

## 原型炉の超伝導コイル設計の現状 Progress on Superconducting Magnets Design of JA DEMO

宇藤裕康<sup>1,2</sup>、原型炉設計合同特別チーム  
Hiroyasu UTOH<sup>1,2</sup>, Joint Special Design Team for Fusion Demo

<sup>1</sup>量研機構、<sup>2</sup>特別チーム  
<sup>1</sup>QST, <sup>2</sup>DDJST

現在、原型炉設計合同特別チームでは、アクションプランに沿って原型炉の概念設計を進めている。原型炉は、ITERと比較して炉が大型化したことに伴い、超伝導コイルの磁気エネルギーはITERの約4倍、コイル寸法はITERの約1.5倍となっている。原型炉に向けたトロイダル磁場(TF)コイル設計・開発では、これらに関連する課題として、①大型コイル製作の合理化と②超伝導コイル導体開発、③高強度極低温構造材料の開発を主要な課題と捉え、設計研究を実施中である。

大型コイル製作の合理化案の検討の一つとして、主案であるラジアルプレート(RP)方式(ITER-TFコイルにて採用)に加え、RPの代替案の検討として、RP方式よりも製作性や製作コストの観点から利点があるRPが不要な矩形型導体を直接巻く概念を検討中である。これまで、矩形導体をダブルパンケーキ巻する概念(JT-60SA TFコイルにて採用)を検討したが、従来からの矩形導体概念の課題点の一つである絶縁材の信頼性、すなわちターン絶縁材にかかる応力の低減に課題が残っていた。そこで今回、図1に示すようなレイヤー巻概念におけるグレーディングの利点を最大限に生かし、絶縁層応力低減を目的とした導体配置およびレイヤー毎の導体断面形状を検討し、電磁構造解析を実施した。今回新たに絶縁材層の応力が大きい部分に「2段R(曲率)形状」(図1右下参照)の導体を配置することにより、ターン絶縁材層間剪断応力において従来の矩形導体ダブルパンケーキ巻での最大値47MPaから39MPaまで低減することができた。さらに、各レイヤーの最大磁場から各導体での分流開始温度 $T_{cs}$ を計算し、熱負荷に対する温度マージンを計算し、全レイヤーの温度マージンを設計値の1.5Kとなる場合の

$Nb_3Sn$ 素線の量を検討し、 $Nb_3Sn$ 素線の低減可能性を評価した。その結果、温度マージンを確保したまま $Nb_3Sn$ 線材の量を従来のRP方式や矩形導体によるダブルパンケーキ巻概念と比較して最大62%低減可能な見通しが得られ、製作コスト低減において大きなメリットがあることが明らかになった。

高強度極低温構造材料の開発に関しては、既存鋼種の評価とQSTのITER構造材料開発の知見をベースに設計した新材料(50 kg溶解)の試作と評価を行い、候補材料の基本成分の絞り込みと成分の最適化を図っている段階である。既存鋼種の評価では、XM19の機械特性評価により実機材で0.2%耐力>1200MPaは達成可能な見通しが得られている。新材料の評価では、XM19の組成をベースに窒素、ニオブ、バナジウム等を変化させた6種類のXM19改良材の4 Kでの機械特性試験を実施し、窒素、添加材であるニオブやバナジウムの効果を評価した。その結果、XM19規格材の窒素の量を増やすことにより0.2%耐力は上昇し、目標とする1,600 MPa以上が得られている。

本発表では、これらの原型炉超伝導コイルの概念設計研究の最近の進展と課題について報告する。

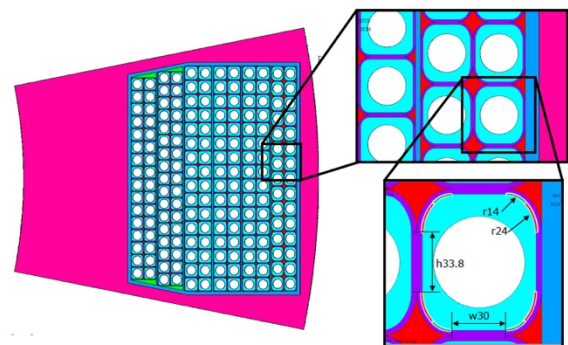


図1. 矩形導体ダブルレイヤー巻概念におけるTFコイル断面図