

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(第2回)議事要旨

I. 日時 : 令和7年10月15日(金)15:00~18:16

II. 場所 : 中央合同庁舎4号館8階 1214特別会議室

III. 出席者 :(敬称略)

タスクフォース構成員

井上 雅彦	三菱重工業株式会社 原子力セグメント 核融合推進室長
尾崎 弘之(主査)	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
近藤 寛子	合同会社マトリクスK 代表
栗原 美津枝(主査代理)	株式会社価値総合研究所 代表取締役会長 兼 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／経済同友会 幹事
桑原 優樹	JIC ベンチャー・グロース・インベストメント株式会社 ベンチャーキャピタリスト
小泉 徳潔	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 ITER プロジェクト部長
寺井 隆幸	一般財団法人エネルギー総合工学研究所 理事長
服部 健一	ヘリティX 代表

オブザーバー

上田 良夫	追手門学院大学 教授 文部科学省科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 核融合科学技術委員会 主査
-------	---

政府関係者

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
清浦 隆	文部科学省 大臣官房審議官(研究開発局担当)
吉田 修一郎	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 フロンティア推進室 室長
瀧桐 基皓	経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力政策課 原子力技術室 課長補佐
大橋 良照	原子力規制委員会原子力規制庁 技術基盤グループ 技術基盤課 課長補佐

事務局

澤田 和宏	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
梶谷 秀樹	内閣府科学技術・イノベーション推進事務局行政実務研修員

発表者

議題(2) :

大山 直幸

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構
フュージョンエネルギー推進戦略室 室長

議題(3) :

薬師寺 高輝

三井物産株式会社 エネルギーソリューション本部
グリーンイノベーション室 マネージャー

議題(4) :

世古 圭

Starlight Engine 株式会社 代表取締役社長

伊庭野 健造

大阪大学 助教

逆井 章

京都フュージョニアリング株式会社

井野 孝

京都フュージョニアリング株式会社 Safety Engineering Lead

山本 航平

京都フュージョニアリング株式会社 公共政策部長

久保 洋介

株式会社 Helical Fusion 最高執行責任者(COO)

山本 聰一

awake 株式会社

松尾 一輝

株式会社 EX-Fusion CEO

水口 尚人

株式会社 EX-Fusion 執行役員

野尻 悠太

株式会社 LINEA イノベーション 代表取締役 CEO

玉木 謙

株式会社 LINEA イノベーション CFO

飯塚 清太

Blue Laser Fusion 株式会社 日本事業統括

IV. 議事(開会及び閉会挨拶を除き非公開)

1. 開会

2. 議事

(1)前回会合の議論のまとめと今後の検討の進め方

(2)ITER計画／BA活動の現状と今後及び発電実証に向けた課題について

(3)海外における社会実装を目指す企業の動向について

(4)我が国民間企業からのヒアリング

①京都フュージョニアリング株式会社

②株式会社Helical Fusion

③株式会社EX-Fusion

④株式会社LINEAイノベーション

⑤Blue Laser Fusion合同会社

(5)その他

3. 閉会

V. 配布資料

資料 1 前回会合における主な護憲と今後の検討の進め方

資料 2 QST提出資料

資料 3 三井物産・三菱商事提出資料

資料 4-1 京都フュージョニアリング提出資料

資料 4-2 Helical Fusion 提出資料

資料 4-3 EX-Fusion 提出資料

資料 4-4 LINEAイノベーション 提出資料

資料 4-5 Blue Laser Fusion 提出資料

※資料3および資料4-1～4-5については、非公開情報を削除したうえでホームページに掲載。

VI. 議事要旨

※議題(3)及び(4)の議事については、非公開情報に関するやりとりは削除して掲載。

1. 開会の挨拶

○尾崎主査

それでは、定刻になりましたので、第2回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を開催いたします。

本日も御多忙の中お集まりいただき、どうもありがとうございます。今日は極めて議題が盛りだくさんになっておりまして、異例の3時間開催です。したがいまして、途中議題3と議題4の間に10分間の休憩を挟む予定にしております。

2. 議事

(1)前回会合の議論のまとめと今後の検討の進め方(資料1)

○内閣府科学技術・イノベーション事務局 澤田参事官)

資料1、前回会合における主な御意見と今後の検討の進め方です。

2ページから4ページまで、前回のタスクフォースにおける主な御意見というページです。3つのパートに分けております。その1が社会実装に向けた取組全般に関する御意見、その2が発電実証の在り方に対する御意見、その3が現状認識に関する御意見です。

まず、2ページ目にその1の社会実装に向けた全般の御意見として、五つの御意見にまとめてあります。

1点目、フュージョン分野は技術的にもその他の面でも不確実性が高い。それらを考慮に入れることが重要。

2点目、発電実証の定義などの目標をレンジで示したり、目標や時期を段階的に整理して進めた上で、今後の進捗に応じて目標をアジャイルにブラッシュアップしていくというアプローチが適当ではないか。

3点目、社会実装に向けた全体の流れの中で発電実証を位置づけるべきである。

4点目、幾つかのシナリオを考えて、バックキャストして発電実証などの在り方を決めていくべき。

5点目は、ベンチャー的アプローチといわゆる王道的なアプローチのどちらがうまくいか現時点では分からぬので、二つのアプローチをリスク・リターンとリアリティを考慮しながら検討していく必要がある。

3ページ、その2の発電実証の在り方に関して、八つの御意見にまとめています。

1点目、発電実証はグリッドに送電できることが確かめられるようなものであるべき。

2点目、ITERと同等あるいはそれ以上のものを発電実証として目指すべきではないか。

3点目、民間事業者からすると発電コストが重要であるほか、安定的かつ継続的に電力を供給することが必要である。稼働率等も重要なパラメーターになる。

4点目、発電実証は商用につながることの見極めができるものであるべきであって、耐久性があることを示すことも重要である。

5点目、フュージョンの燃料サイクルの確立も必要なので、トリチウム増殖比(TBR)も重要な指標ではないか。

6点目、許容されるコストはどのようなものになるのか、社会実装の姿からバックキャストで考えるべきである。

7点目、社会実装につながる多くの経験を得るために発電実証するのであって、発電実証はその後の社会実装を担える組織が実施すべきである。

8点目、我が国は核融合の技術の蓄積や産業の基盤が存在している。多様な炉型の挑戦を進めるスタートアップが複数存在していることも強みである。この実態を踏まえて、実施主体を検討していくべきである。

次のページは、その3の現状認識について、五つの御意見にまとめています。

1点目、フュージョンエネルギーは、まずは技術成熟度を高めることが必要という段階である。

2点目、ITERでもそうだったように、一度ものがいると、その経験から次はスムーズに進むことが多い

かった。JT-60SAやITERの経験がある今のうちに発電実証に向けたプロジェクトを進めるべきである。

3点目、企業やリスクマネーを引きつけるための投資環境の整備を進めることも重要である。

4点目、民間のみがリスクを背負い発電実証などを進めるのは難しい。エネルギー安全保障など未来への投資という観点から国も支援すべき。

5点目、サプライチェーン全体にわたる経済波及効果、エネルギー安全保障、GXといった多様な意義を考慮して国としての支援の在り方を検討すべき。

ここまでが主な御意見というページです。

5ページ目には社会実装に向けた考え方の整理で、第1回目のタスクフォースであったQ&Aを記載しています。

一つ目の問い合わせは、日本は他国に重要な核融合のコンポーネントを納めるプレーヤーとしての立ち位置を目指すのか、それとも自国で核融合発電する技術を持って、発電する仕組みもグローバルに売っていくことを目指すのか。

こちらは、エネルギー安全保障と産業競争力強化の観点から、コンポーネントを供給するだけではなくて、システムのインテグレーターとして主要な国になることを目指すべきではないかという御意見を答として記載しています。

二つ目の問い合わせは、いつまでにどれくらいのフュージョンによる電力が要るのか。そして、国としていつまでにどれくらいの割合をフュージョンで賄うといった目標はあるのか。

こちらは、第7次エネルギー基本計画の考え方によって、各エネルギーをどの割合で用いるのが望ましいかは、基本的視点、S+3Eから判断されるべきである。それを総合的に見てフュージョンエネルギーが他のエネルギーと同等あるいはより優れたものとなれば、発電のオプションになり得る。

フュージョンはエネルギー安全保障や地球温暖化への対応といった面では優れた特性を持つ可能性があり、その価値を見いだせるように技術成熟度を高めるとともに、その社会実装にはコストを含めたS+3Eの観点から他のエネルギーと大差ないレベルを実現していくことが必要であるということを答として記載しています。

6ページです。

今後の検討の進め方です。第1回タスクフォースの議論を踏まえ、以下を検討することが適当ではないかと事務局でまとめております。

一つ目は、フュージョンエネルギーの社会実装に向けたシナリオです。これは複数になるかもしれないということです。二つ目は、その実現に向けた段階的な目標設定の在り方についてです。三つ目は、社会実装に向けた重要なステップである発電実証の在り方についてです。四つ目が当面の取組の在り方についてです。

これらを踏まえまして、本日と次回以降の進め方を下に載せております。本日の御議論ということで3点あります。一つ目が議題2、ITER計画／BA活動の現状と今後の課題について。二つ目が議題3は、海外における社会実装を目指す企業の動向。3つ目が議題4、我が国民間企業の構想、現状、政府への期待について。

この3つ目、議題4について、2ページめくっていただきまして、本日の民間企業へのヒアリングに先立って事務局から各社に依頼した事項を載せております。分類、構想、現状、政府への期待ということで、詳細は右に記載しています。構想の項目で各社の戦略、マイルストーン、発電実証で目指すスペックについて、また、コスト、達成時期、主体について。現状の項目では今までの研究開発や資金調達の状況、研究成果の概要、課題認識について。政府への期待の項目で、必要な支援、資金と資金以外、技術、施設・設備について、それぞれ聞いております。

2ページ戻っていただきまして、これらを本日御議論する予定にしております。次回以降は下の方にあります二点、一つ目が文科省の原型炉タスクフォースにおける検討結果と我が国における過去の検討について。原型炉タスクフォースは、期が変わっておりますので、また改めて立ち上げると承知していますが、前期の委員から御説明いただく予定にしております。二つ目、安全確保に関する検討状況についても今後議論していきたいと思っております。

最後、7ページを御覧いただきまして、第1回目をこれまで文字で御説明しましたけれども、ビジュアルでも御説明します。今後、社会実装に向けたロードマップを取りまとめていきますが、そのロードマップ

は以下のようなものになるのではないかというイメージを示しております。

まず、左側に、A、BからXまでの複数の取組を示しております。民の数が多いであろうというイメージですが、中には官の取組も入っているという想定です。これらから右に矢印が引っ張られていて、マイルストーンのある時期までに設定するという図になっております。そのマイルストーンを越えたところで矢印の本数が減っていき、第2のマイルストーンに向かっていくと。ある程度ここで選択と集中が行われるのではないかと考えています。

その次のマイルストーンにいくと、更に矢印が選択され、図の真ん中の方にまいります。そこで最後に選ばれた主体が発電実証に向けたプロジェクトを実施するということであり、その発電実証が成功した暁には、ここから先は前回の第1回の資料にも載せておりましたけれども、発電実証の先に社会実装があるということを示しています。社会実装では発電事業者がフュージョンエネルギーで発電し、電力を卸売するという状態を実現する、と記載しています。

ここで論点を三つ赤字で示しております。まず論点1として、短中期的に当面の取組としてどういったマイルストーンを設定するべきか、あるいは民間に設定してもらうべきか、その目標と時期についてはどういうことです。それに対する国の当面の政策的支援の在り方はどのようなものがふさわしいかということです。

論点2は、発電実証に向けていく太い矢印のところにかかるており、発電実証を行う主体と方式、サイト選定の進め方についてはどうあるべきかということが論点かと思っております。

その発電実証に向けたプロジェクトが始まるところから社会実装に向けて、社会実装を加速していくわけですけれども、そこ向けた政策的支援の在り方として、安全規制やバックエンド対策の予見可能性についても国が政策的支援を行っていくべきではないかとして、論点3として挙げております。

(意見交換)

○近藤委員

御説明ありがとうございました。それで、5ページの問1について少しコメントしたいと思います。

この御説明を伺いまして、そのとおりだと思うと同時に、今少し言葉の定義が必要になってきていると感じました。システムインテグレーター、コンポーネント、これは人によってイメージするものが違ってくると答えの幅が出てしまうので、少し気をつけるべきと感じております。

それで、あともう一つ、もうちょっと突っ込んだ話をしますと、問い合わせが一致しているのかという観点からちょっと考えてみたんですね。システムインテグレーターを目指すというものと、この問い合わせが本当に合っているのかどうかということなんですけれども、政策的な選択肢を多面的な検討する問い合わせると、やや限定的なのではないかと思いました。本来問うべきことは、日本がエネルギー安全保障の観点からどのように核融合を国内で位置づけるのかということがあると思いました。ちょっとここを読んでいます、核融合を輸出産業と見立てているような印象も受けてしまったので、今のような発言になります。

また、私が考えてみたシステムインテグレーターの意味というのは、あくまで自国での実装経験、能力を基盤としてこそ成立するものであって、必ず実証が必要だと思いました。実証運転制度もセットで議論されるべきことではないかなと思います。この辺りがシステムインテグレーターという言葉をしっかり定義する必要があるということです。

システムインテグレーターを目指すということ自体には同意なんですけれども、それによって主要コンポーネントや要素技術、サービスが何であるかという検討や責任分担の議論が後回しにならないようにすべきだと思っております。もちろんこの資料で後回しにするということは書かれていませんけれども、統合的に検討することによって中核技術の空洞化を招かないようにしていかなければと考えました。まとめますと、核融合を輸出産業としてということだけではなくて、エネルギーインフラとして国内にどう根づかせるのかという視点を併せて議論に加えられたらと思っております。

振り返りますと、第1回から社会実装タスクフォースのミッションではこういった話があると思いましたので、私は何も異を唱えているというわけではなくて、論点の意味合いをもう少し明確にするとかぶれないう検討を進められたらということで申し上げました。

○内閣府科学技術・イノベーション推進事務局 恒藤審議官

コメントありがとうございます。確かにこの紙だけ見ると、いきなりこの質問が出てくるのは若干違和感があるなという感じは私もしましたが、前回もこのような質問がこの場であったので、質問についてこういう回答ですというのを書いたまでございまして、今御指摘いただいたのは正にそのとおりでありますて、まず重要な視点は電源としてあるいはエネルギー源としてこれをどうやっていくのかということだと思いますし、ワードの定義も必要だと思いますし、また、統合的にシステム全体あるいはコンポーネントも含めて検討していくべきなのはそのとおりだと思いますので、今のコメントも含めて検討を進めてまいりたいと思います。

○桑原委員

7ページのロードマップのイメージを示していただいて本当にありがとうございます。この辺りの意識をしっかりとこの会議の場で合わせることが重要だと思っています。

本日は民間企業の御説明がメインの主題となって、その中でこのフレームワークで議論していくという御提案を頂いていると理解していますけれども、QSTが進めいらっしゃる原型炉の計画というのもこのフレームワークの中で一緒に議論すべきなのか、それともそれはそれでちょっと別に考えましょうということなのか、この辺りについての認識を合わせておきたいなと思いますけれども、この点についていかがでしょうか。

○恒藤審議官

この図で言うと、発電実証に向けたプロジェクトというのが真ん中に書いてございますけれども、これ自身もかなり費用もかかるようなことだと思いますし、恐らく政府の支援がなければなかなかできないと思いますので、そういうものを日本で二つも三つもやるということはなかなか現実的には難しいと思います。この段階では少なくともQSTが取り組んでいるものの延長でやるのか、あるいは今民間企業が提案されているようなものをベースにやっていくのか、あるいはそれが少しどこかでマージをしてやっていくのか分かりませんけれども、やはり一つになっていくのだろうと考えてございます。

○桑原委員

分かりました。では、その全てを包含しているフレームワークとして理解いたしました。ありがとうございます。

○寺井委員

私も7ページのところに関するコメントなんですが、そもそも発電実証というのをどう定義するかというのが結構重要なポイントで、それはこの会議での一つのタスクだと理解をしています。それがしっかりと定義できた後で発電実証に向けたプロジェクトをどうしていくかという話で、今徐々に絞っていくというイメージですよね。ですから、時間とともに、あるいは技術の成熟度の進化とともに絞っていくという話だと思うんですが、タイムスケジュール、そのあたりはどんな感じになるのかというのが余りこの絵だけでは見えなくて、実際に結果を見てみないと分からぬといふところが多分あるんですけれども、バックキャストで考えるとある程度のタイムフレームというのは必要なかなと思いますが、その辺りについてはどういうふうなイメージでお考えいただいておられますでしょうか。

○澤田参事官

事務局の方でこの図を作成しましたけれども、まだ時期まで完全に決まり切ったわけではありません。寺井委員がおっしゃった発電実証については政府としては2030年代を目指していますので、仮にそれが2030年代後半だします。この図ではマイルストーンが三段階ございますけれども、アメリカの例にならうとマイルストーンは18か月、1年半ということですので、日本政府の会計年度がそれに適合するかという議論はありますか、他方でマイルストーンが3年とか4年あって、それが三段階というのは少し長いかなとも考えられますので、長くても一つのマイルストーンは2年程度ではないかと私は思っております。

○寺井委員

多分技術的なところが重要なポイントになると思いますので、一つのイメージとしてそれはそれでありかなとは思います。ただ、発電実証をどう定義するかというところがやっぱり幾つかこの資料の中に出でてきましたけれども、それから、前回もこの委員会でいろんな御意見が出ましたけれども、そこをやっぱりある程度しっかりと定義づけすることと、2030年代発電実証というのをどう捉えるかということが重要だと思います。これも今後多分御発表があると思うんですが、QSTのステップ1、2、3というのがあって、どれをもって発電実証とするか。ステップ3まで終わらないと発電実証としないのかどうかということですね。ステップ1だったら多分2030年代、QSTのステップ1でもいいかと思うんですけれども、ちょっとその辺りはやっぱりしっかりとある程度の時期に定義しないといけないと思いますので、そこはぜひよろしく御議論のほどをお願いいたします。

○服部委員

御説明ありがとうございました。二つコメントがございます。

一つはページ5の先ほどのコンポーネント云々の話の補足ですが、他の産業構造を考えると水平プレーヤー、垂直プレーヤーという視点があり、この核融合分野でもどのようなストラクチャーになるのかということに非常に注意を払うべきだと思います。恐らくPCのような水平分業だけではないだろうし、垂直統合でもないだろうと思われます。恐らく航空業界とか自動車業界のように垂直を基本としながらも水平分業が入ってくると思われます。それをいかに最適化するのがポイントであろうと思います。

ここでもう一つ注意したいことは、現在はフランチャイルな、要は形ができていない時期の歩の進め方に非常に注意を要する事です。例えば、日本の1970年代、80年代の時計産業では、水晶発振器という重要なデバイスがありましたけれども、日本の垂直型の時計最終製品産業が立ち上がる前に、デバイスマーカーが水晶発振器デバイスを海外に売ってしまったので、海外の時計産業の方が強くなってしまったという、余りハッピーではない歴史が起こりました。従って、水平なテクノロジーと垂直のシステムインテグレーションの歩調をいかに合わせるのか、ということに注意を払うべきと思います。

二つ目は、先ほどと同様、7ページのタイムラインの話ですけれども、政策的支援の影響ということに関して、政府の補助金的なものがメジャーなものとして進めるのか、または飽くまでアメリカのように民間主体で政府は補助的に進めるのか、または中間でいくのか等、そういう議論も必要になってくると思っております。

○澤田参事官

特に2点目の方は我々も政府部内で話し合わなければいけないと思っていますので、引き続き議論していきたいと思っております。

○小泉委員

多分僕のこれからお話しさせていただく意見というのはちょっと古い時代的な考え方で、多分今のここに書いてあるようなやり方が近代的なのかなと思いながらも、ちょっと自分がITERでやっていたときのことを思いながら今この図を見ていたんですけども、やっぱり核融合は技術的に結構トライアルなことが多くて、やっぱりいい人材を集めないと進まないと思うんですよね。やったけれども結局失敗しましたということが続いて、そうすると、やっぱりいい人材を集めたい。いい人材を集めるときに民間でも国研でも同じではないかなと思うんですけども、2年後にこのプロジェクトは終わります。終わるかもしれませんといって人が集まるのかなというのはちょっと個人的にすごい疑問に思うんですよね。チャレンジングであるがゆえに例えばこれ絶対できるよねと思ってやれる人はそんなにいるのかなと。特に新しく入ってくる人で、経験がある人は自分なりにストラテジーを持ってやれるのかもしれないけれども、残念ながら核融合の業界はそんなに経験がある人はたくさん居なくて、要は原型炉をつくろうといったときにいるかというとそうではなくて、インダストリーの人とかを巻き込んでやっていかなきゃいけないと。そのときに転職してこのチャレンジと一緒にやろうぜと。でも、2年後マイルストーンだから、これ取れなかったらごめんねと言って人が集まるのかなというのはちょっと疑問に思えたというか、一意見ということでちょっと述べさせていただきます。すみません。

○尾崎主査

人材の件は国家戦略でも重要な柱ですので、その点はぜひ配慮したいと思います。ディテールはこのタスクフォースの議題にならないかもしれません、この点考えながら議論を進めていきたいと思います。

○栗原主査代理

このタスクフォースでは、ロードマップや推進の仕方自体も議論するわけです。ですから、今回、初めてクリアに今後議論することを示していただいたことは議論の深耕に意義があると思います。

ただ、時間軸は本当に重要で、このマイルストーンを絞り込んでいく過程が5年タームなのか10年タームなのか、それとも2年タームなのかによっても違ってきます。例えば2年だとすると、正直その間にプロジェクトを一つに絞れるのかという問題もあります。また、国の支援はないが、例えば民間で、自分たちでリスクを負うのでやりますというプロジェクトがあっても良いわけで、そういうものが排除されるべきではないと思います。ここで言う国の支援が、日本の核融合を決めつける形になるのか、それとも、一定レベルに達したら支援が受けられますという形にするのか、その辺もこの中に議論できたらと思います。

(2)ITER計画／BA活動の現状と今後及び発電実証に向けた課題について

量子科学技術研究開発機構第3研究企画室の大山室長より資料2に基づき説明

私の方からITER計画／BA活動の現状と今後及び核融合発電炉に向けた課題について報告させていただきます。

次のページを御覧ください。右の枠内に示しますように核融合出力は密度と温度の積、つまり圧力の二乗に比例するという関係がございます。この関係を踏まえて、核融合出力を増やすために重要な三つの要素として、密度を上げること、閉じ込め時間を長くすること、温度を上げること、この3点が提唱されました。この3要素を図に示したもののが左に示すローソン図と呼ばれるものでございますけれども、横軸にイオンの温度、縦軸に閉じ込め時間とイオン密度の積を示しています。そのため、図の右上に行くほど性能が高いことを示すという図になっております。

1970年代から80年代にかけてのトカマク方式の研究では、装置の大型化による性能向上が行われました。その後、1980年代から90年代になると3大トカマクと呼ばれるJT-60、JET、TFTRの運転が開始されました。この時代では装置の大型化に加え、中性粒子ビーム加熱装置など加熱装置の高パワー化により1億度を超えるプラズマが得られるようになりました。加えて改善閉じ込めモード、いわゆるHモードや負磁気シアプラズマが発見されるなどプラズマの高性能化も達成しました。

その結果として、このローソン図の右上の青い領域で示しております、外部からプラズマを加熱するために入力したパワーと核融合出力が等しくなるQ=1に到達したということでございます。このQをエネルギー増倍率と我々は呼んでおりますけれども、このQが10以上の領域を実現し、エネルギー源としての見通しを得るため、ITER計画／BA活動が開始されたという経緯がございます。

次のページを御覧ください。エネルギー増倍率について先ほどのページで説明いたしましたけれども、Qが大きなプラズマを制御することは、Qが1より小さいプラズマを制御することと本質的な違いがございます。左上の図に重水素と三重水素を燃料とした場合の核融合反応を示してございます。核融合反応で生じたエネルギーの8割を持っている中性子、これをプランケットで受け止めて熱として取り出すのですが、一緒に生成されるヘリウムの原子核である α 粒子、こちらは2割のエネルギーを持ち、これが燃料を温めることになります。この仕組みを自己加熱と呼びます。Q=1のプラズマというのは、外部加熱と核融合出力が同じ場合になりますので、自己加熱は外部加熱の2割しかないという状況になります。

一方、Q=10のプラズマは、外部加熱の10倍の核融合出力が発生しますので、そのうちの2割が自己加熱になるということですので、外部加熱の2倍の自己加熱があるという状況になります。このように自己加熱が主体のプラズマを燃焼プラズマと我々研究者は呼んでおりますけれども、全体の加熱パワーの3分の1しかない外部加熱によってこの燃焼プラズマが制御できること、これを実証することは核融合発電炉の実用化に必須であると考えております。

また、右下の図に世界中のトカマク装置の成果に基づき導出された比例則を示してございますが、ITERの装置パラメーターを決定する際はこの比例則を使っております。現在、QSTで概念設計を進めている原型炉についてもこの比例則に基づいて設計しておりますので、実際のITERのプラズマがこの比例則に

従うことを確認することも今後の開発に向けて重要なマイルストーンであると考えております。

次のページを御覧ください。右下の表にITERの主要パラメーターを記載しております。Q=10以上の燃焼プラズマを長時間生成するために直径30メートル、高さ30メートル、プラズマ体積840立方メートルの装置が必要になります。これは先ほどの評価の結果として得られたものとなってございます。この装置サイズは既存の大型トカマクよりも直径、高さともに約2倍の大きさになります。そのため、超伝導コイルや加熱装置などの核融合工学技術を統合して、設計した性能が得られることを実証すること、これもITER計画の目標の一つとなっております。

また、ITER計画は物納貢献方式を採用しておりまして、7極が機器を分担して製作し、ITER機構が各部品を組み立てるということになっております。

スケジュールにつきましては、図の左下に記載してございますが、2024年にITER機構が提案したベースライン2024に沿って当面の取組を進めることで合意しており、重水素一重水素運転の開始が2035年、DT運転期の開始が2039年となっております。

次のページを御覧ください。この資料は日本が調達責任を有する機器を示しています。日本をはじめITER加盟極での機器製作は着実に進展しており、世界初のFOAK機器を製作する技術が蓄積できています。日欧で製作した超伝導トロイダル磁場コイルは全数がITERサイトに納入済みとなっており、ITERサイトでのトカマク本体組立てはベースライン2024より前倒しで進んでいると聞いております。また、NB試験施設やトロイダル磁場コイルの低温試験など実規模試験に向けた準備も進んでおります。

次のページを御覧ください。ITER計画を支援するとともに、核融合エネルギーの早期実現を目指して日欧で三つの事業を共同で実施しているものが幅広いアプローチ活動です。2007年6月から事業を開始し、2020年3月までがフェーズ1となっております。フェーズ1で大きな成果が得られたことを踏まえ、2020年3月2日に幅広いアプローチ活動の更なる共同による実施に関する共同宣言が出され、2020年4月からフェーズ2の活動が始まっています。

左に記載しているのが那珂フュージョン科学技術研究所で実施しているサテライト・トカマク計画事業です。ITERのサテライト・トカマクであるJT-60SAの建設・運転を通して、ITERを支援する研究とともに、原型炉の運転パラメーターを決定する研究を実施しています。

真ん中に記載しているのが国際核融合エネルギー研究センター事業です。原型炉設計において日欧で共通の課題を解決するための研究開発を共同で実施したり、ITERの遠隔実験を実現すべく六ヶ所フュージョンエネルギー研究所にITER遠隔実験センターを設置し、大容量のデータを高速に長距離伝送するための技術開発を行ったり、スパコンの運用を通して大規模シミュレーションに向けたコード開発などを実施しています。

右に示しておりますのが国際核融合材料照射施設の工学実証/工学設計事業です。原型炉の構造材料として低放射化フェライト鋼を開発しましたが、14MeVという高エネルギーの中性子照射にどこまで耐えられるかを確認するため、高エネルギーの中性子を発生するための照射施設を建設する必要があります。照射施設の建設に必要な要素技術の工学実証と照射施設の工学設計を行っており、六ヶ所フュージョンエネルギー研究所では原型加速器LIPAcの建設と運転を交互に行っております。

本資料の後ろに参考資料として3事業の成果概要を記載しておりますので、後ほど御覧いただければ幸いです。

次のページを御覧ください。委員の皆様御承知のとおり、核融合発電炉を実現するためにはまだ技術的な課題がございます。この図に示す核融合発電炉の構成要素を踏まえて、主な技術課題を幾つか紹介させていただきます。

左上に示す課題は燃焼プラズマの長時間維持と高圧力運転の実証です。ITERにおいてQ=10を超える燃焼プラズマを長時間維持するとともに、JT-60SAにおいて高い核融合出力が得られる高圧力運転を実証することで、核融合発電炉における定格運転圧力などの仕様を決定するということが課題となっております。

真ん中に示す課題は加熱装置の高効率化と高出力化です。核融合発電炉はコイル電源や加熱・電流駆動装置などの運転に大きな電力を必要とします。この所内電力を低減することで正味の発電量を増やすことが可能になるため、加熱・電流駆動装置の効率を高めることが課題です。さらに、1台当たりの出力を高めることができれば用意する加熱装置の台数を削減でき、建設コストの低減にもつながります。

左下に示す課題は燃料システムにおける三重水素取扱い技術やペレット生成技術です。核融合発電炉

の運転には燃料として多くの三重水素が必要になります。国内においてこれまで経験がほとんどないため、高濃度の三重水素水処理システムの実証や燃料ペレット製造技術の検証など様々な技術検証が課題です。また、これらの課題を解決することは核融合発電炉における燃料システムの安全性確保と許認可取得に不可欠であるとも考えております。

次のページを御覧ください。上に示す課題は超伝導導体の性能確認に関する課題です。核融合発電炉の実機建設に当たっては、超伝導導体の生産時に品質確認のための試験が必須となります。また、将来的商用炉に向けて強い磁場かつ強い電磁力の環境下でも動作する高温超伝導導体の開発も課題であり、超伝導導体の試験やR&Dが必要となっております。

右上に示す課題はブランケットにおける燃料増殖技術と放射化したブランケット遠隔保守技術です。核融合発電炉の運転には燃料として多くの三重水素が必要になります。そのため、熱の取り出しと燃料増殖率(TBR)が1以上の燃料増殖を両立するブランケットの開発が課題です。また、定期的に交換が必要となる炉内機器としてブランケットとダイバータがございます。どちらの機器も中性子照射により放射化していますので、放射化物の定量的評価を実施するとともに、放射化物を安全に取り扱うための遠隔保守技術の開発も課題です。その際、炉内機器の交換を短期間に行なうことが実用に供し得る稼働率を実現するために必須となります。

加えて、運転の許認可を得るため構造材料であるフェライト鋼の寿命確認のためのデータ蓄積も課題でございます。

最後に、下に示す課題がダイバータの除熱性能向上です。小型で高出力の核融合発電炉はダイバータの熱負荷がITERより高くなります。そのため、ITERよりも除熱性能の高いダイバータの開発が課題となっております。これらの課題を解決するためのR&Dにできるだけ早く着手することが早期の発電実証に必要と考えております。

(意見交換)

○寺井委員

幾つか御質問があるんですが、余り細かいところはまた別の機会にさせていただいて、8ページのところに核融合発電炉に向けた主な技術課題というのがあります。正にこのとおりだと思うのですが、今のQSTのデザインというのは、特に磁場のところなんすけれども、超伝導導体は金属系のものを今使っておられて、多分それは変わらないんだろうと思うんですが、もちろん今後経済性等を考える上ではサイズを小さくしていって低コストにしていくというのは必要なので、高温超伝導導体ということに多分なっているんだと思います。

その辺りのところは、今幾つかスタートアップが目指しているところと結構近いものがあって、そういうところでも今後そういう開発をしないといけないんだろうと思うんですけども、これは実施主体ということではなくて、QSTとして高温超伝導導体の開発というのはスコープの中に入っているという理解でいいですか。

○大山室長

まず、本資料はQSTがやっていることに限定したことではなくて、将来の核融合発電を実用化する上で必要となっている課題を網羅的に上げたというところでございます。寺井先生御指摘のとおりQSTで提案しておりますITERサイズ原型炉につきましては、ITERと同じで既に実用化されているものをそのまま使うことになりますので、QSTの提案しているものについて新たな開発というものは必要ございません。

一方で商用炉を考えたときに、商用炉も果たしてITERと同じ線材でいいのかというところはまだ決めるべきではないと思っておりまして、ムーンショット10等で高温超伝導線材の開発なども進められておりますので、そういった成果は商用炉の設計に反映すべきだと考えてございます。

それは並行して進めるべきだと考えてございますので、今日のこちらの資料ではR&Dも含めた課題を解決していく必要があると記載してございます。

○寺井委員

ありがとうございます。全体のスコープの中での位置づけということで理解いたしました。

ムーンショット10の話もありますし、それから、高温超伝導導体を使うというので経済性の面で改良できるという部分は大きいと思うんですが、実際に今おっしゃった商用炉という話になると、経済性まで考える上では高温超伝導導体を使うのがある種必然になってくると、そういうふうなトーンでお話になったと思うんですよね。それで、QSTが今描いておられる原型炉ステップ3までは従来型の金属系の超伝導マグネットだという理解なので、そこにある種のギャップがあるような気がするんですよね。そのところは高温超伝導線材を並行して開発していくって、最後、原型炉が達成された後で商用炉に持っていくときに例えれば超伝導マグネットをリプレースといいますか、全く別のものをつくるんだと思うんですけれども、高温超伝導導体の開発がある種の必須である、そういうふうにこの絵は見えるんですけども、そういう理解でよろしいですか。

○大山室長

まず、2030年代の発電実証に向けて一番の近道は何かと考えたときに、QSTではやはりITERと同じ低温の超伝導材を使うことが最もリスクは少ないと判断してございます。QST自身が高温超伝導材の線材の開発を行っているということではございませんので、そこはいろんなプロジェクトとか民間企業の皆様の研究開発を我々は止めるものではございませんので、そういった様々な活動の今後の成果を見て、商用炉の設計をするという機会がございましたら、そういうところに最新の設計を反映していくということを考えております。

○寺井委員

分かりました。いずれにしても、商用炉というのは原型炉よりもかなりサイズを小さくして低コスト化を狙うというのが必然で、そういう意味での高温超伝導導体の開発、それから、ダイバータですよね。このダイバータも結構厳しいところがあって、それこそ幾つか前にお話を聞いたことがあるんですけども、例えばスペースシャトルの大気圏再突入時ぐらいのヒートロードがあると、そういう話で、更にサイズが小さくなるとともに厳しくなりますよね。だから、その辺りの技術開発というのも結構重要で、それもそういう意味では並行して進めないと商用炉までいかない。QST定義の原型炉は何とかなるかもしれないけれども、商用炉まではいかないと、そういう理解でよろしいですかね。

○大山室長

正に商用炉を低コストでつくるという上では、やはり小型化をするために原型炉とは違ったアプローチがどうしても必要になってくるところがございます。寺井先生おっしゃられたとおり高温超伝導というのは小型化に必要なことでございますし、ダイバータはITERよりも小さなサイズで大きな熱を受け止めることとは相当厳しい技術的な課題をクリアする必要がございますので、それも一朝一夕にできることではないと思っております。

○寺井委員

分かりました。その辺りは原型炉ができた後に商用炉に持っていくところの一つのステップアップといいますか、重要なハードルだと、そういう理解でよろしいですね。

○大山室長

そのとおりでございます。

○近藤委員

7ページの資料の質問なんですが、燃料システムで三重水素の取扱いということが書いてありますて、これは安全確保という点で非常に重要だと思うんですけども、ITERにおける三重水素等の安全確保について、どのようにリーダーシップを取られているというか、どこかの国際機関であるとか政府が検討していて、それに対して準拠するというようなお考えなのか、それともやはり機材・機器に関しての専門性を有しているので、自らこの機器に関しての安全確保をこのように考えていくというようにデザインされているのか、どちらを志向されているのかについて伺えますか。

○大山室長

まず、ITER計画につきましては、今日の資料でも御説明しましたが、物納貢献方式となってございまして、トリチウムに関わる関連の施設についても調達分担はどの国がどの機器を納めるというのが決まっているというところでございます。我が国も一部、環境に漏れたトリチウムを回収するための雰囲気系トリチウム除去システムというところの調達責任は持ってございますけれども、それ以外のところにつきましては、基本それぞれ担当している国が調達するという形になっているというのが実情でございます。

設計としての技術は7極共有ですので、設計図とか考え方というのは当然知見として持っているんですけれども、それを一つのシステムとしてちゃんと稼働させることをやはり国内でしっかり確認する必要があると思ってございまして、QSTでも六ヶ所研にそういった施設の建設を提案しているというところでございます。

○近藤委員

私が最初に質問したシステムのインテグレーションという意味においては、安全確保の考え方をどれだけデザインできるのかということは非常に重要になってくると思っております。これは、ただ言われたものを設計書に書かれていたとおりに収めるということではなくて、それも重要なことですけれども、その考え方を整理するという観点でどのようにアプローチされているのかなということを伺いたくて確認させていただきました。

○大山室長

今正に規制庁の方で始まっております事業者等との意見交換でもQSTが考えているITERサイズ原型炉における燃料システムの詳細についても御説明等させていただいているところでございます。安全で合理的なシステムをつくりたいと思っておりますので、規制庁の御意見なども参考にしつつ、設計を深めていきたいと考えております。

○栗原主査代理

5ページです。今後日本でつくれることを目指したときに、現時点でQSTをベースにしてこれだけの企業が関わっているわけですね。全て日本企業ですので、日本でできると考えてよいのか、それともITERプロジェクト等を通じて、国内だけではできなかった技術があったのかどうかというところを教えていただければと思います。

○大山室長

今日ここはITERのことが書いてございますので、ITERについての調達機器と調達に御協力いただいている産業界の企業が書いてございますけれども、もう一つ、JT-60SAという幅広いアプローチ活動のところでやっている方、こちらも物納貢献方式となってございます。例えばITERでは真空容器は日本がつくっていないんですけども、JT-60SAの真空容器は日本が担当してございます。調達分担を決める国際協議の中で日本は、ITERでやらないところを中心にJT-60SAの日本の担当にする这样一个協議を行いまして、ITERとJT-60SAを両方やれば、次にITERと同じものを単独で日本はつくることができる技術を蓄積できるように、二つのプロジェクトで網羅的に対応できるようにという考え方でやってきたところでございます。

○栗原主査代理

そうしますと、JT-60SAも含めてその両方で日本全体を俯瞰するのであれば、日本ができると考えてよいのですね。

○大山室長

装置本体については大丈夫だと思っております。ITERでもBAでもやらないものというのがやはりございます。それがブランケットの開発ですか燃料の増殖の部分、あと、先ほどもトリチウムのお話が出ましたけれども、やはりJT-60SAはトリチウムを扱いませんので、国内にないというところで、この辺はやはりもう少し国内の産業基盤を拡大していく必要があるかと思っております。

○井上委員

私が申し上げたいのは、これからの話もそうなのですが、皆さん発表するときに炉心の話ばかりされるんですね、課題も含めて。炉心というのは、車でいえばエンジンにすぎなくて、プラント全体はどうなのかということがプラントメーカーとしては非常に気になるところです。

具体的に言うと、最後のページもですが、発電をするシステムとか熱輸送とかそういったところにも課題があると思いますし、トカマクのカボチャみたいなものというのは原子炉でいうところの原子炉容器の中身です。そこからいろいろな機器がつながって、例えばスチームジェネレーターやここにあるようなタービンとか、それらも核融合であればFOAKになります。今あるものを持ってきてつければいいというものではないと私は思うので、そういう課題もあるでしょうというのが私のサジェストです。

また、発電炉に向けた主な技術課題とありますが、これは発電実証に向けて全部やり遂げられるのでしょうか。というのは、30年代に運転開始とおっしゃっていますが、先ほど政府提案スキームでは開発期はマイルストーン三つぐらい6年ぐらいでやり切るような格好になっていたのですが、その辺の準備とか今の進捗はどうなのでしょうか。具体的な細かい技術的な質問はいっぱいありますが、それは原型炉の発表があるようなのでそこで確認しますけれど、今言ったプラントとしての成立性の見通しと計画、この辺をお願いします。

○大山室長

まず、本資料をつくったときに最初に御提示いただいたところは発電実証に向けた課題というふうにテーマを御指示いただいたんですけども、今日の資料は発電実証ではなくて、最終的には商用炉を目指した上で何が必要なのかというのを一旦網羅的に示してございます。発電実証の定義とかによって何をどこまでやらなければならないかというのが変わってくるので、QSTだと恣意的にこれは課題ではないというのはよろしくないと思ったので、今回は最終的なゴールを商用炉としたときに、その商用炉を核融合発電炉と読み替えたとしていただいたときに全体を書いたというところでございます。

その上で最初の方でおっしゃられましたように、ブランケットで実際に熱を取り出して発電する、ここは正にITERでもまだ実際やれていないところになりますので、非常に重要な技術的課題であるとはQSTでも認識しているというところでございます。この辺につきましては、やはり我々QSTでは一番リスクが少ないので水を使って熱を取り出すのが一番低リスクでいけるだろうということで、高温高圧水を使ったブランケットの開発を基本的に考えてございますけれども、ほかの国はヘリウムのガスを使うとか様々なほかのことを考えていらっしゃるところもありますし、民間企業さんでは発電実証の段階から先進的なブランケットを取り扱おうというようなプロジェクトもあると聞いてございます。

この辺はやはりQSTで御提案しているのは、技術ギャップができるだけ少なくて、既存の技術ができるだけ生かせるということで高温高圧水の熱の取り出しを主眼として考えているというところでございます。

○服部委員

ありがとうございます。2つ質問させていただきます。

今の井上委員と文脈は全く同じですが、炉工学の開発においてITERの進捗というものを考えたときに、実証炉を前倒しした場合に試験結果を待たずに進まざるを得ないところがどれくらいあるのかということを伺いたく思います。例えばブランケットというのは非常に重要なモジュールだと思いますけれども、ブランケットのテストというものがITERで計画されていると思いますけれども、JA-DEMOを前倒しすると、ITERでのブランケット試験の結果を待たずして、JA-DEMOのブランケットの設計製造をやらざるを得ないと思えます。したがって、そこら辺をどうお考えなのか、別枠で並行してブランケット開発を計画しているとかありますか。

二つ目はIFMIFの計画がありましたけれども、これも同様に、IFMIF完成の後に材料試験がいつぐらいに開始できて、それによる材料の進化を次の新しい実証炉に生かせるのかどうか、間に合わないリスクもありそうですので、それらのタイムラインに関して伺えますか。

○大山室長

まず、先に後者の方から回答させていただきます。お手元の資料の最後のページにIFMIF／EVEDA計画のスケジュールを載せてございますけれども、下の方のグラフがIFMIF／EVIDA計画となってございます。2023年ぐらいのところからDONESという計画の線があるかと思うんですけども、今、日欧でこれまでやってきたIFMIF／EVIDA計画の成果を生かして、ヨーロッパ・スペインの方にIFMIFの半分の性能を持ったDONESというものを国際協力で建設して、そこで材料照射をしようという計画が出てございます。今年は日本政府もこの計画に参加するということを正式に表明してございまして、材料の照射につきましては、このタイムスケールでデータが上がってくると期待してございますので、このデータを踏まえて10dpaもしくは20dpaまで運転が可能ということなどを確認していきたいと思ってございます。

最初の質問のブランケットの方でございますけれども、ITERのところのテストブランケットモジュール計画というところで、全部で四つの異なる方式のものを実際のITERの中性子に照射してデータを集めようという計画がございます。御指摘のとおりITER計画は若干スケジュールの見直しがありましたので、TBMから実際に中性子が照射して出てくるデータというのは2030年代後半になるというのは御指摘のとおりでございます。ですので、2030年代に前倒しにして考えますと、燃料の増殖の部分については絶対に間に合わないので、QSTが提案しておりますITERサイズ原型炉の場合、第1期はITERの全体を440個で覆っているシールドブランケット、ここにも当然冷却水を流して熱を取ることになっているんですけども、それと同じものをITERサイズ原型炉の第1期にはそれを発電専用のブランケットとして置きまして、熱を取るところだけを使って発電を実証する、そういう計画でございますので、ITERのTBM計画とはITERサイズ原型炉の第1期はリンクを外して設計が進められるということで、そのところについては前後関係がないようにしてございます。

第2期以降につきましては、燃料の増殖を行いますので、そこはITERのTBMの知見も入れつつ、それまでに並行して進めるQST独自でのR & Dの結果なども踏まえた最適化をITERサイズ原型炉の第2期のブランケットに反映したいと考えてございます。

(3) 海外における社会実装を目指す企業の動向について

米国のコモンウェルス・フェュージョン・システムズの取組について、同社の代理として三井物産株式会社エネルギーソリューション本部グリーンイノベーション室の薬師寺マネージャーより資料3に基づき説明

先ほど御紹介いただきましたとおり、我々三井物産は日本企業12社と共同でCFSへの出資を決定しております。9月頭に発表したところでございますけれども、本日はCFSに代わり当方より同社取組について説明をさせていただきます。よろしくお願ひいたします。

本日は当社が日本企業をリードして出資を決めた背景並びにその過程で他にも30社超の日本のスタートアップも含むグローバルのフェュージョンスタートアップと会話をてきておりますので、その経験を共有させていただきまして、本タスクフォースに少しでもお役に立てばなと考えております。

それでは、ページをめくっていただきまして、1ページ目をお願いします。

御存じのところと重複するところもあるかと思いますけれども、CFSはMITのプラズマ研究所のスピナウトとして2018年に設立されました。直近アナウンスをした862ミリオンのシリーズBの資金調達を加えまして、合計約3ビリオンの民間調達を実現しているという会社でございます。先ほど人材についても少し触れている部分がございましたが、現在1,000人超の人材が働いているというところでございます。スピナウト元のMITをはじめ、スペースXであるとかテスラであるような米国のスタートアップエコシステムからも人材が入ってきているというような状況でございます。

続いてのページは先ほども出てきたところではありますけれども、CFSは小型のトカマク炉を志向している会社でございます。進めているプロジェクトとしましては、こちら右の図の中で星がついておりますけれども、SPARCというプロジェクトです。こちらは発電実証という言葉、今日もたくさん出てきておりますけれども、CFSの定義ではQ値を達成していく。まずはQイコール1というものを2027年、28年辺りに達成し、その先Qイコール10を目指していくようなことをこのSPARCでやっていきたいと考えている会社でございます。

ページをめくっていただきまして、強みとしているのはMITの研究をベースにしているHTSマグネットでございます。こちらは開示情報にもなっておりますけれども、日本企業のフジクラがHTSの線材を売って、CFSのキャンパスの横に併設をしておりますマグネット工場で彼ら自身がコイリングをしているという状況でございます。

右端にITERとのサイズの比較がございますけれども、この実証炉のSPARCというところでは先ほどもありましたが、商業化を見据えた取組になりますので、やはりHTSを活用した小型トカマク炉というところが基本線になっているということでおざいます。

続いてのページではこれまでの歩みというところになりますけれども、一番左がAlcator C-Mod、MITのPSFCで進められていた研究炉になりまして、そこのスピナウトという形でまずマグネット単体での試験結果を発表しました。こちらを受けて民間の1.8ビリオン級の調達を実現し、今の研究施設の建設を進めているという段階でございます。ARCという商業炉は2030年代前半の売電開始というところを目指しているという時間軸でございます。

次のページも先ほどまでのメッセージと同様のものになりますけれども、ネクスト・ツー・イヤーズと書いておりますが、試運転期間等も含めて2027年頃のQイコール1を達成していきたいというふうなタイムスケールになっております。

こちらから少し写真がたくさん増えてまいりますけれども、イメージをつかんでいただきたいなと思ってあって写真を多く含んでおります。彼らは自分自身で集めたお金でキャンパスと呼んでおります本社の横に併設しているマグネット工場でこのような施設をつくっております。

続いてのページに移っていただきますと、もうちょっと引きの絵がございます。出資のタイミングでは数か月に一回訪問はしておりましたが、行くたびに新しいものが積み上がり、新しいことが達成される、そういうふうな状況を目の当たりにいたしました。

次のページではキャンパスの引きの絵が描かれておりますけれども、こういった施設の中でほぼ全ての従業員がこのキャンパスで働いておる状況になりますので、1,000人超がこちらにいるというところでございます。

その次のページでは、更に資金調達の前と後の状況を比較として載せておりますけれども、更地の段階から現在25年というところで右側の写真に写っておりますけれども、先ほど御確認いただいたとおり、こちらはただの箱として建っているわけではなくて、中でしっかりとマグネットを製造したりとかそういったことが実際行われているというのがこの4年で彼らが達成してきたことというところで御理解いただきたいなと思います。

次のページはまたSPARCのところが出てきておりますので、一旦ここは飛ばさせていただきます。

ハイライトしたいのが次のページ、このページでございます。先ほど来議論が出てきておりますけれども、CFSの言葉を借りると、ARCに向けて必要な構成要素の大部分をSPARCで実証ができるとCFSは言っています。

続いてのページがARCのデザインになります。大きなコンセプトとしては現状400MWの発電容量で、熱としては600度の熱を取り出せるというふうな設計になっています。先ほどの日本のプロジェクトとの比較で申し上げますと、CFSは溶融塩、FLiBeを使って熱を取り出すことを考えているというところでございます

続いてのページになりますけれども、一方でスタートアップという言葉からはちょっと少し軽いというとあれですけれども、やはり勝手に頑張っているような印象がもしかしたらあるのかもしれないですが、やはりCFSがすごいなというふうなところに関しては、Dominionという電力会社とパートナーシップを組んで、実際にFOAKを建てるサイトはもう既に確保しているという点でもやはり進んでいるなど考えています。Dominionは会社に出資をしているというわけではございませんけれども、一緒にFOAKプロジェクトを立ち上げていこうというところで、Dominionがもともと持っていた石炭火力の跡地を使って一緒にプロジェクトを進めていくパートナーシップを締結しております。

さらに、次のページで説明しておりますのは発電したものを売る先というところも確保しております。こちらはグーグルとエニになりますけれども、それぞれARC1から売電契約を締結しております。両者とも同社の株主という関係ではございますけれども、このタイミングでしっかりとPPA締結というところでコミットしているということもCFSが単なるスタートアップというよりは、大きなものを巻き込んで進んでいっているというところの証左と考えております。

さらに、次のページで説明しておりますのは核融合という長い研究の歴史があるものの上に立っているスタートアップということとして、スタートアップ独力で切り開くというよりはしっかりとした研究基盤を持っている米国内外の研究施設とのパートナーシップを通じて、科学的なチャレンジを乗り越えるべく進めているというところでございます。こちらに関してはCFSがユニークな点というよりは、各フェュージョンスタートアッ

プは日本のスタートアップも含め、こういったアカデミアとの連携を進めていると認識しておりますので、そういう点も御認識いただければなと考えております。

最後のページになりますけれども、日本コンソーシアムとしてCFSに出資を決めた背景というところで説明をさせていただきます。

先ほど日本としてどういったポジション取りをしていくのか、政府の支援というのはメインであるべきなのかサポートであるべきなのかという議論もございましたけれども、やはり我々がもう一つ認識しないといけないのは、日本とアメリカの投資環境の違いというのは大きなものがあると考えております。我々最終的には12社のチームになりましたけれども、議論の段階では30社以上の日本の企業様にお声がけをさせていただきました。その中で前向きに検討いただいた中でもちょっと金額が出て下世話な話になってしまいますが、5,000万ならやらせてくださいあるとか、そういうお話はたくさんありましたが、やはりフュージョン炉を考えると、チケットサイズ自体が5,000万ではどうにもならないというのが実情でございました。

一方で、米国には大口の投資家がいる。数百億円をぱんとは出していないでしようけれども、大口の出資をしてくる人が複数いるという環境の違いをしっかり踏まえて、日本流のフュージョンの取り組み方というのを考える必要があると考えています。

(意見交換)

○桑原委員

貴重なお話を伺いできて、ありがとうございました。

2点ございまして、一つは彼らがこれだけ多額の資金調達が実現できている背景として、技術的などころはブランケットを含めていろいろ課題はありますけれども、やっぱり超伝導マグネットをつくれれば商用炉まで到達できるという彼らのシナリオが魅力的で、それに対して投資家はベットしているという理解で正しいのかというところと、彼らの資金調達において米国政府のマイルストーンプログラムを含めた支援というのはどういうふうに影響しているのかというところを教えてください。

○薬師寺マネージャー(三井物産株式会社)

前者のところに関しては、やはり多額の資金が集まっている背景の一つは、彼らが目指している方向性が割と賛同しやすいラインに乗っているのかなというところかなと思います。やはりトカマク炉というこれまで多くの研究者の方々が実績を残してこられたデータが集まっている炉型をベースに、その商業化を見据えた上では先ほどのこの議論でも小型化が必要だろうと。ここは多くの方が賛同できるところかなと思っておりまして、そのラインにしっかり乗せている、これが一番大きいのかなと考えております。

もう一つ、資金調達の面において米国政府の補助のところに関しては、率直に申し上げてCFSのレベルになるとほぼ影響がないと考えています。というのは、彼らが民間から調達しているよりも2桁低い金額しか政府の補助金がついていないというところです。ただ、繰り返しになりますが、それはやはり米国と日本の状況の違いが大きくありますので、ちょっと日本流に翻訳するときにそこは調整が必要かなという意見です。

○小泉委員

ちょっと僕の話は少し細か過ぎるところに入っちゃうんですけども、もともと僕がこのフィールドに入ったときは超伝導から始まったので、ただ一方で、ここ10年くらいは超伝導の仕事をしていないので、最近の動向を分かっていないのでちょっと教えてくださいという感じなんですけれども、HTS、商用炉を目指したときに最終的には高温超伝導にするんだろうなというのは僕も思っていて、そういう開発を進めなきやいけないよねと思いながら、テープ線材の核融合用の超伝導コイルはすごく難しいんですよね。実際にITERでもNb3Snというのを使っているんですけども、もともとはテープだったんですよ。テープではものにならないというので、丸線の開発をして今の導体に至っていて、5年くらい前の話かもしれないんですけども、僕が思っていたのは、HTSで丸線ができたら我々はそれを使えるのかなと。そうすると、今のITERの導体と同じような形でHTSが使えるので、導体の製作性とかを考えたときには、例えば次のものを金属系でやっても将来的には多分HTSに関しても大きな変更なくできるのかなと思っていたんですけども、HTSのそういうところはしっかりと詰められているんですか。クエンチの保護とか交流損

失とか機械的なこととか、あと、こちらのマグネットの場合は無絶縁コイルですよね。核融合で無絶縁コイルはあり得ないのではないかと僕は思っちゃったりしているんですけども、そこは一応細かいところに入っちゃっているので、今回答しなくてもいいので、メールか何かで、一応サワダさんの方で追加質問みたいなのはメールで回答してもいいという話があったので、ちょっと細かいところに入っているので、多分先方に聞かなきやいけないところはあると思うので、ちょっとそこら辺を教えていただけたとあります。

○薬師寺マネージャー

コイルのところは非常に彼らにとってもコアな技術になるところでございますので、我々としても細部まで回答はできないというのが実情でございます。聞ける範囲でCFSにヒアリングをして、次回の場で回答させていただければと思います。

○寺井委員

私も同じところを質問しようと思っていました。実は私、昔東大にいた頃、20世紀の時代ですけれども、90年代に高温超伝導体の研究をやっていたんですね、くしくも。そのときにいろんなこともやっていましたけれども、今、小泉委員がおっしゃったところは正にキーだと思っています。

それから、特に今回核融合に関して言えば、やっぱり中性子の照射効果というのが避けて通れなくて、それは多分まだ余りデータがないんだろうと思うんですよね。その辺はしっかりとこれから取らないといけないと思うんですけれども、その辺りを今後どういうふうなことでやっていかれるのかというのは非常に興味がございます。

それから、もう既にTFコイルは全部つくったとおっしゃっていたと思うんですが、これは結局幾つコイルを使ってやられるのかというのと、かなり見たところ薄い感じがしていたんですね、一つのコイルが。それを多分重ねてやるのかなと思ったりしているんですけども、ちょっとその辺りのストラクチャーがどうなのかという辺りですかね。

それから、セントラルソレノイドコイルは結構やっぱり高磁場になるので、その辺のところはこれも後で結構ですので、追加質問をさせていただきたいと思います。

○薬師寺マネージャー

CSコイルはこれからつくっていきますというところと、TFコイルは18個だったと記憶しておりますが、基本的には重ねていくという方向で正しいと思います。一応どこまで共有していいかも含めて、確認して回答させていただければと思います。

○栗原主査代理

このプロジェクトについて、SPARC段階で参加した投資家は、どう投資回収を見込んでいるのでしょうか。

○薬師寺マネージャー

SPARCは収益を生む炉ではございません。我々の議論の中では、やはりその先のARC以降のフルーツが大きいというところを前提にキャッシュフローを引き戻して投資する価値があるだろうという議論をしています。

○栗原主査代理

そうすると、SPARCへの出資者はARCへの出資もしているというか、同じエンティティという位置づけですか。

○薬師寺マネージャー

そうです。そういうエンティティ、プロジェクトに出資をしたわけではなくて、我々は今回トップに出資をしてという形になっています。

○近藤委員

1点御存じだったら伺いたいんですが、グローバルなサプライチェーン1,000社と書いてあって、結構短期間で築かれているなという印象なんですけれども、薬師寺さんが御覧になられて何か工夫されているという点はありましたか。

○薬師寺マネージャー

工夫というよりは、むしろやはりITERが先にサプライチェーンをつくってくれたというところが大きくて、ITERと一緒にやってきた人たちというところをベースに彼らとしてサプライチェーンをつくっているという理解でございます。ユニークなところで言いますと、彼らはFLiBeを使っていきますので、SPARCには含みませんが、研究開発の部分で独自のサプライチェーンをつくっている部分がございますけれども、基本的にはやはりITERをベースにやっているという理解です。

○近藤委員

ITERのサプライヤーをチェックして、ロングリストがあって、そこから御自身たちのサプライチェーンを築かれていっている。

○薬師寺マネージャー

そうです。なので、重工とか諸々お声がけされている理解でした。

(4) 我が民間企業からのヒアリング

①京都フュージョニアリング株式会社の社長かつStarlight Engine社のCEOの世古代表取締役社長より資料4-1に基づき説明

まず、2ページ目を御覧ください。発電実証についてですけれども、当社はDT燃焼を伴うNuclear技術のところからメガワット級の発電までを工学的に早期に実証するということが大事だと思っています。この「工学的に」というところがポイントとして、後ほどお話をさせていただきます。これは物理やプラズマの話ではございません。かつてリカルレーザー等の炉形式の話ではなくて、ブランケット及び熱取り出し、燃料サイクル、この炉工学を用いて発電技術を実証していくところが大事だと思っています。なので、発電実証に加えて発電技術の実証、炉工学の技術の実証というところがこの国の発電実証において大事だと考えております。

2点目、商用プラントまでの明確な道筋というところが重要だと思っております。ITER設計後に表れたHTS等の先進技術を踏まえて、既存技術の活用をしながらトカマクに立脚した先進技術で開発をしていくことが最適だと考え、我々は今回FASTというプロジェクトを立ち上げております。

3点目です。実行主体ですけれども、メインとなるのは産業化の意思と能力を持つ民間実行主体であると考えております。これはもはやただの学術的な実験マシンではございませんので、「もんじゅ」の二の舞にならないように民間の実行主体としてFASTの実現をしていきたいと考えております。

次のページを御覧ください。いただいた御質問についてですけれども、まず発電実証で目指すスペックについての考え方です。下の方の開発戦略と書かせていただいているけれども、FASTプロジェクトでは50MWクラスのサーマルパワー、あと、10MWクラスの電力出力というところを挙げております。

2点目、時間ですけれども、数百秒及び1,000秒の連続運転、これをフラットトップで実現することが上記の50MW及び10MWクラスの電力出力につながると考えております。

3点目、Tritium Breeding Ratio、TBRですけれども、システム全体としては0.9、ローカルではできれば1以上を超えてくるというところを見据えてしていくかと思っております。翻って上のところでお話をさせていただいているのが発電実証に加えて発電技術の実証というのが我々は必要だと思っております。それを実現するのはフュージョン反応からの発電技術を実証する、つまり超伝導コイルをはじめ商用化に必要な要素技術の開発を統合して実証していくところが必要と考えております。

加えて、これまでITERではトリチウム・ブランケットモジュール等の技術も実証していくというお話でしたけれども、今回このブランケットがITERでは実証されないというところを踏まえて、やはりブランケット及び炉内機器の開発と実証を統合的に行うことが必要だと考えております。これらを統合して発電実証からスケーリングに基づいて商業エネルギー・プラントまで技術を確立していくことが大事だと考えております。

マイルストーンについてです。我々は三つのマイルストーンを設定しております。こちらはすみません、書いておりませんけれども、設定をしておりまして、2025年内に概念設計を完了すること、それが一つ目。二つ目が2026年中に総額200億円規模の資金調達を実施すること。三つ目が2027年までにブランケットモジュール及び燃料サイクルのユニティ1、ユニティ2の実証完了を行うこと、この三つを短期のマイルストーンとしてクリアしていくというところを考えております。

コストのところは後ほど御説明しますので、一旦飛ばさせてください。

4ページ目をお願いいたします。これらを踏まえてFASTというのは民間主導で2035年に運転を開始、かつ2038年に発電を実証していくということを掲げております。方式はトカマク方式、それはなぜトカマク方式かと申し上げると、先ほどの炉工学、ブランケット等々も含めて最も多くの実績と経験を統合して実証できるのがトカマクだと考えているからです。これらのFASTの中ではDT燃焼から運転、プラズマ炉構造、保守、安全運転等を含めて統合的に技術を実証していく、Nuclear技術のギャップを埋めていきたいと考えております。

5ページ目を御覧ください。改めてこのFASTの目的ですけれども、先ほどから申し上げているフュージョン反応等々、あと、ITER-TBM相当の技術ギャップを埋めていくというところを通じ、運転実証としては左側の50MW級のサーマルパワーアウトプット、電気出力は10MW、エネルギー増倍率は1程度というところを狙っております。これは結果としてこういった結果を生み出すのですけれども、実際の実証項目及び要素技術というのを書かせていただいており、DT燃焼プラズマの実現、エネルギー取り出しと変換、トリチウム増殖ブランケット燃料サイクルシステムの確立等々を実証項目として挙げ、具体的には要素技術も達成していく見込みです。

今後の計画は下のところに書かせていただいているだけではなく、商用プラントを見据えた開発をしていくというところがこの国では重要だと考えております。

次は6ページ目を御覧ください。具体的なFASTのトカマク設計の概要を書かせていただいております。これはDT反応でのトカマク炉、運転時間は約1,000秒です。炉心サイズは3メートル級というところで、JT-60SAより少し大きいサイズのトカマクとなります。

右側ですけれども、Tritium Breeding Ratio、すみません、0.6と書いておりますけれども、これは0.9をグローバルとして目指して、ローカルではTBR1.1を目指すものになります。その下等々、超伝導コイルはHTSを用います。構造材料とすると、SuS、プラズマ対向壁はタンゲステン、ブランケットはリチウム鉛増殖ブランケットを用いる形式となっております。これらの細かな要素の仕様等は17ページ以降に細かな御案内をさせていただいておりますので、後ほど御覧いただければ幸いです。

7ページ目を御覧ください。いただいている御質問として、現在の研究開発の状況等について御説明させていただいております。改めてですけれども、我々はプラズマを実証するというところ、これはもう既にやられているところもございますので、発電実証及び発電技術の実証として必要な工学課題の解決というのが我が国では必要だと考えております。それは具体的にはDT燃焼ですし、中性子の発生に伴うブリーティングブランケットの燃料サイクルシステムというお話をになります。

我々のFASTは2025年内に概念設計の活動というのを完了する見込みでして、12月にはホワイトペーパーという形で100ページ超にわたる資料を発表していく予定です。かつ2026年には工学設計に移行していく計画です。

資金の面です。既に京都フュージョニアリングとしては160億円の資金調達を実施済みです。追加で来年夏までに京都フュージョニアリングとして200億円程度、Starlight Engine社として50億円、合計で250億円程度の資金調達を完了させる予定でございます。これに加えて2027年及び2028年に政府からの資金の援助もいただきながら、民間として追加で2,000億円の資金を調達したいと考えております。

一方で、やはり公的資金の投入というのを我々はいただきたいと思っていますし、この国では必要だと思っております。下の形で書かせていただいているだけでも、いろんな研究開発要素がございますし、土地、建屋、あとバックエンド等々ございますので、合計で3,000億円もしくは3,500億円規模の公的資金の投入をお願いしたいと考えております。加えて資金の面だけではなくて、技術開発も一部NBIやダイバータ開発等、こちらはQSTやNIFSとも連携して進めなきゃいけないと思っておりますし、立地選定、ルールメイキングにおいては政府とも連携をしながら進めたいというのが我々からの要望事項になり

ます。

8ページ目を御覧ください。改めてこのFASTというのは商用炉の実現に必要な技術ギャップを埋めていくということを考えております。日本にはJT-60SAという世界に冠たるトカマクのマシンがあります。また、公的機関を投入してITERの開発も進んでおります。ただ、このJT-60SA、ITERででき切れないことというのはFASTで埋めていって、JT-60SA及びITERの技術とこのFASTを統合して商用炉に導いていくというお話をさせていただいております。ですので、改めてこの観点からトカマクが最速で最も信頼性が高いマシンとして炉心機器はトカマクを選んでいる、その周辺技術で必要なものは統合プラント運転ですかトリチウムの燃焼実験ですかトリチウム増殖ブランケット、燃料試験等々で埋めていくというのがこのFASTの真の目的になります。

9ページ目を御覧ください。それをまとめたものですけれども、このFASTの重要課題の克服ですけれども、改めてFASTでは統合プラントの運転、重水素・トリチウムの燃焼、トリチウム増殖と燃料サイクル試験の実証及び安全設計という残された商用化及び発電実証に向けて残された課題を解決していくと思っております。具体的には右に書かせていただいているとおり、トリチウム、ブランケット、燃料、保守等々を解決していきたいと思っております。

10ページ目を御覧ください。こちらが資金計画及び今後のマイルストーンになります。2025年中に概念設計を終わらせる及び2027年途中で工学設計を終わらせつつ、UNITU-1、UNITU-2によって燃料サイクルシステムのブリーティングブランケットを実証して、これを工学的に統合していくということを考えております。資金においては160億円調達済みですが、250億円を追加で26年度夏までに調達する予定としております。

11ページ目、これまで概念設計を進めてきたものですけれども、今はもう10月に入っております。設計統合及び最後の調整の時期を迎えております。12月の初旬にはホワイトペーパーという形で100ページにわたる設計概念というのを御提示させていただく予定です。

12ページを御覧ください。FASTの運営体制と組織図です。やはりこれは最終的に数百人規模の大きなプロジェクトになりますので、それにふさわしい組織体系というのをやっていく予定です。

最後に、リーダーシップチーム及びメンバーというのを書かせていただいております。私がCEOとしてこのプロジェクトを引っ張っておりますけれども、横にいるのが伊庭野先生です。伊庭野先生はCTO候補としてこのFASTのプロジェクトを率いていただいている。逆井さんは横に座っていただいて、右下に書かせていただけておりますけれども、逆井さんは長らくQSTでJT-60SAの設計及び構造解析及び検査というのを引っ張っていただきました。技術的には小西と飛田先生がもともとQSTの原型炉設計チームの初代チームリーダー及び飛田先生が2代目チームリーダーということで、QSTの坂本宜照さんの前任者及び前々任者という形で、こういった方々が本当にこれまでの知識だったり経験だったり実績を基にこのプロジェクトをリードしていただいているという状況でございます。

加えて、トカマクの専門家も必要ですので、藤田先生がJT-60の設計を担当されてきた経験もございますので、そういった先生方の力も借りながら、次の14ページ、今京都フュージョニアリングを含めると200名以上の体制になっております。このFASTプロジェクト単体ですと50名ですけれども、京都フュージョニアリングを含めると200名以上の体制という形でこのプロジェクトを運営している状況です。

次のページになりますけれども、15ページはFASTについてですけれども、産学連携及び国際連携というのを推進しております。東大、京大、東北大学、名古屋大学等々及び産業パートナーを巻き込む形で日本の力を統合して、総合してフュージョンを実現するというような形の動き方をしております。

長くなってしまいましたけれども、まとめでございます。16ページを御覧ください。お伝えしたのは、やはりこういった大きなプロジェクトを実行していく上に当たっては、メンバー、資金、あと技術、スピード、実行力、あとリーダーシップ、こういったものを全て統合していく必要がございますので、そういった何をやるかだけではなくて、どうやるかというところを踏まえて我々はそういったチーム体制を築いているというような状況でございます。

(意見交換)

○栗原主査代理

18ページにあるようにJT-60SAやITERの技術を補完しながら実証に持っていくとすると、例えば15ページでは国研のQSTが入っていません。QSTやITERの成果をどうこのプロジェクトに反映できてい

るのでしょうか。人材のスカウトでやっているのか、組織対組織で連携するのか、成果を利活用する仕組みはあるのでしょうか。

○世古代表取締役社長(Starlight Engine株式会社)

まず、NIFSの状況が今一番分かりやすいと思うので御説明させていただくと、NIFSとはプラズマ加熱装置、HTS、ブランケットの構造材料、あとシミュレーション等々複数にわたって協力を既にさせていただいているというような状況でございます。あと、QSTにおいてもトリチウム技術、プラズマ加熱、システム行動、その他もろもろの観点で個別技術についてはもう既に協力体制にあって、共同研究契約を締結しているような状況です。

一方で、これをもう少し包含的・統合的にやらないとやはりリソースの分配になると思っておりますので、ここはQSTとも今お話をさせていただいている状況ですし、NIFSとも来年の3月をめどに包括的な発電実証に関わる共同研究契約というのを結びたいという形でお話を進めていただいております。少し個別のテーマ及び今までのQSTのアセットの活用については、多分逆井さんから御説明いただくのがいいのかなと思います。

○伊庭野氏

JT-60SAは物理実験マシンなので、そこから得られるいろんな成果、これをFASTの方でも適用したいと思っています。ITERについては先ほどもありましたけれども、テストブランケットの技術というのはお互いに開発を進めていく、お互いに有意なターゲットだと思っています。

○世古代表取締役社長(Starlight Engine株式会社)

あと、私から申し上げるのも何ですけれども、正に保守・メンテナンス等については、特にブランケットの保守・メンテナンスというのがこの設計、原型炉計画の一番難しいところなんですけれども、こちらは今原型炉のこれまで培われた設計データや研究というのを基に、正にそこを逆井さんが引っ張ってきていただいたので、その知見を統合して使用させていただいていると。ただ、これを個人に依存するのではなくて、一緒の方向にやっぱり向かって国と民間機関が協力していく体制というのをつくりたいなと思っています。

○栗原主査代理

そうすると、御社のプロジェクトが進んだとしてもQSTのR&D活動は引き続き必要で、その成果を引き続きフィードバックしてもらうやり取りがしばらく続くというか、それが理想的なのでしょうか。

○世古代表取締役社長

それは必ず必要だと思っています。このFASTを実行していくに当たって、まずQSTの人材が必要になってきます。人材だけではなくてQSTがお持ちの技術も必要ですし、更に研究開発も必要です。あと、我々が構想しているのは、このFASTは民間でトカマクの上物建屋、あと周辺機器というのはつくることができます。ただ、実際はその後に我々はすぐに商業プラントに行くので、このマシンを使って例えばQSTだったりNIFSにこれの基礎実験だったり運用だったり、更にいい実験をしていただくという形で、うまく民間でつくったものを公的機関に渡しながら、ただ、民間は更にその先を行く、公的機関は既存のインフラストラクチャーの上により最新鋭のものをもって実験していくような、こういったものが日本では必要ではないかなと考えています。

○井上委員

技術的な話からすると、はっきり言ってこのすごい短い時間でこんなのができるのかなと思っているのだけれども、それはおくとして。まずはビジネスモデルを聞きたいのですが、FASTとビジネスモデルの関係を教えてください。

○世古代表取締役社長

ページで申し上げると、5ページ目を御覧ください。我々はこのFASTの後に商業用プラントFAST2と

いうのをすぐにつくる予定です。FASTそのものではエネルギーとして商用に至りませんので、このFAST2を用いて250MWもしくは350MWクラスの商用発電プラントを出していくというのがビジネスモデルになります。それをつくるのがStarlight Engine社になります。なので、Starlight Engine社はこのFAST2を5基、10基、100基という形で世界に向けて販売をしていく、そこから得られるリターンによってビジネスをしていくというのがビジネスモデルになります。

○井上委員

そうすると、このFAST1というのはどういう位置づけですか。プロトタイプですか。

○世古代表取締役社長

プロトタイプになります。

○井上委員

さきほどから話を聞いていると、やっぱり国費をたくさん投入しないとできません、ということのようなのですが、貰えなかつた場合はどうされるのでしょうか。

○世古代表取締役社長

正直アメリカだけがこの1社単独で5,000億円、7,000億円を資金調達できる状況にある。これは、アメリカは特殊な事例だと思っています。では、日本で同じようなことはやはり難しいので、だからこそ産官学という形で連携してフュージョンの開発が進まないと、開発は進まないと思っています。民間で調達できるのは、私の感覚では2,000億円、3,000億円が限界かなというところは思っております。

○井上委員

そこは理解しますけれども、ビジネスと混在させるというのは非常に難しいと思います。IPの取扱いを含めて。商業化されるとなると、国費がそいつたものに回ってしまうということになるので非常に難しいのではないかと思います。皆さんのアセットの半分以上を国が出すとすると、それは国有化に相違ないと思います。要するにナショナルファシリティーを国の代わりにつくってあげるよ、というふうに聞こえます。

○世古代表取締役社長

その点については10ページ目を御覧いただきたいんですけれども、まず民間でお金を集めるのはトルクマク装置、フュージョンテクノロジー、ブランケットというサイクルです。ここは将来的にお金になる部分です。一方で、土地、建物及び開発費もしくは運転費というのはお金にならない、むしろコストになるものなので、こういった部分を国費で賄っていただいて、上の将来民間として商業化につながるもの、ここは自前で資金調達をしていくという形で進めさせていただければありがたいかなと思っております。

○井上委員

分かりました。でも、そのときの開発成果はどうなるのですか。国と折半ですか。

○世古代表取締役社長

開発成果は、できれば基本的に民間、そうでないと民間として商業化はできない形になるかなと思います。

○井上委員

大きなアセットの部分に大きなお国の金を投じるというのは、非常に慎重にならざるを得ないのでないかと思います。またさっきも言いましたが、開発が二、三年で終わって、すぐものづくりが始められるような状況に本當になるのでしょうか。

○伊庭野氏

基本的な考え方としては、JT-60SAの装置に沿おうというのを大前提に置いております。SAの知見を最大限に生かしまして、早くつくれるものはつくてしまおうと。それに加えて、もちろんFAST独自で開発しなければいけない部分がありまして、特にHTSマグネットです。ここで開発と書いてあるのは、HTSマグネットの開発です。ただ、それも一方では既に進んでいるCFSの先ほどお聞きになったかもしれませんけれども、事例などもありますので、そういうところとうまく連携しながら、なるべく短期間にやっていくと。非常に短期間でアグレッシブな目標ではあるんですけども、逆に言えばこれぐらいの短期間で実現できなければフュージョンの実装というのには難しいだろうと考えております。

○井上委員

おっしゃることを理解はします。が、ものを作るためには材料調達期間も必要ですし、JT-60SAであっても20年ぐらいがかかるといふてはいるわけです。ITERなんてまだできてもいい。そういうことを踏まえると、アグレッシブを超えていたる計画に私には見えます。

○近藤委員

手短に質問させていただきます。いろいろ見えないことがある中で、いろんな課題を整理されているなという印象なんですが、公的支援について私も質問です。採算性以外に公的資金を投入すべきだと、そういう何か基準があつたら伺いたいというのが1点、まず教えてください。

それから、もう一点質問なんですが、足元の課題というか、進める中でこういうことの予見性が低くて、例えば必要な資金調達の積算が難しいとかといったことがあつたら、それは何なのかについて教えてください。

○世古代表取締役社長

すみません。1点目の質問を忘れてしました。

○近藤委員

1点目は採算性以外に公的資金を必要とする基準があれば教えてください。資料の中では、事業採算が困難なものについて公的支援と書いてあって、そうすると、努力がしづらい部分は国にお願いしているとちょっと見えてしましたんですね。でも、もしされではない、それ以外の理由があれば教えてください。

○伊庭野氏

基本的には正直米国をモデルにしたというところがありますが、米国では土地、建物を国が提供して、中の資材というものを民間が出していくというのが今やろうとされていることなどをDOEから伺っております。確かに近藤様の御指摘のとおりで、それはちょっと援助し過ぎではないかという御意見も出てくる可能性はあるんですけども、やっぱりその後のフュージョンの産業化を考えいくと、非常に国としてはいい支援になるのではないかと思っております。

2点目はどういう課題があるのかと。まず、この辺は後ほど井野さんからも御説明していただきたいんですけども、私たちが一番重視しているのは規制のことだと考えております。安全性を確保しない限りはやっていけないことだと思っておりますので、トリチウムの問題がついて回るところではあるので、そこから出てくる設計課題というのをきちんと整理して、炉設計の概念に統合していくところが必要です。具体的なところは井野さんからお願いします。

○井野氏(京都フュージョニアリング株式会社)

4月以降、原子力規制庁と当社はFASTについて、設計情報に基づいていろんな意見交換をさせていただいている。今後、国に認められて建設が始まるといった前段階、今のフェーズにおいて規制当局と意見交換できるというのはかなり貴重な機会ですし、いい機会を頂いていると思ってございます。こういった意見交換を通じながら、今後の許認可の方針ですとかそういった持つていき方みたいなところの認識合わせができれば、許認可の上のスムーズな行動が取れるかなというふうに考えてございます。

○服部委員

リアクターの商用炉に対する道筋に関して質問です。商用炉への外挿をどう考えるか、あまり説明がありませんでしたが、非常に難しい課題ではないかと思います。なぜならばプラズマのパワーに関してはスケールの3乗、一方、面積は2乗、線は1乗に比例しますから、サイズを大きくしますと、第一壁やブランケットの単位面積当たりの中性子束や熱流束のレベルは非常に大きくなると予想されます。特にセントラルソレノイドと内側のダイバータプレートでそれが厳しくなると予想されますが、そういったことはどのように検討されているんでしょうか。

○伊庭野氏

それがやっぱり最大の課題だと。中性子負荷が最大の課題だというのは考えているところです。認識は同じです。その上で、現在FAST2というものを4メートルクラスから5メートルで考えていると。それはもともとスリムCSというQSTでされた原型炉設計が土台になっていて、それが5メートルクラスで3GWという炉だったんですけれども、そこから4メートルになるにはやはり核融合出力をある程度下げなければいけないと。スリムCSは途中で1.5ギガだったかもしれませんけれども、すみません、ちょっと記憶にないですが、核融合出力をある程度下げなければいけないだろうと。

もともとフュージョンの採算が取れるのは1GWの電気出力というのを言われていた時代があったんですけども、幸いCFSさんが数百MWの出力でも十分商用として乗るだろうというラインを引いてきてくださいて、私たちもその考えに沿って商用炉規模としては少しちいさいスケールのFAST2というものを設定して、最初はCOE、Cost of electricityが非常に高い炉になることはもう受け入れていただくしかないんですけども、その後、4基、5基と重ねていく上でコストを下げていくという戦略を取っていくのが必要だろうと思っています。おっしゃるとおり中性子負荷というのは最大の課題ですので、最初は出力を上げて、また、DONESの結果が出てきたらそれを受けてもう少し余裕を持たせるとか、そういうことがでてくるかなと思っております。

○小泉委員

井上委員からもちょっとコメントあったと思うんですが、スケジュールが結構タイトだなと思いながら、そうすると、60なりITERベースでやるということになっていくのかなと思いながら、60ベースでやられるということで、ちょっと教えてほしいのがHTSを使うから磁場も高くして、これは導体、24ページを見ると、どっちかというとITERの導体にテープ線材というよりもそれに近い形になっていて、そうすると、磁場が高いと電流も上がって、電磁力も上がるるので、そこは60の延長線からかなり大幅にずれちゃうのかなと思って、それともこういう新たな導体をつくって、60レベルの磁場と電流値でHTSの実用性の製作性とかそこを証明するというストラテジー、どちらなんですか。

○伊庭野氏

後半に述べていただきましたとおり、HTSの実証というのも非常に重要なテーマだと考えております。ただ、もちろんそこにはCFSが先行しておりますので、全く新しいということではなくて、私たちはどちらかというと、そこを踏まえて、もちろんそれを国内でも実証しつつ、ブランケットと保守交換を重視するというのがストラテジーです。磁場が強くなって60とどう変わってくるのかという点に関しては、基本的には磁場が強くなると難しくなるのが機械的な応力です。その応力限界のところを見極めて、実はこのHTSマグネットの磁場は60より2倍強いんですけども、設計限界には全く達していないと。HTSを少し低いカレントで使うという設計思想でやっております。

○小泉委員

それは構造材とかもなんですか。

○伊庭野氏

いいえ。磁場は強くなっていて電流も強くなっていますが、強度は十分もつ範囲で、コイルを太くして設計しております。

○小泉委員

結構大きくなりますよね。

○逆井氏(京都フュージョニアリング株式会社)

これはコイル担当の方に聞いたんですけれども、実際にケーブルコンジットの筐体のサイズを大きくして、それで、全体で応力がもつのような構造になっていると。解析結果がそういうふうに出ていると聞いています。

○小泉委員

例えば2倍、3倍、4倍になんでもありますということ、電磁力が。

○逆井氏

そうですね。今の応力計算だともつと聞いております。

○小泉委員

ちょっと細かい話で、どれくらいの応力を仮定しているんですか。許容応力を。

○伊庭野氏

それは参考資料に入っていると思います。すみません、ただ、コイルのところは余り外に出すなど厳命されておりまして、一部出でない可能性はありますが、設計応力は基本的にQSTと同じ考え方で、同じ設計強度を守ってJJ1鋼を想定した設計応力になっております。

②株式会社Helical Fusionの久保COOより資料4-2に基づき説明

株式会社Helical Fusion、COOの久保と申します。本日、CEOである田口が国内出張で不在にしておるため、代わりに出席させていただいております。なお、田口の方はオンラインの方で参加させていただいておりますので、よろしくお願ひいたします。

次のスライドをお願いいたします。弊社Helical Fusionは国立研究機関である核融合科学研究所、通称NIFSと言われている研究機関のスピナウトの会社でございます。皆さん御存じのとおり国内の国立の研究機関といたしましては、QSTとNIFSというフュージョンエネルギーを専門とした国立研究機関がございまして、そのうちのNIFSから出てきたスタートアップという形になっております。それぞれQSTとNIFSに炉設計の専門のチームがございまして、QSTの炉設計の専門のチームの方々はJA-DEMOの炉開発を進めています。NIFSにも炉設計のチームがありまして、この炉設計のチームの主要メンバーがスピナウトして設立したのが弊社に当たります。その意味で、弊社はフュージョンエネルギーの開発におきまして、この炉設計及び炉開発、つまりはシステムインテグレーションのところをしっかりと行いたいと思っておりますし、その能力と気概を持った民間企業と自負しております。

次のスライドをお願いします。現在、「日本にもうひとつ太陽をつくろう」というスローガンの下、Helix Programというものを立ち上げております。このプログラムを通じて、日本のものづくり企業の皆さんとの仲間づくりを行っております。弊社スタートアップだけで全てを解決するのではなく、オープンイノベーションという形でコンソーシアムやものづくり企業との事業提携を通じたフュージョン開発というところを推進しております、これまで国研が培った科学的研究の土台に、日本のものづくり力を結集してフュージョンエネルギー開発という難しい課題に取り組んでいきたいと考えております。

次のスライドをお願いいたします。今回宿題としていただきました弊社が目指す発電実証について御説明させていただきます。

弊社といたしましては、発電実証は、その後の社会実装を見据えて実用化に直結させる必要があると考えています。そういう意味では、形だけの短時間での発電をちょっと実現すればオーケーという考えではなく、きちんと将来実用できる発電システム、これを見据えて開発や実証していくことが重要だという考え方を持っております。

特に重要だと考えておりますのが三つございまします。「定常運転」、「正味発電」、三つ目が高い稼働率を可能とする「保守性」。民間事業者の視点に立ちますと、至極当たり前だと思いますが、単なる科学

実験にとどまらず社会実装を見据えた開発計画を立てていくことが重要だと当社としては考えております。それぞれの目標とするKPIについては記載のあるとおりです。

次のスライドをお願いします。ロードマップとしてこちらのスライドを記載しております。NIFSでのLHDでの研究成果をベースとしつつ、新技術である高温超伝導マグネットと液体金属壁ブランケットといったイノベーションを実装させたプラズマ実験装置Helix HARUKAの開発を目指しております。新技術を取り入れた炉開発というのは国プロではなかなか進めづらいところだと理解しており、国に代わって、弊社はベンチャー的アプローチで機動的に取り組んでいきたいと考えております。

このHARUKAで実証することは新技術、高温超伝導や液体金属壁ブランケット、これらの統合実証、並びに、24時間以上の高温プラズマの連続運転実証です。Helix HARUKAを通じた技術・工学的风险ミティレーションした上で、発電初号機Helix KANATAで発電実証を行っていきたいと考えています。

当社の技術開発ステップに関しましては、国の原型炉の考え方と似ていると考えておりますが、国の原型炉の方でもJT-60をベースにITERでプラズマ実証、JA-DEMOで発電実証していくというステップと考えておりますけれども、弊社も似たステップをきちんとしっかりと踏みながら進めていくことを考えております。

一方で、国プロと少し違う点が幾つかありますけれども、その一つがHelix HARUKAというプラズマ実験装置において $Q_{sci} > 1$ をKPIとせず、大規模装置建造やDT運転は避けた上で、民間企業らしく機動的かつスピード感を維持しつつ、一方で実用化に向けてプラズマ性能実証よりも重要なシステム統合をきちんと実証していく計画を立てております。

次のスライドをお願いいたします。こちらのスライドでは、縦軸のプラズマ物理、主要機器開発、ブランクシステムの課題にHARUKAやKANATAでそれぞれいかに取り組んでいくのかを記載しております。水色のHelical Fusion社実績というところを御覧いただくと、弊社が2021年創業以来、4年間でどういった実績を積んだかを記載しております。もちろんプラズマの物理課題というところにも取り組んでいきますが、それよりも赤字でハイライトされているような主要機器であるコイルやブランケットの開発に現在注力しているというようなところでございます。

特にコイルにおいては高温超伝導(HTS)ケーブルの開発を着実に進めており、性能実証も行うことで当分野における世界をリードする企業の一社と自負しております。アメリカの方でもコモンウェルス・フュージョン・システムズがHTSの開発を旗印にして民間でのトカマク炉の開発を進めているように、我々も独自のHTS開発をした上でヘリカル炉の推進というところを目指しているところでございます。最近も、開発したケーブルを構造化させた試験コイルにて、外部の高磁場環境下で、40,000アンペアもの大電流通電試験に成功しております。

また、もう一つの主要機器であるブランケットについても、多くの核融合スタートアップが開発を後回ししている中で、きちんと真正面から取り組んでいくというようなところに取り組んでおります。

次のスライドをお願いいたします。弊社の競争力を改めて御説明します。炉心主要機器の開発力、それと、それら機器群をインテグレーションする能力が我々の強みだと考えております。先ほど御説明した高温超伝導コイルや液体金属壁ブランケットという炉心部の最重要機器を自社で開発する構想力と技術力、それに加えて、これらを炉設計としてシステムインテグレーションできるのが当社の強みです。炉設計分野においては、国内には世界最長のFFHRプログラムやJA-DEMO炉設計プログラムがありますが、それらを率いてきた主要メンバーが当社に揃っており、炉設計能力は当社の強みだと考えております。

次のスライドをお願いいたします。るべき開発主体について説明させていただきます。バイオや宇宙開発などの分野においても新技術開発や実証フェーズでは、機動的に開発できるベンチャー主導型の開発モデルが有効であり、フュージョンエネルギー業界でも同じと考えております。ベンチャーのスピード感ある機動的な開発が、技術開発・実証のフェーズでは有用だと考えています。

スタートアップが全ての開発フェーズを進めるのではなく、開発段階応じて変化していくものと考えております。本スライドで示すとおり、国研、スタートアップ、スタートアップ主導型のコンソーシアム、大企業といったフェーズに応じて開発主体は変化していく可能性あるものとであり、それに応じた柔軟な社会システムの構築が重要と考えています。

次のスライドに関しましては、弊社が実際に協業している企業の皆さんで、実際にこういった企業と事

業提携しながら、機動的かつ社会的に受け入れてもらえるよう取り組んでおります。

次のスライドをお願いします。これまで民間スタートアップの主体性を強調した説明でしたが、一方で業界全体としてはベンチャー的アプローチと王道アプローチをうまく連携させることが重要だと考えております。国研の基礎研究をベースにして民間がスピード感持った高温超伝導などの研究開発・実証を行い、それが将来的にはJA-DEMOを含めて国研にフィードバックされるサイクルを作ることが効率的かつ効果的な産業政策になると考えます。

次のスライドをお願いします。政府に対しての期待でございますけれども、フュージョンエネルギー推進プログラムの創設を1点目に記載しております。本日配布された内閣府資料7スライド目にあるプログラムをぜひ実施していただきたいと考えており、資金的手当がなされることを期待します。

2点目に関しましては、2030年代の発電実証を目指す上では、手前5年程度はHARUKAのような統合実証を目指す装置開発に主眼が置かれるべきだという点です。

3点目は、国研と民間の連携強化を後押ししていただきたいと考えております。特に民間でプラズマ実験装置HARUKAや発電初号機KANATAを建造していく上では、インフラ整備が課題です。国研の敷地や建屋を民間の開発プログラムに活用させて頂きたいです。

(意見交換)

○桑原委員

確認なんですかけれども、今後の計画のところでHARUKA、それから、KANATAというステップを踏んでということなんですかけれども、これ具体的に時間軸として何年くらいの時間軸のスパンの中で開発を進めいかれようとしているのかというところと、あとは最後の方に政府への御支援の要望、期待というところで、5年間で2,000億円から3,000億円の推進プログラムを創設ということが書いてありますけれども、これは御社の計画されている開発総額に対してどういう割合なのか、それから、2,000億円から3,000億円というこれは全てをHelical Fusionが獲得する場合にこれぐらいの資金が必要だという前提なのか、その辺りの内容について教えてください。お願ひします。

○久保COO

1点目の質問に関しましてはタイムラインだと思いますけれども、まず、HARUKAのところに関しましては、2030年頃の統合実証というところを目指しております。KANATAは2030年代中盤以降での稼働を目指して進めています。弊社の資金的な需要は、このHARUKAの開発に数百億円、KANATAは、千億円規模です。

御質問にありました推進プログラム必要額との兼ね合いという意味では、該当するのは時間軸的にHARUKAを想定しており、全て弊社がもらうという前提ではなく、炉開発を行うスタートアップ等、業界全体でその程度の資金が必要という意図でございます。そのうちの弊社としては数百億円をHARUKAの開発に当てたいと思っているところでございます。

○桑原委員

そうすると、KANATAの分はここには含まれておらず、KANATAを建設するに当たってはまた別途国の支援をお求めになると、そういう理解で正しいですか。

○久保COO

そうです。こちらに書かせていただいたのは手前の5年間で業界として必要であろうと考える金額です。

○桑原委員

では、KANATAの建設にはどれぐらいの資金を御用意すれば実現できるというふうに試算されていますか。

○久保COO

建造コストは、素材コスト、特に高温超伝導の線材コスト単価、がかなり大きく効いてくるのですが、足

元の市場単価を使うと、1兆円に近い千億円単位の資金がKANATAには必要になる試算です。

素材部分は増産によるコストダウンが将来的に反映されると推測しておりますが、規模感として今後説明の通りと考えております。

○栗原主査代理

NIFS発ということですけれども、人が移って今が成り立っていると思われます。今後の実用化において、NIFSの研究成果は引き続き他の機関で活用されるのか、それとも既に民間移行しているので有用ではなくなると考えるのか、どのように考えたらよいうでしょうか。

○久保COO

弊社とNIFSは一応別主体なので、NIFSの継続している研究開発に口出しはできないですが、今後も共同で研究開発していきたいと考えています。NIFSはLHDの運転を今年でストップさせる予定であり、LHDに代わる次の実験装置が必要になってくるのではないかと推測します。弊社が開発するHARUKAをLHD後継機として使っていただけだと、よりNIFSと弊社で連携した研究開発が可能ではないかなと思っています。

足元の研究開発においても、超伝導の実験や液体金属壁ブランケットの開発など共同研究で施設を共有しながら進めており、今でも協力しながら研究開発は行っております。

○寺井委員

NIFSのLHDは昔からいろいろ勉強させていただいている。それで御質問は、HARUKAの方は最終実権装置と書いてありますけれども、プラズマの閉じ込めを中心に炉工学も入れるんですか、これは。それで、一応そういう意味でのシステム統合みたいなことを考えるんだと思うんですけれども、KANATAの方はQエンジニアリング>1を目指すということで、ネットの電力がやや出てくる、ポジティブだということなんですが、その辺へ持っていくための技術力の展開というんですか、その辺りをどういうふうにお考えなのかと。今のLHDからだとなかなかそこは見えてこないので、そこをどういうふうにお考えなのかというのがまず第1点。

それから、それを今度は商用炉に持っていくときにやはりもう一つ技術ギャップがあると思うんですよ。そのところをどういうふうにクリアされようと考えておられるのか。これはなかなか難しい質問かもしれませんけれども、最終的には電力コストがどれぐらいになるということを考えておられるのか、ちょっとその辺りをお聞きしたいと思いますが、いかがでしょうか。

○久保COO

今の質問に関しては弊社の副CTOの後藤より回答するのが正確かと思いますので、後藤の方から回答させて頂きます

○後藤副CTO(株式会社Helical Fusion)

まず、HARUKAからKANATAへの技術ギャップというところに関しては、基本的には装置サイズを大型化するところ、あとは放射線取扱いをするところがHARUKAとのギャップです。システムとしての統合はHARUKAの方で実証するので、残るは大型構造物のものづくりや放射線取扱含めたオペレーションのところの課題であり、物理や技術での課題はほとんどないと考えております。

強いて物理課題をあげると、炉心プラズマ性能実証ですが、確立した物理に基づいてプラズマ性能予測を外挿しております。炉心プラズマ性能の予測精度の課題はありますが、ただ、そこは不確実性も含んだ設計を考慮しておりますので、十分に正味電気出力の達成は可能と考えております。

商用炉へのステップアップという意味では、技術としてはKANATAの時点で十分商用に耐えるレベルに達成していると思っており、あとはコストダウンや寿命をいかに長くしていくか、廃棄物をどのように減らしていくかというところが商用化への課題として残っています。

発電コストに関しては、建設コストが大部分を占めるので、これがどこまで下げられるかで決まってきます。久保が説明していた通り、単価前提条件によって大きく変動するので、現段階で具体的な数字を断定的に申し上げられる状況ではございません。

○恒藤審議官

1点だけクラリファイをさせていただいてもよろしいですか。これは説明があつたかもしれません、今社員は何人ぐらいおられるのかということと、それから、先ほどのHARUKAに向けて400億ぐらいかかるという話だったんですが、今はどれぐらい調達できているのか、もしお答えできれば。

○久保COO

現在、従業員数が40名弱です。

資金調達は、民間及び補助金合わせて50億円強で、民間から30億円強、補助金で20億円です。

③株式会社EX-Fusionの松尾CEOより資料4-3に基づき説明

EX-Fusionは2021年に創業した大阪大学発のスタートアップとして、現在、大阪、浜松、そして、京都、3拠点で活動しております。累計の調達額は60億円ほどになりまして、我々の特徴としては、大阪と浜松でレーザー核融合の開発研究というのは進めているんですけども、別途京都の方にレーザー加工の事業所がございまして、レーザー核融合はもちろん推進しているんですけど、そこの途上で生まれた技術を産業に応用していくんだということで、レーザー加工の事業展開というのを並行して行っております。

次をお願いいたします。もう一つ、レーザー核融合自体の特徴という観点でいいますと、レーザーフュージョン、レーザー核融合というのはピーク電源としても活用可能というところは一つあるのかなと思います。ほかの方式として磁場閉じ込め方式というものもありますけれども、こちらの方は磁場の力を使って核融合の反応をキープしていくことで、一般的にベースロード電源としての活用というものが見込まれていると思うんですけども、レーザーフュージョン、レーザー核融合の方はハイパワーのレーザーを使って燃料を圧縮・加熱して、瞬間的に核融合反応を起こすと。この反応を繰り返して発電するというシステムになっておりまして、この繰り返し数というのを自由自在に変更することができます。ですので、発電量をコントロールできるというところが特徴ですので、基本的にはピーク電源としての活用も見込めるということになります。

右側に日本の電力ミックスが書いてありますけれども、私自身はもともと国産のエネルギーをつくりたいということで、当然そのベースロード電源も課題だとは思うんですが、こちらは原子力がありますので、我々の方はどうちらかというと火力の置き換えということで、このピーク電源としてのレーザー核融合で国産のエネルギーをつくるというところをミッションに掲げております。

次をお願いいたします。もちろんレーザー核融合を実現、発電として実現していくためには技術課題はまだたくさんございまして、基本的には核融合炉というのは電気で電気をつくっているということで、我々の場合だと、電気のエネルギーがレーザーのエネルギーに変わって、それがゲインとして増えて、それを繰り返して最終的に発電ということになります。現状までにゲイン、いわゆるQ値とも言われますけれども、この値はローレンス・リバモア国立研究所が4.13という記録を持っておりまして、これはほかの核融合方式と比べましても極めて高い数字と言えるかなと。一方で、商用炉レベルということになりますと、これは30から100出すことが必要ですので、この値を更に更新していくもしくはより効率のよい方法で、より少ないレーザーエネルギーでつくっていくということは学術的に重要になるかなと思います。

さらに、発電ということに関しては、この繰り返しの部分です。これまでレーザー核融合というのは学術の分野で、シングルショットベースで、1回でいいので反応をたくさん起こしましょうと。私自身はもともとそれをやっていたんですけども、発電ということになると、これを繰り返す必要性がございますので、1秒間に10回の反応というのが非常に重要になります。

次をお願いいたします。我々は1秒間に10回連続して発電を起こすということに特化した核融合スタートアップでありまして、浜松の施設の方で世界初の1秒間に10回連続で燃料にレーザーを照射するということに成功しております。これは浜松の実際の施設で、真ん中に真空容器がございまして、左側にレーザー、そして、レーザーを制御する装置、あと、ターゲットを供給する装置というのがあるんですけども、基本的にはターゲットの供給装置でDT、重水素、三重水素の燃料、これは数ミリぐらの氷の玉なんですけれども、こちらを真空容器の中に入れまして、毎回毎回違う場所に行きますので、追尾してレーザーを高精度に当てに行く、こういった作業を1秒間に10回繰り返す、そういう装置になっていま

す。これを世界初で行ったと。

次をお願いいたします。この実証というのはもちろんレーザーのパワーをどんどん上げていって、より大規模に行っていかないといけないということで、浜松ホトニクスと共同研究させていただいておりまして、これはプレスリリースも出させていただいたんですけども、1時間の連続運転というのを行ったと。日本のレーザー核融合の一つの特徴としては、当然大阪大学で学術としてやってきたという文脈もあるんですけども、浜松ホトニクスという民間企業は自社の資金でこれだけ大きな施設、右側に写って施設は、実はプライベート、いわゆる民間だけでつくった施設になっておりまして、そういう施設にも多額の資金を出して、こういった実証を重ねているということで、その一番最新の成果というのが1時間の連続運転ということになります。

次をお願いします。今後としましては、これまで1秒間に10回の反応、そして、1時間の連続運転というのを重ねてきたんですけども、これをより大規模に行っていくんだということで、基本的にはレーザーのパワーをどんどん上げていきまして、1秒間に10回、24時間の連続定常運転というのを2030年に達成するということを検討していると。

次をお願いいたします。もちろん資金も非常に多くどんどんかかってくるということで、この連続運転のところで400億円程度、さらに、発電炉というレベルになると4,000億円程度の規模感が見込まれるということになります。

次をお願いします。この規模なんですけれども、最終的には100MWぐらい、一番下に書いてあるものはLDファーストというローレンス・リバモア国立研究所発のプランですけれども、それぐらいの規模感での実証というのを進めたい一方で、これは非常に大きな資金がかかってきますので、最初からそこに行くというよりは、まずは技術実証ということで段階的に支援をしていただいて、例えばですけれども、レーザーのモジュールを一つ完成させまして、それで連続でターゲットを圧縮していく、その1秒間に連続運転するというのを2030年にまずやって、その次の段階としてゲイン1を連続でやると。段階的に技術を伸ばしていくというところもレーザーフュージョンの一つの魅力かなと思っております。

次をお願いします。それだけではなくて、産業応用も効くということで、我々はレーザー加工の施設が京都にあると言いましたが、こちらはNEDOプロで核融合のスタートアップとして初めて支援されまして、こういった事業展開もしているというのと、最近ではNEDOのフロンティア事業等でレーザーの方の支援というのをしていただいて活動しております。それだけではなくて、防衛装備庁様から今までに3件役務を頂きました、それを納品してきた実績がございまして、今年度も引き続きやっていけるだろうということで、こういった安全保障ですか製造業、あとは宇宙関係の産業にもこのレーザー核融合の技術というものは生かせると考えております。

次をお願いします。なので、我々レーザーフュージョンというのは単純にエネルギーの安全保障というだけではなくて、いわゆる安全保障ですね。そういった文脈にも資するような技術であると考えております。そういうレーザー核融合を核に産業創出も同時に実現していくということをミッションに掲げて今後も活動していきたいと考えておりますので、引き続きよろしくお願ひいたします。

(意見交換)

○小泉委員

余りレーザー核融合はよく分かっていないので、ちょっと素人的な質問からなんですけれども、9ページのところでレーザー効率が10%はあるんですけども、これというのは消費した電力に対してレーザーの出力が10%ということなんですか。

○松尾CEO

そうです。入れた電気エネルギーに対して10%がレーザーのエネルギーになるという意味です。

○小泉委員

そうすると、例えばQイコール4でも、同じQ値でもちょっとトカマクとかとのまた意味は違うんですね。発電ということを考えたときには。

○松尾CEO

そうですね。Q値という定義は同じなんですけれども、商用炉で必要となるQ値の値がよく違うと言わ
れておりまして、トカマクの方が電気効率はよいので、Qが30でも商用炉として成立するのではないか。
一方でレーザー核融合というのはQが100ぐらいないとなかなか商用炉として使っていけないのでな
いかというのはあります。

○小泉委員

あと、1秒間で10ヘルツのショットを打てたということなんですけれども、これはショットを打つと必ず何
か燃料に当たるものなんですか。

○松尾CEO

浜松の実際施設でやったときは99%照射率がありまして、浜松ホトニクスとより大規模な実証をした
ときは93. 4%になっています。なので、少し落ちたということです。

○小泉委員

照射して、更にターゲットか何かにしっかり当てなきゃいけないんですよね。それも間違いなく当たる
ということですか。

○松尾CEO

そのとおりです。

○小泉委員

あと、燃料の供給はどういうふうにされるんですか。

○松尾CEO

基本的にはターゲット供給装置と申しましたけれども、コイルガンといいうわゆる磁力の力でターゲッ
トを飛ばすという装置をつくっておりまして、サボウという円筒の筒の中にターゲットが入っていて、この
筒が金属でできておりますので、磁力をかけて加速させると。その後にこの筒だけ減速させて、そ
うすると、この球が中に出ていきますので、射出するということを1秒間に10回繰り返すという装置になり
ます。

○小泉委員

その出てきたものにレーザーを正確に当てる。

○松尾CEO

おっしゃるとおりです。

○桑原委員

二つお伺いしたいんですけども、一つがEX-Fusionで考えていらっしゃる発電実証というのは、8
ページでいうところの一番右側の発電炉及び商用炉というふうに書かれていることを指しているというふ
うな理解でよいかというところと、このタスクフォースの中では発電実証の実現に向けてどういう御支援
の在り方があり得るのかというのを議論していくと思うんですけども、その中で、最後のページで数百
億円規模の公的資金と書いてありますけれども、これはスコープとしてどこまで含まれているのか、20
30年の400億円程度のところを指しておっしゃっていらっしゃるのか、この4,000億円以上と書かれて
いるところも含めた数百億円規模で足りるのか、この辺について御説明いただければと思います。

○松尾CEO

我々の発電実証の定義はやっぱり発電炉ということで、8ページの一番右側のものになります。これ
は80MW、100MW程度の電気を出すというのが一つ、あとは出入力ですね。結局電気と電気でプラ
スにならないと発電したと言えないと思っておりますので、プラスになる。そして、更に重要なのはト

リチウムの燃料を自給自足できるか、TBRという値がありますけれども、レーザー核融合は、実はこのTBRを出しやすい炉になっておりまして、普通に設計すると1.4とか1.2にいきますので、こういった自給自足性みたいなものを確立していくというのを我々は発電実証の定義としています。これはローレンス・リバモア国立研究所がLDファーストという発電炉のプランを掲げていると言いましたけれども、そこと全く同様の規模感のものになります。

こちらの方は最低4,000億円程度資金がかしまでかかるので、我々が400億円と言っているところは発電炉の方ではなくて、発電の技術的な実証の方にかかる費用でございまして、こちらの方はレーザーの本数を何本使うかとか、あとはトリチウムの燃料を使うかどうかに大きく依存してきます。最低限100億円以下でも発電の技術的な実証、つまり燃料にレーザーを当てて実証するということ自体はできるんですけども、それをより大規模にやっていこうとするとリスクも伴いますので、少し400億円程度というふうな費用を頂けると、例えばDTのトリチウムの燃料で実際にやると。トリチウムの燃料をどこで使うかという課題もあると思うんですけども、こちらの大坂大学の方は補正予算でも多分手当されて、トリチウムのそういう拡充機能がありますので、多分国内で唯一そういったトリチウムをレーザー核融合の分野では扱っていく施設だと思うので、既存の施設を活用することによってそういった費用感でも実証は十分に可能と思っています。

○桑原委員

もう一点だけ。4,000億円が最後必要になってくる中で、国としてこの4,000億円を丸々補助する必要があるのか、民間側で一定程度リスクマネーの供給が見込めると思っていればいいのか、この辺りのお考えも改めて教えていただけます。

○松尾CEO

こちらは実施母体とも関連するんだと思うんですけども、弊社単独で発電実証をするというのは不可能だと思っています。やはり我々は発電事業者ではございませんし、我々がやっていない技術というのももちろんありますので、そういうものは、実はJ-Fusionという産業振興会があるんですけども、それ以外にもレーザー核融合技術振興会という1992年から続いている産業振興会が別途あります。関西電力が幹事企業なんですが、そういうところに入っているような企業との連合でかなえていくと。なので、持ち合いという形でもよいと思いますし、銀行からの融資ですとか地域、我々の場合だと、大阪、浜松に非常に根差した企業ですので、そういうところの支援、そして、国からの支援も合わせて、そういう規模感でやっていくということが現実的かなと思っています。

○恒藤審議官

発電するためには何かしら熱を電気に変えていかなければいけないと思うんですが、その辺の技術開発はどうされる予定かということだけ。

○松尾CEO

弊社の場合は東京科学大学、サイエンス東京と共同研究を実施しております、リチウム鉛を使ったブランケットというのを構想して、それをモジュール化してやっていこうとはしているんですけども、この炉の部分に関しては、それこそ磁場閉じ込めの皆さんとの協調ということで、多様な炉というのがあると思いますので、それはいろいろな方向性があるのかなと思っています。

○恒藤審議官

そういうところとの共同で開発と。

○松尾CEO

おっしゃるとおりです。

④株式会社LINEAイノベーションの野尻CEOより資料4-4に基づき説明

では、LINEAイノベーションから概略を御説明させていただければと思います。お手元の資料等に基

づきまして、簡潔に御説明できればと思います。

まず、資料2ページ目になりますが、まず、今まで恐らくいろんな核融合のスタートアップとか研究の話というのは皆さんよく御存じであると思うんですけれども、それはいわゆる重水素と三重水素を使ったDT核融合になります。ただ、我々としての着眼点というか問題意識としましては、やはりDT核融合では中性子の発生、あとはトリチウムを使うといったところが実用化の上で大きな課題になってくるのではないかなど考えておりまして、これは図に書いてあるとおりでありますけれども、やはり中性子は出てくると材料の脆化ですとか放射化をもたらしますし、トリチウムにつきましては、やはり放射性物質ということで取扱いが慎重を要するといったところが恐らく課題になってくるかなと思っております。

続きまして、3ページ目でありますけれども、それらを前提として我々が何をやろうとしているかということになりますけれども、我々はDT核融合ではなく、いわゆる中性子の出ない先進燃料核融合というふうに分類される核融合を実現しようとしております。具体的に申し上げますと、右側にありますとおり重水素とヘリウム3を使ったD-3Heですとか、軽水素とホウ素11を使ったプロトンボロンという反応がございます。特に我々は下のプロトンボロン反応というのを行おうとしておりまして、こちらですと中性子が出ないですとか放射性物質を使わないといったことが可能になります。

ただ、もちろん裏側としましては、これをなぜ皆さんやらないかというと、特にいわゆる熱的な核融合、すなわち高温高密度のプラズマを一定時間閉じ込めて核融合を起こすというアプローチですと、反応条件が極めて厳しいため実現が困難とされておりました。

そのため、4ページ目でありますけれども、我々としてはどのようなアプローチでこれの実現を目指そうとしているかというところですけれども、こちらにつきましては、ビームを使った核融合、これは非熱的、熱的ではないという意味で非熱的とも言われますけれども、そういう核融合を起こそうとしております。こういった核融合の方法のアプローチを取ることによって、必ずしも非常に高温な例ええばプロトンボロン反応だとプラズマを熱的な核融合で起こそうとすると、10億度というふうに言われておりますけれども、そのような非常に高温のプラズマをつくり出す必要がないといったところが一つメリットでありますけれども、ただ、核融合を起こす上ではビームを閉じ込めるといったところが鍵になると我々としては考えております。

今回そのビームを閉じ込めながら核融合を起こすという方式で提案しておりますのが5ページ目になりますけれども、FRCミラーハイブリッドと言われる方式を我々としては提案しております。これは核融合を起こすプラズマの閉じ込めの方式としてFRCというものとミラーというものがありますが、これを今回二つうまく組み合わせることによってFRCの方にターゲットプラズマの形成を行わせて、ミラーの方にはビームの閉じ込めという役割、これを分割・分担させて行わせるといったところが一つ今まで類のない革新的な核融合の方式というふうになりますけれども、こういったことで我々としてはそれを実現しようとしております。

その具体的な核融合炉のイメージとしましては、6ページ目に記載がございますけれども、このような特徴としましては直線状といいますか、直線状の装置というところが我々の核融合炉の特徴になっております。こういったもので実現をしようとして考えています。

今御説明申し上げたFRCミラーハイブリッドの基礎となる技術はどこから来ているかと申し上げますと、7ページにありますとおり我々として技術の源流というのは日本大学の方でFRCという方式は研究されておりまして、筑波大の方でミラーという方式が研究されておりまして、この2大学の技術をベースとして、当社としては核融合の研究を進めております。

8ページ、9ページの方でそれぞれ各大学でのFRCとミラーの実績についても簡単に御説明させていただければと思いますけれども、日大というのは、実は余り知られていないかも知れないんですけども、世界的にもFRCという方式で申し上げると、日大とアメリカのスタートアップであるTAEテクノロジーズとヘリオンエナジーという会社、この三つの拠点だけしかFRCの大型実験装置というのは有しておりませんで、そのうち1極が日本にあるという極めてユニークなポジションで今まで研究成果を上げてまいりました。

また、9ページの方が筑波大学の実績でございますけれども、筑波大学はミラーの派生型であるタンデムミラーと言われる装置、GAMMA10/PDXと言われる装置を80年代から運用しております、様々な研究成果を上げてきております。

続いて、10ページ目が技術的な優位性ということで、ここはちょっと割愛させていただきますけれど

も、我々としましては非熱的な核融合を起こすことによってプロトンボロン反応、ひいては中性子を出さないというところに非常に特徴があります。

続いて11ページ目ですけれども、これが同じFRCを採用しているアメリカのスタートアップの比較ですけれども、そういう意味ではFRCとミラーを組み合わせるというアプローチは他社でも採用していないというところに非常にユニークなところがあると思っております。

ここから先が具体的な開発の計画等を御説明できればと思いますけれども、12ページに移っていただきますと、こちらは開発計画の概要ということで、我々は今後何を見通しているかというと、今我々が提案している方式に沿いまして、この先数年で実際に核融合反応を起こすという実証を計画しております。更にその後、2030年代初頭に発電を実証する、さらには、2030年代半ばにはより本格的な商用の発電を実証していくといったステップで計画しております。

やはり発電実証の定義は何かといろいろ議論はありますけれども、13ページ目に我々なりの発電実証の定義というのがこちらに記載しておりますと、詳細の御説明はこの場でいたしませんけれども、我々の核融合方式というのはかなりステップ・バイ・ステップで技術を発展させるということが可能になりますので、こういったレベルというか段階に応じて、正に例えば自動運転なんかでもいろいろレベルがありますけれども、それと同じような形でこういった段階的な発電実証というのがあり得るのではないかということで、案としてこちらに記載させていただいております。

続いて14ページがそれを受けまして、各段階での我々の目標です。どういった技術のステップアップを目指しているかというところをこのように考えておりますけれども、世代を経るごとにいわゆる実証のレベルというのも上がってきますし、運転時間ですとかいわゆるQ値ですね。QサイエンティフィックとかQエンジニアリングといった数値も徐々に改善をしていくというようなプランを我々としては考えております。

さらに、核融合の実施主体という意味では15ページ目にありますけれども、我々としましては、非常に特徴的な中性子が出ないとか安全であるという特徴を踏まえると、核融合炉の実施主体としましては、一つは分かりやすく言うと電力事業者です。これはグリッドに送電するという前提で保有いただくということを考えていますし、もう一つ我々としましては、無公害であるので、立地制約が少ないという特徴を生かして、いわゆる事業者、エネルギーを多く消費するような事業者の各アプリケーションに直接的に利用していく、いわゆるオンサイトとかオフグリッドと言われるような発電所を利用するということを想定しております。

今後の研究開発課題につきましては16ページに記載がありますけれども、それぞれありますと、そもそもこのプロトンボロン反応を効率的に起こしていくような反応場を言われるものをうまくつくっていくという話ですとか、そのほか核融合に必要なキーコンポーネントの開発というのも進めていくというところが今後の課題となっております。

開発の状況、足元の状況についても簡単に御説明できればと思いますけれども、17ページが特に正に今週なんですけれども、IAEAの核融合エネルギー会議、FECで成果発表しておりますけれども、このようにFRCミラーハイブリッドで実際にFRCをつくるといったところにつきましては、良好な実験結果というのが得られております。

続いて18ページが今後の当面、恐らく一、二年ということになると思いますけれども、開発計画ということで、それぞれ実際に反応を起こしていくところとか、あとはコンポーネントについても開発を進めていくとか、あとは更にその次のより本格的な発電実証を目指す第2世代と呼んでいる装置の設計なんかを進めていくということを想定しております。

ファイナンスとしましては、ちょっと今具体的な数字に触れませんでしたけれども、核融合炉の建設資金を調達するということを目的として、今後2回程度、非上場の段階、あとはIPOでの資金調達というのを想定しております。

最後は政府への期待ということで、こちらは20ページに書かせていただいておりますけれども、当然一つ大きいところとしては、やはり開発資金です。そういった実際核融合装置の開発、建設費ですか、あとはキーコンポーネントの開発費用なんかの開発資金の支援を頂けるのがありがたいと思っておりますけれども、ただ、我々としましては、飽くまで民間調達を基本路線としまして、その呼び水としてぜひとも御支援を期待したいなと思っております。我々の核融合炉は少なくはないですけれども、数百億円程度で実現可能だと考えておりますから、そこはうまく民間と政府の調達というのを併せて行ってまいりました。

いなと思っております。

そのほか、支援としましては、更にその先の商用化を見据えた場合にはアンカーテナンシー、いわゆる一定の調達保障の制度ですとか、そういうものもあり得るのではないかなと思っておりますし、その他研究開発に必要な施設、国研とか大学なんかの施設利用ですとか、あとは商用実証の用地のサポートなども期待しているものであります。

(意見交換)

○寺井委員

新しい方式ということで非常にチャレンジングかつ面白いなと思っております。

それで、先ほどから発電実証ということが出ていて、ここをどう定義づけるかというのは結構重要なポイントだと思うんです。それで、今出ている話は言ってみれば瞬間値の電力であって、それがどの程度の期間にわたって使えるか。もう一つ言っちゃうと、ミラー磁場にどれぐらいプラズマが閉じこもっているかということに関係すると思うんですけども、それから、入れたビームがどれぐらい反応するかですね。その辺で決まってくるような気はするんですが、継続性というところでまずいかがでしょうか。

○野尻CEO

御質問の趣旨としましては、発電がどれぐらい持続可能なものをいつぐらいに実現できるかというような御質問だというふうに……

○寺井委員

まず、最初のパイロットプラントでしたか。幾つか段階があったと思うんですけども、発電実証というのが第2世代装置と書いてありますよね。

○野尻CEO

はい。14ページになります。

○寺井委員

こここの発電実証、14ページですね。19ページも同じですけれども、この発電実証ということの意味合いをまず伺いたいと思います。

○野尻CEO

こちらの第2世代装置とされておりますが発電実証のレベル3というちょっとすみません、ページを見合わせて見ていただく必要が出てきてしまつて恐縮でありますけれども、13ページの方に発電の定義がありまして、ここでレベル3というのがいわゆる科学的な、Qサイエンティフィックですね。プラズマに投入したエネルギーに対して出てきたエネルギーが1以上といったところを達成するといったところをまず、かつ当然発電するといったところをまずレベル3として考えておりまして、これを第2世代装置で実現したいと思っております。

○寺井委員

そういう意味では、反応自身は割と瞬間値なんだけれども、例えば核融合でできたエネルギーをどういう形で変換して、取り出して発電に持っていくかというところがもうひとつの課題としてあると思うんですね。その辺りも含めてどういうふうにそこはお考えなんでしょうか。

○野尻CEO

今御説明の中では漏れておりましたけれども、我々の発電の方式、電力に変換するという方式もかなりユニークでございまして、このプロトンボロン反応ですと、出てくるものが中性子ではなくて α 粒子が出てまいります。これは、要は荷電粒子なので、これを直接電気に変換すると。要は運動エネルギーを持った α 粒子を電力に直接変換するということが可能になりますので、DT反応で使われるような、いわゆるブランケットを介して熱から水蒸気でタービンを回してというようなことが不要になりますので、そういう

た意味では1秒未満というふうにこちらの運転時間を書かせていただいているけれども、この1秒未満の間での電力の変換実証ということも含めて実施できるような方式になっておりますので、まずは短時間でありますけれども、しっかりエンド・ツー・エンドというんですかね、電力まで起こすというところをこの1秒未満の中でも実現できるというところが我々の方式の特徴になっております。

○寺井委員

分かりました。ミラー磁場の端っこから出てくるところに置いておいて、MHDですよね、発電だと思うんですけども、実際に1回ビームを打ち込んだ後反応が起こりますよね。ビームを繰り返し打ち込むんですよね、きっと。

○野尻CEO

はい。おっしゃるとおりです。ビームを継続的に。

○寺井委員

だから、ビームのインターバルでもって、それがある程度ミラー磁場の中にプラズマが閉じこもっておれば継続的に出せるということですね。だから、磁場の中での閉じ込めの時間というのがもう一つ重要なと思うんですけども、それも含めてどれぐらいの時間範囲で発電が可能というふうにお考えかということです。

○野尻CEO

今回このターゲットプラズマの閉じ込めに関しては、どちらかというとこれはFRCの方に技術的に寄つていた構成になっております。FRCのプラズマの維持に関しては、これはすみません、他社の成果になるんですけども、TAEテクノロジーズが既にそこら辺はNBIを使って準定常にプラズマを維持するということについては既に実験として成功しておりますので、それはすなわちFRCにちょっと別の種類のNBIですけれども、NBIを照射し続けることによってプラズマの不安定性が顕在化するより十分長いタイムスケールで既にプラズマを維持できるということは実証済みですので、そのビームをずっと照射している限りにおいては、ターゲットプラズマを維持できると考えております。

○寺井委員

分かりました。入射ビームも含めてネットの電力が出てくると、そういう理解でいいんですね、商用炉においては。

○野尻CEO

おっしゃるとおりです。

○寺井委員

そこへは、そこはある程度のスケールアップとか、あるいはプラズマの密度を上げるとかいろんな工夫がまだ要ると思うんですけども、その辺りの技術的なフィージビリティというのは、勝算はお持ちなんですか。

○野尻CEO

はい。そのところにつきましても、我々としては今設計を進めているところでありますけれども、基本的なところは正に御質問いただいているようなところをまず反応実証で示すということが一つ重要なと思っております。

○栗原主査代理

教えていただきたいのは、お話を聞いていると御社と2大学しか出てこないので、このプロジェクトを進めるためにどういったステークホルダーが今後参加してくるということをイメージしているのでしょうか。具体的には、反応実験の段階では、まだ大学の施設を借りて実施していると思うのですが、その後の発

電実証段階になっても、御社が資金調達をして拡大していくのか、それとも違う方法で、例えば御社g技術ライセンスを提供して、他社が製造できるようになるのか、その辺のスケールの仕方のイメージを伺いたいのが1点目です。

2点目は、基本的に小さいユニットをたくさんつなげて大型化するという、原発で言うとSMRのようなイメージを持ったのですけれども、そうだとすると、オンサイトだとかオフグリッドのところに整備できるので、ほかのタイプの核融合と用途を変えて、あるいは立地を変えて、併存もできると考えてよいのか、という辺りを教えてください。

○野尻CEO

まず、1点目につきましては、今後の開発主体というか、それがどのように進んでいくかという御質問かと思いますけれども、御質問に対する答えとしては、まず基本的には我々が主体となって資金調達をして、いわゆる第2世代、より本格的に発電実証を行うという装置はやっていくつもりであります。ただ、そこではほかの会社ですとか機関の巻き込み方という観点におきましては、例えば我々の核融合炉を構成するキーコンポーネントについて、例えば大手電気メーカーとかそういったところと協働していくというようなところはあり得るかなと思っておりますけれども、ただ、飽くまで我々が主体的に動くというような想定を考えておりましす、それが何とか実現できる装置の複雑さですか大きさというところで我々は実現できるのではないかなと思っています。それも我々のこの方式のよさの一つではないかなと思っておる部分でございます。

2点目につきまして御質問いただいている件に関しては、正に15ページのところかと思いますけれども、正に御指摘いただいたとおりで、我々というのがほかのDTとは少し色合いというか、立ち位置が異なりますので、DT核融合でカバーできる部分ももちろん我々はカバーできますけれども、それ以外にこういった正にオンサイトですかといったところは、逆にDT核融合だとなかなか手を出しにくい部分だと思いますから、そこは将来的に十分すみ分けというか、共存していく可能性は十二分にあるのではないかなと思っております。

○恒藤審議官

1点だけ。今、従業員は何人ぐらいおられるんですか。

○野尻CEO

今、正社員としましては7名の段階になっています。

⑤Blue Laser Fusion合同会社の日本事業統括の飯塚統括より資料4-5に基づき説明

まず、会社概要を簡単に説明させていただきます。Blue Laser Fusionは、2022年11月4日にアメリカで創業いたしました。その後、日本でも事業を開始しております。創業者はノーベル物理学賞を受賞いたしました中村修二でございまして、日本側での事務機能は東京に、開発拠点は大阪にございます。米国ではカリフォルニア州のパロアルトに本社がございまして、開発拠点といたしましてはカリフォルニア州のゴリータというところにございます。

次に開発マイルストーンを説明いたします。大きく3ステップに分かれておりまして、今はフェーズ1という一番左の部分にございます。2024年から2026年にかけまして、後ほど説明いたします我々の独自のOECレーザーと新型ターゲットの開発に注力をしております。次に、中央のフェーズ2に2027年から2028年に移ってまいります。こちらではリアクターの建設を開始したいと考えています。最後に一番右側に記載のフェーズ3でございますけれども、2028年から2032年に点火実証したいと思っております。こちらのロードマップですが、アメリカで実施することをベースとしたロードマップになっておりまして、日本側でさせていただく場合には、調整が必要になると考えております。

次にサイト計画とパートナーシップについて簡単に説明させていただきます。現在、一番左のフェーズ1aというところにありますが、BLFゴリータの研究開発拠点と大阪大学の構内の場所をお借りしてレーザー開発を進めております。これが終わりましたら右側のフェーズ1bです。ここでは150メートルのサイトが必要になってまいります。カリフォルニアではカリフォルニア中部、あとロサンゼルス近郊で今場所のめどが立っております。日本側は引き続き候補地を調査してまいります。最後にフェーズ2、3と一番

右のパイロットプラントのところでございますが、こちらもアメリカ側ではカリフォルニア州にございますディアブロキャニオン原子力発電所に併設するような形で我々のパイロットプラントができないか、具体的な話を進めているところでございます。日本側はまだ見つかっておりませんので、適宜議論の方をさせていただければと考えております。

次にスペックについて説明いたします。こちらの左側の図ですが、縦軸にゲイン、横軸にレーザーの強度を示しております。結論から申し上げますと、我々はDというところにマーキングをしているスペックを狙っております。直接照射のショックイグニッションという点火方式を用いる計画ですが、我々のOECレーザーを使った場合、5MJという出力を用いて、利得が100から150程度出るというシミュレーション結果が出ております。現在、これを目標にレーザーの開発を進めております。

次に発電実証の定義ですが、右上の赤のブロックに示させていただいております。直接照射のショックイグニッションという方式を使いまして、我々のレーザーの出力といたしましては5MJを達成したいと考えております。これが達成できた暁には、ゲイン100以上が目指せることになりますし、発電規模としては1GWが狙えるところに来ると考えております。下のエネルギーフローの部分は、主要な箇所を説明させていただきますが、中央部分の青で囲っている箇所が重要なところになっておりまして、レーザードライバーの効率は10%、ターゲットゲインは150程度、電気への変換部分は直接発電と間接発電という2種類を併用して44%を目標にしております。これらが達成できましたら、一番右に書いております1GWと電気エネルギーが見えてくると思っております。

次にコストでございますけれども、アメリカベースで計算しておりますが、2032年の発電実証までに約76億ドルとなります。日本円ですと、1兆円規模の予算を想定しております。

次に達成時期ですけれども、アメリカでは2032年をめどに発電実証を実施したいと思っております。

次に商用炉の主体についてです。結論から申し上げますと、やはりレーザー核融合はレーザー技術が中核でございますので、我々のようなレーザーをメインでやっている企業を中心として、その他プラントができる方々等を巻き込みながら進めるべきと思っています。投資はもちろん民間投資を我々が集めていかなければなりませんが、地方、国レベルの公的資金もいただけだと非常にスムーズに進むと思っております。

サイト選定の進め方は幾つかポイントを書いておりますけれども、重要なところとしては、グリッドへの接続がスムーズにできることであるとか、あとはトリチウムの使用可否も重要であると考えております。特に日本ではトリチウムの取扱いについて、今原子力規制庁様と議論を開始させていただいておりますが、規制をクリアできたサイトで進めて行かなければいけないといけないと思っています。また、下から2番目の段落に書いておりますが、新規にサイトを立ち上げて、そこに核融合発電炉をつくるというのは非常にハードルが高いので、我々はカリフォルニアで原発の横に建てるようなことを考えておりますけれども、既存施設に併設するような形でできれば非常にスムーズに実証できるのではないかと考えております。

次に我々が今どの位置にいるかを簡単に説明させていただきます。レーザー核融合はローレンス・リバモア国立研究所が研究開発としては非常に進んでおりまして、既に点火を成功していて、ゲインとしては実績を積んでいるという形です。ただ、ローレンス・リバモアはガラスレーザーという方式のレーザーを使っておりまして、この方式は非常に熱がこもります。よって、1発打ったら8時間程度クーリングダウンの時間が必要でございます。非常に研究としては適したレーザーですが、商用炉として活用するには連射が必要なので、このガラスレーザーは適していないと思っています。ですから、低い繰り返しを向上させるというのと、あと、大部分が熱に変換されるので、効率も非常に低いです。それを向上させるという二つをレーザー核融合では解決できましたら、一気に商用化に向かっていくと思っております。

我々の技術ですけれども、主に二つレーザー技術を持っております。まず、一つが左側に書いておりますCoherent Beam Combining Laser (CBC) といいまして、これは大阪大学で既に技術を構築されている先生と一緒に開発をしております。光ファイバーのように比較的低出力ですが、連射ができるレーザーを束ねて、まずある一定強度に増幅するということを、このCBCという段でやっております。その後にOptical Enhancement Cavity (OEC) というものが右側にございますけれども、これは高反射率のミラーを二つ並べて、その中にCBCでつくったレーザーを注入することで鏡の中をレーザーが増幅して、高い強度のレーザー出力ができると、いうものを我々は開発しております。

次にOECの部分、増幅する部分の説明です。最終目標は150メートルという長さのキャビティをつく

る予定ですが、それより短いセットアップで実験を進めております。1.5メートルという100分の1のスケールですと、既に7万倍という増幅率を達成しております。その長さを100倍にして、かつ10万倍というところを我々は最低目標として定めて進んでいるところです。

最終目標の150メートルの10分の1の長さである15メートルという長さのセットアップも準備しております、こちらでも今1万倍という増幅まで達成しております。これも引き続きいろいろチューニングをして、10万倍を目指して、その後に150メートルに移行するという計画でございます。

次に大阪大学と進めさせていただいております入射用CBCレーザーです。こちらに示しておりますとおり多数のアンプ増幅器を並べて、それを結合したCBCレーザーを開発中でございます。今の時点で1kWという出力まで出てきておりまして、これを今後調整したり、あと物品を増やしたりして10kW、100kWというところを今後目指していきたいと思っております。

次に資金についてです。現在、我々はシードラウンドとして約60億円調達させていただいておりまして、次のラウンドの資金調達に取り組んでおります。

次に公的資金についてです。まず、アメリカ側ですけれども、DOEのINFUSEというプログラムに、2024年Caltechとともに提案をし、採択いただきました。また、今年もコロラド州立大学とともに提案し、このINFUSEプログラムに採択頂きました。また、Blue Laser Fusion単独ではございませんが、日本では大阪大学と設立しております協働研究所の所長である藤岡慎介教授を、ムーンショットプログラムのプロジェクトマネージャーに採択いただきました。詳細は今後決定されますが、こちらでも我々の開発を加速していきたいと思っています。

次に必要な支援ですが、端的に結論だけ申し上げますが、我々は今大阪大学のレーザー科学研究所と非常に密にやらせていただいておりまして、レーザーの開発、材料の開発、それぞれでレーザー研の御支援がなくしてはここまで来ておりませんので、引き続き密にやらせていただければと思っています。

今後開発を進めていくに当たって大きく三つハードルがございます。一つ目は我々は今15メートルでOEC開発を行なっておりますが、それを150メートルに拡大したときに、電力等インフラが整ったところ、かつ広いエリアがあるといった場所を見つけるのに日本国内では苦労しているところがあります。ですから、そこでもしバックアップいただければ非常にありがたく存じます。二つ目はトリチウムを用いた実験が可能な施設でございまして、現在大阪大学で激光XII号およびLFEXという阪大既存レーザー設備を用いたトリチウム実験を計画しておりますが、阪大以外のところで我々のレーザーを使って、トリチウムの実験ができるところが今後整備されれば非常にありがたいと考えております。最後はリアクター用地です。これは目処が立っておりませんので、引き続き自治体も含めた候補地と、対話をさせていただければと思います。

次に外部機関と協力必要のある技術課題です。細かいところは割愛させていただきますが、先ほど出ました大阪大学、あとはQST、また我々が発電するに当たって直接発電という技術が必要でございまして、そこは九州大学が強みを持っていらっしゃるので、こういった機関と今後一緒にやらせていただければと考えております。

最後ですが、今大阪大学とは共同で進めさせていただいているが、今後レーザーフュージョンという枠組みでは、阪大レーザー研を中心に他大学、理化学研究所、QST等、より一層強く結びつきを持てていただいて、コミュニティの発展に皆様と一緒に寄与させていただければと思っております。また、QSTに関しては、正直申し上げまして、現在直接的なつながりがないため、QSTは磁場核融合を中心に推進されておられますが、共通技術というのはたくさんあると思いますので、今後はレーザー側も含めいろいろ相談させていただける機会を頂ければ非常にありがたいと思っております。

(意見交換)

○桑原委員

2点お伺いしたくて、今後の日米両拠点での役割分担をどういうふうにお考えなのかというところが1点目。もう一点目が必要な支援のところに特に資金面の支援は記載がなかったんですけども、今後1兆円かかるという資金をどういうふうに工面される予定なのか、この辺りについて教えてください。

○飯塚統括

今のフェーズ1の研究開発段階でございますが、日米でOECという部分に関しましては共通技術でございますので、情報を交換しながら24時間時差を使いながら研究開発を進めております。

入射のCBCレーザーのところでございますけれども、これは様々な方式がございますので、日米で使っている技術を変えながらリスクミニミテイゲーションをやっていければと考えております。

公的資金のところでございますけれども、正直申し上げまして、日本側はいろんな方々と対話させていただいておりますが、目処が立っていないというところでございます。アメリカ側も最終決定はされていない状況ではありますが、ホワイトハウスや議会の方々との対話を通じて、今後巨大なファンディングの機会というのを模索しているところでございます。

○寺井委員

発電実証のところなんですけれども、余り具体的にどういうシステムを使って発電を実証するというのが明示されていなくて、直接発電ということは書いてあるんですけども、レーザーチャンバーですか、35ページのチャンバーを仮定すると、どうやって直接発電するんだろうというのがちょっとよく分からんんです。これは多分熱を取り出して、いわゆるスチームタービンを回すというパターンだと思うんですが、取りあえずの発電実証というのは直接発電なんですか。

○飯塚統括

2032年に目指しているベストケースといたしましては、荷電粒子から電力を得る直接発電と、ブランケットで受けて熱に変換する間接発電の2方式で実証できればと考えております。

○寺井委員

2032年だったら、もうある程度その設計ができていないものがつくれないと思うんですけども、その辺りについてはどういう進捗状況なんでしょうか。

○飯塚統括

社内に複数名サイエンティストがおりまして、リアクターの概念設計は進めております。しかし今はレーザーに注力しているというのが正直なところです。といいますのも、レーザードライバーができない限りはその先に進めないというところがあるので、リソースをほとんどそこに投じております。今後はレーザーの目処が立ってきましたら、その部分は社内でも加速をしていきたいと考えておりますし、アメリカでは特にGeneral Atomicsと密に議論させていただいておりますが、彼らはリアクターの設計から建設に至るまで細部を熟知しておりますので、そういった知見をお持ちの方と一緒にタッグを組んでやっていきたいなど考えております。

○寺井委員

レーザーの増強というのは結構大事で、たしか今は100ジュールでしたか、それを2桁ぐらい上げるんですよね、たしか。

○飯塚統括

おっしゃるとおりでございます。

○寺井委員

そのところの増強の方策というのは、先ほどファイバーを束ねるみたいな話があったんですけども、そこを増やせば何とかなるものなんですか。

○飯塚統括

CBCとOECの両方の向上が必要だと思っております。CBC部分のファイバーを束ねればある程度の高強度のレーザーが繰り返しできることは確認しておりますが、ハードウェアの部品点数が非常に多くなるため、コスト的には採算が見合わない可能性がございます。我々としてはその先のOEC部分でなるべく増幅率を上げて、前段のCBCの部品点数をミニマムにするというところを目指しております。

我々の最終目標としては、入射のCBCレーザーで100kWの出力生成し、それをOECの鏡に閉じ込め
て10万倍にすると、 $100\text{kW} \times 10\text{万倍}$ で10GWレベルのレーザー出力になります。これをパルスに変換し
た場合に10kJという大台が見えてまいります。

○寺井委員

そうなると、ミラーのところの集光度をいかに高められるかとか、そこがポイントになりますよね。

○飯塚統括

おっしゃるとおりでございます。

○寺井委員

ちょっとその辺は今後の技術開発の部分が多いんだろうと思いますけれども、ありがとうございます。

(5)その他

○尾崎主査

各企業へ十分な御質問ができなった委員もいらっしゃると思いますので、追加質問は事務局を通じて
ご提出ください。それから、本日はヒアリングを踏まえて今後どう進めるか意見交換をする予定でした
が、こちらも事務局経由でご提出ください。時間の関係で、この場での討議は割愛したいと思います。
では、事務局の方にお戻しします。

○澤田参事官

今、尾崎主査からあった2点については、一旦の締切りを金曜日の15時にしたいと思いますのでよろ
しくお願いします。

本日の資料3及び資料4-1から4-5までについては、非公開ですので、会議終了後に回収いたし
ます。机上に残していただければ幸いです。

本日の議事要旨につきましては、本日お越しいただいたスタートアップ等に速記録をそれぞれの該当
部分のみ展開して、非公開情報を削除の後、議事要旨案を作成いたしますので、その議事要旨案を委
員の皆様に御確認いただいた後に内閣府のホームページに掲載予定です。

次回、第3回につきましては、11月7日金曜日の15時から18時までの開催を予定しております。

3. 閉会

閉会の挨拶

○尾崎主査

それでは、第2回社会実装検討タスクフォース、これで終わります。

以上