「社会インフラの予防保全を目指した中性子線による非破壊検査システムの3次元化の社会実装の加速」最終報告（概要）

資料１

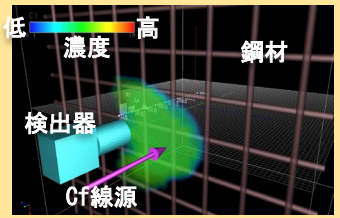
文部科学省

【目的】

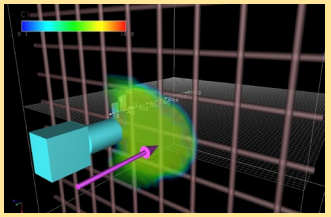
理化学研究所で開発したRANS-μは、コンクリート中塩分濃度を非破壊で計測できる唯一の技術である。本施策では、(1)RANS-μ3次元内部構造マッピングのための基礎技術構築、(2)RANS-μ高度化、(3)RANS-μによる実橋梁計測の3テーマを実施し、RANS-μに塩分濃度3次元マッピングシステムを実装する。

【BRIDGE終了時の成果（社会実装）】

定期点検で鋼材かぶりや鋼材位置での全塩化物イオン量を記録するよう、2024年7月橋梁定期点検要領が改訂された。本施策では、鋼材位置とともに塩分濃度分布を3次元マッピングするシステムを開発し、要領改訂に対応する環境を整備した。それを東京都大田区の2橋にトライアル実装し、結果を比較した。



・仲之橋：塩分浸透少ない



・新平和橋：塩分浸透多い

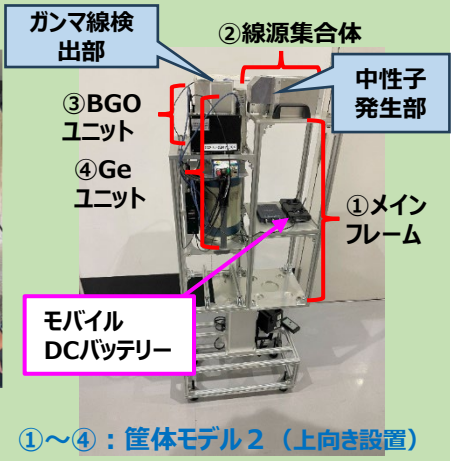
【成果（KPI達成状況）／社会状況変化の対応など】

(1) RANS-μ3次元内部構造マッピングのための基礎技術構築では、3次元データ再構成の定式化を行い、塩分検出感度の向上と高い作業性を実現したRANS-μ筐体モデル２を開発した。

(2) RANS-μ高度化では、ガンマ線検出位置分解能を高度化し、鋼材を含めた塩分濃度3次元マッピングシステムをRANS-μにトライアル実装した。

(3) RANS-μによる実橋梁計測では、北海道から沖縄まで1道1都19県72橋（2025.2現在）の実橋梁塩分計測を実施した。また、RANS-μ計測士認定制度を開始し、18名を認定した。

・大田区仲之橋の計測（横向き設置）



①～④：筐体モデル２（上向き設置）

【今後の社会実装/普及に向け必要な措置等】

SIPと一体的な開発を継続し、コンクリート内鋼材配置を含めた塩分濃度3次元マッピングシステムをデジタルツイン構築に資する技術に発展させる。さらに、RANS-μ計測技術の継承、普及に向け、2024年度に開始したRANS-μ計測士認定制度を継続して計測士数を増やし、高度な知識と技術を有するRANS-μ上級計測士の育成にも取り掛かり、5年に1度の定期点検に対応可能な状況にする。

社会実装に向けた施策・取組等の全体俯瞰の中での成果（進捗の説明）

① 全体概要

＜① 解決すべき社会課題＞

- わが国では、高度成長期に整備された多くのインフラ構造物が建設後50年以上経過し、老朽化が加速している。特に、**海水や飛来塩分に曝される沿岸部や凍結防止剤が散布される寒冷地及び山間部のコンクリート橋梁の塩害は、非常に深刻**である。コンクリートへの塩分浸透は鋼材が腐食しやすい環境を形成し、錆の膨張圧で表層コンクリートが剥落、鋼材断面減少による破断等により、**落橋などの重大事故へとつながる恐れ**がある。このような社会背景を鑑みれば、**構造物を予防的にメンテナンスすることが肝要**であり、劣化が顕在化する前からコンクリート塩分濃度を把握し、構造物の健全性を確認する計測技術の需要は益々高まっている。
- 塩分濃度は、構造物から採取したサンプルを分析し、計測するのが一般的である。**構造物の部分的な破壊を伴うことから、劣化が相当進行してから実施**される傾向があり、コンクリート橋の**定期点検において塩分濃度の記録は必須ではなかった**。しかし今後、予防保全型メンテナンスに転換するためには、鋼材腐食による劣化が顕在化する前から塩分濃度計測を求めるよう、点検要領の改訂は不可欠である。
- 破壊試験は詳細な情報を得られる一方、その情報は局所的で、経時変化を追跡できないデメリットがある。その上、サンプル採取箇所の再劣化事例も多数報告されている。この現状を打開するためには、**塩分濃度の非破壊計測が必須**であり、3次元的に広がる塩分浸透情報は、構造全体の診断精度を向上させ、現在の**事後保全を予防保全への転換を一気に加速させる起爆剤**になりうる。
- **RANS-μは、コンクリート中塩分濃度を非破壊計測できる唯一の技術**であり、今後のマーケット拡大を見据えた**人材育成制度の整備**は欠かせない。

＜② 取組施策の内容＞

- **(株)ランズビューおよびT-RANSの活動を通した実橋梁塩分計測のフィードバック**と**中性子計測による塩分濃度分布3次元マッピング**が、RANS-μのさらなる高度化の推進力となり社会実装を加速する。
- BRIDGEにおいて高度化開発ならびに社会実装に取り組んだRANS-μは、第3期SIP「スマートインフラマネジメントシステムの構築」で開発を進める可搬型小型中性子源システムRANS-IIIの現場計測技術の高度化開発に寄与していく、また先んじてBRIDGEにおいて社会実装に取り組んだRANS-μの実績は、**中性子線による非破壊検査システムの社会実装のビジネスモデル**となる。

＜③ 成果の社会実装＞

- (1)RANS-μ3次元内部構造マッピングのための基礎技術構築において、作業性とともに検出感度も向上させ、様々な現場条件に対応できる筐体に改良した。(2)RANS-μ高度化、(3)RANS-μによる実橋梁計測では、塩分濃度3次元マッピングを開発し、現場条件毎の実橋梁計測結果のフィードバックにより検出感度を向上させ、 RANS-μにトライアル実装した。第3期SIP終了時には、**コンクリート内鋼材を含めた塩分濃度3次元マッピングシステムをデジタルツイン構築に資する技術**とし、可視化情報の現場提供で迅速かつ正確な判断を促し、スマートなインフラマネジメント社会を実現する。
- **2024年7月に橋梁定期点検要領が改訂**され、塩害の可能性がある場合に**鋼材位置とそこでの全塩化物イオン量記録が必須**となった。本施策では、RANS-μ計測技術の継承、普及、人材育成を目的とする**RANS-μ計測士認定制度を2024年度から開始**し（2024年度18名認定）、着実にRANS-μ計測士を確保する基盤を整備した。さらに、高度な知識と技術を有する**RANS-μ上級計測士の育成**も始め、第3期SIP終了時にはRANS-μ計測士100名を認定し、日本全国のコンクリート橋梁に対して**5年毎に行われる定期点検に対応する体制を整える。**

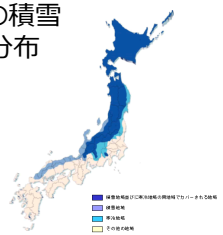
社会実装に向けた施策・取組等の全体俯瞰の中での成果（進捗の説明）

② 全体俯瞰図

【社会背景】

塩害を受けるコンクリート橋梁

例：日本の積雪寒冷地域分布



- 沿岸部、寒冷地、山間部の塩害が深刻

劣化の顕在化

鋼材腐食によるコンクリート剥落

- コンクリートへの塩分浸透→表層コンクリートの剥落、鋼材破断→落橋の恐れ

破壊試験による塩分濃度計測

サンプル採取

- 構造物からサンプルを採取
- 定期点検において塩分濃度計測は必須ではない。

【現状と課題】

理研で開発
非破壊塩分計RANS-μ

- 非破壊塩分計測できる唯一の技術

「非破壊」計測が不可欠

「予防保全」への転換

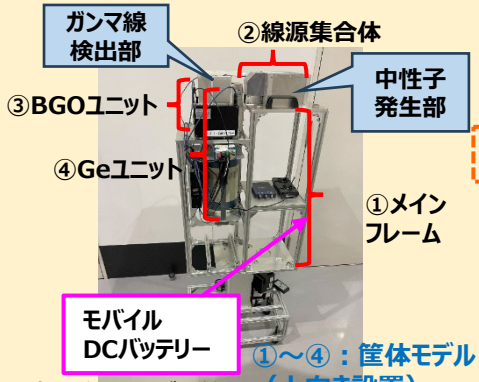
ボトルネック

■ **点検要領の改訂**
5年毎定期点検で塩分濃度計測を求める。

■ **新技術の利用を促進する制度整備**
高まるニーズに対応する人員・環境整備の制度制定
RANS-μを
使える人
使いたい人
の増加

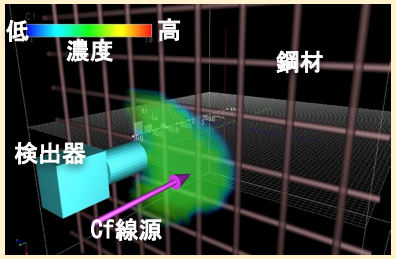
【BRIDGEでの取り組み】

(1)RANS-μ3次元内部構造マッピングのための基礎技術構築



- 塩分濃度検出感度の向上
- 軽量化、組立簡略化→作業性向上

(2)RANS-μ高度化



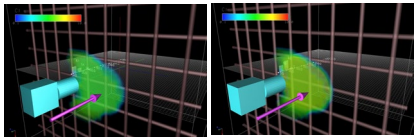
- 塩分濃度3次元マッピング開発
- 鋼材位置の塩分濃度計測

(3)RANS-μによる実橋梁計測

- 北海道から沖縄まで1道1都19県72橋177ヶ所（2025.2現在）を計測。
- 2024年度よりRANS-μ計測士認定制度を開始。18名認定。

【社会実装】

塩分濃度3次元マッピング



- 現場で塩分濃度多寡を判断

- 宅急便で全国輸送
- 計測士認定者増加
- 現場条件毎に対応

第3期SIP施策を加速

- 可搬型小型中性子源システムRANS-III開発
- 塩分濃度詳細計測

ビジネスモデル

(株)ランズビュー
・実橋梁計測
・知見の蓄積

理研
・非破壊計測
・中性子計測技術の開発

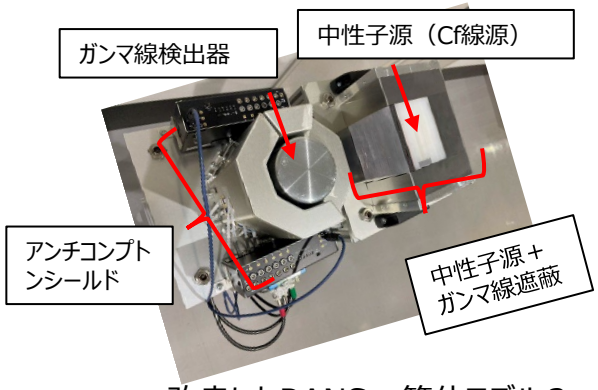
T-RANS（技術研究組合）
・中性子計測標準化
・RANS-μ計測士認定制度
・計測士認定、マーケット安定化

研究成果及び出口戦略、達成状況（取組全期間）

テーマ ①RANS-μ3次元内部構造マッピングのための基礎技術構築

① 研究成果及び達成状況

- ガンマ線3次元データ再構成の検討／ガンマ線エネルギーI種限定の3次元アルゴリズム開発／3次元マッピングを目指したRANS-μ高度化検討／実橋梁塩分計測からのフィードバックによる高度化開発において、コンクリート組成を均一に仮定する拘束条件を3次元データ再構成における逆問題として利用した数学的定式化を行い、3次元マッピングの計測条件を最適化した。
- RANS-μ3次元非破壊マッピングのためのシミュレーター装置開発において、筐体モデルの改良により作業効率が向上し、線源集合体の鉛遮蔽とBGOユニット形状の最適化により塩分濃度計測の感度も向上した。
- RANS-μ厳密解3次元データ再構築アルゴリズム実装トライアル／位置分解能の高度化開発について、近似処理方法を決定し、モンテカルロシミュレーションからガンマ線検出領域を推定した。



・改良したRANS-μ筐体モデル２

② 出口戦略・研究成果の波及

- コンクリート構造物に浸透した塩分濃度分布は、現状ではコア採取したサンプルの分析により把握しているが、RANS-μ３次元マッピングでは非破壊かつ現場で可視化することが可能になる。
- 「可視化」により、計測結果を瞬時に理解することができ、構造物の正確な健全性診断を促す。
- 「非破壊」での計測により、同一箇所の長期的な劣化の経時変化の追跡を可能にする。
- 「現場」でのアウトプットにより、追加計測有無を迅速に判断でき、診断精度の向上とともに、スムーズなマネジメント計画策定に繋がる。
- 装置筐体の改良により、作業効率のみならず、誤操作のリスクが低減し、RANS-μ計測士の裾野が広がる。
- RANS-μは宅急便等で装置等を輸送することが可能であり、日本全国で非破壊塩分計測できる技術である。

③ 目標達成状況等の特記事項

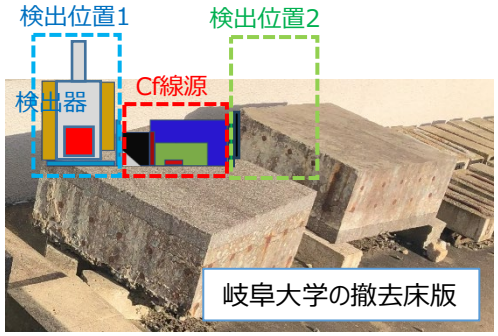
- 今後も膨大な実測データが得られることから、それらを着実にフィードバックして、RANS-μ装置筐体およびユーザーインターフェースの改良に繋げ、RANS-μの使用性、安定性、精確性の向上を続けていく。

研究成果及び出口戦略、達成状況（取組全期間）

テーマ　②RANS-μ高度化（ガンマ線検出法高度化）

① 研究成果及び達成状況

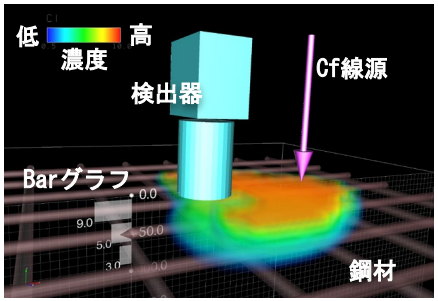
- ガンマ線の3次元検出の高度化開発において、中性子照射によりコンクリート内部で発生するガンマ線に対する検出器応答を定量化するためのシミュレータを開発し、実計測との比較により妥当性を評価した。
- ガンマ線検出位置分解能高度化実証／RANS-μ深部2次元分割ガンマ線検出器高度化開発において、現場計測で明確になった影響要因に対する特性評価計算を行い、計測感度を高めた。また、継続的な屋内実験から鋼材位置検出のための検量線を取得し、さらに、ガンマ線検出器2台を使った撤去実RC床版のRANS-μ計測を行い、塩分濃度計測結果の精度向上を確認した。
- 3次元マッピングユニットの高度化トライアル実装において、開発した3次元マッピングユニットをRANS-μにトライアル実装し、異なる現場の塩分浸透状況を比較した。



・検出器2台計測

② 出口戦略・研究成果の波及

- 開発した3次元マッピングでは、シミュレーションで推定されたガンマ線検出領域の塩分濃度分布とともに、鋼材の配置も表示することができ、鋼材位置の塩分濃度（全塩化物イオン量として表示される）が明確である。
- 橋梁定期点検要領で要求される鋼材位置での全塩化物イオン量が「現場」で得られる。
- 橋梁定期点検要領の改訂「鋼材位置での全塩化物イオン量をデータとして記録する」に対応する。
- 3次元マッピングにより、鋼材の腐食しやすさを視覚から直感的に判断することができ、より正確な状態把握、より迅速な意思決定により、スムーズなマネジメント計画の策定に繋がる。



・3次元マッピング表示例

③ 目標達成状況等の特記事項

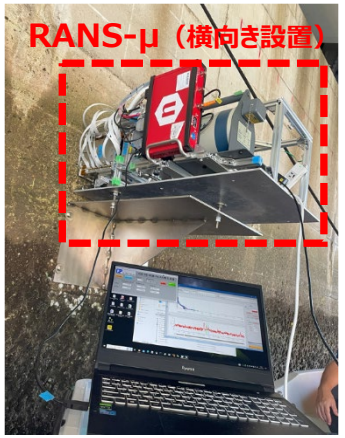
- RANS-μの実橋梁計測とともに、モデル試験体を利用した屋内実験の結果も蓄積し、技術のさらなる高度化と信頼性向上を進めていく。

研究成果及び出口戦略、達成状況（取組全期間）

テーマ ③RANS-μによる実橋梁計測

① 研究成果及び達成状況

- 自治体（東京都大田区）管理の干潮河川における実橋梁計測トライアル／脱塩処理橋梁における脱塩前後の塩分計測トライアルの実施において、下部工（橋台）、上部工（主桁下面、桁フランジ下面・側面、ウェブ、地覆側面、張出し床版下面、箱桁内部・下面）を計測した。計測箇所の一部からはサンプルも採取し、従来法による塩分濃度分析結果との比較を行うことで、ガンマ線検出法を高度化した。
- 実橋梁における塩分計測による3次元マッピング現場トライアルの実施／T-RANS及び(株)ランズビューを計測主体とする自治体・国道の実橋梁計測、改良点のフィードバックの実施において、2024年度よりRANS-μ計測士認定制度を開始し、18名を認定した。さらに、北海道から沖縄まで1道1都19県72橋177ヶ所（2023.6～2025.2現在）の実橋梁を計測した。
- コンクリート橋の定期点検で、鋼材位置での全塩化物イオン量を記録するよう橋梁定期点検要領が改訂された（2024.7）。

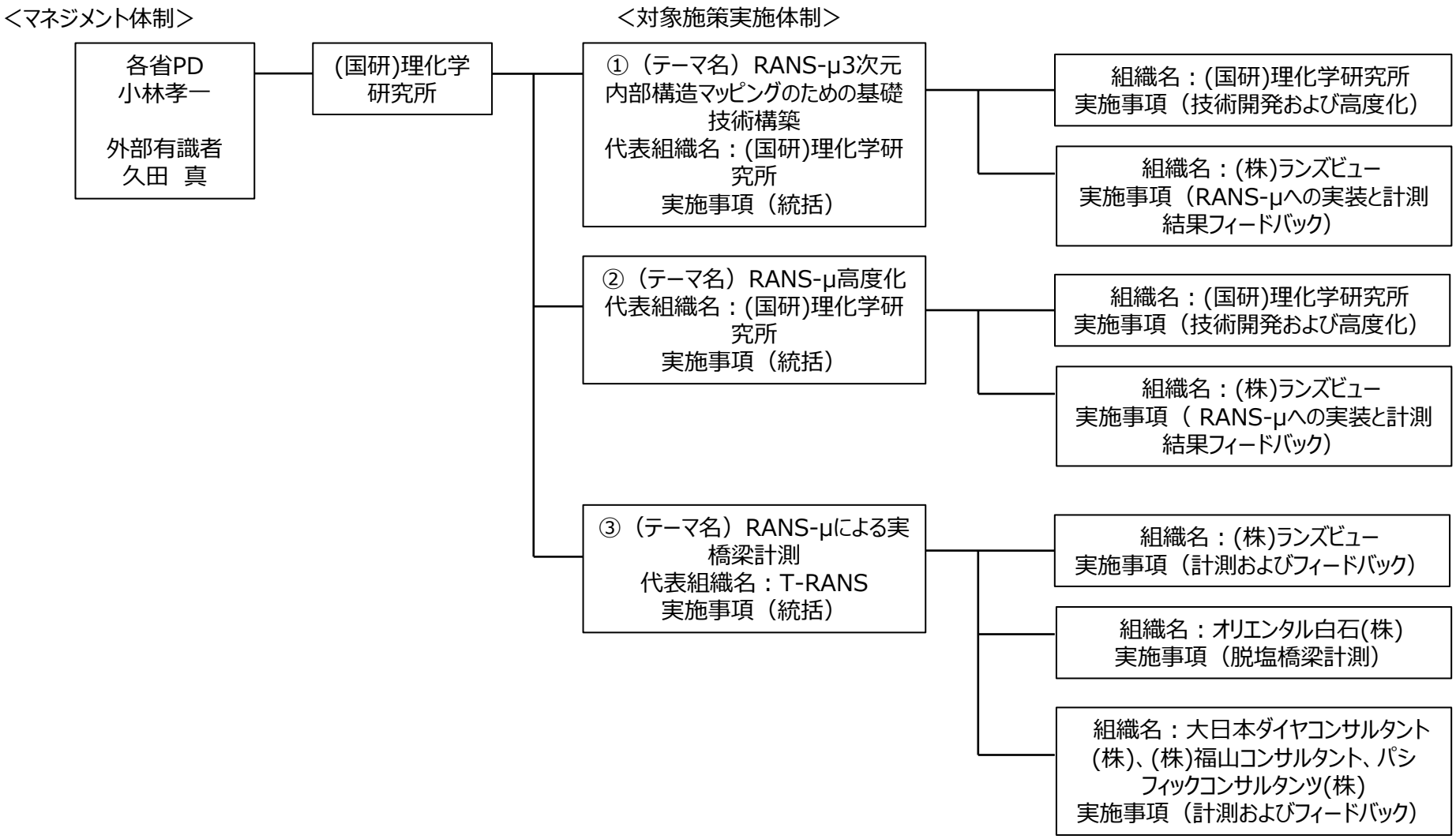


・仲之橋の計測の様子

② 出口戦略・研究成果の波及

- RANS-μでは、上、横、下向きの計測が可能であり、構造物、地面、足場上の他、河川ボート、リフト車（AT-220）、橋梁点検車（BT-200および400）上に設置し、計測することもできる。
- 脱塩等補修前後に同一箇所を計測し、比較することが可能である。
- 被覆材（表面含浸材、繊維シート、鋼板等）を剥がさずにコンクリート中塩分濃度を非破壊計測できる。
- RANS-μの技術特許の独占および再実施権を持つ(株)ランズビューが、塩分計測を受注し、全国の調査会社に計測させるビジネスモデルを検討している（特許使用料は、調査会社から(株)ランズビューを経て特許取得者の理研に還元）。

③ 目標達成状況等の特記事項

- 計測環境、コンクリートの特性や劣化状況は現場ごとに異なるため、計測データを蓄積、フィードバックしながらRANS-μ高度化を継続し、第3期SIPで開発を進める可搬型小型中性子源システムRANS-IIIの現場計測技術の高度化開発に寄与する。

実施体制及び実施者の役割分担