

原型炉における超伝導コイル概念設計の進展

Progress on Superconducting Magnets Design for JA DEMO

宇藤裕康<sup>1,2</sup>、日渡良爾<sup>1,2</sup>、染谷洋二<sup>1,2</sup>、坂本宜照<sup>1,2</sup>、原型炉設計合同特別チーム  
 Hiroyasu UTOH<sup>1,2</sup>, Ryouji HIWATARI<sup>1,2</sup>, Youji SOMEYA<sup>1,2</sup>, Yoshiteru SAKAMOTO<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概念を設計中である。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倍となっており、原型炉に向けたトロイダル磁場(TF)コイル開発では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が特に重要な課題となっている。①の製作コストの合理化案の一つとして、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が不要な矩形型導体を用いた概念(JT-60SA-TFコイルにて採用)を検討中である。矩形型導体を用いた際の最も大きな課題は、ターン絶縁にかかる応力(特に層間剪断応力)の増大であり、本研究では、様々な矩形型導体の形状(アスペクト比)に対し電磁構造解析を実施することにより、絶縁材にかかる応力を低減しうる構造の検討を行った。その結果、絶縁材応力低減のためには、トロイダル方向に伸長した長方形ジャケットが望ましい、という傾向が得られ、図1(b)に示すようにターン絶縁の層間剪断応力の最大値を63.3MPaから47.2MPaまで低減できることがわかった。

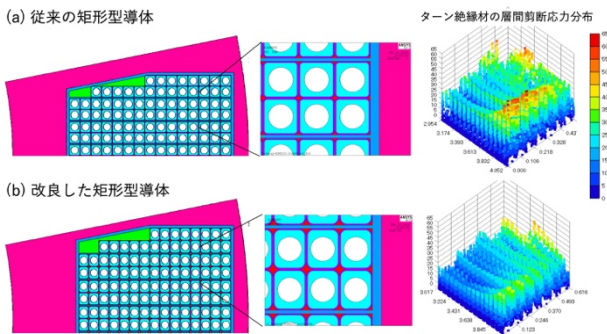


図1. (a)従来と(b)改良後の導体形状とターン絶縁材の層間剪断応力分布

現在の原型炉TFコイルでは、ITERでの技術開発をベースとして、液体ヘリウム温度(4 K)における0.2%耐力(YS)を1,200 MPa (ITERでは1,000 MPa) として設計を進めている。しかし、TFコイル容器の肉厚はITERの約2倍となっており、さらなる高強度化が必要である。そこで、TFコイルに用いる極低温構造材料の開発目標を4 Kでの YS : 1,600 MPa以上、4 K での破壊靱性値 ( $K_{Ic}(J)$ ) : 120 MPa $\sqrt{m}$ 以上と定め開発を開始した。この開発では、既存鋼種の評価 (YS $\geq$ 1,200 MPa以上の実証) と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実施する計画である。既存鋼種の評価として、XM-19材の機械特性試験を実施した結果を図2に示す。4 Kでの0.2%耐力の平均値は1,340 MPa (標準偏差54 MPa) となり、現在設計で使用している0.2%耐力1,200 MPaは、既存鋼種でも達成可能であることがわかった。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。

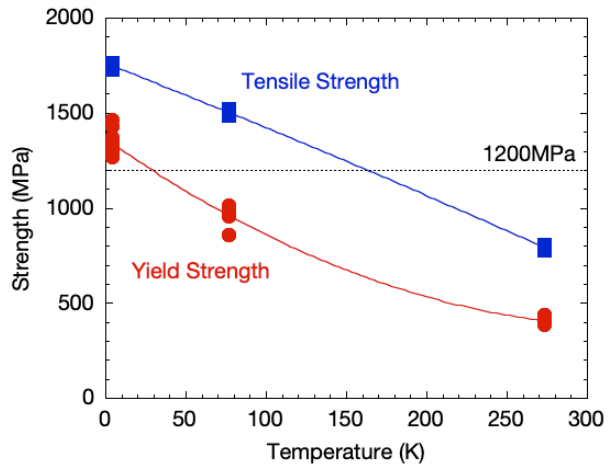


図2. XM-19材の引張試験結果