6Da04

核融合原型炉における電磁構造解析による超伝導コイル設計研究
Design study of superconducting magnets based on electromagnetic field and mechanical analysis on JA DEMO

宇藤裕康[1,2]、日渡良爾[1,2]、坂本宜照[1,2]、伊藤保之[2,3]、浦田一宏[2,4]、染谷洋二[1,2]、飛田健次[1,2]、原型炉設計合同特別チーム
Hiroyasu UTOH[1,2], Ryouji HIWATARI[1,2], Yoshiteru SAKAMOTO[1,2], Yasuyuki ITOH[2,3], Kazuhiro URATA[2,4], Youji SOMEYA[1,2], Kenji TOBITA[1,2], Joint Special Design Team for Fusion Demo

[1]量研機構、[2]特別チーム、[3]福井工大、[4]三菱重工
[1]QST, [2]DDJST, [3]Fukui Univ. of Technol., [4]MHI

核融合原型炉設計において、トロイダル磁場(TF)コイルの導体電流値などの主要パラメータを検討する上で、TFコイル自身がコイルに働く電磁力に耐える構造であることに加え、超伝導クエンチの際のコイル保護用高速放電における真空容器にかかる電磁力を考慮し、コイルの放電時定数、すなわち導体電流値やターン数を決定する必要がある。本研究では、真空容器及びTFコイルの電磁構造解析により、超伝導コイルのみならず他の炉内機器と整合する超伝導コイル設計パラメータを検討した。

TFコイル設計において、クエンチ時の放電時定数は、導体中の安定化銅(クエンチ時の保護用)の割合、すなわち生成可能な磁場強度にも影響するパラメータの1つである。長い放電時定数とした場合、安定化銅の割合を増やすことでクエンチ時の導体温度上昇を抑えることが可能であるが、導体剛性は劣化し、導体に働く電磁力がITER TFコイル導体(802kN/m)より増加する原型炉(1153kN/m)では大きな問題となる。導体中の安定化銅比をITER TFコイル導体と同等とした場合、TFコイル導体の1次元クエンチ解析より、導体ジャケット温度を上限値150K以下にするためには放電時定数30秒以下が必要であることが分かっており、プラズマ立ち上げで要求される真空容器の一周抵抗値、すなわち二重壁構造の壁厚を満たした上で、作用する電磁力に耐える構造健全性が制約条件となる。そこで、TFコイル高速放電時に真空容器に作用する電磁力を、有限要素法を用いた電磁構造解析により評価し、真空容器の構造健全性を維持しうる放電時定数を検討した。

本検討では、二重壁構造の真空容器(SUS316L製、内外壁厚さ：6 cm)を二重壁間のリブ構造を含めたシェルでモデル化し、TFコイルクエンチ時のプラズマ電流とPF/CSコイル電流値はゼロと仮定した。図1にTFコイル放電時定数30秒の場合の電磁力荷重による真空容器のトレスカ応力の分布図を示す。電磁力による真空容器内・外壁のトレスカ応力最大値(110MPa)はインボード側直線部に発生しており、それらは周方向圧縮応力が主であり(トレスカ応力の79% 程度)、電磁力による向心力がその発生原因と考えられる。また、放電時定数40秒とした場合の解析結果との比較から、発生荷重と応力は放電時定数に反比例している。このことから真空容器の構造健全性として、放電時定数20秒程度まで短縮しても許容値内(143MPa@100℃)に収まる見通しが得られた。

本発表では、TFコイル高速放電時の真空容器の電磁構造解析結果の他、TFコイルの2次元、3次元の電磁構造解析から、真空容器の許容応力を満たす放電時定数などのTFコイル設計パラメータの検討について報告する。

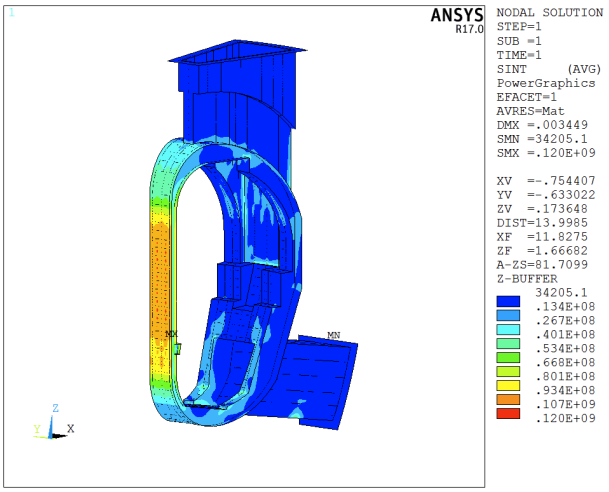

図1. 電磁力荷重による真空容器のトレスカ応力分布図(放電時定数：30秒の場合)