田中研究室

田中　始男

はじめに

本研究室は、筆者が講師となった平成６年４月にスタートしている。研究室としての歴史は２年４ヶ月(平成８年８月現在)である。本稿は情報処理工学科10周年記念特集の一部である。これに対して"田中研究室"の歴史は短かすぎて、十分に記述できない。そこで、筆者の助手時代も含めて記述する。

教育研究

平成元年４月に助手となり、講義・演習では小林教授らの担当する情報処理論及び演習、映像情報学実験、河野教授らの担当する情報基礎学実験を担当した。

卒業研究については、学科内を４つのグループに分けて実施しており、筆者はＣグループ(美咲教授、新谷助教授のグループ)の助手ということであった。平成元年度は最初の卒業研究生を研究室に迎えるということで、実験設備は十分とは言い難いものであったが、卒業研究生と徐々に設備を整備して何とか卒業研究を完成させた。

平成３年度からはＣグループに坪井教授が加わり、また、大学院(修士課程)が開設された。これに伴って、研究室の学生数が急激に増え、一つの研究実験室を40名程度(３研究室)で使っていた。

平成４年度にはカリキュラムに変更があり、情報処理工学実験及び演習Iと情報処理工学実験及び演習IIIの担当となった。

平成６年度からはプログラミング言語、プログラミング演習I、プログラミング演習II、情報処理工学実験及び演習III、計算工学基礎特論(修士課程)の担当となった。また、講師に昇任したことに伴って田中研究室がスタートした。

平成７年４月には電子情報工学専攻博士課程が開設され、三次元場シミュレーション工学基礎特論の担当となった。

研究の概要

本研究室は先に述べたように歴史が浅いので、研究室の研究という立場ではなく、筆者の関連する研究の中で、筆者が、いわゆる、ファーストオーサーとなっているものについて概要を述べる。

<境界要素法による静磁界・渦電流解析>

電気機器を設計する上で電界、磁界の分布を把握することは重要である。電界・磁界の分布はマクスウェルの電磁界方程式で表すことができ、解析領域内でこの微分方程式を満足する解を求めることで電界・磁界の分布が求められる。境界要素法では、支配方程式であるマクスウェルの電磁界方程式とベクトルグリーンの定理に基づいた定式化を行い、境界上のみに未知変数が置かれた境界積分で表される最終的な連立方程式が作られる。そして、境界上に未知変数を代表する点を多数置き、未知変数について各点間を近似関数で補間することで、未知変数が相互に関連付けられた連立一次方程式が出来上がり、これを解いて未知変数を求める。

三次元解析では、境界上を三角形要素に分割し、要素毎にx,y,z成分をもつ未知変数を置き、これを零次関数、一次関数などで近似して境界積分や離散化を行っていた。しかし、零次近似関数では要素間で未知変数が不連続となり、一次近似の場合には立方体のような角のある問題では角点の放線方向が明確には定義できないため角点処理が必要となる等の問題があった。

本研究では、静磁界問題について磁束密度の接線成分について一次近似を用いたベクトル関数を導入し、法線成分については零次近似を行う方法を提案している。これによって、接線成分は要素間で連続となり、かつ、角点処理が不要となる。提案手法の妥当性を確認するために、理論解の得られる計算モデルと電気学会三次元静磁界計算検証モデルに提案手法を適用している。さらに計算精度及び計算時間について提案手法と従来の手法を比較し、提案手法の有効性を確認している。

本研究では、さらに、提案した近似関数を渦電流解析にも導入している。渦電流解析では境界上で電界と磁界が未知変数なので、それぞれの接線成分をベクトル関数で近似し、法線成分については零次関数で近似する。未知変数の接線成分と法線成分は支配方程式で関連づけられているので、これを用いれば法線成分は全て境界上の接線成分で表され、最終的な連立方程式では接線成分のみが未知変数となる。このため、提案手法では、同一の計算モデルであれば、従来の要素を用いた場合の1/2の未知数となる。また、連立一次方程式の解法にガウスの消去法用いた場合には、計算時間は従来法の1/8となる。

提案した手法の妥当性を確認するために、理論解の得られる計算モデル及び電気学会三次元渦電流解析検証モデルに提案手法を適用している。また、計算精度、解析に費やす計算時間と記憶容量について従来法との比較を行い、提案手法の有効性を確認している。

<過渡渦電流解析>

過渡解析では、時間微分項の取り扱いが問題となる。境界要素法で時間微分項を$x(t+\Delta t)-x(t)/\Delta t$で近似した場合には境界積分項に加えて領域内の積分も必要となる。このため、境界積分のみで解析が可能であるという利点が失われる。そこで、フーリエ変換に基づく方法を提案し、境界積分のみで過渡解析が行えることを

示している。この手法では、解析対象の周波数応答を境界要素解析によって求め、これからインパルス応答を導き、これと外部から印加される電磁界との畳み込み積分で過渡解を求める。提案した手法を理論解の得られる計算モデルに適用して妥当な解が得られることを確認している。また、時間差分を用いた手法では、境界要素の大きさと時間刻み幅の関係に最適値があり、この関係が不適切な場合には時間刻み幅が小さくても計算精度が低下するが、提案手法では安定な解が得られることも示している。

＜対称性を利用した計算規模の縮小＞

解析対象の形状が回転対称体や鏡映対称体であることがある。このような計算モデルでは、境界要素法によって作成される最終的な連立一次方程式の係数行列は巡回性を有する行列となる。この連立一次方程式に巡回性を利用した変数変換を行えば、係数行列は対角ブロック行列となる。したがって、いくつかの小連立方程式となり、大きな方程式を解くよりも高速に解を求めることができる。境界要素法では大規模な密行列を取り扱うので、対角ブロック化の効果は大きい。しかし、この変数変換では、変換行列は複素数である。このため、解析結果が実数となる問題においても解析過程で複素数行列や複素数の解が生じる。このため、実数のみを取り扱う場合に比べて複素数で表される変数の物理的評価が煩雑となり、さらに計算量も増大するので、対角ブロックを用いる利点は失われる。解析結果が実数となる問題としては、過渡問題がある。これの解法として、固有モードを用いた境界要素解析法がある。この解法では、まず、境界要素法によって空間に関する積分のみを行い、時間微分項については、積分によって得られた系の状態方程式を解くことで過渡解析を行っている。

本研究では、固有モードを用いた過渡解析において、計算モデル形状の対称性を利用した変数変換で生じる複素行列について検討している。本来、実数解のみが得られる過渡渦電流解析において、複素数が発生する理由を考察し、固有値及び固有ベクトルについて複素共役な組の一方のみを計算すればよいことを理論的に述べている。さらに、変数の実数化を行うことで計算時間が大幅に低減できることを示している。実際の計算を行い、提案する実数化によって、計算精度は維持され、計算時間及び記憶容量の低減が可能なことを確認している。

研究装置

研究テーマが数値解析であるので、主に利用する研究用装置はコンピュータである。これについて研究で主に使用したものを、導入順に挙げる。

平成元年頃、主に利用していたコンピュータはCPUとしてIntel社製80386や80486に数値演算コプロセッサを搭載し、主記憶容量が十数メガバイトのパーソナルコンピュータであった。平成３年からはワークステーション(CPU:R3000、20MHz、主記憶容量:16メガバイト)を利用した。その後、平成５年に学科にネットワークで接続されたワークステーションが導入されたため、これを主に利用した。ただし、このワークステーションの処理能力は平成３年に研究室に設置されたものと同程度であった。これらの性能を同一の計算モデルの計算時間で比較すれば、次の表のようになる。また、平成８年には研究室に安価なパーソナルコンピュータが数台設置されており、その中でA4サイズのいわゆる普及型のノートパソコンとの比較も示す。

計算時間

	パーソナルコンピュータ (I486)	ﾜｰｸｽﾃｰｼｮﾝ (R3000)	ﾉｰﾄﾊﾟｿｺﾝ (Pentium)
導入時期	平成２年	平成3年	平成8年
計算時間 (秒)	16, 236	4, 198. 1	902. 1

計算時間は、それぞれ、ＯＳやコンパイラが違うので、表の結果は各計算機の性能と必ずしも一致しないが、ほぼ処理能力を表しているといえる。平成８年の普及型ノートパソコンは平成２年当時のハイエンドパーソナルコンピュータの約18倍の計算処理能力があることがわかる。価格で考えれば、ノートパソコンは、平成２年当時のパーソナルコンピュータや平成３年導入のワークステーションの約1/10である。ここ数年でコンピュータの性能が著しく向上しており、数年前に導入した高価なコンピュータが陳腐化していることがわかる。

おわりに

研究の概要で述べたように辺要素を導入したことにより、従来の手法にくらべて計算時間は1/8となった。さらに、計算機は、数年前と比べれば約1/10の設備費で数倍から十数倍の計算処理性能が得られるようになっている。境界要素解析について考えれば、数年前では考えられないほど大規模で複雑な問題が取り扱える状況となっている。したがって、複雑な形状を解析対象とする大規模な問題を取り扱うことができる。この場合、解析対象の形状入力や境界要素法のための三角形要素の作成に多大な労力が費やされることが予想される。今後、このような点に着目して研究を進める必要があると思われる。