

原型炉TFコイルの高速放電に関する検討  
**Study on fast discharge of TF coils for fusion DEMO**

伊藤保之<sup>1</sup>, 宇藤裕康<sup>2,3</sup>, 坂本宜照<sup>2,3</sup>, 日渡良爾<sup>2,3</sup>, 原型炉設計合同特別チーム<sup>3</sup>  
 Yasuyuki ITOH<sup>1</sup>, Hiroyasu UTOH<sup>2,3</sup>, Yoshiteru SAKAMOTO<sup>2,3</sup>, Ryoji HIWATARI<sup>2,3</sup>,  
 Joint Special Design Team for Fusion DEMO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>福井工大, <sup>2</sup>量研機構, <sup>3</sup>原型炉設計合同特別チーム

<sup>1</sup>Fukui Univ. of Technol. <sup>2,3</sup>QST, <sup>3</sup>Joint Special Design Team for Fusion DEMO

1. はじめに

トロイダル磁場(TF)コイルは超伝導体のクエンチ発生時等、緊急時の機器保護のために高速放電させる手段を有するも、その動作がTFコイル自身や炉構造物の健全性/信頼性に電気的、熱的、機械的悪影響を及ぼすことが懸念される。本研究では、高速放電時に構造物に流れる渦電流の評価に必要な自己/相互インダクタンスの、TFコイル形状パラメータ(楕円度、三角度等、アスペクト比)を用いた簡易評価法について検討した。

2. TFコイル形状構造物のインダクタンス評価

2つのトロイダル形状構造物/コイル*i, j*の相互インダクタンスは

$$M_{ij} \approx \mu_0 N_i N_j (H_i + H_j) \xi_{ij} / (2\pi)$$

で表される。ここで*N*は巻数、*H*は高さ(図1参照)、 $\xi$ は次式で定義される形状因子で、電流中心線(CCL)上の座標を(*R, Z*)とすると次式で与えられる。

$$\xi_i = \frac{1}{H_i + H_j} \int_0^H \left( \frac{|Z(R)|}{R} + \frac{|Z'(R)|}{R} \right) dR$$

TFコイル設計では通常、その形状が図1に示す

如く6つの円弧で定義され、 $\xi$ は図中の諸量を用いて解析的に表すことができる。ここではインダクタンスを算出し易くするため次のコイル形状パラメータを定義する。楕円度:  $\kappa = H/a$ , 三角度:  $\delta = (\bar{R} - R_M)/a$ , アスペクト比:  $A = \bar{R}/a_0$ 。ここで  $R_M$  はコイル高さが最大(*H*)となる位置の半径、 $\bar{R} = (R_0 + R_1)/2$  はコイル大半径、 $a = (R_0 - R_1)/2$  は小半径である( $R_0, R_1$ は図1参照)。これら3つのパラメータとTFコイルの外側曲率半径 $\theta_1$ (°)のランダムなパラメータセットを生成して形状因子 $\xi$ を求め、

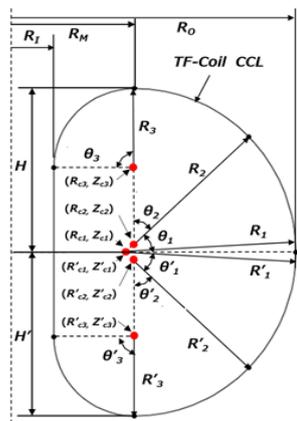


図1 TFコイルの形状定義

図1に示す如く6つの円弧で定義され、 $\xi$ は図中の諸量を用いて解析的に表すことができる。ここではインダクタンスを算出し易くするため次のコイル形状パラメータを定義する。楕円度:  $\kappa = H/a$ , 三角度:  $\delta = (\bar{R} - R_M)/a$ , アスペクト比:  $A = \bar{R}/a_0$ 。ここで  $R_M$  はコイル高さが最大(*H*)となる位置の半径、 $\bar{R} = (R_0 + R_1)/2$  はコイル大半径、 $a = (R_0 - R_1)/2$  は小半径である( $R_0, R_1$ は図1参照)。これら3つのパラメータとTFコイルの外側曲率半径 $\theta_1$ (°)のランダムなパラメータセットを生成して形状因子 $\xi$ を求め、

$$\xi = c_0 + c_k \kappa + c_\delta \delta + c_{A1} A + c_{A2} A^2 + c_\theta (\theta_1/90) + \epsilon$$

として回帰分析を行い、相対誤差 $\epsilon/\xi$ の標準偏差が0.12%程度に収まるパラメータ数値領域内で係数  $c_0, c_k, c_\delta, c_{A1}, c_{A2}, c_\theta$  を求めた。この形状因子 $\xi$ は構造的に不連続なTFコイルセットのインダクタンス評価にも良好な精度で適用可能で、ITER-TFコイルの自己インダクタンス評価で検証した。併せてNeumannの公式による計算結果を基に当該形状パラメータを用いたTFコイル間相互インダクタンスを求めるための回帰式も作成した。

3. 炉内構造物渦電流解析への応用

TFコイルの高速放電時に発生する渦電流解析に必要な構造物(TFコイル構造物および真空容器)の自己および相互インダクタンスは、図2に示す炉の概念設計図に描いた概略的なCCL(●●)の寸法を測り、形状

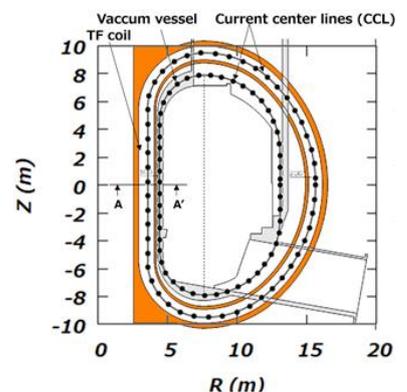


図2 原型炉(JA Demo)TFコイル/真空容器の概念設計図

パラメータ $\kappa, \delta, A, \theta_1$ を定義にしたがって評価して上記形状因子 $\xi$ を計算することにより得られる。こうして回路方程式を解き、構造物の渦電流を求めることによってコイル構造物の発熱(ジュール熱)や真空容器に発生する応力を評価した。

4. まとめ

TFコイル形状構造物/コイルの自己/相互インダクタンスを3~4個の形状パラメータを用いて精度よく評価できることが判った。

謝辞

本研究は量研機構の原型炉研究開発共同研究の枠組みで実施されたものである。