

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24658113

研究課題名(和文)食品の「安心」を確保するための低価格スクリーニング用放射線検出器の開発

研究課題名(英文)Development of an inexpensive screening radiation detector for confidence in food

研究代表者

金子 純一 (kaneko, Junichi)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90333624

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：福島第一原子力発電所事故の結果発生した広域汚染により食料に対する安全・安心の確保が必要となった。小売店や直販農家などが自らの販売する食品の放射能を直接測定する安価な検出器の開発を行った。検出器はシンチレータを使用し、食品の自己遮蔽を最大限に活用する事で小型・軽量化を進めた。実験とシミュレーションにより、1.25x1.25x3.0cm<sup>3</sup>のCsIシンチレータを想定し、5kgの米を測定した場合、スクリーニングレベル50Bq/kgを達成するには22分かかることを明らかとした。また一般家庭での使用を想定した場合、100Bq/kg以下である事を確認するにはより短い時間で判断可能である事も明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Confidence in food was required after broad area radiation contamination caused by nuclear accident in the Fukushima Daiichi nuclear power plant. In this study, an inexpensive radiation detector measuring radioactivity for retail shops and/or direct marketing farmers. This detector was designed to make best use of self-shielding of food itself. In size of 1.25 x 1.25 x 3.0 cm of CsI(Tl) scintillator was assumed, and it was revealed to achieve screening level of 50 Bq/kg within 22 minute for rice in 5 kg. In addition, it took only several minutes to determine that radioactivity is lower than 100 Bq/kg.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農芸化学・食品安全

キーワード：食品 放射能 スクリーニング 放射線検出器

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 2011年3月に発生した東日本大震災によって福島第一原発より<sup>137</sup>Csを中心とする放射性核種が大量に放出された。原子力安全保安院によれば<sup>137</sup>Csの総放出推定量は、 $1.5 \times 10^{16}$  Bq、<sup>134</sup>Csは $1.8 \times 10^{16}$  Bqと報告されている。放出した放射性核種は環境中に拡散し、農作物や海産物の放射能汚染の原因となっている。食の安心安全の観点から食品中の比放射能が規制され、これを測定する装置も必要になっている。しかし比放射能を測定する装置はどれも高価であり小売店や直販農家などでは購入が難しい。消費者の中には安全に対する意識が高い人もおり、より安価な検出器が求められている。

(2) 食品中のCsの比放射能を測定する場合はゲルマニウム半導体検出器を用いて核種分析することが規定されている。しかし福島第一原発の事故以降、比放射能測定の必要性が激増し、ゲルマニウム検出器自体の数や処理可能数が限られていることからスクリーニング法が制定された。食品中の放射性セシウムスクリーニング法では検出器に「スクリーニングレベル」と「測定下限」についての要求性能があり、これを満たす必要がある。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究の最終目的はシンチレータとPINフォトダイオードもしくは光電子増倍管を用いて低価格な放射線スクリーニング検出器を開発することである。数万円台で実現することができれば小売店や直販農家等での活躍の場があると考えられ、放射能測定をより身近なものとし不安感を打ち消すことは被災地産の食品が流通しやすくなり社会的意義があると考えられる。

(2) そこで我々はシンチレータを中心に配置した検出器を検討することとした。食品の自己遮蔽を最大限に生かし装置の遮蔽を不要としつつ、検出効率を最大とし、シンチレータの大きさを小さく抑えることで低価格化を目指す。

### 3. 研究の方法

(1) 装置に必要なシンチレータのサイズを求めるため、モンテカルロシミュレーションコードPHITS(Particle and Heavy Ion Transport code System)を用いて、シンチレータのサイズをパラメータとして変化させた場合<sup>137</sup>Cs、<sup>134</sup>Csに汚染された米から得られる応答関数を計算した。なおこれはシンチレータのサイズを変更しながら実験を行うと非常に時間がかかるためである。米5kgが汚染されている体系を仮定し、汚染濃度が<sup>134</sup>Cs:100Bq/kg または <sup>137</sup>Cs:100Bq/kg の場合をそれぞれ計算することでそれぞれの応答関数を得る。

(2) 実験として5kgの非汚染米試料を用いてバックグラウンドデータの取得を行った。また、計算精度の検証のために汚染米試料(<sup>134</sup>Cs:52.5Bq/kg,<sup>137</sup>Cs:24.0Bq/kg)を用いた実験も同時に行った。この結果をシミュレーション結果と比較し、シミュレーションの精度を検証できる。検出器としては寸法 $1.25 \times 1.25 \times 3.0 \text{cm}^3$ のCsI(Tl)と光電子増倍管(H10426, Hamamatsu)を光学グリスにより結合したものを使用し、ここからの信号を、線形増幅器ORTEC571で増幅したのちマルチチャンネルアナライザ(WE7562, Yokokawa)により解析、エネルギースペクトルを得た。

(3) 上記の計算、実験に並行して検出器の試作を行った。検出器に求められる性能はシンチレータの発光をエネルギー分別できること、300keVの線を信号として識別できるSN比とした。なお食品の測定では計数率が比較的低いため、計算速度に関してはハードルは低いとされた。

### 4. 研究成果

(1) PHITSによるシミュレーションを行った。5kgの米に<sup>137</sup>Csと<sup>134</sup>Csがそれぞれ100Bq/kg含まれており、それを $1.25 \times 1.25 \times 3.0 \text{cm}^3$ のCsIで30分測定した場合に得られるエネルギースペクトルをシミュレーションした。この計算を24回行い平均をとった結果を図1に示す。

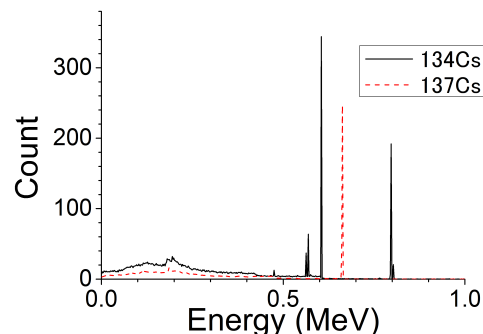


図1  $1.25 \times 1.25 \times 3.0 \text{cm}^3$ のCsIで<sup>137</sup>Csと<sup>134</sup>Csがそれぞれ100Bq/kgの米5kgを測定した場合のPHITSシミュレーション結果。<sup>137</sup>Cs、<sup>134</sup>Csそれぞれの全吸収ピークとコンプトン散乱による吸収が確認できる。なおPHITSのシミュレーションではエネルギー分解能が考慮されないため全吸収ピークが非常に鋭くなっている。

(2) 実験により得られたバックグラウンドデータを図2に示す。実験は汚染のない米5kgにCsI(Tl)と光電子増倍管を組み合わせた検出器を差込み行われた。なおCsI(Tl)の寸法は $1.25 \times 1.25 \times 3.0 \text{cm}^3$ であった。また、汚染米5kg(<sup>134</sup>Cs:52.5Bq/kg,<sup>137</sup>Cs:24.0Bq/kg)を用いた実験の結果を図3に示す。<sup>137</sup>Cs、<sup>134</sup>Csによる全吸収ピークが0.6MeV付近、0.8MeV付近に小さいながら確認できる。

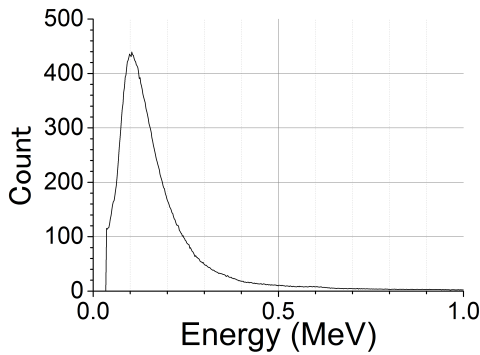


図2 CsI(Tl) 1.25x1.25x3.0cm<sup>3</sup> により 5kg の非汚染米の 30 分測定を 80 回繰り返した時の、各チャンネルでの平均計数。<sup>40</sup>K による 1.46MeV の全吸収ピークはほとんど見られず、低エネルギー領域に計数が偏っている。

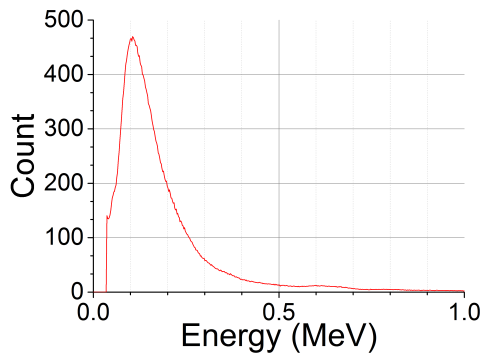


図3 CsI(Tl) 1.25x1.25x3.0cm<sup>3</sup> により 5kg の汚染米の 30 分測定を 60 回繰り返した時の、各チャンネルでの平均計数。

(3)汚染米の実験結果から非汚染米の実験結果を差し引いたものを図4に示す。この実験結果から検出範囲(ROI)を<sup>137</sup>Cs、<sup>134</sup>Csの全吸収ピークと一部コンプトン部分を含む(ROI-1: 0.3~0.72MeV)と<sup>134</sup>Csの全吸収ピーク(ROI-2: 0.72~0.85MeV)に設定することで<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csの計数を分離可能であることがわかる。ROI-1の下限は低エネルギー側に取りすぎるとS/Nが悪くなるため適切に選ぶ必要がある。なお本実験体系ではROI-1の下限を0.3MeVとするのが最適であった。

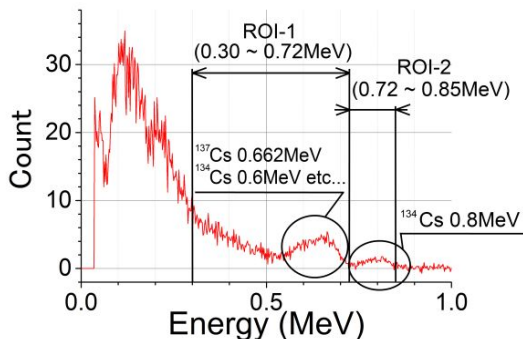


図4 汚染米結果(図3)から普通米結果(図2)を減算した結果。セシウムによる応答関数を

示している。ROI-1には<sup>137</sup>Cs、<sup>134</sup>Csの全吸収ピーク及びコンプトン連続部の一部が、ROI-2には<sup>134</sup>Csの全吸収ピークのみが含まれる。

(4) スクリーニングレベル 50Bq/kg を達成するために必要な測定時間を求めるために、図2に示されるBGのスペクトルおよび図1に示されるPHITSのシミュレーション結果を用いて、CsI 寸法: 1.25x1.25x3.0cm<sup>3</sup>のCsIを用いて米5kgを測定した時、測定値がどの範囲に分布するか計算した。米に含まれる汚染は<sup>137</sup>Cs:33.3Bq/kg、<sup>134</sup>Cs:16.6Bq/kg計50Bq/kgの場合と<sup>137</sup>Cs:66.6Bq/kg、<sup>134</sup>Cs:33.3Bq/kg計100Bq/kgの場合について計算した。ここで<sup>137</sup>Csと<sup>134</sup>Csの比を2:1としているのは実際の食品に含まれる<sup>137</sup>Csと<sup>134</sup>Csの比に近づけるためである。計算は誤差伝搬の考え方に基づき行われた。計50Bq/kgの計算結果を図5、計100Bq/kgの計算結果を図6に示す。

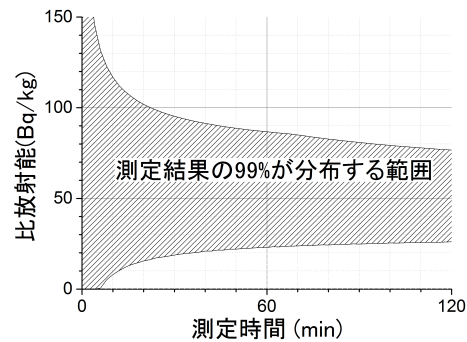


図5 <sup>137</sup>Cs:33.3Bq/kg、<sup>134</sup>Cs:16.6Bq/kgの汚染が含まれる米を測定した場合に測定値がどの範囲に分布するかマッピングした。

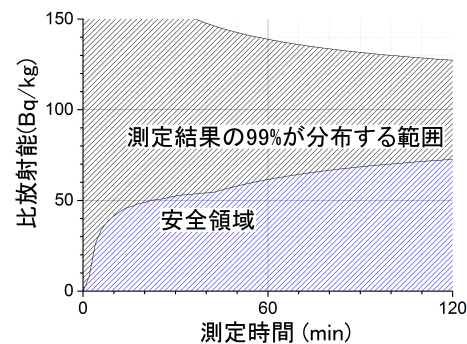


図6 <sup>137</sup>Cs:66.6Bq/kg、<sup>134</sup>Cs:33.3Bq/kgの汚染が含まれる米を測定した場合に測定値がどの範囲に分布するかマッピングした。

測定時間を長くすれば測定値の範囲が小さくなることは自明である。図5より、比放射能レベルが50Bq/kg サンプルの測定結果の99%上限が100Bq/kg以下となるのは測定時間が22分以上のときであるから、スクリーニングレベルを50Bq/kgとするには22分の

測定が必要である。  
ただし、測定結果が、図6に青の領域で示した100Bq/kgの測定結果が分布する領域より下の範囲に入った場合、理論的にそのサンプルは即座に100Bq/kg以下の比放射能であるといえるため、一般家庭の使用においてスクリーニング法の形式にとられない場合などには、判断にかかる時間を短縮可能であると考えられる。

(5) 以上のことから1.25x1.25x3.0cm<sup>3</sup>のCsIを用いれば、特別な遮蔽なしに米5kgを22分で測定し、スクリーニング法に基づく判断が可能であることを明らかにした。

また、電機メーカーの協力を得て、試作装置の作製を進めた。図7はその検出器並びに増幅器回路である。この回路は放射線に対する感度とある程度のエネルギー線形性をもった。しかしS/N比が低く、エネルギー直線性に改善の余地があり、(4)までで概念設計を行った検出器を実現するためにはエネルギー分解能が不足した。今後、S/N比改善などにより回路の線形性を向上し、概念設計結果を反映可能な装置の実現を目指す必要がある。

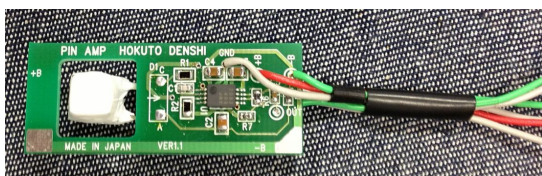


図7 試作した検出器。

## 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 1件)

鍋田志生, 金子純一, 坪田陽一  
中野隆司, 中野貴寛, 高橋裕之, 田中大之、食品の自己遮蔽を利用した簡易型スクリーニング放射線検出器の検討、日本食品科学工学会、2013年8月31日、実践女子大

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

金子 純一 (Junichi H. Kaneko)

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：90333624

(2)研究分担者

無し

(3)連携研究者

高田英治 (Eiji Takada)

富山高等専門学校・電子情報学系・教授

研究者番号：00270885