

核融合戦略有識者会議(第1回)議事要旨

I. 日時 : 令和4年9月30日(金) 15:30~17:00

II. 場所 : 中央合同庁舎8号館8階特別大会議室

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副会長 (総合科学技術・イノベーション会議議員) |
| 池田 佳隆 | 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 量子エネルギー部門長 |
| 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 |
| 柏木 美恵子 | イーター国内機関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 経済同友会副代表幹事(環境・エネルギー委員会委員長) |
| 小西 哲之 | 京都フュージョニアリング株式会社 取締役、京都大学名誉教授 |
| 近藤 寛子 | 合同会社マトリクス K 代表 |
| 富岡 義博 | 電気事業連合会 理事・事務局長代理 |
| 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 |
| 松尾 泰樹 | 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局長 |
| 奈須野 太 | 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局統括官 |
| 覺道 崇文 | 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局審議官 |
| 伊藤 茂樹 | 外務省軍縮不拡散・科学部審議官 |
| 林 孝浩 | 文部科学省大臣官房審議官(研究開発局担当) |
| 小澤 典明 | 経済産業省資源エネルギー庁次長 |
| 加藤 聖 | 大臣官房総合政策課企画評価・政策プロモーション室室長 (環境省大臣官房審議官の代理出席) |

事務局

| | |
|-------|-------------------------------------|
| 稲田 剛毅 | 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局参事官 |
| 村越 幸史 | 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 |
| 岩元 美樹 | 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局参事官付係長 |
| 小島 有志 | 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(冒頭挨拶を除き非公開)

1. 開会
2. 議事
 - (1) 有識者会議「核融合戦略」の設置について
 - (2) 核融合戦略に関わる取組について
 - (3) 核融合研究開発に関する現状について
 - (4) 核融合を巡る技術・国際動向について

(5) 意見交換

(6) その他

3. 閉会

V. 配布資料

資料1 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」の開催について

資料2 核融合戦略の策定に向けて(内閣府説明資料)

資料3 核融合の研究開発の状況(文部科学省説明資料)

資料4 核融合を巡る技術動向(池田委員提出資料)

資料5 核融合を巡る国際動向(小西委員提出資料)

資料6-1 有識者説明資料(栗原委員)

資料6-2 有識者説明資料(池田委員)

資料6-3 有識者説明資料(尾崎委員)

資料6-4 有識者説明資料(柏木委員)

資料6-5 有識者説明資料(近藤委員)

資料6-6 有識者説明資料(吉田委員)

参考資料 「イノベーション政策強化推進のための有識者会議」の設置について

VI. 議事要旨

冒頭、高市大臣、篠原座長より開会の挨拶を行った。

高市大臣の冒頭挨拶：

本日は篠原座長をはじめ、有識者の先生方には大変御多用の中、こうしてお出まいただき感謝。

まさに核融合というのは将来のクリーンエネルギーとしても期待されており、エネルギー安全保障上、非常に我が国にとって重要な分野であると考えている。近年、主要国では政府主導でこの取組を推進し、またベンチャーに対する投資の拡大など進んでおり、国際競争も激しくなっている。これまで日本ではITER計画にも参加をしていたが、ここで培われた技術、すばらしい技術を日本は持っているのも、またこれをしっかりと強みに変えて、この技術的な優位性をしっかりと活用しながら、できましたらこの核融合技術の商業化に向けた取組を加速していきたいという強い思いを私は持っている。

このためには、研究開発にとどまることなく、エネルギー安全保障、また産業競争力の強化、また核融合が我が国にとってどのような価値をもたらすのかといったことを分析して、またその実現に必要なアクションを官民の力を結集して進めていくということが必要。

とにか今、我が国にとって核融合戦略というものをしっかりと打ち立てていくということが大事だと思っているので、核融合の研究開発、そして核融合産業の創出、そして民間への社会実装といった幅広い視点についてお知恵をお借りしたく、どうかよろしく願いを申し上げます。

篠原座長挨拶：

本日は、高市大臣におかれましては、政務御多忙の中、御出席いただきまして、また御挨拶も賜りまして誠に感謝。委員の皆様方も御多忙の中、御出席いただきまして、誠に感謝。

今、大臣からもお話ございましたけれども、核融合についてはこれまでは研究開発といった形で取組が進められてきたが、そのITER計画の進展に加え、昨今、イギリスや中国は具体的な商業ベースの核融合炉の建設を国家戦略として打ち出している状況。すなわち、研究開発から実用化へフェーズが変わりつつあると考えている。

核融合実現の要となる技術に関しましては、日本には優れた技術がたくさんあると考えている。

しかしながら、その研究開発の段階ではいい技術を持っていても、商用化の段階で社会実装の過程でほかの国に後れを取るということがあってはならないと思っている。そのためにも、この有識者会議でしっかりと戦略を立てていくことが非常に重要ではないかと考えている。経済界においても、カーボンニュートラルを実現する鍵として、核融合というものに対する期待は非常に大きいものがある。政府がしっかりと道筋を示して、十分な投資を行うことで、より優れた企業や人材の循環が生まれてくるものと考えている。

本日は、幅広い御見識をお持ちの皆様方から忌憚のない御意見を頂きたいと考えているので、どうかよろしく願い申し上げます。

(1) 有識者会議「核融合戦略」の設置について

資料1に基づき、核融合戦略有識者会議の設置について稲田参事官より説明。

(2) 核融合戦略に関わる取組について

資料2に基づき、核融合戦略の策定に向けた取組について、覺道審議官より説明。

核融合は未来のエネルギーとして非常に期待されており、カーボンニュートラルに資するとともに、固有の安全性と高レベル放射性廃棄物を発生しない大きなメリットがある。昨今のエネルギーをめぐる状況を踏まえ、クリーンエネルギーとしての重要性が更に高まっており、我が国を含めて、世界各国でカーボンニュートラルの目標達成を目指した動きが進んでいる。また、ロシアのウクライナ侵攻によるエネルギー安全保障の問題が非常に重要になってきている。核融合エネルギーの実現により、地球環境問題の解決に資する新しい基幹エネルギーを獲得すること、また、エネルギー自給など、将来のエネルギー安全保障に貢献をするということが重要。

これまでITER計画を中心とした国際協調の時代だったが、各国取組を実用化に向けて一斉に加速して、国際競争の時代に入ってきた。我が国としても核融合発電に必須な機器の研究開発を加速し、諸外国に対する技術的優位性を確保し、産業競争力の強化につなげる必要がある。アメリカは10年戦略を策定するということを今年の3月に宣言し、イギリスは昨年10月に2040年代に発電炉の建設を目指す、中国は更に早い段階の計画をしている。さらに、諸外国において民間投資が急速に拡大をしてきているため、我が国としても後れを取らないようにしないといけない。

発電実証の時期について、これまで2035年のITER計画における核融合運転開始の結果を踏まえて、日本としては発電実証を行う原型炉への移行の判断を行い、今世紀の中葉で実証を目指すとしてきた。しかし、国際的な動きも踏まえ、実証時期を早めていく検討が必要と考え、文科省の核融合科学技術委員会での技術的検討も踏まえ、有識者会議でも議論をしたい。

核融合開発を通じた産業創出への貢献については、我が国の中で培われた核融合に関わる様々な技術があり、例えば、特殊銅の合金メーカー(大和合金)では、我が国のITER調達で獲得した技術を基に、欧州の研究機関によるITER関係での調達契約を獲得しており、京都フュージョニアリングについては、イギリス政府主導の核融合開発プログラム「STEP」における核融合反応に必要なトリチウムのエンジニアリングに関するノウハウ提供なども受注している。

核融合に直接貢献する技術に加えて、関連技術がスピアウトをする形で産業に広がっている。例えば、超伝導技術による医療用MRIの開発や、超伝導コイルを高精度で製作する技術。また、超高電圧の絶縁技術、大電流の高速変調技術、これらは電力技術にも応用が期待される。さらに、リチウムやベリリウムの回収技術は、電気自動車のリチウム電池リサイクル技術や、レアメタルの回収にも応用が期待される。

一方で、人材面では課題があり、核融合分野で将来必要とされる人数に対して、研究に携わる人、特に博士課程の進学率が下がっている。ITERにおける日本の職員の方の割合も低い。

これらの現状、課題等を踏まえて、今後の有識者会議のスケジュールについて、年内に2回ぐらい開催して中間整理を行い、統合イノベーション戦略推進会議に報告する。その後、年明け以降に更に1回から2回程度議論を重ねて、来年の春頃に戦略として策定をし、統合イノベーション推進会議において決定する計画である。

議論のポイントとしては、開発戦略、産業育成戦略、推進体制が大きな論点である。開発戦略では、ITERから得られた我が国の技術を発電実証にどうつなげていくのか、小型炉や新世代の核融合などの独創的な新興技術について、どのような戦略で取り組んでいくのか、競争的資金の獲得など、が重要な要素である。産業育成戦略では、ITER等で培われた技術・人材の育成・確保、ベンチャーを含めた産業界の参画、スピナウト型の関連産業技術群の振興などで、スタートアップ振興策などと連携していくことが必要である。さらに、安全規制についても考え方の検討を進めていく必要がある。推進体制については、国民の理解増進、発電実証や産業育成の観点を踏まえた推進体制の構築、人材確保の取組などである。これらについて、有識者会議で議論していきたい。

(3) 核融合研究開発に関する現状について

資料3に基づき、核融合の研究開発の状況について、林審議官より説明。

文部科学省としては、核融合エネルギーの実用化に向けて、科学的実現性、科学的・技術的実現性、そして技術的実証・経済的実現性、実用段階と、段階ごとに研究開発を進めている。今現在は科学的・技術的実現性の段階であり、ITER計画への参加を通じて、実現性を確認した上で原型炉への移行判断を行う。

これらの研究開発は科学技術・学術審議会の核融合科学技術委員会の方針の下、定期的にチェック・アンド・レビューをしながら進めている。また、現在有望視されているトカマク型のほかにも、ヘリカル、レーザーなど大きなブレイクスルーをもたらす可能性のある炉型についても、学術研究として進めている。

最近の状況として、核融合は将来のエネルギーの安全保障にも資するクリーンエネルギーということで、主要国の方で取組を加速しており、ベンチャーの投資も拡大している。国際協調の時代から国際競争へ移ってきている。我が国としてもITER計画、BA活動を最大限活用し、核融合発電に必須のキーとなる重要技術、機器の研究開発、技術の確保、そして人材育成を加速して競争力の強化につなげる方針で取り組んでいる。

ITER計画については、国際協力により核融合実験炉の建設・運転を行い、核融合エネルギーの科学的・技術的実現性の確立を目指すプロジェクトであり、日、欧、米、露、中、韓、印の7極によりフランスのカダラッシュで建設が進められている。技術的な目標は、入力エネルギーの10倍以上の出力を得られる状態を長時間維持するということと、超伝導コイル、プラズマ加熱装置など核融合に必須の工学技術を実証していくことが目標である。2007年にITER機構が発足して、2020年にはトカマク建屋が完成し、2022年6月現在、全体の77%まで建設が進捗している。日本におけるITER機器の製作状況として、ファーストプラズマに向けて、各極で担当する機器の製作も着実に進んでいる。我が国もトロイダルコイルや加熱装置、ダイバータなど製作難易度の高い機器を多数担当するとともに、必要となる部品も他極に提供し、核融合の重要技術の確保を図っている。

核融合発電の原型炉に向けた研究開発として、ITER計画を進めるとともに、日欧協力で実施している幅広いアプローチ(BA活動)や、QST、核融合科学研究所、大学、産業界の参画による原型炉に向けた研究開発も進めている。

研究開発の進捗については、核融合科学技術委員会で令和4年1月に第1回のチェック・アンド・レビューを行い、順調に推移していると判断されている。一方で国際動向も踏まえ、今の目標である今世紀中ごろの実現よりも研究開発を加速する必要があると考えており、核融合発電の実現時期の前倒しが可能かどうか検討を開始したところ。

(4) 核融合を巡る技術・国際動向について

資料4に基づき、核融合を巡る技術動向について、池田量子エネルギー部門長より説明。

QSTは3部門からなる総合研究所であり、核融合は量子エネルギー部門が担い、ITER計画、BA活動を活用して地上の太陽、核融合の実現を目指している。具体的には、南フランスのITER、ITERの半分のサイズである茨城県那珂市のJT-60SA、青森県の六ヶ所研では原型炉に向けた設計やR&Dを実施し、国内に数十万キロの核融合発電を目指す。

核融合のイメージはガスコンロに近い燃焼である。外部から燃料として、重水素、三重水素を入れ、ガスコンロにマッチで火をつけるように、点火装置として強力なビーム及び電子レンジの大体1,000倍以上の強力なマイクロ加熱をして、中心部を1億度以上にすると、核融合反応が起きて中性子とヘリウムが発生する。発生したエネルギーはほとんど中性子が担い、中性子が周りの壁を熱くし、その熱を冷却水へ取り出して、タービンを回して発電する。燃料注入を止めれば直ちに核融合反応が止まる。ITERは正にこの核燃焼を実証しようとするもの。

核融合の実現に当たって大きな課題としては三つ。まずは炉心で核融合反応を実際に起こすということで、そのために1億度の状態をどうやって効率よく作るかが課題。二つ目は、発生エネルギーを取り出すことで、エネルギーはほとんど中性子が持っているため、壁に当たると壁が少しずつ傷んでいく。痛んだら交換するが、交換頻度が高いと経済的に存立しないため、鋼材の正確な寿命を測ることが大事。三つ目は燃料を生成するという点。燃料となる重水素は海水中にあるが、三重水素は天然に存在しない。核融合で発生した中性子を海中のリチウムに当てると三重水素はできるが、1個の中性子で1個の三重水素だと燃料が増えないため、ベリリウムで中性子を増やして、三重水素をたくさん作る。炉心の周りに設置するブランケットにベリリウムとリチウムを充填し、運転しながら三重水素を作る。

三つの課題について、例えば、高性能のプラズマの制御技術がうまくいくと、現在考えている炉心サイズを小型にできる。そこにむけてQSTの強みは、ITERの半分のサイズで1億度の状態を試験する装置を、那珂研で建設中であること。加熱装置については、ITERの加熱装置の主要部分は日本が担っており、プラズマの制御技術がうまくいくと、効率が上がり外部入力が減るので、将来の原型炉、核融合が非常に魅力的になる。

近年、世界で核融合発電の動きが非常に加速しており、QSTとしても核融合発電を早期に実現することが大事。そのためには、許認可に必要なデータなど、技術開発の年表を考慮しながら、まずは現在の技術ギャップと余り大きくない運転領域から原型炉の運転を開始し、運転しながら材料のデータを取るなど、技術開発を進めることによって段階的に運転領域を拡大するのがよい。

原型炉の早期実現をすることによって、必要な体制を早期に整備し、実際の物を作っていくと、国内の産業界が具体的に取り組むことになり、核融合における我が国の技術の優位性というのは引き続き確保できる。大事なのは技術伝承と人材の確保であり、併せて核融合の現状を社会に発信しながら、広く国民の皆さんに理解を得ながら進めていきたい。

現在、原型炉の設計は全日本体制で設計に取り組もうとしている。日本の原型炉の最終目標としては三つ掲げており、一つは、数十万キロワットを超える定常かつ安定した電気出力、二つ目は実用に供する稼働率、三つ目は燃料の自己充足性を満足すること。これらの目標について、ITERの技術、BAで得られた技術を活用しながら、産学で原型炉設計合同特別チームを設けている。ヘッドクォーターは六ヶ所研にあり、産業界、大学入れて140名のネットワークを組んで、専門ごとに原型炉を設計し、今は概念設計の基本設計を完了し、プラント全体像が見えてきた。熱出力は150万キロワットで、ITERの約3倍を想定し、タービンのところで60から70万キロワットの電力を出力。ただし、核融合炉は自分で電力を消費する分もあり、まだまだ改善の余地が必要。これから運転を開始するJT-60SA、そしてITERの最新データを設計にフィードバックを掛けることが鍵である。

核融合の産業の育成は非常に大事であり、核融合技術の産業展開が起爆剤となる。例えば、海水からリチウムを回収する技術が進み、日本が輸入している南米の塩湖からのリチウム製造に、この技術を使えば、製造単価が大幅に安くなるため、投資によるベンチャー起業を検討中。鉱石の低温製錬について、従来は鉱石を溶かすには大体2,000度ぐらいに上げる必要があったが、最近開発した技術では250度で鉱石が溶かせる。この技術は様々な鉱石に使えるようであり、関係メーカーと相談中。核融合は埋もれた技術があると思い、是非掘り起こして、産業展開し、より多くの産業界に核融合への参画を図りたい。

資料5に基づき、核融合を巡る国際動向について、小西京都フュージョンエアリング取締役より説明。

民間を中心とした核融合研究開発の動向について共有し、今後の議論のベースとすべく、客観的に、会社の立場としてお話したい。まず、民間の動向は毎月のように状況が変わる。国の研究計画ではこれまで何十年間も掛け、さらに先の10年、20年と計画し、第3段階としてITERを実施し、実験炉がうまくいったら第4段階で原型炉に進むプログラムを進めてきた。これに対して、民間の核融合はそもそも国境がないので、段階論を飛ばしていきなり商売にしようというもので、そもそも比較が難しい。ところが、国際状況により、公の計画とプライベートの計画を並べて見ないといけないという事態になっている。

これまでの民間の核融合では、世界中で核融合ベンチャーが多数作られ、もっと早く小さな核融合炉が実用化できると言って資金を集め、順調であるとの認識ができたのはこの数年。実際は20年ぐらい前からあるが、規模が小さくて目立たなかった。ところが、パリ協定に世界中の国がサインし、石油が今後燃やせないかもしれない、石油・石炭をベースにしていた資産が価値を失う可能性があることから、一斉に資金の流れが化石資源から新しい二酸化炭素を出さないエネルギーに動くようになった。これのメリットを受けたのが核融合産業。一斉に10億円、100億円という増資に成功したのが少し前までの話。

今起きていることとして、国際状況を見ると、昨年ぐらいからプライベートなベンチャービジネスだけの時代ではなくなっている。米英では、国の計画の中に民間を取り込んだ。本有識者会議で正しくその方向に進んでおり、周回遅れレベルだがまだ追い付けると思う。

もう一つ重要なことは、エネルギーについても、科学技術にしても、地政学上の問題というのが問

答無用で発生している。世界各国で協力する時代では無くなってきている。産業技術なので、とにかく取り込んで、自分の国の産業にしたもの勝ちという、そういう状態。これが今年状況。

今、実は起きていて、これから起こること、実は更にまた変わってきていることについて、先月、今月、ベンチャービジネスについて減ってはいないが集約化が始まっている。うまくいくところとうまくいかないところ、国とちゃんと組んでやっているところ、孤立無援のところ、国についても同じことがおき、核融合産業の取り合いや分類分けが始まっている。

今までのところ、官主導でやっている国は日本、ヨーロッパ、中国、それから韓国、他の国は原型炉を造ると言っていない。アメリカも実は原型炉を造ると言ったことがない。これに対して、アメリカとイギリスはプライベートがやっているの、それを後押しする形で核融合を実用化しようと言い出した。

そこから先として、アメリカの予算の推移は公的なDOEが付けている核融合予算の大体200万、300万ドルのレベルで、ここ20年、30年ぐらい推移。それに対して、ベンチャーがいきなり2,000億円とかを獲得したのがこのほんの2年ぐらい、これが二つのことを意味している。一つは、公的な予算というのは大体安定的で、いきなり増えるということはない。民間の資金というのは勝手に1桁、2桁増やすことができるというのが一つ。もう一つは、これで集まったお金で一斉に核融合装置を造って核融合装置マーケットを今形成している。

ITERの調達は、今、ITERがプロジェクトラインで75%以上いっているということは、ここから先は専ら据付けと運転にお金が使われて、装置を造ることにお金がいけない。買物はこの先、主に民間からで、それが核融合装置の設計製作に使われて、これが核融合マーケットであるということ。つまり、もう核融合マーケットというのは動いていて、その地図の塗り分けが始まっていて、これはあと10年たったら終わる。核融合エネルギーの原価というのは装置代。その装置をどこが造るかで核融合マーケットのシェアが決まる。その振り分けがここから10年、15年で決まるというのは、核融合発電が成功するかしないかにかかわらず起きてしまう。

アメリカとイギリスについてはちょっと色合いが違い、アメリカの場合には国家産業があり、国立研究所があるので、アメリカは国が中心となってパイロットプラントというのを造ると言って、国内の産業に実施させる。その際、国立研究所を事務局にして仕切りをして、産官協働のパブリックプライベートパートナーシップにて核融合炉を造らせる。成功例として具体的にSpaceXがあり、NASAではなくSpaceXに実施させ、あるいはブルーオリジンもあるため、民間会社にやらせて、できたもののフライトを買えば月にだって行ける。これがアメリカパターンの産官学協働。

イギリスはブレグジットしたので、国内の産業で核融合炉を造るというのは無理。ところが、ジョンソン首相はイギリス単独で2040年、商業炉を稼働するとした。その結果、UKAEAが、国際公募でいろんな国の産業に設計も製作も発注し、そのセンターとして機能する、これがイギリスのビジネスモデル。一部日本の核融合ベンチャーも受注。

欧州はITERからDEMOという日本と全く同じ戦略を取っているが、風向きが変わってきた。核融合産業というのは確かにでき始めたが、ITER調達が一段落して、陰りが出てきた。欧州はいろんな国の集まりなので、どの国も単独では核融合炉を造ることができない。そこで、特に中くらいの国が非常な危機感を示している。産油国と非産油国に分かれるように、核融合のある国とない国にこれから分かれることを不安に思っている。核融合産業のない国は次世代のエネルギー市場で輸入国になるしかないという危機感を、あらわにしている。

我が国の核融合に足りないものは何かといったときに、科学技術は立派なものがある。もうやるんだと決めた人だけが集まって核融合をやるために、設置主体、建設主体になる主体が依然としてないので、原型炉を造るといっても誰が造るのか、発注者も受注者もないというのがこの国の実態。資金、人員と知識などを集める必要があり、組織力が大事。次に、産業技術。全てが科学技術ではなくて社会技術と思っているが、これが足りないように見える。

今起きている変化は、1990年代から既にベンチャーというのはあって、増えてきて、今、一段落して、これから減り始める。大きくなるどころ、寡占化が進んで、そこが核融合の実用化・産業化に成功する一方では、その周辺でしっかり自分の場所を確保する企業もあれば、それをやっている国もあると同時に、失敗したところはどんどん減っていくことが、これから起きる。既に新しいフェーズに入っている。

核融合市場は依然として大きくなるが、その主体になるのは小さなベンチャーではない。ベンチャーについては、シードとしてはうまくいくが、そこから先、顧客を確保して、商流を確定し、サプライチェーンを確保し、資金の流れを確保する必要があるが、その段階で失敗するベンチャーがこの次の段階へいかないで消える。核融合も既にその段階に入っている。

核融合ベンチャーの存在を認識したら、次にその役割とその運命はもっとうんと早い時定数で変わることを、今てこ入れをすれば日本は勝ち組になれるし、エネルギー戦略的に、セキュリティ的に、科学技術セキュリティに、ITERで蓄えた価値をキープできることを認識してほしい。同時に、ここで何かやらなければ自動的に落ちこぼれるという状況にあるのが今の国際的な状況である。ものづくりでは技術があっても、結果試合に負けるということがくれぐれもないように、一部、今までのベンチャーが主に活躍しているIT産業、バイオ産業でもあったが、その二の轍を踏まないようにしたい。

(5) 意見交換

各委員から資料を基に意見交換を実施。

○栗原委員(資料6-1):

経済同友会でも、核融合発電については、脱炭素の実現、それから持続可能な国産エネルギーの確保、そして広く産業のイノベーションにつながるものとして大きな期待がある。これまで核融合については夢の技術、ムーンショット技術という発想だったが、同友会でもフランスのITERの視察等も行い、夢の技術というフェーズから、次の実証フェーズにいかなければいけないという認識。

産業的に見た場合でも、核融合の原型炉、発電の実証炉として、英国、米国、それから中国でも、2030年代、40年代にその建設・運転を目指すという戦略を打ち出しており、原型炉開発の国際競争が激化している。産業界も国も連携して、総力戦で進めていかなければいけないとの認識。

核融合発電にフォーカスすると、一つ目に、2050年のカーボンニュートラルへの寄与はほとんどないが、その後の安定的なグリーンエネルギー、クリーンエネルギーである点、二つ目に経済安全保障上重要な国産エネルギーであるという点、三つ目に、国際貢献できる分野である点で意義がある。この核融合発電というエネルギー開発としての意義を確認し、位置付けを明確にして、社会実装をどう戦略的に進めるかということ、今回の核融合戦略の中で描いていきたい。核融合技術のR&Dというステージから、発電炉としての次のステージに向かう戦略と考える。また、エネルギーだけではなく、その他の幅広い分野に応用可能である点も産業界からは期待している。

その開発の推進に当たっては、基礎研究を幅広くやるということも重要だし、その一方で開発・実

証段階では、他の戦略、例えば量子戦略や宇宙戦略などと、この核融合戦略との整合性を持ちながら、日本が勝てる分野の具体的な戦略を描いて、重点的に取り組んでいくことも必要。そして、国と産業界の協働、成果を産業界へ還元していく仕組みを作る必要がある。

核融合発電としての社会実装に向けて、一つ目は、長期及び巨大なエネルギー開発プロジェクトなので、コミットするためにはより明確な意思表示と合意形成が必要である。2つ目に、発電プロジェクトとして明確なビジョンが必要。そのためには、将来のエネルギービジョンの中で、エネルギーとしての優位性や競争力を考慮して、この核融合発電がどう位置付けられていくのかを描く必要がある。誰が取り組んでいくべきなのかも重要。3つ目に原型炉の実現時期も大きい問題。実現時期とそれに向けたロードマップ、それから規制ルールの基本的な考え方、こういったところも描いていく必要がある。

時期を前倒しするためには、2050年であれば実現できるものを、単に5年早める、10年早めるという世界ではなくて、早まる代わりにスペックが変わり、そのスペックで時期を早めることが有効なのかどうかということを考える必要がある。

何よりも発電炉として、発電全体のシステムと産業サプライチェーンを明確に描いていく必要がある。炉だけではなくて、どういう発電システムになっていくのか、機器はどのようなのか、燃料、トリチウムの調達・生成はどのようなのか、それからバックエンドについてはこの核融合ではどう考えるのか、それから立地、既存の発電システムや系統等との関係。それからベンチャー企業の裾野の拡大。こうした中で開発体制とか実施組織の在り方についての基本的な考え方を議論する必要がある。

開発費の想定と負担の在り方について、戦略に基づいた開発費を国を挙げて投入できるかということが大変重要。そこが難しいと、海外で先に商用化された物を買うしかないという状況になり兼ねない。ここをいかに思い切ることができるかということが勝負。

人材育成・確保も大変重要で、大学、研究機関、企業が連携する必要がある。これから考えられるだろう開発体制の中に、企業から人を派遣することも有効。ITERについても、日本からは民間企業からの参画が極めて少ないという現実があり、こういうところに対して民間企業がもっと積極的に出ていかなければ人材は育成できない。そのためには、産業の予見性を高めるということが必要。それから今後、国際貢献、インフラ輸出を考えたときに、海外人材の受入れも考えていかなければいけない。

これらの各論点を横断的に見て、官民連携の在り方を統合的に議論することが重要。具体的な戦略・戦術が書けるものと、そこまではいかないが、基本的な考え方が示せるものがある。こうした全体像が明らかになっていくことが、産業界がより積極的に参画していくためにも必要。

○池田委員(資料6-2):

ITERの本体の組立てが始まり、世界の核融合研究開発が次に向けて、原型炉に向けて非常に加速しているというのを強く感じる。先月開催されたSOFTという世界最大の核融合の国際技術会合での発表を見ると、ITERの次の原型炉の発表がものすごく増えている。特に中国。今まで中国はそれほど技術がないと思っていたが、自分たちの工学技術を創るためにCRAFTという組織をもう既に2019年に立ち上げ、その技術を基にITERと並行してBESTという装置を造る。これはJT-60SAと同じような規模。

それと並行して、更にITERの核燃焼が始まる頃にはCFETRという中国の原型炉を造る。既にこ

こには850人以上のスタッフも集めている。正に核融合は、ITERの次に向けて国際競争が本当に始まっている。

QSTとしては、これまでJT-60で世界最高温度達成、ITERでは主要部分の調達を行うとともに、それから日欧のBA活動で原型炉の主要な要素技術を詰めてきた。世界の動きを考えると、国家戦略として原型炉を進め、産業界も含む多くの方に参加して頂き、引き続き日本が核融合で世界をリードしていきたい。そのために、核融合発電の実証時期を明確にして、技術開発の戦略、体制を議論することが大事。

核融合産業の育成という点では、産業界が核融合に参加するためには、メリットを明確に示しておくことが大事。また核融合人材育成は最大の課題。今後の原型炉に向けた推進体制の議論を踏まえて、どんな分野、どんな方に参画して頂き、育成・確保するかというのを、次の世代にちゃんと明確に示すことが大事。

○尾崎委員(資料6-3):

論点として、経営の三要素であるモノ、カネ、ヒトの順番で意見を申し上げる。

まず、モノについて。原型炉設計の現状ロードマップによると2040年頃に原型炉が日本に誕生する。産業界から見ると、これから約18年間国内に核融合の実証の場がないことを意味し、企業にとって投資モメンタムを強くするのは難しい。一方、アメリカやイギリスは恐らく2030年ぐらいに日本の原型炉よりはロースペックだが、技術実証の場である「デモ炉」が出来上がってくる。したがって、日本で核融合ベンチャーが立ち上がっても、イギリスやアメリカに行って技術実証しなければならないのが現状である。これは国際競争上、エネルギー安全保障上非常に問題である。

原型炉よりロースペックのデモ炉では不十分という意見があるかもしれない。原型炉の計画では数十万キロワットという原発の数分の1規模の発電能力を持った施設を作ることが想定されており、予算規模も大きくならざるを得ない。例えばアメリカやイギリスのような数万キロワットのロースペックのデモ炉でもプラズマの安定度、持続性、燃料の供給方法とか、いろんなことが確認できるため、デモ炉を作る意義は大きい。今、計画している実証炉に近いハイスペックの原型炉を2040年にいきなり作るよりも、ロースペックなデモ炉を近年中に作り、原型炉、商業炉に続けていく段階的な開発を検討するべきである。官設民営型含めて日本に合った方法を議論されたい。

2点目のカネについて。まだ大企業が核融合に対して単独で大きな投資をできる状況でないの、ベンチャーへのリスク性資金の供給が必要である。産業革新投資機構を使って核融合に投資するサブファンドや、その他新しい投資の枠組みを国で作って、民間の投資資金を呼び込むことも検討に値する。

3番目のヒトについて。人に関しては、これまで文科省、QST、私が協力して、大企業20社ほどに聞き取り調査を行った。一般的な反応は、核融合へ関心はあるが、自社がどのように関与すればよいかがよく分からない、展望がないというものだった。ところが、QSTが行なっている核融合研究テーマを聞くと、自分たちの技術を使って関与できる余地が大きいという反応が数多く得られる。こういった認識を産業界に広く持ってもらうことが大事である。

核融合は様々な技術のインテグレーションなので、例えばエネルギー、素材、エンジニアリング、情報処理など機能や目的ごとにグループを作って、企業、QST、大学などの人材が集まり、知見を共有する場を作ることが効果的だ。そこから着想されたプロジェクトに国がお金を付ければ、産業界

から知見が集まるし、この過程を通じて核融合の事業化に長けた人材が生まれるので、懸案である人材育成の課題も解決できる。

○柏木委員(資料6-4):

ITERとJT-60SAのプロジェクト業務をやっているので、その経験から核融合戦略の論点に基づいて、特に人材確保と産業界との連携につきまして意見を述べる。

人材育成と人材勧誘について、核融合の魅力の一つとして、国際場での活躍が普通にあるというのが若手から受けがよいが、一方で身分の安定がないと離れてしまうという問題があり、核融合全体の組織作りの中で、どのぐらい雇用が安定しているかというのを見極めていくのが大事。また、国外の若手研究者からは、共同研究だけじゃなくて、任期制ポストの問合せがあり、原型炉に向けた人材確保の手段の一つ。ITERやJT-60SAでは、調達業務が増加する一方で、組織としてはポストが増えるわけではないので、人的資源が不足しているという実情。補助金でJT60SA-ITER-原型炉の人を雇うということができるが、予算の縛りがあり、全体としては原型炉へのキャリアパスに矛盾。原型炉に向けた人的資源確保のために、既存の仕組みの見直しが重要。

産学官の連携については、施設共用化はよい。企業にとって大型プロジェクトの施設を利用できるという観点以外に、プロジェクト側から見ると、産業応用向けの技術を展開する余力がないので、双方の得意を生かして発展的な協力ができると、核融合業界としては更に魅力的なものになる。大中小メーカーといろいろな協議している経験から、核融合参入に興味を持っているメーカーは少なくないと実感。ただ新規開発はリスクが高いので、メーカーのシーズから核融合のニーズの接点を見いだした進め方を模索する例が多い。振興方策などの入り口が明確になると更に参入への敷居は下げられると期待。原型炉に向けては、核融合波及効果に加え、最新かつよりよい技術を核融合に取り込むと、競争力アップ、コスト削減につながり、人材発掘の機会としても期待。

安全規制については、ITER調達の経験からは、規制は技術と費用に大きく関わる。諸外国の動向は2027年ぐらいに規制を固めるという動きがあるが、早急に整備すると全体の形が見やすくなる。

推進体制については、ITER調達では企業からの出向者や引退した技術者が参加。厳しい工程管理と規制に対応しているITER調達では、事業や商用炉を経験された技術者や管理の方の経験が非常に重要。核融合商用炉の展開を具体化する上では、適材適所の観点で、産業界からの人の配置を検討すべき。

人材確保については、実施体制の形が見えないと計画ができないので、議論したい。国内では産学官連携の推進があるが、少子化の昨今、それだけでは人材不足。将来のマーケットも考えると、欧州やアジアの近隣の諸国からの人材取り込み方も検討が重要。

○小西委員:

我が国の核融合技術は売れる。我が国が自分で核融合炉を造ってもいいが、外国の核融合炉に対しても積極的に売っていい。特にプライベートの会社については技術基盤が結構脆弱なところもある。そもそも我が国の新規電力需要は大きくないので、発電するよりも外国で発電した方がよく、最終的なマーケットはずっと大きい。是非国際市場を視野に入れたい。そこで考えなければいけないのは、我が国の技術安全保障。技術を持っていかれないように、我が国でサプライチェーンを押さえるのが重要。

核融合炉はサプライチェーンが複雑で入り組んでおり、細くて広い。物量を実は使わない。たった2万トン。ところが、個々の部品はみんな数キログラムだが、高いものでできている。我が国の真骨頂はそこにある。これは外国に売れる技術であると同時に、これをつかまないとキーコンポーネントが造れないということになりかねない。太陽光パネルは資源によるが、核融合装置というのは資源の量ではなくて技による。資源が少ないが技のある国はそういう産業を育てなければいけない。弊社では、他国も余りやっていないところを集中的に押さえるプラント実証試験を考えており、是非そういうところをこの先の議論で御覧に入れたい。

○近藤委員(資料6-5):

第三者として、主に事業戦略の観点から意見したい。

昨今、世界的に起きている核融合の動きは、地殻変動と捉えている。これに対して日本に求められる戦略について、その基点となる今考えるべきポイントを時間軸で整理した。

まず、過去の振り返りの実施。長年日本が注力してきたITERを含めた核融合の研究には、進展の成果もあり、その過程でうまくいかなかったこと、挑戦や克服と課題がある。これらについて、次の将来の核融合に関わる方の重要な手掛かりとして振り返ることが重要。

将来の絵姿を描くこと。核融合によって将来どのような社会になるのか、日本における核融合の活用の仕方が重要。日本の核融合戦略が社会的価値を生み出していけるよう、目指す活用の姿という土台を創ることを提案。活用の姿を実現していくための必要な機能や、サプライチェーン、その担い手を明らかにしていくことが必要。

喫緊の課題として、現時点で整理が必要と思われる点は4点。まず、事業領域の考え方。開発サイクルが長い炉本体の開発と、開発サイクルが短い周辺機器の開発は、どちらかに考え方を寄せるということではなく、その特徴を踏まえ、戦略立案する必要がある。二つ目に、核融合戦略が扱う研究の定義について。学術研究と商用・産業化の研究では、文化も違い、物事の進め方も異なる。本戦略の対象においてどう定義するか。3点目が、イノベーションに関する国とベンチャーとの役割分担について。国際開発において、国は協調・連携することはできるが、ベンチャーは国の制御下にはないので、どう位置付けていくのかの整理が必要。4点目はルールメイキング。知的財産の考慮とスタートアップしやすいルール作りは、先行事例を参考にして、待たなしで始める必要がある。

戦略の方針について。意思決定を含めた戦略のマネジメントについて、核融合の各国主要関係者の動きは既に活発化しており、状況は刻々と変化している。日本の立ち位置、各実施主体を確認して、必要な判断、意思決定を行う戦略の機動的、いわゆるアジャイルな更新体制が必要。今回の戦略がイノベーション戦略である以上、フィードバックサイクルを短くする必要がある。

産業創出や社会貢献に関すること。核融合は研究開発に要する資金が大きく、期間も相応に長いことから、その間に研究開発から生み出された成果を他産業・他分野へ展開することが期待される。これを期待されるだけでなく、自ら稼ぎ、実用化の前から世の中に役立つという社会的ニーズに求められる一つの側面。

安全規制について。核融合の推進上、安全性の確保、セキュリティの備えは欠かせない。どういう規制を掛けていくかという各論の前に、何のための規制であり、どう設計、運用していくのかという方針作りが先決。合理的な意思決定ができる規制にしていく必要がある。

核融合の社会との関わりについて。核融合は、エネルギーセキュリティへの長期対策になり得る方法と期待されているが、認知はまだ低い状況。このままでは、核融合戦略が政府と関係者による独り歩きの検討と捉えかねないことを懸念する。日本には、核分裂のエネルギーの研究開発・実装からの教訓がある筈。社会ニーズを取り込んで社会との対話を実践しながら開発を進めていくことを期待。

○富岡委員：

我が国のエネルギー基本計画にも、将来に向けた原子力利用の安全性、信頼性、効率性を抜本的に高めるための新技術の開発、人材育成を進めると記載されており、核融合についてもITER計画などの国際連携を通じて、研究開発を着実に推進するということが求められている。また、経済産業省傘下の審議会である原子力小委員会の下に設置された革新炉ワーキンググループにおいても、核融合について原型炉の建設・運転に向けた技術ロードマップが策定されたと承知。

電気事業者にとっても、2050年カーボンニュートラル実現や将来にわたる電力の安定供給を確保のため、原子力に係る産業基盤の維持が不可欠だと考えており、技術力、人材、サプライチェーンを国内で確実に確保していくという観点からも、核融合を含めて原子力に関する研究開発は幅広くやっていくべきと考える。

核融合については、現在、プラズマの長時間維持とか、高温プラズマに耐え得る材料の開発など、ITER建設を通して炉工学の技術を発展させることを含めて、科学的・技術的実現性の確立に向けて、まずはしっかりと研究開発を着実に進めていく段階と承知。実用化に向けては、さらなる技術的実証とか、経済性を含めた多くの課題があるため、これらを解決していく必要がある。

実現に向けて戦略的に時間軸をよく意識してプランを立てていくということが重要。国の主導の下、産官学が効率的に連携して取り組んでいくことも必要と考え、事業者としてもしっかり協力したい。

○吉田委員(資料6-6)：

学術界には多様な意見があるが、ここではそれらを列挙するのではなく、これからの研究開発の中で、学術研究はどのような役割を担うべきか、ということについて意見を述べたい。誰が最初に発電プラントを造るのかということに注目が集まっているが、プラントを支えている基幹技術をどれだけ多く押さえているのかが、将来的には戦略的に重要。核融合産業は非常に幅広い科学技術を束ねたものであるから、その産業構造の在り方について戦略的なビジョンが必要だということが、正にこの会議の重要な主題。

その中で、特に付加価値、すなわち利潤率の高いセクターについて、我が国が国際的な競争力を持つということが肝要であって、そのことなくしてはイノベーションの好循環のサイクルができない。この問題は人材育成確保の問題の一環として検討すべき課題。

その人材育成・確保の問題については、核融合科学を学際化することが喫緊の課題。核融合を特殊な技術ではなく学際化して、一般性の下で開発をしていき、頭脳循環を促進する体制を構築することが非常に重要。様々な技術の広い分野の専門家が交流する、一般化された科学技術の結節点として核融合を位置付けるべき。核融合科学を科学技術として一般化し、その形を具体的に示して人材育成・人流を起こす。このことは、核融合研がリーダーシップを取るべき課題と認識。

人材の育成・確保のためには、産業の具体化が必要。順序として、まず産業が具体的にないと、

かつその産業が付加価値が高い基幹技術でないと、人材育成はできない。大学で人材を確保・教育していく上でもそこが大事。核融合というものを極めて特殊な技術と特徴づけながら人材を抱え込んで教育するのではなく、一般性を確立して人流・頭脳循環を起こす中で競争的にやっていくことが必要。そのためには、産学官連携を構築して、そこに戦略性を持っていくことが課題。

核融合技術はまだ多くの未解決問題、未解決の課題がある。それが可能なのか否か、本当なのか嘘なのか、最適なものなのか否か、安全か否かということについて、合理的な判断ができる基準、リファレンスが必要。ITERプロジェクトの最大の意義は、ここに世界の専門家がワンチームを作って核融合の真実に関するリファレンスになっていることである。国際的な専門家が集まる場なので、フィクションとかフェイクは通らない。今後ナショナルなプロジェクトになってくると、それぞれの国の学術の真価が問われる。学术界が真実に基づいていかにきちんとしたリファレンスになれるのか、このことに学术界が責任を果たす必要がある。

○篠原座長：

委員の話伺い、ベンチャーとの連携の重要性、デモ炉みたいなものを含めていわゆるマイルストーンの設定、ファンドをどうやって作っていくのか、人材育成を含めてコンソーシアム形成をどうするか、国内の問題としてだけ考えるのではなくて海外マーケットも視野に入れること、サプライチェーンをしっかりとっていくということ、国民の認知度の向上、が大事と認識。

いわゆる核融合というものが何なのかということが、まだまだ世の中には伝わっていない。この場で議論するような、いわゆる原型炉とか、発電時期をどうするかというふうな、技術的・産業的なアプローチに加えて、いわゆる国民との対話をどうやって正しく進めていくということも大事な課題。

(6) その他

本日の意見を踏まえて、事務局において論点や取り組んでいく施策について整理し、次回の会議で議論を進める。

以上