

プラズマ中における大域構造振動と局所乱流の相互作用の探究 Exploration of the interaction between the global structural oscillation and local turbulence in plasma

小林 大輝 (Kobayashi Taiki)

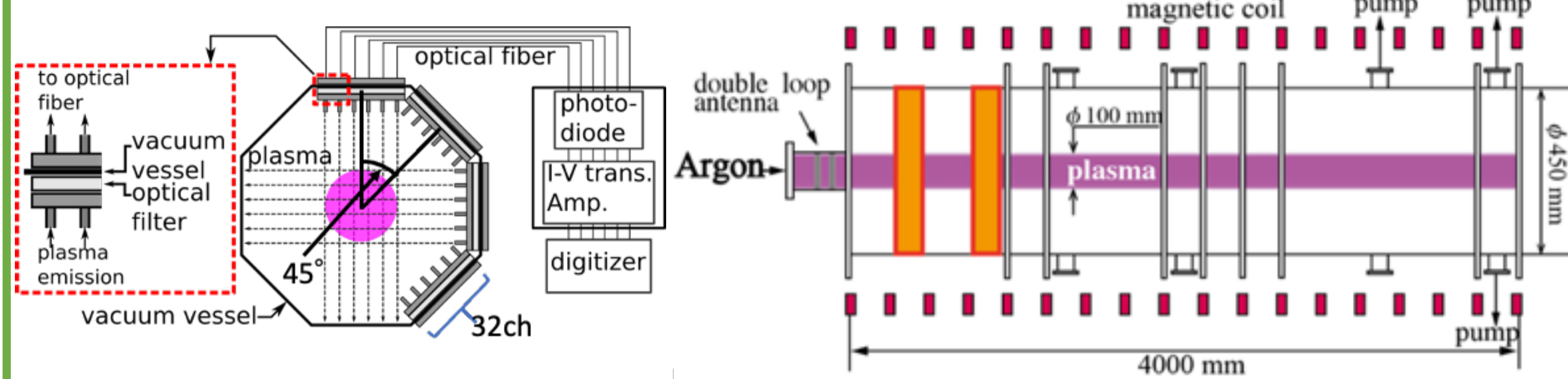
総合理工学府 (Interdisciplinary Graduate School of Engineering Science)

研究目的

磁場閉じ込め式核融合炉の開発を進めるにあたって、そのモデルケースとされるトカマクプラズマ中では様々な非線形振動現象が観測されている。非線形振動は、内包する**典型的発展部分 (決定論的部分)**と**揺らぎ部分 (確率論的部分)**が互いに作用することで発達し、核融合炉開発遅延の原因となっていると考えられており、その克服が希求されている。そこで、非線形振動の物理現象を理解すべく条件付き平均法を用いた決定論的部分の抽出を行なった。

実験装置

PANTA (Plasma Assembly for Nonlinear Turbulence Analysis)



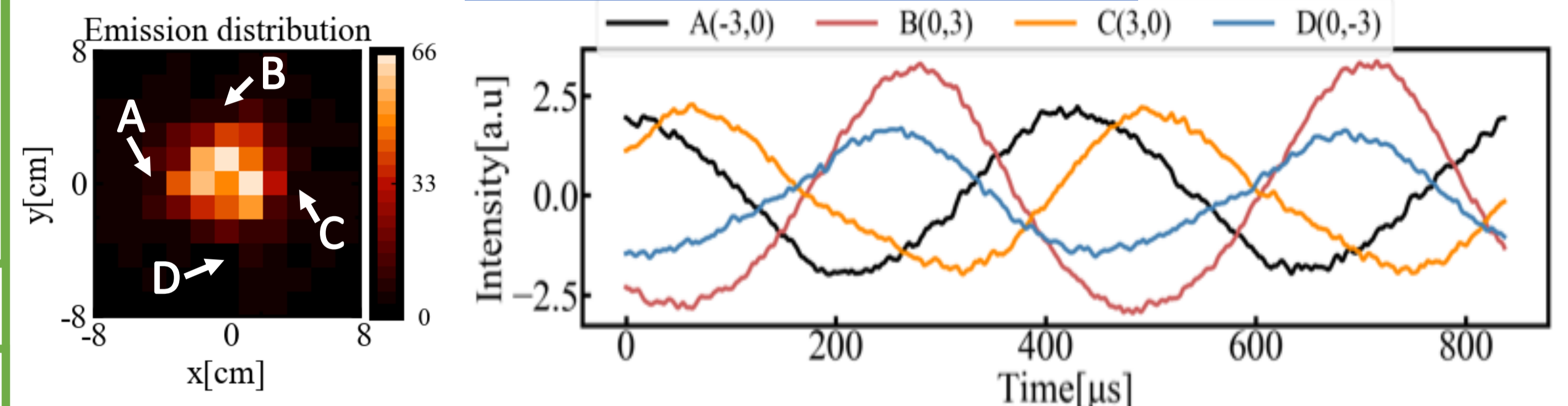
Parameters	
Gas	Argon
Gas pressure	0.4 Pa
RF power	3kW
Magnetic field	700G

トモグラフィ計測[1]で観測された非線形振動を解析対象とした

解析結果

決定論的部分の空間構造抽出

局所点における決定論的部分



全発光量における

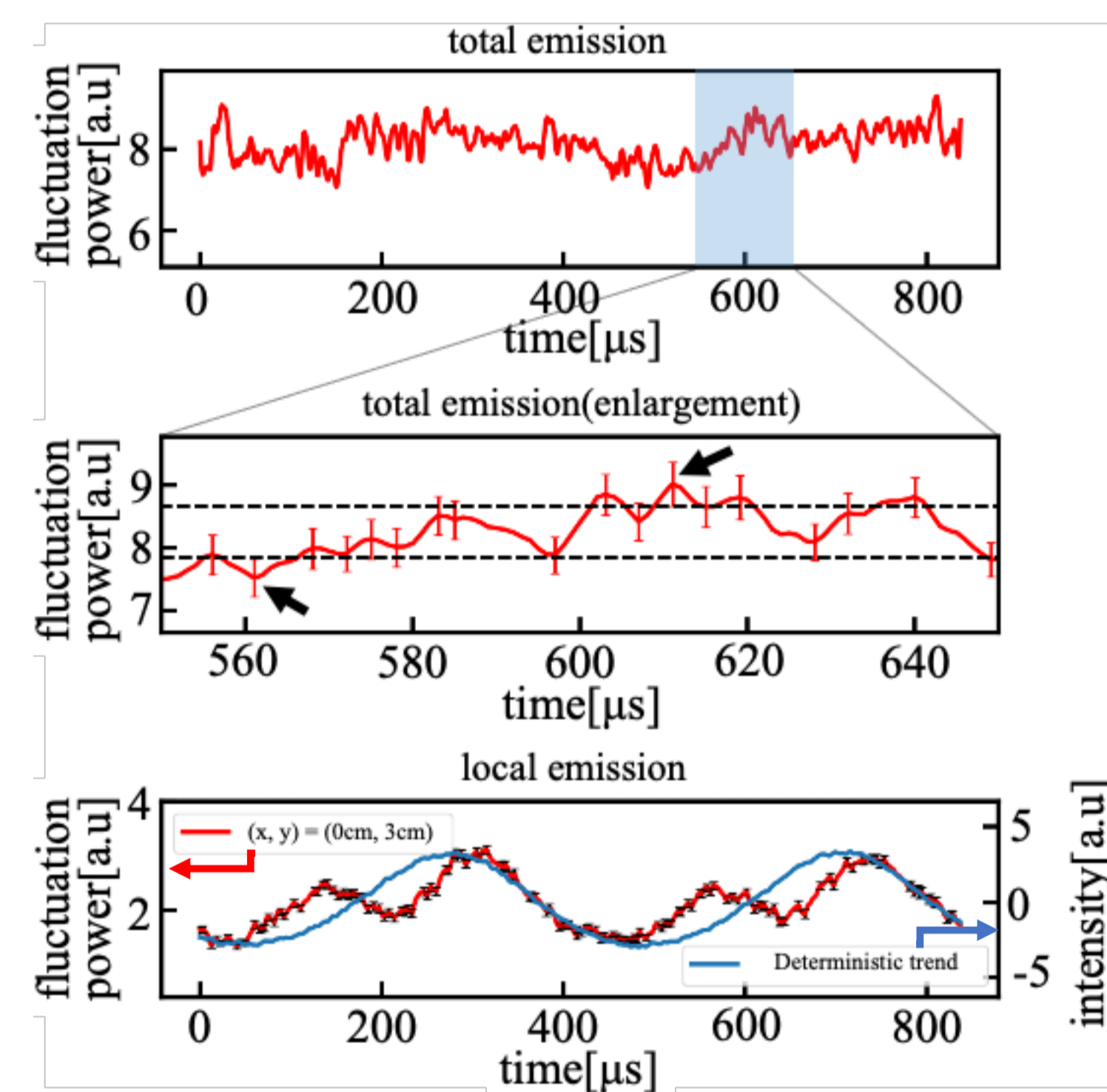
- 相関基準値
 - クロック位置
- CECAMEにより決定

トモグラフィ画像の各局所点に対してテンプレート法を行い決定論的部分を抽出

再構成

再構成にはFourier-Bessel級数展開を用いることで詳細な画像解析を行なった

決定論的部分と確率論的部分の関係



確率論的部分の強度とその誤差

$$|\hat{f}_P| \pm \Delta |f_P| = \sqrt{\hat{f}_P^2 \pm \Delta \hat{f}_P^2} \approx \sqrt{\hat{f}_P^2} \left(1 \pm \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta \hat{f}_P^2}{\hat{f}_P^2} \right) \right)$$

強度の振幅が誤差の範囲を超えている → 局所点ではその傾向がより顕著に

◆ 確率論的部分は単にランダムな変動ではないことから単なるノイズではなく**確率的に変動する現象である**ことがわかった

決定論的部分と確率論的部分の強度の時空間発展を比較

決定論的部分の高密度領域にて確率論的部分の強度も増加した

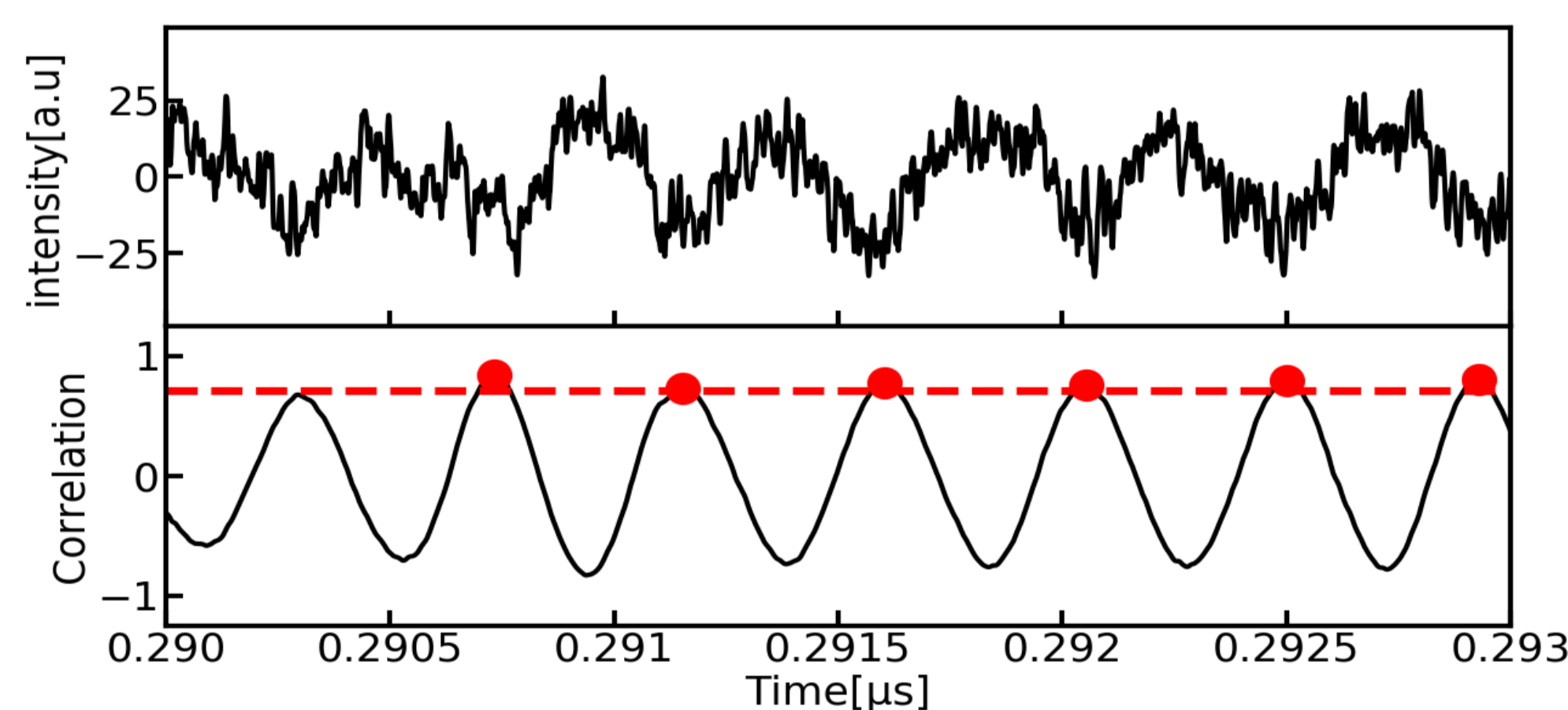
決定論的部分と確率論的部分の間に相互作用が存在している可能性が示唆された

条件付き平均法CECAME

Template Method

相関解析

決定論的部分の抽出

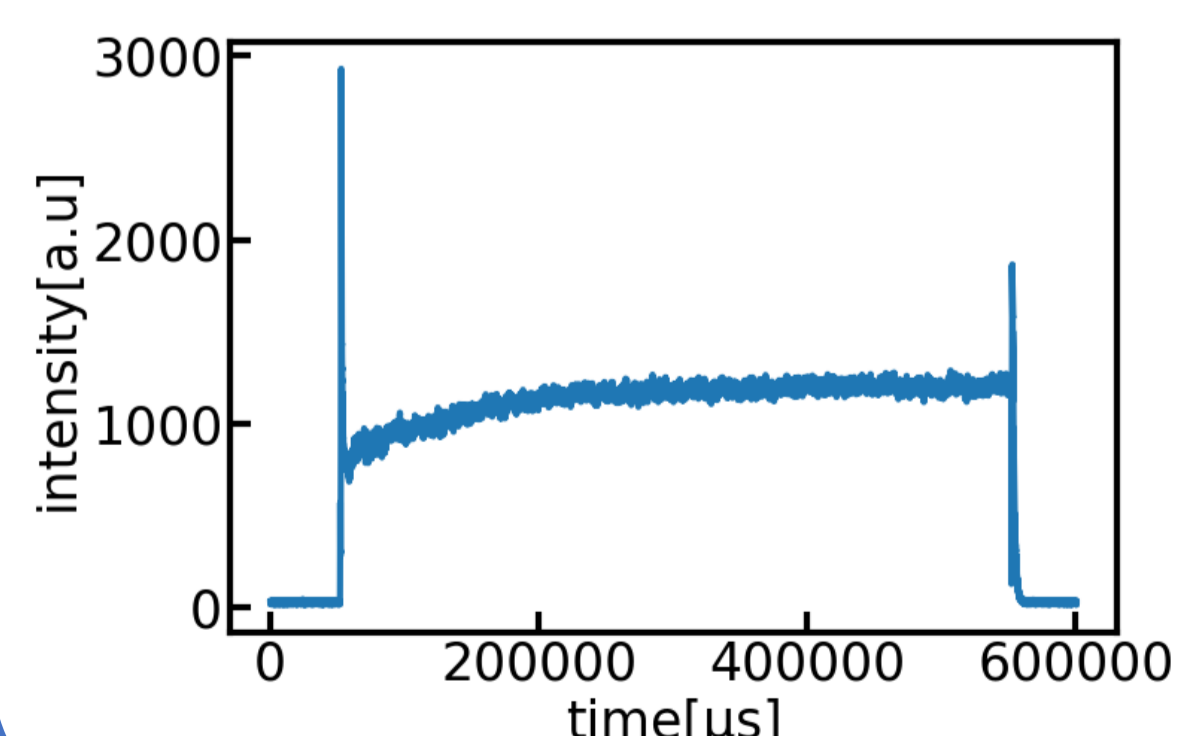


相関解析の際に与える相関基準値を以下にして決定するか?

CECAME (Correlation-Estimated Conditional Average Method)[2]

解析対象

プラズマ発光量の合計値



計算方法

$$f(t) = \underbrace{f_D(t)}_{\text{決定論的部分}} + \underbrace{f_P(t)}_{\text{確率論的部分}}$$

対象となる現象とテンプレートの相関値

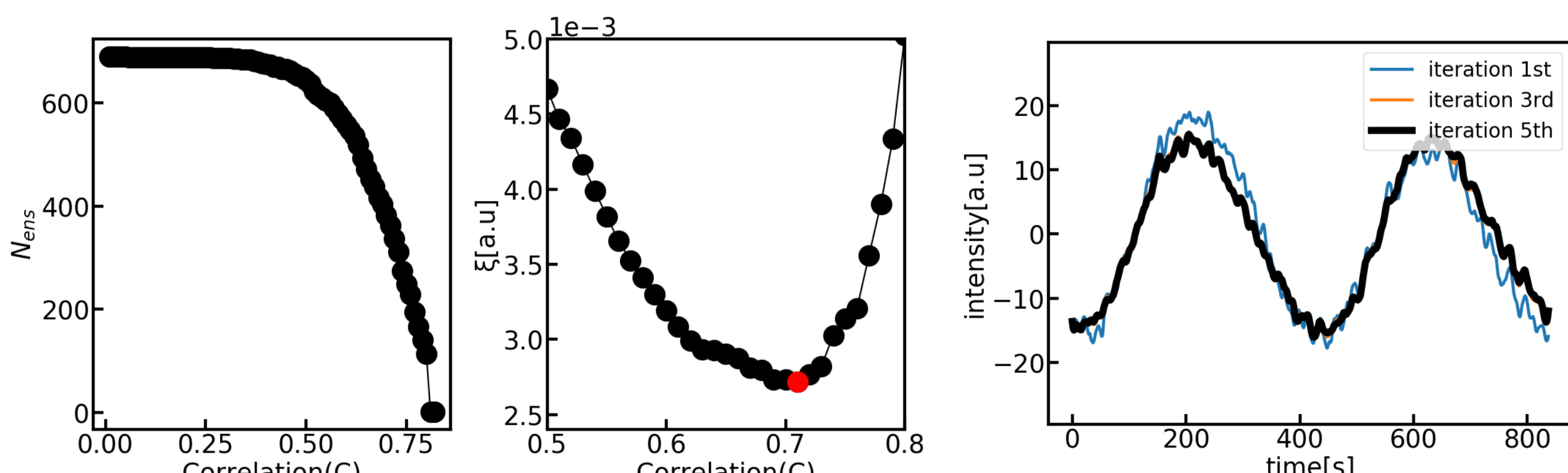
$$C_{cr} = \frac{(f_D \cdot (f_D + f_P))}{\sqrt{(f_D^2)(f_D + f_P)^2}} = \frac{(f_D^2)}{\sqrt{(f_D^2)(f_D^2 + f_P^2)}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (f_P^2/f_D^2)}}$$

揺らぎ部分の強度

$$\langle f_P^2 \rangle = \langle f_D^2 \rangle \frac{1 - C_{cr}^2}{C_{cr}^2}$$

評価関数ξを定義

$$\xi(C_{cr}) = \frac{\sigma^2(C_{cr})}{N_{ens}(C_{cr}) - 1} = \frac{1}{N_{ens}(C_{cr}) - 1} \left(\frac{f_P^2}{f_D^2} \right) = \frac{1 - C_{cr}^2}{(N_{ens}(C_{cr}) - 1) C_{cr}^2}$$



解析対象のデータから精度良く決定論的部分の抽出が行えた

まとめ

抽出法として採用したテンプレート法において重要となる相関基準値の決定を定量的に行える解析法を考案し決定論的部分の抽出を行なった。

分離した確率論的部分の詳細を解析していくことで、決定論的部分と相互作用を引き起こしている可能性が示唆された。

[1] A. Fujisawa, et al., Plasma Phys. Control Fusion, **58**, 025005 (2016).

[2] T-K. Kobayashi, et al., submitted to Plasma Phys. Control Fusion (2020).