

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2017～2019
 課題番号：17K14266
 研究課題名(和文) 超新星背景ニュートリノ観測のためのスーパーカミオカンデ全反射型集光レンズ開発

研究課題名(英文) Development of a light collection system using total reflection type lens for supernova relic neutrino observation at Super-Kamiokande

研究代表者

池田 一得 (Ikeda, Motoyasu)

東京大学・宇宙線研究所・助教

研究者番号：90583477

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、スーパーカミオカンデを用いて、星・ブラックホール形成の謎を解明する鍵となる超新星背景ニュートリノの発見を目指し、光電子増倍管に取り付ける新しい集光システムの開発を行った。
 集光システムは、当初空気層を持ったアクリル板を検討してきた。検討では、1) 空気層の耐圧性能、2) 空気層の長期安定性能、3) 安価で作成するための設計を進め、その内1) 2)は目標を達成することが分かった。
 そこで、インジウムミラーを使った集光システムを検討し、今後はハイパーカミオカンデのための集光システム開発として研究を継続していくことになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、アクリルと空気の境界における全反射を用いた集光システムについて、その性能については問題なく機能することが分かった。しかしながら、それを低コストで実現することは難しいことも明らかになり、今後は、インジウムミラーを用いた収集システムの開発に引き継がれることになる。
 インジウムは、伸縮性もあり、加工しやすいというのが最大のメリットであり、低コスト化が期待できる。それを応用して、スーパーカミオカンデの後継機であるハイパーカミオカンデの性能向上に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have developed new light collection systems to attach to photomultiplier tubes in the Super-Kamiokande detector to enhance its discovery potential of supernova relic neutrinos, which is the key to elucidating the mystery of star and black hole formation.

For the light collection system, we initially considered an acrylic plate with an air layer. In the study, it was found that 1) the pressure resistance of the air layer, 2) the long-term stability of the air layer, and 3) the design for making it at a low cost, of which 1) 2) achieved the target. Therefore, we decided to study a light collection system that uses an indium mirror, and in the future we will continue research as a light collection system development for Hyper-Kamiokande.

研究分野：ニュートリノ天文学

キーワード：ニュートリノ 超新星爆発

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究では、岐阜県飛騨市に存在する 50 キロトンの水チェレンコフ検出器スーパーカミオカンデ検出器を用いて、超新星背景ニュートリノの発見を目指し、そのために光電子増倍管に取り付ける新しい集光システムの開発を行うことを目的とする。超新星背景ニュートリノは、宇宙の歴史でこれまでに起きた超新星爆発から放出され、現在も宇宙を彷徨っているニュートリノのことをよび、その発見は現在予測値と実測値に隔たりのある超新星発生頻度を正確に測定することができるなど、宇宙の歴史に関する宇宙物理の重要な問題解決につながると考えられる。また、スーパーカミオカンデの後継機であるハイパーカミオカンデでの使用も含めて、集光システム検討を行う。

2. 研究の目的

超新星背景ニュートリノ観測における、バックグラウンド源の一つが宇宙線 μ 粒子による核破砕起源の事象である。それらは、もともと低いエネルギーを持っているガンマ線やベータ線が、SK 検出器のエネルギー分解能によって超新星背景ニュートリノのエネルギー領域まで染み込んでくることで問題となる。本研究では、スーパーカミオカンデの光電子増倍管に集光システムを装着することで観測するチェレンコフ光子数を増やし、エネルギー分解能を向上させることでそのようなバックグラウンドを削減するのが目的である。

3. 研究の方法

集光システムとして、まず空気層を持つアクリル板の検討を行った。これは、アクリルと空気層との境界で起きる全反射を利用して光電子増倍管に集光するという、シンプルな構造である。本研究では、具体的な構造を検討し、試作機を作成し、試験を行った。その結果を受け、インジウムミラーの検討を進め、その評価試験を行った。平行して、シミュレーションによる検出器性能の評価を行った。

4. 研究成果

空気層を持つアクリル板を使った集光システムについて具体的な構造の検討を行った。右図上のように単に空気層を挟む構造では、水深 40 m (スーパーカミオカンデ検出器の底部の水深) に耐えることはできない。そこで、空気層内部でアクリルの指示構造を作ることによって、耐水圧性能の向上を図った。試作品を作成し、耐圧試験を行

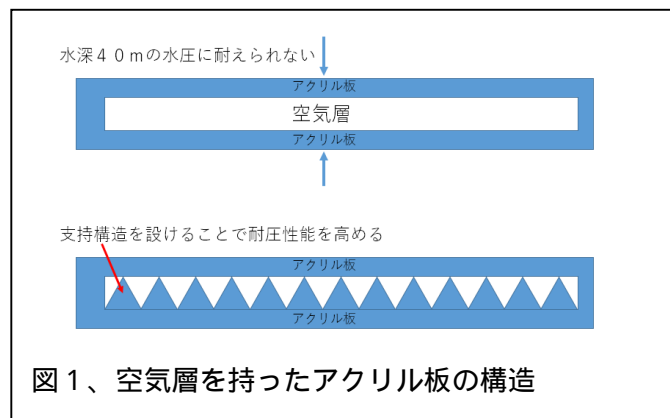


図 1. 空気層を持ったアクリル板の構造

った結果、水深 40 m であっても空気層を保つことができた。さらに長期試験を行い、少なくとも 1 か月の加圧試験においても、空気層が破壊されないことを確認できた。しかしながら、加工が増えることにより、低コスト化が困難になった。そこで、インジウムミラーを使った集光システムの検討を開始した。インジウムは、粘性が強く加工がしやすいため、アクリル板に蒸着させてから曲げ加工をすることが可能である。さらに、そのように作成されたインジウム蒸着アクリル板は屋外看板でも使用されているように耐久性は十分高いと考えられる。

そこで、図 2 に示す試験セットアップを作成し、インジウムミラーの評価を行った。評価では、加速試験として、60 の 0.2%硫酸ガドリニウム水溶液中に長期間浸し、反射

率の変化を測定した。その結果、2年後(加速ファクターを考慮すると6年の浸水に相当)に反射率の有意な変化は認められなかった。

平行して、シミュレーションを使った検出器性能の見積を行った。シミュレーションでは、図3のような形状の集光ミラーを各光電子増倍管に設置し、検出器としてはハイパーカミオカンデを想定して、検出器性能について確認を行った。

その結果、観測される光子数が1.25倍になり、エネルギー分解能の向上が期待できることが確認された。また、懸念事項の一つであった時間分解能の悪化による事象発生点再構成における位置分解能の悪化について確認を行った。その結果、数 MeV の低エネルギー領域では観測光量の増加により、集光システムありの場合で位置分解能がよくなる傾向が分かった(図4)。図4では、特に5 MeV 以下の領域で、その効果が顕著にみられ、集光ミラー導入により解析閾値を下げられる可能性があることが分かる。一方、数100 MeV - 1 GeV の高エネルギー領域では、位置分解能の悪化が見られる(図5)。これは、集光ミラー導入による時間分解能の悪化だけでなく、集光ミラーでの反射光が光電子増倍管でさらに反射し別の光電子増倍管で観測されることによりチェレンコフリングパターンがぼやける影響も考えられる。再構成の際にその影響を考慮することで、改善の余地がある。以上の通り、今回のシミュレーションにより、集光ミラーによる検出器性能の向上を確認し、今後の課題をはっきりさせることができた。

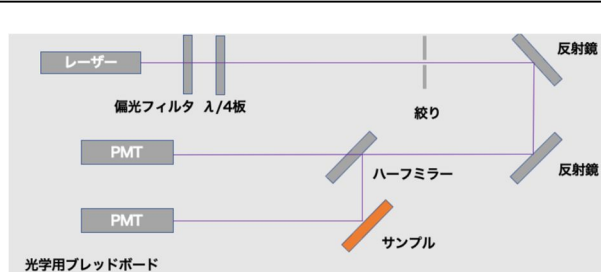


図2、集光ミラー試作機の試験用セットアップ。

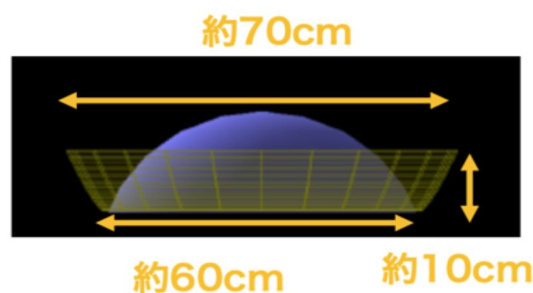


図3、シミュレーションした集光システム

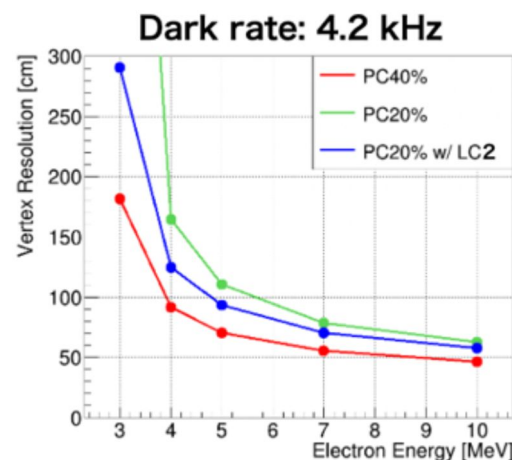


図4、位置分解能のエネルギー依存。線は上から、光電面被覆率20%、光電面被覆率20%に集光システムあり、光電面被覆率40%の場合である。

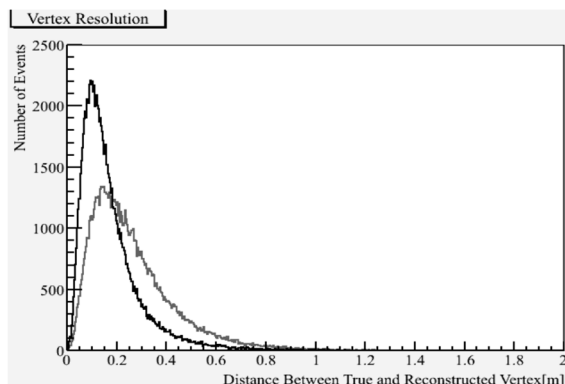


図5、高エネルギー事象(200 MeV-1 GeVの μ 粒子)における再構成位置の発生位置からのず

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Motoyasu Ikeda
2. 発表標題 Solar neutrino measurement with Super-Kamiokande
3. 学会等名 The XXVIII International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田一得
2. 発表標題 SK-GD計画の現状
3. 学会等名 第4回超新星ニュートリノ研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田一得
2. 発表標題 SK-GD
3. 学会等名 2017年度CRC将来計画タウンミーティング
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Motoyasu Ikeda
2. 発表標題 Radiopurity program for SuperK-Gd
3. 学会等名 LRT 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

アウトリーチ活動：神岡町ひだ宇宙科学館カミオカラボでの一般公演 2019年7月 （招待講演）

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----