

### ① テーマ名

可知化センシング

(S&I:Sensing and Intellectualization)

### ② 核融合としての課題

「プラズマの時空間ダイナミクスの解明とその予測・判断」, 「核融合プラズマの定常安定運転に向けた物質・エネルギー循環系の実現」, 「乱流・輸送現象の理解」等には, 計測技術と解析・表現手法の高度化が必要である. これまでにアクセスできなかったパラメータ領域を観測・考察可能とすることで, 現象理解への質的転換を図る.

### ② 学術的な特徴づけ(何の研究だといえるか)

本ユニットで取り組む「可知化センシング(S&I:Sensing and Intellectualization)」では, 革新的な計測・解析・表現手法とそれらを統合した新たな自然理解システムを実現する. これまでにない高空間分解能・高時間分解能な計測器によって測定可能領域を拡大し, 取得されたデータは, 従来の物理的視点と相補的な統計数理・データサイエンスの考え方を採り入れた解析手法を用いて情報量を最大限に抽出する. さらに多種多様の現象やデータを視覚・聴覚・触覚などの情報へ変換して, 対話的な方法でデータ内部に潜む複雑な構造や相関関係を解明する. これらの一連の研究手法を高度化することで, 核融合科学の未解明問題に挑む.

### ④ アプローチ(定式化)

計測・解析・表現手法のハードウェア, ソフトウェア, 統合するシステムの基幹となる工学・物理学・数学の知見に基づき, 現象観察から理解までの高度化を行う. 以下に代表的なアプローチについて説明する.

#### A) 先進プラズマ計測・解析で挑む揺動・ダイナミクス研究

- 揺動計測性能の向上を図るとともに, 得られた観測結果に対して, データサイエンス手法を駆使した解析手法の高度化を行う. シミュレーションとの比較にも高度なデータサイエンスを適用し, 今まで明らかにならなかった乱流揺動の輸送特性の解明や揺動データに潜む法則性を発見する. さらには, 炉心プラズマ制御を念頭に置いて, 外部制御パラメータに対するプラズマの応答を同定する.
- 電磁波の特性(トポロジカル性等)を利用し, 燃焼プラズマを見通せる加熱・電流駆動とその粒子集団応答モデルの検証, 輸送物理を明らかにする. 例えば  $\alpha$  粒子, 高速イオン計測, 高時間分解能電子温度・密度計測において, 速度空間上の粒子ダイナミクスから粒子集団応答と粒子閉じ込めや突発的, 過渡的なプラズマ現象を理解する.
- 電子工学, 光学, 量子エレクトロニクス等の理解を基にマイクロ波, ミリ波, レーザ光などの電磁波源の高性能化や受光技術の向上, 及びこれらの統合計測システムと解析手法の深化を行う. また, 機械学習, トモグラフィー等のデータ再構成アルゴリズム, パターン認識等を含む, データサイエンスの最新の知見に基づいた高度な揺動・ダイナミクス計測解析手法を実現する.

#### B) データサイエンスによる予測・判断志向研究を通じたサステナブルプラズマ制御

- 核融合炉に求められる定常安定プラズマの実現を目指し, 核融合プラズマの諸現象を題材として, プラズマ物理での理解追究と相補的に, 「データへの当てはめ」と

いう統計数理・データサイエンスの考え方を採り入れたモデリングを行う。核融合研究で生産される巨大データも利用しながら、核融合プラズマのリアルタイム予測・判断手法を確立する。得られた結果を基に核融合研究をハブとして、統計数理、情報学、データサイエンスの先端分野を開拓する。

- 原型炉に向けてより重要となる安定同位体、放射性同位体の環境における物質循環・移動過程を明らかにするため、分析・測定手法の高性能化とデータ同化などを用いた評価システムの高度化を行う。新手法を地球科学・惑星科学へ展開し、大気圏-水圏-生物圏をつなぐ物質循環過程の理解を進める。

### C) データ理解への挑戦

- 3次元+ $\alpha$ の解析を可能とするVR表示やコンピュータ・ビジョンなどの表現法、データ科学を使って多次元時系列データの次元削減等による解析や離散データからの偏微分方程式の導出等を研究する。科学知を得るために数値モデル構築や、感覚から、知覚・認知を経て、科学知を得るまでの過程を構造化・定式化して、これまで経験的に行われてきた知的探求プロセスを体系化して、方法論として確立することを目指す。これらは、情報学分野といった強く関連する分野のみならず、知覚心理学などとの連携が考えられる。

## ⑤学際的展開

リアルな世界で計測器をプローブとしてノイズの含まれたシグナルを抽出し、また、シミュレーションから多種多様なデータを取得し、それらからパターンを読み出し、人間が理解できる形に表現する。これは研究者の活動の一部である。したがって、計測・解析・表現手法から科学知を得るまでの過程の各要素で他に類を見ない性能や先進性を提示して、その過程を構造化・定式化することで知的探究プロセスを体系化して多くの学術分野とコミュニケーションを図る。

細胞等の微小領域を観察する光学顕微鏡と、宇宙スケールまで観察可能な光学望遠鏡は、共にレンズによって構成される光学システム(像転送光学系)で原理は同一である。このレンズ対のような優れた道具は自然科学全般、多くの研究テーマに適用できる。統計数理研究所との連携事例がすでに生まれているデータサイエンス・統計数理モデリングや、大学・研究機関との共同研究ネットワークが構築されている同位体の分離回収研究・環境生物研究などを起点に共創的な分野連携を進めていく。

究極的には計測・解析・表現システムの高度化は、人間の知覚をアップグレードする試みにもつながり現在の哲学的問題をも考察できる課題である。自然科学分野のみならず人文・社会科学分野との連携も進め学術的深化を目指す。

## ⑥独自性、優位性など

本ユニットの優位性は、すでに核融合コミュニティで実現されている高度な計測技術、データ解析技術、表現技術と、それらを統合し、計測器からデータ解析を経て表現する一連の過程をシステムとして捉え高度化するというフレームワークにある。また高度に専門化された科学一般にとっても、原型炉フェーズへと研究が進展する核融合研究にとっても、「可知化センシング」は重要な役割を果たす。すなわち科学技術の成果を人と社会との調和の上で最も望ましい姿に調整するための科学:「レギュラトリーサイエンス」を発展させるためには、評価不能なものを可能とする本ユニットの活動は意義深く先駆的な役割を果たせることが期待できる。