

99番元素アインスタイニウムを用いた 重元素核科学研究



平成29年11月14日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
原子力科学研究部門 先端基礎研究センター
重元素核科学研究グループ

オルランディ リカルド

概要

米国エネルギー省のオークリッジ国立研究所との協力で、0.5マイクログラムの
アインスタイニウム(元素記号:Es、原子番号:99)を入手

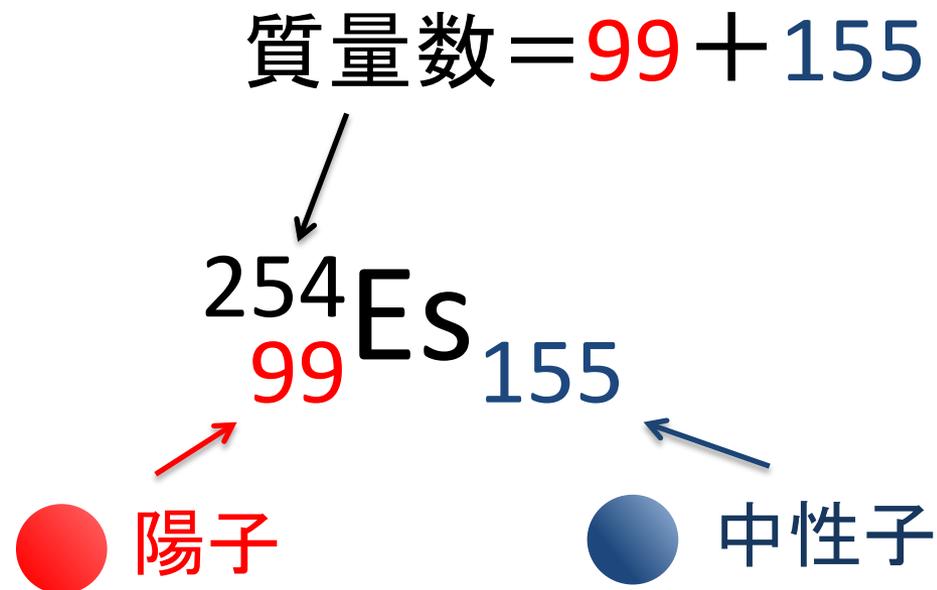
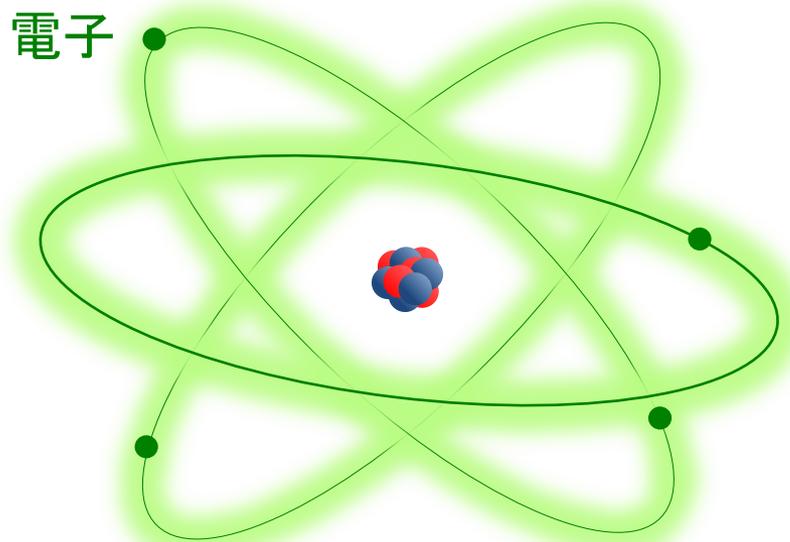
日本では、アインスタイニウムを入手するのは初めて



原子力科学研究部門・先端基礎研究センター、物質科学研究センター、原子力
科学研究所では、このアインスタイニウムを用いて以下の研究を計画している

- 100番元素フェルミウム以上の重い原子核の核分裂と核構造の解明
@東海タンデム加速器（茨城県）
- アインスタイニウムと水分子との結合を調べる
@SPring-8（兵庫県）

原子力機構の施設と独自の装置を利用した研究



原子は、原子核と電子から成る

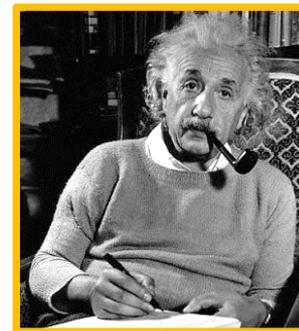
原子核のサイズは、電子軌道の半径の1万分の1

原子核は、陽子と中性子でできている

原子番号 = 陽子数

同位体は、陽子の数が同じで、中性子の数が違う原子核

元素周期表



アインスタイニウム

(発見: 1952年)

元素記号Es、原子番号99

^{254}Es の半減期=276日

半年のうちに37%が崩壊

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	¹¹³ Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	⁹² U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	⁹⁹ Es	Fm	Md	No	Lr

人工元素

アインスタイニウムは原子炉中での燃料照射において生成できる物理学実験のための標的資料として、人類が利用できる最も重い元素

生成できる量が少ないので、アインスタイニウムの特性はほとんど解明されていない
 米国エネルギー省が重元素核科学分野における研究成果を高く評価し、アインスタイニウムの特性解明を期待して、特別に提供を決めた

アインスタイニウムの製造

オークリッジアイソトープ生成用原子炉に置いて、1年間にわたり、40グラムの96番元素キュリウムを照射しても**1マイクログラムのアインスタイニウム**しか生成されない

オークリッジ研究所のアイソトープ生成用原子炉



原子炉プール

~0.5 μ gの ^{254}Es が10月に届き、標的を作成の後、12月から実験が始まる

「物理学70の不思議」(日本物理学会誌平成29年9月出版)

日本物理学会誌
第72巻第9号(通巻823号)
平成29年9月5日発行 付録

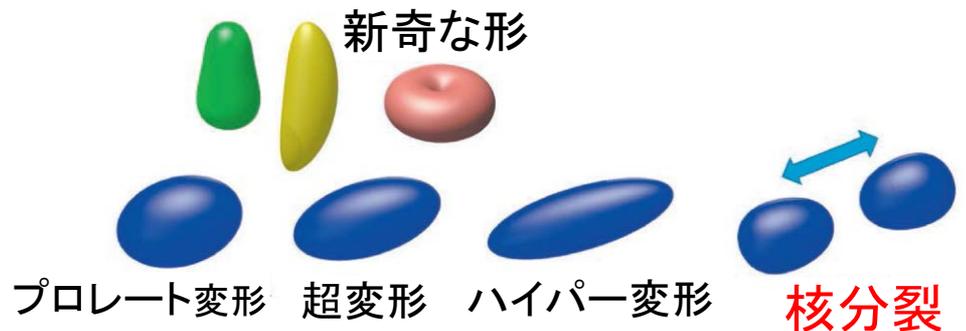
日本物理学会創立70周年記念企画

物理学70の不思議

- | | | |
|-------------------|---------------|---------------|
| 16. 原子核の形 | 19. 格子QCD | 5. 素粒子の世代 |
| 13. 陽子=クォーク3つ? | 11. ヒッグス粒子 | 37. 素粒子と物性 |
| 14. テトラクォーク | 18. 原子核の地図 | 38. モンテカルロ計算 |
| 17. 超重原子核 | 10. クォークの閉じこめ | 53. フェルミ液体論 |
| 4. クォーク・グルオン・プラズマ | 39. マヨラナ粒子 | 45. 光誘起相転移 |
| 26. 磁場の起源 | 49. 物質設計 | 41. トポロジカル秩序 |
| 15. ストレンジ原子核 | 8. 暗黒エネルギー | 30. 乱流 |
| 12. 反物質 | 7. 暗黒物質 | 44. メタマテリアル |
| 21. 中性子星 | 2. 4次元時空 | 55. 隠れた秩序 |
| 33. 冷却原子 | 29. 核融合 | 34. 量子力学の検証 |
| 9. 宇宙の物質生成 | 27. 太陽コロナ | 48. 極限環境 |
| 24. 相対論的ジェット | 56. 量子と古典 | 46. 界面 |
| 22. 超大質量ブラックホール | 25. 宇宙線 | 31. 量子電磁力学 |
| 23. ブラックホールと情報 | 67. 分子機械 | 52. 銅酸化物高温超伝導 |
| 70. 物理学はどこへ? | 64. シマウマの縞 | 57. 統計力学の基礎 |
| 62. 経済物理 | 69. 私たちと物理 | 50. 金属と絶縁体 |
| | | 58. 非平衡状態 |
| | | 47. スピントロニクス |
| | | 59. 可積分系 |
| | | 32. 原子時計 |
| | | 43. 超短パルスレーザー |
| | | 61. 粉体 |
| | | 63. 生物の運動 |
| | | 40. 還元と |
| | | 66. 電子と生命 |
| | | 68. 物理と生命 |

アインスタイニウムを用いた核物理研究は原子核の形と核分裂のダイナミクスを解明

原子核の形とダイナミクス



核分裂は、

発見：1938年

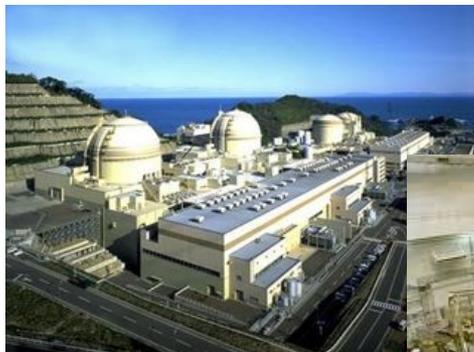
最初の原子炉で臨界を達成：1942年

重要なエネルギー生成

研究用原子炉等を通じて基礎科学を支え

宇宙における元素合成過程や超重元素の存在限界にまで影響

核分裂現象の理解と新現象の発見は、社会基盤と知の探究にまで影響



原子力発電所



研究用原子炉

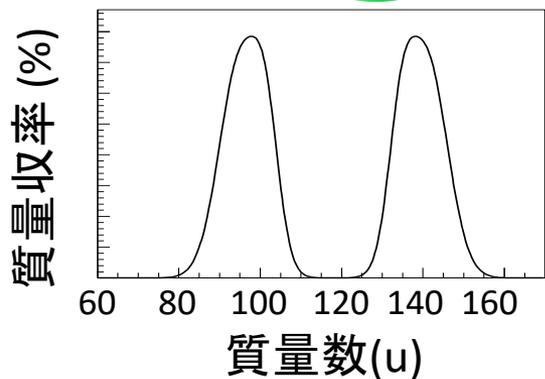
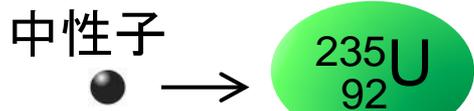


超新星爆発

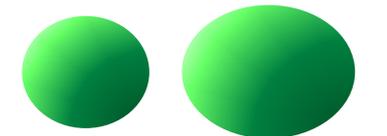
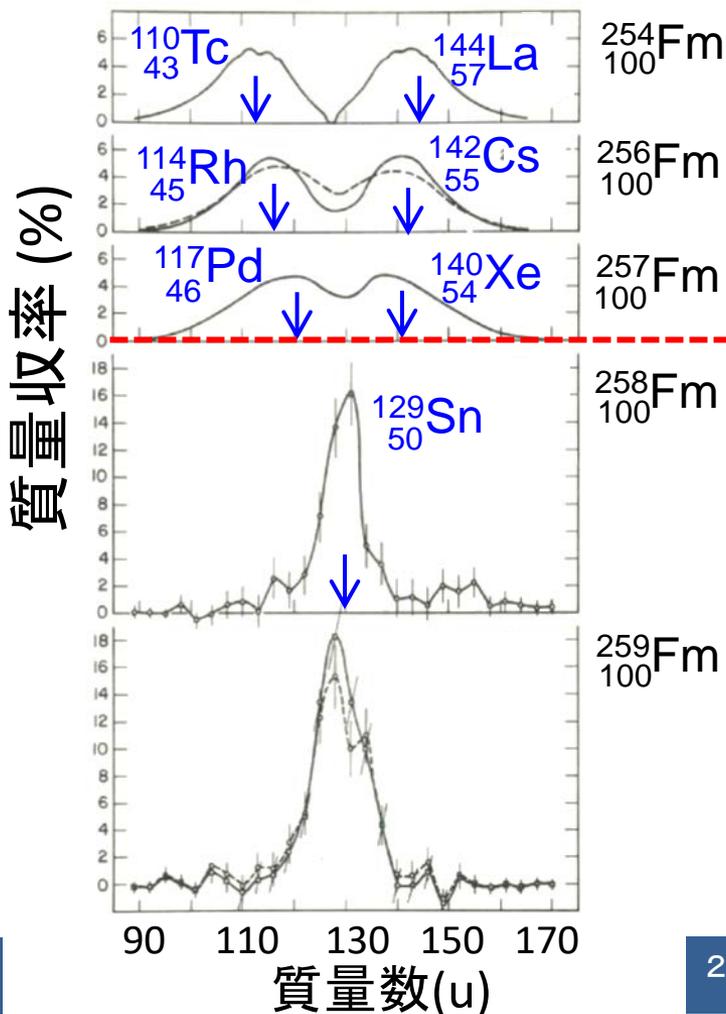
Cd Cadmium 80	In Indium 81	Sn Tin 82
Hg Mercury 112	Tl Thallium 113	Pb Lead 114
Cn Copernicium	Nh Nihonium	Fl Flerovium

113番元素ニホニウム

100番元素フェルミウム(Fm)同位体の核分裂



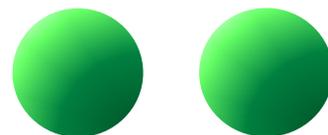
ウラン、プルトニウムなど



非対称の核分裂
(ウランと同様)



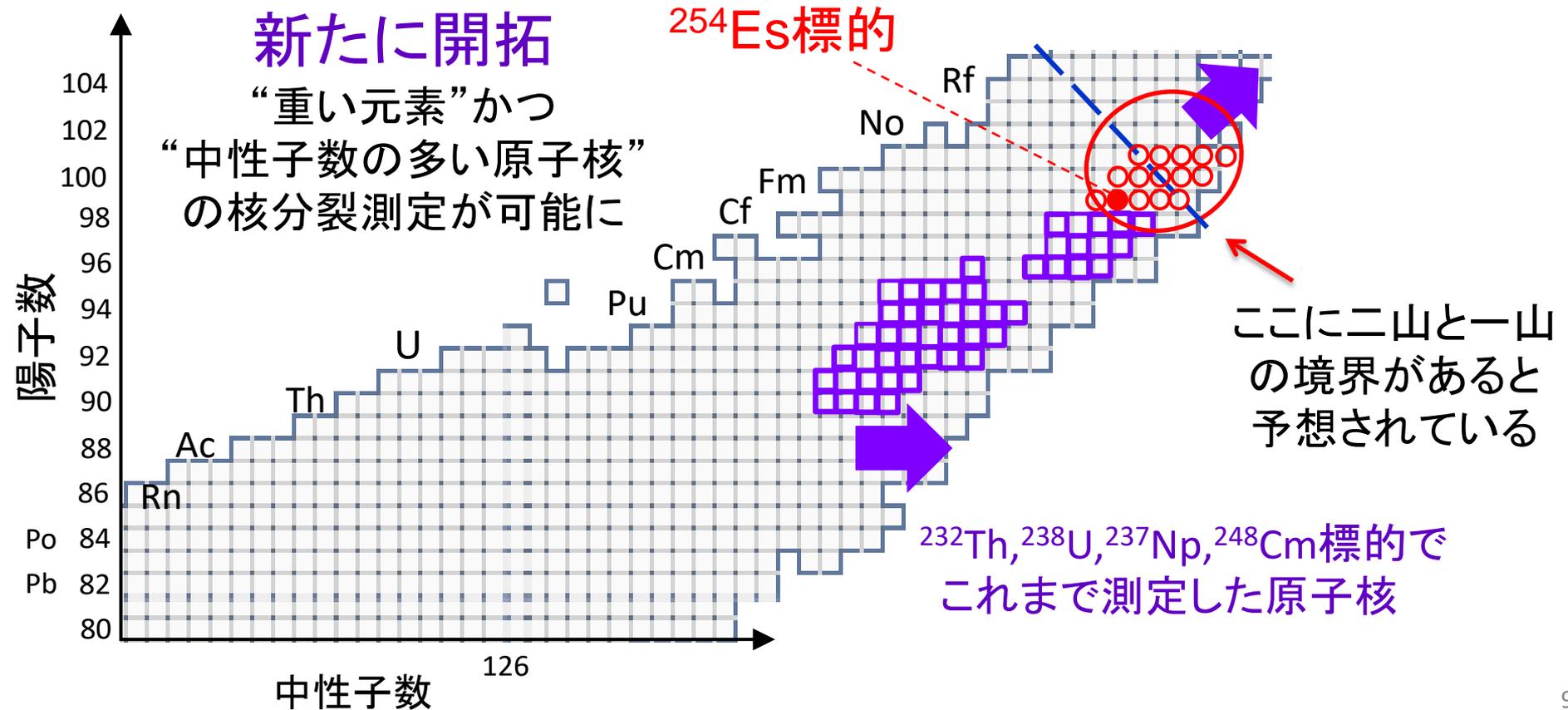
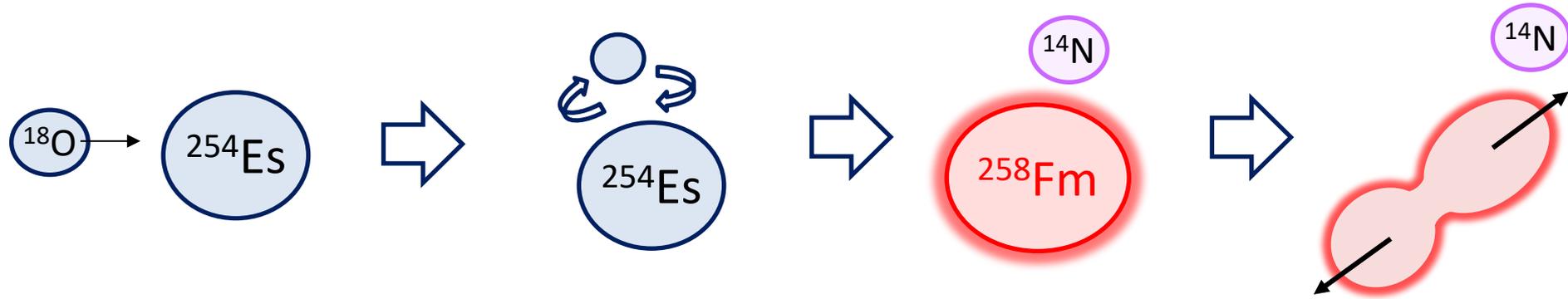
対称核分裂



^{258}Fm 以上の重い元素

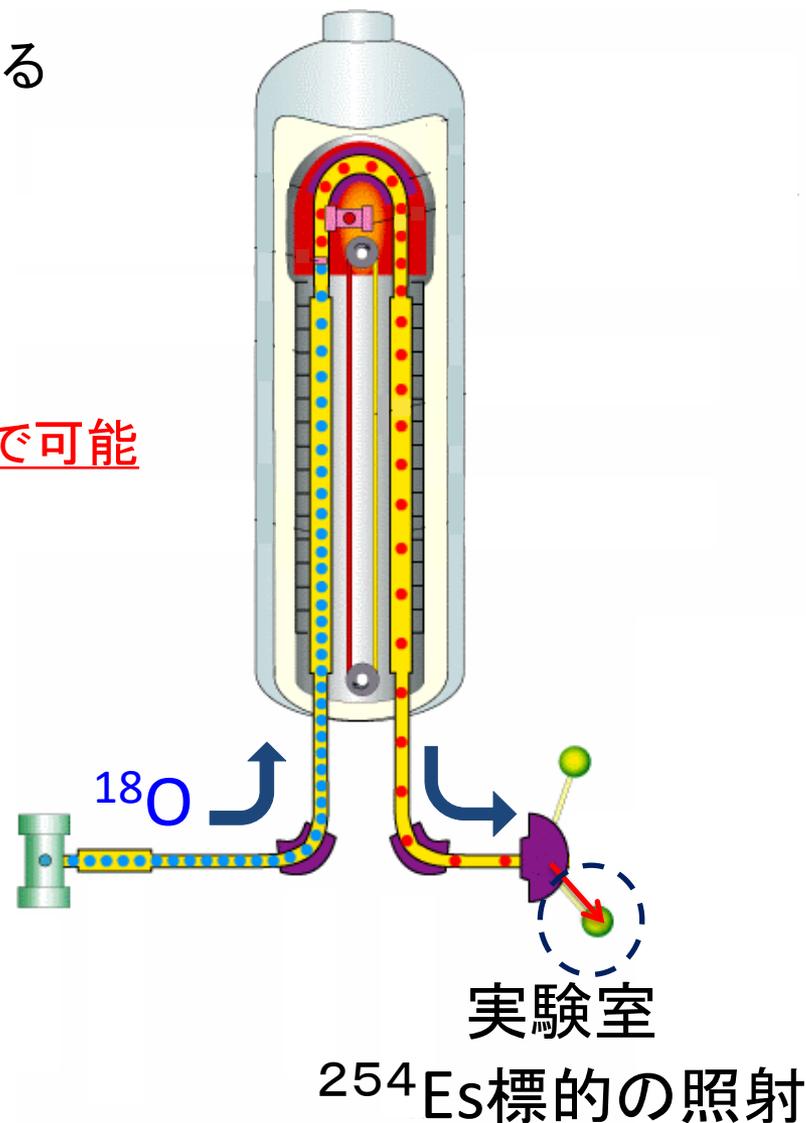
1970年代、フェルミウム(Fm)同位体で、質量分布が劇的に変化することを発見
Fm以上重い原子核を解明→ウランを含むあらゆる原子核の核分裂の理解を目指す

核子移行反応を用いた核分裂モードの解明

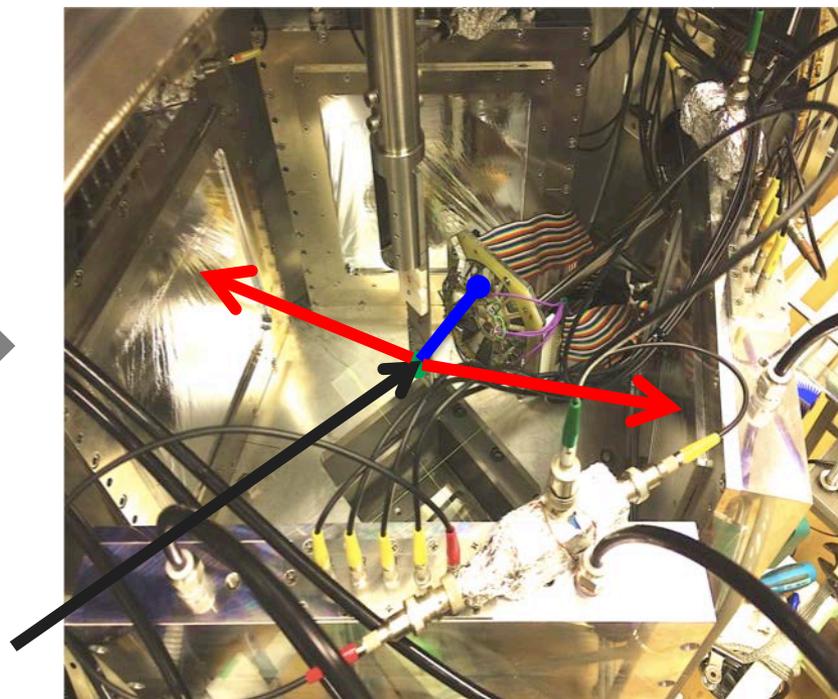
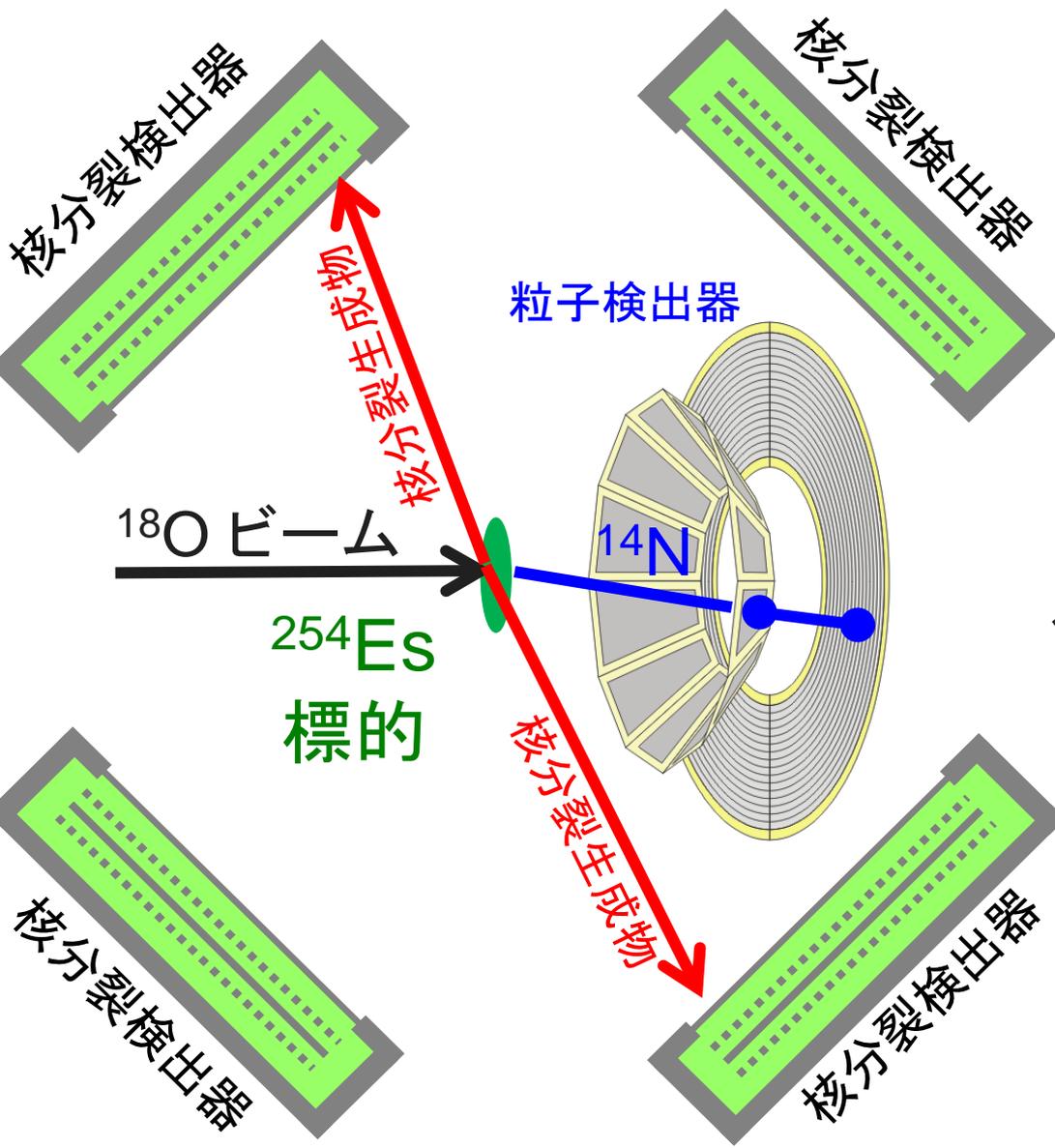


- ・ 水素からビスマスまでのイオンを加速できる
 - ・ 世界最大の静電加速器
 - ・ 放射性アクチノイドを標的として使える
 - ・ ビームの空間的な広がりが1mm直径
- 0.1 μ gの試料で実験ができる

Esの重イオン照射実験は原子力機構のみで可能



タンデム加速器棟の外観



粒子識別
核分裂生成物の測定



ご静聴どうもありがとうございました