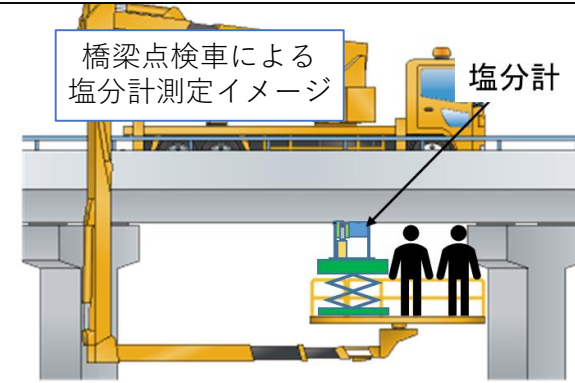


# 研究名：中性子によるコンクリート塩分濃度非破壊検査の技術研究開発

- ・体制：理化学研究所、オリエンタル白石 担当：東北地方整備局  
連携：ニュートロン次世代システム技術研究組合（T-RANS）、土木研究所
- ・目的：橋梁塩害予防のために、塩分濃度を現場で非破壊で測定・分析・評価できる橋梁点検車に搭載可能な中性子塩分濃度計（塩分計）の開発
- ・数値目標：表面から7cm奥まで塩分濃度 $1.0 \pm 0.2\text{kg/m}^3$ (精度20%)非破壊検出  
計測時間：15分@かぶり3cm、1時間@かぶり7cm サイズ：100x80cm以内、重量：100kg以下
- ・背景：塩害に対する補修費の削減、長寿命化の要請→事後保全から予防保全へ。



## R3年度研究 進捗ハイライト

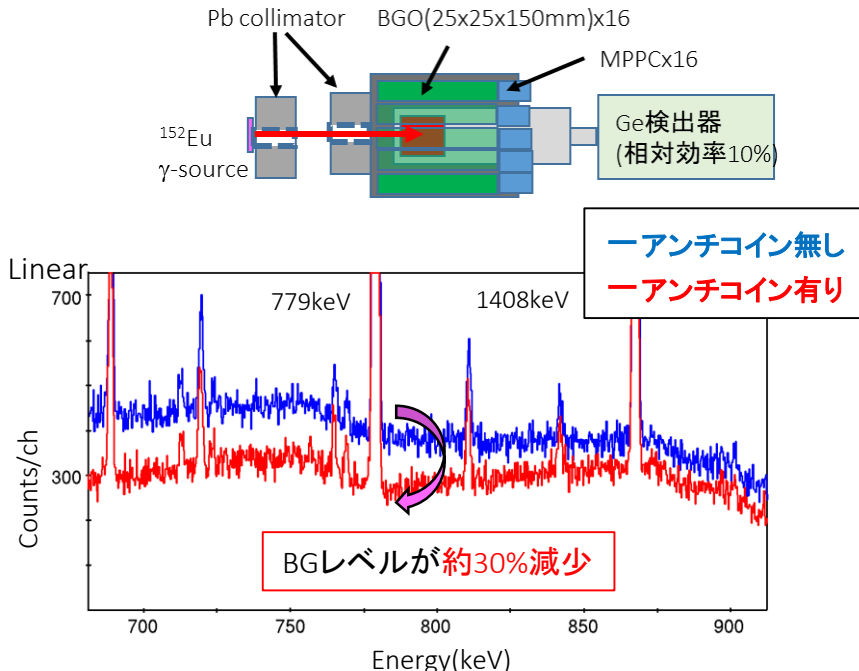
塩分計の重さ、大きさ、操作性、安全性等について、土木研究所の撤去橋梁施設や福島ロボットテストフィールドにて検証を行い、ポータブルで人力操作可能な、多方向性機能を有する塩分計を試作し、屋外で中性子による非破壊での塩分計測に世界で初めて成功した。（理研・オリエンタル白石でプレスリリースを行い、それに伴う記者発表時に10社以上参加し、これまで7紙に記事掲載があった。）

具体的には、

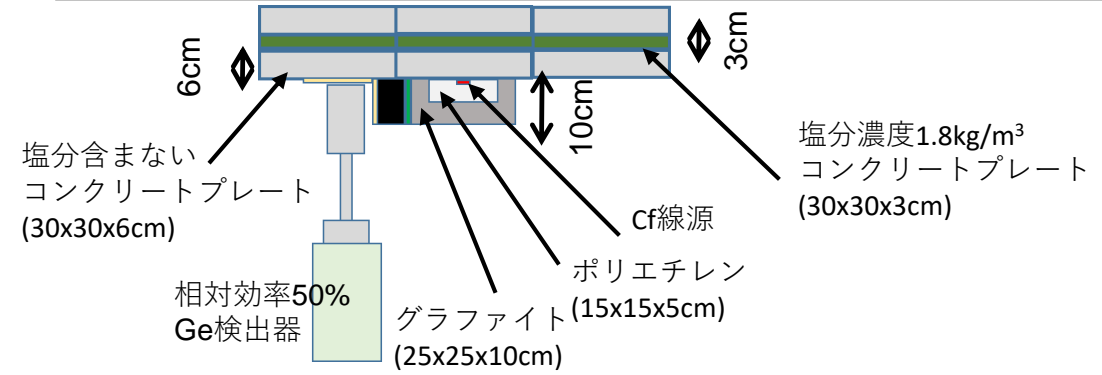
- ・塩分濃度検出感度は、相対効率50%Ge検出器を使用し、深さ9cm( $7.5 \pm 1.5\text{cm}$ )に存在する塩分濃度 $1.8\text{kg/m}^3$ の検出に成功し、かぶり7cm奥での目標達成の見通しがたった。→P.2に記載
- ・Cf線源遮蔽体を含む、データ計測システムに関して、約30kgの軽量化を実現した。→P.3に掲載
- ・土木研究所の屋外撤去橋梁施設での塩害を受けた撤去橋梁に対する塩分測定を行い、ドリル粉採取による分析結果と同等の結果を得たことで、塩分計の実用性を示した。→P.3に記載
- ・技組（T-RANS）の組合員（パシフィックコンサルタンツ、大日本コンサルタント、福山コンサルタント）らを対象とした見学会などを実施し、点検支援技術性能カタログ(以下、カタログ)掲載に向けた検討を開始した。→P.3に掲載の見学会
- ・本技術の活用促進を図るため、運用方法について提案した。 → P.4に記載の「研究成果活用の取り組み」を参照

研究項目(1)Cf線源およびアンチコンプトンシールド法の開発⇒S/N比向上および遮蔽能強化、(3)塩分濃度分解能の検証

$^{152}\text{Eu}$ 標準ガンマ線源 + BGOシンチレーター16本を用いた  
アンチコンプトンシールド法によるS/N比向上の検証 ※意見(A)に対応



塩分濃度1.8kg/m<sup>3</sup>のコンクリートプレート(厚さ3cm) +  
相対効率50%Ge検出器を用いた塩分濃度分解能の検証 ※意見(A)に対応



- ・高効率Ge検出器調達によるガンマ線検出効率アップ  
相対効率10%→50%
  - ・Cf線源遮蔽構造の最適化計算による軽量化  
遮蔽体の総重量：約54kg→約21kg
- ↓
- 検出感度の検証結果 (R2年度→R3年度)
- ・塩分濃度感度：3kg/m<sup>3</sup>→1.0 kg/m<sup>3</sup>※
  - ・かぶり深さ：3cm→6cm (深さ7.5±1.5cmの塩分を検出)
  - ・計測時間：1.5時間→1.1時間※ ※：3.7MBqのCf線源の使用を想定した場合

発注中のBGOシンチレーター25本用の  
システム完成によりBGレベル約50%減少が得られる予定。

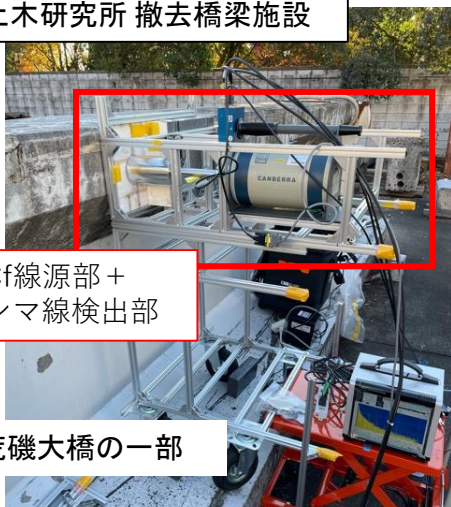
R3年度に発注・製作中のシステム完成、および、  
3.7MBqのCf線源(R4年度前半購入計画)により、  
目標値達成(1.0kg/m<sup>3</sup>、かぶり7cm、1時間)の見通しがたった。

1年目中間評価における意見・指摘事項	
(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。→P.2に記載	
(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) 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。 (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る。	→ P.3に記載した屋外試験により対応
(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する。→P.4に記載	
(F) 道路管理者と十分に意見交換を行い、計測時間、計測箇所を選定、計測精度などの実務上必要となる条件を明確にしながら開発を進める。→P.3に記載の屋外試験に関して主に意見交換を行った。	

研究項目(2)中性子ポータブル塩分濃度計の試作、(3)塩分濃度分解能の検証 → プロトタイプを用いた性能検証

(A)塩害を受けた橋梁の塩分測定、ドリル粉採取との比較

(A)土木研究所 撤去橋梁施設

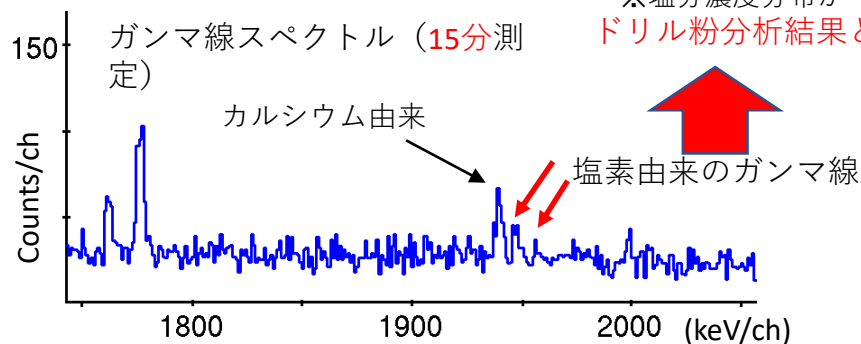


Cf線源部 +  
ガンマ線検出部

荒磯大橋の一部

水平タイプ※垂直も可能  
(Cf線源 & 相対効率50%Ge検出器実装)

塩害を受けた撤去橋梁の屋外塩分測定



塩分計測定箇所付近の  
ドリル粉採取  
byオリエンタル白石



分析結果  
3kg/m<sup>3</sup>以上  
~8.73kg/m<sup>3</sup>

塩分検出確認!!  
5.8 ± 1.6kg/m<sup>3</sup>  
※塩分濃度分布が一定と仮定  
ドリル粉分析結果と矛盾しない

(B)塩分測定、および、バケット(歩廊)に搭載時・計測時の問題点・改良点の洗い出し。

(B)福島ロボットテストフィールド試験橋梁

コンクリート橋の耳桁に3kg/m<sup>3</sup>の  
コンクリートプレートを設置



コンクリートプレート

バケット式橋梁点検車

手回し  
回転機構



水平~垂直自在タイプ  
(Cf線源 & 検出器実装)

バケット上での耳桁の塩分測定 (1時間測定)  
(塩分濃度3kg/m<sup>3</sup>コンクリートプレート使用)

T-RANS見学会



塩分検出確認!! 室内試験と同結果

世界初。屋外ならびにバケット上で、中性子を用いた非破壊での塩分測定に成功!!

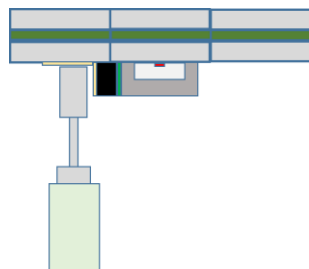
R4年度の実橋梁での測定に向けて、測定面 & 塩分計筐体の固定法や、組立手順(組立時間短縮)を確立する。



# 目標値達成への見通し・取り組み

## R3の検証実験

- ・ 相対効率50%Ge検出器
- ・ 塩分濃度1.8kg/m<sup>3</sup>
- ・ 9cm深さまで (7.5 ± 1.5cm)
- ・ 2時間計測
- ・ 精度30%



・ 屋外およびバケット上での塩分測定成功



R4以降

- ・ 相対効率50%Ge検出器 + BGOシンチレーターの組み合わせを用いた、S/N比向上とガンマ線遮蔽能強化のためのアンチコインシデンスセンサーの改良
- ・ ガンマ線収量増加のためのCf線源遮蔽の改良、
- ・ 塩分濃度導出精度向上のための塩分濃度導出手法の開発、
- などによる計測短時間化 & 高精度化に取り組み、目標値を達成する。

- ・ 塩分計（筐体や計測システム）組立時間の短縮のための改良。
- ・ 実橋梁での測定。

目標値：1 ± 0.2 kg/m <sup>3</sup>	
かぶり3cm	かぶり7cm
15分計測で1 ± 0.2kg/m <sup>3</sup>	60分計測で1 ± 0.2kg/m <sup>3</sup>

短時間 + 高精度化へ

短時間化により、1橋梁(1日)あたりの点検箇所数もUP

研究項目	R4年度計画	研究成果活用の取り組み※意見(E)に対応
1) 中性子ポータブル塩分濃度計の試作	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 屋外用試作機改良 (更なるコンパクト化に向けた取り組み、塩分濃度検査システム開発など含む)</li> <li>・ 検証、改良、とりまとめ (組立時間短縮化改良や屋内・屋外試験による性能評価含む)</li> </ul>	「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。
2) Cf線源およびアンチコンプトンシールド法の開発	検証・改良 (50%Ge検出器 + BGOシンチレーター強化など、更なる短時間化・高精度化の取り組み)	「道路橋点検支援技術性能カタログ」に掲載し、活用を図る。
3) 土木研究所撤去橋梁による屋外試験	屋外試験による性能確認 (土木研にて実施予定)	ニュートロン次世代システム技術研究組合による全国展開を図る。
4) 実橋梁での測定トライ	実橋梁試験実施 (時期、場所、計測箇所など、道路管理者と検討の上、実施。)	事業化により装置販売、リース、その他のサービス業務への展開を図る。