

エネルギー科学研究科
エネルギー社会・環境科学専攻修士論文

題目： 携帯デバイスを用いた三感融合型
放射線学習支援システムの開発と評価

指導教員： 下田 宏 准教授

氏名： 趙 躍

提出年月日： 平成23年2月9日(水)

目次

第 1 章 序論	1
第 2 章 研究の背景と目的	3
2.1 研究の背景	3
2.1.1 放射線教育の現状	3
2.1.2 複合現実感技術	4
2.1.3 感覚融合	10
2.2 本研究の目的と意義	11
2.3 関連研究	11
第 3 章 放射線学習支援システムの開発	14
3.1 システムの目的	14
3.2 システムの設計方針	14
3.3 システムの概略設計	17
3.3.1 基礎学習モードの概略設計	18
3.3.2 体験学習モードの概略設計	20
3.4 システムの詳細設計	26
3.4.1 基礎学習モードの詳細設計	26
3.4.2 体験学習モードの詳細設計	28
3.5 システムの実装	41
3.5.1 ハードウェア	41
3.5.2 ソフトウェア	42
第 4 章 放射線学習支援システムの評価	52
4.1 評価の目的	52
4.2 評価方法	52
4.2.1 評価環境	52
4.2.2 評価手順及び評価者	55

4.2.3	学習シナリオ	56
4.2.4	アンケート項目	57
4.3	評価結果と考察	57
4.3.1	評価結果の概要	61
4.3.2	基礎学習モードの評価結果の考察	63
4.3.3	体験学習モードの評価結果の考察	64
4.4	まとめと今後の課題	66
第 5 章 結論		72
謝 辞		74
参 考 文 献		75
付録 A	基礎学習モードの内容	付録 A-1
付録 B	体験学習モードの内容	付録 B-1
付録 C	振動デバイスのプログラムリスト	付録 C-1
付録 D	評価説明資料	付録 D-1
付録 E	アンケート用紙	付録 E-1

目 次

2.1	複合現実感の概略図 ^[3]	4
2.2	複合現実感技術の例 ^[4]	5
2.3	ヘッドマウントディスプレイの例 ^[5]	6
2.4	プロジェクション型ディスプレイの例 ^[6]	6
2.5	ハンドヘルド型ディスプレイの例	7
2.6	ARToolKit のマーカ	9
2.7	円形マーカ	10
2.8	分子構造観察システムのシステム構成 ^[15]	12
2.9	分子構造重畳表示の例 ^[15]	12
2.10	TD44FX ^[14]	13
3.1	システムの構成	18
3.2	基礎知識の内容	19
3.3	放射線源設置用のサイコロ型マーカ	22
3.4	遮へい設置用の板状マーカ	23
3.5	体験学習モードの構成	25
3.6	システムトップ画面	26
3.7	基礎知識内容の画面の例	27
3.8	基礎学習モードのトップ画面	27
3.9	「放射線と放射能」の学習を終えた後のトップ画面	28
3.10	体験学習モードのイメージ図	29
3.11	MAMS 外観	30
3.12	サイコロ型マーカの設置により放射線源を設定する機能	31
3.13	移動により放射線源からの距離を変える機能	31
3.14	マーカの設置により遮へいを設定する機能	32
3.15	ボタンにより経過時間を変える機能	33
3.16	体験学習モードのトップ画面	33
3.17	「放射線の種類」を体験した後のトップ画面	34

3.18	線の計算	36
3.19	線の密度による表現方法	37
3.20	立方体の大きさによる表現方法	37
3.21	立方体の大きさと色の組合せによる表現方法	37
3.22	(B) 制御ユニットの回路	38
3.23	(C) 打撃感覚提示ソレノイドを固定するプラスチック板	40
3.24	(E) 身体装着ハーネスの構成	41
3.25	ハードウェア構成	41
3.26	振動デバイスの構成	43
3.27	振動デバイスを装着した様子(背面)	43
3.28	振動デバイスを装着した様子(正面)	44
3.29	システムのトップ画面	44
3.30	基礎学習モードのトップ画面	45
3.31	学習コンテンツを表示する画面	45
3.32	「放射線と放射能」の内容の学習が終わった後のトップ画面	45
3.33	体験学習モードのトップ画面	47
3.34	体験コンテンツの説明画面	47
3.35	体験学習モードの体験画面例	47
3.36	サイコロ型マーカで表示された3DCGの例(線源)	48
3.37	ボタン表示	48
3.38	サイコロ型マーカ種類による仮想的な放射線源の変更(線源)	49
3.39	板状マーカにより設置される遮へい(鉄)	50
3.40	板状マーカ種類の変更による遮へいの変更(鉛)	50
3.41	経過時間による放射線の強さを体験する画面(現在)	50
3.42	経過時間による放射線の強さを体験する画面(5年後)	51
3.43	「放射線の種類」の内容を体験終わった後のトップ画面	51
4.1	評価室の概略	53
4.2	評価室の様子	53
4.3	放射線源設定用マーカ	54
4.4	遮へい設定用マーカ	54
4.5	評価室におけるマーカの位置	55
4.6	評価者の基礎知識学習の様子	62

4.7	評価者の体験学習の様子	62
4.8	評価者が放射線の強さの分布を確認する様子	63
A.1	基礎学習モードの説明画面	付録 A-1
A.2	「放射線と放射能」の1頁目	付録 A-1
A.3	「放射線と放射能」の2頁目	付録 A-2
A.4	「放射線と放射能」の3頁目	付録 A-2
A.5	「放射線と放射能」の4頁目	付録 A-2
A.6	「放射線と放射能」の5頁目	付録 A-3
A.7	「放射線分類」の1頁目	付録 A-3
A.8	「放射線分類」の2頁目	付録 A-3
A.9	「放射線分類」の3頁目	付録 A-4
A.10	「放射線分類」の4頁目	付録 A-4
A.11	「放射線分類」の5頁目	付録 A-4
A.12	「単位」の1頁目	付録 A-5
A.13	「単位」の2頁目	付録 A-5
A.14	「単位」の3頁目	付録 A-5
A.15	「単位」の4頁目	付録 A-6
A.16	「単位」の5頁目	付録 A-6
A.17	「単位」の6頁目	付録 A-6
A.18	「放射線の利用」の1頁目	付録 A-7
A.19	「放射線の利用」の2頁目	付録 A-7
A.20	「放射線の利用」の3頁目	付録 A-8
A.21	「放射線の利用」の4頁目	付録 A-8
A.22	「放射線の利用」の5頁目	付録 A-8
A.23	「身体への影響」の1頁目	付録 A-9
A.24	「身体への影響」の2頁目	付録 A-9
A.25	「身体への影響」の3頁目	付録 A-9
A.26	「身体への影響」の4頁目	付録 A-10
A.27	「身体への影響」の5頁目	付録 A-10
A.28	「身体への影響」の6頁目	付録 A-10
A.29	「放射線の保護」の1頁目	付録 A-11
A.30	「放射線の保護」の2頁目	付録 A-11

A.31 「放射線の保護」の3頁目	付録A-11
A.32 「放射線の保護」の4頁目	付録A-12
A.33 「放射線の保護」の5頁目	付録A-12
A.34 「放射線の保護」の6頁目	付録A-13
A.35 「自然放射線」の1頁目	付録A-13
A.36 「自然放射線」の2頁目	付録A-14
A.37 基礎学習モードの参考文献	付録A-14
A.38 基礎学習モードの終了画面	付録A-14
B.1 体験学習モードの説明画面	付録B-1
B.2 「放射線の種類」の説明画面	付録B-1
B.3 「距離」の説明画面	付録B-2
B.4 「放射能」の説明画面	付録B-2
B.5 「遮へい(材料・厚さ)」の説明画面	付録B-2
B.6 「時間」の説明画面	付録B-3
B.7 体験学習モードの終了画面	付録B-3
C.1 プログラムリスト(1/5)	付録C-2
C.2 プログラムリスト(2/5)	付録C-3
C.3 プログラムリスト(3/5)	付録C-4
C.4 プログラムリスト(4/5)	付録C-5
C.5 プログラムリスト(5/5)	付録C-6
D.1 評価説明資料(1/6)	付録D-2
D.2 評価説明資料(2/6)	付録D-3
D.3 評価説明資料(3/6)	付録D-4
D.4 評価説明資料(4/6)	付録D-5
D.5 評価説明資料(5/6)	付録D-6
D.6 評価説明資料(6/6)	付録D-7
E.1 アンケート用紙(1/4)	付録E-2
E.2 アンケート用紙(2/4)	付録E-3
E.3 アンケート用紙(3/4)	付録E-4
E.4 アンケート用紙(4/4)	付録E-5

表目次

2.1	各ディスプレイの長所と短所	8
3.1	基礎学習モードの要求仕様と機能構成の関係	19
3.2	体験学習モードの要求仕様と機能構成の関係 (1/2)	21
3.3	体験学習モードの要求仕様と機能構成の関係 (2/2)	22
3.4	基礎知識の詳細一覧	26
3.5	打撃感覚提示ソレノイドの仕様	39
3.6	iPod touch の仕様	42
4.1	評価のタイムスケジュール	56
4.2	アンケート項目と要求仕様・機能構成との対応 (基礎学習モード)	58
4.3	アンケート項目と要求仕様・機能構成との対応 (体験学習モード) 1/3	59
4.4	アンケート項目と要求仕様・機能構成との対応 (体験学習モード) 2/3	60
4.5	アンケート項目と要求仕様・機能構成との対応 (体験学習モード) 3/3	61
4.6	アンケートの結果 (1/3)	67
4.7	アンケートの結果 (2/3)	68
4.8	アンケートの結果 (3/3)	69
4.9	評価者 A の意見	69
4.10	評価者 B の意見	69
4.11	評価者 C の意見	70
4.12	評価者 D の意見	70
4.13	評価者 E の意見	70
4.14	評価者 F の意見	71
4.15	評価者 G の意見	71
4.16	評価者 H の意見	71

第 1 章 序論

我々は産業革命以降、潤沢なエネルギーを利用して豊かな生活を享受できるようになってきた。その一方で、近年では化石燃料の枯渇の問題やその利用の際に排出される二酸化炭素による地球温暖化の問題から、エネルギー資源の脱炭素化が叫ばれている。しかし、現在の太陽光、風力、バイオマス等の再生可能エネルギーは導入コストが高く不安定であるため、エネルギーの主軸とするにはまだ現実的ではない。発電時に二酸化炭素を排出せず、低コストで安定した大規模発電が可能な電源として原子力発電がある。しかし、その建設・運用の際に立地地域住民への理解を得ることは難しい問題がある。この原因の一つとして、原子力発電がその燃料にウラン等の放射性物質を取り扱うが、人々が放射線の性質や人体に及ぼす影響を理解するのは難しく、そのために恐怖を感じやすいことがある。特に放射線は、種類、放射線源との距離、遮へいの有無等により人体に及ぼす影響が大きく異なるが、放射線を目で見たり直接肌で感じるができないため、知識としては理解できてもその直感的な理解は容易ではない。

一方、近年の情報通信技術の飛躍的な進歩は目覚ましいものがある。コンピュータの小型化・高速化に従って、情報通信技術を活用して人々の活動をサポートする研究が盛んである。その中でも、最近では複合現実感技術が様々な分野で研究開発されはじめてきている。複合現実感技術とは、現実空間と仮想空間を融合して情動的に世界を拡張する技術である。この複合現実感技術を用いることで、たとえば現実の空間にコンピュータで生成した仮想の物体や情報を重ね合わせて提示することで、人々の知覚を拡張することが可能である。このような特長を活かし、近年では医療、建築、教育・訓練等の分野で活用する研究も進められている。

そこで、本研究では、放射線の性質とその人体影響を直感的に理解する放射線学習を支援するために、複合現実感技術を活用する。ただし、これまでの複合現実感技術の活用法が主に仮想の情報を視覚情報として提示しているのに対し、本研究では仮想的な放射線源を用い、その人体影響を視覚、聴覚、触覚の3つの感覚情報を融合して提示することを特徴とする。具体的には、視覚情報として3DCG(3次元コンピュータグラフィック)により放射線源から放出される放射線の強度分布を提示し、聴覚情報として人体に当たる放射線による影響の強度を音の大きさを提示する。また、触覚情報

としては、本研究で開発する新しい触覚インタフェースを用いて、あたかも仮想的な放射線が人体に当たったかのような打撃感覚情報を提示する。このような新しい仮想体験型学習方法により、学習者は放射線の性質や人体影響を単に知識として理解するだけでなく、それを仮想的に体験することができるため直感的な理解を促進することが期待できる。

本論文は、第1章の序論を含め、5章で構成されている。第2章では、まず放射線教育の現状と問題点について述べ、次いで複合現実感技術について説明し、本研究の目的を述べる。第3章では、本研究で提案する三感融合型放射線学習支援システムの設計方針および詳細設計について説明する。第4章では、実験室環境で行ったシステムの評価について述べる。第5章では、本研究のまとめと今後の課題を述べ、本論文の結論とする。

第 2 章 研究の背景と目的

本章では、まず研究の背景として、放射線教育の現状、複合現実感技術と関連研究について述べ、その後、本研究の目的について述べる。

2.1 研究の背景

2.1.1 放射線教育の現状

近年、地球温暖化対策やエネルギー安定供給の確保の観点から、世界的に原子力への期待が高まっている。日本は石油や石炭などの天然資源が少ないため、原子力は将来の日本のエネルギーを支える最有力候補と考えられる。2010年には、日本における電力量の約23%は原子力で供給されている。しかし、日本においては、原子力と切り離せない関係がある放射線に対して過剰な恐怖感を持っており、これが原子力の社会的受容に大きな障害となっている。この現状を改善するために、放射線に関する正確な知識を一般社会に普及させることが重要である。

しかし、放射線教育の現状としては、2008年に公布された学習指導要領中学校理科に、「放射線」という用語が、1969年以来ほぼ30年ぶりに登場している^[1]。それまでの30年間は、中学校で放射線について学習が行われるとすれば、理科の発展的な学習や選択理科、あるいは総合的な学習の時間の中などで取り上げられる程度であった。また、地域をあげて取り組んでいる例もあった。いずれにせよ、一部の学校に限られていたということ、また放射線について指導経験のある中学校理科の先生が少なくなってきたという現状がある。高等学校の理科には科目の特質に応じて放射線に関する内容が含まれているが、科目の履修が選択になっているため、全ての生徒が教育を受けるわけではない。

一般国民の科学技術に対する関心度、理解度、態度等の意識についての2001年に文部科学省が実施した「科学技術に関する意識調査」^[2]の中では、「すべての放射能は人工的に作られたものである？」の問いが出題されていた。正答である「いいえ」と解答した人の割合は56%だった。この調査で「はい」や「わからない」と解答した人は合計して44%であり、自然界にも放射線が存在しているということを知らない人が相当数いる。

現在の放射線教育では、本などの教材、教具の他にビデオ、DVDなどの視聴覚教材を利用して授業をすることが多い。

2.1.2 複合現実感技術

複合現実感技術 (MR: Mixed Reality) とは、現実世界にコンピュータで生成したグラフィックス (CG) や情報などを重ね合わせて現実のもつ情報を増幅する技術、あるいは逆に仮想空間の情報を現実の情報で増幅する仮想世界と現実世界を融合させる技術である。図 2.1 に示すように複合現実感技術は、現実環境を増幅する拡張現実感技術 (Augmented Reality)、あるいは仮想環境を増幅する拡張仮想技術 (Augmented Virtuality) の総称である [3]。

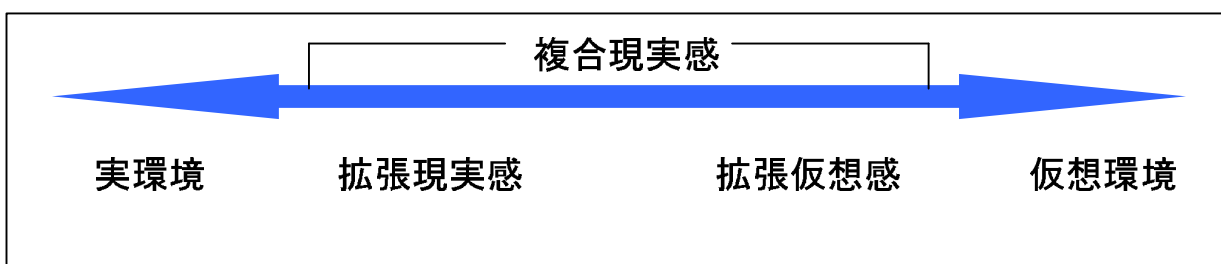


図 2.1: 複合現実感の概略図 [3]

図 2.2 は複合現実感技術の応用例の一つとして、カメラ付きのスマートフォンで撮影した風景に、コンピュータで生成した関連情報を重畳表示させる例である [4]。ユーザはスマートフォンのディスプレイを通じて、実際には存在していない仮想情報を確認できる。

複合現実感を実現するための要素技術として、現実世界の映像と仮想物体や情報を合成した画像を提示するディスプレイ技術と、仮想情報を適切な位置に表示するためのトラッキング技術が重要となる。以下にその二つの要素技術について説明する。

ディスプレイ技術 ディスプレイ技術を実現するハードウェアには大きく分けて、ヘッドマウントディスプレイ、プロジェクション型ディスプレイ、ハンドヘルド型ディスプレイの 3 種類がある。各ディスプレイには長所と短所があり、利用する目的や環境に応じて選定する必要がある。各ディスプレイの長所と短所を表 2.1 にまとめる。

ヘッドマウントディスプレイ (HMD) は図 2.3 に示すような頭部に装着するディスプレイ装置である。ディスプレイが目に近いので、没入感が高い。HMD はさらにビデオ透過型 HMD と光学透過型 HMD の 2 種類に分類される。ビデオ透過 HMD を装着する



図 2.2: 複合現実感技術の例 [4]

と直接外の様子を見ることはできず、実世界の情報を見るためにディスプレイだけでなくビデオカメラも装着する必要がある。ビデオ透過 HMD では、ビデオカメラで撮影された実世界の映像と仮想情報を合成して提示する。そのため、現実空間と仮想空間の整合性が高い。しかし、システムのトラブル時に視界が遮られる危険性がある。また、視野が狭いので、ユーザが移動する際に危険が伴う。一方、光学透過型 HMD はハーフミラーを介して、外の様子が見えるため、ユーザが移動する際に安全である。しかし、現実空間の情報を遮断できないため実際に存在する物体を画像処理によって見えなくするなどの処理ができない欠点がある。

プロジェクション型ディスプレイは、コンピュータで生成した仮想情報をビデオプロジェクタより投影し、実空間中の物体と光学的に重ね合わせるディスプレイである。プロジェクション型ディスプレイにはプロジェクタを環境中に固定するタイプ（以下、固定タイプ）と図 2.4 のようにユーザが装着するタイプ（以下、装着タイプ）がある。固定タイプはビデオ透過型・光学透過型 HMD などと比較して、複数人が同時に拡張現実感を体験できる、ユーザが HMD のような特別な装置を体に装着する必要がない、といった利点がある。しかし、利用できる場所が限定され、持ち歩くことができない。一方、装着タイプは、プロジェクタを背負い、手元に投影することで情報の提示や操作を行うことができる。しかし、背負うデバイスが重いため、長時間利用する際にユーザへの負担が大きい。



図 2.3: ヘッドマウントディスプレイの例^[5]



図 2.4: プロジェクション型ディスプレイの例^[6]

ハンドヘルド型ディスプレイは図 2.5 に示すような携帯情報端末 (PDA)、携帯電話などの持ち運べる程度の小型サイズのディスプレイである。これらは軽量であり携帯性に優れている。長時間持ち歩いてもユーザの負担にならない。しかし、小型であるため、画面が小さく提示情報を視認づらいといった欠点がある。



図 2.5: ハンドヘルド型ディスプレイの例

トラッキング技術 実世界に仮想情報を適切な位置に重畳表示するために、ユーザの位置・姿勢の3次元計測が必要であり、トラッキング技術にはカメラで人工マーカや自然特徴点を撮影し、画像処理により、カメラの位置と方向を求める光学式トラッキングとGPS、加速度・ジャイロセンサ、磁気センサなどの機械式センサによって、ユーザの位置・姿勢の変化を計測する機械式トラッキングがある。以下では、各トラッキング技術の分類を挙げるとともに、詳細を説明する。

- 光学式トラッキング
 - － 人工マーカによるトラッキング
 - － 自然特徴点によるトラッキング
- 機械式トラッキング
 - － GPSによるトラッキング
 - － 加速度・ジャイロセンサによるトラッキング

表 2.1: 各ディスプレイの長所と短所

ディスプレイ		長所	短所
H M D 型	ビデオ透過型 HMD	・没入感が高い	・システムトラブル時に 視界が遮られ危険
	光学透過型 HMD	・視界を遮らないため、 移動する際に安全	・現実空間と仮想情報との 正しい遮蔽関係の提示が困難
プロ ジェク ション 型	固定タイプ プロジェクション型 ディスプレイ	・同時に多人数で体験 できる	・使用場所が限定される
	装着タイプ プロジェクション型 ディスプレイ	・持ち歩くことができる	・長時間持ち歩く際に ユーザの負担になる
ハンドヘルド型 ディスプレイ		・小型で軽量	・画面が小さい

－ 磁気式 3次元位置・姿勢センサによるトラッキング

人工マーカによるトラッキングは複合現実感を用いる実環境に予め人工マーカを貼り付け、さらにそれらの人工マーカの 3次元位置・姿勢を事前に計測しておく。カメラを用いて、それらのマーカを撮影し、得られた画像を解析し、計測されたマーカの位置・姿勢情報に基づいてカメラの位置・姿勢を求める。人工マーカによるトラッキングは安定性や精度が高い手法である。しかし、カメラがマーカを撮影できない場合に、トラッキングできないという問題がある。

環境に存在する物体の角などの特徴的な点を自然特徴点と呼ぶ。自然特徴点によるトラッキングはカメラを用いて撮影された映像上の自然特徴点の動きを解析することで、撮影時のカメラの動きを推定する。この手法は実環境から特徴点を抽出するため、環境上にマーカ等の新たな機器を設置する必要がなく、広範囲で使用することができる。しかし、計算負荷が高く、トラッキング精度が環境に依存するという問題がある。

GPS によるトラッキングは GPS 衛星からの電波信号を受信し経度・緯度情報を得る手法である [7]。屋内では GPS 信号を受信しづらいため、屋内で複合現実感を実現する際に、GPS によるトラッキングは使用できない。

加速度・ジャイロセンサによるトラッキング手法を用いる場合、加速度センサは加速度からユーザの位置の変化を計測し、ジャイロセンサによりユーザの姿勢の変化を計測する。しかし、現在の位置・姿勢を求める時に、計測開始時の位置・姿勢が既知である必要がある。また、長時間で利用すると、誤差の蓄積が大きくなるという問題がある。このため、加速度センサやジャイロセンサだけを使用するのではなく、加速度センサとカメラ画像を併用したり^[8]、ジャイロセンサとカメラ画像を併用したり^[9]することなど、他のトラッキング手法の補助として利用されることが多い。

磁気式3次元位置・姿勢センサによるトラッキングではユーザに装着した磁気センサがトランスミッタから発生する磁気を検出することによって、ユーザの位置・姿勢を計測する。磁気センサによる位置および姿勢の検出は、安定した磁場内では精度が高い。しかし、周囲の磁界環境に影響される、計測範囲が限られる、価格が高価である等の問題がある。

人工マーカを用いるトラッキング手法では、加藤らが開発した ARToolKit^[10] に代表される正方形マーカを利用することが多い。これは、図 2.6 に示すような正方形マーカの4つの頂点を特徴点として利用し、頂点の位置情報を使って、カメラとマーカの相対位置を計測する。しかし、カメラ画像の中である程度の大きさを撮影できない場合は、頂点を抽出できなくなるため、遠距離で利用する場合に、マーカを大きくし、近距離で利用する場合には、マーカを小さくする必要がある。

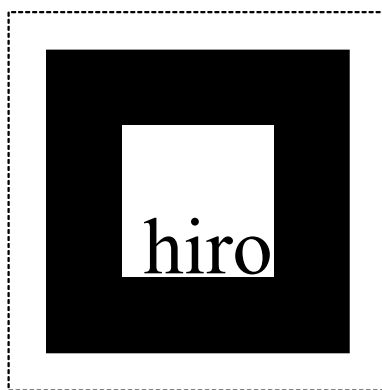


図 2.6: ARToolKit のマーカ

一方で、人工マーカとしては、図 2.7 に示すような円形マーカ^[11]もある。この手法では、大円の中心と4つの小円の中心を特徴点として利用する。遠距離で利用する場合には複数のマーカの大円の中心位置情報を使って、カメラの位置を計測する。近距離で利用する場合には、4つの小円の中心位置情報を使って、カメラの位置を計測する。

このように円形マーカを用いる手法では、遠距離・近距離の両方で精度よくトラッキングを実現することができる。

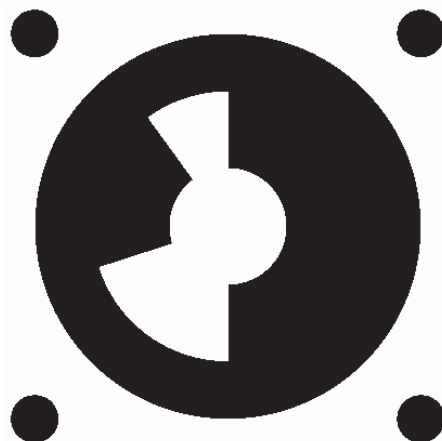


図 2.7: 円形マーカ

2.1.3 感覚融合

五感とは、人間が外界を感知するための多種類の感覚機能のうち、視覚、聴覚、味覚、嗅覚と触覚のことを言う。この伝統的な分類を前提として、人間の感覚全体を指すために「五感」という表現が用いられる。

視覚は、可視光を物理的入力とした感覚のことであり、視覚によって、外界にある物体の色、形、運動、テクスチャ、奥行きなどについての情報、物体の位置関係のような外界の空間的な情報などが得られる。聴覚は、音の強さ、音高、音色、音源の方向、リズムなどを認識する機能である。味覚は、口にする物の化学的特性に応じて認識される感覚である。基本味の受容器はヒトの場合、主に舌である。嗅覚は、空気中の化学物質を受容器で受け取ることで生じる感覚のことであり、その受容器は主に鼻である。視覚、聴覚、嗅覚は遠く離れた刺激源から到達する刺激を感じず遠隔感覚である。触覚とは、皮膚や粘膜などの体表面で受ける感覚であり、視覚、聴覚、嗅覚と異なり、接触感覚である。

近年、ヒューマンインタフェース分野において、人間の五感に人工的に感覚を与えるインタフェースに関する研究が盛んである。その中では、MR システム^[12] などのような視覚と聴覚を用いるのが多い。しかし、視覚、聴覚で得られる情報は物体の存在を推定するためのものであるのに対し、触覚は存在を直接確認する感覚である。すな

わち、遠隔感覚の視覚、聴覚だけでは物の存在を直感的に感じられないため、接触感覚である触覚がリアリティ向上に必要不可欠である。

以上のことから、本研究では、放射線の分布状況を確認できる視覚の提示方法、放射線は人体に及ぼす影響を確認できる聴覚の提示方法、また、放射線源から放出された放射線の存在を感じれる触覚の提示方法を提案する。視覚、聴覚、触覚の三感融合型インタフェースで、学習者が放射線の性質、人体に及ぼす影響に対する直感的な理解を促進する。既往研究の触覚提示インタフェースは、小川らが提案している布地材質感提示システム^[13]で開発した摩擦力と振動が指先に伝達されるインタフェース、宇高らが提案している触力覚テクスチャディスプレイ^[14]などがある。しかし、これらのインタフェースは仮想的な放射線が身体に当たるような打撃感覚を提示するものではない。また、複数の感覚情報を同時に提示していない。

2.2 本研究の目的と意義

本研究では、視覚的な表現方法だけではなく、聴覚と触覚を加えて、学習者が直感的に放射線を理解できる三感融合型の放射線学習支援システムを開発することを目的とする。このシステムでは、複合現実感技術を利用して仮想的な放射線を可視化し、学習者がデバイスの画面を通じて見ることができる。さらに、学習者が直感的に放射線を理解できるように、聴覚情報と触覚情報を同時に提示する。触覚提示インタフェースとして、放射線が身体に当たる「打撃」感覚を提示できる新しいインタフェースを開発し、学習者が仮想的な放射線を実感できるようにする。

この学習支援システムにより、学習者は放射線の様々な性質を直感的に理解し、放射線の知識を容易に習得できる。また、学習者が放射線知識を学習することに対する興味・関心を向上させ、放射線に対する過剰な恐怖感を改善できることが期待される。

2.3 関連研究

本節では、複合現実感技術を用いた学習支援に関する既存の研究を紹介する。

浅井らは、拡張現実感技術を利用した分子構造観察システムを提案している^[15]。この研究では、印刷物などに三次元分子構造をシームレスに重畳提示することを通じて、学習者が分子構造を簡便に観察できるようにしている。分子構造観察システムの構成を図 2.8 に示す。学習者がカメラでマーカを撮影すると、システムはカメラ画像の中か

らマーカを検出し、マーカの上に分子構造を重畳表示する。重畳表示された映像はコンピュータの液晶モニタを介して学習者に提示される。学習者がマーカという物理的な板を手で操作することにより分子構造の姿勢を変更できる。図 2.9 には分子構造観察システムによって、分子の構造を重畳表示している様子を示す。

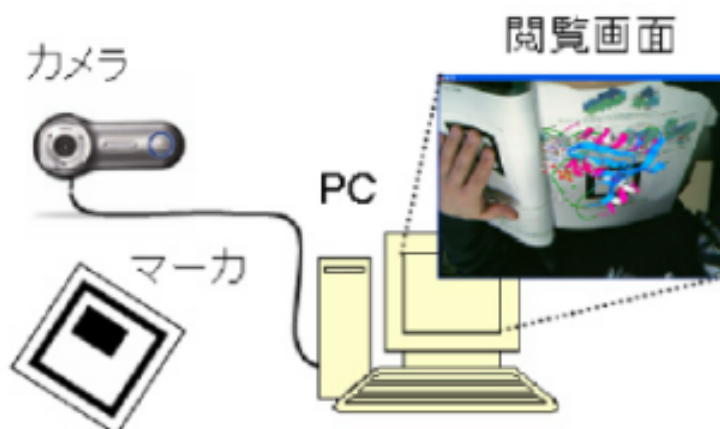


図 2.8: 分子構造観察システムのシステム構成^[15]

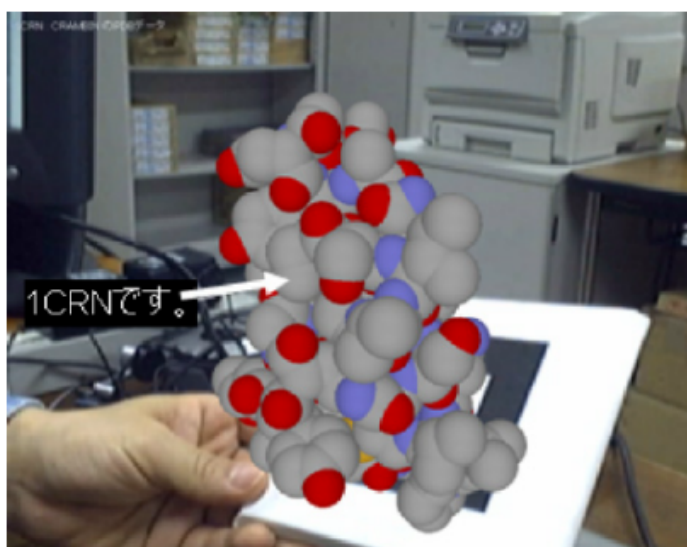


図 2.9: 分子構造重畳表示の例^[15]

一方、触覚インタフェースの例として、宇高らの触力覚テクスチャディスプレイ TD44FX に関する研究^[14]がある。この研究の中では、3次元バーチャルリアリティ(VR)空間の対象物の触覚及び力覚の表現、すなわち表面上の空間的な変動による皮膚上刺激分布として知る触覚と、表面の形状及び硬さを知る力覚を提示可能な新しい触力覚ディスプレイ

レイ TD44FX を開発している。TD44FX を図 2.10 に示す。これは 44 本の振動ピン刺激による触覚と 2 台の Phantom Omni (力覚デバイス) から構成されている。TD44FX を利用して、実世界に存在していない仮想物体の硬さを実感できる。



図 2.10: TD44FX^[14]

上記で紹介した分子構造観察システムは、分子構造の 3DCG を表示させるシステムであり、視覚的な提示方法だけを利用しており、物の存在を実感できるシステムではない。一方、触力覚ディスプレイ TD44FX では、仮想物体の存在を実感できるが、机上で利用する大型システムであり、持ち歩くことが困難である。

第 3 章 放射線学習支援システムの開発

本章では、放射線学習支援システムの設計と構成について述べる。まず、システムの目的を述べ、次に、その目的を実現するためのシステムの設計方針、概略設計と詳細設計を述べる。最後に、放射線学習支援システムのハードウェア構成とソフトウェア構成を述べる。

3.1 システムの目的

放射線は目に見えず、直接感じることができないため、このことが放射線に対する理解を妨げる大きな要因になっているが、前述の複合現実感を用いて放射線を可視化することより、放射線の性質を理解しやすくできると期待される。しかし、視覚的な表現だけでは放射線の存在を実感させることが難しい。そこで、本システムでは、視覚だけではなく聴覚や触覚を含めた三感融合型の表現方法を用いて、学習者の放射線の性質に対する直感的な理解を支援することを目的とする。

3.2 システムの設計方針

多くの人々が放射線に対して恐怖感を持っている 1 つの原因として、放射線の人体影響に対する正しい知識を持っていないことが挙げられる。そこで、本システムでは、放射線の知識として、主に放射線の人体に対する影響に関する性質を取り扱う。放射性物質にはさまざまな種類があり、放射性物質によって、放出される放射線の種類やエネルギーの大きさが異なるため、単に放射性物質の量が多いからとしても、それだけで人体に与える影響が大きくなるとは限らない。放射性物質による人体への影響は、放射性物質の種類や放射線の種類、エネルギーの大きさを考慮した「シーベルト (Sv)」という単位で表される。そのため、本システムでは、放射線の人体影響を表す単位として Sv を用い、放射線の強さを表す単位として Sv/h を用いる。

また、放射線源の種類、放射能の大きさ、遮へいの設置、経過時間等によって、放射線の人体影響が大きく異なることを理解することは重要である。そこで、本システムでは、学習者が自由に仮想的な放射線源の種類、放射能、遮へいの種類や位置、経

過時間などを設定して、様々な状況における放射線の人体影響の違いを仮想的に体験できるようにする。ただし、このような放射線の人体影響を効果的に体験するためには、放射線の基礎知識を身につけておくことが望ましい。

そこで、本システムは放射線の基礎知識を学ぶことができる「基礎学習モード」と視覚的に放射線分布を確認でき、放射線の強さの変化を聴覚と触覚を通じて体験できる「体験学習モード」の二種類のモードから構成する。体験学習モードでは複合現実感を用いて放射線を可視化する際、学習者が屋内のある範囲の中で歩きまわる必要があり、また提示された情報を見るだけでなく、操作する必要があるため、2.1.2節で述べたハンドヘルド型ディスプレイを用いるのが良いと考えられる。基礎知識学習と体験学習の連続性を保つため、また、いつでも、どこでも学習可能にするため、基礎学習モードでもハンドヘルド型ディスプレイを用いる。

以下では、2つの学習モードが実現すべき要求仕様について説明する。

基礎学習モード 基礎学習モードは学習者が放射線を体験学習する前に、基礎知識を学習するモードである。学習用携帯デバイスは画面が小さく、本のように詳しく知識を説明することが難しいため、必要な知識を分かりやすく適切に提示する必要がある。

ある知識を学習する際には、前提となる必要な知識を理解していないと学習できない場合が多くある。そのため、放射線知識について初めて学習する際にも学習内容を提示する順番が重要である。また、学習の際に、知識を全て一度に覚えることは難しく、覚えられなかった部分の復習が必要な場合が多くある。そのため、基礎学習モードでは学習内容を順番に学習でき、簡単に復習することができるインターフェースが必要である。また、学習者がスムーズに学習できるように、学習の進捗を確認できるようにする必要がある。また、学習を繰り返す時に、前回の学習進捗記録をリセットできることが必要である。

以上より、基礎学習モードの要求仕様は以下の通りとなる。

1. 基礎知識を分かりやすく説明すること
2. 順番に学習内容を閲覧できること
3. 簡単に復習できること
4. 簡単に学習進捗を確認できること
5. 学習進捗記録をリセットできること

体験学習モード ある種の放射線は放射性物質（以下、放射線源と言う）の崩壊に伴って放出される。放射線源は放射線を出しながら、放射線を出す能力（放射能）が徐々に弱くなる。そのため、時間経過による放射能の減衰により、放出される放射線が弱くなる。放射線を大きく分けると、粒子放射線（ α 線、 β 線等）と電磁放射線（ γ 線、 x 線等）の二種類となる。放射線の種類やエネルギーによって人体への影響は異なる。本システムでは、放射線の人体への影響を表す量としてICRPの1977年勧告で定義された線量当量を用いる。また、放射線保護の三原則は、「距離・遮へい・時間」である。放射線の強さは放射線源からの距離の二乗に反比例する。放射線からの被ばくを防止するために、放射線源と人体との間に遮へい（水、コンクリート、鉄、鉛等）を設ける方法が一般的である。以上のことから、放射線の人体影響は、放射線の種類、放射能の強さ、放射線源からの距離、遮蔽の位置・種類・厚さ、経過時間の5つの要素と関係している。本モードでは、これら5つの要素がそれぞれ変化した時に、放射線の人体影響がどのように変化するかを仮想的に体験できる必要がある。そのため、本モードの要求仕様は以下の通りとなる。

6. 放射線源の種類を簡単に変更できること
7. 放射線源からの距離を簡単に変更できること
8. 放射線源の放射能の強さを簡単に変更できること
9. 遮へいを配置したい場所に自在に配置できること
10. 遮へいの材料、厚さを簡単に変更できること
11. 経過時間を簡単に変更できること

また、学習者が学習の進捗を確認してスムーズに学習できるように、体験学習する際に、自分がどこまで体験学習したか、体験学習進捗を確認できるようにする必要がある。また、学習者がある部分だけを体験学習したい場合に、簡単に体験の内容を選べること、もう一回はじめから体験学習したい場合、前回の体験学習進捗記録をリセットできることが必要となる。そのため、さらに以下の要求仕様がある。

12. 簡単に体験内容を選べること
13. 体験学習進捗を確認できること
14. 体験学習進捗記録をリセットできること

このような体験学習モードを実現するためには実環境で仮想的な放射線源からの放射線をシミュレーションし、学習用携帯デバイスにより放射線の分布と学習者への人体影響をリアルタイムで計算する必要がある。この計算された結果に基づき、学習者に仮想的な放射線を実感させ、放射線の人体影響を直感的に理解させる。前述のように本モードでは学習者が直感的に放射線を理解できるようにするため、放射線の分布状況を視覚的に表現し、放射線の身体影響を聴覚的・触覚的に表現できるようにする。視覚的な表現はディスプレイに表示し、聴覚的な表現は学習用携帯デバイスのスピーカから音の大きさとして提示する。触覚的な表現は本研究で開発する振動デバイスによって実現する。

振動デバイスは、学習者の身体に装着し、仮想的な放射線が身体に当たったときにあたかも小さな粒子が当たったかのような小さな打撃振動を発生させることで、放射線の人体影響を学習者に体感させるものである。ここでは、仮想的な放射線の強さを小さな打撃の頻度として表現する。体験学習モードを利用する際には、学習者が学習環境で歩き回り体験するため、この振動デバイスはなるべく学習者の移動動作を妨げないものにする必要がある。

そのため、放射線の表現と振動デバイスの要求仕様は以下の通りである。

15. 放射線の分布状況をディスプレイを通じて確認できること
16. 放射線の強さを音の大きさとして聞くことができること
17. 放射線の強さを小さな打撃感覚の発生頻度として体感できること
18. 学習者の移動動作をなるべく妨げないこと

3.3 システムの概略設計

本システムは、前述のように図 3.1 に示す「基礎学習モード」と「体験学習モード」から構成されている。基礎学習モードでは携帯デバイスの画面を通じて、学習者に放射線についての基礎知識を提供する。学習者が基礎知識を学んだ後、体験学習モードを利用して、放射線の存在をシミュレーションする学習環境上で、仮想的な放射線の人体影響を視覚、聴覚と触覚の3つの感覚で体験する。

以下で2つのモードの概略設計について説明する。

学習支援システム

1.基礎学習モード

放射線の基礎知識を修得

2.体験学習モード

放射線の人体影響を3つの感覚
(視覚、聴覚、皮膚感覚)で体験

図 3.1: システムの構成

3.3.1 基礎学習モードの概略設計

3.2節で述べた基礎学習モードの要求仕様を満たすため、基礎学習モードの機能は表 3.1 に示す構成とする。

(a) は要求仕様 1 を実現するための機能であり、学習用携帯デバイスの画面上でテキストと図を用いて放射線に関する基礎知識を説明する。(b) は要求仕様 2 を実現するための機能であり、画面上のボタンをタッチすることにより、順番に次の学習内容に移動するものである。(c)(d) は要求仕様 3 を実現するための機能であり、本モードでは放射線に関する基礎知識を後述のいくつかの部分に分けて、学習者が画面上のボタンにより、簡単に各部分の内容に移動するものである。(e)(f) は要求仕様 4 を実現するための機能であり、学習者が各コンテンツを学習し終わると、該当する部分のタイトルの色が変わり、同時にタイトルの前にも「(済)」をつけて表示するものである。(g) は要求仕様 5 を実現するための機能であり、学習者がもう一度初めから基礎知識を学ぶ時に、画面上のボタンをタッチすることにより、前の学習進度記録をリセットするものである。

本モードで取り扱う放射線の基礎知識は図 3.2 に示すように「放射線と放射能」、「放射線分類」、「単位」、「放射線の利用」、「身体への影響」、「放射線防護」、「自然放射線」の 7 つの部分に分ける。

また、(b)(d) の機能を実現するため、基礎学習モードの表示画面には以下の 5 種類のタッチボタンを設ける。

表 3.1: 基礎学習モードの要求仕様と機能構成の関係

要求仕様	機能構成
1. 基礎知識を分かりやすく説明すること	(a) 携帯デバイスの画面上でテキストと図を用いて説明する
2. 順番に学習内容を閲覧できること	(b) 画面上のボタンタッチで順番に次の学習内容に移動する機能
3. 簡単に復習できること	(c) 基礎知識をいくつかの部分に分ける (d) 画面上のボタンタッチで、各部分の内容に移動する機能
4. 簡単に学習進度を確認できること	(e) 終わった部分のタイトルボタンの色が変化する機能 (f) 終わった部分のタイトル前に「(済)」を表示する機能
5. 学習進度記録をリセットできること	(g) 画面上のボタンタッチで、学習進度記録をリセットする機能

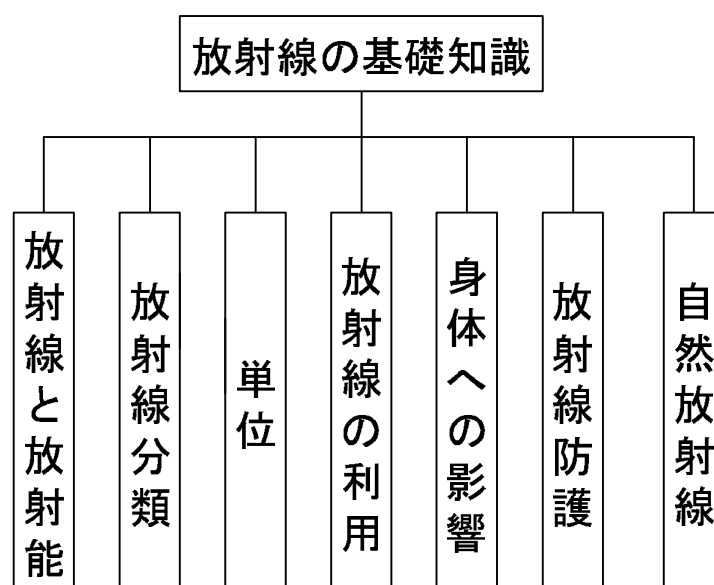


図 3.2: 基礎知識の内容

- (A) 「Next」、「Back」ボタン
- (B) 「学習コンテンツ」ボタン
- (C) 「RESET」ボタン
- (D) 「Up」ボタン

(b) 順番に次の学習内容に移動する機能を実現するため、画面上に基礎知識を説明するテキストと図を表示すると共に、(A)「Next」と「Back」ボタンを設置する。また、(d)各コンテンツの内容に移動する機能、(g)学習進度記録を削除する機能を実現するために、本モードのトップ画面上に各部分の(B)「学習コンテンツ」ボタンと(C)「RESET」ボタンを設置し、各学習内容の画面に(D)「Up」ボタンを設置する。基礎知識の各部分を修得した後、トップ画面上の「学習コンテンツ」ボタンに表示するタイトルの色が変わり、タイトルの前に「(済)」が表示されることで学習進度を示す。

また、学習者が本モードを利用する前に、本モードの使い方を理解する必要があるため、本モードのトップ画面に入る前に、説明画面を提示する。

3.3.2 体験学習モードの概略設計

3.2節で述べた体験学習モードの要求仕様を満たすため、体験学習モードの機能は表3.2と表3.3に示す構成とする。

実世界に物を置くことは画面上の操作に比べて分かりやすいため、放射線源と遮へいの設置は実世界にマーカを設置することにより実現する。実世界に置く物にマーカを貼付することでトラッキング手法と同様な手法により、リアルタイムで置いた物体の位置を計測することができる。それらの位置情報から、仮想的な放射線の分布状況を計算する。放射線源を設置するためのマーカは図3.3に示すような各方向から認識できるマーカが立方体の外側に配置されたサイコロ型マーカを用いる。遮へい設置するためのマーカは図3.4に示すようなマーカを薄い板状の物に貼付した板状マーカを用いる。以上のマーカはトラッキングと同じように円形マーカを用いる。

(h)は要求仕様6を実現するための機能であり、異なる種類のサイコロ型マーカを用意することにより、それらに対応する放射線源の種類を変えるものである。(i)は要求仕様7を実現するための機能であり、放射線源設置用サイコロ型マーカと学習用携帯デバイスのカメラとの距離を変えることによって、学習者と放射線源との距離を変えるものである。(j)は要求仕様8を実現するための機能であり、異なる大きさのサイコ

表 3.2: 体験学習モードの要求仕様と機能構成の関係 (1/2)

要求仕様	機能構成
6. 放射線源の種類を簡単に変更できること	(h) 放射線源の種類をマーカの種類で変える機能
7. 放射線からの距離を簡単に変更できること	(i) 放射線との距離をマーカと学習用携帯デバイスのカメラの距離で変える機能
8. 放射線源の放射能の強さを簡単に変更できること	(j) 放射能の強さをサイコロ型マーカの種類で変える機能
9. 遮へいを配置したい場所に自在に配置できること	(k) 遮へいの位置をマーカ位置から設置する機能
10. 遮へいの材料・厚さを簡単に変更できること	(l) 遮へいの材料・厚さをマーカの種類で変える機能
11. 経過時間を簡単に変更できること	(m) 画面上のボタンで経過時間を変える機能
12. 簡単に体験内容を選べること	(n) 画面上のボタンで、各体験部分に移動する機能
13. 体験学習進度を確認できること	(o) 体験終わった部分のタイトルの色が変わる機能
	(p) 体験終わった部分のタイトル前に「(済)」を表示する機能
14. 体験学習進度記録をリセットできること	(q) 画面上のボタンで、体験学習進度記録をリセットする機能
15. 放射線の分布状況をディスプレイを通じて確認できること	(r) カメラ画像に3DCGを重畳表示する機能
	(s) 学習用携帯デバイスで計算された放射線の分布状況により、3DCGの大きさと色が変わる機能

表 3.3: 体験学習モードの要求仕様と機能構成の関係 (2/2)

要求仕様	機能構成
16.放射線の強さを音の大きさとして聞くことができること	(t) 学習用携帯デバイスのスピーカから音を提示する機能
	(u) 学習用携帯デバイスで計算された放射線の強さにより音の大きさが変わる機能
17.放射線の強さを小さな打撃感覚の発生頻度として体感できること	(v) 振動デバイスにより、身体の数カ所以上の位置で小さな打撃感覚を発生させる機能
	(w) 学習用携帯デバイスで計算された放射線の強さにより打撃の発生頻度が変わる機能
18.ユーザの移動動作をなるべく妨げないこと	(x) 無線通信により制御する機能

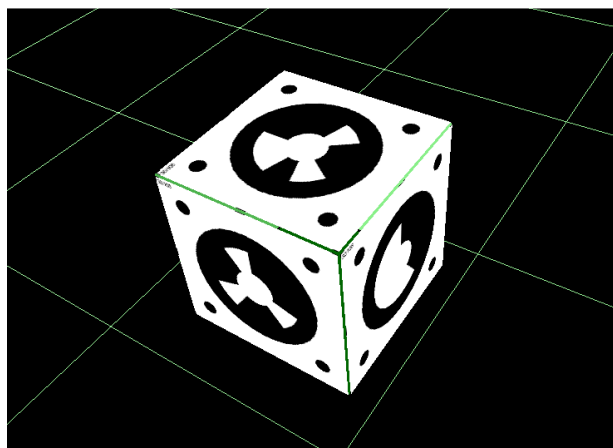


図 3.3: 放射線源設置用のサイコロ型マーカ

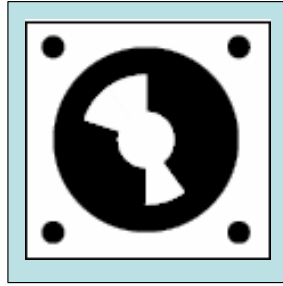


図 3.4: 遮へい設置用の板状マーカ

口型マーカを設置することにより、放射線源の放射能を変えるものである。(k)は要求仕様9を実現するための機能であり、遮へいを表す板状マーカの位置を変えることにより、遮へいの位置を変えるものである。(l)は要求仕様10を実現するための機能であり、異なる種類のマーカを用意することにより、それらに対応する遮へいの材料・厚さを変えるものである。また、要求仕様11を実現するため、学習用携帯デバイスの画面上にボタンを設置し、ボタンをタッチすることによって、(m)経過時間を変える機能がある。

また、(n)は要求仕様12を実現するための機能であり、画面上のボタンをタッチすることにより、簡単に各体験部分に移動するものである。(o)(p)は要求仕様13を実現するための機能であり、学習者が体験終わった部分のタイトルの色が変わり、同時にタイトルの前に「(済)」をつけるものである。また、(q)は要求仕様14を実現するための機能であり、学習者がもう一度初めから体験する時に、画面上のボタンをタッチすることにより、前の体験学習進捗記録をリセットするものである。以上の機能を実現するため、本モードでは画面上に以下の5つのタッチボタンを追加する。

- (A) 「体験コンテンツ」ボタン
- (B) 「RESET」ボタン
- (C) 「Next」、「Back」ボタン
- (D) 「Up」ボタン

本モードのトップ画面上に各部分の(A)「体験コンテンツ」ボタンを設置し、タッチすると後述する各体験コンテンツに移動する。各コンテンツを体験すると、トップ画面上の「体験コンテンツ」ボタンのタイトルの色が変わり、タイトルの前に「(済)」が表示される。学習進捗記録をリセットする機能を実現するために、(B)「RESET」ボ

タンを設置する。(C)「Next」と「Back」ボタンを押すことにより順番に次の体験コンテンツに進み、ある体験コンテンツが終わったら、「Next」ボタンを押すことで次の体験コンテンツに進む。また、各ページの画面上にトップページに戻る(D)「Up」ボタンを設置する。また、本モードを利用する前に、本モードの使い方を説明する必要があるため、本モードのトップ画面に入る前に、説明画面を先に提示する。

そして、(r)(s)は要求仕様15を実現するための機能であり、学習用携帯デバイスにより計算された放射線の分布状況をカメラ画像に3DCGを重畳表示することにより、学習者に提示するものである。(t)(u)は要求仕様16を実現するための機能であり、学習用携帯デバイスにより計算された学習者の位置での放射線の強さを携帯デバイスのスピーカから発生する音として提示するものである。(v)(w)は要求仕様17を実現するための機能であり、学習用携帯デバイスにより計算された学習者の位置での放射線の身体影響を小さな打撃感覚として提示するものである。(x)は要求仕様18を実現するための機能であり、学習用携帯デバイスから無線通信により小さな打撃の発生頻度を制御するものである。また、学習者が体験学習モードで振動デバイスを使用する時、できるだけ学習者へ負担にならないことを考えると、以下のことが望まれる。

- (i) 学習者の身体の大きさによらず簡単に装着できること
- (ii) なるべく小型軽量であること
- (iii) 1時間以上のバッテリー駆動が可能であること

以上の機能を実現するため、システムは図3.5に示すように学習用携帯デバイスと振動デバイスの二つで構成される。

学習用携帯デバイスのカメラでマーカを撮影すると、マーカの情報により、放射線の分布状況が計算される。計算された結果により、カメラの映像に仮想的な放射線を表現する3DCGを重畳表示させ、学習用携帯デバイスの画面上に提示する。また、学習用携帯デバイスを持つ学習者の位置での放射線の強さを表現するために、学習用携帯デバイスのスピーカから音を発生させ、放射線の強さの変化に従って、その音の大きさを変化させる。

また、振動デバイスは図3.5に示す以下の5つのモジュールで構成される。

- (A) 無線通信ユニット
- (B) 制御ユニット

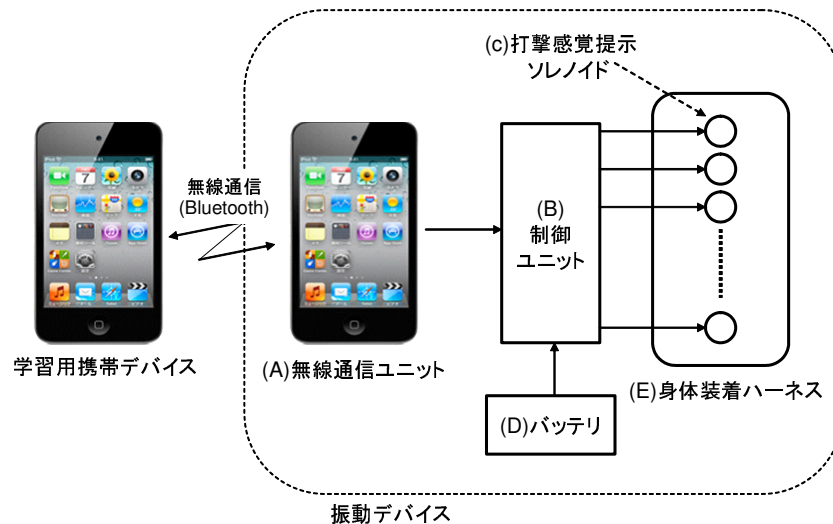


図 3.5: 体験学習モードの構成

(C) 打撃感覚提示ソレノイド

(D) バッテリー

(E) 身体装着ハーネス

(A) 無線通信ユニットは、学習用携帯デバイスで計算された放射線の強さによる身体影響の程度を無線通信によりリアルタイムに受信し、(B) 制御ユニットに送る。学習用携帯デバイスの無線通信機能のうち近距離通信が可能な Bluetooth を利用するとともに、データ通信で放射線の強度による身体影響の程度を数値として送信する。(A) 無線通信ユニットには Bluetooth のデータ通信を利用できる装置が利用できるが、本振動デバイスでは、(A) 無線通信ユニットとして Bluetooth 機能を持つ携帯デバイスを用い、予め用意した正弦波の音声ファイルを再生する。この際、受信した数値に従って、音声の正弦波の振幅を変える。(B) 制御ユニットは、(A) 無線通信ユニットで再生する音声の振幅に従って、学習者の身体に装着した (C) 打撃感覚提示ソレノイドを駆動頻度を変え、打撃感覚を提示する。(D) バッテリーは (B) 制御ユニットの内部回路、および (C) 打撃感覚提示ソレノイドを駆動するための電気エネルギーを供給する。(E) 身体装着ハーネスは、(A) ~ (D) のデバイスを容易に学習者の身体に装着するためのものである。

3.4 システムの詳細設計

システムを利用する時に、簡単に学習モードを選択できるように、システムのトップ画面に学習モード選択ボタンを設置する。システムトップ画面のイメージを図 3.6 に示す。

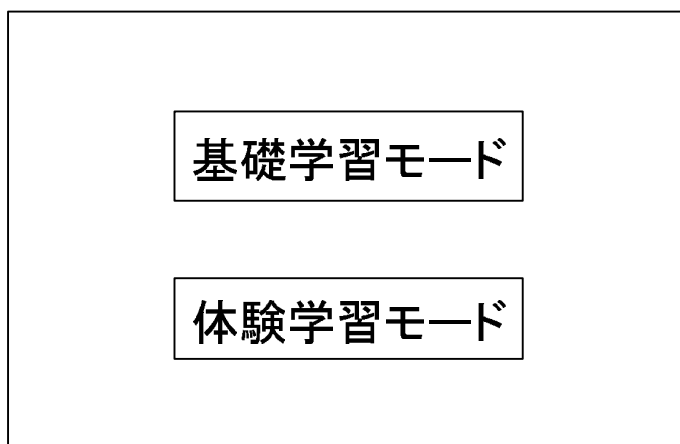


図 3.6: システムトップ画面

以下で二つの学習モードの詳細設計について説明する。

3.4.1 基礎学習モードの詳細設計

本モードで取り扱う放射線の基礎知識の詳細を表 3.4 に示す。それらの基礎知識を図 3.7 のようにテキストと図で説明し、学習用携帯デバイスの画面を通じて学習者に提示する。本モードで取り扱う基礎知識の詳細については付録 A に示す。

表 3.4: 基礎知識の詳細一覧

放射線と放射能	放射線、放射能、半減期の定義
放射線の分類	放射線の分類、各放射線の線源、放射線の性質等
単位	Bq、Gy、Sv の違い
放射線の利用	各放射線の利用例
身体への影響	確定的影響、確率的影響、高線量・低線量の影響
放射線防護	被ばく低減の基本、線量限定（日本の法令）
自然放射線	大気圏から、大地から、日常生活での放射線等

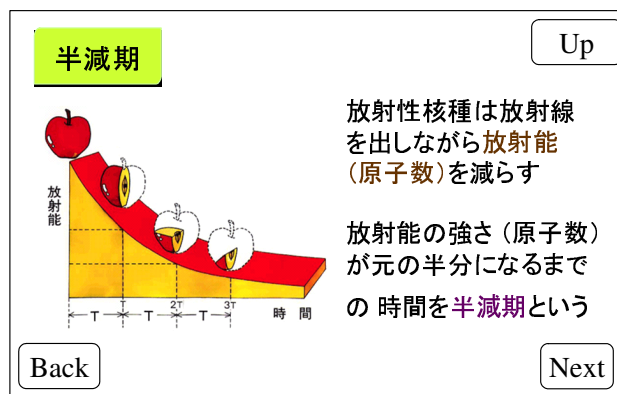


図 3.7: 基礎知識内容の画面の例

基礎学習モードのトップ画面のイメージ図を図 3.8 に示す。以下では、本モードの各ボタンの機能について、その詳細を説明する。

- 「Next」ボタン

「Next」ボタンは図 3.8 のように学習用携帯デバイス画面の右下に設置する。「Next」ボタンをタッチすると、順番に次のページに移動する。

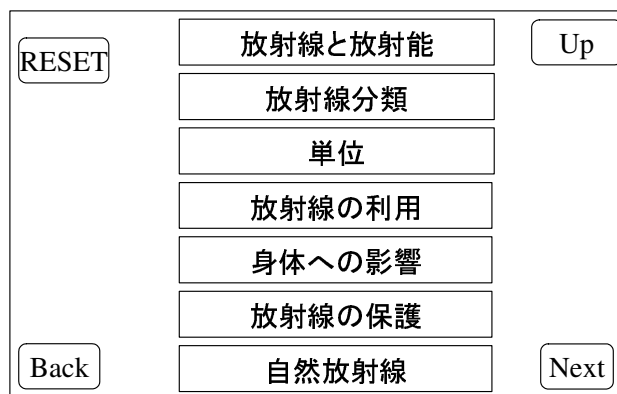


図 3.8: 基礎学習モードのトップ画面

- 「Back」ボタン

「Back」ボタンは図 3.8 のように学習用携帯デバイス画面の左下に設置する。「Back」ボタンをタッチすると、前のページに移動する。

- 「学習コンテンツ」ボタン

図 3.8 のように、本モードのトップ画面に 7 つの「学習コンテンツ」ボタンを設置する。「学習コンテンツ」ボタンのラベルは基礎知識の各部分のタイトルである。「学習コンテンツ」ボタンをタッチすると、対応する内容の最初のページに移動す

る。また、学習進度を確認できるように、学習が終わった部分のタイトルの色を赤色にし、タイトルの前に「(済)」をつける。「放射線と放射能」を学習した場合の例を図 3.9 に示す。

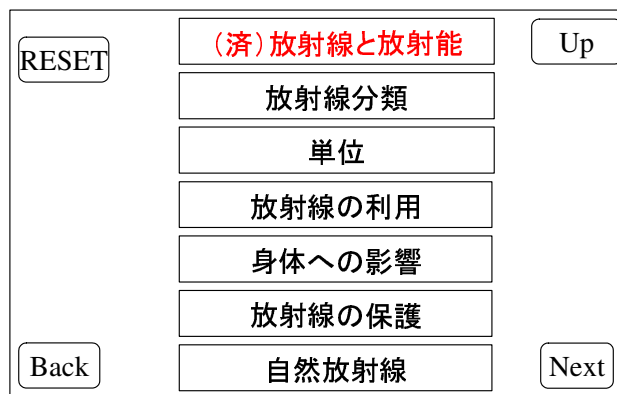


図 3.9: 「放射線と放射能」の学習を終えた後のトップ画面

- 「RESET」ボタン

「RESET」ボタンは図 3.8 のように本モードのトップ画面でのみ左上に設置する。トップ画面の「RESET」ボタンをタッチすると、学習進度がリセットされ、「学習コンテンツ」ボタンは図 3.8 に示すような状態に初期化される。

- 「Up」ボタン

「Up」ボタンは図 3.8 のように学習用携帯デバイス画面の右上に設置する。本モードのトップページで「Up」ボタンをタッチすると、図 3.6 に示す本システムのトップ画面に戻る。学習内容を提示している画面で「Up」ボタンをタッチすると、図 3.8 に示す本モードのトップ画面にもどる。

3.4.2 体験学習モードの詳細設計

体験学習モードのイメージ図を図 3.10 に示す。

体験学習モードは屋内で使用し、また長時間使用する必要がある。さらに利用する学習用携帯デバイスの計算能力は限られている。このため、本システムではトラッキング技術としては 2.1.2 で述べた人工マーカを用いるトラッキング手法を用いる。ユーザが実験環境で歩き回る必要があるため、マーカとの距離が近くなったり、遠くなったりする場合がある。そのため、本研究では遠距離・近距離の両方に対応できる円形マーカを用いる。

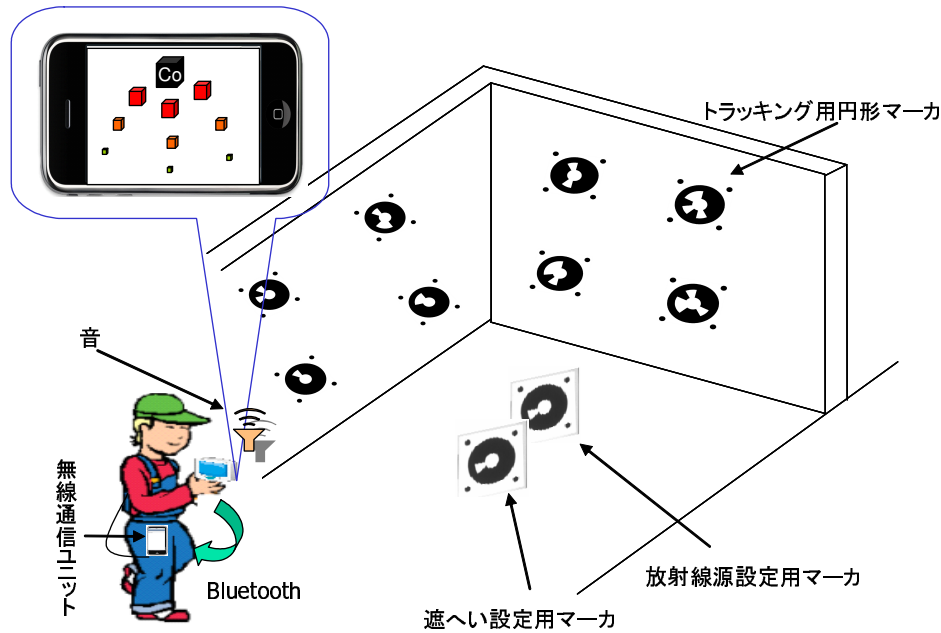


図 3.10: 体験学習モードのイメージ図

体験学習は 8m 四方程度の学習環境の中で行われ、環境中にはあらかじめ学習用携帯デバイスの位置と方向を計測するためのトラッキング用円形マーカを貼り付けておく。それらのマーカの位置と方向は事前に楊らの開発したマーカの 3 次元位置自動計測システム (MAMS:Marker Auto-Measurement System) ^[16] を利用して計測しておく。MAMS の外観を図 3.11 に示す。このシステムはレーザ距離計測器、電動ズーム機能付きビデオカメラ、電動雲台、三脚、USB ビデオキャプチャ、マーカ認識プログラム制御用パソコンから構成されるシステムである。MAMS を用いることにより、容易かつ短時間に学習環境中に貼り付けたマーカの位置や方向を計測できる。

体験学習では、学習者が自ら、環境の中に放射線源設定用マーカや遮へい設定用マーカを設置する。その後、学習用携帯デバイスのカメラでマーカを撮影すると、マーカから放射線源の情報や遮へいの情報を取得して、放射線の分布状況をリアルタイムに計算し、その結果によって、放射線分布を可視化すると同時に、学習用携帯デバイスのスピーカから音を発生させる。さらに、Bluetooth 通信により、振動デバイスの無線通信ユニットに計算結果を送信し、振動デバイスを制御する。

3.4.2.1 体験学習モードの内容

体験学習モードでは、放射線の強さと関係する 5 つの要素を変化させ、その影響を体験する。本モードは各要素を個別に変化させることができる 5 つの部分に分けてい

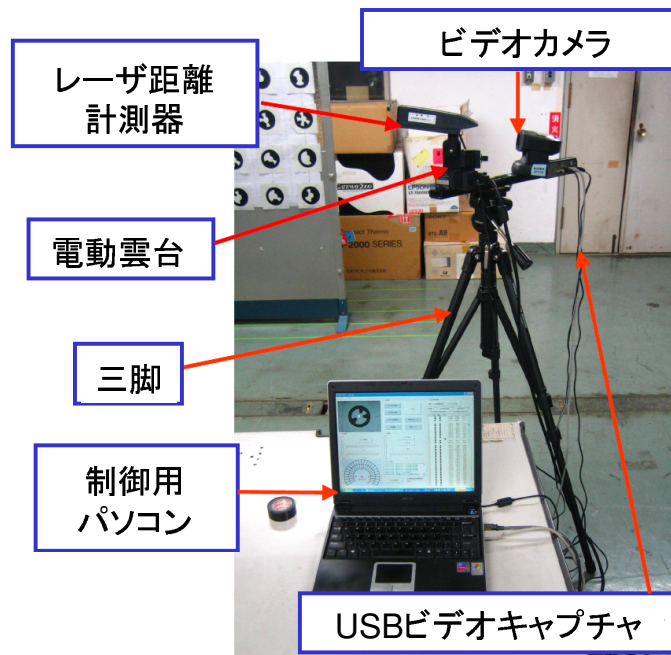


図 3.11: MAMS 外観

る。各部分を使用する際に最初に提示する事前説明を付録 B に示す。以下では 5 つの体験コンテンツについて説明する。なお本システムでは、放射線の強さの単位は単位時間あたりの人体影響を表す「Sv/h」を用いる。

(1) 放射線の種類

この部分では、線、線、線の三種類の放射線源を表すサイコロ型マーカ各 1 個を使用する。放射線の種類と放射線の強さの関係を理解させるため、3 つの放射線源が同じ放射能 (1GBq) を持つようにする。学習者は 3 つの放射線源の設置用マーカを図 3.12 のように環境上に配置し、学習用携帯デバイスと振動デバイスを通して、放射線の種類による放射線の強さの違いを体験する。

(2) 距離による減衰

この部分では、線源 (放射能: 1GBq) のサイコロ型マーカ 1 個を使用する。学習者は図 3.12 のように放射線源設定用サイコロ型マーカを環境上に設置した後、図 3.13 のように学習用携帯デバイスを持って歩き回り、放射線源からの距離を変化させながら、距離による放射線の強さの変化を体験する。

(3) 放射能

この部分では、放射能 1GBq と 0.2GBq を持つ線源設置用サイコロ型マーカ各

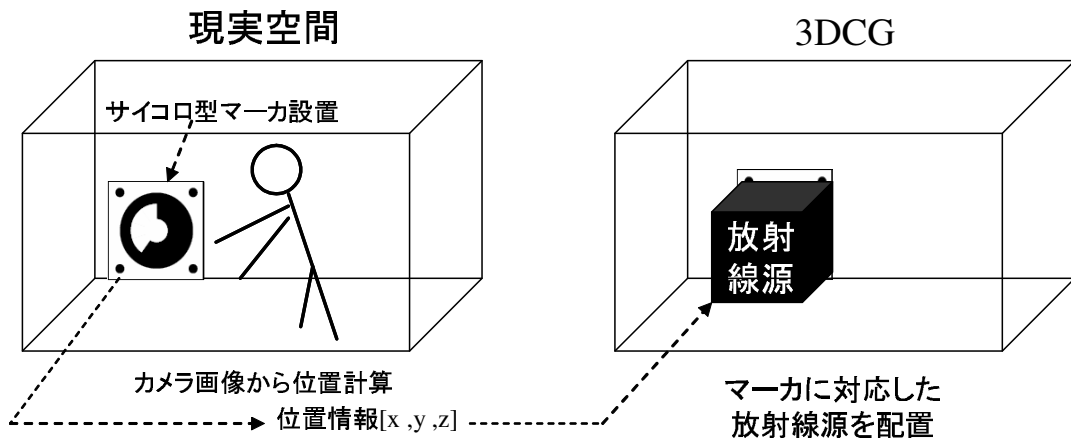


図 3.12: サイコロ型マーカの設置により放射線源を設定する機能

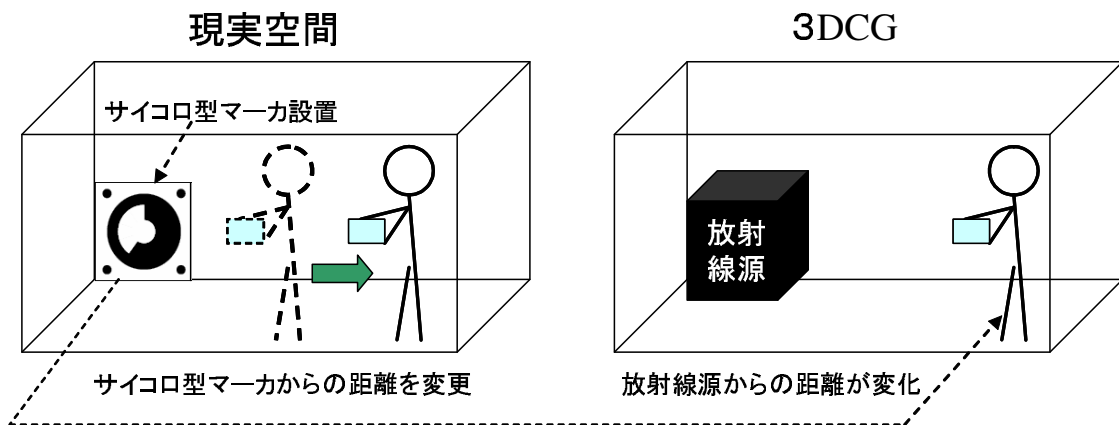


図 3.13: 移動により放射線源からの距離を変える機能

1個を使用する。学習者が図 3.12 のように 2 つの放射線源設定用マーカを学習環境に設置し、学習用携帯デバイスを持って歩き回り、各放射線源から放出される放射線の強さの違いを体験する。

(4) 遮へい（材料・厚さ）

この部分では、線源（放射能：1GBq）設置用サイコロ型マーカ 1 個と紙、プラスチック、鉄（厚さ：15cm）、鉛（厚さ：5cm、3cm）の遮へい設置用板状マーカ各 1 個を使用する。学習者はまず図 3.12 のように放射線源設定用サイコロ型マーカを環境に設置する。その後、図 3.14 のように放射線源から放出される放射線を遮へいするように各遮へい設置用マーカをそばに配置する。遮へいの設置による放射線の強さの変化を体験できる。

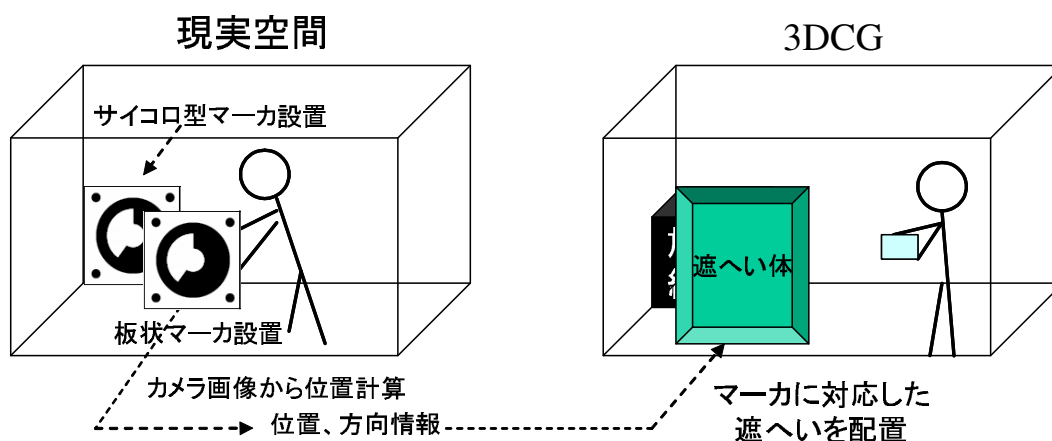


図 3.14: マーカの設置により遮へいを設定する機能

(5) 経過時間による減衰

線源（放射能：0.2GBq、1GBq）の設置用サイコロ型マーカ各 1 個を使用する。学習者が図 3.12 のように放射線源設定用サイコロ型マーカを環境に設置し、その後、図 3.15 に示す学習用携帯デバイス画面上の経過時間変更ボタンをタッチすることにより、仮想的な時間経過を設定し、現在からの経過時間によって、放射線の強さがどのように変化するかを体験する。

以下では、本モードの各ボタンの機能について、その詳細を説明する。

- 「体験コンテンツ」ボタン

図 3.16 ように、本モードのトップページでは 5 つの「体験コンテンツ」ボタンを配置する。「体験コンテンツ」ボタンのラベルは各体験内容のタイトルである。「体

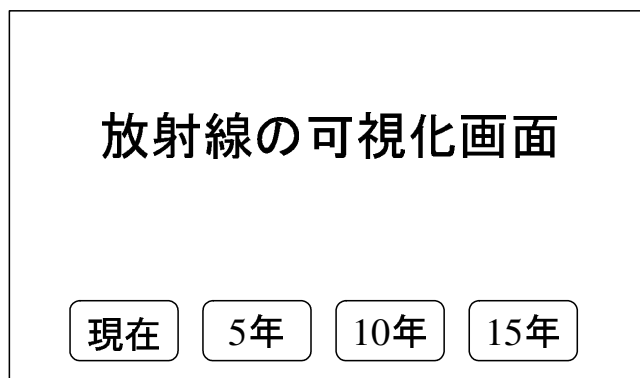


図 3.15: ボタンにより経過時間を変える機能

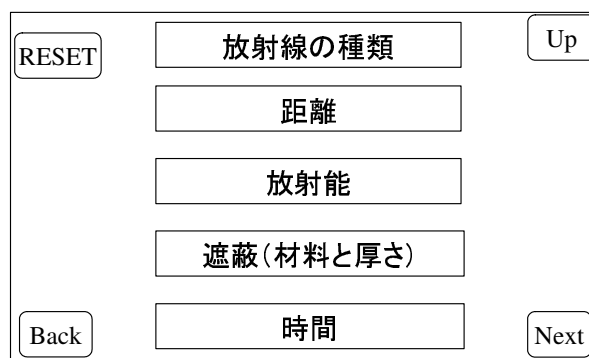


図 3.16: 体験学習モードのトップ画面

「体験コンテンツ」ボタンをタッチすると、各コンテンツの説明ページに移動する。また、学習進捗が確認できるように、あるコンテンツを体験終ると、ボタンのタイトルの色を赤色にし、タイトルの前に「(済)」が表示される。「放射線の種類」を体験した後のトップ画面の例を図 3.17 に示す。

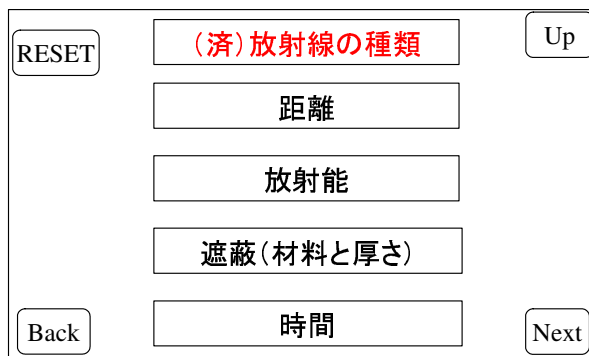


図 3.17: 「放射線の種類」を体験した後のトップ画面

- 「RESET」ボタン

「RESET」ボタンは図 3.16 のように本モードのトップ画面にのみ左上に配置する。トップ画面の「RESET」ボタンをタッチすると、学習記録がリセットさせ、「体験コンテンツ」ボタンが図 3.16 に示す状態に戻る。

- 「Next」ボタン

「Next」ボタンは図 3.16 のように学習用携帯デバイスの画面の右下に設置する。「Next」ボタンをタッチすると、次の体験コンテンツに移動する。学習用携帯デバイスの画面は小さいので、放射線を可視化する映像を隠さないように、「Next」ボタンは常時表示せず、画面タッチにより、ボタンの表示・非表示を切り替える。

- 「Back」ボタン

「Back」ボタンは図 3.16 のように学習用携帯デバイスの画面の左下に設置する。「Back」ボタンをタッチすると、前のコンテンツに移動する。「Next」ボタンと同様に、画面タッチにより、ボタンの表示・非表示を切り替える。

- 「Up」ボタン

「Up」ボタンは図 3.16 のように学習用携帯デバイスの画面の右上に配置する。本モードのトップページで「Up」ボタンをタッチすると、図 3.6 に示す本システムのトップ画面に戻る。他の画面で「Up」ボタンをタッチすると、図 3.16 に示す本モードのトップ画面に戻る。

3.4.2.2 放射線分布のリアルタイム計算

本システムでは、 α 線、 β 線、 γ 線の3種類の放射線を扱う。放射線の種類によって透過力に大きな差があり、 α 線、 β 線の透過力は弱い。 α 線は紙や数 cm の空気層で止められる。また、 β 線は通常 1cm 程度のプラスチック板で十分遮へいできる。しかし、 γ 線の透過力は強く、その遮へいには鉛、鉄などが使われる。本システムでは、様々な線源に対する遮へい材の効果をみるため、遮へい材として紙、プラスチック、鉄、鉛を用いる。

本システムでは放射線源設定用サイコロ型マーカから放射線源の種類・放射能・位置を、遮へい設定用板状マーカから遮へいの材料・厚さ・位置の情報を取得する。これらの情報を利用して、リアルタイムに放射線の分布状況を計算する。

α 線の場合、本システムで使用する4種類の遮へい材のいずれでも完全に遮へいできる。 β 線の場合、プラスチック、鉄、鉛で完全に遮へいでき、紙ではほとんど遮へいできない。 γ 線、 β 線の遮へいされてない場所の放射線の強さは式(3.1)^[17]により求める。

$$Dose = C \times A/d^2 \quad (3.1)$$

Dose は実効線量率で、単位は $\mu\text{Sv/h}$ である。C は核種に固有の定数で、単位放射能 (MBq) の線源から単位距離 (1m) 離れた点における実効線量率を表すための換算係数であり、線量当量率定数^[18]と呼ばれる。A は放射線源の放射能で、単位はベクレル (Bq) である。d は放射線源からの距離で、単位はメートル (m) である。

γ 線の場合は、放射線分布の計算に Institute for Energy Technology が開発している放射線分布計算ライブラリ^[19]を用いる。このライブラリでは放射線の強さを式(3.2)により求めている。

$$Dose_{tissue} = \frac{A}{d^2} \cdot \sum_i y_i \cdot E_i \cdot (\mu_{en}/\rho)_i \cdot e^{-(\mu/\rho)_i \cdot \rho \cdot r} \cdot B_s(E_i, \rho, r) \cdot 5.26 \cdot 10^6 \cdot 9.7 \quad (3.2)$$

A : 放射能

d : 放射線源からの距離 (図 3.18)

r : 放射線の遮へい中での透過距離 (図 3.18)

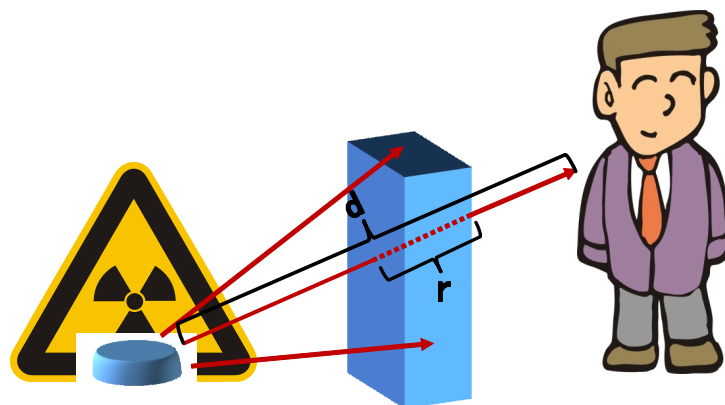


図 3.18: 線の計算

y_i : フォトンエネルギー効率

E_i : フォトンエネルギー

μ : 線減弱係数

ρ : 物質の密度

μ_{en} : エネルギー吸収係数

$e^{-(\mu/\rho)_i \cdot \rho \cdot r}$: 遮へい体の透過率

$B_s(E_i, \rho, r)$: ビルドアップ係数

3.4.2.3 放射線の表現方法

本システムでは、仮想的な放射線の強さを視覚、聴覚、触覚の3種類の感覚への情報として提示する。視覚と聴覚への情報提示には学習用携帯デバイスを用い、触覚への情報提示には振動デバイスを用いる。以下ではこの3種類の情報表現方法の詳細について述べる。

視覚 放射線の強さを視覚的に表現するために、その分布状況を3DCGでカメラの映像に重畳表示する。3DCGの描画は三次元のグラフィックライブラリのOpenGL ESを利用して実現する。

放射線の強さの表現には3DCGの色、大きさ、数などを変化させて表現することが考えられる。3DCGの形状としては、携帯デバイスの計算能力を考慮すると、計算量を減らすために、線やポリゴンの数が少ない立方体などが考えられる。線で表現する場合、図3.19に示すような密度による放射線の強さの表現が考えられる。図3.20に示すような立方体の大きさにより放射線の強さを表現する方法が考えられる。しかし、これらの表現方法では、遠くのは小さく見えるため、密度や大きさの違いだけで、放

放射線の強さの分布を認識するのが難しいため、色の違いによる表現方法を変えることが考えられる。ただし、線と色の組合せでは細い線の色が認識しにくいいため、本システムでは、図 3.21 に示すように立方体の大きさで放射線の強さを表現する。

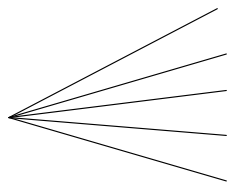


図 3.19: 線の密度による表現方法

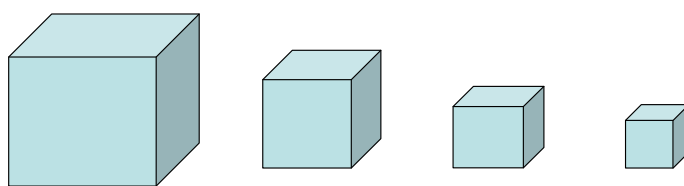


図 3.20: 立方体の大きさによる表現方法

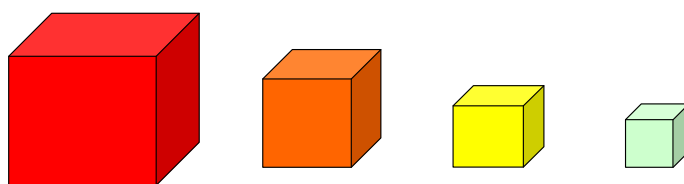


図 3.21: 立方体の大きさと色の組合せによる表現方法

聴覚 学習者の位置での放射線の強さを学習用携帯デバイスから発生される音の大きさによって表現する。具体的には、3.4.2.2 で述べた方法により放射線の強さを計算し、その結果から学習用携帯デバイスのスピーカから発生する音のボリュームを制御する。

触覚 聴覚と同様に、学習者の位置での放射線の強さを計算し、Bluetooth 通信により、その結果を振動デバイスの無線通信ユニットに送信し、振動デバイスを制御する。以下では、振動デバイスの各モジュールの詳細設計について説明する。

(A) 無線通信ユニット

前述のように、(A) 無線通信ユニットには携帯デバイスを用い、Bluetooth 通信を利用して、学習用携帯デバイスから送られるデータ信号を受信し、(A) 無線通信ユニットのイヤホンジャックから音声振動の振幅の大きさとして出力する。この機能は (A) 無線通信ユニットのソフトウェアとして実現する。

(B) 制御ユニット

(B) 制御ユニットは、(A) 無線通信ユニットから送られる音声信号の振幅に従って (C) 打撃感覚提示デバイスの駆動頻度を制御するような複雑な制御が必要であるため、そのハードウェアを新たに設計する。図 3.22 に (B) 制御ユニットの回路図を示す。なお、図 3.22 には (C) 打撃感覚提示ソレノイドとの接続も含めている。

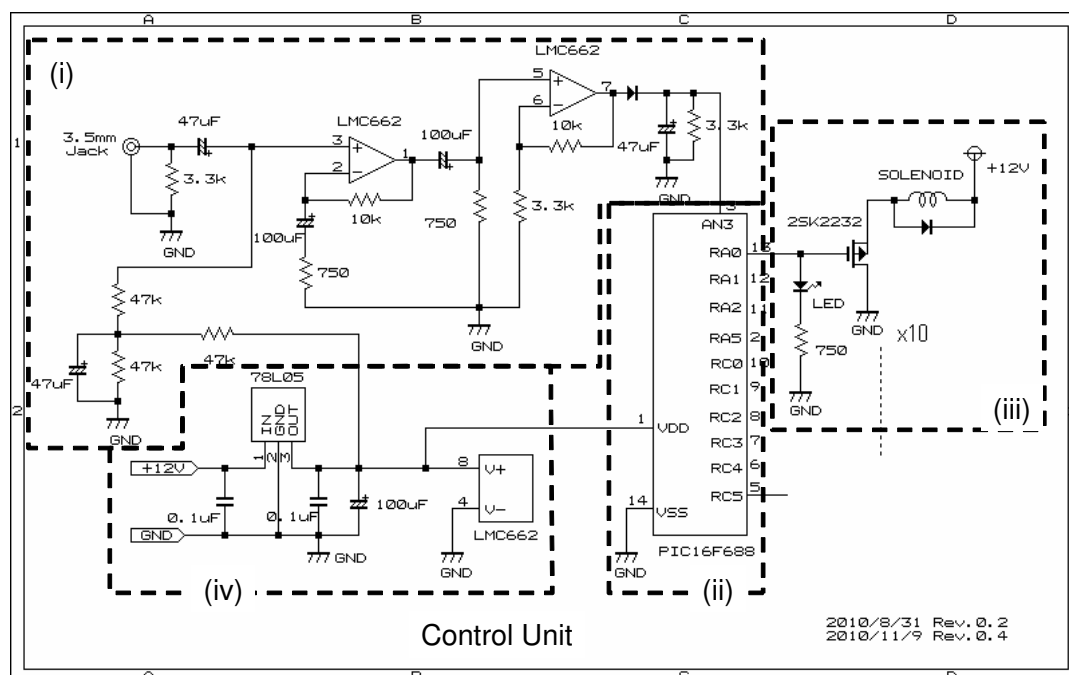


図 3.22: (B) 制御ユニットの回路

(i) は (A) 無線通信ユニットから送られる音声信号の振幅を 0 ~ 5V の電圧に変換する回路である。ここでは、回路の単純化のために片電源駆動で出力が rail-to-rail であるオペアンプ LM662 を用いる。音声信号は交流で数十 mV の振幅であるため、1 段目のオペアンプで音声信号に 2.5V のオフセットをかけるとともに、約 14.3 倍に増幅する。また、2 段目のオペアンプでは、2.5V のオフセットがかかっている信号を交流に戻すとともに、その正電圧部分だけを 4 倍に増幅する。さらに、2 段目のオペアンプの出力はダイオードとコンデンサにより整流することで、0 ~ 5V の直流電圧に変換する。

(ii) はアナログ-デジタル (Analog/Digital; A/D) 変換機能のある 8bit マイクロプロセッサ PIC16F688 である。このマイクロプロセッサは、最大 4ch の A/D 変換機能と 12ch のデジタル入出力機能を持つ。本回路では、このうち 1ch の A/D 変換機能と 10ch のデジタル出力機能を利用する。このマイクロプロセッサは、(i) の

回路により 0~5V の電圧に変換された信号を A/D 変換して入力し、その電圧に応じてランダムに選択された (C) 打撃感覚提示ソレノイドの駆動頻度を变化させる。入力電圧が 0V のときは (C) 打撃感覚提示ソレノイドを駆動せず、5V のときは最大駆動頻度である 10 回/秒で (C) 打撃感覚提示ソレノイドの一つがランダムに選択され駆動される。付録 C にマイクロプロセッサのプログラムリストを添付する。

(iii) は、マイクロプロセッサのデジタル出力信号により (C) 打撃感覚提示ソレノイドを駆動するための回路である。(C) 打撃感覚提示ソレノイドには、小型軽量のフラッパーソレノイドである信明電機製 SB-080-01 12V を用いる。このソレノイドの仕様を表 3.5 に示す。表 3.5 に示すように、このソレノイドは 12V 駆動であり、また駆動電流も 250mA と大きいことから、(ii) のマイクロプロセッサのデジタル出力で直接駆動することはできない。そのため、P 型 CMOS パワー FET である 2SK2232 をドライバとして用いる。2SK2232 はスイッチング電圧が 4V であるため、マイクロプロセッサのデジタル出力でスイッチングが可能だけでなく、ON 抵抗が 36mΩ と小さいためソレノイド駆動時の発熱とエネルギーロスが少なく、(C) 打撃感覚提示ソレノイドを駆動するのに適している。

表 3.5: 打撃感覚提示ソレノイドの仕様

メーカー・型名	信明電機 SB-080-01 12V
ソレノイド形式	フラッパーソレノイド
アクション	ヒンジ型
供給電圧	12V
電流	250mA
クローズドパワー連続	3W
最大ストローク長	6mm
デューティサイクル	0.1
幅×長さ×高さ	44mm × 42mm × 15mm
重量	45g

(iv) は電源回路であり、三端子レギュレータ 78L05 を用いてオペアンプ LMC662 とマイクロプロセッサ PIC16F688 の動作に必要な 5V 電圧を発生させる。

(C) 打撃感覚提示ソレノイド

前述のように、(C) 打撃感覚提示ソレノイドにはフラッパーソレノイドである信明電機製 SB-080-01 12V を用いるが、これを後述の (E) 身体装着ハーネスに固定して学習者の身体に装着するため、図 3.23 のようなプラスチック板にネジ留めで固定する。プラスチック板には図 3 に示す 2 つの長細い穴を空け、この穴に (E) 身体装着ハーネスのベルトを通すことでプラスチック板ごと (C) 打撃感覚提示ソレノイド 10 個を学習者の身体に固定する。

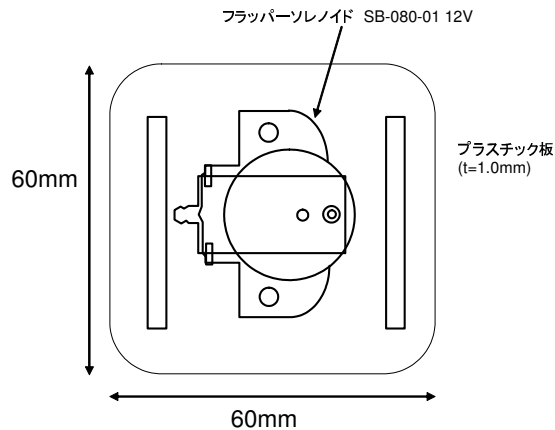


図 3.23: (C) 打撃感覚提示ソレノイドを固定するプラスチック板

(D) バッテリー

(B) 制御ユニットと (C) 打撃感覚提示ソレノイドの電源となるバッテリーは、3.7V のリチウムイオンバッテリー 14500 を直列に 3 本接続したものをを用いる。14500 は単三乾電池と同じ大きさであるため小型軽量であり、さらにその容量も 900mAh と大きいために 1 時間以上の連続動作が可能である。

(E) 身体装着ハーネス

図 3.24 に (E) 身体装着ハーネスの構成を示す。(E) 身体装着ハーネスは、上記の (A) から (D) のモジュールを学習者の身体に固定できるだけでなく、身体の高さにかかわらず簡単に装着できることが必要である。そのため、学習者上半身の前面に 10 個の (C) 打撃感覚提示ソレノイドを固定するための幅 30mm のゴムベルトと、背面に (A) 無線通信ユニット、(B) 制御ユニット、(D) バッテリーを固定するためのプラスチック板から構成される。このゴムベルトとプラスチック板はコキカンで接続され、ゴムベルトの長さを調整することができる。また、学習者上半身の前面のゴムベルトには、2 箇所にプラスチックバックルを取り付け、ベストを着るように簡単に装着することができる。

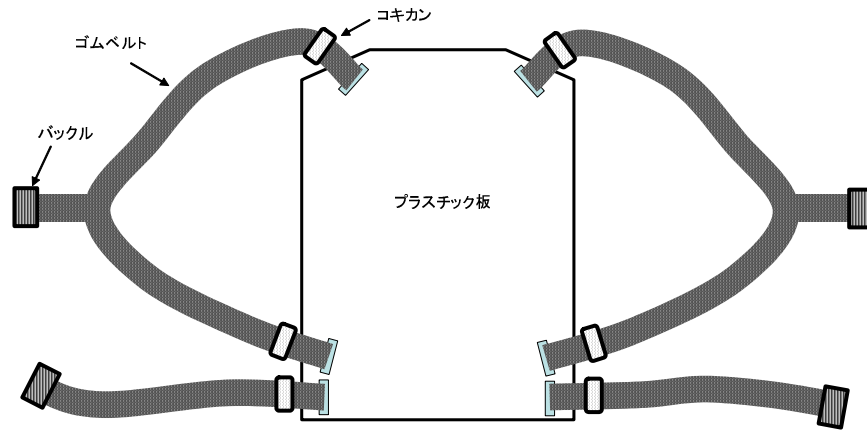


図 3.24: (E) 身体装着ハーネスの構成

3.5 システムの実装

3.5.1 ハードウェア

ハードウェア構成を図 3.25 に示す。本研究では、基礎学習モードと体験学習モードで用いる学習用携帯デバイスとして Bluetooth 通信ができ、カメラ・スピーカを内蔵している、小型の iPod touch を用いる。iPod touch の仕様を表 3.6 に示す。

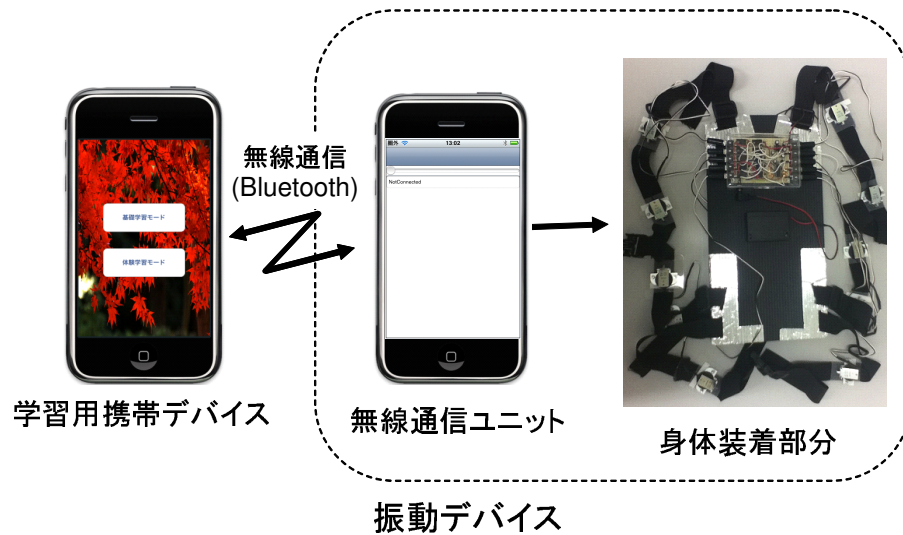


図 3.25: ハードウェア構成

また、触覚を提示するデバイスとして、前述の詳細設計に基づき、振動デバイスを製作した。図 3.26 ~ 図 3.28 に製作した振動デバイスの写真を示す。図 3.26 に示すよう

に、(A) 無線通信ユニットには Bluetooth 通信ができ、小型の iPhone を用い、その音声出力端子から音声信号を (B) 制御ユニットに送る。また、(B) 制御ユニットの基板は透明のアクリルケースに入れ、(C) 打撃感覚提示ソレノイドと 3.5mm のモノラルジャックにより接続した。(C) 打撃感覚提示ソレノイドは、プラスチックの細長い穴に (E) 身体装着ハーネスのゴムベルトを通し、学習者の身体に装着する。(D) バッテリーには単三電池 3 本用の電池ボックスを利用し、その中にリチウムイオン電池 14500 を 3 本直列に入れ、DC ジャックにより (B) 制御ユニットに電源を供給する。また、(B) 制御ユニットと (D) バッテリーは、マジックテープにより (E) 身体装着ハーネスのプラスチック板に固定した。上記の振動デバイスを装着した様子を図 3.27 と図 3.28 に示す。

3.5.2 ソフトウェア

学習用携帯デバイスのソフトウェアは Apple 社の Xcode を用いて作成し、開発言語は Objective-C を用いた。また、3DCG の表示には OpenGL ES を利用した。

システムのトップ画面を図 3.29 に示す。「基礎学習モード」のボタンをタッチすると基礎学習モードに移動し、「体験学習モード」のボタンをタッチすると体験学習モードに移動する。

3.5.2.1 基礎学習モード

図 3.30 に基礎学習モードのトップ画面を示す。基礎学習モードのトップ画面は前述のように「Next」ボタン、「Back」ボタン、「Up」ボタン、7つの「学習コンテンツ」ボタン、「RESET」ボタンという 5 種類のボタンで構成される。

図 3.30 の中央の 7 つのボタンは「学習コンテンツ」ボタンであり、各ボタンには放

表 3.6: iPod touch の仕様

幅 × 長さ × 高さ	58.9mm × 111.0mm × 7.2mm
重量	101 g
画面サイズ	3.5 インチ
カメラの解像度	960 × 720 ピクセル
ワイヤレス	Bluetooth 2.1 + EDR、Wi-Fi 等
センサ	3 軸ジャイロスコープ、加速度センサ等
音声出力	内蔵スピーカ

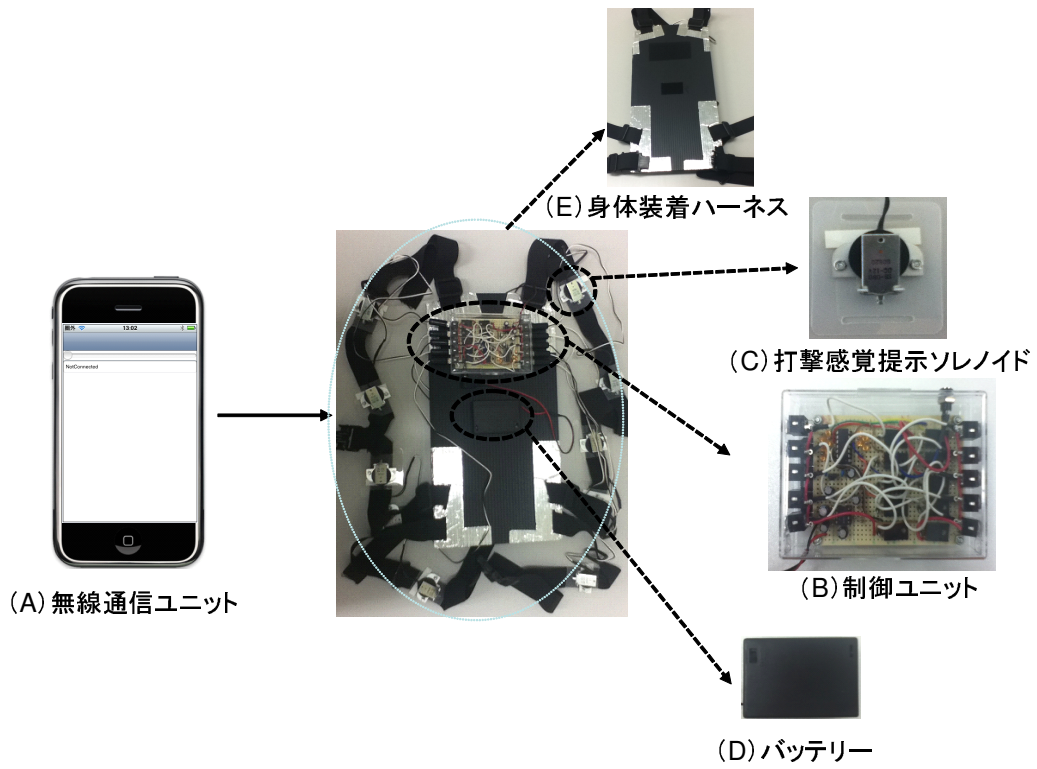


図 3.26: 振動デバイスの構成

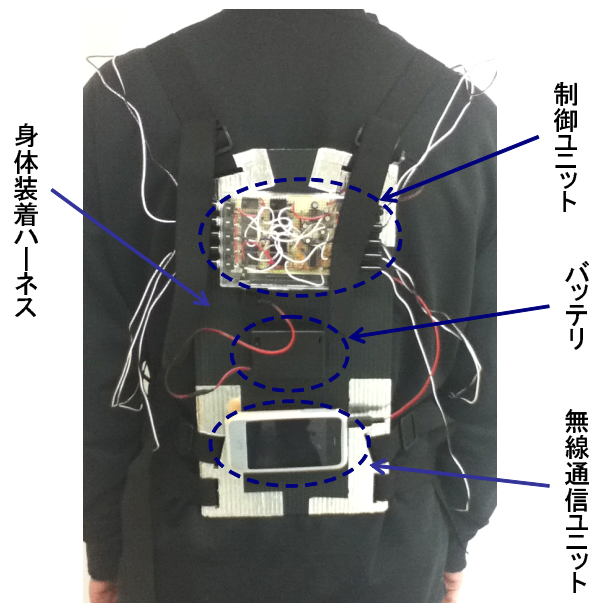


図 3.27: 振動デバイスを装着した様子 (背面)



図 3.28: 振動デバイスを装着した様子 (正面)



図 3.29: システムのトップ画面



図 3.30: 基礎学習モードのトップ画面

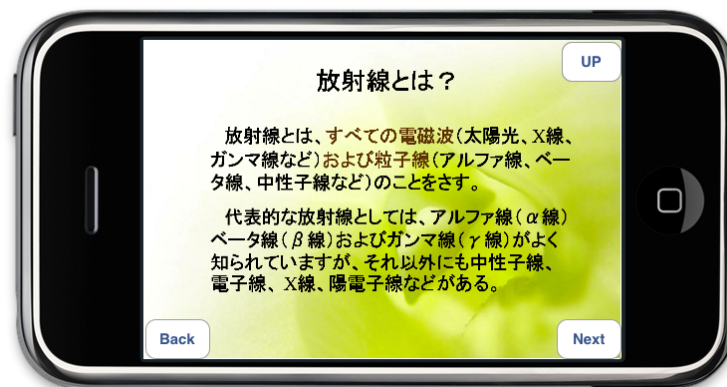


図 3.31: 学習コンテンツを表示する画面



図 3.32: 「放射線と放射能」の内容の学習が終わった後のトップ画面

放射線知識の各学習コンテンツのタイトルが表示される。それぞれのボタンをタッチすると、該当するコンテンツの1ページ目に移動する。例えば、「放射線と放射能」ボタンをタッチすると、図 3.31 に示す「放射線と放射能」の内容の1ページ目に移動する。トップ画面で「Next」ボタンをタッチしても、同様に「放射線と放射能」の内容の一頁目に移動する。トップ画面上の「Up」ボタンをタッチすると、図 3.29 に示すシステムのトップ画面に戻る。

学習画面では、学習コンテンツと共に、「Next」、「Back」、「Up」ボタンを表示する。「Next」、「Back」ボタンをタッチすると、現在のページの前後ページに移動する。「Up」ボタンをタッチすると、図 3.30 に示す本モードのトップ画面に戻る。「放射線と放射能」の内容の学習が終了すると、図 3.32 に示すようにトップ画面上のタイトルは赤色に変わり、タイトルの前に「(済)」が表示される。ここで左上の「RESET」ボタンをタッチすると学習進捗記録がリセットされ、「学習コンテンツ」ボタンは図 3.30 に示す状態に戻る。

3.5.2.2 体験学習モード

図 3.33 に体験学習モードのトップ画面を示す。基礎学習モードのトップ画面は「Next」ボタン、「Back」ボタン、「Up」ボタン、5つの「体験コンテンツ」ボタン、「RESET」ボタンの5種類のボタンで構成される。

図 3.33 中央の5つのボタンは「体験コンテンツ」ボタンであり、各ボタンには体験コンテンツのタイトルが表示される。それぞれのボタンをタッチすると、該当するコンテンツの説明画面に移動する。例えば、「放射線の種類」ボタンをタッチすると、図 3.34 に示す「放射線の種類」の説明画面に移動する。同様にトップ画面で「Next」ボタンをタッチしても、「放射線の種類」の説明画面に移動する。トップ画面上の「Up」ボタンをタッチすると、図 3.29 に示すシステムのトップ画面に戻る。

説明画面には、体験内容の説明と共に、「Next」、「Back」、「Up」のボタンを表示する。「Next」ボタンをタッチすると、体験画面に移動する。「Back」ボタンをタッチすると、前のコンテンツの体験画面に移動する。体験画面の例を図 3.35 に示す。説明画面上の「Up」ボタンをタッチすると、図 3.29 に示すシステムのトップ画面に戻る。

体験画面では、仮想的な放射線の分布や遮へいを可視化した3DCGをカメラ映像に重畳表示し、左側に、放射線の強弱に対応する色(凡例)を表示する。また、上部の数字は人体への被ばく量であり、遮へいを設置している場合には、右上に遮へいの材質を表示する。図 3.35 に遮へいがある場合の画面例を、図 3.36 に遮へいがない場合の画



図 3.33: 体験学習モードのトップ画面

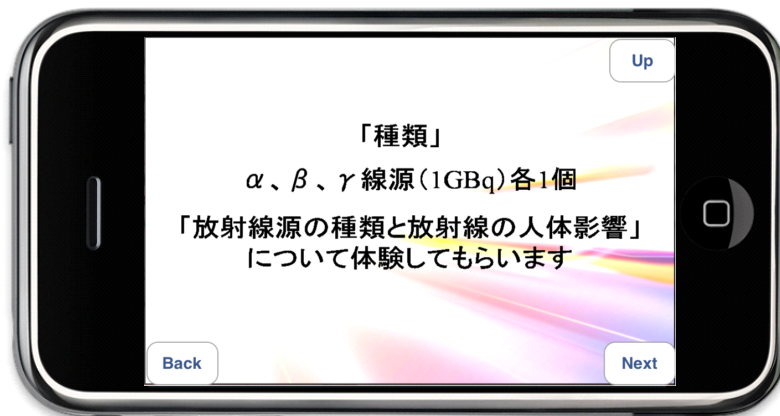


図 3.34: 体験コンテンツの説明画面

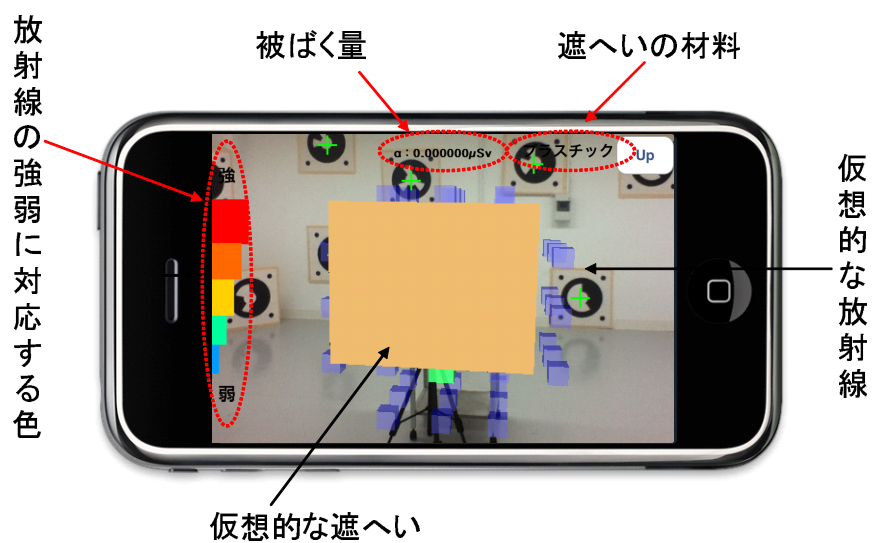


図 3.35: 体験学習モードの体験画面例

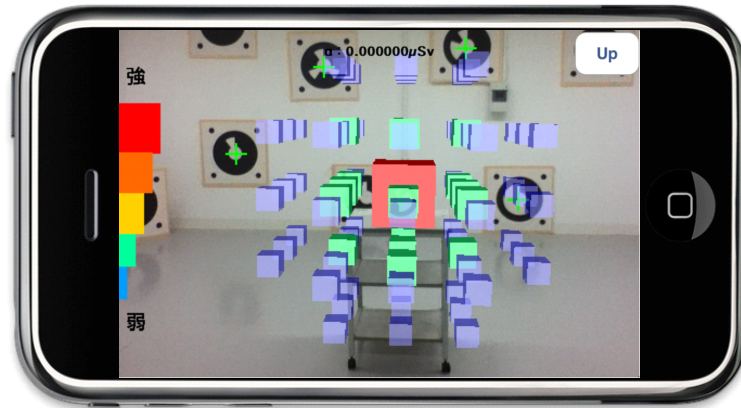


図 3.36: サイコロ型マーカで表示された 3DCG の例 (線源)

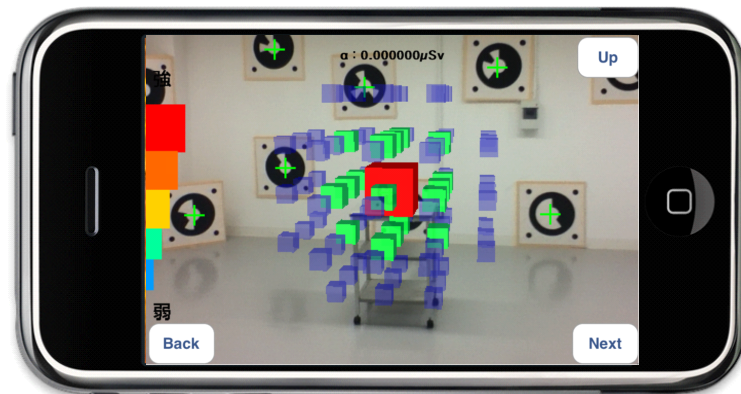


図 3.37: ボタン表示

画面例を示す。「Next」と「Back」ボタンを前述のように体験画面には表示しないが、画面をタッチすると、図 3.37 に示すように、画面の下部に「Next」、「Back」ボタンが表示される。これらは画面をタッチするごとに表示/非表示を切り替える。「Back」ボタンをタッチすると、本コンテンツの説明画面に移動する。「Next」ボタンをタッチすると、次のコンテンツの説明画面に移動する。また、体験画面上の「Up」ボタンをタッチすると、図 3.33 に示す体験学習モードのトップ画面に戻る。

本モードでは、学習者の位置をトラッキングする用マーカとは別のマーカを環境中に配置することで、そのマーカの種類に対応した仮想的な放射線源や遮へいを設置することができる。線源設置用サイコロ型マーカを設置した場合の線源から放出される放射線の分布状況を図 3.36 に示す。仮想的な放射線源の位置はサイコロ型マーカの中心位置とする。サイコロ型マーカの種類を変更することにより、図 3.38 に示すように放射線源の種類が変更され、放射線源から放出される放射線の分布状況が変更される。また、遮へい設定用板状マーカを設置するとそれによって放射線が遮へいされる。図 3.39 にその様子を示す。板状マーカの種類を変更することにより、図 3.40 に示すように遮へい材質の種類、その厚さを変更することができる。

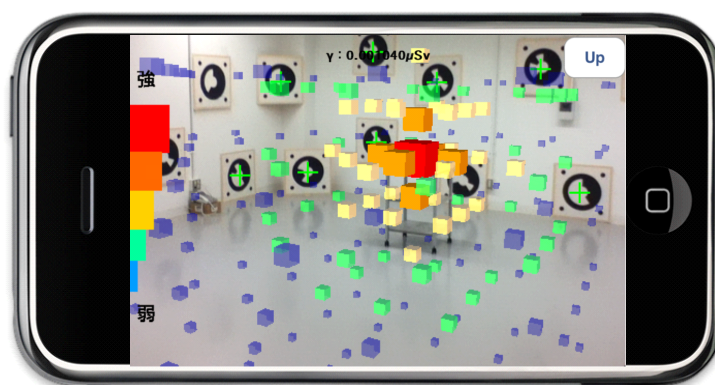


図 3.38: サイコロ型マーカ種類による仮想的な放射線源の変更（線源）

また、図 3.41 に現在からの時間経過による放射線の強さの変化を体験する画面を示す。この画面の下部には経過時間を変更するためのボタンを設置している。例えば、「5年」の経過時間ボタンをタッチすると、図 3.42 に示すように5年後の放射線の状況を表示する。

「放射線の種類」の体験が終了すると、図 3.43 に示すようにトップ画面の体験コンテンツボタン「放射線の種類」のタイトルが赤色に変わり、その前に「(済)」が表示される。トップ画面の「RESET」ボタンをタッチすると、体験進捗記録をリセットし、「体

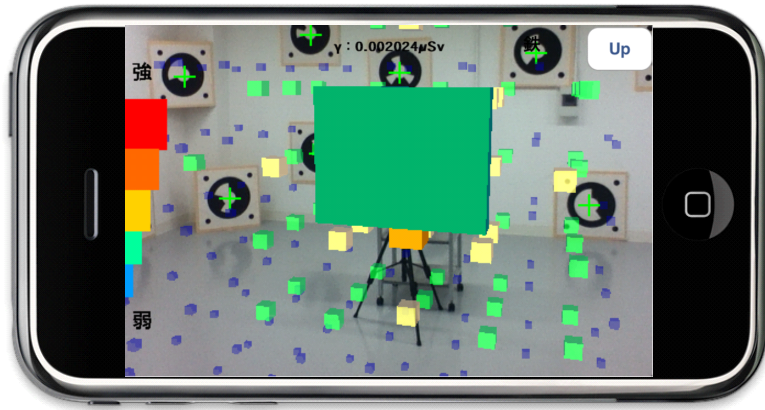


図 3.39: 板状マーカにより設置される遮へい（鉄）

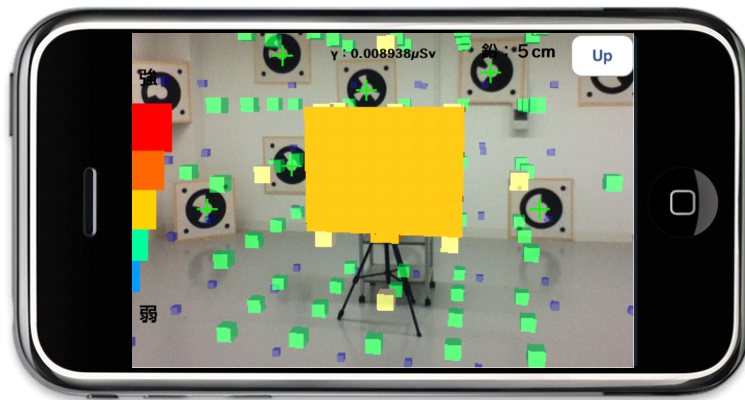
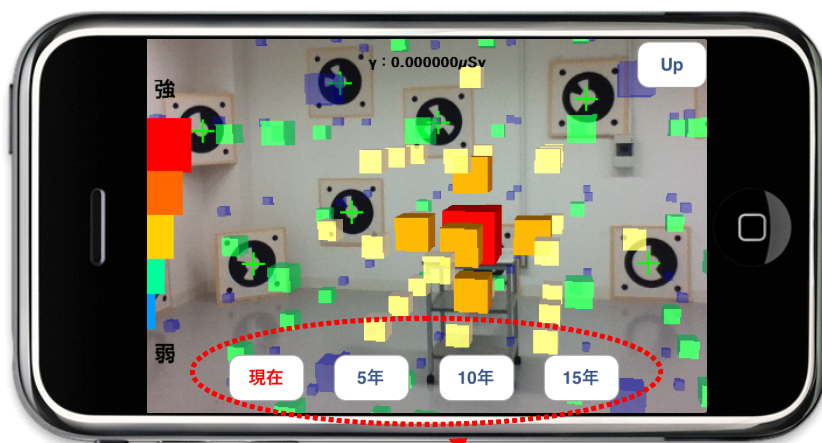


図 3.40: 板状マーカ種類の変更による遮へいの変更（鉛）



経過時間を変更する用ボタン

図 3.41: 経過時間による放射線の強さを体験する画面（現在）

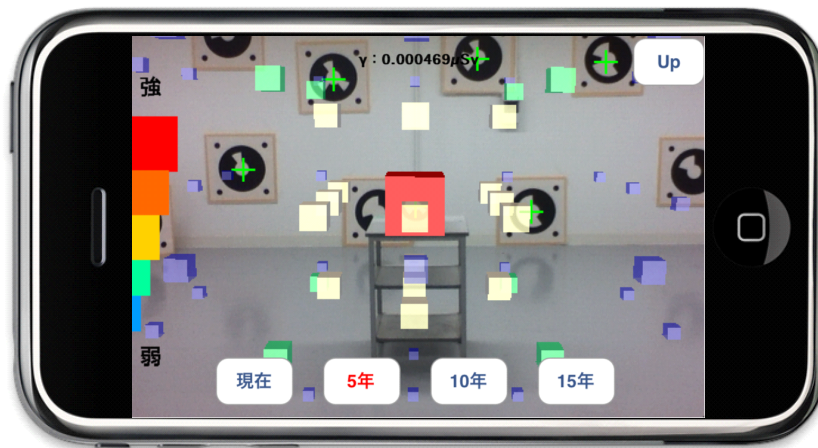


図 3.42: 経過時間による放射線の強さを体験する画面 (5年後)

「体験コンテンツ」ボタンが図 3.33 に示す状態に戻る。



図 3.43: 「放射線の種類」の内容を体験終わった後のトップ画面

第 4 章 放射線学習支援システムの評価

本章では、放射線学習支援システムの評価について述べる。まず、評価の目的について述べ、次に評価の方法、結果及び考察について述べる。

4.1 評価の目的

本研究では、第 3 章で述べた要求仕様にしたがって、放射線学習支援システムを設計・開発した。この放射線学習支援システムを評価者に利用してもらい、アンケートとインタビューを通じて、システムの要求仕様と機能構成を実現できているかどうか、またシステムを利用することにより、放射線の性質を直感的に理解できるかどうかを評価することを目的とする。

4.2 評価方法

本評価では、学習シナリオに沿って、放射線学習支援システムを評価者に試用してもらい、評価してもらう。4.2.1 項で評価環境について、4.2.2 項で評価手順及び評価者について、4.2.3 項で学習シナリオについて、4.2.4 項でアンケート項目についてそれぞれ述べる。

4.2.1 評価環境

本評価は、京都大学工学部 1 号館 256 号共同実験室（以下、評価室）で行った。評価環境の概略図を図 4.1 に示す。また実際の評価環境を図 4.2 に示す。評価室の照度は床面で約 400lx であった。本評価ではトラッキング用マーカとして半径 20cm の円形マーカを配した一辺 55cm のパネルを用いた。また放射線源設定用マーカとして図 4.3 に示すような半径 8cm の円形マーカを一辺 23cm の立方体の外側に配置したサイコロ型マーカを用いた。遮へい設定用マーカとして半径 8cm の円形マーカを一辺 22.5cm の正方形の薄いプラスチック板に貼り付けた板状マーカを用い、これを図 4.4 に示すように三脚に固定した。

また、評価環境を準備するために以下の作業を評価実施者が実施した。

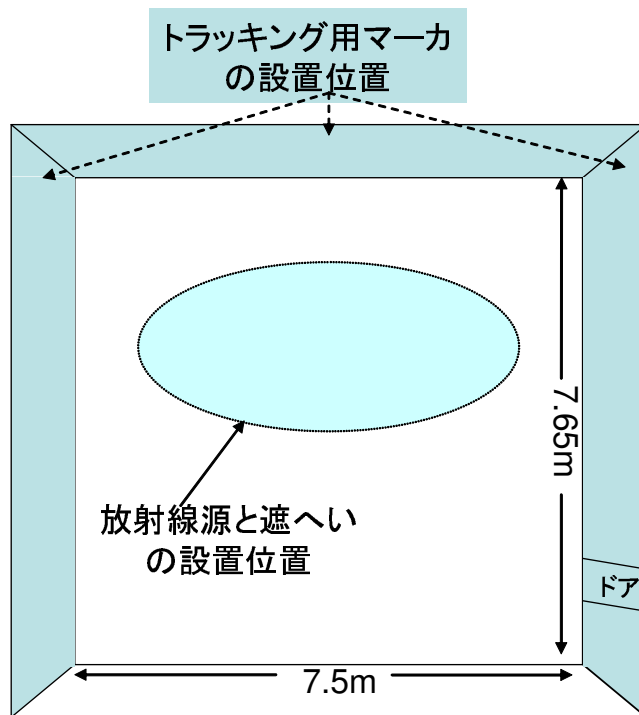


図 4.1: 評価室の概略



図 4.2: 評価室の様子



図 4.3: 放射線源設定用マーカ



図 4.4: 遮へい設定用マーカ

(1) 評価室にトラッキング用マーカを貼り付ける

図 4.5 に示すように評価室の壁に 16 枚のマーカを貼った。

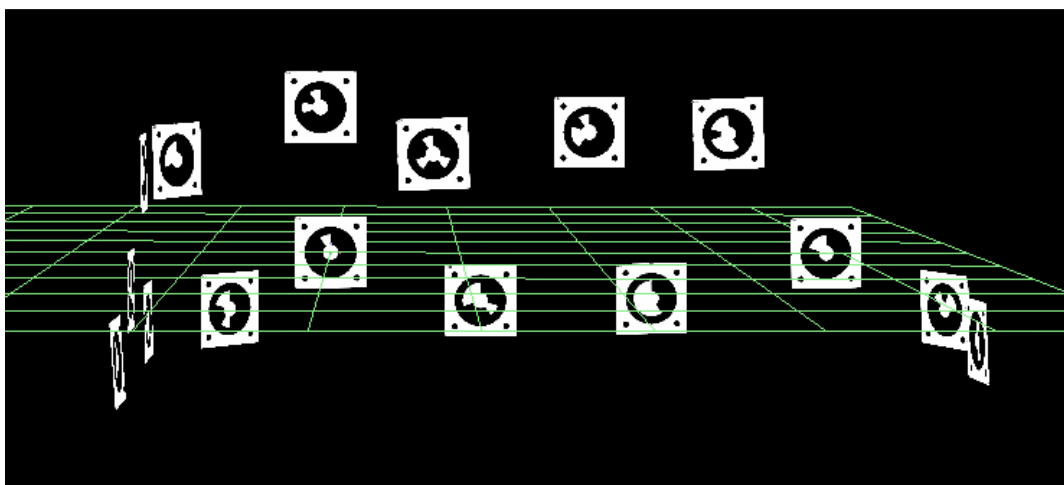


図 4.5: 評価室におけるマーカの位置

(2) MAMS を用いてトラッキング用マーカの位置と方向を計測する

3.4.1 項で述べた MAMS を用いて 16 枚のトラッキング用マーカのそれぞれの位置と方向を自動計測した。

(3) 放射線学習支援システムの初期設定をする

(2) で計測した各マーカの位置情報等を学習支援システムに入力した。

4.2.2 評価手順及び評価者

評価者は放射線に関する専門教育を受けたことがない大学院生 8 名とした。本評価のタイムスケジュールを表 4.1 に示す。また、以下に本評価の手順を述べる。

(1) 評価者に評価概要を説明し、同意書に記入してもらう

付録 D に示す評価説明資料を用いて評価の概要を評価者に説明し、その後、同意書に記入してもらった。

(2) 学習シナリオに沿って評価者にシステムを利用してもらう

4.2.3 項に示す学習シナリオに沿って、基礎学習モードを利用して約 20 分間放射線の基礎知識を学習し、その後、体験学習モードを利用して約 40 分間体験学習してもらった。その間には 5 分間の休憩を挟んだ。

(3) アンケート及びインタビューに答えてもらう

4.2.4項に示すアンケート項目と自由記述欄を含むアンケートを行い、その後インタビューに答えてもらった。

4.2.3 学習シナリオ

評価者はまず放射線学習支援システムの基礎学習モードを利用して放射線に関する基礎知識を学習し、その後、体験学習モードを利用して放射線の人体影響を体験学習する。

1. 基礎学習モードの利用

「基礎学習モード」ボタンをタッチしてシステムの基礎学習モードに入り、最初から最後まで順番に放射線に関する基礎知識をよく読んで学習する。その後、自由に復習してもらう。

2. 体験学習モードの利用

まず、体験学習モードを利用する準備として、振動デバイスを身体に装着し、無線通信ユニットを起動する。その後、「体験学習モード」のボタンをタッチしてシステムの体験学習モードに入り、順番に以下の5つのコンテンツを体験する。

(1) 放射線の種類による放射線の人体影響の変化を体験する

1GBqの線源、線源、線源各1個を評価室の床の上に並べて配置し、学習用携帯デバイスを持ってそれぞれの放射線源を撮影し、各線源から放出される放射線の人体影響の違いを体験する。

(2) 放射線源からの距離を変化させながら、放射線の人体影響の変化を体験する

1GBqの線源1個を評価室の床の上に配置し、学習用携帯デバイスを持って

表 4.1: 評価のタイムスケジュール

約 10 分	評価概要の説明、同意書の記入
約 20 分	基礎知識の学習
約 5 分	休憩
約 10 分	体験学習の準備と説明
約 40 分	体験学習
約 15 分	アンケートとインタビュー

放射線源からの距離を変化させ、人体影響の変化を体験する。

(3) 放射能の強さによる放射線の人体影響の違いを体験する

0.2GBq、1GBq の線源各 1 個を評価室の床の上に並べて配置し、学習用携帯デバイスを持ってそれぞれの放射線源を撮影し、放射能の強さの違いによる人体影響の違いを体験する。

(4) 遮へいの設置による放射線の人体影響の変化を体験する

線源 1 個を台の上に配置する。線源の前に、紙、プラスチック、鉄、鉛（厚さ：3cm、5cm）の 5 種類の遮へいを表す板状マーカの 1 つを設置して、放射線の人体影響の違いを体験する。線源についても同じように体験する。

(5) 時間経過による放射能の減衰による放射線の人体影響の変化を体験する

半減期が短い線源（半減期：250 日）1 個を評価室の床の上に配置する。その後、学習用携帯デバイスの画面に表示されている経過時間のボタンをタッチすることで、人体影響の変化を体験する。次に、半減期が長い線源（半減期：5.26 年）についても同じように体験する。

以上の 5 つの体験コンテンツを利用した後は、自由に復習してもらう。

4.2.4 アンケート項目

3 章で挙げたシステムの要求仕様と機能構成について、その機能と使いやすさの観点からアンケート項目を作成し、各項目を「そう思わない」、「あまりそう思わない」、「どちらともいえない」、「ややそう思う」、「そう思う」の 5 段階評価で調査した。表 4.2 に基礎学習モードについての各アンケート項目と要求仕様、機能構成との対応を示す。また表 4.3 から表 4.5 に体験学習モードについての各アンケート項目と要求仕様、機能構成との対応を示す。さらに、アンケートには自由記述欄を設け、その他気づいた点や改善案を記述してもらう。本評価で使用したアンケート用紙を付録 E に示す。

4.3 評価結果と考察

以下では、評価結果の概要および基礎学習モードと体験学習モードの評価結果について考察する。

表 4.2: アンケート項目と要求仕様・機能構成との対応 (基礎学習モード)

アンケート項目	要求仕様・機能構成
(1) テキストと図で放射線の基礎知識を簡単に学習できた	1. 基礎知識を分かりやすく説明すること (a) 携帯デバイスの画面上でテキストと図を用いて説明する
(2) 学習コンテンツを順番に学習した	2. 順番に学習内容を閲覧できること (b) 画面上のボタンタッチで順番に次の学習内容に移動する機能
(3) 学習コンテンツのタイトルボタンで復習したい部分を選ぶことができた	3. 簡単に復習できること (c) 基礎知識をいくつかの部分に分ける (d) 画面上のボタンで、各部分の内容に移動する機能
(4) 学習進度を確認するのは簡単だった	4. 簡単に学習進度を確認できること (e) 終わった部分のタイトルボタンの色が変わる機能 (f) 終わった部分のタイトル前に「(済)」を表示する機能
(5) もう一度最初から学習したい時に「リセット」ボタンが役に立った。	5. 学習進度記録をリセットできること (g) 画面上のボタンタッチで、学習進度記録をリセットする機能

表 4.3: アンケート項目と要求仕様・機能構成との対応 (体験学習モード) 1/3

アンケート項目	要求仕様・機能構成
(6) タイトルボタンで体験したい内容を選ぶことができた	12. 簡単に体験内容を選べること (n) 画面上のボタンタッチで、各体験部分に移動する機能
(7) 体験学習の進度を簡単に確認できた	13. 体験学習進度を確認できること (o) 体験終わった部分のタイトルの色が変わる機能 (p) 体験終わった部分のタイトル前に「(済)」を表示する機能
(8) もう一度最初から学習したい時に「リセット」ボタンが役に立った	14. 体験学習進度記録をリセットできること (q) 画面上のボタンで、体験学習進度記録をリセットする機能
(9) サイコロ型マーカの種類を変えることで、簡単に放射線源の種類を変更できた	6. 放射線源の種類を簡単に変更できること (h) 放射線源の種類をマーカの種類で変える機能 8. 放射線源の放射能の大きさを簡単に変更できること (j) 放射能の大きさをサイコロ型マーカの大きさで変える機能
(10) iPod Touch を持って歩きまわること、放射線源からの距離を簡単に変更することができた	7. 放射線との距離を簡単に変更できること (i) 放射線との距離をマーカとデバイス付きカメラの距離で変える機能
(11) マーカを使って、遮へいを自由な位置に設置できた	9. 遮へいを配置したい場所に自在に配置できること (k) 遮蔽の位置をマーカ位置から設置する機能

表 4.4: アンケート項目と要求仕様・機能構成との対応 (体験学習モード) 2/3

アンケート項目	要求仕様・機能構成
(12) マーカの種類を変えることで、遮へいの材料・厚さを簡単に変更できた	10. 遮へいの材料・厚さを簡単に変更できること (l) 遮へいの材料・厚さをマーカの種類で変える機能
(13) 画面上のボタンで簡単に経過時間を変更できた	11. 経過時間を簡単に変更できること (m)画面上のボタン経過時間を変える機能
(14) 携帯端末の画面に表示されるカメラの映像、および重畳表示される3DCG は見やすかった	15. 放射線の分布状況をディスプレイを通じて確認できること (r) カメラ画像に3DCGを重畳表示する機能 (s) 学習用携帯端末で計算された放射線の人体影響により、3DCGの大きさと色を変えられる機能
(15) 3DCGで重畳表示された放射線の分布状況は直感的に分かりやすかった	15. 放射線の分布状況をディスプレイを通じて確認できること (r) カメラ画像に3DCGを重畳表示する機能 (s) 学習用携帯端末で計算された放射線の人体影響により、3DCGの大きさと色を変えられる機能
(16) 音の大きさが変わることで、放射線の強さを直感的に理解できた	16. 放射線の強さが音の大きさとして聞くことができること (t) デバイスのスピーカから音を提示する機能 (u) 学習用携帯端末で計算された放射線の強さにより音の大きさを変えられる機能

表 4.5: アンケート項目と要求仕様・機能構成との対応 (体験学習モード) 3/3

アンケート項目	要求仕様・機能構成
(17) 振動デバイスの振動頻度が変わること とで、放射線の強さを直感的に理解 できた	17. 放射線の人体影響を小さな打撃感 の発生頻度として体感できること
	(v) 振動デバイスにより、身体の数力所 以上の位置で小さな打撃感を生 ずる機能
	(w) 学習用携帯端末で計算された放射線 の強さにより打撃の発生頻度を変 えられる機能
(18) 装着した振動デバイスは移動を妨げ なかった	18. 学習者の移動動作をなるべく妨げな いこと
	(x) 無線通信により制御できる機能
(19) このシステムの利用によって、放射 線を直感的に理解できた	システムの目的について聞く

4.3.1 評価結果の概要

アンケートの結果を表 4.6 から表 4.8 に示す。表中では、「そう思わない」を 1、「そう思う」を 5 として点数化したものを結果として示した。また、各評価者の自由記述欄への記述を表 4.9 から表 4.15 に示す。

評価中の様子を図 4.6 から図 4.8 に示す。評価者は、学習支援システムの基礎学習モードと体験学習モードの順に使用して、放射線について学習でき、大きなシステムトラブルはなかった。

基礎学習モードを利用して評価者が放射線の基礎知識を学習するのに要した時間は平均約 15 分であった。また、体験学習モードを利用して放射線が人体に及ぼす影響を体験するのに要した時間は平均約 40 分であり、休憩を含めて、その合計時間は約 1 時間であった。

評価者 A ~ H の 8 人の中で、評価者 C は体験学習モードを利用する際、振動デバイスの制御ユニットと無線通信ユニットの連続が外れたことがあったが、再連続して最終的に全ての内容を学習することができた。他の評価者は特にトラブルなく、評価を実施できた。



図 4.6: 評価者の基礎知識学習の様子



図 4.7: 評価者の体験学習の様子



図 4.8: 評価者が放射線の強さの分布を確認する様子

4.3.2 基礎学習モードの評価結果の考察

基礎学習モードに関する表 4.6 の (1) ~ (5) の質問項目を見ると、質問項目 (1)(2)(3)(4) 結果の平均値が 4 以上に達している。

質問項目 (1) の結果に関しては、要求仕様 1 を実現しており、評価者は学習用携帯デバイス画面上のテキストと図を閲覧することにより、放射線の基礎知識を簡単に学習できることが分かった。ただし、評価者 F は画面が小さく、説明する字が多いため、3 を選んでいる (表 4.14 の (F-2))。

質問項目 (2) の結果に関しては、全ての評価者が 5 を選んだため、要求仕様 2 を実現できていることがわかった。すなわち、評価者は知識の内容を順番に学習でき、「Next」ボタンが有用であることが分かった。評価者 A は「Next」ボタンを押して画面が移るのが少し遅いという意見 (表 4.9 の (A-2)) を述べており、システムの反応速度を向上する必要があると考えられる。

質問項目 (3) の結果に関しては、評価者は簡単に復習でき、「学習コンテンツ」ボタンが有用であることが分かった。ただし、評価者 H は、前の知識を復習する時、学習内容が多くないため、「Back」ボタンで前に戻り、学習コンテンツのタイトルボタンは利用しなかったため、2 を選んでいる (表 4.16 の (H-4))。

質問項目 (4) の結果に関しては、評価者 C、D、H は学習内容が多くないため、一気に全てのコンテンツの学習を終え、学習進度を気にすることがなかったため、3 を選んでいる。他の評価者は、タイトルの前に表示された「(済)」とタイトルの色の変化により簡単に学習進度を確認できており、要求仕様 4 を実現できたことが分かった。ただ

し、学習進捗を確認する時に、トップ画面に戻らないと進捗を確認できないこと、また内容は多くないためあまり進捗を気にする必要がなかったことが分かった。これは、各ページで2ページ/20ページのような進捗表示があれば、進捗をもっと簡単に確認できる(表4.11の(C-2))と考えられる。

質問項目(5)の結果については平均値が3を下回った。「RESET」ボタンはもう一度はじめから学習したい時に学習進捗記録をリセットするためボタンであり、本評価では一回しか学習しなかったため、要求仕様5の学習進捗記録をリセットできることを実現できるかどうかを確認できなかった。ただし、長期間にわたり繰り返し学習するならば、「RESET」ボタンは有用だと考えられる。

4.3.3 体験学習モードの評価結果の考察

体験学習モードに関する評価結果の表4.7と表4.8の(6)から(19)までの質問項目を見ると、質問項目(6)(7)(10)~(13)(16)~(19)結果の平均値が4以上に達している。

質問項目(6)の結果に関しては、評価者から肯定的な意見をもらったため、要求仕様12の簡単に体験内容を選べることを実現できたことが分かった。

質問項目(7)の結果に関しては、体験内容が少ないため、体験進捗を気にしなかった評価者以外は簡単に体験進捗を確認でき、要求仕様13を実現できたことが分かった。タイトルの前に「(済)」を表示することとタイトルの色の変化の両方が有用であったと考えられる。

質問項目(8)の結果に関しては、基礎学習モードと同じように、本評価では一回しか学習しなかったため、要求仕様14の簡単に体験学習進捗記録をリセットできることを実現できているかどうかを確認できなかった(表4.12の(D-5))。ただし、長期間にわたり繰り返し学習するならば、「RESET」ボタンが有用だと考えられる。

質問項目(9)の結果に関しては、要求仕様6と8を実現でき、サイコロ型マーカの種類を変えることで、簡単に放射線源の種類を変更できることが分かった。

質問項目(10)の結果に関しては、要求仕様7を実現でき、学習用携帯デバイスを持って歩き回ること、放射線源からの距離を簡単に変えられることが分かった。ただし、評価者Gがカメラを指で覆ってしまわないように学習用携帯デバイスを持つのに少し気を使ったと述べている。(表4.15の(G-2))。学習用携帯デバイスの持ちにくさについても考慮する必要があると考えられる。

質問項目(11)の結果に関しては、遮へいを表す3DCGが正しく表示されない時があるため、4を選ぶ評価者が多く、要求仕様9の遮へいを配置したい場所に自在に配置で

きることを実現するために、配置方法を改善する必要があることがわかった。

質問項目 (12) の結果に関しては、遮へいがうまく重畳表示されないことがあったため、評価者 D と E はそれぞれ 4 と 3 を選んでいる。また、インタビューで、学習者が体験する時に、片手で学習用携帯デバイスを持っている必要があるため、もう片方の手で遮へいの位置を設定するために板状マーカを動かしたり、材料・厚さを変更するためにマーカを変えたりするのは難しいであることを分かった。画面操作で遮へいの位置を変更することは難しいが、遮へいの材料・厚さは学習用携帯デバイス画面上のボタン等で変えるようにする必要があると考えられる。

質問項目 (13) の結果に関しては、要求仕様 11 を実現でき、画面上のボタンで簡単に経過時間を変更できることが分かった。ただし、経過時間を変更できる範囲がボタンではなく、スライダーで連続的に経過時間を変更できるようになるほうが良いということが分かった (表 4.15 の (G-4))。

放射線の視覚的な表現に関する質問項目 (14)(15) の結果は平均値が 4 を下回った。要求仕様 15 を実現するために放射線分布状況をもっと分かりやすく表現できる方法を考える必要がある。その一方で放射線の強さを色の变化で表現することがわかりやすいことが分かった (表 4.12 の (D-6))。ただし、立方体で表現するより、球のほうが分かりやすいという意見をもらった (表 4.11 の (C-1))。

質問項目 (16) の結果に関して、評価者 D は音が鳴っているか、鳴っていないかでしか判断できていなかった (表 4.12 の (D-2)) ため、1 を選んでいる。評価者 D はよく騒音のレベルが高い環境に身を置いているため、音の変化が分らなかった可能性がある。また、振動デバイスの打撃音が大きいので、音の大きさの変化が分かりにくいことが分かった (表 4.9 の (A-1)、表 4.15 の (G-1))。要求仕様 16 の放射線の強さが音の大きさとしてより分かりやすく聞こえるために、振動デバイスの打撃音を減少させるあるいは、イヤホンで音を提示する必要があると考えられる。

質問項目 (17) の結果に関しては、評価者から高い評価を得てあり、要求仕様 17 の放射線の人体影響を小さな打撃感覚の発生頻度として体験できることを実現できることが分かった。

質問項目 (18) の結果に関しては、評価者 C が評価を行う時に、前述のトラブルが発生したため、その評価が低かったが、他の評価者からは肯定的な評価をもらったため、要求仕様 18 の学習者の移動動作を妨げないことを実現できたと考えられる。

4.4 まとめと今後の課題

本評価により、質問項目(19)の結果に関しては評価者から肯定的な評価を得ており、放射線学習支援システムを利用することにより、放射線を直感的に理解できること(表4.11の(C-3))が分かった。また、振動デバイスが、放射線の人体影響を実感することに有用であること(表の4.16(H-1))が分った。それに加え、音の効果も高かった(表の4.16(H-1))。

放射線を表現する方法として、視覚より、聴覚と触覚への提示方法の方がわかりやすいこと(表4.13の(E-2))が分かった。一方、インタビューを通じて、色の変化による放射線の強さの変化が分りやすかったこと、聴覚と触覚への情報提示だけでは、環境上の放射線の分布状況を把握しにくいということが分ったため、視覚的表現で放射線の分布状況を理解させることは重要であると考えられる。

今後は、放射線の視覚的な表現に関して直感的に放射線の分布を理解できる表現方法を再検討する必要がある。

また、文字の説明だけでは体験学習モードの使い方は理解しにくいとの意見があり(表4.10の(B-1))、ビデオなどの説明を追加することを検討したい。さらに体験学習モードで、遮へいを表す3DCGが時々ずれること(表4.14の(F-1))があるので、トラッキングの安定性を向上する努力も必要である。

表 4.6: アンケートの結果 (1/3)

アンケート項目	評価者								平均 値
	A	B	C	D	E	F	G	H	
(1) テキストと図で放射線の基礎知識を簡単に学習できた。	5	5	4	4	5	3	5	4	4.38
(2) 学習コンテンツを順番に学習した。	5	5	5	5	5	5	5	5	5.00
(2-1) (2) で4または5と答えた方にお聞きします。その理由は何ですか? 以下の中から、当てはまるものを全てお選びください。									
A. 「Next」ボタンがあるから	A	A		A	A	A	A	A	
B. 学習進度を確認できるから			B						
(3) 学習コンテンツのタイトルボタンで復習したい部分を選ぶことができた。	5	5	5	4	5	4	5	2	4.38
(4) 学習進度を確認するのは簡単だった。	5	5	3	3	5	4	4	3	4.00
(4-1)(4) で4または5と答えた方にお聞きします。その理由は何ですか? 以下の中から、当てはまるものを全てお選びください。									
A. タイトルの色が変化するから	A				A				
B. タイトルの前に (済) が追加されるから	B	B			B	B	B		
(5) もう一度最初から学習したい時に「リセット」ボタンが役に立った。	3	4	3	3	4	2	3	1	2.88

表 4.7: アンケートの結果 (2/3)

アンケート項目	評価者								平均 値
	A	B	C	D	E	F	G	H	
(6) タイトルボタンで体験したい内容を選ぶことができた。	5	5	5	5	5	5	5	4	4.88
(7) 体験学習の進度を簡単に確認できた。	5	3	5	3	5	4	5	4	4.25
(7-1)(7)で4または5と答えた方にお聞きします。その理由は何ですか?以下の中から、当てはまるものを全てお選びください。 A. タイトルの色が変化するから B. タイトルの前に (済) が追加されるから	A B		A B		A B	B	B	A	
(8) もう一度最初から学習したい時に「リセット」ボタンが役に立った。	3	4	3	3	4	2	3	4	3.25
(9) サイコロ型マーカの種類を変えることで、簡単に放射線源の種類を変更できた。	5	5	5	5	5	5	5	5	5.00
(10) iPod Touch を持って歩きまわること で、放射線源からの距離を簡単に 変えることができた。	5	5	5	5	5	5	5	4	4.88
(11) マーカを使って、遮へいを自由な位置に設置できた。	4	4	5	3	4	4	4	4	4.00
(12) マーカの種類を変えることで、遮へいの材料・厚さを簡単に変更できた。	5	5	5	4	3	5	5	5	4.63
(13) 画面上のボタンで簡単に経過時間を変更できた。	5	4	5	5	5	5	4	5	4.75
(14) 携帯端末の画面に表示されるカメラの映像、および重畳表示される3DCGは見やすかった。	4	4	3	2	3	4	5	4	3.63
(15) 3DCGで重畳表示された放射線の分布状況は直感的に分かりやすかった。	5	5	2	2	2	5	5	4	3.75

表 4.8: アンケートの結果 (3/3)

アンケート項目	評価者								平均値
	A	B	C	D	E	F	G	H	
(16) 音の大きさが変わること、放射線の強さを直感的に理解できた。	4	4	5	1	4	5	4	5	4.00
(17) 振動デバイスの振動頻度が変わること、放射線の強さを直感的に理解できた。	5	5	5	4	4	5	5	5	4.75
(18) 装着した振動デバイスは移動を妨げなかった。	5	5	2	5	5	5	5	5	4.63
(19) このシステムの利用によって、放射線を直感的に理解できた。	5	5	4	4	4	5	5	5	4.63

表 4.9: 評価者 A の意見

識別番号	自由記述
A-1	音の大きさの変化が振動デバイスの音ですこし分かりにくかった。
A-2	学習モードで「Next」ボタンを押して画面が移るのがすこしおそいと感じる。

表 4.10: 評価者 B の意見

識別番号	自由記述
B-1	体験学習モードでは体験前に使い方を文字の説明だけで、理解しにくい。体験の各部分の前にビデオがあれば、理解しやすくなると思いました。

表 4.11: 評価者 C の意見

識別番号	自由記述
C-1	放射線の分布状況は立方体の色と大きさで表されていましたが、球の色と大きさの方が分かりやすいと思いました。
C-2	基礎学習モードはページ数がたくさんあるので、2ページ/20ページのような進捗表示・2分経過/20分のような時間表示があればさらに良くなると感じました。
C-3	全体的には分かりやすく直感的な理解ができました。

表 4.12: 評価者 D の意見

識別番号	自由記述
D-1	放射線の被ばく量の数値がリアルタイムに変化していなかった。
D-2	音は鳴っているか、鳴っていないかでしかなかった。
D-3	画面が小さいのでサイコロ型の3DCGを使うと分布状況が逆に分かりにくいと感じた。
D-4	放射線源や放射能の違いは何となく分かることができた。
D-5	「Reset」ボタンは使わなかった。
D-6	3DCG の色の変化によって、分布状況を分りやすかった。

表 4.13: 評価者 E の意見

識別番号	自由記述
E-1	遮へいの色の意味が分からない(防ぐ効果が高いのか、防げていないのかが不明)。
E-2	視覚効果よりも音の大きさや振動感覚の方が分かりやすく、放射線の強さが実感できた。
E-3	α 線源と β 線源からの放射線が弱く、違いが分かりにくかった。体験では α 線源の放射能が最も弱く、 γ 線源の放射能が最も強いように感じた(B_q の値は同じだが)。
E-4	γ 線源からの放射線は非常に体験しやすかった。

表 4.14: 評価者 F の意見

識別番号	自由記述
F-1	遮へいがたまにずれる。
F-2	画面が小さく、説明する字が多い

表 4.15: 評価者 G の意見

識別番号	自由記述
G-1	振動デバイスの打撃音が大きいので、ブザー音による聴覚刺激よりも振動デバイスの打撃音で放射線の強さを体感していた。
G-2	カメラを指で覆ってしまわない様に iPod を持つのに少し気を使った。
G-3	遮へいの種類だけでなく、線源の種類や半減期などの情報も体験学習モードの画面に常に表示しておいて欲しい。
G-4	経過時間により、放射線の身体影響の変化がおもしろかった。経過時間の変化範囲はもっと広いほうがいい。

表 4.16: 評価者 H の意見

識別番号	自由記述
H-1	体感デバイスの完成度が非常に高く、危険度の実感を助けた。
H-2	それに加え、音の効果も高かったと思う。
H-3	基礎学習モードは全般的に良かったが、日本語の文体（文調？）の乱れが少し気になったので、完成度を高めるためにも見なおす必要があると感じた。
H-4	学習内容が多くないため、「Back」ボタンで前に戻り、学習コンテンツのタイトルボタンは利用しなかった。

第 5 章 結論

本研究では、学習者が放射線の性質やその人体影響を直感的に理解できるようにすることを旨とし、仮想的に放射線を視覚、聴覚、触覚の三感で体験できる三感融合型の放射線学習支援システムの開発と評価を行った。

第 2 章では、まず、研究の背景として、放射線教育の現状と問題点を述べた。解決方法として複合現実感技術を用いて、仮想的な放射線を体験することが有効であることを述べた。また、複合現実感の要素技術について詳しく説明した。さらに、視覚的な表現だけでは放射線の人体影響を実感できない問題の解決案として、視覚、聴覚、触覚の三感融合の表現方法を提案した。そして、本研究の目的が、学習者が直感的に放射線を理解できる三感融合型放射線学習支援システムを開発することであることを述べた。

第 3 章では、提案した三感融合型放射線学習支援システムの開発について述べた。まず、システムの目的を述べ、それを実現するためのシステム設計について説明した。本研究で提案する学習支援システムは基礎知識を提供する基礎学習モードと放射線を体験する体験学習モードから構成される。基礎学習モードは放射線を体験する前に必要な基礎知識を学習するモードであり、体験学習モードは、放射線の強さに関連する 5 つの要素が変化した時、放射線の強さの変化を三感で体験できるモードである。ここでは、これら 2 つのモードの要求仕様、機能構成、詳細設計について述べ、さらに、設計に基づき開発した振動デバイスの詳細と学習用携帯デバイスのインタフェースの詳細について述べた。

第 4 章では、システムの評価として、開発したシステムを大学院生 8 人に学習シナリオに沿って利用してもらい、アンケート調査とインタビューを実施したことを述べた。システムの評価により、放射線学習支援システムの利用によって、視覚、聴覚と触覚の三感を通じて、放射線の性質と人体影響を直感的に理解できることが分かった。ただし、放射線の視覚的な表現を改善する必要があることが分かった。

本研究の成果として、聴覚的な表現方法と触覚的な表現方法の方がより直感的に人体影響を理解できること、また触覚的な表現が面白いので、ユーザの興味を向上させることが分かった。また、視覚的な表現は全体の分布状況の把握に役立つことも分かった。本研究では三感融合型の情報提示を行ったが、多種類の表現方法を融合する際には、こ

れらが互いに影響しないように考慮する必要がある。一方、本システムの機能として、物理的な実体のあるマーカを用いて簡単に仮想的な放射線源と遮へいの位置を設定できる機能がある。しかし、体験時には常に学習用携帯デバイスを持つ必要があるため、片方の手で頻繁にマーカを交換することが難しいことが分った。そのため、画面上のボタンなどで放射線源や遮へいの種類を変更できる機能の追加も検討する必要がある。

本研究で提案した三感融合型の情報提示方法は放射線の学習だけではなく、様々な教育における学習支援にも利用できる可能性がある。また、開発した振動デバイスは訓練、福祉等の様々な分野への応用が期待される。

謝 辞

ご多忙にもかかわらず、研究の全般にわたって、常に熱心にご指導をして頂いた下田宏准教授に心より感謝致します。

本研究を進めるにあたり、プログラミング、論文の執筆に至るまで様々な場面でご指導頂いた石井裕剛助教に深く感謝いたします。

ノルウィーエネルギー技術研究所 (Institute for Energy Technology) の Aleksander さん、Sang さん、Terje さんは研究に関する様々な助言をしてくださり、誠にありがとうございました。

本論文の作成にあたり、協力していただいた修士一回生の伊藤さん、河野さん、満さんに心から感謝します。評価に関してご協力を頂きました修士二回生の岡村さん、青山さん、金さんと修士一回生の北村さん、小野さん、藤原さんにも心から感謝します。

さらにシステム開発に関する問題を解決していただいた博士の顔さんに心から御礼申し上げます。

最後に、様々な御支援・御協力をしていただいた全ての方々に、ここに御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 放射線学習指導資料作成グループ(編): 放射線・放射能の基礎, NPO 法人放射線教育フォーラム (2009)
- [2] 文部科学省科学技術政策研究所 : 科学技術に関する意識調査-2001年2~3月調査, NISTEP report, Vol.72, pp.1-104(2001)
- [3] Paul Milgram, Fumio Kishino: A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays, IEICE Transactions on Information Systems, Vol.E77-D, No.12, pp.1-15(1994)
- [4] 拡張現実-Wikipedia, <http://ja.wikipedia.org/wiki/拡張現実感> (2011年2月9日現在)
- [5] HMD,<http://jp.akahabaraneews.com/16477/legacy-unused/image/vuzix-hmd-av920-c> (2011年2月9日現在)
- [6] Toshikazu Karitsuka and Kosuke Sato: A Wearable Mixed Reality with an On-board Projector, ISMAR 2003,pp.321-322(2003)
- [7] Bruce Thomas, Victor Demczuk, Wayne Piekarski, David Hepworth, Bernard Gunther: A Wearable Computer System with Augmented Reality to Support Terrestrial Navigation, 2nd. International Symposium on Wearable Computers, pp.166-167 (1998)
- [8] 横小路泰義, 菅原嘉彦, 吉川恒夫: 画像と加速度計を用いた HMD 上での映像の正確な重ね合わせ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.4, No.4, pp.589-598 (1999)
- [9] 藤井博文, 神原誠之, 岩佐英彦, 竹村治雄, 横矢直和: 拡張現実のためのジャイロセンサを併用したステレオカメラによる位置合わせ, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU, パターン認識・メディア理解, Vol.99, No.574, pp.1-8 (2000)

- [10] Hirokazu Kato, Mark Billinghurst: Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System, Proc. of 2nd Int. Workshop on Augmented Reality, pp.85-94 (1999)
- [11] H.Ishii et al.: Development of Wide Area Tracking System for Augmented Reality, the 12th International Conference on Human-Computer Interaction, Vol.14, pp.234-243(2007)
- [12] 比嘉恭多, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 視覚・聴覚を併用した複合現実感システムの開発 (1) 視覚的 MR と聴覚的 MR の同時提示の実現 , 日本バーチャルリアリティ学会第 11 回大会論文集, pp.285-288(2006)
- [13] 小川博教, 下条誠: 材質感呈示システムに関する研究 : 触覚による布地材質感の呈示, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム J89-D(2), pp.353-361(2006)
- [14] 宇高正憲, 池井寧, 小山治美: 触力覚テクスチャディスプレイ TD44FX に関する研究, 設計工学・システム部門講演会講演論文集, Vol.2006, No.16, pp.347-348(2006)
- [15] 浅井紀久夫, 近藤智嗣: 拡張現実感を利用した分子構造観察システム, メディア教育研究, Vol.4, No.2, pp.37-43(2008)
- [16] 楊首峰: 拡張現実感用画像マーカの 3 次元位置自動計測システムの開発と評価, エネルギー科学研究科エネルギー社会・環境科学専攻修士論文 (2008)
- [17] 鶴田隆雄 : 放射線入門 (第 2 版) , 通商産業研究社 (2008)
- [18] 日本アイソトープ協会 (編): アイソトープ手帳 (改訂 9 版) , 丸善株式会社 (1996)
- [19] Piotrowski Leon, Rindahl Grete: 3D Representation of Isotopic Gamma-Radiation Exposures within Nuclear Plants for Improved Radioprotection and Plant Safety, ISSN2008, CD-ROM(2008)

付録 A 基礎学習モードの内容

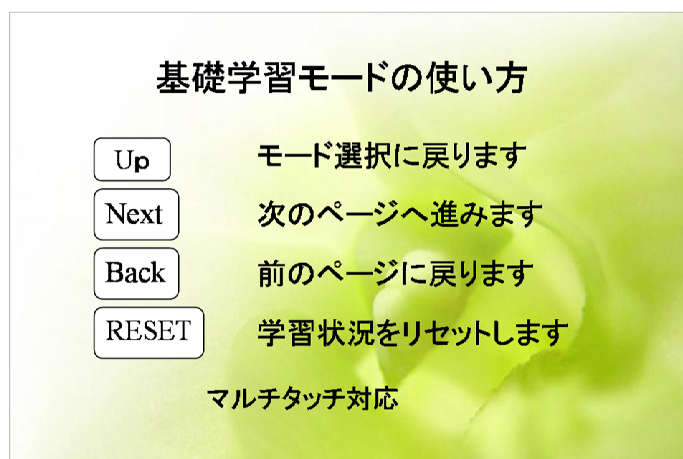


図 A.1: 基礎学習モードの説明画面

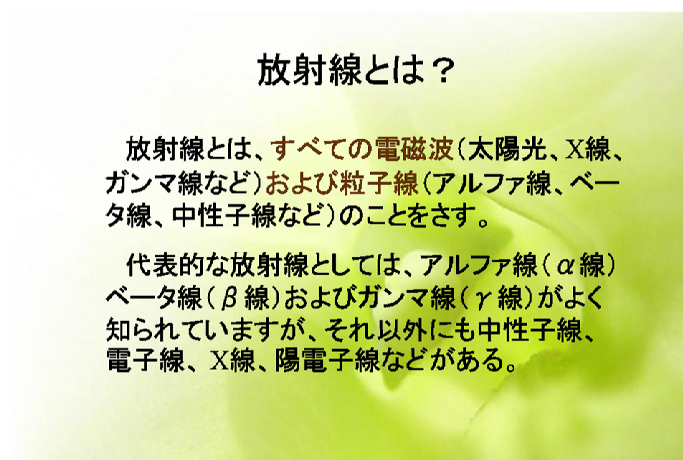


図 A.2: 「放射線と放射能」の1頁目

放射線と放射能は違うの？

放射能と放射線は異なります！

放射能とは・・

放射線を出す能力、放射線を出す元素及び物質のこと。

わかりやすく身の回りにある電灯でたとえると

- ・電球が放射線を出す物質
- ・電球から出る光が放射線
- ・光を出す能力が放射能

図 A.3: 「放射線と放射能」の2 頁目

放射性核種

全ての物質は原子(原子核と電子)からできている。原子核は+の電荷を持った陽子と電荷を持たない中性子で構成されており、同じ数の陽子を持つ原子は同じ元素記号(水素1H、重水素2H、三重水素3H)が与えられる

同位体: 元素記号が同じでも中性子の数が異なるもの

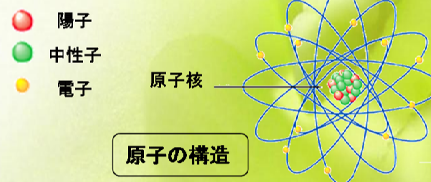


図 A.4: 「放射線と放射能」の3 頁目

放射性核種

同位体のうち、放射能を持つものを**放射性核種**という。放射性核種は、一般に過剰なエネルギーを持ち不安定。そのため、過剰なエネルギーを放射線として放出し、別の安定した物質(核種)に変身(壊変)する性質を持つ

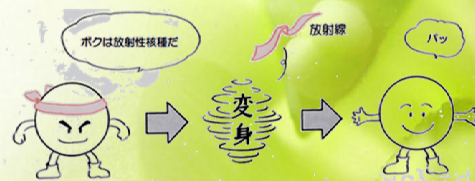
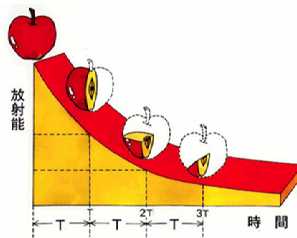


図 A.5: 「放射線と放射能」の4 頁目

半減期



放射性核種は放射線を出しながら放射能(原子数)を減らす

放射能の強さ(原子数)が元の半分になるまでの時間を半減期という

図 A.6: 「放射線と放射能」の 5 頁目

放射線の分類

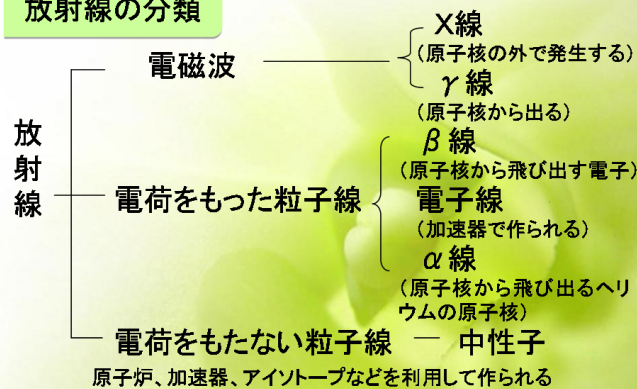


図 A.7: 「放射線分類」の 1 頁目

放射線源

α 線	放射線物質(235U、238Pu、243Amなど)
β 線	放射線物質(45Ca、60Co、90Sr、137Csなど)
γ 線	放射線物質(60Co、137Cs、133Baなど)
X線	人工発生源(人工的に電気を使って、発生させる)
中性子線	放射線物質(252Cf、226Ra、239Pu、241Amなど)

図 A.8: 「放射線分類」の 2 頁目

放射線の性質

- 1、物質を透過する(透過作用)
 - 2、物質を構成している原子や分子を電離させる(電離作用)
 - 3、フィルムを感光させる(感光作用)
 - 4、一部の物質に当たると蛍光を発する(蛍光作用)
- 感光作用や蛍光作用は、レントゲン検査等の医療領域や放射線計測等に広く利用されている。
透過作用や電離作用は、放射線の生体への影響に深く関係していますので、以下に詳述します。

図 A.9: 「放射線分類」の3頁目

放射線の透過力

「同じ放射線であればエネルギーの高いものほど透過力が強いという関係にある」

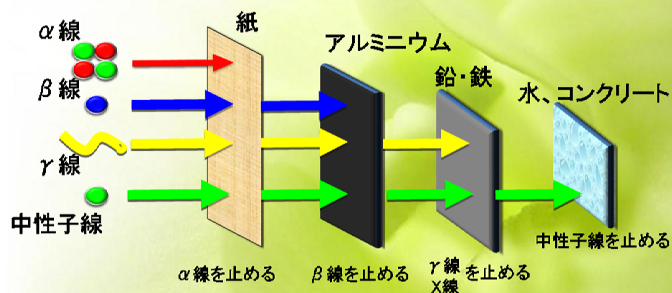


図 A.10: 「放射線分類」の4頁目

放射線の電離

「放射線は、物質中を透過する時にエネルギーを物質に与え、自らはエネルギーを失って減衰する。このエネルギーにより、原子核の周りの軌道を回っている電子が弾き飛ばされ、残った原子が陽イオンとなる現象」
生体に放射線が照射された場合、生体を構成する原子や分子の中のDNAが電離作用によって直接障害を受ける。

電離作用は放射線の生体への影響の基本

図 A.11: 「放射線分類」の5頁目

単位

放射線単位には、放射能を出す方に注目した単位と、放射線を受けた方に注目した単位に大きく分けられる。

- ・Bq(ベクレル)
- ・Gy(グレイ)
- ・Sv(シーベル)

図 A.12: 「単位」の1頁目

単位

Bq(ベクレル)

放射線を出す能力、つまり放射能を表す単位

「ベクレル」は、1秒間に放射性物質が壊れる(崩壊)数を表す。

図 A.13: 「単位」の2頁目

単位

Gy(グレイ)

グレイは吸収した放射線のエネルギーの総量(吸収線量)を表す単位

単位質量当りの物質が放射線によって吸収したエネルギーを表す。

マイクログレイ(μ Gy)、が通常よく使われる。
(マイクログレイ(μ Gy)はGyの1/1,000,000)

図 A.14: 「単位」の3頁目

単位

Sv(シーベルト)

人体が吸収した放射線の影響度を数値化した単位シーベルトは放射線防護の分野で使われる

ミリシーベルト(mSv)、が通常よく使われる。
(ミリシーベルト(mSv)はSvの1/1,000)

人体への影響を評価する場合には、放射線の全身被ばくに対する確率的影響(がん、遺伝的影響等)のリスクを表す指標として実効線量が用いられる。

図 A.15: 「単位」の4頁目

単位

Sv と Gy

放射線の種類と性質、人体の組織や臓器の種類によって、人体が放射線を受けたときの影響は異なる。それらを考慮して、実効線量の計算は以下のように
実効線量(Sv) = 吸収線量(Gy) * 放射線荷重係数(W_R)
* 組織荷重係数(W_T)

放射線の種類	W_R
γ 線、X線	1
β 線	1
中性子線	5-20 (エネルギーにより)
α 粒子	20

組織・臓器	W_T
生殖腺	0.20
赤色骨髄、結腸、 肺、胃	0.12
膀胱、乳房、肝臓、 食道、甲状腺	0.05
皮膚、骨表面	0.01
その他	0.05

図 A.16: 「単位」の5頁目

3つの単位の関係



図 A.17: 「単位」の6頁目

放射線の利用

α 線

アルファ粒子は蛍光物質を励起するので、微量のアルファ線源を添加した蛍光物質は夜光塗料として利用される。



アルファ粒子のイオン化作用を利用するために、分析化学機器の検出器にアルファ線源を利用する。

図 A.18: 「放射線の利用」の1 頁目

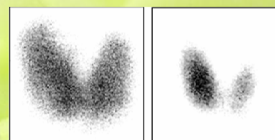
放射線の利用

β 線

医学的治療:(RI内用療法)

^{131}I の放出する β 線による細胞障害作用を利用してバセドウ病の治療、甲状腺癌の肺や骨転移に対する治療

バセドウ病のRI治療効果



治療前

治療後

工業計測:(厚さ検出器)

紙や鉄の厚さの測定、オイルタンク等の液位計などのセンサーとして利用される。

図 A.19: 「放射線の利用」の2 頁目

放射線の利用

γ線

農業への利用：
農作物、園芸植物等の
品種改良が行われており、
優れた形質を持った品種
が育成されている



品種改良代表例(菊)

ガンマ線滅菌：
医薬品や医療廃棄物、食品など……

図 A.20: 「放射線の利用」の3頁目

放射線の利用

X線

医療分野:(診断用)

X線写真・CT材料の
内部の傷等の探索



物性物理学分野:

結晶構造解析の手段(X線回折)として利用される。

図 A.21: 「放射線の利用」の4頁目

放射線の利用

中性子線

原子炉の多くは熱中性子
による核分裂連鎖反応を
利用している。

熱中性子はウラン235等の
核燃料との核分裂反応の
反応断面積が非常に大きく、
効率的に核分裂連鎖反応を起こすことができる。



原子力発電

図 A.22: 「放射線の利用」の5頁目

人体影響

身体的な影響と遺伝的な影響に大きく分けて

・身体的影響

放射線に被ばくしたその人、個人に起こる影響

(症状が現れる時期によって急性障害と晩発障害がある)

急性障害: 被ばく後、数週間以内に現れる症状

晩発障害: 被ばく後、数ヶ月あるいは数十年の潜伏期を経て発生する症状

・遺伝的影響

放射線に被ばくした個人ではなく、その子孫に起こる影響

(ショウジョウバエを用いた動物実験で突然変異が起きることが発見されている。しかし、人については広島・長崎の被ばく者の調査でも、遺伝への影響は確認されていない)

図 A.23: 「身体への影響」の1 頁目

人体影響

放射線防護の立場から

確率的影響と確定的影響にも分けられる

・確率的影響

「影響の起こる確率が受けた被ばく量とともに増えていくという影響」

癌や老化の促進および遺伝的影響など……

・確定的影響

「ある程度の被ばく量までは影響を受けないが、ある一定の量を超えるたくさんの放射線を受けると起こる影響」

白内障や不妊、脱毛など……

図 A.24: 「身体への影響」の2 頁目

人体影響

身体の影響

急性障害(紅斑、脱毛)

胎児発生の障害(精神遅滞)

白内障

晩発障害

がん、白血病

遺伝的影響

遺伝的障害(先天異常)

確定的影響
(しきい値がある)

確率的影響
(しきい値はないと仮定)

図 A.25: 「身体への影響」の3 頁目

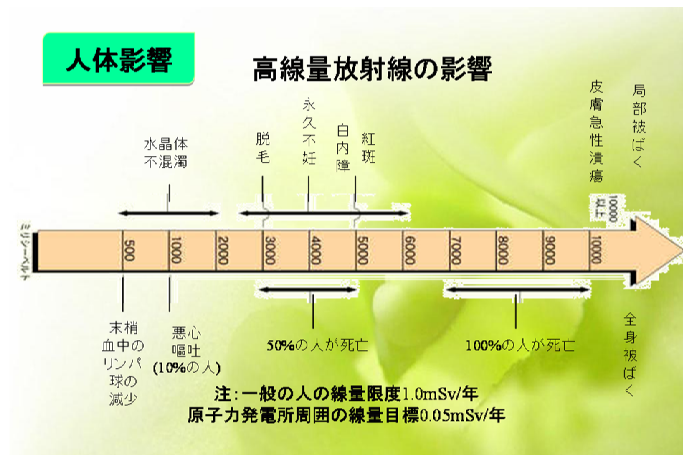


図 A.26: 「身体への影響」の4 頁目

人体影響 **低線量放射線の影響**

低線量とは
「放射線の総量が約 200 ミリシーベルト以下」

最近分かってきたことは、放射線の人体影響は放射線量が大量のときと少量のときとでは、後者の方が人間の体の中の防御機構が有効にはたらい、明らかに悪影響が少なく、かえって少量の放射線照射により健康に有益な効果が生じている場合も見られる。

図 A.27: 「身体への影響」の5 頁目

人体影響 **低線量放射線の影響**

放射線ホルミシスの考え方は、「少量の放射線は、無害であるばかりでなく、有益な刺激効果として作用し、人間の健康に良い」とする

効果:①動物や植物の成長を促進する
②がんの発生や転移を抑制する
③炎症を軽減する
④放射線障害への抵抗性を増す
⑤鎮痛・沈静作用(ラドン温泉の効用とされています)など

図 A.28: 「身体への影響」の6 頁目

放射線の保護

放射線保護体系の3原則

- 1、行為の正当化:放射線による損害<便益
- 2、放射線防護の最適化:
被ばくは合理的にできるかぎり低く
放射線保護の3原則
時間:放射線にさらされている時間を短縮する
遮蔽:放射線源と人との間に遮蔽物を設置する
距離:放射線源と人の距離を離す
- 3、個人線量の限度:ある個人が受ける被ばく線量の制限

図 A.29: 「放射線の保護」の1 頁目

放射線の保護

放射線被ばく低減

放射線が明らかに自然放射線よりも高いレベルで存在している場所での作業において、作業者の放射線被ばく量を少しでも少なくするための基本的事項

1) 線源から距離を取る 1、距離による保護

放射線の強さは線源からの距離の二乗に反比例するので、距離を置いて作業

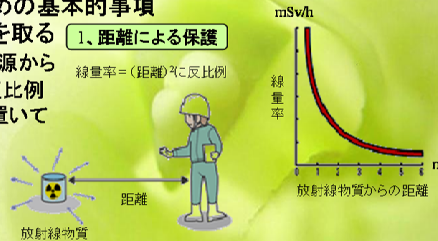


図 A.30: 「放射線の保護」の2 頁目

放射線の保護

放射線被ばく低減

1、時間による保護

線量 = (作業場所の線量率) × (時間)

- 2) 作業時間を短くする
作業手順を確認し、
迅速に作業を行う
ように務める。
必要な場合は、
模擬的にリハーサル
を行った後作業する。

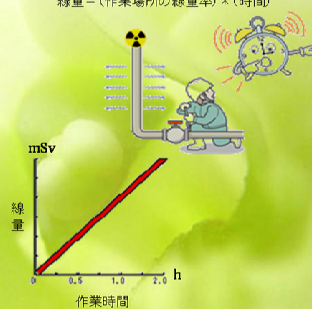


図 A.31: 「放射線の保護」の3 頁目

放射線の保護

放射線被ばく低減

3) 線源からの放射線を遮へいする

1. 遮蔽による保護

放射線防護上の遮へいとは、放射線源と防護の対象となる人体との間に放射線を減弱させる物体を置く事を言い、放射線を減弱させるために置いた物体を遮へい体と言う。

遮蔽材:

鉛、鉄、普通コンクリートなど

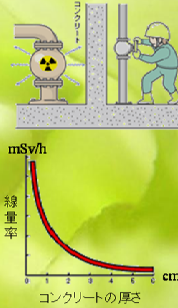


図 A.32: 「放射線の保護」の4頁目

放射線の保護

放射線被ばく分類

放射線被ばくについては、次の3種類に分類

- 1) 職業被ばく: 放射線の使用を職業としている人 (放射線業務従事者) が作業員として受ける被ばく
- 2) 公衆被ばく: 一般公衆の被ばく
- 3) 医療被ばく: 医療分野の診断・治療で、患者や検査をされる人が受ける被ばく

図 A.33: 「放射線の保護」の5頁目

放射線の保護

線量限定(日本の法令)

- 1) 職業被ばくに対する線量限度:
5年間に100mSv、ただし1年間50mSv以下
- 2) 公衆被ばく:1年間に1mSv
- 3) 医療被ばく:医師が放射線の使用を判断し
(そして患者側が受け入れたときは)、明らかに
これによりメリットがある場合なので、被ばく線量
の限度はない。

図 A.34: 「放射線の保護」の6 頁目

自然放射線

医療で受ける放射線(人工放射線)のほかに、
宇宙や大地、食物や大気など...
日常生活の中で避けることのできない**自然放射線**を
受けている。
生活に身近なものとして、
テレビや蛍光灯からも弱い放射線が発生
一人当たり1年間に平均2.4mSvの自然放射線を
受けている。 例えば.....

図 A.35: 「自然放射線」の1 頁目



図 A.36: 「自然放射線」の2 頁目

参考文献:

1. 緊急被ばく医療研修のホームページ:
緊急被ばく医療「地域フォーラム」テキスト(平成20年度版).
<http://www.remnet.jp/lecture/forum/index.html>
2. 放射線学習指導資料作成グループ(編):
放射線・放射能の基礎
NPO法人放射線教育フォーラム、(2009)
3. 独立行政法人放射線医学総合研究所(編):
低線量放射線と健康影響
医療科学社、(2007)

図 A.37: 基礎学習モードの参考文献



図 A.38: 基礎学習モードの終了画面

付録 B 体験学習モードの内容

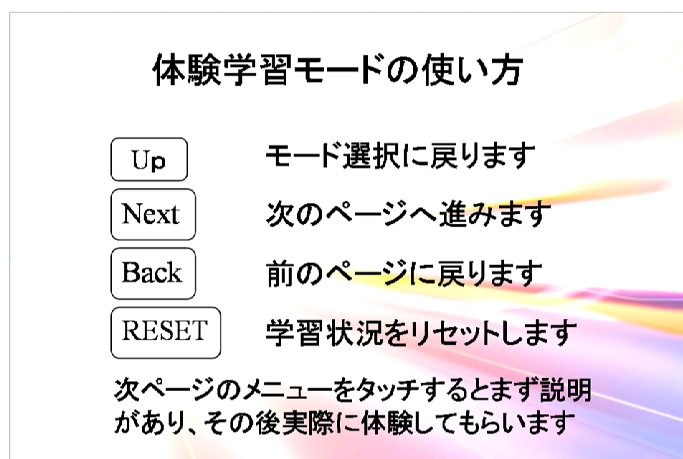


図 B.1: 体験学習モードの説明画面

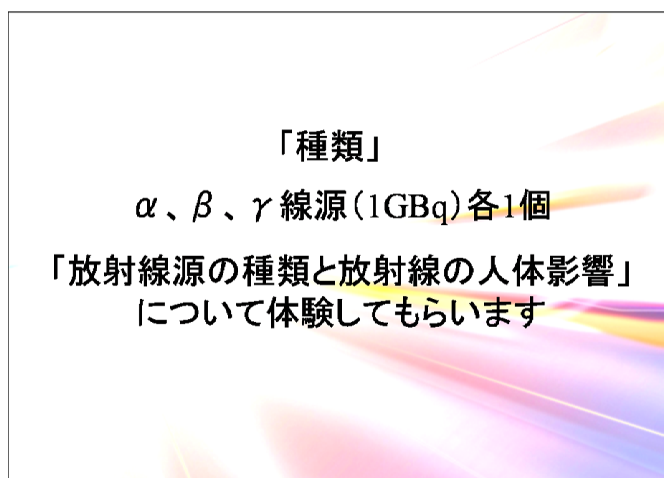


図 B.2: 「放射線の種類」の説明画面

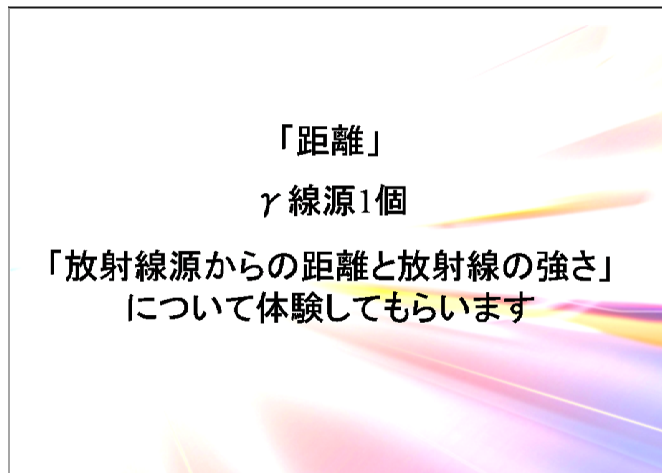


図 B.3: 「距離」の説明画面

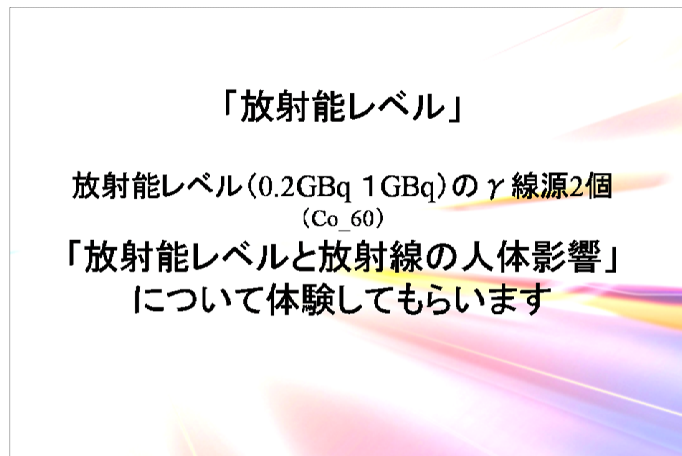


図 B.4: 「放射能」の説明画面

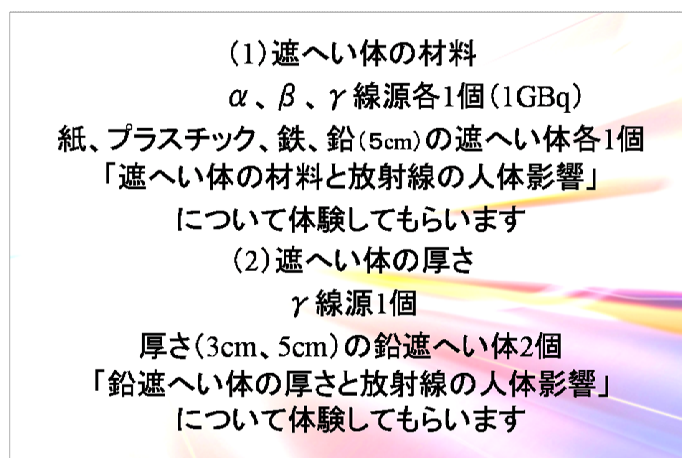


図 B.5: 「遮へい(材料・厚さ)」の説明画面

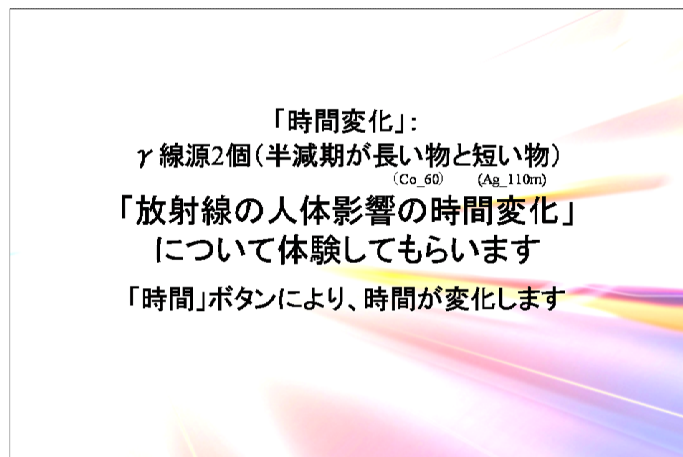


図 B.6: 「時間」の説明画面

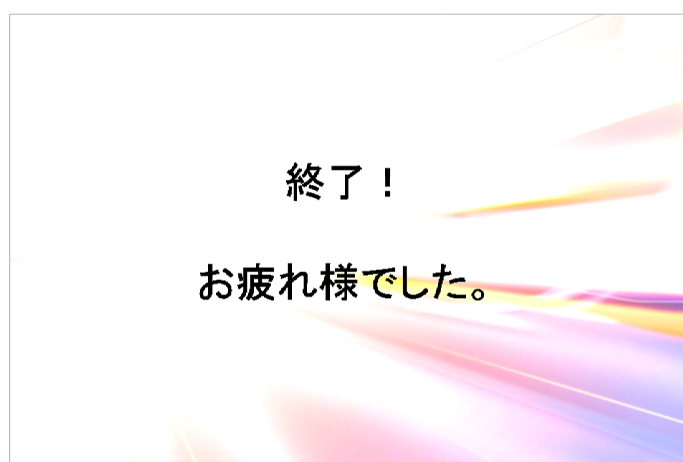


図 B.7: 体験学習モードの終了画面

付録 C 振動デバイスのプログラムリスト

```

: PIC16F688
: Solenoid Controller Ver 1.0
: 2010/09/22
: Rev 1.1
:
: Data Format
: +-----+
: | | |0|A||0|0|0| PORTA 1:Input 0:Output A:Analog Input
: +-----+
:
: +-----+
: | | |0|0|0|0|0|0| PORTC 1:Input 0:Output A:Analog Input
: +-----+
:
: Input Data
: AN3 => Commander Signal (Analog)
:
: Output Data
: RAX => Solenoid
:
: Functions
:
: list p=pic16F688
: include "p16f688.inc"
:
: Defining constant
NH1 EQU d' 204'
NL1 EQU d' 117' :N1=52341
NL2 EQU d' 37' :N2=37
NH3 EQU d' 18'
NL3 EQU d' 52' :N3=0x1234
ADBASE EQU d' 1' :OFFSET of A/D converter
ADMAX EQU d' 208' :Max=208
:
: random = (random * N1 + N2) xor N3
:
:
: __FUSES __CPD_OFF & __CP_OFF & __BOD_OFF & __MCLRE_OFF & __PWRTE_ON & __WDT_OFF & __INTRC_OSC_NOCLKOUT
:
cblock 0x20 :Store variables above control registers
randh :High bit of random number
randl :low bit of random number
curr_ad :current a/d value
wcnt1 :Wait Counter1 (For Wait)
wcnt2 :Wait Counter2 (For Wait)
wcnt3 :Wait Counter3 (For Wait)
mh1 :High bit of multiple
ml1 :Low bit of multiple
mh2 :High bit of multiple
ml2 :Low bit of multiple
anh :Answer of high bit
anl :Answer of low bit
mcnt :Multiplexer counter
work :working area
ende

org 0x00 :Start of Code Space
:=====
: Start Program (& Wake up from Sleep)
:=====
START
: btfss STATUS,NOT_TO ;If WDT reset
: goto WDT_INT ; go to WDT_INT
:
: bcf STATUS,RPO ;Set Bank0
: bcf STATUS,RP1
: movlw b'0000111' ;Set I/O
: movwf CMCON0
: bsf STATUS,RPO ;Set Bank1
: movlw b'00001000' ;AN3 is analog input
: movwf ANSEL
: movlw b'00011000' ;RA5,2-0:Output
: movwf TRISA

```

☒ C.1: プログラムリスト (1/5)

```

movlw b'00000000' ;Weak pullup disable
movwf WPUA
clr ;Interrupt on change disabled
movwf IOCA
movlw b'01110000' ;Set A/D clock
movwf ADCON1
clr ;RC0-5:Output
movwf TRISC
movlw b'00000000'
movwf OPTION_REG
bcf STATUS,RPO ;Set bank0
movlw b'00001101'
movwf ADCON0

clrf PORTA ;PORTA=0
clrf PORTC ;PORTC=0
movlw b'00010101'
movwf randh
movwf randl

;Start up
movlw d'20' ;Wait for 2 sec.
ST01 movwf mcnt
call wait100ms
decfsz mcnt,F ;while mcnt>0
goto ST01

bsf PORTA,0
call wait400ms
bcf PORTA,0
call wait100ms
bsf PORTA,1
call wait400ms
bcf PORTA,1
call wait100ms
bsf PORTA,2
call wait400ms
bcf PORTA,2
call wait100ms
bsf PORTC,0
call wait400ms
bcf PORTC,0
call wait100ms
bsf PORTC,1
call wait400ms
bcf PORTC,1
call wait100ms
bsf PORTC,2
call wait400ms
bcf PORTC,2
call wait100ms
bsf PORTC,3
call wait400ms
bcf PORTC,3
call wait100ms
bsf PORTC,4
call wait400ms
bcf PORTC,4
call wait100ms
bsf PORTC,5
call wait400ms
bcf PORTC,5
call wait100ms
bsf PORTA,5
call wait400ms
bcf PORTA,5
call wait100ms

LOOP1 call wait10ms
call wait10ms
call wait10ms
call wait10ms
call wait10ms
call wait10ms
call wait10ms
call wait10ms

```

図 C.2: プログラムリスト (2/5)


```

LOOP2  call  READAD
       call  RAND
       clrf  mh1           ;mh1=0
       movf  randh,W
       movwf m11          ;m11 = randh
       clrf  mh2           ;mh2=0
       movlw ADMAX
       movwf m12          ;m12=ADMAX
       call  mult
       incf  anh,F
       movf  anh,W
       subwf curr_ad,W
       btfss STATUS,C
       goto  LOOP1

       clrf  mh1           ;mh1=0
       movf  randl,W
       movwf m11          ;m11 = randl
       clrf  mh2           ;mh2=0
       movlw d'10'
       movwf m12          ;m12=10
       call  mult
       movf  anh,W

       addwf PCL,F        ;Indirect Jump
       goto  SND0
       goto  SND1
       goto  SND2
       goto  SND3
       goto  SND4
       goto  SND5
       goto  SND6
       goto  SND7
       goto  SND8
       goto  SND9

SND0   bsf  PORTA,0
       call wait100ms
       bcf  PORTA,0
       goto SNDEND

SND1   bsf  PORTA,1
       call wait100ms
       bcf  PORTA,1
       goto SNDEND

SND2   bsf  PORTA,2
       call wait100ms
       bcf  PORTA,2
       goto SNDEND

SND3   bsf  PORTC,0
       call wait100ms
       bcf  PORTC,0
       goto SNDEND

SND4   bsf  PORTC,1
       call wait100ms
       bcf  PORTC,1
       goto SNDEND

SND5   bsf  PORTC,2
       call wait100ms
       bcf  PORTC,2
       goto SNDEND

SND6   bsf  PORTC,3
       call wait100ms
       bcf  PORTC,3
       goto SNDEND

```

図 C.3: プログラムリスト (3/5)

```

SND7      bsf     PORTC, 4
          call   wait100ms
          bcf     PORTC, 4
          goto   SNDEND

SND8      bsf     PORTC, 5
          call   wait100ms
          bcf     PORTC, 5
          goto   SNDEND

SND9      bsf     PORTA, 5
          call   wait100ms
          bcf     PORTA, 5
          goto   SNDEND

SNDEND    goto   LOOP2

;Subroutine
;=====
;  Read A/D
;=====
READAD    bsf     ADCON0, GO      ;GO=1
          call   wait10ms      ;Wait for 10msec
          btfsc  ADCON0, GO      ;If GO=1
          goto   $-1           ; go to $-1
          movf   ADRESH, W      ;W=ADRESH
          movwf  curr_ad       ;Set current A/D value
          return

;Subroutine
;=====
;  multiplexer
;=====
mult      clrfs  anh           ;Answer high =0
          clrfs  anl           ;Answer low =0
          movlw  d'16'
          movf   mcnt, F       ;mcnt=16
mul1      bcf     STATUS, C      ;C=0
          rrf    mh1, F         ;mh1 = mh1>C
          rrf    ml1, F         ;ml1 = ml1>C
          btfss  STATUS, C      ;If C=0
          goto   mul2
          movf   m12, W         ;W=m12
          addwf  anl, F         ;anl=anl+m12
          btfsc  STATUS, C      ;If C=1
          incf   anh, F         ; anh = anh+1
          movf   mh2, W         ;W=mh2
          addwf  anh, F         ;anh=anh+mh2
mul2      ; Shift left mu2
          bcf    STATUS, C      ;C=0
          rlf    m12, F         ;m12 = m12<=C
          rlf    mh2, F         ;mh2 = mh2<=C
          decfsz mcnt, F        ;while mcnt>0
          goto  mul1
          return

;Subroutine
;=====
;  Random
;=====
RAND      movf   randh, W
          movwf  mh1           ;mh1 = randh
          movf   randl, W
          movwf  ml1           ;ml1 = randl
          movlw  NH1
          movwf  mh2           ;mh2 = NH1
          movlw  NL1
          movwf  m12           ;m12 = NL1
          call  mult

```

図 C.4: プログラムリスト (4/5)

```

    movlw    NL2            ;W=NL2
    addwf   anl,F          ;anl=anl+NL2
    btfsc   STATUS,C       ;If C=1
    incf    anh,F         ; anh = anh+1
    movlw   NH3
    xorwf   anh,W         ; W = anh xor NH3
    movwf   randh        ; randh = W
    movlw   NL3
    xorwf   anl,W         ; W = anl xor NL3
    movwf   randl        ; randl = W
    return

;=====
; Wait for 100msec
;=====
wait100ms
    movlw   d' 32'        ;*32 (=25ms)
    movwf   wcnt2
waitlp2  clrf   wcnt1
waitlp1  decfsz wcnt1,F
        goto   waitlp1
        decfsz wcnt2,F
        goto   waitlp2
    return

;=====
; Wait for 400msec
;=====
wait400ms
    call    wait100ms
    call    wait100ms
    call    wait100ms
    call    wait100ms
    return

;=====
; Wait for 10msec
;=====
wait10ms
    movlw   d' 13'        ;*13
    movwf   wcnt2
waitlp4  clrf   wcnt1
waitlp3  decfsz wcnt1,F
        goto   waitlp3
        decfsz wcnt2,F
        goto   waitlp4
    return

end

```

付録 D 評価説明資料

図 D.1 ~ 図 D.6 に評価の説明資料を示す。

評価説明資料

京都大学大学院エネルギー科学研究科
エネルギー社会・環境科学専攻
エネルギー情報学研究室

この度は評価にご協力いただき、ありがとうございます。評価に先立ち、評価に関する説明および諸注意といくつかお願いがございますので、熟読の上、ご理解とご協力をお願いいたします。

● 評価の目的

携帯デバイスを用いた放射線学習支援システムを用いて、放射線を直感的に理解できるようになるかどうかを評価していただきます。

● 評価の概要

評価時間は2時間程度です。評価では放射線学習支援システムを利用して、放射線について学習していただきます。評価は基礎学習と体験学習の2つの部分に分かれており、その間に5分の休憩を挟みます。

評価スケジュール

表1 スケジュール

約10分	評価概要の説明、同意書の記入
約20分	基礎知識の学習
約5分	休憩
約10分	体験学習の準備と説明
約40分	体験学習
約15分	アンケートとインタビュー

評価内容について

放射線学習支援システムを利用して、放射線について学習します。システムは「基礎学習モード」と「体験学習モード」の2つのモードがあり、「基礎学習モード」、「体験学習モード」の順に利用していただきます。

● 「基礎学習モード」について

基礎学習モードでは、iPod Touch の画面に表示される図とテキストを閲覧することによって、放射線の基礎知識を学習していただきます。

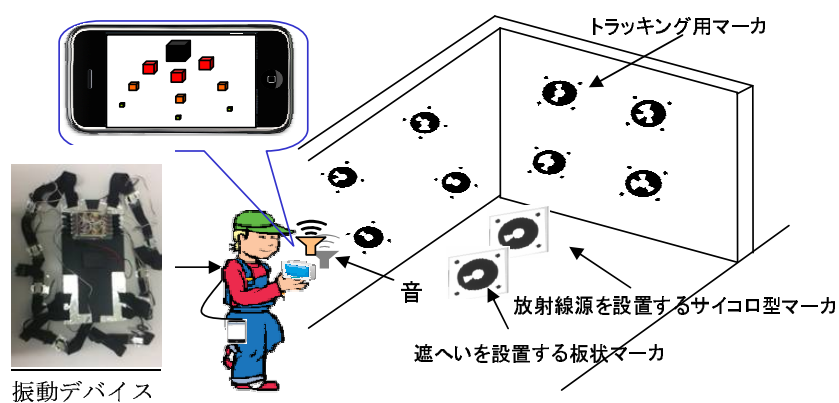
1. 「基礎学習モード」ボタンをタッチしてシステムの基礎学習モードに入り、最初から最後まで順番によく読んでください。
2. 復習（ご自由に読み返してください）



● 「体験学習モード」について

体験学習モードでは、評価室の中で放射線の存在をシミュレーションします。放射線に関わるいくつかの要素を操作し、人体に与える影響の変化を視覚（3DCG）、聴覚（音の大きさ）、触覚（振動デバイスの振動頻度）の3つで体験していただきます。

◆体験学習モードの使い方

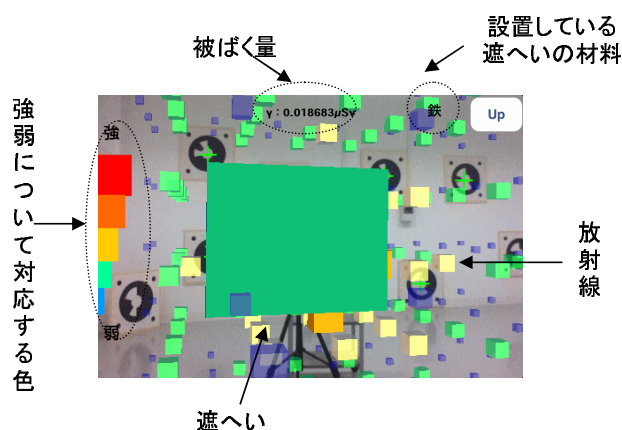


例として、上の図のように放射線源と遮へいを設置する場合について説明します。

振動デバイスを装着し、iPod Touch を手に持ちます。iPod Touch のカメラで環境上のマーカを撮影すると、iPod Touch の画面に放射線が 3DCG で重畳表示され、スピーカから音が発生し、振動デバイスが稼働します。

2. 体験学習画面の表示内容

体験学習画面の左側に、放射線の強弱について対応する色を表示しています。また、画面上部の数字は人体の放射線被ばく量です。



3. 操作方法

放射線源の設置方法：サイコロ型マーカを台の上に置くことで、放射線源を設定します。放射線源名前の書いている面を下向きにしてください。
遮へいの設置方法：板状マーカを配置し、壁に貼り付けてあるトラッキング用マーカ 4 つ以上と一緒に撮影します。板状の 3DCG が表示されれば正しく遮へいが設定されています。

遮へいを設置する前に、必ず放射線源を設定し、サイコロ型マーカと壁に貼り付けてあるトラッキング用マーカと一緒に撮影してください。

※「Next」、「Back」ボタンが表示されていない場合、画面をタッチすると表示されます。もう一回タッチすると非表示に切り替わります。

◆体験学習の内容

1. 「体験学習モード」のボタンをタッチしてシステムの体験学習モードに入り、順番に 5 つの内容を体験していただきます。

以下で、この 5 つの体験内容について説明します。

a. 放射線源の種類

1 GBq の α 、 β 、 γ 線源から放出される放射線の人体への影響を体験していただきます。1 GBq の α 、 β 、 γ 線源各 1 個を床の上に並べて配置し、iPod Touch を持って歩き回り、放射線源の種類による人体への影響の違いを体験してください。

b. 距離

放射線源からの距離と人体への影響について体験していただきます。1 GBq の γ 線源一個を床の上に配置し、iPod Touch を持って放射線源からの距離を変化させ、人体への影響の変化を体験してください。

c. 放射能

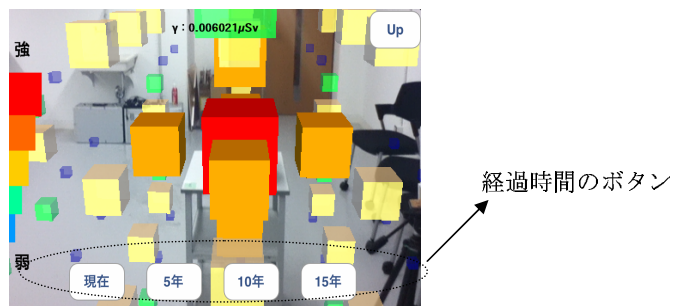
放射能の違いによる人体への影響の違いを体験していただきます。まず、0.2GBq、1 GBq の γ 線源各一個を床の上に並べて配置し、iPod Touch を持って歩き回り、放射能による人体への影響の違いを体験してください。

d. 遮へいの設置

放射線源の前に様々な種類・厚さの遮へいを設置し、人体への影響の違いを体験していただきます。まず、 γ 線源 1 個を台の上に配置します。 γ 線源の前に、紙、プラスチック、鉄、鉛 (3cm、5cm) の 5 種類の遮へいを設置して、放射線の人体への影響の違いを体験してください。 α 、 β 線源についても同じように体験してください。

e. 時間による放射能の減衰

時間が経過すると放射線源が持つ放射能は弱くなります。この時間経過による放射能の減衰により、人体への影響がどう変化するかを体験していただきます。まず半減期が短い γ 線源 1 個を台の上に配置します。その後、iPod Touch の画面に表示されている経過時間のボタンをタッチすることで、人体への影響の変化を体験してください。次に、半減期が長い γ 線源についても同じように体験してください。

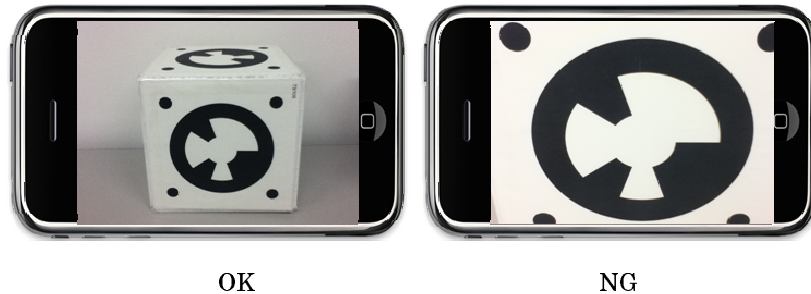


2.自由体験 (ご自由に体験してください)

2.自由体験（ご自由に体験してください）

※注意

- (1) できるだけ歩きまわって様々な視点から体験してください。
- (2) 環境上のマーカを撮影しないと、学習者の位置情報を正しく計算できないおそれがあります。動作が不安定になったら環境上のマーカを撮影するようにしてください。
- (3) マーカを撮影する時は、あまりマーカに近づきすぎず、マーカ全体が画面に入るようにしてください。



疑問点・不明点などございましたら、お気軽にお尋ねください。

● 評価中のお願い

- ① 携帯電話の電源を OFF にしてください（マナーモードも不可）。ただし、休憩中の使用は構いません。
- ② 評価中の飲食およびトイレは禁止させていただきます。評価開始前、または休憩時間中に済ませるようお願いいたします。

● データの取り扱い

測定したデータは本評価以外の目的には使用しません。データは論文等に掲載されますが、評価協力者個人が特定されない形で処理を行います。また、個人情報は本評価以外では使用しません。評価が終了した時点で個人情報は適切な方法で廃棄いたします。

● 評価によって生じる危険について

携帯デバイスの画面を見ながら歩きまわる時に、転倒する可能性があります。十分に注意ください。体験学習に用いる振動デバイスが人体に悪い影響を与えることはありません。また、体験学習に用いる放射線源は仮想的なものであり、人体に悪影響はありません。

● **評価の中止**

評価において協力者が評価を続けることが困難な場合、協力者からの申し出によりいつでも評価を中止することができます。

● **この評価に関する問い合わせ**

評価内容や結果について、ご不明な点や詳しく知りたいことがございましたら、下記に連絡してください。

・ **お問い合わせ**

京都大学大学院エネルギー科学研究科 エネルギー社会・環境科学専攻

エネルギー情報学研究室

住所：〒606-8501 京都市左京区吉田本町

電話：075-753-5613

Mail（不利益の発生等に関して）：shimoda@energy.kyoto-u.ac.jp

● **同意書に関して**

説明を受けた上で評価に協力して頂ける方には、同意書に確認の署名をして頂いています。これは、評価協力者の方に評価の内容をきちんと説明し、同意を頂いた上で評価をする、という手続きを私たちが間違いなく確実にを行うためのものです。署名によってなんらかの拘束が発生することはありませんので、ご協力お願い申し上げます。

付録 E アンケート用紙

図 E.1 から図 E.4 に評価の際に用いたアンケートを示す。

実験に関するアンケート

下記アンケートにご協力お願いいたします。

各項目について、以下の5つのうち最も当てはまるものに○をつけてください。

1.全くそう思わない 2.あまりそう思わない 3.どちらとも言えない 4.そう思う 5.非常にそう思う

まず、基礎学習モードについてお尋ねします。

(1) テキストと図で放射線の基礎知識を簡単に学習できた。

全くそう思わない そう思う

1 2 3 4 5
●——●——●——●——●

(2) 学習コンテンツを順番に学習した。

1 2 3 4 5
●——●——●——●——●

(2-1) (2)で4または5と答えた方にお聞きします。その理由は何ですか？

以下の中から、当てはまるものを全てお選びください。

A. 「Next」ボタンがあるから B. 学習進度を確認できるから

C. その他 ()

(3) 学習コンテンツのタイトルボタンで復習したい部分を選ぶことができた。

1 2 3 4 5
●——●——●——●——●

(4) 学習進度を確認するのは簡単だった。

1 2 3 4 5
●——●——●——●——●

(4-1) (4)で4または5と答えた方にお聞きします。その理由は何ですか？

以下の中から、当てはまるものを全てお選びください。

A. タイトルの色が変化するから B. タイトルの前に(済)が追加されるから

C. その他 ()

(5) もう一度最初から学習したい時に「リセット」ボタンが役に立った。

1 2 3 4 5
●——●——●——●——●

図 E.1: アンケート用紙 (1/4)

次に、体験学習モードについてお尋ねします。


- 全くそう思わない そう思う
- (6) タイトルボタンで体験したい内容を選ぶ
ことができた。 1 2 3 4 5
●—●—●—●—●
- (7) 体験学習の進度を簡単に確認できた。 1 2 3 4 5
●—●—●—●—●
- (7-1) (12)で4または5と答えた方にお聞きします。その理由は何ですか？
以下の中から、当てはまるものを全てお選びください。
A. タイトルの色が変化するから B. タイトルの前に (済) が追加されるから
C. その他 ()
- (8) もう一度最初から学習したい時に「リセッ
ト」ボタンが役に立った。 1 2 3 4 5
●—●—●—●—●
- (9) サイコロ型マーカの種類を変えることで、
簡単に放射線源の種類を変更できた。 1 2 3 4 5
●—●—●—●—●
- (10) iPod Touch を持って歩きまわることで、放
射線源からの距離を簡単に変えることがで
きた。 1 2 3 4 5
●—●—●—●—●
- (11) マーカを使って、遮へいを自由な位置に設
置できた。 1 2 3 4 5
●—●—●—●—●
- (12) マーカの種類を変えることで、遮へいの材
料・厚さを簡単に変更できた。 1 2 3 4 5
●—●—●—●—●
- (13) 画面上のボタンで簡単に経過時間を変更
できた。 1 2 3 4 5
●—●—●—●—●
- (14) 携帯端末の画面に表示されるカメラの映
像、および重畳表示される 3DCG は見や
すかった。 1 2 3 4 5
●—●—●—●—●

図 E.2: アンケート用紙 (2/4)

- | | 全くそう思わない | そう思う |
|--|--|------|
| (15) 3DCGで重畳表示された放射線の分布状況は直感的に分かりやすかった。 | 1 2 3 4 5
●——●——●——●——● | |
| (16) 音の大きさが変わること、放射線の強さを直感的に理解できた。 | 1 2 3 4 5
●——●——●——●——● | |
| (17) 振動デバイスの振動頻度が変わること、放射線の強さを直感的に理解できた。 | 1 2 3 4 5
●——●——●——●——● | |
| (18) 装着した振動デバイスは移動を妨げなかった。 | 1 2 3 4 5
●——●——●——●——● | |
| (19) このシステムの利用によって、放射線を直感的に理解できた。 | 1 2 3 4 5
●——●——●——●——● | |

図 E.3: アンケート用紙 (3/4)

その他、良かった点や改良すべき点、気づいたことなどがあればご自由にお書きください。

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for handwritten feedback or comments.

評価者（氏名：_____）

図 E.4: アンケート用紙 (4/4)