

2022 年 2 月 10 日

ユニット提案書

テーマ名

原型炉における固有安全性を有する予測制御法

Model predictive control techniques with the inherent safety in fusion DEMO

核融合としての課題

今世紀中葉の核融合原型炉実現に向け、ITER と原型炉との間にある技術上のギャップを埋める要素研究が必要である。さらに、持続化可能な社会に向けたエネルギーの効率利用の促進に伴い、核融合を含む新たな発電手法の開発だけでなく、異なる発電手法もしくはエネルギー資源を組み合わせたハイブリットシステムによる高効率化が求められている。核融合発電プラントから得られるエネルギー（電気出力のみならず、関連機器で得られる熱や水素エネルギーを含む）を社会が高効率でかつ滞りなく利用できるようにするには電力需給調整力や経済性に関する課題解決、および社会からの高い受容性を得るための学術に基づくデータ提示が必要となる。

これらを踏まえ、本課題では、炉形式を問わず原型炉に適用可能な固有安全性を有する「予測制御」を想定し、これら将来の制御に必要な各要素からの数値データ取得に関する基礎研究および制御試験用の模擬データセット作成とその最適化、さらに核融合エネルギーが利用できる社会基盤整備として社会受容性向上に関する研究を行う。

学術的な特徴づけ

異なる階層と非線形現象を有する大規模複雑系システムのための予測制御手法の構築。核融合原型炉の社会受容性向上に向けたデータ提示と高効率なエネルギー利用。

アプローチ（定式化）

・原型炉の予測制御に必要な基礎物性データの取得とデータ駆動

原型炉で使用される材料やガス種は、ITER もしくはそれ以前の装置と比べて限定的となる。一方で、例えばトリチウム透過影響等はプラズマ真空容器から冷却媒体に至るまで広い領域に対する評価が必要となる。このため装置全体を見通した制御に必要なデータの選定と、そのデータ取得のための実験を行う。実験データの取得は主に共同研究を通じて行う。また、このデータを用いて、原型炉運用を想定した制御ロジックを構築するための模擬データセットを作成する際にはデータ駆動科学を用いる。

・燃料トリチウムの高効率および安全利用

原型炉では燃料トリチウムの初期装荷量を低く抑えるため、高精製トリチウム利用量を低く抑え、重水素-トリチウム混合ガスを循環すること（ダイレクト・リサイクリングパス）が提案されている。トリチウムの安全管理および損失軽減のため、これらは閉鎖系での循環になるので、閉鎖系での水素同位体ガスの長期運用を想定した基礎実験を行う。ここでは、いくつかの阻害因子（不純物除去、同位体分離および蓄積を想定）を加味した水素同位体混合ガス循環に関する実験、およびそれをベースにした流量およびガス種比のモニターを想定した検知場所の選定と流量調整制御に

2ページ以内で記述し、10.5pt・行間1行を使用してください。青字の注意書きは削除してください。

関する研究を行う。ここで構築する概念は他のガス種や液体等に対しても応用が可能であり、制御システムの最適化を行うことで、原型炉の高効率運転と安全性向上につなげる。

・原型炉に適応可能な予測制御法の構築

大型複雑系システム動作にはモデル予測制御の概念が必須である。プラズマ運転と燃料サイクル、冷却循環等の連結を想定し、少ないアクチュエータでの炉心プラズマ制御+周辺機器運用を想定した制御ロジックを構築する。ユニット後期には、この制御ロジックを燃料循環などの機器と接続した性能評価を行う。

・核融合発電・実用化時のハイブリットシステムの検討

今後、カーボンニュートラルへの寄与を前提とした高効率発電が必須となる。現在、1次エネルギーを核分裂炉+太陽エネルギー、2次エネルギーを電力エネルギー+水素エネルギー等で構成したハイブリットシステムの事例がある。核融合炉がハイブリットシステムの1次エネルギーに速やかに組み込まれるよう電力需給調整力への寄与に関する検討や熱出力による水素製造に関する基礎研究を行い、社会受容性の向上につながる学術的データ提示を行う。また、原型炉の固有安全と共に、商用電源遮断時に使用するバックアップ電源の選定を組み込んだシステム構築の研究を行う。

学際的展開

本研究では、将来の核融合炉発電を利用できる社会において、同発電のあるべき姿を学術研究に基づき効率面、安全面から提示する。このため、従来の核融合分野のみならず、数理学、制御工学、生物学等の幅広い分野の研究者らと共に取り組む。社会受容性に関する課題は日本原子力学会等でも近年議題として掲げる新たな学術領域である。カーボンニュートラル政策で核分裂炉の社会受容性向上の議論は再熟しており、将来核融合発電を開始するためには即座に社会受容性に関する議論を開始する必要がある。

また、異なる階層を有する大規模システム制御の他の事例として、月・火星居住等が想定される。核融合プラントの一部は、放射性物質の管理性上、閉鎖系として運用される。現在の国際宇宙ステーションを含む宇宙居住は必要資源の補充が前提であるが、今後想定される火星への移動および居住計画では、さらに高度な資源循環系が必要となる。資源循環に関する研究は、持続可能な社会での資源の有効活用にもつながる知見となる。

独自性、優位性

従来、核融合炉工学に関する分野は幅広い所外共同研究者による協力及び研究成果に支えられてきた経緯があり、本ユニットはこれら共同研究者に対するゲートウェイとして機能することで本分野での共同研究者の円滑な研究遂行に寄与する。このゲートウェイとしての機能はこれまで核融合研究と無関係であった分野との新たな協力体制や、本ユニット研究で必要となる国内外の専門性の高い研究施設利用や国際共同研究に対しても機能的に働く。

さらに、本研究は工学・プラズマ物理のみならず、社会受容性の向上までを研究の対象とする独自性を有する。得られた成果を他の原型炉設計チームへ提供することで、世界的な核融合原型炉開発促進に寄与する。

関連するユニット: 材料学、計測・データ、低温学、ダイナミクス・時空など