

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	陽子線励起準単色X線を用いたマイクロXRF分析システムの開発とその応用
Title(English)	Development of a micro-XRF system based on proton-induced quasimonochromatic X-rays and its applications
著者(和文)	PloykrachangKamontip
Author(English)	Kamontip Ploykrachang
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9638号, 授与年月日:2014年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小栗 慶之,矢野 豊彦,松本 義久,林崎 規託,長谷川 純
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9638号, Conferred date:2014/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Kamontip Ploykrachang	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	小栗慶之	教授	長谷川 純	准教授
	審査員	矢野豊彦	教授		
		松本義久	准教授		
		林崎規託	准教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は“Development of a Micro-XRF System Based on Proton-Induced Quasimonochromatic X-Rays and Its Applications (陽子線励起準単色 X 線を用いたマイクロ XRF 分析システムの開発とその応用)”と題し、以下の四章から構成されている。

第 1 章“Introduction”では、汎用非破壊微量元素分析技術の一つである XRF (X 線蛍光分析) の現状を概観し、その検出下限を左右するバックグラウンドの成因について詳説した上で、励起用の一次 X 線を単色化し、そのエネルギーを測定対象元素の吸収端よりわずかに高く設定することによってその元素のみを選択的に励起し、相対的にバックグラウンドを下げ、同時に試料に与える線量も大幅に抑制できることを指摘している。比較的小型の装置でこれを実現し、さらにこの X 線を集束してマイクロビーム化し試料上の微小領域の測定に用いる方法として、MeV 陽子線を金属標的に照射して準単色の特性 X 線を発生し、これをポリキャピラリー X 線レンズで集束することを提案している。しかし陽子線励起 X 線を集束してマイクロ XRF システムを構築し、その微量元素マッピング性能等を評価した既往研究はなく、また生体の *in vivo* 分析等に応用された例もないことを述べている。これらを背景に、生体の *in vivo* 測定等にも対応できる高感度かつ低線量のマイクロ XRF として、上記の構成に基く新しい XRF システムの設計を提示し、その性能を実験的に実証するとともに、実用化への開発課題を明らかにすることを本研究の目的としている。

第 2 章“Experimental Methods”では、前章で述べた目的を達成するための実験装置及び方法に関して述べている。まず励起用一次 X 線として用いる銅の KX 線 (エネルギー 8.0 keV) を発生させる銅標的、及びこの X 線を集束させるレンズ系の設計について述べている。必要なアライメント精度と X 線集光効率のバランスを考慮し、陽子の飛程 (2.5 MeV のとき 26 μm) よりわずかに厚い 30 μm の銅板標的を照射し、背面に透過してくる X 線を標的の直後に置いたポリキャピラリー X 線レンズで集束する配置を提案している。一方、一次 X 線及び試料から発生する蛍光 X 線のスペクトルを測定するための検出器、生物試料照射用の下向き 45°ビーム発生用陽子線偏向電磁石及びそのビーム光学設計や、ナイフエッジ及び金属細線を用いた焦点近傍での一次 X 線ビーム径測定法等についても述べている。次に第一の性能実証実験として行う銅ブロック表面上に存在する微量コバルト (Co) の二次元マッピング測定に用いる試料の作製方法についても言及している。さらに第二の性能実証実験である水生植物による微量元素摂りこみの *in vivo* 分析に用いるウキクサ (*Lemna minor*) 試料の育成、育成水中 Co 吸収実験の手順、照射用小型水槽の設計等についても説明し、光学顕微鏡を用いたビーム位置決め機構、三次元精密試料駆動機構の開発等についても詳述している。

第 3 章“Results and Discussion”では前章で述べた実験の結果を示し、それに対する考察を与えている。まず一次 X 線ビーム径の軸方向分布の測定結果を示し、焦点直径 250 μm 、焦点深度約 1 mm を得ている。また焦点での一次 X 線エネルギースペクトルを示し、X 線の単色度が 93% に達したこと、X 線強度が陽子線エネルギーとともに増加すること、及びこの結果は X 線発生断面積の陽子エネルギー依存性と陽子の標的中深さ方向エネルギー損失プロファイルで説明できることを明らかにしている。次に銅ブロック上に作製した薄い Co 層の XRF スペクトルを示し、一次 X 線の散乱によるバックグラウンドが目的とする Co の蛍光 X 線ピークから容易に分離できること、及び連続スペクトル成分も従来の X 線管を励起源に用いた場合に比べてはるかに弱いことを指摘している。これらのバックグラウンド強度と一次 X 線のビーム径、及び測定した Co 層の厚さから、Co の検出下限として 2 ng を達成したことを述べている。さらに Co 層の付着パターン of の二次元マッピング測定結果を示し、作製したパターンがほぼ再現できたこと、及び空間分解能が約 200 μm で、これが一次 X 線のビーム径で説明できることを述べている。次にウキクサの葉肉部と葉脈部の Co 濃度に関する測定結果を示し、育成水中に Co を 500 ppm の濃度で投入してからウキクサ中の Co 濃度が時間と共に上昇すること、約 6 時間の内に飼育水中濃度を超える濃縮が起り、約 1,000 ppm で飽和することを見出している。一方、一次 X 線の絶対強度より照射中の線量率を 100 $\mu\text{Gy/s}$ 程度と評価し、約 70 mGy の線量で十分な測定感度が得られたことを明らかにしている。

第 4 章“Conclusions”では、以上の各章で得られた成果を総括し、結論を述べている。

これを要するに、本研究は陽子線励起準単色 X 線とポリキャピラリー X 線レンズを組み合わせた新しいマイクロ XRF 分析システムを提案し、実験によりその有用性を実証したものであり、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって本研究は博士 (工学) の学位論文として十分価値あるものと認められる。