

RIビームで、 オンライン精密摩耗量測定 ～ 摩耗のイメージング ～

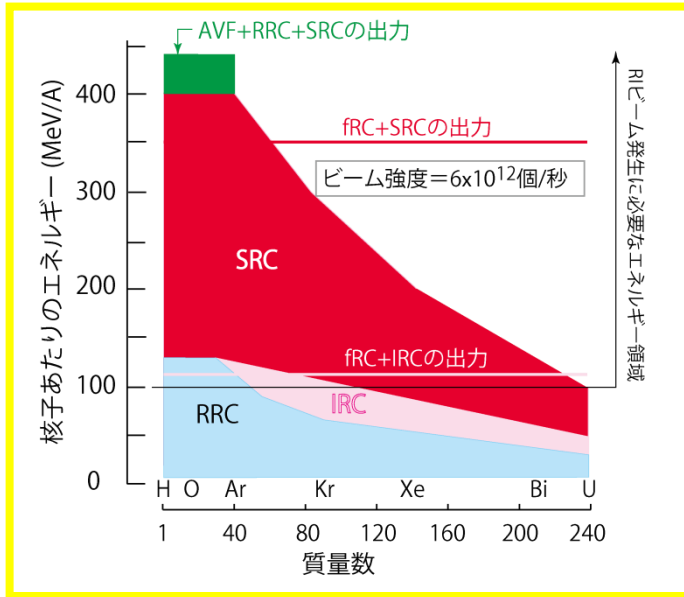
国立研究開発法人 理化学研究所 仁科加速器研究センター
産業連携チーム T.L. 吉田 敦、神原 正

《協力》 住重試験検査(株)、東大原子核科学研究センター(CNS)

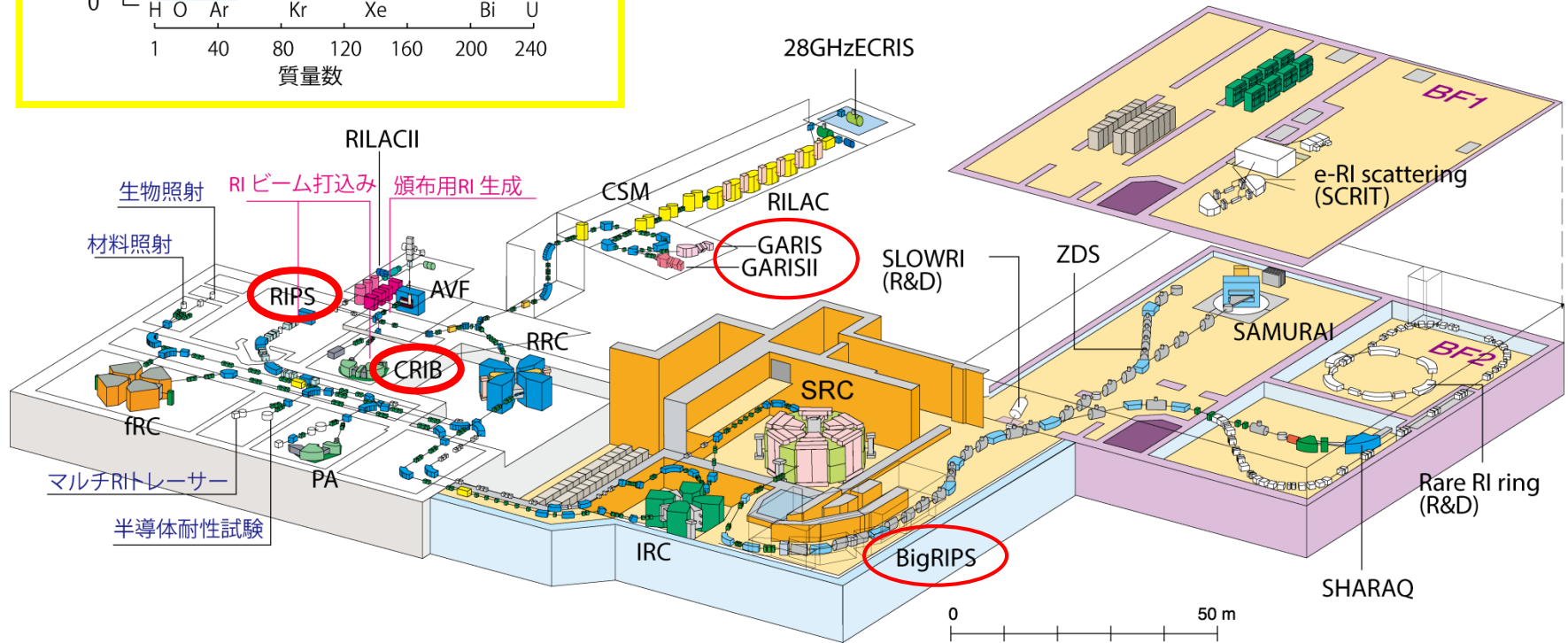


RI ビームファクトリー (RIBF)

- 世界最高水準 の 加速器群
- 水素 ~ ウランまでの 重イオンビーム
- 大ビーム強度 で供給

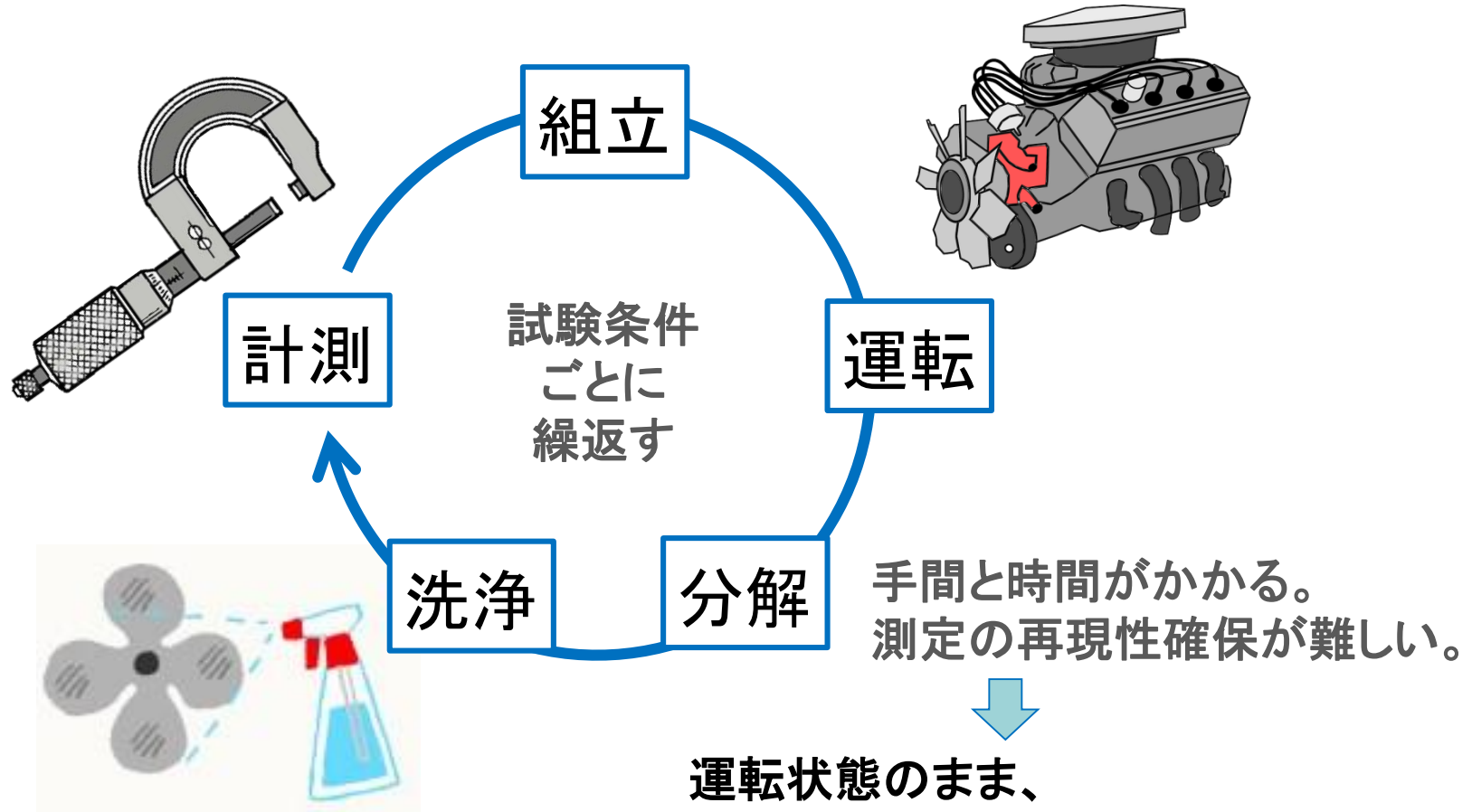


RI ビーム供給施設





例) エンジン部品の場合…



運転状態のまま、
オンライン・リアルタイムで測定したい

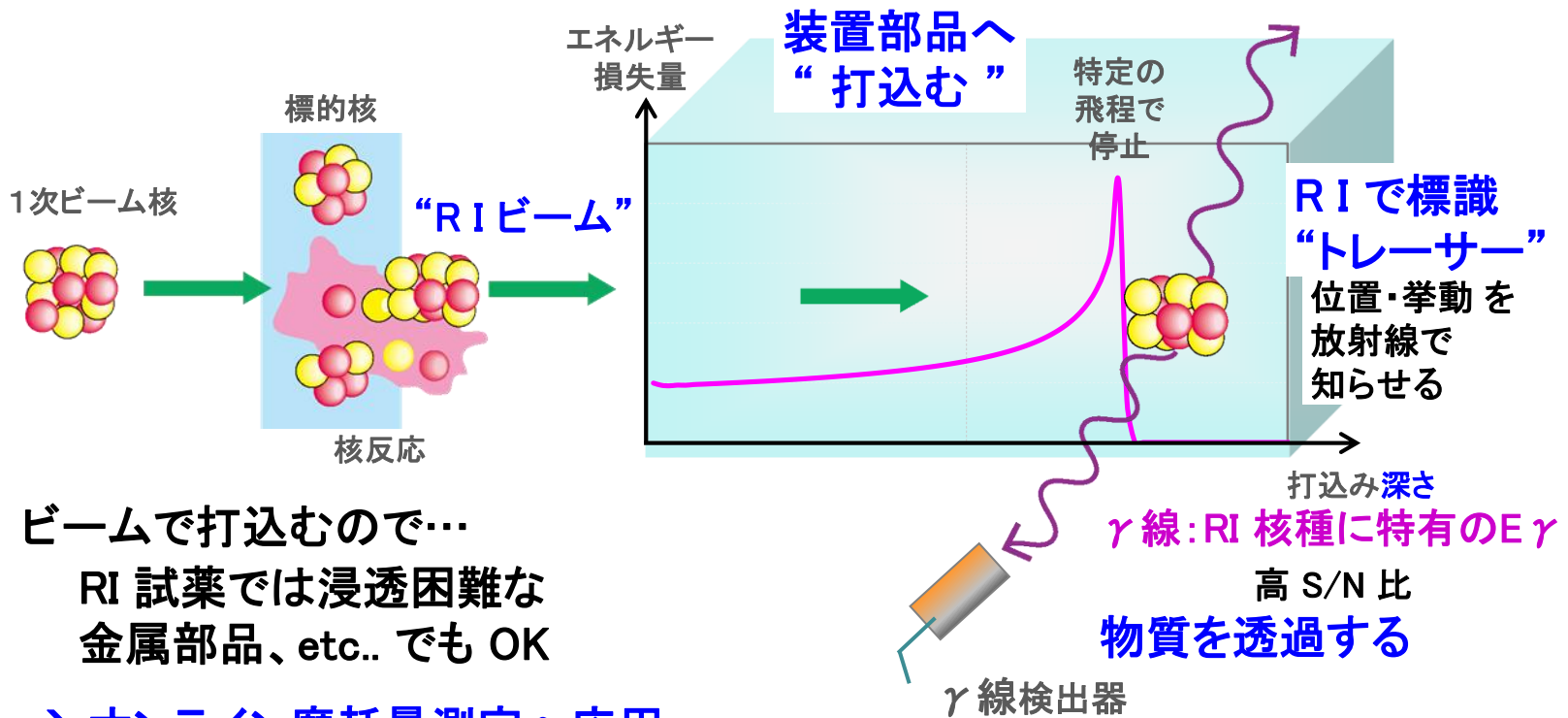
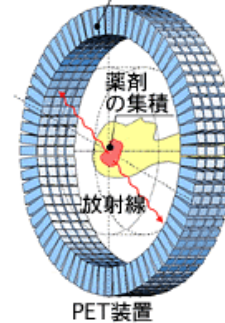
例) RIトレーサーを用いた 摩耗量測定



図出典
NIRS.go.jp

放射性同位体 Radio Isotope (RI)

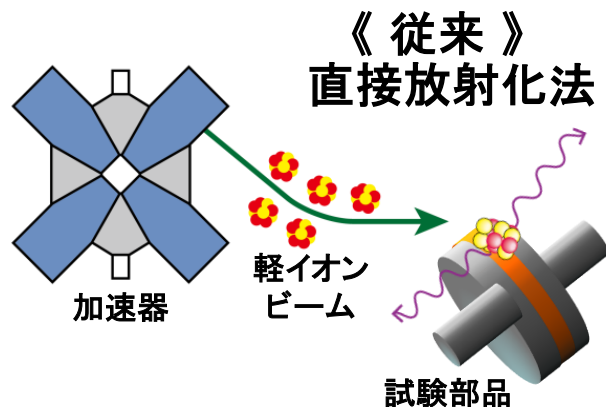
RI 試薬
(液体)



ビームで打込むので…
RI 試薬では浸透困難な
金属部品、etc.. でも OK

→ オンライン摩耗量測定へ応用

“トレーサー注入” = “放射化”



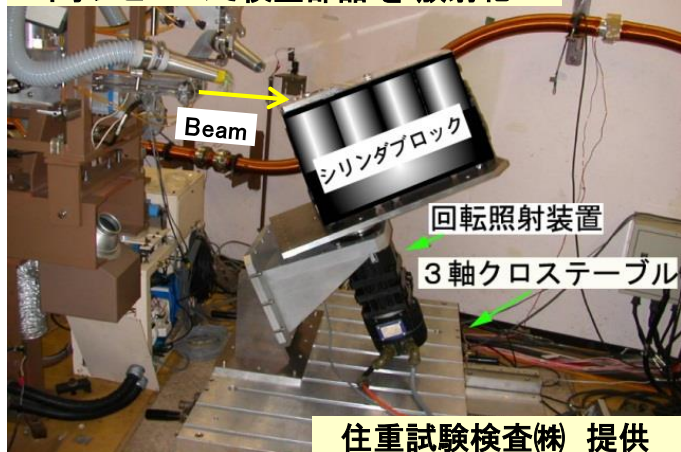
➤ 摩耗試験に適した RIトレーサー とは、

- **長寿命** : 数か月 ~ 数年 ← 試験時間
- **注入** : **摩耗表面付近に濃く**

➤ 従来法 の 問題点

- 部品材質に制約
金属素材に限る ← 長寿命 RI 生成
合金材は不適 な場合あり ← 妨害核種も生成
- 注入に制約
発熱・放射線損傷 ← 強いビームで放射化
深さ制御困難 ← 部品全体が放射化

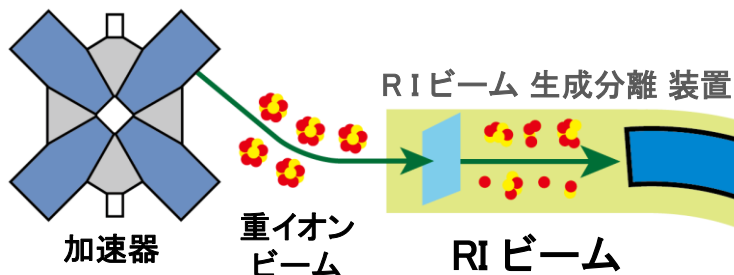
イオンビームで検査部品を放射化



《 新手法 》 RIビーム放射化法

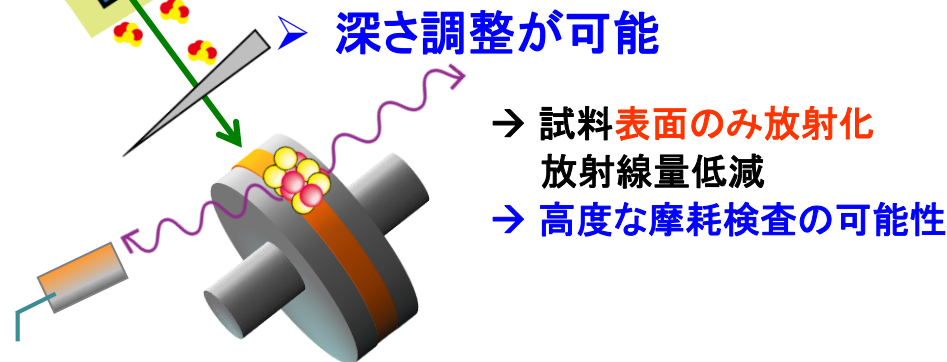
➤ RIレーザーのみ 注入

- ビーム量 4~5桁少ない
→ 材料損傷低減
→ B.Gフリーで、高 S/N 比の極微量分析
- 部品材質に制約無し
→ 樹脂、セラミック、DLC も可能



➤ 有用な RI 核種を選べる

RI 核種	22Na	7Be
寿命	2.6 年	53 日
深さ(Al 材中)	表面~40 μm	表面~70 μm
放射化率 1時間照射当り	~1 kBq	~10 kBq
用途	硬質材 長期試験用	軟質材 短期試験用



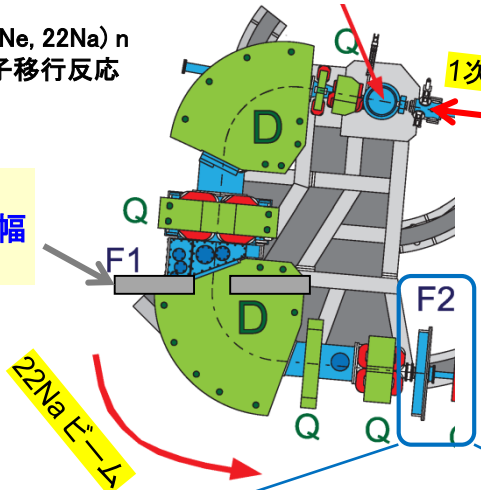


RI 生成装置 (CRIB)

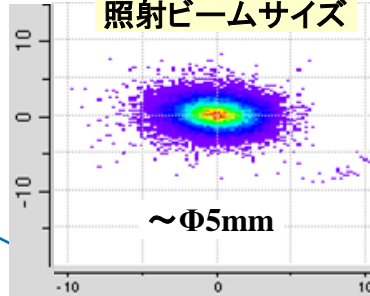
p (^{22}Ne , ^{22}Na) n
核子移行反応

1次ビーム ^{22}Ne

RI ビーム
エネルギー幅
スリット

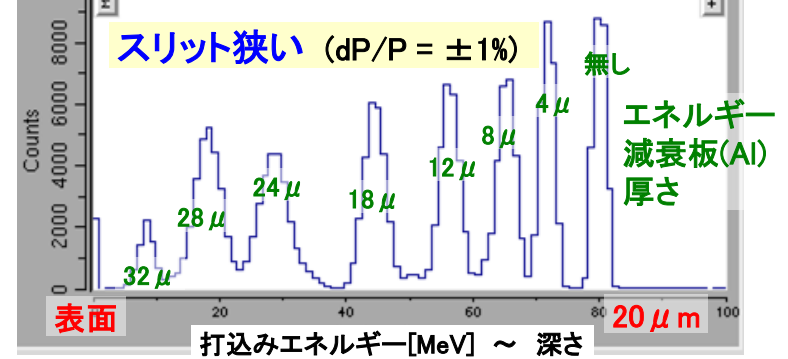


照射ビームサイズ

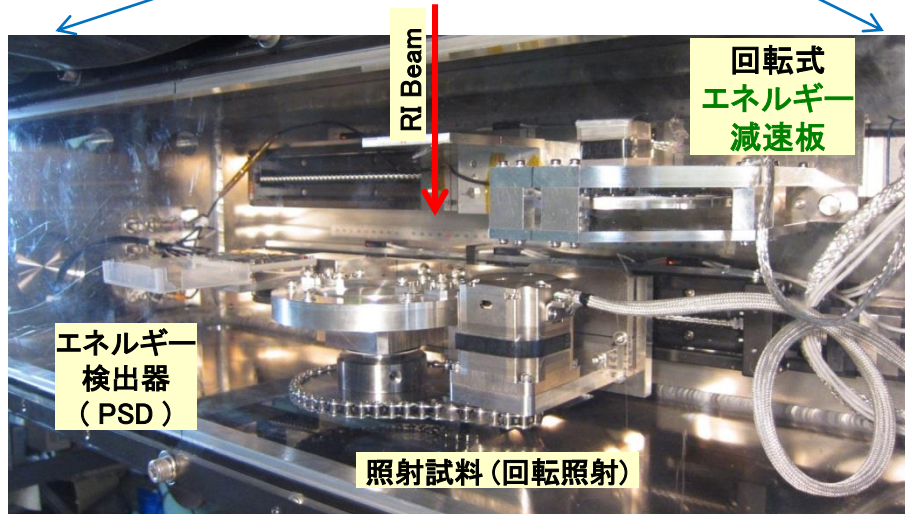
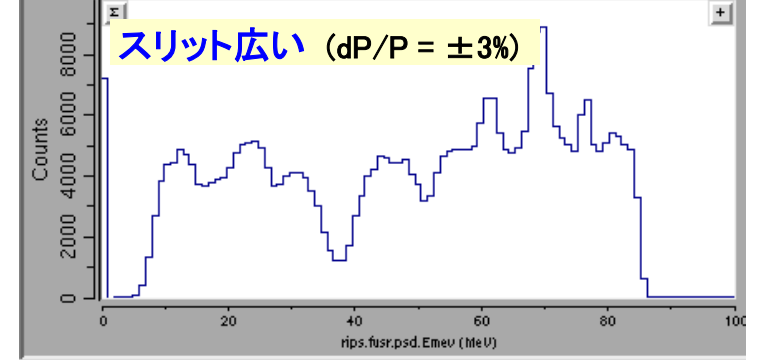


深さ当り
放射線量

パルス状深さ分布



平滑化深さ分布

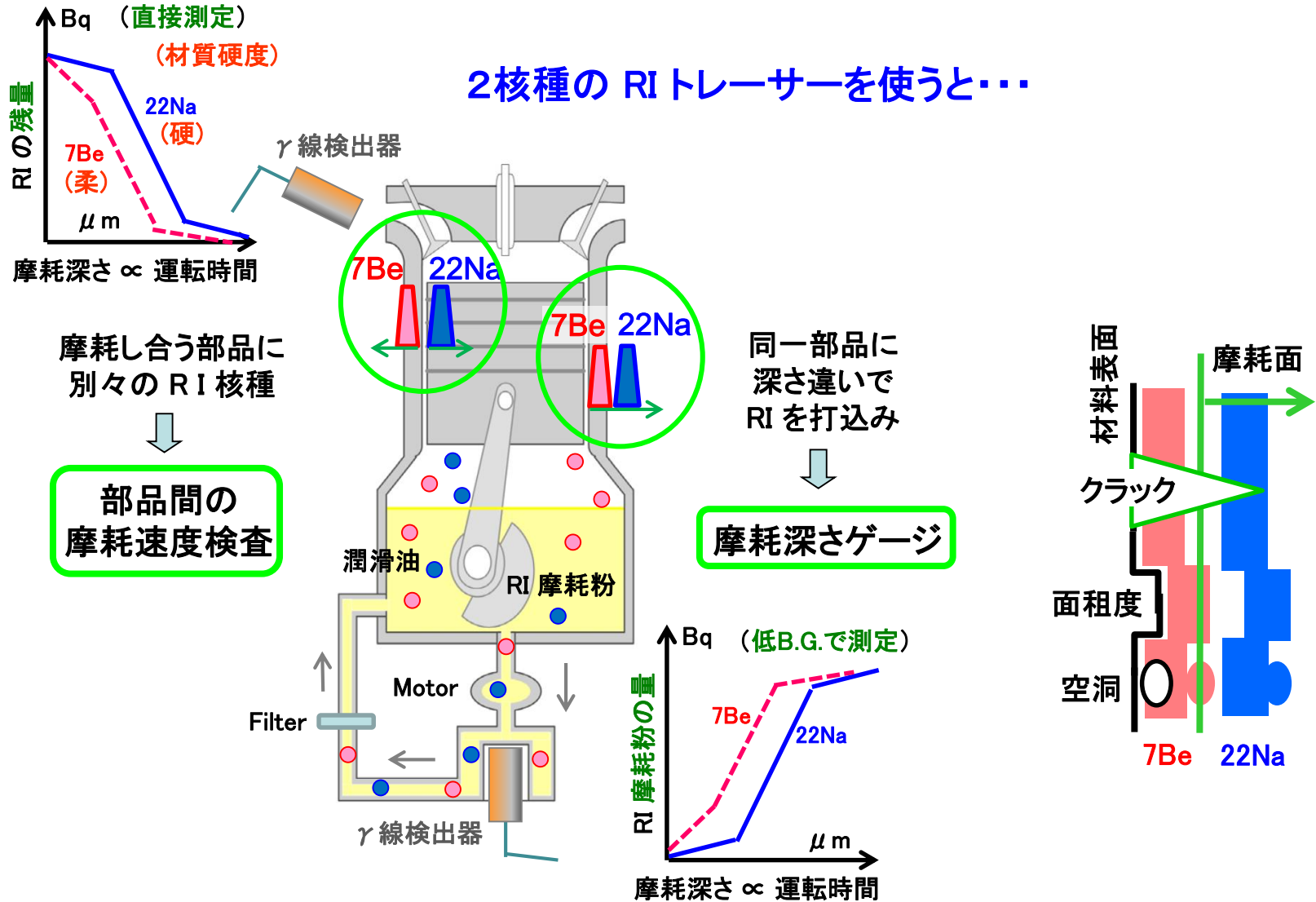


→ 打込み「深さ」と「深さ幅」の調整ができる

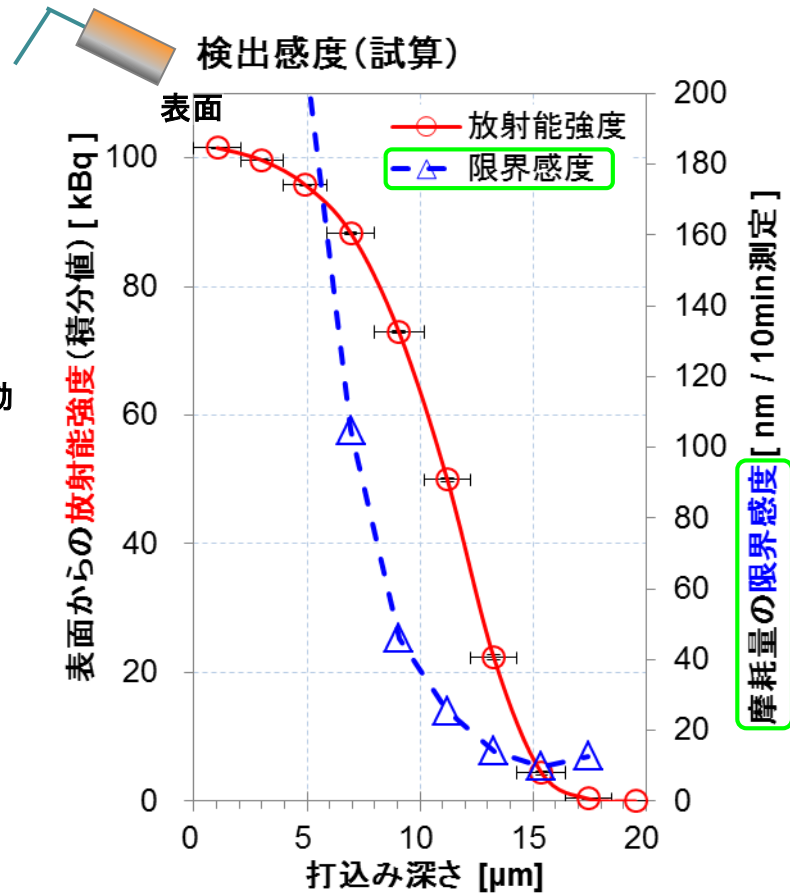
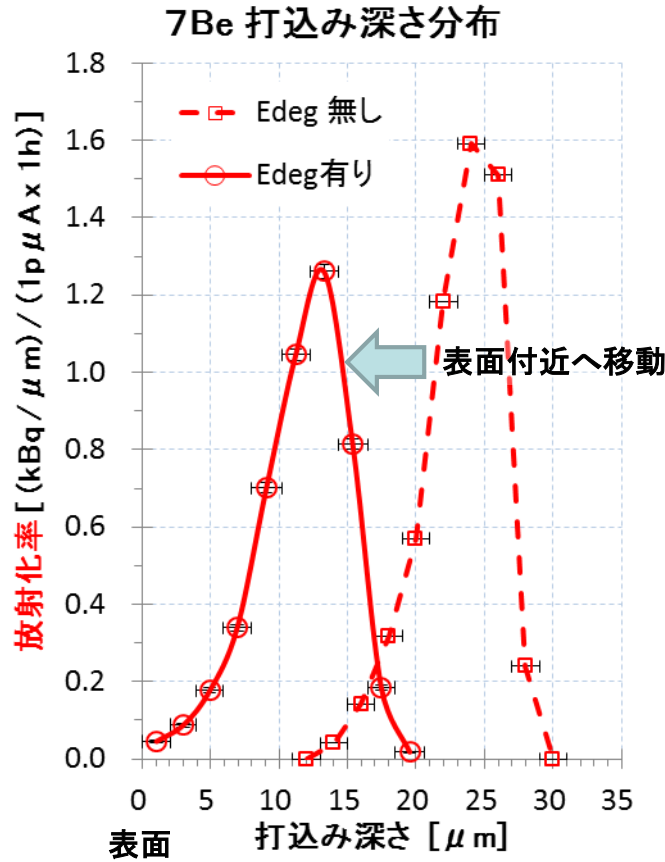


特開2015-155891

2核種の RI トレーサーを使うと...



例) エンジン・ピストン部の摩耗測定



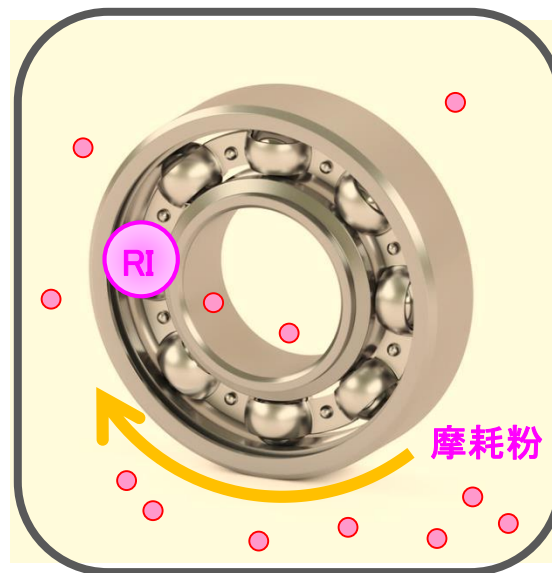
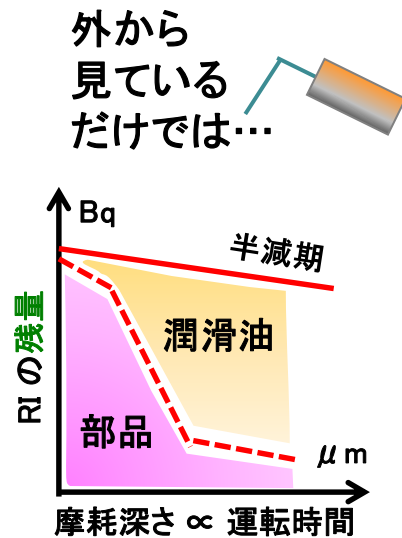
- 放射化率 (Peak値)
→ 10時間で ~ 13 kBq / μm

[Bq] ベクレル = 崩壊数
~ γ線の数 ∝ カウント数

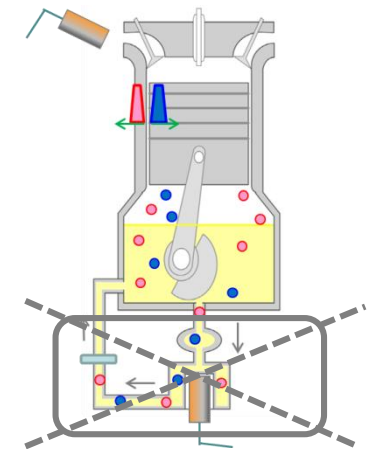
《試算》 Ge 検出器 (効率 1%) で、10分毎に摩耗量を測定する場合、
→ 検出感度 ~ 20 nm / 10 min測定 が可能

RIトレーサーを用いた、極微量分析の威力

《問題点》密閉装置の部品では …



例) ギアBox部品



(困難な例)

- 潤滑油が取り出せない場合
- 油の粘性が高い場合

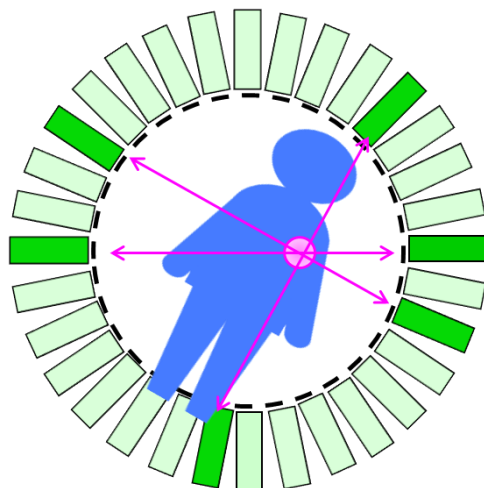


検査部品 と 潤滑油の放射能が、
全体の RI 減少量だけでは
区別できない。

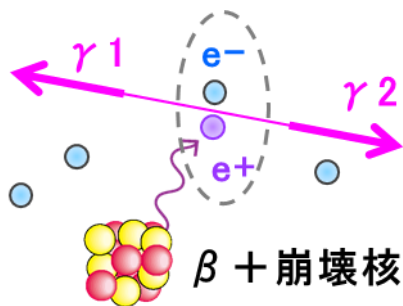


摩耗の観察に、
「イメージング」の力
を借りたい

RIイメージングの例 医療・PET診断 装置



患者 (静止) 検出器 (多数)

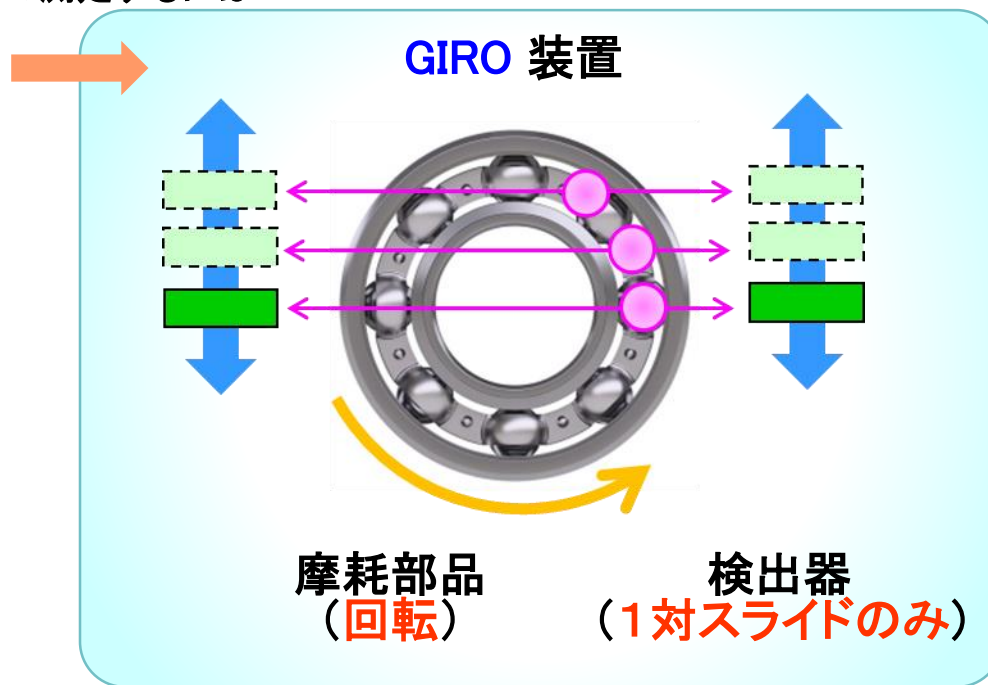


《 開発中 》 閉鎖回転装置の摩耗検査法

Gamma-ray Inspection of Rotational Object (GIRO)法

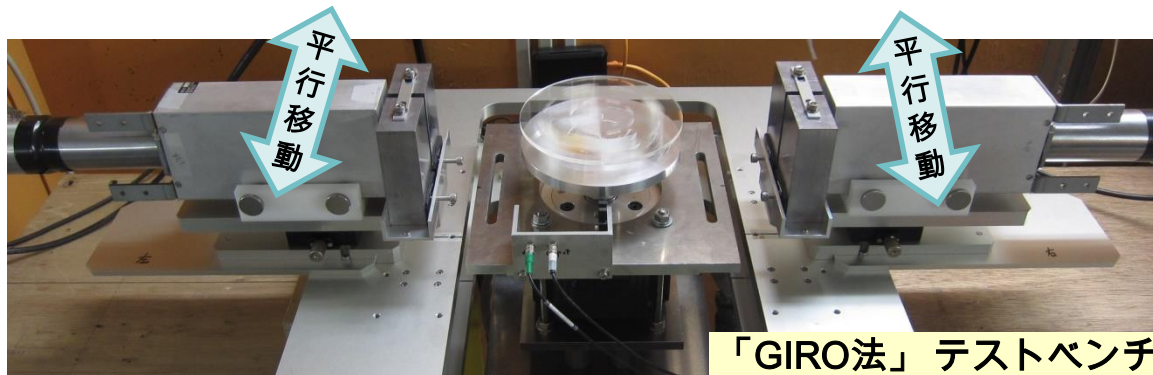
特開2015-158460 NIM A 797 (2015) 1-7
外部資金「NSKメカトロニクス技術高度化財団」

より簡易に 360° の
パノラマ測定するには…

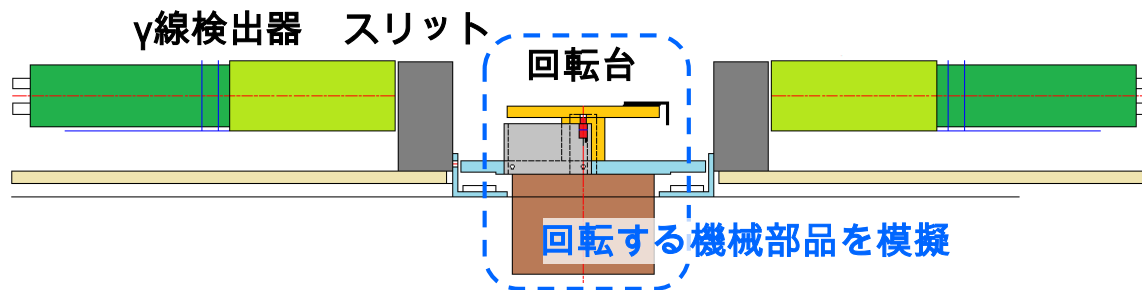


原理的には PET と同じ。

→ 画像化に同じアルゴリズムが使える。



← 25 cm →

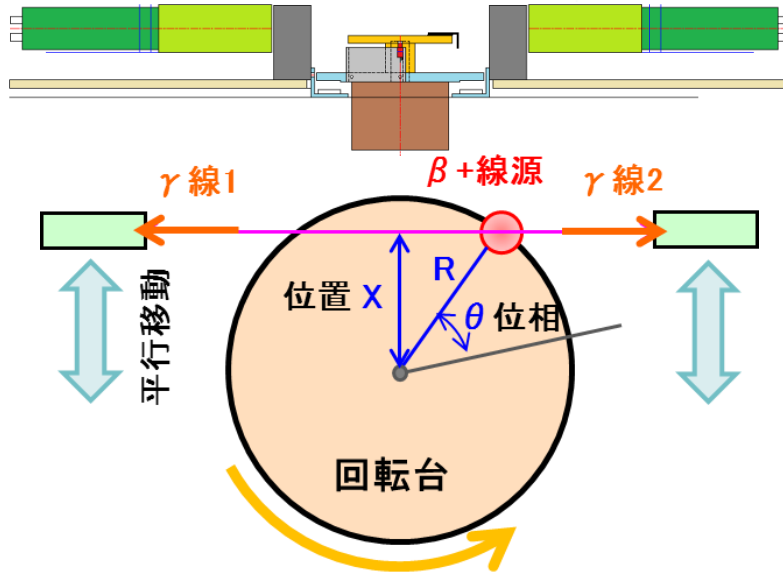


(特徴)

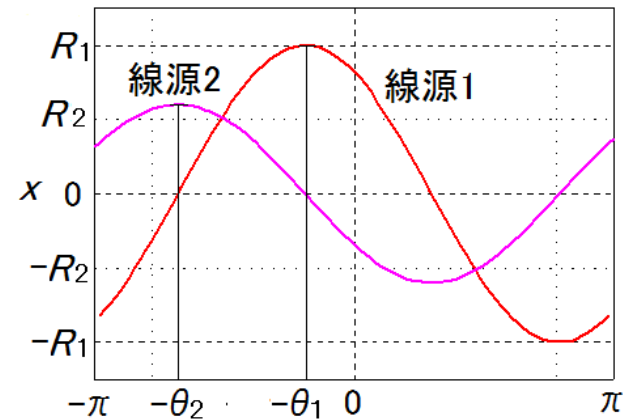
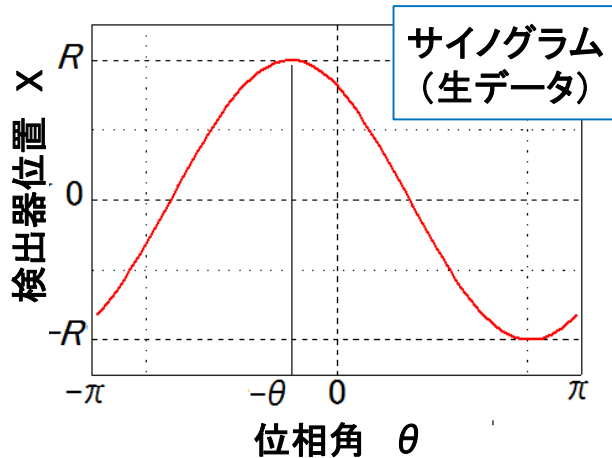
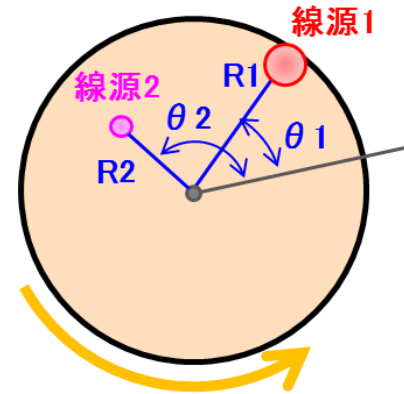
- 単純で安価な検出器
- 回転部品のサイズに合わせられる
- 高速回転でもOK

(制約)

- 周期的な回転体
- 2次元イメージング
- 変化がゆっくりした対象

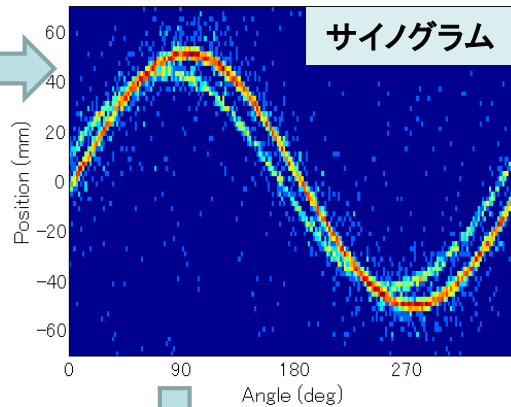
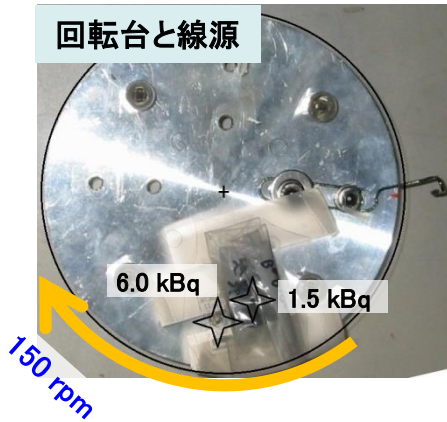


線源が複数の場合

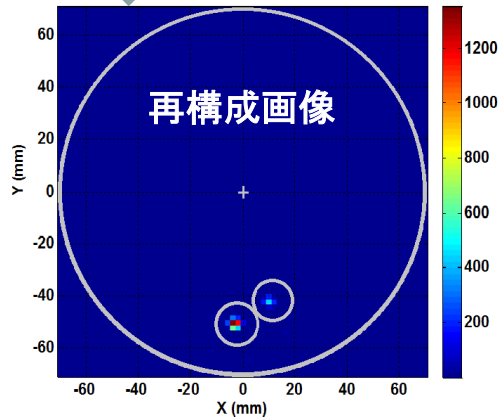
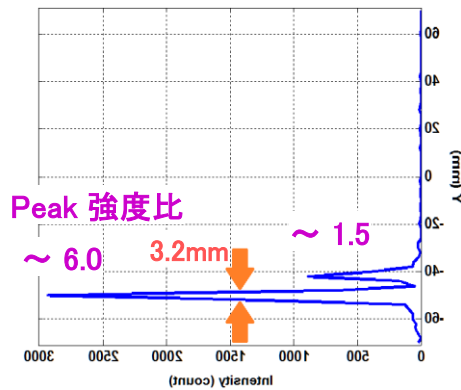


→測定したサイノグラムに
逆投影法 (画像処理) (PETと同じアルゴリズム)
を施して、元の画像を再構成する。

← Φ14cm →



逆投影 (ML-EM 法)



線源: Na-22 1.5 kBq と 6.0 kBq ~ φ2mm
 回転台: 直径14cm 回転速度 150rpm
 検出器: NaI シンチレータ2台、鉛スリット幅 6mm
 測定時間: 約24時間

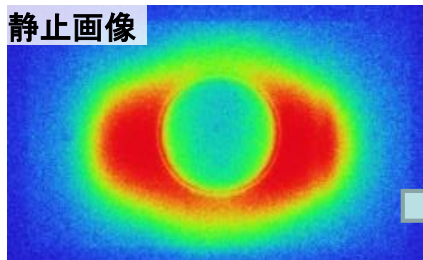
毎分2mm間隔で X=±70mmを走査

位置分解能 ~ スリット幅

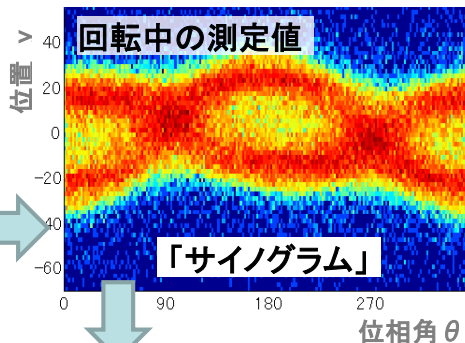
Peak 強度比 ~ 線源強度比

- 走査に時間がかかる...
医療用には向かないが、
長寿命RI を用いた摩耗検査には使えそう
- γ 線の同時計測時間は~ 10 μ 秒
→ “原理的”には
数万 rpm の高速回転体でも測定可能

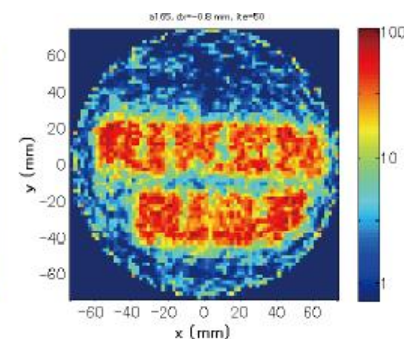
静止画像



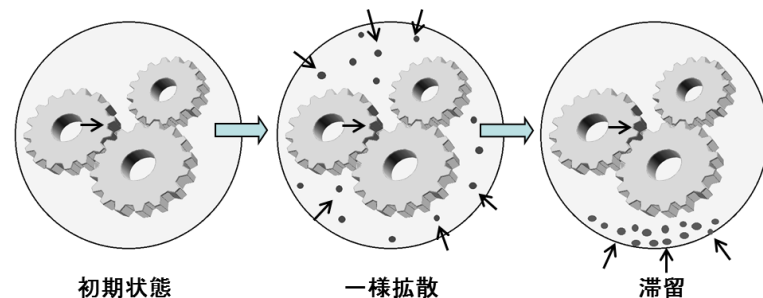
イメージングプレート画像



位相角 θ



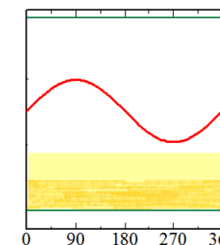
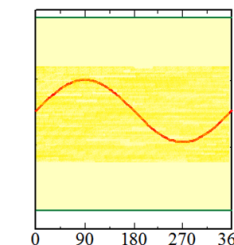
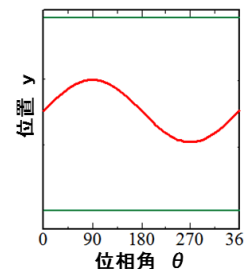
$^{89}\text{Y} (d, 2n) ^{89}\text{Zr} (T_{1/2} = 78\text{h}) \beta + 23\%$
文字型線源 1.2 MBq を 17 時間 測定



初期状態

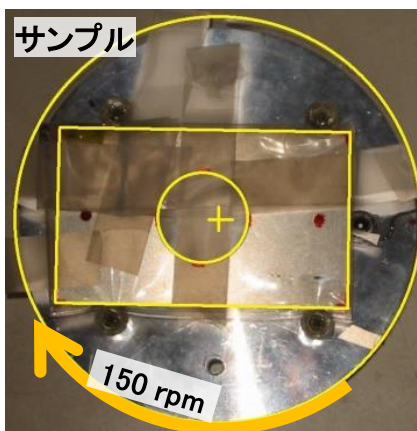
一様拡散

滞留

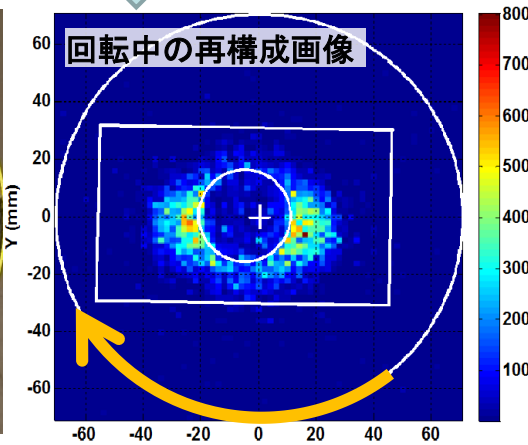


サイノグラムによる摩耗粉の追跡 (目標)

サンプル



回転台上に載せた放射化板



回転中部品 の RI 分布

線源: Na-22 約150kBq 面状で分布
測定時間: 約26時間



RIビーム打込み法による、機械部品のオンライン摩耗検査

- 検査部品の材質に依らず、表面から数 $10\mu\text{m}$ のみをRIで標識可能
- RI核種(寿命)を選択して深さ分布を数 μm 精度で制御可能

➤ より高度な摩耗検査法 も 開拓中

2核種打込みで、部品間の摩耗速度の差異を同時測定。

打込み深さを制御して、摩耗量ゲージ等への応用の可能性。

回転部品のイメージングで、潤滑油が取り出せない装置にも対応したい。

≪業務分担≫ RIBF施設共用促進事業 <http://ribf.riken.jp/sisetu-kyoyo/>
 理研・産業連携チーム : RIビームの照射、照射技術開発。
 住重試験検査(株) : 摩耗検査の実施・評価・報告書。(非密封RI取扱い施設有り)
 東大CNS・CRIBチーム : CRIB装置の運転維持管理。

RIビームを用いた摩耗検査を適用できそうな案件がございましたら、是非ともご教示頂きたく存じます。