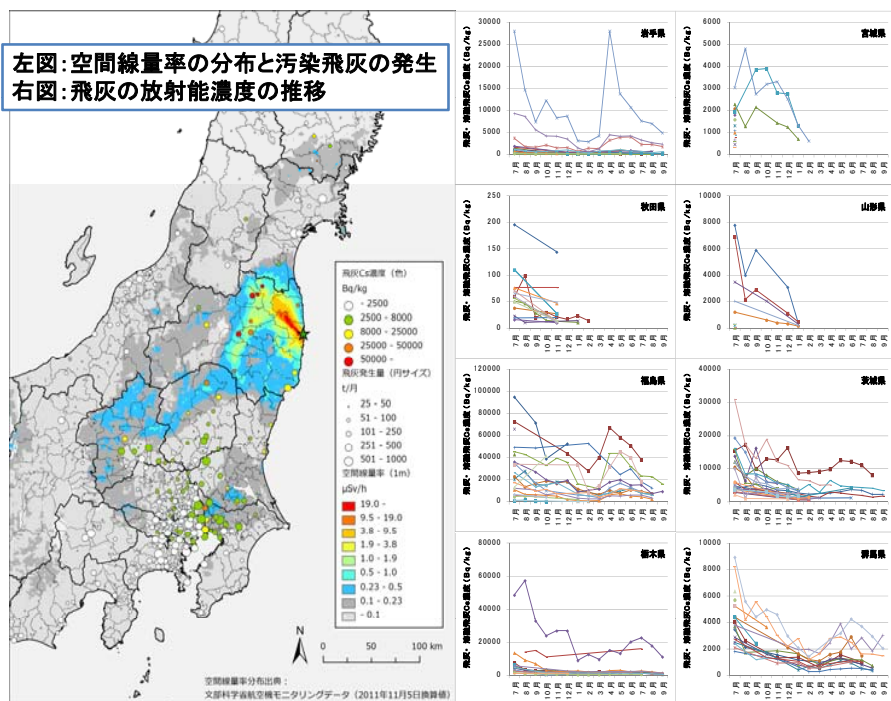
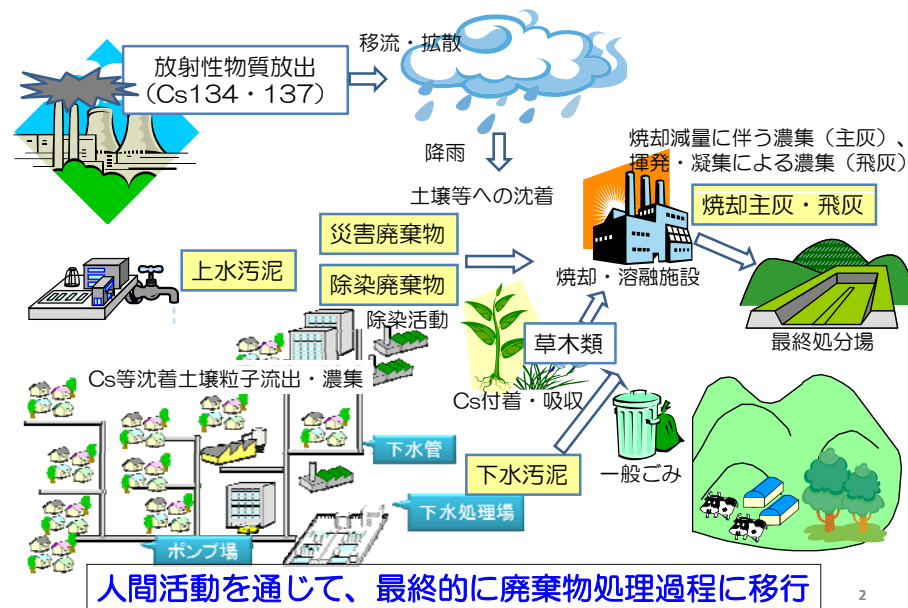


# 放射能汚染廃棄物

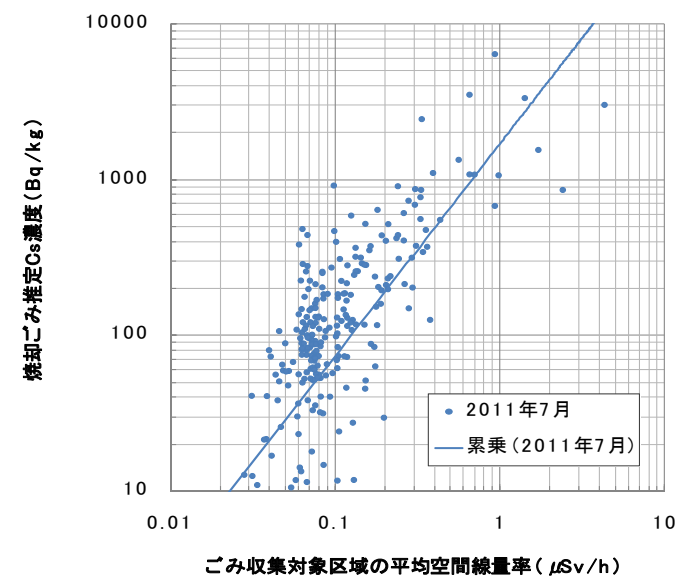


(独) 国立環境研究所  
資源循環・廃棄物研究センター  
大迫政浩

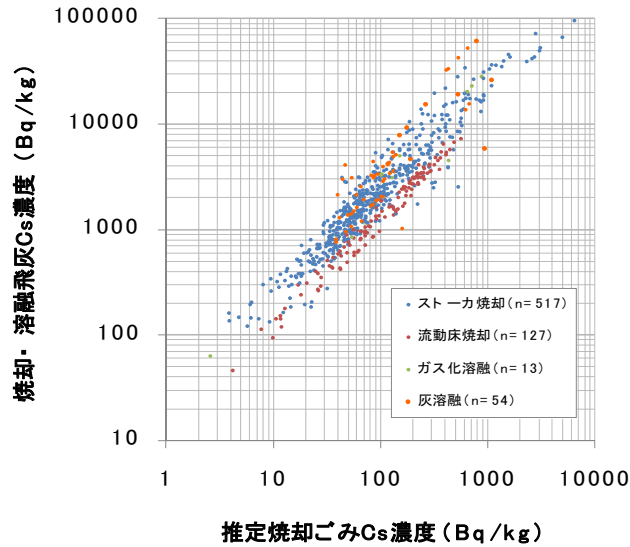
# 放射性物質を含む廃棄物等の問題の構造



# 地域の空間線量率と焼却ごみの放射能濃度の関係



## 焼却ごみと飛灰の放射能濃度との関係



## 放射性セシウムはアルカリ金属元素

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
周期	アルカリ金属																	
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Uuu	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
	ランタノイド			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
**	アクチノイド			89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

セシウム

図1 周期表

[出所] フリー百科事典、ウィキペディア (Wikipedia): 周期表 (2), <http://ja.wikipedia.org/>

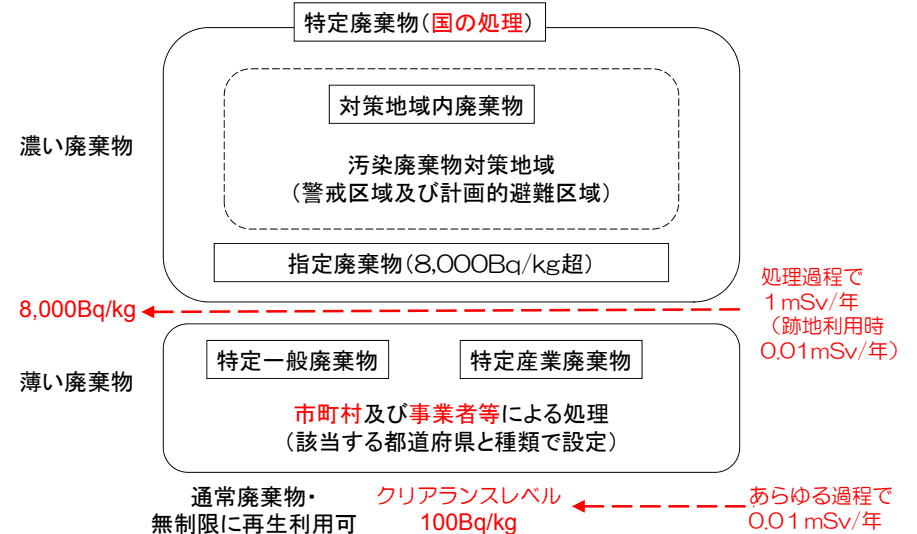
財団法人 高度情報科学技術研究機構HPより 6/38

## 廃棄物を処理する際の放射性セシウムの挙動及び安全性の確保

### 放射性セシウムの特徴は？

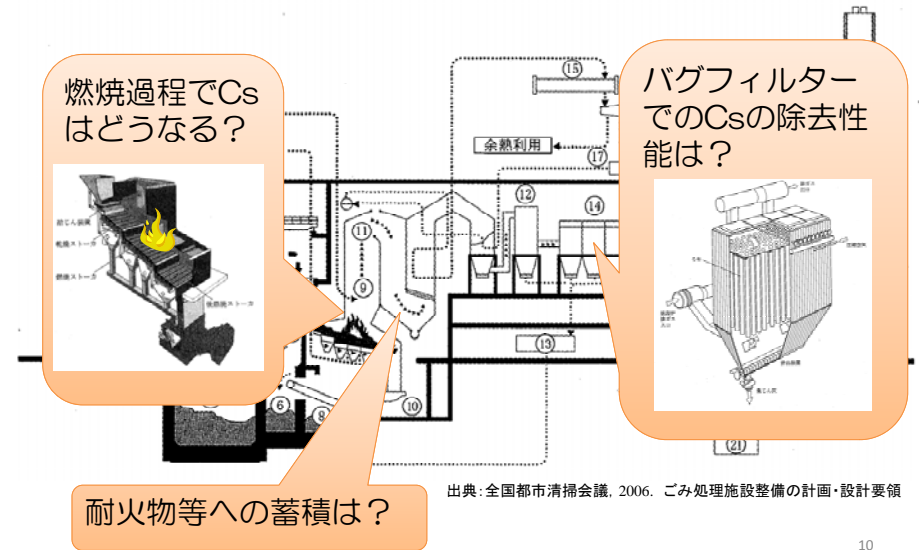
- 放射線としてベータ線やガンマ線を放出
- 物質としては、ナトリウムやカリウムと同じアルカリ金属
- 食塩 (塩化ナトリウム) と同様に、塩化セシウムの状態では水に溶けやすい物質 (他の化合物も水に溶けやすい)
- 土壌の粘土質に強く引き付けられ、いったん土壌にくっつくと、地下に浸透しにくい性質
- 外部被ばくで主になるガンマ線は、土壌やコンクリートで遮へいすれば、放射性物質から出てくる放射線の多くを防ぐことができる。
  - 例えば、土壌の層30cmがあれば、放射線量を約40分の1にすることができる。

## 放射性物質汚染対処特別措置法における汚染廃棄物のカテゴリー



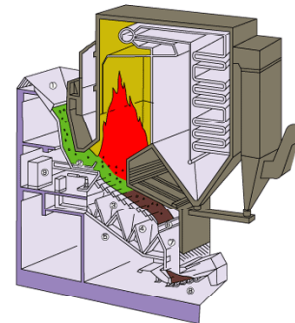
# 放射性物質を含む廃棄物の焼却処理について

# 焼却処理における研究課題

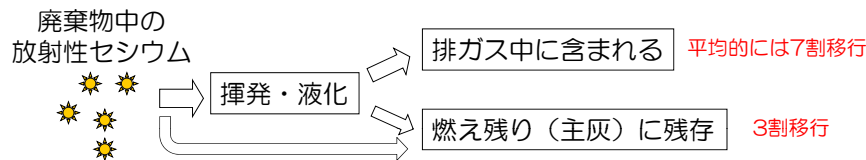


# 焼却すると廃棄物中の放射性セシウムは どうなるか？

廃棄物中の放射性セシウムは、850℃以上の高温の炎の中で揮発したり、小さな液滴となって排ガスと一緒に流れていくものと、燃え残りの灰に残るものに分かります。

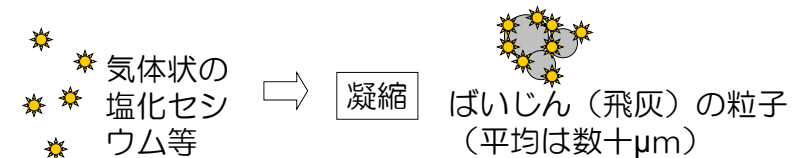


出典：三菱重工環境・化学エンジニアリング㈱HPより



# 排ガス中の揮発した放射性セシウムは どうなるか？

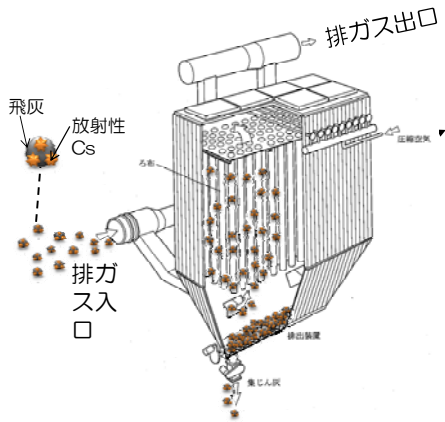
排ガスは冷やされて、気体状あるいは液状のセシウムは、主に塩化セシウムと考えられる化合物として凝縮して固体状態になり、他の物質と一緒に粒子化して、ばいじんになります。



バグフィルター付近の温度は200℃以下になります

排ガス中の塩化セシウム (CsCl) は、  
沸点 (液体から揮発する温度) 1300℃  
融点 (固体から液体になる温度) 646℃

# バッグフィルター



1本のバッグフィルター

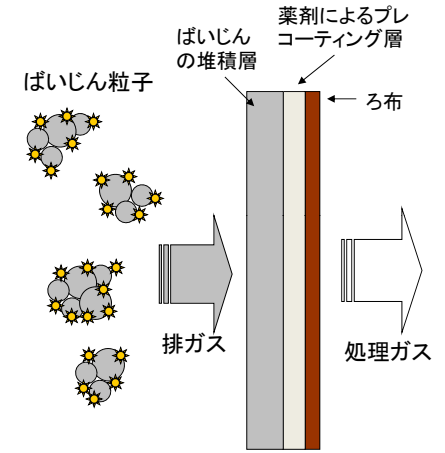
バッグフィルターの構造

出典：全国都市清掃会議，2006. ごみ処理施設整備の計画・設計要領

# ばいじんに吸着した放射性セシウムは どうなるか？

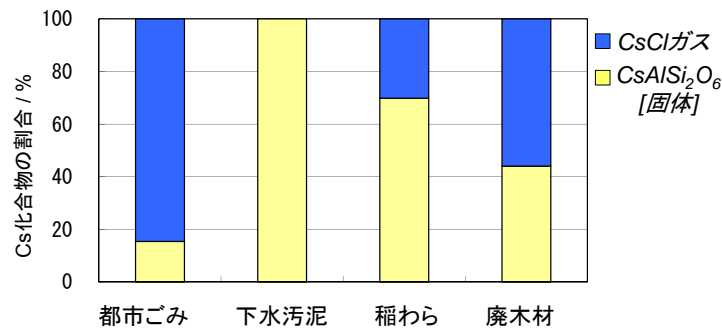
○セシウムが吸着しているばいじんは、**バッグフィルター**で**高い効率**で除去、**捕集**されます。

○きめ細かなろ布上に形成された**薬剤**や**ばいじん**自身による層により、**サブミクロン（1μm以下）**の粒子を濾（こ）しとって除去します。



バッグフィルターによる除去の仕組み

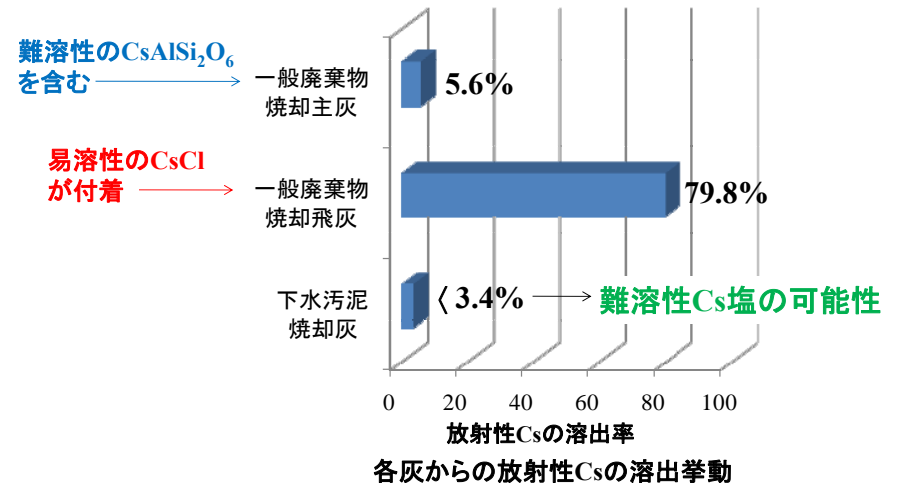
# 焼却過程における存在形態（平衡計算結果）



各焼却物と850°CにおけるCs化合物種類と割合

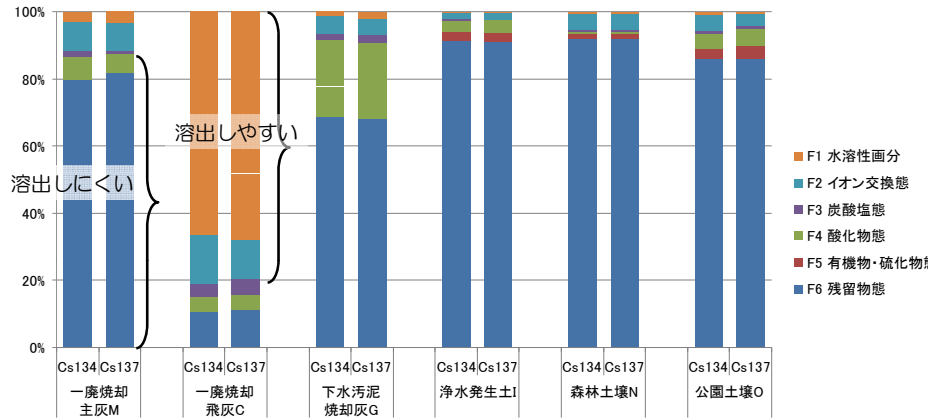
- CsClガス → 排ガスの冷却過程において飛灰に付着
- CsAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub> → 主灰に残存
- 焼却物の組成によってCsClガスとCsAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>のバランスに相違

# 計算結果の妥当性（溶出試験結果との比較）



平衡計算の結果はCsの溶出性をうまく説明できる

## 逐次抽出法による存在形態の推定

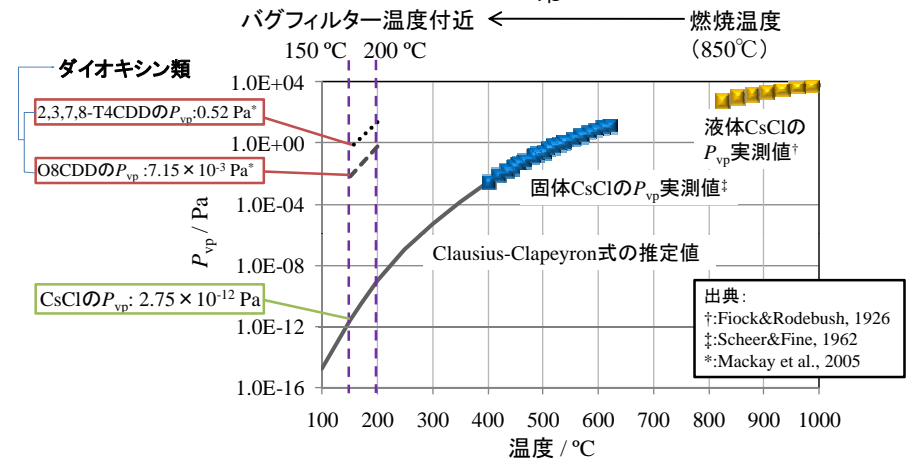


溶媒の種類を変えた逐次抽出法により、試料ごとに存在形態に大きな違いがあることが判明

17

## 排ガス中の存在形態は？

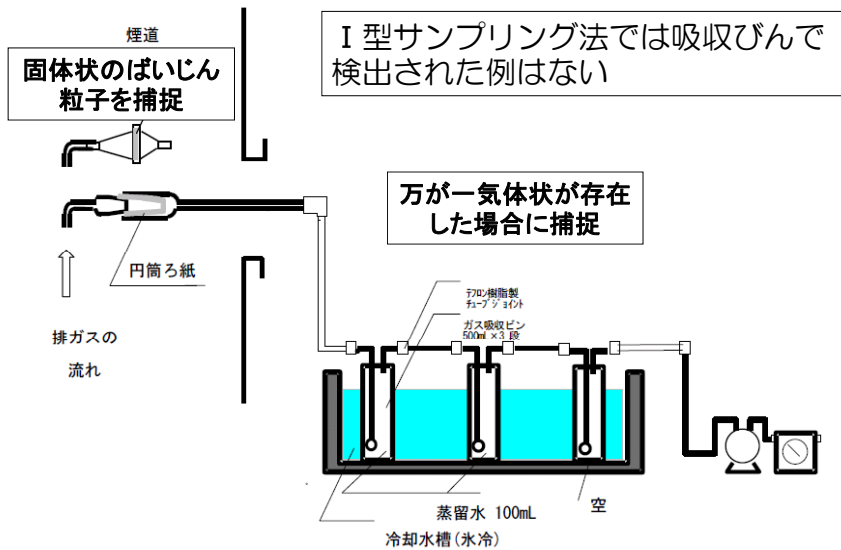
(CsClの飽和蒸気圧( $P_{vp}$ )の推定結果)



- ・ダイオキシン類の飽和蒸気圧よりも9~12桁低い
- ・ダイオキシン類以上にバグフィルターで除去しやすい物質

18/40

## 排ガス試料のサンプリング方法 (I型)



19

## 飛灰濃度が8,000Bq/kg超の施設における排ガス処理設備でのCs除去率

施設	対象プロセス	入口濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )		出口濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )		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
	熔融	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
	熔融	39	51	<0.01	<0.011	99.97<	99.98<			2月
	熔融	98	133	<0.013	<0.013	99.99<	99.99<			3月
D市清掃工場	熔融24h採取	335	404	<0.4	<0.3	99.88<	99.93<	BF	A社	9月
D市清掃工場	熔融24h採取	220	330	<0.05	<0.07	99.98<	99.98<	BF	A社	3月

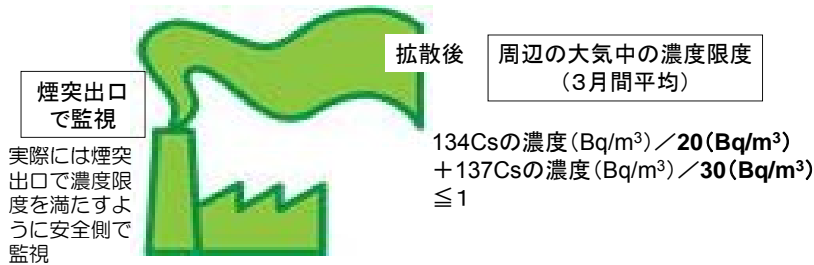
\*BF: バグフィルター、EP: 電気集塵機

\*\*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(但し、煙突出口ガスは検出下限未満)

20

## 焼却施設の煙突出口における監視基準 ～濃度限度は排出口基準ではなく、周辺環境における基準～

気象条件等によるがJAEAのシナリオ  
評価では5万倍程度の希釈を仮定



※濃度限度：同一人が0歳児から70歳になるまでの間、当該濃度の放射性物質を含む排気、排水を摂取したとしても、被ばく線量が一般公衆の許容値（年間1 mSv）以下となる濃度として設定されたものである（放射線審議会基本部会「外部被ばく及び内部被ばくの評価法にかかる技術的指針」（平成11年4月））

## 焼却・溶融炉内の放射性Cs蓄積状況

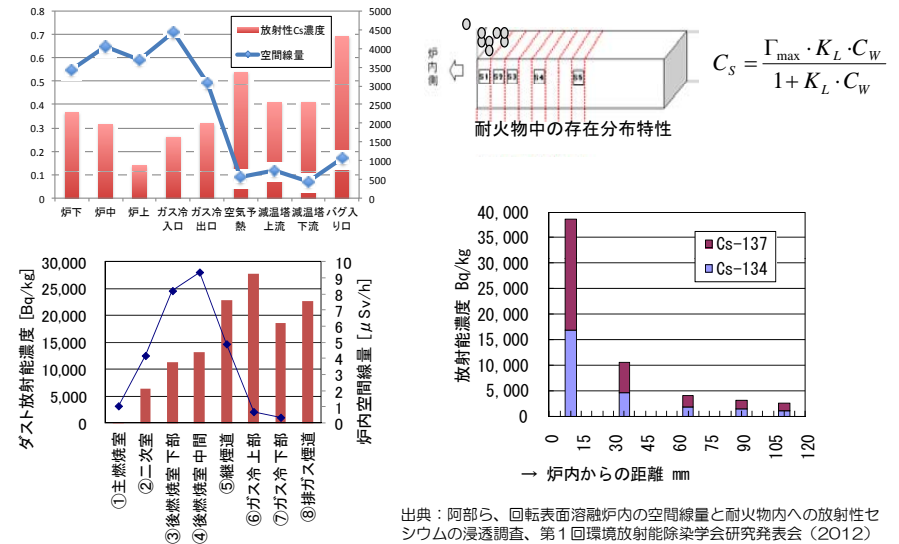
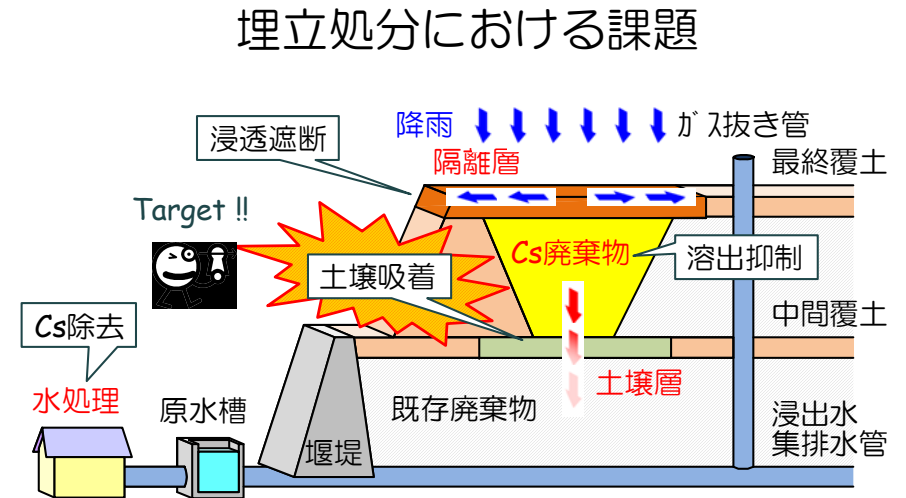


図 ダストの放射能濃度と炉内空間線量 図 後燃焼室中間部耐火物の放射能濃度分布

## 放射性物質を含む廃棄物の埋立処分について



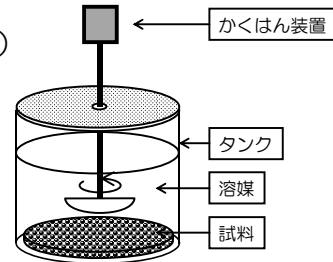
特措法における主な技術基準：  
50cmの下部土壌吸着層、ばいじんに対しては最上部不透水層

## 焼却灰等の溶出性（溶出試験）

- JIS K 0058-1
  - 有姿
  - 200 rpmプロペラ攪拌
  - 6時間溶出
  - 液固比10
  - 0.45umフィルタ濾過

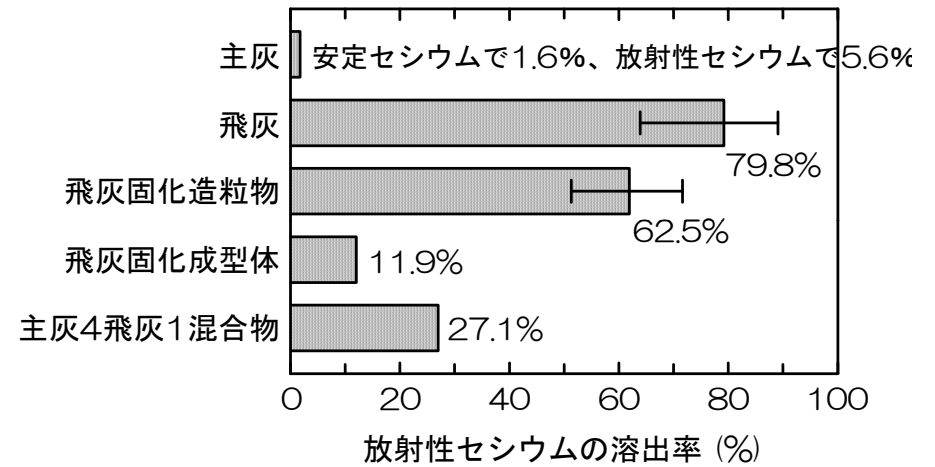


- 試料（一焼却施設より採取）
  - 主灰
  - 飛灰
  - 飛灰固化物
- 溶出濃度・含有量測定
  - Ge検出器



25

## 放射性セシウムの溶出率

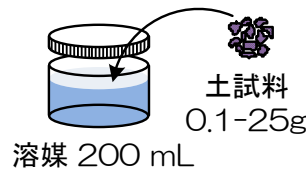


✓ 溶出率は、主灰 << 飛灰固化物 < 飛灰

26

## 焼却灰主体埋立地からの浸出液を想定した土壌等の吸着性の評価

- 溶媒
  - pH12飛灰溶出液 (2,100 mS/m, 760 Bq/L)
  - 塩酸調整 pH7飛灰溶出液 (1,920 mS/m, 780 Bq/L)
- 土壌と吸着材
  - 珪砂5号
  - 茨城真砂土
  - 埼玉土壌
  - ベントナイト
  - 顆粒ゼオライト
  - 粉末ゼオライト
- 条件
  - 液固比 8-2,000
  - 吸着時間 1日
  - 120 rpm 水平振とう

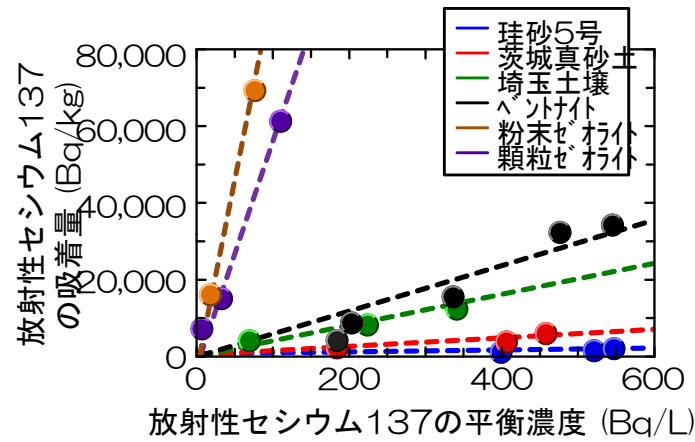


27

<p>珪砂5号 CEC = 0.7 cmol/kg</p> <p>✓石英を主成分とする標準砂 ✓0.4-0.6mmの均一粒径</p>	<p>茨城真砂土 CEC = 4.1 cmol/kg</p> <p>✓花崗岩などが風化した土 ✓細粒分(&lt;75um) = 7%</p>	<p>粉末ゼオライト CEC = 130 cmol/kg</p> <p>✓天然のゼオライト ✓0.2mm以下の粒径</p>
<p>埼玉土壌 CEC = 6.3 cmol/kg</p> <p>✓実覆土に用いられた土 ✓細粒分(&lt;75um) = 20%</p>	<p>ベントナイト CEC = 66 cmol/kg</p> <p>✓ワイミング産Naベントナイト ✓難透水性材料として利用</p>	<p>顆粒ゼオライト CEC = 140 cmol/kg</p> <p>✓天然のゼオライト ✓1.4-4.0mmの粒径</p>

28

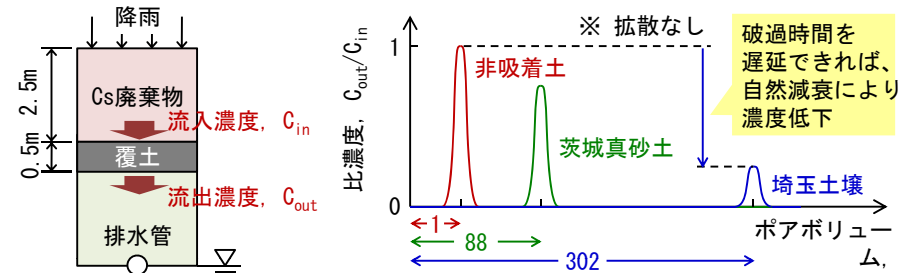
## 平衡濃度と吸着量の関係 (pH=12)



純水系に対して飛灰溶出液では、1~2桁程度、分配係数が低くなる可能性が高い

29

## 吸着による遅延効果と浸出水放射能濃度の低減



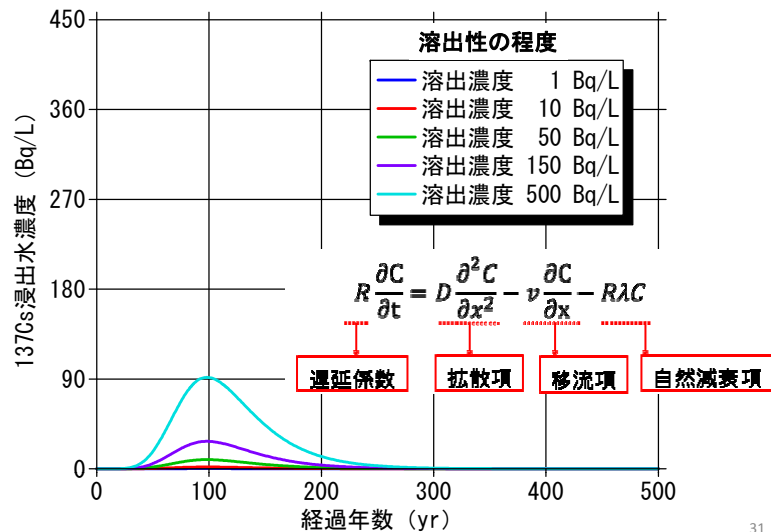
	pH=12 分配係数 (mL/g)	遅延係数	鉛直一次元流れを仮定し、降雨量1,800 mm/yrのうち、600 mm/yrが浸透したときの、0.5 m厚の覆土を <sup>137</sup> Csが通過するのに必要な時間、トラベルタイム Δ (yr)
珪砂5号	4.50	28	7
埼玉土壌	50.2	302	75
茨城真砂土	14.5	88	22
ベントナイト	71.2	430	107

※ この試算は、覆土内を半ば強制的に通水させたときのトラベルタイムである。吸着による遅延を期待する場合には、水を吸着材に浸透させる工夫が必要になる。

30

## 埋立層内放射性Cs挙動シミュレーション

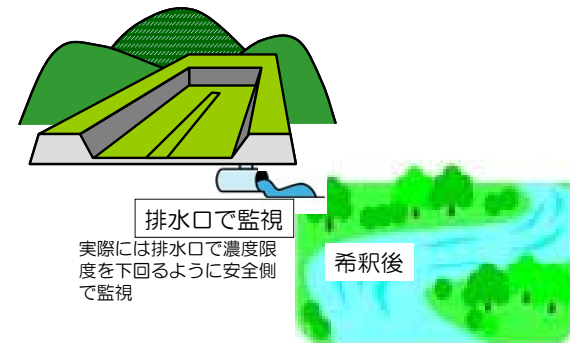
上面への難透水層の設置



31

## 埋立処分場の浸出水の監視

～濃度限度は排出口基準ではなく、周辺環境における基準～



周辺の公共の水域の水中の濃度限度 (3月間平均)

$$^{134}\text{Csの濃度 (Bq/L)} / 60 \text{ (Bq/L)} + ^{137}\text{Csの濃度 (Bq/L)} / 90 \text{ (Bq/L)} \leq 1$$

32



## おわりに

- ▶地域のリスク低減のためには除染措置が必要である。
- ▶除染を行えば汚染廃棄物や除去土壌が生じるため、その適正処理が必要。
- ▶除染と廃棄物処理を一体的に捉え、安全と信頼が確保された適正処理により、除染を円滑に推進することが重要