

2013年12月15日

於 大阪大学中之島センター 301講義室

# 汚染土壌に関する「除染」についての現況 ～放射線とどう向き合うか～

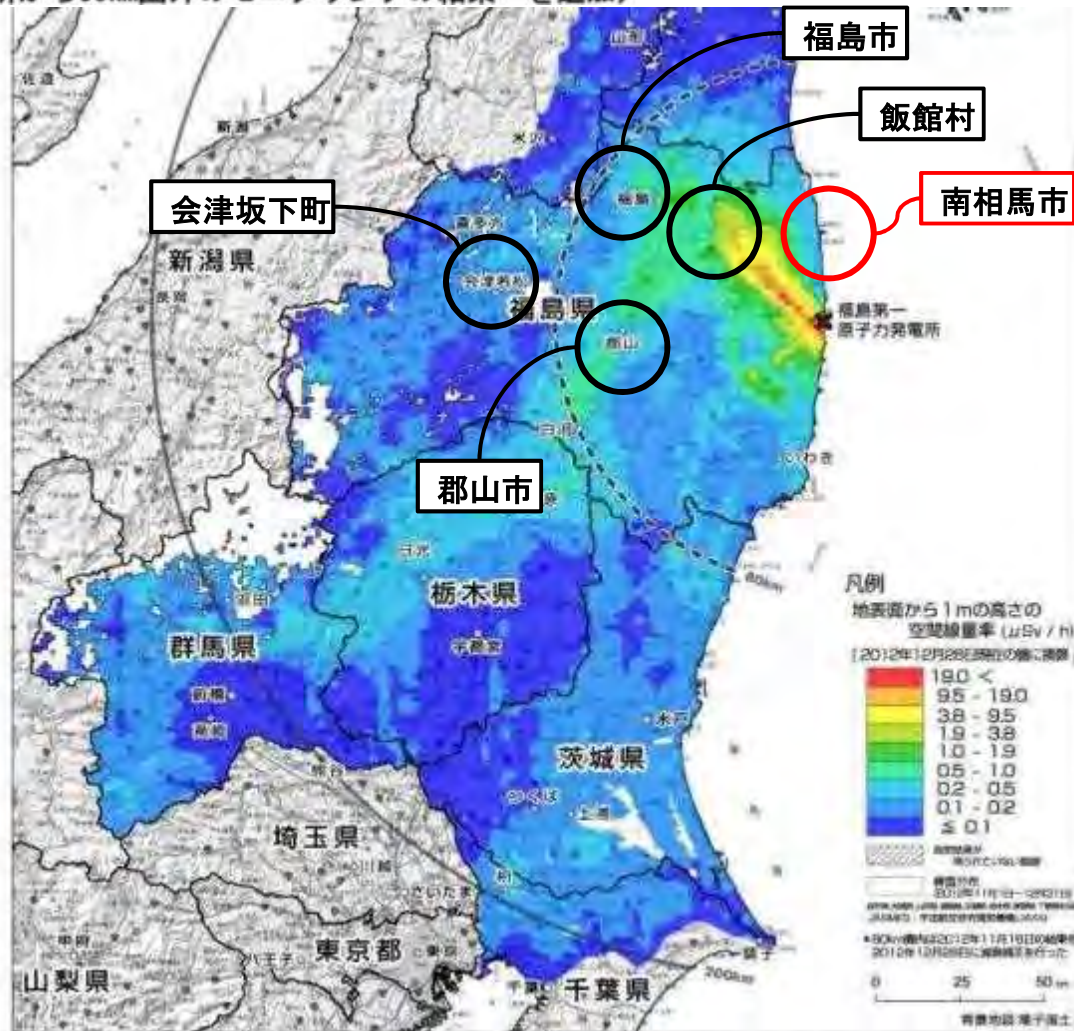
大阪大学大学院工学研究科  
環境・エネルギー工学専攻  
西嶋 茂宏

# 概要

1. 福島での取り組み
2. 放射性物質とどう付き合うか？
3. 磁気力制御の除染への応用の取り組み
4. 除染は行うべきか行わないべきか？

# 福島県の訪問先の配置

空間線量率マップ（地表面から1m高さの空間線量率）  
（平成24年12月28日時点）（第6次航空機モニタリングの結果に  
福島第一原子力発電所から80km圏外のモニタリングの結果※1を追加）



※1:、第6次航空機モニタリングの測定結果は、福島第一原子力発電所から80km圏外の測定結果の時点(平成24年12月28日時点)の値に減衰補正。風雨等の自然環境による放射性核種の移行の影響は考慮していない。

# 津波の影響は比較的少ないが線量の高い地域(飯館村)

震災前



震災後



全村避難の状態が2年間続いている。小学校なども移転。  
昼間は立入可能であるが夜間は立ち入りできない。  
店舗などもほとんど閉鎖、家にも人がなく、除染関係者が立ち入っている程度。  
(福島で最初に立ち入った場所。)

# 除染作業を阻む積雪(飯館村)



2013.1.16

## 研究会・講演会・視察会のお知らせ

講演会・講演会：福島県板下町農村環境改善センター

日時：2012年11月29日 13:30-17:30

視察：福島—南相馬—郡山

日時：11月30日 8:30-18:00

**11月29日(木)**

13:30-15:00 電気学会

第2回「超電導磁気分離システムを利用した除染技術」調査専門委員会

1. 「磁性吸着剤を用いる除染」 三菱製紙 伊藤章
2. 「移動しながら行う放射線測定の実際」(有) ワンピース 星林太郎
3. その他

15:00-17:30 板下町講演会

1. 挨拶 板下町長 竹内昞俊
2. 放射線の考え方 大阪大学大学院工学研究科 西嶋茂宏
3. 福島支援—マイナスをプラスに変えるために— 板下町長 竹内昞俊

11月30日（金）

10:15－11:15 講演会

「福島の大害廃棄物の処理について」

社団法人福島県産業廃棄物協会 専務理事 木村 光政

於 福島大学共生システム理工学類棟 2階 大会議室

11:15－14:00 福島市除染現場視察

道路、住宅、公園 等 当日実施作業の視察

昼食（昼食はバスの中で移動中、弁当は用意します）

14:15－南相馬へ移動

津波跡の視察、放射線計測、原発近傍での現状視察

18:00 郡山 解散





# 会津坂下町での思い出

元会津坂下町長  
竹内昶俊様のご冥福を心よりお祈りいたします。



2012.11.29

# 会津坂下町での思い出



2012.11.29



2012.11.30



2012.11.30

# 屋根の除染(南相馬市)



高圧洗浄機による除染



# 屋根の除染(南相馬市)



洗浄水は放射性物質を含んでいるため  
全てタンクに回収。



# 庭の除染(南相馬市)



民家の庭には大きな機械を入れる  
ことができないため、  
庭の除染はすべて作業員の手作業。

# 庭の除染(南相馬市)



フレコンバッグに詰め込まれた  
土壌や草木は、仮置き場に移動して保管。



表層の土壌を剥ぎ取ったのち、  
客土を行う(非汚染の土を入れる)

## 住宅周りのホットスポット(南相馬市)



雨水の流れる側溝や  
雨どいからの雨水が  
たまる場所は  
線量が局所的に高い。

2012.11.30

# 線量は比較的低いが津波の影響の大きい地域(南相馬市)





## 『放射性セシウム汚染土壌の減容化方法の開発』 において開発中の土壌洗浄装置の見学会の御案内

### 記

【日 時】 平成25年3月14日、15日

【見学場所】 福島県相馬郡飯舘村臼石字町96番地2(地図参照)

【集合・解散場所】 JR福島駅 東口マイクロバス利用(

【見学スケジュール】13:00集合⇒(移動)⇒14:00～16:00(運転見学)⇒(移動)⇒  
17:00解散

- 【注意事項】
- ・環境省・地方自治体等との合同見学会となる可能性があります。
  - ・現場の空間線量は約0.45～0.6 $\mu$ Sv/h 程度です。特に保護具の必要はありません。動き易い服装で起こし下さい。
  - ・参加される方には集合場所の担当者を別途連絡いたします。



## 6月10日の川内村での見学会









## 第1回超電導応用研究会シンポジウムのご案内

福島第一原子力発電所の事故後、福島県内を中心とした各地において、地道な除染が進められています。低温・超電導技術を活用した除染のお手伝いを考える上で、除染の現状について知ることは重要です。本シンポジウムでは、福島県における除染の状況、放射線環境についてご講演頂いたあと、超電導磁気分離を利用した飛灰の除染、土壌の除染についてご講演頂きます。合わせて、磁気分離の環境応用の別の例として、石油随伴水処理システムについてもご講演頂きます。シンポジウムの翌日には、南相馬市における除染の見学を行います。なお、見学会参加者の氏名・所属等を前もって南相馬市に届け出る必要があるため、事前申し込みをお願いいたします。

テーマ： 除染と磁気分離・超電導技術

日時： (シンポジウム)2013年6月11日(火)13:30-16:50

(見学会)2013年6月12日(水)8:30- 15:00(福島駅前発着)

場所： (シンポジウム)除染情報プラザ(福島駅から徒歩5分程度)

〒960-8031 福島県福島市栄町1-31 1階 電話024-529-5668

<http://josen-plaza.env.go.jp/>

(見学会)南相馬市原町区牛来字大塚2704

南相馬市生活圏除染事業 担当者 放射線管理責任者 山崎和也



## プログラム:

### 6月11日 シンポジウム

- 13:30-13:35 開会の挨拶 超電導応用研究会委員長
- 13:35-14:10 福島県における除染状況 講演者未定(環境省 予定)
- 14:10-14:45 除染に伴う放射線環境評価 講演者未定(株アトックス)
- 14:45-15:20 超電導磁気分離を用いた焼却飛灰の除染 仁木丈文(MSエンジニアリング)
- 15:20-15:30 休憩
- 15:30-16:05 超電導を利用した土壌除染の可能性 西嶋茂宏(大阪大学)
- 16:05-16:40 磁気分離を応用した石油随伴水処理システム 磯上尚志(株日立製作所)
- 16:40-16:45 見学会について 豊田亘博(大阪大学)
- 16:45-16:50 閉会の挨拶 超電導応用研究会委員長
- 17:30-19:30 懇親会

### 6月12日 見学会

- 8:20 福島駅前集合(申し込みをされた方に詳細を連絡します。)
- 8:30 福島駅前発
- 南相馬市生活圏除染事業 (時間に余裕があれば津波被災地の見学)
- 15:00 福島駅前着



(シンポジウム)除染情報プラザ 〒  
960-8031 福島県福島市栄町1-31 1階



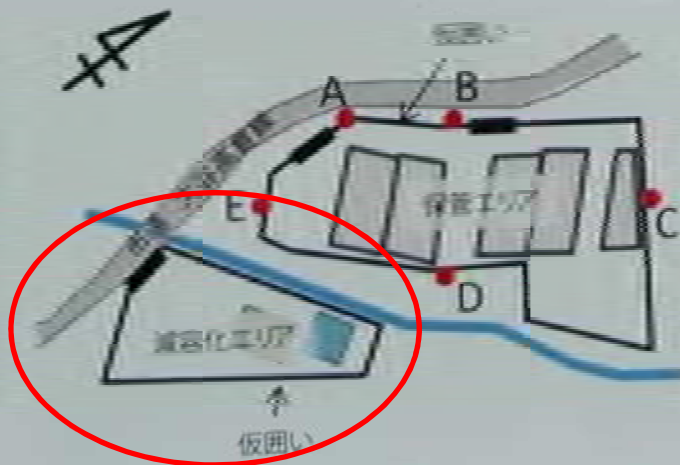


(見学会)南相馬市原町区牛来字大塚2704  
南相馬市生活圈除染事業

# 仮置き場(南相馬市) 参考: $0.23 \mu\text{Sv/h}$

土壌	測定項目	測定回数	測定結果	備考		
放射能濃度 Bq/kg or Bq/L	地下水 検測孔	搬入前	1回	文庫で土壌を採取し、放射能センサで測定する。		
		造成前	1回	造成前予定地の辺りに検測孔を掘って地下水を採取し、放射能センサで濃度を測定する。		
		搬入作業中	10回以上/週	同上	造成前の平均値 $\times 20$	放射能が原因と認められた場合には必要な対策を講ずる。
		覆土完了後	1回	同上	同上	
		保管管理期間中	10回以上/週	同上	同上	
地下水 検測孔	検測孔	搬入作業中	1回/週	検測管内の水が濁っているか、200mlの水を採取して確認する。濁っている場合は検測水を採取し、放射能センサで濃度を測定する。	放射能センサ測定値 508Bq/L	
		覆土完了後	1回	同上	同上	
		保管管理期間中	10回以上/週	同上	同上	

## 測定点図(敷地境界)



## 測定値

敷地境界 空間線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 測定日 H25年6月/日

A  $0.90 \mu\text{Sv/h}$  B  $0.94 \mu\text{Sv/h}$   
 C  $0.93 \mu\text{Sv/h}$  D  $0.90 \mu\text{Sv/h}$   
 E  $1.11 \mu\text{Sv/h}$  Ave.  $0.95 \mu\text{Sv/h}$

処理水放射能濃度 (Bq/kg) 測定日 年 月 日

放射性セシウム合計 \_\_\_\_\_ Bq/kg

# 排水処理装置(南相馬市)

## 排水処理の方法

### 排水処理装置全景



### 凝集沈殿

水の濁り成分を薬剤で沈降上澄みと汚泥に分離

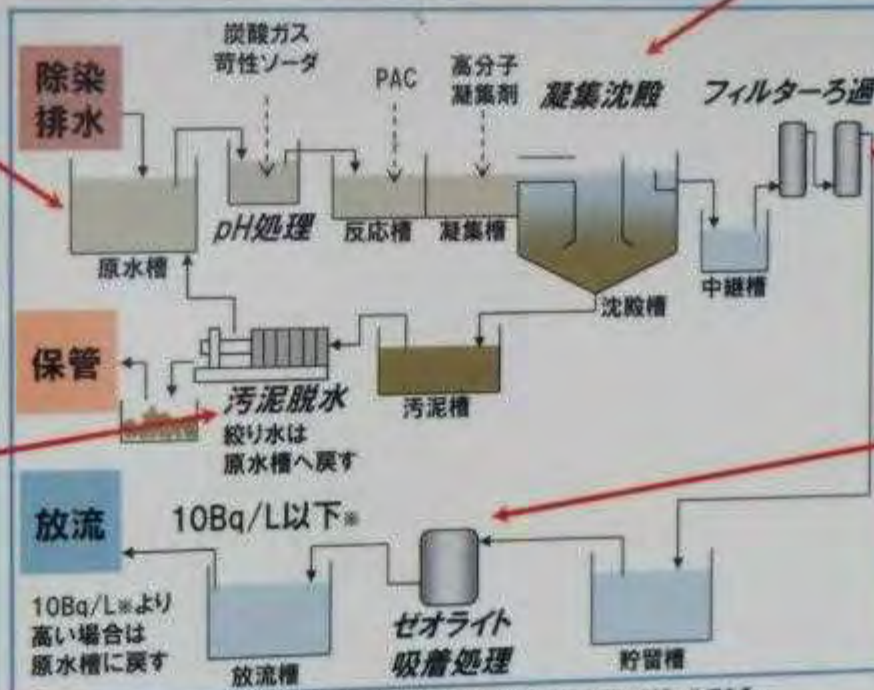


### 原水槽



### 汚泥脱水

汚泥水分の除去・固体化



### フィルター



### ゼオライト

水中イオン状放射性セシウムを吸着



※放流時の放射能濃度:10Bq/LはJVの目標値であり、南相馬市指示値は50Bq/Lである。

# 排水処理装置(南相馬市)



# 汚染廃棄物の仮置き場（南相馬市）

フレコンバッグには  
1個1個追跡できるようにタグが付けられている。



1集落70軒分の汚染廃棄物  
(広めの運動場3個分くらいのスペース)

2013.6.12

# 線量は比較的低いが津波の影響の大きい地域(南相馬市)

元は住宅地だった





# 福島駅にて全員集合

平成25年度  
第1回電気学会  
「超電導磁気分離システム  
を利用した除染技術」調査  
専門委員会  
2013年6月11日(火)-12日(水)



2013.6.12

# 概要

1. 福島での取り組み
2. 放射性物質とどう付き合うか？
3. 磁気力制御の除染への応用の取り組み
4. 除染は行うべきか行わないべきか？

# 汚染廃棄物はどのくらいあるのか？

## 【中間貯蔵施設と除染】

### 東京ドーム【23】個分 汚染廃棄物の推計容量

環境省は、放射性物質の汚染廃棄物を搬入する中間貯蔵施設として必要な総容量を最大2800万立方メートルと推計している。東京ドームの容積の【23】個分に当たる量だ。

ただ、県によると、除染作業に伴い発生する除去土壌、落ち葉や枝木の量などは現場の放射性物質の汚染状況、除染の作業内容などで異なる。

このため、現段階で汚染廃棄物の全ての量を想定することは困難だという。

環境省が推計した中間貯蔵施設の総容量で、対象となる汚染廃棄物を全て搬入できるかどうかは不透明だ。

2013/03/07 福島民報

# 安全のために覚えておきたい数値

## 一般公衆

実効線量限度 1 mSv/年

## 作業従事者

実効線量限度 100 mSv/5年

50 mSv/年

女子 5 mSv/3ヶ月

妊娠中の女子 1 mSv(出産まで)

自然放射能	日本	1.4	mSv/年
	体外被曝	0.6	mSv/年
	体内被曝	0.8	mSv/年
	世界平均	2.4	mSv/年

\* 実効線量限度からは、自然放射線により受ける線量と医療行為から受ける線量は除外される。

## 20ミリ・シーベルト以下で安全...規制委が指針

原子力規制委員会が、東京電力福島第一原子力発電所事故で避難している住民の帰還に関し、1年間に被曝(ひばく)する放射線量が20ミリ・シーベルト以下であれば、健康上に大きな問題はないとする指針を今月中にまとめることがわかった。

政府が長期目標として掲げる「年間1ミリ・シーベルト以下」が安全の目安ととらえられているため、科学的な知見を示して不安の払拭を図る。指針には20ミリ・シーベルトでは発がんリスクが十分に低く、適切な対策を取れば、リスクは回避できるとの見方が盛り込まれる見通しだ。

現地調査を行った国際原子力機関(IAEA)も10月、年間1～20ミリ・シーベルトの被曝線量は許容できるとした報告書をまとめている。

指針を受けて、政府は正確な線量を把握するため、携帯式の個人線量計を配布する。保健師などが住民の健康相談に乗る「帰還支援センター(仮称)」も各市町村に設置する方向だ。

(2013年11月8日03時06分 読売新聞)

## ・訪問場所の空間線量

福島県ホームページ(2013.6.1測定)と

大阪大学 安全衛生管理部 核燃料物質管理室(2011.10.6測定)より

場所	空間線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	一日の被ばく 量( $\text{mSv/d}$ )	年間被ばく量 ( $\text{mSv/y}$ )
福島駅周辺	0.21	0.003	1.10
南相馬市原町区牛来字大塚周辺	0.27	0.004	1.42
大阪大学吹田キャンパス内	0.09	0.001	0.47

# 概要

1. 福島での取り組み
2. 放射性物質とどう付き合うか？
3. 磁気力制御の除染への応用の取り組み
4. 除染は行うべきか行わないべきか？

# 除染の問題点と磁気分離法の応用可能性

## 現状の除染の問題点

- ①十分な**仮置き場**の確保が困難
- ②**粘土の層間**に強く結合したCsの脱離が困難（土壌の場合）



**発想の転換**

## 洗浄液や吸着剤に頼らない除染法の開発

粘土の種類による磁化率の違いを利用して、洗浄液や吸着剤を添加することなく、（あるいは最小限に抑えて）、自然界中でCsを強く吸着する物質中にCsを濃縮し磁気分離を行って、汚染土壌を減容化する。



# 土壌の構成・セシウム吸着サイト

## 土壌の構成

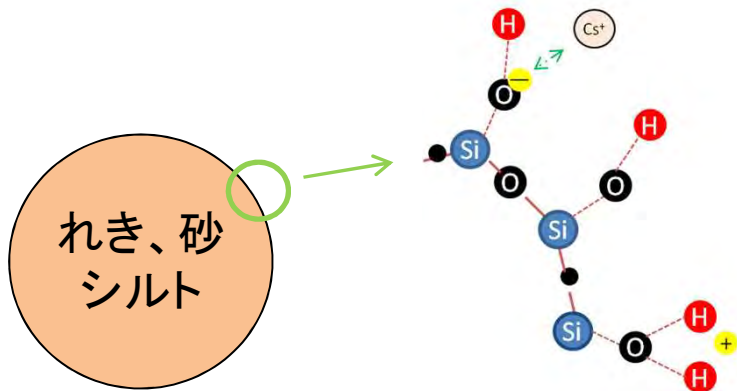


区分の名称	粒径(mm)
れき	2以上
砂	0.075~2
シルト	0.005~0.075
粘土	0.005以下

(地盤工学会)

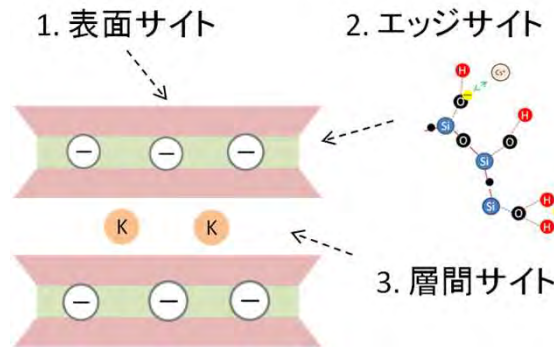
## セシウム吸着サイト

れき、砂、シルト

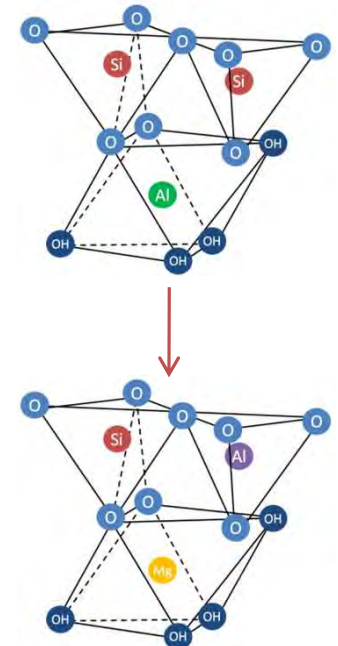


⇒変異電荷(粒子縁辺部)

粘土

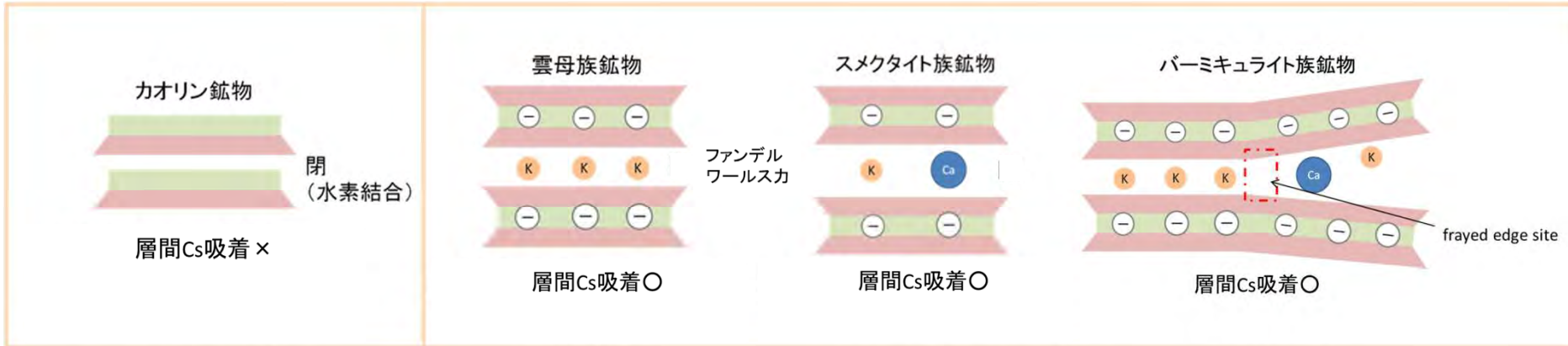


⇒変異電荷+永久電荷



# 土壌の構成・セシウム吸着サイト

福島県の土壌に多く存在する粘土鉱物 (日本原子力研究開発機構)

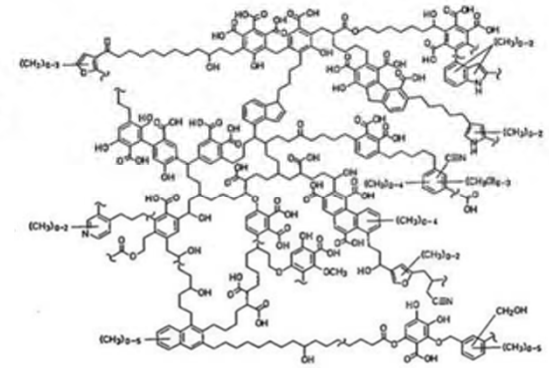
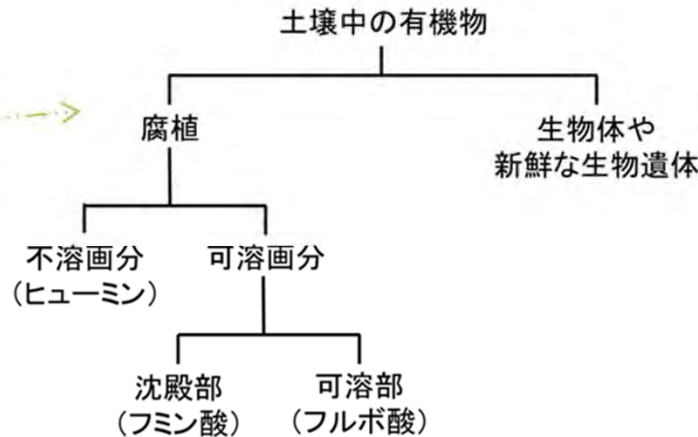


1:1型粘土鉱物

2:1型粘土鉱物

固相		液相		気相
無機物	有機物	水	イオン類	空気
0		50		100

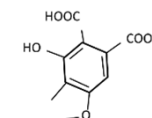
割合(体積%)



フミン酸の構造モデル

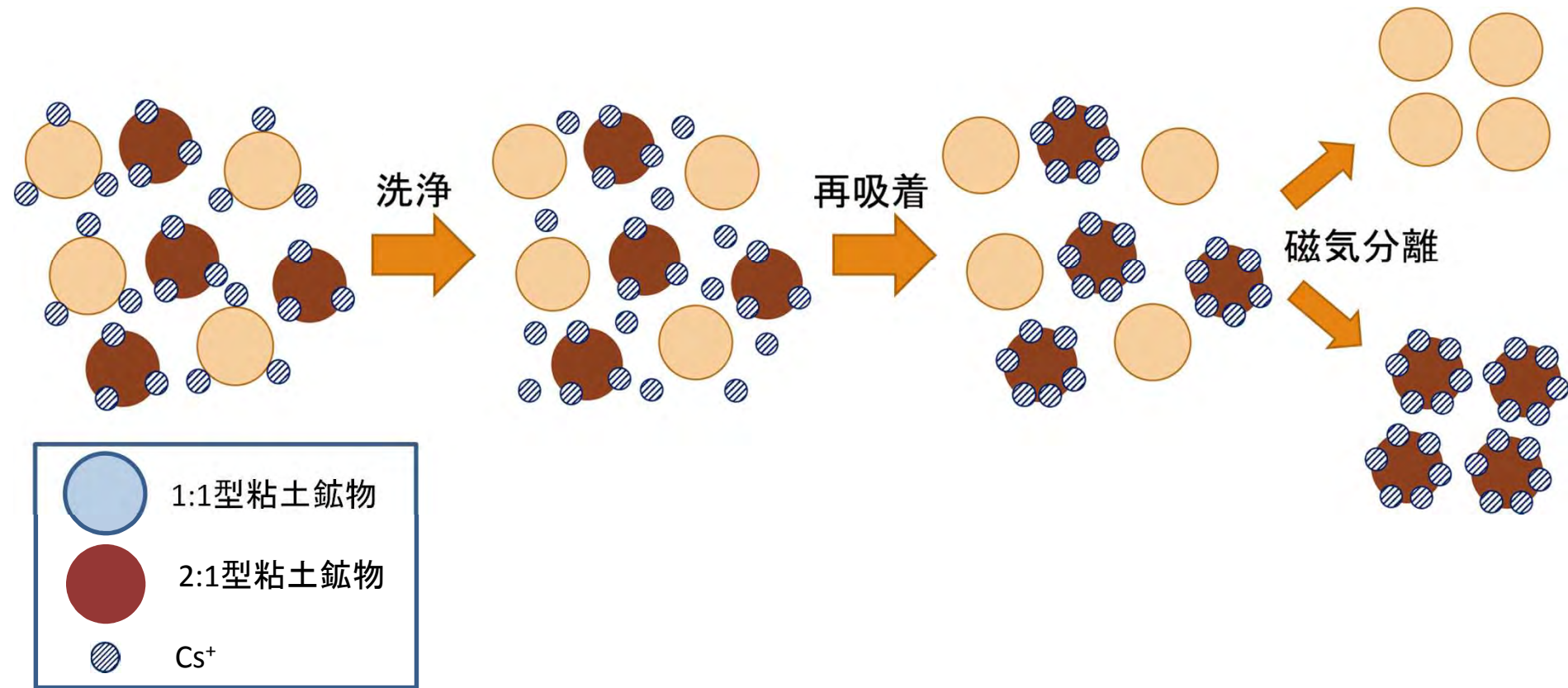
(児玉, 1994)

主なセシウム吸着サイト ⇒ **カルボキシレート基 (COO<sup>-</sup>)**



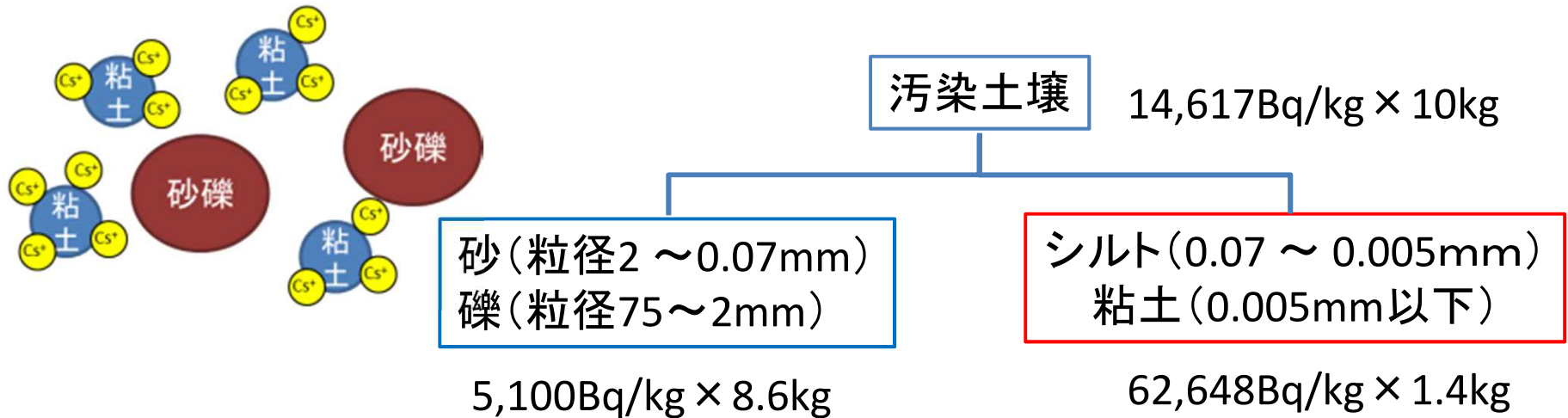
# 洗浄によるCs<sup>+</sup>の移行

Cs<sup>+</sup>回収のための吸着剤を新たに添加せず、2:1型粘土鉱物の性質を利用



1:1型粘土鉱物の線量低減と2:1型粘土鉱物によるCs<sup>+</sup>の保管が可能

# 土壌分級による減容化の効果

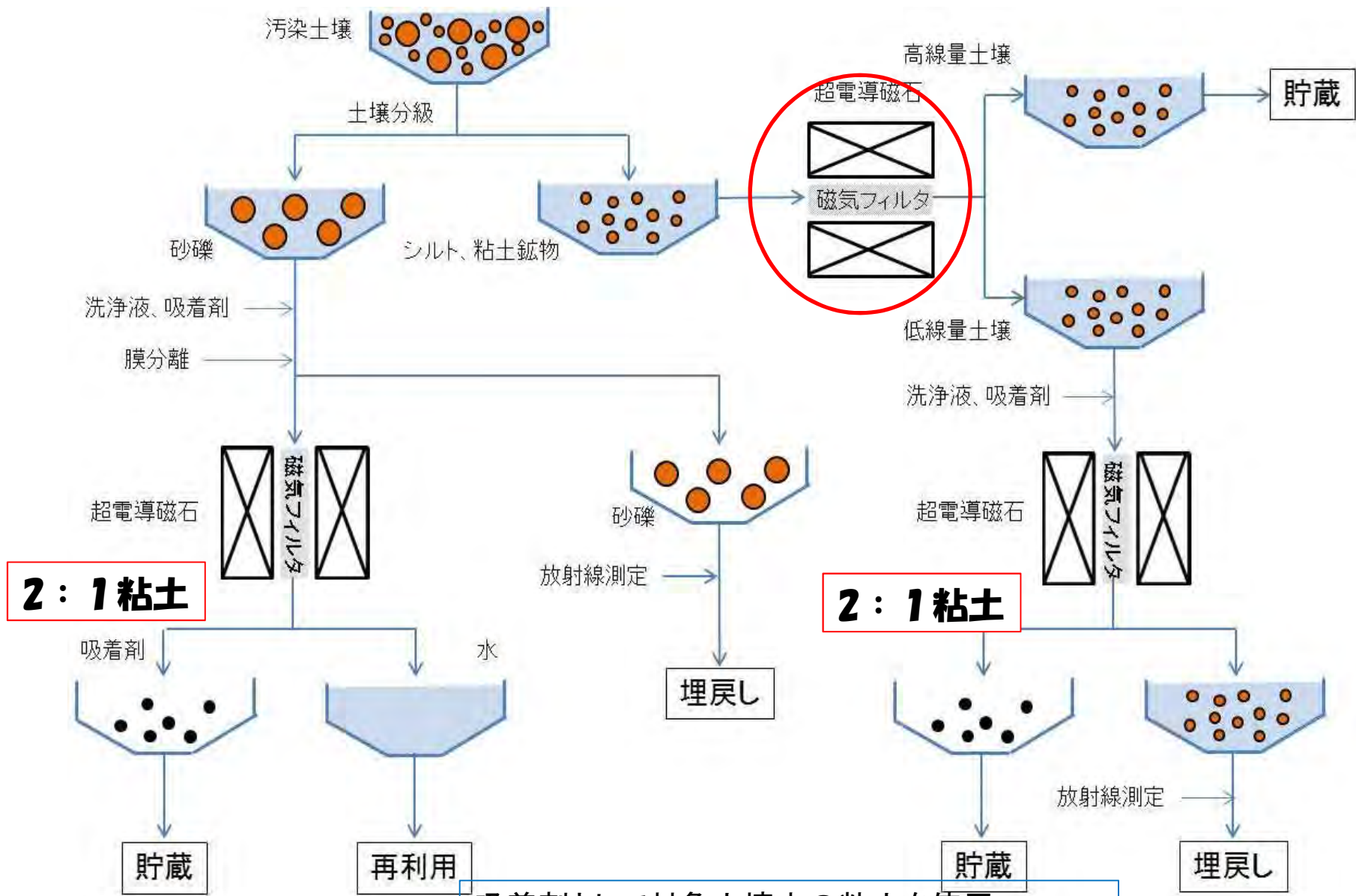


**土壌分級によりシルト・粘土のみを分離することで、  
汚染土壌の減容化が可能**

水へのCs溶出はほとんど見られなかった。  
(水への溶出率は検出限界以下)

さらなる減容化のためには、粘土からのCsの分離が必要であるが、  
Csは粘土に強く吸着しているため、  
酸洗浄→吸着分離はあまり現実的な方法とは言えない。

# 想定している除染シナリオ・・・吸着剤・薬品は使用せず



吸着剤として対象土壌中の粘土を使用  
洗浄剤が必要なら飲料水レベルの洗浄剤使用

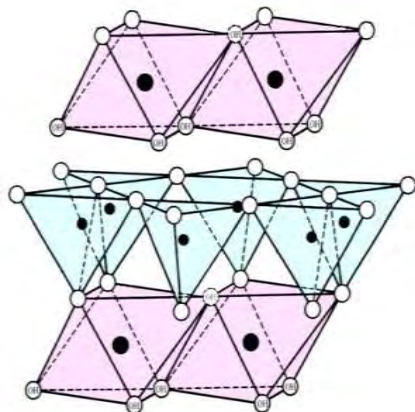
**1) 粘土の分画で除染につながると考えられるのはなぜか？**

**2) 粘土は磁気分離で分画できるのか？**

# 1) 粘土の分画で除染につながると考えられるのはなぜか？

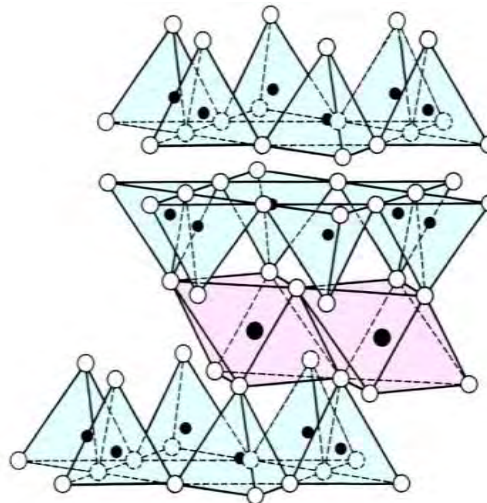
Si四面体とAl八面体との層状構造により構成

1:1型粘土鉱物



- ・Csは変異電荷に吸着
- ・Cs吸着量小
- ・重量割合 (40—50wt%)

2:1型粘土鉱物



- ・Csは変異電荷と永久電荷に吸着
- ・Cs吸着量大
- ・重量割合 (50—60wt%)

## 廃薬品の二次 汚染の可能性

変異電荷・・・粘土表面のOH基に現れる電荷で、pHにより変動



容易に脱離可能(酸洗浄の意味)  
陽イオン置換が可能(アルカリ洗浄の意味)

粘土のleaching  
を考えている  
企業が多い



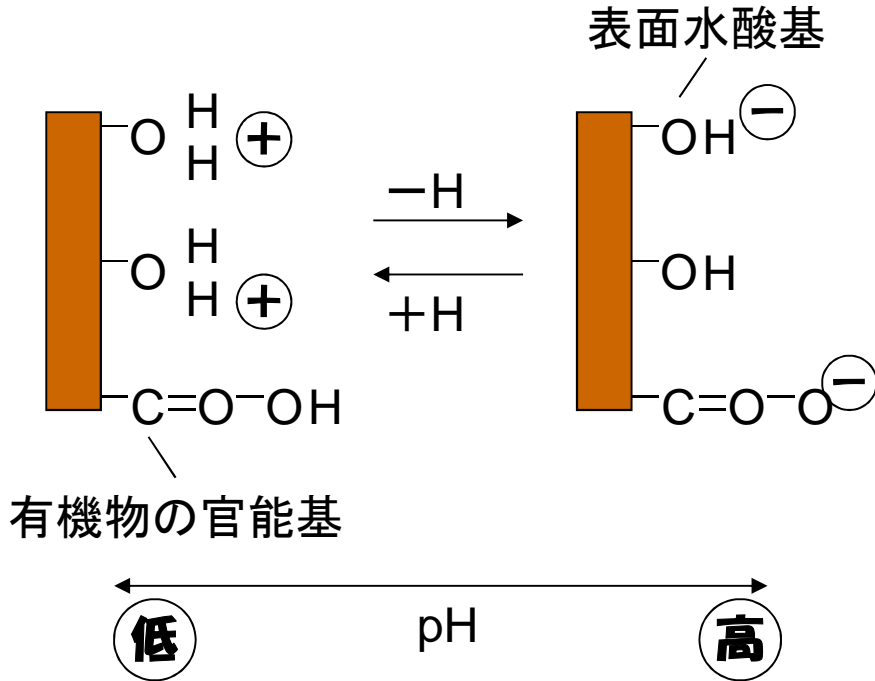
永久電荷・・・粘土層間に存在する電荷で粘土の化学組成が由来



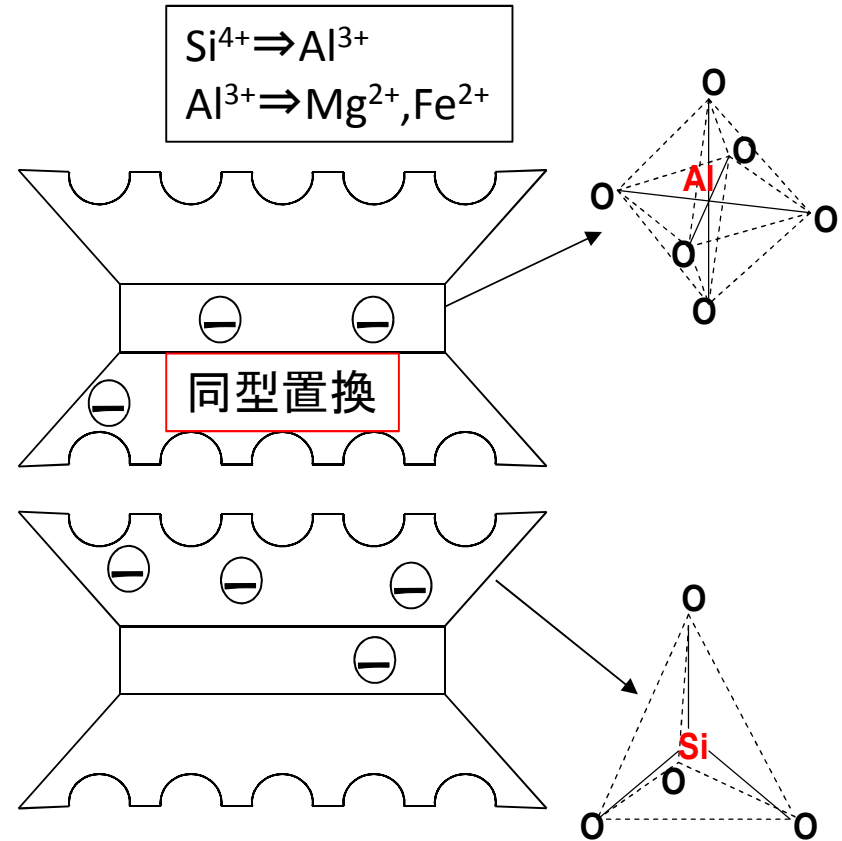
脱離が困難・・・Csの吸着剤として利用

# 変異電荷と永久電荷

置換態



固定態



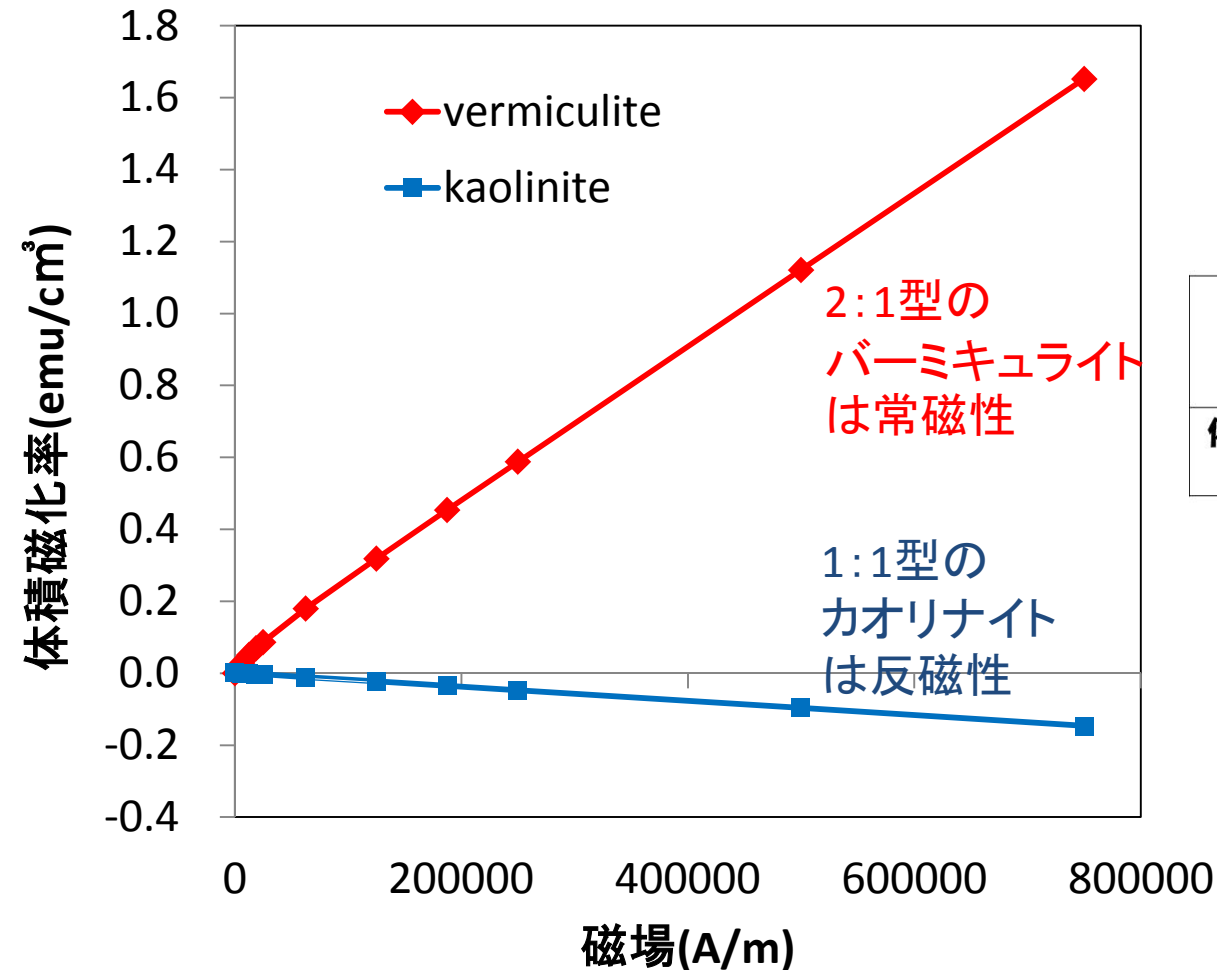
pHが高い  $\Rightarrow$  負電荷増加  $\Rightarrow$  Cs吸着

- 1:1型粘土鉱物・・・Csは置換態に吸着
- 2:1型粘土鉱物・・・Csは置換態と固定態それぞれに吸着



## 2) 粘土は磁気分離で分画できるのか？

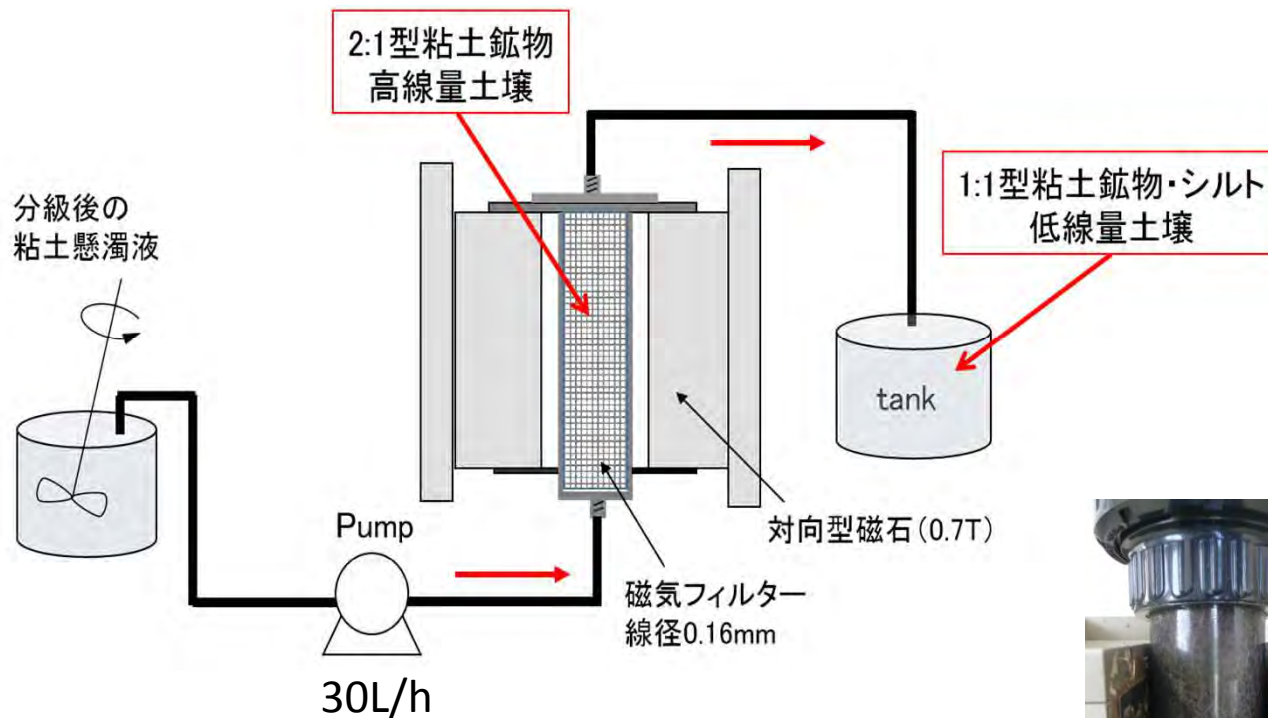
どのようにして2:1型粘土鉱物のみを分離するのか？  
⇒1:1と2:1型粘土鉱物の磁化率の違いを利用する。



体積磁化率		
	カオリナイト	バーミキュライト
体積磁化率 (-)	-6.0E-08	7.0E-04
	反磁性	常磁性

# 実験装置(福島での実証実験)

流路半径: 2 cm  
流速: 0.7 cm/s  
磁気フィルタ材質: SUS430  
フィルター充填率: 4.6 %



# 常磁性物質の磁気分離

磁気力の算出

$$F_M = V(\mathbf{m} \cdot \nabla) \mathbf{H}$$

ドラッグ力の算出

$$F_D = 6\pi\eta r_p(\mathbf{v}_f - \mathbf{v}_p)$$

2:1型粘土鉱物の特徴

・・・微粒子(数 $\mu\text{m}$ ～数十 $\mu\text{m}$ )、常磁性

$$r_p = 5\mu\text{m} \quad \chi_p = 7.0 \times 10^{-4}$$

流速1cm/s

本実験条件

$$B \cdot \frac{\partial B}{\partial x} = 1100 (\text{T}^2/\text{m})$$

$$B \cdot \frac{\partial B}{\partial x} = 3000 (\text{T}^2/\text{m})$$

できたら2T以上にしたい。



磁気フィルタ

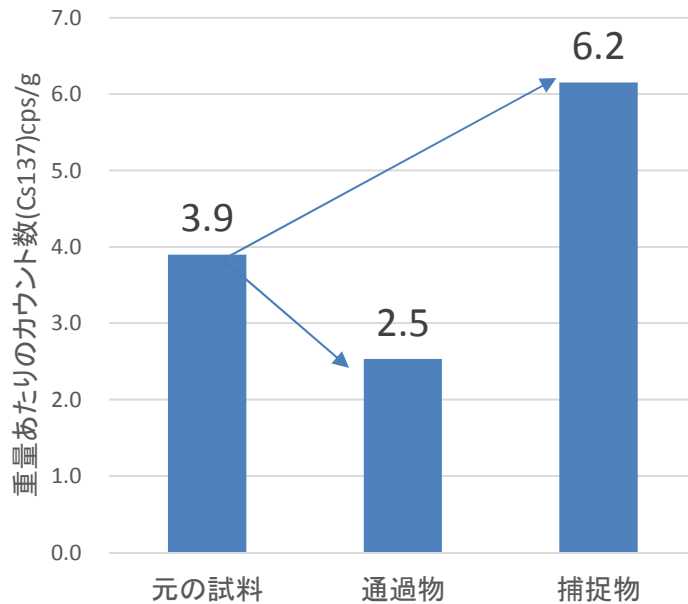


10 $\mu\text{m}$ の粘土が分画できる

永久磁石 分離装置

0.7T

# 永久磁石による実土壌の分離



通過物



捕捉物

## 磁気分離試料の放射線測定の結果

**除染効果がまだ少ない  
理由：磁場が低い**

2:1型粘土鉱物の分離  
率を向上

= さらなる線量の低減  
が可能

**吸着剤として利用・・新たな吸着剤は不要、Csの安定蓄積**

実現のためには超伝導磁石が必須  
～2T できたら3Tが欲しい。

**6000Bq/kg**

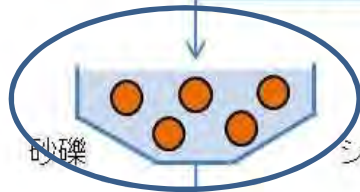
**重量84%**  
**1000Bq/kg**

汚染土壌

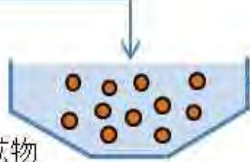


**重量16%**  
**2800Bq/kg**

土壌分級



シルト、粘土鉱物



高線量土壌



貯蔵

洗浄液、吸着剤

膜分離



吸着剤

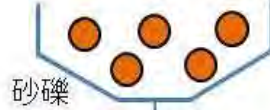
水



貯蔵

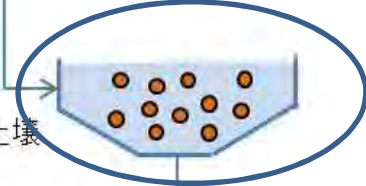
再利用

放射線測定



埋戻し

低線量土壌



洗浄液、吸着剤

超電導磁石



貯蔵

放射線測定

埋戻し

# 概要

1. 福島での取り組み
2. 放射性物質とどう付き合うか？
3. 磁気力制御の除染への応用の取り組み
4. 除染は行うべきか行わないべきか？