

令和 3 年 6 月 24 日現在

機関番号：51601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04998

研究課題名（和文）GPS追尾機能付放射線検出器と新型段ボール構造遮蔽材による除染廃棄物運搬容器開発

研究課題名（英文）Development of decontamination waste transport container using radiation detector with GPS tracking function and new corrugated cardboard structure shielding material

研究代表者

鈴木 茂和（SUZUKI, Shigekazu）

福島工業高等専門学校・機械システム工学科・准教授

研究者番号：40399259

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：¹³⁷Cs由来のガンマ線を遮蔽できる複合材料と除去土壌等の放射線量をリアルタイムでモニタリングするためのGPS機能を有した放射線検出システムを開発することを目的とする。遮蔽材の作製には平織のガラス繊維と段ボール構造を有するガラス繊維を用いた。樹脂には放射線の遮蔽能力がほとんどないが、金属粉末を樹脂に添加することで遮蔽効果を向上させる。添加する粉末は、硫酸バリウム、スズとした。また、除染除去物の運搬において、住民はどの程度の線量率でどの場所に現在あるのかがとても気になる場所である。そこで、線量率測定結果とGPSによる位置情報をクラウドサーバに自動で送信するシステムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

重金属を使用することなく繊維強化プラスチック（FRP）に放射線の遮蔽効果を持たせることができた。また、段ボール構造を有するFRP遮蔽材を開発し、容器としての有用性も確認することができた。また、測定した放射線線量率とGPSモジュールで受信した位置情報を、線量率折れ線グラフやマッピング図として可視化するシステムを開発した。これらの結果を活用することで除染廃棄物運搬における、地域住民の安心安全に寄与することが可能であると考えている。

研究成果の概要（英文）：The purpose is to develop a radiation detection system that has a composite material that can block gamma rays and a GPS function for monitoring the radiation dose. Plain weave glass fiber and glass fiber having a corrugated cardboard structure were used to prepare the shielding material. Resin has almost no radiation shielding ability, but the shielding effect is improved by adding metal powder to the resin. The powders to be added were barium sulfate and tin. In addition, when transporting decontaminated materials, residents are very concerned about the dose rate and the current location. Therefore, we have developed a system that automatically sends the dose rate measurement results and GPS location information to the cloud server.

研究分野：材料強度

キーワード：遮蔽材 繊維強化プラスチック 放射線計測 段ボール構造

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災による福島第一原子力発電所事故からの復旧・復興に向けて、福島県内で実施された除染の結果、1立方メートル入りの袋で約746万袋の除染除去物が各自治体の仮置き場で保管されている。それらは福島第一原子力発電所近くに建設される中間貯蔵施設へ運搬される予定であるが、地域住民は運搬時の放射線による人体などへの影響を不安視している。

また、放射線の遮蔽には鉛が主に用いられるが、原子力災害が発生した際に住宅や避難所での被ばくを低減させるために鉛などの遮蔽材の設置は非現実的である。そこで、建物の壁等に施工可能な遮蔽材があれば、住民等の被ばく軽減に寄与できると考えられる。

そこで、除染廃棄物運搬時における住民の安心安全確保のために、放射線を遮蔽することができるダンボール構造の複合材料と、着脱可能なGPS機能を有した放射線検出器を開発し、リアルタイムモニタリング可能な除染除去物運搬ケースが必要であると考えている。

2. 研究の目的

本研究課題では地域住民の安心安全確保に寄与するために、放射線、特に ^{137}Cs 由来のガンマ線を遮蔽できる複合材料と除去土壌等の放射線量をリアルタイムでモニタリングするためのGPS機能を有した放射線検出器を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 遮蔽材の作製

軽さを実現するために繊維により強化した繊維強化プラスチック(FRP)を使用する。FRPはガラスや炭素でできた繊維を樹脂で固めることで強度を高めた複合材料のことである遮蔽材の作製にはガラス繊維と株式会社クボ製作所製のガラス繊維立体シートを用いた。樹脂には放射線の遮蔽能力がほとんどないためそのままでは遮蔽材には適さないが、金属粉末を樹脂に添加することで遮蔽効果の向上を期待する。添加する粉末として、レントゲンの造影剤として使われており、また人体に影響がないとされる硫酸バリウム(BaSO_4)、金属のメッキにも多く使用されているスズ(Sn)を用いる。金属粉末を添加することで樹脂の機械的特性が変化すると考えられるため、遮蔽能力の評価とともに機械的特性についても評価を行う。

(2) 放射線量率マッピングシステムの開発

除染除去物の運搬において、住民はどの程度の線量率でどの場所に現在あるのかがとても気になる場所である。そこで、線量率測定結果とGPSによる位置情報をクラウドサーバに自動で送信するシステムがあれば、住民はほぼリアルタイムで除染除去物の位置と線量率を把握することが可能となり安心に寄与することができる。開発するシステムの概要を図1に示す。

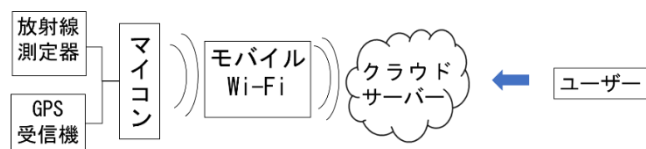


図1 システム体系

4. 研究成果

4-1 平織ガラス繊維による遮蔽材

(1) 遮蔽材作製

段ボール構造FRP遮蔽材を作製する予備実験として平織ガラス繊維と金属粉末を用いた遮蔽材を作製した。作製条件は以下の通りである。

- 1) ガラス繊維の大きさ：120[mm]×120[mm]
- 2) 層数：5層積層
- 3) 樹脂：ポリエステル樹脂
- 4) 添加粉末：硫酸バリウム、スズ
- 5) 濃度：10, 20, 40, 60[wt%]

作製した遮蔽材の一例を図2に示す。

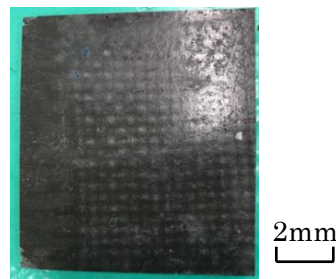


図2 作製した遮蔽材

(2) 3点曲げ試験

遮蔽材の機械的特性評価のために、図3に示す治具を用いて3点曲げ試験を行った。実験条件は以下の通りである。

- 1) 支持スパン：18[mm]

- 2) 試験片寸法：幅 10[mm]×厚さ 3.0[mm]
- 3) 送り速度：0.50[mm/min]

3点曲げ試験を行った結果、表1に示す結果が得られた。金属粉末を添加しないFRPでは約400[MPa]の曲げ強度が得られた。硫酸バリウムとスズの添加により曲げ強度の低下が確認されたが最低でも217[MPa]であった。

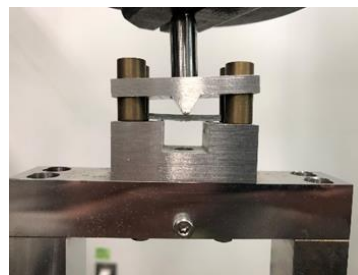


図3 3点曲げ試験用治具

表1 3点曲げ試験の結果

遮蔽材	最大曲げ応力[MPa]	遮蔽材	最大曲げ応力[MPa]
FRP	403		
FRP+BaSO4 (10%)	345	FRP+Sn (10%)	339
FRP+BaSO4 (20%)	282	FRP+Sn (20%)	258
FRP+BaSO4 (40%)	368	FRP+Sn (40%)	339
FRP+BaSO4 (60%)	328	FRP+Sn (60%)	217

(3) 遮蔽効果の評価

遮蔽効果の評価には日立アロカメディカル株式会社製の食品放射線測定システム(MODEL CAN-OSP-NAI)，と¹³⁷Cs密封線源を用いた。スペクトルにおける¹³⁷Csのピーク面積を求め、遮蔽材の有無でどの程度変化するか相対的な評価を行った。まず、添加元素の影響を調べるために、硫酸バリウム40[wt%]とスズ40[wt%]における結果を図4に示す。結果は3回の測定の実験値である。図からスズ40[wt%]が、遮蔽効果が高いことがわかった。

4-2 段ボール構造ガラス繊維による遮蔽材

(1) 遮蔽材作製

図5に示す段ボール構造ガラス繊維を用いて遮蔽材を作製した。作製条件は以下の通りである。

- 1) ガラス繊維の大きさ：150[mm]×150[mm]
- 2) 層数：1層及び2層
- 3) 樹脂：ポリエステル樹脂
- 4) 添加粉末：硫酸バリウム，スズ
- 5) 濃度：20[wt%]

作製した遮蔽材の代表例を図6，7に示す。

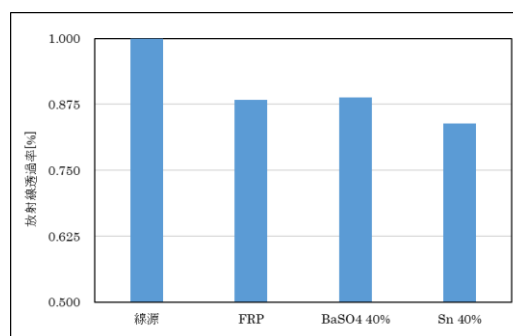


図4 遮蔽効果の比較

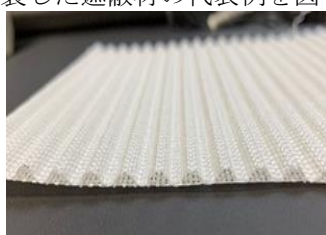


図5 段ボール構造ガラス繊維

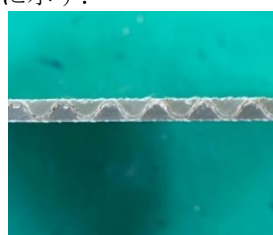


図6 1層構造



図7 2層構造

(2) 3点曲げ試験

遮蔽材の機械的特性評価のために、3点曲げ試験を行った。実験条件は以下の通りである。

- 1) 支持スパン：18[mm]
- 2) 試験片寸法：幅 12[mm]×厚さ 3.0[mm] (1層)，6.0[mm] (2層)
- 3) 送り速度：0.50[mm/min]

段ボール構造体の曲げ試験においては、中空断面であることから正確な曲げ応力を算出することが困難であるため、最大曲げ荷重で比較することとした。また、段ボール構造体の波の向きによって変形抵抗に相違が生じるため、3点曲げ試験治具と波の向きを平行と直角で試験を行い比較した。

図8にスズ粉末を添加した遮蔽材の代表的な3点曲げ試験結果を示す。1層構造では方向による影響はあまり確認できなかったが、2層構造では、垂直方向が平行方向の約1.6倍の曲げ抵抗を示した。さらに、1層構造、2層構造の両方において段ボールの波方向に対し、平行に荷重をかけたときよりも、垂直に荷重をかけたときのほうが、最大荷重が大きくなることがわかった。また、波方向に平行に荷重をかけたときは、最大荷重点を越えた後急激に荷重が低下していたが、波方向に垂直に荷重をかけたときは、最高荷重点を越えても比較的緩やかに応力が低下していった。これは、圧子を溝方向に直角に降下させるときのほうが、断面積が大きいことで曲が

りづらいのだと考えられる。また、荷重がかかったときに段ボールの波がつぶれることによる応力の吸収で、破断しづらくなっているのだと考えられる。

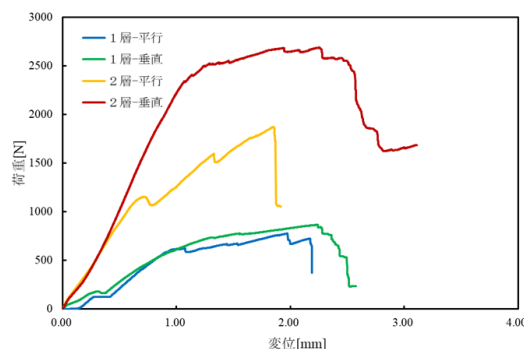


図8 スズ粉末を添加した段ボール構造遮蔽材の曲げ試験結果

(3) 遮蔽効果の評価

4-1(3)と同様に遮蔽効果の評価を行った。結果を図9に示す。粉末添加なし遮蔽材1層構造よりも、硫酸バリウム粉末添加遮蔽材1層構造のほうが放射線をより透過していることが読み取れる。このような結果になってしまった原因として、計測回数が少ないことが挙げられる。3回の計測では、ばらつきが大きいので、それが平均値に影響してしまったと考える。さらに、遮蔽材の繊維と繊維との間に生じた空洞が遮蔽能力に影響しているとも考えられる。FRP自体の遮蔽効果は小さいため、空洞の部分は放射線がそのまま透過してしまう。そのために透過率が増加したと考えている。

また、1層構造、2層構造両方においてスズ粉末入り遮蔽材の遮蔽効果が高いことがわかる。特に、スズ粉末入り2層構造遮蔽材は、他のどの遮蔽材よりも遮蔽効果が高いことがわかった。鉛や鉄などの金属板がガンマ線を遮蔽するように、金属粉末を添加することで遮蔽効果が高められることが確認できた。

硫酸バリウム粉末を添加した遮蔽材については、粉末添加なし遮蔽材1層構造、2層構造の両方と比べて目立った遮蔽効果が現れなかった。このことから硫酸バリウム粉末を添加しても大きな遮蔽効果が得られないのではないかと考えている。

(4) 箱形遮蔽材の遮蔽能力特性評価

段ボール構造遮蔽材を用いて図10に示す箱型の遮蔽容器を作製した。この容器を用いて遮蔽効果の評価したところ、図11のように単体の板より遮蔽効果が高いことが確認できた。

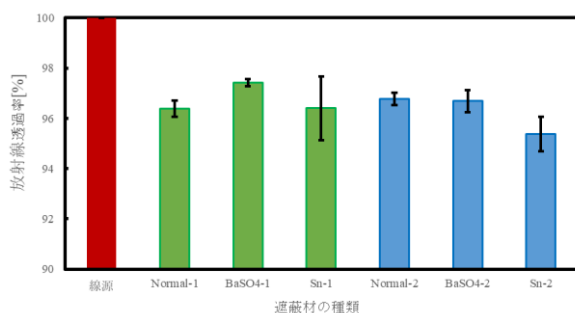


図9 遮蔽効果の評価



図10 箱形遮蔽材

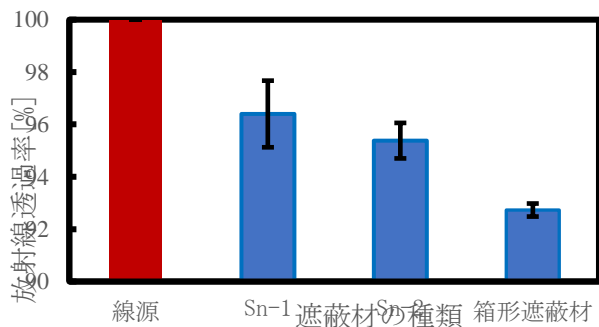


図11 箱形遮蔽材の遮蔽効果評価

4-3 放射線量率マッピングシステム

測定した放射線線量率と GPS モジュールで受信した位置情報を、線量率折れ線グラフやマッピング図として可視化する為にクラウドサーバである Ambient を用いた。図 1 2 に Ambient のシステム図を示す。 Ambient は、IoT データの可視化を行うことができるサーバで、GPS モジュールから出力された位置情報をマイコンとインターネットを介して Ambient へ送信することで、 Ambient 内で自動的に折れ線グラフやマッピング図を作成することができる。そして、ユーザーが Ambient へアクセスすることで作成したグラフを閲覧することができる。

今回作製した装置の外観図を図 1 3 に示す。放射線測定器(クリアパルス製 A2705)から 10 秒ごとに出力される線量率と GPS 受信機(太陽誘電製 GYSFDMAXB)で得られた位置情報を Wi-Fi 送信機付きマイコン(秋月電子通商製 AE-ESP-WROOM-02-DEV)へ送信する。これら 3 つの装置はモバイルバッテリー(Silicon Power 製 SP20KMAPBK200P0WJE)を電源とする。マイコンで処理された線量率と位置情報は、搭載してある Wi-Fi 送信機でモバイル Wi-Fi を介してクラウドサーバ(Ambient)へ送られる。クラウドサーバ側では、自動的に線量率は折れ線グラフ、位置情報は地図上にピンで表示され、測定者はその地点の線量を把握できるというものである。

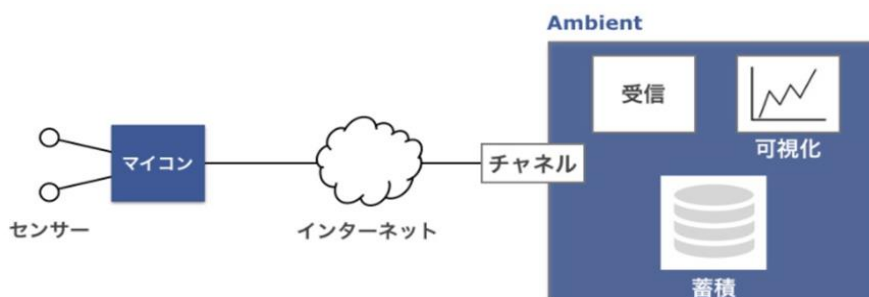


図 1 2 Ambient システム構成図

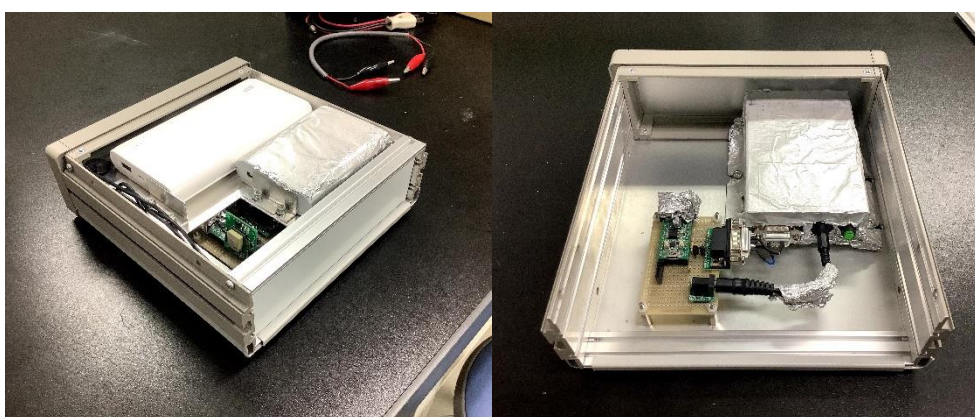


図 1 3 製作した装置

図 1 4 に作製した装置で校内の空間線量率を測定した結果を示す。図から測定した経路が概ね正しくマッピングされていることがわかった。また、線量率が高い地点に移動すると、ピンの色が緑、黄、赤へと変化するように設定してあり、線量率が規定より高くなった場合にわかりやすくした。

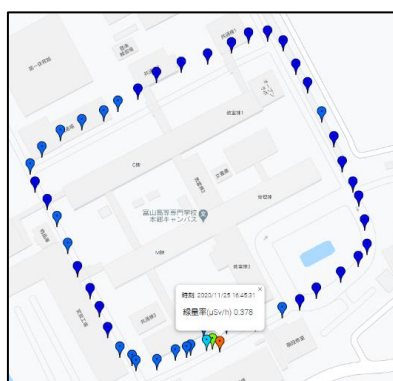


図 1 4 測定結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小野龍男（福島高専），鈴木茂和（福島高専），高田英治（富山高専）
2. 発表標題 ダンボール構造を有する FRP 遮蔽材の機械的特性評価
3. 学会等名 機械学会 第50回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永山智也（福島高専），鈴木茂和（福島高専），高田英治（富山高専）
2. 発表標題 放射線遮蔽効果を高めたFRP材の開発
3. 学会等名 機械学会 第50回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木 茂和（福島高専），高田 英治（富山高専）
2. 発表標題 放射線遮へい効果を有するFRP 材の機械的性質評価
3. 学会等名 日本塑性加工学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高田 英治 (TAKADA Eiji) (00270885)	富山高専専門学校・その他部局等・教授 (53203)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------