

NEDO脱炭素技術分野成果報告会2025 プログラムNo.11

「革新的カーボンネガティブコンクリートの 品質管理・CO₂固定量の評価技術の開発」

「グリーンイノベーション基金事業／CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発／
CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの開発」

発表： 2025年7月15日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

森 泰一郎（デンカ）

*団体名 鹿島建設（株） （株）竹中工務店 デンカ（株）

鹿島道路、竹中土木、鉄建建設、東急建設、不動テトラ、太平洋セメント、トクヤマ、日鉄高炉セメント、日鉄セメント、大和紡績、花王、竹本油脂、フローリック、シーカ・ジャパン、北川鉄工所、セイア、日工、磯上商事、三和石産、長岡生コンクリート、川岸工業、コトフキ技研工業、ジオスター、ケイミューシボレックス、スパンクリートコーポレーション、タイガーチヨダ、ダイワ、高橋カーテンウォール、タカムラ建設、鶴見コンクリート、日本コンクリート、日本コンクリート工業、日本メサライト工業、ノザワ、ホクエツ、ランデス、中国高圧コンクリート工業、三菱商事、島津製作所、金沢工業大学、九州大学、芝浦工業大学、島根大学、東京大学、東北大学、東京理科大学、東洋大学、早稲田大学、東海大学、産業技術総合研究所（CUCO 幹事会社3社、共同実施先54社）

問い合わせ先 CUCO <https://www.cuco-2030.jp/>

デンカ <https://www.denka.co.jp/>

本事業における研究開発（2021～2030年度） **本発表**

セメント低減型コンクリート技術



地産地消を
考慮した組合せ

CO₂固定型コンクリート技術

CO₂材料活用型コンクリート技術



研究開発項目1-①

大型PCa構造物への
適用技術

現場打設コンクリートへの
適用技術（地盤改良含む）



研究開発項目1-②

CO₂排出削減・固定量
（環境価値）の見える化

万博等での実証
技術基準化に向けたデータ収集



研究開発項目2

野心的な研究開発目標への挑戦（CO₂排出削減・固定量最大化、用途拡大、従来品同等コスト）



関係省庁等と連携の下、開発技術の普及に向けた環境整備（技術基準化、各種優遇策等）

コンソーシアム外の企業を含めた幅広い技術導入の体制構築（普及推進組織等を通じた技術提供）

CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの社会実装・普及拡大へ

1. 事業期間

開始:2022年1月~終了(予定):2030年3月

2. 最終目標

- ・2030年までに、公的規準の礎となるCO₂排出削減・固定量最大化コンクリートのCO₂固定量の標準的な評価方法を確立

- ・同コンクリートの品質管理・モニタリング手法を構築

3. 成果・進捗概要

開発成果を基に、CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの市場拡大につながる標準化(IS/ISO)を推進中

【研究開発項目2】

CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理・固定量評価手法に関する技術開発

- (1) CO₂固定量の評価手法の開発
- (2) CO₂固定量の品質管理・モニタリングシステム開発
- (3) フィールド検証等によるコンクリートの品質とCO₂削減・固定量の評価

(1) 各種CO₂分析機器を用いたCO₂固定量評価・分析手法の最適化と検証



TOC(全有機体炭素計)

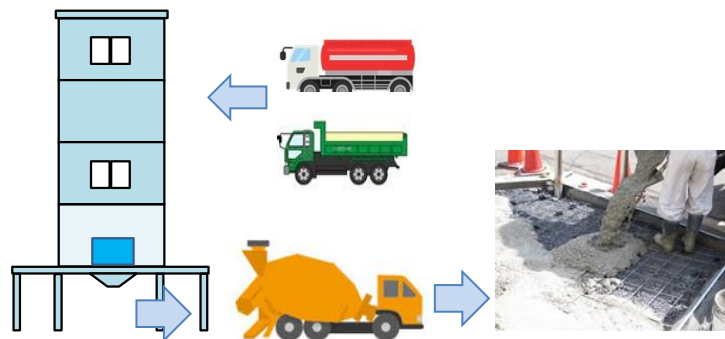


無機炭素分析

(2)-1. コンクリートへのCO₂固定による槽内CO₂消費モニタリングシステムの開発と検証



(2)-2. 材料～製造～施工の一連の建设工程を踏まえたLCCO₂評価システムの開発と検証



(3) 開発したコンクリートのフィールド暴露によるコンクリートの耐久性等の評価とCO₂削減・固定量の評価及び検証



◆CO₂固定量の評価手法の開発

課題

- コンクリートとCO₂との反応に伴うCO₂固定量を，定量的に評価するための標準的な分析機器・手法が確立されていない
- 様々な材料の複合体である本研究で開発したCO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの，CO₂固定量評価に適した実用的な手法が確立されていない

解決方法

- 各種分析機器を用いたコンクリートのCO₂固定量の評価
- 分析試料のサンプリング，ならびに試料調整方法に関する検討
- データの蓄積と評価による国際標準化への提言（各種学会等との連携）



燃焼IR法



TOC(全有機体炭素計)



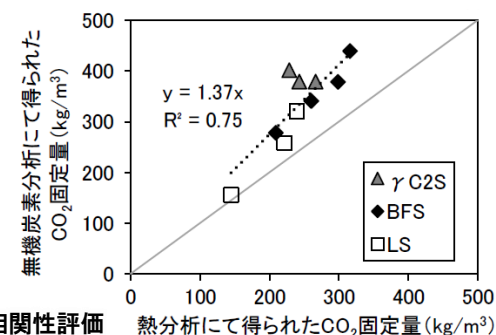
無機炭素分析



TG-DTA(熱分析)



X線CT装置



国際標準化会議

◆CO₂固定量の品質管理・モニタリングシステム開発

課題

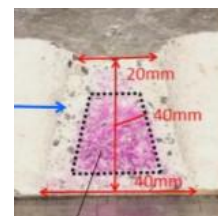
- コンクリート製造時には、CO₂固定量の空間的・時間的ばらつきが生じる可能性があり、それを踏まえたCO₂固定量の管理が必要となる
- コンクリート分野でのCO₂排出削減においては、材料でのCO₂評価に加えて、コンクリート構造物の建設全体におけるCO₂評価が重要となる

解決方法

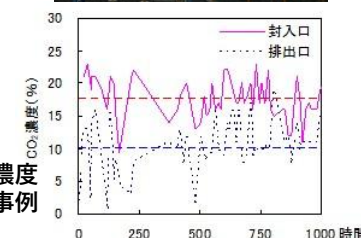
- コンクリートのCO₂固定量の空間的・時間的ばらつきの評価と均質化に関する検討
- CO₂固定時のCO₂収支モニタリングシステムの開発
- 材料～製造～施工の建設工程を踏まえたLCCO₂評価システムの開発



プレキャストコンクリートへ
CO₂固定状況



フェノールフタレインを用いた
微破壊試験によるCO₂固定
領域の検証
CO₂濃度
モニタリング事例



◆フィールド検証等によるコンクリートの品質とCO₂削減・固定量の評価

課題

- 本研究で開発するCO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの、長期的なコンクリートとしての品質が評価されていない
- 供用期間中における同コンクリートのCO₂固定能力の変化（CO₂固定量が変わらないこと）が評価されていない
- 環境条件と炭酸化したコンクリートの鉄筋腐食の関係が評価できていない

解決方法

- 実環境への暴露、ならびに劣化促進試験による、CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの、長期的な強度・耐久性の評価、およびコンクリート構造物としての設計への反映
- 実環境への暴露等による、CO₂固定量の長期的な変遷の評価
- 炭酸化したコンクリート中の鉄筋腐食に及ぼす環境依存性の評価



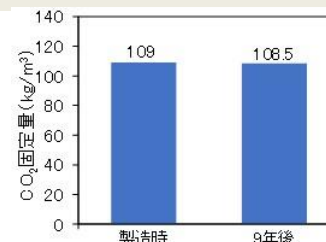
大阪万博への試験適用と長期暴露



電氣を用いた劣化促進試験の例



製造から9年経過した
CO₂固定型コンクリート



長期暴露とその後の破壊検査によるCO₂固定量の測定例

本研究開発事業では、総合建設業であり、多数の環境配慮型コンクリート技術の開発・適用実績を有する鹿島、竹中工務店と、コンクリート用特殊混和材の開発・製品化において優れた技術と実績を有するデンカが主要な企業となり、建設サプライチェーンを構成する43社と大学等の11研究機関からなるコンソーシアムを構成し、最終的にCO₂排出削減・固定量最大化コンクリートを広く一般に普及させることを目標とする

幹事会社【3社】



参加企業【43企業、11研究機関】

分野	参加企業
ゼネコン（7社）	鹿島建設, 竹中工務店, 鹿島道路, 竹中土木, 鉄建建設, 東急建設, 不動テトラ
セメント・混和材メーカー（6社）	デンカ, 太平洋セメント, トクヤマ, 日鉄高炉セメント, 日鉄セメント, 大和紡績
混和剤メーカー（4社）	花王, 竹本油脂, フローリック, シーカ・ジャパン
プラント関連メーカー（3社）	北川鉄工所, セイア, 日工
生コンメーカー（3社）	磯上商事, 三和石産, 長岡生コンクリート
プレキャスト・CCU材料関連メーカー（18社）	川岸工業, コトブキ技研工業, ジオスター, ケイミューシポレックス, スパンクリートコーポレーション, タイガーチヨダ, ダイワ, 高橋カーテンウォール, タカムラ建設, 鶴見コンクリート, 日本コンクリート, 日本コンクリート工業, 日本メサライト工業, ノザワ, ホクエツ, ランデス, 中国高圧コンクリート工業
商社（1社）	三菱商事
計測・システムメーカー（1社）	島津製作所
大学・研究機関等（10大学, 1機関）	金沢工業大学, 九州大学, 芝浦工業大学, 島根大学, 東京大学, 東北大学, 東京理科大学, 東洋大学, 早稲田大学, 東海大学, 産業技術総合研究所

インフラ・建物・街をつくりながらCO₂を削減・固定～建設活動を通じてカーボンニュートラル社会へ貢献～

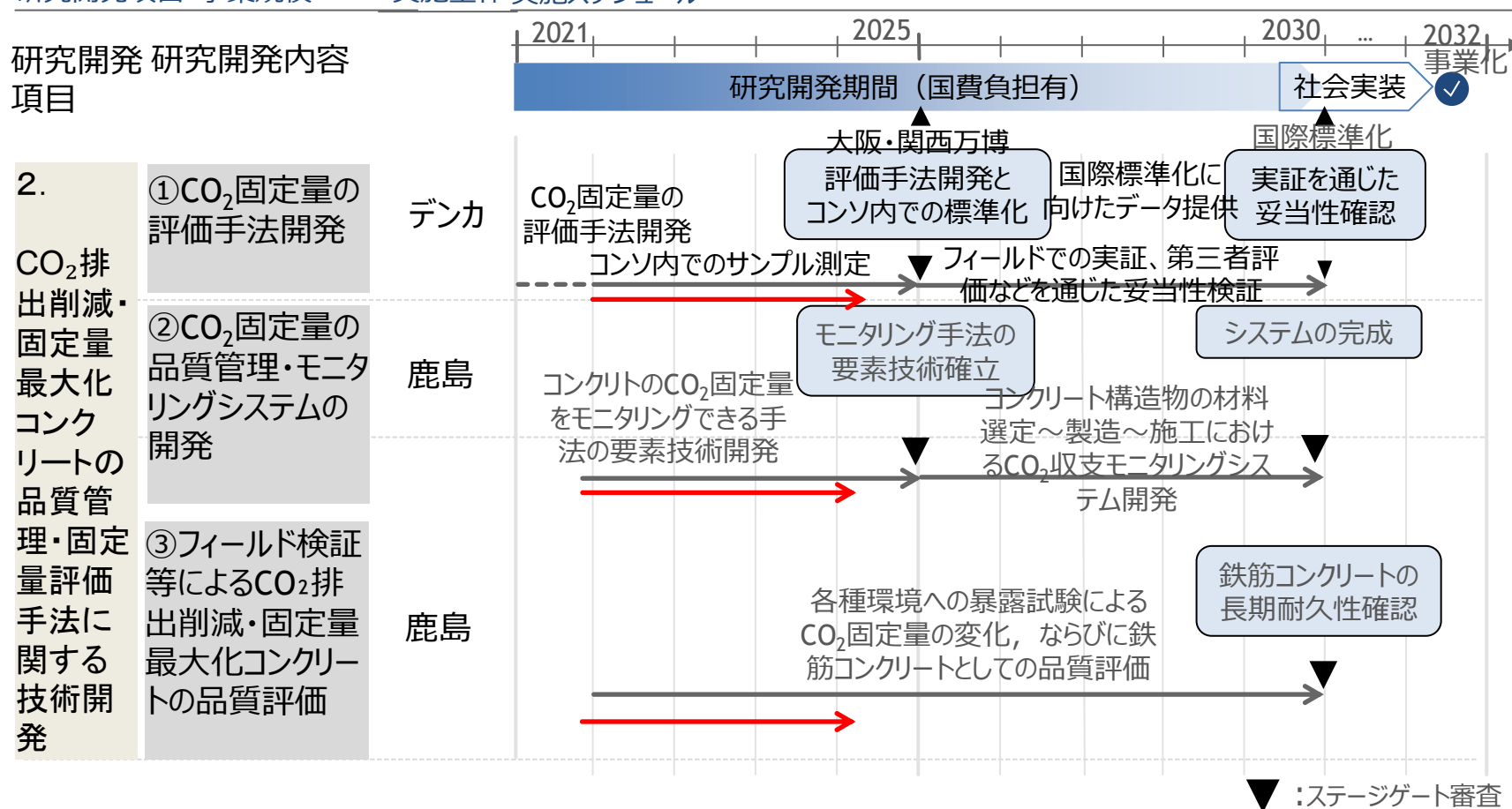


複数の研究開発を効率的に連携させるためのスケジュールを計画

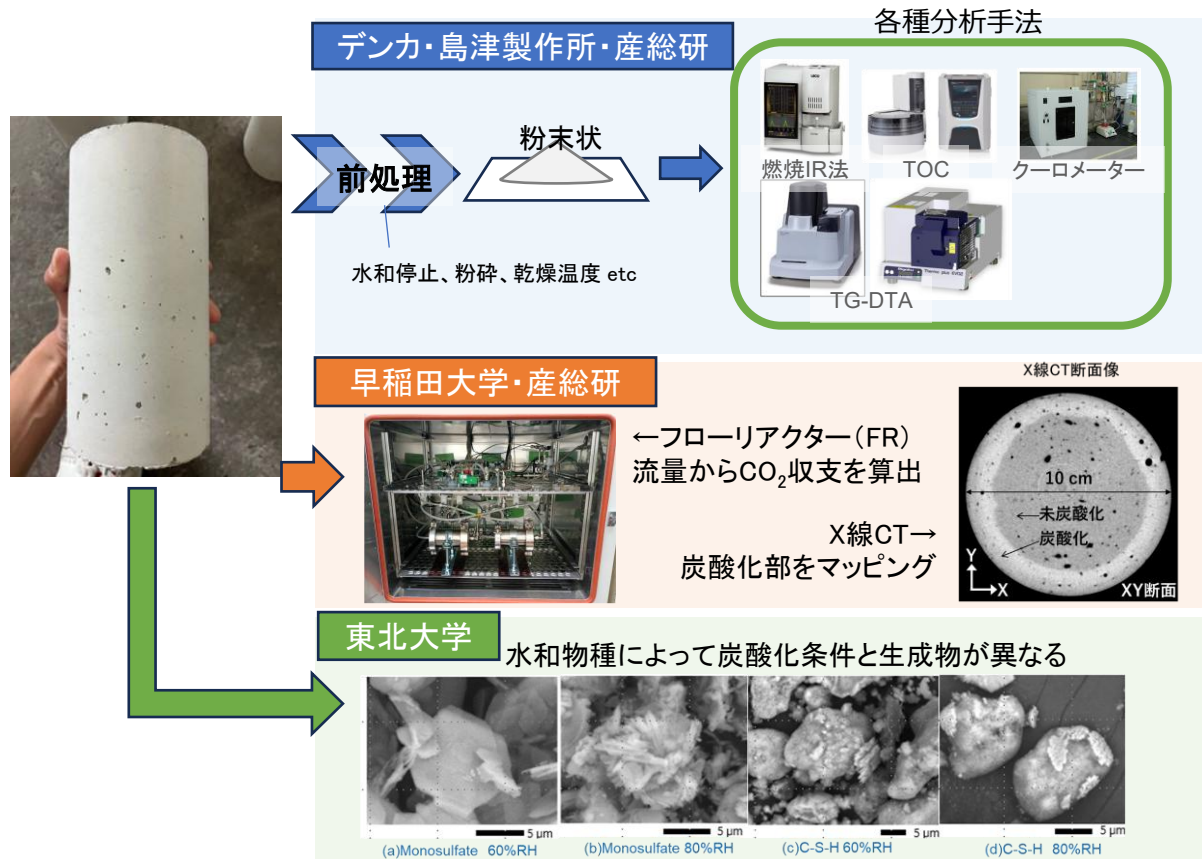
2. CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理・固定量評価手法に関する技術開発

研究開発項目・事業規模

実施主体 実施スケジュール



◆全体概要



{ 適切な前処理方法の検討
高精度の測定条件の検討

➡ JIS / ISO化の提言

課題

- ・種々の配合での再現性(各社)
- ・測定者によるばらつき(島津TOC)

非破壊の分析方法の開発

➡ 簡便な固定量評価手法の提案

課題

- ・CO₂と水の分離(早稲田FR)
- ・適用範囲が限定的(産総研・X線CT)

安定性・生成メカニズムの議論

➡ 固定量としてカウントできるか

課題

- ・生成物(炭カル多形)の熱分解挙動解明
- ・TGでの評価への落とし込み

◆CO₂量評価方法に関わる海外規格調査の結果概要

<進捗状況>

・ISO、EN、ASTM、GB、KS、そしてJISを対象に、無機材料/製品(セメント、コンクリート、等)に係るCO₂評価調査を実施し、結果を解析

●:規格あり

	石灰						石膏						セメント						コンクリート					
	ISO	EN	ASTM	GB	KS	JIS	ISO	EN	ASTM	GB	KS	JIS	ISO	EN	ASTM	GB	KS	JIS	ISO	EN	ASTM	GB	KS	JIS
湿式分析法		●	●	●	●	●			●	●	●		●	●	●	●				●				
熱分析法															●	●					●			
炭素硫黄分析装置			●												●									
全有機炭素計		●			●					●						●				●				
電量滴定法				●						●						●								
蛍光X線分析															●									

<今後>

・海外規格の調査結果(一次)を基に、標準化戦略も見据えたJIS関連規格の有無等を精査

◆CO₂固定量の評価手法開発

■各種分析法の妥当性評価と標準化への提言

《開発目的》

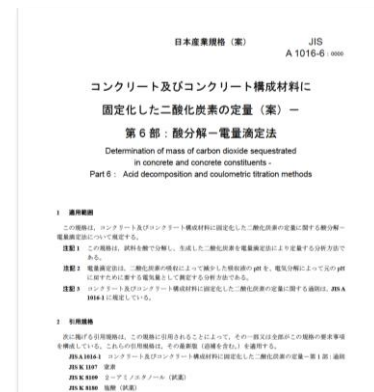
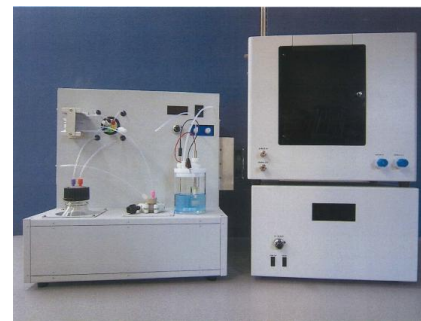
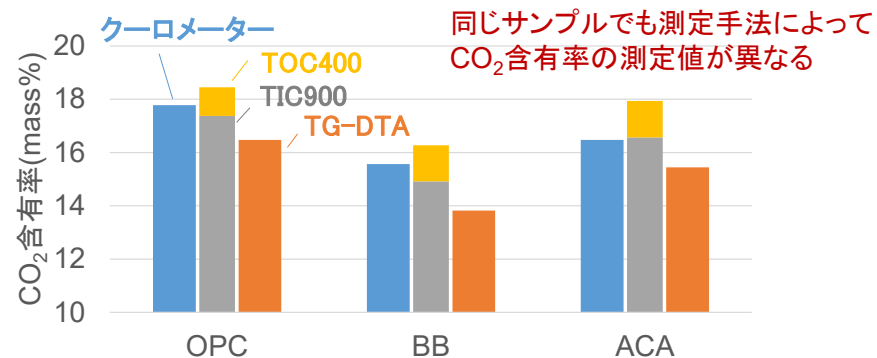
セメント・コンクリートに固定化されたCO₂固定量の評価手法の確立

《技術課題》

- ①各種手法の精確さ(=精度+真値)の把握
- ②標準化(JIS/ISO)への落とし込み

《進捗状況》

- ☞ 酸分解法と熱分解法で固定化CO₂定量値に差がある傾向を確認
- ☞ 固体TOCや燃焼IR法の定量値の比較を行いながら酸分解と熱分解の特徴を整理し、有機炭素を含有するサンプルなど様々な配合のサンプルで定量値の妥当性を検討中
- ☞ 酸分解法-電量滴定法をはじめ規格化検討が進む各種手法間での妥当性評価と標準化作業を推進している。



酸分解-電量滴定法(左図:装置例、右図:JIS素案)

学協会への提言を通じたCO₂固定量評価手法(酸分解-電量滴定法等)の標準化(JIS/ISO)を目指す。

◆CO₂収支によるCO₂固定量の評価

《開発目的》

非破壊によるCO₂固定量評価手法の確立、およびデファクト化

《技術課題》

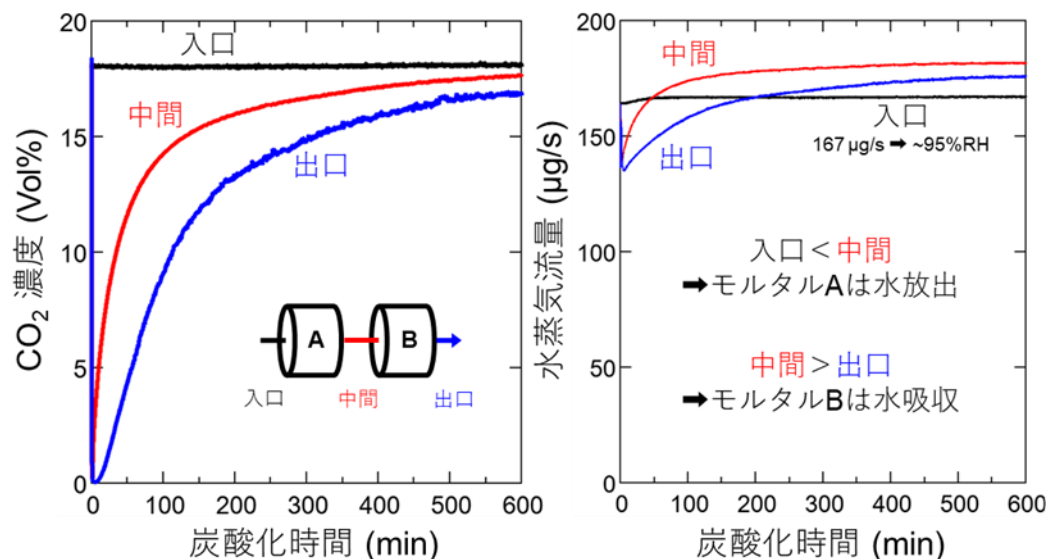
品質管理・モニタリングに適した実用的な手法の確立

《進捗状況》

実用化を見据え、CO₂を高効率に利用するために炭酸化養生槽を連結した形態を発案し、検討を開始した。

CO₂吸収速度・吸収量、試料含水率(w/s)をリアルタイムで評価可能と判明し、詳細検討を継続している。

養生槽を2つ連結した流通式反応器での検討



◆X線CT像による環境価値の見える化

《開発目的》

非破壊によるCO₂固定量評価手法の確立、およびデファクト化

《技術課題》

品質管理・モニタリングに適した実用的な手法の確立

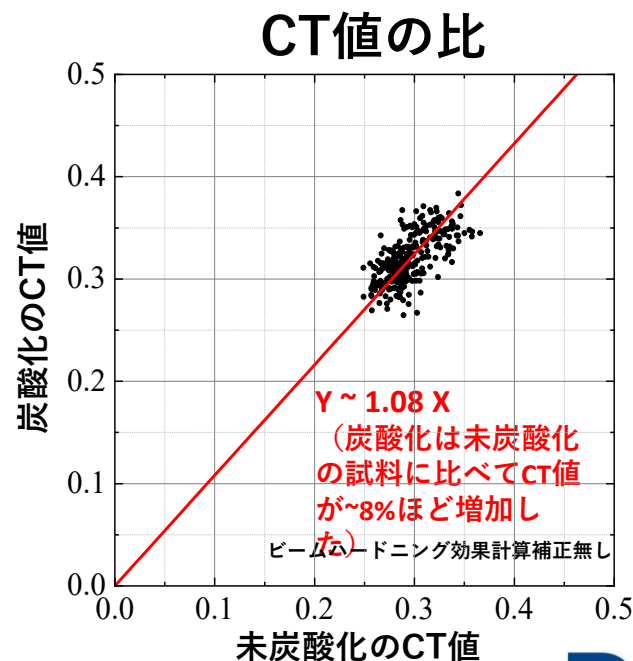
《進捗状況》

X線CT像



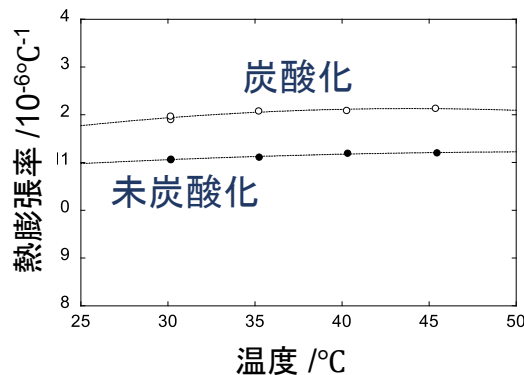
LEAF有, 160kV, Cu 3mmフィルタ

両試験の同じ深さ
でのCT値をとり
だして比較



◆CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの各種熱物性 (線膨張) の確認

◆モルタル試験体における熱膨張特性の炭酸化による影響の評価

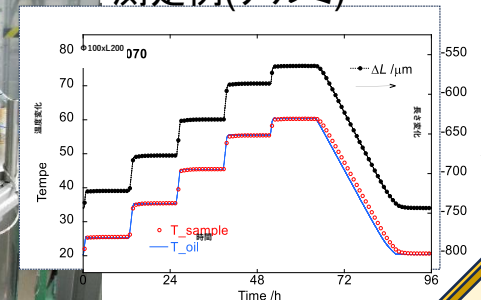


モルタル試験体についての
熱膨張特性評価により
炭酸化による熱物性への影響
を評価

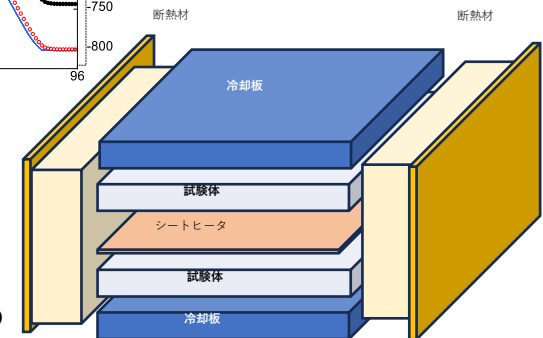
◆大型試験体対応の測定装置の開発

大型試験体用熱膨張計

測定例(アルミ)



Φ100×L200の大型試験体に対応できる
熱膨張測定装置を構築
模擬サンプルによる稼働試験および
測定妥当性の評価を行った



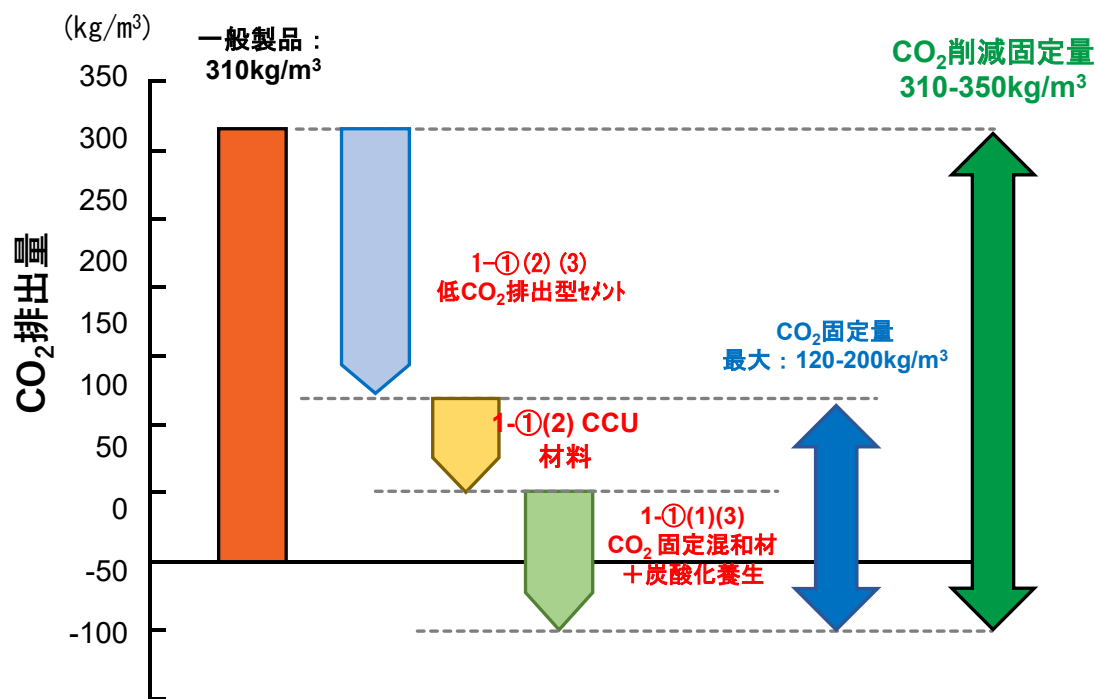
大型試験体用熱伝導率測定装置

➡ 引き続き大型試験体による熱物性評価を実施し、線膨張を中心とし、様々な配合のCUCOの熱物性を測定し、データの積み増しを図る

◆CUCO-舗装ブロック

【開発目的】既存技術の複合型コンクリートの暴露試験

- ・CO₂削減・固定量の最大化
- ・CO₂排出削減量, 使用材料の製造性確認
- ・舗装ブロックの長期暴露による耐久性・CO₂固定量評価



各技術の組合せによるCO₂削減・固定量

◆CUCO-舗装ブロック

【概要】

11種の配合を製造し, うち8配合には炭酸化養生を実施

CUCO-舗装ブロックについて

◆ 厚さ80mm×幅100mm×長さ200mm
【透水性ブロック】

◆ 削減・固定目標を段階的に設定
→既存技術を総動員するK配合での
削減・固定目標は400kg/m³

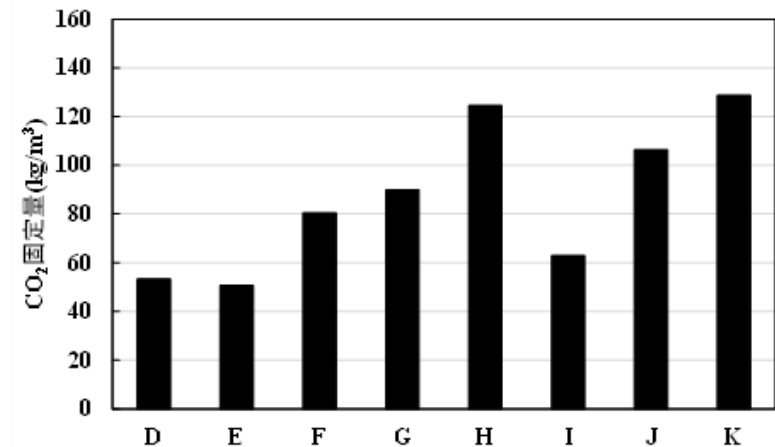
No.	使用材料	CO ₂ 削減・固定目標(kg/m ³)
A	普通セメント(389kg/m ³ 排出)	—
B	ECM	150
C	Cem-R ³	150
D	ECM	200
E	ECM+γ-C ₂ S	280
F	普通セメント+γ-C ₂ S	200
G	ECM+エタノール	330
H	普通セメント+新型γ-C ₂ S	200
I	ECM+ガラスカレット	200
J	ECM+エタノール+ガラスカレット	330
K	ECM+γ-C ₂ S+エタノール+ガラスカレット	400



◆CUCO-舗装ブロック

【概要】大阪・関西万博での実証を目的に、11種の配合を製造し、うち8配合には炭酸化養生を実施
 ブロックを約3,300m²敷設し、一般製品と比較し**65t**のCO₂を削減。なお、うち**9.7t**のCO₂を炭酸化によってブロックに固定

No.	使用材料	炭酸化の有無
A	普通セメント	無
B	ECM	無
C	Cem-R ³	無
D	ECM	有
E	ECM+γ-C ₂ S	有
F	普通セメント+γ-C ₂ S	有
G	ECM+CCU材料	有
H	普通セメント+改良γ-C ₂ S	有
I	ECM+ガラスカレット	有
J	ECM+CCU材料+ガラスカレット	有
K	ECM+γ-C ₂ S+CCU材料+ガラスカレット	有



炭酸化養生によるCO₂固定量

◆ 既存技術の総動員である**K配合**のCO₂固定量が最も大きい

◆CUCO-舗装ブロック

【今後の予定】

大阪・関西万博にEXPOアリーナほかに敷設中
会期中(4/13～10/13)

→2ヶ月に1回程度、現地にて透水性や
色調の変化に関する調査を実施予定

閉会后(11月～)

→閉会后ブロックを回収し、各種材料が耐久性
および自然環境下での炭酸化の有無を確認
ブロックの一部は回収後に暴露試験継続予定



研究開発内容

1 CO₂固定量の評価手法開発

直近のマイルストーン

- それぞれの機器分析の課題の整理
- 簡易評価手法の開発



残された技術課題

- 骨材に石灰石（天然物）が使用された場合のCO₂固定量の判別方法。
- CO₂評価に係る海外規格の採用実態が不明。また、海外規格に見られた適格性試験や精度データの記載に対する対応。

今後の取組み

- - CO₂固定型コンクリート技術を優先検討しつつ、適用技術の拡大を目指す。
 - 海外規格の実態に係る情報収集を検討する。

2 CO₂固定量の品質管理・モニタリングシステムの開発

コンクリートの炭酸化によるCO₂固定領域の判定方法の探索



コンクリートの中性化深さとCO₂固定領域との関係が不明

- - 様々なコンクリートにおける中性化深さとCO₂固定領域との関係に係るデータ取得と評価を実施する。

3 フィールド検証等によるCO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの品質評価

- 長期耐久性評価のための暴露試験実施
- コンクリートの表層耐久性の検討着手
- 鉄筋腐食試験体の作製・測定



- コンクリートの炭酸化による表層の空隙構造・水和物組成の変化が不明確
- 炭酸化したコンクリート中鉄筋の防食技術が未確立

- - 炭酸化したコンクリートの表層部における空隙構造・水和物組成に関する詳細分析を実施する。
 - 仕上材や防錆鉄筋を用いた防食技術の確立。