

ものづくり教材としての電子顕微鏡 2

Electron microscope : Study Material for College Student

千葉工大¹, テクネックス工房², ○池田一貴¹, 大野輝昭², 菅 洋志¹

CIT¹, Technex², ○Ichitaka Ikeda¹, Teruaki Ohno², and Hiroshi Suga¹

E-mail: hiroshi.suga@it-chiba.ac.jp

はじめに

電子顕微鏡技術は科学や産業の発展を支えてきた測定装置であると同時に、教材としても優れた要素を備えている。電子顕微鏡の電子線や電子レンズを理解するためには、古典光学や電磁気学といった基礎物理の知識が必要である。また、高圧電源などの電気回路の知識や、検出器からの信号を画像にするためのプログラミングやデジタル回路、計測工学などの知識が必要になる。そこで、我々は、電子顕微鏡をものづくりのアクティブラーニング教材として取り上げ、物理を専攻しない学生に対して物理の基礎知識や、工学的知識を涵養することを試みている。前回、走査型電子顕微鏡(SEM)の制御器をPICマイコンで製作し、A/D変換などの信号処理や電子線走査、USB通信を学ぶ取り組みについて報告した¹⁾。今回、永久磁石を用いた電子レンズを設計・製作し、電磁気学や幾何光学、有限要素法、機械工作について学ぶ取り組みについて紹介する。

教育内容とその結果

S. Young らによって効果的なアクティブラーニング手法(ICEモデル)が提案されている。²⁾ 本教育はICEモデルに倣い実施した(図1)。学生は電磁気学・幾何光学の基礎知識の学習(Ideas) → 有限要素法による電子レンズの電界シミュレーション(Connections) → 電子軌道のシミュレーション、電子レンズの製作および評価(Extensions)を行う。

まず、学生に電磁気学・幾何光学・有限要素法について、従来通りの講義形式で教育を行った。次に、学生は、電子顕微鏡の永久磁石型電子レンズを、有限要素解析ソフト(AMaze, Advanced Science Laboratory, Inc.)上に2次元で設計した。学生は、学んだ知識から自由に様々な形状の電子レンズを製作する。ソフトウェア上で製作したレンズは、等電位線の確認などをすぐに行うことができ、学生は自らが得た知識の利用を視覚的に実感することができる。この課程で学生は電磁気学の基礎知識(等電位線や透磁率)や有限要素法

といった知識を横断的に連結させる。

最後に、学生は電子軌道のシミュレーションを行った。学生は、学生は自らが作製した設計の善し悪しを視覚的に自ら判別する。図2に電子軌道解析の結果を示す。ヨークの配置やレンズ形状によって結果は大きく変わるため、学生は物理的な理解や予測の適切さを学生自身確認することができる。永久磁石を用いた電子レンズは、コイルや冷却装置が必要ないため、単純な形状であることから、シミュレーションで可視化することも容易であり、きわめて学生の理解が得やすい教材であることがわかった。講演では電子レンズ製作を通じた教育や、製作した電子レンズの特性についても紹介する。

参考文献

- 1)池田一貴 他：第77回応用物理学会秋季学術講演会，14a-P1-7(2016)
- 2)Sue Fostaty Young and Robert J. Wilson, *Assessment & Learning the Ice Approach* : Winnipeg, Portage & Main Press, 2000.

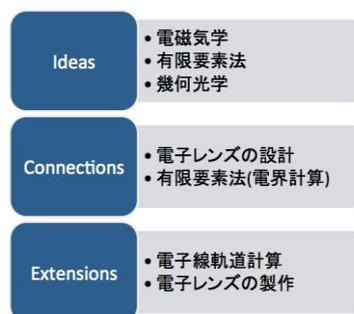


図1 本教育のICEモデル

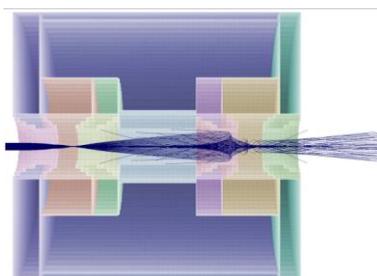


図2 電子軌道の解析結果