

## 評価単位 6 「核融合に関する研究開発」における評価の基準 に関する論点について

### 1. ITER 計画の推進

○ 困難度

記載案	議論のポイント
<p>・ ITER 計画は、<u>7 極が分担して主要構成機器を調達し、ITER 機構が一体の核融合実験炉に組み立てる国際協力プロジェクト</u>であり、日本の調達機器はいずれも<u>世界最高性能を発揮することが求められる、人類初 (FOAK : First of a Kind) のハイテク機器</u>で、例えば、TF コイルは特殊な高強度材料の溶接・加工に加えて<u>加速器等のコイルと比べて巨大にも関わらず 1/10000 の製作精度 (通常の加工品は 1/1000 程度) を要求 (別紙の①参照) され、NBTF の直流大電流の高電圧電源は、狭隘な空間で 100 万ボルトの真空絶縁と制御が必要で、十分な絶縁距離が確保できる直流送電機器の実績 (80 万ボルト) を超える<u>唯一無二の性能</u>が要求される。個々の機器の特徴について別紙の①に示す。</u></p>	<p>・ FOAK 機器であるという理由のみで困難と言えるのか。どういことが困難と言えるのか。</p> <p>・ 製作精度や絶縁耐圧は従来と比べてどの程度困難であるか。</p>
<p>・ 機器の開発・設計・製作には、技術的レベルの高さだけでなく、各極 (国) の間での工程の擦り合わせ、技術課題の解決、取合い部の分担境界調整など、<u>7 極という多国が持ち寄る機器でシステムとしての一つの機能を合理的に発揮させるための高度なシステムエンジニアリング、プロジェクトマネジメントに基づく調整が不可欠</u>である。ITER に特有の調整の困難さを別紙の②に示す。</p> <p>・ NBTF および ITER 実機 NB の高電圧電源には日本の<u>一社のみが実績を有する 1 MV 直流高電圧の発生と絶縁の知識と経験が必要</u>である。例えば、1MV が印加される電源・電源室内での防塵、表面清浄性などを徹底的に管理の上で高電圧電源機器取扱が必要である。このため、NB 電源のイタリアでの現地組立や性能試験においては、QST とメーカーの日本人技術者の立会いによる協議や、調整などの<u>直接指導を前提として作業要領を組んでいる</u>。しかしながら、<u>コロナ禍による、日欧間での移動の制限により、計画に重大な障害が発生し、工程の大幅な遅延の回避には大きな困難が伴う</u>。そのため、<u>遠隔での協議、指示、操作によって試験を行うための技術基盤を整備し、試験検査体制と工程調整を円滑に進める実施基盤を構築している</u>。なお、域内移動が可能だった欧州を除くと、R2 年度に極 (国) 間を跨いで FOAK 機器の大規模な試験・検査 (メーカー間の部品移動を除く) を計画していたのは日本のみである。</p>	<p>・ 7 極との調整というだけで困難と言えるのか。</p> <p>・ QST が特に負担を強いられていることなのか。</p> <p>・ 欧州に直接向かうことが出来ないということが困難と言えるのか。他のプロジェクトも同様だと言えるのではないか。</p>

○ 顕著な成果となる事象

記載案	議論のポイント
<p>・プラズマ電流密度分布の測定に使用する大出力の遠赤外線レーザー等において、当初目標の ITER が求める高い稼働率を確実にすることに加え、要求出力を 5 割近く上回る世界最強クラスの出力を達成する。レーザー光強度が増大することで、実機の検出系や光学系の設計合理化とコスト低減が可能となる技術に見通しを得る。</p> <p>・ITER 機構の求める接合品質を確認するため試験体を用いた高熱負荷耐久試験を実施し、要求される耐久性を確保できることを明らかにするとともに、<u>得られるタンゲステンの材料特性データ等から熱負荷時損傷可能性を明らかにすることで、ロシアの熱負荷試験装置での実施を課されコストが掛かる熱負荷試験回数を削減し、コスト低減及び試験実施に伴うスケジュール遅延のリスク低減に繋がる</u>見通しを得る。</p> <p>・FOAK 機器として 2 周波数ジャイロトロンを開発し、2 周波数で 1MW、効率 50%、10 秒以上の長パルス動作を実証する。2 周波数で世界最高クラスの性能を発揮することで、ITER の加熱実験における運用範囲を計画以上に拡大するとともに、将来のコスト低減に繋がる。</p> <p>・高熱負荷試験用プラズマ対向ユニット実機長プロトタイプの製作を完了し、要求される耐熱性能（10MW/m<sup>2</sup> x 5000 サイクル及び 20MW/m<sup>2</sup> x 300 サイクル）に対して耐久サイクル数について要求寿命の 1 年分に相当する 10%増を実証する。実機ダイバータの寿命延長によって運転コスト低減に繋げる。</p>	<p>・要求される性能を満たすことがなぜ顕著な成果と言えるのか（どの程度超えると顕著か）。</p> <p>・将来のコスト低減について、どのような結果をもって顕著な成果と言えるのか。</p>
<p>・NBTF 用高電圧電源は、本来、日本の専門家が現地で直接指揮して初めて達成できる世界でも類をみない 1 MV 統合試験を、高精度な遠隔指示により日本人現地不在のまま実施して達成。</p> <p>・NBTF を利用して性能の肝となる電気設計の合理化案を試験する調整を行い、実証できた暁には ITER で使用する実機の仕様合理化に反映させる。</p> <p>・現地据付手順を円滑に進めるよう、日本側では R&amp;D を通じて現地組立を加速する方法を促進し、ITER 機構とはそれを実現する調整を行い、工程加速案を実現する。</p>	<p>・NBTF 用高電圧電源の遠隔での調整・試験は顕著な成果として妥当か。</p> <p>・他のプロジェクト同様、遠隔での実施は必然であり、顕著な成果と言えるのか。</p> <p>・「ITER で使用する実機の仕様合理化に反映させる」ことは当然であり、顕著な成果と言えるのか。</p> <p>・「現地組立を加速する方法」は必要あるのか。</p>

○ 特に顕著な成果となる事象

記載案	議論のポイント
<p>・別の国が調達した大規模且つハイテク機器同士を、ITER 計画において初めて組み合わせて実際に動作させるという、NBTF 用の日欧電源機器の統合試験において、遠隔で行う試験検査体制を構築、工程調整を実施して製作工程を維持、1MV 定格出力を発生する技術的困難度の高い試験を完了、新型コロナウイルスの影響で現地出張が制限される中、遠隔での技術管理体制を確立。</p> <p>・ITER ダイバータの温度計測器の開発では、常温～3000°Cにわたる他に類を見ない広範な温度レンジで、温度の関数である放射率の下で 10%といった高い測定精度及び超高精度のその場較正が要求されており、現実的なコストでは実現の見込みがなかった。そのため、簡便且つまったく新しい汎用性のある温度計測手法を考案して測定誤差の要求を満足する新たな温度計測器の測定概念を構築しプロトタイプ試験によりその有効性を確認して、実機の合理化の見通しを得る。他分野への具体的な応用例として、高精度での温度測定が必要となる、溶鉱炉や火力発電所の温度測定への応用が期待される。</p> <p>・NBTF 用高電圧電源は、1 MV 出力時に負荷を短絡させ瞬時にゼロ V にする過酷試験を実施し、回路解析上可能性のある、絶縁性能を 10%以上上回る過電圧発生時に耐える性能を実現し、NBTF のビーム試験の効率を計画以上に高める可能性を得る。</p> <p>・FOAK 機器として 2 周波数ジャイロトロンを開発し、2 周波数で 1MW、効率 50%、100 秒以上の長パルス動作を実証する。2 周波数で世界最高クラスの性能を発揮することで、ITER の加熱実験における運用範囲を計画以上に拡大するとともに、将来のコスト低減に繋がる。</p> <p>・電子銃改良による 1MW 超、高効率(これまでより 10～15%増)ジャイロトロン発振、および発振安定化を達成し、将来のコスト低減の可能性を拓く。</p>	<p>・実際に動作させることは特に顕著な成果とは言えないのではないか。</p> <p>・「測定概念を構築する」とあるが、どうなれば構築されたと言えるのか。</p> <p>・10%という数字が妥当であるか。</p> <p>・これらの数値が妥当であるか。</p> <p>・同上</p>

## 2. 先進プラズマ研究開発（BA 活動【JT-60SA】含む）

### ○ 困難度

記載案	議論のポイント
<p>・JT-60SA は、ITER や原型炉に外挿しうるプラズマ維持時間を達成するため超伝導コイルを使用するが、<u>既存の超伝導トカマク装置に比べて規模、性能、精度が数倍から1桁上で装置全体として FOAK 機器の集合体といえる。それぞれの FOAK 機器を完全に動作させ、システムとして調和動作させることによってはじめて得られる初プラズマの生成自体が極めて困難な目標である。</u>特に超伝導コイルは常伝導コイルに比べてゆっくりとしか電流値を変化させられないため、プラズマ着火時などプラズマ電流が急激に変化する際に、磁場を素早く制御することが難しく、制御能力の範囲で初プラズマの生成に必要な精密な磁界の制御や電界の発生を実現するためには装置の特性を的確に把握し制御パラメータを設定する必要があり難易度が高い。</p>	<p>・「初プラズマの生成」が困難度の設定として妥当であるか。</p> <p>・ FOAK 機器であるというだけで困難であると言えるのか。他のプロジェクトも同様ではないか。</p>
<p>・ JT-60SA は欧州の複数の国、研究所、メーカーが製作した機器と日本製機器から構成されており、<u>運転を実施するに当たり、利害が相反する各者間の交渉・調整を不断に行う必要がある</u>、マネジメント上、多大な困難さを内在している。更に、コロナ禍により、対面での交渉・調整が出来なかったことや欧州側人員の来日制限から、より一層の交渉・調整能力が必要な状況が発生した。</p>	<p>・「交渉・調整」が困難であると言えるのか。</p>

### ○ 顕著な成果となる事象

記載案	議論のポイント
<p>・ コロナ禍による周辺機器組立における狭隘部での同時作業人数制限や、欧州側人員の長期にわたる来日制限による欧州調達機器の現地調整の難航による遅延により、当初より大幅に短縮されたプラズマを用いた試験期間の中で、世界最大の超伝導トカマク装置 JT-60SA において初トカマクプラズマを達成。<u>多くの課題を新規の試みで解決してきた 13 年間にわたる建設活動の集大成</u>であるとともに、ITER に直接貢献できる唯一の装置である JT-60SA の初トカマクプラズマ達成は、大型超伝導トカマク装置の組立、試験運転、初プラズマ達成に必要な種々の機器調整などに重要な知見を与え ITER 計画の成功をより確実にする極めて大きなマイルストーンである。</p> <p>・ 当初より大幅に試験期間が短縮されまた欧州からの現地での直接的な支援がうけられない中で、JT-60SA においてプラズマ電流</p>	<p>・「初トカマクプラズマ達成」が、特に顕著な成果として妥当であるか。</p> <p>・ 0.5MA の数値の妥当性。</p>

<p>0.5MA 以上のダイバータ配位を形成（プラズマ電流値の意義を別紙の③に示す）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ JT-60SA で要求される加熱装置等の世界最高レベルの性能について、測定精度を勘案して有意な超越といえる、「年度目標を 5%上回る性能」を達成する。加熱装置等の性能を有意に向上するためには要素技術や設置・調整技術を有意に改善する必要があり、性能向上をもたらす要素が同定されることは、設計の合理化の指針となり、将来のコスト低減等に繋がる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 年度目標 5%の妥当性。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コロナ禍において対面での交渉・調整が出来なかった中で、計画を着実に遂行するための工夫を実施。具体的には、欧州調達機器の製作者から技術者の派遣がほとんどなされない状況となり、機器の調整に具体的支障が生じた場合、これを解決するマネジメントとして、データ共有システムの構築を推進すべく調整を行う必要があるが、情報セキュリティの不備がなく且つ効果的な遠隔技術サポートを可能にする詳細データの共有手段構築は簡単でない。プロジェクトの垣根を越えてデータ共有方法のノウハウを共有、評価するタスクフォースを短期間で立ち上げ、構築するシステムの指針を明らかにする。</li> <li>・ 加熱装置性能の目標超越を可能にするうえで重要となる、欧州調達電源の性能発揮に必要な、欧州からの効果的技術支援を可能にするマネジメントを行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コロナ禍での交渉自体が顕著な成果となりえるのか。</li> </ul>

○ 特に顕著な成果となる事象

記載案	議論のポイント
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ JT-60SA において当初より大幅に試験期間が短縮されまた欧州からの現地での直接的な支援がうけられない中で、超伝導トカマク装置としては最大級のプラズマ電流 1MA 以上のダイバータ配位を形成（プラズマ電流値の意義を別紙の③に示す）</li> <li>・ JT-60SA で要求される加熱装置や計測装置等の世界最高レベルの性能について、測定精度を勘案して顕著な超越といえる、「年度目標を 10%上回る性能」を達成する。加熱性能や運転効率に繋がるビーム電流、発振出力、伝送効率、絶縁耐圧、安定性や計測性能に係る個別の技術要素等が 10%以上向上することは、得られた余裕を活用して他の部分の設計や仕様を合理化、簡略化するなど具体的なコスト削減に繋がるのみならず、実験運転における運用範囲の拡大と計画以上の領域での研究の可能性を拡げる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1MA の数値の妥当性、そもそも個々の機器に数値目標を課すことに意味はあるのか。</li> <li>・ 10%の数値の妥当性、そもそも個々の機器に数値目標を課すことに意味はあるのか。</li> </ul>

### 3. 核融合理工学研究開発（BA 活動【IFERC、IFMIF-EVEDA、実施機関活動】、ITER テストブランケット含む）

#### ○ 困難度

記載案	議論のポイント
<p>・重陽子超伝導リニアックは世界で初めての機器であり、大電流であるがゆえにわずかな損失による発熱が超伝導状態の破壊を引き起こす。また、放射化を低減する観点からも原因となるビーム伝送損失を低減する必要がある。そのため 100kW 級の従来の加速器と比べて 1/10 の <math>10^{-6}/m</math> と極めて低いビーム伝送損失条件が課されている。</p>	<p>・「世界で初めての機器」で困難と言えるのか。</p>

#### ○ 顕著な成果となる事象

記載案	議論のポイント
<p>・想定外のコロナ禍により欧州スタッフが来日できない中、IFERC 事業と協力し IFERC の技術を利用した大容量高速データ通信とオンラインでの欧州からの遠隔実験参加を実現。BA 活動のシナジー効果を示す。</p>	<p>・コロナ禍でなければ、オンラインでの遠隔実験は想定されていたものなのか。単に遠隔実験参加を実現したことで、顕著な成果といえるか。</p>

#### ○ 特に顕著な成果となる事象

記載案	議論のポイント
<p>・ブランケットの機能材であるリチウムを分離膜を利用して回収する技術は、従来技術に比べて小規模の設備で短時間に薬剤等の利用量を低減して高純度のリチウムを分離できる特徴を有しており、その技術を用いた産業展開として、QST アライアンス事業の下、外部資金を活用した使用済みリチウムイオン電池リサイクルのためのリチウム回収・分離技術の開発を進め、リチウム回収の量産コストを評価するため、分離膜を従来の単膜から 20 膜にマルチ化したスタック（集約）化装置を新たに開発する。R2 年度の実験結果に基づき、<u>海外輸入価格の半額以下という低価格</u>で使用済みリチウムイオン電池からリチウム回収（リサイクル）が可能とのコスト評価を実証する。</p>	<p>・リチウム回収に関する研究開発成果は、特に顕著な成果として妥当であるか。</p> <p>・他のリチウム回収技術と比較して何が優位であるか。</p>