

## 核融合研究開発基本問題検討会（第10回） 議事録

1. 日 時 平成15年9月19日（金）14：30～18：00

2. 場 所 中央合同庁舎第4号館 4階 共用第4特別会議室

3. 出席者

〔核融合研究開発基本問題検討会構成員〕

玉野輝男（参与）、畦地宏、居田克巳、今川信作、大塚道夫、岡野邦彦、小川雄一、菊池満、高津英幸、寺井隆幸、藤原正巳（座長）

〔招聘者〕

小西哲之（京都大学エネルギー理工学研究所教授）

〔核融合専門部会技術WG構成員〕

井上信幸、桂井誠、高村秀一、西川雅弘、藤原正巳、松田慎三郎、三間園興

〔内閣府〕 川口補佐

〔文部科学省〕 山口専門官

4. 議 題：

（1）核融合研究開発の基本的進め方について

（2）その他

5. 配付資料

資料検第10-1-1号 JT-60とトカマク国内重点化装置計画について

資料検第10-1-2号 核融合実用化加速案の検討資料

資料検第10-2-1号 核融合研究開発基本問題検討会（第9回）議事録

6. 議事内容

1) JT-60とトカマク国内重点化装置計画について、資料検第10-1-1号に基づき、菊池委員より説明がなされた。

2) 本件に関し、以下の質疑応答があった。

【玉野参与】 今お話を聞いた知識の範囲内だけで考えますと、非常にナイーブな質問が出てきます。それは6ページの図に関係するわけですが、それではなぜ今JT-60改造でやろうとするものをITERに組み込めないのか。そしてそれがどうして発電実証プラントであれば一緒にできるのか。そここのところのシナリオが今の説明からは抜けているというか、触れられてないように思うのですが、そこはどういうふうに説明されますか。

【菊池委員】 経済性改善のために高ベータの定常運転が必要であり、そのためには3つの手法をとるというのをご説明いたしましたわけですが。その3つというのは、1つは断面形状制御の最適化、それからNTMの抑制、それから抵抗性壁モードの抑制です。

2つ目の新古典テアリングモード（NTM）の抑制につきましては、ITERでも採用されていまして、これについては必要ではあるのですが、ITERでもやられるということになります。

それ以外でやられていないものは、まず、アスペクト比です。ITERではアスペクト比の選定をするときに十分なボルト・セックとかニュークリア・シールド

ングをするという観点から、アスペクト比は今3.1になってございます。前に炉の設計について申し上げたのですが、JT-60の結果からいいますと、センターソレノイドコイルをとれる可能性がゼロではない。大塚委員からもご指摘がありましたけれども、核融合炉はできるだけ簡素化しなければいけないという観点からいいますと、センターソレノイドコイルはない方がいいということになります。これは東大の高瀬先生が頑張ってやられた仕事なのですけれども、そういうことを考えますと、もしセンターソレノイドコイルをとれたら、アスペクト比は低い方向に持っていくことができます。だけれども、現時点のITERの知識の範囲内では誘導運転でプラズマ電流を流すというのは非常に重要なファクターになりますので、特に定常運転が十分にめどが立ってない時点では、設計及び製作としてITERに取り込むことができないということがございます。ですから、1つはアスペクト比を幅広い領域でとっておいて、そこでちゃんとハイベータの実証をするということが非常に重要です。

それから、抵抗性壁モードの抑制のためにインターナル・コイルというのがございますけれども、これにつきましては内部に置いた場合にはニュートロン・ダメージのことをよく考えないといけませんので、特に絶縁物、それから電磁力支持の観点でかなり注意深い設計が、特にニュークリア・マシン、DTマシンの場合は必要になります。位置制御コイルについて、インターナル・コイルでやるかという提案がITERのコンパクト化のときにあったのですが、技術的にめどが立っていないということでそれをあきらめた経緯がございまして、このセクターコイルを用いた抵抗性壁モードのコイルの場合も同じでして、それをインターナル・コイルとしてやるためには、かなりのニュークリアな環境に耐える絶縁物の開発とかが必要になります。

これについては大塚委員の方から、JT-60は大変だったという話があったわけですが、JT-60の場合ですと、ベーキング温度を当時500で考えていて、かなり厳しい条件の中で日立製作所が担当され、製作に大変苦労されたということがございます。ただ、実際の発電実証プラントでは、現在考えておりますのは軽水炉の温度条件ですから、285から325という領域ですので、今のJT-60のベーキング温度と大体同じです。そういう300領域で使えるようなインターナル・コイルをサポートする絶縁物とかがDTニュートロン環境下でもつという実証が必要だということで、そういうものについては、ITERの場合にはなかなか難しい。仮にITERでやったとしても、メンテナンスが比較的楽なポートセクションに限られるということになっております。

説明としては以上でございまして。

【玉野参与】 今の説明を聞きますと、次の実証プラントは、いろいろなものを満足させるため、さらに大きくなるような印象を受けるのですけれども。

【菊池委員】 いえ、小さくなるわけです。小さくなるけれども、構造は少し複雑なものが入ってくるということです。岡野委員の方から、そういう複雑さは必ずしもコストが高くなることとは違うという話をされたかと思えます。基本的には、例えばセンターソレノイドコイルをとったような炉システムの場合ですと、主半径はむしろITERの6.1メートルからもっと小さい方向に行くと思えます。極端な例で言えば3メートルクラスになるという原研の検討例があるのですが、そこまでいかないにしても、小さくなる方向になると思っております。

【三間委員】 今の玉野参与の話とも関係するのですけれども、最後の方の「核融

合エネルギー実現の道筋」というところで、JT-60超伝導改修があって、その結果がITERに反映するという矢印があります。これは、ITERカOUNシルの中である程度了解がとれた話なのかということを確認したいのと、もう1点はこういうJT-60超伝導改修というのは、国際的な装置と抱き合わせで先へ進むというお話なので、これは国内というよりは国際的なアクティビティの中で位置づけて進めていくべきだと思うのですが、それをあえて国内でやるというところが私の方としては釈然としない。むしろ国際的に、ITERカOUNシルの中で進めた方が物事が最終的にスムーズに行くのではないかという気がするのですが、どうでしょうか。

しかも、なおかつその結果が実証炉という形で発電実証プラントにつながっていくわけですから、その発電実証プラント自身も、これは国内なのか国際的なのか、今から決められないと思うのですが、それとの関係もあるものから、その辺のすり合わせをちゃんとしておかないとややこしいのではないかと思うのですが、いかがでしょうか。

【菊池委員】 まず最初の質問からご説明しますと、ITERカOUNシルというのは今まだなくて、ITERの政府間交渉が行われているのが現状なのですが、ITERの建設期、それから運転期におきましても、いわゆる参加各極がITERに対して物理的な貢献をするというフレームワークは考えられております。ですから、日本の場合には核融合研究ワーキンググループで、こういう超高温のプラズマにつきましては、JT-60及びそれに引き続くトカマク国内重点化装置に重点化するという方針が打ち出されておりますので、その方針に従って、主にITERに対してはこのJT-60及びトカマク国内重点化装置の方からデータを提供していくという方向になると思います。

その結果がどのようにITERに反映されるかについては、それは国際交渉のターゲットになるし、そのときには既に発足しているであろうITERカOUNシルの中で何をどういうふうに関国の結果から反映をするのかというのが議論されて決まっていこうと思われま

す。それから、国内トカマク重点化装置をなぜ国際協力にしないのかというのは、基本的に発電実証プラントに向けて、こういう高ベータの定常運転を実現するというシナリオが科学技術的には非常に大きなミッションになっています。そういう場合に、ITERという核燃焼する装置につきましては、国際的にはどういうものにするかというのは、いわゆる合意がとれるわけですが、その先の発電実証プラントをどうするかということにつきましては、現在とてもありませんが、いわゆる目標とかどういうものにするかということについては合意がとれる状況にありません。ということは、各極がそれぞれの自分の国に建設するつもりになって、発電実証プラントのビジョンを描き、それを実現するために各極が自分の国内で研究開発を進めるということになります。

例えば、アメリカですと、NSTXのようなST路線ですとか、NIFを用いたレーザー核融合とか、いろいろなことを志向しています。その中で、国際的に日本とアメリカが協議して発電実証プラントのイメージをつくって、そのための研究開発装置はこういうものであるべきだということを明確にデファインするのは非常に難しい状況にあります。ですから、むしろ我々としては、こういう研究は原子力委員会とか科学技術・学術審議会でのトカマクの研究の方向の考え方によって国内的にやる必要があると考えています。さらに、ITERへの貢献をするとか、ITERに人材育成をするという観点から見ると、これを国際協力装置にしたら非常に難しい問題が起こってくるということがございます。以上です。

【小川委員】 今の点について簡単に補足だけさせていただきます。昨年のワーキングのときにも似たような議論がありまして、やはりそのときの主張は、この菊池委員の資料の2ページ目のところに書いてありますけれども、計画の必要性の中で「ITER計画での主導的立場の確保」という意味でITERに有機的連携を図るために、国内にそれなりの装置が必要だろうという点がまずはワーキングでも合意されたかと思えます。具体的にどういう装置でというのは、今、菊池委員が言われた通りだと思えます。

【井上委員】 今ちょうど話が出たところで、2ページ目の「数百名規模での人材養成」というところに着目したのですけれども、先ほどの話にありましたように、クラスターとかタスクフォースとかたくさんありますが、これを見ても大体同じような顔ぶれの人がいっぱい出ているわけですね。日本人は大変優秀ですけれども、そんなに時間があるわけなくて、そういう仕事を手分けしてやれるような体制をつくらないと、これはなかなか進歩できないという気がするのですね。

それで、国内にはたくさん装置があるけれども、人が足りないという状況が一方ではあるわけですし、そういう意味でこの「主導権の確保と数百名規模での人材養成」のために、国内重点化計画が必要であるというところはアグリーするのですけれども、このところは「言うは易く行うは難し」といいますか、もう少し深く掘り下げて考えないといけないと思えます。というのは、大学で学生を勧誘して、それが今のJT-60並みの装置を動かせるところまでどういうステップで教育していくかというところの具体例がなかなか見えてこないわけです。それはワーキンググループで議論されたのかもしれませんが、議論されてないとしたら、何かこのところに大学を離さないようにするための工夫を報告書にちゃんと入れて、それが反映されるような形にしなければいけないのではないかという気がします。これは炉心の話だけではなくて、炉工の方もそうではないかという気がいたしました。

【藤原座長】 それに関しては、資料の後ろの方に研究体制をどうするかというのがありましたよね。JT-60を用いた施設利用の拡大だとか。

【菊池委員】 私が答えた方がいいか、小川委員が答えた方がいいか、ちょっと難しいところですが、今回のワーキンググループにおきましては、いわゆる重点化計画を中心に議論したということもありまして、大体100億円以上のものを対象として議論をしたんですね。そういう面で、新たな挑戦とか、大学、センター、講座レベルでの研究の展開については、十分されてはいないという認識はあって、おそらく新ワーキンググループではそういうところがかなり中心的に議論されると思います。前回の山口専門官の説明でも、課題の中にそれはあったかと思えますけれども、そういう形で進められると期待しております。

【大塚委員】 2つありまして、1つは5ページ目のところですが、 $N$ がITERでは余り大きくなくて、国内重点化装置では大きいところで制御できるかどうかを試験するというので、プラズマの近くに壁があると、その壁の影響で安定化できるというのが多分考えられていて、重点化装置ではバップル板というのがつけられるようになっているんですね。かなりあれは面積が大きいのですけれども、原型炉だと、一番プラズマに直面するところは、いわゆるサイコロみたいなブランケットになるので、かなり細かく切られていて、電気的には多分等価ではない。そういう状況でも、重点化装置でわかったら、そのまま原型炉に大体いけるだろうと

いうように推測はできるものなのではないでしょうかというのが1つ目の質問です。

2つ目は質問ではなくてコメントなのですが、菊池委員が簡素化しなくてもコストが下がるものもあるということで、岡野委員がこの前言われていたのですが、岡野委員が言われていたのは主に制御でしたね。制御関係でかなり複雑なことをやっても、コストはリーズナブルな範囲内のものが世の中にいっぱいありますよというのは確かにそのとおりだと思うのですが、一番根本的なところはLSIの発明だったと思うんですね。あれをすべて、真空管とまではいかなくても、トランジスターとか抵抗とかコンデンサーとして組もうとすると、おそらく、ものすごく複雑怪奇な回路になって実用化できない。もちろんコストも高くなる。そういうことでLSIという非常に革命的な発明があったから成立している。

一方で核融合炉を考えてみますと、軽薄短小のそういう部品をもちろん制御に使うわけですが、基本的には重厚長大なものです。例えば、非常に巨大な電磁力を支持しないといけないですけれども、それを支持する方法というのは、結局はアーチ、あるいはキーとかくさびとかいう概念であって、多分エジプトの昔から変わっていない。そういう考え方であって、非常に大きな進歩をしている技術とそんなに大きな進歩をしていない技術がありますので、一口に技術が進歩するというのは、もう少し詳しくどういう内容の技術が進歩してきているか、あるいは今後も進歩していくかを考えて判断することが必要です。一概に世の中のいろいろな複雑なものが実用化されているから、核融合炉もある程度複雑でもできるのではないかと、なかなか言えないのではないかという気がいたします。これはコメントです。以上です。

【菊池委員】 複雑なものに関しては確かにそのとおりで、今考えている「Resistive Wall Mode Coil」のフィードバック・コントロールというのは、壁の安定化効果を期待しているわけですが、一方で壁の安定化効果というのは壁のスキントimeで減衰してしまうわけですね。それに対しフリーエ・コンポーネントを持った磁場を外部的に供給して、それをコンペイトして境界条件をまるで「Ideal Wall」であるかのような形に整えてやるというのがそのインターナル・コイルの役割です。それがうまくいくとすると、トロイダル磁場が20テスラのところが14テスラで済むとかいうことになって、今、大塚委員がおっしゃったアーチが要らなくなるだとか、あらゆるところがすべて、重厚長大の部分が軽く済んでいくんですね。そういうところのためにそういう複雑なコイル、軽いシステムですけれども、ほんのちょっとそういうものを使ってプラズマというほとんど質量のないものを上手にコントロールできるのかということがポイントになります。

もう一件、核融合炉のブランケットはセグメント化されていて、あまり壁の安定化効果は効かないのではないかとありますが、これはそのとおりです。そのとおりなのですが、1つはその一つ一つのセグメンテーションをできるだけ大きくしてやるということが必要になってきます。それと、ディスラプションの発生は非常に稀な回数だとは思いますが、ディスラプションのための電磁力設計とのバランスをどこまでとるかというのが最終的な原型炉の設計としては非常に重要になってきます。ですから、重点化装置で得られたものがそのまま直に使えるとは言えなくて、原型炉ではどこまでぐらいは使えそうかというのを十分に検討した上で、重点化装置のバップル設計を最適化する必要があると考えております。そういう面では、いわゆるIdealの $N$ が5.5まで本当にいくかということ非常に厳しい可能性はあると思っています。

【大塚委員】 それでは、昔 F E R なんかで考えていたバナナ型のブランケットのような形にすると結構いいという感じなのですか。

【菊池委員】 できればそうしたいですけれども、むしろバナナ型というとトロイダル方向には狭いので、逆にむしろトロイダル方向に大きくて、ブロックとしてはできるだけ大きい方がヘリカルモードの  $n = 1$  の揺動を抑制するという意味ではいいと思います。

【大塚委員】 むしろトロイダル方向につながった方がいいということですか。

【菊池委員】 はい。原研の中でもいろいろ意見は分かれるのですが、バナナ型のものをメンテナンスできるかということ、所内的には今の I T E R のメンテナンス方式が解だという意見の方が大勢ですので、今みたいな遮蔽ブランケットをできるだけ大きめにつくり、特にヘリカルモード、キック・バルーニング・モードのモードパターンの電流パスをできるだけ切らないような形のブランケットの設計ができればいいなとは思っています。

【桂井委員】 16 ページのセクターコイルは、将来は1メートルぐらいのブランケットの後ろに置くのですか。それともプラズマに直面させなくてはいけないのですか。

【菊池委員】 後ろに置くことになります。こういうものは当然電流を流していますので、中性子によるダメージをできるだけ受けないところに置く必要があります。

【桂井委員】 大塚委員が言われたように、逆にブランケットのコンダクティビティが確保されていると、セクターコイルの電流がなかなかプラズマに届かないという心配があるわけです。何かちょっと二律背反しているような気もするのですけれども。

【菊池委員】 そういうことです。ですから、そういう面でパーフェクトなところまではなかなかいかないと思うんですね。いわゆる D - D なんかでも同じように「Resistive Wall Mode Coil」の設計をしているのですが、ほとんど「Ideal Wall」リミットまでいくような計算をしているのです。でも、それは、実際上はそこまではいかないだろうなと思っています。

ですから、それを原型炉の構造を考慮しながら、どこまでぐらいだったらいいのか、「No Wall」リミットと「Ideal Wall」リミットの間領域のどこまで、例えば50%までいくのか、60%までいくのか、そこを実際の炉構造物との対応をとりながら見極めていくというのがこの装置の重要なミッションかと思います。

【井上委員】 5 ページの図では磁場はどうなっているのですか。  $B_N$  だけ書かれていますけれども、一番強い磁場を使っているのですか。

【菊池委員】 これは13テスラの場合の計算ですね。

【井上委員】 そうすると、20テスラぐらいまでは可能性があるかもしれないと考えれば、もっと改善されるのですか。

【菊池委員】 横軸は  $N$  になっていますけれども、下軸は  $B_{max}$  で、これは岡野委員がつくられたものですが、磁場  $B_{max}$  が高ければ、比較的低い  $N$  で済むということにはなっております。

ただ、原研の方でちゃんと構造設計とかをやった感じでは、20テスラ・クラスのマグネットで、例えばアスペクト比4のSSTRレベルのマグネットを設計しますと、構造材としては非常に大きくなってしまいますので、単純に  $N$  が上がらなければ磁場  $B_{max}$  を上げればそこその経済性が得られるのかといえ、そう単純ではないと思っています。

【井上委員】 両方上げたらいいのではないかと思ったのですけれども。

【菊池委員】 もちろん両方上げるのですが、どこまで上げないで済むかというのはベータにかかっているということだと思います。むしろ上げられた  $N$  に合わせて磁場の強度を必要なだけ上げざるを得ない。ただし、そのときにマグネットの物量を増やさないようにうまくできるかということが重要で、それはどちらかという低アスペクト比側の方が、センターソレノイドコイルがなしの場合には物量が少なくて済むという計算になってございます。

【井上委員】 18ページの「1日連続運転の可能性」の図ですが、この重点化装置は真ん中の小さな緑の領域を狙っているということですか。

【菊池委員】 そうですね。大体その辺です。下の「 $P_{pulse}$ 」と書いてあるところに、hr、dと記載がありますが、dと書いているのが「day」です。8時間ですと、hrとdの間でその辺になります。「Triam-1M」の一番長い運転が3時間ですので、その近くです。図が英語の小さな字で書いてありますので、わかりづらいかと思いますが。

【桂井委員】 11ページのローソン図の上の国内重点化装置の位置づけに関してですけれども、将来のアルファ粒子安定性、燃焼安定性を考えると、このローソン図のU字型の領域の右の方の傾きの上に乗った方がいいわけです。ところが、この国内重点化装置はU字型の左側に乗っているわけです。これは将来の実用炉が右側にあるように、ちょっと逆の位置に置かれていて、本来ならU字の右側の方まで動作を伸ばせないとアルファ粒子とか燃焼制御という点では苦しいことになりませんか。

【菊池委員】 アルファ粒子制御という面では、実際はDTではやりませんので、ある面で加熱システムのフィードバック・コントロールで模擬をせざるを得ないと思っています。動作領域として、温度が低めの領域にあるのはわかっております。ただ、そのJT-60のポイントから見ていただければわかりますように、うまく調整すれば高い温度領域にもいけると思っております。ただ、そこでほぼ「break even」にいくかどうかはちょっとわかりません。

【西川委員】 ちょっと確認したいのですが、16ページの先ほどから問題のある抵抗性壁モードの制御の件なのですが、これはやはり原型炉になっても必要であって、炉心屋としては、何かそういうものをつけなければどうしても制御ができないような気がするとおっしゃっているように聞こえたのですが、そのとおりなのでは

ようか。

また、原型炉の時期にはアドバンストないろいろなアイデアが出ていると思いますが、現状でこの辺が克服できるような新しいアイデアはないのでしょうか。

【菊池委員】 前者の質問については、基本的には最低でも  $n = 1$  のフィードバックまではいるかなと思っています。それはもともと1990年に設計したSSTRは、 $N$  が3.5で設計しているのですけれども、それも壁なしではだめで、やはり  $n = 1$  のキック・パルニング・モードを安定化せざるを得ません。壁のスキン・タイムのこと考えると、やはりそれをコンペイトするようなフィードバック制御系は必要で、少なくともブランケットと真空容器の間のどこかにそういうものを設置する必要があると思っています。

それで、そういうものに頼らないアドバンストなアイデアがあり得るのではないかというご質問でしたが、そういうアイデアは今のところは余りないですね。ただ、そのものが高くなるという面ではSTのコンセプトがあるわけですけれども、STの場合ですと、非常に高いを得ようと思うと、極端に低アスペクト比にもってこないといけなくて、その場合には超伝導コイルが使えないので、非常に循環電力が大きくなるのと、縦にすごく伸びてしまって大きくなってしまふということがございます。それでも、やはり同じように壁の効果は期待しなければ炉としてそこそこの設計にならないということがあります。現状は、ステラレーター型の場合ですと、ウォール・スタビライゼーションを余り期待しておられないと思うのですけれども、その範囲内ではステラレーター型も非常にでかくなってしまふということがありますので、現状、そこそこコンパクトなリアクターでイノベティブなウォール・スタビライゼーションを期待しないような磁場核融合のコンセプトはないと思っております。

【小川委員】 昨年のワーキングの範疇では、先ほど申し上げましたように、2ページ目にありますように「ITERでの主導的な立場」と、前半に書いてあります「トカマク方式の改良、経済性向上」のためというのを一つのキーワードとして、この装置を位置づけたわけですけれども、その段階では「Fast Track」とかいう議論は特にその絡みで議論したわけではなくて、一般論としてそのように意義を明確に定義したわけです。菊池委員の資料の6ページ目の「新しい開発戦略」と「これまでの開発戦略」という図の中に明記されていることが、ある意味ではこの後の「Fast Track」の議論の一つの受け皿になるのではないかと思います。

つまり、このトカマク国内重点化装置を、発電プラントやITERに対してどう位置づけるかを見たときに、ここに書いてありますように、このような経済性改善ということ、こういうサブマシンでやることによって、2段階を要する開発を1段階に統合できるということを主張しています。本当にこのサブマシンにより1段階に統合できるのかというのがまさに一つの論点だと思うんですね。だから、そういう観点でこの後の「Fast Track」の議論も考えなくてはいけないのかなと思います。

それから、これはマイナーなコメントなのですが、この図の中で、トカマク国内重点化装置の矢印が発電実証プラントだけにいつているのですが、ワーキングのときも議論しましたけれども、基本的に重点化装置というのはITERへの寄与というのも必ずありますので、このトカマク国内重点化装置からITERへの矢印は入れておくべきではないかと思います。後のフローチャートにはそれは入っていますけれども。

実際は、例えば高ベータ化の実験も、非常に先進的な研究はこの国内重点化装置でやって、それがうまくいけば、それもITERでやってみようとかバーニング・プラズマでやってみようとかという話になるのだと思いますので、そこには矢印を入れておくべきではないかと思います。

【菊池委員】 小川委員にそう言っていただけるのは原研として極めてありがたいと思います。これまで大学とのJT-60改修の議論の中では、あまりITERへの貢献を言うのはよろしくないということになっていました。基本的には原型炉に向かって明確な貢献ができることが大事だということで、特に大学の先生方からはそういうことを言われてきて、研究のフォーカスをそういう形で決めてきたという経緯がございます。

ただ、ワーキングではITERへの貢献というのが非常に重要だということが言われて、まさにトカマクの国内重点化装置がITERに貢献するのは非常に重要であるという小川先生のご指摘はごもっともかと思います。

【小川委員】 誤解をされるといけないのですが、トカマクを重点化するときに、ITERとの違いはある程度考慮してその意義を明確化しないと、なかなか位置づけが難しいです。従って、違いというのはある程度考えなければいけないのではないですかという前提はあったと思うのですね。もちろん、だからといってITERに貢献してはいけないというわけではなかったと私は認識しています。

【三間委員】 ジャイロトロンとかニュートラルビームなどの加熱装置は改造する必要があるということでしたが、経費の問題なのですけれども、先ほど350億円と言われましたけれども、それはどこまで含めた話ですか。

【菊池委員】 幸いなことに加熱系は100秒にまで延ばすためにはそんなに大きなお金は要らなくて、それは申し上げた350億円の範囲内に入っております。いわゆる制御系の使い方を少し変えることで、現在既に30秒までNBIについては延ばすことで進めています。これはほとんどお金がかかっておりません。それを100秒まで延ばすには多少お金がかかるのですが、それもそんなに大きなお金ではありません。

【三間委員】 8時間プラズマをつけての運転はどうですか。

【菊池委員】 それにつきましては、追加投資がいると思っています。何十億かかるかというのはちょっとここでは申し上げ難いです。

【三間委員】 重点化装置の意義は、hourとdayの間までオペレーションをやって、それがかつ高ベータということではないのですか。

【菊池委員】 それは研究者、先生方によって意見はいろいろあって、dayをやるのが一番重要だと思っておられるのは、特に九州大学を中心に多くの先生がおられます。でも、物理的には「Resistive Wall Mode」のタイムスケールを超えて、長い時間、高ベータ定常プラズマを実現できることの方が重要だと言われる高瀬先生を中心にした先生方もおられます。原研は両方大事だと思っているわけですが。

【井上委員】 我が国は核融合で世界をリードしていながら、こういうことを気にするのはおかしいかもしれないのですけれども、実用化までのいろいろな必要な装置について、他国ではどう考えているのでしょうか。あるいは全く考えていないのか。例えばJETを改良して同じようなところを狙うとかいう話はあるのですか。つまり、この装置がないといけませんよということを言うために、何かよそで計画しているようなことがあるのかどうか。

【菊池委員】 特にアジア諸国、韓国と中国のマシンというのは定常高ベータという面では、このマシンに比べると少し無衝突領域という意味では落ちますけれども、かなりのコントリビューションができるのは確かだと思います。

ヨーロッパとかアメリカのトカマク装置が旧態依然とした状態で本当にとどまっていいいのかというのは、多分ヨーロッパの場合は特にITERがはっきりした後に議論をすることになるでしょう。というのは、ヨーロッパは世界地図に書いていますように、ものすごい数のトカマク装置があるわけですね。ところが、これはEUの各加盟国がそれぞれにやはりそこそこのトカマク装置を持っているということがバックにあって、その総体としてJETを中心としてヨーロッパがEUとしてまとまっているという事情があるわけですね。

その中で、どこかにヨーロッパの中核マシンとして、例えばここで言っているような超伝導装置をつくらうとすると、かなりの装置をとめないといけなくなりますよね。そういうのはなかなか今身動きがとれないというのが現実だと思うので、おそらくヨーロッパのシナリオは、そういう国と国の利害の問題があるので、まずはITERを決めて、その後、JETは燃焼装置として非常にユニークな装置ですから、どういうふうを活用していくのかをもう少し明確に議論していくことになるのだらうと思っています。

3) 核融合実用化加速案について、資料検第10-1-2号に基づき、岡野委員より説明がなされた。

4) 本件に関し、以下の質疑応答があった。

【玉野参与】 7ページの表は2GWで書いてあるのですが、8ページの表は3GWです。ここはやはり正直に申し上げた方がいいのだらうと思います。

【岡野委員】 そうですね。正直にというか、別に隠したつもりはないのですが。

【玉野参与】 というか、触れられなかったので、もう1回説明してください。

【岡野委員】 玉野先生はどちらが優れていると思われませんか。

【玉野参与】 そういうことではなくて、13テスラの場合には3GWという数字の表がないのですけれども、これは非常に難しく、ちょっと無理だということなのです。

【岡野委員】 そういうふうにも見られます。

【玉野参与】 いや、そうだったと思います。

【岡野委員】 見方によっては、送電端出力を見ていただくと、どちらも同じぐらいのところになっていますよね。13テスラの方は、磁場が低い代わりに  $N$  が高いんですね。ですから、 $N$  が高くできるなら、13テスラでも同じぐらいのことができますよという読み方をするのが正しいのではないかと私は思います。両方できるなら、13テスラの方をつくるべきですよ。

【井上委員】 私が先ほど菊池委員に聞いたのはその意味だったんですね。余りにも複雑でよくわからなかったの。

【岡野委員】 いろいろな見方があるのですが、2GWで同じ電気出力を出せるものがつくれるなら、2GWでつくった方がいいと私は思うんですね。3GWの方が優れているという理由はないと思います。経済性をとれば別ですけどもね。ただ、経済性をとったとしても、同じ電気出力が出ているんだから、13テスラ・ケースの方がいいように見えます。何が違うのかといたら物理が断然厳しい。 $N$  が3.7と5では大きな差があります。しかもグリーンワルド・リミットも高いし、閉じ込めも高いところを狙わなければいけないということです。

【玉野参与】 関連してもう1点ですが、これはたしか8メートルをかなり大きくしても3GWは難しいということではなかったですか。

【岡野委員】 私は3GWでやろうと思えばできると思うのですが。2GWでそろえたということではないですか。 $N$  が2.9だったら8メートルになってしまいますというだけであって、これで  $N$  を3.5にしたら簡単に3GWが出ると思いますから、出せないわけではないと思います。

【藤原座長】 要するにわかりにくいのは、13テスラの場合にはアスペクト比は3.1で出力が2GWになっていて、今度は16テスラになったらアスペクト比は3.76ですよ。出力も3GWです。だから、いろいろとパラメータが変わり過ぎている。どういう理由でこうなってきたのですか。

【岡野委員】 変わり過ぎているというよりは、おそらく16テスラですと、システム・コードでちゃんと遮蔽とか考えていますから、3.1というアスペクト比は難しいのではないのでしょうか。これは原研さんのシステム・コードによるものですが、多分、電中研のコードでやっても3.1ではできないと思いますね。解がない領域に入ってってしまう。あるいは、もっと一回り大きくなって損だとか、そういう領域に入ってしまいます。

【藤原座長】 もちろんそうだと思うのですが、やはりその辺の程度あって、いろいろな条件からこういうところに絞り込まれてきたということではないですか。その一番キーになっている技術なり物理的な理由は何であるかというところがもう少しクリアになればいい。

【大塚委員】 今の表のところについてにお聞きしたいんですけども、循環電力というのは私は十五、六%で、20%はいかないと思っていたんですけども、例えば表の4.2のケース2というのを見ますと、核融合出力が3GWですから電気出力で1GWぐらいですね。そこからNB Iのパワーの大体200MWを引くと800MWになると思うのですが、送電端出力が484というのはかなり小さ

いような気がするのですが、これはどういうことなのでしょう。

【岡野委員】 これはいわゆる遠い将来の動力炉を考えているときとは頭を切りかえないといけないわけですね。3 GWが出たからといって、多分30%の熱効率を仮定していると思うのですが、そうすると1 GWしか電気が出てこないですね。そしてビームパワーが200 MW近くあるとき、この効率は幾つかという問題ですね。200 MWのビームは400 MWぐらいパワーを入れないといけないから、それを引いていく。それから、あとそれ以外にも冷凍機とか循環電力は幾つかあると思うんですね。そういったものについて100 MWぐらいをプラスして、電気出力を算出されているのではないかと思います。

【大塚委員】 ということは、循環電力の比率は50%ぐらいになるという感じですか。たしか20%弱ぐらいかなと思っていたのですが。

【岡野委員】 20%弱にする努力が必要であるということなのでしょうね。ですから、170 MWもビームを入射しているような状況では、コストという意味での競合は難しいので、当然将来はもっと  $n$  を上げて、ブートストラップ電流を利用して、100 MW以下に抑えていかないといけないということですね。

【大塚委員】 これはブートストラップ電流はあまり考えてないのですか。

【岡野委員】  $n$  が低いためにブートストラップ電流があまり流れないのです。

【大塚委員】 流れない領域なわけですか。

【岡野委員】 発電実証炉は、できるだけ低いプラズマ物理で発電をしようとしているのであって、経済性を発揮しようとしているのではないのです。今までのCRESTとか、A-SSTRというのは、それなりのアドバンスな物理を仮定しているわけですね。ブートストラップでいうと80%とか流れているわけです。それはやはり  $n$  が3近辺ではなかなか難しいんです。

【大塚委員】 それはそうなのでしょうけれども、従来の原型炉と実証炉を1つにまとめて一段階でやっつけてしまおうというのであれば、原型炉でも実用炉に近いようなスペックで設計をしないとまずいのではないかなという気がしますけれども、それはいいのですか。

【岡野委員】 ですから、例えば9ページを見ていただきますと、これは最初は  $n$  の低いところで設計していますけれども、3.5までいけば5割ぐらいのブートストラップ電流が流れてくれているという設計になっていますね。4.0まで上がればもっと高い設計も可能です。つまり、どのぐらいの物理まで実験できるかというのが大事なわけですね。発電実証炉は、ここが標準パラメータだとしても、それより先までできる設計はしておかないといけないわけですね。

ですから、例えば16テスラのケースの6.4メートルケースは、 $n$  が3.7で設計していますが、これが最低保証パラメータということになるのだと思うのですが、もっといけるということであれば、例えば4.2とか上げていって、だからといって核融合出力をどんどん上げるわけにはいかないでしょうから、その場合は磁場を下げるとか何らかの方法で3 GWなのだけれども、電流駆動パワーを

もっと下げる運転とかができるような設計になっているべきですね。

【大塚委員】 それは、ITERや重点化装置でいろいろ実験をやって、ある程度物理がもう少しははっきりしてきたら、それらに基づいて設計するという感じですか。

【岡野委員】 はい。

【大塚委員】 わかりました。

【井上委員】 「Fast Track」全体の考え方で、間違っているかもしれないですけども、要するに実用炉にワンステップでいけばいいという立場から考えた場合、もっと小さく安く早くなる方法はないのか。つまり、今のプラズマ関係でいいますと、スケーリングというのがあって、それを使っているいろいろな信頼できるパラメータを引き出しているわけですね。工学にはそういうものがないのかなということなのですけれども、例えばブランケットなどは全面に張りめぐらさなくても、どこかに1つつくればTBRが1以上に確実にできますよということが言えないか。

そういうものが工学にもしあって、この2~3GWもするような大きな装置をつくらなくても、さっき話のあった重点化装置で定常化と $n_H$ はもうできますよということがはっきりして、あとは工学のスケーリングをうまく使えば、実用炉の見通しが立つというものを考えたときに、それをもって、もっと早く実用化するようなパスがないのでしょうかということなのですけれども、そういう考え方というのはあまり成立しないですか。

例えば、ブランケット1つで1MW発電した場合に、ブランケットを2個にすれば2MWになるかということ、どうもそうではなくて、熱効率の問題とかいろいろ考えるとそうはいかないらしいのですけれども、そんないろいろな事情を考慮に入れて、もっと早くこんな大きなものをつくらなくてもできる方法論はないのか。実用化の見通しの上でそういうことはありませんか。

【岡野委員】 そういう考え方ができるといいなと私ももちろん思いますし、今後シミュレーションが発達して、かつそれが例えばITERに入れたブランケットで中性子の増倍率がしっかりあったという実績ができれば、発電実証炉にいきなりいくということは許されるかもしれません。何が問題なのかということ、非常に単純に言うと、ブランケットをつけても、バウンダリの影響でトリチウム増殖率は確実に下がりますから、どれくらい下がるかというのは3次元でニュートロン等の輸送をとかなければいけなくて、それが余裕しゃくしゃくで設計できるなら別なのですけれども、1.05とかで設計しているわけですね。そうすると、何かの拍子に1を切らないかという心配は常にあると思います。

熱出力に関しては、2個つければ2倍になるのではないかと思いますけれども、TBRは十分な試験が必要だと思います。

【井上委員】 熱出力は一例ですけども、要するに温度が下がったのでは熱効率が悪くなるでしょうから。

【岡野委員】 そういう意味ではそうですね。

【井上委員】 ですから、要するに実用炉というものに対して、ここまでやれば確実に信頼できるインフォメーションがインプットできるというものをつくるための

原型炉のようなものができないのかという考え方ですね。最低限でやるということです。要するに大きなITERを設計してできなかったものだから、コストの小さなITERを設計したわけですが、それでもまだ原型炉のためのインフォメーションが十分にこれで得られますよとっているわけですから、それと同じことがあり得るのかなということです。

【岡野委員】 可能性としては、例えば国内重点化装置で $N$ の4.5とか5とかでうまくいきましたというケースが考えられますよね。ITERでは、ITERの構造上、大改造しない限り $N$ の3.5前後しか運転できないと思っていますが、それでよろしいですか。おそらくそうですね。ITERの大改造をして $N$ が5の試験をしてから次にいくのかという話になるとなかなか難しそうなので、その場合に、重点化装置での $N$ 5の成功を信じるにしても、1回も燃焼プラズマでは実験せずに、発電実証炉で $N$ 5を絶対保証すると言い切れるかどうかというところが最大のネックだと思うのです。計算シミュレーションなりが発展して、それが言える世界になっていけば可能なシナリオだと思います。

【大塚委員】 今の井上先生のお話に、ちょっと工学的な観点からいきますと、一番厳しいものの一つというのは、やはり原型炉とか実際の実用炉まで考えると、ブランケットを何年かおきに、全部ではないにしても交換するというシナリオになっていますよね。実際の核燃焼された雰囲気ですら3年ぐらい運転した後に、完全遠隔操作で取りかえることができるのかを実証することが必要だと思うのですよね。それが何日ぐらいでできるんだという見込みはあるんでしょうけれども、それは実際にどのぐらいなのか。そういう意味で、全面にブランケットをつけた原型炉と実証炉を一緒にしたものでいいのですけれども、そういう装置がやはり必要なのではないのかなと思っています。

R & Dでいろいろ交換のテストはやられるのでしようけれども、実際に非常に強い電磁力を受けて、かつ熱的にも繰り返しのいろいろな熱負荷を受けますので、例えば冷却配管をつなぐにしても切り離すにしても、おそらく最初の新品のときとは全然条件が違ってくると思います。そういう条件で遠隔操作で本当にできるかというのは、やはり実機で、そういう環境でテストしないといけないのではないかなと思います。

【高津委員】 今のコメントは全くそのとおりだと思うのですけれども、以前、私が報告させていただいたように、ITERでブランケットのメンテナンスというのは、いわゆる核融合環境、放射化環境等々の条件のもとで試験されることになるわけですね。まさしくITERで初期組み立てから含めてリモートメンテナンス機器が試験されていくと思いますけれども、放射化されたフェイズまで含めて、統合化したメンテナンスの技術を確認していくというのが一つのITERの大きな役目だと思いますので、その技術が次の発電実証プラントに生かされていくのだろうと思います。

【井上委員】 何か、せっかくおやりになったことに水をかけているわけではなくて、ちょっとこういうシミュレーションをやっておかないと、外に対する説得力の面で非常に強くできないかなと思うので言っているわけです。今の話は、ITERで技術が確立されたら、その次の実用炉まで行く間にやはりこういう原型炉が必要なので、そういう技術を確認するといいますか、立証することが必要なのかという質問になるわけですが、今、大塚委員がおっしゃったように、長い間照射し

たものを取りかえるには、普通の実験炉でやったものとは話が違うのだということだったので、工学的にはそういうものなのかなと思って聞いていたのですけれどもね。

【藤原座長】 この実用化加速案のテクニカルな問題でいろいろ議論があるのは、まだ完全にデザインがあるところまで絞り込まれていないファクターがあるのですが、これは別に何も日本だけの事情ではなくて、ほかの国もそういうことはわかった上で加速計画というものをどう考えているかというのは出ているわけですよ。ですから、その辺も含めて、例えば日本において、この加速案の一番最後のところに書かれているような表というか図というか、こういうことで考えるという点では、全体的な視野から意見がございませうか。

【岡野委員】 非常に大事なご指摘が大塚委員からあったのですが、メンテナンスをどういう方向でやるかということ、いつ、どうやって決めるのかは、ちょっとシナリオにまだ乗っていないように見えるんです。実際に照射下でブランケットを交換するという技術は、ITERで確かにやりますね。中にレーンを敷いて、マジックハンドみたいなものでとっていく。ですから、あれは確立されるわけですね。では、実証炉をつくる段階では、もしもその技術しかないのだったら、それでやるのか。実証炉をそれでやってしまったら、次の実用炉はそれでいかなければいけない。実用炉でもあの方式でできるとおっしゃる方もいらっしゃるかもしれませんが、もしあのままの方式ではまずいのであれば、ブランケットを一括引き抜きにするとか、あるいはブランケットサイズが単に大きくなるにしても、あの真ん中にレーンがあるのはまずいような気がするので、それを置かないで済むような方法とか、そういう新しい保守技術をどこでだれがどうやって開発するかというのは、シナリオに入れておく必要があるのではないかなと思っています。

【菊池委員】 この件は、原研の中でも人によって意見が分かれるところなんですよ。ただ、炉システム全体を考えている人と、実際にメンテナンスの機器を開発している人の考え方が、今、原研の中でも結構変わっているのですけれども、戦略分科会の報告書を書くときにその辺は結構議論しました。183ページを見ていただくとわかるのですが、今、ITERですとモジュールの数が結構多くて、かなり長期間、例えばその表の3.5-3に書いてありますけれども、シールドブランケットの交換に、全期間として349日、約1年とまるという話をしていたわけですね。これを見て、これはなかなか延長線上に考えていくのは難しいなという話をいろいろしていたわけですが、例としてSSTRが、183ページの一番下に書いてありますが、ITERの技術の延長線上に16台、90度ごとに4台ずつそういうツールを置く。要するに、マニピュレータ4台で、4台が4台ずつ持っているという並行した保守を考えますと、SSTRの場合ですと、平均的には3年に半数交換することになるのですが、その場合には、いわゆる交換のための溶接接続の日数としては、年間としては10日分ぐらいにしかないという評価になっているんですね。それは、真ん中あたりに書いてあります。むしろ、定期交換の時間を決めているのは、そのブランケット交換の前後の準備、事後調整期間の方が多くて30日から40日としますと、60から70日程度ぐらいがトータルとして考えられる。ほとんどは調整期間で、溶接の時間は余りかかっていないんですね。

ここは、いわゆるピークル型のメンテナンス装置を開発していらっしゃる炉構造研究室の方々が、メーカーさんをつくったピークル型のマニピュレータ装置の技術をベースに考えられたのですけれども、ここのところを学会等でももっとよく議論

していただくことが必要なのかなと思います。特に、原子力学会では、そういう原子炉分野でのいろいろな保守の技術蓄積があるわけで、そういうところでもっとよく議論していただいた方がいいと思います。一番原研の中でも近いところで研究をしていらっしゃるグループとしては、今のITERのビークル型マニピュレータの延長線上で十分できるという評価になっておりますね。

一方で、炉システム研の方は、アメリカもやっているのですが、一括してできる方がいいという評価です。これは電中研さんもそういう考え方をとっておられますけれども、それを踏まえて全体としてどうするのかということを検討しなければなりません。原研のそういう炉構造研の流れからいいますと、今のものでいけると基本的に思っております。

【井上委員】 今の定期交換といいますが、このリモートハンドリングのシステムというのは、原型炉がなくてもどこかで研究できないですかということちょっと聞きたかったのですね。ですけれども、大塚委員は、やはりそういう放射線環境で現実にやらないといけないという回答だったわけです。

本当に原型炉のようなすべてがきちっとできたものを使わないと、実用炉への見通しは立たないのかということをごりごり考える必要があるのではないかとことです。ほかにそういうものがたくさんあると思うのですが、システム・インテグレーションという考え方からすると、これはちょっと暴論をしているような気がするのですけれども、こういうものがあって、これはやはり今考えられている2、3GWの装置がないとできませんよというものがずっと並んでくると納得しやすいですね。

グリッドにつなぐだけなら、ブランケットは2つ、3つあればもうよくて、あとはもうそれをフル・ブランケットにすれば、2、3GWが出ますよということで納得できそうな気がするのですけれどもね。

【菊池委員】 やはり、そこをよく議論しているのは、アメリカのCTFの議論だと思うんですね。できるだけ小さな、あまりトリチウムを使わない範囲内でさまざまな機器の試験をする。機器の試験については、今までの日本の考え方というのは要らない、原型炉で直にやっていくのだということなのですが、その辺の技術的な整合性というか、ダウンタイムが多いとトリチウムはどんどん崩壊してしまいますよねとかいろいろなことがあるわけで、そういうところはちゃんと議論していかないといけないということはあると思います。

【井上委員】 信頼性は絶対に必要なのですが、質問している動機は、要するにもっと小さく安く早くできないかという、それだけなのですが。

【玉野参与】 その点については、この作業会の報告書の1ページの一番下にあります。要するにここから先は民間主導で民間がやるということなので、これは国がやるのであれば、場合によっては井上先生のような考え方も可能かと思いますがけれども、なかなか民間がそこまで責任をとってやるというのは難しきところからきているのだと思いますので、ここの仮定が変えられるという事情があれば、考えられるのではないかと思いますけれども。

【井上委員】 いや、実用炉を民間でやるわけですよ。私が言っているのは、原型炉の話をしているわけで、原型炉を今みたいな考えでできないかどうかということです。

【大塚委員】 玉野先生のおっしゃっているのは、原型炉でそのくらいまでしかやらないのであれば、実用炉に行くときに民間は引き取らないだろうというふうに議論をしているわけですね。

【井上委員】 そうですか。それでしたら、わかります。

【今川委員】 私も、この加速案の検討に参加していたのですが、先ほどちょっと岡野委員がおっしゃいましたけれども、そのときにやはり  $TBR = 1$  は必要条件で議論したと理解しているのです。だから、それがやはり発電実証プラントとしては、トリチウム増殖は1を超えるということが必要なのだと理解をしていたのですけれども、私の理解が間違っているのでしょうかという質問です。

【岡野委員】 もう  $TBR$  は1を超えないと運転できないですから、数日しか運転できなくなってしまうと思います。だから、絶対超えないとだめですね。

【今川委員】 そうすると、必然的にやはり全部トリチウム増殖を考えたブランケットで埋めないといけない。それは、かなり大きな制約条件になってきていると思います。

【井上委員】 実用炉で  $TBR$  が1を超えることを保証できればいいのではないのですかと言っているわけです。ですから、この原型炉の一部のブランケットでそういう照射試験なり何かをやって、原型炉そのものを動かせば、 $TBR$  が1を超えることがスケーリングか何かではっきりわかれば、それ以上のことはここに要求しなくてもいいのではないかと思うのです。

ですけれども、この議論はどうも大分わかりまして、大塚委員がおっしゃった、そんなものでは民間は引き取りませんよという言葉で大分納得しましたので、もうこれで議論はやめてください。

【西川委員】 いつも加速の問題では、前倒しして5年という結果ですよ。前にディスカッションしたときには、例えば超電導コイルをもっと短時間でできないのかとか、いっぱいディスカッションがあったと思うのですが、それがあつた程度すんなりできないのだといういろいろな拘束の条件で、この5年というのが出ていると思うんですよ。

我々は一応理解しても、一般の人たちが、30年オペレーションするのに5年のところを短縮するのだったら、ここでディスカッションするのも必要だけれども、延々とするのではなくて、早くスタートした方がよっぽど短縮できるのではないかという気がするんですよ。その5年が短縮というのなら、先ほどもディスカッションにあるように、メンテナンスの話とか、それから僕が心配しているのは、昔も言いましたが、超電導コイルを核融合屋さんがコントロールできるフィールドで開発していないということが「Fast Track」の拘束条件になっている1つだということと、同時に、この加熱機器などが本当に定常になって、何年もオペートできる実績がエンジニアリングとして実証されているのか。それをされるまでに結局何年かかかるのだったら、そういうこともパーツとして早く手をつけなければいけない。だから、「Fast Track」として手をつけることは、もうちょっとほかにあるのではないかという気がします。

【菊池委員】 まさに、全く西川先生のおっしゃるとおりで、「Fast Track」の中のプラズマの性能の向上に関するところだけは議論しているのですけれども、炉工学的に十分な「Fast Track」を本当に実現するために必要なことが十分に議論できているとは思っていません。

そういう面では、もっとそういうための議論を、ここで1カ月、2カ月でやるのはほとんど不可能ですので、どういう項目がFast Trackにとって非常に重要なのか、産業界にとってアクセプタブルなものにするためには、どういうところを合理化していかなければいけないのかとか、いろいろなことがあると思いますけれども、そういうことをちゃんと積み重ねなくてはいけないということ、はっきりとこういう報告書の中には載せておかないといけないのかなと思います。

【畦地委員】 5年間加速するということに対して、いろいろな議論をされているわけですが、私は素人として、なぜ早くできるのかという基本的なところをお伺いしたいと思います。閉じ込めの経験則の信頼性がどの程度あるのか、経験則に対して、どこまでトカマクの研究者の方々は自信を持っておられるのかということにかかわるのですけれども、発電実証プラントに必要な  $n$  が4から5という今までの倍のベータにしたときのエンピリカル・スケーリングは、今は無いのではないのでしょうか。間違っていたら指摘してほしいのですが、トカマク重点化装置をこれから作ってベータが高いところでのエンピリカル・スケーリングを調べるということですから、今は無いと私は思ったのですけれども、その段階で、なぜITERが動き出してすぐらいのときに発電実証プラント計画をスタートできるのかという、そのエンピリカル・スケーリングへの信頼性の質問が1つと、それから実際に燃焼が起きたときに、今までのエンピリカル・スケーリングがどの程度信頼性を持って正しいと言えるのか。その2点がポイントかなと思ったのですけれども、それはいかがなのでしょう。

【菊池委員】 ハイ・ベータの実験というのは、そんなに長くない時間に関してはある程度あるんですよ。そこはむしろ、 $n$  が高いほどHファクターというのは上がっていて、閉じ込めの性能としては、むしろMHD的に安定な領域が広がっていけばいくほど閉じ込めがよくなっていくというのが実際の実験結果ですから、閉じ込め時間ということ自身からいえば、余り問題ないと思います。

ただ、そういうハイ・ベータとアルファ粒子との共存性というのか、その辺のところは幾つか問題が残っているかなという気はしています。

それと、数年早くしているだけではないかという議論が前からありましたけれども、基本的に前の戦略のものは例として拳がっているだけで、全くオーソライズされたわけでも何でもなくて、むしろ非常に重要なのは、ITERはこれから10年かけてつくって、その後20年実験をするわけですね。20年実験が終わったところで、それから原型炉のスタートをするのか、そうではなくて、約真ん中あたり、技術目標がほぼ実現されたところで次の発電実証プラントに行くという基本的な考え方をとるのか。それをもうちょっと短くするとかしないとかという問題ではなくて、ほぼ真ん中のところで次のステップに行くというのが、基本的にまず「Fast Track」の中で非常に重要なパートになるわけですね。そのところを、この委員会として、基本的な考え方はそれでいいのかということ、をまず議論するのが一番大事だと思いますね。ファイン・ストラクチャーの数年短くするとかしないという議論はあまり関係なくて、西川先生がおっしゃったように、いかに早くやるかということかだと思います。

【小川委員】 今の畦地委員の「Fast Track」という考え方がなぜ前倒しできるかというご質問に対して、私なりの考え方で思っているのは、早く前倒しすることによって、それだけ危険性もある程度覚悟しなくてはいけないですね。では、その危険性を覚悟するのだけれども、それを何で担保するかというと、より安全な設計のものを1つ考えておく。だから、例えばヨーロッパ的な考えでいうならば、危険性を覚悟するのだけれども、安全を担保するために割合大きな装置を考えるとかですね。そういうもので前倒しできないか。

例えば先ほどの岡野委員の7メートルで  $N$  が1.9くらいでも可能だという案は、ITERの本当の延長線上のある程度見える安全な設計に相当するわけです。それを従来のように経済性まで考慮すると、 $N$  がもっと高くないといけないものの絵をかかなくてはいけないですけども、そうではなくて前倒しすることによって、割合保守的な設計だったら前倒しできますよというトレードオフで決まっているのかなと思っています。

【井上委員】 今、2人でお答えになったものでもう十分だと思うのですが、6ページの図4.4の下のところは  $N$  イコール云々という式がありますね。これは、必ずしもエンピリカルではなくて、理論的な裏づけがあると思うのですが、これが装置によっては、瞬間風速ですけども、結構高いところにいって、ここで設計されているぐらいのところはもういっているんですよ。ですから、経験則でもって、あまり信頼性のないところをいっているというわけではないと思います。

【畦地委員】 小川先生が言われたのは、前倒しをするということは保守的な設計で絶対確実にやるのだというお話だったと思うんですけども、その話と、比較的保守的なITERと高ベータという挑戦的な国内重点化装置を合わせて発電実証プラントにつなげていく話とは、矛盾があるように思われますけれども、その辺はいいのですか。

【小川委員】 私なりの私見で言わせていただければ、この委員会としてアプルーブされるかどうかは別として、先ほどの菊池委員が出した資料の6ページの新しい開発戦略という位置づけの図と、それから今、岡野委員が出された資料の9ページを見て下さい。例えばの話で  $N$  が1.9くらいから7.25メートルの装置というもので見たときに、つまりITERを進めて、ITERでそれなりのことが実証されて、その物理だけの範疇で発電プラントを設計しようとする、この7メートルぐらいのもので発電実証プラントを前倒しし、早くやることはできるかもしれませんよということです。ただし、これにトカマク国内重点化装置とかで高ベータ化の努力をすれば、この装置で  $N$  が高いところまで持って行って、より実証炉として好ましい経済性まで加味されたところまで同じプラントで持っていけるかもしれませんよということです。そういう意味でITERとトカマク国内重点化装置という二つの装置が相補的な関係となり、トカマク国内重点化装置をつけ加えることによって2段階を1段階に統合することはできるかもしれないなという読み方が、例えばある一例として読めるのだと思うのです。それ自身をこの委員会でアプルーブするかどうかはまた次の問題ですけども、私は先ほど菊池委員にも、この図の読み方というのは、そう読めるのではないのでしょうかというふうにちょっと申し上げたのです。

【玉野参与】 先ほどから、5年短縮するというようなことが挙がっているんですけども、一番エッセンスなところは、先ほどの菊池委員の報告資料の6ページを

もう1回見ていただきたいのですけれども、そこにいわゆる発電実証プラント1段階でいくというのと、原型炉・実証炉2段階でいくという2つの道筋を考えたときに、2段階をとった場合には、1段階に比べてもっとうんと長くなりますねというところが一番基本的なところなんです。ですから、この下の図に比べれば、上の図というのは5年どころでないというところが一番大切なところなのであると思います。そこを、こういう戦略をとったときに、実際に細かい年数が何年縮まるかというところのいろいろなことがあると思うのですけれども、そうでない道筋をとったときにはもっとうんと長くなりますよと。そこをどう考えていくかというのが、一番大切なところではないかと思います。

【畦地委員】 問題は5年短縮するかどうかということではないということによくわかります。私がさっき質問したのは、ITERの所要の性能を確認してから次へ行くという、加速化計画が出る前の検討案に比べてさらに早くすることができる科学的根拠は本当に大丈夫なのでしょうかとということ聞いたわけです。

要するにITERがまだできてすぐに発電実証プラントを始めるということに対して、その自信の根拠はどこにあるのですかという質問をしたのです。それに対して、菊池委員の答えは、高ベータについては既にスクーリングがありますよということ、それから燃焼が起きたときにどうなるかは今後の研究を待ちたいというふうにお答えになったかと思うのですけれども、それはよくわかりました。

ただ、小川委員が言われるように、前倒しは発電実証プラントの保守的な設計で可能であるということであるならば、国内重点化計画で、長時間燃焼はともかくとして高ベータを研究するという意義は一体どこにいつてしまうのか、それはまだよく理解できていません。

【菊池委員】 そこは、発電実証プラントの性格づけで、ちょっと小川さんとか岡野さんとか私とかで意見が必ずしも一致していないところなんです。問題は、大塚委員の方がいろいろご指摘になっているように、実用化を進めていくというのであれば、例えば発電実証プラントのスペックが、それを国がやって、その後民間主導で実用化を図っていくというときに、それに十分なプラントになっているかという点での厳しいチェック・アンド・レビューが必要だとおっしゃったかと思うのです。それは非常に重要で、2つのステップを1つでやろうというわけですから、単にプラズマ物理の問題だけではなくて、プラントシステムとして極めて合理的で、いわゆるメーカーの改善の範囲内で進む程度に、発電実証プラントというのはある程度の完成度を持っていないといけないわけですね。

そうでない限りは、やはりもっともっとマシンの数が要ということになってしまいますね。ほかのいろいろな方で、この原型炉、実証炉だけではなくて、その前にもっとプロトタイプが要るんだとか、分裂炉の開発の歴史から見たら、もっともっと装置が要るよとおっしゃっている方がいるぐらいで、そういう面では実用化の前にITER以外に1つしかつからないというのは、非常に大きな決断になるわけです。しかも、その発電実証プラントというのは、ある面では極めて厳しい民間からのチェック・アンド・レビューを踏まえてつくることになると思いますので、そういう面ではかなりの性能が得られるということが必要になると思います。

そのときに、私が気にしているのは、この加速案のときのものと戦略のときのものの差を気にしているのではなくて、むしろ玉野先生がおっしゃった視点、それからITERは20年実験するのだけれども、20年の運転全部が終わってから次の段階を考えるのですか、それとも途中で考えるのですかという大きなところの方が非常に重要で、実用化の観点から、どれくらい発電実証プラントをちゃんとデファ

インできるかということが問題だと思うので、とにかく何とか発電できればそれでいいということではないと思います。例えば岡野委員が説明されたネット電気出力が一応プラスになる発電実証プラントができたとしますね。でも、それをつくる前に産業界がチェック・アンド・レビューするときに、「負にはなりませんよ、ゼロは保証できますよ」と言って産業界のチェック・アンド・レビューが通るかということ、なかなか通らないだろうなという気がするわけですね。そういう面で、発電実証プラントをワンステップでやるというときに、どこまでの実力をためるのかというのはかなりきちんと議論しなければいけないことかと思えます。

【井上委員】 今の話はよろしいのですが、要するに物事をパラレルに進めることはやはり重要であって、ITERの設計のときだって、工学R&Dをやってきたわけですね。そういう意味では、何もITERがうまくいってから次のものを考えるというのはあまり意味がないわけで、もっともっとパラレルに何でも進めればいいと思うんですよね。IFMIF計画もパラレルに進めざるを得ないわけですから。

それはいいとして、ちょっと話題を変えさせていただきますが、実用化加速案そのものをやる目的について、多分ここで議論があって、昔の議事録を読めばわかるのではないかと思うのですが、イギリスが言っているみたいに、地球温暖化がこの加速案を進める理由であるというのは弱いという議論があったのではないかと思うんですよね。どうしてそれが弱いのかは、あまりよくわからないのですが、今の岡野委員の説明では、とにかく核融合炉を早くすれば温暖化を解決する仕組みの中に入ることができるということで、これは消極的な立場ですけれども、何かもうちょっと、核融合があればもっともっと地球温暖化の防止にしても、エネルギー問題はほかにいろいろあるかもしれませんが、そういうものを解決するにしても非常にいいのだという考え方はないのでしょうか。要するに、加速案を進めるに当たって、非常によく説得できるような内容の事柄ですね。

【岡野委員】 今のにちょっとお答えしますと、核融合があれば、2100年を超えた先には非常に有意義なエネルギー源になるのはもう間違いないのですね。そういう言い方はできるのですが、そうすると加速するというのは説得力がなくなってくると思うんですね。加速するには、やはりこの2100年までの環境問題に寄与できると言わないと、今1兆円投資するとか5,000億円投資するという話にはならないのかなと思います。消極的とおっしゃったのですが、最大限積極的に書いてこんなところかなという考えなのですけれどもね。

ただ、これに間に合わなかったら、22世紀以降も核融合が要らなくなると言っているわけではありません。でも「22世紀以降に役に立つエネルギーです」と言ったら、今5,000億円は投資してもらえないのではないかという心配があって、こういう言い方をしています。

【大塚委員】 今、井上先生の言われたことなのですけれども、3回ぐらい前、小西先生がご報告されたときに、核融合炉は火力の代替がなかなか難しく、軽水炉の代替になるだろうというような話があって、その前に菊地委員が、高速炉は軽水炉の代替を考えていて、核融合炉は火力の代替を考えているので、地球温暖化対策になるのだというようなことを言われていて、確かにそれはそのとおりだなと私はそのときに思ったのですけれども、小西先生のお話を聞いて、火力の代替ができない、難しいということであれば、温暖化対策に大きな貢献はできないのかなと、私はそのとき「えっ」と思って、ちょっと質問させていただいたのですけれども、そのときはよくわかりませんでした。

結局は、要するに今100万キロワットとか200万キロワットのベースロード電源として核融合炉をイメージし、開発を進めておられると思うのですけれども、そうした場合に、ベースロード電源のかなりの部分を火力が担っているということであれば、その火力を代替すればいいと思うのですけれども、ちょっと調べてみますと、今のベースロードのほとんどは原子力と、それから流入式の水力とかと書いてありましたけれども、水力は大したことはないと思うのですが、要するに原子力がほとんどです。それで、ミドル電源と書いてありましたけれども、多分1週間から1月単位ぐらいで負荷に追従するという電源だと思うのですが、それを石炭火力とLNG火力が担っているということらしいですね。

そこからいきますと、少なくとも日本の今の段階では、軽水炉は代替できるけれども、火力をベースロード電源として代替するというのはできないのではないかという気がして、私はあまり自信がなくてよくわからないし、詳しいデータベースも持っていないので間違っている可能性もあるのですが、少なくとも日本ではそうなのかなと思います。世界的に見ますと、今、原子力の発電量の割合は大体16%ぐらいらしいので、まだかなり火力を代替していく余地はあるのだらうと思います。あと50年後にどうなるかはよくわかりませんが、そんなに大きな事情の変更は、日本に関して言えば、多分ないのではないかという気もするので、そこら辺が本当のところはどうなのかというのを、どなたにお聞きしたらいいのかよくわからないのですが、ちょっと今よく納得できていないところです。

【菊地委員】 小西さんの話のときに申し上げたかと思うのですけれども、小西さんも言っていますが、いわゆる2次エネルギー源、水素製造みたいなことというのは、21世紀の後半、特に大きくなってくるわけですね。太陽光発電というの、かなりの1次エネルギー資源として期待されているわけですが、それは別に電気をつくっているわけではなくて、水素をつくっているわけですね。ですから、当然、日本で核融合炉をつくるような場合には、リアルタイムで変動していく未知負荷に合わせて発展する部分と、減ってきたら当然、核融合炉というのは水素製造に転換するわけで、日中の非常に電力需要の大きいときは発電しているし、ほかのときには水素製造をしていると、そういうような切りかえのきくシステムとしてやらないといけないということは事実ですね。

だけれども、やはり基本的には高キャピタルコストのシステムですから、動かせば動かすほど電力原価、エネルギー原価は安くなるわけですから、要らないときには水素をつくっているというようなシステムで、ネットにはフラットな状況にあるということで、火力の代替もできるのではないですかという説明をしているわけですね。

【小西哲之氏】 大塚委員にちょっと誤解されてしまったようですが、私も菊地委員と同じようなことを申し上げておまして、まず今、例えばこの原型炉のようなイメージで実際に2GW、3GWという熱出力のプラントをつくれれば、必然的にこれは軽水炉の代替にしかならないわけです。

ただ、それだけでは当然、核融合の意義づけとしてはやはり弱いし、可能性を十分に生かしていない。そのためには、出力変動に対応するとか、あるいはもっと小型化であるとか、火力を代替できるような工学開発を同時に進めなければいけないということを指摘させていただきただけです。その可能性として、1つには、今、菊地委員がおっしゃいましたけれども、水素製造というのは非常に重要なパスになりますし、同じ発電について言っても、例えばレーザー核融合は自動的にいいですか、出力変動とか、あるいはもう少し小さな出力の発電所にはもともと向いてお

りますし、そういう意味で核融合のポテンシャルを、むしろ軽水炉の代替ということで過小評価しないようにした方がいい。

この委員会では、核融合というものが世の中で今後どういう役に立つかということ指摘して、それに向けて加速計画なり開発戦略を示さなければいけないわけですから、あくまでも軽水炉の代替を目指しているかのごとき言い方はやめて、火力の代替であるとか2次エネルギーとしての水素であるとか、そういうことも含めた将来エネルギー市場への展開を図るということを、核融合の意義づけとしてむしろ考えていただけないものかということ提案させていただいたわけでございます。

ただ、それは、先ほど大塚委員もおっしゃいましたように、軽水炉の代替として考えるよりははるかに難しいバリアがあるわけですがけれども、不可能ではないと思います。

【大塚委員】 よくお話はわかったのですがけれども、今までは温暖化対策というのは、かなり今まで何回もいろいろな人からここでご説明があったと思うのですがけれども、要するに200万キロワットのベースロード電源にするのか、あるいは例えばピークが出ているときには電気を出して、夜になると水素も製造するというようなプラントにするのか、あるいは火力が代替できる、二、三十万キロワットで負荷追従できる電源が必要だと小西先生は言っておられましたよね。それだと、例えばトカマクではかなり難しく、これは慣性核融合の方がいいのかもしれないですよ。慣性核融合は、炉設計がまだあまり十分なされていないという気がしますけれども。

そういう意味で、要するに開発のターゲットをどう設定するのかというのがかなり変わってくると思うんですよ。私は、今までぼおっとして、そこら辺をあまり考えていなかったの、この前そういうものでちょっとどうなのかなというように気がしました。というのは、何を開発するにしても、製品が売れるか売れないかというのは、その開発ターゲットをいかにうまく設定するかでほとんど決まってしまう。企業の中ではそういう感じなのですが、そういう意味では核融合炉も、非常に巨大なシステムだとはいっても1つの製品であって、それが売れるか売れないかというのは、やはりどれだけニーズに合うか、ニーズに合うものが開発できたかということによると思うので、その辺の開発ターゲットが今の開発ターゲットでいいのかというのは、よくわからなくなってきたというところがありまして、そこら辺を何かすっきりさせていただければありがたいなと思います。

【岡野委員】 負荷追従に関しては、今から10年後の話をしているのではなくて、やはり50年後とかですから、おそらく水素社会になっていると期待することは可能ですので、何も核融合炉の出力を変える必要はなくて、水素製造との分け合いで負荷追従すれば容易に可能な話なので、当然その方が安いのですよ。常にフルで動いている方が安上がりですから、そういう方向にいけばいいので、負荷追従できる、小回りのきく核融合炉を開発しようと思わなくてもいいのではないかと私は思います。

それと、もう一つ、ちょっとこれは訂正したいと思うのですが、50年後の電力の組み合わせもあまり変わらないのではないかとおっしゃったのは、多分違うと思うんですね。この25年間、日本の中の火力ですとか原子力の割合はどれくらい変わったかを調べてみていただくとわかると思うのですが、ものすごく変わっています。ですから、今から50年後も今と似たような構成であるということは非常に考えにくい。むしろ、何かが起こっていると思うのです。例えば、ものすごく石炭火力が増えているとか、ものすごく原子力が増えている夜は余剰電力で電気自

動車の電池を充電しているとか、何か違いが起こるといふ方が、むしろ歴史の流れにはあっているのではないかと思います。

【大塚委員】 私が、あまり変わらないのではないかと申したのは、ちょっと言葉足らずだったのですけれども、要するに、負荷率、1日の中で最大と最小の比率とかがかなり大幅に変わるといふことは多分ないだろうといふことです。ベースロードを担うのは、燃料費の安いもので、軽水炉しか今のところないですよ。たしか、平成22年には軽水炉が40%ぐらいになると申していたのですが、今は35%ぐらいですよ。だから、そういう軽水炉の比率を増やそうといふ方向には申しているのだから、そういうふうになるといふ意味で今の状況とあまり変わらないのではないかと申した意味で申しました。

ただ、その水素製造等といふのは私も必要だと思ふのですけれども、200万キロワットぐらいのベースロード電源として開発しておけば、水素製造に使うといふのは簡単にできるといふことですか。これは電気分解ですか。熱分解ではなくて、電気分解で使うのであれば電気を使うわけですから、熱に関係ないと思ふます。

だから、そこら辺の開発ターゲットをどう設定するのかをきちっとやらないと、二、三百万キロワットのベースロード電源といふ今のイメージのものを開発して、開発し終わったときに、果たしてそれが「買ってくれる人はいますか」といふことにはならないのかなといふのが心配です。

【菊地委員】 伊藤理事が説明されたモデル計算では、長期予測でかなり大きいものを占めているのは太陽光発電ですね。それで、何をやっているかといったら、やはり太陽光発電での電気を使って電気分解している。だけれども、非常に重要なのは、そのときの太陽光発電の発電単価は非常に下がっているといふ仮定があるわけですね。ですから、高い核融合炉しかできなかつたら、つくった水素といふのはものすごく高い水素になってしまいますから、ほとんど売れない。だから、向こうで伊藤理事が想定されたような、あれはDOEの推定を延長したような値のようでしたけれども、そういう非常に低いレベルまで発電単価が下がるといふときには、電気分解でも水素製造としての価値が出てくるといふことだと思ふますけれども、それでよろしいですか。小西さんが一番ご存じだと思ふます。

【小西哲之氏】 ご指摘のとおりで、伊藤理事のお話では、太陽光の発電コストは非常に安くなっています。ただし、これは日本での話ではなかつたので、日本のコストで、しかもその太陽光電力を使って水素をつくって水素が安いといふところまでは、実は申しておられないんですね。そこは、若干論理が飛んでいまして、例えば2円/キロワットで太陽光発電できるといふ仮定を砂漠の場合は置くわけですねけれども、日本に持ってくると、それは電力に換算して大体30円ぐらいに相当するといふ試算も同じように使われております。そういう意味で、まだまだ太陽光発電による水素について、発電する場所と水素の製造場所のことを考えると、必ずしも競争力があるとは言えない。

では、何で核融合水素をモデルに入れてもらえないかといふと、核融合で水素ができるといふモデルをだれも示していないからにすぎないわけですね。ですから、大塚委員ご指摘のように、使ってくれる人がいるかどうかといふことについて、確かに使ってくれる人がいるといふことがわかっているのに、核融合がまだ水素をこのようにしてつくれるといふ方法を示していないためにモデルに入れてもらえていないだけなのですね。

私の説明の中でも、実は入れたわけですねけれども、発電して水素を電気分解でつ

くるよりも、熱を使って水素をつくる方がコスト的にはずっと安いわけです。5分の1とか8分の1、そのくらいになります。ですから、そこについてはまだまだ今後まじめに技術開発をすれば、十分競争力のある水素をつくる方法はあるわけです。

そういうことが、例えば太陽光でできるかということ、熱源ではないのでどうしてもできないということはありません。そういうことも含めて、むしろここについては解を直ちに示せるわけではないのですけれども、核融合の可能性を示す際に、水素製造については、電気分解だけではなくて熱利用も含めて考えて、可能性を評価していただきたいと思います。

【藤原座長】 今日初めてこういう議論をして、今までも随分そのインプットの資料はあったのですが、何か核融合の本質論を議論し出すのは、「Fast Track」の話と少し視点の違う話で、要するに200万キロワットの核融合炉をつかって、それは何の役に立つのかなどと言われると、それは「Fast Track」もへったくれもなく、核融合そのものが要らないということになる。

そうではなくて、もう少し私が気にしているのは、ITERまでは実験炉の計画としてセットしたレールに乗って動いていく。では、そのITER、実験炉の後はどうするのですかということです。今までのシナリオですか、そうではなくて、研究が10年もかかって進展したのだから、それを踏まえて、実験炉の後をどう考えますかという方向で、少し前向きな議論をお願いしたいのですね。

核融合の本質論までさかのぼって、「いえ、研究した結果、どうも核融合は電源としてあまり意味がない」というような話は、それはちょっと違う。もちろん、それが片づかなければだめだということなら、それはお話しするのでありますけれども、多分そこについては、今までの議論してきた中にいろいろなデータなり根拠が示されているので、それは今日のこの「Fast Track」をどうするかという議論とはまた別に議論していただきたいと思います。

【大塚委員】 ちょっと藤原先生は誤解されているようです。私は必要がないとか、そういうことを議論しているわけではなくて、どういうふうなニーズがあるだろうから、どういうふうに関係ターゲットを決めないといけないということで、その開発ターゲットというのが、二、三百万キロワットのベースロード電源という今の決め方でいいのかなというのを疑問に思っていますと言っただけです。

ですから、例えば水素製造に使うというのがかなりメインだとなればそういうシステム、小西先生の言われるように、熱分解の方が安くできるというのであればそういうプランケットを集中的に開発するとか、そういうふうにしなないといけないのではないかという、その開発ターゲットをどう設定するかという話です。

加速案とは直接関係なくて、ちょっと質問するのを控えていたのですけれども、井上先生の話があったので質問させていただいたのですが、ただ、関係ないことはなくて、加速案の背景にはあると思うのですね。2050年ごろまでに実用化しないといけないということが加速案の背景にあるわけですから、温暖化対策にどう効くのかという議論は、やはりある程度はしておかないといけないのだろうという気がします。

【岡野委員】 熱出力が二、三百万キロワットをねらっているのは、それがそれくらいしかつけれないからであって、核融合炉が50万キロワットでつくれるのだったら、その方がいいに決まっていますね。ですから、現状のターゲットは、今のトカマクで考える限りその大きさになるのだというのは、これはもうしょうがないと思います。ですから、小さくできるのならそれにこしたことはないから、今後の開

発で小さくできるようなものをねらえばいいと思います。

それから、水素製造に関しては、核融合の特徴としてブランケットを交換できるというのはやはり考えておかなければいけなくて、高性能のブランケットは、発電用高性能という考え方もあるけれども、それを途中から水素製造用のものにかえることはできるわけなので、まずは核融合本体をつくらないと話にも何にもならないのですから、やはり早期に実用化することを先に考えた方がいいのではないかなと思います。ブランケットの構造そのものは、多分そんなに変わらないのです。熱をどう取り出すかだけで、それが蒸気タービンにいつているのか、熱分解用のところにいつているかの違いだと思いますね。

【大塚委員】 温度は、大分違うのですか。

【岡野委員】 いや、温度だって、温度の高い熱分解用のブランケットができるなら、発電用だって温度の高いものをつくるに決まっていますよね。水素だったら1,000度なのだけれども、発電用の方は500度ということはないと思います。

【大塚委員】 ちょっと、今、岡野さんが言われたことで気になったのですが、二、三百万キロワットのは、今それしかできないからというのは、今までいろいろお話を聞いたのでわかっているつもりです。ただ一般的に言いますと、企業の中で製品開発をやる場合の一般的な原則として、ある程度実用化に近いところまで来た場合に、今言われたのはシーズ・オリエントな考え方ですが、それだけでは失敗するというのが、非常にあると思います。こういう技術があって、こういうものしかできないのでつくったとしても、それはニーズが合わなければ、誰も買ってくれないわけですよ。だから、ある程度実用化に近くなった段階では、どういうニーズがあるのかをよく考えて、それに合った開発ターゲットを設定しないと、これはなかなか実用化という点を考えるのは難しいと思いますね。

【藤原座長】 もう時間がなくて、今日はなかなか結論が出せないのですが、いずれにしてもこの委員会としては、チャージの中で問われているのですが、核融合をエネルギー開発としてやってきて、ITERという燃焼実験炉の段階が10年、20年かかるのはいいのですが、火をつけて、その後どうするのですかというのは、何らかの答申をつくらなければいけないことは確かです。

それは、何も一本に絞るとか何とかという話ではありません。どうもそのバックには、1つは「Fast Track」を、例えば今ここに出ているようなトカマクをベースにして考えるというようなことを議論し出すと、ではほかのものは意味がないのかというようなことがすぐぴんと頭にきて、その面からいろいろ言い出すけれども、そうではなくて、要するに実験炉の段階の次に核融合の計画としてはどうするのですかというのを、当然トカマクのものもあれば、ほかのものもどう考えるのだということは、やはり全体像として考えなければいけないわけですよ。それが前に示されていた戦略検討分科会の67ページの絵をどう考えるかということにもつながります。そこにはトカマクもあれば、ほかのものも考える。当然、この次の原型炉と実証炉を1つのステップにすることができれば非常に効率的なわけですよ。ですから議論しているのであって、ただそれが、地球温暖化というようなファクターもあるけれども、今まで出た意見はそれだけではなくて、要するに技術的なベースがありますかということです。10年研究してこれだけ進歩してきたので、そこまで考えたいというようなことがないと、なかなか言いにくいというような、だからその辺をずっと考えた上で、この委員会としてはどう答えるかというのをお考

えいただきたいと思います。

【桂井委員】 まさにそういうことで、小川委員のおっしゃるように、非常に保守的なトカマクを設計すれば発電炉はできるけれども、何千億円になるかわからない。挑戦をどんどんしていけば安くなるけれども、リスクが増えるということだと思うのです。だから、そのところをどうとらえて「Fast Track」というものをとらえるか。リスクと確実性のどの辺をねらっていくかということの問題ではないかと思います。

【小川委員】 リスク管理という観点からすると、私のイメージで言うならば、国内トカマク重点化装置というのは、この規模でのリスク管理だと思います。

それから、前回ちょっと議論になったけれども、今回はあまり議論されていないのですが、ITERを外挿して、デモに対する前倒しをどの程度ここに取り込めるかというのも1つのリスク管理だと思います。このリスク管理と、原型炉・実証炉を1つにして実用化を短くするということの兼ね合いで戦略を考えるのも1つなのかなというのが私のコメントです。

個人によって考え方が違うのですが、リスク管理という観点からするならば、私が個人的に考えているのは、先ほど言いましたが、岡野委員の考えたような7メートルちょっとぐらいの比較的大きな装置でやっておいて、それで終わるのではなく、トカマク国内重点化装置とかでの実績を踏まえて、実証炉までいくプラズマ性能が出せるような装置へ、1台のマシンをグレードアップすることにより推進していく。そういうリスク管理をしていくというのが1つなのかなと思います。場合によっては、工学的には今度はITERをより有効利用すれば、先ほどから大塚委員たちが心配しているような工学的なリスク管理がそこである程度できないのかなというのが個人的なコメントです。

【桂井委員】 確かにそうなのですが、リスクがない大きな3GWのマシンというのは、一方で魅力がない。例えば、利子がない定期預金みたいなものになってくるわけです。それで、10%も年に利子を取ろうとすると、非常にリスクが増えてくる。

だから、まさにこのトカマク炉を中心とした核融合炉も、そのバランスが問題になります。小川委員みたいにリスクが少なくてかなり魅力が少ないものをとるか、あるいは、 $N$ が5ぐらいでハイ・リスクをねらって投資を呼び込むか。この辺のどこにターゲットを置くかの議論ではないかと思います。

【岡野委員】 この $N$ 1.9というのは、あまりに保守的だとのこと批判はあるのですが、私は、とにかくこれで発電実証できたら、まず第1ステップとしては成功といえるのではないかと考えています。発電実証という以上、何ヶ月も定常で動くことが要請されるわけですから、ベータが低くても決して簡単にできるというものではないと思うわけです。

【桂井委員】 建設費を考えると、国がお金を出すかというお話になってくるのです。

【岡野委員】 そこで終わるという計画であればだめです。ですからその後グレードアップして、 $N$ が4とかまでいける設計はちゃんとしておかないといけないので、そのためには、例えば熱設計は3,000MWまでもつ設計にしておくとか、

そういう設計が大事だと思います。

ただ、何でこんなに保守的な設計をしたかということ、発電実証炉の使命は、経済性の実証とか以前に、まず発電に成功することではないかと思うからです。それも、建設終了して運転開始して、いろいろ苦労して10年後に成功したのでは、多分失敗だと言われるのではないかという心配をしてこういう設計にしたので、これだったら、多分できますよね。それで成功してしまってその後改造するのか、あるいは、最初から結構難しいものを一気に成功させることに賭けるかという違いであって、菊地委員と私の意見が違うということは全然なくて、「どれがいいの」と言われたら、それは16テスラのケース1のような高磁場・高ベータの実現がもちろんいいと私も思います。それは、もう意見は一致しているのですよ。

ただ、現状でどこまで確実なことがいえるか、そこをどう考えるかだけの問題です。

【桂井委員】 ITERも1兆円ITERでは、結局、建設を世の中は認めなかったわけです。だから、その次についても、その $N$ が1.9の大きなもので幾らになるか、それで認められるかという点の見極めではないですか。

【岡野委員】 そんなものは高くてつくらせていただけないという話になるのだったら、実験炉の次の装置がつくれぬか、リスクを負っても小さい炉にかけるかの2種類しかないですよ。早期発電実証という以上、そんなに先の話ではないので、責任を持てる範囲を十分に判断して設計をする必要がありますよ。

【桂井委員】 そのとき、仮の話ですけれども、例えば1兆円になったとします。それで予算が出るかというその辺です。結局、説得力さえあれば出るということになるのかもしれませんが、アメリカあたりの「Fast Track」の議論を見てみると、それではだめではないかという話なのではないかと思います。

【小川委員】そこは、やはり意見が分かれるところだと思いますね。

【井上委員】 不確定なところはたくさんあるので、設計の段階までは幾つもパラレルに設計しておいてもいいですよ。それで、どのパラメータを選ぶかというところは、何らかの裏づけが要るわけで、そのためにこのトカマクの重点化装置、こういうもので本当に $N$ が5に行けば、既に設計してあった一番いいところへ飛ばす方がいいわけですし、ITERで何かそういう非常に都合のいいパラメータが出れば、それを選択すればいいわけですから、そういう戦略をとっておけばいいわけです。

前も言いましたけれども、要するにフローチャートでも書いておいて、これがノーならこっちへ行くというふうな考え方をしておかないといけないのではないかと。まだ物をつくる前ですから、少しはシミュレーションのお金とかが要るでしょうけれども、その段階まではフレキシブルに考えておいたらいいのではないのでしょうか。

【小川委員】 決して、これを絶対つくりたいというわけではなくてですね。

【藤原座長】 まだいろいろ議論があるかと思いますが、これは今日一回で収束すると思えないので、また議論したいと思います。

いずれにしても、お願いしたいのは、要するにITERのあとどうするのかという計画が必要だということです。あとは尻切れトンボであるというような話はないので、それが今まで戦略で検討されてきたもの、または平成4年に出されている核

融合開発計画と対して変わらないというのなら、それはそれで、そういう意味でディベロップメント・パスが10年の後にもあまり変わらない、進歩していないという話になるのか、そうではなくて、もっとポジティブに10年の研究を生かしてこうなるんだ、こうしたい、これだけの技術的なベースができ上がってきたというようなことを言うのか。そこはよくお考えいただきたいと思います。

5) 次回以降の会合に関し、藤原座長より、以下の連絡があった。

【藤原座長】 次回はIFMIFの話をお伺いします。加速案の今日のお話と国内重点化装置計画と、それからIFMIFの材料開発というようなものが、ある程度セットになって1つの次のステップへつながっていくというような視点から見たときに、IFMIF材料開発計画がどうであるかというお話を次回に伺って、議論をお願いしたい。

今日の加速案の議論については、次回にもし時間があればもう少ししたいと思いますし、10月に入ってからでも、時間があればもうちょっと議論したいと思います。

それから、幹事会の2回目を開いておりますが、そろそろ報告書のキーセンテンスというものを出し始めております。これは、それぞれの章の幹事、取りまとめをお願いしている先生と、それから執筆を担当いただいている先生の方には、いろいろと問い合わせをしてご意見を伺うことになっておりますので、よろしくお願ひしたいと思います。要するに、いずれはこれが報告書の中に盛り込まれていくというものでございますので、よく御覧いただきたいと思っております。

次回は、9月29日でございます。よろしくお願ひいたします。

以上