

多方向画像取得によるプラズマ発光 およびシース構造の三次元再構築

鈴木 陽香^{1,2}, 泉 涼太¹, 吉川 隼人¹, 豊田 浩孝^{1,2,3}

1名古屋大学 大学院工学研究科, 2 名古屋大学低温プラズマ科学研究所, 3 核融合科学研究所
suzuki.haruka.c3@mail.nagoya-u.ac.jp

研究の背景

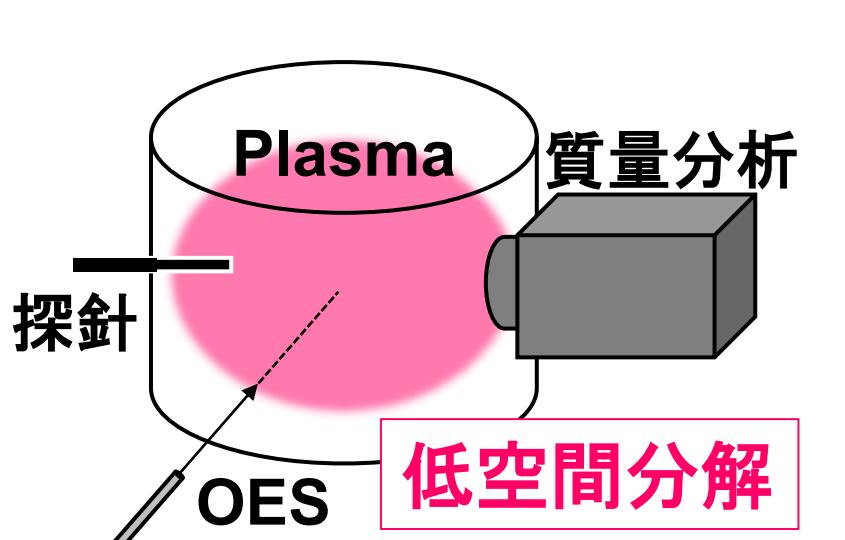
プロセス性能はプラズマ三次元空間構造に依存

- ✓ 加工形状・膜厚の制御
- ✓ 面内均一性
- ✓ 再現性

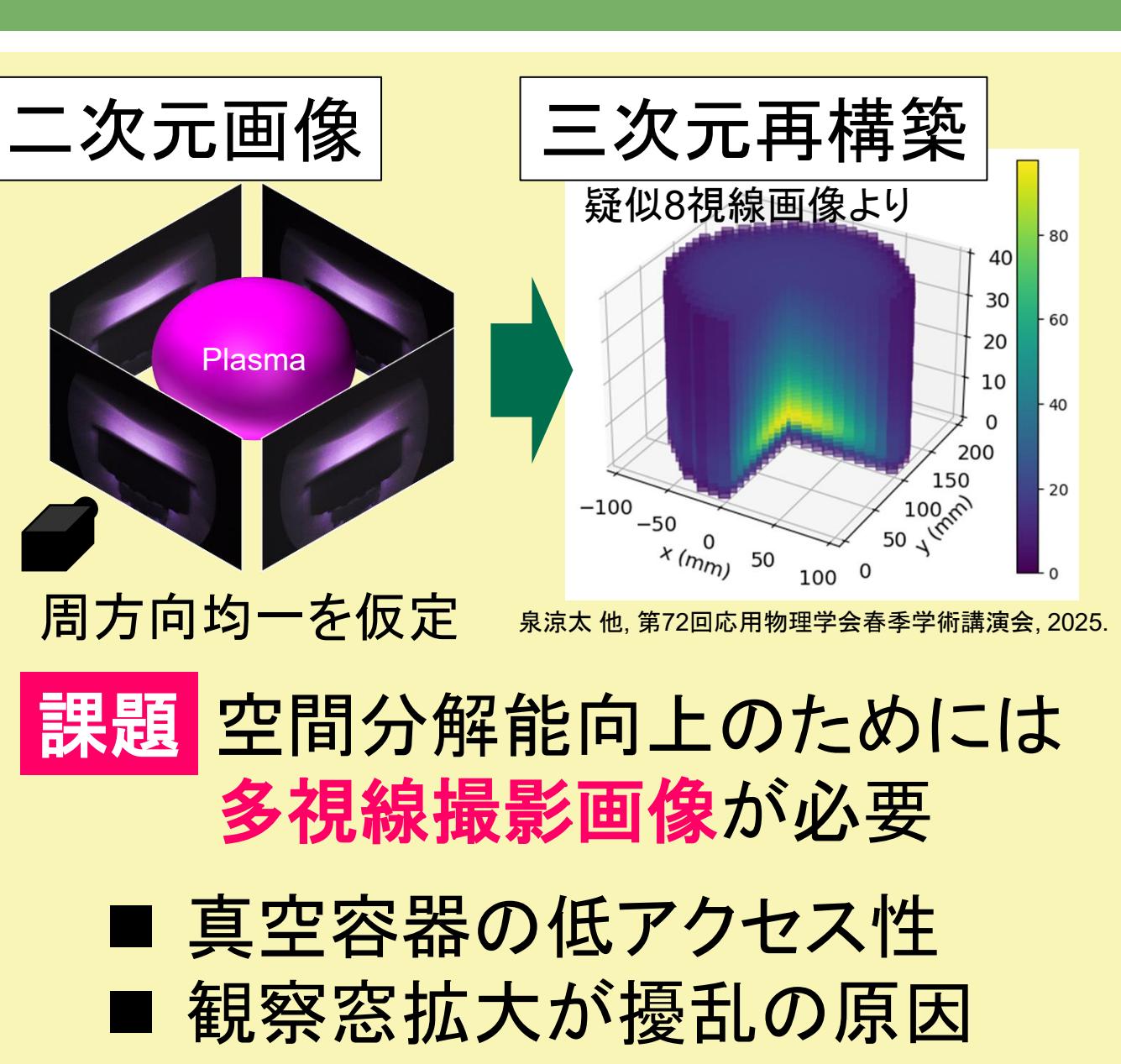
プラズマ内部構造の理解は、先進的プロセスの最適化に寄与

従来のプラズマ計測手法の問題点

- プローブ法 : 点計測、プラズマ擾乱
- 粒子計測 : 分布取得不可、擾乱
- 発光分光法 : 視線方向積分の計測



これまでに [複数視点カメラ画像から発光三次元空間分布を再構築](#)



研究目的 プラズマ発光三次元構造再構築のための多視線画像撮影装置開発と
不均一プラズマ・シース構造評価

三次元再構築の手法

$$\begin{bmatrix} \text{重みづけ行列 } H \\ H_{1,1} & \cdots & H_{1,M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{N \cdot n, 1} & \cdots & H_{N \cdot n, M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1 \\ \vdots \\ g_{N \cdot n} \end{bmatrix}$$



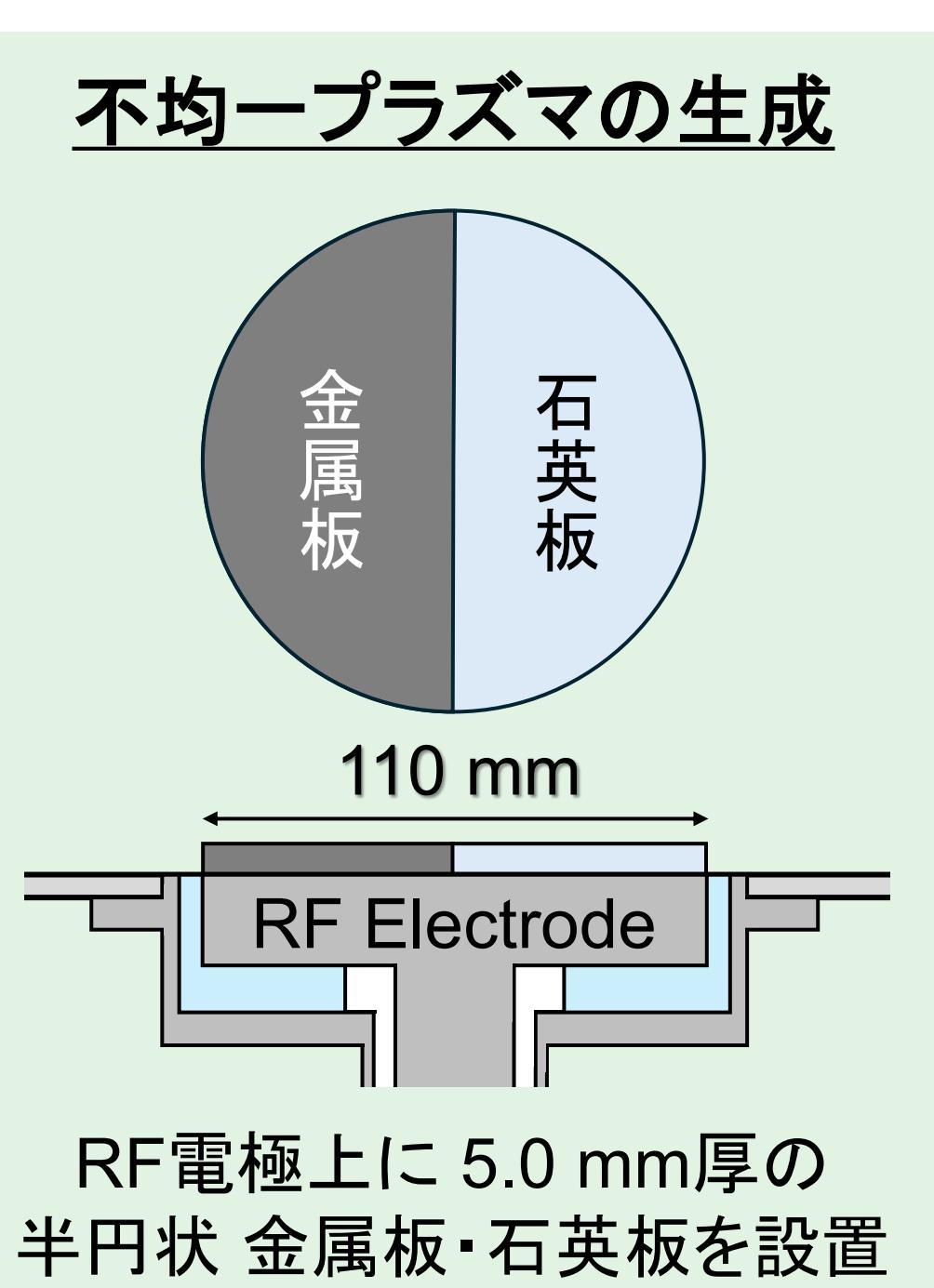
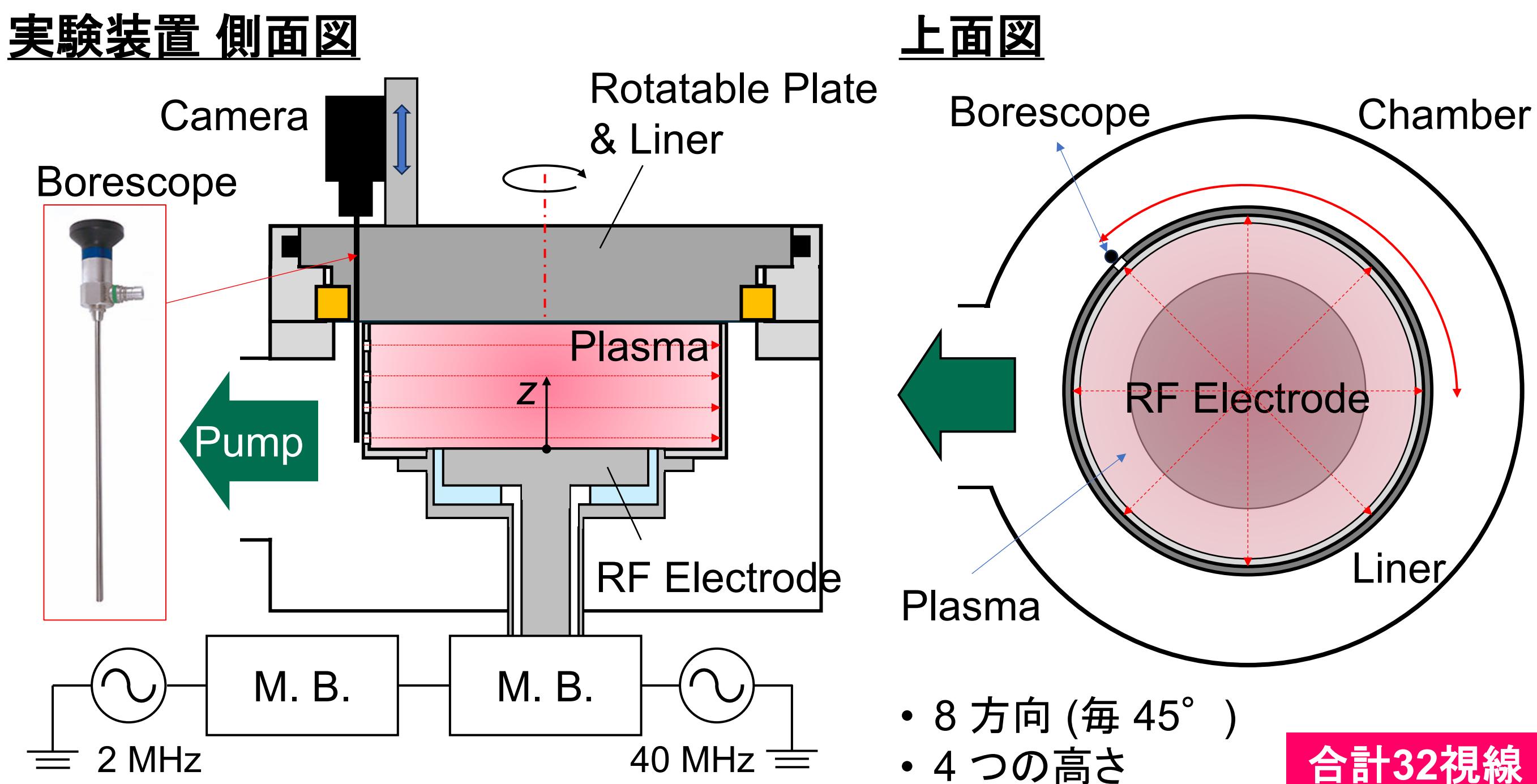
Tikhonov-Phillips正則化

$$\min \left\{ \| \vec{g} - H \vec{f} \|^2 + \alpha \| C \vec{f} \|^2 \right\}$$

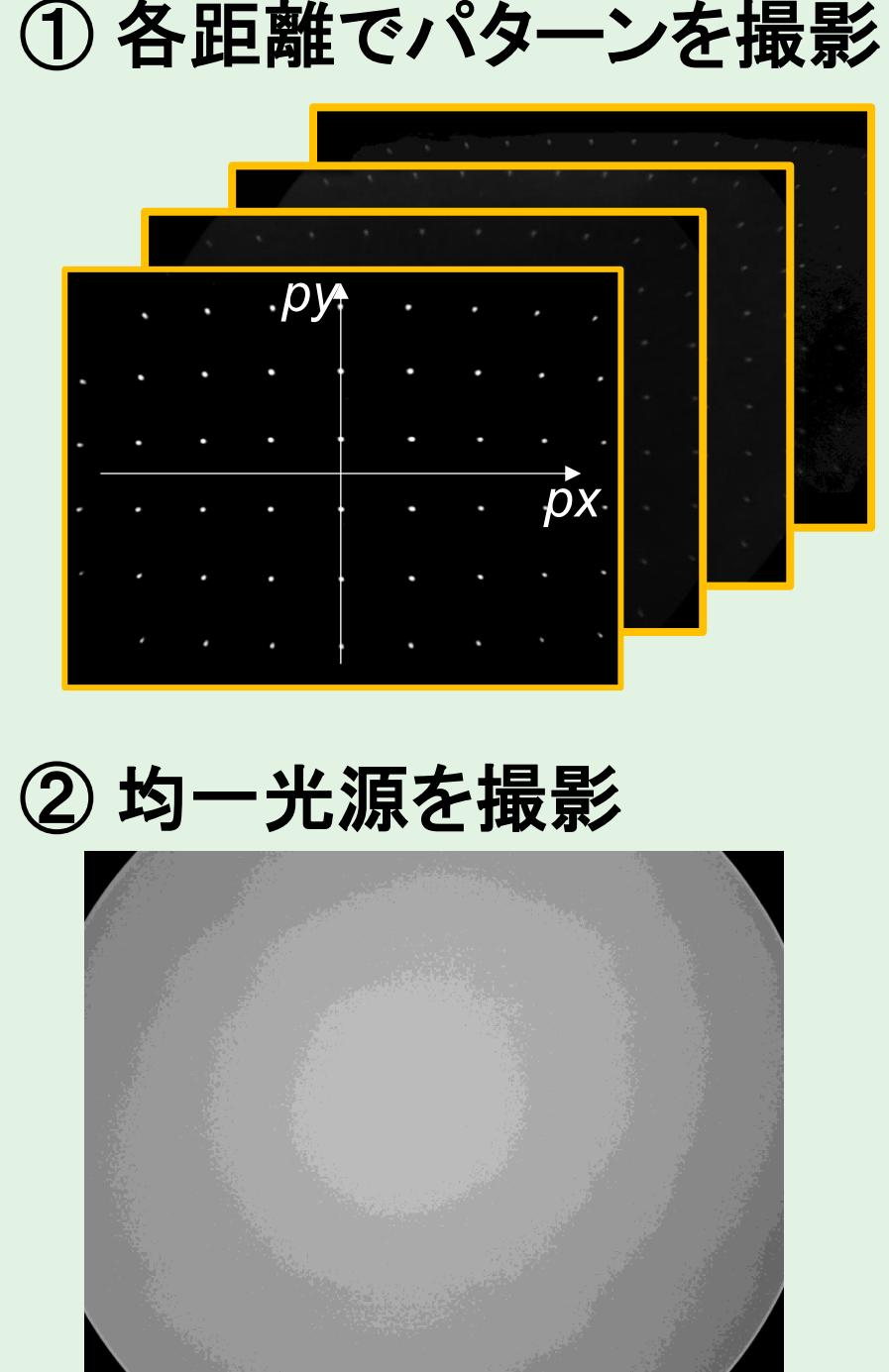
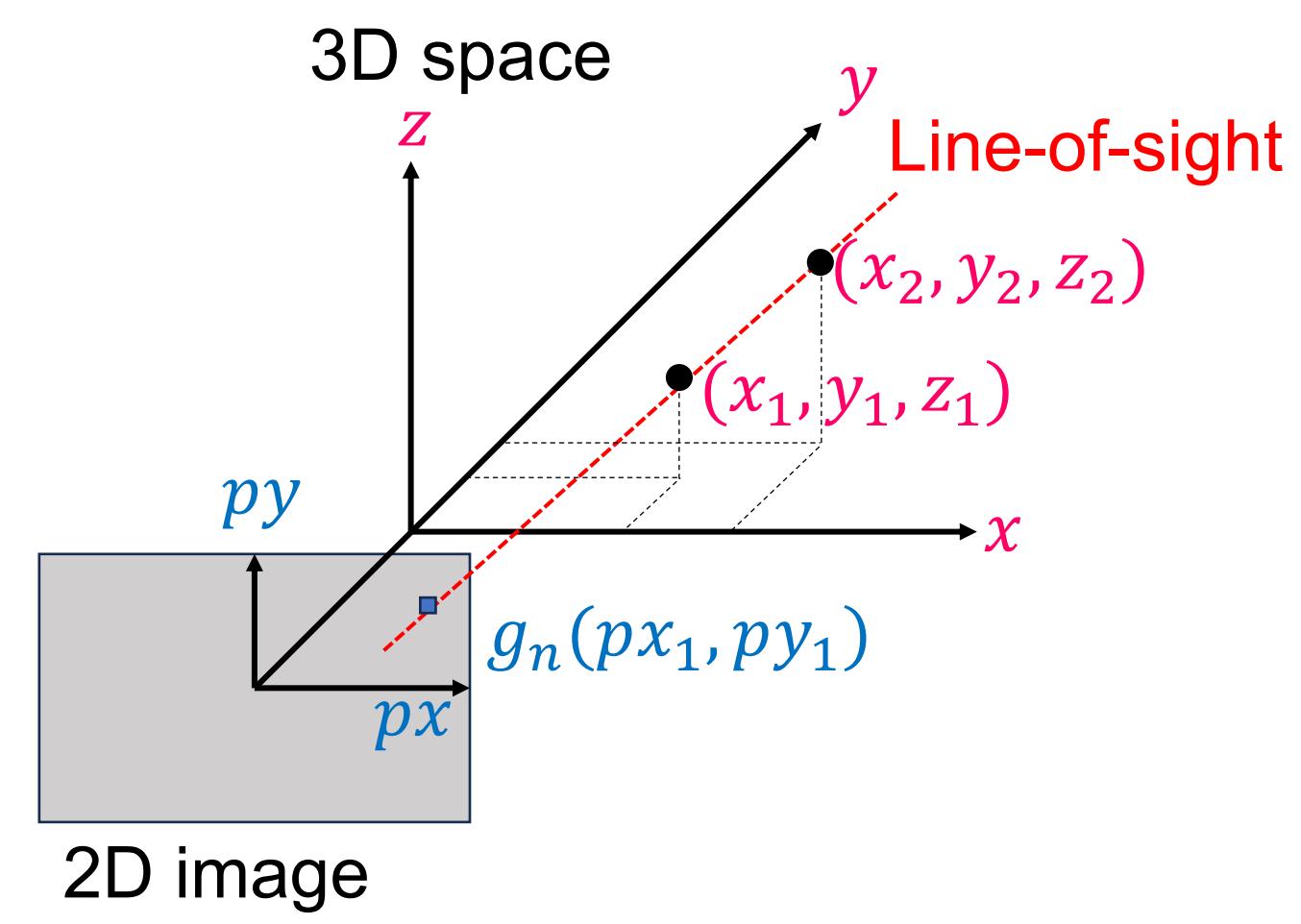
α : 正則化パラメータ
 C : ラプラシアン行列

$$\vec{f} = (H^T H + \alpha C^T C)^{-1} H^T \vec{g}$$

実験装置図



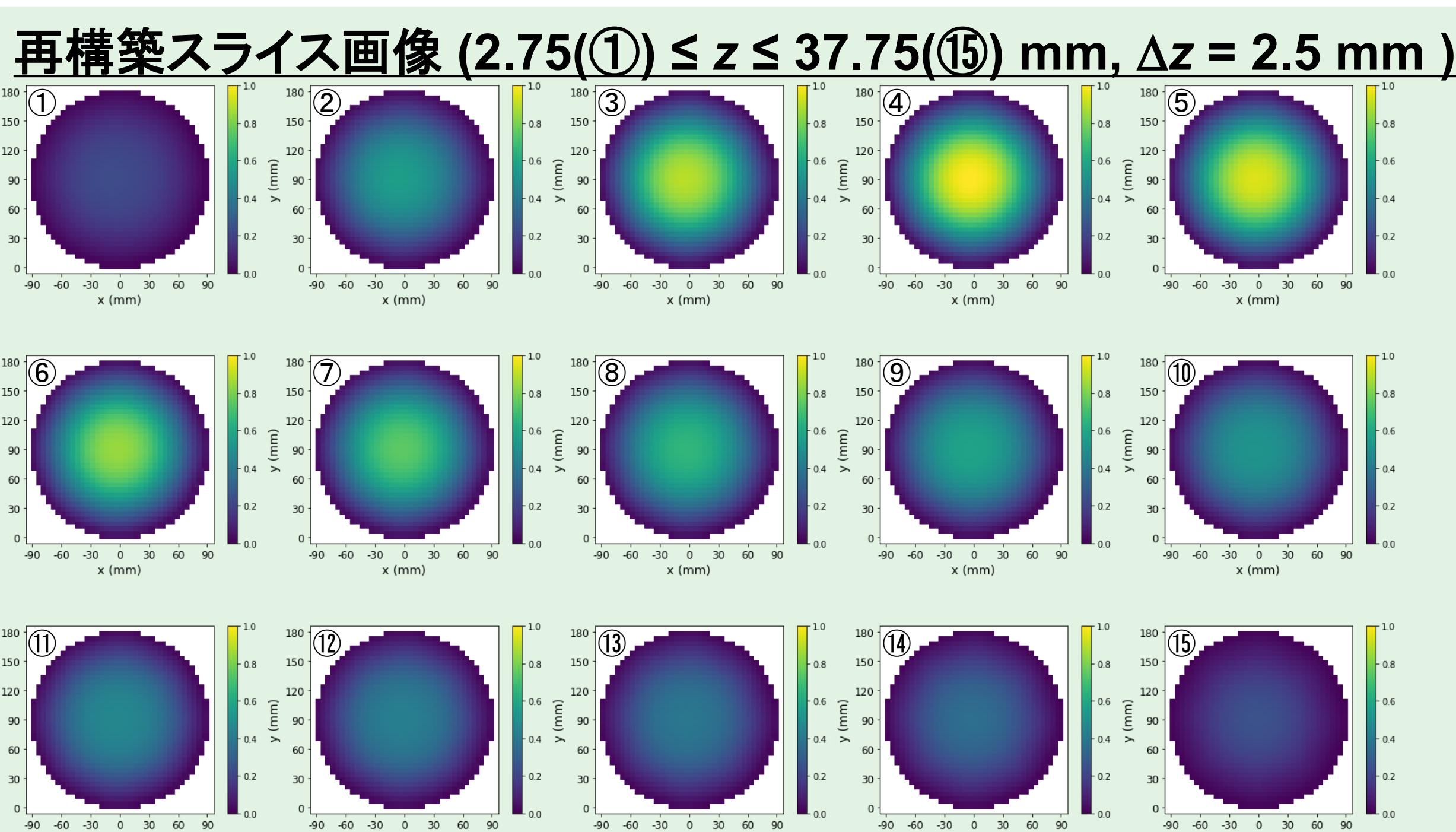
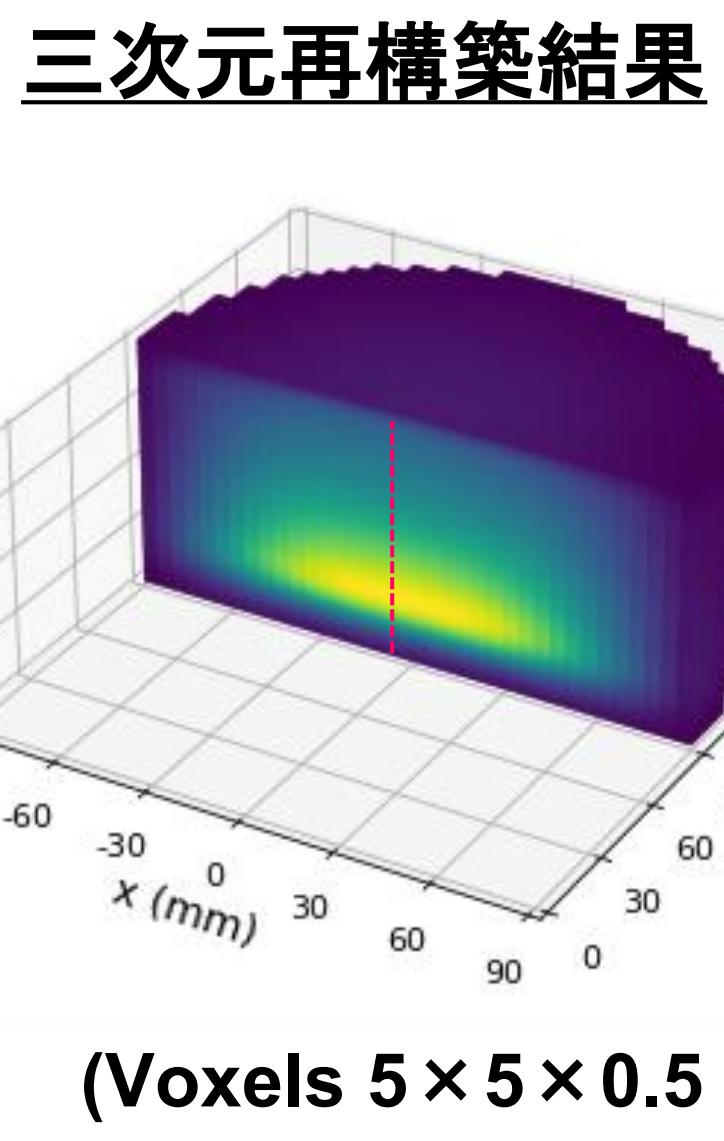
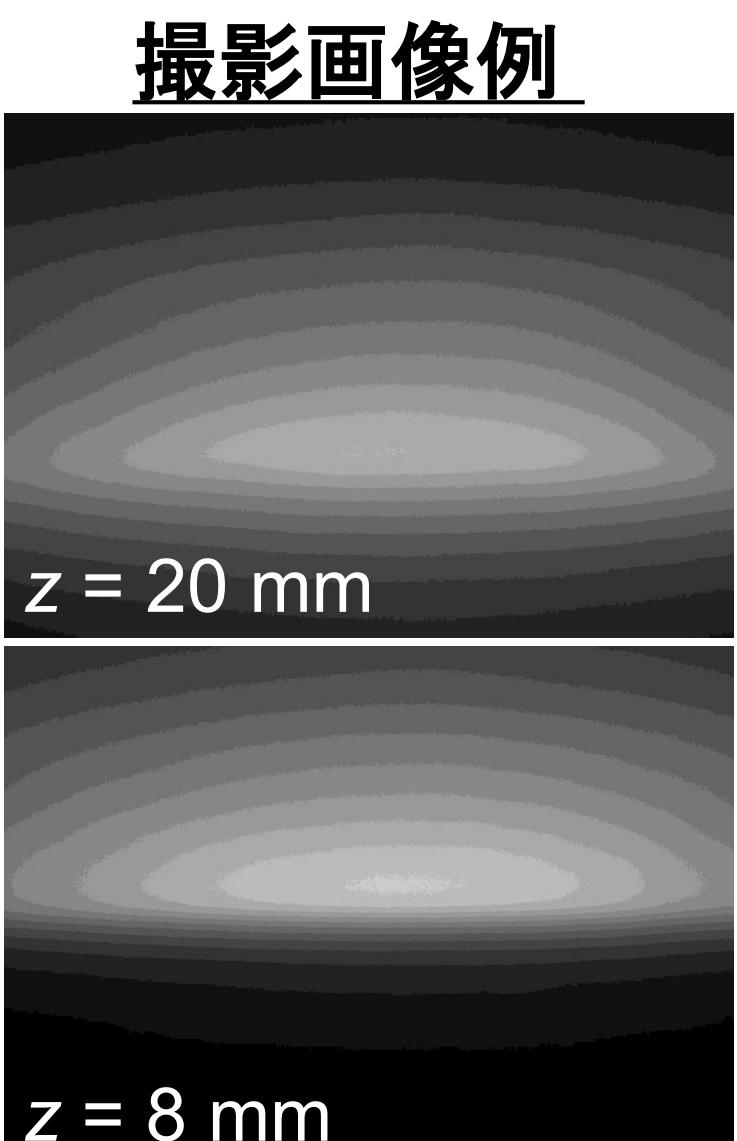
三次元空間／二次元画像の関係



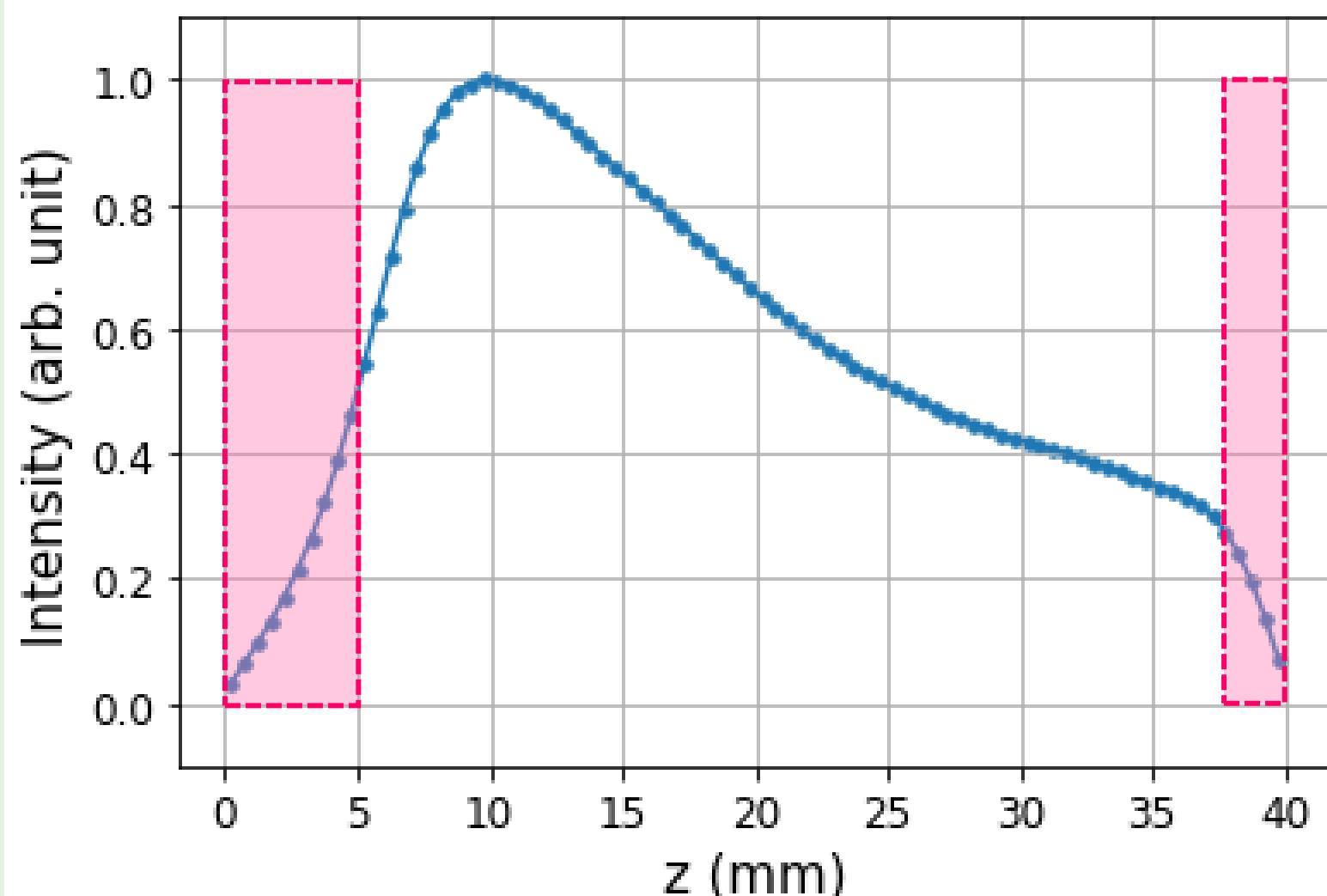
実験結果

単周波・準均一プラズマ発光再構築

VHF電力: 50 W, 放電ガス: N₂ (20 sccm), 圧力: 6.6 Pa, 32方向視線



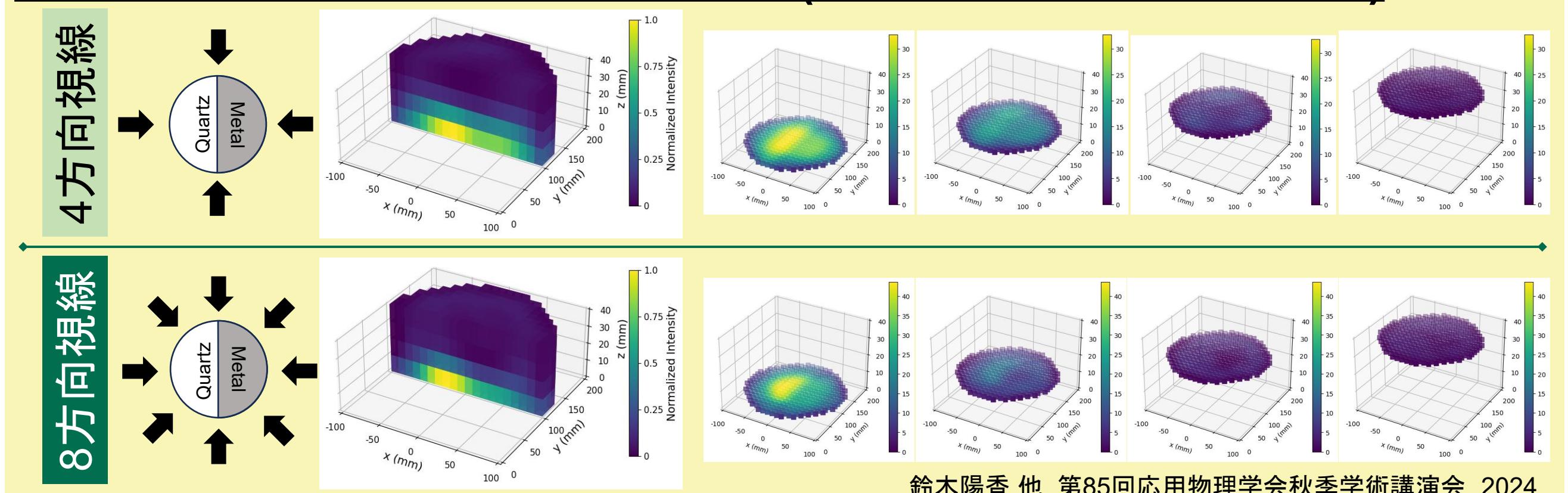
中心における1次元発光分布



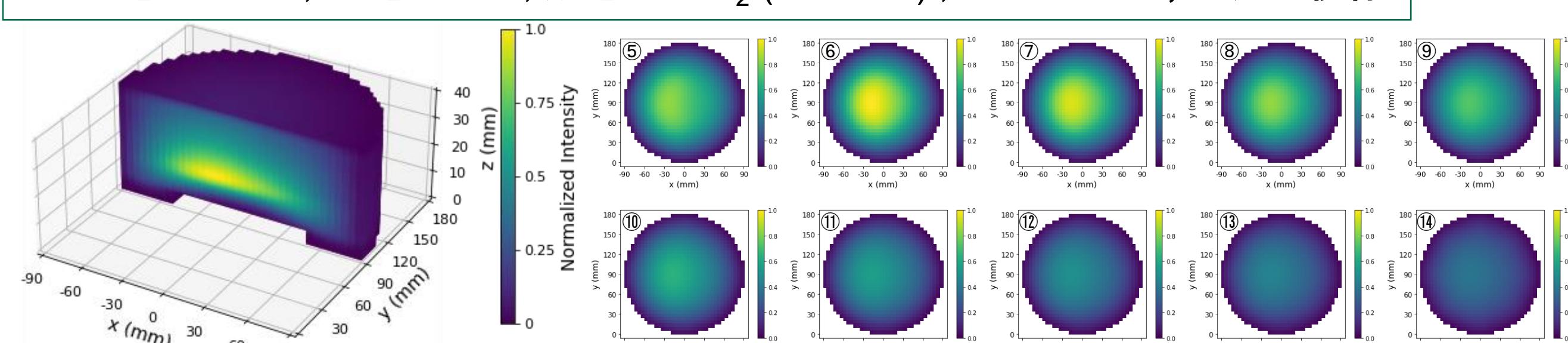
▶ 時間平均のRFシースの観測
⇒ 数 mm ~ 5 mm

不均一プラズマ発光再構築

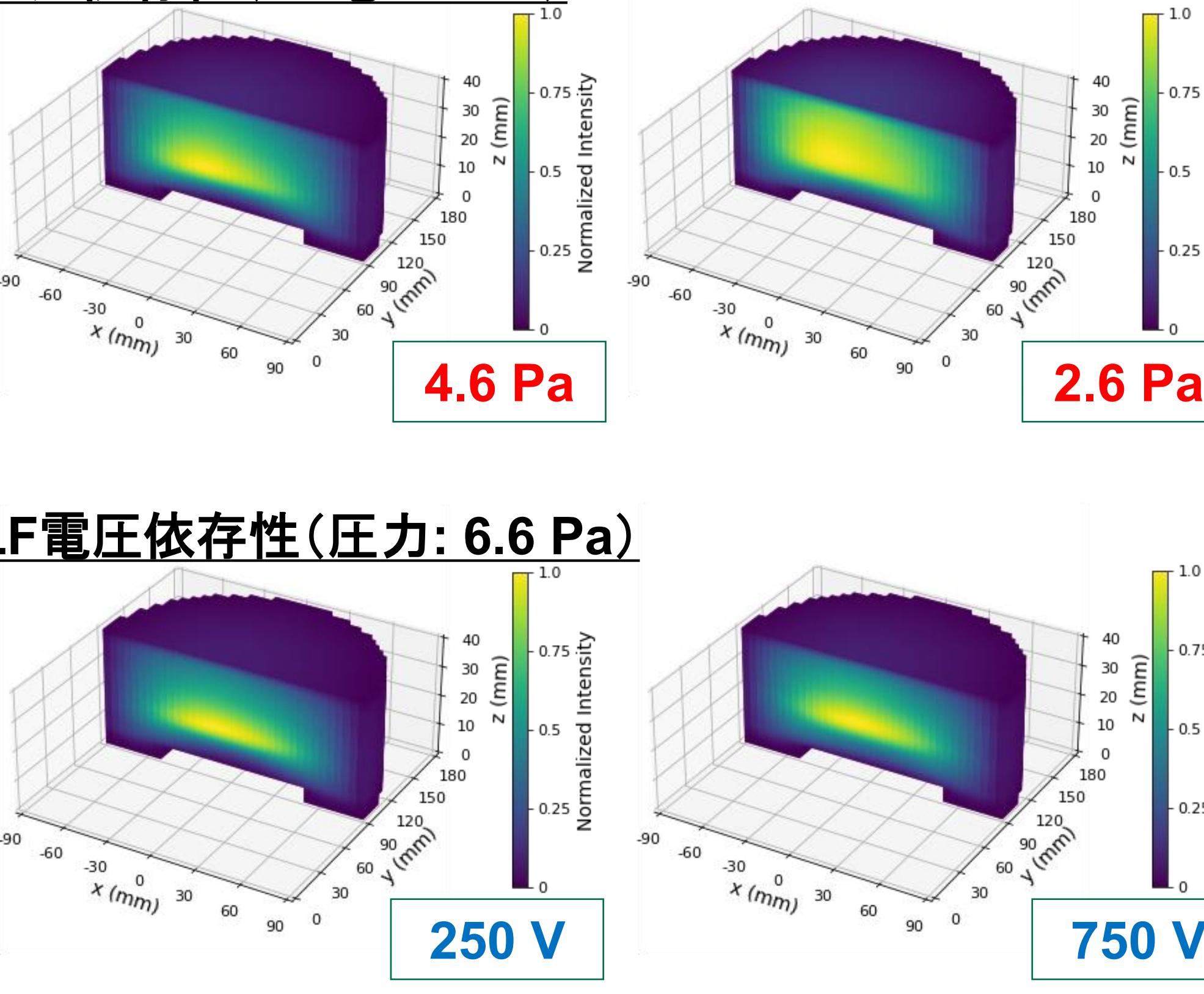
過去の報告: 不均一プラズマ再構築 (Voxels 10 × 10 × 10 mm)



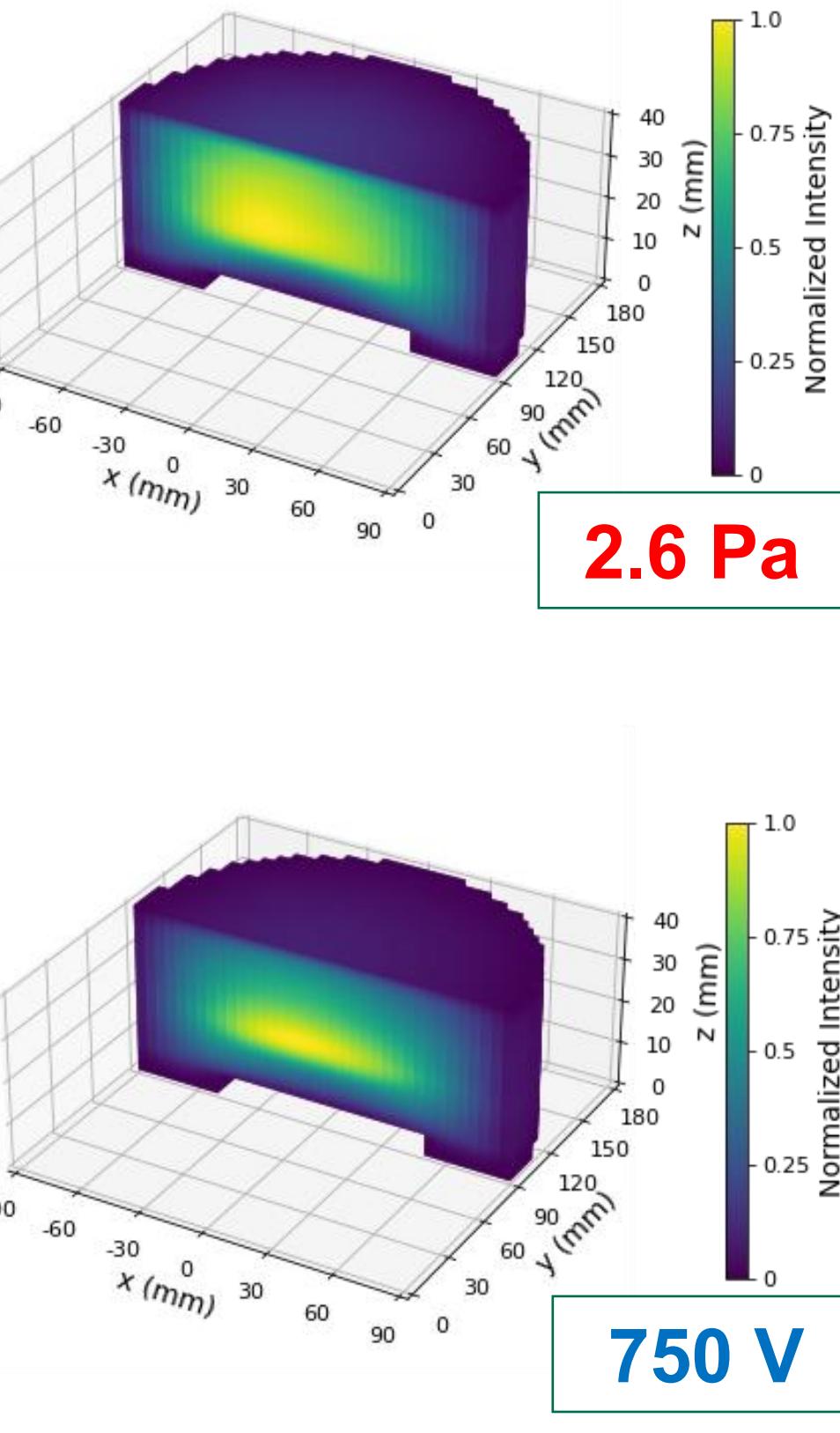
VHF電力: 50 W, LF電圧: 0 V, 放電ガス: N₂ (20 sccm), 圧力: 6.6 Pa, 24方向視線



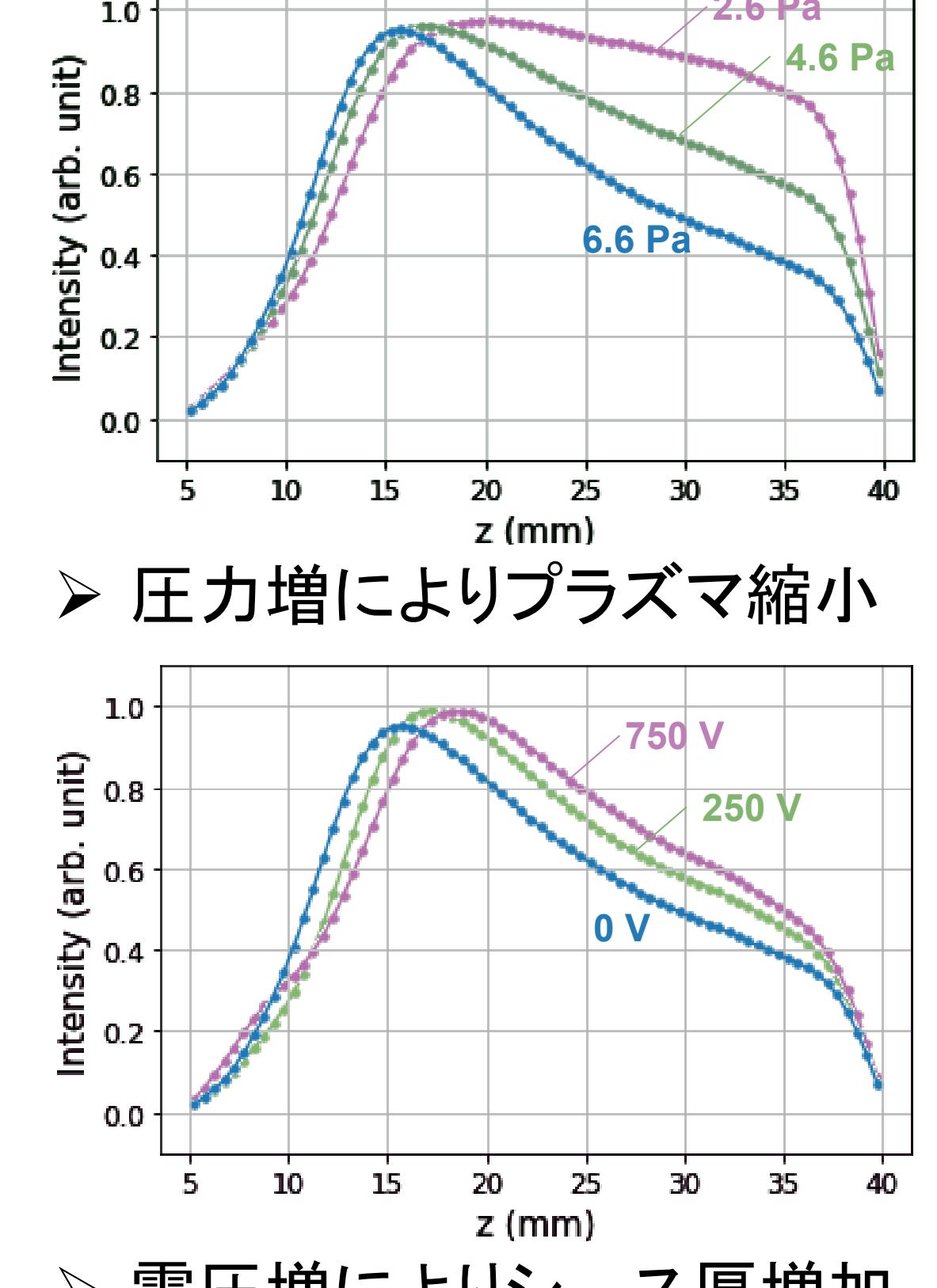
圧力依存性(LF電圧: 0 V)



LF電圧依存性(圧力: 6.6 Pa)



中心における1次元発光分布



まとめ

- ▶ 真空を維持したまま任意視線から撮影可能な計測装置の開発
- ▶ 32視線画像を用いたプラズマ発光三次元再構築 = 空間分解能向上・シース観測
- ▶ 不均一プラズマの発光再構築: 圧力・電圧に対する依存性 = CCPの基礎特性を再現

今後の計画

- 他の計測方法・シミュレーションによる交差検証
- 横方向空間分解能の向上