

JAERI-M

9706

原子炉用電線材料健全性試験装置  
(SEAMATE-II)  
課通電系の構成と性能

1981年9月

岡田漱平・中瀬吉昭・笠原佑倖・田中 進  
伊藤政幸・日馬康雄・吉田健三

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

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

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

原子炉用電線材料健全性試験装置（SEAMATE-II）

課通電系の構成と性能

日本原子力研究所高崎研究所開発試験場

岡田 漱平・中瀬 吉昭<sup>+</sup>・笠原 佑偉<sup>++</sup>・田中 進  
伊藤 政幸・日馬 康雄・吉田 健三

( 1 9 8 1 年 9 月 8 日受理 )

原子炉用電線材料健全性試験装置（SEAMATE-II）の課通電系は、電線ケーブルを、LOCA模擬環境という、高温の水蒸気や放射線等を含む苛酷な環境にさらして劣化させながら、定格の電圧・電流を一定して与え続け、更にその環境下におけるケーブルの絶縁抵抗を測定するという役割を担っている。本報では、概略下記の点について、基本的な設計仕様、製作にあたってのノウ・ハウ、及びシステムの性能を述べる。

- 1) 課電用トランスの型式と性能
- 2) 通電用貫通電流変圧器の性能と二次側負荷の計算
- 3) 試料絶縁抵抗測定装置の構成と性能
- 4) 課通電一絶縁抵抗測定自動切換及び試料絶縁抵抗自動測定のためのシステム構成
- 5) ペネトレーションの方式と性能
- 6) その他問題点

<sup>+</sup> 大阪研究所

<sup>++</sup> 東海研究所大型トカマク開発部

Constitution and Performance of the Electrical Loading  
System in Simulated Environmental Apparatus for Material  
Testing II (SEAMATE-II)

Sohei OKADA, Yoshiaki NAKASE<sup>+</sup>, Yuko KASAHARA<sup>++</sup>, Susumu TANAKA,  
Masayuki ITO, Yasuo KUSAMA and Kenzo YOSHIDA

Pilot Scale Research Station,  
Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment, JAERI

(Received September 8, 1981)

The electrical loading system in SEAMATE-II is required to impose rated voltage and current on the cables under serious environments of high temperature steam and radiation such as LOCA. The system should also perform insulation resistance measurements of the cables being exposed to such environments. In this paper, the basic design specification, know-hows on the manufacture and the performance of the system are reported concerning the following items.

- 1) Type and performance of transformers for voltage supply.
- 2) Performance of penetration-type current transformers for current supply and calculation on the secondary load of the transformers.
- 3) Constitution and performance of the insulation resistance measuring equipment.
- 4) System constitution for the automatic switching between the electrical loading and the resistance measurement which is also performed automatically according to a designated sequence.
- 5) Type and performance of the penetration.
- 6) Other problems.

Keywords : SEAMATE-II, LOCA, Electrical Loading System, Insulation Resistance Measurement, Penetration Performance, Cables

---

+ Osaka Laboratory for Radiation Chemistry, JAERI

++ Division of Large Tokamak Development, Tokai Research Establishment,  
JAERI

## 目 次

1.はじめに .....	1
1.1 原子炉用電線材料健全性試験装置課通電系の目的 .....	1
1.2 本システムの特徴 .....	1
2.基本的な設計仕様 .....	3
2.1 基本的な構成 .....	3
2.2 試料ケーブル .....	3
2.3 課通電装置 .....	3
2.4 試料絶縁抵抗測定装置 .....	5
2.5 ペネトレーション .....	6
3.製作仕様と性能 .....	8
3.1 課通電装置 .....	8
3.1.1 課通電の方式 .....	8
3.1.2 課電回路 .....	8
3.1.3 通電回路 .....	11
3.1.4 電圧・電流の測定・監視と精度 .....	17
3.2 試料絶縁抵抗測定装置 .....	19
3.2.1 試料絶縁抵抗測定装置の構成 .....	19
3.2.2 試料絶縁抵抗測定装置の性能 .....	20
3.3 システム構成 .....	25
3.3.1 課通電・絶縁抵抗測定のインターロック・シーケンス .....	25
3.3.2 配置・結線及びシステムの問題点について .....	26
3.4 ペネトレーション .....	33
4.まとめ .....	38
5.おわりに .....	40
文 献 .....	40
付録 試料ケーブルのペネトレーションへの取付け方法 .....	41

## CONTENTS

1. Prologue .....	1
1.1 Purpose of the Electrical Loading System in SEAMATE-II.....	1
1.2 Characteristic of the System .....	1
2. Basic Design Specification.....	3
2.1 Basic Constitution .....	3
2.2 Sample Cables .....	3
2.3 Electrical Loading Equipment .....	3
2.4 Insulation Resistance Measuring Equipment.....	5
2.5 Penetration .....	6
3. Manufacture Specification and Performance .....	8
3.1 Electrical Loading Equipment .....	8
3.1.1 Method of the Electrical Loading .....	8
3.1.2 Voltage Supplying Circuit .....	8
3.1.3 Current Supplying Circuit .....	11
3.1.4 Measurements, Observation and Accuracy of the Voltage and Current.....	17
3.2 Insulation Resistance Measuring Equipment .....	19
3.2.1 Constitution of the Equipment .....	19
3.2.2 Performance of the Equipment .....	20
3.3 System Constitution .....	25
3.3.1 Interlock and Sequence of the Electrical Loading and the Resistance Measurement .....	25
3.3.2 Arrangement, Connection and Problems of the System .....	26
3.4 Penetration .....	33
4. Conclusion .....	38
5. Epilogue .....	40
References .....	40
Appendix: Installing Method of Sample Cables to the Penetration .....	41

## 1. はじめに

### 1.1 原子炉用電線材料健全性試験装置課通電系の目的

原子炉格納容器内には、動力用・計装用など多くの電線ケーブルが布設されている。これらの電線ケーブルは、制御棒駆動のための動力の伝達や、中性子束測定などの核計装と原子炉内の温度・圧力・液位などのプロセス計装の信号等の伝達を例にとってその重要性を考えてみればよく分るように、安全上極めて重要な動力・情報を伝達する役割を担っている。このような動力・情報は、炉の通常運転時は勿論のこと、事故時においても、正確に伝えられなければならない。実際、米国電気電子学会 (IEEE, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., U. S. A.) では、安全保護系に属する電線ケーブル (IEE 級ケーブル) について、炉の耐用年限の最後に冷却材喪失事故 (LOCA, Loss of Coolant Accident) のような仮想事故が起こったとした場合でも、安全に機能するよう品質保証するための性能認定型式試験法を提出しており<sup>1)2)</sup>、日本においても、原子力発電所で使用する電線ケーブルに対して、この IEEE の基準に準じた仕様が電力会社から出されている。こういった、電線ケーブル類に対する品質保証の要求は、1979年に起きたTMIの事故<sup>3)</sup>以来、その重要性が再認識され、安全保護系の概念の拡張も示唆されてきている。このような中で、高崎研究所開発試験場技術開発課においては、我が国における試験法の確立に資する研究を行う目的で、電線ケーブル類に、LOCA 時を模擬した環境を課すことのできる装置=原子炉用電線材料健全性試験装置 (SEAMATE-II, Simulated Environmental Apparatus for Materials Testing-II) を製作した。この装置は、飽和水蒸気を用いて、例えば図 1 に示すような時間-温度プロファイルその他の LOCA 模擬環境を実現することができる。<sup>4)</sup> 図 1 に例示したプロファイルは IEEE Std. 323 に従ったものであるが、IEEE 基準では、この図に示してあるように、LOCA 模擬試験の間、ケーブルに定格の課通電を行なうことが要求されており、また、試験期間中適宜ケーブルの絶縁抵抗を測定することが推奨されている。SEAMATE-II も試験期間中この課通電及び供試ケーブルの絶縁抵抗測定を行なう機能を有している。我々はこれに関わる機器類等を一括して課通電系と呼ぶ(以下本システムと略称する)。本報は、この課通電系の構成と性能に関して説明したものである。

### 1.2 本システムの特徴

本システム (SEAMATE-II 課通電系) が、通常のプラントにおける電気装置と著しく異なる点は、次の 2 点である。

- (i) 電線ケーブルを高温の水蒸気や放射線等の苛酷な環境下で劣化させながら、定格の電圧及び電流を一定して与え続けなければならない。従って、最初から漏電等の異常を想定している。このため、ある程度までの漏電があっても課通電し続けるための安全上その他の特別な配慮を

必要とする。

(ii) LOCA 模擬環境をケーブルに与えながら同時にその絶縁抵抗を測定する。試料ケーブルは放射線にさらされているため、測定部までのリード等に対して種々の工夫が必要である。本装置は、単にケーブルが LOCA 環境に耐えて課通電できるか否かを調べるだけのものではなく、試験法の確立に資するデータを集めることを目的とするものであるから、ケーブルの絶縁抵抗が、LOCA 模擬環境下で経時的にどのように変化して行くかを追うことができる必要がある。そのため、測定部まで非常に長いリードをとらなければならないなどの不利がありながら、漏れ電流を大ざっぱに測定して絶縁の良否を云々するだけでなく、精密な微小電流測定を行うことが要求される。このため、試料部以外での漏れ電流や、他の機器の影響による誘導電流の発生を極力抑えるようにした。

本報告では、まず 2 設計仕様において、この種のシステムにはどのような仕様が要求されるかという基本的な設計仕様とその理由について述べ、次に 3. 製作仕様と性能において、実際に製作した装置の仕様、また製作にあたってのノウ・ハウ、及び本システムの性能について述べる。

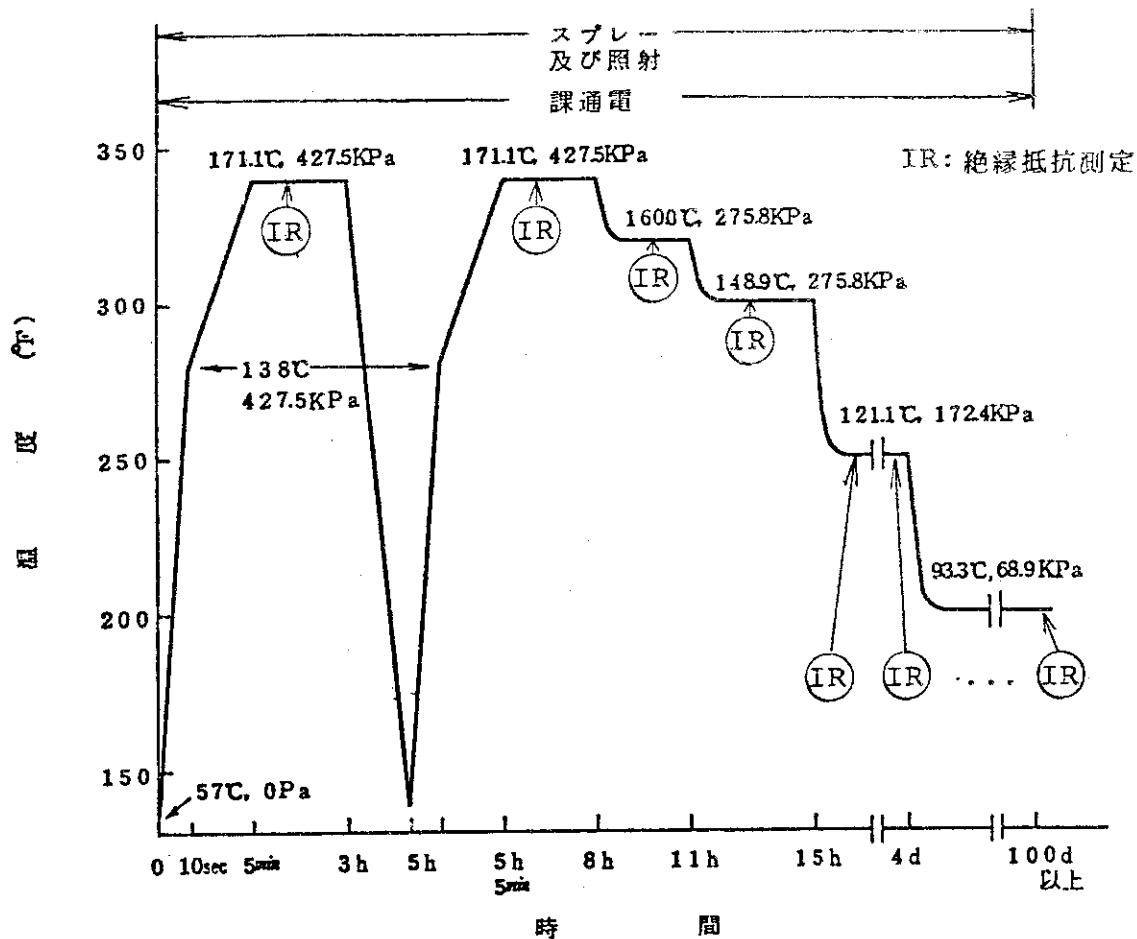


図 1 LOCA 模擬条件 ( IEEE Std. 323'74 に準拠 )

## 2. 基本的な設計仕様

### 2.1 基本的な構成

図2に、課通電系の基本的な構成を示す。試料電線ケーブルは、直径400mm、高さ600mmのマンドレルに巻きつけられ、内径700mm、高さ1550mmの圧力容器内に装荷される。この圧力容器内では、図1に例示したようなLOCA模擬環境が実現される。また、本装置の仕様では、圧力容器内を最高15atgの飽和蒸気雰囲気に保つことが要求されている（後述）。試料電線は、このような高温高圧に耐えるように設計された貫通部（ペネトレーション）を通って圧力容器外へ引き出され、ここでリード線に接続される。リード線は照射室の遮蔽壁の貫通孔（スリーブ）を経て課通電装置及び試料絶縁抵抗測定装置に接続される。課通電と測定装置との接続の切換えは適当なシーケンス制御によってなされる。課通電中の電圧、電流は常時記録、監視し、所定の値より大巾に変化しないようにする。

### 2.2 試料ケーブル

試料ケーブルとしては、仕上り外径約10mmの600V級、導体公称断面積 $2\text{ mm}^2 \times 3$ 心ケーブルを標準とする。この試料ケーブルを、図3に示すように、直径400mm、高さ600mmのマンドレルに原則として3ターン巻きする。このようにすると、合計9本の試料ケーブルが装荷でき、1つの試料ケーブルについて、LOCA環境にさらされる部分の長さは約4m、圧力容器外に引き出し、リード線に接続する部分も加えると全体で約6mとなる。

### 2.3 課通電装置

課通電装置は、上記のように最大9本の試料ケーブルに対して定格の課通電を行う。定格課電圧値は最大600Vである。電流については、この種のケーブルの許容電流値が大体20A/芯であるから、1つのケーブルについて最大60A程度の定格電流値を見込めばよいが、余裕をみて、1つのケーブルについて90Aまで通電できるようにする。定格電圧値の変動許容範囲については、電力会社が需要家に電気を供給する場合は電気事業法に定められているが、原子力発電所等については規制されたものではなく、各電力会社の指針によっている。また、その許容変動幅は、接続される機器によっても異なっているようである。<sup>5)</sup> 低压ケーブルの場合は、発電所内系統電圧は最大440Vであることを考えれば、試験において440Vを下回らないようにしておきさえすれば、電圧が多少変動しても、安全性研究という観点からは充分であるということが言える。また、電流値については、負荷の変動によって変化するものであり、変動幅の許容範囲を規定したものは見当らない。とは言うものの、本試験装置を製作した研究目的を考えれば、できる限り一定の電圧・電流を供給し、試験結果の解析に煩雑な要素を持ち込

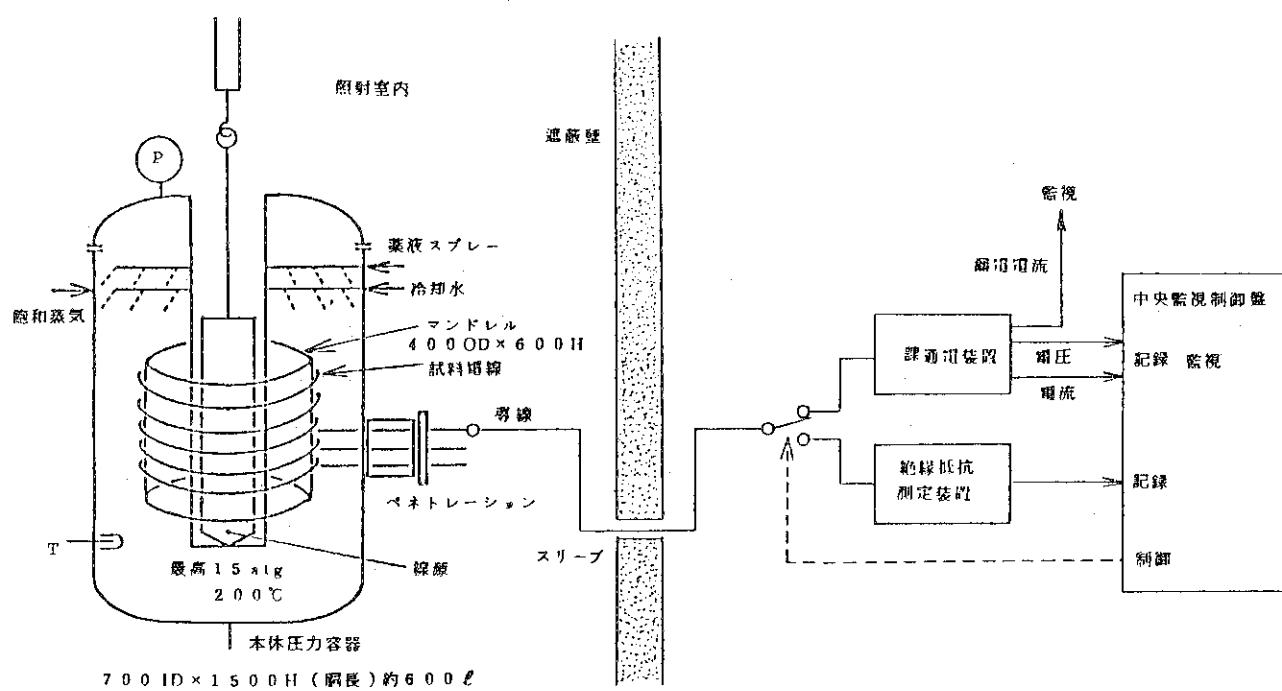


図2 課通電系の基本的な構成

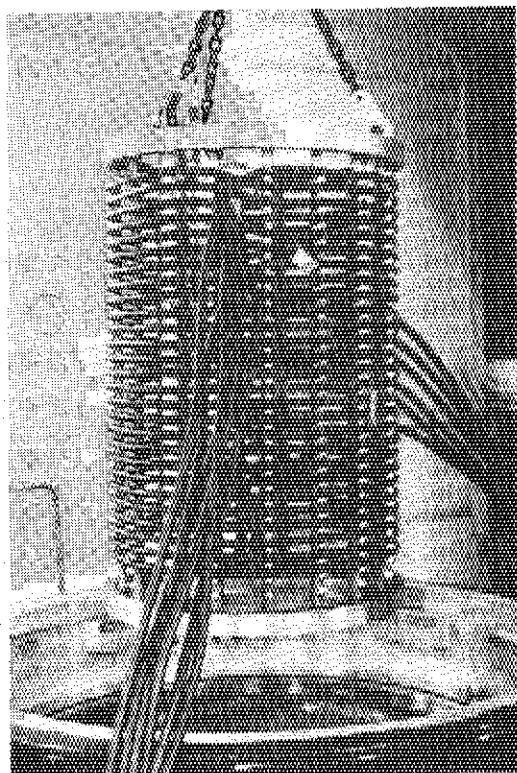


図3 マンドレルに装荷された試料電線ケーブル

まないようになることが望まれる。このためには、自動調整可能な定電圧電流装置を使用するのが適しているが、次の2つの理由から、電圧、電流のそれぞれについて手動調節装置を設け、警報を含む監視機構によって一定の電圧・電流を与えるような方策をとることとする。

- (i) 自動調節定電圧電流装置を用いるとすると、装置の製作に費用がかかり過ぎる。
- (ii) 最初に述べたように、本課通電系は、一定の課通電がしにくいような極端な条件下でのケーブルの劣化を追うことを目的とするものであるから、むしろ、一定の課電あるいは通電ができなくなるという事象を検出できた方がよい。

## 2.4 試料絶縁抵抗測定装置

試料ケーブルの絶縁抵抗は、図1に示されているように、LOCA模擬試験中の予め設定された時間に、課通電を中断して測定される。測定は線芯間を対象とし、3芯のうちの2芯と他の1芯との間に直流の試験電圧を印加して行う。試験電圧については、電気用品取締法では100V以上600V以下、電気設備技術基準では100V、JIS C 3005では100V以上と定められているが、本装置の研究上の目的から考えて、この電圧範囲を含んで、なるべく広い範囲の電圧の印加ができるようになると望ましい。そこで、試験電圧としては、1Vから1000Vまで連続可変で印加できるようにする。

絶縁抵抗の測定範囲は、可能な限り広くとることが望ましいが、1台の測定器で、熱及び放射線により劣化し、しかもLOCA模擬環境という高温高湿の状態に置かれた状態の絶縁抵抗値から、常温における通常の状態での値までをカバーすることはかなり困難である。また、被験体と測定部とがリード線その他の中間機器によって隔てられていることも測定範囲を広げることに対する難点の一つである。本装置は、ケーブルが劣化して絶縁抵抗が低下して行く状況を追うことに主眼が置かれているから、測定できる絶縁抵抗値の下限をなるべく低くとするようとする。電気設備技術基準第14条には、低圧電路の電線相互間および電路と大地の間の絶縁抵抗は、電路の使用電圧が300Vを越えるものについては $0.4\text{ M}\Omega$ 以上なければならないと定められている。従って実証的な意味においては、この程度の抵抗値を測定の下限とすることはできる。ちなみに、米国フランクリン研究所におけるLOCA試験では、 $10^5\text{ }\Omega$ オーダー<sup>6)</sup>の測定では、試験電圧を100V乃至10Vに低下させて行っているようである。絶縁抵抗測定値の上限としては、本装置で扱おうとしている型式及びサイズのケーブルが、大きなもので通常時大体 $10^{12}\text{ }\Omega$ オーダーの低抗値を示すことから、この程度までの高抵抗を測定できることは望ましい。しかしながら、前述したように $10^5\text{ }\Omega$ オーダーから $10^{12}\text{ }\Omega$ オーダーまでという広い範囲を1台の測定器でカバーすることは困難である。また、LOCA試験前の試料については、LOCA試験中とは異なり、リード線などを含めずに、他の測定器によって、直接試料部の高抵抗を測定することも可能である。以上を勘案して、測定範囲としては、通常よく用いられている試験電圧500Vを印加した場合を考えて、 $5 \times 10^5 \sim 5 \times 10^{11} \Omega$  ( $10^{-3} \sim 10^{-9} \text{ A}$ ) を目標とする。

測定は、図1に示されたような予め設定された時刻に自動的に開始され、最大9本のケーブルについて、予め設定された測定時間で、予め設定された順番により自動的に順次行われるよ

うにする。測定結果は記録計及びデータロガに記録される。また手動測定も行えるようにする。

## 2.5 ペネトレーション

ペネトレーションは、圧力容器外から圧力容器内の試料ケーブルに電圧、電流等を歪みなく伝達すると共に、圧力容器内圧を外に漏洩させないという機能を持たなければならない。圧力容器内の環境は、試験しようとする LOCA 模擬条件によって異なる。例えば、加圧水型軽水炉（PWR）の LOCA 模擬条件では、照射を 150 Mrad 程度行うことが要求される場合が多いが、沸騰水型軽水炉（BWR）の場合は、照射線量が少ない。しかし、BWR の LOCA 模擬条件の方が LOCA 前半の高温部の温度が、例えば 171°C というように、PWR のそれに比べて高い場合が多い。本試験装置は、以上を勘案して、図 4 に示すような苛酷な条件での運転ができるように設計されている。従って、ペネトレーションも、200°C という高温、15 atm という高圧、150 Mrad という高線量に耐えるものでなければならない。また、たとえ漏洩があったとしても、それが重大な結果を惹起しないような安全上の方策を講じる必要がある。

圧力容器内のマンドレルには、仕上り外径約 10 mm の電線ケーブルが最大 9 本装荷される。従って、これらの「出」と「入」を考慮すると、ペネトレーションは 18 本の電線ケーブルを貫通させうるものでなければならない。電線のサイズと圧力容器のサイズを考慮して、ペネトレーションフランジを 3 基設け、電線を 3 × 2 本ずつに振り分けるようにする。これら 3 本（出入を考えると 6 本）の電線ケーブルの組と、それに関わるペネトレーション及び課通電装置を一括して、それぞれ、チャンネル 1、チャンネル 2、チャンネル 3 と呼ぶことにする。

ペネトレーションには、大きく分けて、貫通式と端子式という 2 つの機構が考えられる。これらの概念図を図 5 に示す。貫通式は、文字通り、試料ケーブルそのものを、フランジに開けられた孔に通し、圧力容器内の側を未加硫ゴム、テープなどのシール材によってシールするものである。この方式は、構造が簡単であり、また試料電線そのものを貫通させるために、試料部以外での電流の漏洩が課通電や絶縁抵抗測定に影響を与える心配がない。その反面、電線の取り付け作業に手間がかかり、また、シール部分で電線を締め付け過ぎると、この部分で絶縁抵抗が低下するなどの難点がある。一方、端子式では、フランジの開口部に、試料ケーブルそのものではなく導体ピンを貫通させる。開口部はセラミックスなどの不導体によってシールされ、またこれによりフランジと導体ピンとの間を電気的に絶縁する。試料電線の導体は、圧力容器内において導体ピンと接続される。この方式によれば、取り付け作業が簡単で、圧漏れの可能性も減少するが、試料ケーブル以外の部分での電流の漏洩の影響が出てくるおそれがあり、これを防ぐような構造にするためには、かなりの費用がかかる。以上を考慮して、本システムでは貫通式を採用することにする。

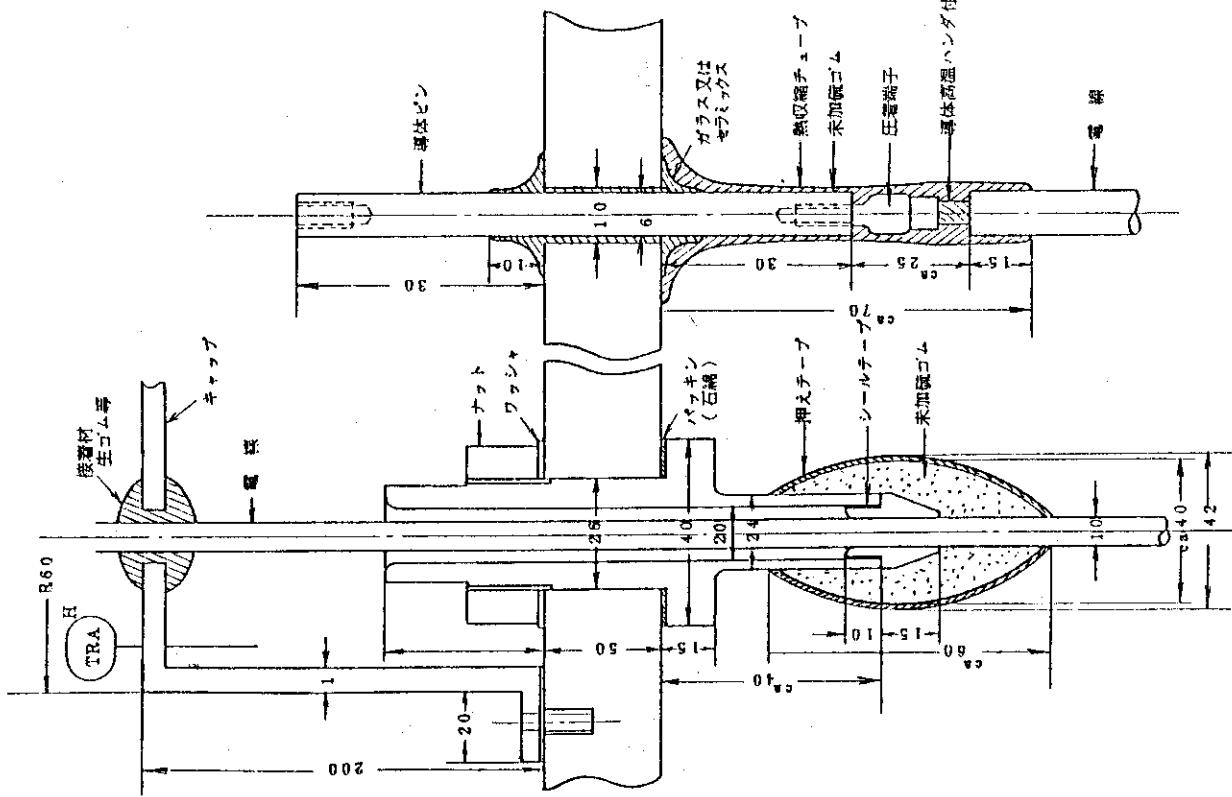


図 5 ペネトレーションの構造の概念図  
貫通式（左図） 端子式（右図）

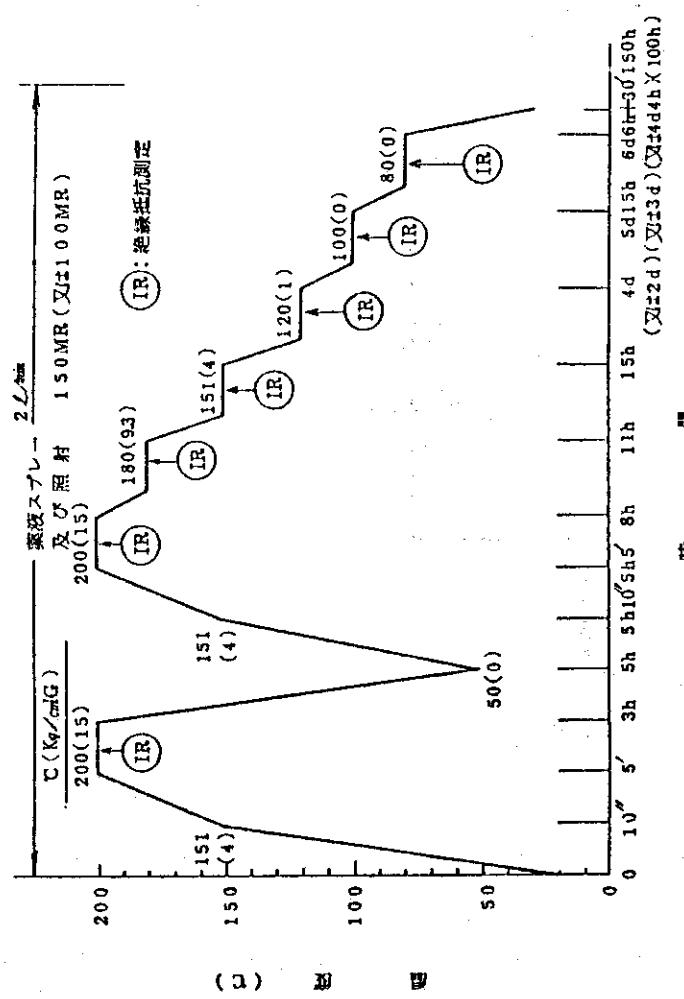


図 4 SEAMATE-II の設計基準プログラム  
(文献 4 より引用)

### 3. 製作仕様と性能

#### 3.1 課通電装置

##### 3.1.1 課通電の方式

課電電圧及び通電電流の最大値は、試料ケーブル1本につき600V, 90Aである。従つて、この課通電を通常の変圧器を用いて行うとすると、 $600V \times 90A = 54\text{KVA}$ 級の変圧器が9台必要となり、莫大な費用と、多大なスペースを要することになる。そこで、本装置では、課電と通電とを別々に行う方式をとった。この方式の概念図を図6に示す。この方式では、課電には通常の変圧器を用い、通電に関しては、1次コイルの中に2次側の電線を貫通させ、この電線に誘導電流を流すという方式の「貫通電流変圧器」を用いた。

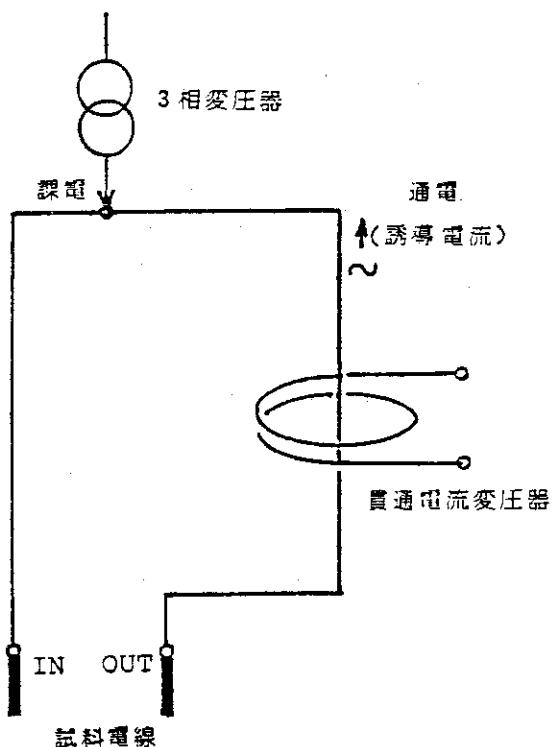


図6 課通電方式の概念図

##### 3.1.2 課電回路

###### (1) 課電回路の構成

課電用トランスとしては、3相、1次側200V、2次側600V、容量1KVAのものを

9基設置した。また、2次電圧の調節のために、課電用トランス1次側入力を0～200Vの範囲で調整する誘導電圧調整器を課電用トランス1次側に設けた。試料ケーブル1本に対する課電用回路の結線図を図7に示す。本実験計画では、当初、同種の試料ケーブル3本を1組として試験に供することになっていたため、課電電圧は少なくともケーブル3本について同じであるところから、課電用トランス3基に対して共通の誘導電圧調整器が1基ずつ設けられている。同種の試料ケーブル3本を1組としたのは同じ電線メーカーの同じ製品番号のケーブルでも、製品によってバラツキがあるかも知れないということを考慮して、再現性、試験の信頼性を高めることを目的としたものである。しかしながら、このLOCA模擬試験は図1を見てても分るように、かなり長い時日を要するものである上に、原子炉用電線メーカー6社のケーブルを試料として使用していることから、現状では、1種類1本のケーブルを実験に供している。従って、課電にあたっては、同じ定格電圧の試料ケーブル3本を1組として、同一チャンネルに結線することにしている。理想的には、同種のケーブル複数を試験に供することが望ましく、後述するように課電用トランス3基に対して共通の誘導電圧調整器1基でも、充分に機能を果すので、この回路構成は、基本的には誤っていないが、実験計画あるいは試験基準いかんでは、個々の課電用トランスについてそれぞれ誘導電圧調整器を設けることも考えなければならない。

### (ii) 課電用トランスの結線

一般に、本装置のような課電を目的とするトランスでは、△-Y(2次側がY)結線あるいはY-△(2次側が△)結線のものが用いられる。これらの2次側の結線の例を図8に示す。本装置では図8(a)に示すように、2次側をY結線とし、その中心点を1KΩ程度の抵抗を通して接地した(図7)。この抵抗は、地絡が生じた場合の地絡電流を小さく抑えるために入れた。2次側をY結線にしたのは以下の理由による。

- ・中心点を接地すると各導体の対地電圧V<sub>ce</sub>は、

$$V_{ce} = 600V / \sqrt{3} = 346.4V$$

となり、図8(b)に示すような△結線にした場合の600V(接地した導体については0V)に比べ低いので、安全上有利である。

- ・各導体に平等に対地電圧がかかるので、3芯の導体のうち、どの導体と大地間の絶縁低下が起こっても、漏洩電流として検出できる。△結線にした場合、接地した導体と大地間の絶縁低下は検出できない。

一方、米国における原子力プラント用ケーブルの公的機関としての性能試験のほとんどを行っているフランクリン研究所では、△結線を採用している<sup>6)7)</sup>。これは、図8(b)に示したように、補償導線のようなものを試験する時には有効である。即ち、補償導線のシールド線と大地間は絶縁抵抗が低下しやすいので、これを接地し、残りの2芯に600V対地電圧をかけるようすれば、安全上有利になる。実際、2次側Y結線を採用した我々の装置を用いて補償導線の試験を行った際、課電トリップが起きたことがあった。これは、LOCA模擬試験中に絶縁材から浸出してくる液体を採取するためにケーブル内に埋め込んだ金属製パイプが、シールド線及び大地に接触したためであったことが、試験後の調査で判明した。

本装置は、原則として3芯ケーブルを対象としている。また、単にLOCA環境に対するケーブルの合否を試験するだけではなく、種々の実験研究を目的としたものである。従って、予

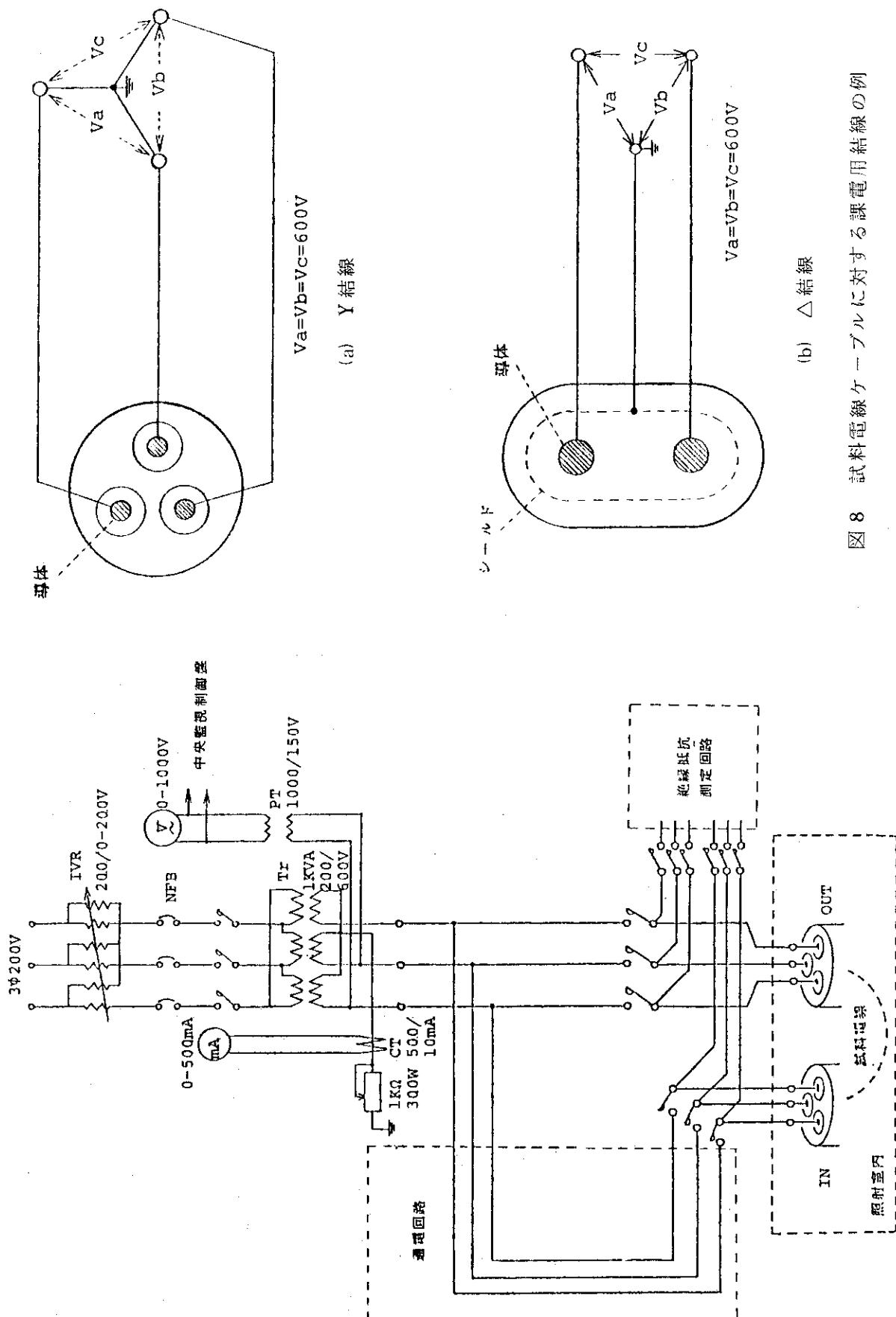


図 7 試料回路の結線図(試料ケーブル 1 本に対するもの)

図 8 試料電線ケーブルに対する課電用結線の例

め定められた時間に行われる絶縁抵抗測定によって導体-導体間の絶縁抵抗の変化を追うと共に、漏洩電流を監視することによって導体-大地間の絶縁低下を検出できるようにしておくことが望ましい。それ故、課電用トランスに△-Y結線を用いたということは当を得たものであるということが言える。今後、補償導線や同軸ケーブルなどのシールドのついた電線をも対象とするようになった場合には、Y-△結線のものも用意した方が良いかも知れない。

### 3.1.3 通電回路

#### (i) 通電回路の構成

図9(a)に通電用回路の結線図を、(b)に、これに用いた貫通電流変圧器(東洋計器株式会社製)の写真を示す。通電電流の調節は、貫通電流変圧器の1次側(0~200V)にスライダック(SVR, 200V/0~200V)を入れて行う。また、回路には、試料ケーブル3芯に対するリード線3本一括で通電電流を計るための変流器(CT)を入れてある。

#### (ii) 貫通電流変圧器の容量の決定

貫通電流変圧器の容量を決定するために、2次側負荷を計算する。負荷には、抵抗分Rとリアクタンス分Xがあり、全負荷|Z|は次式で表される。

$$\begin{aligned}|Z| &= |R + jX| \\&= \sqrt{R^2 + X^2}\end{aligned}\quad (1)$$

図10(a)に、貫通電流変圧器2次側の構成を示す。最初に抵抗分Rの計算を行なう。抵抗分の構成は図10(b)のようになる。ここで、リード線の導体の温度は通電による温度上昇を考慮して90°Cとした。また、試料ケーブルの導体温度は、圧力容器内最高温度の200°Cとした。<sup>8)</sup> 20°Cにおける最大導体抵抗としては、次の値を用いることとした。

$$R_1 (600V CV) \dots 8\text{mm}^2 \text{につき } 2.36\Omega/\text{km}$$

$$R_2 (3.3KV CE) \dots 8\text{mm}^2 \text{につき } 2.31\Omega/\text{km}$$

$$R_3 (600V CV) \dots 2\text{mm}^2 \text{につき } 9.42\Omega/\text{km}$$

$R_3$ については、実際に、試料ケーブルとしてCVケーブルを供試するわけではないが、同じ公称断面積を持つ導体の抵抗に大差はないので、この値を用いる。従って、20°Cにおける各抵抗分は次のようになる。

$$R_1 (20^\circ\text{C}) = \frac{2.36 \times 6}{3 \times 1000} = 0.00472 \quad (\Omega)$$

$$R_2 (20^\circ\text{C}) = \frac{2.31 \times 30}{3 \times 1000} = 0.0231 \quad (\Omega)$$

$$R_3 (20^\circ\text{C}) = \frac{9.42 \times 6}{3 \times 1000} = 0.0188 \quad (\Omega)$$

温度と抵抗との間には、よく知られているように次式が成り立つ。

$$R = R_0 \{ 1 + \alpha (t - t_0) \} \quad (2)$$

ただし、 $R$  :  $t$  (°C)における抵抗、 $R_0$  :  $t_0$  (°C)における抵抗、 $\alpha$  : 抵抗の定質量温度係数。

$\alpha$ の値として最も多く実用されるのは万国電気工芸委員会制定の標準軟銅抵抗の定質量温度係数で、20°Cにおいては、

$$\alpha_0 = 1 / 254.45 = 0.00393 (1/\text{°C}) \quad (3)$$

である。 $\alpha$ と温度  $t$  との間には次のような関係がある。

$$\alpha = \frac{1}{254.45 + (t - 20)} \quad (4)$$

(2)式は、大体10～100°Cの間でよく成り立つ。ここでは200°Cにおける抵抗の計算が要求されているが、(4)式から分るように、 $\alpha$ の値は温度の上昇とともに減少するので、 $\alpha$ の値として20°Cにおけるものを用いることによって、 $R$ を小さく見積ることがないようにして(2)式を適用することにする。従って、計算には次式を用いる。

$$R(t\text{ °C}) = R(20\text{ °C}) \times \{ 1 + 0.00393(t - 20) \} \quad (5)$$

これにより、各抵抗分は次のように求められる。

$$R_1(90\text{ °C}) = 0.00472 \{ 1 + 0.00393(90 - 20) \} = 0.00602 (\Omega)$$

$$R_2(90\text{ °C}) = 0.0231 \{ 1 + 0.00393(90 - 20) \} = 0.0295 (\Omega)$$

$$R_3(200\text{ °C}) = 0.0188 \{ 1 + 0.00393(200 - 20) \} = 0.0321 (\Omega)$$

よって、全抵抗分は次のように求められる。

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 0.0676 (\Omega) \quad (6)$$

次に、リアクタンス分Xの計算を行なう。リアクタンスは貫通電流変圧器の2次側回路の自己インダクタンスLによって生じる。図10(c)に示すような任意の回路Cの自己インダクタンスLは、C上の線分要素相互間の積分、

$$L = \frac{\mu}{4\pi} \int_C \int_C \frac{ds ds'}{|r - r'|} \quad (7)$$

で与えられる。ここで $\mu$ は透磁率である。ただし、この積分は $r \rightarrow r'$ という極限において発散するので、線分の太さを考慮しなければならない。自己インダクタンスは元来閉回路に対してのみ意味を持つが、図10(d)に示すように回路Cの一部 $C_i, C_k$ をとって、

$$L_{ik} = \frac{\mu}{4\pi} \int_{C_i} \int_{C_k} \frac{ds_i ds_k}{|r_k - r_i|} \quad (8)$$

を計算し、回路Cの自己インダクタンスLをそれらの総和として、次のように計算することができる。<sup>10)</sup>

$$L = \sum_{i,k} L_{ik} = L_{11} + L_{22} + \dots + L_{nn} + 2(L_{12} + L_{13} + \dots + L_{n-1,n}) \quad (9)$$

そこで、貫通電流変圧器の2次側回路を、図10(d)に示すように4つの部分 $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ に分け、次式で表されるLを計算する。

$$L = L_{11} + L_{22} + L_{33} + L_{44} + 2(L_{12} + L_{13} + L_{14} + L_{23} + L_{24} + L_{34}) \quad (10)$$

但し、 $C_2$ 及び $C_4$ の部分は、簡単のために、すべて $8 \text{ mm}^2 \times 3 = 24 \text{ mm}^2$ の導体であるとした。最初に、図10(e)に示すように、長さ4mの $2 \text{ mm}^2 \times 3$ 心のケーブルを直径400mmのマンドレルに3ターン巻きした部分 $C_3$ の $L_{33}$ を求める。これを、半径Rで、幅 $\ell$ の間に、細い導線を密接してN巻きした単層円筒形コイルの自己インダクタンスで近似する。ここで、

$$R = 0.20525 \text{ (m)}$$

$$\ell = 0.0258 \text{ (m)}$$

$$N = 3$$

とする。このようなコイルの自己インダクタンスは次式で与えられる。<sup>9)</sup>

$$L = 10^{-7} \lambda \{ (2\pi RN)^2 / \ell \} \quad (11)$$

ここで、 $\lambda$ は長岡係数で、 $2R/\ell = 1.591$ に対する値は、

$$\lambda = 0.16$$

である。従って $L_{33}$ は次のように求められる。

$$\begin{aligned} L_{33} &= 10^{-7} \times 0.16 \times \{ (2\pi \times 0.20525 \times 3)^2 / 0.0258 \} \\ &= 9.28 \times 10^{-6} \text{ (H)} \end{aligned} \quad (12)$$

次に、 $C_2$ 及び $C_4$ の部分の寄与を図10(f)に示すような単線方形輪で近似する。このような方形輪の自己インダクタンスは次式で与えられる。<sup>9)</sup>

$$\begin{aligned} L &= 4 \times 10^{-7} \{ (a+b) \log_e (2ab/r) - a \log_e (a+g) - b \log_e (b+g) \\ &\quad + 2(g+r) - (2-\delta)(a+\delta) \} \end{aligned} \quad (13)$$

但し、 $g = \sqrt{a^2 + b^2}$ 。 $\delta$ は周波数補正係数で、直流に対しては0.25、周波数が大きくなるとともに小さくなる。ここでは、 $\delta = 0.25$ を用いる。今、図10(d)より、 $a = 1.9 \text{ (m)}$ ,  $b = 0.035 \text{ (m)}$ 。また、断面積 $24 \text{ mm}^2$ に相当する円断面の半径を考えて、

$$r = \sqrt{\frac{24 \times 10^{-6}}{\pi}} = 2.76 \times 10^{-3} \text{ (m)}$$

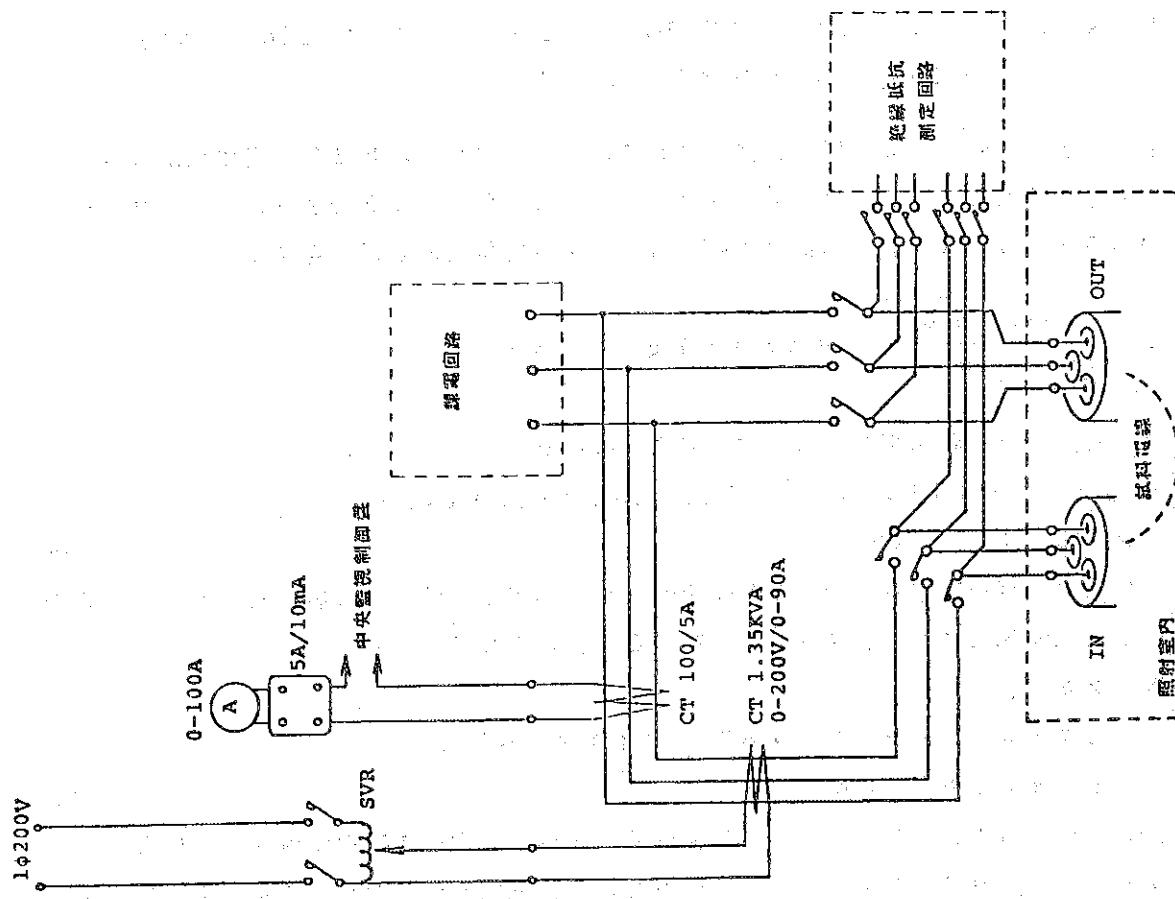
とすると、 $C_2$ 及び $C_4$ の部分の寄与は次のようになる。

$$\begin{aligned} L_{22} + L_{44} + 2(L_{12} + L_{13} + L_{14} + L_{23} + L_{24} + L_{34}) \\ = 2.11 \times 10^{-5} \text{ (H)} \end{aligned} \quad (14)$$

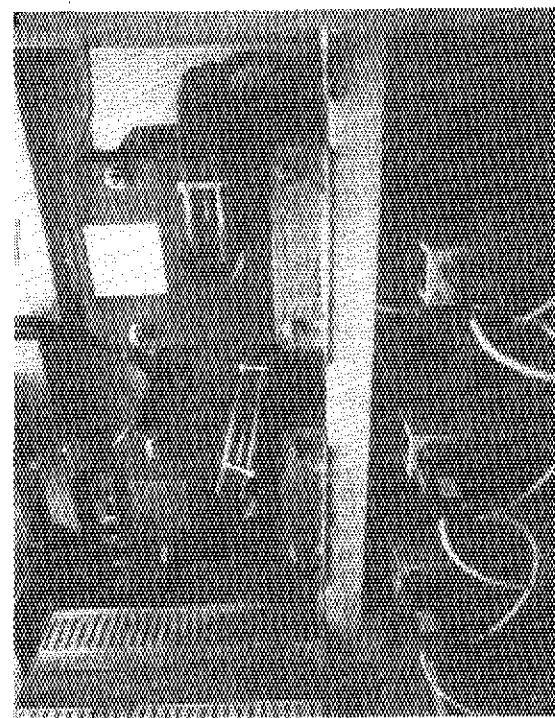
$L_{11}$ については、貫通電流変圧器の2次側を何ターンにするかによって値が異なる。今、この部分については無視してリアクタンスを計算すると次のようになる。

$$\begin{aligned} X &= 2\pi f L \\ &= 2\pi \times 50 \times (9.28 \times 10^{-6} + 2.11 \times 10^{-5}) \\ &= 9.54 \times 10^{-3} \text{ (\Omega)} \end{aligned} \quad (15)$$

(6)式と(15)式を比べると、リアクタンス分は抵抗分に比べて、大体1桁程度値が小さいことが分かる。リアクタンスの計算において、 $L_{11}$ を無視したり、近似を行ったり、また、実際にはマン

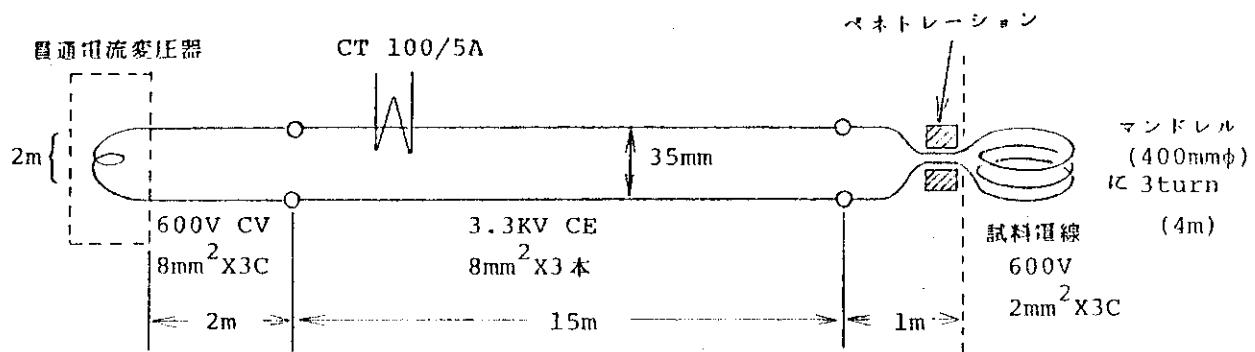


(a) 結線図（試料ケーブル 1 本に対するもの）

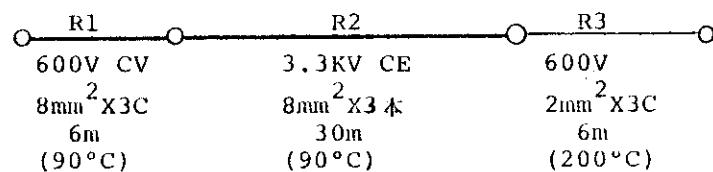


(b) 貨通電流変圧器

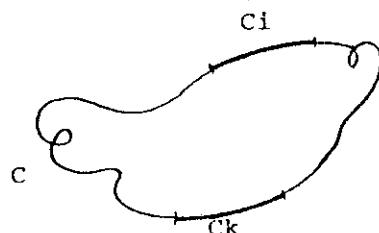
図 9 通電回路



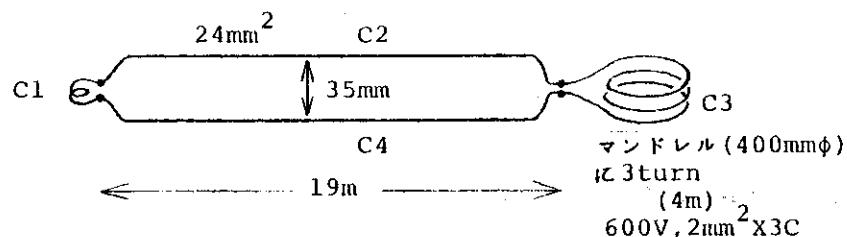
(a) 貫通電流変圧器 2次側負荷の計算



(b) 抵抗分の構成



(c) 自己インダクタンス L を持つ任意の閉回路



(d) リアクタンス分の構成

図10 貫通電流変圧器 2次側負荷の計算

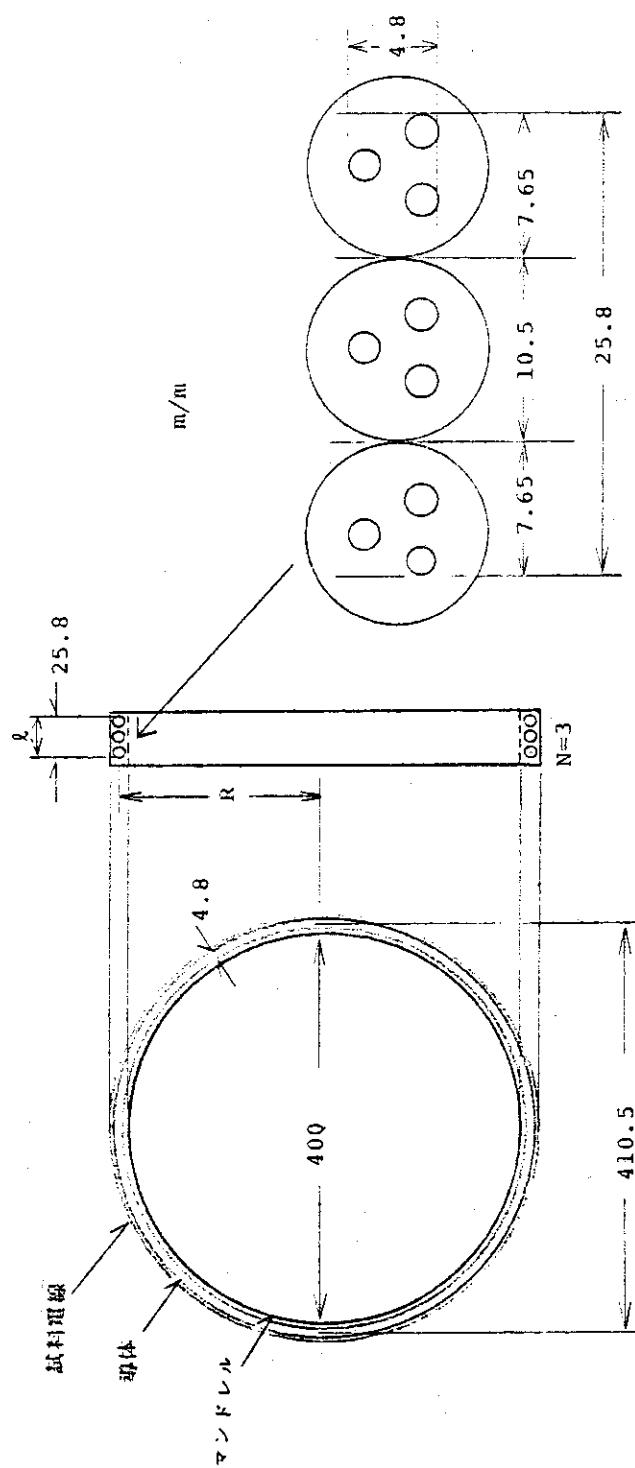
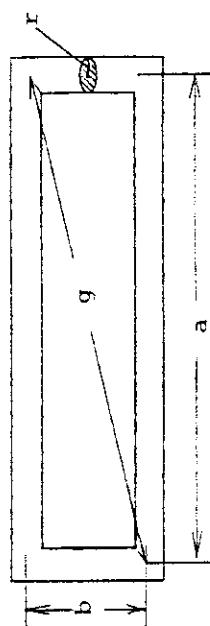
(e)  $C_3$  の自己インダクタンスの計算 (単層円筒形コイルの自己インダクタンスで近似)(f)  $C_2$  及び  $C_4$  の部分の寄与 (单線方形輪の自己インダクタンスで近似)

図 10 貨通電流変圧器 2 次側負荷の計算

ドレルなどの磁性体があるにもかかわらず、回路近辺には磁性体がないものとしてきたが、リアクタンス分の全負荷に対する寄与がそれ程大きくなないので、あまり大きな誤差は生じないとと思われる。これについては、貫通電流変圧器の容量を決める最後の段階で充分余裕を見ることにより補うものとする。(6)式と(15)式を(1)式にあてはめて、全負荷は次のように求められる。

$$|Z| = 0.0683 \quad (\Omega) \quad (16)$$

従って、回路のケーブルによる電圧降下  $V_C$  は、最大 90 A の電流を流した場合、

$$V_C = 90 \times 0.0683 = 6.15 \quad (V) \quad (17)$$

である。図 9(a)に示したように、通電回路には、40 V A, 120 A / 5 A の変流器 (CT) が入れてある。この CT の自己損失は 3.75 V A (メーカー提出値) であるから、全負担は、

$$40 + 3.75 = 43.75 \quad (VA)$$

となる。従って CT の 1 次側に 120 A の電流を流した時の電圧降下は、

$$43.75 / 120 = 0.365 \quad (V)$$

であるが、最高 90 A までしか流さないので、回路に CT を入れることによる電圧降下  $V_{CT}$  は、

$$V_{CT} = 0.365 \times \frac{90}{120} = 0.274 \quad (V) \quad (18)$$

以上から、貫通電流変圧器 2 次側に 90 A の電流を流すために必要な電圧は、

$$\begin{aligned} V &= V_C + V_{CT} \\ &= 6.15 + 0.274 \\ &= 6.42 \quad (V) \end{aligned} \quad (19)$$

従って、最悪条件でも 90 A, 7 V 程度の容量を見込めばよいが、充分に余裕を見て、

$$90 A \times 15 V = 1.35 KVA$$

の容量の貫通電流変圧器を用いることにした。

### 3.1.4 電圧・電流の測定・監視と精度

#### (i) 漏洩電流の測定・監視

試料ケーブルの芯線と大地との間の漏電は、図 7 に示すように、課電用トランス 2 次側の中性点と大地との間に変流器を入れ、試料漏電電流計によって測定する。圧力容器及びマンドレルは接地してあるので、マンドレル巻付け部分やペネトレーション部分において漏電が生じた場合、これによって検出できる。電流計のレンジは、0 ~ 500 mA とした。これは、電気設備基準第 14 条 2 項に「低圧の電線路（引下げ線を含む。）中絶縁部分の電線と大地との間の絶縁抵抗（多心ケーブル、引込み用ビニル絶縁電線または多心型電線にあっては、心線相互間および心線と大地との間の絶縁抵抗）は、使用電圧に対する漏洩電流が最大供給電流の 2,000 分の 1 をこえないように保たなければならない。」と定められており、本装置における最大供給電流が 90 A であるから、許容される漏えい電流は 45 mA であるが、本装置の目的から考えて、それより 1 衡程度大きいレンジにしたものである。電流計は、H 接点付のものを選び、この接点信号によって、中央監視制御盤に「試料漏電」の警報を出させるとともに、当該試料

ケーブルの課通電をトリップさせるようにした。H接点の電流値としては、試料ケーブルの種類にもよるが、大体の場合 100 乃至 200 mA に設定した。測定の記録は、2時間毎の巡回点検時に行うこととした。

### (II) 試料電圧及び電流の測定・監視と精度

図 7 及び図 9(a)に示すように、レンジ 0 ~ 1000 V の電圧計とレンジ 0 ~ 100 A の電流計によって、試料への課電電圧及び通電電流を測定する。電圧計への入力は、変圧器 PT (1000 / 150 V) によって、0 ~ 150 V に下げられて送られる。この信号はまた、中央監視制御盤に送られて、記録計 VR によって記録が行われる。電流計への入力は、変流器 CT (100 / 5 A) によって 0 ~ 5 A に下げられて送られる。この信号はまた、更に 0 ~ 10 mA に下げられて中央監視制御盤に送られ、記録計 IR によって記録が行われる。電圧計及び電流計としては 2 接点 (H, L) 付のものを選び、この接点信号により、中央監視制御盤に「過電圧」「過電流」及び「電圧低」「電流低」の警報を出させると共に、過電圧あるいは過電流となった時には、当該試料ケーブルの課通電をトリップさせるようにした。また、記録計の接点を用いて、試料ケーブル 9 本一括で、「試料電圧高」「試料電流高」の警報を出させるようにした。試料の電圧・電流(特に電流)は、図 1 あるいは図 4 に示したように、温度プロファイルに従って、圧力容器内温度が上昇あるいは下降する時変動するが、これは予知できるので、その都度調整を行うことにした。また、試料が極端に劣化した場合も変動するが、警報や定時監視点検等により検知し、調整を行っている。上記のような場合以外では、ほぼ一定の課通電が可能で、変動幅は電圧、電流それぞれ、600 V 設定に対して ±15 V 以内、86 A 設定に対して ±2 A 以内で、精度は設定値の 2.5 % 以内におさまった。

### 3.2 試料絶縁抵抗測定装置

#### 3.2.1 試料絶縁抵抗測定装置の構成

##### (i) 本体高絶縁抵抗計

本体の電圧印加・測定部には、大倉電気株式会社製高絶縁抵抗計（直流漏れ電流測定器）YXP351203を用いた。図11にこの抵抗計のブロックダイヤグラムを示す。各主要部分の機能及び性能は下記の通りである。

###### a) 高圧電源部（高圧レギュレータ内蔵）

- ・設定電圧範囲 1～1000VDC パーニヤダイヤル（連続可変）1000分割目盛付
- ・設定値安定度 安定度±0.01%（電源電圧±10%の変動に対して）  
負荷変動 0.05%（無負荷対全負荷）  
温度係数 0.03%/°C以下（使用温度範囲0～40°C）
- ・出力電流 2mA以下（0～1mA電流計付）
- ・過負荷保護回路 出力電流±6mA以上流れた場合に動作し電源部を保護する。
- ・電源電圧 AC100V 50Hz
- ・テストターミナル付

###### b) LOG AMP部

- ・入力  $10^{-9} \sim 10^{-3}$  A（但し、 $3 \times 10^{-9}$  A以下は出力を0Vにカットオフ）
  - ・出力 0～10V
  - ・演算式
- $$V_o = \frac{10}{6} \log_{10} \frac{I_{in}}{10^{-9}} \quad \begin{array}{l} I_{in} : \text{入力電流} \\ V_o : \text{出力電圧} \end{array}$$

- ・電源 AC100V 50Hz

- ・精度 ±1.0% FS

###### c) V/I変換器（AX3000）

- ・入力 0～10V
- ・出力 4～20mA
- ・電源 AC100V 50Hz
- ・精度 ±0.5% FS

##### (ii) 周辺機器

図12に、試料絶縁抵抗測定系及び課通電回路との切換の結線図を示す。試料ケーブルと接続し、測定回路までリードする電線は、試料ケーブルの3芯のうちの1芯ずつに対してそれぞれ3.3KV級1芯 $8mm^2$ のCEケーブルを用いた。これは、試料ケーブルよりはるかに低い導体抵抗と、はるかに高い絶縁抵抗を持つリード線を用いることにより、リードによる誤差を小さく抑えることを目的としたものである。

課通電回路との切換は、図12のリレーA及びリレーBによって行われる。中央監視制御盤からの「測定開始」の信号により、リレーAが開き、次いでリレーBが閉じる。本装置は、9

本の試料ケーブルのうちのいずれかが絶縁抵抗測定中である時には、9本すべての課通電を中断する方式（モード1と呼ぶ）と、測定が行われるケーブルが属するチャンネル（試料3本が1チャンネル）のケーブルのみ課通電を中断する方式（モード2と呼ぶ）のいずれでも選択できるようになっている（後述）。リレーA、Bについては、この部分での絶縁抵抗が低いことによって、試料ケーブルの絶縁抵抗測定値に誤差を生じるということがないよう特別な配慮がなされた。図13は、このリレーの写真である。接点間の距離を充分にとることにより、沿面漏れ電流を防ぐような構造になっていることが分る。

### 3.2.2 試料絶縁抵抗測定装置の性能

高絶縁抵抗計の測定可能範囲は、前項で述べたように、

$$3 \times 10^{-9} \sim 10^{-3} \text{ A}$$

である。しかしながら、 $6 \times 10^{-9}$  A以下の微小電流測定においては、周辺の温度及び湿度の影響によって測定系にドリフトが生じ、測定値が大きくばらつく。従って、この計器が、前項に述べた精度を確保できる測定可能範囲は、

$$6 \times 10^{-9} \sim 10^{-3} \text{ A}$$

であった。これは500Vの試験電圧を印加した場合、

$$5 \times 10^5 \sim 8.33 \times 10^{10} \Omega$$

に相当する。

次に、リード線やリレー回路が、測定に及ぼす影響について調べた結果について述べる。図14に測定系の構成の概念図と測定点を、表1に各測定点に基準抵抗を結線し、500Vの試験電圧において測定を行った結果を示す。測定値は、中央監視制御盤上のレコーダーに記録された印加時間対抵抗曲線から1分値を読み取った。高絶縁抵抗計の測定端子M<sub>1</sub> M<sub>2</sub>間に抵抗を接続した場合の測定値が、リレー回路の入力側Ro-Si間、Ri-To間、及びリード線の試料側末端Ro-Si間のそれぞれに抵抗を接続した場合の値に比べて若干大きめであるものの、顕著な差は見られず、リレー回路あるいはリード線の絶縁抵抗測定値に与える影響は、小さく抑えられていることが分った。

図15に、1ヶ月間のPWR用LOCA模擬試験において、原子炉用電線配合組成のケーブルの線芯間絶縁抵抗の変化を調べた結果の一例を示す。本装置を用いると、このように、LOCA中に電線の絶縁性能がどのように変化し、その健全性が保たれているか否かを、時間を追って観察することができる。図中の○印が、本項で述べた高絶縁抵抗計からの信号をレコーダーに記録させた結果である。図中の□印及び△印は、図右上に示すように、それぞれ、試料ケーブル末端で直接に、あるいはリード線を含んで間接的に測定したもので、測定には東亜電波工業株式会社DSM-515A型ディジタル超絶縁計を用いた。この測定器の測定可能範囲は、印加電圧が500Vの場合、

$$1 \times 10^7 \sim 1 \times 10^{13} \Omega$$

で、本項で述べた高絶縁抵抗計ではカバーできない高抵抗領域の測定が行える。測定点Aは照射室内にあるため、照射中の測定をA点で行うことはできないが、B点は照射室外なので、隨時測定可能である。前述したようにリード線による影響は、 $10^{10} \Omega$ 程度までは小さいことが

分っているが、図15から明らかなように  $10^{11} \Omega$  程度の高抵抗でもA点とB点との測定値に大差はなく、リード線の影響を無視してよいことが分る。そこで、高絶縁抵抗計での測定値がスケールアウトしたり、あるいは  $8 \times 10^{10} \Omega$  程度以上となってドリフト範囲に入った場合は、このディジタル超絶縁計を用いてB点において測定を行い、データを補うことにしている。

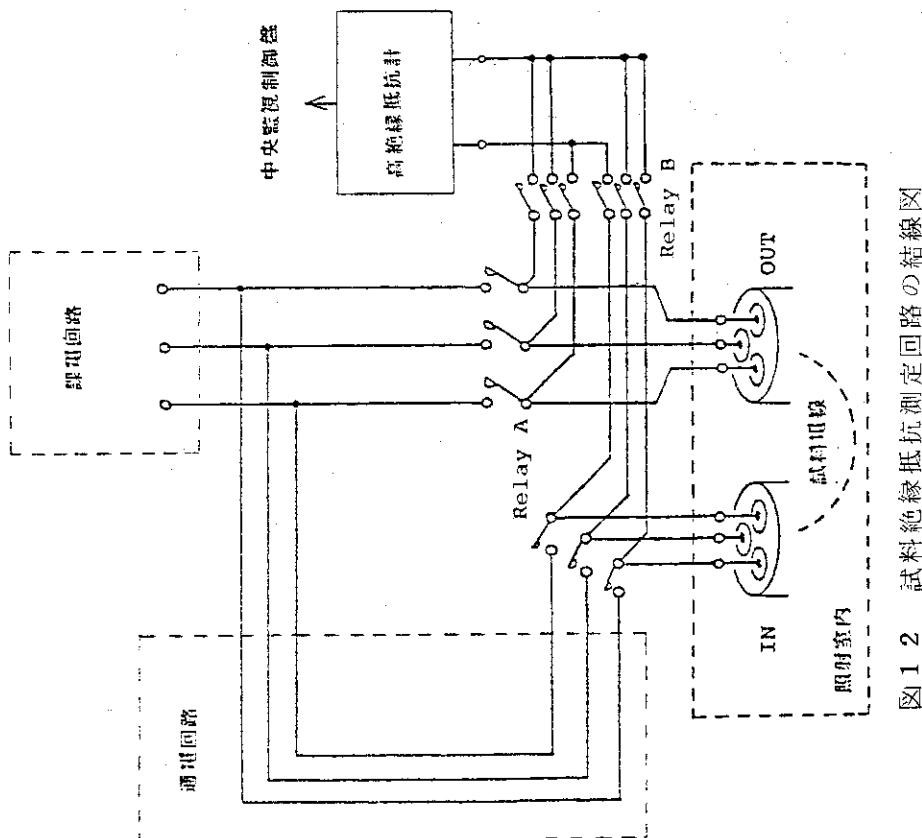


図 1 2 試料絶縁抵抗測定回路の結線図

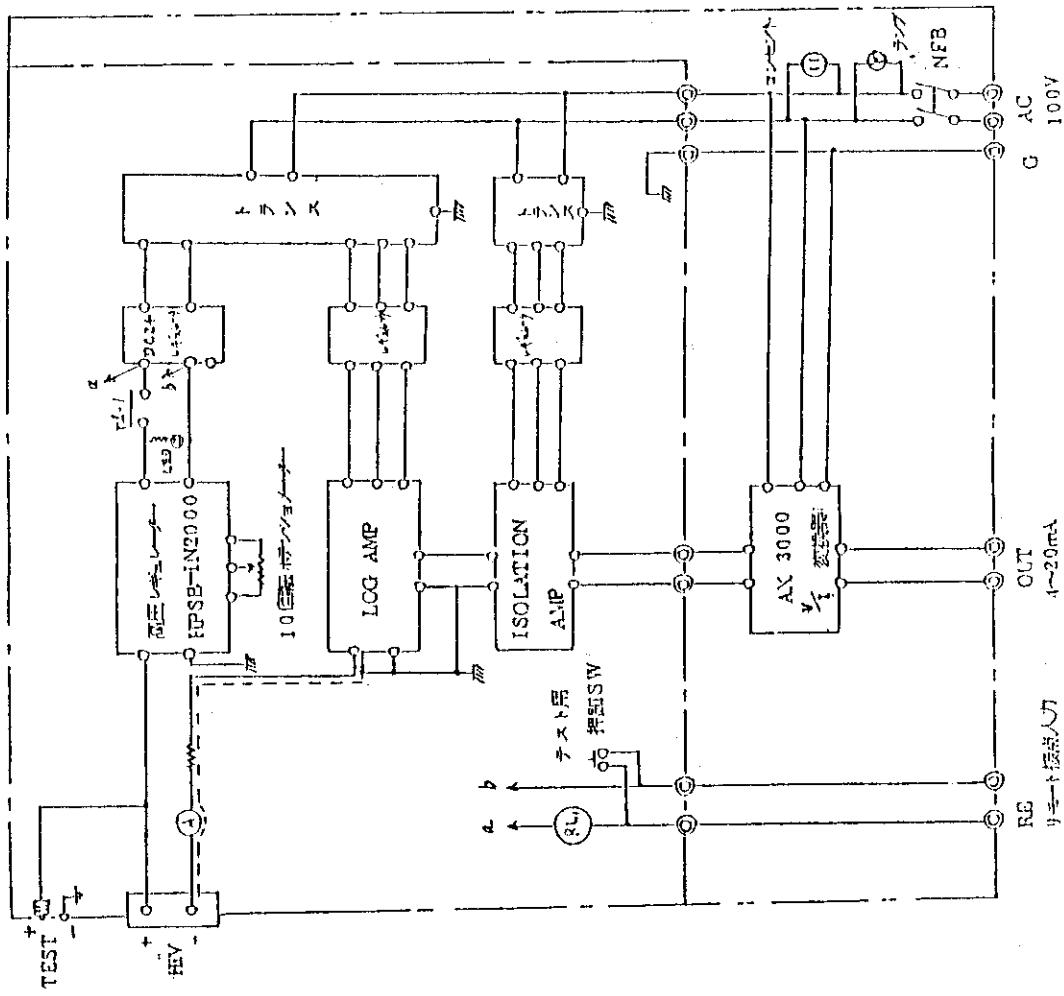


図 1 1 高絶縁抵抗計のプロックダイヤグラム

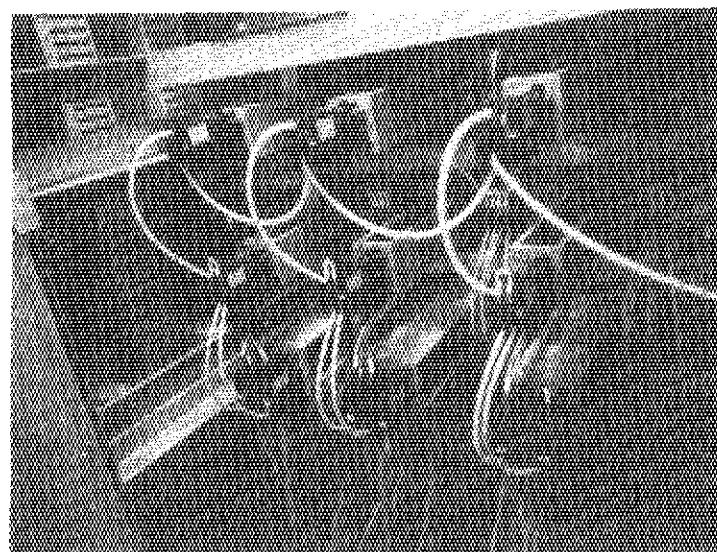


図13 試料絶縁抵抗測定回路用リレー

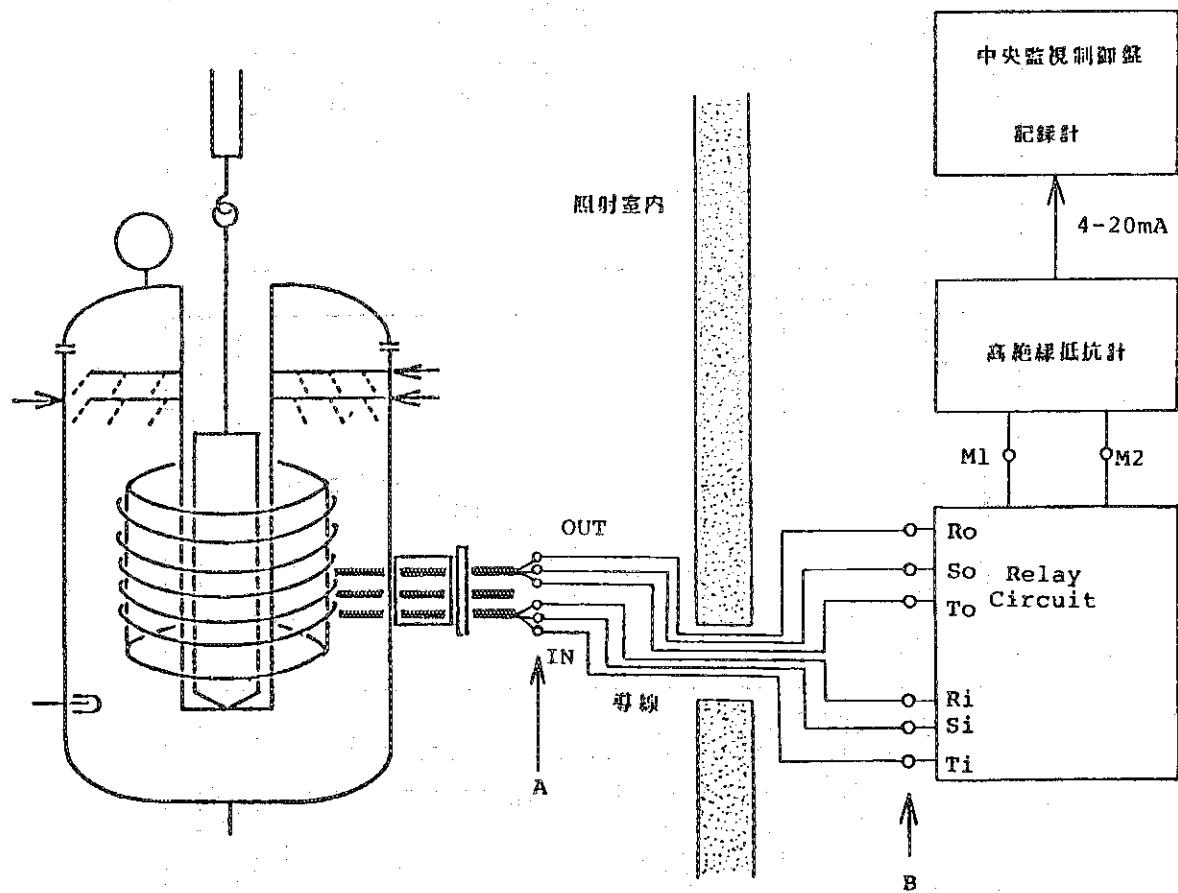


図14 試料絶縁抵抗測定系の構成と測定点

表 1 基準抵抗を用いた絶縁抵抗測定の較正（試験電圧 500 V, 単位は MΩ）  
基準抵抗の結線位置

M<sub>1</sub> - M<sub>2</sub> : 高絶縁抵抗計測定端子

A : リード線試料側末端

B : リレー回路リード線接続部端子

Standard (MΩ)	M <sub>1</sub> -M <sub>2</sub>	B(R <sub>0</sub> -S <sub>0</sub> )	B(R <sub>t</sub> -T <sub>0</sub> )	A(R <sub>0</sub> -S <sub>0</sub> )
10000	11000	9900	9900	9900
8000	8500	7800	7800	7700
4000	4100	4000	3900	3900
1000	1000	1000	990	990
400	410	400	400	390
100	102	100	100	100
50	52	50	50	50

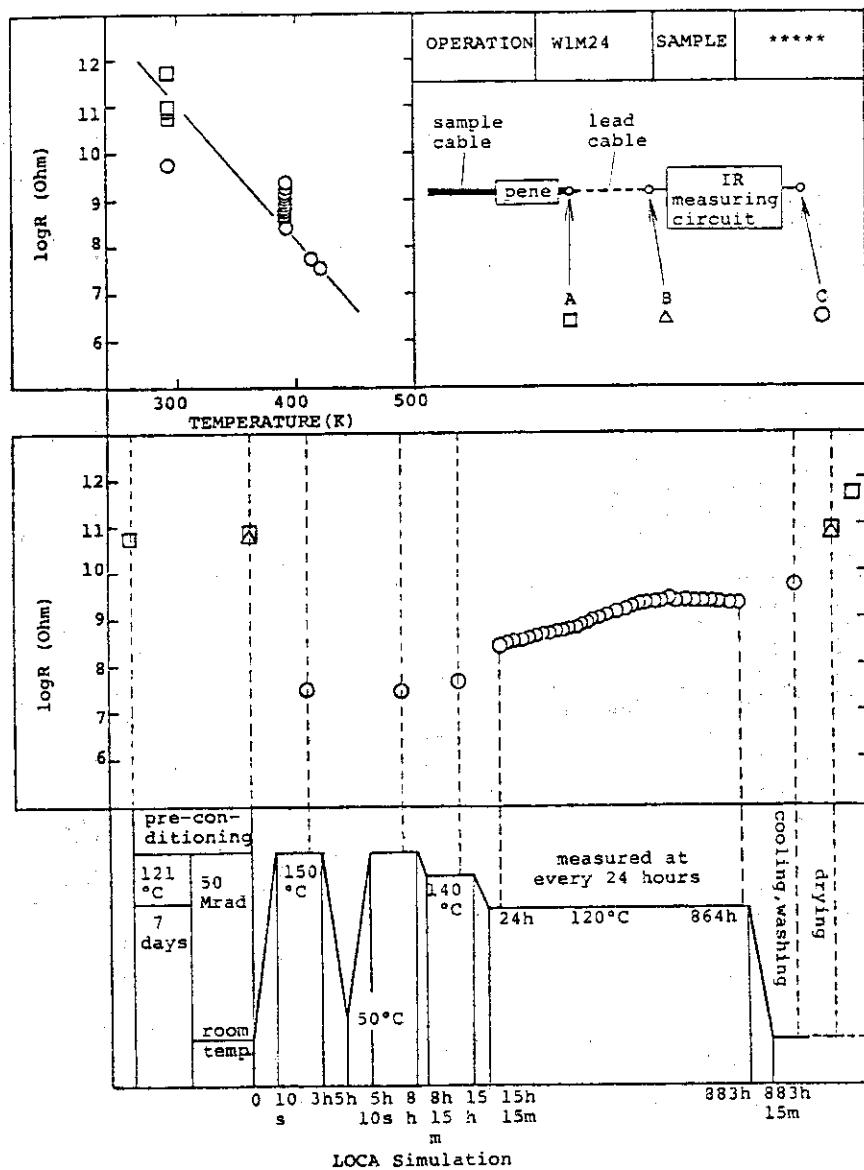


図 1 5 PWR 用 LOCA 模擬試験におけるケーブル線芯間絶縁抵抗の変化の一例

### 3.3 システム構成

#### 3.3.1 課通電・絶縁抵抗測定のインターロック・シーケンス

##### (i) 機能

試料電線ケーブルへの課通電及び絶縁抵抗測定のインターロック・シーケンスシステムは以下の機能を持つ。

- ・試料電線取扱い作業時等における安全確保。
- ・結線されたケーブルに対して課通電の命令を出す。
- ・予め定められた時刻に、絶縁抵抗測定開始の命令を出す。
- ・測定されるべきケーブルの順番を指定する。
- ・すべてのケーブルへの課通電の中止を命令する（モード1）。あるいは、測定されるべきケーブルが属するチャンネルの課通電の中止を命令する（モード2）。
- ・課通電が中止されてのち、所定の時間間隔（ディレー）をおいて、最初の測定を開始する。
- ・予め定められた時間測定を行ったのち、所定の時間間隔（ディレー）をおいて、予め定められた順序で次のケーブルの測定に移行する。
- ・測定されるべきすべてのケーブルについて上記の操作を行い、これが終了した時点で測定終了の信号を出す。
- ・測定が終了したのち所定の時間間隔（ディレー）をおいて、中断していた課通電の再開命令を出す。
- ・課通電の停止命令を出す。
- ・以上の操作は、手動でも行える。

##### (ii) 機器の構成

上記の目的のために用いられる機器とその機能は以下の通りである。

###### ・計装盤及びリレーロジック回路

キースイッチ（KS），切換スイッチ（COS），押釦（PB），ランプ，測定時間設定タイマー（TM），及びリレー回路より成り、電線取扱い作業の安全確保、種々の設定・切換、回路の保護を行う。

###### ・プログラム設定器（HAMAX製）

予め定められた時刻に、自動測定開始の命令を出す。この機器は、図1や図4に書かれた温度プロファイルを実現するための機能も有している。<sup>11)</sup>

###### ・シーケンスプログラマ（立石製LDA15-LN）

図16に示すようなピンボードタイプで、ピンの抜き差しにより、ケーブルの測定を行うか否かを、また、ピンの差しこみ位置によって測定の順序を指定する。

###### ・シーケンスコントローラ（立石製SCY-003）

図17(a)に示すように、内蔵タイマーあるいは外部タイマー・リレー及びシーケンスプログラマからの信号を受け、予め設定されたプログラムに従って、測定開始、測定順序、測定時間、測定終了等の時間の流れを制御し、制御信号を出す。また課通電への切り換えを制御する。

上記の機器から成るインターロック・シーケンスのダイアグラムを図17(b)に示す。

### 3.3.2 配置・結線及びシステムの問題点について

図18に、課通電及び試料絶縁抵抗測定装置全体の結線図及び機器の写真を示す。この装置により、現在のところほぼ支障なく課通電及び絶縁抵抗測定が行えている。これまでに生じた唯一の故障は図12のリレーA・Bの接点の焼損であった。これは、最大電流90Aという仕様で製作した通電回路に96Aの電流を流した時に起こったものである。このリレーは、課通電と絶縁抵抗測定の両回路を切換えるためのもので、前述したように、絶縁抵抗測定における誤差を小さくするために沿面漏れ電流を防ぐなどの工夫がなされた特注品である。リレーといふものの自体が、リード線等の他の部品と比べて構造が複雑であるために故障率が高いものであるが、本装置の場合、上記のような要素が加わって更に故障しやすいものになったということを考えられる。それにしても、許容電流90Aに対してやや高めの96Aを流しただけで接点が焼損するというのは余裕が無さ過ぎるが、この故障は、多分次のような理由によるものと思われる。ここで言っている電流値は3芯一括のもので、普通の状態では各線芯にそれぞれほぼ1/3ずつの電流が流れていると期待できるが、度々述べているように、本装置は、回路の一部（すなわち試料ケーブル）をわざわざ劣化させて正常な通電ができるにくい状況をつくり出すものであるから、3芯間の電流のバランスがくずれるということは充分考えられる。実際、初期の実験においては、後述するようにペネトレーション製作のノウハウが確立しておらず、この部分で線芯とアース間の絶縁が低下していることがあった。このような場合には、電流の漏えいによって各線芯の電流にアンバランスが生じ、例えば3芯一括で90Aを流そうすると、1芯について30A以下のものもあれば、30Aをこえる電流が流れるものもあることになり、過剰の電流が流れている回路のリレー接点部分が劣化していくことが考えられる。このようにして接点不良が生じていた場合、たとえ試料ケーブルその他に劣化がなくても、3芯一括で96Aという電流を流そうとすると、不良部分に過剰の電力が供給され、ついには焼損に至ったということは充分に考え得る。今後このような装置を製作する場合には、1本のケーブルの3芯間で電流のアンバランスが生じた場合これを検出して修正ができるような工夫をすると、あるいは、たとえ電流が1芯だけに集中しても耐え得るような仕様にすることが必要である。本装置では、リード線等は、充分に許容電流の大きいものを用いているので問題はないが、リレーについては改造を検討中である。

本装置では、一つの試料ケーブルについて絶縁抵抗測定中の場合は、すべてのケーブルへの課通電を中断（モード1）するようにもできるし、測定中のケーブルが属するチャンネルのみ課通電を中断（モード2）するようにもできるようになっている。本装置に装荷できるケーブル数は最大9本であるから、1本についての測定時間を10分とした場合（1分値と10分値との比である成極指數を算出することを想定），ディレータイムを含めなくとも、モード1では課通電の中断時間が90分となる。今後、もっと多数のケーブルを取り扱える装置が作られた時、モード1のような方式にしておくと、課通電中断時間は無視できないものとなる。しかし、モード2のような方式にした場合、課通電中のケーブルによる電磁誘導が、絶縁抵抗測定に対するノイズを惹起するおそれがある。特に、照射室内から照射室外へ引き出すリード線はたばねられて狭い貫通孔を通過することになるので、この部分での誘導は、微小電流測定にとって無視できないものとなる可能性がある。そこで本装置では、図19のリードケーブルダクト

断面図に示すように、各ケーブルのR相、S相、T相それぞれのINとOUTとを隣接するように配線した。これは、「平行に相接して逆向きに走る二つの相等しい強さの電流は互いに打ち消し合って外部に磁気作用を生じない」というAmpèreの原理を応用して誘導を極力抑えるためである。このようにしても、マンドレル上での誘導を防ぐことはできないが、モード1とモード2による実際の測定値の比較では、全く差が見られなかった。

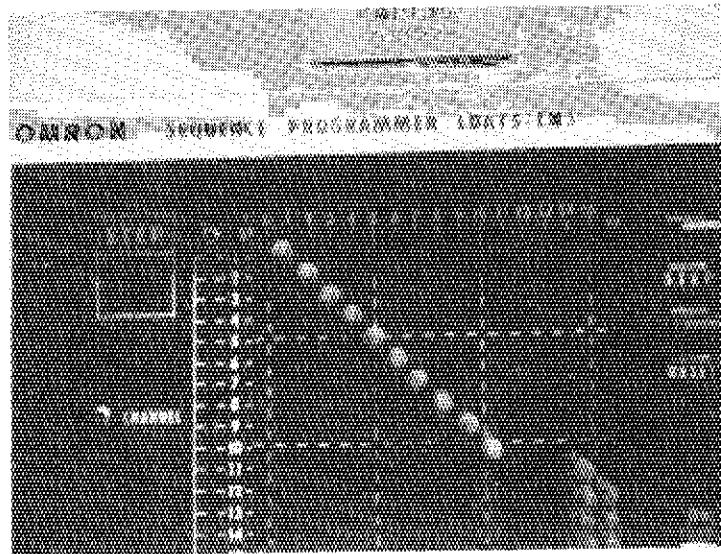


図 1 6 シーケンスプログラマ

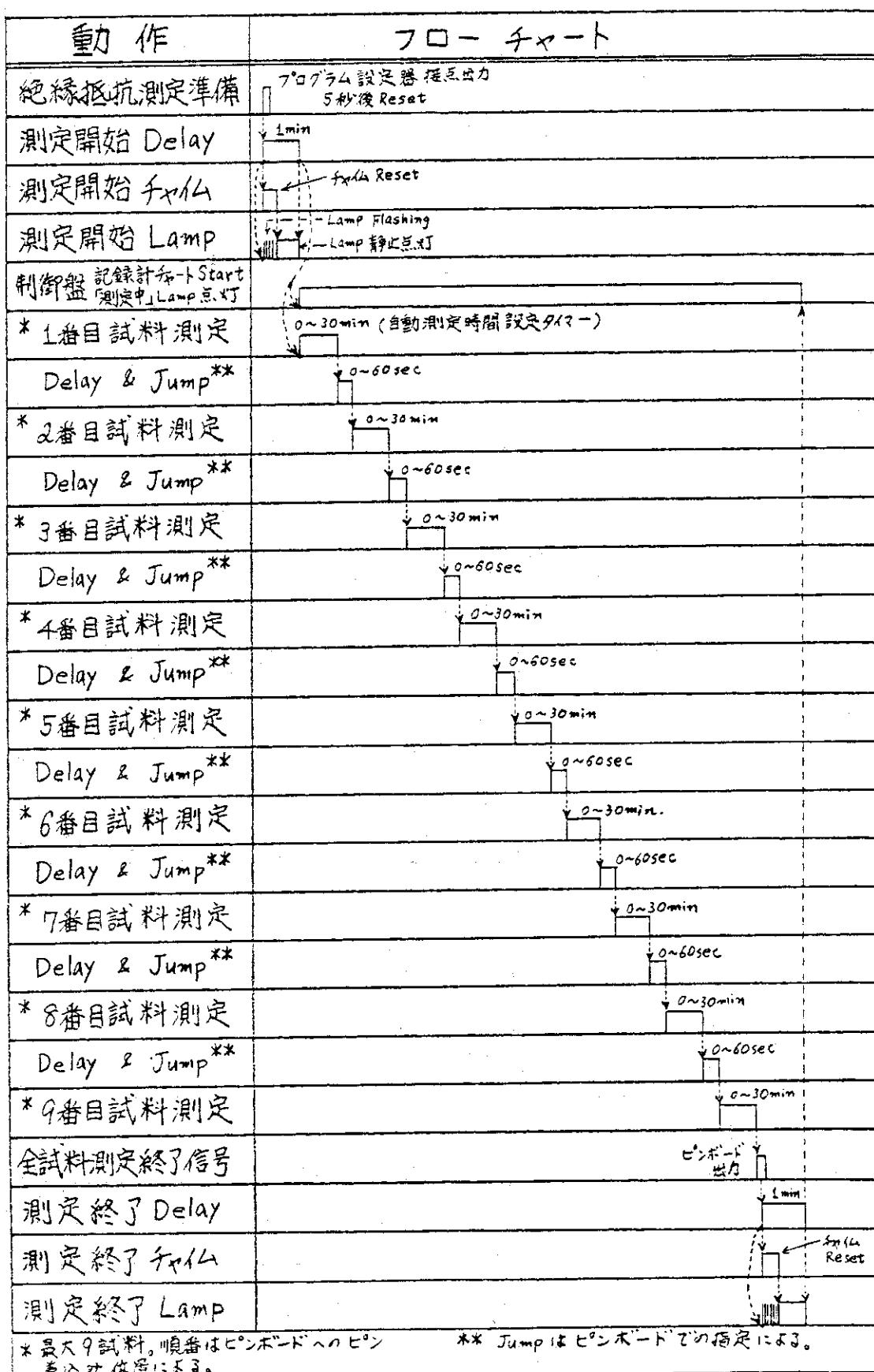
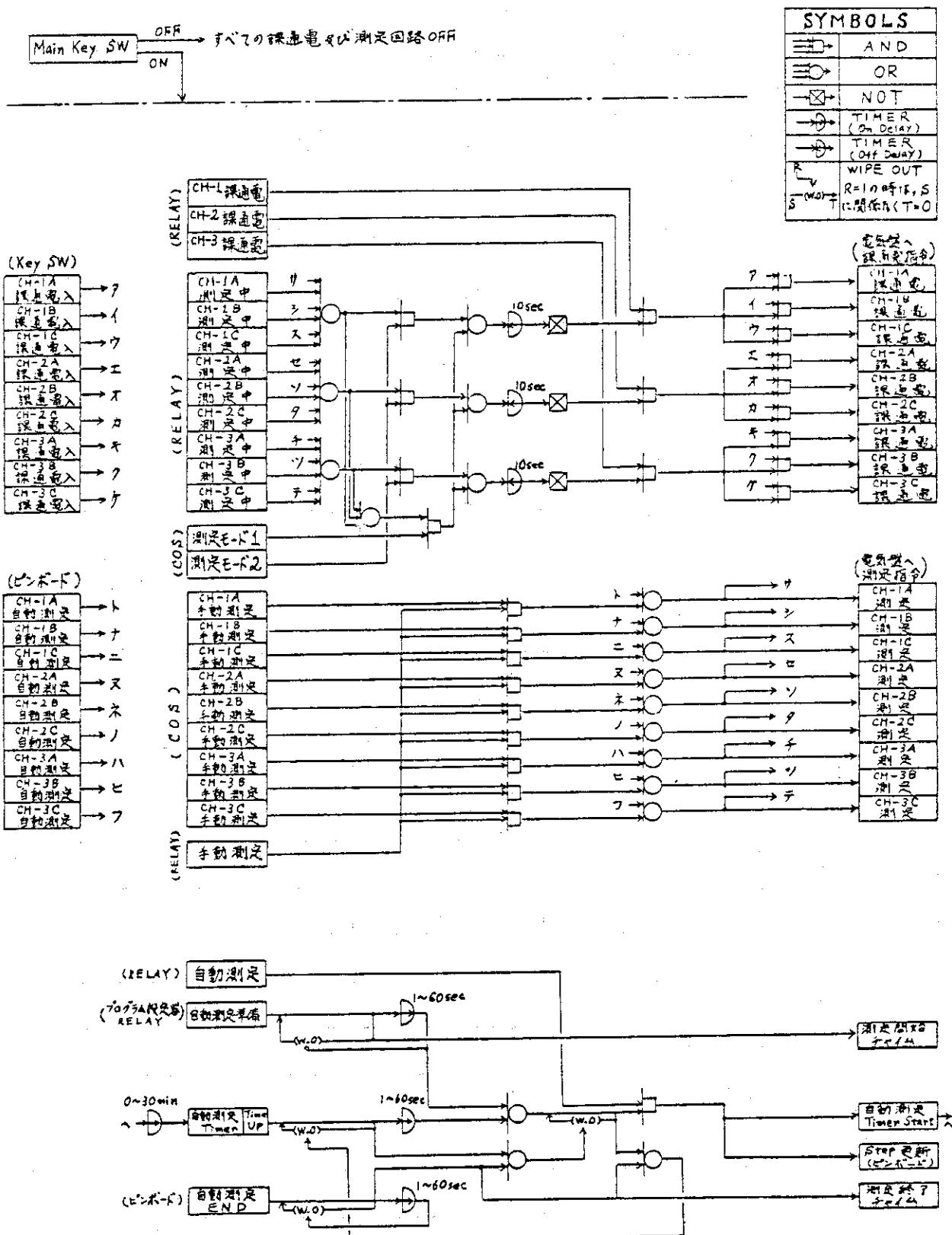


図17 (a) 絶縁抵抗測定のフローチャート



【注】測定モード1：どのチャンネルが測定中でも全チャンネル誤通電禁上  
測定モード2：測定中のチャンネルのみ誤通電禁上

図17(b) 絶縁抵抗測定インターロックダイアグラム

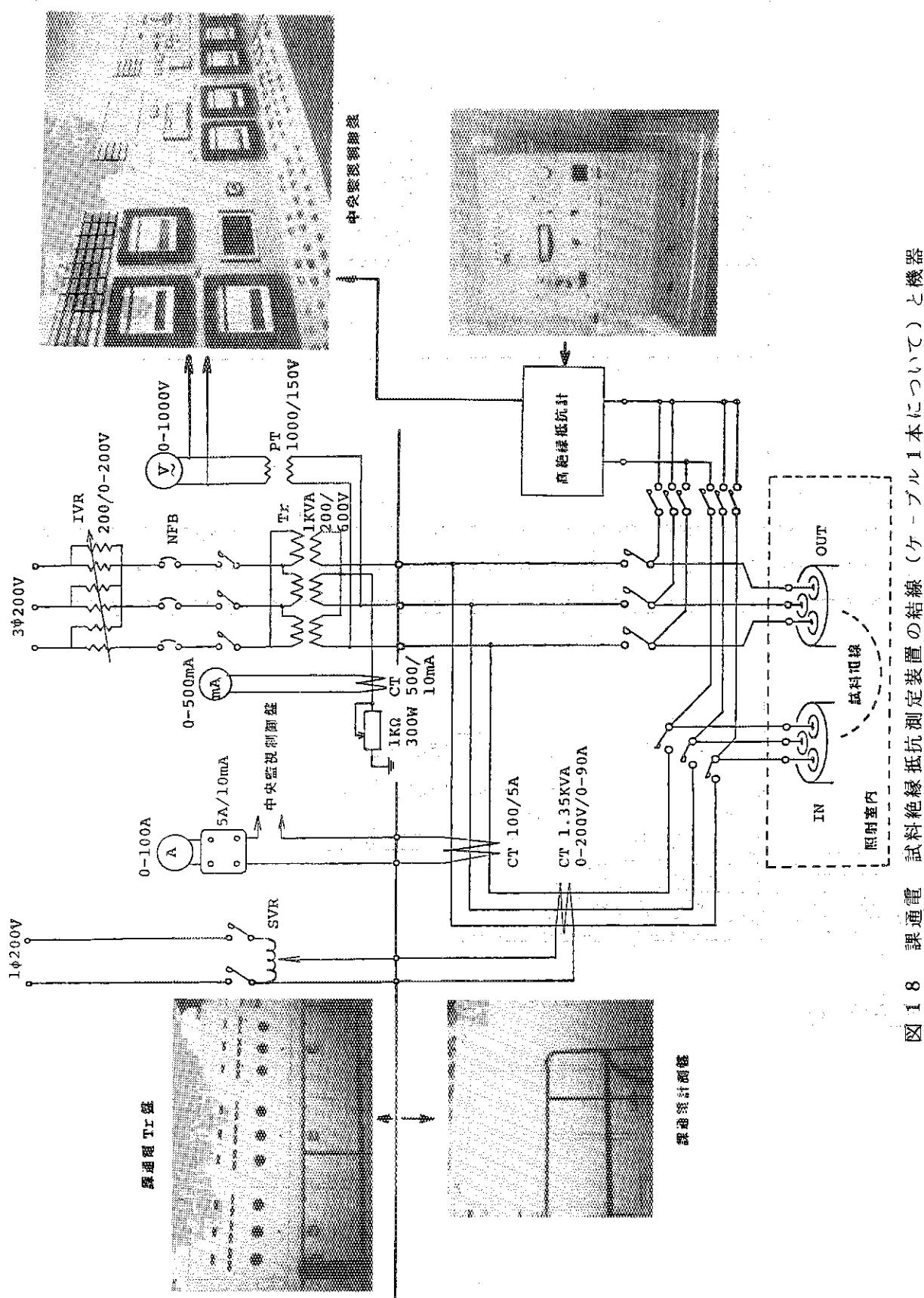
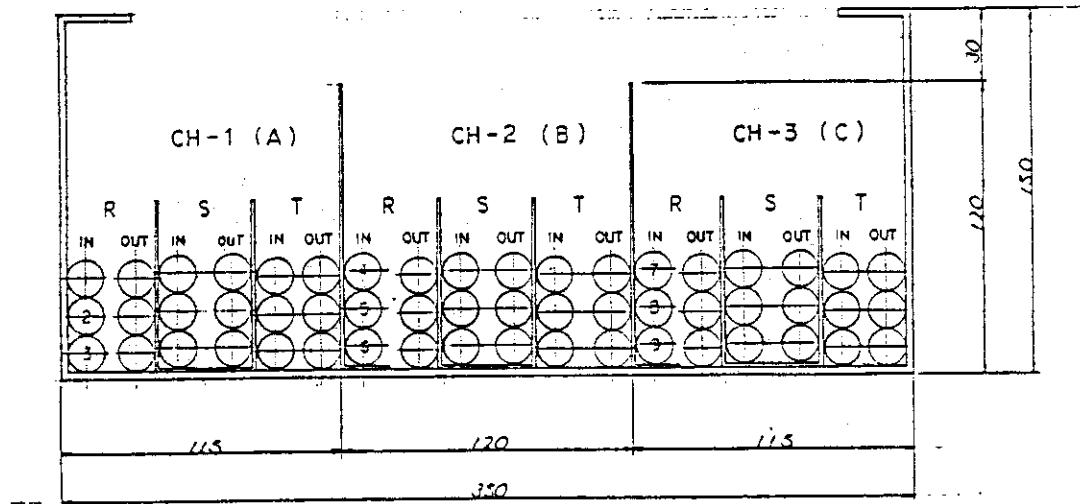


図 18 課通電 試料絶縁抵抗測定装置(ケーブル 1 本について)と機器



CH-1	CH-2	CH-3
R1A-1 R1A-0 31B-1 31B-0 71C-1 71C-0	R2A-1 R2A-0 32B-1 32B-0 72C-1 72C-0	R3A-1 R3A-0 33B-1 33B-0 73C-1 73C-0
R1A-1 R1A-0 31B-1 31B-0 71C-1 71C-0	R2A-1 R2A-0 32B-1 32B-0 72C-1 72C-0	R3A-1 R3A-0 33B-1 33B-0 73C-1 73C-0
R1A-1 R1A-0 31B-1 31B-0 71C-1 71C-0	R2A-1 R2A-0 32B-1 32B-0 72C-1 72C-0	R3A-1 R3A-0 33B-1 33B-0 73C-1 73C-0

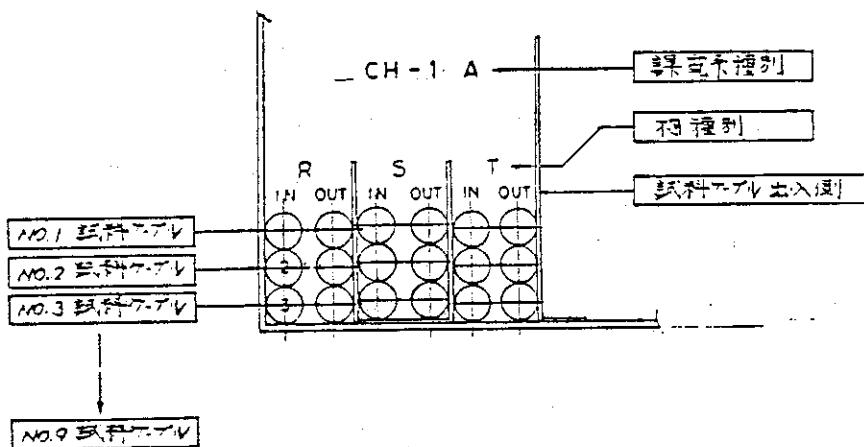


図19 リードケーブルダクト断面図

### 3.4 ペネトレーション

図20にペネトレーション及びフランジ部の製作図、図21にペネトレーションの組立てた写真を示す。また、試料電線ケーブルのペネトレーションへの取り付け方については付録に記した。このペネトレーションは、カバーフランジ（図20の①②③等の部分）と中間フランジ（図20の⑤⑥⑦⑧⑩⑯等の部分）との二重構造になっている。中間フランジへの取付けは、取付け金具とガスケット（⑤⑥⑦⑭）及び未加硫ゴムテープと熱収縮チューブ（付録参照）で行う。これが主要な圧力シールとなる。カバーフランジの貫通部分も、グランドパッキング、平座金及び六角ナット（図20の⑪⑫⑯）で二次的にシールされる。これによって、万が一中間フランジのシールに漏れが生じても、急激なものでない限り外部への蒸気の噴出は一時的に防げるようになっている。中間フランジのシールに漏れが生じた場合は、カバーフランジとの間の空洞部分の温度が上昇する。この部分には温度測定孔（図20の⑬）を通して熱電対が差し込まれており、データロガによって温度上昇を検知し警報を発するようになっている。<sup>11)</sup>これまで、最長1ヶ月間の連続運転の経験があるが、1度もこの警報は発せられていない。この方式（貫通式）のペネトレーションが充分にその機能を発揮しているものと考えてよい。照射室内の圧力容器まわりはテレビカメラ（ITV）によって常時監視されており、二次シールまでが破れても検知できるようになっている。勿論、このようなことは今迄に起こっていない。

貫通式の問題点は、シール部分で電線を締め付け過ぎると、この部分で絶縁抵抗の低下が起こる可能性があるということである。実際、初期の実験において次のようなことがあった。LOCA模擬試験の最終段階の冷却時に、それまで  $8.33 \times 10^{10} \Omega$  以上あった絶縁抵抗が  $3.62 \times 10^7 \Omega$  まで低下した。LOCA模擬試験後にケーブルをペネトレーションからはずして見ると、グランドパッキングと六角ナットによる二次シールの部分に、袋ナットによる締め付け過ぎのためねじれ変形及び減肉が生じていた。この部分を切り取り、残りの部分の絶縁抵抗を測定したところ、LOCA模擬試験前の絶縁抵抗値を保っていた。従って、上記の絶縁低下は、二次シール部での締め付け過ぎによる減肉及びねじれによって生じたケーブルの変形部分に冷却水が浸み込み、短絡路ができたために起こったものと思われる。その後、付録にも示すように、袋ナットの締め付けに充分注意を払い、電線（普通黒色）のこの部分に縦に白線を引いて、締め付けた後でもねじれが無いことを確かめるようにするなどの方策をとることにした。このようにしたところ、ペネトレーション部分での絶縁低下は起こらないようになった。

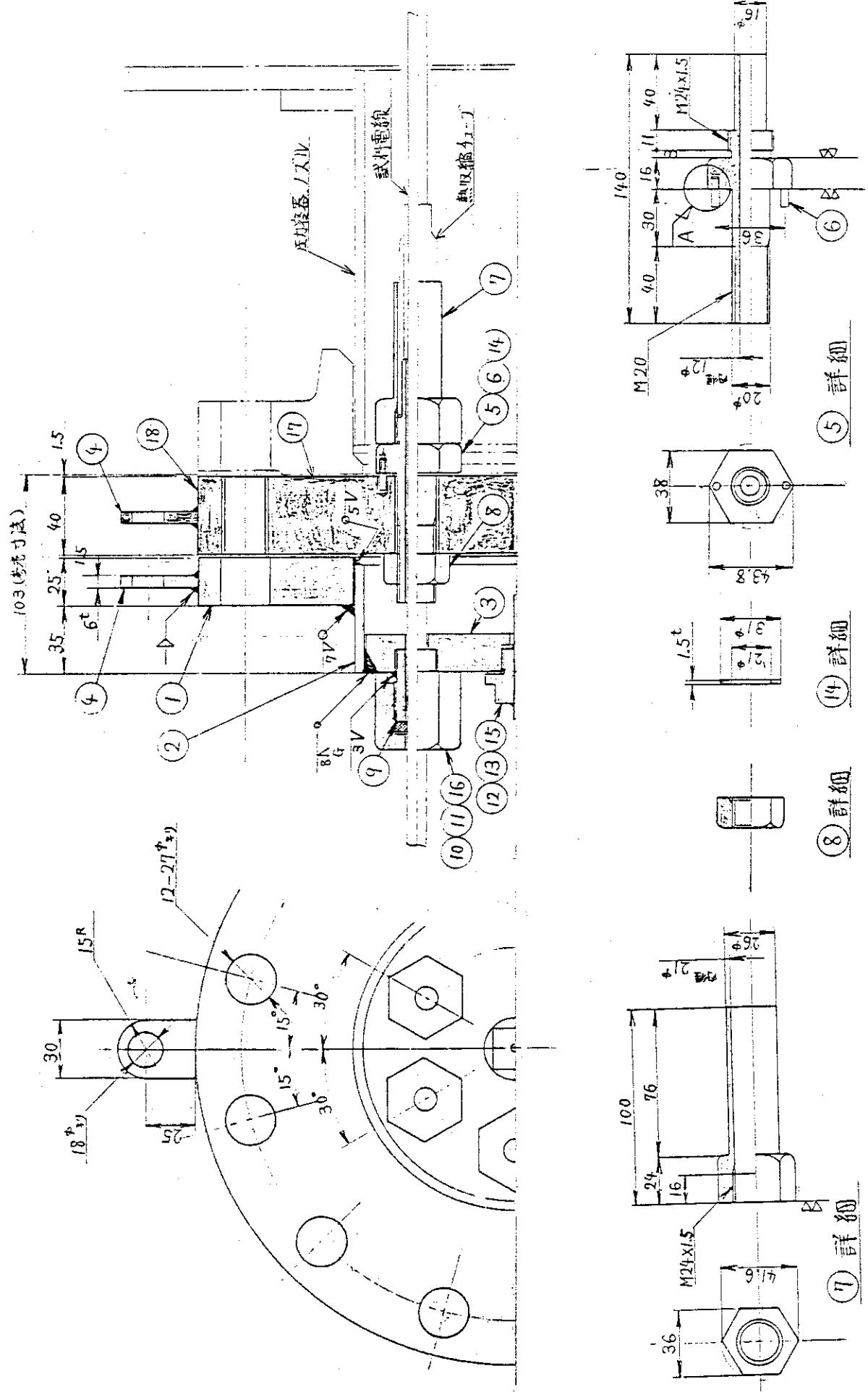


図20 ペネットレーシヨン製作図(1)

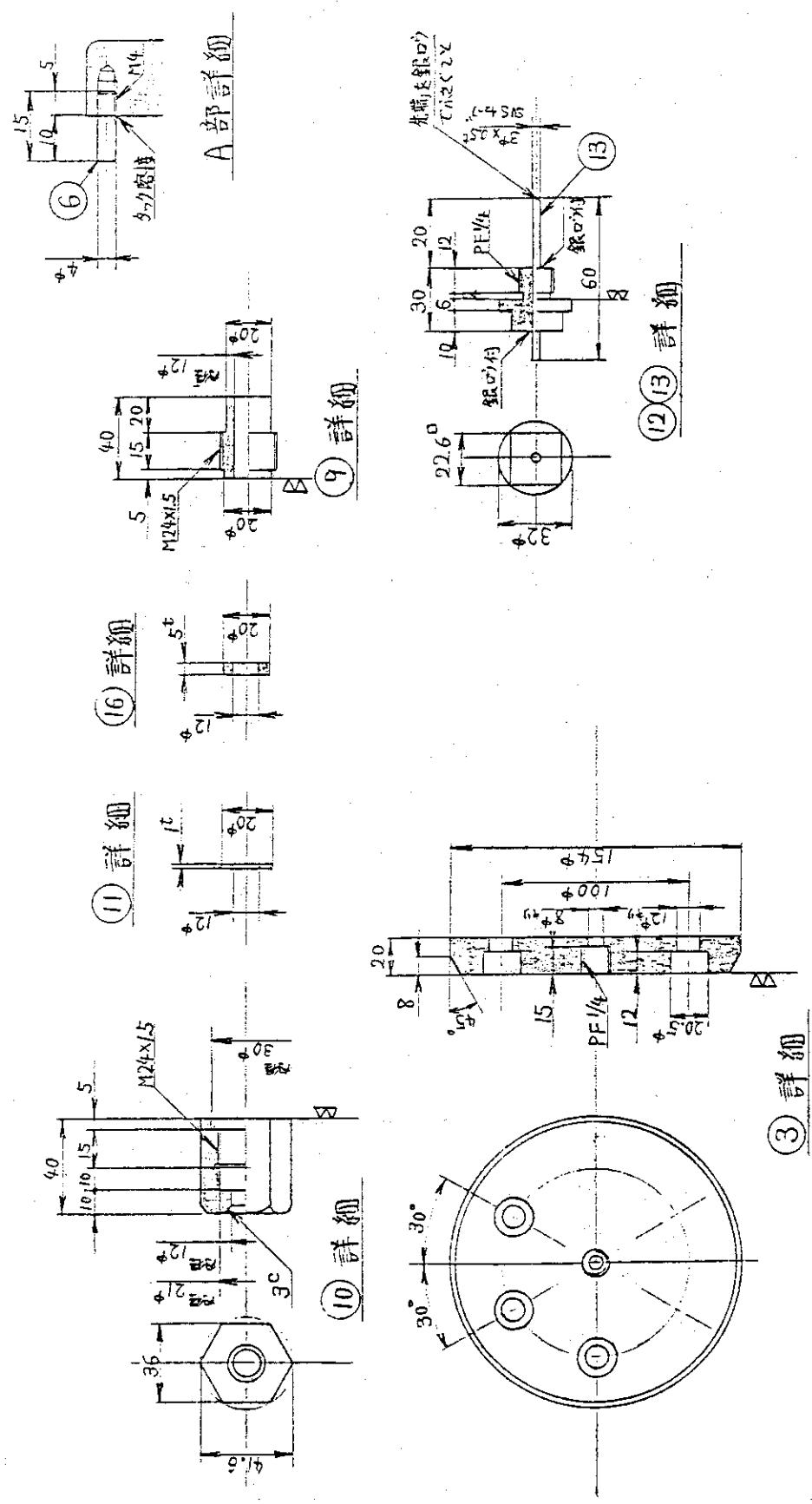
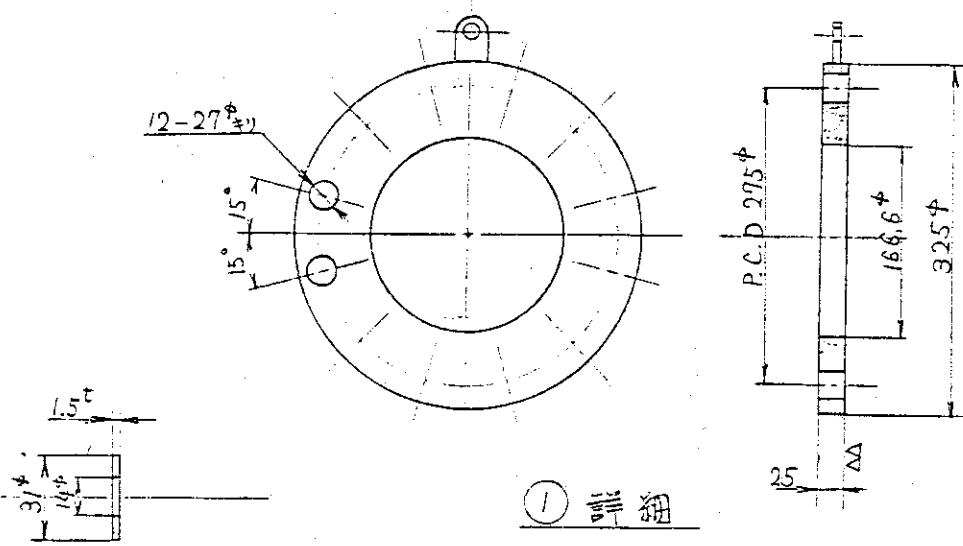


図20 ベネトレーシヨン製作図(2)

品名	部品番号	品番	材質	重量 kg		規格書 原寸寸法 寸法コード	工程	調査部品コード	要
				単位	組合せ				
1/1 鋼管フランジ	1	1	SUS304	12.4	12.4				
1/1 管 $\times 55^t \times Sch 20S$	2	2	SUS304 TP	1.09	1.09				
1/1 中 $20^t \times 154^d$ 平板	3	3	SUS304	2.91	2.91				
1/1 尺 $6^t \times 30 \times 40$ 吊金具	4	4	"	0.05	0.05				
6 六角鋼 $38 \times 130$	5	5	SUS403	0.50	3.00				
12 M4 まわら止ビン	6	6	"	0.0011	0.02				
6 六角鋼 $36 \times 700$	7	7	SUS304	0.50	3.00				
6 M20ナット(1個 3割)	8	8	"	0.064	0.38				
6 M24 $\times 1.5 \times 40$	9	9	"	0.100	0.60				
6 六角袋ナット $36 \times 40$	10	10	SUS403	0.32	1.91				
12 産金 $20^t \times 12^d \times 1t$	11	11	SUS304	—	—				予備 100%
1 PF $1/4$ フラグ	12	12	SUS403	0.07	0.07				
1 $\frac{1}{2}-2^d$ $3^d \times 0.5^t \times 60^d$	13	13	SUS304	—	—				
12 パッキン $31^d \times 21^d \times 1.5^t$	14	14	V*1500 相当	—	—				予備 100%
1 パッキン $31^d \times 14^d \times 1.5^t$	15	15	"	—	—				
(12) クラッド パッキン $20^d \times 12^d \times 5t$	16	16	E.P.D.M	—	—				予備 100% )
2 パッキン $248^d \times 168^d \times 1.5t$	17	17	V*1500 相当	—	—				68 JIS 30K RF フランジ用
(式) (垫板用ナット J.D.19.1)	18	18	銀色 耐熱性	—	—				L4766 WGSF-200-AV
(式) (10 <sup>d</sup> 試料電線	19	19	—	—	—				)
- - - ( 6 <sup>d</sup> 732 <sup>t</sup> JIS 30K 管 732 <sup>t</sup> )	20	20	SUS304	21.9	21.9				■ DG0087C の 品番 (1223.)
- - - ( 実寸: ホルトナット M24 $\times 175^t$	21	21	SUS403 SUS304	0.90	10.8				)



(15) 詳細

図20 ペネトレーション製作図(3)

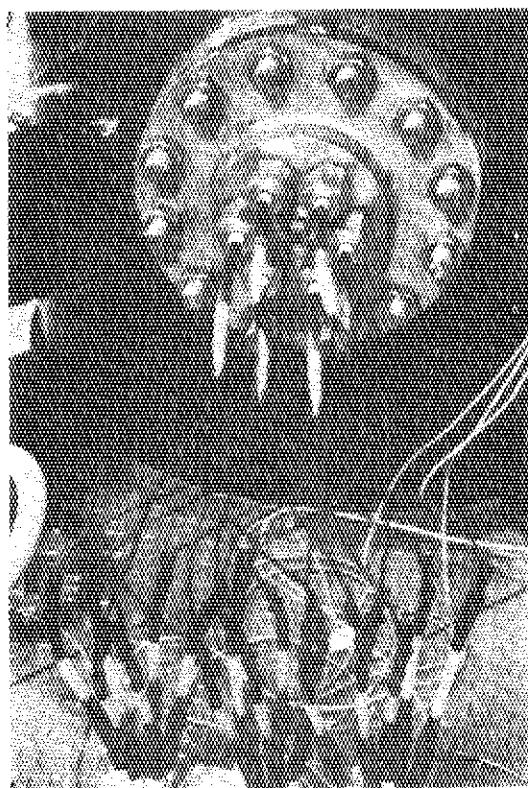


図 21 ペネトレーション

## 4. ま と め

- 1) 課電トランスは△-Y結線(二次側Y)のものを用い、二次側中性点を接地して、中性点と大地間で漏洩電流を測定した。このようにすると、3芯ケーブルのどの線芯と大地との間に絶縁低下が起こっても、漏洩電流を検出することができ、また各線芯の対地電圧も低く抑えることができる。一方、補償導線や同軸ケーブルなどシールド付きの電線を試料とする場合には、二次側を△結線とし、シールドを接地した方が安全上好ましいと言える。
- 2) 通電には、貫通電流変圧器を用いた。試料ケーブルに所定の電流を流すのに必要な変圧器の容量を決定するため、2次側の負荷を計算したところ、リアクタンス分は小さく、大部分が抵抗分であることが分った。この計算に基いて設計した貫通電流変圧器により、充分に所期の通電電流を得ることができた。
- 3) 試料絶縁抵抗測定器としては、 $6 \times 10^{-9} \sim 10^{-3}$ A ( $500$ V試験電圧印加の場合  $5 \times 10^5 \sim 8.33 \times 10^{10}$  Ω) の測定可能範囲を持つものを製作した。リード線に充分絶縁抵抗の高いものを選び、リレーにも沿面電流を防ぐなどの工夫を施したので、このような周辺機器による誤差は、小さく抑えることができた。
- 4) 課通電及び絶縁抵抗測定回路へのリード線については、各ケーブルのR相、S相、T相それぞれのINとOUTとを隣接して配線した。これは、絶縁抵抗測定中のケーブルに対する、他の課通電中のケーブルからの誘導を防ぐためである。一つのケーブルの絶縁抵抗を測定中に、他のすべてのケーブルの課通電を中断する方式と、測定中のケーブルが属するチャンネル以外では課通電を継続する方式とでは、絶縁抵抗測定値に全く差がなかった。
- 5) プログラム設定器、シーケンスプログラマ、シーケンスコントローラ、タイマー、リレーロジック等を用いて、予め定められた時刻に、予め定められた順番で、安全かつ自動的に、試料絶縁抵抗の測定を行うことができた。
- 6) 課通電と絶縁抵抗測定とを切り換えるリレーは、測定に誤差を与えないような工夫がなされ、それだけ複雑な構造になっているため、他の回路部品と比較して故障率が高い可能性がある。一方、本実験の目的は、これらの回路の一部(すなわち試料ケーブル)にわざわざ苛酷な条件を与えて、絶縁上好ましくない状況を作り出すことであるから、当然回路の電流などにアンバランスが生じることが予想される。実際、上記のリレーの接点において、通電電流のアンバランスによる過電流のためと思われる焼損故障が起こった。今後、このような装置を設計する時は、アンバランスが生じても耐え得るような配慮をする必要がある。

7) ペネトレーションとしては貫通式を採用し、未加硫ゴムと熱収縮チューブによる圧力シール及びグランドパッキングによる二次シール方式で充分機能を果すことが分った。但し、製作にあたり、貫通部において試料電線に締め付け過ぎやねじれなどによる変形を与えないよう配慮する必要がある。

## 5. おわりに

原子炉用電線材料健全性試験装置は一般のプラントと比較すれば、急昇温が可能であるなどやや特殊な装置であると言えるが、その課通電系に用いられている機器自体はそれ程特殊なものではない。しかしながら、一般のプラントの電気装置とは異なり、回路の一部を劣化させることを目的とするなどの特殊性があり、製作にあたってそれなりの配慮がなされた。また、照射、蒸気加熱などの装置の運転と並行して、微小電流の測定という操作を行わねばならず、これを適確に行うため、自動化への配慮が充分に払われている。今後、この種の装置が製作される際、本報が十分に参考となるものと期待する。

最後に、本装置の完成までさまざまな面でお骨折りいただいた技術開発課元課長栗山 将氏（現大阪研）、元課長町 実男氏（現IAEA）、田村直幸前課長をはじめとする照射施設課員の方々に感謝の意を表します。また、本装置の設計・製作にあたって有効な助言をいただいた、住友重機械工業株式会社の守田 博、黒木 進の両氏、高崎研管理部工務課の秋野 実、福田 清の両氏に感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) IEEE Std. 323 (1974)
- 2) IEEE Std. 383 (1974)
- 3) 原産セミナー「原子力発電の品質保証（Q・A）」における都甲泰正東大教授の講演「スリーマイル島原発事故とQA上の反省点」（1980）
- 4) 田中 進、中瀬吉昭、日馬康雄、伊藤政幸、岡田激平、吉田健三、JAERI-M 9361 (1981)
- 5) 住友電気工業株式会社電力事業部井之上昭彦氏・村田吉和氏との私信
- 6) 昭和電線電纜株式会社、米国フランクリン研究所における原子力発電所用ケーブルの性能試験の概要と結果報告（1978）
- 7) FIRL Final Report-PhaseII F-C3913-2A (1975)
- 8) 電線技術資料、住友電気工業株式会社 (1978)
- 9) “電気工学ハンドブック”，電気学会，87, 352 (1967)，東京
- 10) 高橋秀俊，“電磁気学”，裳華房，247 (1966)，東京
- 11) 岡田激平、笠原佑倖、田中 進、中瀬吉昭、伊藤政幸、日馬康雄、吉田健三、JAERI-Mに発表予定

## 5. おわりに

原子炉用電線材料健全性試験装置は一般のプラントと比較すれば、急昇温が可能であるなどやや特殊な装置であると言えるが、その課通電系に用いられている機器自体はそれ程特殊なものではない。しかしながら、一般のプラントの電気装置とは異なり、回路の一部を劣化させることを目的とするなどの特殊性があり、製作にあたってそれなりの配慮がなされた。また、照射、蒸気加熱などの装置の運転と並行して、微小電流の測定という操作を行わねばならず、これを適確に行うため、自動化への配慮が充分に払われている。今後、この種の装置が製作される際、本報が十分に参考となるものと期待する。

最後に、本装置の完成までさまざまな面でお骨折りいただいた技術開発課元課長栗山 将氏（現大阪研）、元課長町 末男氏（現IAEA）、田村直幸前課長をはじめとする照射施設課員の方々に感謝の意を表します。また、本装置の設計・製作にあたって有効な助言をいただいた、住友重機械工業株式会社の守田 博、黒木 進の両氏、高崎研管理部工務課の秋野 実、福田 清の両氏に感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) IEEE Std. 323 (1974)
- 2) IEEE Std. 383 (1974)
- 3) 原産セミナー「原子力発電の品質保証（Q・A）」における都甲泰正東大教授の講演「スリーマイル島原発事故とQA上の反省点」(1980)
- 4) 田中 進、中瀬吉昭、日馬康雄、伊藤政幸、岡田激平、吉田健三、JAERI-M 9361 (1981)
- 5) 住友電気工業株式会社電力事業部井之上昭彦氏・村田吉和氏との私信
- 6) 昭和電線電纜株式会社、米国フランクリン研究所における原子力発電所用ケーブルの性能試験の概要と結果報告 (1978)
- 7) FIRL Final Report-PhaseII F-C3913-2A (1975)
- 8) 電線技術資料、住友電気工業株式会社 (1978)
- 9) “電気工学ハンドブック”，電気学会，87，352 (1967)，東京
- 10) 高橋秀俊，“電磁気学”，裳華房，247 (1966)，東京
- 11) 岡田激平、笠原佑倖、田中 進、中瀬吉昭、伊藤政幸、日馬康雄、吉田健三、JAERI-Mに発表予定

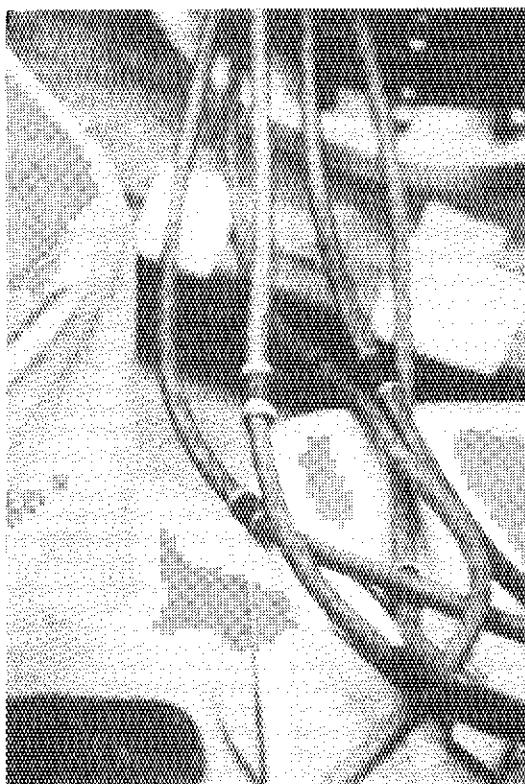
## 付録 試料ケーブルのペネトレーションへの取付け方法

## 1. ペネトレーション金具のケーブルへの取付け

操作番号	操 作 内 容	備 考 ・ 注 記
1-1	内・外面を清掃したペネトレーション金具を18組用意する。	
1-2	マンドレルに巻いたケーブルの端より1mの所に印をつける。	白マジックを使用するとよい。
1-3	加硫ゴムテープを20cmに切り、マンドレルに巻いたケーブルの印の上に巻きつける。	強く伸ばしながら巻きつける。
1-4	その上に、未加硫ゴムを巻き、ほどけないように加熱・接着する(写真1)。	
1-5	内径20mmの熱収縮チューブを、長さ7~10cmに切る。	ペーパーカッターを用いて、切り口をなめらかに切断する。
1-6	ペネトレーション金具を捻って、雌金具を外す。  	雌金具と雄金具とに分解する (左図参照)。
1-7	雌金具に、ネジのついている方からケーブルを通す	
1-8	(1-5)で10cmに切った熱収縮チューブをケーブルにかぶせる。	
1-9	雄金具を、ナット部にピンの出ている方を後にしてケーブルに通す。	(1-8)~(1-10)が完了した状態が写真2である。
1-10	熱収縮チューブを雄金具のネジを切っていない部分にかぶせる(写真3)。	雄金具のネジの端と(1-4)で接着した未加硫ゴムテープの端を密着させた(写真2)上に10cmチューブをかぶせる(写真3)。
1-11	10cm熱収縮チューブを、ジェッターを用いて収縮させたのち、雌金具をかぶせて雄金具にネジ込む。	表面にツヤが出るまで充分に収縮させる(金具側より進める)。

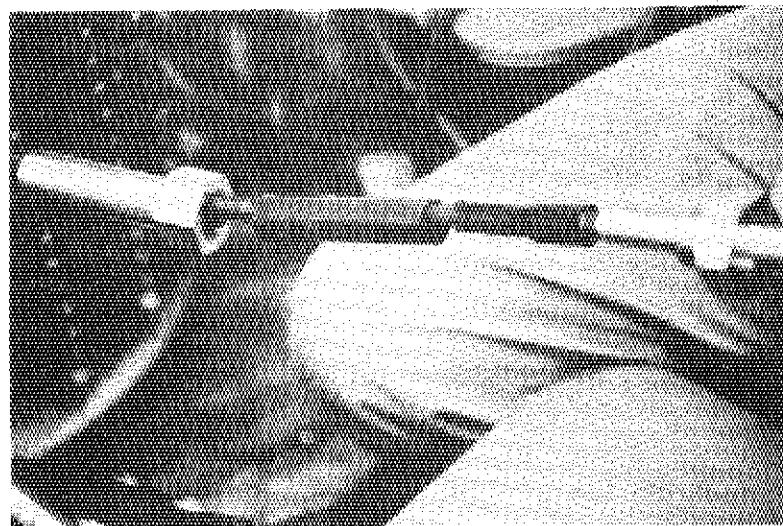
操作番号	操 作 内 容	備 考 ・ 注 記
1-12	ケーブルを力一杯ひっぱって抜け出さないこと、ねじってまわらないことを確かめる(写真4, 5)。	この操作は、よく冷えてから行なうこと。
1-13	ケーブルの端を長さ50cmにわたりシースを取除く。	絶縁体に傷をつけないように細心の注意をすること。
1-14	その末端を長さ5mmだけ絶縁体を取除き、導線をはだかにする。	
1-15	圧縮ペンチを用いて、はだかにした導線にU型圧着端子をつける。	3心ケーブル9本を取付けたときは全部で54個必要。
1-16	実験担当員に作業の終了を連絡する。	
1-17	実験担当員は、取付け状態をよく調べる。	

ペネトレーション金具取付け作業手順（写真）



（写真1）

ケーブルの上に、加硫ゴムテープを巻き、その上を未加硫ゴムテープで接着して止める。



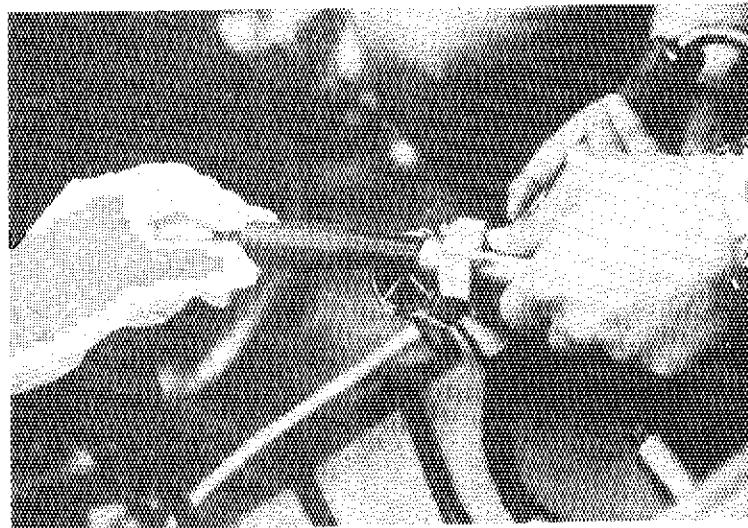
（写真2）

ケーブルの端より、ペネトレーション金具の雌金具、7～10cmに切った熱収縮チューブ、ペネトレーション金具の雄金具の順に通す。



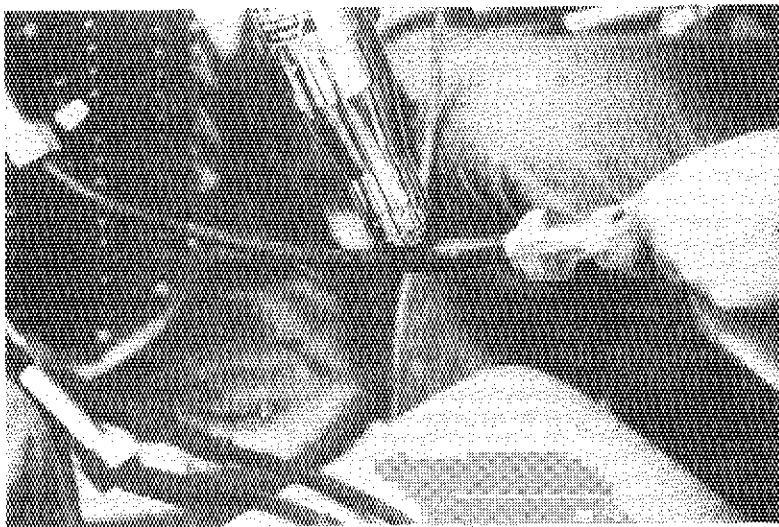
(写真3)

雄金具とテープを巻いた所を密着させ、  
その上に熱収縮チューブをかぶせる。  
チューブを雄金具に  
きっちりとかぶせる。



(写真4)

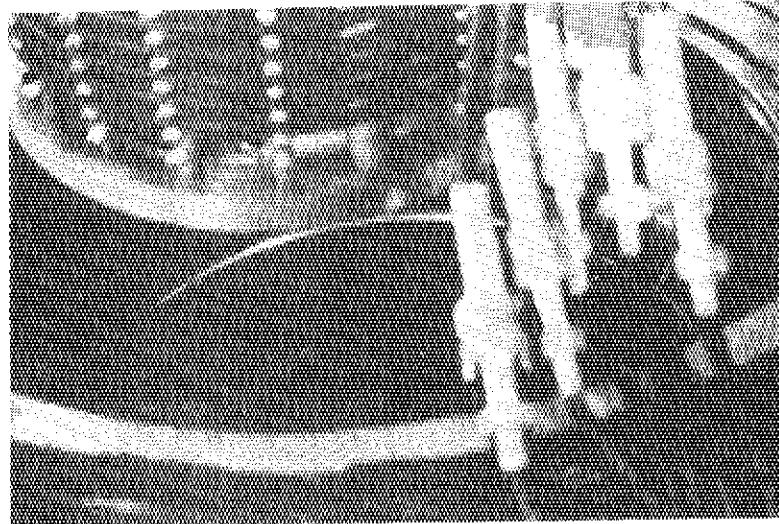
雄金具の方よりジエッターで加熱し、熱収縮チューブを収縮させる。



(写真5)

つぎに、テープを巻いた部分を上から加熱し、完全に収縮させる。

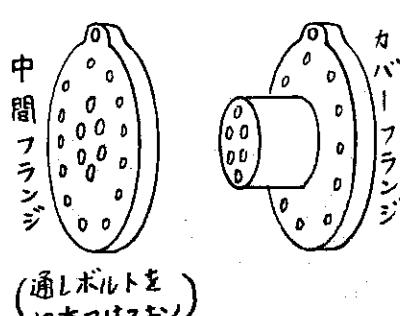
これに左側の雌金具をネジ込んで、ペネトレーション金具のケーブルへの取付けは完了である。



(参考)

雌金具のネジ込みが終わり、いよいよ圧力容器へ入る所である。

## 2. ペネトレーション金具の圧力容器への取付け

操作番号	操 作 内 容	備 考 ・ 注 記
2-1	実験担当員は、課通電系制御電源のキースイッチ（Main Key SW）を抜き、携行する。	必ずこの操作を行なうこと。
2-2	照射施設課運転担当者に連絡し、その指示に従つて、照射室内に入る。	実験担当員が行なう。
2-3	フェンスを外し、ロープ固定用支柱及びロープを取り付ける。	
2-4	ホイストで圧力容器のふたを外し、ふた置場に置く。	
2-5	マンドルを台車にのせ、照射室内に搬入し、ホイストにて圧力容器の中に入れる。	
2-6	作業場の整理棚より、ペネトレーション中間フランジとペネトレーションカバーフランジを各3個ずつ、台車で照射室内に搬入する。	 <p>付録図 2</p>
2-7	圧力容器の3ヶ所のペネトレーション取付けフランジの穴より、ペネトレーション金具をつけた電線を6本ずつとり出す。	一本の試料ケーブルの両端は、同じ穴より出すこと。取付けフランジにガスケットを入れること。
2-8	総ネジ通しボルトをつけた中間フランジを、ホイストで釣って、ペネトレーション取付けフランジの前にさげておく。	両フランジは、間を3cmほどあけておく。
2-9	ペネトレーション雄金具のピン付ナット部にガスケットをはめてから、押えナットを外したのち、ケーブルの端を中間フランジの穴を通して外へ引き出す。	中心に近い穴を使う（6個ある）。6本の線をそれぞれ別の穴よりひき出す。
2-10	雄金具を、ナットのつけ根まで、中間フランジに入れ、反対側につき出す雄金具のネジ部に（2-9）で外した押えナットをネジ込む。	よく締め付ける。 6本とも同じ操作。

操作番号	操 作 内 容	備 考 ・ 注 記
2-11	中間フランジの通しボルトをペネトレーション取付けフランジのボルト穴にさし込む。	ホイストで釣り上げの高さを調節しながら押し込む。
2-12	取り付けフランジの裏側より、ボルトにナットをはめて仮固定する。	
2-13	ホイストよりペネトレーション中間フランジを外す。	
2-14	ホイストで、カバーフランジを釣り、仮固定した中間フランジの前にもっていく。	出っぱっている方を前にする。中間フランジにガスケットを入れ忘れないこと（中間フランジの両面に1枚ずつガスケットが入る。表面があまり硬くなつたガスケットは交換する）。
2-15	カバーフランジの中央部の6個の貫通孔に、1本ずつケーブルを通し、外へひき出す。	
2-16	カバーフランジを中間フランジの通しボルトに通して、取付ける。	ケーブルが中でたるまないようによく引っぱる。
2-17	ナットを通しボルトにはめて、カバーフランジを仮固定し、ホイストより外す。	
2-18	通しボルトのナットを、両側よりレンチでよく締める。	ボルトは対角に締めて片締を防ぐこと。ボルトはフランジの両側より締めること（片側を締めても反対側は締まらないので注意すること）。
2-19	ケーブルの端より、"0"リング2枚を、つぎに平座金を入れる。つづいて袋ナットを入れ、カバーフランジの埋め込みの雄ネジ（中央よりケーブルが貫通している）にネジ込む。	袋ナットはあまり強く締めないこと。また、締める時にはケーブルがねじれないようにすること。
2-20	(2-8)より(2-19)までの操作を残り2つのペネトレーション取付けフランジについて行なう。	
2-21	最後に各フランジのすき間を調べ、ガスケットの入れ忘れがないことを確認する。通しボルトの締め忘れがないことを確認する。	すき間が3ヶ所とも同じで片寄りのこと。上と横からすかして見る。ボルトはレンチをかけて、締め忘れを調べる。
2-22	作業の完了を実験担当員に連絡する。	

## 3. 課通電系への結線

操作番号	操 作 内 容	備 考 ・ 注 記
3-1	超絶縁計を用いて、心線間及び対地絶縁抵抗を測定する。	1分値を測定し、電線点検リストに記入する。
3-2	架台床面より立ち上っている課通電用配線と、心線の圧着端子をビスで固定する。固定前に、長さ5cm程度に切った熱収縮チューブを各心線に通しておくこと。	3心のそれぞれが、R・S・Tの各相に結線されること。ケーブルの入口と出口とが同じ課通電ループにつながれていること。
3-3	回路計を用いて、課通電計測盤の裏側の端子で導通テストを行なう。	導通がなければ結線の誤りである。(3-2)からやりなおす。
3-4	熱収縮チューブ(長さ5cm)を接続のビスの上にかぶせ、ジェッターで加熱収縮させる。	
3-5	課通電計測盤の裏側の端子で、超絶縁計を用いて、心線間及び対地絶縁抵抗を測定し、電線点検リストに記入する。	
3-6	作業が終了したら、実験担当員に連絡する。	