



### J-PARCミュオン実験施設 ミューオンによる非破壊元素分析の可能性 2018/11/12





#### 河村 成肇

# J—PARC Japan Proton Accelerator Research Complex

#### ミュオン施設を日本に!



J-PARCはKEKとJAEAが共同で建設をすすめた加速器複合施設 世界最大強度のビームを目指し、2008年から運用を開始

#### Muon Science Establishment J-PARC 大強度陽子ビームによる $(\pi \rightarrow \mu + \nu)$ ミュオン(μ) 多様な粒子ビームの生成 π中間子 3つの加速器 ニュートリノ(ν) 原子核標的(A リニアック 陽子(p) K中間子 3GeVシンクロトロン 50GeVシンクロトロン 反陽子 1eVは電子を1Vの電圧で加速した 陽子(p) 中性子(n) 時のエネルギー(1.6×10<sup>-19</sup>J) 中性子(n) ハドロン実験施設 物質・生命科学実験施設 1 MW パルス中性子源、ミュオン源 ▶物質·生命科学実験施設 核変換実験施設 第日期計画 ハドロン実験施設 ◀ 500 m ニュートリノ実験施設◀ ニュートリノ実験施設 核変換実験施設 カミオカンデヘ 3 GeV シンクロトロン 4つの実験施設 (25 Hz, 1 MW) 50 GeV シンクロトロン リニアック (0.75 MW) (稼働中は3つ) (400 MeV) J-PARC = Japan Proton Accelerator Research Complex



USE Muon Science Establishment

## 物質·生命科学実験施設



# 世界の中間子工場

ミュオンを大量に作る施設は中間子工場(meson factory)と呼ばれる

		J-PARC		TRIUMF		
CA AS	国名	スイス	英国	日本		
GAL V F	施設名	PSI	RAL ISIS	J-PARC ミュオン		
	陽子エネルギー [GeV]	0.59	0.8	3.0		
Engr o	陽子ビーム強度 [MW]	1.3	0.16	1.0 (設計値)		
	$\mu^+$ [/s] (surface)	3×10 <sup>7</sup>	6×10 <sup>5</sup>	4×10 <sup>8</sup>		
	μ <sup>-</sup> [/s]	2×10 <sup>7</sup>	7×10 <sup>4</sup>	1×10 <sup>7</sup>		
Cepyright(C) 2007 TSUKUI Internat	ビームの構造	直流	パルス (50Hz)	パルス (25Hz)		







- パルスビーム (シンクロトロン、J-PARC、ISIS)
- CWビーム (サイクロトロン、PSI、RCNP-MuSIC)
- 加速器の種類により、ミュオンの発生 する際の時間構造が異なる
- 異なる種類のビームでは得意分野が 異なる(同じ種類のビームなら強度が 高い方が優れている)
  - 一般的な非破壊元素分析(ミュオン特性 X線の測定)はCWビーム向き
  - 非常に浅い(表面)の元素分析はJ-PARC



ミュオン原子は元素固有の X線(特性X線)を出す ↓ 元素分析が可能

X線のエネルギーは200倍
 ↓
 物質の奥深くからでも放射
 非破壊元素分析が可能

歴史的な遺物 世界に一つしかない試料



Muon Science Es

原子核(Z)

従来の電子ビームによる特性X線分析 では表面の浅い部分しか分からない ミュオン特性X線は物質の奥からでも出 てくることが可能 しかも、ミュオンのエネルギーは可変で、

任意の深さに止めることが可能











パルスミュオンビームでは同時に多くのX線が放出されるので、 Ge検出器を試料周りに多数配置し、検出効率を上げている。 J-PARCにおける元素分析の例

Muon Science Establishmen



同位体分析

同位体が混じった試料(natPb)からは、複数の成分に 割れたミューオン特性X線が得られた



ISE 👘 Muon Science Establishment

まとめ

- ミュオン(ミューオン)による非破壊元素分析は、加速器の進化によるビーム強度の増加(ミュオン数増加)によって、実用化レベルに到達
- J-PARCは年間5000時間(200日)を共同利用実験 に提供している(実験課題の提案は春秋年2回) 課題審査の平均競争率は約2倍 最初は既存グループと一緒に、まずは相談を
- 本当に非破壊?
  J-PARCで1日照射した試料は10<sup>-12</sup> molの核改変の 可能性がある(将来の妙な勘違いに注意)



- <sup>108</sup>Pdにµ<sup>-</sup>を入れた場合の生成物
  - <sup>108</sup>Pd ( $\mu^-$ ,  $\nu$ )<sup>108</sup>Rh ( $\tau_{1/2}$  = 16.8 s/5.9 m,  $\beta^- \gamma$  decay to <sup>108</sup>Pd, stable)
  - <sup>108</sup>Pd ( $\mu^{-}$ ,  $\nu n$ )<sup>107</sup>Rh ( $\tau_{1/2} = 21.7 \text{ m}$ ,  $\beta^{-}-\gamma$  decay to <sup>107</sup>Pd, LLFP)
  - <sup>108</sup>Pd ( $\mu^-$ , v2n)<sup>106</sup>Rh ( $\tau_{1/2}$  = 30 s/2.2 h,  $\beta^ \gamma$  decay to <sup>106</sup>Pd, stable)
  - <sup>108</sup>Pd ( $\mu^-$ , v3n)<sup>105</sup>Rh ( $\tau_{1/2}$  = 35.4 h/45 s,  $\beta^ \gamma$  decay to <sup>105</sup>Pd, stable)
  - <sup>108</sup>Pd ( $\mu^-$ , v4n)<sup>104</sup>Rh ( $\tau_{1/2}$  = 42 s/4.4 m, $\beta^ \gamma$  decay to <sup>104</sup>Pd, stable)
  - ${}^{108}$ Pd ( $\mu^{-}$ ,  $\nu 5n$ ) ${}^{103}$ Rh (stable)
- RI 製造に 使えるの では ないか?

Pd 101 8.47 h «, #* 0.8 y 296, 590 270 m	Pd 192 1.02	Pd 103 16.991 d <sup>c</sup> 7 (357) m	Pd 104 11.14	Pd 105 22.33 o5E-7	Pd 106 27.33	Pd 107 21.3 6.5 10%	Pd 108 26.46	Pd 109 449 m 1243 h 1011 1011 447 100 100	Pd 110 11.72	Pd 111 35h 234m h 172 y 70,0Pt 652 y 70,0Pt 1455 mt 8 mt 8
Rh 100 4.7 m 21.1 h 5 32,74 5*2.6. 1'. 1/(540 2376 957) 1583	Rh 101 441 133 137 145 145 145 145 145 145	Rh 102 25 a 207 d p <sup>+</sup> + 3 7 470, 601 p <sup>+</sup> + 3 957 957 1 (102) e <sup>+</sup> 12 957 1 (102) e <sup>+</sup> 12	Rh 103	Rh 104 4410 423 151- 155 (1584-) 150 1507- 40	Fin 105 451 334 in 918 305 1,130 1,000 11000	Rn 106 221 17. 17. 17. 17. 19. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10	Rh 107 217 m 9 103, 393	Rh 108 19 h 10.8 s 19 h 10.8 s 10.4 set 10.4 s 10.4 set 10.4 s 10.4 set 10.4 s	Rh 109 80 s p <sup>-</sup> 2.3, 2.6 y 327, 426, 178 291, 113 g	Rh 110 37.7 3.3 3.3 1 1 374 540 1 374 440 988 440 797
Ru 99 12.76	Ru 100 12.60	Ru 101 17.05	Ru 102 31.55 #1.2	Ru 103 39.210 d p= 0.2, 0.7 7 497, 610 m e 1.2	Ru 104 18.62	Ru 105 4.44 h 17 1.2, 1.8. 7724, 499, 676 316 gm n 0.29	Ru 106 373.6 d p* 0.04 nu y 9 = 0.15	Ru 107 3.8 m <sup>()<sup>+</sup></sup> 3.2 <sup>7<sup>+</sup></sup> 94, 848, 463 375	Ru 108 4.5 m 7 1.3_ 7 165, 91_ 9	Ru 109 34.5 s β <sup>-</sup> 2.3, 4.2. γ 206, 226 1929, 359