

# カールスルーエ研究所における 研究成果報告

佐藤 靖彦

社会基盤工学専攻  
構造工学講座



# 報告内容

- ・カールスルーエ研究所の概要
- ・共同研究の概要
  - (1)カールスルーエ研究所と青島工科大学(中国)
  - (2)デルフト工科大学(オランダ)との共同研究
- ・今後の予定と展開

# カールスルーエ研究所の概要



# *Institute of Technical Chemistry*

## *Water and Geotechnology Division(ITC-WGT)*

*Division of Chemical-Physical Processing(ITC-CPV)*

*Thermal Waste Treatment Division(ITC-TAB)*

*Division of Technology-Induced Material Flow(ITC-ZTS)*

***ITC-  
WGT***

- **Environmental Microbiology**

Micro processes in sediments and construction materials

- **Water Technology and Water Chemistry**

Sorption processes, Magnetic processes

- **Building Chemistry and Monitoring Technology**

Molecular surface protection systems, Construction sensor techniques

- **Technical Mineralogy**

Construction materials, Mineralogy of technical residues

- **Nanomineralogy**

LDH layered hydroxides, Industrial clay materials

# *Helmholtz Association of National Research Centers*

Energy, Earth and Environment, Health, Transport and Space

(1) Geosystem: The changing earth

地圏, 大気圏, 水圏間のグローバルな相互関係

(2) Atmosphere and climate

大気の化学組成に及ぼす人類の活動の影響

(3) Marine, Coastal and Polar research

グローバルな気候変動に及ぼす海洋の物理学的, 生物学的, 地球科学的検討

(4) Biogeosystems

土, 水, 植物を含むバイオシステムの保護, 回復に関する研究. 農業.

(5) Sustainable use of landscapes

都市なその領域に着目した人の活動が環境に及ぼす影響

(6) Sustainable development and technology

資源や水の持続可能な利用に関する技術開発

# プログラム6の構成(各PTの関連性)

- PT1: 先進国・途上国  
浄化方法
- PT2: 化石燃料の効率的利用  
バイオマス
- PT3: 廃棄物の熱処理技術
- PT4: マスフローの最小化
- PT5: コンセプト・指標  
リスク管理・合意形成

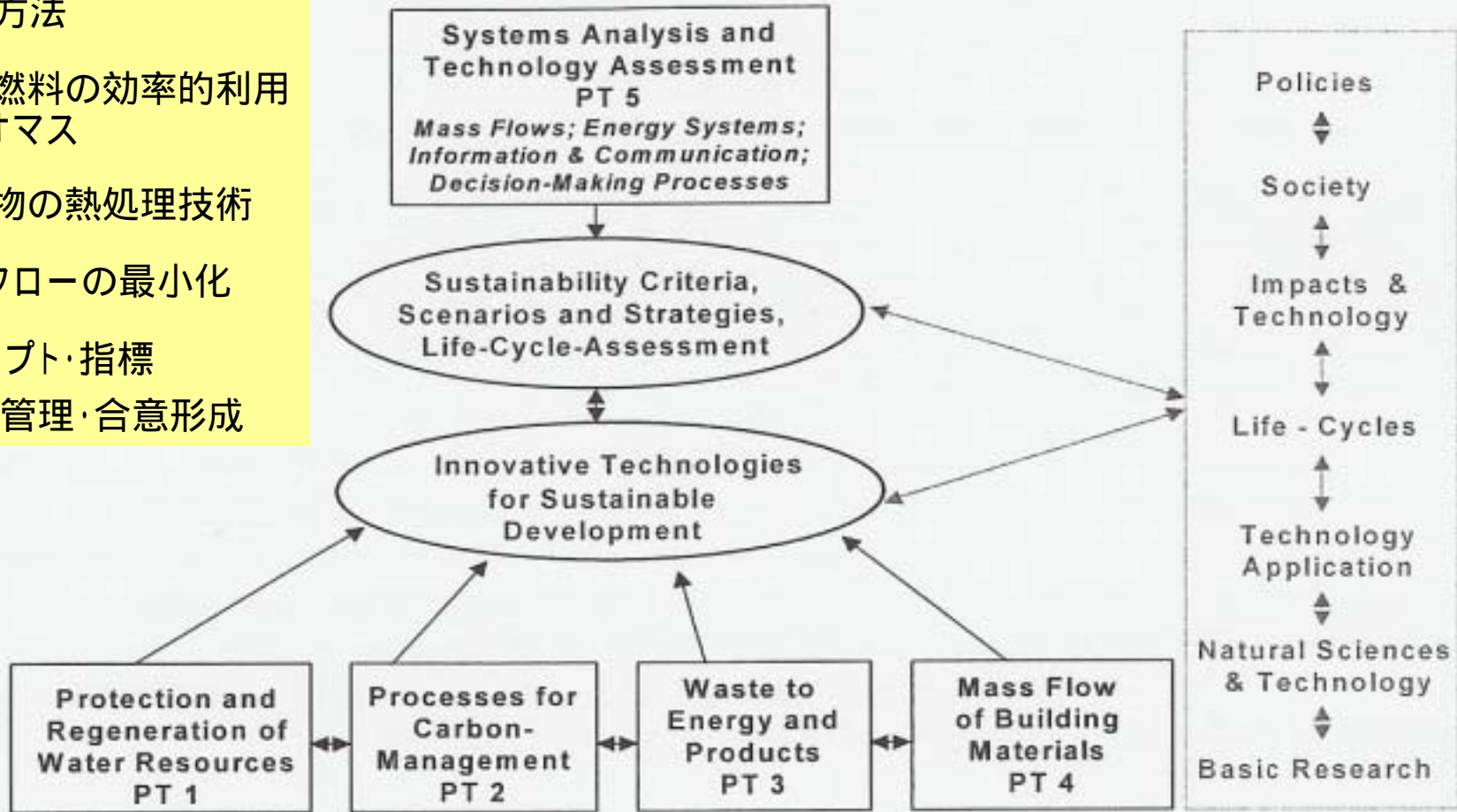


Fig. 3 Programme 6 Architecture

# PT4 Mass flows of building materials

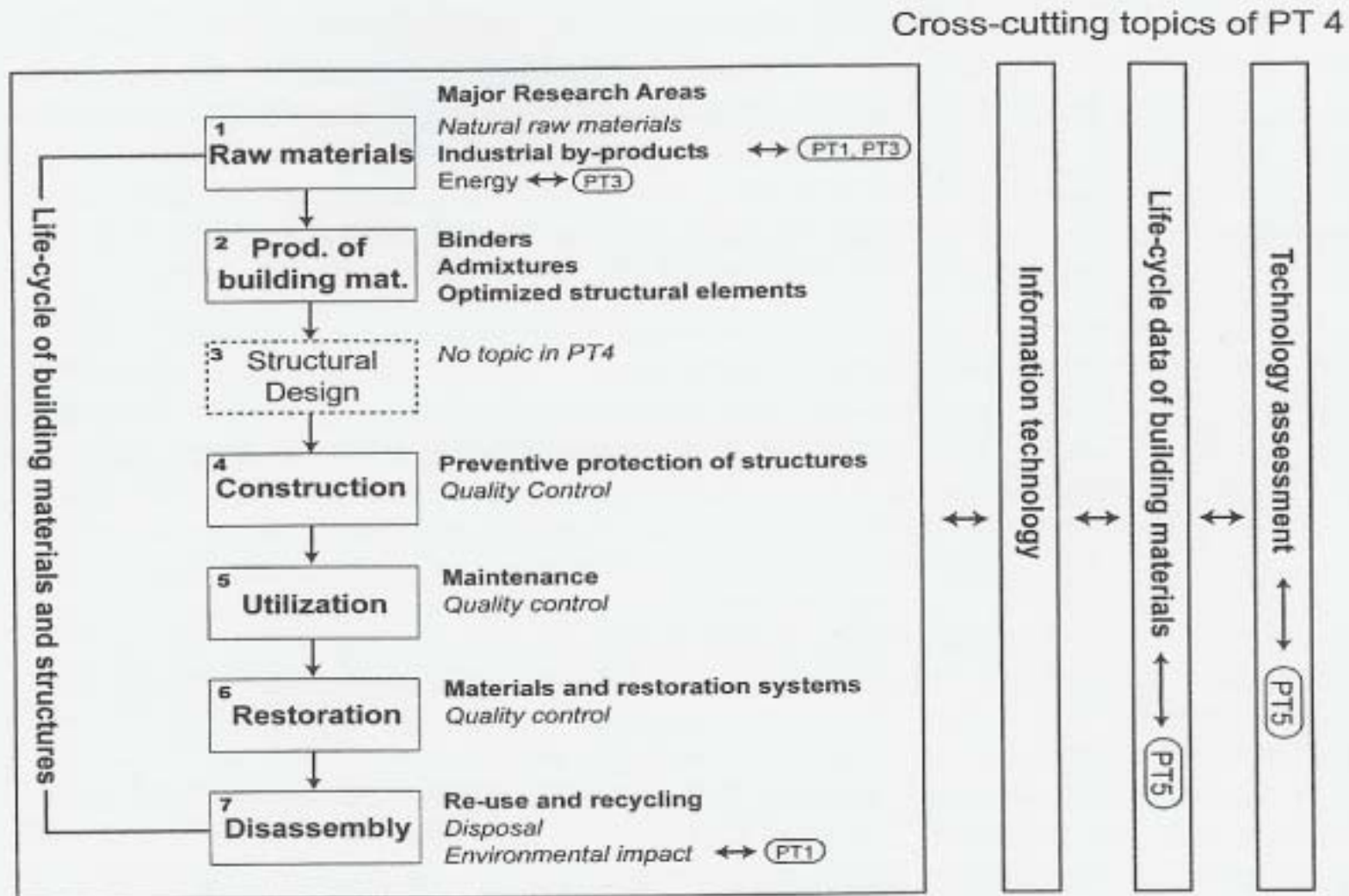


Fig. 13: Structure of PT 4 „Mass flows of Building Materials“. Primary Research Fields are printed in bold, secondary topics are printed in italics.

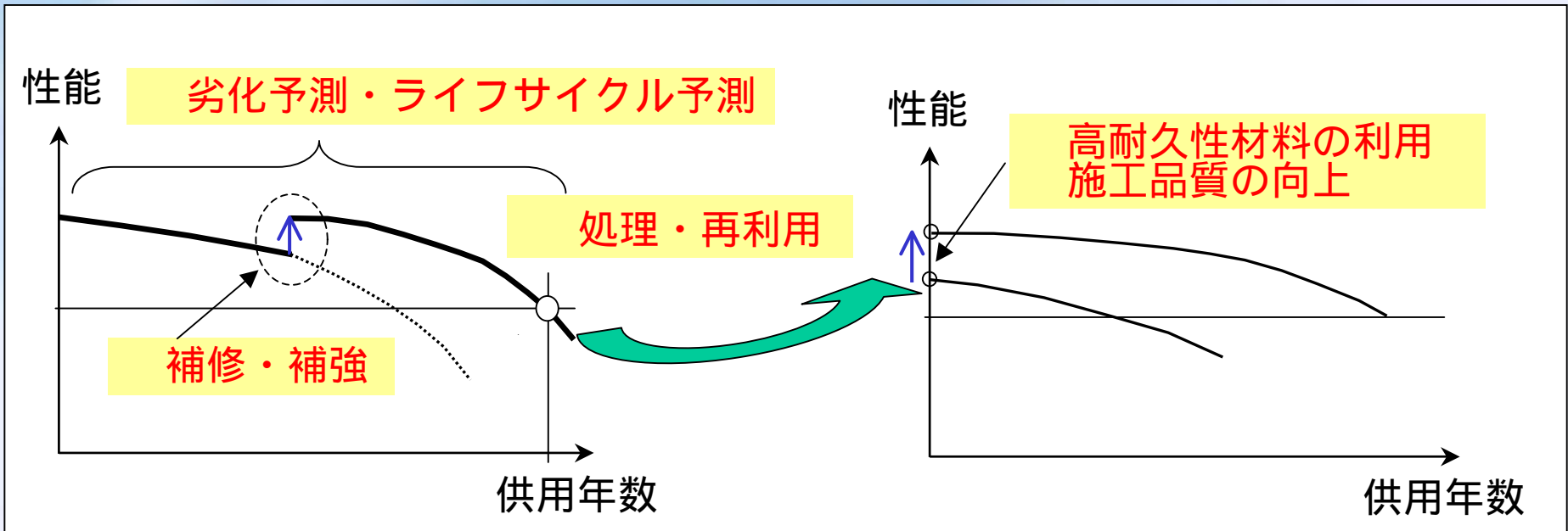
# 共同研究の概要






# 社会基盤施設管理システムグループの目標

構造物の延命化・長寿命化(高耐久材料の開発, 新材料の改良)に資する技術開発  
工業廃棄物の建設材料への再活用技術の開発  
社会資本の寿命予測; 合理的な構造デザイン, 建設, 維持システム構築



## 現在の研究テーマ

- : 凍結融解と疲労荷重を同時に受ける鉄筋コンクリート構造物の寿命予測
- : 微生物や温泉水を利用したコンクリートのリサイクルシステムの開発 



補修: カールスルーエ研究所・青島工科大学との共同研究  
補強 + 高耐久性材料: デルフト工科大学との共同研究

# 過酷環境下のコンクリート構造物の寿命予測と浸透性吸水防止材による延命化



カールスルーエ:

浸透性吸水防止材の撥水機能  
低下メカニズムの解明

青島工科大学:

ひび割れを有するコンクリートの  
凍結融解抵抗性と物質移動特性評価

北大:

浸透性吸水防止材の撥水効果  
に及ぼすひび割れの影響評価

水分移動解析

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial^2 (D_w \cdot \theta)}{\partial x^2} + \frac{\partial (D_w \cdot \theta)}{\partial y^2}$$

熱伝導解析

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + h$$

イオン移動解析

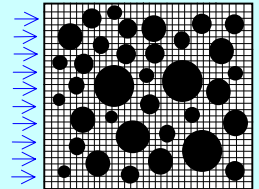
$$\frac{\partial ((1-\phi)C_{is})}{\partial t} + \frac{\partial (\theta C_i)}{\partial t} - \text{div}(J) = 0$$

化学反応解析

$$\frac{\partial R_i}{\partial t} = k_i R_i$$

内部損傷解析

$$f = Ku$$

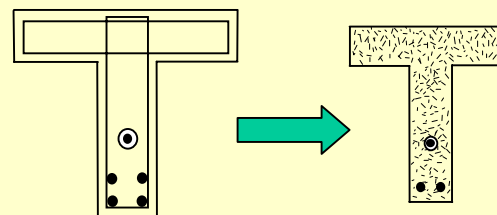


# 自己充填繊維補強コンクリートを用いた高耐久性部材の開発

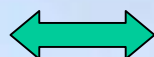
補強：上面増厚工法への利用



新設：PRC構造への利用



デルフト工科大学：  
SCFRCの疲労特性



カールスルーエ大学：  
SCFRCの凍結融解抵抗性

デルフト工科大学：  
鉄筋と併用したSCFRCの力学特性

デルフト・北大：  
繊維の方向性が部材の力学特性に及ぼす影響

北大：  
SCFRCにより上面増厚した部材の力学性能(疲労)  
と耐久性(凍結融解抵抗性)

# 今後の予定と展開

## 当面の予定

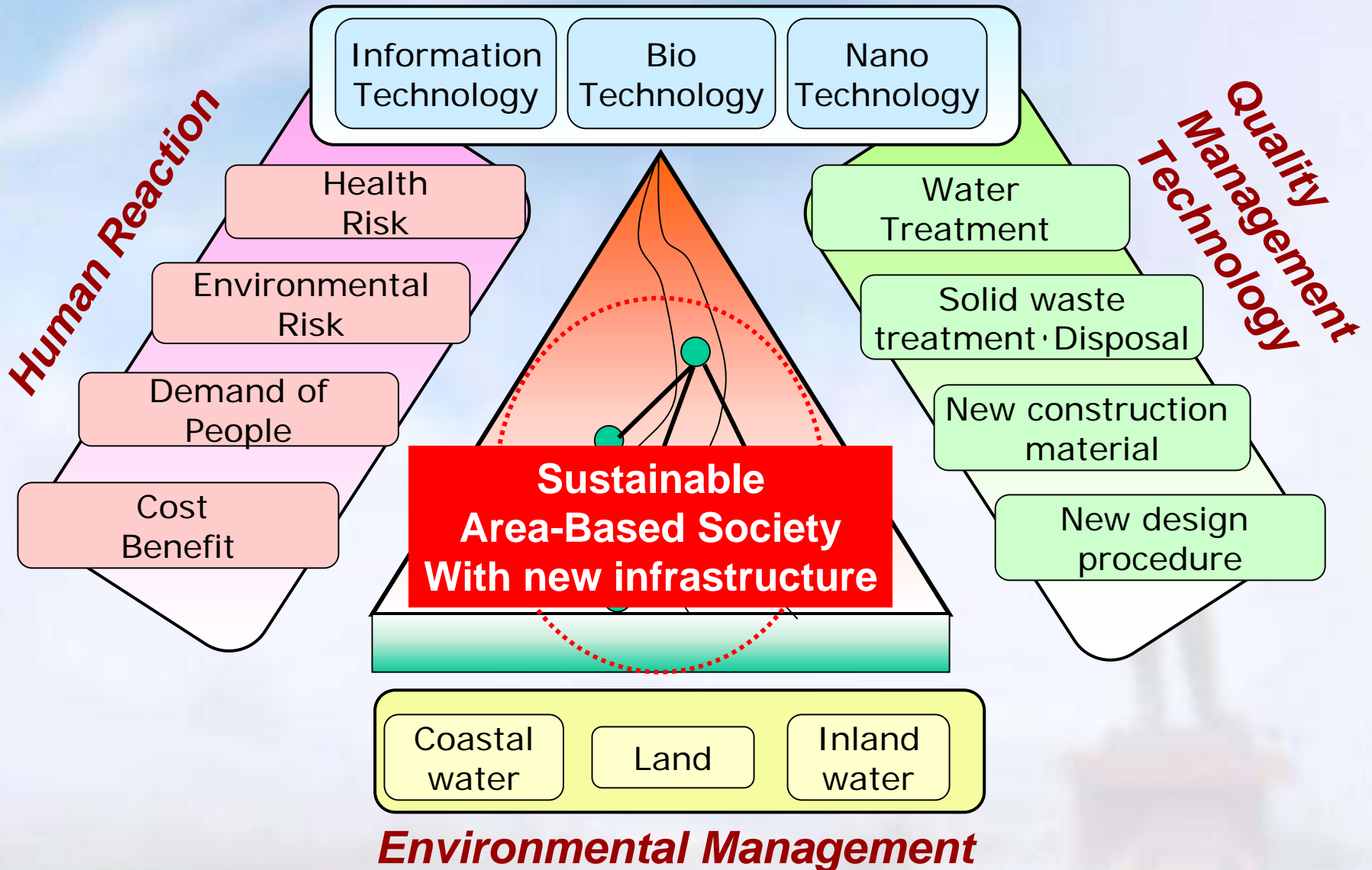
- ・ 2月上旬にProf.Gerdes (ITC-WGT)と研究打合せ
- ・ 2月下旬もしくは3月上旬に中国青島にてProf.Wittmannと共同研究及びワークショップ(10月末開催予定)に関する打合せ

## 今後の展開

- ・ 定期的な情報交換・成果報告会
- ・ 学生・研究員の短期交換
- ・ グループの枠を超えた組織間交流  
(共同研究の設置:外部組織との交流)

# System of New Socio-Environmental Engineering

## Leading Edge Technologies



# 表面被覆・表面改質によるコンクリート構造物の耐久性向上

表面被覆材      ペイント系表面被覆  
                         繊維シート

表面改質材      浸透性吸水防止材(シリコーン系, 非シリコーン系)  
                         その他の表面改質材

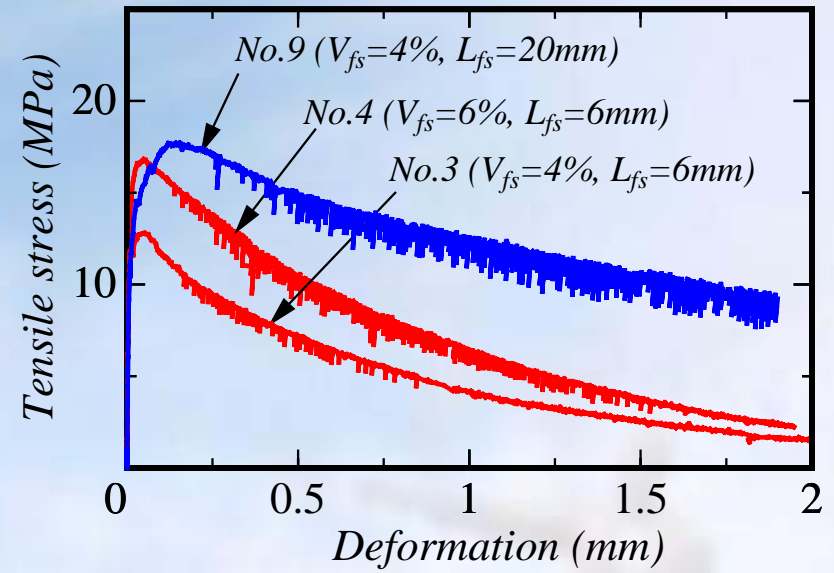


撥水機能: 10から15年

処理前・後のひび割れの影響



# 高耐久性材料を用いた長寿命化：自己充填繊維補強コンクリート (SCFRC)

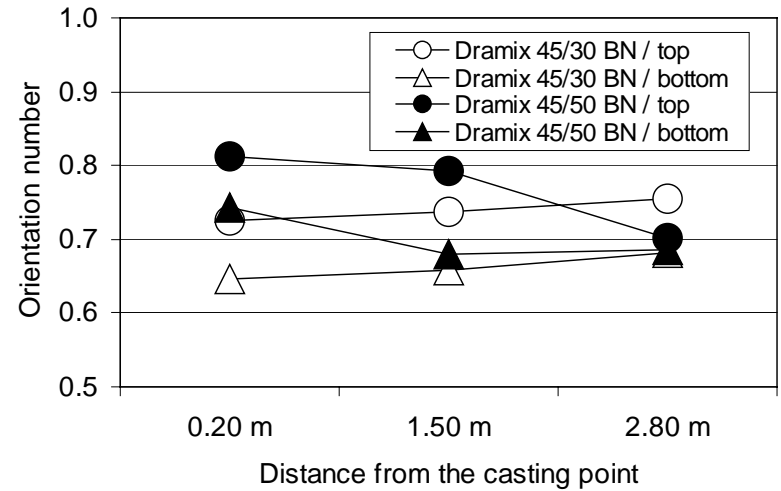
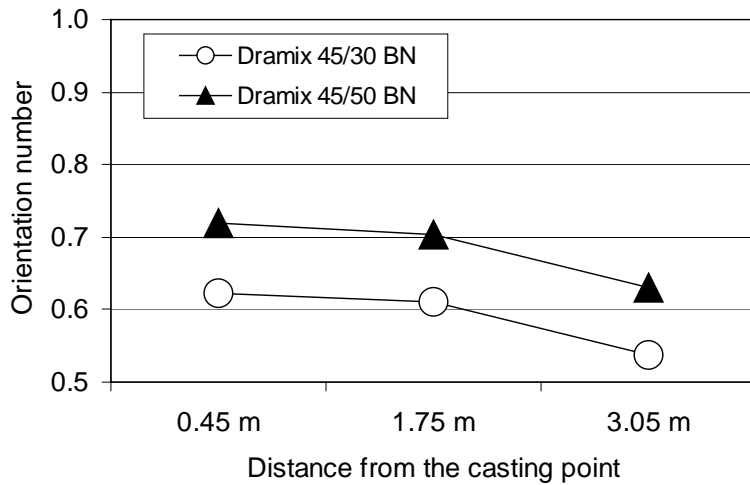
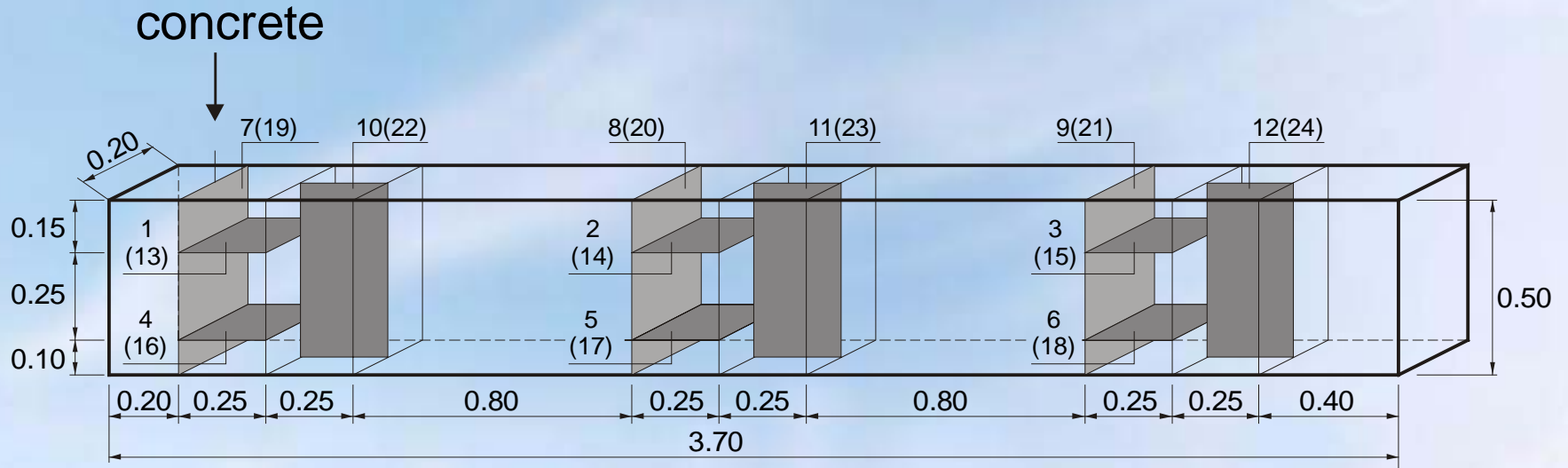


圧縮強度：150MPa以上  
引張強度：15MPa以上

纖維の方向性の影響

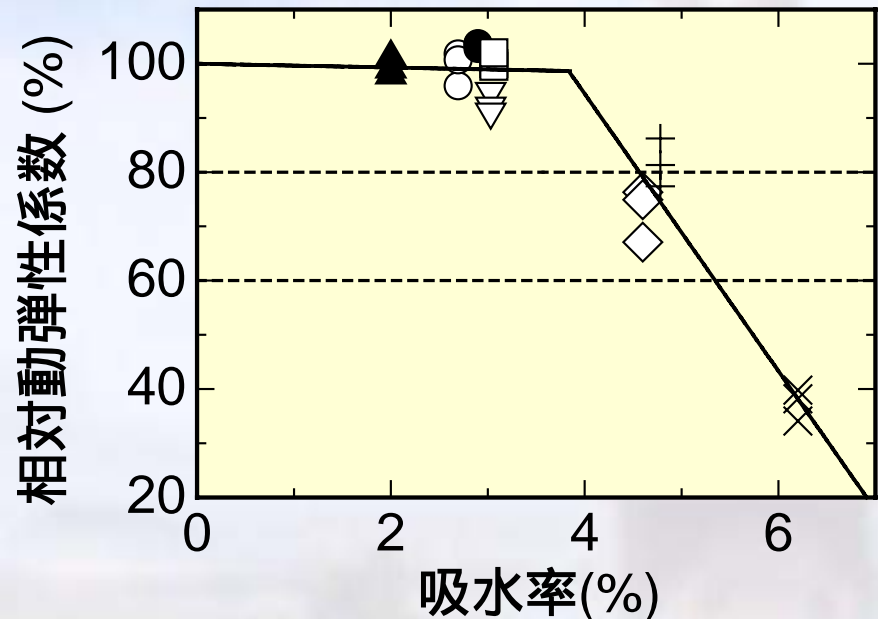
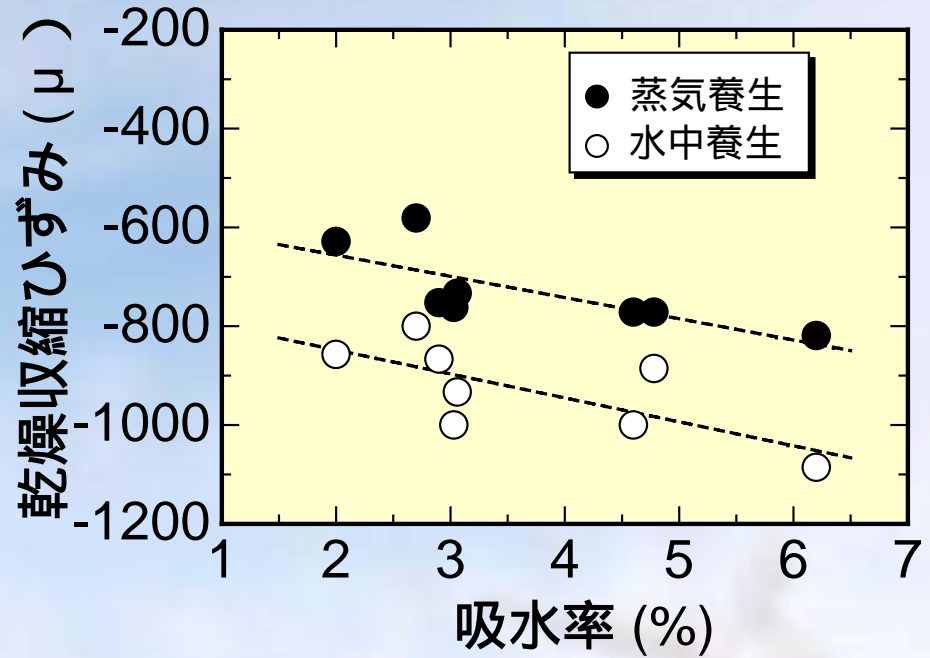
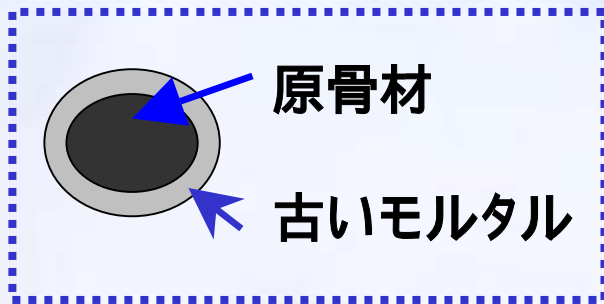
ひび割れ後の耐久性







# なぜ路盤材への適用に限定されるのか？



# 既存のシステムによる骨材製造

簡易	破砕(クラッシャー)	約7%
中位	複数回の破砕 + 洗浄	約5%
高位	加熱すりもみ法(熱風もしくはマイクロ波) 機械すりもみ法(回転式破砕機) 比重選別(水中での上下動)	3%以下 が可能

処理方法	吸水率	CO <sub>2</sub> kg-CO2	Nox g-NO2	Sox g-SO2
加熱すりもみ	1.29	39.06	28.32	16.04
	1.94			
機械すりもみ	2.73	6.87	4.48	5.79
	-			
比重選別	2.28	2.14	1.77	1.50
	6.54			
4回破砕	4.98	2.17	1.77	1.53
	9.75			

簡易な処理:  
耐久性(品質)に問題

高度な処理:  
環境負荷が大きい

# 酸によるコンクリートの劣化

= **温泉**による劣化



= **硫黄酸化細菌**による劣化

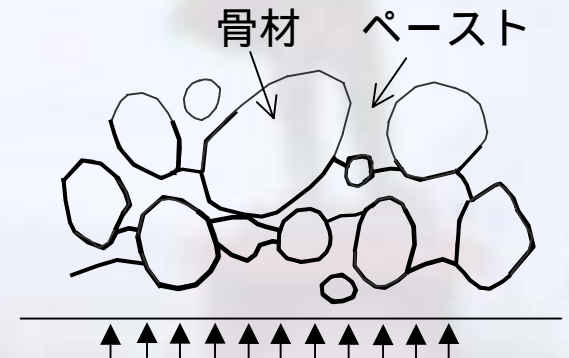
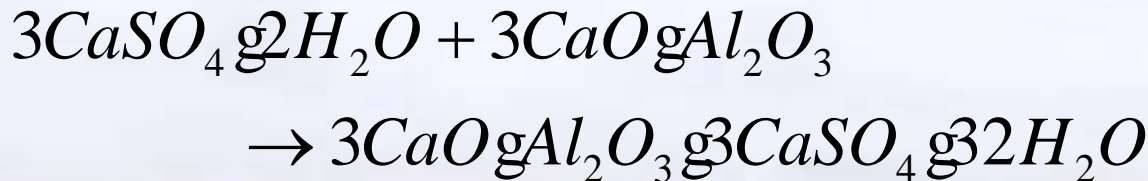


## ・カルシウムの解離・溶脱

水酸化カルシウム(CH), 珪酸カルシウム水和物(C-S-H)

## ・マトリクスの強度低下

## ・二水石膏やエトリンガイトによる膨張圧の発生



# 新しいコンクリートリサイクルシステム



# 硫黄泉と硫黄酸化細菌の利用

硫黄泉：登別温泉

微生物：硫黄酸化細菌 (*Thiobacillus thiooxidans*)

20mm程度のコンクリート塊

