

複数種物理量解析のための乱流シミュレーションを用いた数値診断 Numerical diagnostics for multiple variables by using turbulence simulation

糟谷直宏^{1,2}, 吉原稜², 井戸毅^{1,2}, 矢木雅敏³, 永島芳彦^{1,2}, 藤澤彰英^{1,2}
KASUYA Naohiro^{1,2}, YOSHIHARA Ryo², IDO Takeshi^{1,2}, YAGI Masatoshi³,
NAGASHIMA Yoshihiko^{1,2}, FUJISAWA Akihiko^{1,2}

¹九大応力研, ²九大総理工, ³量研
¹RIAM, Kyushu Univ., ²IGSES, Kyushu Univ., ³QST

核融合プラズマの輸送現象理解には3次元の構造を持つ揺動の効果を定量化する必要がある。近年の実験計測器の発展で多くの物理量の同時測定が可能となっている。一方、計算機シミュレーション研究の進展から揺動の3次元構造をシミュレーションで提示できるようになってきている。ここでは我々の開発している統合的な数値診断プラットフォーム *integrated Turbulence Diagnostic Simulator (iTDS)* を用いたシミュレーションデータの特徴的な診断手法について説明する。プラットフォーム上で実験計測の模擬を行い、トカマクプラズマ空間3次元時系列シミュレーションデータに対して、複数の計測器で複数の物理量を抽出、および一つの計測器で複数の物理量を抽出する。多様な比較対象を提示することで、実験とシミュレーションの比較手法の進展を図る。

iTDS [1]は複数のシミュレーションデータに対して複数の解析手法を適用できる統合的な数値診断プラットフォームである。簡約MHDモデルやジャイロ運動論モデル等による大域的シミュレーションデータを用いて実験計測結果を再現する統合診断(*synthetic diagnostics*) [2]を可能とする。現在汎用性を向上して多様なシミュレーションデータおよび多様な実験計測模擬へ適応可能となるように、複数のコードをオブジェクト指向プログラミングのもとモジュール化して組み合わせたシミュレータを構築している。

ここではプラズマ配位の幾何学的構造と局所的計測位置や計測視線の関係に着目する。現在計画が進展しているプラズマ乱流統合観測装置PLATOトカマク [3]の磁場配位において計測模擬を行う。まず局所的な揺動計測に用いられる静電プローブを考えると、プローブ設置位置における物理量(密度、電位、温度)の抽出を行うことになる。一般にシミュレーションデー

タは離散メッシュ点上で与えられるので、任意の点ではその補間によって値を抽出する。このルーチンを数値プローブと呼ぶ。複数のプローブ列は揺動の時空間構造を与えてくれる[4]。次に可視光検出器のような視線方向に積分された量を観測量として与える計測器について考える。前述の数値プローブを視線上に配置して足し合わせることで視線積分情報を得る。トモグラフィでは多数の視線積分情報から逆問題を解くことでプラズマ断面を再構成する[5]。さらに重イオンビームプローブ計測(HIBP)を考える。HIBPは磁場閉じ込めプラズマ中に1価重イオンのビームを入射し、2価に衝突電離した荷電粒子の計測を行うことで、電離点での電位、密度、磁場揺動の情報を得ることができる[6]。HIBP模擬を行うためにはプラズマ中の電位、密度、温度の3次元情報が必要で、それらを用いて荷電粒子の運動とその軌道上でのビーム減衰を計算し計測量を得る。経路効果も含めた評価となる。このルーチンを数値HIBPと呼ぶ。磁気面平均量の分布とともに3次元の揺動データがあれば揺動計測についての模擬が行える。

講演ではMHDコードMIPS[7]および簡約MHDコードR5F[8]から得られた3次元揺動場を用いた計測模擬から複数種類のプラズマ揺動情報を取り出した結果を示す。

- [1] 糟谷他, プラズマ・核融合学会第38回年会(オンライン, 2021) 23P-4F-11
- [2] C. Holland, *et al.*, *Phys. Plasmas* **16** (2009) 052301.
- [3] A. Fujisawa, *AIP Conf. Proc.* **1993** (2018) 020011.
- [4] T. Yamada, *et al.*, *Nature. Phys.* **4** (2008) 721.
- [5] C. Moon, *et al.*, *Sci. Rep.* **11** (2021) 3720.
- [6] T. Ido, *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.* **77** (2006) 10F523.
- [7] S. Tomimatsu, *et al.*, *Plasma Fusion Res.* **15** (2020) 1403052.
- [8] M. Yagi, *et al.*, 26th IAEA FEC (Kyoto, Japan, 2016) TH/P3-21.