

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10日（木）10:00～12:00

参加者（五十音順）：朝倉伸幸（量研）、芦川直子、伊神弘恵、伊藤篤史、大谷寛明、大野哲靖（名大）、興野文人（京大）、笠田竜太（東北大）、神尾修治、河村学思、川本靖子、熊澤周平、釦持尚輝、後藤拓也、近藤正聡（東工大）、相良明男、重森啓介（大阪大）、染谷洋二（量研）、高橋裕己、田中照也、田村直樹、田村仁、寺井隆幸（東大・エネ総研）、利根川昭（東海大）、仲田資季、長坂琢也、西村新、能登裕之、濱地志憲、藤原大、福本直之（兵庫県立大）、御手洗修（先進フュージョン研）、宮澤順一、向井清史、柳長門、山口裕之、横山雅之、吉田善章、吉村泰夫（計 39 名）

(1) 提案内容についての説明（後藤拓也）

- ・ 後藤から 5/31 のユニット構築会議で紹介した研究内容提案と、その後いただいた質問・コメント、また伊藤公孝先生の講演にあった夢ロードマップの総合工学の部分について紹介
- ・ 議論の要点は以下（詳細な質疑は後述）
 - － 10年後の新しい学問（サイエンス）という観点でもう少し補強が必要では。
 - － 工学研究のゴールは社会実装だが、核融合炉自体の実装は10年のタイムスケールではないため、それに向けて何かをやる、という意味ではより一般化されたものが必要。あるいは具体的なもの（ターゲット）に対し多分野の研究者が協働する形も考えられ得る。
 - － システムコードの上位互換のようなツールに、多分野の人が関わる形も考えられるのでは。
 - － 総合工学で学術的な評価を得るのはなかなか厳しいが、社会との関わり、社会へのインパクトを示すことで重要性を理解してもらえる可能性はある。

(2) 今後の進め方についての議論

- ・ 後藤からユニット構築の手続きと、今後議論すべき内容を説明
- ・ 議論の要点は以下（詳細な質疑は後述）
 - － (1)で提案した内容については、メンバーとしてこれまで核融合工学研究プロジェクト、特に炉設計研究に関わってきた所内外の方々をイメージしている。システムの設計のためには実験検証が必須であること、またこれまで実施されてきた工学実験のうち本ユニットで展開を図るのが効果的なものもあると考え、工学実験も含めた提案を考えている。核融合研の工学研究設備の活用や、それらを利用した研究提案については、長坂さん提案のユニット（No. 19）との合同会合の場で議論する。

- メンバー構成にはアプリアリな規定はなく、10年程度の期間安定してコア研究テーマを進めるためにそのメンバーである必然性があるかどうかが重要である。
- 核融合研の共同研究とユニットとの関係、所外の共同利用拠点との連携のあり方を明確にしていきたい。
- 今回示したユニット構想はあくまで私案であり、何をコア研究テーマとし、予算も含めてどのような形で進めていけば多くの人が参加しやすいかを次回以降議論する。

<以下質疑詳細>

(1) 提案内容について

(笠田) 2011年、2014年の学術会議報告の時代から、社会は大きく変わっている。現在はSDGsが欧米中心にトレンドになっているが、ユニット時限である10年が経つとSDGsの開発目標の2030年も過ぎている。核融合はポストSDGsを見据えた活動が必要。核融合炉を中心とした社会の新しい価値観の提示と工学の新しい価値の創成がきちんと合致していくような方向性を示す、あるいはまだその価値観が分からないのであればそれを創り上げていくというのがフィロソフィー的な目標になるのではと思う。それらを明確にしておかなければこの手の提案は研究者がやりたいからやっているだけで終わってしまう可能性がある。

(後藤) 大変重要なご指摘である。社会との関わりを挙げる上では、大きく変化していく社会といかにうまく対応した研究に進められるかが重要と考えているので、そういった要素をきちんと含められるようにしたい。

(芦川) この提案はかなり多くの要素を含んでいるが、一方で今回のユニット構築については10年の期限が想定されている。所内・国内のマンパワーも考慮した上で、どこまでをどのように進める考えなのか？

(後藤) 今回提案した内容が全て実施できれば理想的であるし、幅広い方に興味を持っていただきたい思いもあり提案したが、最終的には10年の時限や、構成メンバー、特に所内メンバー・所外コアメンバーとして参画していただく方々と相談して現実的なゴールを設定したい。

(芦川) 原子力学の下に核融合学を構築するほうが良いのでは、というコメントについて、そもそも核融合発電は原子力と競合するものではなく原子力で先行している部分をいい意味で使わせていただくということが有益であると思う。どういった場面でそういう(原子力学における位置づけの)考え方が必要なのか？

(後藤) 核融合学が原子力学に取って代わるものであるようなイメージにならないようにしたほうが良い、という意味でのコメントだと受け取っている。原子力分野の専門家の方々

とは遠隔保守や安全管理などの面で議論が進んでいくと考えられるので、しっかりと協力していきたい。

(長坂) このコメントをしたのは私なので意図を説明する。核融合工学は原子力分野から発展したものも多くあり、大学の先生方も原子力・核融合双方をやられている方が大半である。例えば核融合材料については現在原子力材料の中に位置付けられているが、まだその内容が不十分である。最終的に核融合学を構築するにしても、まずは今ある学問体系の中で充実させていくほうが効率的ではないかという意味でコメントした。

(近藤) 社会の要求に対してどう応えるか、という観点については米国科学アカデミーがまとめた報告書が参考になるのでは。また10年後に光り輝く学術にするとという観点や、予算獲得も考えると、工学だけでなくサイエンスとしての要素が必要と思われるが、この提案においてそういった新しいサイエンスというものが見えづらいように思う。そのようなサイエンスとしての展開を至急検討すべきでは。

(後藤) 工学、特に設計は今あるものをいかにうまく組み合わるか、という観点が重要で、要素ごとに見ると確かに新しいものはないが、この組み合わせ方を考えるというのは決して簡単なことではなく、そこにも学術的要素はあると考えている。

(近藤) 体系化された工学というのは高級な学問ではあると思うが、サイエンスにはなりづらい。組み合わせれば新しい、というだけでは通用しない時代になってきている。

(後藤) 総合工学は自然科学の一分野として位置付けられており、きちんと使えるものを作る上ではサイエンスとしての様々な要素も含まれると考えている。

(近藤) そういう話は誰もが考えていることであり、10年後の新しい学問という観点でもっときちんと考える必要がある。

(吉田) 10年というのはその期間で何かの答えを出すという縛りではなく、目標を設定して協働するための、未来予測が可能な時間のオーダーである。今回の提案は後藤さんのライフワークとして捉えており、私が示した楕円の図における個々人のテーマはそういったライフワークである。しかしユニットではチームを組んで協働し、新しいエポックを創り上げようとしている。10年で共通のライフワークを持つという提案ではなく、それぞれの人が様々なテーマを持っていて、それを10年間協働するテーマを考えていただきたい。

サイエンスの要素が必要という指摘について、工学は核融合炉が実体として現前して社会経済の中に位置づけられることが大きな目標となるが、それは30年後であり、そこに向けて今後10年間で何をなすのかということのことを考えると、それはやはりある種の一般化されたものである必要がある。核融合についてはそれらの中間点にある(核融合炉そのものではない)具体的なターゲットを定め、サイエンスからエンジニアリングにわたる様々な分野の人が協働するユニットも考えられる。例えば半導体デバイス開発におけるMOSFETの開発は極めて工学的な目標であるが、そこに物質科学から製造技術までにわたる様々なものを束ね、かつその応用先も考えている。または設計学という立場で何かを作るというメソドロジイ的思考もある。

(後藤) 今後の個別会合でそのテーマを議論していきたい。

(重森) テーマが広すぎるとの意見もあるとのことだが、今 40 歳前後の世代の人が大風呂敷を広げることは重要と思うので、ぜひその方向性で進めていただきたい。総合工学としての位置付けについては、原子力は分野として近すぎるので、宇宙など少し離れた分野と総合工学どうしの学際的研究ができると良いのでは。

(後藤) 私の総合工学としての位置付けはまさにそのイメージである。今回例示した夢ロードマップはメソドロジ的な内容であるが、それを考える上でもモデルケースがあればやりやすく、核融合分野の研究者は核融合をモデルケースとしていろいろな提案ができると考えている。

(伊藤) 月曜日 (6/7) に私が提案したマイスタールールはこれからの SDGs 社会で何ができるかを後藤さんとも議論した内容である。半導体分野では 1 万の工程があるということだが、個々の工程のウインドウのリストを体系化したデザインルールが整備されており、設計者は全ての工程を理解していなくてもこのルールを基に設計の見直しが可能である。そのようなものを核融合炉の設計においてもできると良いのでは。核融合炉の各要素をサイエンスの意味で研究している人にとっても、どこまでやれば解決したのか、という判断がしやすくなるように思う。

(後藤) 総合工学分野のロードマップでも、誰もが作れるようにする、というキーワードが出ている。システムコードにはなるべく平易なモデルを用いて、どこをどうしたら設計がどうなるのか、という感覚をつかみたい、という意図があり、その最たる例と考えている。

(伊藤) その上位互換というか、皆がシステムコードにコミットしていけるような研究ができると花開くのでは。

(後藤) そういった方法論が核融合だけでないところに広がっていけば良いと思う。またシステムコードは現状物理・工学パラメータとコスト評価までだが、社会経済学におけるシナリオ分析のような要素を含めていければ他分野にも広がると考えている。

(芦川) 伊藤さんのコメントについて、工学設計・製作に必要な要素過程については原子力や過去の核融合プラズマ実験装置の知見が活用できる。原型炉以降についてはそれが定まっていない面もあるが、少なくともブラックボックスということではない。問題は、その情報が(核融合研内のこのような場で)認知されていない事に起因していると感じる。そういった情報や過去の議論を知らないままルールの議論をすることにはやや懸念を感じる。

(伊藤) 知らないで設計できない、という壁を超えられないかを考えている。

(芦川) どのような種類の情報があるのか、項目やその照会先を知っていれば設計を進める上では十分で、研究者個人が詳細を知ることが必須条件ではない。

(笠田) 今までやってきた核融合工学からサイエンスの香りを抽出する考えもあるが、核融合工学が目指す未来社会が前提にあって、それを実現していく上でまだ考えられていないことに理系に限らないサイエンスがあるのではと期待している。総合工学が SDGs の流れに乗り遅れたのはそういった観点が欠けていたからであると思うので、システムコードで

終わらずその先の科学に期待したい。

(後藤)手を広げ過ぎて収束しなくなってしまうのはいけないが、うまく手を広げてチームとして10年で次につながるものを出せればそれぞれのライフワークにもつながっていくと思うので、そこを今後うまく議論したい。

(2) 今後の進め方について

(伊藤)ユニット構築に関する手続きのスケジュール設定は、当初ユニット準備室が想定していた提案数に対して考えられたものであり、ユニット提案が40を超えてきている状況を踏まえ、提案者どうしの会合が設けられる可能性がある。

(長坂)提案者どうしの会合で何を議論するのか？

(田中)どの時点でコアメンバーを決めるのかということが議論になっている。ユニットができてから参画するユニットを考える人もいるのではと想定され、そのあたりの進め方を提案者で集まって早めに議論すべきではという話がユニット準備室の議論で出ている。

(長坂)組織論の前に理解しておくべきことがある、というのが昨日の伊藤公孝先生の講演だったように思う。ユニットテーマがいくつあっても構わず、それぞれが出すユニットテーマを評価して絞り込んでいくので良いのではないか？

(田中)そういった意見も含めて合意を得たいと考えている。

(長坂)それについては提案者だけでなく全体から出してもらったほうが良いのでは？

(田中)その判断はユニット準備室長の坂本先生がされると思う。

(柳)炉設計を基盤とした提案であり、炉設計そのものの軸をきちんとしておくことが必要と思っており、そのためには所内だけではメンバーが不足しているように思う。所外のメンバー構成はどう考えているか？

(後藤)現状ユニット構成メンバーとしては所内外でこれまで炉設計・核融合工学研究に参画してくださっていた方をまずイメージしている。特に所外コアメンバーについてはどこまでの関わり方なのか、例えばクロスアポイントメントが前提なのかなどによって人選が変わってくると思う。

(伊藤)核融合研のユニットとして研究成果の外部評価を受けることを考えると、実際の研究を行うメンバーに所員が少ない、あるいはいないような内容については、それをユニットのコアの研究テーマとして設定しづらいように思う。

(吉田)メンバー構成にはアプリアリな規定があるわけではなく、必然性の問題である。10年間安定的に研究を進める上で、そのメンバーをユニットとして組織することがベストであると判断されれば、メンバー構成に制限はない。ただしそれを核融合研のユニットとして提案しているので、例えば多くの所外研究者で構成されるメンバーのうちの1人として所員がいる、というものは考えにくい。研究成果の評価に関しては、核融合研が共同利用機関として何らかの研究成果を生み出せば良く、核融合研の組織としての議論は別。

(伊藤)メンバー構成についてはモラルに委ねられている部分もあると思う。

(吉田) ガバナンスの話だと理解しているが、モラルは所外に通じてもガバナンスはなかなか通じにくい。そういう実際的なところも含めて(メンバーの)必然性を考えてほしい。

(芦川) 所外コアメンバーは科研費という分担者や核融合研の計画共同研究の代表者のようなエフォートであるとイメージしている。ユニット準備室幹事への依頼として、所外のユニットコアメンバーの要件としてクロスアポイントメントの例を挙げるのは、状況を理解した上での話としてほしい。少なくとも今年9月のユニット結成の時点で所外研究者に対するクロスアポイントメントの確約は取れない。来年度以降の可能性と、ユニット構築時期の話区分した説明を希望する。

(田中) ユニット準備室で引き取って議論させていただく。

(長坂) 所外の先生の関わり方には色々なレベルがあり、それを最終段階でコアメンバーか研究協力者に分類するだけの話と思う。ユニット構築提案書の段階では、研究を遂行する上で所外の先生の貢献がこれだけ必要である、という観点で概数を挙げることになると思う。その段階ではコアメンバーの定義を気にする必要はないのでは。

(後藤) 今議論した内容をユニット準備室側で明文化していただけるとありがたい。

(大野) 核融合研は共同利用研究機関であるので、核融合研外部との共同研究とユニットの関係や、双方向型共同研究や大洗などの研究拠点との連携がどのような形になるのかについて明確にしていきたい。そうすれば外部の研究者との協力もスムーズな形で得られると思う。

学術テーマの議論については、総合工学で学術を謳うのは非常に厳しい。重要性が認識されている情報工学も大型科研費はなかなか獲得できていない。河川工学・土木関係で地球規模のセンシングと社会生活との関わりを体系化しているのが少ない成功例。個々の研究のなかで物理的なエッセンスを見つけることも重要だが、総合工学の中で工学の組み合わせで一般的な意味で学術としてやっていけるところを見出していただけると非常に良いように思う。

(後藤) 前半のご議論に関しては、個別会合だけでは引き取ることが難しいので、こういった所外の先生方のご意見を集めて速やかに全体で共有する仕組みを作っていただきたい。あるいはもし既にあるのであれば、より広く周知していただきたい。

後半については、無理にテーマを作っても推進力が出ないと思うので、総合工学としてきちんと認めていただける内容をうまく見出し、そこで核融合を一つの柱として据えられるのが理想である。ぜひそのようなアイデアを出し合っていきたい。

(柳) 研究テーマには要素技術開発も含まれており、炉設計が主導しつつ、実験研究も発展させていくという考えで良いか？

(後藤) 核融合研の工学研究設備を利用した研究提案についてはいずれかのユニットが受け皿になると考えられるが、これは関連するユニット間の合同会合の場を設定し、個別会合で重複した議論とならないようにしたい。まずは来週のユニット No.19 との合同会合で議論する。今回の提案においてもシステム工学で掲げている要素の実現や、実験室規模と実規

模・実環境をつなぐモデリングに必要な基礎データの取得のためには実験を含めた工学基礎研究が不可欠なので、それは本ユニットで受け持たい。個人的にはシステムの理解・構想にとどまらず、製作・管理・運用までを視野に入れた研究をイメージしているので、そこに合致するのであればぜひ協働できればと思うし、違った形でのコミットが考えられるのであればぜひ提案をお願いしたい。

(芦川) これまで核融合工学プロジェクトの下で進められていた複数のトピックスが、もし個別のユニットとして立ち上がれば人的にも予算的にも研究面では広がる方向になる。本研究提案にある卓上ベースの設計研究だけでもそれなりのリソースが必要で十分ユニットとして成立する規模だと思うが、それに加えて実験を含めるメリットは何か。

(後藤) 工学実験を含めた理由は2つある。ひとつは設計を進める上でシステムとしてきちんと成立するものを作るために計算だけでなく実験での検証が必要であること、もうひとつは現在所外も含め幅広く展開している工学研究のうち、本ユニットで実施するのが効果的なものもあると考えているためである。

(西村) 社会的受容性という意味で、おそらく来月にエネルギー基本計画2021が公表されるはずなので、その中で核融合がどのように位置づけられるかは大きなポイントと思うので、研究背景を書かれる上ではぜひその内容を確認しておくといよいのではと思う。

(後藤) 各方面の情報を集めるよう努力するが、足りていないところも多々あると思うので、ぜひインプットいただきたい。

(伊藤) 議論を前に進めるため、どういうメンバーが集まるから何をやる、という考え方はなく、例えばこの研究で科研費の基盤研究や萌芽に申請することを念頭に、具体的な研究作業やアウトプットを示されると良いのでは。

(後藤) 関連するところでぜひこういうテーマをやりたい、という具体的提案も受けたいと思い、今回は白紙のところから始めたが、議論を進めるために次回会合までにいくつか具体案を用意したい。

(伊藤) 多くの人の期待を背景とした提案に思えるが、後藤さんが個人的にやりたいことが押し出された案もあって良いと思う。

(後藤) お気遣いに感謝する。社会経済学や科学技術社会論の部分はまさにやりたい部分である。一方で興味を持っているとはいえ専門的にやってきた部分ではないし、共同研究の枠組みの構築もまだまだ足りない部分なので、多くの方の協力が得られればありがたい。

(宮澤) 10年後に光り輝くテーマということだが、10年同じことを続けるのも難しいように思う。あまり限定し過ぎず、研究の方針転換も含めたフレキシビリティも考えておくべきでは。

(伊藤) 10年というのはあくまで例として出した時限であり、研究の方向性によっては10年を待たずに再構築もあると思っている。

(宮澤) 走りながら新発見をしていくしかないと思うので、その走る方向性が示せば良いと思う。その意味では様々なものを含んだ設計学を立ち上げていく、ということだけで良い

のでは。

(後藤) この提案ではユニットのコア研究としては核融合設計学を掲げているが、その範囲でできることはたくさんあると思う。なお、10年以内のユニットの生成・消滅はあると認識しているが、消滅したユニットが1つしかなかった場合、再構成するにも同じメンバーしかいないため、そこをどうするのかは分かっていない。

(宮澤) これまでの工学研究を守るだけのユニットでないという趣旨は分かるが、このユニットに参加した場合に、設計に生かせるという観点で今までやってきた共同研究が含まれるものであってほしい。

(長坂) 今回構築されたユニット全てがうまく行かないかもしれない。2~3年経って10年後の見込みがないと判断されたユニットは解散し、成果が出ているユニットに合流してそれを加速させるということもあるのでは。そういった可能性も頭に入れて緊張感を持ってやるべき。個人でやりたい研究が新しくできてきたらそれは個人として進めればよく、ユニット設計がしっかりしていればそこから大きく外れることはないのでは。

(宮澤) 研究者は個人が一番大事であるので、ユニットに縛られないようにしたほうが良いと思う。個人の研究が束になってやれるものであれば乗りやすい。

(長坂) これまではプロジェクトが評価されてきたが、今後は個人が学術界で評価されることを考えている。自分がやりたいこと、またはできることをやって、自身で責任を取るようになる。ただその時にバラバラに活動するのではなく、学問を作っていける人たちが集まってユニットを構成すると理解している。

(後藤) 個人としては炉設計研究を進めてきて、その中で多くの人に協力いただく必要性を実感している。構成メンバーの方々がそれぞれの興味で進められた研究を設計として束ねていくようなユニットができれば理想的であると考えている。

(宮澤) 今回は後藤さんの構想を示したのであって、今後全体の方向性を決める議論があるということか？

(後藤) 今回示した構想を絶対にやるというわけではなく、何をコア研究テーマとして具体的に予算も含めてどう進めていくかについて次回以降議論させていただく。

(宮澤) 今回の議論が後藤さんのユニットの提案と誤解していた人もいるのでは？

(後藤) ユニット構築会議の発表はあくまで研究テーマの紹介である。もちろん積極的にユニット構築を考えている人が発表しているので、ユニット構想の提案にもなっているが、ユニットの姿はチームとして決めていくものであり、今回の提案はその叩き台というか、これを核として結晶を作っていくようなイメージで考えている。