

講演論文集

第20回

「電磁力関連のダイナミクス」

シンポジウム

The 20th Symposium on Electromagnetics and Dynamics
(SEAD20)

会期：2008年5月21日(水)～23日(金)

会場：別府ビーコンプラザ

主催：日本 AEM 学会，大分県，大分大学

共催：電気学会(産業応用部門)，日本機械学会

協賛：日本鉄鋼協会，計測自動制御学会，磁性流体研究連絡会

日本磁気学会，低温工学協会，静電気学会，日本液晶学会，精密工学会，

日本原子力学会，高速処理応用学会，日本工業技術振興協会，

日本シミュレーション学会

電気インピーダンス法トモグラフィに関する一考察

A Study of Electrical Impedance Tomography

齊藤 兆古^{*1}(正員), 音川 英一^{*2} (非会員)

Yoshifuru SAITO (Mem.), Eiichi OTOGAWA (Non-Mem.)

With the developments of modern high-speed computer, X-ray and MRI tomography systems are widely used as a deterministic tool of medical diagnosis. On the other side, EIT (Electrical Impedance Tomography) is now developing mainly for industrial use. Fundamental difference between them is that MRI or X-ray tomography needs not to handle the functional measured data, but EIT is based on the functional nature of the measurable data. Namely, EIT requires a solution of ill-posed system equations but MRI or X-ray tomography does not require the solution of such the ill-posed system of equations. Because of the reliability, EIT is not applied to the medical use. Even though EIT does not give the reliable tomography, United State of America, England and the other countries are still developing the EIT. In particular, EIT is intensively developed as one of the national projects in China. EIT has several merits compared with that of MRI and X-ray tomography from a viewpoint of the cost and simple electromechanical structures. If it is possible to obtain the reliable solution of ill-posed system equations accompanying with EIT, then EIT may be used not only the industrial use but also medical use. In the present paper, we propose one of the most reliable solution methodologies accompanying with EIT development.

Keywords: EIT, Inverse Problem, Generalized Sampled Pattern Matching Method

1 緒言

現在, 実用化されている断層撮影技術として, X線CT(Computerized Tomography) や MRI (Magnetic Resonance Imaging) などが挙げられる。これらは医療分野などにおいて非常に重要な診断情報を提供する。X線CTを行うためには, X線照射装置が必要であり, MRIを行うためには, 強力な磁界生成のために超伝導磁石が必要となる。これらの装置は比較的大型, 比較的高価であるという欠点を持つ。これらの点を解消すべく, より小型の装置で安価に断層撮影を行うための研究が各国で行われている。特に, 多くの人口を抱える中国では, 国家計画として研究・開発が行われている[1]。これらの研究の一例として, 電気インピーダンス・トモグラフィ(Electrical Impedance Tomography, EIT) が挙げられる。X線CTやMRIなどでは, 断層撮影対象への働きかけに, 断層撮影対象内を直進する性質を持っているX線やマイクロ波を用いるので, その応答は一次元関数で表現することができる。EITでは, 断層撮影対象物への働きかけに対する応答が二次

元以上の関数で表現されるため, これらの断層撮影技術を関数型トモグラフィ(Functional Tomography)と言われる。二次元以上の関数の応答を元にする点が関数型トモグラフィの断層撮影画像生成理論の確立を困難にしている。関数型トモグラフィの研究で最も一般的な理論の一つとして, Sensitivity 行列法が挙げられる[2]。Sensitivity 行列法は, 一種の条件付パターンマッチング法と考えることができる。考えられる全てのパターンを用意する事が困難であるというパターンマッチング法の限界が Sensitivity 行列法の最大の欠点である。

本論文では, 電磁気学における電気双極子を関数型トモグラフィに導入した電気双極子法という新たな定式化法を提唱する。電気双極子法の利点は, Sensitivity 行列法のようなパターンマッチング法の限界が存在しない点にある。本論文は, 関数型トモグラフィの一つである EIT の新たな定式化法として電気双極子法を提唱し, 従来の Sensitivity 行列法の問題点と, 電気双極子法の有効性に関して考察を行うものである。

2 理論的背景

2.1 Sensitivity 行列法

Sensitivity とは, 断層撮影対象内を離散化した最小領域内の一点で媒質パラメータが変化した場合の領域

連絡先: 齊藤 兆古, 〒184-8584 小金井市梶野町3-7-2 法政大学理工学部電気電子工学科
e-mail: ysaito@hosei.ac.jp

^{*1}法政大学 ^{*2}法政大学大学院 (現在, 富士通株式会社)

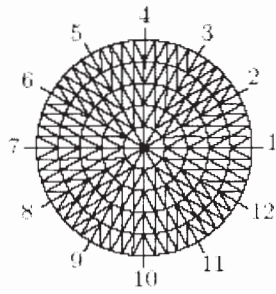


Fig.1 Discreted Area and Electrodes

全体のインピーダンス変化量を表す。断層撮影対象外周部に設置された測定電極対が i, j であるときの任意の離散化領域 r_n のSensitivity値 S_{ij}^n は式(1)のように表される。

$$S_{ij}^n = \frac{1}{\beta} \frac{Z_{i,j}^{r_n} - Z_{i,j}^a}{Z_{i,j}^b - Z_{i,j}^a} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{D_n}{D_{all}} \quad (2)$$

Sensitivity 値 S_{ij}^n は、任意の離散化領域 r_n のみに導電率 b [S/m]が存在する場合のインピーダンス Z_{ij}^n [Ω] と、領域内が基準導電率 a [S/m] で満たされた基準状態でのインピーダンス Z_{ij}^a との差分を取ること、基準インピーダンスからのインピーダンス変化量を算出し、それを最大の変化量 Z_{ij}^b / Z_{ij}^a で正規化する。 Z_{ij}^a [Ω] は対象領域が全て基準導電率 a で満たされている場合の基準インピーダンス、 Z_{ij}^b [Ω] は検出対象導電率 b [S/m] で満たされている場合の最大インピーダンスである。更に対象領域全体の面積 D_{all} [m²] に対する離散化領域 r_n の面積 D_n [m²] の占める割合 β で除することで、各離散化領域の面積の違いの影響を無くす。このようなSensitivity 値を測定電極 i, j の全ての組み合わせと、全ての離散化領域 r_k について並べたものをSensitivity 行列と定義する。

Fig.1 の場合、測定電極は12 極存在するので、 i, j の全ての組み合わせは $(12 \times (12-1)) / 2 = 66$ 組となる。また、断層撮影対象領域は312 個の領域に離散化されているので、 $k = 312$ となる。任意の導電率分布状態における測定インピーダンス Z_{ij} [Ω] と基準インピーダンス Z_{ij}^a [Ω] の差であるインピーダンス変化量 Z'_{ij} [Ω] は、Sensitivity 行列 \mathbf{S} と導電率分布 $\boldsymbol{\kappa}$ の積の形で表すことができると考えると、式(5) が成り立つ。

式(5) を用いて導電率分布 $\boldsymbol{\kappa}$ を求めるためには、 \mathbf{S} の逆行列を \mathbf{Z}' の左側からかけることになる。しかし、 \mathbf{S}

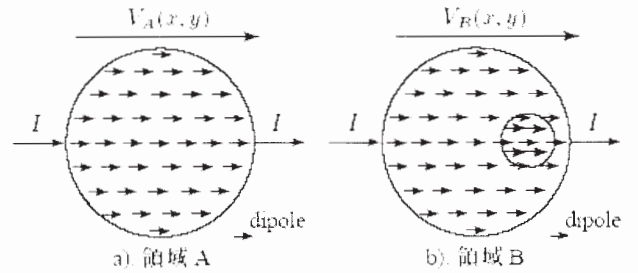


Fig.2 Counter Electromotive Force by Different Resistance

$$Z'_{i,j} = Z_{i,j} - Z_{i,j}^a \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} Z'_{1,1} \\ Z'_{1,2} \\ \vdots \\ Z'_{i,j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{1,1}^1 & S_{1,1}^2 & \dots & S_{1,1}^k \\ S_{1,2}^1 & S_{1,2}^2 & \dots & S_{1,2}^k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{i,j}^1 & S_{i,j}^2 & \dots & S_{i,j}^k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \kappa_1 \\ \kappa_2 \\ \vdots \\ \kappa_k \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{Z}' = \mathbf{S} \boldsymbol{\kappa} \quad (5)$$

$$V_B(x, y) - V_A(x, y) = V_C(x, y) \quad (6)$$

は一般に正則ではないため、逆行列を求めることができない。したがって、この問題は不適切な線形システム方程式を解く逆問題に帰する。

近年、Sensitivity 行列法へ筆者等が提唱したGVSPM (Generalized Sampled Pattern Matching) 法を適用した結果、Newton 法や特異値分解法等よりも良好な結果が武居等やDong 等によって報告されている[2, 3, 4, 5]。本論文では、このGVSPM 法を不適切な線形システム方程式の解法としてを採用する。

2.2 電気双極子法

電気回路において、抵抗素子で生じる電圧降下は電圧源に対して逆方向にかかる起電力と考える事ができる。この起電力は逆起電力と呼ばれる。抵抗素子を微小な抵抗素子の集合と考えれば、抵抗素子における逆起電力は微小な逆起電力の集合と考えられる。微小な逆起電力は陽・陰電極の組み合わせであるから、電気双極子と考えられる。電気双極子は陽・陰電荷の極対である。よって、抵抗素子における逆起電力とは、電気双極子の集合であると考えることが可能である。

Fig.2 a) に示す領域A に対して電流 I [A] を注入した場合、領域内部には逆起電力分布 $V_A(x, y)$ [V] が生じる。同様にFig.2 b) に示す領域B に先ほどと等しい電流 I [A] を注入した場合、領域内部には逆起電力分布 $V_B(x, y)$ [V] が生じる。領域B は領域A 内に異なる導電率の部分を追加した状態である。領域A の状態から領域B の状態への導電率分布変化に起因する両者の逆起電力分布の相違 $V_C(x, y)$ は式(6) で与えられる。この

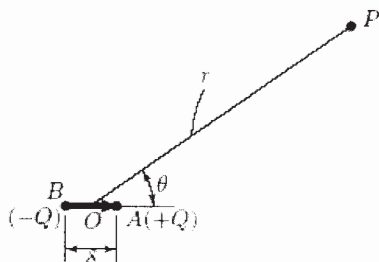


Fig.3 Electric Dipole

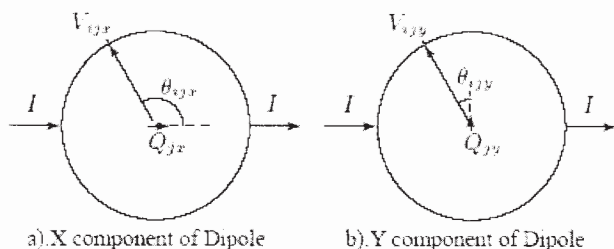


Fig.4 Measurable Voltage and Voltage Dipole

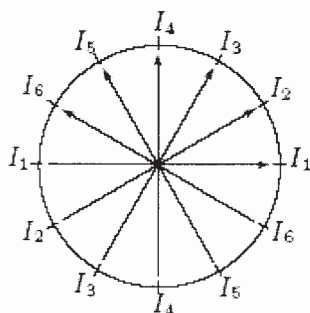


Fig.5 Pairs of Electrodes for Current Injection

差分逆起電力分布 $V_c(x; y)$ は電気双極子の集合からなると考えられる。

EIT の目的は、断層撮影対象領域外周部で測定される電圧分布から断層撮影対象領域内部の導電率分布を推定することにある。導電率分布の推定は、導電率の変化によって生じる逆起電力分布 $V_c(x; y)$ が与える対象周辺電圧分布から電気双極子の位置と大きさを推定することと等価であると考えられる。このように、EIT の導電率パラメータ推定問題は、電気双極子の与える対象周辺電圧分布から電圧源である電気双極子の位置を推定する問題に置き換えることが可能である[6, 7, 8, 9]。

Fig.3 に示す電気双極子が作る電圧は式(7) で与えられる。ここで、 V_P [V] は電荷 Q [C] を有する電気双極子が距離 r [m] 離れた任意の点 P に作る電圧である。また、 ϵ [F/m] は空間の誘電率であり、 δ [m] は電気双極子の有する陽極、陰極間の距離である。

$$V_P = \frac{Q\delta \cos \theta}{4\pi\epsilon r^2} \quad (7)$$

Fig.4 に示すように、任意の離散化領域に存在する電気双極子は X 成分、 Y 成分で構成されるものとする。断層撮影対象領域外周部の周辺電圧分布は対象領域内を離散化した複数点の電気双極子の X 成分、 Y 成分が作る電圧分布の線形和であると考えられる。よって、対象領域外周部の周辺電圧分布は式(7) を用いて、式(9) で与えられる。ただし、 $\delta = 4\pi\epsilon$ とする。

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11x} & G_{11y} & \dots & G_{1mx} & G_{1my} \\ G_{21x} & G_{21y} & \dots & G_{2mx} & G_{2my} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ G_{n1x} & G_{n1y} & \dots & G_{nmx} & G_{nmy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{1x} \\ Q_{1y} \\ \vdots \\ Q_{mx} \\ Q_{my} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\mathbf{V} = \mathbf{GQ} \quad (9)$$

$$G_{ijx} = \frac{\cos \theta_{ijx}}{r_{ij}^2} \quad (10)$$

$$G_{ijy} = \frac{\sin \theta_{ijy}}{r_{ij}^2} = \frac{\sin \theta_{ijx}}{r_{ij}^2} \quad (11)$$

式(9) のシステム方程式から求めるべきは任意の位置の電気双極子の大きさ Q [C] であるから、 G の逆行列を周辺電圧値 \mathbf{V} [V] の左側に掛けることになる。ところが、対象領域外周に設置できる測定電極数は有限個に限定されるため、一般に行列 G は正方行列にならない。したがって、この問題は不適切な線形システム方程式を解く逆問題に帰する。電気双極子法においても、Sensitivity 行列法の場合と同様に逆問題解法として GVSPM 法を採用する。

このような線形システム方程式は、電流注入パターンそれぞれに与えられ、その線形システム方程式をそれぞれ独立に解き、得られた複数の結果を用いて式(12) であらわされる畳み込み演算 (convolution) を行う。畳み込み演算は解の共通部分を抽出するフィルタ演算であり、電流注入パターンを変えても、常に異なる導電率部分のみが共通部分として抽出されるため、逆問題による解の信頼性向上が期待できる。

$$\mathbf{Z} = \mathbf{Z}_1 \circledast \mathbf{Z}_2 \dots \circledast \mathbf{Z}_{n/2} \quad (12)$$

対象領域内の電流分布を勘案すると、この畳み込みによる方法は、電極組み合わせ数を増やすことが、必ずしも解の精度を向上させることを意味しない。よって、可能な限りの電極組み合わせ数を取ることなく、測定電極 n 個に対して、対象領域の中心を電流が通過可能な電流注入パターン数は $n/2$ とする。Fig.5 に示す

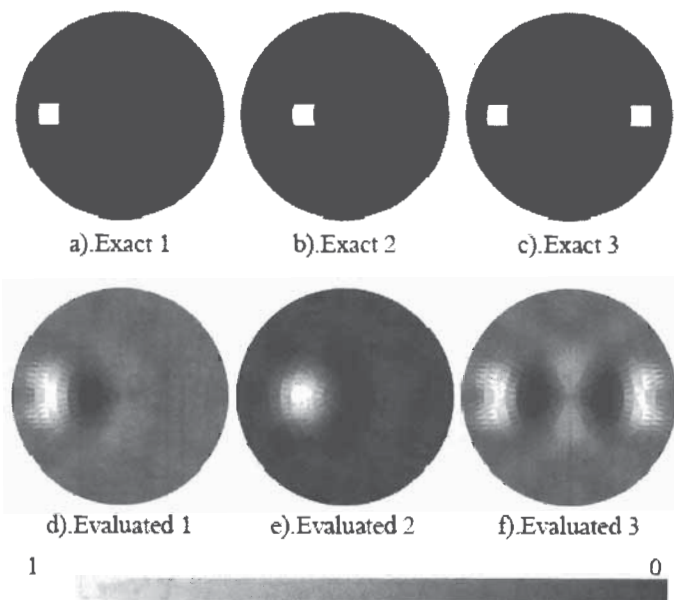


Fig.6 Exact and Evaluated Conductance Distributions

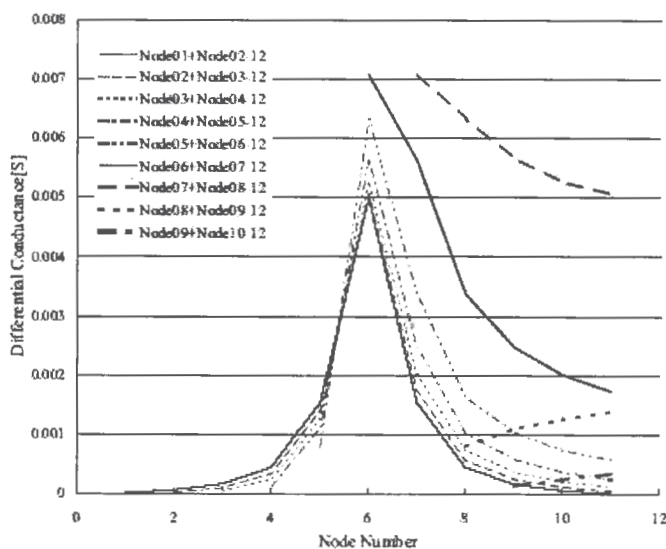


Fig.7 Differential Impedance

ように、対象領域外周部に電極が12個存在する場合、対象領域への電流注入パターンは6方向とする。

3. シミュレーションによる検証

3.1 Sensitivity 行列法

2.1で述べた理論的背景を前提としてSensitivity 行列法の数値シミュレーションを行う。Sensitivity 行列法のシステム方程式は式(13)のようにLaplaceの方程式で表される。ここで、 κ [S] は導電率、 ϕ [V] は電気スカラーポテンシャルをあらわす。

$$\nabla \cdot \kappa (\nabla \phi) = 0 \quad (13)$$

対象領域内の離散化には三角形一次有限要素法 (Finite Element Method, FEM) を用いる。断層撮影対

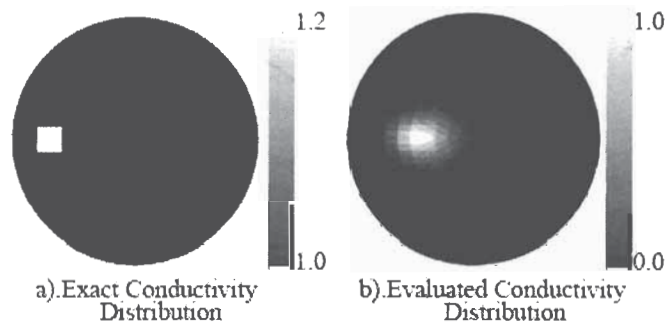


Fig.8 Exact and Evaluated Conductivity Distributions

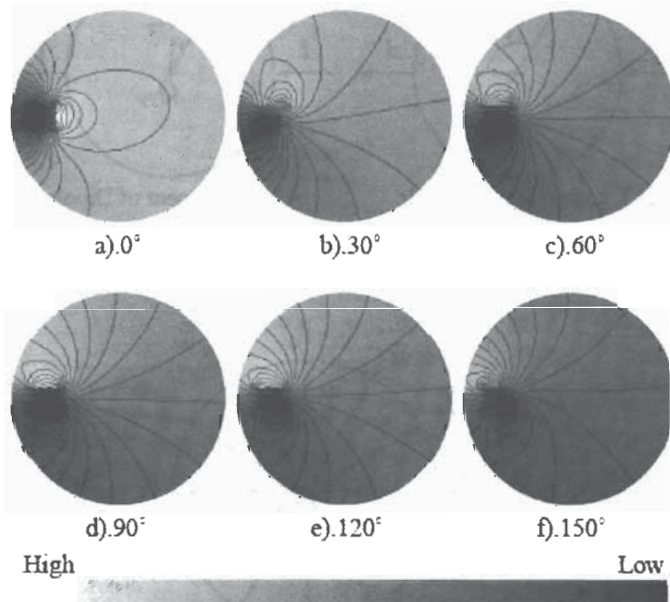


Fig.9 Voltage Distributions obtained by solving Eq. (6)

象領域外周部に設置する測定電極数は12極とし、電極番号はFig.1の様に設定する。

Fig.6 a), b), c) は、シミュレーションに用いた導電率分布を表し、Fig.6 d), e), f) は式(5)から得られたシミュレーション結果を表す。Fig.6における黒色部は基準導電率部、白色部は検出対象導電率部をあらわしている。

Fig.6 d), e), f) の結果は、それぞれ、算出結果の白色部が検出対象導電率部付近に現れていることから、検出対象を算出することに成功していると考えられるが、白色部に隣接して黒色部が存在する事が解の信頼性を低くしている。

Fig.7はFig.6 a)における各測定電極組み合わせとインピーダンス変化量の関係をあらわす。Fig.7のデータ列Node 01+Node 02-12はインピーダンスを計測するために接続する二極の電極のうち、一極をNode 01へ接続し、二極をNode 02からNode 12へとつなぎ変えたときに得られるインピーダンスを表す。測定電極と対象導電率部が近接しているときにインピーダンス変化量が高いことが分かる。これらのデータ列を式(5)

の Z' として、 κ を求めた結果がFig.6 d) である。逆問題の解法としてはGVSPM 法を用いた。

3.2 電気双極子法

2.2で述べた理論的背景を前提として有限要素法による電気双極子法の数値シミュレーションを行う。EITのシステム方程式は式(14)のようにPoisson の方程式で表される。ここで、 κ [S] は導電率、 ϕ [V] は電圧、 j [A/m²]は印加電流密度をあらわす。

$$\nabla \cdot \kappa (\nabla \phi) = j \tag{14}$$

断層撮影対象領域への電流注入により領域内に生じる電圧分布の導出には三角形一次有限要素法を用いた。式(9) のシステム方程式に用いる電気双極子は、断層撮影対象領域を離散化した微小領域の重心に存在するものとする。測定電極数は24 極であることを仮定した。これは、正しい解を得るためには最低でも24 極の測定電極を用意しなければならないことが経験的に分かっているためである。

Fig.8 a) はシミュレーションに用いた導電率分布を示し、Fig.8 b) は、式(9)、(12) から得られた導電率分布を示す。Fig.8 b) の結果はFig.8 a) に示される検出対象導電率部の位置よりも内側に検出対象導電率部が検出される傾向があるが、比較的良好な結果と考えられる。

Fig.9 は検出対象導電率部の有無による電圧変化をあらわした電圧分布と等電圧線である。Fig.9 は式(6)によって得られる。Fig.9 に示される角度は電流注入角度を表し、Fig.5 における I_1 の角度を基準角度0°としている。Fig.10 はFig.9 の電圧分布から、対象領域外周部に設置された測定電極部の値のみを抽出したものである。Fig.10 に示される外周部電圧データの総和をゼロとして正規化した結果を式(9) の V とする。本研究においては領域内に存在する電荷は全て電気双極子であることを前提としているから外周部電圧データの総和もゼロである。Fig.11 は各電流注入パターンに対して得られる式(9)をそれぞれ独立に解いて得られた電気双極子分布をあらわす。逆問題の解法としてはGVSPM 法を用いた。Fig.11 a)-f) に示される電気双極子分布から、電流の通電パターンを変えても共通に電気双極子が存在する位置は変わらず、それらを抽出した結果がFig.8 b) である。Fig.11 に示される電気双極子が有する電荷の絶対値を0 から最大値1 に正規化して、式(12) の畳み込み演算を行うことで共通位置の抽出を行った。Fig.12 は検出対象導電率分布と式(9)、(12) によって得られた導電率分布を示す。Fig.8、Fig.12 の

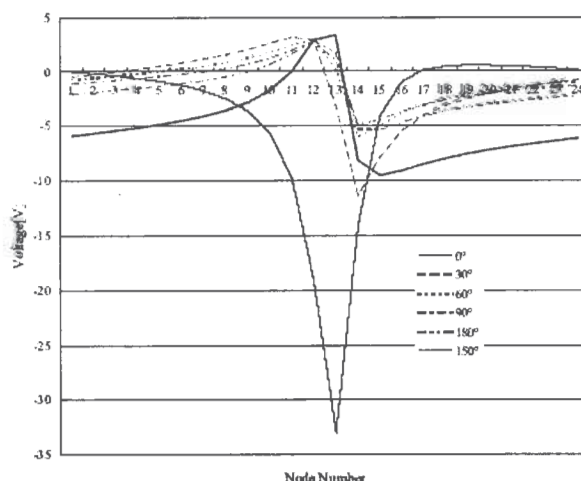


Fig.10 Differential Surface Voltage

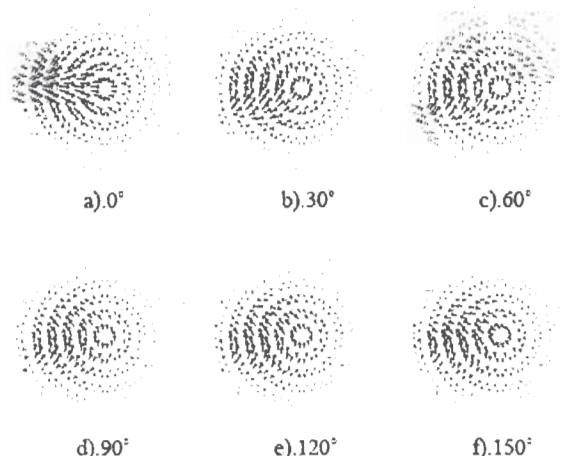


Fig.11 Voltage Dipole Distributions obtained by solving Eq. (9), independently

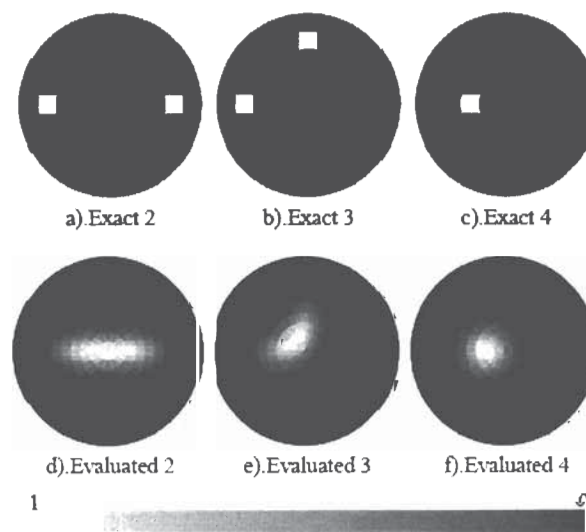


Fig.12 Exact and Evaluated Conductance Distributions

Table 1 Parameters of tested System(Sensitivity Matrix Method)

測定対象トレイ	アクリル樹脂製, 直径 20cm, 銅板電極 24 極 (H=2cm W=1cm D=0.3mm), 水深 1cm
検出対象物	銅ブロック (H=2cm W=2cm D=2cm), 発泡スチロールブロック (H=2cm W=2cm D=2cm)
Impedance Analyzer	HewlettPackard 4194A

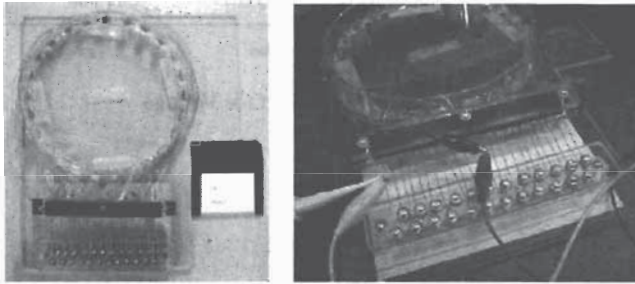


Fig.13 Device for Experiments

結果は, それぞれ正確な導電率分布とほぼ一致した導電率分布が電気双極子法によって推定可能であることを示している。

以上, 本論文で提唱する電気双極子による導電率パラメータ推定問題の定式化の妥当性がシミュレーションによって検証された。

4. 実験

4.1 Sensitivity 行列法

断層撮影対象として, Fig.13 のようなトレイを用意し, インピーダンス・アナライザを用いて各電極組み合わせにおけるインピーダンスの測定を行った。装置の各パラメータはTable.1 に示すとおりである。測定対象とするインピーダンスは抵抗成分とし, リアクタンス成分は考慮しない。測定対象周波数には測定対象トレイの共振周波数を用いることでリアクタンスの影響を最小限にする。共振周波数とはリアクタンスが最小, すなわち, ゼロとなる周波数である。Fig.14 に示す測定対象トレイの電極間インピーダンス周波数特性の測定結果から測定対象周波数を3[kHz] と決定した。

Figs.15, 16 に実験結果を示す。Fig.15 a), Fig.16 a) は測定対象である銅ブロック, 発泡スチロール・ブロックの有無による測定対象トレイのインピーダンス変化を示す。Fig.15 a) は, 基準媒質である水に対して導電率の高い銅ブロックが挿入されたことで領域全体の

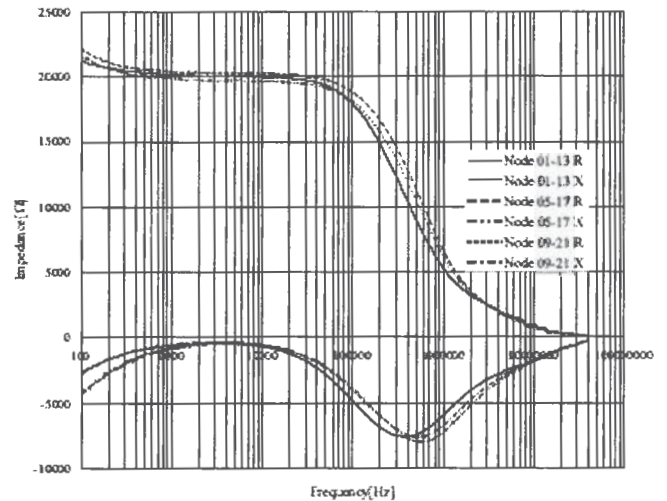


Fig.14 Frequency characteristics of the tested Tray

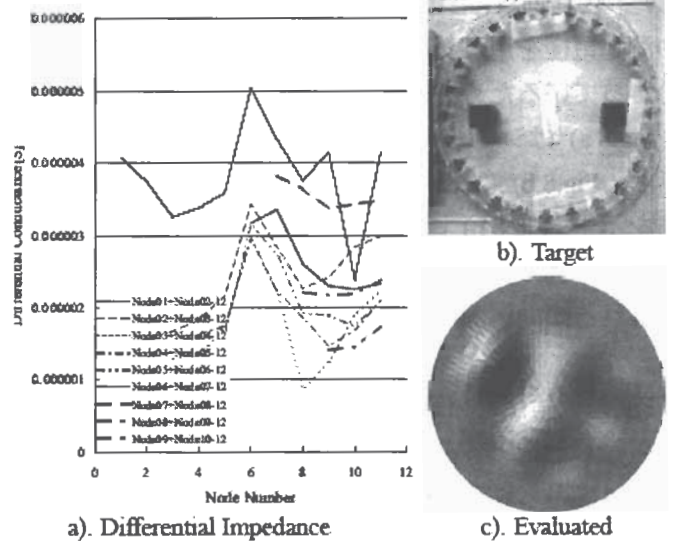


Fig.15 Result of Experiment (Copper Block)

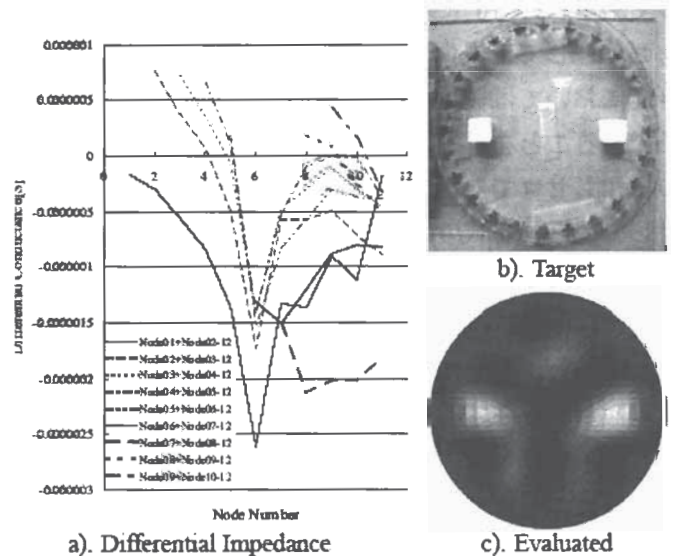


Fig.16 Result of Experiment (Polystyrene Block)

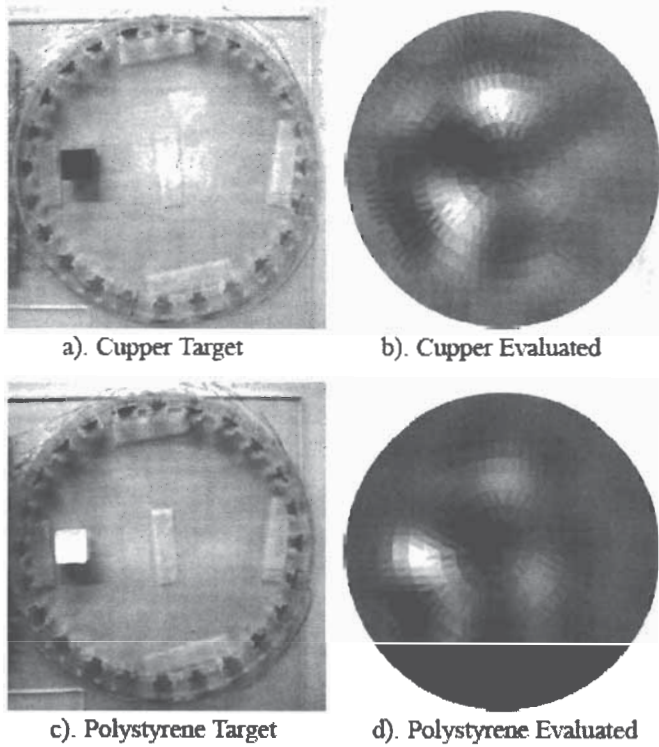


Fig.17 Exact and Evaluated Conductance Distributions

コンダクタンスが増加していることが分かる。Fig.16 a) は、基準媒質である水に対して導電率の低い発泡スチロール・ブロックが挿入されたことでコンダクタンスが減少していることが分かる。

これらの測定値を用いて式(5) を解いた結果がFig.15c)とFig.16 c) である。Fig.15 c) の結果は検出対象である銅ブロックを検出しているとは言いがたい。Fig.16 c) の結果は比較的良好である。その他に、Fig.17 の結果も得られている。Fig.17 d) は比較的良好に発泡スチロール・ブロックの位置を検出しているが、Fig.17 b) は銅ブロックを検出しているとは評価しがたい。

4.2 電気双極子法

電気双極子法に於いても、測定対象としてFig.13 のトレイを用い、Fig.18 の実験システムを使用した。装置の各パラメータはTable.2 に示すとおりである。電気双極子法は直流を前提としたものであるが、実験は交流で行った。これは、直流電流を用いた実験は水の電気分解が生じるなどのノイズ要因が懸念されるためである。Sensitivity 行列法の実験と同様に、リアクタンス分の影響を削減するため、電源の駆動周波数を測定トレイの共振周波数である3[kHz] とした。

Figs.19,20 に実験結果を示す。Fig.19 a)、Fig.20 a)から、銅ブロック、発泡スチロール・ブロックの有無による断層撮影対象外周部の電圧変化は検出対象の存在

Table 2 Parameters of tested System (Electric Dipole Method)

測定対象トレイ	アクリル樹脂製, 直径 20cm, 銅板電極 24 極 (H=2cm W=1cm D=0.3mm), 水深 1cm
検出対象物	銅 ブロック (H=2cm W=2cm D=2cm), 発泡スチロールブロック (H=2cm W=2cm D=2cm)
標準抵抗	1kΩ
Function Generator	KIKUSUI MODEL 4502
アンプ	NF Electronic Instruments 4025 HIGH SPEED POWER AMPLI-FIR
オシロスコープ	YOKOGAWA DL7100

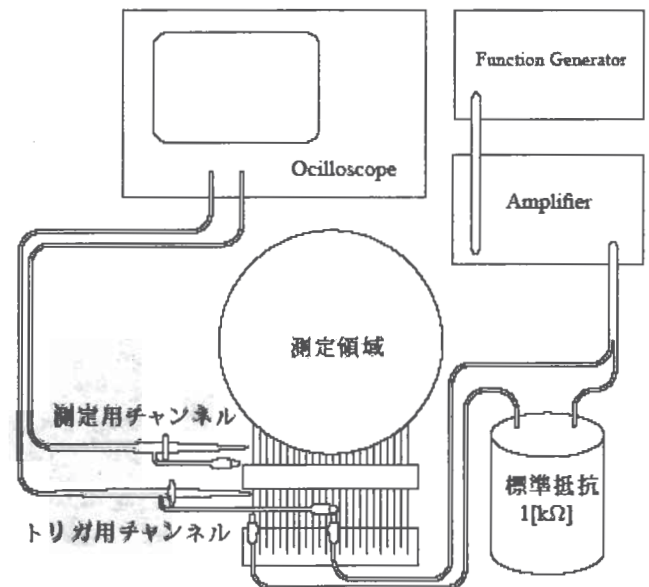


Fig.18 Schematic diagram of the tested EIT

する場所に近い電極に強く現れることがわかる。また、水に対して導電率が高い銅ブロックを挿入した場合と導電率が低い発泡スチロールを挿入した場合とでは外周部の電圧変化の傾向が相反していることが分かる。この結果は、検出対象の導電体近傍に配置された電気双極子が、銅ブロックを挿入した場合と発泡スチロール・ブロックを挿入した場合とでは逆方向を向いていることを意味している。

Fig.19 a) の測定値を用いて式(9) のシステム方程式を解いた結果がFig.21 である。式(9) はFig.19 a) における各電流通電パターン、それぞれに対して式(9) のシステム方程式を独立に解いた。Figs.21 a)-f) の結果から、電気双極子が共通に存在する部分を式(12) を用いて抽出した結果がFig.19 c) である。Fig.21 はシミュレ

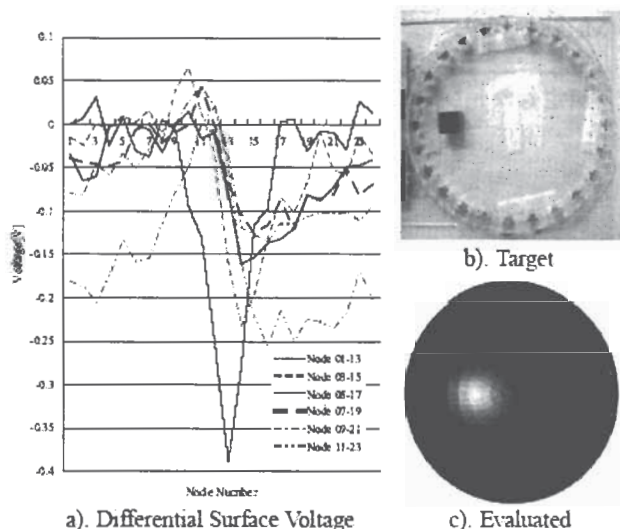


Fig.19 Result of Experiment (Copper Block)

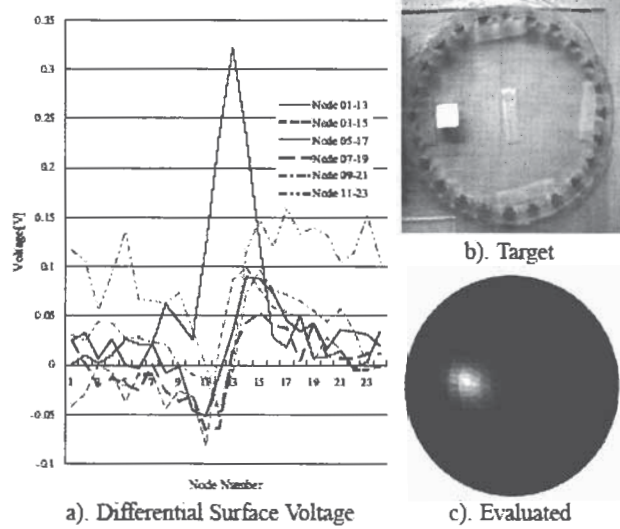


Fig.20 Result of Experiment (Polystyrene Block)

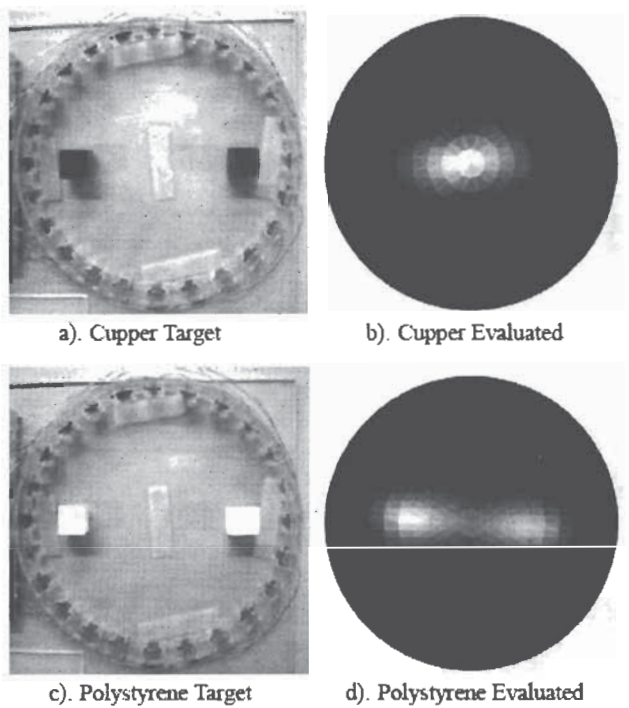


Fig.22 Exact and Evaluated Conductance Distributions

ーション結果であるFig.11 とほぼ一致しノイズの影響が少ないことがわかる。さらに、式(12)を用いた畳み込み演算後の結果にはノイズの影響が削減され、畳み込み演算はノイズ低減効果を持つことが確認された。

Fig.20 a) の測定値について同様の処理を行った結果がFig.20 c) である。Figs.19 c)と20 c) は共に銅ブロック、発泡スチロール・ブロックの位置を比較的良好に検出することに成功している。その他に、Fig.22 の結果も得られている。Fig.22d) の発泡スチロール・ブロック二個を対象とした場合、Fig.12 d) のシミュレーション結果に比較的近い結果が得られたが、Fig.22 b) の銅ブロック二個を対象とした場合では良い結果が得られなかった。

以上のように、全てについて完全な結果が得られなかったものの、全体としては比較的良好な結果が得られた。

以上の結果から、本論文で提唱する電気双極子による導電率パラメータ推定問題の解析方法に関して一定の妥当性が実験的に検証された。

5. まとめ

本論文では、関数型トモグラフィの研究として一般的なSensitivity 行列法と筆者等が提唱する電気双極子法についてシミュレーションと実験によってそれらの妥当性を検討した。

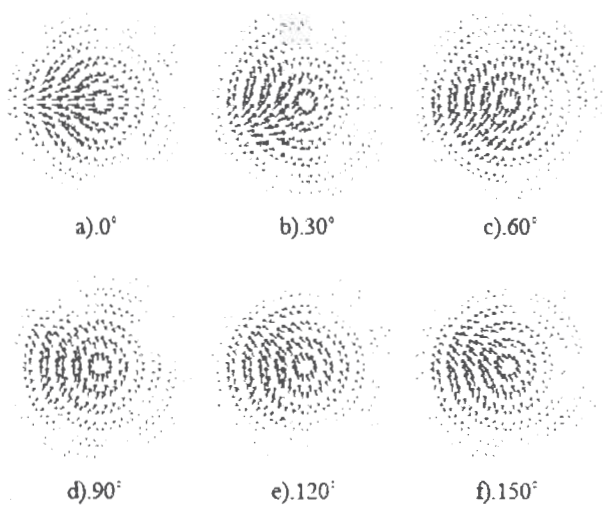


Fig.21 Voltage Dipole Distributions obtained by solving Eq. (9), independently

電気双極子法は、抵抗素子に電流を流した際に生じる電圧降下が逆起電力で表すことができる点に注目し、その逆起電力を電気双極子として扱うことで、導電率パラメータ推定問題であるEITに電気双極子を用いた新たな定式化法である。

Sensitivity 行列法はシミュレーション、実験共に良好な結果が得られるとは言えない。これらの結果は、Sensitivity 行列法の理論的限界に起因するものと言えるであろう。一方、電気双極子法は全てに妥当な解を与えるとは限らないが、シミュレーション、実験共に Sensitivity 行列法を改善した結果を与えることが確認された。

参考文献

- [1] H. Tian, W. He, and Y. Saito, A Study of Reconstruction Algorithm for Electrical Impedance Tomography, *The 2nd Japan, Australia and New Zealand Joint Seminar*, pp.24-25, Kanazawa Japan, January 2002.
- [2] T. Murai, and Y. Kagawa, Electrical impedance computed tomography based on a finite element model, *IEEE Trans. Biomed. Eng.* Vol.32, pp.177-84, 1985.
- [3] H. Endo, S. Hayano, Y. Saito, and K. Miya, Generalized vector sampled pattern matching method-theory and applications Electromagnetic Nondestructive Evaluation, *Studies Appl. Electromagn. Mech.*, pp.285-92, 2002.
- [4] 武居昌宏, 李輝, 越智光昭, 齋藤兆古, 堀井清之, "サンプルドパターン・マッチング法による固気二相流CT画像の再構成," 可視化情報学会論文集, Vol.22, No.9, pp.71-78, 2002.
- [5] G. Dong, R. Bayford, S. Gao, Y. Saito, R. Yerworth, D. Holder, W. Yan, The application of the generalized vector sample pattern matching method for EIT image reconstruction, *Physiol. Meas.*, pp.449-466, 2003
- [6] H. Saotome, T. Doi, S. Hayano, Y. Saito, Crack identification in metallic materials, *IEEE Transaction on Magnetics* Vol. MAG-29, No.2, March, pp.1861-1864, 1993
- [7] 音川英一, 早野誠治, 齋藤兆古, 堀井清之, "パラメータ推定に関する逆問題とその関数型トモグラフィへの応用", 可視化情報学会論文集, Vol.23, No.1, pp.103-106, 2003.
- [8] 音川英一, 早野誠治, 齋藤兆古, "電気インピーダンス法に関する一考察", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.103 No.564, pp.91-98, 2004.
- [9] 音川英一, 早野誠治, 齋藤兆古, 堀井清之, "電気インピーダンス法による導電率分布可視化とその実験的検証", 可視化情報学会論文集, Vol.24, No.1, pp.255-258, 2004.