

**原子核乾板 -基礎研究・分野横断研究への21世紀的展開-**  
Nuclear Emulsion -New deployments for fundamental  
and interdisciplinary researches in the 21st century -



課題番号：18H05210

中村 光廣 (NAKAMURA, Mitsuhiro)

名古屋大学・未来材料システム研究所・教授

**研究の概要**

世界最高精度のサブミクロンの三次元空間分解能を持つ素粒子飛跡検出器「原子核乾板」の供給体制・解析体制を強化し、並行して原子核乾板の高機能化をはかり、次世代の基礎研究や宇宙線ミュオンを用いた大型建造物の内部透視をはじめとする分野横断研究の展開に資するものとする。

研究分野：素粒子・宇宙線物理学実験

キーワード：原子核乾板、素粒子宇宙物理学実験、宇宙線ミュオンラジオグラフィ

**1. 研究開始当初の背景**

原子核乾板は、素粒子の飛跡をサブミクロンの空間分解能で記録できる三次元放射線飛跡検出器であり、タウニュートリノの発見やタウニュートリノ出現の検出によるニュートリノ振動の最終検証などを通して素粒子物理学の進展に貢献してきたが、今日ピラミッドや古墳の透視などの大型建造物の非破壊検査や、気球搭載型の世界最大口径のγ線望遠鏡の実現など、その活躍の場を基礎研究のみならず分野横断研究にも急速に広がっている。

**2. 研究の目的**

本特別推進研究では、我々が2010年から開始した大学での原子核乳剤の独自開発・製造をさらに発展させるとともに、自動フィルム塗布装置を開発し、原子核乾板供給能力の増強を行うのと並行して、1980年代から世界に先駆けて開発を続けてきた原子核乾板自動飛跡読取装置のさらなる高速化をはかり、年間10000㎡の乾板の供給・解析体制を確立し、次世代の基礎研究・分野横断研究の展開に資するものとする

**3. 研究の方法**

- 1) 乳剤製造装置を増強し、並行して塗布速度>80㎡/日の自動塗布装置を開発する。
- 2) 読取速度>10㎡/時を実現出来る読取装置(HTS3型)を実現する
- 3) 原子核乾板の高機能・多機能化をはかる。感度のON/OFF機能付与の検討、低BG化、用途別最適化等を行い、処方確立する。

**4. これまでの成果**

**1)① 乳剤供給能力の強化**

初代装置比30倍の製造能力を持つ装置を開発構築し、原子核乳剤の製造を開始した。図1に、この装置で製造した原子核乳剤の結晶と、図2にその乳剤で製造した原子核乾板に記録された飛跡を示す。実用に十分なものとできている。

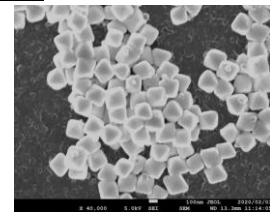


図1 新装置で製造した原子核乳剤のハロゲン化銀微結晶。粒子径~250nm。

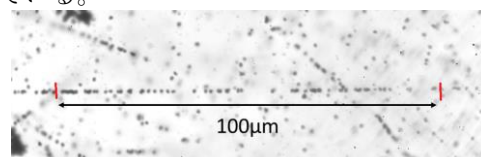


図2 記録された最少電離粒子の飛跡。感度を示す指標~100µmあたり平均46個の銀粒子で飛跡を構成。

**1)② フィルム塗布装置の構築/試験開始**

開発・構築し、試験を開始しているフィルム塗布装置を図3に示す。

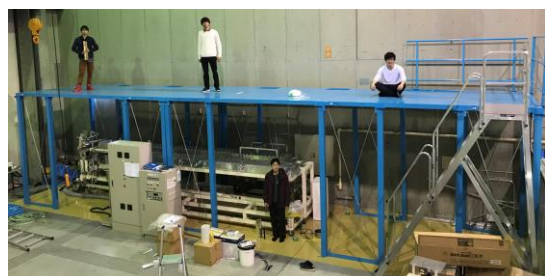


図3 フィルム自動塗布装置(1階部分)。今後青フレーム上部(2階部分)壁側に乾燥系空調装置類を実装する。

装置は、①乳剤を膜厚 70 $\mu\text{m}$  で塗布する塗布系、②フィルムベースの下処理をする下処理系、③塗布層/下引きゼラチン層を乾燥させる乾燥系よりなる。これまでに増粘剤を用いて乳剤の粘度調整を行い、目標とする厚い塗布膜厚を得ることのできる塗布条件を探し当てた。またコロナ放電によりベースのぬれ性を改善し、乳剤接着性を保証するため、下引きゼラチン層の液構成と塗布膜厚・回数を調整して、接着条件の最適化を行っている。

目標の塗布膜厚は 70 $\mu\text{m}$  であり、膜厚約 10 $\mu\text{m}$  の通常のカラーフィルムに比べて、約 7 倍の水分 (900g/m<sup>2</sup>) を含む。これを目標の 30 分以内に蒸発させるのが乾燥系の役割である。これまでに乾燥ユニット 1 台を構築、蒸発能力の評価を行い、理論値に整合する蒸発量を実現している事を確認した。乾燥部は 12m 長である事から、塗布速度は 0.4m/分となり、塗布面積速度にして目標の 10000 m<sup>2</sup>/年を実現できる見込みを得た。

## 2) HTS3 の設計を進め全体設計を行った。

1 本の超広視野主光学系+ドラム回転ステージをベースにした A 案と、複数本の小型光学系+通常ステージの B 案の検討を行った。A 案のドラム回転ステージに技術的確信が得られなかった事と、B 案のレンズに関して、既存装置のレンズを担当した企業から、現実的な提案がされ、最終的に B 案を採用することにした。レンズ単体の視野が狭くなるため移動ステップを短くでき、移動時間の短縮ができて、読み出しレートをあげる事もできる事も決め手になった。到達速度は鏡筒カメラの本数に依存するが、8 $\times$ 8 マトリクスで 11.5 m<sup>2</sup>/時の能力を実現できる。さらに鏡筒カメラの本数を段階的に増やしてゆく事により、開発研究を段階的に進める事ができる。またシステムの複製が容易であり、今後の拡張性にも優れることもメリットである (図 4)

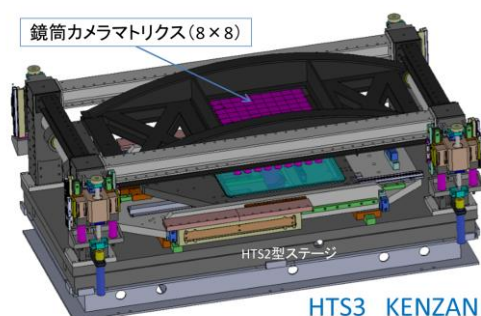


図 4 2020 年度より構築を開始する新超高速読み取り装置 HTS3 (KENZAN)。

## 3) ①原子核乾板の高機能・多機能化

これまでに a) 低温における発光現象の発見とメカニズムの解明、b) 原子核乾板の構成要素ゼラチンに含まれるダスト事象の正体一部解明、c) 原子核乾板の長期特性の改善などを行ってきた。

a) は原子核乾板の感度制御 (ON/OFF) を温度で行う可能性を検討中に発見した物で、88K における発光量子効率 $\gamma$ 線事象に対して 22.5% と高く、NaI シンチレータ並みである。発光をプローブとして、臭化銀結晶内での e-h 対の振る舞いを探ったり、飛跡と発光の複合解析により、実験の規模拡大につながったり、新たな展開を可能とする発見であるといえる。b) に関しては、位相差顕微鏡と FIB\_SEM (Focused Ion Beam Secondary Emission Microscope) を用いた評価を行い、ゼラチン中のダスト事象が 100~200nm サイズの SiO<sub>2</sub> 微粒子であることを突き止め、その成因の除去を行うこととした。c) に関しては、乳剤に含まれるゼラチン量を増やす、特性を劣化させる薬品の特定・除去、代替薬品の選択と添加試験を行い、30 $^{\circ}\text{C}$  14 日程度の飛跡保持能力しか無かった物を 260 日まで使用可能とすることができた。

## 3) ② 用途別最適化など

各方面から寄せられた原子核乾板に関する相談に対応し、高精度冷・超冷中性子検出器、X 線トポグラフィ用乾板、陽子線治療の手法開発用原子核乾板の開発などを行った。

## 5. 今後の計画

- 1) 乳剤製造装置、塗布装置に関しては、2020 年度中期から実際の運用フェーズに入る。
- 2) 読み取り装置の構築を開始する。ステージ系は 2020 年度、レンズは 2020 年度と 21 年度に分けて構築し画像取得試験を開始する。2021 年度には試験運用を開始し、2022 年度からの本格運用につなげる。
- 3) 乾板本体に関しては、感度の ON/OFF 機能の付加と BG 削減を引き続き追求する。

## 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

- 1) Nuclear emulsion with excellent long-term stability developed for cosmic-ray imaging, A. Nishio\*, M. Nakamura et al., Nucl. Inst. Meth. A966(2020)163850.
- 2) Study on Luminescence of Fine-grained Nuclear Emulsion by Charged Particles, T. Shiraishi et al., Nucl. Inst. Meth. A927, 2019, 202-208
- 3) High-resolution X-ray topography of threading edge dislocations in 4H-SiC using a novel nuclear emulsion film improved special resolution and sensitivity, S. Yamaguchi<sup>1</sup>, N. Naganawa, and M. Nakamura, Japanese Journal of Applied Physics 58, 060901 (2019).
- 4) 長縄直崇、中野敏行、佐藤修ほか、「原子核乾板技術の進化と展開～デジカメ時代を生き抜くアナログフィルム」放射線化学第 107 号(2019)

他

## 7. ホームページ等

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