

核融合研究開発基本問題検討会（第11回） 議事録

1. 日 時 平成15年9月29日（月）14:00～16:00

2. 場 所 中央合同庁舎第4号館 11階 共用第1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、大塚道夫、岡野邦彦、小川雄一、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）

松井秀樹（東北大学金属材料研究所教授）

〔核融合専門部会技術WG構成員〕

桂井誠、岸本浩、高村秀一、松田慎三郎、三間囿興

〔内閣府〕

藤嶋参事官、川口補佐

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11-1-1号 国際核融合材料照射施設（IFMIF）計画の概要

資料検第11-1-2号 核融合研究開発基本問題検討会（第10回）議事録

6. 議事内容

1) 国際核融合材料照射施設（IFMIF）計画の概要について、資料検第11-1-1号に基づき、松井秀樹氏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。

【高村委員】 この開発にはEVEDAと言われているEDA活動に相当する部分があるわけですが、この装置自身をつくるに際して、そこでクリアしなければならない従来の技術ではそのまま延長できない要素はございますか。

【松井秀樹氏】 延長上にないようなことはありません。加速器にしましても40 MeVということで決してエネルギーが高いわけではない。ただ電流が125 mAということで非常に高く、しかもCWです。アベラビリティも加速器だけでとりますと85%ぐらい必要です。そのくらいの非常に高いアベラビリティが要求されています。そこが非常に大きいところです。ですから、主として信頼性の向上ということが非常に大きい要素になります。

また、電流が大きいということで、ビームのスプルによりまして加速器自身が損傷を受けるだとか、あるいは放射化が非常に進んでしまうだとか、そういったことをどうやって押さえ込むかというビームのコントロールなどが開発要素としてはあるかと思えます。

それから、CDA活動をやった頃には、このくらいの大電流の加速器がまだ建設

されてなかったということがございまして、非常にその辺の開発項目としてはなかなか大変な開発要素なんだとその頃は認識していたのですが、その後、例えばアメリカのAPTというトリチウムを加速器でつくる計画がございましたし、サクレーの方でも、重水素でなくてプロトンなのですが類似の計画がございまして、非常に大電流の加速器の建設が既に行われて、その辺の技術は我々は特に何もしなかったのですが、よその周辺の分野で非常に進んだという、ある意味でラッキーな部分がございます、その辺は現在では非常に確度が高くなっていると言えるかと思います。

【高村委員】 今のお話で、高周波の多分キャピティだと思うのですが、高粒子束・高密度ということで、その辺に原理的に例えば高周波電場が中に入りにくいとか、よくわかりませんが、そういう加速器上の原理的な問題点はないわけですか。

【松井秀樹氏】 それは特にないと聞いております。

【三間委員】 37ページの計画図ですけれども、IFMIFの使われ方について質問したいと思います。重照射の材料特性データを構築して、発電実証プラントの工学設計の建設判断をすると書いてございますが、具体的にどういうことでもって判断をするのでしょうか。

私自身は素人なものでよくわからないのですが、いろいろな材料、ステンレスだとか、フェライトであるとか、バナジウムであるとかという話がありますけれども、そういう話までおりにきたときに、既に予想されているものを照射してみて、それでOKだという形の判断なのか、それとももう少し具体的にいろいろなことが考えられているのか、教えていただけないでしょうか。

【松井秀樹氏】 基本的には前者であると申し上げておいてよろしいかと思います。というのは、このタイムフレームで発電実証プラントをつくるということになりますと、現在かなり開発・研究が進んでおりますいわゆる低放射化フェライト鋼が一番最有力候補であるということはまず間違いがないという中で、現状でどういう実験がされているかといいますと、核分裂中性子を使った照射試験で、要するに普通の高速炉などを使った照射試験のデータはかなりあるのですが、しかもほぼ発電実証プラントの寿命相当ぐらいのデータまではあるのですが、ただ先ほど申しましたヘリウムの問題だとか、もう少し細かい問題で弾き出された原子のエネルギースペクトルの問題とかがかなり違っておまして、その状態で本当に大丈夫かと、理論的にいろいろなシミュレーション実験をしまして、それに近いような条件を加速器などを使ってやった実験はあるのですが、それで限定的ながらも知識ベースはそれなりに構築されておまして、おそらく大丈夫だろうなというところまで来ているのですが、ただ実際に建設するということになりますと、実際の環境に近いところでの照射データが必要であろうと想定されているのだと思います。

【三間委員】 場合によっては、今考えられているコンセプトの変更を迫られる可能性がある、それを確認したいというふうに思ってよろしいでしょうか。

【松井秀樹氏】 例えば、100dpaまでの寿命をもった原型炉をつくりたいと思ったときに、実際このIFMIFで照射してみたならば、どうも100dpaだ

とちょっと苦しそうであり、例えば一番照射量の大きいところは50dpaで交換した方がいいのではないかということになる可能性は考えられます。そのように全然だめになるという話ではないのですが、ブランケットでプラズマに近いところは照射量が大きいですし、後ろの方はそんなにないということで、一番前面に近いあたりはある程度の頻度で交換しようという概念でございますので、交換頻度が早くなることはあるいはあるかもしれない。ただ、それは設計で許容できる範囲だろうと思いますので、だから建設判断という書き方をさせていただきますけれども、設計にそういったことを反映させるということではないかと思います。

【高津委員】 今の松井先生のご説明はそのとおりだと思いますが、少し補足させていただきます。今ご質問のあった37ページの図で見ますと、IFMIFの照射が始まるまでに既存の原子炉で、あるいはイオン照射等で、松井先生がご説明になったように精一杯のデータはとっておこうと考えております。ただ、松井先生のご説明でもあったように、実際の核融合環境下での挙動が十分には原子炉照射等では模擬できないということで、IFMIFの運転が始まれば、それまでのデータがどの程度の正しさだったのかという検証を行うのが第1の目的で、IFMIFの存在意義があると考えています。

それで、多分、三間先生は、IFMIFでやってみたらオール・オア・ナッシングのようなカタストロフィックなことがあるのではないかという、極端に言えばそういう懸念をもたれているのだらうと思うのですが、既にこのフェライト鋼について限れば、かなり類似の材料で高い照射量までデータがありまして、もちろん核融合条件ではないのですけれども、材料コミュニティとしてはビッグ・サプライズはもうないだらうと考えています。

だから今度は使い勝手をIFMIF等で見ていくことになるだらうと思いますが、そのときには極端に言えば、今松井先生がご説明になったように、寿命が少し短くなるということもあるかもしれませんし、我々が考えているのは、例えば許容応力なりの考え方をどのように使っていけばいいかという知識がこのIFMIFで得られるだらうということで、発電実証プラントにおける使い方の知識をこのIFMIFの照射で得ていくという位置づけだらうと考えております。ですから、オール・オア・ナッシングという状況は考え難く、使い勝手を考えていくデータが得られるだらうと考えております。

【松井秀樹氏】 ありがとうございます。もう少しつけ加えますと、逆に良かったケースもあり得るわけです。現状で加速器を使ったシミュレーション実験だとか、分裂炉を使った照射実験等から、このくらいのエラーバーの範囲で性能が予測できるというところが、IFMIFを使いますとエラーバーが非常に狭くなって、あるいは今まで例えば安全率を2倍とらなければいけなかったものを、もっとぐっと切り詰めた設計をすることができるということも逆にあり得ると思います。

【玉野参与】 24ページの図に関連してですけれども、原理的にはビームを絞ればローカルの強度は上がるわけですね。したがって、これだけの領域が必要だというのは何で決まってきたのでしょうか。

【松井秀樹氏】 実は、昔、1980年代に検討したときには、このボリュームはほぼ1けた近い大きいボリュームが必要であるということがあるレポートには書かれているのですが、それだけの大きさの加速器ベースのこういった施設をつくるの

は本当に大変だということで、何とかしなければいけないということがありまして、その後、微小試験片技術を援用することによって、何とか照射空間を切り詰めて、それによって現実的なサイズの施設でもって、こういった照射試験ができるようにしようということで、非常に苦労して切り詰めに切り詰めた大きさがこれであるご理解いただければよろしいかと思えます。

具体的に、テスト・マトリックスと申しますか、どういうサイズの試験片を何個入れるなどという話もかなり検討が進んでおりまして、まだそれは今後実際に物ができ上がるまでに何度もイタレーションを繰り返しながらやることになると思うのですが、非常に厳しい工夫をしながらやっているということをご理解いただければと思えます。

【菊池委員】 ITERの場合ですと、中国、韓国が入ってきたわけなのですが、IFMIFについて中韓は全く興味を持っていないのですか。

【松井秀樹氏】 先ほど言いわたされたのですが、中国に関しましては、最近我々の方から働きかけをいたしまして、入ったらいかがでしょうかというお誘いを出してございます。実は今週ですけれども、新しい実施取り決めの枠組みを決めるための案文をつくっている会議がございますけれども、そこへの出席を求めて、現状では出席の意向を先方は示しております。12月にもう一度そういう会議があるのですが、そこにも何とか出席していただいて、もう少し具体的にコミットしてもらおうと考えております。

韓国につきましては、実は具体的なアクションを起こしていないのですが、これは種々な理由からなかなか参加は難しだろうということを勝手に考えまして、若干及び腰で臨んでいるという状況でございます。何かいいお知恵がございましたら、ぜひご教示いただきたいと思えます。

【岸本委員】 私の知っている範囲では、中国は参加したいと言っていました。韓国はあまり興味がないようでした。

【松井秀樹氏】 ありがとうございます。

【藤原座長】 国の数が多くなったら、動きが遅くなることもよく考えた方がいいと思えます。もちろん国際協力にはいろいろなスタイルがありますが、契約を結んで協定の正式参加国になってやっていく場合、国の数が多ければ多いほど動きがにぶくなります。ほかの国際協力のあり方、たとえば、コアの国だけできちっとやっていくのも一つの手です。

【桂井委員】 27ページのスペクトルの件ですが、すでに十分に議論されていると思えますけれども、結局、14 MeVのDTニュートロンとは相変わらず違うわけでございます。これがこのようになまった形でも大丈夫であるということはかなり基礎的に検証されているのでしょうか。

【松井秀樹氏】 この辺は十分に議論されているところです。最も大事なパラメータが4ページの右下の図でございまして、ヘリウム生成とdpaの比率です。これが照射損傷組織の発達に非常に決定的に影響を及ぼすパラメータであるということが認識されておりまして、このほかに弾き出された原子の運動エネルギーのスペク

トルも効くことは効くのですが、やはりプライマリーに効くのはこの比率です。

こういう比較の仕方をしますと、なまっけてもそれはそれほど大きい影響がないということがいろいろな実験からわかっておりますので、その点は特に懸念はしていないという状況でございます。

【桂井委員】 実際、DTニュートロンと比較した実験もあるのですか。

【松井秀樹氏】 DTニュートロンそのものは昔RTS というのがございまして、これはローレンスリバモアにあった実際にトリチウムターゲットに重水素を当てるという装置ですが、これを使った実験とフィッションの実験との比較がございまして、ただ、この場合は損傷量が非常に少ないものですから、ヘリウム効果はそれほど明確にあらわれたような実験ではないと考えております。

その後はデュアルビームで、加速器を2つ組み合わせて、片方でヘリウムを注入し、片方で変移損傷を起こさせるということを同時に行うような加速器、京都大学のDuETとかがそうなのですが、こういった装置を使いまして、両方の効果を同時に調べる実験はかなり広範にやられております。

【高村委員】 25ページに破壊靱性試験というのがあるのですが、溶接部分に対しての試験というのはいかなるのでしょうか。

【松井秀樹氏】 幾つか試験片の形状が書いてございますが、一般にはいわゆる母材と言われる普通のところと溶接部分の両方に関して試験を行うのが通例でございます。特に一番クリティカルなところ、溶接したときにどこが一番弱くなるというのは知られておりますので、そのところはちょうど例えばノッチの一番先端に当たるようにして試験するとかいったことは定常的にやられております。

【長崎委員】 このIFMIFというのは一体どこにつくるのかというのを教えていただきたいということと、もう一つは最初にちょっとお話が出てましたが、37ページの検討例のところでは建設判断や過去のデータの検証などをいろいろやられていられるという話なのですが、具体的にどういうものをやりますかというところに、実際につくるメーカーの人の意見とか、実証炉は電力会社がつくるのだとしたら、ユーザーの意見とか、彼らは一体何を求めているのかという意見は、どこまで反映させるものがここに落とし込まれてくるのか。その辺の議論は何かもうされているのか、あるいはそれはもう少し建設が始まったあたりから始める予定があるのか。そのあたりはどんな感じなのでしょう。

【松井秀樹氏】 今のご質問はIFMIF自体に関してですか。

【長崎委員】 IFMIF自体です。

【松井秀樹氏】 IFMIF自体に関しては、ユーザーズ・グループというのがありまして、ここには核融合材料の研究者が集約されているという形になります。そこでIFMIF関係の会議があるときには、それに付随してユーザーズ・ミーティングというのを開催しまして、その中でIFMIF自身のスペックをどうすべきかとか、運転上の仕様がどうあるべきかとか、試料の空間がどのくらいの大きさであるべきかとか、温度コントロールはどうやるべきかとか、いろいろなそういった非

常に専門的な細かいところをそこで議論するという仕掛けになっております。それがIFMIFサブ・コミッティの方にインプットされた結果、設計の方に反映させるという仕掛けはできております。

【長崎委員】 私の質問の意図は、IFMIFから出てきたデータを使うのは最終的には研究者ではなくて電力会社であり、例えば日本の場合だったらおそらく主要なプラントメーカーであったりするわけだと思っておりますが、そういう人たちから見たときに、どういうデータが欲しいのかとか、どういう値がどれだけの精度でどうあってほしいかという意見がきっとあると思うのですね。そういうもののフィードバックは、こういう研究体制の中に反映されてくるのかどうかということです。何が聞きたいのかというと、結局、最後は使う人間のことがどこまで考慮されるのかということです。

【松井秀樹氏】 結局、それはユーザーズ・リクワイアメントということになると思うのですが、そのところは適宜プラントメーカーの方などにも入っていただいて、その意見を入れていくような形にはなっていますが、現状で今度は逆に許認可に関してどういうデータが必要かとかがまだはっきりしていない部分がございますので、そこはまだソフトな段階で、今後その辺の検討は進んでいくものと考えております。

システムといたしますか、仕掛けとしましては、先ほど言いましたユーザーズ・ミーティングで、ユーザーズ・グループから意見が反映されていく仕掛けはできているとご了解いただければいいと思います。

それから、どこにつくるかというのは、なかなか難しい質問なのですが、あまりオープンにこういったディスカッションがされたことはないのですが、非公式にいろいろ相談してみますと、ITERがつくれる国にはつくられないだろうなどというのは基本的な了解事項のようございまして、ですから六ヶ所にITERがくればIFMIFはおそらくヨーロッパになるのかなという感じはしております。

【三間委員】 周辺機器というのは相当に中性子を浴びて損傷を受けるわけですね。運転期間というか寿命はどう考えているのか。あわせてデコミッションングはどういうことを考えているのか、お聞きしたい。

【松井秀樹氏】 ビームラインはもちろんある程度放射化するのですが、一番強く放射化されるのはテストセルの部分ですね。そのところで、実際の放射性廃棄物という観点では、現在、デコミッションングも含めて、先ほど申しました設計統合というセクションが検討しております。

それから、損傷を受けて壊れてしまうのではないかとということかもしれませんが、一番強く損傷を受けるのはテストセル、要するに試料の入れ物部分と、液体リチウムジェットのパックウォールと呼ばれる手前側はフリー・サーフェスですが、後側は凹面の壁になっておりますので、そのところが一番強い中性子を浴びるという形ですので、それは定期的に交換するという形になっております。壁だけ換えるか全体のジェットごと取り換えてしまうかというあたりは若干まだ議論のあるところですが、とにかくそういった格好で定期的に交換するという形になっております。

【藤原座長】 デコミッションングはどうするのですか。

【松井秀樹氏】 まだそれは実はあまり最終的なところまで検討が進んでいないと申し上げた方がよろしいかと思うのですけれども、現在検討は進めている途中であると申し上げておきます。

【藤原座長】 今のところは29ページのスケジュールで進んでいるのですね。

【松井秀樹氏】 はい。30ページの左上に「Committee for COD A preparation」というのがありまして、これが「コミッショニング、オペレーション、デコミッショニング、アクティビティー」ということで、そこまでのことも含めた活動をこの委員会でもって統括してやっていくという構造は案としてつくられてございますけれども、デコミッショニングのところにつきましては、まだ詳細が詰まっているわけではないということでございます。

【桂井委員】 IFMIFで一応dpaについて材料の試験ができるということは了解したのですけれども、そのほかにブランケットといいますか炉工学としては、第一壁表面のプリスタリングとか、ブランケットモジュールのトリチウム増殖とかの問題は相変わらず残っていると思います。そちら側のリスクはどう考えるのでしょうか。

【松井秀樹氏】 プリスタリングに関しましては、これはイオン注入に関する話ですので、むしろIFMIFではなくて、別の加速器等を使った試験で、あるいはプラズマ実験装置等でやるのがむしろ適切ではないかと考えています。

ブランケットの性能試験などに関しましては、基本的に一つは先ほども申しましたように、ITERのテストブランケットモジュールを使ってやるということと、ただある程度の照射量を稼がないとわからないような部分というのが当然ございますので、それにつきましては、2ページの主な要求性能というところで「0.5リットル： > 20 dpa、6リットル： > 1 dpa、7.5リットル： > 0.1 dpa」と書いてございますが、少し後ろの方の領域になりますと比較的広い領域がとれるということで、ITERを小型化したことによってできなくなったようなところを、ブランケットの試験に関しましては、ここで実施するのが適切ではないだろうかということは、いろいろな方から言われておりまして、それは折り込み済みであると申し上げてよろしいかと思えます。

【畦地委員】 IFMIFというのは核融合炉材料のテストをするマシンで、炉開発の一部なのですけれども、材料のテスト以外に、炉材料開発そのものや炉のシステム設計をどのようにすすめていくのかといった核融合炉開発の全体像が私にはよく見えておりません。今日の話聞く限りは、お金、人の研究資源投入の全体のポートフォリオがこれで適切かどうかということがよくわかりませんでした。それについて、少しコメントいただけたらありがたいです。

【松井秀樹氏】 おっしゃっている意味は、人的資源がどういうふうにあロケートされるかということでしょうか。

【畦地委員】 それと、先ほど低放射化フェライト鋼の話が出てきましたけれども、それ以外に例えばSiCとか、いろいろな材料があって、それをどういう手順でテストしていくとか、あるいは、今はまだないけれども、こういうふうに関

発していくとか、そういう全体像を教えてください。

【松井秀樹氏】 実はここに少し書き損なった部分がございます、先日、先生にお送りしたプラ核学会の予稿には書き込んでおいたのですが、要するにIFMIF計画というのが、ワーキンググループの議論の中でも、これが炉工学のアクティビティーのすべてではもちろんなくて、炉工学のアクティビティーのうちの一部であるということは、ここで強調させていただかないといけないということを強く感じております。

その中で、今おっしゃった材料以外の部分、あるいはブランケット以外の部分ということで、中性子工学だとか、特に除熱工学ですとか、それから加速器工学、それからこの辺の高周波の電源の技術だとかにつきましては、非常に炉工学の単に材料だとか、いわゆるブランケットだけに限らず、かなり広い核融合に関連した分野まで広がりを持っているような技術領域だと思います。そういった意味からすると、この建設そのものにそういった格好でコミットしてくるというのも、単にこのIFMIFのでき上がったものを使うというだけではなくて、建設そのものにコミットしてくるというのは、非常に大きい意味があるのかなという気はしております。そのアクティビティーの中に大学が一生懸命コミットしているというのも一つにはそういった部分があるとうございと思います。

それから、このミッションとしまして、あまり煩雑になるので、あえて削除したのですけれども、IFMIFの任務としては、核融合実証炉といいますか発電デモプラントの材料の工学データベースをつくるのがある程度プライマリーなミッションであるということは確かですが、それに並行して、当然それを補強する意味で、核融合と核分裂の間の照射効果のいわゆる相関、「フィッション・フュージョン・コリレーション」という言い方をしますが、そういったものをつける上でのいろいろなたぐいの非常にファンダメンタルな研究だとか、それからもう一つ非常に大事な部分は、要するに高性能のパワーリアクターをつくる上で高性能材料を開発していくという任務が非常に重要なミッションとしてあるだろうと認識しているのですが、あまりいろいろ書き込むとかえってわかりにくくなるかなということで、あえて削除したという経緯がございます。

【畦地委員】 ちょっと質問の仕方がまずかったかもしれません。もう少しシャープに聞いた方がよかったかもしれないのですが、研究資源をIFMIFにものすごく集中させることが核融合炉開発にとって適切かどうかということです。そのように集中させるということは、材料開発についてはほとんど目処が立っていて、残っている最も重要な課題はそれをテストすることであるとお考えなのでしょうか。

【松井秀樹氏】 発電実証プラントに関して言えば、そういうふうに言ってよろしいかと思います。ただ、今言いましたパワーリアクターで、要するに発電実証プラントというのは、とても東京電力がそれを自前で買って、電気を起こして売ったって、ペイするようなしるものではないというのは皆さんご承知のとおりです。ただ核融合開発を進めていく上では、ペイするようなものをつくれるんだよということを示していく必要があるだろう。そのために材料は非常に重要な役割を持っているわけで、寿命が長いということは当然アベラビリティが高いといった点でCOEを押し下げる役割を持ちますし、あるいは高温で運転できるような材料ということであれば当然発電効率が上がるということで、やはりCOEを押し下げる効果があります。そういった点で高性能材料を開発するというのは非常に大事なことだと

思うのですね。そここのところの部分というのは、これからも継続してやっていかなければならない部分で、そこに関する投資に関しましては、今後ももちろんこれまで以上にやっていかなければいけません。

ただ、プラズマを主にやっている先生方にはちょっと申し上げておきたいと思うのですが、これまで核融合開発に関しましては、ピークのときで年間250億円ぐらい使ったのでしょうか。そういう中で、材料に投資したのはせいぜい2億、3億の問題ですから、そういった範疇で考えますと、このIFMIFの部分というのはその中では突出してしまうということだと思います。材料開発というのは、確かにテストするための施設というのは、そういったコストがかかる部分がありますけれども、そのほかの部分というのは割と既存のほかの一般の工業材料の開発の設備がかなり援用できる部分がありまして、もちろんそれなりにお金はかかるけれども、そう莫大なお金がかかるわけではないということがあります。そのバランスだろうと思いますね。今のレベルでいいなどと申し上げるつもりはないのですけれども、IFMIFに比べると、かなり額としては少ないと言っているかと思えます。

3) 幹事会の開催に関し、藤原座長より報告があった。

4) 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】 次回以降の予定でございますけれども、10月7日に第12回を行います。第12回はITERの有効利用ということで、これはITERの進展状況がだんだん煮詰まってきた、ITERというものをいかに日本としては利用するかということが非常に大事な点でありまして、その補足説明をお願いすることと、それからいわゆる「Fast Track」という言葉が適切かどうかは別にして、核融合エネルギーというものを実現していくどういう戦略がいいのかということは、この委員会の非常に大事な視点でございますので、もう一度議論をお願いしたい。

それから、10月24日は第13回を開催いたしたいと思っております。これは筑波大学の内山先生にご出席いただいて、グローバルな観点からエネルギー問題というものを話しただいて、できればその中で核融合というものをどうお考えになるかというご意見をお伺いしたいと思っております。それから、11月12日に第14回を開きまして、11月20日に第6回の核融合専門部会・技術ワーキンググループを開催いたします。このワーキンググループからこの検討会がチャージを受けたわけでありまして、そこへ中間報告をいたしたいと思っており、この検討会の委員の皆様にもぜひご出席をお願いいたします。

以上