

金属原子内包フラーレンの 選択的堆積技術

東洋大学 理工学部生体医工学科 教授
本橋 健次

原子内包フラーレンの生成例と応用分野

内包フラーレン	応用	論文	内包原子
Li@C ₆₀ Li ⁺ @C ₆₀	有機太陽電池 強誘電体	Simon et al., Chem. Phys. Lett. 383 (2004) 362.	Li
N@C ₆₀ N@C ₈₀ N@C ₈₂	超伝導材料	Kaneko et al., Phys. Plasmas 14 (2007) 110705.	N
He@C ₆₀ He@C ₇₀	単分子メモリー / スイッチ / トランジスター	Yasutake, et al., Nano. Lett. 5 (2005) 1057. Morinaka et al, Nature Communications 4 (2013) 1554.	He
RI@C ₆₀ RI@C ₈₀ RI@C ₈₂	ドラッグデリバリーシステム 中性子捕捉療法	Ohtsuki et al., Phys. Rev. B 72 (2005) 153411.	RI = Gd
M@C ₈₂ M@C ₈₀	MRI造影剤	Mikawa et al., Bioconjugate. Chem. 12 (2001) 510.	M = Gd, Ce, Y, Sc, Er, Lu

特に磁性金属原子(Fe, Co, Ni等)内包フラーレンが注目されている。

→医療分野での応用に期待

→しかし、生成法が確立していない。

従来技術

アーク放電法：金属を練りこんだグラファイトを低圧の希ガス雰囲気中でアーク放電させ、煤に含まれる微量のフラーレン混合物を精製する。

イオン注入法(プラズマ放電法)：真空中でフラーレン分子を昇華させ、窒素やリチウムを含むプラズマを作用させる。

高温高圧処理法：フラーレンに高温(650 以上)高圧(3000気圧程度)のガスを接触させる。

分子手術法：有機化学反応によりフラーレン分子に開口を開け、原子や分子を挿入してから開口部を修復する。

従来技術の問題点

1. 特定の元素に対してのみ有効 (汎用性に乏しい。)
2. 所望の分子に所望の原子を内包させることが難しい。(反応選択性に乏しい。)
3. 生成物から内包フラーレンだけを単離・精製することが難しい。(多段階のプロセスが必要。)

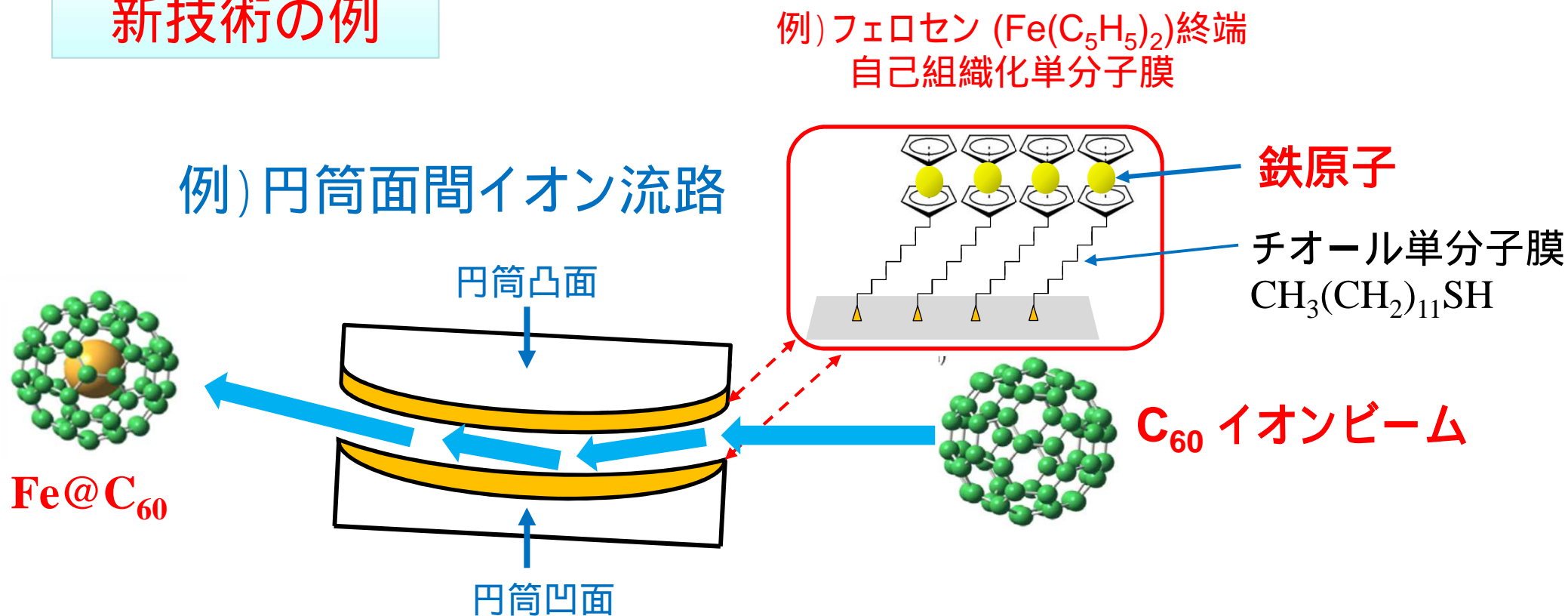
新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術では、特定の元素に対してのみ有効であったが、**新技術では内包したい元素を表面に持つ薄膜を使えば、原理的には様々な元素に適用可能。**
- 従来技術では、反応選択性が乏しく、特定の内包フラレンだけを効率的に合成することが難しかったが、**新技術では所望の元素を所望のフラレン分子だけに効率よく内包させることが可能。**
- 従来技術では、合成・単離・精製を別々のプロセスにより行う必要があったが、**新技術では合成・単離・精製を同時に行うことが可能。**

新技術の概要

内壁に金属分子薄膜を有するイオン流路にフラーレンイオンビームを入射し、出射した内包フラーレンを選別しながら基板に堆積

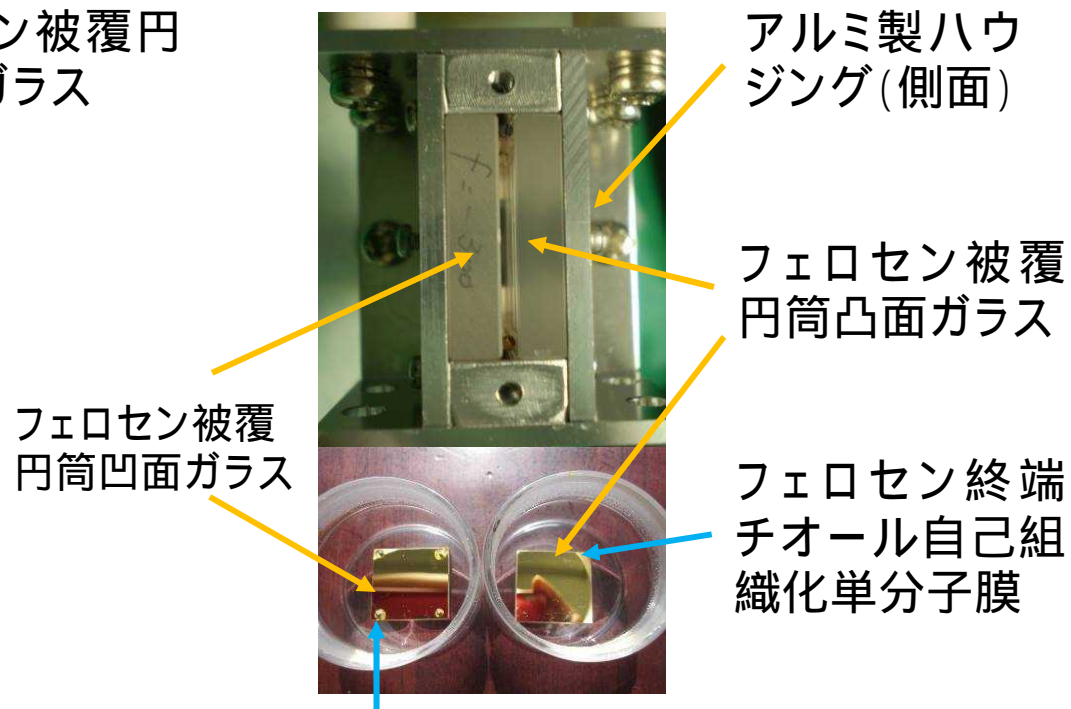
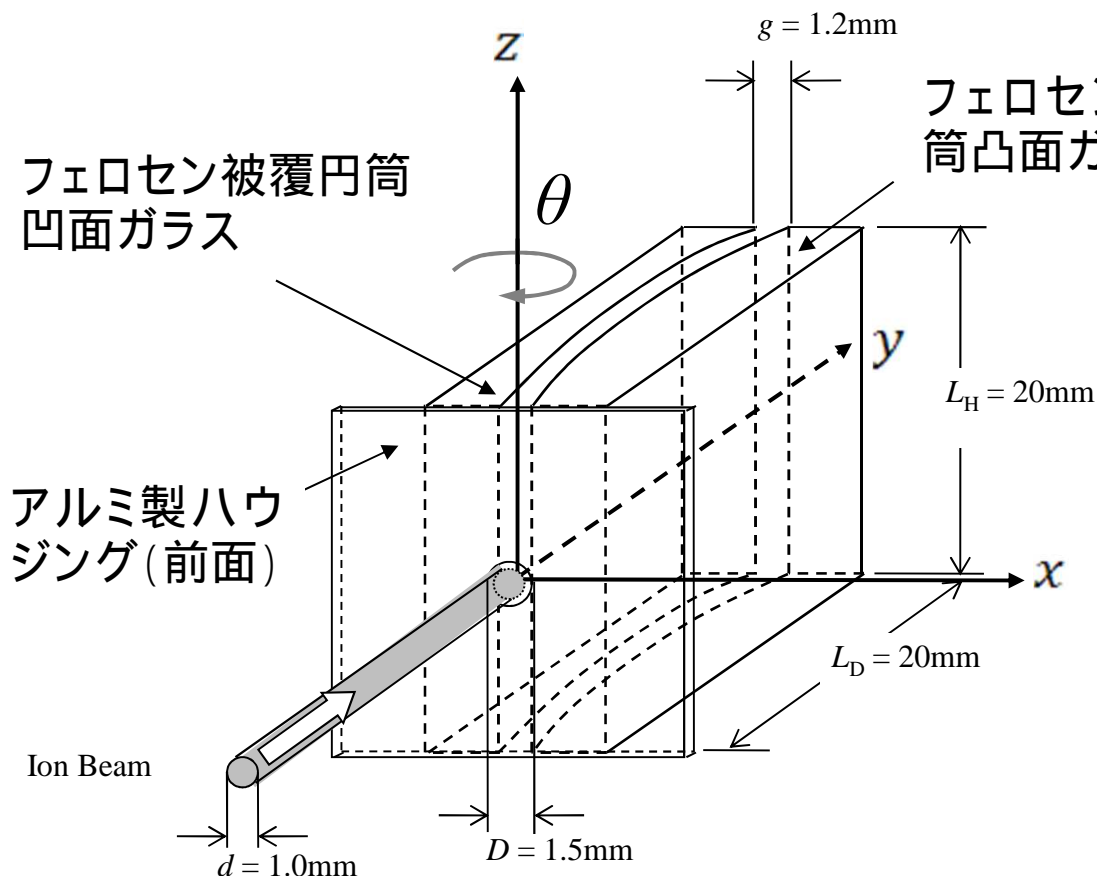
新技術の例



実証試験の概要

鉄原子内包フラーレンの合成

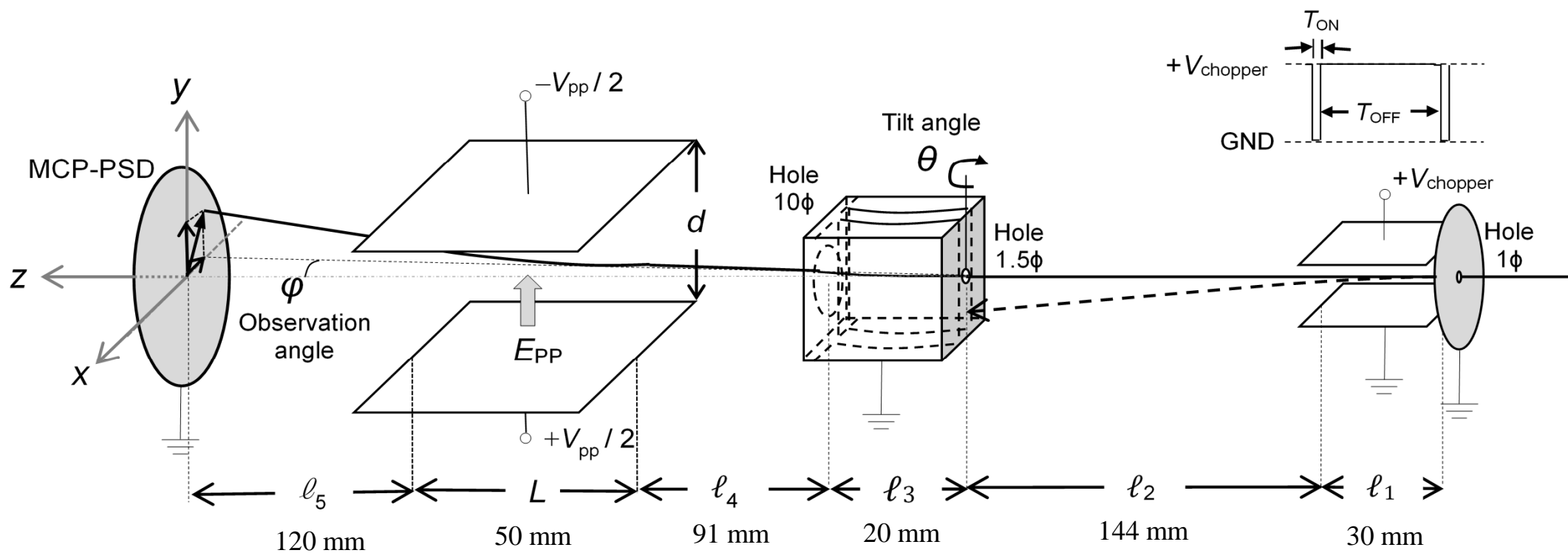
フェロセン被覆円筒面間イオン流路



SUS 1.2 mm Φ ベアリング

実証試験の概要

鉄原子内包フラーレンの同時合成・単離・精製の原理



$$\frac{m}{q} = \frac{LE_{PP}}{y} \left(\frac{L}{2} + l_5 \right) \left(\frac{T - \frac{l_1 + l_2}{v_0}}{l_3 + l_4 + l_5 + L} \right)^2$$

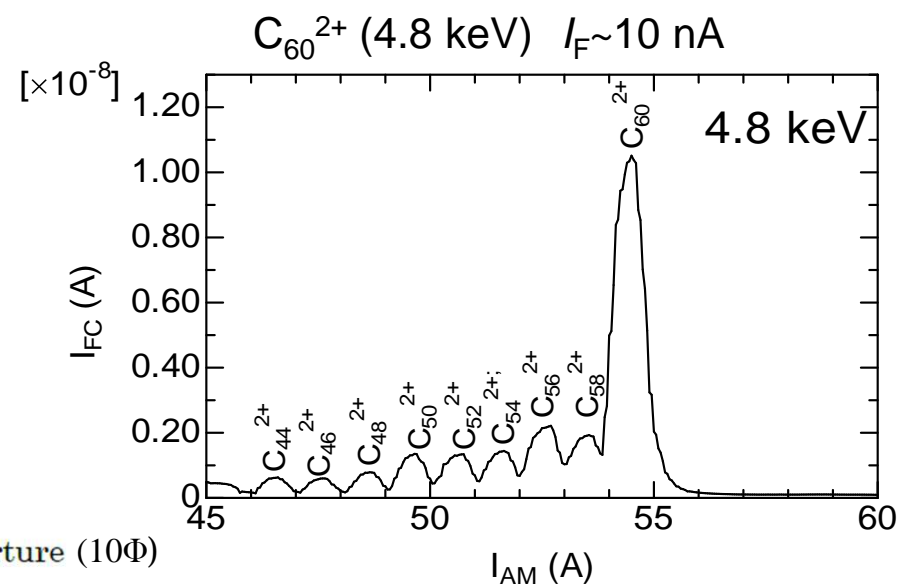
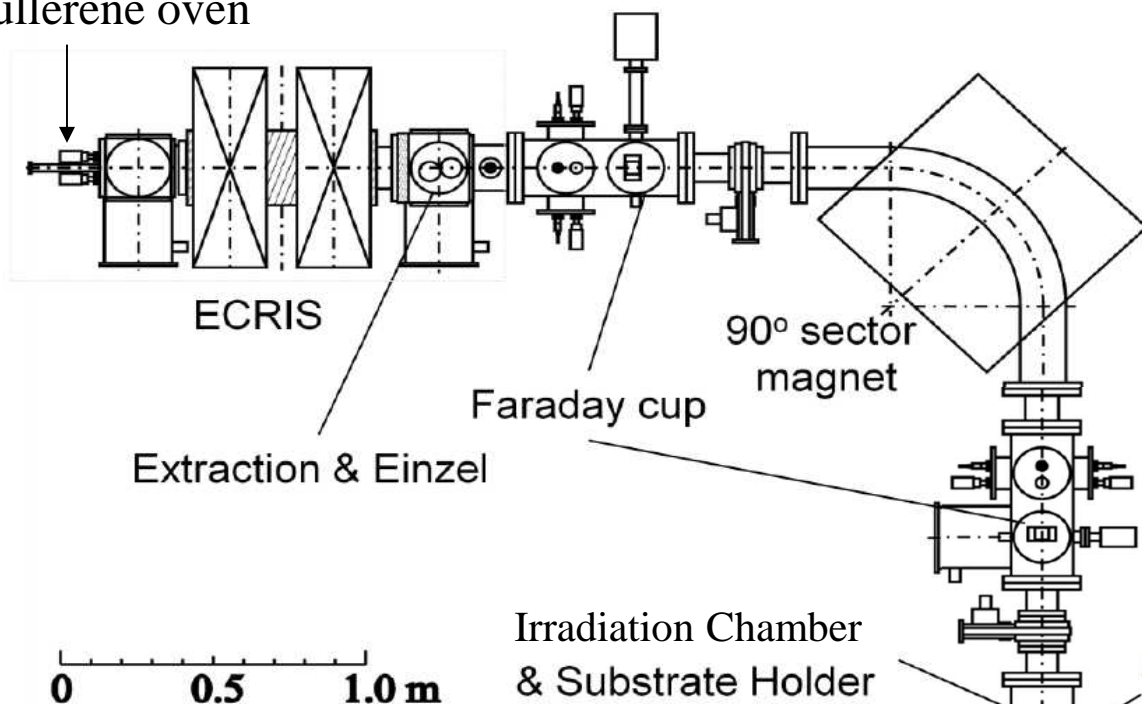
飛行時間 T
変位 y



質量電荷比
 m/q

実証試験の概要 実験セットアップ

Fullerene oven



入射フラレンイオンビームのパルス化電極

イオン入射穴(1Φ)

出射粒子の質量・電荷選別用電極

円筒面間イオン流路
(イオンビーム軸に対してチルト可能:チルト角 θ)

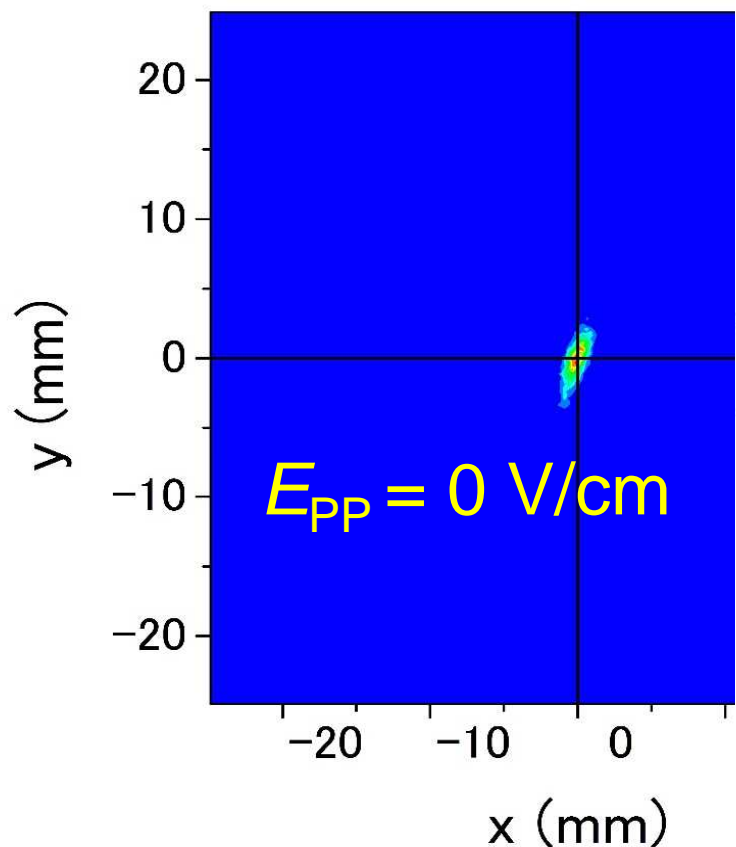
出射粒子の検出器(二次元位置画像)

真空容器圧力 $P = 5.0 \times 10^{-7}$ Pa

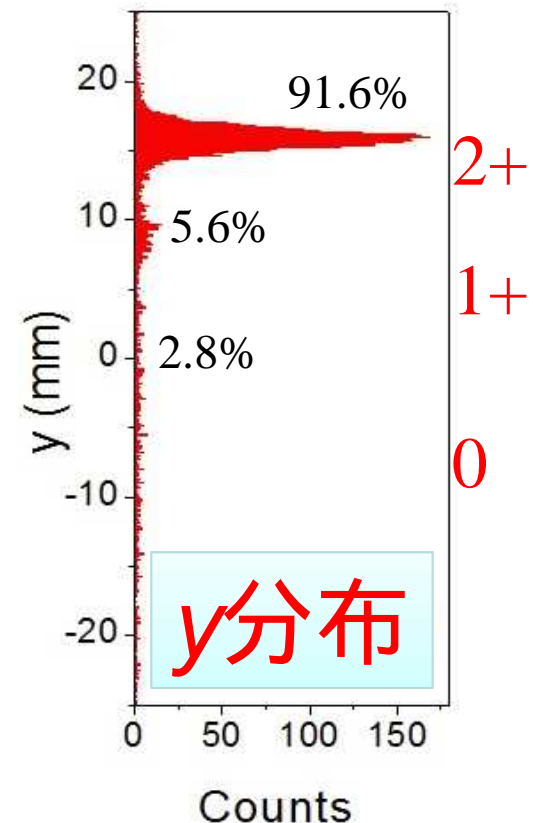
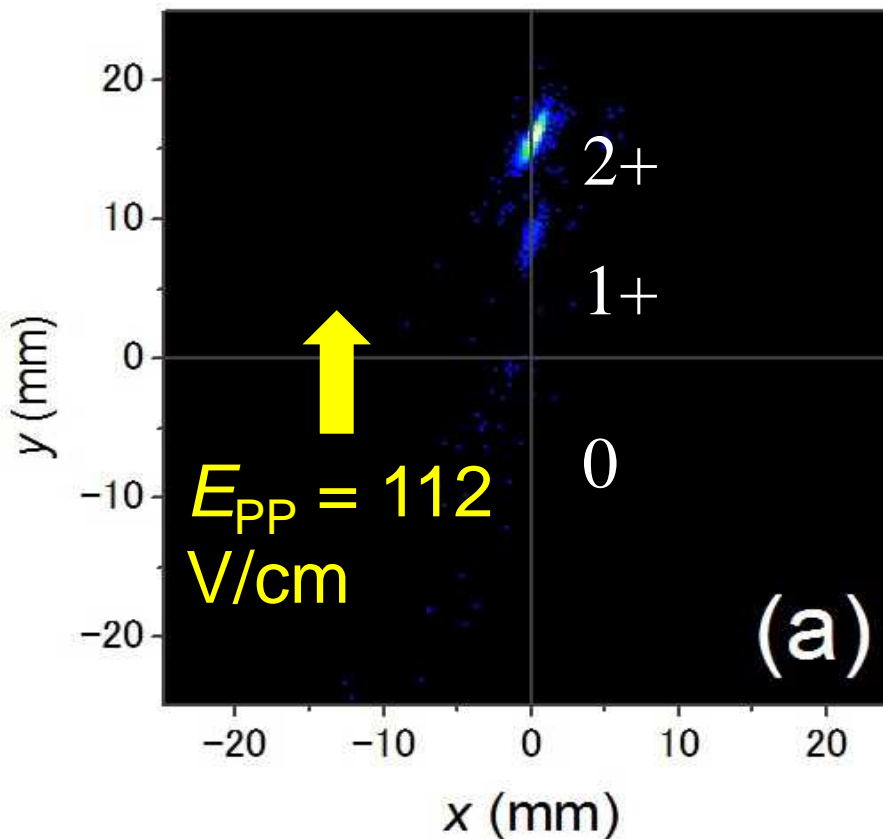
実証試験の結果

円筒面間イオン流路出射粒子の y 分布

チルト角 $\theta = 0^\circ$

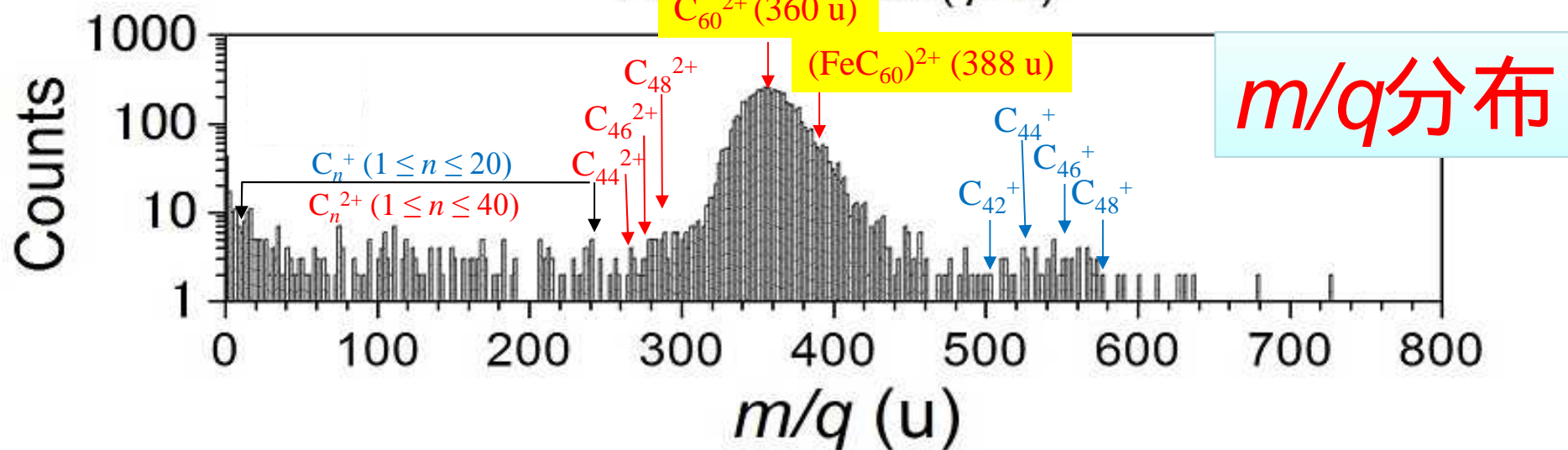
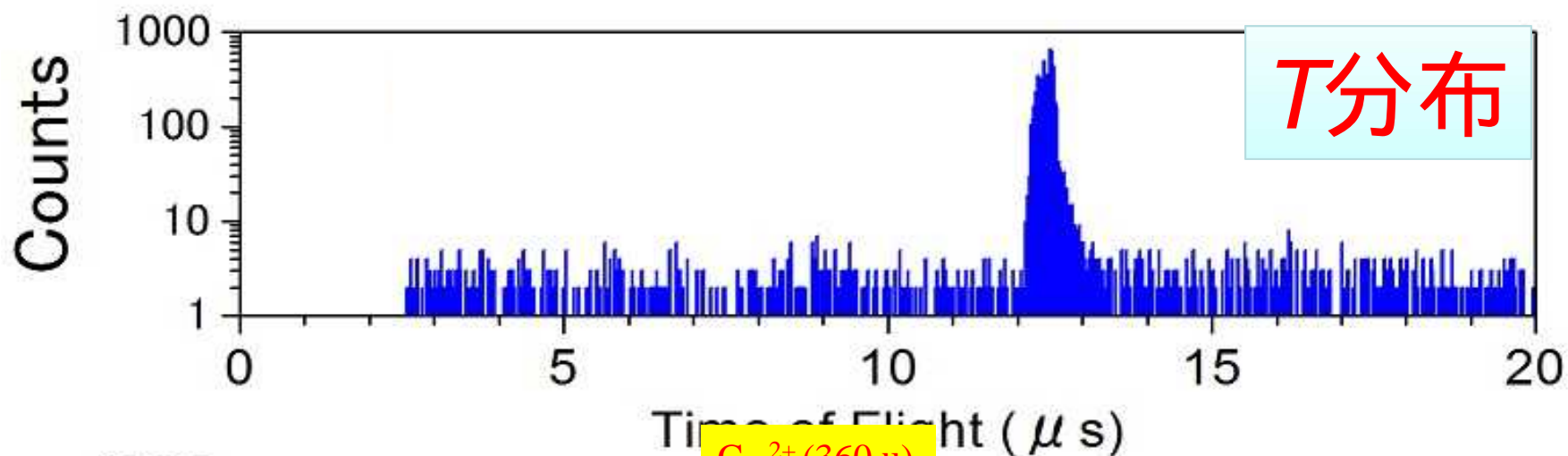


チルト角 $\theta = -2^\circ$



実証試験の結果

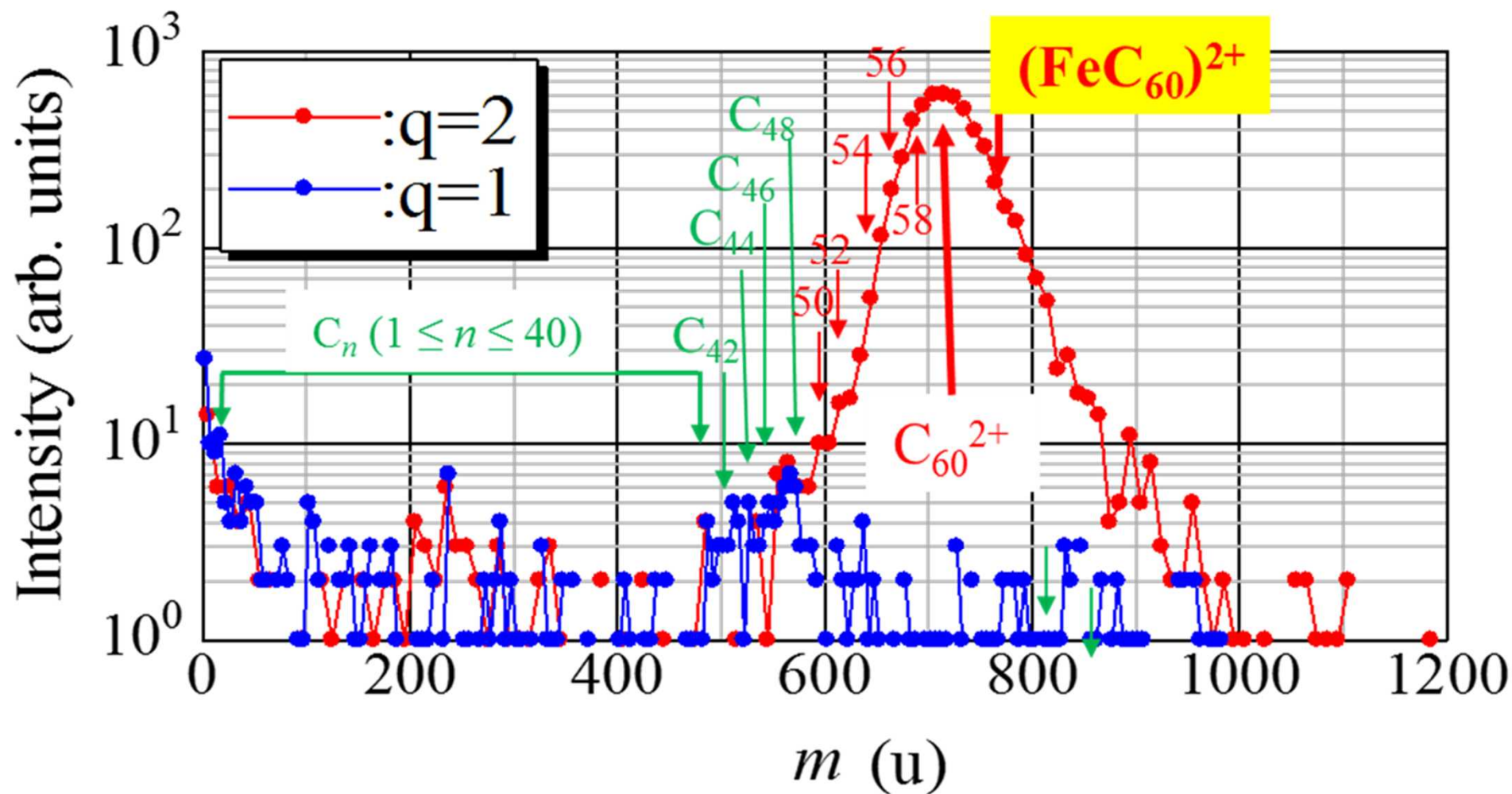
円筒面間イオン流路出射粒子の T分布 と m/q分布



実証試験の結果

円筒面間イオン流路出射粒子の質量選別

同時合成・単離・精製の原理実証に成功



想定される用途

- 鉄原子内包フラーレン($\text{Fe}@C_{60}$)に適用できれば、安全で効果的なMRI(磁気共鳴画像診断)の造影剤生成法の開発につながると考えられる。
- また、中性子を吸収しやすい原子(Gd, B等)や各種の放射性原子を内包させる技術へ展開できれば、ドラッグデリバリーシステムや中性子捕捉療法のための創薬技術開発に発展させることも可能であると考えられる。

実用化に向けた課題

- 現在、合成粒子を単離・精製しながら基板に堆積可能であることを実証した。しかし、鉄原子内包フラーレンの同時合成・単離・精製を実証する点は未解決である。
- 今後、鉄原子内包フラーレンの同時合成・単離・精製を実験的に検証すると共に、効率よく生成するための条件を探索していく。
- 実用化に向けて、**大強度のフラーレンイオンビーム**が必要である。

企業への期待

- 未解決の鉄原子内包フラーレンの同時合成・単離・精製は、**大強度のフラーレンイオンビームにより克服**できると考えている。
- フラーレンイオンビームの生成技術を持つ企業との共同研究を希望。
- 同様の手法により、**フラーレン・金属原子混合プラズマ**からの金属原子内包フラーレンの同時合成・単離・精製も可能。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称
: 金属原子内包フラーレン生成装置
- 出願番号 : 2014-264024
- 公開番号 : 2016-124712
- 出願人 : 学校法人東洋大学
- 発明者
: 本橋 健次、吉田 善一、内田 貴司

お問い合わせ先

東洋大学 産官学連携推進センター
(研究推進部 産官学連携推進課)

T E L : 03 - 3945 - 7564

F A X : 03 - 3945 - 7906

e - mail : ml - chizai@toyo.jp