

## G9 有限要素電磁界解析のためのプリプロセッサの開発

高木 典昭 金井 靖

新潟大学工学部 新潟工科大学

### 1 はじめに

有限要素法による電磁界解析では解析対象と周囲の解析空間を要素に分割し解析するが、3次元物体の要素分割は人手で行うことは不可能であり、分割図を自動作成するプリプロセッサが必要不可欠となる。

本報告では、Delaunay法<sup>[1][2][3]</sup>とOctree法<sup>[4]</sup>を基にした、3次元電磁界解析のための自動要素分割プログラムを作成し、実際の電磁機器の例として、ハードディスク用薄膜磁気ヘッドの要素分割結果と解析例を示す。

### 2 分割アルゴリズム

本分割法はまずOctree法を用いて節点を作成し、作成した節点をDelaunay法によって結び付け要素を形成する。以下に簡単のためそれぞれ2次元場で説明する。

**2.1 節点の作成法** Octree法で得られる節点は、その分布が粗から密へ徐々に変化していくので、電磁界解析に適した節点配置になる。このアルゴリズムを図1を用いて説明する。

- (1) 解析対象を含む解析領域を4つの正方形に分割する。
- (2) 解析対象の輪郭線と交差、または内部に輪郭線を含む正方形をさらに4つに分割する。このとき隣接する正方形の辺の長さの比が、例えば1対2よりも大きなものがあれば、これも4つの正方形に分割する。
- (3) 正方形の個数が、指定した値を満たすまで、(2)を繰り返す。
- (4) 各正方形の頂点、及び正方形と輪郭線の交点を節点として登録する。

**2.2 要素の作成法** Delaunay法は2次元では三角形、3次元では四面体を作成する方法であり、要素の形状が、正三角形や正四面体に近い形状となることが知られている。このアルゴリズムを図2を用いて説明する。

- (1) 解析モデルを含む解析領域を2つの三角形に分割する。
- (2) 予め作成しておいた節点群のなかから点を1つ選び、これを外接円内に含む三角形を選択する。ここでは選ばれた点をPとする。
- (3) ステップ(2)で選択した三角形を消去し多角形を作る。点Pとこの多角形の頂点を結び新たな要素を作る。
- (4) 選ぶ節点がなくなるまでステップ(2)から(3)を繰り返す。

これらのアルゴリズムを3次元に拡張するには、正方形を立方体、三角形を四面体とする。

### 3 問題点とその対策

**3.1 分割不良** Delaunay法をそのまま用いると、(1)要素同志が重なったり、分割されない領域が現われる(2)解析対象物体の形状が失われる、という分割不良が起こる。

(1)の原因を図3を用いて説明する。四面体の外接球を計算する際、必ず丸め誤差などの計算誤差を含み、正確な外接球を求めることは不可能である。図3に示すような節点Pの場合、本来は同図(b)のように分割されねばならないが、計算誤差により、同図(a)

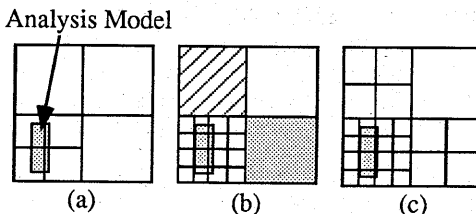
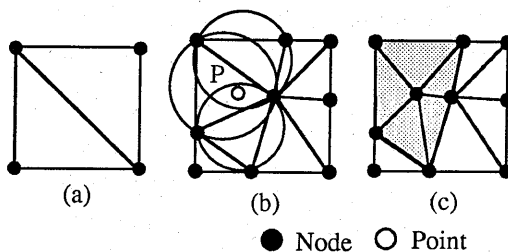


Fig.1 A Octree Method.



● Node ○ Point

Fig.2 A Delaunay Triangulation.

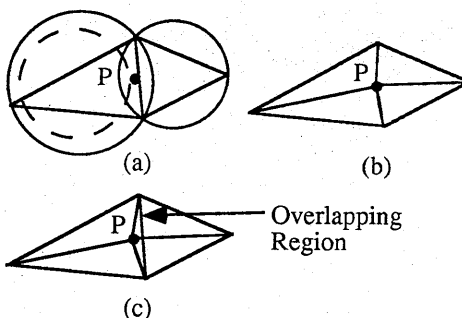


Fig.3 An Example of A Degenerate Case.

の点線に示すように外接球が真値より小さくなった場合は、同図(c)のように分割され、分割不良となる。また(2)の原因は、Delaunay法で用いられる情報が節点座標のみであり、物体形状の情報を持たないためと考えられる。

**3.2 解決法** 外接球の計算誤差への対策として許容誤差 $\epsilon$ を導入した方法を考案した。つまり、計算誤差の範囲を $\epsilon$ 、外接球の半径を $r$ 、外接球の中心とPとの距離を $d$ としたとき、

$$r^2 - d^2 > \epsilon \quad (1)$$

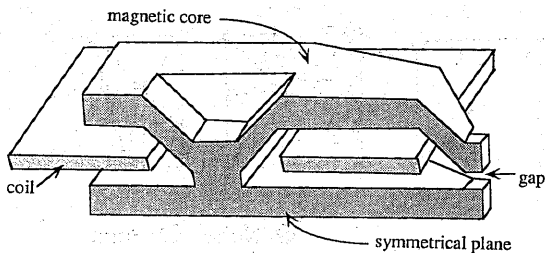
であればPは外接球内に含まれると判定することにした。

次に、物体の形状が失われる問題に対しては、得られた要素の形状が正三角形や正四面体に近い形状となるというDelaunay法の特徴を用いた。つまり、正三角形や正四面体は節点間の距離が最小となっている。そこで、解析物体の表面に節点を増やし、これらの節点も用いて分割を行えば、物体の形状が保存されると考えられる。

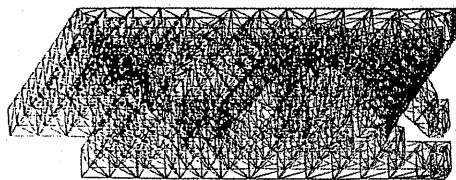
**4 分割例と解析例**

本分割法の適用例として、図4にハードディスク用薄膜磁気ヘッドの分割と解析例を示す。解析には、T- $\Omega$ 法<sup>[5]</sup>を用いて線形計算を行った。

図4(a)に示す薄膜ヘッドは、狭いギャップと複雑な形状を有するので、有限要素分割が困難であった。ここでは、解析モデルの対称性を利用して全体の1/2領域を分割した。ギャップ長は $0.5\mu\text{m}$ 、ギャップ深さは



(a) A Model of Thin Film Head.



(b) Obtained Finite Element Mesh.

Fig. 4 A Model of Thin Film Head and Obtained Mesh.

$0.5\mu\text{m}$ 、半トラック幅は $1.0\mu\text{m}$ である。分割図を図4(b)に示すが、提案したアルゴリズムにより正しい要素分割がなされている。得られた分割図を用いて、コイルの起磁力を $0.1[\text{AT}]$ 、磁性コアの比透磁率を1000とし計算を行った。図5にスペーシング $0.15\mu\text{m}$ でのトラック中央における記録磁界分布( $H_x, H_y, H_z$ )を示す。

**5 まとめ**

Delaunay法とOctree法を併用した3次元有限要素分割において、問題点を検討し、これを取り除くためのアルゴリズムを考案し、自動分割プログラムを作成した。また、実際にハードディスク用薄膜磁気ヘッドの要素分割に適用し、解析例を示すことにより、本分割法の妥当性を示した。

**参考文献**

- [1] D. N. Shenton and Z. J. Cendes, IEEE Trans. Magn., MAG-21, No. 5, pp.1811-1816, Sep. 1985.
- [2] N. Takagi and Y. Kanai, NAGANO magel' 94., pp.505-508., Nov. 1994.
- [3] 高木、金井、電子情報通信学会信越支部大会講演論文集77 (平成6年10月)
- [4] 中田、高橋、藤原、小川、電子情報通信学会研究会資料 MR92-1 (1992年6月)
- [5] 小林、高木、津野、金井、電気学会東京支部新潟支所研究発表会予稿集 B-1 (1994年11月)

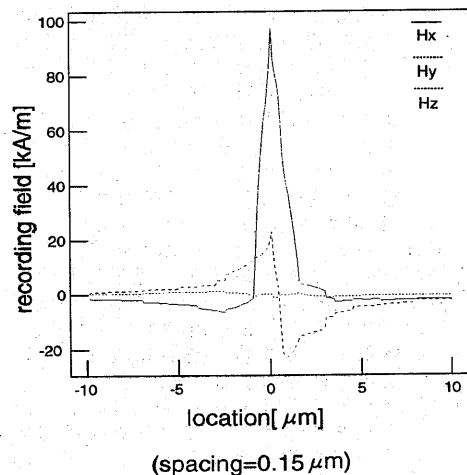


Fig. 5 Recording Field Distributions