

電子陽電子プラズマ生成のための小型ダイポール磁場トラップの開発状況
**Development status of a compact superconducting levitated dipole trap
 for electron-positron plasma formation**

齋藤晴彦¹, M. Stoneking², J. Horn-Stanja³, E.V. Stenson⁴, S. Nissl³, U. Hergenahn³,
 T. Sunn Pedersen³, M. Singer⁴, C. Hugenschmidt⁴, 吉田善章¹, 釦持尚輝¹, 柳長門⁵, 三戸利行⁵
 東大新領域¹, ローレンス大², マックスプランク研³, ミュンヘン工科大⁴, 核融合研⁵
 H. Saitoh, M. Stoneking *et al.*, U. Tokyo¹, U. Lawrence², TUM³, IPP⁴, NIFS⁵

マックスプランク・プラズマ物理研究所 (IPP, ドイツ) を中心としたAPEX[1]では、磁場閉じ込めによる電子陽電子プラズマの生成と実験室研究を目指している。等質量の荷電粒子から構成されるペアプラズマは、特異な波動や安定性の性質を示すことが理論的に予測されている。低質量の電子陽電子系のプラズマを実現することで、高周波領域までのペアプラズマの特性の研究[2,3]が可能になる。線源強度が限定される陽電子のプラズマ状態を実現するためには、陽電子ビームの高効率入射と十分長い閉じ込め時間が要求される。その上で、電子との同時閉じ込めを実現することで電子陽電子系のペアプラズマの生成が可能になる。APEXは、ミュンヘン工科大学の大強度陽電子源NEPOMUC[4]を使用して、トーラス系のダイポール磁場配位を用いた電子陽電子プラズマの生成を目指している。永久磁石を用いたプロトタイプ装置[5]をNEPOMUCにおいて運転し、原理検証実験を進めてきた。これまでに、ダイポール磁場の閉じ込め領域の周辺部に配置した1対の電極を用いたE×Bドリフトによる陽電子の損失無し入射[6]と、入射された陽電子の1.5秒程度の安定閉じ込め[7]が実現されている。

これまでの永久磁石ダイポール配位では、閉じ込め領域の全ての磁力線は磁石に交差しており、陽電子と中性粒子の衝突に規定される典型時間で陽電子はロスコーンへと輸送される。このために、永久磁石をバイアスしない場合には良好な閉じ込めは得られない。永久磁石を正にバイアスすることでロスコーンへの落ち込みの抑制が可能である。しかし、E×B板を持つ閉じ込め配位では、これは系の電場に強い非対称性を与えることとなり、正準運動量の非保存化により良好な閉じ込めが実現されなくなる。また、電極バイアスによる閉じ込めの改善は電子と陽電子に両方に同時に適用することは不可能である。こうした観点から、ダイポール磁場を超伝導コイルの生成する閉じた磁力線へと置き換え、さらに超伝導コイルを磁気浮上さ

せることでプラズマに与える擾乱を極小化し、ペアプラズマとしての良好な閉じ込めを実現することを目指している。

磁気浮上ダイポールによる高温プラズマ等の良好な閉じ込めの先行研究が存在する[8]が、希少粒子プラズマ状態を実現可能で、かつ陽電子ビームラインでの運転が実用的な装置の開発が必要となる。こうした観点から、ダイポール磁場の優れた閉じ込め特性と高温超伝導線材を活用して、電子陽電子プラズマをはじめとした各種プラズマや原子物理実験に適した、直接冷却方式による小型磁気浮上ダイポールトラップの開発を進めている。こうしたコンパクトなダイポール装置では運転性に優れた冷却方式の実現等が鍵となり、コイル運転条件の最適化や高温超伝導線材の小型巻線 (図1) を用いた冷却試験を実施している。これまでの陽電子実験結果に基づき新装置に要求されるパラメータや装置の開発状況について報告する。

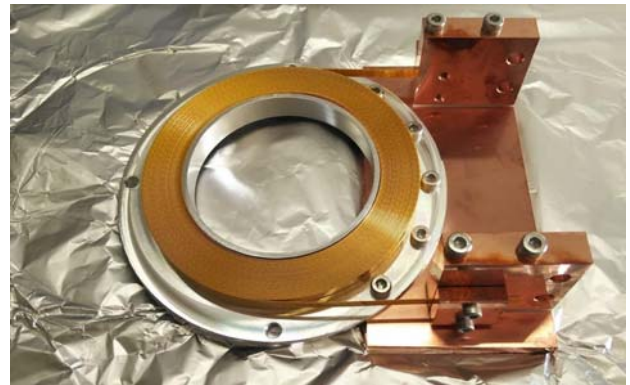


図1: 直接冷却方式による運転を目指す、Bi-2223線材を使用した励磁用コイルの試験巻線。

References:

1. T. Sunn Pedersen+, *New J. Phys.* **14**, 035010 (2012).
2. P. Helander, *PRL* **113**, 135003 (2014).
3. E.V. Stenson+, *J. Plasma Phys.* **83**, 595830106 (2017).
4. C. Hugenschmidt+, *New J. Phys.* **14**, 055027 (2012).
5. H. Saitoh+, *New J. Phys.* **17**, 103038 (2015).
6. E.V. Stenson+, *PRL* **121**, 235005 (2018).
7. J. Horn-Stanja+, *PRL* **121**, 235003 (2018).
8. Z. Yoshida+, *Plasma Fusion Res.* **1**, 008 (2006).