

*It's the copy of sent paper  
- Ohigashi*

# 仮想環境下での物体の移動を考慮した3次元電磁界可視化システム

○大東 正和<sup>1</sup>, Čingoski Vlatko<sup>2</sup>, 金田 和文<sup>3</sup>, 山下 英生<sup>4</sup>  
(広島大学 工学部)

## Development of Virtual Environment for Visualization of 3D Magnetic Field with Moving Object

Masakazu Oohigashi, Čingoski Vlatko, Kazufumi Kaneda and Hideo Yamashita  
Faculty of Engineering, Hiroshima University

**Abstract** In the visualization field, many systems which utilize the virtual reality technology have already been proposed. For the visualization of computational electromagnetics, it is desirable to develop a virtual reality based visualization system which grasps the changes of the arbitrary 3D field distributions utilizing the movement of an object inside the 3D virtual space. In this paper, we propose the interpolation algorithm that obtains the unknown physical value distribution at any positions bounded by two or more given analysis results where the moving object is placed discretely. The description of the visualization system for three dimensional electromagnetic field utilize the above algorithm under the virtual environment is presented using simple examples.

## 1 緒言

近年、可視化の分野において、観察者がシミュレーションから得られた結果をより直感的に理解できるよう、バーチャルリアリティ技術を援用した可視化システムが提案され、その将来性に大きな期待が寄せられている。その一例として、NASA Ames 研究所の Virtual Wind Tunnel[1]、ノースカロライナ大学の Project GROPE[2] などを、また、有限要素解析の分野では東京大学 矢川らの研究 [3] を挙げることができる。

電磁界の数値解析を対象として考えると、このような可視化システムの一形態として、仮想空間内で電気機器を構成する部品の配置を変化させることにより、空間の物理量分布が変化していく様子を、インタラクティブに観察するシステムが考えられる。具体的には、例えば、3次元空間中にコイルと鉄心が配置されたモデルに対し、観察者が仮想空間において鉄心を動かすと、鉄心の位置とその状態における物理量分布がリアルタイムに更新されるようなシステムである。このよ

うなシステムは、機器の最適設計や科学教育など、多方面への応用が期待できる。

このようなシステムを実現する手法としては、次の2つが考えられる。

- 3次元空間を十分に細かくサンプリングし、その全てのサンプリング点に鉄心を配置したときの解析をあらかじめ行う。この全ての解析結果を記憶しておき、それらを観察者が入力した鉄心位置に応じて、切り替えながら表示する手法
- 与えられた鉄心位置を基にリアルタイムに解析を行い、その結果を観察者に表示する手法

ところが現在の計算機性能では、前者の手法では膨大な記憶容量を、後者の手法ではスーパーコンピュータクラスの計算能力を必要としており [4]、専門の研究者でさえも手軽に利用できる状況にはない。

そこで我々は前者の手法をベースに、可動物体の離散的な複数の位置での解析結果のみを与え、その中間の位置での物理量分布は補間によって求める手法を開発した。この手法は、必要とする計算時間もメモリ量も比較的少ないので、バーチャルリアリティシステムへの応用に適している。

<sup>1</sup>工学部第二類 (電気系) 博士課程前期

<sup>2</sup>工学部第二類 (電気系) 助手

<sup>3</sup>工学部第二類 (電気系) 助教授

<sup>4</sup>工学部第二類 (電気系) 教授



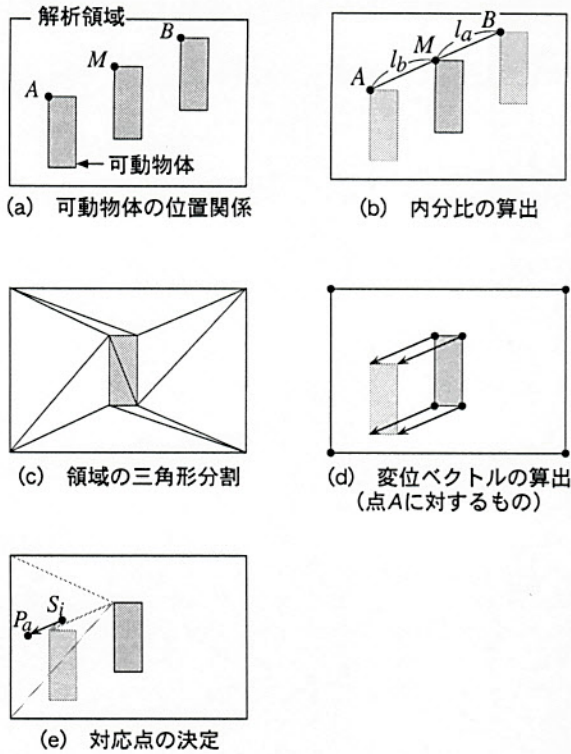


図 1: 物理量分布補間アルゴリズム

## 2 物理量分布の補間法

実際には 3 次元空間上で補間を行うが、ここでは説明を簡単にするために、解析領域中に可動物体が 1 つだけ存在する 2 次元モデルについて説明する。以下では具体例として、図 1(a) に示す位置  $A, B$  に可動物体が位置するときの解析結果が与えられ、これらから、2 点  $A, B$  を結ぶ直線上の点  $M$  に可動物体が位置するときの物理量分布を、位置  $A, B$  での解析結果から補間により求める手法について述べる。

### 2.1 アルゴリズム

本補間アルゴリズムは、CG(Computer Graphics) で用いられているモーフィングの概念を応用した。

まず前処理として、Step1~4 の処理を行う。

**Step1** 点  $A, B$  に対する  $M$  の内分比  $l_a, l_b$  を求める。(図 1(b))

**Step2** 可動物体が点  $M$  に位置するときの、解析領域を規定する頂点、およびすべての物体を構成する頂点を用いて、Delaunay のアルゴリズム [5] により解析領域を三角形の集合に分割する。(図 1(c))

**Step3** 可動物体が点  $M$  から点  $A$  に移動したときの、解析領域を規定する頂点、およびすべての物体を構成する全頂点の移動量 (変位ベクトル) を求める。(図 1(d))

**Step4** 位置  $M$  から位置  $B$  への変位ベクトルを、Step3 と同様に求める。

次に以下の処理により、可動物体が点  $M$  に位置するときの空間中に配置されたサンプル点  $S_i (i = 1, \dots, (\text{サンプル点数}))$  上の物理量を求める。サンプル点は表示領域に格子状に配置し、可動物体が点  $M$  にあるときの空間中の物理量分布は、このサンプル点の物理量を基に線形補間によって求める。

**Step5** Step2 で求めた三角形の中から、点  $S_i$  が含まれる三角形を探索する。

**Step6** 可動物体が点  $A$  にあるときの解析結果を用いて、次の処理を行う。(図 1(e))

**Step6-1** 点  $S_i$  が含まれる三角形の 3 頂点の変位ベクトルと、その三角形内での点  $S_i$  の面積座標を用いて、点  $S_i$  における変位ベクトルを内挿する。

**Step6-2** 点  $S_i$  に、Step6-1 で算出した変位ベクトルを加えた点  $P_a$  (以下、点  $S_i$  の対応点と呼ぶ) 上の物理量  $V_a$  を、点  $A$  に可動物体が位置するときの解析結果から算出する。

**Step7** 可動物体が点  $B$  にあるときの解析結果についても、Step6 と同様の処理を行う。すなわち点  $P_b$  上の物理量  $V_b$  を算出する。

**Step8** Step6, 7 で求めた  $V_a, V_b$  を、それぞれ  $l_a, l_b$  を係数として重み付き加算し、この値を点  $S_i$  上の物理量の補間値とする。

このアルゴリズムを拡張して、同一平面内の任意の 4 点において解析結果が与えられている場合、その 4 点で構成される四角形内部の、任意の可動物体の位置における物理量を補間することができる。また、3 次元解析結果に対しては、空間中の 8 点において解析結果が与えられている場合、その 8 点で構成される 6 面体内部の、任意の可動物体の位置における物理量を補間することができる。

### 2.2 補間手法の精度

次に、本アルゴリズムによって求められる物理量分布の精度を、図 2(a) に示す 2 次元モデルの磁気ベクトル



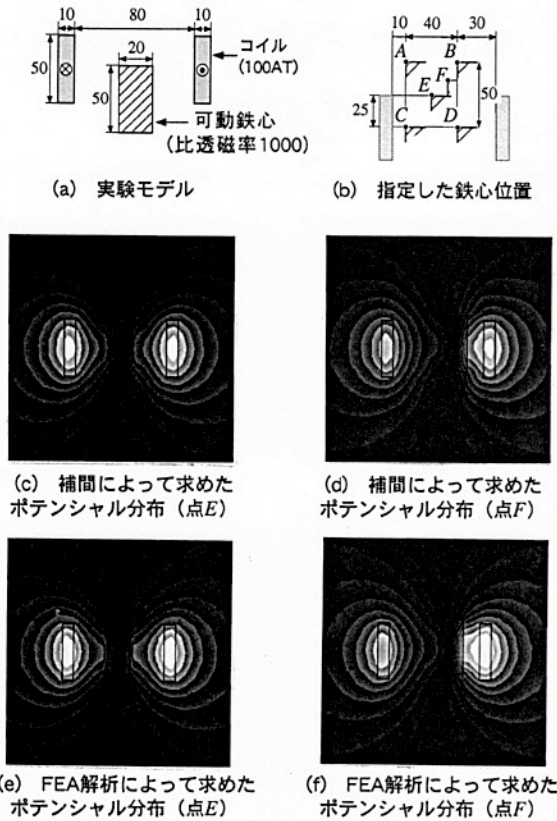


図 2: 適用結果

ルポテンシャル分布に適用することにより検証した。同図 (b) 中の点  $A, B, C, D$  に可動鉄心が位置するときの解析結果を与え、これらから、点  $E, F$  に鉄心が位置するときの分布をそれぞれ補間により求めた。なお、点  $E$  は四辺形  $ABCD$  の重心、点  $F$  は四辺形  $ABCD$  内の任意の点である。点  $E, F$  に鉄心を置いた場合に、本補間手法により 900 点 ( $x, y$  各軸方向に 30 点ずつ) のサンプル点によって表現されたポテンシャル分布をそれぞれ同図 (c), (d) に、それらの鉄心位置で、有限要素解析 (FEA) を行って求めたポテンシャル分布を (e), (f) に示す。

全サンプル点の解析値に対する平均相対誤差は、図 2(c), (d) とともに約 7% であった。これらの結果を通じて、本手法によって得られた物理量分布は、全体の物理量分布の傾向を良く表わしていると言える。また、この物理量分布の算出に要した CPU Time はいずれも約 0.02 秒であった (使用 CPU: MIPS R4400/200MHz)。

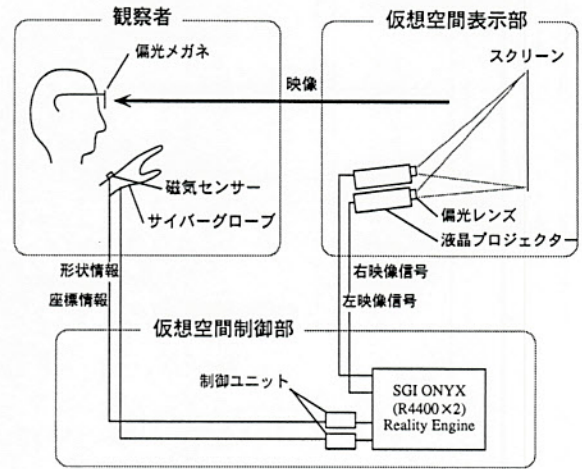


図 3: ハードウェア構成

## 2.3 3次元場に対する拡張

本アルゴリズムで行っている処理は、各可動物体どうしの位置関係の算出と、サンプル点に対する対応点の算出に大別される。このうち後者の計算において、Delaunay のアルゴリズムによる解析領域の三角形分割結果を用いている。このとき、領域中に存在する物質境界を考慮した分割を行わないと、サンプル点とその対応点異なる物質内に存在し、物理的に誤った分布が得られる可能性がある。

2次元場の場合は解析領域、およびすべての物体を規定する頂点のみによって、物質境界を考慮した Delaunay 分割を行うことが可能であるが [6]、3次元場では一般に頂点の追加が必要である [5]。そのため、前述のアルゴリズムをそのまま 3次元場に適用すると、新たに発生した頂点での変位ベクトルが規定されておらず、サンプル点に対する対応点が不定になる可能性がある。この問題を解決するため、前述のアルゴリズムの Delaunay 分割において新たな頂点が発生した場合には、解析領域を規定する頂点、およびすべての物体を構成する頂点の変位ベクトルから、その点の変位ベクトルを算出する。

## 3 可視化システムの概要

### 3.1 ハードウェア構成

前節の補間手法を用いて構築した可視化システムのハードウェア構成を図 3 に示す。

仮想空間の制御を行う計算機 (SGI ONYX, 128MB



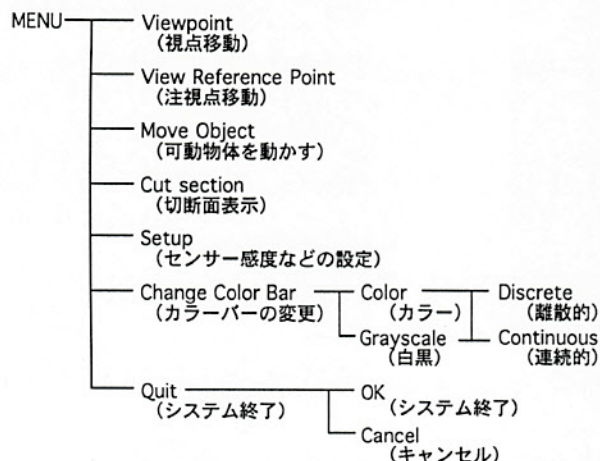


図 4: メニュー構成

メモリ, MIPS R4400/200MHz×2 CPU)には、サイバークロップと磁気センサーが入力デバイスとして取り付けられており、この磁気センサーはサイバークロップの手首部分に固定されている。観察者はこれを装着して、現在の手の座標と形状（ジェスチャー）を計算機に入力する。

### 3.2 仮想環境とのインタラクション

本可視化システムでは、図 4に示すメニューを準備している。例えば”Viewpoint”の状態から”View Reference Point”に移るためには、まず、人差し指を伸ばすジェスチャーにより、図 5に示すメニュー選択画面に移る。次に、手を上下させてメニュー中の”View Reference Point”を赤（図 5中では白）く表示させ、手を握るジェスチャーにより確定する。なお、メニュー選択時に、手を右または左に動かすと、メニュー選択をキャンセルし、”Viewpoint”に戻る。”View Reference Point”では、手を握った状態でのみ、手の動きに応じて注視点が移動する（つまり、手を開いた状態では注視点は移動しない）。

また、本システム使用時の外観を図 6に示す。

## 4 まとめ

可動物体の離散的な位置における解析結果から、その中間の位置の物理量分布を補間によって求める手法と、それを応用した、仮想環境下での 3 次元電磁界可視化システムの提案を行った。このようなシステムは、機器の最適設計や科学教育など、多方面への応用が期待できる。

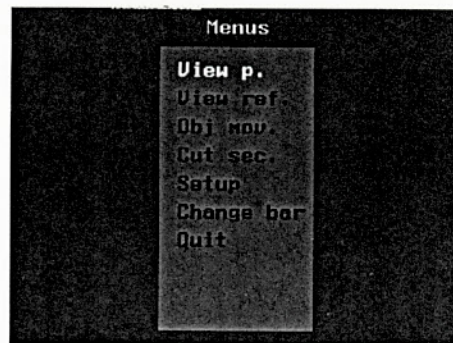


図 5: メニュー選択画面

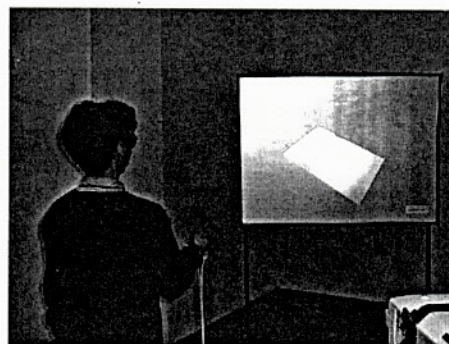


図 6: システム使用時の外観

今後の課題としては、より複雑で、実用的なモデルへの適用を可能にするために、複数の可動物体が存在する場合にも対応できるアルゴリズムの開発が挙げられる。

## 参考文献

- [1] Steave Bryson et. al. : “The Virtual Wind Tunnel”, *IEEE CG & A*, Vol. 12, No. 4, pp. 25-34 (1992).
- [2] Frederick P. Brooks, Jr. et. al : “Project GROPE - Haptic Displays for Scientific Visualization”, *Computer Graphics*, Vol. 24, No. 4, pp. 177-185 (1990).
- [3] 矢川ら : “仮想現実感技術を用いた有限要素解析支援システム”, *シミュレーション*, Vol. 14, No. 4, pp. 327-335 (1995).
- [4] 小木 : “仮想空間と数値シミュレーション”, *計算工学*, Vol. 2, No. 1, pp. 4-10 (1997).
- [5] P. L. George et. al. : “Automatic mesh generation with specified boundary”, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, No. 92, pp. 269-288 (1991).
- [6] 谷口 : “FEM のための要素自動分割”, 森北出版, pp. 28-122 (1992).