

第1回 フュージョンエネルギーの発電実証プロジェクトに向けた 評価・プロセス検討委員会（議事要旨）

日時：令和8年8月10日（月）15:00～17:15

場所：中央合同庁舎4号館 1階 108会議室

出席者：別紙参照

【議事】

開会の挨拶

坂本主査、武田主査代理の挨拶の後、各委員からの挨拶があった。

○坂本主査

- 文部科学省の第12期核融合科学技術委員会原型炉開発総合戦略タスクフォース（以下「原型炉タスクフォース」という。）の主査も務めた観点からお役に立てればと思う。
- 筑波大学のプラズマ研究センターでタンデムミラー型装置、最近建設した超伝導ミラー装置を使用したプラズマ閉じ込めやダイバータ熱流制御、プラズマと材料との相互作用に関する研究に携わっている。
- 以前は、核融合科学研究所で超伝導コイル開発、九州大学応用力学研究所で超伝導トカマクを用いた長時間定常放電、球状トカマクQUESTの建設、初期プラズマの運転などにも携わってきたので、ヘリカル型、トカマク型、ミラー型の三つの炉系の観点も生かしていきたいと思う。
- 本委員会では、委員の皆様と議論を深めて発電実証プロジェクトに向けてプロセスの検討を進めていきたい。

○武田主査代理

- 坂本主査と同じく、原型炉タスクフォースの主査代理から引き継ぐこととなった。
- 博士学位は核融合発電プラントのCAEによる設計、すなわちシミュレーションによる設計を担当しており、核融合の、特に液体金属を含めた先進的な条件での発電システムの成立と並びにその電力システムへの設計を専門としていた。
- その後、IAEAにおける政策を担当し、現在は慶應義塾大学においてフュージョンの産業としての経済性、更に言えば、法律を含めた様々な社会性を研究するセンターの立ち上げに関わり、現在はそのセンター長を拝命している。
- 坂本主査を補佐し、スムーズな議事進行に努めたい。

○岡田委員

- 核分裂炉の運転、保守、設計を経験してきた。
- 社会実装のタスクフォースから引き続き、委員を務めさせていただく。
- フュージョンの発電実証に向けてよいプロセスが検討できるよう進めていければと思う。

○尾崎委員

- 専門は、大学発スタートアップの経営、オープンイノベーションなどの経営学である。
- イノベーション政策強化推進のための有識者会議「核融合戦略」（以下、「核融合戦略有識者会議」という。）の委員であり、フュージョンエネルギーの社会実装に向けた基本的な考え方検討タスクフォース（以下、「社会実装検討タスクフォース」という。）の主査を務めた。

○デフランコ委員

- 長年、軽水炉のABWRの配管設計に携わった。その後、ヨーロッパでJETROロンドン、重粒子線がん治療センターであるオーストリアのMedAustron、最後3年弱はITER、2021年12月から帰国して日揮にいる。
- 現在は、ITERのトリチウム除去設備のプロジェクトマネージャー兼エンジニアリングマネージャーとして実務に当たるとともに、日本機械学会の原子力専門委員会、核融合専門委員会傘下のトカマクコードの委員会、ASMEのセクションⅢ、ディビジョン4のコミティーメンバー、安全保障貿易センター（CISTEC）の核原子力分科会の委員としても携わっている。

○中原委員

- フュージョンエネルギー・イノベーション戦略を踏まえ、フュージョンエネルギー産業協議会を2024年3月に設立した。
- 現在、会員企業は120社を超える。
- 最近、新しくレーザーに関する産業協議会もできたが、そのJ-LIFEとも連携して、フュージョン関係の産業全体をしっかりと構築したいと考えている。
- J-Fusionは、新たに産学連携やサプライチェーンに関する取組も進めている。この取組に関する活動については、J-Fusionの立場でしっかり進めていきたい。

○服部委員

- 私のバックグラウンドは4つある。もともとは核融合プラズマ実験で工学博士を

取得した。

- その後、プリンストンプラズマ物理研究所と国研で数年間研究した後、もう少し広く事業的な活動を行いたいという考えで、外資系の戦略コンサルティング業界に身を転じ、ベインやアーサー・ディ・リトルで事業戦略策定に携わった。
- さらにその後、自らも口だけではなく実行すべきと思い、ソニーに転じて製品戦略、それから新規事業立ち上げ、金融の重要性に気が付きファンドに身を転じてベンチャーキャピタリストとなった。
- 2年ほど前に独立し、自らベンチャー投資、アドバイザーをしている。

○藤井委員

- 軽水炉の材料の照射劣化を中心に研究をしてきた。
- 昨年度までは、原子炉学会の材料部会の部会長であった。
- 原子力学会や原子力分野では、核融合の材料も基本的に同じである。
- 研究者が軽水炉の材料も核融合の材料の研究もするので、多くの友人もいる。
- 本委員会の検討が進むように、建設的な意見というのを差し上げたい。

○薬師寺委員

- 大阪大学で修士まで核融合のプラズマ壁相互作用の研究をした。
- その後、三井物産に入り、エネルギー関連のいろいろなビジネスに携わった上で、直近では核融合関連のスタートアップ投資・事業開発を担当している。
- 米CFSへの出資案件では、日本企業12社によるコンソーシアムを率いての共同出資の取組をリードした。
- そのプロセスの中で多くの日本企業と密に情報交換させていただいた経験があるので、その観点でもお役に立てればと思っている。

○横山委員

- 坂本主査及び武田主査代理と同様に、原型炉タスクフォースから参画している。
- 専門は、トリチウムの環境安全であり、環境の評価も含め、もう少し大きな意味で放射線防護、線量評価に携わってきた。
- 安全の大切さを重々承知しているので、本委員会でもその立場から発言できればと思っている。

○吉橋委員

- 内閣府の原子力委員会の方も務めている。
- 坂本主査、武田主査代理、横山委員と同様に、原型炉タスクフォースから引き続き、本委員会に出席している。

- 専門は中性子源、中性ニュートロニクスである。
- 核融合に関しては、BAのIFMIF開発からA-FNSに続く部分の研究に携わっている。
- 本委員会においても、中性子源、中性子照射、それから中性子の大切さについて議論させていただければと思っている。

(1) フュージョンエネルギーに関する政策の検討状況及びプロセス検討委員会の主旨

＜事務局（江頭参事官）から資料１－１、１－２に基づき説明＞

○江頭参事官

- フュージョンエネルギーについて、フュージョンエネルギー・イノベーション戦略で2030年代に発電実証を目指すという目標が掲げられた。これを踏まえ、資料１－１の２ページに示す具体的な道筋やサイト選定など、社会実装に向けて検討すべき事項について議論を行うため、社会実装検討タスクフォースが設置され、これまでの検討結果が取りまとめられている。
- この図は、フュージョンエネルギーの社会実装に向けた取組の在り方のイメージであり、時間軸は左から右に流れている。
- 現在は、青色で囲っている「原型炉計画」が進められており、これは主にQST（量子科学技術研究開発機構）が中心となって推進している取組である。また、その下に示しているとおり、日本国内においても様々なスタートアップ企業等が、フュージョンエネルギーの実証に向けた取組を進めている。
- この流れの中で、現時点においては、ハードルがかなり高いとされている共通的な要素技術の開発を連携して進めるべきであるということとなった。
- その先の赤字で示した（２）では、それぞれの取組について、どのようなマイルストーン及びチェック＆レビューとするのかを検討することとしている。
- チェック＆レビューを踏まえて、国として早期の発電実証に向けて支援すべきフュージョン発電システムを決定すべきではないかという考え方を示している。
- ただし、発電実証プロジェクトに進むものとして選定された方式以外についても、将来的な実現に向けた可能性が示された場合には、そうした取組についても引き続き支援するという流れが、下段に示されている。
- この一連の流れを踏まえて、政府としてどのような側面支援を講じるべきかについて、論点が整理された。
- このように社会実装検討タスクフォースで全体的な流れや論点について整理いただいたが、特に国として強力的に推進する共通的に必要な要素技術の具体的内容、国研の関わり方、マイルストーンの設定、チェック＆レビューの在り方、国際連

携等も含めた側面支援の在り方については更に審議を加速する必要がある。

- このため、核融合戦略有識者会議の下に、この発電実証プロジェクトに向けたプロセス検討委員会を設置する。
- 本プロセス検討委員会で集中的な審議をいただき、親会議で審議するための案を作成するといったミッションを担うことになっている。検討は文部科学省の委員会や経済産業省を中心に様々な関係省庁と連携して進めていくことになる。
- 親会議の方から本プロセス委員会の進め方とポイントについて御意見をいただいたので、資料１－２で少し紹介させていただく。
- 一番上のプロセス検討委員会の申し送り事項について、様々な論点がある中で、急いでやるべきこととそうでないことを分ける必要がある。８月の第１回の会議については、スコープを絞った上で開催すること。第２回目以降については、タイムスケジュールや論点を有識者会議に本委員会の報告を諮った上で進めていくべきであるという御意見をいただいている。
- その他の意見も少し紹介させていただく。上から四つ目のポツの「どこかの段階で意思を持って資源を集中投下していくこと」について、これは一つを選択して、他を捨てるという考えではなく、様々な技術を融合して大きな勝ち筋になっていくという考え方が重要であるという御意見もあった。
- 下から四つ目のポツの原型炉開発の在り方について、国研が行う研究開発はスタートアップにとっても基盤的な技術とも言え、いわゆる幹になるようなものであるという考え方があった。
- 下から二つ目のコストについては、１兆円、２兆円という予算は、現時点ではＱＳＴのＱ－ＤＥＭＯ計画について、共通的に必要な要素技術の開発として現時点では進めるべきではないかという御意見があった。
- 規格標準化への取組、長い道のりなので人材育成が重要であるといった御意見もいただいた。
- 資料１－１の４ページは社会実装タスクフォースの中での抜粋である。
- ③はフュージョンエネルギーの社会実装に向けた技術開発、この中でもトリチウムの取扱い、ブランケット、ダイバータの開発、炉材料、遠隔保守技術については国研、アカデミア、スタートアップ等が分担、協力して取組を進め、これらに対して国が適切に支援することが重要であるという御示唆をいただいている。
- 要素技術については、文部科学省でもフュージョンエネルギーの実現に必要な要素技術の技術成熟度を分析し、重点的に研究開発を推進すべき技術の検討が今後開始される予定である。こうした取組とも十分に連携を図りながら進めるべきだろうということである。
- 本プロセス委員会で取り扱うと想定している論点について、５ページ以降で紹介させていただく。

- 本日、御議論いただきたい内容は、共通的に必要な要素技術及び国研が取り組むべき技術の具体的内容で、幾つか論点を整理させていただいた。
- 次回以降は6ページに示す「(2) チェック&レビュー及びマイルストーンの考え方」であり、個々の技術のTRL設定、我が国の様々な新しいエネルギー研究、フュージョンエネルギーのコスト許容範囲、商用化を担うような事業者の参画等の検討が重要であるという御意見もいただいている。
- 8ページ、第1回は特に、共通的に必要な要素技術の具体的内容、そこに国研として取り組むべき具体的内容について集中的に審議をいただければと考えている。
- 第2回目以降は2か月に1回程度のペースで、親会議である有識者会議とも御相談させていただきながら、スケジュール等を決めたいと考えている。

【意見交換】

○吉橋委員

- 今後の議論内容として、資料1-1の2ページ、今後のフュージョンエネルギー社会実装に向けた取組の在り方のイメージ図の中では、これまで行ってきたQSTやスタートアップを競合させるように見える。
- 一方、資料1-2等では必要なものは協力して行うという文言も幾つか出てきた。
- 今後、我々がどのような論点で競合させて競争させるようにするのか、または、要素技術として協力すべきところを我々が促していくのか、どの方面から議論したらよいか。

○恒藤審議官

- それぞれのプレイヤーの考えや技術開発の進展状況、海外との競合状況にも依ると思う。
- それを見極めながら、赤字の(2)に示すマイルストーンやチェック&レビューをどのように設定して、どの方向に国が誘導すべきかを、是非この場で議論していきたい。
- 現時点では、競争なのか協力なのかを決めているわけではない。
- 各プレイヤーの意向や技術開発の状況等を確認しながら、皆さんと一緒に考えていきたい。

○服部委員

- 資料1-1の2ページの検討課題からは、本プロセス検討委員会という名称からダイレクトに関係するのは上から3番目のマイルストーン／チェック&レビュー

の在り方だと思う。

- 一方、1 番目、2 番目、4 番目は、広く解釈すれば、それに関連する課題ということになる。プロセス検討委員会という名称でも、このように広く検討する趣旨があり、本委員会はプロセス及び関連する課題の検討委員会と解釈するのかを確認させていただきたい。

○内野参事官補佐

- ご指摘のとおりである。
- 発電実証プロジェクトに向けて様々な検討すべき課題がある。その一連をプロセスとして捉え、課題の内容についても十分に検討していくことになる。

○横山委員

- マイルストーンやチェック＆レビューに向けて進めていくことで、現状の把握が重要である。
- 私が最も関心を持っている安全性について、現在、規制庁ではQ S Tやスタートアップと意見交換されていると承知しているが、その現状について簡単に御説明いただけるとありがたい。

○黒川総括官

- 8 月 1 日付けで規制庁のR I の部門にフュージョン班が新設され、私が担当課長級としてその業務を担当している。
- 去年から 1 年ほど掛けて各事業者と色々な意見交換をしてきた。
- 当初、我々はフュージョン技術そのものについて十分な知見を持っていなかったため、技術の理解から始めた。
- 現在は、次のステップとして線量評価に取り組んでいる。
- 具体的には、想定される事故や地震に対する設備の耐性、トリチウムがどのような化学形態で放出されるのか、また、その結果としてサイト外の住民の最大被ばく量がどの程度であるのかを評価する段階に入っている。
- この最大の設定については、非常に難しい。
- 物理的に考え得るあらゆる事象を想定すれば、線量はいくらでも大きくなり、一方で、工学的に想定される事象だけを積み上げると想定外の事態を見落とす可能性がある。
- そのため、サイト外の住民について、大規模事故を念頭に置いた被ばく線量評価の作業に取り掛かるところである。
- 各事業者には大規模事故想定の評価結果の提出を依頼しており、その評価結果を受けて、一定の線引きを行い、それを超える場合は厳しい規制、下回る場合はそ

れに応じた規制を適用するといった制度設計作業に進んでいくと考えている。

○中原委員

- 資料 1－1 の 2 ページの図の青色で示されている（１）について、チェック＆レビューに関しては文部科学省での委員会等での検討を踏まえると御説明されたが、本委員会との関係性を説明いただきたい。
- また、（２）のマイルストーンに対するチェック＆レビューについては、技術面だけではなく、右側に示されている最終的な社会実装に向けた課題も含めて総合的に検討するという認識でよいのか。

○内野参事官補佐

- １つ目の御質問について、文部科学省の委員会は、資料 1－1 の 4 ページに示すとおり、技術戦略を作成するというミッションとしている。その実現に向けて、核融合科学技術委員会の下でどのような議論を進めるべきかを今後検討していく。ただし、核融合科学技術委員会において具体的な進め方等は明確になっていない状況である。
- ２つ目の御質問について、はご認識のとおり。なお、マイルストーン／チェック＆レビューは、用語として 2 ページ「マイルストーン／チェック＆レビュー」に示している。複数の作業があるように見えるかもしれないが、内閣府や経済産業省ではマイルストーン、文部科学省ではチェック＆レビューという用語を使用していたので併記する形となった。ここは政府全体として、どのようなシステムがよいのかを検討することとなる。

○武田主査代理

- 先ほどの吉橋委員と中原委員の御質問をリフレーズして確認したい。
- １点目は、マイルストーンを示している図では、原型炉計画とスタートアップに等しく係っているように見える。原型炉計画であってもスタートアップの計画であっても、基本的には単一のマイルストーンで評価するという趣旨で正しいか確認したい。
- ２点目は、本委員会に与えられているスコープについてである。基本的には次回以降の親委員会で定められると承知しているが、マイルストーンの設計においては、ゴールがなくてはその設計はかなわない。このゴールは、発電実証の定義になると思う。一方で、コストについても本委員会の検討事項と示されているが、発電実証の定義とコストに乖離があると設計ウィンドウがないということにもなりかねない。発電実証の定義まで踏み込んだ議論を本委員会でも許していただけるのか。

○恒藤審議官

- 1点目の「(2) マイルストーン／チェック＆レビュー」について、QSTとスタートアップは御認識のとおり、同じ物差である。本委員会では、その物差しを議論いただきたい。
- その検討に当たっては、発電実証が目指すべきレベルを念頭に置かないとマイルストーンは作れないので、発電実証について何をどこまで実現すべきかを議論していくことになる。
- このため、本委員会のスコープは、一番下に記載のとおり親会議で審議するための案を作ることである。
- 本委員会で、発電実証はあるべき内容のたたき台を作った上で、それに向けたマイルストーンのあるべき姿も作っていただき、最終的には親会議で議論をする。
- ただし、いつ作るのかは難しい。先ほど横山委員の御発言もあったが、例えばスタートアップや海外の研究開発状況を把握しないと、発電実証をなかなか定義できないと思う。
- 「(2) マイルストーン／チェック＆レビュー」の作成は時期的な問題も含めて難しい課題であるが、次回以降議論いただきたいと思っている。

○藤井委員

- この図では共有基盤が一番下にあるが、本来はこの共通基盤がQSTとスタートアップの間にあると考える。
- 例えば、QSTが基礎・基盤研究で開発した技術や成果をスタートアップに提供し、スタートアップがマイルストーンを達成していくことをサポートする。一方で、スタートアップ単独では実施が難しい研究開発については、共通基盤を通じてニーズを提示し、QSTの資金力や技術力を活用して研究を加速してもらい、その成果を再び受け取る。
- このように、お互いがスキルアップしていくのだと思う。その観点からこの図を見直せば、先ほどの御質問や技術開発に対する理解が深まるのではないか。

○坂本主査

- 様々な御意見のとおり、一方向だけではなく、スタートアップ、QST、Q-D EMOが双方向に連携して取り組むことが非常に重要であると改めて認識した。

(2) 国として強力に推進する共通的に必要な要素技術の具体的内容及び国研等が取り組むべき具体的内容について（原型炉開発の取組を含む）

＜国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構経営企画部フュージョンエネルギー戦

略企画室（大山室長）から資料2に基づき説明。＞

○大山室長

- QSTでは、ITERサイズの原型炉の概念設計を行ったことからQ-DEMOと命名した。
- 1ページ、核融合発電炉の基本的な仕組みについて説明させていただく。この図はトカマク方式の発電炉の模式図である。黄緑色で示された中央の装置はトロイダル磁場コイルであり、閉じ込め磁場の中にプラズマが閉じ込められる。ピンク色で示されたプラズマに外部からエネルギーを加えて数億度まで温度を上げることにより、重水素とトリチウムの核融合反応が起こる。
- 核融合反応の結果、左上の枠内に示すように、ヘリウムの原子核であるアルファ粒子と中性子が生成される。イオンであるアルファ粒子は磁場に閉じ込められるので、アルファ粒子のエネルギーはプラズマの加熱に使われる。これを自己加熱と呼ぶ。プラズマを加熱するために加えたエネルギーに対して、核融合反応で発生したエネルギーの比をエネルギー増倍率Qと呼ぶ。Qが大きくなると、自己加熱が大きくなり、例えばITERのQが10の条件では、自己加熱は外部加熱の2倍になる。
- もう一方の中性子は磁場に閉じ込められないので、プラズマの回りに設置されたブランケットで受け止めることで運動エネルギーを熱に変える。その熱を冷却水などで取り出して発電を行う。
- また、右上の枠内に示すように、ブランケットの中では中性子を中性子増倍材に当てて数を増やしつつ、トリチウム増殖材にこの増やした中性子を当ててトリチウムを生産する。このようにブランケットは熱の取り出しと燃料の生産を同時に行う重要な機器である。
- 2ページ、ITERは発電炉ではなく、燃焼プラズマの長時間維持を世界で初めて実証する実験炉という位置付けであり、ITERと商用炉の技術ギャップを埋めるための技術開発が必要だと考えている。
- 2ページから3ページに開発すべき代表的な項目を記載した。これらの開発課題は装置の炉形によらない共通の課題であると考えている。
- 2ページの左上の高圧力燃焼プラズマ運転実証は、商用炉を小型化するためにITERよりも高い圧力の燃焼プラズマを実現し、それを長時間安定に維持する技術が必要になる。商用炉の運転には正味の電気出力の向上が必要であり、左下に示す加熱・電流駆動装置の効率を高めることが必要となる。また、一つの装置当たりの出力を高める高出力化が実現できれば、建設コストの低減にもつながる。
- 燃料循環装置は、トリチウムを燃料に使用するので、トリチウム水の処理システムや燃料を固体のペレット状にする製造技術の実証など、燃料循環装置全体とし

ての技術実証が必要だと考えている。

- 3 ページ左上の吹き出し、磁場が高いほどプラズマ性能が向上するため、高温超伝導体の開発も含めた超伝導体の高性能化が必要である。ただし、磁場が高くなると電磁力も大きくなるため、磁場が高い状態に耐え得る構造材料の開発も併せて必要となる。
- 左下、ダイバータの除熱性能向上は、装置の下側に設置され、プラズマからの熱や粒子を受け止める装置がダイバータになる。ITERよりも出力の高い核融合炉を実現するためには、ITERよりも除熱性能が高く、中性子照射に耐え得るダイバータの開発が必要である。
- 右上のブランケット、熱の取り出しと1以上の増殖比での燃料増殖を両立するブランケットの開発が必要である。また、ブランケットは交換部品のため定期的に交換が必要になる。稼働率を高めるためには、できるだけ短期間に交換できる遠隔保守技術、加えて、ブランケットの交換頻度を決定する低放射化フェライト鋼の寿命確認のための中性子照射データの蓄積も必要である。
- 右下の発電システム、どの方式でも運転当初から定常運転することは難しいと考えられるので、一次冷却系の熱を蓄熱等でパルス運転時から運転安定期の定常運転時までを考慮した発電システムが必要となる。
- このようにITERと商用炉の間にはこれらの技術課題があるので、課題解決に向けた研究開発を早期に着手すべきだと考えている。
- 4 ページ、従来はITERよりも1.4倍大きな原型炉JADEMOを2050年頃に建設するという検討を進めてきた。改定されたフュージョンエネルギー・イノベーション戦略を踏まえ、2030年代の発電実証に向けた原型炉計画の加速案を検討してきた。
- 先ほど説明した技術課題を考慮し、ITERからの技術ギャップをできるだけ小さくしてリスクを低減しつつ、社会実装に向けて科学的、技術的に意義のある発電実証であるべきとも考え、ITERサイズの原型炉としている。ITERサイズの原型炉にすることで、自己加熱が支配的なエネルギー増倍率10以上の燃焼プラズマで正味の電力を実証したいと考えている。
- また、ITER計画/JADEMO活動を技術基盤として着実に2030年代の発電実証を行うべきと考えている。そのためには、発電、燃料増殖、定常運転という原型炉の目標を最初から同時に達成するのではなく、まずは発電に特化したブランケットで発電を実証し、その後に装置に改良を加えながら燃料増殖を実証、最終的に定常運転を実証するという段階的に目標を達成していく計画としている。
- つまり、ITERで獲得できる技術と商用炉への技術ギャップを埋める共通基盤技術を統合して、Q-DEMOを実現したいと考えている。
- QSTでは今年3月末にQ-DEMOの概念設計を完了するとともに、原型炉建

設、運転に向けて開発すべき技術項目を明確化し、フュージョンテクノロジー・イノベーション拠点としての技術整備案に反映した。

- 5 ページ、発電実証を行う第 1 期、発電と燃料増殖を実証する第 2 期、発電、燃料増殖、定常運転を同時に実証する第 3 期、それぞれにおける目標と装置仕様を整理した。
- 第 2 期、第 3 期、それぞれの目標を達成するため、プラズマや加熱装置の性能向上や改良型の増殖ブランケットの導入などを想定している。
- 6 ページ、左上に Q-D E M O の本体の構成図を示す。超伝導コイルは I T E R と同じサイズで設計しているが、真空容器は保守用の大型ポートを上部に設置するなど、I T E R とは違う部分もある。また、右に主要パラメータの表を示したが、下から 4 番目と 5 番目の閉じ込め改善度や規格化ベータといった指標についても、第 2 期以降は I T E R の設計パラメータを超える性能を目指している。
- 右下に記載のとおり、第 1 期の運転開始までの建設費用は 2 兆円程度と評価している。これは I T E R のコスト評価をベースに I T E R 機器製作の実績を考慮して評価したものであり、今後、工学設計及び実規模技術開発の実施により設計合理化を図りつつ、建設費評価の精緻化を進めたいと考えている。
- 7 ページ、I T E R と商用炉の間の技術ギャップについては、フュージョンエネルギー・イノベーション戦略に沿って、六ヶ所フュージョンエネルギー研究所と那珂フュージョン科学技術研究所においてイノベーション拠点としての基盤整備を進め、その施設設備も活用して Q-D E M O の工学設計、実規模技術開発を進めることで、社会実装に向けた技術開発の解決に貢献したいと考えている。
- 一方、原型炉の建設を Q S T が実施することは想定されていないので、発電実証の実施主体が設立された後、実施主体に求められる役割と Q S T が担う役割を 8 ページに整理した。
- 中央に示す実施主体に求められる役割は、工学設計、製造設計、インターフェース調整を含む設計統合など、全ての設計とその承認、発電実証プラント建設に必要な基盤整備や実規模技術開発の実施、設計や実規模技術開発に基づく許認可申請や長期的な放射化物の管理、発電実証プラント建設の施工管理、工程管理、知的財産の管理、商用化への戦略策定とプラント建設、運転、保守に関する知見、知財、ノウハウ等の蓄積が考えられる。
- なお、ポツ 1 とポツ 2 については、実施主体が設立されるまでは Q S T で実施する必要があるが、実施主体が設立した後は、移管するものと考えている。
- また、実施主体設立後に Q S T が担う役割を一番下の水色で示した。出向、転籍、クローポ等の制度を利用した人材供給による知見、ノウハウ等の移転、発電実証プラント建設に必要な知財の使用許諾やノウハウの提供、I T E R 計画／B A 活動の推進と得られた知見、ノウハウの提供が考えられる。

【意見交換】

○薬師寺委員

- 7ページについて、Q-D EMO開発ありきの説明に聞こえてしまった。Q-D EMOの先に商用炉という構想をQ S Tとしては持っているものの、マイルストーン／チェック＆レビューまではQ S Tはイノベーション拠点としての機能を軸に研究開発を進めていくという認識、でよろしいか。

○大山室長

- ゴールである商用炉と現在のI T E Rの二つを結ぶところにQ-D EMOを位置付け、概念設計している。Q-D EMOは、将来の社会実装のために必要であることを図示している。

○デフランコ委員

- 資料のQ値はプラズマの熱収支で示していると思うが、所内電源の収支を考えた場合、意義ある発電となるQ値はあるか。

○大山室長

- 5ページの目標の欄に記載のとおり、例えば1期では発電端出力で200メガワット程度、要するに所内電力が200メガワット程度あれば正味電力がゼロ程度になる。
- 第1期はQが10のプラズマを想定し、Qが10のプラズマが得られた場合の所内電力が200メガワットであるとする、プラスマイナスゼロとなる。それを超えて正味がプラスになることを考えると、Qは10よりも高くないと厳しいのではないかということが、I T E RサイズのQ-D EMOも含めた状況だと御理解いただければと思う。

○服部委員

- どの技術が重要であるか等を議論する上で、リアリティーやパフォーマンス等を考えるべきことがあり、これまでの知見を基に最も現実的なシナリオ案を検討すると思う。
- さらに何をすべきかを考える上では、スケジュール管理が非常に重要である。例えば設計図の仕様決定時期、発注や納入、建設開始時期は非常に重要なマイルストーンである。スケジュール表や工程表はどうなっているのか。

○大山室長

- 基本的にはITERの建設プロセスに沿った形で、Q-DEMOの建設も進むだろうと考えている。
- 大まかな流れとしては、装置本体では炉心の中心部から始まり、周辺部の加熱装置等は、少し後に完成しても間に合う。超伝導コイルの素線のような部品は、早めに設計を決定して生産に入らなければならない。
- 目標としては、どのような発電実証を目指すのかが決まらないと、各種のパラメータが決まらない。様々な委員会でも議論になっていると思うが、どこかで目標を決めないと進まない。

○武田主査代理

- まず、この委員会の与えられた内容からもコストは、一つ議論の焦点になってくる。6ページには今回の建設費が2兆円であると記載されている。この試算はこれまでも何度か御開示をいただいているが、委員会での議論のために、将来的に試算の内訳の提示に御協力いただけることはあるのか。
- 次に3ページには高温超伝導という記載がある。高温超伝導の採用は、コストにも大きく影響すると考えている。ここに高温超伝導を記載した御意図を伺いたい。
- 最後に実施主体について、QSTがどのような実施主体をお考えであるかについて十分理解出来なかった。例えば特殊法人またはUKAEAのように株式会社（UKIFS）を設立するのか、若しくはもんじゅのような動燃が主体となった上で会社に請負として発注をさせるのか。現在、QSTとして、実施主体のお考えがあれば御教示いただきたい。

○大山室長

- 最初の御質問について、建設費の内訳は対外的に詳細を公表するのは難しいと思うが、本委員会限定であれば可能かもしれない。この場で即答できないが、事務局やQST内部とも相談したいと思う。
- 2点目の御質問について、2ページから3ページは、商用炉に向けての開発課題を提案させていただいた。2030年代にITERサイズの原型炉を造ること前提とした場合は、今から高温超伝導導体を開発しコイル製作技術を検証して実機の設計を確定することは、時間的に困難であろうとQSTでは判断している。現状Q-DEMOではITERと同じ低温の超伝導導体で概念設計をしている。
- 最後の御質問について、実施主体は様々な形態が考えられるだろうと思っている。現状ではまだ、QSTとして望ましい主体を検討していない。

○吉橋委員

- ITERとQ-Demoの間には技術ギャップがあり、実証炉を造る上ではその技術ギャップを解決しなければならない課題の1つにブランケットがあった。
- ブランケットは、もともとITER計画においてテストモジュールとして組み込み、その性能を十分に評価した上で、新たな知見を得て発電実証を目指していたものと認識している。
- 今回、御説明いただいたQSTの計画では、このブランケットについて、7ページのITERからの矢印を見る限り、まずITERで実施して知見を得た上で、Q-Demoで改めて設計するというイメージかと思うが、そのようなスケジュールで計画されていると理解してよろしいか。

○大山室長

- ITER計画は、コロナ禍をはじめ様々な要因により当初計画の見直しが行われている。その見直し後の計画がスケジュールどおりに進んだとしても、ITERのTBMポートから照射データが得られる時期とQ-Demo第2期の燃料増殖ブランケットの設計確定時期を比べると、残念ながら設計確定の方が早くなりそうである。
- そのため現在は、六ヶ所フュージョンエネルギー研究所の基盤整備の一環として、IFMIF/EVEDAやAFNSとは別に、ブランケットの燃料増殖の機能に特化して確認するための原型炉に向けた中性子源を整備して進める必要がある。そこで燃料増殖機能を確認し、設計を固めなければ、2030年代の発電実証は難しいのではないかと考えている。
- そのため現在、こうした基盤技術の整備も必要ではないかという提案をさせていただいている。

<事務局（江頭参事官）から資料3に基づき説明>

○江頭参事官

- 資料3の2ページは、成長戦略本部で決定された官民投資ロードマップである。同ロードマップでは、必要な要素技術の確立に向けた研究開発フェーズにおいて、様々な不確実性の要因が存在するとしている。
- 例えば、太字で例示しているトリチウムの取扱いなどは、民間企業単独では研究開発が困難な課題である。こうした課題について国が中心となって強力に推進するとともに、実現可能性のあるフュージョン発電システムの技術開発を幅広く支援する。これはQSTが中心になって進める計画や、スタートアップ等による野心的な発電システムの実現に向けた技術開発に加え、それらに共通して必要となる要素技術の開発を、政策パッケージとして推進すべきであることが示されている。

る。

- 3 ページ、事務局として主な技術課題を整理したところ、燃料サイクル技術、炉材料技術、遠隔保守技術、高効率プラズマ加熱装置の4項目が挙げられる。これらのうち、燃料サイクル技術、炉材料技術及び遠隔保守技術は、トカマク、ヘリカル、レーザー方式に共通して必要となる重要な技術課題である。
- 4 ページ、米国における技術成熟度TRLの評価においても、プラズマ技術は比較的高い水準に達している一方、材料やトリチウム増殖・取扱い技術については成熟度が低いと評価されている。このようなTRLが低い技術は、国が中心となり、共通的な技術として推進すべきであると考えている。
- 5 ページ、共通技術を推進するためには、それを支える施設・設備の整備が重要であり、実規模に近い研究開発や評価を可能とする環境を早急に整備する必要がある。QSTには、我が国におけるフュージョンエネルギー技術開発のプラットフォーム及びハブとしての役割が期待され、施設、設備を整備すべきではないかと考えている。
- 6 ページ、要素技術の開発については、実用プラントへの適用を見据えた研究開発が重要であり、そのためには相応の予算措置が必要となる。早急に政府予算案につなげていく必要があるので、本委員会では集中的に審議いただきたい。
- 共通技術の要素技術につきましては、QSTがQ-DEMOへの適用を念頭に技術開発を進めることで、様々な実規模プラントにも適用可能な成果が得られると考えている。
- 一方で、先ほど申し上げた①から④までテーマについては、文部科学省の核融合科学技術委員会において、スタートアップを含む関係者の意見も踏まえながら具体化を進めることが適切であると考えている。
- 7 ページ、Q-DEMOの計画は、現在は①であるが、まだコストに課題が残されている。
- 例えば、米国のアカデミーでは、フュージョンパイロットプラントは60億ドル未満の建設コストに抑えるべきではないかという指摘があり、建設コストの合理化や効率化が課題になってくる。
- また、実施主体の検討はまだ進んでいない。
- このため、現時点ではQSTにおいて工学設計を継続し、建設コストの精緻化・合理化、実施主体の検討を進めるということが適当ではないかと考えている。
- その上で、スタートアップ等の研究開発等の進捗状況も踏まえながら、国として集中的に支援する発電実証プロジェクトを選定していくことが必要である。
- 最後に、8 ページ、国として解決すべき技術課題については、世界に先駆けて日本の国立研究開発機関であるQSTが中心となって強力に研究開発を推進すべきであり、先ほどの4つの重点技術として位置づけられるテーマを掲げた。

- これらの技術開発に当たっては、QSTを中核的なハブとして、スタートアップ、産学界、大学の関係者に協力をいただきながら、オールジャパン体制で取り組むことが重要である。
- また、研究開発を迅速かつ強力に推進するためには、実規模での研究開発や評価を可能とする施設・設備を早急に整備する必要がある。
- 共通要素技術の開発については、Q-DEMOへの適用も念頭に置きながら、幅広く推進すべきではないかと考えている。

＜中原委員から中原委員提出資料に基づき説明。＞

○中原委員

- J-Fusionメンバーへのサーベイ結果の取りまとめ内容を紹介する。
- 共通要素技術への期待としては、開示されている範囲において、国研の今までの提案に含まれていないと考えられるものとして右側に記載している実環境模擬試験環境・中性子照射評価やブランケット・ダイバータ開発基盤がある。
- 中性子照射を伴う試験環境については、従来はITERのTBM計画で技術実証を進めることが想定されていたが、発電実証においてはTBM計画を補完する取組を検討する必要がある。特に、中性子環境下での燃料増殖性能の確認や実機規模のブランケット開発は、熱の取り出しや冷却など熱工学上の観点からも重要な技術課題となる。
- また、民間の観点では、右下の方に記載したデジタルツインの整備を例にしたファシリティ知見の体系化が必要である。現在稼働しているファシリティには民間からのアクセスは不可能であるが、民間プレーヤーが発電実証に向かうには炉心プラズマに関するアクセスが必要である。左上のJT-60SAの運転、故障に関するフィードバックと体系化においても共有化し、民間プレーヤーも強化することが必要になる。
- これらの例のようにQ-DEMOを前提にした共通基盤の提案だけでは、民間計画や産業計画の全てを包含しているわけではない。
- 3ページ、1点目は、メンバー企業からの共通要素技術に関する要望は、国研の計画だけではない。2点目は、開発コストの低減や期間短縮に向けてはQSTのみを中核的な実施機関とするだけでなく、大学設備や同志国保有の技術インフラの活用、中性子源や燃料サイクルに関しては海外機関の活用もあり得ると思う。
- 最終的に国内に技術と産業を構築することと、その中間段階における実証設備は必ずしもイコールではないため、同志国との連携を活用しながら、開発をいかに迅速に進めるかという観点が重要である。

- 一方で、燃料サイクル、遠隔保守、熱変換等の共通要素技術・基盤インフラに関しては、公的な開発や基盤が必要な領域である。
- トリチウムの情報については民間プレーヤーからのアクセスは難しいので、基盤インフラの整備が重要である。
- 遠隔保守については、つり上げ形式で、分割、解体しながらホットセルまで持ち込む一連のプロセスについては、工学的レベルでは具備できていないため、民間計画を含めて、いかに実装するのかというプロセスが必要だと思っている。
- 熱変換については、民間プレーヤーの取り組みが難しい中性子源を含む形での燃料増殖や熱力学を含めて言及している。
- それ以外にも、炉材料や高効率のプラズマ加熱装置等の開発がある。炉材料開発にはダイバータ等の開発項目がかなり多い。電源等大規模な開発が必要になるプロセスにおいては、国研が保有するファシリティを活用する必要があるのではないかと思います。
- 下方に記載した実施主体に関するポイントは、Q-D EMOをプラットフォームとして推進する主体が未だ存在していないということである。
- 今後のマイルストーン設計のポイントは、特にスタートアップ等の民間プレーヤーがリスクを担いながら実施することと、現行主体の未定やリスクなしの技術推進の整理の仕方になってくると思う。このため、リスクのある技術開発を確定して推進する必要があるのではないかと考えている。

【意見交換】

○武田主査代理

- 事務局からご提案いただいた内容、特に①については、昨年発表されたマイルストーン型の共創支援を補完する位置付けとして、国立研究所を中心に研究開発を推進するご提案と理解した。
- 米国は同様の推進形態である。米国ではマイルストーンベースドフュージョンデベロップメントプログラムと呼ばれる共創型のプログラムに加え、F I R Eと呼ばれる国研を中心とした産官学において要素技術を補完する体制である。我が国においてもそれは非常に合理的な選択ではないかと考える。
- 一方で、要素技術の研究開発を米国のF I R Eと比較した場合の違いは、米国のF I R Eが国研を中心としつつも、大学や産業界を巻き込んだコンソーシアムにおいて要素技術を進めることが必須であり、研究費予算のあるプログラムについては、将来的な産業への波及効果や商業プラントのニーズ、すなわち、産業利用可能な形での成果が強調されている。
- したがって、もし我が国においても同等のプログラムの整備を進めるためには、Q S Tに閉鎖的な研究開発プログラム資金ではなく、産官学のオールジャパンの

体制で実施をするプロジェクトに対して予算が投じられるべきだと考える。

- もう一点、Q-D EMOでの実規模試験に対する資金について、Q S TのQ-D EMOとスタートアップが将来的には同等のマイルストーン下で考えられている。しかし、Q-D EMOの実規模施設は、Q-D EMOにロックインしていると見られても仕方がないような投じ方ではないかと懸念をする。
- 一例として、Q S Tでは高温超伝導をQ-D EMOでは使用しないとの説明が大山室長からあった。高温超伝導材料は我が国の線材メーカーが既に全世界に輸出している輸出材料でもあることから、成長戦略に記載された我が国のシェア3割という中核的な存在である。しかし、Q-D EMO相当の実規模では高温超伝導材料試験は含まれない。発電実証の炉形式にかかわらず広く利用可能な大規模な実証試験は、Q-D EMOのみではなく、広く見ていただくことが必要ではないか。

○薬師寺委員

- 今後の方向性を考える上で重要なのは、日本が将来のフュージョン市場においてどのように競争力を確保していくかという視点である。そのためには、グローバルで進展している技術動向を把握する必要がある。その上で、海外と連携して進むべき分野と、海外が先行している場合でも日本として戦略的に獲得すべき分野を見極めることが重要である。このような議論がされていくべきだと思う。
- 次に、イノベ拠点については、現在最も研究が進んでおり、人材もいるQ S Tが、Q-D EMOをリファレンススペースとして研究開発を進めることは非常に重要である。
- 一方で、スタートアップの成長にも資する共通基盤を開発するという観点では、加熱装置やブランケットなど共通化できそうな領域はあるものの、実際には共通化できる部分はそれほど多くないという可能性もあり、どこを共通基盤として整備し、どこは個別開発に委ねるのかについて議論し、認識をすり合わせていくことが重要ではないか。
- スタートアップについては、投資先の検討という観点から、これまでグローバルで40社以上、50社近くと対話してきたが、固体ブランケットの採用を掲げているのは数社程度に限られている。多くは基本的に液体金属や溶融塩を考えている。固体ブランケットの研究が液体金属ブランケットに全く役立たないとは思わないが、こうした技術の違いの位置づけも重要な論点だと思う。

○宮下室長

- スタートアップ関係については、経済産業省での取組事業についても御紹介したい。

- スタートアップの発電実証に向けた取組について、経済産業省でも支援しており、200億円×3年、計600億円の予算をつけて今春頃から公募をし、現在、技術評価をしているところである。
- まだ、未確定ではあるが、技術評価の有識者の先生方からも、個社ごとに取り組むより共通基盤として進めるべきとの意見が示されている部分もある。そのような部分については経済産業省としても来年度予算の確保を含めて検討する必要があると考えている。
- QSTだけではなくスタートアップについても発電支援に向けたプロジェクトについては経済産業省が予算措置を講じて支援する。また、その支援したスタートアップやQSTのプロジェクトは、開発を進める中でマイルストーン／チェック＆レビューを実施し、政府として推進する内容が決定されることになると思う。決して、QSTに寄るわけではなく、600億円という大きな額で経済産業省は支援する予定なので、その点も御認識いただきながら、どの部分をさらに強化すべきかを議論いただくとよいのではないか。
- スタートアップも支援しているので、QSTや産官学で取り組むべき分野を議論していただくとよいと思う。

○尾崎委員

- 経産省のフュージョンエネルギー発電実証推進事業で応募している企業やQ-DEMOが独自に開発する技術は、分けて開発した方が合理的に思える。しかし、今回のJ-Fusionのサーベイでも分かるように、両者には相当ギャップがある。
- 現在、共通基盤と位置付けているものでもJ-Fusion側の企業は必ずしもそう認識していないケースが多くみられることで、これは予測できたことだと思う。
- 技術競争や技術変革のスピードが非常に速い市場では、このような区分けをしても、その区分け自体の意味が薄れていくことが想定される。市場競争の中で開発されるものと、財政措置によって供給されるものは違うことが多い。
- 今回この御提案は、来年度予算も見据えて、まずは共通基盤固めを進める趣旨だと理解している。
- 長期的には、共通基盤と経産省のフュージョンエネルギー発電実証推進事業に採択されたスタートアップ企業、Q-DEMOを含めた予算配分のあり方や区分けの方法、協力関係について考え方を明確にしておくべきではないか。
- この資料だけ見ると、共通基盤がこれから拡大していくように読めるし、そのように受け取る人もいると思う。したがって、長期的には両者の区分けや役割分担をどのように整理していくかが必要。

- 武田主査代理や薬師寺委員の発言と重複するが、Q S Tの原型炉計画や共通基盤、従前からの基礎研究事業に対する予算措置の区分けは、執行時に明確に確認することができているのか。特に共通基盤措置については、現在のスタートアップの研究開発に資するものでなければならないので、適切なチェックや方向修正の仕組みについても是非考えていただきたい。

○藤井委員

- トリチウムを扱う施設は、通常の民間企業では保有していない施設であり、そのような施設が提供されなければ実施できない研究項目がある。トリチウムを扱う場を整備いただくのも一つかと思う。
- 中性子の照射材のデータがないため、照射すればいいのかという点必ずしもそうとは限らない。材料に適した照射性能が得られるかを確認する試験施設も必要である。このような施設が国内に存在するかを確認し、十分な施設がない場合は、フュージョンの実現に向けて必要な設備、施設であるという認識で共通基盤として整備していただきたい。この共通基盤をスタートアップが利用する場合は、直接利用できるのか、またはQ S Tを介するのかという整備も必要である。また、施設の整備予算も予算要求が認可されたら可能となるということではなく、将来を見据えて準備しておく必要があるのではないか。
- 発電については、米国で60億ドル未満との説明があったが、日本で現在検討している発電実証炉の建設資金も同額程度に抑えるべきだと考えているのか、または、その先の発電原型炉に近い炉までを同額程度と考えているのかを教えてください。

○内野参事官補佐

- 米国における60億ドル未満とは、フュージョンパイロットプラントを対象としており、日本のフュージョン発電実証プラントに相当する。つまり、いわゆる原型炉相当の段階を指している。

○藤井委員

- Q-DEMOの2回のアップデートでもって実用炉にかなり近くなるという説明だったが、それはさらにこれの何倍もかかるということか。

○内野参事官補佐

- 米国の場合、Q S Tのような段階は示されていない。あくまでフュージョンパイロットプラントのあるべき費用を提言している。

○大山室長

- 私が御説明した2兆円も第1期までで、米国の60億ドルに対応するのがQ-D EMOの2兆円に対応するかと思う。
- Q-D EMOは、第2期、第3期と改良に追加の予算が必要だが、金額積算はまだできていない。今後工学設計などを進めていく中で予算を見積もりたい。

○吉橋委員

- 資料3の3ページ、フュージョンエネルギーの実現に向けて解決すべきという部分で、燃料サイクル技術や炉材料技術は全てブランケットや中性子源に関わってくる。
- 実証炉を整備する上で、日本での研究や開発の推進が非常に難しい分野が中性子源とトリチウムだと考えている。国内で両方の開発ができる施設がないという現状には問題がある。海外に頼らざるを得ずどのような協力を求めていくのか、また、国内では何をどれだけ進めていくのかということを検討すべきだと思う。
- Q S Tのブランケットモジュールテストについても今さらという気がする。日本がI F M I FやA-F N Sの開発を推進し、中性子源の問題にしっかり取り組んでいれば、ブランケットや核融合材料については日本がイニシアチブを取れたのではないかなと思う。
- これからの中性子源や中性子照射、トリチウムについては、この場でしっかりと問題意識として皆様と議論したいと思う。

○坂本主査

- 吉橋委員は前タスクフォースからずっとこの問題について御発言いただいているが、なかなか解決しない。重要な御指摘だと思う。
- 燃料システム安全試験施設では、吉橋委員のご発言内容に対して、現在どの程度まで取り組まれていると考えられるのか。

○吉橋委員

- どの程度のものを使われるのか分からないが、ブランケットにしても中性子照射の性能確認が可能だとしても、実際にそれを炉として導入するために必要な技術的課題を解決することは難しいと考えている。
- ここでテストされる中性子源の中性子性能は、材料等を研究できるほどエネルギーの高いものなのか。

○大山室長

- 燃料増殖の機能を確認する中性子源については、どのような中性子源が適切なの

かという検討を進めている。

- トリチウム、D Tのターゲットになるのか、例えば固体のリチウムに対して重水素ビームを当ててストリッピングで中性子を放出するのかなどの幾つかの案を検討している段階である。
- 中性子のフルエンスでは、A-FNSとかDONESのような材料のための中性子源に比べると1桁程度少ない量にせざるを得ないのかと考えている。

○吉橋委員

- 1桁程度少ない量であれば、いろいろなものに利用できるかと思うが、コストにも影響すると思う。

○大山室長

- ご指摘のとおりである。
- 要求できる予算規模や燃料増殖モジュール機能確認に必要最低限の要求を考慮し、現実的な期間でデータを取得するためには、最低限どの程度の中性子量やフルエンスが必要なのかを検討している。その上で、中性子源システムとしてどのようなターゲットを採用すべきかについても含めて、現在検討を進めている。

○吉橋委員

- おそらく、トリチウム生成性能などを評価するための実験は実施できるのではないかと考えている。
- 一方で、実際に炉として機能させるために必要な条件まで、小規模の実験設備で十分に検証できるかについては難しい面もあると理解している。

○坂本主査

- 少し細かい点に立ち入ったが、今の御議論の中では、燃料システム安全試験装置が核融合炉開発に対して非常に重要な設備であり、推進していく必要があることは十分に理解できたと思う。

○服部委員

- 5ページの計画、御提案に関しては、ハードウェア的なイメージが強いので、もう少し何をするのか、または何ができるのかというファンクションまたは仕様などを記載した方が分かりやすいのではないかと思います。
- 次に8ページの1ポツについて、共通基盤技術やオーブンプラットフォームなどはQSTで実施することが良いと思う。一方で、QSTは歴史的には最もリアルなものの中心に推進してきたという役割があるが、共通プラットフォーム

や共通試験装置を整備して運営することは大変な事業だと思う。それに時間が割かれて本来の研究がおろそかになるのも目的が変わってしまうので、QSTでやるべき研究開発は確実に進めた上で、オープンに実施すべきことを峻別して進める方がよいのではないかと思う。大学のいろいろな研究現場では、共通的な分野に予算が認可されるとその対応に多くの時間や労力が割かれ、結果として、本来の大学研究に充てる十分な時間が確保できなくなる例が過去20年にわたって見られたので、周囲の配慮も必要だと思う。

- 推進すべき技術について、ブランケットやトリチウム、熱シールドや熱回収、中性子源など複数のファンクションがありオーバーラップしている。ただし、現状では、5番目にブランケットを明記しておいた方がよいのではないか。理由は、ディスラプティブイノベーションを狙って、液体リチウムを使用するなどでいろいろな意見があるが、20年前から研究に取り組んでもいまだ目途は立っていない。それがこのタイムスケールの2030年代で実用化が決まり、設計フリーズの予算を要求し認可されるときまでに技術が完成している保証はない。固体のブランケット方式は、それはそれで進めるべきではないかと思う。
- 以上も踏まえて、自由でアーリーな技術と枯れた技術、それなりの信頼性のある技術と両方あり、どちらが本当に使えるようになるのかは、まだ、分からないので、ブランケットに関しては包含した形で検討するのがよいのではないか。
- 中性子源については、今回の実証炉開発において、これから造って重要部品の単体試験に間に合うのかという基本的な疑問を持っている。間に合わない場合は、Q-DEMOの第1期計画に間に合わせる事はあきらめ、理想的には部品やサブシステムの単体試験を中性子源も含めて開発し、単体は仕様を満たしていることを確認した上で、全体システムにインストールするのがよいと思う。第1期は実証試験や発電実証を進め、中性子源を使った単体試験を含むブランケットの検討も第2期、第3期に間に合わせるというタイミングでよいかと思う。
- 実証炉が完成した後、DT実験が始まれば、実証炉自身が中性子源であるから、第1期で始まったらそれを中性子源と考えて本格的なブランケットや材料などの研究開発を行う。
- このように第1期を解釈する必要もあると思うので、その是非やディテールの検討をお願いしたい。
- 事前検証なしに本番を実施することは、科学者やエンジニアとして好ましいアプローチではなく、それまでも相当数をシミュレーションしている。ブランケットのシミュレーションは、パーティクルシミュレーション、FEM、ファイナйтエレメントメソッド等を統合したトータルシミュレーションであり、その技術精度がまだ完全ではないと理解しているので、それまでにシミュレーション技術を磨き上げてほしい。

- 材料に関して、ベンチャーはもう既に着手していると思うが、数キログラムから数トンの相当な量のトリチウムインベントリ管理の計画を具体化してほしい。
- 同時にリチウムについて、リチウム6の濃縮リチウムが必要だと理解している。一朝一夕でできるものではなく5年や10年ほどかかると聞いている。インアドバンスで計画的に実施する必要があると思う。
- ソフト技術について、テクノロジーインテグレーションやシステムインテグレーションは、性能に関する検討は十分に進んでいると思うが、今後、実証炉や原型炉の耐久性を検討する上では、各種のエラーを予見することが必要で、メーカーでいうFMEA、つまりフェイラーモードアンドエフェクツアナリシスのスタディを進めながら、完成度を上げていくということを今からスタートした方がいいのではないか。
- コストについて、米国が安いと言っているのは、CFSの実験炉であるSPARCであって原型炉ではない。発電しない炉であり、発電炉にはもう一山のコストが必要になる。
- 米国の発電炉のARCの計画も安く見える理由の一つは、ディスラプティブなアイデア、いわゆるキャペックスを減らした初期の設備投資を指している場合がある。その代わり、主要部品を交換する、つまりオペックスに回すということであるため、一見キャペックスが低い。
- いずれにせよ、両者のトータルが電力単価（ドル／キロワット時、円／キロワット時）である。そのため、そこまで考えた検討を始めるべきだと思う。2兆円で良いとするのではなく、更に努力を重ねて安く抑えるべきだと思うので、単純に比較だけするのではなく電力単価の議論が必要だろうと思う。

○中原委員

- トリチウムの共通部分について、建屋等のインフラや国内の安全規制の整備、このような安全技術に関する部分は国内で進める必要があると理解している。
- 一方、トリチウムの要素技術や関連技術は、国内での開発や関係企業等での取組の両方が必要だと思うため、（その官民双方の活動の基礎となる）共通基盤的な部分は必要性があるという整理がよいのではないかと思う。
- 共通的に必要な中性子源に関しては、本委員会の議論では、改めて整理が必要だという結論ではないかと思っている。フルエンスやスペクトル、どの規模を実証として用いて、その結果としてブランケットの開発をどこまで進めるべきであるかは、服部委員の発言のとおりだと思っている。ブランケットの共通部分である中性子源の計画について、海外と連携を考慮する上で、国内でどの開発を推進すべきかを選択する必要があると思う。
- 要素技術の固体増殖と液体増殖については、例えば中国は両方ともCRAFTで

取組み、液体金属に関しては薬師寺委員からの説明のとおり、海外で着目されている。日本では、現在、このどちらかを選択できないと思うので、両方を取り組めるようにどう計画するかを検討する状況であると思っている。

○坂本主査

- 委員の皆様の意見は十分出されたと思う。
- 産官学での取組み、民間企業でのチャレンジ、2030年代に確実に行う事項が同じ土俵の上に乗っているのも、一つの方向性を示すことは難しいと思う。
- この方向性については、今回の御意見を事務局で取りまとめてもらいたい。

○恒藤審議官

- 皆さんの議論を一定程度、収束させていただきたいと思う。
- ある程度の共通基盤的な技術開発は、国の機関で推進すべきであることは皆さんに御賛同いただいたかと思う。その中で私どもとしては4つの技術を御提案させていただいている。
- 本日の議論では、燃料関係、特にトリチウムの取扱い、その中でブランケットも含めて重要であること。そのほかの3つの技術については、あまり議論が進まなかったのも、②、③、④をどう考えるべきという御意見をいただきたい。

○薬師寺委員

- ②、③、④は、炉材料技術、遠隔保守技術、加熱装置で、全て重要だと思う。
- 遠隔保守技術は、スタートアップは軒並みできていない部分なので、日本が握れば、商用化で大きなポジションを取ることになると思う。

○中原委員

- QSTや他の国研でなければ開発できない技術に関することが、本日の議論のポイントとした場合、④の高効率プラズマ加熱装置に関しては、現状NBIがQST那珂研に存在していること、長時間継続できる技術を鍛錬することや、電力のインフラ整備等が必要になるので、短いタイムラインを目指す必要性がある中、このような設備が国内に存在していることは非常に重要ではないかと思う。

○吉橋委員

- 遠隔保守や高効率プラズマ加熱はQST那珂研ですでに進められていることだと思っている。
- 遠隔保守について、QST那珂研でロボット技術の開発等も取り組んでいると思うので、しっかり進めていただきたい。

- 炉材料は中性子に関わり、難関技術なので国内で取り組めるところがない。現在、海外では核融合材料の照射施設であるDONESが開発されているが、そこでどの程度開発できるのかという点も含めて、今後検討が必要だと思っている。

○恒藤審議官

- 本日の議論の中では、①から④の4つは、主に検討すべきものとして提案し、これに対しては特に反対意見もなかったと思う。
- 議論では、例えば、推進に当たってはスタートアップのニーズも確認することが重要だという御意見を複数いただいた。具体的な研究開発の内容について、文部科学省の委員会において技術開発戦略を策定し、それに基づいて推進することをすでに資料に記載しているが、併せて、スタートアップのニーズを把握するための場についても本日の議論の結論として加えていきたいと思う。
- 進め方の部分では、実規模技術開発が重要であり、それを進めるに当たっては、例えばQSTの原型炉構想Q-DEMOへの適用を念頭に進めるという提案を3ポツで紹介した。本日の議論では、Q-DEMOに加え、スタートアップが現在検討している発電実証への適用も念頭に置くべきとの意見があったので、結論には追記したい。
- 海外の動きも念頭に置きつつ、活用可能な海外技術を取り入れることもあり得るとの意見をいただいた。同様に、具体的な研究開発を進めるに当たっては、海外の動向を十分に踏まえながら、日本として何に取り組むべきかを検討していく必要があるという点も、結論に加えたい。
- 技術的な論点について、トリチウム、中性子源やブランケットなどに関するコメントもいただいた。具体的な研究開発の方向性を検討するに当たっては、本日いただいた御議論も十分に踏まえながら、検討を進めてまいりたい。
- 4ポツについては、本日改めて御説明いただいたQSTのQ-DEMOについて、建設コストや実施主体に課題があることから、現時点では建設に向けて進めることが適当とは言えないという結論にしている。本日の議論においても、本件を強く推し進めるべきであるという議論もなかったので、この点については事務局案のとおりでよいと考える。
- 建設コストの精緻化・合理化を進めるためには、工学設計に取り組むという事務局案についても特に異論はなかったと理解している。
- その他のコストについては、CAPEXだけではなく、OPEXも含めて評価すべきとの意見もいただいた。また、早いうちからFMEAも検討すべきとの指摘もあった。これから研究開発を進める中で十分に考慮してまいりたい。

○デフランコ委員

- 2039年の発電について、プラントに携わる立場から考えると、Q-DemoはITERを少しアップグレードしたバージョンだと思っている。
- 日本はITERに対して9.1%の拠出を行い貢献してきた。また、ITERの中核となる部分の多くはQSTが調達したものでできている。これを反故にして新しい構想に進むことには疑問を感じる。
- QSTは国研なので、体制として整えなければならない部分がある。例えば、契約に関しては文部科学省系の国研のテンプレートなので、定型的で柔軟性に乏しいフォーマットになっている。これをコンソーシアムという体制で受注可能にすることや、海外企業にダイレクトに発注可能とするようなフレキシビリティはあった方がよいと思う。エンジニアリングマネジメントオフィスやプロジェクトマネジメントオフィスという形で民間が支援して差し上げるような体制ができればよいと思う。
- タイムラインとして、2039年を運転開始として掲げるのであれば明日にでもサイトを決定して掘削をすることが必要だと思っている。

○恒藤審議官

- 2039年に運転を開始するためには、確かに早く始めた方がいいということとはご指摘のとおりだと思う。共通理解を得ていくために、再度、改めて説明をさせていただきたい。
- 資料2で悩ましい点は、日本でもスタートアップが複数立ち上がり、それぞれが独自の技術を基盤として、将来的な発電実証や商用化を目指している。それぞれの中には、きらりと光る技術を有するスタートアップ企業も見られる。その中で、どの方式・技術を政府として支援することが、我が国がフュージョンエネルギーを世界に先駆けて実現し、将来的に国際的に大きな存在感を発揮していくうえで望ましいのかを考えたとき、どの取組を選択して重点的に支援していくべきかを判断することは容易ではないということが、我々の認識である。この結果、早く始めた方がよいが選択できないというジレンマを抱えている。
- あと数年は、スタートアップもQSTもそれぞれの取組を進めた上で、どれが勝ち筋なのかを見極めての方針である。
- 早く判断したことで、後発のよりよい技術に追い抜かれてしまうこともあり得る。早期の実現を目指すことと、有望な技術を見極めることとのトレードオフを踏まえつつ、両者のバランスを取りながら進めていくべきであると考えている。このため、現在は、見極めのための時期であると考えている。

○デフランコ委員

- 少なくともITERの財産を日本として最大限活用して、工学設計はバックアップ

プランとして進めるべきだと思っている。

- I T E Rベースであれば、重電メーカーや我々のようなプラントエンジニアリング企業はすぐに着手できるので考慮いただきたいと思う。

○恒藤審議官

- 今回の結論の4番にも記載したが、現在Q S Tが構想しているQ－D E M Oを建設に向けて進めることは適当だとは言えないと、ただ、工学設計は進めるという結論にさせていただいている。

○武田主査代理

- デフランコ委員の発言にはもう1つのポイントとして、サイト整備は一刻も早く始めなければいけないという点であった。
- 今回は、共通技術の議論だったのでサイトについては入っていなかった。共通基盤を検討する上でサイトは、スタートアップも含めて合意できれば、早期に着手ができる領域かと思う。次回以降の委員会の議論の中に盛り込んでいただきたい。

○恒藤審議官

- 武田委員から、Q S Tに閉鎖的なプロジェクトにすべきではないという意見をいただいた。また、スタートアップのニーズを把握しながら具体的な技術開発を進めていくこと、Q S T単独ではなく必要に応じて産学官連携したプロジェクトを企画することという方針も、本日いただいた御意見として反映をさせていきたい。

○坂本主査

- 産学官ではスタートアップへの注目が高まっている。学については、技術開発の中では人材育成が非常に重要であり、Q S Tや核融合科学研究所のような大きな組織だけではなく、大学の研究者や各大学の中でのアクティビティが人材育成の裾野を広げることになる。
 - 現在のQ S Tの閉鎖的な部分にスタートアップだけでなく大学も含めて、民間企業と連携した開発についても御検討いただければありがたい。
 - 大分意見交換できた。先程、恒藤審議官から示された方針で最後のまとめの部分を修正後、親会議である核融合戦略有識者会議へ報告する形でよろしいか。
- <異議なし>
- では、事務局で取りまとめ、親会議の方に御報告をお願いする。

○内野参事官補佐

- 修正後の報告案の決定前には、委員の先生方にも事務的に照会させていただく。

<尾崎委員から尾崎委員提出資料に基づき説明。>

○尾崎委員

- 委員意見書の提言要旨「フュージョンエネルギーの社会実装加速化に向けて注力すべき事項」として、組織、財務、人材・知財、産業エコシステムという4つの構造課題をまとめた。
- これは政府のほかの分野の産業政策をレビューしながら、その課題を提言したものである。
- 3ページ、構造課題1は、組織的構造課題の解決。
- 1) は、社会実装を長期的に支援するための司令塔機能整備とした。これは宇宙戦略本部を念頭に置いた場合、それと同じような組織をつくるべきということではなく、司令塔機能が必要になるのではと感じている。基礎研究、QST、ITER、経産省のフュージョンエネルギー発電実証推進事業や社会実装もあり、予算の質がバラエティーに富んできている。現在の会議体で、その機能を十分に果たしているかどうかをレビューするべきと思う。
- 2) インテグレーターの実業環境整備では、インテグレーターは誰かということを確認しなければならない。Q-DEMOの実施主体はインテグレーターを務めるが、誰（どの企業）がそれをやるか早く決めなければならない。また、数年後、経産省のフュージョンエネルギー発電実証推進事業に採用されたスタートアップの技術が進捗した場合、財務的にインテグレーターを務める能力がなければ、M&A含めてインテグレーター輩出のための環境整備を議論しなければならない。
- 構造課題2、経産省のフュージョンエネルギー発電実証推進事業で予算配分された企業が目標達成に向けて事業に取り組むが、これがサプライチェーン企業の設備投資と結びつかなければならない。サプライチェーン企業は短期的な投資回収が見込めず、投資を増やせない状況が続いている。現在の1回目のマイルストーン後の将来的なマイルストーンで、サプライチェーン企業もマイルストーン達成でリターンが得られるような仕組みを考えるべきだ。核融合では宇宙のようなエグジット機関がないことは承知している。ただ、受皿がないとサプライチェーンが充実しないという問題が継続するため、これを2つ目の課題として提言したい。
- 構造課題3は人材である。私は文部科学省の原子力関係の委員会にも携わっている。文部科学省では、企業とタイアップしたインターンシップをはじめ、人材育成に関する様々な取組が行われている。原子力人材という点では、産官学で核融

合と共通した部分が多いため、人材育成を検討する際は連携も検討してはどうか。

- 構造課題４の産業エコシステムについて、これは構造課題１と構造課題２の内容と重複や連結する部分がある。エコシステムは、産業界のエフォートが最も重要なので、どのように側面支援し、実効性を向上させるか制度を検討する必要がある。制度は導入しただけで機能するものではなく、その後のレビューと修正が必要だ。

【意見交換】

○中原委員

- 人材について、是非議論いただきたい。
- 現行では、フュージョン関係の人材は合わせても１，０００人程度である。一方で、プラントをつくる場合は２，４００人必要という話も出ている。このような２倍以上のギャップをどのようにして埋めていくのかは、本委員会もしくは親委員会での議論のトピックかと思う。
- 先ほどのＱ－ＤＥＭＯに関する取りまとめについて、タイムラインの整理としては、技術的な課題の確認は、親委員会での定義の前に整理されるべきではないか。

○江頭参事官

- 次回開催は、１１月１２日の親委員会の報告の後を予定している。報告での議論を踏まえて、改めて第２回のプロセス委員会の日程を調整させていただきたい。

【閉会挨拶】

○坂本主査

- 本日の議事要旨については、発表者及び発言者に確認いただいた上で公表する。

以上

(別紙)

第1回 フュージョンエネルギーの発電実証プロジェクトに向けた
プロセス検討委員会
出席者名簿

【主査】

坂本 瑞樹 筑波大学数理物質系教授

【主査代理】

武田 秀太郎 慶應義塾大学フュージョンインダストリー研究センター
センター長・准教授

【構成員出席者】

岡田 融 電気事業連合会 原子力部長
尾崎 弘之 早稲田大学 ビジネス・ファイナンス研究センター 研究院教授
デフランコ 真子 日揮グローバル株式会社 原子力エネルギー部
シニアプロジェクトマネージャー
中原 大輔 一般社団法人フュージョンエネルギー産業協議会 (J-Fusion)
事務局長 兼 実行委員長
服部 健一 ベリシティX 代表
藤井 克彦 原子力安全システム研究所 研究戦略主幹
薬師寺 高輝 三井物産株式会社 デジタル・電力ソリューション本部
国内・洋上風力事業部 国内事業室 マネージャー
横山 須美 長崎大学原爆後生涯医療研究所 教授
吉橋 幸子 名古屋大学核燃料管理施設 教授

【発表者】

大山 直幸 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構経営企画部
フュージョンエネルギー戦略企画室 室長

【政府関係者】

井上 諭一 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局長
恒藤 晃 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局審議官
藤川 雅大 外務省軍縮不拡散・科学部国際科学協力室 首席事務官
岩渕 秀樹 文部科学省大臣官房審議官 (研究開発局担当)
宮下 誠一 資源エネルギー庁電力・ガス事業部政策課フュージョンエネルギー室 室長

黒川 陽一郎 原子力規制庁長官官房核物質・放射線総括官

【事務局】

江頭 基	内閣府科学技術・イノベーション推進事務局参事官
内野 隆	内閣府科学技術・イノベーション推進事務局参事官補佐
平井 早紀	内閣府科学技術・イノベーション推進事務局主査
梶谷 秀樹	内閣府科学技術・イノベーション推進事務局研修員

ほか