

図 6 : (a) ステアリングマグネットの外観図。マグネット設置スペースの都合から複雑な形状である。(b) CST-STUDIO で計算した磁場の様子。必要となる磁極間以外のビーム軌道上に漏れ磁場が発生していることがわかる。

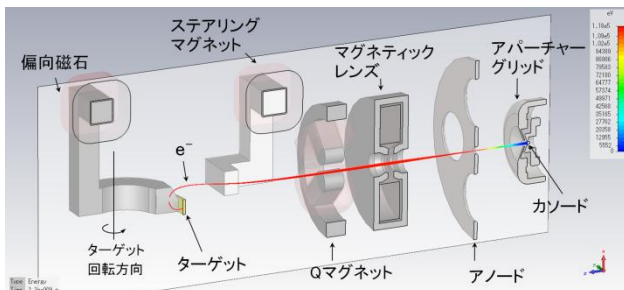


図 7 : CST-STUDIO による電子銃からターゲットまでの計算モデルの断面図。ビーム 120 keV、75 mA、グリッド電圧 3 kV 時のシミュレーション例。

この漏れ磁場が発生しているため、ビーム軌道へ影響を及ぼしている。これは、磁気シールドを置か、単純な形状の磁石(C タイプ等)へ置き換えるなど検討が必要である。また集束系の各コンポーネントの間隔が比較的長いことも問題であり、最適化することで、コンパクトで且つ更に良い集束状態を作ることが可能であると考えられる。そこで、さらにビーム輝度を上げるためには、より現実的なシミュレーションが必要であり、CST-STUDIO を用い、図 7 に示すような電子銃からターゲットまでの全体を通して、詳細に現実的なビームシミュレーションをして、一括して最適化できるように検討をする予定である。

5. まとめ

シミュレーションと実験結果から、試験機における偏向電磁石と集束系の問題点を明らかにし、偏向磁石とステアリングマグネットの両方の磁極面を改良した。その結果、ビーム集束時の球面収差が減り、ビーム輝度が増加することが示された。ビームエネルギー120 keV、電流 75 mA の条件では、ビーム輝度は約 500 kW/mm² に達することがシミュレーションで示された。偏向磁石については、磁極面の改良とその結果について以前報告(IPAC2010)した。最近ステアリングについてもシミュレーション結果に基づいて磁極面を改良し、ビーム集束試験を始めた。確認したのは、まだエネルギー60 keV、3 mA の

ビームまでであるが、これまでの集束状態に比べ、収差の影響が小さくなっていることがわかった。

今後、装置の調整を進め、120 keV、75 mA までの高電力試験による集束状態の確認を行う予定である。また、ビーム輝度をさらに向上させるために、電子銃からターゲットまで全体を一括した現実に近いシミュレーションを行うことで、より詳細な最適化を進める予定である。

謝辞

KEK の多和田正文氏、吉田光宏氏には Opera、CST-STUDIO に関してサポートしていただきました。片岡章氏には、発生装置全体のシールド強化や測定系のサポートをしていただきました。リガク株式会社からは、120 kV 高圧電源を提供していただきました。心より感謝いたします。

参考文献

- [1] T. Sakai et al., "Optimization of the Bending Magnet for a Highly Bright X-ray Generator", Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting 2009, JAEA, Tokai, Naka-gun, Ibaraki, Japan, pp.900-902. (In Japanese)
- [2] N. Sakabe, (1995). US Patent No. 6 229 871 B1.
- [3] N. Sakabe et al., "Highly bright X-ray generator using heat of fusion with a specially designed rotating anticathode", J. Synchrotron Rad. (2008), 15, pp.231-234
- [4] S. Ohsawa, (2004), JP Application No. 2004-241301; US Patent Application No. 11/204967; EP Application No. 05018063.7
- [5] S. Ohsawa et al., "Development of a New Highly Bright X-ray Generator", Proceedings of LINAC08, Victoria, BC, Canada, (2008), pp.539-541
- [6] <http://www.vectorfields.com/>
- [7] <http://www.pulsar.nl/>
- [8] <http://www.cst.com/>
- [9] M. Ikeda et al., "Precise measurement of small sized beam from electron-gun using characteristic X-rays", (2005) Proceedings of the 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tosu, July 20-22, 2005, pp.723-725. (In Japanese).
- [10] Herrmansfeldt, W. B. (1988). SLAC Report 331. SLAC, CA, USA.
- [11] T. Sugimura, et al., "Performance of an electron gun for a high-brightness X-ray generator", J. Synchrotron Rad. (2008), 15, pp.258-261
- [12] T. Sakai et al., "Development of the Focusing System for a Highly Bright X-ray Generator", (2010) Proceedings of IPAC'10, Kyoto, Japan, pp.199-201.