

# NEDO脱炭素技術分野成果報告会2025 プログラムNo.9

## コンクリートにおけるCO<sub>2</sub>固定量評価の 標準化に関する研究開発

グリーンイノベーション基金事業

CO<sub>2</sub>を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト

CO<sub>2</sub>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

発表者名 栗原 諒

\*団体名：(国)東京大学

[再委託先] (株)太平洋コンサルタント (国)名古屋大学 (国)千葉大学 (国)新潟大学 (国)京都大学 (国)北海道大学

(株)リガク(～2023年度) (国)琉球大学 および (国)広島大学(～2024年度)

問い合わせ先 国立大学法人東京大学 E-mail: i.maruyama@bme.arch.t.u-tokyo.ac.jp, ryo.kurihara@bme.arch.t.u-tokyo.ac.jp

 目次

## ■ 研究計画概要

- (1) 背景・目的
- (2) 開発目標
- (3) 開発項目・実施内容

## ■ 研究成果トピックス

- (1) コンクリートに特化したCO<sub>2</sub>固定量測定装置の開発
- (2) 空気中のCO<sub>2</sub>固定を証明する方法の開発

## ■ まとめ / 課題と今後の取り組み

# 研究計画概要



## ☐ (1) 背景・目的

「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」の中で、  
コンクリート関連分野は、成長が期待される14分野のうち  
カーボンリサイクル・マテリアル産業として位置づけ [参考] 経済産業省HP

- ✓ CO<sub>2</sub>排出量削減／固定化に関する技術開発が活況
- ✓ カーボンプライジングの導入を視野に  
炭素税や排出量取引の検討はじまる

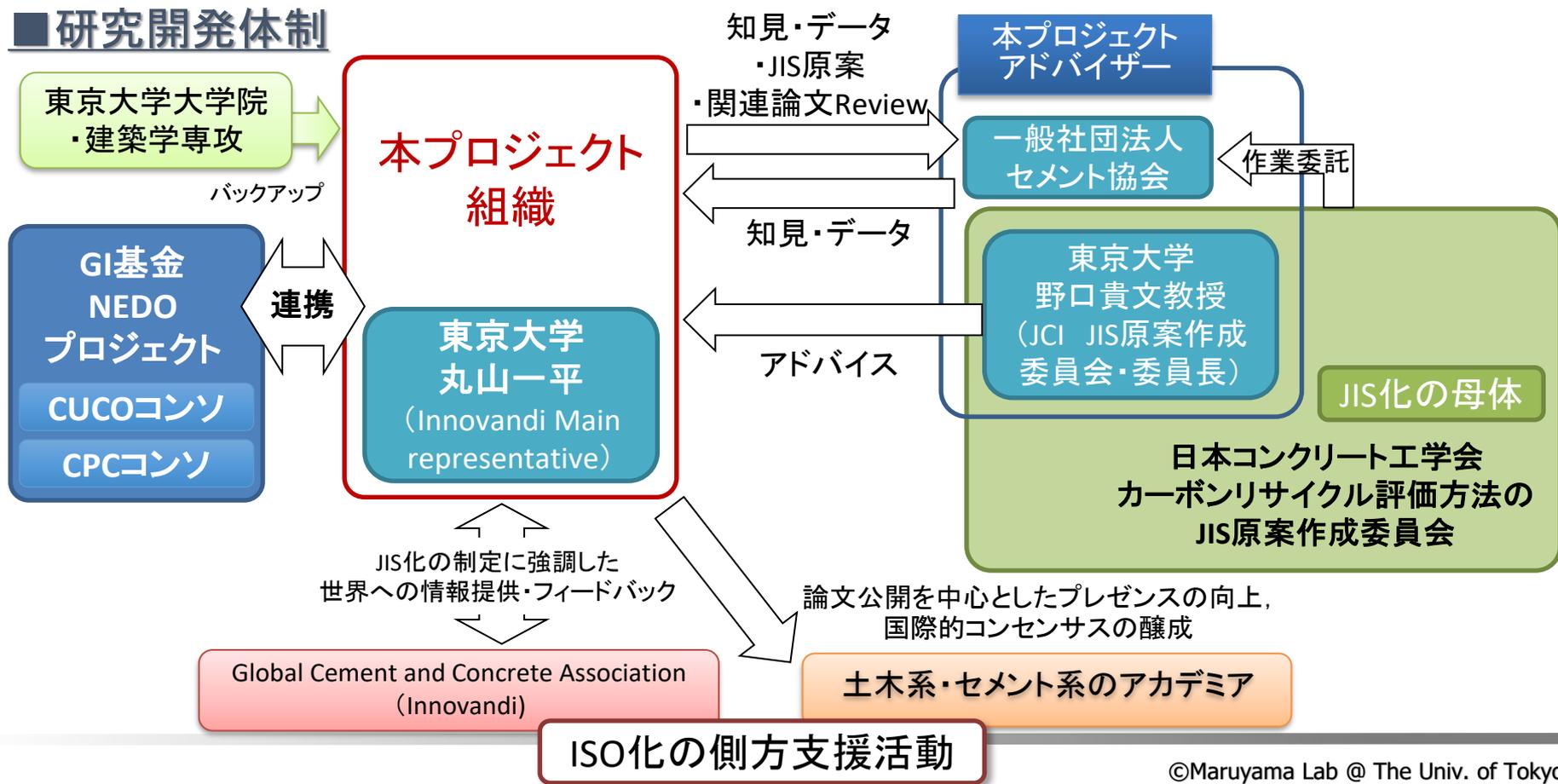
CO<sub>2</sub>固定量が重要な評価対象  
⇒ CO<sub>2</sub>固定量および固定能力の評価に対するニーズが高まる

**[課題]** CO<sub>2</sub>がどのくらいコンクリートに固定化されているか  
評価するための方法はまだ標準化されていない

## (2) 開発目標

- 2030年までに、CO<sub>2</sub>排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理手法（CO<sub>2</sub>固定量の計測・評価方法）の確立
- 国際標準化の実現

### 研究開発体制



### (3) 開発項目・実施内容

#### ■本PJ内での開発項目・実施内容

実験的事実と科学的基盤に基づき、以下のCO2固定量評価方法 / 品質管理方法を開発

- **[開発項目①]** コンクリート用材料・コンクリートのCO2固定量
- **[開発項目②]** 構造物供用中のコンクリートのCO2固定量
- **[開発項目③]** CO2固定に関する品質管理方法

標準化 (JIS / ISO) 目指す

#### ■コンクリートのライフサイクルにおける各開発項目の関係 (体制は2023年度時点)



☐ (3) 開発項目・実施内容 **[開発項目1]** の取組み概要

- 国内外の既存研究や動向を調査の上、いくつかのCO<sub>2</sub>評価手法を用いて各種試料を測定し、測定結果の再現性、ばらつきを確認
- 測定値の差異・誤差要因を確認し、測定上の問題点、課題を整理
- 代表性を確保できる前処理方法やサンプリング手法、有機材料によるCO<sub>2</sub>定量に及ぼす影響低減なども含めて検討し、標準化案を策定

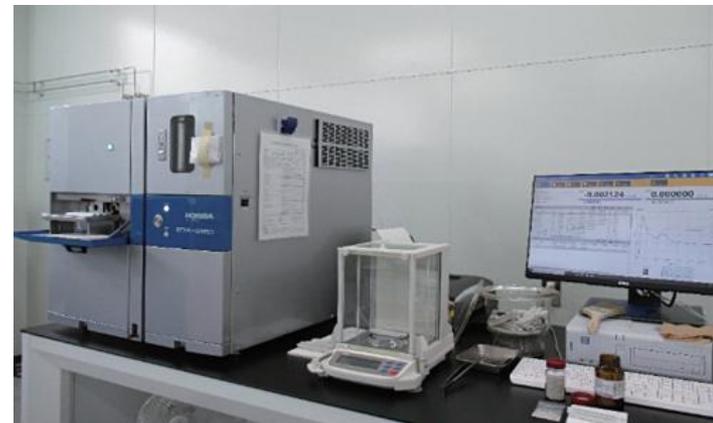
湿式分析例(逆滴定法)



示差熱天秤分析装置



炭素・硫黄分析装置



(3) 開発項目・実施内容 **[開発項目2]** の取組み概要 (体制は2024年度時点)

二酸化炭素固定量  $C_i^{ti} = \left( \sum_i d_i \cdot A_i \cdot c_i \cdot \right) f_{cem}^{clinker} \cdot f_{clinker}^{CaO} \cdot \gamma \cdot \frac{M_{CO_2}}{M_{CaO}}$

- $C_i^{ti}$  : 供用中の二酸化炭素固定量
- $d_i$  : 炭酸化深さ
- $A_i$  : 構造体の断面積
- $c_i$  : コンクリート中のセメント量
- $f_{cem}^{clinker}$  : セメント中のクリンカー量
- $f_{clinker}^{CaO}$  : クリンカー中のCaO量
- $\gamma$  : 炭酸化度
- $M_{CO_2}$  : CO<sub>2</sub>の分子量
- $M_{CaO}$  : CaOの分子量

炭酸化メカニズムの検討

- ✓ 炭酸化度
- ✓ 温湿度条件
- ✓ 二酸化炭素濃度

琉球大

表層部の影響評価

- ✓ 塗装仕上げ
- ✓ 表層ひび割れ

広島大

炭酸化深さ  $d_i = A\sqrt{t + R^2} - R$

$A = k \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3$

- $\alpha_1$  : コンクリートの種類 (骨材) による係数
- $\alpha_2$  : セメントの種類による係数
- $\alpha_3$  : 調合 (水セメント比) による係数
- $\beta_1$  : 気温による係数
- $\beta_2$  : 湿度およびコンクリートに作用する水分の影響による係数
- $\beta_3$  : 二酸化炭素濃度による係数

北大

モニタリング方法の開発

- ✓ ハイパースペクトルカメラ

現場での検証

促進試験方法の提案

- ✓ 現状促進試験方法の課題整理/促進試験と実構造物の対応評価  
⇒ CO<sub>2</sub>固定化量と促進試験の科学的根拠を提供

千葉大・東大

# 研究成果トピックス

- 
- (1) コンクリートに特化したCO<sub>2</sub>固定量測定装置の開発
  - (2) 空気中のCO<sub>2</sub>固定を証明する方法の開発



# ☐ (1) コンクリートに特化したCO<sub>2</sub>固定量測定装置の開発

## ■従来の試料調整(粉碎/縮分操作)の一例



試料受入

- 封緘養生



割裂



粗粉碎

- 10mm全通



縮分

- 1/8量(約450g)



アセトン浸漬 &  
真空乾燥

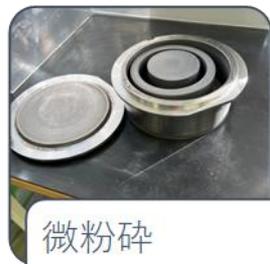
- 炭酸化防止
- 残留アセトン、水分除去



中粉碎・縮分

- 5mm全通

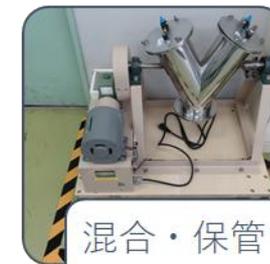
- 1/16量(約230g)



微粉碎

- 150μm全通

- 30~50g/回 × 5回?



混合・保管

- 試料の均一化

- 30分程度混合

数日かけて数kgのコンクリートを均一な粉末にして  
数十mgの量で複数回測定する必要

## (1) コンクリートに特化したCO<sub>2</sub>固定量測定装置の開発

### ■装置開発の概要

- ✓ 粉末化の作業の簡略化
- ✓ 測定したデータのばらつき低減

課題解決

バルクのコンクリート試験体 (φ10x20cm, φ5x10cm, 骨材群) をそのまま測定できる大型コンクリート分析装置を開発



装置内にセットした  
コンクリート試験体



加熱測定時の状態

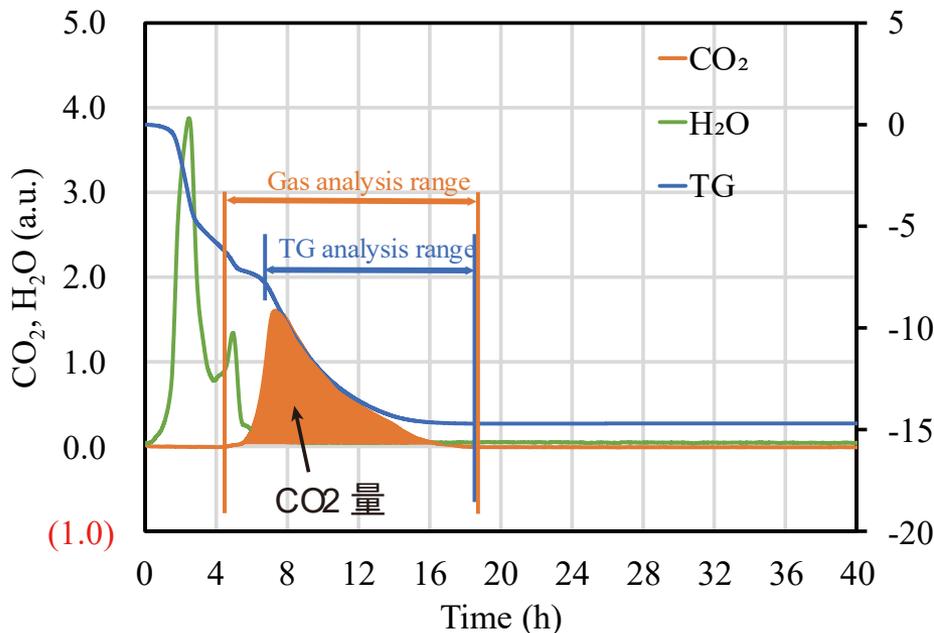




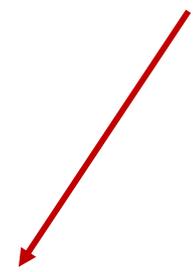
(1) コンクリートに特化したCO2固定量測定装置の開発

## ■開発装置での測定事例

オレンジで囲まれた面積が、試料中のCO<sub>2</sub>量を表す



- **開発装置**による測定結果は、コンクリートを練り混ぜた時の材料構成比率と、構成材料中それぞれのCO<sub>2</sub>量から算出した**理論値と整合**
- 作業工数も**大幅に削減**



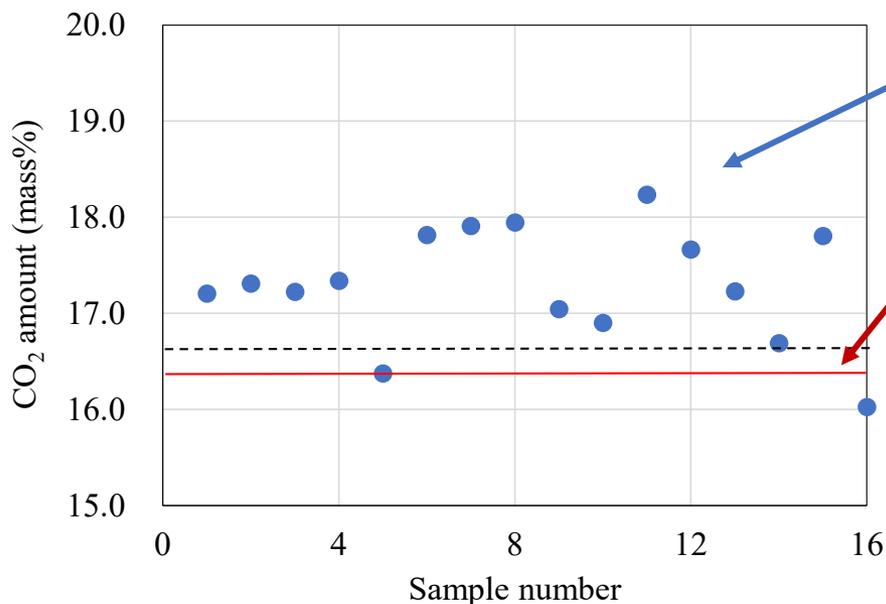
## ■作業工数の比較





(1) コンクリートに特化したCO<sub>2</sub>固定量測定装置の開発

## ■従来法で実施した場合との比較



- : 従来法で試験体を粉砕し、微量で測定したデータ
- : 材料製造時の構成材料から計算した理論値
- : 開発した装置での測定値

- 従来法で粉砕し、測定した結果は、バラツキが大きい
- 開発した装置での測定結果は、理論値（図中の赤線）に近い



試験体中のCO<sub>2</sub>量が均一な場合のみならず、**試験体中のCO<sub>2</sub>固定量にバラツキがある場合**でも、**効率良くかつ高い精度**で、代表サンプル中の**CO<sub>2</sub>固定量を測定できる**

## ☐ (2) 空気中のCO<sub>2</sub>固定を証明する方法の開発

(実施項目3 CO<sub>2</sub>の固定に関する品質管理方法に関する技術開発)

**[課題]** 今後、炭素税などの導入により、偽装した炭酸塩含有材料等が生じ得る

➡ 排出したガス等のCO<sub>2</sub>源からCO<sub>2</sub>を無機塩として固定したことを確認できる手法を明らかにする

- ✓ ガス（空気、工場排ガス等）と固定した炭酸塩におけるCO<sub>2</sub>中の炭素同位体（<sup>14</sup>C）の含有率を利用
- ✓ ガス固定を実施したかどうかの確認を行う手法を検討

品質管理、CO<sub>2</sub>固定のトレーサビリティ確保

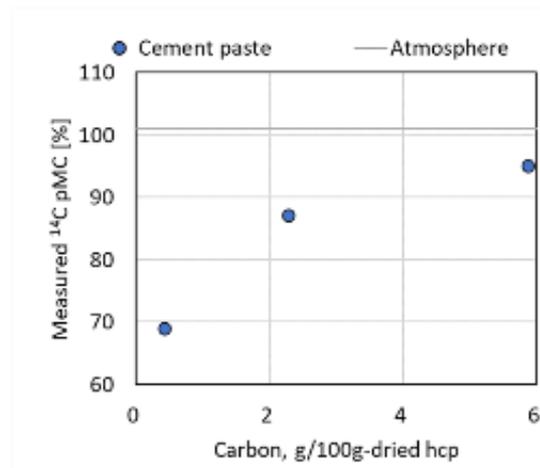
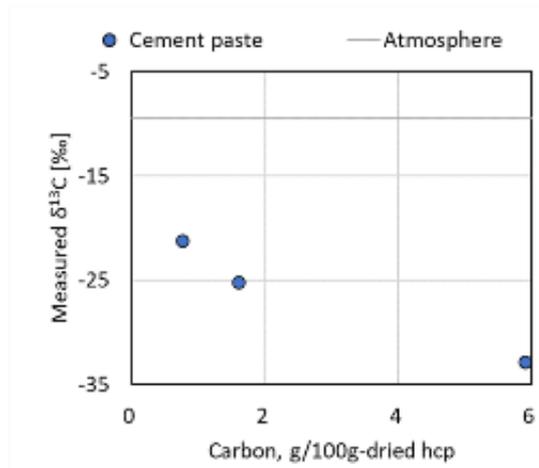


図：名古屋大学・宇宙地球環境研究所  
タンデトロン年代測定研究グループ所有の炭素同位体測定装置


 (2) 空気中のCO<sub>2</sub>固定を証明する方法の開発

## ■炭素同位体の特性

- <sup>13</sup>C and <sup>14</sup>C
  - $pMC = \left( \frac{\Delta^{14}C}{1000} + 1 \right) 100$ .
- The atmospheric value of *pMC* is taken as 101.1% [20,21,22]
- The atmospheric value of  $\delta^{13}C = -10\text{‰}$  [21,22]



- 大気中の炭素を取り込むにつれて、<sup>13</sup>Cの割合が減少し、<sup>14</sup>Cの割合は大気のレベルに近づく
- <sup>13</sup>Cの減少は、炭酸塩の沈殿時に起こる同位体分別という自然現象と一致。温度やpHなどの要素も影響を与えることが、既往研究から分かっている
- <sup>14</sup>Cは同位体分別の影響を受けにくいいため、炭素の起源を追跡する上で非常に有効な指標となる

(2) 空気中のCO<sub>2</sub>固定を証明する方法の開発

■ 空気および高濃度CO<sub>2</sub>で固定化したサンプルの妥当性確認

Direct air capture validation

• pMC is independent from fractionation

•  $\rightarrow pMC_{spl} = pMC_{carbon\ origin}$

•  $\rightarrow R_{spl}^{14} = R_{atm}^{14}$

$$\delta^{14}C = \frac{R_{spl}^{14}}{R_{std}^{14}} - 1$$

$$(\delta^{14}C)_{spl} = \frac{\chi R_{atm}^{14} + (1 - \chi)R_{ini}^{14}}{R_{ref}^{14}} - 1$$

Based on:

$$pMC = \left( \frac{\Delta^{14}C}{1000} + 1 \right) 100.$$

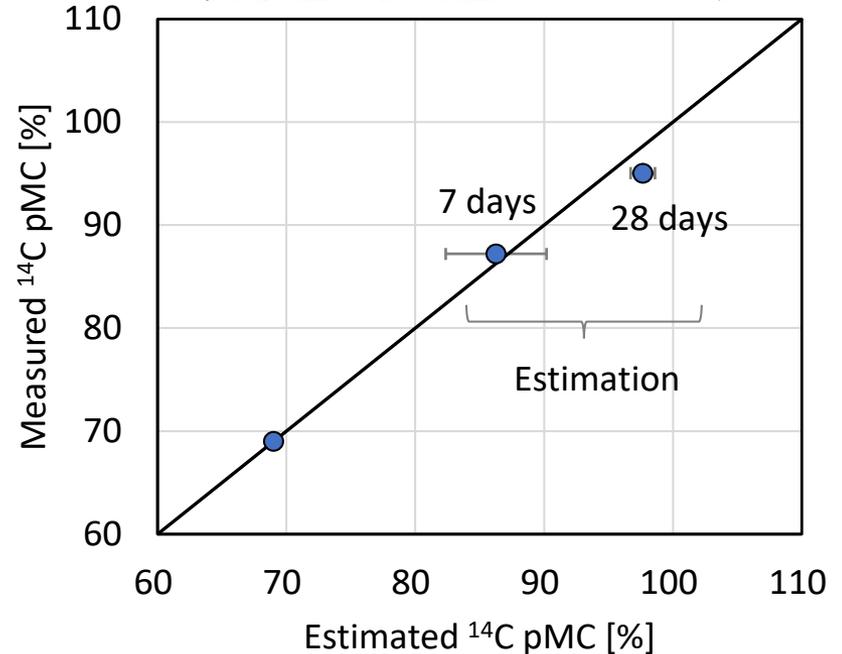
•  $(pMC)_{atm}$ : the value of atmosphere  
 •  $(pMC)_{ini}$ : the value of initially included carbon in sample

•  $\chi$ , the ratio of carbon from air-capture to the total carbon in the sample. when carbonation period=0d, then  $\chi=0$ , as the initial situation.



$$(pMC)_{spl} = \chi(pMC)_{atm} + (1 - \chi)(pMC)_{ini}$$

<実験値と予測値の $\Delta^{14}C$ の比較>



• 実験値と予測値は良い一致を見せており、カーボンの増加量と $\Delta^{14}C$ の変化量から、想定した空気が付いていることを実証可能

➤ DACによる **CO<sub>2</sub>固定化の真贋評価等の活用に期待**

## まとめ / 課題と今後の取り組み



## ☐ まとめ

- コンクリートに特化したCO<sub>2</sub>固定量測定装置の開発
  - 既往装置の原理を応用して、φ10×20cmの大型試験体まで測定可能な装置の開発
    - 分析工程の大幅な省力化と高精度化を達成
- 空気中のCO<sub>2</sub>固定を証明する方法の開発
  - 空気中のCO<sub>2</sub>と反応して無機炭酸塩の形で固定化したことと、固定化したCO<sub>2</sub>量を、<sup>14</sup>Cを用いて明らかにする手法を開発
    - 炭酸塩化の工程を想定した試料を準備し、もとのガス／溶液ならびに固定化後の物質に対して、<sup>14</sup>C量比を測定し、固定化の確認手段となることを実証

## 課題と今後の取り組み

### 1) 測定方法の標準化（JIS/ISO化）に向けた対応

- さまざまな測定手法をJISにしていくための検証、提案を継続
- ISO化につながるよう国際的なアクティビティを強化、情報発信の継続
- GI事業の他コン素との知見／情報交換
- 炭酸化メカニズムに関する科学的知見の確立
- 論文投稿、国際会議での発表、他学協会での活動への参画

### 2) 評価手法の実材料・実構造物での適用性検証

- 実際の製品に対する適用性評価と適用性拡大のための技術開発
- 実構造物から採取したサンプルについても検討対象に