

概要

放射性セシウム(Cs)が付着した都市ごみ等(8,000Bq/kg以下)の一部は焼却施設で処理されており、排ガスに含まれるCsの濃度は規制値を下回っていると報告されています。しかしCsの詳細な捕集メカニズムや、Cs濃度が高い場合(8,000Bq/kg以上)でも同様であるのか等については十分な知見が得られていません。焼却は廃棄物を減容する有力な方法であるため、安全・安心の観点から、様々な条件で焼却炉内のCsの動き(挙動)を理解することが重要です。そこで排ガスに含まれるCsの挙動や捕集メカニズムを物理現象として扱うモデルを構築し、数値解析を行いました。解析結果は既存の焼却施設と良い一致がみられたことから、排ガス中のCsの挙動が物理的なモデルで説明可能なことが示唆されました。

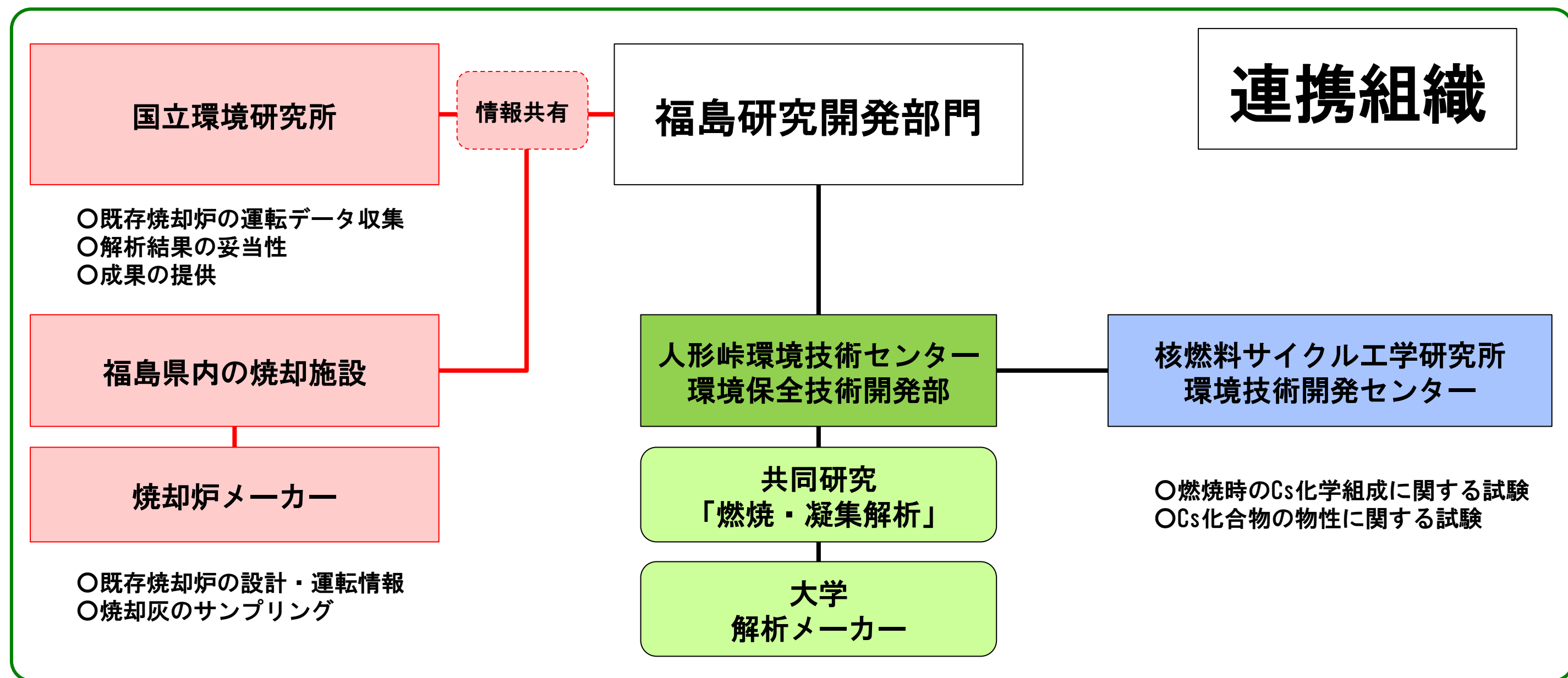
達成目標

- 目標1: 燃焼計算でごみを焼却した時の、焼却炉内の温度場、速度場、化学種場から、焼却灰(主灰)及び飛灰の発生量を粒径毎に解析。
- 目標2: 焼却炉からバグフィルタや電気集塵機に至る間のCsの凝集過程、及び焼却灰(主灰)及び飛灰への沈着過程を解析。
- 目標3: 計算、及び解析結果から、排気スタックからCsが排気される可能性をフィルタ性能を考慮して評価。また、炉壁や煙道への付着状況を評価。

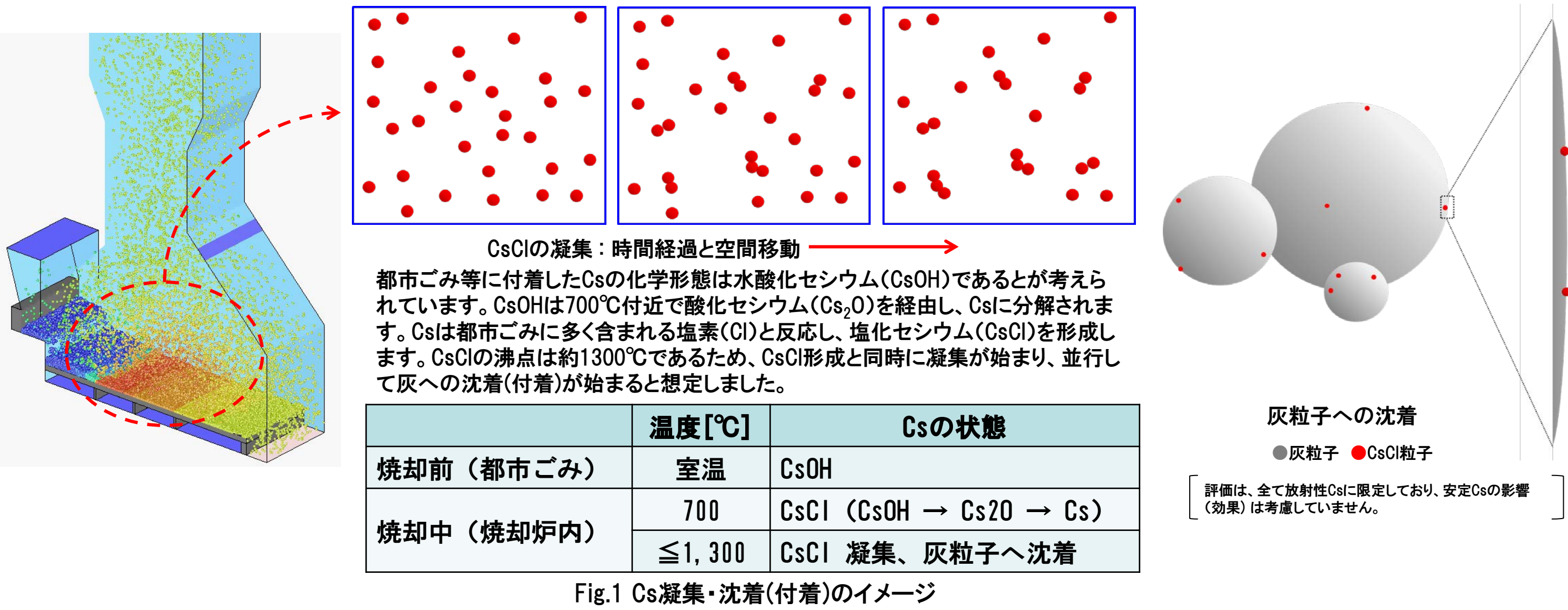
期待される効果

一連の研究開発成果、及び「焼却時の炉内Cs挙動をシミュレーションコード」は福島県内の焼却炉運営の助けになることや中間貯蔵施設に設置する焼却炉の設計等に役立ってます。

実施体制



Cs凝集・沈着(付着)モデルの設定



Cs凝集・Cs-灰粒子衝突確率モデル

CsCl同士は1300℃以下で凝集します。このため、CsCl粒子の凝集は個数濃度収支式で記述します。同様に、CsCl粒子の灰粒子への衝突も個数濃度収支式で記述します。

$$\frac{dn_k}{dt} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{k-1} J_{ij} - \sum_{j=1}^{\infty} J_{ik} \quad J_{ij} = \beta n_i n_j \quad \text{..... (式1)}$$

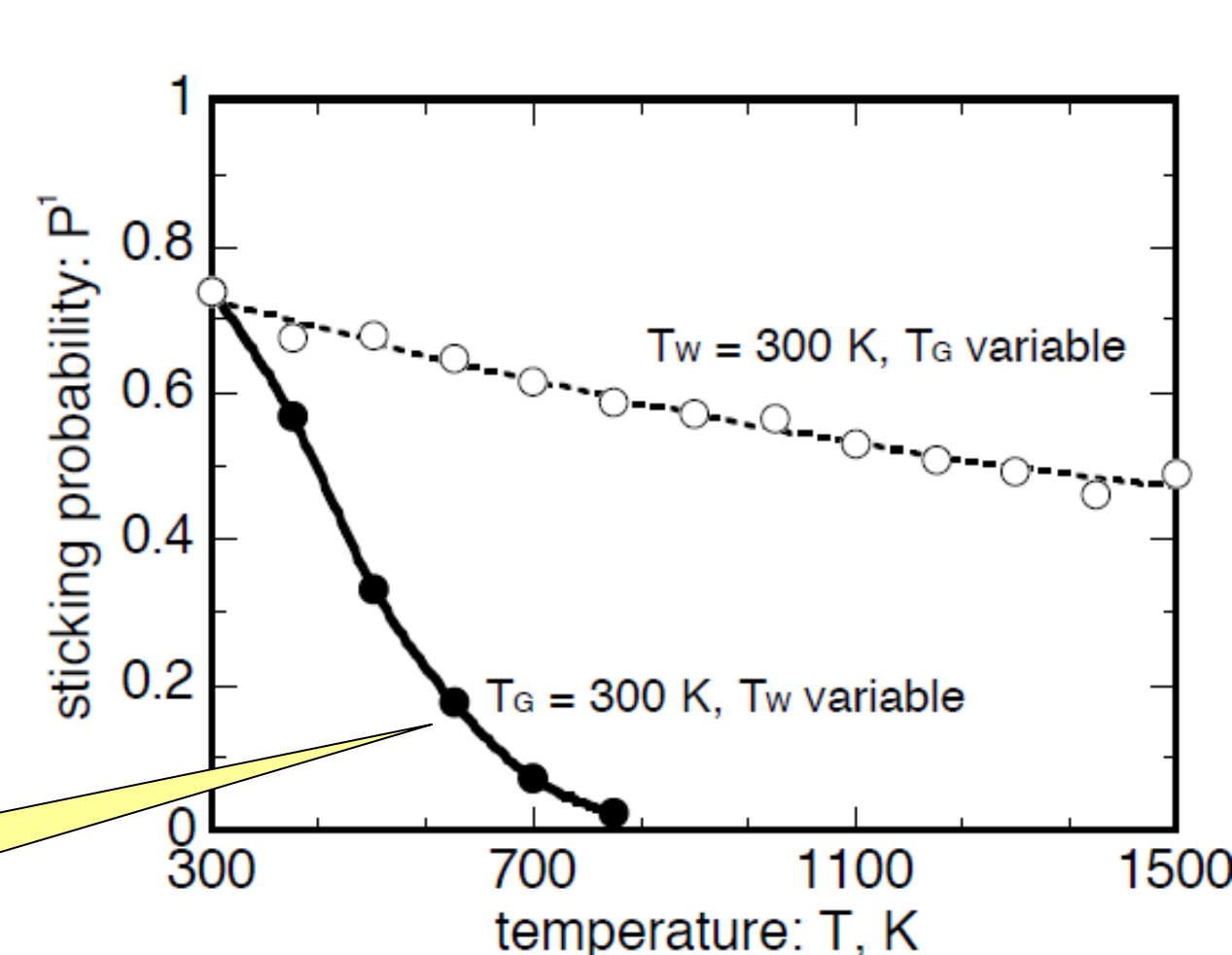
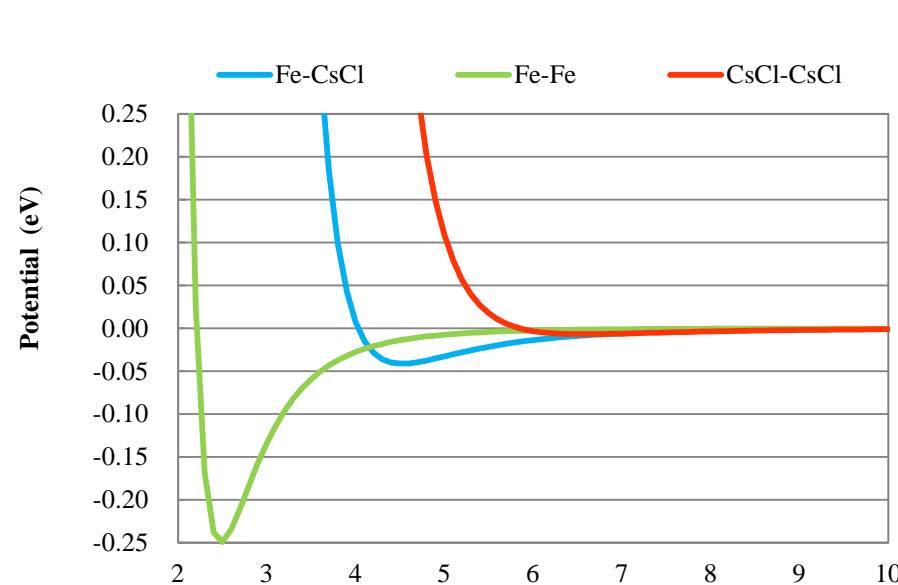
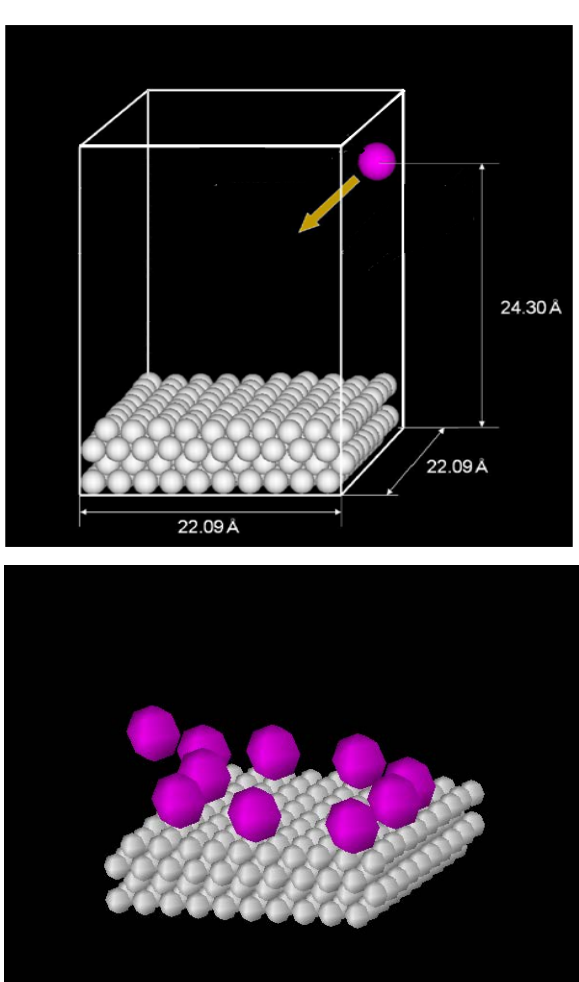
- n_i (m⁻³) i次粒子個数濃度
- n_j (m⁻³) j次粒子個数濃度
- n_k (m⁻³) k次粒子個数濃度
- β (m³s⁻¹) 凝集速度関数

Cs-灰粒子沈着確率モデル

CsClが灰粒子に衝突した時、CsClの速度(温度)で沈着の有無が決まります。⇒分子動力学法からCsCl粒子が灰粒子に衝突し、そのまま留まる(沈着)確率(暫定値)を評価しました。

$$\frac{d^2 r_i}{dt^2} = -\frac{1}{m} \sum_{j=1}^N \nabla \phi_{ij} (r_i - r_j) \quad \text{..... (式2)}$$

- r_i 分子iの位置ベクトル
- ϕ_{ij} 分子間ポテンシャル



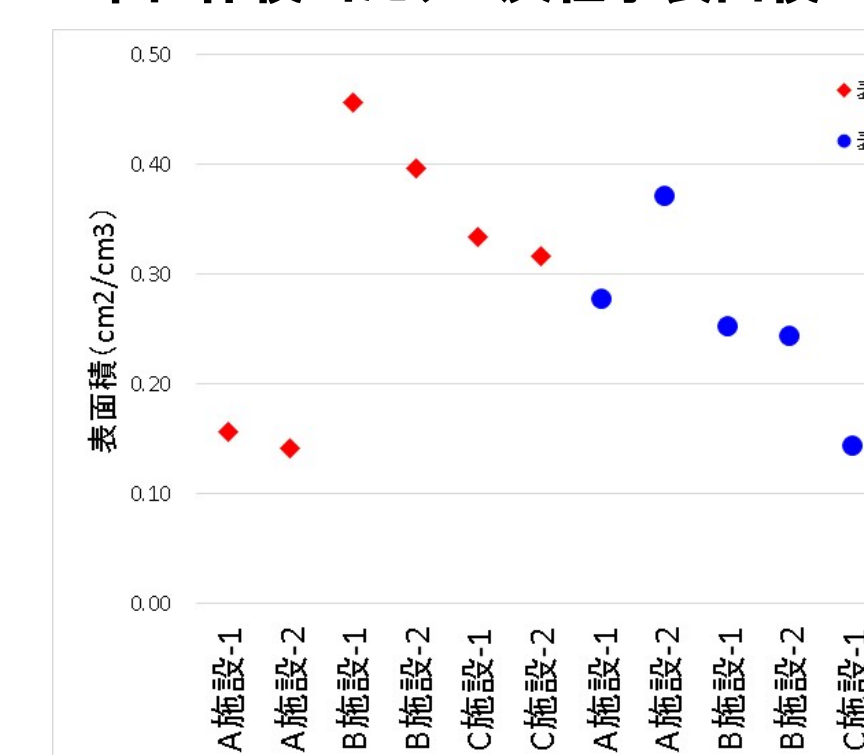
焼却灰調査結果

施設名	処理能力
A施設	110 ton/day・炉
B施設	35 ton/day・炉
C施設	40 ton/day・炉

灰粒子径と灰粒子あたりの放射能の関係



単位体積当たりの灰粒子表面積

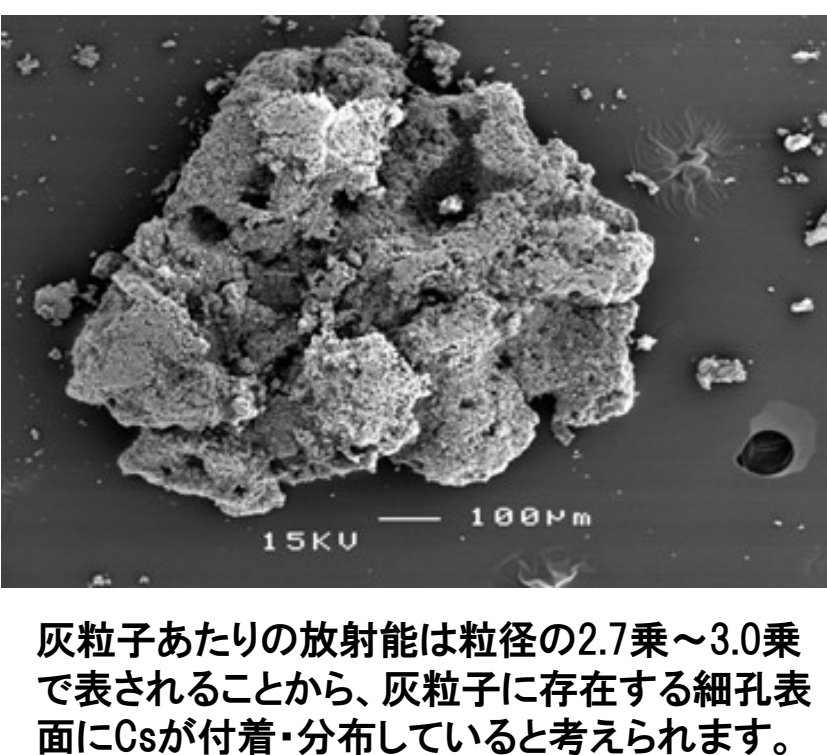


評価条件

主灰・飛灰発生率(%):
主灰=6.5% 飛灰=2.0%

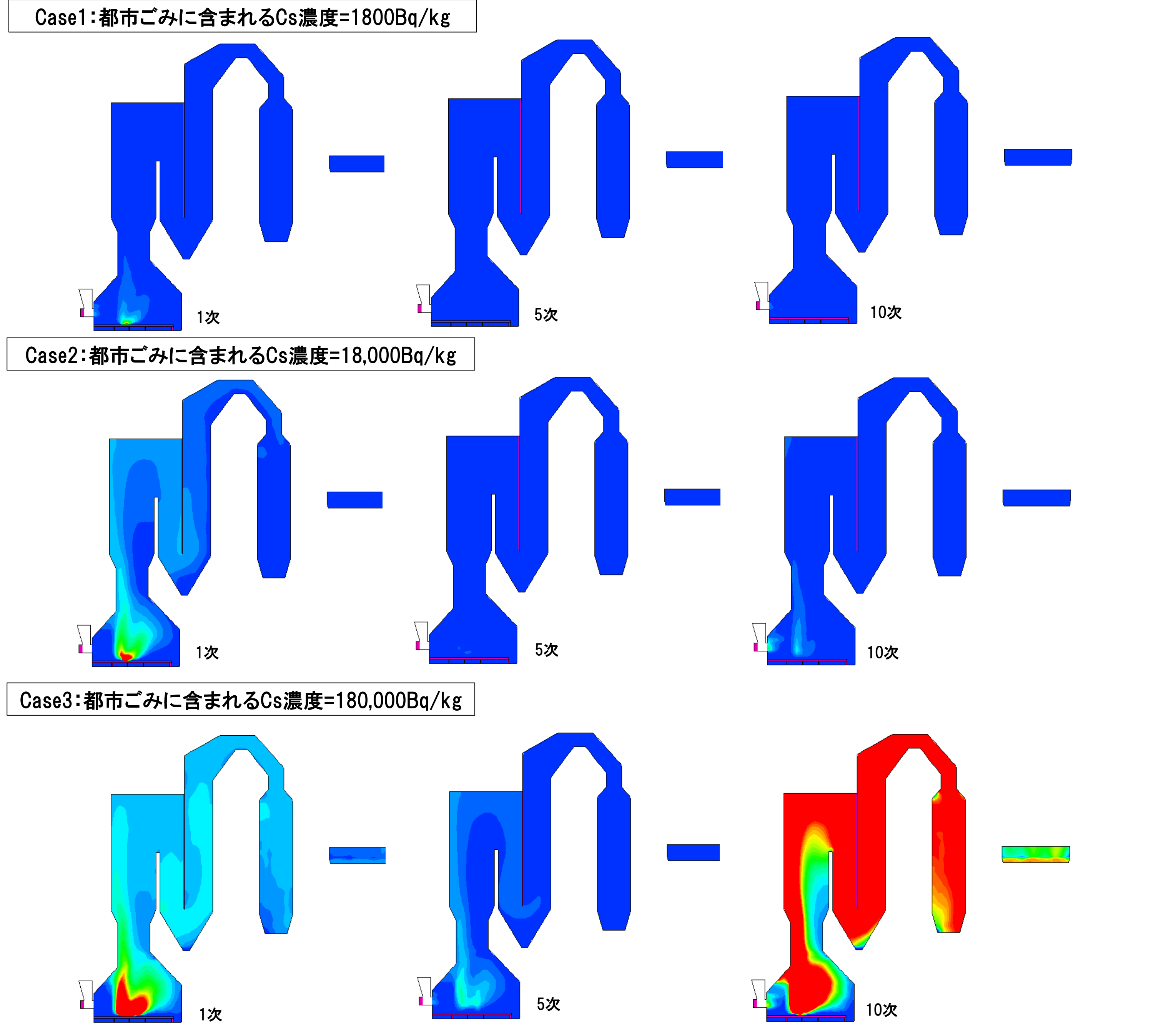
乾ガス量:
4.55m³/kg
(9200kJ/kg燃焼時)

A, B, C施設を対象とした評価では、燃焼ガス1cm³あたりの灰の表面積は0.15~0.45cm²と推定されます。これはCsが凝集後、約数mmの間隔で灰粒子と衝突することを示唆しています。



シミュレーションの事例(1)

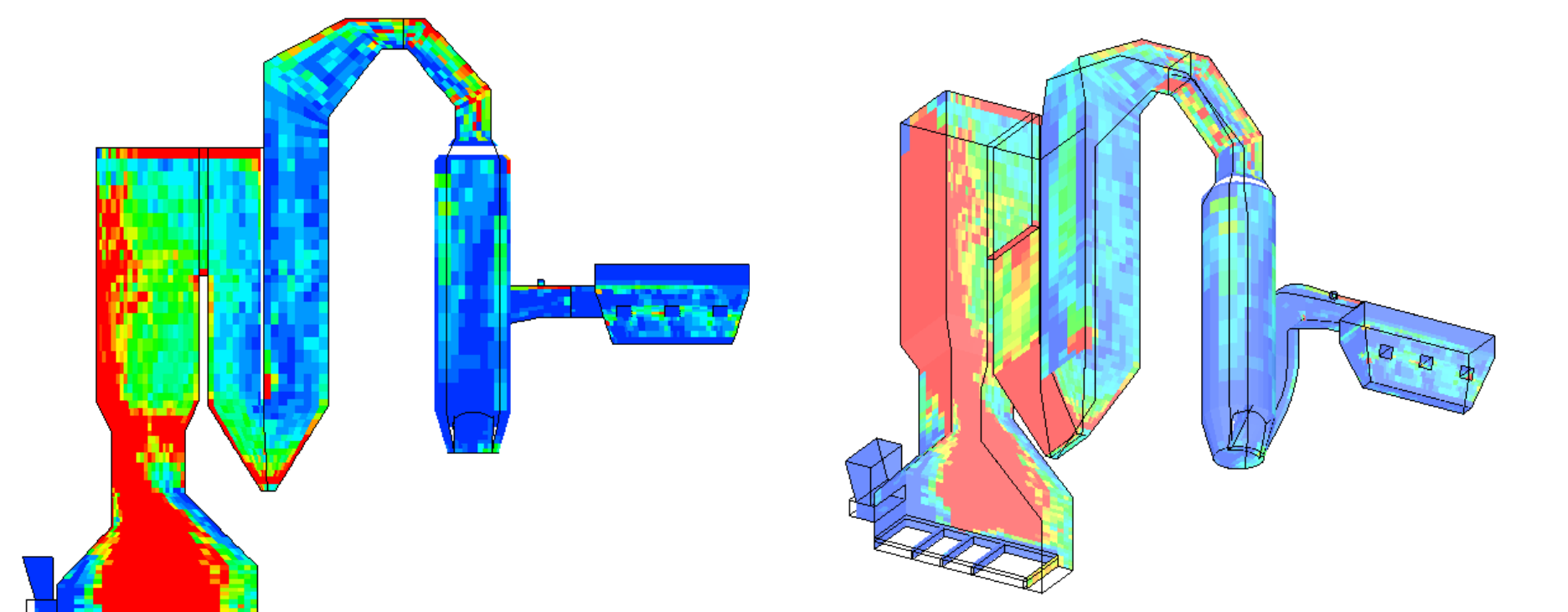
都市ごみに含まれるCs濃度をパラメータとして、Cs凝集粒子の大きさ(凝集回数)に着目し、バグフィルタ手前のCsCl単分子ガス濃度についてシミュレーションを行いました。



シミュレーションの事例(2)

燃焼ガス中の焼却灰濃度と施設内の流速場に着目して炉壁、煙道への付着速度に関する解析を行いました。

燃焼室から出口にかけて、焼却灰濃度、及び流速が高い領域が形成されるため、この領域の壁面に高い付着速度が生じることが示唆されました。

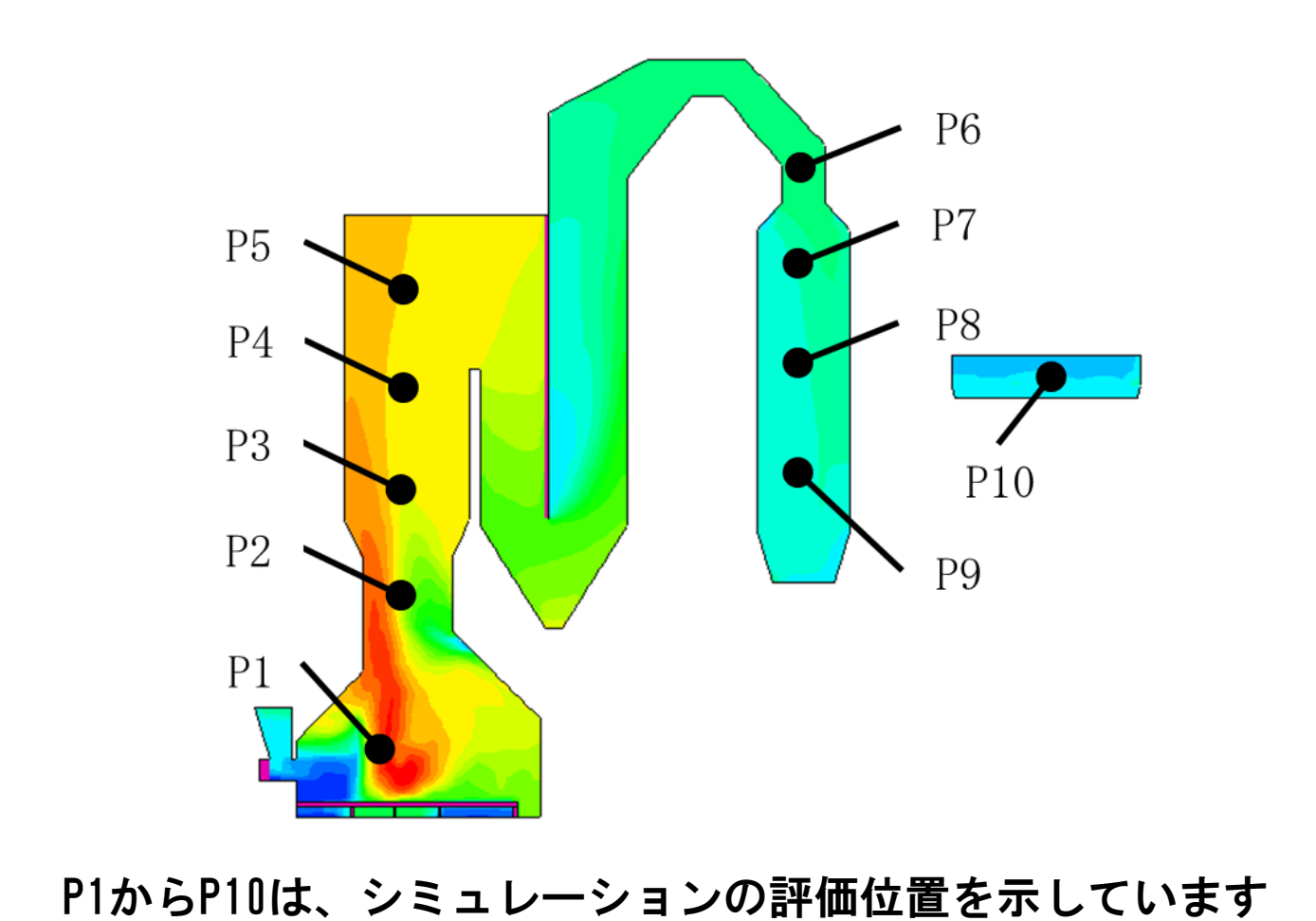
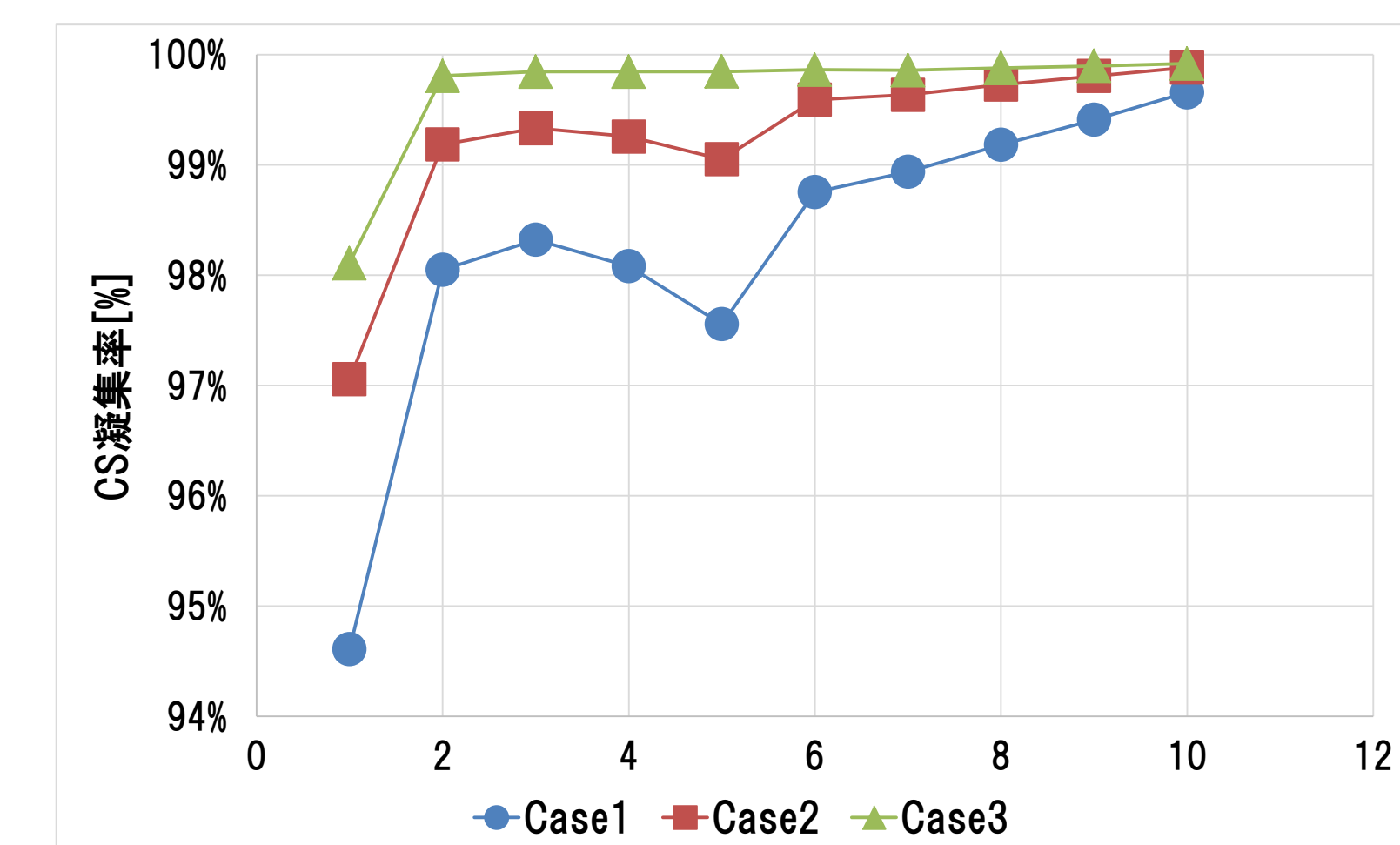


シミュレーション結果の考察

Cs濃度の高い都市ごみを焼却した場合、燃焼室近傍でのCs凝集する割合が高くなります。これはCsClが焼却灰や他のCsClと衝突する確率が高くなったためと考えられます。したがって、バグフィルタ手前での一次CsCl凝集粒子の存在割合は、減少する傾向がみられました。

	燃焼ガス中のCs濃度 [Bq/m ³ _gas]	バグフィルタ手前のCs濃度 [Bq/m ³ _gas]	Cs凝集率 [-]
Case-1	405	1	99.66%
Case-2	4048	5	99.88%
Case-3	40478	33	99.92%

注：Cs濃度はCs137の比較放射能で換算した場合の推定値を表示



調査結果と解析結果の比較

福島県内の焼却炉から採取した実灰の調査結果と解析結果との比較評価を行いました。

焼却灰中の主灰・飛灰の質量割合

	主灰 [%]	飛灰 [%]	灰重量/都市ごみ重量
調査結果	76.5	23.5	0.085
解析結果	74.1	25.9	0.042

焼却灰に付着しているCs濃度

	主灰のCs濃度 [kg_Cs/kg_ash]	飛灰のCs濃度 [kg_Cs/kg_ash]	Cs濃度比 [-]
調査結果	4.74 × 10 ⁻¹²	1.26 × 10 ⁻¹¹	0.376
解析結果	1.57 × 10 ⁻¹¹	3.96 × 10 ⁻¹¹	0.396

「実灰調査結果」と「解析結果」とを比較した結果、焼却灰(主灰・飛灰)の質量割合やCsの濃度比で定性的に一致していることが確認されました。