

# 多段反射光モデルを考慮したトカマクプラズマの可視光トモグラフィ

宗近洸洋, 筒井広明, 飯尾俊二

東京工業大学

## 1 背景・動機

トカマクプラズマの測定の一つに、高速カメラによるトモグラフィが有用なツールとしてある。これを利用することにより、プラズマの位置や形状、揺動等を求めることができる。[1].

一般的に、断面像を得るためには多くのカメラをポロイダル断面上に装置に取り付ける必要があるが、小型トカマク装置では装置の制約により多くを取り付けることが困難である。よって、トロイダル対称性を科すことにより、接線方向のカメラでトモグラフィを可能とした。

加えて、可視光トモグラフィでは反射光も考慮する必要がある。[2]. 私たちは東工大の小型トカマク装置 PHiX では真空容器が非常に鏡面的であるため、これを解決するため、多段反射光を考慮した反射モデルを構築し、視線計算で取り入れた。

## 2 数値計算モデル

プラズマからの可視光放射は視線 (LoS) に沿った積分量としてビデオのイメージセンサに検出される。その視線を 3 次元座標で計算し、軸対称とすることで 2 次元 CT の方法を適応することができる。また、レンズカメラであるので薄レンズモデルを採用し、1 イメージセンサからの視線数を増やした。反射に関しては、2 つのパラメータ: 反射率・反射ベクトルのずれ、を採用し、反射率が十分小さくなるまで多段反射させた。以下に計算したいくつかの視線を描写した図を載せる:

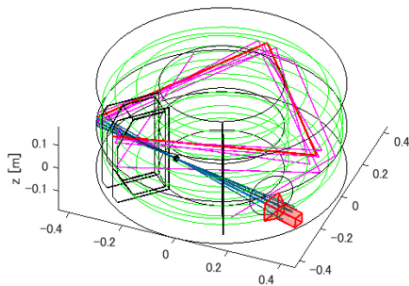


図1 装置内における視線の軌跡 (青線が反射前、赤線が反射後の視線)

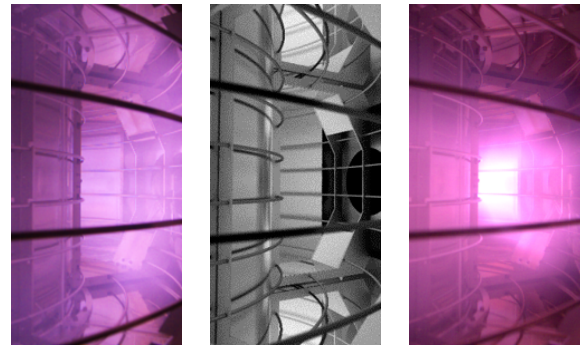
断面像とカメラ画像をそれぞれ  $f$  と  $g$  とすると、それぞれの関係は次の線型方程式で与えられる:

$$g = (\mathbb{H} + \mathbb{M})f, \quad (1)$$

ここで、 $\mathbb{H}$  は反射前の幾何行列、 $\mathbb{M}$  は反射後の幾何行列である。これらを逆問題として適切な正則化で解くことで、プラズマ断面像が得られる。

## 3 Result

高速カメラは Phantom LAB110 を用いた。焦点距離は 50cm、F 値は 3.5 とした。カメラと断面像の解像度はそれぞれ  $512 \times 256$  pixels と  $165 \times 90$  pixels とした。正則化法としては Phillips 正則化を用い、正則パラメータの最適化には L カーブ法を用いた。



(a) (b) (c)

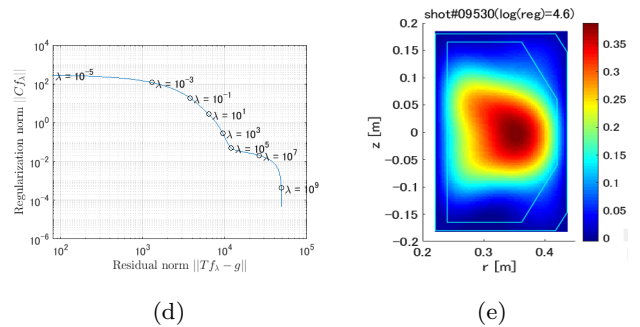


図2 (a) は ECR 放電。(b) は一様光源を仮定し計算した反射光の画像。(c) は shot09530 のトカマク放電の画像。(d) は L カーブのプロット、(e) は (c) の再構成画像。

## References

- [1] I. Naofumi and O. Satoshi, J. Plasma Fusion Res. **92**, 743 (2016).
- [2] M. Odstrčil and et al., REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS **85**, 013509 (2014).