Department of Architecture
School of Engineering
The University of Tokyo
Building Material Laboratory

2024年10月時点

GI基金プロジェクト

実施プロジェクト名：コンクリートにおけるCO_2固定量評価の標準化に関する研究開発

[研究開発項目２]CO_2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

実施者名：国立大学法人　東京大学
代表名　：教授　丸山一平

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

目次

2. 研究開発計画

（1）研究開発目標
（2）研究開発内容
（3）実施スケジュール
（4）研究開発体制
（5）技術的優位性

4. その他

(1) 想定されるリスク要因と対処方針

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2. 研究開発計画

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2. 研究開発計画／（１）研究開発目標

本事業は、[**研究開発項目2**] **CO_2排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理・固定料評価手法に関する技術開発** のうち、**「コンクリートにおけるCO_2固定量評価の標準化に関する研究開発」**として、2030年までに、CO_2排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理手法（CO_2固定量の計測・評価方法）を確立するとともに国際標準化を実現する。

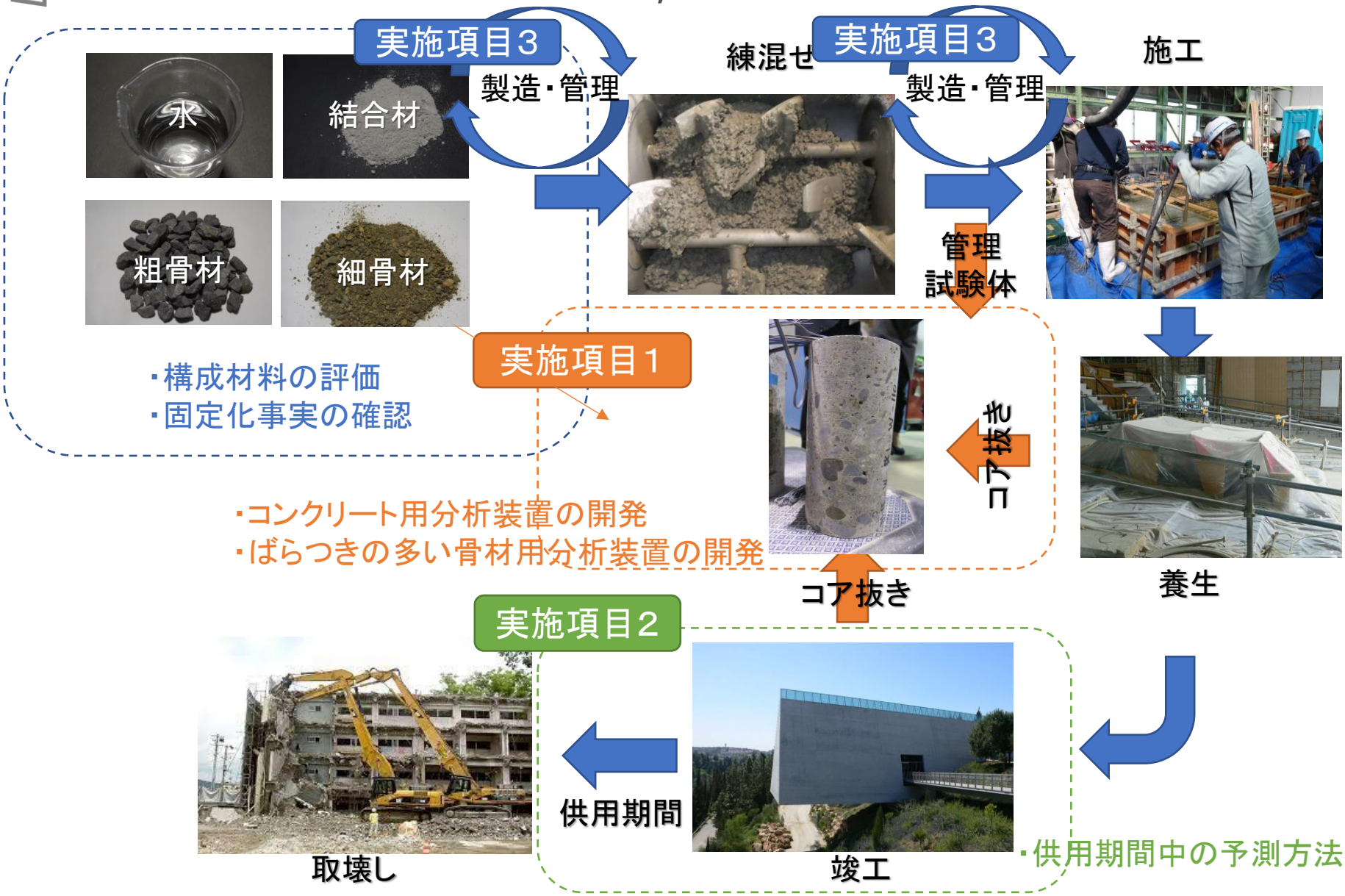
- 本事業では，実験的事実と科学的基盤に基づき，CO_2固定化量評価方法ならびに品質管理方法について、以下の項目について実施する。

  1）コンクリート用材料・コンクリートのCO_2固定量評価方法の開発
  2）構造物供用中にCO_2固定する材料について固定量を保証する枠組みの開発
  3）CO_2の固定に関する品質評価・管理方法に関する技術開発

- 本事業では、JIS およびISO となることを目標として、国内・国際的に受け入れ可能なような適切なステークホルダーとの会合を持つ。
- JIS化、ISO化に向けたスケジュールについては、標準化に関する会議体において、適切な時期にJIS 案を出せるよう見直しを図りつつ、本事業をすすめるとともに、国際ジャーナル等への投稿も含めて戦略的に行う。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

建物の一生とコンクリート，プロジェクトの関係



2.（2）研究開発内容　PJ1　-1

研究開発項目 (実施項目)	アウトプット目標
1.コンクリート用材料・コンクリートのCO_2固定量評価方法の開発	コンクリート用材料・コンクリートの評価方法のJISとなること。また、そのISO化

研究開発内容	KPI	KPI設定の考え方	達成レベル	実現可能性（成功確率）
a. 測定方法の違いによる再現性とばらつきデータの整備 (実施項目1-①)	・比較する分析の数 ・測定する対象物質の数	提案をJIS化する際での妥当性・説得性の指標	分析数:≧3 試料数:≧10	可能性大（100%）
b. 試料粉末の製造方法の提案 (実施項目1-②)	・粉末試料を製造するコンクリート、およびコンクリート用材料の数	提案をJIS化する際での妥当性・説得性の指標	コンクリート数:≧5 材料数：≧10	可能性大（100%）
c. CO_2固定化量の調合上の収支確認 (実施項目1-③)	・確認するコンクリートの種類・数	提案をJIS化する際での妥当性・説得性の指標	種類：≧3 検証数：≧9	可能性大（100%）
d. 他プロジェクトの提案手法・材料の評価 (実施項目1-⑥)	・他プロジェクトから引き受けたサンプル数	本プロジェクトがNEDO事業へ貢献した実績数であるため。	NEDOの他プロジェクトの開発項目数の半数以上	可能性大（100%）

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2. （2）研究開発内容　PJ1 -2

研究開発内容	KPI	KPI設定の考え方	達成レベル	実現可能性（成功確率）
e. 測定装置開発 ※ (実施項目1-④,⑤)	・測定できる最大の試料寸法	コンクリート材料のばらつきを考えて試料質量を拡大するので、ばらつきの低減の程度で装置開発の妥当性が確認できる。	下記に別記	
g. JISを想定した評価方法に関する資料の作成 (実施項目1-⑥)	・提案項目数	開発項目における生産性を評価する指標	提案項目数:≧3	可能性大（100%）

※	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性（成功確率）
e. 測定装置開発	測定できる最大の試料寸法	試料寸法 Φ5×h5mm以下	試料寸法 Φ100×h200mm	• 加熱炉の拡大と計測方法 - 方式① ガスセンサー方式 - 方式② ロードセル方式	可能性大（100%）

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2. （2）研究開発内容　PJ2

研究開発項目（実施項目）

2.構造物供用中にCO_2固定を実施する材料について保証する枠組みの開発

アウトプット目標

加速試験と評価式の組み合わせによる供用期間中の固定化量の評価枠組みの提案、ならびに構造物の固定化量モニタリング方法の提案

研究開発内容	KPI	KPI設定の考え方	達成レベル	実現可能性（成功確率）
a. 適切な促進試験方法の提案 (実施項目2-①)	・投稿した論文数（新知見の数）	査読に耐えうる新知見をもとに手法を提案する必要があるため。	論文数≧2	可能性大（100%）
b. CO_2固定における温湿度影響評価 (実施項目2-②)	・投稿した論文数（新知見の数）	査読に耐えうる新知見をもとに手法を提案する必要があるため。	論文数≧2	可能性大（100%）
c. CO_2固定における仕上げ・ひび割れの影響 (実施項目2-③)	・投稿した論文数（新知見の数）	査読に耐えうる新知見をもとに手法を提案する必要があるため。	論文数≧2	可能性大（100%）
d. モニタリング手法の開発 (実施項目2-④)	・投稿した論文数（新知見の数）	査読に耐えうる新知見をもとに手法を提案する必要があるため。	論文数≧2	可能性大（100%）

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

（2）研究開発内容　PJ3

研究開発項目 (実施項目)	アウトプット目標
3. CO_2の固定に関する品質管理方法に関する技術開発	適切に固定化をしたことを実証する手段、品質評価法の提供

研究開発内容	KPI	KPI設定の考え方	達成レベル	実現可能性（成功確率）
a.固定前ガス・溶液および炭酸化塩固定化後の^{14}Cの定量比較による品質管理実施可能性の検討 (実施項目3-①)	・コンクリート用素材における炭素^{14}C比率に関するデータの数 ・固定前、固定後の比較検証データの数	提案手法の妥当性評価に資するデータ数の充実が重要なため。	材料数:≧30 検証数:≧10	可能性大（100%）
b. 他プロジェクトの提案手法の評価 (実施項目1-⑥)	・他プロジェクトからの提案を受けて評価した件数	本プロジェクトがNEDO事業へ貢献した実績数であるため。	NEDOの他プロジェクトの開発項目数の半数以上	可能性大（100%）

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2. （2）研究進捗　PJ1（これまでの取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの開発進捗	進捗度
a. 測定方法の違いによる再現性とばらつきデータの整備 (実施項目1-①)	・JIS原案提案	• 湿式分析（酸分解-逆滴定法）のJIS素案を提案 • 熱分解＋NDIR (**N**on **D**ispersive **I**nfra**R**ed:非分散型赤外)測定法を提案	○ （理由）対象試料別に、各分析方法をにおける留意点を明らかにした上で、手法を提案している。
b. 試料粉末の製造方法の提案 (実施項目1-②)	・JIS原案提案	• 試料中の無機炭酸塩を酸処理で除去した後、有機炭素量を全炭素より減じる方法を試行し、湿式分析との整合性を確認 • 定量を妨害する物質の析出が課題	○ （理由）妨害物質の析出を軽減できる処理条件を検討する等、課題解決策を講じている。
c. CO_2固定化量の調合上の収支確認 (実施項目1-③)	・試料調製の検討	• JIS素案WG共通試験として、CO_2含有量が既知のコンクリート供試体を用い、試料調製過程での縮分方法について検討	○ （理由）JIS素案による縮分方法における課題を抽出し、対応策を検討している。
d. 他プロジェクトの提案手法・材料の評価 (実施項目1-⑥)	・他プロジェクトとの知見交換	• JIS原案作成WG、NEDO標準化分科会等を通じて、他プロジェクトとの知見交換を行っている。	○ （理由）各プロジェクトにおける取り組み内容、課題等について、情報共有ができている。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2. （2）研究進捗　PJ1（これまでの取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの開発進捗	進捗度
e. 測定装置開発 (実施項目1-④,⑤)	・構想モデルに基づいた装置開発	• コンクリート試験体レベルでのCO_2固定量の装置を開発 • 炭酸カルシウム量が既知のコンクリート供試体を用いて、データの再現性を確認	○（理由）開発装置による測定値は理論値に近く、粉砕方式より少ない作業工数で測定できることを実証した。
g. JISを想定した評価方法に関する資料の作成 (実施項目1-⑥)	・JIS素案に資するデータの提供	• 本PJで得られた知見について、JIS原案作成WG、NEDO標準化分科会等で情報共有している。 • JIS素案、改良案も提案している。	○（理由）プロジェクトの成果を情報共有、発信ができている。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（2）研究進捗　PJ2（これまでの取組）

2.構造物供用中にCO_2固定を実施する材料について保証する枠組みの開発	加速試験と評価式の組み合わせによる供用期間中の固定化量の評価枠組みの提案、ならびに構造物の固定化量モニタリング方法の提案		
研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの開発進捗	進捗度
a. 適切な促進試験方法の提案 (実施項目2-①)	乾燥＋CO_2濃度影響	• 異なる湿度環境下における炭酸化変化データを取得 • 炭酸化反応後の断面内の組成分布・水分分布について定量データを整備	○ 湿度と炭酸化の関係から、最大の炭酸化度の見積もりが可能/加速条件での水分移動と炭酸化の関係を把握した。
	MDによるカルシウム多形の評価	• MD＋第一原理計算により、炭酸塩鉱物の種類・量・生成要因を理論的背景に基づいて解釈 • 重水とNMRを利用して炭酸化に伴う空隙構造変化と水の移動現象を直接観察する方法を開発	○/将来にわたるCO_2固定化量と促進試験の科学的根拠の一部を提供 合成C-S-Hを用いた炭酸化試料を解析し、空隙構造と水の存在状態が炭酸化現象に重要な役割を果たすことを明らかにした。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（2）研究進捗　PJ2（これまでの取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの開発進捗	進捗度
b. CO_2固定における温湿度影響評価 (実施項目2-②)	湿度影響データの整備	種々の温湿度条件下でペースト試料を炭酸化に供し、水和物の炭酸化と炭酸塩鉱物の生成状況等について評価	○ 計画した通りに測定データを取得できており、適切に実験を進められている。
c. CO_2固定における仕上げ・ひび割れの影響 (実施項目2-③)	仕上材の係数反映方法	複数種類の塗装仕上げの係数を取得 塗装を施すことにより透気係数は著しく低下し、炭酸化の進行が抑制されること、塗装の劣化により透気係数は増大し、炭酸化の進行速度が大きくなることを明示	○ 適切に本実験がすすんでいる。
d. モニタリング手法の開発 (実施項目2-④)	測定条件のディテール決定	マルチスペクトルカメラにおけるCO2固定量評価に必要なスペクトル領域の選定や分析手法の構築	○ ラボ環境および晴天時屋外を想定した測定条件の最適化を行い、屋外での評価可能な測定セットに拡張している。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（2）研究進捗　PJ3（これまでの取組）

3. CO_2の固定に関する品質管理方法に関する技術開発	適切に固定化をしたことを実証する手段、品質評価法の提供		
	直近のマイルストーン	これまでの開発進捗	進捗度
a.固定前ガス・溶液および炭酸化塩固定化後の^{14}Cの定量比較による品質管理実施可能性の検討 (実施項目3-①)	測定方法提案	炭酸塩化の工程を想定した試料を準備し、元のガス／溶液ならびに固定化後の物質に対して、炭素14量比を測定し、固定化の確認手段となることを実証。	○ セメント系材料の取扱いについての体制を改めて構築し、適切に検討をすすめている。
b. 他プロジェクトの提案手法の評価 (実施項目1-⑥)			

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（2）研究進捗　PJ1（今後の取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
a. 測定方法の違いによる再現性とばらつきデータの整備 (実施項目1-①)	・JIS原案提案	• 酸処理操作における作業者や分析装置への負担軽減	• 酸の種類を変更する等、酸処理操作を見直し、有機炭素を含む試料を用いて、湿式分析との整合を確認する。
b. 試料粉末の製造方法の提案 (実施項目1-②)	・JIS原案提案	• リサイクル系材への適用に向けた検討	• 諸元が明らかなコンクリートより製造した再生骨材を用いて、調製方法を検討する。
c. CO_2固定化量の調合上の収支確認 (実施項目1-③)	・試料調製の検討	• 内部にCO_2固定量の分布がある試験体について、分布状況と固定量の評価	• 既設構造物より試料を採取し、分布を有する試料の評価に向けた検討に入る。
d. 他プロジェクトの提案手法・材料の評価 (実施項目1-⑥)	・他プロジェクトとの知見交換	• 他プロジェクトとの情報/知見交換	• 今後もWG等を通じたプロジェクト間の情報/知見交換を継続する。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（2）研究進捗　PJ1（今後の取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
e. 測定装置開発 (実施項目1-④,⑤)	・構想モデルに基づいた装置開発	• 混和材/剤を添加した試料での妥当性確認	• 含有量が既知の分析サンプルを作製し、データを蓄積する。 • 湿式分析等とのクロスチェックを進める。
g. JISを想定した評価方法に関する資料の作成 (実施項目1-⑥)	・JIS素案に資するデータの提供	• 現在もデータを取得中であり、本PJで得られた成果については、今後も引き続き、情報共有、発信を行う。	

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（2）研究進捗　PJ2（今後の取組）

2.構造物供用中にCO_2固定を実施する材料について保証する枠組みの開発	加速試験と評価式の組み合わせによる供用期間中の固定化量の評価枠組みの提案、ならびに構造物の固定化量モニタリング方法の提案		
研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
a. 適切な促進試験方法の提案 (実施項目2-①)	乾燥＋CO_2濃度影響	供用期間中の固定化量評価に向けた適切な炭酸化促進試験手法の提示およびその妥当性の検証	大気および高濃度CO_2環境下における表層部の炭酸化反応速度定数に関するデータを拡充する 実構造物サンプルを用いた、中性化深さとCO_2固定量の関係性を把握する
	MDによるカルシウム多形の評価	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パラメータの根拠、加速試験の妥当性	溶液組成や温度をパラメータとして、C-S-Hゲルの炭酸化シミュレーションを行い、係数パラメータの根拠、加速試験の妥当性に資するデータを提供する。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（2）研究進捗　PJ2（今後の取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
b. CO_2固定における温湿度影響評価 (実施項目2-②)	湿度影響データの整備	水和物の炭酸化進行/CO2固定量と相対湿度との関係性整理、およびその検証	長期的に炭酸化した試料での測定を継続し、データを取得/蓄積。 炭酸化領域の炭酸化度を実験と解析により整理。
c. CO_2固定における仕上げ・ひび割れの影響 (実施項目2-③)	仕上材の係数反映方法	中性化速度と躯体の炭酸化ひび割れの相関性 透気係数と躯体ひび割れとの相関性取得	予備実験を行い、結果を確認して検討する。 他手法、既往研究も確認して進める。
d. モニタリング手法の開発 (実施項目2-④)	測定条件のディテール決定	水分飽和度の異なる石灰石骨材を含む供試体での評価 オンサイトモニタリングの実証	水分飽和度を変化させた供試体に対して、フェノールフタレイン法による中性化深さと相当する評価結果を実現 既設構造物を対象にしたオンサイト評価の実施。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（2）研究進捗　PJ3（今後の取組）

3. CO_2の固定に関する品質管理方法に関する技術開発	適切に固定化をしたことを実証する手段、品質評価法の提供		
	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
a.固定前ガス・溶液および炭酸化塩固定化後の^{14}Cの定量比較による品質管理実施可能性の検討 (実施項目3-①)	測定方法提案	^{14}Cについては、燃焼ガスなどについて検討 ^{13}Cについては、同位体分別効果の検討	各種コンクリート用材料の^{14}Cのデータベースを拡充する ^{13}Cを用いた同位体分別効果に関する定量データを獲得する ばらつき、サンプル代表性を含めた背景データの拡充
b. 他プロジェクトの提案手法の評価 (実施項目1-⑥)			

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2. 研究開発計画／（２）研究開発内容

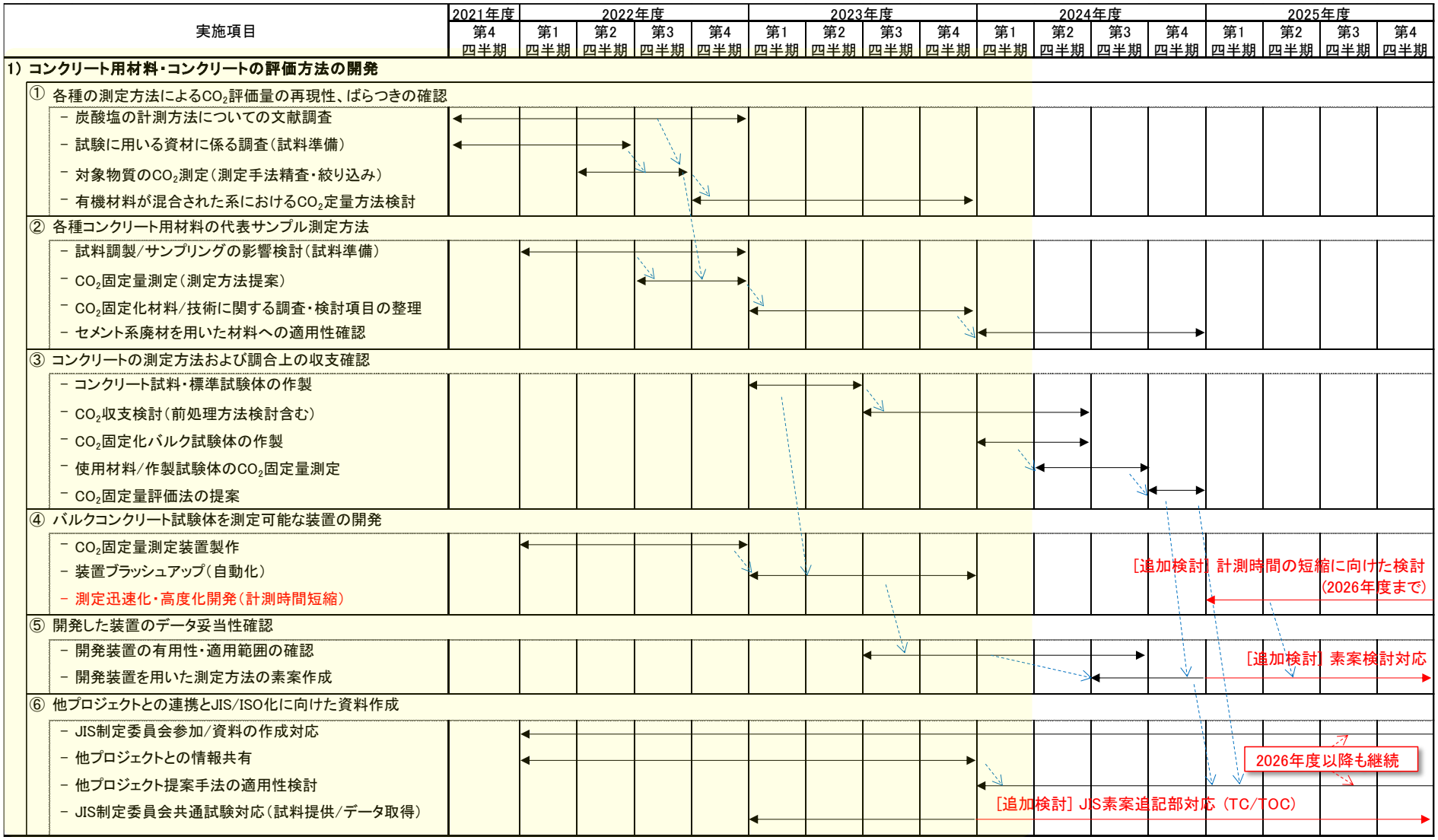
実施項目１ コンクリート用材料・コンクリートのCO_2固定量評価方法の開発

- ✓ 国内外の既存研究や動向を調査の上、いくつかのCO_2評価手法を用いて各種試料を測定し、測定結果の再現性、ばらつきを確認し、手法を絞り込む。コンクリート用材料、コンクリート試料のCO_2量を測定し、手法の簡便さや精度を比較して、研究開発項目１で採択された他の事業者と連携し最適な測定手法を検討する。本検討では既存の装置を利用した標準化案の策定を行う。また、代表性を確保できる前処理方法やサンプリング手法なども検討して標準化を目指す。
- ✓ 一方、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を行い、その性能評価を行うとともに、前処理方法やサンプリング方法も含めコンクリートにおけるCO_2固定量の評価手法を選定ならびに開発し、その適用性についても評価する。
- ✓ なお、有機材料（ファイバー、混和剤）のよる影響も懸念されるため、これらがCO_2定量値に及ぼす影響とその影響低減のための方法も検討する。

M. Zajac, I. Maruyama, A. Iizuka, J. Skibsted, Enforced carbonation of cementitious materials, Cem. Concr. Res. 174 (2023) 107285. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107285.

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

実施項目 1　コンクリート用材料・コンクリートのCO_2固定量評価方法の開発



©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

実施項目１　コンクリート用材料・コンクリートのCO_2固定量評価方法の開発

①各種の測定方法によるCO_2評価量の再現性、ばらつきの確認

②各種コンクリート用材料の代表サンプル測定方法　（THC・東大）

✓ JIS/ISOの素案となるCO_2量評価手法の測定上の問題点を明確にするため、種々の材料を各種手法に供し、結果の差異・誤差要因を確認、課題を整理

測定方法	CO_2測定結果（%）					誤差要因・課題等
	普通セメント	高炉セメント	フライアッシュセメント	石灰石	砂岩砕石	
TG/DTA	2.0	0.27	0.24	43.2	7.7	$CaCO_3$以外の物質由来の質量減少・増加の影響
湿式分析	1.9	0.41	0.18	43.2	7.7	混和材の影響（スラグ、フライアッシュ）
全炭素分析	1.9	0.43	1.1	44.2	7.8	試料中の有機炭素等の影響

全炭素分析の課題（無機炭酸塩とそれ以外の分離条件）に対し試料前処理・燃焼温度等による分離評価を検討

③コンクリートの測定方法および調合上の収支確認

✓ 下記の標準試験体/試料を作製
- 物質収支が明らかなコンクリート標準試験体
- 試料調製工程を想定した試料

これまでに検討した各種手法で分析
→ **物質収支の確認**
→ 試料調製/CO_2量評価の**妥当性確認**

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

実施項目１　コンクリート用材料・コンクリートのCO_2固定量評価方法の開発

• 各分析方法における測定時の留意点

分析方法	骨材	セメントおよび混合材		セメントペースト
		高炉スラグ	フライアッシュ	
湿式分析	粒子内部に無機炭酸塩が残留 →CO_2量：過小評価	H_2Sの発生 →CO_2量：過大評価	粒子内部に炭酸塩が残留 →CO_2量：過小評価	シリカゲル内に炭酸塩が残留 →CO_2量：過小評価
TG-DTA	粘土鉱物の脱水と炭酸塩の脱炭酸の温度領域が重複 →CO_2量：過大評価	硫化物の酸化 →CO_2量：過小評価	未燃カーボンが存在 →CO_2量：過大評価	低温度領域からの脱炭酸と他水和物の脱水の重複 （炭酸カルシウム多形の存在） →CO_2量：過小評価
熱分解-赤外吸収（T-C計）	粒子内部に無機炭酸塩が残留 →CO_2量：過小評価 粒子内に有機質炭素が残留 →CO_2量：過大評価	SO_2ガスがCO_2センサに干渉 →CO_2量：過大評価	未燃カーボンが存在 →CO_2量：過大評価	セメント製造時にセメント粒子に付着した有機炭素の影響 →CO_2量：過大評価（懸念）
（TOC計）	〃	〃	未燃カーボンが存在 →CO_2量：過大評価	低温度領域からの脱炭酸と他水和物の脱水の重複 （炭酸カルシウム多形の存在） →CO_2量：過小評価 ※加熱温度の見直し必要

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

実施項目１　コンクリート用材料・コンクリートのCO_2固定量評価方法の開発

- 有機繊維が入った場合などのTOCを用いた測定方法を開発

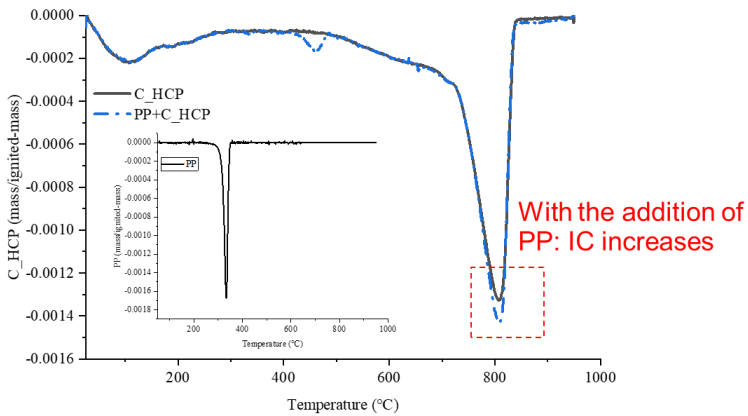


図１　有機分子があると炭カルを過大評価

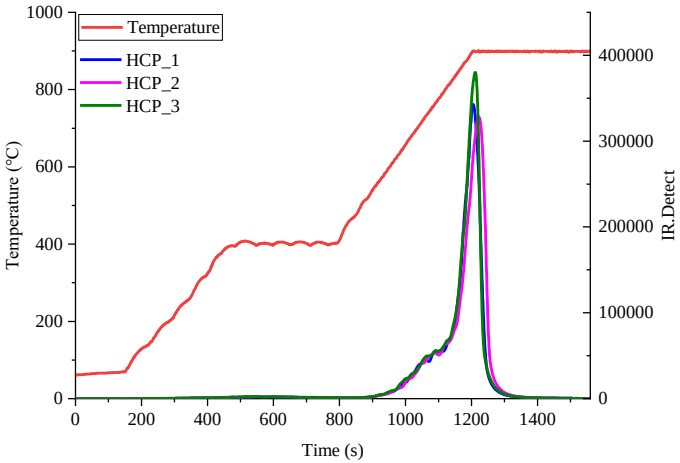


図２　DIN 19539:2016-12では測定ができない

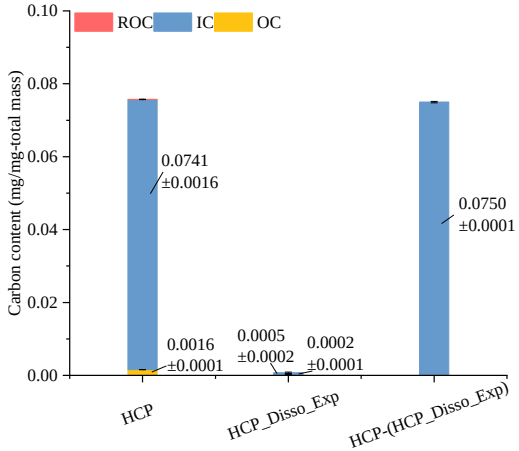


図３　リン酸の溶解前後でTCを測定して差分を取る
＝無機炭酸量を検出

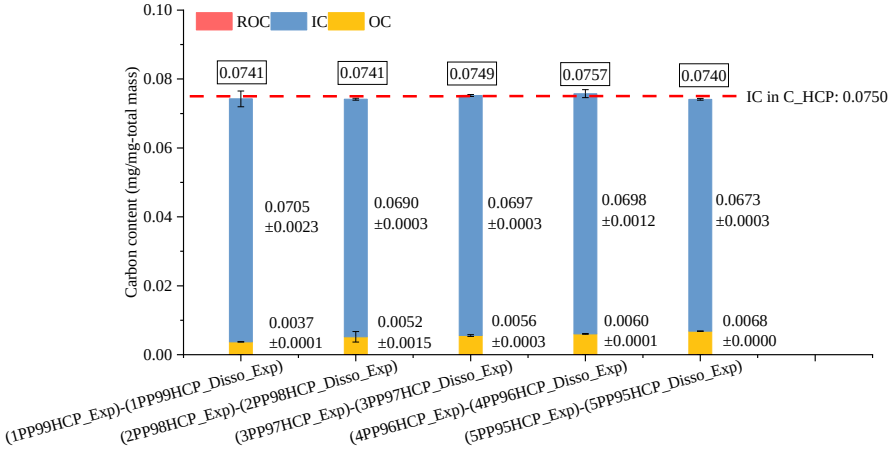


図４　炭酸化したペースト＋PPにおいても、
いずれも無機炭酸量を適切に把握できることを確認

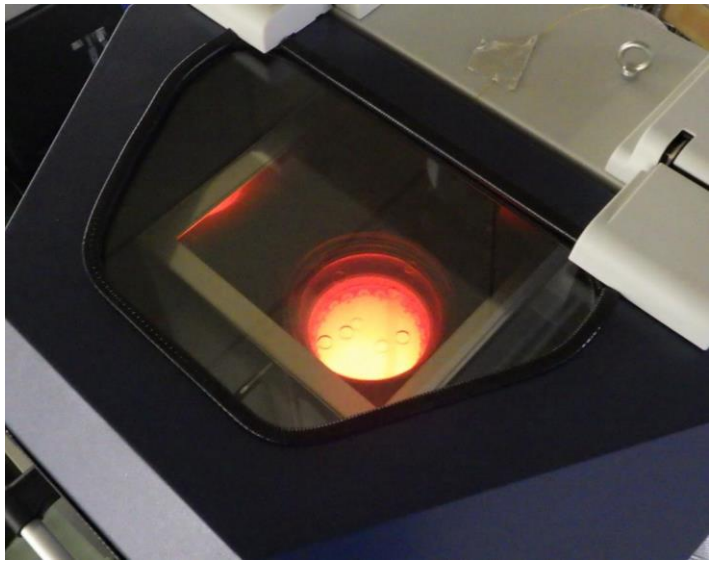
実施項目１　コンクリート用材料・コンクリートのCO_2固定量評価方法の開発

④バルクコンクリート試験体(Φ10x20cm,Φ5x10cm,骨材群)を測定可能な装置の開発

（リガク）

✓ 既存の熱重量ー質量分析装置の考え方を踏襲し、
コンクリート試験体レベルでのCO_2固定量の装置を開発。

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

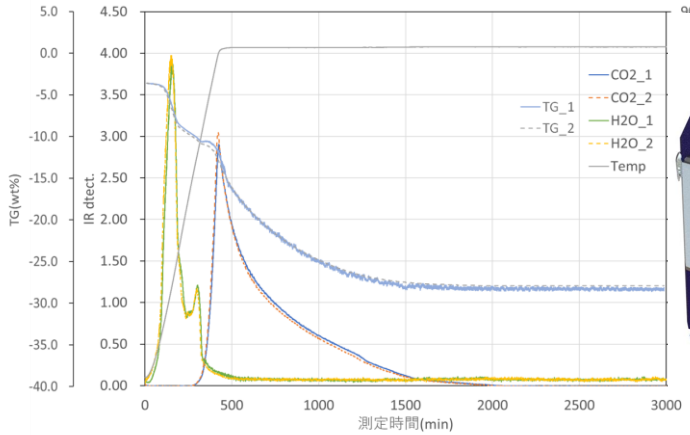
©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

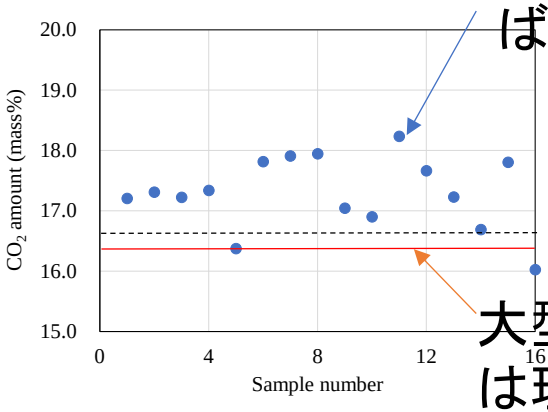
実施項目１　コンクリート用材料・コンクリートのCO_2固定量評価方法の開発

⑤開発した装置のデータ妥当性確認（東大）

・CO_2量が既知のコンクリート試料（標準試験体）による確認

コンクリート供試体の測定結果





粉砕方式はばらつき大

大型装置は理論値と近い

作業工数の比較

1日目	2日目	3日目	4日目	5日目
測定				
前処理真空乾燥2～3日		全量粉砕	湿式測定	

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

実施項目１　コンクリート用材料・コンクリートのCO_2固定量評価方法の開発

⑥他プロジェクトとの連携とJIS/ISO化に向けた資料作成（東大・THC）

- **JIS制定委員会共通試験対応**
  → JIS素案WGにて実施の共通試験への試料提供/データ取得
- **JIS制定委員会参加/資料作成**
  ✓ **カーボンリサイクル評価方法のJIS原案作成委員会**（JCI主催）
  → JIS素案検討WG主査として、JIS素案をとりまとめ
- **他プロジェクトとの情報共有**
- **他プロジェクト提案手法の適用性検討**
  ✓ **評価技術および標準化検討分科会**（NEDO主導）
  → 各プロジェクトで得られた知見、JIS/ISOの動向について情報共有
  ✓ **GIコンクリート系交流会**（東大：野口貴文教授主導）
  → 世界的動向や研究事例等、可能な範囲で意見交換
  ✓ これまでに本PJで成果を対外発表（口頭発表、論文投稿）
  → 対外発表、受賞実績を次ページに記載

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

対外発表

- I. Maruyama, K. Noritake, Y. Hosoi, H. Takahashi, Development of a large-scale thermogravimetry and gas analyzer for determining carbon in concrete, J. Adv. Concr. Technol. 22 (2024) 383?390. https://doi.org/10.3151/jact.22.383.
- H. Takahashi, I. Maruyama, T. Ohkubo, R. Kitagaki, Y. Suda, A. Teramoto, K. Haga, T. Nagase, Error factors in quantifying Inorganic carbonate CO2 in concrete materials, J. Adv. Concr. Technol. 21 (2023) 789?802. https://doi.org/10.3151/jact.21.789.
- 丸山一平， 栗原諒， 佐伯直彦、セメント系材料の炭酸化反応機構、コンクリート工学, Vol. 61, No.9 pp.760-768, 2023
- 長瀬孝宏， 高橋晴香， 芳賀和子， 丸山一平,コンクリート材料に含まれる CO_2定量方法に関する検討,コンクリート工学, Vol. 61, No.9 pp818-823, 2023
- T. Uno, N. Saeki, I. Maruyama, Y. Suda, A. Teramoto, R. Kitagaki, T. Ohkubo, Understanding the Carbonation Phenomenon of C-S-H through Layer Structure Changes and Water Exchange, J. Phys. Chem. C (2024). https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.4c01714.
- 佐伯 直彦，Cheng Luge，栗原 諒，丸山 一平: 処女乾燥とその後の再吸湿に伴うセメント硬化体の水和物と水分分布の変化, セメント・コンクリート論文集, Vol.77, No.1, pp.17-25, 2023
- N. Saeki, L. Cheng, R. Kurihara, T. Ohkubo, A. Teramoto, Y. Suda, R. Kitagaki, I. Maruyama, Natural carbonation process in cement paste particles in different relative humidities, Cement and Concrete Composites. 146 (2024) 105400. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.105400.
- M. Zajac, I. Maruyama, A. Iizuka, J. Skibsted, Enforced carbonation of cementitious materials, Cem. Concr. Res. 174 (2023) 107285. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107285.
- 栗原 諒，大窪 貴洋，丸山 一平: 1H-NMR relaxometryによるT1-T2緩和相関測定を用いたセメントペーストの再吸湿過程における空隙構造変化の観測, セメント・コンクリート論文集, Vol.77, No.1, pp.35-43, 2023
- 伊神 竜生，Abudushalamu Aili，五十嵐 豪，丸山 一平: 1H-NMR Relaxometryを用いたセメント硬化体の炭酸化過程における含水状態変化の分析, セメント・コンクリート論文集, Vol.77, No.1, pp.44-52, 2023
- Luge Cheng, Naohiko Saeki, Ryo Kurihara, Ippei Maruyama, Characterization of capillary pores of carbonated cement paste under different relative humidity conditions by SEM image analysis, Cement Science and Concrete Technology, Vol.77, No.1, pp.308-316, 2023

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

対外発表

- Luge Cheng, Naohiko Saeki, Ryo Kurihara, Ippei Maruyama, Study on carbonation progress in hardened cement paste associated with moisture penetration, Proceedings of JCI, Vol. 45, No.1, pp.436-441, 2023.7
- Z. Wang, A. Aili, M. Minami, I. Maruyama, Verification Method of Direct Air Capture by Cementitious Material Using Carbon Isotopes, J. Adv. Concr. Technol. 21 (2023) 934?940. https://doi.org/10.3151/jact.21.934.
- 伊神竜生，Aili Abudushalamu, 五十嵐豪，丸山一平，セメント硬化体の炭酸化とそれに伴う微細構造変化に及ぼすCO2濃度および初期含水率の影響，コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No.1，pp.268-273, 2023.7
- 田邊百花, 寺本篤史, 丸山一平, 乾燥を受ける塗装仕上げコンクリート中の湿度分布と水和反応に関する研究, 日本コンクリート工学年次大会, Vol. 46, No. 1, 2024, 43-48
- 宮本健太郎, 寺本篤史, 丸山一平, コンクリートのCO?固定量評価に及ぼす採取方法の影響, 日本コンクリート工学年次大会, Vol. 46, No. 1, 2024, 49-54
- 島田修弥, 寺本篤史, 丸山一平, 透気係数を用いた塗装を有するコンクリートの中性化進行予測に関する研究, 日本コンクリート工学年次大会, Vol. 46, No. 1, 2024, 595-600
- 伊神竜生, アイリアブドゥシャラム, 五十嵐豪, 丸山一平, 炭酸化前及び炭酸化途中の自由水がセメント硬化体の炭酸化反応に与える影響, 日本コンクリート工学年次大会, Vol. 46, No. 1, 2024, 607-612
- 王珍珍, アイリアブドゥシャラム, 五十嵐豪, 丸山一平, Evaluation of quantification of TG methods for carbonation in carbonated cement pastes, 日本コンクリート工学年次大会, Vol. 46, No. 1, 2024, 637-642
- セイレカ, 栗原諒, 丸山一平, セメント硬化体加速炭酸化における水分蒸発律速炭酸化過程のプロトン緩和時間領域測定による可視化, 日本コンクリート工学年次大会, Vol. 46, No. 1, 2024, 643-648
- Luge Cheng, Haruka Takahashi, Ippei Maruyama, Application of total carbon analysis for carbon dioxide fixation in cementitious materials, Case Studies in Construction Materials, Volume 21, 2024, e03880

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

受賞

- セメント協会論文賞　2023.05.18　「赤外分光法を用いた大気二酸化炭素濃度下におけるセメント硬化体表面の炭酸化反応の湿度依存性に関する分析」
- 栗原諒：第77回セメント技術大会優秀講演者賞（2023/6/20）「1H-NMR relaxometryによるT1-T2緩和時間測定を用いたセメントペーストの再吸湿挙動に関する基礎的検討」
- 伊神 竜生：日本建築材料協会 優秀学生賞(2023/3/3)「普通ポルトランドセメントペーストの炭酸化プロセスに及ぼす初期含水状態の影響」
- 伊神 竜生：日本建築学会東海支部学生優秀学術講演賞（2023/3/16）「ラマン分光法を用いた湿潤状態での異なる二酸化炭素環境下のセメント硬化体表層部の炭酸化反応の分析」
- 伊神竜生：第77回セメント技術大会優秀講演者賞（2023/6/20）「高湿度環境下においてセメント硬化体に多量の二酸化炭素を固定する一案」
- 伊神 竜生：第45回コンクリート工学年次論文奨励賞（2023/7/7）「セメント硬化体の炭酸化とそれに伴う微細構造変化に及ぼす環境CO2濃度及び初期含水率の影響」
- 佐伯直彦：第45回コンクリート工学年次大会　年次論文奨励賞（2023/7/5）「真空乾燥処理におけるセメント硬化体内の水分の経時変化」
- 伊神竜生：日本建築学会大会学術講演会若手優秀発表賞（2023/11/10）「1H-NMR Relaxometryを用いたセメント硬化体の炭酸化による空隙構造変化の基礎的研究」
- 栗原諒、1H-NMR relaxometryを用いた乾燥状態にある合成C-S-HのH2O/SiO2モル比に関する実験的検討、第78回セメント技術大会優秀講演者賞
- 伊神竜生、乾燥されたセメント硬化体の空隙構造をイソプロパノールを用いて取得する手法の検討、第78回セメント技術大会優秀講演者賞
- 佐伯直彦、XRD外部標準法による炭酸化したセメント硬化体中の鉱物組成の定量、第78回セメント技術大会優秀講演者賞
- セイレカ, セメント硬化体加速炭酸化における水分蒸発律速炭酸化過程のプロトン緩和時間領域測定による可視化, 第46回コンクリート工学年次論文奨励賞
- YANG Zhenli, Microstructural evolution of hardened limestone calcined clay cement paste during first drying, 第46回コンクリート工学年次論文奨励賞
- 伊神竜生,炭酸化前及び炭酸化途中の自由水がセメント硬化体の炭酸化反応に与える影響, 第46回コンクリート工学年次論文奨励賞

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2. 研究開発計画／（２）研究開発内容

実施項目２ 構造物供用中にCO_2固定を実施する材料について保証する枠組みの開発

竣工後の供用期間を含めてCO_2を固定化する素材について、事前の促進試験に基づき、建物立地環境・素材・仕上げの状態を考慮して、供用期間中の固定量を評価する枠組み、ならびにモニタリング手法を提案する。

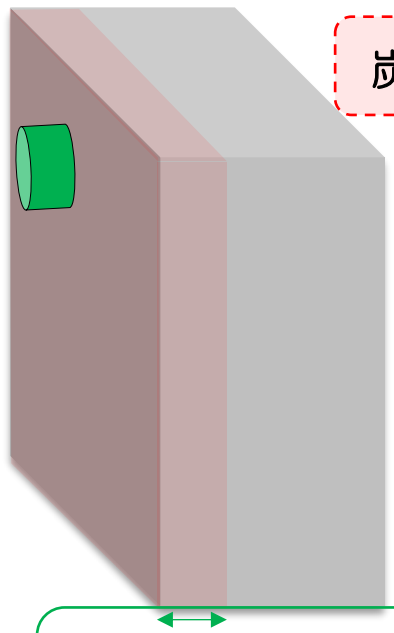
- ✓ 供用期間中に空気中のCO_2を固定化する素材については、材料特定・立地環境・仕上げの状態などを入力値として将来予測をした上で供用期間中の固定量を保証する枠組みが必要となる。本検討では適切な促進試験とその促進試験を結果を用いて、供用期間中の建物ならびに部材の固定量評価の枠組みを提案する。また、同時にモニタリングする手法も併せて提案し、開発した材料の適切な運用を支援する枠組みを構築する。
- ✓ 従来のコンクリートの炭酸化に関する評価は、鉄筋腐食の観点からのpH の変化に注目しており、CO_2固定の観点からの評価はなされていなかった。また、促進試験で高濃度CO_2を用いる場合の細孔溶液中のpH の変化、それによって生ずる無機炭酸化反応の変化、空隙構造の変化、および水分発生速度の変化が炭酸化進行に及ぼす影響について科学的な知見は十分でない。これらに関連する情報を取得するとともに、建物立地環境・素材・仕上げの状態の影響について科学的知見を拡充するとともに、実施工における制度レベルでの運用が可能な簡便な評価方法の枠組みを構築する。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

実施項目２ 構造物供用中にCO_2固定を実施する材料について保証する枠組みの開発

[全体像]

二酸化炭素固定量 $C_i^{ti} = \left(\sum_i d_i \cdot A_i \cdot c_i \cdot\right) f_{cem}^{clinker} \cdot f_{clinker}^{CaO} \cdot \gamma \cdot \frac{M_{CO2}}{M_{CaO}}$



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}^{clinke} ：セメント中のクリンカー量
f_{clinke}^{CaO} ：クリンカー中のCaO量
γ ：炭酸化度
M_{CO2} ：CO_2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

非破壊モニタリング方法の提案

- ✓ ラマンマッピング
- ✓ IRマッピング
- ✓ ハイパースペクトルカメラ
- ✓ LIBS

北大

表層部の影響評価

- ✓ 塗装仕上げ
- ✓ 表層ひび割れ

広島大

現場での検証

炭酸化深さ $d_i = A\sqrt{t + R^2} - R$

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

促進試験方法の提案

- ✓ 現状の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

千葉大・東大

α_1：コンクリートの種類（骨材）による係数
α_2：セメントの種類による係数
α_3：調合（水セメント比）による係数
β_1：気温による係数
β_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
β_3：二酸化炭素濃度による係数

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

実施項目２　実施内容

①新しい促進試験方法と将来の炭酸化固定量保証の枠組みの検討

- ✓ 炭酸化反応のメカニズムを明らかにした上で、材料固定量および進行速度を適切に把握する促進試験法を提案する。 **（千葉大・東大）**

②CO_2固定における温湿度影響評価 **（琉球大）**

- ✓ 含水状態が異なると、固定化できるCO_2量が変動する可能性があるため、炭酸化度、炭酸化速度係数の温湿度パラメータを整備する。

③CO2固定における仕上げ・ひび割れの影響 **（広島大）**

- ✓ CO_2固定量の予測モデルに及ぼす塗装および微細ひび割れの影響を評価する。
- ✓ 現地計測（透気試験）を活用したCO_2固定量の推定手法を検討する。

④モニタリング手法の構築に関する研究 **（北大）**

- ✓ 調査孔付きコンクリート供試体に対し、種々のモニタリング装置/手法を用いて、調査孔の気密性および定期モニタリング適合性を評価する。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

実施項目 2 構造物供用中にCO_2固定を実施する材料について保証する枠組みの開発

実施項目	2021年度	2022年度				2023年度				2024年度				2025年度			
	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
2) 構造物供用中にCO_2固定を実施する材料について保証する枠組みの開発																	
① 新しい促進試験方法と将来の炭酸化固定量保証の枠組みの検討																	
a) 異なる湿度、CO_2濃度での表層セメントペーストの反応速度																	
b) 一般乾燥下、および大気下における炭酸化と脱水挙動に関する検討																	
c) 前処理条件の違いが断面内の相組成分布、含水率分布に及ぼす影響（ペースト，モルタル）																	
d) 実構造物における炭酸化プロセス状態の分析																	
e) 第一原理計算による炭酸化力場の作成																	
f) C-S-H等の炭酸化シミュレーション																	
g) C-S-H等の水和物の合成と炭酸化前後のキャラクタリゼーション																	
② CO_2固定における温湿度影響評価																	
a) 供試体寸法および炭酸化期間の設定のための予備実験																	
b) 異なる温湿度条件におけるCO_2固定メカニズムの検討																	
– 試験体作製・養生																	
– 暴露・測定																	
c) CO_2移動を考慮した異なる温湿度条件におけるCO2固定量の評価																	
– 試験体作製・養生																	
– 暴露・測定																	
d) 実環境における暴露試験とCO_2固定量の評価																	
– 試験体作製・養生																	
– 暴露・測定																	
e) CO_2固定量の評価予測のための温湿度パラメータの検証と構築																	

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

実施項目 2 構造物供用中にCO_2固定を実施する材料について保証する枠組みの開発

2）構造物供用中にCO_2固定を実施する材料について保証する枠組みの開発

③ CO2固定における仕上げ・ひび割れの影響

a）塗装が炭酸化深さに及ぼす影響
- 試験体作製
- 測定・モデル化

b）塗装が内部湿度に及ぼす影響
- 試験体作製
- 曝露・測定

c）コンクリートの微細ひび割れが炭酸化深さに及ぼす影響
- 試験体作製
- 測定・モデル化

d）塗装が透気試験に及ぼす影響
- 試験体作製，測定（健全）
- 試験体作製，測定（劣化）
- 目視観察方法

e）ひび割れが透気試験に及ぼす影響
- 微細ひび割れ試験体作製、測定
- ひび割れ幅試験体作製、測定

④ モニタリング手法の開発

a）IRマルチスペクトル分光器を中心としたモニタリング用機材の機種評価
- 基本キットの構築
- 測定条件の最適化
- 調査用削孔を用いた基本的評価手法の構築

b）モニタリング機材を用いたラボスケール評価
- 非石灰石系供試体でラボ評価の実現
- 石灰石系供試体でラボ評価の実現
- 水分飽和度の異なる供試体でラボ評価の実現

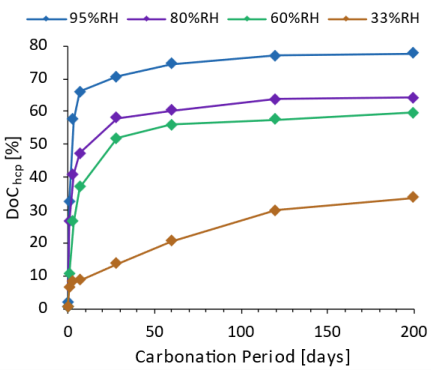
c）モニタリング機材を用いたオンサイト評価
- オンサイト評価キットの構築
- 構造物へのオンサイト評価の試行
- オンサイト評価手法のドラフトを作製

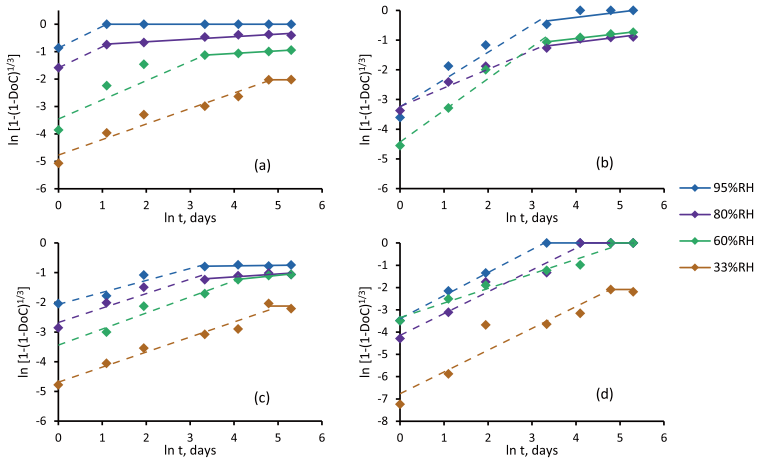
©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

①将来の炭酸化固定量保証の枠組みの検討

自然環境下でのペースト粒子の炭酸化

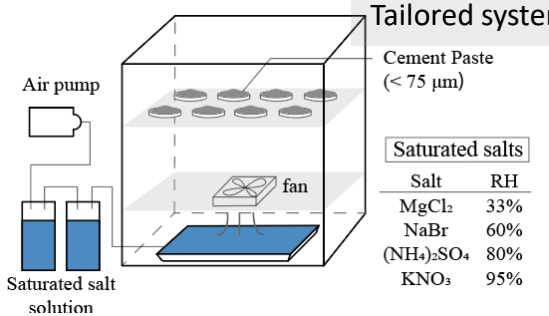
- 炭酸化度は炭酸化200日でほぼ平衡に達し、95%RHと33%RHの値はEN 16757(ヨーロッパ規格)と同等であった。
- 各水和物の反応速度は、初期に急激な化学反応律速で急速に反応が進んだが、その後反応は鈍化した。
- 高RHで炭酸化した場合、細孔溶液の高い連続性によりカルシウムが外部に移動する現象が見られた。
- **これらの値を用いて、最大の炭酸化度を見積もることができる。**



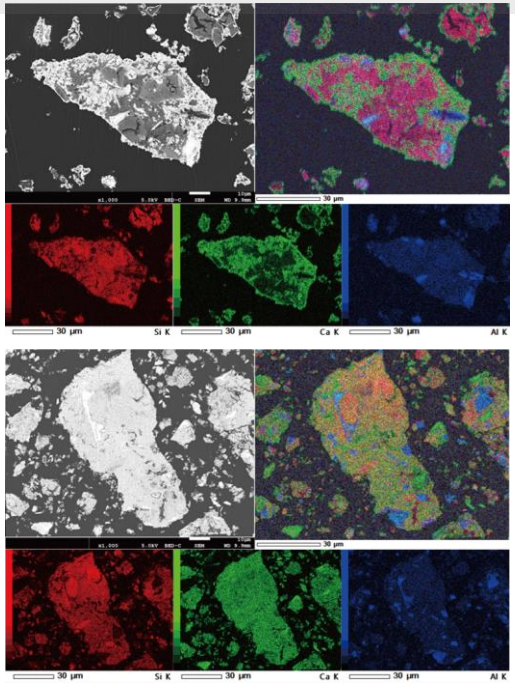


RH [%]	Degree of Carbonation at 200 days carbonation [%]					
	Total	CH	Ett	Mc	Hg	X-ray Amorphous
95	78	100	100	86	100	58
80	64	96	79	72	100	43
60	60	77	85	72	100	45
33	34	34	50	29	28	35

Tailored system



Element distribution, carbonated at high RH (top) and middle RH (bottom)



©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

①将来の炭酸化固定量保証の枠組みの検討（東大）

加速炭酸化条件での水分移動と炭酸化の関係

- 片側開放1H-NMRの技術を用い，非破壊で水分の分布を測定できるノウハウを構築。促進炭酸化を実施し、炭酸化フロントにおける水分量と分布を評価したところ、1%-CO2濃度以上において、炭酸化フロントにおけるC-S-H中の水分量が一定となった。
- コロイド的性質を有するC-S-Hが乾燥によって凝集することによって空隙中の気相の連続度が拡大し、CO2が内部へ到達。中性化進行は加速試験においてはC-S-Hの水の蒸発が律速することを確認
- 加速試験においても、ペーストの加速試験では、√tの律速からはずれる挙動を示す。この観点から、一度乾燥して水を取り除いてから加速炭酸化させることの重要性を指摘

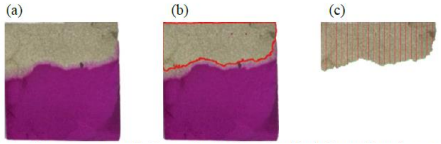


図1　フェノールフタレイン＋画像分析の様子

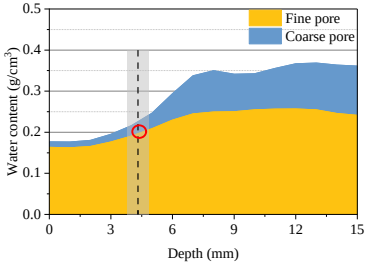


図2　片側NMRによってC-S-H凝集構造内の水分（Fine pore water）と毛管凝集水（Coarse pore water）を深さ毎に定量

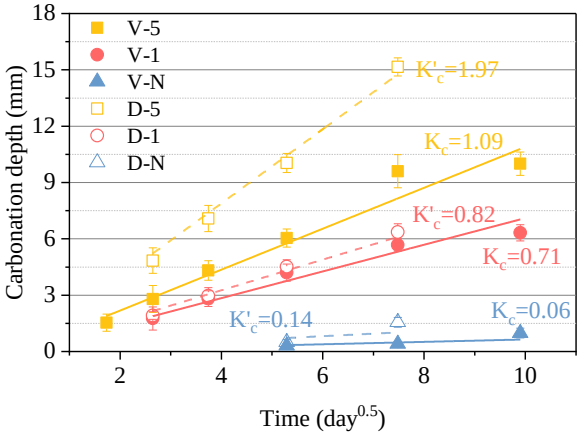


図4　促進炭酸化試験における比較
V:処女乾燥で28日60%RHに曝露
D:一度、乾燥させて内部水分を一定にしてから曝露

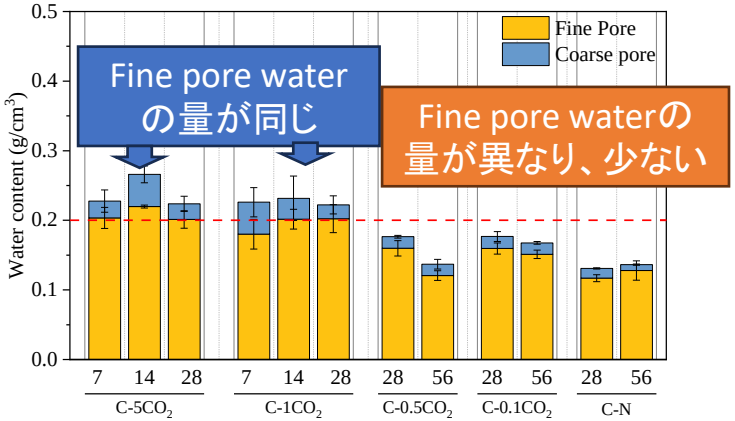


図3　CO2濃度事に炭酸化フロントにおける水分量を比較
1%CO2以上の条件では、炭酸化進行は同一のC-S-H中の水分量になっていて炭酸化進行を水が律速

①将来の炭酸化固定量保証の枠組みの検討（東大）

適切な炭酸化促進試験による材料性能把握

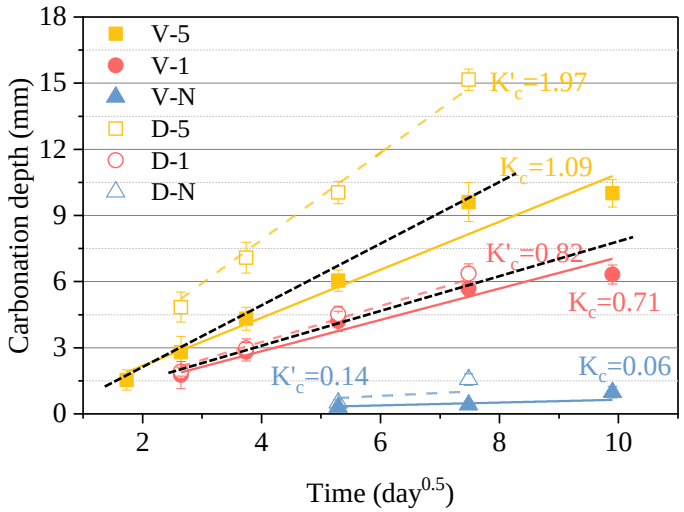
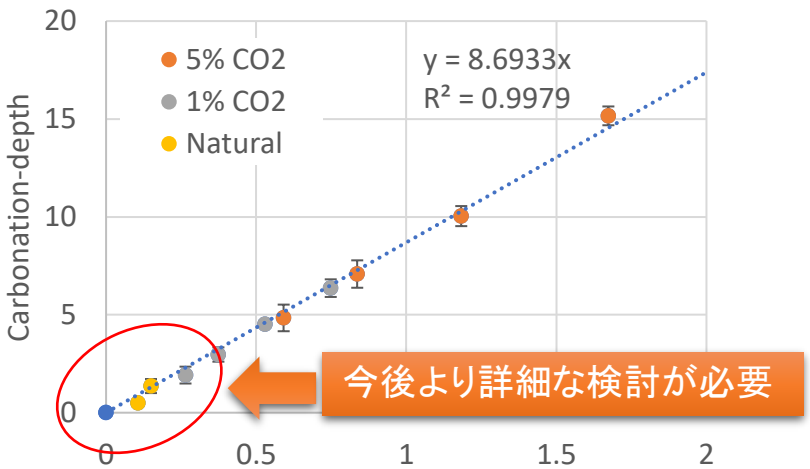


図1　促進炭酸化試験における比較
V:処女乾燥で28日60%RHに曝露
D:一度、乾燥させて内部水分を一定にしてから曝露



$$y = A\sqrt{t} \cdot \sqrt{CO_2}$$

図2　乾燥させて内部水分分布をなくしてから実施した加速炭酸化データの整理結果

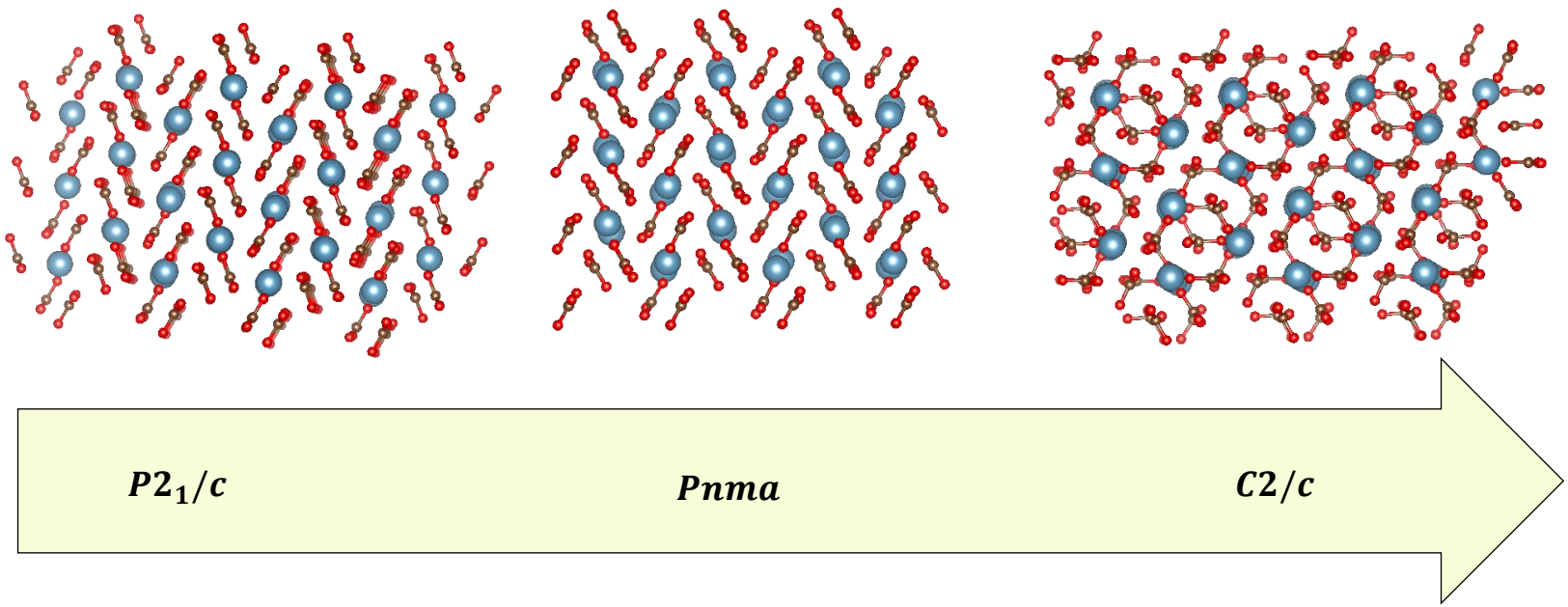
- 加速炭酸化試験は、厳密にみるとAnomalyな挙動を示す。特に高いCO2濃度のときに顕著である。これは事前乾燥が十分でないからである。
- 内部水分が一定になっている場合には常に√t則に従う。さらにCO2濃度についても√で従う傾向がある。
- 今後、これらの傾向をもとに適切な加速試験の手法を提案していく。妥当性検証に想定より長い研究期間が必要となる可能性がある。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

①将来の炭酸化固定量保証の枠組みの検討（千葉大）

■メタダイナミクスMDと第一原理計算による炭酸カルシウムの多型決定

- アモルファスを含む多様な炭酸塩鉱物の熱力学的安定性と反応経路をメタダイナミクスMD＋第一原理計算により解析
- 加速試験や実材料で観察される炭酸塩鉱物の種類・量・生成要因を理論的背景に基づいて証明
- 将来にわたるCO_2固定化量と促進試験の科学的根拠を提供

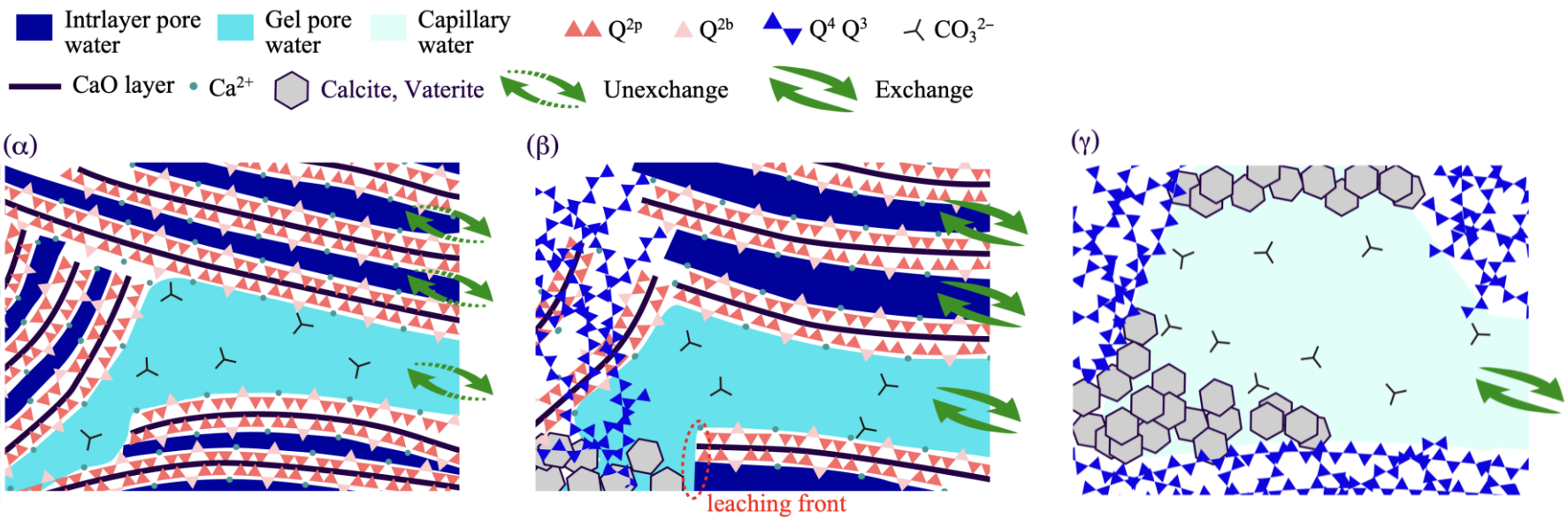


©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

①将来の炭酸化固定量保証の枠組みの検討（千葉大）

■水の物質移動に伴う空隙構造と炭酸化減少

- 重水とNMRを利用して炭酸化に伴う空隙構造変化と水の移動現象を直接観察する方法を開発。
- 合成C-S-Hを用いた炭酸試験のサンプルを解析することで、空隙構造と水移動が炭酸化現象に重要な役割を果たすことが示された。
- 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パラメータの根拠、加速試験の妥当性を空言構造・水移動から明らかにしていく。



©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

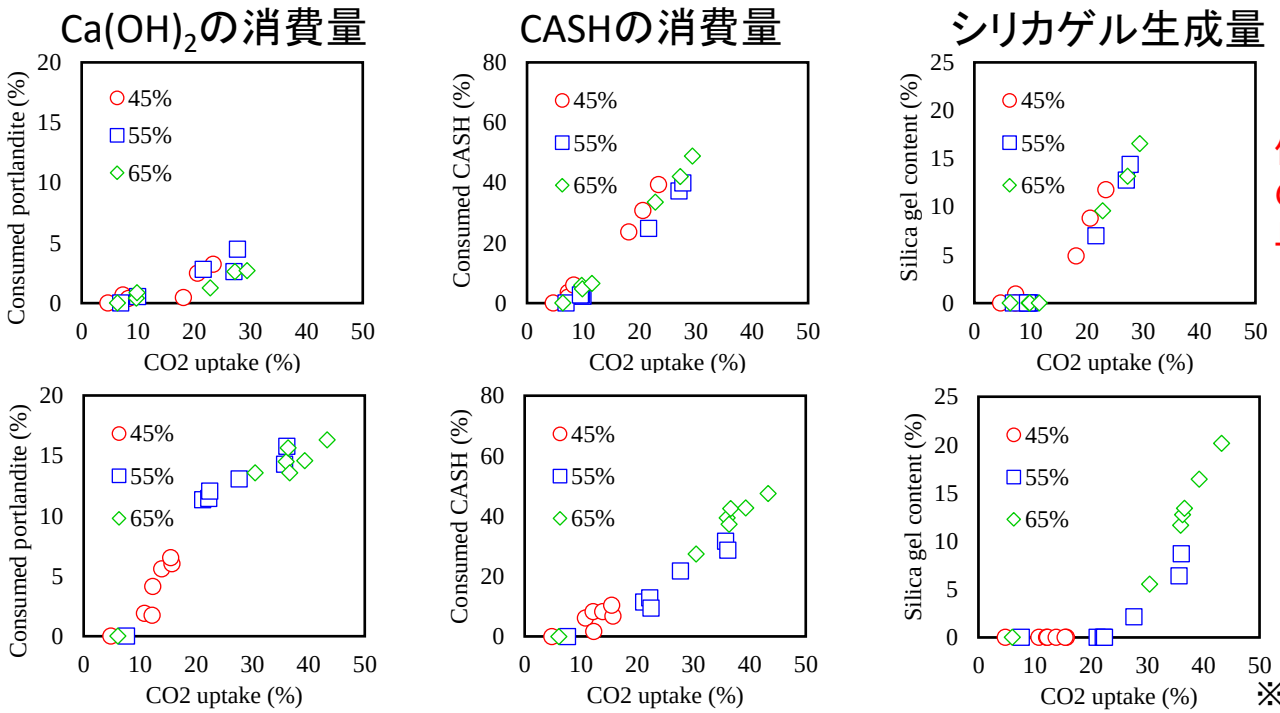
②CO_2固定における温湿度影響評価（琉球大）

厚さ1mmの試料を用いて各種炭酸化条件におけるCO2固定量と水和物の炭酸化進行を測定

1．相対湿度の影響（RH40%、52%、70%、85%　促進環境：CO_2濃度5%）

RH40%

RH85%



低RHではシリカゲルの生成が高RHよりも早期に生じる

※凡例は水セメント比を示す

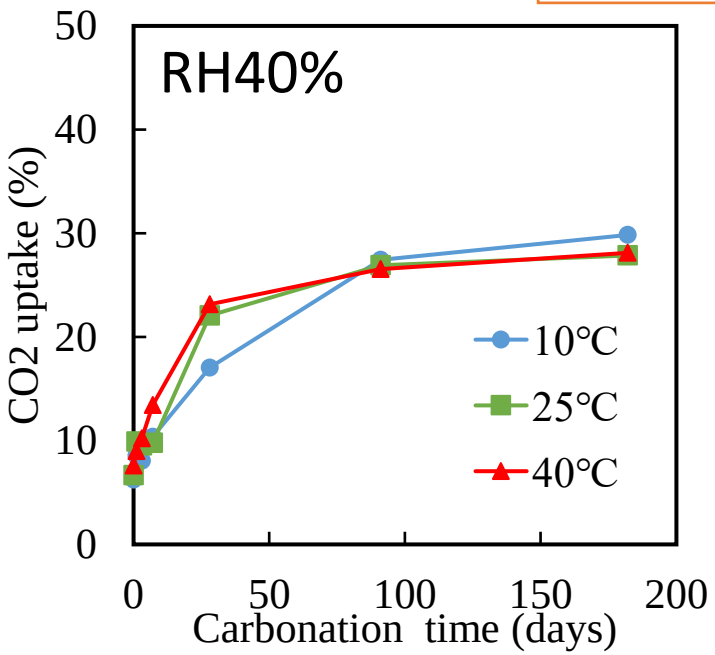
- ✓ ポルトランダイトは高湿度で炭酸化が進行するが、相対湿度が低下すると炭酸化が停滞
- ✓ 水セメント比によらず相対湿度によって水和物の炭酸化進行が決定される
- ✓ 高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどを使用した場合、水和物構成が異なるため、相対湿度によるCO_2の固定化挙動がOPCと異なる可能性（令和6年度に高炉セメントで検討を実施）

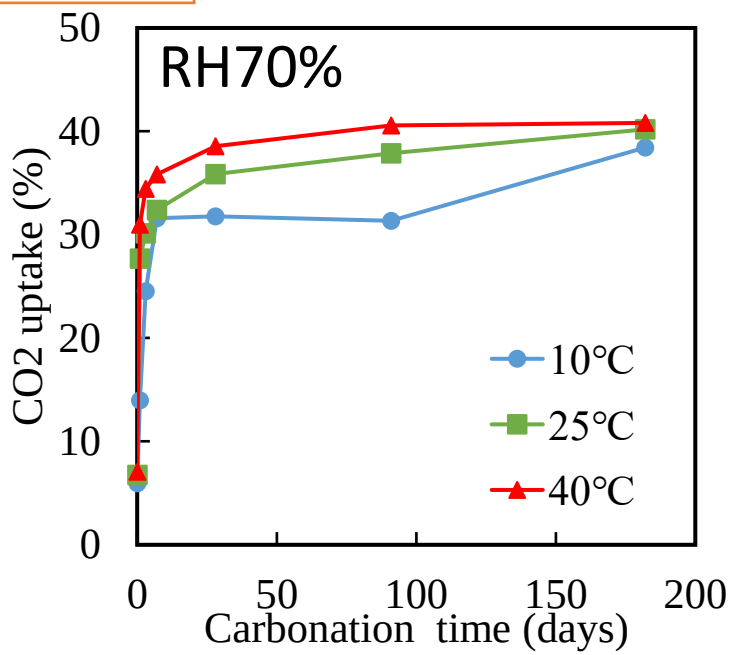
©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

②CO_2固定における温湿度影響評価（琉球大）

2. 温度の影響（10℃、25℃、40℃、促進環境：CO_2濃度5%）

CO_2固定量の経時変化





高湿度ほど炭酸化速度における温度の影響が大きい

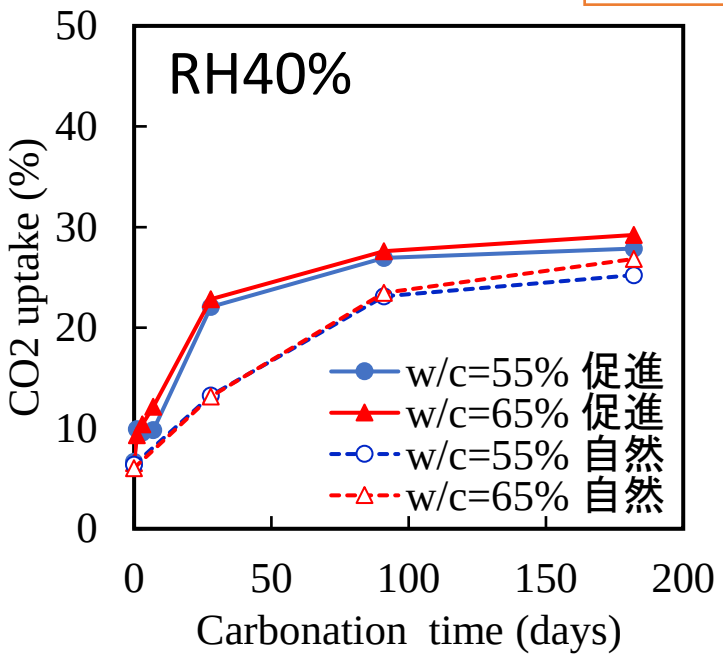
- ✓ 炭酸化時の温度の違いが経時的なCO_2固定量に及ぼす影響を調査
- ✓ 炭酸化時の温度が高いほどCO_2の固定化速度は上昇するが、同一湿度における炭酸化182日時点のCO_2固定量は、温度によらず同程度となる

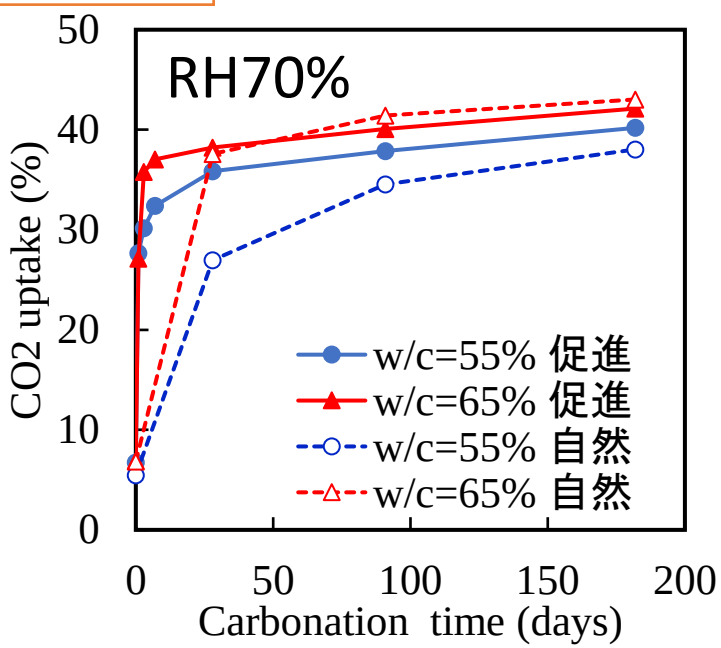
©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

②CO_2固定における温湿度影響評価（琉球大）

3. CO_2濃度の影響（自然環境、促進環境：CO_2濃度5%）

CO_2固定量の経時変化





- ✓ 炭酸化時のCO_2濃度の違いがCO_2固定量に及ぼす影響を調査
- ✓ 同一湿度における炭酸化182日時点のCO_2固定量は濃度によらず概ね同程度となった
- ✓ 促進環境、自然環境の炭酸化を継続し、促進環境がCO_2固定量に及ぼす影響を調査

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

②CO_2固定における温湿度影響評価 (琉球大)

4. 温湿度影響におけるCO_2固定量評価・予測の今後の方針

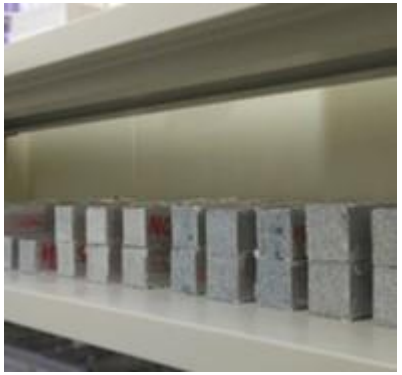
- ✓ 炭酸化時の相対湿度により水和物の炭酸化進行が変化することから、炭酸化領域（中性化域）の炭酸化度が異なることが想定される
- ✓ これまでの水和物の炭酸化進行の実験結果を反映させた相平衡計算を実行し、液相組成の計算結果からpHと炭酸化度の関係を取得
- ✓ 平衡計算の予備検討から、高湿度ではポルトランダイトが炭酸化することで、相対湿度が高いほど中性化開始時の炭酸化度が高くなる傾向を確認
- ✓ 実験より得られる炭酸化領域内の固定量と比較し、各相対湿度における炭酸化度を決定する

- □ モルタル供試体を用いて、各相対湿度および実環境で炭酸化を実施する
- □ 炭酸化領域の炭酸化度を実験と解析により整理する

屋外（雨掛り環境）

屋外（雨掛り無し）

屋内（RH50-60%）



©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

③CO_2固定における仕上げ・ひび割れの影響 （広島大）

検討① 塗装仕上げを有するコンクリートの炭酸化深さ予測モデル

CO_2固定量の予測モデル

$$M_{SL} = V_{SL} \times m_{SL}$$

M_{SL}：供用中に吸収したCO_2量（t）
V_{SL}：中性化したコンクリートの体積（m³）
m_{SL}：コンクリート1 m³あたりのCO_2固定量(t/m³)

$$V_{SL} = a \times d$$

a：供用中のコンクリートの表面積（mm²）
d：炭酸化深さの推定値（mm）

$$d = A\left[\sqrt{(t - t_0) + R^2} - R\right]$$

A：中性化速度係数（mm/day$^{1/2}$）
t：時間（day）
t_0：潜伏期間（day）
R：中性化抵抗

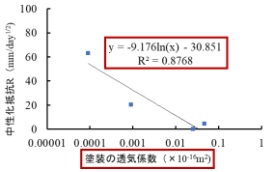
2023年度までの成果

非破壊透気試験による
・塗装単体の透気係数 kt の取得

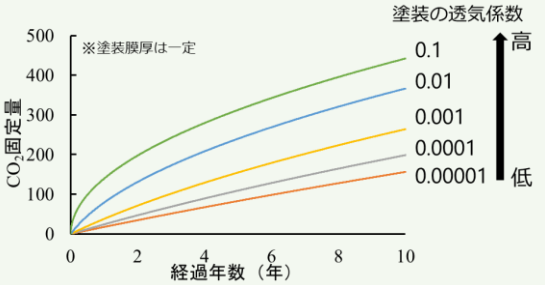
相関の取得

中性化促進試験による
・中性化速度係数A
・中性化抵抗R
・潜伏期 t_0
の取得

塗装付きコンクリートに対する非破壊透気試験の適用性に関する検討
・測定深さ
（光ファイバ試験）



炭酸化深さ（CO_2固定量）の予測



コンクリートの中性化速度係数Aと，
塗装の透気係数k_tから炭酸化深さ（CO_2固定量）を予測

検討② 現地計測を活用した二酸化炭素固定量の推定手法

供用期間中に変化
・塗装のバリア性能

紫外線等の劣化外力により
ピンホールが発生

透気係数の
現地計測

透気係数の増大

2023年度までの成果

促進劣化方法の提案
・光沢度試験による検証
・透気係数による検証

劣化した塗装付きコンクリートでも透気係数と中性化抵抗Rに相関があることを確認

・コンクリートの物性
（水，ひび割れの影響）

2023-25年度に検討
・ひび割れ影響
・水分拡散

これまでに得られた知見

- ✓ 塗装を施すことにより透気係数は著しく低下し，炭酸化の進行が抑制される
- ✓ 塗装が劣化することにより，透気係数は増大し，炭酸化の進行速度が大きくなる
- ✓ 上記の程度は塗装種類により異なるが，おおよそ透気係数により評価ができる

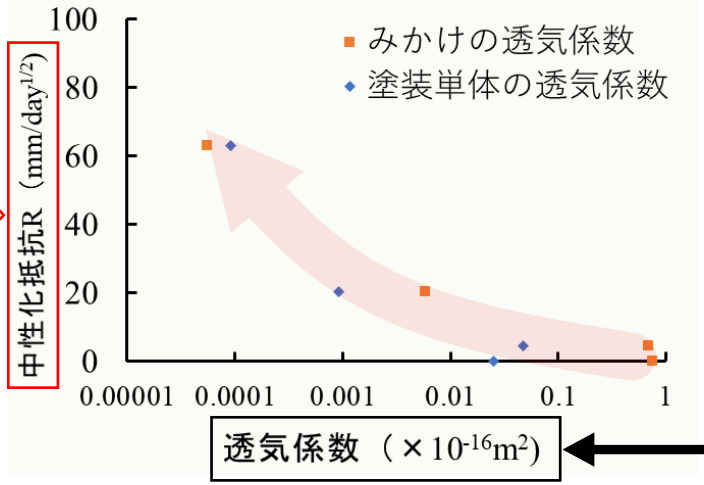
©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

③CO_2固定における仕上げ・ひび割れの影響 （広島大）

$$d = A\left[\sqrt{(t-t_0)+R^2}-R\right]$$

によるフィッティング

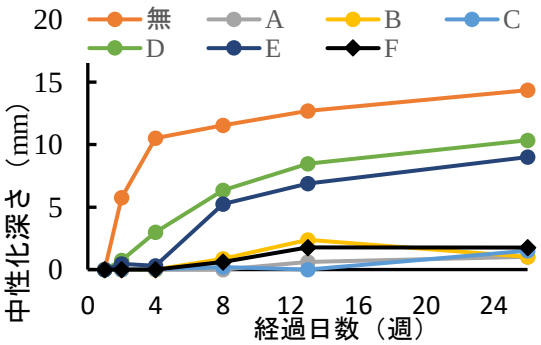
	記号	変数		
		A	R	t_0
健全	A	14.923	85.497	14.923
	B	0.147	63.065	0.147
	C	0.147	37.145	0.147
	D	0.861	4.517	0.861
	E	0.791	6.642	0.791
	F	0.159	53.111	0.159
劣化	A	72.518	2372.11	7.819
	B	1.239	20.332	0
	C	1.139	20.332	0
	D	1.100	0	6.604
	E	66.110	544.366	5.145
	F	22.332	431.123	20.894



- ✓ 非破壊透気試験により塗装単体の透気係数k_tを推定
- ✓ 中性化促進試験結果より中性化抵抗Rを取得
- ✓ 透気係数k_tの低下に伴って，中性化抵抗Rが増加する傾向を確認

➡ 事前に塗装単体の透気係数を取得することで炭酸化深さ（CO_2固定量）の推定精度が向上する

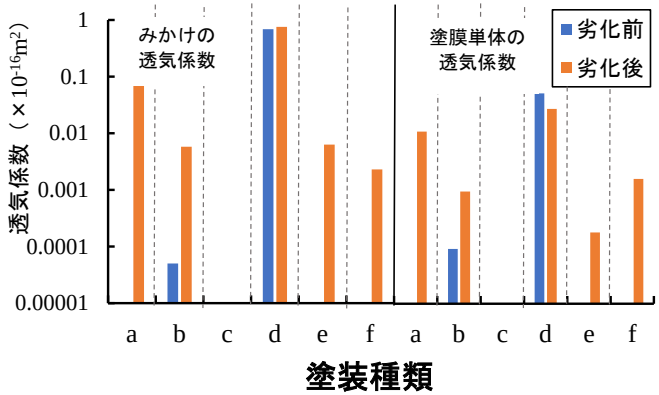
中性化促進試験結果



塗装の種類が中性化進行に及ぼす影響

記号	塗装種類		製品名
A	防水性薄塗材 E	下塗材	ダイヤワイドシーラー
		主材	ダイヤニューデポール R
B	複層塗材 E	下塗材	水性カチオンシーラー透明
		主材	タイルラック EMA-S ベース 100K
		上塗材	水性トップつや一番
C	防水形複層塗材 E	下塗材	水性ミラクシーラーエコクリヤー
		主材	レナエクセレント主材
		上塗材	SK 水性 EL コート
D	マスチック A	下塗材	キクスイプライマースーパーE
		主材	キクスイマスチック A
E	つや有り合成樹脂エマルションペイント	下塗材	サミブラ
		上塗材	AEP クリーン 70G
F	可とう系改修塗材 E	下塗材	水性ミラクシーラーエコクリヤー
		主材	レナエクセレント A ローラー用主材
		上塗材	SK 水性 EL コート

塗装単体の透気係数 *kt*

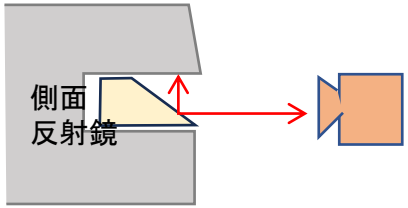


©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

④モニタリング手法の構築に関する研究（北大）

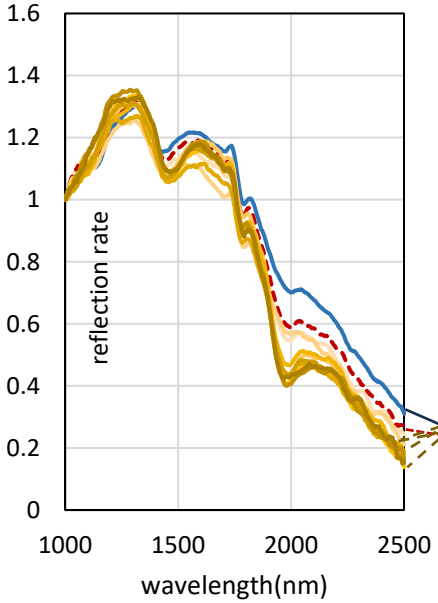
■マルチスペクトルカメラによる炭酸化評価の計測アルゴリズム

①コア穴に側面反射鏡を設置し，マルチスペクトルカメラで撮影

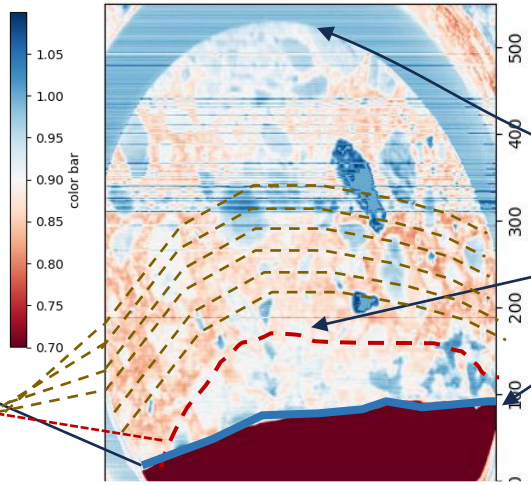


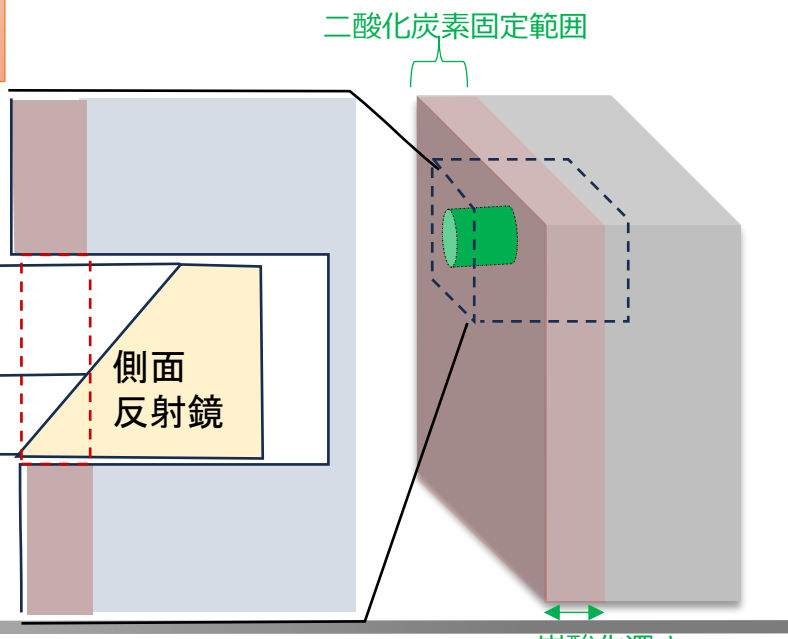
- 撮影条件　：補助照明設置
  鏡表面：2000lx確保
- スキャン速度：100mm/30sec
- 現地では順次コア穴を撮影

②撮影したペースト部の深さごと正規化スペクトル抽出



③1970～2100nm波長域の差で可視化し，炭酸化深さ評価





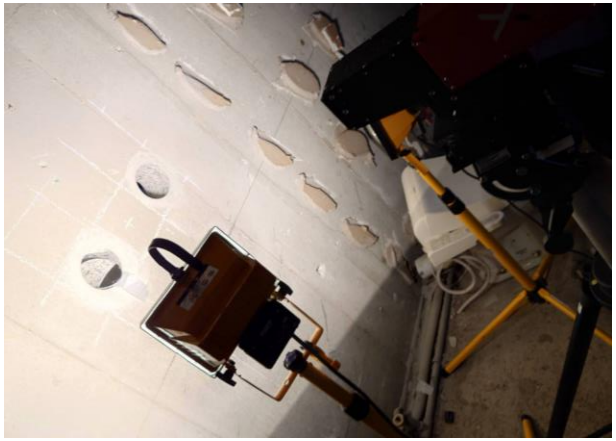
©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

④モニタリング手法の構築に関する研究（北大）

■現場試験の様子などを含む、今後の応用事例と検討方向性

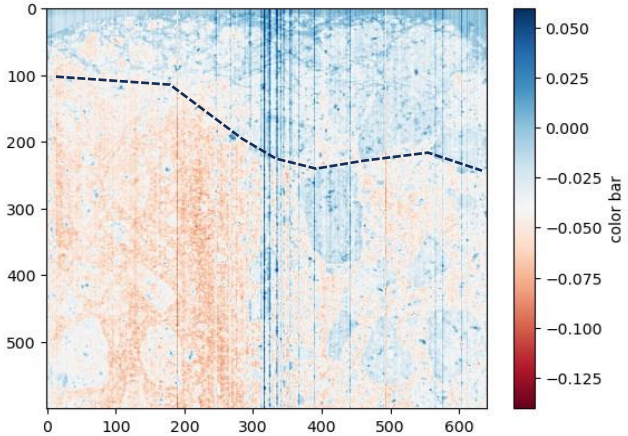
曇天時の撮影評価

無照明の暗部撮影評価

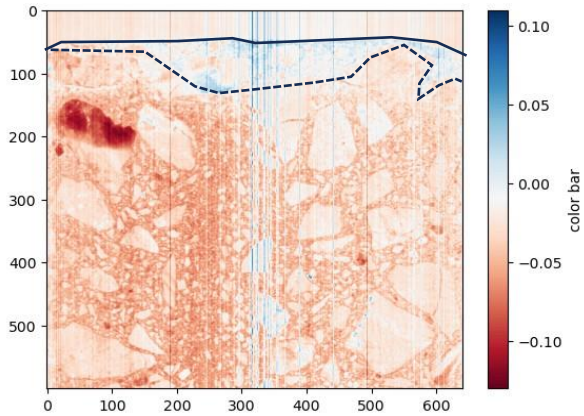


照明量の評価

硬質砂岩の炭酸化深さ評価



石灰石骨材の炭酸化深さ評価



現場検証でも，とにかく
測定は高速に完了する。
1点あたり1，2分で完了
その後はPCでの作業となり
現場での調査時間が大幅短縮

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2. 研究開発計画／（２）研究開発内容

実施項目３　CO_2の固定に関する品質管理方法に関する技術開発

排出したガス等のCO_2源からCO_2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。

- ✓ 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うるため、品質管理、およびCO_2固定のトレーサビリティ確保のため、用いたガス（空気、工場排ガス、など）と固定した炭酸塩におけるCO_2中の炭素同位体（^{14}C）の含有率を用いて、ガス固定を実施したかどうかの確認を行う手法を提案する。

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

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

実施項目３　CO_2の固定に関する品質管理方法に関する技術開発

①固定前ガス・溶液および炭酸化塩固定化後の炭素14の定量比較による品質管理実施可能性の検討（名大・東大）

■ 空気および高濃度CO_2で固定化したサンプルの妥当性確認

✓ 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、^{14}C量比を測定し、固定化の確認手段となることを実証

- ^{13}C and ^{14}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‰[21,22]

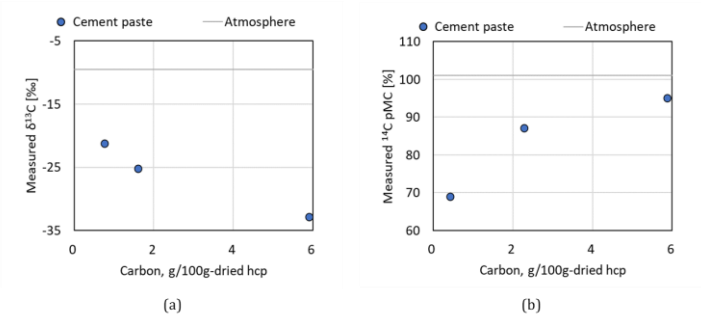


Figure 4 Carbon isotope characteristics: (a) $\delta^{13}C$ with respect to V-PDB; (b) pMC.

Direct air capture validation

- pMC is independent from fractionation
- $\rightarrow pMC_{spl} = pMC_{carbon\ origin}$
- $\rightarrow R^{14}_{spl} = R^{14}_{atm}$

$\because \delta^{14}C = \frac{R^{14}_{spl}}{R^{14}_{std}} - 1$

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

Based on:

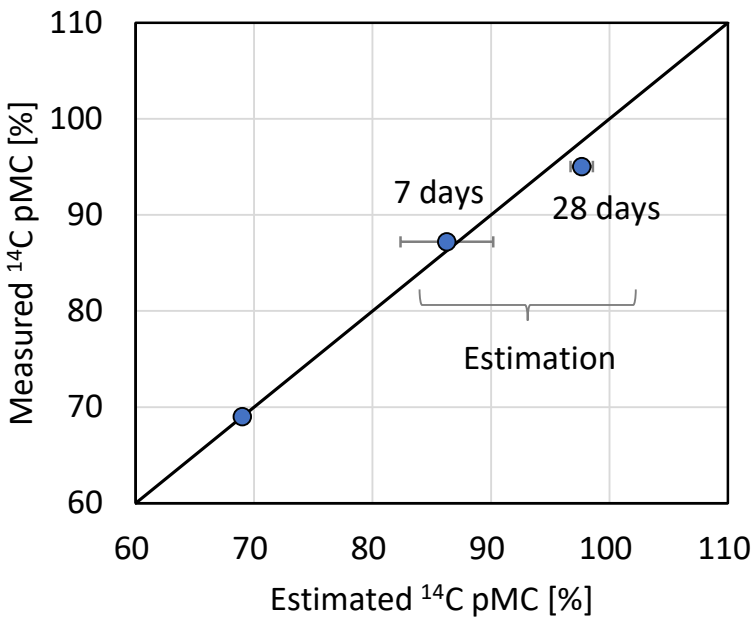
$$pMC = \left(\frac{\Delta^{14}C}{1000} + 1\right)100.$$

- $(pMC)_{atm}$: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 χ=0, as the initial stituation.

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



実験値と予測値のΔ^{14}Cの比較
良い一致を見せており、カーボンの増加量とΔ^{14}Cの変化量から想定した空気がくっついていることを実証可能
→今後は燃焼ガスなどについて検討の要望がある。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

実施項目３　CO_2の固定に関する品質管理方法に関する技術開発

①固定前ガス・溶液および炭酸化塩固定化後の炭素14の定量比較による品質管理実施可能性の検討　（名大・東大）

＜今後のスケジュール＞

実施項目	2021年度 第4四半期	2022年度 第1四半期	2022年度 第2四半期	2022年度 第3四半期	2022年度 第4四半期	2023年度 第1四半期	2023年度 第2四半期	2023年度 第3四半期	2023年度 第4四半期	2024年度 第1四半期	2024年度 第2四半期	2024年度 第3四半期	2024年度 第4四半期	2025年度 第1四半期	2025年度 第2四半期	2025年度 第3四半期	2025年度 第4四半期
3) CO_2の固定に関する品質管理方法に関する技術開発																	
① 固定前ガス・溶液および炭酸化塩固定化後の^{14}Cの定量比較による品質管理実施可能性の検討																	
a) コンクリート用材料の^{14}Cデータベース整備																	
b) 空気および高濃度CO_2で固定化したサンプルの妥当性確認																	
c) ^{13}Cを用いた燃焼ガスの固定方法証明可能性検討																	
d) 他プロジェクトとの連携・情報共有																	

［追加検討］同位体分別効果検討
データ拡充

2026年度以降も継続

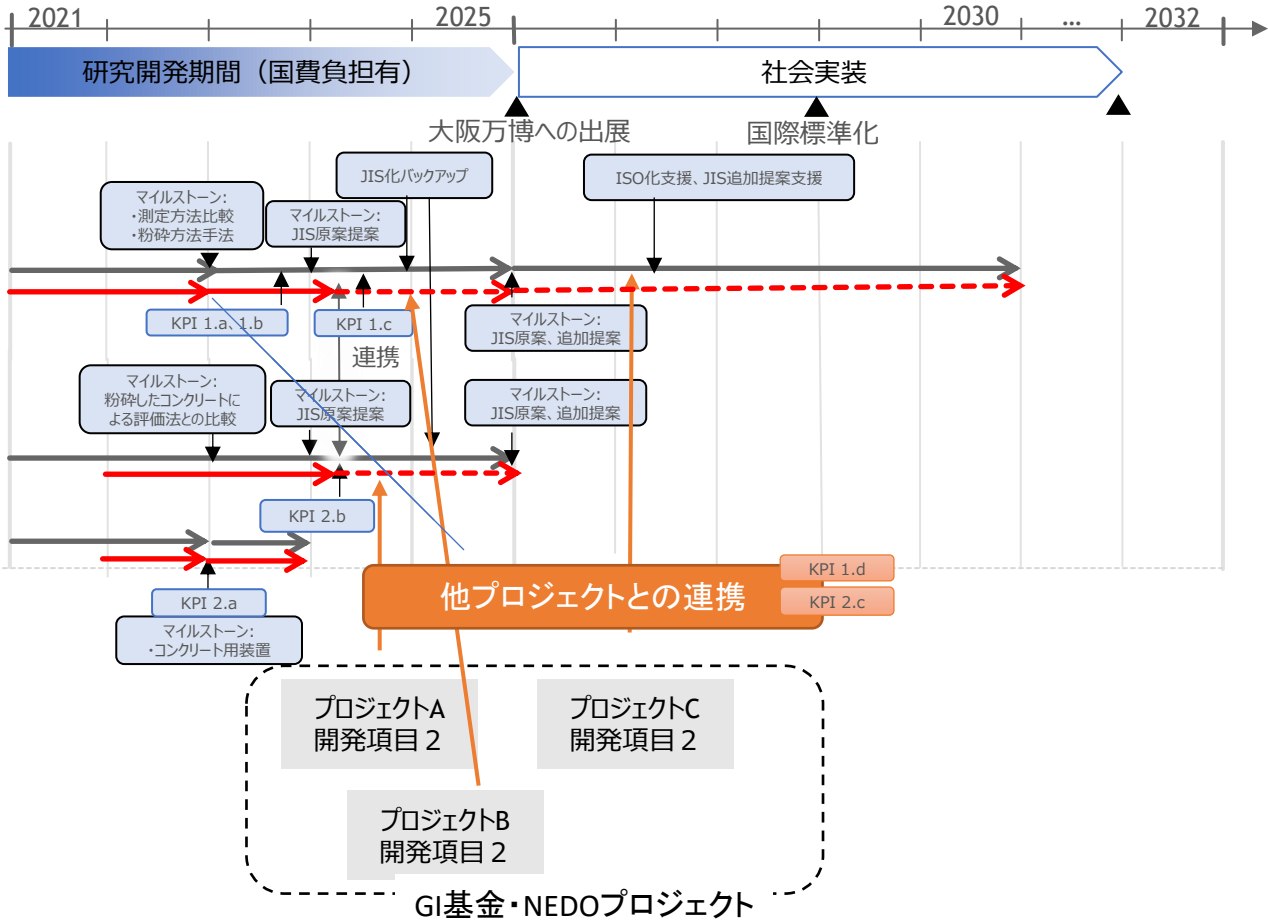
CO_2固定化、将来予測に関する、他プロジェクトとの連携・情報共有
（実証実験による検証も検討）

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（3）実施スケジュール

研究開発項目・事業規模		実施主体
研究開発項目（実施項目）	研究開発内容（総事業規模/国費負担額）※	
1. コンクリート用材料・コンクリートのCO_2固定量評価方法の開発	(3億円/3億円)	東京大学 再委託：太平洋コンサルタント 東京大学 再委託先：リガク

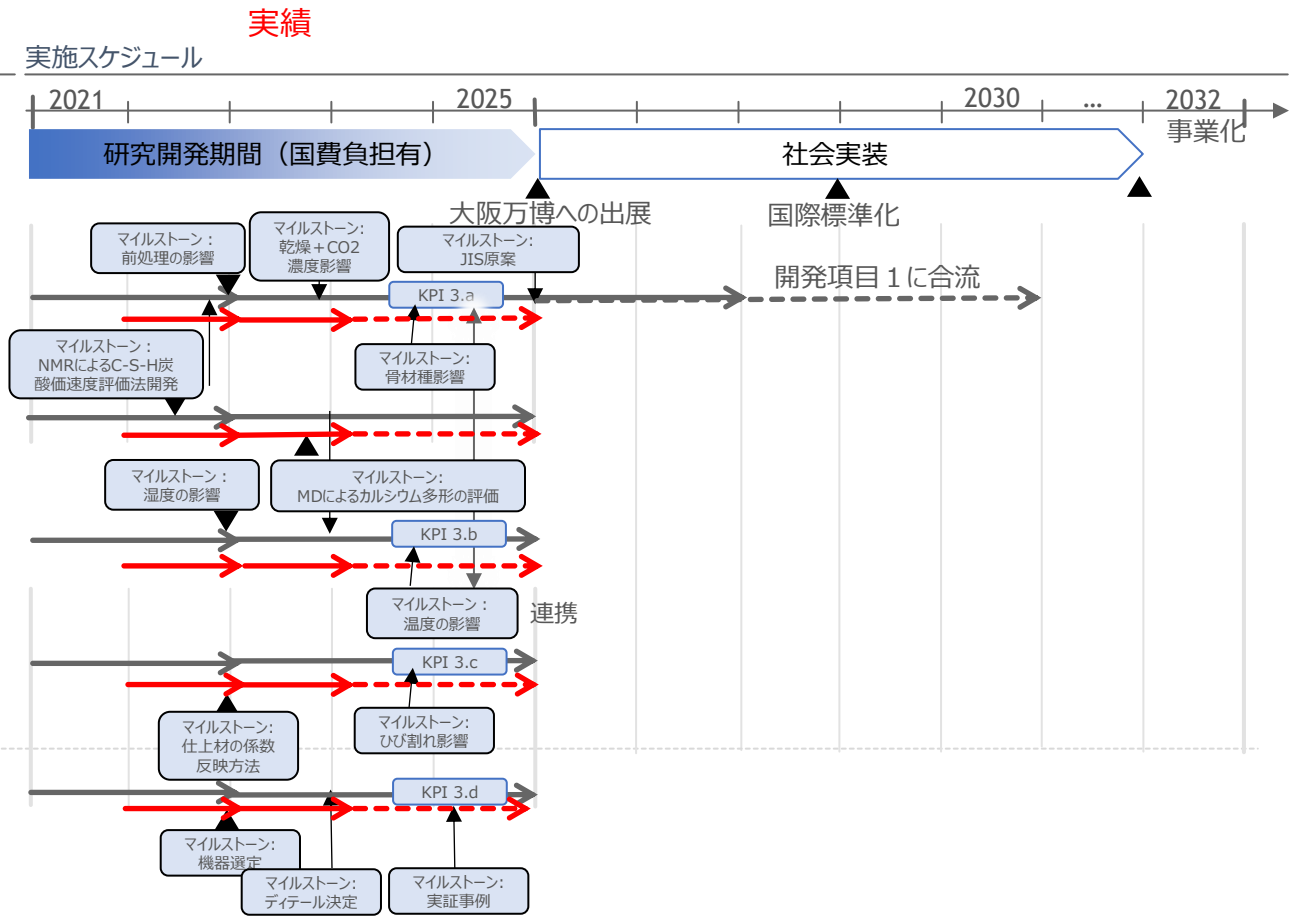
実施スケジュール



©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（3）実施スケジュール

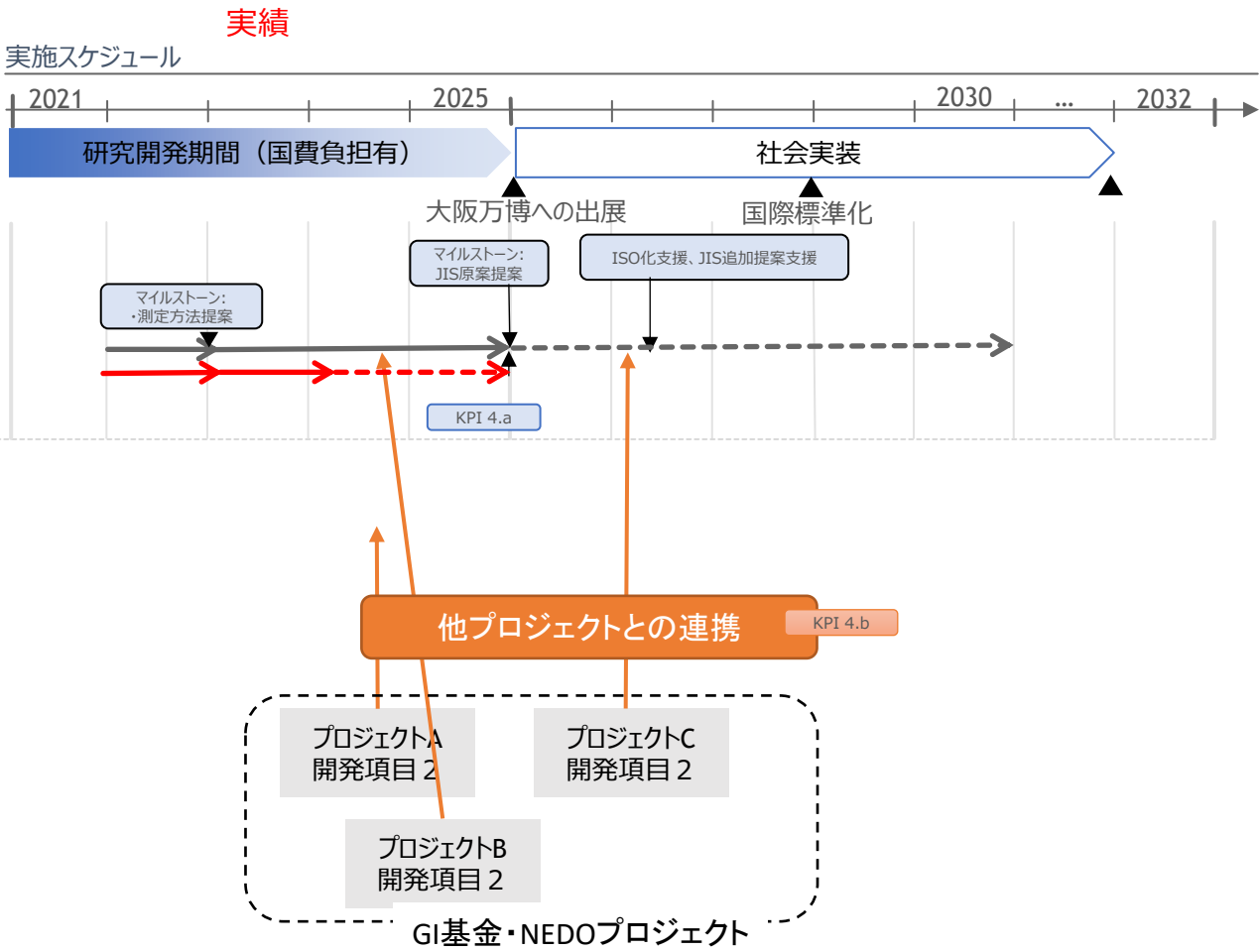
研究開発項目・事業規模		実施主体	実施スケジュール
研究開発項目（実施項目）	研究開発内容（総事業規模/国費負担額）※		
2. 構造物供用中にCO_2固定を実施する材料について保証する枠組みの開発	(2億円/2億円)	東京大学	
		再委託：千葉大学	
		再委託：琉球大学	
		再委託：広島大学	
		再委託：北海道大学	



©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（3）実施スケジュール

研究開発項目・事業規模		実施主体	実施スケジュール
研究開発項目（実施項目）	研究開発内容（総事業規模/国費負担額）※		
3. CO_2の固定に関する品質管理方法に関する技術開発	(0.4億円/0.4億円)	東京大学 再委託：名古屋大学	



©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（4）研究開発体制

研究開発項目1（実施項目1）
コンクリート用材料・コンクリートのCO_2固定量評価方法の開発
とりまとめ：東京大学

総事業費（コンソーシアム全体）:5.4億円
国費負担額 : 5.4億円

東京大学
研究開発内容a. b. c. d. e. f.を担当

再委託先：
太平洋コンサルタント社（THC）
研究開発内容a. b. c. d.を担当

再委託先：
リガク
研究開発内容e. を担当

各主体の役割

研究開発項目1全体の取りまとめは、東京大学が行う。

東京大学 :研究方針の検討、分析前処理プロトコルの検討、全体とりまとめを行う。
THC :分析方法に関する文献調査、試験資材（主に骨材）に係る調査を行う。
リガク :コンクリート用CO2固定量測定装置の設計を行う。

研究開発における連携方法

- 東京大学はリガクに、コンクリート工学分野におけるニーズの明確化、測定の要求項目、精度を伝える。また、測定サンプルの提供、リガク取得のデータの評価を行い、その結果をフィードバックする。
- 東京大学は、THCの文献調査結果と併せて、最短距離で成果をだせる実験方針を立案するとともに、実験方法、あるいは比較実験方法のプロトコルを正確化し、大量の実験データ取得については外注して、そのデータ評価を行う。

他プロジェクト、他機関との連携方法

- セメント協会にオブザーバーに依頼し、知見交換を実施する。日本コンクリート工学会に設置予定のJIS制定準備委員会との情報橋渡しを依頼する。
- 東京大学・野口貴文教授（JCI・JIS調査委員会委員長）にオブザーバーを依頼し、日本コンクリート工学会に本事業成果について、JIS化について検討・打診を行う。
- 東京大学とTHC（事務局的役割を担う）は、他のNEDOプロジェクトからサンプルの提供を受けての評価方法の方針立案、ならびに提案手法の検討方針を立案する。また、評価結果についセメント協会を通じ、JIS制定準備委員会での検討を依頼する。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（4）研究開発体制

研究開発項目2（実施項目2）
構造物供用中にCO_2固定を実施する材料について保証する枠組みの開発
とりまとめ：東京大学

東京大学
研究開発内容aを担当

再委託先： 千葉大学 研究開発内容a. を担当	再委託先： 琉球大学 研究開発内容b.を担当	再委託先： 広島大学 研究開発内容c.を担当	再委託先： 北海道大学 研究開発内容d.を担当

各主体の役割

研究開発項目2全体の取りまとめは、東京大学が行う。

東京大学　：研究方針の検討、加速CO2固定試験と一般環境下CO2固定状況との関係性を明確化する。
千葉大学　：NMRによるC-S-Hの炭酸化速度評価、炭酸カルシウム多形の析出・成長・安定性の検討
琉球大学　：CO2固定化の温湿度依存性についての検討
広島大学　：仕上げおよびひび割れんがCO2固定に及ぼす影響についての検討
北海道大学：モニタリング手法についての検討

研究開発における連携方法

- 千葉大学と東京大学は分子レベルの挙動とナノスケール、マイクロスケールの挙動についての知見を交換し、CO2濃度が及ぼす影響についての原理を解明する。
- 琉球大学と東京大学は、特にCO2依存性のメカニズムに関する知見を交換しつつ、効果的なCO2固定量の温湿度依存性についての実験方針を立案して、検討を行う。
- 広島大学と東京大学は、特に骨材周囲の微細ひび割れ条件や炭酸化収縮に関する知見を交換しつつ、効果的なCO2固定量に及ぼす仕上げ、ひび割れの影響についての検討を行う。また、仕上材の評価については広島大学と北海道大学で知見を共有しつつすすめる。
- 北海道大学と東京大学は、機器分析の最新情報知見や予備実験結果を交換しつつ、効果的なモニタリングシステムの構築をすすめる。

他プロジェクト、他機関との連携方法

- 東京大学（丸山一平）が参画する、世界のセメント企業が参画するGlobal Cement and ConcreteAssociationの場での議論を通じ、知見の交換を行い、効率的な研究開発を図る。
- 一定の成果を得た後に、シンガポール国立大学のGuoqing Geng博士、中国・精華大学のKefeiLi教授、フランス・Ecole de PontsParisTechのMatthew Vandamme教授、スイス・エコールポリテクニックフェデラルドローザンヌのKaren Screvener教授と意見交換・フィードバックを得て、適切な研究開発をすすめる。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（4）研究開発体制

研究開発項目3（実施項目3）
CO_2固定に関する品質管理方法に関する技術開発
とりまとめ：東京大学

東京大学
開発内容a. を担当

再委託先：
名古屋大学
開発内容b.を担当

各主体の役割

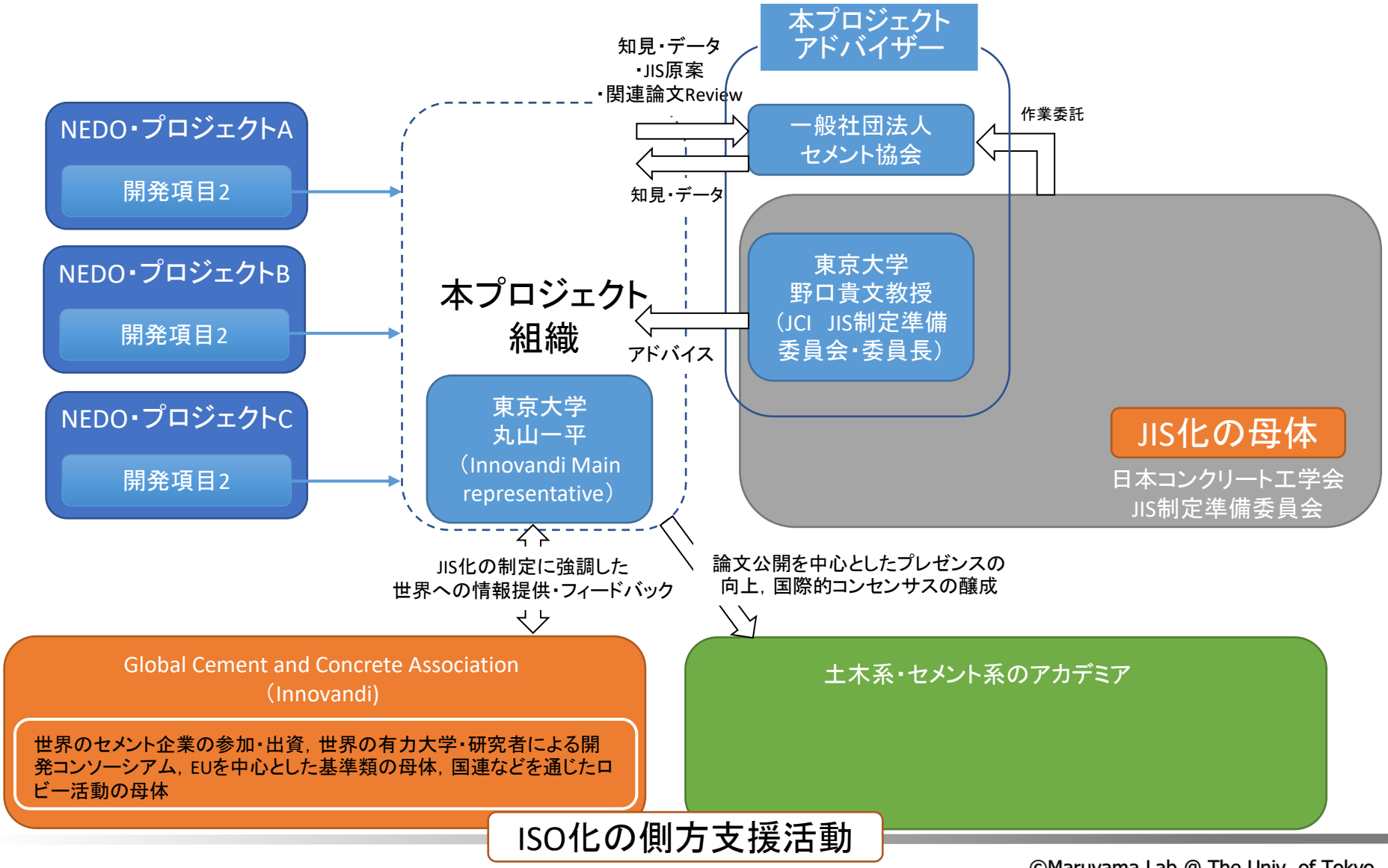
研究開発項目３全体の取りまとめは、東京大学が行う。
東京大学　：研究方針の検討、分析前処理プロトコルの検討、試料の製造・取得、分析前処理の一部、全体とりまとめを行う。
名古屋大学：コンクリート用材料ならび、ガス、溶液、およびCO2固定化後の試料の分析を行う。

研究開発における連携方法

- 東京大学はTHCでに依頼して取得したセメント系材料の各種サンプルやCO2固定化後の試料、あるいは新たに固定化した試料を作製し、その試料を名古屋大学で分析を行う。
- 名古屋大学での知見をもとに、同位体効果などに留意しつつ、本手法で生じる理想値とのずれなどの実験データ評価を行う。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（4）本プロジェクトにおける他実施者等との連携）



©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（5）技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
1.コンクリート用材料・コンクリートの評価方法の開発	1 ・測定方法の違いによる再現性とばらつきデータの整備 ・試料粉末の製造方法の提案 ・CO2固定化量の調合上の収支確認 ・JISを想定した評価方法に関する資料の作成	• 過去のセメント水和分析に関わる技術・知見（東大，太平洋コンサルタント） • コンクリートの分析・知見に関わる技術（東大，太平洋コンサルタント）	• 標準化において大きな問題はないと考えるが，セメント化学，コンクリート工学の知見としては東大の研究チームについては世界的に評価されている立場にあり，適切な提案ができる能力があると考えられる。
	2 測定装置開発	• 構造物の耐震評価，原子力発電所に関わる高経年技術評価，建造物性能評価において高い技術力がある（東大，太平洋コンサルタント） • 熱分析装置の製品を製造・開発している。（リガク）	• 標準化を目指しているので，大きな問題はないと考えるが，東大，太平洋コンサルタント，リガクが組むことで，コンクリートそのものを分析するという発想や，また，そこで必要なクライテリアを設定を行うことができる。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（5）技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
2.構造物供用中にCO_2固定を実施する材料について保証する枠組みの開発	1 適切な促進試験方法の提案	• 過去のセメント水和分析に関わる技術・知見（東大） • コンクリートの分析・知見に関わる技術（東大） • 分子レベルの評価技術（分子動力学計算，NMRの知見）（千葉大学，東京大学）	• 標準化において大きな問題はないと考えるが，微視的スケールならびにコンクリートの特性を踏まえた上での促進試験とその試験結果の活用による保証する枠組みを，科学的知見を踏まえて提案することができる。
	2 CO_2固定における温湿度影響評価	• コンクリート炭酸化現象に関する温湿度影響評価の実績（琉球大学，名古屋大学	• 標準化を目指しているので，大きな問題はないと考えるが，東京大学，琉球大学の組み合わせによって，科学的知見を踏まえた提案を実現することができる。
	3 CO_2固定における仕上げ・ひび割れの影響	• コンクリートの仕上げ材に関する研究の実績（広島大学）（北海道大学での仕上材の研究実績も活用の予定）） • ひび割れに関する研究の実績（東京大学，広島大学）	• 標準化を目指しているので，大きな問題はないと考えるが，東京大学，広島大学の組み合わせによって，科学的知見を踏まえた提案を実現することができる。
	4 モニタリング手法の開発	• 様々な機器分析をコンクリート工学，セメント化学分野に応用した実績（北海道大学，東京大学）	• 標準化を目指しているので，大きな問題はないと考えるが，東京大学，北海道大学の組み合わせによって，科学的知見を踏まえた提案を実現することができる。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（5）技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
3.CO_2の固定に関する品質管理方法に関する技術開発	1 固定前ガス・溶液および炭酸化塩固定化後の^{14}Cの定量比較による品質管理実施可能性の検討	• コンクリートの炭酸化現象に関する^{14}Cを含む同位体を用いた分析の実績（名古屋大学，東京大学） • さまざまな同位体，トレーサー物質の分析（名古屋大学）	→ • コンクリートに炭素同位体を応用する自由な発想は工学ー理学の分野横断型の研究履歴から生まれたものである。工学的な精度検証を踏まえて，東京大学ー名古屋大学によって適切な提案が可能と考えられる。標準化を目指すものであるので，大きなリスクはないと考えられる。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（5）技術的優位性

丸山一平（東京大学）：

- **論文実績**：
  以下には、コンクリートの炭酸化、CO2固定化技術の開発事例、セメント化学的分析、セメント中の珪酸カルシウム水和物等の水和物の分子構造からコロイド的性質を網羅した最近４年間の代表事例を示す。1H-NMR relaxometryを始めとした多くの分析技術を日本のセメント化学分野に導入し、新知見を獲得してきた実績がある。
  - Cheng, L., Maruyama, I., & Ren, Y. (2021). Novel Accelerated Test Method for RH Dependency of Steel Corrosion in Carbonated Mortar. Journal of Advanced Concrete Technology, 19(3), 207–215.
  - Samouh, H., Nishimoto, S., Yoshida, H., Sawada, S., Kontani, O., Suzuki, K., & Maruyama, I. (2021). Modal Analysis of Rock Forming Minerals: Contribution of XRD / Rietveld Analysis Compared to the Classic Point Counting Method. Journal of Advanced Concrete Technology, 19(May), 395–413.
  - Qomi, M. J. A., Brochard, L., Honorio, T., Maruyamad, I., & Vandamme, M. (2021). Advances in atomistic modeling and understanding of drying shrinkage in cementitious materials. Cement and Concrete Research, 148, 106536.
  - Rymeš, J., Maruyama, I., & Aili, A. (2021). Time-dependent water vapor desorption isotherm model of hardened cement paste. Cement and Concrete Research, 150, 106612.
  - Maruyama, I., Kotaka, W., Kien, B. N., Kurihara, R., Kanematsu, M., Hyodo, H., Hirao, H., Kitagaki, R., Tamura, M., & Tsujino, M. (2021).
  - A New Concept of Calcium Carbonate Concrete using Demolished Concrete and CO 2. Journal of Advanced Concrete Technology, 19(October), 1052–1060.
  - Maruyama, I., Ohkubo, T., Haji, T., & Kurihara, R. (2019). Dynamic microstructural evolution of hardened cement paste during first drying monitored by 1H NMR relaxometry. Cement and Concrete Research, 122(August 2018), 107–117.
  - Maruyama, I., Ishikawa, S., Yasukouchi, J., Sawada, S., Kurihara, R., Takizawa, M., & Kontani, O. (2018). Impact of gamma-ray irradiation on hardened white Portland cement pastes exposed to atmosphere. Cement and Concrete Research, 108(November 2017), 59–71.
  - I. Maruyama, J. Rymeš, A. Aili, S. Sawada, O. Kontani, S. Ueda, R. Shimamoto, Long-term use of modern Portland cement concrete: The impact of Al-tobermorite formation, Mater. Des. 198 (2021) 109297. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109297.
  - 丸山一平，淺原良浩，南雅代，吉田英一：同位体分析による実構造物中のコンクリートの中性化進行評価の試み，セメント・コンクリート論文集，No.64，pp.139-146，2011.3

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（5）技術的優位性

丸山一平（東京大学）：

- **特許実績**：
  自然現象であるカルサイトコンクリーションの形成メカニズム解明に基づいて応用した多くの応用事例がある。また、廃コンクリート・水・CO2を用いて製造したカルシウムカーボネートコンクリートの特許出願を行っている。無機炭酸塩を用いる多くの応用事例実績がある。
  - 特開2021-143588：「構造物及び構造物の建造方法」
  - US 2021/0171410およびPCT/JP2019/032771：「構造材、構造物、構造物の建造方法、シール用組成物、及びイオン供給材」
  - 特開2021-130591：「構造物用補修剤及び構造物用補修剤作製キット」
  - 特開2021-130267：「構造物用表面保護シート及び表面保護シート付き構造物」
  - 特開2021-156708：「ひずみ検知方法および固定治具」
  - 特願2021-140914：「浄化方法、工作物、及びｐＨ調整材」
  - 特願2021-174396：「制御方法、補強方法、浄化方法、工作物、及び工作物の修復方法」
  - 特願2021-174396：「硬化体、その製造方法および製造装置」

- **受賞歴**：
  以下のように多くの異なる学協会から異なる研究開発項目に対して受賞歴がある。
  - 日本建築学会賞（論文賞）（2012）、文部科学大臣表彰若手科学者賞（2013）、日本コンクリート工学会賞（計６回）、セメント協会論文賞（計２回）

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（5）技術的優位性

株式会社太平洋コンサルタント：

モルタル、コンクリートおよびそれらの原材料の分析、試験、評価、開発、研究業務を主業とし、これらに必要な分析手法の技術開発も実施している。分析・解析・試験に関する基盤技術と豊富な経験知識を有した技術者を配し、最先端技術を融合した研究提案で多数の受注実績を有する。コンクリートの経年的な変質事象の一つである炭酸化反応に関しても、各種分析機器や電子顕微鏡等を使用した評価研究を実施している。

- 主な受注業務内容（受託研究業務）：
  - ✓ 原子力発電所の解体時に発生する解体コンクリートの有効利用の研究
  - ✓ 人工バリア（セメント系材料）の変質に関する研究
  - ✓ 超高強度高緻密コンクリートを用いた容器開発
  - ✓ 原子力発電所から発生する濃縮廃液の固化
  - ✓ 沿岸部処分システムに関する研究
  - ✓ 1F汚染水処理で発生する二次廃棄物の処理・処分の研究

- 保有設備（分析関連）：

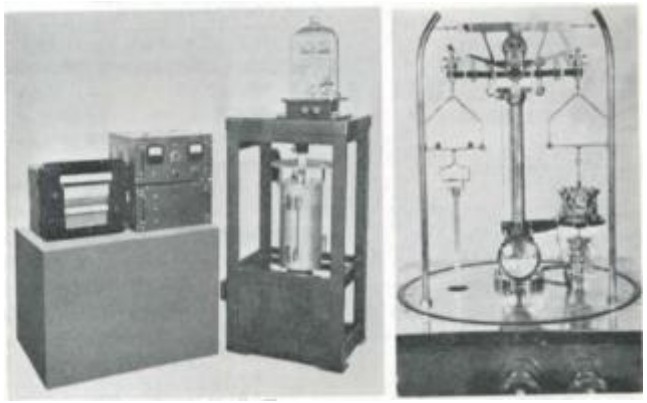
装置分類	機器名称
分離分析	ガスクロマトグラフ(GC) 高速液体クロマトグラフ(HPLC)、イオンクロマトグラフ 高分解能ガスクロマトグラフ質量分析装置（HRGC/HRMS） トリプルステージ型ガスクロマトグラフ質量分析計(GC/MS/MS) ガスクロマトグラフ質量分析装置(GC/MS) ICP質量分析装置(ICP-MS)
光吸収分析	紫外・可視分光光度計(UV) フーリエ交換赤外分光光度計(FT-IR) 原子吸光分析装置(AAS) 硫黄分析計、水銀分析計、炭素分析計(TOC-IC)
発光分析	誘導結合プラズマ発光分光分析装置（ICP）
表面分析	電子線マイクロアナライザー(EPMA) 電界放射型走査電子顕微鏡(FE-SEM) 光学顕微鏡、実体顕微鏡、偏光顕微鏡
X線分析	粉末X線回折装置（XRD）、蛍光X線分析装置（XRF）
熱分析	示差走査熱量計(DSC)、示差熱質量分析計(TG-DTA) 伝導型微小熱量計、ボンベ熱量計 熱天秤－質量分析装置（TG-MS）

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（5）技術的優位性

株式会社リガク：

1957年に熱分析装置の開発、販売を開始し、1997年にはTG-DTAと質量分析計を融合したThermoMASSを開発した。現在に至るまで大型試料の測定用装置TPD-Rや特注装置の製品化を多数手がけ、炉体　から温度制御回路まで熱分析の要素を自社開発で製品化の実績がある。



1959年　オートレコーダー付き下吊り型熱天びん

示差熱天秤-質量分析同時測定装置
ThemoMASS Photo

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（5）技術的優位性

大窪貴洋准教授（千葉大学）：

核磁気共鳴と計算科学による無機材料の原子・電子構造、反応メカニズムの解析について研究実績がある。富岳等のスーパーコンピュータを用いて無機系アモルファス材料の大規模分子シミュレーションを行っており、天然鉱物やガラス材料の研究に実績を有する。

- **論文実績：**
  - T. Ohkubo, A. Yamazaki, Y. Fukatsu, Y. Tachi, Pore distribution of compacted Ca-montmorillonite using NMR relaxometry and cryoporometry: Comparison with Na-montmorillonite,Micropor. Mesopor. Mat., 313, pp. 110841-110852, 2021
  - T. Ohkubo, S. Urata, Y. Imamura, T. Taniguchi, N. Ishioka, M. Tanida, E. Tsuchida, L. Deng, J. Du, Modeling the Structure and Dynamics of Lithium Borosilicate Glasses with Ab Initio Molecular Dynamics Simulations, J. Phys. Chem. C, 125, pp. 8080-8089, 2021
  - N. Okada, T. Ohkubo, I. Maruyama, K. Murakami, and K. Suzuki, Characterization of irradiation-induced novel voids in α-quartz, AIP Adv. AIP 10, pp. 125212-125221, 2020
- **所有機器類：**
  - 箱型電気炉、昇降式電気炉、雰囲気制御管状炉、Ar循環型グローブボックス
  - クラスタ計算機、GPUワークステーション、CPUワークステーション
  - 熱重量示唆熱分析装置、ICP-AES、X線回折装置、ピクノメータ
  - マイクロウェーブ分解装置、遊星型ボールミル
  - SEM-EDX(共用設備)、N2吸着装置(共用設備)、固体核磁気共鳴装置(共用設備)

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（5）技術的優位性

北垣亮馬（北海道大学）：
下記のように、コンクリートの炭酸化の他、表層部位、有機物質の分析などの研究実績をもち、多くに機器分析に精通している。

- 論文実績：
  - Jihoon Kim, Ryoma Kitagaki： Behavior of hydrates in cement paste reacted with silicate-based impregnant, CEMENT & CONCRETE COMPOSITES 114 0958-9465 2020/11
  - Kim J., Kitagaki R., Choi H.:Pore Filling Effect of Forced Carbonation Reactions Using Carbon Dioxide Nanobubbles, Materials, 2020
  - Jihoon Kim, Ryoma Kitagaki:Chemical properties and mass transfer resistance of mortar surface modified with silicate-based surface impregnant CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS 262 0950-0618 2020/11

- 特許実績：
  - 特開2015-165223：「コンクリートの劣化診断装置およびコンクリートの劣化診断方法」
  - 特開2014-214030：「セメント硬化体を有する物質の製造方法」

- 設備：
  - 固定量評価：TG-DTA（共有設備）、TDS－MS（共有設備）、顕微ラマン分析装置（共有設備）、XRD（共有設備）、FTIR（共有設備）
  - モニタリング用装置：超音波伝播測定システム、内視鏡型CCDカメラ、コアボーリング用振動ドリル
  - 炭酸化環境：中性化促進槽
  - 暴露環境：温度制御ー散水噴霧ー凍結融解複合劣化槽

須田裕哉（琉球大学）：
下記のように、コンクリートの炭酸化で、特に温湿度に関する研究について実績を残しているとともに機器分析技術に精通している。セメント化学の分野において多くの研究業績がある。

- 論文実績：
  - Phase assemblage, microstructure and shrinkage of cement paste during carbonation at different relative humidities, Yuya Suda, Jun Tomiyama, Tsuyoshi Saito, Tatsuhiko Saeki, Journal of Advanced Concrete Technology 19(6) 687-699 2021.
  - Impact of relative humidity on carbonation shrinkage and microstructure of hardened cement paste, Yuya Suda, Jun Tomiyama, Tsuyoshi Saito, Tatsuhiko Saeki, 6th International Conference on Construction Materials (ConMat'20), Aug. 2020, Fukuoka, Japan. (Best Paper Award 受賞)

- 設備：
  - 固定量評価：TG-DTA（共有設備）、NC元素分析装置（共有設備）、CHN元素分析装置（共有設備）
  - 水和物評価：FT-IR（共有設備）、XRD（共有設備）
  - 空隙評価：N2吸着試験装置、酸素拡散試験装置、SEM-EDX（共有設備）
  - 炭酸化環境：CO2インキュベータ

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（5）技術的優位性

寺本篤史准教授（広島大学）：
下記のようにコンクリートと仕上材、ひび割れに関する研究について実績があるとともに、モニタリングシステムやセンサーなどについても研究実績がある。

- 論文実績：
  - P. Zhang, A. Teramoto, T. Ohkubo: Laboratory-scale method to assess the durability of rendering mortar and concrete adhesion systems, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.18, Iss.9, pp.521-531,2021
  - P. Zhang, A. Teramoto, T. Ohkubo, R. Kondou: Establishment of Test Method That can Compare Adhesive Strength between Plaster Mortar and Concrete at the Laboratory Level，Proceedings of Japan Concrete Institute, Vol.42, No.1, pp.563-568, 2020.7
- 関連特許
  - 特開2015-157719コンクリート部材（2014）
  - 特開2015-157720コンクリートの保護方法（2014）
  - 特開2015-172172コンクリート着色剤、コンクリート着色方法、コンクリート及びコンクリートからなる構造物（2014）
  - 特開2015-218088 コンクリート着色剤、コンクリート着色方法、及びコンクリート（2014）
  - 特開2015-193245コンクリート成形用型枠およびその製造方法（2015）
  - 特開2021-017697　タイルの剥離検知方法（2019）
  - 特開2021-143963帯状センサ及び充填検査装置（2020）
- 所有機器類
  - 小型中性化促進試験装置　MIT639-3-03
  - 光ファイバ測定器EFOX-1000
  - デジタル2Dコリレーションシステム VIC-2D
  - 超音波伝播速度測定装置　PL-200
  - 熱重量測定/示差走査熱量測定装置TG-DTA2000SE

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

2.（5）技術的優位性

南雅代教授（名古屋大学）：

宇宙地球環境研究所 基盤研究部門 年代測定研究部 教授であり、専門は地球化学、分析化学。加速器質量分析計を用いて、化石骨や湖底堆積物の^{14}C年代測定、南極隕石の^{14}C地上落下年代に関する研究を行っており、^{14}C分析のエキスパート、多くの分野の研究者との協働実績を有する。

- 論文実績：
  - Fumiko Watanabe Nara, TatsunoriYokoyama, Shin-ichiYamasaki, Masayo Minami, Yoshihiro Asahara, Takahiro Watanabe, Kazuyoshi Yamada, NoriyoshiTsuchiya, Yoshinori Yasuda, Characteristics in trace elements compositions of tephras(B-Tm and To-a) for identification tools, GEOCHEMICAL JOURNAL, 2021, Volume 55, Issue 3, Pages 117-133
  - 小元久仁夫, 南雅代, 宮古島南東海岸のマイバーバマ東部に打ち上げられたハマサンゴ岩塊の14C年代とその意義, 季刊地理学, 2017, 69 巻, 3 号, p. 119-127
  - Masayo Minami, Tomomi Kato, KeijiHorikawa, Toshio Nakamura,Seasonal variations of 14C and δ13C for cave drip waters in RyugashiCave, Shizuoka Prefecture, central Japan,Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 362, 2015,Pages 202-209
  - 南雅代,荒巻能史,高橋浩,中村俊夫,水試料の放射性炭素分析のための前処理法の比較検討,日本地球化学会年会要旨集,2013,60巻,2013年度日本地球化学会第60回年会講演要旨集,セッションID 1P18,p. 101-
  - 丸山一平，淺原良浩，南雅代，吉田英一：同位体分析による実構造物中のコンクリートの中性化進行評価の試み，セメント・コンクリート論文集，No.64，pp.139-146，2011.3
- 所有機器類：
  - タンデトロン年代測定装置を利用可能。その他、基本的な化学分析装置を利用できる

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

４．その他

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。

4. その他／（1）想定されるリスク要因と対処方針

研究開発（技術）におけるリスクと対応

- 研究担当をするポスドクのCOVID-19による来日遅延
→受託開始直後からの作業の開始
→事前のリクルーティング名簿の活用
→博士課程人材の活用

- 部品性能によるリスク
→代替部品選定を実施する
→計測手法を複数用意する

- 世界的な部品入手困難によるリスク
→複数代替部品選定を実施する
→事業実施タイミングの遅延（NEDOとの協議による）

社会実装（経済社会）におけるリスクと対応

- 他社特許によるリスク
→事前調査を実施

その他（自然災害等）のリスクと対応

- 大学被災によるリスク
→複数拠点での研究の実施
→研究設備の冗長性確保
→頻繁な情報交換，データの保管

- 工場被災によるリスク
→被災レベルに応じてグループ内他工場における開発生産を実施

- 事業中止の判断基準（装置開発業務について）：災害による工場機能停止。部品入手が完全に不可な状況。

事業の継続性担保：

・研究開発責任者が継続困難となった場合に対して，東京大学大学院建築学専攻が事業継続の支援を行う。建築学専攻の研究者・教員が本プロジェクトに参画し，定期的な情報交換，知見交換を行うことで，継続的な研究実施を担保する。また，雇用予定のポスドク研究員の継続雇用により個別開発項目と全体責任者の橋渡しは円滑となるようにする。

©Maruyama Lab @ The Univ. of Tokyo
本資料の再配布はご遠慮ください。