

北海道大学工学研究科  
環境創生工学専攻サニテーション工学研究室

持続可能なサニテーションシステムの  
開発と水循環系への導入に関する研究  
科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業

水の循環系モデリングと利用システム

船水 尚行

1

The 2<sup>nd</sup> International Symposium on Sustainable Sanitation  
Northeast Normal University, Changchun, China  
October 19-21

今日の話題

- なぜ、「集めない」、「混ぜない」（分離・分散型）サニテーションか？
- 「集めない」・「混ぜない」処理システムの開発経過

毎日、約120万トンの  
のし尿が環境や水源  
に排出されている

unicef

Bangalore India

Sewer

Well

5歳以下の主な死亡原因

死亡原因	割合
栄養失調	54%
主な衛生設備不良と寄生虫	54%
その他	32%
下痢症	19%
急性呼吸器疾患	19%
周産期	18%
はしか	7%
マラリア	5%

5

Source: WHO 1999

寄生虫の問題

unicef



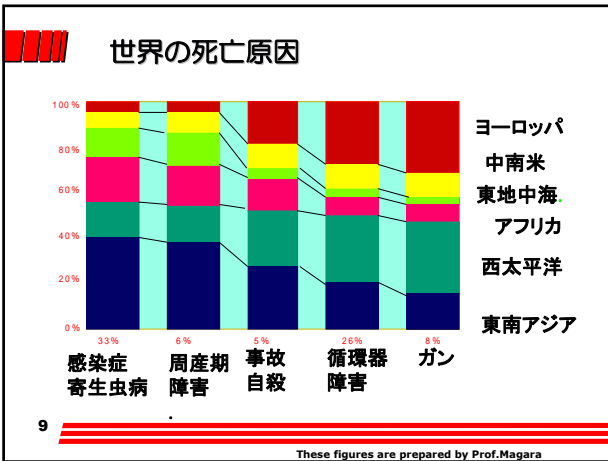
栄養失調と発育阻害  
低IQ  
低身長  
貧血症

unicef



回虫症は健康を阻害し、開発途上国の多くの子供達の勉学機会を奪っている

unicef



### The Millennium Development Goals を達成する

#### 飲み水と衛生の現状 2000年

もし、現状の援助レベル、技術で推移すると、事態はさらに悪化し、2035年には55億人が適切な衛生状態にないと推定されている。

約24億人は衛生的にし尿を処理できないている



Sanitation

10

### 経済的な視点 (Peter Wildere, 2002).

**Don't collect**

- 世界の経済状況から世界中に下水道を建設することは不可能である
- ドイツの管路システムの維持管理に将来1000億ユーロ必要と見積もられている
- 下水道の建設費用のうち、管路系のコストが全体の約70%を占める。

11

### 流域水管理の視点

**Don't collect**

- 流域内である限られた地点で取水し、排水を他の離れた地点に放流することは流域の水循環構造を歪めている。
- 下水管・配水管網から漏水がある。または、下水管に地下水が流入している。

12

**水資源管理の視点**  
**Don't collect**

- 相当量の飲料可能な水が単に汚濁物の輸送にのみ使用されている。
- このようなことができる地域は限られている。
- 排水再利用では、排水を発生源近くに留めておきたい。

13

**排水中の栄養塩の肥料価値**

The fertilizer value of the blackwater from 900 Mio people in rural China

**2.5 billion USD**

per year

(UNESCO 2001)

14

**栄養塩の循環と単純な処理システムを構築するために排水の質を管理する。**

Appliance	Volume	COD	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	TSS
WC	31%	44%	97%	3.8%	80%	77%
Kitchen sink	13%	23%	0.3%	38%	9.4%	10%
Wash Basin	13%	11%	0.1%	11%	1.3%	2.1%
Bath	16%	2.5%	0.6%	15%	1.1%	1.3%
Shower	12%	6.4%	0.7%	25%	4.1%	5.1%
Washing machine	16%	22%	1.2%	7.6%	4.3%	4.0%

**Don't Mix**

15

**微量汚染物質管理の視点**

16

**集めない・混ぜない処理：排水分離分散システムのイメージ**

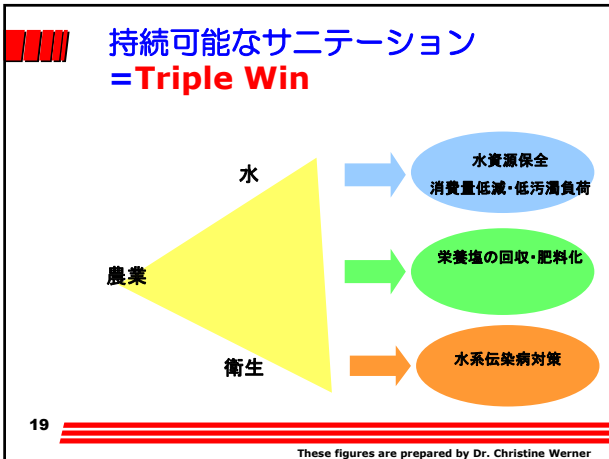
**Don't collect Don't Mix**

17

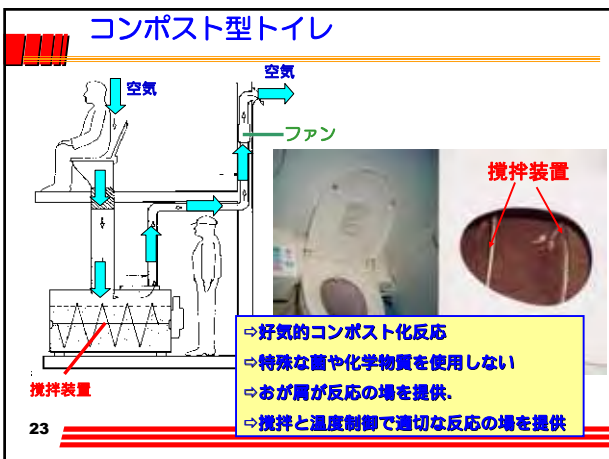
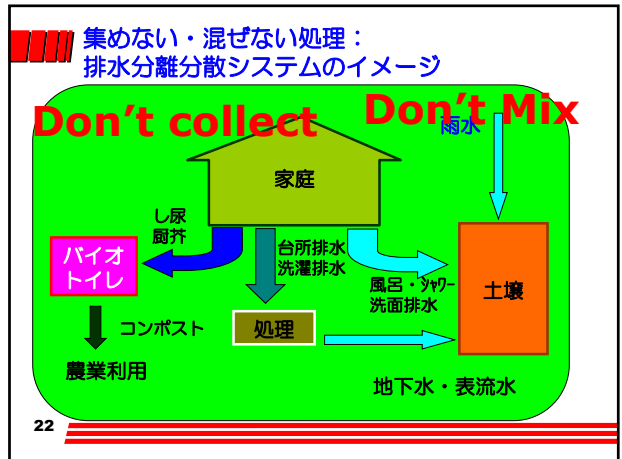
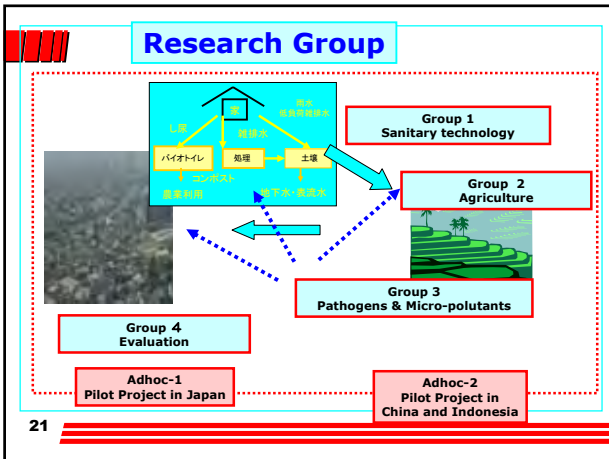
**排水分離分散システムの利点**

- **し尿を分離すると**
  - 栄養塩を水系から分離
  - 物質循環に寄与
  - し尿中の微量化学物質を水系から分離
  - 病原性微生物の分離
  - 処理すべき排水量の減少
  - 水を輸送媒体としない
- **分散型**
  - パイプを必要としない（現用下水道建設費の70%は管路費用）
- **物質循環**
  - 有機物、栄養塩類の水系への排出量削減し、農業系へ循環可能
  - 生物分解性資材
- **社会システム**
  - 新システムの現地生産・維持管理、雇用や産業クラスターの創出

18



- ### CREST project
- プロジェクトのゴール
    - 排水分離・分散型処理システムを開発する,
    - アジア諸国への導入戦略を提案する
  - 基本
    - Sustainabilityの概念
    - 流域の水循環・物質循環
    - 日本発のバイオ, エコ技術
- 20



- ### Black water (し尿)
- 有機物
  - 水分
  - 栄養塩 (窒素・リン)
  - 微量汚染物質 (医薬品・ホルモン類)
  - 病原性微生物
- 24

## Black Water処理に関する研究

1. コンポスト反応に関する微生物の活性
2. 糞便中有機物の評価方法
3. コンポスト化反応のモデル化
4. コンポスト化反応速度と温度
5. コンポスト化反応と水分の関係
6. コンポスト化反応における窒素の挙動
7. 病原性微生物の不活化とリスク評価
8. コンポストに残存する有機物の評価
9. 水分の移動速度と乾燥工学的解析

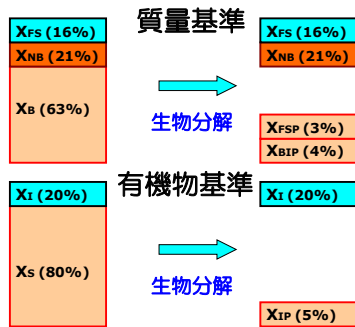
25

## Black Water処理に関する研究 (続き)

10. コンポスト型トイレの運転管理指針と設計法の確立
11. コンポスト化過程におけるホルモン類の分解
12. コンポスト化過程における医薬品の分解
13. 尿の処理：尿貯蔵過程におけるアンモニア生成
14. 尿の処理：電気透析による尿の濃縮
15. 尿の処理：尿中医薬品の酸化分解 (オゾン処理)

26

## 糞便中有機物の表現法

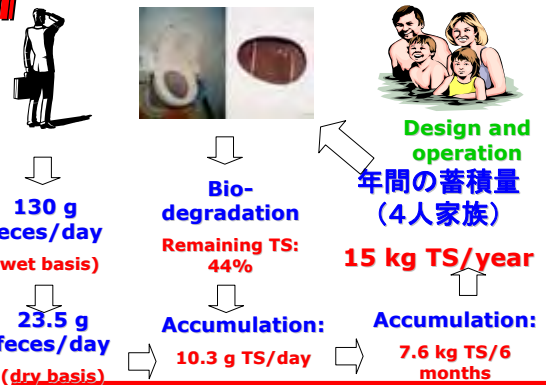


27

Lopez Zavala et al.: Bioresource Technology, Vol 96/7, pp.805-812 (2005)

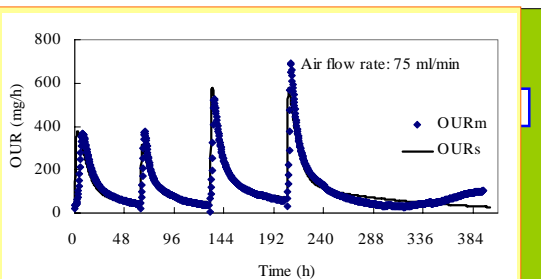
Lopez Zavala et al.: Environ. Syst. And Eng. JSCE, No.720/VII-25, pp.99-105(2002)

## 有機物の分解



28

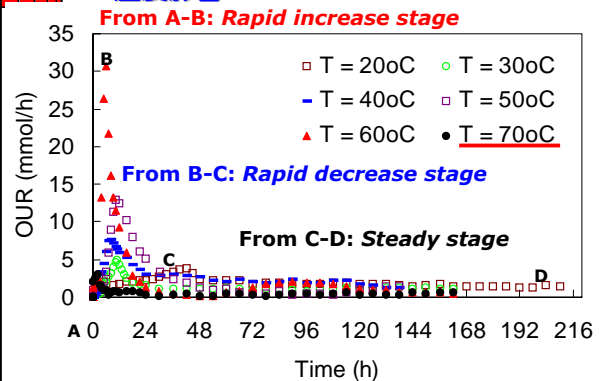
## 反応速度の記述：数学モデル



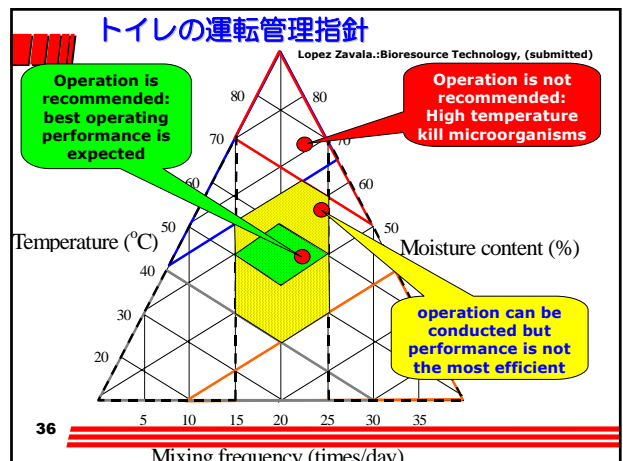
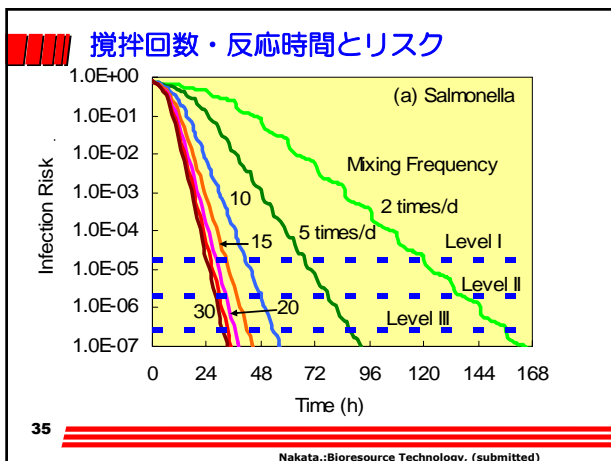
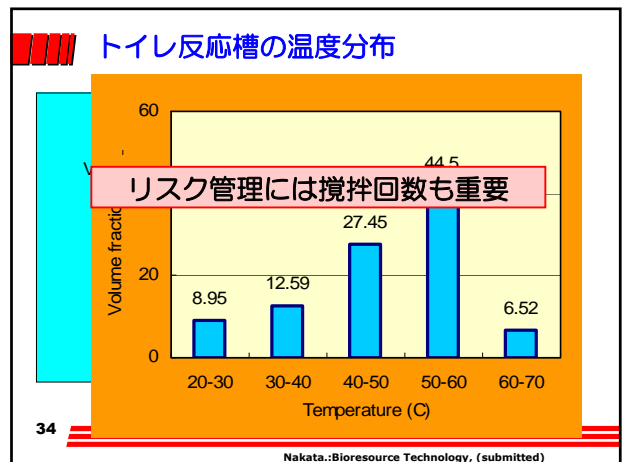
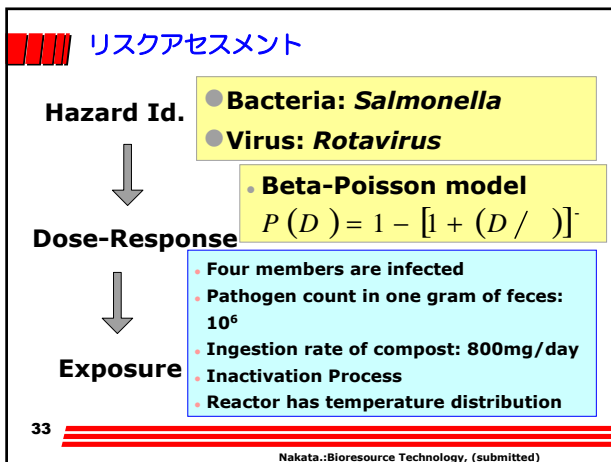
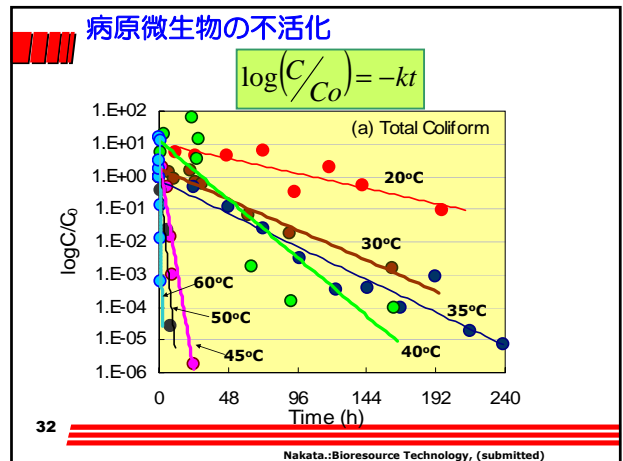
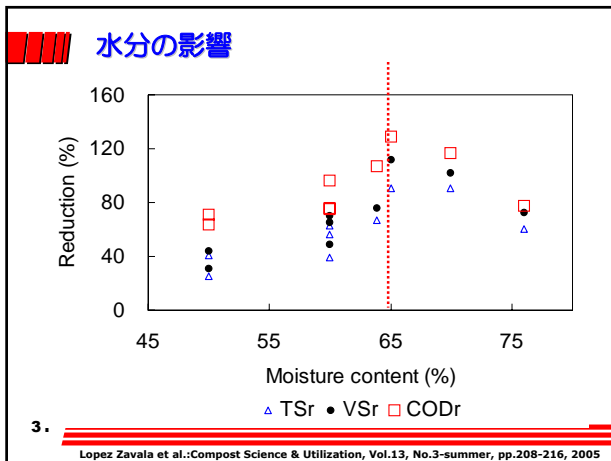
29

Lopez Zavala et al.: Water Research, vol.38, No.5, pp.1327-1339 (2004)

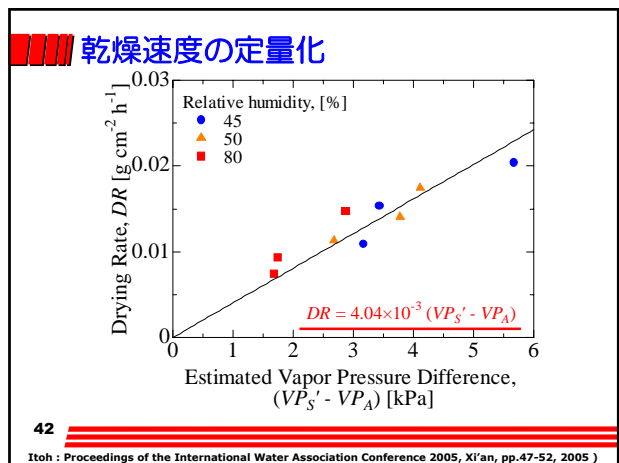
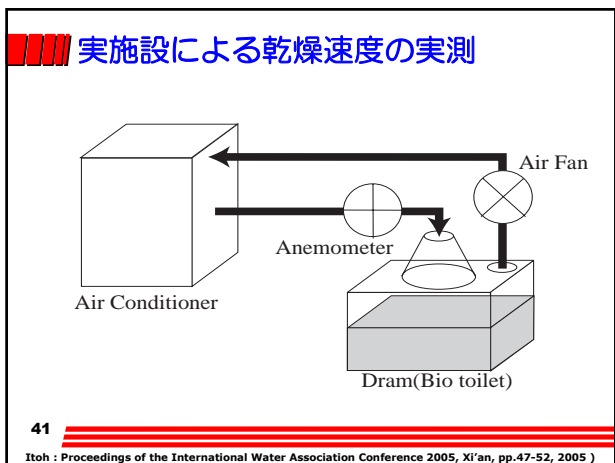
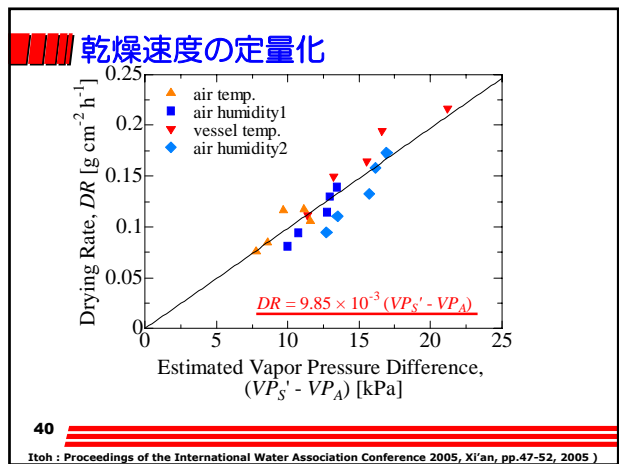
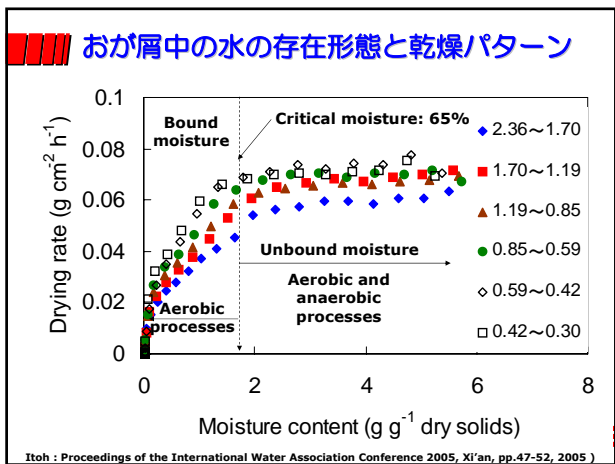
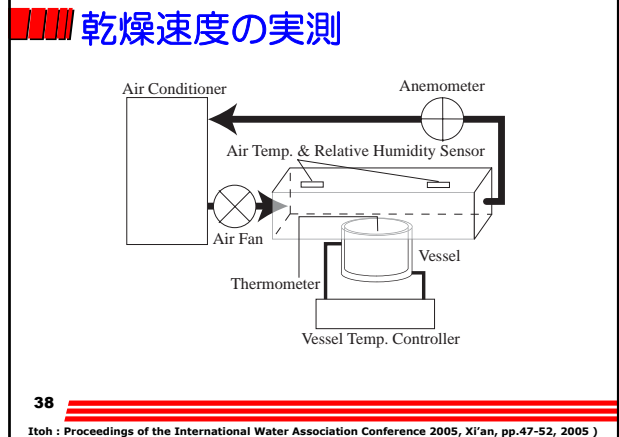
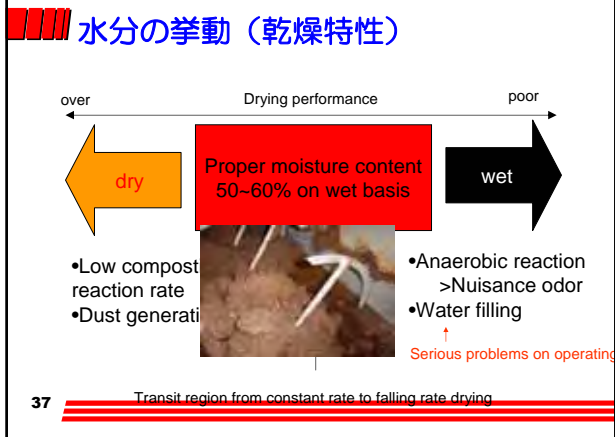
## 温度影響



Lopez Zavala et al.: Water Research, vol.38, No.9, pp. 2406-2416(2004)





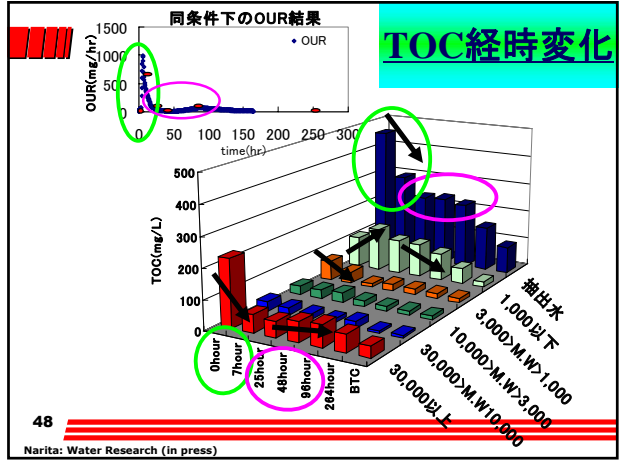
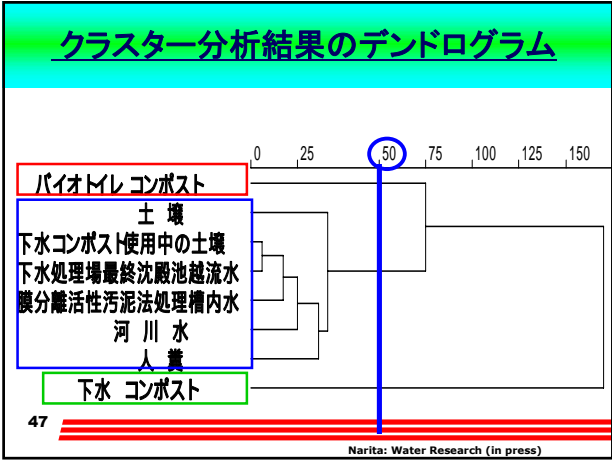
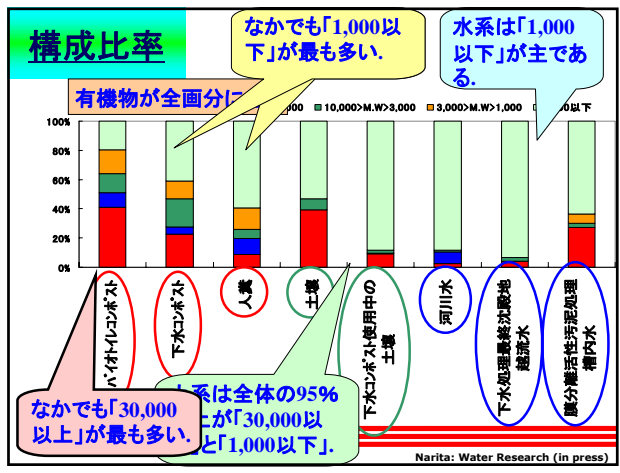
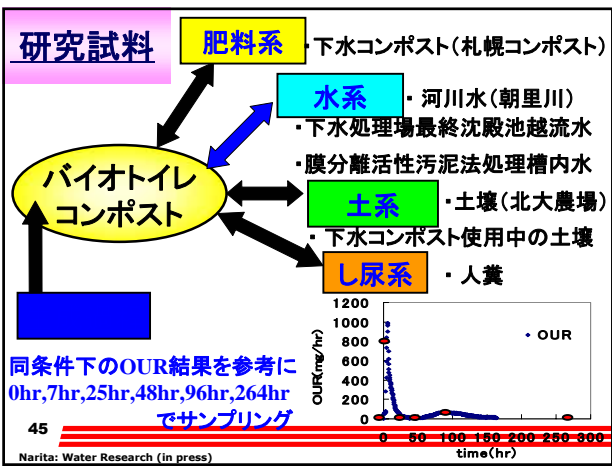
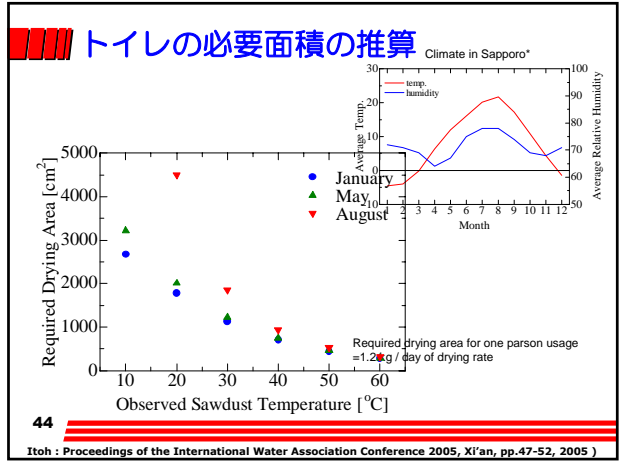


### 乾燥速度の無次元表示

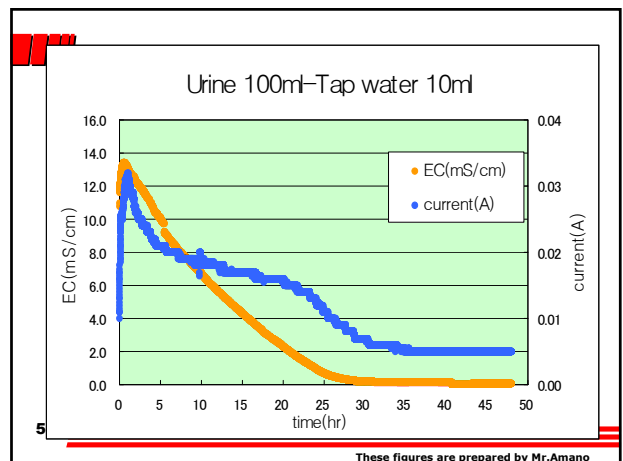
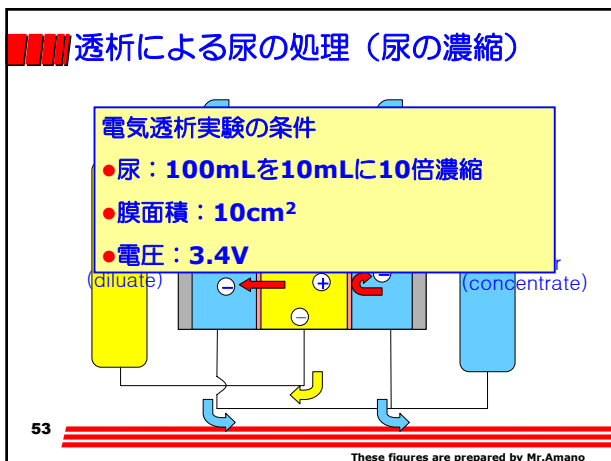
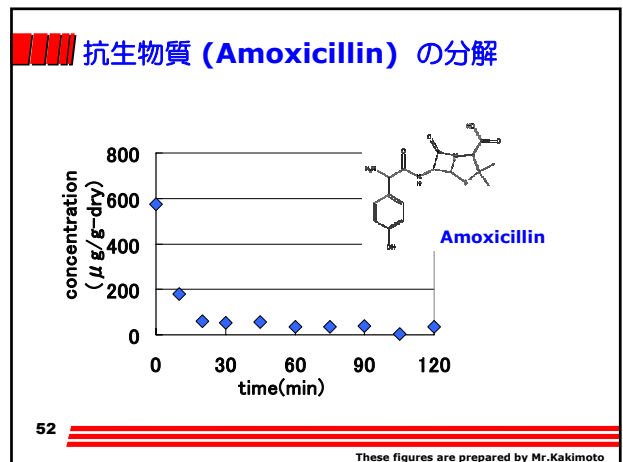
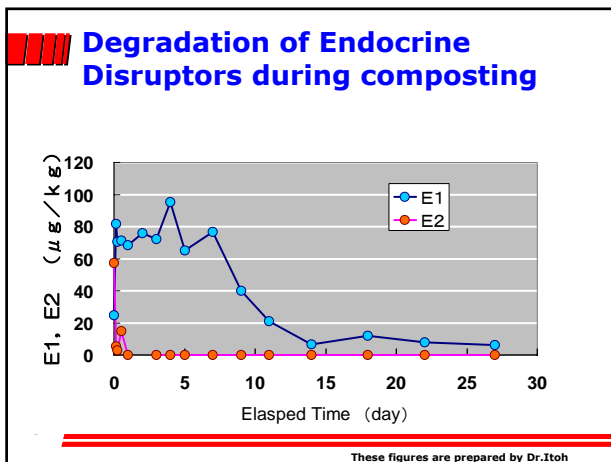
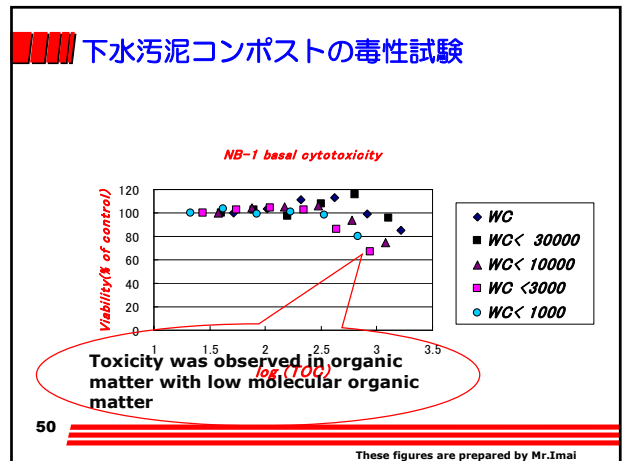
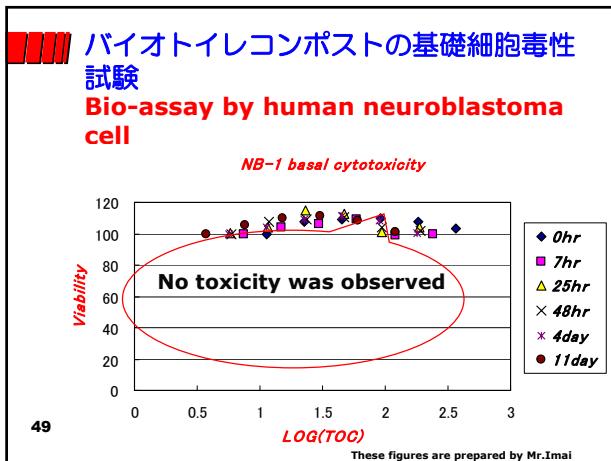
$$Sh = \frac{kx}{D} = 0.664 Re^{1/2} Sc^{1/3}$$

- 実験室規模と実規模が一つの式で整理される
- 実験室の実験結果より実規模のトイレの水分挙動が推測できる

43  
Itoh : Proceedings of the International Water Association Conference 2005, Xi'an, pp.47-52, 2005







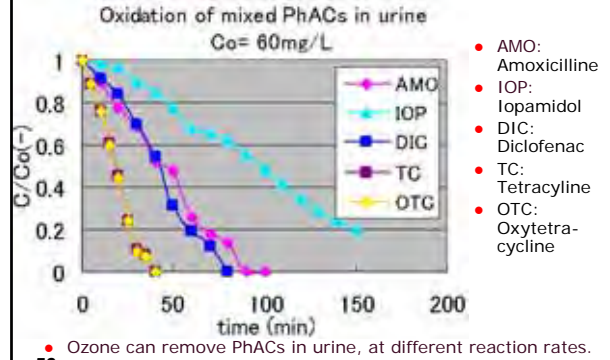
### エネルギー消費・必要膜面積

	Electric Energy(J)		Removal Ratio(%)	
	25hours	48hours	25hours	48hours
U 100ml - T 10ml	5656	7343	95	99
U 100ml - T 20ml	5262	6401	98	99

- 最大消費電力：0.1W
- 電圧：3.4V
- 4Lの尿を24時間で処理するために必要な膜面積：400cm<sup>2</sup>

These figures are prepared by Mr.Amano

### 尿中医薬品の酸化処理 (Ozonation)



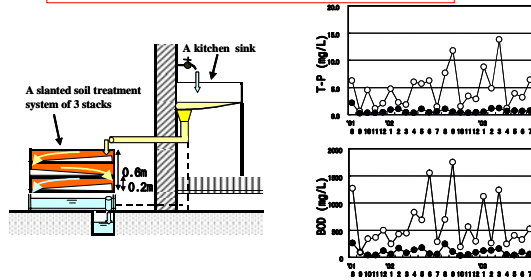
Ozone can remove PhACs in urine, at different reaction rates.

These figures are prepared by Mr.Vu

### 雑排水の処理

#### 傾斜土壌システム

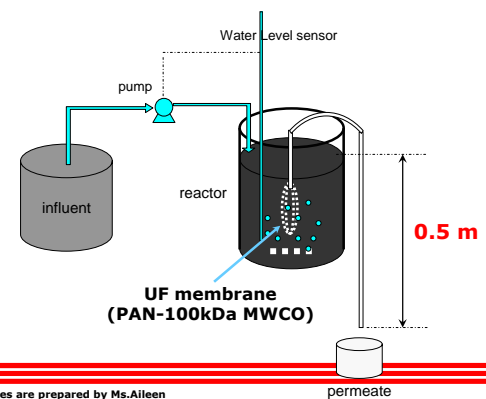
by Dr.Itayama National Institute for Environmental Studies



57

These figures are prepared by Dr.Itayama

### 膜分離生物処理



58

These figures are prepared by Ms.Aileen

### 膜分離生物処理による処理水

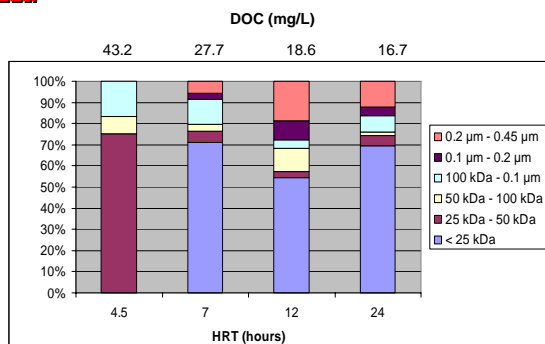
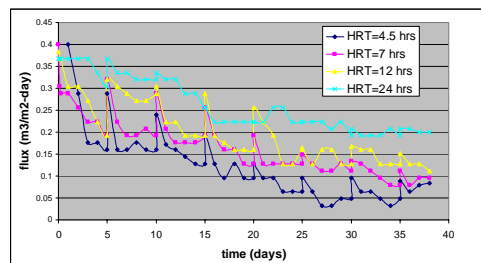


Figure 1. Molecular weight distribution for dissolved organic matter at different HRT after 35 days

These figures are prepared by Ms.Aileen

### 膜処理のフラックス



Severe fouling is observed at HRT of 4.5 hours

60

These figures are prepared by Ms.Aileen

## Pilot project



61

## 実証実験の目的

- 総合的にシステムとして評価・実証する
- 新システムの導入方策の検討
- 分散型システムの維持管理方策の提案 (センサーリング+情報)
- コンポスト型トイレ (し尿と厨芥) + 生活雑排水処理の処理性能,
- 負荷変動への対応, 維持管理性
- 使用者の評価, 自治体としての評価
- 流域の水管理としての評価

62

## 秩父の実証実験 Composting Toilet

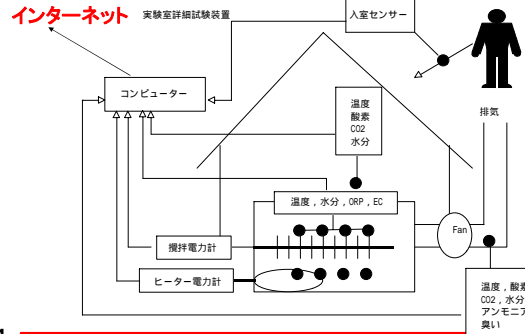


- エネルギー収支
- 物質収支
  - 水 (Drying rate)
  - C (CO<sub>2</sub>), N(NH<sub>2</sub>)
  - 塩 (P, NaCl), 重金属
- おが屑特性
- 病原微生物

63

These pictures are prepared by Itoh

## 実験装置構成



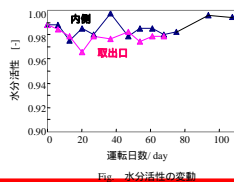
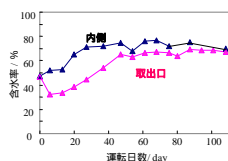
64

## 秩父実証実験関連 (お茶の水女子大:大灌) 物理特性指標および微生物指標の変動調査

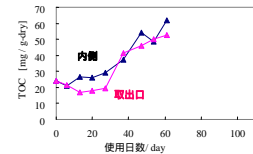
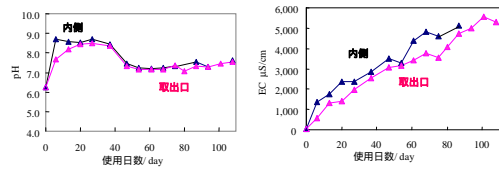
測定項目:  
含水率, 水分活性, pH, 電気伝導度, TOC  
大腸菌群, 糞便性大腸菌群, 大腸菌

測定日時:  
平成17年 5月~9月

### 測定結果 (物理特性指標)



## 測定結果 (物理特性指標) (お茶の水女子大:大灌)



微生物指標（お茶の水女子大：大瀧）

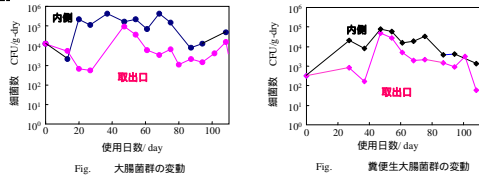


Fig. 大腸菌群の変動 Fig. 糞便生大腸菌群の変動

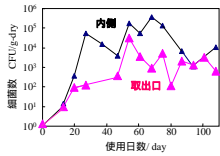
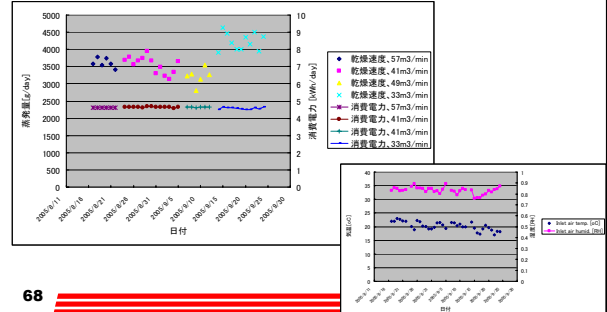


Fig. 大腸菌の変動

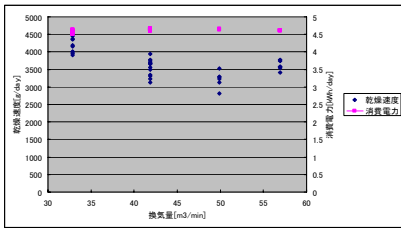
乾燥速度と電力消費量の変化



68

These pictures are prepared by Dr.Itoh

換気量と乾燥速度、消費電力との関係



69

These pictures are prepared by Dr.Itoh

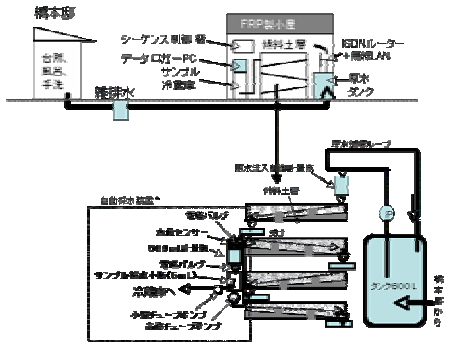
秩父の実証実験 傾斜土壌システム



70

These pictures are prepared by Itayama

傾斜土壌システム

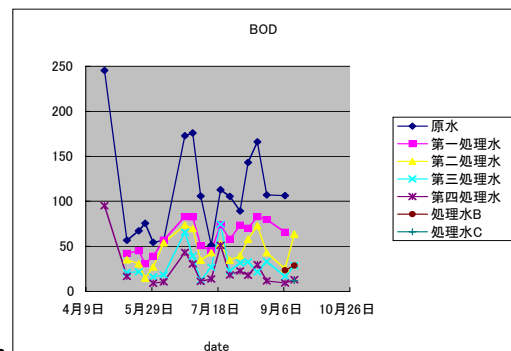


71

※自動制御システムは別途契約が必要となります。

These pictures are prepared by Itayama

処理水質 (BOD)



72

These pictures are prepared by Dr.Utayama

**新システム導入に関する仕組み作り**  
 秩父市山田 橋本氏宅への設置場所選定過程から

- **新システムのイノベーションのためには**
  - システム全体の設計思想
  - メンテナンス
  - バリューチェーン全体の最適化
  - 地域の自然と文化を踏まえた社会モデルをリードする**イノベータ**が必須

73

**新システム導入に関する仕組み作り**  
 秩父市山田 橋本氏宅への設置場所選定過程から

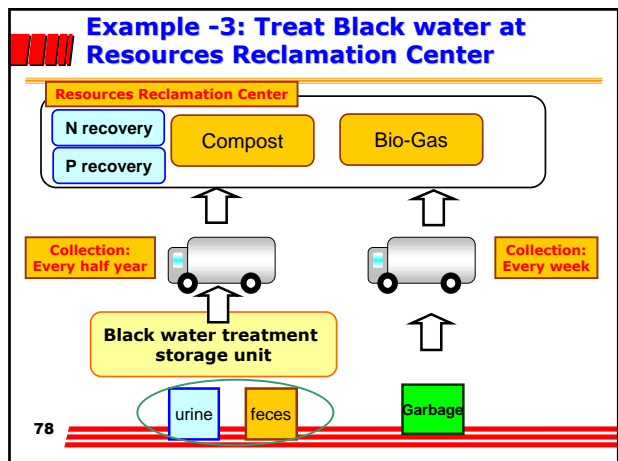
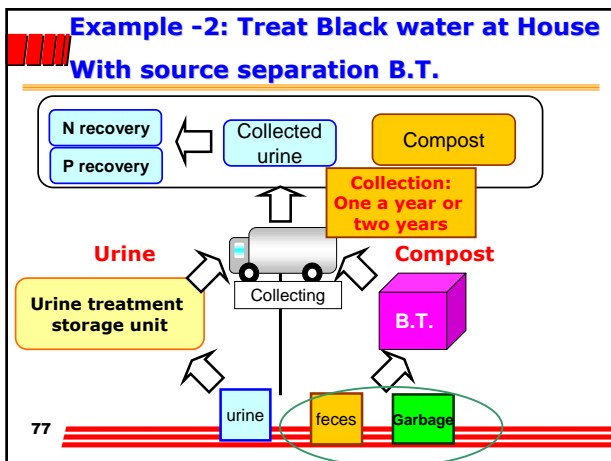
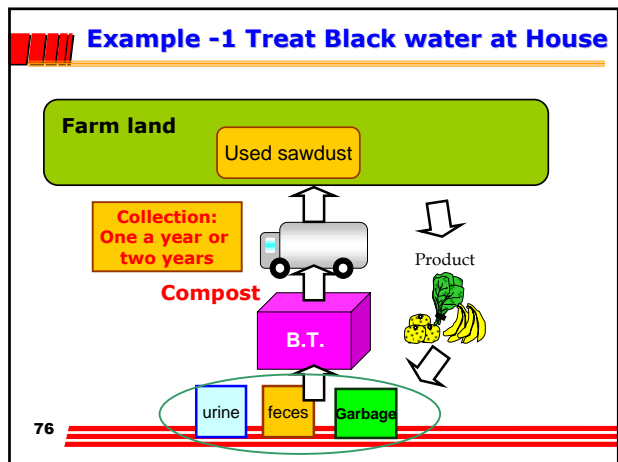
- **イノベータ**
  - 地域の自然と文化をふまえた社会モデルをリード
  - コミュニティと連携した「人と自然の良い循環」のプロデュース
  - 生活者に優しい、地域の特色を生かした持続可能な仕組み作り
- **複数の主体のビジョンの共有**
  - 自治体・生活者・大学や研究機関・イノベータ

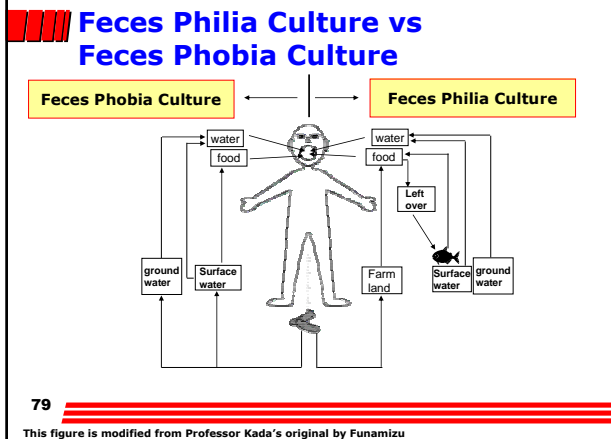
74

**まとめ**

- **なぜ、「混ぜない」、[集めない] サニテーションシステムか**
  - (1) Millennium Development Goals, (2) 世界の水危機, (3) 世界の経済状況, (4) 持続可能な水循環, (5) 水資源管理, (6) 栄養塩の回収・再利用, (7) 微量有害物質管理
- 「混ぜない」、[集めない] システムの研究概要
- 導入戦略：イノベータの存在

75





### まとめ 1

バイオトレコンポスト溶出有機物の特性

- 1) 有機物が全画分にある程度分布している。  
 その中で、分子量「30,000以上」の割合が高い。
- 2) TOC/E260値 低い。

⇒ 生物分解の進んだ他と異なる分子量分布。

• 全指標を用いた分類では、バイオトレコンポストの方が、下水コンポストより周辺環境に近い分類。

80