

## ユニットテーマ構想個別会合（提案 No.23）議事録

日時：2021年6月23日（水）15:00～12:10

参加者(五十音順):朝倉伸幸(量研)、江原真司(東北大)、長壁正樹、大谷寛明、岸  
本泰明(京大)、釘持尚輝、小林進二(京大)、小林達哉、小林真、後藤拓也、相良明男、高  
橋裕己、竹野裕正(神戸大)、田辺克明(京都大)、田村仁、力石浩孝、長坂琢也、成  
嶋吉朗、能登裕之、波場泰昭(日大)、濱口真司、増崎貴、宮澤順一、本島巖、森  
芳孝(光産業創成大)、安原亮、矢内亮馬、柳長門、山口裕之、横山雅之(計30名)

### ●ユニット構築提案書案についての説明（後藤拓也）

- ・ 後藤から先週の議論内容の概要を紹介、またユニット構築提案書の案と、事前にいただいたコメント（超伝導分野からの共同研究への要望）を提示。
- ・ ユニット構築提案書案のユニットタイトル（核融合がもたらす革新的工学システム研究）をもっと分かりやすくべき、炉工学をまとめる役割としての炉設計をもっとはっきりと記述するべきといった議論があった。また予算獲得手段や研究規模の拡大を視野に入れた議論が必要なことも指摘された。
- ・ これらの議論を受け、ユニット構築提案書を修正した内容を次回議論する。

### <質疑詳細>

（宮澤）多くの人の研究が乗る内容にすべきとはコメントしたが、今度は一般化され過ぎた印象。目的ないし10年度の成果については、それを今決定はできないにしても例示したほうが良いのでは。例えばカーボンニュートラルの切り札としての核融合炉、エネルギー貯蔵としての水素技術など。ここで参加者でブレインストーミングしてみるのはいかがでしょうか？

（後藤）このユニットとしてはゲームチェンジャーとして他分野に打って出られるようなものを目指しているが、具体案はまだない。それをここから数ヶ月で生み出せるとも限らないので、まずは参画を考えてくださっている方々のイメージできる手近なところから多くのアイデアを出し合い、それが重なり合うところとしてコア研究テーマが形成されていくのが望ましいと考えている。数年かけていくつかのテーマを進め、その中で成果が出そうなもの、あるいは大型の研究資金を獲得できたものが育っていき10年後に何かを生み出していくことをイメージしている。

※ここでアイデア例（核融合炉設計、液体金属を用いたCO<sub>2</sub>分解・水素製造・水素貯蔵システム）を提示。

（森）核融合の特徴は難しさが際立っていること。簡単にできないことが他分野に伝わるような示し方ができると良い。その上で10年で例えば耐熱性をここまで向上できた、などの

具体的な成果を示し、それが宇宙分野などでも応用できる、というようなストーリーが出せると良い。

(宮澤) 具体例で示すと先進的な耐熱・排熱システムということか？

(森) そうである。

(大谷) 可視化の分野ではデジタルツイン(実際の機器等をデジタルの世界に双子として作り、製品設計・製作におけるシミュレーションをすることに加え、互いにデータをやり取りすることでデジタルデータを実物に重ねて表示したり、実際の機器の動作を3Dセンサで測ったものをデジタル空間側にフィードバックする手法)がホットなキーワードになっていると聞いた。核融合炉の保守やトラブル時の対応などに応用できるのではと考えている。

(宮澤) 仮想現実と似ているように思うが、既にどこかで取り組まれているのか？

(大谷) 具体例については調べ切れてはいない。携わっている研究グループはあるが、最近出てきた新しい概念である。

(宮澤) 工学的なものも含んだ数値実験炉があれば良いと思っていたが、それに相当するものか。

(大谷) まさにそうである。しかもシミュレーションの中に閉じ籠らず、VR、AR、IoTなどを使って現実世界とやり取りするものを想像している。

(後藤) 全く新しいものを作れば理想的だが、既にある研究や概念であっても、核融合分野に適用することでその研究が大きく進展する、あるいは適用例がなかったところに核融合がうまく当てはまるというようなことがあれば十分新しい学術になると思う。そのような観点でどんどんアイデアを出していただければと思う。

(宮澤) 工学設計をしている立場からするとそういったツールがぜひ欲しい。ゲームでいう物理エンジンのようなイメージ。シミュレーション研究者として興味を持てるのかは分からないが。

(山口) 現状数値実験炉研究プロジェクトに関わるメンバーで、学術的な形で自分が関わるという意味で興味を持っている人はそこまで多くないかもしれない。

(宮澤) 他分野はどうか？もう実用化されているからあまり研究の余地はない？

(山口) 何とも言えない。

(後藤) こういうことをやってみたいという提案でも構わないので出していただきたい。

(力石) 現在軽水炉や電力系統では実機と並行してシミュレータが動いていて、制御はシミュレータの内部情報に基づいて行いながら、実機のデータをフィードバックしてシミュレータを更新している。これの核融合版を作る必要があるのではと思う。

(宮澤) 既存のものに組み込めるのでは？

(力石) 電力系統シミュレータは電力会社が持っている大規模なものから大学実験室レベルの小規模なものまである。ただしここに核融合炉を入れてどのように電力系統に組み込むかということまで考えると、それなりの規模のものが必要と思っている。核融合炉自体がどのようなレスポンスをするかという基礎データが必要で、それについては数値実験炉の

ようなものとカップリングする必要がある。

(宮澤) 電力系統と核融合炉の運転を組み合わせたシミュレータということか？

(力石) そうである。

(宮澤) 安全コードについても何か一般化は考えられないか？

(後藤) 前回システムコードについてオープンソース化の議論があったが、安全コードの各モジュールもオープンにして必要な知識を持った人に作ってもらうようにすれば、多くの分野の人が参画でき、また他のコードにも使える一般的な式などができて研究の幅が広がるのでは？

(小林真) 安全コードも支配方程式は流体や物質移動などの組み合わせなので、そういったやり方は考えられる。また核融合炉は、複数の相や広い圧力範囲にまたがる水素を先進的なプロセスによって取り扱うシステムでもあり、安全解析コードはそれらを定量的に予測できるシミュレーションコードにもなる。水素利用は今後社会的な要請になると考えられるので、核融合炉で先行してシミュレーションコードを開発できれば、そういった水素社会にも貢献できるのではと思う。

(後藤) 水素の工業プロセス解析コードとでも言えるものか？

(小林真) そうである。

(宮澤) 水素だけでなく、汎用の安全コードとしての視点もあるのでは？石油・天然ガスなどのプラントにも応用できると思う。

(小林真) 物質の違いは物理パラメータの違いであるので、他の物質にも適用はできると考えている。一般的な化学工学のプラント設計の延長線上にある。

(宮澤) 核融合炉の安全解析コードと言えるのでは。

(小林真) 安全管理は核融合炉において非常に重要な部分であり、一般の水素プラントでそこがどの程度検討されているかは分かっていないが、核融合炉のための実験を含めた検討が設計に生かされる仕組みがあれば良いと思う。

(森) オープンソースでモデリングするのは良いアイデアと思う。できたものがどういった分野に応用できるのかまで踏み込めるとより良いと思うが、核融合よりも複雑なシステムがあるのか？

(宮澤) 安全解析はどういった分野でも重要であり、応用先はたくさん考えられるのでは。

(後藤) 核融合より複雑なものはなかなか思い当たらないが、だからこそ核融合で実証されることで他のどんなものにも応用できる、という側面はあると思う。また、宇宙空間や月、火星などでの閉鎖系のシステム設計は、核融合に匹敵するくらいの複雑かつ極限・限定環境となるので、そことの共通性は考えられる。

(森) テラフォーミングの試金石にはなるかもしれない。

(柳) 少し議論の方向性が分からない。核融合は個々の技術が難しいのであって、制御に関してはできることが限られている。化学プラントではもっと難しい制御が工業プロセスとして既に実用化されており、核融合だから新しい、というようなことはあるのか？

(宮澤)ブレインストーミングなので、そういった詳細の議論は後回しで良いのでは？

(森)そういった既存のシステムの恩恵を受けていることは事実なので、それを踏まえて我々が何ができるのか、という視点が大事だと思う。

(柳)その観点は大事だが、よく検討してからテーマとして掲げるべきでは。

(宮澤)今できるかできないかという議論をしてしまうと、新しいアイデアは上げられない。

(後藤)できるかできないかということもあるが、核融合炉のほうが新しかったり複雑だったりしなくても、逆に核融合炉全体をシミュレーションする大規模なコードに組み込める形にいか精度を失わずに簡略化できるか、という点に新しさを見出せるのでは。

(宮澤)繰り返しになるが育つテーマを選ぶのは数年かけての話になると思うので、まずはアイデアをたくさん出すことが重要だと思う。そのあたりのイメージが共有されていないのでは。

(後藤)まずは直近の科研費申請で考えていることなど手近なアイデアからスタートすることになると思われるので、それらやその先にある構想を挙げていただくと良いと思う。それらの中から実際に研究費が獲得できたものや、発展が見込まれ人が集まってきたものを選んで10年後のアウトプットにつながることをイメージしている。

(柳)この場で色々アイデアを出しても時間がかかるし、結論は先になると思うので、メールベースでの提案などで良いのでは？

(後藤)ユニット構築提案書自体へのコメントをいただきたいと思っているので、それをこの場で直接いただけるのであればそれが一番ありがたいが、具体的にやりたいことを挙げていただければ、そういった研究が乗るような形で提案書をまとめることができると思っていますので、その意味で今議論をさせていただいている。

(本島)個人的には極限的な気体分離技術の確立を挙げたい。具体的には水素とヘリウムを分離することが目的だが、この2つは分子・原子サイズも似通っているので、これらが分離できれば他のどのような気体にも応用できると思う。空気からヘリウムを精製する分離膜はあるが、水素とヘリウムを分離する技術はまだないと思う。

(宮澤)水素とヘリウムの分離は分離膜を使えば容易では？

(本島)現状は真空を引かないとできない。もっと効率を上げたい。

(小林真)分離膜で隔てられたそれぞれの空間の分圧だけの問題なので、高圧であっても容易では？

(本島)核融合プラズマにおいては水素の分圧を下げるのが難しい。

(力石)水精製における逆浸透膜のようなイメージか？

(宮澤)原理の詳しい話はここで行うことではないが、単に高効率、という言葉ではニュアンスが伝わらないように思う。今までなかったようなものを作りたい、ということだと思う。

(本島)原理についてはまた別途議論させていただきたい。

(後藤)細かな原理などの議論はここでは行わないが、こういったコミュニケーションにつながることは価値があるので、どんどん意見を出していただきたい。

(宮澤) 一般的過ぎて何をやるのか分からないので、こういった研究テーマの例示をして、その後のタイムスケジュールを示して共有しておくことが大事と思う。

(長壁) 短い期間でやるという観点でブレインストーミングは大事と思うが、どこから研究費を獲得するかということも含めて考えるべきでは。例えば脱炭素社会やデジタルトランスフォーメーション (DX) 関連の予算など。

(後藤) 今は研究テーマだけを考えるフェーズということになっているが、予算やテーマも考えないとその先につながらないのは確かだと思う。工学で学術的な大型予算を取りに行くのはなかなか難しいという議論になっているので、例示していただいたような、そこに限らない予算を積極的に狙いに行くイメージは持っている。ただ具体案はないので、そのあたりについてもぜひインプットをいただきたい。

(長壁) 水素製造・貯蔵などうまく関連付けられると良いのでは。

(安原) 水素製造の予算については NEDO で大規模なプロジェクトが走り出そうとしているが、こういった経産省系のプロジェクトは企業と共同で応募する必要がある。既に企業と共同研究をしているか、またはその種があるということでない、難しいのでは。こういった公募はまだしばらく続くと思うので、まずは小規模な予算で自分たちで実証をすることが次につながるやり方と思う。そういう観点でプランニングをするのが良いのでは。

(後藤) ユニット構築提案書としてはそれなりにまとまっていきそうに思っているが、その後のユニット構築の議論がスムーズに進むように準備をしておく必要がある。

(宮澤) 研究展開のイメージをスライドとして作って共有しておくべきでは。

#### ※研究発展のイメージのスライドをその場で作成

(安原) 単に段階的に予算規模を拡大しつつテーマが絞られていく、という形だと、個々が取り組んでいたテーマの総数が減っていき、誰かが立ち上げたテーマに相乗りしていくイメージになると思う。これだとお金が付かなかった研究は諦めていくことになってしまうので、大規模予算を獲得して研究発展をしていく際に、ポスドクなどの研究者も雇って同時に規模も発展していくという形が理想的と思う。核融合分野は他分野に比べてポスドク研究者の割合が少ないように感じており、そういった研究体制についてももう少し考えるべきでは。

(宮澤) 選択と集中はするが、それまでにあって研究の要素が引き継がれるようなイメージがあると良いように思う。

(後藤) イメージの共有はある程度できたとおもうので、本題であるユニット構築提案書の内容についてこの場でコメントがあればぜひいただきたい。

(田村) ユニット仮称にある革新的工学システム研究というのは何なのかがよく分からない。革新的という言葉は核融合工学研究プロジェクトで使われた革新的エネルギー循環工学のように、具体的な名前を付けたほうが良いのでは。

(後藤)「革新的工学」のシステムではなく革新的な「工学システム」の意味合いで付けていたが、それでも「革新的」だけでは伝わらないことは確かであると感じた。具体的な内容としては研究テーマに掲げたゲームチェンジャーを意識しており、これができれば格段に性能がアップする、今までやれなかったことができるようになる、ということ表現したいが、ユニット仮称に簡潔にどう含めるかを苦心している。ぜひ皆さんからもご意見をいただきたい。

(宮澤) エネルギーなどのキーワードで方向性を示すのが良いか？

(後藤) 個人的にはできるだけ幅広いテーマが含まれ、それが合わさったことで核融合炉に代表されるような複雑工学システムの設計から導入までの手法が確立することをイメージしているが、その幅広さがともすれば曖昧さを生んでしまっている面はある。もっと絞り込んだ名称にするほうが良い、ということであればそれも考えたい。

(江原) 幅広い研究者が参画できるイメージになっていることは良いと思うが、一般的過ぎるようにも思う。想定している研究組織が決まると自然と研究内容も絞り込まれてくると思う。炉工学全体を網羅しつつうまく取りまとめて革新的なものを生み出そうとされていると思うが、現在の炉工学研究は核融合炉を構成する各要素のある意味別々の研究であり、核融合炉という旗印の下でしかまとめられないのでは。現在の議論はそういった別々の要素研究に特化し、別の方向にも使えるように発展させる方向になっており、炉工学のまとまりがなくなってしまうようにも思う。全てを統合するとそれは核融合炉そのものになり、予算規模などからしても難しいことは理解するが、一部をまとめたものを提案するなど、コーディネーターとしての役割を果たしていただくと大学の研究者としてはより参画しやすくなるように思う。現在の炉工学研究の核融合炉以外の応用はなかなか思い当たらず、核融合に捉われずに発展させるという今の議論の方向性だと、なかなか関わり方のイメージがしづらい。

(後藤) 具体的な例を挙げさせていただくと、江原先生の溶融塩の熱伝達促進の実験・シミュレーション研究はもちろん FFHR への適用を念頭に進めていただいているが、そこで得られた知見は溶融塩を用いた熱除去システムに適用できるモデル式の提案などにつながると考えている。明確なターゲットがないと数値目標が立てられないので、それは核融合炉設計として設定することは考えられるが、研究が進むことで核融合炉設計にも、その他の一般システムにも適用できる知見が形成されることが理想である。

(宮澤) 核融合炉を志向したユニットが必要では、という意見はこれまでの議論でもあった。研究を幅広く展開する、というユニット構想そのものの理念からすると核融合のみを前面に出したユニット名称や研究テーマを掲げるのは難しいと思っている。核融合発の技術を活かす、という書き方だと核融合炉設計や核融合炉工学をもうやらないようにも読めてしまうが、炉設計研究はもちろん続けることになると考えている。

(江原) 現状は炉工学関連の研究者誰もが参画できるユニットになっていると思うが、研究組織や研究手法が明示されると、ある程度ふるいにかけてしまうように感じている。か

とって全ての炉工学研究テーマが入ってくるようにすると総花的になり、ユニットのコアの研究テーマが何か分からなくなってしまうように思う。

(宮澤) もともとあった「核融合炉設計を基盤とした」というキーワードをやはりどこかに入れるべきでは。

(後藤) 工学は具体的なターゲットがないと研究が進まないと思っているが、それは核融合研としてやるからには核融合炉しかないと思っている。今までは FFHR というさらに明確なターゲットがあり、それで研究が大きく進んできた面はあるが、今後はそれをモデルケースの一つとして、違うターゲットでも使えるものを作っていけないと考えている。

(江原) それは良く分かるが、あまりに何でも入れてしまうと、例えるならば具材が多すぎて何鍋なのか分からないような状態になってしまう。それが核融合炉工学の本質かもしれないが、それがひとまとまりに見えるようなやり方があると良いと思う。

(宮澤) 最初から絞るのはリスクだと思う。最初はバラバラの材料を持ち寄るのも良いのでは？

(後藤) 研究組織についてご心配いただいているが、ユニット構築提案書に名前が載らないと一切研究ができない、ということはないと考えている。所外の方については、コア研究者と研究協力者という枠があるが、それ以外にもこれまで同様の一般共同研究のような形はあると考えている。

(江原) 共同研究は今後全てユニットベースになるのか？

(後藤) そこは私もまだ分かっていないが、ユニットへの関わり方は色々あり、組織を決めた時にふるい落とししていくということではなく、このユニットで研究することでより発展が見込める方により深く関わっていただき、一方で設計に役立つ研究は色々な形でインプットしていただければと考えている。その意味ではコアテーマとしてはある程度絞られた形になると思うが、それをユニット構築提案書や研究計画書の段階で絞り込むのはリスクだと思っており、今は色々なアイデアが含まれるものを提案したいと思っている。

(宮澤) やはり炉設計を基盤とした、というキーワードが必要なのでは。

(後藤) 炉設計が現在進行形であること、また革新的な工学研究をすることで炉設計自体も発展する、というメッセージは込められるようにしたい。

(宮澤) コア研究テーマについては前回の議論にもあったようにカーボンニュートラルを前面に押し出すので良いのでは？

(長壁) 同感である。ポスト SDGs では何を意味しているのか分からないので、カーボンニュートラルのほうが良い。

(宮澤) 「カーボンニュートラルへ向けたゲームチェンジャー創出」をユニット名に明示する？

(後藤) これまでにいただいたコメントについては私のほうで検討させていただく。本日の会合で議論の経緯と今後の進め方は共有できたと思っているので、次回会合までにユニッ

ト構築提案書がどのような内容であるべきか、ということに関する具体的なインプットをぜひいただきたい。もし進め方自体にご意見があれば今お願いできればと思う。

(柳) 水素利用という観点で、平野先生提案のテーマとの合同会合もやられたほうが良いのでは？

(後藤) 核融合研や共同利用・共同研究拠点にある工学基幹技術や技術基盤を発展させ、技術革新を含めどのような展開が図られるか、ということについては安原さん、高田さん、藤原さんのユニットとの合同での会合を予定している。平野先生にも合同開催を打診する。

(宮澤) アイデアを出し合うのは重要だが、研究者にとってアイデアは非常に大事なものであるため、誰が最初に出したアイデアなのかが記録に残るようにすべき。

(後藤) 重要なお指摘である。議事録等にきちんと残すようにする。なお、合同会合はそれぞれのユニット、あるいは他のユニットも含めて活用できるアイデアを出し合うことを目的と考えており、現時点ではユニット構築提案書としてはここまで議論してきた内容を基に単独で出すことを念頭に進めている。

(宮澤) 喫緊の概算要求とユニットとの関係はどうなっているのか？

(長壁) 来年から第4期中期計画が始まるが、来年度もLHD実験は続くので、大規模学術研究プロジェクト枠については従来どおり、またそれと並行して予算要求する機能強化枠については、カーボンニュートラルやDXなど社会的変革をキーワードとすることが想定されている。再来年度や、来年度についても機構を通して出す部分についてはまだはっきりとは決まっていない。

(宮澤) 再来年度についてはユニットに対応したものになるのか？それともLHDのデコミッションを意識したものになるのか？

(長壁) そこはまだ分からないが、中期目標・中期計画に沿ったものにはなると考えている。

(宮澤) 各ユニットが中期目標・中期計画のこの部分に貢献できる、というような前向きな議論ができるようにするために、オープンにしてもらったほうが良いのでは？

(長壁) ユニットのことを意識しつつなるべく広い内容になるように議論している。

(柳) カーボンニュートラル関連については中期目標・中期計画として提案することも考えているが、それを実施するユニットが必要なので、その意味でもこの研究テーマ提案としてそれが議論されていることは重要と考えている。

(宮澤) 中期目標・中期計画のことを知っている人がユニット構築で有利にならないよう、オープンにしてもらいたい。

(柳) これまで継続してきた部分と、今後変革しようとしてきた部分がまだ完全に整合していない面はあると感じている。

(長壁) これまでプロジェクトとして出されてきた内容は含まれていると考えている。核融合は楢岡の実焦点であり、大学共同利用機関としても核融合に関する研究を行うことが役割として期待されている。一方最終目標である核融合炉実現自体は30年先だとしても、そこに向かう10年ごとの計画と目標はあるはずなので、ユニットではその最初の10年の計

画を掲げることが求められていると思う。

(森) 核融合科学としていろいろな研究を志向することは大事だが、それらを統合するユニットも必要だと思う。この研究テーマ提案がそれになるのでは。学術とはいえ目的があるので、それを束ねているものがある、ということは主張できると思う。知らないことを理解することは大事だが、それを知ったうえでやりたいことを実現する、というミッション、意志を持ったユニットもあってしかるべきであり、それは炉設計が担うものであると思う。

(後藤) どのユニットもそれぞれの役割を持っており大事だと思っているが、この提案としては、今いただいたような考え方を持って進めたい。この提案からなるユニットに参画するしないに関わらず、ここではこういった考え方や内容が含まれるべき、という意見があればぜひいただければと思う。