

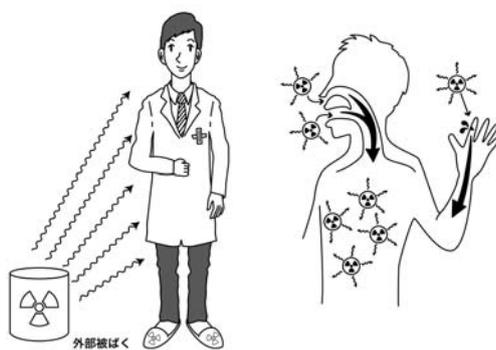
除染に関する基本的な考え方

東京大学アイソトープ総合センター
楢垣 正吾

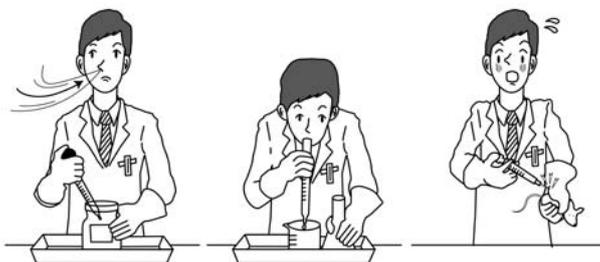
はじめに

- 被ばくの経路：内部被ばくと外部被ばく
- 放射線管理における安全取扱の考え方
- セシウムの環境中での動態
- 具体的な除染方法

外部被ばくと内部被ばく



内部被ばくの経路



経気道

経口

経皮

内部被ばくからの防護

放射線管理における安全取扱では、
体内への侵入を低減するための5原則（3D2C）

- ① Dilute : 希釈（溶媒や担体の添加による）
- ② Disperse : 分散（換気）
- ③ Decontaminate : 除去（フードの使用）
- ④ Contain : 閉じこめ（容器へ収納、グローブボックス等の使用）
- ⑤ Concentrate : 集中（線源の保管）

作業環境のRI濃度を可能な限り低く保つ

→ 除染の手法に適用できる

5

外部被ばくからの防護



- 線源の大きさが限られている状況での話
- 文化財のクリーニングには適用できる
- 広大な面線源といえる環境放射線への適用は難しい

6

今回の原発事故の場合

現在の状況は、
内部被ばく

- 経気道：空気中；ほぼゼロ
 - 経口：食品中；規制値でコントロールされている
- 外部被ばく線量を下げするために除染が行われている

外部被ばく線量を測る



X線用ガラスバッジ・広範囲用ガラスバッジ
中性子広範囲用ガラスバッジ(ケース形状は同一)

新型ガラスバッジの構成

<フィルタの種類>



*ガラスプレート・CR-39には個別のIDが印刷されています。

個人の被ばく線量の実際

業種別の平均被ばく線量 (2012年4月～2013年3月)

	医 療	工 業	研究教育	獣医療	合 計
平均年実効線量 (mSv)	0.29	0.07	0.02	0.02	0.21
水晶体 年集団等価線量 (manmSv)	117,210.77	3,063.10	1,525.00	240.30	122,039.17
平均年等価線量 (mSv)	0.66	0.07	0.03	0.03	0.46
皮膚 年集団等価線量 (manmSv)	143,784.27	5,600.90	3,657.30	265.60	153,308.07
平均年等価線量 (mSv)	0.81	0.14	0.08	0.03	0.58

研究教育では、平均20 μ Sv/年しか被ばくしていない

出典：千代田テクノルフBニュースNo. 441

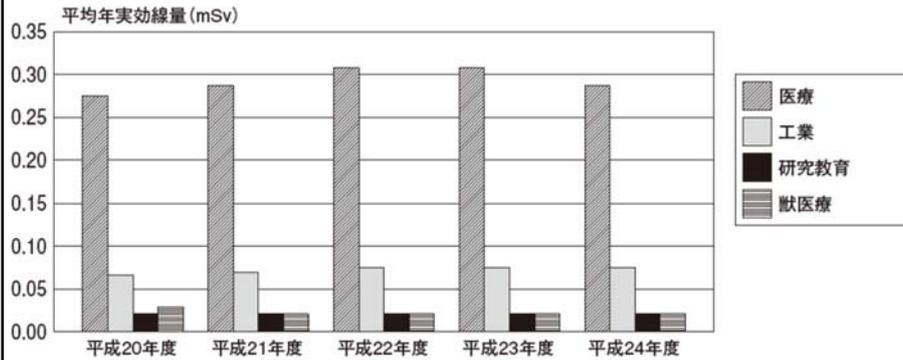
Table 1 a
業種別の個人年実効線量の分布と各線量区分における集団実効線量

年実効線量 (mSv)	医 療		工 業		研究教育		獣医療		全 体	
	人数(人)	集団実効線量 (manmSv)	人数(人)	集団実効線量 (manmSv)	人数(人)	集団実効線量 (manmSv)	人数(人)	集団実効線量 (manmSv)	人数(人)	集団実効線量 (manmSv)
X	131,479 0.00	74.83	34,874 0.00	90.55	42,464 0.00	96.17	6,417 0.00	95.83	214,320 0.00	81.15
0.10以下	10,090 1,009.00	5.74 1.93	1,010 101.00	2.62 3.45	697 69.58	1.58 6.24	108 10.80	1.61 5.94	11,884 1,188.28	4.50 2.11
0.11～0.20	5,186 1,037.20	2.95 1.99	624 124.80	1.62 4.27	245 49.00	0.55 4.39	40 8.00	0.60 4.40	6,079 1,215.80	2.30 2.16
0.21～0.30	3,423 1,026.90	1.95 1.97	412 123.60	1.07 4.23	106 31.80	0.24 2.85	20 6.00	0.30 3.30	3,958 1,187.40	1.50 2.11
0.31～0.40	2,614 1,045.60	1.49 2.00	252 100.80	0.65 3.45	87 34.80	0.20 3.12	14 5.60	0.21 3.08	2,959 1,183.60	1.12 2.10
0.41～0.50	2,105 1,052.42	1.20 2.02	171 85.50	0.44 2.92	72 35.92	0.16 3.22	12 6.00	0.18 3.30	2,363 1,181.34	0.89 2.10
0.51～0.60	1,792 1,075.20	1.02 2.06	109 65.40	0.28 2.24	46 27.60	0.10 2.47	17 10.20	0.25 5.61	1,967 1,180.20	0.74 2.09
0.61～0.70	1,450 1,015.00	0.83 1.95	95 66.50	0.25 2.27	34 23.80	0.08 2.13	9 6.30	0.13 3.47	1,586 1,110.20	0.60 1.97
0.71～0.80	1,399 1,119.20	0.80 2.15	82 65.60	0.21 2.24	32 25.60	0.07 2.29	7 5.60	0.10 3.08	1,521 1,216.80	0.58 2.16
0.81～0.90	1,218 1,096.20	0.69 2.10	68 61.20	0.18 2.09	36 32.40	0.08 2.90	5 4.50	0.07 2.48	1,328 1,195.20	0.50 2.12
0.91～1.00	1,093 1,093.00	0.62 2.10	79 79.00	0.21 2.70	36 36.00	0.08 3.23	5 5.00	0.07 2.75	1,212 1,212.00	0.46 2.15

研究教育では、96%の人は被ばくしない（検出限界以下）

出典：千代田テクノルフBニュースNo. 441

個人の被ばく線量の実際



傾向は、過去5年間あまり変わっていない

出典：千代田テクノルFBニュースNo. 441

放射線業務従事者の線量限度

種類	限度
実効線量限度 (全身の被ばく限度)	100mSv/5年かつ50mSv/年 女子：5mSv/3月 妊娠中の女子：出産まで内部被ばく1mSv
等価線量限度 (特定組織の被ばく限度)	眼の水晶体：150mSv/年 皮膚：500mSv/年 妊娠中の女子の腹部表面：出産まで2mSv



公衆：実効線量限度1mSv/年として規制

▶▶▶D-シャトルのご紹介◀◀◀

—住民用モニタリングサービス [Light-ct56] の商品名を変更しました—

以前にFHNNews No.439 (2013年7月号)でご紹介しておりました住民用モニタリングサービス「Light-ct56」は、商品名を「D-シャトル」と変更いたしました。皆様にご理解をいただけるようネーミングを変更いたしました。

D-シャトルは、電池駆動式の半導体積算線量計で、1年間の長期間の線量を時間単位で保存しながら計測することができます。実際の運用では、お客様にご利用いただき、1年間に線量計を回収して、測定結果報告書を提供します。線量計は、電池交換後、校正してお客様に返却するシステムです。

測定結果報告書では、月々、日々、日々の線量と特定の日の時間毎の線量をグラフ化したものをご報告します。データの取り扱いにつきましては、別途相談の上、対応させていただくようになっていきます。

この線量計は、国科学技術振興機構 (JST) の先端計測分析技術・機器開発プログラムの重点開発領域「放射線計測領域」の平成24年度新発注種に国産技術総合研究所と共同で申請して認可された期間開発型の製品です。

【線量計】

- ・小型・軽量 (サイズ: 68mm×32mm×14mm 重さ: 23g)
- ・測定対象線種: γ線
- ・電池寿命が長く、連続稼働で1年間使用可能 (但し、1日2回の程度で線量を表示した場合)
- ・PCを用いて、1年間のトレンドが取得可能
- ・携帯電話に近づけても影響なし
- ・0.1μSvから測定可能
- ・弊社大洗研究所校正施設ですべての線量計を校正済み

【表示器】

- ・総積算線量は線量計を表示器に挿入すると簡単に確認可能

【PC管理】

- ・月々、日々の線量をグラフ化することが可能
- ・総積算線量および累積日数が把握できる
- ・登録することで個々の線量計と登録した人との管理が容易

この線量計の応用例としては、線量計を装着した人の行動調査から、線量が高い地域等を特定し、避ける行動を行うことができます。また、除染効果の確認、高線量となっている場所の調査等でも活用することができます。

(担当者: 線量計測技術部 大口)



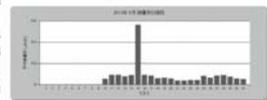
500円玉とD-シャトルの大きさの比較です



表示器にD-シャトルを差し込むだけで総積算線量を表示します



何時、どこでどの線量計を動かしたかを、専用PCで確認できます



日別線量データ: 日別の平均線量率のグラフを表示します

放射線管理区域仕事で放射線を日常的に取扱う放射線業務従事者さえ、96%の人は100μSv/月も被ばくしていない



原発事故による一般市民の被ばく

国が定めた除染の目標

除染の目標

目標

現在の年間追加被ばく線量が20ミリシーベルト以上の地域を段階的かつ迅速に縮小することを目指します。現在20ミリシーベルト未満の地域では、長期的に年間1ミリシーベルト未満になることを目指します。

※1ミリシーベルトという数値は、放射線防護措置を効果的に進めるための目安で、「これ以上被ばくと健康被害が生じる」という限度を示すものではありません。「安全」と「危険」の境目を意味するものではありません。
(出典: 低線量被ばくのリスクに関するワーキンググループ報告書)

追加被ばく線量 年間20ミリシーベルト以上の地域

その地域を段階的かつできるだけ早く縮小することを目指します。ただし、そのうち特に高い地域については、長期的な取組となる見込みです。

追加被ばく線量 年間20ミリシーベルト未満の地域

長期的に年間追加被ばく線量が1ミリシーベルト以下になることを目標とします。また平成25年8月末までに、一般の人の年間追加被ばく線量をその2年前とくらべて約50%減少させることを目指します。同様に、子ども等の年間追加被ばく線量は、学校や公園など子どもの生活環境を優先的に除染することによって約60%減少させることを目指します。

●市町村除染における拠点地の結果 (平成25年9月10日)

出典: 環境省「除染情報サイト」

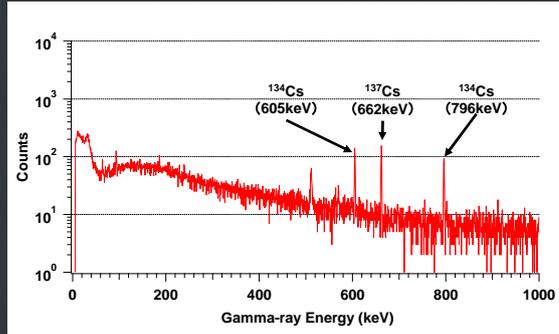
現在あるのは、

放射性セシウム

- ◆ Cs-134; 半減期約2年、 γ 線多種類
- ◆ Cs-137; 半減期約30年、 γ 線1種類

放射性ストロンチウム

- (環境中にはあまり放出されていない)
- ◆ Sr-90; 半減期約28年、 β 線のみ
 - ◆ Y-90; Sr-90の娘核種、 β 線のみ



セシウム

大気中核実験 (Cs-137のみ) や原子力事故で環境中に放出されることは知られていた

しかし、その動態についての研究はあまり進んでいなかった

Cs ◀ ▶ ◂ ◃ ▴ ▾ 55

セシウム

Cesium

原子量 132.9054519
密度 1.879g/cm³
融点 28.44°C
沸点 671°C

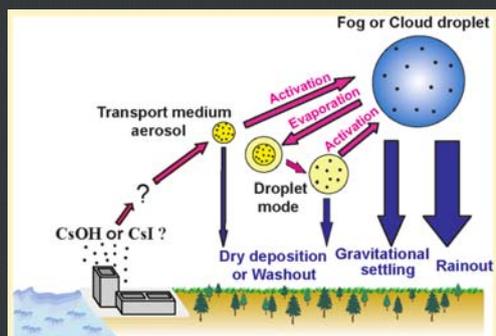
WolframAlpha

セシウムは、アルカリ金属の中で最も反応性が高いことで知られています。ポウルに水を入れてセシウムをひとつかけら投げ込むと、瞬時に爆発が起こり、水



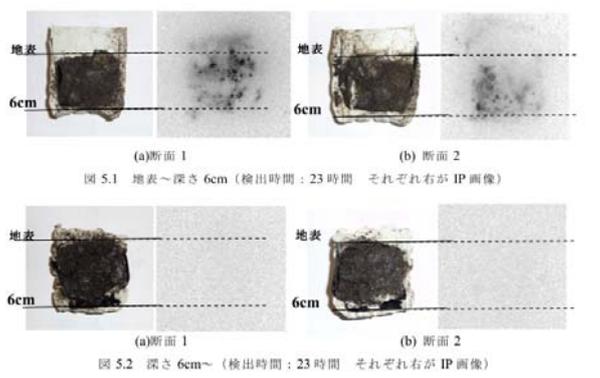
事故直後の飛散状況

粒径 $0.5\mu\text{m}$ 程度の硫酸イオンのエアロゾルに付着して拡散したと考えられている



出典: N. Kaneyasu et al., Sulfate aerosol as a potential transport medium of radiocesium from the Fukushima nuclear accident. *Environ Sci Technol.*, 46, 5720-5726. (2012)

分布状況の可視化(畑土) (2011年春)



出典: 「福島第一原発事故によって汚染された土壤中の放射性物質の除去について」、日本放射線安全管理学会放射性ヨウ素・セシウム安全対策アドホック委員会

分布状況（アスファルト） (2011年春)

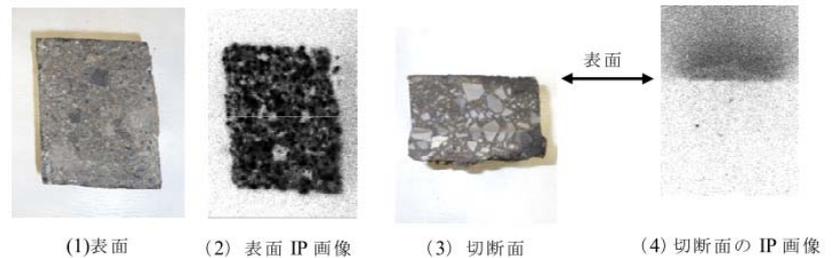
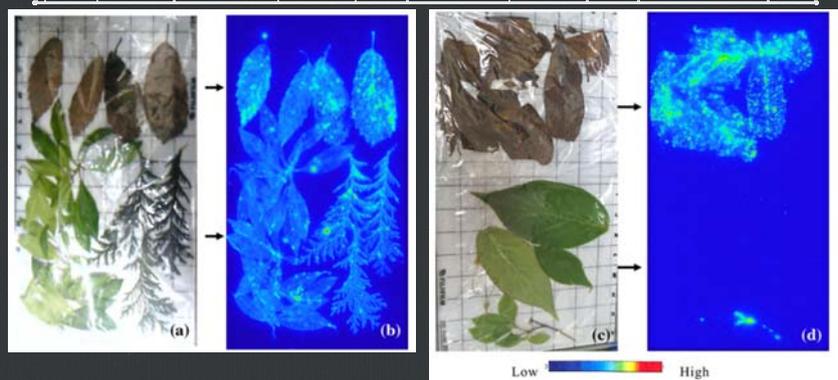


図 4.1 IP によるアスファルトの汚染分布

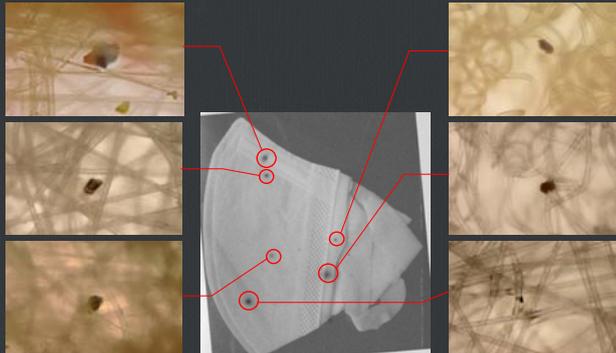
出典：「福島第一原発事故によって汚染された土壤中の放射性物質の除去について」、日本放射線安全管理学会放射性ヨウ素・セシウム安全対策アドホック委員会

分布状況（葉） (2011年春)



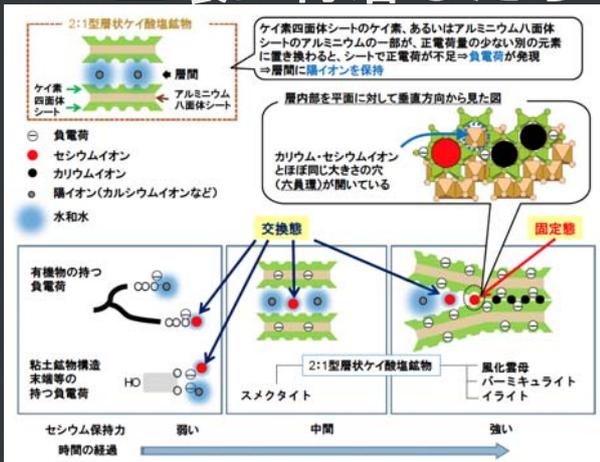
出典：E. Furuta, "Semi-quantitative analysis of leaf surface contamination by radioactivity from the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident using HPGe and imaging plate". *J Radioanal Nucl Chem* 297: 337-342. (2012)

マスクに付着した土埃 (2012年春)



- > 一般市民が着用したもの
- > S. Higaki *et al.*
 "Quantitation of Japanese cedar pollen and radiocesium adhered to nonwoven fabric masks worn by the general population", *Health Physics*, (in press)

土壤に付着したら . . .

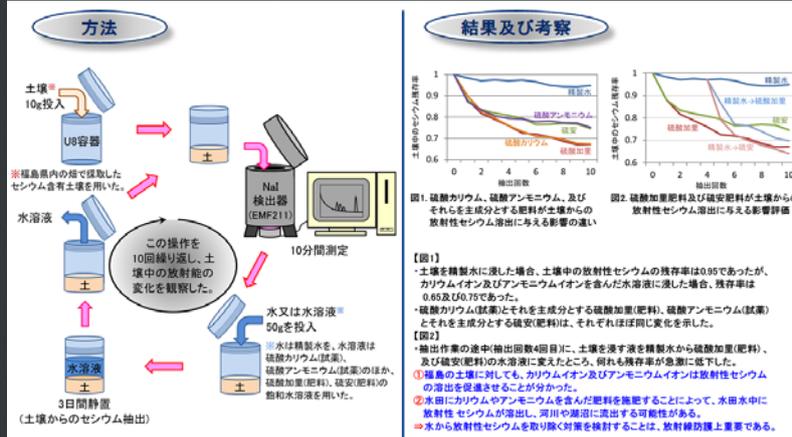


固定されて時間の経過とともに水には移行しなくなる

飲用水、農作物への移行が低く抑えられるため、内部被ばくの低減につながっているとも言える

出典：日本土壤肥料学会「原発事故関連情報(2)：セシウム(137Cs)の土壌でのふるまいと農作物への移行(2013年改訂)」、
<http://jssspn.jp/info/nuolear/es.html>

溶液に無理矢理移行させてみる



出典：廣田、捨理「汚染土壌からのセシウムイオン脱離におけるカリウムイオン及びアンモニウムイオンの影響」、日本放射線安全管理学会 第12回学術大会 (2013)

もし取れたら、その後の処理はどうする？

除染の考え方

放射性同位元素安全取扱の3原則 (3C)

- ①Contain : 閉じこめる
- ②Confine : 効果的に利用する
- ③Control : 制御できる状態で使用する

原発事故由来の放射性物質による汚染は、この3原則に反している

→ **土埃を集めて閉じこめることが除染の目標**

除染の考え方



(1) 使い捨て防護服、
長靴、マスク、ゴム手袋



(2) 防護服の装備例



(3) 高所作業に
おける推奨装備例

出典：「個人住宅を対象とするホットスポット発見/除染マニュアル」、日本放射線安全管理学会放射性ヨウ素・セシウム安全対策アドホック委員会

ホットスポットの発生場所

- 汚染された風雨や雪により直接汚染された物の自然集積
例：土埃の溜まり場、草木・苔の表面など
- 汚染された雨水中セシウムの物理・化学的な沈着
例：雨樋及びその排水口付近、排水溝やマンホールの周辺、水溜りの乾燥跡、錆鉄材、木材や切り株への吸着など
- 清掃活動、農耕作業、上水処理、下水処理による人為的なセシウム集積
例：表土や枯葉、藻類等の集積物、浄水場・下水処理場の汚泥など、及びそれらの移設物

このような場所にあった文化財は汚染される可能性がある



(1) 切り株



(2) トタン屋根の錆び部分及び板壁



(1) 側溝蓋のヘリ



(2) 高い線量率を示すヘリ

住宅の除染方法

除染方法の例 (宅地)



屋根: ブラシ洗浄



壁: 拭き取り



雨樋 (縦樋): 高圧水洗浄、吸引



コンクリート土間: 高圧水洗浄



コンクリート土間: ショットブラスト



庭: 表土の剥ぎ取り

出典: 環境省, 「除染情報サイト」

除染作業によって発生した ごみの処理

- ①草、表土、枯葉等は、拡散しないように厚手のゴミ袋（0.03mm以上のポリ袋など）等に入れる
- ②幼児等の近付かない安全な場所に一時保管する
 - 例1：穴を掘って土を掛けて一時保管する
 - 例2：施錠可能な倉庫に置いて保管する
 - 例3：例1、2の保管物の上部や周囲をコンクリートブロック等でしやへいする とより効果的である
- ③放射性セシウムの拡散を避けるため、集めた草、枯葉、土埃等は焼却しない
- ④政府又は地方自治体の処理方針が示された場合は、その方針に従って処理する（自治体によって仮置き場がないところがある）

除去した汚染物の仮置き

汚染集塵物をポリ袋に入れて地中に一時的に保管する場合、地面に穴を掘り10～20cm程度の土を掛けることによって、汚染物からの放射線量を比較的簡便に9割以上低減出来る

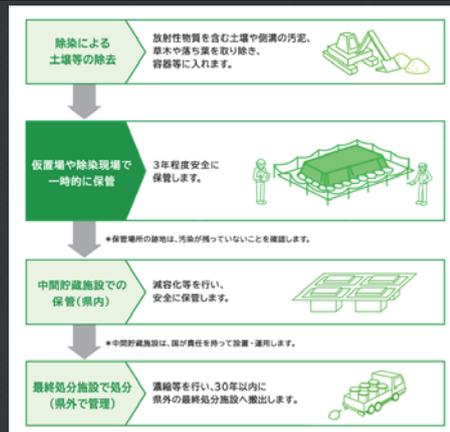
ただし、覆土の効果は土の密度により変わるので、枯葉等を含む軽い土は覆土に適さない

表3.1 埋設厚さと空間線量率の関係
測定器：NaI シンチレーションサーベイ (TCS-171アロカ社) :
BG=0.06 $\mu\text{Sv/h}$ (BG 減算行わず)

埋設厚さ (cm)	1 cm 空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	10 cm 空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	50 cm 空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	100 cm 空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
0	5.75	1.05	0.12	0.08
2	1.86	0.77	0.1	0.07
4	1.42	0.61	0.14	0.09
6	0.96	0.36	0.09	0.07
8	0.55	0.33	0.08	0.07
10	0.43	0.22	0.08	0.07
12	0.3	0.2	0.08	0.06
14	0.27	0.19	0.09	0.08
16	0.19	0.16	0.07	0.06
18	0.19	0.16	0.06	0.06
20	0.17	0.14	0.07	0.07

出典：「福島第一原発事故によって汚染された土壤中の放射性物質の除去について」、日本放射線安全管理学会 放射性ヨウ素安全対策アドホック委員会

国では：仮置き場



出典：環境省、「除染情報サイト」

参考資料

- ・ 日本放射線安全管理学会 震災関連情報
<http://www.jrsm.jp/shinsai/>
- ・ 環境省 除染情報サイト
<http://josen.env.go.jp/>