

表面汚染密度測定について

No.	Page	質問・コメント等
10	本文 P16,17 (表面汚染密度)	表面汚染密度測定について、審査基準では不確かさを含めて評価することとなっているため、不確かさを考慮しても0.8Bq/cm ² を下回る測定ができることの説明を追記すること。
16	本文 P16,17 (表面汚染密度)	表面汚染密度の測定について、基本事項（測定面の凹凸、検出限界値の設定）について説明すること。また、表面汚染密度測定の記載について、JISの4504は今枝番がついているため、確認して必要があれば修正すること。

今回の認可申請書に記載した放射能確認対象物の表面汚染密度（⁶⁰Co相当：以下、⁶⁰Co相当の表面汚染密度は「⁶⁰Co相当」の記載を省略する。）の測定方法は、以下の測定手順や測定条件によって表面汚染密度が0.8Bq/cm²未満であることを確認可能である。また線源を用いた実証試験によりその妥当性について確認している。以下にその詳細を示す。

1. 表面汚染密度測定の手順

表面汚染密度測定方法として、放射線測定装置にて放射能濃度確認対象物の全面に対して走査させ、スクリーニングを行う。スクリーニングにて、表面汚染の可能性があると判断した部位については、放射線測定装置を静止させて詳細サーベイを行い、表面汚染の有無を判断する。表面汚染密度は100cm²で一様とする。

表面汚染密度測定手順の詳細は、以下のとおり。

<事前準備>

- ・放射線測定装置が校正期限内であり機器効率、使用環境が基準を満足していることを確認し、日常点検を行う。

<BG測定>

- ・放射線測定場所にてBG値が基準を満足していることを確認する。

<スクリーニング>

- ・GM汚染サーベイメータ（以下「GM管」という。）、β汚染サーベイメータ（以下「βシンチ」という。）及び据置型モニタ（以下「据置型」という。）にて、放射能濃度確認対象物の全面に対して放射線測定装置にて走査させ直接測定法を行う。
- ・GM管及びβシンチは、放射線測定装置と放射能濃度確認対象物の表面との距離は5mm以内とする。（据置型は、30mm以内となるよう検出器が上下に移動する。）
（放射線測定装置の校正時の標準線源（⁶⁰Co）との距離と同じ）

- ・ GM 管及びβシンチは、放射線測定装置と放射能濃度確認対象物の表面との距離が5mmを超える場合は、間接測定法にて測定を行う。(据置型は、凹凸がない平らな物のみ)
- ・ GM 管及びβシンチは、判定値(スクリーニングから詳細サーベイに移行する計数率)を上回る値を計測した場合、その部位について静止させて詳細サーベイを行う。(据置型は検出限界値を上回った場合、自動停止する。)

<詳細サーベイ>

- ・ 詳細サーベイは GM 管又はβシンチを静止させ測定を行い、BG 値に応じた検出限界計数率以上を計測した場合、その部位については安全側に0.8Bq/cm²未満であったとしても表面汚染があるものと判断し、除染を行う。
- ・ BG 値に応じた検出限界計数率未満となった場合、その部位については0.8Bq/cm²以上の表面汚染がないものと判断し、スクリーニングを再開する。

<間接測定法>

- ・ 間接測定法は、まずスミア布を用いて測定対象物の全面を900cm²程度毎拭き取る。拭き取り効率0.1としてスミア布をGM管にて測定し、スクリーニングを実施する。BG 値に応じた検出限界計数率以上を計測した場合、その部位については安全側に0.8Bq/cm²未満であったとしても表面汚染があるものと判断し、除染を行う。表面汚染がある場合は、除染作業を行う上で汚染箇所を把握するため、約900cm²の全域をスミアろ紙を用いて100cm²毎(9箇所)拭き取り、測定する。スクリーニングの結果、汚染がない場合は代表点(100cm²)をスミアろ紙を用いて拭き取り、その測定結果を測定部位の表面汚染密度の値とする。

2. 具体的な測定条件及び検出限界値

表面汚染密度測定の測定条件及び検出限界値の算出式を本回答書の表-1に示し、また検出限界値の算出結果を本回答書の表-2に示す。

- ・ GM 管及びβシンチを用いた直接測定法によるスクリーニングにおける詳細サーベイへ移行する判定値は検出限界計数率以下で管理する自主的な運用として定めた値である。このことから、この判定値に対して計数率の標準偏差の1.645倍を加えた計数率に相当する表面汚染密度は0.8Bq/cm²未満であることを確認した。
- ・ GM 管及びβシンチを用いた詳細サーベイにおける検出限界値、また GM 管を用いた間接測定法における検出限界値は0.8Bq/cm²未満である。
- ・ 据置型では、BG 基準値を設定していないが、機器効率及びBG 値に応じた検出限界計数率における検出限界値が0.8Bq/cm²以上となると自動停止する。据置型は自動判定のためBG 値及び機器効率に応じた検出限界値となり、具体的な事例として、2ケースを想定して算出した。いずれの場合も0.8Bq/cm²未満である。

3. 実証試験について

実際に 0.8Bq/cm^2 の汚染を検出できることを以下のとおり以下の通り実証試験を実施し確認した。

試験方法は以下のとおり

- ・ Ge 半導体検出器にて放射エネルギーを定量した放射性物質をステンレス皿に滴下，乾燥させ 0.6Bq/cm^2 (①)， 0.7Bq/cm^2 (②)， 0.8Bq/cm^2 (③) の実証試験用試料を各 1 枚作成。
- ・ 汚染が付着していない実証試験用試料（ダミー： 0Bq/cm^2) (④) を 4 枚用意。
- ・ GM 管及び β シンチは，実際に現場で測定を行っている放射線管理員 10 名にてそれぞれ①，②，③及び④の 7 枚の実証試験用試料についてスクリーニングを行い，各実証試験用試料について汚染の有無を判断させる。
- ・ 据置型は，①，②及び③の 3 枚の実証試験用試料について測定を 10 回行い，各実証試験用試料について汚染の有無を判断させる。

結果，GM 管及び β シンチは， 0.6Bq/cm^2 は 90%， 0.7Bq/cm^2 及び 0.8Bq/cm^2 は 100%汚染の有の判断が可能であった。また据置型は 0.6Bq/cm^2 及び 0.7Bq/cm^2 は 50～60%， 0.8Bq/cm^2 については 100%汚染の有の判断が可能であった。（詳細は別紙参照）

従って，すべての放射線測定装置において 0.8Bq/cm^2 の実証試験用試料を 100%汚染の有の判断が可能であったことから，表面汚染密度が 0.8Bq/cm^2 未満であることの確認は可能であると判断した。

4. まとめ

以上より，表面汚染密度 0.8Bq/cm^2 未満であることは確認が可能であると判断した。これは，前回の認可申請書と同様であるが，今回の認可申請書における表面汚染密度測定手順及び測定条件妥当性確認の結果についてより明確化する。

<補足>

認可申請書に記載の表面汚染密度（(本文) 表-10 二次的な汚染の調査結果（汚染の程度）等）は， $2.2\text{E-}02\text{Bq/cm}^2$ 等，上述の値を大きく下回る。この表面汚染密度測定の目的は，上述のような 0.8Bq/cm^2 未満であることの確認ではなく，汚染の程度の調査であり，表面汚染密度測定方法が異なる。測定方法は上述の 0.8Bq/cm^2 未満であることを確認する方法ではなく， β シンチを用いたスケーラモードによる 500 秒の静止測定である。このため，検出限界値が異なる。

以上

表-1 測定条件

放射線測定装置		GM 管		β シンチ	据置型
測定方法		直接測定法	間接測定法	直接測定法	直接測定法
線源効率 (*)		40%	40%	40%	40%
機器効率		31%以上	31%以上	38%以上	※1
BG 測定	時定数	30 秒	30 秒	30 秒	—
	測定時間	90 秒	90 秒	90 秒	200 秒
	BG 基準値	100cpm 以下	100cpm 以下	400cpm 以下	※1
スクリーニング	時定数	3 秒	3 秒	3 秒	※2
	走査速度/測定時間	1cm/秒	9 秒	4cm/秒	2cm/秒
	表面との距離	5mm	—	5mm	30mm
	拭き取り面積	—	900cm ²	—	—
	拭き取り効率	—	0.1	—	—
	検出限界計数率	30cpm※3	※4	150cpm※3	※5
詳細サーベイ	時定数	10 秒	30 秒	10 秒	—
	測定時間	30 秒	90 秒	30 秒	—
	拭き取り面積	—	100cm ²	—	—
	拭き取り効率	—	0.1	—	—
	検出限界計数率	※4	※4	※4	—

* : 線源効率は、「放射性表面汚染密度の評価における線源効率の実験研究（(財)電力中央研究所）」より ^{60}Co を滴下，乾燥させた金属材（アルミニウム，鉄材，鉛，ステンレス（みがき，粗面，水性ペイント））において 0.4 以上の結果を得ていることから 40%とした。

※1 : 据置型は，機器効率及び BG 値に応じて検出限界値が自動計算され， $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ を下回る値となることを自動で確認する。

※2 : スケラ方式であり時定数を持たない。測定時間は 15.3 秒。

※3 : GM 管及び β シンチを用いた直接測定法によるスクリーニングにおける詳細サーベイへ移行する判定値は検出限界計数率以下で管理する自主的な運用として定めた値である。

※4 : BG 値に応じた検出限界計数率。

※5 : 検出限界値が $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ となる，機器効率に応じた検出限界計数率。

(1) GM管及びβシンチの表面汚染密度の算出

ア. 検出限界計数率の算出

$$Nd = \frac{k}{2} \left[\frac{k}{2Ts} + \sqrt{\left(\frac{k}{2Ts}\right)^2 + 2Nb \left(\frac{1}{Ts} + \frac{1}{Tb}\right)} \right]$$

Nd : 検出限界計数率 (cpm)

Nb : バックグラウンド計数率 (cpm)

k : 標準偏差の倍数 (-)

Ts : 測定時の時定数 (分)

Tb : バックグラウンド計数率測定時の時定数 (分)

イ. 静止時の検出限界値

$$Ad = \frac{Nd}{S \times \epsilon_i \times \epsilon_s \times A}$$

Ad : 静止時の検出限界値 (Bq/cm²)

Nd : 検出限界計数率 (cpm)

S : 検出器の入射窓面積 (cm²)

ϵ_i : 機器効率 (-)

ϵ_s : 線源効率 (-)

A : 換算数, 60 (-)

ウ. 走査による指示率

$$Ev = 1 - \exp\left(-\frac{L/v}{ts}\right)$$

Ev : 指示率 (-)

L : 検出器の走査方向の長さ (cm)

v : 走査速度 (cm/秒)

ts : 時定数 (秒)

エ. 走査時の判定値における表面汚染密度

$$Ad' = \frac{Nd'}{S \times \epsilon_i \times \epsilon_s \times A \times Ev}$$

Ad' : 走査時の判定値における表面汚染密度 (Bq/cm²)

Nd' : 判定値 (cpm)

S : 検出器の入射窓面積 (cm²)

ε_i : 機器効率 (—)

ε_s : 線源効率 (—)

A : 換算数, 60 (—)

Ev : 指示率 (—)

(2) 据置型の表面汚染密度の算出

ア. 検出限界計数率の算出

$$Nd = \frac{k}{2} \left[\frac{k}{Ts} + \sqrt{\left(\frac{k}{Ts}\right)^2 + 4Nb \left(\frac{1}{Ts} + \frac{1}{Tb}\right)} \right]$$

Nd : 検出限界計数率 (cpm)

Nb : バックグラウンド計数率 (cpm)

k : 標準偏差の倍数 (—)

Ts : 測定時間 (分)

Tb : バックグラウンド測定時間 (分)

イ. 検出限界値

$$Ad = \frac{Ns - Nb}{Ws \times \varepsilon_i \times \varepsilon_s \times A}$$

Ad : 検出限界値 (Bq/cm²)

Ns : グロス計数率 (cpm)

Nb : BG 計数率 (cpm)

Ws : 線源面積 (cm²)

ε_i : 機器効率 (—)

ε_s : 線源効率 (—)

A : 換算数, 60 (—)

表-2 算出結果

直接測定法

放射線測定装置		GM管	β シンチ
スクリーニング	判定値 (cpm)	30	150
	判定値+1.645 σ (cpm) *	92	276
	判定値+1.645 σ (cpm) における 表面汚染密度 (Bq/cm ²)	0.77	0.78
詳細サーベイ	検出限界計数率 (cpm)	75	134
	検出限界値 (Bq/cm ²)	0.51	0.15

* : バックグラウンド計数率は、GM管：100cpm、 β シンチ：400cpmの時の値
注) 検出限界計数率及び検出限界値が、一番高くなるよう機器効率及びBG基準値を設定して算出。

間接測定法

放射線測定装置		GM管
スクリーニング (900cm ² 拭き取り測定)	検出限界計数率 (cpm)	154
	検出限界値 (Bq/cm ²)	0.23
詳細サーベイ (100cm ² 拭き取り測定) (スクリーニング結果：汚染なしのとき)	検出限界計数率 (cpm)	47
	検出限界値 (Bq/cm ²)	0.63

注) 検出限界計数率及び検出限界値が、一番高くなるよう機器効率及びBG基準値を設定して算出。

据置型 (例)

	ケース1	ケース2
機器効率 (%)	21.5	20
BG値 (cps)	30	35
検出限界計数率 (cps)	4.7	5.0
検出限界値 (Bq/cm ²)	0.54	0.63

注) 据置型は自動判定のためBG値及び機器効率に応じた具体的な事例を示す。点検・校正時に機器効率を確認、設定し、測定したBG値に応じた検出限界値が0.8Bq/cm²未満であることを確認。

2018年11月19日
中部電力株式会社

汚染測定の実証試験結果について

クリアランス制度を適用する解体撤去物の表面汚染密度の測定は、GM 管式サーベイメータ及びプラスチックシンチレーション式サーベイメータ（サーベイメータ型及び据置型）を用いる。社内規定において測定器の検出限界値が $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 未満となる測定条件の基、測定を実施することとしているが、検出限界値付近の表面汚染が存在した場合、当該汚染を検出できる確率は50%である。つまり、当該汚染を見逃す確率も50%である。

そのため、 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ の汚染を確実に検出するために、 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ を十分に下回る検出限界値で表面汚染を測定する必要がある。

今回、実際に解体撤去物の表面汚染密度を測定する条件において、各測定器で $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 相当の表面汚染測定を実施し、検出の可否を確認した。

詳細な内容については、以下のとおり。

1 実証試験方法

(1) GM 管式サーベイメータ及びプラスチックシンチレーション式サーベイメータ（サーベイメータ型）

- ① 実証試験用試料を7枚（ 0.6 、 0.7 、 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ の汚染が付着した実証試験用試料を各1枚、汚染が付着していない実証試験用試料を4枚）を準備する。
- ② 測定器（管理区域内に配備している測定器で最も機器効率が低いもの）を準備する。
- ③ 7枚の実証試験用試料に対して走査測定で測定し、汚染の検出の可否を確認する。

上記の方法を放射線管理員10名が実施した。

(2) プラスチックシンチレーション式サーベイメータ（据置型）

- ① 実証試験用試料を4枚（ 0.4 、 0.6 、 0.7 、 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ の汚染が付着した実証試験用試料を各1枚）準備する。
- ② プラスチックシンチレーション式サーベイメータ（据置型）の各検出器において、検出感度が最も悪い箇所に実証試験用試料を配置する。
- ③ 走査測定： $20\text{mm}/\text{秒}$ では 0.6 、 0.7 、 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ の実証試験用試料、走査速度： $10\text{mm}/\text{秒}$ では 0.4 、 0.6 、 0.7 、 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ の実証試験用試料を測定し、汚染の検出の可否を確認する。

上記の方法を検出器 ch.1～4 で各10回実施した。

2 実証試験用試料

実証試験を実施するにあたり、表1及び図1に示す実証試験用試料（表面汚染密度の模擬サンプル）を作製した。

(1) 作製方法

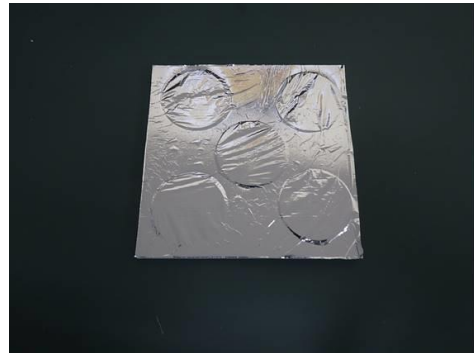
- ① 放射性物質を含む液体を Ge 半導体検出器付波高分析装置を用いて、放射エネルギーを定量する。
- ② 定量した放射エネルギーを基に、ステンレス皿 5 枚で表1に示す表面汚染密度となるように液体をステンレス皿へ適量分取する。
- ③ ステンレス皿に分取した液体を乾固させ、ガスフロー比例計数装置により表面汚染密度を定量し、ステンレス皿 5 枚で表1に示す表面汚染密度であることを確認する。
- ④ 定量したステンレス皿 5 枚を配置した実証試験用試料を作製する。

表1 実証試験用試料の仕様

試料面積（ステンレス皿 底面）	18.9cm ² ×5 枚=94.5cm ²
表面汚染密度（Bq/cm ² ）※	0.4, 0.6, 0.7, 0.8

※汚染が付着した実証試験用試料を4種各1枚、汚染が付着していない実証試験用試料を4枚製作

図1 実証試験用試料の外観



3 実証試験結果

(1) GM 管式サーベイメータ及びプラスチックシンチレーション式サーベイメータ（サーベイメータ型）

放射線管理員 10 名による汚染検出率は下表のとおり。（詳細は添付資料（1）を参照）

●GM 管式サーベイメータ

検出限界値：0.65Bq/cm²

表面汚染密度 (Bq/cm ²)	0.6	0.7	0.8
汚染検出率 (%)	90	100	100

●プラスチックシンチレーション式サーベイメータ（サーベイメータ型）

検出限界値：0.52Bq/cm²

表面汚染密度 (Bq/cm ²)	0.6	0.7	0.8
汚染検出率 (%)	80	100	100

以上の結果より、0.8Bq/cm² 及び 0.7Bq/cm² の汚染は、汚染検出率が 100%となった。検出限界値付近の 0.6Bq/cm² の汚染は、汚染検出率が 50%程度となると考えられるが、検出器より発する検出音や検出器の指示針の変動により、放射線管理員の感覚によって『汚染している』と保守的な判断をする傾向にあることから、実際の汚染検出率は 50%よりも高くなったと評価する。

(2) プラスチックシンチレーション式サーベイメータ（据置型）

プラスチックシンチレーション式サーベイメータ（据置型）による汚染検出率は下表のとおり。（詳細は添付資料（2）を参照）

●プラスチックシンチレーション式サーベイメータ（据置型）

【走査速度：20mm/秒】

ch.No.	1	2	3	4
検出限界値 (Bq/cm ²)	0.63	0.63	0.64	0.66

ch.No.	1			2		
表面汚染密度 (Bq/cm ²)	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7	0.8
汚染検出率 (%)	60	60	100	60	60	100
ch.No.	3			4		
表面汚染密度 (Bq/cm ²)	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7	0.8
汚染検出率 (%)	50	50	100	50	60	100

【走査速度：10mm/秒】

ch.No.	1	2	3	4
検出限界値 (Bq/cm ²)	0.48	0.47	0.45	0.49

ch.No.	1				2			
表面汚染密度 (Bq/cm ²)	0.4	0.6	0.7	0.8	0.4	0.6	0.7	0.8
汚染検出率 (%)	50	70	100	100	30	50	100	100
ch.No.	3				4			
表面汚染密度 (Bq/cm ²)	0.4	0.6	0.7	0.8	0.4	0.6	0.7	0.8
汚染検出率 (%)	50	60	100	100	30	50	100	100

以上の結果より、0.8Bq/cm²の汚染は、汚染検出率が100%となった。検出限界値付近の汚染は、概ね汚染検出率の理論値50%程度となったと評価する。

4 添付資料

- (1) GM 管式サーベイメータ及びプラスチックシンチレーション式サーベイメータ（サーベイメータ型）による測定結果
- (2) プラスチックシンチレーション式サーベイメータ（据置型）による測定結果

以 上

添付資料（1）

GM 管式サーベイメータ及びプラスチックシンチレーション式サーベイメータ
（サーベイメータ型）による測定結果

1 GM 管式サーベイメータによる測定結果

BG : 80cpm 検出限界値 : 0.65Bq/cm²

測定員	表面汚染密度 (Bq/cm ²)		
	0.6	0.7	0.8
1	○	○	○
2	○	○	○
3	○	○	○
4	○	○	○
5	○	○	○
6	○	○	○
7	○	○	○
8	○	○	○
9	○	○	○
10	×	○	○
汚染検出率 (%)	90	100	100

○ : 汚染検出, × : 汚染検出せず

2 プラスチックシンチレーション式サーベイメータ（サーベイメータ型）による測定結果

BG : 400cpm 検出限界値 : 0.52Bq/cm²

測定員	表面汚染密度 (Bq/cm ²)		
	0.6	0.7	0.8
1	○	○	○
2	○	○	○
3	○	○	○
4	×	○	○
5	○	○	○
6	○	○	○
7	×	○	○
8	○	○	○
9	○	○	○
10	○	○	○
汚染検出率 (%)	80	100	100

○ : 汚染検出, × : 汚染検出せず

添付資料(2)(1/2)

プラスチックシンチレーション式サーベイメータ(据置型)による測定結果

1 走査速度: 20mm/秒

ch.No.	1	2	3	4
BG 計数率 (cps)	26.9	27.5	27.5	29.5
検出限界値 (Bq/cm ²)	0.63	0.63	0.64	0.66

ch.No.	1			2		
回数	表面汚染密度 (Bq/cm ²)			表面汚染密度 (Bq/cm ²)		
	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7	0.8
1	○	×	○	×	×	○
2	×	×	○	○	○	○
3	×	○	○	×	○	○
4	○	○	○	○	○	○
5	○	○	○	×	○	○
6	×	○	○	○	×	○
7	○	○	○	×	○	○
8	○	×	○	○	○	○
9	×	×	○	○	×	○
10	○	○	○	○	×	○
汚染検出率 (%)	60	60	100	60	60	100
ch.No.	3			4		
回数	表面汚染密度 (Bq/cm ²)			表面汚染密度 (Bq/cm ²)		
	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7	0.8
1	○	○	○	○	○	○
2	×	○	○	○	×	○
3	×	○	○	×	×	○
4	○	○	○	×	○	○
5	×	×	○	×	×	○
6	○	×	○	×	×	○
7	×	×	○	○	○	○
8	×	×	○	○	○	○
9	○	○	○	×	○	○
10	○	×	○	○	○	○
汚染検出率 (%)	50	50	100	50	60	100

○: 汚染検出, ×: 汚染検出せず

2 走査速度：10mm/秒

ch.No.	1	2	3	4
BG 計数率 (cps)	27.2	26.9	29.6	29.4
検出限界値 (Bq/cm ²)	0.48	0.47	0.45	0.49

ch.No.	1				2			
回数	表面汚染密度 (Bq/cm ²)				表面汚染密度 (Bq/cm ²)			
	0.4	0.6	0.7	0.8	0.4	0.6	0.7	0.8
1	×	○	○	○	×	×	○	○
2	○	○	○	○	×	×	○	○
3	○	○	○	○	×	×	○	○
4	○	○	○	○	○	○	○	○
5	×	○	○	○	×	○	○	○
6	×	○	○	○	○	×	○	○
7	○	×	○	○	×	○	○	○
8	×	○	○	○	×	×	○	○
9	○	×	○	○	○	○	○	○
10	×	×	○	○	×	○	○	○
汚染検出率 (%)	50	70	100	100	30	50	100	100
ch.No.	3				4			
回数	表面汚染密度 (Bq/cm ²)				表面汚染密度 (Bq/cm ²)			
	0.4	0.6	0.7	0.8	0.4	0.6	0.7	0.8
1	○	○	○	○	×	○	○	○
2	×	○	○	○	×	○	○	○
3	○	×	○	○	×	×	○	○
4	○	○	○	○	×	○	○	○
5	×	○	○	○	×	○	○	○
6	○	○	○	○	○	×	○	○
7	○	×	○	○	○	×	○	○
8	×	×	○	○	×	○	○	○
9	×	×	○	○	○	×	○	○
10	×	○	○	○	×	×	○	○
汚染検出率 (%)	50	60	100	100	30	50	100	100

○：汚染検出，×：汚染検出せず