

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 研究開発とSociety 5.0との橋渡しプログラム (BRIDGE)

研究開発等計画書 (令和5年度様式)

令和6年4月
文部科学省

○実施する重点課題に○を記載（複数選択可）

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課題に○を記載（主となるもの）

持続可能なフードチェーン	ヘルスケア	包括的コミュニティ	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	マテリアルの事業化・育成エコ
								○					

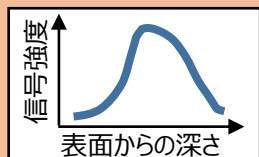
資料1 「対象施策名」の全体像（位置づけ）

次期SIP（第3期）採択課題「スマートインフラマネジメントシステムの構築」におけるサブテーマB「先進的なインフラメンテナンスサイクルの構築」において、中性子線を用いたデータ取得は、インフラメンテナンスのDX化（インフラ構造物のシミュレーション高度化）を実現する要素技術の一つに位置付けられている。本施策では、理研の有する中性子線による構造物内部の塩分計測装置に3Dマッピング機能を付加し、既に事業化の目途が立っている中性子塩分計RANS- μ に搭載することで、非破壊インフラ検査技術の社会実装を加速する。

本提案での実施内容

RANS- μ (RIバース)による塩分非破壊計測

- γ 線による元素分析（中性子誘導即発ガンマ線分析法）
- 深さ方向の塩分濃度と内部構造が、 γ 線スペクトルの形で分かる



グラフで可視化

RANS- μ に適したCT再構築法の開発



CT再構築法に適したRANS- μ の高度化

- ・塩分モデル用シミュレーション
- ・3次元化のプログラム開発

3次元データ構築システム

- 通常、X線CTなどのイメージングで使われる画像再構築技術を応用
- γ 線の減衰量やビーム経路をシミュレーション



3次元マッピングで可視化

塩分濃度 + 橋梁内部鋼材位置
3次元可視化ソリューションの実用化

RANS- μ の他、様々な測定装置での3次元可視化アルゴリズム利用の可能性を開拓

- RANS- μ に搭載し、2023年度4月に設立の事業会社（株ランズビュー）において現場実証実験に着手
- 次期SIPにおけるデジタルデータ駆動型のインフラメンテナンス社会実装を加速

【次期SIPにおける研究開発：スマートインフラマネジメントシステムの構築】

- ・ インフラ・建築物の老朽化が進む中で、デジタルデータにより設計から施工、点検、補修まで一体的な管理を行い、持続可能で魅力ある国土・都市・地域づくりを推進するシステムの構築を目的とする。
- ・ Society5.0の実現に向けて、デジタルツイン構築を開発のコアと考え、インフラメンテナンスサイクル構築技術や、強靱で快適な社会基盤に資する技術を開発する。

Society5.0
の実現

未来のまち

未来のインフラ

未来の建設技術

SIP/PODの提案・意見：久田真教授（東北大学大学院工学研究科・教授インフラ・マネジメント研究センター・センター長）
インフラを適切に維持管理するためには、老朽化が顕在化する前に、未然に状態変化を把握し得る、予防保全技術の社会実装が不可欠である。中性子線による橋梁内部非破壊計測技術は、外観の変状が顕在化する前に内部の状態を把握することが可能であり、予防保全技術としては有望である。また、本技術の特長として、新たな3次元再構築法を現場利用可能な装置に融合させることが可能であり、次期SIPが目指すデジタルデータ駆動型のインフラメンテナンスの具現化に貢献し得るものであり、社会実装に至る装置開発課題として期待される。

【背景・現状・課題】

沿岸や山間部の橋梁などで深刻化している塩害は、落橋などの重大事故につながる恐れがある。構造物の劣化診断による予防保全が実現すれば、このような事故を未然に防ぎ、橋梁の長寿命化やメンテナンスコストの削減にもつながる。高度成長期時代に建設したインフラ構造物の老朽化が加速する中で、構造物の性能や劣化等の診断技術、点検・診断から補修・補強に至る各種技術の維持管理システムへの組込は十分に行われていない。予防保全の実現に向けては、非破壊による塩分濃度計測を含むインフラ構造物の点検・モニタリング技術の進展が強く望まれている。

【施策内容】

RI線源を利用した中性子塩分計（RANS- μ ）の計測結果とCT再構築法を組み合わせ、橋梁等のインフラ構造物内部の塩分濃度分布や鋼材位置をマッピング・可視化する3次元データ構築システムを開発する。よりCT再構築法に適した計測を行えるよう、RANS- μ に搭載する検出器・遮蔽等装置側の高度化も並行して実施する。

【研究開発等の目標】

- CT再構築法を中性子非破壊検査技術に応用し、3次元データ構築システムをRANS- μ へ実装する。
- 同システムを搭載したRANS- μ による実橋梁試験を実施し、スタートアップによる事業化に向けた目途をつける。
- 予防保全のための先進的なインフラメンテナンスサイクルの導入に資する技術開発を加速する。

【社会実装の目標】

- 実証成果等については、インフラメンテナンス現場での活用に向け、点検支援技術性能カタログ（国土交通省）やコンクリート橋の塩害に関する特定点検要領（土木研究所）、ガイドライン等へ反映する。
- スタートアップである(株)ランズビュー社を通じ、日本全国のインフラに対して技術を展開する。

【対象施策の出口戦略】

- 本施策で開発する3次元データ構築システムは、公的研究機関としての管理や活用の在り方を省庁とともに検討をした上で、2023年4月に設立された事業会社「(株)ランズビュー」による事業化を予定。(株)ランズビューも本施策の実施者となり、理研と強く連携しつつ、社会実装に向けた実証試験を進めていく。
- インフラ非破壊検査システムの3次元化は、国土交通省との連携の下、インフラ老朽化等への対応を目的とした戦略的インフラメンテナンスや、インフラ長寿命化、インフラ分野のDXにかかる施策への反映を目指す。具体的には、国交省における「新道路技術会議」「社会資本メンテナンス戦略小委員会」等で取り上げられるよう図り、「コンクリート橋の塩害に関する特定点検要領（案）」へ非破壊3次元データ取得が含まれることを目指す。

資料3 「対象施策名」のBRIDGEの評価基準への適合性

○統合イノベーション戦略や各種戦略等との整合性

国土強靱化に向けた効率的なインフラマネジメントの実現と、デジタル化・3D化されたインフラデータを活用したデジタルツインの構築や将来予測・全体最適化のシミュレーション技術の重要性は、総合イノベーション戦略2022における「レジリエントで安全・安心な社会の構築」にも「インフラ分野の強靱化」として位置付けられている。

○重点課題要件との整合性

次期SIP（SIP第3期）課題の一つである「スマートインフラマネジメントシステムの構築」における研究開発テーマ「デジタルデータ駆動型のインフラメンテナンスサイクルの構築」では、事後保全から予防保全への移行を実現するための、インフラ維持管理・更新・マネジメントにかかる革新技術の開発がミッションとして示されており、要素技術の一つに「中性子線等による非破壊検査技術」も明記されている。本提案はこの中性子非破壊検査技術の社会実装を加速するための新規計測手法を構築するものである。

○SIP型マネジメント体制の構築

研究開発目標を明確にした上で、国土交通省認可の技術研究組合（ニュートロン次世代システム技術研究組合）を土台とする産学連携体制を構築、定期的会合を行うことで、進捗管理や機動的な研究開発計画の見直しを行う。

○民間研究開発投資誘発効果、財政支出の効率化

本施策は、インフラ構造物内を非破壊で3次元CT再構築法により可視化することで劣化発生前の対処を可能にするものであり、現状の事後保全型のインフラメンテナンスを予防保全型に切り替えることに寄与する。これによりインフラの長寿命化・コスト削減を実現し、財政支出を効率化する。国土交通省の試算によれば、国土交通省所管のインフラについて、事後保全型インフラメンテナンスでは、今後20年でライフサイクルコストとして約4.7~5.5兆円と見込まれるのに対し、予防保全型では4.2-4.9兆円であり、20年間で約5,000億円のコスト縮減を実現できる。また、国土交通省所管以外（高速道路会社、地方自治体等）のインフラに展開することでさらなる縮減効果を期待できる。BRIDGE終了後、製品化を進め、成果が波及した将来、上記を実現する。

○民間からの貢献額（マッチングファンド）

1年間での民間企業等からの人的・物的貢献合計として「28,000千円」（総予算の約26%）を目標とする。具体的には、ニュートロン次世代システム技術研究組合、(株)ランズビュー、オリエンタル白石(株)、建設コンサルタント企業等が本施策へ参画予定で、各組織からの人件費・旅費として22,000千円を見込む。物的貢献として、ニュートロン次世代システム技術研究組合、(株)ランズビュー、オリエンタル白石(株)より消耗品費(Cf線源等)6,000千円を見込む。

○想定するユーザー

【ニーズ】インフラ内部を定量的に把握できる技術がなく、厳密な劣化シミュレーション、劣化予測計算が実施できていない。予測精度を高めることでインフラの予防保全を実現し、インフラの長寿命化やコスト削減につなげたい。

【想定ユーザー】(株)ランズビュー、オリエンタル白石(株)、パシフィックコンサルタンツ(株)、(株)福山コンサルタント、大日本コンサルタント(株)

資料4 イノベーション化に向けた工程表

BRIDGE実施期間

1年目

2年目

実施事業

- ガンマ線3次元データ再構築検討ならびに γ 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 高度化検討ならびに検出器高S/N高度化開発
- 遮蔽(γ 線)形状変更シミュレーション検討ならびに遮蔽試作(検出器、遮蔽体部)
- 橋梁塩分計測のフィードバック
- シミュレーションによるビーム経路の推定法構築
- 実橋梁における橋梁塩分計測による現場対応高度化

実施事業

- RANS- μ 塩分3次元マッピング用位置分解能高度化開発
- ビーム経路の推定法の結果に基づく3次元マッピング構築法の開発および実装トライアル
- 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
- 実橋梁における橋梁塩分計測による3次元マッピング現場対応トライアル



出口戦略

国交省への働きかけ:

- 「点検支援技術性能カタログ」へRANS- μ 3次元マッピングの申請準備
- 「コンクリート橋の塩害に関する特定点検要領(案)」へのRANS- μ 掲載、ならびに「道路橋定期点検要領」に特定点検要領を参考資料の位置づけにすることを旨す

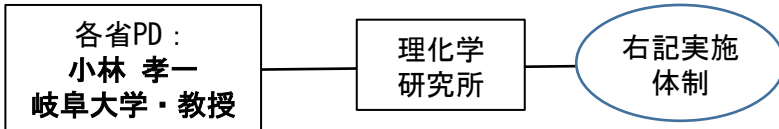
各省庁の施策

実施後

- (株)ランズビューによる事業化、現場実証支援
- 国交省におけるインフラ老朽化対応等を目的とした戦略的インフラメンテナンスや、インフラ長寿命化、インフラ分野のDXにかかる施策へ反映

中性子のみならず、X線CT(特に工業用)でのアルゴリズム利用の可能性も開拓

実施体制



【公募を実施しない理由】

本施策では、中性子線で構造物内部の塩分濃度を計測する装置（RANS- μ ）に対し、3次元マッピング機能の付与によって同装置を高度化することで、橋梁等の検査技術の社会実装を加速する。したがって本施策の実施にあたっては、RANS- μ を開発し中性子関連技術の豊富な知見をもつ理研が中心となり、下記の民間企業2社と協働することが不可欠である。そのため、公募を実施する状況にはない。

（株）ランズビュー：理研と共同でRANS- μ による現場計測の展開を目指し2023年4月に設立。本技術の社会実装に向けて、理研よりRANS- μ に関する知財のライセンスを受ける予定。また、RANS- μ の高度化開発について、理研との共同研究での実施を計画している。

オリエンタル白石（株）：2021年に理研と共同でRANS- μ を開発。2022年度以降は非破壊検査装置として橋梁への試験適用を開始し、RANS- μ の実用化を目指している。

◆ 対象施策実施体制

①RANS- μ 高度化CT再構築法による塩分濃度3次元マッピング実用化 理化学研究所 光量子工学研究センター

中性子ビーム技術開発チーム・大竹 淑恵
実施事項：
・中性子線塩分計RANS- μ 3次元高度化開発
・CT再構築法による塩分濃度3次元マッピング実用化

（株）ランズビュー・高村 正人
実施事項：
・RANS- μ 実橋梁計測
・RANS- μ 3次元マッピング実装

②RANS- μ 実橋梁計測／脱塩橋梁計測、計測結果フィードバック ニュートロン次世代システム技術研究組合

オリエンタル白石（株）・大石 龍太郎
実施事項：RANS- μ 脱塩処置後橋梁計測

建設コンサルティング会社3社（想定）

【PD変更理由】

当初PDを依頼していた東北大学・久田教授から、他の業務との兼合いを理由に辞意を承った。久田教授より推薦のあった岐阜大学・小林教授は、コンクリート工学会（JCI）『中性子線を用いたコンクリートの検査・診断に関する研究委員会』委員長を務められ、同分野における第一人者である。また久田教授とも関係が深いため、SIP課題とも問題なく連携可能である。

資料6 「対象施策名」の目標及び達成状況(1年目)

○施策全体の目標：

イメージング技術として利用されている3次元CT再構築法を、すでに実橋梁で非破壊塩分計測に成功している中性子塩分計RANS- μ に適用する。さらに、厳密解法による新たな3次元CT再構築法を塩分計測（中性子誘導 γ 線分析法）と融合させることにより、橋梁内部の塩分ならびに鋼材位置を含んだ3次元内部構造について、現場での可視化を可能とする。従来イメージングデータにのみ適用されていた近似CT再構築法に対し、理研で開発に成功した厳密解法は、イメージングデータではない解析後の3次元 γ 線分布に対して適応が可能となり、これまでの中性子塩分計の現場利用及び社会実装がさらに加速的実現可能となる。

テーマ等（※個別に目標を設定している場合）	当年度目標	目標の達成状況（年度末報告）
① RANS- μ 3次元内部構造マッピングのための基礎技術構築	<ul style="list-style-type: none"> 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 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 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート組成に関する特性を拘束条件として課した場合での3次元データ再構築のための逆問題の数学的定式化を行った（3次元マッピングを目指したRANS-μ 高度化検討を含む） 各元素に対応可能な3次元アルゴリズムのための定式化を行った 従来法との比較により塩分濃度解析手法へのフィードバックを行い、ガンマ線検出法高度化の検討を行った
②RANS- μ 高度化（ガンマ線検出法高度化）	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート内中性子分布計算による試験的ガンマ線分布シミュレーション環境を開発した
③RANS- μ による実橋梁計測	<ul style="list-style-type: none"> 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（技術研究組合）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 ※RANS-μ による非破壊計測は㈱ランズビュー主体、計測データ検証のための破壊計測は必要に応じてオリエンタル白石主体で実施し、非破壊計測結果と破壊計測結果の比較検討結果を、RANS-μ でのγ線検出の高度化にフィードバックする。 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 	<ul style="list-style-type: none"> 山形県 A橋（山間部） 上下部工計 4 箇所 富山県 B橋（海岸沿い） 上部工 計 3 箇所 神奈川県 C橋（海岸沿い）（脱塩工事前） 上部工計 6 箇所 大田区 仲之橋（呑川） 下部工 計 2 箇所計測 山形県 D橋（海岸沿い） 上部工 計 2 箇所 山形県 E橋（海岸近く） 上部工 計 2 箇所 山形県 F橋（海岸近く） 上部工 計 2 箇所 静岡県 G橋（海岸沿い） 上部工 計 1 箇所 静岡県 H橋（海岸沿い） 上部工 計 2 箇所 計：1都4県 9橋 24箇所（脱塩処理橋梁における脱塩前後の塩分計測を含む）を計測しフィードバックを行った

資料6 「対象施策名」の目標及び達成状況(2年目)

○施策全体の目標：

イメージング技術として利用されている3次元CT再構築法を、すでに実橋梁で非破壊塩分計測に成功している中性子塩分計RANS- μ に適用する。さらに、厳密解法による新たな3次元CT再構築法を塩分計測（中性子誘導 γ 線分析法）と融合させることにより、3Dマッピングの社会実装に向けて、特に橋梁内部の塩分ならびに鋼材位置を含んだ3次元内部構造について、現場での可視化に向けた開発を重点的に行う。従来イメージングデータにのみ適用されていた近似CT再構築法に対し、理研で開発に成功した厳密解法は、イメージングデータではない解析後の3次元 γ 線分布に対して適応が可能となり、これまでの中性子塩分計の現場利用及び社会実装がさらに加速的に実現可能となる。

テーマ等（※個別に目標を設定している場合）	当年度目標	目標の達成状況（年度末報告）
① RANS- μ 3次元内部構造マッピングのための基礎技術構築	<ul style="list-style-type: none"> • 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 • 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 	—
②RANS- μ 高度化（ガンマ線検出法高度化）	<ul style="list-style-type: none"> • 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γ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 	—
③RANS- μ による実橋梁計測	<ul style="list-style-type: none"> • 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 	—