

C⁴S研究開発プロジェクト

I. CCC反応制御技術・部材製造原理の開発

東京大学・太平洋セメント・東京理科大学

発表者：東京大学（法人名）

PM：野口 貴文

国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科 教授

PJ参画機関：国立大学法人東京大学、国立大学法人北海道大学

I. CCC反応制御技術・部材製造原理の開発

2029年目標

パイロット実証（戸建て住宅相当建物の建築）において、従来のコンクリートと同等以上の強度等の構造性能を有することを確認する。

開発項目・内容

- ✓ 粒子間に炭酸カルシウムを析出し、粒子間を固体化する技術の開発
- ✓ 析出については、温度変化・pH変化・蒸発プロセスを並行して進めて適切な手段を選定する。
- ✓ 原材料のキャラクタリゼーション、反応プロセスの分析、および硬化体性能評価を行い、高性能化を進める。

I. CCC反応制御技術・部材製造原理の開発

現時点の主な成果

1. 温度変化による析出プロセスを用いた硬化体の製造：

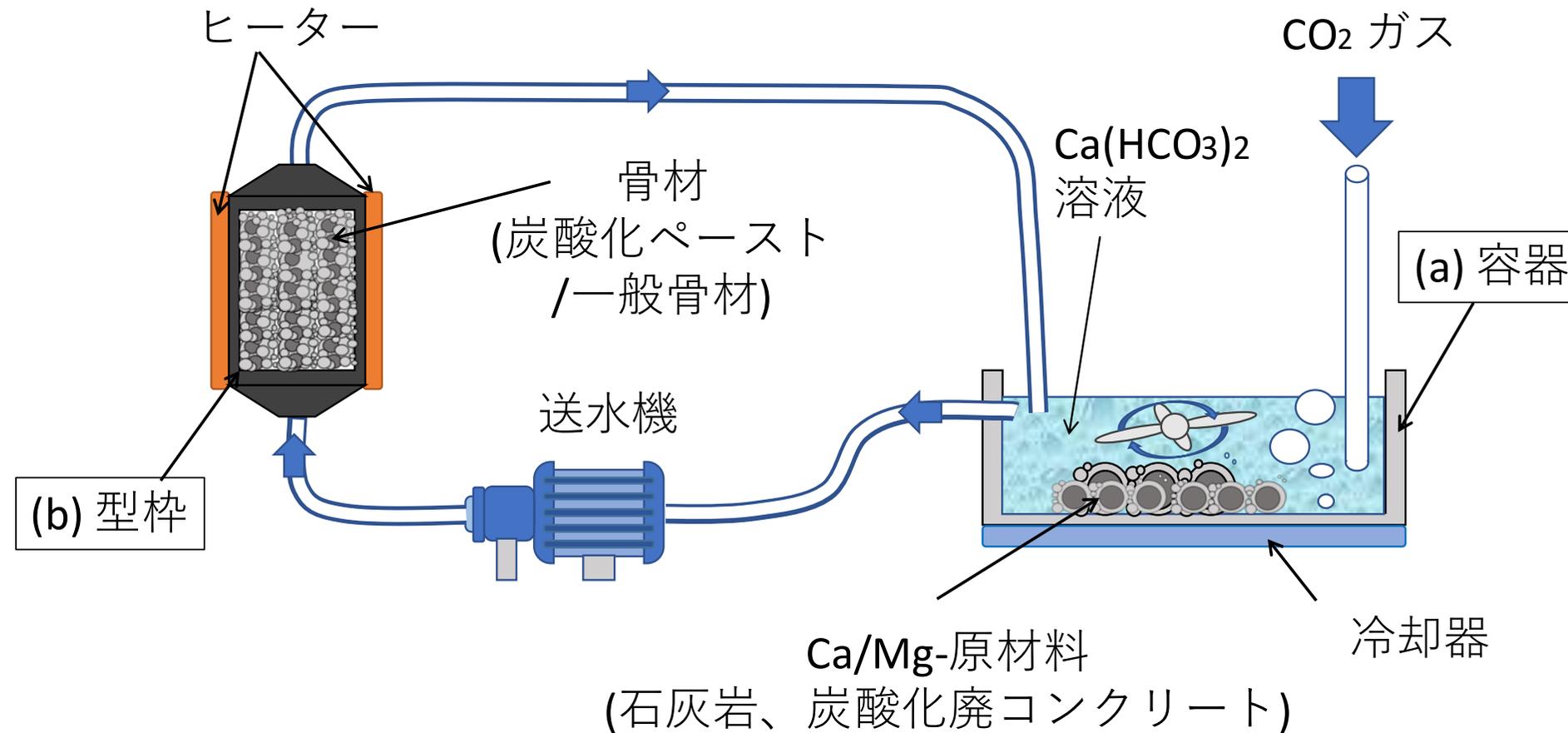


図1 製造装置の概念図

効率的な生成のために：

- ① 溶液の濃度、
- ② 粉体の粒度分布、
- ③ 温度条件、
- ④ 試験体の伝熱条件、
- ⑤ 強度発現メカニズム

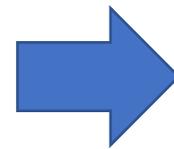
I. CCC反応制御技術・部材製造原理の開発

現時点の主な成果

1. 温度変化による析出プロセスを用いた硬化体の製造：



現状： $\phi 10 \times 20\text{mm}$ 、14MPa



現状： $\phi 50 \times 100\text{mm}$ 、4.2MPa

図2 異なるサイズの試験体製造結果

約8か月で $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の試験体が製造できるようになったが、強度について、さらなる改善が必要。

I. CCC反応制御技術・部材製造原理の開発

現時点の主な成果

1. 温度変化による析出プロセスを用いた硬化体の製造：

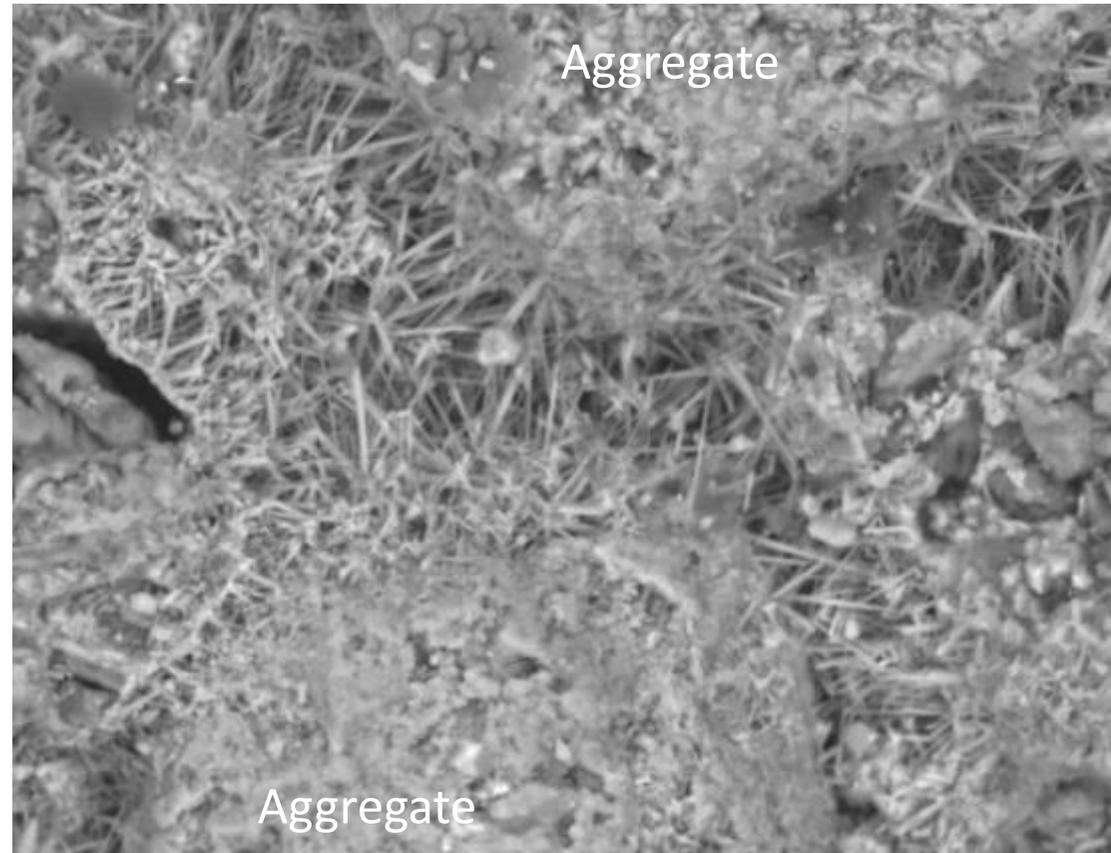


図3 試験体破断面の操作電子顕微鏡画像

セメント硬化体表面には、炭酸カルシウムのうち、カルサイトが主として析出しており、粒子間の応力伝達はアラゴナイトによって達成されている。→アラゴナイトの生成が重要な役割

I. CCC反応制御技術・部材製造原理の開発

現時点の主な成果

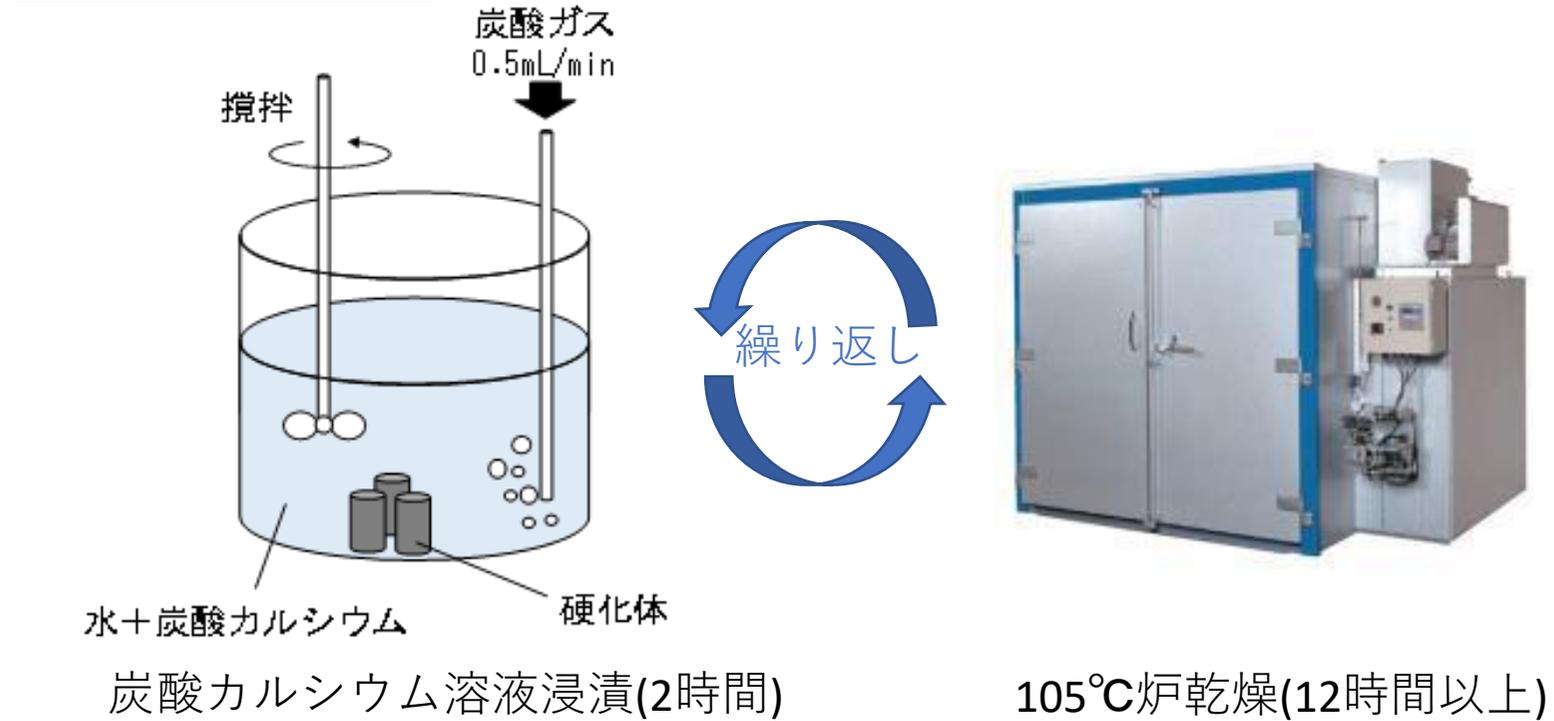
2. 蒸発による析出プロセスを用いた硬化体の製造：

析出プロセス1



図4 粉体の加圧成形方法

粉体を加圧成形



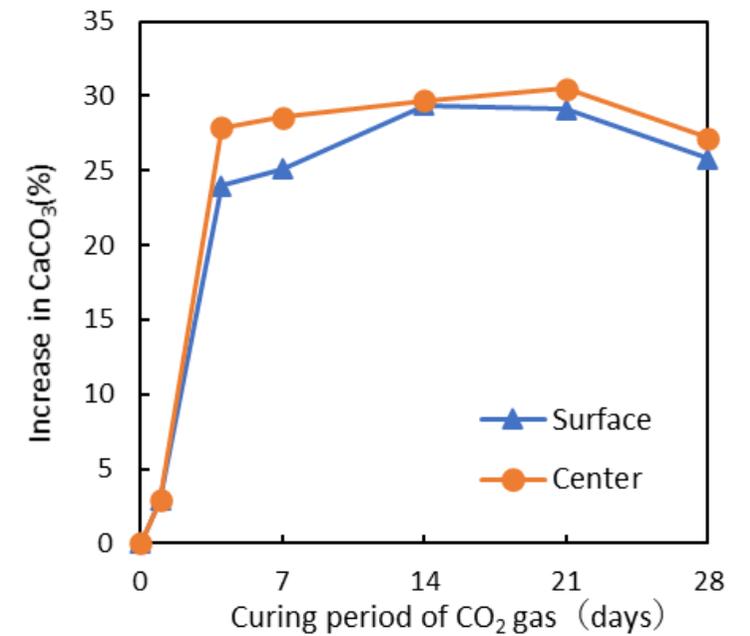
水+炭酸カルシウム
炭酸カルシウム溶液浸漬(2時間)

105°C炉乾燥(12時間以上)

析出プロセス2



炭酸ガス養生槽(45°C-80%R.H.-CO₂80%)

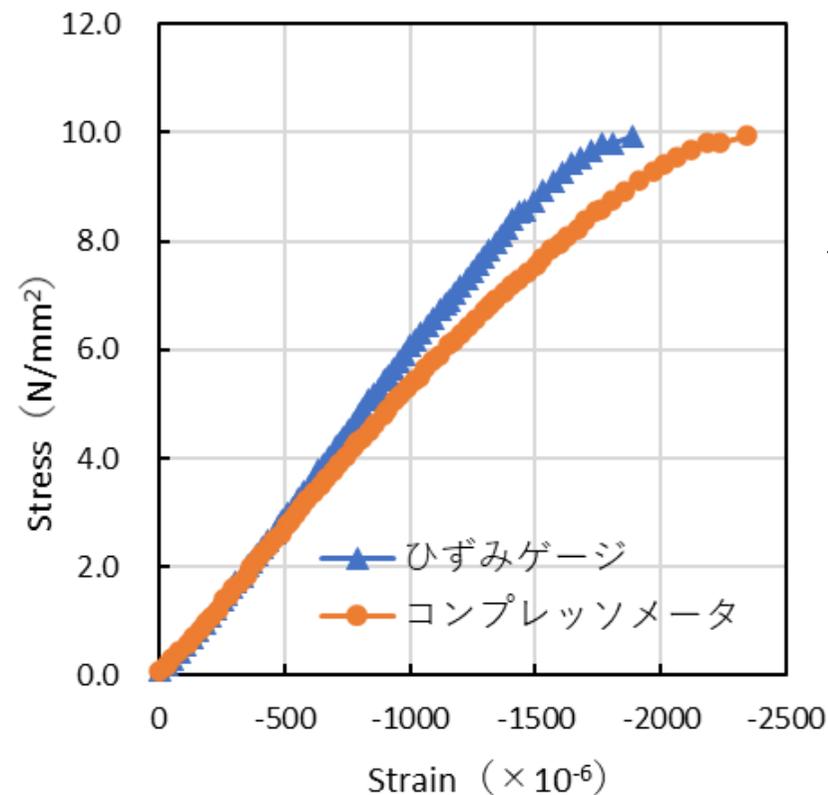


I. CCC反応制御技術・部材製造原理の開発

現時点の主な成果

2. 蒸発による析出プロセスを用いた硬化体の製造：

Proportion of non-carbonated powder			Water (%)	Density (g/cm ³)	Curing Period (days)	Density (g/cm ³)	Packing Ratio (%)	Compressive Strength (N/mm ²)
Grain size (mm)				Demolding		Testing		
<0.3	<0.6	<1.2						
25	50	25	15	1.68	28	1.62	68	9.93



- ◆ 割線静弾性係数 (JIS A1149)
 - ・ひずみゲージ: 5.84kN/mm²
 - ・コンプレッソメータ: 5.44kN/mm²

図4 粉体の加圧成形方法

I. CCC反応制御技術・部材製造原理の開発

まとめ

- ・現在、異なる二つのプロセスを用いて硬化体の製造を実施しており、試験体の大型化、硬化体の強度増大を進めている。強度発現メカニズムの理解とともに、今後、2022年度末までに12MPaの強度を達成するよう、鋭意研究開発を進めていく。

C⁴S研究開発プロジェクト

III. CCC造建築物の構造設計法・性能評価法の開発 およびC⁴Sの社会実装

東京大学・工学院大学・宇都宮大学・清水建設

発表者：東京大学（法人名）

PM：野口 貴文

国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科 教授

PJ参画機関：国立大学法人東京大学、国立大学法人北海道大学

III. CCC造建築物の構造設計法・性能評価法の開発 およびC4Sの社会実装

2029年目標

構造方法等の国土交通大臣認定の取得に向けたデータ整備を行い、同認定を取得する。建築基準法第37条（指定建築材料）に関わる制度の見直しのためのデータ整備を進めた後に同制度の改正を行い、指定建築材料に関する国土交通大臣認定の取得を行う。同様に、土木構造物でもCCCを問題なく使用できるようにするために、CCCのJISを制定する。

開発項目・内容

- ✓CO₂排出削減効果分析
- ✓資源循環シナリオ設計
- ✓材料設計法・構造設計法
- ✓実装シナリオ構築

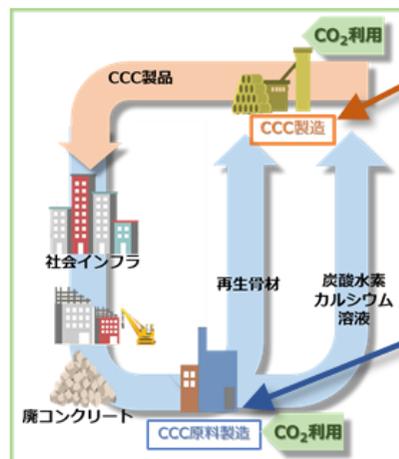
III. CCC造建築物の構造設計法・性能評価法の開発 およびC4Sの社会実装

CO₂排出削減効果分析

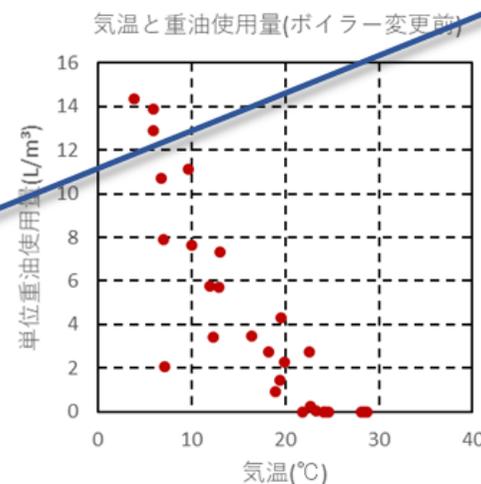
現状の実験装置類での電力消費量を測定するとともに、類似する実構造物における電力測定を行いCO₂排出削減効果の確認を勧めている。

2021年度の実施項目（当初計画，実施中）	2021年度の実施項目（追加）
<p>中間処理場における ↓エネルギー消費特性、CO₂排出特性の把握</p> <p>CCC原材料製造における破砕・分級プロセスと対応</p> <p>プレキャストコンクリート工場における ↓エネルギー消費特性、CO₂排出特性の把握</p> <p>CCC製造における温度差生成プロセスと対応</p>	<p>CCCの小型試作製造装置における エネルギー消費の計測開始 (装置手配中、11月下旬開始)</p> <p>LCIデータベースの収集 (加圧など計測が難しい製造法の検討)</p>

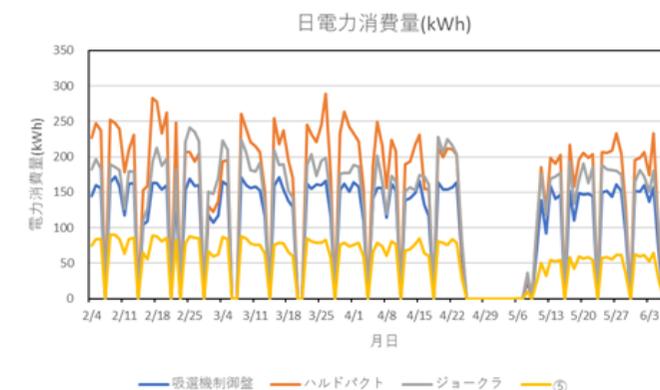
現在実施中の分析結果の例



プレキャストコンクリート工場の
加温エネルギー消費特性



中間処理場のエネルギー消費特性
(破砕・分級などプロセス別)



III. CCC造建築物の構造設計法・性能評価法の開発 およびC4Sの社会実装

資源循環シナリオ設計

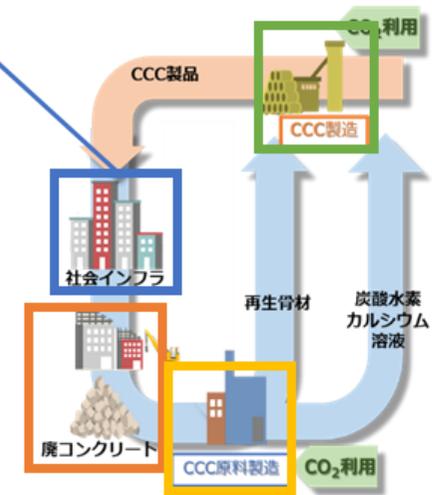
建築着工統計・建築物ストック統計・建築物除却統計等の各種統計資料に基づく調査をすすめている。

- ①現在の構造物ストック量 (m²)
- ②現在のコンクリート蓄積量 (m³)
- ③過去からのコンクリート累積量 (m³) (路盤材等のリサイクル、埋戻し含む)
- ④構造物の寿命
- ⑤将来のコンクリート廃棄物発生量 (m³)

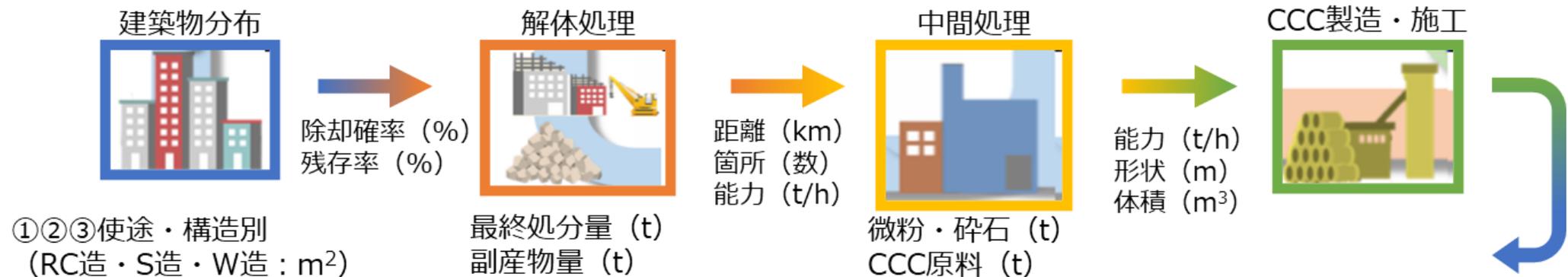


現在の建物ストック(民・公) : 約83億8187万m²
 現在のコンクリート蓄積量 : 約34億2819万m³、: 約82億5890万t
 住宅用 : 非木造(35.1%)、木造(25.4%)
 非住宅用: 非木造(38.6%)、木造(0.2%)
 * 原単位[生コンクリート0.41m³/m²、コンクリート密度2.4kg/m³]

建築系コンクリート塊発生量: 約27.0百万t(67%)
 土木系コンクリート塊発生量: 約13.5百万t(33%)



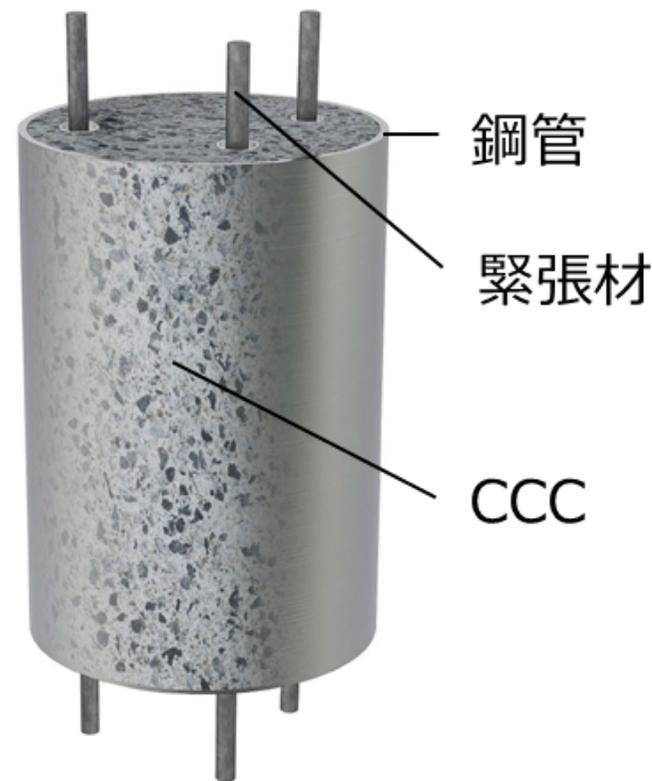
C⁴Sに適した中間処理施設・CCC原材料製造工場・CCC製造工場等の配置の検討



III. CCC造建築物の構造設計法・性能評価法の開発 およびC4Sの社会実装

材料設計法・構造設計法

現状の製造方法をもとに構造形式の提案を検討。



- ◆ 想定構造形式の各スタディ
 - ・ ユニットの圧着積層方法
 - ・ 長期荷重に対する安定性評価
 - ・ 地震等の外力に対する安全性評価など

弾性係数
圧縮強度・引張強度など

拘束材（鋼管）の厚さ
緊張材の径・本数など

III. CCC造建築物の構造設計法・性能評価法の開発 およびC4Sの社会実装

法規類の制定・改正

過去の新材料適用プロセス等を文献調査・ヒアリングなどをもとに検討

年	CCCの開発・普及	CCC生産量	法律・規格の制定・改正
2023	12N/mm ² の圧縮強度達成	0 千t	
2025	実験構造物の建設	0.1 千t	
2030	低層CCC造建築物2～3棟の建設	2 千t	① 建築基準法第20条に基づく大臣認定の取得
			② 日本建築学会規準・標準仕様書の制定 ③ 建設省告示1446号（技術的基準）の改正
2040	毎年1.725倍増	345 千t	④ 建築基準法第37条2項に基づく大臣認定の取得 ⑤ 日本産業規格（JIS）の制定 ⑥ 建設省告示1446号（技術的基準）の改正
			⑦ 建築基準法第37条1項への適合
2050	コンクリート構造物の50%がCCC造	110,000 千t	

