

平成 22 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19560424  
 研究課題名（和文）静電容量の精密計測と並列数値計算による非破壊分布誘電率特定システムに関する研究  
 研究課題名（英文）Study on Nondestructive Estimation System for Permittivity Distribution using Precision Capacitance Measurement and Parallel Numerical Simulation  
 研究代表者  
 相知 政司（Ohchi Masashi）  
 千葉工業大学・工学部・教授  
 研究者番号：30233018

## 研究成果の概要（和文）：

申請者は、長間隔微小測定電極とそれらを覆い測定電極と同電位になる補助電極を用いた分布誘電率推定手法について研究を行ってきた。被測定物と電極位置を相対的に回転させ回転角度に対する静電容量の変化を実験により確認し、有限要素法(FEM:Finite Element Method)を用いた数値電界解析によって理論的にも検証した。その後、計測された静電容量を基に、数値電界解析と遺伝的アルゴリズム(GA:Genetic Algorithm)を援用して非破壊分布誘電率特定を行い、その可能性を示した。

## 研究成果の概要（英文）：

In the inverse problem, permittivity distribution image is a nondestructive imaging technique by using measured capacitance. The capacitance was calculated when the position of the acrylic rod is rotated every 30 degrees. The calculated capacitance compares with the experimental value. The gene with the large different value from the experimental value was removed. The next generation gene was generated by crossover and mutation. The permittivity distribution can be found by repeating above process. I found out that it was feasible to estimate the dielectric location, radius and relative permittivity of a dielectric based on genetic algorithm(GA) using finite element method (FEM). I carried out experiments and numerical analyses in order to verify the effect size and position of the arc additional electrode. The width of the measuring electrode is 20mm and the electrodes are located 97mm apart. The additional electrodes are 300mm high. The relative permittivity  $\epsilon_r$  of the acrylic rod is 3.11 by the prior experiment. The experimental results with 120 degrees of additional electrode size shows maximum values at 180 degree because the position of dielectric is the closest to the measurement electrode connected ammeter. The measured capacitance increased in case of small size of the low potential arc additional electrode. I conclude that the small size of the arc additional electrode is the suitable for the estimation of the permittivity distribution.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：微小静電容量，精密自動計測，並列数値計算，分布誘電率，非破壊特定

### 1. 研究開始当初の背景

一般的に、静電容量は、電極間距離、面積、誘電率という物理パラメータにより決まるものであり、広い分野で応用計測に用いられている。申請者は、長間隔の平行平板コンデンサを用いて被測定物の周囲から静電容量を計測し、被測定物内部の誘電率分布推定の研究を行ってきた。本手法において、静電容量を計測する際に、三端子コンデンサとし、シールドと測定電極と同電位となる補助電極を測定電極の周囲に設置することで浮遊容量などの影響を受けない安定した静電容量計測が可能であることを明らかにした。また、三端子コンデンサを用いた実験によって測定電極間の誘電体の位置が変化することで、静電容量が増減することが明らかになった。しかし、実験だけでその原因を明らかにすることは、困難であった。そこで、有限要素法(FEM)を適用し、結果として得られるスカラーポテンシャルから等電位線を描画し、等電位線に順次垂直線分を引くことで電気力線を計算し変位電流を可視化して、誘電体の位置変化により電界分布が不平等となることを確認した。更に、静電エネルギーを基に静電容量を計算する手法を提案し、誘電体の位置によって静電容量が増減することを理論的にも確認した。

一方、円弧形電極を用いた実験と数値解析が報告されているが、要素分割が粗く、静電容量の算定法にも問題があり、実験値と数値解析結果には25倍以上の差異例が存在し、理論的信濃性に欠けていた。そこで、申請者は、円弧形補助電極を用いて測定電極間の誘電体の位置を変化させた場合の静電容量計測実験を行い、更に数値解析を行い静電容量を計算した。その結果、実験結果と数値解析結果には数%の誤差はあるが、定性的にはほぼ一致していることが明らかになった。更に、数値解析を実行し測定電極間の変位電流の流れを二本の電気力線を用いて可視化した結果、測定電極間に誘電体を挿入すると平等電界が崩れ、電界の分布が偏り、不平等電界となる現象が顕著になることが確認できた。誘電体の位置によって、静電容量が増減する現象を実験的に確認し、数値解析を実行し電界の分布を視覚化することで、理論的に明確にすることができた。また、誘電体と電極を相対的に回転させた場合の実験と数値解析を行い両者を比較し、誘電体が電流計に接続された測定電極に近づくと静電容量が増加

することが確認され、誘電率分布推定の可能性を示すことができた。

次に、分布誘電率推定手法を確立する目的で、実験により計測された多数の静電容量を元に、遺伝的アルゴリズム(GA)と数値電界解析手法である有限要素法(FEM)を用いて、交付された予算を利用して、まったく新しい分布誘電率推定手法に関する研究を開始した。

### 2. 研究の目的

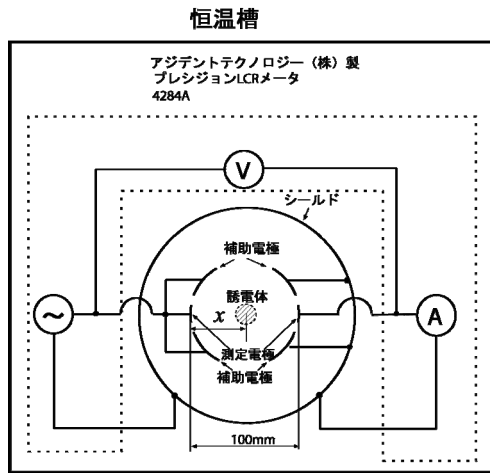
従来、世界的にみても、分布誘電率の可視可技術において、誘電体の位置の推定は可能でも、比誘電率までの推定には、至っていない。そこで、本研究では、遺伝的アルゴリズム(GA)と数値電界解析手法である有限要素法(FEM)を組み合わせ、誘電体位置と比誘電率までを推定する手法を検討し、その問題点、実現可能性を検討することを目的とした。

そこで、本申請で提案した手法でも多くの計算量が必要ではあるが、近年の安価なPCを多数用いて簡単に並列化計算が可能であり、他の手法に対する優位性がある。従来の研究では、数値電界解析と計測技術は、別分野で研究されていたが、本研究は計測技術と数値電界解析とを融合したものであり、その点が本研究の学術的・学際的な特色であり、独創的かつ特徴的な点である。

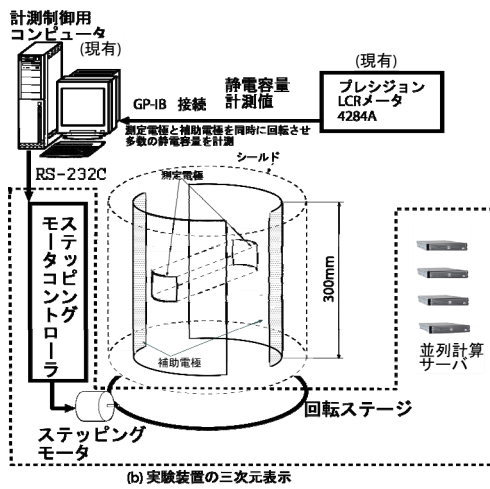
### 3. 研究の方法

本研究の概要を図1に示す。本実験装置では、計測制御用コンピュータを用いて、円筒形電極を有する実験装置内部を回転させながら静電容量を計測し、誘電体と測定電極の相対的位置変化によって、実験装置内部の電界分布が変化する。この電界分布の変化が静電容量へ影響するので、その変化を高速に精密計測する。さらに、実験により計測された多数の静電容量を元に、遺伝的アルゴリズム(GA)と数値電界解析手法である有限要素法(FEM)を用いて分布誘電率推定手法を確立することである。図2に、GAとFEMを用いた分布誘電率推定のアルゴリズムを示す。以下、簡単に、分布誘電率推定アルゴリズムを簡単に説明する。

- ① 乱数により遺伝子情報(誘電体直径，誘電体位置，非誘電率)の初期値を決め、N個の個体を発生させる。
- ② 数値解析モデル内の誘電体を回転させながら静電容量の数値計算を実行する。



(a) 実験装置の断面図



(b) 実験装置の三次元表示

図1 実験装置の外観

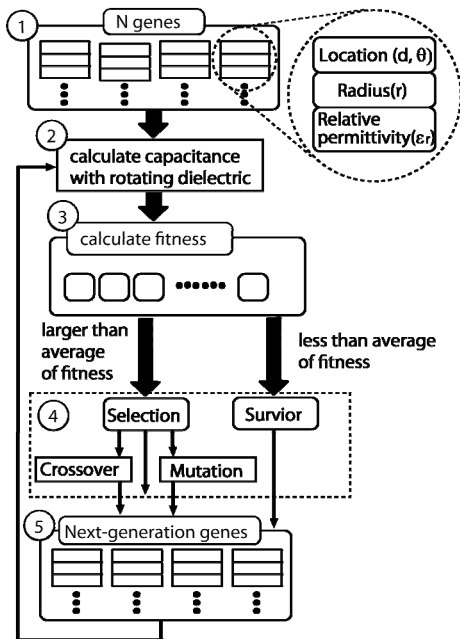


図2 GA と FEM を用いた分布誘電率推定のアルゴリズム

- ③ 実験値の静電容量と数値計算結果を比較して適応度を計算する。もし、適応度が設定した値に達している固体があれば終了する。
- ④ 適応度の低い固体は淘汰させ、交叉と突然変異で新しい固体を発生させる。
- ⑤ 次世代で上記と同じように計算する。

#### 4. 研究成果

従前の研究で誘電体を回転させた場合の静電容量実験結果と数値解析結果を図3に示す。

図3の実験結果を基のデータとして、本研究で提案した GA と FEM を用いた分布誘電率推定結果を図4に示す。

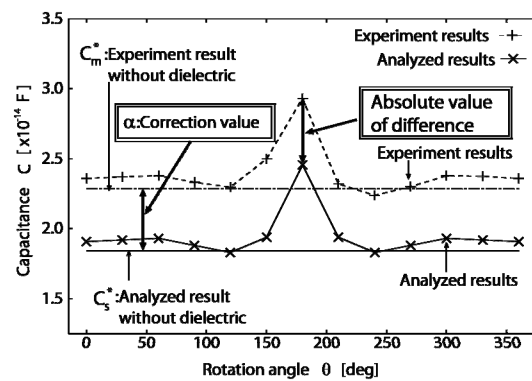


図3 誘電体を回転させた場合の静電容量実験結果と数値解析結果

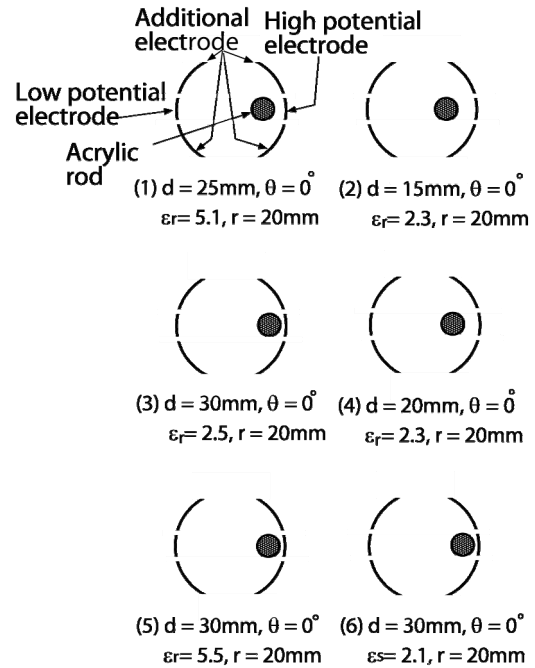


図4 GA と FEM を用いた分布誘電率推定結果

図4において、基となった実験データは、 $d = 30\text{mm}$ ,  $\theta = 0^\circ$ ,  $\epsilon_r = 3.11$ ,  $r = 20\text{mm}$ であったので、推定結果には若干の誤差があるが、提案手法を用いて分布誘電率推定の可能性を示すことができた。

次に、分布誘電率推定精度向上の目的で、低電位側想定電極の位置と大きさを変更した場合の数値計算を行った結果を図5に示す。図5の結果から、低電位側補助電極が最も小さい(4)の時の静電容量が大きかった。

今後、静電容量を計測する際に電流計が接続されている低電位側測定電極を覆っている補助電極の大きさを変化させた実験装置を製作し、実験を行い分布誘電率特定精度を向上させるのが課題である。

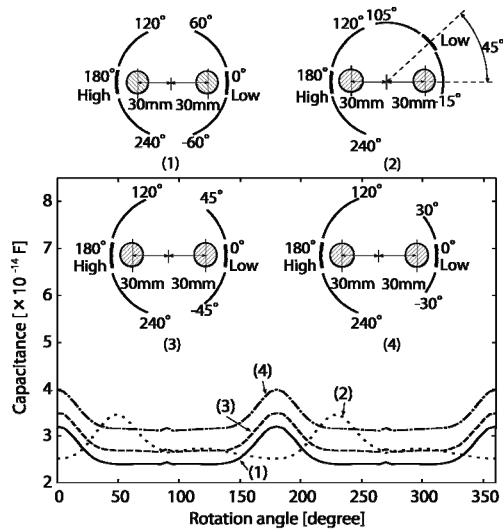


図5 低電位側補助電極の位置と大きさによる静電容量計算結果

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

相知政司, 古川達也, 福本尚生, 長町諭,  
「分布誘電率推定のための長間隔測定電極を用いた静電容量計測における円弧形補助電極の影響」, 電気学会論文誌A, 査読有, Vol. 129, No. 4, 2009, pp. 197-204

M. Ohchi, T. Furukawa and H. Tokushima,  
"A Proposal on Drawing Electric Lines of Force in Numerical Analysis of Electrostatic Fields", IEEJ Trans. PE, 査読有, Vol. 128, No. 2, 2008, pp. 443-450

M. Ohchi, T. Furukawa and H. Tokushima,  
"Feasibility Study on Estimation of Permittivity Distribution by using Genetic Algorithm and Finite Element

Analysis", IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 査読有, Volume 3, No. 2, 2008, pp. 236-243

相知政司, 崔秉学, 徳島尚生, 古川達也,  
「補助電極付長間隔平行平板キャパシタの電極間複数誘電体位置推定」, 電気学会論文誌A, 査読有, Vol. 128, No. 4, 2008, pp. 179-186

[学会発表] (計2件)

畑昌宏, 相知政司, 古川達也, 福本尚生,  
「長間隔円弧形コンデンサにおける大きさの異なる補助電極での静電容量数値計算」, 平成21年電気学会全国大会, 1-119, CD-ROM, 北海道大学, 2009年3月17日

相知政司, 崔秉学, 徳島尚生, 古川達也,  
「補助電極付長間隔平行平板キャパシタの電極間複数誘電体位置推定」, 平成19年電気学会基礎・材料・共通部門大会, XVI-4, CD-ROM, 大阪大学コンベンションセンター, 2007年8月27日

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

相知 政司 (Ohchi Masashi)  
千葉工業大学・工学部・教授  
研究者番号: 30233018