

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 - 実証実験結果 -

Demonstration of the Stress-Minimized
Force-Balanced Coil Concept for Energy Storage - Experimental results -

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

Research Laboratory for Nucler Reactors, Tokyo Institute of Technology

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

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

1. はじめに

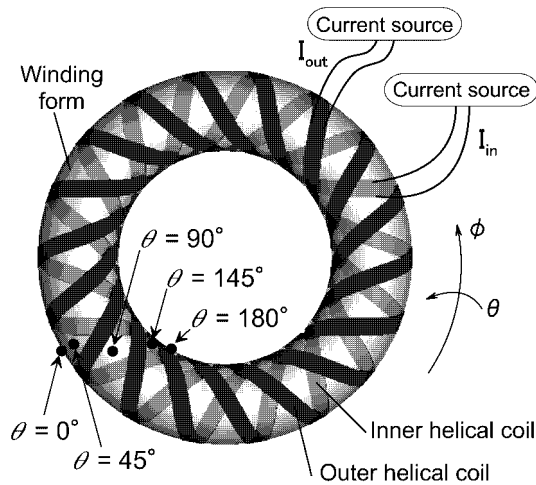
超電導磁気エネルギー貯蔵 (SMES) において、超電導コイルに働く電磁力を支持するために必要な構造材が大量になるという問題がある。この問題を解決するために、著者らはヘリカル巻線型の電磁力平衡コイル (FBC: Force-Balanced Coil) の概念を提案してきた。さらにピリアル定理に基づいて最適なヘリカル巻数 N を選定することにより、構造材にかかる応力の最小化が可能であることを示した [1]。そこで著者らはこの概念を実証するために小型の実験装置を製作し、実証実験を行った。ここでは、その実験結果について報告する。

2. 実験内容

実験に用いた装置概要を Fig.1 に示す。この装置には応力の最小化が可能な電磁力平衡コイルが、内側と外側に互いにトロイダル方向反対向きに巻かれている。この内層と外層のコイルにはそれぞれ別々に電源が接続されている。つまり、内層と外層に流す電流の比 (I_{out}/I_{in}) を任意に変化させることが可能である。

電流比を -1.0 から 1.0 まで変化させるということは、装置におけるヘリカル巻数を 0 から ∞ まで変化させることと等価である。すなわち、この装置は電流比を変化させることで、ヘリカル巻数 0 のソレノイドコイル (円環状コイル) からトロイダル磁界コイルまで、様々なヘリカル巻数のコイル方式を連続的に模擬することが可能な装置である。なお、詳細な実験装置概要については講演番号 3B-a11 を参照されたい。

実験ではひずみゲージを用いて、各模擬コイル条件下でコイル巻枠に生じるひずみを測定した。ひずみの測定位置は Fig.1 に示すように、コイル大半径方向最外周をポロイダル角 $\theta=0^\circ$ として、 0° 、 45° 、 90° 、 145° 、 180° の合計 5 点において、トロイダル方向 (ϕ 方向) とポロイダル方向 (θ 方向) を測定した。



• Strain gages

Fig.1: Experimental setup for measurement of working stress. The distribution of the working stress in this device can be changed by selecting the optional current ratio (I_{out}/I_{in}).

3. 実験結果

ひずみの結果から ϕ 方向応力 (σ_ϕ) と θ 方向応力 (σ_θ) を算出した。Fig.2 は各模擬コイル方式の最大引張応力と最大圧縮応力を比較したものがある。各応力は磁気エネルギーで規格化し、引張応力を正、圧縮応力を負で表わしている。また、発生した応力の方向を区別するために、 σ_ϕ と σ_θ を色分けして表示している。なお、Fig.2 斜線部内のヘリカル巻数で選定されたコイルを電磁力平衡コイルと呼ぶ。

各模擬コイル条件下で生じる応力分布を見ると、電流比 -1.0 のソレノイドコイル模擬条件下では、 ϕ 方向にフープ力による引張応力が、 θ 方向に圧縮応力が生じている。一方、電流比 1.0 のトロイダル磁場コイル模擬条件下では、 ϕ 方向に向心力による圧縮応力が、 θ 方向に引張応力が生じている。これらの電流比における応力分布より、本実験装置は各コイル方式が模擬できたことを示している。

Fig.2 より、電流比の違いに応じて最大引張応力及び最大圧縮応力の生じる方向と大きさが変化することが分かる。これらは適切なヘリカル巻数を選定することにより、コイルに生じる応力を低減できることを示している。とくに、電磁力平衡コイル条件を満たすヘリカル巻数を選定した場合、ソレノイドコイルとトロイダル磁界コイルに比べ、同一の蓄積エネルギーで生じる最大応力の最小化が実現可能であることが確認できる。以上の結果から、応力最小化電磁力平衡コイルの概念の妥当性が実証された。

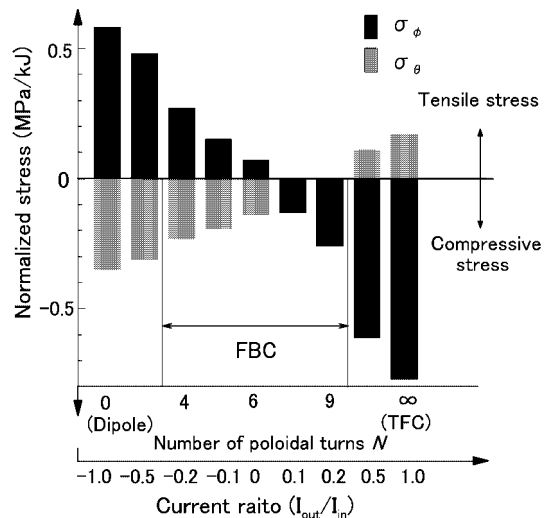


Fig.2: Comparison of normalized tensile and compressive stresses. σ_ϕ , σ_θ indicate toroidal and poloidal stresses, respectively.

謝辞

本実験は、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、財団法人電力中央研究所と共同で行われました。実験には多大な御協力をいただき、ここに厚く御礼申し上げます。

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