

名古屋大学が(株)東芝と共同で、福島第一原子力発電所 2号機原子炉内部の宇宙線ミュオン粒子による透視に成功。

名古屋大学の森島邦博特任助教(エコトピア科学研究所・高等研究院)、中野敏行講師(理学研究科)、中村光廣教授(エコトピア科学研究所)らは、(株)東芝と共同で、原子核乾板を用いた宇宙線ミュオン粒子(ミュオン)の測定により、東京電力福島第一原子力発電所2号機の原子炉内部の透視に成功しました。

原子核乾板は、電荷を持つ素粒子を写す事が出来る特殊な写真フィルムであり小型で電源を必要としないため、現在も高い放射線量がある福島発電所内でも短時間に設置ができるという利点があります。

これまでに、事故により炉心溶融が疑われる2号機と、健全な燃料が現在も炉内に存在する5号機で、ミュオン粒子の測定を実施、データ解析を行いました。その結果、2号機透視画像の炉心領域の物質量は5号機より有意に少なく、シミュレーションにより示唆されてきた炉心溶融が起こっていることを裏付ける測定結果が得られました(図1)。

今後、さらにデータ解析を進め、燃料の炉内残存量ならびに残存場所の推定を試みる予定です。

本結果は3月22日の物理学会で報告します。

【研究の背景・意義】

炉内状況の把握は溶融燃料取り出しや廃炉に寄与しますが、直接内部を観測することは難しく、未だに内部イメージは得られていません。そこで、遠隔非破壊で内部を探る技術として、原子核乾板を用いたミュオンラジオグラフィを適用しました。

【ミュオンラジオグラフィ】

ミュオン粒子は、岩盤1kmでも透過するような非常に高い透過力を持つ素粒子で、大気上層部で生成され1平方センチメートルあたりの面積を1分間に約1個の割合で、常に地上に振り注いでいます。このような天然のミュオン粒子は、幅広いエネルギー分布を持ちます。これらの特徴を利用する事で、X線では測定出来ない厚さの大型建造物の周辺にミュオン粒子検出器を設置して、建造物を通過して来たミュオン粒子の飛来方向分布を計測する事で、X線写真のようにミュオン粒子の飛来経路中に存在する質量を推定する事が出来ます。(図2)

【原子核乾板によるミュオン粒子の検出】

原子核乾板の厚さは約0.3mm(300micron)と非常に薄いシート状の放射線検出器です。

原子核乾板は、透明なプラスチックシートの両面に乳剤層(素粒子を写す層)を塗布した構造を持ちます。乳剤層は、約50micronの厚さのゼラチン中に約200nm(0.2micron)の臭化銀結晶を分散した構造となっており、この中を素粒子が通過すると通過した結晶に潜像(銀原子の集合体)を残し、化学現像により1micron程度の大きさの銀粒子へと成長します。この現像銀粒子の3次元的に並んだ点列(飛跡)を光学顕微鏡で計測する事で、現像前に乳剤層を通過して記録された放射線の情報(通過経路やエネルギーなど)を引き出す事が出来ます。

ミュオン粒子は電荷を持つ素粒子であり、原子核乾板中では、図3のように写ります。原子核乾板には、ミュオン粒子の他にも環境放射線によるガンマ線から生成される電子も記録されますが、その軌跡の直線性や長さなどを分析することでミュオン粒子を選び出す事が出来ます。ミュオン粒子が残した飛跡を名古屋大学が独自に開発した高速読み取り顕微鏡装置で読み出し、原子核乾板中に記録されたミュオン粒子の位置と角度の計測が可能です。このような原子核乾板によるミュオン粒子測定システムは、100m先を数10cmの精度で解像出来る高い方向決定精度と広い視野を併せ持ちます。更に、軽量・コンパクトであり電力を必要としないため、可搬性が高く設置・観測が容易であるという利点があります。

【研究内容・成果と意義】

我々は、原子核乾板によるミュオン粒子測定システムを用いて、事故により炉心溶融が疑われる2号機と、健全な燃料が現在も炉内に存在する5号機で、ミュオン粒子測定を2014年春から順次測定を実施してきました(図4)。記録されたミュオン粒子の飛跡を名古屋大学で独自開発した高速読み取り装置で読み出し、データ解析を行いました。その結果、2号機透視画像の炉心領域の物質量は5号機より有意に少ないことが分かりました。2号機は、シミュレーションにより炉心溶融が示唆されてきましたが、今回、初めてこれを裏付ける測定結果が得られました。今後、さらにデータ解析を進め、燃料の炉内残存量の推定を試みる予定です。

また、原子核乾板は小型な検出器である事からボーリング孔などへの挿入も可能と考えられます。今後、地下への検出器の設置などによる原子炉格納容器内のより低い位置の状況把握への適用についても、検討を進めているところです。

本成果は、JSTの先端計測分析技術・機器開発プログラムにより開発した技術を活用したものです。また本年4月に発足する名古屋大学エコトピア科学研究所の高度計測技術実践センターにおいて、この技術のさらなる開発を進めてゆく予定です。

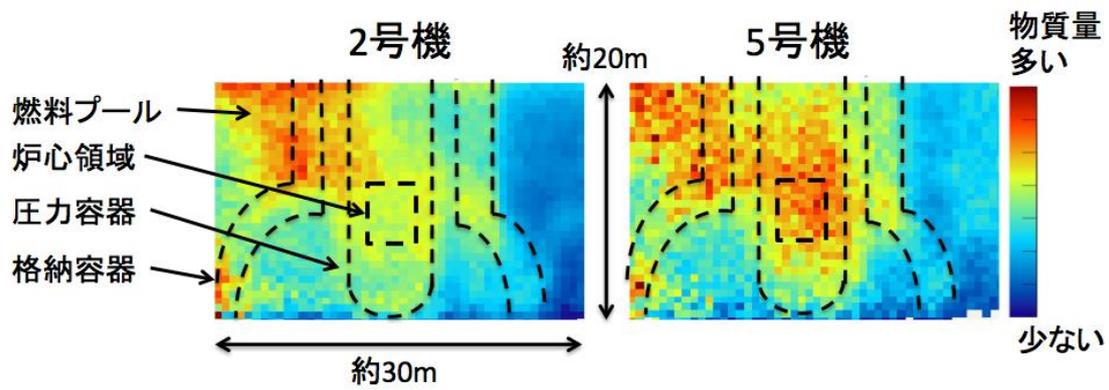


図1. ミュー粒子を用いた原子核乾板による透視結果。カラースケールは、赤い色ほどその方向の物質が多く、青い色ほど物質が少ない。縦横のスケールは炉心位置における長さ(単位は m)。

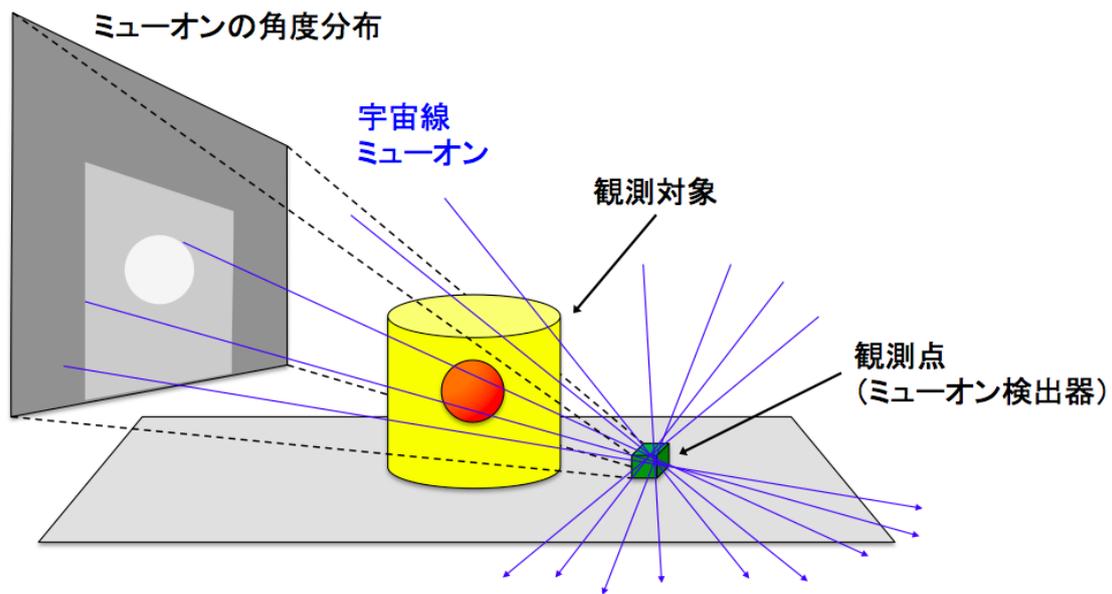


図2. ミューオンラジオグラフィの原理

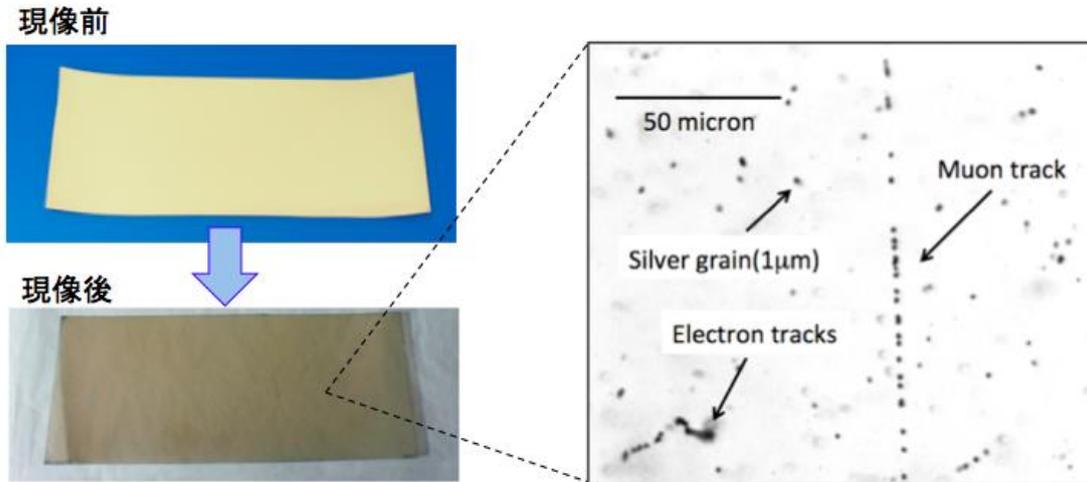


図3. 原子核乾板と記録されたミュオン粒子の飛跡

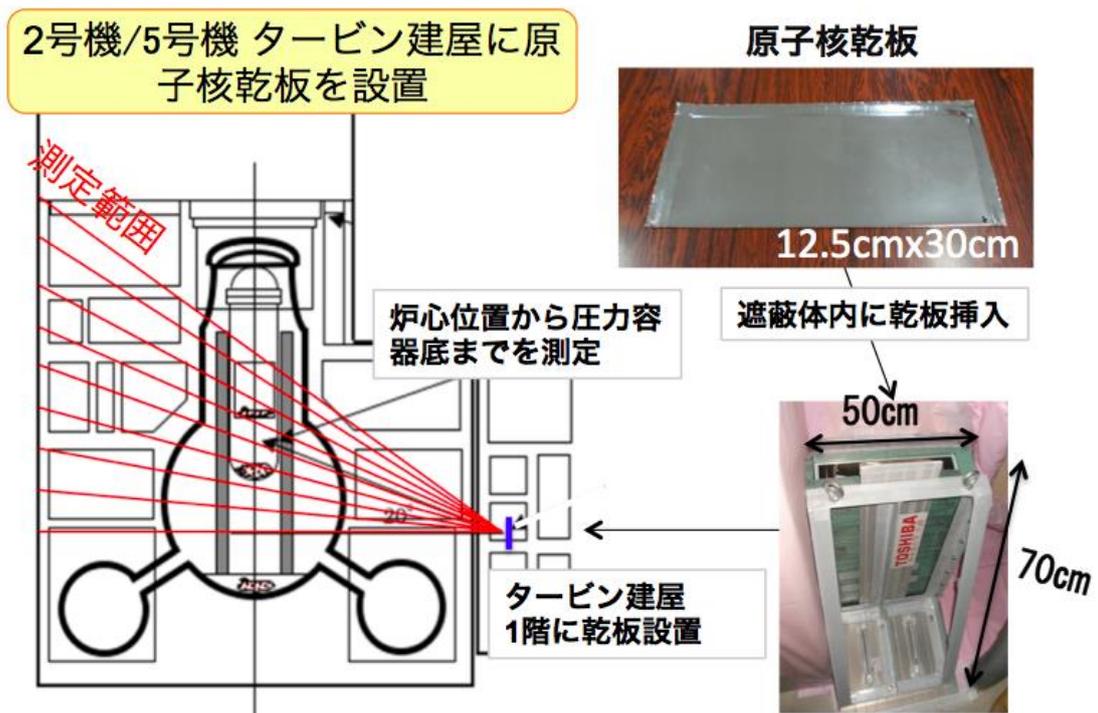


図4. ミュオン測定概要