

機械学習を用いたプラズマ合体中の磁場構造推定法の開発

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 修士 2 年 西田 賢人

2016 年 3 月 14 日-16 日

球状トカマク (ST) は、経済性の良い高 β 配位を実現できるが、その形状から中心ソレノイドコイルを使用することができないため、立ちあげに難がある。そこで 2 つの ST 配位を合体させるプラズマ合体法が、磁気リコネクションの加熱を活かした効率的な ST 立ちあげ手法として提案されている。先行研究である TS-3/TS-4/MAST における合体磁場 B_{rec} と生成されたイオン温度 T_i のスケージング則 [1] から、TS-4 装置における強磁場高温合体実験が予定されている。強磁場合体実験では、従来 TS-4 で使用されてきた磁気プローブによる磁場診断を使用不可能であると予測される。また合体中は非平衡であるため、通常用いられているような平衡を仮定した再構成手法を用いることができない。そこで本研究では、機械学習を用いた非接触/非平衡磁場推定手法の開発による強磁場合体 ST の平衡制御を目指す。

開発した磁場推定手法は、壁付近に設置されたピックアップコイルの信号と既知の磁場分布から、機械学習の一種であるサポートベクトル回帰 (SVR) を学習させ、未知の内部磁場分布を壁付近のピックアップコイルのみから推定する。機械学習による磁場推定の原理実証として、過去の実験データベースを教師信号として用いて推定を行った。この際の、磁場推定のコイル配置及び典型的な推定信号を Fig.1 に示している。磁場信号 B_z に対する推定は、平均 2 乗誤差 (RMSE) 5.0×10^{-3} T (TS-4 の典型的な軸方向磁場は $B_z \sim 0.1$ T) 程度の誤差で推定される。これは SVR を用いることで、平均誤差率 $\sim 5\%$ 程度の精度で B_z の推定が可能であることを示している。

Fig.2 に示した等磁束線図では、各時刻において (左) 実験値と (右) 推定値がよく一致しており、SVR によって合体率や磁気軸位置の非接触推定が可能であることを示している。磁束推定結果から、合体後の平衡を仮定することで、平衡再構成が可能である。再構成から算出したベータ値及び安全係数は、それぞれ、 $\beta_t = 17.4\%$, $\beta_p = 0.107$, $q_{95} = 2.55$ で、磁気プローブからの再構成結果と一致している。

推定には学習用データが必要であるが、実際の強磁場合体においては、磁気プローブを用いた学習データの収集が難しい。そこで強磁場高温領域の磁場構造学習データとして MHD シミュレーションを適用することを行う。合体率の進展等、磁場推定結果の定性的な一致はみられているが、シミュレーションと実験配位における初期条件の違い等から、定量的な一致は現段階では得られていない。本発表では、シミュレーション学習による機械学習磁場推定についても報告を行う。

[1] Y.Ono, H.Tanabe. et.al., Phys. Plasmas **22**, 055708 (2015)

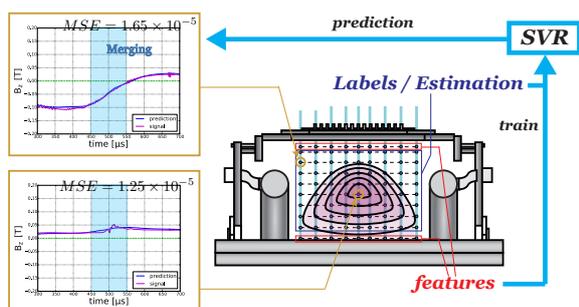


Fig.1: TS-4 装置の概観と磁場測定点。壁付近の磁場特徴量 (赤) から予測点 (青) の磁場を推定する。

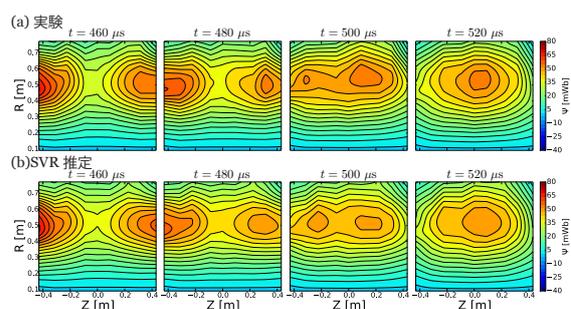


Fig.2: 典型的なショットでの合体中各時刻における等磁束線分布 (a) 実験 (b) 推定。