

## 課題No.35 個別会合 (第1回)

日時：2021年7月6日(火) 10:00-11:30

会場：Zoomミーティング

参加者 (敬称略, 順不同, 所属記載無しはNIFS) :

西村伸, 奴賀秀男, 菅野龍太郎, 釦持尚輝, 村上定義 (京大), 鈴木康浩, 河村学思, 藤原大, 中野治久, 筒井広明 (東工大), 伊藤篤史, 相良明男, 高橋裕己, 田辺克明 (京大), 佐藤雅彦, 市口勝治, 後藤拓也, 關良介, 長壁正樹, 横山雅之

### 議事次第

- ・提案の経緯・内容の紹介
- ・ブレインストーミング
  - テーマの深化などについて
  - コラボやユニットへの参加について

### 議論の記録 (山口の発言は会議後に適宜補足を加えた)

釦持：実験に関して、既存の装置に赴いて実験するという事は考えられるか。

山口：想定している。個人的に実験に疎いので、自分自身で考えられるのは、シミュレーションコードを適用すること。現在はLHDにしか使えないモデルが入っているコードのモデルを一般化して、他の装置と比較するなど。

釦持：実験関係のメンバーが入った場合は実験的な検証がしたいと思う。

山口：実験の方に入っただけだと大きく広がっていきえると考えている。

村上：ヘリオトロンJグループの方にも紹介して協力して貰えれば、実験を検討してもらえると思うので、入れておくべき。例えば乱流を少しでも抑える配位を提案するなどできれば実験できる可能性は高いと思う。LHDよりも煩雑な手続きなく実験ができると思う。HSXもおそらく同様。そういった活動を広げていくということも書いておいた方がいいのでは。

釦持：ヘリオトロンJならばユニットへの参加如何に関わらずできることは協力したい。

村上：あまりに範囲が広すぎる印象。「数値実験炉」と言っていたものの半分くらいを10年以内でやるという印象。10年/~10人でやるなら焦点を絞る必要がある。

伊藤：印象としては、具体的な達成目標を書くというよりも、このテーマの場合は、仮に数値実験炉が完成できたとしても、「ITER-DEMOという流れをシフトさせることを目指すのか」と問われると単純にyesと言えないと思う。10年後の段階でこのユニットがどうなっているのか。10年後も最適化に取り組んでいるのか。10年でこういったフェイズに持っていきたいのか。

鈴木：最初に話された内容 (情報=>秩序) は個人的に面白いと思っている。ヒステリシスも記憶と考えられる。非線形現象の中で秩序が生まれる時に何らかの記憶を保持して秩序が生まれるという考え方で自分もユニット提案をしている。そういうある種の壮大な話

から、最後は単なる「配位の最適化」になっているように聞こえてしまうと思う。それらはどうつながっているのか。昨年度までの新配位創成活動での苦勞の一つは、最適化と言った時に「W7Xですでにやっている」という声がある点。このユニットで考える配位の最適化とはどういったものなのか。

山口：過去の閉じ込め装置と今の装置とを比べても性能が上がっていき、それはある意味で進化と言える。ランダムにいろいろな配位を試してそうなったわけではなく、人間の行為ではあるが、情報を読み取ってある種の最適化が進んできた。そこに、生物が（周囲と自己に関する情報を糧に）環境に適応していく様子とのアナロジーがあると考えている。このように、配位の進化の仕方が生命現象とよく似ているというところから、繋がっていった。炉として成り立つような、不純物だけを吐き出すような配位となると、さらに高度な適応であり、背後にある壮大なアイデア（情報から秩序が生まれる原理）との関連があると考えている。制御に関しても、限られた情報を計測して数少ないアクチュエータを通じて秩序だった状態を維持するということから、環境変化への適応に類似しているということにつながっていった。

鈴木：これまでの最適化配位も確かに完全ではないが、「ここが足りないから次の配位を考えた」と言うのと、「いつ終わるのか」と言うてくる人もいる。10年での終着点をどのように考えるのか。

山口：まだ具体化しているとは言えない。

伊藤：例えば、RISC-Vはオープンソース化されており、誰でもマニュアルを読めばハンドリングできる。最適化やプラズマ計算に対して、オープンなツールを作るということであれば、最初に掲げられた構想も含めてやれると思う。

山口：これまでの最適化は、例えば磁気井戸・新古典輸送係数・乱流プロキシ・回転変換の範囲などの（独立した）ターゲットを同時に満たす点やその集合を探すというもの。実際のプラズマにどのような分布やフラックスが生まれるのかは、事後的に高度なコードで検証されており、最適化の段階で異なる物理要素の相互作用を含んでいない。それを含めるのが具体的課題として考えられる1つ。もう一つは、新しい方法なのかはわからないが、無数のテスト配位を作り、一つ一つの配位が、自身の形状を変えた時のプラズマの応答を記憶して、より良い形状へと変化していく、さらに遺伝的アルゴリズムを組み合わせることで、実際に進化をさせるという方法を考えている。ユニットのテーマの中にそのまま入れるかは怪しいが。

村上：遺伝的アルゴリズムも使い古されてはいるが、AIなど最新の方法を取り入れるなどであれば、新しさは見出せるかもしれない。

山口：ユニットの掲げるテーマの中での（最適化の）位置づけは難しいのかもしれない。提案の中に色々盛り込んで広がってしまっているのは、これらの活動がNIFSからなくなってしまうと、NIFSは何の研究所になってしまうんだという思いから、私が必要だと

思う活動は全てこの提案の中に避難させたようなイメージ。必ずしもここに掲げたもの全てをテーマとして全面に出す必要はないのかもしれないと思えてきた。

村上：繋がっているということを図に入れて示すのがよいかもしれない。データ駆動科学系との関連も盛り込んで。

河村：モデリングや最適化といったことがキーワードになっていると思う。モデリングはユニット体制の中で下火にならざるを得ないと感じているが、無くてはならない活動。核融合は最終的に工学に持っていかないといけない。モデリングはある意味実験と理論の窓口の面もあり、統合的な見方をする上でも必要。モデリングをベース部分として捉えればユニットの中での位置づけもでないかと考える。モデリングに基づいて個別の研究の価値を位置付けることもできると感じた。最適化と制御の繋がりは今のところ薄く感じたが、つなげることで新しい考え方もできるのではないかと。例えば、旅客機は固有の安定性が重視されるが、戦闘機では機動性のためにあえて不安定な設計をしていたりする。ある種の線形安定性には目を瞑って他の最適化を優先し、不安定なところは制御でカバーできる、といったことが言えると、新しい炉の形を提案できるかもしれない。

中野：ユニット間の協力、所外との協力について。自分はペアプラズマの研究で提案をしている。例えばペアプラズマで「こういったプラズマを作りたい」「その特性を調べたい」と言ったときに、最適な磁場閉じ込め装置設計などを一緒にやれる可能性はあるか。

山口：現状のツール自体は、トラス配位限定ではあるが、磁場の設計、コイルの設計をするものとしてかなり整備をできており、そのような連携は可能だと考えている。

中野：「未来志向であること」の点は自身のテーマでも難しい点。自身で進めている研究テーマをベースとした未来志向であれば、成り立つのではないかと考えている。

山口：そうであってほしいと思う。今までやってきたことを捨てなさいという意味ではないと思いたい。提案書を出して反応を見てみるしかないかなとも思う。

伊藤：今取り組んでいるテーマを続けた場合、10年度当然良い成果が出ているはず。また、10年前から今までで良い成果が出たはず。科研費なら前3年後3年という書き方だが、それが10年単位になる。きちんと書けば王道でよいと思う。

長壁：10年という単位は大型プロジェクトにおいては極めて重要な区切りでもある。中期計画は6年。核融合研究そのものは30年スケールの話になるが、ユニットベースで大型プロジェクトを提案するという話になった際に、核融合に関連した学術研究を展開するという観点でも10年という区切りは大事。

山口：いただいたコメントも反映させて、10年というものを意識して具体化したいと思う。

「自律系」「開放系」などの言葉の印象について

河村：「核燃焼プラズマ」というキーワードを見ると、熱を中心に見ているように感じるが、実際は？

山口：キーワード上そう見えているが、実際には粒子・運動量・情報なども含む。

河村：ここでいう開放系とは具体的にはどのような意味か？

山口：いわゆる非平衡開放系の意味で使っている。

河村：システム全体で見ると閉じているという印象もある。開放系と書くのはプラズマを中心に見ているというイメージ？

山口：プラズマは開放系で、それを生成維持するシステムまで含めると閉じたシステムということだと考えている。

河村：自律と開放は違う方向を向いている印象もある。流れを人間が制御しているという点から、少し違和感を感じる。

田辺：熱力学の分野だと自律と解放は両立するので問題ないと思う。ただ、相反するという印象を持つ人もいることも理解できる。

村上：磁場配位としてミラー型が開放系と呼ばれていたという背景もある。開放系でないと自律できないので、自律系だけでも意味は足りるかもしれない。

河村：複雑系にはカオスや、複合系など、色々な捉え方がある。ここでの意味は、

山口：後者の意味。要素に分解して再統合することでしか全体を表現できないという点から。個人的に、複雑系という言葉はユニット構築の議論の中であまりに頻出なので、使わないようにしようと意識している。