

核融合炉相当磁場環境が増殖ブランケット用磁性体材料におよぼす電磁力の評価

仕様書

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構
六ヶ所フュージョンエネルギー研究所
ブランケット研究開発部 ブランケット工学研究グループ

1. 一般仕様

1.1. 件名

核融合炉相当磁場環境が増殖ブランケット用磁性体材料におよぼす電磁力の評価

1.2. 目的

本件は、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（以下「QST」という）が進める発電用ブランケットの開発の一環として実施するものであり、QSTでは各種材料分析装置の整備に加え、大面積熱負荷試験施設及び安全実証試験装置の増強、さらに強磁場環境下での性能試験に向けた技術開発を進めている。本業務では増殖ブランケット用磁性体材料が、核融合炉内相当の高磁場下で受ける電磁力の予測精度を向上させるため、磁場下での実験体系を提案し、最大 9T 程度の強磁場環境における実験を実施できる実験装置の設計・製作を行う。また、得られた実験結果を用いて、既存解析モデルとの比較による解析モデルの妥当性検証を行う。

1.3. 契約範囲

- 1) 高磁場における実験体系の提案
- 2) 高磁場下で行う実験装置の設計・製作
- 3) 高磁場における実験の実施
- 4) 高磁場（高温）における実験体系の提案
- 5) 実験結果の整理およびデータリダクション作業
- 6) 実験データと既存解析モデルとの比較による解析モデルの妥当性検証
- 7) 報告書の作成

1.4. 貸与品

- 1) 既往検討した電磁力解析データと実験結果

1.5. 納入物

- 1) 表 1 に示す図書を指定時期に指定部数、1.7 項の納入場所に納入すること。
- 2) 提出図書は指定部数の冊子体の他に電子版を提出すること。表 1 に示す図書及び最終的に採用した設計データファイルを格納した電子媒体も提出すること。電子版のファイル形式は QST と受注者協議の上、決定するものとする。
- 3) 製作された実験装置

表 1 提出図書

図書名称	印刷物 提出部数	提出時期	確認*1

再委託承諾願	1	契約後速やかに（下請がある場合のみ）	要
作業体制表	1	契約後 2 週間以内及び更新の都度	要
作業要領書	1	契約後速やかに	要
工程表	1	契約後 2 週間以内及び更新の都度	要
報告書	1	作業完了時	要
打合せ議事録（1.15.2）	1	打合せ後 2 週間以内	要
質問書	1	協議すべき技術課題が生じた場合直ちに	不要

* 1 「確認」は次の方法で行う。

QST は、確認が必要な書類を受領した際に、受注者に確認の期限日を連絡する。修正が必要であると判断した場合は、当該期限日までに修正を指示するものとする。

1.6. 納期

令和 9 年 3 月 12 日

1.7. 納入場所

青森県上北郡六ヶ所村大字尾駸字表館 2 番地 166

QST 六ヶ所フュージョンエネルギー研究所

ブランケット工学試験棟

1.8. 検査条件

1.7 に示す納入場所に製作物及び納入物を納入後、製作物の員数検査・外観検査の合格並びに提出図書の内容を確認、実施時期及び判定基準の下記に従い検査合格とする。

時 期：作業完了時

判定基準：報告書の記載内容が第 2 章に定める技術仕様を満足していること。

1.9. 知的財産権

知的財産権の取扱いについては、別紙-1「知的財産権特約条項」に定められたとおりとする。

1.10. グリーン購入法の推進

- 1) 本契約において、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）に適用する環境物品（事務用品、OA機器等）が発生する場合は、これを採用するものとする。
- 2) 本仕様で定める提出図書（納入印刷物）については、グリーン購入法の基本方針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

1.11. 工程管理

- 1) 本件の履行に当たり、作業の工程表を作成する。提出図書の提出日及び確認までに

必要な最大日数も記載すること。工程表のファイル形式は QST と受注者が協議の上、決定するものとする。工程表を変更する必要がある場合は、改訂版を提出し、QST の確認を得ること。工程の遅延が発生する可能性があるとして受注者が判断した場合は、直ちに QST に報告し、遅延を解消するための対策を提案すること。

- 2) 設計、解析に関わる要員が満たすべき資格と力量を有していることが明記された作業体制表を作成し、QST の確認を得ること。

1.12. 協議

本仕様書に記載されている事項及び本仕様書に記載のない事項について疑義が生じた場合は、QSTと協議の上、その決定に従うものとする。

打合せの実施に当たっては、以下の要領に従うものとする。

- 1) QST と受注者は、常に緊密な連絡を保ち、本仕様書の解釈及びシステムの設計に万全を期すものとする。必要に応じ、テレビ会議又は対面で打合せを行うものとする。
- 2) 打合せをした場合、打合せ後 2 週間以内に受注者は打合せ議事録を作成し、QST に提出する。確認の方法は、1.5 項に従うものとする。
- 3) アクションリストを作成し管理すること。打合せごとにアクションリストを更新すること。アクションリストは打合せ議事録と合わせて提出すること。
- 4) 打合せ議事録を含む技術的な連絡は文書(技術連絡シート)をもって行うものとする。
- 5) 受注者は QST からの質問事項に対しては速やかに回答すること。回答は書面によることを原則とし、急を要する場合については、あらかじめ口頭で了承を得て、1 週間以内に正式に書面を提出し、QST の確認を得ること。所定期日以内に回答書面の提出がない場合は、QST の解釈を優先する。

2. 技術仕様

2.1. 作業対象

核融合炉ブランケットの実機適用に向けて、表面熱負荷及び核発熱の除去、トリチウムの増殖、中性子の遮蔽といった機能についての実証試験を目的とした試験体が開発されている。試作体は後方に遮蔽体(以下「Shield」という。)を接続し、Shieldの後端部のフランジを介してFrame内に設置する。試作体とShieldを合わせたものをTBM-setと呼ぶ。試作体の筐体構造は、全て低放射化フェライト鋼 (F82H) で製作する。筐体内には増殖及び増倍材料の粒子を充填し、プラズマから入射した中性子を増倍しつつ、増殖材料中のLiと中性子との核反応を利用して、燃料であるトリチウムを生産する。筐体内及び充填体内には、冷却流路又は冷却配管を設置し、核発熱を除熱する。

トカマク炉のブランケットには、定常運転時およびプラズマディスラプション時に電磁力が作用する。とくにディスラプション時には急激な磁場変動に伴い大きな電磁力が生じるため、その正確な予測が構造健全性の評価において重要である。本試作体は、強磁性体であるF82Hを構造材に使用しており、磁場の過渡変化に起因する渦電流によるローレンツ力に加えて、定常磁場下においても磁化に起因するマクスウェル力が生じる。しかし、現在の電磁力解析 (ANSYS Maxwellなど) では、過去の研究や実験結果を数値解析で正確に再現できないことが判明している。したがって、構造健全性を確保するためには、簡易体を用いてとくにマクスウェル力の妥当性を検証し解析手法の信頼性を確立することが不可欠である。

本業務では、高磁場環境での実験体系の提案と実施を通じて、理論計算、数値解析の検証に資するデータを取得する。さらに、取得した実験データと既存解析モデルによる解析結果との比較を行い、解析モデルの妥当性を検証する。これらの成果を報告書としてとりまとめる。

2.2. 作業項目

- 1) 高磁場における実験体系の提案
- 2) 高磁場下で行う実験装置の設計・製作
- 3) 高磁場における実験の実施
- 4) 高磁場 (高温) における実験体系の提案
- 5) 実験結果の整理およびデータリダクション作業
- 6) 実験データと既存解析モデルとの比較による解析モデルの妥当性検証
- 7) 報告書の作成

2.3. 検討条件

以下の検討条件をQSTより提示する。

- (1) 評価の対象となる材料の寸法および形状

受注者からの提案および協議に基づき、QSTは材料(F82H)の寸法および形状(試験体の体積は同様、表面積が異なる形状)を決定し受注者に提示する。

- (2) 実験体系

受注者からの提案および協議に基づき、QSTは最大9Tの均一磁場を提供できる磁石に基づき、pore diameter = 300 mmの範囲内に抑える高磁場および高磁場 (高温) における実験体系を決定し受注者に提示する。

- (3) 実験結果の整理とデータ作成

QSTは得られた実験結果の整理方法および数値解析(1.4)に資するデータへのリダクション作業内容を受注者に提示する。

2.4. 作業内容

2.4.1. 高磁場における実験体系の提案

QST が指定する磁場の条件を踏まえて、数値解析を模擬・反映できる高磁場（室温）における実験体系（設計、条件、試験片の寸法および形状ならびに固定方式、数値解析、etc.）および必要となる関連装置（治具、計測器、etc.）を検討し QST に提案する。最終的な実験体系は QST との協議の後、QST からの指示によって決定されるものとする。

2.4.2. 高磁場下で行う実験装置の設計・製作

QST が保有する最大 9 T の均一磁場を発生可能な磁石を用いた試験のため、磁石ボア径（Pore diameter）300 mm 以内に収まる非磁性体製の実験装置を設計・製作する。具体的には、磁石本体の外形寸法および架台構造を考慮した上で、異なる寸法の F82H 試験体を容易に取り付け・交換できる実験装置を設計・製作する。また、将来的な他試験への転用や繰り返し利用を考慮し、高い汎用性および保守性を有する構造とする。

2.4.3. さらに、試験体の設置・搬送作業の効率化および安全性向上の観点から、クレーンを使用することなく人力で運搬可能な重量に抑える。また、搬入・搬出や保管を容易にするため、実験装置は容易に分解・組立てが可能な構造とする

2.4.4. 高磁場における実験の実施

QST から提示する実験体系と 2.4.1 の成果に基づいて、最大 9T の均一磁場を提供できる磁石に基づき、Pore diameter = 300 mm の範囲内に抑える実験環境を構築するために必要な実験装置の設計・製作を行い、高磁場（室温）における実験を実施する。

2.4.5. 高磁場（高温）における実験体系の提案

高磁場（400℃以上の高温）における実験体系（設計、条件、試験片の寸法および形状、加熱方式、温度計測方式、磁石断熱、etc.）および必要となる関連装置（治具、計測器、etc.）を検討し QST に提案する。最終的な実験体系は QST との協議の後、QST からの指示によって決定されるものとする。

2.4.6. 実験結果の整理およびデータリダクション作業

QST から提示する内容(1.4)に基づいて、得られた実験結果の整理および数値解析に資するデータへのリダクション作業を行う。

2.4.7. 実験データと既存解析モデルとの比較による解析モデルの妥当性検証

本業務によって取得した実験データと既存解析モデルによる解析結果との比較による既存解析モデルの妥当性検証を行う。

2.4.8. 報告書の作成

実験から得られた結果・データをもとに報告書を作成する。また、実験を模擬する数値解析に関する実験的見地からの助言、電磁力解析の課題抽出および電磁力を定量的に評価できる理論の構築についてQSTと協議した事項についても報告書にまとめる。