

ボイド検出装置の実用化とその改良

Practical Use and Improvement of Void Detector

北 村 洋* 目 崎 敏 博*
Hiroshi Kitamura Toshihiro Mezaki

要 旨

ゴム，プラスチック高電圧ケーブルの絶縁体中の欠陥の探知および位置標定を行なうのに効果のあるボイド検出装置の本格的実用化と改良を検討して70 kV 級ケーブルまで適用できる装置を開発した。本報告はボイド検出試験法を確立するため行なった種々の検討事項，装置の改良事項について述べている。

1. 緒 言

最近，ゴム，プラスチック絶縁電力ケーブルの高電圧化はめざましく，現在では70 kV 級まで使用されている。これら高電圧ケーブルにとって，ケーブル中のボイド（エアギャップ）は致命的欠陥として寿命を著しく低下させるので，ボイドの発生防止，発生部除去は品質管理上重要な問題である。日立電線株式会社では，昭和34年にボイド検出装置を採用したが，その後検出感度を向上させるための改善，試験電圧の昇圧化など技術的な問題点を解決して，十分効果のある装置の開発に成功したので，それまでに至る検討結果の概要を報告する。

2. ボイド検出方法の概要

2.1 測定原理

われわれが採用したボイド検出方法の測定原理は図1に示すように，絶縁体押出後の無遮へいケーブルを純水で満たした絶縁水槽の中を連続的に走査させて，中央電極の課電による電界にて発生したボイド放電パルスを検出器で取り出し，ボイドの発生有無，発生位置を知ることができる。ボイド検出方法の測定原理には種々な方式⁽¹⁾が知られているが，図1に示した測定原理では

- (1) ケーブル導体，水槽両端は接地されるので作業上安全である。
- (2) 全サイズの線心に対して電極は一つでよい。不活性液体を使用するので絶縁体がおかされず，絶縁体表面と完全に接触するので，接触間の放電は問題にならない。
- (3) 中央電極部に課電するので課電用トランスの容量は小さくてすみ，局部的課電となるので高感度であるなどの利点がある。

2.2 実用上の問題点

測定原理は理論的にも明解で古くから知られているが，本格的にルーチンテストとして実用するには技術的に検討すべき問題を多く含んでいる。すなわち長尺ケーブルを連続的に課電水槽中を走査させて，微小ボイド放電を高感度に検出するには外来ノイズの介入防止，測定系高圧部から発生する外部コロナの混入防止，ボイド放電コロナとの選別が大きな問題である。また課電ケーブルの送り出し，巻き取り操作を伴う大がかりな試験であるため，回転ケーブル導体の接地方式なども問題になる。

3. 外部妨害波の介入防止，除去方法の検討

3.1 外部妨害波の調査，分類

まずボイド検出試験の障害となる外部妨害波の種類，内容を調査

* 日立電線株式会社日高工場

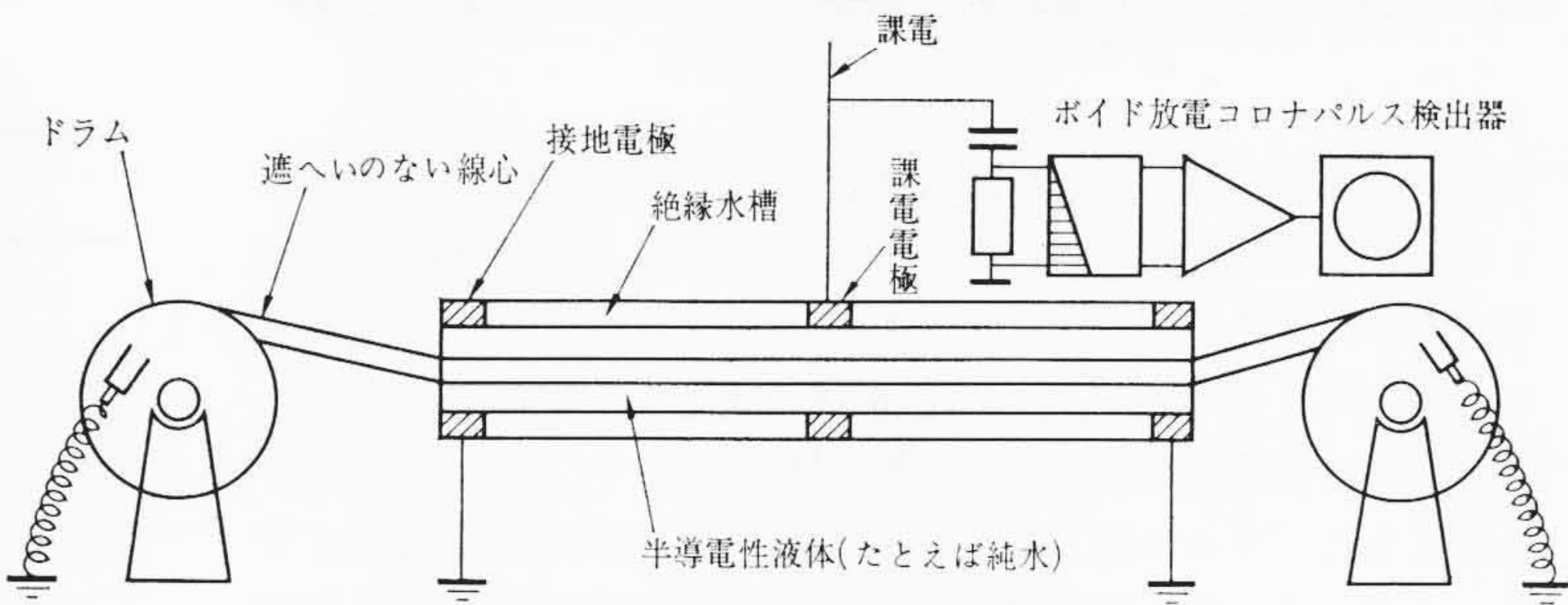


図1 ボイド検出方法測定原理図

表1 外来妨害波侵入経路

項番	外 来 妨 害 波 侵 入 経 路
1	供試ケーブル，結合コンデンサ，検出素子よりなる閉回路に電磁的に侵入誘導するもの
2	供試ケーブル(長い)に空間伝ばノイズが誘導される。
3	接地回路から誘導されて伝送してくるもの。
4	電源引込線から伝送されて試験用変圧器，測定器などに侵入するもの。

した。おもなものは次のように分類できる。

(1) 外 来 妨 害 波

電源，接地系からの妨害波および外来高周波により測定系に誘起される妨害波で次のようなものがある。

- (a) 巻取機，クレーンなどのマグネットスイッチ類の開閉操作による妨害波
- (b) 電気機器から発生する火花放電，高周波電源からの妨害波
- (c) ラジオ放送波による妨害
- (d) 放電灯などで発生する妨害波

(2) 外部コロナ放電による妨害波

測定系内の高圧印加物で起こる放電で，次のようなものがある。

- (a) 課電水槽内外部で発生するコロナ放電
- (b) 課電水槽支持部で起こるコロナ放電

(3) 不完全接地による誘導妨害波

3.2 外来妨害の介入防止法の検討

3.1で述べた外部ノイズのうち(2)の外部コロナ放電は当初水槽を課電電圧30 kV で設計したため，試験電圧が水槽の性能で制限され，あまり問題にならなかったのにおもに(1)の外来妨害波の介入防止を検討した。

3.2.1 遮へい室の設計，設置

外来妨害波の侵入経路としては表1に示すように大別できる。したがって，侵入防止を完全に行なうには供試体，測定回路全体

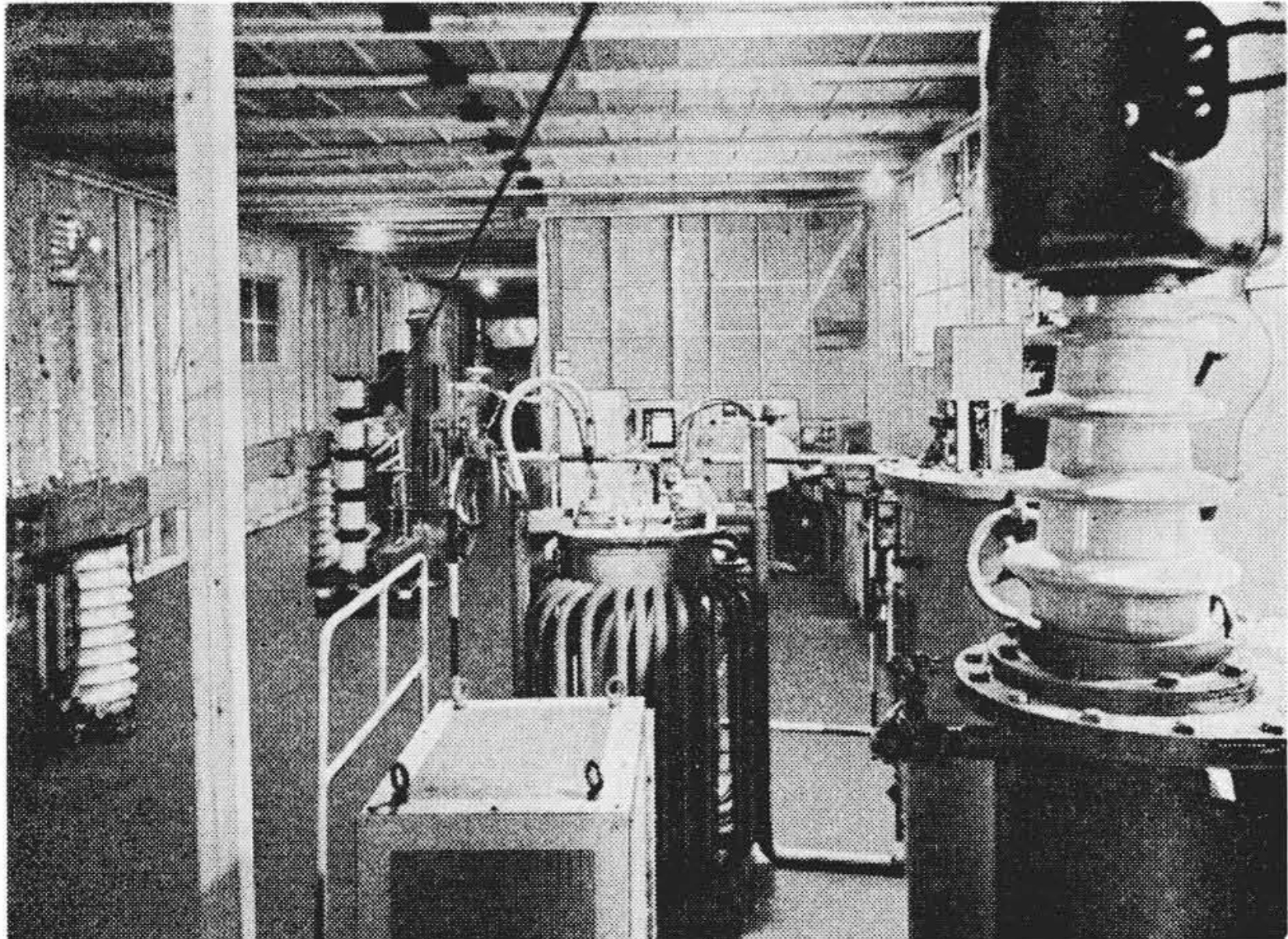


図 2 遮へい室内部の状況

を収納できる、しかも高周波に対して十分遮へい効果のある遮へい室を設計する必要がある。遮へい方式としては材料的には銅板、鉄板、銅スクリーン、鉄スクリーン、また構造的には一重式、二重式が考えられるが、今回は鉄板式一重遮へい方式を採用した。特に遮へい効果をあげるため鉄板の継目はすべてはんだ付けにするとともにドラムの搬入、搬出口のドア周辺部の電気的接触が完全になるよう工夫した。図 2 に遮へい室内部の状況を示す。試験用変圧器、測定器などの測定系はすべて遮へい室内に収納し、被試験ケーブルも室内で搬入して試験できるよう十分なスペースをとった。なお遮へい室内にふく射源を入れたときの漏えい電界とふく射源から遮へいなしに漏れる電界の比を障害波測定器で測定した結果、約 40 dB の遮へい効果が得られた。しかしさらに遮へい効果をあげるために電源引込線から伝送される妨害波を防止することを検討した。

3.2.2 電源フィルタの設置

遮へい室内には試験用変圧器、ドラム巻取用モータ、測定器、照明などの各電源線が引き込まれており、これら引込線に介入している妨害波を遮断するため遮へい室引込み口に電源フィルタを設置した。電源フィルタは 100 kc～10 Mc の高周波に対して 80 dB の減衰が得られる性能のものである。

以上の種々な検討、対策を行なった結果、測定上有害な外来妨害波の影響は無視できるようになり、検出精度が十分向上し、ルーチンテストとして有効なボイド検出試験法の確立をみた。

4. 試験電圧昇圧化の検討

60～70 kV ケーブルの需要気運により既設課電水槽の根本的改良を行ない、80 kV まで試験電圧を上昇させることを検討した。この場合の問題点は既設の遮へい室を利用することになったので、課電電圧昇圧化に伴う測定系高圧印加部と周囲接地間で発生する外部コロナをいかに抑制するかということと、水槽の構造、形状をいかに設計して既設水槽と同じ長さで十分な性能を出せるかの点である。

4.1 高圧部と周囲のクリアランスの問題

試験用変圧器、電源リード線、結合コンデンサ、課電水槽などの高圧印加部と周囲接地体間の距離をいかに保つべきかの実験を行なった。高圧印加部としては実際の測定系をそのまま使用し、接地体としては銅板(遮へい室内の天井、壁、床面を模擬)およびメッキ線(周囲金属のエッジ部を模擬)を使用して気中コロナ開始電圧(外部コロナ)を測定して 80 kV までコロナフリーなクリアランスの条件を見いだした。

4.2 電源リード線の気中放電

試験用変圧器から水槽中央電極部までに使うリード線(ビニル線

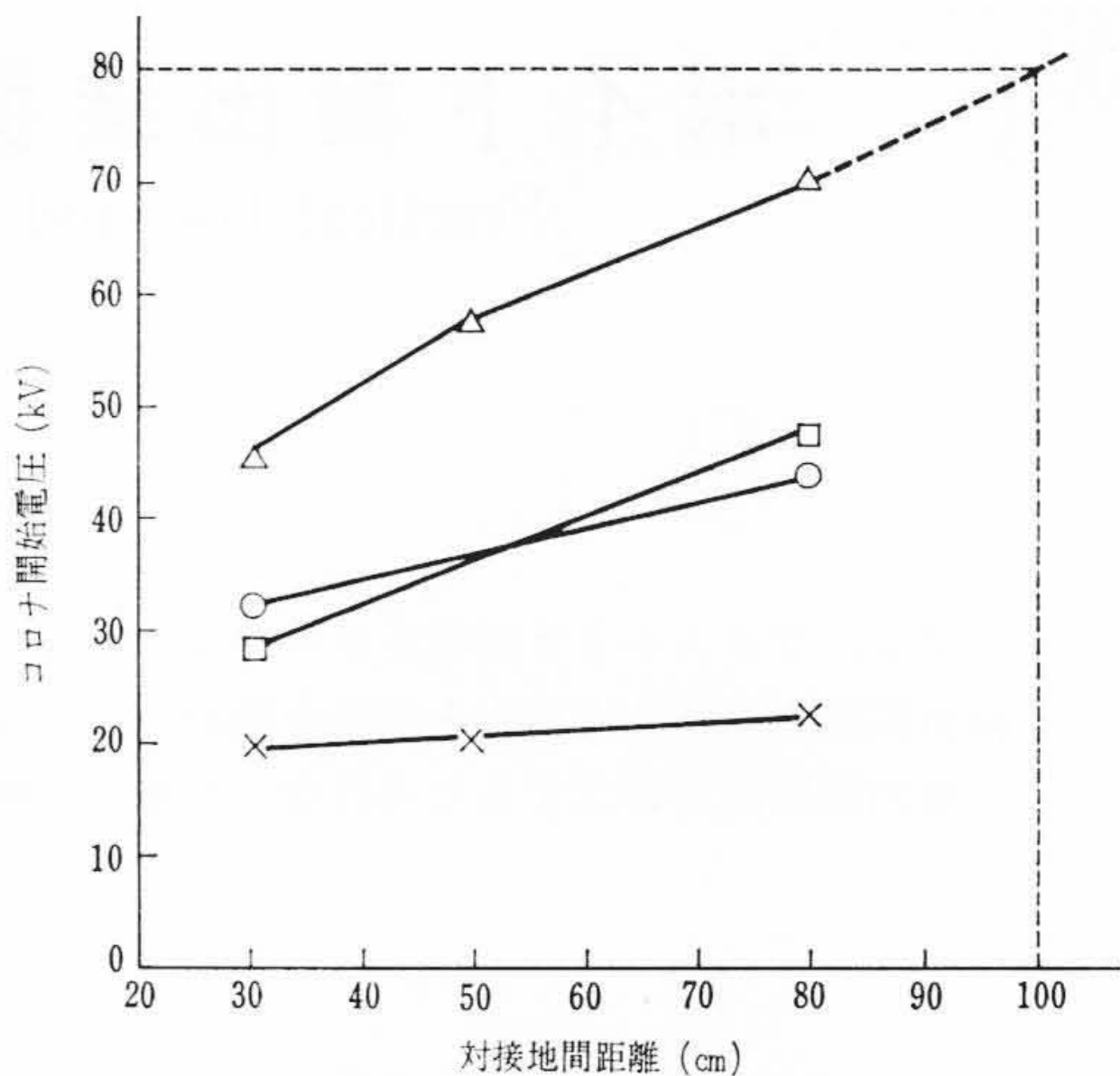


図 3 リード線—対接地間の気中コロナ放電

とレントゲンケーブルを使用)と周囲接地体間の距離とこの間で発生するコロナの開始電圧の関係を測定した。図 3 はその結果であるがこれによるとリード線としてレントゲンケーブル(絶縁厚 5 mm、遮へいなし)を使用した場合、接地部との距離が 100 cm 以上では気中コロナ開始電圧を 80 kV 以上にすることが可能であることを知った。しかし接地物としてメッキ線を使用したり、非接地金属を接地板の上に置いた場合には気中コロナ開始電圧は 80 kV 以下となる。したがって実際にはリード線としてはレントゲンケーブルを使用し、周囲物とのクリアランスは 1 m 以上に保ち、測定系の非課電金属はすべて接地することにした。

4.3 高電圧課電水槽の開発

4.3.1 モデル水槽による実験

試験電圧昇圧化に伴う課電水槽部でのコロナ放電(外部コロナ)を抑制、防止するためには水槽の(1)形状、(2)長さ、(3)対接地物(遮へい室の天井、側壁、床面など)とのクリアランス、(4)中央課電電極部の構造、(5)支持物の以上 5 点の考慮が重要である。これらの検討に対しては実物大を模擬したモデル水槽を試作して実験した。

(1) 水槽の形状

従来使用の水槽はケーブル端末部をシールしないでも槽内を通過できる、ケーブル走査状況が容易に見られる、槽内の清掃が容易であるなどの理由により上面のあいているとい状箱形水槽を採用していた。しかし上面がないためケーブル通過時水滴が飛散したり、水泡が発生したり、ゴミがはいったりして電圧が高くなると外部コロナ発生の原因となるので今回は円筒形水槽を採用することを考え、接続部での局部的強電界を避けるため継目をいっさい作らないように考慮した。

(2) 水槽の長さ

モデル円筒形水槽に純水を満たして中央課電電極部と端末接地電極部の間隔と水槽自体のコロナ開始電圧の関係を求めた。その結果を図 4 に示す。図 4 から試験電圧 80 kV を目標にして中央電極部と接地電極部の間隔を 3.5 m とした。なお水槽の長さ方向の電位こう配は図 5 に示すとおりである。

(3) 水槽と周囲接地部とのクリアランス

モデル水槽による実験により水槽の高さ、および周囲接地物とのクリアランスは 1 m 以上あればコロナフリーであることを確認した。ただし若干裕度を考えて水槽の高さは 1.3 m とし対周囲

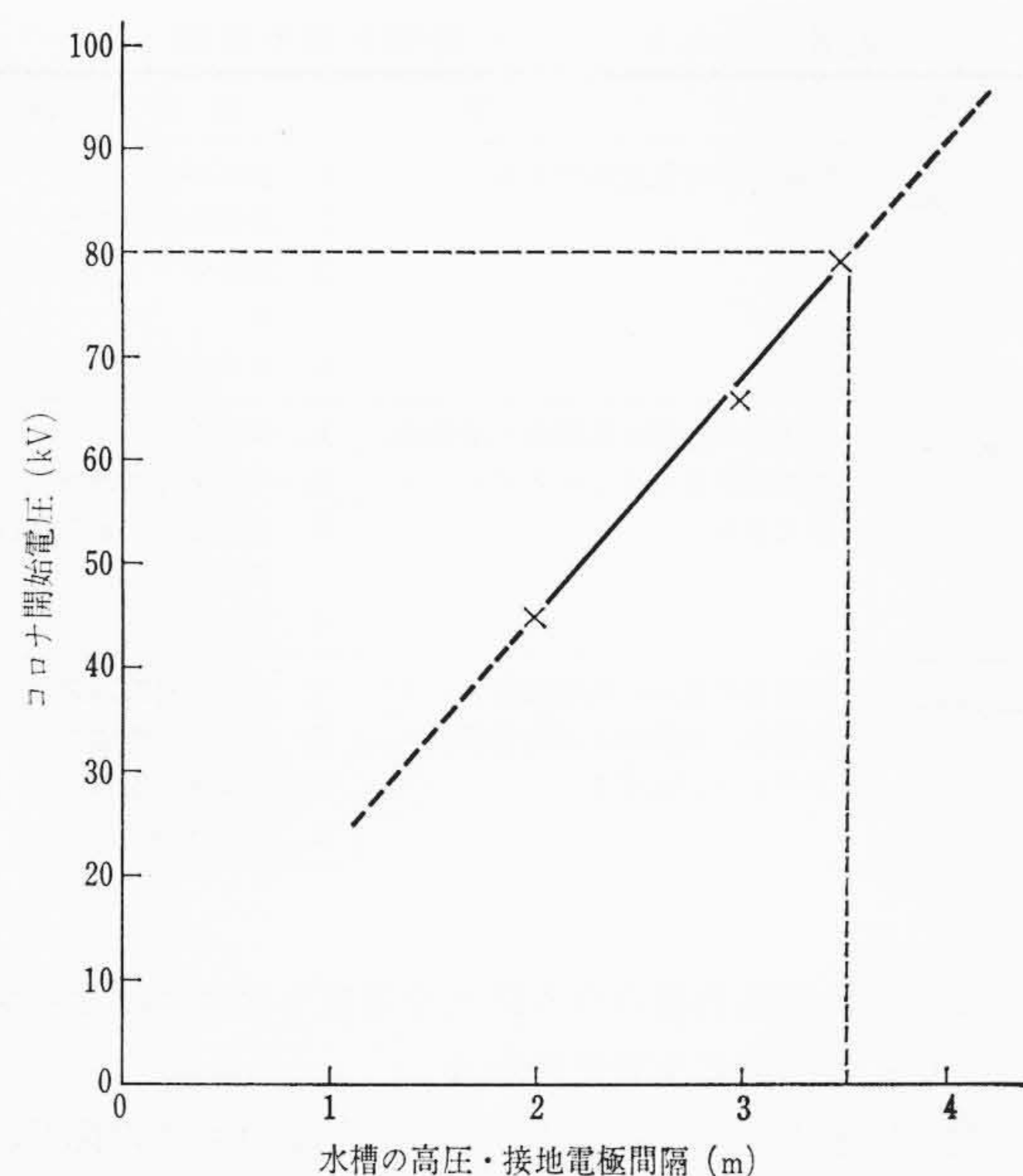


図4 水槽の電極間隔とコロナレベルの関係

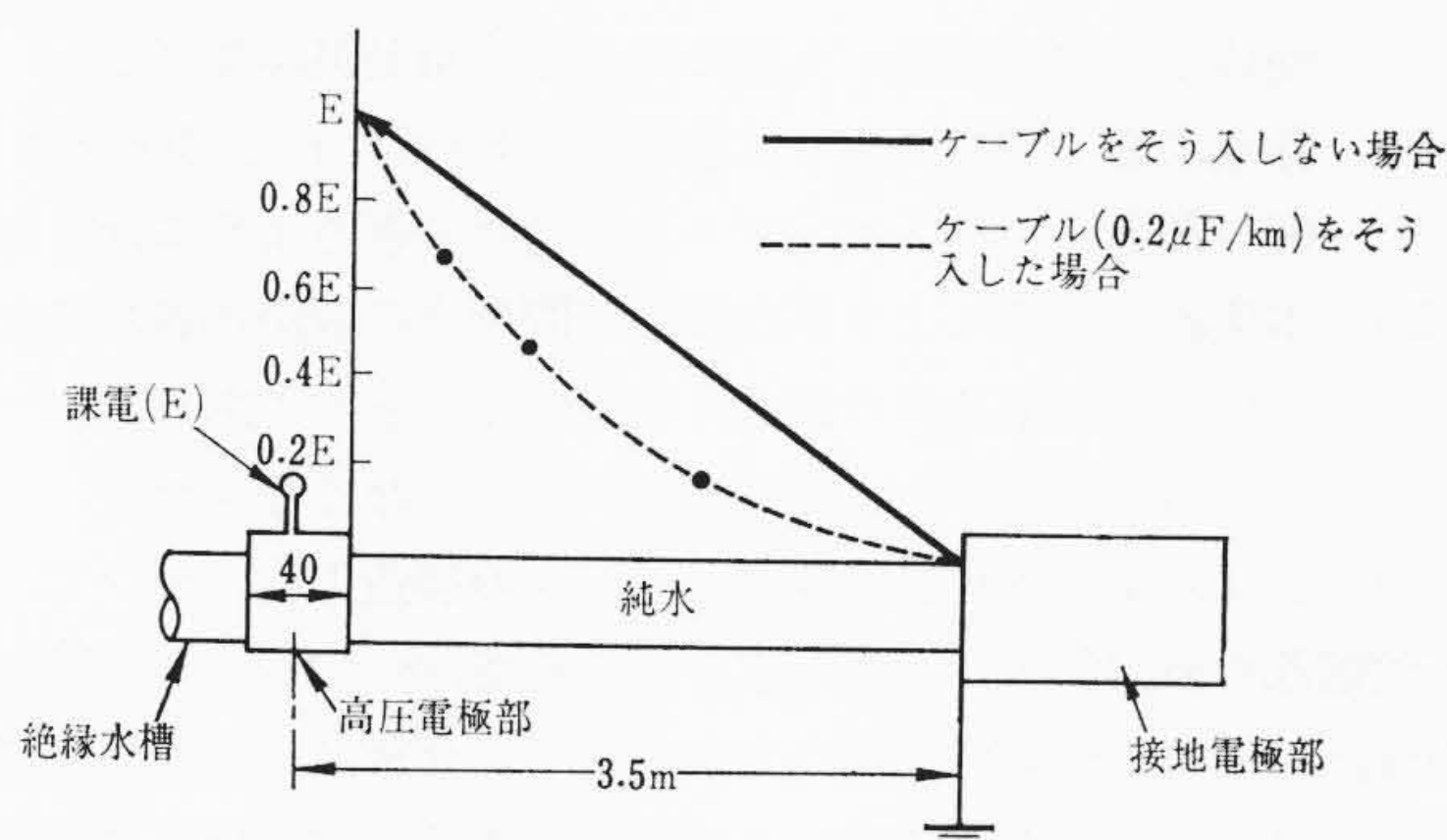


図5 水槽内の長さ方向電位分布

接地体からの距離は1.5 m とするようにした。

4.3.2 本水槽の設計

モデル水槽により、水槽の形状、長さを決定したが本水槽の設計に際してはさらに中央課電電極部、水槽の支持方法、被試験ケーブルの導体接地方式を十分に検討して性能および安全に完全を期した。

(1) 課電電極部の設計

中央電極部は高压が印加され、ボイド検出感度を左右する最も重要な部分であるので、次の項目を満足するものを設計した。

- (a) 金属部は外部に対してエッジができないこと。
- (b) 絶縁パイプとの接続部に気泡ができないこと、また接続部に水分が浸透しても強電界とならないこと。
- (c) 分解可能な構造であること。

以上の点を考慮して図6に示すような電極部を開発した。

(2) 水槽の支持法

水槽の支持は中央を避けて左右2箇所をがい管で支持したが、がい管内部、がい管と水槽との接触面で測定上支障となるコロナが発生するため、絶縁性ロープで天井から水槽をつり下げる方法に切り換えて目的を達したが、この支持方法は不安定であるのでコンデンサで分圧したがい管で中央電極部を支持する予定である。なおこの場合がい管はコロナパルス検出用結合コンデンサの役目も兼用できる利点がある。

4.4 被試験ケーブル導体接地方式の検討

前述したように被試験ケーブルの導体は送り出し、巻き取りドラム両端末で完全に接地をとり課電された水中を走査させて、絶縁体

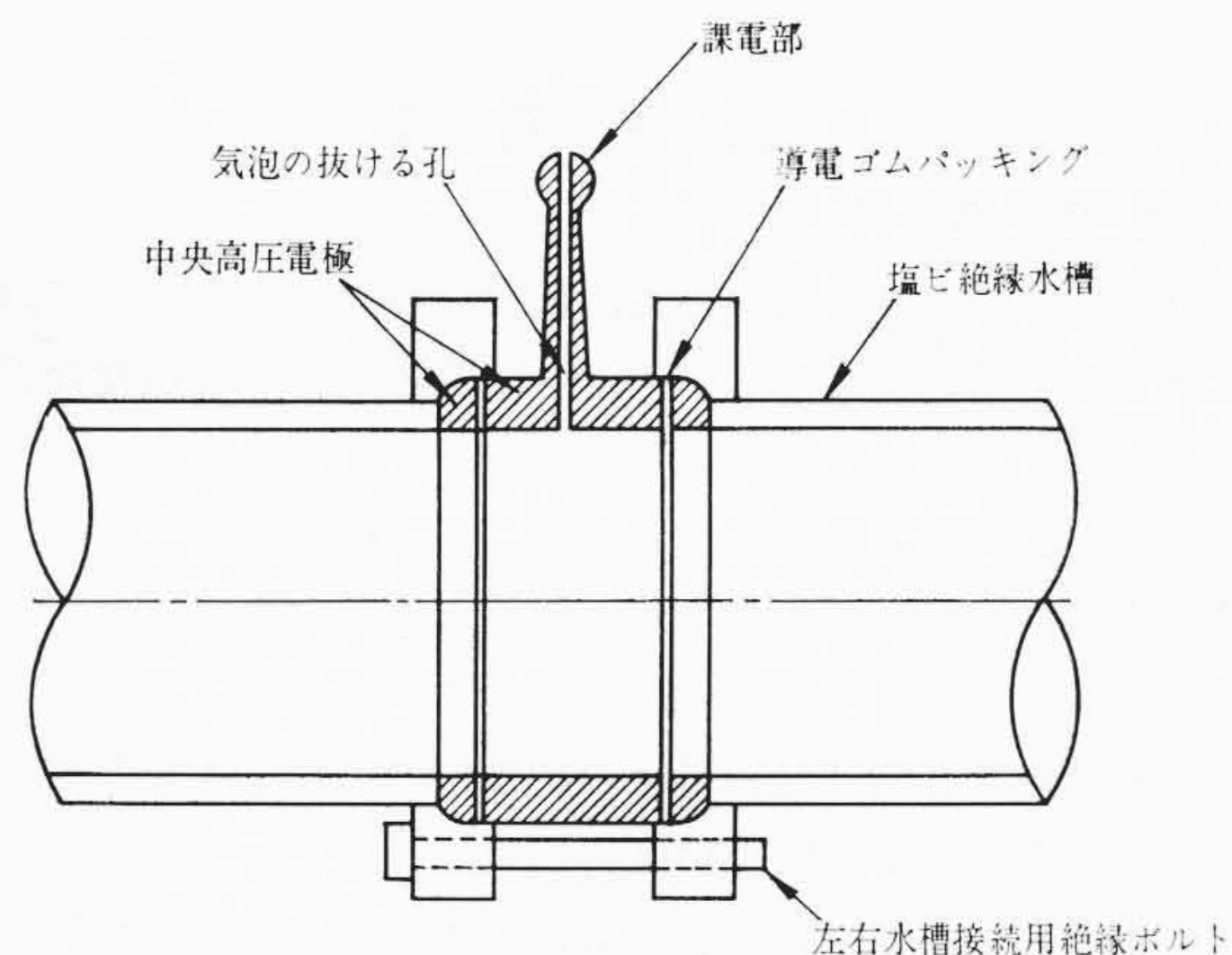


図6 絶縁水槽中央高压電極部構造

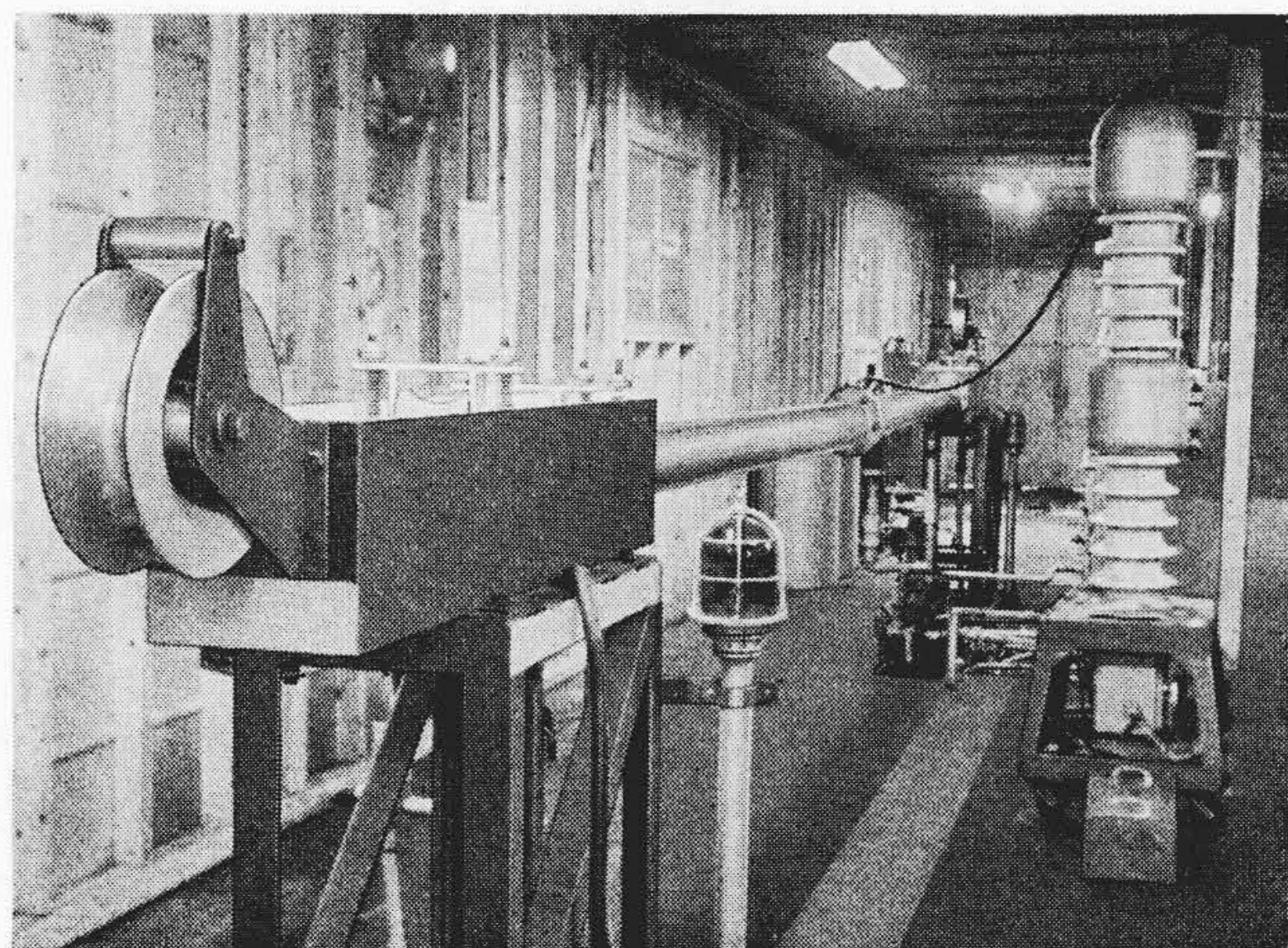


図7 現有ボイド検出装置の課電水槽部

表2 本装置の概要

遮へい室面積	112.5 m ²	
接地法	床面(鉄板+銅板) 1点接地	
室内環境	換気栓5箇所、換気窓6箇所、取付、照明：アイランプ使用(蛍光灯は作業準備中のみ使用)	
水槽内半導電液	イオン交換による純水製造使用 ($\rho: 16^6 \Omega\text{-cm}$ 以上)	
試験用変圧器	200 kV	100 kV A
試験可能電圧	80 kV	
検出感度	10^{-12} クーロン (オシログラフ観測による)	
ケーブル引取速度	3 m/min ~ 20 m/min (可変)	

表面の水と導体間に電圧をかけることになる。この場合ケーブル巻ドラムは不規則な振動を伴った回転となるのが普通で、汎用のブラシ方式では不完全接地となる恐れがある。接地が不完全となると接触不良によるノイズ発生の原因となるとともに導体に電圧が誘起され作業上非常に危険となる。その対策として、三つのリングが相互に回転可能なベアリング式スリップリング導体接地方式(特許出願中)を開発して効果をあげている。これによりケーブル導体→第1リング→第2リング→ドラム回転用シャフト→第3リング→接地の経路で完全な接地回路が構成される。

5. 現有ボイド検出装置の概要

以上述べたように遮へい室、電源フィルタなどの設置による外来妨害波の介入防止、測定回路での外部コロナの抑制、除去によりボイド試験精度、検出感度が向上し、さらに課電水槽の開発により試験電圧の大幅な上昇が実現して、現在ルーチンテストとして効果的な装置の完成をみた。表2に本装置の概要を、図7に課電水槽部を示す。

6. 実 用 実 績

6.1 試 験 条 件

試験条件としてボイド検出感度に影響を及ぼすものとして試験電圧、ケーブル引取速度、コロナパルス測定系の総合増幅度などが考えられる。

(1) 試 験 電 圧

試験電圧は絶縁材料の耐コロナ性を考慮して決められており、絶縁材料の種類により試験電圧を変えている。たとえばポリエチレンケーブルなどには使用電圧の約2倍の電圧で実施している。

(2) 放電の大きさの検出感度

ボイドで発生するコロナ放电量、コロナパルス数は自動記録計により指示させているが、同時にオシログラフでも連続観測しており、オシログラフによる検出感度は数 pc (10^{-12} クーロン) である。

(3) ケーブル引取速度

現有巻取装置で3 m/min から 20 m/min の範囲で変化できる。

6.2 適 用 線 種

現在は 10 kV 以上の交流特別高圧ケーブル、直流ケーブルについては全数、また 6 kV 以下のケーブルでも海底用のような重要品については実施している。ボイドは致命的欠点と考えられるので、特高ケーブルについては以上のように全数検査の方針をとっている。

6.3 適 用 効 果

ボイド検出装置の本当の効果は本装置の駆使により新製品、新構造品(特に内部遮へい材料、構成)の作業条件の確立に寄与することである。すなわち試作の段階で本装置により不良発生原因が早期にまた適確には握できるので品質向上、作業条件の確立が容易になる。したがって本番の段階ではトラブルがなくなり十分な品質保証が可能となる。なお試作段階でみられたおもなボイドの種類、発生原因を分類して示したのが表3である。

7. 結 言

ボイド検出装置の本格的実用(ルーチンテスト)に至るまでの開発経過、適用結果について報告した。これらの結果を要約すると、

(1) 数 pc〜数 10 pc のような微小なボイド放電パルスを検出す

表3 おもなボイドの種類と発生原因

ボイドの種類	現 象	発 生 原 因
1 発 泡	絶縁体中に気泡ができる	1 加圧不足 2 冷却条件不適當 3 絶縁体コンパウンドの湿気 4 そのほか
2 層 離 れ	導体遮へい層と絶縁体の接着面で接着不良を生じエアギャップができる	1 加圧不足 2 冷却条件不適當 3 導体遮へい層の材質選定不適當 4 そのほか
3 テープ切れ	導体上の遮へい用導電性テープが切れ、絶縁体との接着面にエアギャップが生ずる	1 テープ材質選定誤り 2 テープの熱劣化 3 絶縁体の冷却不足 4 そのほか

るには外来妨害波の介入防止を考慮しなければならず、遮へい室の設置は不可欠である。

(2) 遮へい室内の測定系高圧印加部の外部コロナの抑制、除去も検出感度を左右する重要な問題である。

(3) 外来妨害波の介入防止、外部コロナの抑制、除去により試験精度、検出感度が大幅に向上し適用効果があがる。

(4) 課電水槽の開発により試験電圧が 80 kV まで可能となり、60〜70 kV クラスケーブルまで適用できるようになった。

(5) 本装置の駆使により試作段階で問題点の解決が容易になったので、作業条件の確立に寄与すること大であり、ルーチンテストではほとんどトラブルが生じなくなった。

以上のようにボイド検出試験はケーブルの製造工程において、ボイド欠陥部を検出除去しうる利点があるので、ケーブルの品質管理、品質保証の面できわめて有効な方法である。今後はさらに検出感度の向上、試験電圧の上昇について検討し、ますます高圧化の傾向にあるゴム、プラスチックケーブルの品質保証体制を確立したい。

最後に本研究を行なうにあたり種々ご指導、ご助言をいただいた日立電線株式会社日高工場関係各位に厚くお礼を申し上げる。

参 考 文 献

- (1) CIGRE Study Commettee 2: Scanning Cable for Dis-charge Scamring Method (May. 1965)