

電子・陽電子プラズマの実現に向けたダイポール磁場装置の開発状況 Development status of a compact levitated dipole experiment for electron-positron plasma creation

齋藤晴彦¹, 柳長門² SAITOH Haruhiko¹ and YANAGI Nagato²
東大¹, 核融合研² Univ. Tokyo¹ and NIFS²

磁気浮上超伝導コイルによるダイポール磁場では、断熱不変量の保存に基づくプラズマの自己組織化が実現される[1,2]. 東京大学の磁気浮上ダイポール装置RT-1[3]では、先進核融合に適した高 β プラズマ[4]や、非中性プラズマの安定生成[5]の研究が進められている. RT-1では純電子プラズマの300秒以上の安定閉じ込めが観測され、電子の反粒子である陽電子の閉じ込めが原理的に可能である. 磁気浮上ダイポールを用いて、実験的に未踏の領域である電子・陽電子プラズマの実現と物性解明を計画している[6]. 先行研究では、大強度陽電子源NEPOMUCにおいて永久磁石装置による実験を行い、100%近い効率での陽電子ビーム入射に成功した. また、定常ビームを利用して捕獲した比較的少数の陽電子に対して1秒程度の閉じ込め時間が得られた. 一方で、磁気浮上ダイポールと異なり磁力線方向の閉じ込めに電場を用いる永久磁石装置では、陽電子と電子のプラズマとしての同時閉じ込めは困難である. ペアプラズマの実現を目指して、希少粒子の高密度化やビームラインでの運転に適したコンパクトな磁気浮上ダイポールの開発を進めている[7].

図1は磁気浮上ダイポールの装置構成と粒子入射の概念図である. 永久磁石装置では、装置軸からオフセットした位置からビームを入射することで良好な入射効率が得られた. しかし磁気浮上ダイポールでは、磁場が非対称となることは超伝導コイルの安定浮上の面から好ましくなく、粒子閉じ込めの悪化も予想される. 粒子軌道計算によれば、計画中の超伝導コイル（電流中心半径7.5cm, 30kAT）の磁場に数ガウス程度の不正磁場が追加されるだけで、陽電子の閉じ込め時間は大きく悪化する. このため、図1に示す軸上からの陽電子入射を検討している. 10eV以下の陽電子に対して、垂直方向の電場印加により、ダイポール磁場の閉じ込め領域へと入射可能な経路が存在する（図2）.

装置は、YBCO線材を使用した小型巻線をGM冷凍機により直接冷却し、Bi系コイルを用いた誘導方式による励磁を計画している. コイル浮上運転時間の十分な確保と計測自由度向上の

ために、熱シールドは先行装置同様にコイル周辺部に配置する計画である. 冷媒を使用しない直接冷却方式では、冷凍機コールドヘッドとコイル巻線の間での良好な熱接触と、実験中の熱絶縁を両立することが装置開発のポイントとなる. 線材や含浸剤フィラの選定を経て、装置の構造設計と冷却試験を進めている.

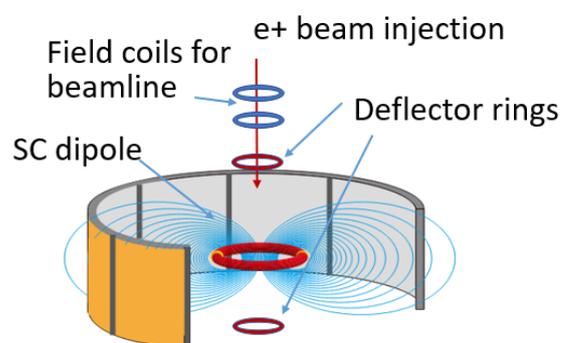


図1: 軸対称性を保ち入射を行うための磁気浮上ダイポールへの陽電子入射経路の概念図.

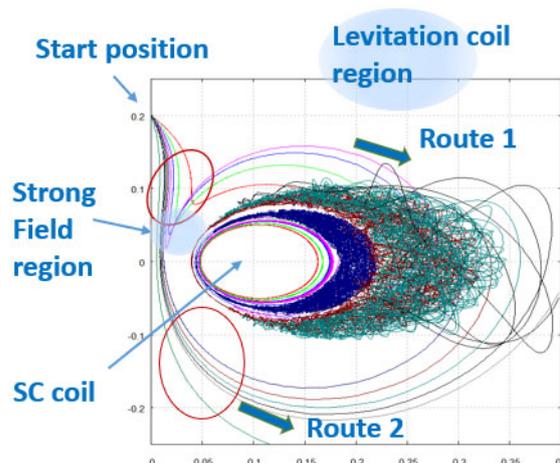


図2: 陽電子軌道（純ダイポール磁場中）の典型例. 垂直方向の電場印加により、閉じ込め領域へとドリフト入射が可能な軌道が存在する.

1. A. Hasegawa, *Comm. PPCF* **11**, 147 (1987).
2. Z. Yoshida+, *PPCF* **55**, 014018 (2013).
3. Z. Yoshida+, *Plasma Fusion Res.* **1** 008 (2006).
4. M. Nishiura+, *Nucl. Fusion* **59**, 096005 (2019).
5. Z. Yoshida+, *PRL* **104**, 235004 (2010).
6. M. Stoneking+, *JPP* **86**, 155860601 (2020).
7. H. Saitoh+, *Rev. Sci. Inst.* **91**, 043507 (2020).