波長分散型 PIXE における広範囲エネルギー測定

Measurement of the wide range of the energy using WD-PIXE

*今泉光太[1]，遠山翔[1]，松山成男[1]，石井慶造[1]，寺川貴樹[1]
[1]東北大学工学研究科量子エネルギー工学専攻

福島第一原子力発電所事故の影響で生じた放射性セシウムによる汚染土壌の除染技術確立に向け、化学状態分析が可能な WD-PIXE システムを導入した。本システムの分光結晶を交換することで可検出エネルギーの広範囲化を図った。

キーワード：PIXE，結晶分光器，マイクロビーム，セシウム

土壌中の放射性セシウムの多くは粘土に吸着しており、粘土から放射性セシウムを取り出す方法が現在精力的に研究されている。マイクロ PIXE(Particle Induced X-ray Emission)分析法は、高感度での多元素同時分析が可能であり、試料表面上の元素の二次元濃度分布を得ることができる。その高い汎用性からマイクロ PIXE 分析法は汚染土壌分析にも応用されており、土壌中セシウムの移行にリンや塩素などの元素との関連性が報告されている例もある[1)]。今後除染方法を確立していく上で、マイクロ PIXE によるミクロスコピックな元素分布だけでなく、土壌中での元素の化学状態分布を知ることは非常に有益であると考えられる。そこで東北大学マイクロビームラインシステムに波長分散型(Wavelength Dispersive)PIXE システムを導入した。本装置は von Hamos 型で湾曲結晶と CCD カメラから構成されている。これまで分光結晶に PET(002)を採用したシステムでシリコン Si とその化合物のシリコンナイトライド Si_3N_4 や石英ガラス SiO_2 の K_α 線と K_β 線のスペクトルを測定し、その化学状態を判別できている[2)]。この分光結晶では 1.7-2.9keV の範囲での測定が可能であるが、本研究では可検出エネルギー範囲の拡張を目指し、新たに分光結晶として Ge(111)、Mica(002)、TAP(001)を導入した。

各結晶の詳細を表 1 に示す。これにより可検出エネルギー範囲を 0.6-3.9keV まで拡張することが可能であり、これらの結晶を用いた場合のエネルギー分解能等の評価を行った。

表１：各結晶の詳細

Crystal	Reflector plane	2d(nm)	Energy range(keV)
Ge	111	0.653	2.2-3.9
PET	002	0.874	1.7-2.9
Mica	002	1.980	0.7-1.3
TAP	001	2.575	0.6-1.0

各結晶の可検出エネルギー範囲に収量の多い Kα 線が該当する元素を試料として選出することとし、Ge(111)に対して硫黄 S(S-K_α)、Mica(002)に対して食塩 NaCl(Na-K_α)、TAP(001)に対してテフロン $(C_2F_4)_n$(F-K_α)を採用した。このときエネルギー分解能の基準値を、一般的な化学結合エネルギーと測定される X 線エネルギーより概算し、ΔE/E=5.0×10-4 とする。結晶に Ge(111) を用いた場合では、フィッティングしたスペクトルの半値幅からエネルギー分解能は 3.51×10^{-4} となり、基準値よりも高いエネルギー分解能を示した。したがって十分なエネルギー分解能を満たしたため、硫化亜鉛 ZnS と硫酸アルミニウム $Al_2(SO_4)_3$ に対しても S-K_α のスペクトルを得たところ、図 1 に示すようなケミカルシフトが観測された。

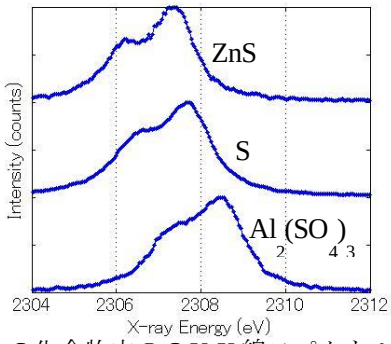

図１：S 化合物中の S-K_αX 線スペクトル

参考文献

[1] F.Fujishiro, et al. , Nucl. Instru. Meth. Phys. Res. B. **318**(2014)99-101.

[2]S.Toyama, et al. , International Journal of PIXE, Vol. **24**, Nos. 3&4(2014)111-120

*Kota Imaizumi[1], Sho Toyama[1], Shigeo Matsuyama[1], Keizo Ishii[1], Atsuki Terakawa[1]
[1]Quantum Science and Energy Engineering , Tohoku University