

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 31 日現在

機関番号：56203

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350218

研究課題名(和文) スプレー型コントローラーを用いた放射線生物影響教育ツール

研究課題名(英文) An Augmented Gamma-Spray System to Visualize Biological Effects for Human Body

研究代表者

天造 秀樹 (TENZOU, Hideki)

香川高等専門学校・電子システム工学科・准教授

研究者番号：90353333

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：放射線の安全利用や除染の対応等においては広く一般の人も含んだ定量的議論が必要となる。定量的議論においてはその単位等の定義のみではなく、その量的感覚を理解していることが重要となる。しかしながら、学生や一般人に放射線の性質や人体への影響を短時間で線量の数量とともに放射線障害等を直感的に理解させることは難しい。特に線量の単位であるグレイやシーベルト表記の数量を直感的に理解させることは難しい。そこで、本研究では、大型モニター上に表示された人体CGモデルに放射線源を模した模擬スプレーを吹き付ける動作を行うことで被ばく影響を視覚的に理解できる教育ツールを開発することを目的とした。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to develop a new educational system with an easy-to-use interface in order to support comprehension of the biological effects of radiation on the human body within a short period of time. A paint spray-gun was used as a gamma rays source mock-up for the system. The application screen shows the figure of a human body for radiation deposition using the -Sprayer, a virtual radiation source, as well as equivalent dosage and a panel for setting the irradiation conditions. It was confirmed that the damage was well represented by the interpolation method. The augmented -Spray system was assessed by questionnaire. It was also confirmed that the system has a capability of teaching the basic radiation protection concept, quantitative feeling of the radiation dose, and the biological effects.

研究分野：教育工学

キーワード：放射線教育 スプレー型入力インターフェース 放射線の生物学的影響 放射線シミュレーションコードの応用

1. 研究開始当初の背景

本研究室では 2011 年度より放射線防護教育の観点から放射線遮へいの仕組みを直感的に理解してもらえる教育ツールを開発してきた。その一例として、本教育ツールは本物の鉛やコンクリートなどの遮へい材を手を持ち、拡張現実感 (AR) 技術を用いて遮へい体の中の放射線の散乱・吸収の様子を任意の角度からリアルタイムに観察できるというものである。本物の遮へい体の重さや大きさなどを実感しながら遮へい教育することをコンセプトにしている。2013 年度には放射線遮へい教育の効果を実測するためのシリアスゲームも開発を始めている。学習者は最も遮へい効果が高くなるように手で自由に材質の異なるブロックを配置し、シミュレーションにより散乱を計算する。さきほどの AR 技術を用いて実映像に重ね合わせてその遮へい効果を表示させることができる。これらのツールは複数の科学イベントで得た知見をもとに開発を進めてきているため、非常に有用であり、2012 年度には遮へいに関する国際学会で Best Paper に採択され、2013 年度にはアメリカ原子力学会での年会において招聘講演を行うなど学術的にも評価を得始めてきている。

本研究では放射線の生物学的影響を教育するツールの新規開発を計画している。一般に、生物学的影響を教育するためには、確定的影響と確率的影響を説明に加え、ベクレルや放射線の透過などの基本的性質を説明したのちに線量を指導するということになり、多くの時間数を要してしまう。そのため、一般の人が放射線の影響を論じるときにその定量的議論において支障をきたす結果となってしまう。また、実験的試行要素を取り入れなければ直感的に影響を理解がたい。国内外の教育ツールとしては、簡易放射線測定器「はかるくん」や霧箱等を用いた自然放射線計測を通じた指導が主である。また、ビデオ教材等においては、線量とともに症状を説明しているのみであり、試行性に欠ける。そこで、本研究では短時間に直感的に単位もふくめてその生物影響や放射線の基本的性質をインタラクティブに学べる教育ツールを開発することとした。学習者は放射線源を模したペイントスプレーを手を持ち、大型テレビモニターに映し出された人体に対して、任意の位置に吹きかける。レバーを引いたときに、スプレーまでの距離と傾き、照射時間を自動的に計測し、人体のどの場所にどれだけの量の放射線が照射されたかをほぼリアルタイムに取得し、モニター中に等価線量で換算した 3 次元線量マップを表示する教育ツールである点に新規性がある。

2. 研究の目的

放射線防護に関する教育の重要度が増してきている。放射線の安全利用や除染の対応等においては広く一般の人も含んでの定量的

的議論が必要となる。定量的議論においてはその単位等の定義のみではなく、その量的感覚を理解していることが重要となる。しかしながら、学生や一般人に放射線の性質や人体への影響を短時間で線量の数量とともに放射線障害等を直感的に理解させることは難しい。特に線量の単位であるグレイやシーベルト表記の数量を直感的に理解させることは難しい。そこで、本研究では、大型モニター上に表示された人体 CG モデルに放射線源を模した模擬スプレーを吹き付ける動作を行うことで被ばく影響を視覚的に理解できる教育ツールを開発することを目的とした。

学習者は放射線源を模したペイントスプレーを手を持ち、大型テレビモニターに映し出された人体の任意の位置に吹きかける。トリガーを引いた際の、モニターまでの距離と傾き、照射時間を自動的に計測し、人体のどの場所にどれだけの量の放射線が照射されたかをほぼリアルタイムに取得する。これらの情報から等価線量で換算した 3 次元線量マップ作成し、モニターに表示する。本ツールでは、PHITS を使用し線量計算を行い、Processing により描画する。スプレーの座標取得には Leap Motion を使用することとした。

3. 研究の方法

(1) 初年度は人体への各入射点における等価線量の応答関数の計算には PHITS を用いた。初年度は詳細な人体モデルで人体の応答関数の計算を行う。単一入射地点に対する計算結果は他の研究論文等を参考にベンチマークテストを行う。人体モデルが正しく入力されていることを確かめたのちに入射点による応答関数の違いに気を付けながら代表的な複数の入射点を決定して離散的な複数入射点モデルのデータテーブルとして保存していった。市販のゲームコントローラーを改良して製作し、3 次元位置と方向ベクトルを取得する方法を採用した。

(2) 離散的な複数入射点モデルにより計算した線量分布データを用いて、中間入射点に対する応答関数のベンチマークテストを行った。中間地点に対する計算は内挿法により近似計算することとした。厳密な計算により求めた照射線量分布と簡単な離散的な複数入射点モデルによる近似計算により求めた照射線量分布との視覚的な類似性について評価した。一般の医療系等のベンチマークテストとは異なり、画像によって学習者は線量を認識するため、高い精度を要求せず、むしろ、近似計算の速度を優先させた評価を行った。視覚的に分布が近似できていることを確認すれば、ガンマ線を 10cm² 間隔で入射させて、入射地点ごとの等価線量のデータテーブルを作成した。ただし、実効線量は本システム開始時に学習者が入力する年齢等を考

慮してその都度、ICRP のテーブル等を利用して計算した。

データテーブルを作成する段階では、スプレーから放射される円錐状の照射体系を再現し、ガンマ線を照射することとした。入射は人体全面への垂直入射で近似する。応答関数の変化を見ながら適切な入射点に対して計算を行った。近似計算モデルがうまく機能しない場合には離散入射地点の数を増やし、計算精度を確保するようにした。作業時間やデータテーブルは大きくなるが、対応できるようになった。スプレー型仮想線源からの位置データを基に計算した線量マップを人体上に描画する機能を実装した。リアルタイムな動作追従性を実現するために、複数の入射点に関する応答関数データを事前に計算しておき、内挿近似により約 200ms 照射ごと（フレームレート 5fps に相当）に全身の線量を計算し、描画更新を行っていくこととした。

(3) ベンチマーク済みデータをシステムに入力し動作確認試験を行う。システムの動作の問題点やインターフェースの改良を行った。学習者にとって一番重要な情報を表示させるので、視覚効果の検証と変更により作業を行い、適切な計算領域の探索と評価を平行しながら実施していった。科学体験イベント等を実施して、アンケートを回収し、利用方法や学習効果等の検証を行いながら教育ツールとしての完成度を高めていった。本校の実験等でも 80 名程度のアンケートを実施し、回収し、システムの修正を行っていった。

4. 研究成果

(1) 本ツールでは人体への線量計算を行う際に使用する体系として MIRD ファントムを使用することとした。本ツールは、線量分布を数値ではなく、視覚的に与える予定である。線量分布を視覚化した際に、視覚的に同一であれば線量の計算で導出される数値の誤差は許容される。よって、今回は比較的計算が容易である MIRD ファントムを使用し、開発を進めることとした。応答関数の計算には PHITS(Particle and Heavy Ion Transport code System)モンテカルロ計算コードを、人体モデルには MIRD(Medical Internal Radiation Dose)ファントムを用いた。

PHITS は広いエネルギーを持つ各種の放射線を扱える汎用の粒子・重イオン輸送計算コードである。任意の体系中における陽子・中性子・重イオン・電子・光子などの挙動を、核反応モデル及びデータを用いて模擬することが可能である。PHITS では、任意の領域の吸収線量をタリーすることが可能であり、人体の各部の吸収線量を取得した。PHITS は Ver. 2.7.2 を使用した。MIRD ファントムは、人体臓器及び組織を数式で用いて模擬した人体ファントムである。MIRD ファントムは性差や人種なども平均化されており、広く

用いられている。本ツールは、線量分布を数値ではなく、視覚的に与える。線量分布を視覚化した際に、視覚的に同一であれば線量の計算で導出される数値の誤差は許容される。よって、今回は比較的計算が容易である MIRD ファントムを使用し、開発を進めることとした。MIRD ファントムは当初、内部被ばくを計算するために用いられていたが、改良され、外部被ばくも計算できるようになった。本システムで用いる人体は日本人男性の平均的な体型を模擬しており、身長 174[cm]で体重 73[kg]と設定した。

(2) 本システムでは、スプレー型コントローラの認識のためにモーションキャプチャデバイスである Leap Motion を用いた。Leap Motion 社が販売している小型で安価な 3D モーションキャプチャデバイスであり、USB でコンピュータに接続可能である。Leap Motion は 2 基の赤外線カメラと赤外線照射 LED から構成されており、赤外線 LED に照らされた手や指を 2 基の赤外線カメラで撮影し、画像解析によって 3D 空間での手や指の位置を割り出す。検知できる範囲は半径 50[cm]程度、中心角 110°の空間である。本ツールでは、スプレー型コントローラに認識用の棒を取り付け、Leap Motion がスプレーの位置を認識できるようにしている。本システムでは、3 次元の座標と各方向の角度を取得し、スプレー型コントローラがモニター上のどこを指しているか求める。

(3) 作製したシステム画面では、(A)付与エネルギー分布、(B)各組織・臓器の等価線量、(C)確定的影響、(D)非確定的影響、(E)設定用パネル及び(F)一般被ばくとの比較を表示することとした。各影響と一般被ばくとの被ばくは赤字のテキストとして表示される。設定用パネルでは、時間の経過レートと崩壊定数を設定でき、照射時間及び実効線量を表示することができる。GUI 上の設定パネルを表示する。設定用パネルからは線量計算に用いる時間の経過速度を変えるための時間経過係数を設定するためのラジオボタン、崩壊定数を設定するためのラジオボタンも配置してある。さらに、実効線量の値も設定パネルに表示する。また、線量計算等を初期化するリセットボタンも配置している。

(4) 入射角度に関する検討方法として、同じ入射座標に対して角度を変更し入射させ、本システムにおいて内挿計算された内挿値と PHITS で正確に入射角度を設定し計算した場合の実効線量を比較した。比較する角度は、15°、45°、50°、65°、75°、105°及び 135°とした。内挿値と PHITS の計算値の誤差は 20[%]以下に収まっており、角度に関しては、本システムは線量を 20[%]以下の誤差で線量を再現できていることを確認した。

(5) 計算するときの照射位置間隔を変化させて、実効線量の誤差率をとった。計算位置の間隔を広げれば広げるほど、誤差が大きくなっていることがわかる。計算位置の間隔を10[cm]以上にすると、誤差率は20[%]を超えることがわかる。しかしながら、視覚的に計算精度を確認すると、PHITSによる計算値を基にした描画と計算位置間隔10[cm]と設定した描画では、色相の誤差率で確認すると誤差率が10[%]以内で描画することができている。しかしながら、計算位置間隔15[cm]と設定した描画では、誤差が10[%]以上になる。そこで、本システムでは、応答関数を計算する時間を低減するという観点から計算位置の間隔は10[cm]と設定し、システムを構成することとした。

(6) 結果として、スプレー型コントローラを用いた放射線生物影響教育ツールを開発した。本ツールにおいて、学習者はディスプレイ上に表示された人体上の任意の位置に仮想放射線源であるスプレー型コントローラを用いて1[MeV]の γ 線を照射することができる。スプレー型コントローラは市販のアートスプレーを改造し、作製した。アートスプレーのトリガー部分に圧力センサーを取り付け、搭載したArduinoマイコンを通して圧力センサーの数値はPCへ送信される。また、コントローラの照射座標及び角度はLeap Motionによって取得され、線量計算を行う。線量計算は、模擬人体に対して入射座標(x,y)、照射距離L、入射角度(ϕ, θ)の5つのパラメータを基に内挿計算し、リアルタイムに線量を計算することができる。また、本システムでは、線量から確定影響、確率影響及び一般的な被ばくとの比較を推定し、画面上に表示する。学習者は、放射線の影響には、確定影響と確率影響の二種類があるという放射線の防護体系の基礎を知ることができる。また、一般的な被ばくとの比較を表示することで、線量の値と放射線によって起こる症状の量的感覚を理解することができるようになった。

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 3件)

Seiya Manabe, Hideki Tenzou, Takaaki Kasuga, Yukiko Iwakura, and Robert Johnston, "An Augmented γ -Spray System to Visualize Biological Effects for Human Body", Proc. of 13th International Conference on Radiation Shielding (ICRS-13) & 19th Topical Meeting of the Radiation Protection and Shielding Division of the American

Nuclear Society (RPSD-2016), 2016, 査読有

Seiya Manabe, Hideki Tenzou, Takaaki Kasuga, Yukiko Iwakura, and Robert Johnston, "Application of PHITS Simulation Code to Show Biological Effects of Radiation in Real Time", Proceedings of 5th International Symposium on Technology for Sustainability, pp.172-173, 2015, 査読有

Yukiko Iwakura, Chisato Mouri, Hideki Tenzou, Seiya Manabe, and Robert Johnston, "An Educational AR System for Visualizing Radiation Interactions with Human Tissue", Conference Record of 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference together with the Symposium on Room-Temperature Semiconductor X-Ray and Gamma-Ray Detectors, IN PRESS, 2015, 査読有

[図書](計 0件)

[産業財産権]

○出願状況(計 0件)

[その他]

<http://electron.es.kagawa-nct.ac.jp/mp/tlab/ResearchActivities/ResearchAchievement.aspx>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

天造秀樹 (TENZOU Hideki)
香川高等専門学校・電子システム工学科・
准教授
研究者番号：90353333

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

真鍋征也 (MANABE Seiya)
岩倉夕希子 (IWAKURA Yukiko)
宮武立彦 (MIYATAKE Tatsuhiko)