

除染等作業における作業環境の線量率・土壌中放射能濃度と労働者の身体汚染の関係に関する研究

辻村憲雄 核燃料サイクル工学研究所

「ふくしま環境回復に係る
これまでの取り組み」
研究成果報告会
平成27年 11月 9～10日

概要

除染等作業の現場から退出する労働者に対して実施する表面汚染検査の要件を緩和するための基礎データを得ることを目的に、(1) 作業現場における周辺線量当量率から土壌中放射能濃度を概算する方法、(2) 作業服等の表面への土壌の付着の程度、(3) 除染等作業における労働者の作業服等の放射性表面汚染の程度に関する研究を実施し、以下の知見を得た。

- 放射性セシウムによる局所的な汚染土壌体系における線量当量率と土壌中放射能濃度の関係を計算シミュレーションによって求めた。幅30 cm以上の広がりを持つ汚染土壌については、汚染表面から高さ5 cmで測定した線量当量率が5 $\mu\text{Sv/h}$ 未満であれば、放射能濃度は50万Bq/kg (=500 Bq/g)を超えないと判断できる。
 - 一般的な作業服、手袋及び長靴(靴底)への土の付着密度(g/cm^2)を質量測定によって調べた。作業服・手袋への土の付着密度はせいぜい10~30 mg/cm^2 であり、放射能濃度50万Bq/kgを仮定しても放射性表面密度は40 Bq/ cm^2 を超えそうにない。一方、長靴については、降雨後の畑歩行において500 mg/cm^2 を超える土壌付着が見られるなど、作業服等に比べて表面密度限度を超える汚染の可能性が潜在的に高い。効果的な泥落としなどの工夫が望まれる。
 - 居住制限区域等で除染作業に従事した労働者が着用した作業服、手袋及び長靴に付着した土に含まれる放射性セシウム放射能をGe半導体検出器で測定した。農地での作業において最大2 kBqを超える放射能が観測されたが、表面密度に換算するとわずか5.1 Bq/ cm^2 であったなど、表面密度限度を超える事例は観察されなかった。また、靴底の土壌付着密度は、(2)の実験値と同程度であったこと、放射能濃度との乗算から放射能表面密度(Bq/ cm^2)の推定が可能であることを確認した。
- なお、本研究の実施にあたり、厚生労働科学研究費補助金(平成25~26年度)の助成を受けた。

作業服等の表面汚染密度の推定

除染等作業に従事した労働者の作業服等の放射性表面密度を次式から推定：

$$A (\text{Bq}/\text{cm}^2) = L (\text{g}/\text{cm}^2) \times C (\text{Bq}/\text{g})$$

A：放射性表面汚染密度(Bq/ cm^2)

L：衣服表面への土壌の最大付着密度(g/cm^2)

C：土壌中放射能濃度(Bq/g)

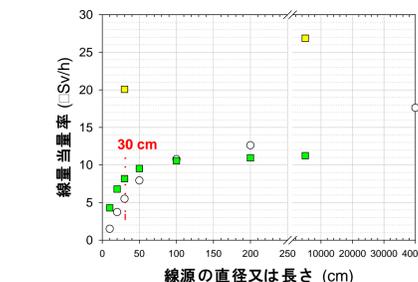
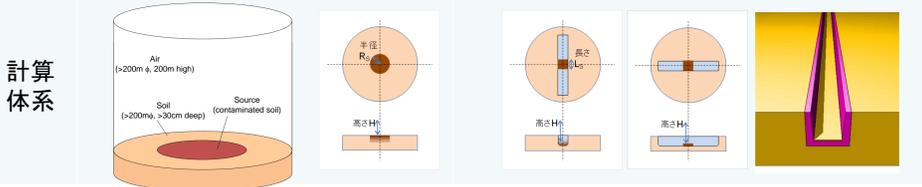
下記の計算・実験から
必要なパラメータを得る

1. 線量当量率vs土壌中放射能濃度

放射性セシウムによって局所的に汚染された箇所をモデル化した体系において、土壌中の放射能濃度と周辺線量当量率の関係をモンテカルロ計算から求める。

- 計算コード：MCNP4C3
- 計算体系：直径200 m以上×厚さ30 cm以上の土(1.6 g/cm^3) + 高さ200 mの空気(1.2 mg/cm^3)
- 線源核種： ^{134}Cs , ^{137}Cs
- 検出器位置：汚染土壌の表面から5 cm, 100 cm

計算モデル	1 円形	2 排水路(幅30cm×深さ30cm×全長50m)
汚染の広がり	半径Rs= 5,10,15,25, 50,100 cm及び200 m (一様な汚染)	長さLs= 10, 20, 30, 50,100, 200 cm及び50 m
汚染の深さ	指数関数分布 緩衝深度1.2~2.0 g/cm^2	排水路の底に一様分布 厚さDs=1, 3, 5 cm
放射能濃度	地表で50万Bq/kg* (500 Bq/g)	50万Bq/kg* (500 Bq/g)



○: 計算モデル1(緩衝深度1.2 g/cm^2 の場合)
■: 計算モデル2, $D_s=1$ cm
■: 計算モデル2, $D_s=3$ cm

⇒ 幅30 cm以上の広がりを持つ汚染の場合、線量当量率サーベイメータの指示値が5 $\mu\text{Sv/h}$ 未満であれば、土壌中放射能濃度 50万 Bq/kgを超えないと判断できる。

図1 線源中央高さ5cmにおける線量当量率
50万Bq/kg, $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}=0.38$ (H26年4月現在)

2. 土壌の付着密度

作業服、手袋、長靴と土壌試料を接触させ、付着した土の質量を電子天秤で計測する。

試験土壌	生土：建材メーカーから入手した「黒土」(含水率約30%, 50%粒径0.28 mm) 乾土：暗所に放置して乾燥させたもの(含水率<10%) 湿土：水を添加して含水率約50%に調整したもの
試験被服	作業服：A：ポリエステル製, B：ポリエステル・綿混製, C：ナイロン製(雨合羽, 表面に撥水加工), 10 cm×10 cmに裁断 手袋：D：すべり止め付き軍手, E：すべり止めなし軍手, F：ゴム手袋 長靴：靴底パターンの異なる三種類(G, H, I)

実験手順(作業服&手袋)

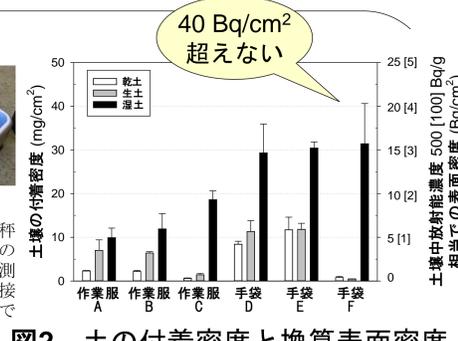
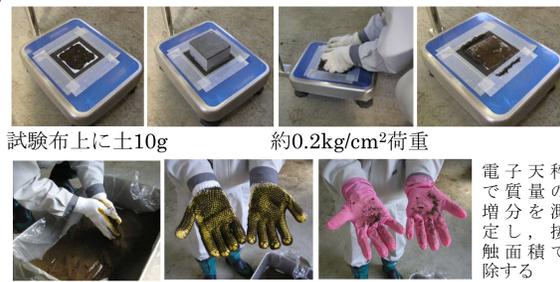


図2 土の付着密度と換算表面密度

実験手順(長靴)

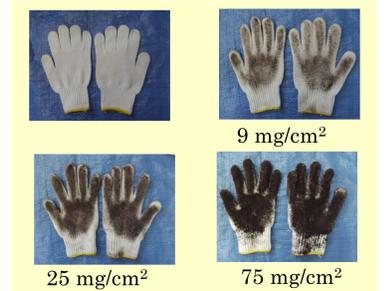


図3 土の付着の程度の視覚化

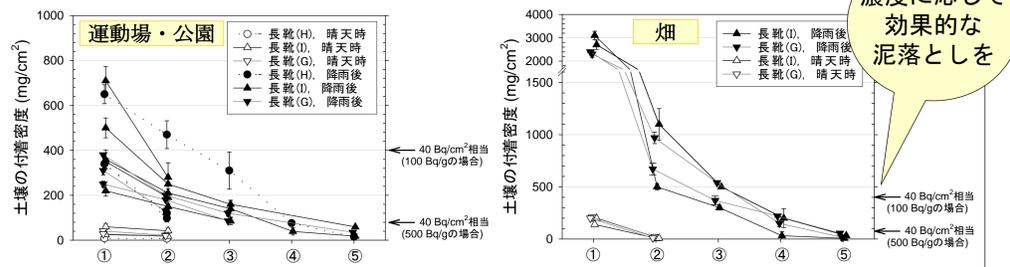


図4 長靴(底)の土壌付着密度(①~⑤は実験手順の泥落とし動作)

3. 作業服等の放射性表面汚染

除染等作業に従事した労働者の作業服や長靴に付着した土に含まれる放射性セシウムの放射能をGe半導体検出器による測定によって評価する。

表1 除染等作業の現場の概要

作業場所	人数	線量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	放射能濃度 (Bq/g)	作業服等
原子力機構核サ研 落葉・落枝片付け	3	0.3~1	15~26 (1 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ の箇所)	作業服A, 軍手D, 長靴H
居住制限区域 除染作業	15	1~2	1.2~22 (靴底付着土から)	作業服(ポリエステル等), 綿・ゴム手袋, 長靴I
帰還困難区域 道路工事業	5	3~6	33~140 (靴底付着土から)	作業服(ポリエステル等), 綿・ゴム手袋, 長靴I

表2 長靴の放射能, 表面密度及び土壌付着密度

作業現場	作業番号	靴底放射能 (Bq)	表面密度 (Bq/ cm^2)	土壌付着密度 (mg/cm^2)	下記濃度の場合の予測表面密度	
					500Bq/g仮定	100Bq/g仮定
核サ研：落葉 落枝の片付け 作業	1	5.5 ± 0.6	0.014	—	—	—
	2	4.4 ± 0.6	0.011	—	—	—
	3	5.1 ± 0.6	0.013	—	—	—
居住制限区域：除染作業 (農地)	1	170 ± 3	0.41	280	140	28
	2	540 ± 19	1.3	98	49	10
	3*	2050 ± 37	5.1	510	250	50
	4	1100 ± 26	2.8	130	62	12
	5	1500 ± 29	3.8	170	86	17
居住制限区域：除染作業 (宅地)	6	25 ± 2	0.063	7	4	1
	7	420 ± 15	1.1	100	51	10
	8	260 ± 12	0.65	40	20	4
	9	88 ± 6	0.22	27	13	3
	10	360 ± 15	0.91	360	180	36
居住制限区域：除染作業 (建設等)	11	100 ± 8	0.26	87	43	9
	12	57 ± 4	0.14	120	62	12
	13	23 ± 1	0.057	6	3	1
	14	250 ± 12	0.61	110	56	11
	15	120 ± 7	0.30	50	23	5
帰還困難区域：道路工事 (放置資材の片付け) 作業	1**	590 ± 9	1.5	11	5	1
	2	270 ± 8	0.67	9	4	1
	3	240 ± 6	0.60	18	9	2
	4	220 ± 2	0.56	5	3	1
	5	150 ± 6	0.37	8	4	1



⇒ 作業服、手袋及び長靴のいずれからも表面密度限度を超える汚染は観察されず ⇒ 観測された土の付着密度(農地: 約500 mg/cm^2 , 砂地: 約20 mg/cm^2)は、図4の実験値にほぼ等しい