

実験データと理論計算データを融合した統合輸送解析システムの開発 Development of the Integrated Transport Analysis System Unifying Experiment and Simulation Data

江本雅彦, 鈴木千尋, 鈴木康浩, 横山雅之, 關良輔, 居田克巳
M.Emoto, C.Suzuki, Y.Suzuki, M.Yokoyama, R.Seki, and K.Ida

自然科学研究機構 核融合科学研究所
National Institute for Fusion Science

本文

大型ヘリカル (LHD) は全国共同利用施設であり、共同研究募集や実験提案募集を行い、集まった400以上の提案を10程度のタスクチームに分類し、毎日2~3タスクが交代で実験を遂行する。現在、3分間隔のプラズマショットごとに100以上の計測器から20GB以上もの膨大な計測データが収集されているが、円滑な共同研究を進めるため、情報処理技術を導入してきた。これらは、リレーショナルデータベース (RDB) およびWebを利用することで、(1) 実験パラメータの検索 (2) 実験提案に関するデータベース (3) 実験遂行、実験メモの共有 (4) 解析後データの検索、等の提供をWEBブラウザを利用して遠隔地から容易に行うことが可能となった。LHDでは、さらにこれらの技術を用いて、実験データ解析結果と理論計算結果をデータベース化した統合輸送解析システムを構築している。本講演では、この統合輸送解析システムについて講演する。

以前のLHD実験のシステムでは、個々の研究者が、自分の収集した計測データを物理量に変換していたため、他の研究者が収集したデータを参照するには、それぞれ異なる方法でデータを読み込む必要があったが、江本らの開発した解析サーバシステム[1]によって、これらを統合することにより、単一の方法でデータが参照できるようになった(Fig. 1)。

さらに、個々の計測器が測定しているプラズマの断面形状の違いを吸収するために、物理座標から実効座標系への変換システムの構築を行った。LHDの計測器が取り付けられている場所ではプラズマ断面形状がそれぞれ異なる。例えば、電子密度分布の相対値を測定するトムソン散乱は水平断面を計測するのに対し、絶対値の較正に必要なFIRレーザー干渉計は垂直断面を測定する。両者のデータを比較するためには

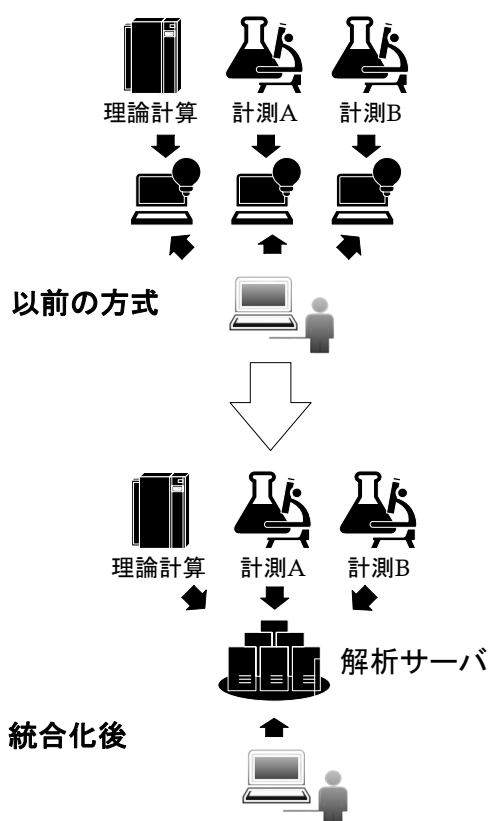


Fig.1 解析サーバによるデータ統合

プラズマ平衡計算を行い実効座標系への変換が必要となる。問題は、プラズマは刻々と変化するために1ショットあたり500もの平衡計算が必要なことである。この計算を高速に行うために、予め行った理論計算をデータベースに登録し、実験結果と最適フィッティングを行うシステムを構築した。このデータベースには空磁場配位を表す3つのパラメータ (磁気軸位置、四重極磁場、ピッチパラメータ) と、圧力・電流とその分布を表す4つのパラメータ (ピーク圧力、圧力分布ピーク度、トロイダル電流、電流分布ピーク度) の計7次元メッシュ点において、

VMECコードを用いた磁場の計算結果をRDBによりカタログ化したもので、上記7つの物理量で表される実験条件下での実座標から実効座標への変換機能をライブラリとして提供している。このライブラリを用いて、トムソン散乱計測による電子温度分布との最適マッピングを行うことにより、実効座標系での電子温度分布を計算するプログラムTSMAP (Thomson Scattering MAPping) [2] を開発した。このプログラムはショット間で計算を完了させるために、クライアント・サーバ方式を採用した。

具体的には、サーバ側の処理であるデータベースからのデータ検索と、クライアント側の処理である検索結果からベストフィッティングを探し出すという処理を並行して行うことにより、計算時間の短縮を実現した。さらに、時間毎の計算を並列して行うことで並列度を上げることに成功した。サーバ側はLVS (Linux Virtual Server)を用いることにより、複数のサーバを仮想的に一台に統合し、また、クライアント側ではPV-Waveで書かれたプログラムをPythonで並列実行するように書き換え、従来10分以上かかっていた計算が30秒程度まで短縮することが可能となり、ショット間での実行が可能となった。

また、各解析データには依存関係があり、ある解析データが更新されると、そのデータを参照する解析データも同時に更新されなければならない。このようなデータ間の依存性を管理するために、自動解析システムを開発した。このシステムは新たに解析データが登録されると、依存する解析データを自動的に更新するものである。このシステム導入以前は、個々の解析データの登録はそれぞれの担当者が行っていたため、研究者が必要な解析データを参照するには、その解析データが依存するデータの各担当者に順に登録してもらう必要があったが、このシステムにより、これらの作業が自動的に行われ、常に最新のデータが得られるようになった。

上記の計測データの集約管理、TSMAPの運用によって、LHD実験適用型統合輸送解析スイートTASK3D [3] の格段の進展をもたらした。すなわちTSMAPに基づく平衡計算、その平衡に基づくNBI加熱分布評価、エネルギー・運動量バランス解析に至る一連の解析作業を一つのパッケージとすることができた。これにより、原理的に、LHDの全放電、電子温度分布計測がなされた全てのタイミングに対してエネルギー

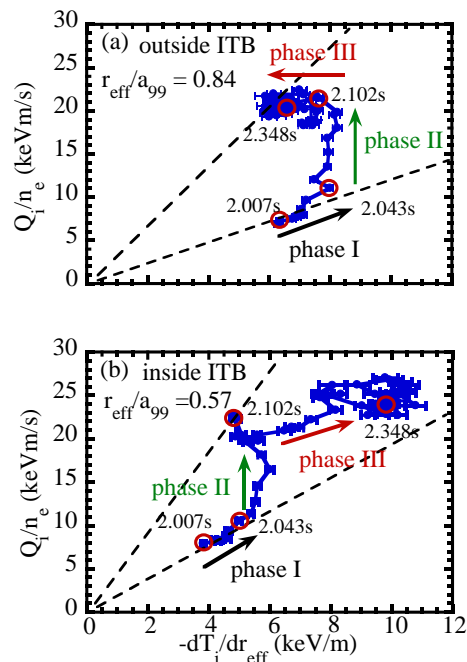


Fig. 2. 電子温度で規格化されたヒートフラックスとイオン温度勾配の関係 (a) ITB の外側 (規格化小半径=0.84) (b) ITB の内側 (規格化小半径=0.57)

ー・運動量バランス解析を実施し、データベース化する準備が整った(Fig.2) [4]。解析結果は、解析データサーバに登録され、共同研究者に公開されており、すでに多くのLHD実験成果発表にその基盤となる計算結果を提供している。

- [1] M. Emoto, *et. al.*, Fus. Eng. Des. **81** pp. 2019-2023 (2006)
- [2] C. Suzuki *et al.*, Plasma Phys. Control. Fusion **55**, 014016 (2013).
- [3] M. Yokoyama *et al.*, Plasma Fusion Res. **8**, 2403016 (2013).
- [4] K.Ida, *et. al.*, Phys. Rev. Lett. **111**, 055001 (2013)