

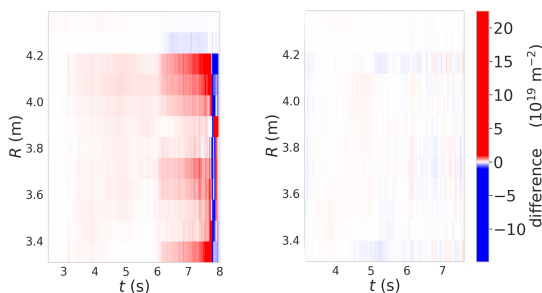
LHD線積分電子密度の逆変換手法の開発による 局所電子密度の高時間分解推定

京都大学 大学院工学研究科 機械理工学専攻
光工学研究室 ○黒澤大河, 藤井恵介

核融合科学研究所のLHD(Large Helical Device; 大型ヘリカル装置)では、電子密度の空間分布を推定する計測法として、遠赤外レーザー干渉計(Far Infrared Interferometer; 以下FIR)およびトムソン散乱法が用いられている。トムソン散乱法では局所的な電子密度を計測可能であり、空間分解能(12~25 mm)が高いという利点があるものの、時間分解能が低い(30 Hz)という欠点がある[1]。一方FIRでは時間分解能が高い(10 kHz)という利点があるものの、空間分解能(90 mm)が低く、局所的な電子密度を線積分した値しか得られない[2]。

従来は、高時間分解な電子密度の空間分布を推定する方法としては、計算された磁場配位による有効小半径の空間分布から求まる積分行列(局所電子密度を線積分電子密度に変換する時間変化する行列)とFIRの計測データを学習データとして用いた正則化最小二乗法が用いられていた。しかし、この再構成法においては、トムソン散乱法の情報を十分に盛り込むことができない。また、FIRの線積分電子密度とトムソン散乱法を線積分したと仮定した値の間に生じている誤差を考慮していなかった。

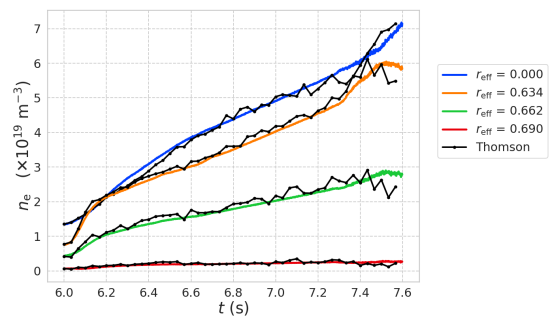
本研究では上記の問題を解決するために、上記の誤差がトムソン散乱法の局所電子密度の線形変換で表されると仮定し、正則化最小二乗法により学習データ間の系統的な誤差を緩和させるような誤差修正行列を求めた。誤差修正行列を用いたことで、計測法間に生じていた線積分電子密度間の誤差の時間合計を1/50程度に軽減することができた。



修正前の誤差と修正後の線積分電子密度の誤差

また、再構成においては、トムソン散乱法の時系列データに対して主成分分析を行い、その基底を用い、更に係数の情報に基づいて事前分布を設定しベイズ的線形回帰を試みた[3]。これを用いて再構成を行い、誤差修正前と修正後で、誤差が1/10程度に、従来の正則化最小二乗法に比べると1/30程度に縮めることができた。評価の方法である誤差は、再構成された電子密度分布とトムソン散乱法から推定された電子密度分布との差の二乗和の時間合計とした。

最後に、誤差を修正した上でのベイズ的線形回帰を用いて、FIRの高速計測データを用いた再構成を行い、FIRの高速計測データからでも再構成が精度良くできることを確認した。



トムソン散乱法による局所電子密度と再構成された電子密度の時間変化

References

- [1] K. Tanaka, K. Kawahata, T. Tokuzawa, S. Okajima, Y. Ito, K. Muraoka, R. Sakamoto, K. Watanabe, T. Morisaki, H. Yamada, and the LHD Experimental group, (2008), *Plasma and Fusion Res.* **3**, 050.
- [2] 中山和也, 岡島茂樹, 川端一男, 「解説 遠赤外レーザーの開発とその応用」(2011) *J. Plasma Fusion Res* **87** No.12 801-815.
- [3] 青木勇太, (2018), LHD 電子密度の線積分データから局所空間分布へのベイズ的再構成手法の開発, 京都大学工学部物理工学科機械システム学コース卒業論文 (未公開).