



「核融合の現状と将来」

－ 若い世代は核融合研究の将来をどう描くか －

核融合 50 周年記念の記事として、過去の歴史を遺すことをめざした一連の座談会記事、また現在の核融合研究の状況を様々な側面から記述する記事に加えて、この記事は核融合研究のこれからの発展について議論することをめざしている。未来を考える主体として、比較的若い世代の研究者に集まってもらい、今後の核融合研究の展開する方向について語っていただいた。また核融合の研究分野を外から見る立場の研究者も加わっている。これから ITER という大きなプロジェクトが動き出そうとする時点で、現場からの意見という意味で研究体制についての不安や疑問点などの辛口の意見も述べられた。紙面に限りがあるため、座談会担当委員の責任で一部の発言内容を割愛せざるを得なかったことをお断りする。

日時：平成 20(2008)年 4 月 19 日 (土) 14:00～17:40
場所：核融合科学研究所，研究棟 (I) 7 階会議室
出席者 (敬称略)：後藤基志，小林進二，坂本隆一，鈴木晶大，高橋 信，星野 毅，松永 剛，八木絵香
司 会：岡村昇一，北島純男

岡村：では座談会を開催させていただきます。今日は遠方から来ていただきましてどうもありがとうございました。この座談会のテーマとして、若手は今後の研究の展開をどう考えるか、ということを取り上げました。核融合研究の今後の展開として ITER は中心的な議論点になるかと思いますが、かといって ITER がどうなるかだけ話していたのでは、核融合研究のこれから先のイメージを考えるには大きく欠けるところがあります。極端な話、どんどん研究が集中してしまっ、大学の先生も皆さん大型装置の共同研究に参加して研究するだけで良いのではないかという議論になりかねない。大学の装置は世界のトップデータを出すものではないですけれども、基礎研究や萌芽的な研究、また人材育成には不可欠な環境であるとの視点も重要です。若い方が自分の研究のキャリアパスを考える時に、中心的な研究所で仕事をするのでなかったら重要な貢献ができないと考えてしまう、というような極端な話、そんな

ことでは何か違うのではないかという感じがします。まず鈴木さんどうですか、大学サイドの立場から。

【ITER 計画の意義、大学の研究との関係】

鈴木：ITER の話が始まるまでは、高温のプラズマがちゃんと閉じ込められるのかとか、プラズマから発生する大量の中性子に耐える材料はあるのかなどのサイエンスをやっていただけであって、核融合炉を実際に作り上げるという実感を身近に感じていなかったと思います。でも ITER で兆円という単位のお金を使うことになって、この 2～3 年前で初めてエネルギー源としての開発研究の元年が訪れたなどということを感じます。それで私は ITER をやるということが決まったことはすごく良いことだと思っています。ITER をやるということは、それは本気でデモ炉 (次ページ脚注) を作るということなのですね。デモ炉まで開発するという責任感や連帯感が生まれた。

私はデモ炉に向けた炉材料の研究を行っていますが、同じような材料を使いながら、軽水炉分野では何十年という時定数の耐用期間の延長に向けた研究開発を行っているのに、ITER では分のオーダのプラズマに対する材料の耐久性の議論がなされている。核融合の材料研究というのは産業としての完成度ということも含めて、非常にまだまだ



座談会全景 左から、星野 毅氏，鈴木晶大氏，岡村昇一氏，北島純男氏，八木絵香氏，高橋 信氏，松永 剛氏



坂本隆一氏

エネルギー開発としてのロードマップはないと思います。研究者が自分の立場で各研究所ごとに勝手にやっているだけ。国に書いてもらうためには、やはりそれなりの成果を出していかないとけない。エネルギー源として認識していれば、必ずいついつまでという言い方は出てくるはずで、今は国の政策に入れるかどうかというのを検討している段階なのだと思います。

後藤：ITERのプラズマというのは、現在の研究とは何か別世界のものじゃないか。アルファ加熱がどうなるかとか、今の研究ではもうわからないようなプラズマを作ろうとしているわけですよ。最近新しい論文なんかを読んでいても、はっきりいっておもしろくない論文が多いですね。画期的なものというのはあまり見られない。それぞれの専門の中では価値があるのかもしれないですが、分野外から全体的なものを見た時に画期的な新しいものというのがしばらく出ていないような感じがします。今、力を入れて研究している対象というのが、ものすごく細かなことに思えて、ロードマップができないというの、ITERをやってみないとわからないというところがあるんじゃないのかなと思います。ロードマップを書いてくださいと言われた時に、実際に核融合炉を作るのに何が課題であるかということすら、今はよくわかっていないという気がします。だからITERをやってみたらまたきつと新しい研究課題がいっぱい出てくると思いますが、一方何か新しい段階に進むのにその度にお金がかかりすぎるというのは、別の面で問題であるという気がします。

岡村：大きな投資がないと新しい領域に入れないという点では、高エネルギー科学なんかはまさにそうですね。それこそ大規模な装置1個がある一つのモデルを証明するためにあるみたいなのところもあって、それだからと言ってこのことを取って先の見通しがないとってしまふよりは、サイエンスの進歩の一つのステップかなという気持ちはしますけれどね。

ただITERの結果でもって核融合のかなり先のイメージも変わってくるのですと単純に言ってしまうと、核融合実現までの見通しがまだ不確かだとも取れますから、「君たち何、まだそんな理解のレベルなの」といった反応も出るか



後藤基志氏

もしれない。

八木：工学というのはいろんな選択肢の検討を進めていって、研究の過程においてそれらの選択肢を落として最後に一つを選ぶというプロセスであると言えます。けれども今なかなかそれが許されがたいような風潮というのがあるような気がして、要は確度のいいところに投資をして効率的に研究をしなさいという圧力がある。税金でやっていく研究に対してこういう圧力が高まっている時に、成功したら大きな成果があがるけれど、成功するかどうかはまだはっきりわからないという研究を説明するのはすごく難しい。ましてできるかどうかかわからないよ、とできれば言いたいようなものをどう説明するか、自分は一応それにコメントをしなくてはと思ってきたのですが、答えとして非常に大変だなというのが正直なところです。非常に難しいけれど可能性は十分ある、ということはどう伝えるかというところに頭を使っていくようなことを、今からやっておくべきなのだろうなというふうに思っています。

この座談会に胡麻をするつもりはないのですが、やはり新しいものを作るのが一番研究者にとっては楽しいわけで、そういう意味で原子力の分野に今新しいものを作るわくわく感がある分野ってあまりないような気がします。どちらかという尻拭いであったり、すでにトラブル満載なものが結構多い。核融合は面白さを伝えられるという良さとか楽しさがあるなと思っています。

鈴木：まだ核融合は一人前のエネルギー源ではないですよ。エネルギー源開発ではないので、そういう社会的な問題とか議論する段階じゃないと思っています。プラズマの研究に関しても、トカマクだヘリカルだと言っても、定常運転の問題もありますので、実際に炉にした時にどっちが良いかというのはまだ全然わかっていないと私は思っています。

そういう状況の中ですので、むしろ我々がロードマップを作るのだと思います。我々がロードマップを作って、それに応じて10年20年やっていってそれが国に承認されるということになると思います。我々が考えるべきは、ITERが終わってさあこれからデモ炉の研究を始めましようと言った時に、我々の中にどういう研究体制が整っていれば良いか。私の想像ですけれども、やはり大学にある小さな装置というのは後継者の育成のために使うべきだし、ヘリカルはヘリカルでデモ炉の定常運転を見据えて進んでいくべきだし、それとはまったく別にトカマク型のITERでなければ得られない物理もあるわけです。この三つをうま



八木絵香氏

く組み合わせて、あるいはこの三つをうまく利用しながら、国内のトカマクをITERのサポートに回すというのは良い考えだと思いますね。

松永：もし大学に中規模な装置がいくつかあれば、そこで勉強してきた人たちが次のステップでITERに向かっていけるわけですよ。それはヘリカルでやってももちろん良いのですが、一つの選択肢としてトカマクというのを持つことができるのであれば、大学のトカマクの学術研究で学生、若手を育てることができる。大学でのトカマク研究というのを続けていかないと、10年後20年後にITERでやってくれる人がいなくなるんじゃないかと心配します。

今はまだ装置をどれかに絞るといのでない方が良いでしょう。お金は限られていますがそこも考えようで、実験装置のサイズって一番良い規模があるんですよ。例えば非常に大きい装置はそれなりの性能が出ますけれども、何かするのにお金がかかる。それよりもある程度小さい方がいろんなことができ、そこそこのパフォーマンスも得られる。例えばJT-60は中性子が大量に出ているいろんなものを放射化してしまうので、そこを管理区域にして一度持ち込んだものは取り出せないし、ちょっとやそつとで新しいものはつかない。逆にもう少しサイズが小さいDIII-Dなんてアメリカの装置なのですけれども、わりとひよひよいと物がついて、そこそこパフォーマンスもいい。だからその一番効率的なところで学術研究をやっているのじゃないかと思えます。研究のブレイクスルーというのは学術研究から、あるいは学術というか物理研究というか、そういうものから出てくるのだと思います。

【ITERにおけるブランケット研究】

岡村：ITERはもちろん核燃焼の炉心プラズマが大きな研究ターゲットですが、ブランケットの研究・開発も大きなターゲットですよ。それでブランケット絡みでいくと、今松永さんが指摘したような問題点というのは、あまり強くは出ていないということですか。それともやはり何かそれなりにいろいろあるのですか。

星野：プラズマを点けるためにはヘリカルを選ぶかトカマクを選ぶかという2本柱ですよ。ブランケットに関しても大きく言えば液体で増殖するというのが核融合研と大学、固体でやるのが原子力機構、この2本柱になっていて、それがお互い手を結ぶかというとなかなか結ばない。

鈴木：今の研究のフェイズはITERでどちらかが採用されるとかいう状況ではなくて、まだデータがそろっていないのでどちらが良いと言い切れる状況に全くない。それで予算とか人員とかの判断にしても、両方のタイプの研究を今やっているところなのです。もちろん最終的には選択をします。

高橋：それはITERを作って試してみて、どちらが工学的に良いかを判断するというのではなくて、その前の段階でどちらかを選択してそれを設計に反映させなければいけないということなのですか。



高橋 信氏

鈴木：材料だけに限って言うと、ITERとは別にIFMIFという材料照射試験装置を作って、照射したとき良いか悪いかというのをこれからテストしましょう、テストする材料は両方から出しましょうということになっています。それが終わった段階で、あるいはある程度結果が出てきた段階で選択の議論が出てくるのだと思います。

高橋：最終的には工学的な判断で、きちんとデータが出た段階で、どちらかを選ぶという過程があるわけですね。私はITERの設計図とか見ていると、非常にできあがって設計が固まっているものだなというイメージを持っていましたが。

鈴木：ITERそのものはそうですが。

高橋：そこに入れるものとして、液体か固体かという、どういう物質を使うかということのをこれから研究していくというわけですか。

星野：プラズマを何で包むか、どういうかたちで包むかという研究の中身はこれからという段階です。だから別に、原子力機構だから固体増殖/水冷却というシステムを推しているわけではないわけですし、私も当然液体増殖とかの研究の状況も含めてどれが良いのかなといった感じで見ています。私のような世代の人間にとっては、むしろ液体増殖が可能であればそれを採用したいくらいに思っています。

高橋：こだわりはないということですか。

星野：固体で見える限界というのものもあるし、それが液体になると解決するというものもある。ただそこまで液体のタイプの研究が進んでいるかということ、まだだなあという感じがする。たぶん今後そのあたりを決めるのは私達の立場だと思うので、別に固体に固執しているつもりはない。どういう研究をやっているかを見ながら、一番良いものを選んでやろうという気持ちはあります。

原子力機構でブランケットを作って、中性子は当てられないけれど、それに水を流したり温度を上げたりとか、そういうものを調べることはできる。8年間JT-60が止まるというような問題はブランケット研究の場合はないので、そういう面では良いのですけれども、じゃあその研究をやる時に研究者が十分足りているかということ実は足りていないのです。この状態でほんとにITERに行ってもまともな研究ができるのかな、というのが本音です。

ITERで当然プラズマは点くでしょう。プラズマは点くけれど、じゃあ将来発電をやるための燃料部分の炉心、核分裂炉でいったら炉心に当たる部分を我々はやっているわけで、その部分に対する研究者が非常に少なくて、現

状では ITER に行ったときに大恥をかくのではないかと心配です。それは日本だけじゃなくて世界も同じような感じの状態です。

だから日本が本当に核融合をやるのであれば、大学の学術研究の中でも、例えば研究時間の 10 パーセントでも良いから、何かできそうなこと、ある程度現実的な見通しの高いものをやりましようと言いたい。それで大学連合でやっている液体ブランケットが有効であれば、我々はもうそちらに動くよ、という決意でいる。炉工の分野では研究者全体がトータルで足りていないので、極論を言ってしまうと、取りあえず最初は大学の皆さんも固体をやりませんかと言いたい。それが終わったら原子力機構を含めて全体で液体をやりますから。そういうような体制があると良いなあと、まあそれは理想なのですからね。

松永さんの思っていることとちょっと違うかもしれないですけど、研究者が足りていないという視点で、本当にオールジャパンを掲げて核融合をやるのであればなんとかしないといけない。どういう方式が良いのかわからないけれど、今話したみたいな極論が良いのか、あるいはもう少しバランスをとってやるのが良いのか、少しはトカマク/固体増殖ブランケットに傾けながら進めていくのか、といったところは考えなければいけないのかなと思います。この先研究グループの協力関係が平行線で行った時に、将来の発電炉が本当に見えてくるのかなあとという心配があります。

【核融合研究に人材は集まるのか】

岡村：研究者が足りないという話は、この座談会でもいろいろな場面で出てくる意見なのだけれど、それでは研究者が増えるというのはどういうケースがあり得るのか。例えば天文学とか素粒子研究とか、あるいはバイオでも何でも良いのだけれど、大学の中で研究の分野を決めるのは基本的には研究者本人の自由です。あるいは研究科の中で誰か教授が辞めたときに、その次はどういう分野の研究者にするのかというのは研究科として独自に考えますよね。こんなふうに研究者の中の自然な動きとして、ある分野の研究者がだんだん増えるといった状況が実現します。では我々の研究領域は、大学の中も含めて自然に人が集まってくる分野なのか。人が集まってくる分野だったら、ほっておいたってどんどん増えるだろうということになりませんか。

高橋：原子力分野を考えると、ここ 10 年、今ちょっと上がってきていますけれど、非常に人気がない状態で、大学でも学生が原子力を選択するかというしなかったですね。ただそういう流れの中でも核融合は別じゃなかったですか。核融合をやりたいという学生、夢を持って未来のエネルギー源だと思ってくる学生というのは、私は定期的ないたと思っているのですが。そのまま研究者に繋がるかどうかというのは別にしても、学生のレベルでみれば人気があると思いますね。高校生なんて核融合というキーワードには食いついてきますよね。

北島：勘違いしてもらってはいけないのですが、学生のある集団では人気があるというだけで、もうちょっと広い範囲の、ロボットだ宇宙だ、というふうなところでみると学生はそっちの方にいきますね。

高橋：そうですね、それは確かにそうですね。やはりロボット・宇宙には負けますね。

八木：入ってきた学生さんが、その分野の研究に直接関連しない所に就職したりしますよね。

鈴木：でも核融合がやりたいと言って学生に核融合の研究をさせたとしても、そのまま全員が大学の核融合の研究者にはなれないですよ。全体の関連する研究者の量というのは、産業界がどれだけそこに振り向くかというところで決まってしまう。

高橋：いや、おっしゃるとおりですね。

鈴木：そのフェーズにはまだ全然至っていないということは確かで、むしろ関連する中小の研究にどういったモチベーションを持たせるかということが多分ポイントで、中小の研究が例えばトカマクとか ITER を支えるだけのことになると、そこをやっていた人たちというのは ITER に就職できなきゃ他に行く場所がないわけですよ。

高橋：私もさっきから言いたかったのは、結局は産業界、メーカーですよ。原子力の分野も、低迷時期は全部の原子力の人材を他の IT とかそっちに結構持っていかれちゃったのです。今慌ててそれをまた引き戻して原子力をやろうとしているのですが、でもそれじゃあ間に合わない状態で、メーカーも今は原子力に関しては人材がまったく足りない状況なのです。核融合の分野は私は知りませんが、結局ものを作るのはやはりメーカーじゃないですか。そこがどれだけ本気で人を割り当てて投資できる環境にあるかというのが、すごく大きなポイントになるのかなと思います。

星野：それでも 5 年くらい前までですかね、それまでは産業界も結構食いつきがよかったですよ。我々の部門にも出向職員としてよく来ていたのですが、もうここ数年で逆に撤退されてしまうということになっています。今までは、核融合予算というのは原子力機構にどかんと降りていて、それで産業界に研究・開発をやってくださいと言ってプログラムを進めてきた。日本の景気は 2003 年から上がっていますが、同時に日本の財政事情が上がっているかというところではなくて歳出削減で下がっている。その煽りを食らって予算がなくなった。機構も産業界に払うお金がなくなってしまったので、産業界ももうお金にならないのは撤退。彼らはそこら辺はシビアですから、その中で ITER とかが今決まってしまったから結構苦しい。機構の人間だけでやらなきゃいけないというふうになっている。材料を作るのも中小企業にだんだんと移行している。最初は川重だったり東芝だったりというのが、だんだん中小になって来ているといった経緯もありますね。

【核融合研究の裾野の広がり】

岡村：大学における核融合研究の裾野と言っては語弊があるかもしれませんが、一般の学生にとって核融合のイメージというのは、やはり開発研究の時間がだいぶ長く経ったので少し飽きられたという点がありますかね。一方ではさっきの話じゃないですが、ITER でいろいろな課題が出てくると予想されて、その分研究はさらに進めないといけない。そのあたりの社会における核融合に対する感覚の変化するフェイズと、研究そのものの進展するフェイズのマッチングのずれという問題はありますか。

鈴木：私自身は今核融合に人気があると思っています。

岡村：周辺でかなりの学生の注目を集めている感覚があるということですか。

鈴木：はい。一方で国として大事な産業である原子力をやりたいと言う学生は、一時はまるっきりいませんでしたね。だから核融合で夢を持たせて廃棄物の研究をやらせる、そういう入口と出口だったのです。核融合が人気があるというのは、エネルギーが無尽蔵である、クリーンである、そのイメージが先行しているからこそ、今まだ人気があるのだと思っています。

でもそれが本当に ITER を作り始めると、トリチウムに関係したいろいろな問題は出てきますし、ITER とかその先のデモ炉を見ていくと、燃料は無尽蔵だけれど建てる材料が足りないよとか、多分現実がすごく見えてきて、それこそまさに八木さんのコミュニケーションの話が役に立つようなところになってくると思います。中期的には本当にエネルギー戦略として核融合が認められ、産業界例えば各社によって方式が違うモデルが出たりする。多分その頃になれば人はどんどん輩出するというふうに思いますけれども。

岡村：原子力関係のそういう学生の流れというのは、現状ではやはり核融合に比べると一桁とか大きな流れがあるのですか。

高橋：原子力は分野が広いですから、ケミカルなものから機械やら物理やらありますので、工学としてこれから広がっていく分野だと思いますし、人間の流れとしてもかなり大きな流れがあると思います。

岡村：核融合はそういう周辺というのかな、関連する部分の流れが意外とないのですね。炉工と炉心プラズマだけなのかなあ。

鈴木：いや炉工は新材料や原子力材料に繋がっていますよ。

坂本：やはり必要がないからじゃないかなあ。私が思うには、多分松永さんが言われた、大学にトカマクがないとかプラズマの小さい装置がないというのは、やはりある意味必要がないというか、学生が寄りつかないということであって。核融合というのは核燃焼をして初めて意味があるわけです。今言っている高温プラズマの閉じ込めというのはただプラズマを閉じこめているだけで、将来の発電とはまったく違っているわけですね。アルファ加熱をしてプラズマを自己燃焼させて自己維持するような状態を実現して

やっとな核融合のエネルギー源となるので、やはりそこに行かないと新たな問題が出てこない。新たな問題が出てくればそれをやる研究者も出てくると思います。

今高温プラズマの閉じ込めをやると思って小さな装置を作ったとしても、何も画期的には変わらないですよ。今の段階ではもうやれるところはもう済んでしまっているので、研究の広がり感という問題にしても、研究のピークの高さを高くしないと裾野が広がっていかないと思います。そういう意味でも私は ITER が動き出すことでかなり変わってくると思います。

岡村：今まではどちらかというとな方広がりみたいな感じだったということですか。

坂本：今いくら周辺を広げても新たなフェイズにはいけないと思います。この分野でちゃんと研究を進めるためには、とにかく1歩前に出ないと。今は言い方は悪いけれど、重箱の隅をつついていっているような気がします。

岡村：ITER がそういう意味で新しいフェイズを切り開くというのは例えば15年くらい先であって、その先で裾野が広がるには1年ということではなくてたぶん5年か10年かかる。というと2-30年先になってやっとなフェイズが変わるといいう言い方になりますね。

鈴木：いや、私の意識の中では ITER をやると決まった時点で変わりつつあります。私は薄く広くというわけではなくて、炉工とプラズマと全部合わせて、むしろこれまでは小さなピークがいっぱいあるギザギザなような研究だったと思っています。関連した研究者でもまだ会ったことのない方も多いですし、それに自分の細分化された領域以外のことがよくわかっていない。すぐ隣の研究分野に接しているかという、そうでもないというところがある。だからそこに ITER という一つ大きな山というか、目標ができましたので。

坂本：今の場合はもう完全に要素で別れちゃっている感じですね、プラズマと炉工は。

【炉心プラズマ研究と炉工学研究】

岡村：私も実はね、どっかで言い出そうとしてずっと思っていたのだけれど。

坂本：核燃焼でプラズマができれば、それはもう繋がるものですよ。プラズマで中性子を出して、それによってブランケットの研究なり炉工と繋がってくるわけですよ。

岡村：ここに集まった皆さんの研究分野のせいもあるけれど、炉心プラズマとブランケットと、坂本さんが言ったみたいに何か二つの別々の研究グループというか、それぞれが研究をやっている、それで全体はどうなっているのか、中間領域はないのかとかね、そんなふうには感じないですか。

八木：感じます。

岡村：普通に聞いていると少し異様な感じ。ブランケットと炉心はそれはもちろん重要な二つのコンポーネントであるけれど。

八木：何か実用化という目標の鏡があるのに、それで本当

に実用化に向かっているのかと疑問に感じる部分があります。それぞれに走っていったら、一番の問題点はその隙間のところに生まれてくるもののような気がするのです、その間にある接点の研究がないままに進んでいるというのは結構不思議な気持ちで見えてしまいます。

北島: まさに坂本さんが言われたように、核燃焼のプラズマができれば本格的な核融合研究が始まるのですが、中途半端に先なのです。中途半端に先のところをどうするのというのは、松永さんが心配しているような要素なのです。裾野の言っているものの中身が何もないと、結局ピークを高くしてもだめということもある。高くすると裾野が広がるという言葉は非常に良くして視覚的にも良いのですが、そのためにはいろんな要素を準備しておかないといけない。だから言っちゃなんだけれど、無駄なものも必要かと思う。実験装置に直に触れるようなものも必要で、確かに研究にとっては無駄かもしれませんが、人材育成にとって無駄かどうかというのは、また別の問題です。

鈴木: 炉工の材料研究を取ってみると多分すごくよくわかんと思います。炉工の材料研究というのは、核融合プラズマから中性子が出てくるらしい、とにかく照射に強い金属を作ろうとそればかりやっています。しかも大学の個々の研究室が中心になっていますから、私が言うのもなんですけれども、多分そんなに周りの勉強はしていません。お題目として知っていても、実際プラズマからどんな性質の中性子が来るのかとか、社会情勢がどんな研究を望んでいるのかなどは、遠い話なのです。

それをずうっとやってきたのですが、ITER のテストブランケットモジュールとってブランケットをとにかく形にして入れてみましょうというプロジェクトが立ち上がった。別に入れたからといって、デモ炉に向けた研究の大きな流れに直接影響する部分は小さいのですが、取りあえず入れてみようかという話し合いが始まったのです。それで話し合いが始まると、やはりどの材料をまず第一優先で入れようかという選択の議論が巻き起こり、それに部品を組み合わせたら腐蝕が問題だとか、表面を何とかしないとその二つの部品をくっつけられないねとか、そういうことがつぎつぎとわかってきた。いままで大学の研究室というのは自分の得意なところで、しかも良いデータを出すという方向に行っていましたが、今は逆に今まで見込みがなかったのに誰も手を出さなかったところ、そういうところに、要するにこの山の間ですね、そこに注目が集まってきたという変化が確実に起こっています。

だから、本当に ITER ができると言うのは非常に良いことで、デモ炉に向けて研究をやるべきところはめちゃくちゃ増えた。モチベーションが非常に上がっているということです。

【これから発展する新しい研究領域】

岡村: 炉工とプラズマで間が埋まっていないという話に関連して、ITER の時代になって研究者の質と言うかタイプ

と言うか、現在我々の回りにいるような研究者のタイプがそのまま継続していくことで済むのでしょうか。つまり新しいタイプの研究者が今後は必要になるということはありませんか。例えばブランケットの専門家と炉心プラズマの専門家と炉材料の専門家と、今の核融合研究者のパターンが、それぞれ自分の抱えている研究テーマをそのまま 20 年後・30 年後まで継続してやっている、というのが核融合研究の将来のイメージですかという、そういう質問です。

一同: うーん、どうですかねえ。

岡村: ITER まではイエスかな。そこから先は ITER の結果次第だから何とも言いようがないと。それもちょっと貧しい答だね。

鈴木: ITER で私が気になっているのは、トリチウムの取り扱いをどうするのかということなんです。

岡村: その辺は、明らかにもっと人が入ってもらわなければいけないね。

坂本: それに関しては、私は ITER の粒子供給のワークショップに行っているんですが、粒子供給はペレットでやるということは決まっていますが、トリチウムのハンドリングについては安全の専門家からトリチウムの専門家まで集めて、グループで一緒にやっていますね。ただしそこではブランケットでのトリチウム増殖の話は入っていません。少なくとも ITER のトリチウムハンドリングに関しては、違う専門の人が集まってやっています。

星野: 逆にブランケットに関わっているトリチウムの人達ってというのはまた別の研究グループなのですよ。

鈴木: いやトリチウムの人たちこそが、研究分野の間を繋ぐ人達なのです。

松永: 間を繋ぐのかなあ。間を繋がないといけないんだけど、結局はプラズマ側の方に偏っている状況。

岡村: このあたりの話、私が聞いても全然わかんないのだから、多分皆さん何を言っているのかわかんないんじゃないですか。

鈴木: トリチウムの人達というのは、元々水素の専門家なのでいろいろな分野を動き回りますね。材料との相互作用はどうなんだということにも関心があるし、放射性物質なので社会情勢とも一番関わりの深い工学でもある。しかし人数的には金属材料の研究者と比べても非常に人数が少ないので、その人達の興味はむしろプラズマ側に寄っていて、なかなか本来必要な研究分野をちゃんとカバーしきれない状況です。このような研究領域をしっかりと追求するのが、溝が埋まる活動だと思います。

高橋: トリチウムは、ケミカルには水素と全く同じ物と考えて良いのですか。

鈴木: 同位体効果が少しありますが、そうです。

【50 年後の核融合研究のイメージ】

岡村: 少し先のことを議論したいのですが、20 年後の核融合研究というのは、世界の中で ITER かあるいはデモ炉

か、でっかいものが世界にはいくつかあって、それ以外にどのくらいの装置が相変わらず研究をやっているというイメージを考えますか。さらに言って 50 年後に、自分の好きなことができる核融合の閉じ込め装置がいっぱいあるという状況を想像しますか。

松永：50 年後ですか。世界の中に。

岡村：つまり、核融合研究の 50 年後の世界全体のイメージ。逆に言うと、そこでプラズマの高性能化研究というのがどれくらいまだ継続しているかということですね。ブランケットだったらどうなんですか、50 年後は。

星野：根本的に形が変わっているかもしれないですね。固体でもない液体でもない、違うものが。

岡村：何か良いものが一つ出てきて、それでも相変わらずそれ以外のものもゴソゴソやっている。何種類か、5~6 種類、延々と。

坂本：ブランケットに関しては、いったん実用化されたとしてもずっと改良し続けなければいけないものだと思います。

岡村：改善というのは続くね、たぶん。

星野：ひたすら改善をし続けてるんだと思いますね。

岡村：それも効率の 1 パーセント、2 パーセントを追求していくわけだからね。

坂本：原子炉の研究で京大の研究炉が、いつ頃までちゃんと研究として使われていたか、そういうのと共通の話ではないかと思います。

岡村：私のイメージでは 50 年後やはりプラズマの閉じ込め改善の研究は継続している気も少ししているんですよ。デモ炉が動いたとしても、その横でプラズマの閉じ込め改善研究は進んでいくのかなあと。

松永：その時は、産業界もある程度入ってきているんじゃないでしょうかね。ある程度メドが立てば黙って見てないでしょうから、産学連携みたいな感じで。希望としては ITER とかを進めていく中で何か新しいブレイクスルーが見つかって、50 年後はもっと良い方向にというか、より実用的な方に進んでいってほしいなと思うんですけど。そう思うと、メーカーとかが自分でそういう装置をもってそういう研究をしていると予想します。だからそういう意味ではもう我々の仕事は。

岡村：(50 年後には) ない。

鈴木：私が思う 50 年後は、楽観的かもしれないですけども、もう国とかでやる状況ではなくて産業界でやっている状況。だからインドとかブラジルの有名企業が何方式の炉、何方式の炉というのを作っていて、それがどんどん稼働していて、その改良がその会社の中で行われている。それで保守も含めてものすごい人数が必要になりますよね。たぶん 50 年後はそういうことになっている。今のような、例えば一つの方式に集中して開発しているような不自然な状態がずっと続いていたら、もう見込みがないということなんじゃないかと思います。

松永：東芝と日立でしたか、アフリカなどで原子炉を落札

して今は景気がいいみたいな話を聞きますけれども、あれなども方式がいくつかあるんですかね。だから逆に言うと、今のそういう原子炉業界みたいなものに置き換わっているというか、そういうレベルになってほしいです。

八木：その頃にそのくらいになって実用化されていないと、さすがにもう社会に許容されなくなっているという気がするんですけども。そこで「いや、まだ」って言うのなら、ちょっと。

鈴木：だからやっぱり、50 年後には 100 基できていないとだめですよ。

八木：イメージとしてはそういう印象がありますが。確かにスタートからみれば 100 年後みたいな感じになるわけですね。

岡村：今は 50 年だから。

八木：そこで「いやあ、まだ研究の途上で」と言われるのはどうなんでしょう。

鈴木：やはり責任は持ちましょうよ、若手と呼ばれているんで。

【ITER で決着がつくことは何か】

八木：逆に言うと、ここにふさわしい話題かどうかかわからないんですけど、実用化は困難という「見切り」ってどこでつけるのかなというのが正直言ってわからないところがあって。可能性は当然いつまでも残るんですけども。

坂本：それは、本当はフルサイズの ITER で見切りをつけるはずだったんじゃないですかね。それを小さくしたところでもう話が違ってきて。今は言いわけができる装置になっているので。

八木：ああ、なるほど。

坂本：これはまだ小さいから、核融合はもっと大きなのを作ればできるという言い方をする余裕が出ているから、僕はそれがすごく残念だと思うんです。

後藤：こっちから「もうだめです」ということはないんですか。やっぱり予算がもう出なくなったりとか。

岡村：だから、見切りをつけるというよりも見切りをつけられる方なんですかね。

鈴木：私はどちらかと言ったら間だなあ。できるできないというのは一つの要素技術の話をしているのであって、トータルでは作るべきか作らざるべきかだと思うんです。まだその判断までいっていないということだと思います。例えば、もんじゅだつてできていますよね。だからある意味ではあと 700 年は平気なんです。だけどそれを使うべきか使わざるべきか、それを決断する時が必ず来るわけです。**坂本**：その間に答えられる状況になっていないのは確実です。プラズマの面から言うと、それは核燃焼プラズマの維持ができるかどうかということなので、本当に ITER である程度のことが見えてくるのではないかと思いますね。

鈴木：我々の分野でも柱が 1 年もつかどうかという話だけしていますから。だから本当に ITER が転換点だと思いますよ。繰り返しになりますけれども、まさに八木さんのよ

うな方が参加して下さって、デモ炉についてそういう話ができるようになったというところですので。

岡村：ITERは核燃焼制御というのがもちろん第一の目的ですが、ブランケットの場合核燃焼制御ができるかできないかというのと似たような、そういう課題設定という意味ではどういう言い方になるの。

星野：ブランケットはあくまでもプラズマ側に悪影響をもたらさない範囲で研究をしてくださいという位置づけです。

岡村：連続的な研究の一つのフェイズというふうな言い方かな。

星野：はい、そうです。

岡村：だからITERのブランケットで、なにかに○×をつけるというような意気込みというよりは、ずっと継続して研究している中の一つのフェイズ。

星野：本来ならば○×をつけたかったというのがあらずけれど。

岡村：できればつけたかった○×というのはどういう○×なんですか。

星野：要するに固体増殖に水冷却が成り立つのか、固体増殖にヘリウム冷却が成り立つのか、液体リチウムが良いのかと。○×だけじゃなくても、優先順位くらいはやっぱり決めたいねということです。

鈴木：優先順位くらいは決めたいねって思っていたわけですが、熱の取り出しは一切ないですからね。プラズマから0.5ギガワット発生するのと比べてゼロと言わざるを得ないですね。それからトリチウムの増殖という面でもデモ炉と比較するとゼロです。あとは構造材も本番で使う材料は一切使っていませんから、そういう意味でもゼロですね。照射もないので、唯一あるのがトリチウムの大量取り扱いです。

岡村：そうするとブランケットの課題は、次まで持ち越されるということになりますか。

鈴木：そのとおりです。

岡村：総合的な核融合というのは、デモ炉までいかないと何とも言えないっていう言い方になりますね。

星野：核燃焼プラズマ実験装置ですから。

北島：でも、画期的なことですよ。

坂本：初めて見るものですから、人類が。

鈴木：画期的ですよ。

【終わりに】

岡村：もう大分時間もなくなってきましたので、高橋さん、八木さん、締めコメントをください。

高橋：すごく私は面白く聞かせていただきましてためになりました。一つ驚いたのが、これだけ若手の専門家が集まっていたらしゃるのに、まだわからないことがかなりあるんだなあということがわかり、でも工学的にそれは踏まなきゃいけないステップなので、これから核融合の人たちも大変なんだなあというのを正直感じました。

原子力は核融合ができるまで何とかそのエネルギーを支えなきゃいけない。さらに高速増殖炉がどうなるか、その核燃焼サイクルも難しいところにはありますが、次の核融合にバトンを渡せるようにがんばりたいと思いますので、核融合の方もぜひがんばっていただきたいなあと思います。ありがとうございました。

八木：私も話に全くついていけなかったらどうしようと思いつつ来たんですけど、非常に面白く全体を聞かせていただいて勉強になりましたというのが率直のところ。一点思うのは、私、今日はコミュニケーションの立場で来ましたが、核融合はまだ対住民とか対社会というところのフェイズではないのかなと思います。むしろ核融合の研究はこんないろいろな分野なり研究機関があるのならば、こういう場でいろいろなフリーな話ができるような状況があれば解決できるものはたくさんあると思いつつ話を聞かせていただきました。ありがとうございました。

岡村：ありがとうございます。ではこれにて。

「若い世代は核融合研究の将来をどう描くか」座談会出席者の紹介

この企画の中で、核融合研究の未来を語る座談会の出席者を選ぶ際には、次のような観点を取りました。まず、将来の研究を担う方々に語っていただくという点で若手研究者を中心とし、また今後の核融合研究の展開を考えると、現在の関連する研究分野の範囲がそのまま継続するとは考えられないことから、核融合研究分野以外の方にも加わっていただきました。(五十音順)

後藤基志： (ごとう もとし)

核融合科学研究所大型ヘリカル研究部助教。専門はプラズマ分光。大型ヘリカル装置 LHD において分光計測全般を担当。主にプラズマ周辺部の粒子輸送に関する研究を行っている。

小林進二： (こばやし しんじ)

京都大学エネルギー理工学研究所助教。学生時代にタンデムミラー(GAMMA10)、博士研究員でトカマク(JT-60U)の研究に従事。現在は中型ヘリカル装置ヘリオトロン J で、主に NBI プラズマのエネルギー閉じ込め・高速粒子輸送の研究を進めています。研究対象は 3 次元になりました。

坂本隆一： (さかもと りゅういち)

核融合科学研究所大型ヘリカル研究部准教授。核融合科学研究所の LHD 実験に立ち上げ時から参加し、高温プラズマにおける粒子制御に関する実験研究に従事。核融合炉における燃料供給法の確立をめざし、固体水素ペレット入射実験を中心として研究を進めている。

鈴木晶大： (すずき あきひろ)

東京大学大学院工学系研究科原子力専攻准教授。主に液体増殖方式ブランケットにおける核融合炉材料研究、ブランケット工学研究、トリチウム工学研究に従事。平成 12 年から平成 16 年まで核融合科学研究所炉工学研究センターに在籍し、平成 16 年から現職。炉材料の腐食、液体増殖材中でのトリチウム挙動、炉材料表面への絶縁・耐食・トリチウム透過防止セラミックコーティングの開発、IFMIF の Li ターゲット純化などに取り組んでいる。

高橋 信： (たかはし まこと)

東北大学大学院工学研究科、技術社会システム専攻准教授。平成 3 年東北大学工学研究科原子核工学専攻博士課程修了後、平成 4 年から平成 8 年まで京都大学原子エネルギー研究所助手。平成 8 年東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻助手、平成 12 年同助教授、現在に至る。原子力プラントにおける知識情報処理、大規模機械システムのヒューマンインタフェース設計と評価に関する研究に従事。近年は、脳機能解析によるヒューマンインタフェースの評価という新たな分野に取り組んでいる。

星野 毅： (ほしの つよし)

東京大学大学院工学系研究科システム量子工学専攻博士課程修了。工学博士。現在、日本原子力研究開発機構の研究員。核融合研究開発部門・核融合エネルギー工学研究開発ユニットに所属し、ITER テストブランケットモジュールに関する研究開発に従事。主に核融合炉の燃料製造に必要な先進固体トリチウム増殖材料の開発および各種特性評価を行う。

松永 剛： (まつなが ごう)

日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門・先進プラズマ研究開発ユニット研究員。工学博士。名古屋大学大学院に在学中、核融合科学研究所の CHS 装置にて高エネルギー粒子不安定性の研究に従事。その後ドイツ・ユーリヒの TEXTOR トカマクでポスドクとして研究。現機構にて博士研究員を経て現職。現在、大型トカマク実験装置 JT-60 で高 β プラズマの MHD 不安定性研究に従事し、高 β プラズマの定常維持をめざす。

八木絵香： (やぎ えこう)

大阪大学コミュニケーションデザイン・センター特任講師。専門は、科学技術社会論、ヒューマンファクター研究および、災害心理学。2002 年から、原子力について市民と専門家、または意見を異にする専門家同士が対話する場を企画、ファシリテーターとして活躍する。最近では、原子力に限らず、先端科学技術に関するコミュニケーションについて、実践・研究の両面から従事している。

岡村昇一： (おかむら しょういち) [司会]

核融合科学研究所大型ヘリカル研究部教授。高温プラズマの磁場閉じ込め研究を、直線型ミラー・カスプ複合系、ヘリカル・トーラス系と続けてきた。核融合科学研究所の中型閉じ込め装置 CHS の実験では、実験グループの中心的な役割を果たす。現在はシミュレーション科学研究所研究主幹。プラズマ・核融合学会常務理事(2004-2007)。

北島純男： (きたじま すみお) [司会]

東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻准教授。立体磁気軸系のプラズマ閉じ込め研究を続けてきた。立体磁気軸系閉じ込め装置の一種である小型プラズマ閉じ込め装置東北大学ヘリアックにおいて閉じ込め改善モードの基礎実験を進めている。プラズマ・核融合学会誌編集委員 (2006-2008)。