

委託研究
「加速器を用いた簡易・高感度元素分析法のブローダーアプリケーション」
(研究開発テーマ：Ⅲ 先進放射線計測技術の開発)
研究成果報告概要

研究開発の概要

(研究実施期間) 令和2年度～令和3年度

(目的)

加速器によるイオンビームを用いたPIXE分析法は、マグネシウムの原子番号以上の元素をppmレベルで簡易に分析が可能とされる。他の化学分析法では定量のための標準や測定試料の調整を要する。通常の3MeV陽子線を用いるPIXEでは試料厚さが10 μ m程度に制限される。これに対しQSCで開発された20MeVPIXEは、これらの壁を破る画期的方法である。そこで、本研究では、20MeVPIXEを幅広い分野にその特長を生かし、青森県内での化学系分析産業の発展強化を目指すことを目的とする。

(必要性)

青森県には原子燃料サイクル施設、使用済燃料貯蔵施設、原子力発電所などがあり原子力産業の拠点となっていることに加えて、核融合エネルギー研究施設も設置され、原子力産業を包含した量子科学産業へと発展していくことが期待される。この意味で、20MeVPIXEから地場産業育成をめざすことは、量子科学技術に基づいた青森県の産業振興に必要不可欠である。

(新規性)

加速器を用いて化学系分析を行う青森県内企業はなく、量子科学技術に基づいた産業振興の方策として新規である。加えて、QSCで開発された20MeV陽子線をPIXE分析に用いることは試料厚さなどの壁を超える新規性がある。同時に20MeVの陽子線により生じる γ 線の計測を行うことによってマグネシウムの原子番号以下の元素の分析が可能となりうる。

(独創性)

20MeVPIXE分析方法が非常に幅広く利用できるが、20MeVPIXE分析法は世界で行われておらず、QSCの独自の独創性をもつ分析方法として展開できうる。この分析方法を幅広く適用するに必要なツールの開発は独創性を有している。

(有用性)

QSCの加速器をPIXE分析に十分な活用を進めるには様々な開発項目がある。本研究では迅速・簡便の付加価値を生み出すための測定試料準備方法に関する事項、幅広い活用に必要なデータベース化へ近年のデータサイエンス分野のツールを用いた測定データ取り扱いに関する事項について、学生と共に実施することにより将来の青森県の量子科学技術に基づいた産業振興に資する理解浸透に有益である。

研究成果

PIXE分析の幅広い応用に関する事項：

多様な形状の試料すなわち液体および固体（金属片、塊状、粉末状）の測定を試みた。

金属試料として、鉄鋼材料：認証標準物質、純金属：タングステン、非鉄金属：バナジウム合金

粉末状試料として、岩石試料：岩石標準試料、土壌試料：運動場の土、食品試料：塩

塊状試料として、プラスチック試料：マイクロプラスチック、コンクリート試料：コンクリートブロック片

液体状試料として、水試料：雨水、飲料：ワイン

また、分析のためのイオンビームを測定試料に照射する際は、遠隔で測定試料を移動し確認する。ビーム位置と測定試料の位置関係を確認するためのカメラシステムを整備した。

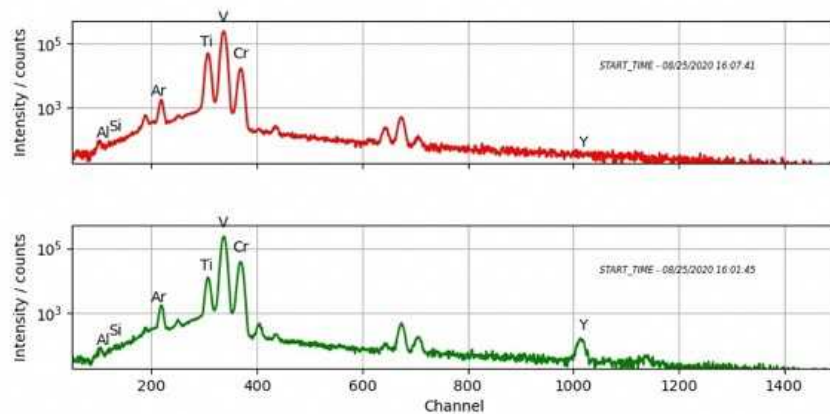


図1 金属試料の特性X線スペクトルの例
微量添加したイットリウムの有無を比較できる

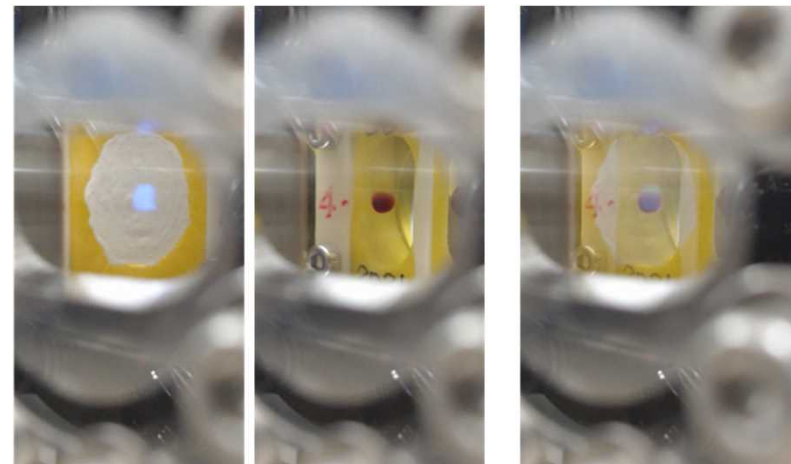


図2 カメラ画像によるビームプロファイルと測定
試料位置確認の例

研究成果

データベース化に向けた開発事項：

幅広い応用に求められるデータベース化に関する成果である。近年発展が著しいデータサイエンス分野のツールを主に用いて迅速で簡便な分析検討を行うための仕組みを作成した。まず測定結果の概要を捉えるために、チャンネル番号を横軸にチャンネルごとのカウント数を縦軸としたスペクトルの表示と比較が重要である。作成した仕組みを用いて、該当するデータファイルが存在するディレクトリ等を指定するなどしてスペクトル表示が一度に可能とした。図3は該当するピーク面積を求めるため、特性X線ピークは正規分布と仮定して非線形最小二乗法でフィッティングした例である。

液体試料の例として様々なワインの分析を行ったので、算出したカウントデータを用いて、測定試料の分類をデータサイエンス分野のツールで行った。最も基本的な教師なし機械学習の分類のアルゴリズムであるk平均法(k-Means)による分類例を図4に示す。図中のX印はそれぞれの分類中心を表す。元素分析した測定試料は60件余りである。ワイン中の元素成分のうち、カリウムと硫黄、リンと硫黄に着目した場合に分類ができています。硫黄と鉄、リンと鉄の場合には重なりが見られる。

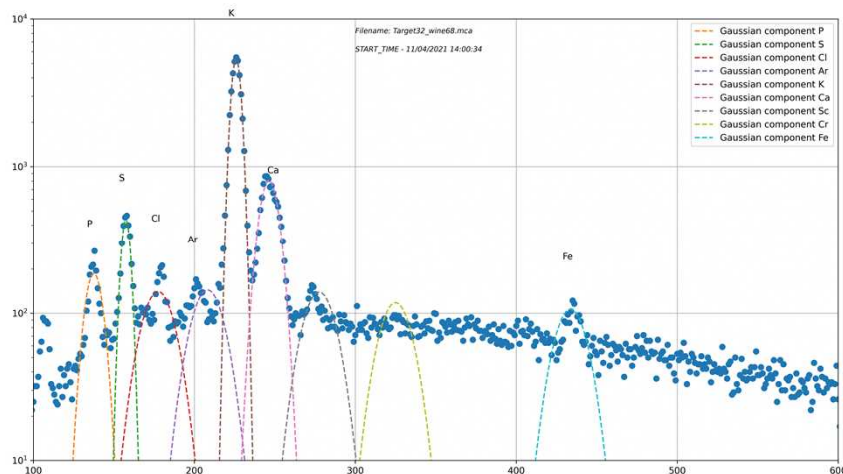


図3 特性エックス線スペクトルのピークフィッティングの例

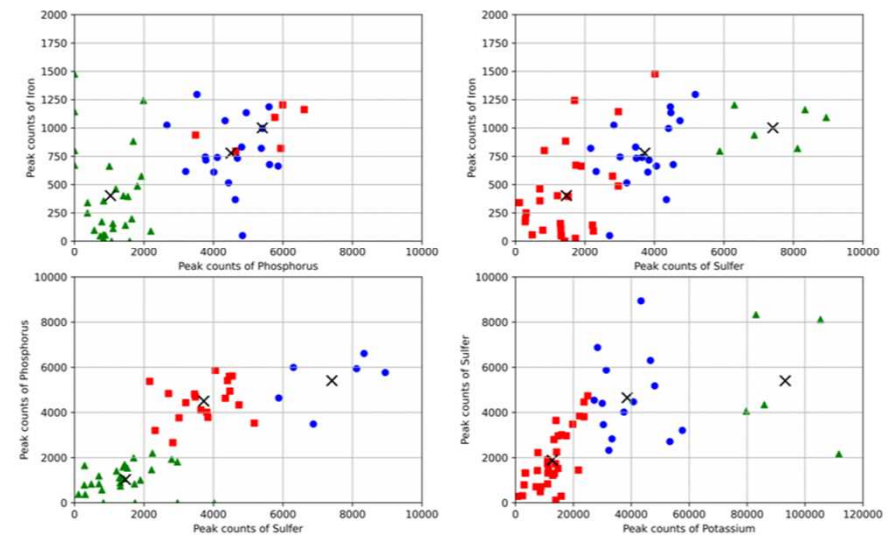


図4 k-Means法を用いた教師なし機械学習による測定結果の分類例

研究成果

幅広い応用に向けた測定試料の準備方法に関する事項：

幅広い応用に向け、低廉・迅速・簡便等の付加価値を生み出すための測定試料の準備手順に関する事項の成果である。限られたQSCサイクロトン利用時間数内で効率よくPIXE測定を行うため、ターゲット板に2種類の測定試料を装着できるよう2つ穴式のターゲット板を3Dプリンターで出力した。ターゲット板には測定試料を固着させるためポリイミド（カプトン）膜を貼り付ける。作業を簡便に行うためにカプトンテープを活用した。

測定用ターゲットを簡便に作製し測定できるPIXE分析法であるので、あらかじめ多数の測定試料を準備できる。これら多数の測定試料を適切に運搬する必要がある。図5には移動運搬用ホルダを示す。QSCサイクロトンターゲット室で、測定用ホルダへのセットを簡便に行えるよう5個の測定用ターゲットを1組としたホルダを5組合計25個の測定用ターゲットを容器内に固定収納できる。また図6には測定後の一時保管用ホルダと容器を示す。運搬用より小型で、収納ホルダはやや傾いており、測定試料を確認しやすく、また保管容器の高さを低く設計した。

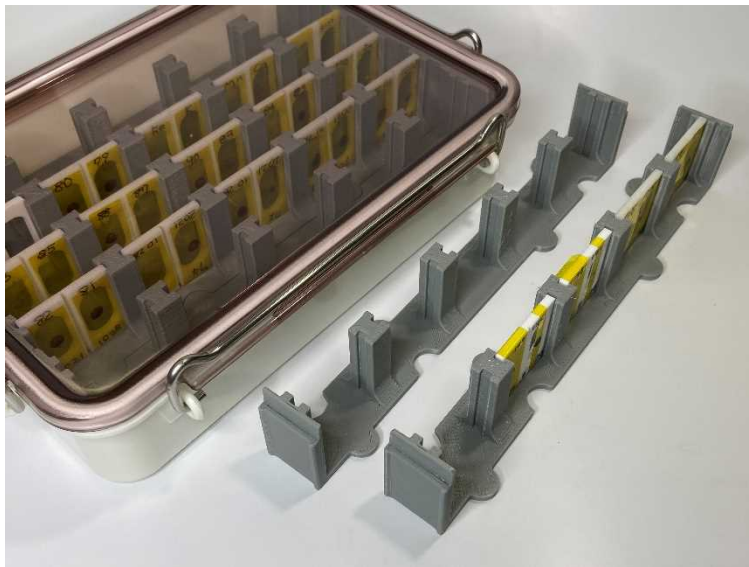


図5 3Dプリンタにより作製したターゲット運搬用ホルダ



図6 3Dプリンタにより作製したターゲット板と収納台

研究発表

1. 2021年12月11日、東奥日報新町ビル New'sホール、2021年度スカーフクラブ「あおもりサロン」主催勉強会「～未来を考えよう～暮らしの中のエネルギーと放射線」にて「白いワインと原子力」のタイトルで講演した。
2. 2022年4月17日、番町サテライトキャンパス（ばんらぼ）、「令和4年度 八戸工業大学公開講座」にて「八戸でワインと原子力」のタイトルで講演した。

研究会等の開催

1. 該当なし

発表論文

1. 「粒子線励起エックス線を用いた高感度元素分析の幅広い応用」、八戸工業大学地域産業総合研究所紀要 第19巻 (2021) pp.13-20、佐藤 学, 佐々木 大真, 笹山 敦史, 高橋 和希, 野上 光博, 人見 啓太郎, 長谷川 晃, 石井 慶造
2. 「粒子線励起エックス線による簡易な高感度分析のワインへの応用」、八戸工業大学地域産業総合研究所紀要 第20巻 (2022) pp.21-26、佐藤 学

青森県内への波及効果

20MeVPIXE分析法を青森県内の農水産業、工業に幅広く展開・活用し、化学系産業とその分析産業が創出されることが期待される。考古学的試料の分析は、縄文遺跡群活用に向けて科学的資料として役立たせる可能性がある。農林水産業分野、例えば、原子力施設の環境放射線モニタリングに関連し試料が保管されている。多元素分析の特徴を生かした再分析による新しい展開の可能性が見込まれる。近年、本県でも各地でワイン醸造がなされている。土壌風土に由来する特徴づけを行う展開の可能性もありうる。いずれも、分析精度の確立や商業ユーザー利用方法の検討等に十分な分析実績を積み重ねることが必要である。合わせて、学生のQSC利用経験は量子科学技術に基づいた幅広い振興に有益と期待される。