

事業開始時点

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<sub>2</sub>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<sub>2</sub>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

実施者名：国立大学法人 東京大学  
代表名：教授 丸山一平



 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

## 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<sub>2</sub>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<sub>2</sub>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<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)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<sub>2</sub>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<sub>2</sub>固定量評価方法の開発**

2) **構造物供用中にCO<sub>2</sub>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<sub>2</sub>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。

## ☐ (2) 研究開発内容 PJ1 -1

### 研究開発項目

1. コンクリート用材料・  
 コンクリートのCO<sub>2</sub>固  
 定量評価方法の開発

### アウトプット目標

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

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  
 (開発項目1-①)

b. 試料粉末の製造方  
 法の提案  
 (開発項目1-②)

c. CO<sub>2</sub>固定化量の調  
 合上の収支確認  
 (開発項目1-③)

d. 他プロジェクトの提案  
 手法・材料の評価  
 (開発項目1-⑥)

#### KPI

・比較する分析の数  
 ・測定する対象物質  
 の数

・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

・確認するコンクリート  
 の種類・数

・他プロジェクトから引  
 き受けたサンプル数

#### KPI設定の考え方

提案をJIS化する  
 際での妥当性・  
 説得性の指標

提案をJIS化する  
 際での妥当性・  
 説得性の指標

提案をJIS化する  
 際での妥当性・  
 説得性の指標

本プロジェクトがNEDO  
 事業へ貢献した実績数  
 であるため。

#### 達成レベル

分析数: ≥ 3  
 試料数: ≥ 10

コンクリート  
 数: ≥ 5  
 材料数: ≥ 10

種類: ≥ 3  
 検証数: ≥ 9

NEDOの他プロ  
 ジェクトの開発項  
 目数の半数以上

#### 実現可能性 (成功確率)

可能性大  
 (100%)

可能性大  
 (100%)

可能性大  
 (100%)

可能性大  
 (100%)

## ☐ (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 <span style="float: right;">※</span> (開発項目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	
f. JISを想定した評価方法に関する資料の作成 (開発項目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×h200 mm	・ 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%)

## ☐ (2) 研究開発内容 PJ2

### 研究開発項目

2. 構造物供用中にCO<sub>2</sub>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 (開発項目2-①)	・投稿した論文数 (新知見の数)	査読に耐え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 <sub>2</sub> 固定における湿度影響評価 (開発項目2-②)	・投稿した論文数 (新知見の数)	査読に耐え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 <sub>2</sub> 固定における仕上げ・ひび割れの影響 (開発項目2-③)	・投稿した論文数 (新知見の数)	査読に耐え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 (開発項目2-④)	・投稿した論文数 (新知見の数)	査読に耐え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%)

## ☐ (2) 研究開発内容 PJ3

### 研究開発項目

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

### アウトプット目標

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

a. 固定前ガス・溶液および炭酸化塩固定化後の<sup>14</sup>Cの定量比較による品質管理実施可能性の検討

(開発項目3-①)

b. 他プロジェクトの提案手法の評価

(開発項目1-⑥)

#### KPI

- ・コンクリート用素材における炭素<sup>14</sup>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

- ・他プロジェクトからの提案を受けて評価した件数

#### KPI設定の考え方

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。

本プロジェクトがNEDO事業へ貢献した実績数であるため。

#### 達成レベル

材料数: ≥30  
検証数: ≥10

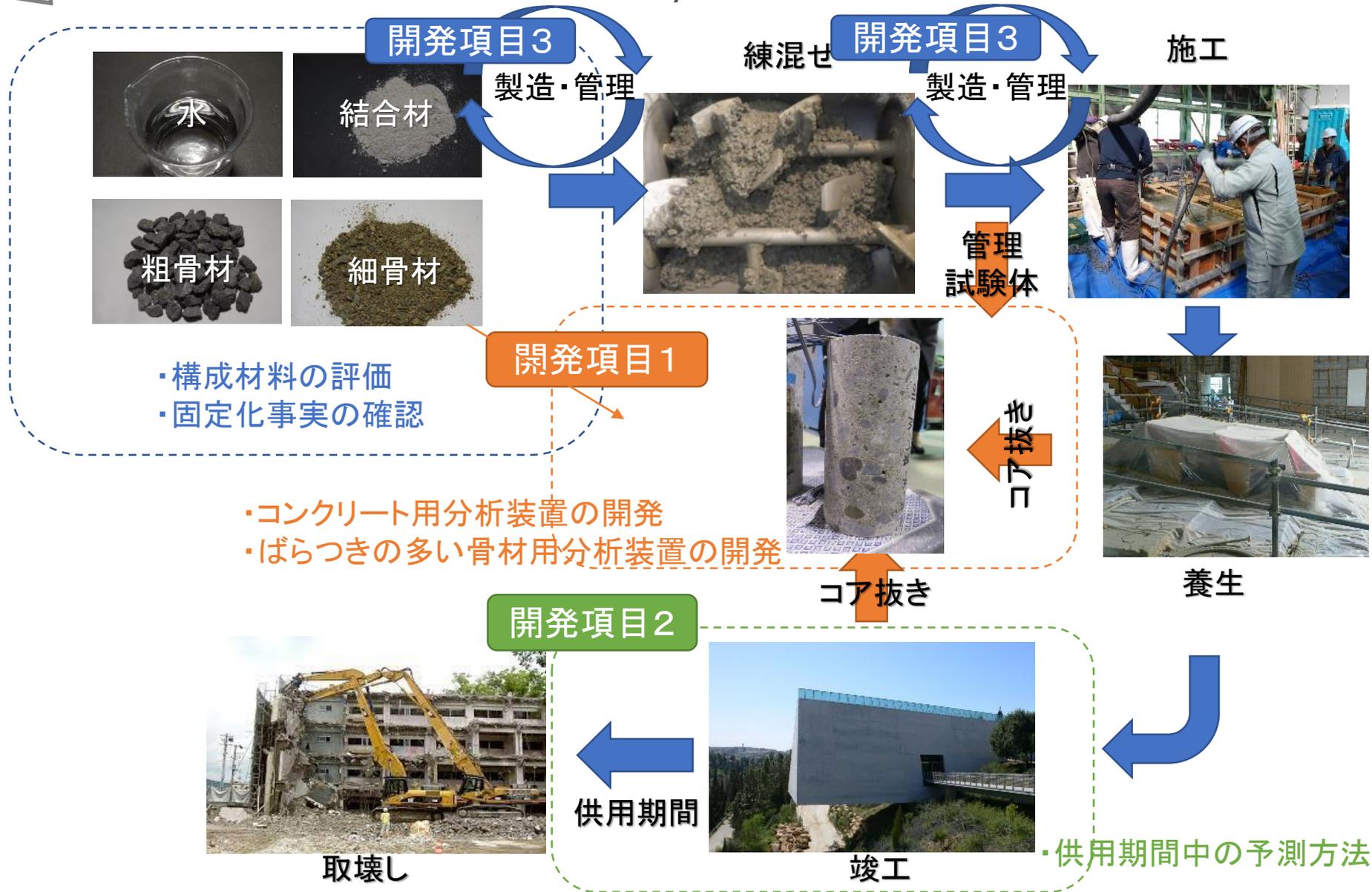
NEDOの他プロジェクトの開発項目数の半数以上

#### 実現可能性 (成功確率)

可能性大  
(100%)

可能性大  
(100%)

# 建物の一生とコンクリート，プロジェクトの関係



## 2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

### 開発項目 1 コンクリート用材料・コンクリートの評価方法の提案

本開発内容は、将来的にはJIS/ISO化を目的とした評価方法の開発とそれに資するデータの整備を行う。既存の類似事例の調査の上、コンクリート用材料に固定化されたCO<sub>2</sub>総量評価法を提案する。また、既往装置の原理を応用し、対象試験体をΦ10x20cmの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、コンクリートにおけるCO<sub>2</sub>固定化量の評価手法を提案する。

コンクリート用骨材，粉体を中心とした大量使用材料の代表性確保のための測定方法を提案する。現在存在する技術としては，セメント系粉体（炭カル粉末（大成建設））、骨材（再生骨材+CO<sub>2</sub>吸収、炭カル析出骨材（例：Blue Planet社）、等）を想定とする。

手法としては，熱重量－質量分析計（TG-MS）の他，簡易な手法，塩による固定・滴定などの検討を総合的に行い，簡便さ，精度を比較して最適な手法を提案する。本検討は既存の装置を利用した標準化案を想定とする。

## 2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

なお、有機材料（ファイバー、混和剤）における素材中カーボン量は比較的均一な材料であることが想定されており、全炭素分析などを通じて測定可能と考えられるのでここでは適用範囲外とする。

コンクリート用材料と異なり部材やコンクリート試験体に固定するCO<sub>2</sub>ガス、工場排ガス、空気などを吹き込む等の操作を行い、コンクリートの硬化後でかつ躯体建設までの間にCO<sub>2</sub>の固定を行うコンクリートを対象とする場合、p.12で示す分析方法では測定試料量が小さいためにばらつきが大きいことが想定される。そのため、新装置の開発はコンクリート業界において必須であると考えられる。この装置は、1) CO<sub>2</sub>等を吹き込み、均一に練り混ぜるコンクリートの評価、2) 部材等で分布がある場合の表層部におけるコンクリートの評価、3) 再生粗骨材などのばらつきを有する骨材の評価、などに対応する装置となる。

## 開発項目 1 実施内容

(THC・東大)

### ①各種の測定方法によるCO<sub>2</sub>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

- ✓ 炭酸塩鉱物含む、様々な状態を想定した複数の試料を準備
- ✓ 各種CO<sub>2</sub>量評価手法に供し、結果の差異を確認
  - 各評価手法の課題を整理
  - 標準とする評価手法の絞り込み

<想定される水準/試料条件の例>

分類	水準/試料条件
炭酸塩鉱物 岩石	カルサイト (CaCO <sub>3</sub> ) 等 砂岩系骨材 粘土鉱物含む骨材 石灰石骨材、等
セメント	普通ポルトランドセメント 混合セメント、等
炭酸化セメント ペースト	炭酸化の程度が異なる 試料
再生骨材	

### ③コンクリートの測定方法および

### 調合上の収支確認

- ✓ 試料調製の工程を想定した試料を準備し、前項までに絞り込んだCO<sub>2</sub>量評価手法により、コンクリート材料およびコンクリートの評価
  - コンクリートにおけるCO<sub>2</sub>量評価の課題を抽出/整理

<想定されるCO<sub>2</sub>量評価方法の例>

- 熱天秤質量分析 (TG-MS)
- 固体燃焼式炭素量測定 (TOC)
- 水酸化ナトリウム溶液吸収-塩酸滴定法 (JIS R 9101 せっこうの化学分析法)

## 📁 開発項目 1 実施内容（続き）

### ④バルクコンクリート試験体（Φ10x20cm、Φ5x10cm、骨材郡）を（リガク）測定可能な装置開発

### ⑤開発した装置のデータ妥当性確認

- ✓ 既存の熱重量－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<sub>2</sub>固定量の装置を開発する。
  - 開発後、③項で示した試験体での評価を行い、本装置の有効性を示す。また、本装置による測定方法のプロトコル、JIS案を提案する。

### 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制定委員会参加/資料作成
- ✓ 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

## 2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

### 開発項目 2 構造物供用中にCO<sub>2</sub>固定を実施する材料について保証する枠組みの提案

竣工後の供用期間を含めてCO<sub>2</sub>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<sub>2</sub>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の結果を用いて、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。本評価方法自体についても、JIS、あるいはISO化の提案を行う。

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<sub>2</sub>固定の観点からの評価はなされていなかった。また、促進試験で用いる高濃度CO<sub>2</sub>の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。これらの情報とともに、温湿度影響、仕上材の影響、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。

# 開発項目2 全体像

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

## 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

- $C_i^{ti}$  : 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

## 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

現場での検証

## 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  $d_i = A\sqrt{t + R^2} - R$

## 促進試験方法の提案

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

- ✓ 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

- $\alpha_1$  : 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

千葉大・東大

## 開発項目 2 実施内容

### ①適切な促進試験方法の提案 (千葉大・東大)

- ✓ CO<sub>2</sub>の固定化に関わる反応経路と反応速度に関わるデータを、実験と数値解析の両面から取得し、CO<sub>2</sub>の濃度依存性に起因する炭酸化固定プロセスを明らかにする。
  - 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

### ②CO<sub>2</sub>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<sub>2</sub>量の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。
  - CO<sub>2</sub>固定量予測に向けた、CO<sub>2</sub>濃度の温湿度依存性の評価

### ③仕上げ・ひび割れの影響 (広島大)

- ✓ CO<sub>2</sub>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<sub>2</sub>固定量の推定手法を検討する。
  - CO<sub>2</sub>固定量を保証するための現地調査手法の構築

### 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。
  - 着脱可能なCO<sub>2</sub>モニタリング用・調査孔を用いた評価手法の構築

## 2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

### 開発項目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

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提案する。

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<sub>2</sub>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<sub>2</sub>中の炭素同位体（<sup>14</sup>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

## 開発項目 3 実施内容

### 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)

- ✓ 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
  - 定量精度・再現性に基づき、実施すべきプロトコルを提案

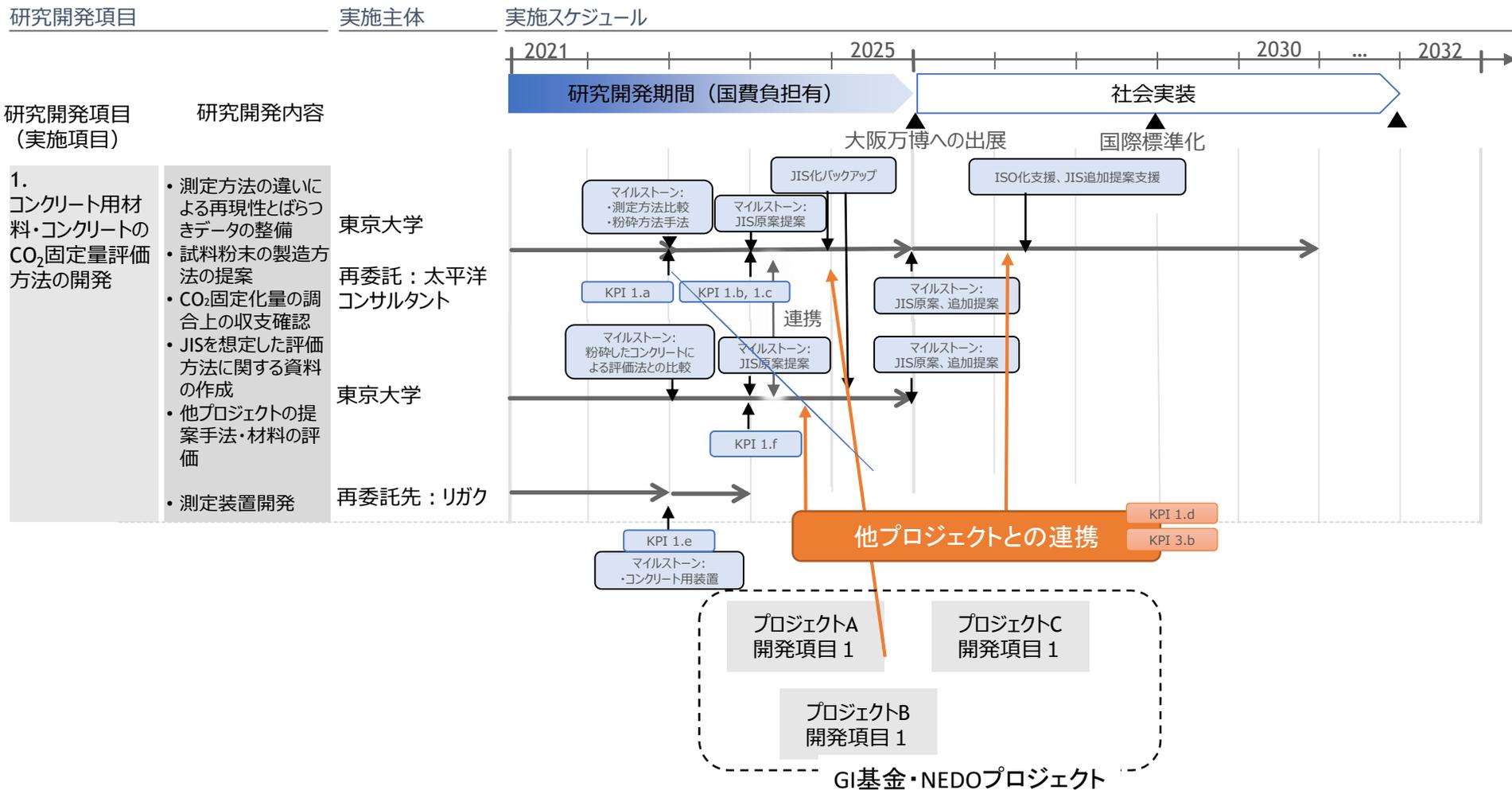
#### <取り組み内容>

- 空気、排ガス、水溶液中の同位体の分析
- 異なるpH、空気／水中での炭酸カルシウムの生成

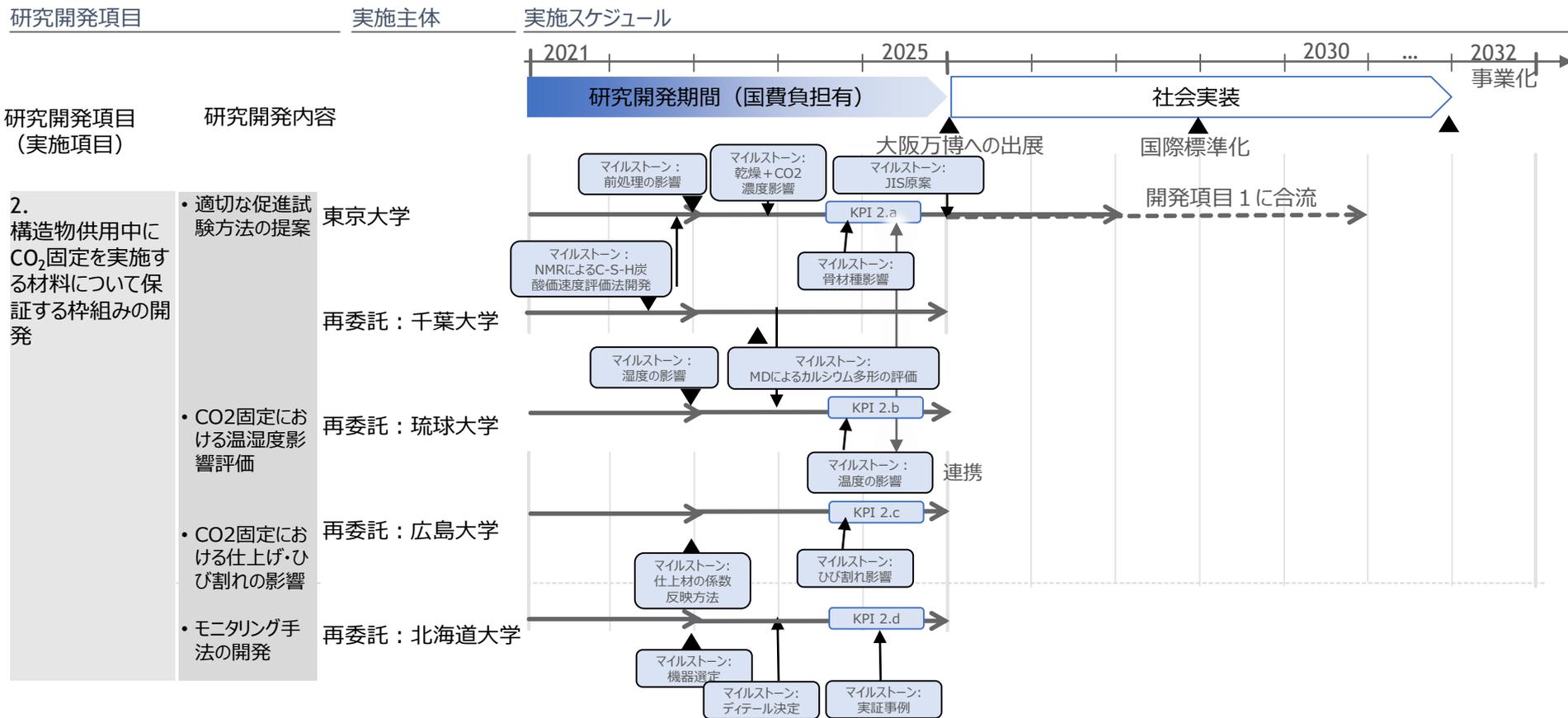
- 炭素同位体の測定方法の検討

- 本手法の妥当性の確認とプロトコルの提案

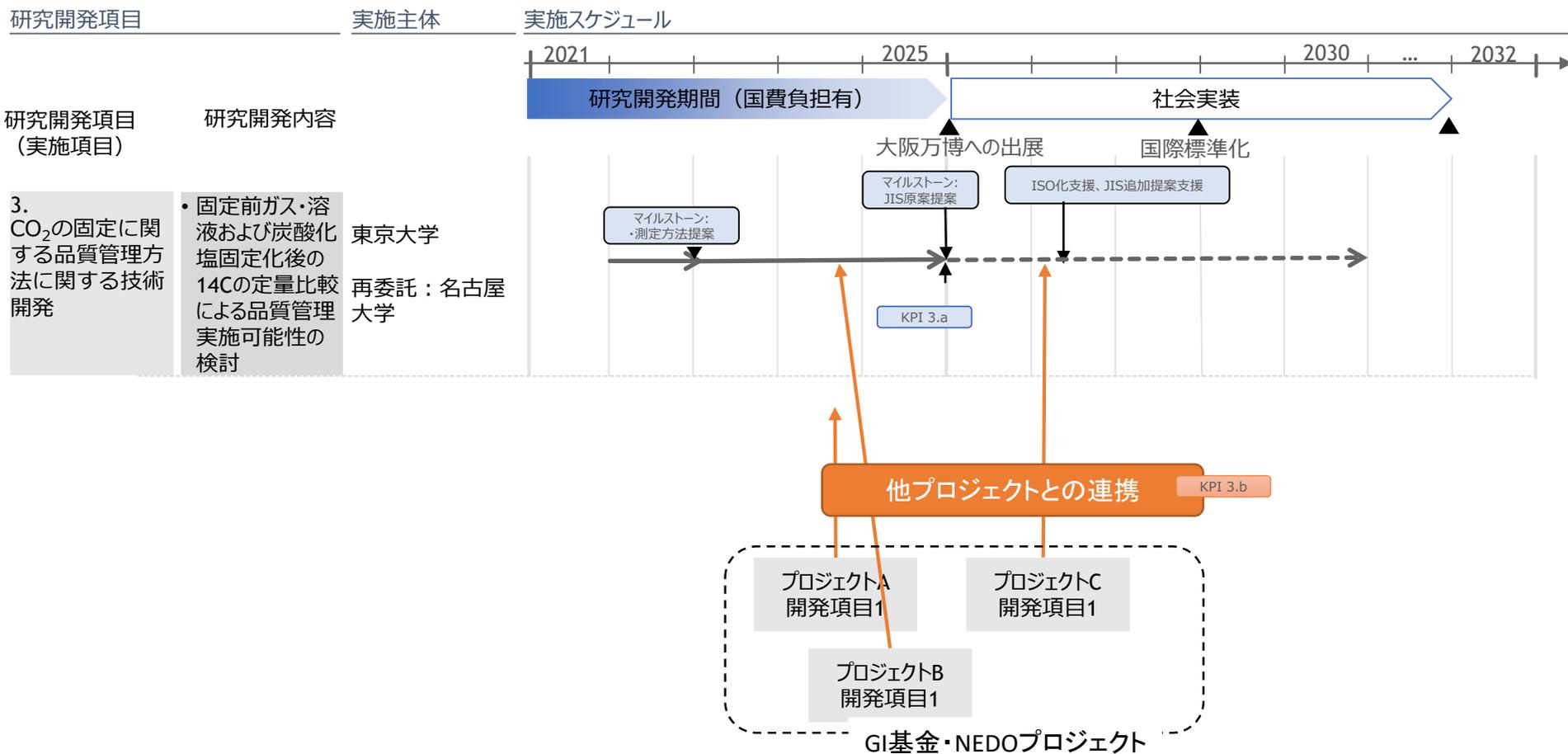
# 研究実施スケジュール



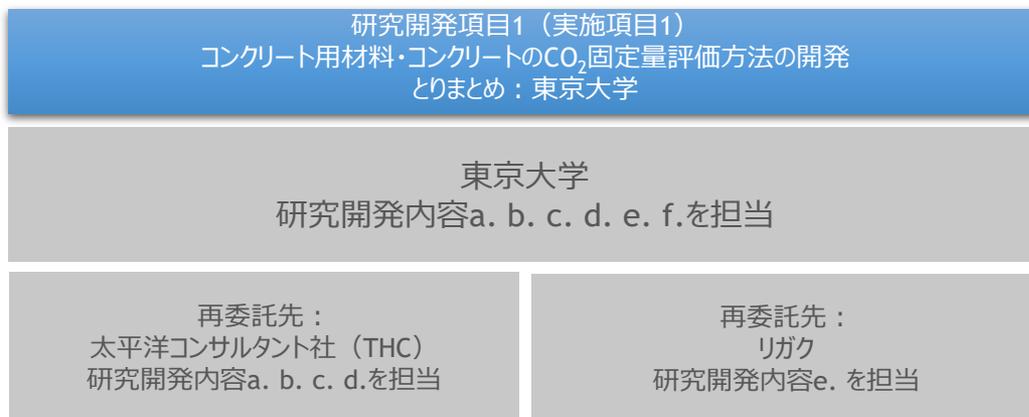
# 研究実施スケジュール



# 研究実施スケジュール



## 2. (4) 研究開発体制



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

### 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CO<sub>2</sub>固定量測定装置の設計を行う。

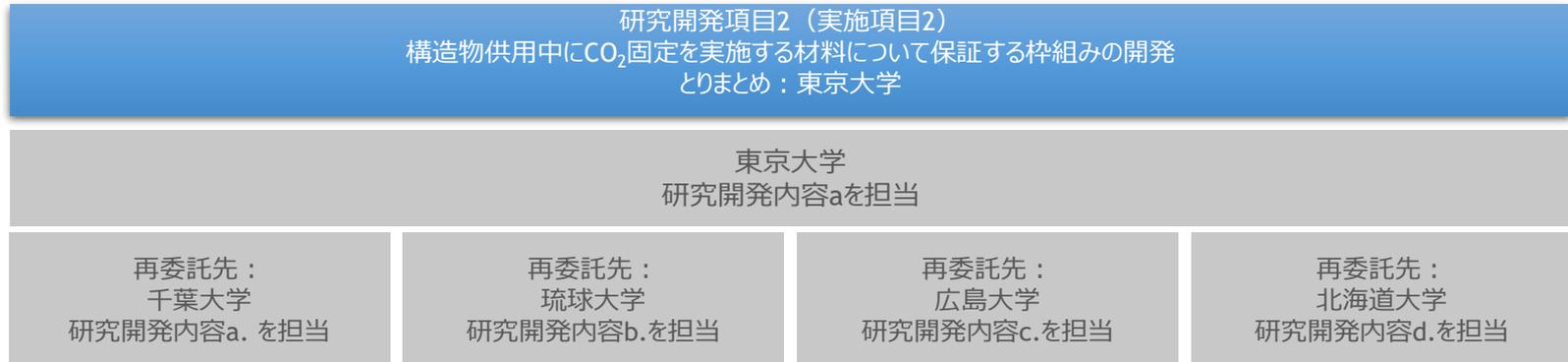
### 研究開発における連携方法

- 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(事務局的角色を担う)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、評価結果について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。

## 2. (4) 研究開発体制



### 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CO<sub>2</sub>固定試験と一般環境下CO<sub>2</sub>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：CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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 Concrete Association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Kefei Li教授、フランス・Ecole de Ponts ParisTechのMatthew Vandamme教授、スイス・エコールポリテクニ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。

## 2. (4) 研究開発体制

研究開発項目3 (実施項目3)  
CO<sub>2</sub>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。

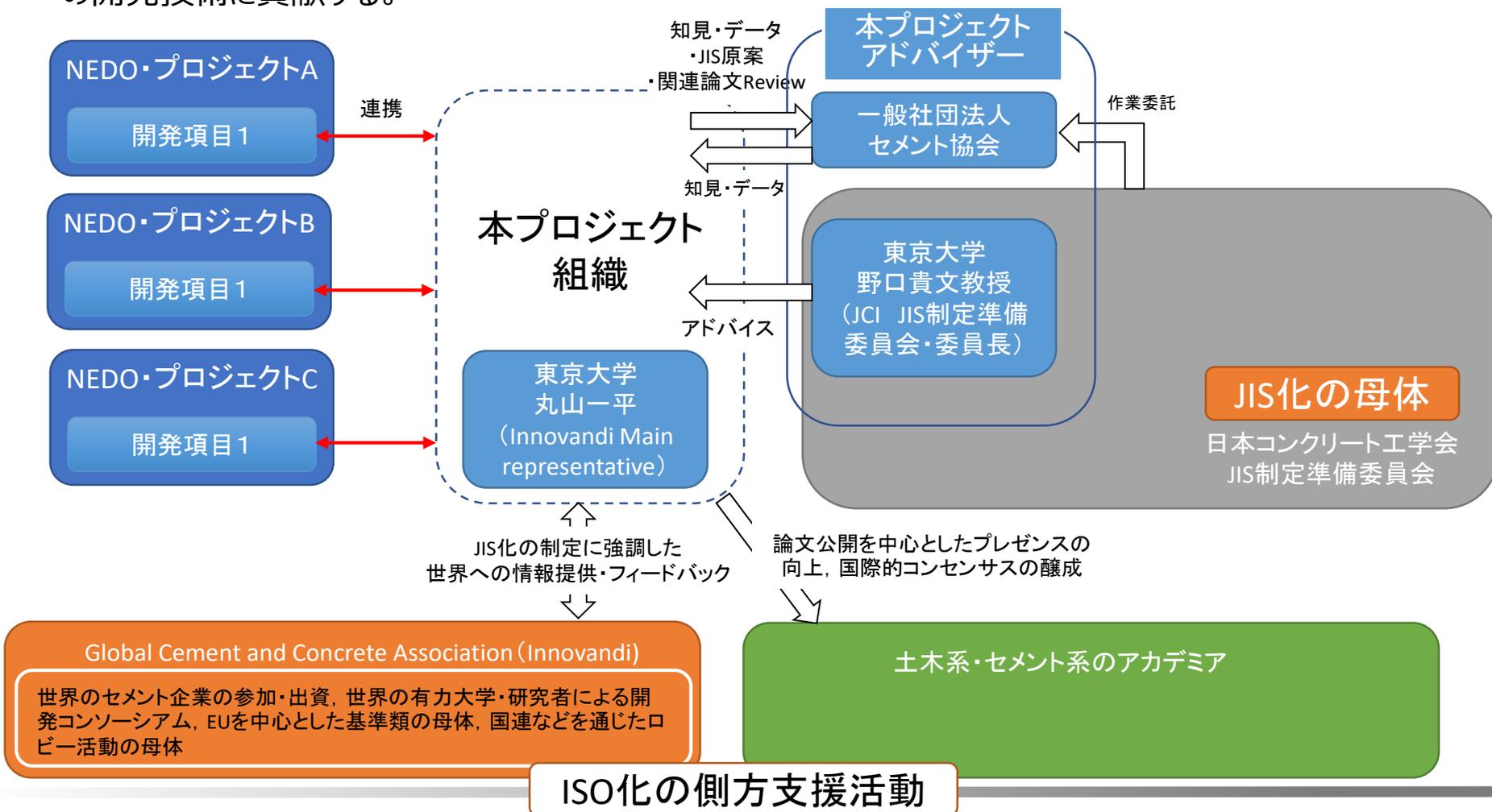
名古屋大学：コンクリート用材料ならび、ガス、溶液、およびCO<sub>2</sub>固定化後の試料の分析を行う。

### 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CO<sub>2</sub>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。

## 2. (4) 本プロジェクトにおける他実施者等との連携

本プロジェクトで得た知見について、定期的な情報交換会の開催や論文公開を通じ、他のプロジェクトの開発技術に貢献する。



## 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ため，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。

## 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CO2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 CO2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 CO2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。

## 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<sub>2</sub>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<sup>14</sup>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<sup>14</sup>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－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－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。

## 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、CO<sub>2</sub>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<sub>2</sub>. *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, 浅原良浩, 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酸化進行評価の試み, セメント・コンクリート論文集, No.64, pp.139-146, 2011.3

## 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・CO<sub>2</sub>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)

## 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

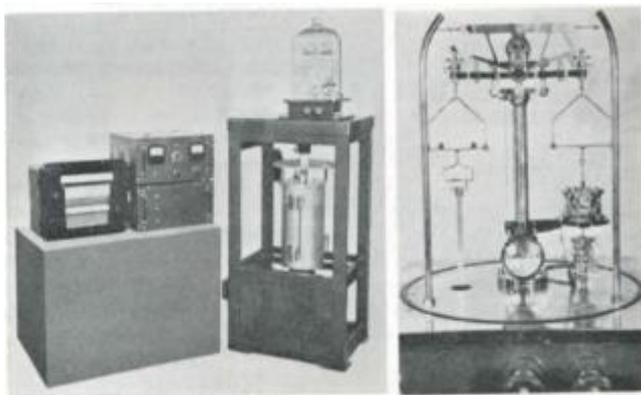
#### • 保有設備(分析関連)：

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)

## 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  
ThermoMASS Photo

## 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  $\alpha$ -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)、N<sub>2</sub>吸着装置(共用設備)、固体核磁気共鳴装置(共用設備)

## 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—散水噴霧—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：N<sub>2</sub>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：CO<sub>2</sub>インキュベータ

## 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

## 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<sup>14</sup>C年代測定、南極隕石の<sup>14</sup>C地上落下年代に関する研究を行っており、<sup>14</sup>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, Tatsunori Yokoyama, Shin-ichi Yamasaki, Masayo Minami, Yoshihiro Asahara, Takahiro Watanabe, Kazuyoshi Yamada, Noriyoshi Tsuchiya, 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グ岩塊の<sup>14</sup>C年代とその意義, 季刊地理学, 2017, 69 巻, 3 号, p. 119-127
- Masayo Minami, Tomomi Kato, Keiji Horikawa, Toshio Nakamura, Seasonal variations of <sup>14</sup>C and  $\delta^{13}\text{C}$  for cave drip waters in Ryugashi Cave, 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, 浅原良浩, 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：

- タンデン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

## 4. その他



## 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。