

C⁴S研究開発プロジェクト



C⁴S: Calcium Carbonate Circulation System for Construction
(建設分野の炭酸カルシウム循環システム)

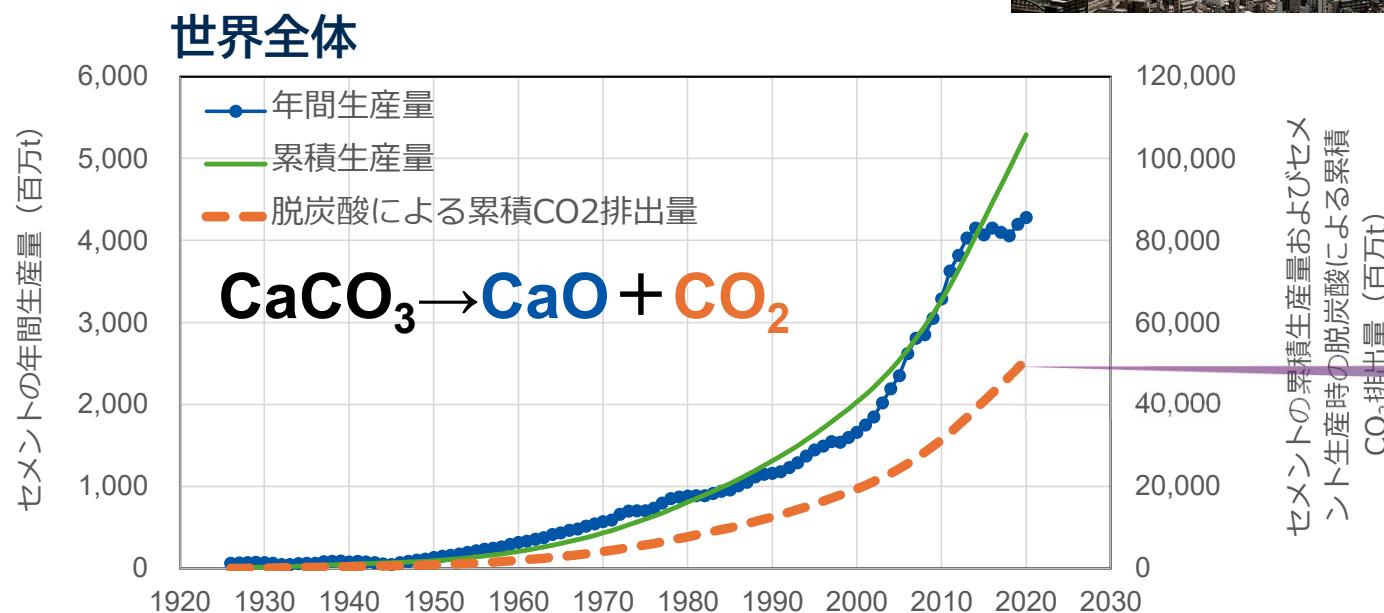
PM:野口貴文

東京大学 大学院工学系研究科 教授

PJ参画機関:東京大学、北海道大学、東京理科大学、
工学院大学、宇都宮大学、太平洋セメント、
清水建設、増尾リサイクル

研究開発の背景

- コンクリート(CaO含む)は水の次に消費量の多い物質
- セメントの生産時に石灰石の焼成により大量のCO₂排出



C⁴S研究開発プロジェクトの全体像

目標：C₄S実現の場合の2050年のDAC量
(コンクリートの50%がCCC)
日本：▲2,620万t-CO₂/年
世界：▲約21億t-CO₂/年

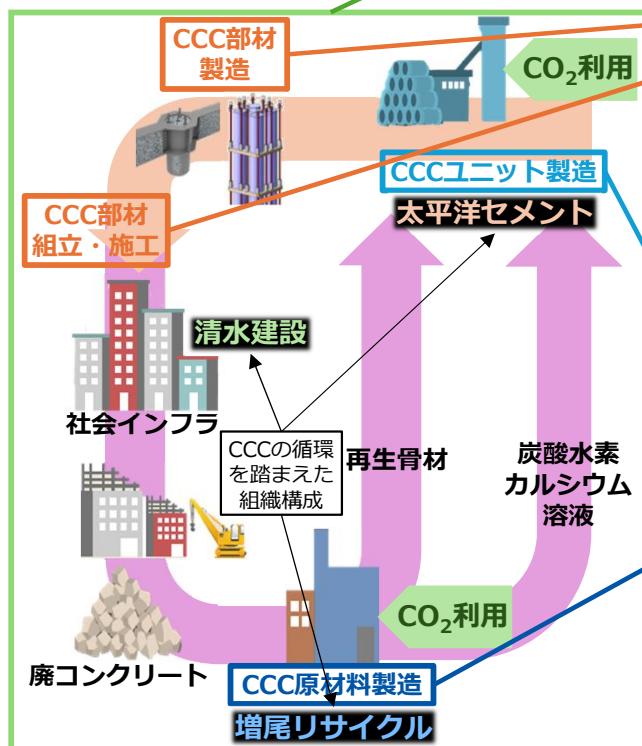
C⁴Sの社会実装・広報

建築基準法に関わるデータ整備・制度設計
資源循環シナリオ設計
CO₂排出削減・固定効果分析



東京大学
工学院大学
宇都宮大学
清水建設

2020～



CCC部材製造原理の開発

CCC造建築物の構造設計・性能評価法の開発

CCC部材：製造、架構形式、性能評価
CCC造建築物：構造設計、施工

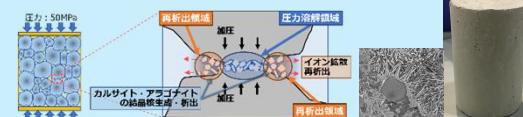


東京大学
東京理科大学
清水建設

2023～

CCC反応制御技術の開発

CCCユニット：反応メカニズム、調合設計、製造・品質管理、性能評価
CCCユニット製造プラント：パイロット設計



東京大学
東京理科大学
太平洋セメント

2020～

CCC原材料の製造プロセスの開発

廃コンクリートの破碎・CO₂吸収固定
▷効率化・大規模化
▷パイロットプラントへの展開

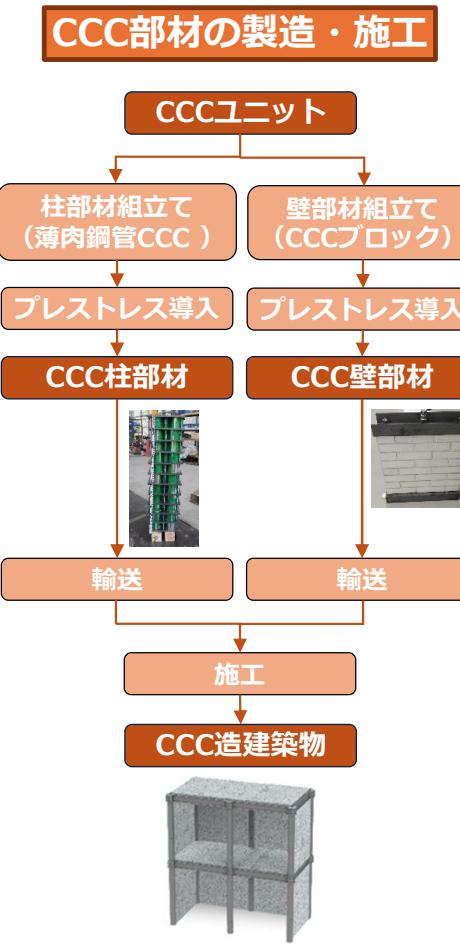
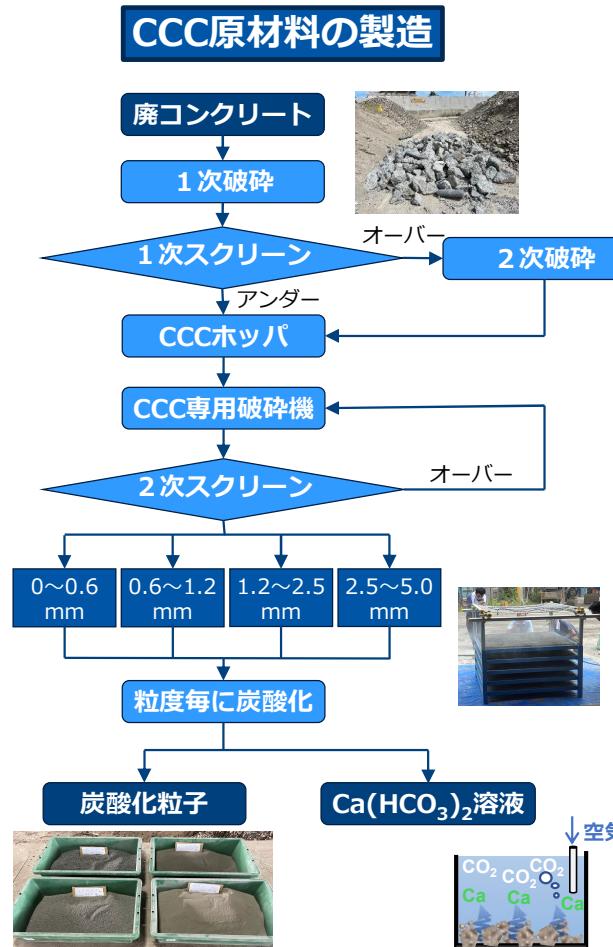


北海道大学
増尾リサイクル

2020～



CCC原材料・CCCユニット・CCC部材の製造



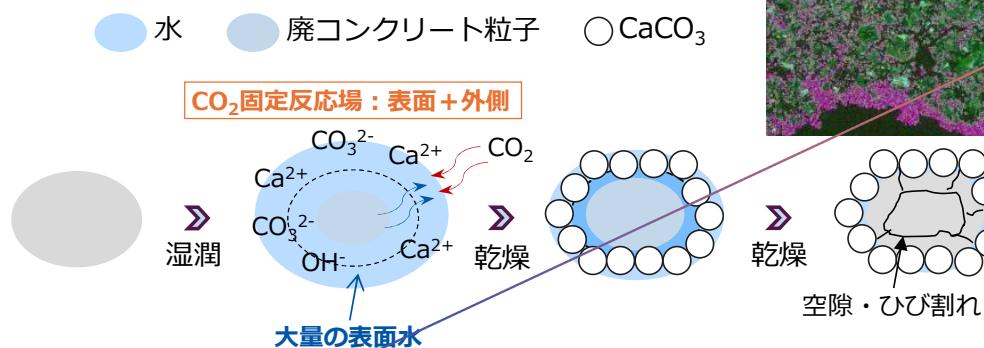
CCC原材料の 製造プロセス の開発



CO₂の吸収固定促進手法の開発

ドリップ法

管理が簡単で極めて高速だが、粒子が脆くなる



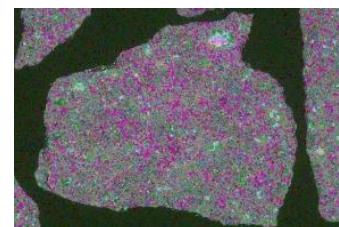
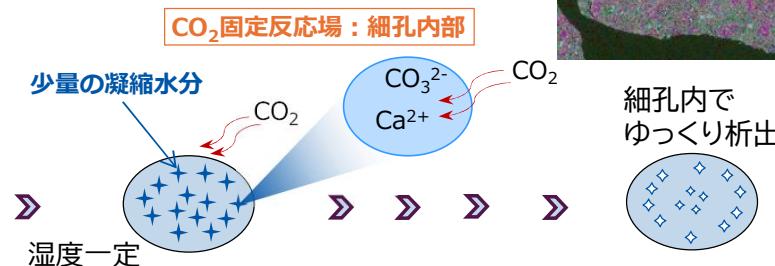
ミスト法

CO₂回収は速く
粒子は硬くなる



一定湿度保持

管理が困難で速度は遅いが、粒子密度は高い

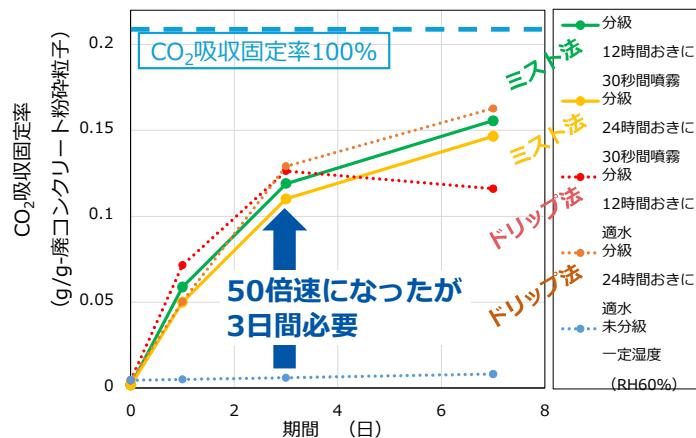


管理簡便
少量のミスト散布で
表面・内部の反応によるCO₂回収促進

■ 高CO₂濃度で急速化

CO₂の吸収固定促進手法の開発

ミスト法

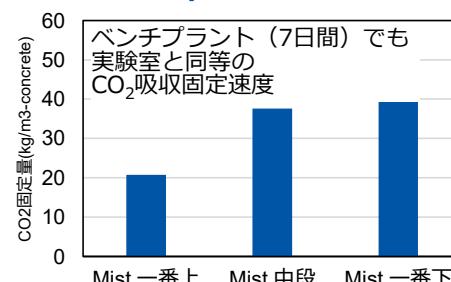


かき混ぜ法

定期的にかき混ぜることで
薄く敷き並べることなく乾燥可



ベンチプラントにおけるミスト法 (1回/日のミスト散布)

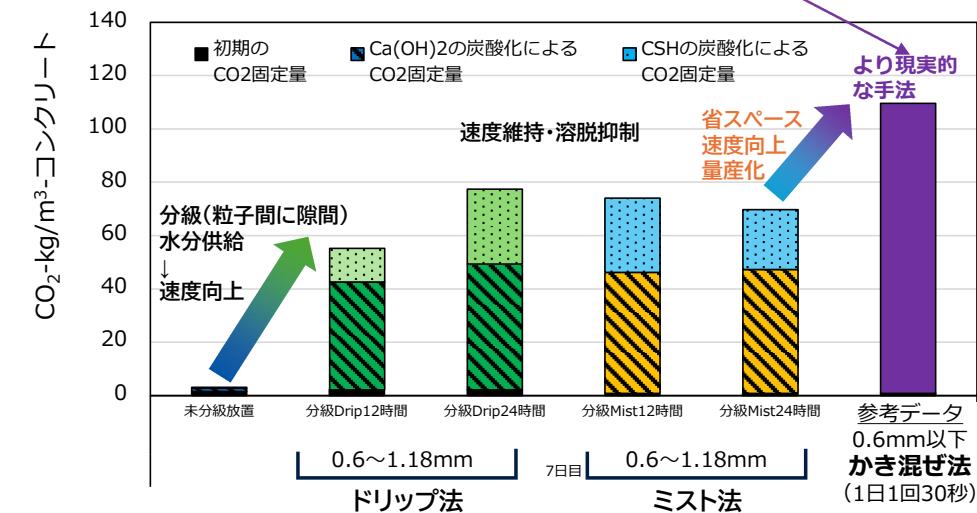


生産量 : 0.8トン/週

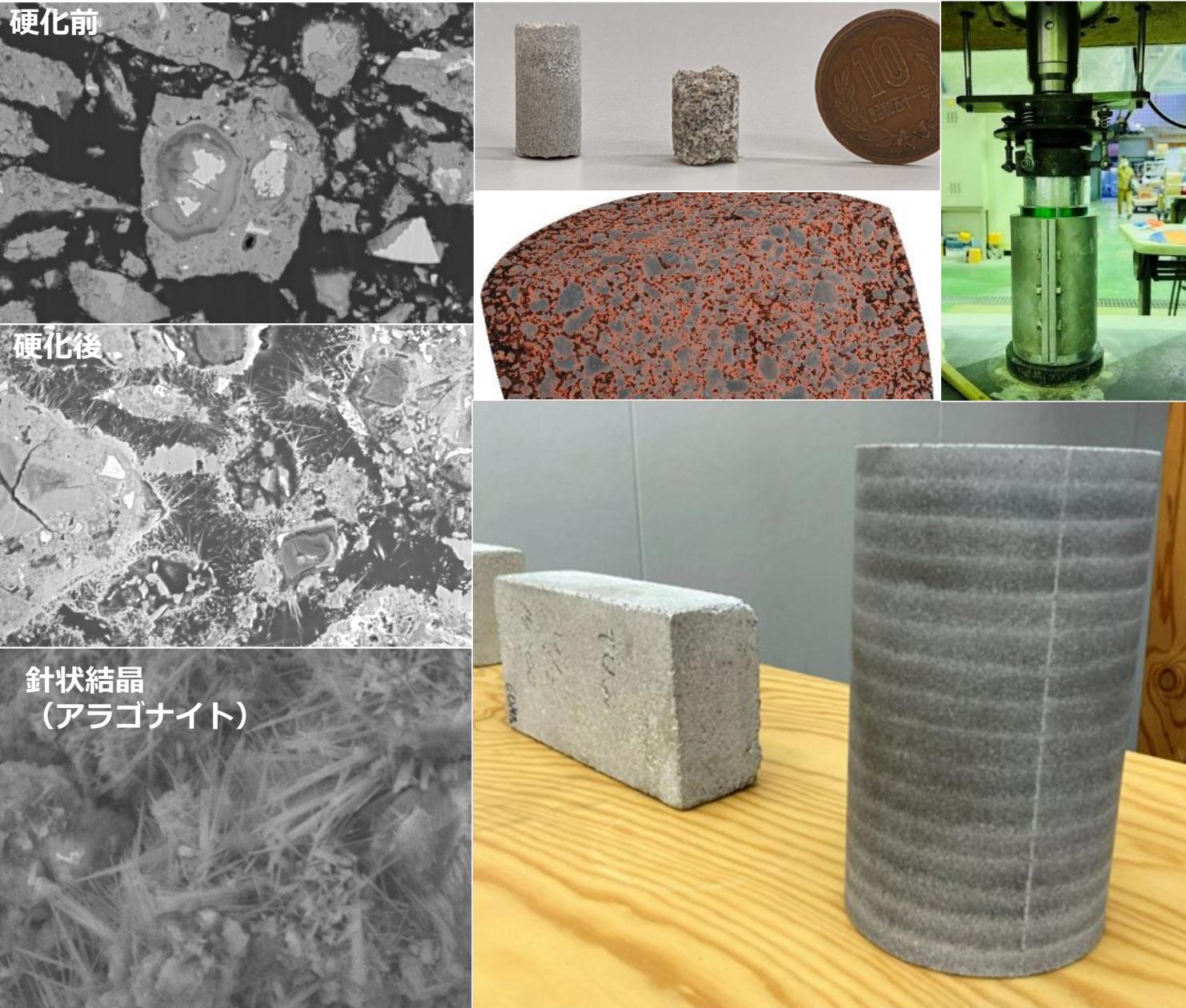
消費電力 : 1.5kWh/週

水使用量 : 0.5m³/週(ドリップ法の1/36)

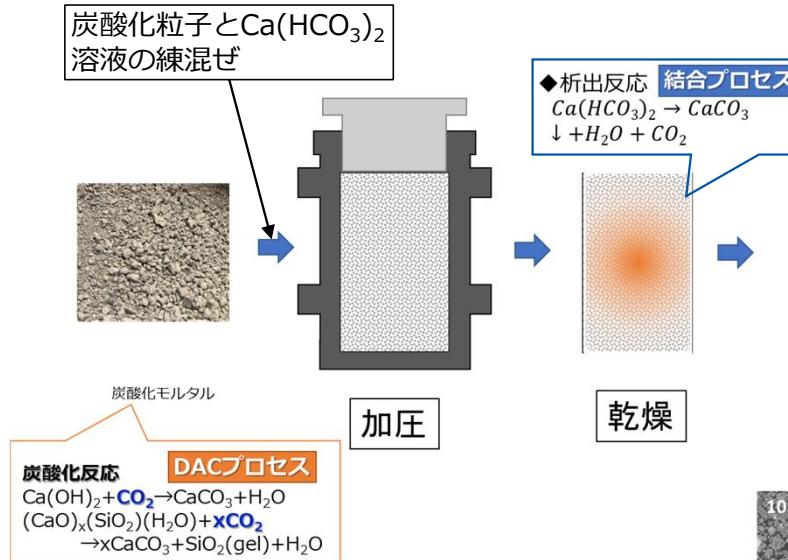
→パイロットプラント化に向けたスケールアップ製造プロセスの検討中



CCC反応制御 技術の開発

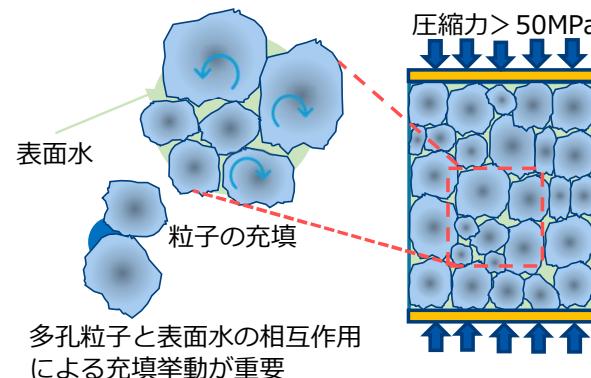


コールドシンタリングによるCCC硬化体の形成

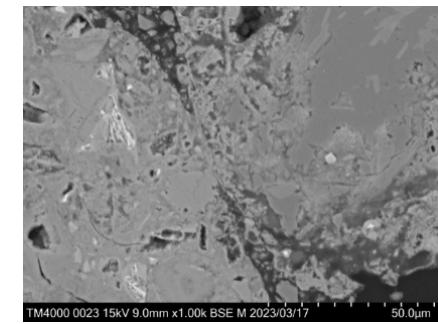
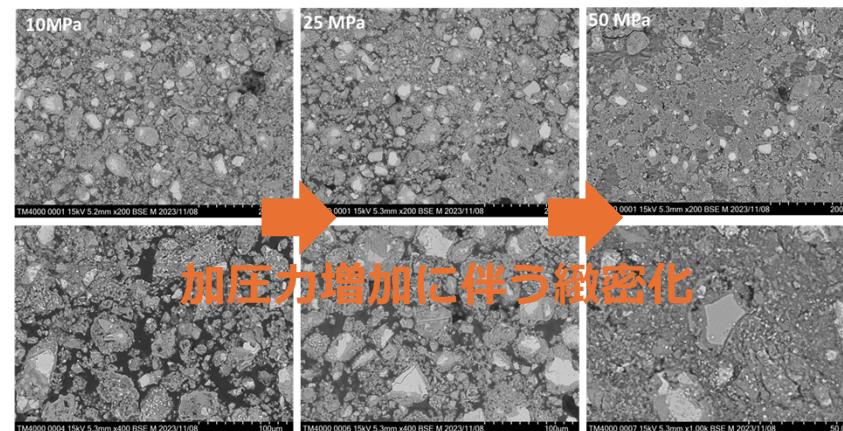
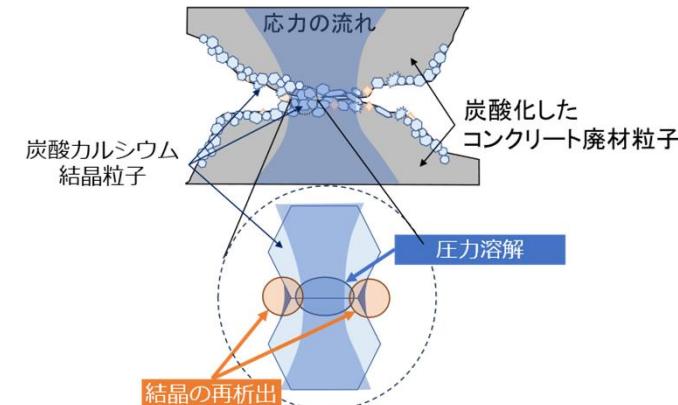


- **Φ10×20cm試験体**を層厚2.5cmで
製造の場合、常に強度18MPa以上
達成（最高38MPa）
- 大型化も可能
- エネルギー使用量少ない
- 適切な粒度分布による製造が重要

①圧縮時の圧密

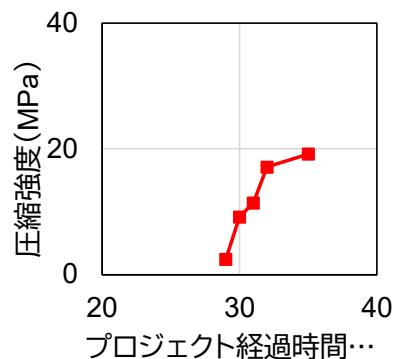


②粒子接触後の接合

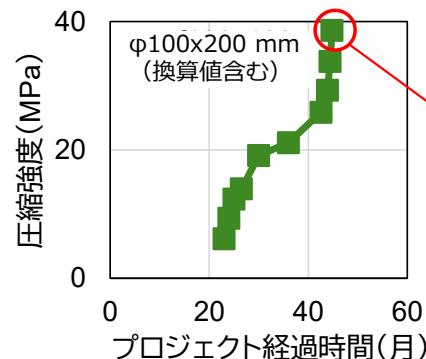


CCCユニットの高強度化、強度への影響要因

ブロック (210x100x60mm) 製造

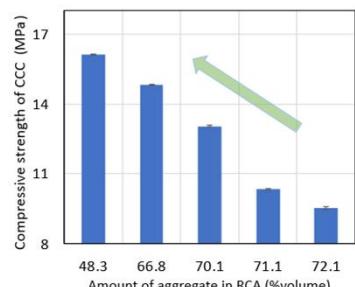


シリンダー (φ50mm、φ100mm) 製造

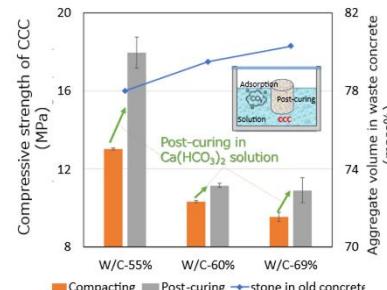


コンクリート廃材全量利用で38MPa達成可能を確認

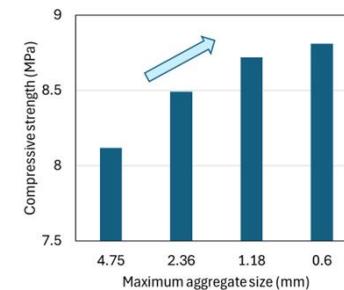
①原材料の影響



骨材量の影響
(ペースト強度一定+骨材量変化)

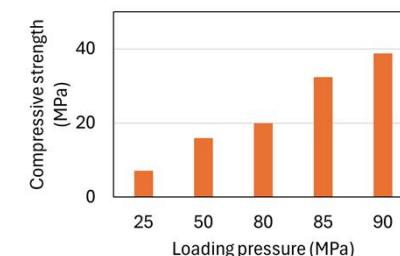


原コンクリート強度の影響
(ペースト強度変化+骨材量・種類変化)



最大骨材寸法の影響

②製造方法の影響



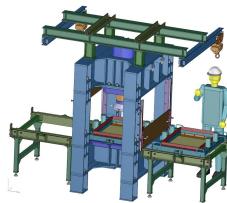
加圧力の影響

CCCユニットの生産性向上、品質管理の高度化

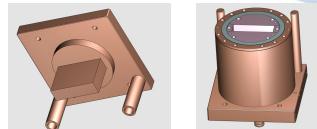
生産性向上



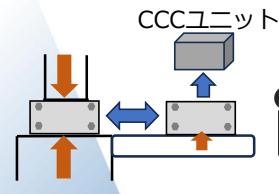
■スライドステージ



■ノックアウト機構（型枠）



■ムービングテーブル

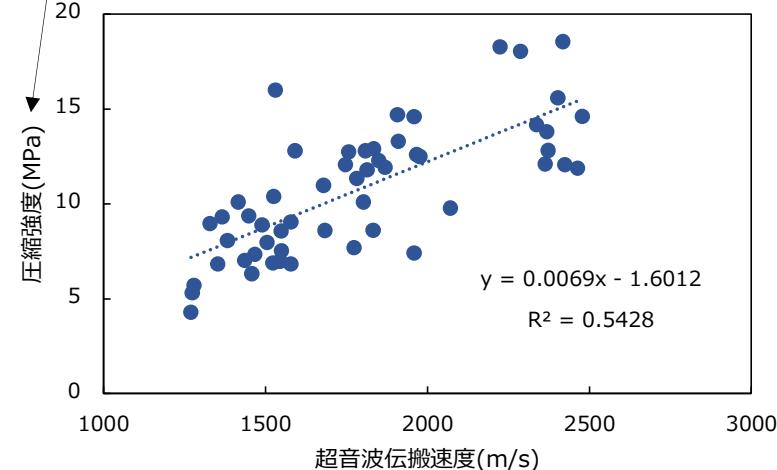


30分／工程

品質管理

■超音波非破壊検査

圧縮強度：ブロックからΦ60x60mmコアを抜いて測定

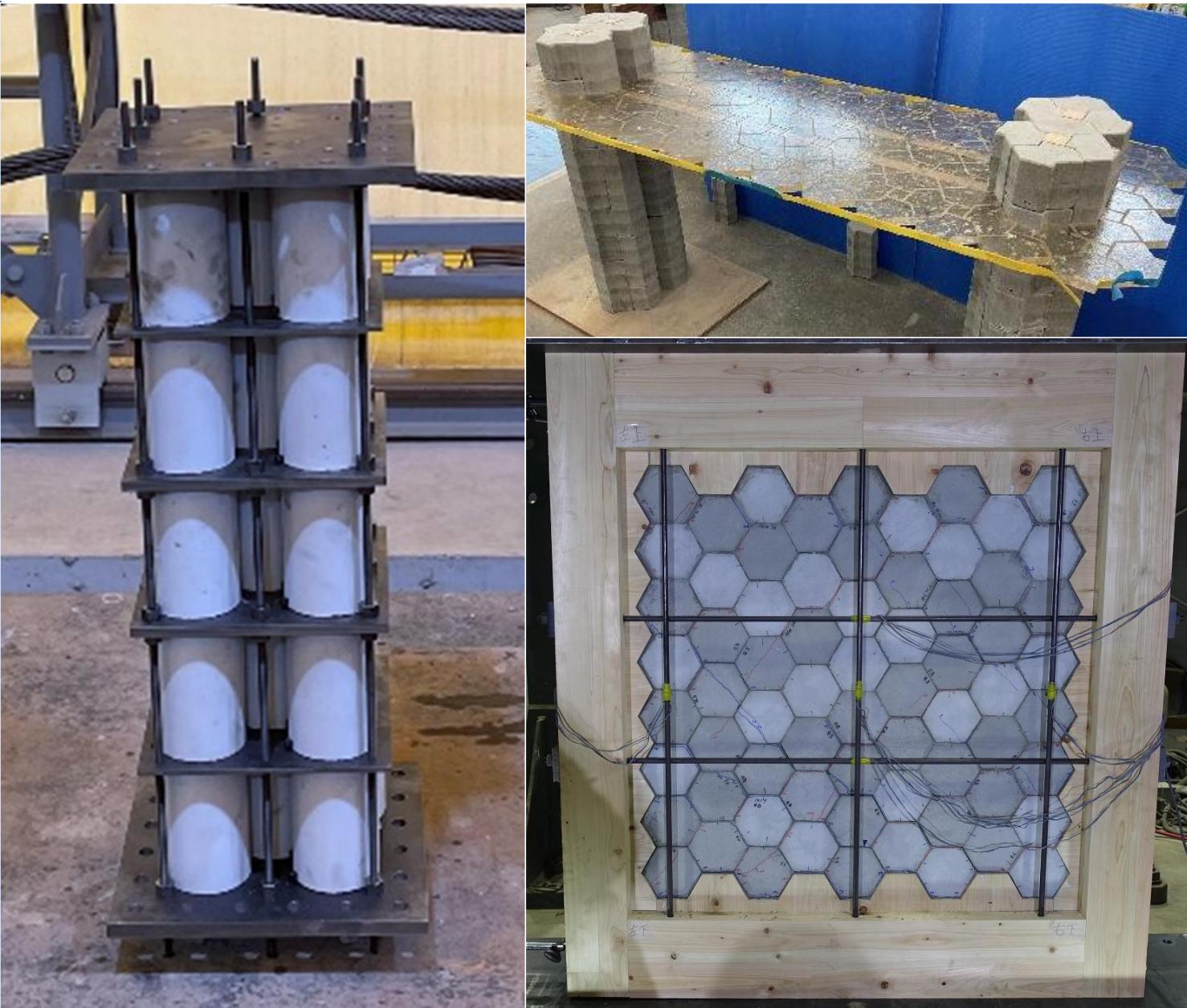


超音波伝播速度測定器



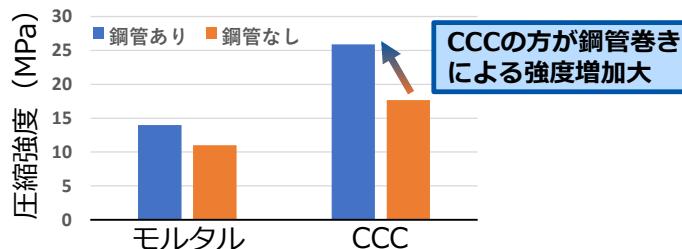
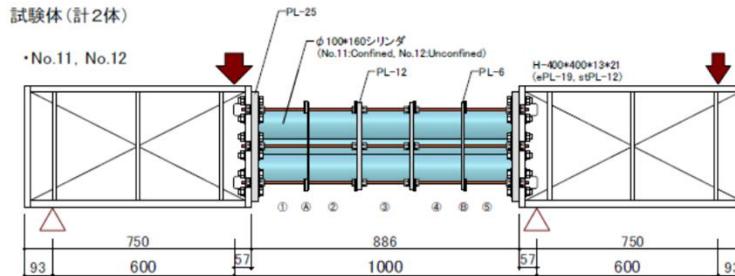
超音波伝搬速度の測定

CCC部材製造原 理の開発 CCC造建築物の 構造設計・性能 評価法の開発

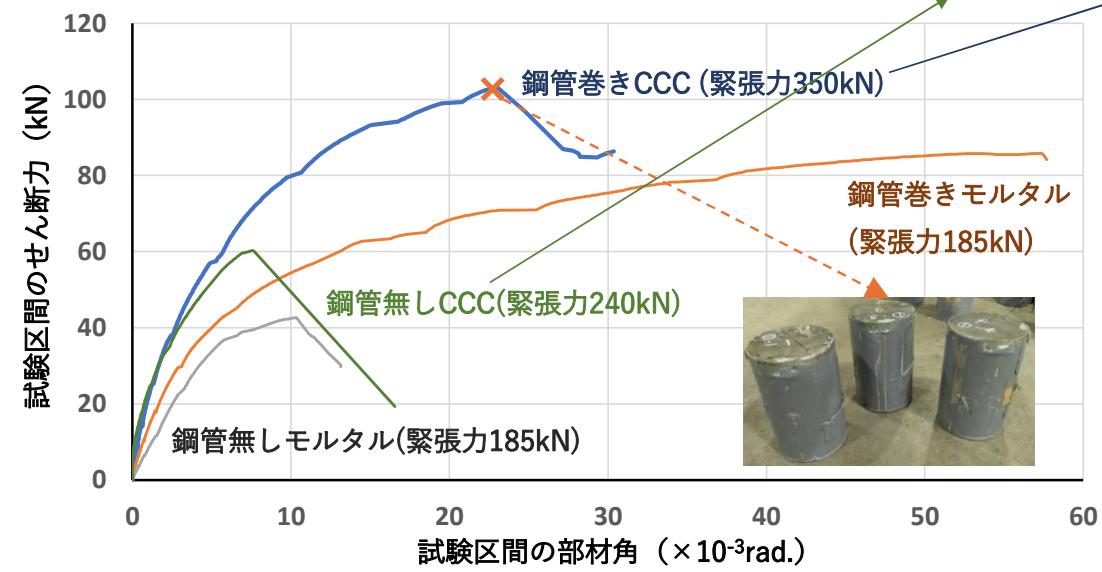


CCC柱部材の耐震性能

CCC柱部材の耐震性能



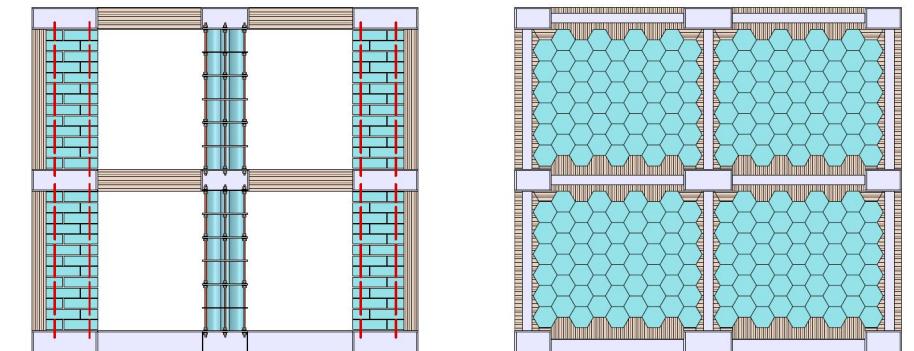
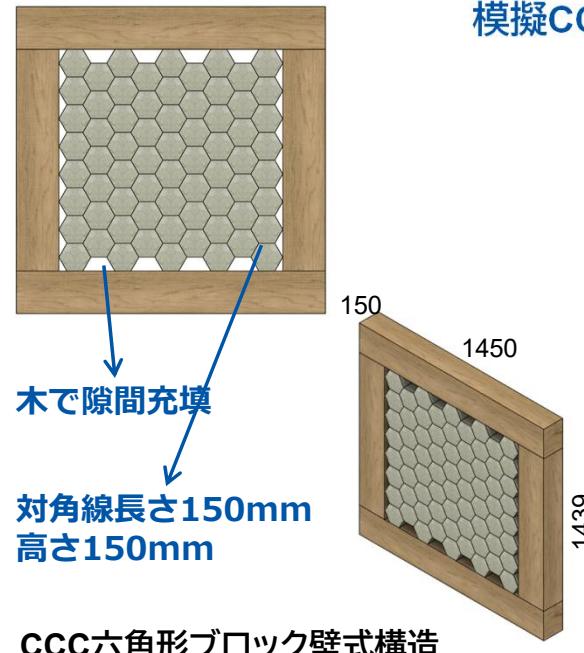
- 鋼管巻きCCCの強度増大と緊張力増大の効果で剛性・耐力向上
- 部材角 23×10^{-3} radの大変形で左端上側のユニット(写真)が圧壊



模擬CCC壁部材

CCC壁部材の検討

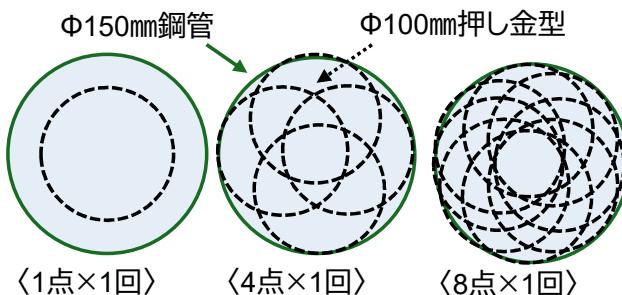
- CCCの最適な活用方法
- 壁部材と柱・梁部材との接合方法
- 構造耐力評価



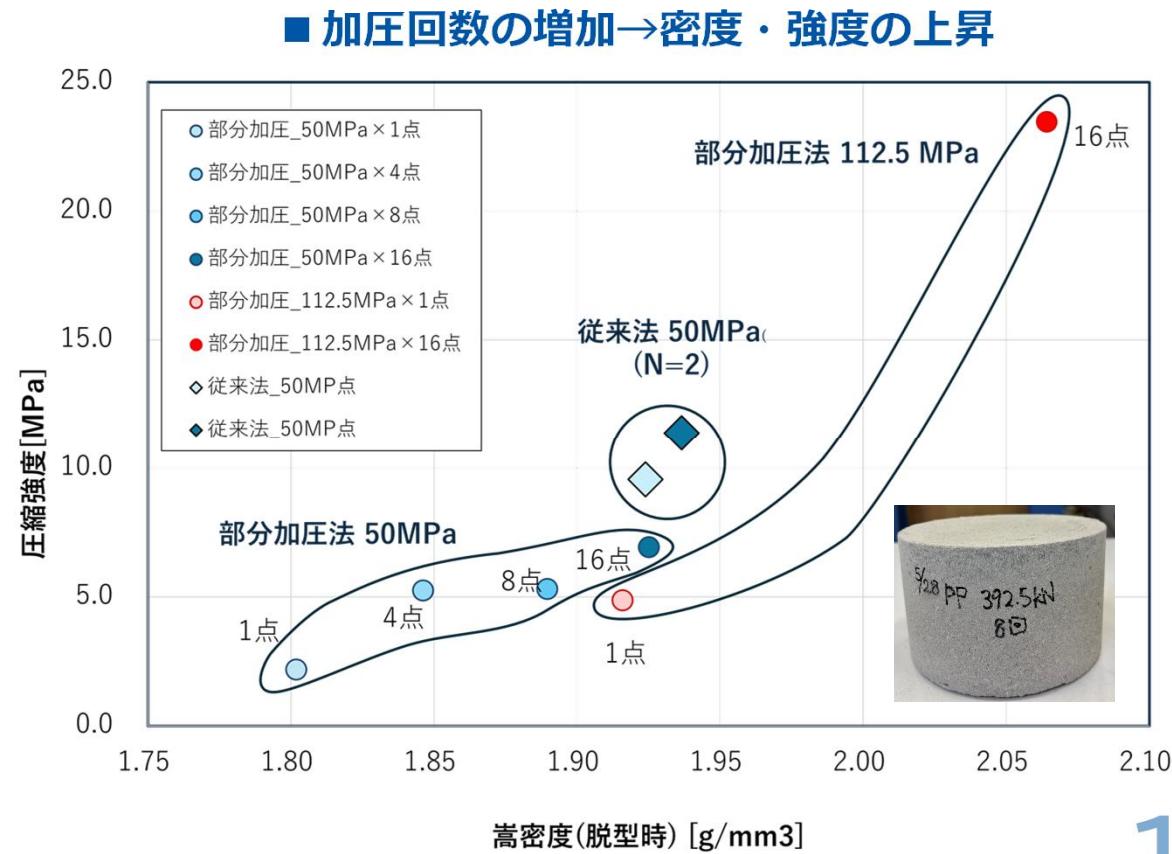
ハニカムブロックによる壁部材
→外部PS方式柱部材との組合せによる全体構造検討

大断面部材の製造

部分加圧法



水準	縦横比(h/b)
Φ150_蓋_Φ100_50MPa_1回_1層	0.52
Φ150_蓋_Φ100_50MPa_4回_1層	0.53
Φ150_蓋_Φ100_50MPa_8回_1層	0.55
Φ150_蓋_Φ100_112.5MPa_1回_1層	0.53
Φ150_Φ150_50MPa_1回_1層	0.53
Φ150_Φ150_50MPa_1回_3層	1.50
Φ100_Φ100_50MPa_1回_1層	0.50
Φ100_Φ100_50MPa_1回_3層	1.34
Φ150_Φ100_50MPa_8回_1層	0.39

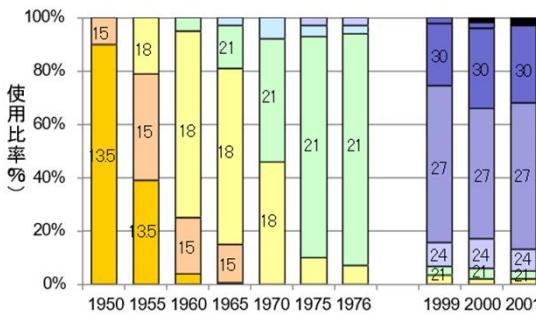


C⁴Sの社会実装・広報

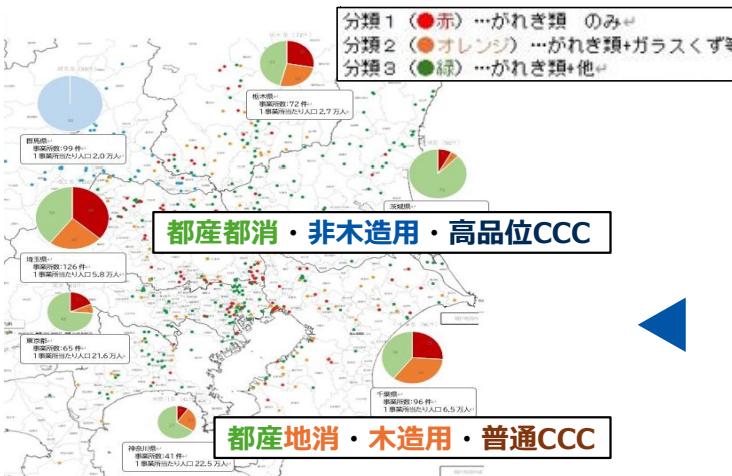


資源循環シナリオ設計

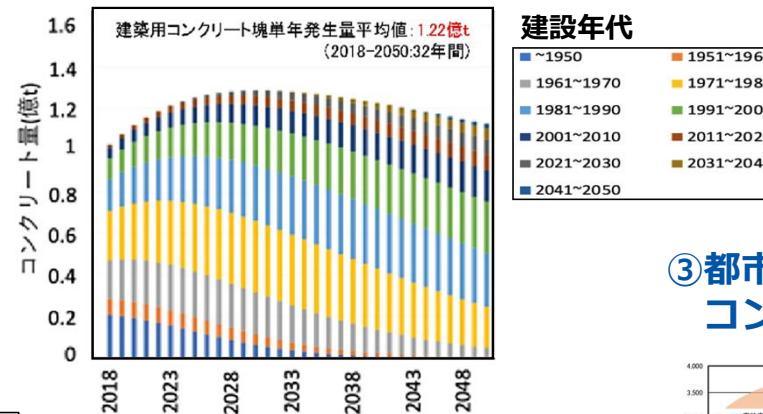
①各年代の設計基準強度の分布



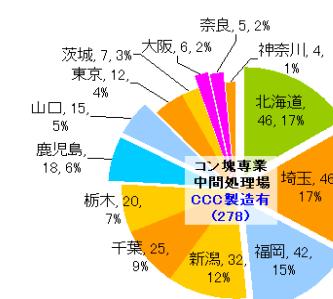
⑤都市部のCCC原材料供給拠点



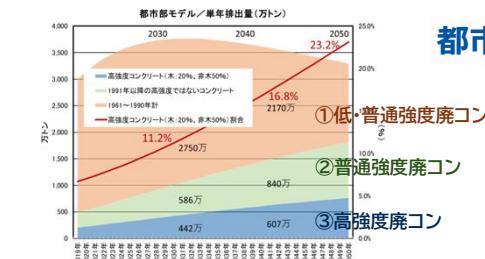
②廃コンクリート発生量（全体）



④廃コンクリート専業中間処理場



③都市/地方における廃 コンクリート発生量

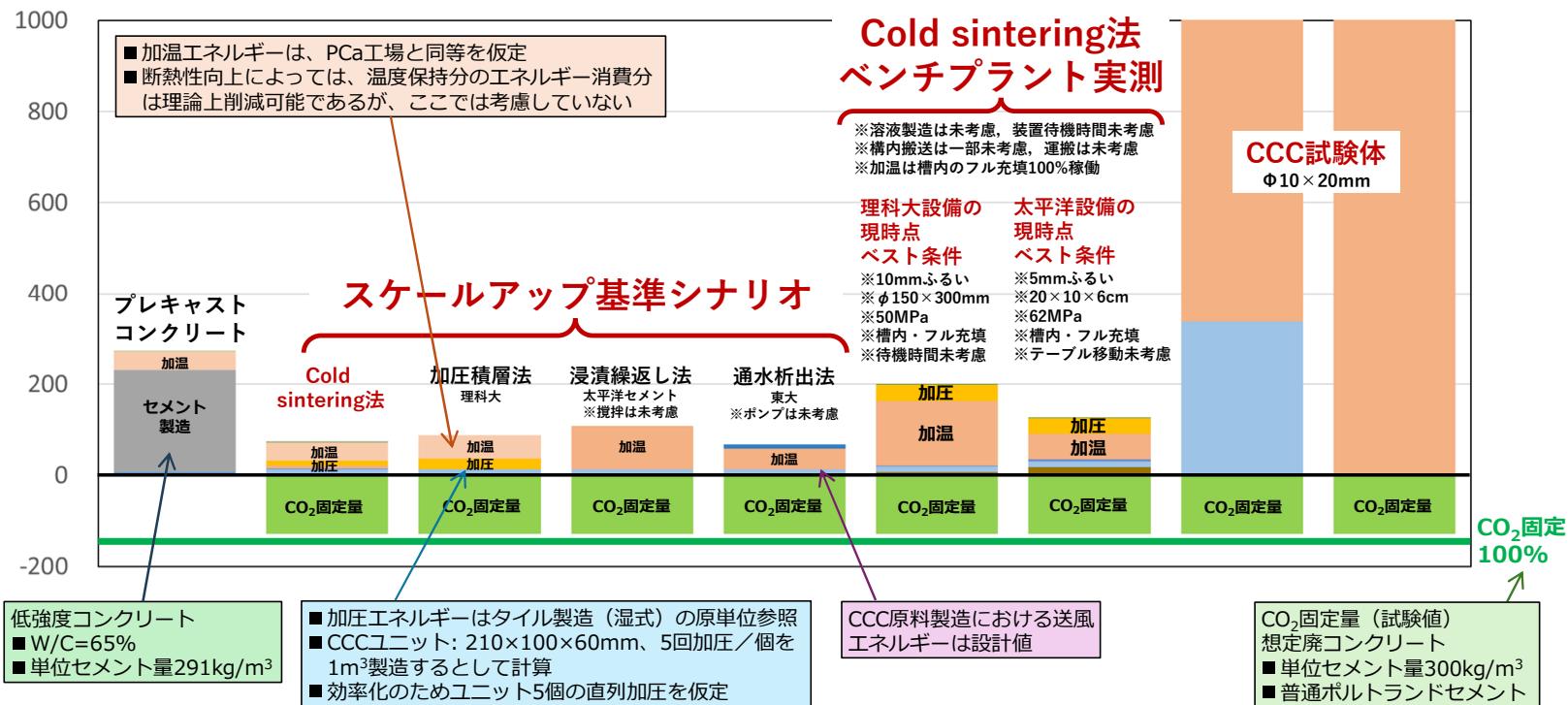


CO₂排出量の推計

スケールアップ基準シナリオ

- ① CR2-LCA-WGで提供された標準原単位 (kg-CO₂/MJ) を用いて計算
 - ② CCC原料製造時は送風DACで炭酸化、CCC製造時に純粋CO₂養生なし
 - ③ 熱効率は100%を仮定し、実測の水量等から必要熱量・CO₂排出量を算定

ベンチプラントスケールで既に
➤ カーボンニュートラル
➤ カーボンマイナス



建築基準法に関する制度の検討

2023年度日本建築防災協会「環境配慮型コンクリート対応検討委員会」に参画して検討

- 国土交通省補助事業「建築基準法・建築士法等の円滑な執行体制の確保に関する事業」
- 委員長：野口貴文、委員：兼松学、丸山一平など

① 普通コンクリートと同等の材料として取扱いが可能な場合

- a. JIS A 5308 適合品
- b. コンクリートの定義がJIS A 0203 に当てはまるもので、許容応力度および材料強度（以下「許容応力度等」）も含めて、普通コンクリートと同等の材料として取扱いが可能な場合
- c. b以外で、許容応力度等も含めて、普通コンクリートと同等の材料として取扱いが可能な場合

② 普通コンクリートと類似であるが、同等の材料とみなされない場合

- a. 告示H12-1446号第1第24号に新たに「特殊なコンクリート」等として位置づける場合
- b. 指定建築材料として位置づけない場合

③ 普通コンクリートとは異なる（類似とはいえない）個別の材料とみなされる場合

CCC→設計法・品質管理等の内容について、建築基準法第20条の大臣認定の個別取得が必要

建築基準法第20条の大臣認定（法20条認定における構造安全性の確認方法）

建築材料の品質

新材料の構造耐力に影響する品質を適切に考慮
(平12建告第1461号第九号ハ-ニ)

構造方法

新工法の部分について、構造特性に影響する力学特性値を試験・構造計算により確認(平12建告第1461号第九号イ-ロ)

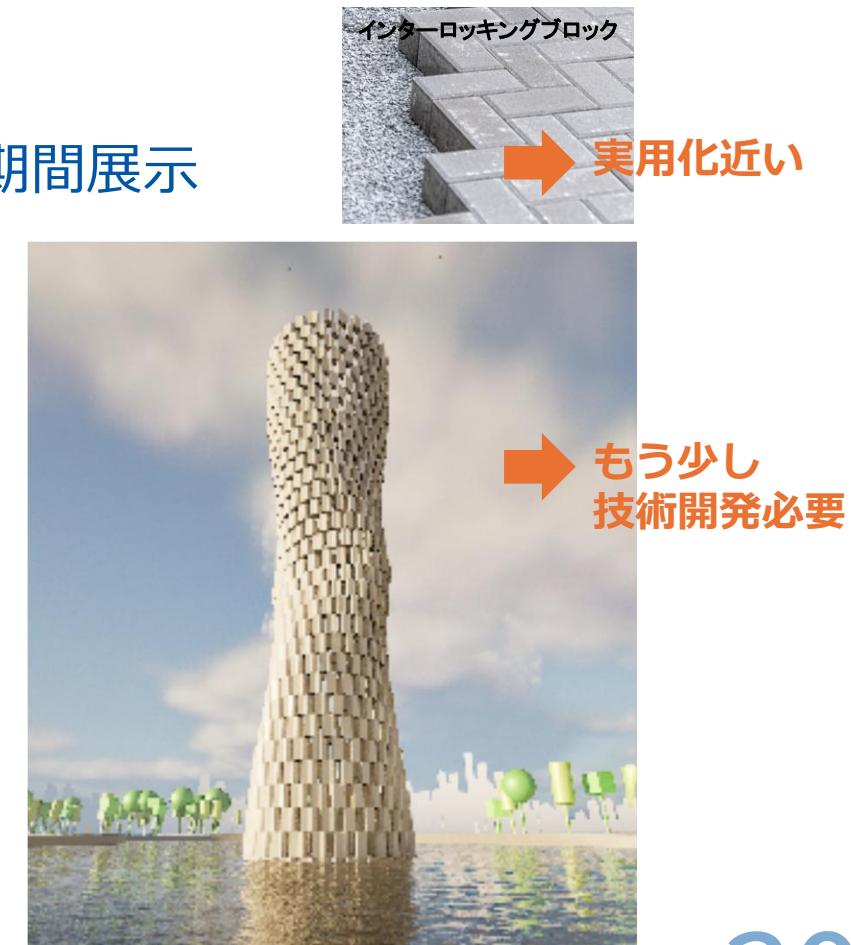
構造計算

左記の建築材料の品質と各部分の力学特性値を踏まえ、時刻歴応答解析などにより構造安全性を確認(平12建告第1461号第一号～第九号)

社会実装のイメージ

■大阪・関西万博

「フューチャーライフエクスペリエンス」での期間展示
(2025年9月30日～10月6日)



CCCの普及目標、およびCO₂の回収量目標(国内)

年	CCCの普及	年間のCCC生産量	年間のCO ₂ 回収量
2027	インターロッキングブロックの生産開始		
2030	インターロッキングブロックの生産30m ³ /日 インターロッキングブロックの生産：毎年1.14倍増	7,500 m ³	0.86 千t
2035	インターロッキングブロックの生産58m ³ /日 低層CCC建築物2～3棟の建設	14,500 m ³ 2 千t	1.66 千t 0.24 千t
2040	CCC建築物毎年2.07倍増	27,800 m ³ 76 千t	3.18 千t 9 千t
2050	インターロッキングブロックの100%がCCC製 コンクリート構造物の50%がCCC造	100,000 m ³ 110,000 千t	11.5 千t 13,000 千t

