

令和6年度 最終評価様式

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

令和7年5月
文部科学省

- 実施する重点課題（特に該当するものには◎、そのほかで該当するものには○（複数可）を記載）

業務プロセス転換・ 政策転換に向けた取組	次期SIP/FSより 抽出された取組	SIP成果の社会実装 に向けた取組	スタートアップの事業創出 に向けた取組	若手人材の育成 に向けた取組	研究者や研究活動が 不足解消の取組	国際標準戦略の促進 に向けた取組
	○					

- 関連するSIP課題（該当するものには○を記載）

持続可能な フードチェーン	ヘルスケア	包摂的 コミュニティ	学び方・ 働き方	海洋 安全保障	スマート エネルギー	サーキュラー エコノミー	防災ネット ワーク	インフラ マネジメント	モビリティ プラットフォーム	人協調型 ロボティクス	バーチャル エコノミー	先進的量子 技術基盤	マテリアル 事業化・ 育成エコ
								○					

1. 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の活動を通じ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**。

1. 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

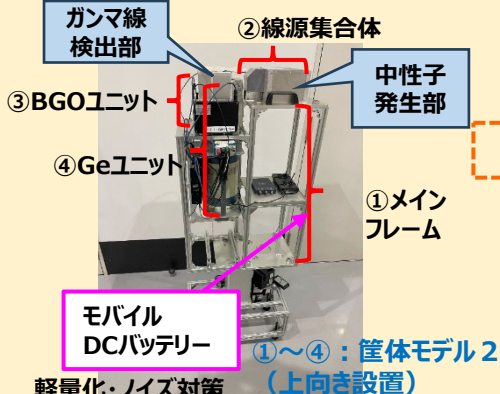
5年毎定期点検で塩分濃度計測を求める。

■ 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

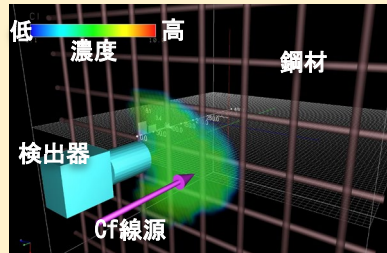
【BRIDGEでの取り組み】

(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



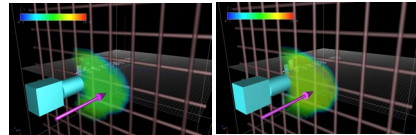
- 塩分濃度3次元マッピング開発
- 鋼材位置の塩分濃度計測

(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）

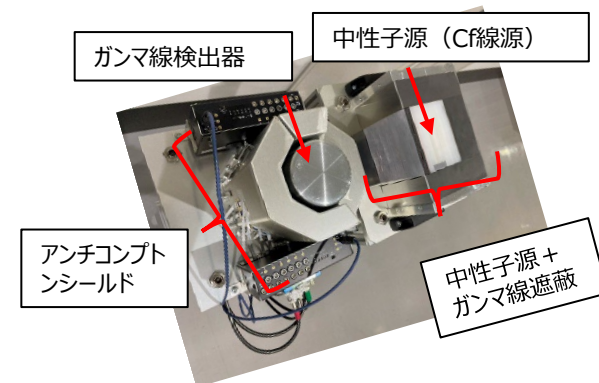
- ・中性子計測標準化
- ・RANS-μ計測士認定制度
- ・計測士認定、マーケット安定化

2. 研究成果及び出口戦略、達成状況（取組全期間）

テーマ ①RANS- μ 3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1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- μ 3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- μ 3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

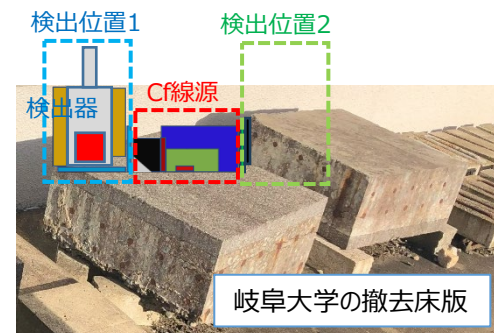
- 今後も膨大な実測データが得られることから、それらを着実にフィードバックして、RANS- μ 装置筐体およびユーザーインターフェースの改良に繋げ、RANS- μ の使用性、安定性、精確性の向上を続けていく。

2. 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

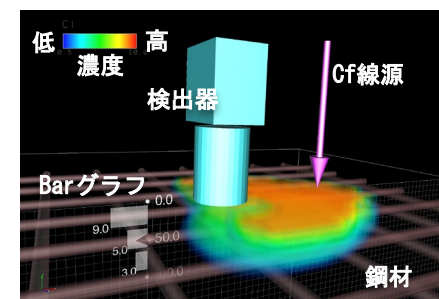
- ・ ガンマ線の3次元検出の高度化開発において、中性子照射によりコンクリート内部で発生するガンマ線に対する検出器応答を定量化するためのシミュレータを開発し、実計測との比較により妥当性を評価した。
- ・ ガンマ線検出位置分解能高度化実証／RANS-μ深部2次元分割ガンマ線検出器高度化開発において、現場計測で明確になった影響要因に対する特性評価計算を行い、計測感度を高めた。また、継続的な屋内実験から鋼材位置検出のための検量線を取得し、さらに、ガンマ線検出器2台を使った撤去実RC床版のRANS-μ計測を行い、塩分濃度計測結果の精度向上を確認した。
- ・ 3次元マッピングユニットの高度化トライア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

2. 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）。

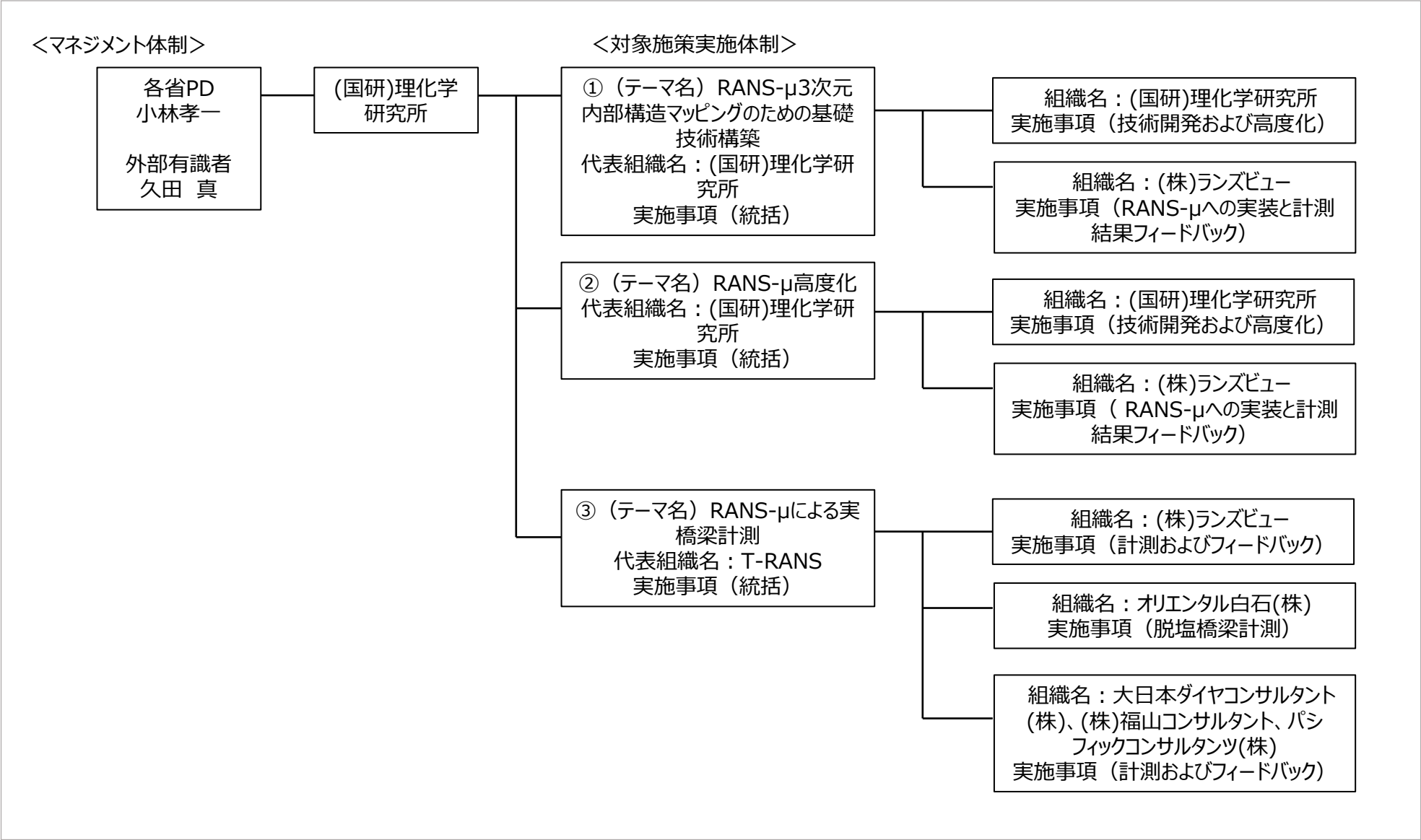
③ 目標達成状況等の特記事項

- 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。

3. 到達目標（KPI）に対する実績

テーマ名	実施内容の概要と到達目標（KPI）	到達目標（KPI）に対する実績	最終年度（単年度）の実施内容と実績
① RANS-μ3次元内部構造マッピングのための基礎技術構築	- ガンマ線3次元データ再構築の検討 - ガンマ線エネルギー1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 - 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 - 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	1～4（令和5年度） 均一なコンクリート組成を仮定した拘束条件下で、3次元データ再構成の逆問題数学的定式化を行い、各元素に対応するアルゴリズムを構築した。 5～7（令和6（最終）年度） RANS-μの中性子発生部およびガンマ線検出部の最適化と筐体部分の改良を行い、塩分検出感度の向上と同時に軽量化、組立簡略化による高い作業性を実現した。さらに、昨年度の実橋梁塩分計測データを再構成アルゴリズムの評価にフィードバックした。	- RANS-μ線源集合体およびガンマ線検出ユニットの形状の最適化により塩分検出感度を高めた。 - RANS-μ筐体モデルの改良により作業効率が向上するとともに、宅急便等での輸送が可能になり、日本全国での計測が実現した。 - 再構成アルゴリズムの空間近似手法として、0次および1次近似モデルを比較評価した。 - モンテカルロシミュレーション結果からガンマ線検出領域を推定した。
② RANS-μ高度化（ガンマ線検出法高度化）	- ガンマ線の3次元検出の高度化開発（遮蔽形状変更シミュレーションの検討ならびに遮蔽の施策実施） - 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 3次元マッピングユニットの高度化トライアル実装	1（令和5年度） 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ション環境を開発した。 2～4（令和6（最終）年度） 実橋梁塩分計測のフィードバックにより、計測結果への影響要因を評価し、ガンマ線検出位置分解能を高度化した。さらに、コンクリート内鋼材位置検出も可能になり、鋼材を含めた塩分濃度分布の3次元マッピングをRANS-μにトライアル実装した。	- 計測結果に影響する要因を評価し、塩分検出の感度を向上させた。 - 鉄筋コンクリートパネルを利用した屋内実験から、鋼材位置検出の検量線を得た。 - 実RC床版の計測、検出器2台による計測を行い、計測結果精度の向上を確認した。 - シミュレーションで推定したガンマ線検出領域の塩分濃度分布を3次元マッピングし、鋼材位置を示すとともに、スケール、Bargラフも組み込み、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。
③ RANS-μによる実橋梁計測	- 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（T-RANSを中心に、理研・ランズビュー・オリエンタル白石と協力して実施） - 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 - 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および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	1～2（令和5年度） 大田区仲之橋下部工2ヶ所、神奈川県脱塩処理橋梁上部工6ヶ所をRANS-μで計測した。 3～4（令和6（最終）年度） RANS-μで、北海道から沖縄まで1道1都19県72橋（2025年2月現在）の実橋梁塩分計測を実施した。現場で得た改良点をフィードバックしながらテーマ①、②の開発を行い、3次元マッピングをトライアル実装した。RANS-μ計測士認定制度第1期を開始し、2024年度18名を認定した。	- 北海道から沖縄まで1道1都19県の72橋（2025年2月現在）の実橋梁計測を実施した。 - T-RANSでRANS-μ計測士認定制度第1期を開始し、2024年度18名を認定した。 - 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。

4. 実施体制及び実施者の役割分担



5. 民間研究開発投資誘発効果及びマッチングファンド

① 民間研究開発投資誘発効果（財政支出の効率化）

当初見込み	2024年度実績
① 塩分非破壊計測事業の将来的な価値に対する投資家の理解を得るために、ニュートロン次世代システム技術研究組合T-RANSの協力を得て事業計画を策定すると同時に対外的アピールの場を複数回設け、顧客との直接対話につなげる。	① T-RANSの協力により、事業計画を策定した。また、土木学会全国大会、日本道路会議、北陸橋梁保全会議、メンテナンスレジリエンス、EE東北などでRANS-μの有用性を対外的にアピールした。その結果、合計1道1都19県72橋177ヶ所（コンクリート上部工126、下部工51）の計測を実施した。
② ベンチャーキャピタルVC及び金融機関に直接働きかけ、本事業の将来的な価値に対する理解を得る。	② 計11社の投資家（VC7社、銀行3社、事業会社2社）に対して事業の説明を行い、投資に向けての打ち合わせを継続中である。これらの活動により、VC1社から投資が得られることとなった。

② 民間からの貢献度（マッチングファンド）

- 本課題において、社会インフラにおける「メンテナンスサイクル」の「点検」部分の「計測」新技術としての「中性子線による橋梁内部塩分濃度の非破壊計測」を実現し、構造物表面から内部にわたる塩分濃度3次元マッピングを可能とする技術開発ならびに実用化、社会実装を着実に進めるため、中性子塩分計RANS-μの研究開発時より共同で進めている2者、「オリエンタル白石(株)」ならびに「ニュートロン次世代システム技術研究組合T-RANS（国土交通大臣認可）」、さらに本課題開始年に創立した、理研発スタートアップ「(株)ランズビュー」がそれぞれ下記の役割で多大な貢献を行っている。
 - (1) オリエンタル白石(株): RANS-μ高度化開発ならびに、現場計測（脱塩工法実施現場）、自治体（大田区2023年度計測）計測などを担当
 - (2) 技術研究組合T-RANS: 標準化の取り組みを担当。自治体（大田区2023年度）、RANS-μ計測士、講習実習、認定委員会等（2024年度18名認定）。RANS-μの計測事業参加等を希望した企業が組合員として12企業参加増員（2023年度初頭 9組合員（7企業）→2024年度末 20組合員（18企業））。点検支援技術性能カタログのアップデート。展示会（メンテナンスレジリエンス東京2023、2024）出展。
 - (3) (株)ランズビュー: 研究員1名出向。研究内容は3次元マッピングの開発（2023年度 週3日、2024年度週1日）。人件費は1,706千円。受注額は19,000千円。
- 実橋梁計測ならびにフィードバック：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）の実橋梁計測は、（1）、（2）、（3）の3者による。