



講座

核融合装置における過渡電磁解析Ⅳ

6. まとめ

(1996年11月29日受理)

今回までの4回にわたり、核融合装置における過渡電磁解析に関して、解析の必要性、構造物や超伝導体中の渦電流の解析法、電磁設計例、そして電磁場と他の場との連成解析について、電磁解析法の開発や核融合炉の電磁設計に携わっている研究者により紹介していただいた。本講座により、これまでの研究の進展、電磁設計の現状について理解していただいたのではないと思う。核融合動力炉を考えたとき、火力、水力や核分裂炉などの従来のエネルギー源と比べて、機械的荷重、熱的荷重、や放射線などの負荷が量的に異なっており、その実現を困難にしている。しかし、強磁場やそれに伴って生じる莫大な電磁力は磁気閉じ込め型核融合炉に固有の現象であり、他のエネルギー発生装置の経験に頼ることのできない全く質的に異なる課題である。しかも、このような強磁場中での構造物中の電磁現象は、他の実験装置では実現できず、核融合炉が実現してはじめて可能になる。このような点からも電磁現象の数値解析の重要性がわかる。

本講座を終了するにあたって、過渡電磁解析法がどのように有効性が検証されているのかについて簡単に触れておきたい。電磁解析については、解析コードのベンチマークテストが行われている。その中で代表的なものとして1986年より開始されているTEAM (Testing Electromagnetic Analysis Method) ワークショップがある。すでに22回のワークショップが開かれ、26のベンチマーク問題が提案された。おもに、渦電流の評価を目的としており、新しく開発される解析手法や解析コードの多くがこの問題で検証されている[1,2]。実験値と詳細な比較を行っているが、取り扱われている体系は比較的単純である。核融合装置の構造に特有の問題点として板あるいは箱状の構造物が狭い間隔で配置されている点がある。このような体系を模擬した実験が行われ、設計に用いられている薄板近似解析コードによる結果との比較が報告されている[3]。ステンレス製の箱形構造物を並べて構造物間の電磁誘導が影響を及ぼす配置で実験し、

適切な有限要素のモデル化を行えば、解析コードによる結果が十分な精度を持つことが確認された。また、強磁場中での構造要素の変形挙動についても核融合炉第一壁を想定したベンチマーク問題がTEAMワークショップの問題として提案され、電磁構造連成挙動の種々の解析法が提案され検証された[2]。この他にも電気学会において渦電流解析に関するベンチマークテストが行われ、解析手法の検証が進められてきた[4]。

核融合装置における過渡電磁解析手法と解析コードについて、既に有効性が検証されている点および今後の検討が必要な点について以下にまとめる。

- (1) 渦電流解析：これまでに開発された薄板近似および三次元解析コードは、実験結果との比較により非磁性導体構造物の設計に十分なだけの精度を有していることが確認されている。磁性体の構造物を用いる場合については、三次元解析が避けられず、実験との比較による検証が今後必要である。
- (2) 電磁力解析：非磁性導体については渦電流解析と同程度に精度良く解析できる。磁性体については渦電流の評価に加えて電磁力の評価法の難しさもあり、さらなる検証が必要である。
- (3) 電磁構造連成解析：磁気粘性効果は十分な精度で解析が可能である。磁性体に生じる磁気剛性効果の解析については、さらに検討が必要である。また、電磁力による座屈については、動的な効果も含め実験と解析の両面からの研究が必要である。
- (4) 強磁場下での破壊の解析：これまでの実験により非磁性体の破壊靱性に対しての磁場の影響はないと考えられる。過渡強磁場下で亀裂を有する複雑な体系での動的な破壊現象については、その挙動が実験的にも解析的にも明らかにされておらず、電磁・熱・構造連成という観点からも研究が必要である。

TAKAGI Toshiyuki, *Institute of Fluid Science, Tohoku University, Sendai 980-77, Japan*

これまで述べてきたように、次期の実験炉を設計するための過渡電磁解析法および解析コードはほぼ有効性が検証されている。このような進歩は手法およびCAD システムの開発のみならず、計算機の性能の向上、たとえば計算速度および記憶容量がともに1980年頃と比べると $10^3 \sim 10^4$ 倍程度大きくなったことにもよる。核融合装置における電磁現象は、電磁・熱・構造の場が連成して生じる複雑現象である。実験に加えて計算工学的な今後の研究の進展により、この複雑現象が解明され新たなアイデアに基づく電磁設計法が生み出されることを期待する。

本講座を企画するにあたって、日立製作所の阿部充志氏に示唆に富む提案をいただいたことをここにお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] N. Takahashi (ed.), *Proc. TEAM Workshop in 6th Round*, Okayama, March (1996).
- [2] COMPEL-Intern. J. Comput. Math. Electrical and Electronic Eng. **14**, Nos.2/3 (1995).
- [3] 西尾敏他 5 名；第 5 回電磁力関連のダイナミックスシンポジウム講演論文集, 485 (1993).
- [4] 三次元電磁界数値計算実用化技術調査専門委員会, 「三次元電磁界数値計算実用化技術」, 電気学会技術報告, 480, 電気学会 (1994).

(東北大学流体科学研究所 高木敏行)