

MCPOP「計測・計算連携」むけブレインストーミング会

https://indico.nifs.ac.jp/e/brain_storming_20250904

日時: 2025 年 9 月 4 日 13:30-15:30

会場: NIFS 研究 I 期棟 501 号室 (ハイブリッド)

世話人: 星健夫、山口裕之、前山伸也、江本雅彦、草場稜、磯部光孝、永岡賢一 (NIFS)

説明:

超高温プラズマのマイクロ集団現象 (MCPoP) プロジェクト (<https://www.nifs.ac.jp/info/roadmap2023.html>) の一環として、CHD、CHD-U で用いる新規な「計測・計算連携」に向けて、ブレインストーミング (BS) 会を行います。実験系のみならず、シミュレーション・データ駆動科学系研究者の講演を歓迎します。

テーマ:

1. 先端的な計測インフォマティクス……機械学習・大域最適化・ベイズ推定・次元削減・データ同化、など、高度な計測データ解析。
2. シミュレーションのデータレポジトリ作成と実験模擬……既存のシミュレーションソフトウェアのデータレポジトリを構築する。また、シミュレーションソフトに実験模擬 (実験と直接比較可能なデータを生成する) 機能を追加する。可視化、データ変換などの手法も含まれる。
3. データ取得・データ貯蔵……計測機器からのデータ取得、および、データ貯蔵、データフォーマット変換、データ検索などについて、ニーズを調査し、試行的に実施する。情報系研究者とも連携する。
4. その他……1~3 に含まれないテーマ。

講演アブストラクト:

(1 は 4 分。2~11 は 8 分 (講演 4 分、討論 4 分))

1. 星健夫、はじめに: MCPPOP「計測・計算連携」

2. 星健夫、MCPOP を中核とした計測インフォマティクス拠点の形成と学際化 (テーマ 1)

CHD/CHD-U における標準的な計測方法を選定し、そのデータを解析する統合ソフトウェアを開発することで、計測インフォマティクス拠点を形成する。このソフトウェアは、機械学習、大域的最適化、ベイズ推定、次元削減などの高度な解析手法を自在に活用できるようにする。さらに、複数の計測データを組み合わせて解析するマルチモーダル解析手法を開発する。あわせてデータを蓄積・

共有できるレポジトリを構築し、データ科学系研究者との共同研究を始めるための基盤とする。解析手法は汎用性を持つため、多彩な(磁場閉じ込め型以外も含む)核融合分野、半導体・材料分野、加速器利用実験分野、産業分野、に波及させ、研究拠点を学際化する。

3. 永岡賢一、多点同時計測による高次相関解析ツールの提案(テーマ 1)

輸送現象をマイクロ集団現象としてとらえると温度、密度ゆらぎの高次相関を評価することが重要となる。同時同位置計測を実現することで、精密な実験が可能となるが、計測機器の設置の自由度は限られている。CHD では、Precision Timing Protocol (PTP)による異なる計測機器間で精度の高い時間情報が共有される。このため、相関長が長いゾナルフローや高エネルギー粒子駆動のMHD 揺動などに対しては、異なる位置でも高次相関を評価することが可能となる。新計測システムとして、異なる位置の計測器が異なるサンプリング周期で計測してもそれらの位相を含めた高次相関を評価する汎用ツールの開発を提案する。

4. 徳沢季彦、CHD でのミリ波計測器の計算連携による統合運転解析(テーマ 1)

CHD では、反射計・散乱計・ECE を同位置で観測し、密度・電場・磁場・温度を同時観測し輸送研究に貢献する予定である。その準備として、まず光線追跡計算を実験シーケンスに同期させ、他の計測器(トムソン散乱計測を想定)信号から得られる時系列平衡データを基に、各ミリ波計測器の視線情報を確定するスキームを確立する。計算には、既に ECE 計測の適用実績のある TRAVIS コードを予定する。将来的には、さらに、乱流を含めたモデル計算へと発展させていきたいと考える。

5. 鈴木千尋、磁気座標マッピングシステムの現状と課題(テーマ 1)

各計測器の一次データを輸送解析などに利用するためには、対応するプラズマの平衡を決定して、実座標を磁気座標にマッピングする必要がある。LHD における磁気座標マッピングシステム構築の経緯を振り返り、CHD に適用するにあたっての課題を議論する。

6. 山口裕之、分布関数シミュレーションデータレポジトリ(テーマ 2)

マイクロ集団現象の研究において、分布関数 $f(x,v,t)$ の同定、および、電磁場揺らぎ $\delta\phi$ 、 δB と f の連関が理論予測と一致することの実証が、重要なマイルストーンになると考えている。NIFS は、プラズマの実形状を考慮して分布関数そのものを計算するシミュレーションコードを複数有している。しかし、これまでの研究体制では、これらのコードによる実験解析は多くが事後的、個別的、散発的であり、同様のやり方では高度な連携は難しいと感じている。そこで CHD/CHD-U 時代の実験・理論シミュレーションの連携方法として、分布関数シミュレーションデータレポジトリの構築を提案する。レポジトリの基本的な機能は、位置座標 (x,y,z) その他の情報を入力すると、分布関数 $f(x,y,z,v_1,v_2,...)$ を統一されたフォーマットで返すことである。コードごとのデータ形式や座標系の違いをユーザが意識する必要がないことが重要である。これを計測の予備検討や、実験解析に供する。レポジトリ内部には2種類のカテゴリが置かれることになる。実験開始前から準備する参照分布データと、現実の実験条件に基づくシミュレーションデータである。前者は計画的に作成・カタログ化し、後者は、個別散発的に得られた解析結果も追加していくことで、時間とともに充実させていく。実験データと同じ

扱いとする(例えば、f を eg 形式で書き出すなど)ことで、これまでにないスムーズな連携が可能になる。

7. 關良輔(代理:山口裕之)、CHD/CHD-U 実験データ、シミュレーションデータのフォーマット標準化その他(テーマ 3)

LHD で使用している EG data format は text 形式で保存されており、登録、利用しやすいが、そのものデータとして使用できるものや、生データからの解析途中のものなど、玉石混合であり、また、名前もそれぞれで外部から見るとわかりやすいとは言えない。そこで、ITER などのデータフォーマットに沿う形式のデータなども各 shot 作るべきではないか? 合わせて、核融合以外の分野の方が利用しやすいデータフォーマットも議論したい。これらのデータの間ファイルとして、EG を残すことを私自身は考えている。

8. 佐竹真介、CHD, CHD-U 向け新古典輸送・両極性電場予測モデル構築(テーマ 2)

新装置において、観測された温度密度に対応する新古典輸送と両極性電場をその都度計算するのではなく、予め磁場配位や温度密度分布に対する依存性を機械学習で学習させておき、それを新古典輸送の予測に用いることを提案する。

9. 前山伸也、CHD/CHD-U 実験におけるシミュレーションコードの入力データ自動作成(テーマ 3)

LHD 実験では、生の計測データから物理量換算、MHD 平衡構築など、一連の処理が自動化され、データとして蓄積されている。一方、大規模シミュレーションコード実行の際には、別途シミュレーション研究者が入力データへと換算しスパコン上で実行することが多く、新規参入者にとってはこのデータ換算の部分が障壁となる。本来、実験データ自動処理側出力と、シミュレーション入力のデータ仕様が公に定められていれば、その換算は自明のはずである。本提案では、システムエンジニアによる実験データからシミュレーションコード入力データへの変換スクリプトの作成、スクリプトとデータ・コード仕様のドキュメント公開、データやコードのバージョンアップ対応、実験データ自動処理プログラムの一部として変換スクリプト登録、ユーザーによる自作シミュレーションコードへの入力データ変換プログラム作成支援について議論する。

10. 草場穫、CHD-U データ管理に向けた IDS 変換・統合の初期検討(テーマ 3)

CHD-U の立ち上げに伴い、実験データの保存・管理・解析基盤の設計が重要となっている。従来の LHD と同様、診断ごとに独自形式で保存する方法では、異なる信号の統合解析や外部研究者との共有に困難が生じる。本ブレインストーミングでは、ITER で採用されている国際標準 IMAS の IDS (Interface Data Structure) を利用したデータ統合の可能性を議論する。具体的には、(1) 最小限の主要診断、(2) 診断と IDS ノードとの対応表、(3) メタデータ設計、(4) 診断ごとの IDS 変換スクリプトについて議論する。

11. 星健夫、計測・計算研究者むけ生成 AI 活用法(テーマ 4(人材教育))

MCPOP の長期的発展にむけた人材育成として、生成 AI 活用法を学ぶカリキュラムを策定し、実施する。物理系研究者(計測データ解析やシミュレーションを行う者)を対象に、生成 AI の活用法を学べるコースを設ける。この取り組みでは、所内外の研究者を含むワーキンググループを立ち上げ、「現状で本当に役に立つ活用法」を整理・策定する。コースは 3 つのレベルに分ける:初級(大学 2 年生以上を対象)、中級(修士課程以上を対象)、上級(個別相談形式)。教材はビデオや実習を組み合わせ、「誰でも」「始めたいときにすぐ始められる」ようにする。また、題材は核融合に限定せず、他の物理分野や企業の研究者にも役立つものを選ぶ。これにより、幅広い研究者層に波及させ、最終的には核融合分野への人材流入も目指す。

12. 鈮持尚輝、CHD/CHD-U におけるデータ同化を用いたプラズマ予測制御の検討(テーマ 1)

本研究グループでは、データ同化技術を用いた核融合プラズマのデジタルツイン制御システム ASTI の開発を進めている。これまで LHD プラズマや HSX プラズマについてプラズマ分布制御実験を行い、ASTI システムの有効性を実証して来ている。現在、本研究グループでは、これまでの ASTI をさらに発展させた多階層制御アルゴリズムの開発を目指している。このため来年度以降は CHD 装置を用いた予測制御実験を計画している。

13. 全体討論

以上。