

## パーティクルトラップに関する研究

荒 木 智 勇\*・薮 内 利 親\*\*・朝 井 敏 文\*\*

### A Study on Particle Trap

Tomoo Araki, Toshichika Yabuuchi, Toshifumi Asai

In GIS(Gas Insulated Switchgear) and GIL(Gas Insulated Transmission Line), $\text{SF}_6$  gas is used as an insulating medium. If the metallic particles enter GIS or GIL, the particles are electrified and lifted in  $\text{SF}_6$  gas space by the electric field and moreover move randomly and attach the surface of an insulator. In the worst case, the flashover will happen on the surface of the insulator. So many types of the particle trap which trap the harmful particles have been mounted in GIS and GIL. We designed two types of the particle trap and calculated the electric field in it and conducted the optimum shape and size.

#### 1. 序論

高電圧・大容量電力機器としてのガス絶縁開閉装置（GIS）やガス絶縁送電線（GIL）では、絶縁体として  $\text{SF}_6$  ガスが使用されている。万一、その内部に金属異物（パーティクル）が混入すると交流電界により帯電し、図1に示すように  $\text{SF}_6$  ガス空間に浮上、跳躍する。ある確率で絶縁支持体としてのスペーサの表面に付着し、スペーサ表面の絶縁強度が低下し、絶縁破壊に至る恐れがある。電気絶縁上有害なこの金属異物を捕捉（トラップ）する装置が上記機器に一部取付けられている。その原理は、低電界部を設け、その中に金属異物が侵入すれば、いくら電界がかかっても出てこないようにしたものである。ここでは、パーティクルトラップの構造について調査を行うとともに、考案した構造について電界解析を行い最適形状、寸法を求めた。

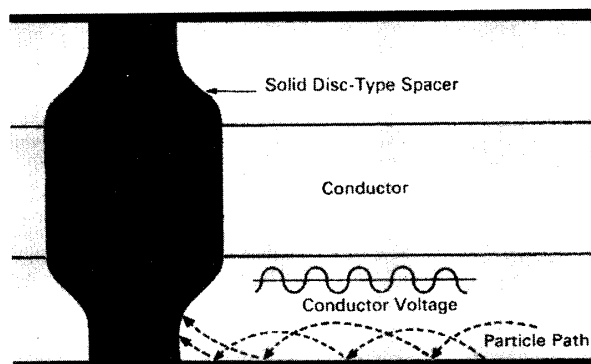


図1 金属異物（パーティクル）の挙動<sup>(1)</sup>

\* 電気電子工学科 \*\* (株)エルフ

## 1.1 ガス絶縁開閉装置 (GIS)

わが国では人口の都市への集中によって都心部での電力の消費が増大し、また著しく土地価格が上昇した。そこで金属容器で被われ  $\text{SF}_6$  ガスを絶縁媒体として高压充填することにより大幅な縮小化が期待できるガス絶縁開閉装置 (GIS : Gas Insulated Switchgear) が開発され、従来の気中絶縁変電所に代わり使用されている<sup>(2)</sup>。また、都市部においては 300kV 大容量変電所がビルの地下にも適用できるようになった。GIS は高電圧部が外気にさらされないため信頼性が高く、汚損特性も良好である。このため都心部ではなく山間部の変電所でも採用されるようになった。GIS の代表例を図 2 に示す。

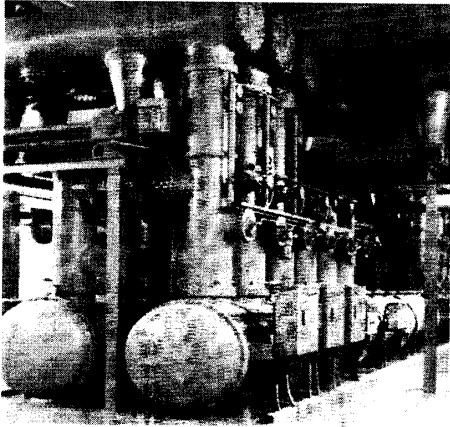


図 2 550kV GIS<sup>(3)</sup>

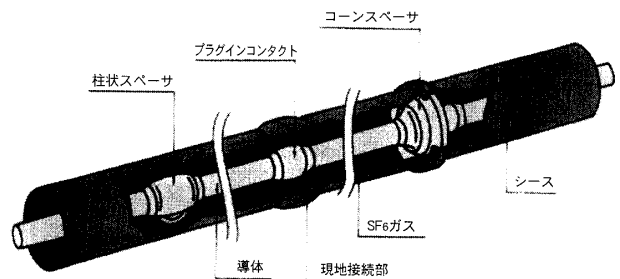


図 3 ガス絶縁送電線 (GIL)

## 1.2 ガス絶縁送電線 (GIL)

ガス絶縁送電線 (GIL : Gas Insulated Transmission Line) は、管路気中送電線とも呼ばれパイプ状の導体を密閉パイプ状シース中に絶縁体であるスペーサで支持し、また主絶縁媒体として GIS と同様  $\text{SF}_6$  ガスを高気圧で充填したもので、大容量地中送電線として、実用化されている。その構造を図 3 に示す。東京電力において、コンパクト型 500kVGIL の開発が進められ、1985 年に新野田変電所の 500kV 引込み線に適用された<sup>(4)</sup>。(図 4 参照) また、都市近郊の火力発電所の新設や設備の更新が進められていて、その引出し線としての大容量長距離地中送電線が必須であり、中部電力において、1998 年亘長 3.3km の世界最長の新名火東海線 275kVGIL が完成し、運転が開始された<sup>(5)</sup>。

(図 5 参照)

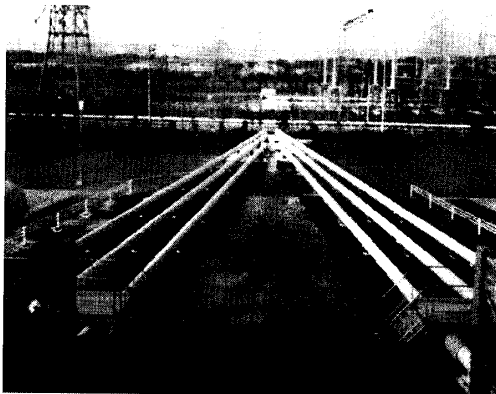


図 4 500kVGIL

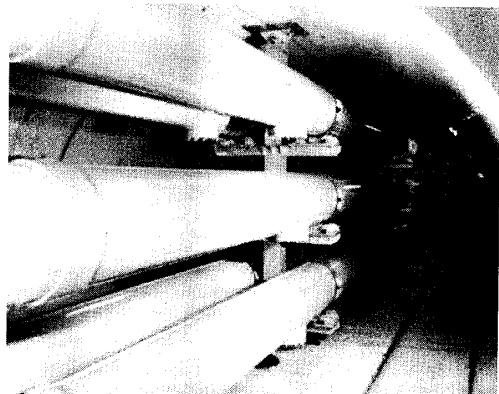


図 5 275kVGIL

## 2. フリー金属異物の運動

フリー金属異物(固定されていない金属異物)は電界によりシースの底面から浮上し、ガス空間で上下方向に運動する。金属異物の有する電荷と印加電界との間の静電気力により異物は浮上・降下する。この静電気力は異物と電極間の電荷のやり取りで決まるため、浮上開始電界は一般にガス圧やガスの種類に影響されない。これらの力は異物の種類、形状、寸法により異なり、最も有害な形状は線状異物である。異物は通常最初はシース底面に平伏しており、電界が上昇すると起立し、浮上する<sup>(6)</sup>。

### (1) 275kVGIL のシース内面の電界強度の計算

同軸円筒導体のシース内面の電界強度は次の式で表わされる。

$$E = \frac{V}{\frac{D}{2} \log\left(\frac{D}{d}\right)} \quad (kV/mm)$$

ここで  $V$ : 対地電圧 (kV)  
 $D$ : シース直径 (mm)  
 $d$ : 導体直径 (mm)

### (2) 線状(平状)の起立・浮上電界

線状異物の起立・浮上電界は次の式で表わされる<sup>(6)</sup>。各種金属材質の線状異物について、直径と起立・浮上電界の計算結果を図 6 に示す。直径が小さいほど、また比重が軽い金属ほど起立・浮上電界は小さいことが分かる。

$$E = \sqrt{\frac{\rho r g}{1.43 \times \epsilon_0}} \quad (kV/mm)$$

ここで  $\rho$ : 金属異物の密度 ( $kg/m^3$ )  
 $r$ : 金属異物の半径 (mm)  
 $g$ : 重力加速度 ( $9.8m/s^2$ )  
 $\epsilon_0$ : 真空の誘電率 ( $8.854 \times 10^{-12} F/m$ )

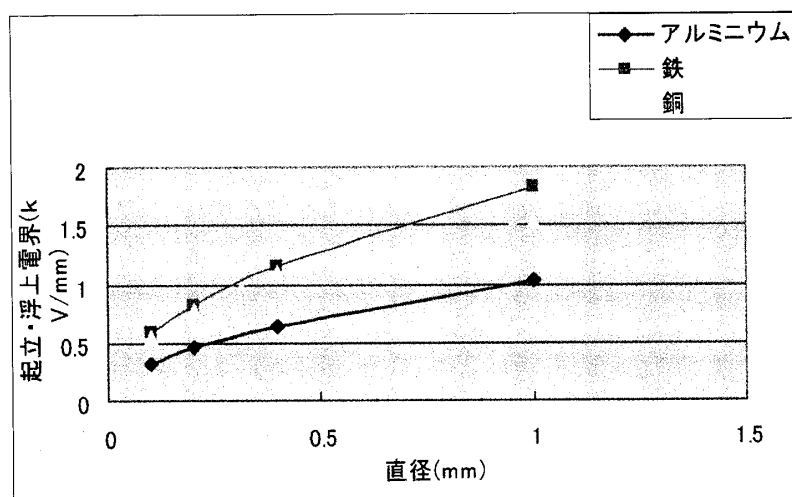
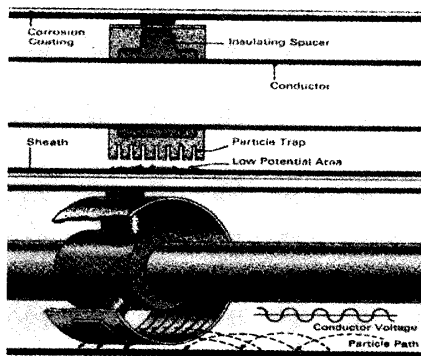


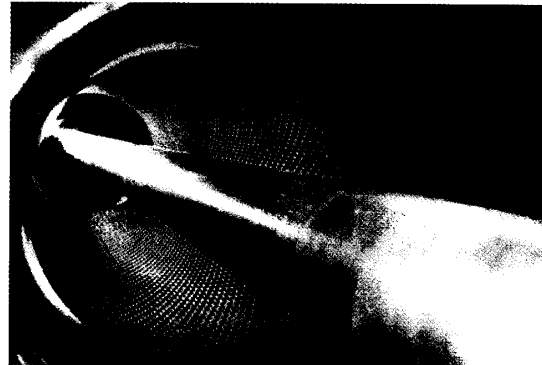
図 6 線状異物における起立・浮上電界

### 3. パーティクルトラップの構造調査

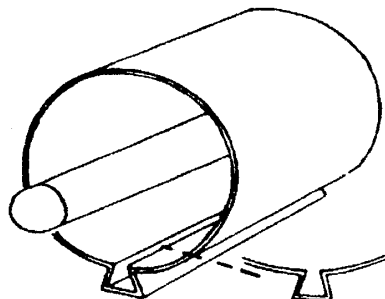
パーティクルトラップの構造について文献等より調査を行った。その代表例を図7に示す。



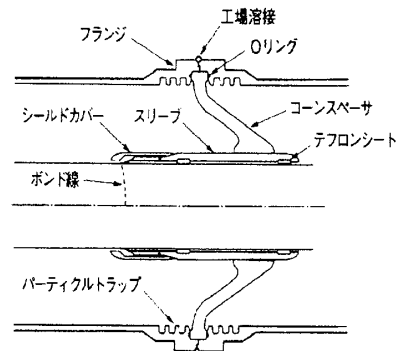
(a) スリット型<sup>(7)</sup>



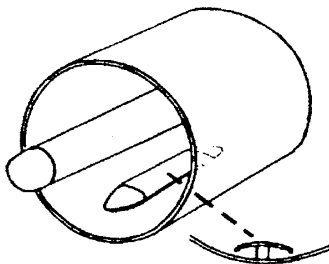
(b) 円形打ち抜き型<sup>(8)</sup>



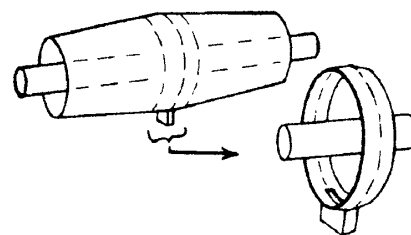
(c) シース溝型<sup>(9)</sup>



(d) フランジ溝型<sup>(10)</sup>



(e) シールド型<sup>(9)</sup>



(f) ボックス型<sup>(11)</sup>

図7 パーティクルトラップの構造代表例

## 4. 電界解析結果

### 4.1 3次元非線形電界解析ソフト

電界解析には(株)エルフで開発した電界解析ソフトELFINを使用した。本解析プログラムは代用電荷法により電界を求めている。ここでは、275kVGIL(導体外径:170mm、シース内径:460mm)にパーティクルトラップを取付けた場合を想定し、その構造について解析を行った。

モデル図の中心には線分要素が置かれている。線分要素の電荷密度の大きさは、中心から85mmの位置が1kVの円筒等電位面となるように決定した。線分の周りには電界が存在しているので、直径170mmの内側にあっても、電位は線分電荷に近づくほど大きくなる。この解析で意味を持つのは、直径170mmと直径460mmの間の領域だけである。

## 4.2 電界解析条件

### (1) 解析対象

電界解析対象のパーティクルトラップの基本構造は図8に示すように(a)溝構造と(b)棒構造の2種類とした。前者は溝の底面が低電界部であり、後者は棒とシースの接触点近傍が低電界部である。



図8 パーティクルトラップの基本構造

### (2) 印加電圧

導体電圧を1kVとして入力し、後で線間電圧275kVに相当する対地電圧158.8kVに換算した。

## 4.3 解析結果

溝構造および棒構造パーティクルトラップについての解析結果はそれぞれ以下の表示を行った。

### (a) 溝構造

節点図、全体電位分布、部分電位分布、電界ベクトル

### (b) 棒構造

節点図、節点3次元図、部分電位分布、全体電位分布、電界ベクトル

溝構造および棒構造パーティクルトラップの解析結果代表例をそれぞれ図9、図10に示す。

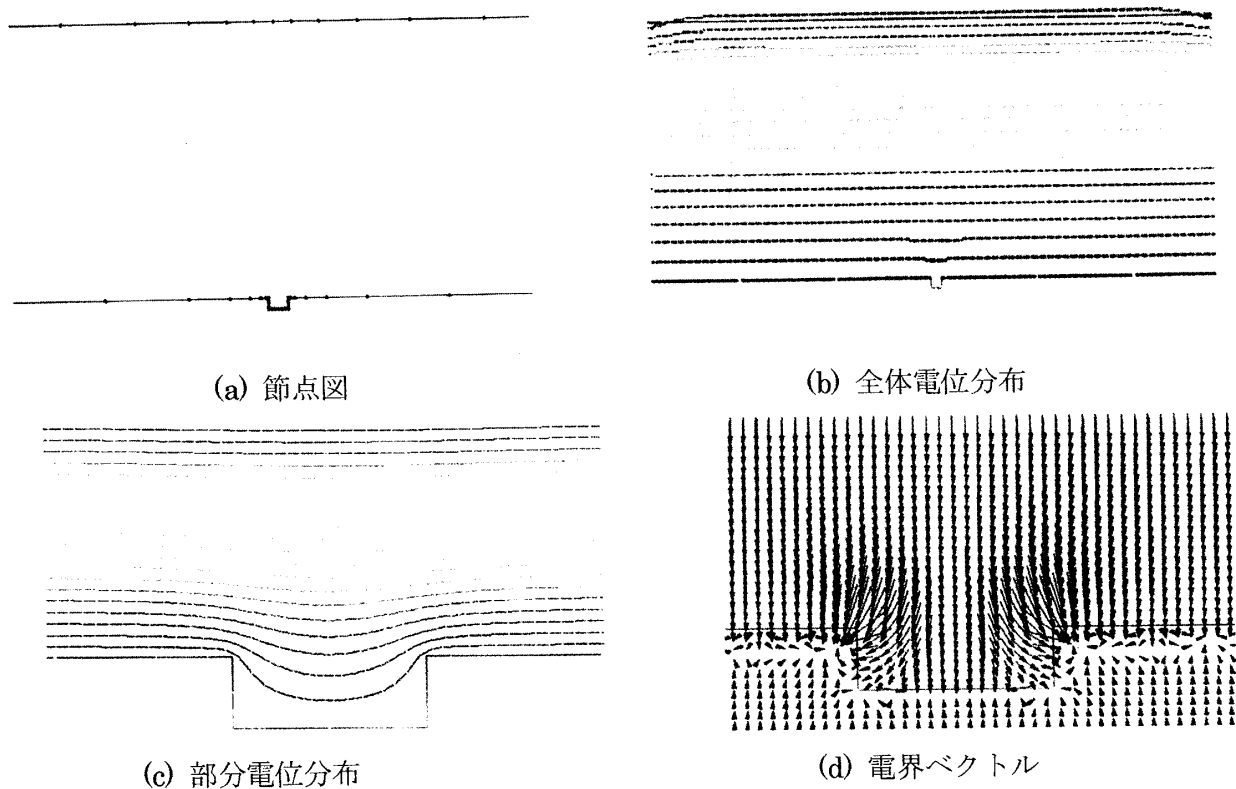


図9 溝構造の電界解析結果（幅15mm、深さ6mmの場合）

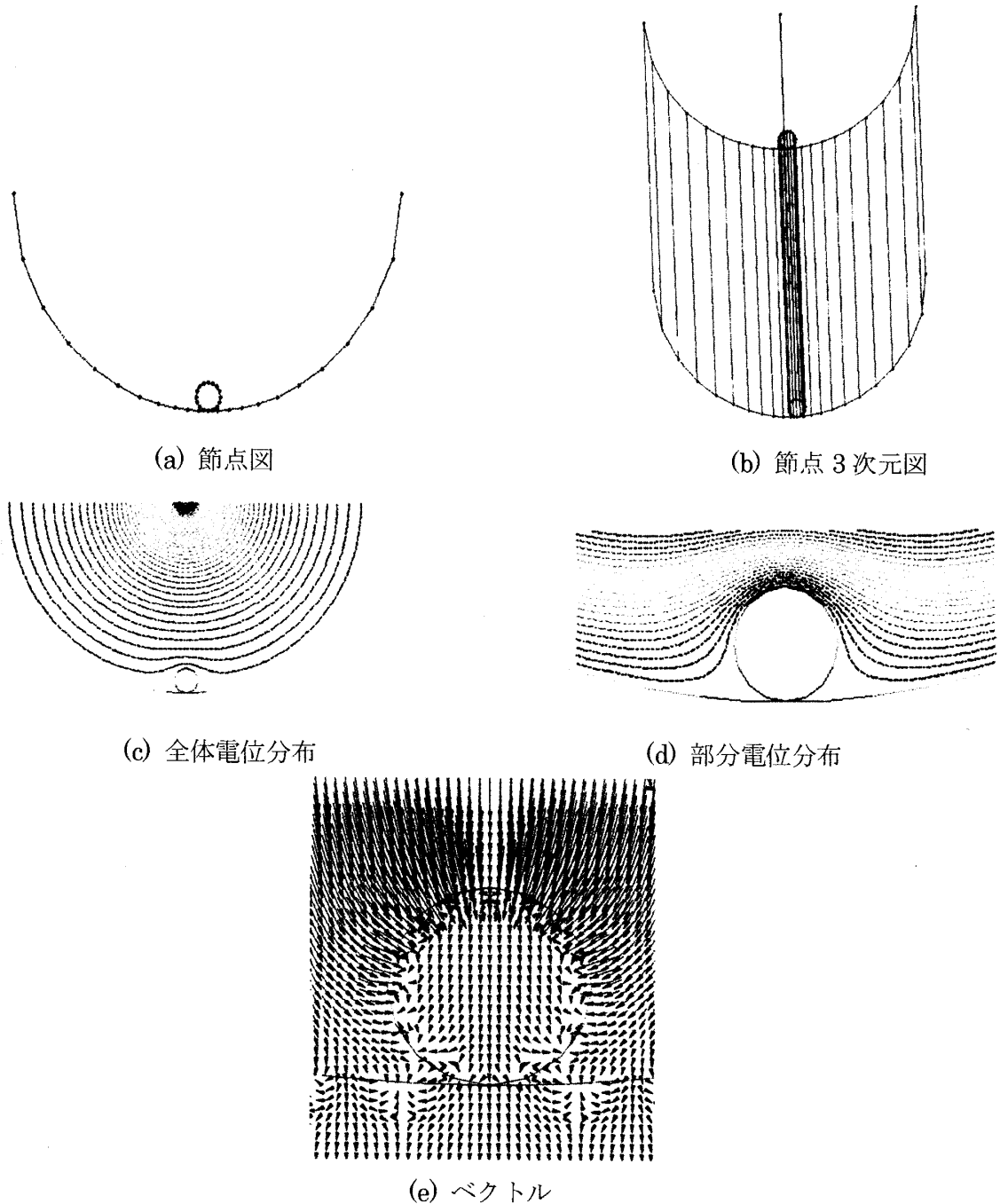


図 10 棒構造の電界解析結果（棒直径 30mm の場合）

## 5. 検討

検討に当たって GIS や GIL の加工、組立、施工中に発生または混入が予想される金属異物として材質がアルミニウム、外径 0.1mm の線状異物を想定した。その起立・浮上電界は 0.323kV/mm となり、この値を許容値とした。

### 5.1 溝構造パーティクルトラップの電位分布

溝構造パーティクルトラップの中心位置より溝端までの距離と電界強度の関係について考察を行った。溝の幅 15mm は一定として、溝深さ 2mm、4mm、6mm、8mm、10mm の各ケースについて溝の中心位置からの距離と電界強度の関係を図 11 に示す。

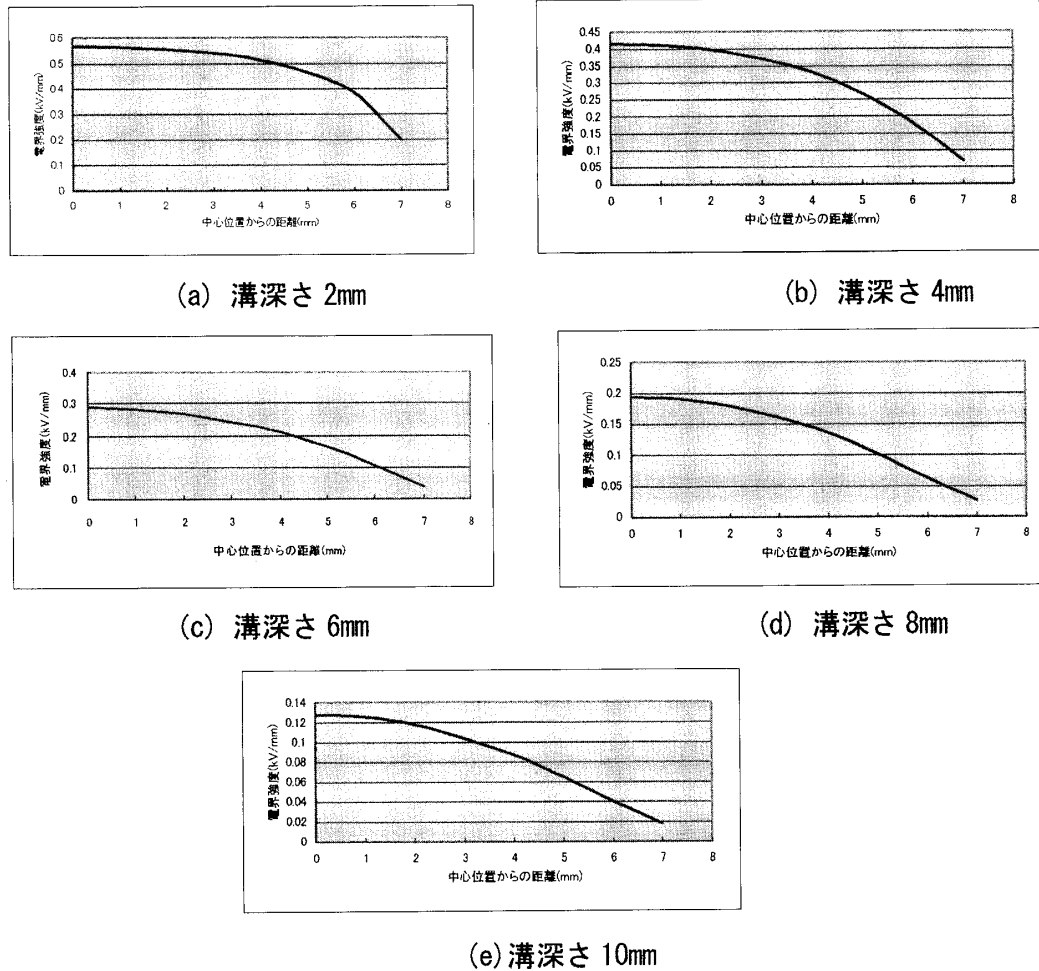


図 11 溝中心位置からの距離と電界強度の関係

以上の検討結果より以下のことが分かった。溝の深さが深くなるほど、溝の底面の電界強度は小さくなる。金属異物を直径 0.1mm のアルミニウムが溝から飛び出さないことを想定した場合、幅 15mm の溝構造パーティクルトラップについては溝深さ 6mm 以上必要である。

## 5.2 棒構造パーティクルトラップの電位分布

### (1) 棒とシースの接触位置より端までの距離と電界強度の関係

棒構造パーティクルトラップの棒とシースの接触位置より端までの距離と電界強度の関係について考察を行った。棒直径 10mm、20mm、30mm、40mm の各ケースの棒とシース接触位置からの距離電界強度の関係をそれぞれ図 12 に示す。

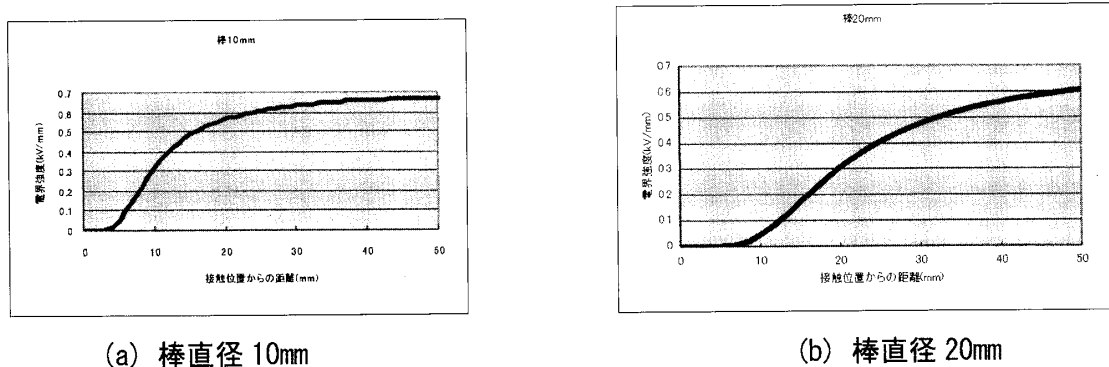
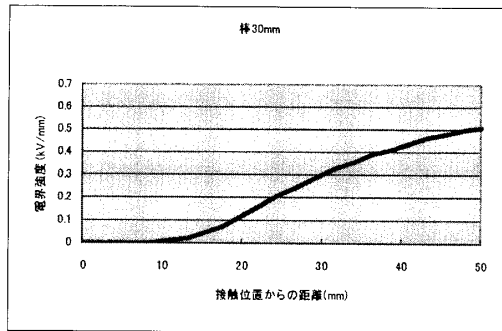
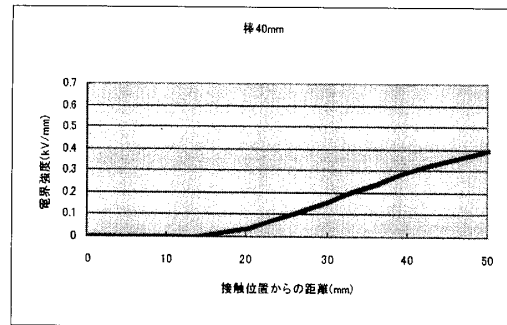


図 12 接触位置からの距離と電界強度の関係



(c) 棒直径 30mm



(d) 棒直径 40mm

図 12 接触位置からの距離と電界強度の関係 (続き)

以上の検討結果より金属異物を直径 0.1mm のアルミニウムと想定した場合、棒構造パーティクルトラップについては棒の片側で棒の直径に相当する範囲がパーティクルトラップとして機能することが分かった。

## (2) 棒の直上の電界

275kVGIL の対地電圧における導体直上電界は 1.88kV/mm であり棒の先端の電界は絶縁破壊防止面からそれ以下に抑える必要がある。棒の直径を変えたときの、棒の直上の電界を表 1 に示す。表 1 の結果から、棒の直径は 20mm 以下にする必要がある。

表 1 棒の先端の電界

棒直径 (mm)	電界 (kV/mm)
10	1.757
20	1.850
30	1.961
40	2.094

## 参考文献

- (1) Westinghouse ABB Power T&D Company : "Compressed Gas Insulated Bus Particle Entrapment System", Dec. 1976
- (2) 河村達雄、河野照哉、柳父 悟 : 「高電圧工学」電気学会 (2003)
- (3) SIMENS : "SF<sub>6</sub> - Insulated Switchgear for 123 to 525kV"
- (4) 中村、位高、荒木他 : 「コンパクト型 500kV 管路気中送電線の開発と実用化」住友電気, 第 129 号 (1986)
- (5) T.Nojima, M.shimizu, T.Araki et al. "Installation of 275kV-3.3km Gas-Insulated Transmission Line for Underground Large Capacity Transmission in Japan, Proc.of CIGRE Gr21/23/33, Nov.1998
- (6) GIS 絶縁に及ぼす金属異物の影響調査専門委員会 : 「GIS 絶縁に及ぼす金属異物の影響」電気学会技術報告, 第 561 号 (1995)
- (7) Westinghouse ABB Power T&D Company Compressed Gas Insulated Bus Particle Entrapment System, Dec. 1976
- (8) FINAL REPORT ON ERC RESEARCH PROJECT RP78-2(PHASE I) at the MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY on GAS DIELECTRIC CABLE INSULATION), June 1974
- (9) R. Nakata: "CONTROLLED PARTICLE SCAVENGING TECHNIQUE FOR USE IN HVDC SF<sub>6</sub> GAS BUS " A 76 410-1
- (10) 市原正樹、荒木智勇他 : 「長距離 275kVGIL の開発」住友電気, 第 1 号, 1995 年 3 月
- (11) R. Nakata, J. Tuohy: "PRACTICAL GAS BUS DESIGN BASED ON PARTICLE MOTION STUDIES", 1976

(平成 20 年 3 月 31 日受理)