

エネルギー貯蔵用応力最小化電磁力平衡コイルの実証実験 - 実験装置概要 -

Demonstration of the Stress-Minimized Force-Balanced Coil Concept
for Energy Storage – Outline of the Experimental Device –

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

Research Laboratory for Nuclear Reactors, Tokyo Institute of Technology

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

2-12-1, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8550, Japan E-mail: shin@nr.titech.ac.jp

1. はじめに

SMES 装置の大容量化に伴い、超電導コイルに発生する電磁力の大きさが問題になっている。この解決策として、著者らは、コイル形状をヘリカル巻線型とする電磁力平衡コイル (FBC: Force-Balanced Coil) の概念を提案してきた。ピリアル定理よりエネルギー貯蔵に必要な電磁力支持材量を検討した結果、最適なヘリカル巻数を選定することにより、応力の最小化が可能であることを示した [1]。そこで、電磁力平衡コイルの概念の妥当性を実証するために、小型実験装置を設計製作し、コイル巻棒に生じる応力分布について検討した。ここでは、実験装置の概要について報告する。

2. 実験装置概要

製作した実験装置を図 1 に示す。本実験装置は大半径 200 mm、小半径 50 mm、アスペクト比 (大半径/小半径) 4 の NbTi 線を用いた手巻きコイルである。磁束密度及び磁気エネルギーの達成値はそれぞれ 2.8 T、29 kJ である。また、巻棒の素材は肉厚 14 mm のアルミニウム合金を使用した。

製作した実験装置は図 1 に示す様に、互いにトロイダル方向を反対に巻かれた 2 層のヘリカルコイルで構成されている。内層及び外層ヘリカルコイルはそれぞれ別電源で励磁され、各層に流す電流値と方向を選定することにより、トロイダル磁界コイルからソレノイドコイル (円環状コイル) まで様々なコイル方式を模擬することができる。このとき装置全体のヘリカル巻数 N と内層及び外層ヘリカルコイルの電流値 I_{in} , I_{out} との関係は、

$$N = N_{\text{device}} (I_{in} + I_{out}) / (I_{in} - I_{out}) \quad (1)$$

となる。ここで N_{device} とは各層コイルのヘリカル巻数であり、応力最小条件を満たすヘリカル巻数 6 の電磁力平衡コイルとなっている。

図 2 は、コイルに発生するトロイダル方向、ポロイダル方向応力 σ_ϕ , σ_θ とヘリカル巻数及び内層、外層コイル間の電流比 (I_{out}/I_{in}) の関係を示す概念図である。

式 (1) より、電流比を 1.0 とした場合、ヘリカル巻数 N は ∞ となる。このとき装置全体のトロイダル方向の電流成分が相殺され、トロイダル磁界コイルが模擬される。一方、電流比を -1.0 とした場合、装置全体のポロイダル方向電流成分が相殺され、ソレノイドコイル (円環状コイル) が模擬される。従って、本実験装置は適切な電流比を選定することにより、ヘリカル巻数を連続的に 0 から ∞ まで変えることができ、様々な応力分布を形成することができる。

電磁力平衡コイルとは、ポロイダル方向応力最小条件 ($\sigma_\theta = 0$) を満たすヘリカル巻数 4 のコイルを下限とし、トロイダル方向応力最小条件 ($\sigma_\phi = 0$) を満たすヘリカル巻数 9 のコイルを上限とするヘリカルコイルである。すなわち、図 2 の斜線部分で示す範囲でヘリカル巻数を選定したコイルを電磁力平衡コイルと呼ぶ。

本研究では、巻棒に生じるひずみを測定し、各模擬コイルと発生応力の関係について調べた。詳細な実験結果については、講演番号 3B-a12 を参照されたい。

謝辞

本研究は、財団法人電力中央研究所との共同研究であり、実証実験は赤城試験センターで行われました。狛江研究所 秋田調様、鳥居慎治様、株式会社電力テック 榊寿義様には、超電導設備の利用に際し御協力を戴きました。ここに厚く御礼申し上げます。

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

[1] S. Nomura et al., IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 12, No. 1, March 2002, pp. 792-795.

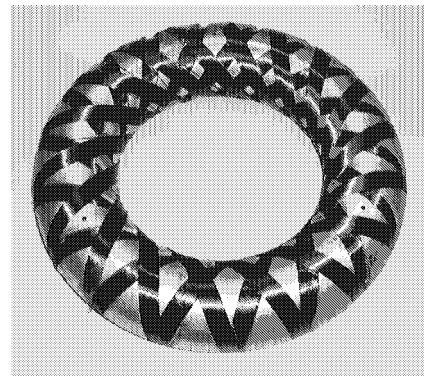


Fig. 1. A small experimental device for the demonstration of the Force-Balanced Coil concept. Inner and outer helical coils were mutually wound in opposite toroidal directions.

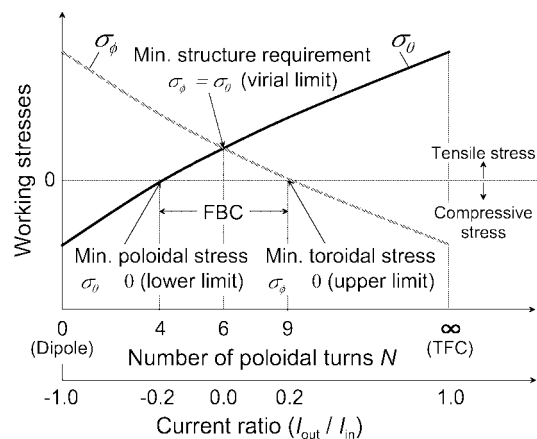


Fig. 2. Schematic diagram of the Force-Balanced Coil concept. The range of the FBC conditions is from a number of poloidal turns N of 4 to that of 9.