

2010年 4月 5日

理化学研究所仁科加速器研究センター

RIBF 施設利用報告書

(文部科学省 先端研究施設共用促進事業)

1. 利用課題番号：IC10-01 (トライアルユース)
2. 利用課題名：RIビーム (Na-22) を利用した産業用材料の磨耗量測定法の開発
3. 利用者名：永野章、鵜野浩行、上本龍二
4. 利用者の所属機関・部署、所在地：  
住重試験検査株式会社  
業務部 営業 G (永野)  
開発部 (鵜野、上本)  
〒799-1393 愛媛県西条市今在家1501番地
5. 利用実施期間：2010年2月1日～3日
6. 利用施設名：重イオン線型加速器 (RILAC)・理研リングサイクロトロン (RRC)・RIビーム発生装置 (RIPS)
7. 利用したビーム  
一次ビーム：種類 Na-23、エネルギー 63MeV/u、最大強度  $1\text{p}\mu\text{A}$   
二次ビーム：種類 Na-22 強度 約  $1.5\times 10^8$ 個/秒
8. 理研側支援者 仁科加速器研究センター 亀田大輔、福田直樹、柳沢善行、  
吉田敦、久保敏幸、神原 正

## 9. 利用目的・内容

社会一般に用いられている機械部品の寿命を予測することは、適切な保守を行い効率的な運用を行うことや、さらには突然の故障による事故を未然に防ぐのに大変重要である。機械部品の寿命を決める数ある因子の一つに“**摩耗**”がある。この摩耗量を計測する方法には、摩耗する部品を機械から取り外し直接計測する従来法の他に、摩耗表面部分を放射化し生成した RI をトレーサーとして、直接もしくは間接的にその放射能強度を測定し評価する技術 (**RTM: Radionuclide Technique in Mechanical-Engineering**) がある。RTM は従来法と異なり、摩耗測定のために機械から対象部品を取り外すことなく稼働させオンラインで計測することができさらには感度が大変良いので、摩耗測定全体の評価時間を大幅に短縮することができる大変優れた技術である。RTM で利用するトレーサーは、機械部品にイオンビームを照射し機械部品自身を表面から最大  $200\ \mu\text{m}$  ほど放射化させることでトレーサーを生成させるため、測定材料は放射線損傷と熱に耐性があり、更に放射化によって適当な条件の RI が生成する標的元素を含む必要があるため対象となる材料は主に鉄鋼などの材料が主体となる。

ところが、近年は軽量化のため放射化しにくい金属材料 (Al など) や樹脂が部品として採用されるようになってきており、従来の RTM の技術ではトレーサーをこれらの材料表面に生成させることができない。そこで RI ビームを用いてこれらの材料に RI を注入することが出来れば、RI をトレーサーとした摩耗測定が対象外であった材料にも適応が可能となる。

さらには摩耗のメカニズムを知る上で初期摩耗の観察はさらに需要であるが、RI ビームはその2次ビーム生成条件や適度な減速材を用いることでごく表面層だけに RI を注入することが出来る。これにより更に高感度の表面層のみの観測をすることが可能となることを意味している。

以上のように、RIPS の RI ビームを用いることで RI をトレーサーとした摩耗測定の適応範囲を広げ、より高感度の測定技術を確立する事を目的とする。

今回の試験においては、一次ビームの Na-23 を RIPS の Be ターゲットに照射し、Na-22 の二次ビームを生成する。一次ビームはリニアック入射で核子当たり  $63\text{MeV}$  にする。Na-22 ビームは質量分析電磁石で弁別後、減速材でエネルギーを調整(図 1)し試料中へ停止するようにする。

今回、Al フォイル( $t=6\ \mu\text{m}$ )を 50 枚重ね合わせ、注入された RI の深さ方向の分布を HP-Ge で測定すると共にイメージングプレートで各フォイルの面内分布を計測し、RI ビームの空間分布を評価する。

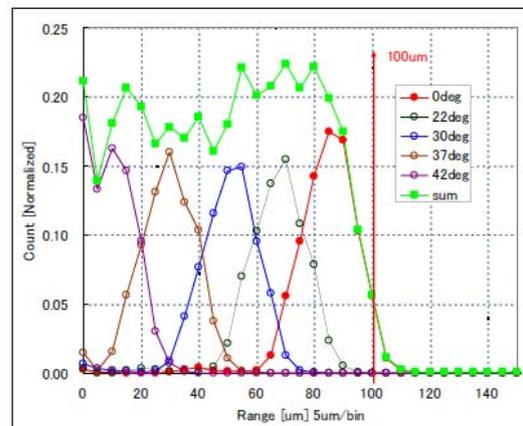


図 1 注入深さモデル

## 10. 成果の概要

### 10.1 HP-Ge 検出器による注入深さ分布測定

今回、実験に使用した Al フォイルを 50 枚それぞれ、HP-Ge で測定し深さ方向の分布(図 2)を求めた。計算より求められた分布(図 1)と比べ、 $200\mu\text{m}$  から  $300\mu\text{m}$  の部分で、目的としていない RI の注入が認められるものの、目的とした  $100\mu\text{m}$  以下の部分については、ほぼ計算どおりの結果が得られた。(図 2)

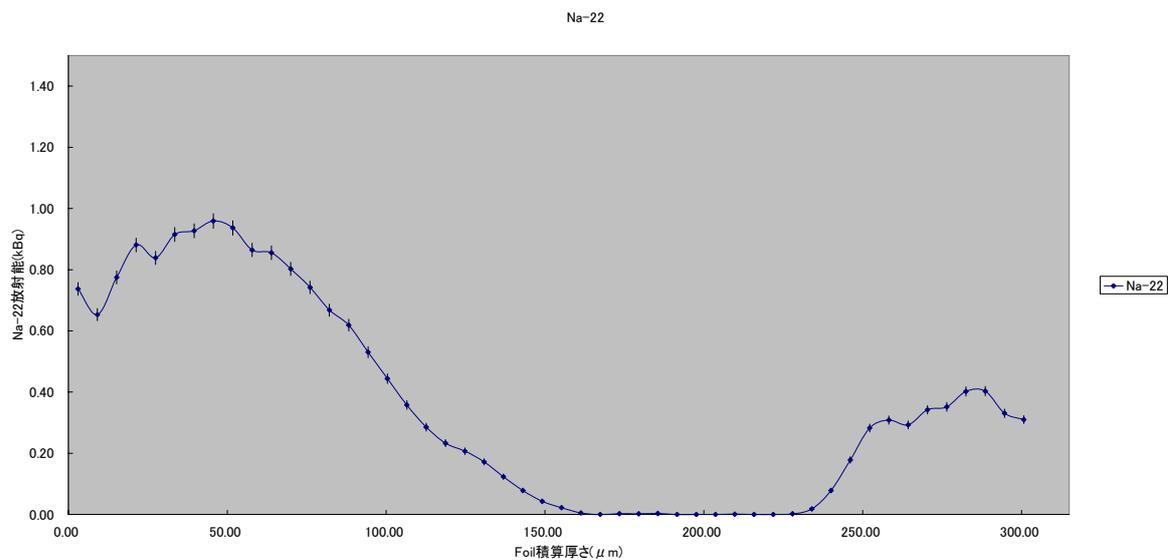


図 2 各フォイルの放射線強度

### 10.2 イメージングプレートによる空間分布測定

RI ビームの空間分布を評価することを目的とし、図 3 のように Al フォイルを並べ、富士フィルム社製のイメージングプレートを用い測定をおこなった(図 4)。

この試験結果において、イメージングプレートに放射線が多く入射された部分は赤く、少ない部分は青く表示されている。それぞれのフォイルの放射線強度は、HP-Ge 検出器で測定した結果とほぼ一致している。

なお、今回の試験ではフォイル No.1 を Na-22 入射側に配置しており、No.1 から No.50 に向けて RI ビームが注入されている。



図3 Al フォイル配置写真

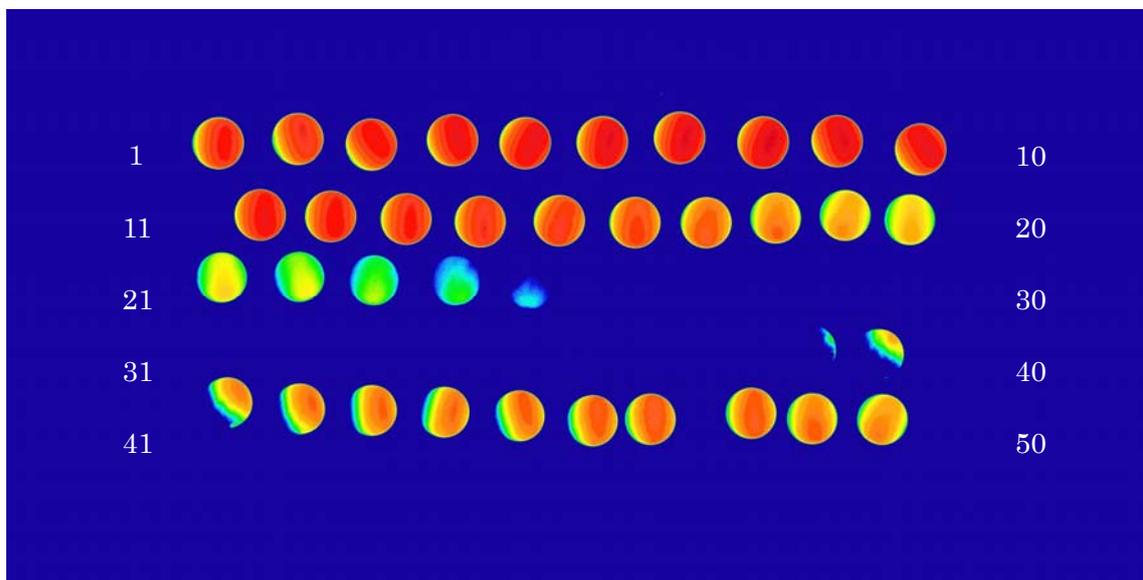


図4 イメージングプレート評価結果

### 10.3 イメージングプレートによる RI ビームの形状評価

イメージングプレートの測定結果より、入射された RI ビームの形状を評価した。

この結果より RI ビームの中心の形状が幅：5mm、高さ：12mm の楕円形であったことが推量される。

なお、下図 6,7 の Photo Stimulated Luminescence (PSL)値は、イメージングプレートに入射した放射線の量に比例します。

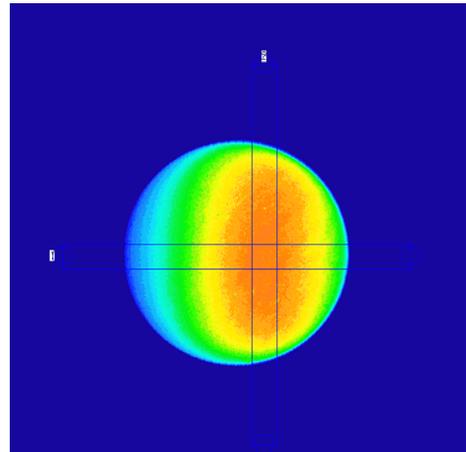


図5 注入 RI 分布

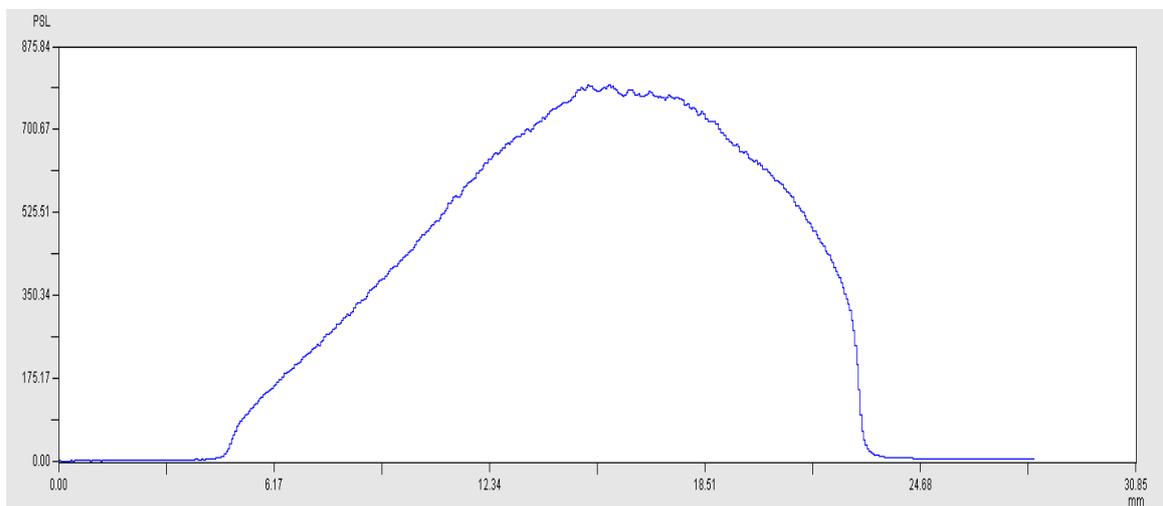


図6 プロファイル(X軸)

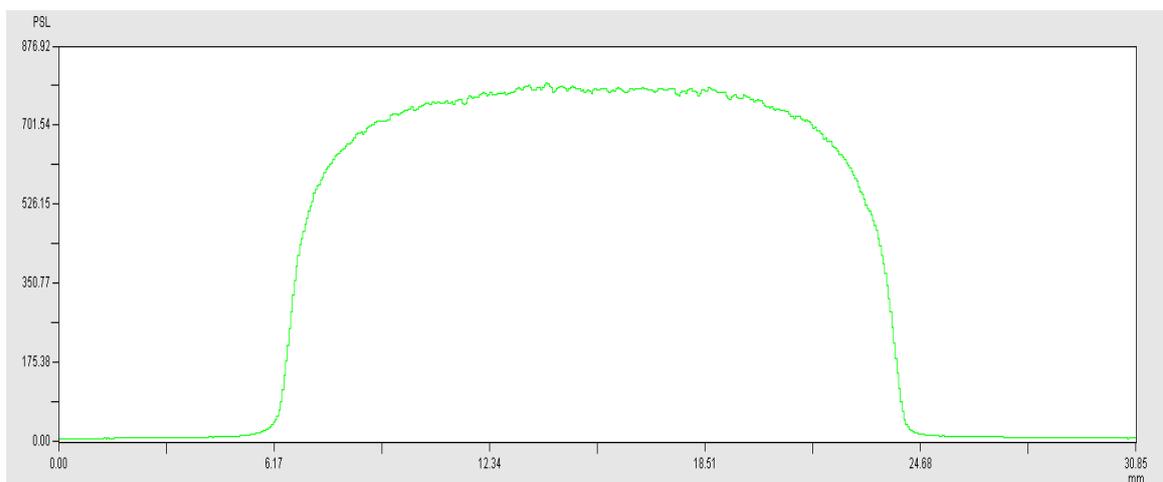


図7 プロファイル(Y軸)

## 10.4 まとめ

HP-Ge 検出器による試験結果をもとに、摩耗時における放射線の減少を算出した。このとき注入のエネルギーを調整することによって、 $60\mu\text{m}$  まで均一に注入される(図 8)。 $200\mu\text{m}$  以降の注入量については、回転デグレーターの駆動を見直すことにより、解決出来る物と考える。

またイメージングプレートの試験結果より、注入された RI ビームの空間分布の測定を実施した。分布に不均一な部分が見受けられるものの、サンプルを駆動させる等の対応をすることにより、目的の範囲に対して均一に注入できると考える。しかしながら RI ビームの形状を  $\phi 5\text{mm}$  程度まで収束させることで、効率のよい RI ビームの注入を実施できる物と考える。

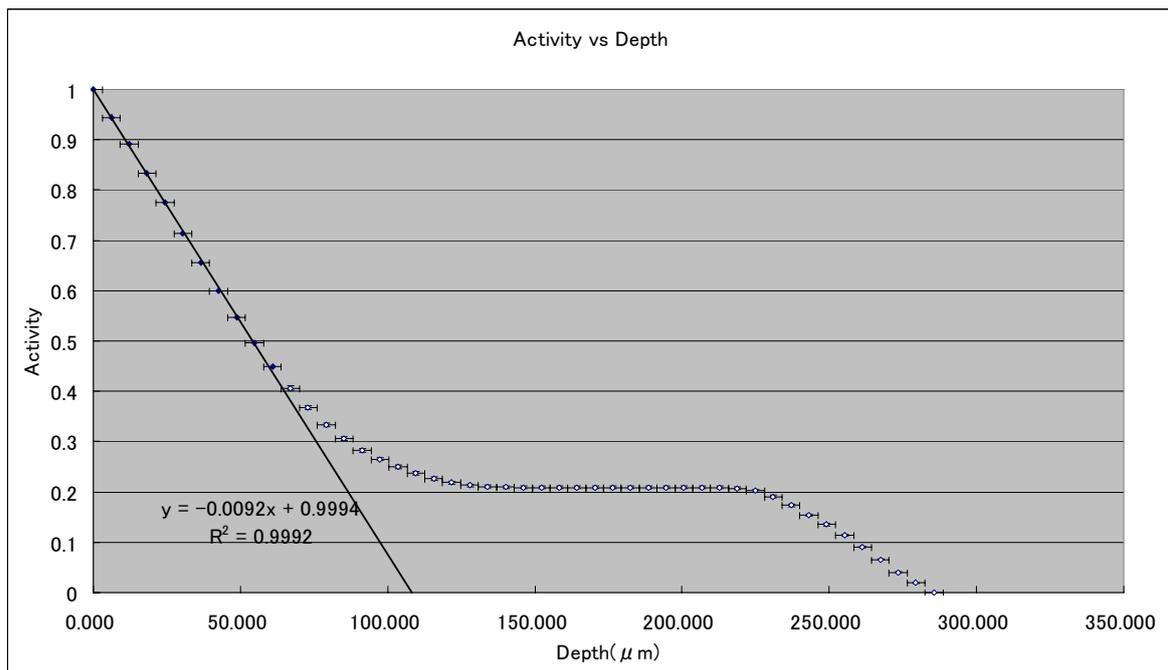


図 8 AVD (Activity v.s. Depth) 曲線

## 1 1. 今後の展望

摩耗試験においては、放射化部品の放射線強度が高ければ高いほど、摩耗に対する測定感度は向上する。本試験結果における放射エネルギーは約 18kBq であり現状のままでは十分とは言えない。しかしながら回転デグレーターの作動条件の最適化、2 次ビーム輸送の高効率化等を実施すれば、十分使用に耐える放射線強度が得られると考える。

以上のことから、次回試験時においては実際のサンプルに RI ビームを注入し、実機での摩耗計測を行いたい。

## 1 2. 社会・経済への波及効果の見通し

現在のエンジン開発において、低燃費を目的としリーンバーンや、ハイブリッドカーを含めたアイドリングストップ等の技術、また潤滑油の低粘度化等、エンジン部品の摺動部に与える影響は、ますます厳しくなっている。またアルコールが含まれた燃料を用いることにより従来のエンジンとは違った摩耗傾向になることも予想される。

この技術を用いる事により、従来法では出来なかった部品の摩耗条件を明確にすることで、エンジンの寿命を維持し、さらに地球に優しいエンジンの開発に役立つものと考えられる。

## 1 2. その他、仁科センターに対する要望など

技術的な対応や受け入れ時の状況等、現状に全く問題はありませぬ。しかしながら、この技術は今後の機械部品の摩耗測定をしていく上で非常に重要であり、若干の問題点が解決出来れば、需要が予想されます。今後、ビジネスとしての立ち上げを考えた場合、

1. 柔軟なマシンタイム
2. ビームテスト時間の短縮
3. 再現性の確保
4. 注入量の担保

への対応が必要と考えます。将来的には、打ち合わせ後サンプルを送付すれば、RI が注入されたサンプルが返送されるのが理想と考えます。