

核融合の規格基準整備に向けた活動状況

Current Status related to development of Mechanical Engineers Code for Fusion Facilities

量子科学技術研究開発機構 (QST)	角 舘 聡	Kakudate Satoshi	Member
量子科学技術研究開発機構 (QST)	宇 藤 裕 康	Utoh Hiroyasu	
量子科学技術研究開発機構 (QST)	中 嶋 秀 夫	Nakajima Hideo	

Abstract

- Maintenance of the fusion Demo reactor will be done to maintain structural Integrity and continuous operation over lifetime of reactor. In order to maintain the required performance of vacuum vessel, breeding blankets and cooling pipe, it is necessary to ensure maintenance technology for supporting the structural Integrity such as in-service inspection, repair, replacement, and maintenance activities based on evaluations for each of components. Current Status and future plan related to development of mechanical engineers Code for fusion facilities is reported in this paper.

Keywords: Fusion Demo Reactor, Mechanical Engineers Code, Structural Integrity

1. はじめに

核融合原型炉(図1)は1)放射性物質を内蔵し閉じ込め障壁としての役割を期待される2重壁真空容器、真空容器内機器(トリチウム増殖ブランケット、冷却配管、トリチウム回収配管など)および、2)放射性物質を内蔵する機器ではないが真空容器に有意な影響を与えないことを極低温下における強度として期待される超電導 TF コイル構造体などのトカマク本体機器から構成される。これらの機器は要求される安全機能や負荷条件(中性子負荷、高温/極低温、電磁力など)を満足するように構造健全性を確保し、プラントの安全で継続的な運転を維持することが必要である。

構造健全性の確保とは、トカマク本体の機器ごとに品質保証を含めて、材料、設計、製作、試験・検査、維持の各段階を1つのパッケージとして規定し、全ての段階で、技術の信頼性を評価/確認することによって保証する。例えば、設計では、想定される破損様式である延性

破損、疲労破損、クリープ破損、座屈破損、脆性破損などを防止する規定が設けられる[1][2][3][4]。

本報告では、量子科学技術研究開発機構(QST)が実施している日本機械学会(JSME)核融合設備規格における規格の策定活動の現状と、今後の活動計画について報告する。

2. 構造基準の整備状況

(a) JSME 核融合設備規格での規格の策定活動の状況

JSME 発電用設備規格委員会の下に核融合設備の規格策定・整備を目的とした核融合専門委員会が2002年7月に設置され、産学官から構成される専門家による審議・承認を経て、2008年に世界初の核融合設備規格として「核融合設備規格 超電導マグネット構造規格」が英語版とともに品質保証、材料、設計、製作、非破壊試験、耐圧・漏れ試験からなる規格基準として発行された。本規格の「材料」規定については化学組成や機械的性質などの内容が参考文献[5]に詳しく解説されているので参照されたい。

現在、改訂第3版として超電導 TF コイル構造の一部であるラジアルプレート製作に適用することを想定し、熱間当方加圧(HIP: Hot Isostatic Pressing)拡散接合技術を追加した。この改訂第3版(2017年版)は本年(2019年)6月末に発行予定である[6]。

また、核融合設備で使用される中性粒子入射(NBI: Neutral Beam Injector)装置用絶縁構造体構造規格として、異方性材料であるガラス繊維強化プラスチック(GFRP)製絶縁構造体(図2)の材料、設計、製造、非破壊検査、耐圧・漏れ試験からなる規格案を ASME section X[7]などを参考に最新の試験結果に基づいて

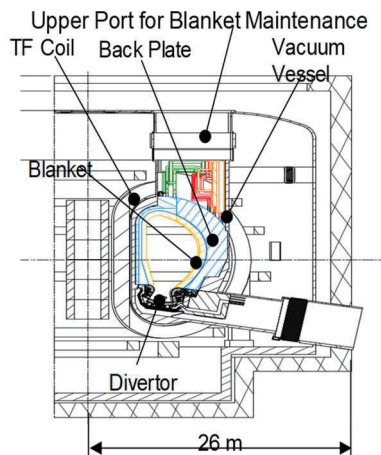


Fig.1 Fusion Demo Reactor

独自の知見を取り入れて規格案として策定し、核融合専門委員会での審議を開始した。審議状況については、機械学会発電設備規格委員会のホームページを参照されたい。

(b) 今後の活動計画

これまで進めきた超伝導マグネット構造規格の改定活動は、HIP 拡散接合技術を加えた最新版の策定作業を終了した。今後、JSME 核融合設備規格の策定活動の主体は原型炉の規格整備に向けた準備活動とし、原型炉の「安全要件」、「核融合設備の共用状態における負荷条件と設計区分」などの設計条件を段階的に整理し、参考文献[1]に基づいて、核融合設備の規格基準の枠組みを整備する予定である。また、規格策定だけではなく核融合設備の技術課題について、意見を求める場としていく(学術的議論も含む)方針である。主なテーマは、①原型炉構造の課題に関する協議、②ITER 調達機器の課題、③超伝導マグネット規格の保守とし、具体的な内容は以下のとおりである。ただし、①については将来的に規格を策定するため、規格条文化を見据えた協議を展開していく。

(b-1) 原型炉構造の課題に関する協議

原型炉構造設計規格基準の策定活動は2025年からR&Dと伴に本格的に開始される予定であるが、規格策定には時間がかかること、規格の枠組み策定のためにはある程度の工学設計が必要であることから、QST内でも前倒しで検討する予定である。JSME 核融合専門委員会傘下の金属構造物分科会では、2020年の原型炉設計中間C&Rに向けて以下の原型炉の主要な機器について課題を協議し、機器の概念設計に基づいて構造設計規格開発を段階的に取り纏める予定である。

1) 超伝導マグネット構造

- ・規格値 1200MPa を目標にした低温鋼材料の開発および、「超電導マグネット構造規格(2017版)[4]」に新規材料として登録するための試験/検討
- ・「超電導マグネット構造規格(2017版)[4]」を原型炉用に改訂するための検討

2) 真空容器構造

- ・文献[1]を参考に、放射性物質の閉じ込め境界となる2重壁真空容器の規格骨子案の整備

3) 炉内機器(ブランケット、ダイバータ、冷却配管など)

構造

- ・構造材であるフェライト鋼F82Hの材料規格化に向けた検討(破壊靱性低下が生じている場合の確率論的破壊力学(PFM: Probabilistic Fracture Mechanics)を用いた解析評価手法を含む[8])
- ・遠隔保守と整合する支持構造と冷却配管配置などの設計に基づいた構造規格案の整備
- ・ブランケット冷却配管(15.5MPa、320度の冷却水)の溶接・非破壊検査技術

4) 核融合設備の保守保全(保守と稼働率)

- ・原型炉プラントの安全で継続的な運転を維持するための保守保全の考え方を整理し、核融合設備の維持規格の整備
- ・供用中検査に対するPFM解析の適用検討[8]

(b-2) ITER 調達機器

- ・冷却配管の溶接施工、ロウ付けなどの非破壊検査、および、構造健全性維持(保全)のための検討

(b-3) 超伝導マグネット構造規格の保守

- ・HIP 拡散結合部の疲労強度や実機 TF コイル構造物用材料の引張強度について、規格の確認試験を実施

参考文献

- [1] 多田、羽田、丸尾、他、“ITERの安全性と構造健全性確保について”、J. Plasma Fusion Res. ,vol78, No.11, 2002, PP1145-1156.
- [2] “原子力プラントの健全性評価に関する講習会(テキスト)”、(社)日本溶接協会、2019
- [3] “原子炉構造工学”、オーム社
- [4] 日本機械学会 発電用原子力設備規格 “設計・建設規格(2016年版)” JSME S NC1-2016
- [5] 西村、中嶋、“核融合炉用超電導マグネット構造の構造材料規格の開発”、機械学会論文集(A編),78巻780号,2012、PP804-807.
- [6] 日本機械学会 核融合設備規格 “超電導マグネット構造規格(2017年版)” JSME S KA1-2017(2019年6月末発行予定)
- [7] ASME Section X, “FIBER-REINFORCED PLASTIC PRESSURE VESSEL”, 2015 ASME Boiler & Pressure Vessel Code
- [8] 吉村、関東、“リスク活用のための確率論的破壊力学技術(基礎と応用)”、(社)溶接協会,2017