

PIXE測定用の散乱粒子除去装置の製作

(環境計測学) 飴田 恵理

1. はじめに

アルミニウムは、多くの植物にとって有害であるアルミニウムを体内に蓄積していることが知られており、アルミニウム無毒化のメカニズムとして、土壤中のフッ素やケイ素、マンガンとの複合体を形成することで無毒化している可能性が指摘されている。本研究室では PIXE(Particle Induced X-Ray Emission)法をもちいて、アルミニウムとケイ素、マンガンの分布測定を行い、ケイ素はアルミニウムとの相関が高く、マンガンは低いことがわかった。フッ素の特性 X 線のエネルギーは 0.667 keV と低いため、Be 窓を装着した一般的な X 線検出器では検出窓における減衰により測定は困難であった。そこで、検出入射窓の窓材に厚さ 40 nm のシリコンナイトライドを使用し、低エネルギーの X 線の測定を可能とした Amptek 社の XR-100SDD (Silicon Drift Detector) を用いてフッ素とアルミニウムを同時に測定するため、検出器の実用化を目指した。

PIXE 法では数 MeV のビームとの衝突で高いエネルギー状態の反跳粒子が発生するが、これらが検出器内部に入射すると、分解能が悪くなる。通常は低エネルギーの X 線を吸収するアブゾーバーを取り付け、これらを除去する方法が用いられることが多いが、軽元素側の X 線も吸収してしまうため、フッ素の X 線測定が困難になってしまう。そこで、磁場によるローレンツ力で荷電粒子の軌道を変え、検出器への入射を防ぐための永久磁石を用いた散乱粒子除去装置を製作した。

2. 磁石の設計・評価

この検出器は検出面が非常に小さくターゲットと検出器間の距離を近づける必要があり、チェンバー内のスペースも限られていたため、検出器と磁石を固定する構造とした。以前、本研究室で製作された散乱粒子除去装置は検出器に取り付けるには大型で重いため、なるべく小型・軽量の装置を製作する必要があった[1]。今回使用した磁石は、縦10 mm 横30 mm 奥行き60 mm、厚み方向の表面磁束密度0.38 T のネオジム磁石である。同じ磁石2枚を間隔が5 mmになるように向かい合わせに設置し、ビームはこれらの磁石の中心を通過するようにした。検出器と磁石を、検出器が挿入できるように筒状に加工したアルミニウムとネジを用いて固定し

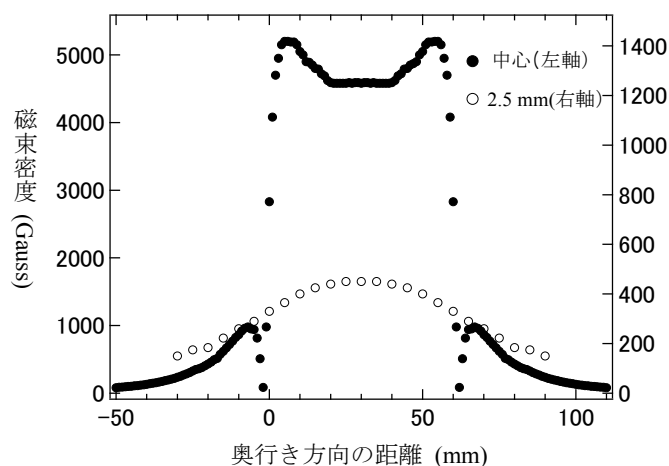


図1 装置の磁束密度測定

た。入射ビームの直径を制限するため、銅板に直径4 mm の穴を開けたスリットを製作し磁石の前後に取り付けた。また、磁石のまわりの漏洩磁場の影響を考慮し、磁石の端から検出面との距離を5 cm とった。

この磁石によって反跳粒子の除去が可能か判断するために、この装置のビーム通過点（磁石の中心）における磁束密度を測定した。また、漏洩磁場によるビームへの影響を調べるため、ビームと磁石の距離が最短となる磁石の側面から2.5 cm の位置についても測定した。図1に測定結果を示す。奥行き方向の0から60 mm の範囲が磁石の位置である。磁石の両端から前後5 cm までを磁石の中心では1 mm 間隔、側面から2.5 cm の位置では5 mm 間隔で測定した。ただし、磁石は対称であるので磁場も対称であるとみなし、奥行き方向の中心地点である30 mm まで測定し、その結果を折り返して示してある。入射イオンを6.8 MeV の C^{3+} として反跳粒子のエネルギーを計算すると、反跳粒子を除去するに十分な磁場の強度であった。また、磁石の側面方向での漏洩磁場は十分に小さくビームの軌道に与える影響はないと判断した。

3. 測定結果・考察

試料としてテフロンシート、茶葉を凍結乾燥し粉末状にし作成したペレットを準備した。測定は京都大学放射実験室の2 MV タンデム加速器を用い、入射粒子は6.8 MeV の C^{3+} を使用した。ビームに対し135° 方向に検出器が設置してある。

図2に測定結果を示す。テフロンシートの測定により、明確なフッ素ピークを検出することができた。茶葉の測定では、フッ素濃度とアブゾーバー内のフッ素 X 線の減衰を考慮して、最初

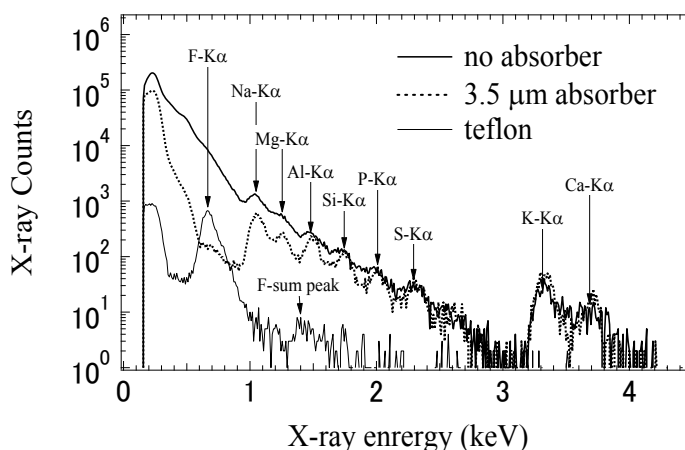


図2 茶葉のスペクトル測定結果

初はアブゾーバーを外して測定した。その結果を実線で示す。図からわかるように、アブゾーバーを外すと、二次電子による制動 X 線が指数関数的に増えて、フッ素の X 線のピークを隠してしまった。そこで、3.5 μm 厚のマイラーフィルムをアブゾーバーとして挿入し測定した。その結果を点線で示す。低エネルギーの X 線が吸収されたことで軽元素側のピークがはっきり見られるようになり、フッ素の位置に肩が見えた。低エネルギー領域の X 線を測定するときには、フッ素より低いエネルギーの X 線を阻止できる適切な厚さのアブゾーバーを用いる必要がある。

参考文献

[1] 本田あさみ, 「永久磁石を用いた荷電粒子除去装置の製作」, 京都府立大学卒業論文(2010)