE	9.68	18.30		
				W-9218	.79	1.49	.010	.006	TRACE	9.56	18.58		

	Chemical Analysis			Tension Test			Hardness HRB 90 Max	Solution heat Treatment 1010~1121 °C
	B U103 + U02	(3)	(4)	Yield Strength 02%off Set	Tensile Strength 52 Min	Elongation 40 % Min		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)				
.094	.112	.110	.109	.111	63.0	56.0	75.5	1050
.108	.115	.114	.116	.115	62.1	55.6	76.7	1050
.100	.105	.103	.104	.104	62.9	56.1	75.2	1050
.111	.107	.108	.105	.108	62.6	58	74.4	1050
.106	.108	.102	.097	.093	63.2	57	72.1	1050

表5-1-2 JFDR-II POISON CURTAIN MATERIAL DATA

Charge	Curtain	Sample	Chemical Analysis																			
			C	Si	Mn	P	S	Co	Ni	Cr	B											
W-9137-1	E-9	Upper	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.		
			.08	1.00	2.00	.04	.03	.20	11.00	20.00	+.02											
			.035	.77	1.51	.015	.016	TRACE	9.70	18.59	0.112											
W-9217-2	E-16	Middle	.034	.74	1.51	.015	.009	TRACE	9.70	18.66	0.113											
		Bottom	.035	.74	1.51	.015	.010	TRACE	9.73	18.36	0.115											
		Upper	.036	.73	1.57	.015	.009	TRACE	9.73	18.37	0.103											
W-9217-2	E-16	Middle	.031	.74	1.54	.015	.008	TRACE	9.80	18.26	0.103											
		Bottom	.035	.73	1.51	.014	.009	TRACE	9.77	18.28	0.102											

表5-1-3 ボロン入りステンレス鋼の重量測定記録

製品番号	重量(kg)	製品番号	重量(kg)	製品番号	重量(kg)
1	10.03	11	10.13	21	9.93
2	10.02	12	9.93	22	10.10
3	10.03	13	10.06	23	10.06
4	9.96	14	10.01	24	9.92
5	10.05	15	10.01	25	9.97
6	10.03	16	9.97	26	10.12
7	10.11	17	10.07	27	9.94
8	9.97	18	9.99	28	10.02
9	10.06	19	10.04		
10	10.08	20	10.00		

- (注) 1. 製品番号1及び2は試作ポイズンカーテンである。  
 2. 測定記録はカーテン単体の加工終了後の値である。  
 3. はかりの精度 : 0.01 kg

表5-1-4 JPDR-II Poison curtain 中のボロンの重量

1970.12.2

Poison Curtain 板厚	T. min. 3.1mm	T. nom. 3.2mm	T. max. 3.3mm	
Poison Curtain (kg) 重量	9.7359	10.05	10.364	
930 ppm	B <sup>10</sup> + B <sup>11</sup> NATURAL	9.054 gr	9.3465 gr	9.6385 gr
	B <sup>10</sup>	1.5572 gr	1.6169 gr	1.6674 gr
1030 ppm	B <sup>10</sup> + B <sup>11</sup> NATURAL	10.027 gr	10.351 gr	10.6749 gr
	B <sup>10</sup>	1.7346 gr	1.7907 gr	1.8467 gr
1130 ppm	B <sup>10</sup> + B <sup>11</sup> NATURAL	11.001 gr	11.3565 gr	11.7113 gr
	B <sup>10</sup>	1.9031 gr	1.9646 gr	2.0260 gr

○ボロンの安定同位体

理科年表(44) P物132より

元素	質量	原子相対頻度(%)
<sub>5</sub> B <sup>10</sup>	10.01294	18.7
<sub>5</sub> B <sup>11</sup>	11.00931	81.3

厚が変化した時のカーテン重量を示す。この結果製作されたカーテンは重量から見ても良好と判断した。

又、製作されたボロン入りステンレス鋼板の、鋳鋼品よりの履歴を表5-1-5に示す。

#### 5.1.4 ボロン入りステンレス鋼板立会検査

5.2t×280w×1667ℓ 寸法に出来上ったボロン入りステンレス鋼板28枚について立会検査を行った。

立会検査は1) 外観検査 2) 寸法検査の二項目について、東芝鶴見工場で2回に亘り行なわれた。

第1回立会検査：昭和45年12月17日 鋼板8枚

第2回立会検査：昭和46年 1月20日 鋼板20枚

第1回立会検査は、鋼板番号1～8（この番号は、最終製品の番号になる）計8枚全数について、外観検査、寸法検査を行った。

外観検査において、表面に手あか、油の附着が多く汚れが認められたので、ガーゼにアセトンをつぶしてふきとった。なお、鋼板番号2において、製造工程中に生じたひっかき傷、長さ約10mm、巾1～2mm、深さ0.2～0.4の傷があり、また鋼板番号6は、約0.6φ深さ0.5mmの打傷があった。しかし使用上特に問題無しと認め合格とした。

製造工程中の打傷、ひっかき傷等は、取り扱いを十分注意すれば傷が出来ないこと、また、表面の清浄度を保持するためには鋼板洗浄後、手袋着用等の対策を考えて行なうより要望した。

寸法検査は8枚全数について行なった。鋼板の寸法は、社内検査での測定値のチェックに主眼をおき図5-1-8に示す箇所を測定した。寸法測定値を表5-1-6に示す。各項目すべて規格値内であった。

第2回立会検査で、鋼板番号9～28計20枚全数外観検査を行なった。表面は清浄であったが、鋼板7枚に、打傷、ひっかき傷、すり傷、局部の凹凸が認められた。しかし、使用上問題ないと認め全数合格とした。

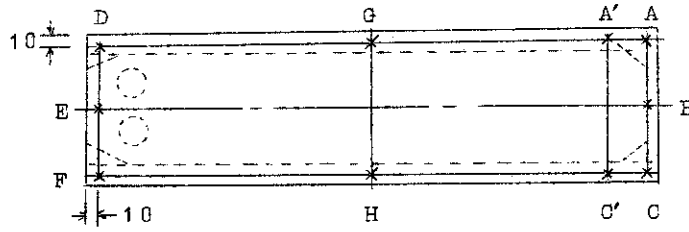
寸法検査は、20枚中3枚をランダムに採取し、第1回立会検査と同様測定した。その結果を表5-1-6に示す。全項目規格値内であった。

表 5 - 1 - 5 ボロン入りステンレス鋼とチャージ番号一覧表

Curtain No	Charge No	Curtain No	Charge No	Curtain No	Charge No
1	W-9136-2	11	W-9137-3	21	W-9218-1
2	W-9136-3	12	W-9138-1	22	W-9218-2
3	W-9136-4	13	W-9138-4	23	W-9218-2
4	W-9137-1	14	W-9217-1	24	W-9218-3
5	W-9137-4	15	W-9217-1	25	W-9218-3
6	W-9138-1	16	W-9217-2	26	W-9218-4
7	W-9138-2	17	W-9217-3	27	W-9218-4
8	W-9138-4	18	W-9217-3	28	W-9136-3
9	W-9137-1	19	W-9217-4		
10	W-9137-3	20	W-9218-1		

表 5 - 1 - 6 ボロン入りステンレス鋼板寸法

ITEM	Thickness			Width			Length			Flatness		
	3.2 ± 0.1 mm			280 ± 5 mm			1667 ± 1.2 mm			max 2 mm		
	min	max	平均	min	max	平均	min	max	平均	min	max	平均
社内検査	3.11	3.25	3.179	280	284	281.56	1666	1668	1667.3	0.3	2.0	1.40
立会検査	3.14	3.23	3.184	282	283	282.69	1667	1668	1667.6	0.8	1.6	1.23



	社内寸法測定ヶ所		立会検査時寸法測定ヶ所	
	Thickness	A-H	8 点	A.G.D.
Width	A-C	3 点	A'-C'	1 点
	C-H			
	D-F			
Length	B-E	1 点	B-E	1 点
Bend		1 点	A-D	2 点
			C-F	

図 5-1-8 寸法測定場所

## 5.2 ポイズンカーテン組立作業前の試験検査

JFDR-I ポイズンカーテン彎曲のトラブルは主としてその組立の固定法によっている。JFDR-II ポイズンカーテンでは、同種のトラブルをくりかえさないため、リベット型式の固定法に変更した。しかしながら、使用するリベットの特性、曲げによるクラックの発生の有無、溶接の健全性を調査するため、ポイズンカーテン組立作業にかかる前に、次の予備試験が行われた。

1. リベット機械試験
2. リベット接合強度試験
3. ハンドル溶接部試験

### 5.2.1 リベット機械試験

SUS-304 より加工製作された全製品の中から、4個リベットを抜取り、軸曲げ試験2個、頭部曲げ試験2個を行なった。

軸曲げ試験は、常温でリベットを図5-2-1の様に、 $180^\circ$  曲げて密着させるものである。その結果、曲げの外側に割れ、傷の発生はなく良好であった。

頭部曲げ試験は、常温でリベットを、図5-2-2の様に $30^\circ$  傾斜した座面の孔にさし込み、頭部をリベットの座面が傾斜面につくまで変形させた。結果は、折れるものもなく、割れやひびも発生せず良好であった。

### 5.2.2 リベット接合強度試験

リベット接手の剪断及び、引張試験方法は図5-2-3の通りである。試験は、各試験とも2試験片で行った。リベット及びリベット孔を穿孔した板の材質は、製品化される同一のSUS-304を使用した。表5-2-1に、試験の結果を示す。各試験とも良好であった。表中の計算値は、引張強さ $524\text{g}/\text{mm}^2$ 、伸び50%、絞り60%の値である。又、リベットの断面積は、リベット軸の外径寸法より求めた。試験装置は、島津製作所製、REH30型、万能試験機が使用された。試験は室温にて行なわれた。

### 5.2.3 ハンドル溶接部試験

図5-0-1のハンドルの組立を行う前に2体だけハンドルの組立品を作り、ハンドルの破断強度、破断状態等の試験を行なうことにした。またハンドルが充分なる強度を有することの確認のために、ハンドル溶接部試験が行なわれた。

ハンドル溶接部強度を図5-2-4に示す試験方法によって行なった。その結果を表5-2-2に示す。結果は良好であった。破断状況は、試験片No.1で、案内と補強板が、偏平となり、案内内部において破断した。又試験片No.2は、案内と補強板はNo.1と同様偏平になったが破断箇所は、ハンドル部であった。両試験片とも強度的に充分であった。ここで計算値の許容剪断応力は、SUS-304の引張強度を60%として計算したものである。

以上3項目の予備試験の検査を行い、その結果、各試験とも良好であったので製作、組立溶接条件、方法等を同一条件で試験用ポイズンカーテンを2体組立て、この2体について、次項

にのべるボイズンカーテン組立試験及び、オートクレーブ試験等を行った。

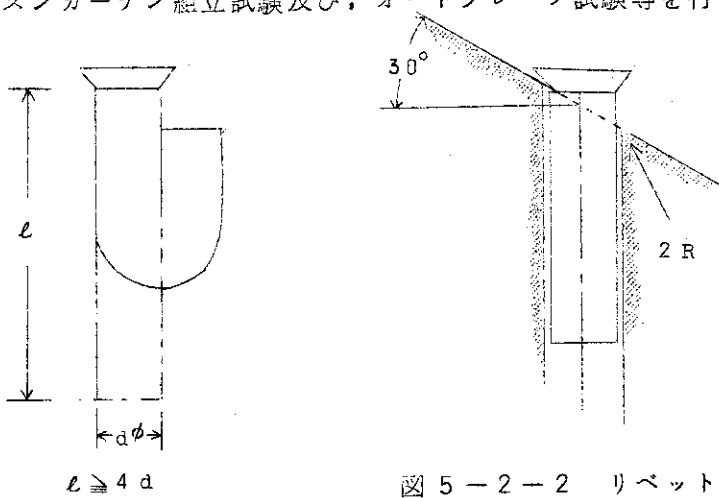


図 5-2-1 リベット軸曲げ試験

図 5-2-2 リベット頭部曲げ試験

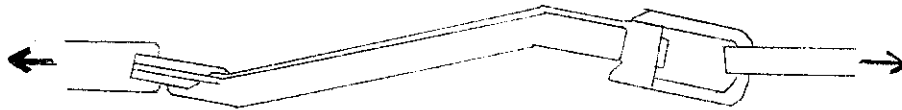


図 5-2-4 ハンドル溶接部試験方法

表 5-2-1 リベット接合強度試験結果

試験片	項目	破断箇所	計算値 (予想値)		試験結果		判定
			許容剪断応力 (kg/mm <sup>2</sup> )	リベットの断面積 (mm <sup>2</sup> )	破断荷重 (kg)	剪断応力 (kg/mm <sup>2</sup> )	
剪断試験	A-1	リベット	31.2	28.27	3360	59.4	合
	A-2	リベット	31.2	28.27	3325	58.8	合
引張試験	B-1	リベット頭部	31.2	28.27	1098	38.8	合
	B-2	リベット頭部	31.2	28.27	1167	41.3	合

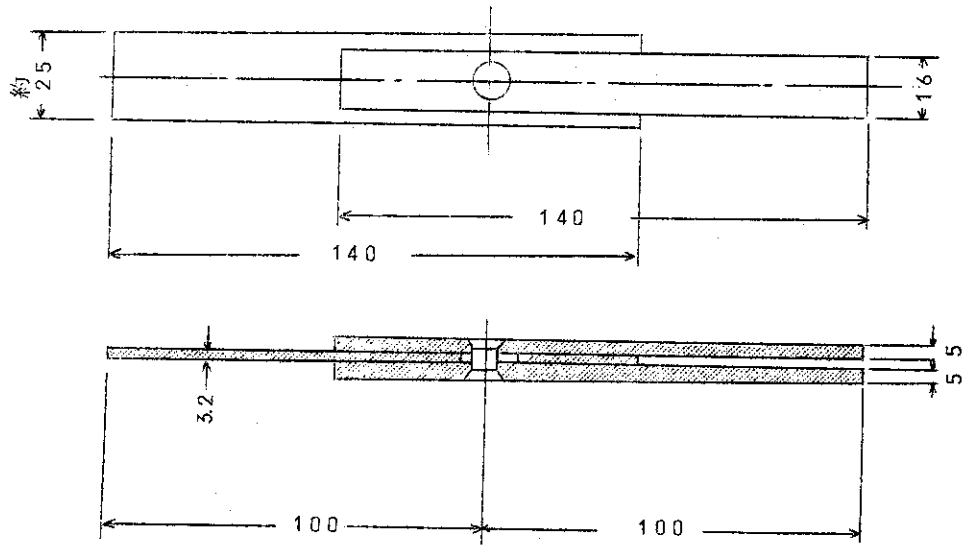
表 5-2-2 ハンドル溶接部試験結果

試験片	項目	破断箇所	計算値 (予想値)		試験結果		判定
			許容剪断応力 (kg/mm <sup>2</sup> )	破断部の断面積 (mm <sup>2</sup> )	破断荷重 (kg)	引張応力 (kg/mm <sup>2</sup> )	
No 1		案内	52	87.06	4612	52.9	合
No 2		ハンドル	52	37.46	4550	60.0	合

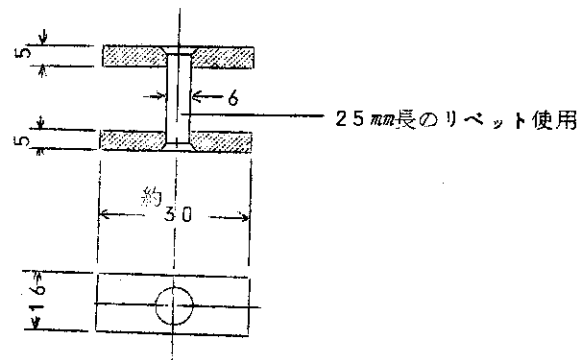


○ A 試験片

JAERI-M5015



○ B 試験片



○ 引張試験方法

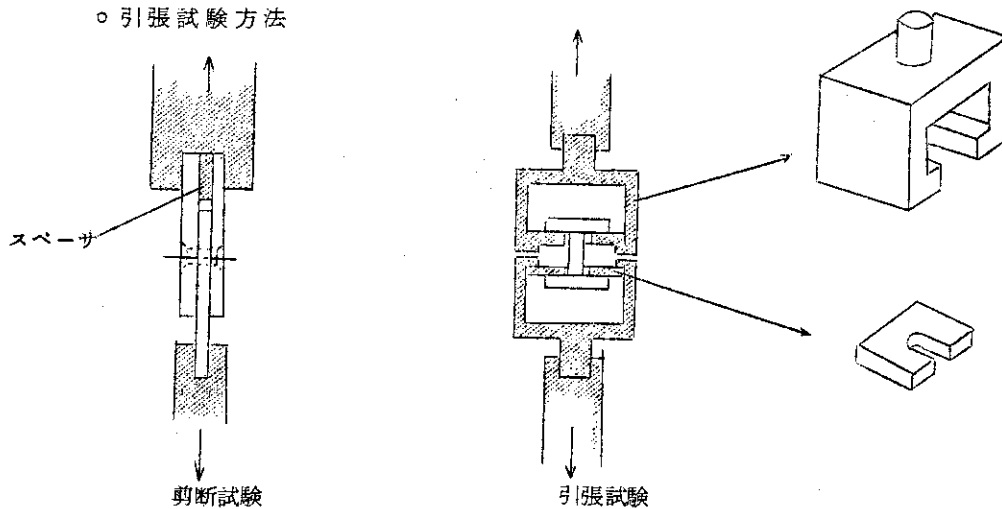


図 5-2-3 リベット接合強度試験

### 5.3 試験用ボイズンカーテンについての試験

JFDR-II ボイズンカーテンは全部で28体製作された。しかし、3章でも述べた様に、製作経費に乏しかったので、全部で28体製作するものうち、2体のみ早期に組立てを行ない先行試験が行なわれた。この先行試験に供したボイズンカーテンを以下試験用ボイズンカーテンと呼ぶことにする。

残りの26体のボイズンカーテンは、試験用ボイズンカーテンの先行試験結果が明らかになった後に組立てられた。

前節の、参考溶接試験、リベット接合強度試験を満足した同一溶接方法、同一条件で試験用ボイズンカーテン2体の組立作業を行った。使用した構成部品は部品の各検査基準に合格したものが使用された。

試験用ボイズンカーテン組立品2体の供試方法を表5-3-1に示す。

以下、表5-3-1に示す各試験の試験方法とその結果について述べる。

#### 5.3.1 非破壊検査

組立てられた2体の試験用ボイズンカーテンについて、外観検査と寸法検査が行なわれた。結果を表5-3-2に示す。

各寸法とも規格内に組立てられ、外観についても良好であった。

#### 5.3.2 試験用ボイズンカーテン組立後のオートクレーブによる腐食試験

試験用ボイズンカーテンの非破壊検査後、この2体についてオートクレーブ試験が行なわれた。参考オートクレーブ試験試料として試験片4枚が同時にオートクレーブされた。

オートクレーブ試験の条件は

圧力	: 70 Kg/cm <sup>2</sup> 以上
温度	: 286℃ 以上
保持時間	: 72時間以上(連続)

である。

オートクレーブ試験装置のP. & I. D を図5-3-1に示す。

純水製造装置には、イオン交換樹脂を使用している。純水タンクは、カーボンスチール製で、内面にノックスラスト(リン酸ナトリウム)被覆がしてある。配管はステンレス鋼、圧力容器は、カーボンスチール製で、内面にノックスラスト被覆が施されている。圧力容器の寸法は、内径80cm、高さ1.0mであり、ボイズンカーテンの保持具には、ステンレス製ワイヤー(より線)を、参考試験試料片については、ステンレス鋼線が使用された。圧力容器内の水は、強制循環される。

オートクレーブ試験時の各条件を知るために、次の記録を取り、さらに試験後検査を行い記録をとった。

- 1.) 水質調査記録
- 2.) 溶存酸素量測定記録
- 3.) 温度、圧力記録

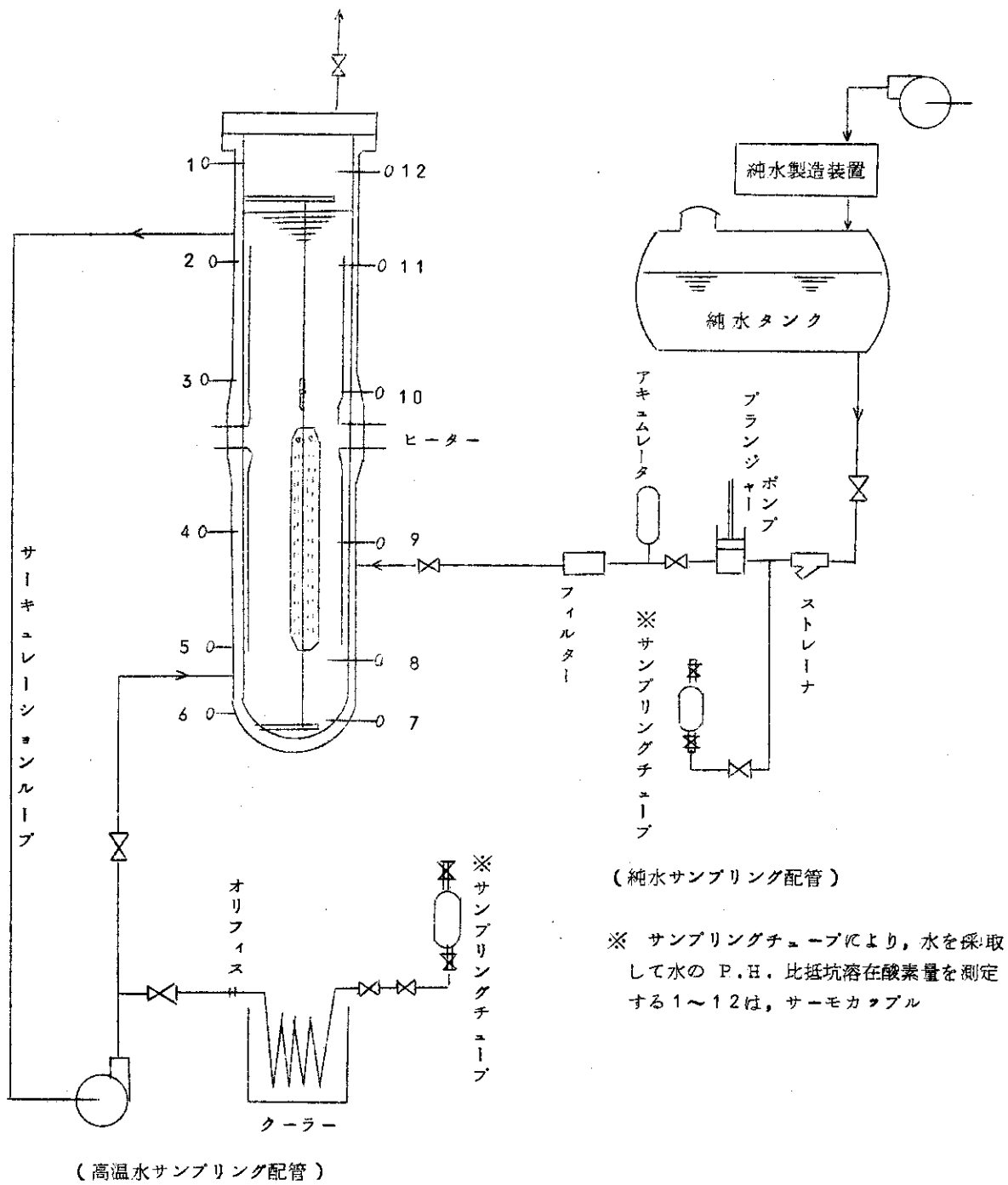


図 5-3-1 オートクレーブ試験装置

- 4.) 腐蝕増量記録
- 5.) 外観検査
- 6.) ハンマー試験
- 7.) 寸法変化測定記録
- 8.) カラーチェック

## 1.) 水質調査

### (1) P.H

表5-3-3に示す結果が得られた。

炉内の水は、クーラーで冷却後サンプリングした。炉内の水のP.Hが高いのは、リン酸ナトリウムの溶出によるものと考えられる。

### (2) 電気比抵抗

電気比抵抗は、コンダクトメーター（電気伝導度測定器）により測定され、サンプリング後2日間経過してから測定された。空気との接触時間は1分以内であった。炉内の水の電気比抵抗値が高く出ているのは、サンプリング後、2日間経過したためと、圧力容器中に被覆されたノックスラスト等の溶解物のために高い値となったと考えられる。表5-3-4にその値を示す。

## 2.) 溶存酸素

溶存酸素量の測定は、現場測定としてインジコカルミン比色法によった。一方サンプリングしてから2日間経過した後の測定は溶存酸素分析計（ベックマン製、タイプ777）によって測定された。その結果を表5-3-5に示す。供給水の現場測定は、供給水が空気にふれているため、溶存酸素量が多くなり、インジコカルミン比色法では測定範囲をこえるため測定不可能となった。

## 3.) 温度圧力記録

温度、圧力の記録を図5-3-2に示す。温度は仕様温度を上回る平均290℃であり、圧力も仕様圧力を上回った。保持時間は、72時間連続であった。

## 4.) 腐蝕増量

ポイズンカーテンの全重量が約12.5kgのため、オートクレーブ後の腐蝕増量を検出するには秤りの精度が不足するので測定できなかった。参考オートクレーブ試験片についての測定結果を表5-3-6に示す。

参考オートクレーブ試験片の試験は以下の順序で行われた。

### 測定方法

オートクレーブ前

アルカリ脱脂

↓

湯洗

↓

アセトン洗浄

表5-3-1. ボイゾンカーテン組立2体の共試方法

製品番号	非破壊検査	腐食試験	腐食試験後		
			非破壊検査	破壊検査	見本
A	○	○	○	○	
B	○	○	○		○

表5-3-3. P.H 測定結果

サンプリング日時	2月26日 21時	2月27日 21時	2月28日 21時	3月1日 11時
供給水	7.2	7.2	7.2	※ 7.1
炉内の水	9.6	9.6	10.0	※ 10.2

- いずれも空気との接触時間は1分以内
- ※印, サンプリング後2日間経過してから測定

表5-3-4  
電気比抵抗測定結果

サンプリング日時	3月1日 11時
供給水	$5.10 \times 10^3 \Omega cm$
炉内の水	$7.56 \times 10^3 \Omega cm$



表5-3-5 溶存酸素量測定結果

サンプリング日時	3月1日 11時	
測定方法	インジロカルミン比色法 現地測定	溶存酸素分析計 鶴見にて測定
供給水	—————	4.8 ppm
炉内の水	0.005 ppm	0.3 ppm

表5-3-6 参考試験片腐食増量

項目 T.P.№	オートクレーブ前 重量(g)	オートクレーブ後 重量(g)	表面積 ( $\text{dm}^2$ )	腐食増量 ( $\text{mg}/\text{dm}^2$ )
B-6	24.62421	24.62495	0.270	2.7
F-5	28.65782	28.65800	0.277	0.65
S-5	28.83155	28.83300	0.277	5.2
G-4	24.49172	24.49290	0.270	4.4

- B-6 : 東芝製ボロン入りステンレス鋼
- F-5 : SUS-304 CPを№7仕上げしたもの
- S-5 : SUS-304 CP市販品
- G-4 : GE製ボロン入りステンレス鋼

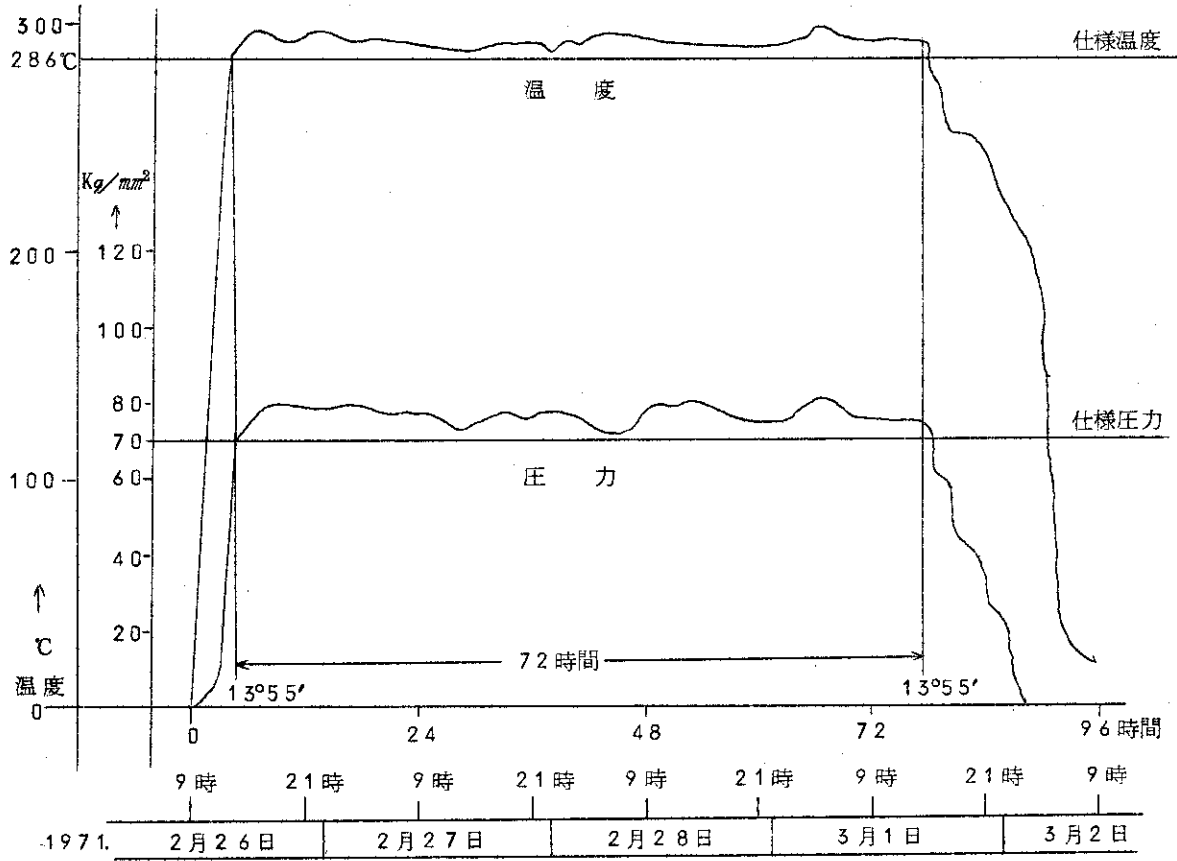
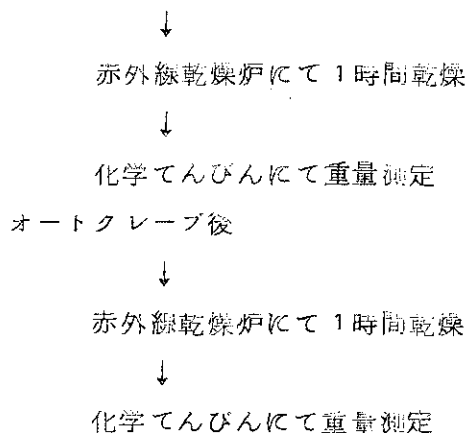


図5-3-2 JPDR-II ボイズンカーテン オートクレープテスト 温度-圧力記録





試験には、4枚の試験片を使用した。このうちの1枚はJ P D R G E製ボイズンカーテンの予備品から採取したボロン入りステンレス鋼板で、他の参考試験片と一緒にオートクレーブ試験に供された。

#### 5.) 外観検査

試験用ボイズンカーテン2体、参考試験片とも割れ、傷等の進行、発生はなく、黒みがかつた茶色に変色し、着色した酸化皮膜の密着性は良好であった。しかし色むら、すなわち、不均等な白色の変色部があった。これは圧力容器内面の防錆剤、ノックスラスト(リン酸ナトリウム)の付着と思われる。G E製と東芝製の差は、少し東芝製の方が着色が多いことであった。これは、表面アラサの差によるものと考えられる(東芝製の方が表面がアライ)。

このようにオートクレーブ試験の結果、タンク内の防錆剤、水質管理不十分等の悪条件下なので適切な着色状態がむずかしかった。そこで参考試験片各種類4枚を新たに製作し、東芝総合研究所にてオートクレーブ試験を行った。その結果、着色状態等良い結果が得られた。

#### 6.) ハンマー試験

オートクレーブ試験されたボイズンカーテンを、木ハンマーで叩いた結果、酸化皮膜のはくりは無かった。

#### 7.) 寸法変化測定記録

表5-3-2にオートクレーブ前とオートクレーブ後のボイズンカーテン各寸法の測定値を示す。

各寸法ともオートクレーブ試験によって著しく変化を示さなかった。これより材質及び熱処理等が良好であると判断した。

寸法上大きな変化を示したものは平面度であり、その最大の変化は1.35mmであった。その他に、オートクレーブによる変化は特に観察されなかった。図5-3-3(1),(2),(3)にその変化状態を示す。

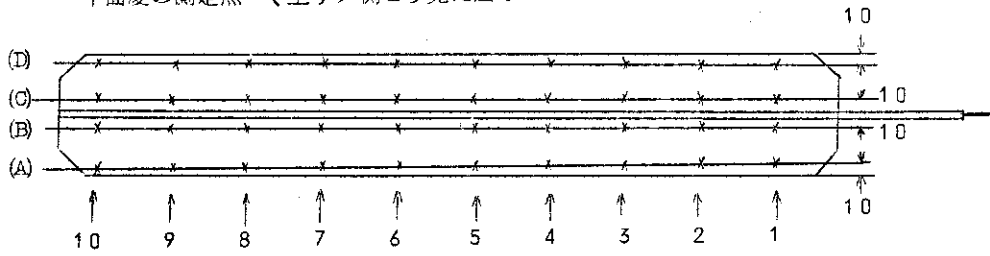
#### 8.) カラーチェック

オートクレーブされた試験用ボイズンカーテン中1体(製品番号№2)について、溶接部の健全性の検査として、全溶接部のカラーチェックを行った。

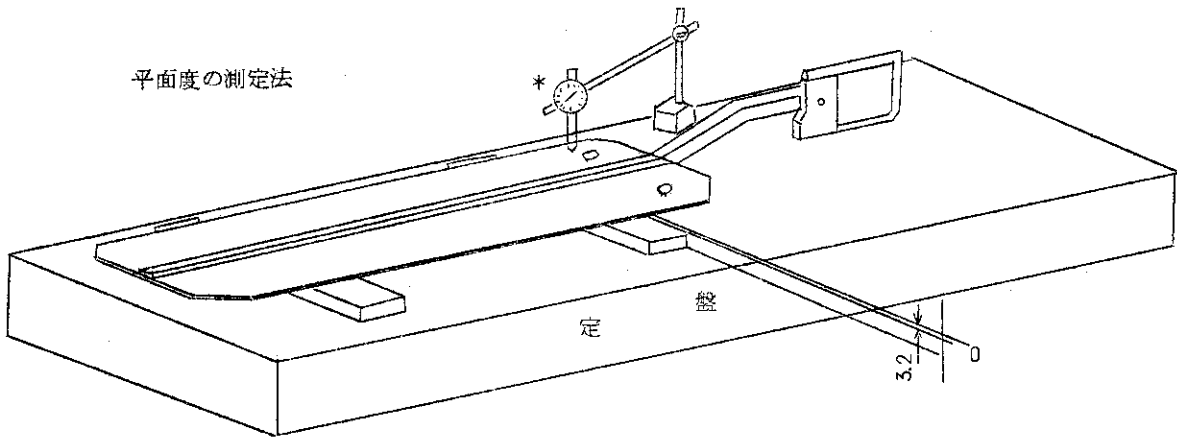
チェックの結果全溶接部とも溶接は良好であった。

ただ1ヶ所に(ハンドル取付部)キレンの疑いがあった。しかし、試験方法によるものとも考えられ最終的判断は下せなかった。

平面度の測定点 (上リブ側より見た図)



平面度の測定法



\* 測定の基準点： 定盤上に置かれたブロックの上面からポイズンカーテン仕様の肉厚 3.2 mm を加えた高さを 0 点とする。

図 5-3-3 (1)

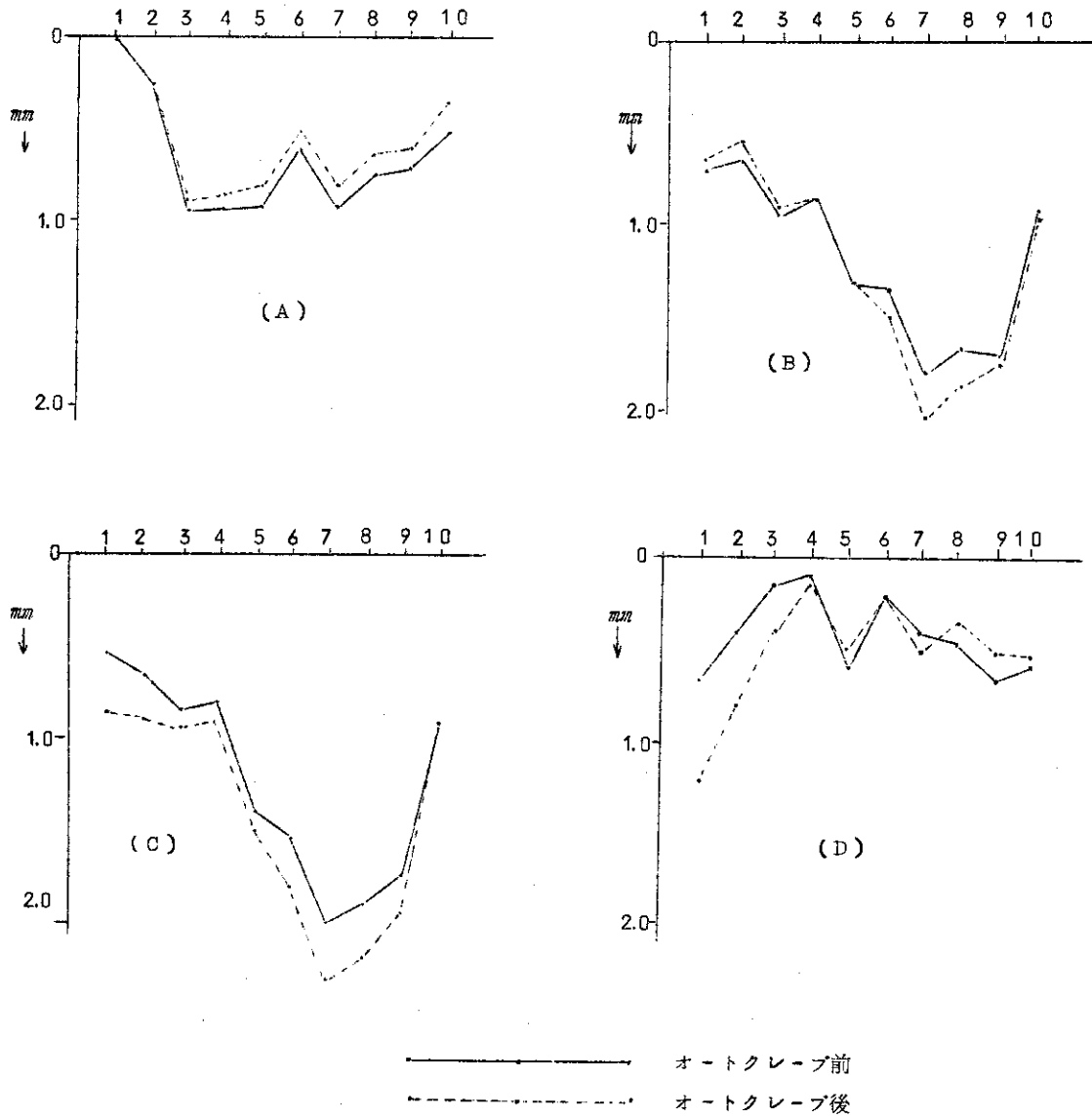


図 5-3-3 (2)

ポイズンカーテン No. 1 オートクレープ前後の平面度の変化

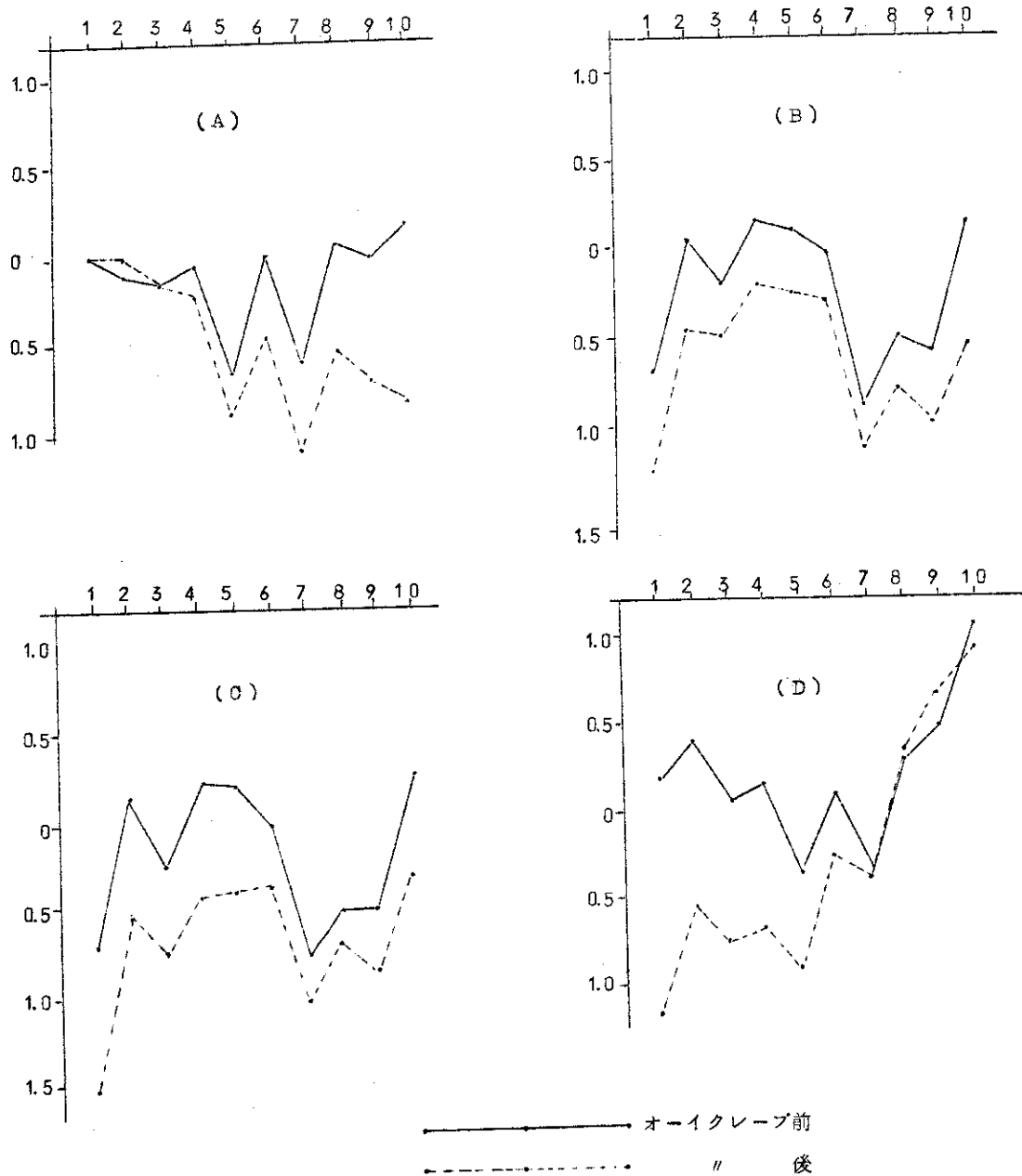


図 5-3-3 (3)

ポイズンカーテン No.2 オートクレープ前後の平面度変化

## 5.3.3 オートクレープ試験後の破壊試験

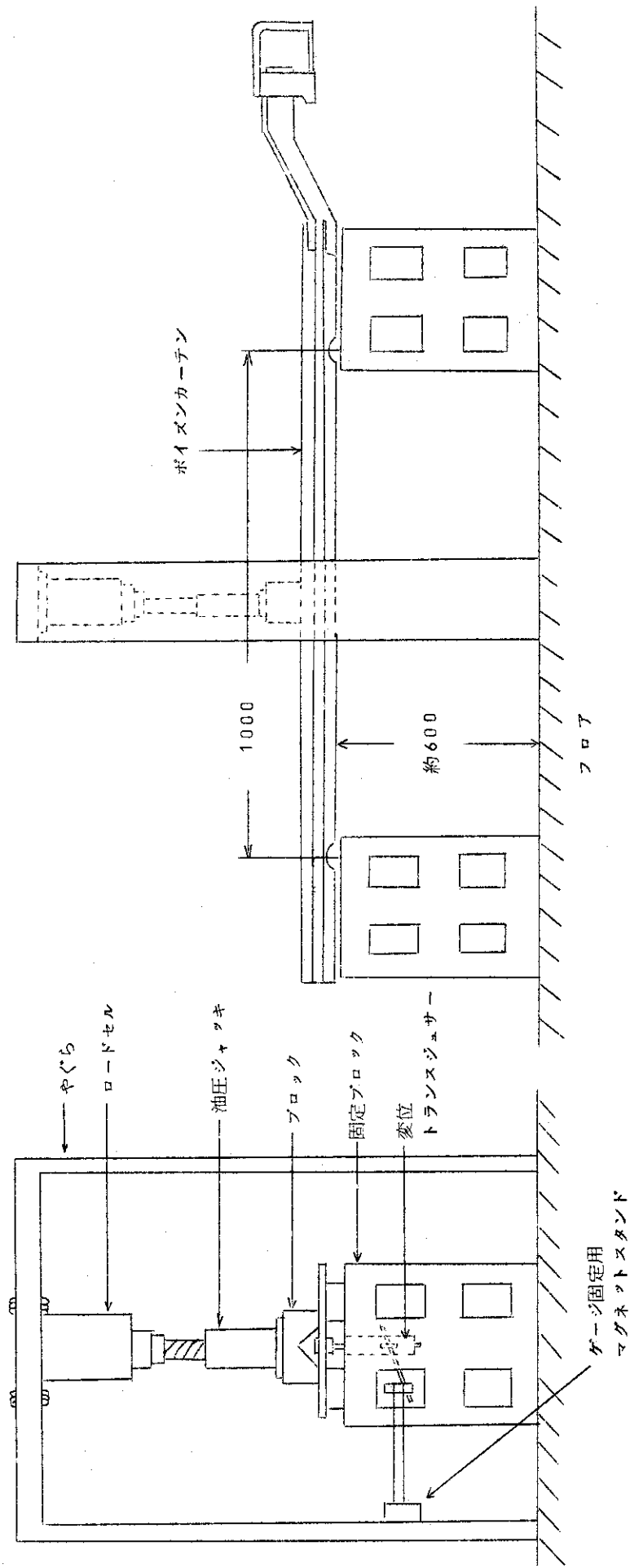
試験用ボイズンカーテン（製品番号162）1体につき破壊試験を行った。図5-3-4に破壊試験装置の概略図を示す。図5-3-5にその試験結果を示す。

図5-3-4による試験方法で、スパン1000 mmとした破壊試験では、カーテン本体及び、リベット部分その他の個所において破壊を生じなかった。この試験後さらに厳しい条件としてスパン500 mmの曲げ破壊試験を行ったが、たわみ角度 $90^\circ$ になっても、カーテン本体及び、リベット、リブ、その他の個所において破壊を生じなかった。

以上の結果から、外部応力がかかっても、リベットがカーテンのリベット孔の中だけかかっていることがわかった。これより、カーテンとリブのスウェリングによる膨張が大きく変わっても著しい変形は発生しないと考えられる。

曲げ破壊試験において、外観上大きな変化を示した個所を図5-3-6に示す。

破壊試験体..... 62試験用ポイズンカーテン



単位: mm

図 5-3-4 破壊試験装置概略図

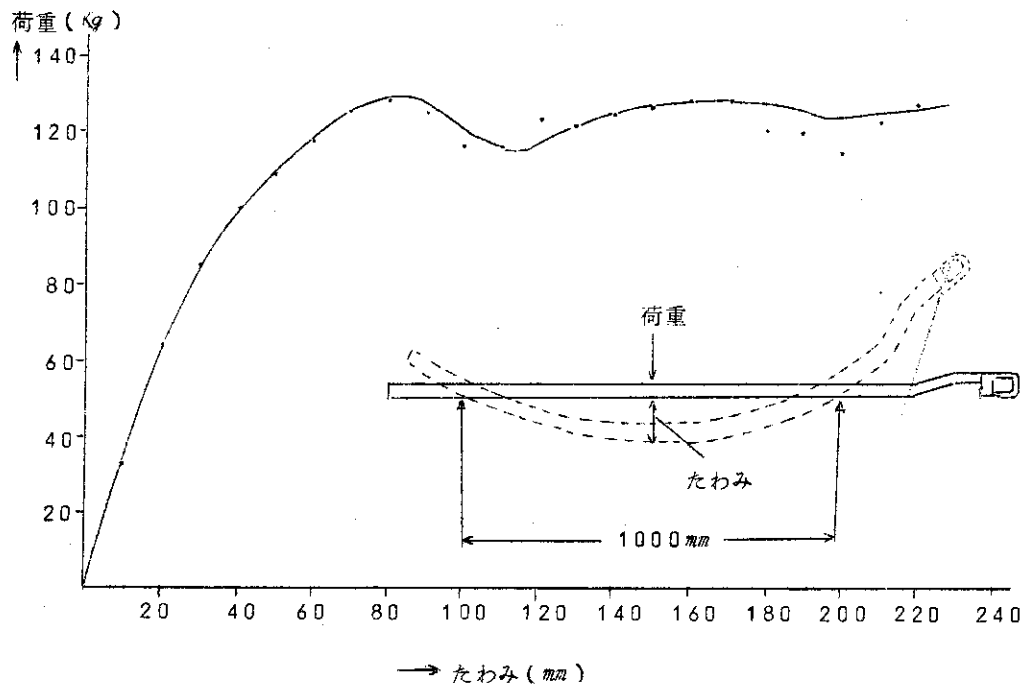


図 5-3-5 ポイズンカーテン破壊試験結果 荷重-たわみ曲線

○寸法測定 (主として、リップとカーテンをとめるリベット部の寸法検査を行なった)

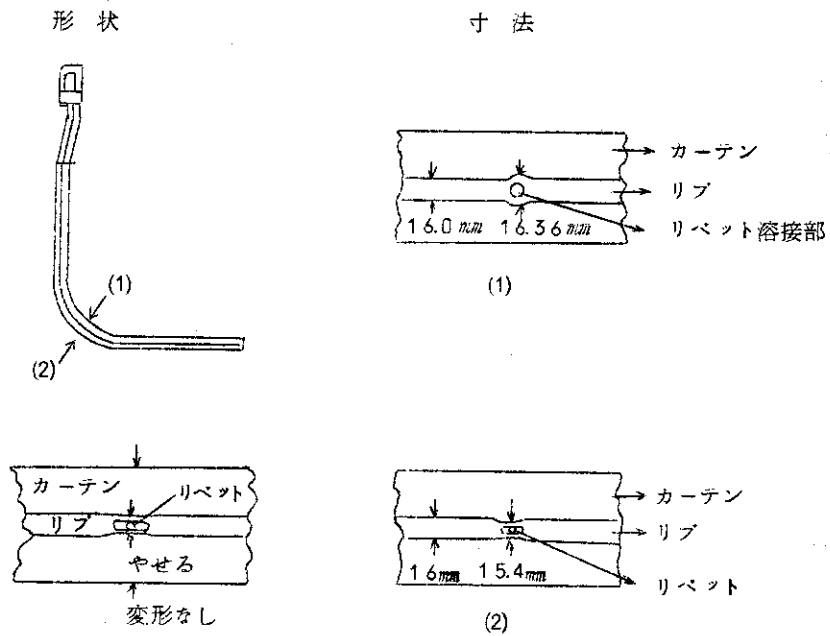


図 5-3-6 試験後の形状

#### 5.4 構成部品の検査

ボロン入りステンレス鋼板を除く、その他の構成部品は、社内において構成部品の材質、寸法、外観等の検査が行われた。各構成部品について、使用材料の Mill Sheet が提出された。これをまとめたものを表 5-4-1 に示す。全構成部品の材料は規格を満足していた。

#### 5.5 J P D R - II ホイゾンカーテン完成品検査

試験用ホイゾンカーテン 2 体について、先行試験が実施され、特に問題が生じなかったため、残りの 26 体の組立てが行われ、J P D R - II ホイゾンカーテンの製作が完了した。

各構成部品の規格及び規定する試験に合格した構成部品を使用し、参考溶接試験、リベット接合強度試験を満足した。同一条件で、組立溶接作業が行われた。

製作されたホイゾンカーテン 26 体全数は、社内において、寸法及び外観検査が行われた。その結果を Appendix-B に示す。いずれのホイゾンカーテンとも各寸法規格を満足していた。

社内検査後、ホイゾンカーテンの立会検査を行った。検査項目は、主として外観及び寸法の検査である。

##### 5.5.1 外観検査

1) ホイゾンカーテン No. 27 にはハンドル部に打傷があった。溶接時のアークによる傷が No. 19, 12, 25, の 3 体に認められたが、傷の状態、大きさ等を考慮し使用上特に問題が無いので合格とした。

##### 2) 汚れについて

リベット頭部に赤エンピツによるマーク等が残っていた。納入に際して、最終洗浄を行ない除去された。

##### 3) 溶接部

目視による溶接部の外観を見た結果、溶接部の溶け込み不良、溶接割れ等は無く良好であった。ただ溶接状態の不均在 2, 3 見られた。溶接部の X-線フィルム検査では、ブローホールは認められなかった。カーテン No. 5 において不明瞭な点があり、カラーチェックを追加した。

##### 4) 表面仕上

カーテン表面仕上は、最終的にスコッチブライトで表面研磨された。検査は比較用表面アラサ標準片 ( J I S B - 0 6 5 9 ) との比較によった。結果は全数 6-S ~ 3-S であった。

##### 5.5.2 寸法検査

Appendix-B に社内寸法検査の測定記録を示す。この社内検査結果を基にして立会検査を行った。立会検査は、主として重要と思われる箇所を抜取りで測定した。そのうちの主な事項は次の通りである。

1) ハンドル取り付け平行度は、カーテン No. 21, 27 の規格を若干外れていたため、手直を行った。

2) スペーサーの問題は、組立て後測定不可能のため、X-線フィルムによりチェックした。すべて 1.5 mm ~ 2 mm の値で規格内であった。



表 5 - 4 - 1 JPDR-II POISON CURTAIN MATERIAL DATA

Name	Drawing %	Material	Mill Sheet %	Charge %	Chemical Analysis										Mechanical Properties			
					C	Si	Mn	P	S	Ml	Cr	TS	Y.S.	Elong.	R.A.	Hardness Min.		
					Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Min.	Min.	Min.	Min.				
Handle	K-6B310155#1	SUS-27B	S-3948	43-1114	.07	0.45	1.42	.031	.005	893	18.45	600	300	670	780	HB 146		
Ribbet	K-6B700165#1	SUS-27B	S-3948	43-1114														
Ribbet	K-6B700165#2	SUS-27B	S-3948	43-1114														
Ribbet	K-6B700165#2	SUS-27B	S-3948	43-1114														
KAGIITA	K-6B320156#1	SUS-27HP	65723	6625	.06	0.59	0.95	.030	.007	900	18.30	61	29	66	-	HB 129		
ANNAI	K-6B330157#1	SUS-27HP	4475	N38596	.05	0.56	1.20	.026	.008	915	19.10	64	25	54	-	HRB 65		
HOKYOITA	K-6B340158#1	SUS-27HP	4475	N38596														
UERIB	M-6B500119#1	SUS-27HP	Z-42490	83672	.05	0.66	1.64	.028	.009	910	18.48	61.6	21	60.2	-	HB 156		
SHITARIB	M-6B500120#1	SUS-27HP	Z-42490	83672														
UERIB	M-6B500119#1	SUS-27HP	Z-45512	88688	.05	0.66	1.63	.028	.010	898	18.48	62.5	22	55.6	-	HB 164		
SHITARIB	M-6B500120#1	SUS-27HP	Z-45512	88688														
UERIB	M-6B500119#1	SUS-27HP																
SHITARIB	M-6B500120#1	SUS-27HP																
Spacer	K-6B400159#1	SUS-270P	Z-46532	88978-04	.05	0.62	1.68	.028	.008	880	18.27	61.1	21	57.8	-	HRB 78		
Spacer	K-6B400159#2	SUS-270P	Z-32134	86272-1	.06	0.70	1.86	.035	.009	903	18.31	61.5	22	61.2	-	HV 157		

※ Material記号: JIS 1972 SUS-27 & SUS-304 記号改定

1971.3.25 By F. IZUMI

1971.3.25

3) その他、測定場所、測定者、測定具の精度等を考慮し検討した結果、各寸法とも良好であった。

4) ハンドルとカーテンとの取付角度を検査するため、吊り下げテストを行ってみた。その結果を図5-5-1に示す。

5) Appendix-B の表B-1中A1, A2, は4.1に述べたスウェリング測定用のゲージマーク間隔の測定結果である。A1は表側, A2は裏側の測定結果を示す。

### 5.5.3 立会検査のまとめ

ボイズンカーテン製品立会検査の結果、寸法で仕様値を満足しない項目もあった。そのような場合再測定を行い、さらに手直しした結果、すべて寸法仕様を満足した。外観は、出荷時に最終洗浄が行われるので特に重視しなかった。

### 5.6 ボイズンカーテン受入検査

製品完成後JFDR-IIボイズンカーテンはJPDR T.C.A 産産に納入された。1971年4月30日T.C.Aにて開梱を行った。梱包はJFDR-II用ボイズンカーテン梱包方案通り、4箱の木箱からなり1箱に7枚のカーテンが入れられていた。開梱後、外観検査を行った。

輸送による木箱の破損は認められなかった。開梱後、外観検査を行ったところボイズンカーテン表面の最終洗浄は必ずしも充分でなかった。このため原子炉装荷時にアセトン洗浄を行った。

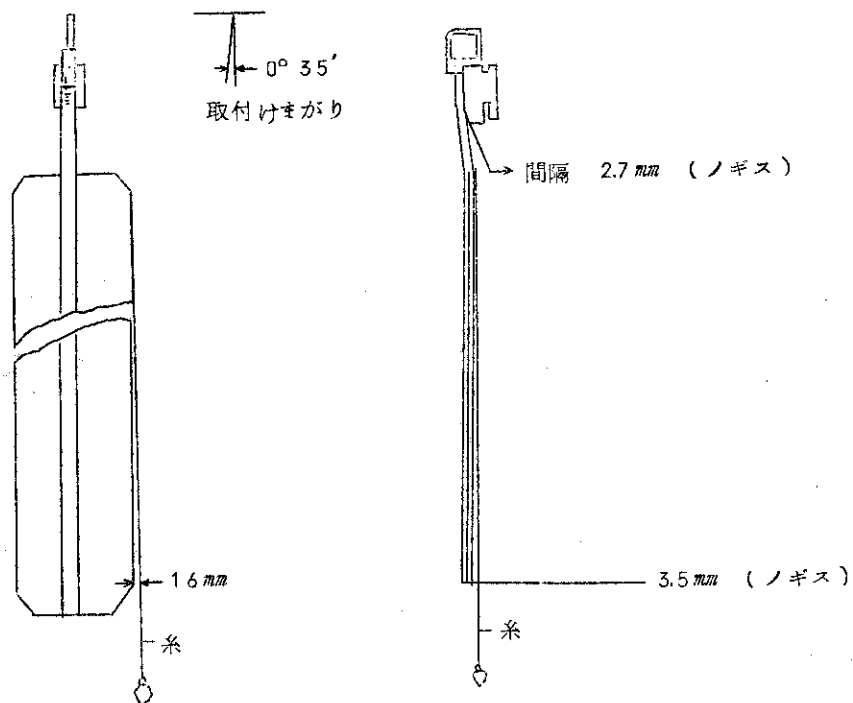


図5-5-1 つり下げテスト結果

## 6. J PDR-II ボイズンカーテンの反応度測定

完成した J PDR-II ボイズンカーテン 27 枚 (26 体の完成品とオートクレーブ試験に供した 1 体) の機能検査として T C A において反応度試験が行われた。試験の配置を図 6-1 に示す。ボイズンカーテンは炉心構成の中央十字形の水ギャップ内に挿入し、臨界水位が求められた。また図 6-2 は、ボイズンカーテンの T. C. A 試験炉心内挿入位置の垂直方向を示す。

表 6-1 はボイズンカーテン反応度測定結果である。反応度の値は、ボイズンカーテンのない時の臨界水位と、ある時の臨界水位との差から次の計算式により求められた。

$$\rho(\beta) = 3665 \times 10^6 \left\{ \frac{1}{(H_1 + 8)^2} - \frac{1}{(H_2 + 8)^2} \right\}$$

$H_1$  = 6 8.9 9 5 cm カーテン無し時の臨界水位

$H_2$  : カーテンあり時の臨界水位 cm (有効水位)

サーボ 0 点 = 2 4 8.3 mm

反応度測定の精度は  $\pm 2 \beta$  程度の誤差で測定された。これにはカーテンの挿入位置の再現性による誤差も考えられる。平均値は  $435.9 \beta$  であった。平均値には  $\pm 10\%$  程度の誤差が見込まれるが、この平均値からの差  $\pm 20 \beta$  以内にはすべてのカーテンの反応度が入っている。相対誤差は、図 6-4 に示すように約  $\pm 0.5\%$  である。ボイズンカーテンの等価反応度 (チャージ別別の反応度) を図 6-4 に示す。図 6-3 は、それぞれのカーテンの推定されるボロン含有率 (表 6-1 の値) と反応度の関係を示したものである。この図に見られるように、ボロン含有率と反応度間には特に著しい関係は見られない。これを各チャージロット毎のボロン濃度平均値で整理したものが図 6-4 である。このように整理すると割合に集団を形成していることが分る。しかしながらボロンの混入状態にむらがあるのか、分析上誤差が大きいのかという疑問が残されるが、反応度としては割合にばらつきが無く  $\sigma$  が  $\pm 2.5\%$  で、 $1\sigma$  以内が 12 体、 $2\sigma$  以内が 15 体であった。これより充分使用に耐えうるものと判断した。

ボロン分析における分析上の誤差は最大 1.28% であった。しかし反応度測定の結果では、3.6% であった。

JPDR 模擬炉心

2.6wt% 燃料棒 18×18+4=328本

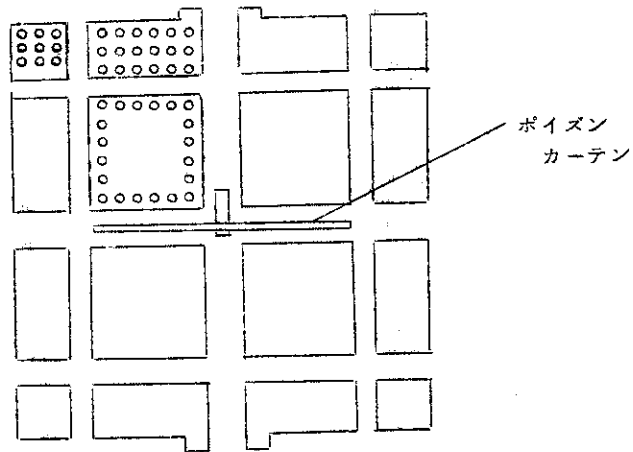


図 6-1

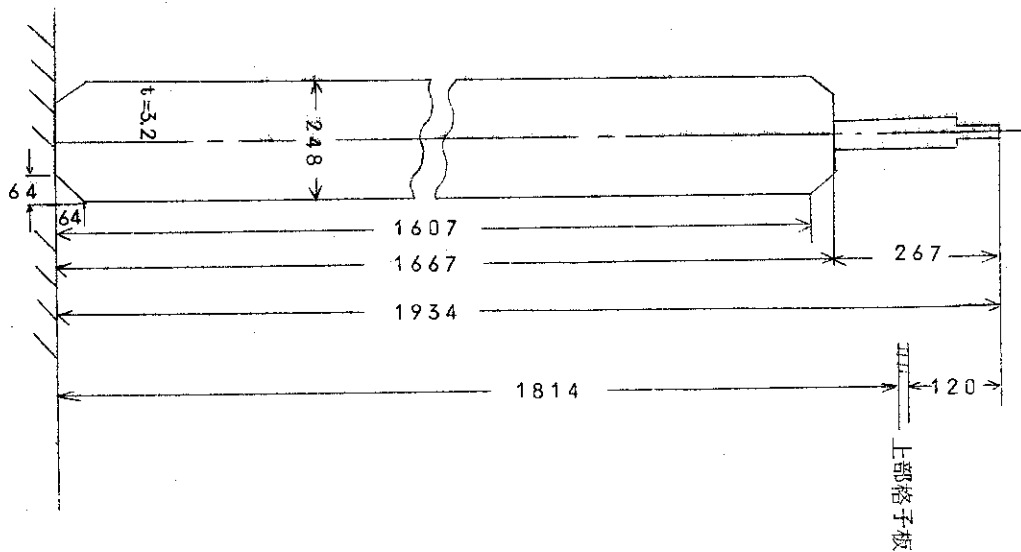


図 6-2 ポイズンカーテンの炉心内挿入位置垂直方向

表6-1 JPDR-II ボイズンカーテン反応度測定結果

反応度平均 = 435.9  
 $\sigma$  = ±10.7  $\delta$  = 2.5%  
 分析平均 = 1066 ppm  
 $\sigma$  = ±61.6 ppm = 5.8%

Series No.	Curtain Weight (kg)	Boron Content (ppm)	Charge %	Critical Water Level, Hc	Reactivity (Ho-Hc)	Difference %	from Average Absolute Value	Judgment
1	10.03	1120	W9136-2	16098	4418	+14	+59	1
(1)				16111	4421	+14	+62	1
3	10.03	1090		163785	4485	+29	+126	2
4	9.96	1080	W9137-1	16362	4481	+28	+122	2
5	10.05	1160		164836	4509	+34	+150	2
6	10.03	1000	W9138-1	15973	4387	+06	+28	1
7	10.11	1050		16025	4400	+09	+41	1
8	9.97	1040		160365	4403	+10	+44	1
9	10.06	1080	W9137-1	16330	4474	+26	+115	2
10	10.08	1140		16491	4511	+35	+152	2
11	10.13	1140		16320	4472	+26	+113	2
12	9.93	1000	W9138-1	16077	4413	+12	+54	1
13	10.06	1040		16388	4487	+29	+128	2
(15)				164395	4499	+32	+140	2
14	10.01	1110	W9217-1	15687	4315	-1.1	-4.6	1
15	10.01	1110		15689	4314	-1.0	-4.5	1
16	9.97	1070		15672	4309	-1.1	-5.0	1
17	10.07	1080		15710	4319.6	-0.9	-3.9	1
18	9.99	1080		15805	4344	-0.3	-1.5	1
19	10.04	1050		15797	4342	-0.4	-1.7	1
20	10.00	1060	W9218-1	153845	4230	-3.0	-12.9	2
21	9.93	1060		152865	4202	-3.6	-15.7	2
22	10.10	1080		15365	4224	-3.1	-13.5	2
23	10.06	1080		15723	4323	-0.8	-3.6	1
(23)				15807	4345	-0.3	-1.4	1
24	9.92	1020		15274	4198	-3.7	-16.1	2
25	9.97	1020		153075	4208	-3.5	-15.1	2
26	10.12	970		154055	423.6	-2.8	-12.3	2
27	9.94	970		153255	421.3	-3.3	-14.6	2
28	10.02	1100	W9136-3	16319	447.1	+2.6	+11.2	2

(注): ( )は再測定

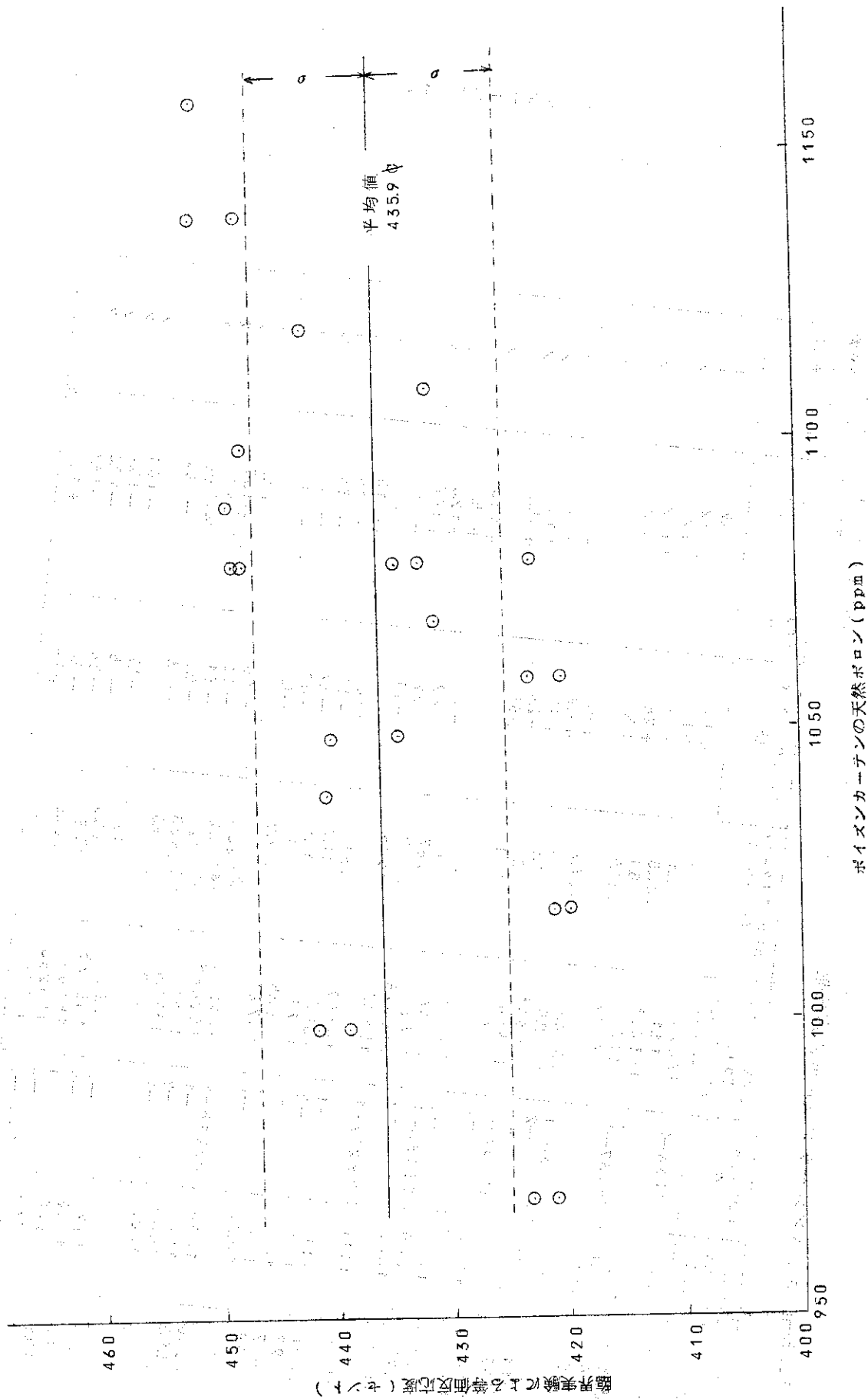


図 6-3 ポイズンカーチンの等価反応度 (各カーチンごとの反応度)

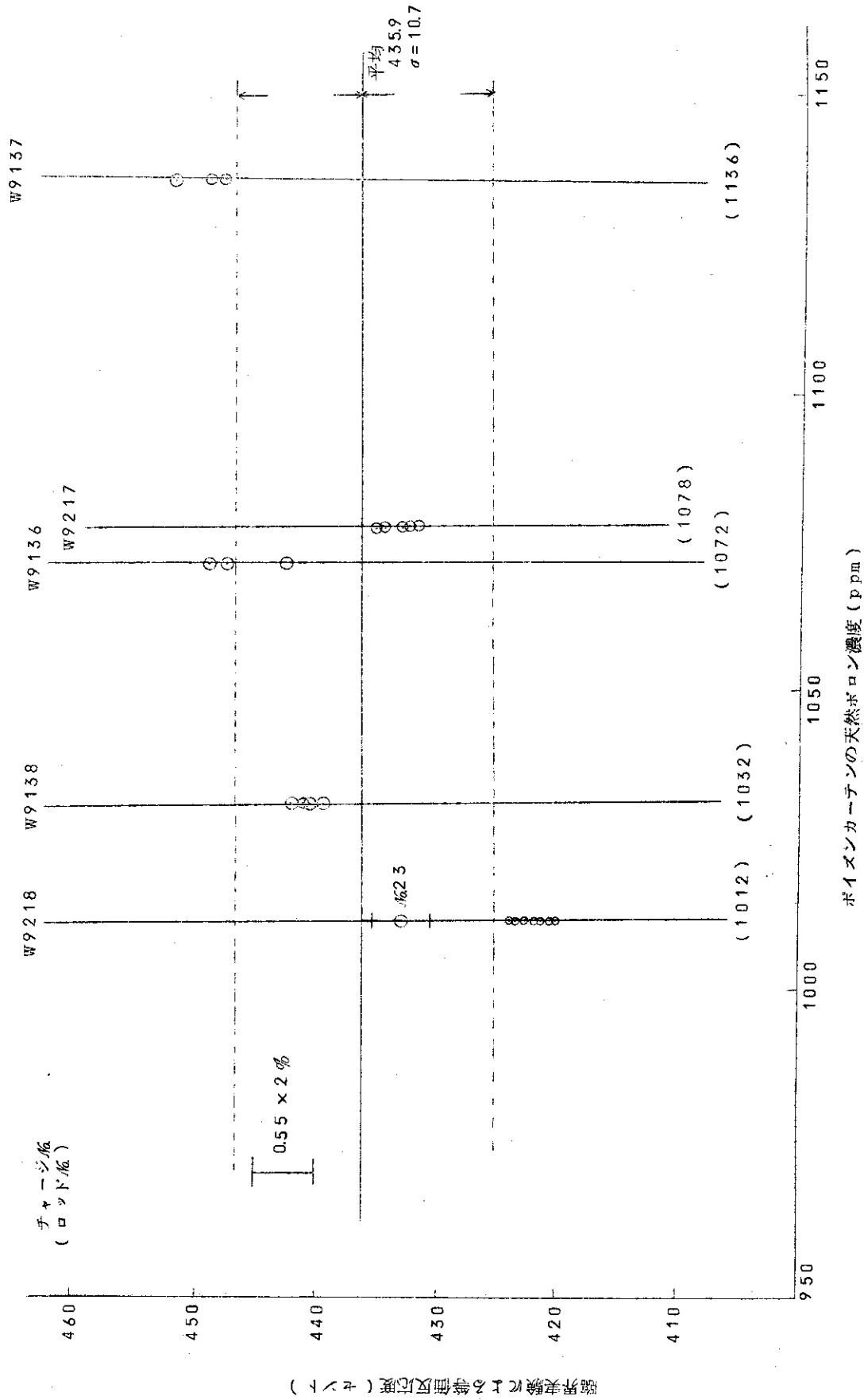


図 6-4 ポイズンカーテンの等価反応率 (チャージ版別の反応率)

## 謝 辞

J P D R - II ボイズンカーテンの設計および仕様の確定に当っては長崎隆吉氏（燃料工学部次長）に多くの教示をうけた。

オートクレーブ試験の方法，測定に関しては，近藤達男氏（材料工学研究室）の指導をうけた。

ボロンの定量に関する分析方法については大西寛氏をはじめとする分析センターの各氏にお世話になった。

スウェリングのことについて白石健介氏（材料物性研究室），江頭忠彦（動力試験炉部）に教えをいただいた。

J P D R - II ボイズンカーテンの発註，製作は J P D R - II 炉内設計グループ，木下武彦氏，小池常之氏，埴幸光氏の各氏が当られた。

T.C.A 反応度試験は，松浦祥次郎氏を中心とする T.C.A の各氏によって行なわれた。

レポート編集に当り，栗山実氏にお世話になった。また，関直恵嬢には原稿の整理を願った。これら各氏に深く謝意を表します。

なお，もともとこのレポートは，J P D R - II 炉内設計グループの各氏と共著とする予定であったが，上記各氏の移動などがあり，燃料設計研究室単独でまとめることになってしまった。特に立会検査，受入検査等の製作に関しては，J P D R - II 炉内設計グループ各氏の努力に負うものである。

また，反応度試験の試験結果等は，松浦祥次郎氏によってまとめられた実験報告書により抜粋させてもらったものである。

おわりにのぞみ，J P D R - II ボイズンカーテンの製造に当られた東京芝浦電気鶴見工場および柳町工場の益田恭尚，西沢博史，桜永友信，石井良一，佐々木茂夫，前田茂，矢萩富美雄，奥田健二，越智義春，蛭田千秋の各氏に謝意を表します。

5章の試験，検査記録類は主として，東芝より提出された検査報告書より転載させてもらったものである。

## 参 考 文 献

- 1) D.A. Venier and J. Jacobson; "Reactor Design Report for JPDR", GEAP-3767
- 2) チェモシェンコ著：“材料力学（上）”，p-213，東京図書
- 3) D.W. Ver Plank, B.R. Teare, Jr 著：野村正二郎訳，“エンジニアリングアナリシス—工学問題の解き方—”p79-89，丸善株式会社



## 謝 辞

J P D R - II ボイズンカーテンの設計および仕様の確定に当っては長崎隆吉氏（燃料工学部次長）に多くの教示をうけた。

オートクレーブ試験の方法，測定に関しては，近藤達男氏（材料工学研究室）の指導をうけた。

ボロンの定量に関する分析方法については大西寛氏をはじめとする分析センターの各氏にお世話になった。

スウェリングのことについて白石健介氏（材料物性研究室），江頭忠彦（動力試験炉部）に教えをいただいた。

J P D R - II ボイズンカーテンの発註，製作は J P D R - II 炉内設計グループ，木下武彦氏，小池常之氏，埴幸光氏の各氏が当られた。

T.C.A 反応度試験は，松浦祥次郎氏を中心とする T.C.A の各氏によって行なわれた。

レポート編集に当り，栗山実氏にお世話になった。また，関直恵嬢には原稿の整理を願った。これら各氏に深く謝意を表します。

なお，もともとこのレポートは，J P D R - II 炉内設計グループの各氏と共著とする予定であったが，上記各氏の移動などがあり，燃料設計研究室単独でまとめることになってしまった。特に立会検査，受入検査等の製作に関しては，J P D R - II 炉内設計グループ各氏の努力に負うものである。

また，反応度試験の試験結果等は，松浦祥次郎氏によってまとめられた実験報告書により抜粋させてもらったものである。

おわりにのぞみ，J P D R - II ボイズンカーテンの製造に当られた東京芝浦電気鶴見工場および柳町工場の益田恭尚，西沢博史，桜永友信，石井良一，佐々木茂夫，前田茂，矢萩富美雄，奥田健二，越智義春，蛭田千秋の各氏に謝意を表します。

5章の試験，検査記録類は主として，東芝より提出された検査報告書より転載させてもらったものである。

## 参 考 文 献

- 1) D.A. Venier and J. Jacobson; "Reactor Design Report for JPDR", GEAP-3767
- 2) チェモシェンコ著: "材料力学(上)", p-213, 東京図書
- 3) D.W. Ver Plank, B.R. Teare, Jr 著: 野村正二郎訳, "エンジニアリングアナリシス—工学問題の解き方—" p79-89, 丸善株式会社

## Appendix-A, JFDR-I ボイズンカーテン彎曲の解析

## 1. はじめに

JFDR-I ボイズンカーテンは、ボロン入りステンレス鋼板（以下ボロン鋼板と略す）と支持体が溶接による1体構造である。照射による支持体（SUS-304）とボロン鋼板のスウェリング率に差があると1体構造であるため、バイメタルと同様な現象がおこり彎曲する。

彎曲をおこしたボイズンカーテンの観察によれば、支持体の方が内側になっていた。この状態は図3-1に示す通りである。

これより、ボロン鋼板の方が支持体より大きいスウェリングを起したと考えられる。

彎曲したボイズンカーテンは、支持体とボロン鋼板とが1体構造のため、接合面上で両者の歪が等しくなるような力が作用していると考えられる。すなわち、彎曲の状態から、ボロン鋼板には圧縮力、支持体には引張り力が作用していると考えられる。この力の作用面は接合面であり、ボロン鋼板および支持体のそれぞれの中立軸からはなれているので、曲げモーメントの原因となる。

結果として、ボロン鋼板は圧縮力（ $F_b$ ）と曲げ（ $M_b$ ）の両作用を受け、支持体は引張り力（ $F_s$ ）と曲げの両作用を受ける。

以下、この彎曲に関し、ボロン鋼板のスウェリング量、歪等を推定するため、バイメタルに<sup>2),3)</sup>使われる解析方法を利用する。

1) 接合面における力は大きさが等しく、方向が異なるだけである。

$$F_b = F_s = F \quad (A-1)$$

2) ボロン鋼板、支持体の断面はいずれも長方形でありその高さをそれぞれ  $h_b, h_s$  とすれば曲げモーメントは

$$\left. \begin{aligned} M_b &= F h_b / 2 \\ M_s &= F h_s / 2 \end{aligned} \right\} \quad (A-2)$$

である。

ボイズンカーテン全体に働く曲げモーメントは、上記  $M_b$  と  $M_s$  の加算値である。

$$M = M_b + M_s = F (h_b + h_s) / 2 \quad (A-3)$$

梁に関する曲げ応力の公式より、 $E$ ：ヤング率、 $I$ ：断面二次モーメント、 $R$ ：曲率半径、添字  $b$ ：ボロン鋼板、 $s$  支持体として

$$\frac{M_b}{E_b I_b} = \frac{1}{R_b}, \quad \frac{M_s}{E_s I_s} = \frac{1}{R_s} \quad (A-4)$$

が成立する。

接合面における曲率半径を  $R$  とすれば、 $R_b = R + h_b$ ,  $R_s = R - h_s$  であるが、 $R$  に比べて  $h_b$ ,  $h_s$  は小さいので

$$R_b \approx R_s \approx R \quad (A-5)$$

とする。

## 2. 接合面に働く力

(A-3), (A-4) より次の関係式が成立する。

$$\frac{P}{2} (h_b + h_s) = \frac{E_b I_b}{R} + \frac{E_s I_s}{R} \quad \text{--- (A-6)}$$

これより接合面に作用する力は次のように求まる。

$$P = \frac{2(E_b I_b + E_s I_s)}{R(h_b + h_s)} = \frac{2E_b I_b}{R h_b} \cdot \frac{1 + \left(\frac{E_s}{E_b}\right) \left(\frac{h_s}{h_b}\right)^3 \left(\frac{W_s}{W_b}\right)}{1 + \left(\frac{h_s}{h_b}\right)} \quad \text{--- (A-7)}$$

( $I = \frac{1}{12} h^3 W$ , ただし  $W$  はボロン鋼板, あるいは支持体の巾とする)

### 3. ボロン鋼板のスウェリングによる歪

ボロン鋼板および支持体の接合面における歪について次の関係式が成立する。

支持体:

$$\epsilon_{SS} \text{ (スウェリングによる歪)} + \epsilon_{SL} \text{ (引張り力 } P_S \text{ による歪)} + \epsilon_{Sm} \text{ (曲げモーメント } M_s \text{ による歪)}$$

ボロン鋼板:

$$\epsilon_{bS} \text{ (スウェリングによる歪)} - \epsilon_{bL} \text{ (圧縮力 } P_b \text{ による歪)} - \epsilon_{bm} \text{ (曲げモーメント } M_b \text{ による歪)}$$

接合面において上記の歪は等しくなければならないので,

$$\epsilon_{SP} + \epsilon_{Sm} + \epsilon_{SS} = \epsilon_{bS} - \epsilon_{bP} - \epsilon_{bm} \quad \text{--- (A-8)}$$

である。ここで,

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{SP} &= \frac{P}{A_s E_s}, & \epsilon_{Sm} &= \frac{M_s h_s}{2 E_s I_s} = \frac{h_s}{2R} \\ \epsilon_{bP} &= \frac{P}{A_b E_b}, & \epsilon_{bm} &= \frac{M_b h_b}{2 E_b I_b} = \frac{h_b}{2R} \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (A-9)}$$

である。(ただし,  $A_s, A_b$  はボロン鋼板, 支持体のそれぞれの断面積) (A-9) を (A-8) に代入して,

$$\frac{P}{A_s E_s} + \frac{h_s}{2R} + \epsilon_{SS} = \epsilon_{bS} - \frac{P}{A_b E_b} - \frac{h_b}{2R} \quad \text{--- (A-10)}$$

となる。

(A-10) より,  $\epsilon_{bS} - \epsilon_{SS}$  すなわち, スウェリングによるボロン鋼板と支持体の歪差を求めると,

$$\Delta \epsilon_{Sb} = \epsilon_{bS} - \epsilon_{SS} = P \left( \frac{1}{A_s E_s} + \frac{1}{A_b E_b} \right) + \frac{1}{2R} (h_s + h_b)$$

である。

この式に、先に求めた力 P の式 (A-7) を代入し整理すると

$$\Delta \epsilon_{bS} = \frac{n_b}{2R} \left[ \frac{1}{3 \left(1 + \frac{n_s}{n_b}\right)} \left\{ 1 + \left(\frac{E_s}{E_b}\right) \left(\frac{n_s}{n_b}\right)^3 \left(\frac{W_s}{W_b}\right) \right\} \left\{ 1 + \left(\frac{n_b}{n_s}\right) \left(\frac{W_b}{W_s}\right) \left(\frac{E_b}{E_s}\right) \right\} + \left(1 + \frac{n_s}{n_b}\right) \right] \quad (A-11)$$

が得られる。

#### 4. J PDR ボイズンカーテンの彎曲について

J PDR ボイズンカーテンの彎曲について、まず (A-7) 式によって接合面に働く力を計算する。

$$P = \frac{2E_b I_b}{R h_b} \cdot \frac{1 + \left(\frac{E_s}{E_b}\right) \left(\frac{n_s}{n_b}\right)^3 \left(\frac{W_s}{W_b}\right)}{1 + \left(\frac{n_s}{n_b}\right)}$$

ここで、各数値は次の通りである。

- 1) ボイズンカーテン先端のたわみが 5 cm, ボロン鋼板の全長 1,667 (mm) より, 曲率半径  $2.78 \times 10^4$  (mm) が求まる。
- 2) その他の数値は次の通りである。

$$E_b = 19.6 \times 10^3 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

$$E_s/E_b = 1$$

$$I_b = \frac{1}{12} h_b^3 W_b = \frac{1}{12} \times 32^3 \times 248 = 677.21 \text{ (mm}^4\text{)}$$

$$h_b = 3.2 \text{ (mm)}$$

$$n_s/n_b = 95/32 = 29.69, \quad (n_s/n_b)^3 = 26.17$$

$$W_s/W_b = 16/248 = 0.06452$$

上記の数値より接合面に働く力, P は 202.1 (kg) である。

次にスウェリングによるボロン鋼板と支持体との歪差,  $\Delta \epsilon_{bS} = \epsilon_{bS} - \epsilon_{sS}$  を (A-11) 式によって求める。

$$\Delta \epsilon_{bS} = \frac{n_b}{2R} \left[ \frac{1}{3 \left(1 + \frac{n_s}{n_b}\right)} \left\{ 1 + \left(\frac{E_s}{E_b}\right) \left(\frac{n_s}{n_b}\right)^3 \left(\frac{W_s}{W_b}\right) \right\} \left\{ 1 + \left(\frac{n_b}{n_s}\right) \left(\frac{W_b}{W_s}\right) \left(\frac{E_b}{E_s}\right) \right\} + \left(1 + \frac{n_s}{n_b}\right) \right]$$

上式に、先の数値を入れることにより,  $\Delta \epsilon_{bS} = 0.3092 \times 10^{-3}$  が求まる。

これより、ボロン鋼板のスウェリングによる伸び (支持体に比較して) は

$$\begin{aligned} \Delta L_{bS} &= L \cdot \Delta \epsilon_{bS} = 1.667 \times 10^3 \times 0.3092 \times 10^{-3} \\ &= 0.5154 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

である。

## Appendix-B JPDR-II ボイズンカーテン完成品寸法記録

JPDR-II ボイズンカーテン完成品について、取られた寸法記録を表B-1の1/4 ~ 4/4に示す。欠番になっている製品#1, 2は5.3節で述べた破壊試験に供したものである。ただし、#1はオートクレーブ試験に使用しただけで、試験後酸洗いをを行い、表面の酸化被膜を除去して納入された。





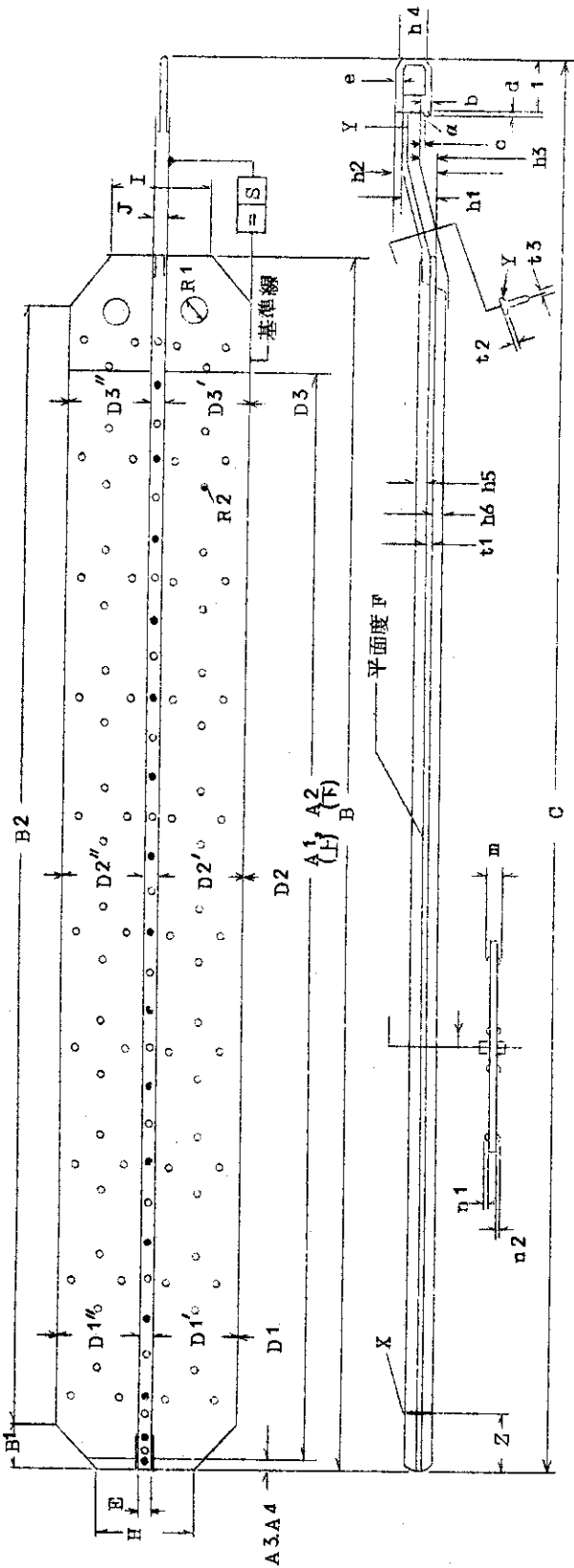
表 B-1 3/4 JFDR-II Poison Curtain Dimension Check Sheet

JFDR-873 1/4  
Rev. 0.1.2.3.4.5.

Inspection No 11-0  
Drawing No P-8E 149053  
Material: B.H.R. SUS-27  
Material Lot No

Sheet 4 of 3

Date.  
Measurement.  
Record.  
Check.



測定点	A1	A2	A3	A4	B	B1	B2	C	D1	D2	D3	D1'	D2'	D3'	D3''	E	F	G	H	I	R1	R2	S
図面寸法	1500±0.2	1500	170	17.0	1667±12	64	1543	1934±12	248±0.5	2484	2482	2483	2484	2485	2484	16±0.2	2.0	4.5	120	128	38φ	13φ	1.0
測定器具	マイクログラフ	マイクログラフ	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	マイクログラフ	マイクログラフ	ダイヤルゲージ	
測定値	14998	15002	170	17.0	16670	650	1543	19340	2483	2484	2482	2483	2484	2485	2484	15.6	6.20	4.5	120	128	37.7	13.0	0.40
16	14999	15000	165	16.5	16675	643	1543	19350	2485	2484	2482	2483	2484	2485	2484	16.1	6.60	4.5	120	128	38.2	13.0	0.50
19	14999	14999	170	17.0	16670	645	1543	19340	2481	2476	2483	2483	2484	2485	2484	16.2	6.40	4.5	120	128	38.7	13.0	0.50
20	15001	15000	172	17.2	16665	650	1543	19345	2483	2484	2483	2483	2484	2485	2484	16.1	6.30	4.5	120	128	38.1	13.0	0.55
21	14998	15000	170	17.0	16670	644	1543	19350	2482	2484	2482	2483	2484	2485	2484	15.9	6.30	4.5	120	128	38.0	13.0	0.90
22	15000	15001	170	17.0	16665	650	1543	19335	2483	2485	2483	2483	2484	2485	2484	16.0	6.48	4.5	120	128	37.9	13.0	0.55
23	14998	15000	170	17.0	16670	650	1543	19340	2485	2484	2482	2483	2484	2485	2484	16.0	6.50	4.5	120	128	38.3	13.0	0.70
測定点	Z	J	t1	t2	t3	e	h5	h6	h7	h8	h4	h3	h2	h1	h1	h1	h1	h1	h1	h1	h1	h1	h1
図面寸法	80	16	3.2±0.1	3.6	3.6	7φ	5.0	5.0	5.0	5.0	5.22	277±0.5	60.2	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
測定器具	ノギス	マイクログラフ	マイクログラフ	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス	ノギス
測定値	80	16	3.2	3.6	3.6	7.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.22	277	60.2	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
17	16.1	3.14~3.20	3.7	3.7	3.7	7	5.0	5.0	5.0	5.0	5.22	279.0	60.0	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
18	15.9	3.16~3.19	3.7	3.7	3.7	7	5.0	5.0	5.0	5.0	5.22	277.2	60.0	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
19	16.0	3.18~3.23	3.7	3.7	3.7	7	5.4	5.4	5.4	5.4	5.22	281.5	60.0	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
20	16.1	3.14~3.16	3.6	3.6	3.6	7	5.5	5.5	5.5	5.5	5.22	275.5	60.0	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
21	16.0	3.12~3.14	3.7	3.7	3.7	7	5.2	5.2	5.2	5.2	5.22	279.2	60.0	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
22	15.7	3.17~3.20	3.7	3.7	3.7	7	5.2	5.2	5.2	5.2	5.22	276.5	60.0	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
23	15.9	3.14~3.17	3.7	3.7	3.7	7	5.5	5.5	5.5	5.5	5.22	276.0	59.4	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視	目視
重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量	重量
検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果	検査結果
検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員	検査員



