

**立教大学学術推進特別重点資金（立教 S F R）**  
**大学院生研究**  
**2007年度研究成果報告書**

<b>研究科名</b>	立教大学大学院	理学研究科	物理学専攻
<b>指導教員</b>	所属・職名	氏名	
	理学部・准教授	村田次郎	印
<b>自然・人文の別</b>	<input type="checkbox"/> 自然 ・ 人文	<b>個人・共同の別</b>	個人 ・ <input type="checkbox"/> 共同 3 名
<b>研究課題名</b>	時間反転対称性検証実験のための電子横方向偏極度計および偏極核生成法の開発		
<b>研究代表者</b>	在籍研究科・専攻・学年	氏名	
	理学研究科・物理学専攻 ・博士課程後期課程1年	川村広和	印
<b>研究組織</b>	在籍研究科・専攻・学年	氏名	
	理学研究科・物理学専攻 ・博士課程後期課程1年	川村広和	
	理学研究科・物理学専攻 ・博士課程前期課程2年	成田圭吾	
	理学研究科・物理学専攻 ・博士課程前期課程1年	豊田健司	
<b>研究期間</b>	2007	年度	
<b>研究経費</b>	500	千円	

**研究の概要** (200~300字で記入、図・グラフ等は使用しないこと。)

本研究は、スピン偏極した不安定核を生成し、そこから放出されるベータ線を測定することで、時間反転対称性を検証しようというものである。ベータ崩壊によって放出される電子の横方向偏極度は、時間反転対称性が成立しているならばゼロであることが要求される。

実験では、偏極不安定核ビームを生成し、これを静磁場がかけられたストッパーに打ち込む。ストッパーから放出されるベータ線が、数10cm離れた所にある金属薄膜とMott散乱する様子を粒子飛跡検出器で観測する。電子が横方向に偏極していると、電子の散乱方向には非対称性が生じるので、この散乱の非対称度を測定することで、電子の横方向偏極度を決定出来る。

キーワード (研究内容をよく表しているものを3項目以内で記入。)

[ 偏極不安定核 ] [ ベータ崩壊 ] [ 時間反転対称性 ]

**研究成果の概要** (図・グラフ等は使用しないこと。)

本研究課題には大きく分けて以下の 2 点のテーマがあった。「電子横方向偏極度計の開発」と「偏極不安定核の保持法の確立」である。本研究の最終目的は時間反転対称性の検証、あるいは対称性の破れ探索であるが、2007 年度はそれに必要とされる実験装置の開発に主眼を置いた。

**●電子横方向偏極度計の開発**

粒子飛跡検出器であるマルチワイヤドリフトチェンバー(MWDC)を利用した電子横方向偏極度計の開発を行なった。その基礎となる部分は 2006 年度までに完成しており、2007 年度はその分解能の改善等、検出能力の向上を図った。

## - 解析プログラムの改造

取得データから粒子飛跡を再構成する解析プログラムの改造を行なった。このプログラムは、遺伝アルゴリズムを参考にした解析手法により最も尤もらしい粒子飛跡を選び出すというものである。このアルゴリズムをより洗練されたものにし、位置分解能にして以前の半分の値が出せるまでに向上した。

## - シンチレーションカウンタ及び架台の作成

MWDC を加速器実験で用いるための改造を行なった。第一に、トリガ用シンチレーションカウンタの増設である。これは、MWDC にデータ取得をさせるためのトリガ信号を作り出す検出器のことであるが、以前は、ある一つのシンチレーションカウンタから信号が出力されたら即座に MWDC のデータ取得をしていた。これでは真に観測したいイベントだけのデータ取得をしているといえず、特に加速器実験のようなバックグラウンドイベントが多い環境下ではその影響が大きい。そこで新たにトリガカウンタを増設し、2 つの検出器のコインシデンスを要求することでバックグラウンドイベントを除去する方式を取った。第二に、ストッピング用シンチレーションカウンタを新造した。これはコインシデンスを要求されるトリガカウンタの相方になるものであると同時に、ベータ線のエネルギーを検出するものである。以前のものは、ベータ線が貫通しうる薄さであったので、十分な厚みを持たせて確実にベータ線が止められるものを新たに用意した。

これら全ての検出器及び後述するビームストッパー周辺の装置を支えるための架台を設計製作した。

## - 性能評価試験

以上のように開発された電子横方向偏極度計を用いて、2008 年 4 月、KEK-TRIAC の 8Li ビームラインで実験を行なった。この実験の目的は、開発した偏極度計で得られる実験精度についてのシミュレーション結果が信頼できるものであるかどうかを、実際に実験を行なって確かめようというものである。178keV/u に加速された 8Li を Cu 箔に埋め込み、そこから放出されるベータ線が Mott 散乱する様子を MWDC によって観測した。

まず、Mott 散乱させるための金属薄膜(Au, 厚み 10 $\mu$ m)の有無によって、検出される散乱飛跡の数に違いが現れることを確認した。金属薄膜が薄いため Mott 後方散乱の断面積が小さく、また加速器ビームライン環境下ではバックグラウンドイベントが多いため、真に見たい金属薄膜との散乱を検出できない恐れがあったが、薄膜の有無で有意な違いが現れたことから、見たい散乱イベントを十分に検出できていることが分かった。

また、トリガカウンタとストッピングカウンタのコインシデンスにより出力されるトリガ信号と、MWDC によって検出される散乱イベントの数に、大きな差があることが分かった。ベータ線の Mott 後方散乱したものがトリガ信号を出力させると考えていたが、実際にはトリガカウンタとストッピングカウンタを一直線に貫いたり、またベータ線とガンマ線がそれぞれを同時に鳴らしたりするようなイベントが支配的に生じていることが予想される。この問題は、トリガ信号を出力させる回路に、MWDC から出力される信号を加えることで大きく改善できると考えている。

詳細な実験結果については現在解析中であるが、Mott 散乱の非対称度で言う数%の精度が得られる見込みである。この数字は先のシミュレーション結果と比較して不一致するものではなく、およそシミュレーションの信頼性が確認できたといえる。

## 研究成果の概要 つづき

## ● 偏極不安定核の保持法の確立

偏極不安定核ビームを停止させ、その偏極を保持させるためのビームストッパーの開発を行なった。

## - 偏極保持装置の設計

ストッパーと偏極度計を可能な限り近づけることで検出器立体角を確保するために、偏極保持磁場の形成には小型の永久磁石を用いて、また冷凍機を用いない常温での運用を考えた。

偏極不安定核を使用するという点で共通する  $\beta$ -NMR 法を利用する実験では、通常、大型の電磁石が用いられる。その理由は、磁場強度を変更する必要があることや、磁場分布が一様であることが要求されることなどがあるが、本研究課題ではそれらは必要とされないためにこの方式が採用できる。永久磁石の磁場強度は、磁場によるベータ線の偏向も考慮する必要があるため、核偏極を保持できる最小限の強度が求められる。偏極が緩和する時間は、ストッパーを十分に冷却することで長くなることが知られているが、検出器立体角の確保という観点から、場所を取る冷凍機は使用しないこととした。

## - 偏極緩和時間の依存性

偏極緩和時間の磁場強度依存性およびストッパー材質依存性に関しては十分な資料がなかったため、実際に実験を行なって確認した。実験は、2007 年 6 月、大阪大学バンデグラフの偏極ビームラインを利用した。 $7\text{Li} (d, p) 8\text{Li}$  反応によって得られた偏極  $8\text{Li}$  をアニーリングした金属ストッパー (Al, Cu, Pt) に打ち込み、 $\beta$ -NMR 法によって偏極度を測定した。その結果、磁場強度を強めることで偏極度及び偏極緩和時間が長くなるという磁場強度依存性、さらにストッパーは Al, Cu, Pt の順で緩和時間が長くなりやすいというストッパー材質依存性を得ることが出来た。特に、ストッパー材質依存性は、物性の観点からも興味深いものであり、ストッパーとストッパーの状態、磁場強度の組み合わせ次第では大きく緩和時間が変化する条件が存在する可能性も得られた。さらなる研究によって詳細が明らかになると期待される。

ここで調査した偏極緩和時間の依存性を元に、時間反転対称性検証実験では磁場 500G 程度、材質は Pt を使うことを決定した。この条件では緩和時間は 2 秒以上が達成できるので、 $8\text{Li}$  の半減期 0.84 秒の倍以上保持していただけるために十分な数字であるとした。

以上のように、電子横方向偏極度計、および偏極保持装置の開発を行なった。2008 年度には、これらを用いた KEK-TRIAC の偏極  $8\text{Li}$  ビームラインでの実験(受諾済み)が予定されており、さらには、TRIUMF-ISAC での実験も計画している。前者は、世界初の MWDC を用いた電子偏極度計による時間反転対称性の破れ探索実験を行なうものである。この実験に先駆けて、同施設で性能評価試験を行なったので、そこで得られる結果について正確な予測を立てることが可能となった。TRIUMF-ISAC においても同様の実験を行なう計画であるが、 $8\text{Li}$  ビーム強度・偏極度が KEK-TRIAC でのそれを大きく上回るものであるため、世界最高の実験精度が達成できるものと期待している。

**研究発表** (研究によって得られた研究経過・成果を発表した①～④について、該当するものを記入してください。該当するものが多い場合は主要なものを抜粋してください。)

- ①雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)
- ②図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)
- ③シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)
- ④その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

**① 雑誌論文**

**Riken Accelerator Progress Report 40 (2007) 167**

*Development of a Mott polarimeter for T-violation experiment*

H. Kawamura, T. Arai, K. Asahi, T. Inoue, D. Kameda, J. Murata, D. Nagae, T. Nagatomo, K. Narita, K. Shimada, T. Sugimoto, M. Takemura, K. Takase, T. Toyoda, R. Tsutsui, M. Uchida, H. Ueno, and A. Yoshimi.

**RIKEN Accel. Prog. Rep. 41 (2008) in press**

*A beam stopper and a Mott polarimeter for T-violation experiment*

H. Kawamura, M. Fukuda, Y. Hirayama, D. Kameda, J. Komurasaki, K. Matsuta, M. Mihara, J. Murata, T. Nagatomo, K. Narita, D. Nishimura, T. Toyoda, M. Uchida, H. Ueno, and H. Yoshimi.

**② 図書**

**AIP Conference Proceedings, vol.915, 2007/7, 218**

*Beta Neutrino Correlation and T-Violation Experiment in Nuclear Beta Decay*

J. Murata, K. Asahi, D. Kameda, H. Kawamura, D. Nagae, K. Narita, K. Shimada, T. Shimoyama, T. Suehiro, T. Toyoda, M. Uchida, H. Ueno, A. Yoshimi

**AIP Conference Proceedings, vol.915, 2007/7, 1105**

*Development of a New Drift Chamber Based Mott Polarimeter*

H. Kawamura, D. Kameda, J. Murata, K. Narita, T. Shimoyama, T. Suehiro, T. Toyoda, M. Uchida

**③ シンポジウム・公開講演会等の開催**

該当なし

**④ その他**

**International Nuclear Physics Conference (INPC2007), 2007/6, Tokyo**

*A New Drift Chamber based Mott Polarimeter for T-violation experiment*

H. Kawamura, Y. Hirayama, D. Kameda, J. Murata, K. Narita, T. Shimoyama, T. Suehiro, T. Toyoda, M. Uchida

**平成 19 年度 KUR 専門研究会「原子核プローブ生成とそれを用いた物性研究 III」2007/11, 大阪府熊取**

*時間反転対称性検証実験のための  $8\text{Li}$  の T1 (スピン-格子緩和時間) と磁場依存性*

成田圭吾, 村田次郎, 川村広和, 豊田健司, 松多健策, 福田光順, 三原基嗣, 西村大樹, 小紫順治, 石川大貴, 亀田大輔

**日本物理学会第 63 回年会, 2008/3, 大阪府東大阪**

*時間反転対称性検証実験のための偏極保持装置の開発*

成田圭吾, 村田次郎, 川村広和, 豊田健司, 松多健策, 福田光順, 三原基嗣, 西村大樹, 小紫順治, 石川大貴, 亀田大輔, 平山賀一