

# 1C11 静電型イオン蓄積リング(TMU E-ring)の現状

(首都大院理工) 城丸春夫, 後藤基, 神野智史, 高雄智治, 花田勝彦, 奥野和彦, 阿知波洋次, 田沼肇, 東俊行

[序] イオン蓄積リングはイオンビームを特定の軌道に周回させて蓄積する装置で、イオンを周回させて何回も使うことにより one-pass 実験に比べて圧倒的に「明るい」ビーム実験を可能にするとともに、半減期が数百ミリ秒から数秒におよぶ長寿命準安定イオン種に対して、非常に有力な研究手段を提供するものである。03年に完成した首都大のイオン蓄積リング(TMU E-Ring)はビームを静電的に制御することにより高分子量のイオンの蓄積が可能となった世界で3台目の装置であり、ビームの周囲を液体窒素で冷却することにより冷イオン蓄積ができることが特徴である[1]。構造的には図1に示すような周長約8mのレーストラック型リングであり、直線部でレーザーや中性粒子との合流実験が可能である。現在、様々なイオンを周回、蓄積して、衝突実験、レーザー合流実験、寿命測定、分光実験を進めている。

本会ではリングの現状(表1参照)を、種々の衝突・分光実験とビーム制御技術開発の結果とともに報告する。

## [イオンの蓄積と制御]

TMU E-Ring では周回イオンのモニターを、パルスビーム周回時に電極に誘

起された信号(pickup 信号)計測と、周回中に残留ガスとの衝突で生成した高速中性種の検出により行なっている。前者は非破壊測定という利点があり、後者は非常に高感度である。表1に示すように、典型的なイオンの蓄積寿命は10秒前後であり、1分間の蓄積後も中性粒子信号が十分に検出可能なレベルにあることが確認されている。

一般的に静電型リングでは多種のイオンの同時蓄積が可能であり、この特長を生かすためにはイオンの質量選択的制御が不可欠である。Xeの2種類の同位体に対して、周回周波数を合成してRFバンチャーに印加し、同時に周回す

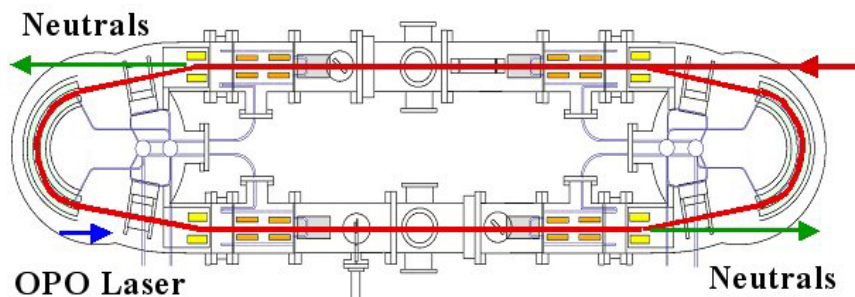


図1 TMU E-ring 概略図。イオンは右上から入射され、周回軌道との合流部の電極は、イオン通過直後に「直進モード」から「周回モード」にスイッチされる。

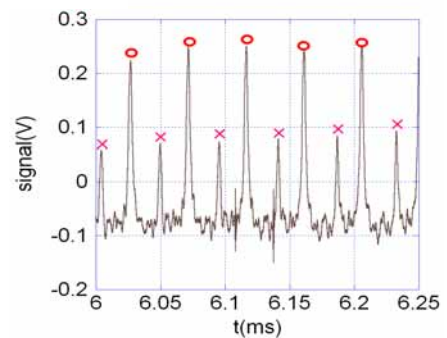


図2 合成波印加によるXe<sup>+</sup>ビームの選択的バンチ化の結果。縦軸はpickup信号(前置増幅器の出力電圧)  
○: <sup>129</sup>Xe<sup>+</sup>    ×: <sup>134</sup>Xe<sup>+</sup>

表1 TMU E-ring 現状の略表

真空度	最高到達真空度 $1.88 \times 10^{-9}$ Pa    イオン周回時 $\sim 5 \times 10^{-9}$ Pa
周回を確認したイオン種	<ul style="list-style-type: none"> <li>デュオプラズマトロン型正イオン源: 希ガス, 2,3原子分子, 2価分子イオン</li> <li>レーザー脱着型イオン源: 正負ポルフィリン(含2量体), 正負フラーレン</li> <li>Csスパッタ型負イオン源: 炭素クラスター負イオン</li> </ul>
蓄積寿命	1/e減衰寿命(代表例): Ar <sup>+</sup> 7.5 s, Xe <sup>+</sup> 23 s, ポルフィリン負イオン 10 s
研究対象	衝突断面積測定(希ガス), 寿命測定(CO <sup>2+</sup> , O <sub>2</sub> <sup>+</sup> 励起状態, ポルフィリン負イオン超励起状態) レーザー分光(ポルフィリン負イオン)

る多種の同位体の中から $^{129}\text{Xe}^+$ と $^{134}\text{Xe}^+$ を選択的にバンチ化した例を図2に示す。また高電圧パルスを周期的に印加して、特定のイオン種以外をリングから排除する「ビームの精製技術」を確立した。本会のポスターで報告するポルフィリンのレーザー合流実験では、同時周回している解離断片をこの高電圧パルスで除去して行なっている[2]。

**[リング冷却時のイオン蓄積]** リング内に張り巡らせた配管に液体窒素を流入循環させ、各電極部の温度を液体窒素温度にまで冷却して希ガスイオンビームの周回実験を行ったところ、常温時と比較して寿命の変化は観測されなかった。この結果は、超高真空下では残留ガスの主成分が水素であるため、寿命を決めている真空度が液体窒素を導入しても変化しないことで説明される。なお、冷却により電極が数 mm 程度収縮するため周回ビーム位置が変化したが、電極に与える電圧を再調整することで容易に中心軸に戻すことが可能であった。

**[CO $^{2+}$ の寿命測定]** サイズの大きな分子イオンを除くと、真空中で安定に存在する多価分子イオンはごく限られている。その中で代表的なものとして、電子衝撃によって生成したCO $^{2+}$ イオンの蓄積を行なった。中性粒子検出器による観測結果を図3に示す。減衰の解析から0.76ms、8.1ms、3.6sの寿命を持つ成分が存在することがわかった。最も長寿命の成分は残留ガスとの衝突によるものであり、本来の寿命はより長いと考えられるため、数秒以上安定な2原子分子2価イオンが存在することが確認された。2つの短寿命成分はイオンの解離寿命が異なる電子状態または振動状態に由来している。

**[O $_2^+$ 準安定励起状態の寿命測定]** O $_2^+$ のa $^4$ 状態は、数ミリ秒から数百ミリ秒の寿命を持つ準安定励起状態であることが知られている[3]。この準安定状態の緩和では分子イオンの基底状態が生成するのみであり、中性種検出による観察はできない。そこで、O $_2^+$ を約500ms間蓄積し、100ms間隔でパルスレーザー(480nm)を照射することにより、a $^4$ 状態を選択的に解離させてO原子を検出した結果を図4に示す。レーザー照射により中性粒子の収率が一桁以上増加することがわかる。ただし信号の絶対量は約0.1イベント/パルス以下であり、励起状態のイオン数はレーザー照射でも事実上変化しない。従ってレーザーの繰り返し照射による信号の減衰は、a $^4$ 状態の緩和によるものである。また、蓄積後20ms程度の領域で観測される早い減衰(挿入図参照)は、衝突による中性化断面積が大きい励起状態によるものと考えられる。なお、CO $_2$ をリングに導入して中性粒子収率を測定すると、この早い減衰に顕著な圧力依存性が観測された。

**[その他]** ポルフィリン負イオンについて、レーザー照射による超励起状態の緩和過程を調べるとともに、気相吸収スペクトルを測定している[2]。Csスパッタ型イオン源で生成した炭素負イオンクラスターは周回を確認した段階である。また、エレクトロスプレー型イオン源の立ち上げを進めている。

[1] Jinno et al., NIMA 532, 477 (04). [2] 後藤他、本会 2P125 [3] Bustamente et al., JCP 86, 508 (1987).

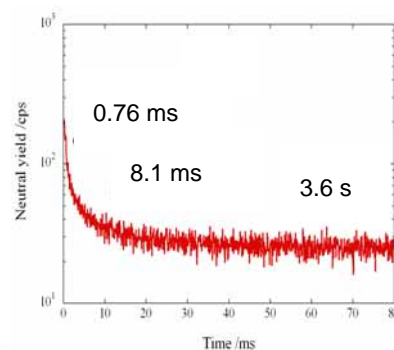


図3 CO $^{2+}$ 周回時の中性粒子収率。

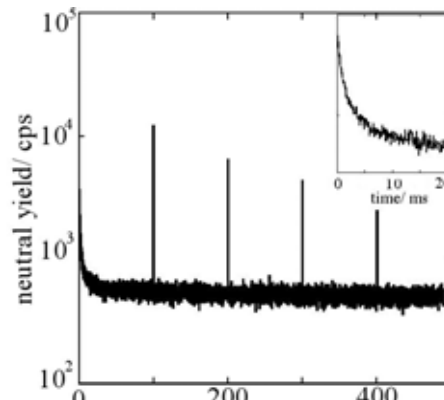


図4 O $_2^+$ 周回時に観測された中性粒子の収率。スパイク状の信号はレーザー誘起解離による。挿入図は入射後20msまでの早い減衰の拡大図。