

加速器技術を応用した透過型電子顕微鏡の開発研究

The Development of a New Type of Transmission Electron Microscope applying Accelerator Technologies

東大大学院¹, 高エネ研², 広大 ADSM³, 東大 ICEPP⁴ ○東直¹, 古屋 貴章², 舟橋 義聖²,
上野 健治², 沢辺 元明², 西脇 みちる², 阪井 寛志², 道園 真一郎², 山本 将博², 榎本 収志²,
神谷 幸秀², 栗木 雅夫³, 山下 了⁴

The Univ. of Tokyo/Graduate School of Science¹, KEK², Hiroshima Univ./ADSM³, The Univ. of
Tokyo/ICEPP⁴ ○Nao Higashi¹, Takaaki Furuya², Yoshisato Funahashi², Kenji Ueno², Motoaki
Sawabe², Michiru Nishiwaki², Hiroshi Sakai², Shinichiro Michizono², Masahiro Yamamoto²,
Atsushi Enomoto², Yukihide Kamiya², Masao Kuriki³, Satoru Yamashita⁴

E-mail: higashi@icepp.s.u-tokyo.ac.jp

現在、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) にて、加速器に用いられる高周波加速方式を採用した透過型電子顕微鏡 (TEM) の開発を行っている。これは、従来の TEM が用いていた静電加速方式の加速限界を超え、コンパクトな施設でより高い透過力を備えた TEM の実現を目指すものである。さらに、世界最高の位置分解能の達成や、電子源として最先端の光陰極電子銃を採用することにより、過渡現象を高時間分解能で観察できる可能性も持つ。

高位置分解を TEM で実現するには、色収差を小さくするためエネルギー分散 $\Delta E/E$ を抑える必要がある。従来の DC TEM では $O(10^{-6})$ 程度であったが、一般的な加速器では、 1.0×10^{-3} から 1.0×10^{-4} 程度である。従って我々は、加速の基本モードである TM_{010} と、その 2 倍高調波である TM_{020} が同時に励起できるような、特別な形状の加速空洞を設計した。この 2 モード空洞を採用することにより、電子バンチが乗る加速電場のピークをよりフラットに修正し、エネルギー分散を $O(10^{-5})$ 程度まで抑えることができる。さらに超伝導空洞を今回採用することにより、連続運転が可能となり、これによりフィードバックが容易となる。また、従来 TEM の DC 運転と匹敵する平均電流値を達成することができる。

現在原理実証段階として、従来型の 300kV TEM に新たな光陰極電子銃と 2 モード加速空洞を置き換えたプロトタイプ TEM を開発しており (図 1)、既に空洞は製作済みである (図 2)。ビーム・ダイナミクスのシミュレーションについても既に電子銃と空洞の実際の電磁場分布を用いて行っており、2 モード空洞を採用することによりエネルギー分散は 2.04×10^{-4} から 3.68×10^{-5} まで抑えられることがわかった。実際にプロトタイプ TEM を完成させた場合を考えると、位置分解能は 376pm になる。これは既存 TEM のたった 50% 程度の悪化で抑えられることを意味する。一方、2 モード空洞を用いなかった場合に予測される位置分解能は 818pm である。このシミュレーションで要求される加速性能は、空洞の性能評価の結果、おおよそ達成されていることがわかった。現在は光陰極電子銃の製作と、クライオスタットやデジタルフィードバック系など空洞付近の開発が進行中である。

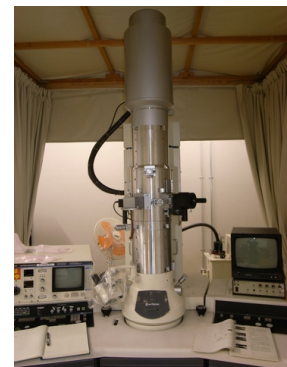


図 1: KEK に設置されている従来型 300kV TEM

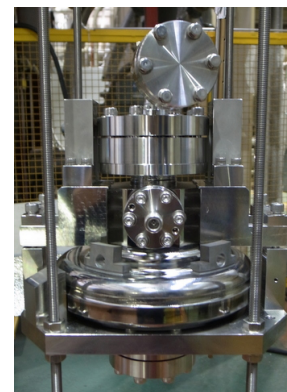


図 2: 製作した 2 モード空洞