

# 電磁界解析パッケージMAXWELL

## —MAXWELLの基本構造とその特徴—

法政大学

東京電気特器(株)

○ 齊藤兆古<sup>1)</sup>, 吉野 孝<sup>2)</sup>, 石川真理子<sup>2)</sup>

"Maxwell" Package for electromagnetic field analysis

Yoshifuru SAITO, Takashi YOSHINO and Mariko ISHIKAWA

Maxwell is a package for electromagnetics field analysis that includes the magneto-static, electrostatic, eddy current and microwave engineerings. Maxwell is essentially designed to provide the user friendly environment for pulling out the full power of finite element analysis and for concentrating on the design issues of electromagnetic devices.

In the present paper, we introduce the basic structure and features of Maxwell.

### 1. まえがき

有限要素法は、複雑な幾何学的形状に対する適応性が高いことから、極めて広汎に工学・理学の分野で活用されている。電気工学における問題に対して最初に有限要素法が応用されたのは1968年頃である。その後、カナダMcGill大学のSilvester等を中心として、マイクロ波問題から非線形磁気飽和問題さらに開領域問題まで極めて精力的に有限要素法の電気工学への応用が行われた。その結果として、現在では、電磁界計算を行う電気工学専用の有限要素法パッケージが開発され、市販されるに至っている。

本来、有限要素法は構造計算問題に対して開発された方法であるため多くの場合、スカラーポテンシャル問題を解く事に帰する。これに対して、電気工学で有限要素法による解析を必要とする分野に磁界系があり、ベクトルポテンシャル問題を解く必要性がある。このことが構造系用に開発された有限要素法パッケージを電気工学用に変更するよりもむしろ電気工学専用有限要素法パッケージの開発を促す原動力となったと考えられる。

本稿では、米国カーネギーメロン大学で開発された電磁界解析用有限要素法パッケージMAXWELLのソフトウェア的構造とその特徴について述べ、今後有限要素パッケージや電気・磁気装置の設

(1)法政大学工学部

〒184 小金井市裾野町3-7-2

(2)東京電気特器株式会社

〒164 中野区本町1丁目31番地3号

計開発に従事する研究者等の参考となることを目的としている。

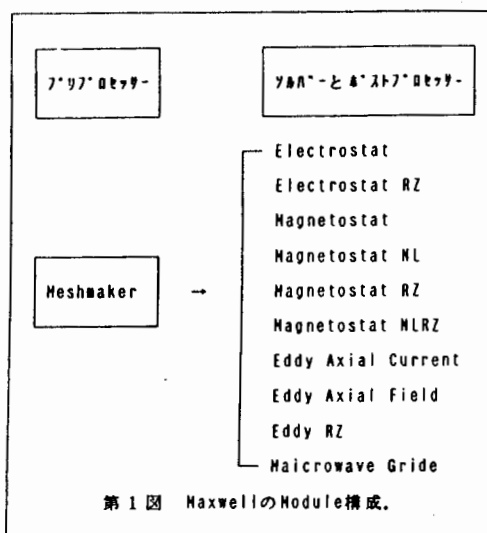
## 2. Maxwell Modules

### 2.1. Moduleの構成

有限要素法による解析を行う場合、大きく分類して、対象の幾何学的形状を入力して要素分割を行うリアプロセッシングの段階と、システム方程式を作り節点ポテンシャルを求めるソルバーの段階、更に得られた節点ポテンシャルから、フィールドの分布、エネルギー、インダクタンスなどを求めるポストプロセッシング段階となる。

これらの三プロセスをMaxwell は第1図に示すように、リアプロセッサとポストプロセッサを含むソルバーの二プロセスでModuleを構成している。リアプロセッサであるMeshmaker は、機能を対象物の幾何学的形状入力とメッシュの発生に限定することで、ソルバーのModuleに共通に使われるように設計されている。これは、Maxwellの主要な特徴であるメッシュの自動発生結果を、他の自作ソルバーに使える事や新しいソルバーモジュールの追加を容易にするためである。

ポストプロセッサとソルバーを単一のモジュールとする理由は、各ソルバーで得るべきポテンシャルの種類や物理量が異なるためである。正規化した形に支配方程式を変形すれば、何種類ものソルバーは不必要であるが、結果としてユーザーに負担が掛かることや、電界・磁界問題で独立性の高い分野の解析となることから、それぞれの分野に対し



て専用モジュールとして開発されている。

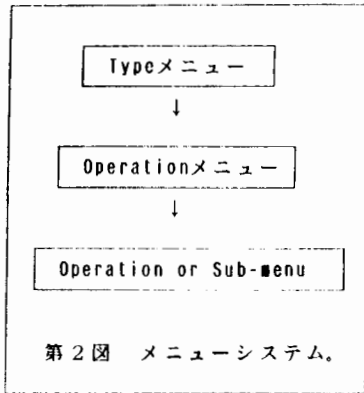
### 2.2. リアプロセッサ

リアプロセッサのモジュール名は前述したようにMeshmakerである。ここでは、Meshmakerの特徴と構造について述べる。

Meshmakerの特徴は、対象物の入力だけが必要で、メッシュは自動発生され、必要に応じて、局部的にも全体的にもメッシュを自動的に細分化出来る。更にMeshmakerで作られたファイルはAsciiのテキスト型で書かれているため他の機械やプログラムでも容易に使用できることである。

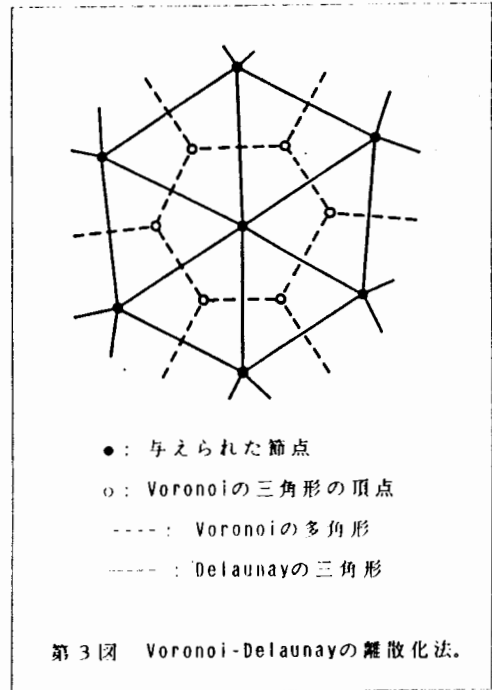
Meshmakerの構造は、大きく分けて、対象図形の入力とメッシュの発生であり、作業の大部分はマウスによるカーソルメニュー方式で行われる。メニューは第2図に示されるようにTypeメニューと

それに必要なOperationメニュー、さらに必要に応じてOperationメニューにサブメニューが含まれている。



Typeメニューは、対象物の入力と定義を行うObject、曲線などの特殊な線分を入力するline、対象物の消去やコピーさらにサイズ変更等を行うEdit、メッシュの自動発生や節点の追加などを行うMesh、図形の拡大や移動などを行うScale、ファイルの入出力やハードコピー等を行なうFile、単位系の変更やマウスのモード変更などを行うParamおよびプログラムの実行を停止するQuitから構成されている。なお、Meshmakerでの対象物は閉じた境界で作られるものと定義され、それぞれの対象物にはラベルがつけられる。ラベルは材料の物性値等を決めるのに必要とされる。

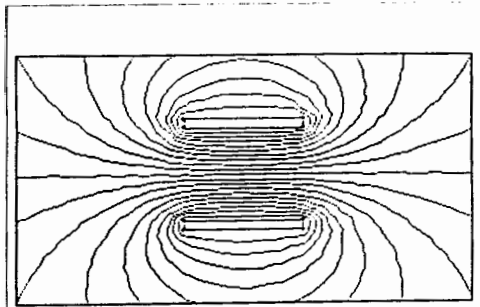
メッシュの自動発生は、空間をユニークに分割する方法として、Voronoi-Delaunayの離散化法を用いている。具体的な例として、第3図のように節点を与えられた場合、どのように三角形メッシュがVoronoi-Delaunayの離散化法によって作られるかを調べてみる。



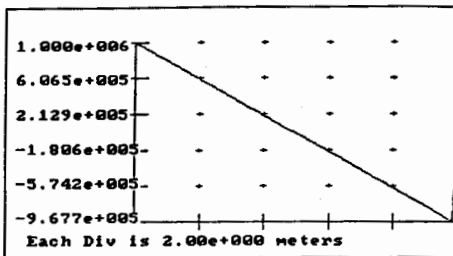
第3図の節点●を中心とする等しい半径を持つ円を各節点に対して描き、各円弧の交点を結ぶと二次元空間はユニークに多角系で離散化される。これらの多角系をVoronoiの多角形という。第3図で、点線---で構成される多角形がVoronoiの多角形である。Voronoiの多角形の辺を垂直に分割する各節点間の線分を描くと三角形メッシュが構成される。第3図の実線----で構成される三角形がこの三角形に対応し、Delaunayの三角形と呼ばれる。これらのDelaunayの三角形の各辺は、Voronoiの多角形の辺で垂直に二等分され、Delaunayの多角形の外心はVoronoiの多角形の頂点と一致する。このように節点を与えられたとき、三角形メッシュはユニークに作られる。

### 3.2. ソルバー・ポストプロセッサ

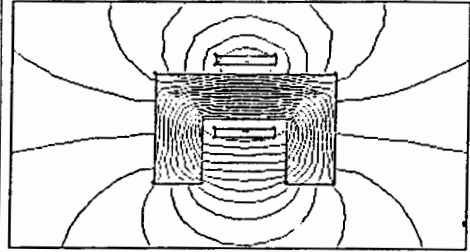
ソルバー・ポストプロセッサの中で、線形系の例としてElectrostatによる平行板キャパシタの例を取り上げる。第6(a)図にポテンシャルの分布を示し、第6(b)図に、平行板の中心で板に垂直な線分に沿ったポテンシャルの値を示した図を示す。第7(a)図に単純化したリングヘッドによる磁界分布を、磁気飽和を考慮して計算した結果を非線形系の例として示す。第7(b)図に鉄心部の磁化特性を示す。



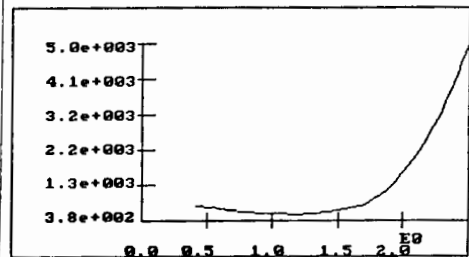
第6(a)図 平行板キャパシタにおけるポテンシャル分布。



第6(b)図 平行板の中心部に垂直な線分に沿ったポテンシャルの値。



第7(a)図 単純化したリングヘッドによる磁界分布。



第7(b)図 鉄心部の磁化特性  
( $1/\mu$ )<sup>2</sup>対 $B^2$ 。

### 4. あとがき

本稿では、汎用電磁界解析パッケージMaxwellの基本構造とその特徴を紹介した。より詳細についてはマニュアルを参照されたい[3]。

### 参考文献

- [1] Z. J. Cendes and et al, IEEE Trans., Magnetics, Vol. Mag-19(1983)pp. 2551-2554.
- [2] P. Silvester and et al, Proc. IEE., Vol. 124, No. 12(1977)pp. 1267-1270.
- [3] Maxwell Manual, Ansoft Corporation University Technology Development Center, 4516 Henry Street, Pittsburgh PA 15213, 又は東京電気特務株式会社 中野区本町1丁目31-3, 千184 (日本語マニュアル)