

# 可視化電磁気学とCAVEへの表示

渡辺祐介、山田康介、高橋直也、茂木健、井門俊治  
埼玉工業大学 工学部情報工学科 井門研究室

## 目的

物理現象や磁場解析において解析を行うと、膨大な量の数値データとして結果を得ることができる。これらのデータを人間が直感的に理解することは至難である。そこで、これらのデータを理解しやすいよう表現するために、何らかの方法を用いる必要がある。そこで開発されたのがコンピュータを用いた視覚的表現、すなわち可視化技術である。本研究ではAVS,CAVEに表示することによって、それらの表現力・印象力について評価を行う。

## 方法

まず、対象の数値データをC言語を用いて

AVS/Expressに入力する形式で出力する。また、VRML形式で形状データを作成し、AVS/Expressに対応した形式に変換する。それらの数値データ及び形状データをAVS/Expressにおいて可視化表示しCAVEへ出力する。

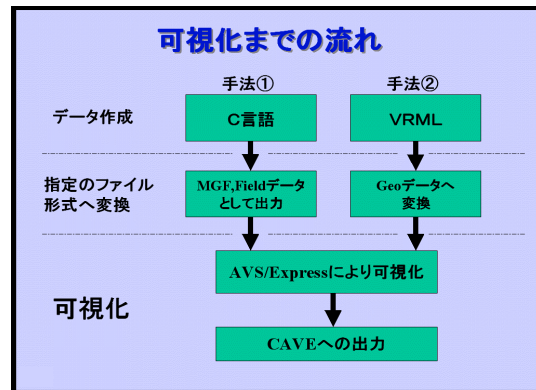


図.1 可視化までの流れ

## 結果

1) 3次元分布をするベクトルデータ(ベースボールコイル)

まず、ビオ・サバル法を用いて磁界を計算する。

$$dH = \frac{I}{4\pi} \frac{ds}{r^2} \sin \theta \quad \dots (1)$$

ここで電流は、太さをもたない電流素片を足しあわせる事で近似し、電流の出入口は考慮しないものとする。各節点に、先ほどはポテンシャル値をあたえていたが、今回は各節点でBx、By、Bzの値を計算し、それぞれファイルに書き出す。Field ファイルにx、y、z座標のファイルと3つのベクトル値のファイルを読ませるように書く。そして図2のようなネットワークにより、図3のような結果を表示することができる。青と赤の線は磁束線を表しており、今回は磁束線が生じている場所に応じて色を青と赤にわけている。濃い緑色の面は、磁束密度の等値面を表している。先ほどは、ポテンシャル値のファイルを読み込むことにより、等値面を表示させたが、今回はモジュールにより、各節点でのベクトル値から磁束密度の大きさを計算し、等値面の表示をおこなっている。

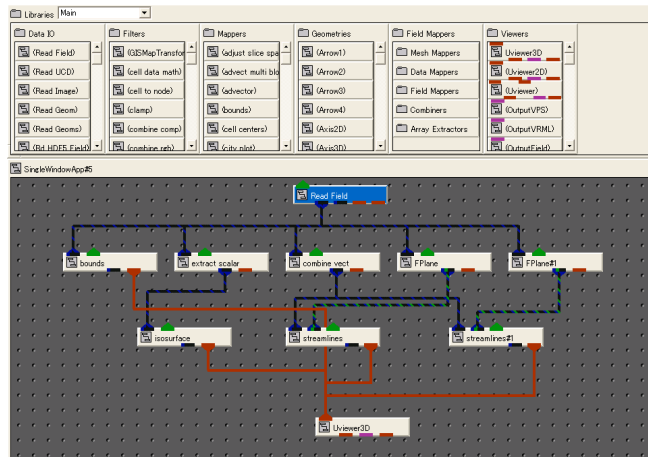


図.2 ネットワーク例

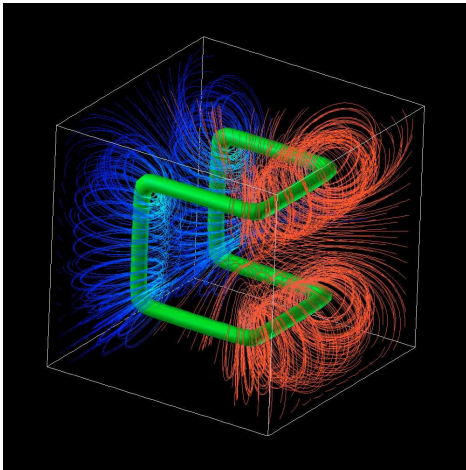


図.3 ベースボールコイル (AVS)



図.4 ベースボールコイル (CAVE)

## 2) 矩形マグネトロン内に発生する磁場

矩形マグネトロン装置内での磁場解析をおこなった。矩形マグネトロン装置で電流がつくる磁界は(1)式のビオ・サバル法を用いた。青の線は磁束線を表している。

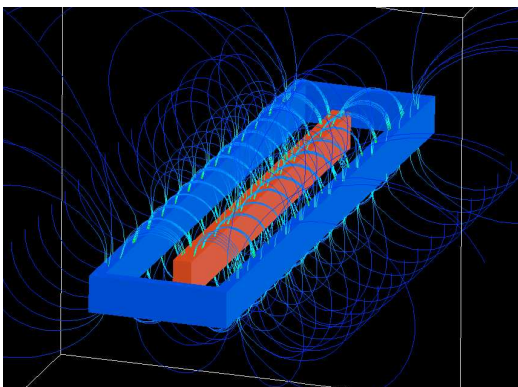


図.5 矩形マグネトロン内に発生する磁場 (AVS)

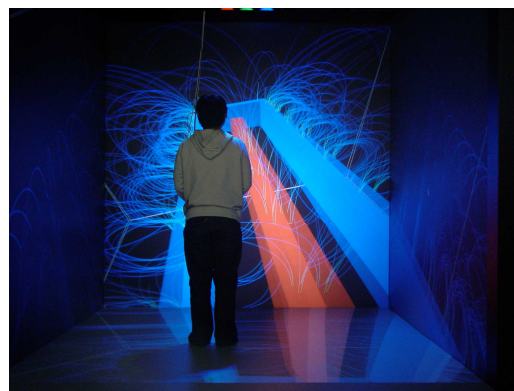


図.6 矩形マグネトロン内に発生する磁場 (CAVE)

### 3) 矩形マグネトロン装置内での粒子追跡シミュレーション

矩形マグネトロン装置内での電子軌道追跡をおこなった。矩形マグネトロン装置では永久磁石がつくる磁界を(2)式の磁気クーロン法を用いた。

$$\Delta B = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\Delta m}{r^2} \quad \dots(2)$$

上式を永久磁石の表面について積分することにより磁束密度をもとめる。電子の運動は磁場によるローレンツ力と衝突による力のみによって、(3)式の運動方程式に示される。

$$m \frac{dv}{dt} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) + \mathbf{F}_{col} \quad \dots(3)$$

電子の運動は、(3)式をルンゲ・クッタ法とモンテカルロ法を用いてとくことにより得る。モンテカルロ法は衝突の計算にもちいている。衝突の種類は、電離、励起、弾性の3種類とした。電子軌道追跡と衝突点分布の様子をAVSのMGF形式に書き出すことにより、可視化をおこなった。図7に矩形マグネトロン装置を示す。図7の青い直方体は上面がN極の永久磁石、赤い直方体は上面がS極の永久磁石を表している。電子軌道の軌跡をエネルギーによりグラデーションをつけた線で表している。赤のときはエネルギーが高く緑になるにつれてエネルギーは低くなるように表している。白い玉は、アニメーション中の電子、赤い玉は電離衝突点、黄色い玉は、励起衝突点緑の玉は弾性衝突点をあらわしている。電子が磁力線に巻きつきながらドリフト運動をし、数回の電離衝突により次第にエネルギーがなくなっていく様子がわかる。

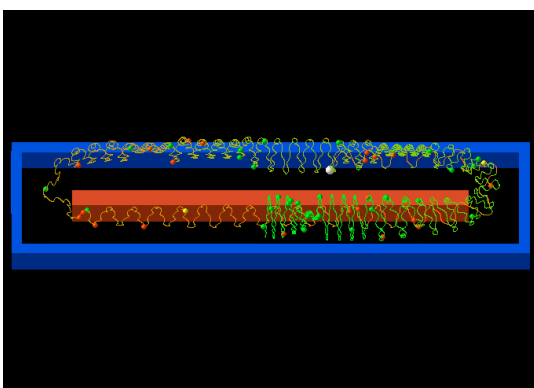


図. 7 矩形マグネトロン装置内における粒子追跡 (AVS)

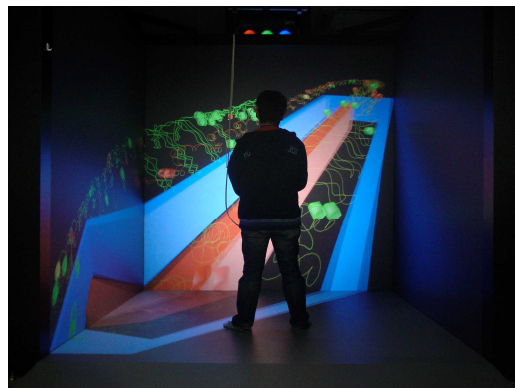


図. 8 矩形マグネトロン装置内における粒子追跡 (CAVE)

### 4) 円形マグネトロン装置内での粒子追跡シミュレーション

円形マグネトロン装置内での電子軌道追跡をおこなった。円形マグネトロン装置では永久磁石がつくる磁界を有限要素法を用いた。電子の運動は、(3)式のルンゲ・クッタ法を用いて解いた。

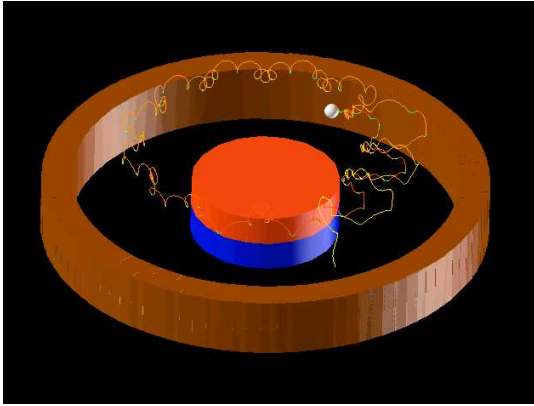


図.9 円形マグネトロン装置内における粒子追跡  
(AVS)

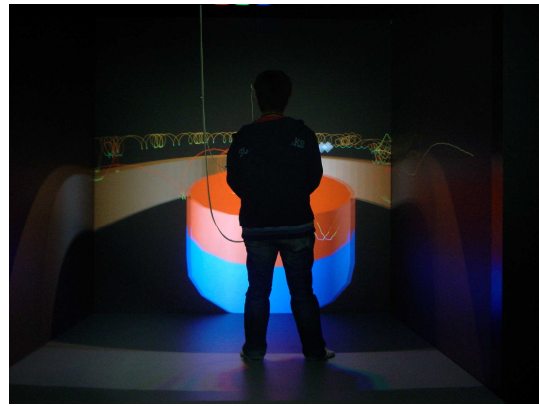


図.10 円形マグネトロン装置内における粒子追跡  
(CAVE)

## 結論

目で見ることで見えない電磁界の形状を、可視化をおこなうことにより確認し、理解を深めることが  
で  
きた。また、CAVEを用いることにより、より詳細に確認をすることができる。