

核融合戦略有識者会議(第7回)議事要旨

I. 日時 : 令和6年8月20日(火)13:00~15:00

II. 場所 : 中央合同庁舎8号館5階共用C会議室(オンライン会議併用)

III. 出席者 : (敬称略)

有識者委員

篠原 弘道(座長)	日本電信電話株式会社 相談役 日本経済団体連合会・デジタルエコノミー推進委員会 委員長 総合科学技術・イノベーション会議 議員
石田 真一	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 副理事
尾崎 弘之	神戸大学大学院 科学技術イノベーション研究科 教授
小澤 隆	一般社団法人日本電機工業会 原子力部長
柏木 美恵子	イーター国内機関(ITER Japan)中性粒子ビーム加熱開発グループリーダー
栗原 美津枝	株式会社価値総合研究所 代表取締役会長 経済同友会幹事(前副代表幹事)
小西 哲之	京都フュージョニアリング株式会社 代表取締役 京都大学名誉教授 一般社団法人フュージョンエネルギー産業協議会 会長
近藤 寛子	合同会社マトリクス K 代表
吉田 善章	大学共同利用機関法人自然科学研究機構核融合科学研究所 所長

政府関係者

高市 早苗	内閣府科学技術政策担当大臣
濱野 幸一	内閣府科学技術・イノベーション推進事務局長
柿田 恭良	内閣府科学技術・イノベーション推進事務局統括官
川上 大輔	内閣府科学技術・イノベーション推進事務局審議官
出田 強	外務省 軍縮不拡散・科学部 国際科学協力室 首席事務官
堀内 義規	文部科学省研究開発局長
武田 伸二郎	経済産業省イノベーション・環境局イノベーション政策課長 (今村 亘 経済産業省大臣官房審議官(イノベーション・環境局担当)の代理)
久米 孝	資源エネルギー庁電力・ガス事業部長 (畠山 陽二郎 資源エネルギー庁次長の代理)
井上 和也	環境省大臣官房総合政策課長
上谷 聡太	原子力規制庁 放射線規制部門 総括補佐

事務局

馬場 大輔	内閣府科学技術・イノベーション推進事務局参事官
山崎 久路	内閣府科学技術・イノベーション推進事務局参事官付補佐
高橋 佑也	内閣府科学技術・イノベーション推進事務局参事官付補佐
杉本 宜陽	内閣府科学技術・イノベーション推進事務局参事官付主査
太田 雅之	内閣府科学技術・イノベーション推進事務局参事官付行政実務研修員

IV. 議事(開会挨拶を除き非公開)

1. 開会
2. 議事
 - (1) 国家戦略を踏まえた最近の取組について
 - (2) フュージョンエネルギーの早期実現に向けて
 - (3) 国家戦略の改訂に向けて
 - (4) その他
3. 閉会

V. 配布資料

- 資料1 国家戦略を踏まえた最近の取組について(内閣府資料)
- 資料2 国家戦略の加速案(内閣府資料)
- 資料3-1 国家戦略の改訂に向けて(石田委員提出資料)
- 資料3-2 国家戦略に関する参考資料(尾崎委員提出資料)
- 資料3-3 現状を踏まえた「フュージョンエネルギー・イノベーション戦略」への意見(小澤委員提出資料)
- 資料3-4 現状分析と改訂に向けたアクション検討(柏木委員提出資料)
- 資料3-5 「核融合戦略」の更なる推進に向けて(栗原委員提出資料)
- 資料3-6 海外・民間取り組みを踏まえた戦略方向案(小西委員提出資料)
- 資料3-7 フュージョンエネルギー・イノベーション戦略のポイントと課題(吉田委員提出資料)

VI. 議事要旨

開会の挨拶

○高市大臣

御多用の中、第7回核融合戦略有識者会議に御出席を賜り感謝。

フュージョンエネルギーについては、有識者会議での議論も踏まえ、昨年4月、日本初となる国家戦略を策定し、今年3月には産業協議会J-Fusionも設立された。また、ムーンショット目標の決定など、国家戦略が掲げる「産業化」に向けた環境の整備に努めてきた。

また、国際的にも注目を集めている。今年7月、イタリアで開催されたG7科学技術大臣会合に出席してきたが、エネルギー自給率が100%を超えているアメリカやカナダも含めて、やはり今、AIの普及で相当消費電力が大きいということもあり、生成AIは更に消費電力が大きく、データセンターが増えているといった事情もあるかとは思いますが、次世代の革新炉やフュージョンエネルギーに大変高い関心が示され、G7で共同して取り組んでいこう、という話が出たところである。このフュージョンエネルギーに関する記載はG7の首脳コミュニケにも盛り込まれている。

一方で、アメリカが今年になり、新たに国家戦略を発表した。世界各国が国策として、フュージョンエネルギーの推進に取り組んでいる。特に各国が大規模な投資を実施することによって、自国への技術や人材の囲い込みも強めている。

我が国も、取組を一層加速するために、国家戦略の改訂に向けた議論を開始する。具体的には、2030年代の発電実証の達成に向けて必要な国の取組を含めた工程表の作成、小型化・高度化などの新興技術の活用による研究開発ロードマップの策定、戦略的な国際標準化の推進やサプライチェーンの発展支援、科学的に合理的で国際協調した「安全確保の基本的考え方」の策定と、非常にテーマは多いが、議論を進めてまいりたい。

大変な作業を有識者の先生方にはお願いすることになるが、どうかよろしく願いたい。

○篠原座長

先ほど第7回という御紹介があったが、高市大臣には本会議に毎回御出席いただき、強力に御指導、御支援いただいていることを改めて感謝申し上げたい。

また、委員の皆さん、本日は酷暑の中、御出席本当に感謝。

今、酷暑と申し上げましたが、この酷暑の進行を止めるためにもフュージョンエネルギーという

のは将来的に非常に大事な技術になっていると思うので、是非この会議の場で議論を深めてまいれればと思っている。

今ほど大臣からも御紹介があったが、昨年4月につくったフュージョンエネルギー戦略をそろそろ改訂する時期に来ていることは、世の中の動向、それからグローバルな動向を見ても一番大事なことなのではないかと思っている。具体的には、フュージョンエネルギーの早期実現並びに関連産業の発展に向けた取組を加速するとともに、先ほど大臣から御紹介のあったグローバル連携を考えたときに、どこの国とどのようにやっていったらいいのかという具体論についても、これから議論を深めていかなければいけないのではないかとと思っている。

本日は大きく分けて2部構成になっており、前半は、事務局から国家戦略を踏まえた現在の取組状況について御報告いただいた後、早期実現に向けた取組について議論を交わしてまいりたい。後半では、国家戦略の改訂に向けて、今日は非常に知見に富んでいる皆さんが集まっているので、皆様から忌憚のない御意見を頂きたい。

そのようなこともあり、今日はどちらかというと後半に時間を割いて議論を進めてまいりたい。

(1) 国家戦略を踏まえた最近の取組について

資料1に基づき、川上審議官より説明。

国家戦略を踏まえた最近の取組について、新しい部分を中心に御説明させていただく。

資料の①の項目はJ-Fusionについてだが、5ページから御説明させていただきたい。

上の方に名称、目的、役員等書いている。

一番下、これまでの主な活動のアップデートだが、4月1日、ホームページを開設して会員の募集を開始した。5月21日に設立社員総会、設立記念会を開催した。

少し補足すると、7月19日現在で会員数67、内訳としては特別会員が24、正会員が24、賛助会員15、アカデミア会員2、連携会員2となっている。問合せは継続しているので、引き続き会員数の増加をお願いしたいと考えている。

設立社員総会、設立記念会については、7ページを御覧いただきたい。

設立総会の後に設立記念会を実施した。高市大臣、盛山大臣をはじめ多くの国会議員、経済界の方々に参加していただき、盛大に執り行った。

今後、国内外の動向調査、標準化や安全規制に関する政策提言等、活動を本格化していく。

②の項目はムーンショットであり、10ページを御覧いただきたい。

12月に10番目の目標としてフュージョンを設定して、1月に国際ワークショップを実施して広く周知を行ったというところまで御報告している。

その後は、JSTが公募を実施している。公募は既に締め切っており、現在は審査を実施している状況である。10月中旬以降には審査を終え、選考結果の公表並びに通知を行いたい。

③の項目は、国際連携に係るものであり、15ページの全体図を御覧いただきたい。

地図の上に青で示しているものが二国間の連携、オレンジで示しているものが多国間の国際連携となっている。アメリカ、G7の方で動きがあったので、詳細を説明する。

最初に17ページ、パートナーシップの説明をする。

4月に盛山大臣がタークDOE副長官と会談して、「フュージョンエネルギーの実証と商業化を加速する戦略的パートナーシップに関する共同声明」を発表した。科学技術協力協定に基づき設置された日米核融合調整委員会を活用して、研究開発施設の共用・開発、規制に関する国際的な協調、世界的なサプライチェーンの発展支援、人材育成などで協力していくことが盛り込まれている。

19ページは、6月に行われたG7のブーリア・サミットについてである。この成果文書にフュージョンエネルギーに関する記載が入った。G7作業部会の設立、規制に関する一貫したアプローチの取組、世界フュージョン・エネルギー・グループの設立、閣僚級会議の開催などが盛り込まれている。

最後、④の項目は、安全確保検討タスクフォースであり、22ページを御覧いただきたい。

このタスクフォースは3月29日に開催された核融合戦略有識者会議の決定に基づいて設置されたもので、年度内に安全確保の基本的な考え方を策定することを目指している。主な検討事項を三つ挙げている。5月10日に開催した会議では原子力安全研究協会から、5月28日に開催した会議では英国DESNZ、米国NRCからのヒアリングを実施している。

現在は2番目の設備・装置の特徴の検討に移行しており、7月22日にはJT-60、LHDの安全確保、ITER誘致時の安全確保の考え方をヒアリングしている。

また、タスクフォースで留意すべき観点、検討対象について議論して、それぞれ詳細は23ページと24ページに示しているが、ここに書かれた趣旨を確認している。

次回、第4回は9月上旬を予定しており、ITERの規制、原型炉の安全研究、スタートアップ企業の炉開発ロードマップ等の議題を予定している。

今後の予定は、以降合計7回程度の会議を実施して、パブコメを経て年内に取りまとめをするといった計画としている。

(意見交換)

○篠原座長

ムーンショットの10番、先ほど、締め切ってこれから審査で10月にというお話があったが、どのくらい応募があったのか。たくさんあったのか。具体的な数でなくても良いがお聞きしたい。

○事務局(馬場参事官)

プログラムディレクターは今、吉田委員が務めているが、申請件数自体はまだ言えない状況になっている。ただ、我々が分析する限りにおいては、思ったよりも多くの質の高い提案があったかなという感覚はある。現在、1回目の書面審査、面接審査を経て、今後、引き続き選定プロセス、年明け以降に発表ができるかと思っている。

○篠原座長

たくさん応募があったということで、非常に嬉しいと思っている。吉田委員には非常にお手数を掛けるが、是非よろしく願いたい。

(2) フュージョンエネルギーの早期実現に向けて

資料2に基づき、川上審議官より説明。

フュージョンエネルギーの早期実現に向けて、現状、それから計画を御説明させていただく。

新しい資料の部分を中心に御説明させていただく。

最初に、①の項目から説明する。

フュージョンをめぐる各国の動向の全体像である。最近の動きとして重要なのは、黄色でハイライトしているが2件あり、一つがアメリカの新戦略の発表、もう一つが、ITERのベースライン更新の提案があったということである。

最初にアメリカの新戦略だが、3ページを御覧いただきたい。

アメリカは、6月にフュージョンエネルギー戦略2024を発表した。強調されている点は、点線で囲んだ三つである。色付けしてあるが、これらは原文では、およそのタイムラインとマイルストーンと共に記載されているものである。

最初の、青で表現されているパイロット・プラントに向けた取組としては、プログラムの再編成、ロードマップの策定、推進に加えて官民パートナーシップ、FIREやDOEの活用による研究開発の推進が記載されており、2030年代にゴールが設定されている。

2番目、緑で示されている商業展開への道筋であるが、官民パートナーシップに加えて同位体燃料の供給、核不拡散フレームワークなどが記載されている。こちらはゴールが2040年代に設

定されている。

3番目にあるのが、日米の連携も含まれているが、国際間のパートナーシップの活用である。

4ページはもう一つのアメリカの動きであり、7月にフュージョンエネルギー規制を含むADVANCE法2024が発効している。2. に主な内容を記載しているが、まず、核融合装置による放射化物は粒子加速器として、副生成物フレームワークにより規制されることを明確化している。また、2027年中に規制フレームワークを構築することをNRCに要求しているが、この原子力エネルギー革新・近代化法で、革新原子炉が核融合装置を含むことも明確化している。

次に、ITERのベースラインの更新提案について5ページで御説明する。

6月、ITERの理事会が関係トップの方々の出席の下で開催されている。議事が2. に書いてあるが、(1)計画の進捗状況、(2)ベースラインの更新という形で構成されている。

(1)の進捗の特記事項としては、技術的に最も高度と考えられているトロイダル磁場コイルの全機納入が報告されている。詳しくは6ページにあるので御覧いただきたい。

(2)では、ITERの計画の遅れに伴う基本文書「ベースライン」の最適化に対する提案があり、工程を大幅に組み換えることによって核融合運転の開始時期2035年を維持する、という方針が示されている。

7ページ以降が②の項目、早期実現に向けた取組の加速であるが、8ページは前回、御説明済みで、9ページは前回の有識者会議のまとめになっている。

10ページ以降が③の項目で、統合イノベーション戦略と新しい資本主義に記載された核融合の内容になっている。皆様、既に御存じの内容だと思う。詳細内容は11ページから15ページにあるので、御確認いただければと思う。

冒頭に高市大臣から発言のあった四つの内容が特に重要であり、2030年代の発電実証の達成に向けて必要な国の取組を含めた工程表を作成する。二つ目が、小型化、高度化の新興技術の活用による研究開発ロードマップの策定。3番目、戦略的な国際標準化の推進やサプライチェーンの発展支援。4番目が、科学的に合理的で国際協調した安全確保の基本的な考え方の策定となっている。

17ページに、ここまで御説明した内容を、フュージョンエネルギー・イノベーション戦略の加速案という形でまとめている。

一番上の四角では、3番目にチェックが入っている次期エネルギー基本計画への位置づけがポイントとなっている。

下の3色の四角は、いつもお示ししている戦略の柱になっている。左の育成計画では、J-Fusionとの連携、安全確保の基本的な考え方の策定を重視している。右に示した開発戦略では、原型炉実現に向けた基盤整備、エコシステム形成に関わるスタートアップを含めた官民の研究開発力の強化、ITER/BA活動を通じたコア技術の獲得。それから下の四角の推進体制だが、2番目の拠点化がポイントとなっている。

加速案では、このように三つの柱というフレームワークは変えることなく、それぞれの内容を吟味する、という方針で進めてまいりたい。

説明は以上だが、各省からのコメントを頂戴したい。

(補足説明)

○篠原座長 それでは、各省からの補足説明をお願いしたい。

○文部科学省 堀内研究開発局長

文科省では国家戦略を踏まえ、国際約束に基づき核融合実験炉の建設、運転を行うITER計画、それからITER計画を補完、支援する研究開発を行っているBAという幅広いアプローチ活動、それから原型炉実現に向けた取組、ムーンショットの研究開発制度を利用した独創的な新興技術の支援を行っている。

ITER計画については、技術的に最も困難な機器であると言われているトロイダル磁場コイルの全機納入を済ませ、先月7月、ITER機構での記念式典には盛山大臣が出席するなど、各局及びITER機構における機器製造や組立て、据付けといった段階に進んでいる。

一方、ITER計画の日程、コスト等を定める基本文書「ベースライン」の最適化に向け、2024年6月の理事会でITER機構から提案があった。新型コロナウイルス感染症や機器の不具合の修理などにより日程に影響があるということで、工程の大幅な組換えを行うことによって核融合運転の開始時期は2035年を維持するということであるが、大きな変更を検討ということになっている。

今後、各極が精査を行った上で、加盟7国の全会一致によって理事会で承認される必要がある。現在、科学技術・学術審議会の下に設置されている核融合科学技術委員会において、ITER機構の提案の妥当性や我々が持っている原型炉の研究開発計画への影響など、いろいろ議論させていただこうと思っている。

なお、昨日19日、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で原型炉の計画の前倒しに向けた検討、それから原型炉に必要な研究開発、人材育成、イノベーション拠点化など基盤整備について審議をさせていただき、今回の戦略改訂にも間に合わせるよう、しっかりと議論を進めていきたい。

また、BA活動については、その中で那珂研にあるJT-60SAという装置は、令和5年10月にファーストプラズマを達成した。世界的にも大きく期待されていると認識している。昨年12月には高市大臣にも出席いただき、JT-60SAの運転開始式典が開催された。また、盛山大臣と欧州委員による日欧共同プレス声明に署名もしており、BA活動を引き続きしっかりと推進していく方針が示されている。我が国としても、ITERが建設中である中、このJT-60SAを最大限活用して研究開発を進めていく必要がある。

文科省としては、引き続きITER計画やBA活動等を着実に推進するとともに、これまで培ってきた技術や人材を最大限活用して、国際連携もしっかりやりながら原型炉に必要な基盤整備を加速し、フュージョンエネルギーの早期実現に貢献してまいりたい。

○資源エネルギー庁 久米電力・ガス事業部長

経産省として御説明させていただく。

経済産業省としては、このフュージョンエネルギーの早期実現に向けた取組につなげるべく、特にスタートアップ等への技術開発支援を講じていく予定にしている。経済産業省として、まず核融合を重点支援すべきフロンティア領域と設定させていただき、フュージョンエネルギー産業協議会J-Fusionとも連携して、支援の在り方について正に検討を始めたところである。

加えて、今後、J-Fusionの中に設置されるワーキンググループにおいて、核融合の産業化フェーズを見据えた議論が行われると承知しているが、経産省としてもこれらの議論に参加することを通じて、産業化フェーズで必要となるサプライチェーンについて、どういった産業や企業が必要になるかの可視化であるとか、あるいは、あらゆる発電炉を造っていく上で、炉の建設から運転までをシステムインテグレーションという観点でどうやって機能的に行っていくのかという点が課題になってくるので、こういった課題の特定といった論点について、連携を深めてまいりたい。

○外務省国際科学協力室 出田首席事務官

外務省の立場からすると、地球規模課題の解決へ向けた取組は重要と考えており、その観点から、フュージョンエネルギーの実現は、環境やエネルギーなどの地球規模課題の解決に資するものとして非常に重要なものととらえて理解している。

主要国を中心に官民のフュージョンエネルギーの研究開発が増加しており、本年のG7の首脳コミュニケ等においてフュージョンエネルギーに関する記載が盛り込まれている。フュージョンエネルギーの早期活用実現に向けた動きとそれに伴う国際協力と競争が活発化する中、外務省としてもこれらの動きを注視しつつ、国内の取組に貢献できるように努めてまいりたい。

特に現在、多国間で協力が進められているITER計画、そして日欧で進められているBA計画があるが、これらはフュージョンエネルギーの活用実現への重要なステップであると考えており、我が国が主導的な役割を果たしていると認識している。これらのプロジェクトが円滑に進むように、外務省としてもできる限りの協力を引き続き行っていきたい。

○環境省 井上総合政策課長

核融合については、令和3年6月に環境省を含め関係府省で決定した2050カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略の中で、カーボンニュートラルに向けた技術の柱の一つとして位置づけられており、その重要性については我々も十分認識している。

また、国際的にも、本年4月にG7トリノで行われた気候・エネルギー・環境大臣会合のコミニケの中でも、フュージョンエネルギーが将来的に気候変動とエネルギー安全保障上の課題に対して持続的な解決策を提供する可能性を認識する旨、初めてこういったものが盛り込まれたと認識している。

更に、本年6月に閣議決定されました新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画において核融合に関する今後の方針が示されたことも踏まえ、環境省として、この有識者会議や安全確保の基本的な考え方検討タスクフォースの議論を注視しながら、各省の今後の政策に我々としても協力してまいりたい。

(意見交換)

○石田委員

特に経産省からいろいろと、産業界とのJ-Fusionを中心とした取組という御説明があったが、先ほど高市大臣からも、電力が今後一層高まっていくとお話があった。また、カーボンニュートラルが2050年を目指しているときに、2030年代に発電実証をという話が出てきているが、電力のベストミックスとかその周辺の将来のビジョンについてはどのようなお考えなのか、お聞かせ願いたい。

○資源エネルギー庁 久米電力・ガス事業部長

正に今、御指摘があったとおり、2050年カーボンニュートラル実現に向けて、次世代革新炉というカテゴリーの中で核融合も位置づけており、そういう意味では、様々な次世代革新炉がある中で、それを実現するための産業基盤あるいは人材の確保は、全体としてしっかり進めていく必要がある。核融合に関して言えば、まずは研究開発をしっかりとやっていくところからスタートしていくことだと思うが、先ほど事務局から御指摘があったとおり、今、次のエネルギー基本計画の審議を進めているので、ここで御議論いただいている内容を、議論にも反映させていくという流れになると考えている。

○小西委員

文科省に、ITERについて、確認させていただきたい。

核融合研究に長く携わってきた者としては、今般の新しい「ベースライン」の策定について、特に2035年からのフュージョンパワーオペレーションが滞りなく進むことに向けて計画が合理化されたものであると認識しているので、ITER計画は、今後も我々としては羅針盤的な意味で、フュージョンの科学技術の研究の上で不動の地位を維持していただけるのは大変有り難いことだと安堵している。

しかし、今般の「ベースライン」の改訂によって、フュージョンエネルギーのより早くの実用化を目指した研究を行う立場から見たときに、どのような変更や見方の変わり方があったのかを伺いたい。

フュージョンの実用化に対して、これを何とか早めて実現したいという考え、そのようなプロジェクトは世界的に見ても専ら民間の動きが多いわけであるが、さはさりながら、やはり科学技術的な理解が進まないことにはどうしても先に進まない部分がある。そういう意味において、今回のITERの「ベースライン」の変更による影響は科学技術委員会で精査されているという御説明を頂いたが、これがどのように影響するのか、理解の仕方を教えていただければと思う。

○文部科学省 堀内研究開発局長

結論から申し上げますと、まだ精査中であり、具体的に「こういう形になる」と御紹介できるような段階ではないが、我々は全体計画、2030年代の実証に向けてどれくらいしっかり期間を詰めて成果を出せるかを検討しており、その中で、ITERで確認できる成果というものがある段階でどういった展開を図れるかといったことも併せてやっており、そういった意味で、もう少しお時間を頂戴して影響については検討させていただきたいと思うが、ITERのそのような状況も踏まえつつ、しっかり目標に向けて我々の考えていることが実現できるよう考えているので、またいろいろ御支援いただけたらと思っている。

○篠原座長

少し抽象的になるが、お願いが二つある。

一つは、やはり核融合は日本だけでできるものではないと思っており、必ず何らかの格好でグローバル連携が必要になってくるが、単に連携すればいいということではなく、やはり日本自身が、今の政府の言葉を使うと戦略的不可欠性の技術とか戦略的自律性の技術が何なのかをしっかりと認識した上で、どこの国とどうやって付き合っていくかを考えていくことが大事だと思っている。それについては、これからまた更に深い議論を進めることによって、どの技術が戦略的不可欠なのか、どの技術が戦略的自律性を持っているのかが明らかになってくると思うが、今日、御出席の各省庁の皆さんは是非、外と話をするときにワンボイスで、例えばある省の方はこれが大事なんだ、ある省の方はこれが強いんだということではなくて、ワンボイスで対応できるような格好で、大きな方向観の共有をうまくお願いできればと思っている。

もう一点は、経済産業省の方もいろいろなお取組をされていることがよく分かったが、核融合というのは非常に裾野が広い産業を抱えているので、それぞれの一番キーとなる部分の産業界がしっかりとついてくるというか、しっかり引っ張っていくような形づくりはやはり大事だと思う。

誤解を恐れずに言うと、やはりまだまだ核融合は研究であって、産業ではないと思っている方々も結構多いので、確かに即産業化というわけではないが、産業化の準備をするようなタイミングにはもう来ていると思っているので、それも含めて産業界に対する強烈なリーダーシップを、特に経済産業省の方にはお願いしたい。

○事務局(馬場参事官)

今の篠原座長の御意見に対して、1点だけ御紹介したい。

資料1の15ページは今回の会議に向けて新しく、篠原座長の問題意識も踏まえて作成したものになる。今まで話し合ったとおり、我が国としては国際連携で取り組んでいるITERや欧州と連携したBA活動等を行っているところがあるが、学術的な交流の観点から言うと、実はアメリカとは40年程度、日米の関係が取り組まれているし、また、韓国、中国などの国とも学術的な交流を長くやってきたところである。

最近、内閣府として各国と話をしていると、例えばイギリスはブレグジットを経験しているので、日本と是非組みたいということで、最近も12月に行われた日英原子力年次対話の中で、核融合についても、フュージョンについても是非議題に入れてほしいといった持ち掛けがあった。カナダについては、ITERについては途中まで参画する予定だったものが途中で脱退されたためにフュージョンの研究についてはそこまで盛んではないものの、先般行われた日本・カナダの科学技術

協力合同委員会において、カナダ側からも協力の申出などがあったところである。カナダについては、御案内のとおりCANDU炉などでトリチウム等についても様々な技術開発が行われている。

我が国としても、今の篠原座長の御意見、また、この後、議事(3)でも各国との連携方針について委員の先生方から御意見があるかと思う。

一番下にある多国間の連携についても、高市大臣から話があったとおり、G7については日本から働き掛けをした結果、今回盛り込めたところもあるので、G7の作業部会、また11月6日に行われる予定であるIAEAのワールドフュージョンエネルギーグループを活用しながら、国際戦略というところもある意味したたかにやっていければいいと思う。

(3) 国家戦略の改訂に向けて

○篠原座長

続いて議事(3)、これが今日のメインであるが、国家戦略の改訂に向けての議論に移る。

○栗原委員

「「核融合戦略」の更なる推進に向けて」のコメントである。

まず一つ目だが、これまでの御説明にあったように、フュージョンエネルギーについては早期の実現に向けて、1年前に策定した核融合戦略の見直しを進め、関係する様々な計画あるいは国の政策などに反映させていくべき時期だと認識している。

本当に、この1年間でも国際環境は大きく変化した。繰り返しは避けるが、これまでの御説明にあったような状況である。したがって、この変化に対応して、我が国でも国内の技術開発と、組織化や人を含めた産業化の加速、戦略的な国際連携を一層推進することが必要で、それによってより社会実装の時期を早める、社会実装に近づけるための戦略の改訂が今、求められている。

具体的には、「フュージョンエネルギーの開発」は様々な用途、産業化が考えられるわけだが、その一つの柱が発電利用だと考えると、それを踏まえて、将来の核融合発電の商業化の予見性をより高めるため、国内の関連産業の維持、国際競争力の強化に長期的視点で取り組めるような環境が必要である。

そのためには、原型炉による発電実証の時期の前倒しを検討することが必要で、実は、ここについては既にイノベーション戦略の方で「2030年代の発電実証を目指す」とあるが、どういう方法で実現が可能なのかを検討し、それを踏まえたロードマップを極力早期に明示していくことが望ましい。これによって、より皆さんが参画しやすくなると思う。

それから、発電であることを考えると、現在検討されている次期エネルギー基本計画においても位置づけを再度明確にして、具体的には今ある発電エネルギーが次世代エネルギーにどう置き換わっていくのか、どうミックスしていくのかなどのビジョンを共有して、推進に向けた取組を次期エネルギー基本計画などにも反映させていくべきだと思う。

大きい二つ目は、フュージョンエネルギーインダストリーを育成することが必要であり、幾つかの視点で申し上げると、一つ目が、技術開発計画の策定である。

前回つくった戦略の中にも「技術マップ、産業マップを作成する」とあるが、この技術開発計画が、今、必要なのではないかと思う。長期かつ広範な技術開発をしていく必要がある。その一方で、実際に産業化されるのが相当先になるフュージョンエネルギーに関して、今から着実に産業として育成していくためには、10年を超える時間軸を入れた技術の開発マップを作成することが有効だと思う。更にその中にスタートアップ企業がより参入できるような、それを促すための支援が有効ではないかと思う。

二つ目は、サプライチェーンの構築である。やはり産業として成立するためにはサプライチェーンの構築が不可欠なわけだが、(1)で申し上げた技術開発計画ができると、その開発計画に資するスタートアップ企業もそうだし、既存企業でも、このような計画に寄与する技術力とか人材を企業は確保し易くなる。今だと、いつの間にか廃業してしまったりいつの間にか海外に技術を買収されてしまったりといったことが起こる可能性があるので、このような計画に資するような企業、事業が

競争力を持って今後も維持できるように、例えば事業承継だとか合従連衡することを支援していくことも有効だと思う。

このフュージョンエネルギー産業に限らないが、産業競争力強化法のような法令等でも、今、言ったような企業の再編がしやすくなる、そんな視点を入れて、今後、考えていければいいのではないかと思う。

大きな三つ目が、原型炉開発の官民連携と人材育成だが、原型炉開発は今実施されている設計や一部開発の後、見極めをした後に施設の整備に移っていくと思う。そこについてはこれから検討するわけだが、一つは、QSTなどが主体となっていくことが有力な案として考えられるのではないかと思う。一方で、成果を民間移転する、成果を民間が利活用する、あるいは人材育成を民間を巻き込んで行っていく必要がある。そこで、施設整備と今申し上げた官民連携というところを、場合によっては切り離して仕組みづくりを検討していくことも必要なのではないかと思う。

具体的にはハードを有する主体とは別に、官と民とアカデミア等々を組織化して、人の交流や情報へのアクセス、成果の利活用ができる、そのような仕組みを考えていくこともあるのではないかと思う。現在J-Fusionが立ち上がり、産業協議会が発展してこの役割を担うようなこともあろう。原型炉開発の官民連携の仕方は選択肢が一つではないと思うので、こうしたやり方も今後、考えていくべきだと思う。

○石田委員

「国家戦略の改訂に向けて～原型炉計画の加速に必要なもの～」という資料で、今後の原型炉の開発の中核を担っていくであろうQSTとして、技術的な面を中心に御説明したい。

2ページを御覧いただくと、ここで示されているように、重要な加速の要件の一つとして、工学R&Dがある。これはITERを造るときに10年掛けて日米欧露で行った結果、きちんとTFコイルを完成させたということで、このような工学的なプロセスが正しかったことが実証されているので、やはり原型炉に向けても同様な、実規模の工学R&Dに早く着手することが非常に重要となってくる。

次に、実規模の開発のための基盤整備について、3ページに書いてある。

ITER計画それからBA活動、これらで培った技術とか経験とか産業界とのつながりとか、サイトの中にあるいろいろな施設、そのようなものを踏まえた上で、次の原型炉に向けてどういうことが必要か、これがなければならないというものをリストアップしている。

これは基盤整備のための施設ではあるが、先ほど来の産業界の方々も核融合に参入するといふときに、恐らく試験設備その他が大がかりなものになるので、それらを共用に提供することによって、日本全体として核融合を前に進めていく起爆剤にもなる施設だと考えている。

それから、一つの例だが、安全試験装置をここに挙げている。これは原型炉に向けて、燃料を安全にハンドリングする施設が今現在、国内にないので、これを国内にいち早く建設して、この技術を日本のものにしていくことに、併せて原型炉の法整備のためにも、この取扱いに早期に着手することが必要であると考えている。

4ページであるが、ここでお示したいのは、世界中が今、原型炉に向けて競争状態になっているということである。特にここに取り上げました中国であるが、先ほどのITERの工学R&Dを日米欧露で実施し、今般ハイテクであるトロイダルコイルを造り上げたのであるが、中国は参加していなかった。参加していない中国でITER規模以上のものが急にできるというのはなかなか難しいところで、中国もキャッチアップするために原型炉のCFETRというものを想定したが、やはりその間にJT-60規模のBESTという装置を建設する予定である。ターゲットは27年になっているが、既にコイルの実機製作を開始している段階である。核融合ではこのように、実規模の試験を必ず行って次に進めることが肝になってくるので、中国もそれに倣ってきたと考えられる。

このように、国際競争の観点から日本はITERの実績、BAの実績で優位であり、これを維持し、確保していくためにも、我が国に試験施設を保有することが重要であると考えているところである。

下は、既に原型炉に向けていろいろな試験設備を中国では、お金と人を投入しながら進めているというものがある。

最後に5ページであるが、先ほど来、発電実証の前倒しということが言われており、我々も技術

的にそれが本当に実証可能なのか、どういうスペックを変えていかなければいけないのか、何の前提を変えていかなければいけないのかという検討を開始している。昨日原型炉タスクフォースの議論で紹介されたものをこちらにサマライズさせていただいた。

この一つのケーススタディでは、ITERサイズの原型炉が技術的に成立するののかという検討を開始したところである。このロードマップを見ていただくと、平成30年に策定されたものであるが、2035年頃に原型炉段階への移行判断、その前に10年ほど工学設計・実規模技術開発がある。ITERもリベースライニングというのがあったが、幸い中性子が出てくるDD運転の開始が2035年頃と見込まれており、その点については従来のスケジュールを踏襲できていると考えているので、その点、一つのパスが残っていると思う。

当時、原型炉を目標設定したときに、左の枠に書いてあるように、かなり経済性を意識して、数十万キロの電気出力とか実用に供し得る稼働率、年に何%ぐらい、何か月稼働しているとか、燃料を実際に自分で製造できるか、十分か、そのようなことを考えた結果、ITERの1.4倍程度のサイズの原型炉設計になっている。このような原型炉の建設となりますと、平成30年に書いたようなロードマップになる。

この点を、発電実証を前倒しするという観点に立つと、必ずしも科学技術委員会の目標1から3の同時達成ということではなく、サイズを若干小さくして、発電実証するための発電量ということも考えながら段階的に運転を増力していくというような、ステップ・バイ・ステップの観点に立つということで、今現在、検討を始めたところである。

一例として、右下の図は、仮にITERのトロイダルコイルを使ったときに、ITERのサイズのプラズマだと、この点線のようなサイズになるが、発電用のブランケットを中の真空容器に入れると中のエリアが狭くなるので、DEMOとして若干小さくなる。そのような結果、発電量が10分の1くらいになってしまう。まだこれは最適化の余地は幾らでもあると思っているので、このようなことをベースに、ということが可能か実質的に検討を開始しているところである。

是非このような検討についても、時期を見て御説明させていただきたい。

○尾崎委員

資料3-2「国家戦略に関する参考資料」を提出しているので御覧いただきたい。

まず、2ページの「論点」に「民間企業の参入モチベーションの強化」と書いているが、原型炉に絞ってお話したい。

企業の産業参入モチベーションという意味で原型炉の存在は非常に重要で、ITERあるいはJT-60SAの開発に参加する企業でも、既にある製造ラインを今後どうするのか、原型炉の形が具体的ににならないと判断しかねると聞いている。つまり、産業界のためにも原型炉をなるべく具体化することが国家戦略としては非常に重要なポイントと思っている。

それに関して順番に3点申し上げたいが、一つ目は、原型炉開発のロードマップと原型炉のスペックという話、2点目が、原型炉開発の体制の問題、3番目は研究開発のために必要なファイナンスの方法、この3点についてお話しする。

一つ目のロードマップだが、これは2018年に文科省の科学技術委員会でつくられたもので、このときの前提として、ITERのベースラインの大幅な変更、中国、英国、米国の官民挙げた巨額な投資などは恐らく考慮されていない。当時と今では状況が大きく変わった。

原型炉計画は2018年に文科省主導で作られたもので、これから産業界を巻き込んでいくという観点で経済産業省の関与も必要なので、改訂があつて当然と思われる。

原型炉のスペックが数十万キロワットの非常にハイスpekの電気出力を前提にしているということで、原型炉が開発できれば比較的短期間で商業炉に移行できるという前提で計画がつけられている。当時はそういう前提で検討されたと思うが、昨今の世界的な環境変化、発電実証を早めるという観点では、このスペックは見直すことが必要である。現在、原型炉タスクフォースで詳細が議論されているが、是非この観点を入れていただきたい。

2点目、5ページは原型炉開発の体制の問題。今、文科省の核融合科学技術委員会の下に原型炉タスクフォースがあつて、オールジャパン体制で、活発に議論されている。計画上来年度まで

に概念設計を終えることになっているが、概念設計の後に工学設計が行われる予定で、その内容を前提に具体的に落とし込んでいかないと概念設計自体、意味があるものにならない。

乱暴な言い方をすると、来年何らかの概念設計を提出してくれと言われれば、チームは割と簡単につくることができる。そうでなくて工学設計も念頭に置いて概念設計を完成させるなら、かなり違った作業になってくる。例えば、民間のものづくりの知見を計画に詳細に組み込む事を行わなければならない。

次に開発体制の問題だが、原型炉タスクフォース関係者と話すと、例えば技術者で言えば1,000人規模が必要だとか、年間の予算が数百億円必要とか、そのような意見が聞かれる。こうなると、経産省も巻き込んだ根本的な検討、予算立てが必要になる。原型炉計画を具体化するということは、こういった議論が今後、必要になる。

最後に、6ページと7ページは、以前この委員会でも出したが、マイルストーン形式のファイナンスである。NASAのCOTSに倣ってJAXAも同じようなマイルストーン方式を導入しているし、核融合に関してはアメリカでMilestone-Based Fusion Development Programがスタートしており、開発を担当する企業も選定されている。例えば原子力発電のように、工程が比較的はっきりしている政府調達方式では、民間企業に委託すればものづくりが進む。しかし、核融合は原発と全く違うので、このマイルストーン方式のファイナンスは検討に値する。日本の核融合においてどのような形がいいのか具体的に議論する時期に来ているのではないかと思う。

○小澤委員

普段電機工業会で働いている活動を背景に、意見を述べさせていただきたい。

ここでは戦略文書に書いてある様々な強化策の継続については大胆に省略して、「改訂に向けて」に絞ってお話させていただきたい。

一つ目は、昨年の戦略決定後の重要な変化について四つほど、矢印の左側に重要な変化を書き、矢印の右側には今後どうするかを一言で書かせていただいている。

二つ目の、統合イノベーション戦略2024の記載については、気になるワードを幾つか抜き出している。特に「世界に先駆けた2030年代の発電実証の達成」は、2030年代、残り時間がないと思っているし、「発電実証の達成」という意味も考えなければいけない。

3番目が本題であり、「戦略文書への反映が必要な検討事項」ということで、項目を四つ書かせていただいている。

項目自体は戦略文書からの引用であり、一つ目の項目の下に書いてある「社会的・経済的有用性やコスト目標等の検討を行う」ことが産業化の肝になると思っている。これが開始できているかが議論になってくると思うし、その目標、位置づけが明確にされるべきだと思っている。

二つ目の項目、産業の予見性については、ITERの新ベースラインを踏まえ、DD反応が2035年維持とあるが、様々な確認が先送りになっている背景もあるので、そのような中身を、ITERの実績を原型炉などに反映する時期を考慮する必要があるのではないかと考えている。

三つ目の、技術成熟度も記載したフュージョンエネルギーに関する技術マップ及び産業マップについては、以前の会合においても私がこだわっているところであり、このような内容をきちんと整理することが日本国の強力なアドバンテージになると考えている。

一つ目、原型炉、概念設計の作業中であると思うが、その先の商業炉の仕様までイメージする必要があるのではないかと。二つ目、現状の技術の延長で可能な仕様、経済合理性を獲得するために必要な技術課題の整理ができているかどうか、直近の議論が必要かと思っている。三つ目の項目は、モノづくりの機会、これは製造業としての視点になるが、我々製造業が造ったもの、開発品の性能確認や製品へのフィードバックがきちんとできているか、についてはユーザー側の視点になるかと思うし、それらがいつ、どういうふうに行われるかという時間軸の明確化が産業化においても必要だと思っている。

それから「原型炉開発に向けてQSTを中心に、」と書いてある文章であるが、その小項目に書いてある文章をかぎ括弧で抜き出している。「ただし、原型炉開発の主体のいない現状においては、まずはQSTを中心としつつ」と書いてあるが、「まずは」が「まずは、取りあえずこうする」では

先々困ってしまうので、きちんと振り返って戦略を立てていく必要がある。

その下書いてあることも、第1回会合でも申し上げたとおりであるが、原型炉「ふげん」「もんじゅ」の事例を参考にすると、動燃が責任を持ってやっていたということもあるので、少なくとも原型炉では、QSTの中核としての役割をもっと増していくべきではないかと考えている。

これらを今後、加速して考えていく必要がある。

○柏木委員 よろしくお願ひします。

統合イノベーション戦略2024の、2030年代の発電実証の達成に向けて早期実現を目指すために、今までの取組がどのくらい進んでいて、そこからどういう加速ができるのかなという観点で資料をまとめた。

次のページを見ていただくと、前回と今回の資料を分析して、このインダストリー、テクノロジー、推進体制のフュージョン・イノベーション戦略の項目数とその下に書かれている目標数を抜き出して、これは成績表ではないが、優先順位もあるので進捗しているところとしていないところの濃さはあると思うが、ちょっとその辺りを確認してみた。

インダストリーは戦略の項目数が8、目標数が10で、前回と今回の資料から見えてきたものの以外で余り確認できなかったものが四つあった。未確認の理由をチェックし、4件のうち2件は核融合科学技術委員会と原型炉タスクフォースで検討が進んでいることを確認した。

テクノロジーにつきましては、既定路線の拡大なので、かなり報告が入っている。

推進体制につきましては、9件中7件が有識者会議の資料で余り見えなかったが、こちらについては文科省関係の先ほどの委員会とタスクフォースの資料で、かなり議論が進んでいることを確認できた。

この加速について考えたときに、2030年の発電実証に向けて、次ページの有名な図があるが、この図のどこを目指すのかをまず考えなければいけないと思う。赤点線で囲っているところは、原型炉という旗印を広めに囲んでいるが、多分、今までの核融合の原型炉は、この濃い赤で塗っている非常に発電に近いところの炉の形を目指していたかと思うが、世界で2030年、全体を見渡すと一体どこら辺をターゲットにしているかという分析がまず必要で、その中で日本の強みはJT-60SAがあることと、ITERとJT-60SAを通じ、直ちにある程度の炉の建設を開始できる技術を有していることだと考えると、例えばここに「確実路線」と仮に書いたが、黄色の領域があったり、あるいはスタートアップやムーンショットで革新的技術を期待するというのがその両脇にあるが、2030年、この辺りのどこを目指すのかをまず決めなければいけないと思った次第である。

その上で、この各項目のところで少し分析と意見を述べさせていただくと、インダストリーについては、発電実証時期を早期に明確化するといったときに、現在のムーンショットが2050年実現からのバックキャストで課題設定されているので、2030年代を目標とした場合は、現在最も進捗しているトカマク炉の早期実現と革新的技術の育成、並びに今、設定している2050年代により高度な炉を目指すという3本柱にして、できるだけ技術を拾っていくのか等の戦略の見直しが必要と思う。

また、ムーンショットの公募の評価に参加させていただいているが、非常に多様な応募がある中で、今回の趣旨や予算規模に合わなかったもの等も散見され、応募数から見ると核融合への期待とかシーズ、ニーズ、核融合を利用した提案等がかなり含まれていたもので、こういうものを分析して、2030年実現に貢献し得る技術、産業界に広がる技術を抽出することは非常に有益ではないかと思う。

技術マップと産業マップだが、R5年度以降、更新版が未確認だったが、こういうものを利用して民間の方から逆質問を受けて、核融合で使える技術などの掘り起こしを図るといった手法もあるのではないかと思った。

また、私はこれ余り専門ではないが、経済安全保障上、重要な領域を優先的に取り組むという文言が幾つか出ているが、今のところ、これに関する具体的なアクションは見えなかったもので、これについて今後どうするのかといったところをやっていく必要がある。

次に、テクノロジーにいくと、ITERを通じてコア技術を獲得するということで、私は、ITERの調

達当事者なので、ここで少し分析と意見を述べさせていただきます。

ITERの工程改訂があり、計画の大幅見直しが発生しているが、2035年の核融合運転開始に影響を与えない方向であるためトカマク建屋の閉止時期に大きな変更はなく、各機器の調達、遅れというより工程が過密になっており、工程干渉を避けるために、精度よく工程を守って納品、組立てすることが求められる状況になっている。予算措置が遅れない限りは工学的コア技術の獲得には大きな影響がないように思われるが、対ITERに対する戦略の再確認は必要と思った。

次は、学術の推進である。

SBIRで2件の採用があったとのことだが、加速案とアクションプランの改訂にどう反映できるのかを整理していただくと思う。

原型炉のアクションプランの推進で思ったのは、ムーンショット的な技術革新創成においても、予算額が合わないものが結構あったので、やはり共用施設の利用の提案型なども含めるといいのではないかと考えた。共用による施設利用については、既存プロジェクトから見て予算的、人的な強化が必要だと思うので議論は必要かと思うが、そのような形でいろいろなアイデアを回収するということがあるかと思った。

最後に推進体制だが、こちらについては原型炉タスクフォースと核融合科学技術委員会の資料の中でかなり整理が進んでいるというか、検討が進んでいると思ったが、是非この有識者会議で報告していただく方がいいだろうと思った。今、QSTを中心とした体制になっており、多分メーカーから見ると、その後はどうなるんだというのがすごく興味があるところだと思う。いわゆる出口戦略を明確にしてメーカーを引っ張っていかないと、ちょっと先の不安がある。是非進捗をここで御説明いただいて、いろいろな先生方の御意見を聞いていくと良い。

○小西委員

資料3-6に、申し上げたいことの要旨が1ページに書いてあるが、私からは、海外、民間の取組を踏まえた戦略方向案ということで、最近の特に民間と世界の動向を踏まえて、どのような加速案が可能であるかについてお話をさせていただきたい。

2年ぐらい前に世界でプライベートを中心としてフュージョンエネルギーの開発がどうも活発に動いているようだという話を各所でさせていただいてから、このイノベーション戦略まで、我が国としては画期的なぐらい速いスピードで戦略を策定していただいたこと、それも内閣府を中心に各省庁に入っていたいただいて体制ができていくことに改めて感謝したい。これで何とか世界の流れに乗り遅れずに戦っていける状態が、まず体制としては取れたのだと思っている。

しかし、確かに英国、米国を中心にフュージョンの開発が民間中心に移って、多数のスタートアップが切磋琢磨して多様なチャレンジを展開しているというお話は、2年前の状況からちょっと進んだところでして、今現在かなり大きく状況が変わっていることは認識しなければいけない。

私自身も大学発ベンチャーとしてこの世界に身を置いてきているわけだが、我が国のものづくり技術が世界的に非常に注目され、また期待されている一方で、それが意味では、言い方は悪いけれども、草刈り場になりつつある。要するに、他国から見たときに、サプライチェーンを埋めるのに絶好の材料ではあるけれども、イニシアチブは、リーダーシップは自分の国で取りたいという国がそれぞれみんな戦略をつくっている中で、我が国がどうやって生き残っていくのか。これは決して簡単ではない。

この2年間、特に最近の1年間で大きく動いた世界の変化は、フュージョンのサプライチェーンをいかに自分の国の支配下に置いて、将来やってくべきフュージョンマーケットで優位性を確保するかということに、世界の政策が変わってきた。冒頭、高市大臣から、あるいは内閣府からいろいろな御報告があったように、G7で一斉に同じ方向を向いてフュージョンの開発がもう始まっていて、足並みを揃えるといった一方では、お互いにもう既に競争が始まっていて、その競争というのは、自分の国のプライベートを使っていかに世界のフュージョンマーケットの中で大きなシェアを獲得するか、ヘゲモニーを得るか、そういうところに移っている。端的に言って、国と民間がどのように組み合わせたら一番速く一番強いのか、そういうフェーズに移ってきた。

そこで、我が国の核融合の段階的開発計画では、第3段階にITERがあつて、これはもともと実

験炉があったのを、国会承認でITERを実験炉として認めていただいたところから始まっていて、第4段階が原型炉である。依然としてまだここで「原型炉」というキーワードがあって、その中身が何かというところに、先ほど来、御発言があるように、一斉に何か目標量を下げて小さくする、でも、やはり原型炉。これは国際的な目標観から言うと少し違うところがある。アメリカでは「パイロット・プラント」と言って、今まで「原型炉」という言葉を使ったことは一度もない。中国も同じである。韓国あるいはヨーロッパはちょっと言い方が違って、やはり原型炉というのは大きいもので、それに対してより小さな試験装置を造る方に、今、世界の、特に民間を中心とした動きは変わってきている。

要旨の一番上に書いてあるが、フュージョンエネルギーというのは、いかにしてフュージョンプラントを統合するかという勝負であるとしたときに、時間軸を見ると、どうも官と民が決定的に違う視座を持っているところがあると思う。ここで大きく言えることは、民が向いている方向、官が向いている方向、それなりに整合性が実はなくて、内部ではそれなりにロジックがあるわけだが、どうも違う方向を向いている。

特に海外が2030年代を向いてやっている民の活動が中心になっていることは、もう一度考えてみなければいけない。将来的に見ると、ここから先の民間の活力を使ってこの競争に勝ち残っていくことと、官の能力を使って確実に科学技術としてのフュージョンを進めること、は違うのではないかと思う。

篠原座長から宿題を頂いていたJ-Fusionの現状と取組について2ページ、3ページに簡単にまとめている。

冒頭に内閣府から既に御報告されたように、産業協議会は67法人の御参加を頂いて、無事発足している。実はまだ活動としては、ワーキンググループを組織して計画を練っていて、メンバーを揃えるということをやっていて、残念ながらまだ具体的な活動が始まっているわけではないが、J-Fusionとしては、政策ワーキンググループ、情報・研究ワーキンググループといった形で産業と技術についてのフュージョンの産業化を図っている部分、それから行政と連携しながらこれを有効に施策としてやっていく部分、あるいは海外を中心としたテンダーに応募して、日本の産業として世界のマーケットで戦っていく部分、このような機能の一つはつくっている。もう一つは人材の育成・学術連携という形のワーキンググループがあって、あるいは安全・規格ワーキンググループ、政策ワーキンググループという形で、これは安全、規格、規制に関係する作業を行うグループである。このような形で今、作業を進めている。

なぜそういうことになっているかというと、国際的には先ほど言ったように、特に英国、米国ではそれぞれの国家戦略として民間を取り込み、民間のイニシアチブをいかしつつ、それを国の政策として取り込んでフュージョンプラント、フュージョンテクノロジーをインテグレートしよう、そういう活動が起こっている。

中国は、一国独立で全てやるという非常に単純にして明快な、お金と人員と力をとにかく投入してやってしまうという簡単な戦略だが、アメリカ、イギリスはそれぞれに国内産業が空洞化している部分があって、日本にも期待されているわけであるが、特に弱い部分、資料には「サブシステム」と書いてあるが、要するに、一言で言えばニュークリアテクノロジーである。それぞれの国が国家機関の研究施設でそれなりの技術と知識と経験を持っているにもかかわらず、これが民間に開放されていない。何とかこれを民間に開放しつつ、世界からのビジターも呼び込みつつ、自国内にフュージョンのエネルギー開発を産業として取り込もうというのは、実は拠点としてのニュークリアファシリティを有効に使うだけでなく、サプライチェーンとしては人間とか知識とか経験という無形のものもあるが、こういうものも取り込んでというのが英、米の戦略である。

ここに日本がどうやって、この特色をいかして参入して、戦って、最終的に勝ち残っていくのか。一言で言えば、やはり日本型の研究開発体制を、それも私ども民間の立場から言うと民主導の活動をいかに育てていただけるかというところに勝負があると思っている。特に民間のフュージョンを志す会社として考えますと、フュージョンテクノロジーのインテグレーションは、とにかくやりたくても場所がない、インフラストラクチャがない。電気を受け入れることもできないし、まして放射性物質、放射線を扱う施設がない、使えるものがない。造るお金も技術も、まして時間もない、こういう状況

がある。これは国として何とかしていただきたい。

ここで一つ、皆様方が十分認識しておられないことを御報告したい。

この国では今現在、民間主導でフュージョンテクノロジー、特にD-T、重水素、三重水素の核融合反応を実際に起こす試験を企図している企業が複数ある。既に技術、事業の受皿としてフュージョンを志す産業は確かに芽生えつつある。これを育てていただければ、もしかすると、ここから戦っていく世界市場の中で重要なキープレーヤーになるかもしれない。

専門家としてその内容を若干知り得る立場にあるが、基本的にはその技術基盤は、もちろんITERの延長上にある。正直言って、プラズマの物理的な理解に関しては、例えばITERスケールングと呼ばれるような一連の物理的な知識がどうしても中心にならざるを得ないし、それが有力な拠り所となる。もちろんJT-60SAの物理的な理解、それをつくった経験、その工業技術も同じである。この延長上に、確かに我が国の技術はある。

しかし、ここから先、有意のD-T反応を起こしてエネルギーを取り出して、それを利用して発電技術を実証することは、世界的に見ても全く未知の技術分野であるので、今、戦えば勝てるし、今、ここで対応しなければ世界に持っていかれてしまう、そういう状況にあると思っている。

ここでニュークリアインテグレーションが大事な問題になってくるわけだが、実は我が国の産業界で実際に、日本でできないもの、先ほど石田委員からも何しろ日本に施設がないという話があったが、外国の施設にはある。実はそこで技術協力、研究協力をする形で既に研究活動を始めている企業もある。そういう意味で言うと、国際協力というのは既に有効に機能しつつある。

日米協力、CCFE40年の歴史があると先ほど馬場参事官からも御指摘があったが、今年からこれが初めて、アメリカDOE側も、あるいは日本側もこれを産業界に開放するという新たな政策的な転換をされた。日本の研究施設、アメリカのナショナルラボラトリー、こういうものが今、民間のフュージョンエネルギーの事業としての開発に供用することができるようになった。

資料の最後のところをもう一度御覧いただきたいと思うが、今、世界的にニュークリア試験がフュージョンのボトルネックとなっている。従来の日本のルートであると、ITERをやって、その次に連携をという形で着実に技術開発、研究を進める形になっていたところに、民主導の小型早期開発ルートというものが確かに世界的に発生していて、日本にもそれなりにイニシアチブを取ろうというプレーヤーがいる。

こういう状況で、少し考え方を変えていただき、ニュークリア技術の研究開発をする、特にフュージョンの核燃焼についてフルファンクションの試験をする、こういう活動をこの国で開始すれば、これからの競争で十分我が国がリードすることができると思う。

最後の6ページにもう一度これをまとめているが、国としてのマイルストーンプログラム日本版を考えていただければ、それなりのおもしろいものが出てくるのではないかと考えている。そのための国際連携、あるいは各国産業との競争であり協力でありということが実際企画できると考えている。民間主導の開発計画への支援が、この場に求められている一つの答えになり得るのではないかと考えている。

○近藤委員

事務局案の戦略の活動案を使いながら、特に時間軸、過去と現在、将来、それから今、関わっている安全確保タスクフォースの観点からお話しさせていただきたい。

今までの委員のお話に、一言感想を申し上げると、今、日本には技術的優位性があるかもしれない。栗原委員から、「何を守るべきなのかを技術マップを使って早く特定しましょう」という話がありました。しかしながら、石田委員の中国の資料を見ると、3年後には勢力が変わってしまうということなので、守るべきものとそうではないものがどんどん変わっていく。今回、私たちは戦略をアップデートするが、3年後に、戦略の条件が変わってしまうかもしれない状況に接しているということを再認識した。

私はフュージョンエネルギーの安全確保に関する議論に携わっている。この資料をみると、その安全確保を何のためにといったところでは、インダストリーの育成や原型炉開発の促進を見据えたということで、産業化が遅れを取らないように検討しましょうということで位置づけられている。

実は私、この安全確保を産業育成に位置づけることに違和感を持っている。というのも、産業界が産業を育成していくというのはよく分かるが、安全確保において重要なのは、むしろ環境や公衆、関わる人の安全をいかに確保していくのかということと、やはり核融合に対する社会的受容性を得ていくということであると感じている。

安全確保においては育成とか、言ってみれば政策をアクセラレートすることよりも、技術や産業進展に伴うリスクや脅威を特定して管理するための透明なプロセスを持つ、それから社会の信頼を得るための説明責任を考えていくことではないかと考えている。そういうことを行うことが、結果的に健全な産業の進展をもたらす。その意味で言うと、むしろ、「安全確保」は体制に位置づけていくべき。

加えて、ちょうど昨日、原子力学会の核融合専門部会における議論があった。そこで安全目標について話を伺ったが、公衆及び作業者に放射線障害を及ぼすおそれがないことに重点が置かれていた。環境への影響や核不拡散、セキュリティの視点は十分に取り入れられていなかった。もっともNPTというものは20世紀後半からのところで、国家対国家の衝突という背景のもと検討が進められた。今は多様な主体による脅威、いわゆるダーティボムといったリスクへと多様化してきている。フュージョンエネルギーにおける核不拡散のリスクが顕在化する可能性は大きくないかもしれないが、無視することはできないと思う。

今、当方が関わっているタスクフォースの議論は狭義の安全に限定されているように見受けられるが、フュージョンエネルギーを扱う国家の戦略においては、広義の3S(セーフティ、セーフガード、セキュリティ)を考慮する必要があるかと思う。

それから時間軸で、原子力規制の歴史からの教訓ということも申し上げたい。

冒頭に高市大臣から、グローバルとの連携というお話もあった。原子力規制を振り返ると、国固有の規制として発達してきたと理解している。もし核融合においても、こういう国固有の規制にこだわってしまうと、規制のデザインや運用において大きなコストが規制側、事業者側共に発生し、結果として事業者が規制を向いて仕事をするということになりかねない。

参考情報であるが、ちょうど昨年、DOEのPPPLが核不拡散の議論を省庁、アカデミア、それから事業者、民間企業と行っている。こういった取組で、核不拡散に関する核融合分野のリスクはさほど大きくないということを確認し合った。こういうものを日本で同じようにやりましょうというものがあるが、アメリカでやったものを参考にして日本の中で考えていくというやり方もあると思う。

同様に、例えばアメリカのASMEというものがあるが、品質保証規格を満たす機器を日本でも採用していくことができる、といった柔軟性のある運用も、行く行くは求められていくだろうと感じる。

もう一つ、タスクフォースにおいて今、いろいろな有識者、海外の規制機関の意見を聞いている。かつて日本がITERを誘致した際の安全確保についての意見も聞いた。ただ、どうやってその安全確保の議論に至ったのかというプロセスについては明らかになっていない。記録がない。

それは今、築かれている規制や施策についても同じである。今それがあると、まるでそれが最善解のように見えるが、過去には今のような知見もなく、また、もしかすると様々な調整の結果として、妥協の産物なのかもしれない。そのため、過去の取組は参考程度にとどめるべき。時間短縮のために、過去の検討を答えと見なしていくのは、違うと思う。むしろ今現在の社会の変化を読み取っていくことと、米国やフランス、イギリスなどで行われている様々な試行錯誤を参考に、未来志向で安全確保を考えていくべきかと思う。

それから、ちょっと逆説的だが、原子力にあって核融合に欠けているものについてである。核融合産業には、原子力産業に見られるいわゆる護送船団方式で採用してきた強い団結や発言力が不足していると感じる。各プレーヤーは個別に研究開発、ビジネスを行っている印象がある。そのため、規制機関と対等に議論して産業規制の在り方を提言する、改善していく立場というよりは、規制される側としての意識が強いと感じる。この意識が今後も続くと、規制に対する無謬性、この規制は正しいに違いない、政策は正しいに違いないという思い込み、それから過度なコンプライアンス規制を被規制者自身が生み出してしまう要因になる。

原子力産業においては相互牽制と言って、ピアプレッシャーといったものがあるが、核融合にはないように思う。今後、核融合産業がワンボイスを形成して、規制に対する提言や自主規制を進

めることが期待される。しかし、核融合の現状を見る限り、原子力産業ほど強い団結力を持つ構造にはなり得ないのかなと思う。むしろ学術の連携や人材育成といったソフト面での連携にとどまる可能性が高く、このような核融合の特徴を踏まえた議論を深めていけたらと思う。

最後に加速案についてであるが、育成戦略の下に産業協議会との連携で、括弧付けで「国際標準化」などいろいろなものがあるが、ここの並びについても少し違和感がある。国際標準から投資の促進まで全てをJ-Fusionに任せてしまうように見えるが、今申し上げた産業構造であるとするならば、まずは産業政策として推し進めるべきアイテムを書いた後に、それに対して産業協議会も連携していく、というように並列で書くべきだと思う。

○吉田委員

私からは、人材育成と研究基盤の充実というテーマについて考えを述べさせていただく。

これはイノベーションの「戦略」というものを、幅広、総合的に考えたときに、兵站それから外交といった種類のことをしっかりしていく必要があるという趣旨。本日も主要な議題として原型炉開発、早期発電が言われているが、これは「斬り込み隊」をどのようにするのかといった性格のものである。言うまでもなく、前線をしっかり支えるような国としての基盤、それから外交力が最終的に勝負を決めるので、そういった人材育成、研究基盤の充実が極めて重要だと思う。

資料の次のページに基本的な考え方を述べている。まず、フュージョンの分野に限ったことではなく全ての科学技術分野、更に全ての国に共通している課題は、いかに人材不足、資金不足を乗り越えてイノベーションの生存競争を勝ち抜くかということだと思う。そのための最も有効な戦略は、分野の壁を超えた学際連携だと考えている。

技術の進化は生物の進化と同じで、様々に分化して特殊化していくことで生存競争を生き抜こうとするが、それぞれのブランチを強化するイノベーションが生存競争の鍵になる。しかしながら、多岐に細分化した分野で人材と研究資金を奪い合うと、生態系全体が衰弱して滅んでしまうというのは生物界と同じだと思う。そのときに必要なのは、「囲い込み」から「巻き込み」にパラダイム転換することだと思う。大きな課題に多様な人材が集まって、連携してイノベーションを狙うという戦略が必要である。

それを可能にするのが、バックキャスト型の課題設定だと思う。細かいブランチに枝分かれする前の太い幹で起こすイノベーションは、系統樹そのものを書き換える力を持つ真の意味での破壊的なイノベーションになる。今年始まったムーンショット事業では、これを基本的な戦略として広い分野へ呼び掛けを行って、今、研究チームの構成に知恵を絞っているところである。

このような戦略を成功させるためには、しっかりしたソフトとハードが必要である。

まず、ソフトについて述べる。つまり、どうやって具体的な研究ターゲットを設定し、人材を巻き込むかという戦略である。

我が国は、ほぼ全ての分野に広がるハイレベルのポートフォリオを持っている。これをいかに総合力として研究の前線に展開させるか、つまり挑戦的研究開発に巻き込むかが課題である。そのためには、いろいろな分野に共通性がある先端的かつ一般的な研究課題を旗印にしてチームを構成し、いろいろな分野へ浸透していく根茎のようなダイナミックな組織が必要である。これは科学技術の生態系を生き抜く戦略であると同時に、産業界からの視点で言うと、いわゆるサプライチェーンマネジメントの戦略でもあると思う。今、その基本形を世界に先駆けて準備しようとしているので、今後これを十分に機能させていく必要がある。

国際的あるいは学際的な連携は、求心力のある中心、センターがあって初めて可能である。我が国では核融合研究の黎明期から独自の研究開発に取り組んできた実績があり、現有の研究基盤を産業界とともに有効に利用できるように、協力してリノベーション、アップデートを行うことで世界的なリーダーシップを維持し、発展させることが必要である。

今、正に世界各国で研究開発、人材育成、産業育成のセンターが整備されつつある。既に御報告にあったように、資料の図にも引用しているが、各国でそういうセンターづくりが急速に進んでいる。我が国でも、フュージョンのシリコンバレーを理想とするものを建設する必要がある。そのときに、世界を凌駕できる特性は何かポイントになるが、それを学際性の高さに求めるという戦略を

私としては提案する。

最後のページだが、これまでに述べてきたソフトとハードには、血を通わせる心臓、エンジンが必要だということについて述べる。

研究開発の「経済」にも、バザールと街道が必要である。バザールとは、物の価値が決まるところである。アカデミアのリアリティと産業界のアクチュアリティが交わって真の価値が決まってくる、そういう交わりの場が必要である。それが先に述べたセンターの役割である。

そういうバザールを栄えさせるためには、そこへ人と物を集める街道が必要である。これまで我々が築いてきた日米、日中、日韓あるいは日欧という共同研究のチャンネルがあるので、その道幅を広げて、これまでの狭い分野の人たちだけでなく様々な分野の人たち、更に産業界の人たちがもっと活発に交流できる広い街道にしていける必要がある。

これに人流を生み出す取組を始めたところで、今年、日本が担当するITERスクールを異次元に拡大してこれを実施すべく、文科省から補助金を頂いて取り組んでいるところであるが、こういった取組を皮切りにして、フュージョンサイエンススクールというものを日本が継続して運営して、広い分野、産業界を巻き込むエンジンとして回していく、そういったことに取り組んでいきたい。

海外の研究機関やスタートアップ企業などと真の連携を構築するためには、これは篠原座長からもコメントがあったが、真の意味でウィン・ウィンの関係をしっかり確立することが必要である。これは日本が勝ち筋をつかむための必須の戦略でもある。最初に述べたようにバックキャスト型の課題設定で、様々な分野の英知を集めることが必要である。ムーンショットではこの点を最も重要な戦略として、プロジェクトの構成に取り組んでいるところである。

更に、このバックキャストの研究と並行して、言うまでもなくフォーキャスト型の研究開発を進めること、すなわち原型炉開発の主軸を明確に打ち出してフュージョンエネルギーの社会実装という極めて多面的な研究開発のタイムラインを社会、それから産業界と共有することが必要である。フォーキャストであるから、その実現するところの具体的な時間はかなりの幅で不確定性があるが、バックキャスト型で今やるべきことをしっかりと同時に、フォーキャスト型についてはしっかりした主軸を明確にしてマイルストーンを明確にしていけることが必要だと考えている。

そういった点が、この改訂版に盛り込まれればと思っている。

○篠原座長

さきほど小西委員からニュークリア試験サイトというお話があったが、これは、例えば、石田委員から現在QSTが持っている基盤設備を活用するとか、吉田委員から、フュージョンサイエンスヒルズ構想みたいな話があったが、それらとの大きな違いはどこにあるか。

○小西委員

コンセプトとして、私も石田委員も吉田委員もフュージョンの研究者なので、大枠似たようなところを見ているのは多分間違いないと思っている。

ただ若干、民間かつ現場に近いニュークリアテクノロジーを実際にやってきた人間として私から申し上げるとしたら、実際に放射性物質を扱って、失敗もして、例えば被ばくしてしまったとか漏えいしてしまったとかいうことも含めて、そういう経験をする場がとにかく必要である。そういう経験と失敗から学んで最終的に磨き上げられる技術の中には、学問の世界で言われるようなきれいなソリューションだけではなく、例えば実際に床掃除をするのにどういう洗剤を使う、どういう拭き方をするということから始まって、地元の人々の理解もあればそこで働く人の安全もあれば環境への「どうやってごみ捨てました」みたいな話も含めて、実際そういう経験を積まないとうちうもない部分である。

そういう意味において、今からそれを一からつくり直すというのは、少なくともスタートアップには絶対できないし、大企業でも恐らくできない。研究機関に関して言うと、実はQSTは、もしかするとその前身であるJAEAであるとか、更には日本原子力研究所で、あるいは実際ふげんの現場でそういう経験はあったわけである。そういうニュークリアのインフラストラクチャから、経験から泥臭いところまでを含めたところで我々、まだまだ学びたいもの、パブリックが蓄えてきたものは世界の

研究資産でもあり財産でもあり、日本がその枢要部分を持っている。これを有効にいかしていくことが実は一番早道なのではないか、ということを申し上げたかった。

○篠原座長

先ほど石田委員がおっしゃった共用設備の問題も含んでいるし、まだ安全試験設備がないといった御指摘が先ほどあったが、そういうことも含めて、やはり民間のいろいろなスタートアップが自分たちの持っている技術だけではなく、それを実際に運用するときに本当に地べたを這った話を含めて、いろいろと評価できるような環境をつくっていかねばいけないという御指摘か。

○小西委員

その通り。

○篠原座長

先ほど栗原委員とか石田委員とか尾崎委員から、いわゆる発電実証の時期の前倒しということであれば、やはりスペックなりロードマップをもう一回しっかり書き直してみるべきではないか、そして場合によっては、スペックについては少し下げることも含めて考えるといったお話と、小西委員からは「原型炉」という言葉ではなく、世界的にはパイロット・プラントで動いている、そのパイロット・プラントはもっと規模が小さいという話があったが、そうすると、原型炉の規模を見直してスペックを見直していく話と小西委員がおっしゃったパイロット・プラントというのは比較的似たものになってくるか。

○小西委員

補足的なことを申し上げると、ニュークリアの経験を得るという意味で言えば、D-T反応が起きて、そのために必要なトリチウムを供給して、そこで出てくる放射線を遮蔽して人間の安全を守って、更に環境にトリチウムとか汚れ物、放射化物が出ないようにしてという一連のことができれば、どんな小さなものでもエンジニアリング的にはある程度の目標は達成できる。

具体的に言うと、例えば、プラズマ装置は余り小さいと燃えない。トカマクであれば、最低でも主半径が2メートルと3メートルなので、そういうことはできる。出力で言うと、実はマイナスになる。マイナスになるが、核燃焼出力で言うと大体100メガワットとか、そのぐらいから一応火が着く状態には、ぶすぶすと燃えるという感じのことはできる。

これはアメリカで言っているところのパイロット・プラントよりも、もう数分の1ぐらい出力は小さい。工学の立場から言えば、最低限燃えてくれれば取りあえず経験は積める。技術としては、少なくともエネルギーを取り出して発電してください、少なくともトリチウムを作って自分で燃やすところまでやってくださいという、もうちょっとレベルが上がる。そこから先は贅沢を言えば切りがないが、その延長上に発電実証というものがある。その間に実は、コストで言うと、やはり倍、倍で増えていく、時間軸で言うとやはり2年、3年、5年ずつ余分に掛かるというところで、実は連続的にターゲットとなるべき領域があって、先ほど柏木委員が「確実にここだけはできます」という領域があると言って、実際そのとおりだが、更にそのもうちょっと上、もうちょっと下に実はオプションがあり得るということとは、申し上げておきたい。

○尾崎委員

以前の計画では、実験炉、コストを度外視した原型炉、コストを具体的に考えた実証炉、商業炉という順番で、ロードマップが描かれていたが、2000年頃にファスト・トラックというロードマップの改訂があった。ここで原型炉と実証炉を一緒にする改訂が行われ、以前の計画にあった原型炉よりもスペックが高い、コストを考慮した原型炉を実験炉の次に造り、ステップを減らして商業炉につなげることになった。この計画をもとに戻すことも選択肢としてあるのではないか。

以前の計画に戻す場合、原型炉のスペックをどれぐらい下げるかはいろいろな議論があると思うが、今の計画における原型炉のスペックを固定したままにするかどうかを議論すべきでないか。

○石田委員

2000年代、そういうファスト・トラック、あのときは発電プラントとかいう名前にして、経済的なところとDEMOの役割、を一遍にできないかとか、そういった議論をしたこともあった。その後、幾つか議論があって、ちょっと前のDEMO、それから実証に落ち着いたが、結局DEMOでやろうとしているのは、今、経済性が見通しができるために三つの条件を与えているので、ある程度その実証も必要。

今、パイロット・プラントとかスペックを下げて早くやるとなると、もちろんその次の商業炉とのギャップが大きくなるので、そこをどうするかという課題は将来に残るが、工学的には一つのプラントを全部立ち上げて、動かしてみても、何が問題かというのが、規制とか法整備の話も、ほとんどそこに集約されるので、それで早くやってしまうという動きが今、世界の流れだと思う。

発電実証というのは、あとはプラズマを改良していくとか、あるいは自己加熱の効果というのは、やはり小さい装置だと自己加熱分が少なくなってしまうので、プラズマに課題は残ると思うけれども、工学的な見通しを立てるには、小型化して全体のシステムをつくってスタートするというのは一つのアクションかと思う。

まず発電実証を前倒しすることによって産業界とか社会的な重要性とかそういうものがついてくるのであれば、そういう選択肢も確かにあると思う。

○篠原座長

それが多分、いわゆる公的な役割と民の活用の部分をどうバランス取ってやっていくかという一つのキーポイントになる。

もう一つ、何人からの委員からお話が出たのは、いわゆる技術マップ、産業マップが去年の4月ぐらい、この戦略をつくるときには結構QSTに頑張っていたけど、いろいろとつくっていただいたが、多分様子が変わっているであろうし、柏木委員がおっしゃるとおり産業界、民間を巻き込んでいこうと思ったら、やはり技術マップ、産業マップをどう捉えていて、それに対して「皆さんどんな御意見がありますか」みたいな対話はある程度の周期でやっていかなければいけない。

そのときに、前はどちらかというとトカマク中心と言いたい過ぎかもしれないが、やはり前回やったときに比べてほかの技術もいろいろ出てきているので、できる範囲でよいが、技術マップ、産業マップのアップデートを、事務局を含めて考えていただけると有り難い。

閉会の挨拶

○篠原座長

今、皆さんから頂いた御意見も踏まえて、国家戦略の改訂に向けた議論を更に進めていきたい。

以上