

Field Mapping 法による碍子周辺の電位分布 2次元模型による研究 (第1報)

武藤 三郎、津田 一男、伊藤 親之

POTENTIAL DISTRIBUTION ABOUT INSULATORS BY THE ELECTROLYTIC FIELD MAPPING.

STUDY BY USING OF TWO-DIMENSIONAL MODEL

(I)

SABURO MUTO, KAZUO TSUDA, CHIKAYUKI ITO,

We obtained equipotential lines of the two dimensional model of the insulator by electrolytic field mapping in a vessel, 70cm dia.

We researched about single suspension type insulator, longstab insulator, and effect of conduction grading on their.

Field Mapping 法による碍子周辺の電位分布 (第1報)

1. 緒言

電気機器の設計、あるいは研究に当つて、その電界、磁界、又は電流界等の分布状況を知ることは極めて望ましいことであるが、実際にそれを解析的、あるいは図解的に求めようとしても複雑困難で殆んど不可能である。この場合 Analogue 技術により比較的簡単に求め得る。Analogue の方法としては、電解液槽、抵抗網、導体板、ゴム膜、その他の方法が使われている。中でも現在最も多く実用され且つ信頼し得るのは電解液槽法である。

この電解液槽法の歴史は古く、静電界、静磁界、定常電流界の Field mapping に応用されたばかりでなく、その他流体力学、材料力学、熱伝導工学上或は物理学上に大きな貢献をなして来た。

しかし最近の送電々圧の上昇に伴う高圧用電気機器の耐圧または絶縁の問題、又新しい電子装置の開発等に、再びこの電解液槽法による Field Mapping が注目される様になつて来た。筆者等は先に、⁽¹⁾複導体送電線近傍の電位分布に関する研究にこの方法を用いてその目的を達して来たが送電用碍子についても、電解液槽による Field Mapping 法をその電位分布測定に応用して容易に電位傾度を知り、碍子設計に資する

べく、本研究を行なつた。

2. 電解液槽による Field Mapping 法の原理

数学的に完全な類似関係にある物理的現象は同一型の Field を有し、その一方を知れば同時に他方をも知る事が出来る。電解液槽による電界分布測定之一般理論は、Maxwell の方程式から誘導される。

定常電流界、空間電荷の存在しない静電界、及び電流外に於ける静磁界は類似関係にあり何れも Laplace 型の方程式で表される Potential 分布を有する。電解液槽法による Field Mapping はこの Potential 分布を求める為、誘電率を ϵ 又は誘磁率 μ に対応して導電率 σ なる電解液を以てし、液中に模擬電極を置き、それら電極間に比較的low周波の交流電流を流し、その電流界の液面に生ずる定在的電位分布を知り、それに対応する静電界、静磁界又はその他数学的に完全に類似関係にある Field の Potential 分布を知る方法である。電解液面に生ずる定在的電位分布を知るには、液面上を探針で走査し、或る一定電位と探針の電位との差が常に零になる様な探針の運動の軌跡はその電位の等電位線を表すから、順次その電位を変えて行けばそれらの等電位線群が得られ目的は達せられるのである。

3. Field Mapping に関する従来の研究

Field Mapping 法が電磁界の問題に応用された2~3のについて簡単に説明する。

(2)渡辺寧氏は、昭和8年頃導体絶縁体置換法による二極饋電分布の力線測定法を發表している。

(3)又d. McDonald は電解液槽を使用して2次元模型として、275kv 変圧器のコンデンサ型ブッシング附近の電位分布を測定した。

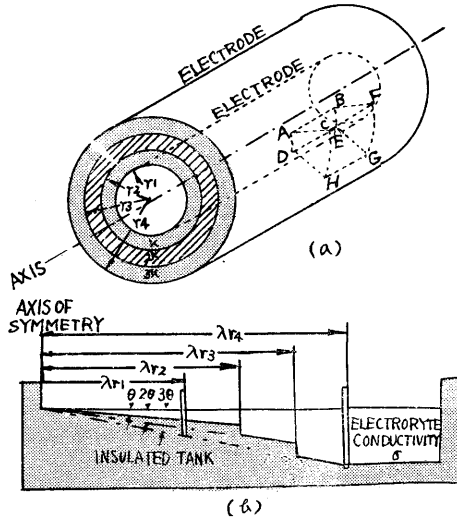


Fig 1 (a) Fig 1 (b)

Fig 1 に示す如く回転対称の3次元 Field では、電気力管は三稜形で、軸で相交はる ABFE, DCGH なる2つの電東面で切り取られる。それら電東面を Analogue するには絶縁面である液槽底と電解液表面を以て表す。この楔形の断片を Analogue する為 Fig 1 (a) の如く電解槽底は傾けられる。これは均質な誘電体を表しているので一様な傾斜であるが、Fig 1 (b) の如き異質の誘電体を表すには前章に述べた様に、誘電率の変化は電解液の導電率の変化によつて表すのであるが、誘電率が連続的にK, 2K, 3Kの3つの材料を含む絶縁媒質を Analogue するに直接模型電極間の導電率を δ , 2δ , 3δ にすることは不可能であるから、Fig 1 (b) に示す如く相互の導電係数が G, 2G, 3G の3つの層を作る様に槽の底の傾斜を変えた段をつける。この場合急峻な誘電率の変化を表す境界には導体ピンをさし境界面に於ける等電位面のずれを防止している。

この様な考により変圧器 bushing 附近の電界を Analogue 模型により求めている。電界はブス導体を中心軸とする回転対称3次元電界で、

ブッシング碍子、絶縁油、等異質の誘電体よりなるので傾斜と段々により表され複雑な模型は Wax に鑄込んで作られる。最近ではペークライト及びビニール粘土とも呼ばれ細工が容易な且何回も使えるビニクロゲルを使用している。

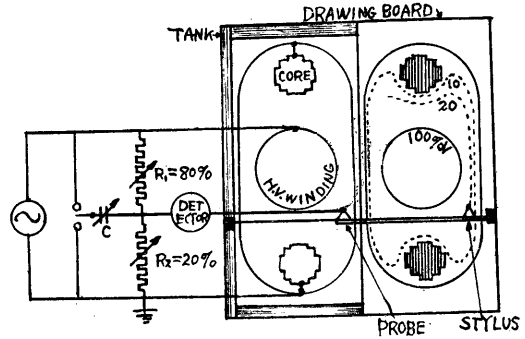


Fig 2

測定は Fig 2 の回路により検出器が平衡を示す迄探針を動かして求められた平衡点の連続が等電位線を表す。この等電位線は写図機で記録される。McDonald (3)はこの様な電解液槽法による電位分布の測定法を変圧器の設計に応用し多大の成果を上げた。

次に Brachen と Hide が Birmingham Proton Synchrotron の極面形の設計に Fig 3 の如き電解槽を用いた。これは2次元系電磁問題の Vector Potential 分布の決定に電解槽を利用した場合で、図で A なる電極より饋電し電極 B は Sink として居る。鉄は ($\mu = \infty$) であるから極模型 M は絶縁物を用いて居る。

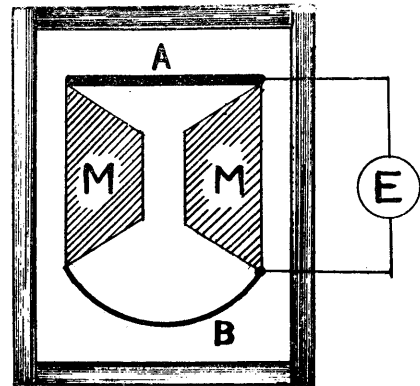


Fig 3

同様な方法で Wilkinson は Betatron の空隙の磁界を研究した。又 Musson-Genon は空間電荷が一樣に分布する電界の電位分布は電解液の深さを Param-

eter として求められることを示した。

更に最近各所に於て電解液槽法による Field Mapping の自動化が行はれている。例えば、⁽⁴⁾ Green, ⁽⁶⁾ Mickelsen の設計した電解槽では等電位線がサーボ機構制御により自動的に、Mapping される様に作られている。同様な考へで我が国の三菱電機にて⁽⁶⁾自動電界模写器が製作された。これらを使用することにより手動によるより遙かに能率よく電界の Mapping を行うことが出来る。

最後に電解が液槽を使用せずに Field Mapping を行う方法で、⁽⁷⁾ A. B. Moore の行つた “field from fluid flow mappers” について説明する。

まず Slab と云う石膏の平板でこれには予め求めんとする界の電極の形を模した穴があげられてある。その上に置くやや大き目のガラス板とガラス板が Slab 面に平行に置かれる為に使つた Spacer。水を入れる小水槽。直径 $\frac{1}{8}$ in 壁厚 $\frac{1}{4}$ in のゴム管数本、これは Slab の穴と小水槽底とに接続される。皿。Slab に Flow が見られる様に MnO_2 の結晶を用意する。さて実験はまず Slab を皿に入れ、皿に充分水を注ぎ、Slab を水中に沈める。ゴム管を Slab 穴に接続し、水槽には最初皿の水位と同じ程度水を入れて置く。次に Slab 面上に Spacer を置き、 MnO_2 を平均にふりまき、清浄なガラス板を静かに置く。そこで饋電点に相当した Slab 穴にゴム管で接続された水槽は上方へ、Sink に相当したそれは下方へと、同時に数インチ移動すると、Slab 面とガラス板との 2 次元 Flow 空間に水流が生じ、 MnO_2 により着色されて水流が直接見られる。これは 2 次元 Flow 空間が 2 次元電界と類似していることからこの様な実験により電界の状況を知ろうとするものである。

4. 実際装置並に誤差

Fig 4 は本実験に使用した電解槽並びに測定装置を示す。以下各主要部につき簡単に説明する。

電源は音叉発振器と濾波器で 1000c/s 正弦波を発生

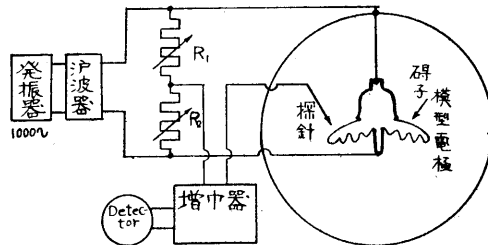


Fig 4 (a)

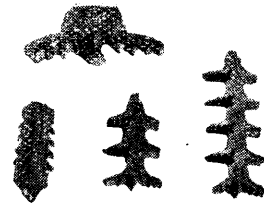


Fig 4 (b)

せしめ Bridge に供給する。発振周波数は高い場合には浮遊容量による影響が大きく又低い時には成極作用による影響が大きくなる故、1,000~1,500c/s の範囲が適当である。

Bridge の調整辺は無誘導ダイヤル型抵抗器で、5ダイヤルで1Ωおきに0~1,000Ω迄変化出来又操作の簡単より正確に調整出来る。成極作用により電解液のインピーダンスは電極付近で容量性を含むので之を補償する為補償蓄電器を用いることが望ましいが、本実験はその必要を認めなかつた。

電位分布測定で誤差を出来るだけ小にする為、表面インピーダンスを最小にする様な電極材料と電解液の組合せを撰ぶ必要がある。次の表は De⁽⁶⁾Haller による各種電極材料の “Transition Resistance” Rp を示す。

Material	Transition Resistance
Graphite, platinum sponge	Practically zero
Platinum (Polished)	Very low
Gold, iron, steel	Low
Silvdr	Noticeable
Copper	Fairly high
Brass, nickel, zinc, tin	High
Stainless steel, aluminium	Very high

この業な結果から Haller は黒鉛電極を推奨している。又 McDonald はニッケルメッキした鉄電極を使用している。

電解液としてはタツブウオータ ($NaOH$ が $\frac{1}{1000} N$, H_2SO_4 が $\frac{1}{2000} N$ の混合中和溶液) を用いる。普通の水道水でも、使用毎に新しく取り換えるならばそのまま電解液として使用しても差支えない。本実験では水道水を使用した。

探針としては従来は白金線が使用されたが破損し易い。電極材料より影響は少ない故電位分布を乱さない

様出来るだけ細い針を使うことが望ましい。

直径70cm深さ10cmの真鍮製リングをガラス板上に据え置き空隙をピッチにて充填し漏水を止めた。ガラス板の下には方眼紙が敷かれて直角座標を読取り得る様にした。

誤差として次の如き諸項が考へられる。

①機械的部分によるものとしては、模型罱子に塗布されているカーボンの量による導電度の相異より起る誤差、平衡点検出に於ける誤差とその点の座標を読む視差によるもの、製図の整理に於て、又電解液の深さ、探針沈入の深さの相異等、しかし之等は填重な準備と実験装置の扱い方により最小に喰ひ止め得る。

②成極作用

電解液、電極材料、電源周波数等の函数である所の電極電解液間の Transition impedance は成極作用による誤差を形式する。

③電解液の導電率の影響

電解液中の導電率の不均一はやはり誤差の要素である。簡単な導電率計を用いれば局部的不均一場所を検出し得る。

④表面張力

表面張力による誤差は電極や探針のメニスカスの形により起るが、普通前者は大きく後者は小さい誤差を作る可能性がある。3次元の傾斜底電解槽の場合に液の浅い所では誤差は大きいものとなるが、2次元電解槽ではさほど問題にならぬ。

⑤槽壁効果

電位分布は電解液槽の壁の接近により歪んで来るから模型電極の大きさによつて槽の大きさを考慮する必要がある。

以上述べた各原因による量的誤差の値は、最近の研究に⁽⁴⁾於ては Small order effect に入れられることが示されている。本実験に於いてもその様な誤差について左程重要視する必要ないと思われる。

5. 罱子表面並びにその近傍の電位分布

(5.1) 単一懸垂罱子

まず送電線に使用される懸垂罱子の一個をとり、実物大2次元模型とし罱子の磁器部分に相当する表面の抵抗値を種々の値に変えた場合について、Field Mapping 法で単一懸垂罱子周囲の電位分布を測定した。模型罱子のCap端からPin端迄の表面抵抗Rを1,000k Ω とした代表的な結果を Fig5 に示す。

上端Cap端と下部Pin端間の電位差を100%とし Cap

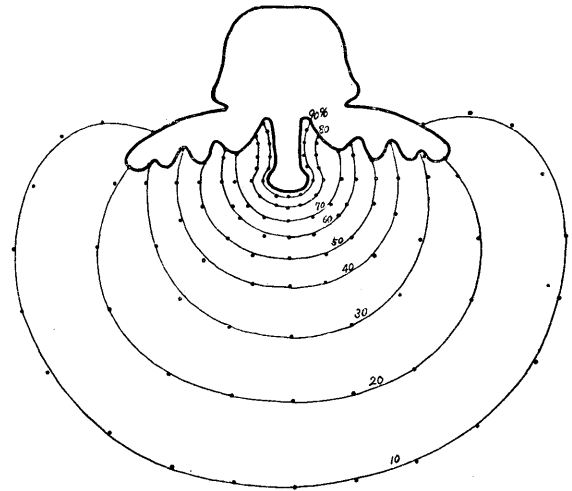


Fig5. R=1000k Ω の場合の電位分布

より10%, 20%, 30%等の電位差を有する等電位線を夫々、10%, 20%, 30%等電位線としている。

Fig5 で見ては電位分布の相異は明瞭に比較出来ないが、之を Fig6 の如く横軸に磁器部分の沿面距離をとり、縦軸に Cap 側よりの電位(%)をとり書き換えれば、Fig6 を得る。曲線 I、II はR=1,000k Ω 及びR=60k Ω の各場合の相異を明瞭に示している。以下この様な図示法を沿面距離—電位(%)曲線と呼称する。

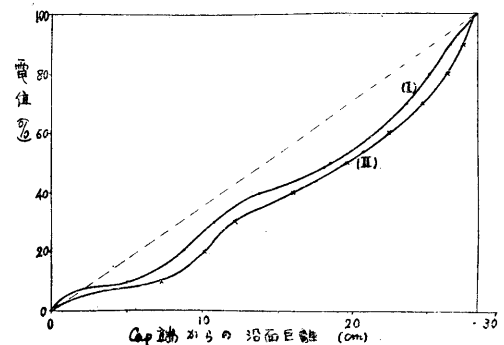


Fig6 (I) R=60k Ω (Fig12) (II) R=1000 Ω (Fig5)

この種測定は表面の抵抗値が少ない程電位傾度が直線に近くなることが実験的に確められた。この様な場合として実際には罱子表面が煤煙等によつて極端に汚染されている場合に相当する。

又以上の実験より電位分布は模型罱子表面の導電度を変化すること、即ち表面電位を変えることより任意に与へられることが実測され実験理論が Analogue 出

来ることを証明している。

一方、⁽⁹⁾A. Schwaiger により実測された実際碍子の使用状態に於ける碍子表面電位分布測定結果を引用すれば、Fig7 (a) の如きものである。

よつて模型碍子表面の導電度を局部的に変える事により Fig7(a)の如き実際の碍子使用状態の電位分布に近づけ得る。筆者等は表面抵抗1,000kΩであつた模型碍子のCap端から1.5cmよりPin端から5cmの区間の表面抵抗を10kΩにすることにより実際使用状態の電位分布に近づけることができた。Field Mapping 法により求めた電位分布は Fig7(b), Fig8 に示す。

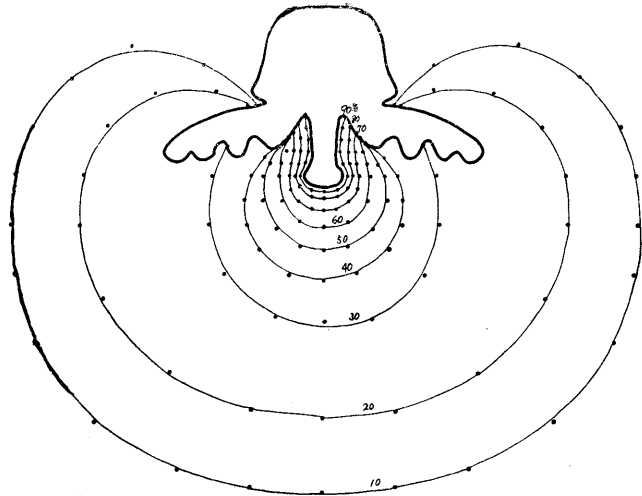


Fig 8 ab間1000kΩ 模型をbc間R=10kΩにさせる場合 Fig7 (b)と同様模型の電位分布但ab=1.5cm cd=5cm

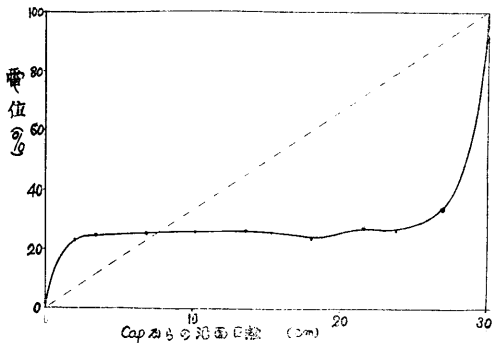


Fig7 (a) A. Sweigcs の実測結果

Fig7 (a) (b) で分る如く、実際使用状態の碍子のPin附近及びCap 附近の電位傾度は非常に大であり、Pin 附近では全電圧の60%をも負担している故何等かの原因により弧絡が起る場合には、最初この部分に局部破壊が起り全面弧絡へと発展することが予想される。

(8.2) 長幹碍子

次に最近欧州並に我国に於て盛んに使用され居る長幹碍子について同様の Field Mapping 法によつて電位分布を測定した結果を Fig9 に示す。この場合の模型碍子表面抵抗は1,000kΩである。これを沿面距離電位(%)の関係で描くと次章 Fig12 (b) II の如くなる。

6. 碍子表面に Conductive Grading を施した場合に電位分布に与える影響

前章で Analogue 模型によつても実測された如く、実際碍子使用状態に於ては Cap 又はPin附近の電位傾

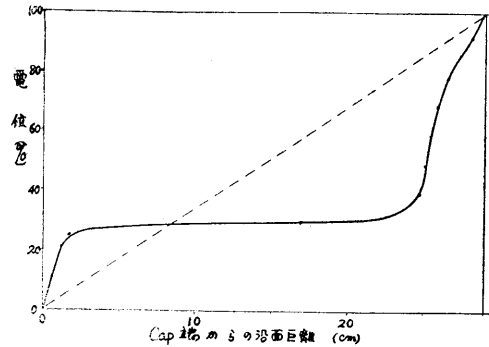


Fig7(b) 模型による電位分布

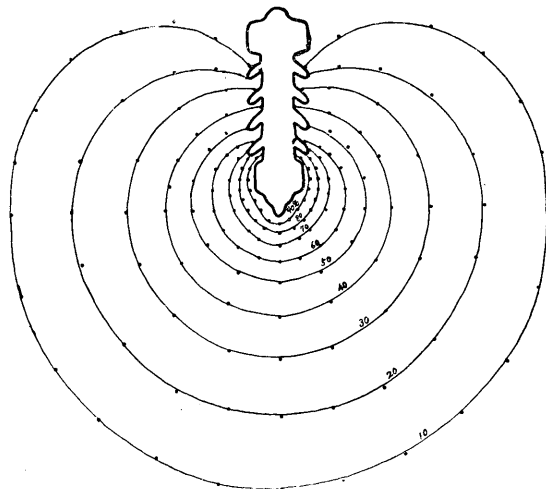


Fig 9 R=1000kΩ長幹碍子模型電位分布

度は他の部分に比較して著しく大きい。この為 Pin 附近に Corona が発生し易い。よつて碍子表面の電位分布を一様に安定せしめるためにこの部分の導電性を大ならしめて電位傾度の均一化をなせば Corona の防止上有効である。

碍子の実際使用状態に Analogue した Fig8 の場合の碍子模型に Pin から 5cm を grading しその間の抵抗が $2k\Omega$ になる様にした場合の電位分布が Fig10(a) に示され又 Fig 10 (b) にも示されている。Fig10 (b) Ⅱは grading を施せない場合を示す。

又同じ Analogue 模型で Pin 側から 2cm だけ grading された場合の電位分布曲線も求めたが上記 5cm gra-

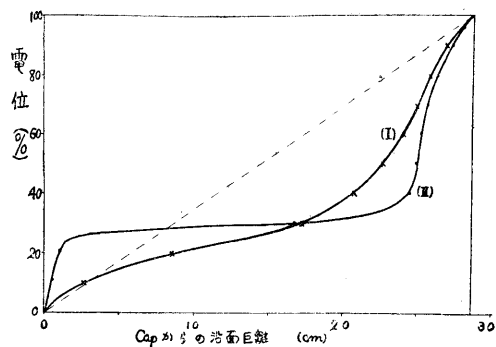


Fig 10 (b) (I) : Fig 10(a) の場合と同じ
(II) : Fig7(b) の場合と同じ

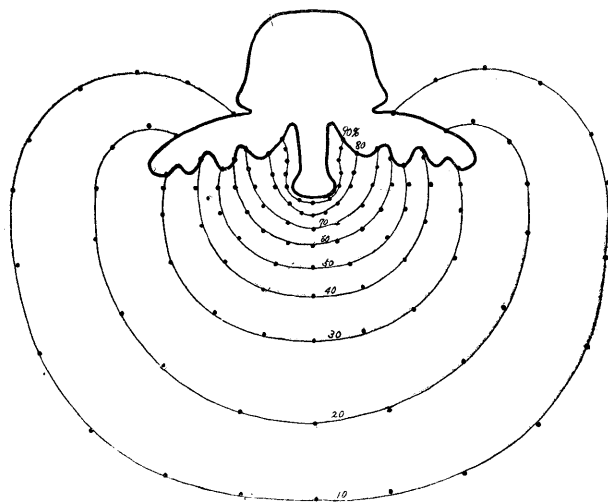


Fig 10 (a) 実際使用状態に Andozne した Fig7(b)の模型にピン端から5cm grading をした場合

ding した場合と比較すると grading 面積の広い程結果が良好であることが見られた。

更に次に、Cap 端より 2cm grading を施した場合の電位分布を Field Mapping より求めると Fig11(a) の如くなる。Fig11 (b) はその場合の沿面距離電圧(%) 曲線である。Cap 側に近い部分の電界状態が相当改善されている事が解る。しかし Pin 側に grading した場合程結果は良くない。

最後に長幹碍子について Conductive Grading の効果を調べて見た。

前章で求めた Fig9 の場合の碍子模型について、Pin 側より 3cm grading して電位分布を Field Mapping した結果を Fig12 (a)

Fig12 (b) 曲線 (I) に示す。

Fig12(b) (I), (II) を比較して見ても長幹碍子の場合も同様に grading することにより電界状態は改善されることが理解出来る。

(第 II 報に続く)

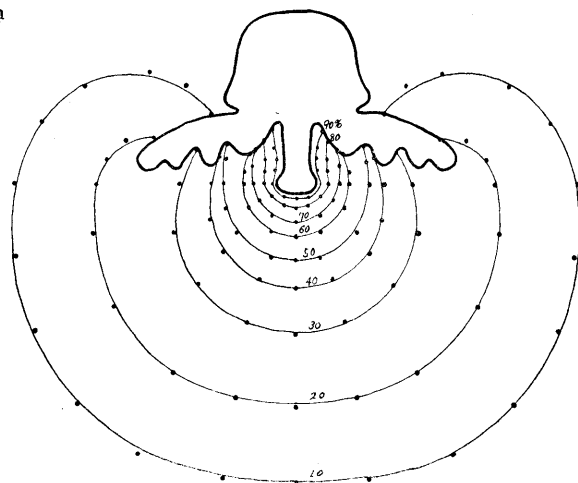


Fig 11 (a) Fig7(b)のものにCap端より2cm gradingした場合

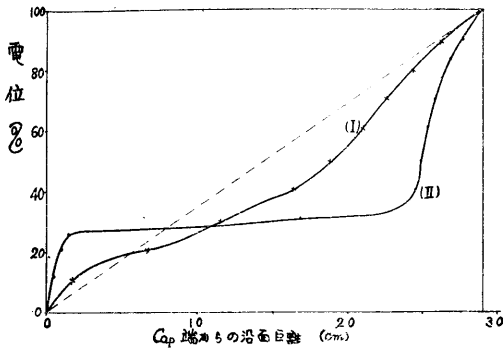


Fig 11 (b) (I) Fig11(a) の場合
(II) Fig7(b) の場合

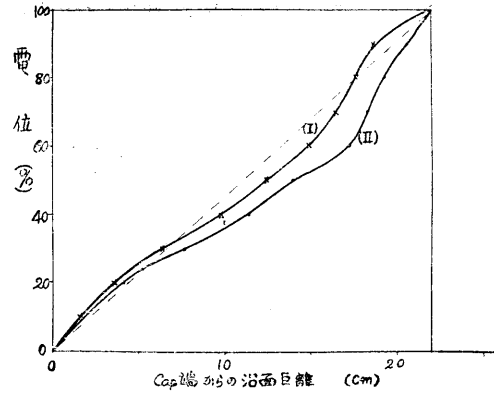


Fig 12 (b) (I) Fig12(a) の場合
(II) Fig9 の場合

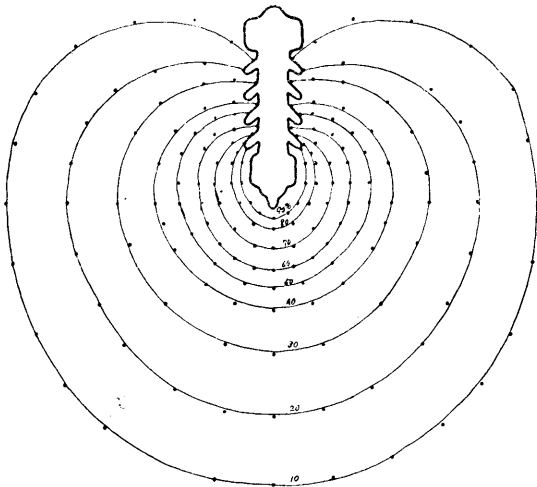


Fig 12 (a) Fig9の模型にPin端より 3cm grading を施した場合

参考文献

- (1) 武藤, 中住 ; 東海支部連大 7.10 (昭30.11)
- (2) 渡辺, 菊地 : 電学誌 1007 (昭 8. 9)
- (3) D. McDonald : D.I.E.E. Vol.100 PPart II No.74 (1953)
- (4) P. E. Green : Rev, Sei, Instr. Vol119 p646 (1948)
- (5) T. K. Mickelsen : G. E. Reu. Vol152 P19 (1949)
- (6) H. 岡 : 三菱電機 Vol29 No.5p.32 (1955)
- (7) A. D. Moore : T. A. P. Vol20 Augut p790 (1949)
- (8) G. Lieb man : Aduance in Electronics Vol II P.101 (1950)
- (9) A. Schwaiges : Elektrische Festig keitslehre.