

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 28 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26610067

研究課題名(和文)原子核乾板デジタルアーカイブス計画 - DONUT、RUNJOB乾板による基礎開発

研究課題名(英文)Digital archives project of all nuclear emulsion experiments

研究代表者

中村 光廣 (NAKAMURA, Mitsuhiro)

名古屋大学・未来材料・システム研究所・教授

研究者番号：90183889

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：過去・現在・未来の原子核乾板を用いた実験群を、最新の原子核乾板自動飛跡読取装置を用いて読み取り、その記録飛跡をデジタルアーカイブ化するための基礎的研究を行った。1) 現像処理によって縮んでしまっている原子核乳剤膜厚を膨潤し、読取装置に適した膜厚にする処方確立。2) 読み取ったデータの貯蔵形式、飛跡再構成などの取り扱いの確認を行った。これらの研究により、原子核乾板のデジタルアーカイブ化に関するプロジェクトのスタートを切ることが出来たと言える。
今後乾板の読取、デジタルデータ化の本格展開をはかり、研究をさらに推進してゆく。

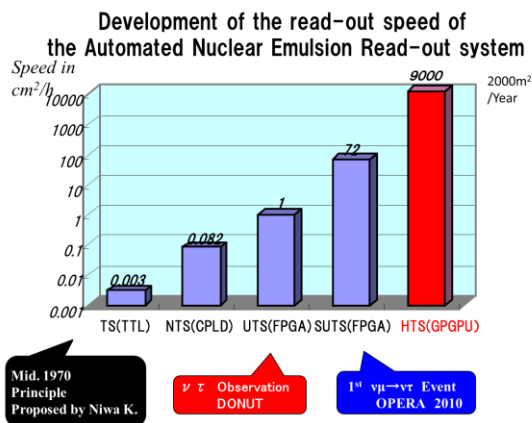
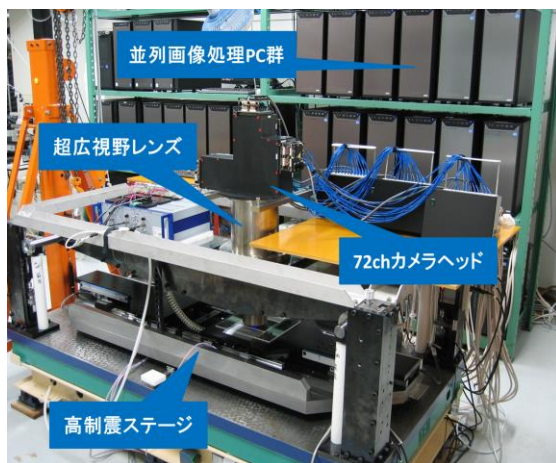
研究成果の概要(英文)：This research project intended to establish the basic technologies for Digital Archives of past, present and future Nuclear Emulsion experiments. 1) Established the method to match the emulsion thickness to the automated nuclear emulsion read-out system by swelling the emulsion layer. 2) Confirmed the validity of the utilized data formula and the track reconstruction tools. By this study, we have succeedingly started the emulsion digital archives project. We will continue the project and extend to the experiments in which valuable data are still hidden.

研究分野：素粒子宇宙物理学実験

キーワード：原子核乾板 デジタルアーカイブス 自動飛跡読取装置

1. 研究開始当初の背景

原子核乾板はサブミクロンの3次元位置分解能を持つ素粒子検出器であり、タウニュートリノの研究などにおいて大きな役割を果たしてきた。その解析は、顕微鏡で行うために時間と手間のかかるものであったが、我々はその自動化を推進してきた。2014年から本格運用が始まった新世代機 (HTS: Hyper Track Selector, 下図) は、毎時~1 m²の読出速度、年間読出し面積にして約 2000 m²を最終的に実現する。これは OPERA 実験以前の加速器実験や気球実験の総乾板面積にほぼ匹敵する。(例: $\nu\tau$ 検出実験 DONUT (約 100 m²)、ニュートリノ振動実験 CHORUS (約 400 m²)、RUNJOB 実験 (約 55 m²)、JACEE 実験 (約 900 m²)。)



これら過去の実験の解析では、当時の原子核乾板解析能力の弱さを補うために解析する反応を絞り込む必要があった。加速器実験の場合だとシンチファイバー検出器などの位置検出器や μ 粒子トリガーなどの併設カウンターにより、また気球実験の場合はX線フィルムなどを用いて TeV 級の高エネルギー電磁シャワーがついているイベントやZの大きな核などに絞り込んで解析を行ってきており、実際に読み出された乾板は全体積の1%に満たず、記録された膨大な飛跡情報のごく一部を読み出し活用したに過ぎない。また加速器実験の場合はカウンターが再構成に失敗する様な複雑な反応は解析の対象とは出来ていない。

これに対して HTS を用いれば、乾板の全面を読み出し、記録されているすべての飛跡・反応が解析の対象となり、いわゆる原子核乾板の Minimum bias 解析を世界ではじめて実現できるようになる。

2. 研究の目的

過去・現在・未来の気球実験や加速器実験の原子核乾板を、最新の自動飛跡読取装置により読取り、記録されている全飛跡・全反応をデジタルデータ化し、広く公開・研究に提供する原子核乾板デジタルアーカイブ計画のための基礎研究を行う。

ニュートリノ研究を主目的として我々が開発してきた原子核乾板自動飛跡読取装置の読取速度は、2014年には1 m²/時 (年間で約 2000 m²) に達する。これを用いて、世界中に保存されている原子核乾板をすべて読み取りデジタルアーカイブ化するための基礎研究を、まずは過去の加速器実験 DONUT (タウニュートリノ検出実験)、PEANUT 実験と気球実験 RUNJOB の乾板を用いて行う。1) HTS での読取の為の条件だし、2) 大面積データの取り扱い・処理手法の確立、3) その公開方法の検討などを行い、今後の本格的展開のための基礎を確立する。

3. 研究の方法

飛跡読取装置は顕微鏡システムであり、ピントが合う焦点面の厚みは光学系の Numerical Aperture (N.A.) によって決まる。HTS は従来比 650 倍の広視野をカバーするレンズを合理的に実現する為に N.A. が 0.6 に押さえてあり、焦点が合う深度が従来の顕微鏡に比べて深く、3 ミクロンとなっている。現在の飛跡認識アルゴリズム (TS) は最低 16 層の断層映像を必要とするために、使用する原子核乾板の膜厚は 48 μ m 以上が必要となっている。このため上記実験に使用した原子核乾板の HTS にあわせた膜厚調整が不可欠であった。

原子核乾板の膜厚調整は、膜内に含まれる膨潤物質 (今回はグリセリン) の量を調整することで行う。このために乾燥している乾板を一度水につけて膜を再膨潤し、次にグリセリンを一定濃度溶かした水溶液に飽和させて、その後乾燥させる。

このようにして膜厚調整を行った乾板を、HTS で読み取り、乾板の検出効率他の評価を行う。

4. 研究の成果

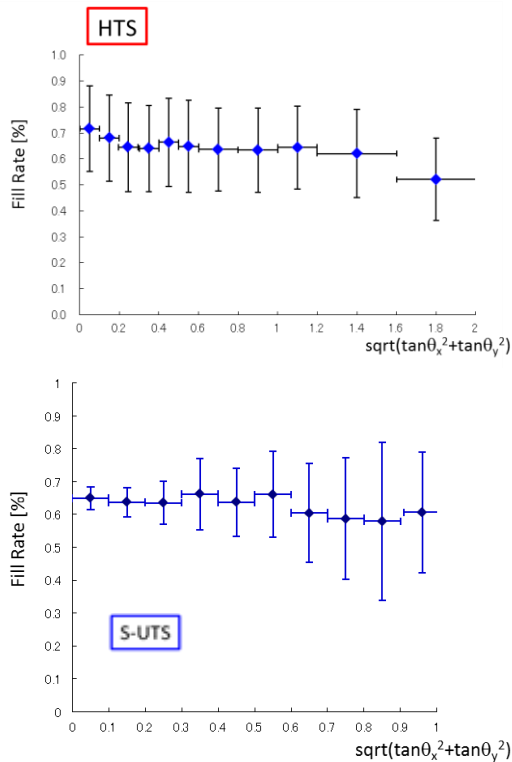
グリセリン濃度を調整することにより膜厚を調整するが、今回の試験で、実験によってこの膨潤度合いが異なる事がわかり、実験毎の濃度調整を行う必要があることになった。これは当時乳剤に使用されたゼラチンの種類ならびに現像手法に依存するものであ

と思われる。特に現像の最終段階の定着過程では、通常ゼラチンの架橋を促進するみょうばんを添加しているが、その濃度・浸漬時間によってゼラチンの架橋具合が異なり、膨潤に差が現れると考えられる。

RUNJOB で使用した乾板に対しては、25%濃度のグリセリン溶液を用いる事によって、また PEANUT 実験においては、35%濃度のもので目的とする厚み 55~60 μm を得ることが出来た。

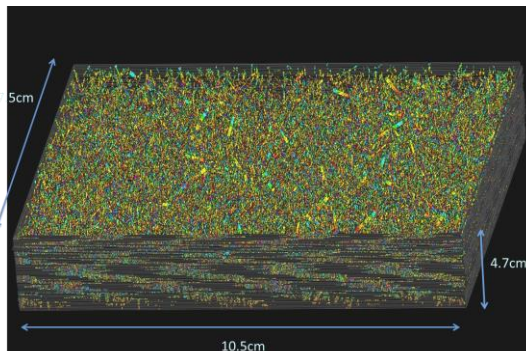
次に膨潤した PEANUT 実験の乾板を実際に HTS で読取、評価をおこなった。まず 10 枚中 5 枚以上のシグナルを要求した飛跡を用いて、両端の飛跡を除く中間のフィルム中にシグナルが含まれる割合 (Fill Rate) を検出効率として評価した。

下図に結果を示す。また比較のために従来機 SUTS を用いた結果を示す。



HTS による結果はより広い角度範囲までカバーできており、検出効率も遜色ないものとなっている。

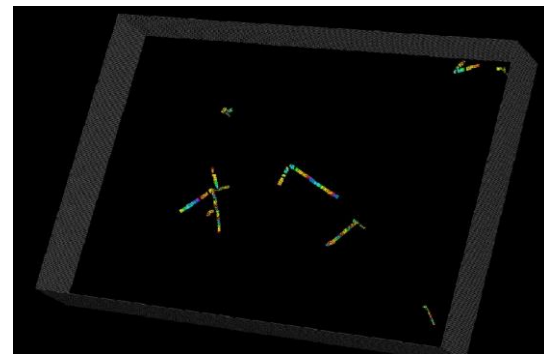
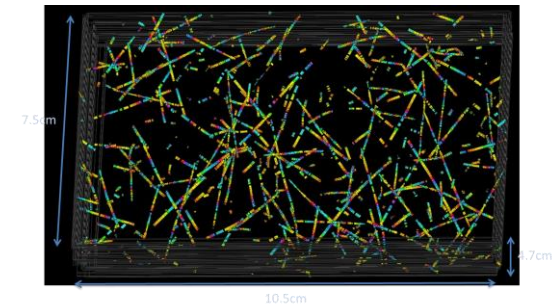
下図は評価用に、PEANUT の乾板を SUTS により読み出した飛跡群を示している。検出器の構造は 0.5mm の鉄板と OPERA フィルムを交



互にサンドウィッチしたものであり、61 枚の乾板を 10.5cm×7.5cm の範囲にわたって読み出した飛跡情報となっている。

ニュートリノ反応検出の手始めとして、電離損出の高い飛跡を抜き出し、それに付随する最少電離飛跡の検出を試みた。

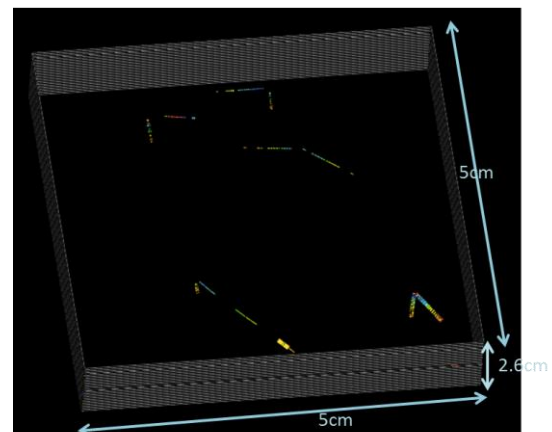
下図は、電離損出の高い粒子を抽出したものであり、全部で 534 本ある。



これらにインパクトパラメータ 20 ミクロン以内で付随する最少電離粒子群を探索し、9 例の反応候補を検出出来た。

この体積内に記録されている予想ニュートリノ反応は 70 例であり、シミュレーションによればそのうち今回の探索条件を満たすものは期待値で 6 例であり、検出数と誤差の範囲で一致している。

今回のデータ量 (1ECC あたり) は、約 1 TB であり、PEANUT の場合実験全体で 36 個の ECC があるので、デジタル化された後のデータ量は総計約 40TB となる。最近のリムーバブルハードディスク複数個で搬送できるデータ量であり、アーカイブ化にはまだ少し大きいですがそれなりに取り扱える量とすることが出



来ていると言えよう。

HTS を用いた解析も同様に行っており、上図に示すようにニュートリノ反応の検出に成功している。

過去の実験で用いられた原子核乾板を自動飛跡読取にかけるための前処理（膜厚処理：膨潤処理）はほぼ確立した。また取得データのユニットも 12cm×9cm 程度と比較的適切なものとする事が出来ている。

オフライン処理をするためのツールはニュートリノ実験 OPERA で用いられてきたものをまだ流用しており、今後階層モジュール化して、様々な物理解析にフレキシブルに対応できるものとしてゆく必要がある。

以上本研究により、原子核乾板のデジタルアーカイブ化に関するキックオフをする事が出来たと結論することが出来る。

今後乾板の読取、デジタルデータ化の本格展開をはかり、研究をさらに推進してゆく。既に JACEE の南極周回気球フライトの乾板をアーカイブ化して、その中で反重陽子探索を行う事などが提案されている。

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 4 件）

1) 「加速器ニュートリノ実験 PEANUT の反応解析」北川暢子、日本物理学会年次大会 2016 年 3 月 19-22 日、東北学院大学、仙台

2) 「気球搭載エマルジョンチェンバーから検出されたハドロン反応の自動飛跡読取装置を用いた解析」、森下美沙希、日本物理学会年次大会 2016 年 3 月 19-22 日、東北学院大学、仙台

3) 「加速器ニュートリノ実験 PEANUT の反応解析」、北川暢子、日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月 21 日（土・祝）～24 日（火）、早稲田大学 早稲田キャンパス

4) 「加速器ニュートリノ実験 PEANUT の反応解析の現状」、北川暢子、日本物理学会 2014 年秋季大会、佐賀大学 本庄キャンパス

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

名古屋大学 基本粒子研究室

<http://flab.phys.nagoya-u.ac.jp/2011/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村光廣 (Nakamura Mitsuhiro)

名古屋大学 未来材料・システム研究所
教授

研究者番号：90183889

(2) 研究分担者

児玉康一 (KODAMA Koichi)

愛知教育大学 教育学部 教授

研究者番号：70211901

(3) 研究分担者

市村雅一 (ICHIMURA Masakazu)

弘前大学 理工学研究科 准教授

研究者番号：20232415