

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：14401
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22540311
 研究課題名（和文） マイクロ陽子ビームによるフッ素分布におけるガンマ線アルファ線同時測定
 研究課題名（英文） Gamma-alpha ray coincidence detection from micro proton beam for fluorine distribution measurement
 研究代表者
 菅谷 頼仁（SUGAYA YORIHITO）
 大阪大学・核物理研究センター・助教
 研究者番号：80324747

研究成果の概要（和文）：

歯科医学においてフッ素が口腔内に存在すると蝕抑制があるといわれてきた。

これまでに我々は、若狭湾エネルギー研究センターのマイクロ陽子ビームによる核反応からのガンマ線を測定することで、大気中で試料内のフッ素の分布測定法を確立するに至った。

今回は散乱時放出されるアルファ線を検出することで、深さ方向に対する制限をかけた測定方法の開発を行った。3.4 MeV のマイクロ陽子ビームに対するフッ素からのガンマ線に対する α 線収量を 0.4% と見積もった。歯質の測定を行うにはビーム量増強など α 線収量を増やす必要があると結論した。

研究成果の概要（英文）：

In the dental field, it is epidemiologically known that fluorine is useful for preventing the progression of dental caries.

We had developed the fluorine distribution measurement in tooth by detecting gamma rays from an in-air micro proton beam at the Wakasa Wan Energy Research Center.

In this time, we developed a coincidence measurement between gamma rays and alpha rays in order to limit the depth of a fluorine distribution in the beam direction. An alpha ray yield has been obtained as 0.4 % of the gamma ray yield for 3.4-MeV proton beam. It is found that to measure the fluorine distribution in tooth, the larger alpha ray yield is required.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：原子核（実験）、マイクロ陽子ビーム、歯質中のフッ素濃度

1. 研究開始当初の背景

歯科医学においてはフッ素が口腔内に存

在すると蝕抑制があるといわれ、従来からフッ化物の歯面塗布、フッ素入り歯磨剤、フッ

素徐放性歯科材料の応用等が行われ、多くの臨床例が得られている。その中で歯質はフッ素が取り込まれると耐酸性が向上することがわかってきた。

我々はマイクロ陽子ビームを用いたフッ素分布測定方法の確立を目指した。若狭湾エネルギー研究センタータンデム加速器からのマイクロ陽子ビームを用い研究を行った。その結果、大気中で試料内のフッ素の分布を $10 \mu\text{m}$ 程度の位置分解能で測定可能とした [参考文献 1]。同研究所でフッ素を付加した歯質の測定が、歯科医学の観点から続けられている。

[参考文献 1] In-air micro-PIGE measurement system for fluorine analysis of the tooth, K. Yasuda, V.H. Hai, M. Nomachi, Y. Sugaya and H. Yamamoto. Nucl. Instrum. and Meth. B260:207-212 (2007)

2. 研究の目的

これまでに我々は、若狭湾エネルギー研究センターで使用可能であるマイクロ陽子ビームによる核反応 ($^{19}\text{F}(p, \alpha \gamma)^{16}\text{O}$) からのガンマ線を測定することで、大気中で試料内のフッ素の分布測定法を確立するに至った。しかしながらビーム軸方向への陽子の浸透によるフッ素分布の不定性はいまだ残っている。

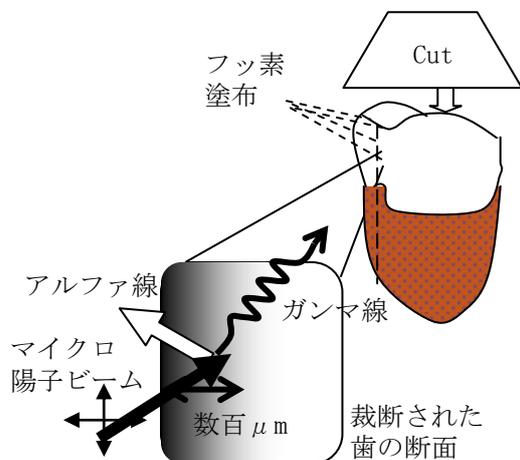


図 1 : 歯を裁断しその断面にマイクロ陽子ビームを当てる。陽子ビームの位置は走査電極で 2mm の範囲でスキャニングを行うことができる。核反応で放射されたガンマ線強度からフッ素分布 (数百 μ 程度の深さ) を得ることができる。ガンマ線と同時に放出されるアルファ線をビーム方向から観測し、反応点の深さに関する情報を得る。

X 線測定では困難 (エネルギーが低いため、吸収されてしまう) なフッ素の測定でも、エ

ネルギーが高いガンマ線を測定することで S/N 比よくフッ素分布を得ることができる。とりわけ $^{19}\text{F}(p, \alpha \gamma)^{16}\text{O}$ 反応は比較的低い入射エネルギーの陽子でも起こすことができ、発生するガンマ線のエネルギーも高く (6 から 7MeV)、S/N 比良い測定ができる (図 1)。また予めフッ素の含有量がわかった較正用試料を用意して、そこからのガンマ線強度を測定してフッ素の絶対値を知る。

ただし、陽子ビームの飛程は歯質中で数十マイクロメートルとフッ素の浸透の度合いと同程度である。測定面と陽子ビームは垂直であるが、それでも資料の設置精度、歯質の構造の変化など、不定性が残る。そこで我々は反応で放出されるアルファ線に着目した。 $^{19}\text{F}(p, \alpha \gamma)^{16}\text{O}$ 反応からは 1 から 2MeV 程度のアルファ線が放出される。アルファ線の飛程は陽子ビームのそれと比べて短く、反応が比較的表面上で起こらないと、歯質の外に出ることができない。そこで測定面側に検出器

(SSD) を設置して、アルファ線をとらえ、その反応が比較的表面近くで起こったことを知る (図 2)。SSD 検出器で測定された粒子がそのアルファ線であることは、同時に放出されるガンマ線と同時間に起こったことで保証する。そのためにはビーム起源や歯質と弾性散乱を起こしてやってくる陽子の量が十分少ない必要がある。またアルファ線が十分な収量があるか確認することも今回の目的である。今回の研究ではこのアルファ線との同時計測によって反応点の深さ方向の情報を得る可能性を探り、その後実際の歯質に応用し、より精度、確度高いフッ素分布を得る。陽子ビームのエネルギーが高いほうが反応の確率が高いことは分かっている [参考文献 2] のだが、それと同時に測定の深さ方向に起因する不定性も増す。今回反応点の深さの制限をかけることでより高いエネルギーの陽子ビームを用いて、高い統計での測定も期待できる。

[参考文献 2] Thick target photon yields and angular distributions for the $^{19}\text{F}(p, \alpha \gamma)^{16}\text{O}$ source reaction at incident proton energies between 1.5 and 4.0MeV , A. Fessler et.al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 450 (2000) 353.

[参考文献 3] Development of an automated single cell irradiation system combined with at high-energy heavy ion microbeam system, T.Kamiya et. al, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B181(2001)27.

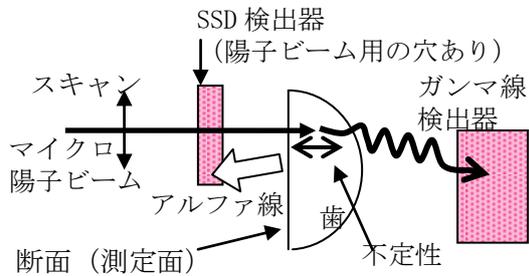


図2：アルファ線測定による深さ制限。陽子ビームを上下左右にスキャンしつつ原子核反応からのガンマ線の収量を測定することで、歯の断面における2次元のフッ素分布を得る。その反応で放出されるアルファ線を歯の断面側で検出することで、反応が断面近くで起こったことを保証する。アルファ線の歯の中での飛程は短い。

3. 研究の方法

実験は、若狭湾エネルギー研究センター、放射線研究棟、元素分析コースでおこなう。タンデム加速器から取り出された陽子ビームに対しビームライン中のスリットを用い、十分小さなエミッタンスをえる。最終的に標的直前の4極電磁石で幅 $10\mu\text{m}$ 以下のマイクロビームに絞り込む。そのビームを試料に照射し、 $^{19}\text{F}(p, \alpha \gamma)^{16}\text{O}$ 反応からのガンマ線(エネルギー6~7MeV)の測定を行う。ガンマ線検出には3インチ角の高効率BGO検出器を用いる。走査電極に印加する電圧を変化させることによって、試料に照射する位置をかえることができる。ビーム位置毎のガンマ線強度からフッ素分布を得ることができる。大気中で試料を測定するので、真空であるビームラインと区切らなければならない。それには100nm厚の窒化シリコン膜を使用している。

また同時にX線を測定する、PIXE(Particle Induced X-ray Emission)法も行う。マイクロ陽子ビーム照射の際に発生するX線を測定することによって元素分析を行う。Ge検出器からの出力波高から目的とする元素の特性X線を選び出し、この強度分布からイメージングを行う。この測定方法ではフッ素のような軽い元素の分布を得ることは困難であるが、フッ素以外の歯の構成要素(カルシウム・リンなど)の測定は可能である。ガンマ線測定と同時に行うことで、現在歯のどの辺りを調べているか知ることができる。

大気との散乱によるマイクロビームの広がりを少なくするため、真空膜と試料は極力近づける(1mm以下)必要がある。よってSSD検出器は真空中に設置することになる。効率よくアルファ線をとらえるために、穴のあいたSSD検出器を用い、陽子ビームを穴に通す形で設置する。真空槽中に設置用架台はX線を遮らずSSD検出器を歯に近づける工夫

を行いつつ制作する。スリットなどの散乱で異なった経路でやってくる陽子がバックグラウンドになりえるが、必要であればそれらを止めるシールドを設置する。ガンマ線とアルファ線が発生した時間情報の測定も新たに行うことで、同じ核反応由来であることを保証する。

4. 研究成果

平成22年度はまずSSD検出器設置方法設計した。Ge-X線検出器と干渉せず、なおかつ効率よく α 線を計測できる位置を模索した。なお既存データ収集系にSSD検出器情報を組み込んだ。最終的に12月7日にマイクロ陽子ビームを標準フッ素試料にテスト的に照射した。

この実験の結果から、平成23年度は実験の最適化の検討を行った。さらにアルファ線収量を増やすよう、検出器の配置などを変更した。その後アルファ線収量を求める為の本測定を行う予定であった。しかしながら加速器の重故障の為、平成23年度に実験を行うことができなかった。

加速器修理後の平成24年24年8月14日に3.4MeVのマイクロ陽子ビームをフッ素を含む標準試料に照射し、アルファ線収量を求める為の実験を行った。

この測定の結果の解析を行い、3.4MeVのマイクロ陽子ビームに対するフッ素からのガンマ線収量に対する α 線収量を0.4%と見積もった。歯質の測定を行うにはビーム量増強など α 線収量を増やす必要があると結論した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計0件)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅谷 頼仁 (SUGAYA YORIHITO)
大阪大学・核物理研究センター・助教
研究者番号：80324747

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：