

核融合研究開発基本問題検討会（第2回） 議事録

1. 日 時 平成15年7月1日（火）15：30～17：30
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
〔原子力委員〕 藤家委員長、遠藤部会長
〔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、
可児吉男、菊池満、寺井隆幸、長崎晋也、藤原正巳（座長）（以上、敬称略）
〔核融合専門部会技術WG構成員〕
伊藤早苗、桂井誠、岸本浩、松田慎三郎、三間囃興（以上、敬称略）
〔内閣府〕 永松審議官、榊原参事官、川口補佐

4. 議 題：
（1）核融合研究開発の現状について
（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2-1-1号 トカマク型装置による炉心プラズマ研究開発の進捗
資料検第2-1-2号 ヘリカル系プラズマの研究
資料検第2-1-3号 レーザー核融合エネルギー開発について
資料検第2-1-4号 トカマク・ヘリカル・レーザー以外の核融合研究の概要
資料検第2-2-1号 欧米の核融合実用化加速計画について
資料検第2-3-1号 報告書案の詳細構成（案）
資料検第2-3-2号 核融合研究開発基本問題検討会（第1回）議事録

6. 議事内容

- 1) 開会にあたって、つぎの質疑応答があった。

【大塚委員】 前回、検討課題の件でお聞きしたかったのですが、時間がオーバーしたため、聞きそびれてしまったので、今、お聞きしたい。

2つありまして、1つは、第三段階の計画を見直すということがこの検討会の主要な仕事なのかということです。去年、12月の第5回の専門部会の議事録を見ますと、藤家委員長が「第三段階計画は破綻を来たしているの見直してほしい。」というようなことを言われておられます。前回配付された資料「検討すべき課題について」を見ますと、「第三段階計画を見直します」という話は明記されていなかったのですが、そこをどう理解したらいいのでしょうか。

2つ目は、「検討すべき課題について」に、エネルギー・環境問題解決への核融合の役割はどうあるべきとか、原子力政策において研究開発をどう位置付けるかというようなことが書かれていますが、2年前、ITER計画懇談会で報告書がいろいろ分科会も含めて出ておりますし、3年前に長期計画も出ていて、そういうことがかなり記述されているように思います。ですから、それは、この二年くらいの年月が経っていて、周りの環境とかも変わっておりますから、そこら辺を評価して、見直すことがあれば見直しなさいというふうに理解してよろしいのでしょうか。

【藤原座長】 この検討会は、もともと核融合専門部会の方からチャージを受けておりますので、玉野先生から回答をお願いします。

【玉野参与】 第三段階のことでございますけれども、これは別に議論として第三段階がうまくいかなかったという話ではございません。１０年ほど経っているということと、第三段階の報告書（「核融合研究開発の推進について」）の中にも適時チェック・アンド・レビューをするように書いてあることから、まずはチェックをして、見直した方がいい点があれば見直しましょうということで、今、検討をお願いしています。

第２の問題に関しましては、おっしゃられたように環境に対する社会認識というのがどんどん変わってきておりますので、そういうことを踏まえて核融合の位置づけというものをもう少し深めて議論をお願いしたいということです。

【大塚委員】 ２番目の問題について、もし以前の検討結果を見直すということであれば、以前と同じような枠組みの委員会ですらなくてもいいのですか。

私もそうなのですが、この検討会は核融合の分野の方が多いように思います。以前は必ずしもそうではなくて、核融合の方は余りいなくて、例えば環境の方とか文科系の方とかも含めた中で審議されたように思います。今回は、かなり核融合の専門家の方が多いですが、そのような状況で議論してもいいのでしょうか。それは、私自身がそういう任に耐えられるのかという心配の面もあるのですけれども。

【玉野参与】 そういう点で、前にいろいろな議論をしていただいておりますので、まずはそういうことをよくご存じの方々ということで、例えば、今日のご欠席ですが、森田先生にお入りいただいて、まずはどういう状況であるかということをご説明いただきます。さらに、必要に応じて適当な方に来ていただいてお話を伺うということを考えております。

２）第三段階核融合研究開発基本計画における炉心プラズマ研究開発（トカマク方式）の進捗状況について、資料検第２－１－１号に基づき、菊池委員より説明がなされた。

３）本件に関し、以下の質疑応答があった。

【玉野参与】 非常に短時間にご報告をいただいたので、難しかったとは思っておりますけれども、やはりもう少し明確にさせていただいた方がいいと思うことがあります。平成４年の報告書以後、どういう進歩があったのか、あるいは何が問題点であるのかということが少し明確になった方がいいと思う。

例えば、「核融合研究開発の推進について」の１０ページのところに電流駆動のことが書いてございますけれども、そこに、既に８０％の自発電流でということが書いてあります。今日いただいたこの資料を見ますと、８割の定常方式が実証されたと書いてありますので、これをぱっと見ますと、「何だ、同じじゃないか。」という感じを受けます。その辺を少し、どういうところが進歩しているかということが明確になるような形でご報告いただけるといいのではないかと思います。

【菊池委員】 それは、負磁気シアではない状態で８割のブートストラップ電流が得られたということです。平成４年の時点では残り２０％のプラズマ電流が全く誘導駆動で、非誘導の電流駆動ではなかった。それに対し、今日の資料の図９の「自発電流割合が８割の定常運転方式」というのは、初めて１００％非誘導の形で駆動したプラズマを高性能に保持したという実験結果です。

【玉野参与】 それは、非常によく私にはわかるのですけれども、やはり外へ出すメッセージとしては、そういう負磁気シアプラズマでということが、今後、どうつながってくるのかということがわかるようなメッセージが出てきた方がいいのではないかというコメントです。

【菊池委員】 申し訳ございません。10分ということですので、なかなか十分な説明ができませんでした。

進歩については、「第三段階基本計画策定後のJT-60パラメータ進捗」(図2)を見ていただければ、これはJT-60の例ですけれども、第三段階策定後、いかにすばらしいスピードでトカマクの研究を進めたかというのはご理解できるかと思います。

【伊藤委員】 今の話で、トカマクのみならず全体的に言えることなのですから、玉野参与の質問をもう一遍、我々に問い直してみると、例えば、炉になったとき、どういうところにその結果がどのくらい反映され、どれだけ確実性が増したとか、説得力がでるのかというようなメッセージがうまくつくれば、もう少しわかりやすいのだと思います。

例えば、今の電流駆動、いわゆるブートストラップ電流が何%というのは、ある一つのものとしては循環パワーの低減につながるものになると思うのです。こうなったときに循環パワーは何割減るというメッセージになれば、もう少しわかりやすい言葉になるのではないのでしょうか。だから、以前80%だったというのと、今度新しい結果を出したというときに、コントロールパワーもあると思いますけれども、何かメッセージでも、わかりやすい比みたいなもので答えられるとすれば、非常にインパクトがあると思います。

もう一度、そこら辺のところを頭をひねっていただければ、私も何か考えられればと思います。

【菊池委員】 そうですね。そういう意味では、ベータの問題もそうですね。磁場のエネルギーでどれだけ助かるか、安くなるかという話が出てくるのですね。

【伊藤委員】 だから、施設費というか、全体のつくる値段というのと循環パワー比というのと、そういうわかりやすいパッケージが必要。

【菊池委員】 そうですね。現状では、わりと専門的に書き過ぎているということはあるかと思います。

【伊藤委員】 どういうインパクトがあるかというふうに、それも割合で言っていくとすごく強いと思うのです。

【菊池委員】 おっしゃるとおりです。

【桂井委員】 いろいろな高閉じ込めモードが出てきましたけれども、実際、中性子放出が本当によくなっているのかというと、なかなかはっきりした回答は返ってきてないような気がします。

それだけで比較すれば、昔の高pモードの方がよかったでするので、確かに電流ホールはいいみたいですけれども、本当にパフォーマンスが炉に適應するように上っているのかというのは、やはり中性子出力で考えるべきだと思うので、その辺のデータも出していただきたいと思う。

【菊池委員】 基本的に、温度を5億度のオーダーまで上げれば、中性子というのはD-D反応でたくさん出ることは言うまでもなくて、温度を高くするという面で高pHモー

ドというのが非常に高くなるというのは事実ですので、D-D反応による中性子で比較したら、そちらの方がよかったのではないかという意見は確かにあると思います。

しかしながら、実際はD-Tでやりますので、こういう20 keVから45 keVまでの領域では、特にそんなに低いからといってD-T反応による核融合の出力が出ないわけではない。圧力の二乗にほぼ比例して出力が出ますので、その領域で高い圧力が得られれば、炉としては非常に魅力的なものになると考えております。

4) 第三段階核融合研究開発基本計画における炉心プラズマ研究開発(ヘリカル方式)の進捗状況について、資料検第2-1-2号に基づき、居田委員より説明がなされた。

5) 本件に関し、以下の質疑応答があった。

【三間委員】 ELM y Hモードと同じ程度の閉じ込め性能まで確認したということで、大変いい成果が上がっていると思います。それは大いに主張すればよろしいと思うのですが、もともとヘリカル方式で今のLHDをつくるときにどういう議論がされたかという、要するに無電流トラス系のプラズマの物理・学理を明らかにするというのが課題というか主テーマの1つとして上がっていたと思います。

そういう観点から見て、トカマクというトラスとヘリカルというトラスと比較をすると、学術というか学問として何か新しい発見があったのか、明確になったのかということをお聞きしたい。

やはりどちらもトラスですから、トカマクに対して、このヘリカルの研究をどう展開していくかという位置づけをする上でも、その辺のことははっきりさせる必要があると思います。今のご報告で話があったのかもしれないのですけれども、私自身が素人でうまく理解できなかったものですから、もう少しわかりやすく説明をしていただければと思います。

【居田委員】 おっしゃるとおり、もともと核融合科学研究所を設立した経緯の中でトロイダルプラズマの総合的理解というのが大きな目標の一つになっています。それを閉じ込め研究の進展の寄与というところでご説明したつもりでしたが、時間も限られており非常に簡単に通り過ぎてしまったのでそういう印象を与えてしまったのだと思います。

得られた知見の中で一番大きいものとしましては、電場と乱流輸送に関する研究があげられます。ヘリカルの装置というのは、ヘリカルリップルがあるがゆえに電場を制御できるという特徴があり、電場をコントロールすることによって、電場の乱流輸送に与える影響について研究を進めることができます。

もちろんトカマクの場合でも、電場ができて乱流輸送が抑えられるわけですが、その現象が自律的に起こってしまいます。トカマクでは電場だけをコントロールするというのが難しいけれども、ヘリカル系では電場をコントロールして研究ができるので、ヘリカルの研究からの大きな貢献の1つとして電場の乱流輸送に与える影響に関する研究成果をあげることができると思っています。

【菊池委員】 資料3ページのトカマクとヘリカルの定常維持の比較のところですが、確かにトカマクの数秒ぐらいより短いところは、過渡的な放電も含まれていますのでそれは正しいのですが、100秒のところまで過渡的だから性能が下がっているわけではなくて、超電導システムではないがゆえに、銅コイルのために通電量の制限から磁場とプラズマ電流を下げざるを得なかったということから来ていることがほとんどです。

また、Tore Supraと比較されていますが、これはリミターのマシーンで、閉じ込めが高性能ではありませんので、比較対象としてはなかなか難しいかと思います。

【藤原座長】 よく注意して書かないと誤解を生む絵です。

【居田委員】 いや、過渡的だから100秒のところまで性能が下がっているという意味ではないのです。全体的な傾向として下がっているという事を示しただけです。よい閉じ込めというのが比較的過渡的なプラズマで得られていることが多いということで申し上げただけで、過渡的であるから100秒のところで性能が下がっていると言ったわけではありません。

【菊池委員】 この線を引いてこういう表現だと、ほとんどの人はそういう理解をすると思うので、居田先生はそういう理解をしておられないと思いますけれども、単に注意ということで申し上げました。

【居田委員】 円形トカマクのTore Supraと比較した理由は、Tore SupraがLHDと同サイズということです。あともう一つの理由は、LHDは確かに非円形は非円形なのですが、それはトロイダル方向にすすむにつれ非円形断面が回っているので、トロイダル方向に全部積分してしまいますと、ある意味では円形に近い。例えばトカマクでも、形状制御、すなわち三角度をつけるとか、非円形度をつけるとか、円形トカマクからもっとアドバンスな方に研究が進んで、プラズマの閉じ込めが改善されてきたと思いますが、ヘリカルはまだそういったところまで研究が進んでいる段階ではありません。

LHDの配位の研究というのは円形トカマクの研究と同じ段階で、まだ形状における最適化が完全には終わっていない配位での研究です。逆に言いますと、ヘリカル装置は断面制御によって性能が上がる余地がまだまだあると考えております。

【大塚委員】 最後のページで、今後の展望のところにモジュラーの絵が載っているのですけれども、装置をつくる立場から見ますと、この絵を見ますと呆然とするのですが、将来の炉のコンセプトでも、現状では、やはりこういうコイルになるという感じなのでしょうか。

【居田委員】 先ほどもちょっと申しましたが、炉のコンセプトになる、ならないという理由からコイルを決めているというよりは、最適の閉じ込め磁場を作るコイルをどのように実現するかといった点から決めています。ですから、最適の磁場でどのようなプラズマができるのかを研究しようとしていますので、そのコイル設計において、このまま炉になるかならないかという視点はまだ入っていないのではないかと考えております。

ですから、この複雑なコイルは、良好な閉じ込めがスタート点になって、それを実現するための最適磁場から選ばれた形であると考えております。

【大塚委員】 ということは、実際の炉をつくる場合にかなり複雑なので大変なのですが、炉の場合は、炉になるとしたらこういうコイル配置ではないものを考えるということなのでしょうか。

【居田委員】 それはまだ結論を出せるところまで研究が進んでいないのではないかと思います。すなわち、いまはプラズマを閉じ込める磁場として最適なものをまず研究しようという段階だと思います。

そこでまずプラズマの性能を見きわめようとしています。もちろん炉を作る場合にはコイル制約により最適なところからずれて、性能として落ちるわけですが、まずは最適のところをつくって研究しましょうという考えです。

【大塚委員】 わかりました。どうもありがとうございました。

【藤原座長】 W 7 X はリアクター設計になっているでしょう。それはこのモジュラ - のコイルのシステムを使っているのですよね。

Heliotron - J というのは、コンフィギュレーションとしては W 7 X の基礎研究で連続巻線を使ってやるということですよ。

【居田委員】 そうです。設計思想としてはそうですね。図の中で線がちょっと別に書いてありますのは、研究しているグループが異なるという意味合いもあって、線が別に書いてあります。この線は、研究グループと研究の路線というのが少しミックスして書いた絵になっているので、研究の路線としては、藤原先生のおっしゃるとおりです。

【藤原座長】 この絵を見れば、要するに一番上の L H D や C H S というのは連続巻線のスタンダードヘリカル磁場。W 7 X というのはモジュラーコイルで最適化。その次は軸対称に近いもので、その下はポロイダル対称に近い。

要するにコンフィギュレーション・スタディをこの絵にしているのですから、Heliotron - J というのは W 7 X と同じカテゴリーに属する。

【今川委員】 今、大塚委員の方からリアクターの話がありましたので、工学研究者として、ちょっと回答にはならないかもしれませんが、コメントさせていただきます。ヘリカル系のこの最後の図を見たときに、やはり連続巻ヘリカルとモジュラータイプとではリアクターデザインは大きく異なってくると思われま。

ヘリカル系のリアクターデザインは、完成度がまだ足りないという批判を受けているものですが、このモジュラータイプについても設計例はありますし、連続巻、すなわち L H D タイプのものについても設計例はあるというレベルです。現在、連続巻ヘリカルの L H D のタイプのものについては、鋭意、リアクターデザインを、できるだけ製作をイメージしたレベルまで上げようという活動を続けております。モジュラータイプのものについては、ドイツが今 W 7 X の建設に合わせて、設計活動を続けているということを申し上げておきたいと思ひます。

6) 第三段階核融合研究開発基本計画における炉心プラズマ研究開発(レーザー方式)の進捗状況について、資料検第2 - 1 - 3号に基づき、畦地委員より説明がなされた。

7) 本件に関し、以下の質疑応答があった。

【玉野参与】 今日は、第 1 回目の検討なので、質問に対し、お答えが既にあればお答えいただきますし、なければこの検討会のうちにお答えいただきたいと思います。1 つは、アメリカも高速点火がうまくいけば非常にいいということは認めてきているようなのですが、なおかつ本来の N I F の計画を進めている。アメリカというのは、元来、何かいいものがあると、それへぱっと切りかえをするようなことをやる国なのですけれども、なぜ本来の方式をずっと進めようとしているのかというのが 1 つ目です。

もう一つの質問は、これは今の質問とは全く違う質問です。高速自己点火があれば、核融合にはいろいろと非常に有利なことが起こるということはかなり前から言われておりますが、それがなぜレーザー方式では可能で、磁場方式では可能でないのか。あるいは、可能なだけでも、磁場方式の人が怠慢でそういうことを考えていないのかどうかということです。

どうしてレーザーならできるのかということをお答えいただけると、非常に物事がはっきりしてくると思ひます。

【畦地委員】 まず、最初のことだけ答えたいと思います。米国はなぜまだ中心点火から高速点火に切りかえないのか。理由は2つあると思います。

1つは、米国といえども3,000億円を超えるような大きな計画の慣性は非常に大きい。それに対して、現場の研究者はどのように高速点火を取り入れようとしているかといいますと、高速点火のビームを計測用として申請をして、それで同じようなことができるようにしようとしています。それが第1です。

それから、第2の理由は、これは前回、菊池委員がご指摘になりましたが、米国においては歴史的に、レーザー核融合はデュアルパーパスで、つまりディフェンスとエネルギーと、それからベーシックサイエンスの三本柱を目的にしてやってきたわけです。高速点火は、ディフェンスとは全く関係ないものですから、それに対するスポンサーへの説明責任がとりにくい。その2点があると思います。

それから、2つ目。すみません、ちょっと私、質問を完全に理解していないのではないかと恐れておりますので、もう一度お願いできますでしょうか。

【玉野参与】 繰り返しになりますけれども、レーザー方式でもって高速点火ということが可能かもしれないということを実証されてきているわけですが、同じようなことが磁場方式のプラズマでも可能ではないのか。もし可能でないとすると、なぜレーザー方式ではそれが可能で磁場方式では可能でないのか。

その辺のところを明らかにすると、レーザー方式で高速点火をやる理由づけが非常に強くなると思います。これは、レーザーの方だけではなく、磁場の方への質問にもなるかと思うのですが。

【菊池委員】 これは、計画推進小委員会で高速点火をやるかやらないかの議論をしたときに、三間先生と議論したことがあります。磁場核融合というのは追加熱というのをやっている。プラズマ中心に非常にエネルギーを入れて温めている。だから、5億度にもなるわけです。それに対して、レーザーというのはコンプレッションして自分で温めるということをやっていたのですけれども、そうではなくて、これからトカマクとかの磁場核融合と同じように、中心に集中的にレーザーを入れて温めるということをやりたいということです。

だから、むしろ私の認識では、磁場核融合がやっている追加熱という研究を、レーザー核融合でも始められたというふうに理解しています。

【伊藤委員】 今の「高速」という名前がついた理由は何なのですか。
a d i a b a t i c が関係するのでしょうか。

【畦地委員】 レーザー核融合では、燃料が自分の質量でもって、慣性でもって閉じこもっている間に加熱して燃焼させてしまう。そういう意味で、高速に加熱するという意味で高速点火でございます。

【菊池委員】 これは、前回の質問とも多少絡むのですけれども、やはり高速点火によって、レーザー核融合は随分大きな転換点を迎えようとしていると思います。

ただし、今回の目的というのが、第三段階の10年たった上でのチェック・アンド・レビューということでございますので、あえて言わせていただくのですが、第三段階計画書の中の32ページには、激光 号を増力して点火領域を目指すと書いてあって、この時点においてはいわゆる高速点火という概念は出ていなかった。むしろ、その後の進展を踏まえて、レーザー核融合については大きな方針の転換をしたのだということ。チェック・アンド・レビューですから、そこをまずおっしゃられるべきではないかと思います。

その上で、新たな方式として、非常に大きなブレイクスルーを目指したこういう計画を

進めているという言い方であればよろしいのではないか。

ただ、それは逆に言えば、平成4年の時点で、レーザー核融合の中心点火方式での展望について、必ずしも明確な展望が見えていなかった。それが、逆に大学の核融合研究においてヘリカルを重点に進めたということがその中で出てきたのかなと私自身は総括しているのですが、それでよろしいですか。

【畦地委員】 おっしゃるとおり、高速点火の概念というのは1992年に誕生したものです。ですから、第三段階計画策定以降の変化です。それでこれは原子力長計にも書かれていると思いますけれども、学術等の新しい変化に柔軟に対応して原子力開発を進めるべしという精神の流れに乗ったものだと思っております。

それから、第三段階を策定していた当時は中心点火でやろうとしていたのに対して、見通しが多少甘かったのではないかとのご指摘だと思いますが、それは中心点火の路線を進めているアメリカがあったわけですね。それに対して、中心点火を同じように進めるためには、相当大きな装置とお金と人が要するというので、我々としては高速点火の方に方針転換をした。それは菊池委員のおっしゃるとおりでございます。

【玉野参与】 先ほどの私の2番目の質問に戻るのですが、もし菊池委員のお答えが正解だとしますと、それならば磁場核融合の方がコンプレッションというアイデアを入れてくれば、同じことが可能になってくるのでしょうかという質問ができると思います。つまり、コンプレッションと中心加熱の組み合わせであれば、こういったスキームが可能になるのかどうか。

【三間委員】 先ほど、推進小委員会の中のレーザー核融合ワーキングの話が出てきたので、私の方から1つコメントします。磁場閉じ込めプラズマと慣性核融合プラズマというのは、核融合で燃える形態が決定的に違います。磁場閉じ込めプラズマがゆっくり燃えるのに対し、熱的不安定性を起こすような形で爆発的に燃えるのが慣性核融合、レーザー核融合でございます。

それに対して、瞬間的に加熱をしてその爆発的な燃焼をスタートさせるという概念は、慣性核融合固有の概念だと思っていて、そういう加熱という面からしたら、先ほど菊池委員が言ったようなとおりなのですけれども、その話と、それから爆発的に燃やす、熱的不安定性を起こすという話との違いと2つ重なっていますので、そう単純に物事は言い切れないと思います。

【藤原座長】 慣性核融合については、そういう研究の進歩で高速点火というコンセプトが出てきて、そういうことが本当に実験炉までつながっていくならば、これはかなりの進歩なんですよ。けれども、第三段階ではそういうふうに書いているのだから、一応、菊池委員の言ったようなことをきちんとするということが、まずファーストステップで大事ではないかと思います。

【松田委員】 慣性核融合と磁場核融合の一番大きな違いは、やはり工学システムとして見たときに、慣性核融合の場合は、非常に早い点火を繰り返すということです。それが工学的に成り立つかどうかというのは、非常に大きな問題だと思います。

この畦地さんのペーパーに、炉工学の検討、こっちもちゃんと技術を確認しないといけないと書かれていますので、多分その中に入っていると思うのですが、概念的な検討というのをもう少しやらないといけないのではないかと思います。

例えば、非常に早い繰り返しのパルスに対し、本当に壁がもつのかというのは非常に大きな問題点で、これは早いうちにやらないと、どんどんレーザーの開発それから点火の方の開発が進んでいった後の段階で、いや、なかなかそちらは難しかったというのでは、非

常に全体のバランスを欠くことになります。一方、繰り返しの早い熱パルスに耐え得るかどうかという話は、割合早く検討できるといいますか、実験を必ずしも伴わなくてもある程度のことはわかるわけで、そういうところの検討を、今のレーザーの検討を進めるのと並行してぜひやる必要があるのではないかと思います。そのレビューを早いうちにやらないと、進んでいってからはなかなか難しいと思います。

【畦地委員】 基本的には、おっしゃるとおりだと思います。それで、その検討の一部は、先ほど申しました苫米地委員会の方で進めておりまして、その中で1つだけはっきりしたことは、これは原研の小西さんとか小川先生、岡野さんらとの議論である程度ははっきりしてきたことですけれども、レーザー核融合の壁負荷と磁場核融合のダイバータでの負荷というのは、オーダーとしてよく似ているのです。違いは、磁場核融合では、ダイバータはいろいろ取りかえたりということが出来ますけれども、レーザーの炉というのはなかなか難しいということで、議論してわかったのは、レーザーの場合には主な熱負荷というのはアルファ粒子とか高エネルギーのイオンとか、比較的最小な足が長いといいますが、吸収されてもボリュームとしては非常に大きいところで吸収される。それに対して、先ほど申し上げた磁場での熱負荷というのは相当エネルギーの低いところで、表面で吸収される場合が多いという違いが明らかになってきましたので、引き続きそこについては検討を続けたいと思っております。

【松田委員】 そこに、多分誤解があると思うのですが、磁場と同じぐらいというのは時間をかなりとった場合の平均です。ところがレーザー反応の場合の熱負荷というのは、物すごくシャープなのです。そのシャープなピークの熱負荷で比べたら、桁は何桁か違うと思います。

何msとか、かなり時間幅をとった場合には平均として同じぐらいの熱負荷になると思いますが、それはどちらも同じぐらいの熱をとるのだから当たり前といえば当たり前なのですけれども、そうではなくて、問題はそのシャープな熱負荷なのです。熱負荷が非常にシャープなときに、ではどれぐらい熱は奥行きまで入り込んで、そのために熱応力がどれぐらい生じるのかという話だから、これは平均する前の話になるなのです。

【藤原座長】 いずれにしても、炉システムとか安全性、それから炉工学というところで、慣性核融合は非常に磁場核融合と異質な部分があるので、それはまた追ってお話を簡潔にさせていただくということで、そのときにまたご議論いただきたい。松田委員、それでよろしいでしょうか。

【松田委員】 はい。

【菊池委員】 実験炉とか原型炉の話までかなりこれは飛んでしまっているので、とりあえず現状の第三段階、平成4年度からのレーザー核融合の進展ということに絞ってちょっとお伺いしたい。

9ページのローソン図もしくは第三段階計画書の32ページの図でいって、ここのコーンターゲットと書いてある星のデータが現在最新のデータであるということですね。そうしますと、その値というのは、十数年前の激光 号のダイレクトドライブでのパラメータと、基本的にはそれに比べて余り進展はないという理解でよろしいですか。

それに対して、FIREX- というのがほぼ認められた格好になっておりますので、いわゆるこの点火領域にいくのは、今後何年ぐらいのタイムスケールでいくのかということをお伺いしたい。

【畦地委員】 9ページの星の絵の問題は、初期はどこだったのかということが重要で、

初期はこのベルトで書いた左端のぎりぎりあたりですね。ですから、300 eVの燃料の温度が外部加熱によって1 keVまで加熱された。

ですから、重要な点は2つあって、高速点火というコンセプトに基づいて加熱したということが初めての成果であるというものが1つ。それから加熱された結果としての温度が1 keVという値まで達成されたということで、重要な進展だと思っております。

【菊池委員】 質問は2つあって、点火領域にいくというのはこの第三段階に書いてあって、それでFIREXというものでいくとおっしゃっているわけですね。ですから、それが大体どのくらいのタイムスケールで今後いくのかということです。

【畦地委員】 10ページの年次計画を見ていただいて、それで点火をするのはFIREX - というところでございますから、今から勘定して11年です。

【菊池委員】 第三段階の図で点火領域というのは、32ページのこのエリアですね。これは、むしろFIREX - でいくのではないですか。今、FIREX - でいくとおっしゃったと思うけれども、FIREX - でいくのではないですか。

【畦地委員】 先ほどプレゼンテーションのときにも少し申し上げましたが、この点火領域は中心点火の点火領域を書いてございまして、高速点火の点火領域はもう少し右上の方にシフトします。ですから、FIREX - では点火はいたしません。

【岸本委員】 15ページに、実験炉とか原型炉とか商用炉のコスト計算がしてあるのですが、NIFで1.8 MJで3,000億円を超えているのに、10 MJで1,300億円以内でできるというのはどの辺が違うのかということと、NIFのパルスは、現在、どのくらいの周期が予想されているのか。その2点を教えてほしい。

【畦地委員】 NIFのパルスの周期は、現在、数時間に1ショットですね。それから、ここのコスト評価については、まず実験炉のレーザーエネルギーはNIFの1/10、原型炉のレーザーエネルギーはNIFの半分です。光学素子の価格に関しては実験炉ではNIFベースと同等を仮定、原型炉では今後数10年の技術開発によるコスト削減を想定してNIFベースの半分以上を仮定してございます。

先ほども申し上げたように、レーザーダイオードのコストに関しては、実験炉に関しては1ワット6円、原型炉に関しては1ワット3円を仮定しています。この仮定の根拠については、先ほど申し上げたとおりです。

【岸本委員】 NIFのショット数を決めている要因は、何なのでしょう。

【畦地委員】 レーザーガラス、それからオプティックスの寿命でございます。その寿命というのは、レーザーのフルエンスですね。単位面積当たりどこまでエネルギーを出すかによって、ものすごく指数関数的に変わりますから、そのオペレーションのレベルによって相当変わります。NIFは、相当ぎりぎりのところで設計しているということでございます。

8) 第三段階核融合研究開発基本計画における炉心プラズマ研究開発(その他の方式)の進捗状況について、資料検第2-1-4号に基づき、小川委員より説明がなされた。

9) 本件に関し、以下の質疑応答があった。

【菊池委員】 今回のものは、１０年たったということの観点を踏まえた進捗のチェック・アンド・レビューだと思うのですが、小川先生の資料ですと、１０年前に比べて、例えばローソン図上でどのくらい進歩したのかというのがほとんど見えないですね。

例えば、ミラーですと、４ページのガンマ１０のものと１１ページのローソン図ではデータが違いますし、逆磁場ピンチも、現状と１０年前に比べてどれくらい進歩したのかというのが余り見えないのですが、そこはもう少し整理された方が私はいいかと思います。

【藤原座長】 ローソン図の中で整理すればいいですか。

【菊池委員】 例えばですね。

【小川委員】 私も、その認識はある程度ありまして、ただ今回、間に合わなかったのも、今後、正式なデータを集めたいと思っております。

１０）欧米における核融合開発戦略について、資料検第２－２－１号に基づき、岡野委員より説明がなされた。

１１）本件に関し、以下の質疑応答があった。

【小川委員】 １点教えてほしいのですが、ＩＦＥのＥＴＦというのがありますけれども、これは具体的には慣性核融合のどの部分、例えば大阪大学の畦地先生が出した先ほどのロードマップの中ではどの部分のことを意味するのでしょうか。

【岡野委員】 内容は、おそらく繰り返しに対するチャンバーの開発とか、高速繰り返しレーザーのインテグレーション試験、それから同時にブランケットなどの機器試験を兼ねるのだと思います。

【小川委員】 そういう意味で、炉用レーザーの方を１ヘルツとか開発するというのは、アメリカの中ではどういう規格になっていますか。

【岡野委員】 それはちょっと私は答え切れないのですが。

【藤原座長】 畦地先生は何か端的に言えますか。

【畦地委員】 アメリカの方の炉用レーザーは我々と似た半導体励起レーザーによる固体レーザーということで、ジュピター計画というのが進んでいます。それと同時に、日本と１点違うのは、もう一つ候補があって、ＫｒＦレーザーでかなり大型の炉用レーザードライバを、これはナバルリサーチラボラトリーが開発しています。日本ではかなり小規模ですが、産業技術総合研究所がＫｒＦレーザーの開発を行っています。

さっきＩＦＥのＥＴＦに相当するものは日本で言ったらどこになるかというのは、ちょっと私も余りアメリカの計画を、ここの部分をよく存じ上げていないわけでは無いのですが、おそらく私の図で言うと１３ページのＬＦＥＲ、レーザー核融合実験炉に部分的には相当するのではないかと思います。

多分出てくる質問は、なぜ日本がそんなに早くやるような計画になっているのかということだと思います。アメリカの場合は２０２０年ですか、日本の計画は２０１７年ぐらいになっていると思いますけれども、これは装置の規模が全然違うということですね。日本の場合には、１パルス当たりここの規模では１００キロジュールぐらいを考えているので

すけれども、米国の場合には、おそらくNIFで2メガジュールを繰り返すというような計画になっているのではないかと思います。その装置規模がとにかく1桁違うので、こういう差が出てきているのだらうと思います。これはあくまで想像ですけれども。

【長崎委員】 アメリカなどの慣性核融合の研究費に軍事的開発費も含めてという話は私は全然知らないのですけれども、慣性核融合というのは、いわゆる国防とものすごく密接に関連した技術だと思ってよろしいですか。

【畦地委員】 アメリカの冷戦後の国防計画が一体どうなっているのかというのは、基本的には地下核実験をまずやめて、外国に対しては核実験をやらないように言って、私もやらないよと言い、そのかわりにコンピュータシミュレーションで核管理を行いますということです。

アメリカの場合には、地下核実験を1,500回ぐらいやっているのです。ですから、ものすごく膨大な核爆発のデータを蓄積していて、コンピュータシミュレーションをベンチマークできます。NIFは何のためにあるのかというと、NIFから出てくる核出力というのは、典型的な核弾頭の1億分の1から1,000万分の1ぐらいです。常識的な技術に対するセンスを持っている方であれば、1,000万分の1、あるいは1億分の1のNIFの出力でもって、核兵器に対して何か意味のあることができるとは誰が考えたってできないです。NIFは一体何をするのかというと、そういうコンピュータシミュレーションの中に含まれている物理です。非常に高温で高密度の状態、エキス線に対する透明度がどれだけか、あるいは状態方程式がどうなっているのかを明らかにするのがNIFの役割です。

もう一つ言うならば、レーザーとそういう軍事とのかかわりについて、私はこの委員会である程度議論をする必要があるのではないだろうかとは思っております。

【長崎委員】 伺いたかったのは、これが軍事かどうかというよりも、再処理とか処分の話をしたときにも核査察とかは必ず含まれてきて、例えば日本の場合は東南アジアに技術を何か協力したいと思っても、核不拡散という縛りをつけたとき、日本は何もできない。

そういった話が絡んできたときに、本当に日本はこういうことに対してどこまでコミットできていくのかということを考えていった方がこの慣性核融合を本当に実現するためにいいのではないかと思います。ちょっと伺ってみました。

電力で働いていたことがある人間として、もう一つ伺いたいのですけれども、この委員会をちょっと超えるかもしれませんが、例えば30年後ですから技術の進歩はあると思うのですけれども、今の原子力発電所というのは、軽水炉あるいは高速炉にしても、ある意味でものすごく簡単な運転操作ですみ、1年間のうちにほとんど何も触らなくてもいいというようにできています。30年後に、本当に核融合炉システムというか発電システムをつくったときに、今の東京電力などの電力会社が本当に運転し保守していけるようなシステムとするようなものを考えながら今設計をされているのかどうか。

例えば、先ほど、ヘリカル型のところで、コイルという話になったら、私も確かにこれは、定検しろと言われたらちょっとたまらないなという気もします。基本的な工学システムは、非常に単純な運転ですむようにできているものです。車も非常に単純にできています。ですから、もちろん今、物理をいろいろ理解していかなければいけないということですが、すけれども、一番大事なことは電気を起こすことであって、そのために何か手を打っているのか、どう考えていくのか、どこまでいっているのかということをお願いしたい。

【岡野委員】 私は立場上、電力中央研究所というところにいますので、当然電力会社ではないですけれども電力側で物を見ないといけない立場なので、核融合炉の設計に関しては原研さんと一緒にやりながら、これでは使えないのではないですかとか、もっとメンテ

ナンスを簡単にできるシステムを開発してほしいとか、あるいはうちでも炉設計をしたりしております。

例えば、今おっしゃったメンテナンスに関しては、まだ核融合炉がないものですから、それなりにある程度絵を描くしかないのですけれども、これこれこういう方式であれば、例えば今の定期点検は2カ月ぐらいかかりますけれども、その間ぐらいでメンテナンスが可能であるというふうな詳細な検討はしております。

ただ構造上、どうしたって核融合炉は軽水炉のような単純な構造のものにはならないですよ。それでも技術の進歩を仮定すれば、今から30年後か40年後か、その当時にはこういった軽水炉と同程度の運転が可能であるような設計を目指すということはちゃんと進めております。

【玉野参与】 最初の軍事の質問に関してなのですが、先ほど、小川先生のまとめの中には入っていませんでしたが、一つのバックグラウンドとして、ロケットの推力に関する関心がございます。そういったような意味でも、例えばイオンビームとかZピンチとかに対する研究もされているというところがあると思います。ロケットを軍事と見るかどうかというのはわかりませんが。

【畦地委員】 その軍事との関連について、もう少し補足をしたいと思います。2点ございます。まず1つは、アメリカという国は基礎科学も含めて軍事予算を使ってやる国ですから、それに対する評価というのは、我々の方で相当注意深くやる必要があるのではないかと考えています。

その典型例が、今、玉野先生がおっしゃったアメリカの宇宙開発で、アメリカの宇宙開発というのはミサイルの開発と宇宙の平和利用と、2つの側面を持っていたわけですね。そのシンボルがアポロ11号の月面着陸であったと思います。同じことはレーザー核融合にも言えて、1つは先ほど申し上げた核兵器の維持・管理であると同時に、エネルギー開発の両方の意味を持っていて、そのシンボルが点火燃焼であるということです。

私が申し上げたいのは、日本というのは独立国なのですから、米国の判断とは基本的には独立に、レーザー核融合がエネルギーやサイエンスにとって必要であるかを判断して進めるなり止めるなりという判断をしていく必要があるだろうと考えています。

その端的な例ですが、今から5年前のNIFのパンフレットには、NIFの第一の目的はナショナル・セキュリティであると書かれておりました。ところが、今年4月に行ってもらってきたパンフレットには、第一のミッションはエナジーとあります。第二がナショナル・セキュリティで、第三がベーシック・サイエンスであると書かれています。

このように、アメリカという国は、基礎科学も含めて軍事予算を使ってやる国ですから、それに対して我々日本は独立の判断をする必要があるというのが1点です。

それからもう一つは、平和国家である日本のような国が、こういう慣性核融合を進めることによって、慣性核融合の平和利用が定着するという側面があると思います。その典型的な例が、原子力が半世紀にわたって平和利用に徹してきたということです。その結果として、原子力そのものが軍事だと思える人は、本当に少数派になったと考えています。

それからもう一つは、軍事とか軍事機密とかいうものも、いろいろな力関係によってごく流動するものであるということです。その一番典型的な例が、大阪大学とドイツのマックス・プランク研究所との共同研究によって、当時機密であったところの研究を相当程度やったわけですね。その結果として、アメリカは軍事機密を解除して、随分昔に磁場を含めて核融合が軍事機密であったのが解除されたのと同じようなことが93年には起こっているわけです。

その2点が重要なポイントで、とにかく申し上げたかったことは、日本でやるということが平和利用の側面を定着させるものであるということです。以上その2点でございます。

1 2) 報告書案の詳細構成(案)について、資料検第2 - 3 - 1号に基づき、藤原座長より説明がなされた。

1 3) 本件に関し、以下の連絡及び意見があった。

【藤原座長】 今日ではもう時間がありませんので、ごらんいただいて、足りない点や変更すべき点、つけ加えるべき点などについて、次回までにいろいろお考えいただきたい。

各章立ては、大体これは自分が担当しなければいけないというところは想像がつくかと思いますが、そこはかなりよく考えて、キーワードを自分なりに並べてみるということがまず第一です。そうすれば、そのキーワードに沿って議論を進めることができます。次回までによくごらんいただきたいと思います。

【桂井委員】 核融合の利用では、発電ということが主になっていると思いますけれども、最近では水素エネルギーとかそういう多目的利用が、核分裂炉の方でもまたリバイバルしていると思うので、その辺を少し入れたらいいかなと思います。

1 4) 次回会合に関し、藤原座長より、以下の連絡があった。

【藤原座長】 次回は7月10日で、午前10時から12時半です。検討テーマは、エネルギー環境問題ということで、日本エネルギー経済研究所理事の伊藤浩吉さんと地球環境産業技術研究機構の時松宏次さんという方に来ていただいて、核融合を折り込んだ21世紀エネルギーのシナリオということでお話をさせていただきたいと思っております。

それから、今日できませんでした炉工の関係で、原研の関係は高津委員を中心に、大学の方は寺井、今川両委員の方で少しお考えいただいて、進捗状況をご報告いただけたらと思っております。よろしくお願いいたしますと思います。

その次の7月16日は、また追ってご案内申し上げますけれども、少し原子力の方に重点を移して、可児、長崎両委員に少しご意見をお願いしたいと思っております。後でちょっとご相談をさせていただきたいと思います。

1 5) 議事録に関し、榊原参事官より、つぎの連絡があった。

【榊原参事官】 議事録につきましては、すでに皆様からいただいたコメントにしたがって修正を施したものを、本日、配付しておりますが、さらに訂正などがもしございましたら、今でなくても結構ですから、なるべく早めに事務局の方へお知らせください。よろしくお願いいたします。

以上