



# サステナビリティ時代において 素材の力をどう引き出すか

— 建築家の材料選択と建材メーカーの材料開発 —

野口貴文

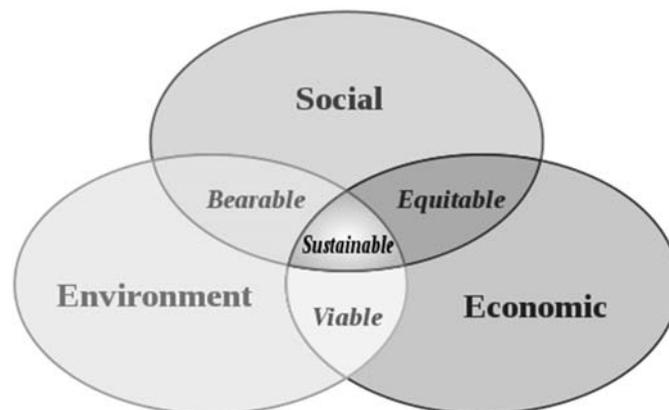
東京大学 大学院工学系研究科 建築学専攻



## 概要

- 昨今、カタログから建材を選択する時代から、新素材を自ら発掘したり、旧来素材に新しい息吹を吹き込んだりと、従来とは異なる素材の使い方を模索する時代に変化しつつある。建築家・建材メーカーの素材利用・素材開発の動向を紹介するとともに、サステナビリティ時代における建材選択・建材開発のあり方について紹介する。

# サステナビリティとは



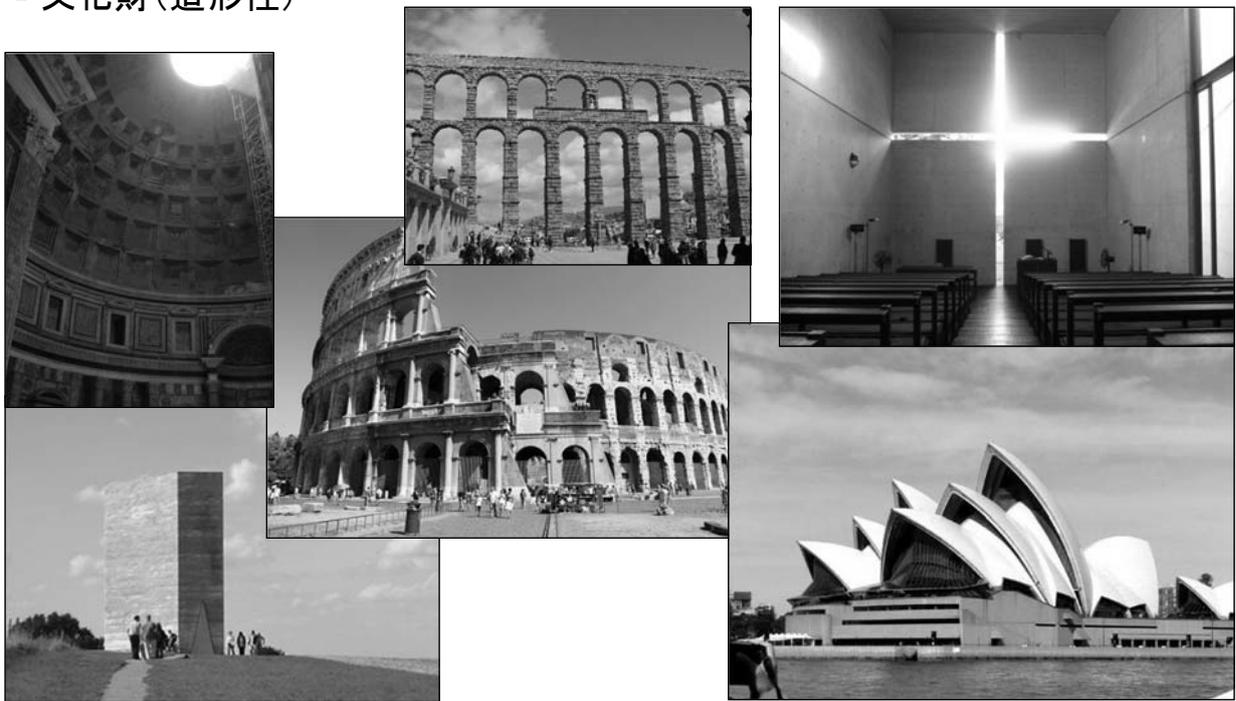
## 社会面

- 安全・安心な社会の構築
  - 自然災害(地震、津波等)からの防御
- 快適な生活空間の提供
  - 自然環境(高低温、雨、雪、風)からの保護
- 雇用創出(経済面)



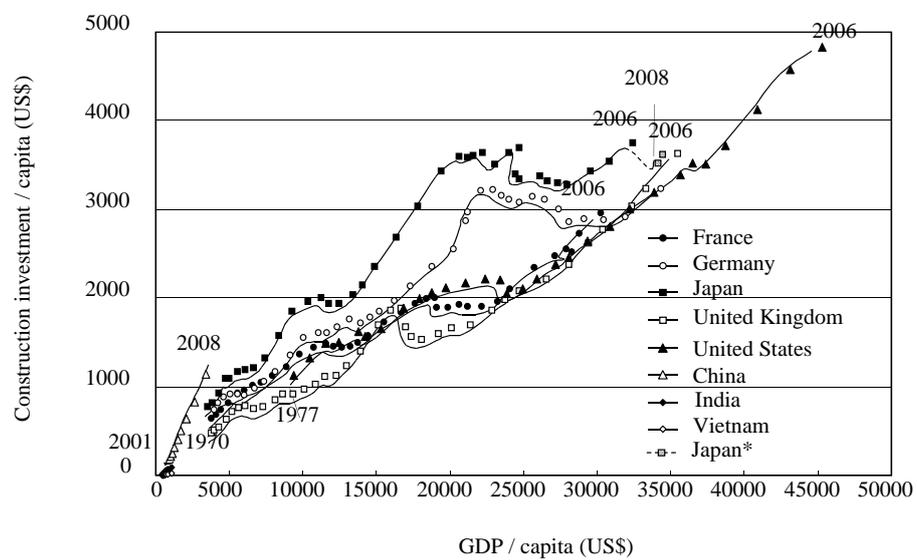
# 社会面

## ■ 文化財(造形性)



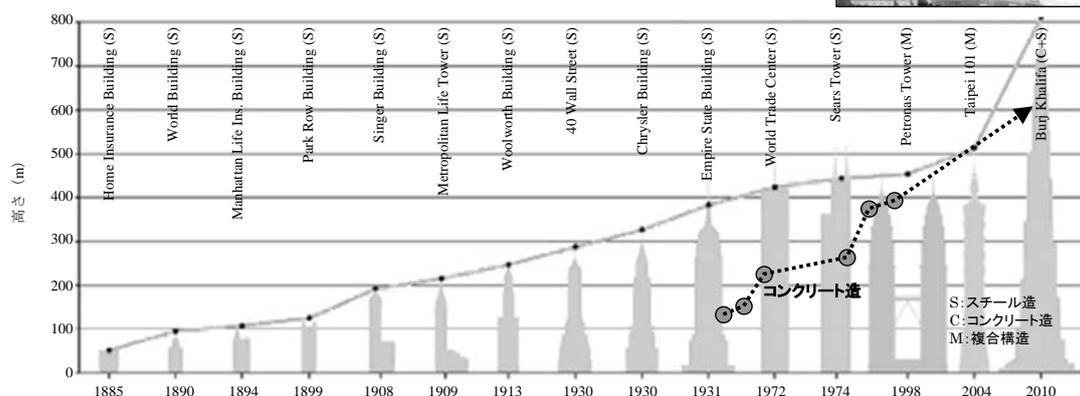
# 経済面

## ■ 経済成長とコンクリート生産



# 経済面

- 都市化(高層化、不燃化)



# 環境面

## ◆地球環境問題

- ◆地球温暖化
- ◆オゾン層破壊
- ◆生態系破壊
- ◆資源消費
- ◆酸性雨

## ◆地域環境問題

- ◆地域環境公害
- ◆近隣環境公害
- ◆廃棄物処理問題
- ◆都市気象現象問題
- ◆近隣環境悪化

## ◆室内環境問題

- ◆室内環境衛生
- ◆室内環境調和
- ◆室内視環境
- ◆室内音環境
- ◆福祉住環境



## 素材を使いこなす

- 素材
  - 建築物を構成している物質の最小単位
- 材料研究者・材料技術者の視点
  - 属性・特性の理解・熟知



## 旧来の素材と建築

- 木・コンクリート・鋼(主要な構造材料)
  - 旧来の素材に新しい息吹
  - 新工法・新構法
  - 従来とは異なる方法での利用
  - 従来とは異なる部位への適用

# 木材

- 天然素材
- 防火性に劣る
  - 防火地域：耐火建築物
  - 耐火建築物外壁への木材設置
  - 建築基準法上の規制がある訳ではない（従来は回避）
  - 不燃処理木材によるファイアーストップ



# コンクリート

- 造形性に富む
  - 型枠に流し込んで固めればどのような形状の建築物でも構築可能
  - ケヤキを模した不規則なネットワーク状の樹状構造
  - コンピュータによる複雑な構造シミュレーション



# 鋼材

- 腐食(酸化鉄)
- 耐候性鋼(適量のCu, Cr, Ni)
  - 緻密なアモルファス層である赤錆の形成
  - 鋼材の保護
  - コントラスト: 赤錆、周囲の緑、青い空



# 新しい素材と建築

- 未利用の素材
- 新素材
- ローカル素材
  - 建築材料としての可能性追求
  - 新工法・新構法
  - 一般的ではない用途の建築物の建築材料
  - 仮設建築物の建築材料

# 紙管

- 廃棄物原料
- 防水性付与
  - 難民キャンプのためのシェルター
  - 仮設住宅
  - 建築基準法第38条の評定取得



# 木材



## 木質材料＝細分化した エレメントを再構成

- エレメントが小さい  
＝原料の選択の幅が広い
- 再構成されている  
＝性能のバラツキが小さい
- 性能付与が可能  
≠腐る、燃える、狂う

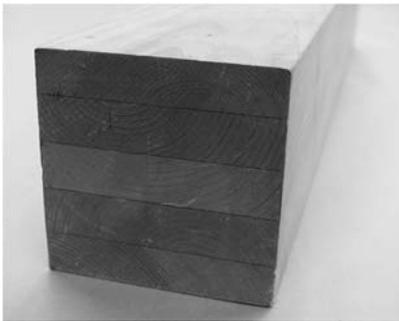
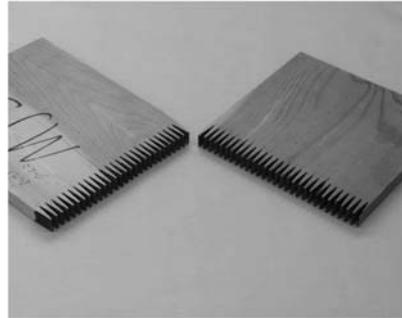
→資源の有効利用, 性能の信頼性向上

## 木質材料の 一般的な製造方法

- 原料のエレメント化
  - エレメントの乾燥
  - 接着剤添加
  - エレメントの堆積
  - 圧縮
  - 養生→所定寸法に鋸断・研削

# 集成材

- ラミナ(挽き板)を幅はぎ、たて継ぎ



# 単板:ベニア

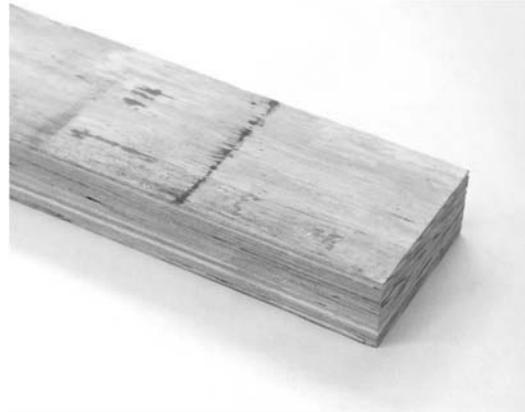
木材を薄くカツラ剥きにしたもの



## LVL: 単板積層材

単板の繊維方向を軸方向と平行に積層接着したもの

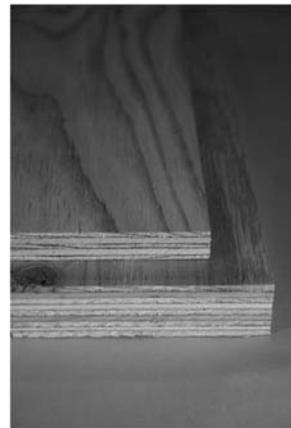
- 強度が高い
- 寸法の自由度が
- 高い
- 生産性が高い



## 合板: プライウッド

単板の繊維方向を直交させて積層接着したもの

- 異方性が小さい
- 強度が高い
- 寸法安定性が高い



## パーティクル：木材の小片

表層用：細かい＝平滑性



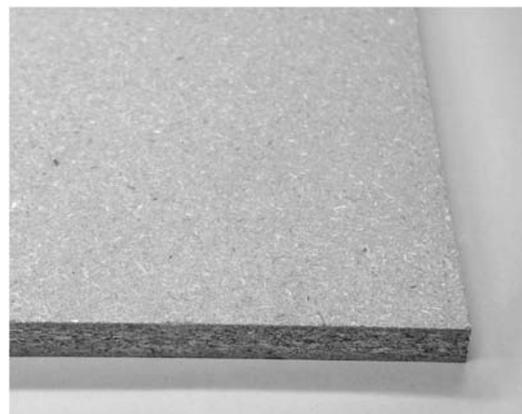
心層用：大きい＝強度



## パーティクルボード

木材の小片を熱圧成型したもの

- 原料の選択性が極めて高い
- 強度・寸法安定性は低い



# MDF

25

20130222 建材情報交流会、大阪

## ミディアムデンシティファイバーボード

- 木材繊維に接着剤を添加して熱圧成型
- 表面が平滑、加工性高い
- 剛性は低い



# OSB: オリエンテッドストランドボード

26

20130222 建材情報交流会、大阪

- オリエンテッド=配向した
- 強度が合板に近い
- 原料の選択性が広い
- 寸法安定性は低い



## ファイバーボード：繊維板

木材の繊維を熱圧成型したもの

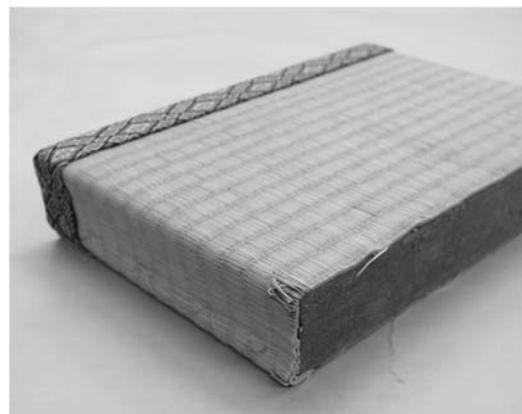
- インシュレーションボード
- MDF
- ハードボード

	乾式法	湿式法
0.35未満	インシュレーションボード	
0.35以上	MDF	
0.8以上		ハードボード

## インシュレーションボード

ファイバーマットを脱水・乾燥

- 畳床
- 断熱材
- 外壁下地材



## ハードボード

ファイバーマットを熱圧成型

- 加工性高い
- 成型品
- 梱包材



## PSL: パラレルストランドランバー

単板を小幅に切断したもの

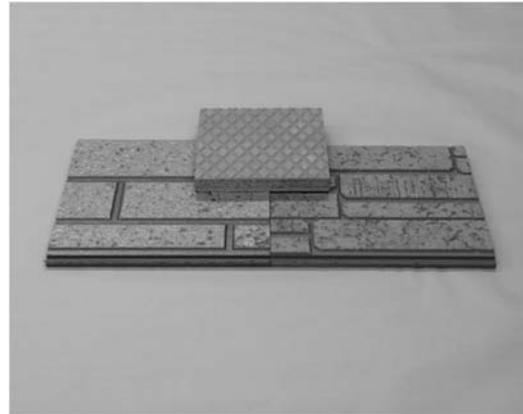
- 強度が高い
- 寸法の自由度が高い
- 生産性が高い



## 木質セメント板

木質エレメントをセメントで結合

- 防火性能が高い
- 耐候性が高い
- 原料樹種による硬化阻害



## 木質断熱複合パネル フォームコアパネル

- スキン材
  - OSB、合板
- コア材
  - ポリスチレン、ポリウレタン
- 強度性能・断熱性能が高い

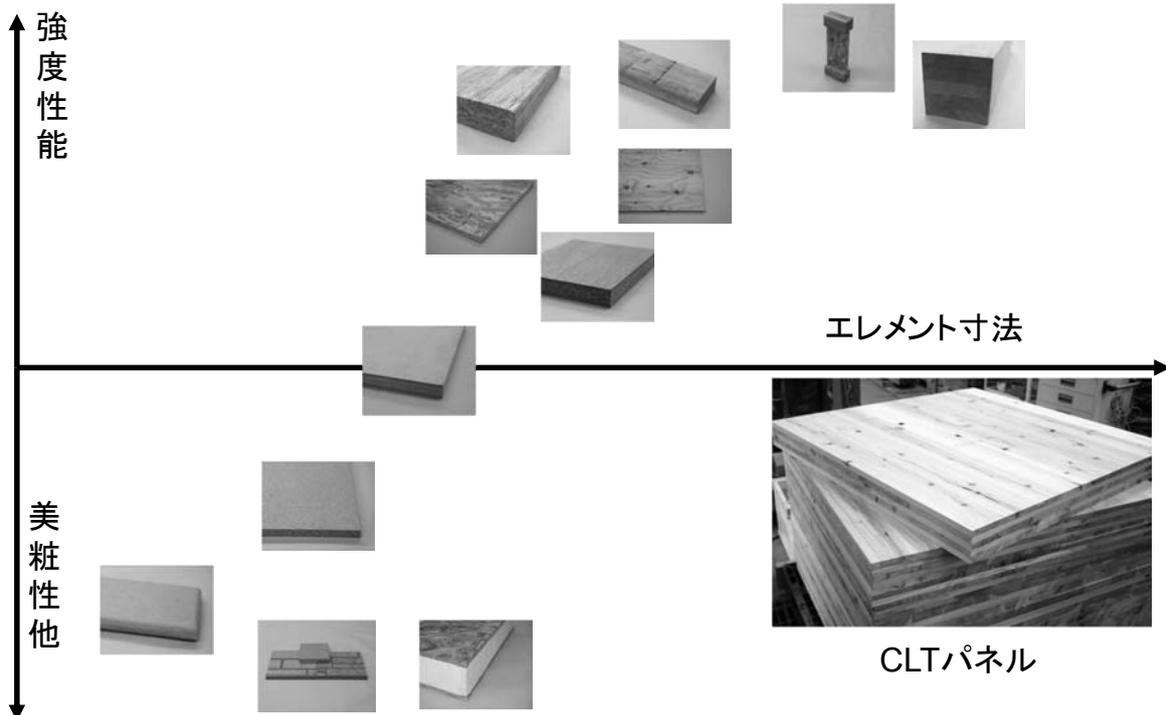


# 木質接着複合パネル ストレス・スキンパネル

- 面外曲げ応力をスキン材(面材)も負担  
= 剛性・耐力が高い



# エレメント寸法と性能



# 木材利用の今後の戦略

- 木材の欠点
  - 腐る、燃える、狂う
- 見方を変えれば
  - 生分解性、エネルギー利用、易加工性



# コンクリート

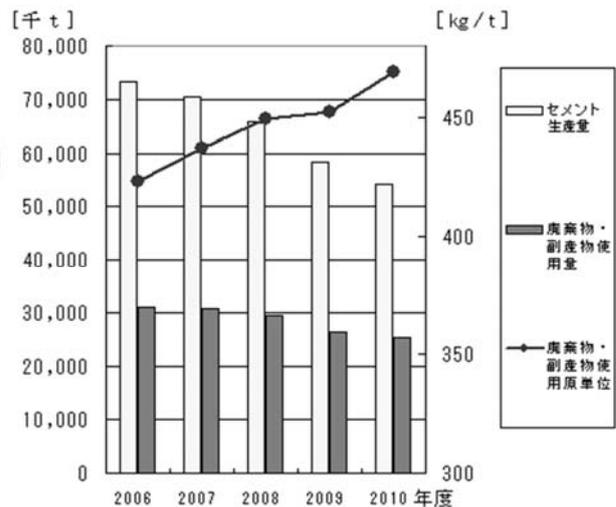
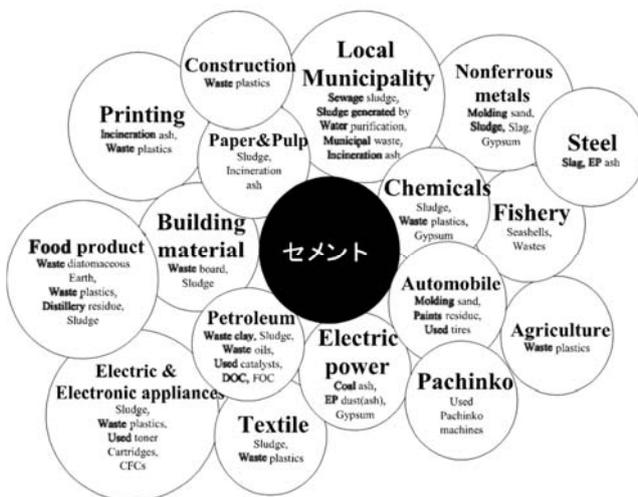


# コンクリートに関わる環境問題と対応技術

- 資源循環問題
  - 資源枯渇
  - 最終処分場不足
  - 廃棄物・副産物の活用
  - リサイクル
- 地球温暖化問題
  - CO<sub>2</sub>排出
  - コンクリート量削減、セメントクリンカー量削減
  - 暖冷房エネルギーの削減
  - CO<sub>2</sub>の吸収
- ヒートアイランド問題

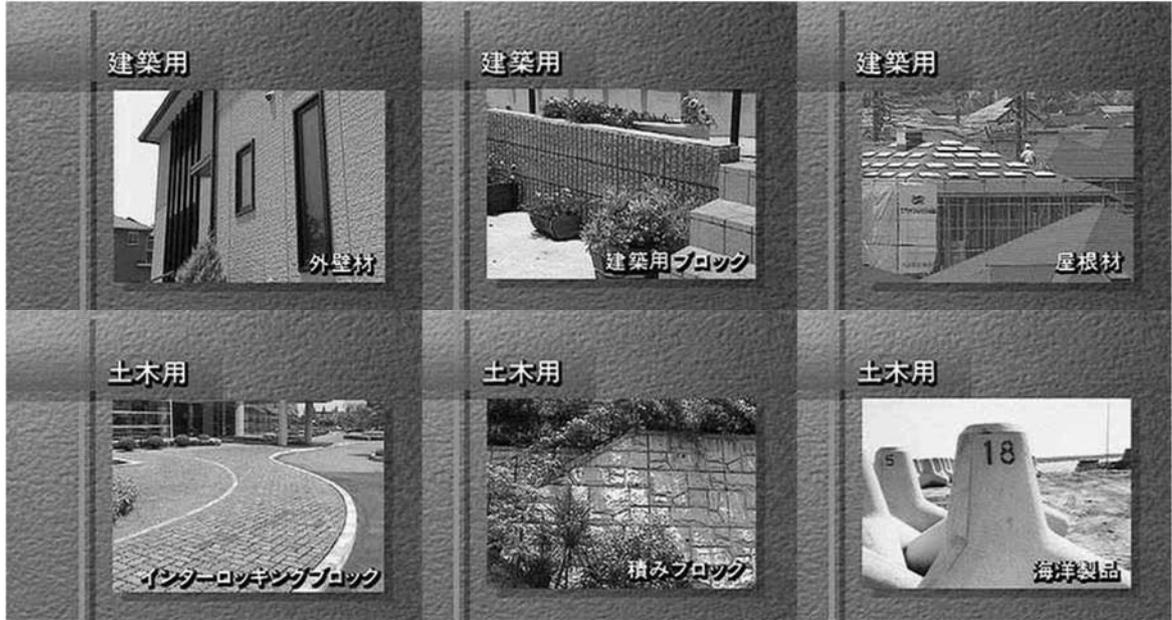
# 資源循環問題への対応技術

- セメント生産における廃棄物・副産物の利用



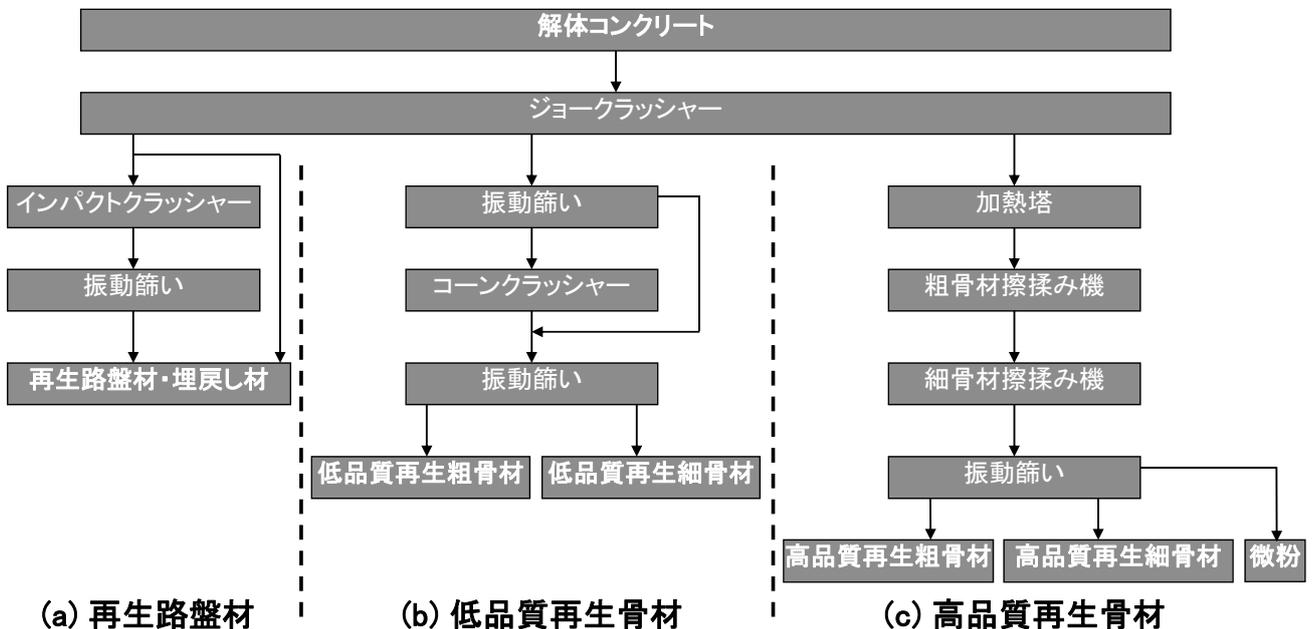
# 資源循環問題への対応技術

## ■ エコセメント



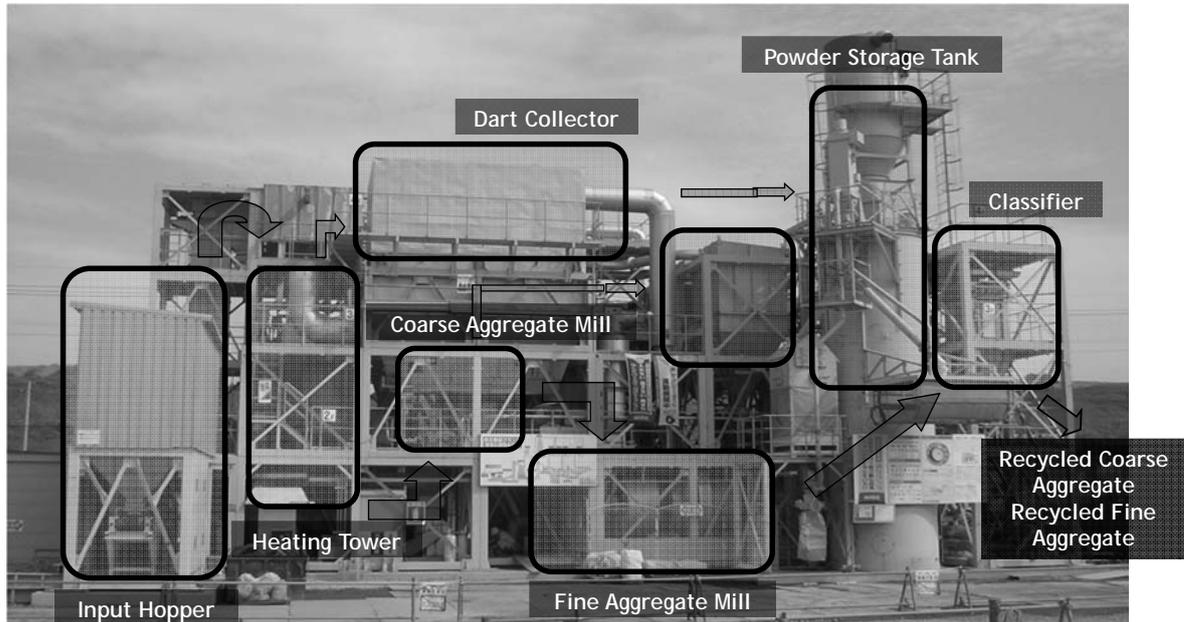
# 資源循環問題への対応技術

## ■ 解体コンクリートのリサイクル



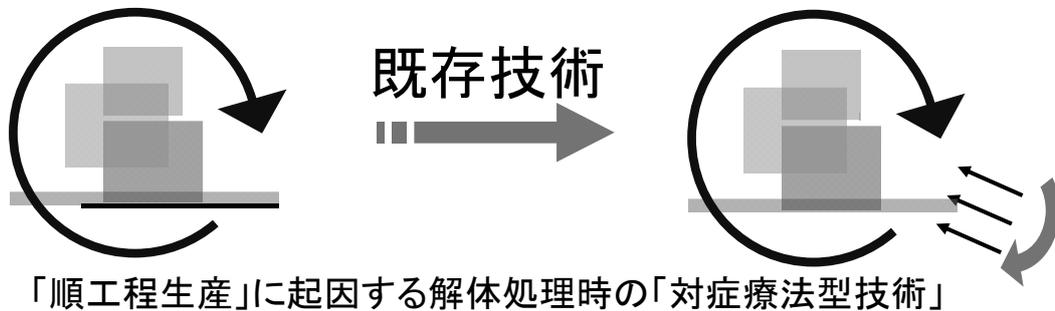
# 資源循環問題への対応技術

- 構造用コンクリートへのリサイクル(加熱すりもみ法)



# 資源循環問題への対応技術

- コンクリートの完全リサイクル化



「逆工程生産」を予め考慮した「未然防止型技術」の導入

# 資源循環問題への対応技術

## ■ 完全リサイクルコンクリート(セメント回収型)

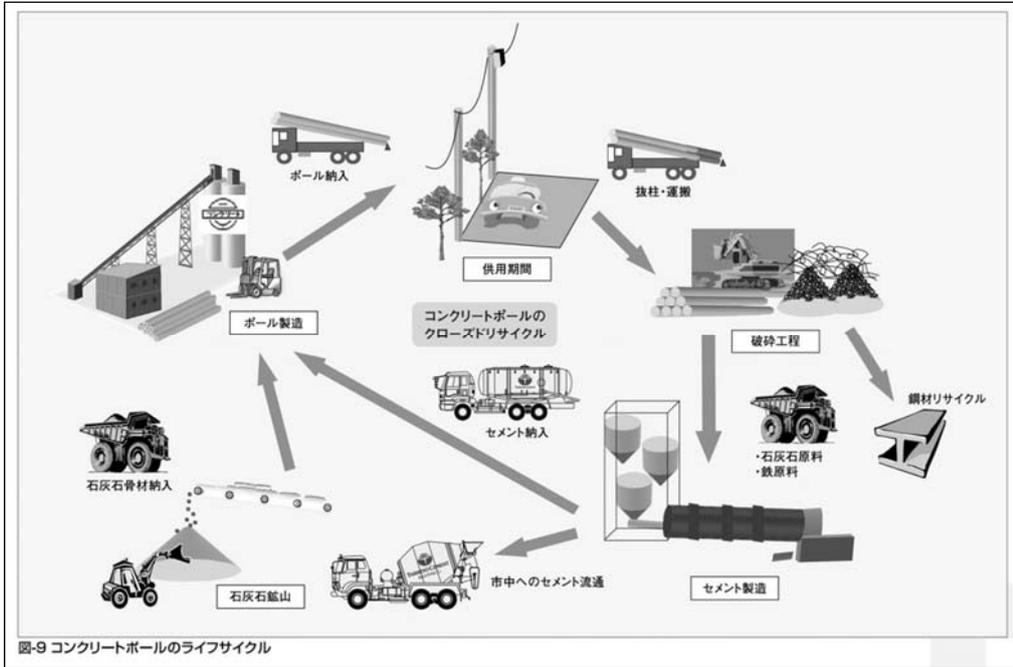


図-9 コンクリートボールのライフサイクル



# 資源循環問題への対応技術

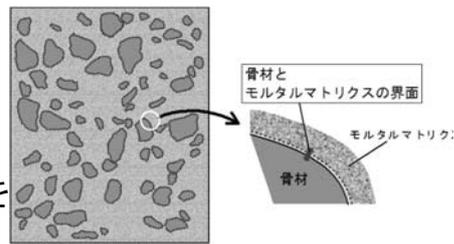
## ■ 完全リサイクルコンクリート(骨材回収型)

### ① コンクリートの高性能化技術

骨材への表面改質処理技術による性能向上

⇒ 骨材とモルタルマトリクスの付着力を

骨材回収率は低下するだろう...



<供用時のコンクリート>

### ① コンクリートの高性能化技術(供用時)

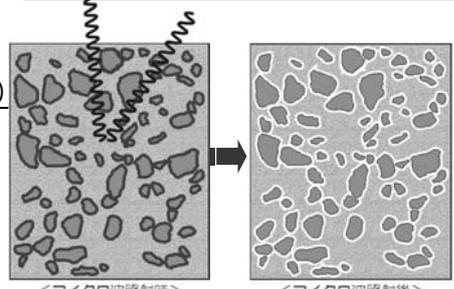
### ② 骨材リサイクル技術

骨材表面部を脆弱化(解体回収時)

⇒ 骨材回収率を高めることが可能

⇒ 骨材表面のみを部分的に加熱

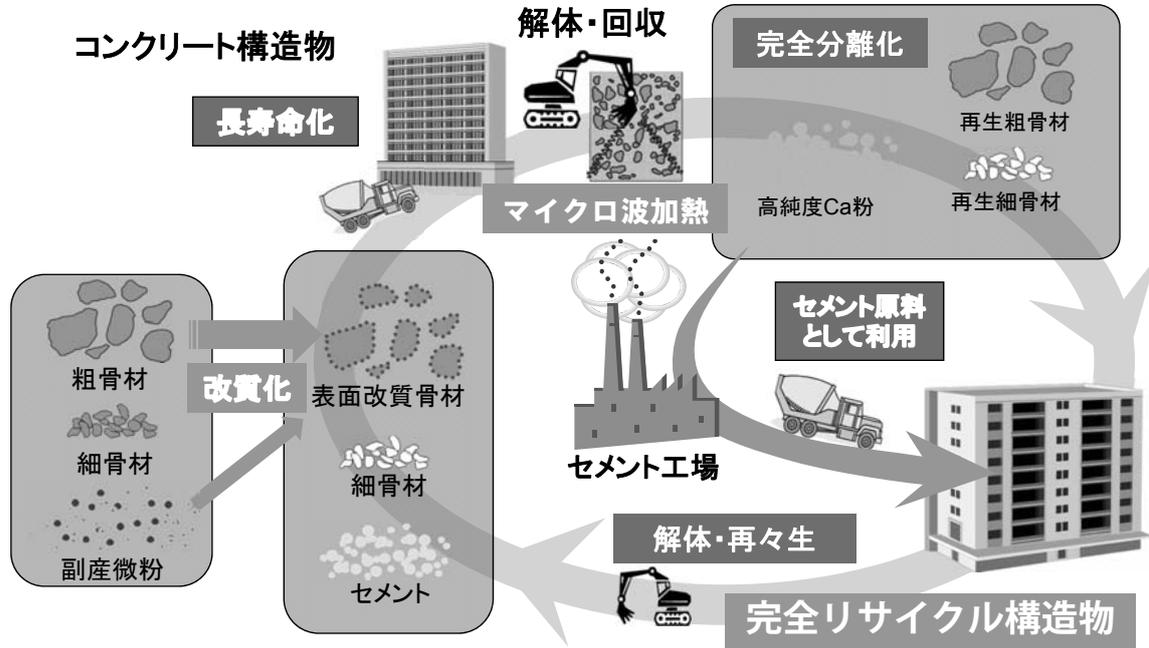
選択的加熱が可能な  
マイクロ波加熱技術の利用



### ② 骨材リサイクル技術(解体回収時)

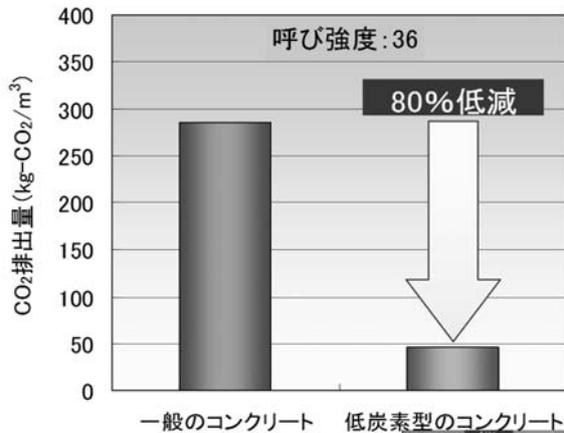
# 資源循環問題への対応技術

## ■ コンクリート構造物の完全資源循環



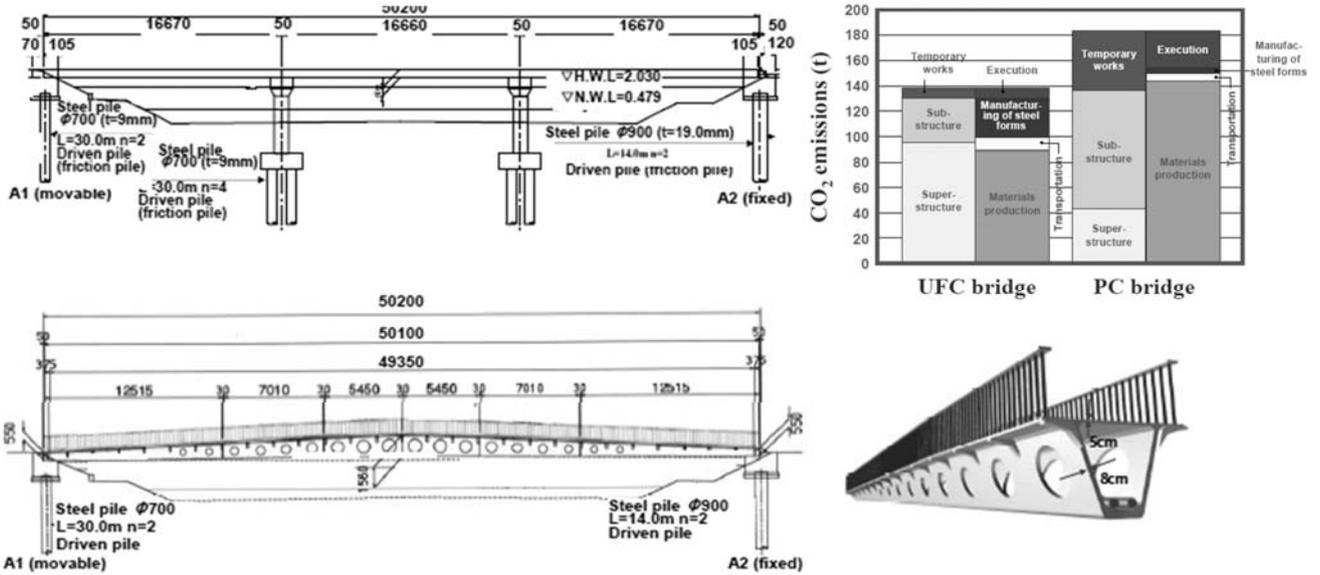
# 地球温暖化問題への対応技術

## ■ CO<sub>2</sub>排出量を80%カットしたセメント



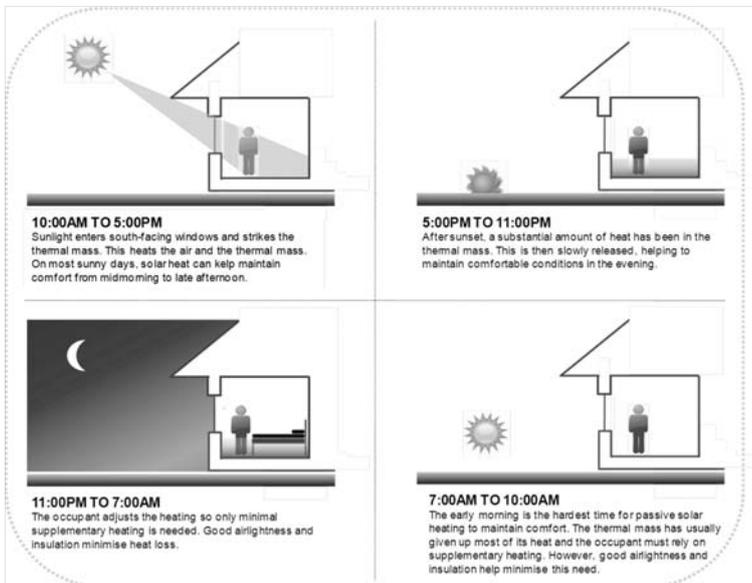
# 地球温暖化問題への対応技術

## ■ 超高強度コンクリートの利用によるコンクリート量の削減

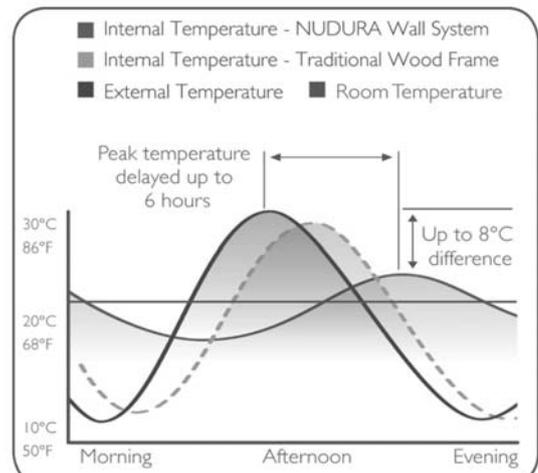


# 地球温暖化問題への対応技術

## ■ コンクリートの熱容量の有効利用



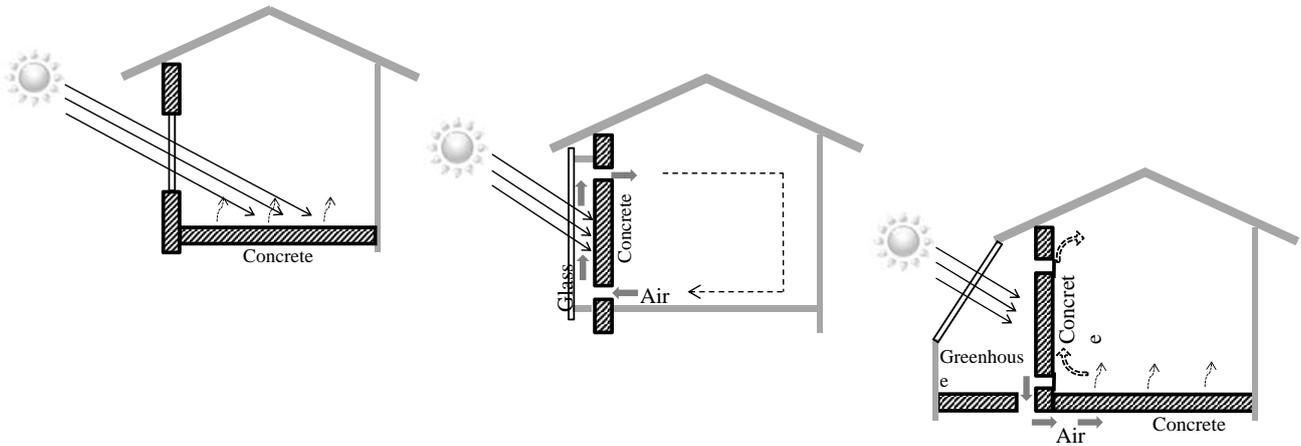
Stabilizing effect of thermal mass on internal temperature.



Based on no additional mechanical heating or cooling.

# 地球温暖化問題への対応技術

## ■ パッシブソーラーシステムとしての活用



(a) 直接集熱型

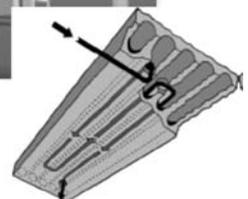
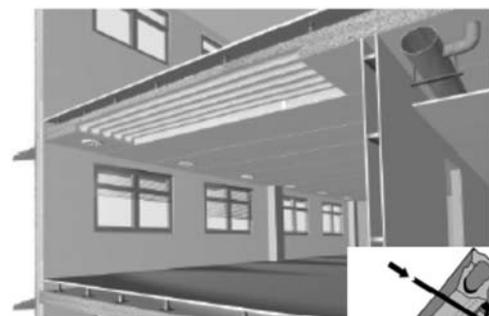
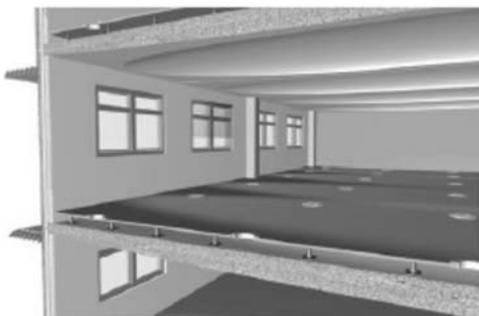
(b) トロンブウォール型

(c) 温室付設型

# 地球温暖化問題への対応技術

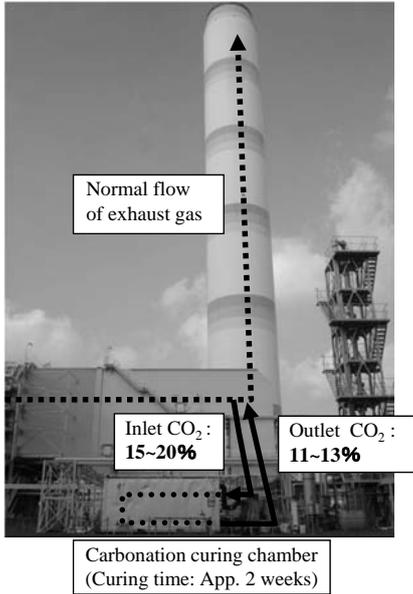
## ■ パッシブクーラーシステムとしての活用

- ボイドスラブと強制換気
- ワッフルスラブと強制換気
- 冷却効率:  $40\text{W}/\text{m}^2$
- 冷却効率:  $25\sim 35\text{W}/\text{m}^2$

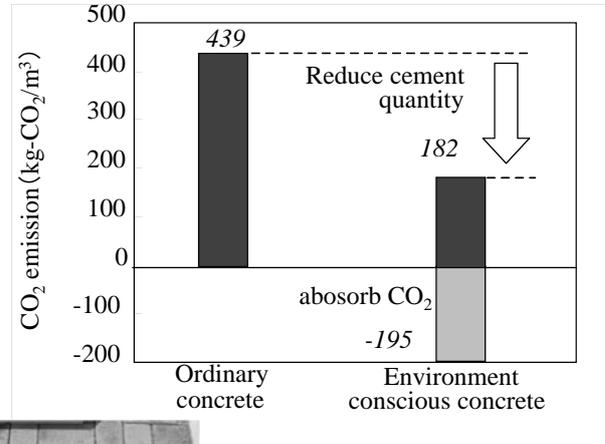


# 地球温暖化問題(CO<sub>2</sub>排出)

## CO<sub>2</sub> absorption method



## CO<sub>2</sub> emissions



Paving block

# 鋼材



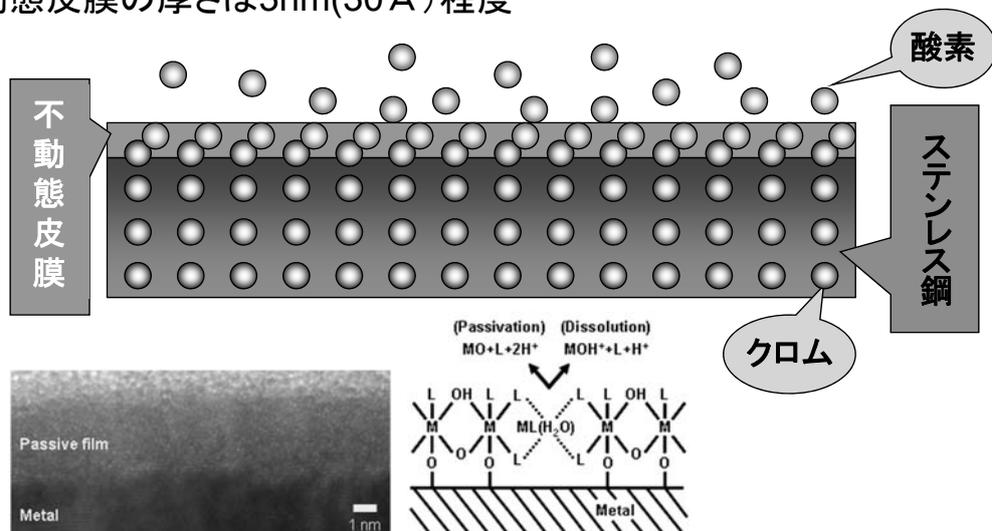
## ステンレス鋼とは

- JIS規格
  - 耐食性を向上させる目的で、CrまたはCrとNiを含有させた合金鋼
  - 一般にはCr含有量が10.5%以上の鋼
  
- Crの影響
  - Cr含有量が10%程度から不動態領域が広がり、日常生活の大気環境、水溶液環境の電位において不動態皮膜が安定となる。

## ステンレス鋼は何故錆びにくいのか

ステンレス鋼に含有されているクロム(Cr)が鉄(Fe)より先に酸素と結びつき自己再生可能な薄い保護酸化皮膜(不動態皮膜: passive film)を形成し、耐食性が発現する。

※ 不動態皮膜の厚さは3nm(30 Å)程度



## 海浜建築物用SUS(30Cr-2Mo鋼)の適用



関西新空港ターミナルビル屋根材に採用、1993年、1000ton、ダル仕上げ

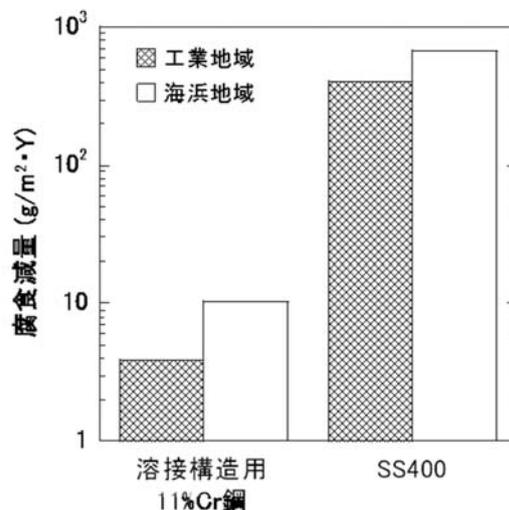
## 海浜建築物用SUS(20Cr-18Ni-6Mo-0.2N鋼)の適用



東京国際空港(羽田空港)D滑走路ジャケット式棧橋部のライニング材

# 低合金化 建築構造用11%Cr鋼の寿命予測

- 11%Cr鋼の腐食減量は炭素鋼 (SS400) の約1/76
- 4.5mm厚のSS400の寿命  
約19年
- 11%Cr鋼の寿命  
約1400年  
(腐食減量からの予測)



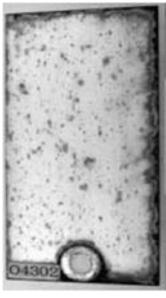
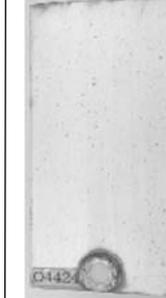
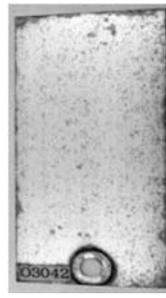
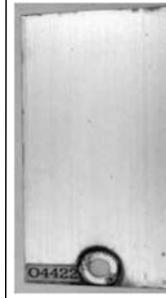
溶接構造用11%Cr鋼とSS400の暴露試験結果

# 鉄筋用SUS 11%Cr鉄筋の適用

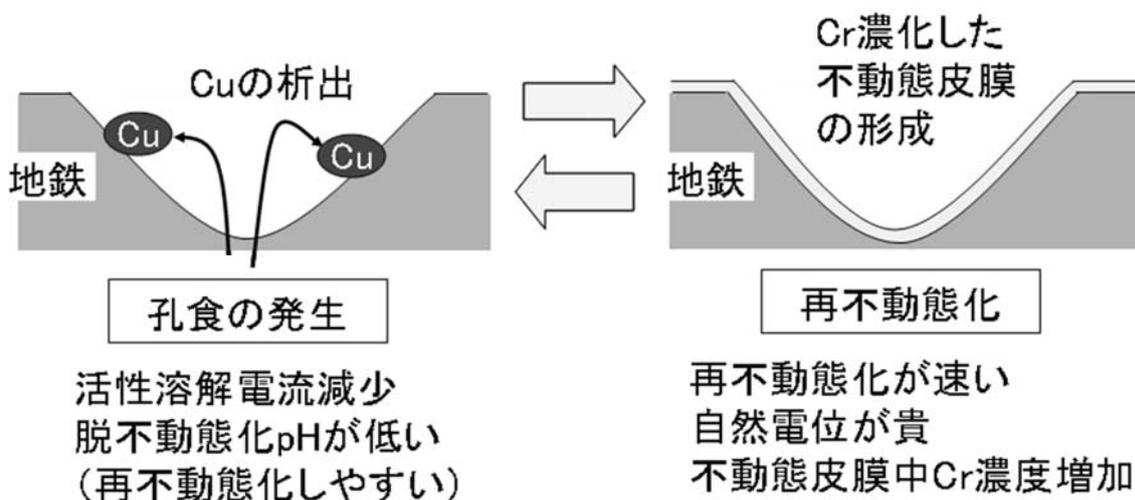


塩害環境におけるコンクリート構造物に採用されたステンレス鉄筋SUS410SD

# 省資源SUS(21Cr-0.4Cu鋼)の開発

	SUS430 16%Cr	SUS304 18%Cr-8%Ni	21%Cr- 0.4%Cu鋼		SUS430 16%Cr	SUS304 18%Cr-8%Ni	21%Cr- 0.4%Cu鋼
6ヶ月				24ヶ月			
14ヶ月				<p>沖縄海浜地域暴露試験結果</p> <p><b>SUS443J1 (21%Cr-0.4%Cu鋼)は SUS304以上の耐候性を示す。</b></p>			

# 省資源SUSのメカニズム Cuによる耐食性向上機構



## 高Cr-Cu添加鋼における耐食性向上機構

微小な孔食の発生と再不動態化を繰り返す暴露環境において、高Cr-Cu添加鋼はCrリッチな不動態皮膜を生成して耐食性が向上する。

# SUS443J1の適用例



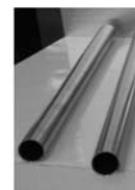
鍋類



洋食器(スプーン)



ドアノブ



パイプ(化粧管)



厨房用品



照明用金具



ドアフレーム



灰皿

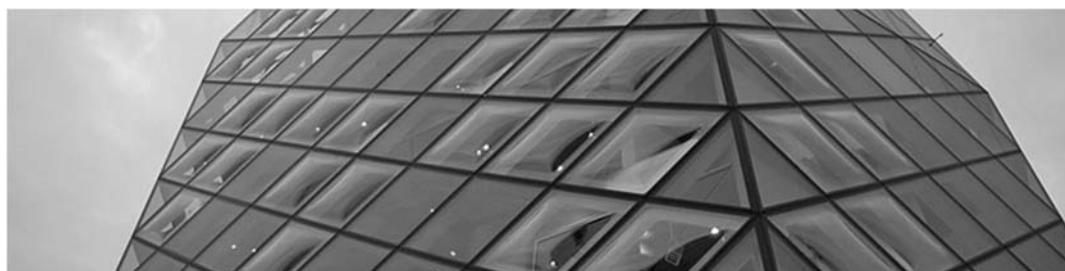


システムキッチン

自動車排気系部品  
(マフラーカッター、フィニッシャー)

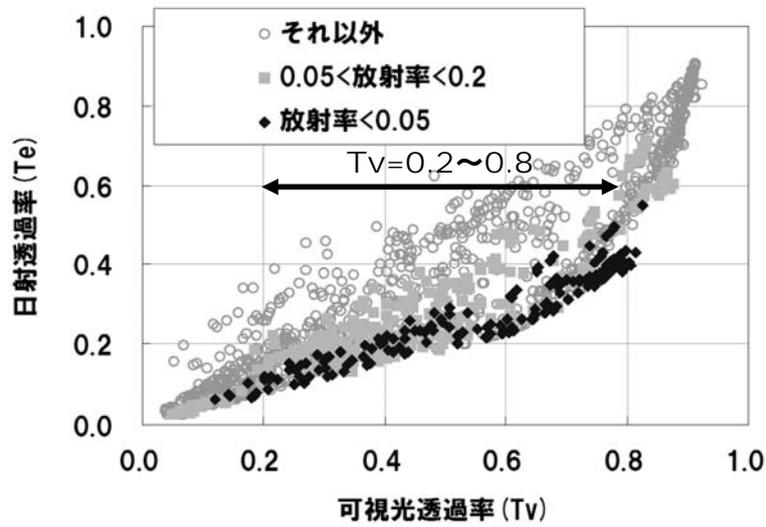
建築・土木分野への本格的適用はこれから

# ガラス

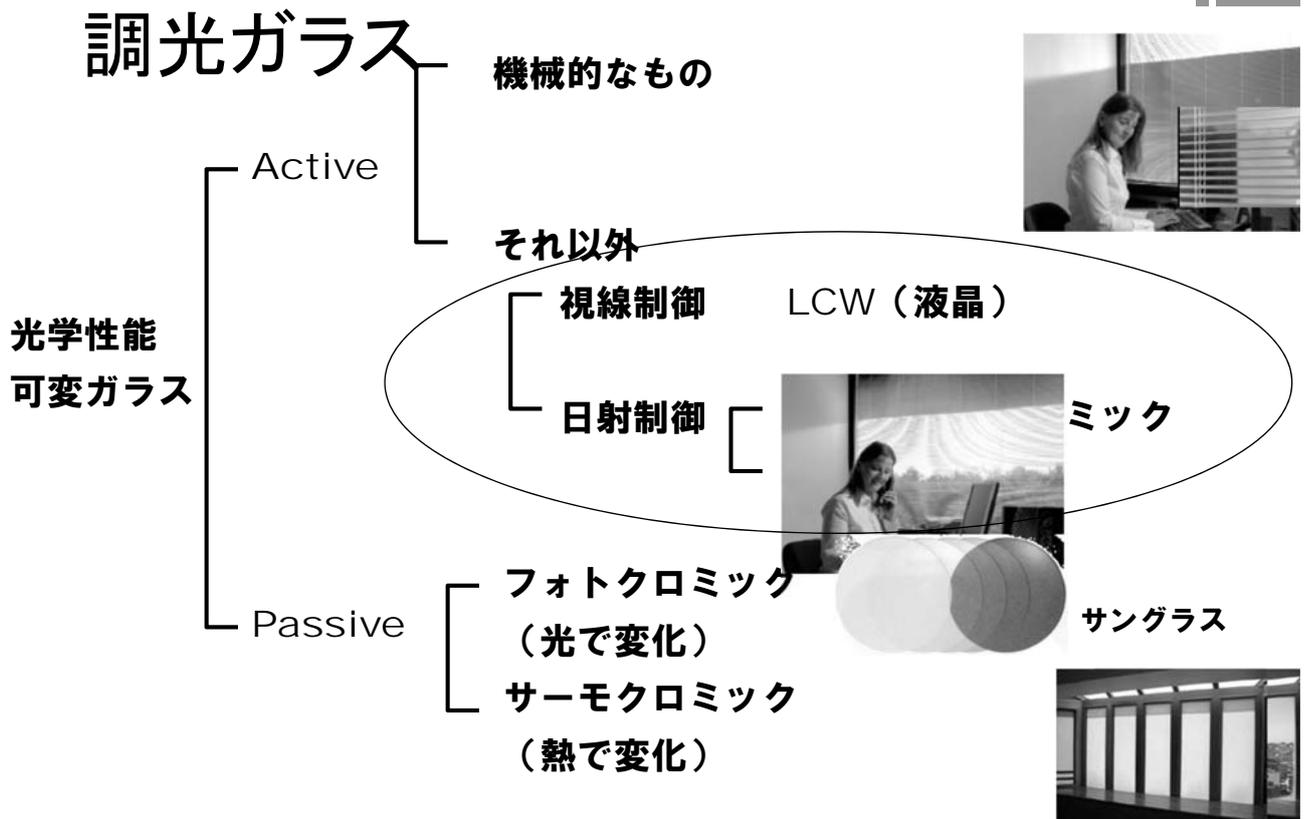




# Low-Eガラスの光学性能分布

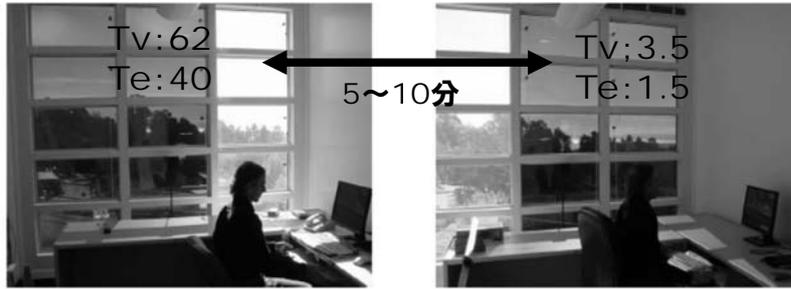


Low-Eガラスにより、光学特性の選択範囲は広まった。  
 ⇒ 特に明るく、遮熱性能の高いガラス



# 調光ガラス：日射制御型 (ECW)

ECW: Electro Chromic Window



Models



Fixed deck mounted - FS



Fixed curb mounted - FCM

Controls



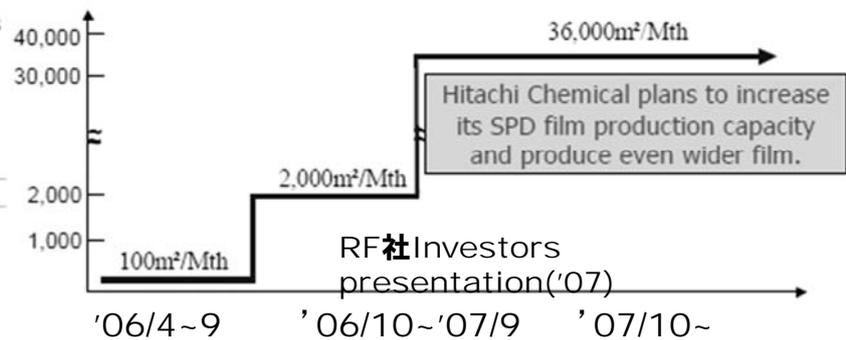
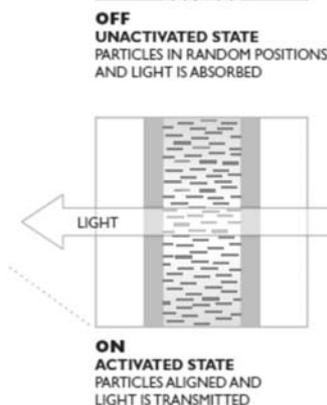
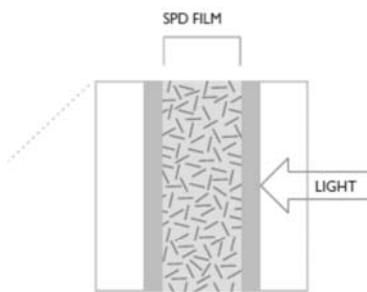
Each fixed (non-venting) model comes with approximately 50 feet of wire to run to the control switch.



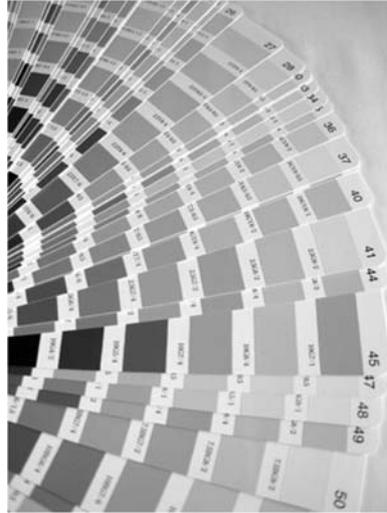
The SageGlass control system includes power supply, 50 feet power connector wire, control switch and a white trim plate for a standard single gang box.

# 調光ガラス：日射制御型 (SPD)

SPD: Suspended particle device

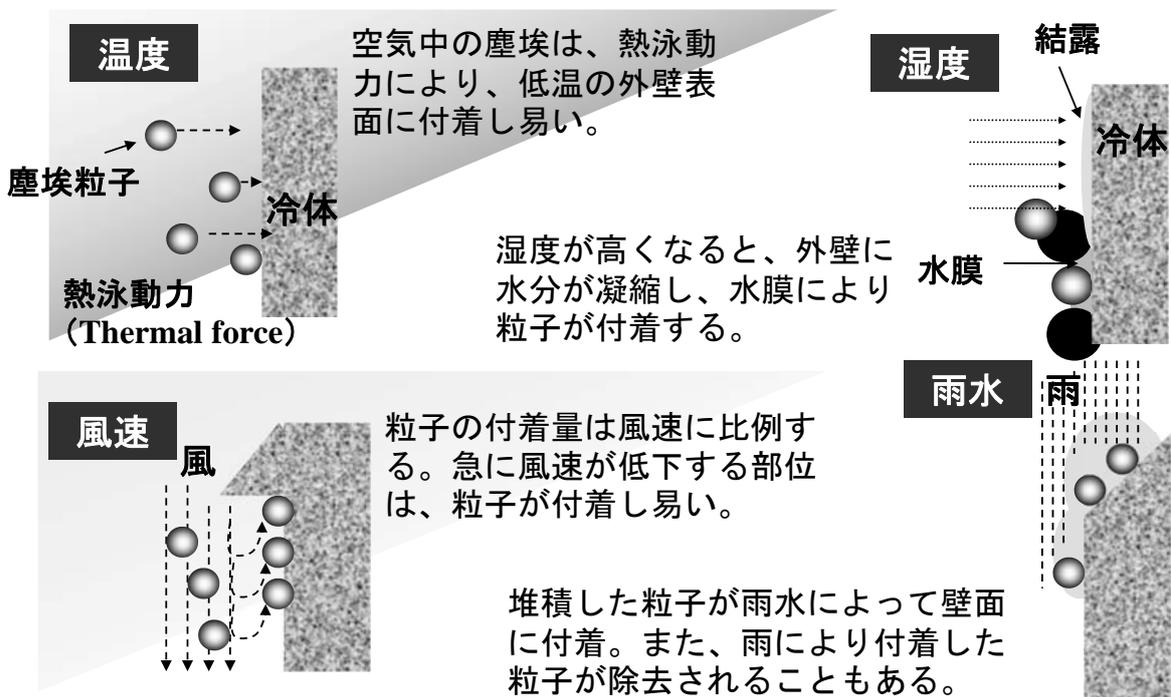


# 塗料



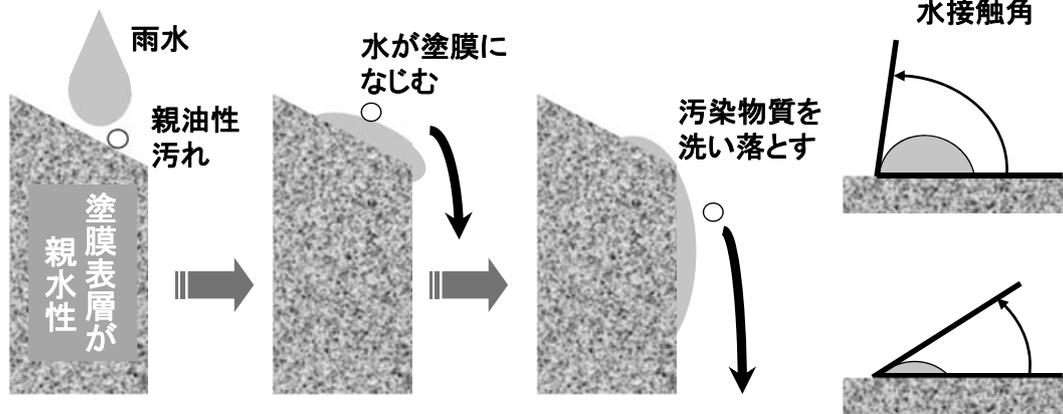
# 低汚染塗料

## 汚れのメカニズム



# 低汚染塗料

## 低汚染メカニズム



塗膜表面  
親水化

塗膜の表面エネルギーを高くする(水の接触角を小さくする)

- ◆親油性汚れ(都市型汚染)の付着阻害
- ◆付着した親油性汚れの雨水による洗浄作用

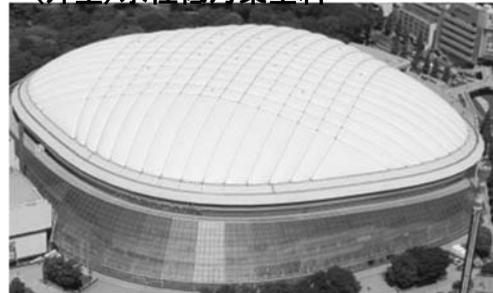
# 低汚染塗料

## 低汚染塗料の現状

シリコン・フッ素樹脂塗料の登場  
<メンテナンスサイクルの長期化>

外壁の汚染対策が必要

(外壁)水性低汚染塗料



(現状)

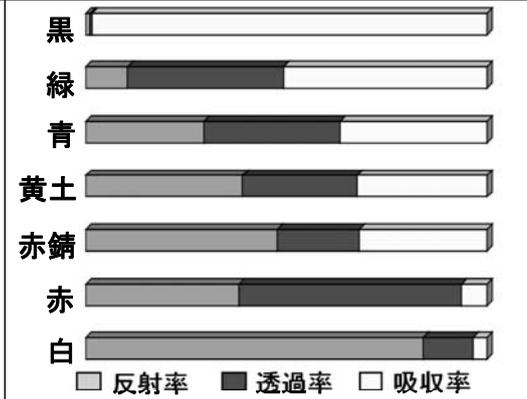
- ・外壁の高耐候性塗料は低汚染形塗料が主流(特に都市部)
- ・低汚染塗料=溶剤形塗料であったが最近では水性塗料も低汚染化に移行
- ・今後は高耐候性塗料は低汚染塗料が一般化……

# 高日射反射率塗料

## 高日射反射率塗料の考え方



## 塗色による赤外線の反射・透過・吸収率割合



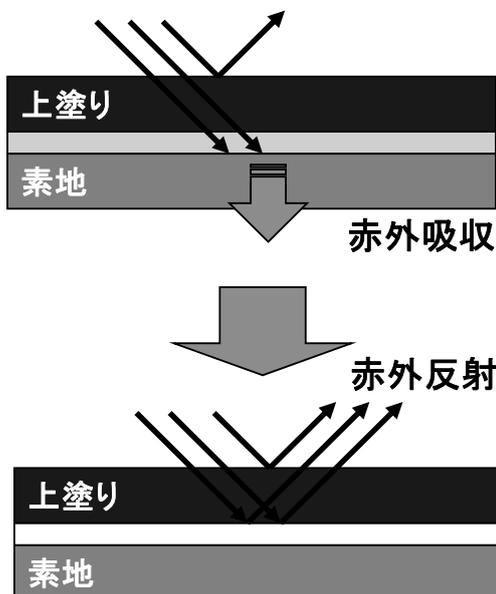
太陽光の赤外線の吸収を抑える事がポイント

高日射反射率塗料

カーボンブラックを使わない塗料設計

# 高日射反射率塗料

## 遮熱性能の向上



遮熱タイプ (高日射反射率) の塗膜は透過性も強い

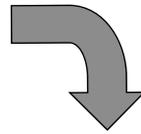
赤外線を反射するプライマーを設計し、Wのシステムで遮熱効果を高める

# 高日射反射率塗料

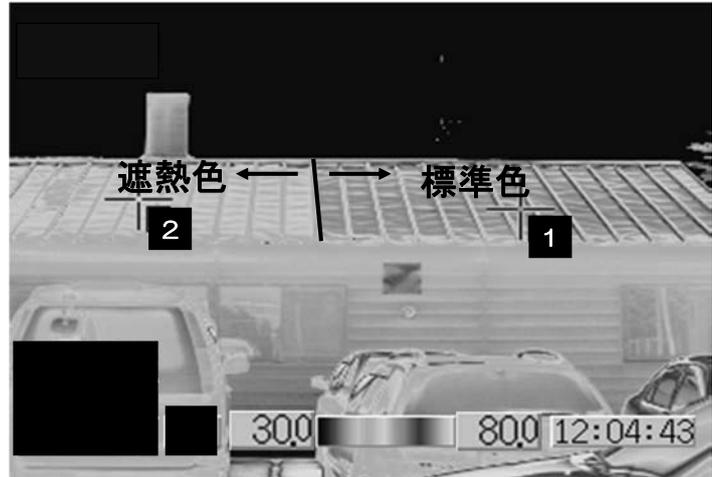
## 実物件での塗装結果



表面温度で約12℃  
の温度差を確認



## サーモグラフィー画像



# 漆喰塗料

## シックイの機能

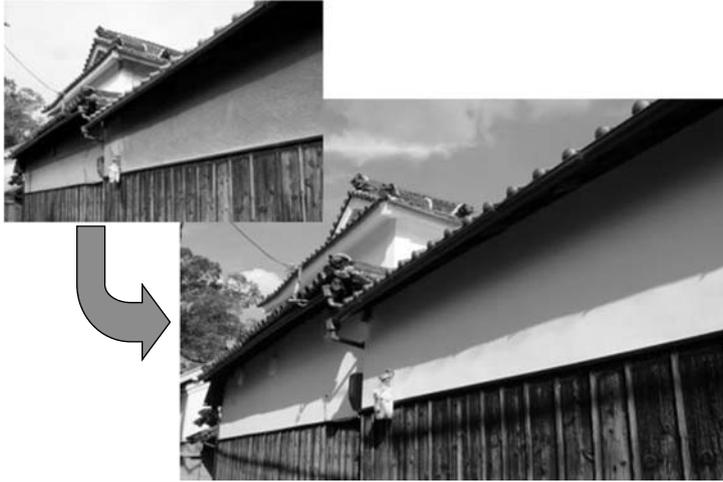
漆喰の機能を引継ぎ、漆喰の質感を損なうことなく、そのまま「塗料」に、

- ①無臭でクリーンな環境 ⇒ 天然由来の成分  
 <TVOC(揮発性有機化合物) 0.01%以下(検出限界以下)>
- ②CO<sub>2</sub>吸収機能  
 <塗料1Kgあたり、約90LのCO<sub>2</sub>吸収能>
- ③消臭・吸着機能
- ④調湿・結露防止機能
- ⑤ホルムアルデヒド吸着無害化機能  
 <ホルモース反応を促進(触媒効果)、無害な糖に変換>
- ⑥抗菌機能  
 (大腸菌はもとより緑膿菌・MRSA対策にも有効  
 有機系の薬剤を含んでいない ⇒ 安心使用)

消石灰の力

# 漆喰塗料

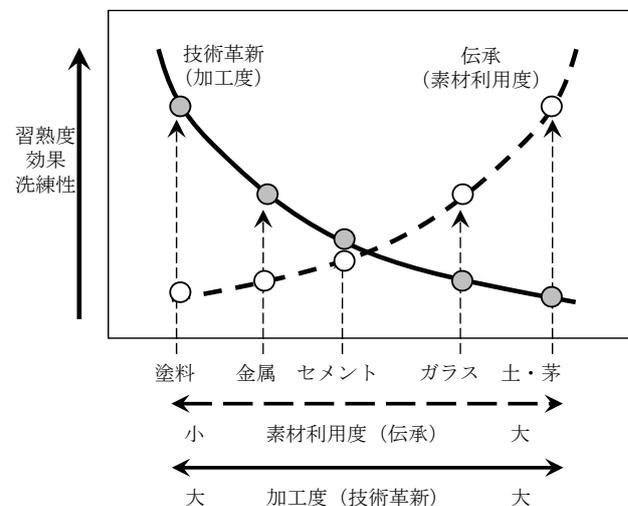
## 漆喰塗料の現状



最近開発された塗料 ⇒ 健康／環境改善に大いに役立つと期待されている。

# 革新性と伝承性

- 未利用素材の新展開
  - 革新的な技術開発が必要
  - 物理学・化学などの専門的知識が必要
  - 技術の定着・伝承
    - 素材の特徴・性質の正しい理解が必要
    - 建築材料としての正しい使い方
- 革新的な技術開発が不要な建築材料
  - 着実な伝承が重要





# ご静聴有り難うございました

野口貴文(東京大学)

noguchi@bme.arch.t.u-tokyo.ac.jp