



## 重イオンビーム・RIビームの産業利用促進

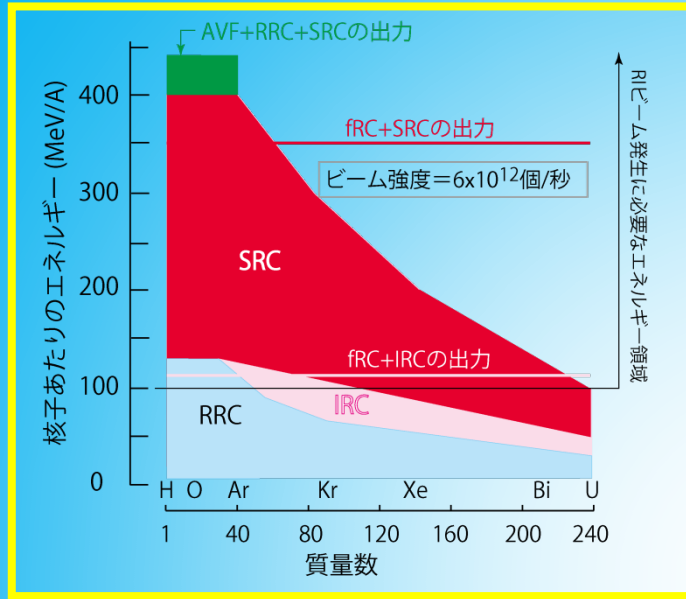


仁科加速器研究センター  
共用促進・産業連携部  
産業連携チーム

～ 高エネルギー RIビームの応用 ～

# RIBF (RIビームファクトリー)

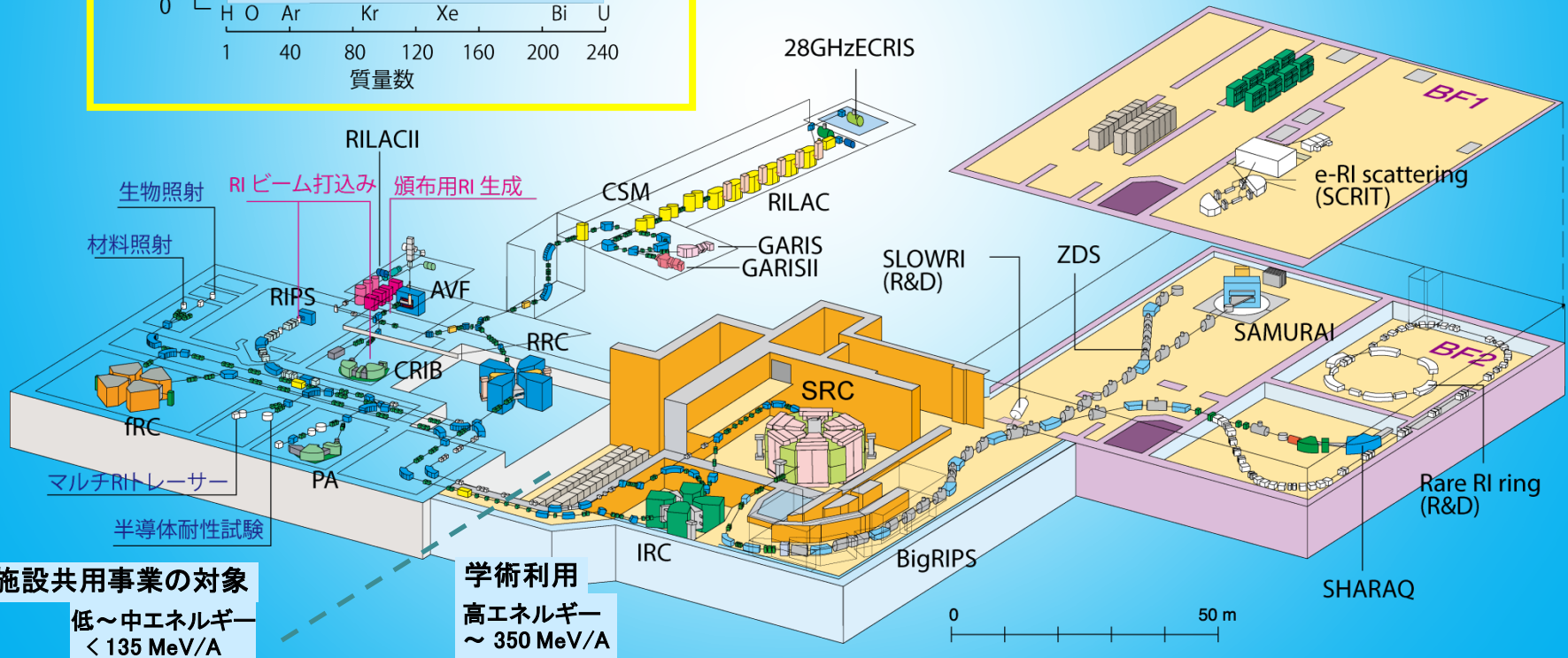
RIBF施設共用促進事業  
高エネルギー重イオン・RIビーム応用研究の推進



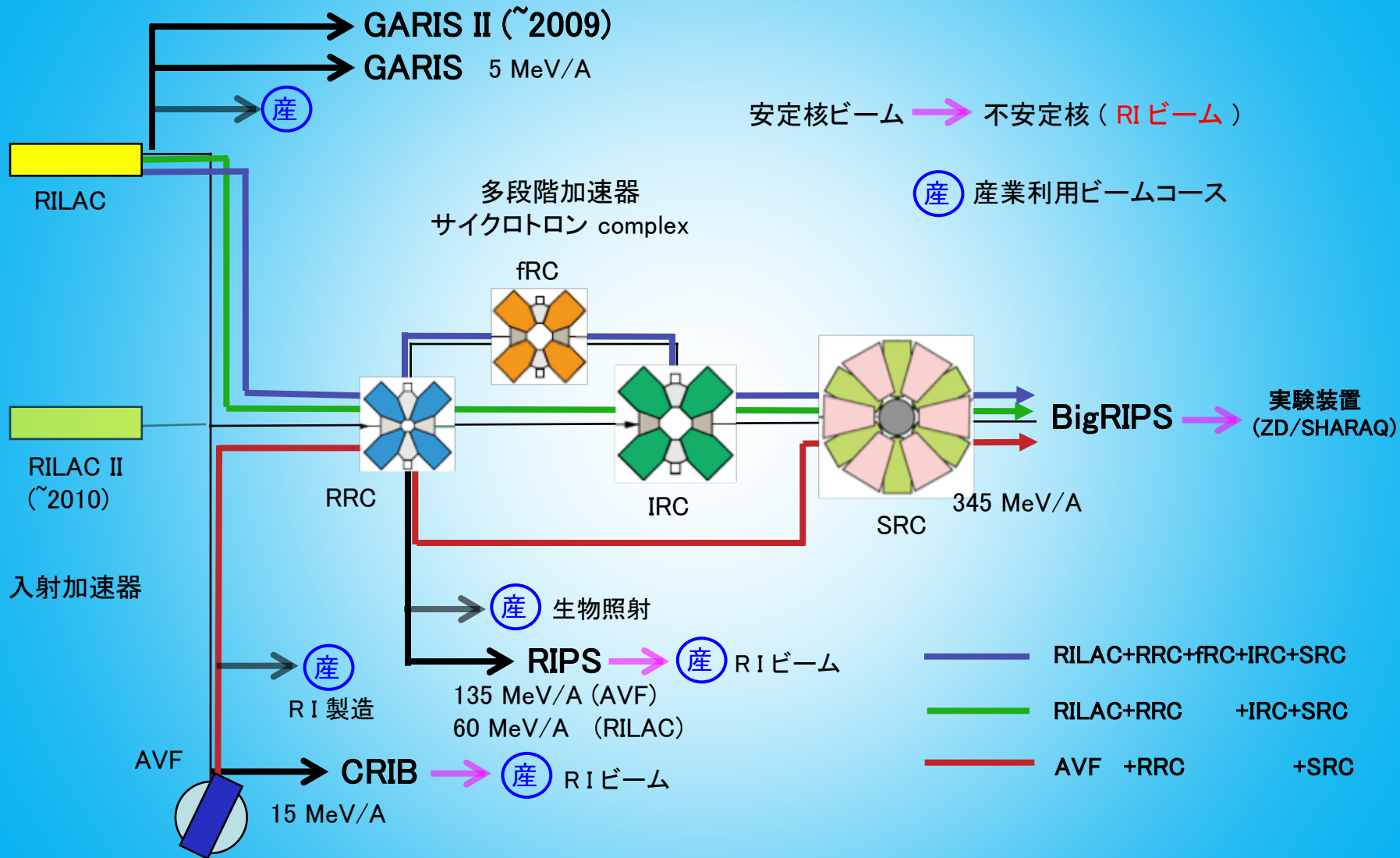
仁科加速器センター RIビームファクトリー (RIBF) では、

- \* 世界最高水準の重イオン加速器群を用いて
- \* 水素～ウランまでの重イオンビームを
- \* **世界1番のビーム強度 ( $6 \times 10^{12}$  個/秒)** で供給可能です。

重イオンビームから生成される「大強度RIビーム」を用いて、  
施設共用促進事業 も行っています。



# RIBF 加速スキーム

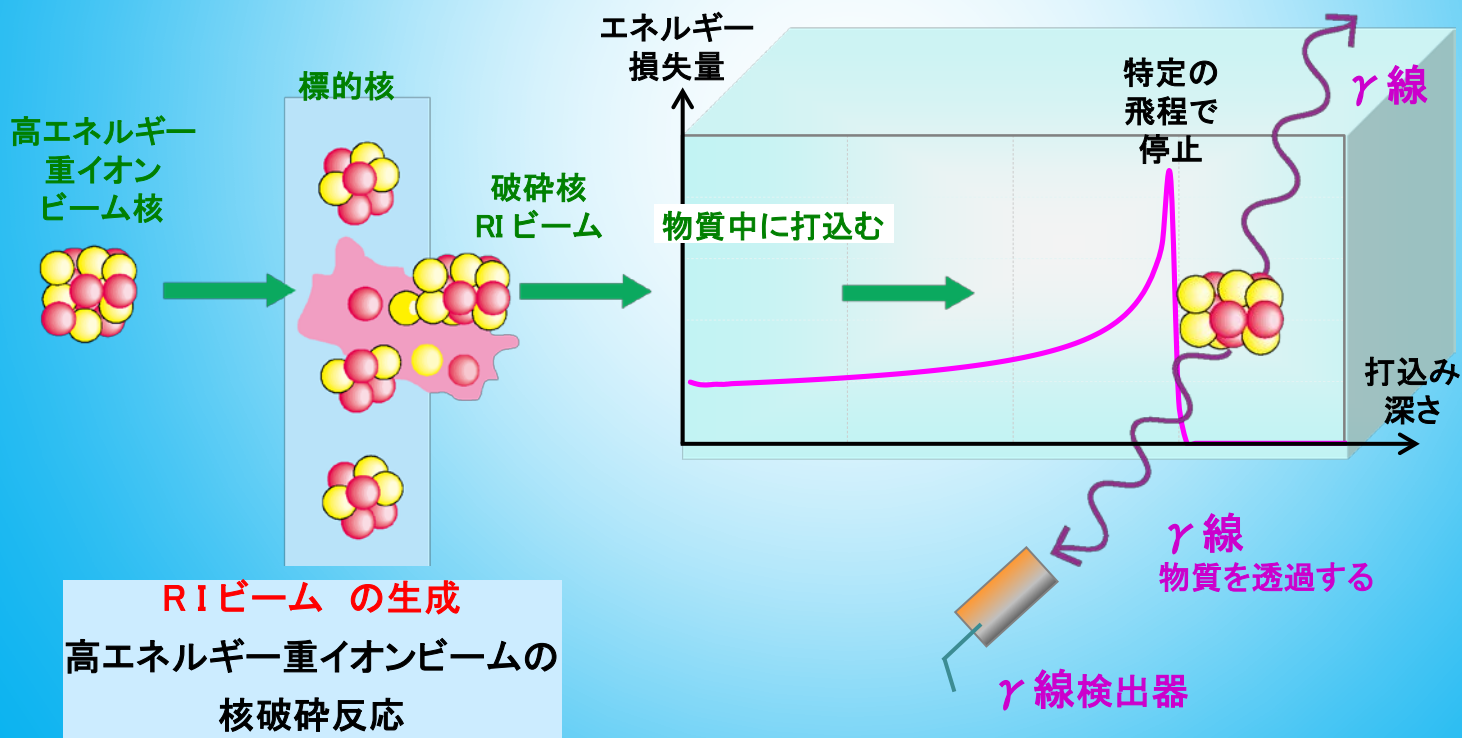




## 放射性同位体 Radio Isotope (RI) ビーム

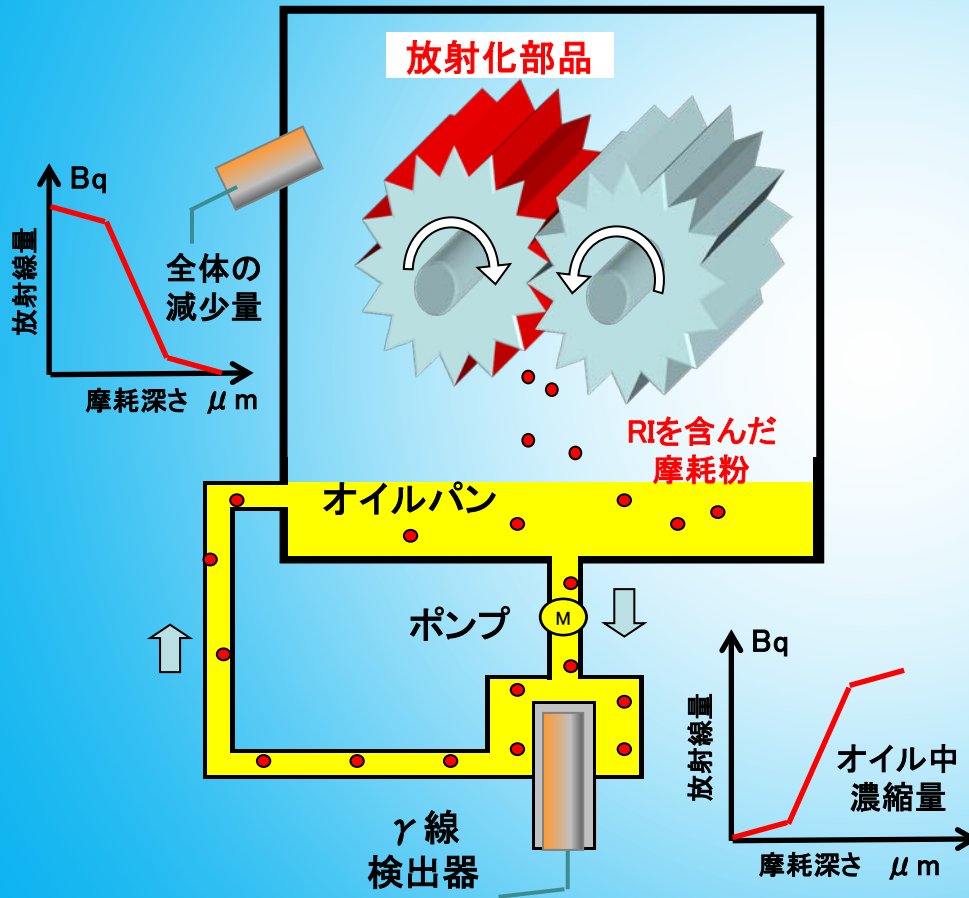
### RIビームの特徴

- \* 化学的性質は安定同位体と全く同じ。
- \* 透過性のある $\gamma$ 線を出しながら壊変する。
- \* トレーサーとして、微量分析に使える。
- \* 特定の深さに打込める。





## RIトレーサーを用いた オンライン摩耗試験法



### 《 利点 》

- \* 装置の内部部品を、稼働状態で、リアルタイム測定
- \* 測定時間の短縮  
分解・洗浄・計測が不要  
運転条件を変化させながら測定可能
- \* 高感度・高精度  
微量摩耗  $<1 \mu\text{m}/\text{hour}$  も測定可能

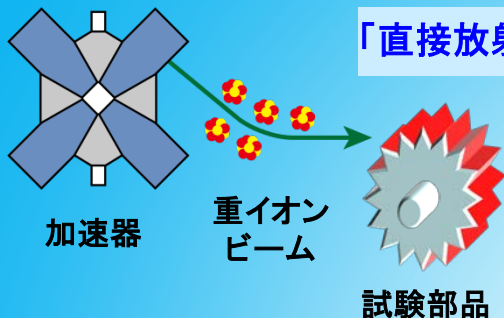
### 《 応用例 》

- \* 自動車；エンジンシリンダー、ブレーキ…
- \* 駆動機；シャフト、ベアリング、ギア…
- \* 潤滑油特性試験



《 従来の放射化手法 》

「直接放射化法」: 部品にイオンビームを直接照射して放射化していた



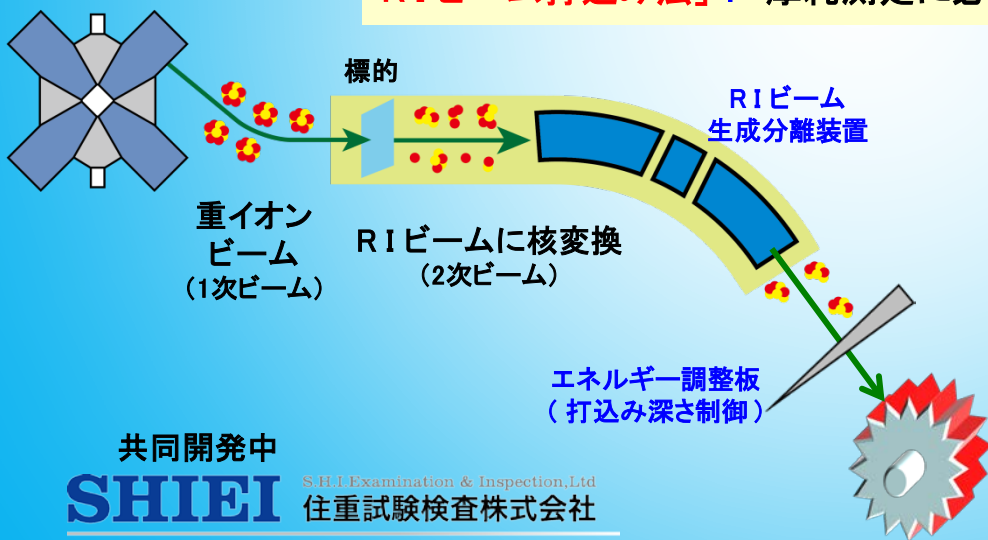
例) p, d, 3He 等 10~20MeV ビームを金属部品に照射

部品組成	<sup>56</sup> Fe	<sup>27</sup> Al	<sup>65</sup> Cu	<sup>52</sup> Cr	<sup>48</sup> Ti	<sup>120</sup> Sn
生成RI	<sup>56</sup> Co	<sup>22</sup> Na	<sup>65</sup> Zn	<sup>51</sup> Cr	<sup>48</sup> V	<sup>120m</sup> Sb
半減期	78.8d	2.6y	244.1d	27.7d	16.0d	5.8d

- \* 部品材質の組成に制約があった  
長寿命 RI を生成可能な「金属素材」のみ
- \* 合金等では妨害核種も生成されてしまう
- \* RI 濃度の深さ制御が困難。
- \* 放射化時の局所発熱 (数100W) や、放射線損傷による材料の劣化。

《 新手法の開発 》

「RIビーム打込み法」: 摩耗測定に必要な RI のみを、ビームとして注入

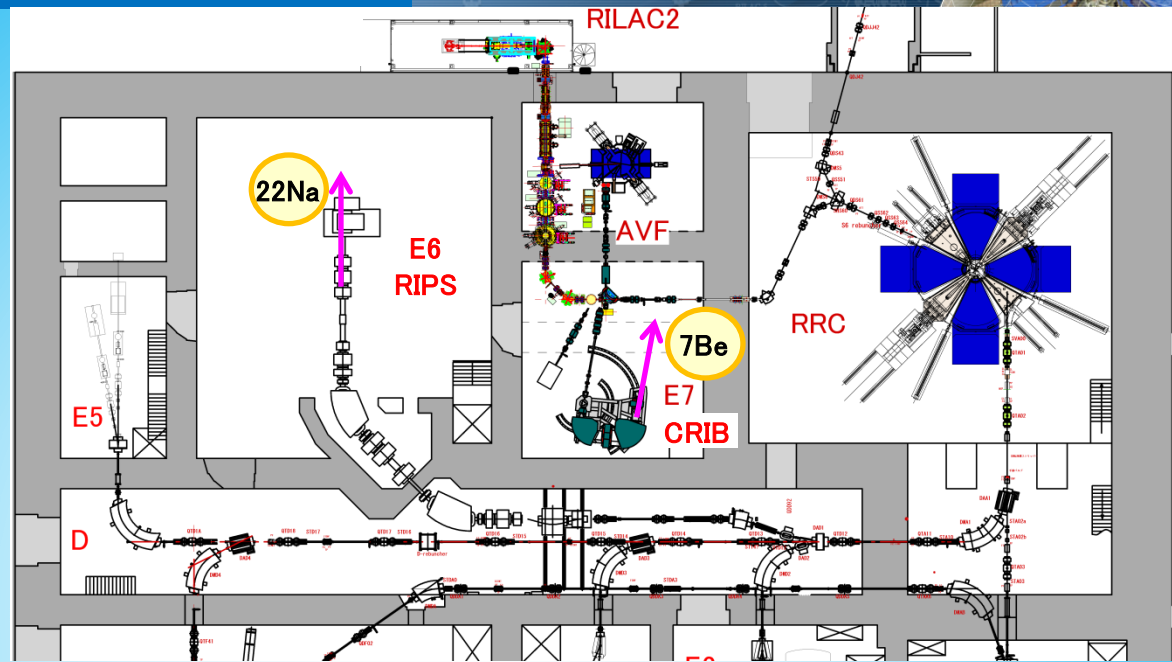


(特長)

- 部品材質に制約無し  
→ プラスチック、樹脂、セラミック材等も可能
- 妨害核種なく、RI 核種を選べる  
→ 長寿命: 長期試験用  
短寿命: 高放射能で高精度の摩耗試験  
流体観察も可能
- 打込み深さを制御できる
- 非破壊で部品への損傷が少ない
- 大気圧環境下で注入可能

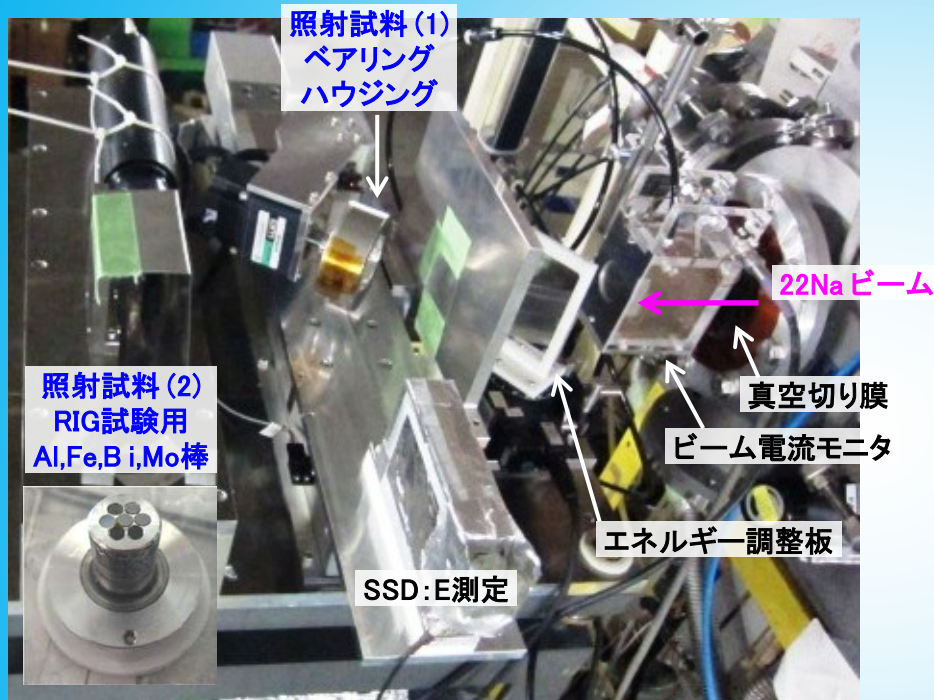
世界1番の  
RIビーム強度

長寿命 RIビーム  
供給 (例)



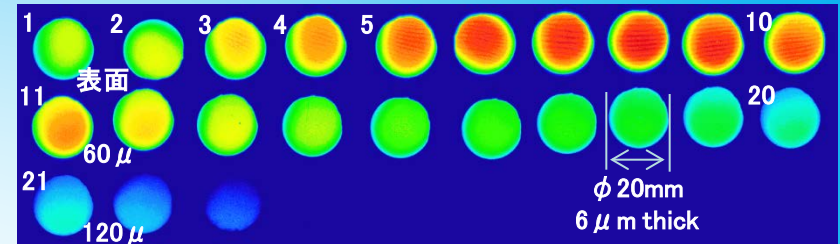
	22Na : E6-RIPS	7Be : E7-CRIB	
1次ビーム	$^{23}\text{Na}^{11+}$ 63.4MeV/u $\sim 1\mu\text{A}$	$^7\text{Li}^{2+}$ 5.7MeV/u $\sim 1\mu\text{A}$	
生成標的 ; 核反応	Be 1.5mm ; 核破碎反応	H2ガス 90K 1atm ; $p(^7\text{Li}, ^7\text{Be})n$	
2次ビーム(RIビーム)	26.6MeV/u $1.5 \times 10^8 \text{cps}$ $\phi \sim 3\text{cm}$	4.1 MeV/u $1.9 \times 10^8 \text{cps}$ $\phi \sim 1\text{cm}$	真空中で
RIビーム純度・混入RI	22Na(100%)	7Be(80%) 6Li(20%)	真空中で
RI寿命	2.60 y	53.2 d	
崩壊時放出放射線	$\gamma$ 1274.5keV (99.96%), $\gamma$ 511keV	$\gamma$ 477.6keV (10.52%)	
照射環境	in Air 27cm	He (1 atm) 14cm ; 6Li stopped	
崩壊強度(実績値)	4~6 kBq/1h 照射	9~11 kBq/1h 照射	in $\phi$ 16mm
最大飛程(AI材中)	$\sim 685 \mu\text{m}$	$\sim 67 \mu\text{m}$	真空中で
最少飛程幅 (dP/P= $\pm 3\%$ )	$\sim \pm 8 \mu\text{m}$	$\sim \pm 1.5 \mu\text{m}$	(計算値)
使い分け 対象:	金属材料等 長期間試験向き	プラスチック材等 短期間試験要。放射線損傷が少ない	
利用加速器	RILAC+RRC	AVF	
ビーム料金	10.5x24+16= 268万/日	1.56x24+16= 53万/日	

トライアル利用:  $^{22}\text{Na}$  を試料表面 $\sim 100\ \mu\text{m}$ に注入する試験

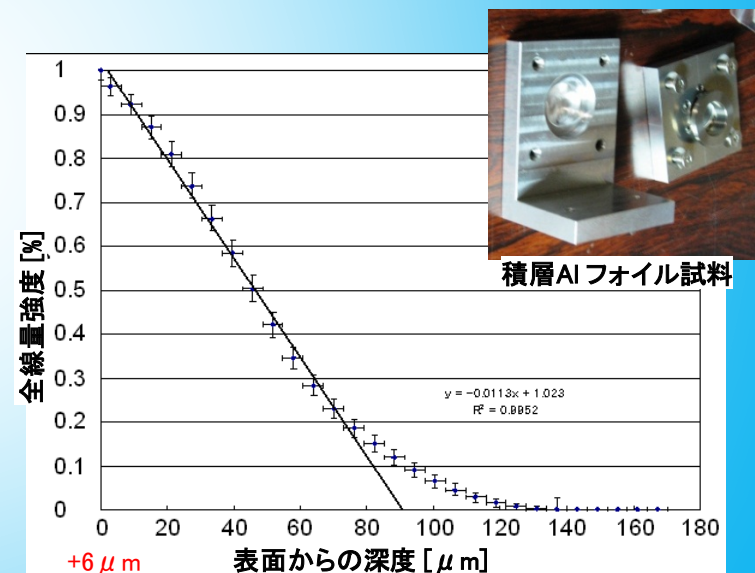


- \* 最大飛程  $\sim 650\ \mu\text{m}$ (真空)、 $100\ \mu\text{m}$ (大気)
- \* 大気中照射 大型部品の照射も可能

## 深さ方向の RI 強度分布測定



積層Al フォイル の イメージングプレート像 (住重試験(株) 測定)



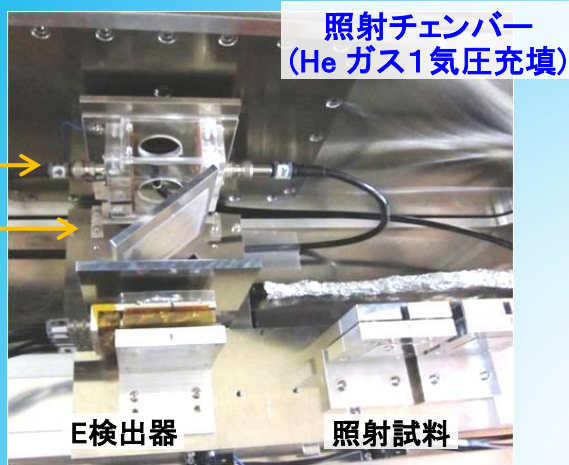
## 結果

- \* 注入量:  $2 \times 10^8\ \text{cps} \times 26\ \text{時間照射} = 172\ \text{kBq}$
- \* 深さ方向濃度: 全線量強度比は  $80\ \mu\text{m}$ までほぼ直線

## 成果公開

- T.Kambara et.al, AIP Conf. Proc. 1412, 423(2011)
- R.Uemoto et.al, 自動車技術会2011年春季大会, 143-20115142





照射チェンバー  
(He ガス1気圧充填)

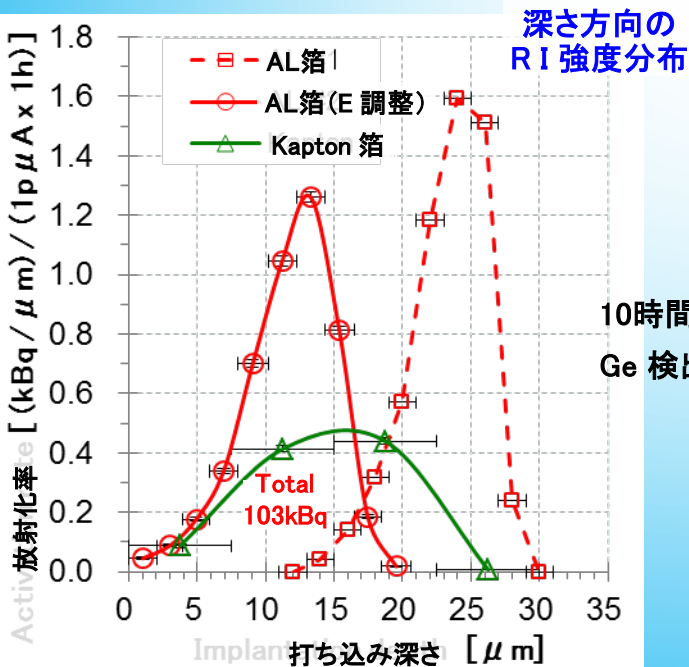
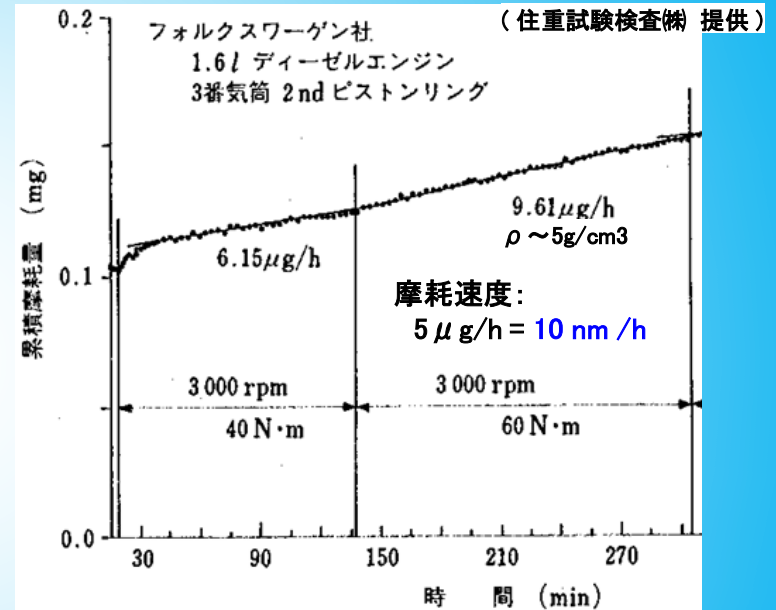
電流モニタ

エネルギー調整板

E検出器

照射試料

「直接放射化法」で測定した  
エンジン・ピストンリングの摩耗量



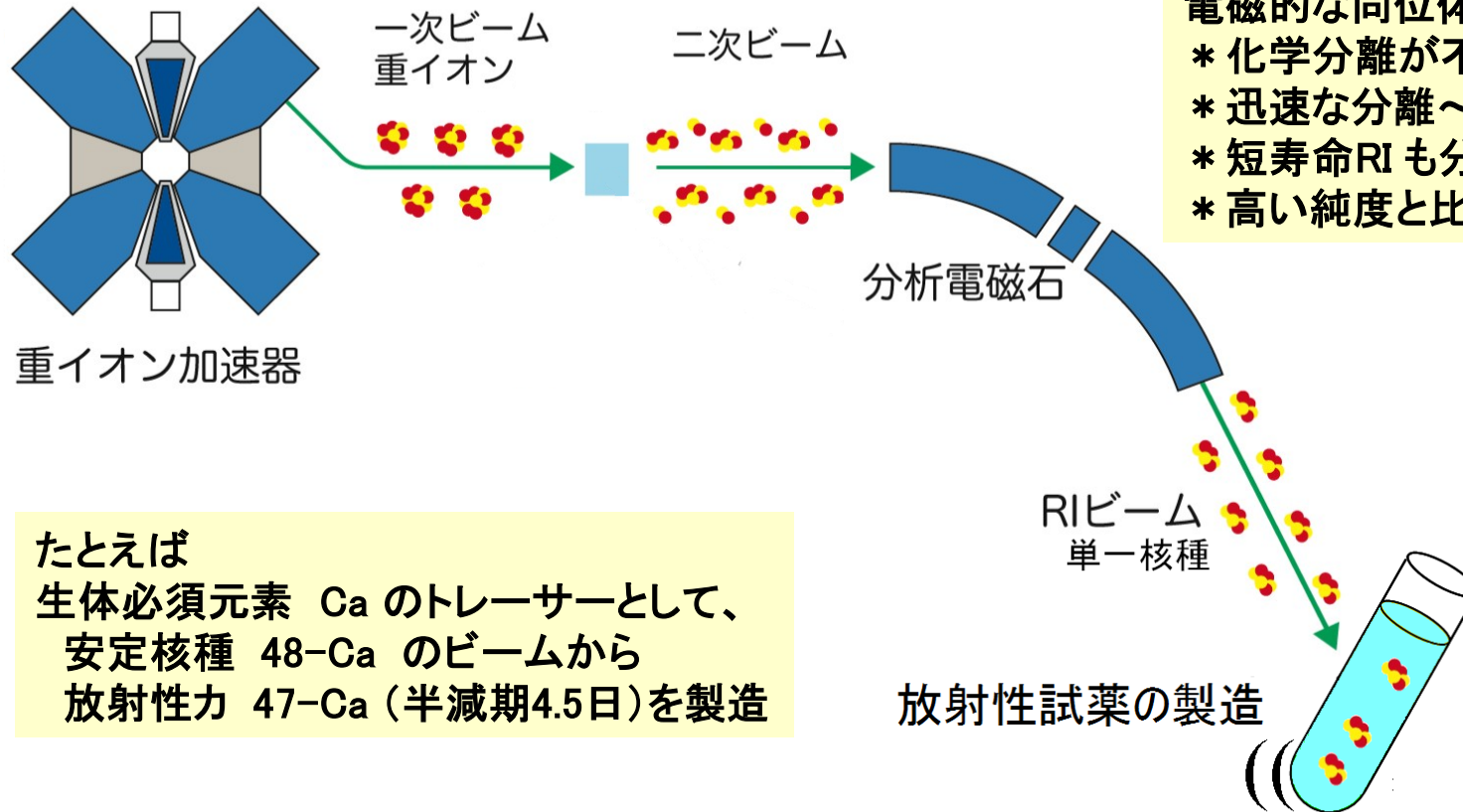
10時間照射で、Peak 線量 ~ 13 kBq / μm

Ge 検出器 (効率 1%) で、10分毎に摩耗量を測定する場合、

検出感度 ~ 20 nm / 10 min測定 が可能  
→ 従来法の「直接放射化法」と、  
同程度の感度まで達成できている。



核破碎反応では、  
他の方法で作れない RI 核種を生成できる



電磁的な同位体分離なので

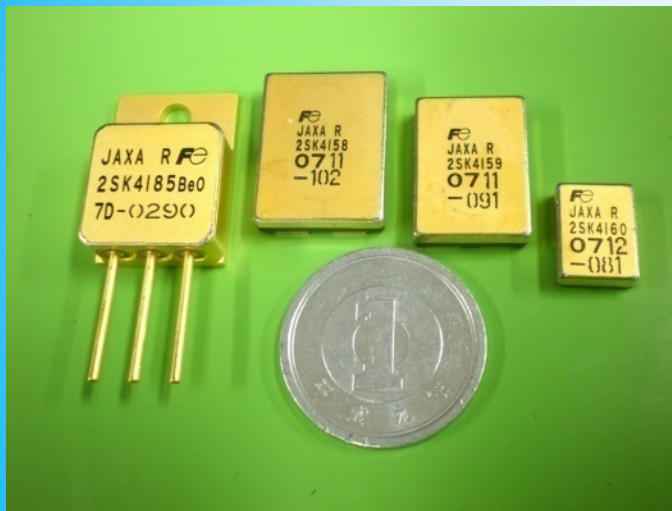
- \* 化学分離が不要
- \* 迅速な分離  $\sim \mu \text{sec}$
- \* 短寿命RI も分離可能
- \* 高い純度と比放射能

たとえば  
生体必須元素 Ca のトレーサーとして、  
安定核種  $48\text{-Ca}$  のビームから  
放射性カ  $47\text{-Ca}$  (半減期4.5日)を製造

放射性試薬の製造  
溶液にRIを直接注入・合成

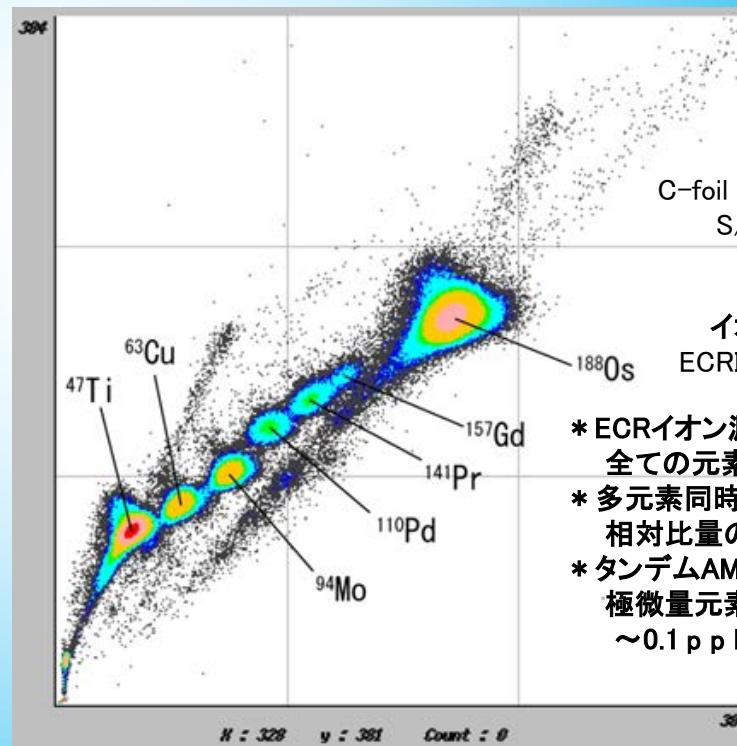


## 宇宙用 パワー MOSFET の 照射試験



重イオンビーム  
Kr 36 MeV/A 等 で  
宇宙放射線を  
シミュレーション

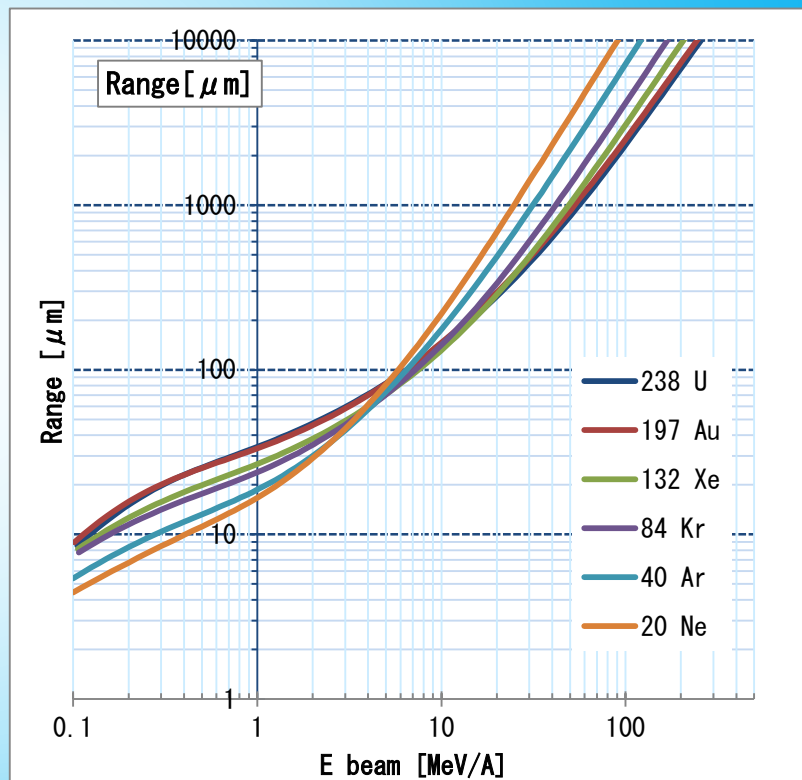
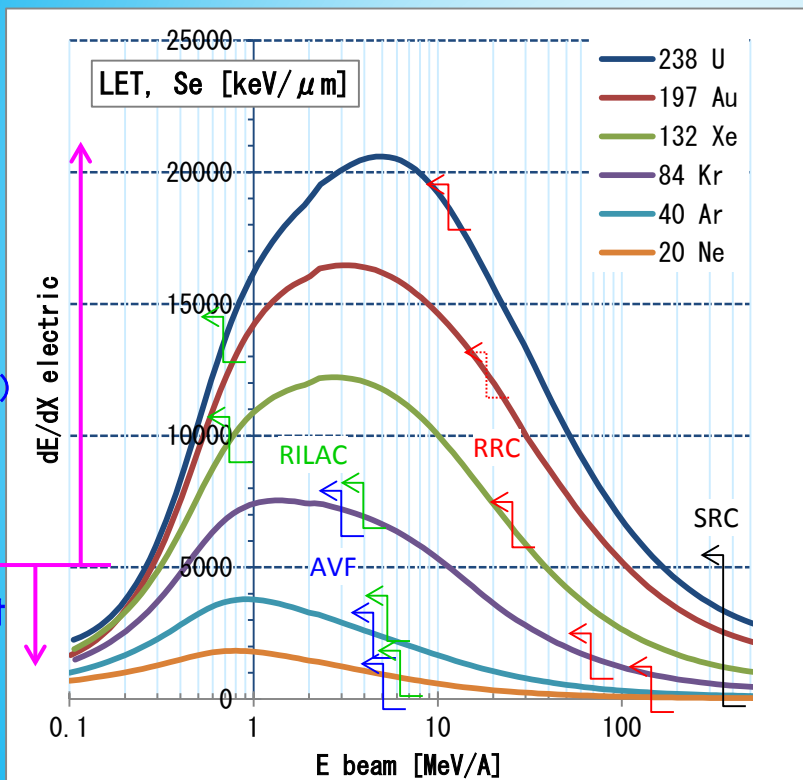
## 極微量元素のAMS分析



# LET, Se [keV/μm] electric stopping power

in Kapton

SRIM-2006計算



凡例)  RRC加速のエネルギー

# 施設利用 料金



本事業HP <http://ribf.riken.jp/sisetu-kyoyo/>

課題種別		施設種別	イオン種類	E MeV/u	ビームコース	実験施設構成別利用費 円 / 時間 (万円 / 日)	消耗品費
有償利用	1次ビーム (低エネ)	AVF単独	軽・重	4~11	a)	15,600円 (= 37万円)	施設消耗品 6,600円/時 = 16万円/日  実験消耗品 (課題毎に 個別契約)
		RILAC単独	重	< 4	b)	34,500円 (= 83 )	
	1次ビーム (中高エネ)	AVF+RRC	軽・重	< 135	c)	60,200円 (= 145 )	
		RILAC+RRC	重	< 80	c)	83,000円 (= 199 )	
	RIビーム (核破碎反応)	AVF+RRC+RIPS	RI	< ~ 100	d)	82,000円 (= 197 )	
RILAC+RRC+RIPS		RI	< ~ 50	d)	105,000円 (= 252 )		
トライアル	免除 (最大2回まで)						

重イオン線型加速器  
(RILAC)

a) AVF実験コース  
照射、RI製造

c) E5コース  
大気中照射装置  
真空中照射装置

d) RIPSコース  
RIビーム利用

