

Q-DEMOにおける保護リミターの工学設計検討

仕様書

令和8年9月

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
原型炉プロジェクト推進部 原型炉統合設計グループ

1. 一般仕様

1.1 件名：Q-DEMO における保護リミターの工学設計検討

1.2 目的及び概要

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。）では、2030 年代の発電実証に向けて ITER サイズ原型炉「Q-DEMO」の工学設計活動を進めている。当該原型炉では、段階的に実証項目（発電、燃料の自己充足及び実用に供しうる稼働率）を達成する方針で、フェーズ I では発電実証、フェーズ II では発電に加えて燃料の自己充足の実証、最後のフェーズ III では長期運転を通して実用に供しうる稼働率の実証を行う。

本作業では、フェーズ I で使用する保護リミターの工学設計作業を実施する。なお、高い表面熱負荷を受ける保護リミターは実験炉 ITER でのダイバータモノブロック設計を参考に除熱可能な設計を提案する。また、提案する保護リミターについて、筐体温度及び応力、並びに電磁力支持が QST の指定する仕様範囲内に収まることを確認し、必要に応じて設計変更を検討する。

1.3 作業項目

（１）保護リミターの工学設計検討

実験炉 ITER のダイバータモノブロック設計をベースに保護リミターの設計案を提案する。設計に際し、高い除熱性能を確保しつつ、製作性にも留意すること。

（２）保護リミターの熱伝導・構造解析に基づく設計検討

QST が提示する核発熱分布に基づき、熱伝導解析を実施し、筐体温度が仕様温度範囲内に収まるように熱設計を行う。さらに、解析結果である温度分布から構造解析を実施し、応力分布が仕様範囲内に収まることを確認する。また、確認された設計に対し、シェイクダウン評価を実施し、ラチェットがないことを確認する。なお、本検討では疲労評価は実施しない。

（３）開発課題の抽出

本検討でまとめた設計案において、設計の実現に当たり必要な開発課題を分析・抽出する。

（４）報告書の作成

（１）～（３）での設計検討結果を報告書にまとめるとともに、本検討で抽出された開発課題を整理する。

1.4 提出書類

受注者は、次表に定める書類を提出すること。

書類	提出時期	部数
作業体制及び工程表	契約締結後速やかに	1 部
打合せ議事録	打合せ後速やかに	1 部
報告書	作業完了時	1 部
電子データ(報告書及び CAD 図、評価結果のコンター図や解析データなど)	作業完了時	1 式

1.5 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 管理研究棟 2 階

原型炉プロジェクト推進部 原型炉統合設計グループ

1.6 納期

令和 9 年 2 月 26 日

1.7 情報の共有

必要に応じて、QST が所有する成果報告書や本検討に必要な炉内機器への負荷条件（中性子壁負荷、熱負荷、電磁力負荷）などは、契約締結後直ちに提供することとする。

1.8 検査条件

第 1.4 項に示したとおり提出書類の完納及び報告書が本仕様書に定める技術仕様を満足することを QST 職員が認めたときをもって検査合格とする。

1.9 知的財産権等

(1) 知的財産権の取扱い

本契約に関して発生する知的財産権の取扱いについては、別添 1「知的財産権特約条項」に定められたとおりとする。

(2) 技術情報の開示制限

受注者は、本契約を実施することによって得た技術情報を第三者に開示しようとするときは、あらかじめ書面による QST の承認を得なければならないものとする。
QST が本契約に関し、その目的を達成するため受注者の保有する技術情報を了知する必要がある場合は、QST と受注者協議の上、決定するものとする。

(3) 成果の公開

受注者は、本契約に基づく業務の内容及び成果について、発表若しくは公開し、又は特定の第三者に提供しようとするときは、あらかじめ書面による QST の承認を得なければならないものとする。

1.10 機密の保持

受注者は、本業務の実施に当たり知り得た情報を厳重に管理し、本業務遂行以外の目的で、受注者及び下請会社等の作業員を除く第三者への開示、提供を行ってはならない。

1.11 打合せ

作業の進行状況に応じて、QST 担当者と適宜打合せの場を設けるものとする。

1.12 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）の適用対象となる環境物品（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) 本仕様書に定める提出書類（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。

1.13 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。

2. 技術仕様

2.1 作業の概要

2030年代の発電実証を目指すQ-DEMOでは、段階的に実証項目（発電、燃料の自己充足及び実用に供しうる稼働率）を達成する方針で、フェーズIでは発電実証、フェーズIIでは発電に加えて燃料の自己充足の実証、最後のフェーズIIIでは長期運転を通して実用に供しうる稼働率の実証を行う。本作業ではフェーズIで使用する保護リミターの工学設計作業を実施する。なお、高い表面熱負荷を受ける保護リミターは実験炉ITERでのダイバータモノブロック設計を参考に除熱可能な設計を提案する。また、提案する保護リミターについて、筐体温度及び応力、並びに電磁力支持がQSTの指定する仕様範囲内に収まることを確認し、必要に応じて設計変更を検討する。

表1 保護リミターの概念案

概念	タングステンモノブロック水冷却型
対向壁（材料）	モノブロック構造（タングステン）
対向壁冷却配管（緩衝材）	銅合金（無酸素銅）
構造材料	オーステナイト鋼（SUS316L）
冷却水条件	運転圧力：4.0 MPa 入口温度：70 ℃
筐体構造	ITERでのタングステンモノブロック概念を踏襲

2.2 検討対象の原型炉

本検討で対象にする原型炉の主パラメータ例を表2に示す。なお、本検討を実施するに当たり必要なパラメータはQSTから提示する。

表2 主なパラメータ例

核融合出力	0.5 GW
運転パルス時間	400 sec
最大中性子壁負荷	0.78 MW/m ²
表面熱負荷 ・ 定常時 ・ 異常時（負荷時間：10 秒）	10 MW/m ² 20 MW/m ²

2.3 作業項目

2.3.1 保護リミターの工学設計検討

実験炉ITERのダイバータモノブロック設計をベースに、保護リミターの設計案を提案する。保護リミターの対向壁形状によって負荷される荷電粒子熱流束が変化するため、QSTが提示する複数パターンの表面形状及び熱負荷条件に基づき、製作性の観点も踏まえてQSTと協議の上、形状を決定するものとする。ただし、熱負荷はプラズマの揺動等により大きく変動するため、定常時の解析では10 MW/m²を負荷条件として定める。また、異常時の熱負荷20 MW/m²の負荷時間は10秒とする。さらに、設計に際しては放射線の遮蔽性と電磁力支持に留意すること。

2.3.2 保護リミターの熱伝導・構造解析に基づく設計検討

2.3.1で定めた設計案に対して、QSTが評価した核発熱分布と表面熱負荷に基づいて熱伝導解析を実施し、筐体温度が仕様温度範囲（表3参照）内に収まるよう熱設計を行う。また、解析で得られた温度分布を用いて構造解析を行い、日本機械学会（※）の構造設計基準に基づいて評価する。さらに、QSTが提示する電磁力に耐えられる支持構造を提案し、解析によりその成立性を確認する。最終的に確認された設計案に対し、シェイクダウン評価を実施し、ラチェットがないことを確認する。なお、本検討では疲労評価は実施しないものとする。解析モデルには3次元ソリッド要素を用いるものとし、モデル作成における基本要領を以下に示す。

- ・ 解析モデルは基本構造及び荷重の対称性から、1/2 範囲とする。
- ・ 解析モデル中の異材間の境界条件は QST と協議の上で決定することとする。

なお、本解析に必要な材料特性は QST から提示することとする。

○ 解析コード

解析又は形状作成に使用するソフトウェア：ANSYS、ABAQUS 等

○ 荷重条件及び拘束条件

- ・ 冷却水圧力は、表 1 に示す運転圧力 4.0 MPa とは別に、構造解析に用いる設計圧力として 5.0 MPa とし、冷却水流路内壁に様に負荷する。
- ・ プラズマ対向面に対する表面熱負荷は定常時を 10 MW/m²、異常時を 20 MW/m²（10 秒間）とする。また、定常時を対象にシェイクダウン評価を実施し、ラチェットがないことを確認する。
- ・ ディスラプション(定点消滅を想定)時に作用する電磁力は、契約後に QST から提示する。
- ・ 拘束条件は QST と協議の上で決定することとする。

表 3 仕様温度範囲

項目	温度
タングステン モノブロック温度	タングステン (W) $\leq$ 1200 °C
筐体温度	オーステナイト鋼 (SUS316L) $\leq$ 425 °C
冷却水温度	入口温度～出口温度 70 °C ～ 230 °C

※ 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） 第 I 編
軽水炉規格、JSME S NC1-2016 クラス 1 容器

2.3.3 開発課題の抽出

本検討でまとめた設計案において、設計の実現に当たり必要な開発課題を分析する。具体的には、設計上必要だが未評価である特性、設計が成立するために必須の開発課題、実環境での構造健全性の確保に向けて評価すべき項目等を全て抽出し、対処策を示す。

2.3.4 報告書の作成

前記 2.3.1 から 2.3.3 までの成果の内容を報告書として作成する。報告書には、検討課題、課題解決策についても記載することとする。また、検討した概念設計の CAD 図も作成することとする。

以上

知的財産権特約条項

(知的財産権等の定義)

第1条 この特約条項において「知的財産権」とは、次の各号に掲げるものをいう。

- 一 特許法（昭和34年法律第121号）に規定する特許権、実用新案法（昭和34年法律第123号）に規定する実用新案権、意匠法（昭和34年法律第125号）に規定する意匠権、半導体集積回路の回路配置に関する法律（昭和60年法律第43号）に規定する回路配置利用権、種苗法（平成10年法律第83号）に規定する育成者権及び外国における上記各権利に相当する権利（以下総称して「産業財産権等」という。）
- 二 特許法に規定する特許を受ける権利、実用新案法に規定する実用新案登録を受ける権利、意匠法に規定する意匠登録を受ける権利、半導体集積回路の回路配置に関する法律に規定する回路配置利用権の設定の登録を受ける権利、種苗法に規定する品種登録を受ける地位及び外国における上記各権利に相当する権利
- 三 著作権法（昭和45年法律第48号）に規定する著作権（著作権法第21条から第28条までに規定する全ての権利を含む。）及び外国における著作権に相当する権利（以下総称して「著作権」という。）
- 四 前各号に掲げる権利の対象とならない技術情報のうち、秘匿することが可能なものであって、かつ、財産的価値のあるものの中から、甲乙協議の上、特に指定するもの（以下「ノウハウ」という。）を使用する権利

2 この特約条項において「発明等」とは、次の各号に掲げるものをいう。

- 一 特許権の対象となるものについてはその発明
- 二 実用新案権の対象となるものについてはその考案
- 三 意匠権、回路配置利用権及び著作権の対象となるものについてはその創作、育成者権の対象となるものについてはその育成並びにノウハウを使用する権利の対象となるものについてはその案出

3 この契約書において知的財産権の「実施」とは、特許法第2条第3項に定める行為、実用新案法第2条第3項に定める行為、意匠法第2条第2項に定める行為、半導体集積回路の回路配置に関する法律第2条第3項に定める行為、種苗法第2条第5項に定める行為、著作権法第21条から第28条までに規定する全ての権利に基づき著作物を利用する行為、種苗法第2条第5項に定める行為及びノウハウを使用する行為をいう。

(乙が単独で行った発明等の知的財産権の帰属)

第2条 甲は、本契約に関して、乙が単独で発明等行ったときは、乙が次の各号のいずれの規定も遵守することを書面にて甲に届け出た場合、当該発明等に係る知的財産権を乙から譲り受けないものとする。

- 一 乙は、本契約に係る発明等を行った場合には、次条の規定に基づいて遅滞なくその旨を甲に報告する。
- 二 乙は、甲が国の要請に基づき公共の利益のために特に必要があるとしてその理由を明らかにして求める場合には、無償で当該知的財産権を実施する権利を国に許諾する。
- 三 乙は、当該知的財産権を相当期間活用していないと認められ、かつ、当該知的財産権を相当期間活用していないことについて正当な理由が認められない場合において、甲が国の要請に基づき当該知的財産権の活用を促進するために特に必要があるとしてその理由を明らかにして求めるときは、当該知的財産権を実施する権利を第三者に許諾する。
- 四 乙は、第三者に当該知的財産権の移転又は当該知的財産権についての専用実施権（仮専用実施権を含む。）若しくは専用利用権の設定その他日本国内において排他的に実施する権利の設定若しくは移転の承諾（以下「専用実施権等の設定等」という。）をするときは、合併又は分割により移転する場合及び次のイからハまでに規定する場合を除き、あらかじめ甲に届け出、甲の承認を受けなければならない。
 - イ 子会社（会社法（平成17年法律第86号）第2条第3号に規定する子会社をいう。以下同じ。）又は親会社（会社法第2条第4号に規定する親会社をいう。以下同じ。）に当該知的財産権の移転又は専用実施権等の設定等をする場合
 - ロ 承認TLO（大学等における技術に関する研究成果の民間事業者への移転の促進に関する法律（平成10年法律第52号）第4条第1項の承認を受けた者（同法第5条第1項の変更の承認を受けた者を含む。））又は認定TLO（同法第11条第1項の認定を受けた者）に当該知的財産権の移転又は専用実施権等の設定等をする場合
 - ハ 乙が技術研究組合である場合、乙がその組合員に当該知的財産権を移転又は専用実施権等の設定等をする場合
- 2 乙は、前項に規定する書面を提出しない場合、甲から請求を受けたときは当該知的財産権を甲に譲り渡さなければならない。
- 3 乙は、第1項に規定する書面を提出したにもかかわらず、同項各号の規定のいずれかを満たしておらず、かつ、満たしていないことについて正当な理由がないと甲が認める場合において、甲から請求を受けたときは当該知的財産権を無償で甲に譲り渡さなければならない。

（知的財産権の報告）

- 第3条 前条に関して、乙は、本契約に係る産業財産権等の出願又は申請を行うときは、出願又は申請に際して提出すべき書類の写しを添えて、あらかじめ甲にその旨を通知しなければならない。
- 2 乙は、産業技術力強化法（平成12年法律第44号）第17条第1項に規定する特定研

究開発等成果に該当するもので、かつ、前項に係る国内の特許出願、実用新案登録出願、意匠登録出願を行う場合は、特許法施行規則（昭和35年通商産業省令第10号）、実用新案法施行規則（昭和35年通商産業省令第11号）及び意匠法施行規則（昭和35年通商産業省令第12号）等を参考にし、当該出願書類に国の委託事業に係る研究の成果による出願である旨を表示しなければならない。

- 3 乙は、第1項に係る産業財産権等の出願又は申請に関して設定の登録等を受けた場合には、設定の登録等の日から60日以内（ただし、外国にて設定の登録等を受けた場合は90日以内）に、甲にその旨書面により通知しなければならない。
- 4 乙は、本契約に係る産業財産権等を自ら実施したとき及び第三者にその実施を許諾したとき（ただし、第5条第4項に規定する場合を除く。）は、実施等した日から60日以内（ただし、外国にて実施等をした場合は90日以内）に、甲にその旨書面により通知しなければならない。
- 5 乙は、本契約に係る産業財産権等以外の知的財産権について、甲の求めに応じて、自己による実施及び第三者への実施許諾の状況を書面により甲に報告しなければならない。

（乙が単独で行った発明等の知的財産権の移転）

第4条 乙は、本契約に関して乙が単独で行った発明等に係る知的財産権を第三者に移転する場合（本契約の成果を刊行物として発表するために、当該刊行物を出版する者に著作権を移転する場合を除く。）には、第2条から第6条まで及び第12条の規定の適用に支障を与えないよう当該第三者に約させなければならない。

- 2 乙は、前項の移転を行う場合には、当該移転を行う前に、甲にその旨書面により通知し、あらかじめ甲の承認を受けなければならない。ただし、乙の合併又は分割により移転する場合及び第2条第1項第4号イからハまでに定める場合には、この限りでない。
- 3 乙は、第1項に規定する第三者が乙の子会社又は親会社（これらの会社が日本国外に存する場合に限る。）である場合には、同項の移転を行う前に、甲に事前連絡の上、必要に応じて甲乙間で調整を行うものとする。
- 4 乙は、第1項の移転を行ったときは、移転を行った日から60日以内（ただし、外国にて移転を行った場合は90日以内）に、甲にその旨書面により通知しなければならない。
- 5 乙が第1項の移転を行ったときは、当該知的財産権の移転を受けた者は、当該知的財産権について、第2条第1項各号及び第3項並びに第3条から第6条まで及び第12条の規定を遵守するものとする。

（乙が単独で行った発明等の知的財産権の実施許諾）

第5条 乙は、本契約に関して乙が単独で行った発明等に係る知的財産権について第三者に実施を許諾する場合には、第2条、本条及び第12条の規定の適用に支障を与えないよう当該第三者に約させなければならない。

- 2 乙は、本契約に関して乙が単独で行った発明等に係る知的財産権に関し、第三者に専用実施権等の設定等を行う場合には、当該設定等を行う前に、甲にその旨書面により通知し、あらかじめ甲の書面による承認を受けなければならない。ただし、乙の合併又は分割により移転する場合及び第2条第1項第4号イからハまでに定める場合は、この限りではない。
- 3 乙は、前項の第三者が乙の子会社又は親会社（これらの会社が日本国外に存する場合に限る。）である場合には、同項の専用実施権等の設定等を行う前に、甲に事前連絡のうえ、必要に応じて甲乙間で調整を行うものとする。
- 4 乙は、第2項の専用実施権等の設定等を行ったときは、設定等を行った日から60日以内（ただし、外国にて設定等を行った場合は90日以内）に、甲にその旨書面により通知しなければならない。
- 5 甲は、本契約に関して乙が単独で行った発明等に係る知的財産権を無償で自ら試験又は研究のために実施することができる。甲が 甲のために第三者に製作させ、又は業務を代行する第三者に再実施権を許諾する場合は、乙の承諾を得た上で許諾するものとし、その実施条件等は甲乙協議のうえ決定する。

（乙が単独で行った発明等の知的財産権の放棄）

第6条 乙は、本契約に関して乙が単独で行った発明等に係る知的財産権を放棄する場合は、当該放棄を行う前に、甲にその旨書面により通知しなければならない。

（甲及び乙が共同で行った発明等の知的財産権の帰属）

第7条 甲及び乙は、本契約に関して甲乙共同で発明等を行ったときは、当該発明等に係る知的財産権について共同出願契約を締結し、甲乙共同で出願又は申請するものとし、当該知的財産権は甲及び乙の共有とする。ただし、乙は、次の各号のいずれの規定も遵守することを書面にて甲に届け出なければならない。

- 一 乙は、甲が国の要請に基づき公共の利益のために特に必要があるとしてその理由を明らかにして求める場合には、無償で当該知的財産権を実施する権利を国に許諾する。
- 二 乙は、当該知的財産権を相当期間活用していないと認められ、かつ、当該知的財産権を相当期間活用していないことについて正当な理由が認められない場合において、甲が国の要請に基づき当該知的財産権の活用を促進するために特に必要があるとしてその理由を明らかにして求めるときは、当該知的財産権を実施する権利を甲が指定する 第三者に許諾する。
- 2 前項の場合、出願又は申請のための費用は原則として、甲、乙の持分に比例して負担するものとする。
- 3 乙は、第1項に規定する書面を提出したにもかかわらず、同項各号の規定のいずれかを満たしておらず、さらに満たしていないことについて正当な理由がないと甲が認める場合において、甲から請求を受けたときは当該知的財産権のうち乙が所有する部分が無償で甲に譲り渡さなければならない。

(甲及び乙が共同で行った発明等の知的財産権の移転)

第8条 甲及び乙は、本契約に関して甲乙共同で行った発明等に係る共有の知的財産権のうち、自らが所有する部分を相手方以外の第三者に移転する場合には、当該移転を行う前に、その旨を相手方に書面により通知し、あらかじめ相手方の書面による同意を得なければならない。

(甲及び乙が共同で行った発明等の知的財産権の実施許諾)

第9条 甲及び乙は、本契約に関して甲乙共同で行った発明等に係る共有の知的財産権について第三者に実施を許諾する場合には、その許諾の前に相手方に書面によりその旨通知し、あらかじめ相手方の書面による同意を得なければならない。

(甲及び乙が共同で行った発明等の知的財産権の実施)

第10条 甲は、本契約に関して乙と共同で行った発明等に係る共有の知的財産権を試験又は研究以外の目的に実施しないものとする。ただし、甲は甲のために第三者に製作させ、又は業務を代行する第三者に実施許諾する場合は、無償にて当該第三者に実施許諾することができるものとする。

2 乙が本契約に関して甲と共同で行った発明等に係る共有の知的財産権について自ら商業的实施をするときは、甲が自ら商業的实施をしないことに鑑み、乙の商業的实施の計画を勘案し、事前に実施料等について甲乙協議の上、別途実施契約を締結するものとする。

(甲及び乙が共同で行った発明等の知的財産権の放棄)

第11条 甲及び乙は、本契約に関して甲乙共同で行った発明等に係る共有の知的財産権を放棄する場合は、当該放棄を行う前に、その旨を相手方に書面により通知し、あらかじめ相手方の書面による同意を得なければならない。

(著作権の帰属)

第12条 第2条第1項及び第7条第1項の規定にかかわらず、本契約の目的として作成され納入される著作物に係る著作権については、全て甲に帰属する。

2 乙は、前項に基づく甲及び甲が指定する 第三者による実施について、著作者人格権を行使しないものとする。また、乙は、当該著作物の著作者が乙以外の者であるときは、当該著作者が著作者人格権を行使しないように必要な措置を執るものとする。

3 乙は、本契約によって生じた著作物及びその二次的著作物の公表に際し、本契約による成果である旨を明示するものとする。

(合併等又は買収の場合の報告等)

第13条 乙は、合併若しくは分割し、又は第三者の子会社となった場合(乙の親会社に変更した場合を含む。第3項第1号において同じ。)は、甲に対しその旨速やかに報告し

なければならない。

2 前項の場合において、国の要請に基づき、国民経済の健全な発展に資する観点に照らし、本契約の成果が事業活動において効率的に活用されないおそれがあると甲が判断したときは、乙は、本契約に係る知的財産権を実施する権利を甲が指定する者に許諾しなければならない。

3 乙は、本契約に係る知的財産権を第三者に移転する場合、次の各号のいずれの規定も遵守することを当該移転先に約させなければならない。

一 合併若しくは分割し、又は第三者の子会社となった場合は、甲に対しその旨速やかに報告する。

二 前号の場合において、国の要請に基づき、国民経済の健全な発展に資する観点に照らし本業務の成果が事業活動において効率的に活用されないおそれがあると甲が判断したときは、本契約に係る知的財産権を実施する権利を甲が指定する者に許諾する。

三 移転を受けた知的財産権をさらに第三者に移転するときは、本項各号のいずれの規定も遵守することを当該移転先に約させる。

(秘密の保持)

第14条 甲及び乙は、第2条及び第7条の発明等の内容を出願公開等により内容が公開される日まで他に漏えいしてはならない。ただし、あらかじめ書面により出願又は申請を行った者の了解を得た場合はこの限りではない。

(委任・下請負)

第15条 乙は、本契約の全部又は一部を第三者に委任し、又は請け負わせた場合においては、当該第三者に対して、本特約条項の各規定を準用するものとし、乙はこのために必要な措置を講じなければならない。

2 乙は、前項の当該第三者が本特約条項に定める事項に違反した場合には、甲に対し全ての責任を負うものとする。

(協議)

第16条 第2条及び第7条の場合において、単独若しくは共同の区別又は共同の範囲等について疑義が生じたときは、甲乙協議して定めるものとする。

(有効期間)

第17条 本特約条項の有効期限は、本契約の締結の日から当該知的財産権の消滅する日までとする。

以上