

## 光ビームで実現する電子ラウンドレンズのレンズ特性

### Lens properties of electron round lenses produced by light beams

東北大<sup>1</sup>, JST さきがけ<sup>2</sup>, ○上杉 祐貴<sup>1,2</sup>, 小澤 祐市<sup>1</sup>, 佐藤 俊一<sup>1</sup>

Tohoku Univ.<sup>1</sup>, PRESTO, JST<sup>2</sup>, ○Yuuki Uesugi<sup>1,2</sup>, Yuichi Kozawa<sup>1</sup>, Shinichi Sato<sup>1</sup>

E-mail: uesugi@tohoku.ac.jp

近年、電子と光の相互作用ハミルトニアンの中核で光場の二乗に比例する項を利用する新しい電子線の制御技術および電子顕微鏡法が着目されている。相互作用ハミルトニアンは

$$H(\mathbf{r}, t) = e\mathbf{A}(\mathbf{r}, t) \cdot \mathbf{v} + \frac{e^2}{2\gamma m} \left[ A_x^2(\mathbf{r}, t) + A_y^2(\mathbf{r}, t) + \frac{A_z^2(\mathbf{r}, t)}{\gamma^2} \right]$$

で与えられるが、これを光周期で平均化すると第二項のみが残る。この成分からなるポテンシャルをポンドロモーティブポテンシャルという。電子エネルギーが大きくない場合にはローレンツ因子 $\gamma$ への依存性が消失して、このポテンシャルは光場の偏光に依存しないスカラー場になる。そしてその分布および大きさは光場の強度分布に比例する。

ポンドロモーティブポテンシャルが電子ビーム軸に対して円対称をなす場合、電子光学的に有用なラウンドレンズ作用や球面収差の発生が期待できる [1,2]。そこで本研究では、ポテンシャルを生み出す光場として電子ビーム軸と同軸に配置されたベッセルおよびラゲールガウシアンビームを想定し、薄レンズ近似のもとレンズ焦点距離および球面収差を導く諸公式の導出を試みた。ここでポンドロモーティブポテンシャルで作る電子レンズをポンドロモーティブレンズと呼ぶことにする。導いた公式から3次球面収差係数を有する対物レンズを補正する様にポンドロモーティブレンズを設計し、電子軌跡を計算してその特性を評価した。計算に用いた電子光学系の模式図を図1に示す。結果として1次の方位次数を有する $J_1$ のベッセルおよび $L_0^1$ のラゲールガウシアンビームのみが、3次球面収差の補正に利用できることがわかった。また2次以上のビームではレンズパワーが発生しないことが示された。将来的には、複数のポンドロモーティブレンズや静電/磁界レンズを組み合わせて高度に幾何収差が補正された電子光学系の設計が実現し得るだろう。

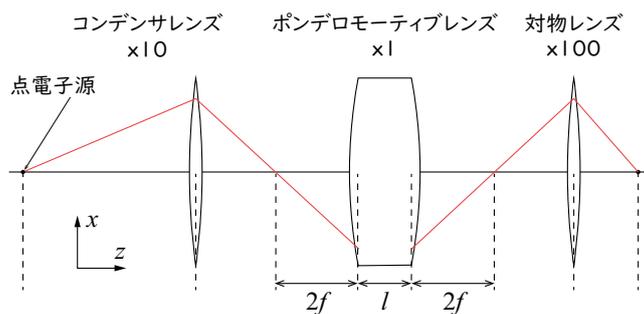


図1: 電子軌跡計算に用いた電子光学系の模式図。コンデンサおよび対物レンズは薄レンズとし、対物レンズのみ3次球面収差を有するとした。レンズ名称下部の×は像倍率を表す。

[1] F. J. García de Abajo, and A. Konečná, Phys. Rev. Lett. **126** 123901 (2021).

[2] Y. Uesugi, Y. Kozawa, and S. Sato, Phys. Rev. Applied **16** L011002 (2021).

謝辞：本研究の遂行にあたり名古屋大学未来材料・システム研究所の齋藤晃教授に有益な助言をいただきました。本研究はJSPS 科研費 JP20H02629 および JST さきがけ JPMJPR2004 により遂行されたものです。