

核融合研究開発基本問題検討会（第7回） 議事録

1. 日 時 平成15年8月12日（火）14:00～17:30

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〕

畦地宏、居田克巳、大塚道夫、岡野邦彦、小川雄一、可児吉男、菊池満、高津英幸、寺井隆幸、長崎晋也、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〕

伊藤早苗、井上信幸、桂井誠、岸本浩、西川雅弘、松田慎三郎、三間囿興

〔内閣府〕 藤嶋参事官、川口補佐

〔文部科学省〕 大竹室長、林補佐

4. 議 題：

- （1）核融合研究開発の意義について
- （2）核融合研究開発の基本的進め方について
- （3）その他

5. 配付資料

資料検第7-1-1号 これまでに提起された主な論点について

資料検第7-1-2号 核融合研究開発の意義と投資対効果

資料検第7-2-1号 欧米の核融合実用化加速計画について（2）

資料検第7-3-1号 報告書案の構成（案）

資料検第7-3-2号 報告書案の執筆分担（案）

資料検第7-3-3号 核融合研究開発基本問題検討会（第6回）議事録

6. 議事内容

1) これまでに提起された主な論点について、資料検第7-1-1号に基づき、藤原座長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。

【大塚委員】 1つは最初の開発戦略のロードマップのところですが、前回、大学の研究に関し、核融合ワーキンググループの報告書というのを小川先生がご報告されて、結構長い間議論されましたが、それに関して、どういう点で全体の開発戦略の中でチェック・アンド・レビューを、例えばヘリカルとか慣性核融合なんかでやっていくのかというのが、論点のところでは抜けているのではないかという気がいたします。

それと、現在の第三段階の計画には、附属文書の方ですが、よく読みますと、原型炉の前に他方式と比較するのは、磁場閉じ込めに関してと書いてあります。慣性核融合に関しては別途並行して研究開発を進めると書いてあって、原型炉の前にチェック・アンド・レビューをやるのかどうかは、はっきり書かれていません。それに関

しては、やはり全体の核融合炉をつくるというのは、別に慣性閉じ込めでも磁場閉じ込めでもいいわけですから、全体の研究開発戦略の中で、いつチェック・アンド・レビューをやるかという話をやはりどこかで書かないといけないのではないかという気がいたします。

もう一つは、大分前に申し上げさせていただいたのですけれども、原型炉という段階になってきますと、もう実用化をにらむわけですが、最終的に実用化されたときに、この核融合炉を使うのは電力会社であって、それをつくるのは多分原子力機器メーカーになると思います。適当な時期で、例えばITERを製作していく途中で、あるいは実験の途中で、また最終的に原型炉をつくるかどうかという判断をすると思うのですが、そういう節目節目で、産業界の技術者を入れたレビューというのを是非やる必要があるのではないかと思います。

というのは、やはりそういう視点で見て、例えば開発の課題とか方向というのを修正していかないと、なかなか実用化の確率というのが高くなっていかないのではないかと。今まで多分そういうことはほとんど行われていないと思います。

ITERをやらないと、なかなか実用化に対する問題点とかはわからないとは思いますが、ITERをやれば、かなりクリアになってくると思うので、そういう視点でやる必要があるのではないかと思います。

【藤原座長】 実はこれは、いろいろ事務局にお願いして整理をしていただいたものですが、大学の研究のところは前回の議論でしたので、ちょっと抜けていることは確かです。大事な点なので、これにつけ加えたいと思っております。

それから、おっしゃるように、原型炉で実用化をするときの産業界を入れたレビューというのは確かに必要だと思えます。

【岡野委員】 論点のところちょっとコメントがあります。1節の8)項は大塚先生が前におっしゃっていたことだと思います。構造を簡素化するための研究開発が必要であるということですが、これは簡素化を、コストダウンというか、つくりやすさと理解すればこのとおりだと思うのですが、ちょっと揚げ足をとるみたいに理解されないでほしいのですけれども、簡素化とコストダウンは必ずしも一致しないという気が私はしています。

実際に、いわゆる重厚長大の産業界では、まだ「simple is best」の思想が少し残っているように私は思うのですが、いわゆる軽薄短小の産業界では、もうそんなものはとっくの昔に消え去って、ものすごく複雑でも性能のいいものが安くできる。例を挙げると幾らでもあります。例えば、昔のレコードプレーヤーは、慣性モーメントで安定な回転を維持するから大きな円盤がついていたけれども、今のCDプレーヤーは、もう慣性モーメントはミニマムにして、すべて完全な電子制御で制御するわけですね。もうちょっと大きいものであれば、自動車はどうか。自動車のエンジンなんて、昔のエンジンよりめっちゃくちゃ複雑ですよ。もう少し大きい飛行機はどうか。昔の飛行機は、操縦桿を離したら真っすぐ飛んだのだけれども、今の飛行機は、コンピューターが故障したら人間には制御できない構造になっている。もう少しさらに大きいものはどうか。すばる望遠鏡なんかどうかというと、昔のパルマーの望遠鏡というのは、地球の自転に合わせるための軸が斜めになっているのが回っていたのです。だから2軸で制御できたのだけれども、もうすばるみたいになってくると、あれは3軸制御で、コンピューターで制御するのです。明らかに複雑になっているのですが、その方がいいということは、世の中にはたくさんあるのです。

核融合で言えば、 を上げるために制御コイルをたくさんつけましたというのは、

確かに複雑になっているのだけれども、その結果、 B は上がって磁場は減らせているわけです。もしもシンプルだけをねらうと、磁場が13テスラで N が3で、くそでかい核融合炉をつくらなければならないわけですから、非常にシンプルなのだけれども、それは明らかにコストが上がる方向なので、制御をうまくやるための複雑なコイルが入るとするのは、必ずしもネガティブな方向ではないかと思っています。

時々、別の場所ですが、ああいう制御コイルは実用性がないとかおっしゃる方がいらっしゃるのですが、私はそれは間違っていると思うので、そういった観点は少し入れていただいた方がいいかと思っています。

【大塚委員】 やはり核融合炉というのは重厚長大ですよ。軽薄短小の製品ではないので、やはり重厚長大での構造がシンプルでないとなかなかコストは下がらないというのは、別に真理といったものではありませんが、今までの実績というか経験だと思えます。そういう法則というか経験が当てはまるのではないかという気がします。

今ちょっと話題に出ました容器内のコイルですけれども、あれはやはり相当お金がかかると思いますね。私ども、前にJT-60で真空容器内のコイルをつくりましたけれども、真空の中にコイルを入れるというのは相当大変ですよ。設計、製作、組み立て、補修、すべて大変です。容器内にコイルを入れないと高 B 制御ができないということになれば、やはり低 B でもいいから容器内コイルが無い方が、トータルの信頼性というかシステムとしての信頼性は上がるのではないかという気がしますね。

JT-60の重点化装置では、容器内コイルをつけて高 B 実験をやって、できるだけそういう容器内コイルがいらなくても制御できるという方向の研究開発を進められると聞いておりますので、それは今後の課題だと思えます。

【高津委員】 開発戦略について全般にかかわることで、特に関連するものとしては、4)項の「本気で電気を起こす気があるのか」というところに幾らか書いておられるのですけれども、大分何回も議論が出たのに議論のポイントが書かれていないと思いますので申し上げます。

エネルギー開発としての側面と学術研究としての側面を両方持つということ、また、前回、藤家委員長がおっしゃったように、気持ちとしてはエネルギー研究を目指すべきだが、現状としては研究の段階であろうということは確かにそうだったのでけれども、何回も議論が出ているのが、やはりエネルギー開発に軸足を置いた研究と学術研究に軸足を置いた研究をはっきり位置づけてやるべきではないかという議論です。そういう記述が無いのですが、これはかなり今回の議論の大きな 이슈だと思えますので、ぜひ入れていただいた方がいいのではないのでしょうか。

【藤原座長】 それは、前回いろいろご議論いただいた大学の研究との関係でまた書きたいと思っております。

【三間委員】 基本的には、大塚委員の言ったことの繰り返しになるのですけれども、「これまでに提示された関連する議論」という欄に、トカマク国内重点化装置、JT-60の改造という文言が3カ所も入っています。片や同じレベルで議論されたにもかかわらず、レーザー核融合が一切触れられていないというのは、やはりこれはかなり意図が感じられますので、ぜひその点をご配慮いただきたい。前回だけではなくて数回前から、レーザーをどうするか、ヘリカルをどう考えるかという議論は随分あったと思うのですけれども、その点に対して記述が抜けていたというのは、私としては

極めて心外でございます。

【藤原座長】 全体的なものをどう見るかということが大事でありまして、先ほど言いましたように、大学研究、学術研究というものをどういうふうにかつて考えるかということを含めて、大学の研究というのは前回議論をいただいたばかりで、これをつくるのに間に合わなかったというのが単純な理由でありまして、別に私の意図でも何でもないわけです。

今日、岡野先生にいろいろお話いただく中でも、多分、アメリカの考え方として、磁場核融合、それから I C F が入っております。日本としてどうするか、きちんとしたものを出品なければいけないと思っておりますので、誤解をしないでいただきたいとお願いをしておきたいと思ひます。

【井上委員】 開発戦略についての 2) 項の实用化の時期という話ですけれども、これは要するに 3 0 年たつたらできると言ったのにまだできないじゃないかという話などありますように、たとえ先輩がおっしゃつたにしても、自分が言っていないなくても、コミュニティとしてはやはり責任を持つべき、反省すべき点はあると思ひます。

一方、これに関連して实用化の時期を言おうとすると、将来の社会情勢をエスティメーションしなければいけない。その頃になると、例えばコストについて、環境問題とか安全問題、社会的受容性といったものとバランスさせたときに、そのコストで果たして高いのか安いのかという判断もしなければいけないわけです。

それで、もう I T E R 計画懇談会が報告書を出してから何年たつたのか、三、四年たつたのか知りませんが、あの当時は、要するに未来の社会情勢について、断定的に判断することはできないというところから始まって、だからこそ保険という考え方というものを導入して、それで今この核融合というものに、オプションを増やすために投資することが重要だという結論を出していると思ひます。

ですから、今言いましたように、あれから何年かたつていますから、そのこのところの I T E R 計画懇談会での考え方というものをよく吟味して、ここでもう一度考え直して、その後の情勢の変化というのがあつたのかどうか。そういう考え方で、この实用化の時期について結論を出していくということは必要ではないかと思ひます。これまで随分検討されていることを全部無視して何年たつたらできるなんていう言い方は難しいのではないかと思ひます。

【松田委員】 今の井上先生のコメントに関連してですけれども、それぞれの人が思い描く言葉の意味というのが必ずしも合っていないと思ひます。おそらく何十年たつたら実現すると言つていた当初のときの議論、核融合エネルギーはいつになったら実現するかということだつたと思うのですが、そういう意味と、例えば实用化の時期というのとは必ずしも同じではないのです。

核融合エネルギーの実現といったときも、それが何を意味するかというのは人によって大分変わつていたと思うのです。例えば、本当に商用発電として实用化し、市場に参入していく時期をいうのか、原型炉で初めて発電をする時期をいうのか。あるいは、とにかく電気を出しさえすればいい時期をいうのかで随分違ひます。電気を出しさえすればいいという意味で言つたら、I T E R のモジュールで出そうと思えば、電気は出てくるわけです。「いや、そんなスケールじゃないんです。やはりプラント規模で初めて電気を出すのはいつですか？」といつたら原型炉になりますし、そうではなくて、もっとコマーシャルにどんどん入っていく時期というのだつたら、おそらく 2 0 5 0 年ごろになるのだと思ひます。

だから、そこで随分違うので、今の議論をするときには、過去に言っていたイメージ、おそらく我々は、核融合エネルギーの実現とぼんやり言っていたときのイメージでは、最初に発電するのはいつごろかというような意味で言っていたと思うのですが、そういうものと、今ここで議論されているものとはやはりずれがありますので、言葉の持つ意味をもう少しはっきりした上で議論した方がいいように思います。

【井上委員】 戦略検討分科会で議論したときには、そのところについて、実現と実用化という言葉は分けたと思ったのですが、そのときの委員がここにたくさんいらっしゃいますが、本当にそう思ってたかどうかが。私自身はそういう考え方で統一していたつもりでした。

そういう意味で、提案ですが、ここでもそういう考え方でいった方がいいのではないかと思います。

【高津委員】 5節の安全性について、「これまでに提示された関連する議論」の記載で抜けているところがあると思いますので申し上げます。

可児委員からだったでしょうか。核融合は確かにリスクのポテンシャルが低いけれども、それは工学的な安全施設への負担が少ないということであって、大事なのは実際のシステムの安全の議論が必要なんだというご指摘があって、このご指摘はごもっともだと思いますし、まさしくITERがもし日本に来ることになれば、実際のシステムが実際の安全規制体系でチェックされていくことになると思います。

もう一方、この安全性の確保と、それから公衆あるいは周辺の人々の安心感という観点からすれば、今原子力発電所の立地が思うように進まないというのも、やはり根本的に持っているハザードポテンシャルが大きく影響しているのではないかと。そういう観点からすると、核融合が持っているハザードポテンシャルが低いということは、やはり安心感を得るための大きなポイントではないかというご指摘があったと思いますけれども、そこを右の欄に入れておいていただいた方がいいのではないかと思います。

【藤原座長】 これは、まだあくまでも中途の段階ですので、だんだん議論を経て、これにだんだんつけ加えていくことになるんだというふうにお考えください。最初に私が申しましたように、これは、第3回、第4回の会合で特に核融合以外の専門分野の先生方から出された論点を中心に整理したものですので、大学の研究が入っていないじゃないか、ヘリカル、レーザーの研究が入っていないじゃないかというご指摘はもっともでありますけれども、そこは十分お考えいただきたいと思います。

【伊藤委員】 開発戦略のところ、いろいろ今後の、例えばどういうふうな戦略を見直すとか評価するかとか、その受け皿をどうするかとか、その改善システムに関するシステム体制と機能等の議論が抜けているように思います。いわゆるそれにおける評価ですね。そこら辺の、どういうふうにもう一遍回していくかというようなフォローアップが全然ありませんが、それが開発戦略の一つの重要な要素ではないでしょうか。

【菊池委員】 エネルギーの環境問題解決への役割のところ、FBRとの関連のお話ですが、可児委員からも開発計画の中では、いわゆる軽水炉の代替を図っていくというシナリオを示されていて、今後将来的に急増していくエネルギー需要全体に対して、火力を代替していくスタンスは無かったように思います。エネルギー環境問題を解決するという面で、FBRがどういうふう積極的にそれに貢献をして

いくのかということについて、もう少し議論をした方がいいかなと思います。

そうでなければ、もし可児委員の示されているシナリオの範囲内が大体全体的なシナリオであるとすれば、おそらく役割はかなり違ってきて、核融合の場合はむしろ火力の代替を図っていく、つまりCO₂を増やさないという面で貢献しようという意思が明確なんだと思うのですけれども、高速炉が軽水炉代替なのか、そうではなくて、地球環境問題に大きく貢献していくのか、その論点をもう少し明確にした方がいいと思います。

【伊藤委員】 あともう一つ、戦略についてですけれども、ロードマップ等を示すときに、何ををもってして、例えば今ずっとディベートが続いていて全然まだまとまっていない話としては、基礎研究か合目的研究かというところで、そういう場合に、どういう結果をもってして是とするか、結果としてよかったか。それを例えばあるものに対して、何割いけば満足とするのかという確率的な話もありますし、そこら辺の評価基準で、ロードマップのいき方みたいなものが、多分これはまだ議論されていないし、科学研究及び工学研究の多様性に応じて評価というのは分かれると思いますけれども、そこら辺をどうとらえるかというのも、どこかで何か論及しないと、どっちつかずな文章になってしまう可能性があると思います。

つまり何ををもってして成功とするか、是とするか。例えば基礎研究だったら、何ををもってして是とするか。合目的研究だったら、何を何パーセントというところで是とするかというようなところですね。

【藤原座長】 おっしゃりたいことは、具体的にどうするかですね。

【桂井委員】 議論の進め方ですけれども、時間もたってきて、次にまだ2つ、これに関連するものがあるので、それをやってからの方が、この表を完成させる議論をするのには好ましいのではないのでしょうか。

【藤原座長】 これは、本日をもって表を完成させようとはさらさら思っておりませんので。

【松田委員】 先ほど座長が、この問題の整理が核融合以外の専門の方からのご指摘とおっしゃられたので、若干核融合の中の先生方も、先ほど三間先生がおっしゃられたようなコメントありますし、項目によっては意見を異にされている委員の方もおられますから、別に核融合対その他という軸で見ずに、どちらにしろ、これは報告書をまとめていくときに論点をまとめるわけですから、核融合の中から出てきた大きな意見もやはり拾って、その中に入れた方がいいように思います。

【藤原座長】 もちろんそのつもりですよ。これは、最初に申しあげましたように、これで全部というわけではさらさらありませんので、議論の途中までのものしか入っておりませんので、前回あったような議論とか、これから出てくるであろう議論も入れて、どういうことを考えていかないといけないかというのを、ある程度は皆さんと一緒にコンセンサスを持つということがまず大事かというふうに思っております。

ですから、これは今日をもって終わるという話ではありませんので、委員の先生方で意見があればどんどんお寄せいただければと思っております。とりあえず、こういう議論を始めておかないと、ただ意見のやり取りで済みましたということになってしまってはまずいので、今回はこのような形でまとめたわけです。また、これを充実さ

せていくということでもよろしくお願ひしたいと思ひます。

3) 核融合研究開発の意義と投資対効果について、資料検第7 - 1 - 2号に基づき、小西哲之氏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。

【井上委員】 将来型の原子力というのは、FBRとかジェネレーションとか高温ガス炉とかを意味しているのですか。そういうものと競合するところもあるし、しないところもあるという話でしたけれども、それは、どういうところが競合し、どういうところがしないのか。

先ほどの多目的利用みたいなものは、高温ガス炉でもできるわけでしょう。バイオマスを使った水素製造とかもできるわけでしょう。ここで、大分その辺をシビアに考えればいいというようなことも言われていたような気がするのですけれども。

【小西哲之氏】 将来型の原子炉というのは、今、井上先生がおっしゃいましたように、ジェネレーションとか、あるいはサイクル機構の実用化戦略等でいろいろな炉型が検討されるに至って、必ずしも一般論で言えなくなっているのですけれども、例えば水素の製造能力について言いますと、原子炉出口温度が500度、600度、800度、1,000度で、それぞれ実は水素のつくり得るプロセスが違ってまいりますので、例えば水素のコストであるとか、こういったものが違ってまいります。

それから、どこの原子力でも、最終的に核分裂であれば、燃料サイクルの制約から逃れられないのですけれども、これについても、燃料を一括でパッケージに入れておいて、最終的にはなるべく引きとってくるという形の提案をしているところもございます。そういうところは、例えば途上国市場にとっても、燃料サイクルの制約がないわけです。それに対して、出た核分裂廃棄物は、最終的に自分の国で処理しなさいという制約があります。そういうことで、一概には言えないところがございますけれども、ご指摘のとおり、基本的な核融合と先進的な、あるいは革新的な原子力の違いは、一つは、原子力出口温度の柔軟性と、もう一つは、燃料サイクルの制約、それから、それに関連しますけれども、核拡散の問題。基本的にはこういうところかと考えております。ですから、個々の革新的原子炉の開発者の言っていることと核融合の言っていることで、それは対比して比較することはできようかと思ひます。

【小川委員】 33ページと34ページの経済的なことに関してお聞きします。まず、電力コストの削減効果が35兆円とありますが、電力単価として18.8円/KWhということでののですか。先ほど、20%のシェアが入ったという条件が仮定されたと言われましたが、電気代としては、これぐらいを仮定しているのですかということです。逆に言いますと、もし核融合が入らなくなったならば、この37兆円に35兆円をプラスした約72兆円の電気代になるのかということです。

【小西哲之氏】 すみません。これは説明を端折って申しわけなかったのですが、18.8円というのは電気の売買単価です。ですから、この中には発電単価のほかに、送電、配電、それから、端的に言ってメーターを読んで回っている人の人件費も全部入ります。それだけのマーケットをつくっているというだけであって、これは核融合でなくても、例えば太陽光でも風力でも入ってくるコストというか電気代を全部含め

ています。

その中で、電力コストの削減効果というのは、発電単価の部分になります。それについて言うと、これは、何回か前に時松さんがご説明された結果そのままを持ってきているのですが、核融合がなかったときに、核融合が参入可能な電気代というのが2050年から2100年の間にだんだん上昇してまいります。ということは、そのときに平均的な発電単価というのが上昇しているのです、その上昇分を積算するという形になります。マーケット・シェアについて言いますと、これは、その上の32ページにある伊藤さんのご説明にもありましたように、エネルギー経済研究所でのマーケット・シェアの数字をそのまま使っています。この18.8円は、今現在の売買単価なのですが、それを掛けるような形で計算しています。

【大塚委員】 先ほど、核融合炉は火力の代替はできないと言われたように聞いたのですが、菊池委員が先ほど言われたのは、FBRは軽水炉の代替というストーリーになっているのに対し、核融合炉は火力を代替するというストーリーになっていて、そこが違うというふうに言われたと思ったのですが、どう言われたのでしょうか。

【小西哲之氏】 まず、FBRは、やはり軽水炉の代替というのをかなり明確に志向できるだけのマーケットイメージができています。と思うのですが、核融合の場合には、まだ必ずしもそこまでは煮詰まっていけないという前提に立って申し上げますと、例えば100万KW級の、それもベースロード用の発電所というものが核融合でできるものとした場合、これは軽水炉の代替以外の何者でもないと思います。ですが、例えば30万KWクラスであって、かつもう少し都市近郊に立地が可能で、かつ出力変動に対応することができるということであれば、核融合は十分に火力の代替、特に石炭火力の代替として使用することもできるということはあると思います。もちろんFBRがそういうことを達成していれば、そのマーケットに競合してくることになると思います。

【大塚委員】 ということは、30万KWの比較的小さい出力で運転できるような核融合炉ができないと、火力の代替すなわち温暖化対策はできないということですか。私の今までの理解が違っていたのでしょうか。

【小西哲之氏】 だから、核融合炉が具体的にどういう電力供給パターンに従うかというだけのことだと思います。これは、時松さんの解析あるいはエネルギー経済研究所の解析でもそうですけれども、必要な電力需要を埋めるのに、まずベースロードを埋める。次に中間的なというか変動パターンのものでまた埋めるというようなことをモデルの中でやります。最後にピークにはピークだけ使うものを入れる。そこに具体的にどれが使えるかというのをカテゴリー分けをしたものを入れるだけですので、核融合の場合、ここで使っているようなモデルの場合には、今はベースにしか入っていないです。ですが、火力の代替が欲しいと思えばそれなりの特性をしたものを開発しなければいけないし、開発すれば、またそれだけマーケット・チャンスがふえるということがあると思います。

それにしても、二酸化炭素の削減効果について言うと、核融合が入った分だけ貢献があるわけで、軽水炉の代替だけであったとしても、それは貢献することはできると思います。

【大塚委員】 ただ、今はベースロードとして考えておられますよね。それで、今の原子力発電所というのは多分30%ぐらいの割合の発電量だと思うのですが、ベースロードとしてはそれで十分であれば、ベースロードとして置きかえられるのであれば、温暖化対策というのにはすぐには役に立たないという話です。だから、ベースロードが60%ぐらい必要なのだけれども、今ある30%が何らかの理由で実用化というか市場に参入できていなければ、その30%分を核融合炉が埋めて、その分を火力が減らせられるから温暖化対策になりますよというのであれば、ロジックとしてはすっきりするのですけれども。

【小西哲之氏】 これは、私の本日の話とはちょっと関係がないのですけれども、時松さんあるいは伊藤さんが示された核融合の将来のマーケット・シェアの解析では、具体的に、例えばどここの軽水炉を建てかえるとか、そういうイメージでモデルを計算していません。新規需要についても建てかえ需要についても、とにかく需要というものはその中で区別をしないで、その中に入り得るものをいきなり埋めるという形で計算していますので、具体的に、例えば東海2号炉がそろそろ寿命だからこれを取りかえましょうとか、そういうようなイメージでは計算していません。ましてやグローバル・モデルですので、大塚委員がおっしゃるような形での具体的な代替というかマーケット・シェアの増加というような計算はされていないと理解された方がいいと思います。

【大塚委員】 よくわからないのですけれども、考えてみます。

【井上委員】 これは岡野委員あたりがご存じなのでしょうけれども、電力の二次負荷変動というのはまだあるじゃないですか。谷のところを見ても、まだベースラインを上げる余地があるのではないですか。だから、今の分裂炉でももっと増やしてやれば、その分、火力の代替ができるということはありませんか。

【岡野委員】 今見ている限りでは、まだ石炭火力の部分は置き換えられますね。石炭火力は今ベースロードに使っていますから。でも、それは軽水炉で置き換えてもいいですね。

【井上委員】 そうですね。軽水炉でもいいし、核融合炉でもいいということではないかと思います。

【岡野委員】 ベースロードに関しては、まだ若干の余裕がありますが、でも、それは相当余裕を見てこないと、単に変動する年があったりするかもしれませんから、だからこそ、今30%に抑えられているのだと私は思います。むしろ、谷を上げる努力を今して、それはまた核融合炉とは違う開発ですよ。例えば充電式の電気自動車は夜充電してもらおうとか、いろいろな案はあるみたいですが、また別の方向の開発として進んでいくのだと思います。

【可児委員】 前にお話しした高速炉の関係ですが、あそこの想定は、今現状で原子力発電が45Gぐらいあるのですけれども、それが日本としての経済成長とかエネルギー需要とか、そういったものを考えて、核分裂が占める割合は将来的にどの程度かということのある程度控えめに見積もった値として、70Gで打ちどめといいますか大体オーラスであろうとしています。

そういう前提のもとに、核分裂の中で高速炉がどのぐらいに置きかわっていくかというシナリオを検討したということであって、別に核分裂が火力を代替できないとかいうことを言っているのではありません。70という数字で一定になるという前提のもとで、1つのシナリオを考えてみたというだけです。

【畦地委員】 先ほどの小西先生のお話で、20万KWから30万KWの出力で出力変動に対応できる必要があるということは、トカマク型の核融合炉では、それは解にはならないということをおっしゃられているのでしょうか。

もう少し我田引水的な話をしますと、レーザー核融合というのは、もともとコストを別にしたら数万KWでも数千KWでもできるという評価があるわけです。それから、出力変動に対しては、1秒間に何回核融合を起こすのかという回数をコントロールすることによって、比較的容易に対応できます。ということは、トカマク以外に複数の核融合を進める意義というのは、実はそこにあるのかなというふうに今お話を伺っていて思ったのですが、その辺はいかがでしょうか。

【小西哲之氏】 まず、私は、今日のお話では、方式のことは一言も触れておりません。社会がこういうパターンのエネルギーを必要とするときに核融合がこたえられるかという話ですから、トカマクであろうがレーザーであろうが、例えば30万KWの発電所が欲しいといったときにできたものであれば30万KWの需要に対しては売れるだろうということを申し上げているだけでございます。

トカマクのことは専門の方にお答えいただいた方がいいと思うのですが、30万KWの核融合炉はトカマクでできないのかといえば、私は、これはできると思います。出力変動というのは、もう少し難しいです。

レーザーがそういうものに本質的に向いているということは私も理解しております。そういった意味で、ここからはむしろ畦地委員のご指摘の重要なところだと思うのですが、多様なものであろうがあるまいが、方式は、実は社会は別に聞いていないんだということです。ただ、例えば水素を欲しているときに水素が出せるか、あるいは10万KWの発電所が欲しいといったときに対応できるかどうかです。そういった需要に対応できると思った人がやればいいだけです。

レーザーというのは、もともとトカマクとは多分ねらうマーケットが違うのだろうと私は思っています。それがたまたまトカマクと競合するかもしれないし、トカマクもこないようなマーケットを選ぶのであれば、もともとトカマクとレーザーとの間で方式の比較なんかする必要はないと思います。それはほかの方式の間でも同じなのですけれども、必ずしも、まず核融合の中で予選をやって勝ち残ったものだけをやりなさいというように進めることはないと思います。それぞれが太陽エネルギーであったりFBRであったり、あるいは風力発電であったりというものの競合を意識して開発を進めればよいことだと考えるのですが、その前に、まず核融合であるかどうかは、多分、世の中の人には全然気にしないと思います。

【寺井委員】 ちょっと話がそれるかもしれませんが、核融合炉の出力規模あるいは負荷追従性に関する議論はもちろん大事で、非常に重要なポイントだと思うのですが、要は二次エネルギーシステムと申しますか、小西先生が書いておられるように、例えば水素もそうですし、それから輸送用の燃料製造もそうですし、産業用のエネルギーソースもそうだと思うのですが、二次エネルギーシステムに現在の電力を基幹としたものだけではなくて、かなりのバリエーションが出てくれば、現在でも電力というのは、実は二次エネルギー媒体の半分以下ですから、特に将来的には実

際に発電特性がそれほど大きな制約条件にはならないのではないのでしょうか。

ですから、二次エネルギーシステムにバリエーションが出てきて、そういうものがしかるべきコストで世の中に受け入れられていけば、一次エネルギーを変換するシステムは、必ずしも独立分散であるとか、あるいは集中立地であるとか、今ほどの制約が多分出なくなると思います。ですから、将来的にはそういった二次エネルギーシステムを含めたエネルギーシステム全体のあり方がどうかというのが非常に大きいのかなと思います。

【藤原座長】 多分にいいご指摘だと思います。

【菊池委員】 今、寺井先生がおっしゃられたのに全く賛成で、おそらく将来的には、プラントシステムの有効利用という面では、負荷追従で電力需要が減っているところは別の二次エネルギーシステムの生産に使われるようになるだろうというのは、将来のエネルギーシステムのあり得る非常に有力なパターンだと思います。

それと、先ほど可児委員がおっしゃられたことで、これは非常に重要ですがけれども、おそらく軽水炉、高速炉についてもどんどん火力の代替をしていくということが非常に重要になると思います。

ただし、これはエネルギーの分野で言われているのは、それだけの公衆受容性が将来的に現時点よりも大幅に改善するという見通しをどういうふうにするかということが問題で、それがあつて見通しがあるのかもしれないけれども、それがなかなかそう簡単にはいかないと思う場合には、やはり、分裂炉と核融合というエネルギーの選択肢の幅を広げていく必要があるから、核融合の開発が高速炉と並行して進められている意義があるのだろうと私自身も理解しています。

【藤原座長】 まだ議論はあるかと思いますがけれども、一応これで打ち切らせていただいて、またこれについてのいろいろな議論は次回以降にしたいと思います。小西先生のお話というのはなかなかユニークなので、また出ていただいて、いろいろ質疑に答えたいと思っています。

5) 欧米の核融合実用化加速計画について、資料検第7 - 2 - 1号に基づき、岡野委員より説明がなされた。

6) 本件に関し、以下の質疑応答があった。

【菊池委員】 大体、岡野委員のおっしゃるとおりなのですが、二つ、言っておきます。一つはC T Fの目的ですが、材料照射ということではなくて、ブランケット・システムが、やはりITERだけで試験するのは、機能としてはなかなか原型炉でうまくできないのではないかと考えていて、むしろブランケットの試験装置だという位置づけだと思います。

それからもう一つは、大盤振る舞いであらゆる方式を並行して進めるというのは、確かにそのとおりなのですが、ゴールドストンの肩を持つわけではないのですが、ステップアップしていく中で、順次セレクションされていくんだということです。現時点でそれを狭めるのではなくて、一つの原型炉に向けてステップアップしていく中で自然に選択されるんだというのが彼の主張だと思います。

【高津委員】 今の菊池委員のコメントに、さらにちょっとつけ加えさせていただき

ます。CTFの役割は、菊池委員がおっしゃったように、ブランケットのコンポーネントの試験なのですけれども、せんだってゴールドストーンと話をしたときにも、明らかに日本の考え方と大きく違っている印象があったのは、DEMO炉、次のステップの稼働率として、運転の初期の段階で50%程度を期待しているという点です。そういう高い信頼性のあるブランケットを開発することがそれまでに要求されているという状況があって、このCTFというものが必要だというのは非常に大きなポイントだったと思っております。

【藤原座長】 岡野委員の資料の最後のところに、日本の核融合の開発計画ということで絵が出ていて、それから机の上に置いてある資料の一番最後に、核融合実用化加速案の検討資料というのがあります。その最後の絵が、要するに日本として早期実現化計画というのを考えてみたら、こんなようなものができましたというのがあるわけです。これも含めて、今のアメリカそれからヨーロッパの「Fast Track」の計画に対する答申というものをバックグラウンドにおいて、皆様のご意見をお聞きしたいと思います。

これは実際には、要するにITERの次はどうするんだという議論があるわけで、一つは先ほど言いましたように、大学の方の研究でかなりブレイクスルーを生むような研究結果が出てきたときには、それはそれで考えるわけであります。もう一つは、日本ではこの早期実現化計画というものをどう考えるかというのは、この委員会としても議論していかなければいけないわけで、今日、結論を出してくださいというわけではありませんが、岡野委員の方から報告のあった機会に、ここで少し議論できたらと思います。これについてご意見ございますでしょうか。

日本は、ヨーロッパとはかなり似ているわけですね。基本的なところは似ているわけですね。

【岡野委員】 よく似ていると思います。

【藤原座長】 アメリカは、今言ったように、IFEの方をかなり大規模にやっているということと、コンポーネント・テスト・ファシリティをどうするかという話がある。それから、その他トカマクとは違うものが幾つかあるというので、ゴールドストンのパネルでは全部広げた格好ですので、少し違うのですが、その違いだけを除けば、大体ヨーロッパ、アメリカ、日本において、早期実現化計画の考えはこんなふうになるんだというものが出ているわけですが、これについてご意見はございますか。

【松田委員】 その議論をする場合に、2つに分けて順番に議論した方がいいと思うのですが、まず技術的にどれぐらいの期間でできるかという話があると思うのですね。いろいろな開発をやって、そしてインテグレーションをしていくわけですから、そういうものをまず議論をした上で、次に、では政策としてそういう早いアプローチというのをとるべきかどうかという議論があると思います。

そこは両方一緒にやってしまうと、ごちゃごちゃになってしまいます。技術的にまずフィージブルかどうか、最速で例えばやるとしたら、どれぐらいが可能か。その議論を最初にやった方がいいように思います。

【藤原座長】 おっしゃるとおりだと思います。これは今までの議論の中でも、要するに核融合の開発計画というのが、一つの見方としては、地球温暖化の問題とかエネルギー事情の問題と関連するわけですが、核融合としては技術的に可能か、どのくら

いままでの技術的な又は物理のベースに基づいてできるかという実現性の方がまずなければ話にならないわけです。おっしゃるように技術的に可能かどうかの議論で、この早期実現化計画というものを日本で考えたときに、ここに出されているようなダイアグラムが実際には磁場核融合の方のロードマップになっていくわけでありまして、今日のいろいろな論点のところに出ていた実現可能な、かなりベースのあるロードマップとして見たときにどうなのか。もちろん、これから研究はしていくわけですから、その研究成果が蓄積されていくんだということは、ある程度予想しなければいけないので、今ある資料だけで将来を予測するわけではないのですが、技術的に実現可能かどうかという観点から見て、このダイアグラムというのはいかがですか。

【三間委員】 去年の12月5日に出された核融合実用化加速案の検討資料は、社会的要請というよりも、むしろ技術サイドで検討した結果、これぐらいのケースだったらできるよという回答であると思うことはできないのですか。そうであれば、少なくともMFEというかトカマクについては、これをベースにできると思うのですが。

I FEについては、そのような検討は全然されていないわけで、それはこの場でやる必要があるという気もいたします。

【藤原座長】 前回か前々回だったか、その質問が出たのですよね。核融合専門部会として、これをどう位置づけたのですかという質問に対し、資料としてこうなりましたという報告であると答えられた。改めてここで、このことについて議論していただければというふうに言っていましたけれども。

【松田委員】 多分、三間先生ご指摘のペーパーというのは、核融合の専門家の中で議論されて、これは核融合サイドから見たらフィージブルであるという結論になっていると思うのですが、この委員会はもっと広い委員の方を含めて構成されていますので、例えば前のコメント見ますと、核融合なんて100年たってもできないんじゃないかというご批判もあるわけです。むしろ、こういう計画に対してどこがまずいとか、どこがそんな簡単にいかないんじゃないかとか、そういう疑問点を出していく形で議論させていただいたら、もう一度ここで再確認することになるのか、あるいは修正するのか、そういう議論ができるのではないかと思います。

【岡野委員】 12月5日の報告は、少なくとも核融合の研究者は、技術的にできると思うものを並べたはずだと私は思っていますし、逆にそうであるからして相当ブロードに並んでいるのですよね。例えばNだけ見ても、上は4.5とかあるけれども、1.8というのもありますね。1.8の実証炉だったら、それはいくらなんでもできると思うのです。だから、そういう範囲では、そこに記述されたものは、今後の技術的な開発の段階でどこができるかはわかるけれども、そこに並んでいるものが一つもできないということは絶対はないと思って見ていただいているのではないかと私は思っています。

【大塚委員】 技術的にできるかどうかというのは、この原型炉に行くときの判断基準みたいなものがそこに書いてあって、例えば、Qが5以上を目指した非誘導定常運転とか、いろいろ書いてございますね。これはITERをやらないとわからないわけなので、やはりITERを建設してある程度実験をしないと原型炉にいけるかどうかというのはわからないし、加速案といっても、余り戦略検討分科会で検討されたのはそんなに違わないですね。五、六年早くなっているという感じでしょうか。これは、

ちょっとよくわからないのではないかな、判断できないのではないかなという気がします。

一つは、建設の期間は6年ぐらいを多分見ておられると思うのですが、原型炉を、どういうつくり方をするかによりますけれども、日本だけで原型炉をつくるという前提で考えますと、生産能力からいって6年でつくるといのはかなり難しいのではないかなという気がします。ITERよりは部品点数が大きくなると思いますが、ITERでも8年かかっていますよね。2台目だということで、習熟効果といいますか経験があるので早くなるだろうということも考えられますけれども、ITERをつくってから、この原型炉をつくるまでに20年ぐらいの時間がありますので、経験者は多分みんな退職していなくなってしまうということで、ドキュメントだけで残して、その技術というのは伝承されないものですから、そういう意味で、建設期間が6年ぐらいというのはちょっと厳しいのではないかなという気がします。

【菊池委員】 原型炉ではなくて、発電実証プラントですね。

【大塚委員】 名前が今変わっているのですか。

【菊池委員】 はい。

【大塚委員】 失礼しました。

【藤原座長】 要するに、こんな時間のスケールではできないというご意見ですね。

【桂井委員】 DEMO炉ですと、壁負荷を $10\text{ MWy}/\text{m}^2$ というふうにとるようなところで頑張るわけですが、そういう点の実証ということで、アメリカはこのCTFとかETFというものが必要であろうと言っているのだと思います。それで、この辺は我々がよく判断できない部分です。むしろ原子力を開発したメーカーの方々に、多少エネルギー効率が悪くても、こういう強力中性子源でブランケット・モジュールを試験する必要があるとかないとか、この辺を判断いただきたいと思います。

【大塚委員】 私は原子力の技術者ではありませんので、そこら辺の判断は私としてはできないのですけれども、そういう意味で、実際CTFのような体系でブランケットのモジュールを試験しないといけないかどうかというのは、一度そういう検討というか評価をやっぱりすべきだと思いますね。最初の方にちょっと申し上げましたけれども、産業界の技術者を入れたレビューというのは、そういう意味も含めて、私のような余り出来の悪い技術者ではなくて、もう少し修羅場をいろいろ踏んだ技術者を入れて、そういう評価をやるべきだと思います。

【可児委員】 前回の議論にもあったのですが、開発ステップとして、今日の最初の資料にもありましたが、いわゆる原型炉と実証炉を一つの装置で兼ねさせるという話で、この加速案も原型炉は飛ばして発電実証プラントとなっていると思うのです。そういうところからすると、発電実証ということになると、ある程度経済性を見通しを得るものをつくらなければいけないということが大きいと思います。

ITERの中の基本性能のフェーズと、それからインハnst・パフォーマンスと言っている、より経済性を狙ったものの時間軸ですね。それから、あとブランケット・モジュールの試験についても、経済化モジュールという形で始めるのが2025

年となっています。発電実証プラントの建設の判断が2022年とかなり前の段階で行わざるを得ないような格好になっていて、これを見ると、ちょっと判断する時期が早過ぎるのではないかなという気が私はします。

【長崎委員】 私も同じことを考えています。一番最初に藤原先生が説明された資料を見ていて思ったのは、とにかくITERではいろいろな実験をしますから、いろいろなものをいっぱい周りにつけますよということですが、その一方で、経済性とかも一緒に考えていって次をやりますとなっています。いろいろなことを一緒にやっていくことが本当にこのスケジュールでできるのか。普通に考えたら、これはちょっと難しいのではないかと思います。このスケジュールを見て、普通の技術者というか、いわゆるメーカーの人が本当にこんな工程表を引けるのかということ、一回議論した方がいいのではないかと思います。

もう少し、本当にITERでやることをやらなければいけなくて、それから計算して、ITERの成果をもっていくところの部分が非常に時間が短いような気がします。私はこの表を見て、そういう印象を受けました。

【高津委員】 先ほどの可児委員のコメントに少し答えさせていただきます。ごらんになっている12月5日の資料の最後の絵で、経済化モジュールの試験が2025年あたりから開始されて、それが発電実証プラントにキャッチアップしないのではないかなという御指摘だったと思います。この案を検討した考え方ですが、とにかく早くシステムとして発電を実証して、系統に電力を送り始める。それをなるべく早くして、そこでのシステムとしての魅力というのは、送電開始をする段階ではまだ乏しい可能性もある。だけれども、発電実証プラントの運転を改造していく中で性能を上げていくという考えがあり得るだろうということです。

これは、前回も藤家委員長がおっしゃった分散型のメリットを生かして、ブランケットというものが、システム全体とは独立にグレードアップしていけるのではないかなという考えです。まずこの機能実証モジュールですが、前回ご紹介申し上げた水冷却のPWR相当のモジュールは、最初の段階でITERで試験されて、発電実証プラントの初期ブランケットとしてつけられるだろうと考えています。その後のITERでの経済化モジュールの高性能化ブランケットは、もしうまくいけば発電実証ブランケットの後半にでも導入していけるという考えで、これは線を引いてございます。

【菊池委員】 この早期実現計画を考えたときに、原型炉と実証炉の最大の差というのは、経済性改善だったのですけれども、トカマクのシステムは、経済性改善のことを考えると、やはり出力密度を上げないと話にならないということがあります。この加速計画では、ITERそのもので高出力密度の実証をするという計画ではなくて、別途炉心の改良計画を考えて、高出力密度のオペレーションが という形ですけれども、高い を別の装置で並行して開発して、燃焼のプラズマの物理についてはITERでやる。その合わせ技で発電実証プラントの建設を早期に実現するというのが基本のシナリオになっています。ですから、いわゆる経済性実証を含む、原型炉と実証炉を合わせたシナリオの中で、そういう出力密度を高くするという以外に非常に重要なファクターがあれば、そこについては議論が重要かと思うのですけれども、このシミュレーションの方では申し上げましたように、ITERの前半の10年でも、燃焼と別途の試験装置で高出力密度化を実現するというシナリオであれば、基本的にはできるかなと思っております。

それと、あと建設期間が6年ではちょっと短いということがあったわけですが、こ

れはもちろん大塚委員のおっしゃることはよくわかるのですが、軽水炉は5年間ぐらいでつくっているわけで、こういう非常に大規模な5,000億円を超えるようなシステムのとときに、建設期間がやたらにかかったのでは、いわゆる実際の商用プラントでの利子負担というのは非常に大きくなりますので、将来的に、是が非でもやはりこの6年ぐらいで建設できるという技術体系をつくり上げないことには、売れるシステムとしてはなかなかならないのではないかと考えています。ですから、これはもちろん、できると書いて書いているわけではなくて、これぐらいを目指さないと、将来的に5年ぐらいに建設期間を短くできないだろうという事情を踏まえて書いたものです。

【三間委員】 今の菊池委員の考え方は、私には理解できないことがあります。私の理解の確認をさせていただきたいのですけれども、ITERのずっと後ろの方の高性能化試験というのと、それからトカマク国内重点化装置、高 定常運転というのは一続きだと思っていいいのでしょうか。これが1点です。

もしそうだとすれば、ITERを最大限活用するという意味からすれば、例の「Fast Track」という考え方を優先して取り入れるということにするのであれば、このITERの中の計画に、もう少し高性能化試験を前倒しでやるような、そういう提案があってもいいのではないかと思うのですが、それはまるっきり素人の考えでだめなことなのか、それとも考える余地があるのか、確認させていただきたいと思えます。

【菊池委員】 私自身、ITERのFDRのレポートを国内の委員会でアグリーする立場にはなかったもので、審査に加わる立場にはなかったもので、最初の10年間の運転計画がどういう形で了解されたのかは存じ上げないのですけれども、やはり、こういうプラズマをつくっていくプロセスというのは、結構時間がかかります。これはJT-60の経験からそういうふうにあります。そういう中で、水素フェーズが二、三年あったりするというのを考えると、いわゆる高い 値の運転、高性能化試験の部分が前半に前倒しできるというのは非常になかなか難しいのかなとは思っております。そういう面で、最初の10年で次の発電実証プラントにいくためには、どうしてもそういう別途の形で高出力密度化の開発を並行して進めないと、早期に実現はできないだろうと思っております。

では、ITERの後半をどういうふうに位置づけるのかといいますと、もちろん先ほど高津委員の方からありましたように、これは藤家先生の考え方ともつながるのですが、そういう分散系であるということを利用して、できるだけ一つの装置の中で順次ステップアップしていくという考え方は、ある程度取り入れざるを得ないと思えます。そういう面で、ブランケットのシステムですとか、高性能定常運転のシナリオがどんどんでき上がっていけばいくほど、発電実証プラントの後半の、少し時間がたった時点でもいいフィードバックができるという面で、後半の部分は十分役に立つと考えております。

【大塚委員】 先ほど、建設期間の件で、このぐらいを目指してやらないといけないというのは、経済性を考えるとよくわかるのですが、発電実証プラントとしては、これが第1基目になりますよね。ですから、最終的に2050年ぐらいに商用化を図っていくというときには、それを目指しているいろいろなやらないといけないし、多分そういう段階になれば設備投資をして、いろいろな製造設備をつくったり人を雇ったりというのができると思えます。しかし、このITERをつくってから20年後ぐらいにまた一つつくるというぐらいの間隔でものをつくる場合には、設備投資とか技術者、技

能者の養成というのは、やはり連続してできるわけではないので、この時点で6年でつくるというのは厳しい。ITERが8年と今予定されていますが、ITERの8年というのは一国ではなくて、いろいろなところでパラでつくるわけですね。今回、日本だけでやらないといけないとすれば、生産能力というか製造能力の面から考えると、大変これは厳しいと思います。

【松田委員】 原型炉をつくるときに、必ずしも自分の国内で全部をつくる必要は全くないわけで、素材とか、例えばストランドなどは、世界的に調達すればいいわけです。それからもう一つは、今までいろいろな原子力関係の大きなプロジェクトをやってきたときに、発注のときから全てが始まるといいますが、いわゆる設計から始まって製作設計、それから製造というステップを経てきていると思います。しかし、だんだん技術が進歩してきていますから、ITERの建設と並行して、設計はもうやってあげばよいのです。そして、実際にキックするには、判断しないとけないキー・イシューについて、例えばITERで実現できたか、あるいはIFMIFで確認できたかというデシジョン・ポイントを踏まえてゴーがかかるというロジックであって、そこからすべての設計が始まるわけでは決してないわけだと思います。

それからもう一つ、先ほど来の議論でちょっと気になるのは、目標とする装置というのは、いまだ実現していないものを目指すわけですね。そのときに、前の段階としてどういうところまでいっていけばいいかというわけですね。当然、最終的なものは総合装置ですから、その総合装置を前もって総合的に実現するなどということは不可能なわけです。それをどういうコンポーネントに分けて、できるだけ同じ条件で実現して、確信を得ていくかという問題だと思います。例えば、桂井先生が先ほどおっしゃられた、DEMO炉になったらニュートロンのフラックスが何倍か高くなるので、そういう条件での工学的な問題提起をされましたけれども、そういう場合に、では設計上どこに影響が及ぶのか。そのニュートロンの及ぼす影響が、熱的、機械的な話であれば、シミュレーションはできるのだと思うのです。例えば、冷却水の温度をDEMO炉相当に高めておいて、そのときの動作を見ればいいわけですし、相当な部分は、今では設計のシミュレーションだってできるわけです。そのとき、なおかつ足りないのは何かと言ったときに、ニュートロンのフルエンスが随分違いますねということになります。これは決定的に違うわけで、そういう意味では素材としてのフルエンスというのは、別途IFMIFみたいな照射装置で十分確認しておきましょうという考えにブレークダウンされているのだと思います。

そういう視点から見ると、アメリカのCTFの計画というのは、どんどんブレークダウンしていったときに、なおかつCTFというような概念がどうしても必要かというような議論になると思うのですが、私はそうは思わないし、多くの日本の研究者は、それは必要ないと思っています。

【長崎委員】 早期実現化計画とは直接関係ないかもしれませんが、一つ教えていただきたいのですが、例えば日本でスタートしたときに、トリチウムを使いますという決断するのは、誰が、いつ、どういうときにするのかということをちょっと知っておきたいのです。なぜこんなことを言うかということ、再処理工場の場合、ウラン入れますかという大きな決断がもうそこに来ているのですけれども、電力会社がするのか、誰がするのか、私はよく知りません。おそらくトリチウムを入れますという決断が延びれば、当然、その後の計画も延びていく。これはどういうふうな考え方になっているのかというのを、参考までに伺いたいです。

【岸本委員】 実験計画は、今資料がないので何年後かははっきりわかりませんが、短い少量のトリチウム注入から始まって、だんだんパルスを伸ばしていくという予定になっています。誰がどう決断するかというのは、ディレクターが、遠隔保守のある程度の技術がやれると判断した時点で、理事会に提案して承認されれば、少量のトリチウムから始まるのだと思います。

【長崎委員】 そのときに、地元住民との関係とかいうのは関係ないのですか。

【岸本委員】 もちろん、誘致が決まった時点で、トリチウム使いますよ、DT実験やりますよというのは当然地元との約束の中に入るわけですが、いざやるというときは、やはり改めていついつからやることになりまますというの協議をしないといけないと思います。ただ、誘致が決まる前提として、4つの候補地があるわけですが、DT実験をやりますよというのは、当然、確認をされていますので、いやそんなのは聞いていないとかいう議論にはどこのサイトもならないと思います。

【井上委員】 わからないことにこれから挑戦するわけですから、必ずしも確信をもって言えることばかりではないと思うのですね。ITERのR&Dみたいに、予定どおりきちんといくようなこともあると思いますけども。

そういう意味では、この計画というのとは一番楽観的というか、一番早くできたときの話で、今長崎先生がおっしゃったように、何か予想できないような社会問題が生じるといことはあるかもしれません。もちろん、今議論されている定常運転とか、燃焼プラズマのコントロールに成功するかどうかなどの問題があるわけで、そういう意味では、うまくいかなかったときはどうするかということも、ここで議論しておかないといけない。フローチャートでもつくって、それを一緒に示さないと、これでいけば一番早くできるといっても問題だという話がすぐに出てくるのではないかと思います。

【藤原座長】 この「核融合実用化加速案の検討資料」は簡潔にまとめられているので、詳細なバックグラウンドがここには記載されていないと思うのですが、裏には、多分これを検討した中には、いろいろなものが含まれているはずで、要するにITERでいえば設計するとき、トカマクの炉心のデータベースがどこまでできているという物理と、それからもう一つは、例えば工学的に超電導やら材料の問題について、ずっとR&Dをした。それがどれくらいのタイムスケールでやらなければいけないものかというのは、ある程度詳細な検討がされて今の計画が煮詰まってきた。この発電実証プラントも同じように、ITERで得られた知識はどこまで使えるかということと、ITER以外に新たに必要になる工学的なR&Dは何をしなければいけないかということがずっと書かれていて、しかし、余り詳しいことが書いていないので、多分いろいろな不安を覚える面があるのではないかと思います。

それともう一つは、先ほど言ったように、高のシナリオが本当に可能かということところは、JT-60の改造計画で得ることになっている。その辺のところは、これを検討した人は頭に入っていると思うのだが、もうちょっと外の広いコミュニティーなり、もっと外の人がよくわかるというところまで、やっぱりブレークダウンしなければいけないのだと思います。そのようにして、このダイアグラムに書かれているようなロードマップでいくかということところは、コンセンサスを得ることが必要ではないかと思えます。

一応、先ほど言ったように、多くの委員は、この核融合コミュニティーとしては、

これが技術的にある程度可能な範囲にある、そういうものでつくったと考えているわけです。ただ、これをもう少し広い視点で見たときにどうですかというところは、もうちょっとこれから検討しなければいけないのだと思います。コミュニティーよりもちょっと外れた人たちが理解できる議論なり説明なりが、もうちょっと必要ではないかと思っています。

【菊池委員】 井上先生のおっしゃるとおりで、確かに石谷先生も、何と何と何ができたら次にいけるんだという判断基準を明確にしながらシナリオを書くべきだとおっしゃっています。例えば高 の出力密度を上げるといったって、幅としては3.5から5.5で非常に幅広くとってあるわけで、一番下しかいかなかったらどうするんだとか一番上までいったらどうするんだとか、そういう幾つかのケース分けがあって、この場合にはこういうふうにくんだという、ある程度の整理といえますか、デシジョンをメーキングしていくためのシナリオを、もう少しわかりやすく提示し説明するという必要はあるかなと思います。

【井上委員】 今菊池委員のおっしゃったことと同じことかもしれませんが、シナリオの検討というのは幾らでも早くできるわけですよ。ですから、それを実際に実行するかどうかをデシジョンするのは後になってもいいわけです。だからITER計画と一緒に、この発電実証プラント計画というのはすぐスタートするわけですよ。そういう考え方というのは重要ではないかなという気がします。この計画は無理かどうかというのはありますけれども、今から検討しておいて、幾つか選択肢を持っておいて、ITERがうまくいったらすぐやる。それからIFMIFがうまくいけば、すぐそこでデシジョンするという考え方でいいわけでしょう。

【大塚委員】 核融合コミュニティーの境界あたりに立っている者の立場からいいますと、素朴な疑問というか感覚としては、前の戦略検討分科会の計画からいうと五、六年早くなっているだけです。五、六年ぐらいを縮めるために、こういう計画をなぜつくらないといけないのかなというのが素朴な疑問としてあります。例えば、核融合で計画が1年、2年遅れるというのは、今まで何度もあったわけですね。ITERにしても、多分2年ぐらい前は、2002年に既に事業体が立ち上がって許認可手続が始まっている予定でした。もう既に、それは1年遅れています。また、例えばトカマク国内重点化装置は、来年から建設となっているのですが、この前、原子力委員会に出ていた文科省の来年度の概算要求方針みたいなものの中には、一言も重点化装置の話は書いていなかったの、来年度から建設ということは多分あり得ないだろうと思います。ということで、これも1年遅れますよね。となると、今ここで五、六年の話を議論しても余り意味がないのではないかという気もするのですが、その点はどうでしょうか。

【藤原座長】 そういう議論をすると、この委員会は一体何をする場なのかという話になります。要するに、日本の核融合は、かなりの金を使って、国民の税金を使って、積極的にエネルギー開発を考える。もちろん、その学術的な研究・基盤の広がりは大事です。でも、ある程度のエネルギー開発を目指すといったときに、それはいつのことかわからない、ぼやけた感じの話をいつまでするのかということがあります。だから、ある程度のシナリオを、一応の目安としてつくってみるというのは、ある意味で大事なのではないのでしょうか。

【大塚委員】 やるということであれば、発電実証が2033年という期限から逆算した、かなり詳しいエンジニアリング・スケジュールを立てることが必要です。企業の中ですと、それに合うように投資計画を立てて、人の手当とかをやるわけですが、それに近いことをやらないと、これだけタイトなスケジュールをクリアしていくことはなかなか難しいと思います。

【松田委員】 この委員会がスタートした一つの大きな理由というのは、最初に藤家先生が繰り返しおっしゃっておられますけれども、ITERがよいよ立ち上がるという時期になって、これまでかなり遅れてきましたけれども、ようやく決定して建設に入っていく。そういう状況を受けて核融合計画を見直すという趣旨だと思います。今まで遅れてきているから、余りこういう検討をやる意義がないというのは、そういう意味からいうと逆な話であって、むしろ計画を引っ張っていくのが原子力委員会なので、各委員にそれぞれイメージがあると思うのですが、核融合をやるとしたらどういうふうにやらないといけないかというのは、委員自身が意見を出されて、この委員会が作り上げていかないといけないのではないですか。

【大塚委員】 遅れているから計画を立てても意味がないと言っているわけではなくて、従来、戦略検討分科会で議論されて、これより五、六年先ぐらい、2040年弱ぐらいに発電実証するという計画が立てられているわけですね。あれもかなり厳しい計画だと思うのですが、それに対して五、六年早めるという計画を今ここで立てるとというのがちょっとよくわからないということです。

というのは、一、二年遅れるというのはもう既にあって、ITER計画も1年くらい遅れていますね。そういう状況にある中で、五、六年というスパンを早くすることによってどういう意味があるのかということです。だから、2040年ぐらいにつくるというのがおかしいとか、そういうことを言っているわけではありません。

【松田委員】 ここで検討された加速案というのは、例えばグリッドに投入する時期というのが絶対的な期限ではないのです。最速でやろうとしたときに、技術的にどれぐらいが可能でしょうかというクエスチョンなのです。

当然、予算がつかなかったらその分遅れるのは当たり前です。けれども、例えばある期間ある投資をして、そこで期待される成果が得られるとすると、その次のステップがこうなって、いついつまでには実現できそうですねというプランをつくるというのが非常に重要なのだと思います。どういう研究の要素があって、それにはどれぐらいの期間とどれぐらいの投資が必要で、何がわかれば次のステップがキープできるかという議論が一番大事で、少なくともそれを技術的にはっきりさせておくことが非常に大事ではないかと思います。

報告書として一般の人に向かって書くときに、それをどういうわかりやすい書き方にするかというのは、次の段階の話だと思うのですね。

【大塚委員】 要するに、早くやろうと思えば2033年に発電実証することはできますよと書くということであって、それが予算の関係とかいろいろな諸条件で、例えば2038年になる可能性ももちろんありますという感じですか。

会社の中で何か製品開発とかをやる場合は、とにかくいつまでにやるというのをびしりと決めて、それに対して逆算していったその計画を立てるわけですね。それをいつまでにやるというのをずらすというのは、ほとんどあり得ないですね。だから、ちょっと考え方が違うということですね。

【菊池委員】 大塚委員は多分、戦略検討分科会の報告書を書くときの経緯をご存じないと思うのですが、あそこには書いてある、35年ぐらいでこれより五、六年ほど長いロードマップは、あくまで例として書いたのですね。なぜ例として書いたかという、これだと決めつけているわけではないということです。なかなかあの時点でスケジュール・オリエントなものを、これですという形では書けなかったというのがあります。それがまず一つなのですが、もう一つは、それを早期実現するために、どういうものが非常に重要なのかという議論が、余り踏み込んだ形でされていないのです。ところが今回、原子力委員会の加速案の作業会の中では、何と何が必要なのか、そこそこ絞ったということがあって議論をしたのですね。もちろん大塚委員がおっしゃるように、四、五年というのは大した意味がないでしょうという意見もあるのはそのとおりなのですが、むしろそれよりも、何と何が必要かということを確認に議論するのが大事です。例ではなくて、スケジュール・オリエントにちゃんと議論をすることが今回非常に重要なのだと思っています。

【藤原座長】 この委員会としては、このことについて、なにもカレンダー・イヤーで何年何月にどうだという話をするのが大事なことでなく、核融合の開発計画として、どんなふうな段階でどんなふうを考えていきますかというイメージをある程度はっきりさせるのが大事です。今までの平成4年につくったものや、当然、戦略検討分科会での報告書等で検討されたものをベースにするのですが、それを技術的ないろいろな蓄積をもってリバイスできるものかどうかを、よくご議論いただいてまとめられればと思っています。必ずしも、何年何月何日にというような表をつくれということをお願いしているわけではありません。

【松田委員】 もう一言付け加えさせていただきますと、一方では、外の社会からは、できるだけ早く核融合を実現してくれよと言われているのも確かだと思うのですね。そういうものを受けて、この会議はどうするかという話だと思います。

【藤原座長】 これは先ほど言ったように、どういうプロセスでどういうステップでやるのか、判断基準や評価、どこまでいったらどういうふうにするかというのを、もう少しブレイクダウンして、わかりやすい資料をつくる必要がありますね。

大塚委員のおっしゃるように、これを見ていると、普通の人には、「えっ、こんなタイムスケジュールでやれるの?」というふうにとらわれてしまいますから、どういうところで判断基準は何で、どこへいったらどうなりますと書いておく必要がありますね。

7) 報告書案の構成及び執筆分担について、資料検第7-3-1号及び第7-3-2号に基づき、藤原座長より説明がなされた。

8) 本件に関し、以下の質疑応答があった。

【三間委員】 第3章の執筆担当について、今座長のおっしゃったように、まず材料を出すということで、ここに挙げられている方々がIFEについて十分な認識は持っていると思いますが、最新情報を提供するという意味で、畦地委員を加えたらどうかと思いますが、いかがでしょうか。

【藤原座長】 大事な指摘だと思いますので、是非、お願いをしたいと思います。
第3章に畦地委員を追加ですね。

【畦地委員】 ちょっと確認したいのですが、その3章と4章の関係ですけれども、
3章が基本的な進め方ということで思想を述べるのですね。

【藤原座長】 基本方針です。

【畦地委員】 それで、4章がその具体的な計画ですね。わかりました。
それでは、よろこんでさせていただきます。

それからもう1点ですが、これは前回、三間委員が指摘されていたことですがけれども、3.2の「各種閉じ込め」というのは、多岐路線から重点化へのパラダイム・シフトの後の現段階で使うべき言葉ではないということが言われていたと思うのですけれども、それがまだ残っているのは、やはり修正する必要があるのではないかと思います。それで提案ですが、「重点化計画と新たな挑戦の位置づけ」としたらどうでしょうか。

【藤原座長】 「各種閉じ込め」と言わなくて大丈夫ですか。重点化計画でいいですか。

【畦地委員】 いいと思います。

【藤原座長】 ヘリカル、レーザー、トカマク以外の研究、それから大学の基盤的な研究はどこかで載せるところがありますか。

【畦地委員】 それは、新たな可能性の挑戦の中に入るので大丈夫です。

【藤原座長】 新たな挑戦で全部カバーできますか。

【畦地委員】 できるのではないのでしょうか。

【菊池委員】 確かに、そのワーキンググループの報告を重視するという観点では、そういうタイトルもあり得ると思うのですけれども、この報告書自身がどちらかというとパブリックに向かったものだと思うと、重点化方式と言われても、多分何を言われているのかわからないと思うのですね。総合科学技術会議で言われている「各種閉じ込め方式にも配慮しなさい」ということの方が、どちらかというわかりやすいかなという気はします。それだけがちょっと気になります。

【藤原座長】 そこは、私の方でもう少し考えさせてもらえますか。私は、大学の講座単位の研究は非常に大事だと思いますので。

【菊池委員】 担当で少し議論させてもらってよろしいでしょうか。

【藤原座長】 ええ、それはお願いをしたいと思います。

【小川委員】 タイトルは、全体を見てからもう一度決めるということでもいいのでは

ないでしょうか。

【寺井委員】 最終的なアウトプットの形態ですけれども、前の第3段階の資料が今日たしか出ておりますが、もちろんページ数その他は、あるいは内容については、ブラッシュアップといいますか新しいものになると思うのですが、基本的に、各章の全体における位置づけというのは、第3段階のときの資料（核融合研究開発の推進について）と同じような感じと理解してよろしいでしょうか。

【藤原座長】 以前、もっと細かい構成をお渡ししたことがあったと思うのですが、あれをごらんになると、大体これに近いものとなっています。

【岡野委員】 細かな題名はもうこれでいいと思うのですが、この内容の大事なところで、IFEにしてもヘリカルにしても、それをいつどうやってエネルギー開発に位置づけるかというのを議論するんだということは明白にしておいていただければと思います。議論しないのだったらしょうがないですけれども。

【藤原座長】 いえいえ、議論もしますよ。

【岡野委員】 するのですよね。戦略検討分科会のときの報告書の前半の部分は、あれはトカマクでやった。原子力委員会の早期実現に関する12月5日の検討資料も、あれはトカマクですよね。だから今回は、もちろん今の段階ではトカマクでなくてはしょうがないのですけれども、どの時点で何を決心するかは、やっぱりトカマク側だけから見ないようにする必要があります。先ほどの報告で、唯一、アメリカがいいことを言ったなと思うのは、2019年にどちらかを捨てると言っている部分です。それが正しいかどうかは知らないですけれども、それぐらいのことを書かないといけないのではないかと思います。やめなくてもいいと思うのですけれども、チョイスをする時点をきちんと書くというのは大事ではないかと思います。そのときの根拠とチョイスですね。チョイスというのは、二股に分かれた両方のシナリオとかですね。あるいは両方並列でいくなら、そのシナリオとかですね。そういったものは議論しておかないといけないのではないかなと思います。

【藤原座長】 ええ、そのことは一遍議論しなければいけないと思っています。アメリカは、私がかねがね思っているのは、要するに一時期、非常にエネルギー開発としてすべてを全部切り捨ててトカマクに絞ったわけです。だけれどもその前は、マルチパスでずっとやってきているのですね。それでトカマクに絞って、今度はサイエンスプログラムでやろうとって、またいろいろなことを全部取り込んでいる。それをまたいつの時点かでまた絞るという計画です。

別に私はアメリカの計画を踏襲する必要はないと思うので、日本は日本の考え方で計画を立てるのが大事です。少なくとも前に議論したときには、要するにセレクションをするのもあるのしょうけれども、セレクションしたらもうそれはやめるというのが正しい道かどうかはわからないわけです。

【岡野委員】 私はそれを言いたいのですけれども、アメリカの2019年にどちらかをやめるというのはおかしな話だと思っているので、そういうのをきちんと書けるようにしておいた方がいいと思います。

【菊池委員】 幾つか残された問題点みたいなものがございますよね。現時点で重要な視点として、一つは、前回、藤家委員長がおっしゃったITERの有効活用の問題があったと思います。それと、このQ & Aの中でオープンになっている一つの重要な問題としては、核融合がなくても550ppmにできるのではないかという質問ですけれども、再生可能エネルギー等について、例えば森田委員の方から少し話をさせていただくということも考えていただいた方がよろしいのかなという気はいたしております。やはり、再生可能エネルギーのポテンシャルと不確実性をよく認識しないと、我々が核融合を進める上でのシナリオは不明確になってくるのではないのでしょうか。

【松田委員】 それに関連して、特にITER計画懇談会の下の方委員会で議論されたのですけれども、環境エネルギー関係のその後の進展を踏まえて、もう一回、森田先生の方からお話をさせていただいた方がいいと思います。

【菊池委員】 言い忘れましたが、先ほどのレーザーとヘリカルの問題について、どこかでもう少し議論する必要があるかと思っております。

【藤原座長】 ヘリカル、レーザーのリアクターまでのある程度の展望というのは、最初、畦地委員が進捗状況を話してくれた際、それを含めて、ある程度まで話をしましたのですが、やはり、もう一度しなければいけないと思っております。

【畦地委員】 今回の菊池委員のお話に関連して、私は2年ほど前からこういう委員会に出るようになったのですが、その中で、トカマクの研究者の方々から学んだ非常に重要な点の一つあって、それは、核融合炉へいかに近づくかということで諸事に対応しているという点です。それは本当にリスペクトしたい点なのです。

過去を振り返ると、JT-60をやり始めた段階で実験炉の検討を始め、それに必要ないろいろな技術、特に超電導技術などを開発されてきた。その視点からレーザー、ヘリカルを見ると、ヘリカルについては私は専門ではないので後で補足していただきたいのですが、今私たちが始めようとしているFIREXというのは、JT-60に対応していますが、点火燃焼を起こすという意味ではJT-60を超え、連続運転ではないということではITERよりも下である。そういう新しいプロジェクトを始めようとしているときに、当然のことながら、レーザー核融合の実験炉の検討を同時に始めていく必要があると思っております。

すなわち炉心プラズマだけではなくて、炉用レーザーの開発と炉工学の確立、その3点セットを進めていく必要があるということが学んだ点なのです。

そういう視点からすると、先ほどから座長がおっしゃられている炉心プラズマだけを切り離して、大学として学術としてやっていき、10年後にチェック・アンド・レビューをしましょうというのは、どう考えても片手落ちで、せっかくトカマクが主で、レーザー、ヘリカルが従でとやっていることが、複数のものを見るように見えていながら、実は炉へのパスが切れてしまっていると思わざるを得ません。

10年後にチェック・アンド・レビューがなされた後、ポジティブな裁定が出たら直ちに開発に着手できるよう検討を進めておく必要があるのではないかと思います。

それで結論ですけれども、重点化されたレーザー、ヘリカルも当然含まれると思っておりますけれども、それについては、少なくとも実験炉を戦略図の中に書くことが必要ではないかと思います。それが第1点です。それからもう一つは、先ほど申し上げた炉心プラズマ、繰り返しレーザー、炉設計について、どのように検討していくかを考え

る委員会をどこかでオーソライズしてスタートする必要があるのではないか。その2点について、ご検討いただければと思っています。

【藤原座長】 私は、レーザーやヘリカルについて、炉心のプラズマの研究だけしていればいいというふうには一度も言っていません。要するに、炉への非常に大きなブレイクスルーを生む研究が今の現段階であるということです。そういう意味で、小川先生が前に説明された核融合ワーキンググループのカテゴリー2に対応するという意味だと思っています。学術研究で将来社会の役に立つ。社会の役に立つというのは、すなわち、エネルギーだということです。

だからそういう意味で申し上げているので、ただそれが、どこかでデシジョン・ポイントをつくって何とかかんとかというようなやり方もあれば、そうではなくて、ブレイクスルーを生んだらそれはそれで次のステップアップでやっていけるというやり方もあります。どこかでデシジョン・ポイントをつくって、どれとどれを比較してどっちかをやめるといような話のやり方が、必ずしもいいと私は思っているわけではありません。いずれにしても、その辺の議論をちゃんとするのが大事なかなと思います。

以上