

立教大学学術推進特別重点資金(立教 S F R)
 プロジェクト研究(共同研究科プロジェクト研究)
 2004年度研究【経過・成果】報告書

研究科名	立教大学大学院 理学研究科		
共同研究科名等	理化学研究所 旭応用原子核物理研究室		
研究課題	時間反転対称性の破れ探索実験用 β 線飛跡検出器の開発		
研究代表者	所属・職名	氏名	
	理学部・講師	村田 次郎 印	
研究組織	所属大学名等・職名	氏名	
	理化学研究所旭応用原子核物理研究室・主任研究員 兼 東京工業大学理工学研究科・教授	旭 耕一郎	
	理化学研究所旭応用原子核物理研究室・研究員	上野 秀樹	
	理化学研究所旭応用原子核物理研究室・基礎科学特別研究員	長谷山 智仁	
	理化学研究所旭応用原子核物理研究室・研究員	吉見 彰洋	
研究期間	2003 年度 ~ 2004 年度		
研究経費	2003 年度	2004 年度	総計
	6,000 千円	4,440 千円	10,440 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。)

理化学研究所応用原子核物理研究室にて開発・建設を進めている不安定核超低速偏極原子線を生成する装置を利用した、時間反転対称性の破れの検証実験に使用する β 線飛跡検出器の開発及び建設を行った。2003年度一年間で、大型の平面型ドリフトチェンバーの計算機シミュレーションから設計、プロトタイプではなく実機の製作及び運転試験まで達成し、2004年度には読み出し用の電子回路及びデータ収集システムの構築、並びに3次元飛跡決定のアルゴリズム開発と実際のソフトウェアの開発を行い、実際の実験に使用できるシステムを完成させることが出来た。今後は実際にビームを用いた実験を実行するとともに、本機を用いた RI 停止・輸送装置の開発など、他の理化学研究所の実験に於いて本機の登場が切望されており、共同研究科プロジェクト研究として大きな相乗効果を達成、また今後多くの実験での活躍が期待されるという大きな成果を得た。

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。)

[ドリフトチェンバー] [飛跡検出器] [ベータ崩壊]

研究【経過・成果】の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

本年度はまず、昨年度に製作したドリフトチェンバー本体を用いて、Ar 50% + ethane 50% 混合ガスを用いた信号チェックを行った後、理化学研究所に本体を移動させてテストベンチの構築を行った。チェンバーガスに関しては、作業環境の安全性とプレミックスの扱いやすさを考え、ドリフト速度と信号のパルス高などを考慮した上で、数多くのガスの中から P10 ガス (Ar 90% + methane 10%の混合ガス) を用いることに決定した。放射線入射によるガスの劣化を防ぐ為にガスを封じきりにせず、常に流すことが求められる為、ガスフローシステムを構築した。入射膜の保護の為、内圧を常に 5mmH₂O 以下に保ちつつ、100cc/min でガスをフローさせるシステムを製作し、約 1 週間かけて大気との置換を行った。続いて P10 ガスを用いた高圧印加試験、信号生成確認試験を行い、約 1600V 付近から十分な波高の信号が観測可能なことがわかった。約 2.5kV 付近から連続放電状態となり、ドリフト時間分布のシミュレーション結果を踏まえて、最適な印加電圧の選定及びドリフト時間と位置との関係の計算を行い、印加電圧約 2100V にて運転する事が最適である事を決定した。

チェンバー本体の試験と平行して、読み出し回路系の構築を行う為、まずは宇宙線及びβ線源を用いたテストを行う為のテストベンチを構築した。具体的には 1m 程度の大きさのプラスチックシンチレータを入射前面及び背面に設置し、タイミング信号を取得出来るようなセットアップを構築した。プラスチックシンチレータに放射線が入射した時点から、チェンバー中で放射線が電離を起こし、ガス中を電離電子が静電場によって加速されてドリフトし、センスワイヤーに到達するまでの時間間隔を計測する事により、センスワイヤーからの放射線入射位置までの距離を求めることが出来る。その為、プラスチックシンチレータの信号をトリガーとして、ドリフトチェンバー全チャンネルの TDC 情報を取得する必要がある。本開発研究では、全チャンネル読み出しに要する膨大な電子回路群を削減する為、同一センス面に位置するセンスワイヤーを一枚のディレイラインボード(遅延線)に全て接続し、信号遅延を利用して両端に達する時刻を計測する事でどのワイヤーが鳴ったかを決定する原理を採用することにした。

本チェンバーにはセンス面が 6 面あり、それぞれのセンス面においてワイヤー方向と垂直な軸方向の一次元入射位置が決定出来るしくみとなっている。本研究で想定しているβ崩壊観測実験の場合、1 イベントで複数の粒子がチェンバーを鳴らす事はない為、各センス面で信号が観測されるワイヤーは一本だけである。そこで、ディレイラインを用いた小規模な読み出し系を用いる方が有利であり、かつデメリットも少ない。今回開発したディレイラインボードは、ガラスエポキシ基板上にエッチングを用いて遅延パターンを片面構成する事によって作成した。遅延パターンの裏側に、グランド面を設けて読み出し系とのインピーダンス整合を試みたが、理想的には多層基板内部に遅延パターンを、両面にグランド面を設けた方がよかったかもしれない。ここでは開発の簡単な片面パターンを採用し、別のグランドボードを併用する事で回路のノイズレベル低減や反射の抑制を行った。複数の試験ボードを作成し、様々な状況下でノイズレベルの検討を行い、ディレイライン両端の時間差から十分にワイヤーの決定が出来る長さの遅延時間の最適化を行った。ノイズレベルが小さければ、ディレイ時間も小さく出来、ディレイラインボードも小型化出来るものである。実際にはワイヤー間に約 10ns 間隔を設けるものを最適として決定し、全チャンネル分を製造した。この先に接続される前置増幅器の入力インピーダンスと、ここで製作するディレイラインボードの特性インピーダンスは近い値を取ることが要求されるが、特性インピーダンスはボードの幾何形状でほぼ決定される。最適な遅延時間を考慮した上で実際に作成したものは 105 オームであり、ほぼ理想的な値を得ることが出来た。実際に試験を行った結果、インピーダンス不整合による反射は殆ど観測されなかった。

研究【経過・成果】の概要 つづき

6枚のディレイラインボードを作成し、それぞれ両端からの信号の到達時間を計測する必要がある為、全12チャンネルの読み出し回路が必要となる。現在、時間を計測する電子回路の入力信号規格としてはLVDSが特に高エネルギー物理実験では標準化しつつあるが、小規模データ収集システムではあまり一般的でない。読み出し回路は前置増幅器とTDCで構成されるため、組み合わせで考える必要があるが、状況判断から前置増幅器には最新のASDチップを搭載した高エネルギー用のプリアンプボードを採用し、信号変換を経て、小規模データ収集システムとして標準的なCAMAC規格のTDC、NIM信号入力のものを用いることにした。ASDチップはKEKでアトラス実験用に開発されたもので、増幅、波形整形、波高選別を行うもので、これまで多くの回路に分散して行っていた操作を一つのチップに16ch分収めたもので、システムを非常にコンパクトに収めることが出来る。一方、ASDチップは信号の時定数の小さい検出器向けに作られたものである為、ドリフトチェンバーでは信号の一部のみを利用する形となって時間分解能等を悪化させる可能性がある。本研究では実際にASDチップを用いたノイズ試験を行い、使用できるレベルである事を確認した上で採用を決定した。

CAMAC-TDCを用いたデータ収集系は、現在データ解析の標準となりつつある、rootソフトウェアを利用できるもので構築した。取得した時間データから、ヒットしたワイヤーを決定し、また、トリガー信号との時間差からガス中でのドリフト時間を決定し、6面のドリフト時間情報から3次元での直線飛跡決定アルゴリズムの開発を行った。本研究では1台のドリフトチェンバー単体で3次元飛跡を決定する為、センス面に対して非常に大角度での入射イベントを扱う必要がある点が通常の場合と大きく異なっている。斜め入射を補正として取り込まず、初めから決定すべきパラメータとして設定して位置情報決定と同時に入射角度も決定される様な数学的なモデルを構築して、実際のソフトウェア開発を行った。飛跡決定のソフトウェアはまだ改良の余地が大きいものの、実際の実験に使用できるレベルには達しており、テストベンチのセットアップから、実際の加速器実験で使用できるコンパクトなセットアップに改良が進みつつある。2005年前半にも使用される予定である。

時間反転対称性の破れの実験にはRIビームの捕集装置の開発が不可欠であるが、こちらは理研グループの手により開発が進展し、この秋にも最初のテスト実験が可能な状況になりつつある。初期の段階では原子線の磁気共鳴を利用した不安定核の磁気モーメント計測に全力を集中させる事になるが、その際の β 崩壊の観測にまず本研究で完成された β 線飛跡検出システムの活躍が要請されている。その段階で原子線偏極装置と飛跡検出システム相互の整備が行われ、時間反転対称性の破れ探索実験が可能になるものと大いに期待される。本共同研究科プロジェクトは原子線偏極装置と β 崩壊観測装置という、時間反転対称性の実験遂行の鍵となる2大技術を理研と立教がそれぞれを分担して開発して、双方に人的、技術的交流を深めながら成果を上げつつあり、大きな計画の準備段階と言える現状を超えて、今後の本格的な物理の成果をあげる実験に向けた、非常に重要な開発要素を克服し、大きく、着実な前進を遂げる事が出来たと言えよう。