

## 道路政策の質の向上に資する技術研究開発

## 【研究状況報告書（2年目の研究対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）		所属		役職
	大竹淑恵		国立研究開発法人理化学研究所		チームリーダー
②研究テーマ	名称	中性子によるコンクリート塩分濃度非破壊検査の技術研究開発			
	政策	[主領域] 領域8 道路資産の保全	公募	タイプII	
	テーマ	[副テーマ]	タイプ		
③研究経費（単位：万円）	令和2年度	令和3年度	令和4年度	総合計	
※R2は精算額、R3は受託額、R4は計画額を記入。端数切捨。	2549万円	3199万円	3000万円	8748万円	
④研究者氏名	（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）				
氏名	所属・役職				
高村正人	国立研究開発法人理化学研究所・上級研究員				
若林泰生	国立研究開発法人理化学研究所・研究員				
Yan Mingfei	国立研究開発法人理化学研究所・特別研究員（本課題雇用）				
大石龍太郎	オリエンタル白石(株)・取締役執行役員				
渡瀬博	オリエンタル白石(株)・技術研究所長				
⑤研究の目的・目標	（提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入。）				
<p>橋梁など多くのインフラコンクリート構造物が、沿岸からの海風や山間部で散布される凍結抑制剤に含まれる塩分の浸透により鉄筋が腐食する塩害を受けており、海外で甚大な被害をもたらしている落橋などの重大事故が日本でも懸念されている。そのため、鉄筋腐食に直接結びつくコンクリート中の塩分濃度を、鋼材腐食開始塩分濃度<math>1.2\text{kg/m}^3</math>といった必要な精度で計測することは極めて重要であるが、従来のコア採取法やドリル粉採取では、構造物を傷める、採取箇所に制限がある、その場で分析出来ないなど問題点がある。本研究では、それらを解消すべく、カリフォルニウム中性子線源(Cf線源)、および、中性子誘導ガンマ線元素分析を利用した、非破壊でその場で塩分濃度を定量評価可能な、ポータブル(橋梁点検車両に搭載可能な)中性子塩分濃度計の開発を目的とする。本研究期間内(R2~R4)では、実橋梁に対して、<math>3.75\text{MBq}</math>以下のCf線源を使用し、表面から深さ7cmにおいて塩分濃度<math>1.0\pm 0.2\text{kg/m}^3</math>を1時間で検出可能な、中性子ポータブル塩分濃度計の実現を目標とする。</p>					

## ⑥これまでの研究経過

### <R3年度の研究目標の達成状況>

R3年度 研究項目	R3年度 研究達成目標	達成状況
(1) Cf線源およびアンチコンプトンシールド法の開発	①S/N比高度化(アンチコンプトンシールド法)の確立 ②放射線拡散抑制システム構築(線源遮蔽設計など) ③①・②に基づいた計測機器小型化に向けたシステム設計 ④スペクトル分析手法の確立	◎ ◎ ◎ ○
(2)中性子ポータブル塩分計の試作	①機器設計(ポータブル、人力操作、多方向性) ②プロトタイプを用いた検証実験、性能確認	◎ ◎
(3)塩分濃度分解能の検証	①プロトタイプによる室内・屋外試験による性能評価 ②計測技術の実用性や解析技術などの検証	◎ ○

### <研究目標の達成状況の根拠>

[(1)-①]: アンチコインシデンスセンサー[BGOシンチレータ(以下、BGO)16本+相対効率10%Ge検出器]を用いてアンチコンプトンシールド法を確立し、約30%のS/N比向上を確認した。最終形のアンチコインシデンスセンサー[BGO25本+相対効率50%Ge検出器]では、R3年度内に約50%のS/N比向上を得る予定であり、これにより計測時間・精度の最終目標達成の見込みとなった。→意見(A)(下記)に対応

[(1)-②]: 放射線輸送シミュレーションや屋外計測実績を元に、放射線安全性を確保し、約30kgの軽量化を実現した計測システムの構築に成功し、実用に至る目途がたった。→(A)に対応

[(1)-③]: データ解析システム(塩分濃度検査システム)の最適設計により、塩分濃度検出信号の取得解析機器等の1/4の小型・軽量化を実現した。→(A)に対応

[(1)-④]: ガンマ線エネルギースペクトル上の塩素を示すピーク(1165, 1951, 6111keV)の検量線データを用いる手法を開発し、これにより塩分濃度取得法確立の見込みとなった。→(A)に対応

[(2)-①]: ポータブルで人力操作可能な、多方向性機能持つ塩分計筐体を製作した。福島ロボットテストフィールドでの橋梁点検車(バケット式、歩廊式)への搭載試験を行い、道路管理者や筐体製作者と、解決すべき点(測定面へ近づけられる距離、測定面への固定方法、筐体のバケット(歩廊)への固定方法、バケット(歩廊)上での揺れに対する対策、組立時間短縮)を確認した。→意見(B)(C)(D)に対応

[(2)-②]: 検証実験、性能確認を実施した。結果については[(3)-②]に後述。→(B)(C)(D)に対応

[(3)-①]: 50%Ge検出器、および、塩分濃度1.8kg/m<sup>3</sup>の厚さ3cmコンクリートプレートを用いた室内試験により、深さ9cm(7.5±1.5cm)に存在する塩分濃度1.8kg/m<sup>3</sup>の検出に成功した。本検証結果より、(1)-①～④の成果により、数値目標達成が可能であることが分かった。→(A)に対応

[(3)-②]: 土木研究所の屋外撤去橋梁施設での塩害を受けた撤去橋梁の測定を行った。塩分計測定箇所採取したドリル粉分析による塩分濃度と比較を行い、同等の結果を得た。また、福島ロボットテストフィールド試験橋梁にて、塩分濃度3kg/m<sup>3</sup>のコンクリートプレートを耳桁に設置し、バケット上にて塩分測定を行い、室内試験と同等の結果を得た。室内試験やドリル粉分析と同等の結果を得ることで、計測技術・解析技術の実用性を示した。→(B)(C)(D)に対応

数値目標: かぶり7cmにおいて塩分濃度1.0±0.2kg/m<sup>3</sup>を1時間で検出。

1年目中間評価意見(A)「順調だが、Cf線源およびアンチコンプトンシールド法、あるいは塩分濃度分解能の検証に未検討の部分がある」

(B)「屋外用のポータブル計測器の試作等の面では、引き続き、現場での詳細な検討が不可欠であり、不透明な部分もある」

(C)「研究開発は順調に進んでいるが、実現場での省力化・適用条件等を含めた実用化に向けた研究開発を進める必要があることから、指摘事項に留意しながら推進することが妥当であると評価する」

(D)「今後塩分計を開発するにあたり解決すべき点(近づけられる距離、振動など)を具体的に示し、それぞれの解決の見通しを立てていただきたい」

(E)「点検支援技術性能カタログへの掲載を目指すとともに、掲載後に広く点検に使われるための運用方法についても検討いただきたい」→P.3⑧に対応を記載。

(F)「引き続き道路管理者と十分に意見交換を行い、計測時間、計測箇所の選定、計測精度などの実務上必要となる条件を常に明確にしながら開発を進めていただきたい」→道路管理者(東北地整、東北技術事務所、国総研、本省)と主に土木研究所や福島ロボットテストフィールドでの屋外試験に関する打合せ、屋外試験現場確認を行った。

## ⑦研究成果の発表状況

<プレスリリース> 若林泰生 ほか, “超小型非破壊検査装置「中性子塩分計RANS- $\mu$ 」を開発”, 2021年10月14日 理化学研究所 オリエンタル白石 ※2021年12月24日現在の掲載誌: JIJI.COM (Web)、建設通信、日経クロステック (Web)、橋梁新聞、検査機器ニュース、産経新聞、しんぶん赤旗

<原著論文> ①Y. Wakabayashi et al., Journal of Neutron Research, Vol. 23, No. 2-3, pp.207-213, (2021).  
②若林泰生 ほか, 日本コンクリート工学会「中性子線を用いたコンクリートの検査・診断に関するシンポジウム」論文集, pp.202-209, (2021).

<口頭発表> ①若林泰生 ほか, ニュートロン次世代システム技術研究組合, 第3回研究会, 大洗 茨城, 11月12日, (2021).  
②若林泰生 ほか, 日本コンクリート工学会, 中性子線を用いたコンクリートの検査・診断に関するシンポジウム, 千代田 東京 (Web開催), 9月27日, (2021).  
③Y. Wakabayashi et al., The 5th RAP-JCNS Joint Workshop, 和光 埼玉 (Web開催), 6月10日, (2021).  
④若林泰生 ほか, 理研シンポジウム「小さいよ見えてきた小型中性子源の現場利用と拓けて来たさらなる応用 -コンクリート反射イメージングから宇宙へ-」, 和光 埼玉 (Web開催), 5月13日, (2021).

<ポスター発表> 若林泰生 ほか, 放射線プロセスシンポジウム実行委員会, 第18回放射線プロセスシンポジウム, 高崎 群馬 (オンライン開催), 11月16日, (2021).

<学術表彰など> 若林泰生 ほか, 第18回放射線プロセスシンポジウムポスターセッション 最優秀賞, 11月17日, (2021).

<著書・解説など> 若林泰生 ほか, 月刊検査技術, 2月号, (2022). (執筆中。2月号掲載予定)

## ⑧研究成果の活用方策

- ・土木研究所の撤去橋梁施設における実橋梁の撤去部分における塩分検出、塩分調整したコンクリートプレートを利用した福島RTFでの試験橋梁における橋梁点検車を用いた塩分検出を可能とした。
- ・「コンクリート橋の塩害に関する特定点検要領(案)」に掲載し、活用を図る。
- ・「道路橋点検支援技術性能カタログ」に掲載し、活用を図る。
- ・ニュートロン次世代システム技術研究組合 (中性子を利用したインフラ構造物の非破壊検査装置の開発を目的に、国土交通省の認可を受け、土木研究所との共同研究協定を締結) の組合員には点検コンサルタント、塩害補修建設会社があり、それらの会社による全国展開を図る。
- ・理研鼎業 (理化学研究所のベンチャー企業) による装置販売、リース、その他のサービス業務を行う。

## ⑨特記事項

(1) 上記⑦の研究成果発表状況に記載したように、プレスリリースに伴う記者発表を行った際、10社以上のマスコミが会見に参加し、その後、複数社で記事掲載いただいた。また、同様に⑦記載の、第18回放射線プロセスシンポジウムポスターセッションにて最優秀賞になるなど、インパクトが強い研究である。

(2) 土木研究所の屋外施設での塩分測定や、福島RTFの試験橋梁にて橋梁点検車を使用した塩分測定を行い、塩分検出が可能であることを示し、実橋梁での測定の見通しがたった。

(3) 自己評価としては、研究開発は3年間の計画通り進んでおり、3年目においては、実橋梁にて東北地整道路管理課、国総研、土木研究所とともに操作性や精度等を検証することで実用化を図っていく。