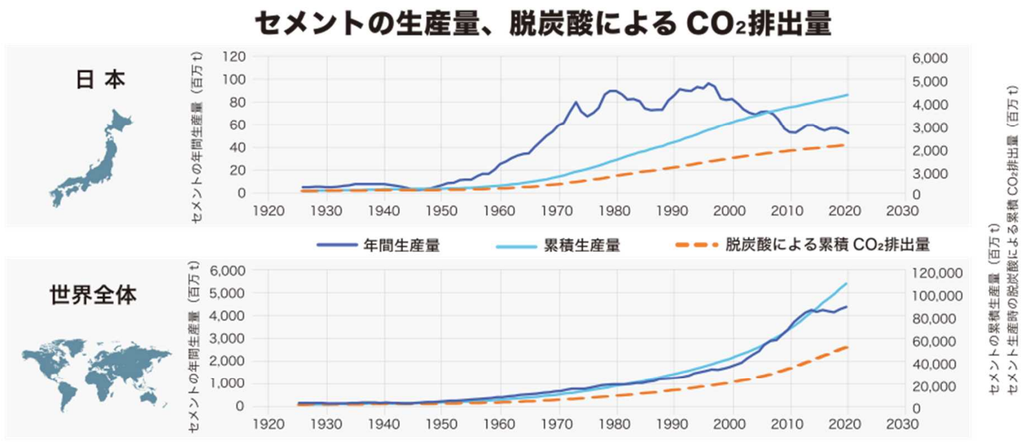
番号： A-6-1J
PJ:C$^4$S研究開発プロジェクト
テーマ名:大気中の$CO_2$と廃コンクリートのみから新たなコンクリートを製造し、地球を救う！
担当機関名:東京大学、北海道大学
問合せ先:野口貴文(PM、東京大学教授)、noguchi@bme.arch.t.u-tokyo.ac.jp

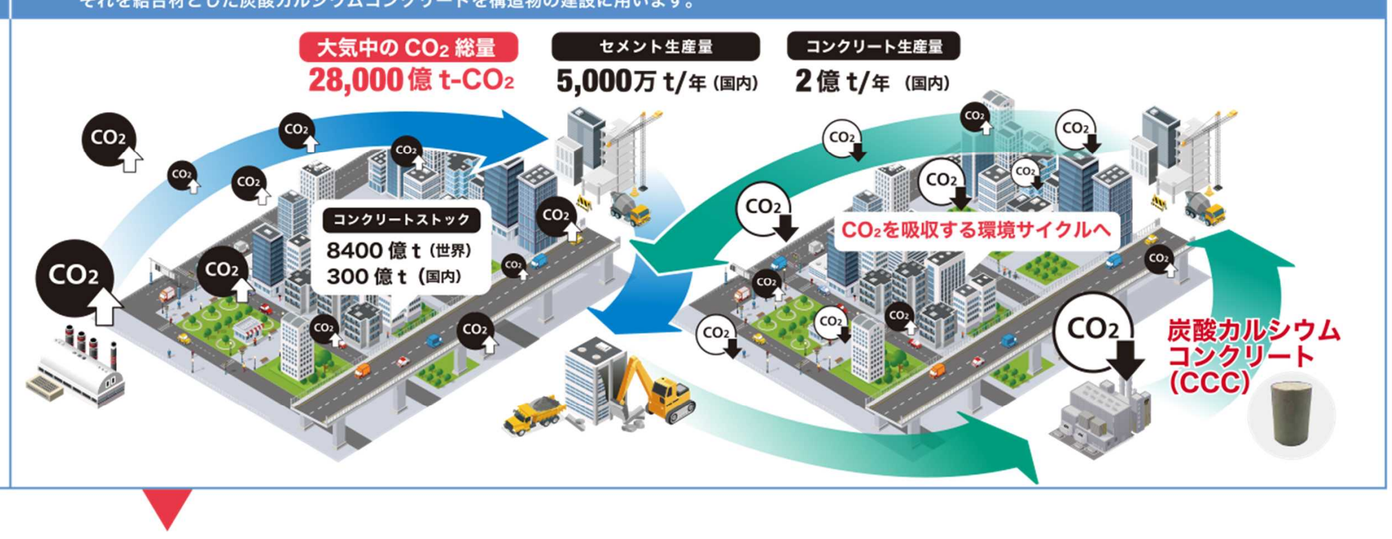
## 1 セメント・コンクリートはこれまでどのくらい$CO_2$を排出してきたか？

これまで、セメント生産時の石灰石の焼成（脱炭酸）によって世界全体で累積 500 億トン以上の $CO_2$（燃焼エネルギーからの排出も含めると累積 800 億トン以上）が排出されています。




## 2 プロジェクトの目標は何か？

セメント生産時に石灰石の焼成（脱炭酸）によって発生し大気中に蓄積している $CO_2$の全量を回収して炭酸カルシウム（$CaCO_3$）としそれを結合材とした炭酸カルシウムコンクリートを構造物の建設に用います。




## 3 プロジェクトを一言で表現すると？

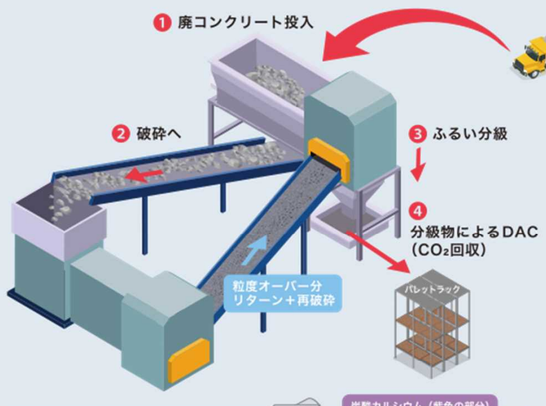
どこにでも存在する大気中の $CO_2$と廃コンクリートのみを原材料として炭酸カルシウムコンクリート（CCC）を製造し、CCC を建設材料として永久的に循環させます。(PROJECT Ⅰ・Ⅱ)
社会実装に必要となる資源循環最適化および $CO_2$回収量最大化の提案、ならびに CCC 構造物の基規準・規格の整備を行います。(PROJECT Ⅲ)

**PROJECT Ⅲ　CCCの社会実装**
PROJECTの構成機関　東京大学　工学院大学　宇都宮大学

## 4 どうやって$CO_2$を回収するか？

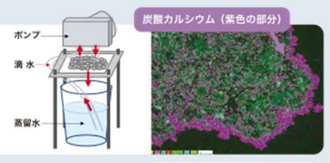
破砕して粒度を揃えた廃コンクリートの微細粒子に適度な湿分を繰り返し与えて、廃コンクリート中のカルシウム分（CaO）と大気中の二酸化炭素（$CO_2$）との反応を速く多く生じさせることで、大気から大量の $CO_2$を回収します。

**PROJECT Ⅱ　CCC 原材料の製造 and DAC（大気 $CO_2$の回収）**
PROJECTの構成機関　北海道大学　増尾リサイクル



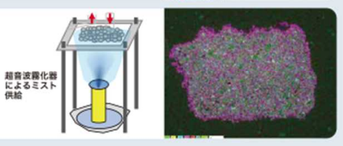

### ドリップ法

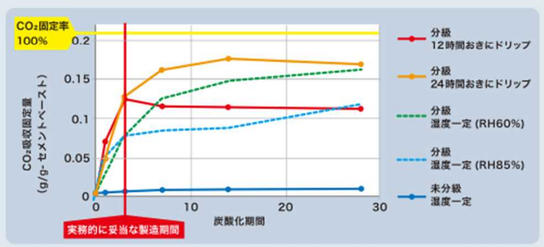
- 定期的な滴水により、$CO_2$の吸収固定は極めて高速
- Ca が溶脱して内部から表層部にに移動するため、内部脆弱化

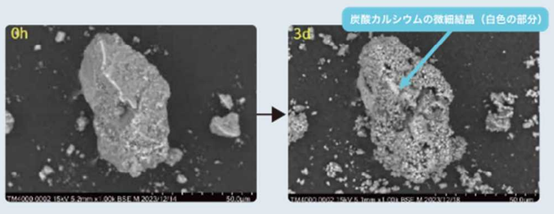



### ミスト供給法

- 少量のミスト散布により、表層部・内部で $CO_2$を急速・大量に吸収固定
- 管理はドリップ法より簡便



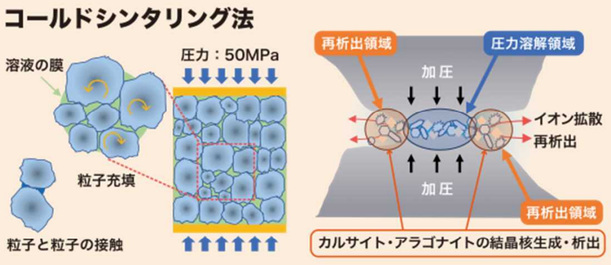




## 5 どうやって炭酸カルシウムコンクリート（CCC）を製造するか？

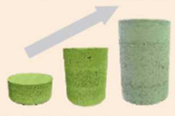
炭酸化させた廃コンクリート微粒子を炭酸水素カルシウム溶液で練り混ぜた後、剛な型枠に密に詰めて加圧することで、微粒子の接触部でのカルシウムの溶解、および炭酸カルシウム結晶（カルサイト、アラゴナイト）の再析出を生じさせ、その後、乾燥と炭酸水素カルシウム溶液への浸漬を数回繰り返すことで、CCC ユニットを製造します。

**PROJECT Ⅰ　CCC の反応制御技術 and CCC ユニットの安定化製造技術の開発**
PROJECTの構成機関　東京大学　太平洋セメント

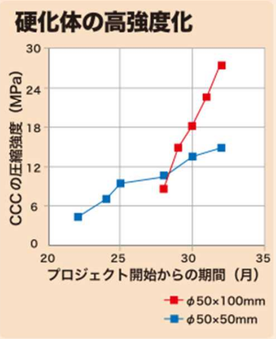
### コールドシンタリング法



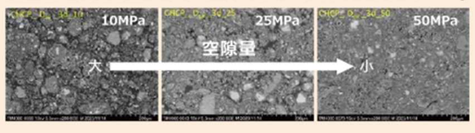
### 硬化体の大型化



### 硬化体の高強度化




加圧力を高めることで、空隙が減少し、高強度化（SEM）



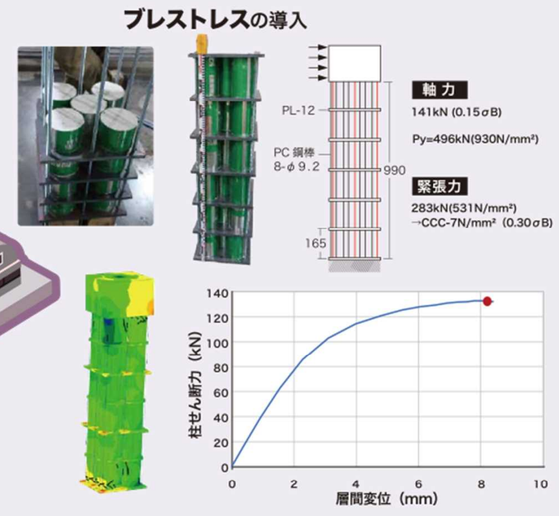

| | | |
|---|---|---|
| 粒度分布の最適化 | CCC の空隙率の削減<br>骨材同士の接触面積の増加<br>加圧成形後の CCC 骨格構造の強化 | 圧縮強度の増大 |
| 加圧成形後のCCCの乾燥 | 骨材界面での炭酸カルシウムの析出 | 緻密化<br>骨材粒子の結合 |
| $Ca(HCO_3)_2$溶液への浸漬と乾燥（二次養生） | $Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3+CO_2+H_2O$<br>炭酸カルシウムの更なる析出<br>生じた$CO_2$による未炭酸化部分の更なる炭酸化 | 圧縮強度の増大<br>エネルギー消費大 |

## 6 どうやって構造物を建設するか？

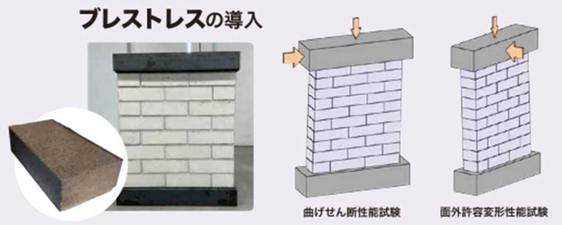
炭酸カルシウムコンクリート（CCC）ユニットを連結してプレストレスを与えることで一体化させて柱部材・壁部材を構築するとともに、鋼材・木材・FRP シートなどとの複合化を図るか、圧縮力のみが作用するアーチ・ヴォールト・ドーム構造とすることで梁部材・床部材を構築し、柱部材・壁部材・梁部材・床部材を連結して CCC 構造物とします。

**PROJECT Ⅰ　CCC 部材製造原理の開発　PROJECT Ⅲ　CCC 造建築物の構造設計・性能評価法の開発**
PROJECTの構成機関　東京大学　東京理科大学　太平洋セメント

### プレストレスの導入




### プレストレスの導入



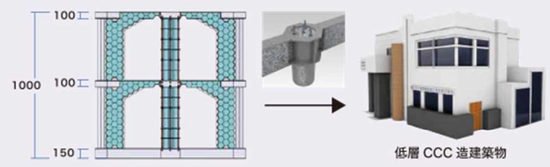

### EXPO 2025 大阪万博での展示構造物

未来社会ショーケース事業出展
https://www.expo2025.or.jp/sponsorship/future/#sec1
→フューチャーライフエクスペリエンスの期間展示 13m² に応募

CCC を用いた構造物（形状：さらに工夫予定）

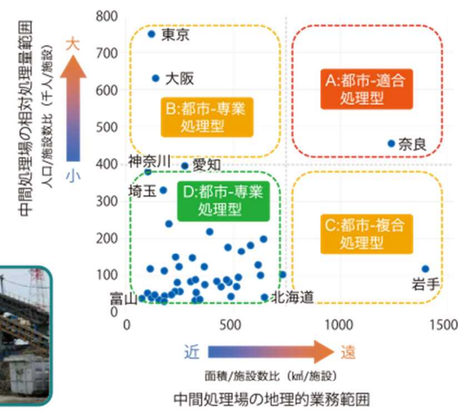
### 製造方式を考慮したCCCの構造形式の提案

- ラーメン構造
- アーチ・ヴォールド・ドーム構造

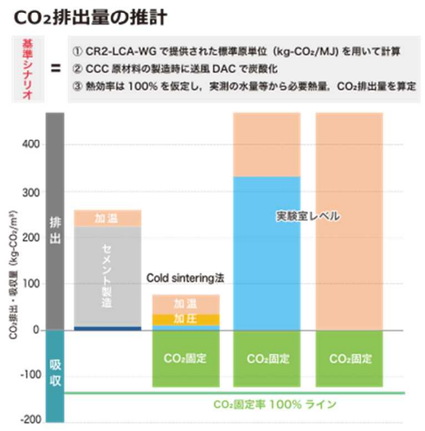



## 7 CCC 原材料はどれくらい発生し、どこで製造するか？どれくらい$CO_2$を回収できるか？

今後、構造物が寿命を迎えて解体され、毎年約 1 億トン以上の廃コンクリートが発生し、2050 年までに累積で約 40 億トンに達します。
CCC を 1m³ 製造するごとに 100kg 以上（目標：124kg）の $CO_2$が大気から回収され、固定されます。




### $CO_2$排出量の推計




## 8 CCC 構造をどのように社会実装し、普及させるか？

CCC の品質、および CCC 構造の性能が建築基準法を満足することを確認したうえで、2030 年に数棟の CCC 造建築物を建設し、2050 年には半分のコンクリート構造物が CCC 造となることを目指します。

| 年 度 | CCC の開発・普及 | CCC 生産量 |
|---|---|---|
| 2023 | 20MPa の圧縮強度達成 | 0 千 t |
| 2024 | 実験構造物の建設 | 0.1 千 t |
| 2029 | 低層 CCC 造建築物<br>2~3 棟の建設 | 2 千 t |
| 2040 | 毎年 1.725 倍増 | 345 千 t |
| 2050 | コンクリート構造物の<br>50% が CCC 造 | 110,000 千 t |

コンクリートの必要最低強度：12MPa
建築基準法施行令第 74 条「鉄筋コンクリート造に使用するコンクリートの強度は、次に定めるものでなければならない。」

2025 年
大阪万博での実験構造物の展示　EXPO 2025

**法律・規格の制定・改正**

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
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

$CO_2$排出削減量　日本：▲2,620 万 t-$CO_2$/ 年　世界：▲約 21 億 t-$CO_2$/ 年

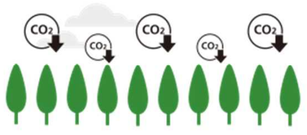
## 9 コンクリートをホワイトカーボンに！

グリーンカーボン、ブルーカーボンに続く「ホワイトカーボン」によって地球の温暖化を抑制します。

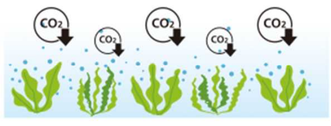
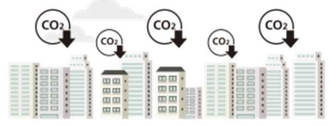
救え地球を！ ホワイトカーボンで!!

大陸生態系、海洋生態系に加えて、人類生態系への炭素の固定を創出するコンクリート

グリーンカーボン
大陸生態系に取り込まれた炭素
**Green Carbon**
from land green
$CO_2$固定量 106.4 億トン／年



ブルーカーボン
海洋生態系に取り込まれた炭素
**Blue Carbon**
from ocean blue
$CO_2$固定量 58.3 億トン／年



ホワイトカーボン
人類生態系に取り込まれた炭素
**White Carbon**
from human activities
$CO_2$固定量 約 10 億トン／年