

インテグラルフォトグラフィを用いた逆磁場ピンチプラズマの 三次元光源分布再構成

Reconstruction of three dimensional emissivity distribution of reversed field pinch plasma using integral photography

甲斐栄策¹, 三瓶明希夫¹, 岡本崇之¹, 政宗貞男¹
Eisaku Kai¹, Akio Sanpei¹, Takayuki Okamoto¹, Sadao Masamune¹

¹京都工芸繊維大学大学院電子システム工学研究科

¹ Faculty of Electrical Engineering and Electronics, Kyoto Institute of Technology

1. 背景・目的

核融合装置においては、閉じ込めの悪化を避けるために計測用のポート数は制限されており周囲からの走査が困難なため、画像を用いた三次元再構成は困難である。本研究では一方向から三次元構造の撮影が可能となるインテグラルフォトグラフィ^[1]という写真撮影技術を用いる。しかし一般的に炎の様な三次元的に連続な分布を持つような光源に対しては、インテグラルフォトグラフィの適用は困難とされている。

本研究の目的は三次元的に連続な分布をもつ光源に対してもインテグラルフォトグラフィの適用を可能にし、逆磁場ピンチプラズマの装置に対して三次元光源分布再構成を行う手法を確立することである。

2. 計算方法

撮影画像から作られる光線追跡の結果は畳み込みされた光源分布が得られる。畳み込み効果を取り除き、収束位置を特定するために、画像のボケ処理の手法として知られる Lucy-Richardson-deconvolution algorithm^{[2][3]}を用いる。このalgorithmを三次元空間に拡張して適用するために、三次元空間を微小なボクセルの集合として表した。本研究でdeconvolutionの際に用いられる式は以下の式である。

$$\hat{\lambda}_j^{(t+1)} = \hat{\lambda}_j^{(t)} \sum_i y_i \frac{P(i,j)}{\sum_k P(i,k) \hat{\lambda}_k^{(t)}} \quad (1)$$

ここで $\hat{\lambda}_j^{(t+1)}$ は収束計算のうち、ボクセル j の $(t+1)$ 回目の計算で得られた本来持つはずの光強度の推定値であり、 y_i は畳み込み結果として得られた際のボクセル i が持つ光強度、 $P(i,j)$ はボクセル j が本来持つはずの光強度のうちボクセル i に対して分配されているとして考えた際の分配されている割合である。

3. 実験及び再構成結果

逆磁場ピンチ装置RELAX^[4] (大半径:0.51[m],小半径:0.25[m])で実験を行った。トーラスの中心から撮影ポートに向かって大半径方向に x 軸、 x 軸に垂直な大半径方向に y 軸、高さ方向に z 軸をとり、撮影ポート側の大半径位置に x 軸の原点、トーラス中心を y,z 軸の原点とする。 $x=0.4$ [m]の位置に3×3枚の凹レンズ(焦点距離-0.04[m])で構成される大きさ5[mm]四方のレンズアレイを設置し、トーラス内の様子を高速カメラで撮影した。

以上の配位で電流立ち上がり時に撮影された図1(a)の画像をレンズの収差の効果を無視できるように各レンズの端の領域を取り除き、コントラストを強調した図1(b)を用いて再構成を行うと、結果は図2の様なトーラス内側の壁面付近に光強度の強い部分が集まっている結果が得られた。

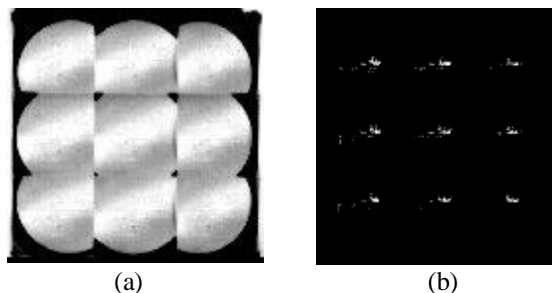


図1: レンズアレイを用いた撮影画像

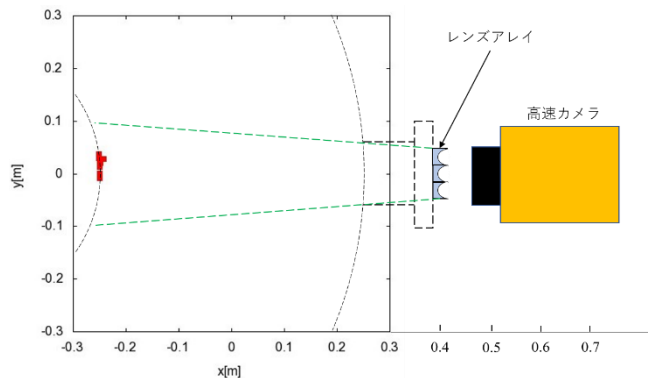


図2: 実験配位及び、図1(b)を用いて行った再構成結果 (緑の破線は視野の限界を表す)

4. 結論

一方向からのみの撮影で三次元輝度分布を得ることに成功した。図2の結果は別方向(トーラスの接線方向)から同じ領域を撮影した結果と矛盾がない結果であった。

5. 参考文献

- [1] M. G. Lippmann, J. Phys. **4**, 821, 1908
- [2] L. B. Lucy, Astron. J. **79**, 745, 1974
- [3] W. H. Richardson, J. Opt. Soc. Am. **62**(1), 55, 1972
- [4] S. Masamune, J. Phys. Soc. Japan **76**(12), 123501, 2007