

①テーマ名

「革新的計測・解析・表現 システム」

②核融合としての課題

革新的な計測・解析・表現手法とそれらによる新たな研究手法を実現する。これまでにない高空間分解能、高時間分解能な計測器を実現し、測定可能領域を拡大する。取得されたデータは、従来の物理的視点と相補的に統計数理・データ駆動の考え方を採り入れた解析手法も用いて、情報量を最大限に抽出する。さらに多種多様な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。特に、「プラズマ燃焼に関わる自発現象やディスラプションに代表される高時空間スケールと速度空間の現象が複雑に絡み合うプラズマのダイナミクスの解明や、その予測・判断志向研究」、「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（施設から環境に放出される水素同位体挙動解明なども含む）」、「乱流・輸送現象の理解」等に必要な計測技術と解析・表現手法の高度化を行う。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。

③学術的な特徴づけ(何の研究だといえるか)

本ユニットは、計測、データ駆動科学、可視化が一体となり、手法の高度化を目指す。

④アプローチ(定式化)

計測手法・データ解析・可視化手法の工学・数理要素や物理原理に立ち返って、現象観察の高時空間分解能化や高精度化へと観測可能領域をその数直線上の極限へと拡大する。また、現在測定がされていない、もしくは難しい「量」を計量可能とする。以下に代表的なアプローチを各手法について列挙する。

A) 揺らぎ輸送研究へ向けた高度計測

- CO2 レーザ位相コントラストイメージングを用いた乱流揺動計測の計測性能を向上させるとともに、データサイエンスを駆使した乱流解析を行う。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への寄与を明らかにする。LHD および JT-60SA を研究対象とする。
- 2次元揺動データ(たとえば GPI データ)に潜む法則性を発見する。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データサイエンス的に同定する。トムグラフィー技術をつかって、切り分けの難しい計測結果から、局所量を推定する。

B) データ駆動による予測・判断志向研究を通じたサステナブルプラズマ制御への挑戦

- 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・データ駆動(以下、データ駆動)の考え方を採り入れて、リアルタイムで予測・判断に使うことができるモデリングを行う。これにより、核融合炉に求められる定常安定プラズマの実現を目指す。

C) 時空間ダイナミクスの解明に向けた手法開発

- 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. 速度空間における集団応答を調べるために協同トムソン散乱計測(例えば α 粒子や高速イオン計測)や相関計測とデータ解析手法を駆使する. 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を理解する.
- プラズマの電子温度・電子密度測定手法であるレーザートムソン散乱計測の繰り返し計測周期を現状の 100Hz 程度から, 1000 倍以上の 100kHz 以上に向上させる. これによりディスラプションに代表される突発的, 過渡的なプラズマ現象の理解を目指す.

D) データ理解への挑戦

- 3次元 + α 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.

E) 同位体環境科学への展開

- 地球環境に存在するトリチウムや多様な安定・放射性同位体をマルチトレーサーとして利用し, 環境における局所・広域の物質循環・移動過程を研究する. 微量な同位体成分を分析するための分離・回収・濃縮・測定手法を駆使し, 多点測定・長期観測・モデリングから, 地球環境での物質移動現象の理解を目指す.

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. データ駆動・統計数理モデリングについては, すでに統計数理研究所との連携事例が生まれている. 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. また、普遍的な物理化学特性を有する同位体は、高精度に測定することで物質循環・時間変動過程を解明するトレーサーとなる. このレンズ対や同位体トレーサーのような優れた道具は自然科学全般, 多くの個人テーマに適用できる. 究極的には核融合科学をプラットフォームとして, 広く科学一般に適用可能な計測・解析・表現手法の創出を目指す.

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プラズマ計測技術, データ解析技術, 分離濃縮技術, 放射線・放射能測定技術, 可視化技術と, それらを統合し, 計測器からデータ解析を経て可視化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.