

## 身近な環境問題を考える

影本 浩

工学部システム創成学科 環境・エネルギーシステムコース

大学院 新領域創成科学研究科 環境システム学専攻

## 身近な環境問題の解決のための

アイデアを考え、その工学的実現可能性を検討  
(システム創成学の実践！！)

## 身近な環境問題を考える

1. 神田川におけるスカムの発生
2. 建設汚泥のリサイクル
3. 廃プラスチックの機械的処理過程において発生する化学物質
4. 地下鉄「根津駅」で風力発電を行う

(水環境)

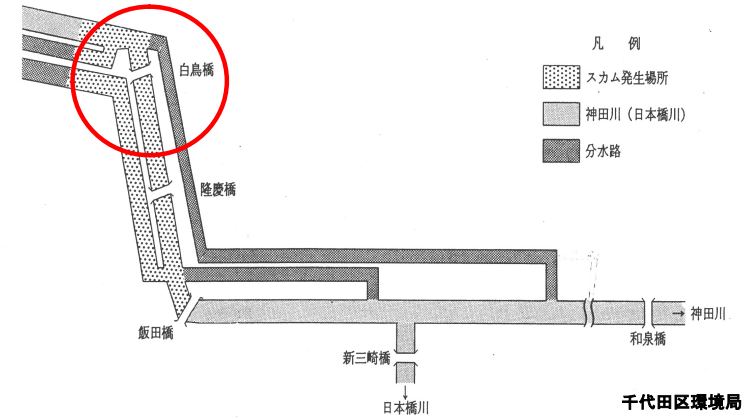
## 神田川におけるスカムの発生



## 余剰水分を除去したスカム



## スカムの発生地点



### スカムとは

神田川では白鳥橋から飯田橋付近で発生

人毛やセルロースなどの繊維が腐食したもの

夏季の降雨後2,3日で発生

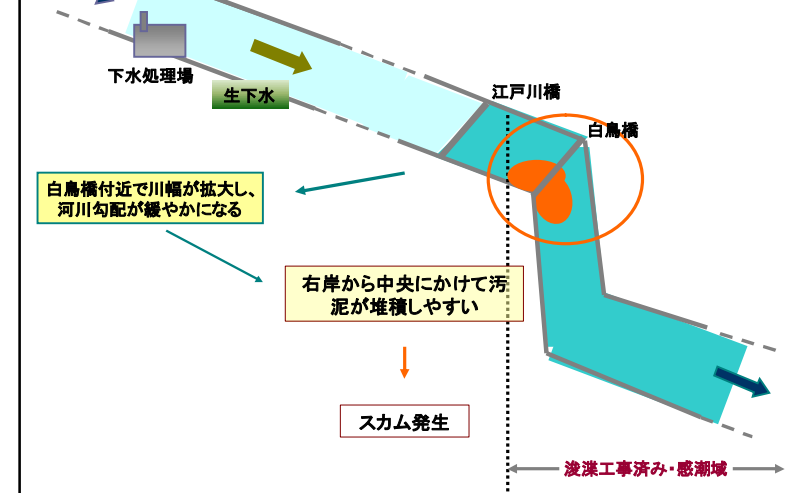
千代田区・新宿区の合同調査による

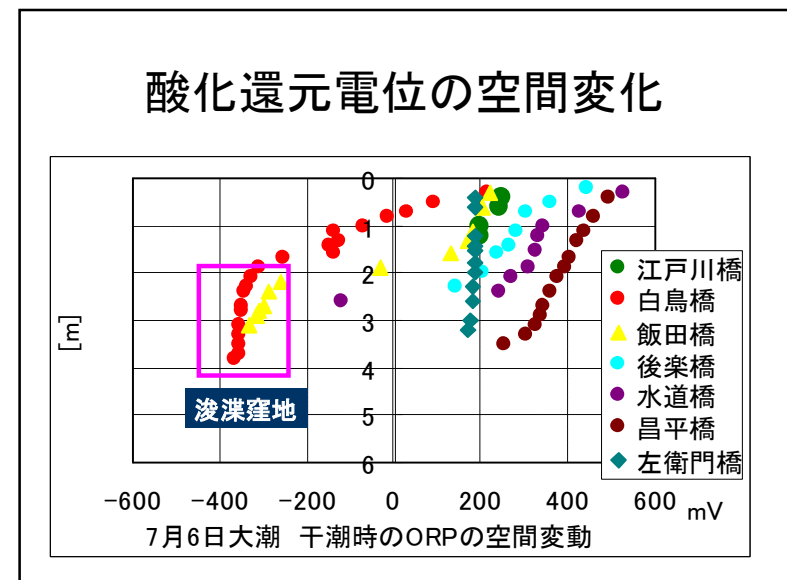
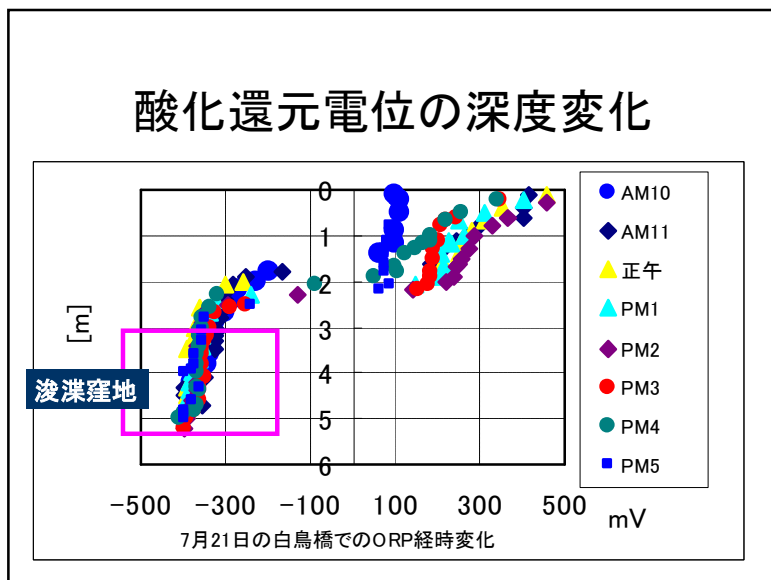
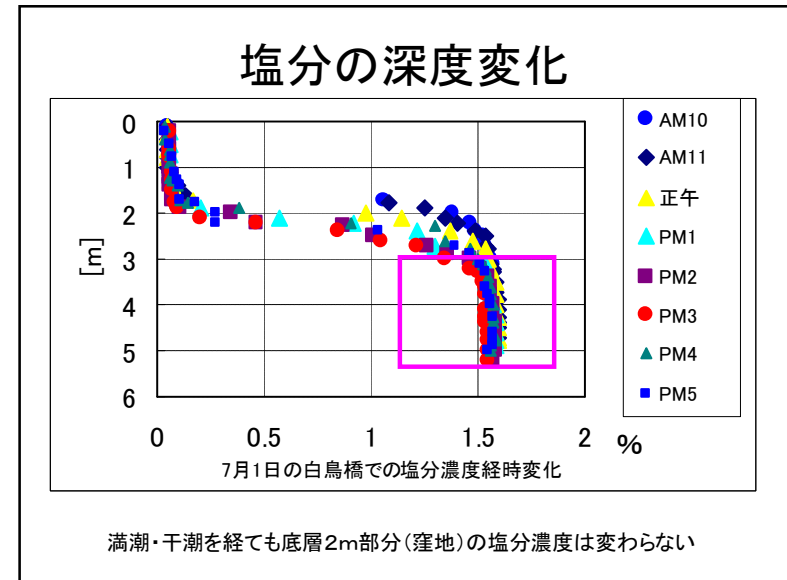
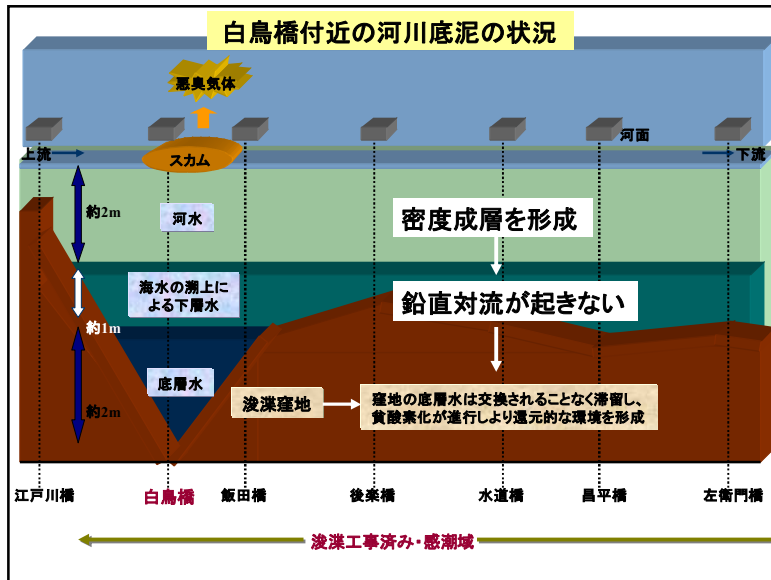
何故、白鳥橋から飯田橋付近で発生するのか？

何故、夏季の降雨後2, 3日で発生するのか

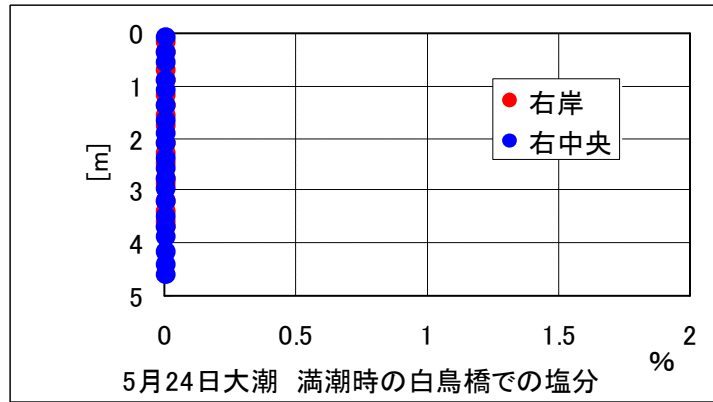
何故、水面に浮いてくるのか

## 白鳥橋付近の河川流境

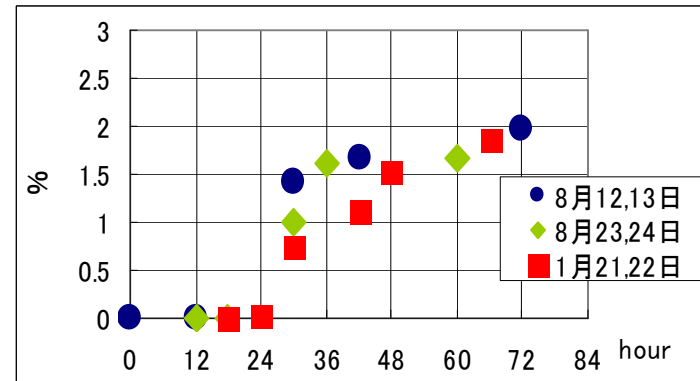




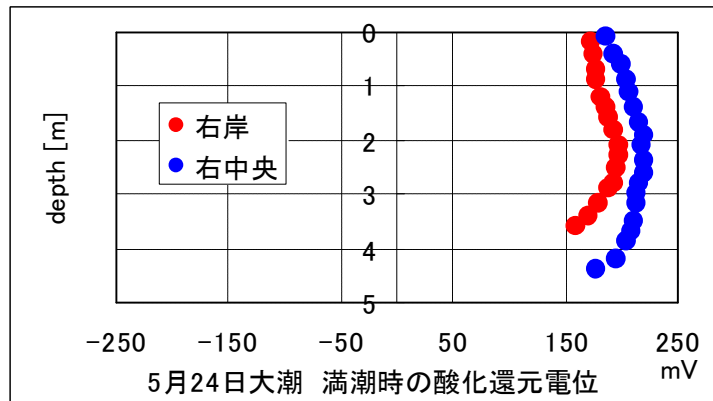
### 降雨直後の塩分



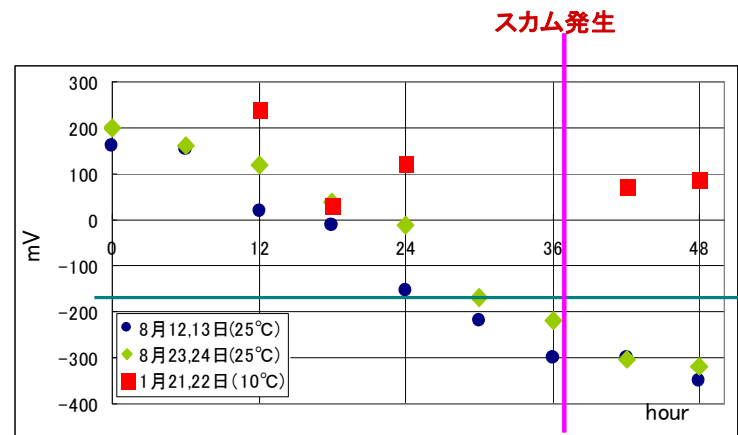
### 降雨後の底泥上層の塩分濃度の時間変化



### 降雨直後の酸化還元電位



### 降雨後底泥上層での酸化還元電位の時間変化



### 観測によりわかったスカム発生メカニズム

降雨後浚渫地内は好気的環境を形成

降雨後2回目の満潮で浚渫地内に潮が戻り始める。

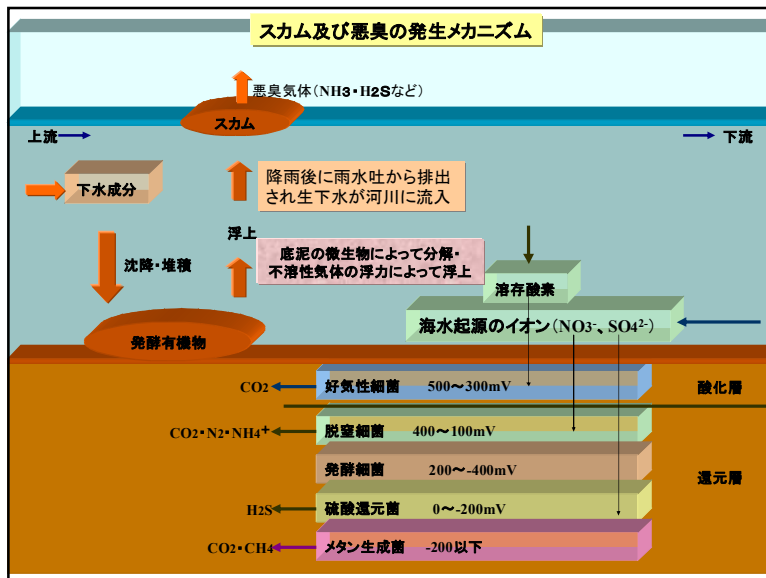
同時に嫌気的環境の形成が始まる

降雨後3回目の満潮を迎えた後、正午過ぎからメタン生成が始める

メタン生成開始から約6時間後にスカム発生

### 底泥に存在する細菌

	微生物の種類	呼吸基質	分解生成物	酸化還元電位 (mV)
酸化層	好気性細菌	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> 、低分子有機化合物	500~300
還元層	硝酸菌	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> 、NH <sub>3</sub>	400~100
	発酵細菌	—	CO <sub>2</sub> 、発酵有機物	200~400
	硫酸還元菌	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub> S	0~-200
	メタン生成菌	—	CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub>	-200



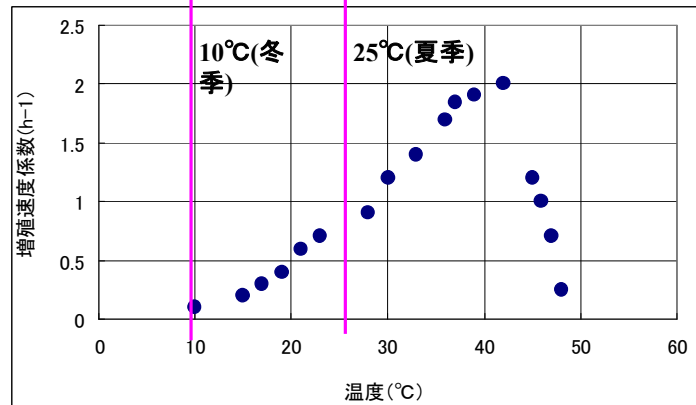
### なぜ冬季にはスカムが発生しないのか

泥温が10℃前後と低いいため好気性細菌による酸素の消費が少ない

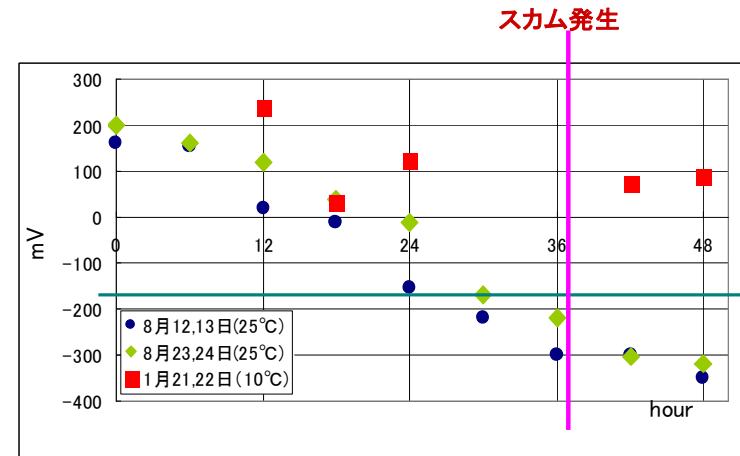
浚渫地内はメタン生成が行われるほど嫌気的 (ORP-200mV以下)にはならない

スカムは発生しない

## 好気性細菌の活性



## 降雨後底泥上層での酸化還元電位の時間変化



## 研究によりわかったこと

- 白鳥橋付近には浚渫窪地が存在し、水の交換が少ないため嫌気的環境を形成している。
- 降雨後には、窪地内に有機物が豊富に供給される。夏季は嫌気的環境の形成が進行するため、メタン生成が活発に行われる。
- スカムとは、底泥で発生したメタンを含むことにより浮力を持ち、河川表面まで浮上した汚泥であった。



対策は？

## スカム発生を抑えるための対策

底層への酸素の送りこみによる好気性細菌の活性化



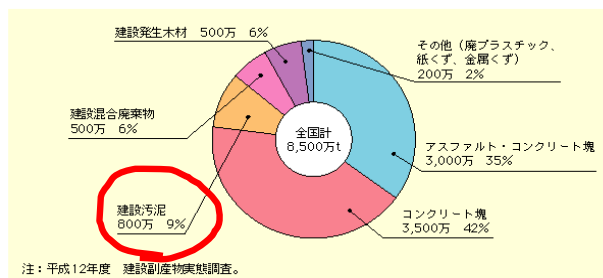
酸素送りこみのための電源をどうするか？

## 建設汚泥のリサイクリング

## 研究の背景

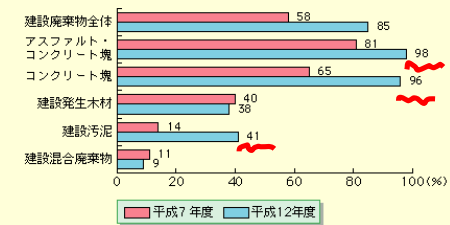
- 産業廃棄物の最終処分場は残り容量が緊迫した状況にある
- 平成12年度、建設廃棄物は全産業廃棄物の約2割、不法投棄量の約6割

## 研究の背景



## 建設廃棄物の内訳

## 研究の背景



注1：平成12年度 建設副産物実態調査。  
 注2：建設発生木材は、再資源化率（建設廃棄物として排出された量に対する、再資源化された量の割合）の値。その他の建設廃棄物は、再資源化率（建設廃棄物として排出された量に対する、再資源化及び縮減された量と工事利用された量の合計の割合）の値。

## 建設廃棄物のリサイクル率



## 建設汚泥とは・・・

- 地下鉄などの建設工事に伴い副次的に発生するもののうち、含水率が高く粒子が微細な泥状のもの

ほとんど土壌であるが産業廃棄物とみなされるため、リサイクルがむずかしい。

## 建設汚泥の利用例

- 盛り土・造成材
- 埋め戻し材
- タイル
- セメント原料
- 人工骨材
- コンクリート
- レンガ etc.

## 行政の対応

- 平成15年に入り、国土交通省は建設汚泥の建設資材への再利用の義務付け検討を発表
- 建設汚泥を再生する民間施設への公的融資制度の導入なども検討
- 平成17年度には建設汚泥リサイクル率を60%に引き上げる方針

## 研究の目標

### 園芸用土へのリサイクル

- ガーデニング
- ゆくゆくは農業用土壌・・・

## 建設汚泥の処理

高分子ファイバーを加えて粒状化  
最後に石灰で覆い、脱水、硬化させる



現場の様子

## 建設汚泥処理土を1年間放置しても



雑草すら育たない・・・

## 研究の目的

- 雑草も育たなかった処理土に



植物を育てる

## 建設汚泥処理土の成分分析

元素	Al	Cr	Fe	Mg	Mn	Ni	Ti	V	Zn
1 k g 中の建設汚泥処理土に含まれる量(mg)	8.44 $\times 10^3$	91.6	8.37 $\times 10^3$	2.66 $\times 10^3$	307	35.5	267	20.3	338
1kg中の園芸用土に含まれる量(mg)	24.1 $\times 10^3$	11.5	5.36 $\times 10^3$	1.16 $\times 10^3$	310	4.70	157	17.5	128

市販の園芸用土の成分と多少差はあるが植物が全く育たない程の特徴は見当たらない。

## 建設汚泥処理土の問題点

- 脱水のために石灰を使っていることによりpHが異常に高い

## 処理土のpH

	pH(H <sub>2</sub> O)
建設汚泥処理土	12.2
園芸用土	6.7

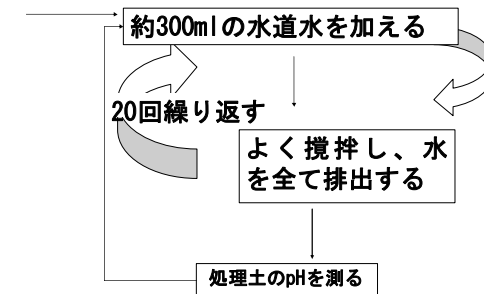


建設汚泥処理土

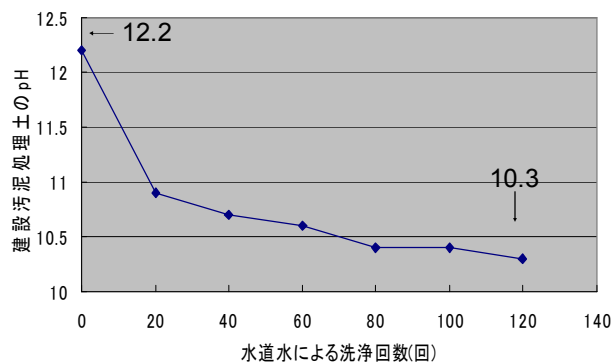
pH(H <sub>2</sub> O)	評価
>8.0	強アルカリ性
7.6~7.9	弱アルカリ性
7.3~7.5	微アルカリ性
6.6~7.2	中性
6.0~6.5	微酸性
5.5~5.9	弱酸性
5.0~5.4	強酸性
4.9以下	ごく強酸性

## 水道水を使ってpH(H<sub>2</sub>O)を下げる実験

プラスチック製バケツに細かく砕いた処理土（大部分が粒径2mm以下のもの）を100g入れる



### 水道水を使った実験によるpH(H<sub>2</sub>O)の変動の結果



### 硝酸を使ってpH(H<sub>2</sub>O)を下げる実験

粒径2mm以下に細かく砕いた処理土をバケツに100g入れる

・水道水を200ml加える  
・0.1mol/lの硝酸を少しずつ加える  
(水溶液のpHが6.5になるまで)

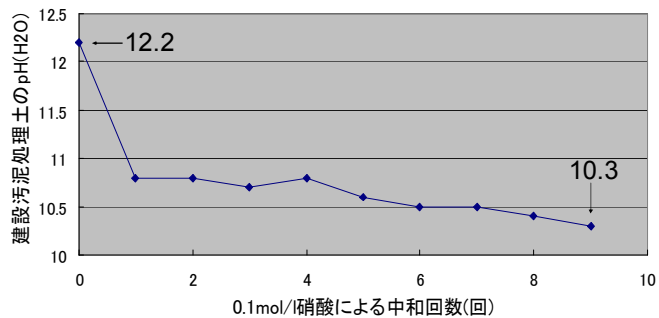
1時間放置

水溶液を取り除き水道水で洗浄  
→水道水に浸しておく

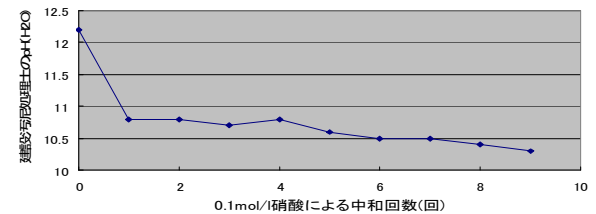
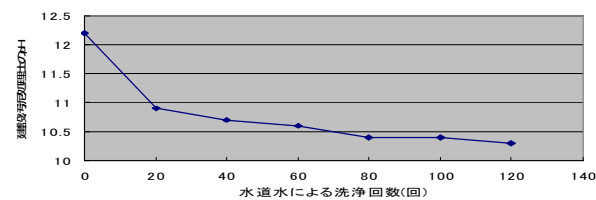
1時間放置

pH(H<sub>2</sub>O)を測る

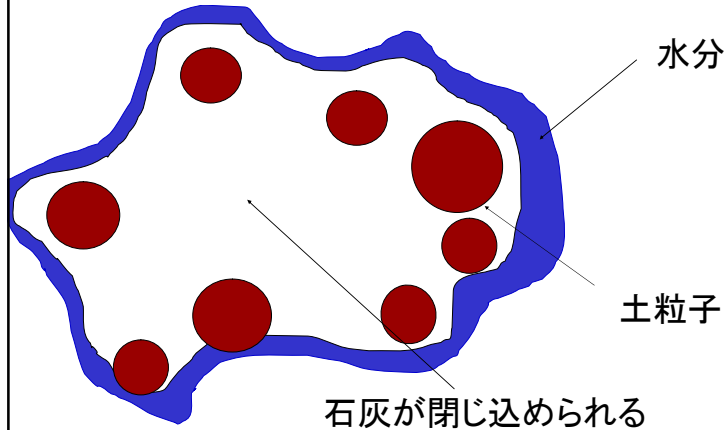
### 硝酸を使った実験におけるpH(H<sub>2</sub>O)の変動結果



### 水と硝酸を使った実験結果



## 建設汚泥処理土内部のイメージ



アルカリ性の土を中和することは、アルカリ性の液体を中和することとは根本的に異なる！

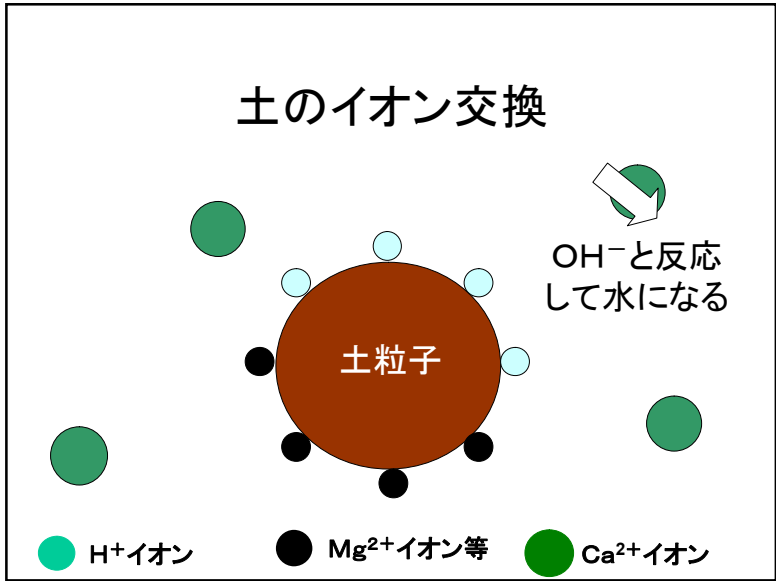
➡ 土を土で中和する

## 鹿沼土

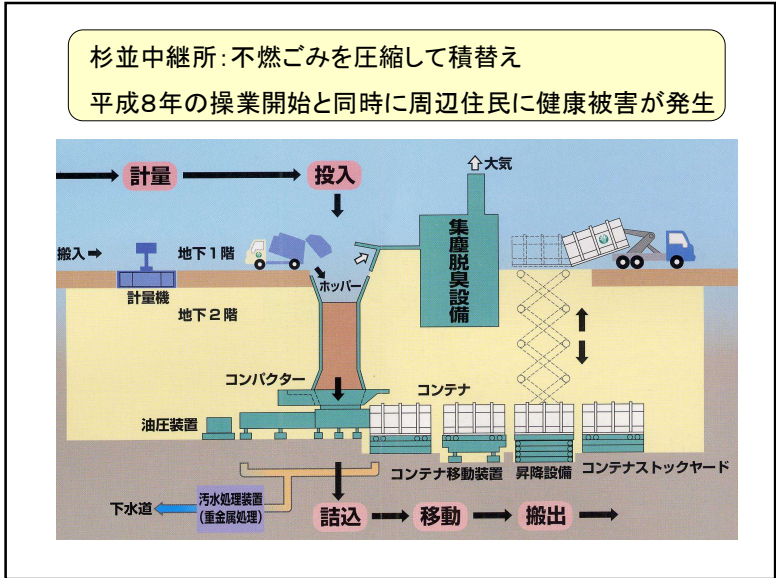
- 赤城山中央火口の噴出物
- 体積比では約6割が水分、空隙は3割、固体部分は僅かに1割という保水率が高い性質
- 雑菌の無い、清浄な酸性土壌

## 鹿沼土

- 鹿沼土の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ .....6.2
- 水により低下させた建設汚泥の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$   
.....10.4
- 1対1で混合した土の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ .....7.2
- 30日経過後の改良土の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ ...7.4
- 30日経過後の建設汚泥処理土のみの $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ ...8.5

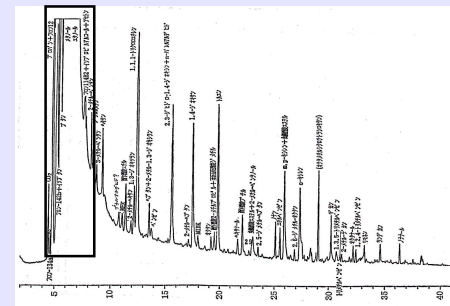


廃プラスチックの機械的処理過程において発生する化学物質



燃やさないのだから、何も出るはずない……

中継所と健康被害の因果関係は認定されたが、原因物質は特定されず

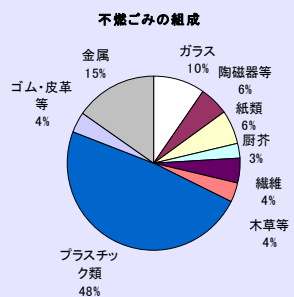


butane, isobutane, methanol, ethanol 等が顕著に検出されている

中継所コンテナヤード内大気組成のガスクロマトグラフ

### 不燃ごみの組成

・ 杉並中継所が扱う不燃ごみ



ごみに含まれる主な金属成分

Hg: 体温計 Pb: 釣りの重り Zn: メッキ

厨芥: 食べ物のくず  
(水分を含む)

プラスチックが圧倒的に多く、種類も多様である

### 圧縮に伴う摩擦によって何が起こるか？

1. 局部的に高温になることによる熱分解反応
2. ラジカル反応
3. 高分子の機械的な切断
- 4.
- 5.
- ・
- ・

### 試験材料

#### ポリスチレン (PS)

… 梱包材 魚箱 食品用トレー 畳の芯

#### ポリエチレン (PE)

… 包装材 (袋、ラップフィルム、食品容器) 農業用フィルム

#### ポリ塩化ビニル (PVC)

… 水道管 農業用フィルム ラップフィルム 波板 ホース

#### アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン共重合体 (ABS)

… 家具部品 パソコンハウジング 自動車部品

#### ポリエチレンテレフタレート (PET)

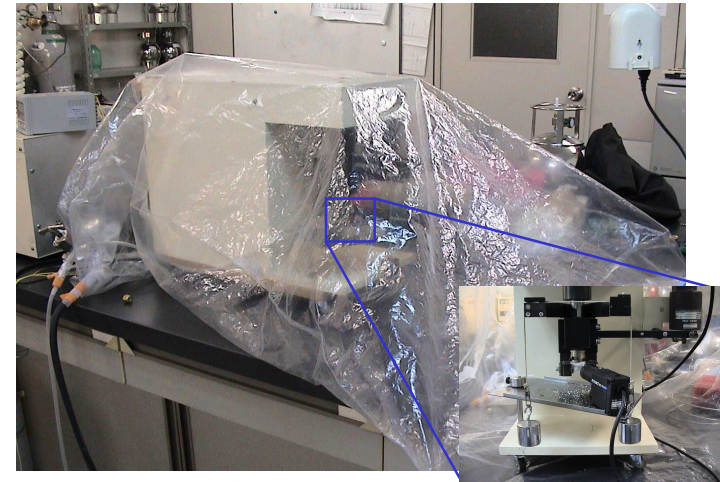
… PETボトル 写真用フィルム カセットテープ

#### ポリウレタン (PU)

… クッション マットレス 断熱材

計6種類を使用

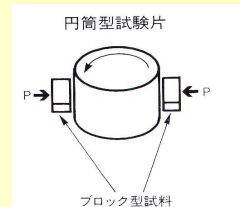
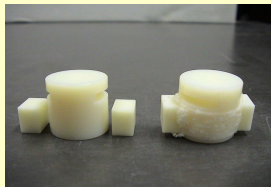
### 摩擦試験機



### 試験条件

空気中の雰囲気条件下で、高分子材料の摩擦試験を行い、発生した化学物質の同定、定量を行った

一定の押付け力と回転速度で同種の高分子材料6種類を摩耗させ、ブロック型試料が摩耗で消失したところで実験を終了とした



以下の摩擦条件で行った  
押付け力 24.5 N  
回転速度 200 rpm

### サンプリング・分析方法

#### 定性分析 (成分の同定)

約50Torrに減圧にしたキャニスターでサンプリング。

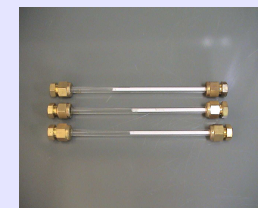
GC-MS(ガスクロマトグラフ質量分析計)で分析。



#### 定量分析 (成分量の同定)

捕集管を用いて、流速100ml/minの速さで計10サンプリング。

FID-GC(水素炎イオン化検出器付ガスクロマトグラフ)で分析。





### 発生物質の種類

#### 各高分子材料からの代表的な発生物質

PS	isobutane butane hexane benzene toluene
PE	isopropyl alcohol ethyl acetate hexane toluene
PVC	carbon disulfide hexane benzene toluene
ABS	diethyl ether toluene 4-ethenyl-cyclohexene ethylbenzene styrene
PET	特に検出されず
PU	acetaldehyde ethyl acetate toluene

表面温度: 100~200°C

摩擦時間: 24s~30min

### 発生物質の種類

#### 各高分子材料からの代表的な発生物質

PS	isobutane butane hexane benzene toluene
PE	isopropyl alcohol ethyl acetate hexane toluene
PVC	carbon disulfide hexane benzene toluene
ABS	diethyl ether toluene 4-ethenyl-cyclohexene ethylbenzene styrene
PET	特に検出されず
PU	acetaldehyde ethyl acetate toluene

赤字の物質は中継所周辺の大気からも検出されている

PS	isobutane butane hexane benzene toluene
PE	isopropyl alcohol ethyl acetate hexane toluene
PVC	carbon disulfide hexane benzene toluene
ABS	diethyl ether toluene 4-ethenyl-cyclohexene ethylbenzene styrene
PET	特に検出されず
PU	acetaldehyde ethyl acetate toluene

carbon disulfide : 循環器系、神経系に影響を与える

4-ethenyl-cyclohexene : 人で発がん性を示す可能性がある

benzene : 造血器官、肝臓、免疫系に影響を与える

### 熱分解生成物との比較

#### ・PSの場合

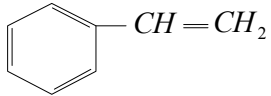
熱分解時は、解重合により原料であるstyreneが約95%の割合で検出される

摩擦による生成物	isobutane butane methyl acetate ethyl acetate benzene toluene 120°C
熱分解生成物	styrene monomer styrene dimer styrene trimer toluene 550°C

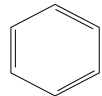
発生物質の組成が大きく異なり、熱が物質の発生に寄与しているとは考えにくく、別の反応が起きている

PS	isobutane butane hexane benzene toluene
----	---

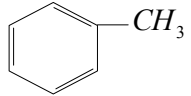
benzene toluene: 原料のstyrene由来



スチレン  
(styrene)



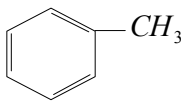
ベンゼン  
(benzene)



トルエン  
(toluene)

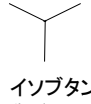
PS	isobutane butane hexane benzene toluene
----	---

isobutane butane hexane: 原料のstyreneとは構造式が大きく異なる

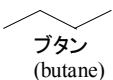


スチレン  
(styrene)


➔



イソブタン  
(isobutane)



ブタン  
(butane)



ヘキサン  
(hexane)

鎖状炭化水素が発生した理由として、原料のstyreneの結合が機械的エネルギーにより切断された可能性が高い

PVC	carbon disulfide hexane benzene toluene
-----	---

carbon disulfide: 添加物由来か？

PS	isobutane butane hexane benzene toluene
PE	isopropyl alcohol ethyl acetate hexane toluene
PVC	carbon disulfide hexane benzene toluene
ABS	diethyl ether toluene 4-ethenyl-cyclohexene ethylbenzene styrene
PET	特に検出されず
PU	acetaldehyde ethyl acetate toluene

赤字の物質は窒素雰囲気中では発生せず

➔ 酸化により生成？

PVC	carbon disulfide hexane benzene toluene
-----	---

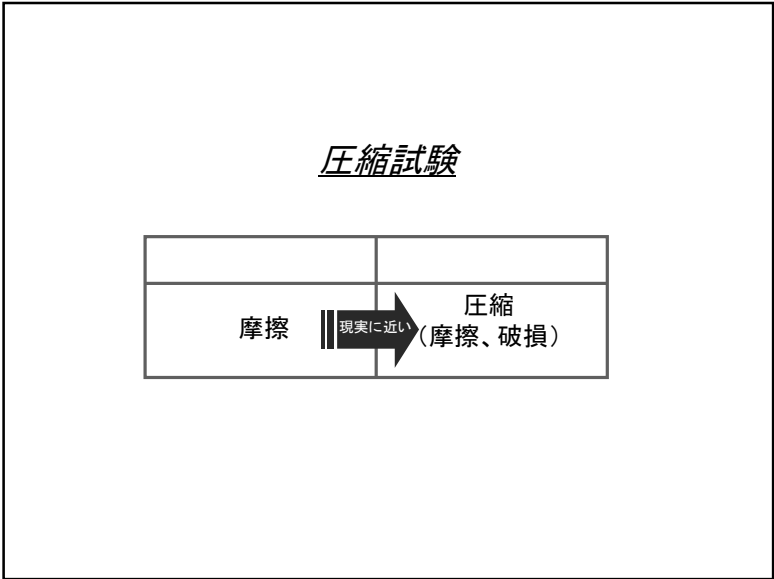
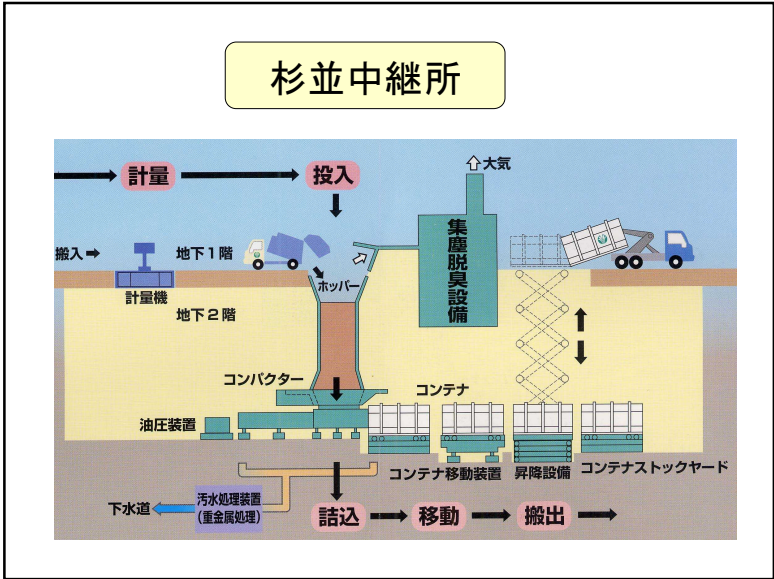
PVCにおけるC-Cl結合は、結合エネルギーが小さいために塩素が脱離しやすく、脱離後環化反応をすることが知られている。

塩素脱離によりbenzeneやtolueneが発生した？

$$\begin{array}{c}
 \text{---C---C---C---C---C---C---} \\
 | \quad | \quad | \\
 \text{Cl} \quad \text{Cl} \quad \text{Cl}
 \end{array}
 \longrightarrow
 \text{---C=C---C=C---C=C---}
 \longrightarrow
 \text{C}_6\text{H}_6$$

研究によりわかったこと

- ・ 鎖状炭化水素、芳香族化合物、酸素を含んだ物質、添加剤由来と考えられる物質等、多種多様な化学物質が検出された
- ・ 熱分解反応が起きるほどの高温になっているとは考えにくく、熱分解反応とは異なる種々の反応・機械的切断などにより、多種多様な化学物質が発生する可能性がある。



## 実験概要

### 放置実験

予備実験として、ストレスをかけない状態で発生する物質を調べる

### 圧縮実験

純粋な圧縮によって発生する物質、摩擦も含む圧縮によって発生する物質を調べる

### 破損実験

プラスチックが圧縮によって折れたり、欠けたりする破損によって発生する物質を調べる

## 実験装置



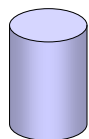
圧縮試験器(丸東製作所)

最大44.2 N/cm<sup>2</sup>の力を  
加えることができる

(杉並中継所: 35.3 N/cm<sup>2</sup>)

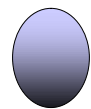


## 実験材料(形状)



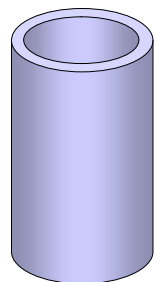
ブロック型

放置・圧縮



ボール型

圧縮



パイプ型

破損

## 分析機器

### 放置実験



Chamber

### 圧縮・破損実験



Canister



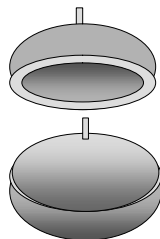
GC-MS

## 放置実験

実験材料: ブロック 12コ(約100 g)

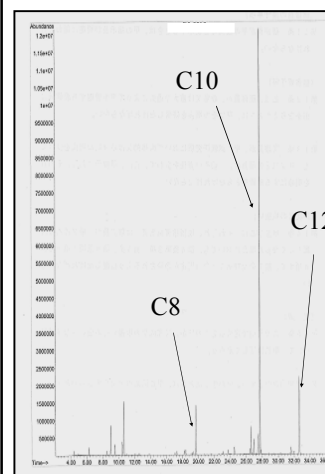
実験器具: Chamber

雰囲気条件: 高純度窒素(99.99995 %)  
高純度空気(99.9999 %)



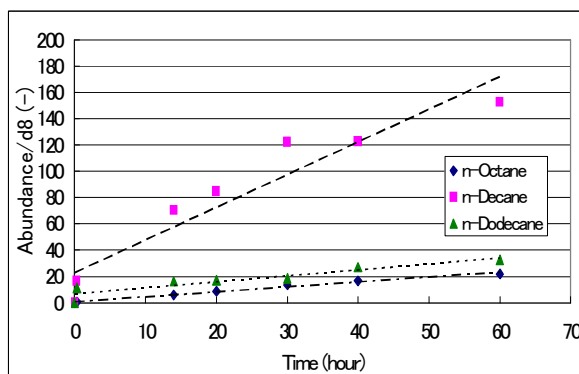
PEとPVCについて上記の条件で実験を行い、何もストレスをかけない状態でどのような化学物質が発生するのかを調べた

## 放置実験結果1 (PE N<sub>2</sub>中)



- 炭素数が偶数(8,10,12)の物質が顕著に発生していた
- 炭素数が奇数の物質も少量だが、発生していた
- その他にも、3-methyl nonaneや5-methyl nonane、5-methyl undecaneなどの発生も見られた

## 放置実験結果1 (PE N<sub>2</sub>中)

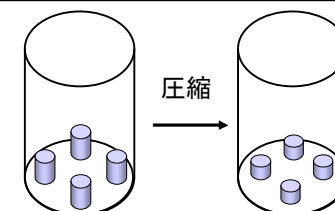


顕著に発生した炭素数偶数(8,10,12)の各物質について、時間経過と存在度の変化を見ると、時間に比例して増加していることがわかった

## 圧縮実験

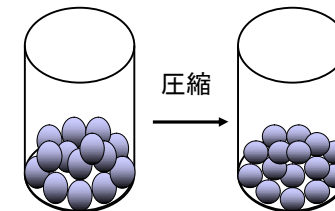
### (1) 摩擦なし

実験材料: ブロック (PE,PVC)  
実験器具: 圧縮試験器  
実験条件: 35.3N/cm<sup>2</sup>  
雰囲気条件: 高純度空気 (99.9999 %)



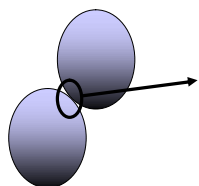
### (2) 摩擦あり

実験材料: ボール (PE)  
実験器具: 圧縮試験器  
実験条件: 35.3N/cm<sup>2</sup>  
雰囲気条件: 高純度空気 (99.9999 %)



摩擦なしの圧縮、圧縮と摩擦によって発生する物質を調べた

### 摩擦ありの圧縮



プラスチックが点で接しており、圧縮されると同時に摩擦が起こっていると考えられる。

この点では摩擦と同時に、圧縮されることによりひずみが生じながら、摩擦力加わっていると考えられる。従って、単純な摩擦とは違う現象が起きている可能性がある。

熱分解、熱酸化分解、メカノラジカル反応が複雑に絡み合うことで物質が発生したと考えられる。

### 圧縮実験結果まとめ②

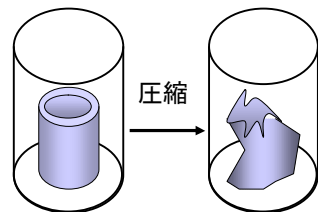
- 圧縮実験では、PE,PVC共に、摩擦実験に比べて杉並中継所で観測された物質が多く発生していた。

PE	
摩擦	圧縮
benzene	benzene
toluene	toluene
hexane	ethylbenzene
	dodecane

PVC	
摩擦	圧縮
benzene	benzene p-xylene
toluene	toluene
hexane	ethylbenzene
	dodecane
	chloroform
	trichloroethylene

### 破損実験

実験材料: パイプ (PE,PVC)  
 実験器具: 圧縮試験器  
 実験条件: 35.3N/cm<sup>2</sup>  
 雰囲気条件: 高純度窒素(99.99995%)  
 高純度空気(99.9999%)



実際の中継所内の現象で最も生じていると考えられる圧縮による破損  
 上記の条件で破損し、その際に発生する化学物質の同定を行った

### 破損実験結果(PE)

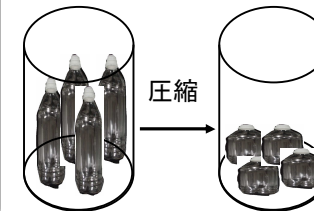
破損(窒素中)		破損(空气中)	
hexane	3-methylnonane	hexane	m-xylene
nonane	3-methyl-2-nonene	heptane	p-xylene
dodecane		nonane	styrene
undecane		decane	toluene
3-ethylhexane	hexanal	dodecane	
		undecane	1,2,3-trimethylbenzene
benzene		3-ethylhexane	
ethylbenzene			benzaldehyde
p-xylene			
styrene		cyclohexane	
1,3,5-trimethylbenzene			
		benzene	
		ethylbenzene	

### 破損実験結果(PVC)

破損(窒素中)		破損(空气中)	
hexane	benzene	hexane	1,2-dichloroethene
3-ethylhexane	toluene	nonane	tetrachloroethylene
	ethylbenzene		tetrachloroethane
acetaldehyde	styrene	acetaldehyde	1,3,5-trichlorobenzene
butanal	o-xylene	butanal	
hexanal	p-xylene	nonanal	
benzaldehyde		1,3-butadienol	2,5-dihydrofuran
			tetrahydrofuran
cycloheptane			
3-hexene	benzene		
	toluene		

### 不燃ゴミ圧縮実験

実験材料: PETボトル  
 実験器具: 圧縮試験器  
 実験条件: 35.3N/cm<sup>2</sup>  
 雰囲気条件: 高純度空気  
 (99.9999%)



実際に捨てられる一般の不燃ゴミ(PETボトル)  
 上記の条件で破損し、その際に発生する化学物質の同定を行った

### 不燃ゴミ圧縮実験結果

PET(空气中)	
hexane	methylcyclopentane
decane	cyclohexane
2,4-dimethylheptane	
4-methyloctane	ethylbenzene
5-methylnonane	
3,6-dimethyldecane	d-limonene

安定していると言われているPETボトルからも鎖状の炭素化合物が少量だが発生していた。また、ethylbenzeneなどの芳香族も発生していた。ただ構造上、PETボトル内は純空気では置換しにくいので、他の実験や部屋の空気の汚染が原因とも考えられる。

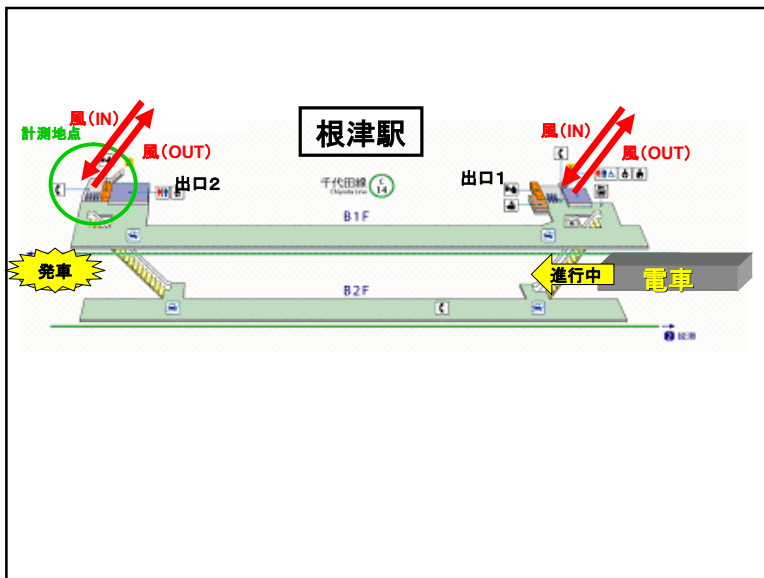
### まとめ

杉並中継所周辺で観測された物質と本研究で発生した物質の比較

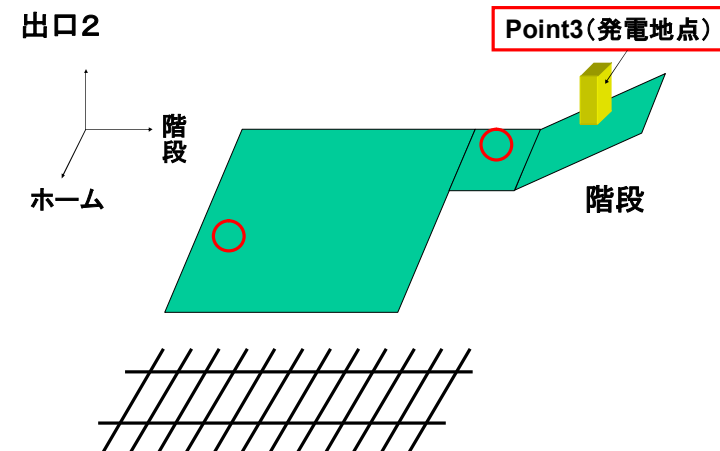
杉並中継所		本研究	
1-chlorooctane	hexanal	octane	nonane
nonanal	tetrachloroethylene	decane	octanal
undecane	toluene	dodecane	tetrachloroethylene
4,5-dimethylundecane	cyclohexane	4-pentanal	1,2-dichloroethane
1,2-dichlorobenzene	1,1,1-trichloroethylene	2,3,4-trimethyl	hexane chloroform
octanal	1,3-dioxiran	benzene	toluene
1,2,3-trimethylbenzene	hexane	hexane	benzaldehyde
puropylbenzene	2-methylbutane	hyclohexane	o-dichlorobenzene
heptanal	acetaldehyde	ethyl benzene	acetaldehyde
styrene	butanal	p-xylene	1,3,5-trichlorobenzene
nonane	pentanal	undecane	tetrahydrofuran
p-xylene	2,3,4-trimethylpentane	hexanal	1,3-butadienol
ethyl benzene	2-butanone	1,2,3-trimethylbenzene	styrene

杉並中継所周辺で観測された物質の多くが本研究でも発生していた

地下鉄「根津駅」で風力発電を行う



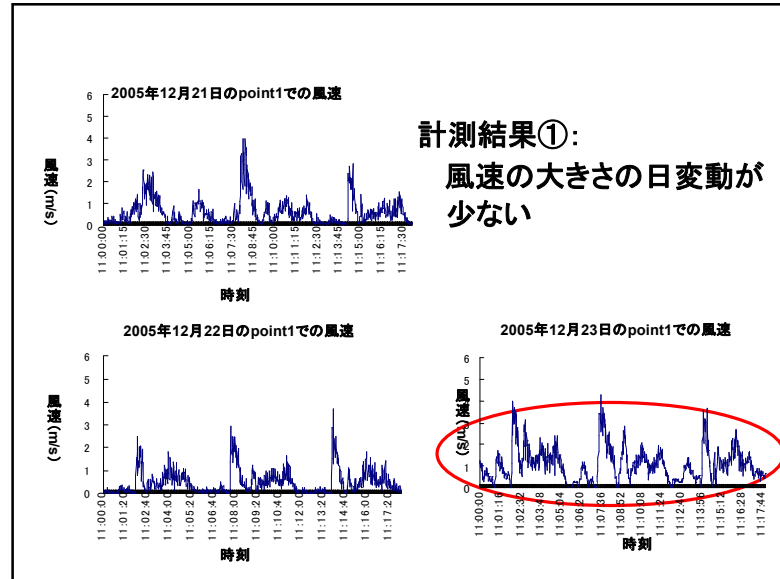
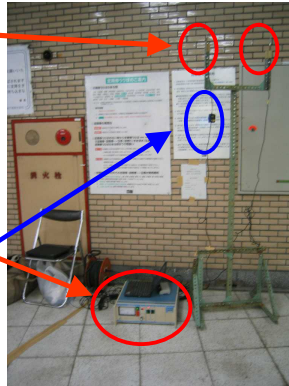
### 計測地点と発電地点



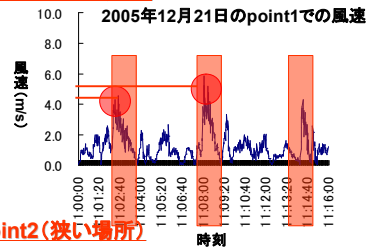


# 1. データ収集 計測装置

- アネモマスター(熱式風速計)
- アンプ
- AD変換器
- パソコン
- 温度計(おんどとりJr)

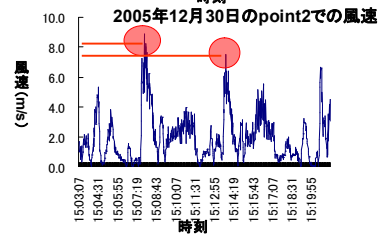


Point1(広い場所)



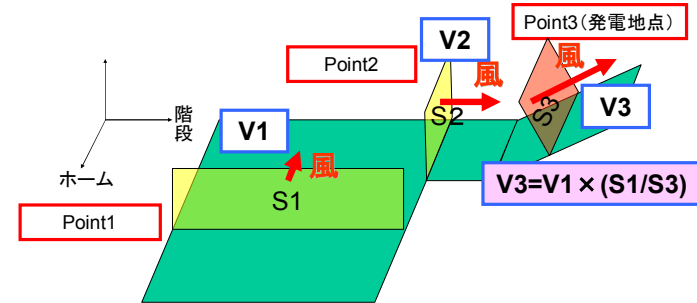
計測結果②:  
電車の出入りに伴い  
ピークが現れる

Point2(狭い場所)



計測結果③:  
Point1に比べて通過面積の小さいPoint2での  
風速の方が全体的に  
大きい

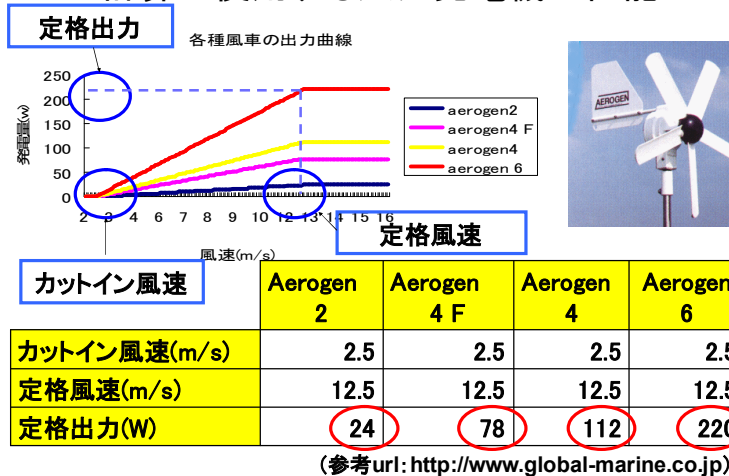
## 通過面積と風速の関係



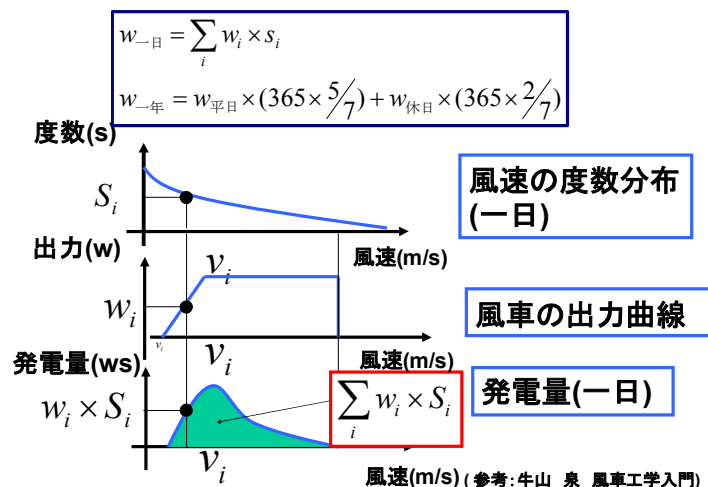
	$V2/V1$	$1/(S2/S1)$
平均風速比	1.89	1.94
平均ピーク風速比	1.81	1.94

### 3. 発電量の計算

### 3. 発電量の計算 計算に使用する風力発電機の性能



### 3. 発電量の計算 計算式



### 3. 発

	Aerogen 2	Aerogen 4 F	Aerogen 4	Aerogen 6
定	最小27.7kwh/year最大254.3kwh/yearと最大で約蛍光灯3台分の発電量			
羽根直径(m)	0.58	0.87	0.87	1.22
年間発電量(kWh)	27.7	90.2	129.5	254.3
年間消費電力(kWh)	3650	1512	180	88

(参考: 資源エネルギー庁 <http://www.enecho.meti.go.jp>, 日立 <http://www.hitachi.co.jp/>)

### 3. 発電量の計算 評価

	Aerogen 2	Aerogen4 F	Aerogen 4	Aerogen 6
定格出力(W)	20	78	112	180
年間発電量 (kWh)	27.74	90.16	129.46	254.3
購入価格(yen)	¥88,200	¥184,800	¥141,750	¥206,850
発電金額 ※(yen/year)	432	1405	2017	3962
減価償却年数 (year)	204	132	70	52

(※参考url:<http://www.tepco.co.jp>)

### 4. まとめ 結論

- 最小27.7kWh/year、最大254.3kWh/yearの発電量
- 減価償却年数が50年から200年
  - エアコンなどの大型家電の電源には向かない
  - 採算性重視の使用には向かない
  - LEDを用いた電光掲示板などの小規模な電源への利用  
(シンボリック利用)

### 4. まとめ 今後の課題

- 実用化へ向けての検討と改良
  - 風車の種類、個数、設置場所の変更(出口1等)
  - 両方向の風の考慮
- 電車の抵抗になることの評価
  - 電車の進入、進出時に発電を行い、どれほどの電車の抵抗となるかの評価