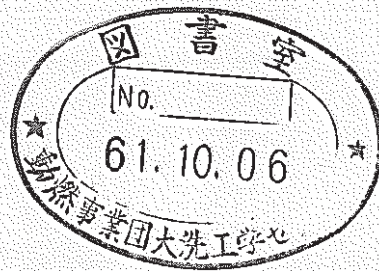


ナトリウム火災防護設備基礎試験 (IV)

—水による二次系主配管ナトリウム漏洩模擬試験—



1986年8月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	N 9410 86-088
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

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ください。

〒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

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

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

ナトリウム火災防護設備基礎試験 (IV)

—水による二次系主配管ナトリウム漏洩模擬試験—

姫野 嘉昭,* 宇佐美 正行*

木下 哲宏,** 山 田 敏雄*

要 旨

「もんじゅ」安全設計で想定されている二次系主配管に $1/4 \cdot Dt$ (但し, D は配管内径, t は配管肉厚) の破損孔が生じた場合について, 水による漏洩模擬試験を行った。試験では, 保温構造体付きのフルモックアップ配管試験体 (直管, エルボ, T字管) を用い, これらで保温構造体の内の①内装板のみを取りつけた場合, ②内装板と外装板の両方を取りつけた場合, のそれぞれについて, (a)漏洩形態の目視観察, (b)液滴噴流の全漏洩流量に対する割合の測定, (c)噴流中の液滴径の測定, および (d)漏洩孔と保温構造体の流動圧力損失係数の測定, などを行った。測定結果および結果の検討から次の成果を得た。

(1) 内装板のみを取りつけた場合

漏洩流量の50%以上が外装板の周方向と軸方向の継目から液滴噴流となって四散し, その液滴径は, 個数平均径で数mmであった。

(2) 内装板と外装板を配管に取り付けた場合

液滴噴流の発生は完全に抑制できた。別途実施したNa漏洩試験から, 事故時の保温構造の健全性は確保されることを明らかにしている。このため, 実際の漏洩事故でもNaのスプレアの生成を完全に防止できる見通しを得たことになる。

(3) $1/4 \cdot Dt$ 相当の漏洩孔を含めた保温構造体の圧力損失係数

圧力損失係数の実測値は2.3~2.8であった。「もんじゅ」安全解析に使用されているこの値が1.0であることから, 安全解析で想定されている流量には約50%の安全裕度であることを明らかにした。また圧力損失測定から, 保温構造体の圧力損失の殆どは内装板で生じ, 外装板に加わる噴出流の動圧は非常に小さいことも明らかにした。

* 大洗工学センター 安全工学部 プラント安全工学室

** 現在 川崎重工㈱

Aug. 1986

Basic Test on Sodium Fire Protection Systems (4)
— Water Simulation Test of a Leak from IHTS Pipe —

Y. Himeno*, M. Usami*, T. Kinoshita**, T. Yamada*

Abstract

In the safety evaluation of the Monju design basis sodium leak accident, a large leak from an IHTS pipe whose leak hole is equivalent to $\frac{1}{4} \cdot Dt$ (where, D is the pipe diameter and t is the pipe wall thickness) is postulated. To investigate the possible occurrence of a spray fire in the event of a sodium leak, a water simulation test has been conducted. Three test sections (straight, elbow, and T pipes) of the full-mockup Monju IHTS pipes with thermal insulation jackets (the jackets consisted of an inner and an outer jackets) were manufactured for this purpose. The test was divided into two parts. One was with the test sections equipped with their inner jacket only and the other with the test sections equipped with both inner and outer jackets. Subjects investigated in the test were (a) leakage flow pattern, (b) fraction of spray flow among a total leak flow, (c) droplet diameters of a spray flow, and (d) pressure drop coefficient across a leak hole and the thermal insulation jackets. From the test results, the following conclusions were drawn.

(1) Test sections with the inner jackets only

More than 50% of a leak flow is in the form of a spray.

Number mean diameter of the spray droplets determined is several millimeters.

(2) Test sections equipped with both inner and outer jackets

A spray formation is almost perfectly suppressed. Since an

* Plant Safety Section, SED, OEC.

** Present; Kawasaki Heavy Industries.

integrity of the thermal insulation jackets during a leak has already been confirmed, the results indicates that a spray fire does not occur in the event of an real sodium leak.

(3) Pressure drop coefficient across a leak hole and thermal insulation jackets

Pressure drop coefficient determined is 2.3-2.8. While, the pressure drop coefficient used in the safety evaluation of the Monju sodium leak accident is 1.0. Comparison of these two numbers indicates that the safety margin of the Monju safety evaluation in regard to a sodium leak flow is about 50%. It is also Confirmed that the most part of the pressure drop is generated at a leak hole and the inner jacket, but not at the outer jacket. Therefore, the dynamic pressure that pressurizes the outer jacket is very small.

目 次

要 旨	i
目 次	v
List of Tables	vii
List of Figures	vii
List of Photographs	viii
1. 緒 言	1
2. 試験装置と試験方法	1
2.1 試験装置	1
2.2 試験方法	2
3. 結果と考察	3
3.1 配管試験体からの漏洩形態	3
3.2 スプレーの割合とその漏洩流量依存性	4
3.3 液滴径分布の漏洩流量（圧力）に対する依存性	5
3.4 配管保温構造の圧力損失	6
4. 結 言	7
5. 謝 辞	7
6. 文 献	8
Appendix	23

List of Tables

Table. 1	Test Conditions	17
Table. 2	Droplet Sizes Determined with Test Pipes attached with Inner Jacket only	18
Table. 3	Pressure Drop Coefficient Across Leak Hole and Insulation System of Test Pipe	19
Table. A-1	Pressure Drop Coefficient Across Leak Hole and Insulation System of Test Pipe	23
Table. A-2	Pressure Drop Coefficient Across Leak Hole and Insulation System of Test Pipe (Monju Safety Design Value)	23

List of Figures

Fig. 1	Flow Sheet of Water Test Loop	9
Fig. 2	Concept of Monju Secondary Sodium Piping with Thermal Insulation Cover	10
Fig. 3	Test Pipes	11
Fig. 4	Test Procedure	12
Fig. 5	Method to Determine Spray Fraction	13
Fig. 6	Method to Collect Spray Droplets	14
Fig. 7	Particle Size Analyzer	15
Fig. 8	Pressure Drop Coefficient Across Leak Hole and Insulation Jackets	16
Fig. A-1	Locations of Collection Plate, Collected Droplets, and Their Distributions - Straight Pipe with Inner Jacket -	25
Fig. A-2	Locations of Collection Plate, Collected Droplets, and Their Distributions - Elbow Pipe with Inner Jacket -	27
Fig. A-3	Locations of Collection Plate, Collected Droplets, and Their Distributions - T-Joint Pipe with Inner Jacket -	29

List of Photographs

Photo. 1	Leakage Flow Pattern of Test Pipe with Inner Jacket only	20
Photo. 2	Leakate Flow Pattern of Test Pipe with both Inner and Outer Jackets	21

1. 緒 言

「もんじゅ」53項目で、二次系配管からのナトリウム漏洩事故の際の漏洩ナトリウムの流出形態の確認を行うことが求められている。このことは第一には、漏洩ナトリウムが水平方向もしくは垂直方向上方に流出し、ライナが施工されていない建物の天井もしくは側壁のコンクリート壁を直撃してナトリウム/コンクリート反応を起こすことがないことを試験によって確認することであり、第二には、漏洩ナトリウムが微細な液滴状となって、その結果として大きな燃焼熱および圧力が発生することのないことを試験によって立証することである。

上述の課題のうち第一の点については、すでに昭和58年度に実寸大配管試験体を用いた水による予備試験〔文献(1)〕を行っており、直管、エルボ型配管、T字型配管のいずれについても漏洩水は主にヒータ取り出し口から垂直方向下方に流出し、水平方向や垂直方向上方には流出しないことを明らかにしている。このことは、最終的なナトリウム試験による確認は別として、天井及び側壁のナトリウム/コンクリート反応を排除できる見通しを得たことになる。第二の点については、すでにSPRAY-ⅢMコードによる解析で、平均液滴径が海外炉で仮想事故解析に使用されている非常に保守的な値と同じ約4mmと仮定しても、発生する燃焼熱および圧力はいずれも設計限界内であることを明らかにしている。また上記の予備試験では漏洩水の大部分が滝状に流出すること、すなわち微細な液滴は生成されず、このため過大な燃焼熱も生じないことの見通しを得ている。ただ、定量的なデータは得ていない。可能な限り現実的な事故評価を行うためには、より詳細な漏洩形態を把握する必要がある。そこで、今回は予備試験結果をふまえて水による模擬漏洩試験を行い、漏洩形態の詳細を明らかにした。また、保温構造体の圧力損失係数の測定も行い、漏洩流量の現実的な評価も行った。

2. 試験装置と試験方法

2.1 試験装置

実寸大の配管試験体を組み込んだ試験装置を製作し、これを大洗工学センター水流動試験室の大型ループに分岐配管で接続した。Fig. 1に直管の配管試験体を取り付けた時の試験装置を示す。周囲を透明なアクリル製の板で囲んだ試験ハウスの中に試験体を設置し、試験ハウス内の試験体近傍には、スプレー状の漏洩水と滝状(コラム状)の漏洩水をそれぞれ回収するための回収板を据付け、これらで漏洩水全体に対するスプレー状漏洩水の割合を測定できるようにした。試験体に供給する水の圧力と流量は試験体上流側に設置した圧力計と流量計で測定した。

配管試験体構造の理解を助ける目的で「もんじゅ」二次系主配管の構造概略をFig. 2に示す。配管の周囲に内装板があり、その外側に保温材が、また最外周は外装板で覆っている。試験では、この様な配管の直管、エルボおよびT字型配管のそれぞれの配管試験体を製作して使用した。各試験体の構造をFig. 3に示す。漏洩孔の大きさは、 $1/4 \cdot Dt$ 相当で、孔には水ループからの配管を接続した。なお、これらの試験体は、予備試験〔文献(1)〕に使用した配管試験体を再組立したもので、昭和58年度時点の「もんじゅ」二次系主配管の保温構造体設計に従い、直管部、エルボ部及びT字部のそれぞれを周囲の保温構造物も含めて模擬したものである。(但し、内装板と外装板の間の保温材は充填せず、その間は単なる空隙とした。)各試験体には、実機と同様にヒータの取り出し口を重力方向下方に設け、この取り出し口が漏洩流路となるよう設計してある。試験体の主要な諸元を以下に示す。

試験体	漏洩孔		内装板			外装板		
	直径 (mm)	開孔の方向	材質	肉厚 (mm)	継目構造	材質	肉厚 (mm)	継目構造
直管	43.7	上方	SUS 304	0.8	フランジ構造 ボルト締め	SCG2	0.4	カシメ
エルボ	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上
T字管	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上

2.2 試験方法

(1) 試験手順

試験は、配管に内装板と外装板を取り付けた状態及び内装板のみを取り付けた状態の2つのケースについて行った。Fig. 4に試験手順を示す。最初に供給水の一次圧を設定し、次に試験体の入口バルブの操作を行って試験を開始した。試験では、流量をパラメータとし、各流量に対する液滴噴流の割合及び液滴径の測定を行った。試験条件をTable. 1に示す。流量範囲は $19 \sim 30 \text{ kg/s}$ ($70 \sim 108 \text{ ton/hr}$)、供給水の圧力は $2.0 \sim 5.8 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ の範囲で変化させた。

(2) 液滴状噴出流の割合の測定

液滴噴流となる割合については、Fig. 1に示した試験体周囲にある3枚の回収板を使用し、これで漏洩水を滝状となる部分と液滴噴流状となる部分に分離して測定した。Fig. 5に測定方法の概略を示す。試験体の両側面から50mm以上離れた場所まで飛散した流出水は全て液滴噴流であるとし、またこの距離以内の飛散水はコラム状の漏洩水と仮定して測定を進めた。

(3) 液滴径分布の測定方法

試験体から液滴噴流となり周囲に飛散した液滴は、その一部を回収して径及び径の分布を測定した。Fig. 6にこの時の液滴回収方法を示す。回収に当たっては、まず試験ハウスの一部を

開放し、試験体から上方及び水平方向に飛散する液滴を、試験体から一定の距離離れた場所に置いた受皿に回収した(約1秒間)。受皿には、予め流動パラフィンが入れてあり、回収した液滴はこの流動パラフィン上に浮くようにしてある。そこで、浮いた液滴を接写カメラで撮影し、撮影したフィルムは、これを粒度分布解析装置にかけて液滴径とその分布を決定した。なお、液滴の回収に当たっては、試験体からの距離を1.0～4.5 mの範囲で変化させた。Fig. 7に使用した粒度分布解析装置のシステム構成を示す。マイクロプロセッサ、カリキュレータ、モニタTV、プリンターで構成されており、試料の液滴径とその分布の決定が自動的に行われる。

3. 結果と考察

3.1 配管試験体からの漏洩形態

ここでは、始めに内装板のみを取り付けた場合、次に内装板および外装板を取り付けた場合のそれぞれについて、試験で明らかになった漏洩形態について述べる。

(1) 内装板のみを取り付けた場合

「もんじゅ」二次系主配管の定格運転条件に近い、配管内圧5.0～5.7 kg/cm²Gで漏洩流量約30 kg/sの時の漏洩形態を直管、エルボ、T字管のそれぞれについてPhoto. 1に示す。

まず直管については、水の流出箇所は主にヒータ取り出し部と内装板継目であるが、Photo. 1(a)のごとく後者からの流出は、軸方向側部の継目からの噴出流となって飛散した。

エルボ型配管も同様であるが、周方向継目が多数の箇所にある所謂ハゼ折り構造であるため、これらの継目からは四方に漏洩水が飛散した。

T字型配管では、継目からの漏洩水のうち、特にT-Joint 交差部での漏洩と飛散が多かった。

これら3タイプの配管試験体による漏洩形態の観察結果から、次の結論を得た。

- ① 配管保温構造のうち内装板だけでは、ヒータ取り出し部からの漏洩の他に内装板継目部(軸方向、周方向)からの液滴状の飛散が多い。
- ② 内装板のみの場合は、ヒータ取り出し部からの漏洩は、大量かつ噴出様相であった。
- ③ これらの知見から、漏洩形態を、安全側に評価する場合は内装板のみでは100%液滴状に漏洩すると考えるのが妥当である。

(2) 内装板と外装板を取り付けた場合

ここでは、配管試験体の内装板と外装板の間には保温材は装着しなかったが、これは予備試験で保温材を装着した場合と装着しなかった場合で、漏洩形態に大きな差が認められなかったことによる。

試験で得た、直管、エルボ、T字管の各試験体の漏洩形態をPhoto. 2に示す。これらの試験条件は、先のPhoto. 1を得た時とほぼ同じで、配管内圧 $5.0\sim 5.8\text{ kg/cm}^2\text{ G}$ 、漏洩流量 $29\sim 30\text{ kg/s}$ である。

まず、直管については、ヒータ貫通部から大部分が流出したが、この他にもPhoto. 2(a)に示したように、配管下部の外装板周継手部（重ね合わせ部）が開孔し、そこから滝状に漏洩した。配管からは、液滴状に漏洩するものはほとんどないが、床に落ちた水が跳ね返り液滴になるものが多い。

エルボ型配管については、外装板周継手部が多数あり、また施行上隙間が出来やすいことから、ヒータ貫通部の他にもPhoto. 2(b)のごとく外装板周継手部全体から下方に漏洩した。

T字型配管については、配管交差部からの漏洩が多く、特に注目されるのは配管交差部の外装板上部の隙間から配管に沿って大量に流出したことである。

上に述べた結果も含めて、内装板および外装板を装着した場合の漏洩形態について、次の結論を得た。

- ① 配管保温構造は液滴状噴流を防止、抑制するに十分な機能を有する。
- ② T字型配管の交差部からの漏洩については、その飛散を防止するためには外装板継目上部のシールを完全に行う必要がある。交差部の上部に隙間が形成されると、そこから水が噴流となって流出し、これがナトリウムを使用した実機の場合では過度なナトリウム燃焼を招くことになる。このため、T字型配管については、上部の交差部にあて板等でシールすることが必要である。

3.2 漏洩流量に対する液滴状噴出流の割合

さて前節3.1の結果から、内装板のみでは漏洩流の一部が噴流となるが、これに外装板を取り付けると噴流は防止されることが明らかになった。そこで、ここではこれらそれぞれの場合について、全漏洩流量に対する液滴状噴出流の割合について述べる。この割合が大きくなると、ナトリウム漏洩の際の燃焼速度が大きくなり、発生するエネルギーも増加する。

(1) 内装板のみを取付けた場合

直管の試験では、Photo. 1(a)のごとく内装板継目（主に側面）より流出した大量の液滴噴流を試験体周囲の回収板で集めたが、その一部は桶から溢れた。そこで、回収出来た量を基に評価を行った。漏洩流量 20 kg/s 以上では、回収水量と目視判断の両方から、漏洩流量比で約50%が液滴状に噴流したと判断した。

エルボ型配管の試験についても同様で、内装板継目から液滴状の大量な水が噴出し、桶から溢れた。このため回収出来たのはその一部であるが、ここでも測定と目視から漏洩流量 20 kg/s 以上では漏洩流量比で約50%が液滴状に噴出したものと判断した。

T字型配管の試験についても同様で、測定と目視から約50%以上が液滴状に噴出したと判

定された。

このようにいずれの配管についても、内装板のみの場合は「もんじゅ」二次系主配管の定格運転条件に近い漏洩流量 20 kg/s 以上では、漏洩流量の約 50 % 以上が液滴状に噴出した。

(2) 内装板と外装板を取付けた場合

ここでは、試験した全ての漏洩流量に対し、直管とエルボ型配管については液滴の生成割合は 1 % 以下であった。T 字型配管だけは、前述した外装板上部継目から漏洩水が試験体固定用のフランジに当り液滴状に飛散したが液滴は生成されていない。しかし、ヒータ取り出し部の位置、外装板交差部上部のシール方法には改善の余地がある。

これらの結果をまとめると、漏洩流量に対する液滴状噴流の割合は、内装板のみでは 50 % 以上にもなるが、外装板があるとほとんど 0 % となることが確認された。すなわち、既に実施した Na 漏洩試験⁽³⁾で保温構造の健全性が保たれることを立証していることから、液滴状噴流は防止できることになる。

3.3 液滴径分布の漏洩流量（圧力）に対する依存性

すでに述べたように、内装板だけだと漏洩流の 50 % 以上が液滴噴流となる。そこで、ここでは参考までにこの噴流の中の液滴径の測定結果について述べる。測定データは Table. 2 に示す。

(1) 直 管

Table. 2 の TestNo 1 - 1, 1 - 2, 1 - 3 が直管のデータであるが、流量及び試験体からの距離に対する依存性は顕著でなく、個数平均液滴径は 2 ~ 6 mm, 分布の標準偏差は 1.3 ~ 4 である。参考までに TestNo 1 - 3 の液滴の写真を Appendix の Fig. A - 1 に示す。

(2) エルボ型配管

Table. 2 の TestNo 2 - 1 から No. 2 - 3 がエルボによるデータである。ここでも流量に対する依存性は少なく個数平均液滴径は 2.4 ~ 4.3 mm で直管によるデータとの相異は測定誤差を考えると殆どない。TestNo 2 - 3 の液滴写真と分布を Appendix の Fig. A - 2 に示す。

(3) T 字型配管

ここでも Table. 2 の TestNo 3 - 1 から No. 3 - 3 に示したごとく流量依存性は殆どなく、個数平均液滴径は 1.3 ~ 3.2 mm である。TestNo 3 - 3 の液滴の写真と分布を Appendix の Fig. A - 3 に示す。

さて、ここに述べた各配管試験体による測定結果から、液滴径は漏洩流量 $19.4 \sim 29.2 \text{ kg/s}$ の範囲では殆ど変化せず、また直管、エルボ、T 字型の配管形状の違いによる差異も測定精度の範囲内では認められず、個数平均径は 1.3 ~ 6 mm であった。

3.4 配管保温構造の圧力損失

実機の配管周囲の保温構造体は、内装板、保温材及び外装板から成る。その機能は保温が主目的であるが、同時にNa漏洩事故時のNa噴出流を抑止する目的も有る。そこで、ここでは $1/4 \cdot Dt$ 漏洩孔から内装板と外装板を経て大気に至るまでの間の圧力損失係数を、配管破損孔のレイノルズ数（代表寸法：円形漏洩孔の直径）に対してまとめた。尚、この圧力損失係数は配管内側から大気までの圧力損失係数であるため、その大小が漏洩流量を左右する。このため、その実測値を得ることによって、設計で想定されている漏洩流量に対する実現像の安全裕度を明らかにすることが出来る。

測定で得た値をTable 3に示す。また圧力損失係数値とレイノルズ数の関係をFig. 8に示す。内装板のみの場合と内装板と外装板を取り付けた場合との間には、圧力損失係数には有意な差は認められない。ここで、圧損係数 ζ は、次式で定義した。

$$\Delta P = \zeta \cdot (1/2) \cdot \rho \cdot V^2$$

ΔP : [配管内圧力] - [大気圧 (0 kg/cm²G)]

ρ : 漏洩流体の密度 (r/g)

V : 破損孔からの噴出密度 [= Q (漏洩流量) / A (破損孔面積)]

Fig. 8には比較対照のために、予備試験〔文献(1)〕で得たAppendix のTable A-2に示す値の範囲を右上に、右下には「もんじゅ」安全解析に使用されているAppendix のTable A-2に示した値をプロットした。

「もんじゅ」の安全解析で用いられているナトリウム漏洩流量は、破損孔断面積と配管内圧より決まる33.0kg/sで、この場合の圧損係数は1.0である⁽²⁾。ところで、Fig. 8に示すレイノルズ数の範囲では、圧力損失係数のレイノルズ数に対する依存性は無視出来るものと考えられる。このため、今回の測定結果と「もんじゅ」安全設計に用いられている圧損係数とはレイノルズ数は異なるが、直接比較してその大小を議論することが出来る。比較から実測の圧損係数は「もんじゅ」安全設計に用いられている値の約2.3倍であり、これより安全設計では漏洩流量を約50%多く見込んでいること、すなわち事故時の流量を約50%安全側に評価していることが判る。

ところで、先のTable 3及びFig. 8によると、内装板が取り付けがあれば外装板の有無にかかわらず圧損係数の変化は殆どない。このことは、漏洩流の圧力損失のほぼ100%が漏洩孔と内装板で発生しており外装板では殆ど生じないこと、換言すれば外装板には流体圧が殆ど加わっていないことが明らかになる。

4. 結 言

「もんじゅ」二次系主配管からのナトリウム漏洩形態を確認する目的で、実寸大の試験体を用いてナトリウムの代わりに作動流体として水を用いた試験を行った。試験体は、配管周囲の保温構造体を含めた直管、エルボ、T字管の3種類の実機モックアップを製作した。また各試験体には、予め重力方向上向きで孔径 $1/4 \cdot Dt$ に相当する漏洩孔を加工した。試験は配管周囲の保温構造体、内装板のみの場合と内装板及び外装板を取り付けた場合のそれぞれについて行った。

試験で得た結論を次に示す。

(1) 内装板のみの場合

二次系主配管の定格運転条件に近い配管内圧 $2.0 \sim 5.7 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ 、漏洩流量 $19 \sim 30 \text{ kg/s}$ では漏洩水は内装板のヒータ貫通孔から流出したが、同時に内装板の周方向及び軸方向の継目からも液滴噴流（個数平均液滴径： $1.3 \sim 6 \text{ mm}$ ）となって流出し四方に飛散した。後者の全漏洩流量に対する割合は、50%以上であった。これらの結果から、実際のNa漏洩事故の際に、保温構造の健全性が維持できなかった場合は、漏洩Naはスプレー状に噴出するものと推定される。

(2) 内装板と外装板を取り付けた場合

同様な条件で、漏洩水はヒータ貫通孔から大部分が流出し、液滴噴流の発生は効果的に抑制された。これより、実際のNa漏洩の際もすでに行ったNa漏洩試験で明らかのように保温構造の健全性が維持されることから、漏洩Naがスプレー状となる可能性の無いことが結論される。

但し、T字管の外装板継目については改良を要する。

(3) $1/4 \cdot Dt$ 漏洩孔を含めた保温構造体の圧力損失係数

圧力損失係数値の実測値は、 $2.3 \sim 2.8$ であった。一方「もんじゅ」安全解析ではナトリウム漏洩流量を算出する際の圧力損失係数として1.0を用いている。両者の比較から、「もんじゅ」安全解析ではナトリウム漏洩流量を、実際より約50%多く見込んで居ることが明らかになった。

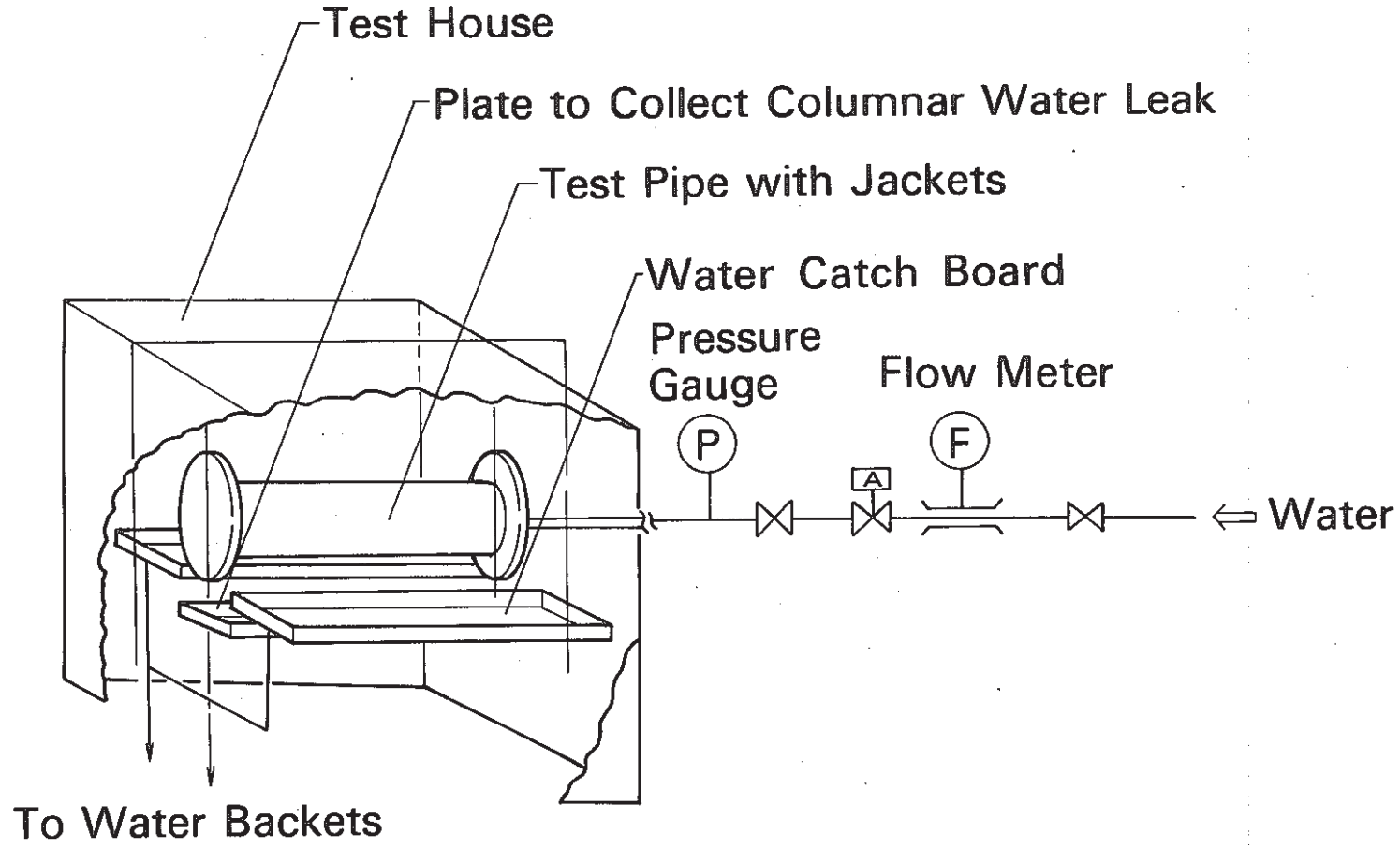
5. 謝 辞

本試験研究の実施に当り実機設計の観点から助言をいただいた旧原型炉建設本部、機械課関係者、技術管理面で高所からの御指導をいただいた旧高速炉安全工学部、三本保秀前部長、直接の御指導をいただいた佐藤稔元室長および宮口公秀前室長、試験装置を水流動試験室に設置するに当たり御協力をいただいた高速炉工学室、青木忠雄前室長および同佐藤和二郎副主研、試験計画

立案の初期の段階で参画いただいたプラント安全工学室，川部隆平副主研（現，日立エネルギー研究所）に謝意を表します。

6. 文 献

- (1) 星，他，「二次主冷却系配管保温構造崩壊試験」，PNC報告書 ZJ 201 83-16，
1983年5月
- (2) 建設運転本部，部内資料，原子炉2課編集。
- (3) 姫野，宮原，川田，他，「ナトリウム火災防護設備基礎試験（Ⅲ）－ 二次系ナトリウム火災の事故推移に関する縮尺モデル試験，RUN-B3 -」，SN 941 85-130，
1985年9月



- 9 -

Fig. 1 Flow Sheet of Water Test Loop

(PSS-SFE-193)

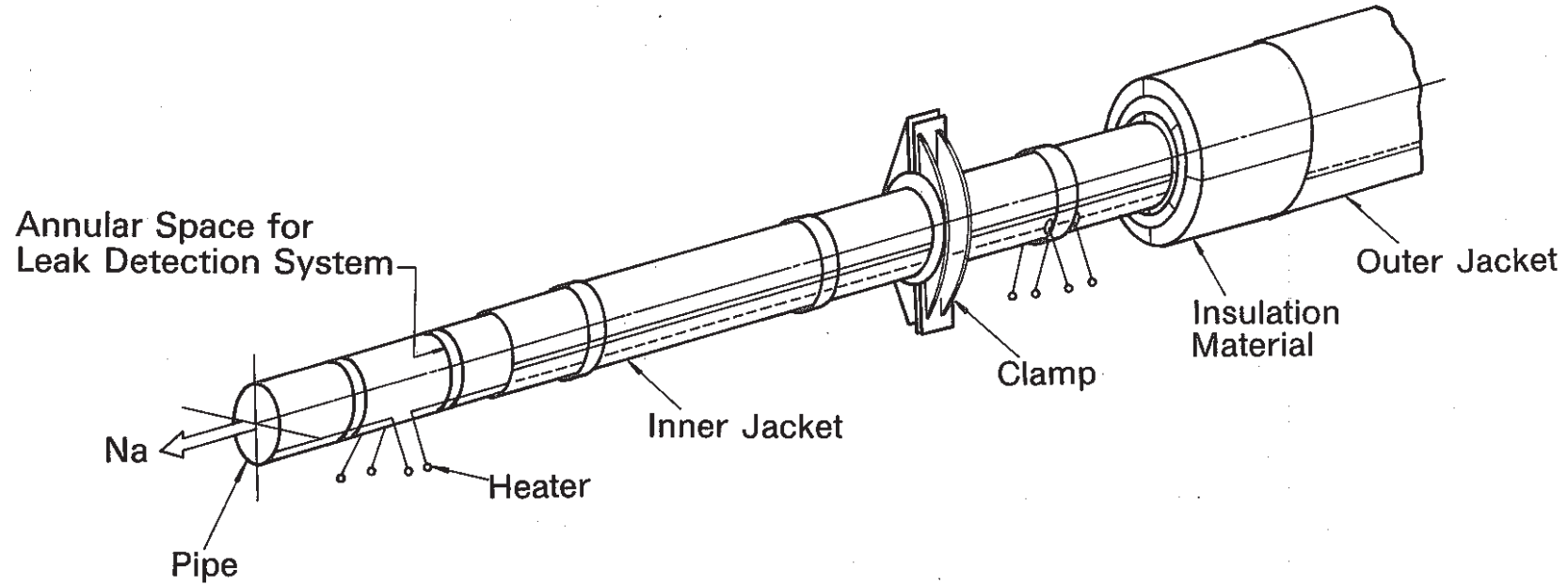
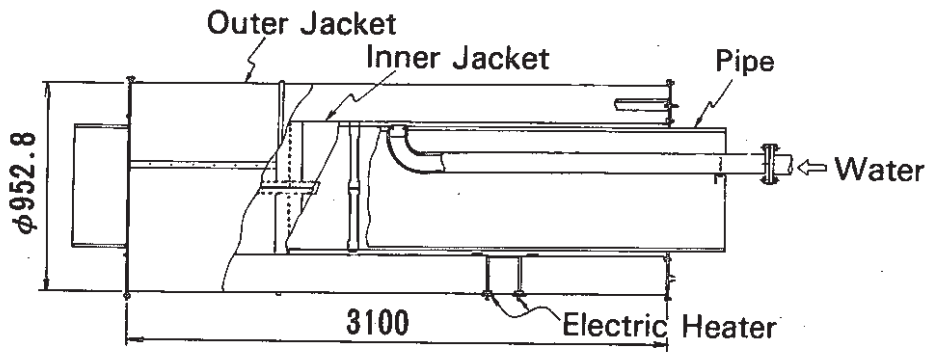
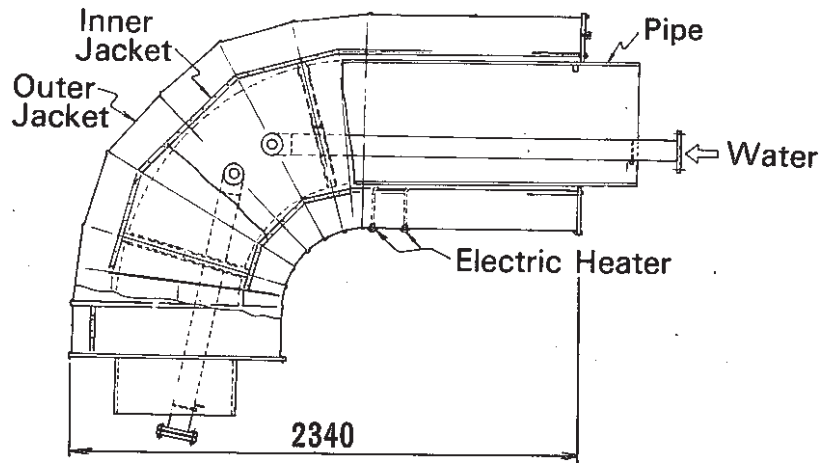


Fig.2 Concept of Monju Secondary Sodium Piping with Thermal Insulation Cover

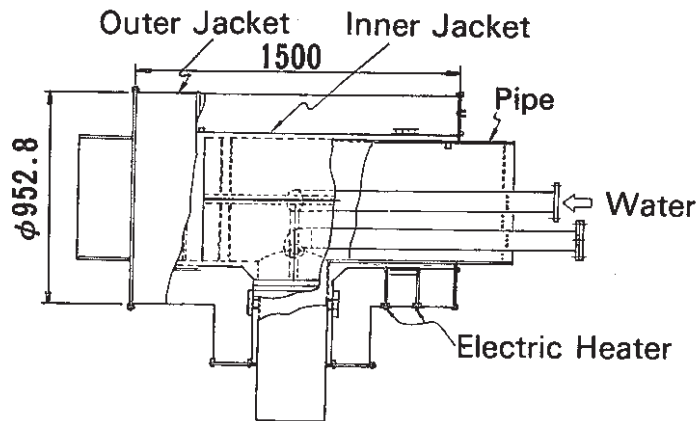
(PSS-SFE-046)



(a) Straight Pipe (Side View)



(b) Elbow Pipe (Top View)



(c) T-Joint Pipe (Top View)

unit : mm

Fig. 3 Test Pipes

(PSS-SFE-194)

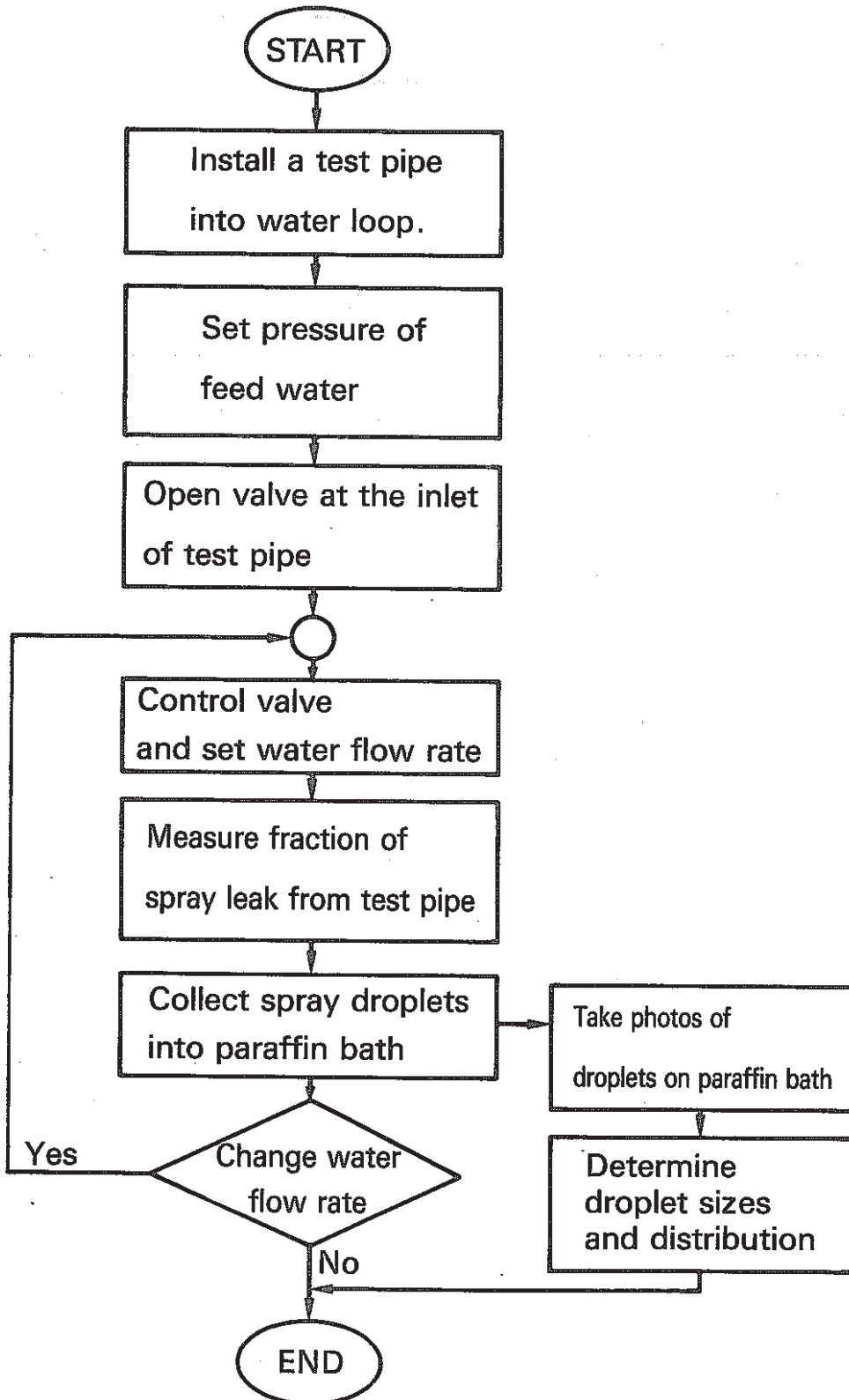
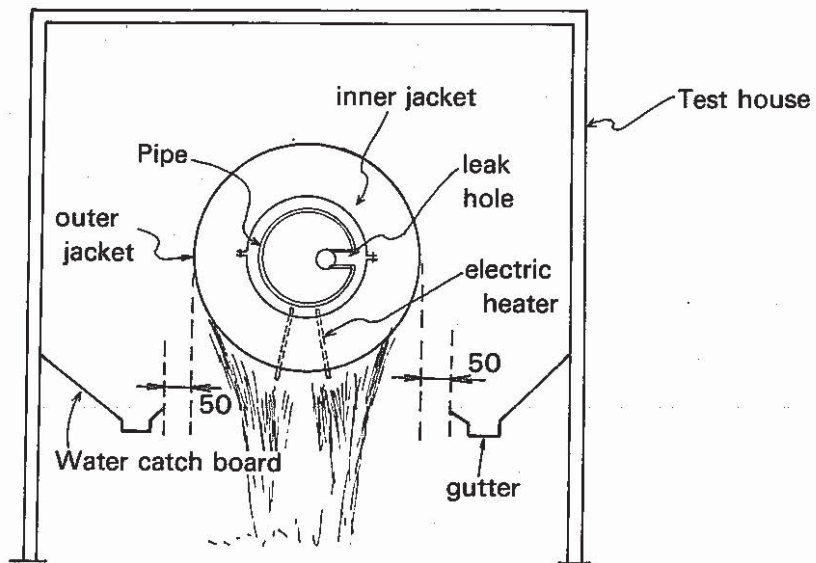
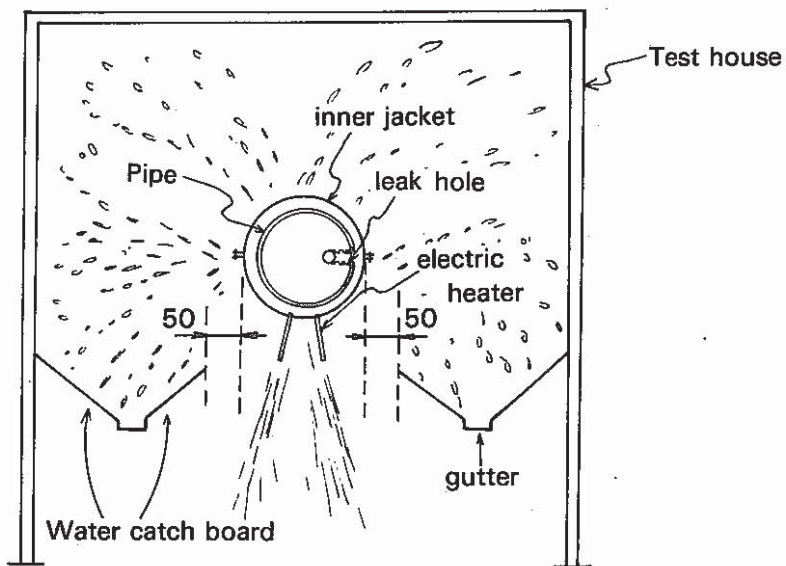


Fig.4 Test Procedure

(PSS-SFE-195)



(a) With Inner and Outer Jackets



(b) With only Inner Jacket

unit : mm

Fig. 5 Method to Determine Spray Fraction

(PSS-SFE-196)

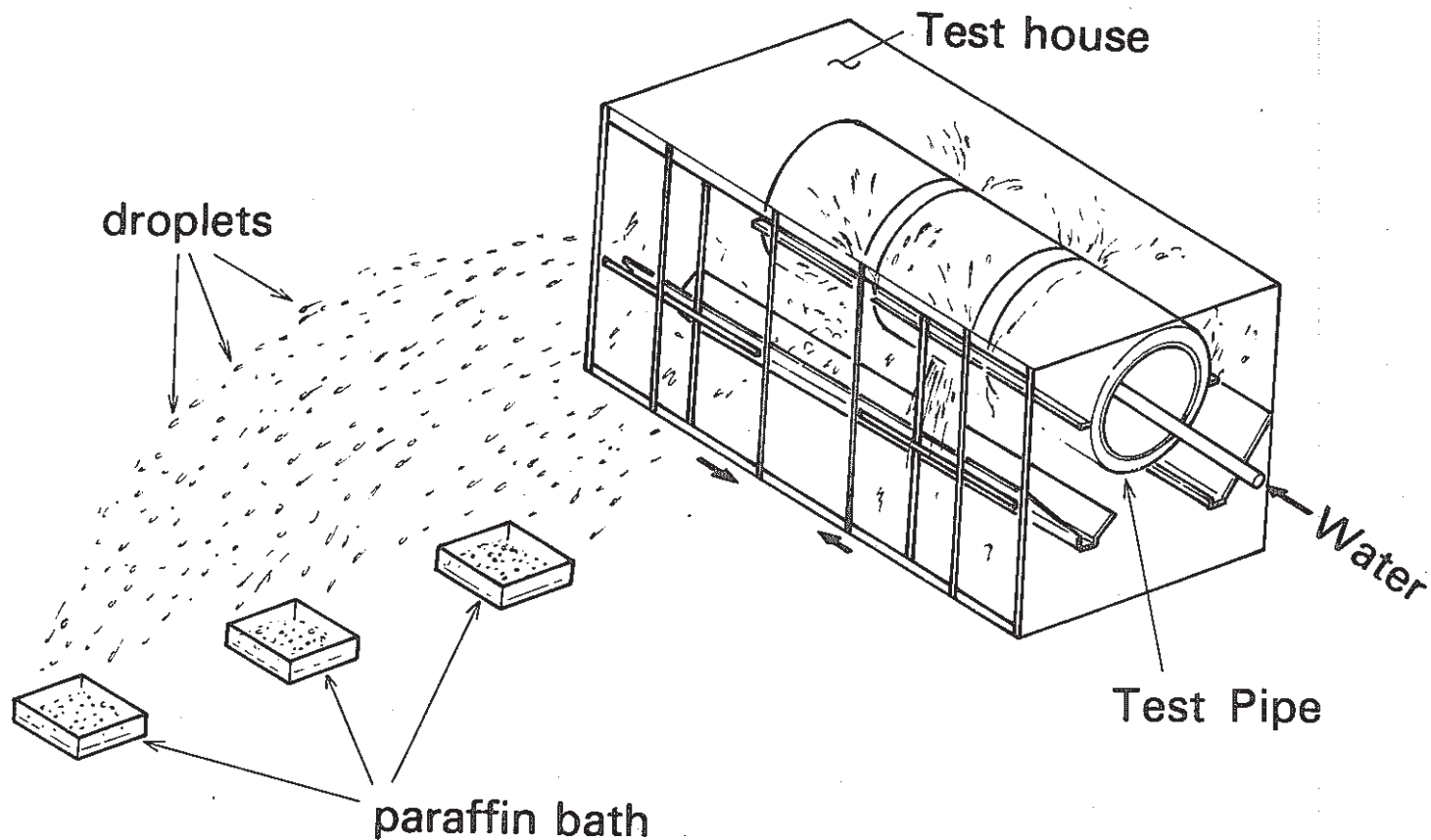


Fig.6 Method to Collect Spray Droplets
(Test Pipe with only Inner Jacket)

(PSS-SFE-197)

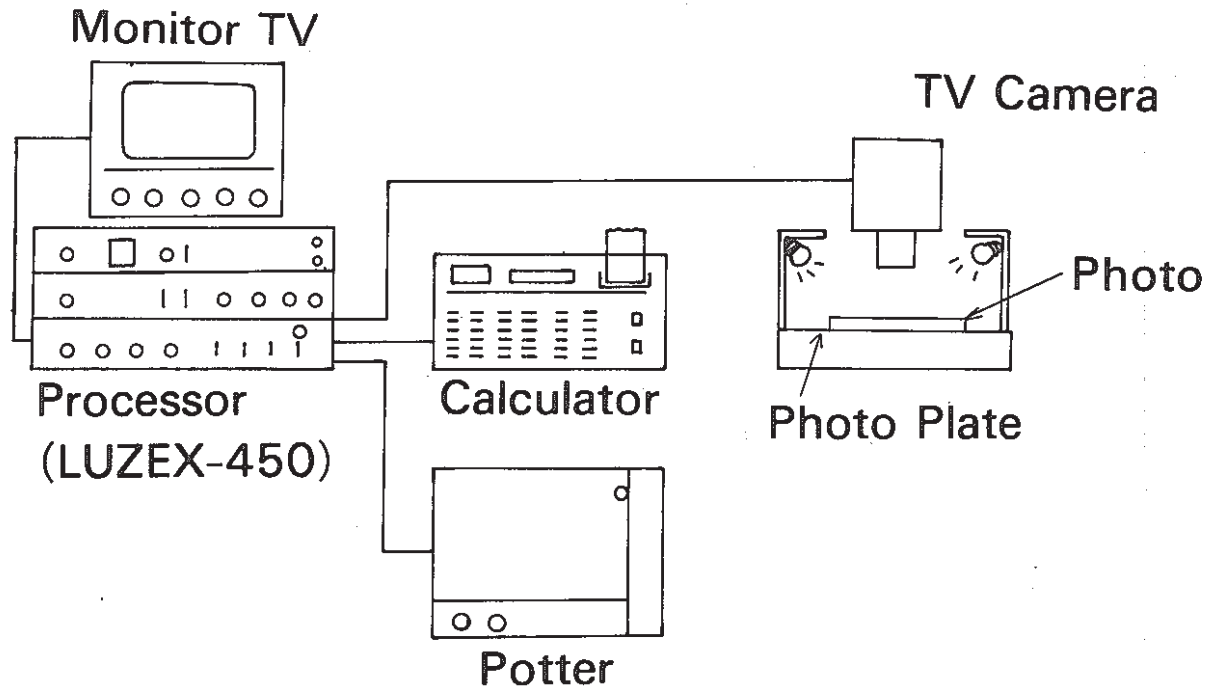


Fig. 7 Particle Size Analyzer

(PSS-SFE-198)

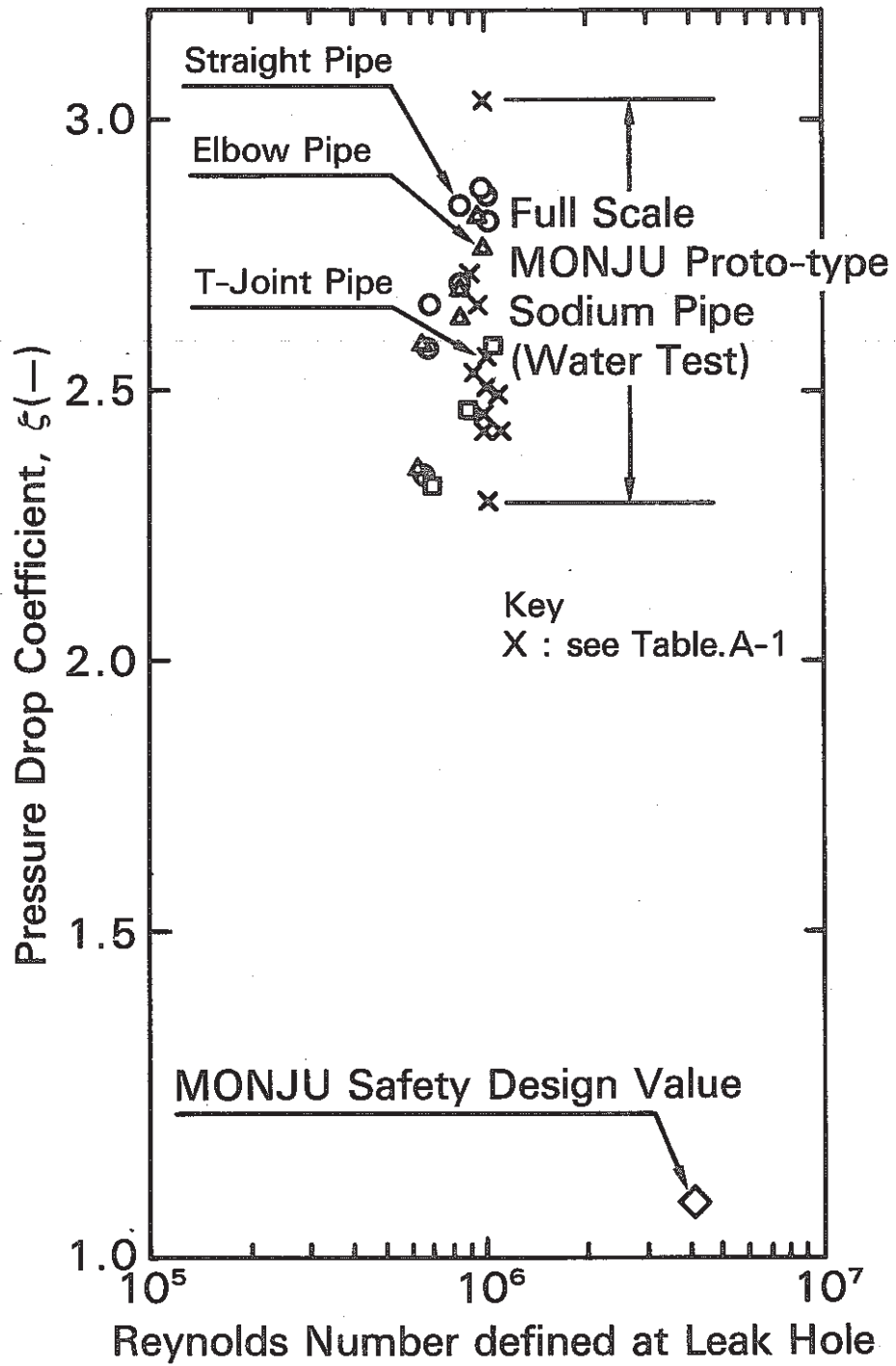


Fig.8 Pressure Drop Coefficient Across Leak Hole and Insulation Jackets

(PSS-SFE-192)

Table. 1 Test Conditions

Test No.	Test Pipe	Insulation Cover *1	Water Flow Rate (ton/hr, kg/sec)	Pressure (kg/cm ² G)
1-1	Straight Pipe	Inner Jacket	70 (19.4)	2.0
1-2			90 (25.0)	4.0
1-3			105 (29.2)	5.5
1-4			108 (30.0)	5.7
2-1	Elbow Pipe	Inner Jacket	70 (19.4)	2.0
2-2			90 (25.0)	3.8
2-3			105 (29.2)	5.3
3-1	T-Joint Pipe	Inner Jacket	70 (19.4)	2.0
3-2			90 (25.0)	3.5
3-3			105 (29.2)	5.0
4-1	Straight Pipe	Inner and Outer Jackets	72 (20.0)	2.4
4-2			90 (25.0)	3.8
4-3			105 (29.2)	5.5
4-4			108 (30.0)	5.8
5-1	Elbow Pipe	Inner and Outer Jackets	70 (19.4)	2.2
5-2			90 (25.0)	3.7
5-3			103 (28.6)	5.2
6-1	T-Joint Pipe	Inner and Outer Jackets	70 (19.4)	2.0
6-2			90 (25.0)	3.5
6-3			105 (29.2)	5.0

(*1) No insulator was installed.

Table. 2 Droplet Sizes Determined with Test Pipes attached with Inner Jacket only

Test No.	Test Pipe	Flow Rate(kg/s)	L(mm)	\bar{D} (mm)	σ
1-1	Straight Pipe	19.4	1500	4.383	3.152
			2000	2.658	1.601
			2500	2.479	2.162
1-2	do.	25.0	1500	3.458	4.021
			2000	6.053	5.345
			2500	2.607	1.663
1-3	do.	29.2	2500	2.092	1.323
			3500	2.757	1.336
			4500	2.681	1.461
2-1	Elbow Pipe	19.4	1000	2.759	2.145
			1500	2.545	1.339
2-2	do.	25.0	1000	4.279	4.119
			1500	3.810	4.610
			2000	2.473	2.257
2-3	do.	29.2	1500	2.867	2.217
			2000	2.442	1.517
			2500	2.495	1.486
3-1	T-Joint Pipe	19.4	1000	1.310	0.800
			1500	1.324	0.853
3-2	do.	25.0	1000	2.941	4.401
			1500	1.390	0.876
3-3	do.	29.2	1500	3.196	2.746
			2000	1.663	1.241

L : Distance of droplets collection plate from test pipe

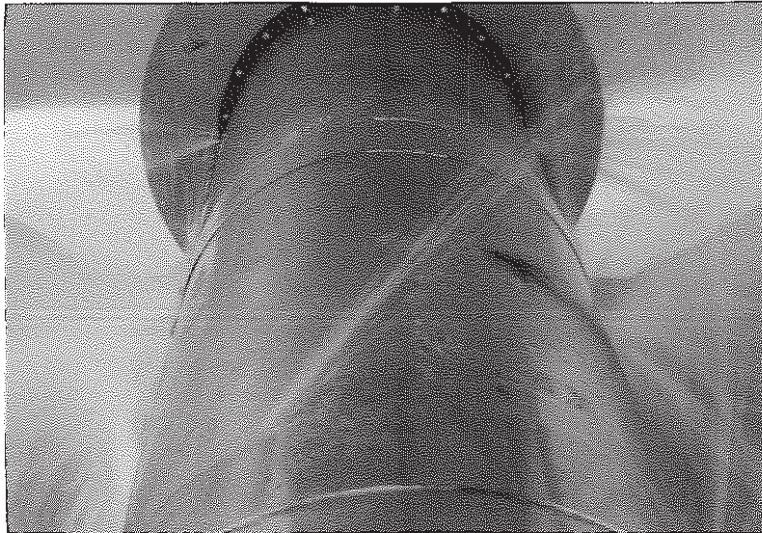
\bar{D} : Number mean droplet diameter

σ : Standard deviation of droplet distribution

Table.3 Pressure Drop Coefficient Across Leak Hole and Insulation System of Test Pipe

Test No.	Test Pipe	Insulation Cover	Water Temp.(°C)	Flow Rate (t/H,(kg/sec))	Pressure Drop ^(*) (kg/cm ² G)	Pressure Drop ^(*) Coefficient ξ	Reynolds Number
1-1	Straight Pipe	With Inner Jacket	27	70(19.4)	2.0	2.326	6.59×10^5
1-2				90(25.0)	4.0	2.815	8.48×10^5
1-3				105(29.2)	5.5	2.843	9.89×10^5
1-4				108(30.0)	5.7	2.785	1.02×10^6
2-1	Elbow Pipe		70(19.4)	2.0	2.326	6.59×10^5	
2-2			90(25.0)	3.8	2.674	8.48×10^5	
2-3			105(29.2)	5.3	2.740	9.89×10^5	
3-1	T-Joint Pipe		30	70(19.4)	2.0	2.324	7.09×10^5
3-2				90(25.0)	3.5	2.460	9.11×10^5
3-3				105(29.2)	5.0	2.582	1.06×10^6
4-1	Straight Pipe	With Inner and Outer Jackets	27	72(20.0)	2.4	2.639	6.78×10^5
4-2				90(25.0)	3.8	2.674	8.48×10^5
4-3				105(29.2)	5.5	2.843	9.89×10^5
4-4				108(30.0)	5.8	2.834	1.02×10^6
5-1	Elbow Pipe		70(19.4)	2.2	2.559	6.59×10^5	
5-2			90(25.0)	3.7	2.603	8.48×10^5	
5-3			103(28.6)	5.2	2.794	9.70×10^5	
6-1	T-Joint Pipe		30	70(19.4)	2.0	2.324	7.09×10^5
6-2				90(25.0)	3.5	2.460	9.11×10^5
6-3				105(29.2)	5.0	2.582	1.06×10^6

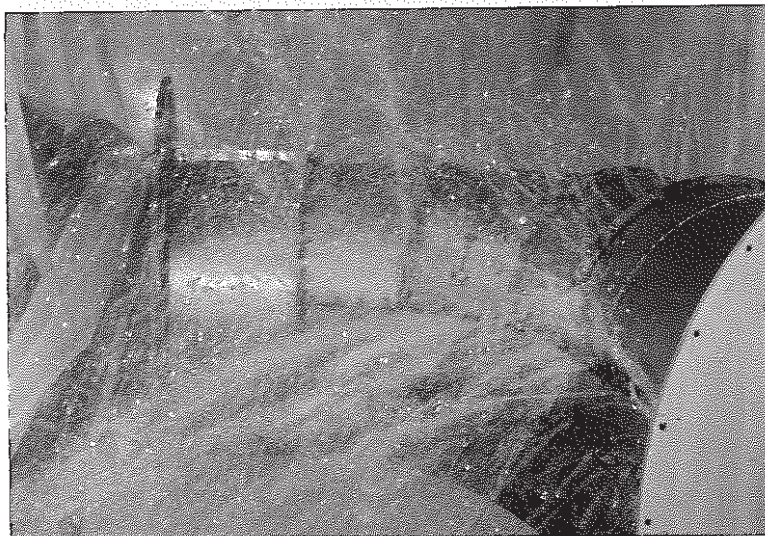
$$(*) \Delta P = \xi \frac{\rho}{2} v^2$$



(a) Straight Pipe

Test Conditions

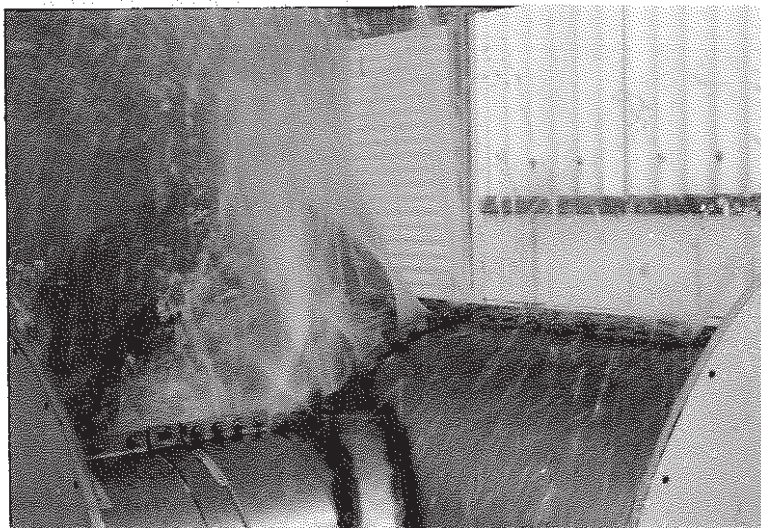
$$\begin{pmatrix} P=5.7\text{kg/cm}^2\text{G} \\ Q=30\text{kg/sec} \end{pmatrix}$$



(b) Elbow Pipe

Test Conditions

$$\begin{pmatrix} P=5.3\text{kg/cm}^2\text{G} \\ Q=29.2\text{kg/sec} \end{pmatrix}$$

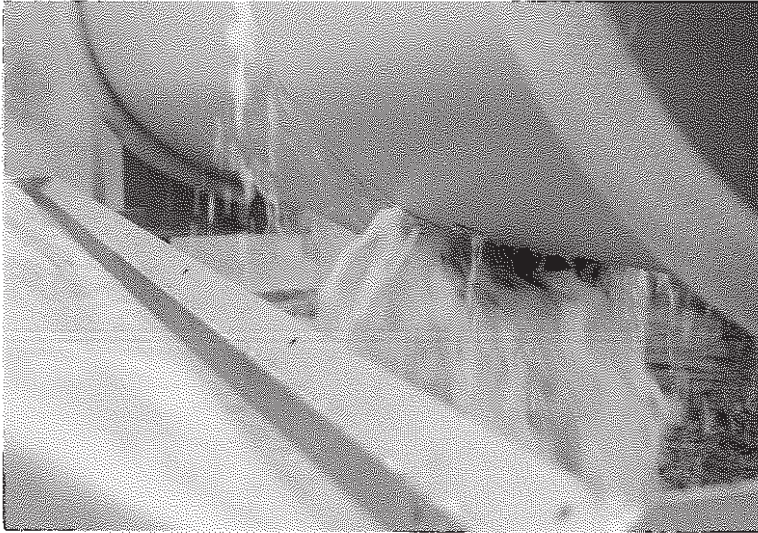


(c) T-Joint Pipe

Test Conditions

$$\begin{pmatrix} P=5.0\text{kg/cm}^2\text{G} \\ Q=29.2\text{kg/sec} \end{pmatrix}$$

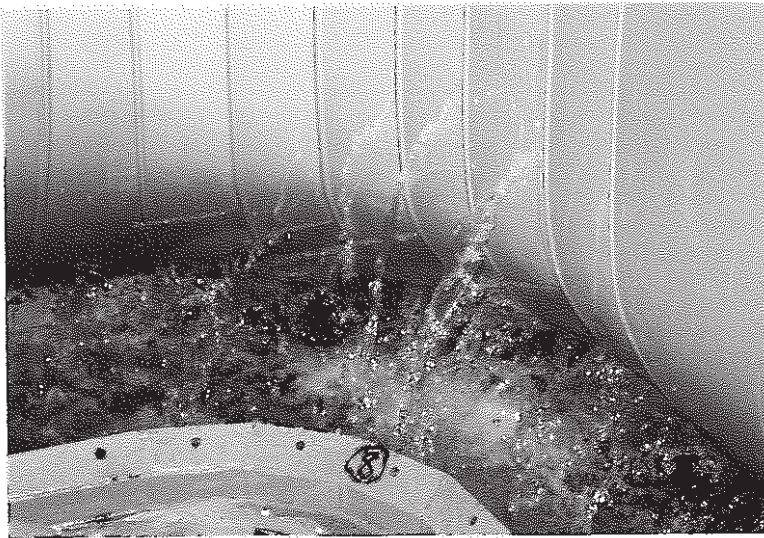
Photo. 1 Leakage Flow Pattern of Test Pipe with Inner Jacket only



(a) Straight Pipe

Test Conditions

$$\begin{pmatrix} P=5.8\text{kg/cm}^2\text{G} \\ Q=30\text{kg/sec} \end{pmatrix}$$



(b) Elbow Pipe

Test Conditions

$$\begin{pmatrix} P=5.2\text{kg/cm}^2\text{G} \\ Q=28.6\text{kg/sec} \end{pmatrix}$$



(c) T-Joint Pipe

Test Conditions

$$\begin{pmatrix} P=5.0\text{kg/cm}^2\text{G} \\ Q=29.2\text{kg/sec} \end{pmatrix}$$

Photo.2 Leakage Flow Pattern of Test Pipe with both Inner and Outer Jackets

Appendix

Table.A-1 Pressure Drop Coefficient Across Leak Hole and Insulation System of Test Pipe (from the Preliminary Test of Ref)⁽¹⁾

Test No.	Test Pipe(Insulation Cover)	Flow Rate (kg/sec)	Pressure Drop (kg/cm ² G)	Flow Velocity at Leak Hole(m/s)	Reynolds Number	Pressure Drop Coefficient ζ
1-1	Straight Pipe (With Inner and Outer Jackets)	35.1	6.41	23.44	1.02×10^6	2.291
1-2	Straight Pipe (With Inner Jacket)	34.6	6.57	23.11	1.01×10^6	2.417
2	Straight Pipe (With Inner and Outer Jacket)	34.6	6.58	23.11	1.15×10^6	2.425
3	Elbow Pipe (With Inner and Outer Jackets)	35.2	7.03	23.56	1.09×10^6	2.491
4-1	Elbow Pipe (With Inner Jacket)	34.4	7.15	23.00	9.46×10^5	2.655
4-2	Elbow Pipe (With Inner and Outer Jackets)	33.7	6.55	22.56	9.28×10^5	2.529
5	T-Joint Pipe (With Inner and Outer Jackets)	35.0	7.53	23.33	9.07×10^5	2.716
6	T-Joint Pipe (With Inner and Outer Jackets)	33.9	7.93	22.67	9.91×10^5	3.033
6-2	T-Joint Pipe (With Inner Jacket)	34.3	6.53	22.89	1.00×10^6	2.449
7	Elbow Pipe (With Inner and Outer Jackets and Insulator)	33.9	6.68	22.67	1.01×10^6	2.555
7-2	Elbow Pipe (With Inner Jacket)	34.1	6.61	22.78	9.95×10^5	2.503

Table.A-2 Pressure Drop Coefficient Across Leak Hole and Insulation System of Sodium Pipe (Monju Safety Design Value)⁽²⁾

	Flow Rate (kg/s)	Pressure Drop (kg/cm ² G)	Flow Velocity at Leak Hole(m/s)	Reynolds Number	Pressure Drop Coefficient ζ
Monju Proto-type Sodium Pipe	33.0	3.78	29.87	4.22×10^6	1.0

