

Virial 定理による 超電導磁気エネルギー貯蔵用コイルの最適化

Optimal Winding of Superconducting Magnetic Energy Storage Coils on the Virial Theorem

東工大・原子炉研 筒井広明, 野村新一, 渡辺成章, 鈴木千里, 梶田真也, 大畑嘉洋, 飯尾俊二, 嶋田隆一

H.Tsutsui, S.Nomura, N.Watanabe, C.Suzuki, S.Kajita, Y.Ohata, S.Tsuji-Iio, R.Shimada

Research Laboratory for Nuclear Reactors, Tokyo Institute of Technology

E-mail: htsutsui@nr.titech.ac.jp

超電導磁気エネルギー貯蔵 (SMES) は、高効率で即応性を持つ電気エネルギーの貯蔵システムであるが、大型の SMES では、超電導コイルに発生する強大な電磁力のため、岩盤支持が必要とされてきた。

我々は、この困難を克服するために、トロイダル磁場 (TF) コイルとソレノイドコイルを一体としたヘリカル型ハイブリッドコイルである電磁力平衡コイル (FBC)[1] を用いた SMES 装置を設計・実験し、その有効性を示してきた [2]。二つのコイルを一体化することで、互いの電磁力を相殺し、大半径方向の電磁力を著しく減少させることが出来た。さらに、磁場が最も強い部分での電磁応力をゼロにする応力平衡コイル (SBC) も提案した [3]。しかし、コイル及び、その支持材に発生する応力についての解析は成されていなかった。

一方、ビリアル定理 [4] によると、超電導コイルの蓄えることの出来る磁気エネルギーは、その支持材の体積により制限されることが知られている。我々は、この定理を詳細に調べることで、応力最小となるコイル (FBC with virial-limited condition: VLC) の満足する条件を求めた [5]。さらに、この理論を円形断面トラス型コイルに適用し、VLC の満足するヘリカルピッチと、コイル形状 (アスペクト比) との関係を示した。図 1 は、規格化平均応力 $\langle \tilde{\sigma} \rangle$

$$\tilde{\sigma} \equiv \frac{V_{\Omega}}{U_M} \sigma, \quad \langle \sigma \rangle \equiv \frac{\int \sigma dV}{V_{\Omega}},$$

とコイルのヘリカルピッチ N 及び、アスペクト比 A との関係を示したものである。ここで、 V_{Ω} , U_M は、コイル及び支持材の体積と、磁気エネルギーである。どのアスペクト比でも、あるピッチで二つの主応力の値が最小値 $1/2$ (VLC 条件) となることがわかる。この値は、TF コイル ($\langle \tilde{\sigma}_{\theta} \rangle = 2$) やソレノイドコイル ($\langle \tilde{\sigma}_{\phi} \rangle > 1$) の半分から $1/4$ の値であり、従来のコイルを用いた SMES に比べ、大幅に応力、及び支持材料を減少させることができる。また、本理論により、従来の FBC の位置付け ($\langle \tilde{\sigma}_{\phi} \rangle = 0, \langle \tilde{\sigma}_{\theta} \rangle = 1$) も明らかとなった。

この理論の詳細は講演にて発表する。さらに、本講演に引き続き、本理論を実証する装置の設計、及びその実験結果、解析結果についても発表する。

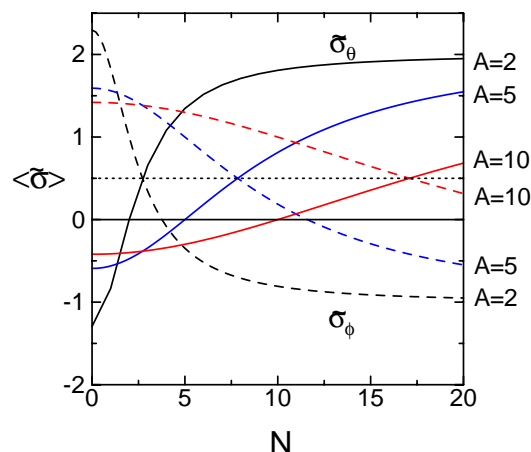


図 1: Relations between pitch number N and averaged normalized stress $\langle \tilde{\sigma} \rangle$ for aspect ratio $A = 2, 5, 10$. Solid and dashed lines are $\tilde{\sigma}_{\theta}$ and $\tilde{\sigma}_{\phi}$, respectively.

謝辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 「産業技術研究助成事業」の支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] Y. Miura, M. Sakota R. Shimada: IEEE Tran. Magnetics **30**(4), 2573 (1994)
- [2] 佐藤義久 他: 電学論 D, **118**(2), 402 (1998)
- [3] S. Nomura, *et al*: IEEE Tran. Appl. Superconductivity, **9**(2), 354 (1999)
- [4] F.C. Moon: J. Appl. Phys., **53**(12), 9112 (1982)
- [5] H. Tsutsui, *et al*: IEEE Trans. Appl. Superconductivity, **12**(1), 800 (2002).