

Oral presentation | VII. Health Physics and Environmental Science : Health Physics and Environmental Science

📅 Fri. Sep 13, 2024 2:45 PM - 4:25 PM JST | Fri. Sep 13, 2024 5:45 AM - 7:25 AM UTC 🏢 Room C (Recture RoomsA 1F A105)

[3C10-15] Dose Estimation

Chair: Yukihisa Sanada (JAEA)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[3C10]

Study on Evaluation of Radioactivity in Waste for Trench Disposal

(1) Influencing Factors for Radioactivity Evaluation

*Yuko Sato¹, Ryo Inoue¹, Satoru Kawasaki¹, Hirotaka Sakai¹ (1. NRA)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[3C11]

Study on Evaluation of Radioactivity in Waste for Trench Disposal

(2) Batch Measurement of Bio-shielding Concrete Blocks at Trench Disposal Facility

*Ryo Inoue¹, Yuko Sato¹, Satoru Kawasaki¹, Hirotaka Sakai¹ (1. NRA)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[3C12]

Development of aerial dosimetry system by the scintillator mounted on UAV and quadruped robot

*Ryosuke Takamatsu¹, Naoe Kadota¹, Soji Otsuki², Masaji Takahashi², Hideomi Arai³, Tadaaki Yasuoka⁴ (1. ODAYASHI, 2. MIRAIGIKEN, 3. KIKUCHISEISAKUSHO, 4. MATSUURADENKOUSYA)

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[3C13]

Dose evaluation study of PVA-KI gel dosimeter using RGB analysis method (III)

*Takeyoshi Sunagawa¹, Harvel Glenn², Sachiko Yoshihashi³, Chisako Hishiki¹, Yutaro Aoki¹ (1. FUT, 2. Ontario Tech Univ., 3. Nagoya Univ.)

3:45 PM - 4:00 PM JST | 6:45 AM - 7:00 AM UTC

[3C14]

Estimation of radiation source and shields distribution from measured gamma-ray energy spectra using machine learning

*Yuka Kumada¹, Taiyo Sato¹, Tsugiko Takase¹, Masaharu Matsumoto¹, Katsuhiko Yamaguchi¹ (1. Fukushima Univ.)

4:00 PM - 4:15 PM JST | 7:00 AM - 7:15 AM UTC

[3C15]

Estimation of radiation source distribution in fuel debris canisters using machine learning

*Taiyo Sato¹, Yuka Kumada¹, Tsugiko Takase¹, Masaharu Matsumoto¹, Katsuhiko Yamaguchi¹ (1. Fukushima University)

4:15 PM - 4:25 PM JST | 7:15 AM - 7:25 AM UTC

Time reserved for Chair

トレンチ処分対象廃棄体等の放射能評価に関する検討
(1) 放射能評価への影響因子に関する検討

Study on Evaluation of Radioactivity in Waste for Trench Disposal

(1) Influencing Factors for Radioactivity Evaluation

*佐藤 由子¹, 井上 亮¹, 川崎 智¹, 酒井 宏隆¹

¹原子力規制庁

今後トレンチ処分の対象として、これまでに実績のない廃棄体等が想定される。本検討では、これらのうちブロック状の生体遮蔽コンクリート及び角型容器に収納したコンクリートガラを対象として、廃棄物の性状が「最大汚染モデル法」による放射能評価値に及ぼす影響を計算機シミュレーションによって評価した。

キーワード：トレンチ処分, 放射能評価, 廃棄体, 影響因子

1. 緒言

今後のトレンチ処分対象として、ブロック状の生体遮蔽コンクリートや、廃棄物を容器に収納したのちに空隙部に砂等を充填した廃棄体等が想定されている。これらの廃棄体等に含まれる放射能を非破壊測定する場合には、廃棄物の汚染分布や容器内における廃棄物の配置状態といった廃棄物の性状が放射能評価値に影響する。本検討では、ブロック状の生体遮蔽コンクリート及び角型容器に収納したコンクリートガラを非破壊測定することを想定し、廃棄物の性状が「最大汚染モデル法^[1]」による放射能評価値に及ぼす影響を計算機シミュレーションによって評価するとともに、その適用性を確認した。

2. 計算条件

評価対象は、放射化汚染を想定して ⁶⁰Co による層状の体積汚染分布を与えた 0.9 m×0.7 m×0.9 m のブロック状コンクリートとした。図 1 に示すように、評価対象の周囲でガンマ線を測定することを想定し、シミュレーション上の測定結果から最大汚染モデル法を用いて放射能を評価した。当該方法は、廃棄物の存在領域の密度を均一とみなし、仮想的に分割した小領域からの応答関数を用いて、ガンマ線測定値に合うように、応答関数の小さい小領域から順番に小領域に存在しうる最大放射能を既知情報とした制約条件を設定して廃棄物全体の放射能を保守的に評価する方法である。ガンマ線測定値及び応答関数は、3 次元ガンマ線遮蔽計算プログラムの Pre/GAM-D^[2]で計算した。

3. 結果と考察

ブロック状コンクリートに対して、最大汚染モデル法における小領域数（仮想的に分割した領域の数）を変化させた結果の一例を図 2 に示す。小領域数を、縦、横、高さ方向それぞれに均等に n 分割（n = 3~10 の整数）した n³ と設定した場合の放射能評価値と放射能設定値の比から、汚染分布を与えた評価対象に対しても最大汚染モデルで保守的な評価ができること、小領域数が増加すると放射能評価値と放射能設定値の比はほぼ一定となり小領域数の影響が小さくなることを確認した。

また、発表では、ブロック状コンクリートの汚染分布の影響の詳細及び鋼鉄製の角型容器にコンクリートガラを模したコンクリートブロックを複数収めた対象物に対する検討結果についても報告する。

参考文献

[1]吉居大樹, 川崎智 γ線によるウランクリアランス対象物中のウラン量測定方法に関する検討, 日本原子力学会 2016 年春の年会

[2]伊藤忠テクノソリューションズ株式会社, Pre/GAM-D, <https://www.engineering-eye.com/PREGAMD/>, 2024.6.11 現在

*Yuko Sato¹, Ryo Inoue¹, Satoru Kawasaki¹ and Hirotaka Sakai¹

¹ Nuclear Regulation Authority (NRA)

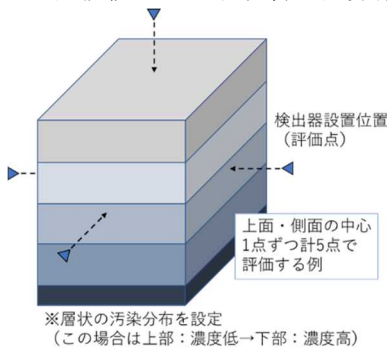


図 1 ブロック状コンクリートの評価条件（一例）

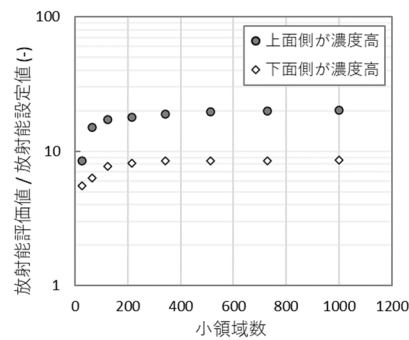


図 2 ブロック状コンクリートの測定結果（一例）

トレンチ処分対象廃棄体等の放射能評価に関する検討
(2) トレンチ処分施設における生体遮蔽コンクリートの一括測定

Study on Evaluation of Radioactivity in Waste for Trench Disposal

(2) Batch Measurement of Bio-shielding Concrete Blocks at Trench Disposal Facility

*井上 亮¹, 佐藤 由子¹, 川崎 智¹, 酒井 宏隆¹

¹原子力規制庁

今後のトレンチ処分対象として、これまでに実績のない廃棄体等が想定される。本検討では、これらのうち、生体遮蔽コンクリートを多数トレンチ処分施設に定置した状態でそれらの放射能を一括測定する場合を想定し、「最大汚染モデル法」の適用可能性を計算機シミュレーションで検討した。

キーワード：トレンチ処分, 放射能評価, 生体遮蔽コンクリート, 一括測定

1. 緒言

今後のトレンチ処分対象の廃棄体等の1つとして、ブロック状の生体遮蔽コンクリートが想定されている。廃棄体等に含まれる放射能を非破壊測定する場合には、廃棄物の汚染分布等の廃棄物の性状が放射能評価値に影響する。本検討では、トレンチ処分施設に定置した多数の生体遮蔽コンクリートの合計放射能を一括測定することを想定し、その汚染分布が「最大汚染モデル法^[1]」による放射能評価値に及ぼす影響を検討した。

2. 計算条件

評価対象は、放射化汚染を想定した層状の⁶⁰Coによる体積汚染分布を与えた(シリーズ発表の(1)の図1参照)0.9 m×0.7 m×0.9 mブロック状コンクリートが平面上に15個×8個定置された状態を仮定した。図1に示すように、当該ブロック群の上部の複数位置でガンマ線を測定することを想定し、シミュレーション上の測定結果から最大汚染モデル法を用いて合計放射能を評価した。当該方法におけるガンマ線測定値及び応答関数は、3次元ガンマ線遮蔽計算プログラムのPre/GAM-D^[2]で計算した。定置した全てのブロックが同一の放射能を有する場合と、放射能が特異的に高いブロックが1個存在した場合(約10倍の放射能)とを想定し、放射能が高いブロックの存在が判別できる可能性を、当該ブロックの配置や検出器の設置条件等のパラメータを変動させて、検討した。

3. 結果と考察

検討結果を図2に示す。放射能が高いブロックの配置及び検出器の設置条件によっては、全てのブロックの放射能が同一の場合と比較し、約70%大きな放射能評価値が得られたことから、最大汚染モデルを用いた方法により、放射能が高いブロックの存在を判別できる可能性が示された。

また、発表では、最大汚染モデルにおける小領域の分割数の影響などについても報告する。

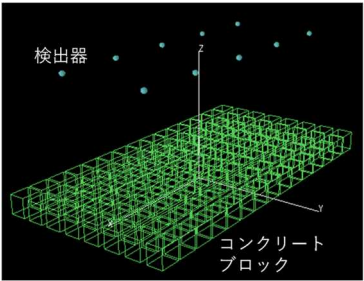


図1 ブロック状コンクリートの評価条件 (一例)

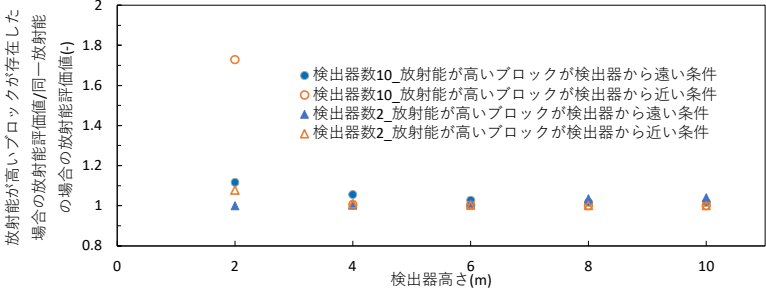


図2 全てのブロックの放射能が同一の場合と一部のブロックで放射能が高い場合における放射能評価値の比較 (一例)

参考文献

[1]吉居大樹, 川崎智 y 線によるウランクリアランス対象物中のウラン量測定方法に関する検討, 日本原子力学会 2016 年春の年会

[2]伊藤忠テクノソリューションズ株式会社, Pre/GAM-D, <https://www.engineering-eye.com/PREGAMD/>, 2024.6.11 現在

* Ryo Inoue¹, Yuko Sato¹, Satoru Kawasaki¹ and Hirotaka Sakai¹

¹ Nuclear Regulation Authority (NRA)

UAV および四足歩行ロボットを用いた放射線計測技術の開発

Development of aerial dosimetry system by the scintillator mounted on UAV and quadruped robot

*高松 亮佑¹, 門田 直恵¹, 大槻 宗司², 高橋 正二², 荒井 英臣³, 安岡 忠明⁴

¹大林組, ²未来技研, ³菊池製作所, ⁴松浦電弘社

中間貯蔵施設等での省力化された維持管理の実現に向け、ロボティクス技術を用いた放射線計測技術の開発を目的とする。UAV および四足歩行ロボットを停止させずに、連続稼働させて放射線源を検知する実験を行った結果、それぞれ地表面に設置した 1MBq および 0.1MBq の線源を検出することができた。

キーワード：ロボティクス, UAV, 四足歩行ロボット, 放射線計測

1. 緒言

現代社会では人手不足が深刻化しており、中間貯蔵施設等の維持管理作業においても、省人化の実現が大きな課題である。この課題に対し、ロボティクス技術の効果的な利用が期待されている。本研究では、地表面に異常を想定した線源を設置し、その上部を UAV および四足歩行ロボットが走行することで、検出可能な線源の大きさについて検討を行った。(図 1)



図 1 UAV および四足歩行ロボット

2. 実施内容

2-1. はじめに

本実験は、大熊 3 工区土壌貯蔵施設で行った。検出器は浜松ホトニクス製の CsI シンチレーター (C12137-10) を採用した。また、周辺未除染地域からの線量の影響を低減し、地表面からの放射線を強調して計測するために、鉛遮蔽体を検出器の側面に設置した。

2-2. 実験手順

地表面に設置した線源を中心に、その上部を UAV および四足歩行ロボットに 3 往復走行させ、662KeV の計数率 (cps) を測定した。

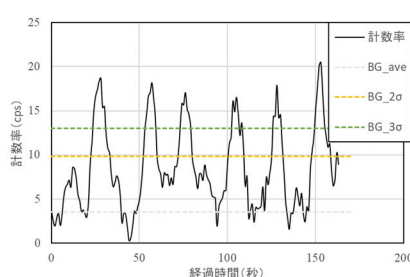


図 2 UAV 計測結果

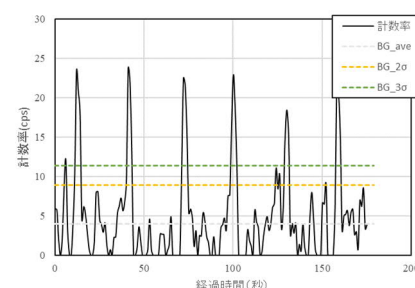


図 3 四足歩行ロボット計測結果

2-3. 結果とまとめ

横軸に走行開始してからの経過時間、縦軸に計数率を設定したグラフを図 2 および図 3 に示す。図 2 は UAV を用いて 1MBq の線源を測定した結果、図 3 は四足歩行ロボットを用いて 0.1MBq の線源を測定した結果である。ともに計数率のピークが 6 ヶ所得られており、線源の特定が可能であるという結果を得た。四足歩行ロボットは UAV に比較して地表面に近いでの測定であるため、小さい線源の特定が可能である。また、UAV に関しては GPS を搭載しているので、GPS により得られた位置情報と計測結果を組み合わせ、図 4 のようにカラーマップを作成することにより、線源の位置を視覚的に特定することも可能である。



図 4 カラーマップ

*Ryosuke Takamatsu¹, Naoe Kadota¹, Soji-Otsuki², Masaji Takahashi², Hideomi Arai³ and Tadaaki Yasuoka⁴

¹Obayashi Corp., ²Miraigiken Corp., ³Kikuchi Seisakusho Corp., ⁴Matsuura Denkousya Corp.

RGB 解析法を用いた PVA-KI ゲル線量計の線量評価研究 (Ⅲ)

Study on dose estimation of PVA-KI gel dosimeter using RGB analysis method (Ⅲ)

*砂川 武義¹, Glenn HARVEL², 吉橋 幸子³, 日紫喜 理子¹, 青木 祐太郎¹

¹福井工業大学, ²オンタリオ工科大学, ³名古屋大学大学院

放射線を使用したがん治療において、放射線の可視化は正確な線量分布の評価のために必要不可欠な技術である。本研では、青色有機 EL パネルを光源とし、デジタルカメラで PVA-KI ゲルを撮影し、画像を RGB 値に変換し、変換した RGB 値を基に線量評価可能なシステムの構築を試みた。

キーワード：化学線量計、ゲル線量計、線量評価、放射線治療、RGB 値

1. 緒言

PVA-KI ゲルは、X 線等の放射線照射により約 490nm に吸収極大を持ち赤色に呈色する。490nm における吸光度測定において約 1Gy~20Gy の吸収線量領域で線形性を示すことが知られている¹⁾。本研究では、PVA-KI ゲルを用いた線量分布測定を可能とする、PVA-KI ゲルに特化した線量評価手法の確立を目的に、青色有機 EL パネルとデジタルカメラを用いた線量評価システムの構築を試みた。

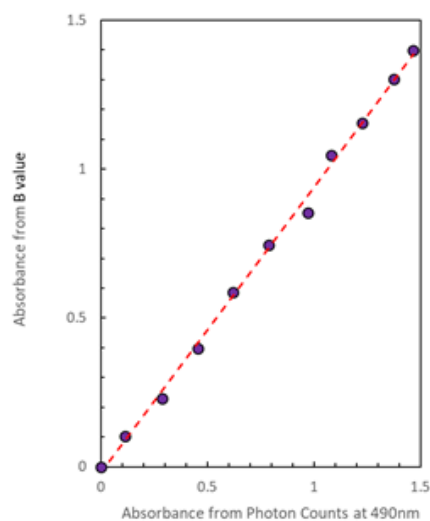
2. 実験

本研究では、KI を 9wt%含む PVA-KI ゲルを対象に、X 線照射を行った。ここで、照射条件は、管電圧 150kV、管電流 20mA、線量率 2Gy/min、2Gy 照射を 10 回行った。本研究で構築した RGB 測定システムは、青色有機 EL パネル（中心発光波長 490nm）とデジタルカメラ（本体：Canon EOS M2、レンズ：Canon EF 50mm F2.5 単焦点マクロ+ ライフサイズコンバーターEF）からなる。PVA-KI ゲルを光路長 1 cm の PMMA 製ディスクセルに封入し、青色有機 EL パネル前に設置し、デジタルカメラで撮影した。画像解析は、RGB 解析ソフトを自作した。さらに、撮影後の試料をファイバーマルチチャンネル小型分光器 (Stellarnet 社製)を使用して光吸収測定を行った。

3. 結果

Fig.1 に PVA-KI ゲルへの X 線照射により赤に呈色した試料をデジタルカメラで撮影し、RGB 解析した B 値の結果を縦軸に、ファイバーマルチチャンネル小型分光器を使用し 490nm における光吸収測定による光カウント数を横軸に示す。B 値と光カウントには相関性が見られ、相関係数は 0.998 であった。この結果は、490nm に中心発光波長を持つ有機 EL パネルとデジタルカメラを組み合わせたシステムにより、PVA-KI ゲルの撮影した画像の RGB 解析により得られた結果が光吸収測定で得られた結果を同等に扱えることを示唆しており、RGB 解析値を用いて Lambert-Beer の法則より吸光度へ変換することが可能であり、画像解析より線量分布を得ることが可能であると考ええる。詳細は講演時に報告する。

Fig.1



参考文献

1) 砂川ら「PVA-KI ゲル線量計への γ 線照射における in situ 測定研究」福井工業大学研究紀要 第 53 号, p.46-51 (2023)

* Takeyoshi Sunagawa¹, Sachiko Yoshihashi³, Glenn Harvel², Chisako Hishiki¹, Yutaro Aoki¹

¹ Fukui University of Technology, ² Ontario Tech Univ., ³ Nagoya University

機械学習を用いた測定 γ 線エネルギースペクトルからの放射線源および遮蔽体の分布推定

Estimation of radiation source and shields distribution from measured gamma-ray energy spectra using machine learning

*熊田 有華¹, 佐藤 大耀¹, 高瀬 つぎ子¹, 松本 正晴¹, 山口 克彦¹
¹福島大学

測定 γ 線エネルギースペクトルから、機械学習を用いて、遮蔽体が存在する場合の放射線源の分布推定に加え、遮蔽体となる物質の位置を推定する試みを行った。推定結果と解答データ間の平均二乗誤差は低く保たれ、遮蔽体がある場合にも実測データから放射線源及び遮蔽体の分布推定が可能であると示された。

キーワード：機械学習、放射線源分布の推定、 γ 線エネルギースペクトル、PHITS

1. 序論

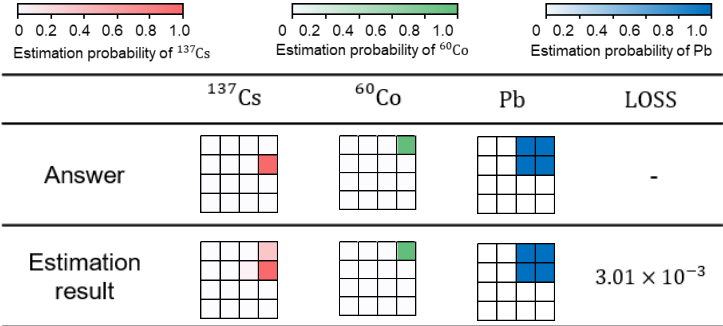
機械学習を多段に用いる放射線源分布推定技術が開発され、測定 γ 線エネルギースペクトルから、遮蔽体がない状況での小規模な二次元平面上の線源を精度良く推定することが可能となった[1]。しかし現実空間では様々な材料によりガンマ線が遮蔽されるため、そのような状況でも位置推定が必要とされる。本研究は、NaI スペクトロメーターと放射線源との間に厚さ 5 mm の鉛を配置した小規模な体系を想定し、測定データから放射線源および遮蔽体となる鉛の位置を精度良く出力することを目指した。

2. 研究手法

1 メッシュ：70×70 mm、全体：4×4 メッシュの平面上に ¹³⁷Cs 線源 0～2 個、⁶⁰Co 線源 0～1 個を重なりなしでランダムに配置した。遮蔽体となる厚さ 5 mm の鉛板を検出器と線源の間に置き、線源配置面の 3 cm 直上に置いた NaI スペクトロメーター（結晶直径：2 inch）を用いて測定を行った。PHITS[2](ver.3.280)シミュレーションでも同様に放射線源と鉛板と NaI 結晶の位置関係を再現し、得られた計算 γ 線エネルギースペクトルを放射線源・遮蔽体分布データとセットにして教師あり学習を行い、放射線源分布推定用のニューラルネットワーク（以下 NN）を構築した。続いてシミュレーションと測定間のスペクトル形状を補正するための別の学習済み NN を構築した。これに測定データを入力値として与え、出力された補正後のスペクトルデータから放射線源・遮蔽体分布推定を行い、推定結果と解答データの平均二乗誤差（LOSS）で評価した。

3. 結果

推定結果の一例を図 1 に示す。平均二乗誤差は 3.01×10^{-3} となった。¹³⁷Cs は周辺にも推定されたが、⁶⁰Co と鉛の位置は正しく推定された。以上のように、遮蔽体がある場合にも実測データから放射線源分布と遮蔽体分布の推定がある程度可能であることが示された。



参考文献

[1] 熊田 有華, 佐藤 大耀, 高瀬 つぎ子, 松本 正晴, 山口 克彦 (2023), 「 γ 線エネルギースペクトルを用いた機械学習による放射線源分布推定」『日本原子力学会 2023 年秋の大会』, 2J03
[2] T. Sato, et al., Recent improvements of the Particle and Heavy Ion Transport code System - PHITS version 3.33, J. Nucl. Sci. Technol. 61, 127-135 (2024)

*Yuka Kumada¹, Taiyo Sato¹, Tsugiko Takase¹, Masaharu Matsumoto¹ and Katsuhiko Yamaguchi¹
¹Fukushima Univ.

機械学習を用いた燃料デブリ収納缶における放射線源分布推定

Estimation of radiation source distribution in fuel debris canisters using machine learning

*佐藤 大耀¹, 熊田 有華¹, 高瀬 つぎ子¹, 松本 正晴¹, 山口 克彦¹

¹ 福島大学

燃料デブリ収納缶に対して、その中に存在する放射線源の分布を機械学習を用いて推定した。推定にはシミュレーションデータおよび測定データを用い、損失関数により推定精度を検証した。

キーワード：機械学習, 放射線, γ 線エネルギースペクトル, モンテカルロシミュレーション, 燃料デブリ

1. はじめに

原子炉内から燃料デブリを取り出した際に、収容のために必要となる収納缶の安全を確保するためには、内部の物質の分布を知ることが必要になる。本研究では、機械学習を用いて燃料デブリ収納缶を想定した放射線源分布の推定を行った。

2. 研究手法

図 1 のような収納缶モデルを考案した。5 つの青い円形内に、 ^{137}Cs や ^{60}Co といった放射線源を格納する。これを高さ方向に 15 段重ね、合計 75 メッシュのモデルで PHITS によるシミュレーション計算[1]を行う。また、合わせて以下に述べる測定を行い、検証データを得る。検出器には NaI スペクトロメータを使用し、高さを変えて γ 線エネルギースペクトルを取得する。また、検出器を周り 4 方向に配置することで 3 次元的な偏りを学習できる。機械学習ではそれぞれの検出器で得られたエネルギーを入力値、75 メッシュ中に線源の有無を数値化したものを正解データとし、機械学習を行い、放射線源分布の推定を行った。

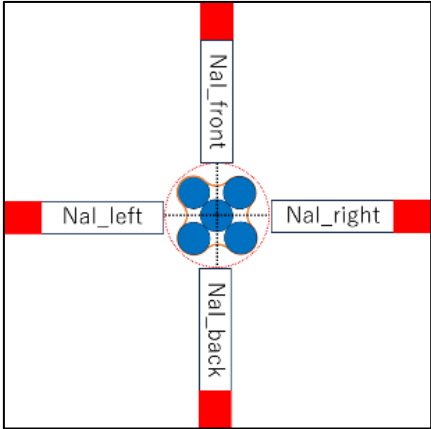


図 1 収納缶モデルの平面図

3. 結果

図 2 は、 ^{137}Cs を 1 個配置した場合のシミュレーションデータのみを使って学習を行った際に、出力値と正解データの平均二乗誤差による損失関数(Loss)をグラフにしたものである。Loss の値が 10^{-2} 程度まで下がっていることが分かる。

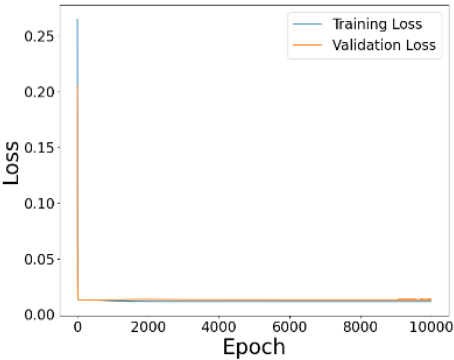


図 2 学習による Loss

参考文献

[1] T.Sato, *et al.* Recent improvements of the Particle and Heavy Ion Transport code System – PHITS version 3.33, J.Nucl. Sci. Technol. 61, 127-135(2024)

*Taiyo Sato¹, Yuka Kumada¹, Tsugiko Takase¹, Masaharu Matsumoto¹, Katsuhiko Yamaguchi¹

¹Fukushima Univ.