

「河野研究室便り」

ベクレル/シーベルトサーベイメーターの概念設計と放射能測定シミュレーション

1. はじめに

福島第一原子力発電所事故(2011年3月)により発生した放射能汚染土壤や排水などの放射能測定に用いられる装置は、検出器を遮蔽する関係で重量物が多くまた測定手順も複雑であるということで、作業者自身が復興作業現場に適宜持ち出して使用することは困難であった。そのため現場作業者の間には、「比較的自由に持ち出して使用することのできる放射能測定装置はないものか」という強い要望があった。本研究ではこれに応えるべく装置を概念設計するとともに、放射能測定シミュレーションを行ってその特性を評価した。

2. ベクレル/シーベルトサーベイメーターの測定原理と機器構成

点線源の放射能を A (MBq)、点線源から測定点までの距離を L (m)、1 cm 線量当量率定数を Γ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) とすると、1 cm 線量当量率 D ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) は式(1)を用いて計算することができる。この式(1)で放射能 A を左辺に、他の変数をすべて右辺に移項して整理すると式(2)が得られる。式(2)の右辺において線量率 D と距離 L を何らかの方法で得ることができるならば、1 cm 線量当量率定数 Γ は $D = \frac{\Gamma \times A}{L^2}$ (1) アイソトープ手帳などから入手できるため、点線源の放射能 A はこの式の計算によって求められる。そこでこれまで使用されてきた線量計に、距離 L を測定するための距離計と式(2)の計算を行う演算回路を組み込んだ装置を考える。距離計と演算回路の合計重量は 100 g 程度であるから、この装置の全重量は元の線量計とあまり変わらず軽量であり、容易に持ちだして放射能測定に使用することができる。これをベクレル/シーベルトサーベイメーター(B S サーベイメーター)と呼ぶ。

$$A = \frac{D \times L^2}{\Gamma} \quad (2)$$

3. 放射能測定シミュレーション

B S サーベイメーターが有する特性を評価するため最大半径 400 cm までの ^{137}Cs 円形表面汚染(円形汚染)を仮定して、放射能測定シミュレーションを行った。その結果、放射能は過小評価されることが分かった。原因是点線源に対して有効な式(2)を面線源の一種である円形汚染に適用したところにあった。本研究ではさらに式(2)をベースにして不等式の展開を進め、測定で得られる放射能の下限/上限値を表す式(3)と式(4)を導いた。これらの式で A_{Min}/A_{Max} は下限/上限放射能、 D_M は B S サーベイメーターによる測定で得られた 1 cm 線量当量率である。また L_{Min}/L_{Max} は装置から円形汚染までの最短/最長距離であるが、平面状の汚染の場合いずれも測定可能である。したがって式(3)と(4)を演算回路に組み込めば、B S サーベイメーターは正しい放射能の代わりに、正しい放射能が存在する範囲すなわち下限/上限放射能を測定することのできる装置となる。なお上で仮定した円形汚染を再度用いて放射能測定シミュレーションを行った結果、上限放射能は最大で数倍程度の過大評価になっており、決して過小評価されることはなかった。そのため復興作業現場で数倍程度の過大評価が受け入れられるならば、B S サーベイメーターによる測定で得られた半径 400 cm 程度までの平面汚染の上限放射能は、安全側に評価した実用測定量として汚染土壤の仕分け作業などにそのまま使用することができる。

$$A_{Min} = \frac{D_M \times L_{Min}^2}{\Gamma} \quad (3)$$

$$A_{Max} = \frac{D_M \times L_{Max}^2}{\Gamma} \quad (4)$$

謝辞：本研究の一部は福島県の「特許等調査・出願経費助成事業」ならびに「ふくしま産業応援ファンド事業」の助成を受けている。

ベクレル/シーベルトサーベイメーターの概念設計と放射能測定シミュレーション

株式会社日本遮蔽技研
福島校正センター
河野孝央

2. 測定原理と機器構成、円形表面汚染

BSサーベイメーターの測定原理を図1に、機器構成を図2に示す。図2のBSサーベイメーターでは①線量計で1cm線量当量率 D ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)を測定する。また同時に②距離計で実効中心から点線源までの距離 L (m)を測定する。こうして得られた D と L を③演算回路に送って式(1)の計算を行い、放射能 A (MBq)を出力する。従って、線量率、距離、放射能の同時測定を行っていることになる。本研究ではこのBSサーベイメーターの特性を調べるために図3に示す最大半径400 cmまでの ^{137}Cs 円形表面汚染(円形汚染)を仮定して、放射能測定シミュレーションを行った。結果を図4に示す。

1. はじめに

福島第一原子力発電所事故(2011年3月)で発生した放射能汚染土壌などを取り扱う復興作業現場では、放射線量測定や放射能測定が行われてきた。放射線量測定の場合、装置は小型で軽量、取り扱いもそれほど難しくないため比較的自由に使用されてきたが、放射能測定における装置は重量物が多く測定手順も複雑であるため、手軽に持ち出して使用することはできなかった。本研究室便りではこの問題を解決すべく線量測定と同様の感覚で放射能測定が可能なベクレル/シーベルト(BS)サーベイメーターと放射能測定シミュレーションによる特性試験の結果を紹介したい。

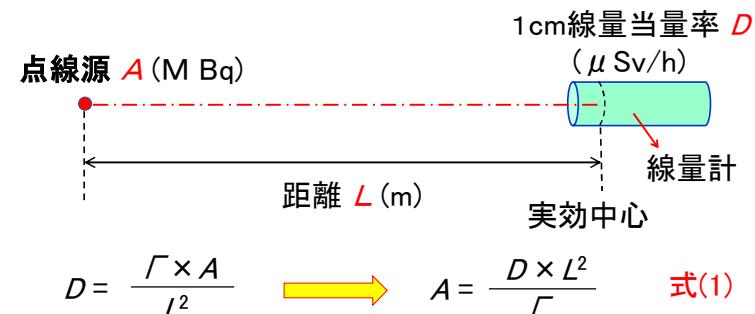
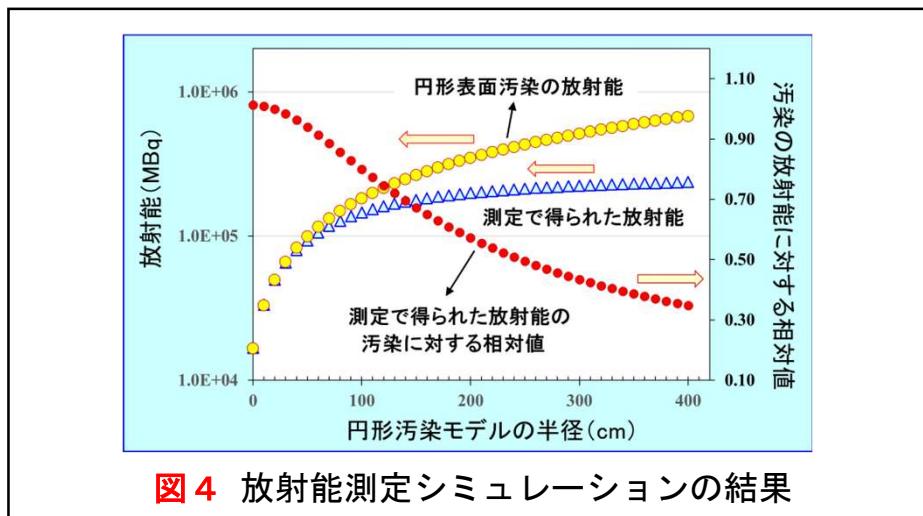
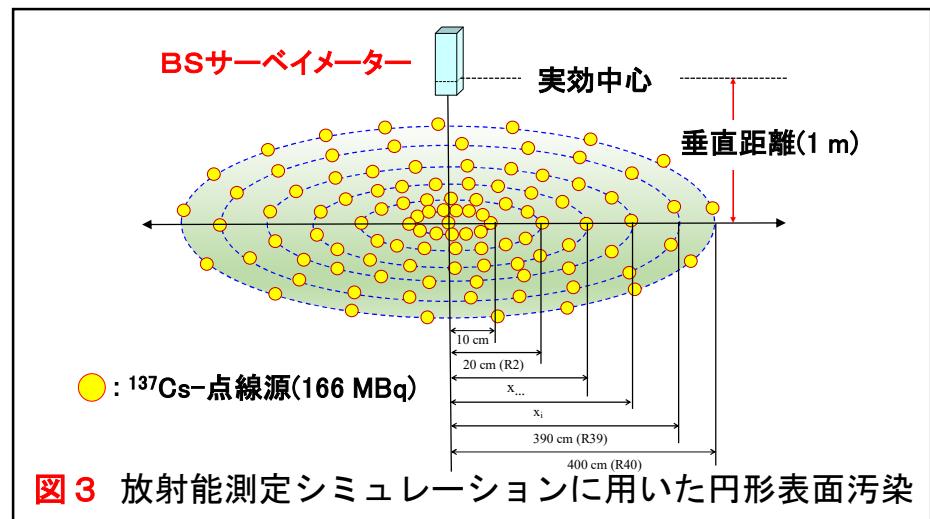
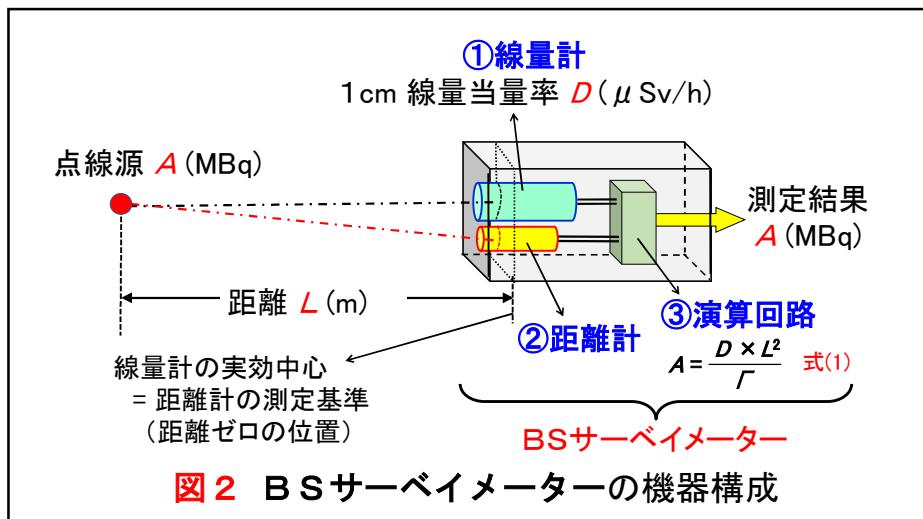
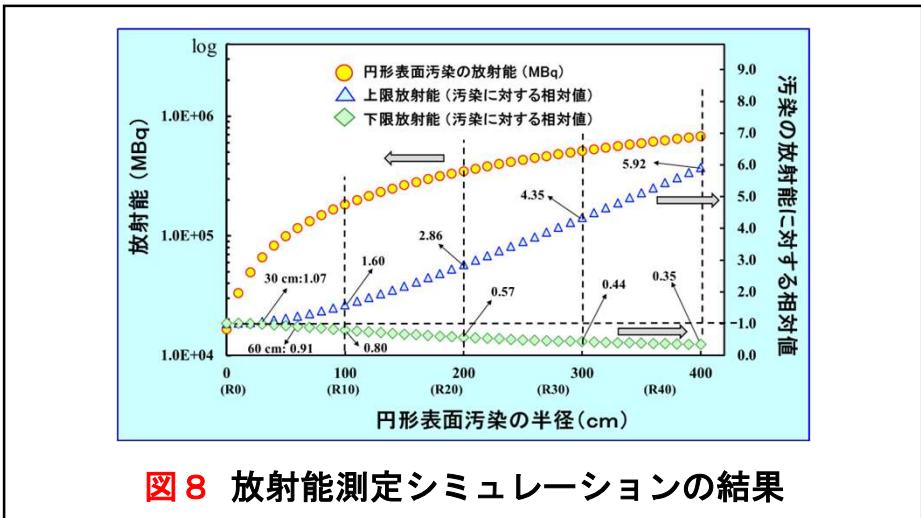
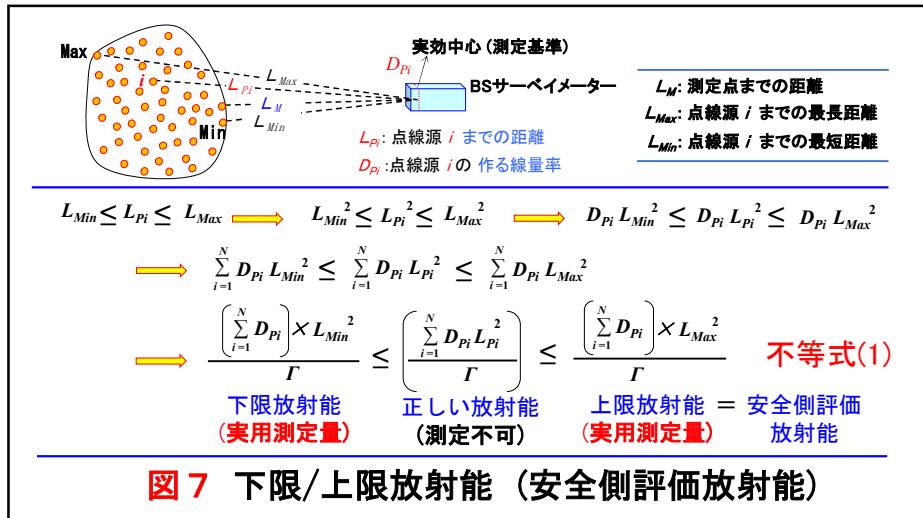
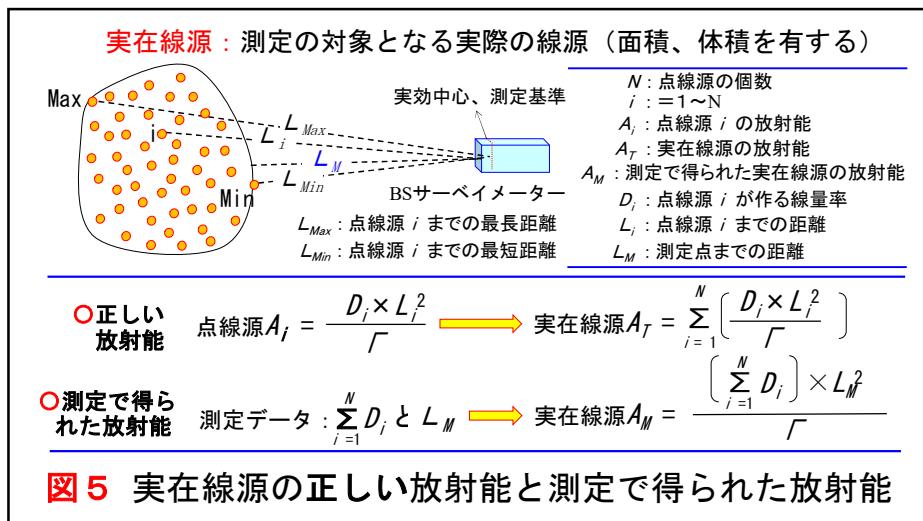


図1 点線源の放射能測定と放射能算定式(1)



3. 特性試験の結果

図4で●印は放射能測定シミュレーションで得られた放射能を円形汚染に対する相対値で示すが、全て1以下の過小評価になっている。その原因是図5、6に示すように、点線源に有効な式(1)を面線源に適用したからである。そこで図7に示す式の展開を行い、放射能の下限/上限値を表す不等式(1)を導いた。またこの下限/上限の放射能を評価するために再度図3の円形汚染を用いて放射能測定シミュレーションを行った。結果を図8に示す。なお上限放射能のことを安全側評価放射能という。



4. 下限/上限放射能測定シミュレーションの結果

図8においてBSサーベイメーターの測定で得られた下限放射能(◆)はすべて過小評価であるが、半径60 cm程度までは10 %以下の差に収まっている。上限放射能(▲)では、半径30 cm程度まで正しい放射能との差は10 %以下であるが、30 cmを超えると過大評価が進み、半径400 cmに対する相対放射能は 5.92 であった。しかしながら作業現場の状況を鑑み、数倍程度の過大評価は受け入れられるとするならば、半径400 cm程度までの円形汚染の場合、上限放射能は安全側に評価した実用測定量として、汚染土壌の仕分けなどにそのまま使用することができる。

5. 今後の取り組み

BSサーベイメーター実現に向けて

- (1) 過大評価 どこまで許せるか？
- (2) 様々な形状を有する実在線源
 - ① 最短/最長距離の測定/推定/設定
 - ② 自己遮蔽の影響
- (3) ^{137}Cs 以外の核種では？
- (4) 複数の核種が含まれる場合

謝 辞

本研究の一部は、福島県の
「特許等調査・出願経費助成事業」
ならびに
「ふくしま産業応援ファンド事業」
の助成を受けている。

参考文献(1/2)

1. 河野孝央、平山貴浩：“ベクレル/シーベルトサーベイメーターの可能性について”、第60回アイソトープ・放射線研究発表会要旨集、1P_E01-21-02、2023年7月5-7日、日本科学未来館(東京)。
2. 河野孝央：“ベクレル／シーベルトサーベイメーターによる放射能測定シミュレーション”、第12回環境放射能除染研究発表会要旨集、P2-03、2023年8月30, 31日、とうほう・みんなの文化センター(福島)。
3. 河野孝央：“ベクレル/シーベルトサーベイメーターとその利用方法に関する検討”、令和5年度放射線安全取扱部会年次大会要旨集、A-08、2023年10月26、27日、富山国際会議場(富山)。

参考文献 (2/2)

4. 河野孝央: "ベクレル／シーベルトサーベイメーターと実用測定量", 日本放射線安全管理学会誌第22巻第2号, 62-71 (2023).
5. 河野孝央: "ベクレル/シーベルトサーベイメーターとその利用方法に関する検討", Isotope News, 2024年4月号No.792, 88-90 (2024).
6. 河野孝央: "ベクレル/シーベルトサーベイメーターと実用測定量", 第5回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会要旨集 AW02(技術賞受賞講演), 2024年12月16-18日, 大阪大学コンベンションセンター(大阪).

