

SWAT-1試験装置による大リーク・ ナトリウム-水反応試験

第Ⅲ報；初期スパイク圧、流動様相およびウェスティジについて

1974年7月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

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

(1974年7月)

SWAT-1 試験装置による大リーク・ナトリウム-水反応試験

第Ⅲ報；初期スパイク圧，流動様相，およびウェスティジについて

原崎 堯，田中 信夫，大高 仁護，佐々木 和一，山田 敏雄，堀 雅夫

要 旨

動燃大リーク・ナトリウム-水反応試験装置 SWAT-1 では高速増殖原型炉 "もんじゅ" 蒸気発生器の伝熱管破断事故時のナトリウム-水反応に対する安全性確認のため，実験シリーズ (I) および (II) として，注水条件および放出系作動条件を変えて試験を行い，これらの試験条件を変えた時のナトリウム-水反応諸特性については前報迄報告を行ってきた。

本報では，昭和47年10月以後，実験シリーズ (III) として，模擬伝熱管等の内部構造物を入れた時の流動様相と温度分布，初期スパイク圧とその時間領域の現象解明，および中リーク時の隣接伝熱管のウェスティジによる損傷を目的として行った計15回の試験結果を検討し，取纏めたものである。

目 次

1. まえがき.....	1
2. 試験概要.....	2
2.1 試験概要・試験条件および試験目的.....	2
2.2 試験装置・計測系概要	2
3. 初期スパイク圧およびその時間領域の試験結果	4
3.1 初期スパイク圧の試験結果.....	4
3.2 初期スパイク圧に対する検討.....	4
3.3 初期スパイク圧時間領域におけるその他の試験結果.....	6
4. 反応後の容器内流動様相と温度分布	8
4.1 内部構造物を入れた場合および注水管位置を変えた場合の容器内 流動様相と温度分布.....	8
4.2 注水率を変えた場合のナトリウム・レベルの動きおよび容器内ナト リウム温度と容器外壁温度	12
5. SWAT-1 試験装置によるウェスティジの試験結果.....	13
5.1 中リーク時のウェスティジ状況とその領域の温度特性.....	13
5.2 実機伝熱管のウェスティジ	15
6. むすび	18
7. 参考文献	20
8. Appendix	95

図 表 目 次

図 2.2.1	SWAT-1 試験装置図	21
図 2.2.2	内部構造物 Type I 構造図	23
図 2.2.3	内部構造物 Type II 構造図	24
図 2.2.4	内部構造物 Type III 構造図	25
表 2.1.1	試験条件および主な試験目的	26
表 2.1.2	実験(Ⅲ)の試験結果	27
図 3.1.1	平均注水率と初期スバイク圧実測値の関係	28
図 3.1.2	平均注水率と反応点付近の初期スバイク圧平均波高値との関係	29
図 3.1.3	初期スバイク圧、容器壁歪の代表的測定例	30
図 3.1.4	圧力・歪測定点位置略図	31
図 3.2.1	初期スバイク圧波高値とスバイク圧巾の関係	32
図 3.2.2	サーベイ結果の SWAT-1 の初期気泡圧力、半径の存在範囲	33
図 3.3.1	反応点の反応生成ガスの成長速度	34
図 4.1	内部構造物タイプ I 挿入時の流動様相と温度分布	35
図 4.2	容器内注水管先端部付近と容器外壁の温度	36
図 4.3	内部構造物タイプ II 挿入時の温度分布と代表測定例	37
図 4.4	内部構造物タイプ III 挿入時の注水率の大きい場合の温度測定例	38
図 4.5	内部構造物タイプ III 挿入時の流動様相	39
図 4.6	内部構造物タイプ III 挿入時の温度分布と代表測定例	40
図 4.7	内部構造物タイプ III 挿入時のカバ-ガス空間の温度測定例	41
図 4.8	その I (Run.No. 34 の注水率の大きい場合)	41
図 4.9	内部構造物タイプ III 挿入時のカバ-ガス空間の温度測定例	42
図 4.10	その II (Run.No. 35 の注水率の小さい場合)	42
図 4.11	反応点付近の温度分布と測定例 (Run.No. 34 の内部構造物を入れた場合の不安定な例)	43
図 4.12	反応点付近の温度分布と測定例 (Run.No. 44 の安定した場合の例)	44
図 4.13	内部構造物タイプ III を入れ注水管先端位置を上げた場合の温度分布	45
図 4.14	その I (Run.No. 36 の場合)	45
図 4.15	内部構造物タイプ III を入れ注水管を上げた場合の温度分布	46
図 4.16	その II (Run.No. 37 の場合)	46

図 4.13	内部構造物タイプ III を入れ注水管を上げた場合の温度分布	47
図 4.14	その III (Run.No. 38 の場合)	48
図 4.15	内部構造物タイプ III を入れ注水管を上げた場合の測定例その I	49
図 4.16	内部構造物タイプ III を入れ注水管を上げた場合の測定例その II	50
図 4.17	内部構造物タイプ III を入れ注水管を上げた場合の測定例その III	51
図 4.18	内部構造物タイプ III 挿入時の反応容器内の反応点から距離と反応生成ガス検知時間の関係	52
図 4.19	注水率を変えた場合のナトリウム・レベルの動き	53
図 4.20	内部構造物タイプ II および III 挿入時のナトリウム・レベルの動き	54
表 4.1	内部構造物を入れた実験 3 X シリーズの試験条件	55
表 4.2	注水管位置を変えた場合の温度特性	56
図 5.1.1	オリフィス径 2.5 ϕ (0.132Kg/s) の場合のウェステイジマップ	57
図 5.1.2	オリフィス径 3.5 ϕ (0.337Kg/s) の場合のウェステイジマップ	58
図 5.1.3	オリフィス径 5.0 ϕ (0.773Kg/s) の場合のウェステイジマップ	59
図 5.1.4	オリフィス径 7.07 ϕ (1.11Kg/s) の場合のウェステイジマップ	60
図 5.1.5	注水管先端からの距離と最大ウェステイジ率	61
図 5.1.6	平均注水率と損耗率	62
図 5.1.7	反応点付近の温度特性例	63
図 5.1.8	注水管先端からの距離と相対ウェステイジ率の関係	64
図 5.2.1	「試験 I」の管状ターゲット・アセンブリ	65
図 5.2.2	Run.No. 02 の損耗状況	66
図 5.2.3	Run.No. 03 の損耗状況	67
図 5.2.4	Run.No. 04 の損耗状況	68
図 5.2.5	他の測定データと比較した SWAT-1 のウェステイジ率とリーク率の関係	69
図 5.2.6	ターゲット配置図およびウェステイジマップ展開説明図	70
図 5.2.7	オリフィス径 1.0 ϕ の時の伝熱管損傷状況	71
図 5.2.8	オリフィス径 1.77 ϕ の時の伝熱管損傷状況	72
図 5.2.9	オリフィス径 2.5 ϕ の時の伝熱管損傷状況	73
図 5.2.10	オリフィス径 1.0 ϕ の時の各伝熱管のウェステイジマップ	75
図 5.2.11	オリフィス径 1.77 ϕ の時の各伝熱管のウェステイジマップ	77
図 5.2.12	オリフィス径 2.5 ϕ の時の各伝熱管のウェステイジマップ	79
図 5.2.13	各伝熱管の損耗率	81

図 5.2.14	オリフィス径 1.0 ϕ の時の伝熱管の温度分布	82
図 5.2.15	オリフィス径 1.77 ϕ の時の伝熱管の温度分布	83
図 5.2.16	管表面温度とウェステイジ率	84
表 5.1.1	中リーク時のウェステイジ状況把握試験、試験条件表	85
表 5.2.1	実験伝熱管ウェステイジ試験、試験条件表	86
写 5.1.1	ウェステイジ状況把握試験ターゲットの外観 と試験後のターゲット損傷状況	87
写 5.2.1	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 材伝熱管束を入れた場合の損傷状況 (オリフィス径 1.77 ϕ , リーク率 52 g/sec の場合)	88
写 5.2.2	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 材伝熱管束を入れた場合の損傷状況 (オリフィス径 1.0 ϕ , リーク率 20 g/sec の場合)	90
写 5.2.3	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 材伝熱管束を入れた場合の損傷状況 (オリフィス径 2.5 ϕ , リーク率 128 g/sec の場合)	93
Appendix I	初期スバイク圧最大波高値およびスバイク圧巾一覧表	95
Appendix II	図 A.1 平均注水率と反応容器ラジチャ板動作時間の関係	96
	図 A.2 平均注水率と収納容器へのナトリウム移動量の関係	97
	図 A.3 放出系配管内ナトリウム速度と注水率の関係	98
Appendix III	容器壁歪	99
表 A.1	容器壁歪実測結果一覧表	100
図 A.4	容器壁歪と導圧管先端圧力の関係	101
図 A.5	Run No. 43 の圧力および歪検討例	102
図 A.6	平均注水率と歪実測値の関係	103
図 A.7	平均注水率と歪より求めた容器壁圧力の関係	104

1. ま え が き

動燃大リーク・ナトリウム-水反応試験装置 SWAT-1 は高速増殖原型炉 "もんじゅ" 蒸気発生器の伝熱管破断事故時のナトリウム-水反応に対する安全性確認のため昭和 45 年 12 月、第 1 回目の試験を開始し、昭和 47 年 7 月末迄に、実験シリーズ (I) および (II) として、水注入条件、放出系作動条件を変えて 15 回の試験を行い、これらについては報告 (1)(2) を行ってきた。

その後、昭和 47 年 10 月より実験シリーズ (III) として蒸気発生器の伝熱管等を模擬した内部構造物を反応容器内に入れ、反応時の内部ナトリウム、発生水素ガスの流動様相等を調べる事を目的に試験を開始した。

実験シリーズ (III) は上記目的の他に反応容器内温度分布、初期スバイク圧の再現性試験、初期スバイク圧時間領域の諸現象解明、および隣接伝熱管のウェステイジによる損傷等も試べる試験を行い、昭和 48 年 12 月末現在 15 回の予定した試験した試験を終了したのでこれらの結果を取纏め検討したものを報告する。

本報告書の内容は以下の通りである。

- 初期スバイク圧およびその時間領域の試験結果
- 反応後の容器内流動様相と温度特性
- 中リーク時のウェステイジの試験結果

2. 試験概要

2.1 試験概要・試験条件および試験目的

動燃大リーク・ナトリウム-水反応試験装置 SWA T-1 (以下 "SWA T-1" とする) に於ては昭和45年12月より昭和47年7月迄実験シリーズ(I)および(II)として、水注入条件、放出系作動条件を変えた場合のナトリウム-水反応諸特性について報告を行ってきた。

その後、2ヶ月間装置の安全上、反応容器の交換工事を行い、昭和47年10月より新しい反応容器で、実験シリーズ(III)として、昭和48年12月末迄、計15回の試験を行った。

実験シリーズ(III)は試験番号3Xシリーズと4Xシリーズに分けて行い、3Xシリーズでは蒸気発生器内伝熱管等を模擬した内部構造物を反応容器内に入れ、これらの影響について調べ、4Xシリーズでは初期スバイク圧解明のための再現性試験および中リーク時のウェステイジによる隣接伝熱管の損傷を調べるため伝熱管バンドルを挿入して、これらについて調べた。

今迄の計30回の試験条件および主な試験目的を表2.1.1に示した。

各々の試験の具体的試験目的は各章に記述し、試験結果を表2.1.2に一覧表として載せた。

2.2 試験装置・計測系概要

SWA T-1試験装置は本実験シリーズ(III)に於て、反応容器の圧力計取付位置、測定点個数等を除いて前報のものと殆んど変りはない。

装置主要寸法を図2.2.1に示す。

本装置は "もんじゅ" 蒸気発生器の $\frac{1}{8}$ スケールで、反応容器、反応生成物収納容器および水加熱器から構成され、試験はトリガ弁を開くことによつて、水加熱器内の水を水注入管内の二段のラプチャ-板を破り、容器内に充填させた約180kgのナトリウム中に注水され、反応する。

反応によつて生じた水素ガスはナトリウムを押し上げ、反応容器と反応生成物の収納容器の間のラプチャ-板を破き、ナトリウムと反応生成ガスが収納容器へ移行する。収納容器では水素ガスだけサイクロン・セパレータで分離され、大気放出ラプチャ-ャ-を通して大気に放出される。

また3Xシリーズで反応容器内に挿入した内部構造物は3種類でType I, II, IIIと名づけているが、その構造、寸法および、外観を図2.2.2~図2.2.4に示した。

実験計測系の構成は前と殆んど同じで、圧力測定には抵抗線歪ゲージ式エンジン圧計を用い、動的歪測定器(応答周波数5KHz)を介してデータレコーダに記録する。

反応容器内温度は1.0mmφシース型OA熱電対を反応容器上部より挿入し測定する。

熱電対出力信号は直接高速データ収録装置に送られ、デジタル変換されうえ、磁気テープに収録される。

反応点付近の反応生成ガス、或は反応容器内の気泡検知はボイド計ノブ先端部のシースの周有抵抗値をナトリウムが電気的に短絡することを利用した命属シース熱電対型のボイド計を用いてデータレコーダに収録した。

ナトリウムレベルの検知および連絡配管内のナトリウム速度の測定はスバークプラグ型検知器のon-off記号をデータレコーダに記録している。

その他、装置運転制御用に緩速度の記録計があり、試験時の装置各部状態を記録している。

3. 初期スバイク圧，およびその時間領域の試験結果

大リーク・ナトリウム-水反応時の現象は反応後数msecの間に現れる非常に急峻な圧力上昇の生ずる初期スバイク圧とその時間領域，およびその後発生する水素ガスの体積増加による準静圧上昇，および，それ以降の時間領域に分けられる。

本章では，前者の初期スバイク圧時間領域に於ける現象の内，初期スバイク圧，初期スバイク圧による反応容器壁および反応点の反応生成ガス成長速度について記す。

3.1 初期スバイク圧の試験結果

図 3.1.1 に平均注水率と反応点付近の 220 mm の導圧管を介して測定した 初期スバイク圧波高値の実測値との関係を図示した。なお，初期スバイク圧波高値は準静圧上昇の圧力波高値の最高値が放出系ラプチャードイスク設定値に等しいとして求めた。

図 3.1.1 のプロット点は図 3.1.4 に示した反応点付近の測定点 P-11, 12, 13, 21, 22, および 23 の位置の初期スバイク圧波高値の実測値で測定値の間でバラツキを持っており，定性的に判りにくいのでこれらの実測値の平均値をもって水側注水圧，および水注入管先端ラプチャード設定圧をパラメータに図 3.1.2 に図示した。

この実験シリーズ(Ⅲ)では，水側注水圧を主に 125 kg/cm² で試験を行い，一番高い初期スバイク圧波高値は 30 kg/cm² G であったが，図 3.1.3 に示す如く，スバイク圧波高値 10~20 kg/cm² G, スバイク圧巾 0.75~1.0 msec 位のものも多く測定された。

なお，測定した位置を図 3.1.4 に初期スバイク圧最大波高値およびスバイク圧巾の測定結果を Appendix I に載せた。

本実験シリーズ中，スバイク圧再現性について，前回の実験(Ⅰ)の P-OX シリーズの試験条件をほぼ合せて試験を行ったが前回は，高い初期スバイク圧波高値は現れなかった。

前に行った実験(Ⅰ)の P-OX シリーズの波高値が何らかの理由によって高く出たとすれば，注水圧，注水率を上げれば初期スバイク圧は図 3.1.2 の実験の様に高くなり，また，注水圧 125 kg/cm² の同じ試験条件で行った内部構造物を入れた場合と入れない場合の実験結果を比較すると，内部構造物を容器内に入れた場合は低めに出ると言う結果が現れた。

3.2 初期スバイク圧に対する検討

初期スバイク圧は急峻で圧力が高いため，蒸気発生器の安全上重要である。

SWAT-1 試験装置による実験は現在 30 回を終了し，データも集積された段階ではあるが，大リーク時の現象は複雑で，反応の初期状態を制御しにくく，再現性の良い実験を行う事は難しいので，試験条件を細かく変えて実験的に追うよりはむしろ，計算モデルによって，これら

集積された実験データに巾を持たせたものから計算定数を定めてやる方が望ましいと思われる。そこで，昭和 48 年度，低減学会 RC-S033 ナトリウム加熱蒸気発生器調査研究分科会ワーキング・グループで SWAT-1 の初期スバイク圧について "SWAC-7" コードでサーベイ計算を行ったので結果*を一部引用し検討を行った。

"SWAC-7" コードによる初期スバイク圧のサーベイ

ナトリウム-水反応時の初期スバイク圧については，反応初期から薄い円板状の反応生成ガスを仮定した一次元ナトリウム-水反応計算コード "SWAC-1" が開発され，実験と計算が比較されたが，初期スバイク圧の巾についての一致が悪く，昭和 47 年，動燃事業団から川重に委託研究として，反応点付近の反応生成ガスの成長を球状に，反応点から離れた所を，一次元の波動方程式で表わした一次元球一柱モデル "SWAC-7" を開発し，第 4 回目の SWAT-1 の実験で得られた初期スバイク圧波形について，サーベイ計算を行い，初期値である初期気泡圧力および初期気泡半径を求めた。この結果 SWAC-7 は定性的には，スバイク圧を説明できるコードである事が判明したが，実験データおよびサーベイの数が少ないため，定量的な結論まで致っていない。

今回は逆に，初期気泡圧力 (Po)，および初期気泡半径 (Ro) を与えて初期スバイク圧波高値およびスバイク圧巾をサーベイし，SWAT-1 で得られた実験データと比較し，初期気泡圧力および初期気泡半径を求めた。

初期気泡圧力 (Po)，および初期気泡半径 (Ro) を変えて行った主な計算結果は下記の通りであった。

①：初期スバイク圧波高値の最大値は，初期気泡圧力および初期気泡半径の増加に対し，単調に増加する。

②：初期スバイク圧の巾は初期気泡圧力および初期気泡半径の増加に対し，単調に減少する。上記の結果を基に，初期気泡圧力および初期気泡半径をパラメータに取り，初期スバイク圧波高値の最大値を縦軸に，初期スバイク圧の巾を横軸に図示すると，図 3.2.1 の実線等で示された如く，パラメータ Po および Ro に関係なく，初期スバイク圧波高値の最大値が大きくなる初期スバイク圧の巾は狭く，逆に，初期スバイク圧波高値の最大値が低くなると初期スバイク圧の巾は広くなる一本の曲線で表わされる事が分った。

同図に SWAT-1 で得られた初期スバイク圧波高値の最大値と初期スバイク圧の巾の実測データを載せる**と，サーベイの計算結果は初期スバイク圧波高値の最大値の少い所まで行っておらず実験結果の比較範囲と若干はずれているけれども，計算された値より低めの値となっている。

* 本計算は上記分科会 W-G に於て川重研氏が行ったものである。

** 上記計算結果と実験データとの比較に，計算結果の方は容器壁圧力で実験データの方は導圧管端で測定された値で，同じ位置の値で比較しなければならぬ。そこで，実験データの方を容器壁圧力に換算した場合，スバイク圧巾が 1 msec 位の場合約 15% 位スバイク圧波高値の最大値は低くなる。

大リーク・ナトリウム-水反応時のシミュレーション、二次系等の安全解析を行う場合、得られたデータより、初期気泡半径等の計算初期値の値を推定しておく必要がある。SWAT-1で得られた今回の実験シリーズの初期スバイク圧波高値は $5\text{kg}/\text{cm}^2$ から $25\text{kg}/\text{cm}^2$ であるから、この値より P_0 および R_0 の存在範囲を求めると図 3.3.2 の斜線領域内の値となり、またスバイク圧巾 $0.8 \sim 1.4\text{m sec}$ からも同様に存在範囲を求め、共通する P_0 と R_0 の組合せを求めると、一義的には決められないけれども初期気泡半径は $0.5 \sim 2.0\text{cm}$ 初期気泡圧力は $50 \sim 200\text{atm}$ と推測される。今回の試験で初期スバイク圧波高値 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 、スバイク圧巾 1.05m sec のものが多く測定されたのでこれらの場合の値を同図に載せた。

3.3 初期スバイク圧時間領域のその他の試験結果

本節では、初期スバイク圧時間領域の現象の内、初期スバイク圧を除いた、反応容器壁全、および反応点の反応生成ガスの成長速度について記す。

反応容器壁歪

大リーク時に生ずる初期スバイク圧に対して、反応容器壁がどのように応答して歪むかと言う問題は蒸気発生器の安全上重要な問題である。SWAT-1試験に際しては、容器壁に高温歪ゲージを貼り付け、試験前に常温で約 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ の内圧を掛け静的圧力に対して校正を行い、試験時は容器壁は約 350°C 位の温度になるが、バランスを取り直し測定を行った。

測定された歪の代表例を図 3.1.3 の点線で示した。測定データからは、反応が起ると先づ反応点領域外壁が歪み、次に 0.1m sec 位遅れて導圧管圧力を検知する。これは導圧管長さが 220mm であるから圧力波の伝播速度を $2000\text{m}/\text{sec}$ とすれば伝播遅れと考えられる。

次に、これより、 $550\text{m}/\text{m}$ 上の測定点1の横の外壁の歪が約 0.25m sec 位遅れ歪み、その位置の圧力は圧力波の伝播に要する時間より更に遅れた 0.6m sec で応答した。この測定点1の圧力の遅れは導圧管内に若干ガス等が含まれていたためと思われる。

なお、上述の測定ケースは或る試験条件のものであったが、他のケースも殆んど同様であり、歪の値は、スバイク圧波高値に対して静的歪で校正した場合の約 50% の値に相当する歪が、また歪の巾は約 $1 \sim 1.5\text{m sec}$ のものが多く測定された。なお、衝撃圧に対する容器壁歪の解析は現在行っていないが、今後、容器の固有振動等を加味して解析して行く必要がある。

反応点の反応生成ガスの成長速度について

反応点の反応生成ガスの成長速度は初期スバイク圧の解明、或は反応機構解明上重要な手掛りを持っている。反応点の反応生成ガスの速度については、前報でも報告されており、今回の実験シリーズ(Ⅲ)では、注水管先端付近にボイド計を取り付けて種々、試験条件を変えて実験を行ったが、条件の差異による定量的な識別は難しく、唯データのかなり集積されたので、図 3.3.1 に載せた。データは前報と同じく、気泡形状を直径と高さが等しい円筒形と仮定し、

それと等径の球の半径をもって整理した。同図から、破断口径が $2.5 \sim 5.0\text{cm}$ 中で、水注入管先端ラプチャー板設定圧 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ の場合、スバイク圧が最大となるラプチャー板破断後 1m sec で等価半径は $2 \sim 4\text{cm}$ に成長している。

4. 反応後の容器内流動様相と温度分布

SWAT-1 試験においては、第3回目の試験から反応容器内部の温度測定を行ってきたが、第11回目の試験より測定点数を増やし容器内温度挙動を調べ、種々の事項が解明され、報告を行ってきた。特に、本実験シリーズ(Ⅲ)からは約35本の熱電対を挿入し、反応後の容器内温度分布、反応面付近の温度特性、また、反応容器内ナトリウム中の温度を容器軸方向に温度勾配を付け、その測定データの変化とボイド計の検知信号から流動様相を調べた。

本章では、初期スバイク圧時間領域以降のこれらの現象のうち、容器内温度分布と流動様相について述べる。なお、反応点付近の温度特性についてはウェスチン現象と密接なつながりがあるので第5章で述べる。

容器内に殆んど内部構造物を詰めずに、今回の実験3Xシリーズと同じ試験条件で行った前回の実験2Xシリーズに於て、注水率を種々変えて試験を行い、注水率が大きい場合(注水率約0.5kg/s以上、"もんじゅ"蒸気発生器にスケール・アップした場合、Iso velocity モデルで伝熱管二本破断相当以上)は発生水量が量が大きく、ナトリウム・レベルの上昇速度の測定結果からもナトリウムは瞬時的にピストン状に押し上げられ、0.5 sec 位の間に取納容器に飛ぶ。注水率をこれより小さくすると、反応容器放出系ラプチャ・プレートが破断する迄の時間が約3倍位長く掛り、破断前に、発生水量がナトリウム中にチャンネル状に吹き抜け、ナトリウムとガスが置換される。

本実験3Xシリーズでは、特にこの同極端のケースについて、内部構造物種類、および注水管先端位置を変えて試験を行った。今回行った3Xシリーズの主な試験条件を表4.1に示す。

4.1 内部構造物を入れた場合および注水管位置を変えた場合の容器内流動様相と温度分布

4.1.1 内部構造物タイプI挿入時の試験結果

内部構造物タイプIは反応容器断面に対して、約50%の流路断面積を持つ単なるドーナツ状の邪魔板16枚を図2.2.2の様に取付けたもので、前の試験シリーズ2Xでは、同形の円板を6枚だけ20 cm 間隔で取付けて試験を行い、何も入れない場合に較べて大きな差が認められず今回も邪魔板を増やして試験を行った。

今回行った試番31と前回のほぼ注水率の同じ試番21とを較べて見ると、取納容器へのナトリウム移動量が約20% 少なかった事および大気放出系ラプチャ・プレートが破断しなかった事を除いては同じであった。

図4.1に内部構造物タイプIを反応容器に入れた場合の流動様相と温度分布の試験結果を示す。右側の実線で画いた温度マップはナトリウム中に挿入した約20本の熱電対の測定記録から最大温度上昇値を読み取り、温度上昇が等しい所を結んだもので、本試験の注水率が

毎秒0.2kgの場合は注水管先端付近だけが約50°C位の局所的に顕著な温度上昇を記録し、容器内の他の測定点は100°C以下の温度上昇しか示さなかった。同図左側には流動様相を示してある。図中の数値は注水管先端ラプチャ・プレート破断後、数値の下に矢印で示した位置にセットしたボイド計センサーが反応生成ガスの気泡を検知した時刻を示したもので、図4.19のナトリウム・レベルの動きからも発生ガスのナトリウム中にチャンネル状に吹き抜けており、その上昇速度は1.5~2.0 m/s であり、その結果を図4.5 (C) に示してある。

4.1.2 内部構造物タイプII挿入時の試験結果

内部構造物タイプIIはタイプIと同形のドーナツ状の円板の内側に小形の円板を図2.2.3に示す様に互い違いに入れ、容器を縦断面で見ると、千鳥格子状に配列し、蒸気発生器のヘリカルコイル状に巻き付けた伝熱管を散発的に模擬したもので、この内部構造物を入れた場合の温度マップとその代表測定例および流動様相を図4.3、図4.4および図4.5に示した。

図4.3は、注水率、即ちオリフィス径を、前述のピストン的にナトリウムが吹き上げられる5.0φおよび発生ガスがナトリウム中にチャンネル状に吹き抜ける3.5φと変えた時の温度マップを左右に示したもので、同図右側に注水率の小さい場合の温度測定例を載せた。なお、図中の等高線の上の数値は最大温度上昇値を示したものである。注水率の小さい場合は、反応容器底部3分1位に反応熱による400°C位のナトリウムの温度上昇が観測され、注水率の大きい場合はこれが顕著に高くなり、図4.4の測定例に載せた如く、注水後7秒間位800°C位の温度上昇が続き、完全に注水が終ると270°C位の温度上昇である600°Cでナトリウム温度は安定する。(図4.4、下段測定例)

図4.5は内部構造物タイプIIを容器に入れた場合の流動様相を示したもので、同図(a)の容器内に示した数値は、前図4.1と同様に、各測定点の気泡検知時刻を示したもので、注水管先端から約30 cm 上方迄、発生ガス気泡が到達するのに注水率の大きい場合は0.1秒、注水率の小さい場合は0.24秒位掛っている。また、注水率の大きい試番33(注水率939/s)のナトリウム・レベルの上昇速度の測定結果と同図(a)中のボイド測定点V-1、V-2における気泡検知時刻とから、反応点の気泡径を直径と高さで等しい円筒形で近似し、気泡径を推定すると、この時間域で同図(a)中の温度測定点T-1は気泡中にあり、その温度記録が反応生成ガスの温度を示すとすれば700°Kから900°Kの間と推定考えられていた値よりかなり低い値となっている。

4.1.3 内部構造物タイプIIIを入れた、反応点位置を変えた場合の試験結果

実際の蒸気発生器で起るリークはヘリカルコイル部の伝熱管でセンター・パイプを抜んで、必ず非対称に起き、リーク箇所も現在迄初期スバイク圧に注目し、一番大きい下部を想定していたが、本試験シリーズでは、実験で起り得るケースについて、温度、流動等総合的な様相を調べる事を目的に行った。

反応容器内に入れた内部構造物タイプⅢは、前述の目的で、タイプⅡと同形の内部構造物にナトリウムを逃げるために注水管中心より11.5m/mずらした位置に実機蒸気発生器と同比率の約10%の流路断面面積を持つセンター・パイプを取り付け、蒸気発生器の流路をマクロに模倣したもので、その構造図を図2.2.4に示す。

試験は第19回目から23回目迄の計5回（試番34, 35, 36, 37, 38）について、注水管位置および注水率を変えて行い、各々の試験条件を表4.1に載せてある。

注水管先端が下部の場合

注水管先端位置が下部の場合の温度分布と測定例、およびカバークラス空間の温度測定例等を図4.6, 4.7, 4.8に示す。試番34の注水率の大きい場合（注水率1.018kg/s）には、図4.6に示した様に、センター・パイプ中を最高温度120.0℃位の流体が吹き抜け、（同図温度測定例11）パツフル状の邪魔板の方には高温流体が吹き抜けた痕跡が見られなかった。（同図温度測定例20）また、この場合のカバークラス空間の温度様相について調べて見ると、図4.7に測定例を示した如く、前述のセンター・パイプを吹き抜けた高温流体をカバークラス空間上部（温度測定点32, ナトリウム・チャージレベルより約91cm上方）に於て、反応後2.6秒で検知し、更に、その後0.8秒遅れて邪魔板側のカバークラス空間下部（温度測定点29, ナトリウム・チャージレベルより8cm上方, 測定点32より83cm下方）に於てこの高温流体を検知しており、邪魔板側のナトリウム中の測定記録（温度測定点25）を見ても、反応7秒後に約60.0℃の温度しか検知しておらず、流体は図4.7の点線矢視で示した如く、注水率の大きい場合には、流体はセンター・パイプを通り抜けカバークラス上部を越えて流動している事が判明した。

一方、注水率の小さい場合（試番35, 注水率0.536kg/s）について見ると、前図4.6（温度分布を点線、最高温度上昇値を括弧内数値で示す。）の測定例から、センター・パイプ側の温度上昇は約20.0℃（温度測定例12）、邪魔板側は5.0℃位（温度測定例14）と注水率の大きい同じ試験条件の試番34に較べて極端に穏かであった。この場合のカバークラス空間の温度様相（図4.8に示す。）を見ると、ナトリウム・チャージレベルより4cm上方のセンター・パイプ側および邪魔板側の熱電対（測定点22および23）は反応後0.4秒で共にナトリウムに浸った温度を記録しているが、更に41cm上方では邪魔板側の熱電対の検知が遅れており、前述の流動経過が考えられるが、試番34に較べて遅いこれら熱電対の応答時間から推測して、かなり緩慢な流動と考えられる。

また、試番34の様に、注水率が大きく、非対称なセンター・パイプ付近で注水した場合には、図4.9に示した如く、反応点付近の温度は時々刻々変化し、反応面と推測される高温領域が不安定である結果が測定された。同図の反応点付近の実線で示した領域は各熱電対の測定値の時間経過ごとの等温線を結んだものである。内部構造物を何も入れず、注水管付近

の温度を多数測定した試番44の場合、図4.10に示した如く、巾8cm、長さ15cm位の領域内の温度は、ほぼ安定した反応面と思われる高温を示し、それより外側の領域では500℃位の低温しか記録しなかった。

注水管先端位置を上げた場合

注水管先端位置を上げた試番36, 37, 38の試験の測定点、測定結果を図4.11~4.13に、代表測定例を図4.14~4.17に示す。各測定記録を見ると、温度特性は、自ずからパターンに分類され、図4.11~4.13の一点鎖線で分けたように共通の領域に分類される。

その温度特性について述べる、

①：注水管直下の水のジェットの当る所—注水管先端領域—：注水弁を開いた直後から注水弁を閉じた後まで水加熱器内水温より低い温度が観測される例

（測定例、図4.3, 測定点3）

②：注水管先端から下った位置—高温領域—：1000~1200℃の高温が注水弁を開いている間観測される例（測定例、図4.14, 測定点8）

③：反応容器下部—デッド領域—：水ジェットによる反応容器底の損傷を防ぐために付けた防護板下部の部分で反応生成物又は反応熱による緩慢な温度上昇（反応後4秒位で500℃位迄温度が上昇する。）が示される例（測定例、図4.14, 測定点1）

以上、3つのタイプがどの試験にも共通に測定される温度特性例で、次に、容器内各所で測定された顕著な温度特性例および図4.18に示したボイド計センサー応答時間による反応生成ガス到達時刻と注水管先端からの距離の関係から、注水管位置を変えた場合の温度流動様相等について取纏ると第4.2表の如くなる。

表4.2から、注水管位置を変えた場合の温度、流動様相について次の事が伝える。

①：注水管先端位置がセンター・パイプ下端入口付近の場合には、パツフル状の邪魔板側の流動抵抗が大きいため、注水率の差異によって流動様相が極端に異なり、注水率の大きい場合には、センター・パイプ内を反応生成ガスが60ms位で流速45~60m/sの速度で通過し始め、カバークラスを圧縮して二段の放出ラプチャー板を破き、その後、センター・パイプ内を高温流体が吹き抜け、邪魔板側は吹き抜けられない。特に、高温流体は注水弁を開いている間1000~1200℃の温度を示している所を見ると未反応蒸気がパイプ内で残留ナトリウムと反応しながら上昇している事も考えられる。一方、注水率の小さい場合でも前述の流動と推測されるが、流動は緩慢で、センター・パイプ内の温度上昇も200℃位である。

②：注水管先端を内部構造物下部から3割の位置迄上げると、センター・パイプへのパスの流動抵抗が増え、注水率の大小による流動の差は少なくなり、流動は緩慢になる。更に注水管を内部構造物の中間迄上げると、同パスのバランスがとれ、流動が緩慢になる。

4.2 注水率を変えた場合のナトリウム・レベルの動きおよび容器内ナトリウム

温度と容器外壁温度

ナトリウム・レベルの動き

図 4.19 に内部構造物を殆んど入れない場合の試験の反応後の経過時間とナトリウム・レベルの上昇位置の関係プロットした。ナトリウム・レベルの上昇位置の傾斜は各レベルにセットした接点式のレベル計および熱電対の温度上昇から調べたもので、図中の矢印の所は各試験の反応容器解放系サブチャージャー板破裂時間を示したものである。

同図から、注水率が少なくなると、ピストン的にナトリウムが押し上げられる流動様相から、反応生成ガスがチャレンネル中にナトリウム中を放ける流動様相に変化する事が判名した。また、内部構造物タイプⅡおよびタイプⅢを入れた場合のナトリウム・レベルの動きを調べると図 4.20 の様になり、ナトリウムの逃げの無いタイプⅡおよびタイプⅢを入れて注水管位置を上げた両ケースの注水率の大きい場合は、ナトリウム・レベルが脈を打って上昇して様相が示されている。

注水管付近のナトリウム中の温度と容器外壁温度の関係

実験、蒸気発生器でナトリウム-水反応が起きた場合、反応熱によるシェルの熱的影響、或はシェラウドの効果を検討するため、試験時の容器内注水管先端付近および容器外壁の温度経過を 2.3 のケースについて調べ、その測定例を図 4.2 に示した。調べたケースは試験 31, 34, 38, のケースで図中の測定点は図 4.1, 4.6, 4.13 に示してある。試験 34 或は 38 の注水率の大きい場合の注水管付近のナトリウム温度は反応後 600℃位の温度上昇を示し、その後 300℃位の温度上昇で安定するが、容器外壁温度(記号 H.T で示す。)は内部温度上昇に対する急峻な追従は見られず最高 20 秒で 100℃位の緩慢な温度上昇しか示さなかった。

5. SWATT-1 試験装置によるウェステイジの試験結果

実際の蒸気発生器内の伝熱管で生ずる最初のリークはピンホール的小さいものが多いと考えられる。しかし、小リークが発生するとウェステイジにより隣接伝熱管を二次破損し、大リークを起す危険がある。動燃小リーク・ナトリウム-水反応試験装置 SWATT-2 ではリーク径の小さい範囲の試験研究を行っており、0.1~1.0φの範囲のウェステイジ現象について定量的に検討、解析が行なわれている。

SWATT-1 試験装置は "もんじゅ" 蒸気発生器の 1/8 スケールのため、注水量は 0.3~1.2 kg/sec、リーク口径で言うと 2.5~7.0φで実験にスケール・アップするとリーク規模に相当し、このリーク規模の試験データは数少なく、また SWATT-2 の試験結果からも、1 分以内に 1.0~2.5 m/m の二次破損の起きたデータも報告され、この規模のウェステイジ・データは蒸気発生器の安全上重要な問題である。

SWATT-1 試験装置は他の試験目的があるため、先ず、他の試験目的と併行して基礎的データを収集し、このデータの検討結果を基に、その後、隣接伝熱管のウェステイジによる損傷に試験目的をしばって行った。

5.1 中リーク時のウェステイジ状況とその領域の温度特性

ウェステイジを受ける注水管先端付近の状況を把握するために行った試験について述べる。試験は前述の他の試験目的があるため、photo. 5.1.1 (a) に示す様な、3.2φの細い溶接棒を組んだターゲットを使いジェットが乱れない様にし、材質はリーク径の大きい場合、反応熱による容器内温度上昇の制限から注水時間が長く取れないので、主にウェステイジ量の大きい軟鋼材を使って行った。データは試験前後のターゲットの直径を測定し、損量の等しい所を結んだマップで整理した。今回、新たに行った同じターゲットの 2 1/4 Cr-1Mo, SUS 材については、ウェステイジ量が少なく直径損が測れないので、軟鋼材で直径損および重量損を同時に測ったデータを中介にして整理している。またウェステイジを受けた面近くに熱電対を貼り付け、その領域の温度特性についても調べた。

ウェステイジ状況

図 5.1.1 から図 5.1.4 までに各々注水率を変えた時の直径損量を等高線で結んだウェステイジマップを、表 5.1.1 にこの時の試験条件を載せた。各マップの特徴は、リーク率の小さいオリフィス径 2.5φの(リーク率約 130 g/s)の場合は、ウェステイジが注水管先端から 4cm 位迄の所の狭い領域に集中的に起き、3.5φ(リーク率約 340 g/s)の場合はウェステイジの最も激しく受ける場所およびウェステイジ量の絶対値は前のオリフィス径 2.5φのとは同じであるが、ウェステイジを受ける領域は水噴出方向に長く広がり、巾は前と同じ位であった。リーク率が約 1.8~1.1 kg/s (オリフィス口径 5.0~7.07φ)と大きくなると、ウェステイジを

受ける面がターゲット全体（今回の実験では縦、横15cm）に広がり、全面がウェステイジを受けている。これらの特長を縦軸にウェステイジ率、横軸に水注入管先端からの距離を取って整理すると図5.1.5となり、リーク率が大きくなるとウェステイジ率も増加し、リーク率が小さいと、近い所で集中的にウェステイジを受け、リーク率が大きくなると広範囲に損傷を受け、ウェステイジ量のピークはこの試験範囲のリーク率（0.13～1.1kg/s）では注水管先端から50m/mの所に現われている。同図ウェステイジ率を注水率で除した相対ウェステイジ率、即ち単位注水量当りのウェステイジ率でプロットし直すと図5.1.8となり、リーク率の小さい方が相対ウェステイジ率が大きく、かつシャープに現われている事が分る。

他の試験目的があるため、ジェットによる乱れを起さないようにして中リーク時のウェステイジ状況を確認するために行ったこの試験では、軟鋼の他、 $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo, SUS材についても試験を行いその結果を図5.1.6に横軸に注水率を縦軸に最大損量率をとって表わした。これより、本試験状態での $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo材の場合は、リーク率0.3～1.0kg/sの範囲では 2×10^{-3} mm/s位のウェステイジ率であった。

反応点付近の温度特性

SWAT-1試験装置では前述の中リーク時のウェステイジ現象説明のため、反応点付近のウェステイジを受けた部分が水蒸気或は反応面であったかどうか、またその時晒されていた温度雰囲気はどの位の位であったかを調べるため、水注管先端付近に熱電対を貼り付けこの領域の温度特性について調べた。この結果を図5.1.7に示す。測定点位置および試験条件を同図左側に、各測定点の測定例を右側に示してある。この温度特性は前掲のマップと試験条件は異なるが、比較的温度特性が空間的、時間的に安定している例である。なお、時間軸の原点は水注入管のトリガー弁が開いた時刻を取ってある。

注水管先端に近い所の測定点T-1の温度は注水弁を開いた直後から、水加熱器内の水温より低い100℃の温度が観測されており、これは高圧に加圧された水加熱器内から噴出した水が、注水管を通り、より低圧の反応容器内に注入されるため減圧され温度が下るためである。なお、トリガー弁のバルブ開閉時間は5.7秒であったがバルブを閉じても注水管内の水が噴出されるためその後約4秒間低温が記録されている。

T-1点より更に40mm下った点T-2では、T-1点で観測された低温の水温、ナトリウムの温度、ナトリウム-水反応による高温が時間的に繰返して観測され、水噴出が止まると、注水によって生じた高温が記録され、その後、熱拡散によって徐々に温度が下り約500℃位で安定する。この温度特性は、水注入管先端から離れるにしたがい、低温と高温の繰返しが時間的により速く行われる傾向にある。なお、低温、高温が交互に観測される領域は、注水率が大きくなるにしたがい、しだいに広くなり、かつ空間的にも一定しなくなる傾向にある。

注水管先端から約130m/m離れたT-3点では低温の水温が観測されなくなり、高温

（最高温度1060℃位）が比較的最長時間観測される。

水噴出ジェット方向から離れたT-4点では、温度上昇が注水管下方のT-2、T-3点で観測された様な高温は観測されず、ゆるやかな温度上昇特性を示している。

前述の温度特性は注水条件によって空間的、時間的にも異なるが、SWAT-1の試験で観測されている温度は注水管先端部の減圧沸騰された部分の水温は100～120℃位、反応高温領域は800～1000℃（上昇温度としては500～700℃）位が観測されており、注水率の小さい範囲（オリフィス径で2.5φおよび3.5φ、注水率で400g/s位迄）では安定した特性を示し、それ以上の注水率の範囲では特性も不安定になり、ウェステイジ・ターゲット一面に高温が観測される事もある。

5.2 実験伝熱管の場合のウェステイジによる損傷

前節では、水噴出ジェットによる乱れを少なくするために、径が3.2φと細いターゲットを数多く目的に、水噴出ジェットによる乱れを少なくするために、径が3.2φと細いターゲットを数多く組込んだアセンブリを使い、リーク率0.3～1.0kg/sの範囲で基礎的試験を行い、この範囲でのウェステイジについて定性的な結果を得た。

SWAT-1試験装置では、この他に中リーク時のウェステイジを調べる事を主目的に、実験蒸気発生器と同寸法、同材質の伝熱管を一本およびバンドルとして複数本を入れて試験を行ったので以下述べる。行った試験、および試験条件を表5.2.1に示す。試験は大別して、ターゲットが一本の場合の「試験I」およびターゲットが7本の場合の「試験II」に分けられる。

「試験I」（外径2.5φの $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo鋼の一本ターゲットの場合）の試験結果

前述の基礎試験の細いターゲットを組込んだ試験は水噴出のジェットが乱れない時のウェステイジの空間マップを取る事を目的としたもので、実際にはジェットが伝熱管表面に当り散乱され、実際の現象とは異なるものとなる。

本試験シリーズはジェットが伝熱管表面に衝突した場合のウェステイジ率を求める事を目的にしたもので、試験は図5.2.1に示した外径2.5φ、長さ130m/mの $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo鋼のターゲットを用い、ノズル・ターゲット間隔25～27m/m、リーク率0.12～0.64kg/s（ノズル径では2.5φ～3.5φ）の範囲で行った。

試験結果のマップ*を図5.2.2～図5.2.4に示す。このマップの内最もウェステイジを受けた点について整理すると、今回のリーク率0.27～1.39kg/sの範囲でウェステイジ率1～1.0mil/secで、静上ナトリウム中で行なわれた諸外国の実験結果と共にプロットすると図5.2.5となり、良く一致する事が確められた。同図中に流動するナトリウム中で行ったAPDAおよび動燃SWAT-2の試験結果も示したが、SWAT-2の試験の場合、Na温度が900°Fと高温で

* この試験結果の減圧測定、およびマップ作成は仙臺団の委託研究により、金属材料研究所で行ったものである。

行った結果であり、この試験と同一温度に補正を行った結果を示した。

「試験Ⅱ」(外径27φの $\frac{2}{3}\text{Cr}-1\text{Ni}$ 鋼伝熱管を7本バンドルとして入れた場合)の試験結果

基礎試験および伝熱管が一本の場合の「試験Ⅰ」のウェステイジ・マップからもリーク率が或る程度大きいと

- ①：実機伝熱管表面に水噴出ジェットが衝突した場合、隣接伝熱管にはねえり有り。
- ②：ウェステイジを受ける面の巾が20～50mm位になり、第二管束に向かって噴出した場合、噴出ジェットが第一管束間をスムーズに通らず、必ず隣接伝熱管の影響が有る事。

以上、二点を考慮して、成るべく試験回数が少なく総合的にウェステイジが測られる様に図5.2.6に示す様な伝熱管配列で試験を行い、リーク口径については、動燃SWAT-2試験装置において、リーク口径0.3～1.0φの範囲でウェステイジ試験を行っているので、リーク口径から蒸気を噴出させ相手側の伝熱管を貫通する迄ウェステイジさせると直径1～2mmのリーク口径から蒸気を受ける事が判明している。かつSWAT-2の試験で0.3～0.7φのリーク口径から蒸気を受ける事が判明している。このリーク口径の範囲ではウェステイジを定めた。また、試験はこのリーク口径の範囲ではウェステイジ率が最も大きいと推測される第二管束のターゲット№4に向かって水を噴出させた。

行った試験条件、リーク率とウェステイジの関係等は前掲表5.2.1および図5.2.5に載せた。試験後のデータ整理は、先づ試験後の供試体を洗滌し、減肉部は表面測定器で減肉量を測定してマップを画き、また試験前後の重量損も測定した。その結果のマップを図5.2.7～図5.2.13に載せた。図5.2.7～図5.2.9はリーク口径1.0、1.77、2.5φの場合の伝熱管軸方向に垂直に断面を取った場合のウェステイジ・マップで各伝熱管の損傷具合、およびジェットがどの方向に散乱したか推定するために作成したもので各伝熱管の断面は最もウェステイジを受けた点で整理しプロットしてある。図5.2.10～図5.2.12はリーク口径1.0、1.77、2.5φと変えた場合の各伝熱管のマップを示したもので、マップは図5.2.6の軸Roを中心に軸R180で切り開いて平面にし、上から減損量の等高線を見たもので、軸方向R、円周方向Aについて画いてある。同時に、洗滌後のウェステイジを受けた面の外観写真をphoto 5.2.1～5.2.3に載せた。

又、試験時には外径1mmφのシース型CA熱電対をターゲット管表面に沿わせて各部の温度を測定した。図5.2.14、図5.2.15にリーク口径1.0φおよび1.77φ時の各部の温度測定値を示した。この結果によるとウェステイジの激しい所では高温(約800℃以上)が續くことが判った。図5.2.16は管束各部における温度とウェステイジ率との関係を示したものである。これから温度が高くなるとウェステイジ率が大きくなることが判る。

以上のリーク率を変えて得られたマップ等のデータから下記の事が判明した。

- ①：行った試験の内、リーク口径の一番小さい1.0φの場合(リーク率20g/sec)噴出方向正

面の第二管束の厚さ3.8mm/m№4ターゲットに約200秒水噴出させた後の試験片には4.8φの貫通孔が観測された。また、第一管束の№1、№2ターゲットの間の15mmの空間をジェットはスムーズに通らず№1ターゲットは巾広く円筒と円筒の交線上(図6.2.2(C))状に深くえぐられ、その時のウェステイジ率は約 $1.3 \times 10^{-4} \text{ g/sec}$ とこの管束部では二番目に多く、その形状から大きな口径の二次破損をまねく恐れはある。なお、第二管束の№3ターゲットおよび第三管束の№6、№7ターゲットにもジェットののねえりによるウェステイジが認められた。

- ②：オリフィス径1.77φ(リーク率52g/sec)の場合のウェステイジ状況は前述の1.0φオリフィス径の場合に較べて、第一管束の№1、№2ターゲット第二管束の№4ターゲットが巾広く損傷され、かつ№4ターゲットはトロイダル状に損傷されている。
- ③：オリフィス径2.5φ(リーク率128g/sec)の場合は前二者に較べて更に巾広く、広範囲に満遍なく損傷されている。(その損傷状況を写5.2.3に載せた。)
- ④：オリフィス径1.0および1.7φの試験ではターゲット材に数多くの熱電対を取り付け、損傷量と温度の関係を調べたが、損傷の激しい所では温度が高く(約800℃)なっている。

6. む す び

SWAT-1試験装置における大リク・ナトリウム-水反応試験も昭和48年12月末をもって実験シリーズ(Ⅲ)が終了し、数多くのデータが得られた。実験データを主とし、一部検討を加えて報告書に取纏めた。

個々の結果については各章に記述してあるが、主要なものは以下の通りである。

初期スバイク圧およびその時間領域の試験結果について

- ① 初期スバイク圧最大波高値を水側注水圧、注水管先端ラプチャ板設定圧をパラメータに整理し、注水圧および注水率を上げるとスバイク圧波高値は高くなると云う結果が得られた。(図3.1.2)
- ② 初期スバイク圧について、計算コード(SWAC-7)で計算コードの入力定数、初期気泡圧力(Po)および初期気泡半径(Ro)についてパラメータサーチを行った結果とSWAT-1試験で得られた結果を比較検討した。(図3.2.1)
- ③ 初期スバイク圧に対応する反応容器壁歪の最大値は、スバイク圧最大波高値に対して、静的歪で校正した場合の約50%に相当する歪が測定された。
- ④ 反応点に於ける反応生成ガスの成長速度は、気泡形状と直径と高さが等しい円筒形と仮定し、それと等体積の球の半径を等価半径をもって現わすとオリフィス径2.5~5.0φ、注水管先端ラプチャ板設定圧100kg/cm²の場合、スバイク圧が最大となるラプチャ板破裂後1msecで等価半径は2~4cmである。

反応後の容器内の流動と温度分布について

- ⑤ 反応後の容器内の流動様相と温度分布は、現在のSWAT-1反応容器では、注水率0.5kg/sec位を境にして大きく様相が異なり、注水率が小さい場合は、反応容器ラプチャ板が破裂する前にナトリウムと反応生成ガスが置換し、その反応生成ガスの吹き抜ける速度は1.5~2.0m/sec位で、かつ容器内の温度も局所的にしか上昇しない。また、注水率を変えた場合のナトリウム・レベルの動きについても、調べた。
- ⑥ 反応によって生成されるガスの温度はナトリウム・レベルの動き等から検討すると700~900°K位の値と推測される。
- ⑦ 蒸気発生器をマクロに模擬した内部構造物を入れ、かつ注水管先端位置を変えて試験を行い、注水管先端位置が低く、注水率が大きい場合はセンタ・パイプ内を1200°C位の高温流体が吹き抜け、注水管先端位置を上げると、流動は暖かになる。
- ⑧ 容器内内部ナトリウム温度と容器外壁の温度の関係について調べ、注水率が大きい場合で、

内部ナトリウム温度が300°C位上昇しても、外壁温度は500°C位の緩慢な温度上昇を20秒位しか示さずその後更に緩慢な温度上昇になる。

ウェステージについて

ウェステージの試験に関しては噴出ジェットが伝熱管等で乱されない様に細いターゲットを用い、噴出状況を把握するための基礎試験、変換伝熱管同・材質を用いた試験及びこれらを数本用いて隣接伝熱管の損傷状況を調べる試験等、一通の試験を用いた結果を得た。

- ⑨ 基礎試験に於てはリーク割合(リーク率)とウェステージ・パターンとの関係およびその領域の温度特性について明らかにした。

- ⑩ 変換同一寸法、同一材料の伝熱管および伝熱管束を入れた試験はリーク率20~128g/secの範囲で行い、その時のウェステージ量および隣接伝熱管の損傷状況等について調べた。その他、放出系に関する事項は検討を行っていないので、注水率と反応容器ラプチャ板動作時間、収納容器へのナトリウム移動量等についてはグラフだけAppendixに載せた。

7. 参 考 文 献

- (1) SWAT-1試験装置による大リーク・ナトリウム-水反応試験 (第I報; 実験Iの結果)
-動燃所内報告SN941 72-02, 1972年2月
- (2) SWAT-1試験装置による大リーク・ナトリウム-水反応試験 (第II報; 水注入条件を変化させた場合のナトリウム-水反応諸特性とその検討)
-動燃所内報告SN941 72-17, 1972年10月
- (3) 高速増殖炉蒸気発生器の安全性信頼性に関する調査研究
-日本機械学会, Na-加熱蒸気発生器調査研究分科会, SJ254 72-01, 1974年3月
- (4) 大リーク・ナトリウム-水反応試験 (第7報; 反応容器内のNaの流動と温度係相)
-原子力学会, 48年度年会予稿集
- (5) 大リーク・ナトリウム-水反応試験 (第8報; 反応生成ガスの初期成長過程)
-原子力学会, 48年度年会予稿集
- (6) 大リーク・ナトリウム-水反応試験 (第9報; 大リーク時のウェステイジとその領域の温度特性) -原子力学会, 48年度秋期分科会予稿集
- (7) 大リーク・ナトリウム-水反応試験 (第10報; 初期スベイク圧, 容器破砕, および反応生成ガスの成長速度) -原子力学会, 49年度年会予稿集
- (8) 大リーク・ナトリウム-水反応試験 (第11報; 中リーク時のウェステイジによる隣接伝熱管束の損傷) -原子力学会, 49年度秋期分科会予稿集

課)

控変

3月

初温

反応

磁伝

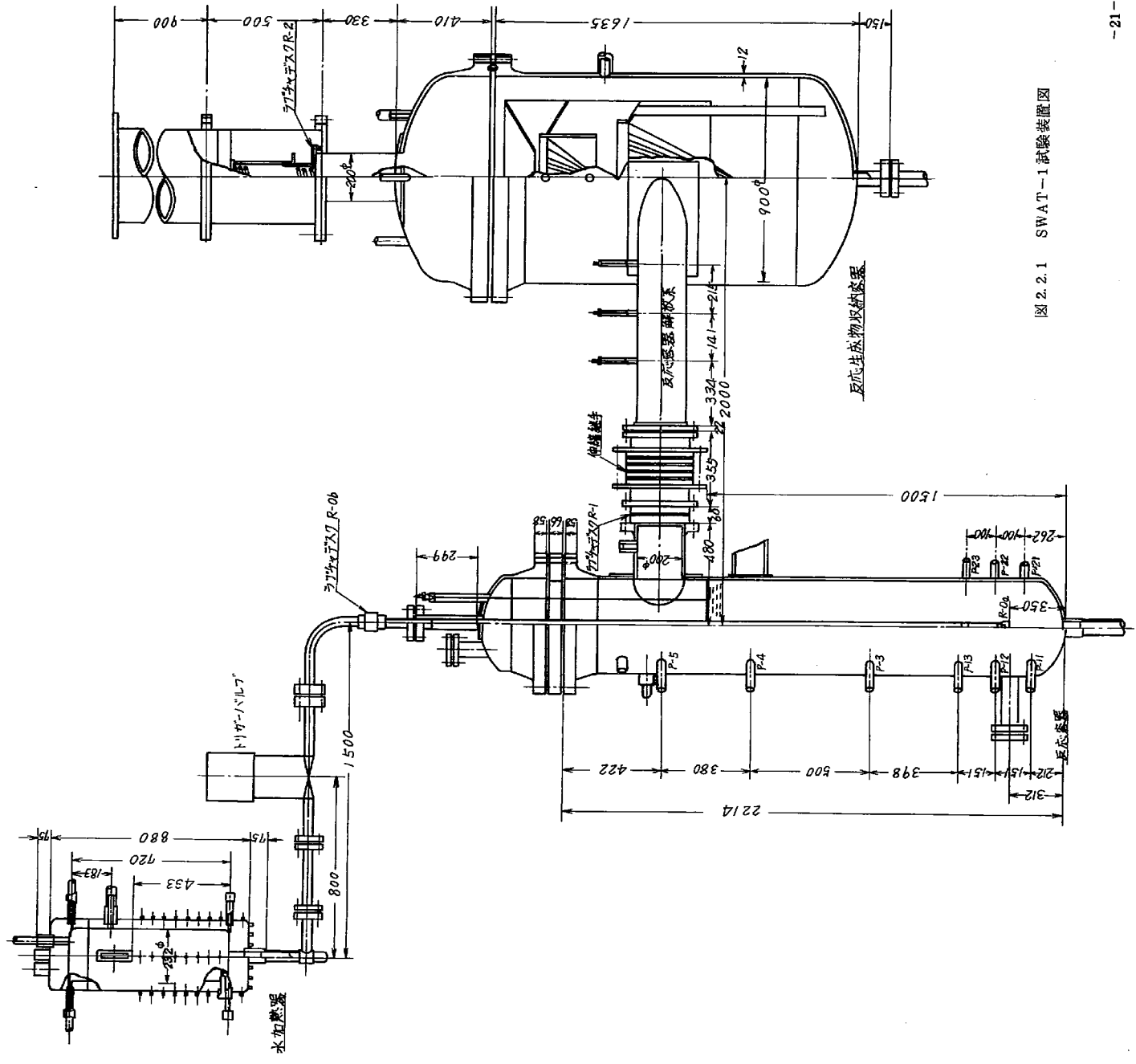


図 2.2.1 SWAT-1 試験装置図

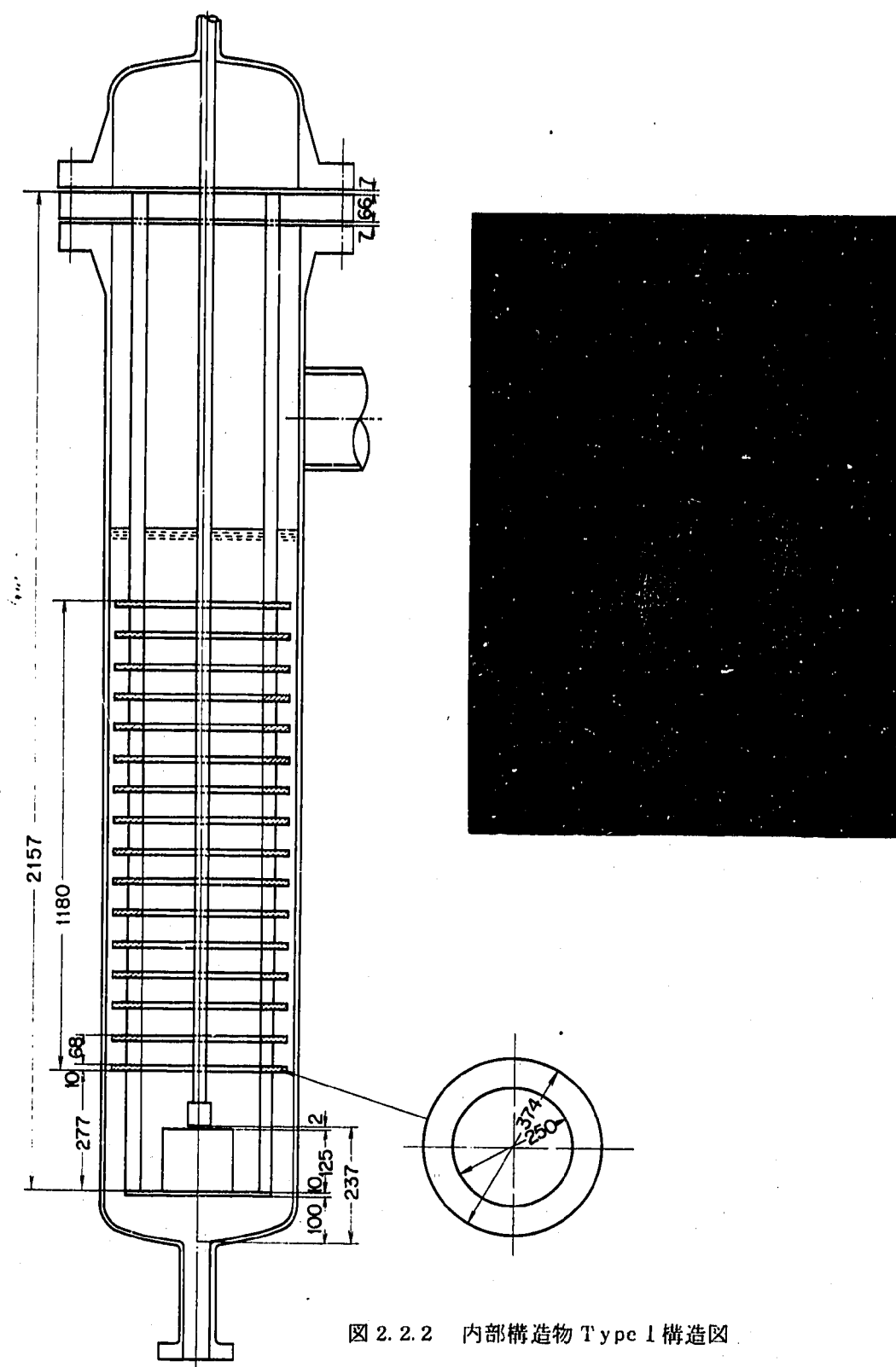


图 2.2.2 内部构造物 Type I 构造图

PNC TN941 74-46

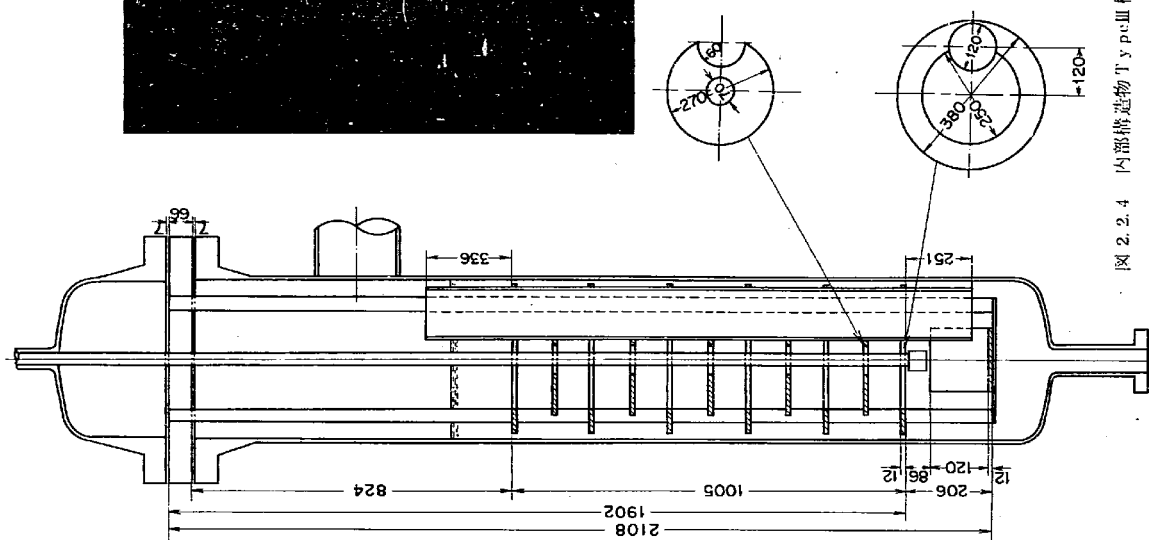


图 2.2.4 内部构造物 Type III 构造图

PNC TN941 74-46

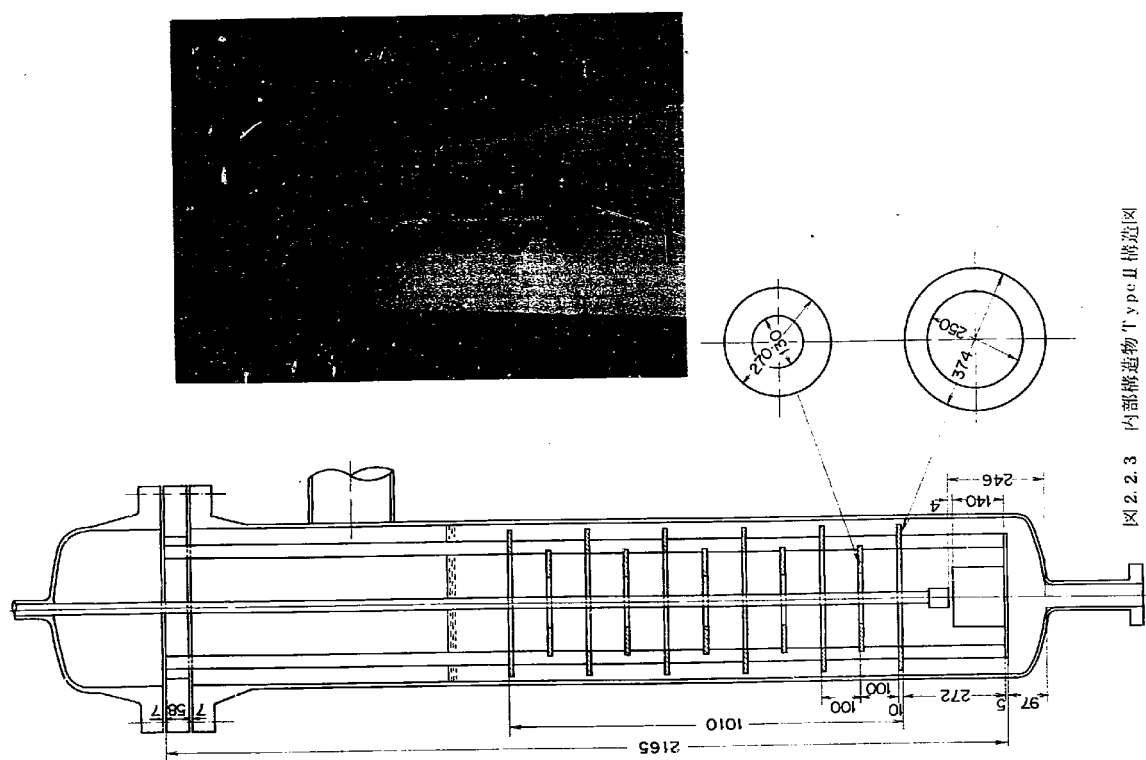


图 2.2.3 内部构造物 Type II 构造图

表 2.1.1 試験条件および主な試験目的

実験 シリーズ	試験 番号	実施 回数	オリフィス径	水頭 圧力	Na 温度	シブチナ + 仮設定圧 R-0a R-0b R-1 R-2	主な試験目的
I	0X	6	25, 3.5 5.0 ϕ	75k	330 $^{\circ}$ C	3k 15k	注水条件, 放出系作動 条件を変えた場合のナトリウム-水反応特性
II	1X	5	35, 5.0 7.0 ϕ	75k	330 $^{\circ}$ C	5k 15k	機械伝熱管等内部構造物を入れた場合の試験について
III	2X	4	25, 3.5 5.0, 7.0 ϕ	125k	330 $^{\circ}$ C	5k 15k	初期スライク圧の再現性 および補正試験
4X	3X	8	25, 3.5 5.0 ϕ	125k	330 $^{\circ}$ C	5k 15k	機械伝熱管のウェスティング試験
4X	4X	4	35, 4.3 5.0 ϕ	75k	330 $^{\circ}$ C	3k 15k	機械伝熱管のウェスティング試験
4X	3X	8	25, 3.5 5.0 ϕ	125k	330 $^{\circ}$ C	5k 15k	機械伝熱管のウェスティング試験

表 2.1.2 実験 (III) の試験結果

試験番号	試験日	オリフィス径 (mm ϕ)	注水圧力 (kgf/cm 2)	注水量 (kg)	注水時間 (sec)	平均注水率 (g/sec)	試験温度 ($^{\circ}$ C)	注水終了後 の温度 ($^{\circ}$ C)	注水終了後 の圧力 (kgf/cm 2)	注水終了後 の流量 (kg)
31	10/27/72	2.5	121.0	324	2.40	5.70	194	350	1120	21.0
32	11/24/72	3.5	126.5	327	3.10	5.33	339	325	640	81.0
33	12/14/72	5.0	122.0	324.5	6.56	5.53	934	310	1100	110.4
34	2/8/73	5.0	127.5	328	6.84	5.41	1016	320	934	96.0
35	3/6/73	3.5	129.0	—	4.27	5.48	536	360	900	198
36	3/30/73	3.5	123.0	325	4.48	5.30	594	360	900	52.3
37	5/17/73	5.0	129.0	329	4.74	5.40	631	326	1050	65.1
38	6/12/73	5.0	129.5	329.5	5.61	5.30	777	342	910	79.9
41	7/6/73	5.0	79.0	293	4.96	5.90	592	315	910	66.9
42	7/31/73	4.3	79.0	293	4.58	5.30	587	380	850	70.6
43	8/28/73	3.5	79.0	293	3.40	5.80	334	310	1240	64.2
44	9/20/73	3.5	135.5	333	4.11	5.40	513	310	750	54.6
45	10/18/73	1.7	130.5	330	3.74	45.5	528	313	900	91
46	11/16/73	1.0	128.0	328	3.98	183.5	14.4	325	845	34.4
47	12/13/73	2.5	125.0	327	5.86	30.0	151	320	447	

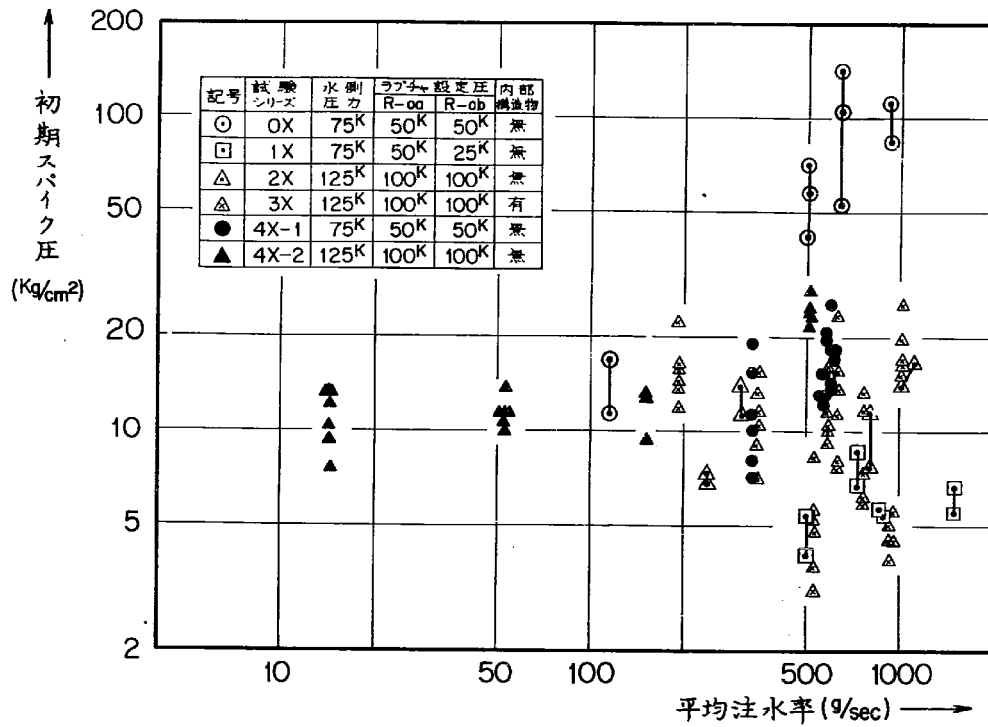


図 3.1.1 平均注水率と初期スパイク圧実測値の関係

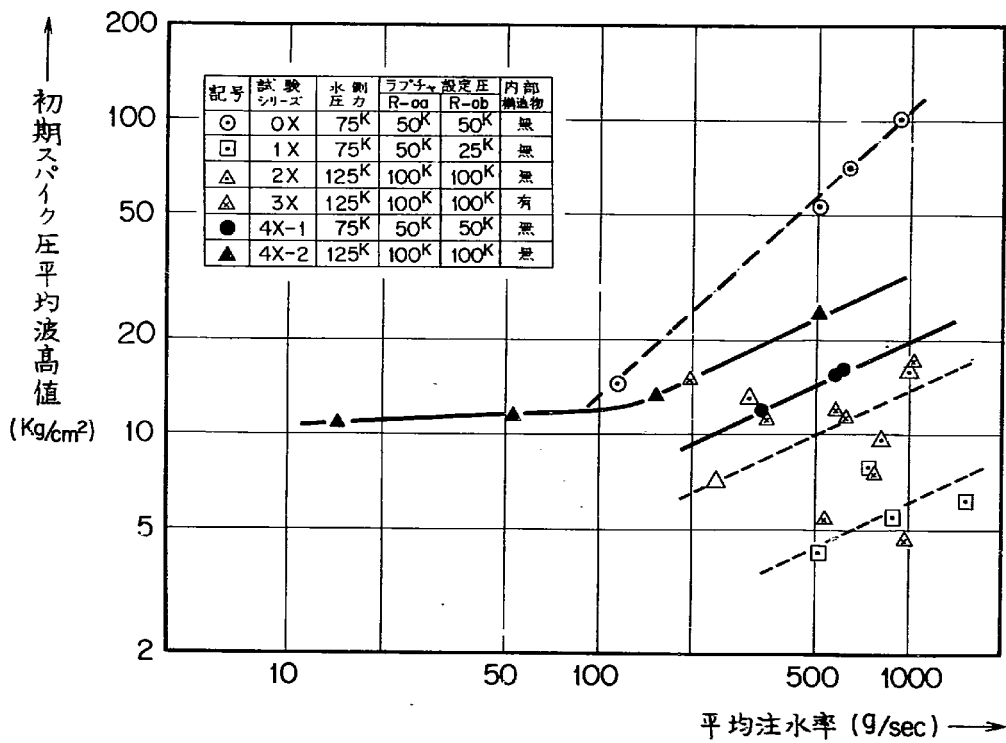


図 3.1.2 平均注水率と反応点付近の初期スパイク圧平均波高値との関係

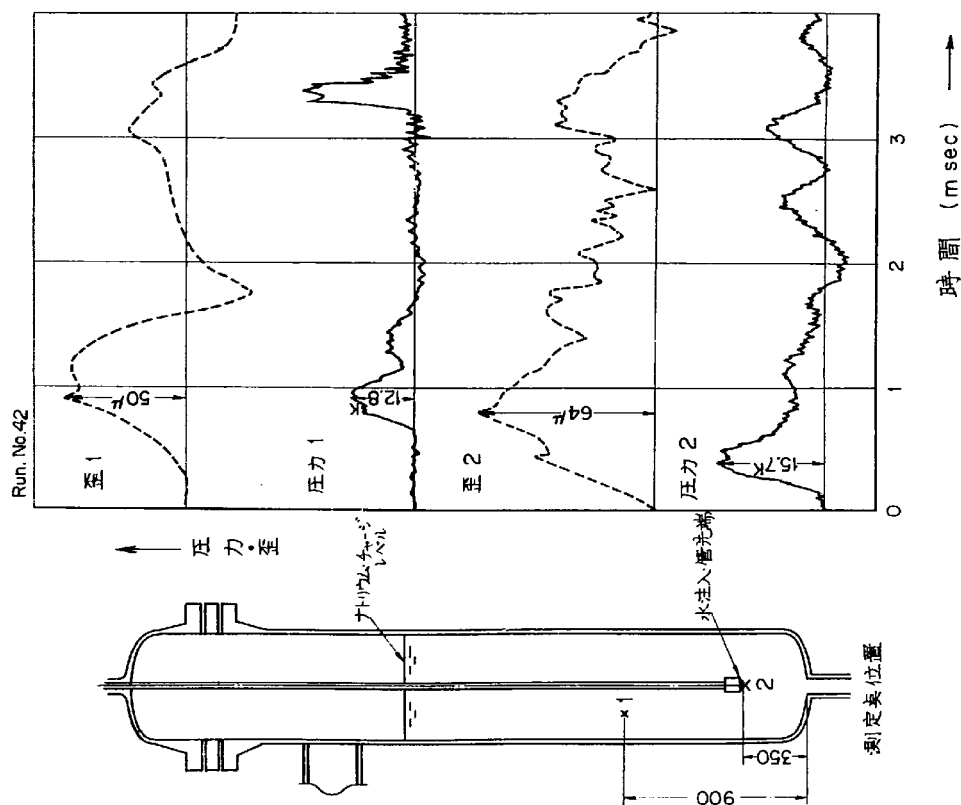


図3.1.3 初期スパイク圧、容器壁面の代表的測定例

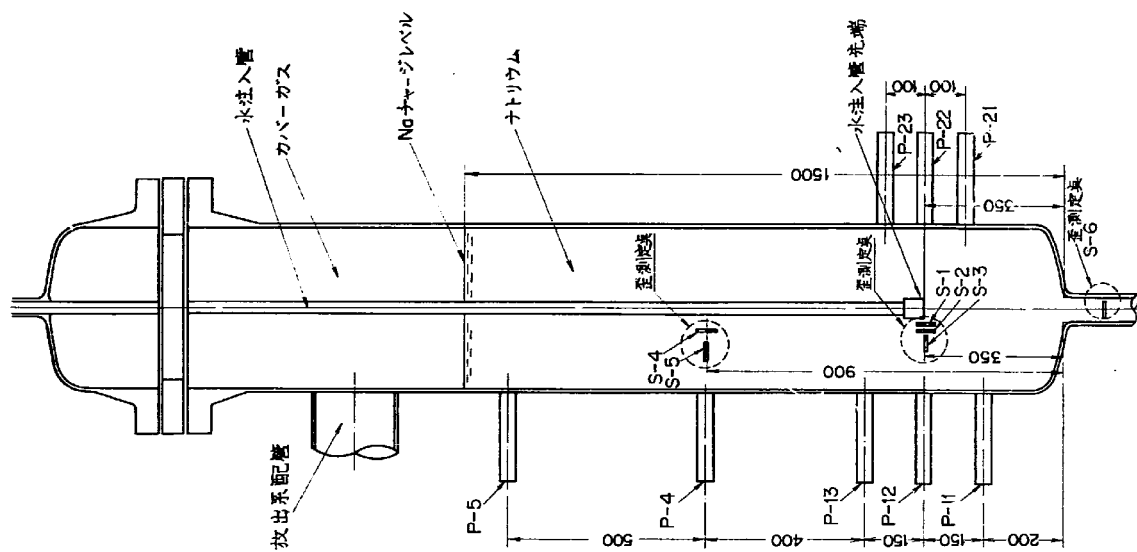


图 3.1.4 压力, 全测定点概略图

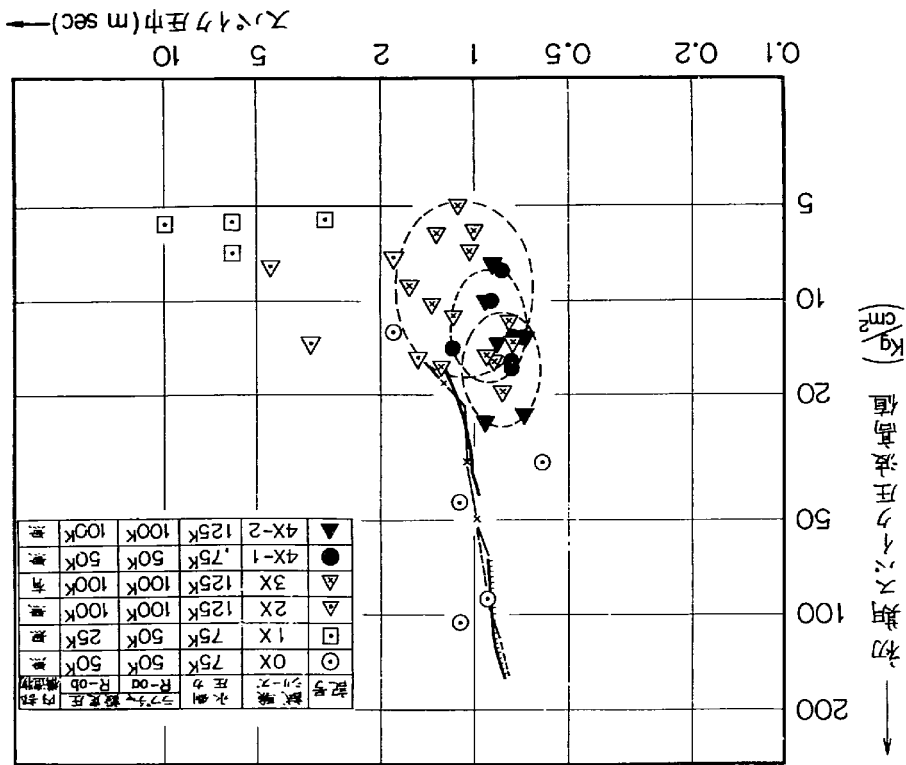


図 3.2.1 初期スパイク圧波高値とスパイク圧山の関係

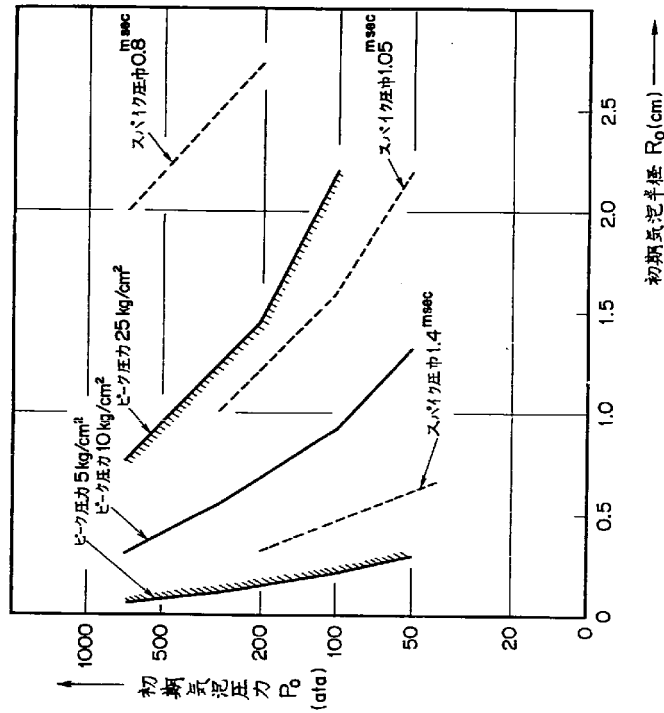


図 3.2.2 カーベイ結果の SWA T-1 の初期気泡圧力と初期気泡半径の存在範囲

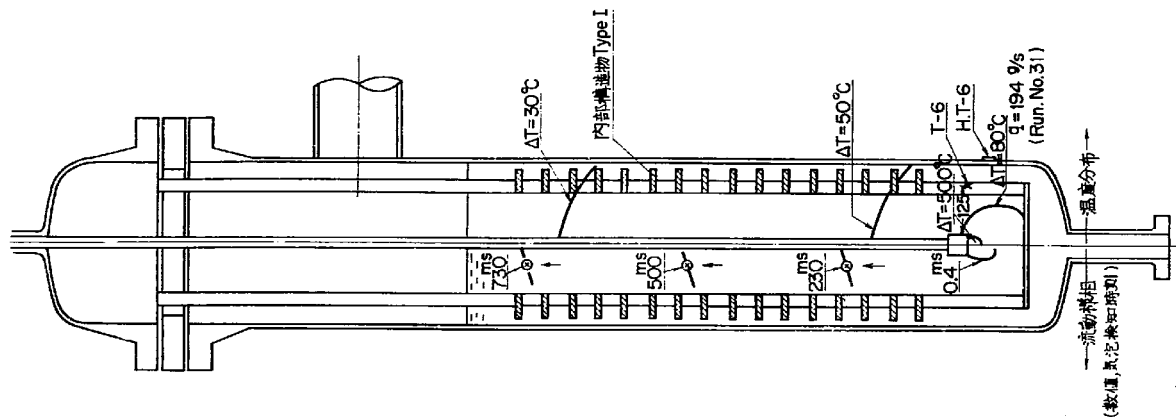
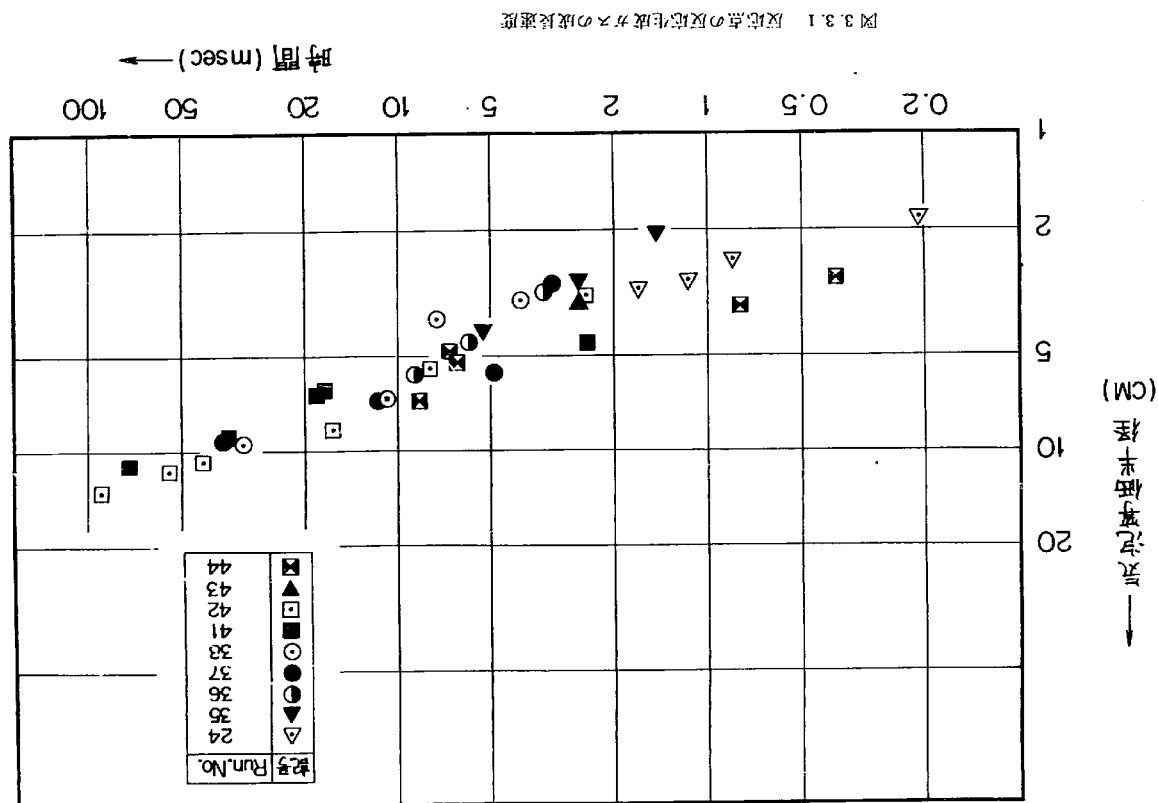


図 4.1 内部構造物 Type I 挿入時の流動様相と温度分布



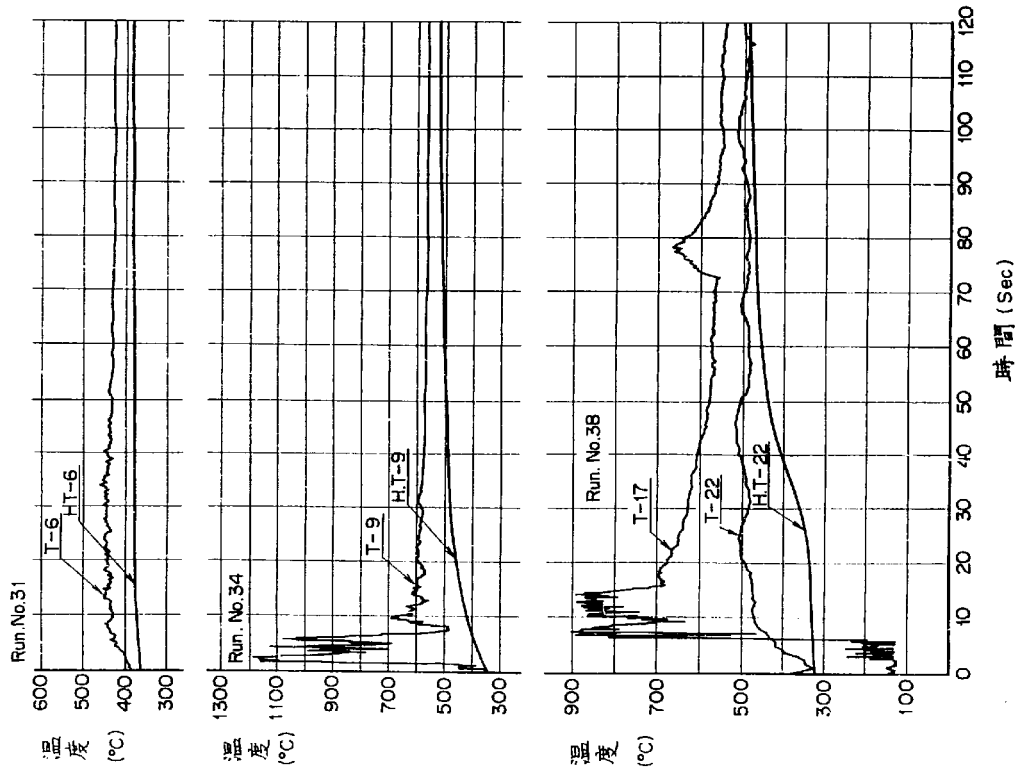


図 4.2 容器内注水管先端部付近と容器外壁の温度

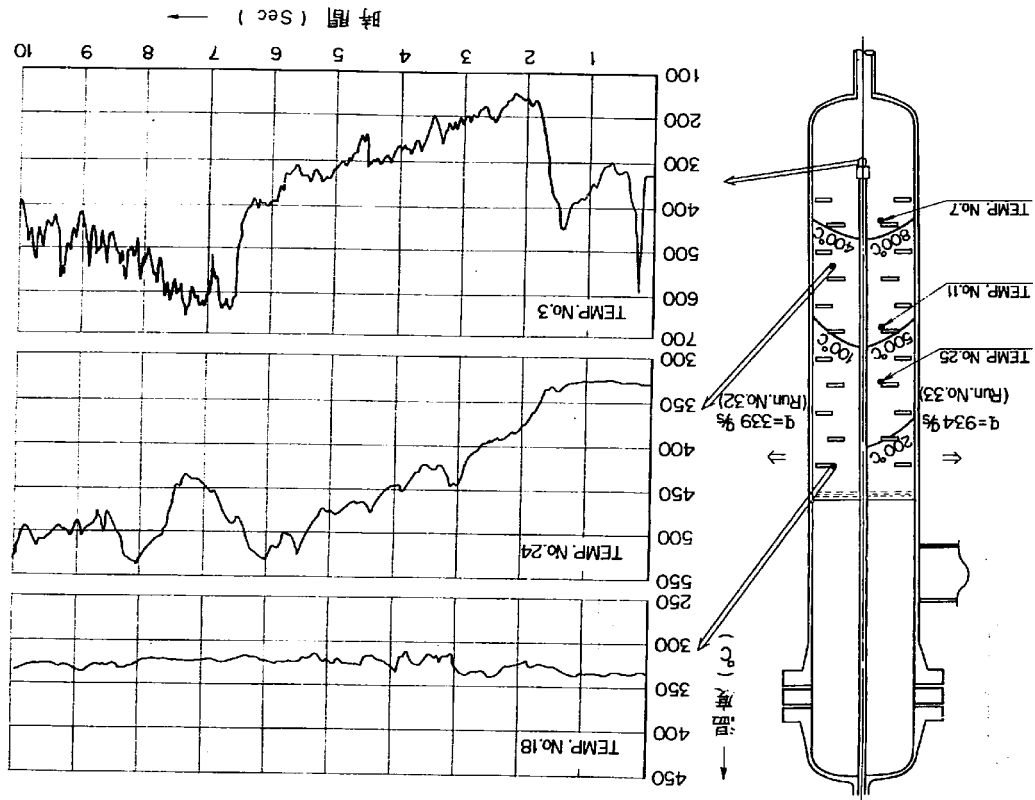
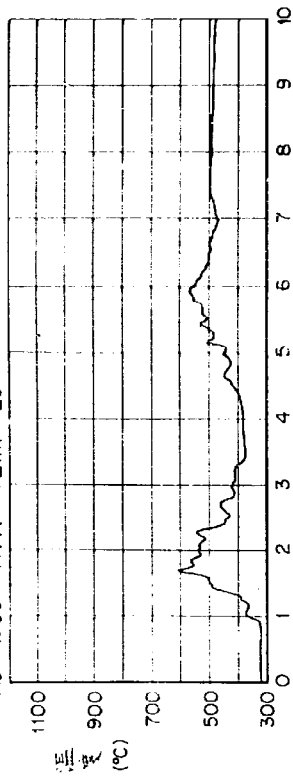
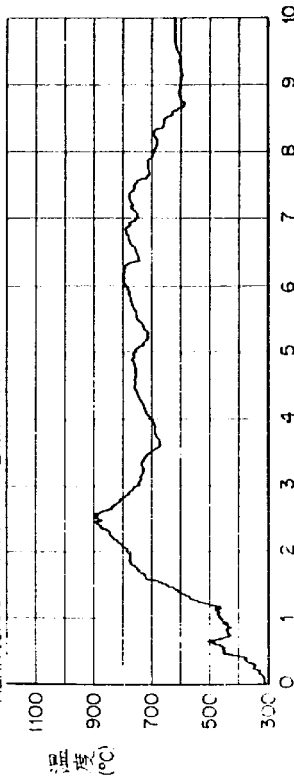


図 4.3 内部構造物 Type II 挿入時の温度分布と代表測定例

Run No 33 R.V. TEMP 25



Run No 33 R.V. TEMP 11



Run No 33 R.V. TEMP 7

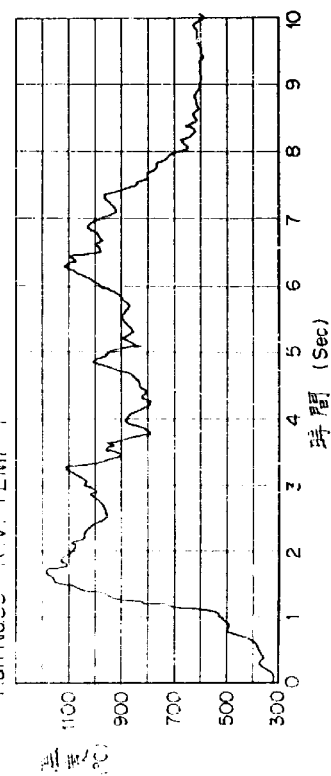


図 4-1 内部構造物タイプII投入時の反応炉の温度測定例

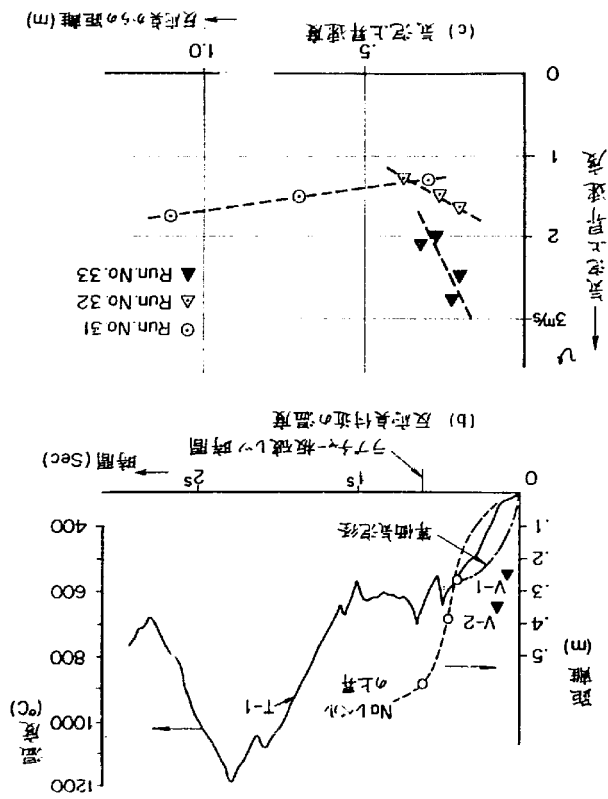


図 4.5 内部構造物 Type II 投入時の流動様相

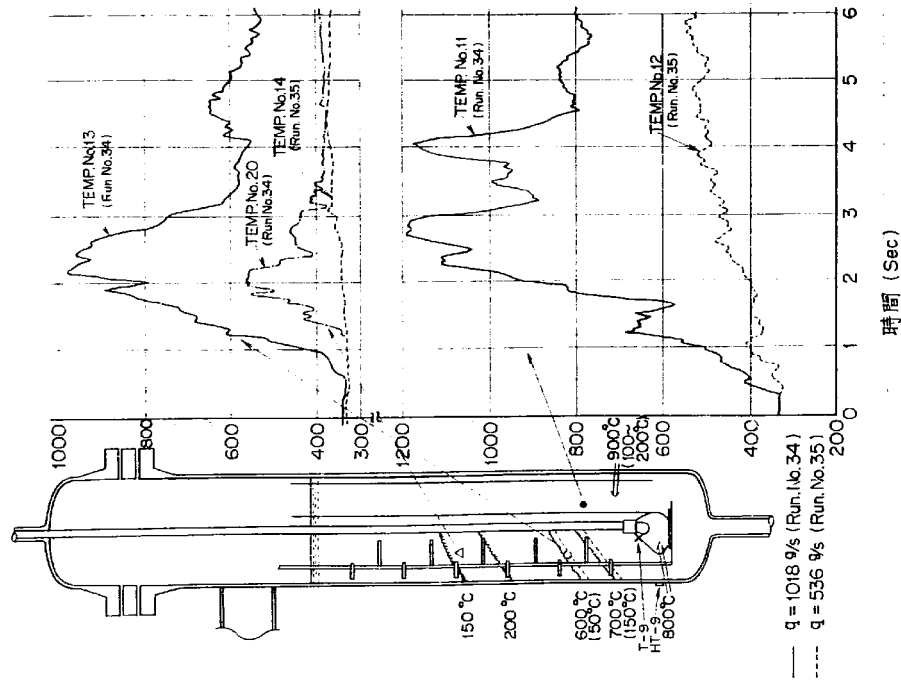


図 4.6 内部構造物タイプII挿入時の温度分布と代表温度測定例

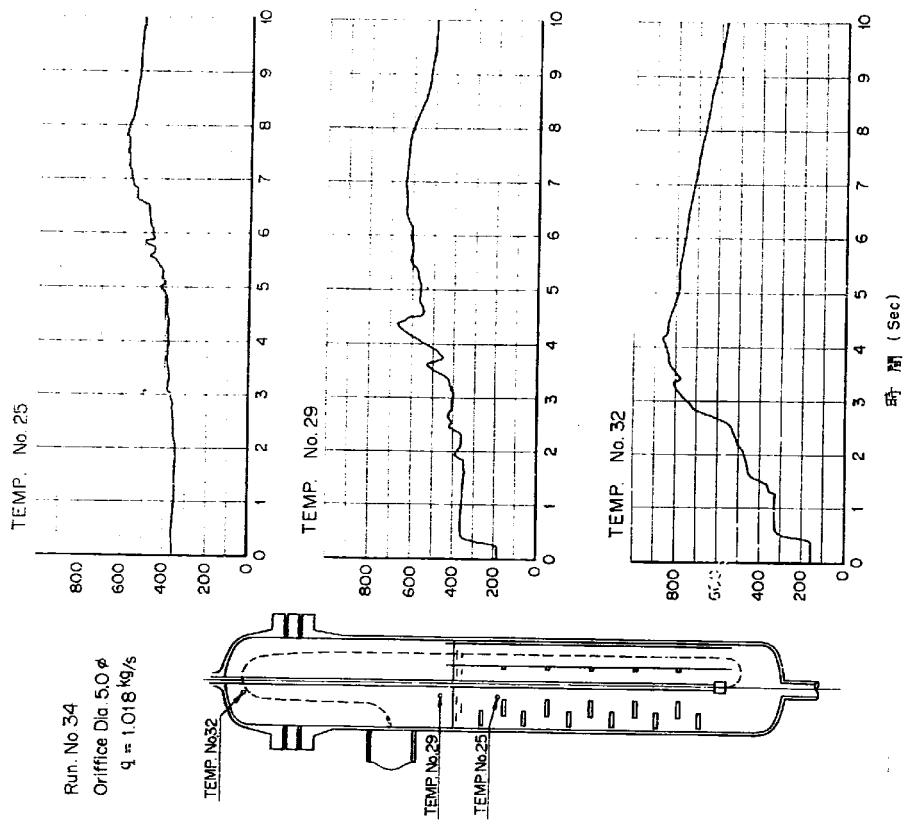


図 4.7 内部構造物タイプII挿入時のカバ-ガス空間の温度測定例
 その1 (Run No. 34 の注水率の大きい場合)

Run. No. 35

Orifice dia 3.5 ϕ

$q = 0.536 \text{ kg/s}$

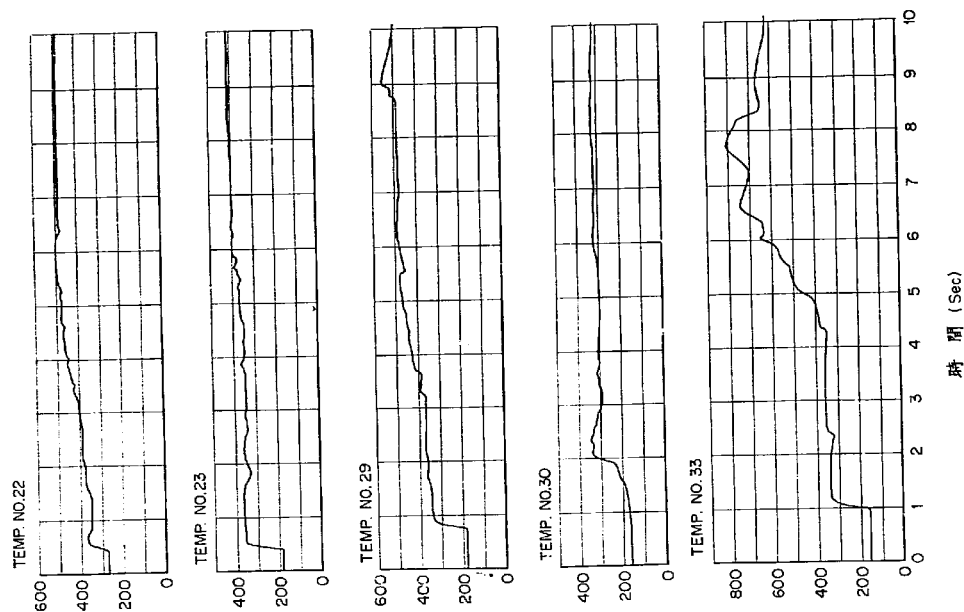
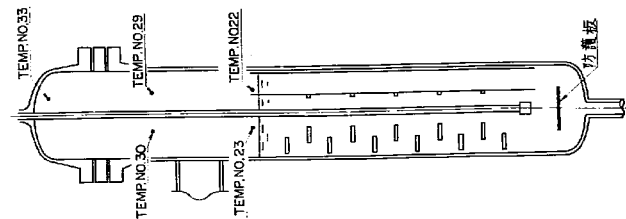


図 4. 8 内部構造物タイプ皿挿入時のカバーガス空間の温度測定例
そのII (Run. No. 35 の注水率の小さい場合)

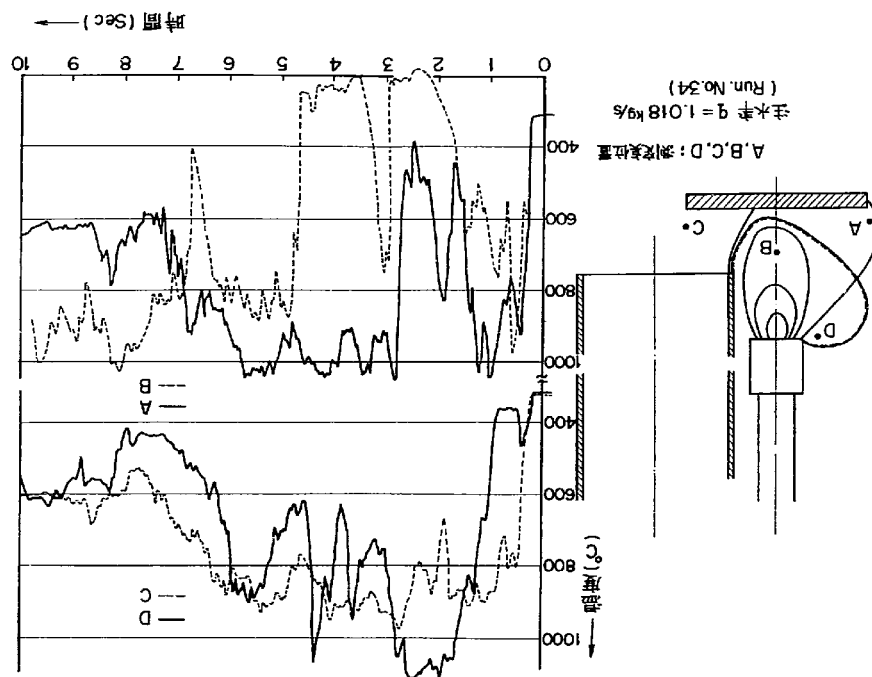


図 4. 9 反応点付近の温度分布と測定例

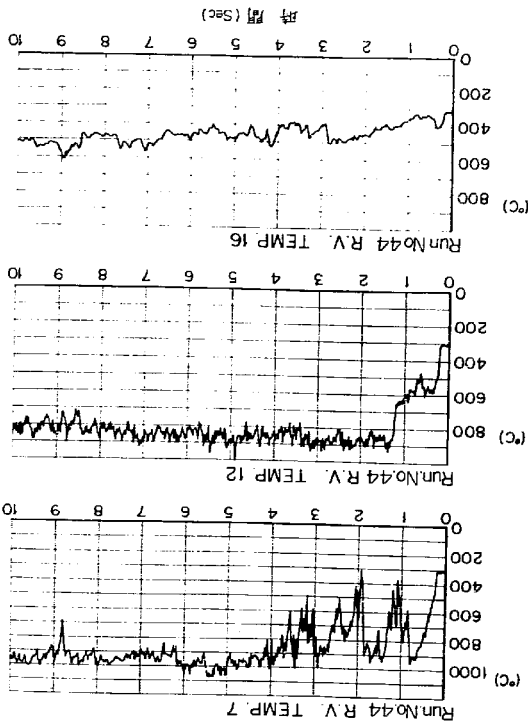


図 4.10 反応点付近の温度分布と測定例 (Run No. 44 の測定した場合の例)

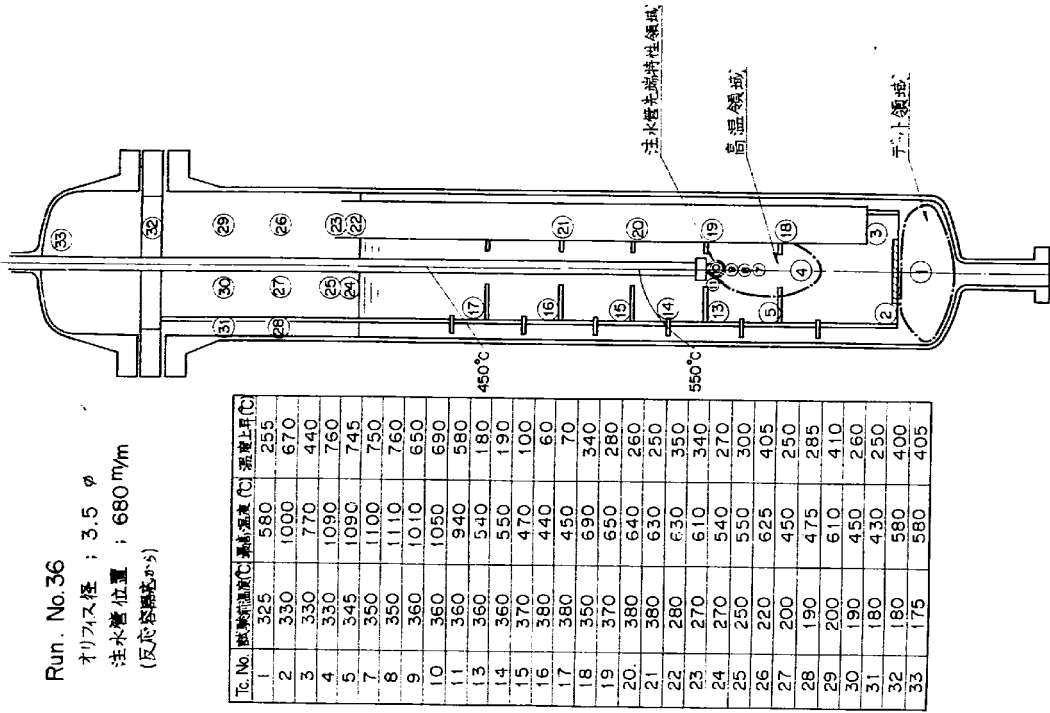


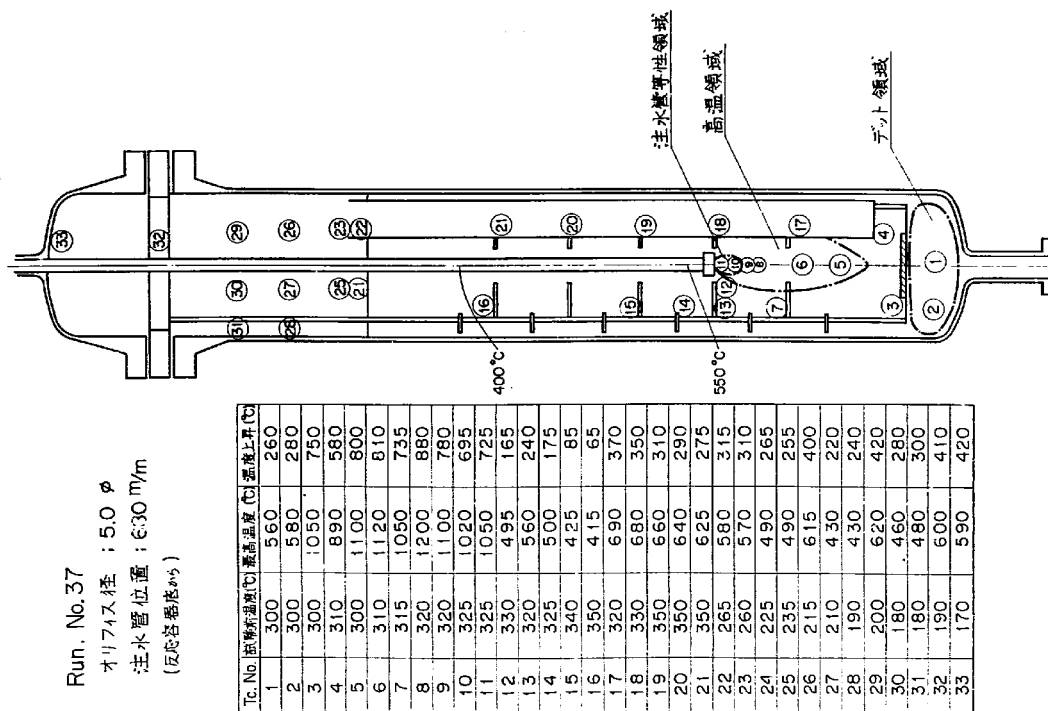
図 4.11 内部構造物タイノ皿を入れ注水管先端位置を上げた場合の温度分布その 1 (Run. No. 36 の場合)

Run. No. 37

オリフィス径 : 5.0 φ

注水管位置 : 630 mm

(反気泡状態から)

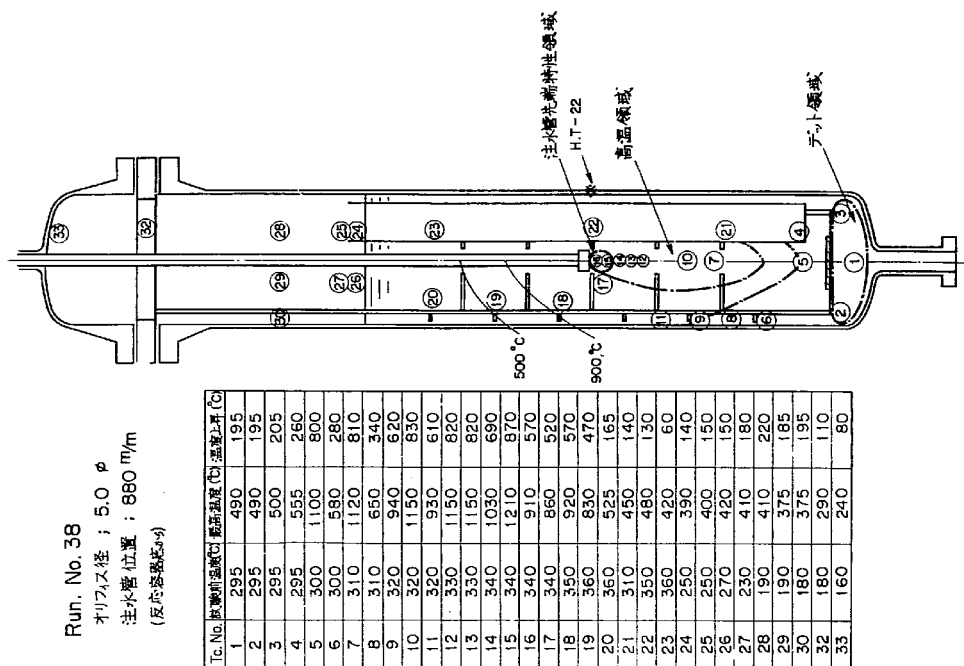
図4.1.2 内部構造物タイプIIを入れ注水管を上げた場合の温度分布そのII
(Run. No. 37 の場合)

Run. No. 38

オリフィス径 : 5.0 φ

注水管位置 : 880 mm

(反気泡状態から)

図4.1.3 内部構造物タイプIIを入れ注水管を上げた場合の温度分布そのIII
(Run. No. 38 の場合)

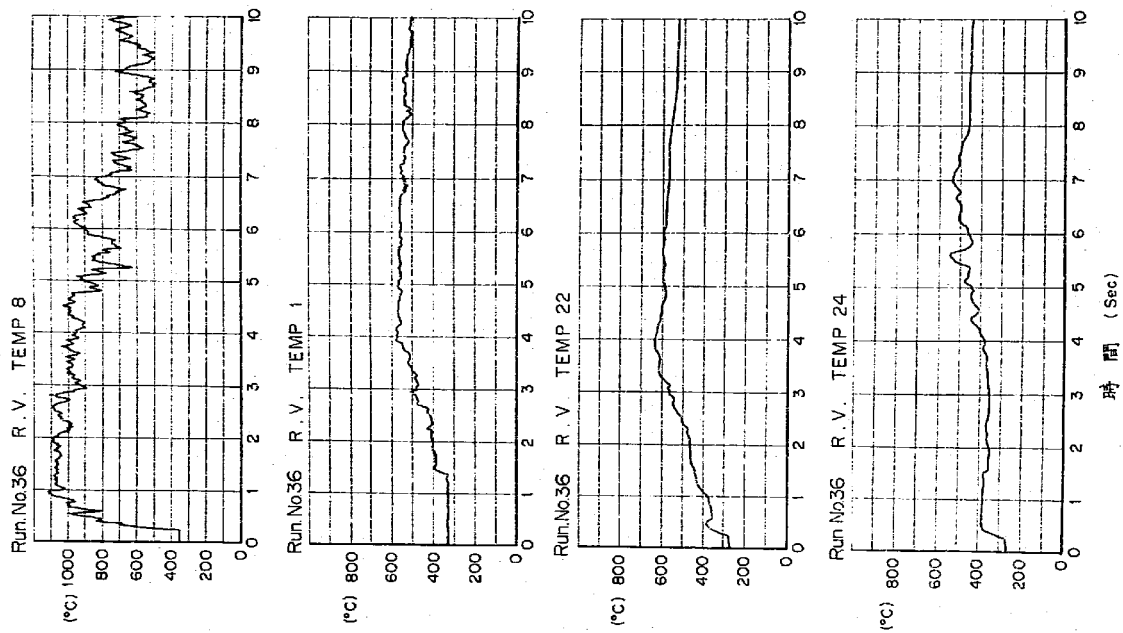


図4.1.1 内部構造物タイフⅢを入れ排水位置を上げた場合の温度測定例その1

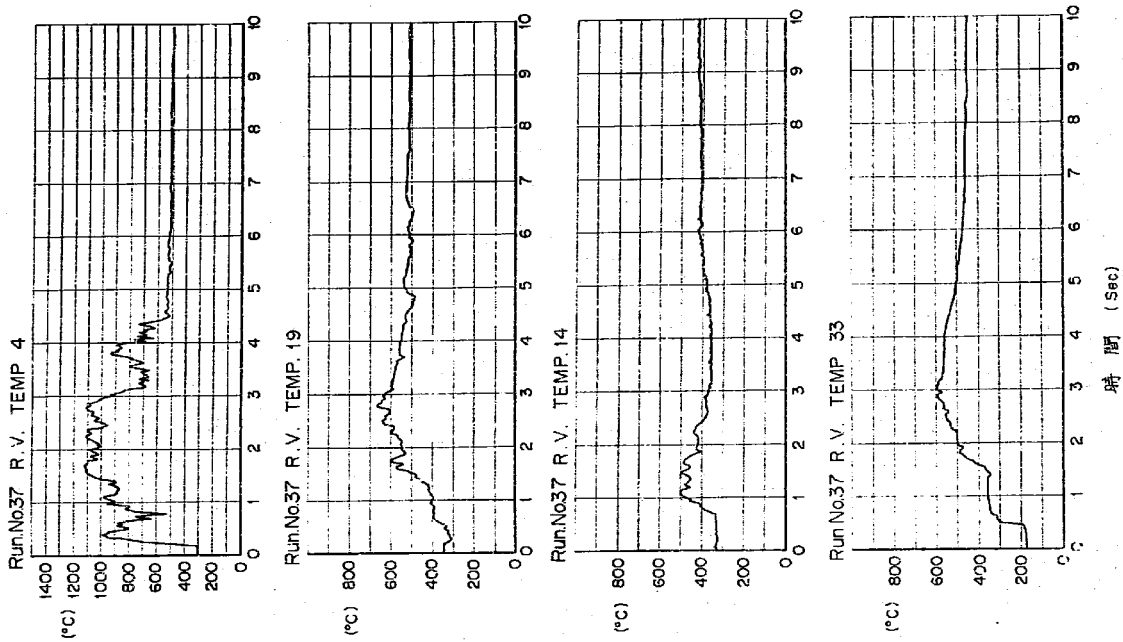


図4.1.5 内部構造物タイフⅢを入れ排水位置を上げた場合の温度測定例そのⅢ

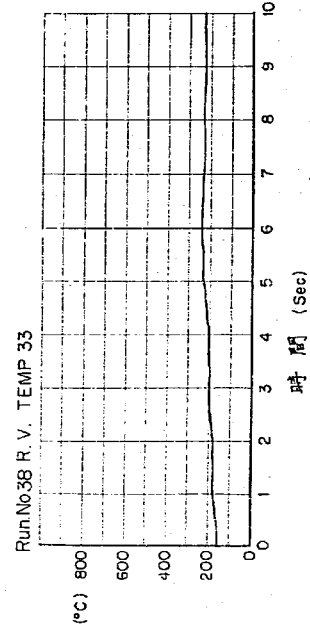
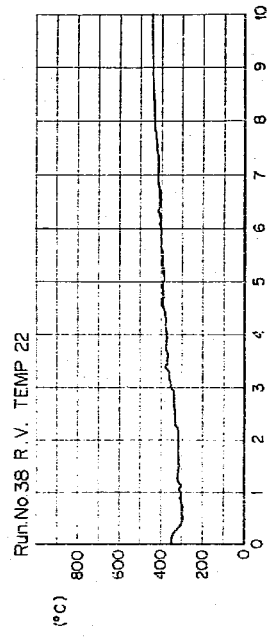
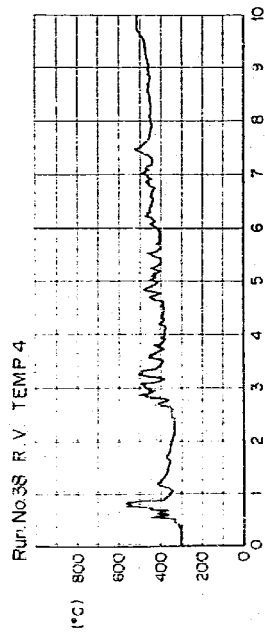


図 4.16 内部構造物タイブ皿を入れ注水管位置を上げた場合の温度測定例そのⅢ

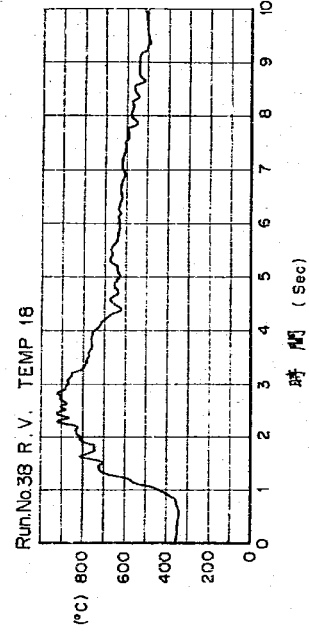
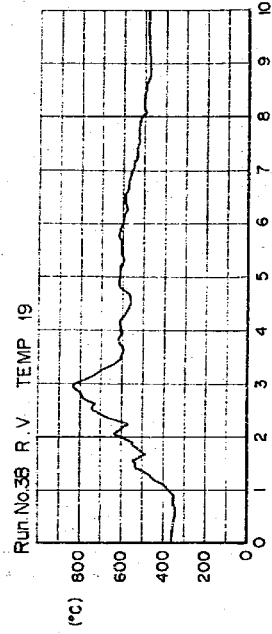
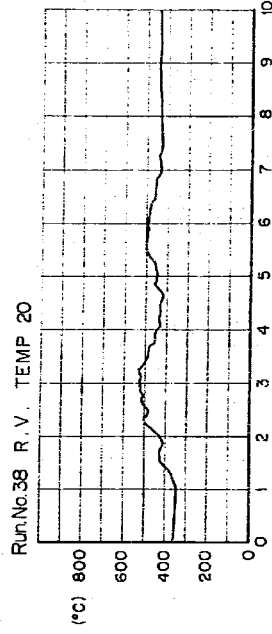


図 4.17 内部構造物タイブ皿を入れ注水管位置を上げた場合の温度測定例そのⅣ

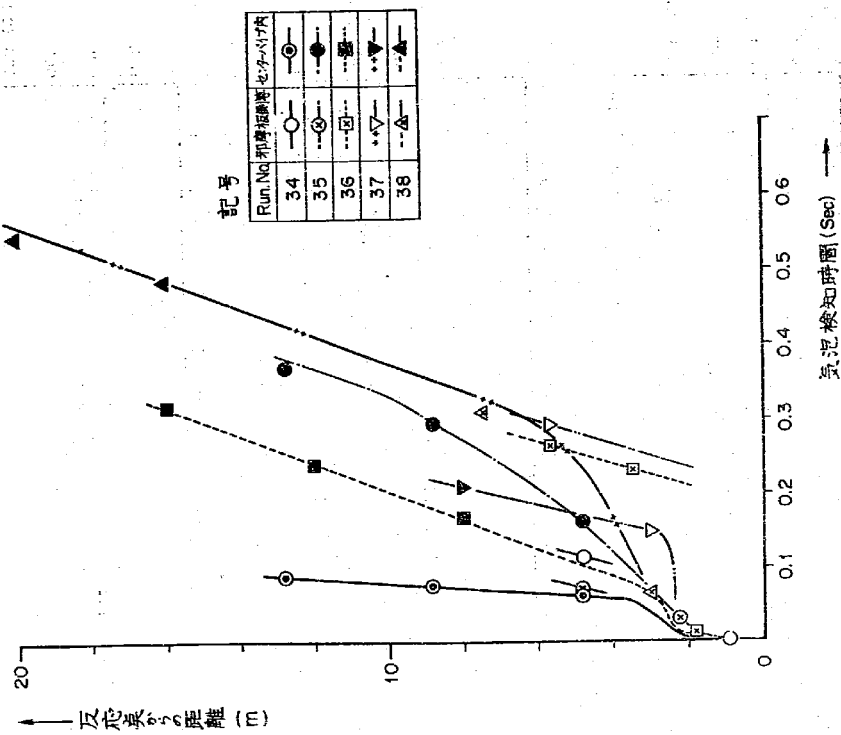


図 4.18 内部構造物タイン挿入時の反応容器内の反応点からの距離と反応生成ガス検知時間の関係

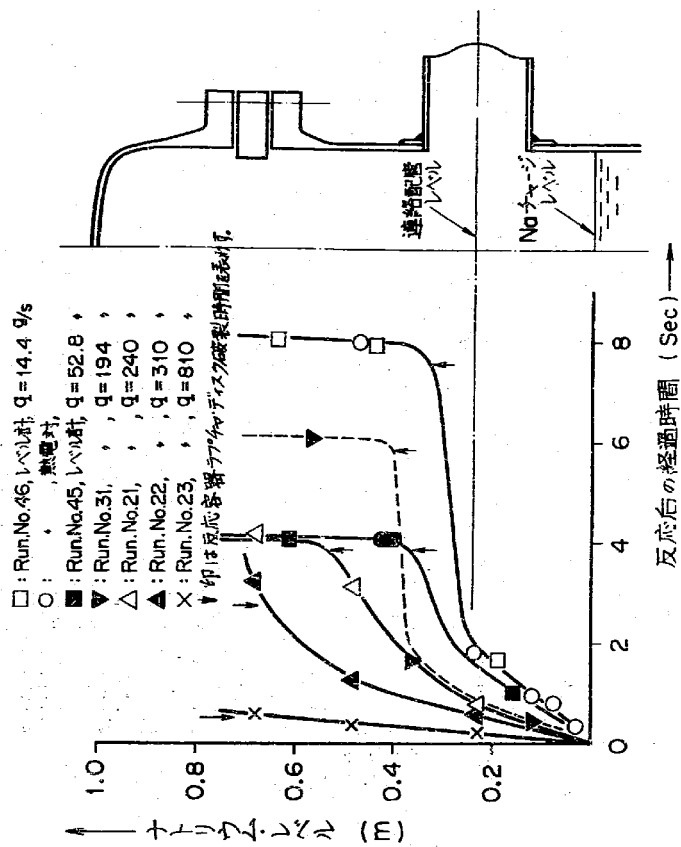


図 4.19 注水率を変えた場合のナトリウム・レベルの動き

▽: Run No. 32, $q=333\%$, 熱電対
 △: Run No. 33, $q=934\%$, 熱電対
 △: Run No. 34, $q=1018\%$, 熱電対
 □: Run No. 35, $q=556\%$, 熱電対
 ⊙: Run No. 37, $q=631\%$, 熱電対
 ⊙: Run No. 38, $q=777\%$, 熱電対
 1 行は反応器キャップガス/凝縮時間も変わる。

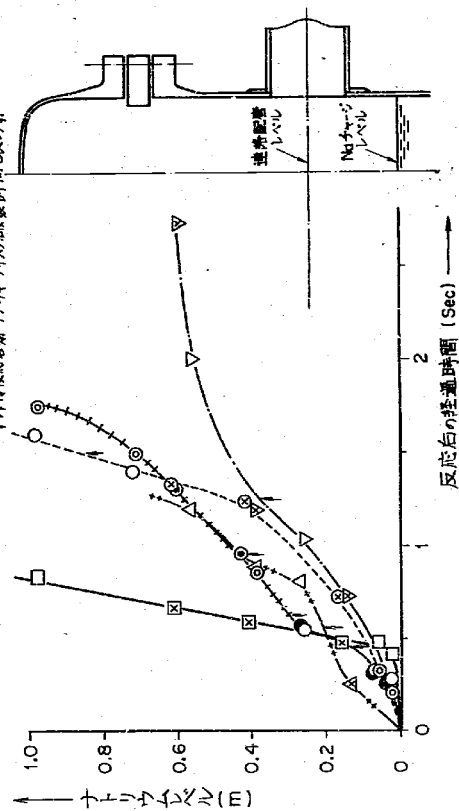


図4.20 内部構造物タイプIIおよび組入時のナトリウム・レベルの動き

表4.1 内部構造物を入れた実験3Xシリーズの試験条件

試験番号	注水管 オリフィス径 (φ)	挿入内部 構造のタイ プ	注水管先端位置 (反応器底か らのmm数)	流動様相, 温度分布 に対する主な試験 目的
31	25	I	237	チャンネル状に上昇 する発生ガスの上昇 速度等
32	35	II	246	千鳥格子配列の内部 構造物を入れ注水管 を変えた場合の流動, 温度様相
33	5.0			
34	5.0	III	296	気液蒸気発生流路 をマクロに模擬し, 流れを非対称にし注 水管, 注水管先端位 置を変えた場合の流 動, 温度様相
35	35			
36	35			
37	5.0			
38	5.0		680	
			880	

表 4.2 注水管位置を変えた場合の温度特性
(内部構造物タイプⅢ挿入、試番 36, 37, 38)

試験及び 測定位置	Run No. 36 (I=680m/m, D=3.5φ)	Run No. 37 (I=680m/m, D=5.0φ)	Run No. 38 (I=850m/m, D=5.0φ)
センターパイプ 下端	反応 0.36 秒後に温度上昇を示し、以後 700℃位の温度を特徴 (測定点: 図 4.11 の③)	反応 0.2 秒後に温度上昇を示し、約 1100℃を記録 (測定点: 図 4.12 の④, 測定例: 図 4.15 の 4 に掲載)	反応 0.5 秒後に温度上昇を示し、0.75 秒後に最高温度を記録、温度上昇断続的かつ急峻 (測定点: 図 4.13 の④, 測定例: 図 4.16 の 4 に掲載)
センターパイプ 内(センターパイプ) 下端より 62 cm 上方	反応 2.5 秒後にセンターパイプ下端温度より 640℃低い 640℃の温度記録 (測定点: 図 4.11 の②)	反応 2.8 秒後にセンターパイプ下端温度より 660℃の温度記録 (測定点: 図 4.12 の④, 測定例: 図 4.15 の 19 に掲載)	反応後、容器内ナトリウム温度勾配のため、一旦温度低下し、以後緩慢に温度上昇する (測定例: 図 4.13 の④, 測定例: 図 4.16 の 22 に掲載)
炉壁板側 容器底より 65cm	反応 1.8 秒後に温度上昇、2.6 秒で最高 100℃の温度上昇を示す。 (測定点: 図 4.11 の⑤)	反応 1.4 秒後に温度上昇を示し、2.2~3.5 秒で RUN No. 37 より若干高い 180℃の温度上昇を示す。(測定点: 図 4.12 の④, 測定例: 図 4.15 の 14 に掲載)	反応 1 秒後に温度上昇を示し、3.8 秒後に最高温度 830℃を記録 (測定点: 図 4.13 の④, 測定例: 図 4.16 の 19 に掲載)
カバー・ガス・レベル 上方 (4cm) センターパイプ側及び 炉壁板側	反応 0.28~0.27 秒後に同時にナトリウムに浸った温度上昇検知 (測定点: 図 4.11 の②及び④, 測定例: 図 4.14 の 22 及び 24 に掲載)	反応 0.1 秒後にナトリウムに浸った温度上昇同時に検知 (測定点: 図 4.12 の④及び④, 測定例: 図 4.15 の 33 に掲載)	ナトリウムに浸らず (測定点: 図 4.13 の④, 測定例: 図 4.16 の 33 に掲載)
カバー・ガス上部 (チャージ・レベル) より 99cm 上方	反応 0.63 秒後にナトリウムの温度検知、4 秒後に最高温度 570℃を記録 (測定点: 図 4.11 の③)	反応 0.88 秒後にナトリウム温度検知、5.5 秒後に最高温度 590℃を記録 (測定点: 図 4.12 の④, 測定例: 図 4.15 の 33 に掲載)	

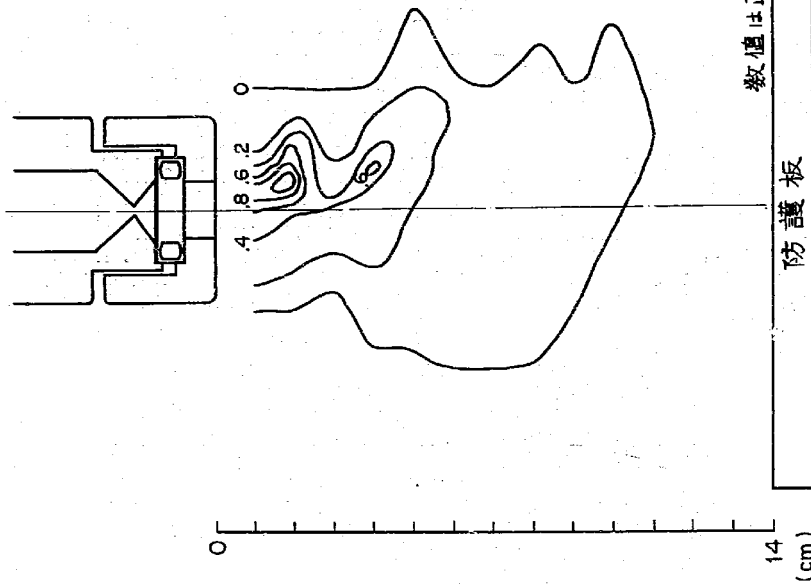


図 5.1.1 オリフィス径 2.5φ (0.132 kg/sec) の場合のウェスティマップ

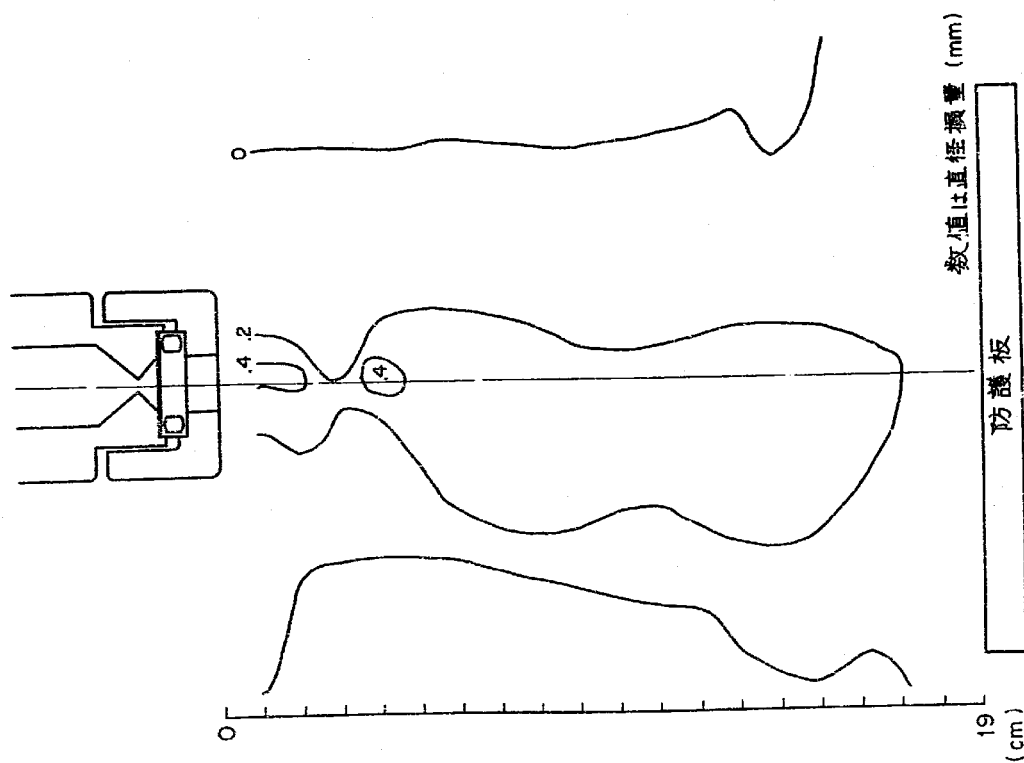


図 5.1.2 オリフイス径 3.5 φ (0.337 kg/sec) の場合のウェスティマップ

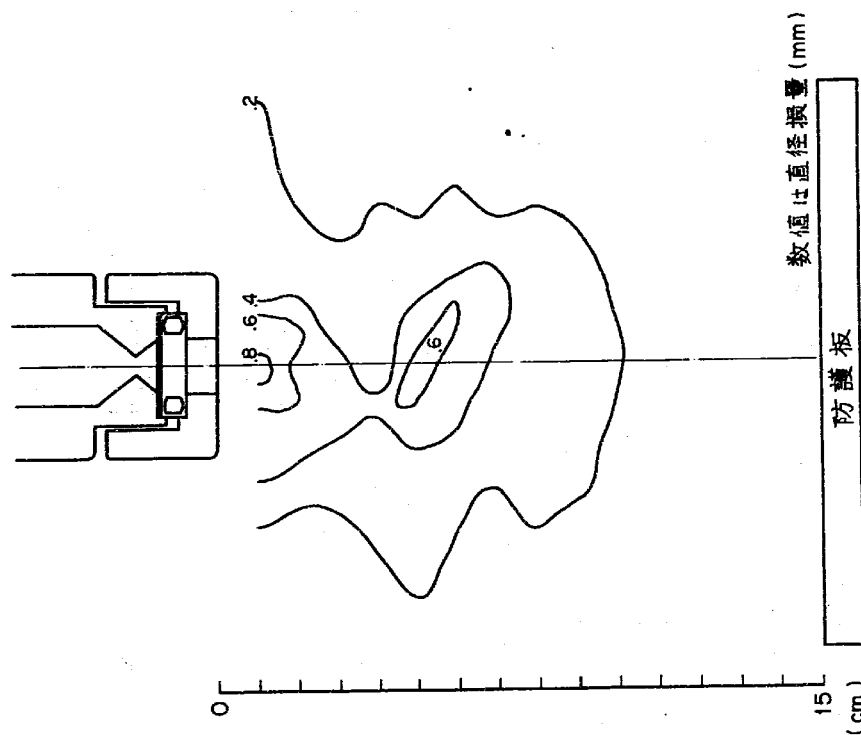


図 5.1.3 オリフイス径 5.0 φ (0.773 kg/sec) の場合のウェスティマップ

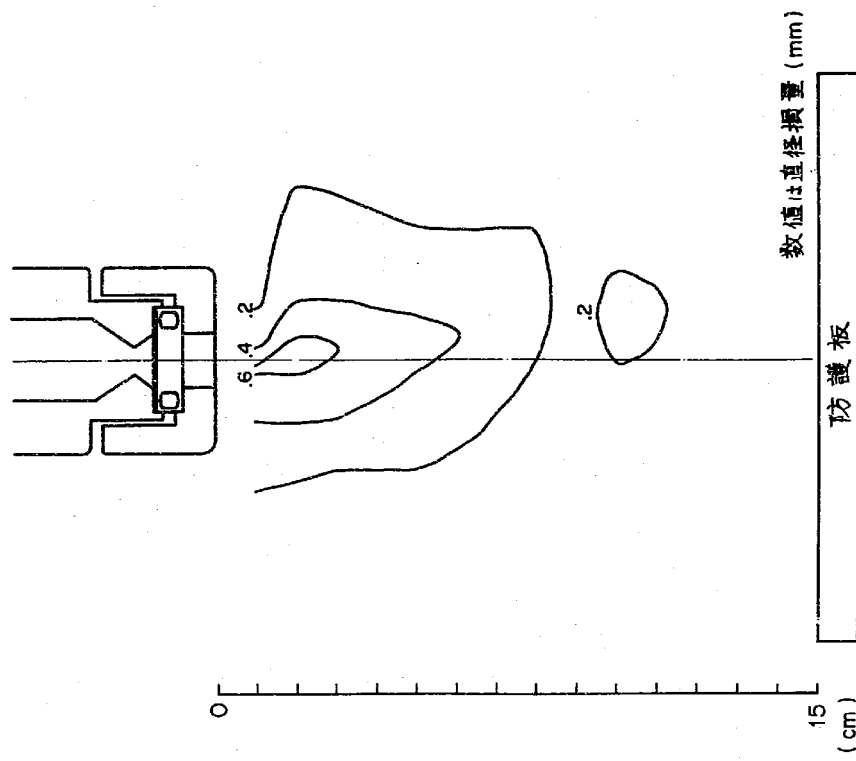


図5.1.4 オリフィス径7.07φ (1.11kg/sec) の場合のウェスチーマップ

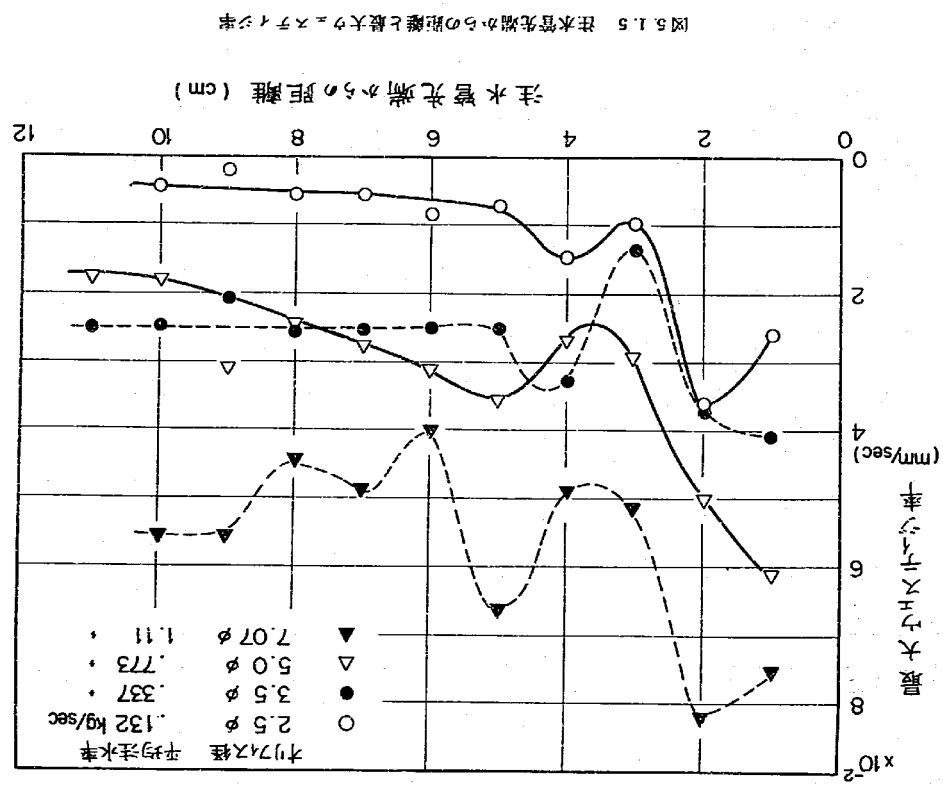


図5.1.5 注水管先端からの距離と最大ウェスチーマップ

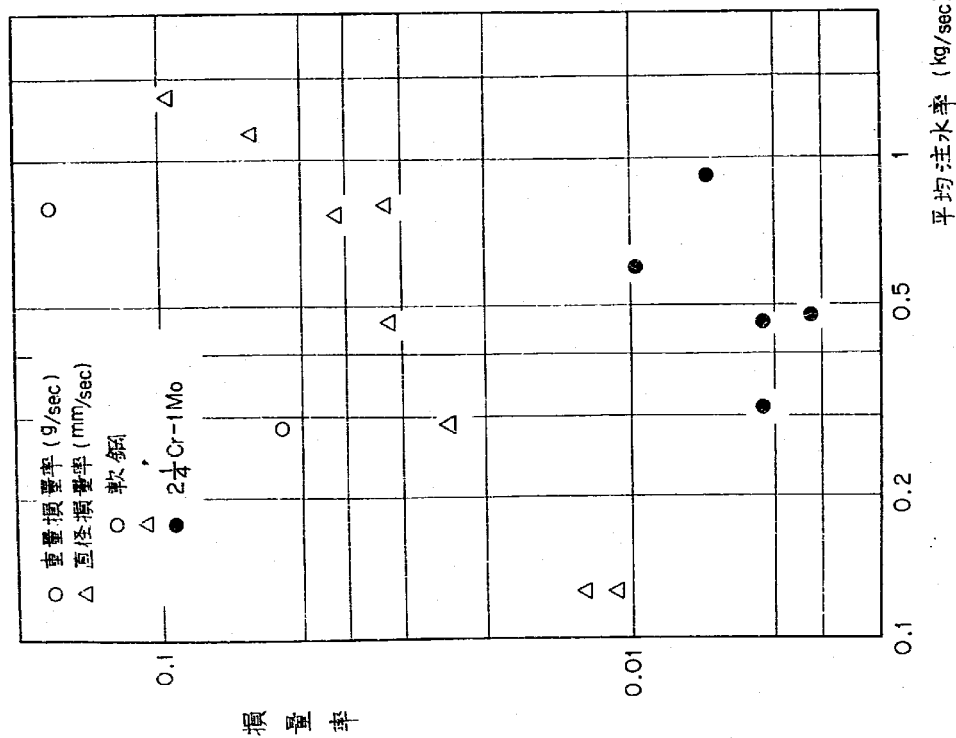


図 5.1.6 平均注水率と損量率

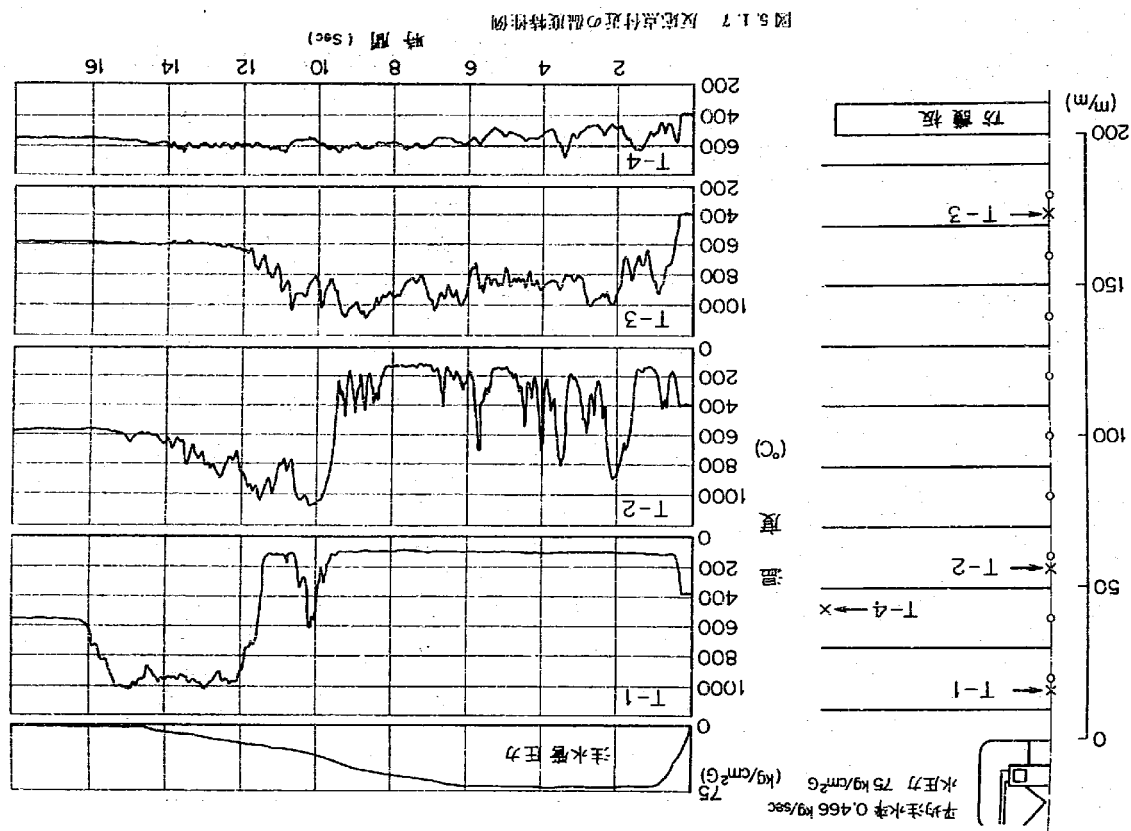


図 5.1.7 反応点付近の温度特性例

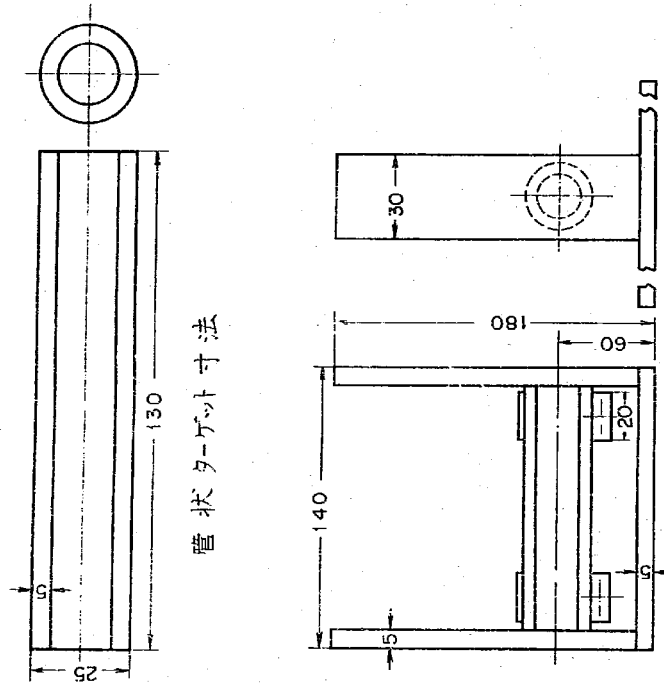


図 5.2.1 「試験 1」の管状ターゲットアセンブリ

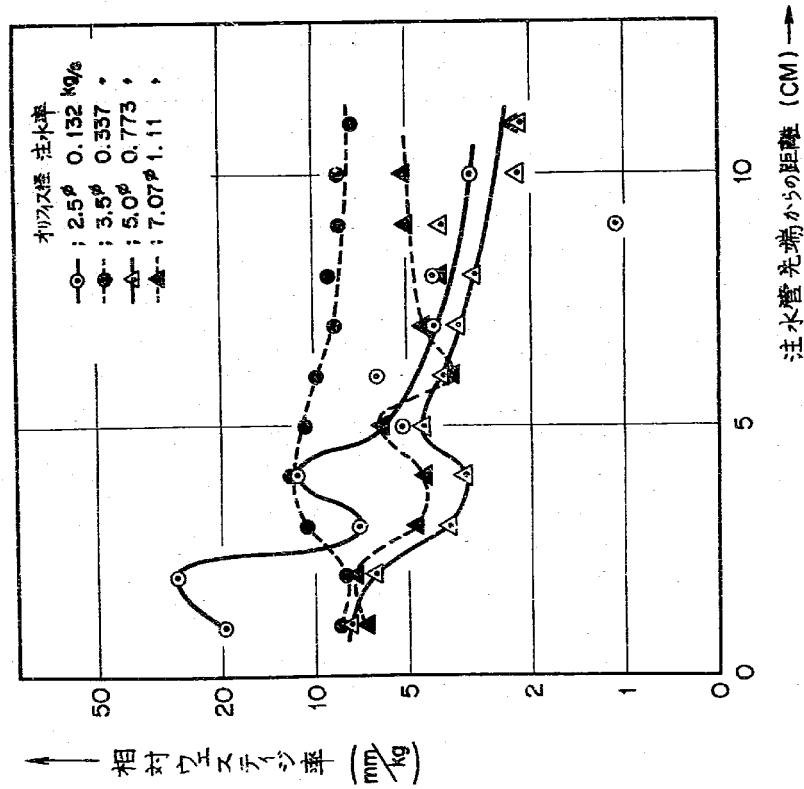


図 5.1.8 注水管先端からの距離と相対ウェステイジ率の関係

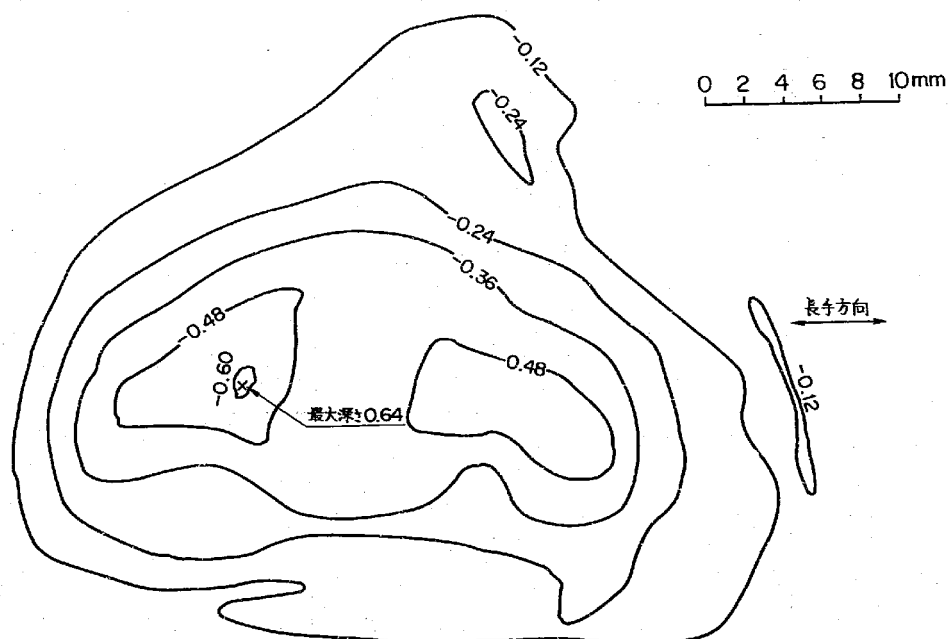


図 5.2.2 Run. No. 02 の損耗状況

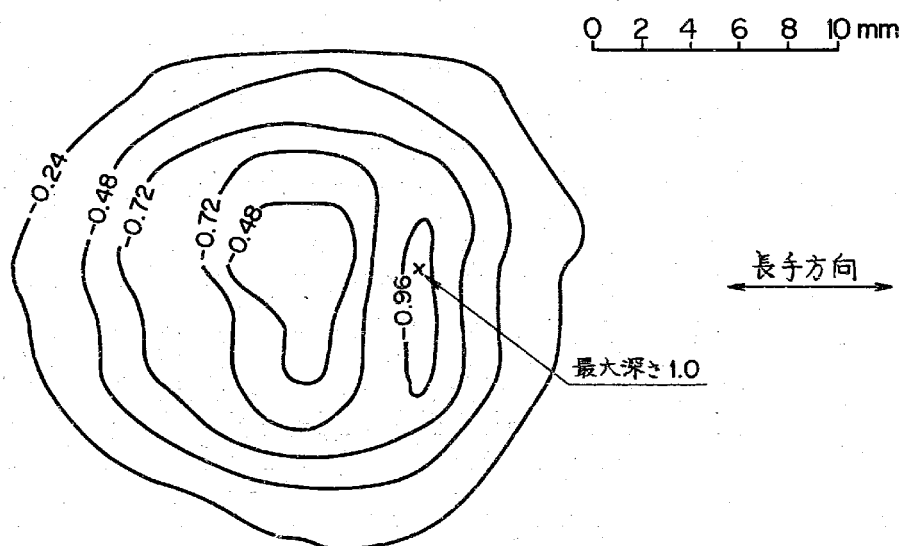


図 5.2.3 Run. No. 03 の損耗状況

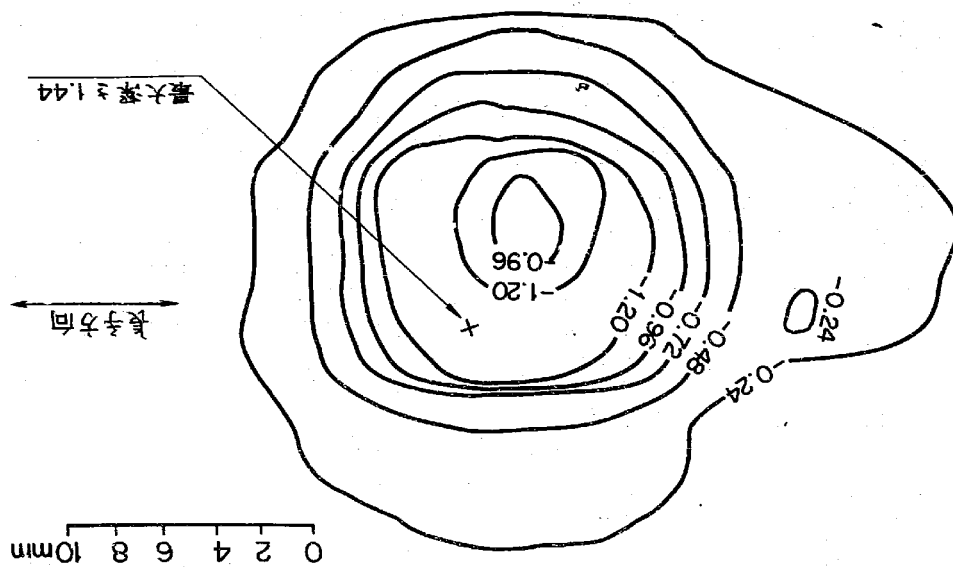


図 5.2.4 Run. No. 06 の損耗状況

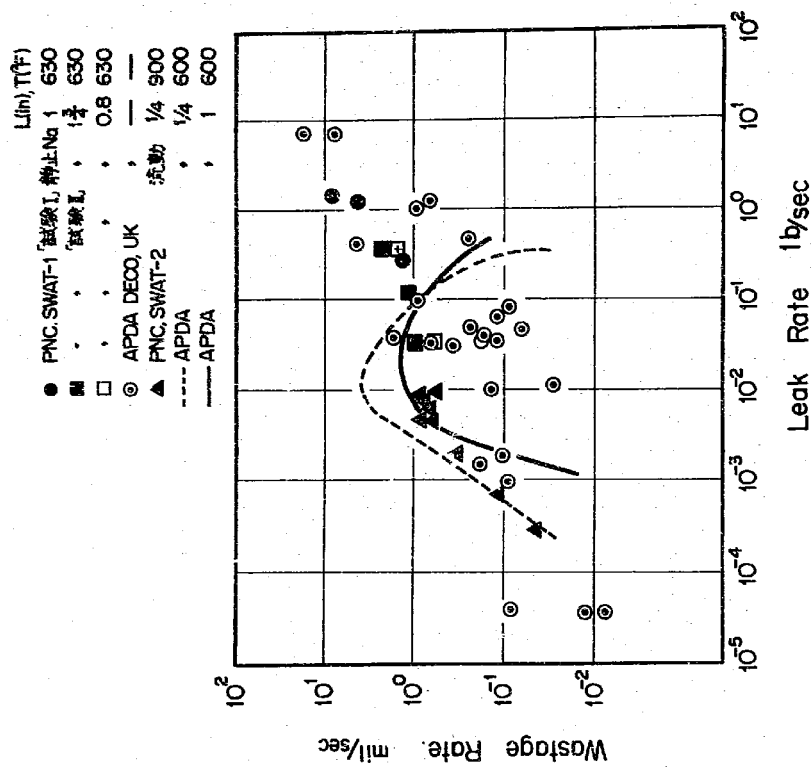


図 5.2.5 他の測定データと比較したSWAT-1のウェスティン率とリーク率の関係

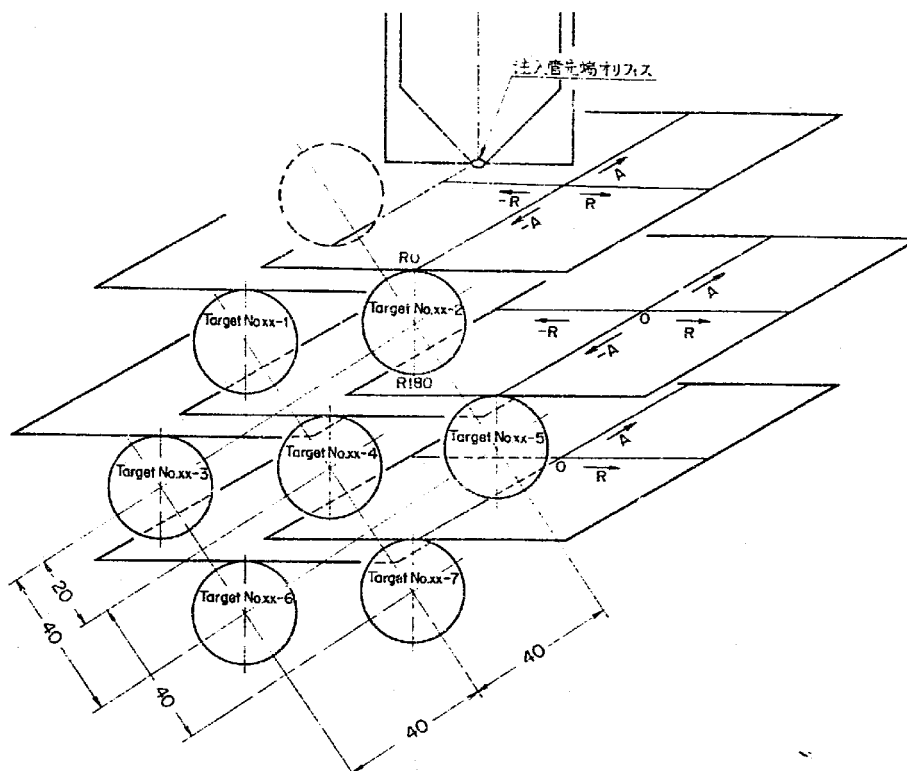
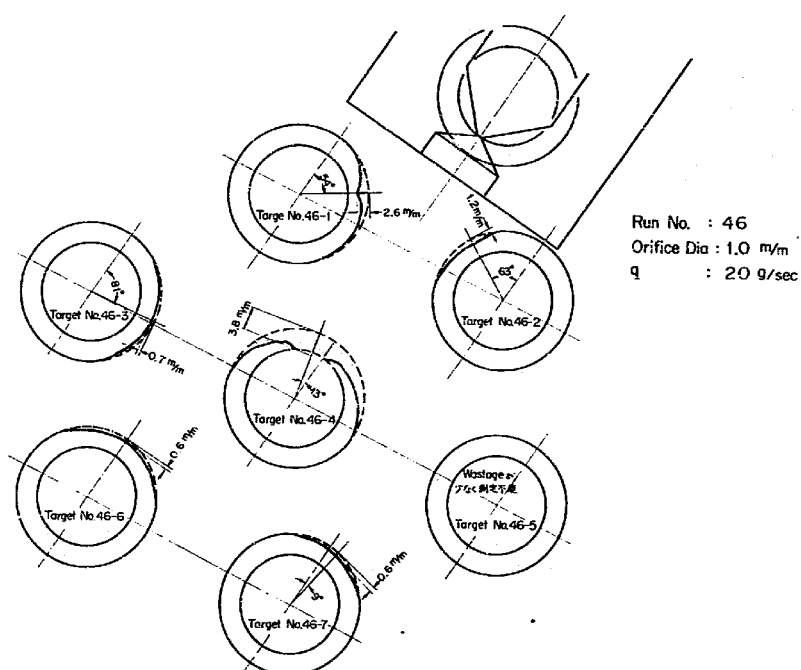


図 5.2.6 ターゲット配置図およびウェステージマップ解明図

図 5.2.7 オリフィス径 1.0^φの時の伝熱管損傷状況

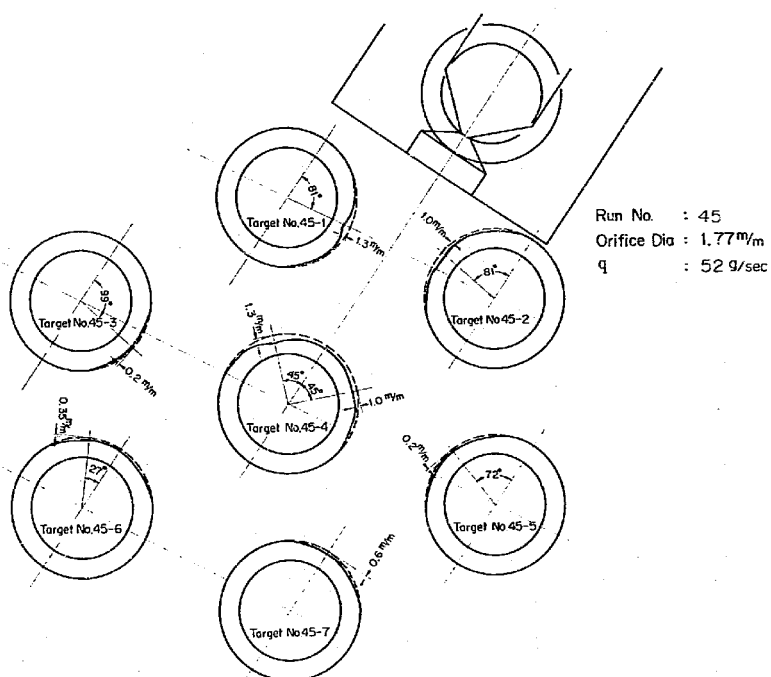


図 5.2.8 オリフィス径 1.77 φ の時の伝熱管損傷状況

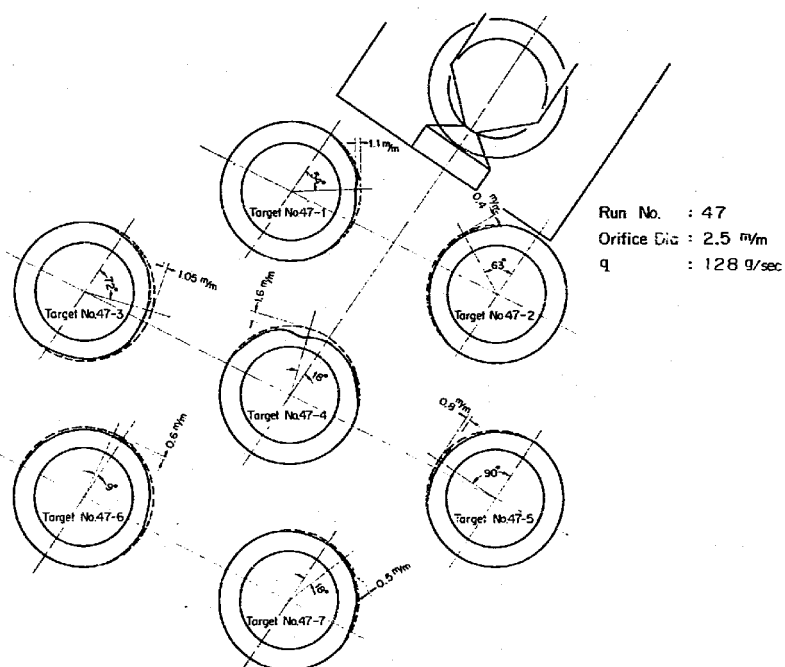


図 5.2.9 オリフィス径 2.5 φ の時の伝熱管損傷状況

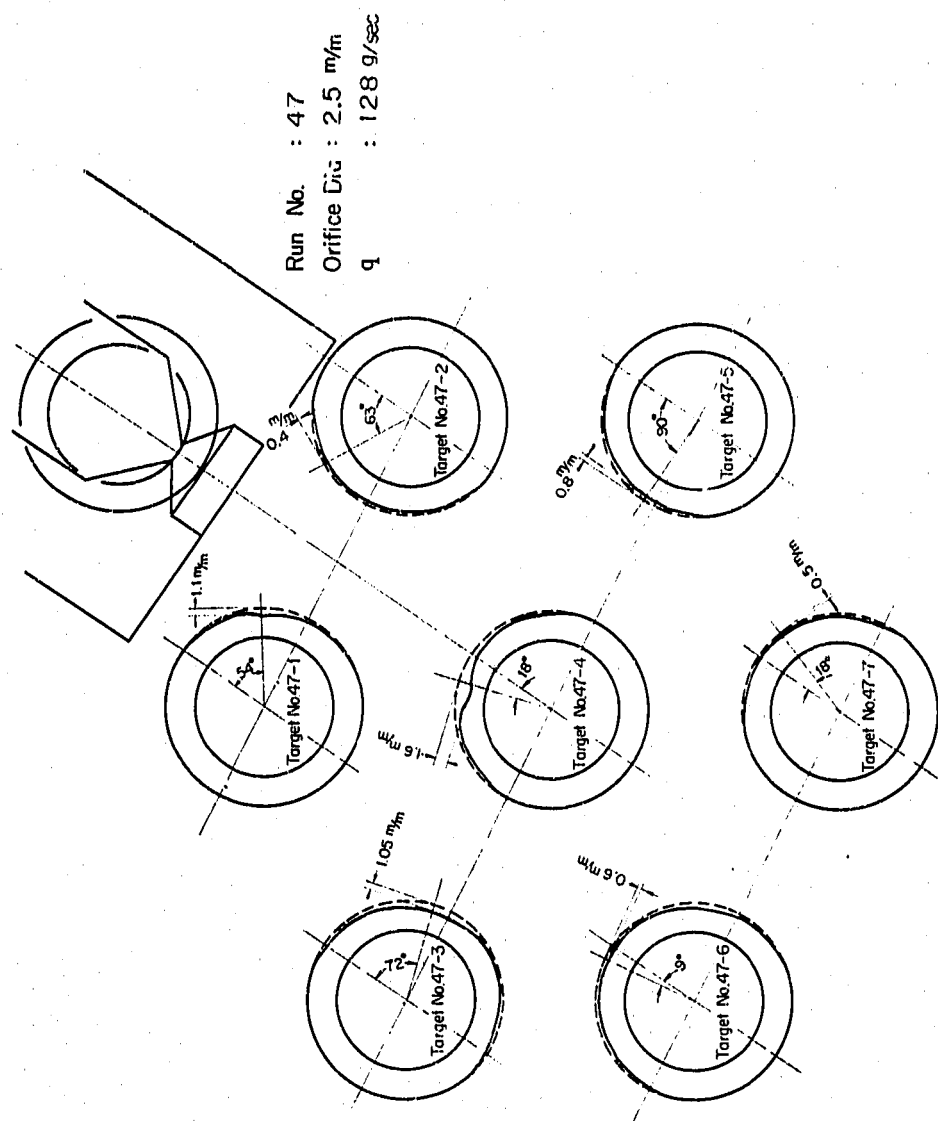


図 5.2.9 オリフィス径 2.5 φ の時の伝熱管損傷状況

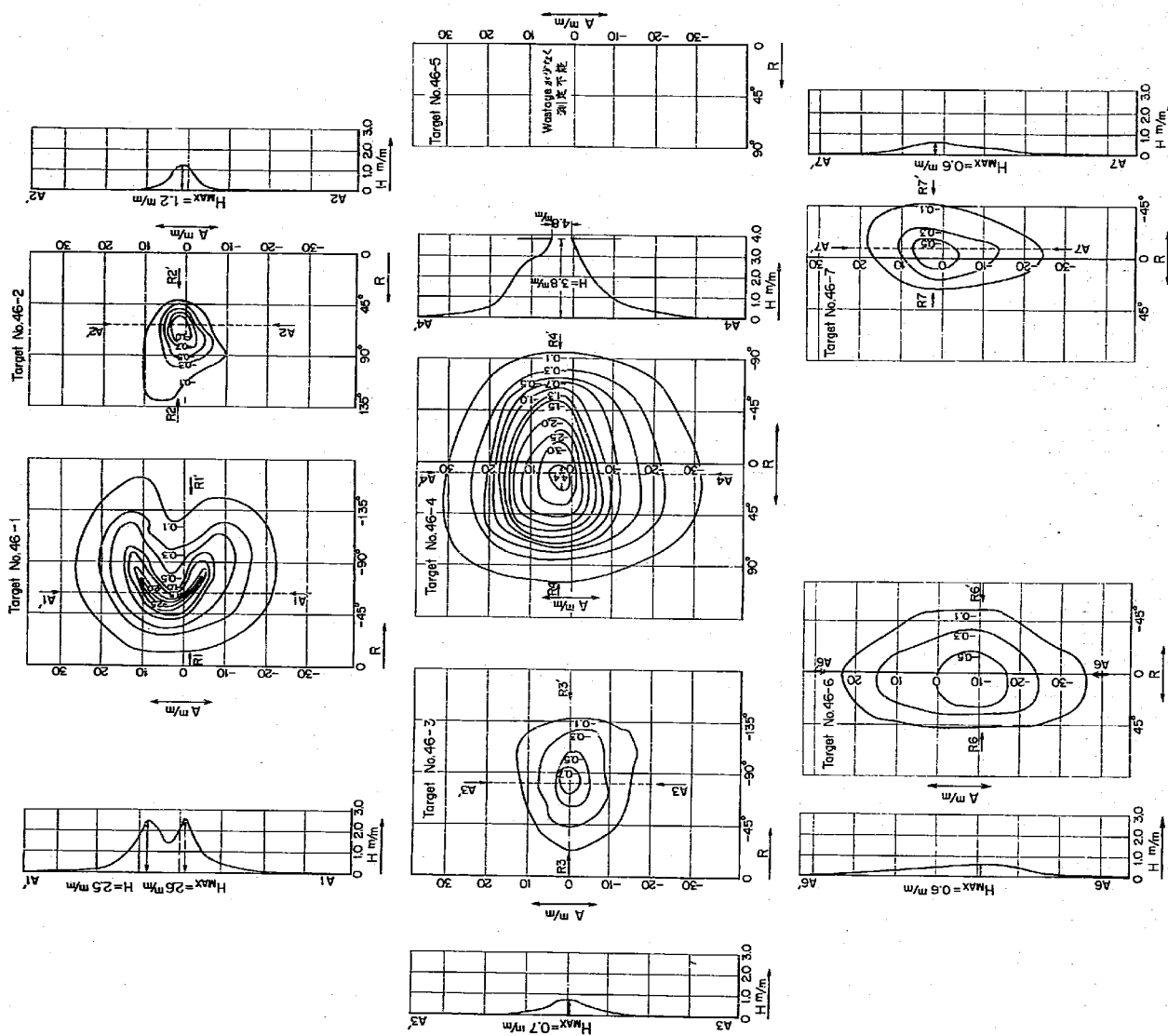


図 5.2.10 オリフィス径 1.0 φ の時の各伝熱管のウェスティンマップ

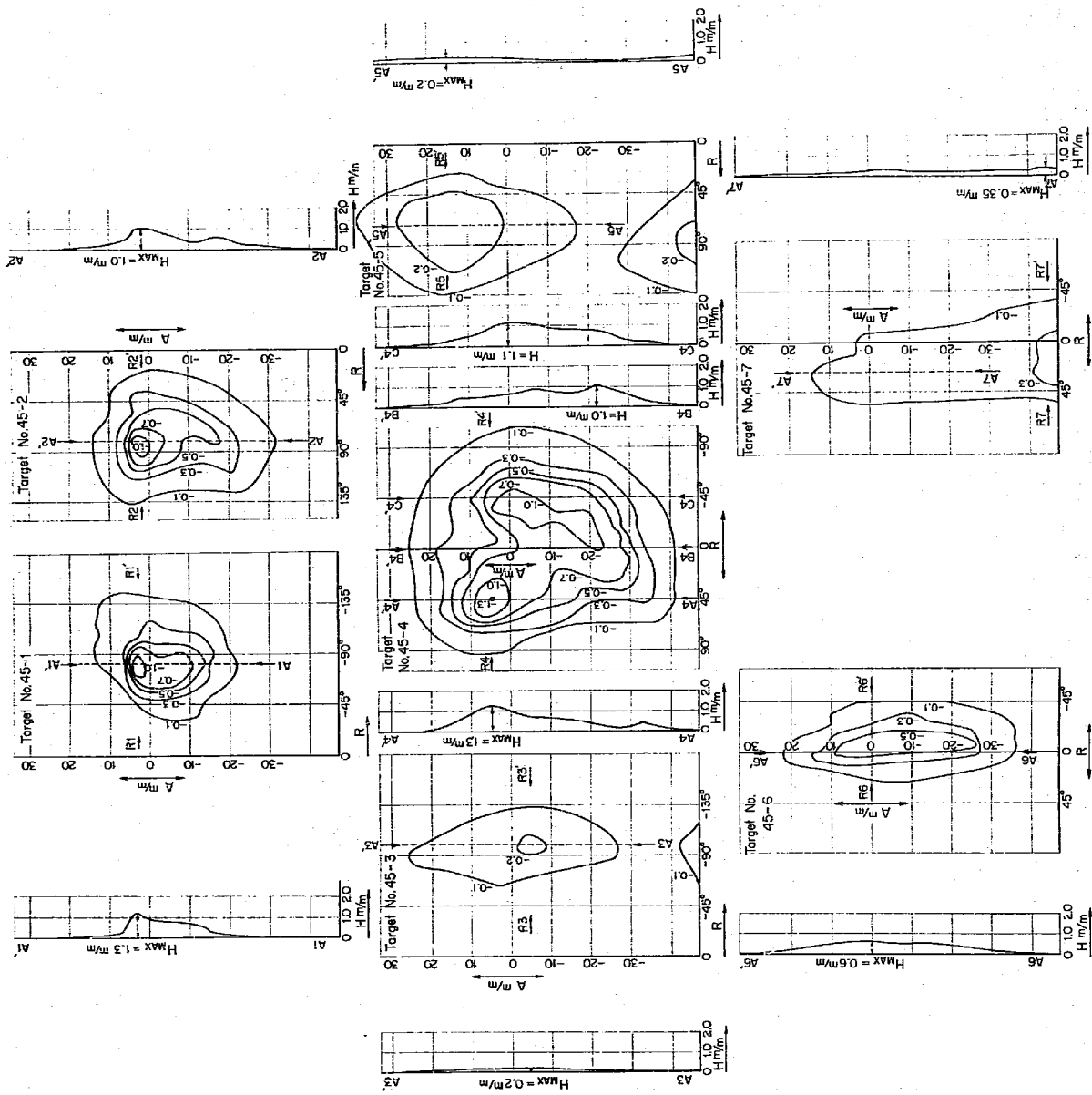


図 5.2.1.1 オリフィス径 1.77 φ の時の各伝熱管のウェスティンマップ

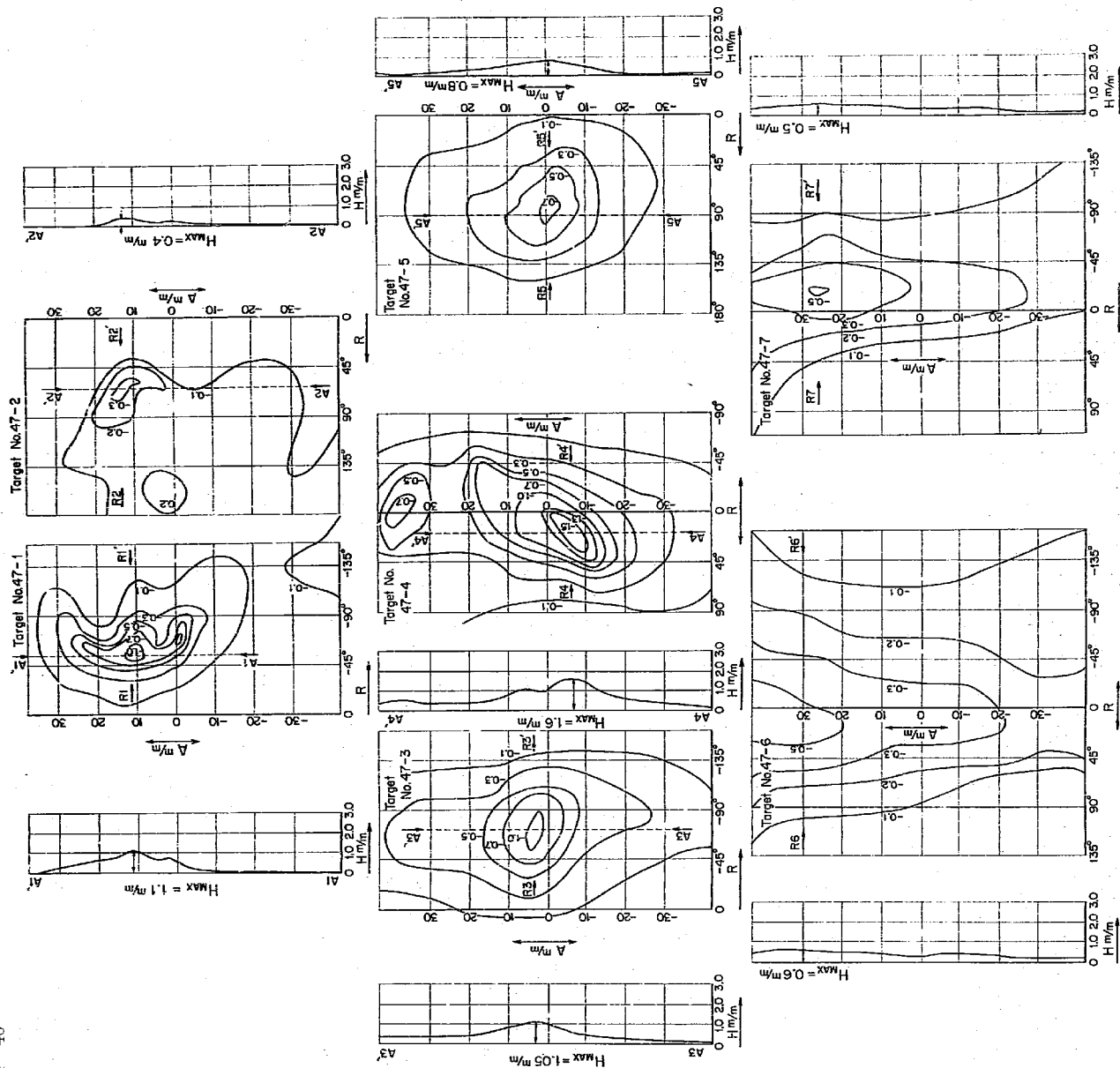


図 5.2.12 オリフィス径 2.5 ϕ の時の各伝熱管のウェステイジマップ

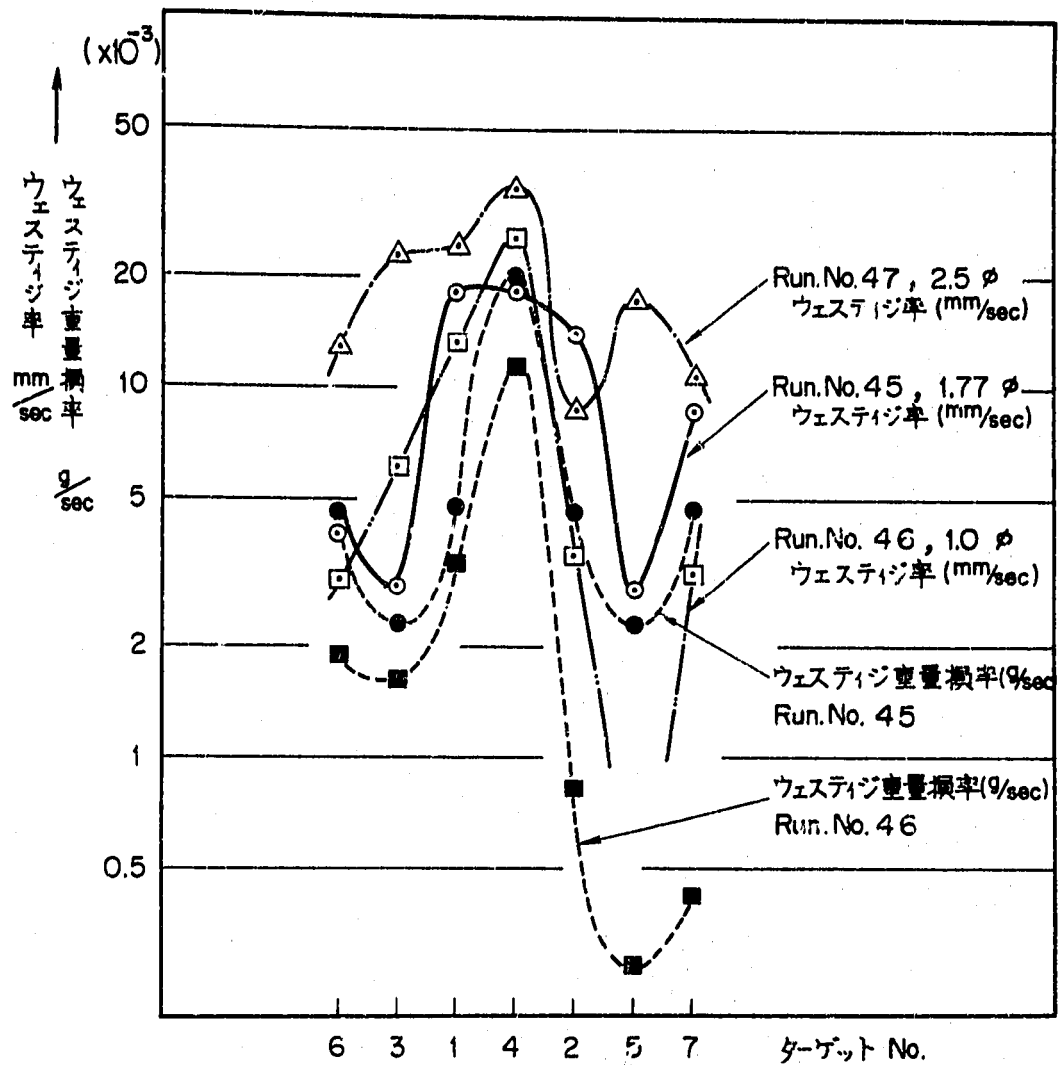


図 5. 2. 13 各伝熱管の損耗率

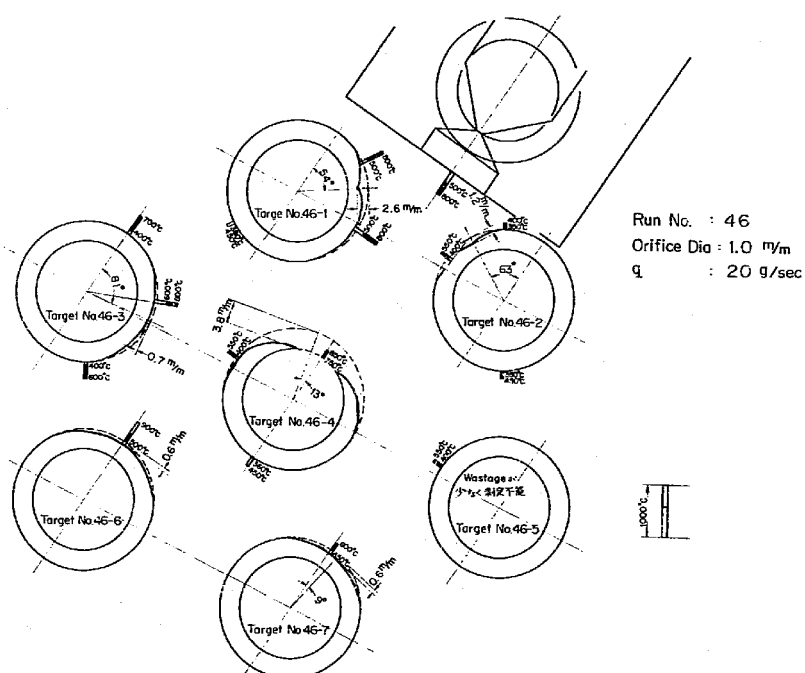


図 5.2.14 オリフィス径 1.0 φ の時の伝熱管の温度分布

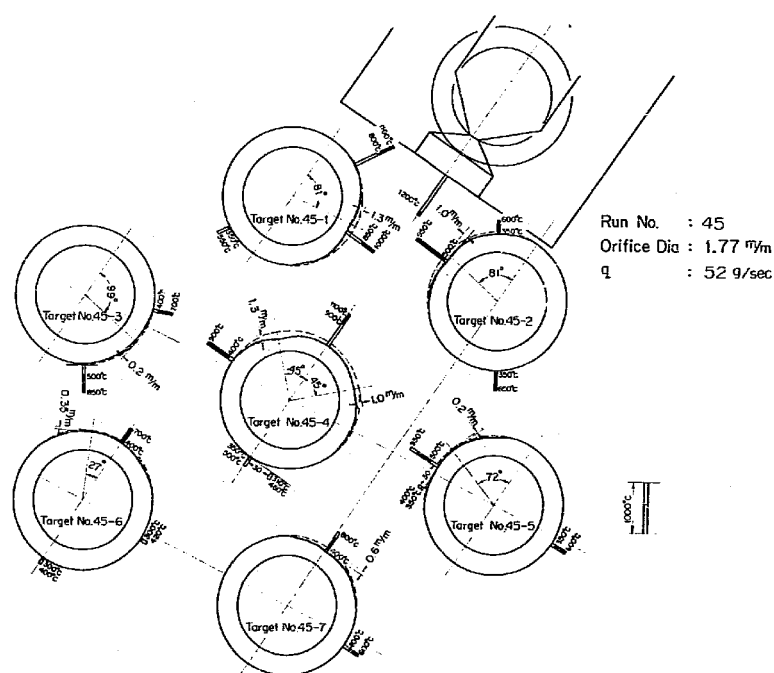


図 5.2.15 オリフィス径 1.77 φ の時の伝熱管の温度分布

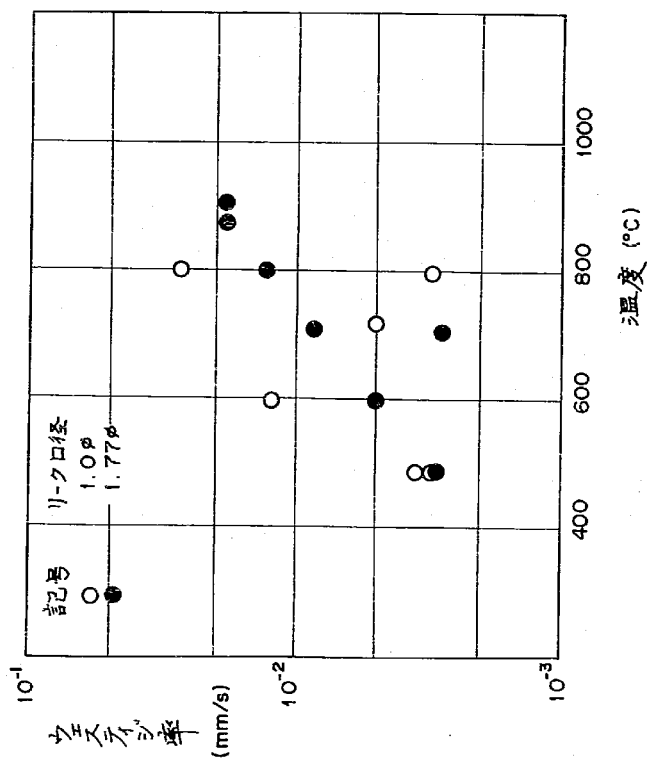


図 5.2.16 管表面温度とウェスティング率

表 5.1.1 中リーク時のウェスティング状況把握試験, 試験条件表

ナトリウム	330℃	静 止
共 通	325℃	125kg/cm ²
ラプチャ後定圧	R-0a	100kg/cm ²
ウェスティングスター	R-0b	32 ^φ × 175 ^L
試験条件	軟 鋼	

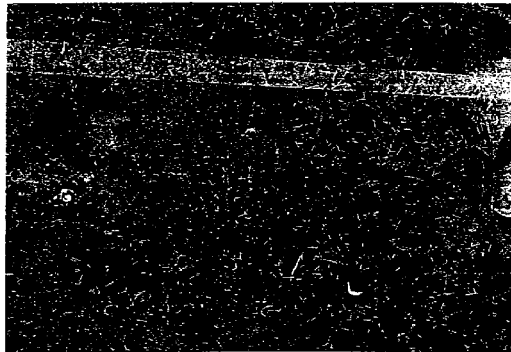
試験番号	オリフィス径 mmφ	T ₀ sec	T ₁ sec	Q kg	q kg/sec
21	25	7.6	186	245	0.132
44	35	5.6	122	411	0.337
23	50	5.5	75	580	0.773
24	70.7	3.5	45	500	1.11

T₀ : トリガー 弁閉時間
 T₁ : 注水圧力弁減圧時間
 Q : 全注水量
 q : 平均注水量

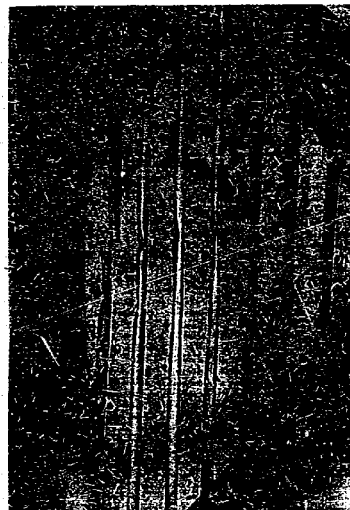
表 5.2.1 実機圧熱管ウェスティング試験、試験条件表

試験条件	試験 I				試験 II			
	試験 I				試験 II			
試験用圧力 (kg/cm ²)	0.2	0.3	0.6	4.7	0.2	0.3	0.6	4.7
水加熱器温度 (°C)	75				125			
水加熱器圧力 (kg/cm ²)	290				325			
オリフィス口径 (mm)	2.5	2.5	3.5	1.77	1.0	2.5	2.5	2.5
注水時間 (sec)	20	10	6	71.5	203	45.7	45.7	45.7
平均注水量 (kg/sec)	0.12	0.51	0.64	0.052	0.020	0.128	0.128	0.128
注水温度 (°C)	320				330			
ターゲット材料	2 1/4 Cr-1Mo				2 1/4 Cr-1Mo			
ターゲット形状	管状一本				管状 7 本バンドル			
オリフィス-ターゲット間隔 (m/m)	2.5	2.5	2.7	5.15	5.15	5.15	5.15	5.15
ターゲット付近最高温度 (°C)	—				920 850			

・試験 I の注水時間は弁開閉時間、試験 II の注水時間は注水管注力半減時間。
 ・試験 I の平均注水量は弁開閉時間の注水量/弁開閉時間、試験 II の平均注水量は全注水量/注水管注力半減時間で定義した。

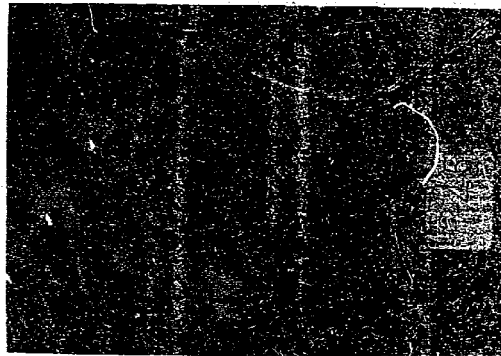


(a) ターゲット外観

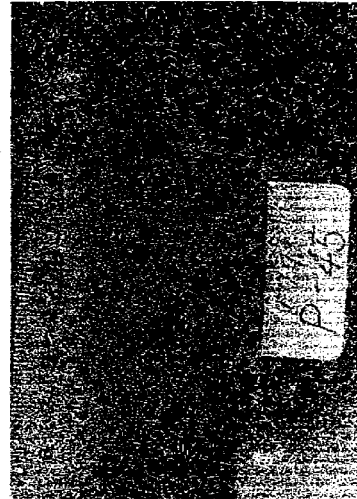


(b) ターゲット損傷状況

写 5.1.1 ウェスティング試験ターゲット外観と
 試験後のターゲット損傷状況

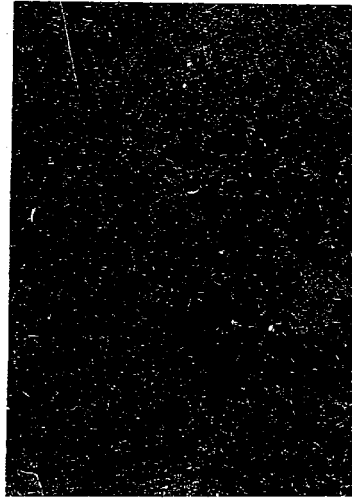


(a) 管束全体の損傷状況



(b) No. 4 ターゲットの損傷状況

写 5.2.1 $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 材伝熱管束を入れた場合の損傷状況
(オリフィス径 1.77φ, リーク率 52 g/sec の場合)

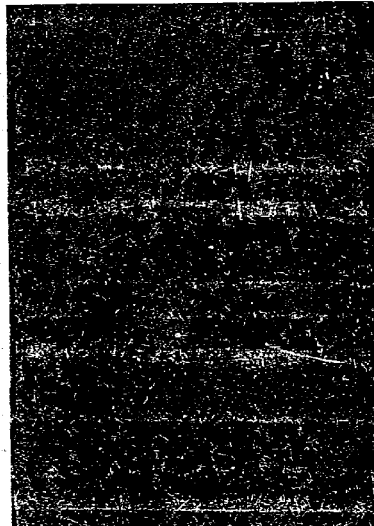


(c) No. 1 ターゲットの損傷状況



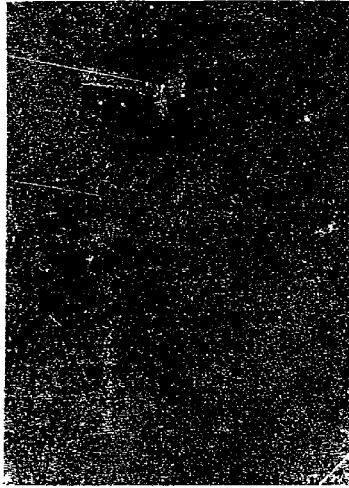
(d) No. 2 ターゲットの損傷状況

写 5.2.1 $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 材伝熱管束を入れた場合の損傷状況
(オリフィス径 1.77φ, リーク率 52 g/sec の場合)

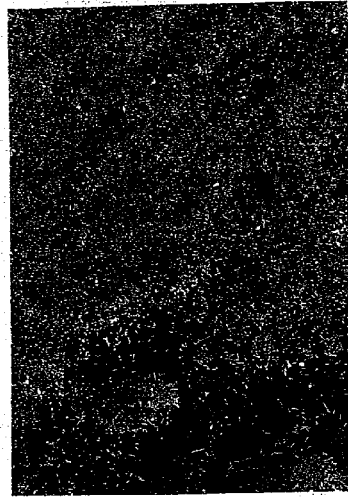


(a) 管束全体の損傷状況

写 5.2.2 $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo材伝熱管束を入れた場合の損傷状況 PNC TN941 74-46
(オリフィス径1.0φ, リーク率20g/secの場合)



(b) 第一管束の損傷状況-上No. 2, 下No. 1ターゲット

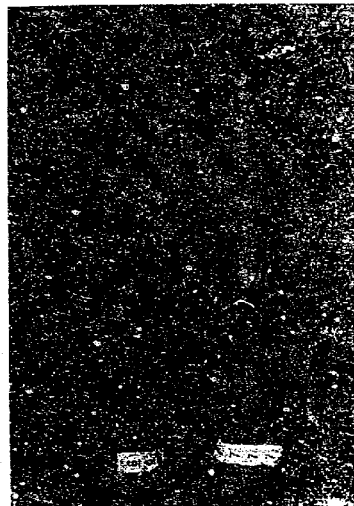


(c) No. 1ターゲットの損傷状況-正面から見た場合

写 5.2.2 $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo材伝熱管束を入れた場合の損傷状況
(オリフィス径1.0φ, リーク率20g/secの場合)



(d) 第二管束の損傷状況 - 上からNo.3, No.4, No.5タージェット



(e) 第三管束の損傷状況 - 上No.6, 下No.7タージェット

写5.2.2 $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo材伝熱管束を入れた場合の損傷状況
(オリフィス径1.0φ, リーク率20g/secの場合)

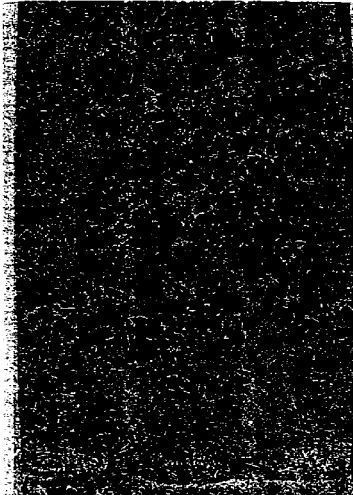


(a) 管束全体の損傷状況



(b) 第1管束の損傷状況

写5.2.3 $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo材伝熱管束を入れた場合の損傷状況
(オリフィス径2.5φ, リーク率128g/secの場合)



(c) 第二管束の損傷状況



(d) 第三管束の損傷状況

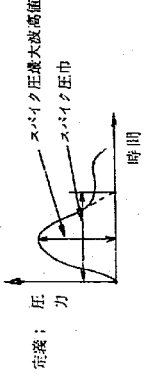
図5.2.3 2 $\frac{1}{2}$ Cr-1Mo材伝熱管束を入れた場合の損傷状況
(オリフィス径2.5φ、リーク率128 g/secの場合)

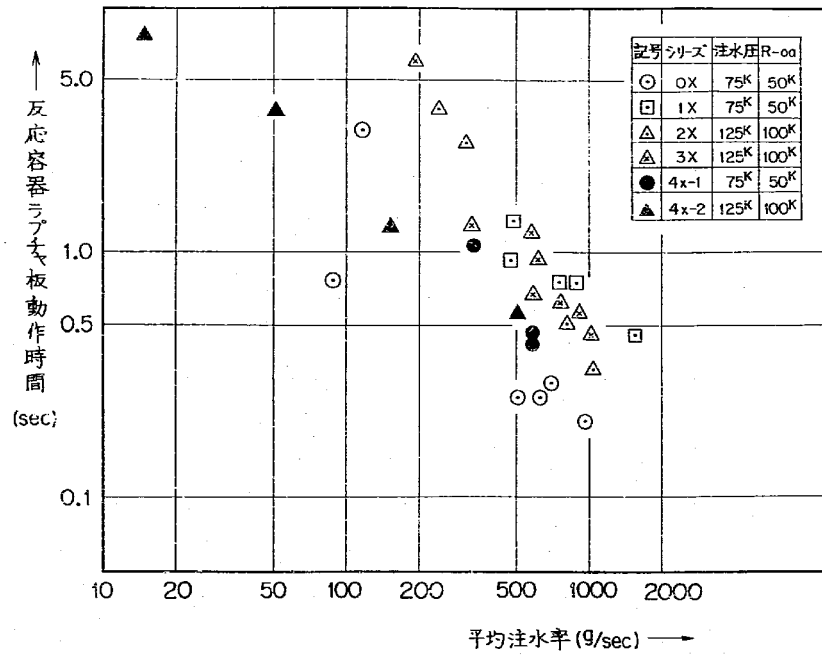
Appendix I

初期スパイク圧最大波高値およびスパイク圧巾一覽表

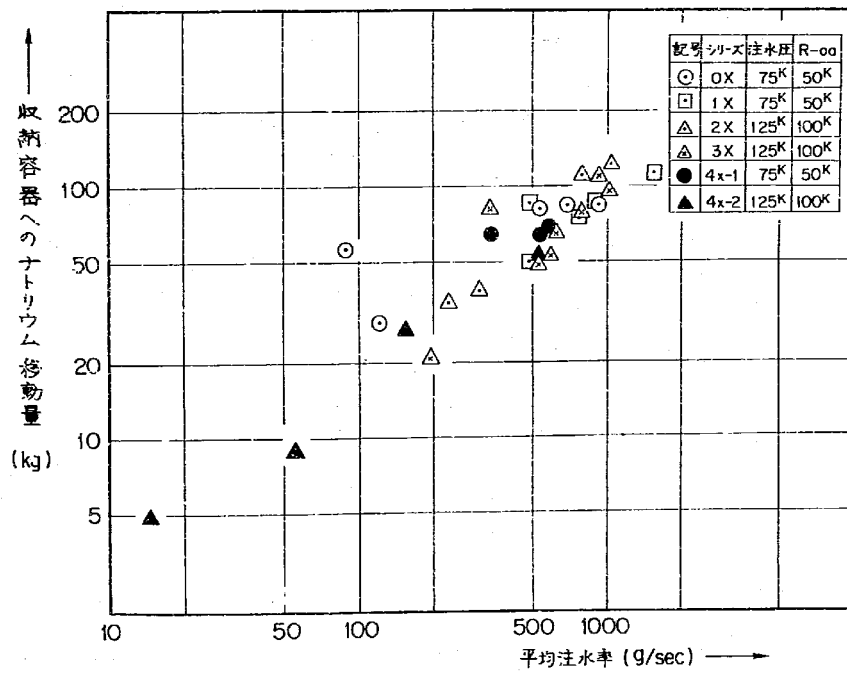
数値上段：スパイク圧最大波高値 (kg/cm²)
下段：スパイク圧巾 (msec)

試験点番号	P-11	P-12	P-13	P-21	P-22	P-23	P-3	P-4
31	12.0 0.69	16.4 1.28	22.2 1.28	14.5 0.75	13.9 0.75	15.9 0.90	11.0 0.91	8.2 0.42
32	10.1 0.69	9.0 1.62	11.5 0.91	13.1 0.66	7.0 1.03	15.4 0.98	—	—
33	4.5 1.05	5.0 1.12	5.5 1.38	4.5 1.56	—	3.9 1.32	3.8 1.40	3.0 0.72
34	25.5 0.59	19.9 0.81	17.0 0.88	16.6 0.84	15.0 0.91	—	6.7 0.38	4.1 0.63
35	5.6 1.75	6.0 1.0	8.2 1.47	5.2 0.82	—	—	—	2.8 0.96
36	16.1 1.23	10.4 1.38	10.0 1.59	15.4 1.66	11.6 —	9.1 —	8.2 2.09	—
37	7.7 1.34	11.3 1.16	8.0 0.53	23.4 0.63	15.7 0.96	13.6 1.16	7.3 0.53	4.1 0.50
38	5.8 1.50	6.1 1.36	5.8 1.34	11.7 0.77	7.3 0.72	2.03 0.66	5.6 2.08	4.7 0.66
41	18.1 0.75	14.1 1.16	13.7 1.28	25.5 0.47	16.5 0.75	18.2 0.75	3.4 0.53	4.0 0.50
42	20.7 0.99	15.7 0.75	19.4 0.75	13.0 0.78	12.1 0.75	12.8 0.66	6.5 0.47	6.5 0.50
43	19.0 0.50	10.0 0.88	11.2 0.84	15.5 0.47	8.0 0.81	7.1 0.81	7.6 1.00	4.1 0.63
44	23.5 0.69	23.2 0.65	23.9 0.94	21.8 0.72	24.9 0.94	—	12.0 0.91	10.0 3.38
45	11.4 0.86	10.0 0.91	11.3 1.00	13.7 0.84	10.5 0.84	10.6 1.06	3.2 1.06	—
46	10.4 0.94	13.1 0.69	12.0 0.75	13.2 0.75	7.6 0.86	9.4 0.84	2.8 0.94	1.9 0.38
47	—	—	—	13.4 0.88	13.0 0.69	—	—	—





図A. 1 平均注水率と反応容器ラプチャ板動作時間の関係



図A. 2 平均注水率と収容容器へのナトリウム移動量の関係

Appendix III

容器壁歪

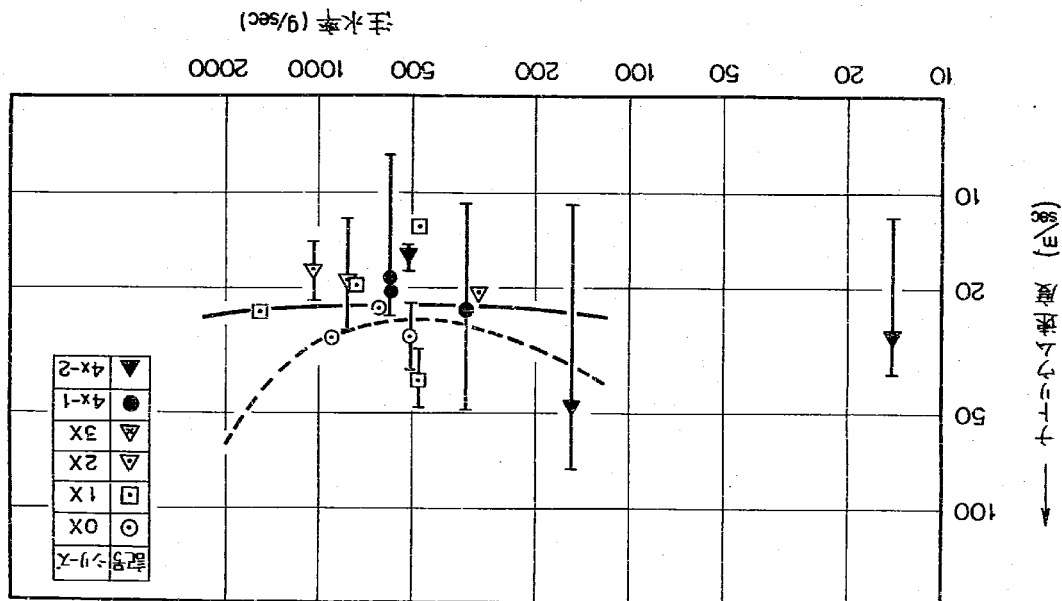
表 A. 1 に第 16 回目 (Run. No. 31) から第 30 回目 (Run. No. 47) まで計 15 回の試験時に実測された反応容器外壁の歪実測値を載せた。歪ゲージはマイクロ・ドット社の高温歪ゲージを使用し、測定点は図 3.1.4 に示した反応容器底から 350 および 750 mm 上方の点の円周および軸方向である。

図 A. 4 は反応容器に取り付けた長さ 220 mm の導圧管を介して測定された圧力上昇値の最大値と容器壁の歪変化の最大値の関係をプロットしたもので、同図中に薄肉円筒の内側加圧時の内圧と歪の関係を実線で示してあり、各試験前に加圧し、校正した時ははこの実線上の歪を示していた。

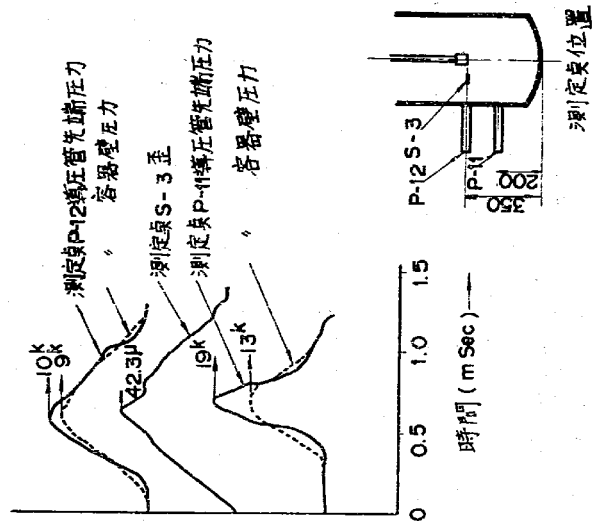
試験結果は歪に対して約 2 倍の圧力が示されており、導圧管を介して測定された圧力を容器壁圧力に換算すると約 10 ~ 15 % 圧力波高値の最大値は減少するが、まだ圧力の方が高い。

Run. No. 41 および 43 の圧力および歪波形について調べてみると、容器壁歪の立上り時刻から圧力変化の立上り時刻までの時間が長い粗圧力変化の最大値が大きく図 A. 4 の◎印、1 例として Run. No. 43 について図示すると図 A. 5 の如く時間遅れが 0.3 msec のものは圧力変化が高く歪の波形と大きく異なる。

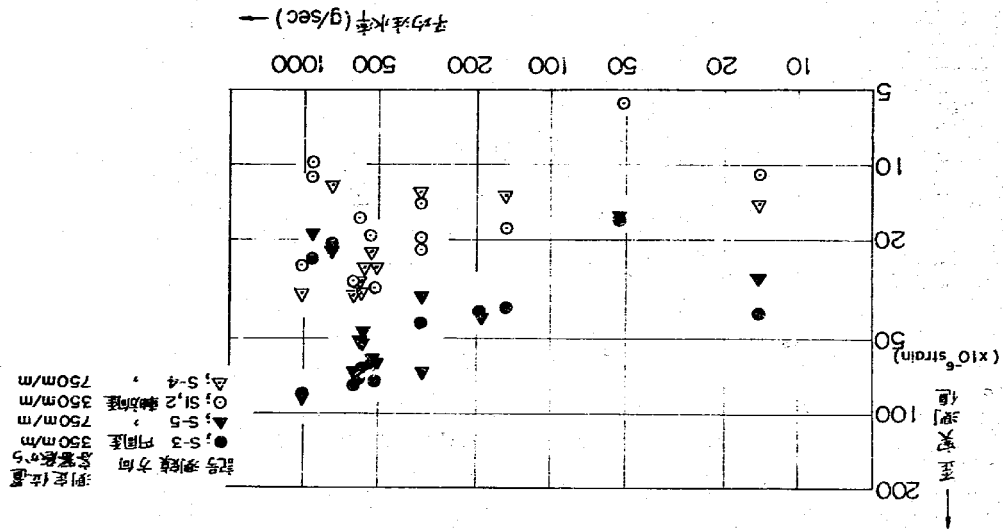
図 A. 6. および図 A. 7. に平均注水率と容器壁歪および容器壁歪から試験前に行った校正曲線より換算した圧力の関係を図示した。これらの図からほぼ、注水率に比例して、これらの値が増加している。



Run. No. 43



図A. 5 Run. No. 43の圧力および全検討例



図A. 6 平均注水率と変形値の関係

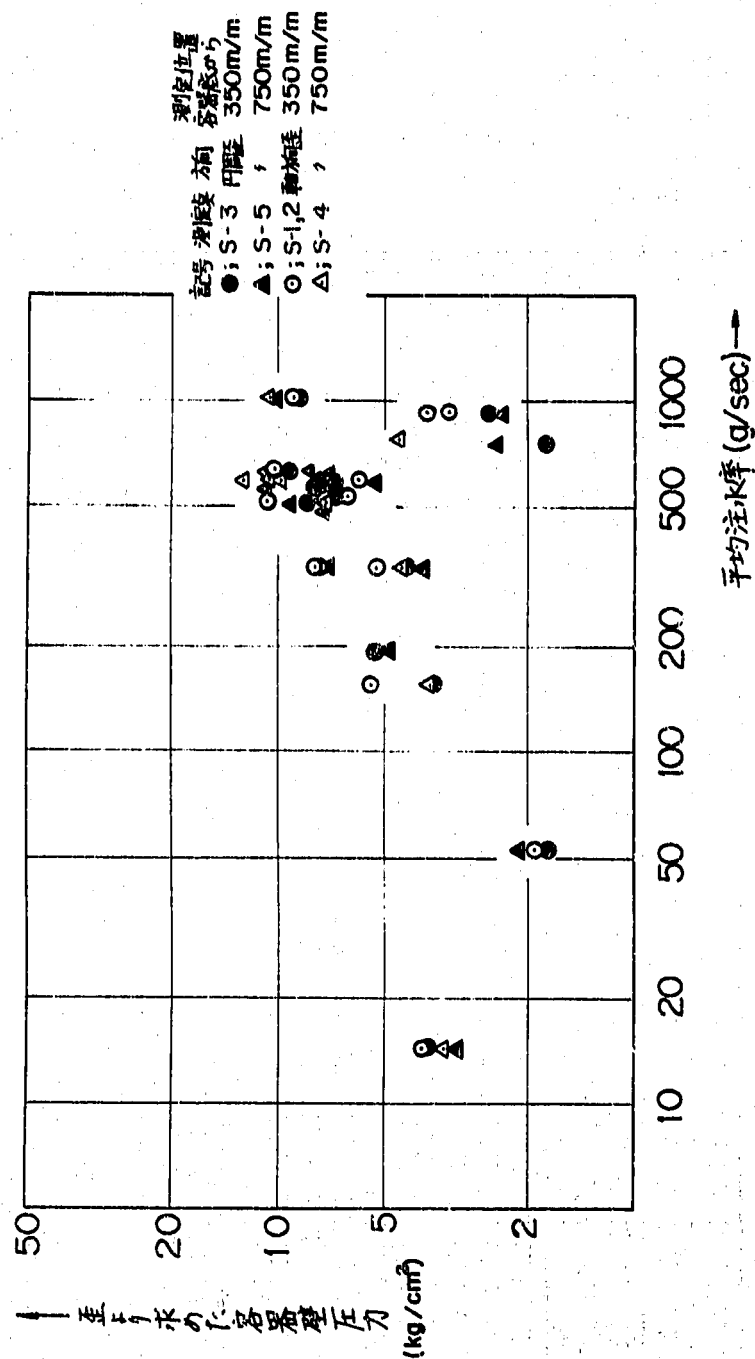


図 A. 7 平均注水率と歪より求めた容器壁圧力の関係