

第2回 フュージョンエネルギーワーキンググループ (議事要旨)

日時 : 令和8年3月30日(月) 15:00~17:00

場所 : 中央合同庁舎4号館1階共用108会議室(オンライン会議併用)

出席者 : 別紙参照

【開会挨拶】

○若山座長代理

- 3月10日に開催された第3回日本成長戦略会議では、高市総理から各分野において日本が取り得る勝ち筋を見だし、多角的な観点から総合支援策を明らかにし、これによって引き出される国内投資の内容、規模、そして、時期などを明らかにするように指示された。
- フュージョンエネルギーは我が国が強みを持つ分野である。これまでの研究開発で培った世界トップレベルの技術力を生かして、日本が世界に先駆けて確立することでエネルギー安全保障の強化や海外市場の獲得を目指したい。
- 本日のワーキンググループでは、第1回での議論を踏まえ、官民投資ロードマップの内容についてより具体的かつ踏み込んだ検討をお願いする。
- 本日の議論が成長戦略の具体化に向けた重要な前進となることを期待し、皆様には活発な御議論をお願いする。

【議事】

(1) フュージョンエネルギーの産業としてのインパクトとその展望について

<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長 武田准教授から資料1に基づき説明。>

○慶應義塾大学 武田准教授

- インダストリーの観点から、民間投資いわゆるエクイティ投資が一つ重要な指標であり、フュージョンエネルギーは、現在、全世界のエクイティ投資が2兆円を突破する。
- さらに、成熟度を示す指標の一つである上場企業についても、米国ではすでに2社が誕生の見込みである。
- 一方、累計の投資額を見ると、米国が1.2兆円、中国が7,000億円であるのに対し、我が国は300億円未満で一桁少ない状況である。
- スライド4では、民間からの投資ではなく、中国がどのような公的資金で投資し

ているかをまとめている。中国全土においては、推定で合計 2 兆円前後と見込まれており、その規模の開発が行われている。詳しくは写真の上にオーバーレイで示した。さらに、今年度からは先端科学技術分野として新たにフュージョンエネルギーが指定されるなど、中国においては公的投資においても大きく加速している状況である。

- スライド 5 では、戦略的な重要性を 1 枚にまとめて示している。エネルギーの権益の獲得は、多くの経済波及効果をもたらし、地域を持続的な発展へと導いてきたことを歴史が証明している。
- 我が国の炭鉱の例を挙げると、鉱業セクターだけが潤ったのではなく、鉱夫の方々の住環境に加え、それを用いる製鉄や造船業など多様なセクターにわたって発展が及んだ。
- 現代に目を転じて、オイルマネーは決してオイルのみではなく、貿易、金融や観光に新たな経済を創生している。例えばドバイなど中東地域において成し遂げられている。
- フュージョンエネルギーは、このエネルギー権益を獲得することにほかならない。
- スライド 6 は、フュージョンエネルギーがいかにその権益の獲得に資するかをまとめた概念図で、フュージョンエネルギーがまちづくりや経済圏の創造そのものであることを示した。
- フュージョンエネルギーは発電して電気を出力した段階から繁栄が始まるのではなく、その運用前から企業・人・技術が集まり、独自の拠点形成が進む。それによってフュージョンエネルギー版のシリコンバレーとも称せるような街づくりが可能であることをこのスライドにまとめた。
- 発電実証が終わった後、発電プラントとして商用化が進むに当たっては、エネルギー関連機器及びフュージョンエネルギー関連機器の輸出拠点として、さらに言えば新たなエネルギーのターミナルとしての経済への波及が望まれる。
- 今後の経済波及効果に関しては、今世紀末までにおよそ 700 兆円の経済波及効果があり、GDP 押し上げ効果を持ち得るという試算を IAEA が発表している。
- どの程度のフュージョンエネルギーが、今世紀末までに市場に入るかについての研究では、私が確認したところ現在 86 シナリオあり、これらの単純平均値をグラフに示した。
- 単純平均値から、今後 2100 年時点におけるフュージョンエネルギーの発電割合は 22.6% であるが、幅はある。
- この 22.6% という計算に基づいて、現在の数千億円と考えられる実証市場に今後の電力単価を掛けると、2050 年には数十兆円規模の市場、そして、今世紀中には数百兆円の市場になることが計算でも確かめられ、IAEA の試算とも

合致する。

- スライド8の市場の規模の概念図については、先程示したグラフ並びに I A E A のグラフとも整合させており、今後、このフュージョンエネルギー市場は最終的には数百兆円市場になり得ることが試算された。
- 短期的には、フュージョンエネルギー関連の機器は現在の数千億円市場と試算され、今後5年程度で数兆円、さらにその後には数十兆円へと成長することが試算上で確認できる。
- 我が国の鉱物性の燃料輸入、すなわち石炭・石油を含めた燃料輸入の額は24.2兆円であり、一方で、我が国の自動車の輸出金額は2024年度では22.5兆円であり、この二つはおよそ拮抗していることが分かる。
- ここで申し上げる数百兆円の市場は、まさしく現在の自動車市場と同じグローバルな市場規模であり、もし新たな自動車産業としてこのような輸出産業に我が国のフュージョンエネルギー産業が誕生すれば、エネルギーに関連する機器の輸出額と燃料の輸入額が拮抗し得る。
- すなわち、エネルギー関連の輸出入収支の黒字化が達成し得ることが考えられる。
- こうした観点から、2050年のエネルギー黒字国への転換を目指して①番の目標をつけた。
- スライド9は、我が国として考え得る勝ち筋についての模式図である。
- 我が国は過去、トカマクのJT-60、ヘリカルのLHDを含めて様々なフュージョン炉の建設に必要な技術、産業基盤を我が国単独で備えており、このような国は、世界を見渡してもほかに同様の例は数少ない。
- 極言すれば、この図は、我が国でしかなし得ないような自国のみでの複雑なサプライチェーンを賄え得るという産業構造が現在存在していることを示している。
- ここでは①番から⑨番まで、バリューチェーン、サプライチェーンの上流から番号を振っている。国研をはじめとして、メーカー、スタートアップ、そして、ゼネコンまで様々なプレイヤーが関わり、そして、現在もJ-Fusionをはじめとした産業界が関わっていることが我が国の強みであり、さらに申し上げれば勝ち筋となり得ると考えている。
- その上でスライド10では、どの領域に投資を行っていくべきかという官民投資の具体像について、発電実証の観点から我々の考えをまとめた。
- ここでは横軸に様々な要素技術、縦軸は上に行けば行くほど発電実証に近い技術成熟度を示している。
- この中で中国の実機の現在のレベルを濃い赤で、計画の見通しを薄い赤で示している。また、日本の実機の現状のレベルも線で示している。
- ご覧のとおり、我が国の実機レベルは、全ての技術領域において中国の実機レベ

ルを上回っている。

- 中国は様々な計画並びに建設を進めているので、こうした領域においては我が国の実機レベルをいずれ上回るような装置を持ち得ることを示している。
- 点線で示している領域、この白い領域は中国でもまだ実機での計画、建設が進んでいない空白地帯である。
- 特にこうした領域は、発電実証における官民投資で、一気に技術レベルを引き上げていくことが我が国の戦略上考え得る。これをスライド10と11の2枚で示した。
- スライド11は、発電実証の官民投資の領域として特に空白の部分、また、NB1、高温超伝導、ダイバータなど我が国が強い部分について、官民投資、官民連携によって技術レベルを引き上げていくべきであることを概念図として示した。
- ここから定量的なインパクトの推定に入る。定量的なインパクトを算出するに当たり、コストのリファレンスモデルが必要となる。
- 現在、我が国では様々なチームが発電実証に用いられる装置のコストを推定しており、例えば、先日、量子科学技術研究開発機構（QST）がQ-DEMOで2兆円のコストを試算した。
- また、スタートアップは1兆円内外での推定をしている。
- 今回の推定では、コストデータの詳細が第三者にも公開された。少し古い設計ではあるが、このCRESTの設計を用いた試算を示す。
- これはITERよりも大規模な発電炉であり、このモデルに従うと、必要たる調達コスト、建設コスト、20年間の運転コストを総計すると3兆8,000億円になる。重ねて申し上げるが、現在のQ-DEMOでは2兆円、スタートアップでは1兆円内外が用いられている。
- このような発電実証を我が国において官民投資によって行った場合の経済効果の試算を次のスライド13に円グラフとして示している。
- スライド13では、こうした発電実証における経済波及効果は全世界で9兆5,000億円、創出付加価値は4兆3,000億円という試算であった。
- この場合、我が国の国内におけるGDP押し上げ効果は延べ0.6%である。また、20年間の建設並びに運転を用いた国内での雇用の創出は延べ人数で46万人と推算された。
- スライド14では、それがどのような領域に生じるかを試算した。
- これはトカマクを模式図で用いているが、我々はヘリカルについても試算を行った。その結果、この経済波及効果の波及倍率は概ね変わってこないことを確認している。
- トカマク並びにヘリカルと呼ばれる磁気閉じ込めにおいては、コイルが特に大きな経済効果を有している。

- 取替えが発生するブランケット、ダイバータなどの工学上必要なパーツは大きな経済効果を占め、運転維持費の9,000億円やタービンの6,000億円も経済効果を有している。
- このサプライチェーンを我が国で確保できることがフュージョンエネルギーの官民投資の強みになる。
- スライド15は、フュージョンエネルギー発電、太陽光発電、そしてLNG発電に対する投資をそれぞれ水平に比較している。
- 右のグラフは、一番左がフュージョンエネルギー、中が太陽光発電、右がLNGであり、そのうち水色の部分が我が国の国内において生じる経済効果である。
- フュージョンエネルギーは発電実証に対する官民投資1に対して、GDP押し上げ効果は1.01倍、経済波及効果は2.05倍が生じる。
- 同じ投資を太陽光発電に対して行った場合、GDP押し上げ効果は0.4倍にとどまり、60%の国富が国外に流出していると換言できる。
- LNGは、GDP押し上げ効果は2割にとどまり、8割が国富の流出につながる。
- 今回比較をした3電源への投資において、フュージョンエネルギーが唯一国内において1倍を超えるようなGDP押し上げ効果を有している。
- 全世界でも、創出付加価値、GDP押し上げ効果はフュージョンエネルギーが最も高く、フュージョンエネルギーは他のエネルギーへの投資と異なり、国富の流出を起こさない、我が国の産業を振興し、GDPを押し上げる。
- スライド16は、IEAの手法論にのっとして我々が試算した。今後15年間で46万人がどの産業セクターで発生していくか推算である。
- フュージョンエネルギーの投資当たりの雇用効果は、太陽光の2.3倍、LNG発電の3.5倍であり、雇用面からも大変高い効果、乗数を有している。
- スライド17からは、定量的なインパクトのまとめに入る。
- これは内閣府の資料で、フュージョンエネルギーは大変広範な分野にこの波及効果が生じる。
- フュージョンエネルギー関連の機器、直接的な雇用の創出はもちろん、スピナウトによる医療分野への応用やレアメタル回収など、他業種への波及効果も生まれており、フュージョンエネルギー関連の機器が幅広く活用されている。
- このようにフュージョンエネルギー本体の商用化である電力の発電、つまり売電を待たずにスピナウト型の産業が展開され、幅広い範囲において輸出産業として新産業が創出されることも官民投資に付随するような関連投資誘発である。
- スライド18からは、現在の課題と政策手段について簡単に概観を申し上げる。
- 第1点の課題として、人材の不足が挙げられる。
- 先ほど推算をしたとおり、フュージョンエネルギーは原子力発電と同様の雇用立ち上がり効果を持つが、原子力発電と大きく異なるのは、特に初期において専門

人材の雇用がよりシャープに立ち上がる点である。

- 建設業において多様な人材が必要となることと同様に、フュージョンエネルギーにおいては専門・科学技術サービス分野の高度人材が3年目におよそ5,000人必要となり、累計で延べ4万人が必要となる。現在、この業界にこの人材は存在しないため、人材育成の課題が第1に挙げられる。
- スライド19では、フュージョンエネルギーのみならず国内のSTEM人材が幅広い分野において不足していること、さらに、建設業においても熟練労働者が右肩下がりに減少していることを示している。
- このような現状から、フュージョンエネルギーの幅広い教育、さらにはリスクリテラシー教育、建設業も含めた周辺人材の育成が速やかに必要である。
- スライド20は、全て我が国が国内にフュージョンエネルギーのサプライチェーンをしっかりと保有した場合の定量試算を示す。
- 発電実証にスピード感を持って取り組み、我が国が輸出産業において一定の割合を占めた場合には力強い国内への雇用の創出が生まれるが、もし我が国がサプライチェーン競争にスピード感も含めて劣後した場合は、ITERと同様に全世界において分担した製造が見込まれ、我が国の受益の割合は約8割から約5割以下まで低下する。この場合は、先ほど説明した1倍以上の波及効果、乗数の全て的前提が崩れてしまう。
- これは言わば他国の下請けになると申し上げてもしよいような状況である。
- 我が国が諸外国のライバルになるためには、しっかりとサプライチェーンを早期発電実証によって獲得していく必要がある。
- スライド21に、まとめも含めた政策パッケージについても付記している。
- 現在、中国も含めた競争領域として空白であるのは周辺領域も含めた領域である。
- 多様な技術の早期の集約、国内技術確保のための発電実証に対する力強い官民投資を通じて、キー技術を波及・活用し、研究分野から産業化へ、そして、国内技術TRLを着実に高めていく総合的な取組により、我が国がフュージョンエネルギーをサイエンスからテクノロジー、インダストリーへと進化させる。
- このようにフュージョンエネルギーを輸出産業化していくことこそが我が国の国益を享受する道であると考える。

【意見交換】

○柏木構成員

- スライド12の3兆8,000億円の算出は、スライド13にどのように反映されているか。
- この経済波及効果や創出付加価値は建設以外では、どこから生まれてくるのか。

○武田准教授

- 経済波及効果は、サプライチェーンを上流に遡った先であり、それらが創出する新たな生産活動全てを積算したものである。
- 例えば構造材は、鉄を産出するためには製鉄所や鉄鉱石が必要であり、必要なサプライチェーンは様々なルートで上流に上る。それらを全て足したものが左の経済波及効果となる。
- 経済波及効果は通常、元の投資よりも大きな倍率になる。ここではそれが総計では2倍～3倍という数字になっている。
- このような材料一つを取って見ても、それを生産するためには様々な産業が全世界で発生する。そのうち、我が国の国内において発生する分が7兆8,000億円であることを左の図で示した。
- 右の創出付加価値は、その中でも特に企業の利潤や労働者の賃金のみを足し上げたもので、一般にGDPと呼ばれる場合には、この創出付加価値額が参照される。
- したがって、単純に我が国の企業の利益や労働者の賃金から、1倍を超えるような効果があることを右の図に示した。

(2) 産業協議会 (J-Fusion) からのインプット

<フュージョンエネルギー産業協議会 (小西会長、北島副会長) から資料2-1に基づき説明。>

○J-Fusion 小西会長

- J-Fusionには、フュージョンエネルギーに出資する出資元会社と出資を受けて事業を推進する事業会社の2種類がある。
- 私は事業会社であり、北島副会長は出資元会社である。
- 異なる立場の会社がJ-Fusionに集まり、この国のフュージョンエネルギー産業を盛り立てる内容を両方の立場からご説明させていただく。
- 産業協議会J-Fusionには様々な会社が参画している。フュージョンエネルギーは、出資者、出資者の資金を具体的な投資行動へと繋げ対象産業や投資規模を適切に差配する商社、出資を受けてフュージョンエネルギー産業を事業する私どもスタートアップ、機械や材料などをつくる様々なサプライチェーンの会社が集まっている。
- 1ページ右下、図のピラミッドに示している通り、トップに全体のシステムを統合するインテグレーター事業体が必要となる。
- それがなくともサプライチェーンとしては、素材や構成部品を提供することで、

それぞれの事業が商売として成り立つが、日本の半導体産業においては全てを統合した製品を必ずしもつくり出しているわけではなく、それが世界を席巻しているわけではない。この事実を考えれば、素材や構成部品の製造は重要産業だが、この国が技術で世界市場を勝ち取るためには、システムインテグレーターの立場が重要であり、かつフュージョンエネルギー技術体系、産業体系がこの国の産業や成り立ちから考えても、二つとない希少なチャンスであると考えている。

- 理由は単純で、1つは、ITERは官が主導であり、研究開発の学術的な基盤の確かさ、強さがあること。もう1つは、フュージョンをエネルギーとして捉えたときにそれを生み出す機械、ものをものづくりする産業基盤があること。
- フュージョンエネルギーにおける技術、知識、ものづくり産業の要素は、我が国が世界に対して大きな勝ち筋の可能性を持っている分野である。
- ただし、待っているだけで自動的に勝てる甘い話ではなく、民間主導の発電実証を考えても国が前面に出て支援することが不可欠であり、官民で一体となって産業創出に取り組まなければ、この勝ち筋を逸するおそれがあることを指摘させていただきたい。
- 2ページ、官民投資の考え方については、内閣府の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において詳細な議論がされているので、細かいところは割愛させていただく。
- 官民がそれぞれの役割分担からそれぞれの成果を出し合い1つのフュージョンエネルギー産業をつくる場合、技術的には越えなければならない様々なギャップへの挑戦があり、官が行うべきもの、民が行うべきものを時系列に従って整理した。
- 公的資金によるQSTをはじめとして、ITERに代表されるような研究開発は、引き続き着実な推進がフュージョンエネルギー発電には不可欠である。
- 1つずつ積み上げなければならない技術があると同時に、その技術の上にフュージョンエネルギープラント、フュージョンエネルギーを生み出す機械をつくり、日本、そして、世界に供給していく産業を育てていかなければいけない。
- この二つの方向性を追求しなければいけない。
- そこで、官と民の役割分担の下、出資の方法、技術や人材の提供の方法を2ページに示した。
- 民間にとっては今後の事業の機会になることから、技術開発及び事業開発に伴う技術リスク、投資のリスク、事業リスクに対する官の在り方が、フュージョンエネルギーの産業化の成否を左右する。
- 2030年代の半ば過ぎから終わりまでに発電実証することが、内閣府で示された大きな目標の1つである。
- ただし、これで取り組みが完結するものではなく、その先を見据えて、より大き

な産業を創出・育成し、世界展開を図る必要がある。

- そのためのカタパルトとして産業の母体になる基盤を2030年半ばから後半を目標に育成していくことが必要である。
- そこで、私どもJ-Fusionの民間の役割を3ページに示す。
- 民間は物をつくり、社会に供給して利益を得るとともに、税金という形で国に還元するとともに、GDPの拡大や、雇用の創出に寄与する役割を担う。
- その前提として、製品が市場で受け入れられるように売れるものを創出するまでの開発を進め、開発リスクを克服していくことが民間の第1の役割である。
- リスクとは失敗する可能性を伴うものであり、民間は失敗を前提として取り組むわけではなく、成功の可能性を見込んで挑戦するものである。不確実性を伴いながら取り組むことになる。
- 事業リスク、技術リスクに対して様々な開発を行い、試作し、時には失敗をして、克服していくことが民間の役割である。
- 特に、国民の税金を原資として事業している公的機関や、多数の従業員を抱える大規模企業では取り組みにくい高いリスクの事業については、むしろ小規模な企業が担えることもある。
- このため、大小の会社が集まり、J-Fusionという1つのフュージョンエネルギー産業の基盤となる団体が構成されている。
- そこでは、ハイリスク・ハイリターンで投資する出資者や、比較的成熟した技術分野に対して多額の資金を投じ、相対的に低いリスクで運用する出資者がおり、
- それぞれの役割で産業を育てていくために出資いただいている。
- 出資を通じて技術や産業を育成し、技術と産業が創出する価値によって利益を生み出す好循環を形成することが民間の役割であると思う。
- J-Fusionには既に100社を超える企業が集まっている。どの分野でどの会社がどのような活動をしているかは、詳細な分析を行っているが、本説明では割愛する。
- その詳細な分析、定量的な評価を踏まえ、我が国の産業としての勝ち筋の概要を4ページに示す。
- ITERの設計及び政策の過程で獲得してきた技術は、主に官による研究開発の成果であり、これに加えて、民間がこれまで製造を通じて蓄積してきた技術をピンク色で示した。
- ピンク色はフュージョンエネルギー全体で必要な分野の極僅かである。
- この中には、我が国が相応に高い水準の産業技術を有しているにもかかわらず、これまでフュージョンエネルギー分野との十分な連携が見られてこなかった領域が存在する。その一例として、右下に示されている原子力技術が挙げられる。
- 我が国、原子力においても大変高い核分裂技術を持っている。

- 残念ながら、この分野は海外に向けに販売できるものがあまりなく、例外的に幾つかすばらしいものがあるに留まる。
- 核分裂では海外展開が容易でなかった一方で、フュージョンエネルギー分野においては、産業として世界展開が可能な技術が白色で示した多数の領域にある。
- この領域について日本は全く手が出ていない。ただし、ITERの中では役割分担があり、そのうちの一部しか表に出ていないことだとお考えいただきたい。
- 5ページ、世界をリードする産業として何ができるか。
- プラント全体として動くための機能はあるが、それを構成する機器を要素ごとに分解すると、様々な機能を有する機械から成り立っている。
- これを実際のプラントで実証された要素技術として産業化し、共通分野、周辺領域まで含めて経済波及効果を創出していく。
- このためには、図の一番左端に示す統合システムを捉えて、これで世界をリードしていかなければ末端まで届くような戦略的なビジョンが描けない。
- そこで、6ページ、実際に世界をリードする産業として、超伝導コイルの例を示す。
- 我が国には特に高温超伝導と呼ばれる技術分野において、世界的に極めて高い水準を有している。
- 残念ながら、この国で超伝導コイルに高温超伝導を用いたフュージョン装置は、企画はあるが造られたことはなく、海外が先行している。
- ところが、人材、プラント、産業・学術の三要素が循環する形でフュージョンエネルギー全体を統合する技術として構築できれば、我が国の産業として確立できる。
- まずは、発電実証装置を造り、地域共創産業として地域を拠点に、我が国の産業を世界に展開することが、今後10年～15年で可能となる。
- これに関連して、プラント運営、安全技術、地域連携産業などが、フュージョンエネルギーを産業として構成するために必要な要素が、我が国に順次整備されていく。
- 7ページ、官民投資による効果は、単なる投資や製品・機械の製造にとどまらず、フュージョンエネルギー産業をこの国で育成し、地域に根差した形で確立した上で、世界展開につなげていく。
- そのためには、スタートアップによる商用化の道筋を確立し、各社がフュージョンエネルギープラントを造った上で、国内さらに海外市場を目指す戦略を進めており、こうした産業の取組に対する支援が必要である。
- 機器・システムにおける世界的優位性の確保は、個々のシステムやサブシステム、装置の性能を高めることにより、他国で行われる研究開発においても採用され、その結果、サプライチェーンを確保し、世界市場において競争上の優位性を

維持・強化できる。

- ここで重要なのが、フュージョンエネルギーは放射性物質を扱うニュークリアテクノロジーであり、原子力関連技術であること。
- 安全性が最重要であることは、原子力と全く変わりがなく、事実上原子力と同じものである。
- 責任主体を明確にすることが重要であり、これについては私ども産業界としても重く受け止めているが、併せて国の関与も必要である。
- 具体的には、規制、基準、許認可などについて国が主導的に関与し、これを世界標準として展開していくことは、フュージョンエネルギーを産業として確立する上で国の重要な責務であり、勝ち筋を形成する上での重要な要素となる。
- 投資ロードマップを通じて、資金投入の内容と、それが産業育成につながるプロセスを明確に把握できる。
- その効果を7ページの右側にまとめた。
- 将来的にフュージョンエネルギー産業を育成することは、装置や電気の販売にとどまらず、各国の国民生活を支える基盤的なエネルギー源であり、同時に、その国の存立を左右するセキュリティの課題でもある。
- 我が国がフュージョンエネルギー産業において世界的なシェアを確保することは、この国の成り立ちを考えれば国際社会への重要な貢献になるとともに、国際的な観点から見ても、我が国のセキュリティ確保の観点で極めて重要である。

○ J-Fusion 北島副会長

- 投資家目線、若しくはサプライチェーンを構築していく側の目線で、資料2の2ページを参考に説明させていただく。
- 弊社は、米国、英国の幾つかのフュージョンエネルギー会社に投資若しくは業務提携を行っている。
- 米国の民間投資や中国の国家レベルでの投資は、日本よりも1桁～2桁多いレベルであるが、実際の投資局面においては、日本企業、特に商社に対し、日本のメーカーが有する高いものづくり力が大きな魅力として評価されていることが一つの大きなポイントである。
- 多額の資金を調達したベンチャー企業でも、日本の一線の会社に対して簡単にアクセスできるわけではないため、商社を通じた連携が重要である。
- なお、我々の投資規模は必ずしも大きくないものの、重視すべきはその金額そのものではない。
- サプライチェーンをつなぐこと自体が、投資金額以上の価値であるという意見を多数いただいている。
- 現時点において、日本のものづくり力は世界的にも決して劣るものではなく、分

野によっては最先端の水準にある。

- ただし、今後、各社がどのような形で投資や開発を進めていくかを検討するに当たって、具体的な発電実証という次のステップが存在するか否かが、きわめて大きな分水嶺になるのではないか。
- 発電実証について、日本が国を挙げて取り組む姿勢を資金面での支援に加え、仕組みや制度として明確に担保することが重要である。
- そうした方針が明確に示され、予見性が高まれば、各社は間違いなくこの開発に投入するリソースを拡大していくと思う。
- 日本においてこれが明確でない場合、海外、例えば米国において、民間からの1兆円規模の資金を活用するスタートアップの要請に基づいた開発が進むことになる。
- それは個社の開発力や技術力が向上する部分もあるが、主導権が海外の企業になること、場合によっては中国に移ってしまうおそれがある。
- これは、中国に寄与してしまう形になってくる。
- そう考えると、日本の国内で、日本のために発電実証が可能かどうかは非常に大きなポイントになってくる。
- その先の商用化を目指す段階においては、さらに発電実証から発電事業に進むため実証以上に投資の予見性が求められてくる。
- この段階では、TRLをどこまで向上させられたかという点に加え、安全性の確保やセーフティネットの仕組みの整備により、民間企業が投資家として参画可能な環境が整っているか、また、ベンダーがリスクマネーを投入できる状況にあるかといった複数の要素が関係してくると思うが、これらの課題については、もう少し時間を要するものだと思う。
- 発電実証段階においては、予見性が確保されなければ、その先の展開は困難だと思っており、発電実証をどの程度の規模で、どのタイミングで実施するかについて、海外の動向を踏まえつつ検討するとともに、我々日本の将来に向けてサプライチェーンをどこまで確保できるのかが重要な課題である。
- 今後、我が国が単なる下請けとなるか、あるいはインテグレーター、サプライチェーンのコントローラー、若しくは規制制度の立案や標準化を担う主体として主導的な役割を果たしていくのかについては、極めて重要な分岐点にある。
- 我々J-Fusionは百数社の企業が参画しており、各社の考え方や目標は必ずしも同一ではないものの、フュージョンエネルギーを日本に定着させ根付かせ、新たな産業として育成し、国力の強化につなげたいという点で共通している。
- 産業界として一体となり、何ができるかを検討していく考えであり、官民がどのような形で、どのような役割分担の下で取り組むべきかについて、引き続き共に

議論していきたい。

【意見交換】

○近藤構成員

- 資料2の4ページ「世界をリードする産業の育成」について、凡例では25%以上というのを一つの分水嶺として設定しているが、これを15%や10%とした場合の影響はどの程度か。

○小西会長

- 資料では、ITERで特に大きな分担を担った分野をピンク色で示しているが、実は我が国でも既に製造している、あるいは、研究が進んでいる技術が多数存在する。
- ITERの場合は、7極がインカインド（物納）方式で分担し、欧州が40%超、日本は約10%程度の分担にとどまったが、その中でも、日本が世界的に強みを有すると認めた分野を担当している。
- 日本が高い技術を有していても、他国が当該分野のみを担える事情がある場合は、分担を譲った例もある。
- このように、我が国の強みは、ピンク色で示した分野以外にも存在している。ITERでの分担割合は低かったが、今後フュージョンエネルギーを産業化していく上で、我が国が技術的に劣っているわけではない点については御理解いただきたい。
- 日本は、フュージョンプラントに必要なすべての技術を一国で賄うことが可能な、世界でも数少ない国の一つである。
- 表現としてやや誇張があるかもしれないが、事実に基づくものであり、資料に記載していない分野でも我が国の強みを有する技術がある。
- ここに示した分野は、日本が圧倒的に強いものと認めたもので、今後、実際に製品として市場に展開する際には、優先的な競争力を発揮し得る分野だと考えていただきたい。

○近藤構成員

- 質問の趣旨は、これから議論するインテグレーターの役割を念頭に置きつつ、そこを目指すに当たって現時点でどの程度の実力を有している、また、実際にその役割を担う能力があるのかという点について、両者のフィットギャップの幅を確認したくて伺った。ありがとうございました。

○柏木構成員

- 実施主体については、検討初期から議論され、今回の資料では民間主導と整理されている。
- 私はJ-Fusionと同じくフュージョンエネルギーを実用化したい立場であり、主体が官であるか民であるかにかかわらず、早期に実現につながる道筋が示されることが重要であると考えている。
- その上で、先程ご説明があった「民間主導で、国が前面に立って支援する」ということについて、想定されている具体的なモデルに近い事例があるのか、また、2ページに示された時系列では、どの段階を念頭に置いた主体的な枠組みの構築をイメージされているのか。

○小西会長

- J-Fusionという産業協議会の立場で、特にこの会議の場で申し上げられる点としては、事業の実施主体は、まだ国で検討中であり、今後、本会議の場あるいはさらに上位レベルにおいて政策的に決定されていく事項であって、私どもはそれを待っている段階であることが公式な見解である。
- 産業界の立場、特にJ-Fusionにおいて多様な立場の企業を取りまとめる立場から述べると、最終的に日本がフュージョンエネルギー産業において世界的に大きなシェアを確保できればよいという意味では、多様な事業形態があり得るだろうと思っている。
- つまり最初の一基目については、技術リスクが高いことや、放射性物質を扱うニュークリアプラントであることを考えれば、国が前面に立って関与しなければ実施困難な可能性もある。
- 一方で、国は商品を主体的に販売する機関ではなく、QSTをはじめとする研究機関も同様である。
- 今後、我が国の産業として製品を製造し、国内外の市場に展開するには、それぞれにふさわしい事業形態が存在すると考えられる。
- そのような事業主体が育成されていくことが望ましいというのが、J-Fusionとしての立場であり、国全体を考えれば様々な意見はあり得るものの、一定の共通認識ではあるかと思う。
- 例えば電力業界では、我が国では、電力の安定供給を第一に考え、国外に電気を販売することを第一に考えられているわけではない。
- それに対して、フュージョンエネルギー分野、とりわけ機器や装置の販売を考えた場合、国内の市場規模に比べて海外市場の方がはるかに大きい。そのため、海外展開を前提とした事業に適した業態、業種、企業形態は異なり得る。
- それにもかかわらず、国が一体となって産業を育成し、国際的な競争力を確保していく場合は、一定程度、政策的な意図が強く反映される。

- 具体的としては、近年のRapidusの取組みが挙げられ、国が関与しつつも事業主体として民間企業の形態を採ることが、将来的な産業として収益を上げていく観点からは適した業態の一つと考えられる。

(3) フュージョンエネルギー分野の官民投資ロードマップ（修正案）について
 <内閣府（科学技術・イノベーション推進事務局）から資料3に基づき説明。>
 （非公開）

<構成員からそれぞれの提出資料に基づき説明。>

○大前構成員

- インput資料の前に、ITER計画が遅れているというやや懸念を伴う報道もあったので、計画が順調に進捗している点を説明したい。
- これまで拠出されてきた資金は適切に活用されており、直近では先月時点でITERマシン合計9セクターの内、4機分がピットに設置された。
- ITER計画は、2024年に新たな計画が策定されたが、そのスケジュールに対して初めて計画より前倒しで進捗しており、現在、新しい計画よりも4か月前倒しとなっているが、できる限り過去の遅れを挽回したい。
- もし、欧州に来ることがあれば、是非、ITERに寄っていただき、実際のITERをご覧いただき、そのスケールとリアリティーを把握していただきたい。
- では、フュージョンエネルギーワーキンググループへの提出資料である。
- 目次のとおり、3点構造である。
- 昨今、世界各国でフュージョンエネルギーの開発が加速し、フュージョンエネルギーの実用化が現実味を帯びてきたという見解が広がる中、各国で様々な議論や考え方が生じている。こうした状況において、科学技術プロジェクトとして科学的に正確な情報を国際社会に伝えることが重要であるとの認識から、ITERを指揮する国際機関のトップとして、ITER機構長が加盟国政府に公開書簡を昨年11月に提出した。
- この英文書簡は、資料には完全翻訳版を添付していますが、本日は時間の関係で要旨を抜粋してお伝えする。
- ITER機構長が公式に示した科学技術的知見に基づいたフュージョンエネルギーの現在の見解、それを踏まえて日本が置かれている状況への私見を説明させていただきたい。
- 3ページ、このサマリーは機構長レターの要旨3点である。
- 1点目、技術の制約は変わらないため、ITERは古い計画だとよく言われるが、そのようなことは全くない。今この時点でもITER計画をゼロクリアで設計した場合でも、ほぼ同じ設計になる。基本的な物理現象は何も変わらず、制約

条件は何も変わっていない。エネルギー増倍率10 ($Q=10$) および定常運転（ロングパルス）という目標を同時に達成できるのは、ITERの設計以外は、今でも他にない。

- 2点目は、ITERが完成するとエネルギー問題は解決するという誤解。これは、過去のITER側による情報発信において、説明不足があったのかもしれない。ITERはゴールではなく、あくまで定められたスコープを満たすためのプロジェクトであり、ITERの完成がすなわち発電して電力が取り出せるようになることではない。
- ITER計画の後、商用化に必要な技術ギャップを埋める必要があり、ITERとは別に並行して開発しなければならない。
- このことをITER加盟国は認識し、各国の戦略で健全に競争しあうことではないか。
- 3点目は、前提となるが、過度な約束は禁物である。それは、ITERも国家プロジェクト、民間企業も同じである。
- 広報やマーケティング活動よりも優先して透明性のある科学技術的な説明こそが長期的な信頼を生むこと、これは間違いがないことだと思うし、皆様にも同意いただけるものだと思う。
- 4ページ、近年のフュージョンエネルギーへの楽観論は「技術的・財政的な現実」を覆い隠すリスクがあり、過度な期待は結果的には失望と社会への信頼を裏切る可能性がある。
- 例えばAIや新しい超伝導体によりフュージョンエネルギーは安く早くなるのではないかという声もあるが、そのようなことはない。装置のサイズや設計は特定の材料性能や一つの技術の革新で変わることはない。電磁力、核熱・粒子負荷とその排熱、遮蔽、プラズマ形状制御などの制約が支配的で、例えば高温超伝導体ができたとしてもITERにおける高温超伝導体の材料占有割合は4%程度である。それよりも鋼材が支配的であり、最終的にトータルのサイズは変わらない。したがって、今のITERの設計は改めて構想しても大きくは変わらない。
- 2番目、小さくなれば安くなるのではないかという議論もある。小型化は万能ではなく、過度に小型化することによるアクセス性の低下、公差の厳格化など設計変更の連鎖を通じて、結果的に複雑化・高コスト化となる。
- ITER計画でも、小型化や目の前のコスト削減を考えた結果、トータルでのコストアップにつながった事例は少なくない。民間企業の皆様はよく分かっていただけのことだと思う。
- 3番目、ITERだけで全てが達成されるのではないかという声もあるが、実際にはそのようなことはない。先ほどの説明のとおり、ITERは発電炉ではなく燃焼プラズマを炉条件で達成・維持できることを初めて示す段階に位置付けられ

ており、これは必要不可欠なステップである。ただし、その後商用化に必要な技術ギャップはITER以外で開発する必要がある。

- 5ページ、ITERが提供する参加国への価値は、この先へ向けた技術的な準備である。燃焼プラズマでロングパルス、定常という商用炉で必要不可欠な運転領域を実証する。
- 2番目、将来炉の設計判断に必要な現実的なデータ、実燃料である重水素と三重水素というニュークリア燃料を用いたフュージョンエネルギー環境下でのブランケット試験を含めたフュージョンエネルギーの統合プラントとしての経験を蓄積すること。
- 3番目、ITERはコストが大幅に膨れ上がる可能性がある。好ましくない可能性ではあるが、現実的に見てコスト増が生じることも既に明らかになっている。このため、学びを活かしてフィードバックを得る必要がある。組立性を軽視した過度な最適化やインターフェースの輻輳が生む隠れコストを設計原則に基づいて見直すこともできる。
- 4番目、国際協力について、世界の主要メンバーが同じ装置、同じデータで透明性を持つ。特定の国がブラックボックス化するのではなく、透明性を持って議論できる共通的な基盤を提供する。これはITERが世界各国の加盟極へ提供する価値である。
- 6ページ、残された課題は何か。この四つで全部終わるわけではないが、支配的なものを四つ示した。
- 1つ目は定常排熱、2つ目はトリチウムの増殖、3つ目は材料、そして4つ目は稼働率の向上。
- 私は、ITERを夢のようなマシンとして宣伝するためにここにいるのではない。むしろITERでできないことを明確に示し、その現実を踏まえたうえで、各国が戦略的に何に取り組むべきかを考えることこそがあるべき姿だと思う。
- 少なくともこの4点が揃わないと商用化へ向かえないので、ITERをメインとしつつ、着実にこれらのデータを取得していけばよい。
- 先日、トランプ政権下で2026年の予算が3分の1に削減されるとの報道があった。しかし、実際には3分の1もの削減ではなく、結果的に米国議会は前年度比でおよそ25%程度の削減のみという方針を示し結果として予算は確保された。おそらく脱退する場合のコストの方が継続するよりも高いという判断がされたためであろう。仮に脱退した場合ITER計画が進展した際にはその成果を享受できなくなる、というような状況はさけないという考え。
- 米国のスタートアップにとってもITERのデータが必要である。我々はこれらのデータを公開しており、積極的に活用していただきたい。
- J-Fusionに参画している日本企業からも多くの問い合わせがあり、デー

タを随時提供している。使えるものはどんどん活用いただければよい。したがって、ITERを引き続き実施し、ITERを中核にして商用化のための4つのギャップを埋める補完的な研究開発や試験設備を準備することが重要ではないか。

- 7ページ、鎌田副機構長が準備した資料で、ITERが現在も最新の設備であることを具体的に示している。トカマクの主要なパラメーター自体は、昔から変わらないわけであるが、仮に今設計しても最終的にはこのパラメーターに辿り着く。エネルギー増倍率、出力、そしてロングパルスを考えれば、必然的にこの結果となる。
- 一方で、そのパラメーターの枠内における個々の要素については最新である。例えばダイバータについては、当初は炭素素材であったが2013年にタングステンへと変更する決定がなされた。1985年以来ITERが進化していないわけではない。直近では、第一壁も全面的にタングステンを採用することになった。詳細は割愛するが、このようにITERは現在においても最新の装置であり、将来的を見据えて設計が更新されていることを改めて説明させていただいた。
- 8ページ、これまでは、機構長レターの要旨と副機構長の資料を説明したが、それを踏まえて日本の将来に向けたポイントを3点に絞って御説明したい。
- 1点目、フュージョンエネルギーはニュークリアで、これは非常に重要な事項である。核分裂反応に比べて非常に高い固有の安全性はあるが、ニュークリアであることを強く認識することである。日本は、中国や米国のように国土内に平坦で、かつ、半径50キロ圏内に無人地域が存在する国ではないため、日本の国土条件を踏まえ、ニュークリアに対する社会的受容性を十分に考慮したうえで進めていく必要があり、これは絶対に忘れてはならない重要な前提である。
- 2番目、世界及び日本における研究開発が、これまで何十年にもわたって積み上げられたことを軽視してはならない。これまで想定されていなかったものが突然生まれ、それによってフュージョンエネルギーが実現するというようなことはない。科学技術は、地道な積み重ねの上に成り立つ。したがって、科学技術的に確からしい道を実際に進むことが重要であり、不十分な議論で拙速に新しいものに飛びつくべきでは決してないと思う。
- 3点目、フュージョンエネルギー到来の時代における制約条件は世界共通ではなく、日本と各国では異なると思う。各国にはそれぞれ固有の制約条件が存在する。したがって、日本における制約条件は何であるかを丁寧に見極め、その上で、先回りして技術的解を導き出すための戦略的な投資を行うことが重要だと思う。
- 直近のフュージョンエネルギー関連の委員会等では、炉形式について議論されているようだが、私はその議論には参加すべきではないと考えている。なぜなら、炉形式は議論しても本質ではなく、どれほど著名な人物が特定の炉形式を選択し

ても、最終的に炉形式を決めるのは科学技術である。

- 9ページ、この場がフュージョンエネルギーワーキンググループであることは理解しているが、なぜ炉形式の議論が多いのかを考えたとき、それはエネルギーで見ているからではないだろうか。
- 確かにエネルギーは重要であり、国家安全保障の根幹であると思う。しかし、フュージョンエネルギーが実現する時期はまだ先であり、図の右軸にあるようにまだ先の時期である。
- エネルギーとして捉えた場合、実際のリターンが得られる時期はかなり先となるため、DCFを用いてバックキャストを行うと、現在価値は依然として小さい。
- フュージョンはエネルギーだけではなく、テクノロジーの集約であり、フュージョンテクノロジーと捉えて投資すれば、既に現時点でも、医療、半導体、海洋開発、新素材、AI、宇宙などさまざまな分野でリターンは得られる。
- このため、こうした分野に対して戦略的に官民投資を行うことが、結果的に早い段階から成果を得るとともに、シェアを獲得できる。さらに、フュージョンエネルギーが実現したときにも果実を享受できる形につながるのではないか。

○柏木構成員

- 第1回では、各実験炉の計画の年表を整理し、日本の優位性はプラズマ試験ができる点であることを示した。一方で、日本がITERやJT-60SAの建設をしている間にも中国が着々と実験を継続し、次段階の炉の計画を策定しているなど他国に追いつかれる直前であることを指摘した。その結果、速やかにアクションを起こす必要があることなどを抽出して御説明した。
- 今回、官民投資ロードマップ改定案、資料3に基づきフュージョンエネルギーの技術担当の立場から勝ち筋と民間投資について改めて論点を整理し、具体化することを試みた。また、近年の人材獲得の活動についても御紹介したい。
- 2ページ、資料3の一部を掲載しているが、官民投資促進に向けた課題のうち、最大の課題は技術の不確実性と示されている。つまり、技術の不確実性を制することが勝ち筋につながると思われ、それが何であるのかを整理した。
- 現在、世界最大で原型炉に一番近いものづくりをしているのはITERであり、ITERでの経験が主要ではあるが、それ以外に不確実性が高いと思われる項目を3点、抽出した。
- 1点目は、プラズマ制御の不確実性で、我々はずっと建設に偏っていたため、プラズマ実験は中断となった。プラズマ実験による長時間安定かつ高温・高密度プラズマの制御技術の開発は、コスト効果にも非常に影響する。
- 炉構造の精度緩和あるいは合理化が明確になることにより、非常に設計しやすくなる。例えば、課題となっているディスラプションについて、突発的な崩壊に伴

う電磁力の発生を十分に抑制できるようになれば、炉構造も簡素化が可能となり安全性の向上にも直結する。これは極めて重要な課題であるが、全体の戦略には抜け落ちていると感じられる。

- 2点目は、炉壁材料の未知性で、核融合では中性子からエネルギーを取り出す
が、その結果生じる材料損傷による耐え得る高耐久性の材料開発はこれまでも継
続的に必要が指摘されてきた。現在、この課題を日本単独で取り組むのか、海外
の施設を活用するのか、あるいは国際協力で進めるのかという選択肢が考えられ
るが、保守頻度の低減や炉構造の合理化につながる点で、コストに直結する重要
な要素である。この点を的確に押さえることが勝ち筋につながる。
- 3点目は、核燃料サイクル特にトリチウムの自立性で、短期間で実現できるもの
ではなく、試験装置やITER、さらに原型炉規模での実証を積み重ねていく必要
がある。初期装荷以外の燃料を循環していくシステムが設計できれば、規制の
合理化もできる。
- この3点を制すると、勝ち筋になるだろうと考え、整理した。
- 3ページ、この3点を踏まえて、資料3に示されている勝ち筋の特定について、
やや個別要素に偏っている印象を受けたため、一案として文章を追加した。
- プラズマについて言及した方がよい。具体的には、日本はかつてJT-60にお
いて世界最高イオン温度達成や主要なプラズマ制御技術を獲得してきた実績があ
り、現在は世界最大のトカマク型フュージョン試験装置であるJT-60SAで
プラズマ実験を開始し、ITERから原型炉に必要な高圧力プラズマの生
成・制御技術の実証を進めている。原案は各個別機器の技術が世界トップレベル
という記載があるため、これに加えて技術カベースとしてプラズマ技術を追加し
た方がよいのではないか。
- 先程の材料開発や燃料サイクルは、我々が世界に先駆けて構築しなければならない
技術なので、勝ち筋としてこの点を除外してはいけない。ITERという大規
模装置を早急に起動し、この技術を確実に日本が獲得すること強調しなければな
らないと思う。
- これを踏まえて、構築すべき機能には「競争力のある炉設計を加速するためのプ
ラズマ開発拠点、不確定要素を制するための国主導と全日本体制の構築」を追記
した。この不確定要素を制するための国主導と全日本体制の構築というのは、直
近のムーショット型研究開発事業における有識者委員として必要だと感じた点
であり、不確定要素を多く含む技術こそ、日本の多数の有識者から提案されてき
た。特に材料開発やトリチウムについては、フュージョンエネルギーに不参加の
有識者からも提案があり、この重要な技術開発は、迅速に着手が必要な部分対
して国が一定の方向性をしめすことで、日本のさまざまな分野の研究者や技術者
が参入しやすくなると感じた。

- 4 ページ、官民投資を高めるためのモデル案を思案した。スピード感が非常に重要だと感じている。
- 現在、スタートアップがさまざまな事業を立ち上げる中で、フュージョンエネルギー分野に参入してきた企業に対し、発注が始まっているように見受けられる。私自身、さまざまなメーカーと現場を通じて意見交換する中で、官とスタートアップの連携による相乗効果への期待を感じている。例えば我々のような公的機関は、これまでの技術的実績や確実性の面では高い信頼を得ているが、スピード感に欠けている。スタートアップと関わってみると、非常にスピード感があることを感じる。この確実性とスピード感を組み合わせることで全体の魅力を高め、弱点を補うことができると考えている。
- 官民投資を一層促進するためには、民への官の投資だけではなく、官の柔軟な対応が必要ではないか。
- 例えば、施設共用については近年進展がみられるものの、国立研究開発法人の施設利用には依然として時間を要するという課題がある。そのため、供用をより積極的に推進するためには、スピード感を持った受入れの体制整備が必要である。
- 他に、予算や物品の仕分けの問題がある。国の機関については下に記載したが、国と約束した計画を確実に進めるための技術基盤の育成、人材育成、着実なプロジェクト進展に加え、例えばスタートアップからの提案を受け入れる体制を整備することも求められるのではないか。
- その上で、スタートアップや企業から御提案があった際には、意思決定や実行までのサイクルについて、よりスピード感を高める方策を具体的に検討し実行していく必要があると考えている。ここには簡潔に記載しているが、国立研究開発法人の中にスタートアップに近い柔軟な機能を持つ受け入れ体制を整備することや、そこに官の資金を効果的に投入する仕組みを構築することなどが考えられるのではないか。
- 最後に、官民投資ロードマップの基本方針の一つとして「分野横断的課題の戦略的連携の強化」が掲げられている。最近実施した取組みがあるため御紹介したい。
- 文科省が推進し、NIFSが実施しているスクリーニング・ネットワーク事業では、実施主体にフュージョンエネルギー分野以外の有識者を含めてスクリーニングを提案することを求めているため、私自身がフュージョンエネルギーと共通技術基盤を有する加速器、宇宙の有識者を加えた実施主体を構成し、参加者についてもその三分野から募集を行った。
- 女性のみを対象としたスクリーニング事業を実施した。本分野は、女性が少ないので、当初は生徒が集まるかと心配したが、フュージョンエネルギー、加速器、宇宙分野はいずれも技術的に非常に近いこともあり、総勢50名以上が集まっ

た。

- 本取組みが分野横断的という観点で特に有意義であった点は、参加者の約7割を占めた大学生及び大学院生が、必ずしもフュージョンエネルギーに関心を持っていない場合でも非常に身近なものと感じていただけただ点である。加えて、QST那珂フュージョン科学技術研究所の見学会も実施したところ、アンケートからもフュージョンエネルギーに興味を持ったという結果が得られた。
- つまり、入口を他分野と連携することによって、結果としてフュージョンエネルギーに関心を持つ人材を増やすことができるという点を、今回の取組みを通じて実例として実感した。

○恒藤審議官

- 事務局として、頂いたコメントをどのように官民投資ロードマップに反映させるかについて悩みながら拝聴した。
- 柏木構成員からいただいたコメントのうち、特に技術面で重要な点については、3ページに関連する指摘があった。現行の資料の「2. の基本戦略」の中に記載してはどうかというコメントであったが、むしろ3ページの「政策パッケージ」の中に埋め込む方が適当ではないか。具体的には、プラズマや材料などに関する内容が挙げられていたが、適当かについては、他の構成員からもコメントを頂きたいと思う。
- スタートアップが利用しやすくなるような公的機関の体制整備についても、講じるべき政策パッケージの中に盛り込めれば良いと考えているが、他の構成員からもコメントいただきたいと思う。
- 大前構成員のコメントは、非常に大局的かつ俯瞰的な視点であり、ある程度意識しながら現行資料は作成しているつもりではあるが、特に修正や加筆した方がよいという部分を、大前構成員及び他の構成員も含めて御意見を頂きたい。

【意見交換】

○尾崎構成員

- 資料3の2ページのロードマップ案中央、官民投資の具体像について、投資内容がフュージョンエネルギーの実現に向けた研究開発及び実証と記載してある。この趣旨は妥当であるが、官民投資を検討する場合は、フュージョンエネルギーが有する特殊性や現状を十分に踏まえた表現を併せて盛り込むことが望ましいのではないかと。
- 特に構成員の方々、本日の発表者からもご指摘のあるとおり、日本においてはサプライチェーンの重要性が極めて高い。今回の仕組みを通じて、サプライチェーンを支える企業からの投資を、今後さらに拡大するようサポートする必要がある。

る。一方で、企業にとって投資を拡充する場合の不確実性が依然として高い状態にあると感じている。

- その理由は、マイルストーンの策定自体は大きな前進であり、これを中心に発電実証の進展が期待される一方で、サプライチェーンを担う企業が、比較的短期間で投資回収を見通せる仕組みになっていないからである。実際に商社やメーカーの関係者と意見交換を行う中でも投資回収の見通しが立ちにくいことから、関心はあるものの、積極的な投資に踏み切れない声を多く聞いている。
- マイルストーン的设计自体は、周知のとおりNASAやJAXAの仕組みを参考に構築されたものである。しかし、フュージョンとの決定的な違いは、宇宙分野では、マイルストーンに基づいて民間が開発した成果を政府系機関が買い取る仕組みが存在している。これは宇宙基金の存在や、QSTとは異なる組織構造を持つJAXAが対応しているため可能となっている。一方で、フュージョンエネルギー分野においては、同様の仕組みをそのまま適用することは難しく、マイルストーンが進捗した場合の受皿が不足、あるいは不在であるという課題が存在する。この2点については、何らかの対応策を検討していかなければ、サプライチェーンの重要性が指摘されていても、投資が活性化しないのではないかと危惧している。
- そこで、2ページの投資内容について、例えば、投資回収が困難な環境を勘案したマイルストーンプロセスの改良・高度化などの文言を追加することを是非検討いただきたい。先ほど指摘した課題については、少なくとも短期間で改善を図る道筋を示す必要があり、その点を明示的に書き加えるべきではないか。

○大前構成員

- 私のインプットが具体性に欠けていた点についてお詫びしたい。ロードマップに対する具体的な修正文言の提案まで、構成員の立場で述べてよいものか判断に迷ったこともあり、その結果としての説明が十分ではなかった点については申し訳なく思っている。
- 先ほどの尾崎構成員が指摘した2ページについては、私のインプットペーパーに記載のとおり、ITERでは達成できない残された主な4つの課題に取り組む必要があるという点が趣旨である。そのため、この4点を明確に記載することも一案だと思う。
- 構築すべき機能についても、その4つの主要な残課題をクリアにすることが目的となる。
- これらに対して、課題解決をする施設を整備するプロジェクトを立ち上げて、例えば複数のスタートアップにそのプロジェクトに参画してもらおうという進め方も考えられる。このような方法は具体性が高く、必ずしも一つの取組みに限定する

必要はないと思う。

- 例えばトリチウム増殖については、トリチウム増殖の残課題を解決することをゴールとして設定し、それに対応したマイルストーンを設ける。その参画企業は1社に限定せず、複数社が並行して取り組むことで具体的なプロジェクト数や必要な資金規模が明確となり、それを官民投資で取り組む。
- アンカーテナンシーという考え方も重要であり、このディスカッションがアンカーテナンシーを形成する場になっていく可能性がある。
- 4点目として、経済性評価に関連する運用性、可動性については様々な議論でも十分に取り上げられてこなかったが、非常に重要である。
- 近年、電力会社の方々によるITER視察も増えているが、電力会社にとってはプラントが24時間運転し、継続的に発電することが重要である。その観点から、特にアベイラビリティが重要視される。我々も取り組んでいるが、リライアビリティ、アベイラビリティ、メンテナビリティ、インスペクタビリティというRAMIの考え方を踏まえて検討する必要がある。
- これらを検討することは、システムチックにすることも含めて非常に重要なので、先程の4点を明記することが望ましいのではないか。
- 仮に5点目があるとするれば、チョークポイントをより深く掘り下げ、商用化した場合のチョークポイントの仮説を設定し具体化することが必要である。
- 以上の2点について、私の提出したインプットペーパーから本ページにリフレクトできればよいと思う。

○近藤構成員

- 大前構成員の説明を伺いながら、フュージョンエネルギーのテクノロジーとしての特性を改めて認識した。個々の機器や要素技術がどのように成立しているかについて十分に分解しきれないまま「自国で調達可能である」という思いもあったのではないか。
- 質問の前の確認となるが、今回策定するロードマップについて、とりまとめ資料の分量に制約はあるか。

○恒藤審議官

- 資料の分量については、極端に増加しなければ許容可能であると認識しているが、現時点ではどの程度が適当かを明確に回答できない。

○近藤構成員

- フュージョン分野には多くの課題があり、その課題を網羅的に記載すると相当量になり、本来議論しなければいけない戦略的な成長の観点がぼやけてしまうので

はないか。そのバランスについても考慮できれば良いと思う。

- 本題として、投資促進に向けた課題と政策パッケージの関係のうち、特に規制や人材について中心に述べたい。
- 政策パッケージの資料について、規制の不確実性という言葉が挙げられている。政策の記載では、国際的な整合性については記載されているが具体的な内容が明記されていないと感じた。投資判断に直結する形ではまだ示されていないとの印象を持っている。この点については、「規制の設計に関する課題」として整理してはどうか。
- 従来の原子力を中心とする規制は、ハザードを抑制することを目的としたものであったと認識している。
- 一方、現在の議論は不確実性であり、不確実性を前提に安全確保と実装の両立を図る、言わば不確実性マネジメント型の規制が求められると考えている。実際に、このような考え方を検討している国も存在している。
- フュージョンエネルギーが抱えている安全確保の課題は、日本に限ったことではない。技術的な不確実性が、そのまま安全確保の不確実性に直結するというところは各国共通の課題である。
- このため、このような領域においては、前提条件を固定した従来型の規制のみでは対応が困難であり、不確実性を前提とした規制設計が不可欠であると思う。
- この点については、これまで内閣府の検討においてもアジャイルな規制やグレーデッドアプローチという考え方が示されている。
- 方向性としては、既に不確実性マネジメント型に近い議論が進められていると理解している。そのため、官民投資を実際に促進する観点からは、規制の不確実性に対応する政策について、ロードマップ中に明示的に位置づけることが重要であり、これが官民投資の具体的な動きにつながると思う。
- 具体的には、各段階において何が求められるかを明確にするため、規制に関するマイルストーンを何らかの形で示してはどうか。
- 開発と規制を並行して進めるため、継続的な対話の枠組みを制度化することが重要ではないか。実際に、規制庁でもフュージョン装置に関わる事業者との意見交換を既に開始している。
- また、規制を担う側の能力強化も重要になってくる。
- 以上のような点をロードマップに組み込むことが望ましいのではないか。
- さらに人材について、今回のロードマップでは市場の一定割合の獲得を目標として掲げているが、その達成に向けては、先ほどから議論されている技術力の不確実性の低減や、サプライチェーンやプレーヤーの育成が重要である。一方で、ITER 1 基の建設においても極めて高度な技術力が求められることを踏まえると、今後の実装を担う能力の確保に向けて、相当早い段階から人材育成を視野に

入れる必要があると考える。

- そのために必要なのは、単なる理工系の人材の裾野を拡大することだけではなく、要素技術を束ねるシステムインテグレーションの人材、サプライチェーンを横断して調整できるような人材、そして、立上げを牽引できるようなリーダー的人材が必要となる。
- このような人材は計画立案や大学教育のみで育成できるものではなく、実際の現場経験を通じて初めて獲得される能力である。その観点から、ITERや国内のフュージョン関連施設、研究開発の現場は、人材育成の場としても非常に重要であり、将来の実装能力を獲得するための貴重な機会になることから、戦略的に位置づけてはどうか。
- 加えて、民間事業者も実機に近い環境での経験機会を拡充できるような位置づけとすることが望ましい。

○栗原構成員

- 3点申し上げたい。
- 1点目、基本的に今回議論されているフュージョンエネルギー、特に発電実証については、その実現の蓋然性が明白になっているのではないか。実施を前提に、推進していく方向性を明確にすべきではないか。
- 成長戦略の中で本分野が重要であることについて、国民も含めて理解した上で、戦略的な投資を行っていく姿勢が必要だと思う。
- その上で、このロードマップにどこまで記載できるかは検討が必要であるものの、まずは成長市場、成長産業としての期待を明確にすべきである。身近な例として、データセンターやAI分野は、現時点では赤字であっても、市場の将来的な拡大を見据えて投資が行われている。
- フュージョンエネルギーについても同様であり、本日の議論でも、発電実証には、例えばQ-DEMOによる2兆円投資、民間全体で1兆円投資、官民合計で3兆円から4兆円の投資が必要であろう。
- 現在は年間数千億程度の投資だが、内閣府のこれまでの試算では、当該市場の将来規模は2030～2040年頃に約100兆円、IAEAの見通しでは2060年頃に約300兆円、2100年頃には約700兆円に達する可能性が示唆されている。
- また、武田准教授の説明においても、世界的な市場拡大が見込まれる中で、単に海外市場の成長を享受するだけでなく、国内への波及効果をいかに高めるかが重要であり、そのための戦略的な取組によって市場獲得を図る必要がある。こうした産業に関する意識合わせ、インプットが重要ではないか。
- 2点目、5ページのロードマップの修正点について、今回の議論は、2030年

頃の発電実証までであるが、本来はその先の見通しも考慮する必要があるのではないか。つまり、いくつかのフェーズがあることを想定し、その最初の発電実証のスタートラインに入るまでの数年間の取組みとして検討しなくてはならない。

- いくつかのフェーズについては、2030年代の10年間の発電実証段階、その先の商用化前の発電実証段階、最後に実用市場段階の4段階がある。
- 現在は、第1段階及び第2段階を目指していると思うが、実は第2段階と第3段階は切れるものではなく、第2段階の発電実証は主体が大きくなりながら第3段階に移行するものと考え、第3段階に移行できる第2段階を構築しなければならないと考える。
- 第1段階については、QSTを中心とする技術開発やスタートアップ等が競争力のある多様な技術が進展し、その技術が徐々にインテグレートされ出している。
- 第1フェーズは国が支援しながら加速させることに違和感はないが、第2フェーズではある程度絞り込まないと勝ち筋にならない。勝ち筋は1本ではなく2本なのかもしれないが、徐々に勝ち筋となる技術に統合していくのではないかと。なお、技術の統合は個別技術の打ち切りや消失を意味するものではなく、要素技術が存続し続けながら統合が進むことが第2段階だと思う。
- その段階では、官と民のジョイントベンチャーのような形態、共同出資の形態、あるいは、民間主体の場合には国が補助金を強化する形態となるのではないかと。
- 仮にQSTが主体になる場合であっても、現状のようなQSTのガバナンスではなく、英国型の子会社となり、その子会社に民間出資を可能とする仕組みや、単年度主義の予算から逸脱した柔軟性のある主体が第2段階で必要になると思う。
- 共同出資による国の支援は、第3段階で事業規模が拡大する際に国の出資分を民間に譲渡するあるいは出資者を拡大するという形もでき得るのではないかと。このような道筋が残せるような第2段階の取組みが必要ではないかと。これが2点目の官民協働の在り方のイメージである。
- 3点目は、国と地域の戦略の在り方であり、特に人材面を含む地域の成長戦略を盛り込み、地域の理解促進のみならず地域が参加することが必要だと思う。
- 例えば原子力は数万点の部品から成るグローバルサプライチェーンで成立していることを踏まえると、フュージョンエネルギーは極めて不十分であり、整備する主体が立地地域を選定しても必要なインフラ整備、施設と研究機能の連携、人材育成、職業関連の整備が必要となる。
- 海外のクラスターの例では、エネルギーに関連して職業関連の施設がその地域に立地し、機械、エレクトロニクス、自動化分野の整備に加え、周辺の人材育成まで含めて整備され、地元企業がサプライチェーンに参画できる将来像が見えてくる。このようなことが必要だと思う。

- これらの取組みによって、国内の波及効果や立地地域における産業拡大が促進され、経済波及効果の向上が期待されるようになる。資金、労働力、技術開発力、マーケティング力、これらの施策パッケージが発電実証段階から必要になると思う。
- この政策パッケージは国として整備するべきであると同時に、地域における政策パッケージも策定・実施できるような立地地域を形成していくことが必要ではないか。

○桑原構成員

- 本日のインプット情報は非常に有益だと思う。
- 大前構成員や柏木構成員から御説明いただいたとおり、技術課題は多くあり、これらは日本が長年に渡り取り組んできた結果として蓄積されたノウハウや研究成果に基づくものであり、今後も大事にしなければいけない。
- 課題の解決に向けて、これまで以上にフュージョンエネルギーに対して資金、人材、知見を投入することが必要になる。
- これらの人材や知見は、既存の研究機関だけではなく民間企業等や産業力からのアイデアを募ること、巻き込むことが必要だと考えており、引き続き官民連携の取組の中で進めていただきたいと思う。
- 資金について、このロードマップ中には具体的な金額は明記されていないが、相当規模の金額になると思う。
- 武田准教授からご説明のあったフュージョンエネルギー分野への投資は、他のエネルギー源と比較して国内投資による経済波及効果が大きいという点を是非ロードマップや戦略に盛り込んでいただき、投資することが結果的に経済の活性化に繋がることを国民に理解してもらうことが重要だと感じた。
- 栗原構成員からのコメントについて、官民連携のフェーズの組み方は複数のパターンがあると思う。
- 内閣府の資料のドイツの事例において、民間主導のコンソーシアムが発電実証を進めるという戦略になり、小西会長から御説明された半導体産業の事例も官民連携の一つの事例だと思う。
- フュージョンエネルギー産業で取組の適切性はまだ不明だが、官と民が対立する関係ではなく、同じ方向を目指す協力体制として取り組んでいくことが重要であると改めて感じた。

○恒藤審議官

- 成長戦略は17分野あるので記載枚数は増やせないため、本日いただいた御意見を精査し、メッセージが明確に示せるように構成員とも相談しながら、次回最終

回に向けて事務局で案を作成していきたい。

- 大前構成員、柏木構成員等からの、重要な技術課題が多くあり、その技術課題を世界に先駆けて日本が解決することで、日本がリードしていけるという御意見について、盛り込みたい。
- 大前構成員からの、さらにその先のチョークポイントを整理・解消することが重要であることも盛り込みたい。
- 尾崎構成員からは、サプライチェーン企業にとってすぐに投資回収できないことが投資増加の妨げの一つの要因になっており、例えば宇宙のようにある程度できたらそれを国が調達するような仕組みはできないのかという御意見を頂いた。宇宙の場合は、例えば情報を得るために人工衛星を打ち上げることは国のニーズとしてあり得るが、フュージョンエネルギーの場合は同様にできず、国策として発注の在り方等に難しさもある。経済産業省が開始したマイルストーン型支援について、関係省とも相談して書き込みたい。
- 近藤構成員からは、課題の不確実性を前提とした規制の設計について、内閣府作成のレポートも参考にしながら開発と規制は、同程度のスピード感で進めていくべきという貴重なコメントを頂いた。書き方を検討したい。
- 人材育成の重要性についてもコメントいただき、これも取り入れていきたい。
- 栗原構成員からは成長産業としては、期待が見えるようにした方がよいということで、2ページに記載のあるインパクトの中でうまく書き込みたい。
- ロードマップの2030年代からその後も官民協働の在り方、また、組織体についても御意見を頂いた。これもそのとおりだと思って聞いていたが、ページ数の中でどのように収めていくかは御相談かと思う。
- 地域産業の巻き込みについて、地域の産業拡大につながる政策パッケージが必要という点もそのとおりかと思う。
- 桑原構成員からも官民連携の在り方、将来の成長産業として明確に示していく必要があるという御意見をいただいた。
- 事務局で整理して、次回、案を提示させていただきたい。

○外務省（中村軍縮不拡散・科学部長）

- 外務省は側面支援となるが、前回大前構成員からご説明のあった、ITER事業における企業のプレゼンスについて非常に重きを置いており、日本企業の参加可能性については、外務省ができることは何でも支援したい。
- 外務省は個社の海外展開の支援もできるので、オールマイティではないが、個社が海外に進出する場合の事業のお手伝いはしっかりやらせていただく。
- 規制と標準についても、今後IAEAで議論が始まると思うので、外務省として一生懸命対応する。

- I T E Rに邦人職員をさらに送り込むという点については、現在、文書を調整している段階であり、しっかり取り組んで日本人のプレゼンスを増強させたい。

【開会挨拶】

○若山座長代理

- 本日は長時間にわたり議論を賜り、誠にありがとうございました。
- フュージョンエネルギー分野の官民投資ロードマップについても幅広い観点から御意見を出していただき、大変意義深い議論があった。
- 後半部分のご意見や大前構成員、柏木構成員の資料、栗原構成員からの不確実性を抱えながらも国民に対して事業のコンセンサスを得ていくこと、ステップや作業を意識すべきとの御意見を拝聴した。次回が最終回だが、議論し足りないのではないかと、聞く側の立場でもそのような印象を受けている。
- 本日御議論いただいたこの官民投資ロードマップについては、資料作成が相当な作業になると思われるが、一律の基準のもとで17分野すべてについて同一書式が求められるので、事務局においては厳しい中での調整だとは思いますが、本日いただいた御指摘を踏まえながらしっかりと反映させていただければと思う。
- 次回は来週、4月8日を予定している。今回のこのワーキンググループの最終回となるため、フュージョンエネルギー分野で日本が世界をリードできるように是非しっかりと成長戦略をつくっていきたい。引き続き忌憚のない御議論を賜りますようお願い申したい。

以上

第2回 フュージョンエネルギーワーキンググループ
出席者名簿

【座長代理】

若山 慎司 内閣府大臣政務官

【構成員出席者】

大前 敬祥 ITER 機構副建設長
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
柏木 美恵子 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
那珂フュージョン科学研究所トカマクスシステム技術開発部次長
栗原 美津枝 株式会社日本政策投資銀行設備投資研究所シニアエグゼクティブフェロー
株式会社価値総合研究所取締役会長
桑原 優樹 J I C ベンチャー・グロース・インベストメンツ株式会社
ベンチャーキャピタリスト
近藤 寛子 合同会社マトリクスK代表
橋本 英二 日本製鉄株式会社代表取締役会長 兼 CEO

【発表者】

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
小西 哲之 : 一般社団法人フュージョンエネルギー産業協議会 (J-Fusion) 会長
北島 誠二 : 一般社団法人フュージョンエネルギー産業協議会 (J-Fusion) 副会長

【政府関係者】

内閣府 : 濱野 幸一 科学技術・イノベーション推進事務局長
井上 諭一 科学技術・イノベーション推進事務局統括官
恒藤 晃 科学技術・イノベーション推進事務局審議官
外務省 : 中村 仁威 軍縮不拡散・科学部長
文部科学省 : 坂本 修一 研究開発局長
経済産業省 : 久米 孝 資源エネルギー庁電力・ガス事業部長
原子力規制庁 : 森下 泰 長官官房緊急事態対策監 ほか