

構造形成・持続性ユニット 質疑応答

Q：本ユニットは、「磁場閉じ込め装置の最適設計に関する指導原理・設計原理」を目指しているユニットであると理解しているが、それで正しいか。

CHDのアップグレードや中国のCFなど、すでに完成している装置もあるが、今後、世界中で新たな装置が次々に設計されるとは限らない。そういった背景の中で、「ポストLHD計画」など、限られた場に向けて、このユニットが学術的な最適設計原理を打ち立てようとしているのではないかと考える。そのような設計原理がどのように適用され、今後の候補機に対してどう貢献しうるかを伺いたい。

A：後ほど回答する。

Q：輸送過程における乱流状態は、ITGモードや補足電子モードで支配されているプラズマであるというのは、補足的なメッセージとしてこのアプローチから示すことが可能か？そうであれば、理論シミュレーション研究に対する有意なフィードバックとなると思う。特に、輸送係数の前に付与されている係数をモニタリングすれば、そのような解釈が可能になるのではないかと考えるが、どうか。

A：ご指摘の通り、そのような解釈・メッセージを得ることは可能。現状では、モデルに基づいてプラズマ挙動を予測し制御しているが、モデルとの乖離が発生することもある。その乖離を後から評価・分析することで、「この時のプラズマにはどのような物理現象・乱流モードが支配的であったか」についてフィードバックを得ることができる。したがって、輸送モデルの妥当性検証や最適化に資する情報を提供できる。

Q：将来的にはシミュレーションを用いながらの制御が主流になるだろうと考えているが、その際に統計的処理（アンサンブル平均など）は不可欠なのか？シミュレーションモデルの精度が非常に高ければ、統計的処理なしでも制御可能だと思うが、実時間での予測には不確実性を多く含んだモデルが必要ではないか？現状、それが実現できていない状況にあるという理解でよいか。

A：ご指摘の通り、高精度なモデルがあれば統計処理は不要になるが、現状はそういったモデルがなく、不確実性を含んだモデルを用いた制御が現実的。特にプラズマのような複雑系では、実時間予測には高い計算コストがかかるため、従来型のモデル予測制御（MPC）は難しい。今回は、アンサンブルやイテレーションを行わず、確率分布に基づいた一回の予測計算を並列で実行し、制御入力を推定するという方針。ただし現実には、制御のたびにフィードバックで修正するという方法も有効である。

複数のアクチュエーターが同時に絡むと、個別のフィードバック制御が互いに干渉し、システム全体として調和の取れた制御を実現するのが難しくなる。米国のAPSなど国際会議でも、複数変数を扱った総合性能向上において制御の難しさが話題となっている。

Q：本ユニットは「磁場閉じ込め装置を作る際の最適な設計方針・原理」を目指していると感じたが、それでよいか。CHDアップグレードでは、考慮されたファクターが限定的だった印象があり、最適化に向けた現象の網羅性がやや乏しいのではという懸念がある。一方で、あえて制限して実験装置としての「未知の発見の余地」を残しておくという考え方も理解できる。計測の選定にも、ある程度「起こる現象を限定した上での観測設計」がなされていたよ

うに思える。設計における最適化の議論は、今後どのように多様な研究者と進められていく予定なのかを聞きたい。

A：ご指摘の「最適設計原理の提示」はユニットの中心的目標の一つである。ただし、ユニットメンバーの関与の程度が異なるため、「それが唯一の目標」とは断言しないが、非常に重要な柱である。現在の装置設計の方針には複数の流れがある。たとえば：

- 新古典輸送や微視的乱流を抑制しつつ安定性を確保するという“最適化志向”の設計。
- 一方で、特定の物理現象（例：ミクロな集団現象）を明確に観測・研究することを主眼においた“ターゲット設計”の装置もある。

今回紹介した装置は後者の性格が強く、設計段階では乱流変化に注目し、磁場範囲の柔軟性を確保した。実験的には、新古典輸送を揃えた状態で乱流の違いのみを抽出する設計とし、その上で地場条件による輸送の変化を解析している。得られた知見（例：乱流の変化と磁場特性の関係）を、最適化設計の評価指標にフィードバックする計画。このように、実験装置としての柔軟性と、最適設計原理に向けたデータ取得の両立を目指している。

Q：佐藤さんの指摘が非常に重要だと感じている。現在の装置は物理現象の解明に強みがあると理解しているが、その上で得られた最適化が、核融合の実験装置としてスケラブルか、核融合へのパスを与えることができるのか？

A：イエス