

NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026

プログラムNo. B2-2-06

コンクリートにおけるCO₂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

CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト

CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの開発

発表：2026年7月22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 丸山 一平

*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

 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) コンクリート用材料・コンクリートの評価方法開発
 - ① コンクリートに特化したCO₂固定量測定装置の開発
 - ② CO₂固定量評価手法の検討：酸分解法 (AD-TIC) の適用と検証
- (2) モニタリング手法の構築に関する研究
- (3) 空気中のCO₂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

- 
- ✓ CO₂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



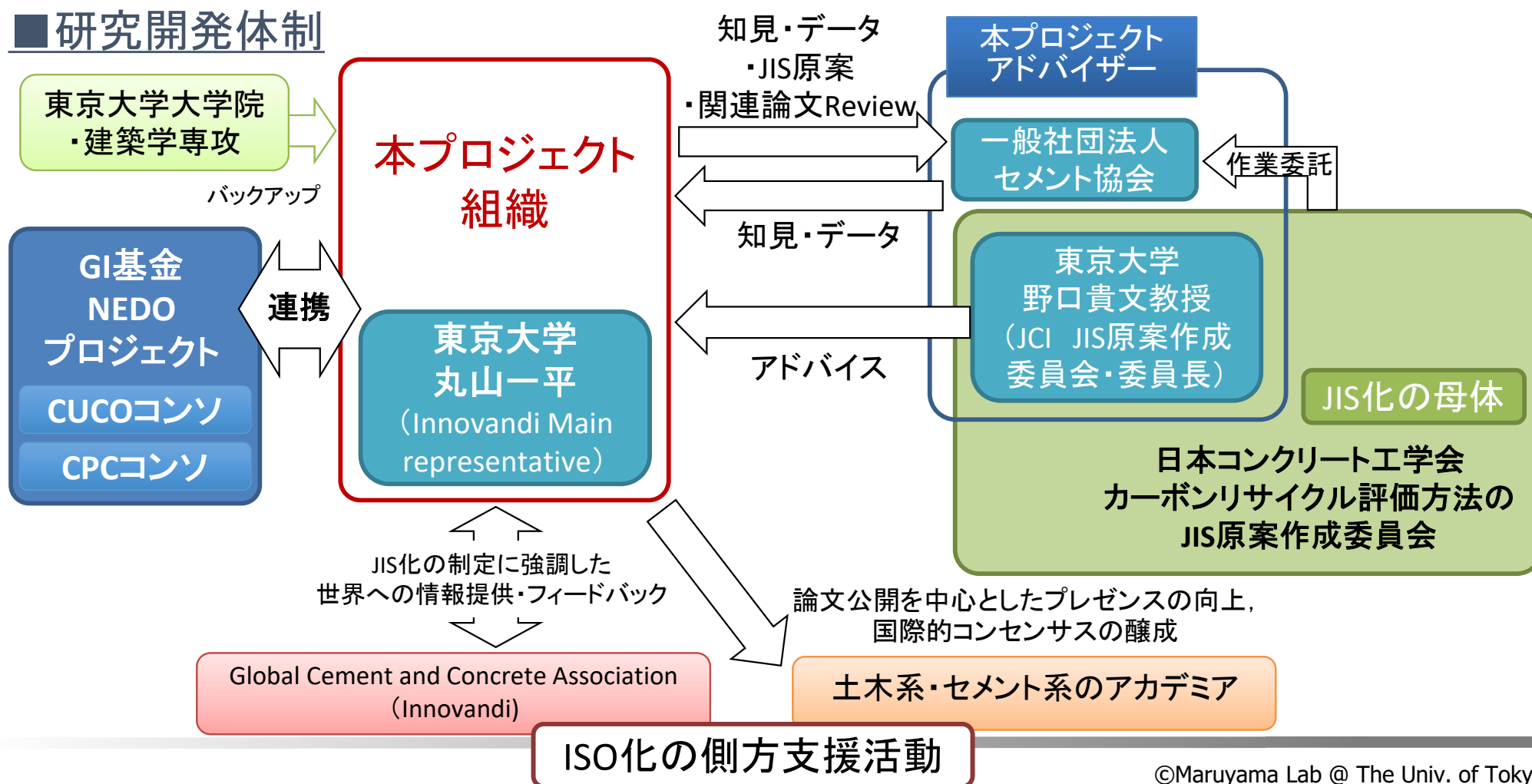
CO₂固定量が重要な評価対象
⇒ CO₂固定量および固定能力の評価に対するニーズが高まる

[課題] CO₂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、CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理手法（CO₂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





(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CO₂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CO₂定量に及ぼす影響低減なども含めて検討

JIS化に貢献

JIS A 1016

「コンクリートおよびコンクリート構成材料に固定化した二酸化炭素の定量」

湿式分析例（逆滴定法）



示差熱天秤分析装置

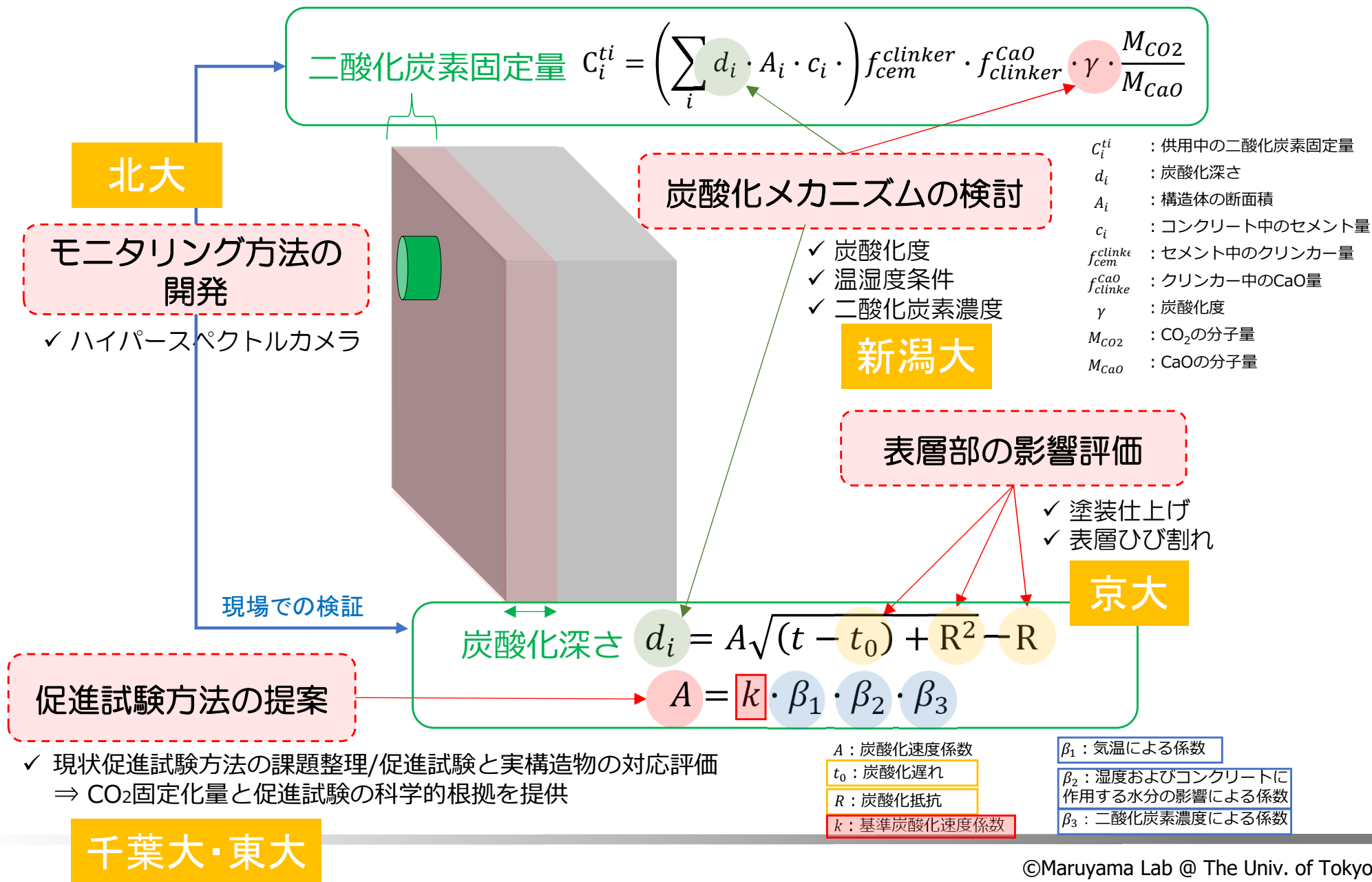


- 第1部 定量方法
- 第2部 酸分解-逆滴定法
- 第6部 熱分解-重量測定法



(3) 開発項目・実施内容

【開発項目2】の取組み概要



研究成果トピックス

-
- 
- (1) コンクリート用材料・コンクリートの評価方法開発
 - ① コンクリートに特化したCO₂固定量測定装置の開発
 - ② CO₂固定量評価手法の検討：酸分解法（AD-TIC）の適用と検証
 - (2) モニタリング手法の構築に関する研究
 - (3) 空気中のCO₂固定を証明する方法の開発
- 

❏ (1) コンクリート用材料・コンクリートの評価方法開発

① コンクリートに特化したCO₂固定量測定装置の開発

■ 従来の試料調整(粉砕/縮分操作)の一例



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) ①コンクリートに特化したCO₂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

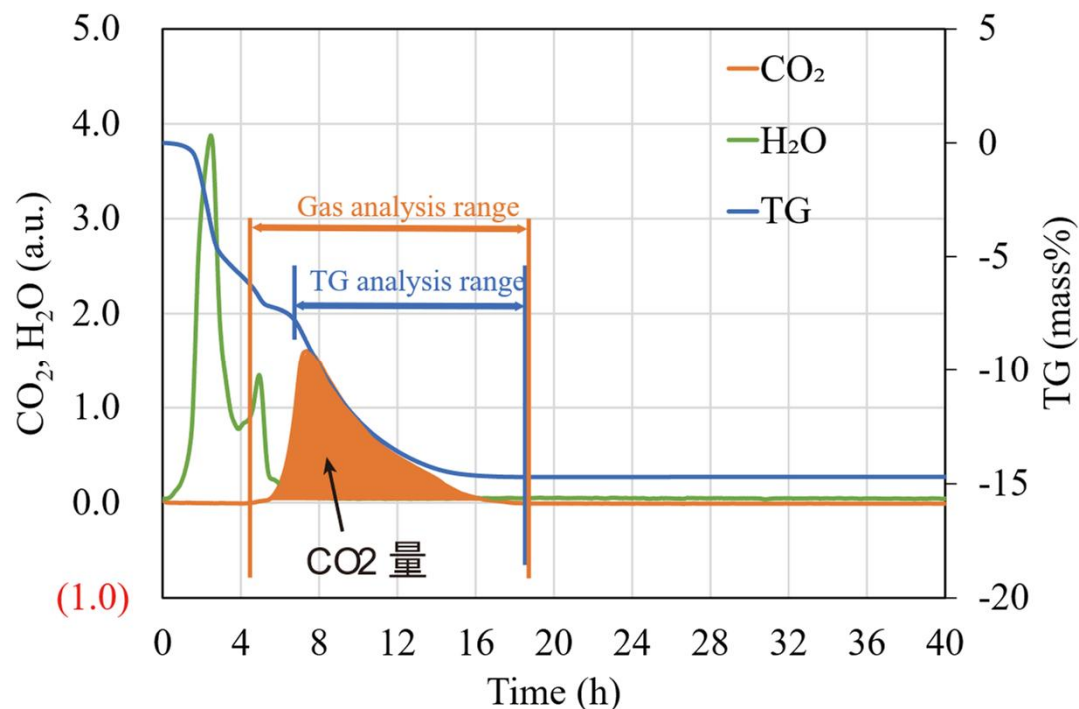




(1) ①コンクリートに特化したCO₂固定量測定装置の開発

■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CO₂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CO₂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) ② CO₂固定量評価手法検討：酸分解法（AD-TIC）の適用と検証

■酸溶解—IR検出法の定量精度の確認

- CUCOコンソの島津社の開発した製品について精度確認検討を行い、利用性や問題点の検出を行った。
- 既存のTOCと同程度でかつ、繊維の影響なども排除できる手法となっている。

Journal of CO₂ Utilization 102 (2025) 103266



Application of acid digestion-based total inorganic carbon measurement for carbonated cement-based materials

Ryo Kurihara^{a,*}, Luge Cheng^a, Ryusei Igami^a, Zhenzhen Wang^b, Abudushalamu Aili^b, Kiyuki Noto^c, Minako Tanaka^c, Haruka Takahashi^d, Ippei Maruyama^{a,b,e,*}

^a Department of Architecture, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, Tokyo 113-8656, Japan
^b Department of Architecture, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Aichi 464-8603, Japan
^c Shimadzu Corporation, Kyoto 604-8511, Japan
^d Taiheyo Consultants Corporation, Chiba 285-8655, Japan

ARTICLE INFO

Keywords:
Cement-based materials
CO₂ measurement
Inorganic carbon content
Non-dispersive infrared spectroscopy
Acid digestion
Thermogravimetric analysis

ABSTRACT

There is growing societal demand for methods to quantify the amount of CO₂ immobilized in cement-based materials. In this study, we compared and evaluated multiple analytical approaches: two different interpretation methods applied to thermogravimetric analysis (TGA) data conventionally used in this field, and two techniques widely adopted in soil science and related areas. The first of these involves heating the sample to release CO₂, which is then quantified using infrared absorption spectroscopy; the second involves dissolving carbonates in the sample using acid, with the evolved CO₂ gas similarly measured using infrared absorption. In carbonated cement pastes, when silica gel and carbonates are in close contact, CO₂ may be released at relatively low temperatures. This temperature range overlaps that of organic matter decomposition, which can complicate quantitative analyses using thermal methods. However, accurate quantification is feasible in systems with minimal organic content. During acid decomposition, silica gel may interfere with carbonate dissolution. Nevertheless, if the sample is sufficiently ground, an appropriate volume of the acid solution is used, and the dissolution time is properly managed under stirring conditions, this method offers a simple and practical means for CO₂ quantification.

1. Introduction

In national roadmaps for CO₂ reduction in the cement and concrete sectors [1,5–8], measures typically begin with reducing the clinker

R. Kurihara, L. Cheng, R. Igami, Z. Wang, A. Aili, K. Noto, M. Tanaka, H. Takahashi, I. Maruyama, Application of acid digestion-based total inorganic carbon measurement for carbonated cement-based materials, J. CO₂ Util. 102 (2025) 103266.
<https://doi.org/10.1016/j.jcou.2025.103266>.

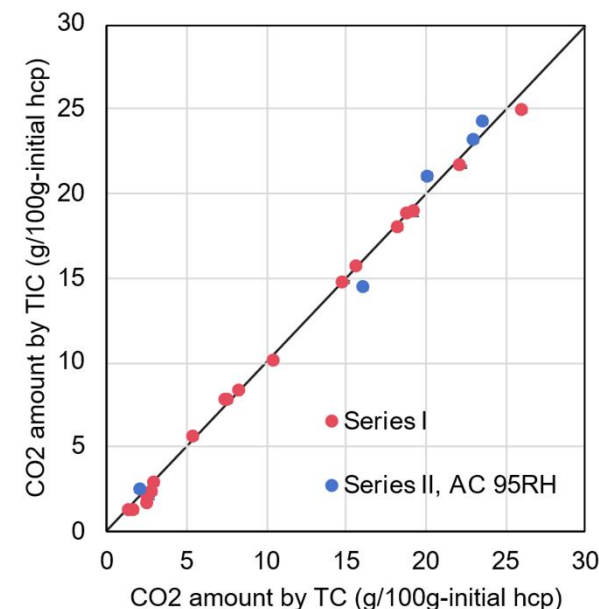


図 熱分解・NDIRによるTOCと酸分解・NDIRによる定量の比較

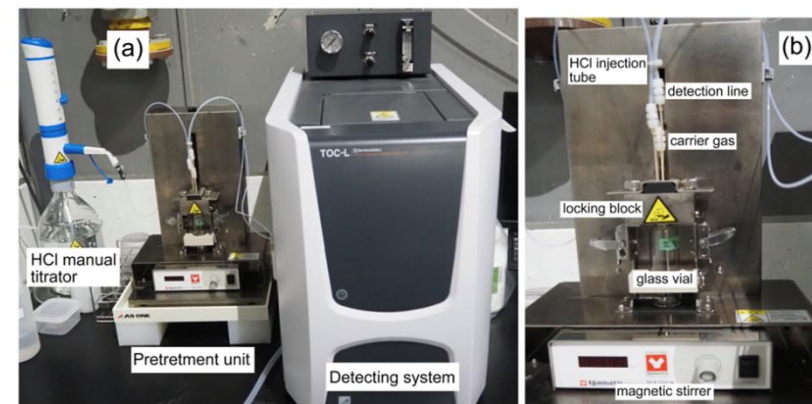


Fig. 1. AD-TIC measurement system, (a) Overview, (b) Pretreatment unit.

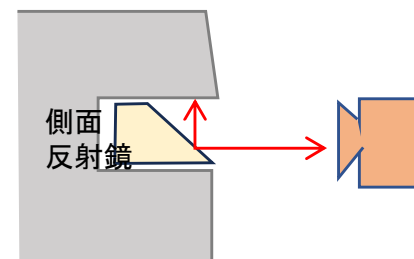
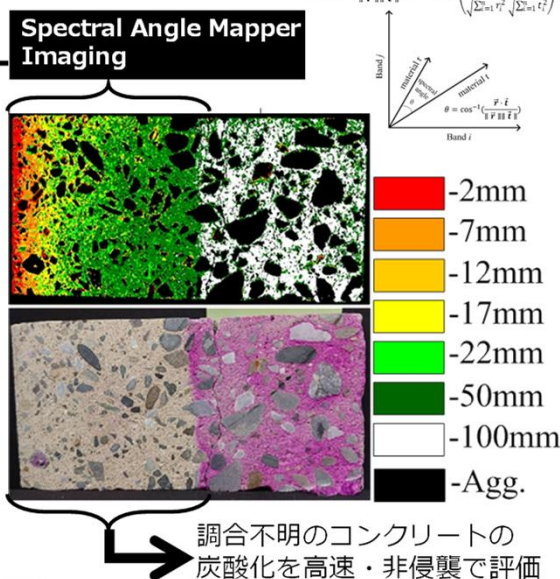
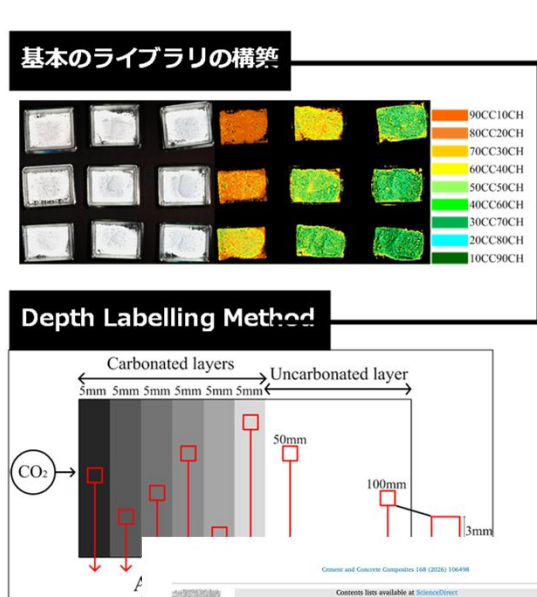


(2) モニタリング手法の構築に関する研究

(実施項目2 構造物供用中にCO₂固定を実施する材料について保証する枠組みの開発)

■ 定点観測による炭酸化進行モニタリング手法

- マルチスペクトルカメラ画像から、骨材、ペースト部分、並びに炭酸化ペースト部分を分別するアルゴリズムを、既往研究をもとに開発



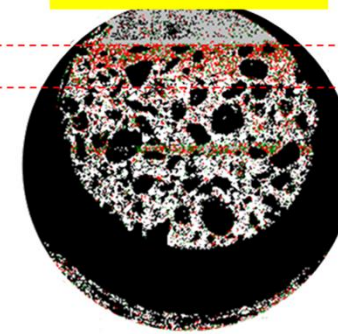
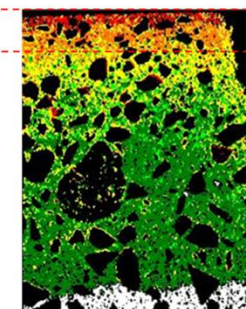
現場探査孔を用いた炭酸化進行評価

曇天時の屋外撮影可



サンプル採取評価

同部位・探査孔での現場評価



Spectral characterization and carbonation depth visualization of concrete using hyperspectral imaging

Yancheng Wang^{1,2}, Yuzhe Wang³, Ryoma Kitagaki^{4,5}, Dayoung Oh⁶, Haruka Takahashi⁷, Kazutoshi Shibuya⁸, Takahiro Ohkubo⁹, Atsushi Teramoto¹⁰, Yuya Suda¹¹, Ipppei Maruyama¹²

¹ Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Hokkaido, Japan; ² Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Hokkaido, Japan; ³ Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Hokkaido, Japan; ⁴ Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Hokkaido, Japan; ⁵ Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Hokkaido, Japan; ⁶ Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Hokkaido, Japan; ⁷ Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Hokkaido, Japan; ⁸ Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Hokkaido, Japan; ⁹ Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Hokkaido, Japan; ¹⁰ Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Hokkaido, Japan; ¹¹ Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Hokkaido, Japan; ¹² Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Hokkaido, Japan

ARTICLE INFO

Keywords

Carbonation depth

Hyperspectral imaging (HSI)

Spectral angle mapping (SAM)

Non-destructive measurement

Image processing

ABSTRACT

Conventional methods for assessing carbonation depth are constrained by inherent limitations and complex sampling procedures. To address these challenges, this study proposes a novel approach employing a hyperspectral camera to non-invasively extract spectral features from carbonated concrete and to assess carbonation depth based on visual images generated by the Spectral Angle Mapper (SAM) algorithm, while preserving the sample for further analysis. The hyperspectral images exhibit characteristic absorption bands at approximately 1400 nm and 1900 nm. In particular, the variations in the band depth of the absorption feature near 1900 nm serve as a key spectral indicator of carbonation depth. The visualized images clearly depict carbonation patterns with different degrees of carbonation and their associated areas, highlighting the superior spatial and spectral heterogeneity of the carbonation front. Carbonation depths derived from visualized images were evaluated against phenolphthalein test results using statistical and image-based analysis, confirming the reliability and accuracy of Hyperspectral Imaging (HSI) for carbonation depth assessment and its distinct technical advantages. Chemical analysis results provide clear attributions for the observed hyperspectral features. The visualization results of concrete surfaces are largely unaffected by weathering duration and the on-site inspection further highlights the practical applicability and robustness of the HSI technique.

📁 (3) 空気中のCO₂固定を証明する方法の開発 (実施項目3 CO₂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CO₂源からCO₂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CO₂中の炭素同位体（¹⁴C）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、CO₂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



(3) 空気中のCO₂固定を証明する方法の開発

■空気および高濃度CO₂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

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

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

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

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

Based on:

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

- $(pMC)_{atm}$: the value of atmosphere

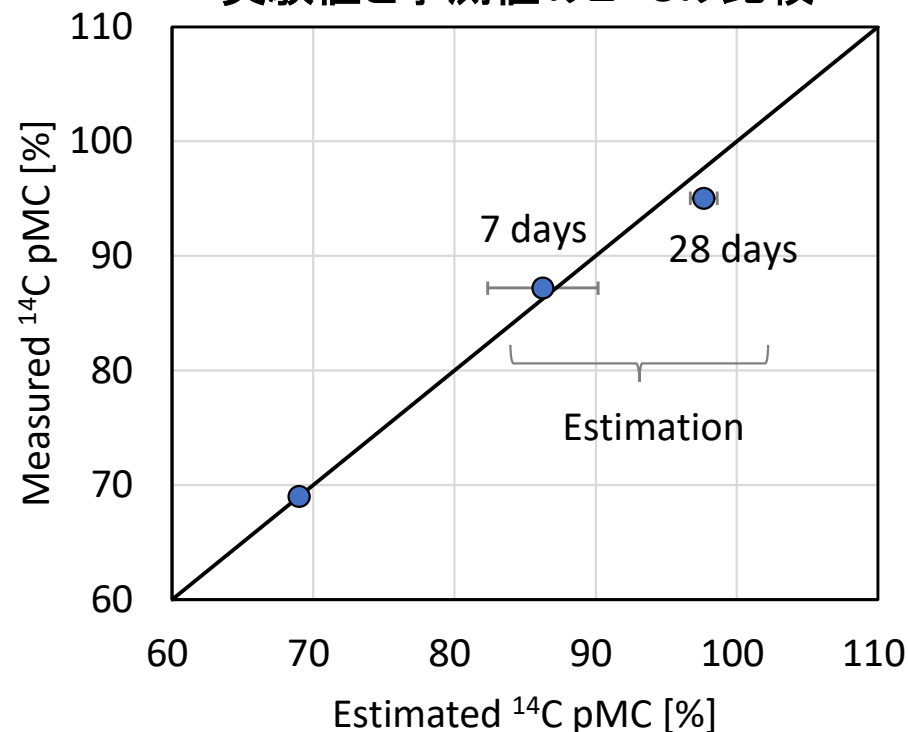
$(pMC)_{ini}$: the value of initially included carbon in sample

- χ , 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>

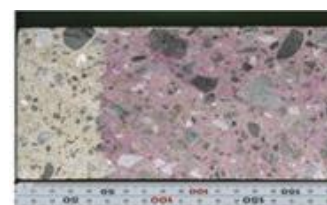
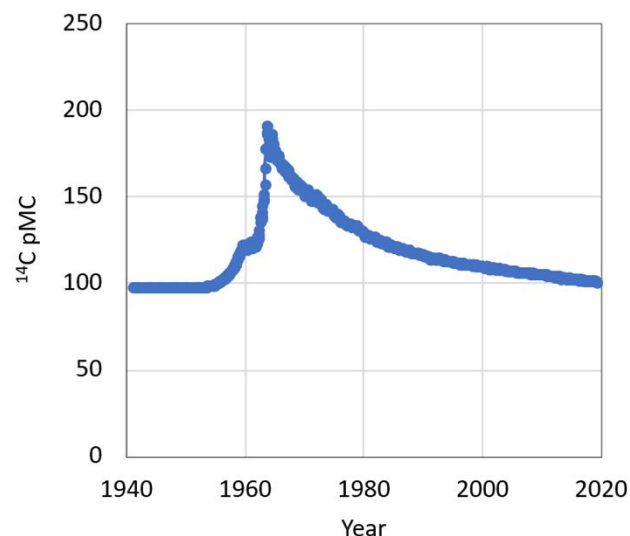


- 実験値と予測値は良い一致を見せており、カーボンの増加量と $\Delta^{14}C$ の変化量から、想定した空気が付いていることを実証可能

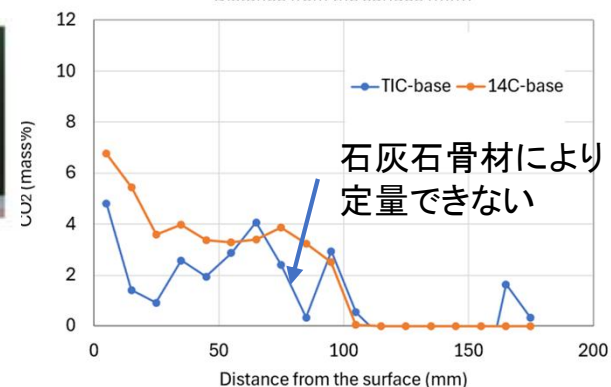
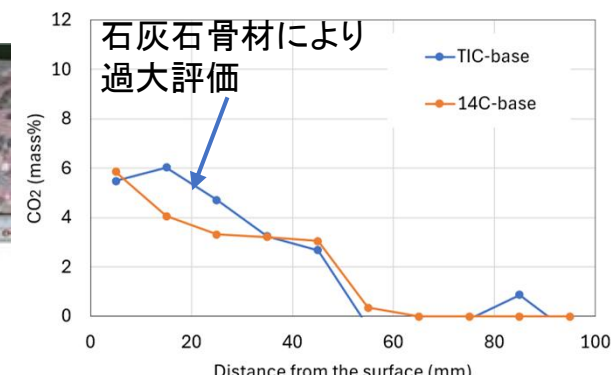
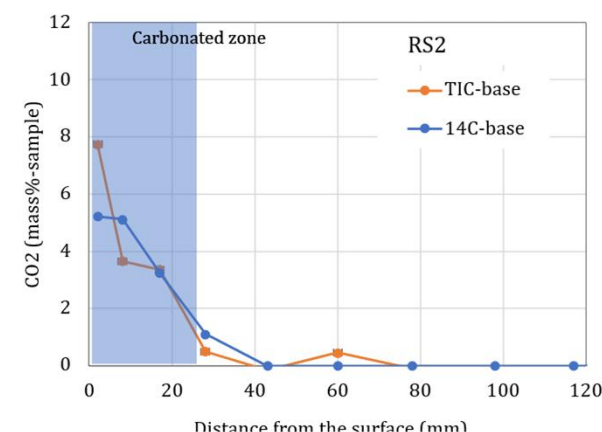
(4) 空気中のCO₂固定を証明する方法の開発

■¹⁴Cを用いたCO₂固定量評価の実構造物での実証

- 炭素¹⁴C濃度を用い、バックグラウンドと炭酸化当時の空気中の¹⁴C濃度から、空気中炭素の固定量を直接する評価する手法を開発
- この手法によれば、石灰岩が入った場合でも判別可能であることを実証。TOC計などではできない分析が可能となる。
- 下図にあるように核実験による¹⁴C濃度の変化を適切に反映させて計算する必要があるが、今後は核実験がなければ、今の濃度を使い続けられよい。



CO₂定量評価手法の比較



まとめ / 課題と今後の取り組み



 まとめ

- **コンクリート用材料・コンクリートの評価方法開発**
 - コンクリートに特化したCO₂固定量測定装置の開発
 - φ10×20cm の大型試験体まで測定可能な装置を開発
 - 分析工程の大幅な省力化と高精度化を達成
 - CCU材料等、CO₂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、サンプル中のCO₂量を測定可能
 - 酸分解法（AD-TIC）の適用と検証
 - 既存のTOCと高い精度で一致、繊維の影響なども排除できる
- **モニタリング手法の構築に関する研究**
 - マルチスペクトルカメラ画像から、骨材、ペースト部分、並びに炭酸化ペースト部分を分別するアルゴリズムを、既往研究をもとに開発
- **空気中のCO₂固定を証明する方法の開発**
 - 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、¹⁴C量比を測定し、固定化の確認手段となることを実証
 - 石灰岩が入った場合でも判別可能であることを実証
TOC計などではできない分析が可能

課題と今後の取り組み

■ 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事業の他コンソとの知見／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