

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04241

研究課題名(和文)原子核乾板を用いた宇宙線ミュオンラジオグラフィ技術の高度化と新分野への応用展開

研究課題名(英文)Development of cosmic-ray muon radiography with nuclear emulsion

研究代表者

森島 邦博(Morishima, Kunihiro)

名古屋大学・高等研究院(未来材料・システム)・特任助教

研究者番号：30377915

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では原子核乾板を用いた宇宙線ミュオンラジオグラフィ(宇宙線中に含まれるミュオンを利用する事で巨大な物体内部をX線レントゲン撮影のように非破壊で可視化する技術)の開発を行った。実施した各種基盤技術開発および実証実験により宇宙線ミュオンラジオグラフィ技術の高度化および多分野への応用が急速に広がり、エジプトのクフ王のピラミッドの観測では新空間の発見、浜岡原子力発電所2号機の原子炉底部の可視化、中空床板の空洞可視化などの成果を上げた。これらの結果は、考古学調査、工業用プラント診断、インフラ点検などにおける新しい技術として適用可能である事を実証したものであり、更なる波及効果が期待される。

研究成果の概要(英文)：We developed cosmic-ray muon radiography with nuclear emulsion. Cosmic-ray muon radiography is a non-destructive inspection for large scale structures. We developed basic technologies and conducted the experiment for several targets. As a result, we achieved the following results. 1. Discovery of unknown big void inside the Khufu's Pyramid at Cairo in Egypt. 2. Demonstration of imaging of lower part of Hamaoka Nuclear Power Plant. 3. Demonstration of imaging of hollow floor plate. These results validated the methodology of application of several targets (archaeology, industrial plant, civil engineering).

研究分野：素粒子宇宙物理学

キーワード：宇宙線  
可視化 ミュオン 原子核乾板 ピラミッド 原子炉 イメージング ミュオンラジオグラフィ

### 1. 研究開始当初の背景

宇宙線ミュオンラジオグラフィとは、宇宙線中に含まれるミュオンを利用する事で巨大な物体内部をX線レントゲン撮影のように非破壊で可視化する技術である。この技術は、火山の観測や福島第一原子力発電所の炉心溶融の観測などへ適用されて成果を上げて来た。しかし、原子炉においては、圧力容器及び格納容器底部の観測などの課題も残されている。更に、この技術は火山や原子炉の他にも例えばピラミッドなどの破壊を伴う調査が認められない文化財や遺跡などへの活用が可能である。その他にも、橋梁やダムなどの社会インフラ点検技術や溶鉱炉などの工業用プラント診断技術等様々な分野で用いる事も可能である。

このように多くの対象への応用が可能な技術であるが、その実現のためには、高度な検出器技術が必要不可欠である。私たちはこの宇宙線ミュオンラジオグラフィに用いるミュオン検出器として、サブミクロンの3次元空間分解能を持つことから1mm以下の厚さにもかかわらず1mradのオーダーの角度精度を持ち、さらに、「電源不要、軽量、コンパクト」という特徴を併せ持つ写真フィルム型検出器「原子核乾板」が適していると考えて開発を進めてきた。この技術の更なる高度化による多分野への実用化のためには、検出器技術(検出器の特性向上や製造能力向上などの基盤技術)の更なる高度化とその多分野への実証実験が必要不可欠である。

### 2. 研究の目的

本研究では、原子炉内部の可視化等を目的として開発・実用化を進めてきた最先端の原子核乾板技術を用いた宇宙線ミュオンラジオグラフィの基盤技術(潜像退行特性の改善(長期連続観測の実現)、低ノイズ・高解像度化、製造技術、宇宙線ミュオンラジオグラフィのシミュレーション技術)の開発を行う。

これらの技術開発により、革新的な物理探査技術として、考古学(ピラミッド等の考古学遺跡調査)・土木工学(社会インフラ点検技術)分野への新たな応用や原子炉の圧力容器、格納容器下部の観測実証など多分野への応用展開を目指す。

### 3. 研究の方法

本研究では、宇宙線ラジオグラフィ技術の高度化及び実証試験を進める

技術の高度化に対してはいくつかのアプローチを行う。まず、様々な使用環境下における原子核乾板の長期特性(温度特性、感度劣化)の向上を狙い、素粒子検出部である原子核乳剤中の臭化銀結晶とゼラチンの体積比率の最適化、有効な化学薬品(被り防止剤など)のスクリーニング、臭化銀結晶のサイズを新規製造する技術の開発を行いサイズ依存性の理解を進める。また、原子核乾板検

出器の基材の選定および厚さの最適化による角度精度の向上を狙う。これらの性能評価試験をCERNのT9ビームラインを用いたパイオン照射により行う

検出器の大面积化および複数の対象の同時観測実現のために原子核乾板の製造の効率化および均質化のための機械化要素技術の開発を進める。

実際に得られる宇宙線ミュオンラジオグラフィ像と既知の情報から予想される宇宙線ミュオンラジオグラフィ像との比較分析のための宇宙線ミュオンラジオグラフィのシミュレーション技術の高度化を行う。

これらの基盤技術を用いて複数の対象において実証試験を実施する。具体的には、考古学(エジプトのピラミッド群の考古学遺跡調査計画 ScanPyramids)、土木工学(名古屋大学の橋梁 NUBRIDGE)、原子炉(中部電力浜岡原子力発電所2号機)等を対象とした試験を実施する。これらの実証試験の実施の結果を常に技術開発へとフィードバックする事で開発を加速し技術の高度化と多分野への展開を効率的かつ融合的に実施する。

### 4. 研究成果

本研究では、宇宙線ラジオグラフィ技術の高度化及び実証試験を行った。

原子核乾板の開発においては、以下の複数の要因分析により、大幅な潜像退行特性の改善に成功した。

臭化銀結晶とゼラチンの体積比率の分析においては、臭化銀結晶の体積がゼラチン中に占める割合が大きいほど潜像退行特性等が劣化する事を明らかにした。その原因は、ゼラチンによる臭化銀結晶の保護コロイド性が関係していると考えており、銀粒子密度と得られる感度の関係から最適な条件を見出した。

臭化銀結晶のサイズ依存性の試験では、従来の原子核乾板で用いている200nm結晶よりも約4倍大きな800nm結晶の粒子形成に成功し、感度とサイズ依存性の理解を進め、増感の最適化を進めた。その結果、特に、粒子径に対する最適な増感条件などを求めた事で、従来の性能よりも感度(単位長さ当たりの銀粒子数)が向上する成果を得た。また、同時に潜像退行特性の向上も確認した。更に大粒子化により読み取り光学系の倍率を低倍率化する事が可能となり、現行の読み取り装置の更なる高速化の目途が得られた。これらの結果より、臭化銀結晶の大粒子化による観測時間の長期化および読み取り速度の向上の可能性を示した。

更に、長期特性向上のための乳剤添加薬品のスクリーニング試験を実施した結果、潜像退行特性を大幅に向上させる処方を見出した。具体的な事例としては、潜像退行特性の悪化要因となる薬品の特定に成功し、その薬品を抜く事で長期特性の大幅な向上が見ら

れた。その反面、ノイズの増加が見られたため、ノイズ抑制効果を持つ異なる薬品との組み合わせ試験を実施した結果、ある条件下では良好な結果が得られた。

上記の結果を組み合わせた複数の処方に対して長期特性（感度劣化、ノイズ増加）の加速試験を実施した結果、従来比約2倍の観測期間を実現した。

原子核乾板の基材については、ポリスチレン（PS）、シクロオリフェンポリマー（COP）、アクリル（PMMA）、ポリカーボネート（PC）、ガラスなどを用いて厚さ175ミクロンから700ミクロンまでの評価を実施した。実用のためには、乳剤層と基材の密着性、光学特性および入手性がいずれも重要である。これらの観点から評価した結果、500ミクロン厚のCOPを用いる事で最も良好な結果が得られた。また、ガラスを基材として用いる事で位置精度の大幅な向上が見られた。その位置精度は、読み取り再現性とほぼ同程度であった。これは、プラスチック系材料による基材の伸び縮みが位置精度に影響しているが、ガラス基材は現像工程や温度変化に対して非常に安定しているためであると考えている。

乳剤性能評価および基材の評価には、CERNのT9ビームラインのパイオンビーム照射および宇宙線照射により実施した。

原子核乾板の製造技術の開発では、塗布膜厚で1mmという通常の写真フィルムよりも厚い手塗り塗布から乾燥までの手法確立、効率化、および高速化を行った。更に、製造の機械化を進めるための要素技術（アプリケーション塗布、乾燥状態の測定手法など）の開発を行った。この技術開発により、従来よりも高い塗布膜厚の均質性を保ちつつ、より高速な塗布を実現した。これらの技術開発により、年間通して100平方メートルの面積に相当する検出器の製造体制を確立し、宇宙線ラジオグラフィ観測への大規模展開を実現した。この規模の原子核乾板を用いた実験は、大学で製造する規模としては過去最大規模であり、約10倍の製造速度の高速化に相当する。

宇宙線ミュオンラジオグラフィのシミュレーション技術の開発は、2つのアプローチでの開発を実施した。1つ目は、観測対象の既知の3次元立体構造モデルを3DCADのソフトウェアなどを活用して高精度に作成し、検出器からの方向に応じた経路長および物質量の推定を行い、宇宙線のエネルギースペクトルと方向分布のモデルを基に各々の方向から飛来する宇宙線ミュオンのフラックス分布を求める事で高速にシミュレーション結果を得る手法である。2つ目は、GEANT4を用いたモンテカルロシミュレーションによる精密な解析である。宇宙線入射部を開発して原子核乾板による宇宙線ミュオンラジオグラフィのシミュレーターを構築した。これらのシミュレーション技術を用いて様々な実証試験の解析を実施した。

宇宙線ラジオグラフィにおける系統誤差

を押さえるためには宇宙線入射スペクトルの理解が必要である。このスペクトルを実測定する技術として、原子核乾板と鉛を多層積層する事で多重電磁散乱量から運動量を測定するECC構造および磁場中で粒子の曲率を測定する事で運動量を測定するCES検出器を設計し、CERNのT9ビームラインに置いてパイオンビーム照射試験を実施した。

本研究で開発した上記の要素技術により以下に挙げる観測対象への実証試験を実施した。

### 1) ScanPyramids計画

エジプトのピラミッド群を対象とした非破壊調査のプロジェクトScanPyramidsに参加し実証試験を実施した。初めに、ダハシュールの屈折ピラミッド内部への原子核乾板の設置を行い、既知の玄室のイメージングを行った。この試験は2015年12月から40日間、ミュオンを蓄積した。この研究のために、エジプト・カイロに現像施設を構築して現像を行った。その後、名古屋大学の超高速読み取り装置でミュオン軌跡のデジタルデータ化を行った。この解析により、100mを越える考古学遺跡内部の玄室（空間）をイメージングする事に初めて成功した。

次に、原子核乾板をエジプトクフ王のピラミッド観測へ適用した。その結果、クフ王のピラミッドの北側入り口の上部に未知の空間構造を発見した。更に、クフ王のピラミッド内部の女王の間に設置した結果、既知の巨大な空間構造である大回廊の上部に同程度の巨大な空間が存在する事を初めて明らかにした（図1）（Nature volume 552, 386-390）。

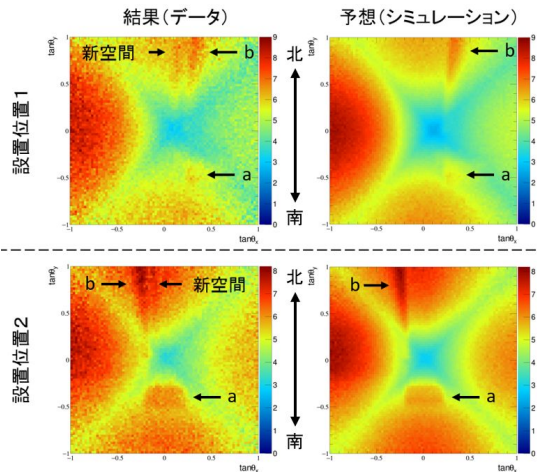


図1. クフ王のピラミッドの観測結果（宇宙線ミュオンフラックス（観測結果とシミュレーション）の2次元角度分布を示す。赤色ほど多く、青色ほど少ない。a, bは各々既知の構造である王の間、大回廊のイメージを示す。シミュレーションとデータを比較した結果、データにはシミュレーションにみられないような宇宙線ミュオン超過領域が検出された（新空間として示す方向）。

## 2) 原子炉の炉底部観測技術の実証

中部電力浜岡原子力発電所2号機の原子炉圧力容器および格納容器下部の観測実証を目的として原子炉建屋の地下2階原子核乾板を設置して実証試験を実施した。その結果、福島第一原子力発電所2号機に観測では観測範囲外であった圧力容器下部および格納容器下部の宇宙線ミュオンラジオグラフィに初めて成功した。しかし、同時にシミュレーションとデータの不一致部分もいくつか確認された。この原因となる箇所を3次元位置として特定するために3つの異なる観測地点に原子核乾板を設置して同時観測を実施した。その結果、異なる観測地点の結果から異なる方向に不一致部分が観測された。

## 3) コンクリート橋梁

名古屋大学 NUBRIDGE (コンクリート橋梁) において中空床板の宇宙線ミュオンラジオグラフィを実施した。その結果、中空床板中の空洞のイメージングに成功した。一方で、橋梁構造では理解できない構造が観測されたためにシミュレーションを用いて分析した結果、検出器の位置から観測した際に橋梁の背後に位置する建築物のコンクリートの梁構造である事を明らかにした。

## 4) その他

これらの他に大谷石採石場跡における地下空洞調査、自然洞窟としての秋吉洞および大正洞に原子核乾板を設置して観測を実施した。

本研究で実施した各種基盤技術開発および実証試験により原子核乾板を用いた宇宙線ミュオンラジオグラフィ技術の高度化および多分野への応用が急速に広がり、ピラミッドの観測では新空間の発見などの成果を上げる事が出来た。この結果は、宇宙線ミュオンラジオグラフィが考古学遺跡調査における新たな技術として適用可能である事を実証したものであり、今後の考古学研究における波及的効果が期待される。また、原子炉の観測においては格納容器および圧力容器下部の観測結果が初めて得られたことで、今後の詳細分析へと繋がる事が期待される。橋梁の試験や大谷採石場跡での空間検出実証試験では、橋梁内部の可視化や地下空洞調査など社会インフラ点検技術への展開へとつながる成果である。

## 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 4 件)

[1] K. Morishima, M. Kuno, A. Nishio, N. Kitagawa, Y. Manabe, M. Moto, F. Takasaki,

H. Fujii, K. Satoh, H. Kodama, K. Hayashi, S. Odaka, S. Procureur, D. Attié, S. Bouteille, D. Calvet, C. Filosa, P. Magnier, I. Mandjavidze, M. Riallot, B. Marini, P. Gable, Y. Date, M. Sugiura, Y. Elshayeb, T. Elnady, M. Ezzy, E. Guerriero, V. Steiger, N. Serikoff, J-B. Muret, B. Charlès, H. Helal, M. Tayoubi, "Discovery of a big void in Khufu's Pyramid by observation of cosmic-ray muons", Nature, volume 552, pages 386-390, 2017

[2] K. Morishima, A. Nishio, M. Moto, T. Nakano, M. Nakamura, "Development of nuclear emulsion for muography", Annals of Geophysics, vol. 60 issue 1, 2017

[3] T.Ariga, A.Ariga, K.Kuwabara, K.Morishima, M.Moto, A.Nishio, P.Scampolia and M. Vladymyrova, "Extra-large crystal emulsion detectors for future large-scale experiments", JINST (2016) 11 P03003

[4] K. Morishima, "Latest Developments in Nuclear Emulsion Technology", Physics Procedia, 19-24, 80, 2015.

〔学会発表〕(計 47 件)

[1] 原子核乾板を用いたクフ王のピラミッド内部における宇宙線観測(6), 森島邦博, 西尾晃, 久野光慧, 眞部祐太, 北川暢子, 日本物理学会 2018 年年次大会, 2018 年 3 月

[2] 原子核乾板を用いたクフ王のピラミッド内部における宇宙線観測(7), 久野光慧, 森島邦博, 西尾晃, 眞部祐太, 北川暢子, 日本物理学会 2018 年年次大会, 2018 年 3 月

[3] エマルションチェンバーを用いた宇宙線の地上観測(2), 北川暢子, 森島邦博, 西尾晃, 久野光慧, 眞部祐太, 日本物理学会 2018 年年次大会, 2018 年 3 月

[4] 宇宙線ラジオグラフィのための原子核乾板の長期特性の改善, 西尾晃, 森島邦博, 久野光慧, 眞部祐太, 北川暢子, 桑原謙一, 吉田哲夫, 日本物理学会 2018 年年次大会, 2018 年 3 月

[5] 宇宙線ラジオグラフィのための原子核乾板の長期特性の改善, 西尾晃, 森島邦博, 久野光慧, 眞部祐太, 北川暢子, 桑原謙一, 吉田哲夫, 日本物理学会 2018 年年次大会, 2018 年 3 月

[6] 原子核乾板を用いたクフ王のピラミッド内部における宇宙線ラジオグラフィ, 久野光慧, 森島邦博, 西尾晃, 眞部祐太, 北川暢子, 2018 年 第 65 回 応用物理学会 春季学術講演会, 2018 年 3 月

[7] 長期間特性に優れた原子核乾板検出器の開発, 西尾晃, 森島邦博, 久野光慧, 眞部祐太, 北川暢子, 2018 年 第 65 回 応用物理学会 春季学術講演会, 2018 年 3 月

[8] 原子核乾板を用いた透過型ミュオンラジオグラフィによる浜岡原子力発電所2号

機格納容器下部の観測(その6), 森島邦博、中村光廣、辻建二、大山正孝、眞部祐太、久野光慧、西尾晃、北川暢子, 日本原子力学会 2018年春の年会, 2018年3月

[9] 原子核乾板を用いた宇宙線イメージングによるエジプトのピラミッド調査, 森島邦博, 日本西アジア考古学会シンポジウム「最新科学による西アジア文化遺産の調査と保護」, 2018年2月

[10] 原子核乾板による宇宙線ミュオンイメージングの最新状況, 森島邦博、久野光慧、西尾晃、眞部祐太、北川暢子、横井拓人, 日本写真学会・画像学会 2017年合同講演会, 2017年11月

[11] 原子核乾板の長期間特性改善に向けた添加薬品の検討, 西尾晃、森島邦博、久野光慧、眞部祐太、北川暢子、桑原謙一、吉田哲夫, 日本写真学会・画像学会 2017年合同講演会, 2017年11月

[12] 厚型支持体による角度精度向上型原子核乾板の開発, 眞部祐太、森島邦博、西尾晃、久野光慧、北川暢子, 日本写真学会・画像学会 2017年合同講演会, 2017年11月

[13] 「宇宙線イメージングによるエジプトのピラミッド調査とその技術的展望」, 森島邦博, 古代アメリカ学会 第6回西日本部会研究懇談会, 2017年11月

[14] ScanPyramid Muography Projects at Nagoya University, Kunihiro Morishima, Muographers2017, 2 October 2017, Tokyo, Japan

[15] 大粒子原子核乾板の開発, 西尾晃, 森島邦博, 久野光慧, 眞部祐太, 北川暢子, 桑原謙一, 日本物理学会 2017年秋季大会, 2017年9月

[16] 原子核乾板を用いたクフ王のピラミッド内部における宇宙線観測(3), 森島邦博, 西尾晃, 久野光慧, 眞部祐太, 北川暢子, 日本物理学会 2017年秋季大会, 2017年9月

[17] 原子核乾板を用いたクフ王のピラミッド内部における宇宙線観測(4), 久野光慧, 森島邦博, 西尾晃, 眞部祐太, 北川暢子, 日本物理学会 2017年秋季大会, 2017年9月

[18] 原子核乾板を用いたクフ王のピラミッド内部における宇宙線観測(5), 眞部祐太, 森島邦博, 北川暢子, 西尾晃, 久野光慧, 日本物理学会 2017年秋季大会, 2017年9月

[19] エマルションチェンバーを用いた宇宙線の地上観測, 北川暢子, 森島邦博, 西尾晃, 久野光慧, 眞部祐太, 日本物理学会 2017年秋季大会, 2017年9月

[20] 宇宙線ラジオグラフィのための高角度分解能原子核乾板の開発, 眞部祐太、森島邦博、北川暢子、西尾晃、久野光慧, 2017年第78回応用物理学会秋季学術講演会, 2017年9月

[21] 原子核乾板を用いたクフ王のピラミッド内部における宇宙線ラジオグラフィ, 久野光慧、森島邦博、西尾晃、眞部祐太、北川暢子, 2017年第78回応用物理学会秋季学術講演

会, 2017年9月

[22] 宇宙線ラジオグラフィのための原子核乾板技術の開発, 森島邦博、西尾晃、久野光慧、眞部祐太、北川暢子, 2017年第78回応用物理学会秋季学術講演会, 2017年9月

[23] 原子核乾板を用いた透過型ミュオンラジオグラフィによる浜岡原子力発電所2号機格納容器下部の観測(その5), 森島邦博、中村光廣、辻建二、大山正孝, 日本原子力学会 2017年秋の大会, 2017年9月

[24] 原子核乾板による宇宙線ミュオントモグラフィの開発, 森島邦博, 久野光慧, 西尾晃, 眞部祐太, 北川暢子, 第34回センシングフォーラム, 2017年9月

[25] Observation of Cosmic Rays with Nuclear Emulsions inside Egyptian Pyramids, K. Morishima, M. Kuno, A. Nishio, Y. Manabe and N. Kitagawa, The 35th International Cosmic Ray Conference 2017(ICRC2017), July 2017, Busan, South Korea

[26] Development of Analysis Method using GEANT4 for Cosmic Ray Radiography, M. Kuno, K. Morishima, A. Nishio, Y. Manabe and N. Kitagawa, The 35th International Cosmic Ray Conference 2017(ICRC2017), July 2017, Busan, South Korea

[27] 異なる支持体を用いた原子核乾板の読み取り性能, 眞部祐太、森島邦博、北川暢子、西尾晃、久野光慧, 2017年度日本写真学会年次大会, 2017年6月

[28] 原子核乾板を用いた宇宙線トモグラフィ技術の開発, 森島邦博、久野光慧、西尾晃、眞部祐太、北川暢子, 2017年度日本写真学会年次大会, 2017年6月

[29] 大粒子原子核乾板の開発, 西尾晃、毛登優貴、眞部祐太、桑原謙一、森島邦博, 2017年度日本写真学会年次大会, 2017年6月

[30] 原子核乾板の塗布技術開発, 久野光慧、森島邦博、西尾晃、毛登優貴、眞部祐太、中村光廣, 2017年度日本写真学会年次大会, 2017年6月

[31] 大粒子原子核乾板の開発, 西尾晃, 森島邦博, 毛登優貴, 久野光慧, 眞部祐太, 北川暢子, 桑原謙一, 日本物理学会 2017年年度大会, 2017年3月

[32] 厚型支持体原子核乾板の塗布技術の開発, 眞部祐太, 森島邦博, 北川暢子, 西尾晃, 久野光慧, 毛登優貴, 日本物理学会 2017年年度大会, 2017年3月

[33] 原子核乾板を用いたエジプト・ギザのクフ王のピラミッド内部における宇宙線観測(1), 森島邦博, 西尾晃, 毛登優貴, 久野光慧, 眞部祐太, 北川暢子, 日本物理学会 2017年年度大会, 2017年3月

[34] 原子核乾板を用いたエジプト・ギザのクフ王のピラミッド内部における宇宙線観測(2), 久野光慧, 森島邦博, 西尾晃, 毛登優貴, 眞部祐太, 北川暢子, 日本物理学会

2017 年年次大会, 2017 年 3 月

[35] エマルションチェンバーを用いた宇宙線の地上観測, 北川暢子, 森島邦博, 西尾晃, 久野光慧, 毛登優貴, 眞部祐太, 日本物理学会 2017 年年次大会, 2017 年 3 月

[36] 原子核乾板を用いた透過型ミュオンラジオグラフィによる浜岡原子力発電所 2 号機格納容器下部の観測(その 4), 森島邦博, 西尾晃, 久野光慧, 毛登優貴, 眞部祐太, 北川暢子, 中村光廣, 辻建二, 大山正考, 日本原子力学 2017 年春の年会, 2017 年 9 月  
[37] 宇宙線ラジオグラフィ大規模展開に向けた原子核乾板検出器の開発, 西尾晃, 森島邦博, 毛登優貴, 久野光慧, 眞部祐太, 北川暢子, 桑原謙一, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月

[38] 原子核乾板の角度精度向上を目指した支持体の開発, 眞部祐太, 森島邦博, 西尾晃, 毛登優貴, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月

[39] 原子核乾板の性能向上を目指した大粒子乳剤の開発, 毛登優貴, 眞部祐太, 西尾晃, 久野光慧, 桑原謙一, 森島邦博, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月

[40] 原子核乾板を用いたエジプト・ダハシユールの屈折ピラミッド内部における宇宙線観測(1), 森島邦博, 西尾晃, 毛登優貴, 久野光慧, 眞部祐太, 北川暢子, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月

[41] 原子核乾板を用いたエジプト・ダハシユールの屈折ピラミッド内部における宇宙線観測(2), 久野光慧, 森島邦博, 西尾晃, 毛登優貴, 眞部祐太, 北川暢子, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月

[42] 原子核乾板を用いた透過型ミュオンラジオグラフィによる浜岡原子力発電所 2 号機格納容器下部の観測(その 3), 森島邦博, 中村光廣, 辻建二, 山崎直, 日本原子力学会 2016 秋の大会, 2016 年 9 月

[43] 原子核乾板による宇宙線イメージング技術の開発とピラミッド調査への応用, 森島邦博, 平成 28 年度 計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会 若手研究発表会, 2017 年 1 月

[44] Cosmic-ray Tomography, Kunihiro Morishima, RIMS 研究集会 2016 「偏微分方程式の逆問題とその周辺」, 2017 年 1 月

[45] 「宇宙線による大型建造物の非破壊イメージング」, 森島邦博, ViEW 2016, 2016 年 12 月

[46] ScanPyramids : Measurement of Cosmic-rays with Nuclear Emulsion inside Pyramids at Egypt, Kunihiro Morishima, The 3rd International Symposium on "Quest for the Origin of Particles and the Universe" (KMI2017), January 2017, Nagoya Japan

[47] ScanPyramid muography project, Kunihiro Morishima, MUOGRAPHERS 16, November 2016

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 3 件)

名称: 積分型検出器の飛跡選別方法、装置およびプログラム

発明者: 森島邦博、北川暢子、西尾晃、久野光慧、眞部祐太

権利者: 国立大学法人名古屋大学

種類: 特願

番号: 2017-205553

出願年月日: 2017 年 10 月 24 日

国内外の別: 国内

名称: 高炉内情報取得方法

発明者: 中野敏行、森島邦博、眞部祐太、成田浩司

権利者: 国立大学法人名古屋大学、株式会社サイエンスインパクト

種類: 特願

番号: 2017-128135

出願年月日: 2017 年 6 月 30 日

国内外の別: 国内

名称: 放射線計算装置、放射線計算方法、放射線計算プログラム

発明者: 成田浩司、森島邦博

権利者: 国立大学法人名古屋大学、株式会社サイエンスインパクト

種類: 特願

番号: 2015-129353

出願年月日: 2015 年 6 月 28 日

国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

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

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

森島邦博 (MORISHIMA KUNIHIRO)

名古屋大学未来材料・システム研究所

特任助教

研究者番号: 30377915

### (2) 研究分担者

大城道則 (OOSHIRO MICHINORI)

駒澤大学・文学部・教授

研究者番号: 00365529

中野敏行 (NAKANO TOSHIYUKI)

名古屋大学・大学院理学研究科・講師

研究者番号: 00365529