

# 放射線の基礎および建設重機等の汚染管理

川 妻 伸 二

2011年3月11日に福島第一原子力発電所事故が発生し、その復旧作業に多くの建設重機等が用いられている。建設重機等を健全に維持し最大限に活用するためにはメンテナンスは必要不可欠であるが、建設重機等も汚染しており、メンテナンス要員の放射線被ばくも課題である。

本稿では、「放射線の基礎」として放射線の人体への影響について整理し、100 mSv以下の被ばくについては放射線影響が極めて小さいことを示した。また、メンテナンス要員の放射線被ばくを低減するための「建設重機等の汚染管理」についてこれまでの事例を紹介するとともに、「汚染管理方法について」整理した。

キーワード：放射線、健康影響、放射線管理、建設重機、汚染、除染、汚染管理

## 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震のその後の大津波により、福島第一原子力発電所事故が発生し、事故復旧のために多くの建設重機、無人重機、車両およびロボット（以下、「建設重機等」という）が投入された。これらの建設重機等は放射性物質により汚染されており、メンテナンス要員の安全確保のため、建設重機等の汚染管理が重要となる。

本稿は、2011年12月5日に社団法人日本建設機械化協会合同部会で行った講演「放射線の基礎と建設機械等の汚染管理」、および2011年12月27日に開催された同協会レンタル業部会意見交換会での内容を基に、放射線の基礎および建設重機等の汚染管理を纏めたものである。

## 2. 放射線の基礎

### (1) 放射能と放射線

福島第一原子力発電所事故では、多くの放射性物質が放出された。主としてセシウム137、セシウム134、ヨウ素131の放射性物質が放出された。放射性物質は他の物質に変わる（壊変する）際に放射線を出す性質があり、この性質を放射能という。セシウム137、セシウム134、ヨウ素131は主としてベータ線のほか、ガンマ線も放出する。ベータ線はアルミニウムなどの薄い金属板で遮蔽することができるが、ガンマ線は鉛板や鉄板などにより遮蔽することができる。放射能の

強さは、一秒間に放射線を出しながら壊変する確率で表され、ベクレル (Bq) という単位が用いられる。一秒間に100回、壊変するとすれば、100 Bqである。放射性物質が出す放射線は、放射性物質によりエネルギーレベルが異なり、放射線による影響の度合いも異なる。放射線による影響の度合いを、線量といいシーベルト (Sv) という単位で表される。人体を含む物質が放射線を浴びたときでも、すべての放射線が人体や物質に吸収されるわけではなく、透過してしまう放射線もある。吸収される線量を吸収線量といい、グレイ (Gy) という単位で表される。線量あるいは吸収線量が同じであれば、放射線を出した放射性物質によらず、人体を含む物質への影響の度合いは同じである。

また、現場で放射線を計測する場合にサーベイメータが用いられ、これは1秒間あるいは1分間あたりに飛んでくる放射線の数を計測するもので、cpsまたはcpmという単位で表される。この他にも線量率 ( $\mu$  Sv/h) に変換されて表示されるものもある。

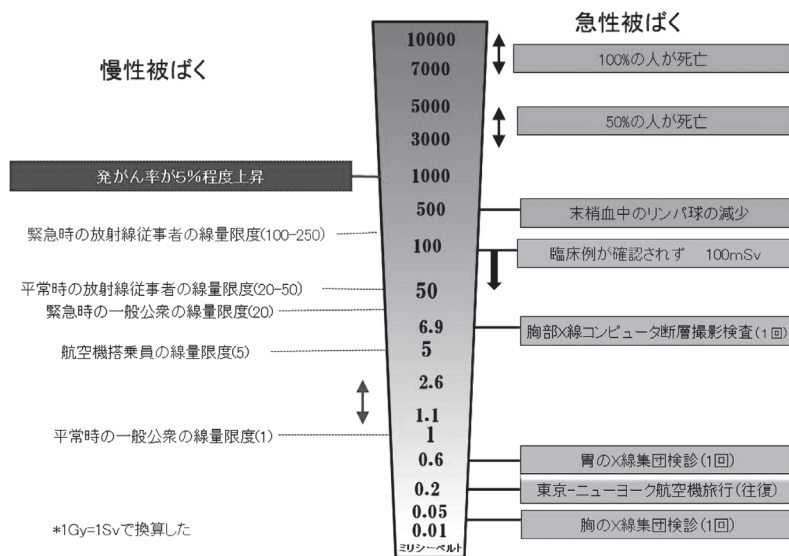
### (2) 一年間に自然界の放射線から受ける被ばく線量

自然界にも放射線は存在しており、人体は少なからず被ばくしている。その内訳は、宇宙線、大地中の放射性物質からの放射線、空気中に漂う放射性物質であるラドンガスからの放射線や、食物中に含まれる放射性物質（カリウム40）からの放射線などである。これらの放射線による被ばく線量の合計は、日本で平均的な生活をしている場合、1.1～2.6 mSv程度であり、平均で1.5 mSvである（表—1）。

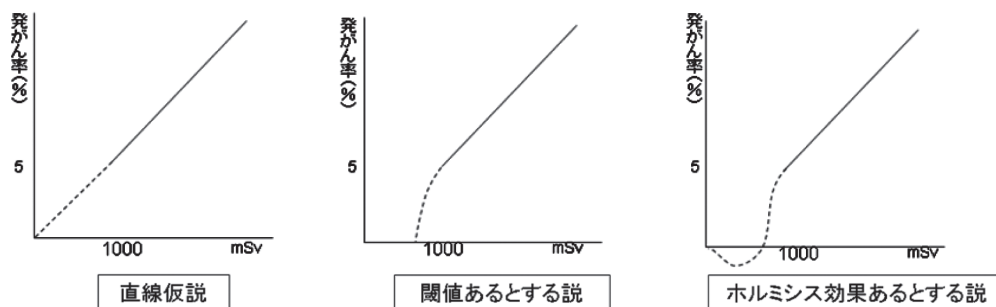
表一 日本における自然界の放射線から受ける被ばく線量<sup>1)</sup>

線源		全体 (mSv/yr)		U-238 系列 <sup>4)</sup> からの線量 (mSv/yr)			備考	
		範囲	平均	範囲	平均	主要核種		
外部被ばく	宇宙線	0.22 - 0.44 <sup>1)</sup>	0.26	-	-	-	放射線医学総合研究所 (2004) もとに算出	
	大地からの放射線	0.14 - 0.44 <sup>2)</sup>	0.30	0.026 - 0.095 <sup>2)</sup>	0.06	Bi-214, Pb-214	「日本の地球化学図」をもとに算出	
内部被ばく	ラドン吸入	0.38 - 1.3 <sup>3)</sup>	0.59	0.38 - 1.3 <sup>3)</sup>	0.59	Rn-222 <sup>5)</sup>	放射線医学総合研究所 (2004) もとに算出	
	食物等摂取	U, Th	0.13 - 0.23	0.18	0.13 - 0.23	0.18	Po-210, Pb-210	金沢大, 山本ほか (1994) 及び放射線医学総合研究所, 丸山 (1995) もとに算出
		K ほか	0.20	0.20	-	-	-	放射線医学総合研究所, 丸山 (1995), 内山 (1981) もとに算出
合計		1.1 - 2.6	1.5	0.54 - 1.7	0.83	Rn-222 <sup>5)</sup> , Po-210		

- 1) 県平均の変動幅。
- 2) 10 パーセントイルから 90 パーセントイル。
- 3) 県平均の変動幅。
- 4) U-235 系列の放射線影響は小さい。
- 5) ラドン子孫核種の影響を含む。



図一 放射線被ばくの影響



図二 低線量被ばく影響の推定方法

(3) 放射線被ばくの影響 (図一)

人体が放射線被ばくしたときの影響としては、一時に多量の放射線を被ばくしたときにおきる確定的影響と、低線量の放射線を慢性的に被ばくしたときにおきる確率的影響とがある。

確定的影響は、数 100 ~ 1000 mSv 以上の放射線を一時に被ばくする急性被ばくの際に起きるもので、下痢、下血、白血球減少、脱毛などの特有な症状が出る。100 mSv 未満での臨床例はない。

確率的影響は、低線量放射線を継続的に被ばくする慢性的ひばくの際に起きるもので、累積被ばく線量 100 mSv あたり「がん罹患やがんによる死亡率のリスク (発がん率)」が 0.5% 程度増加するとされている。1000 mSv 以下の低線量被ばくに関する疫学的データは殆ど無い。

(4) 低線量被ばくによる確率的影響 (図二)

前節で述べたように、低線量被ばくの影響に関する

データは少なく、「1000 mSv の被ばくを受けた際に発がん性リスクが5%上昇する」というデータから推測する方法がとられている。推測する方法としては、被ばく量と発ガンリスクは比例するという「直線仮説」と、ある一定値以下では発がん性リスクは増加しないという「閾値があるとする説」と、極低線量の放射線被ばくは免疫を活性化し発がん性リスクがむしろ減少するという「ホルミシス効果があるとする説」とがある。人体への放射線影響を管理する場合は、より保守的な考え方である直線仮説が用いられる。この直線仮説により 100 mSv 被ばくすると発がん性リスクが 0.5% 上昇するとされている。

注意を要するのは、直線仮説が科学的に解明されたものではないということである。直線仮説が、より安全側であるために放射線管理に用いられているものであり、国際放射線防護委員会 (ICRP) も「直線仮説は放射線管理の目的のためにのみ用いるべきであり、すでに起こったわずかな線量の被曝についてのリスクを評価するために用いるのは適切ではない」としている<sup>2)</sup>。

1986 年 4 月 26 日に発生した旧ソビエト連邦 (現ウクライナ共和国) のチェルノブイリ原子力発電所 4 号機での事故では、乳幼児および小児の甲状腺がんが増加したことが知られている。これは、事故で大気中に放出されたヨウ素 131 が乳幼児や小児の甲状腺に蓄積する傾向があること、事故後の退避勧告が遅れたこと、ヨウ素 131 で汚染された牛乳の摂取制限が遅れたことによるものと考えられている。乳幼児や小児のみならず成人を含む住民は、セシウム 137 やセシウム 134 による内部被ばくや外部被ばくをしたと考えられるが、がん全体の発生率上昇や、死亡率上昇、非腫瘍性疾患罹患率上昇等は、25 年たっても認められていない (国連科学委員会報告書より)。25 年間のデータだけでは未だ分からないという説もある。

インド・ケララ地方は空間線量が年間平均 4 mSv、最大 70 mSv と高いが、疫学調査では他の地域に比べ

ても発がんリスクの上昇は認められていない。

三朝温泉は古くからラドン温泉として有名であるが、温泉地区の疫学調査では、発がんリスクは全国平均の 0.46 ~ 0.54 と低いとの報告もある。これに対して温泉に含まれる炭酸が胃がんの発生を抑制しているとの説もある<sup>3)</sup>。

(5) 一般公衆と放射線従事者の放射線管理

一般公衆および放射線従事者の健康に影響が出ないようにするためには、放射線管理を行い、過度の放射線被ばくを防ぐ必要がある。

一般公衆は年間の追加的な放射線被ばく線量を通常時は 1 mSv、緊急時は 20 mSv 以下にするため、放射線管理区域や警戒区域への立ち入りを制限するとともに、周辺監視区域や計画的非難区域での居住を制限することが求められる。放射線従事者は年間の追加的な放射線被ばく線量を通常時は 20 ~ 50 mSv に、緊急時は 100 mSv 以下にするため、放射線管理区域や警戒区域への立ち入りに際し、放射線防護教育、個人被ばく管理、電離放射線健康診断、放射線モニタリングなどが求められる。

(6) 汚染された建設重機によるメンテナンス要員の被ばく量の試算

本項では、汚染された建設重機をメンテナンスする際のメンテナンス要員の被ばく線量を推定するため、汚染された建設重機による空間線量を試算する。現在福島第一原子力発電所事故に伴う警戒区域からのスクリーニングレベル (2012 年 4 月 1 日現在) と同等の汚染が建設重機表面に一樣にあると仮定して試算すると 50cm 離れたところで 0.80 μSv/h、1 m 離れたところで 0.43 μSv 程度である (図-3 参照)。一日のうち 3 時間を 50 cm 離れたところで、3 時間を 1 m 離れたところで作業し、年間 200 日作業し続けたとして、0.74 mSv 程度となる。

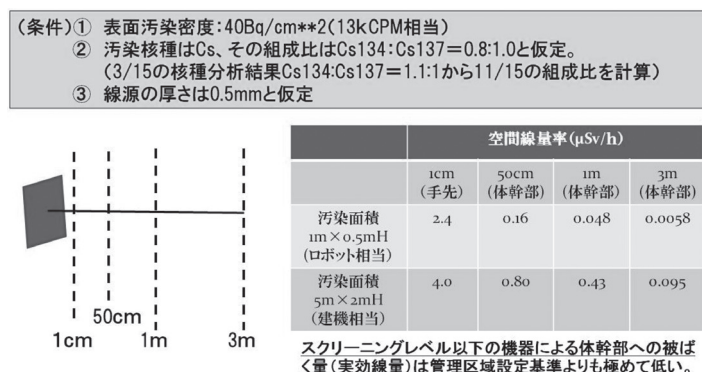


図-3 スクリーニングした建設重機等によるメンテナンスの被ばく線量の試算

### (7) 被ばく低減の基本と汚染管理の重要性

福島第一原子力発電所で使用した建設重機などの中には、汚染レベルが高く容易にスクリーニングして警戒区域外に持ち出せないものも多く存在する。これらの重機についてはメンテナンスをしないと危険な状態で使用することになる恐れがあるほか、故障すると使えなくなり、廃棄物となってしまう。建設重機を有効に使い安全を確保しながら事故復旧を推進するためにも、建設重機等のメンテナンスは重要で、そのための建設重機等の汚染管理（除染）は喫緊の課題といえる。

## 3. 建設重機の汚染管理

### (1) ロボットコントロール車の汚染調査の事例

JAEAのロボットコントロール車1（RC-1）は、米国製ロボットTALONや放射線計測機器等を搭載して、2011年5月1日から福島第一原子力発電所構内に投入されている（写真—1）。車検や搭載機器の整備のため、2011年7月23日から24日に汚染検査と除染を行った。



写真—1 ロボットコントロール車1（RC-1）

車体外表面では、タイヤや泥除けが車体と比べ高く、1.5～6.4 kcpmであった。車体内部では、荷台はビニールで養生しておりその表面で1.4～3.0 kcpmであったが、運転席座席では数 kcpm程度、床カーペット（起毛マット）上では30～95 kcpmと高い値を示した。これは、運転者の放射線防護服や靴に同伴して汚染された粉塵や泥砂が持ち込まれたものと推測される。床マットを剥いで再測定した結果、バックグラウンド（1～2 kcpm）レベルに下がった。

これらから、車体内部の汚染も相当量あり、可能な限りビニール等で養生し、保守点検前に、これら養生ビニールを交換することで汚染を低く保つことが可能と考えられる。

### (2) 遠隔重機の汚染調査と除染事例

3号機原子炉建屋の水素爆発により、大物搬入口付近に飛散した瓦礫等の撤去に、スウェーデン製の無人重機BROKK90（写真—2）一台、BROKK330D二台とBROKK800D（写真—3）一台が用いられた。これら遠隔重機は作業により汚染していたため、高圧水洗浄による除染が行われたが、除染後の放射線量は100 kcpmを上回っていた。そのため、汚染状況等の調査を行った。

汚染調査の結果、クローラー、スプロケット、ツール部、底部の放射線量が高かった。クローラー、スプロケット、ツール部はクエン酸をしみこませた紙タオルでの拭き取りを試みたが、拭き取った後の紙タオルの放射線量は高くなく、油污れや赤錆があることが確認された。底部は拭き取る際に、粉塵や砂等が残っていることが確認された。

以上より、これらの部位は、汚染したコンクリート粉などが油污れや赤錆内に取り込まれていたり、高圧スプレイ水が十分にかかっていなかったことによるものと推測される。

これらの遠隔重機は更なる水洗浄、洗剤による油污れ落とし、ワイヤーブラシやサンダーによる錆落としを行った結果、線量を落とすことができた（写真—4,5）。

一方、汚染検査や除染の過程で、ラジエーター等に高圧水を掛けてしまうとラジエーターのフィン部が変形し



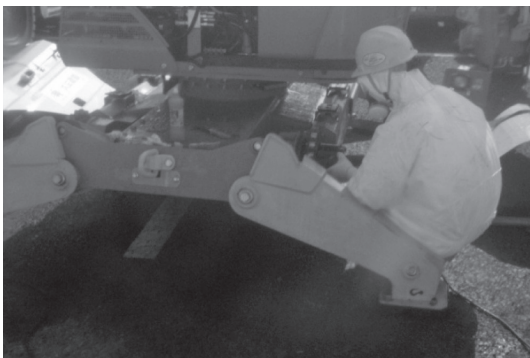
写真—2 BROKK90



写真—3 BROKK800D



写真一4 BROKK330Dの除染作業



写真一5 BROKK330Dのスプロケット部の除染作業

てしまい、内部にスプレー水が掛からなくなるばかりか、ラジエーターとしても機能しなくなることが懸念される。

さらに、汚染調査や除染を行う作業場所のバックグラウンドレベルが高いと、除染により放射線量が落ちたのか否かの判断ができないことが課題として摘出された。放射線測定器の一種であるGM管に鉛シートを何重かに巻きつけ、指向性を持たせることで、測定したい部位の放射線量のある程度は測れることもわかった。

#### 4. まとめ

これまでの知見から、建設重機等の汚染管理についてまとめると以下のようになる。

- ・事故発生（爆発）後投入した建設重機等の汚染は、放射性セシウムが微細な塵埃、コンクリート粉、土壌等の粉体に吸着したものが付着したもの（粉体汚染）が主と推測され、粉体と接触する部位（タイヤ、クローラー、泥除け、底部）等が高い傾向にある。
- ・事故発生（爆発）前からサイト内にあった建設機械等は、上記の他放射性セシウムが塗装面に吸着した

（化学的汚染）可能性もある。

- ・油污れや、赤さび部には汚染が特に高いものがある。
- ・シートやカーペットには操作員の衣服や靴等で運ばれた粉体を取り込まれていて線量が高い。
- ・建設機械等の除染は高圧スプレーも有効。狭隘部や底部等はブラシや拭き取りが有効。（ラジエーター部は高圧スプレーで変形するので要注意。）
- ・シートやカーペットは撤去または（事前の）ビニール養生等が必要。
- ・油污れ部や赤さび部の除染は、洗剤や（ブラシ、サンダー、グラインダー等）機械的除染が有効。
- ・汚染廃液の飛散により雰囲気線量が上昇するので、廃液の回収処理方策の検討が必要。
- ・バックグラウンド（BG）レベルによっては、汚染（サーベイ）検査が困難。検査場所の確保または工夫（サーベイメータの鉛遮へい等）が必要。

#### 5. おわりに

現時点での、建設重機等（遠隔重機、車両、ロボット等含む）の汚染管理に関する知見は限定的である。福島第一原子力発電所事故の復旧では、現時点での知見を活用して汚染管理や除染を行うとともに、知見の蓄積と公開が重要である。関係各位の協力をお願いしたい。

建設重機等の汚染調査、除染試験に際し、大成建設(株)ならびに東京電力(株)にご協力頂いたことに感謝する。

JICMA

#### 《参考文献》

- 1) 佐藤他、「環境中ウラン濃度と環境放射線への寄与」、デコミッションング技報 第38号（2008年11月）
- 2) <http://www.denken.or.jp/jp/ldrc/study/topics/Int.html>
- 3) 柳澤「自然治癒の力 放射能泉について」Vol.53 No.6 および10より

#### 【筆者紹介】

川妻 伸二（かわつま しんじ）  
 (株)日本原子力研究開発機構  
 福島技術本部 復旧技術部  
 技術主席

