

対策地域内に設置する仮設焼却炉の排ガス処理効果及び モニタリング方法の実験的な確認について

平成 24 年 12 月 21 日

環境省対策地域内廃棄物チーム

1. 対策地域内廃棄物処理の現状

(1) 処理の現状

本年 1 月より施行された『平成二十三年三月十一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』に基づき、汚染廃棄物対策地域（区域見直し前の警戒区域及び計画的避難区域）にて発生した災害廃棄物や除染廃棄物等は、対策地域内廃棄物として国が処理することとなっている。

これら廃棄物については、対策地域内各地域の仮置場に収集し、可燃物については仮設焼却炉を用いて減容化処理する計画である。仮置場については順次用地の選定、整備を進めているところであり、現在、南相馬市、楡葉町の 3 ヶ所で造成工事が進められている。今後、造成完了した仮置場については、順次災害廃棄物等の搬入を開始していく予定。また、仮設焼却炉についても、設置場所や仮設焼却炉の規模や集じん装置構成や排ガスモニタリング手法などについて検討、調整を行っているところである。

(2) 処理対象廃棄物量及び放射能濃度

対策地域内の災害廃棄物のうち、沿岸自治体における可燃物の推定量は、およそ 169,000 t であり、放射性セシウム (Cs) 濃度 (可燃物全体の加重平均値) は 1,300 Bq/kg (浪江町) から 58,700Bq/kg (大熊町) と地域差がある (表-1 参照)。また、今後、大量の除染廃棄物の発生が見込まれ、その、放射能濃度は災害廃棄物より高濃度であることが推定される (参考資料)。

表-1 対策地域内（沿岸自治体）における災害廃棄物の状況

市町村名	災害廃棄物推定量 (t) ※1		放射性 Cs 濃度 (Bq/kg) ※2
	合計推定量	可燃物量 不燃物量	可燃物中放射性 Cs 濃度 不燃物中放射性 Cs 濃度
南相馬市	183,000	74,000	2,800
		109,000	200
浪江町	178,000	46,000	1,300
		132,000	200
双葉町	12,000	5,000	9,700
		7,000	900
大熊町	29,000	17,000	58,700
		12,000	11,600
富岡町	47,000	17,000	11,500
		30,000	1,100
檜葉町	25,000	10,000	3,500
		15,000	1,000
合計	474,000	169,000	—
		305,000	

※1 1000 t 未満は四捨五入。土砂量除く。

※2 セシウム 134 とセシウム 137 との合計値。がれきの組成別に加重平均として記載。100Bq/kg 未満は四捨五入。

(対策地域内廃棄物処理計画 (平成 24 年 6 月 10 日) より抜粋)

2. 排ガス処理設備における放射性 Cs 除去効果とモニタリング方法の確認について

(1) 一般廃棄物焼却炉における調査事例

対策地域内の災害廃棄物を仮設焼却炉により焼却した場合、ばいじん（飛灰）に含まれる放射性 Cs 濃度は、対策地域外にある既設の一般廃棄物焼却炉から排出される飛灰の放射性 Cs 濃度よりも高くなる場合があることが予想される。

対策地域外にある既設の一般廃棄物焼却炉における調査により、バグフィルターを設置した焼却炉では、バグフィルター入口のばいじんに含まれる放射性 Cs 濃度に対する除去効率は 99.9%以上であること、また、排気筒から放出される排ガス放射性 Cs 濃度は空気中の濃度限度*1 を十分下回っていることが確認されている（表-2）。

※1 3ヶ月の平均濃度について、下式により算出した値が1を超えないようにする。

$$\frac{\text{Cs-134濃度(Bq/m}^3\text{)}}{20} + \frac{\text{Cs-137濃度(Bq/m}^3\text{)}}{30} \leq 1$$

表-2 排ガス処理設備による除去率の調査結果
(調査時期は 2011 年 10 月～2012 年 3 月)

施設	対象プロセス	入口濃度(Bq/m ³)		出口濃度(Bq/m ³)		除去率(%)		集塵装置	調査実施者	調査時期
		Cs134	Cs137	Cs134	Cs137	Cs134	Cs137			
福島県 あらかわCC	焼却	78	96	<0.008	<0.006	99.99<	99.99<	BF	環境省	10月
		98	126	0.008	<0.007	99.99	99.99<			12月
須賀川地方 保健環境組合	焼却	33	42	0.2	0.2	99.39	99.52	EP	環境省	10月
		43	57	0.2	0.2	99.53	99.65			12月
A市清掃工場	焼却	58	70	<0.054	<0.053	99.91<	99.92<	BF	国環研	10月
B市清掃工場	焼却	58	76	<0.1	<0.1	99.83<	99.87<	BF	国環研	12月
	溶融	677	844	<0.1	<0.1	99.99<	99.99<			
C市清掃工場	焼却	15	20	<0.012	<0.013	99.92<	99.94<	BF	国環研	2月
	焼却	64	85	<0.018	<0.017	99.97<	99.98<			3月
	溶融	39	51	<0.01	<0.011	99.97<	99.98<			2月
	溶融	98	133	<0.013	<0.013	99.99<	99.99<			3月
D市清掃工場	溶融	335	404	<0.4	<0.3	99.88<	99.93<	BF	A社	9月
	溶融24h 採取	220	330	<0.05	<0.07	99.98<	99.98<			3月

*BF：バグフィルター、EP：電気集塵機

**濃度はろ紙部のみ、環境省調査は出口濃度は煙突出口、国環研調査はBF出口

(2) 除染モデル実証事業の仮設焼却炉における調査事例

除染モデル実証事業^{※3}の処理実績から、10万 Bq/kg を超えるような廃棄物を仮設焼却炉を用いて焼却しても、バグフィルター単独の集じん装置により、排ガス放射性 Cs 濃度に対して平均 99.8%以上の除去効率を示し、また、バグフィルター出口の排ガス放射性 Cs 濃度は濃度限度を十分下回っていることが確認されている (表-3、図-1、図-2)。

※3 平成 23 年度「警戒区域、計画的避難区域等における除染モデル実証事業」〈内閣府委託業務「福島第一原子力発電所事故に係る避難区域等における除染実証業務」〉

表-3 大熊町除染モデル実証事業焼却処理ケース

試料		焼却温度	排ガス処理薬剤	実施日	目的				
1	枝葉類	低線量 ^{※1})	800°C ~850°C	消石灰	1日目	枝葉類の 焼却処理データ採取			
2		高線量 ^{※1})					2日目		
3	落葉・枯葉	低線量 ^{※1})	800°C ~850°C	消石灰	3日目				
4		高線量 ^{※1})					4日目		
5	草類	低線量 ^{※1})	800°C ~850°C	消石灰	5日目				
6		高線量 ^{※1})					6日目		
7	混合 (低線量) ※1) ※2)	枝葉類 (低線量)	800°C ~850°C	消石灰	7日目	枝葉類、落葉・枯葉、 草類の混合物の 焼却処理データ採取			
		落葉・枯葉 (低線量)							
		草類 (低線量)							
8	混合 (高線量) ※1) ※2)	枝葉類 (高線量)	800°C ~850°C	消石灰	8日目				
		落葉・枯葉 (高線量)							
		草類 (高線量)							
9 ※3)	枝葉類 (低線量) + 除染作業 場所廃棄物	廃棄物の割合 (20%)	800°C ~850°C	消石灰	9日目				
10 ※3)		廃棄物の割合 (40%)					10日目		
11 ※3)	草類 (低線量) + 除染作業 場所廃棄物	廃棄物の割合 (30%)	800°C ~850°C	なし	11日目				
12 ※3)						枝葉類 (低線量) + 除染作業 場所廃棄物	800°C ~850°C	なし	12日目
13 ※3)									

※1) ここでの低線量、高線量とは、大熊町における同一種類の対象物についての相対的な放射線量を言う。例えば、試料-1(枝葉類低線量)が試料-6(草類高線量)よりも高線量になることも有り得る。なお、表面線量率で、低線量は 10~30 μSv/h、高線量は 30~60 μSv/h を目安とする。

※2) 試料-7、8 における枝葉類、落葉・枯葉、草類の混合割合は、2:1:2 を目安とする。

※3) 試料-9~13 に除染作業場所廃棄物の割合は、「タイベックスーツ、シューカバー、ゴム手袋、綿手袋・靴下・帽子」と「ブルーシート、フレキシブルコンテナ」で区分し、1:1 を目安とする。

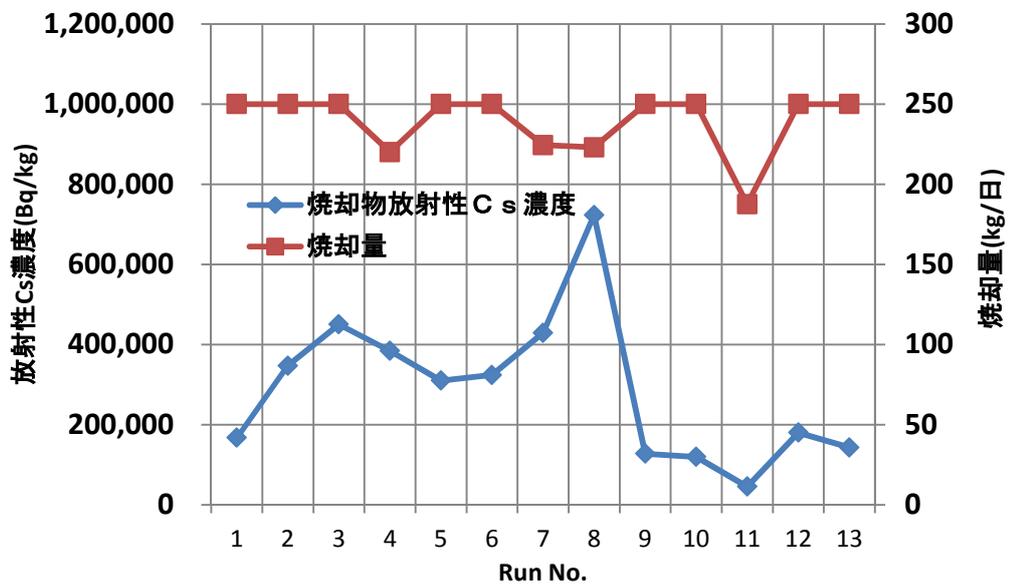


図-1 大熊町の除染モデル実証事業による焼却物放射性 Cs 濃度及び焼却量推移

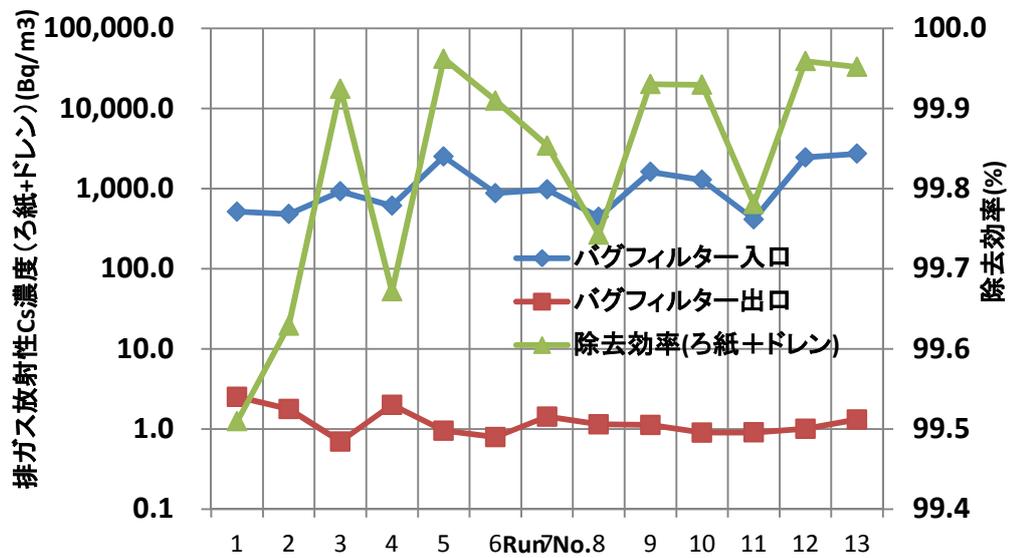


図-2 バグフィルター入口、出口排ガス放射性 Cs 濃度^{※1}（ろ紙+ドレン）及び放射性 Cs 濃度（ろ紙+ドレン）除去効率の推移

※1 ろ紙あるいはドレン分析値が検出下限（N.D.）以下の場合、それぞれ N.D. 値の 1/2 が存在したと仮定して計算した。

(3) 比較的放射性 Cs 濃度の高い廃棄物を焼却する場合の排ガス処理効果とモニタリング方法の確認

上述したようにバグフィルター単独の集じん装置でも十分な排ガス処理効果を有するものと考えられるが、指定廃棄物の基準である 8 千 Bq/kg を超える廃棄物の焼却事例はまだ少ない。

そこで、環境省として対策地域内に設置する仮設焼却炉においては、焼却物の放射性 Cs 濃度が対策地域外の焼却物に比べ大きくなることが予想されるため、実験的に、単独のバグフィルターに加えて、後段にバグフィルターまたは HEPA フィルターを追加し、後段に追加した集じん装置の排ガス処理効果を確認することとしたい。

また、当該仮設焼却炉において、排ガスのばいじん濃度計による常時監視やバグフィルター等の差圧監視に加え、実験的に、原子力発電所における排ガス放射能モニタリング方法を参考にして排ガス放射性 Cs 濃度の確認を行うこととしたい。

3. 集じん装置追加による排ガス処理効果の確認について

対策地域内に設置する仮設焼却炉に集じん装置を追加する場合、バグフィルターの後段に設置するものとし、具体的には、以下の二つの方式が考えられる。

- ① バグフィルター＋バグフィルター
- ② バグフィルター＋HEPA フィルター

(1) バグフィルターの追加

①の方式は、二段バグ方式と呼ばれ、一般廃棄物の焼却炉において実績があり、以下に示す様な目的を実現する場合に導入されている。

- a. 焼却に伴い発生する排ガスに含まれる塩化水素ガスや硫酸塩濃度が高く単独のバグフィルターではその処理が不十分となる場合や塩化水素ガスや硫酸塩濃度、ダイオキシン濃度の規制値が厳しい場合等において、バグフィルターを二段化し除去効率の向上を図る。
- b. ガス化熔融炉において、熔融飛灰量削減のため、熔融飛灰の一部を再熔融処理する場合、発生する熔融飛灰に含まれる塩類濃度が高くなるため、バグフィルターを二段化しバグフィルターの負荷軽減を図る。

焼却炉で使用されるバグフィルターは、上流から消石灰等を吹き込み、フィルター表面に消石灰およびばいじん自身によりケーキ層を形成し、飛灰はこのケーキ層で除去される。前段のバグフィルター透過後の排ガス中にわずかにばいじんが含まれる場合、後段のバグフィルターにおいても前段のバグフィルター同様に消石灰を吹き込みケーキ層を形成することにより、ばいじんを捕捉することが可能と想定している。

(2) HEPA フィルターの追加

②の方式の HEPA フィルターは、 $0.3\mu\text{m}$ の粒子に対し 99.97%以上の捕集効率を有するフィルター^{※1}である。このため、前段のバグフィルター出口排ガス中に比較的粒径の小さなばいじんがわずかに含まれる場合でも HEPA フィルターによりほぼ全量捕捉可能と想定している。

※1 日本工業規格(JIS Z8122) 「コンタミネーションコントロール用語」

『定格流量で粒径が $0.3\mu\text{m}$ の粒子に対して 99.97%以上の粒子捕集率をもち、かつ初期圧力損失が 245Pa 以下の性能を持つエアフィルタ』

ただし、HEPA フィルターは、焼却能力が 5 トン/日程度の原子力発電所焼却設備への適用事例があるものの、焼却能力が数十トン/日以上と大きな一般的な焼却炉への適用事例はない。HEPA フィルターを焼却能力が数十トン/日以上のは仮設焼却炉に適用することは、次の観点から運転制御面や構造面での制約が大きくなると考えられる。

- a. バグフィルターのような逆洗^{※1}による差圧回復処置が構造上困難である。
- b. ろ過面積当たりの排ガス透過流速がバグフィルターに比べて約 1.5 倍と大きく、また、ろ過方式が表面ろ過のため、ばいじん流入時の差圧上昇速度がバグフィルターに比べ急速に大きくなると想定される。

※1 バグフィルター表面に捕集したばいじんをフィルター表面から剥離、除去するための操作で、ろ過筒の上部から圧縮エアを瞬間的に噴射することで、パルスジェット気流をつくり出し、ろ布の表面に堆積したばいじんを払い落とすパルスジェット法などがある。

以上のことから、実験的に、集じん装置を追加し、排ガス処理効果を確認する場合、処理量が多い焼却炉の場合は、①の二段バグ方式、処理量が少ない場合は、①の二段バグ方式もしくは②のバグフィルター+HEPA フィルター方式としたい。

主たる実験的確認事項としては、1) 放射性 Cs の除去効率、2) 排ガス処理残渣の性状確認、3) 単位プロセスにおける長期運転性能（集じん機の差圧変化やばいじん濃度等への影響など）が想定される。

4. 排ガス放射能モニタリング方法の確認について

(1) 原子力発電所におけるモニタリング方法

原子力発電所では、発電所から放出される排ガスについて、通常運転時における環境への放射性物質の放出に伴う周辺公衆の受ける線量を低く保つための努力目標として定めた目標値以下であることを確認するため、『発電用軽水型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針（昭和五十三年九月二十九日原子力委員会決定）』（以下、測定指針と略す。）に基づき、図-3 に示すような構成による放射能モニタリング設備が求められている。

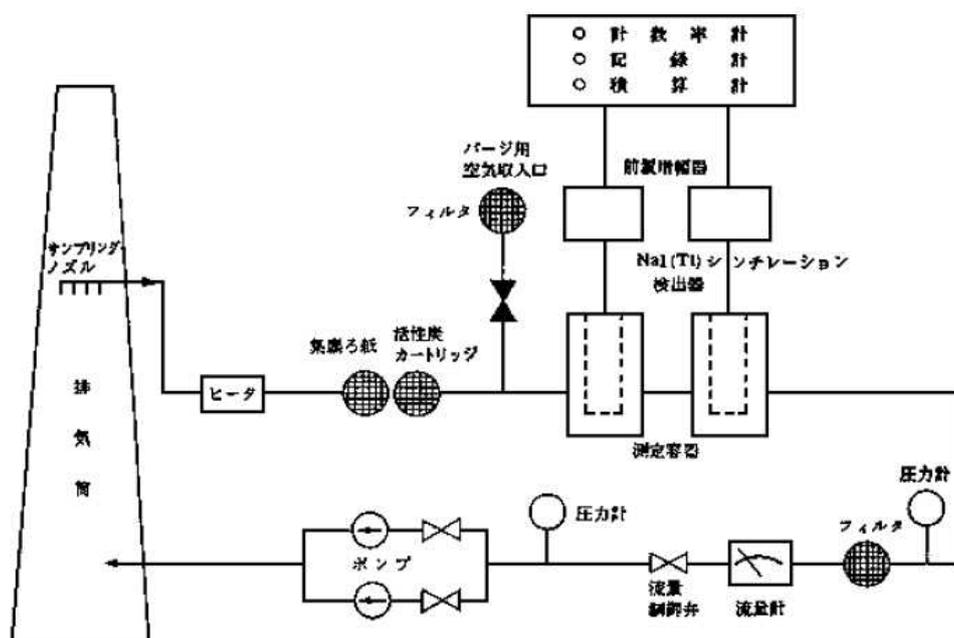


図-3 原子力発電所における排ガス放射能モニタリング設備

出典：『発電用軽水型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針（昭和五十三年九月二十九日原子力委員会決定）』

測定指針では、放射性物質の性状として粒子状物質、揮発性物質及びガス状物質の放射能濃度の測定が求められており、図-3 に示す集じんろ紙で放射性の粒子状物質、活性炭カートリッジにより揮発性の放射性よう素、測定容器と放射線検出器（希ガスモニタ）により放射性希ガスを測定している。このうち、排ガスは、集じんろ紙、活性炭カートリッジに連続的に通気され、一週間に1回の頻度で集じんろ紙、活性炭カートリッジを取り外し吸着放射エネルギーを求め、これを通気ガス量で除して排ガスに含まれる放射能濃度が求められる。

なお、集じんろ紙で捕捉される Co-60 等の粒子状の放射性物質の測定下限濃度は $4 \times 10^{-3} \text{Bq/m}^3$ となっている。

また、原子力発電所内に設置される雑固体焼却設備と呼ばれる焼却炉の排ガスにおいても、測定指針に従った測定が求められているが、雑固体焼却設備の場合、多くの焼却炉で排ガスを採取するための集じんろ紙上に放射線検出器を置き、ろ紙表面に付着した粒子状物質（ばいじん）の放射エネルギーを放射線モニタで直接監視している。

（２）対策地域内設置仮設焼却炉における排ガスモニタリング方法

対策地域内に設置する仮設焼却炉については、焼却対象となる災害廃棄物に含まれる放射性 Cs 濃度や集じん装置による放射性 Cs 除去能力から、排ガス放射能モニタリング方法として、図-4、表-4 に示す環境省“放射能濃度等測定方法ガイドライン”に従った測定を基本と考えている。

また、放射性 Cs は特にばいじん（飛灰）に多く含まれるため、焼却炉に設置されるばいじん濃度計を用いてバグフィルター出口のばいじん濃度を監視することにより、バグフィルターのばいじん除去性能を連続的に監視でき、結果としてばいじん濃度と相関性のある放射性 Cs 濃度を監視できると考えている。

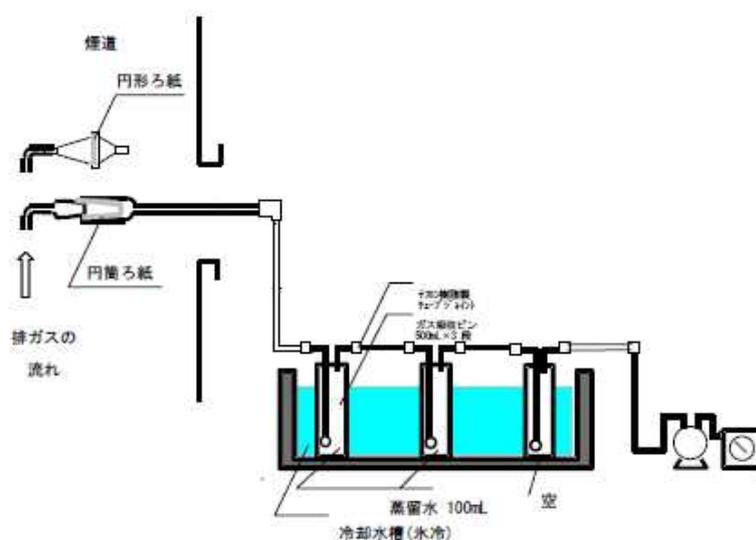


図-4 “放射能濃度等測定方法ガイドライン” 排ガス採取器具構成

表-4 “放射能濃度等測定方法ガイドライン” 測定・分析条件等

試料採取及び測定頻度	バッチ採取、1ヶ月1回以上
濃度評価	3ヶ月平均
試料採取方法及び採取量	ろ紙+ガス吸収瓶、各々3m ³ 程度
測定時間	ろ紙、ドレン；1000～2000秒
検出下限	ろ紙；2Bq/m ³ 、ドレン（ガス吸収瓶）；2Bq/m ³
基準濃度 ^{※1}	セシウム 134；20Bq/m ³ 、セシウム 137；30Bq/m ³

以上の排ガスモニタリングを基本としつつ、今回実験的に導入する、集じん装置を追加する仮設焼却炉においては、その出入り口に、実験的に、排ガスの放射性 Cs 濃度を連続監視可能なモニタリング方法を導入しその有効性を確認することとしたい。

図-5 に、追加する集じん装置の入口及び出口に設置する排ガス連続モニタリング装置の概略を示す。本装置は、原子力発電所における雑固体焼却設備における排ガス放射能モニタリング方法に準じたもので、煙道あるいは排気筒に流れる排ガスを連続的に集じんろ紙上に捕集する。なお、実験的に設置する排ガス連続モニタリング装置においては、放射性よう素、放射性希ガスの測定は行わないため図-3 に示す活性炭カートリッジ、希ガスモニタは付属しない。

追加する集じん装置の入口及び出口排ガスを採取した集じんろ紙は、例えば、週 1 回の頻度で取り外し、Ge 半導体検出器等を用いて捕集したばいじんに含まれる放射性 Cs 量を測定し、通気ガス量除して比較的長期間の排ガスの放射性 Cs 平均濃度を評価する。

同時に、集じんろ紙の上面に NaI 検出器等の放射線測定器を設置し、集じんろ紙上表面の γ 線をモニタリングして、排ガスに含まれる放射性 Cs 濃度の突発的な上昇を監視する。

これらのモニタリングを通じて、本装置が、追加した集じん装置による放射性 Cs 除去性能を連続的に確認する上で有効であるか評価する。

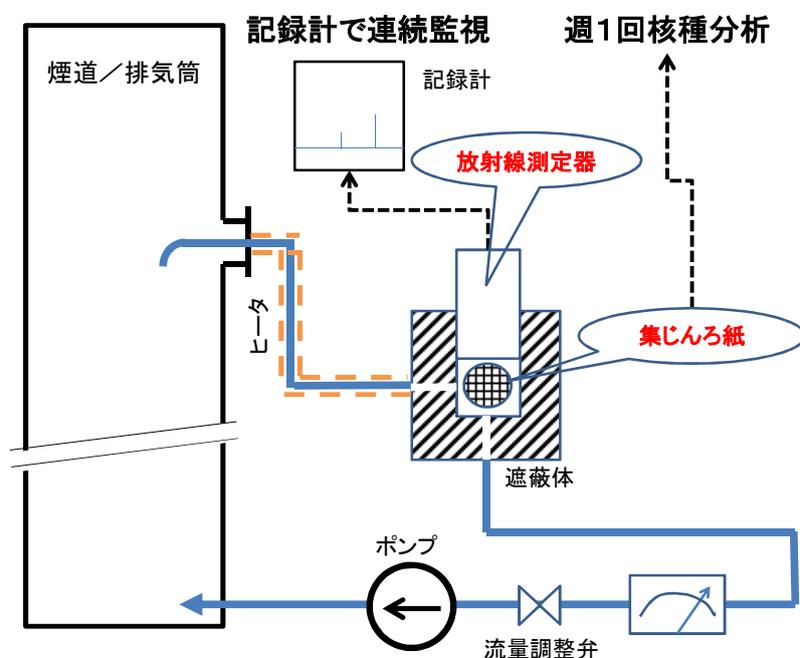
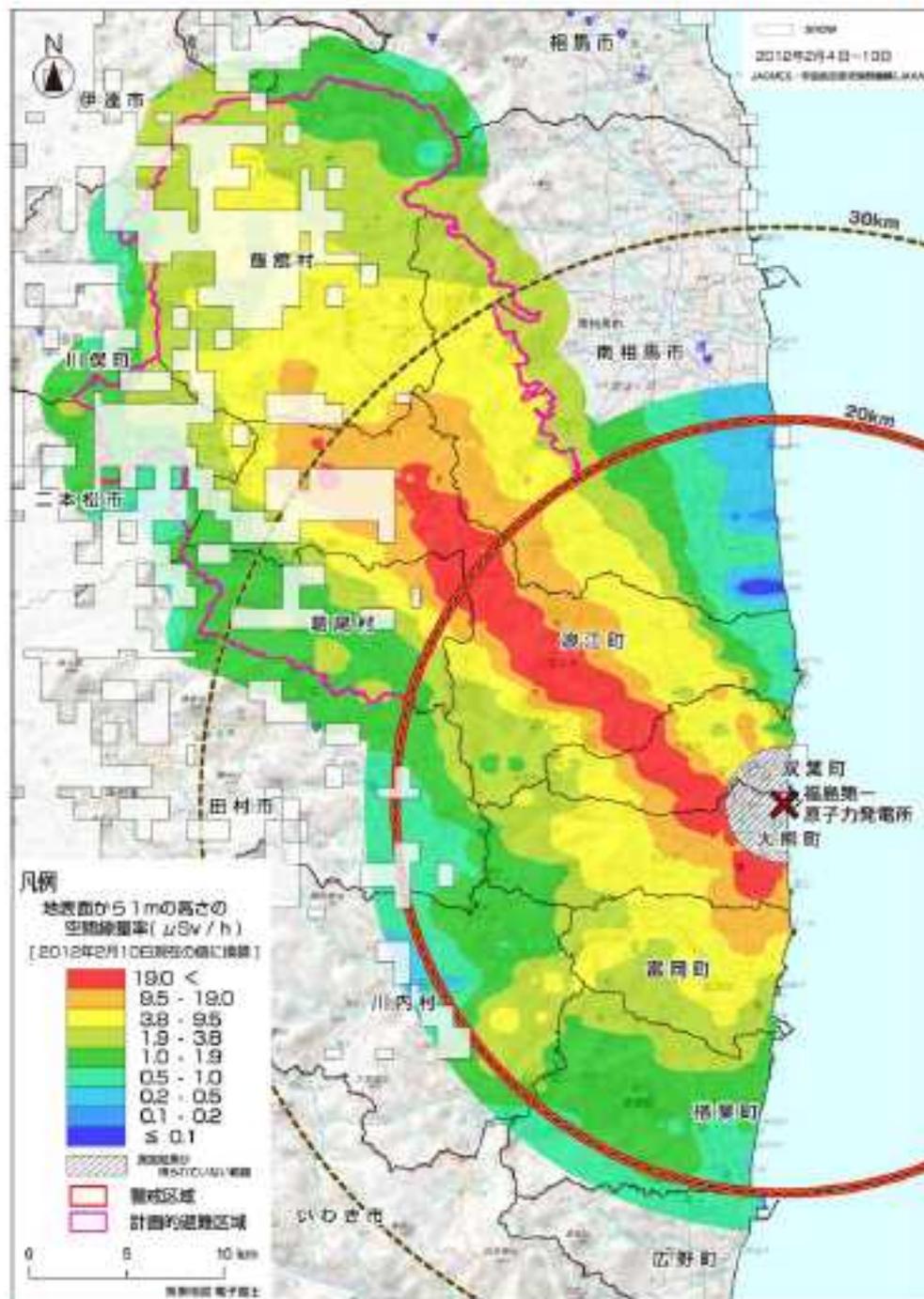


図-5 排ガス連続放射能モニタリング装置概要

(参考資料) 警戒区域及び計画的避難区域の線量マップ (平成24年2月24日)

警戒区域及び計画的避難区域における航空機モニタリングの結果
(警戒区域及び計画的避難区域における地表面から1m高さの空間線量率)



※本マップには気象条件による空間線量率の変動が考慮されていない。
 ※線量率で囲われた白色の領域は検査のあった場所を示しており、当該地域の地表面から1m高さの空間線量率は、雪の深さにより、雪が融け一時に比べて減少している可能性がある。

出典 ; (文部科学省) 警戒区域及び計画的避難区域における航空機モニタリングの
 測定結果について (平成24年2月24日)

http://radioactivity.mext.go.jp/ja/contents/5000/4902/24/1910_022414.pdf