

放射性セシウムの除染方法としての  
モルクラスターオゾン水の有効性に関する意見書

日本大学歯学部総合歯学研究所  
付属放射性同位元素共同利用施設  
日本大学准教授

野口 邦和 

## 目 次

1. 福島第一原発事故と放射能汚染	
1.1 放出された放射性核種と放射エネルギー	1
1.2 放射性ストロンチウムとプルトニウムは除染の対象にはならない	3
1.3 現時点の除染の必要性	7
2. オゾンについて	12
3. モルクラスターオゾン水を用いた各種構造物除染試験結果の概要	
3.1 予備試験の結果概要	13
3.2 ラボテスト（専門的な機材・装置を使った実験室での試験）の結果の概要	18
3.3 JAEA と契約後のフィールド試験（本件実証試験）結果の概要	18
4. JAEA のモルクラスターオゾン水に対する評価	35
5. モルクラスターオゾン水を用いた除染技術に対する筆者の評価	
5.1 除染に関する緊急実施方針、JAEA の委託契約、ネイチャーズ(株)との再委託契約から見た評価のあり方	36
5.2 上記実証試験の結果の評価	37
6. JAEA の指摘しているモルクラスターオゾン水除染の評価の検討	
6.1 評価方法上の問題点	46
6.2 モルクラスターオゾン水除染技術に対する JAEA の評価の問題点	48
7. モルクラスターオゾン水を用いた除染技術の優位性	52
8. モルクラスターオゾン水を用いた除染技術の有効利用の可能性	56
9. おわりに	58

## 1. 福島第一原発事故と放射能汚染

### 1.1 放出された放射性核種と放射能

福島第一原子力発電所の炉心溶融事故（以下「福島原発事故」という）により大気中に放出された主な放射性核種は、放射性希ガス（ $^{133}\text{Xe}$ ）と放射性ヨウ素（ $^{131}\text{I}$ ,  $^{132}\text{I}$ ,  $^{133}\text{I}$ ）、放射性セシウム（ $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{136}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ）、放射性テルル（ $^{129\text{m}}\text{Te}$ ,  $^{132}\text{Te}$ ）である。大気放出量は日本原子力研究開発機構（JAEA）などの研究グループにより、1～3号機の炉心損傷の程度から放射性核種別に推定されている。また、環境中の放射性核種濃度からも拡散シミュレーションにもとづいて逆推定されている。

2014年4月に発表された「原子放射線の影響に関する国連科学委員会」（以下英名の頭文字をとって“UNSCEAR”という）2013年報告書は、信頼性が高いと考えられる16機関・研究グループの推定値を取りまとめている。その結果の概要を表1・1に示した。これによれば福島原発事故による大気放出量は、ヨウ素131（ $^{131}\text{I}$ ）が100～500ペタベクレル（1ペタベクレル=1PBq= $10^{15}$ ベクレル=1000兆ベクレル）、セシウム137（ $^{137}\text{Cs}$ ）が6～20ペタベクレルの範囲内にある。 $^{131}\text{I}$ と $^{137}\text{Cs}$ の大気放出量は、原子炉緊急停止（地震発生）時点における1～3号機の原子炉内総放射能量のそれぞれ2～8%と1～3%になると推定されている。1986年4月のチェルノブイリ原子力発電所の暴走事故における大気放出量と比較すると、 $^{131}\text{I}$ は約10分の1、 $^{137}\text{Cs}$ は約5分の1と推定されている。

海洋への直接放出量は $^{131}\text{I}$ が約10～20ペタベクレル、 $^{137}\text{Cs}$ が3～6ペタベクレル、海洋への間接放出量は $^{131}\text{I}$ が60～100ペタベクレル、 $^{137}\text{Cs}$ が5～8ペタベクレルと推定されている。

表1・1 福島原発事故による環境への放出量（単位：ペタベクレル=PBq=1000兆ベクレル）

核種	原子炉内放射能	大気放出量	海洋放出量	
			直接的	間接的
$^{131}\text{I}$	6,000	100～500	約10～20	60～100
$^{137}\text{Cs}$	700	6～20	3～6	5～8

（注）UNSCEAR2013年報告書の附属書Aの表3より転載した。海洋放出量のうち「直接的」は事故直後に直接流出したもの、「間接的」とは事故直後に大気中に放出され、その後海洋に降下・沈着したものをいう。

放射性セシウムの大気中への放出は事故直後から現在まで続いているが、大部分は2011年3月末または4月初めまでに大気中に放出されたと推定されている。放出量の範囲しか示されていない表1・1からは分かりにくいですが、大気放出量の2～3割が日本の陸域、7～8割が海洋に降下・沈着したと東京海洋大学大学院教授の神田穰太らの研究グループにより

推定されている。放射性セシウムの海洋への放出も事故直後から現在まで続いているが、2011年6月以降の放出量は、事故直後から同年5月末までの放出量の約1%と推定されている。大気から陸域に降下・沈着した放射性セシウムの一部は、現在も河川を經由して海洋に流出している。

福島原発事故当初に大気放出された主な放射性核種と大気放出量、原子炉緊急停止（地震発生）時の原子炉内放射エネルギーに対する大気放出量の割合を表1・2に示した。事故後3カ月間の初期被ばく（甲状腺の内部被ばく）線源としては主に $^{131}\text{I}$ が、 $^{131}\text{I}$ がほぼ消滅した3カ月後から10年間の中期的被ばく線源としては $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ が、10年後以降の長期的被ばく線源としては $^{137}\text{Cs}$ が重要な核種となる。事故直後における $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ 放射能比はほぼ1であった。チェルノブイリ原発事故では、 $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ 放射能比はほぼ2であった。これは福島第一原発1～3号機の原子炉が長期間運転した、燃焼度の高い状態で事故を起こしたことを意味する。

表 1・2 大気中に放出された主な核種

核種	半減期	大気放出量 (PBq)	原子炉内放射能に対する割合(%)
$^{132}\text{Te}$	3.204 日	28.5	0.33
$^{131}\text{I}$	8.02070 日	124	2.1
$^{132}\text{I}$	2.295 時間	28.5	0.32
$^{133}\text{I}$	20.8 時間	9.56	0.07
$^{133}\text{Xe}$	5.2475 日	7,320	61
$^{134}\text{Cs}$	2.0648 年	9.01	1.3
$^{135}\text{Cs}$	13.16 日	1.77	0.81
$^{137}\text{Cs}$	30.1671 年	8.83	1.3

(注) UNSCEAR2013年報告書の附属書Aの表B4に、半減期の項目を筆者が挿入して作成した。

高エネルギー加速器研究機構（福島第一原発から南に165km）、日本原子力研究開発機構（同115km）、日本分析センター（同210km）などで事故直後に観測された空間線量率（放射性核種別）を見ると、表1・2に記された放射性核種が主に大気中に放出されたことが分かる。参考までに日本分析センターが2011年3月に測定した空間線量率のグラクを図1・1にした。これらのうち短半減期核種は既に消滅しており、環境に現存するのはほぼ

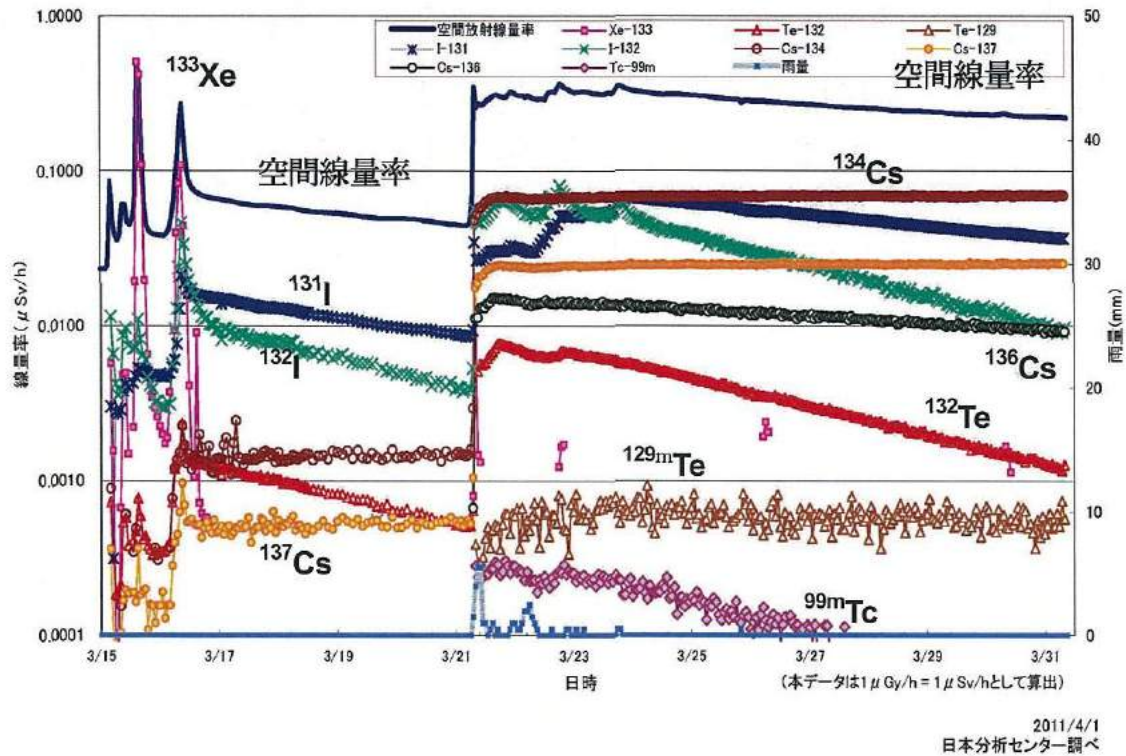


図 1.1 日本分析センターによる空間線量率の測定結果 (2011 年 3 月 15 日～31 日)

$^{137}\text{Cs}$  と  $^{134}\text{Cs}$  に限られる。したがって、陸域において除染の対象となる放射性核種は  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{134}\text{Cs}$  に限られるとよい。

なお、チェルノブイリ原発事故では原子炉が暴走した結果、原子炉容器に相当する圧力管が破壊され、そもそも格納容器がなく、かつ減速材の黒鉛が 10 日間にわたって燃え続けたために、放射性希ガス、揮発性の放射性ヨウ素、放射性セシウム、放射性テルルに加え、本来なら大気中に放出されにくい放射性ストロンチウム ( $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) が約 4.5%、プルトニウム ( $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ) が約 2.0% など、多くの放射性核種が原子炉内の平均 3~4% も大気中に放出された。チェルノブイリ原発事故と主に放射性希ガスと揮発性核種が大気中に放出された福島原発事故とのこうした違いを、軽視すべきではない。

福島原発事故により大気放出されたストロンチウム 90 ( $^{90}\text{Sr}$ ) は、チェルノブイリ原発事故の 70 分の 1、プルトニウムは数千分の 1 と推定されている。次節で述べるように、福島原発事故では  $^{90}\text{Sr}$  やプルトニウムの陸域の汚染は問題にならない。国際原子力事象評価尺度 (以下英名の頭文字をとって “INES” という) で同じ「レベル 7」という評価であっても、大気中に主に放出された放射性核種の種類も量もかなり異なるのである。

## 1.2 放射性ストロンチウムとプルトニウムは除染の対象にはならない

中長期にわたる汚染源としては長半減期の放射性核種が問題になる。福島原発事故の場合、それは  $^{137}\text{Cs}$  (半減期 30.1671 年) と  $^{134}\text{Cs}$  (同 2.0648 年) に限られる。一方、長半

減期とはいえ  $^{90}\text{Sr}$  (同 28.79 年) とプルトニウムは大気放出量がそもそも少なかったために問題とはならない。

福島原発事故後の 2011 年 9 月、文部科学省は同年 6 月に国立大学などの研究者らが福島第一原発から半径 80 km 圏内の 100 箇所採取した表土 (深さ 0~5 cm) の放射性ストロンチウムとプルトニウムの分析結果を発表した。分析は日本分析センターが行ったものである。この  $^{90}\text{Sr}$  と既に発表されている  $^{137}\text{Cs}$  の関係を図 1・2 に示した。図 1・2 は、2012 年 9 月に文部科学省が発表したものであり、図中の書き込みも含めすべて同省が行ったものである。図 1・2 は横軸と縦軸の両軸が対数目盛のグラフ (両対数グラフ) であるため、グラフの見方を簡単に紹介する。図 1・2 中の  $y=0.001x$  の直線上に実測値があると、 $^{90}\text{Sr}$  は  $^{137}\text{Cs}$  のちょうど 1000 分の 1 の沈着量であることを意味する。この直線より下に実測値があると、 $^{90}\text{Sr}$  は  $^{137}\text{Cs}$  の 1000 分の 1 より少ない沈着量、反対にこの直線より上に実測値があると、 $^{90}\text{Sr}$  は  $^{137}\text{Cs}$  の 1000 分の 1 より多い沈着量であることを意味する。

図 1・2 を見ると、 $^{137}\text{Cs}$  沈着量が 400 万~800 万  $\text{Bq}/\text{m}^2$  という非常に高い汚染地域 (浪江町や大熊町など福島第一原発近傍) では、 $^{90}\text{Sr}$  は  $^{137}\text{Cs}$  の 1000 分の 1~6000 分の 1 の沈着量であることが分かる。 $^{137}\text{Cs}$  沈着量が 40 万~800 万  $\text{Bq}/\text{m}^2$  の範囲の地域では、実測

別紙9

第1次分布状況調査におけるセシウム137に対するストロンチウム90の沈着量の比率

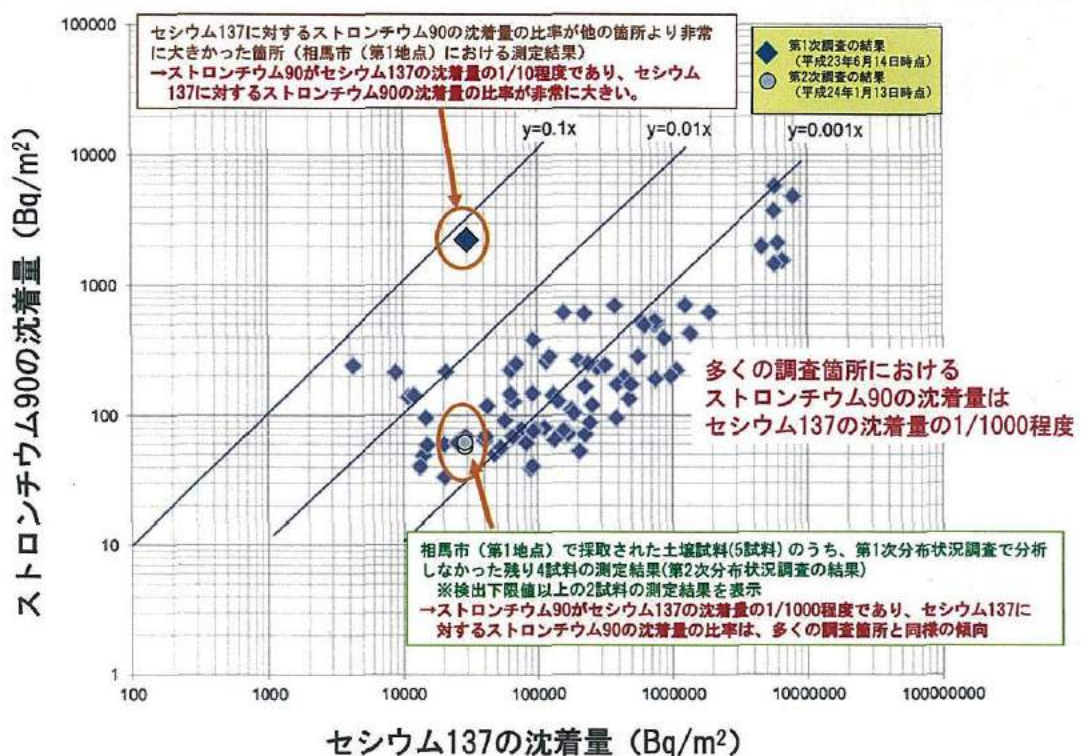


図 1・2 福島第一原発の 80km 圏内の表土の  $^{137}\text{Cs}$  沈着量と  $^{90}\text{Sr}$  沈着量 (作成: 文部科学省)

はすべて  $y=0.001x$  の直線より下に位置する。ところが  $^{137}\text{Cs}$  沈着量が 4 万～40 万  $\text{Bq}/\text{m}^2$  の範囲の地域になると、実測値は  $y=0.001x$  の直線の上下に位置する。遂には  $^{137}\text{Cs}$  沈着量が 4 万  $\text{Bq}/\text{m}^2$  以下の地域（福島第一原発から遠距離）になると、実測値はすべて  $y=0.001x$  の直線の上に位置するようになる。 $y=0.01x$  の直線より上に位置する実測値もいくつか現れる。

揮発性元素と不揮発性元素の中間の特性を有する元素であるストロンチウムは、揮発性元素であるセシウムより遠くまで運ばれにくいと考えられる。要するに、遠距離になるほど  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  比は低くならなければならない。ところが実測値はそうではなく、半径 80 km 圏内では遠距離になるほど  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  比が高くなる。これは何を意味するのか。

$^{137}\text{Cs}$  沈着量が数十万  $\text{Bq}/\text{m}^2$  以下では、筆者には  $^{137}\text{Cs}$  沈着量とは無関係に  $^{90}\text{Sr}$  沈着量はほぼ一定であるように見える。文部科学省はこの点について何も述べていないが筆者は、原因は過去の大気圏内核実験による放射性降下物の影響によるものであると考える。

この点を確認するため、次のような解析を行った。福島原発事故の起こる前年 2010 年に文部科学省が発表した日本国内 48 地点の表土中の  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  の放射能濃度 ( $\text{Bq}/\text{kg}$ ) を用い、 $^{90}\text{Sr}$  が検出限界以下であった 8 地点を除く 40 地点の  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  の平均濃度をそれぞれ算出し、それを 65 倍して沈着量 ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) とした。文部科学省によれば、土壤密度を  $1.3 \text{ g}/\text{cm}^3$  とすれば、深さ 5 cm までの表土の質量は  $1 \text{ m}^2$  当たり 65 kg となるため、放射能濃度 ( $\text{Bq}/\text{kg}$ ) を 65 倍すると沈着量 ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) に単位を変換できる。こうして求めた大気圏内核実験由来の  $^{137}\text{Cs}$  沈着量と  $^{90}\text{Sr}$  沈着量はそれぞれ  $831 \text{ Bq}/\text{m}^2$  と  $109 \text{ Bq}/\text{m}^2$  となる。図 1・2 中の右端の 7 つの実測値は福島原発事故の影響を強く受けており大気圏内核実験の影響を無視できると仮定すれば、福島原発事故による  $^{90}\text{Sr}$  沈着量は  $^{137}\text{Cs}$  沈着量の平均 2000 分の 1 ほどになる。こうして求めたのが図 1・3 中の○印で結んだ曲線である。一方、2010 年の福島市の表土中の  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  の放射能濃度 ( $\text{Bq}/\text{kg}$ ) から同様に沈着量 ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) を算出すると、 $^{137}\text{Cs}$  沈着量と  $^{90}\text{Sr}$  沈着量はそれぞれ  $1040 \text{ Bq}/\text{m}^2$  と  $150 \text{ Bq}/\text{m}^2$  となる。これを使って求めたのが図 1・3 中の□印で結んだ曲線である。図 1・3 中の菱形印 (青色) は、図 1・2 中の菱形印 (青色) すなわち実測値をそのままコピーしたものである。いずれの曲線も図 1・3 (または図 1・2) 中の実測値をかなり良く再現できているといえる。

この解析結果から明らかなように、 $^{137}\text{Cs}$  沈着量が数十万  $\text{Bq}/\text{m}^2$  以下では、検出された  $^{90}\text{Sr}$  沈着量のほとんどは過去の大気圏内核実験由来（厳密に表現するならば、過去の大気圏内核実験とチェルノブイリ原発事故由来）の放射性降下物であることが分かる。福島原発事故では、陸域では福島第一原発のごく近傍を除けば、 $^{90}\text{Sr}$  沈着量は過去の大気圏内核実験由来の  $^{90}\text{Sr}$  沈着量と大きな違いはなく、除染の対象にはならないと考えてよい。一方、海洋では陸域とは異なる可能性がある。すなわち大気放出量には揮発性であるか否かが強く影響すると推測されるのに対し、海洋流出量には可溶性であるか否かが強く影響すると推測されるからである。しかし、陸域の汚染と異なり、海洋の汚染はそもそも除染の対象

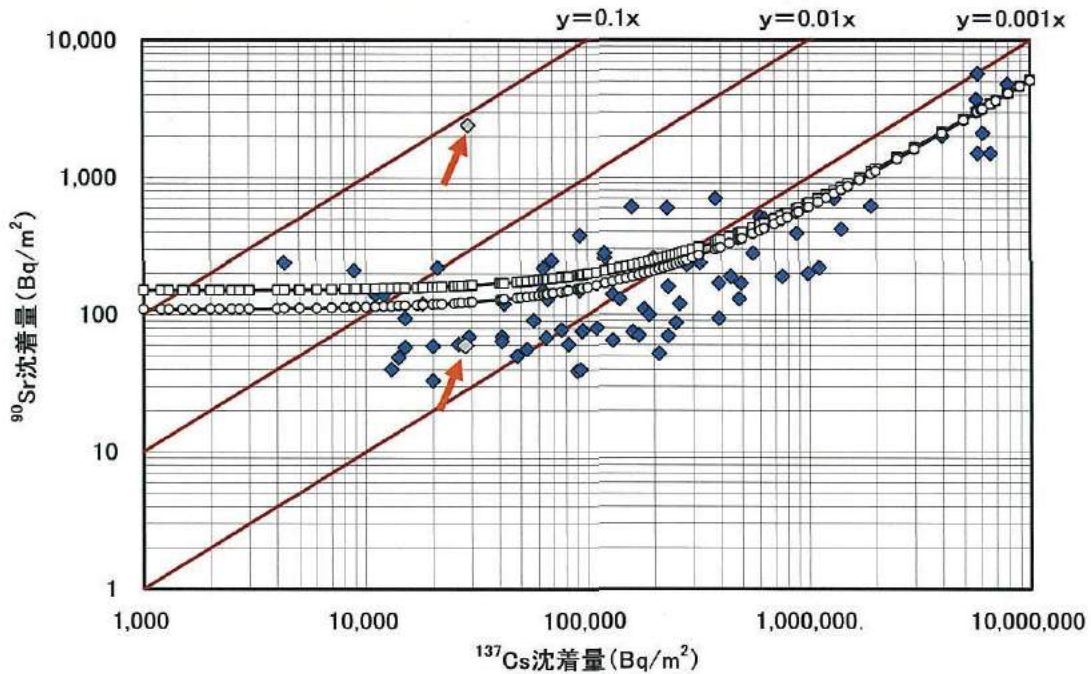


図 1・3 福島第一原発の 80km 圏内の表土の  $^{137}\text{Cs}$  沈着量と  $^{90}\text{Sr}$  沈着量 (筆者による解析 (○印と□印の曲線) を含む)

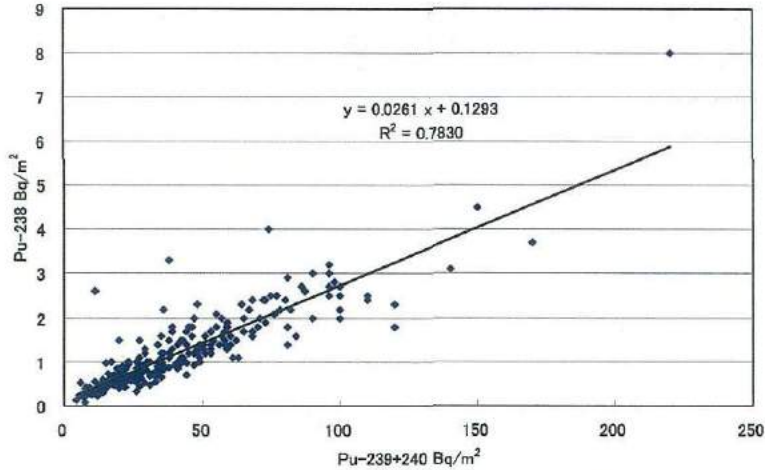
にはならないため、ここではこれ以上は立ち入ることはしない。

次に、プルトニウムについて検討する。2011 年 9 月に文部科学省が発表した資料によれば、福島第一原発の半径 80 km 圏内で採取された表土から検出された沈着量の最大値は、 $^{238}\text{Pu}$  (半減期 87.7 年) が  $4.0 \text{ Bq/m}^2$  (浪江町)、 $^{239+240}\text{Pu}$  (同  $^{239}\text{Pu}$ : 2 万 4110 年、 $^{240}\text{Pu}$ : 6564 年) が  $15 \text{ Bq/m}^2$  (南相馬市) である。異なる放射性核種であるにも拘わらず  $^{239+240}\text{Pu}$  と表記するのは、両放射性核種の放出するアルファ線のエネルギーが非常に近いために通常のアルファ線測定では識別できないからである。このため通常は  $^{239}\text{Pu}$  と  $^{240}\text{Pu}$  を足し算した合計の放射能という意味で  $^{239+240}\text{Pu}$  と表記する。 $^{238}\text{Pu}$  と  $^{239+240}\text{Pu}$  は、過去の大気圏内核実験由来の放射性降下物にも含まれている。

図 1・4 は、文部科学省による平成 11 年度から平成 20 年度まで福島原発事故前の 10 年間の「環境放射能水準調査」結果の中のプルトニウムについて、横軸に  $^{239+240}\text{Pu}$  沈着量、縦軸に  $^{238}\text{Pu}$  沈着量をとって文部科学省が書き込みを含めて作成したものである。図 1・4 によれば、同期間における 1054 表土試料の平均値と範囲は、 $^{238}\text{Pu}$  が  $0.498 \text{ Bq/m}^2$  (範囲: 検出限界値~ $8.0 \text{ Bq/m}^2$ )、 $^{239+240}\text{Pu}$  が  $17.8 \text{ Bq/m}^2$  (範囲: 検出限界値~ $220 \text{ Bq/m}^2$ ) である。前述したように、福島第一原発の半径 80 km 圏内で採取された表土の最大値は、 $^{238}\text{Pu}$  が  $4.0 \text{ Bq/m}^2$  (浪江町)、 $^{239+240}\text{Pu}$  が  $15 \text{ Bq/m}^2$  (南相馬市) である。福島原発事故前の 10 年間の大気圏内核実験由来の  $^{239+240}\text{Pu}$  の沈着量の平均値は、福島第一原発の半径 80km 圏



●平成11～20年度までの環境放射能水準調査の結果



→平成11～20年度までの環境放射能水準調査において、採取された土壌1,054試料のうち、プルトニウム238、プルトニウム239+240が検出された252試料について、プルトニウム239+240に対するプルトニウム238の沈着量の比率を確認したところ、全国平均で0.0261。

(参考)

- ・平成11年度から20年度の調査で採取された1,054試料の土壌濃度の平均値及び範囲:  
 プルトニウム238 : 平均値:0.498Bq/m<sup>2</sup> 範囲:0～8.0Bq/m<sup>2</sup>  
 プルトニウム239+240 : 平均値:17.8Bq/m<sup>2</sup> 範囲:0～220Bq/m<sup>2</sup>

図1・4 日本全国における表土の  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  沈着量比 (作成: 文部科学省)

内の表土の最大値よりも高いのである。

図1・4によれば、大気圏内核実験由来の  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  比は全国平均で0.0261である。核分裂連鎖反応の継続時間が1000万分の1秒以下の大気圏内核実験とは異なり、原子炉では核分裂連鎖反応が長時間行われる。この結果、ウランから生成するプルトニウムの同位体組成や  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  比は、大気圏内核実験と原子炉ではかなり異なる。一般に、核分裂連鎖反応の継続時間が短いと  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  比は小さく、原子炉のように核分裂連鎖反応の継続時間が長いと  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  比は大きくなる。文部科学省によれば、大気圏内核実験由来の  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  比の範囲は0.015～0.12であるというが、この範囲を大きく超える実測値が福島第一原発近傍の5つの表土から検出されている。また、同原発近傍の1つの表土からは、 $^{238}\text{Pu}$ のみ ( $^{239+240}\text{Pu}$ は検出限界以下) が検出されている。したがって、福島原発事故によりプルトニウムが大気中に放出されたことは間違いのないといえ、 $^{239+240}\text{Pu}$ 沈着量は同原発近傍といえども過去の大気圏内核実験由来のプルトニウム沈着量と大きな違いはなく、 $^{90}\text{Sr}$ の場合同様にプルトニウムも無視でき、除染の対象にはならないといえる。

### 1.3 現時点の除染の必要性

福島原発事故によって汚染された福島県内外の広大な地域の除染事業は現在、放射性物

質汚染対処特措法（正式名称：平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法）にもとづいて実施されている。世界に類例のない大規模な除染事業である。同法は、国がその地域内にある廃棄物の収集、運搬、保管および処分を実施する必要がある地域を「汚染廃棄物対策地域」、国が土壌等の除染等の措置を実施する必要がある地域を「除染特別地域」、当該市町村等がその地域内の事故由来放射性物質による汚染の状況について重点的に調査・測定することが必要な地域を「汚染状況重点調査地域」として、環境大臣が指定できるとしている。「汚染廃棄物対策地域」と「除染特別地域」は同一地域であり、旧警戒区域（福島第一原発から 20 km 圏内の陸域）と旧計画的避難区域（事故後 1 年間の追加被曝線量が 20 mSv を超えるおそれのある地域）に相当し、福島県内の 11 市町村（楢葉町、飯館村、葛尾村、浪江町、大熊町、富岡町、双葉町の全域と、田村市、南相馬市、川俣町、川内村の一部地域）が指定されている。現在は、避難指示区域の見直しにより、「避難指示解除準備区域」（年間追加被曝線量が 1～20 mSv）、「居住制限区域」（同 20～50 mSv）、「帰還困難区域」（同 50 mSv 超）に再編され、除染事業が実施されている。「汚染状況重点調査地域」は、福島県内の 40 市町村を含む 8 県 100 市町村が指定されている。要するに、福島原発近傍の「除染特別地域」に該当する 11 市町村の除染は国の直轄、その他の「汚染状況重点調査地域」に該当する市町村の除染は当該市町村の直轄で行われる。

「除染特別地域」の除染は、「帰還困難区域」については日本原子力研究開発機構（JAEA）が除染モデル実証試験を行っている。除染モデル実証試験の結果を踏まえて、国は今後の対応の方向性を検討するとしている。「避難指示解除準備区域」と「居住制限区域」については、除染事業を受注した大手ゼネコンなどの JV（ジョイント・ベンチャー＝共同企業体）が除染を行っている。「避難指示解除準備区域」については 2013 年 8 月末までに、2011 年 8 月末時点と比較して 50%低減した状態を実現させ、長期的には年 1 mSv 以下をめざす、「居住制限区域」については 2014 年 3 月末までに年 20 mSv 以下をめざすとしている。なお、暫定的な評価では、2013 年 8 月末までに 2011 年 8 月末時点の 61%低減を達成したと環境省は発表している。

「汚染状況重点調査地域」の除染は、各市町村がそれぞれ策定した除染実施計画にもとづいて行われている。中通り地方では、放射性物質汚染対処特措法が成立する前から必要に迫られ、2011 年 4～5 月以降から同年秋までの間、学校の校庭や保育園・幼稚園の園庭の除染を行った。表土のみが汚染されており、地下深く汚染されていないことが分かっていたため、表土を 5 cm 剥ぎ取って、校庭や園庭の中央や隅に穴を掘って埋めた。校庭と園庭から除染したのは、各自治体ともに子どもの生活圏の除染を最優先に考えたからである。2011 年秋以降、子どもを含む不特定多数の人びとが利用する公園や公共建物の除染、次いで宅地、農地、道路・街路樹などの除染が進められている。農地のうち水田については、セシウムと化学的性質のよく似たカリウム肥料を蒔いたり、セシウムを強く吸着するゼオライトを蒔いたりして、経根吸収を抑制する対策が取られている。畑地では反転耕や深耕

も行われている。森林の除染も行う計画であるが、現在まで除染されたのは住宅や生活圏との距離が近い一部の場所に限定されている。森林には人が居住しているわけではないため除染の優先順位が低く、まだ十分に手を着けられないでいる状態にある。

いずれにせよ福島原発事故により汚染された陸域の除染の効果の成否は、放射性セシウムを効率よく除染できる方法を如何に研究・開発し選択するかにかかっていると見える。事故直後から20年間の $^{137}\text{Cs}$ と $^{134}\text{Cs}$ の放射能（相対値）と線量率（相対値，空間線量率であろうと空気吸収線量率であろうとどちらでもよい）の経時変化を図1.5~1.6にそれぞれ示した。

$^{137}\text{Cs}$ と $^{134}\text{Cs}$ の放射能割合は、事故直後50:50割合だったが、事故5年後にはおよそ83:17、10年後にはおよそ96:4、20年後99.8:0.2の割合になる。一方、 $^{137}\text{Cs}$ と $^{134}\text{Cs}$ の線量率割合は、事故直後27:73の割合だったが、事故3年後におよそ50:50になり、事故5年後にはおよそ64:36、10年後にはおよそ90:10、20年後99.5:0.5の割合になる。また、“Total”線量率は、3年後に半減し、7年後に3割、13年後に2割にまで低減する。図1.5~1.6は、 $^{137}\text{Cs}$ と $^{134}\text{Cs}$ の放射性壊変の半減期から筆者が計算したものであるが、実際には放射性壊変以外にも降雨・降雪などによる流出（ウェザリング効果という）による減少も加わるため、もっと速いスピードで減少するはずである。実際、筆者が放射能リスク管理アドバイザーを務める福島県本宮市の妊婦と15歳以下の子ども4500~5000人を2011年9月からガラスバッジ（蛍光ガラス線量計）により外部被ばく線量（

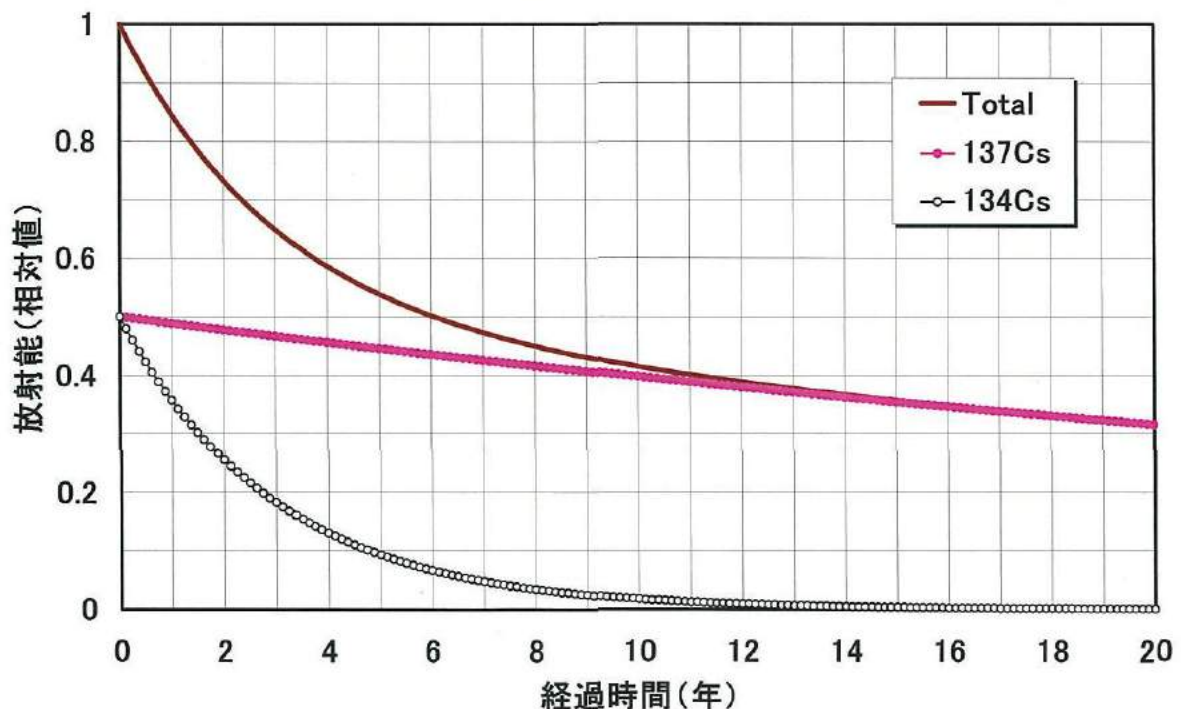


図1.5 福島原発事故で大気中に放出された放射性セシウムの放射能の経時変化

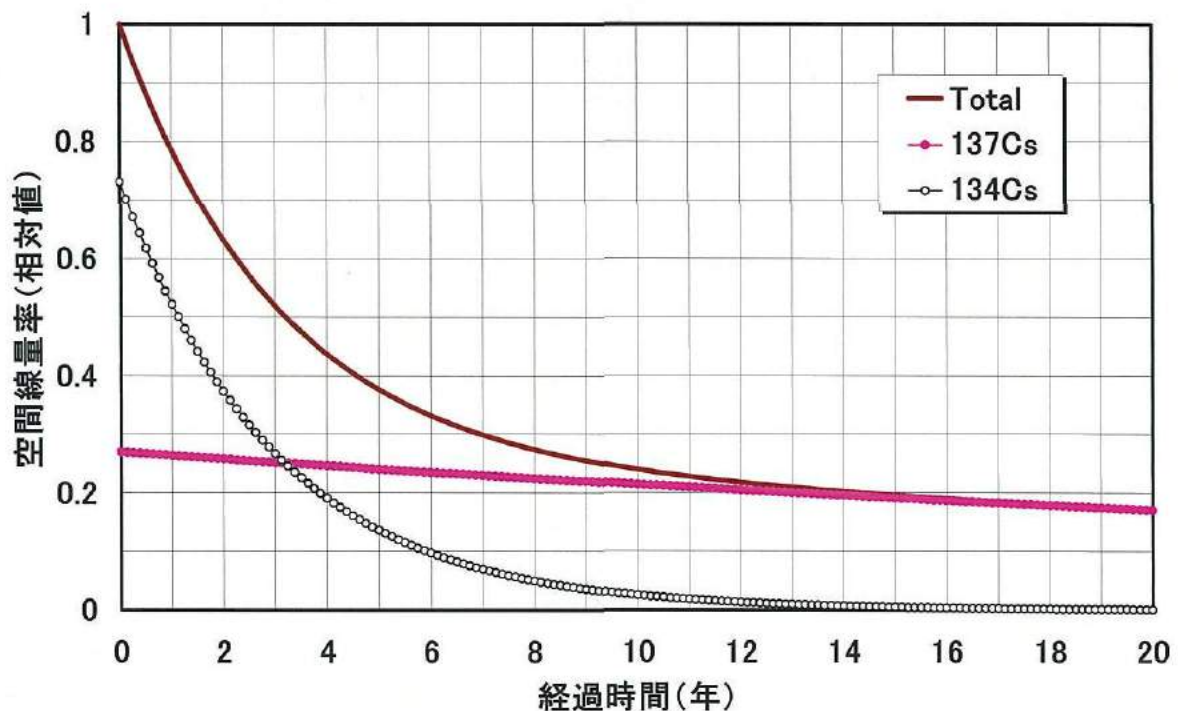


図 1-6 福島原発事故で大気中に放出された放射性セシウムの線量率の経時変化

実効線量) の測定をずっと行っているが、その測定結果によれば、除染を行わなくてもおよそ 2 年で半減しており、図 1-6 で示した曲線 (たとえば事故直後と比べると事故 3 年後に線量が半減する) よりも速く減少している。

図 1-7 は、放射性セシウムによる空間線量率を、除染前 (茶色の曲線、図 1-6 中の“Total”に相当する) と除染により除染前の 50% に低減 (赤色曲線) させた場合とで比較したものである。仮に事故 2 年後 (図中の①の時期) に除染を行って仮に 50% の線量率に低減させた場合、①の直下の青色矢印の部分で空間線量率は半減し、以後、赤線の空間線量率の曲線をたどることになる。一方、事故 6 年後 (図中の②の時期) に除染を行って仮に 50% の線量率に低減させた場合は、②の直下の青色矢印の部分で空間線量率は半減し、以後、赤線の空間線量率の曲線をたどることになる。図 1-7 から明らかなように、事故 2 年後に除染を行えば、事故 6 年後に除染を行う場合よりも青色縦線部分の面積すなわち被ばく量が減ることになる。したがって、除染を行うのであれば、可能な限り事故後の早い時期に居住地域を除染する方が住民の被ばく線量の低減に繋がることになる。また、非放射性的な通常汚染物の洗浄 (いわゆる洗濯のこと) と同様に、一般に汚染後の経過時間が長くなるほど汚れがこびりついて除染しにくくなることからいっても、除染は可能な限り事故後の早い時期に行われるべきである。

一方で、山岳地方など人が居住していない地域については、除染を急いだからといって

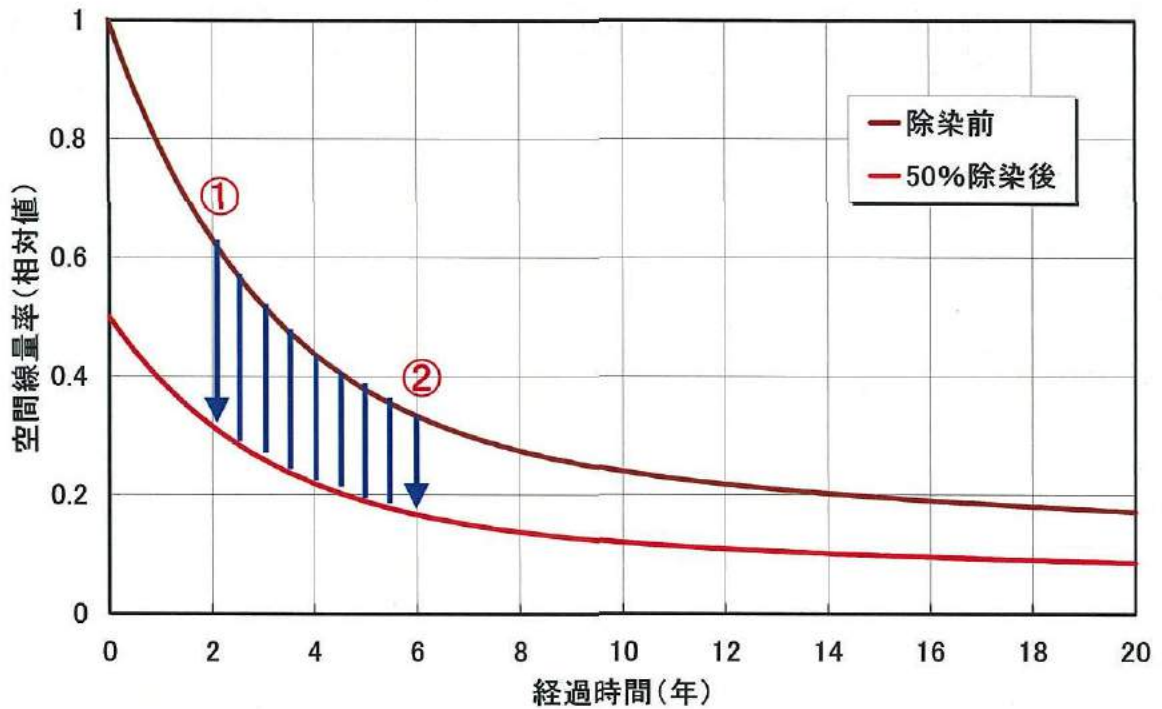


図 1-7 事故 2 年後に除染した場合と事故 6 年後に除染した場合の被ばく量の違い

住民の被曝線量の低減には繋がらないため、仮に空間線量率が高ければ立入禁止などの制限措置を講じておき、 $^{137}\text{Cs}$  より半減期が短い  $^{134}\text{Cs}$  の放射能の減衰を待ち、10 年以上経って  $^{134}\text{Cs}$  の放射能がほとんど消滅した後、必要に応じて除染実施の有無を判断すればよいと考える。

以上が除染に対する筆者の基本的な考えであった。しかしその後、本件訴訟の原告である元ネイチャーズ(株)の松村栄治氏が開発したモルクラスターオゾン水の存在を知り、その実証試験事業結果を入手して検討した結果、仮にモルクラスターオゾン水の実証試験技術データが事実であるならば、①居住地域のさまざまな構造物の除染を短期間に低コストで推進できる、②未だに十分除染できているとは言いがたい居住地域や道路に近い山林・森林の除染についても短期間に低コストで実現可能である、ことが分かった。

上述の本宮市など福島県内の市町村民の家屋は、農村部や山間部では一軒家が多く、家屋の裏手には裏山が迫っており、大抵の場合、裏山の空間線量率が高い。そのため、家屋周辺の除染を行っても、裏山から来る放射線の影響により、家屋周辺の空間線量率があまり低減しない。しかし、家屋に近い裏山の斜面の土壌を除去しようにも除染を行うための重機が入るスペースがそもそもない場合が多く、かつ斜面の土壌を 5 cm 剥がして除染するとしても、除染作業により軟弱になった斜面表面が降雨などで崩れることも予想され、事故から 4 年目に入った現在でも、裏山の除染はほとんど手付かずの状態にある。こうし

た場所へのモルクラスターオゾン水の適用は非常に有望であると筆者は考える。

それ故に第3章以下、原告が平成23年度除染技術実証試験事業において、JAEAに対して提出したモルクラスターオゾン水による除染結果についてのデータを確認し、その後に筆者の評価を示す。

## 2. オゾンについて

筆者はオゾンの専門家ではないが、労働衛生上の観点からオゾンの特徴と空気中の許容濃度について、教科書的に必要な範囲で簡単に整理しておく。

オゾンは3個の酸素原子からなる酸素の同素体（同素体：同一の元素でありながら、原子の配列や化学結合が異なることにより物理化学性質が異なる単体を互いに同素体いう。たとえば酸素とオゾン、黄燐と赤燐、ダイヤモンドと黒鉛などが同素体の代表例として知られる）で、常温では気体である。分子式は $O_3$ で、フッ素に次ぐ強い酸化力を持っており、殺菌、ウィルスの不活性化、脱臭、脱色、有機物の除去などに用いられている。

塩素の代わりに、水道水の殺菌にオゾンを用いる国も多い。Internet Wikipediaによれば、東京都水道局、大阪市水道局、大阪広域水道企業団等で水道水の殺菌に用いられており、追随する自治体等が増えている。その理由は、①オゾンはトリハロメタンなどの有機塩素化合物を生成しない、②オゾン水はその不安定な性質により短時間で酸素ガスと水に戻るため、処理後の水に残留しない、③塩素と比較してオゾンは水道水の味やにおいの変化が少ない、からである。

オゾンは空気中にも数十ppb（ppb：空気 $1\text{ m}^3$ あたりに $1\text{ mm}^3$ のオゾンが含まれる時、1ppbという）の濃度で存在する。高濃度のオゾンは有毒であり、高度な濃度管理が求められるため、オゾンガスを水に溶解させたオゾン水として活用される例が増えている。日本では食品添加物としても認められている。主流の殺菌剤である次亜塩素酸ナトリウムと比較して、①オゾンガスを溶かすことなく水道水の電気分解により生成させたオゾン水をそのまま利用できる、②殺菌力が高い、③使用後の洗浄が不必要で安全性が高い、④食品の味を損ねにくい、⑤クロロホルムを生成しない、という特徴がある。食品分野以外では医療、農業、畜産、半導体部品の洗浄の分野でも用途がある。

アメリカ産業衛生専門家会議（ACGIH）によって設定されたオゾンガスの作業環境許容濃度（TLV）は、時間加重平均許容濃度（TWA）として $0.1\text{ ppm}$ （ $100\text{ ppb}$ ）または $0.2\text{ mg/m}^3$ （軽作業の場合）である。なお、時間加重平均許容濃度（TWA）とは、1日8時間、1週40時間の繰り返し労働において作業員に対し有害な影響を及ぼさない時間加重平均濃度をいう。日本の労働環境におけるオゾンガスの空気中許容濃度は、アメリカ産業衛生専門家会議（ACGIH）と同じ $0.1\text{ ppm}$ （ $100\text{ ppb}$ ）または $0.2\text{ mg/m}^3$ である。その他の多くの国でも同じ許容濃度の値が採用されている。日本では特段の定めはないが、短時間暴露限度（STEL）を定めている国もある。短時間暴露限度（STEL）とは、通常15分間の時間

加重平均許容濃度をいい、0.2 ppm または 0.4 mg/m<sup>3</sup> (アメリカ、フランス、スイスなど)、0.3 ppm または 0.6 mg/m<sup>3</sup> (オーストリア、フィンランド、スウェーデン、イギリスなど) と定めている国もある。

### 3. モルクラスターオゾン水を用いた各種構造物除染試験結果の概要

#### 3.1 予備試験 (JAEA と委託契約前の公募段階で行った第1次の試験) の結果概要

日時：平成23年9月23日～28日

場所：福島県伊達市霊山町、双葉郡浪江町赤字木

除染対象物：建屋等 (建材、ガードレール等)、路面等 (コンクリート、アスファルト、レンガ、石材、土壌等)、樹木等 (針葉樹、広葉樹、樹皮、堆積腐植等)

洗浄装置：ネイチャーズ(株)製モルクラスターオゾン水発生装置、ケルヒャー社製高圧洗浄装置、ケルヒャー社製高圧スチーム装置

結果：洗浄結果を表3-1～3-3に示した。また、図3-1～3-2に示したが、以下に概要を紹介する。なお、本文では除染率を以下のように定義して算出している。

$$[\text{除染率}(\%)] = [(\text{除染前の線量率}) - (\text{除染後の線量率})] / [\text{除染前の線量率}] \times 100$$

または

$$[\text{除染率}(\%)] = [(\text{除染前の計数率}) - (\text{除染後の計数率})] / [\text{除染前の計数率}] \times 100$$

表3-1 コンクリート等20検体の予備試験結果

No.	地域名	対象場所	前処理	洗浄水	線量率(μSv/h)		除染率 (%)	備考
					洗浄前	洗浄後		
C-1	伊達市	ブロック塀上面	なし	モルクラスター オゾン水	0.78	0.65	14	単に噴霧しただけでは高い除染率は得られない
C-2		ブロック塀上面	なし		0.87	0.71	18	単に噴霧しただけでは高い除染率は得られない
C-3		ブロック塀上面	ブラッシング		0.90	0.68	24	金属ブラシでブラッシング かなりの労力が必要であり、騒音も発生する
C-4		U字溝内	有機酸		4.1	3.3	20	周辺線量が高くなるの防護管は外部からのガンマ線を透過しているものと推測(A-S参照)
C-5		U字溝内	硫酸アンモニウム		1.7	0.61	64	前処理後湿潤状態20時間
C-6		ブロック塀上面	硫酸アンモニウム		0.83	0.60	28	前処理後湿潤状態10時間
C-7		ブロック塀上面	炭酸アンモニウム		0.83	0.37	55	前処理後湿潤状態20時間
C-8		ブロック塀上面	塩化アンモニウム		0.78	0.59	24	前処理後湿潤状態10時間
C-9		ブロック塀上面	塩化アンモニウム		0.79	0.51	35	前処理後湿潤状態20時間
C-10		敷板上面	なし		0.61	0.36	41	土壌が隙間に入り込んだコンクリート板
C-11		敷板上面	なし		0.59	0.30	49	土壌が隙間に入り込んだコンクリート板
C-12		浄化槽上面	ブラッシング		0.32	0.34	-6.3	中性洗剤を使いデッキブラシで洗浄 実質的な効果なし
C-13		排水溝蓋	ブラッシング		0.55	0.55	0.0	中性洗剤を使いデッキブラシで洗浄 実質的な効果なし
C-14	敷石上面	なし	1.3	1.2	7.7	6MPaの高圧洗浄が実質的な効果なし		
C-15	敷石上面	硫酸アンモニウム	1.3	1.2	7.7	6MPaの高圧洗浄が実質的な効果なし		
C-16	浪江町	車止め上面	硫酸アンモニウム	モルクラスター オゾン水	3.9	1.8	53	前処理後湿潤状態20時間
C-17		車止め上面	硫酸アンモニウム		5.8	3.0	48	前処理後乾燥状態
C-18		車止め上面	塩化アンモニウム		3.8	2.3	39	前処理後湿潤状態20時間
C-19		車止め上面	塩化アンモニウム		5.5	1.8	67	前処理後乾燥状態
C-20		車止め上面	有機酸		4.2	2.2	48	洗浄20分前に噴霧

表 3・1 に、コンクリート等 20 検体の予備試験結果をまとめた。モルクラスターオゾン水を用いて除染した場合の除染率は、表 3・1 に示した如く 14~67%の除染率であった。一方、常圧水道水を用いた場合の除染率は、ブラッシングしても除染の効果は実質的になかった。また、モルクラスターオゾン水の処理水圧が 0.45MPa であるのに対して、その 20 倍に相当する 9MPa の高圧水道水を利用した場合であっても、処理水量が同一の条件下においては、除染率は 7.7%でしかなかった。なお、モルクラスターオゾン水を用いて除染する前に、硫酸アンモニウム等で前処理すると、比較的高い除染率を得られた（車止め上面の場合など）。

表 3・2 に、アスファルト 13 検体の予備試験結果をまとめた。モルクラスターオゾン水を用いた除染の場合、前処理で水道水散布の場合が除染率 68%、前処理で高圧洗浄した場合が除染率 73%であった。前処理なしでも、54~73%の高い除染率であった。一方、9MPa 高圧水道水や高圧スチーム（高圧熱水）を用いた除染の場合では、ブラッシングしても除染率は 4.5%とわずかな効果でしかなく、それ以外では実質的な除染効果はなかった。

表 3・2 アスファルト 13 検体の予備試験結果

No.	地域名	対象場所	前処理	洗浄水	線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )		除染率 (%)	備考
					洗浄前	洗浄後		
A-1	伊達市	路面	なし	モルクラスター オゾン水	0.49	0.13	73	洗浄後はアスファルト面が軽く研磨された状態
A-2		路面	水道水散布		1.3	0.42	68	洗浄後はアスファルト面が軽く研磨された状態
A-3		路面	なし		2.1	0.87	59	洗浄後はアスファルト面が軽く研磨された状態
A-4		路面	なし		0.68	0.24	65	洗浄後はアスファルト面が軽く研磨された状態
A-5		路面	高圧洗浄		7.9	2.1	73	兩種直下 2cmの熱産産体では3.6 $\mu\text{Sv/h}$ であったものが、5cm の熱産産体を用いると2.1 $\mu\text{Sv/h}$ となった
A-6		路面	アスファルト溶解剤	0.95	0.34	64	タール分が溶脱し軌道が露出になる	
A-7		路面	ブラッシング	高圧水道水	0.66	0.63	4.5	実質的な効果なし
A-8		路面	なし		7.9	7.9	0.0	A-7において高圧洗浄したが無効
A-9		路面	なし		高圧スチーム	0.63	0.68	-7.9
A-10		浪江町	路面	なし	モルクラスター オゾン水	9.5	4.4	54
A-11	路面		なし	6.7		2.4	64	
A-12	路面		なし	4.1		1.7	59	
A-13	路面		なし	3.9		1.5	62	

表 3・3 に、土壌、建材等 16 検体の予備試験結果をまとめた。

伊達市（建材、土壌等）の場合：

モルクラスターオゾン水を用いた除染の場合、門柱上面の除染率は 59%、レンガ上面（ともにコンクリートブロック表面）の除染率は 57%と、大きな除染率であった。また、モルクラスターオゾン水では、石材上面は 50%、室外機（上面）は 46%、高濃度に汚染された雨どいの受拵直下の土壌でさえ 48%以上の除染率であった。ただし、ガードレール（側



面表のみ) が片側面のみ除染処理であったためか、あるいは汚染面の特殊塗料加工のためか原因は不明であるが、実質的な効果はなかった。一方、高圧洗浄を用いた除染の場合、建材(門柱上面)やレンガ(上面)はわずかな除染率で実質的な除染効果はなかった。

双葉郡浪江町赤宇木(樹木等)の場合:

松葉や樹皮の線量率は一般的に高く、モルクラスターオゾン水の除染効果は38~68%であった。しかし、広葉樹であるクヌギ・カエデの場合は、線量率が低く除染効果がなかった。そもそも事故当時の3月期には広葉樹は発葉しておらず、予備試験が行われた平成23年9月期の広葉樹の葉の表面汚染の程度が非常に低かったことが影響していると推測される。土壌や堆積腐植はいずれも65%以上の高い除染率であった(表3.3を参照)。

表3.3 土壌、建材等16検体の予備試験結果

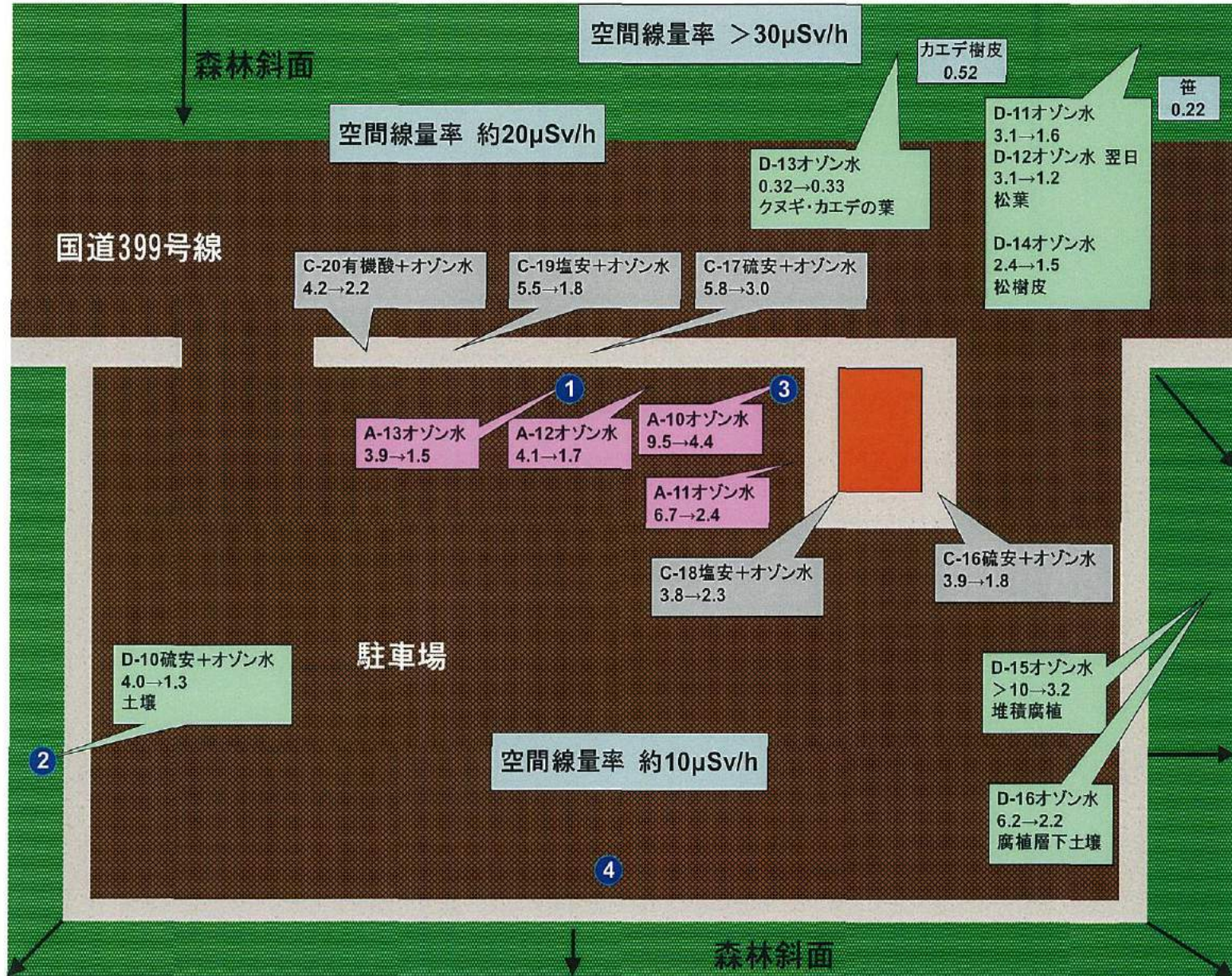
No.	地域名	対象場所	前処理	洗浄水	線量率( $\mu$ Sv/h)		除染率 (%)	備考
					洗浄前	洗浄後		
D-1	伊達市	建材(壁側面)	なし	モルクラスター オゾン水	0.13	0.13	0	壁面の表面線量率は4面とも空間線量率より低い
D-2		建材(門柱上面)	なし		0.66	0.27	59	壁面と同じ材質 洗浄後も脱色等なし
D-3		レンガ(上面)	なし		0.90	0.39	57	無数の細孔がある 高圧洗浄の効果はない(0-8)
D-4		石材(上面)	なし		0.34	0.17	50	人工石材で表面が粗い
D-5		室外機(上面)	なし		0.57	0.31	46	金属面裏面からのガンマ線を拾っている可能性あり
D-6		ガードレール(側面)	なし		0.63	0.65	-3.2	塗料面を剥がしても表面線量率は変化せず
D-7		土壌	なし		>10	5.2	>48	表面線量率10 $\mu$ Sv/h超過
D-8		建材(門柱上面)	なし	高圧水道水	0.68	0.65	1.5	実質的な効果なし
D-9		レンガ(上面)	なし		0.63	0.60	4.8	実質的な効果なし
D-10	浪江町	土壌	硫酸アンモニウム	モルクラスター オゾン水	4.0	1.3	68	団粒構造が発達し通水性が良い土壌
D-11		松葉	なし		3.1	1.6	48	針葉樹付近は空間線量率が高い(>30 $\mu$ Sv/h)
D-12		松葉	なし		3.1	1.2	61	洗浄の翌日に水分を切って再測定
D-13		クヌギ, カエデ	なし		0.32	0.33	-3	広葉樹の葉面汚染は低い(8月時点で発葉していない)
D-14		樹皮	なし		2.4	1.5	38	樹皮の腐状物質中の水を脱色できず
D-15		堆積腐植	なし		>10	3.2	>68	表面線量率10 $\mu$ Sv/h超過 土壌より明らかに高い
D-16		腐植層下土壌	なし		6.2	2.2	65	有機質に富み通水性が非常に良い土壌

予備試験を行った伊達市霊山町の住居周辺と試験結果を図3.1に、同じく予備試験を行った双葉郡浪江町赤宇木の駐車場周辺と試験結果を図3.2にまとめた。

図 3-1 予備試験を行った伊達市霊山町の住居周辺と試験結果



図 3.2 予備試験を行った双葉郡浪江町赤宇木の駐車場周辺と試験結果



### 3.2 ラボ試験（専門的な機材・装置を使った実験室での試験）の結果概要

**実験目的：**アスファルト表面及びコンクリート表面にウラニン（セシウムと類似した付着性状の薬剤で、除染調査に用いられる染料）や安定セシウム（非放射性セシウム）を噴霧した再現汚染エリアを各種用意し、これに同一水量で、高圧水道水、モルクラスターオゾン水、モルクラスターオゾン水（+紫外線照射）を散布して洗浄効率を比較する。

**洗浄装置：**ネイチャーズ<sup>(株)</sup>製モルクラスターオゾン水発生装置、ケルヒャー社製高圧洗浄装置

#### (1) 浸透した化学物質（ウラニン）の溶出実験

##### ① アスファルト表面の場合

洗浄効果の順は、高圧水道水洗浄<モルクラスターオゾン水（+紫外線照射）≦モルクラスターオゾン水の順番であった。

##### ② コンクリート表面の場合

化学物質塗布から8時間経過後の洗浄効果の順は、①と同じであった。

#### (2) 浸透した安定セシウムの溶出実験

##### ① コンクリート面の場合

モルクラスターオゾン水を用いた洗浄では、溶出率（除染率）は2分間の洗浄で約60%（硫酸アンモニウムの前処理または紫外線照射の時はさらに約10ポイント向上した）。一方、高圧水道水では、溶出率は約11%とモルクラスターオゾン水に比較して大幅に低かった。

##### ② アスファルト面の場合

モルクラスターオゾン水を用いた洗浄では、溶出率は2分間で約66%、紫外線照射のときはさらに約15ポイント向上して81%であった。高圧水道水(8.8MPa)による洗浄では、2分間で約13.7%の溶出率に留まり、コンクリートの場合と同様にモルクラスターオゾン水による溶出率の5の1の低さであった。

### 3.3 JAEAと契約後のフィールド試験（本件実証試験）の結果概要

#### (1) フィールド試験1

**日時：**平成23年12月15日～18日

**場所：**福島県郡山市工場敷地内……基本はモルクラスターオゾン水を用いた除染

**洗浄装置：**ネイチャーズ<sup>(株)</sup>製モルクラスターオゾン水発生装置、ケルヒャー社製高圧洗浄装置、ケルヒャー社製高圧スチーム装置

**除染対象物と除染結果：**

##### ① 建屋壁面下部50cm（コンクリート）……50mm厚の遮蔽体あり

地点AないしE、G～Kの10カ所で、62～88%であった。（表3.4を参照）

参考値（高圧熱水/高圧スチーム洗浄の場合、水温85℃、200MPaの条件下）……27%

表 3・4 建屋壁面下部 50 cm (コンクリート) の除染結果

地 点	計数率または線量率			除染率 (%)	備 考
	除染前	除染後	単 位		
A	8.5	3.2	cps	62	
A	4.0	1.1	cps	73	
B	12.5	3.2	cps	74	
B	14.2	2.3	cps	84	
C	10.0	3.1	cps	69	
D	7.1	2.1	cps	70	
E	7.0	1.8	cps	74	
F	NT	NT			出入口のため壁面の洗浄はできなかった
G	0.12	0.03	μSv/h	75	
H	0.13	0.04	μSv/h	69	高圧熱水洗浄後の壁面をモルクラスタ ーオゾン水で洗浄
I	0.31	0.06	μSv/h	81	
J	0.42	0.05	μSv/h	88	
K	2.33	0.40	μSv/h	83	

(注) NT : 測定せず

参 考	0.18	0.13	μSv/h	27	高圧熱水洗浄/水道水, 85℃, 200MPa
-----	------	------	-------	----	-------------------------

② 側溝脇玉砂利 (岩石) …… 50mm 厚の遮蔽体あり

18 地点において、除染率は 39~85%、平均的には 70% 以上であった。(表 3・5 を参照)  
参考値 (高圧熱水/高圧スチームで、水温 85℃、200MPa の条件下で) …… 除染効果は  
まったく認められなかった。

③ 側溝脇の地面 (土壌) …… 50mm 厚の遮蔽体あり

7 地点いずれも粘土質の硬い土壌であり、モルクラスタールオゾン水が地中に染み込まな  
かったために除染率が低く、除染効果はあまり認められなかった。(表 3・6 を参照)

3.5 側溝脇玉砂利（岩石）の除染結果

地 点	計数率または線量率			除染率 (%)	備 考
	除染前	除染後	単 位		
A	95.0	26.0	cps	73	
A	55.0	25.0	cps	55	泥が溜まったが排水できず
A	80.0	27.0	cps	66	
A	40.0	9.0	cps	78	
B	22.40	6.21	μSv/h	72	
B	60.0	18.0	cps	70	
B	62.0	18.0	cps	71	
C	18.21	3.74	μSv/h	79	
C	48.0	14.0	cps	71	
D	42.0	16.0	cps	62	
E	42.0	12.0	cps	71	
F	NT	NT			出入口で玉砂利はなし
G	4.92	3.00	μSv/h	39	砂利面洗浄後に建屋壁面を大規模に洗浄
H	5.33	2.62	μSv/h	51	高圧熱水洗浄後のモルクラスターオゾン水 洗浄 1 回目
H	5.33	2.12	μSv/h	60	高圧熱水洗浄後のモルクラスターオゾン水 洗浄 2 回目
I	9.97	2.66	μSv/h	73	
J	12.41	3.24	μSv/h	74	モルクラスターオゾン水洗浄 1 回目
J	12.41	1.92	μSv/h	85	モルクラスターオゾン水洗浄 2 回目
K	18.77	4.59	μSv/h	76	

(注) NT : 測定せず

参 考	4.78	5.33	μSv/h	-12	高圧熱水洗浄/水道水, 85°C, 200MPa
-----	------	------	-------	-----	--------------------------

④ 側溝（コンクリート）…… 50mm 厚の遮蔽体あり

13 地点で、除染率は 49～87% であり、多くは 70% 以上であった。（表 3.7 を参照）

⑤ 工場内敷地全体（工場内建屋一部 100m に沿って、建屋壁面高さ 1.5m×建屋基礎部幅 2m を除染）……遮蔽体なしの高さ 1m の空間線量率（表 3.8 を参照）

地点 A～K の 11 カ所で、除染率は 13～57% であった。

3・6 側溝脇の地面（土壌）の除染結果

地 点	計数率または線量率			除染率(%)	備 考
	除染前	除染後	単 位		
A	NT	NT			土壌面なし
B	4.5	4.4	cps	2	
B	4.6	4.4	cps	4	
C	4.6	4.7	cps	-2	排水できず泥だまりになった
D	4.6	4.4	cps	4	
E	4.8	4.8	cps	0	排水できず泥だまりになった
F	NT	NT			土壌面なし
G	NT	NT			広い土壌面なし
H	NT	NT			
I	2.02	1.93	μSv/h	4	
J	2.67	2.87	μSv/h	-7	排水できず泥だまりになった
K	NT	NT			土壌面なし

NT：測定せず

3.7 側溝（コンクリート）の除染結果

地 点	計数率または線量率			除染率 (%)	備 考
	除染前	除染後	単 位		
A	8.0	2.1	cps	74	側溝底面
A	8.0	2.2	cps	73	側溝底面
A	20.0	8.1	cps	60	側溝底面, 洗浄前に泥だまり有り
A	0.82	0.42	μSv/h	49	側溝底面をモルクラスターオゾン水で1回洗浄
A	0.82	0.11	μSv/h	87	側溝底面をモルクラスターオゾン水で2回洗浄
A	4.35	1.22	μSv/h	72	側溝底面をモルクラスターオゾン水で1回洗浄
A	4.35	0.81	μSv/h	81	側溝底面をモルクラスターオゾン水で2回洗浄
B	3.3	1.0	cps	70	側溝底面
B	3.3	1.0	cps	70	側溝底面
C	6.0	NT	cps		側溝底面, 屋根からの落水で水が溜まり, 洗浄後は測定できず
D	7.0	NT	cps		側溝底面, 屋根からの落水で水が溜まり, 洗浄後は測定できず
E	14.0	NT	cps		側溝底面, 屋根からの落水で水が溜まり, 洗浄後は測定できず
F	NT	NT			側溝なし
G	0.74	NT	μSv/h		側溝底面, 屋根からの落水で水が溜まり, 洗浄後は測定できず
H	0.82	0.29	μSv/h	65	高圧熱水洗浄後の側溝側面をモルクラスターオゾン水で洗浄
H	0.56	0.21	μSv/h	63	側溝側面
I	0.99	NT	μSv/h		屋根からの落水で水が溜まり, 洗浄後は測定できず
J	1.32	0.21	μSv/h	84	側溝側面
K	4.55	1.14	μSv/h	75	洗浄前に泥だまり有り, 洗浄後も少量の泥だまり有り

NT : 測定せず



表 3・8 工場内敷地全体の除染結果

地 点	線量率 (μSv/h)		低減率 (%)	備 考
	除染前	除染後		
A	2.95	1.84	38	高線量率地点のため 5 回反復洗浄
B	3.69	2.21	40	高線量率地点のため 5 回反復洗浄
C	2.36	2.00	15	
D	2.34	1.91	18	
E	2.53	1.99	21	
F	1.21	0.96	21	出入口, コンクリート面が多い
G	2.03	1.69	17	
H	1.97	1.70	14	高圧熱水洗浄→モルクラスターオゾン水洗浄
I	2.18	1.89	13	
J	2.04	1.71	16	前処理を施したうえで洗浄
K	3.70	1.58	57	高線量率地点のため 5 回反復洗浄

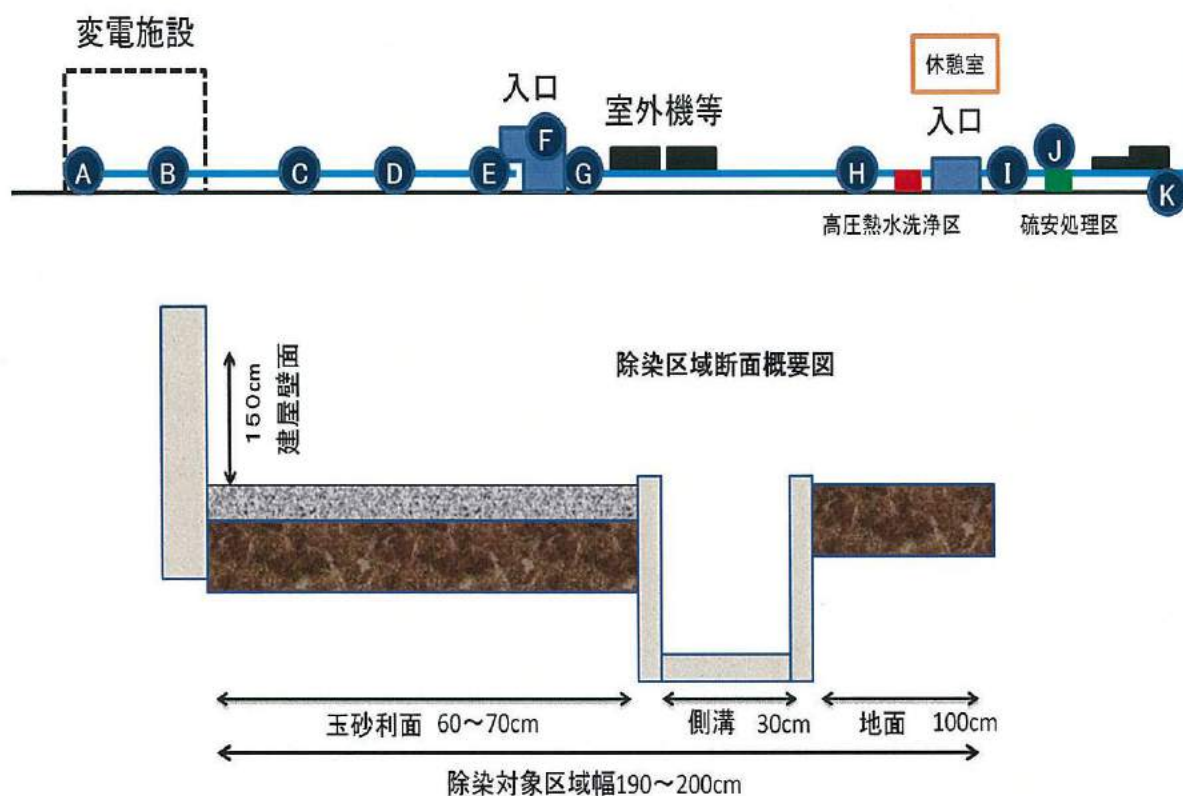


図 3-3 郡山市工場敷地内の除染地点

## (2) フィールド試験 2

日 時：平成 23 年 12 月 19 日～21 日

場 所：福島県双葉郡浪江町赤宇木

モルクラスターオゾン水（0.3MPa、60 ℓ/分）と高圧水（8.8MPa、6 ℓ/分）を  
対比させて試験

洗浄装置：ネイチャーズ(株)製モルクラスターオゾン水発生装置、ケルヒャー社製高圧洗  
浄装置

除染対象物：

① アスファルト 1（骨材が砂状で、いわゆる仕上げ舗装面）…… 道路以外の駐車場等  
に比較的多く使われている粒径 11mm 以下の砂を母材として製造されたもの。

高圧水洗浄では、洗浄時間 5 分で除染率 50.9%から洗浄時間 20 分で除染率 58.5%  
（最大値）まで増加した。

モルクラスターオゾン水洗浄では、洗浄時間 0.5 分で除染率 37.5%から洗浄時間 3

分で除染率 69.5% (最大値) に増加した (表 3・9 を参照)。

表 3-9 アスファルト 1 (骨材砂状, 舗装) の除染結果

高圧水洗浄 : 8.8MPa, 6 l/分, 1 m×1 m エリア		
洗浄時間 (分)	線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	除染率 (%)
0	2.555	
5	1.255	50.9
10	1.144	55.2
15	1.098	57.0
20	1.060	58.5

モルクラスターオゾン水洗浄 : 0.3MPa, 60 l/分, 1 m×1 m エリア		
洗浄時間 (分)	線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	除染率 (%)
0.0	2.316	
0.5	1.447	37.5
1.0	1.193	48.5
1.5	1.052	54.6
2.0	1.028	55.6
3.0	0.707	69.5
4.0	0.725	68.7

② アスファルト 2 (骨材が砂利状で、一般的な道路面) …… 道路等に最も多く使われている粒径数 mm~1cm 程度の砂利や碎石を母材として製造されたもの。

高圧水洗浄では、洗浄時間 5 分で除染率 11.7% から洗浄時間 15 分で除染率 22.6% (最大値) まで増加した。一方、モルクラスターオゾン水洗浄では、洗浄時間 0.5 分で除染率 64.8% から洗浄時間 6 分で除染率 72.9% (最大値) まで増加した (表 3・10 を参照)。

なお、このアスファルト 2 は、道路などほぼ例外なく使用されている代表的なアスファ

ルト敷設材料であり、それ故この除染率の数値を汚染区域のアスファルト除染の代表的なデータと捉えるべきである。

表 3・10 アスファルト 2 の除染結果

高圧水洗浄 : 8.8MPa, 6 l/分, 1 m×1 m エリア		
洗浄時間 (分)	線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	除染率 (%)
0	2.048	
5	1.809	11.7
10	1.663	18.8
15	1.586	22.6
20	1.602	21.8

モルクラスターオゾン水洗浄 : 0.3MPa, 60 l/分, 1 m×1 m エリア		
洗浄時間 (分)	線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	除染率 (%)
0.0	2.520	
0.5	0.886	64.8
1.0	1.008	60.0
1.5	0.818	67.5
2.0	0.848	66.3
3.0	0.850	66.3
4.0	0.823	67.3
6.0	0.682	72.9

③ アスファルト 3 (骨材が多く、タール分が少ない透水性路面) ……ごく特殊な撥水性アスファルトであり、砂利や碎石の母材の間に隙間があり通水するタイプ。

高圧水洗浄では、洗浄時間 5 分で除染率 4.4% から洗浄時間 15 分で除染率 8.6% (最大値) まで増加した。除染率がマイナスということは、まったく除染されていないこと

を意味する。

一方、モルクラスターオゾン水洗浄では、洗浄時間 0.5 分で除染率 28.0% から洗浄時間 3 分で除染率 33.8% (最大値) まで増加した。一定時間除染した後に効果が頭打ちになったのは、アスファルトの底部がコンクリート基礎になっており、上部の母材隙間がセシウムを含む水で満たされた状態になり、放射性セシウムが同じ場所で水の中に残ることにより線量率が下がらなかったのが原因と推測できる (表 3・11 を参照)。

表 3・11 アスファルト 3 の除染結果

高圧水洗浄 : 8.8MPa, 6 l/分, 1 m×1 m エリア		
洗浄時間 (分)	線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	除染率 (%)
0	3.874	
5	4.048	-4.4
10	4.017	-3.7
15	3.539	8.6
20	3.805	1.8

モルクラスターオゾン水洗浄 : 0.3MPa, 60 l/分, 1 m×1 m エリア		
洗浄時間 (分)	線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	除染率 (%)
0.0	4.538	
0.5	3.269	28.0
1.0	3.248	28.4
1.5	3.203	29.4
2.0	3.315	27.0
3.0	3.005	33.8
4.0	3.662	19.3

④ 広域アスファルト面 (モルクラスターオゾン水で 40 分洗浄した場合)

モルクラスターオゾン水で、図 3-4 に示した幅 7m のアスファルト道路と草の生えた土壌法面を背景に持つ広域アスファルト面 (20m×6m の駐車場内エリア) を 40 分洗浄した。

遮蔽体なしの場合 : 洗浄面中心付近である道路から 2m 地点では、高さ 10 cm の場所で、約 21% の除染率であり、その地点を中心に地表面からの高さが高くなると、周辺環境から来る放射線の影響が強くなり、除染率は見かけ上低下する結果になっている。

周辺環境から来る放射線の影響を遮断して道路面方向にコリメートをした場合：地上10cmで約32～36%、地上50cmで約29～36%、地上1mで約27～36%の除染率となっている（表3・12を参照）。

表3・12 広域アスファルト面の除染結果

測定位置	地上高 (cm)	遮蔽体なし			遮蔽体あり（注）		
		線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）		除染率 (%)	線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）		除染率 (%)
		洗浄前	洗浄後		洗浄前	洗浄後	
道路から 4m 地点 (C,F)	100	5.044	4.624	8.3	1.971	1.443	26.8
	50	5.399	4.896	9.3	2.111	1.490	29.4
	10	7.048	6.054	14.1	2.234	1.513	32.3
道路から 2m 地点 (B,E)	100	5.197	4.387	15.6	2.022	1.387	31.4
	50	5.564	4.488	19.3	2.228	1.498	32.8
	10	7.510	5.942	20.9	2.338	1.554	33.5
道路から 0.5m 地点 (A,D)	100	5.539	4.788	13.6	2.271	1.452	36.1
	50	5.467	4.889	10.6	2.249	1.441	35.9
	10	6.560	5.585	15.0	2.140	1.367	36.1

（注）遮蔽体あり：測定位置直下の地表面方向にコリメートし、周囲からの放射線を遮蔽して測定した。

⑤ 道路法面・路面（モルクラスターオゾン水で洗浄した場合）

モルクラスターオゾン水で、図3・4に示した30m×7m（210m<sup>2</sup>）の道路法面（草の生えた土壌）、30m×10m（300m<sup>2</sup>のアスファルト路面）、おおよそ20m×6m（120m<sup>2</sup>）の駐車場路面（アスファルト）の広い面積を除染した。以下、除染していない周囲からの放射線の影響を受けにくいと考えられる除染区域中央部の④、⑨、⑭地点について記す。

遮蔽体なしの場合：低減率（除染率と同じ意味）は④24.0%、⑨22.6%、⑭19.8%と大幅な線量率の低減効果があった。この除染範囲は、道路面および駐車場路面については全域除染できても、その周囲については土壌法面部分しか除染できず、同法面は全

方位に対して占める割合がおおよそ 12.5% (全方位 360° に対しておおよそ 45° に相当するので  $45 \div 360 \times 100 = 12.5\%$ ) に過ぎない。

遮断体ありで法面向きにコリメートをした場合：洗浄エリアの中央の法面から離れる順で、④約 24%、⑨約 29%、⑭36%と線量率の低減率が高くなっており、周辺環境から来る放射線の影響が少ないほど見かけ上除染効果が高くなる事が分かる。(表 3・13 を参照)

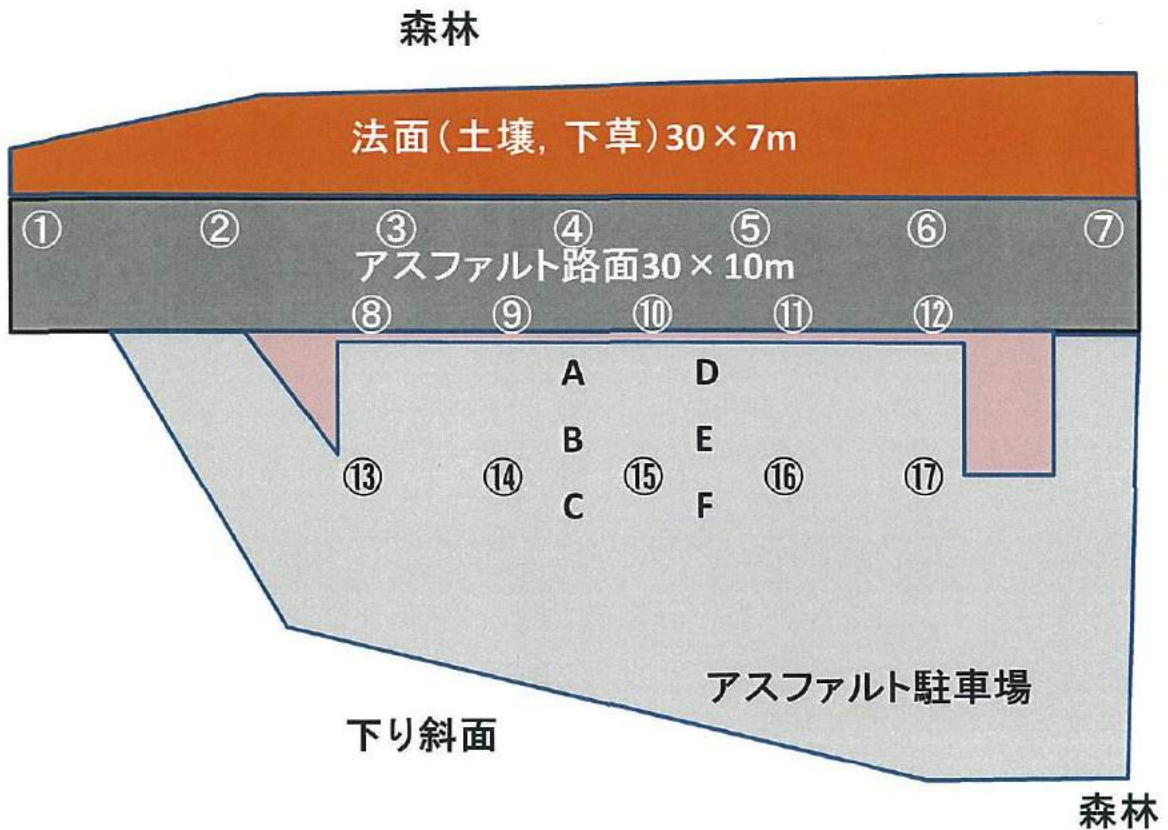


図 3・4 双葉郡浪江町赤字木の除染エリア地点

道路・道路法面(広域洗浄)

遮蔽なし1m空間線量率

地点	①		②		③		④		⑤		⑥		⑦	
	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後
1m空間線量率 ( $\mu$ Sv/h)	9.178	7.618	8.466	6.503	7.762	5.873	7.495	5.697	7.040	5.418	7.078	5.509	7.064	6.102
低減率(%)	17.0		23.2		24.3		24.0		23.0		22.2		13.8	

地点	⑧		⑨		⑩		⑪		⑫	
	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後
1m空間線量率 ( $\mu$ Sv/h)	6.610	4.934	5.889	4.561	6.010	4.041	6.754	5.066	5.734	5.031
低減率(%)	25.4		22.6		32.8		25.0		13.0	

地点	⑬		⑭		⑮		⑯		⑰	
	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後
1m空間線量率 ( $\mu$ Sv/h)	5.914	4.438	5.780	4.622	5.753	4.320	5.780	4.528	6.165	4.818
低減率(%)	25.0		19.8		24.9		21.7		21.9	

遮蔽体あり法面向きコリメート1m空間線量率

地点	①		②		③		④		⑤		⑥		⑦	
	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後
1m空間線量率 ( $\mu$ Sv/h)	1.888	1.576	1.661	1.294	1.722	1.281	1.582	1.187	1.431	1.035	1.432	1.094	1.409	1.120
低減率(%)	16.4		22.1		26.8		24.3		27.7		23.6		20.5	

地点	⑧		⑨		⑩		⑪		⑫	
	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後
1m空間線量率 ( $\mu$ Sv/h)	1.740	1.130	1.536	1.088	1.403	1.015	1.364	0.973	1.338	0.927
低減率(%)	35.1		29.1		27.7		28.7		30.7	

地点	⑬		⑭		⑮		⑯		⑰	
	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後
1m空間線量率 ( $\mu$ Sv/h)	1.696	1.255	1.514	0.965	1.468	1.030	1.469	1.044	1.300	1.038
低減率(%)	26.0		35.3		29.8		28.9		20.2	

表 3.13 双葉郡浪江町赤宇木の道路法面・路面の除染結果



⑥ 樹木（広葉樹／ナラ・ブナ、針葉樹／マツ）

モルクラスターオゾン水で樹皮（30cm 四方の部分）に対し、0.3MPa×3 分間洗浄した場合：28.4%～48.7%もの除染率が得られた。

高圧水道水で同様に樹皮を 8.8MPa×3 分間洗浄した場合：除染前に比べて除染後の方が平均で 11.9%増加（線量率が高くなった）した。すなわち除染率がマイナスの値となった。これは、高圧水洗浄が樹皮表面の下層の放射性セシウムを除去できずに露出させたことに原因すると推測される。一方、モルクラスターオゾン水の場合は除染率が高く、除染結果は明瞭である（表 3・14 を参照）。

表 3・14 樹木（広葉樹／ナラ・ブナ、針葉樹／マツ）の除染結果

高圧水洗浄：8.8MPa, 6 l/分, 3 分間, 0.3m×0.3m エリア			
樹木種	線量率 (μSv/h)		除染率 (%)
	洗浄前	洗浄後	
広葉樹 (ナラ)	4.000	4.058	-1.5
広葉樹 (ブナ)	2.288	2.626	-14.8
針葉樹 (マツ)	3.679	4.392	-19.4
針葉樹 (マツ)	4.900	5.498	-12.2

モルクラスターオゾン水洗浄：0.3MPa, 60 l/分, 3 分間, 0.3m×0.3m エリア			
樹木種	線量率 (μSv/h)		除染率 (%)
	洗浄前	洗浄後	
広葉樹 (ナラ)	4.177	2.375	43.1
広葉樹 (ブナ)	3.116	1.600	48.7
針葉樹 (マツ)	4.261	2.473	42.0
針葉樹 (マツ)	4.801	3.439	28.4

### (3) フィールド試験3

日 時：平成24年3月14日

場 所：福島県郡山市池ノ台

除染対象物：

民家2棟（建築面積A棟約80m<sup>2</sup>、B棟70m<sup>2</sup>）のトタン製屋根面、雨どい、漆喰壁、トタン製戸袋、碎石砂利面、家庭菜園土壌面、コンクリート製U字溝、集水マス

図3・5に郡山市池ノ台の民家2棟の配置を示す。

洗浄装置：ネイチャーズ(株)製モルクラスターオゾン水発生装置

除染方法：

1区当たり約9m<sup>2</sup>（雨どいと戸袋以外）につき、モルクラスターオゾン水の散水量は1分間当たり45ℓで、9m<sup>2</sup>を3分間散水した。対象物とノズルの距離300mmで行った。

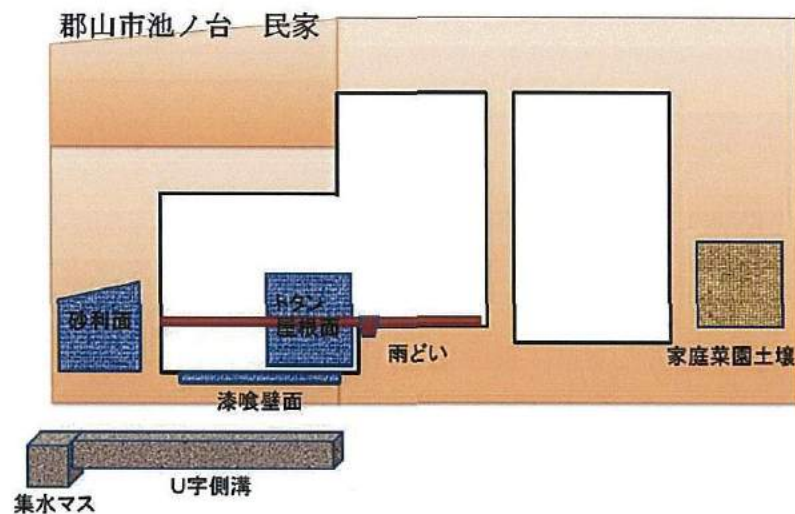


図3・5 郡山市池ノ台の民家2棟の配置

#### ① トタン製屋根面

6地点で測定し、下記の如くおよそ10~70%の除染率であった（表3・15を参照）。

表3・15 モルクラスターオゾン水によるトタン製屋根面の除染結果

対 象	計測器	コリメート	除染前 (cps)	除染後 (cps)	除染率 (%)
トタン屋根 A 地点	GM	無	1.42	1.08	23.9
	GM	有	0.906	0.814	10.2
トタン屋根 B 地点	GM	無	0.991	0.632	36.2
	GM	有	0.663	0.368	44.5
トタン屋根 C 地点	GM	無	1.35	0.511	62.1
	GM	有	0.977	0.296	69.7

② 雨どい

コリメートなしの状態ですべて2地点で測定した結果、いずれも短時間（数十秒）で90%以上の除染率であった（表3-16を参照）。

表3-16 モルクラスターオゾン水による雨どいの除染結果

対 象	計測器	コリメート	除染前	除染後	除染率 (%)
雨どい	GM	無	19.4 cps	1.82 cps	90.6
	Nal	無	13.5 $\mu$ Sv/h	1.14 $\mu$ Sv/h	91.6

③ 漆喰壁面

コリメートなしで2~18%、コリメート有で14~38%の除染率であった（表3-17）。

表3-17 モルクラスターオゾン水による漆喰壁面の除染結果

対 象	計測器	コリメート	除染前 (cps)	除染後 (cps)	除染率 (%)
漆喰壁面 A 地点	GM	無	0.344	0.337	2.0
	GM	有	0.147	0.126	14.3
漆喰壁面 B 地点	GM	無	0.274	0.226	17.5
	GM	有	0.172	0.107	37.8

④ トタン製戸袋

コリメートなしで14%、コリメート有で0%の除染率であった（表3-18）。

表3-18 モルクラスターオゾン水によるトタン製戸袋の除染結果

対 象	計測器	コリメート	除染前 (cps)	除染後 (cps)	除染率 (%)
トタン製戸袋	GM	無	0.257	0.222	13.6
	GM	有	0.132	0.132	0.0

⑤ 敷地内碎石砂利面

コリメートなしでおよそ12~32%、コリメート有でおよそ7~44%の除染率であった。

表 3-19 モルクラスターオゾン水による敷地内碎石砂利面の除染結果

対 象	計測器	コリメート	除染前	除染後	除染率 (%)
碎石砂利面 A 地点	GM	無	1.90 cps	1.29 cps	32.1
	Nal	無	1.53 $\mu$ Sv/h	1.33 $\mu$ Sv/h	13.1
	GM	有	1.16 cps	0.645 cps	44.4
	Nal	有	1.34 $\mu$ Sv/h	1.16 $\mu$ Sv/h	13.4
碎石砂利面 B 地点	GM	無	2.00 cps	1.73 cps	13.5
	Nal	無	1.74 $\mu$ Sv/h	1.53 $\mu$ Sv/h	12.1
	GM	有	1.06 cps	0.960 cps	9.4
	Nal	有	1.42 $\mu$ Sv/h	1.32 $\mu$ Sv/h	7.0

⑥ 家庭菜園土壌

コリメートなしでおよそ 0~18%、コリメート有でおよそ 2~40%の除染率であった。なお、ここではモルクラスターオゾン水は、1 分間当たり 45  $\text{L}$  で、 $9\text{m}^2$  当たり 3 分間散水を 2 回繰り返して行った (表 3-20)。

表 3-20 モルクラスターオゾン水による家庭菜園土壌の除染結果

対 象	計測器	コリメート	除染前	除染後	除染率 (%)
家庭菜園土壌 A 地点	GM	無	1.09 cps	1.07 cps	1.8
	Nal	無	1.50 $\mu$ Sv/h	1.47 $\mu$ Sv/h	2.0
	GM	有	1.09 cps	0.65 cps	40.4
	Nal	有	1.29 $\mu$ Sv/h	1.23 $\mu$ Sv/h	4.7
家庭菜園土壌 B 地点	GM	無	0.879 cps	0.721 cps	18.0
	Nal	無	1.45 $\mu$ Sv/h	1.45 $\mu$ Sv/h	0.0
	GM	有	0.505 cps	0.416 cps	17.6
	Nal	有	1.34 $\mu$ Sv/h	1.31 $\mu$ Sv/h	2.2

⑦ コンクリート製 U 字溝

コリメートなしでおよそ 54~65%、コリメート有でおよそ 23~78%の除染率であった。なお、U 字溝は、幅 0.3m×高さ 0.5m×長さ 9.0m で、約  $7.2\text{m}^2$  の面積である (表 3-21)。

表 3-21 モルクラスターオゾン水によるコンクリート製 U 字溝の除染結果

対 象	計測器	コリメート	除染前	除染後	除染率 (%)
コンクリート製 U 字溝底部	GM	無	4.82 cps	1.68 cps	65.1
	Nal	無	1.64 $\mu$ Sv/h	0.75 $\mu$ Sv/h	54.3
	GM	有	4.83 cps	1.08 cps	77.6
	Nal	有	1.07 $\mu$ Sv/h	0.82 $\mu$ Sv/h	23.4

⑧ コンクリート集水マス

コリメートなしで 56~57%、コリメート有で 18~42%の除染率であった (表 3-22)。

表 3-22 モルクラスターオゾン水によるコンクリート製 U 字溝の除染結果

対 象	計測器	コリメート	除染前	除染後	除染率 (%)
コンクリート製 集水マス底部	GM	無	2.32 cps	0.993 cps	57.2
	Nal	無	1.26 $\mu$ Sv/h	0.55 $\mu$ Sv/h	56.3
	GM	有	1.51 cps	0.864 cps	42.8
	Nal	有	1.22 $\mu$ Sv/h	1.00 $\mu$ Sv/h	18.0

(4) 安全対策の実施と環境オゾン濃度の計測

モルクラスターオゾン水を使用する場合、モルクラスターオゾン水からオゾンガスが環境中に漏洩することに対する安全対策として、除染作業時に除染区域内に作業員以外の者が立ち入ることを禁止するとともに、作業は風下にて行わないことを原則とした。その上でオゾンモニター (荏原実業(株)製) による監視を、除染区域境界線 (除染ポイントから 7~12m) で連続的に実施した。風速は毎秒 1.2~1.5m で、日本におけるオゾンガスの作業基準である 0.1ppm を 5 秒以上超えることはなかった。実験終了後、対象建物全体を毎分 45ℓ 連続散水を 30 分間行ったが、この時にも 0.1ppm を 5 秒以上超えることはなかった。

4. 日本原子力研究開発機構 (JAEA) のモルクラスターオゾン水に対する評価

(1) JAEA 主催の平成 23 年 3 月 26 日の報告会において、モルクラスターオゾン水は「道路の特殊水による除染技術」の一つとされ、その中で「界面活性効果が期待されるナノバブル水」及び「高圧水除染」と比較されている。そして、表 4-1 の除染結果の一覧 (NB 水はナノバブル水, HO 水はモルクラスターオゾン水, cpm は GM 計数管式サーベイメータによる 1 分間当たりの計数率を,  $\mu$ Sv/h は Nal (Tl) シンチレーション式サーベイメータによる 1 時間当たりの空間線量率を意味する) が各「試験結果」とされ、評価としては、「特殊水はいずれも高圧水洗浄と同程度の除染効果」と結論されている。

(2) また、「安全上の注意点 (高濃度オゾン水)」という項目を写真付きで大きく掲げて

報告され、あたかも除染作業により「大気中オゾンガス」が人体に対して危険な濃度で存続する可能性が高いかのような印象を与える内容となっている。

(3) さらに、「総合評価」として、モルクラスターオゾン水（高濃度オゾン水）による除染は「除染対象物」が「公園・道路・建物」に限定され、「除染効果」は「低」、「除去物量」は「少」、「コスト」は「高」と評価され、全体として「高圧水洗浄と同程度」という評価になっている。

表 4-1 水道水、NB 水、HO 水による除染結果一覧 (JAEA 作成)

対 象	コンクリート				アスファルト		
	水道水		NB 水	HO 水	水道水	NB 水	HO 水
媒 体	水道水		NB 水	HO 水	水道水	NB 水	HO 水
条 件	掛 流	7MPa	掛 流	0.3MPa	7MPa	7MPa	0.3MPa
除染前	1,370cpm	907cpm	1,570cpm	0.87 $\mu$ Sv/h	1,250cpm	1,480cpm	0.49 $\mu$ Sv/h
除染後	1,250cpm	288cpm	1,480cpm	0.71 $\mu$ Sv/h	340cpm	300cpm	0.13 $\mu$ Sv/h
減少率	9%	68%	6%	18%	73%	78%	73%
作業速度	90m <sup>2</sup> /h	90m <sup>2</sup> /h	90m <sup>2</sup> /h	60m <sup>2</sup> /h	90m <sup>2</sup> /h	90m <sup>2</sup> /h	60m <sup>2</sup> /h

## 5. モルクラスターオゾン水を用いた除染技術に対する筆者の評価

以下に、筆者の意見を含めて記述する。

### 5.1 除染に関する緊急実施方針、JAEA の委託契約、ネイチャーズ(株)との再委託契約から見た評価のあり方

原子力災害対策本部が平成 23 年 8 月 26 日に発表した「除染に関する緊急実施基本方針」では、緊急時被ばく状況（追加被ばく線量が年間 20mSv 以上）にある地域の縮小と現存被ばく状況（追加被ばく線量が年間 1~20mSv）にある地域の追加被ばく線量を年間 1mSv 以下にすること目標としている。また、除染実施の具体的な目標として、放射性物質で汚染された地域において、2 年後までに一般公衆の推定年間被ばく線量を約 50% 減少した状態を実現させること、従って物理的減衰および自然的要因で約 40% 減少することを前提に、除染によって実質的に少なくとも約 10 ポイント低減することをめざす。さらに、子どもの生活環境（学校、公園など）では除染によって少なくとも約 20 ポイント低減することをめざすとしている。その上で、除染の責任は国が持つこと、安全かつ円滑に除染が行わ

れるよう環境を整備するために種々の支援を実施すること、除染に伴って生じる放射性物質に汚染された土壌などの処理は国が責任を持つこと、それらの取り組みを進める際には国内外の叡智を結集して対応することを「基本的考え方」としている。

これに基づく内閣府と JAEA との除染実証業務の委託契約書では、業務目的は上記方針に沿い、「除染の効果的な実施のために必要となる技術の実証試験等を推進する」とされ、この受託業務の一環として「今後除染作業に活用し得る優れた技術を発掘し、除染効果、経済性、安全性等を確認する観点から実証試験を行い、その有効性等の評価を行うもの」として平成 23 年度「除染技術実証試験事業」の公募が行われ、「今後の除染作業をより一層効率的・効果的に推進すること」がめざされた。

公募で選ばれた 25 社の一つであるネイチャーズ(株)と JAEA との委託契約書で定める委託業務の目的と内容等については、契約書添付の業務計画書のとおりとされている。ここでは、『委託研究題目』は、「モルクラスターオゾン水による各種構造物実証試験」とされ、『委託研究の目的』は、第一に「モルクラスターオゾン水をアスファルトおよびコンクリートに噴射して洗浄することで、これらの構造物に結合した放射性物質を水相に移行させる」こと、および「除染率が高い洗浄技術を確立すること」、第二に、「建屋、森林、土壌など様々な構造物を対象とした、除染物量の発生量が極めて少ない除染技術の開発に資する」基礎実験を実施すること、とされている。そして『研究目標』を、第一に「アスファルト・コンクリートに結合した放射性物質の除染率が 50%以上になる技術を開発すること」、第二に「その他の様々な構造物の除染技術開発に資する基礎データを取得すること」とされた。また『実施内容』では、a) 高圧水道水洗浄、b) 高圧スチーム洗浄、c) モルクラスターオゾン水洗浄、d) 前処理したモルクラスターオゾン水洗浄、e) 促進酸化処理したモルクラスターオゾン水洗浄、を実施する除染方法として最も効果的なものを確立する、他の様々な構造物でも同様の方法で行う、としている。

したがって、モルクラスターオゾン水による除染技術実証試験の評価に関しては、地域の追加被ばく線量を低下させること、それを除染だけで 10~20 ポイントを目標に低下させることに対して、どれだけ効果的な除染方法であるか否かが最終の基準となる。そのためには、アスファルトおよびコンクリートに付着した放射性物質をどこまで水中に流出させられるか、建屋、森林、土壌など様々な構造物をどこまで除染できるか。これらの 2 種類の具体的なデータの評価が判断材料となる。具体的な目標値としては、アスファルト・コンクリートに結合した放射性物質の除染率が 50%以上になることであり、その他の構造物に役立つ基礎データを取得することであった。そして実際的な評価の観点は、「今後除染作業に活用し得る優れた技術」であるか否かを、除染効果、経済性、安全性等の観点から判断することであった。

## 5.2 上記実証試験の結果の評価

以上のような評価基準から見ると、本件のネイチャーズ(株)の「モルクラスターオゾン水

による各種構造物実証試験」の全体的な評価としては、次のようにいえるであろう。

#### (1) アスファルト・コンクリートの除染

① 郡山市工場敷地内で行ったフィールド試験 1 の場合、建屋壁面下部 50cm (コンクリート) では、50mm 厚の鉛によるコリメートされた条件下で、モルクラスターオゾン水を用いて除染した場合、62~88% という非常に高い除染率であった。一方、高圧熱水 (85℃、200MPa) を用いて除染した場合、27% の除染率にとどまった (表 3・4 を参照)。モルクラスターオゾン水は高圧熱水よりも 2.3~3.3 倍も高い除染率を示した。側溝 (コンクリート) については、多くの場合、モルクラスターオゾン水を用いた除染では、70% 以上という非常に高い除染率を安定的に得ている (表 3・7 を参照)。郡山市池ノ台にある民家で行ったフィールド試験 3 の場合、コンクリート製 U 字側溝底部では 23~78% (表 3・21 を参照)、コンクリート製集水マス底部では 18~57% の除染率であった (表 3・22 を参照)。

JAEA は、郡山市工場敷地内の対象コンクリート面が壁面であるという点と、屋根があって風雨に晒されない面であるという点から、この結果を比較評価の試験対象として不適であり、データとして採用しなかった、と主張しているという。しかし、当日の現場映像を見る限り、このデータは次の点で、比較評価に十分適合しているといえる。

- a) コンクリートの壁面は比較的新しい硬質コンクリートであり、汚染された対象物として個体差が少なく適切である。
- b) コンクリートの用途としては建築物に使用される例が圧倒的に多く、建築物壁面を除染対象物とすることが適切である。
- c) 同壁面の上部の高さ 10m 程に工場屋根が張り出してはいるものの、それは 300 mm 程度であり、下方の試験対象面に風雨・積雪などの影響を与えるものとはいえない。
- d) 別の点として、一般に用いられる高圧水洗浄は 8~10MPa の常温であるところ、200MPa で 85℃ という洗浄強度の強いものまで使用し比較している。この高圧スチーム洗浄は、一般高圧水洗浄の数倍~数十倍の洗浄効果があるもので、それでさえ 27% しか低減できないとされている。したがって本件除染対象であるコンクリート壁面の汚染の結着は極めて強かったといえ、これに比べてモルクラスターオゾン水が 70% 以上の除染率を示せたことは十分に評価できる。

ちなみにまだ除染専用でなかったモルクラスターオゾン水生成装置を使って試行錯誤的に試験した予備試験結果においても、ブロック塀上面、U 字溝内、敷石上面などで、モルクラスターオゾン水は 14~64% の除染率であるのに比べて、常圧水道水はブラッシングしても洗浄の効果は実質的になかった。敷石上面についての高圧水道水による除染は、前処理をしてもしなくとも 7.7% という低い除染率しか得られなかった。なお、モルクラスターオゾン水による洗浄の前に硫酸アンモニウム等で前処理する場合は、同じブロック塀上面でも 28~55% の比較的高い除染率となった。また、別の場所で車止め上面を前処理してモルクラスターオゾン水で除染した場合では 39~67%、平均すると 51% の高い除染率であった (表 3・1 を参照)。



このように、常圧水道水や高圧水除染によるコンクリート除染は、実質的な除染効果がなかったのに対し、モルクラスターオゾン水によるコンクリート除染は大きな除染効果のあることが分かっているのである。

② 双葉郡浪江町赤字木で行ったフィールド試験2の場合、アスファルトの除染は3種類のアスファルトに対して試験が行われた。いずれもモルクラスターオゾン水による除染と高圧水洗浄による除染の対比されたデータがあり、道路以外の駐車場等に比較的多く使われているアスファルト1（骨材砂状、舗装）では、20分間の高圧水洗浄による除染率は最大58.5%に達するのに比べ、モルクラスターオゾン水洗浄では3分間で10ポイント以上も高い最大69.5%に達した（表3・9を参照）。道路等に最も多く使われているアスファルト2（骨材砂利状、一般的）では、高圧水洗浄が最大22.6%の除染率に15分で到達するのに比べ、モルクラスターオゾン水洗浄では50ポイント以上、3.2倍以上高い最大72.9%の除染率に6分間で達した（表3・10を参照）。特殊な撥水性アスファルト3（骨材多く、タール分少）でも、高圧水洗浄が最大8.6%の除染率に到達するのに15分を要し、モルクラスターオゾン水が約4倍近い最大33.8%の除染率に到達するまで3分間しか要しない結果を得ている（表3・11を参照）。

したがって、アスファルトについては、モルクラスターオゾン水による洗浄は、高圧水洗浄と比較し、駐車場のような場合以外では、除染率が非常に高い上に、洗浄効果が出るまでの時間が極めて短い。駐車場等に比較的多く使われているアスファルト1の場合でも、短時間で高い除染率となり、明確にモルクラスターオゾン水による洗浄の方が高圧水洗浄よりも有効である。アスファルト1は、他のアスファルトと比べ、比較的容易に表層の砂ごと削り取られる性状を持つため、高圧水除染では放射性セシウムに汚染された砂そのものがアスファルト面から剥がし取られた結果であることは明白で、放射性セシウムを酸化力で溶かし出して除染するモルクラスターオゾン水が他にも大きな除染率を挙げているのと対照的で、両者は除染原理・メカニズムが違うことが確認できる。

この点は予備試験の結果でも、高圧水洗浄や高圧スチームの方法では、ブラッシングを加えてせいぜい4~5%程度の除染効果しかなく、これに対してモルクラスターオゾン水では、前処理なしでも54~73%の除染率、平均64%の除染率を得ている。アスファルトの場合、高圧洗浄や高圧スチームの方法では、アスファルト表面に付着した放射能汚染された土壌の流出効果による僅かな除染効果しかないのに対し、モルクラスターオゾン水では極めて高い除染率を挙げられることになる。

③ 以上のとおり、アスファルト・コンクリートの除染については、除染率が50%以上になる技術の開発という『研究目標』を、コンクリートの場合は、建屋壁面下部50cmで62~88%、側溝で70%以上と、十分に「目標達成」をクリアーしているといえる。加えて、モルクラスターオゾン水生成装置が不十分な段階でも、ブロック塀上面、U字溝内、敷石

上面などで、すでに14~64%という目標に近い除染率を示している。アスファルトの場合は、駐車場等のケースで69.5%、道路等の多くのケースで72.9%、特殊な撥水性アスファルトでも33.8%の各除染率をそれぞれ数分で達成し、基本的に目標を十二分にクリアしたといえる。そもそも生成装置が不十分な時期でさえ、各種アスファルトでは54~73%、平均64%という目標以上の除染効果を達成している。

同年実施された除染技術モデル事業の結果でも示されているが、一般的にアスファルト（碎石ペースの標準的なアスファルトの場合）の高圧水洗浄の除染限界は20%程度とされており、実際の除染作業で得られる除染率も同程度しか得られない実態がある。それに対してモルクラスターオゾン水の除染で得られた高い数値は、格段に高い除染効果であるといえるものである。

## (2) 建屋、森林、土壌など様々な構造物の除染のデータ

### ① フィールド試験1~3の個別データ

側溝脇玉砂利（岩石）	18地点	39~85%（平均70%以上）
側溝脇の地面（土壌）	7地点	いずれも粘土質の土壌で顕著な効果なし
トタン製屋根面	6地点	10~70%
トタン製戸袋		効果はわずか
雨どい	2地点	90%以上
漆喰壁面		14~38%
敷地内碎石砂利面		7~44%
家庭菜園土壌		0~40%
樹木（広葉樹／ナラ・ブナ、針葉樹／マツ）		28%~49%

### ② モルクラスターオゾン水の生成装置が不十分な時期の予備試験データ

建材（壁側面）		効果なし
建材（門柱上面）		59%
レンガ（上面）		57%
石材（上面）		50%
室外機（上面）		46%
ガードレール（側面）		効果なし
土壌		48%以上
腐植層下土壌		65%
樹木（松葉）		48~68%（低線量クヌギ・カエデ）効果なし
樹木（松樹皮）		38%（堆積腐植）68%以上

### ③ 広域アスファルト面および土壌法面・路面

アスファルト道路と草の生えた土壌法面を背景に持つ120m<sup>2</sup>の駐車場内エリアを40分間、モルクラスターオゾン水で洗浄した場合、コリメートしない場合でも洗浄の中心付近

の高さ 10cm 場所で約 21%の除染率であり、道路や法面方向にコリメートをした場合は、地上 1m で約 27~36%の除染率であった。

次に、背景である道路法面（草の生えた土壌）210m<sup>2</sup>、道路面（アスファルト）300 m<sup>2</sup>と駐車場路面（アスファルト）120 m<sup>2</sup>の広面積をモルクラスターオゾン水で除染した場合、コリメートなしの場合でも 19.8%~24%の線量率の低減効果があった。遮断体で法面向きにコリメートをした場合、洗浄エリアの中央付近では 24~36%の除染効果であった。この場合、実際の除染範囲は、周囲については土壌法面部分しか除染できず、同法面は全方位に対して占める割合が約 12%に過ぎないことが注目される。

この点は、除染技術実証試験事業と同時に行われた除染モデル事業の次の a) ~j)の 10 事例における除染前後の空間線量率の低下と比較すると、より高い効果が上がっていることが分かる。この 10 事例の平均をとると、28.54%の除染率となる。従って、除染モデル事業による、除草したり腐葉土を取り除いたり、土壌表土の全面的な剥がし取りをすることを実行しても、地上 1m の高さの遮蔽体なしの空間線量率の低下は、30%未満しか認められないのである。

a) 南相馬市金房小学校周辺の森林およびその周辺（報告書 79 頁「表」）

事前モニタリング平均 1.62μSv/h から、事後モニタリング平均 1.23μSv/h になったので、これは、 $(1.62 - 1.23) \div 1.62$  の計算で、24.1%の除染率であったことになる。

b) 浪江町津島地区の森林およびその周辺（報告書 80 頁「表」）

事前モニタリング平均 7.79μSv/h から、事後モニタリング平均 6.1μSv/h になったので、これは、 $(7.79 - 6.1) \div 7.79$  の計算で、積雪による影響で補正して、21.7%の除染率でしかなかった。

c) 田村市の森林（報告書 83 頁「表」）

事前モニタリング平均 0.80μSv/h から、事後モニタリング平均 0.69μSv/h になったので、これは、 $(0.80 - 0.69) \div 0.80$  の計算で、わずか 13.8%の除染率でしかなかった。

d) 葛尾村の森林（報告書 84 頁「表」）

事前モニタリング平均 2.02μSv/h から、事後モニタリング平均 1.36μSv/h となり、これは、 $(2.02 - 1.36) \div 2.02$  の計算で、32.7%の除染率となった。

e) 富岡町夜の森公園の森林（報告書 84 頁「表」）

事前モニタリング平均 10.21μSv/h から、事後モニタリング平均 4.03μSv/h となり、これは、 $(10.21 - 4.03) \div 10.21$  の計算で、60.5%の除染率であった。

f) 広野町の森林（報告書 85 頁「表」）

事前モニタリング平均 0.73μSv/h から、事後モニタリング平均 0.6μSv/h となり、これは、 $(0.73 - 0.6) \div 0.73$  の計算で、わずか 17.8%の除染率であった。

g) 大熊町夫沢地区の周辺の森林（報告書 86 頁「表」）

事前モニタリング平均 136.8μSv/h から、事後モニタリング平均 63.1μSv/h となり、これは、 $(136.8 - 63.1) \div 136.8$  の計算で、53.9%の除染率となった。

h) 檜葉町上繁岡地区の森林（報告書 87 頁「表」）

事前モニタリング平均 2.42 $\mu$ Sv/h から、事後モニタリング平均 1.91 $\mu$ Sv/h となり、これは、 $(2.42-1.91) \div 2.42$  の計算で、21.1%の除染率であった。

i) 檜葉町南工業団地の森林（報告書 87 頁「表」）

事前モニタリング平均 1.04 $\mu$ Sv/h から、事後モニタリング平均 0.91 $\mu$ Sv/h となり、これは、 $(1.04-0.91) \div 1.04$  の計算で、わずかに 12.5%の除染率であった。

j) 川内村の森林（報告書 88 頁「表」）

事前モニタリング平均 3.90 $\mu$ Sv/h から、事後モニタリング平均 2.83 $\mu$ Sv/h となり、これは、 $(3.90-2.83) \div 3.90$  の計算で、27.4%の除染率となった。

これに対して、モルクラスターオゾン水の道路・土壌法面（広域洗浄）の結果は、上記のとおり、遮蔽なしで 1m の高さにおける空間線量率で、各測定地点 17 地点で、13.0～32.8%の除染率、平均 22.3%の除染率であった（表 3・13 を参照）。これらの除染率は、平均 1 $m^2$  当たり 10 l の散水のみ、かつ一切の土木的な方法は用いられておらず、除染範囲も全方位に対して占める割合が約 12%に過ぎないというかなり制限された条件下で得られたものである。それにも拘わらず高圧水洗浄とほぼ同等の除染率が得られたのである。モルクラスターオゾン水による除染技術が、除染効果においても作業効率においても極めて有望な除染方法であることは明らかであるといえる。

### (3) ネイチャーズ株式の実証試験全体の評価

#### ① 第一に、除染率が著しく高く、明白であること

アスファルト・コンクリートの除染に関しては、除染率が 50%以上という『研究目標』を十分に達成していることがまず特筆される。コンクリートの場合は、建屋壁面下部 50cm で高圧熱水（200MPa）の約 3 倍近く高い除染率であること、予備試験段階でも敷石上面で 7.7%の高圧水除染率に対し、41～49%という 5～6 倍の除染率であることはモルクラスターオゾン水による除染の明白な優位性を十分に示している。アスファルトの場合、モルクラスターオゾン水では駐車場等や道路等の一般の大部分のケースで、ほぼ 6～7 割の相対的に高い除染率が得られた。これに対して高圧水除染では、2～5 割の相対的に低い除染率しか得られず、コンクリートとまったく同様な評価ができる。

建屋、森林、土壌など様々な構造物に関しても、側溝脇玉砂利（岩石）は 39～85%（平均 70%以上）、トタン製屋根面は 10～69%、雨どいは 90%以上、漆喰壁面は 14～37%、敷地内碎石砂利面 7～43%、家庭菜園土壌 0～40%、樹木（広葉樹／ナラ・ブナ、針葉樹／マツ）28.4%～48.7%と、多少のバラツキはあるが、多くは相当な除染率である。また、モルクラスターオゾン水の生成装置が不十分な時期のデータではあるが、建材（門柱上面）59%、レンガ（上面）57%、石材（上面）50%、室外機（上面）46%、土壌 48%以上、腐植層下土壌 65%、樹木（松葉）48～68%、（松樹皮）38%、（堆積腐植）68%以上と、これまた相当に高い除染率である。ただし、構造物の中には側溝脇の地面（粘土質の土壌）、

トタン製戸袋、建材（壁側面）、ガードレール（側面）など、除染効果が十分に出ていないものもあり、今後の研究課題として残されている対象もある。しかし、大多数の構造物に対し、モルクラスターオゾン水の除染が可能で、かつ大きな除染効果を上げることができるとは、議論の余地なく明白であると評価できる。

このように高圧水除染より明白に高い除染率で、かつ高圧水除染には適さない多くの対象物に対し、モルクラスターオゾン水による除染が有効であることは、第一に指摘できるのである。

## ② 第二に、作業効率が著しく優れていること

フィールド試験2のアスファルトの除染において、駐車場等に多いアスファルト1では、高圧水洗浄が20分間で最大除染率となるのに比べ、モルクラスターオゾン水洗浄では10ポイント以上高い最大除染率にわずか3分間で達することである。道路等に多く使われるアスファルト2では、高圧水洗浄が15分間で最大除染率に達するのに比べ、モルクラスターオゾン水洗浄ではそれより3.2倍以上高い最大除染率にわずか6分間で到達する。特殊な撥水性アスファルトでも、高圧水洗浄が最大除染率になるのに15分間を要するのに対し、モルクラスターオゾン水が約4倍近い最大除染率になるのに3分間しか要しないのである。この作業効率は、基本的に除染原理・メカニズムの違いから生じているのであるから、他の除染対象物についても、作業効率が同様の傾向になるものと推察される。

高圧水洗浄は、ノズルから高圧で水を噴射する。ノズルから10cm～20cm離れた対象物に対する打撃力として最適であるが、それを超えて1mまたそれ以上離れた対象物となると、大気の空気抵抗により極度に水圧が低下して除染の効力を急速に失ってしまう。このため、たとえば屋根などを除染する場合、作業者は屋根などの高所に上って、常に対象物にノズル先を近づけなければならない。またノズルから水の噴射される角度を考えれば、数cmから20cm以下の距離範囲でしか除染作業を実行できないのである。一方、モルクラスターオゾン水は水の打撃力でなく、オゾンの酸化力により除染効果を発揮するので、散水は水を対象物表面に届くように行えば良い。たとえば地上から屋根上部のような高所に散水する、または広い面積を一度に洗い流すように散水することができるのであり、この点から高い作業効率が得られるのである。

また、JAEAは、モルクラスターオゾン水の除染スピードを1時間あたり60m<sup>2</sup>と認定している、という。しかし、実際に原告らが行った実験映像では、除染時のオゾン濃度（46ppm）や除染した1クルの時間が記録として残っている。また映像でも、どの程度の面積を単位時間あたりに除染しているかは十分に理解できるものであり、同社が報告した1時間あたり500m<sup>2</sup>という数値で理解することは容易だが、JAEAの公表した1時間あたり60m<sup>2</sup>という一桁低い値は、広域除染の実際の映像からは、あまりにも実態からかけ離れているように思える。原理的に考えてもモルクラスターオゾン水による散水と一般の散水とで作業時間に大きな差異があるとは考えられず、この点を鑑みれば、1時間も作業

して60m<sup>2</sup>しか散水できないというのは、まったく道理に合わない指摘せざるを得ない。

このように実際の実証試験で得られた結果では、モルクラスターオゾン水による除染は、単に除染率が著しく高いというだけでなく、その作業効率も極めて良い、という特徴がある。特に屋根に上ることなく地上からの散水で屋根の除染が可能となることは、非常に優れた特徴であるといえる。

### ③ 第三に、除染対象物が極めて広範で、かつ除染作業が容易であり、ほぼすべての要除染対象物に適用可能であることは特筆すべき利点であること

オゾン水の酸化作用により放射性物質を溶出させて除染対象物を洗浄するという基本的機能は、原理的に見ても、酸化作用のある水に濡れることが対象物との関係で不適切である場合、たとえば精密電気器具、裸電線、紙、ある種の布地などの除けば、洗浄可能なすべての対象物に広げることができるものといえる。上記のとおり、フィールド試験3の実証試験においても、一般の居宅の外周すべてを原則として除染対象として洗浄できたのである。

除染方法の点でも、ホースで水を撒くという庭いじりの延長線上の作業方法であり、後述するオゾンの安全性に関する若干の留意点を守りさえすれば、極めて安全に居宅全部や庭や樹木や道路や畑などを、水撒きと同程度の作業時間しかかけずに、高い除染率で除染することができるのである。

現在、福島県内で主に行われている除染方法は、①屋根は布でふき取る、②雨どいは堆積物を取り除いて水できれいに流す、③雨どい直下はその土を60cm四方、深さ5cmの範囲で取り除く、④庭木は深く刈り込み、大木の根元は深く削り取り、植え込みの下の土は1cm程度削り取る、⑤自宅裏庭は表土約1cmの深さで削り取り、草の根についた土は草と分ける、⑥生垣は深く刈り込む、⑦道路脇の草や土を取り除き、側溝は堆積物を取り除き高圧洗浄機で洗浄する、⑧庭先は約1cmないしそれ以上重機ではぎ取る（環境省のパンフ『除染はどのように行われるのですか？－除染の効果・進め方について－』（平成24年10月発行）、とされている。

このうち、堆積物の取り除きや庭木の刈り込みは別に行うとすれば、土壌を含めて、モルクラスターオゾン水による洗浄だけで、大部分の住宅の除染は、オゾン水を散水するだけで広範かつ容易に実施することが可能である、と評価できる。

土壌に関しては、表土深さ1cmくらいを撤去することは、汚染物質を取り除くという点で徹底的ではあるが、その廃棄物の処理・処分・管理問題が重大であることのほか、どの範囲で撤去するのか、という基本問題を避けることができない。この点は大小の樹木なども、どの範囲で行うのかという類似の問題がある。実際的に見るならば、汚染物質の撤去以外の方法を併用する以外に、現実にも有効な地域の除染を進めることは不可能であろう。この点で、散水を基本とするモルクラスターオゾン水による除染が極めて有効な方法であると考える。これこそ、内閣府の「除染の効果的な実施のために必要となる技術の実証試

験等を推進する」という基本方針に沿う技術であると考える。

また、旧来行われている表面剥ぎ取り作業は、放射性物質を含む塵埃を人が体内に取り入れてしまう（塵埃の吸込み、体表への付着から経口して取り込むなど）リスクが高く、この点でも散水によってセシウムそのものを水に溶かしとるモルクラスターオゾン水による除染方法は、安全性の面でも優れているといえる。

#### ④ 第四に、広域除染のための技術として有効性を有することが立証されたこと

1) 双葉郡浪江町赤字木の広域除染は、120m<sup>2</sup>の駐車場内エリアを40分間洗浄した場合、洗浄の中心付近における高さ10cmの場所で約21%の除染率を得ており、この駐車場エリアに道路法面210m<sup>2</sup>、道路面300m<sup>2</sup>と630m<sup>2</sup>の広い面積を除染した場合、19.8%～24%の線量率の低減効果を得ている。

前記のとおり、国の示す1mの高さにおける空間線量率（コリメートなし）の低減目標が10%（10ポイント）であることからすると、広域のアスファルト面とともに、空間線量率の高い土壌法面につき、転土を一切不要としてモルクラスターオゾン水による除染をした場合、広域で大幅な放射線量の低減ができたことは特に評価されるべきデータである。しかも、上記のとおり、洗浄範囲が全方位（360°）から見ると12%くらいの割合の洗浄でしかないにも拘わらず、この結果となったという点も注目すべき点である。

2) 原理的に見るなら、洗浄した駐車場や道路面は放射性物質を取り除く効果をあげているが、道路法面は草の生えた土壌であり、土壌の表面から溶出された放射性物質は多くの場合、水とともに再び土壌に浸透する以外ない。それにより線量率の低減効果をあげているのは、次の仕組みによるものと考える。

フィールド試験2において、同時に道路に面した法面の面積1m<sup>2</sup>当たり10ℓのモルクラスターオゾン水を放射状に均一に散布し、予め打ち込んだカラム（長さ200mm、直径50mm）を採取して放射性セシウムの浸透をガンマ線スペクトロメトリーで確認する実験を行っている。

この計測結果では、散布未処理の場合に比べて、地表から1cmの深度から同3cmの深度に、極めて大きく放射性セシウムが移行（1cm表層に80%、3cm深度地点に20%程度の分布であった放射性セシウムが、1cm表層に40%、3cm深度地点に60%という顕著な移動）することが明らかになった。同時に、5cm深度の地中、7cm深度の地中には全く移動しないことも明らかとなった。これは、強固に土壌に結着している放射性セシウムを、オゾン水が一時母材から高い効率で溶出させ、土壌の鉛直方向に落下浸透させ、同時にオゾン水中のオゾンは土壌成分と接触して瞬時に酸素に分解し、放射性セシウムは土壌に再結着することから生じたものである。再結着するため、放射性セシウムは地下水系等に至るさらなる深層には移行しないことになる。このことは、この作用により森林など土壌面から放出される放射性セシウムを広域に除染する可能性があること、さらに放射性セシウムが飲料水に供する地下の水脈に至らない安全性もあわせもつことを示唆するデータであ

る。これを用いれば、土壤表面を人が剥がし取るとともに、地元住民の合意を得るという点で現在においても非常に困難である大容量の仮置き場を確保する必要もなく、現地で散布するだけで、空間線量率を下げる措置として有効に使えることを示している。通常森林などの除染では、人が表面土壤の除去作業を行うが、放射性セシウムを含む塵埃が浮遊し、作業員や立会人が呼吸器に吸込む安全性面でのリスクがあり、この面でも広域に放射性セシウムを土壤中に封じ込めるという極めて合理的な機能をモルクラオスターオゾン水が有することを示している。当該実験は、土壤法面  $1\text{ m}^2$  当たり  $10\text{ L}$  という散水量であったが、散水量を増量すれば鉛直方向に移行させる距離を深くすること、対象区域の土壤表面から放出される放射線をさらに減少させることが可能であることも、当然のこととして指摘できるものである。

東京大学大学院の根本圭介教授らの研究グループが、放射性セシウムがどのように農作物を汚染し取り込まれるか、放射性セシウムの移行経路について検討している。山間部の汚染区域における田畑の周辺には森林が隣接しているが、森林の樹木が落葉し、また地表の汚染された腐葉土や土となって表層土壤に保持されている。この汚染土壤と汚染物質が降雨・降雪、雪解け水で山の斜面や法面から流出して田畑に流入し、セシウムそのものが農作物の育成環境下に供給される、という移行経路である。モルクラオスターオゾン水で田畑に隣接する森林の樹木や地表からセシウムを一段深い地中に移行して固定化することは、流出し移行・拡散する放射性セシウムをその場に封じ込める意味で、食の安全確保のためにも極めて有効であるといえる。

## 6. JAEA の指摘しているモルクラオスターオゾン水除染の評価の検討

### 6.1 評価方法上の問題点

モルクラオスターオゾン水除染に関して、その実証試験結果を評価する JAEA のやり方について、科学的な評価とは到底いえないような問題点が散見されるので、以下にそれを述べる。

#### (1) 高圧水洗浄とモルクラオスターオゾン水のデータ比較の恣意性

高圧水洗浄とモルクラオスターオゾン水洗浄のデータ比較において、JAEA は、ネイチャーズ(株)が行った試験値の相互比較ではなく、他の地域、他の対象物、他の条件(洗浄方法、洗浄時間、ノズルと対象物の距離など)で行っているものを、不適切にも比較データとして用いている。今回の福島原発事故では、放射性物質は、放射性プルームとして主に低空を移動し、やがて重力により降下・沈着した。その地域の天候状態により降雨・降雪などで急速に降下・沈着したものもある。加えて、地上に降下・沈着した後、降雨・降雪などのウェザリング効果により地表面を移動し、放射性セシウムの濃淡が局所的に新たに生じた場所もある。それ故に、場所により汚染濃度が大きく異なる。したがって、同じ場所、できれば近接する同じ材質の対象物において、除染データの比較を行うのが基本であるべ



きである。また、洗浄方法の条件も、同一でなければ科学的な比較というものができないのは常識である。この点では、いわゆるチャンピオンデータという、試験数値だけを最大に高いものとして得ようという姿勢ではなく、将来実施すべき実際の除染活動を想定した実現可能な作業性に配慮した条件（散水量や散水作業のスピード）で行っているかどうかは、極めて重要な視点であり、ネイチャーズ(株)の場合は、この点こそが評価できる点である。そもそも JAEA とネイチャーズ(株)との委託契約では、委託する「業務計画書」で試験内容を特定している。そこでは、①アスファルト・コンクリートに結合した放射性物質の除染率が 50%以上になる技術を開発すること、②その他の様々な構造物の除染技術開発に資する基礎データを取得することを『研究目標』とし、『実施内容』では、a) 高圧水道水洗浄、b) 高圧スチーム洗浄、c) モルクラスターオゾン水洗浄、d) 前処理したモルクラスターオゾン水洗浄、e) 促進酸化処理したモルクラスターオゾン水洗浄を実施する除染方法とし、最も効果的なものを確立する。他の様々な構造物でも同様の方法で行う、としている。したがって、契約上でも、自らの試験内容の中で高圧水洗浄と比較することを目標にしており、他者との比較はまったく考慮されていない。このような契約に明記した方法を前提として評価し、その上で各試験の客観的評価を互いに比べてみる作業が必要であったはずである。JAEA のやり方は、このような作業を抜きにした表面的な数値比較に過ぎず、極めて不適切であると考えられる。

### (2) モルクラスターオゾン水による除染作業の安全対策についての異常なまでの強調

モルクラスターオゾン水がオゾンガス脱気の極度に少ない安定化オゾン水生成技術によるものであることは、実験映像でも容易に確認できる。それは超高濃度といえる 40～60ppm ものオゾン水を大量散水する作業者が、不織布製の一般的なマスクの着用で問題なく作業していることやそれを観察している者がマスクの着用もなく平然としている状況からも明白である。このような実際の現場作業において、すでに当該オゾン水特有の散水上の安全性は確認されていたといえる。この安全対策の必要性を殊更に報告において強調しているのは、何がしかの意図が別にあるものとしかれないであろう。

### (3) ネイチャーズ(株)の行った実験方法の不適正さや計測器の不足等の揚げ足取り

ネイチャーズ(株)の試験結果の評価において、そのデータをそのまま採用することを拒否する理由として、JAEA は実施した実験方法の不適正さや計測器の不足を挙げていると聞かすが、データおよび実験映像を見る限り、散水条件の計画と実施、コリメートの器具手法、計測値の安定する待機時間の堅持など、初めての現場環境の中で、十分に正確に除染データを出すことを認識した方法で実行されていると認められる。実際、JAEA の紹介によりネイチャーズ(株)の予備試験に立ち会った東京都市大学工学部原子力研究所の岡田往子准教授も、試験現場でモルクラスターオゾン水による除染効果を高く評価する場面こそあれ、ネイチャーズ(株)の試験内容の不備を指摘する場面は一切ない。

#### (4) JAEA の職員が試験にまったく立ち会わなかった無責任さ

JAEA の職員は、予備試験だけでなく、その後に行われた 3 カ月間のモルクラスターオゾン水の実証試験に一度も立ち会っていないと聞く。このような態度は、国から委任を受けた組織として極めて無責任であると考えられる。さらに最終段階であるフィールド試験 3 の時期になって、なぜか突如としてオゾンだから危ないと言い出して、安全対策書の提出を求めた上、作業の中止を命じたりしている。しかし、仮に作業上の安全性が問われるのであれば、なぜもっと早い段階で指摘し、その改善策を講ずるよう求めなかったのか、非常に疑問である。予備試験に立ち会った前述の岡田准教授は、JAEA の紹介で指導役として立ち会った研究者である聞いている。同准教授が試験現場でまったく指摘せず問題にしていなかったことが、なぜ最終段階において突如として問題とされるのであろうか。筆者にはまったく理解できない。JAEA に合理的な説明を求めたい。

#### (5) 試験結果の報告をアスファルトとコンクリートに限定した不合理性

試験結果の報告会において、JAEA は、モルクラスターオゾン水による除染実証試験の結果を、コンクリートとアスファルトだけに限定して対象を狭めている(表 4・1 を参照)。しかし、これは、まったく根拠のない制限である。JAEA は本来、その委託を受けた業務上、福島県内の汚染された地域全体を、如何に有効に、如何に効率的に、如何に広範囲に除染できる技術と方法であるかを、コスト面をも含めて調査・選定し、援助する重大な責務があったはずである。しかし、前述した森林(樹木や土壌)、住居ほか、散水することが可能なほぼ全ての対象物に対して極めて作業効率がよく、高い除染効果を有すると認定できる除染データがあるにも拘わらず、これを排除したのは背任的行為であると指摘せざるを得ない。科学的合理的な理由もなく不当といえる評価で、モルクラスターオゾン水を用いた除染方法を事実上抹消した経緯は、地域社会全体の日も早い除染の進行を望む人びとや、避難指示区域における早期の避難指示解除と帰還を望む人びとにとって、到底看過できるものではない。

### 6.2 モルクラスターオゾン水除染技術に対する JAEA の評価内容の問題点

モルクラスターオゾン水除染技術に対する JAEA の評価内容(表 4・1 の JAEA の評価一覧)の主な問題点を、以下にまとめて指摘する。

#### (1) 予備試験結果は「参考データ」であり、実証試験結果ではない

予備試験結果は「参考データ」とすることはできるとしても、本件実証試験ではない。したがって、予備試験結果を基礎に JAEA がモルクラスターオゾン水除染技術を評価することは、実証試験の位置づけから見てありえないことである。そうであるにも拘わらず、表 4・1 の中のモルクラスターオゾン水に関する除染率の値は、コンクリートの除染については、「参考データ」に過ぎない予備試験結果より抜き出したものである。すなわち、「コ

ンクリート等 20 検体」(表 3・1)のうち、C-2 を引用したものである。また、アスファルトの除染率の値についても、同様の予備試験結果である「アスファルト 13 検体」(表 3・2)に記載されている A-1 を引用したものである。

これは、形式的にはまったくの詐欺的な方法である上、実質的にも評価を著しく誤らせるものである。そもそも予備試験で使用されたモルクラスターオゾン水生成装置は当時手元に保有していた食品用装置であり、オゾン水濃度が低く、生成量も少量である弱点を有していた上、除染方法や対象の有効性についてもモルクラスターオゾン水の水压を含め試行錯誤をしていた時期のものである。それ故、予備試験結果を実質的に実証試験結果と評価できないことは常識であろう。

特に、コンクリート除染の代表事例とされた「ブロック塀上面」のような塀に使用されるコンクリートブロックは、砂ベースで軽量であり、表面が粗く隙間があり、汚染水が中まで浸透しているため、表面を洗浄しただけでは容易には除染できない困難性があるのが通常である。このような重要な違いも無視し、敢えて予備試験結果を本試験結果のように偽って公表するなど、許されることではない。

## (2) コンクリートの除染率は 76%として報告すべきである

モルクラスターオゾン水によるコンクリートの除染に関する実証試験結果としては、フィールド試験 1「郡山市工場敷地内」における「①建屋壁面下部 50cm (コンクリート)」の除染結果(表 3・4)のうち、結果が得られなかった F 地点と洗浄条件の異なる H 地点を除いた 11 地点の除染率の平均値である 76%を使用すべきである。これを通常のコンクリートではないブロック塀の除染率である予備試験結果の 18%を使用して偽るなど、著しく公平性を欠いた態度である。

JAEA は、上記除染個所が「放射性物質で汚染した泥等が日常的に付着することによって汚染される可能性が高い場所」であること、および「泥等はオゾン水を含まない通常の水でも容易に洗い流すことができる」可能性があることを理由に、「①建屋壁面下部 50cm (コンクリート)」の除染結果をデータとして認めなかった、と聞く。

しかし、映像等で確認する限り、この場所は工場敷地の中にある高さ 10m ほどの陸屋根の工場の非常に大きな壁面の下部であり、常に「風雨にさらされている状態」の場所であり、屋根の張り出しも 30cm 程度であることからして、風雨を防ぐ機能があるとは思われない。また、福島原発事故直後から同試験実施までの 9 カ月間以上も風雨にさらされる中で、事故発生当時に付着した泥のうち風雨で洗われ地面に落ちるようなものは、既に落ちていると見るべき場所である。特に垂直の壁面なのだから長年の風雨による洗浄・落下の可能性はむしろ極めて高い場所なのである。

さらに「泥等はオゾン水を含まない通常の水でも容易に洗い流すことができる」か否かについては、現に同一場所において、モルクラスターオゾン水ではない通常の水道水による高圧熱水洗浄(85℃、200MPa)では、0.18  $\mu\text{Sv/h}$  から 0.13  $\mu\text{Sv/h}$  への除染結果であり、

除染率は 27%に過ぎないのであるから、「通常の水でも容易に洗い流すことができる」などという評価は、まったくあたらない。そもそも事故後の現実を考えれば、極めて不合理な評価である。これまで高圧水による洗浄ではなく、通常の水による洗浄が特に比較の対象とすべきものと指摘された事実は聞いたことはないし、原発事故後相当な月日が経過している中で、通常の水の効果を殊更に問題にする必要性はまったくない。

なお、アスファルトについては、フィールド試験 2「双葉郡浪江町赤宇木」の「アスファルト 2（骨材が砂利状で、一般的道路面）」の除染結果（表 3・10）によれば、時間とともに徐々に除染率が高くなり、6 分間洗浄すると、除染率は 72.9%まで除染率が上がるので、このデータが採用されるべきであった。

### (3) 対比される高圧水の除染率が不合理で非常識な内容となっている

試験結果の報告会の評価では、モルクラスターオゾン水除染技術と対比されるべき高圧水の除染率はコンクリートが 68%、アスファルトが 73%と極めて高い値とされているが、これは比較基準としては不合理で非常識な内容である。

本来なら、モルクラスターオゾン水除染技術と比較対照すべき高圧水洗浄については、対象物の同一性等の比較可能な条件を満たしているネイチャーズ(株)自身の測定結果である。コンクリートについては除染率 27%（フィールド試験 1，郡山市工場敷地内の建屋壁面下部についての表 3・4）、アスファルトについては 21～22%（フィールド試験 2，双葉郡浪江町赤宇木のアスファルト 2 についての表 3・10）を使用すべきであり、これが実証試験の委託契約の趣旨にも沿うものである。

また、比較すべき一般的な高圧水除染の除染率について言うなら、より実際的で通常の高圧水洗浄のデータを使うべきであり、これには本件実証試験事業と並行して行われた除染モデル事業の結果（平成 23 年度除染モデル実証事業等の成果報告書）が参照されるべきである。そこでは、単純な高圧水洗浄（10MPa）は、大型建物のコンクリート（たたき）で除染率 35%（22 頁）、道路（アスファルト舗装面）では、乾式路面清掃を加味した一般的な洗浄方法では、平均約十数%程度と見られる（50 頁）。したがって、一般的な高圧水除染では、どんなに良い条件で除染しても、せいぜい 30%台の除染率であり、JAEA の一覧表（表 4・1）に記載されている 68%（コンクリートの場合）、73%（アスファルトの場合）という除染率の値は、きわめて特殊な数値であり、比較の対象として掲げられるべきものでは到底ない。

### (4) 道路以外の対象物に対する除染データが排除・無視されている

JAEA の一覧表（表 4・1）では、道路以外の対象物に対するモルクラスターオゾン水の除染効果に関するデータがすべて排除・無視されていることは理解し難い。

ネイチャーズ(株)と JAEA の間の委託契約では、「建屋、森林、土壌など様々な構造物を対象とした、除染物量の発生量が極めて少ない除染技術の開発に資する」基礎実験を実施

することが、委託の目的のひとつとされている。しかし、JAEAの一覧表(表4・1)では、道路以外のモルクラスターオゾン水の除染効果に関するデータが、評価の方法上すべて排除され無視されている。これは、モルクラスターオゾン水の除染技術が種々の構造物を対象とでき、かつ除染の結果生ずる汚染廃棄物の量が極めて少ない除染技術であることを隠すものと厳しく批判されなければならない。

道路以外の対象物に対するモルクラスターオゾン水の実際の除染効果を、上記除染モデル実証事業成果報告書のそれを例示的に比較すると以下のとおりであり、モルクラスターオゾン水除染技術の優位性は明らかである。

- ① フィールド試験2における除染率は、樹木の場合、およそ28~49%、平均およそ41%である(表3・14)。一方、除染モデル実証事業の樹木の高圧水による除染率は30%とされ、「樹皮剥がしに弱い樹種あり」であり、「推奨されない除染方法」とされている(報告書7頁)。これは、高圧水除染では、樹皮が剥がされてしまうことになるためと考えら、この点でもモルクラスターオゾン水除染技術は優れている。
- ② フィールド試験3における除染率は、トタン屋根の場合、コリメートなしで見た場合、24~62%、平均およそ41%近くである(表3・15)。一方、除染モデル実証事業の高圧水の除染では、屋根の場合、焼付鉄板や塗装鉄板も結果の除染率の値をあげることができない上、いずれも「推奨されない除染方法」とされている(報告書32頁)。また、フィールド試験3では、雨どいの場合、90%以上の除染率であり(表3・16)、他方で除染モデル実証事業の高圧水除染は、60%程度の除染率とされている(報告書34頁)。

#### (5) 除染の作業効率が不当にも著しく過小評価されている

除染の作業効率の点では、モルクラスターオゾン水の除染技術については、除染実証試験成果報告(表4・1)では60m<sup>2</sup>/hと不当にも著しく過小な虚偽表示をされている。

モルクラスターオゾン水除染技術では、ほとんどの対象物に対して噴射角度45~90度、水圧は0.2~0.5MPa、散水量30~60ℓ/分の条件下で除染を行った結果、対象面に対して45度程度の傾斜した角度からの散水が経験的に良いとされ、装置1台で1時間当たり500m<sup>2</sup>以上(平面の場合)の散水が可能であるというのが、ネイチャーズ(株)の報告である。

ところがJAEAは除染作業の映像ビデオなどを当然視聴しているにもかかわらず、根拠が不明であると称して一方的にこの作業効率の値を無視した上、フィールド試験2の道路洗浄の報告書の中にある、モルクラスターオゾン水と高圧水による除染を同量の水量で比較するため、1m<sup>2</sup>のエリアを設定し、同量の水(高圧水は10倍の時間をかけた水)で洗浄した場合、両者の除染率に推移状況を比較した一覧表を使って、モルクラスターオゾン水の除染効率は1m<sup>2</sup>当たり1分の作業速度と推定する、と弁明していると聞く。しかし、同除染作業は道路・駐車場・土壌法面の広範なエリアを除染していることは明らかなのであるから、「1m<sup>2</sup>エリア」という限定が、作業場所の限定ではなく、比較すべき測定場所の限定であることは、ありのままに見るなら明白であり、牽強附会の虚構と言わざるを得

ない。この試験は、モルクラスターオゾン水洗浄と高圧水洗浄の作業効率を測定・比較する目的で行われたものではなく、放射性セシウムの除染効果がどこまで到達するのかを両洗浄方法で測定・比較する目的で行われたものであった。高圧時間をかけて散水量を増やすほど効果は高いが、アスファルト 2 の場合（一般道路）、0.5 分（30 秒）で最高に近い約 65% の除染率であり、これがさらに短い時間でどれほどの効果が出るものかは、この試験では明らかではないのである。

そもそも作業の効率性の点では、上記の除染モデル実証事業の高圧水除染では、樹木の場合、1 日当たり 4 本（報告書 7 頁）、建物は 1 日当たり 100～200 m<sup>2</sup>（報告書 23 頁）、屋根の場合は「拭き取り」でも 1 日当たり 120 m<sup>2</sup>（報告書 32 頁）、道路の場合は 1 日当たり 300 m<sup>2</sup> の作業効率（報告書 51 頁）に過ぎないのであるから、モルクラスターオゾン水を用いた除染技術は、高圧水に比べ極めて作業効率が良いと評価できる。仮に 1 日当たり 6 時間（作業員の休憩を除く除染作業時間）を、モルクラスターオゾン水を用いた場合の除染時間とするなら、除染範囲は 1 日あたり 3000 m<sup>2</sup> 以上ということになるのである。

#### (6) 虚構の危険性と不要の安全対策を強調している

JAEA の一覧表（表 4・1）では、一覧表以外で、ほかに「安全上の注意点」という表題で、かつ赤字で、「高濃度オゾン水」の危険性を列挙し、さらに放射線防護用のマスクをして除染作業をしている作業員の写真を添付して、モルクラスターオゾン水による除染作業においてはさも安全対策が殊更に重要であるかのように印象づけている。また、試験結果の報告会のまとめである「総合評価」では、「除染効果」は「低」、「除去物量」は「少」、「コスト」は「高」とされている。これらのうち、モルクラスターオゾン水除染技術では「除去物量」が「少」とするのは当然の評価であると考えるが、モルクラスターオゾン水の危険性や除染コストについては、別の述べるように、内容的に虚偽と言うほかはない。

以上のとおり、試験結果の報告会における「特殊水はいずれも高圧水洗浄と同程度の除染効果」という JAEA の評価は、ネイチャーズ<sup>®</sup>のモルクラスターオゾン水の除染に関する限り、道路についてもその他の対象物についても、まったくの虚構を殊更に行ったと指摘せざるを得ない。

### 7. モルクラスターオゾン水を用いた除染技術の優位性

モルクラスターオゾン水を用いた除染に関連する試験において、急速に脱気する一般的なオゾン水と異なり、モルクラスターオゾン水は、粒径の平均値、中央値、最頻値がいずれも 10nm（1 億分の 1m）以下であり、実質上浮力の影響を受けない、すなわち脱気し難いことが明らかになっている。また、気泡の密度も 1ml 中に数十兆個存在することから高濃度の調整できることとされている。つまり、モルクラスターオゾン水は酸化力が非常に

強い一方で、反応後は、大部分は水中にとどまったまま無害な酸素に分解するという非常に扱いやすい酸化剤であるといえる。このモルクラスターオゾン水の特性は、実証試験事業の採択段階から分かっているはずであり、JAEA も当然認識しているはずであると考え

### (1) 土壌中のセシウム移行と再結着の過程の確認

一般的なオゾン水と比較すると、モルクラスターオゾン水が相対的に極めて高濃度の状態を安定的に維持したオゾン水であることは前術したとおりである。実験の結果では、土壌法面 1 m<sup>2</sup> 当たり 10 ℓ という僅かな散水量でさえ、大きな除染効果を示した理由であると考え。したがって、さらに、散水量を増やせば地中の鉛直方向に放射性セシウムを深く移行させることができ、対象汚染区域から放出される空間線量率をさらに減少させることも可能であることは、科学的に推定できるものである。

### (2) 溶出除去された処理水から放射性セシウムを捕捉する水処理技術の確認

フィールド試験 1 において、建物壁面と玉砂利を洗浄したモルクラスターオゾン水を流して U 字溝に集水した。放射性セシウムを含んだこの処理水は、8000 Bq/ℓ 程度の放射能濃度であったが、これを排水する前に、500 ℓ の容量のタンクに 400 ℓ のゼオライト（網袋に 10 ℓ ずつ分包）を入れて接触させ、排水口に流した。放射性セシウムをゼオライトに吸着処理した前後において、排水中の放射性セシウム濃度の減少率は 92% であった。これにより、放射性廃棄物の体積を大きく小さくすることが可能であることが示された。

モルクラスターオゾン水は、その物性から、除染して反応を終えれば酸素だけを含む自然水となる。何の化学薬剤も含まない水は、上述のように放射性セシウムをゼオライトなどに吸着させて分別・除去することが容易であるので、その取り扱い状の操作は極めて容易であり、放射性セシウムの拡散リスクを最小化できるといえる。

### (3) モルクラスターオゾン水除染における安全対策と周辺環境オゾン濃度の低さの確認

一般的な放射線防護対策以外のオゾン固有の問題である安全確認としては、除染作業中は作業現場に作業員以外の者を近づけさせないことが基本である。また、作業員は、作業に先立って必ず風向きを確認し、脱気するオゾンガスの吸引を予防することが必要である。

ただし、実証試験の映像とデータをみる限り、JAEA が強調したように、「オゾンだから危ない」という点を特別に強調されるべきものではなく、要は、少量であるにせよ短時間発生して空気中の存在する脱気オゾンについて、除染作業中にすぐ近くで吸引しないようにする注意が、主に作業員、時に見学者に一般的に必要なにすぎない。高圧水除染でも、高圧水の直近で水を指などに当てれば、傷害を受ける可能性があることを想定すべきであって、モルクラスターオゾン水を用いた除染技術が他の除染技術と比較して特段に高いリスクを有しているわけではないと考える。

フィールド試験3の実施中に念のため確認されたことであるが、日本における労働環境の空気中オゾン濃度の上限0.1ppm（労働環境中で1日8時間の平均環境濃度として規定）と比較して、除染区域の風下において、しかも実際には作業員以外は人が居ることを想定できない散水ポイントから5m地点という近距離において、環境オゾンガスモニターで空気中オゾンガス濃度を連続的に計測した結果、高さ方向による変化はなく、2時間の除染作業時間の中では瞬間的に最大0.18ppmを示したものの、作業時間を通して全体的に上限値の0.1ppmよりもはるかに低濃度（検出限界以下～0.03ppmの範囲）であった。除染区域には作業員以外の者は立ち入らせない上、モルクラスターオゾン水の散水にあたる作業員はオゾン分解マスクを着用しており、マスク内でオゾンガスを検知することはなく常に検出限界以下であった。従来のオゾン水では、大量にオゾンガスが脱気する問題があったが、モルクラスターオゾン水では飛躍的に脱気が抑制されることが現場で確認されている。

通常のオゾン水は、ごく低濃度の溶存オゾン水濃度であっても、短時間にオゾンガスが脱気する。モルクラスターオゾン水の場合、超高濃度といえる40～60ppm（mg/l）で、しかも毎分40～60ℓもの大量の散水をしてもおお、周辺環境に環境オゾン濃度程度しかオゾンガスが脱気しないということは驚くべき安定性を示している。その安定性ゆえに、除染に有効な酸化効果を示す超高濃度オゾン水を大量に生成できるという機能を保有していると評価できるのである。

#### （4）除染作業の効率性の確認

試験では、ノズル形状だけでも10種類以上を試すなど、散布条件も種々検討されている。その結果、モルクラスターオゾン水の散布では、圧力に関係なく、除染対象面に45度程度傾斜した散布が効果的であることが分かった。実際には、装置1台で時間当たり500m<sup>2</sup>の除染が可能であった（平面の場合）。

高圧水道水洗浄に用いる機器は、7MPaから最大200MPaと水圧を高くするために、ほぼ例外なくプランジャー式ポンプによる機械構造をもつ一方で、吐出水量は少なく、1分間当たりの散水量がわずかに5ℓ、大型のものでも10ℓ程度である。一方、モルクラスターオゾン水の当該装置では、水圧が0.2～0.45MPaである。このため水量は、自在に増やすことができ、当該試験では1分間あたり60ℓで放水が可能であった（さらに増量が可能と聞く）。さらに除染作業全体を鑑みれば、高圧水道水洗浄ではノズルから除染対象部の距離を数cmから20cm程度に近づけなければならず、たとえば屋根上であれば、作業員が足場を組んで屋上に上って散水しなければ、高圧水の打撃による物理的洗浄効果は上がらない。これに対してモルクラスターオゾン水は水圧を必要としないため、もとより足場を組む必要もなく、モルクラスターオゾン水が屋根上に届いて流れさえすれば地上からでも除染できるのである。このため極めてコストが低く、作業効率も高く、高所作業がないため作業員にとってもリスクの少ない安全な除染技術である、といえる。

以上により、モルクラスターオゾン水による除染技術は、a) 材質や形状を問わず、広



域面でも除染できるため、生活圏全般の空間線量率の低減が可能である、b) 汚染現場で除染できる、c) 基本的に除去物が発生しない、d) 一般に高圧水道水洗浄ができないコンクリートやアスファルトの除染もできる、e) 除染作業は単純で軽作業であり、かつ処理時間が短い、f) オゾンの残留や毒性を有する副生成物が発生しないため人体や環境に実質的な負荷がない、など優れた特徴を有する技術的優位性を有することが確認できた。

#### (5) モルクラスターオゾン水を用いた除染のコストについて

モルクラスターオゾン水の生成装置については、JAEA の指示により便宜的に「経費」を計上することになり、「損料やレンタル料」として請求したものを、試験期間 2 カ月間で 990 万円というレンタル費として計上した内容となっている。

しかし実際には、同生成装置の製作費がキーポイントで、仮にそれが 5000 万円としても、10 年間の耐用年数があるとすれば、月額僅か 40 万円強で、設備投資は実質的に十分に補えることになる。仮に、同生成装置が、年間 300 日稼働とすると、一日の除染範囲は 3000m<sup>2</sup> (1 時間当たり 500m<sup>2</sup> で 6 時間) で、月間 25 日稼働した場合 7 万 5000m<sup>2</sup> の道路等を除染することができる。そうであるとすれば、設備投資費部分は 1m<sup>2</sup> 当たり 5.3 円でしかない。この程度の設備投資費用は、装置が必要な技術であれば、大なり小なり必要不可欠なものであるといえる。加えて、除染作業自体が極めて単純作業であるから、除染効果、作業効率、付帯する人件費や消費エネルギーコストを総合して判断するならば、モルクラスターオゾン水による除染は、極めて低廉なコストしかかからないといえる。

#### (6) 除去物質について

JAEA の総合評価においては、太平洋セメント(株)と(株)東芝の技術が、発生する廃棄物量について「極少」となっている。太平洋セメント(株)では加熱揮発というプロセスから放射性セシウム汚染浄化処理物を分別するが、固形物として少なくとも汚染物が発生する方法である。また、(株)東芝では実験室内の小規模なテストだけを行っているようであるが、シュウ酸で土壌の薬剤を溶かしとる方法を用いており、これは「極少」といえるかもしれない。ただし、シュウ酸そのものは液体となっても分解処理が必要な液体であり、ただ単に除染物質が少ないことだけで高評価にはならず、後処理は多大な労力とコストを必要とする。

一方で、モルクラスターオゾン水は、(株)東芝と同様の処理で、またシュウ酸よりも極めて酸化効果の高いオゾン水による処理であり、汚染物を洗浄した水から、放射性セシウムおよび放射性セシウムを含むコロイド状の懸濁物質として除去できるから、まさに「極少」と評価されるべきである。さらに、オゾンはシュウ酸など化学薬剤液と異なり、反応後ただちに酸素に戻るため後処理が不要であり、副生物がなく後処理が不要である点も併せて環境に配慮する観点から評価されるべきであった。

## 8. モルクラスターオゾン水を用いた除染技術の有効利用の可能性

福島原発事故から4年目に入った今日、モルクラスターオゾン水を用いた除染技術は以下の可能性があると考ええる。

### (1) 福島第一原子力発電所の復旧などのための除染

図8・1に、2014年9月9日現在の福島第一原子力発電所1～4号機周辺の空間線量率マップを示した。空間線量率マップによれば、福島第一原発の敷地内では未だに原発施設は空間線量率の高い区域で1000 $\mu$ Sv/hを超える、高濃度の放射能汚染区域が存在する。それによって原子力技術者や作業従事者が高い外部被ばくを強いられ、作業継続を断念せざるを得ない状況もある。ロボットを利用するとしてもロボットが実行できる事柄は少なく、人間が現場現物に対処してこそ汚染水や核燃料処理、損傷した原発施設の復旧は可能になる部分が多い。しかし、高空間線量率で混乱した現場においては、頼りになるべきは人間が危険のため近づけず、英知は働かないこともある。

モルクラスターオゾン水は、硬質コンクリートや構造物に対して、高圧洗浄とは比較にならない(表面線量率で60～90%)放射性セシウム除去効果のあることが実証されている。しかも、これは1 $m^2$ 当たり10 $l$ 程度の散水を1度実施して得られた効果で、反復して散水除染すれば更に高い割合で除染ができることは明白である。

### (2) 家屋や土壌・緑地に対する除染

人の生活圏の放射能汚染の程度を低減させることの重要性はだれもが認めるところである。事故後実施されてきた家屋についての除染作業は、敷地内の表土の転土、屋根は高圧洗浄や拭き取り、雨どいや升やコンクリート土間の高圧洗浄など、労力と費用のかかる従来からの方法の組合せで、全く新しい手法は取り入れられていない。住居家屋では、汚染された箇所を総合的に除染し得なければ空間線量率は下がらないのであるから、より効率的でかつ高い除染率の方法を活用すべきであった。モルクラスターオゾン水の実証試験結果によれば、トタン屋根で平均41%、雨どいでは90%以上、木材に近似する樹木で41%、コンクリートで76%と極めて効果が高く、その効果は高圧洗浄法の数～10倍にもなり、かつ散水するという非常に効率的な方法であるのだから、モルクラスターオゾン水による家屋の除染は、一日も早く活用されるべきであると考ええる。

福島県内の汚染された地域はいずれも緑の豊かな環境である。森林が多く、町中の生活圏でも貴重なイグネや、木々が家屋建屋に隣接してある。その土壌や樹木が汚染され、人間が外部被ばくしている状況は今も続いている。

大がかりな費用の掛かる土木工学的な除染(木々の伐採と表土の転土)で得られる除染効果は、前述のモデル事業の結果で明らかとなっており、除染率13.0～32.8%程度、平均22.3%が限界のように見える。

# 福島第一サーベイマップ (平成26年9月9日 17:00現在)

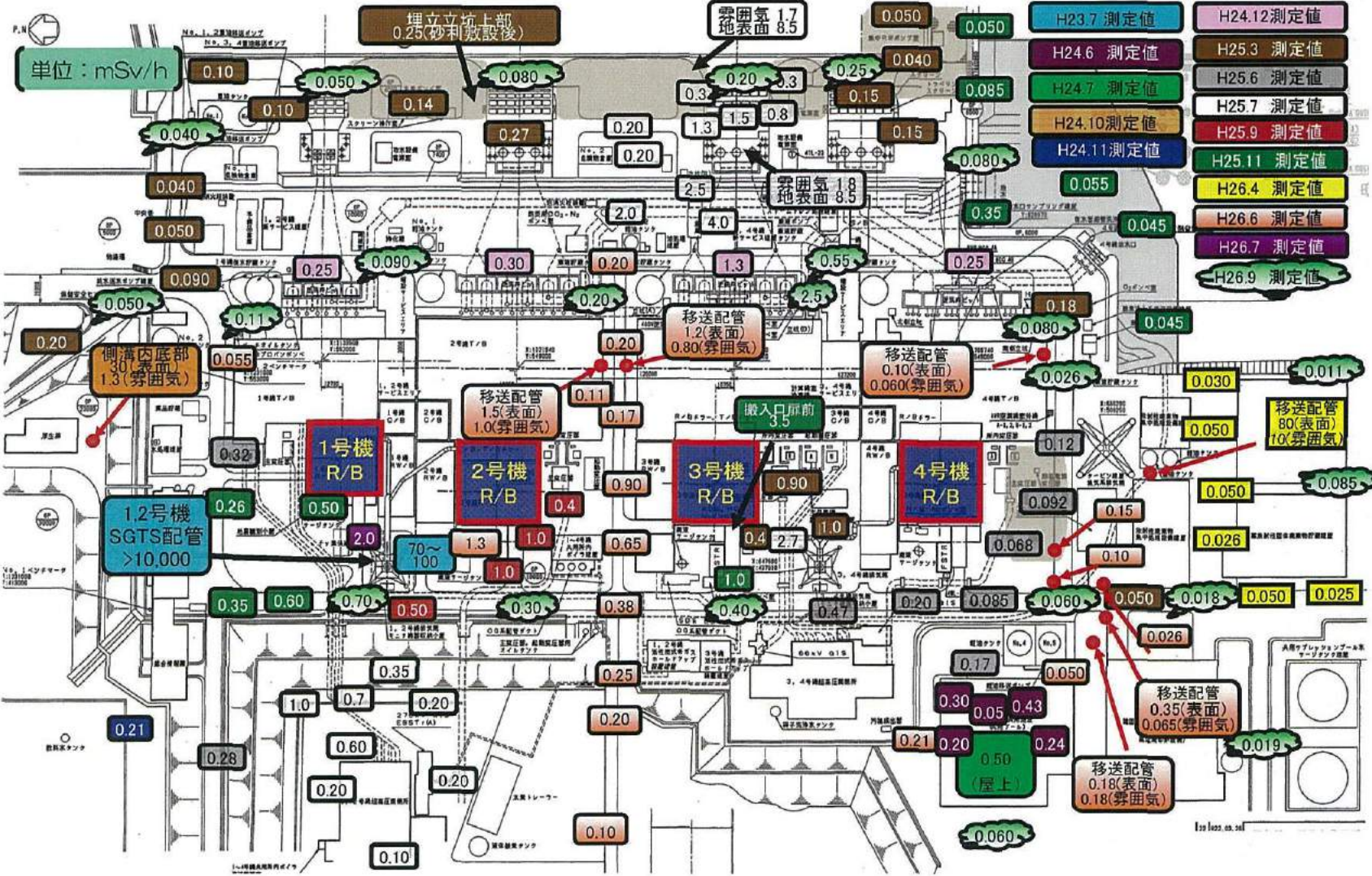


図 8-1 福島第一原子力発電所 1~4 号機周辺の空間線量率マップ (単位: mSv/h)

モルクラスターオゾン水では、土木法とほぼ同等の除染が、1 m<sup>2</sup>当たり 10 lのきわめて少量の水を散水する処理だけで達成できる結果となっている。また、オゾンという物質特有の性質として、放射性セシウム等を水に一旦溶かし取ると同時に、オゾン自体は他の有機物と反応して酸素に戻るので、放射性セシウムは数 cm ほど地下に移行して再結着し、不安視される飲料水に供する地下水脈には到達することがないことも実証されている。

したがって、この方法は、巨額な予算負担と作業の現実性から、何も処理をされずに放置されている広大な緑地エリアの広域除染技術として利用されるべきであったはずである。実証試験事業では、高圧洗浄では 0%であった樹木の除染に対して、50%以上の除染が1回の除染作業により達成できたこともある。土壌表層、たとえば深さ 5cm 以内に吸着されて放射線を放出する放射性セシウムが 10~15cm の深さの地中に移動して、それで樹木の経根吸収により樹木の汚染が増えるといったことは実際にはないと考えられる。なぜなら樹木の根の多くはもっと深い地中に存在することに加え、土壌中の粘土質成分に吸着された放射性セシウムは容易に経根吸収されて樹木に移行することはないと考えられるからである。現在の樹木の汚染は、経根吸収に原因するものではなく、事故直後に大気放出されて飛散した放射性セシウムが樹木の樹皮、小枝、葉などの表面に付着し、その後に樹木内部に「転流」したものであるとあってよい。

### (3) 汚染土壌そのものへの除染（汚染廃棄物の減容化）

今や、各地で剥ぎ取られた汚染土はたとえばフレコンバックなどに詰め込まれ、数万という箇所に山積みされているか、学校の校庭・幼稚園や保育園の園庭・個人宅の庭の地中に仮埋めされている。しかし、中間貯蔵施設の建設・運用は当初予定よりもかなり遅れる可能性が高く、さらに福島県外に設置するとされる最終処分場については、多くの県民がその実現可能性に疑問を抱いている。

モルクラスターオゾン水技術は、各汚染対象物への除染効果をデータとして収集しながら、除染メカニズムとして、対象物にイオン結合、共有結合などで強く結着した（汚染後年月が経てば経つほど強固に結着している）部分をオゾンによる強い酸化作用で化学結合を切り離し、要は放射性セシウムだけを水中に分離することができるものであることも裏付けられている。すなわち、現場で散水して得られた効果から見て、フレコンバックで転土した後の今、それを洗う事で、土壌（および混合物）から液相の水中に分離できる、ということになる。他の技術と違い、汚染土壌を大きく減量することで、その後の処理が著しく容易になるのである。

## 9. おわりに

放射能除染は、民家や学校などの局所の汚染を下げることで足りず、広く放射能の届く範囲を除染することが必要なことは明らかである。足場を組み立て、多くの人員を要し、

数 cm の洗浄幅で、コストと時間のかかる除染をするのではなく、散水方式により水が到達して流れれば瞬時に除染が可能となる除染技術で、多くの対象物（水が掛かって損傷しない箇所は全て）に万遍なく散水除染するだけで、非常に高い除染効果が高作業効率で得られる手法がいま求められている。その有力な手法こそがモルクラスターオゾン水を用いた除染技術である。しかし、現実はその利用機会を、残念ながら剥奪されている、といわざるを得ない。日本の英知やノウハウを結集させて一日も早く福島県を元の状態に戻すという目的に沿って考えれば、モルクラスターオゾン水技術を今からでも再評価して、除染に取り組むべきことと思料する。