

超電導き電システムの営業線稼働

- ・営業線における運用により、1年半以上の安定稼働を確認しました。
- ・大電力が必要な稠密線区において、電圧降下を抑制し、営業列車への安定した電力供給を確認しました。

研究の背景と目的

- 直流電気鉄道における送電損失や電圧降下など送電時の電気抵抗に起因する課題解決に向け、超電導き電システムの開発を進めています。
- 複数線区において超電導き電システムを構築し、営業運転での各種実証試験を行いました。

研究成果

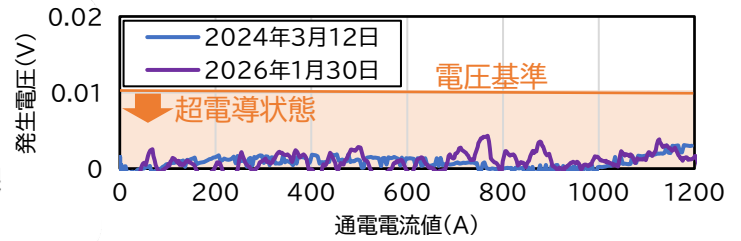
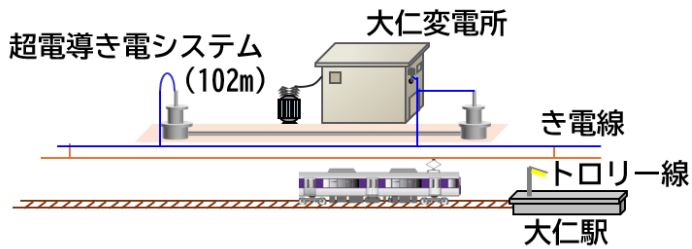
- 単線線区において超電導ケーブル長102mの超電導き電システムを構築し、2024年3月13日より稼働をはじめ、営業列車に電力供給を開始しました。
- ケーブル部での安定した冷却を維持し、超電導状態を良好に保持しながら、5万本以上の営業列車に送電しました。
- 超電導ケーブル408mを含む超電導き電システムを構築し、稠密線区へ接続、始発から終電までの営業列車への電力供給を行いました。
- 複雑なダイヤに基づいて走行する営業列車の力行時や回生時の複雑な電流変化に対応でき、最大で力行時4500A、回生時2889Aの大きな電流値に対しても、電圧降下が抑制されていることを確認し、超電導き電システムの機能を実証しました。

今後の展開

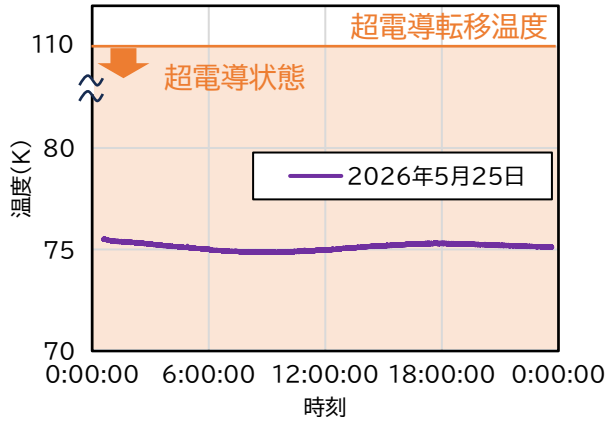
- 長距離送電に向け、ケーブルの接続技術の構築を進め、超電導材料自体の研究や長尺ケーブルの冷却性能向上、保守管理手法の確立などにも取り組み、社会実装に向けた研究開発を推進していきます。

本研究の一部は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

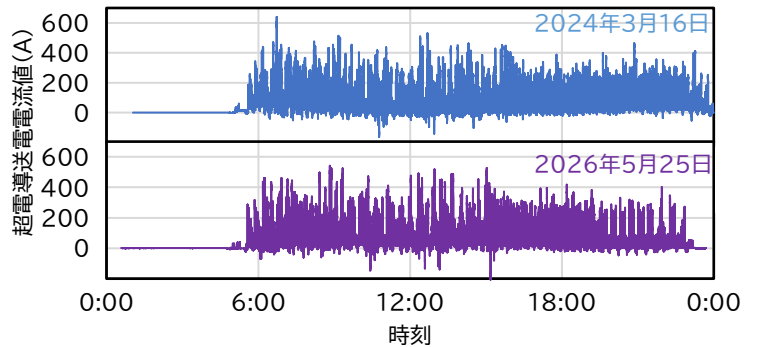
長期耐久性実証



超電導ケーブルの性能確認(導入当初と直近)

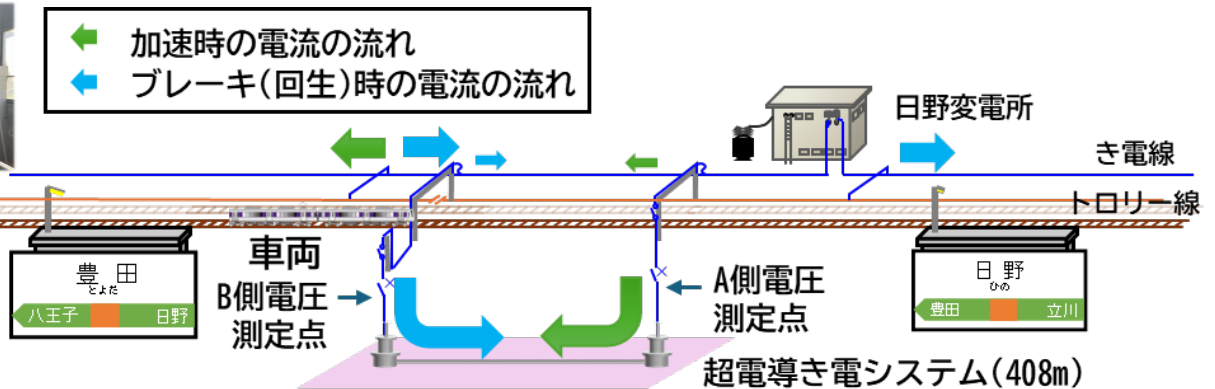


ケーブル部温度の日内推移

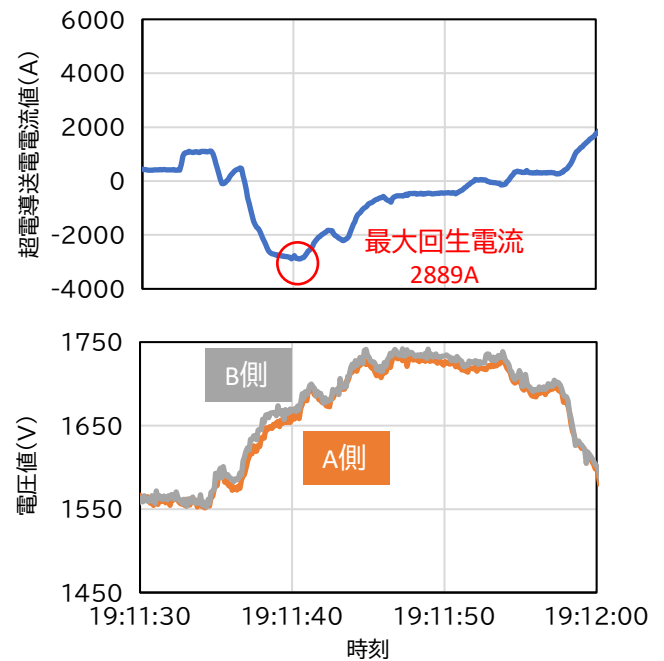


超電導送電電流値の日内推移(導入当初と直近)

稠密線区への適用性実証



力行電力送電時の電流・電圧例



回生電力送電時の電流・電圧例

B-2

超電導材料の製作と 応用機器の開発

- ・超電導材料の製作や各種応用機器の開発を行っています。
- ・小型超電導マグネットや超電導磁気エネルギー貯蔵装置、超電導ケーブルなどの開発を進めています。

研究の背景と目的

- 超電導特性の向上を目的とし、各種材料の製作・評価を実施しています。
- 超電導バルク材の特徴を活かした小型マグネットの開発、超電導線材の特徴を活かしたケーブルやコイルの開発を実施しています。

研究成果

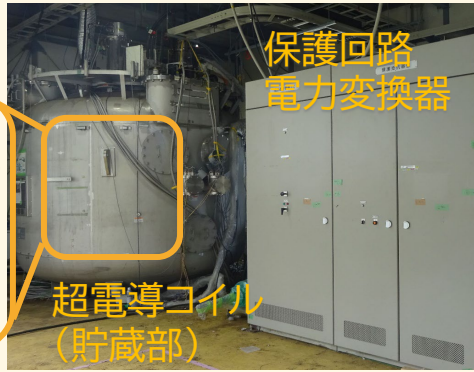
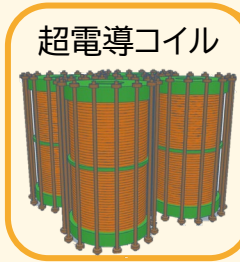
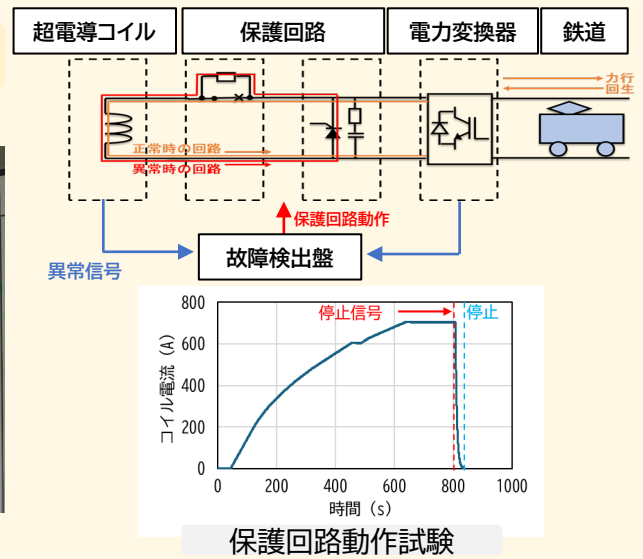
- ガドリニウム(Gd)などを用いた超電導バルク材の製造技術を有し、これを応用した小型超電導マグネットや電流リードなどの機器開発を行っています。これまでに、17Tを超える強い磁場発生に成功しています。この他、ニホウ化マグネシウム(MgB₂)を用いることにより磁場均一性の高い超電導バルク材の開発を実施しています。
- 電気抵抗ゼロで送電可能な超電導き電システムの実現に向け、ケーブル化技術の開発や超電導線材や銅材を複合導体化することで更なる高性能化を図っています。
- 超電導の完全導電性を利用し、超電導コイルに電流を流し続けることで電力を貯蔵する、超電導磁気エネルギー貯蔵装置(SMES)の開発を進めています。超電導線材の導体化技術やコイル巻線技術に加え、コイルを保護するための保護回路や電流の入出力を制御する鉄道用電力変換装置を開発し、保護回路動作試験を実施しました。

今後の展開

- 超電導材料から応用機器の開発まで一貫して進め、鉄道システムの高効率化に貢献していきます。

本研究の一部は、国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)の未来社会創造事業(JPMJMI17A2)の委託を受けて実施しました。

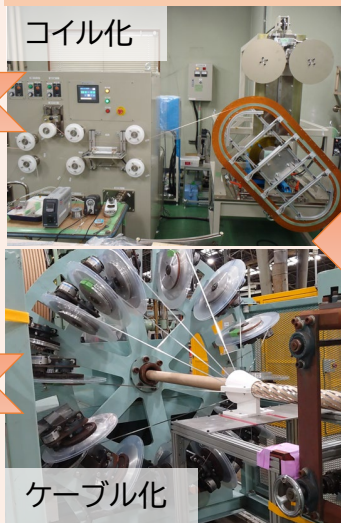
超電導磁気エネルギー貯蔵装置(SMES)



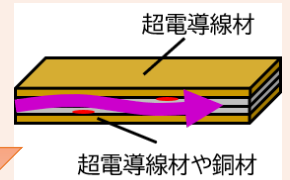
マグネット



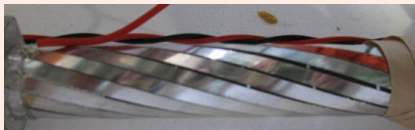
巻線加工



複合導体化



送電線



銅材との複合導体化

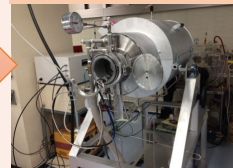
超電導線材



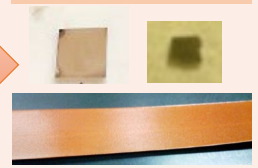
原料塗布



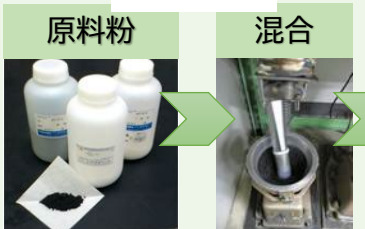
焼成



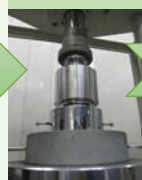
線材



超電導バルク材



プレス



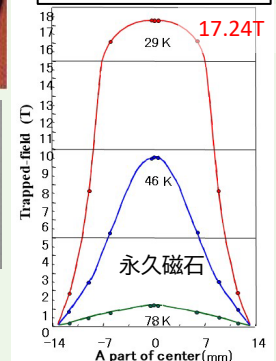
焼成



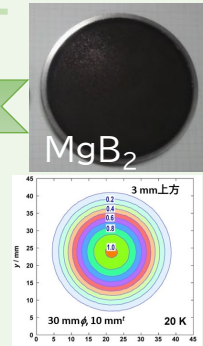
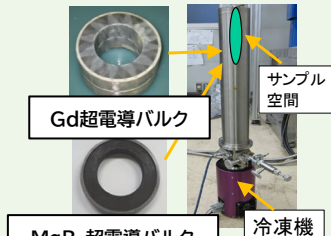
バルク材



高温超電導磁石発生磁場記録



超電導バルク材の応用機器



小型超電導マグネット

M. Tomita, M. Murakami, Nature 421, 517-520 (2003).

B-3

複数の省エネ施策を協調制御する アルゴリズムの開発

直流電気鉄道の既存設備に対して、き電電圧制御や蓄電装置などのさまざまな省エネ施策による効果を、列車運行電力シミュレーターで評価可能としました。

研究の背景と目的

- 直流電気鉄道にき電電圧制御と蓄電装置の両方を適用した場合、整流器から蓄電装置に不要な充電が生じて増エネとなる懸念があります。
- 鉄道運行電力のさらなる省エネによる低炭素化を実現するためには、複数の省エネ施策を協調させて設備を運用する必要があります。

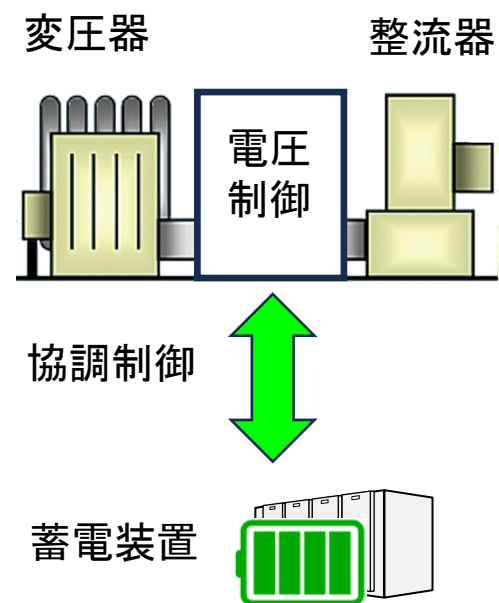
研究成果

- 路線在線本数に応じて、送り出し直流電圧を可変制御する整流器と、充放電開始電圧を可変制御する蓄電装置を、リアルタイムに協調制御するアルゴリズムを開発しました。
- 協調制御アルゴリズムを列車運行電力シミュレータに実装しました。
- 協調制御アルゴリズムによって蓄電装置の不要な充電を回避し、直流電気鉄道のさらなる省エネに貢献できることをシミュレーション結果で示しました。

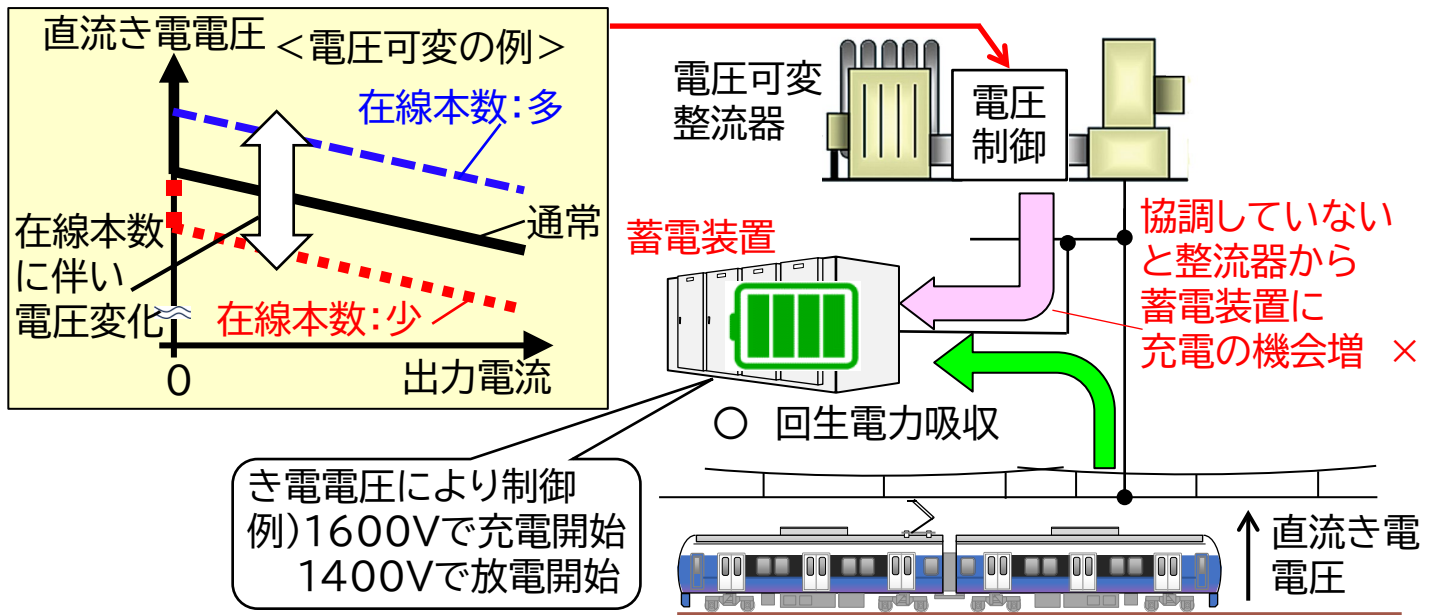
今後の展開

- き電電圧制御や蓄電装置以外の省エネ施策も組み合わせて協調制御するアルゴリズムを検討します。
- 再生可能エネルギー活用施策にも適用可能な、協調制御アルゴリズムの開発を深度化します。

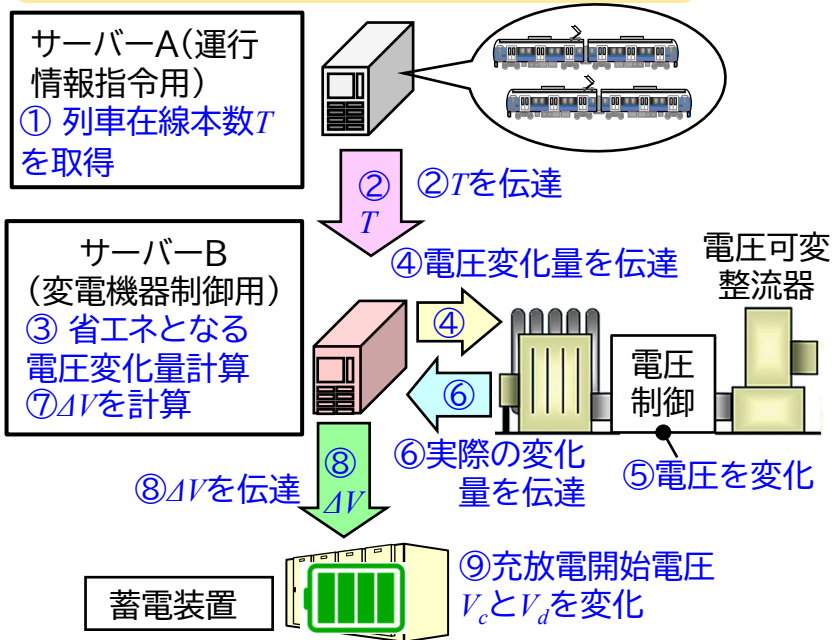
き電電圧と蓄電装置の協調制御



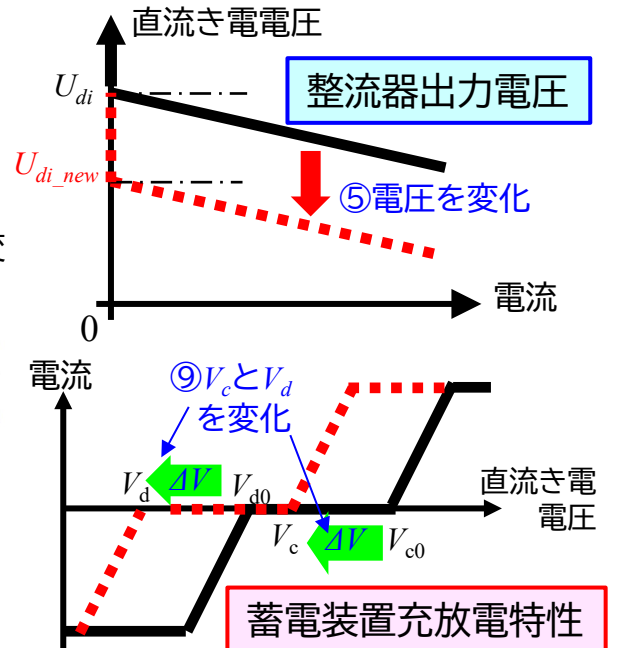
電圧可変整流器と蓄電装置の併用時における課題



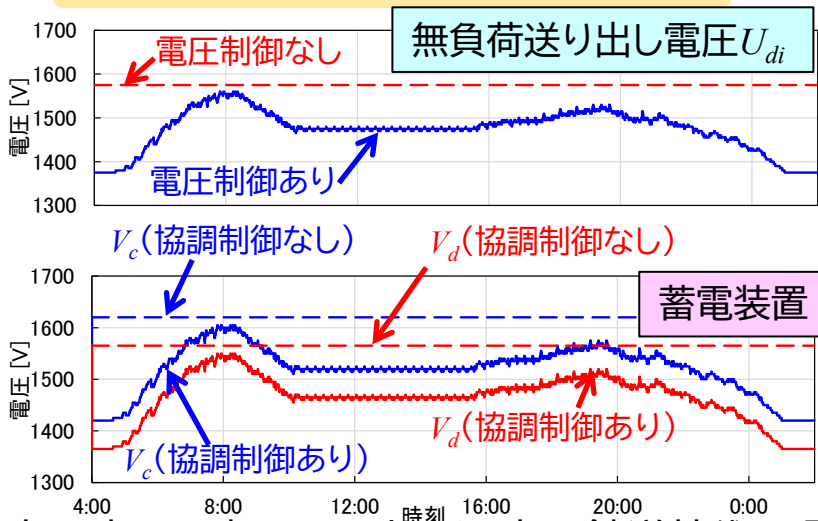
協調制御の流れ



協調制御による各特性の変化

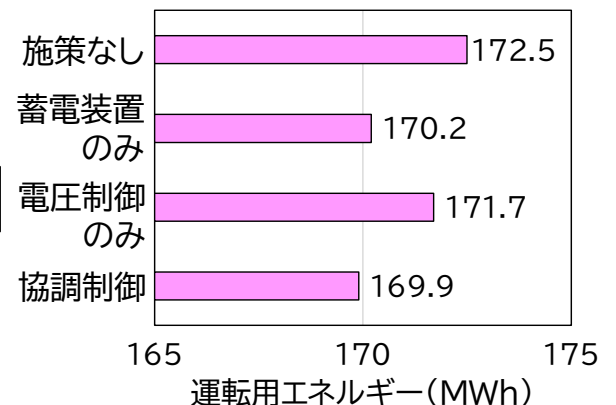


列車在線本数に応じた協調制御



シミュレーションによる省エネ検証

全長約57km、32駅、7両編成、終日ダイヤの条件で列車運転電力シミュレーション実施



本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

B-4

落雷対策に有効な変電所用の 二層接地システム

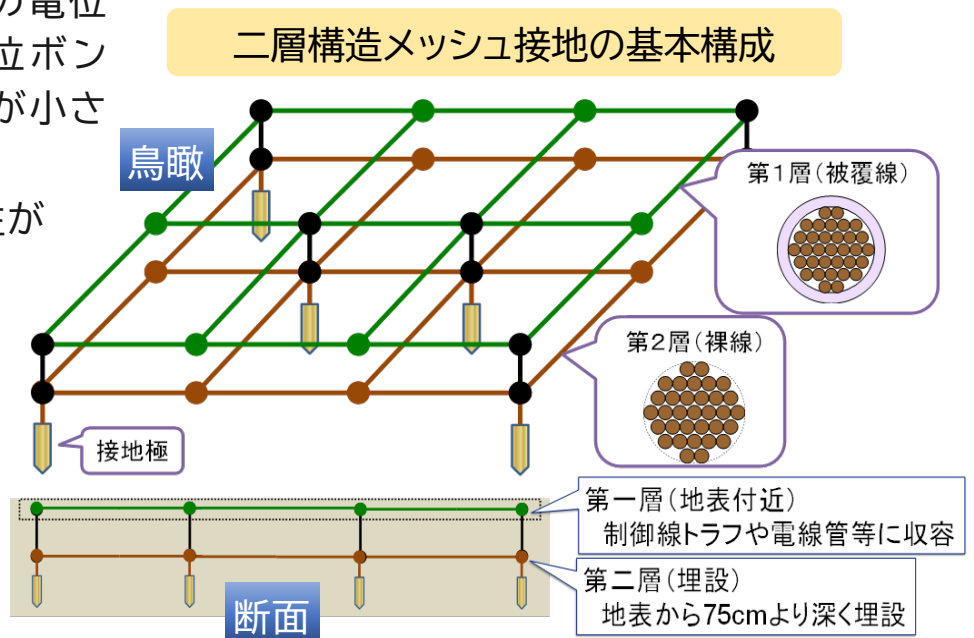
電力設備の制御システムに対する電子機器やネットワーク装置の適用が進み、電力設備の耐雷性向上が重要となっています。耐雷性向上における方策の一つに、接地システムの強化があります。

研究の背景と目的

- 電力設備の雷保護において、メッシュ接地を用いた等電位ボンディングが有効ですが、雷撃時には接地線の高周波特性により、(1)メッシュ接地に過渡的な電位上昇、(2)メッシュ接地内に過渡的な電位差が生じる、という課題がありました。
- そのため、雷撃時に生じる過渡的な電位上昇と電位差を低減可能な、新しいメッシュ接地の構造を検討しました。

研究成果

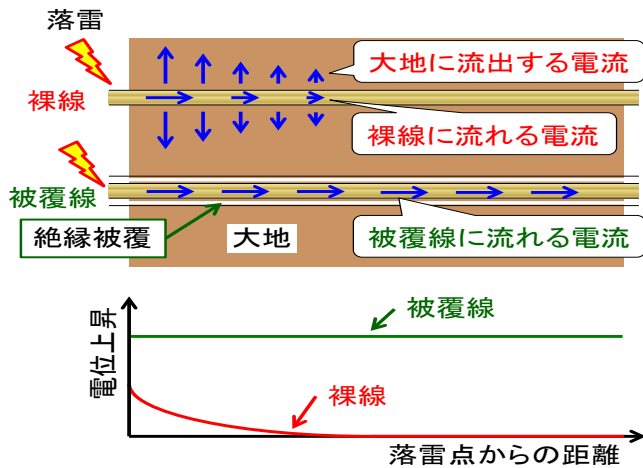
- 第1層(被覆線)と第2層(裸線)から成る二層構造のメッシュ接地を提案しました。
- 被覆線：雷電流通電時の電位上昇が大きい、等電位ボンディングに有利(電位差が小さい)です。
- 裸線：被覆線と逆の特性があります。
- 被覆線と裸線を並列し、両者の長所を兼ね備えた新しいメッシュ接地構造を提案しました。
- 鉄道事業者の雷対策に実用されています



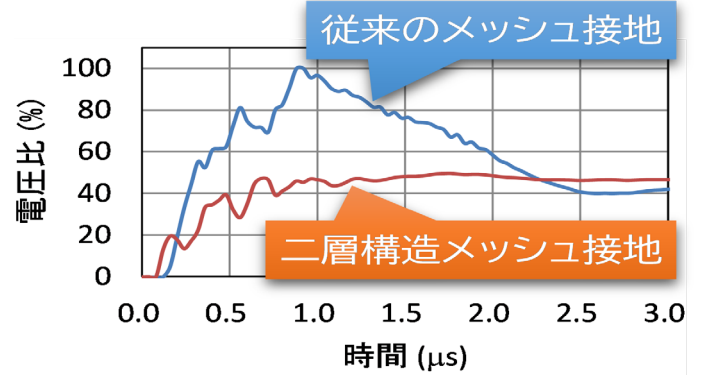
今後の展開

- 既存設備への導入や部分的導入における設備設計に関して検討を深度化します。
- 多雷地区の電力設備への導入提案など社会実装に向けた活動を継続します。

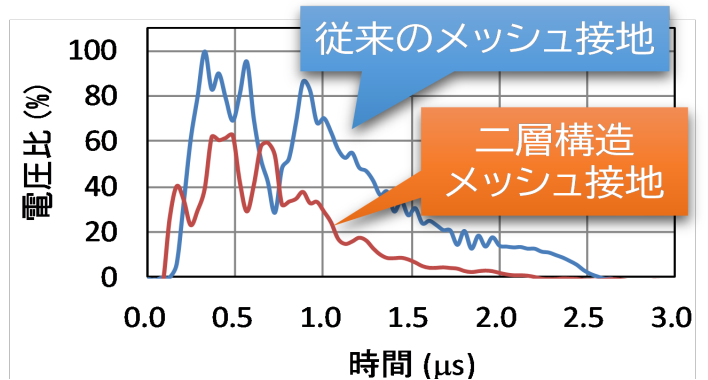
裸線と被覆線の伝搬特性の違い



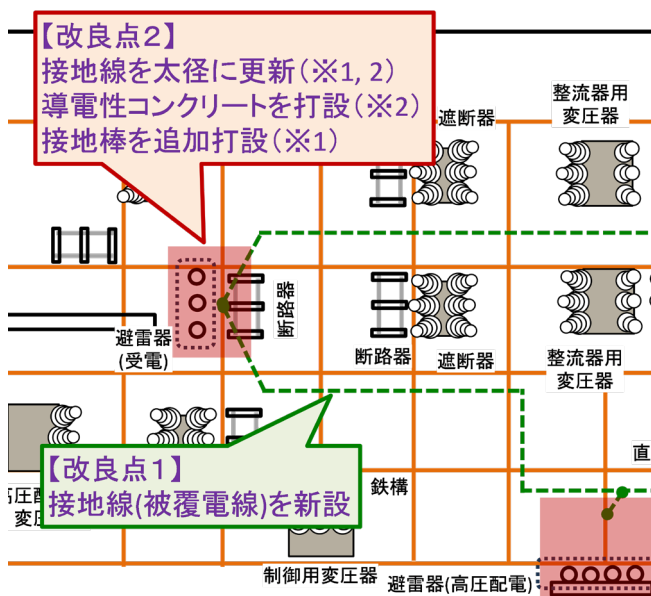
電位上昇の低減効果(実測)



メッシュ接地内電位差の低減効果(実測)



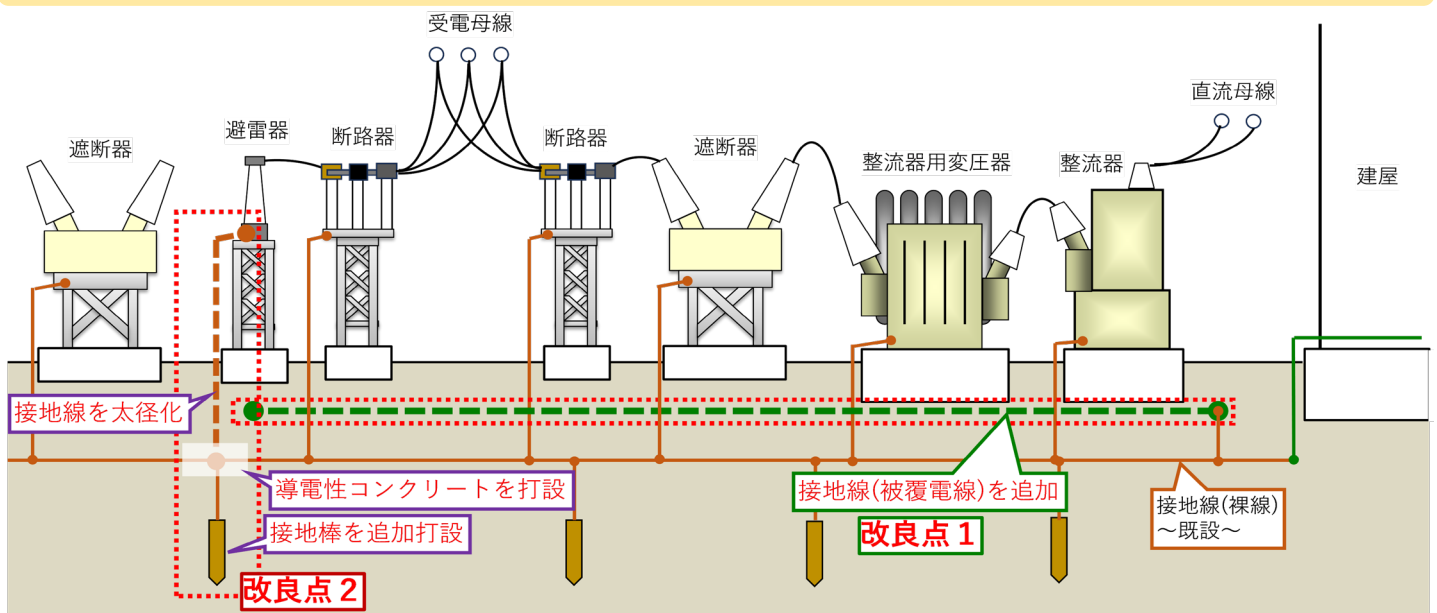
既設設備への導入例(一部)



【文献】(鉄道総研以外による知見も総合し対策)
※1 林屋均, 小口紀男, 山本浩志, 松浦和史: 電気学会論文誌B, Vol. 134, No. 2, pp. 121-126, 2014
※2 K. Yoneda, K. Ito, H. Tanaka, K. Hayashi: Proceedings of ICLP 2026, No.191, 2026-6, 札幌 (will be published in IEEE)

実験用のメッシュ接地で、電位上昇と電位差、双方の低減を確認しました。既存設備に対する対策では、被覆線を部分的に並列するといった簡易的な施工でも一定の効果が期待できます。オプションで、他の対策工事を併用することで、さらに耐雷性を改善できます(左図・下図の改良点2)。

鉄道事業者にて実施した接地システム改良工事の概要(断面イメージの一部)



汎用機器を用いた信号システムの 安全性・セキュリティ確保

信号保安システムで汎用機器やデータセンタを用いる際の安全性・セキュリティ確保について、適用対象の特性に応じて複数の対策手法を提案しました。

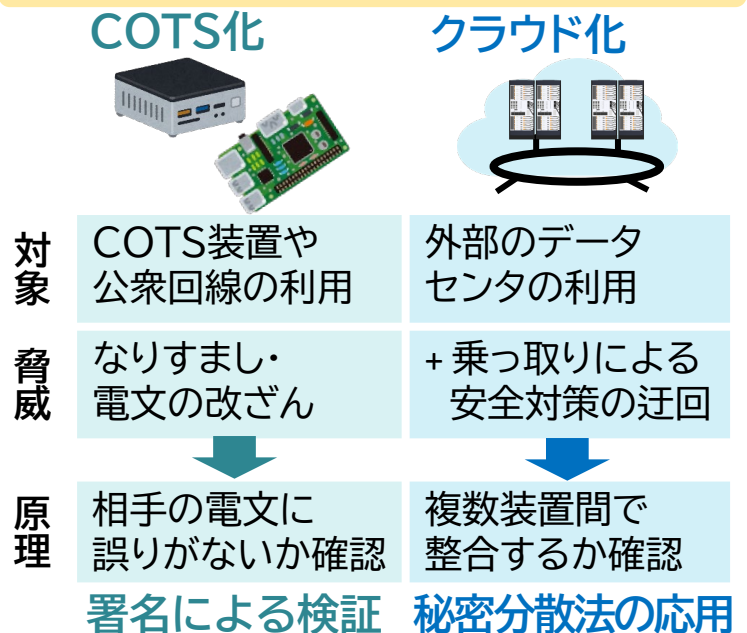
研究の背景と目的

- システムの低コスト化や保守作業の効率化のために、信号保安システムで汎用機器・汎用ソフトウェア(COTS)やデータセンタを利用するニーズが高まっています。
- COTS化にはサイバー攻撃のリスクが伴うため、安全性とサイバーセキュリティを確保する技術が必要です。
- 特に外部のデータセンタを利用する場合、OS等の脆弱性をついた安全対策技術の迂回の防止や、サービスを妨害する攻撃への耐性向上が求められます。

研究成果

- 適用対象に合わせ、課題(想定される脅威)と対策の基本原則について整理しました。
- 実績のある暗号化技術(署名)による安全性確保手法を提案しました。通信装置自体の防護に依存しないため、公衆回線の利用が可能です。
- プライバシー保護の用途で使われる秘密分散法を制御に応用することで、サイバー攻撃への耐性を高める手法を提案しました。

適用対象と対策の基本原則



今後の展開

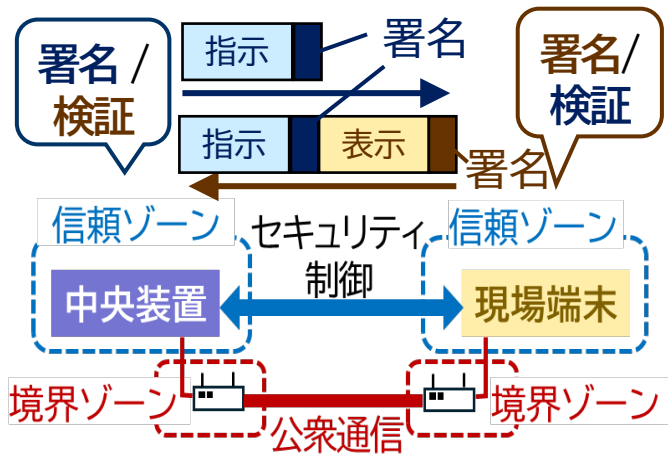
- 署名技術を用いた汎用装置主体の信号保安システムを試作し、実用化を目指します。
- 秘密分散法の応用によるセキュリティ確保手法については、連動装置等の具体的なアプリケーションを想定して、改良と検証を進めます。

汎用機器の適用イメージと効果

専用ハードウェアとソフトウェアの構成を、汎用ハードウェアとソフトウェア、専用アプリケーションに置き換えることで、低コスト・高性能化が期待されます。さらに、システムの主機能をクラウド上(データセンタ)で実行することで、一層の低コスト化と災害への耐性向上が期待されます。

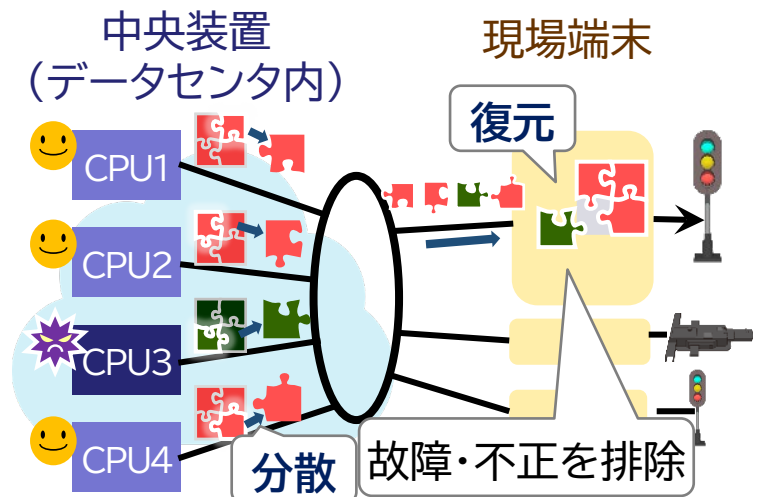


署名によるセキュリティ確保



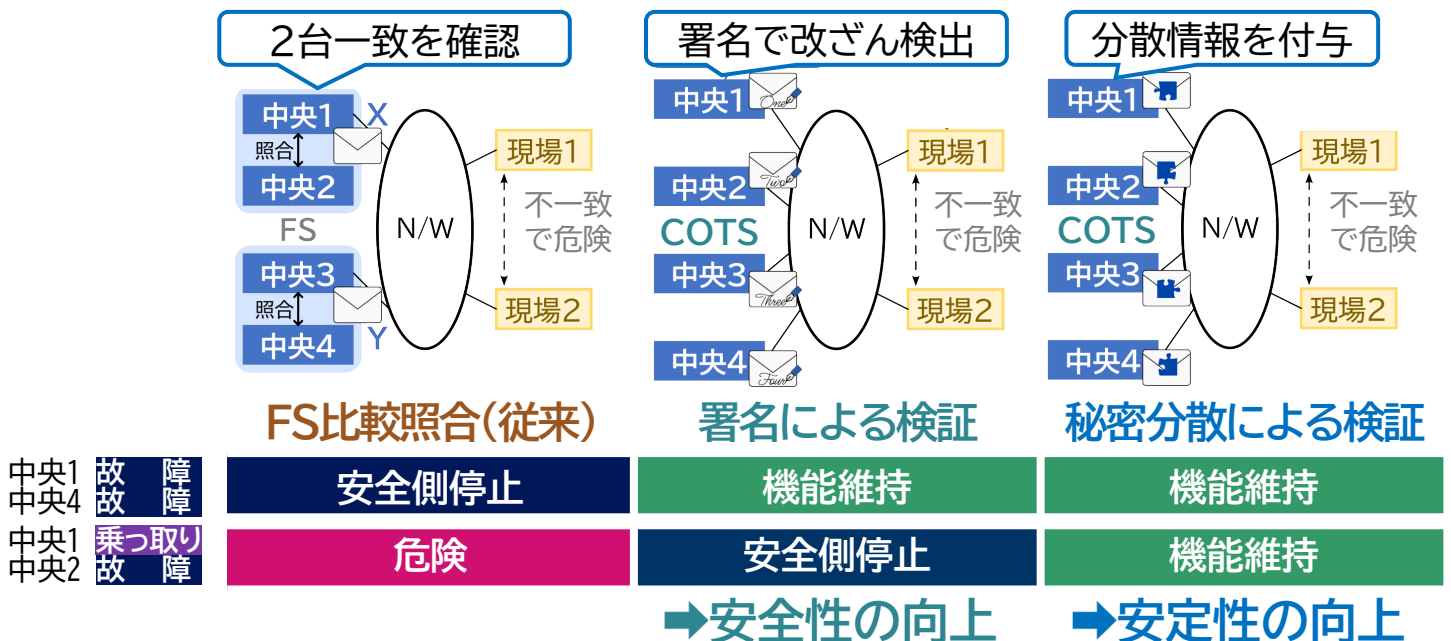
✓危険側制御の防止

秘密分散法を応用したセキュリティ確保



✓攻撃下での機能維持

故障やサービスを妨害する攻撃への耐性向上



信号設備の 振動耐久試験方法の提案

信号設備の実使用環境に基づく振動耐久試験の加振加速度を新たに導出し、その成果を基に振動耐久試験規格JIS E 3014の試験条件改正を実現しました。これにより、実態に即した耐久性評価が可能となりました。

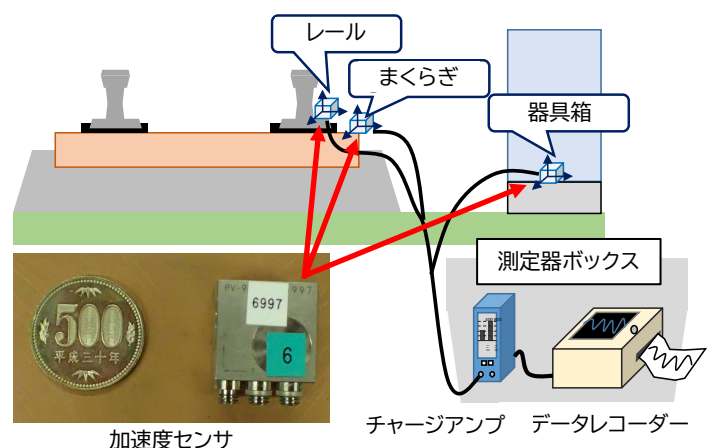
研究の背景と目的

- 新たな軌道構造などにより信号設備の振動環境が変化している可能性があるため、JIS規格で規定された振動耐久試験条件の妥当性を再検証し、実使用環境の振動実態に基づく試験条件の見直しを行いました。
- 実使用環境をより忠実に再現した振動耐久性評価の実現に向け、現地で計測した振動波形(ランダム波)を用いた振動耐久試験の加振時間設定方法を検討しました。

研究成果

- 新幹線と在来線の列車通過時の定常振動を対象として、全国計44箇所では振動加速度を測定し、現在の使用環境下で受ける振動加速度を明らかにしました。
- 上記を基に、JIS E 3014のレールに設置する設備を対象とした振動耐久試験(正弦波加振)の加振加速度振幅(レール長手方向、レール左右方向)の見直しを提案し、2026年2月の改正に反映されました。
- 使用環境において設備が受ける振動加速度の波形(ランダム波)を用いた振動耐久試験方法の実現に向けて、エネルギー相当量を基準とした加振時間の設定方法を考案しました。

振動加速度の測定イメージ



今後の展開

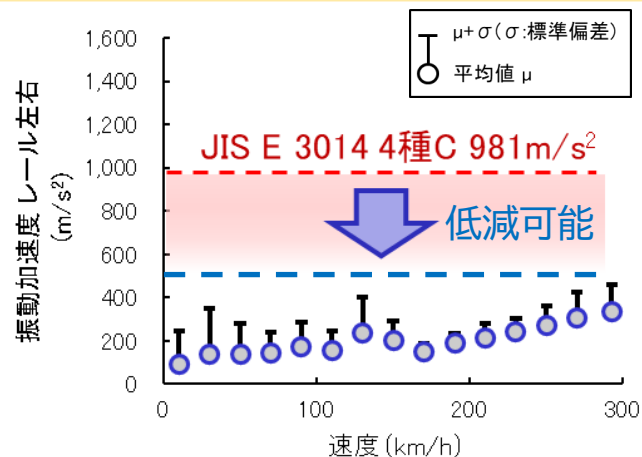
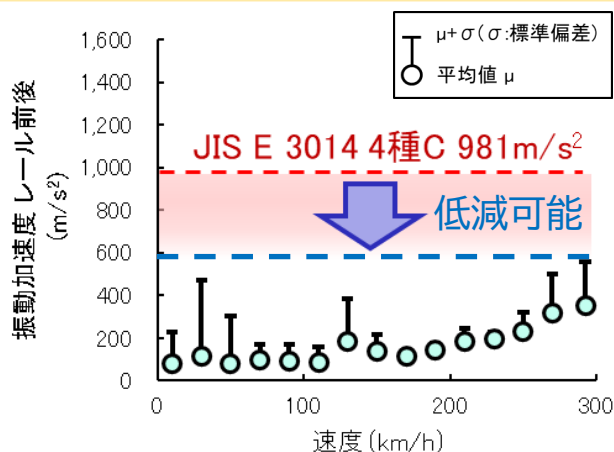
- 使用環境で受ける振動加速度の波形(ランダム波)を用いて、振動耐久試験を実施する際の加速試験方法を検討します。
- ランダム波加振による試験方法をJIS規格に追加するための取り組みを進めます。

振動加速度の測定箇所

- JIS規格制定時に調査が行われなかったスラブ軌道や直結軌道などの軌道構造を含みます。
- 列車速度は、速度向上に伴い新幹線320km/h、在来線130km/hまでを対象としています。
- 過酷側の使用環境として、新幹線では高速走行区間、在来線では、貨物列車や特急列車が走行する区間を選定しました。
- これらの区間において、構造物、軌道種別が異なる箇所を抽出して現地測定を実施しました。
- 現在の現地振動環境を把握し、JIS規格の見直しを提案しました。

	構造物 種別	軌道 種別	線形	測定 箇所数
新幹線	土構造	バラスト	分岐	1
		直結	分岐	1
	高架橋	バラスト	分岐	1
在来線	土構造	バラスト	直線	8
			曲線	6
			分岐	6
	高架橋	バラスト	直線	3
			曲線	1
			分岐	4
		直結	直線	2
			分岐	4
		スラブ	直線	1
			分岐	4
	橋梁	直結	直線	2

正弦波加振：測定結果と振動耐久試験の加振振幅(左：レール前後 右：レール左右)



適用部品	加振方向	加振振幅 [m/s ²]	
		改正前	改正後
レール直結で設置される機器の部品	上下	981	981
	左右	981	450
	前後	981	550

JIS E 3014改正
現地振動環境に即した
耐久性評価が可能

ランダム波加振：加振時間算出のイメージ



両者の
総エネルギー相当量が
等しくなる
加振時間を設定



「設置環境で受けるエネルギー相当量」＝「加振装置から投入されるエネルギー相当量」

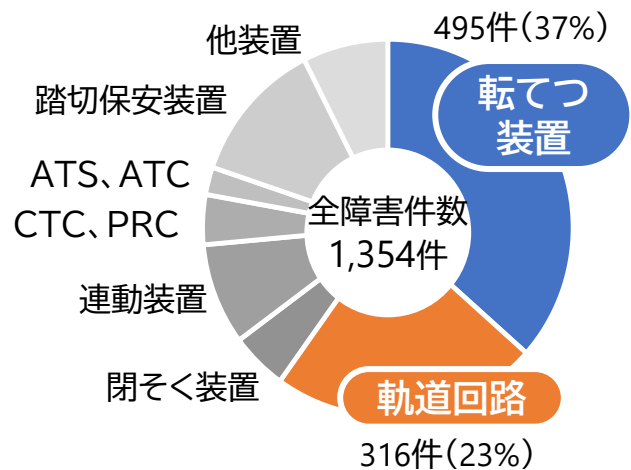
状態監視データを活用した 信号設備の故障要因探索手法

軌道回路と電気転てつ機の異常・故障の発生直後に、状態監視装置のデータを用いて、故障部位や要因を遠隔で判別する手法を構築しています。迅速な要因特定により復旧時間を短縮します。

研究の背景と目的

- 大規模な輸送障害につながる信号設備の故障の約2/3は軌道回路と転てつ装置で発生しています。また、直前まで予兆を捉えることができない故障や、原因特定後の資機材の手配が必要な故障も多く、復旧まで時間を要することが課題です。
- 予防保全に用いられている状態監視データを用いて、故障発生直後に故障要因や箇所を特定することで、事後保全を迅速化する手法を提案しました。

信号設備と故障件数



鉄道安全データベース(2013～15年度)より分析

研究成果

- 軌道回路と電気転てつ機それぞれについて、故障要因と状態監視データ・センシング手法との関係を分類・整理し、対応マップを示しました。
- 電気転てつ機の電流データから動作状態の境界点と、異常の推定・検出を行い、故障時に特有のデータ変化から故障部位が電気転てつ機本体か、それ以外かを特定する手法を構築しました。
- 軌道回路の故障要因探索手法として、軌道回路シミュレーションを用いて外部要因である降雨影響を考慮し、短絡・断線の箇所を絞り込む手法を構築しました。

今後の展開

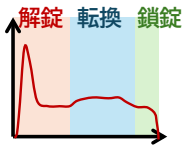
- 信号設備の復旧支援システムとしての実装と機能検証を進めています。また、鉄道事業者で共通してお使いいただけるよう、共通仕様の策定を目指します。

電気転てつ機の故障と状態監視データの対応マップ

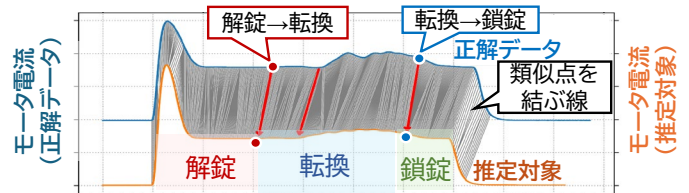
故障部位	故障項目・部位	車両通過時の変化	動作時の変化項目・変化点(タイミング)		
			解錠	転換	鎖錠
本体	機械的故障(モータ等)	なし	電流	電流	電流
	機械的故障(動作かん)	なし	なし	電流	なし
	機械的故障(鎖錠かん等)	なし	電流	なし	電流
	電氣的故障	なし	電流	電流	電流
外部	照査・表示系 破損、摩耗	鎖錠かん変位	なし	なし	鎖錠かん変位
	転換系破損、状態変化	なし	なし	電流+転換負荷	なし

電気転てつ機の故障要因探索法の概要

① 動作状態の境界点推定



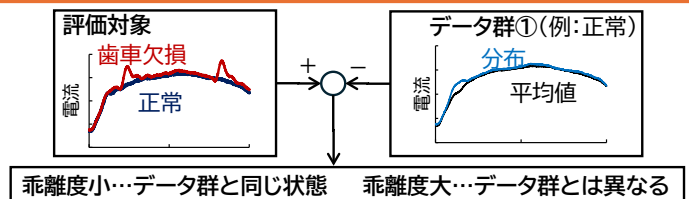
- 2つの波形の類似点を推定する動的伸縮法を用いて境界点を推定
- モータ電流から動作状態を推定（変位センサ等が不要）



② 異常データの検出

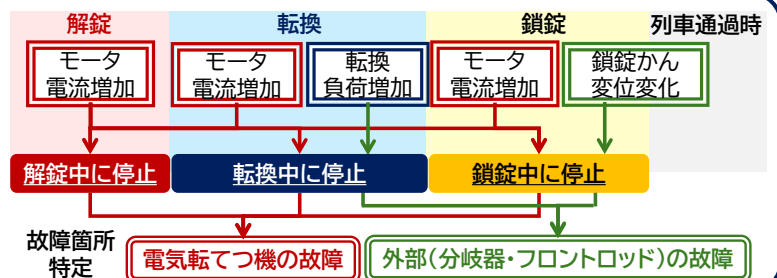


- 正常データ群との乖離度に基づき異常データを検出
- 波形が特徴的な故障は、同種故障との乖離度から要因推定も可能

③ 要因探索
(電気転てつ機故障の特定)

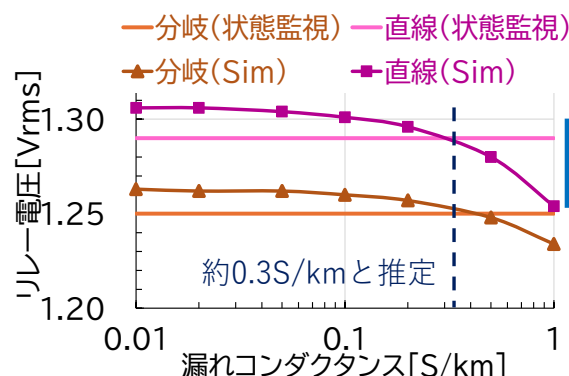
転てつ機
本体故障
それ以外

- 電気転てつ機本体および外部の故障に特有のデータ変化から故障箇所を特定
- 主な故障のデータ変化の特徴を網羅的に分析した結果を反映

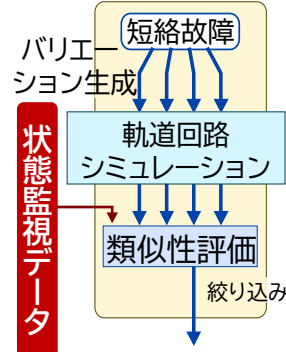


軌道回路シミュレーションを用いた軌道回路の故障要因・箇所の絞り込み

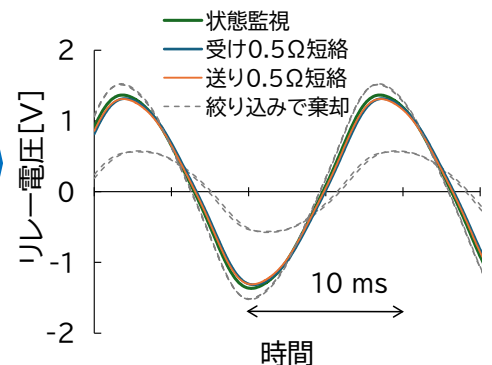
降雨影響(漏れコンダクタンス)の推定



故障バリエーション生成



類似性による絞り込み



車上位位置検知に適用する 滑走・空転の検知・補正手法

滑走・空転時に、速度センサと慣性センサを併用し走行距離誤差を補正する手法を開発しました。現車滑走試験では、非滑走軸との走行距離誤差を抑制できることを確認しました。

研究の背景と目的

- 無線式列車制御システムでは、地上設備に依存せず、車上で自列車位置を高精度に把握することが重要です。
- しかし、速度センサは車軸の回転に基づいて速度を検出するため、滑走・空転時には走行距離の算出誤差が大きくなり、車上位位置検知の精度が低下する恐れがあります。
- そこで、慣性センサを併用することで、車軸回転に依存せず車両の挙動を捉え、滑走や空転を早期に検知します。さらに、検知結果に基づいて走行距離誤差を補正します。

研究成果

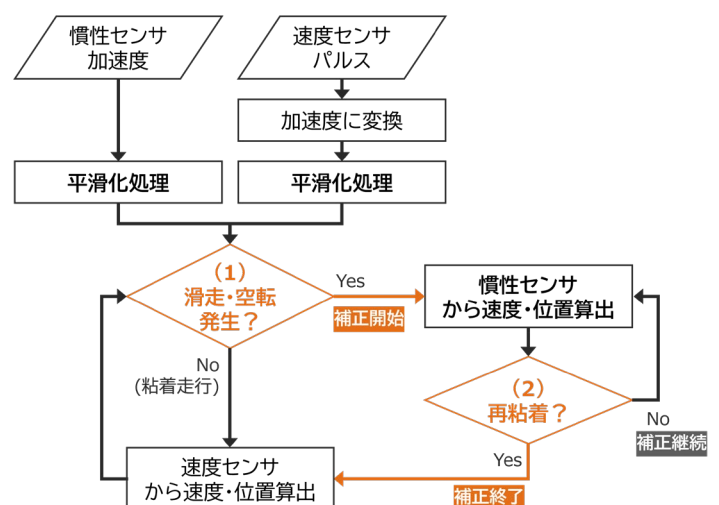
滑走・空転の発生中のみ、慣性センサから速度・走行距離を算出する方式を開発し、慣性センサの誤差蓄積を低減することを可能としました。

- 現車滑走試験の結果、非滑走軸の走行距離を基準とした走行距離誤差は1 m以内となりました。
- 加速度差の変動に着目することで、再粘着判定が難しい微小再滑走にも対応し、誤判定による走行距離誤差の拡大を抑制しました。
- 慣性センサは車両内の設置位置に制約されず、柔軟に配置できます。

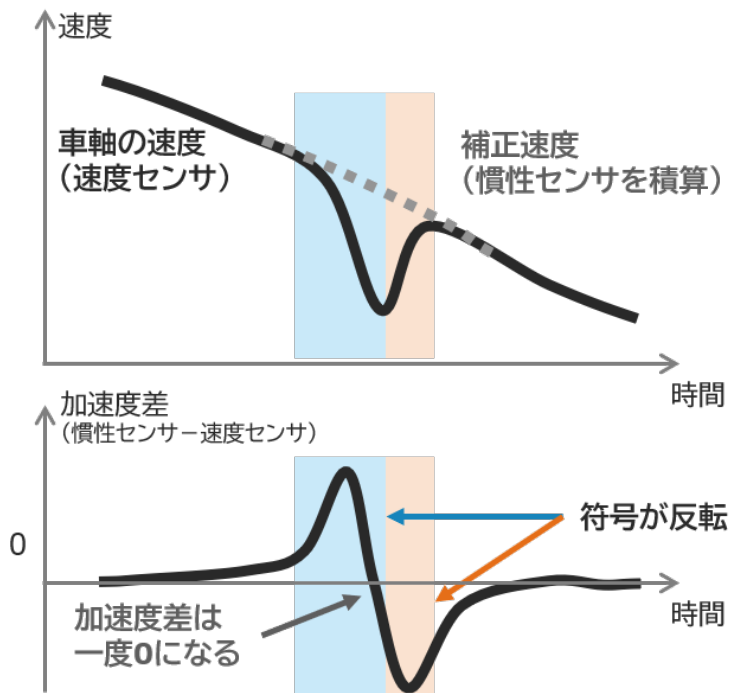
今後の展開

- 開発手法のフェイルセーフな車上位保安装置への適用論理に取り組んでいきます。
- 汎用デバイスである慣性センサの健全性確認方法について検討します。

開発手法の処理フロー



滑走の模式図



開発手法の判定要素

【滑走の発生判定】

- 速度センサと慣性センサの**加速度差**が拡大すること

【再粘着の判定】

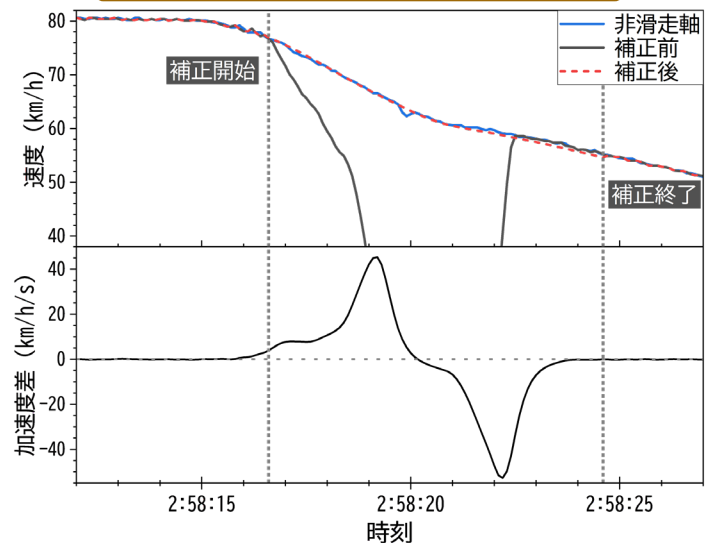
- 速度センサと補正速度の**速度差**が収束すること
- 速度センサと慣性センサの**加速度差**が収束すること
(絶対値 + **変動**の2項目)
- 加速度差の**符号**が滑走初期と比較して反転したこと

現車滑走試験での補正結果

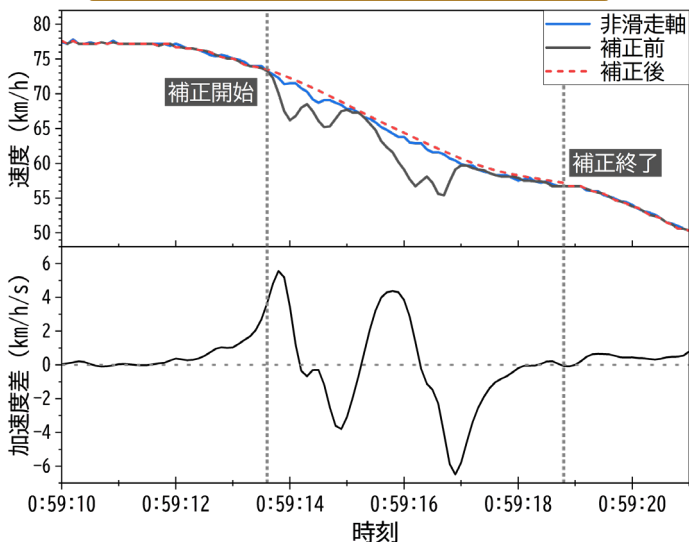
*滑走軸 - 非滑走軸

	補正時間 (s)	非滑走軸 走行距離 (m)	滑走軸走行距離誤差* (m)	
			補正前	補正後
#1	8.1	143.37	-57.57	-0.31
#2	3.2	60.94	-2.1	-0.75
#3	3.3	63.53	-2.97	0.32
#4	5.3	93.65	-2.7	1
#5	4.1	77.84	-1.67	0.73
#6	1.9	25.59	-0.31	0.39
#7	3.2	58.11	-0.98	-0.42

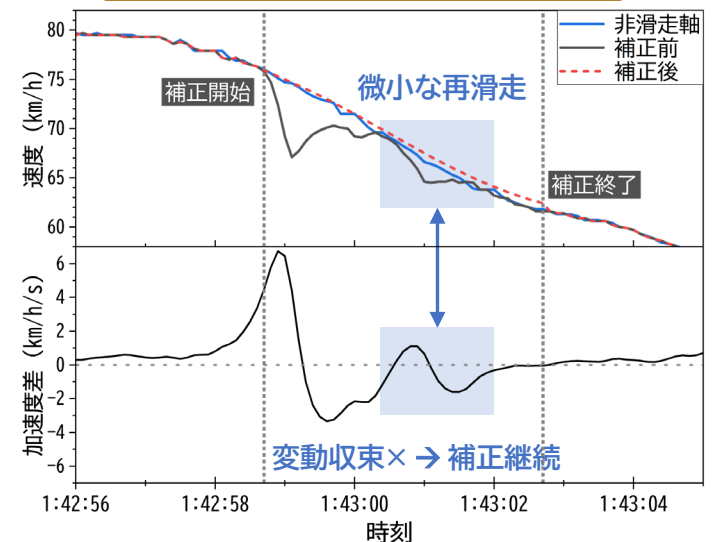
#1 比較的大規模な滑走



#4 補正後誤差が最大の滑走



#5 微小な再滑走を伴う滑走



安全確認型列車制御システム

公衆通信回線を利用可能で、通信途絶時も安全を確保できる列車制御システムを開発しました。システムの機能の共通化により、異なるシステムでの相互運用が可能となります。

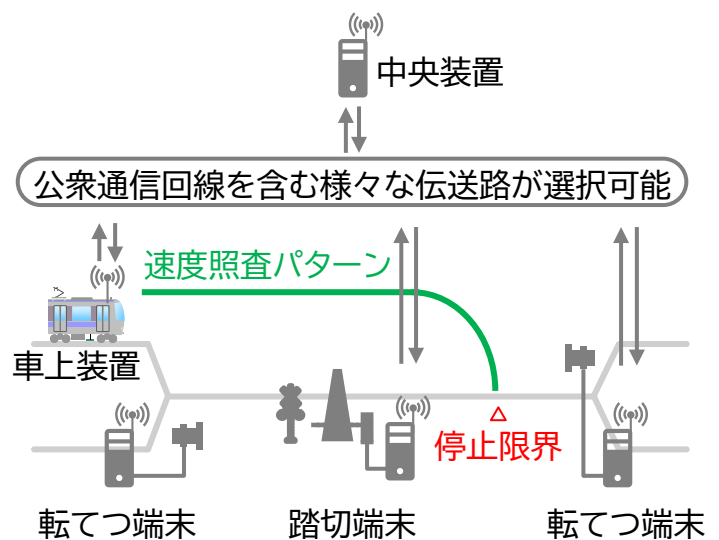
研究の背景と目的

- 地域鉄道の持続的な維持のためには、保守・運行に関わる業務のさらなる省人化が不可欠となっています。
- 設計や維持にかかるコスト低減のため、**公衆通信回線の活用**による通信設備の削減や、列車制御システムの**機能の共通化**が期待されます。

研究成果

- 線区の規模や通信回線の種別に関わらず、共通の制御論理で安全に運行できる「**安全確認型列車制御システム**」を開発しました。
- 営業線における試作システムの検証試験では、**公衆通信回線を利用**し、安全かつ安定して試験列車が走行できることを確認しました。
- 異なるベンダー製の地上装置と車上装置の間での列車走行を確認し、実用化に向けた課題を抽出しました。
- 検証試験の結果を踏まえて本システムに関する**共通の仕様を策定**しました。

システムの基本構成

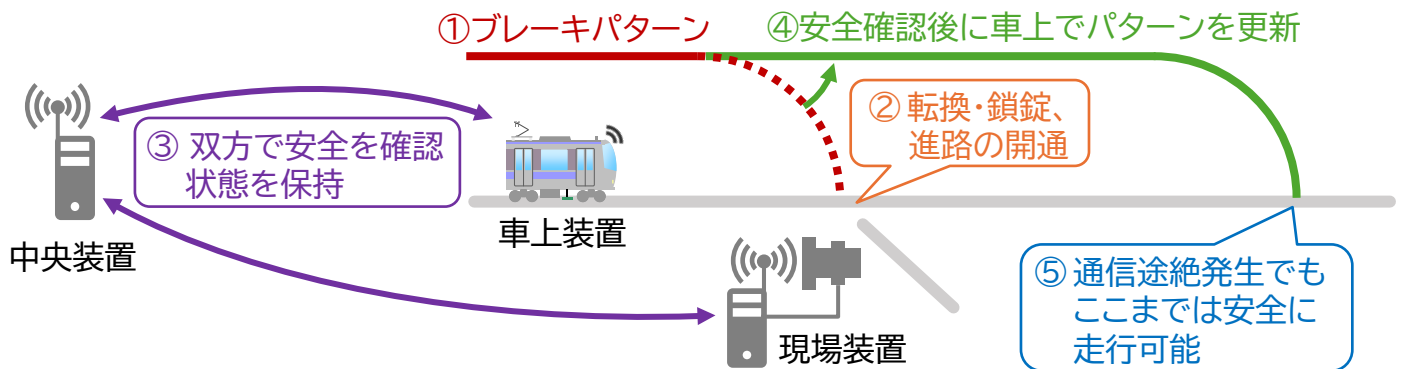


今後の展開

- 通信設備の削減による保守の省人化が可能です。
- 将来、地域鉄道に自動運転を導入する際に、基盤となる列車制御システムとして活用できます。
- マルチベンダー化の課題を解決した量産型プロトタイプ装置を開発し、検証します。

安全確認型列車運行制御システムの概要

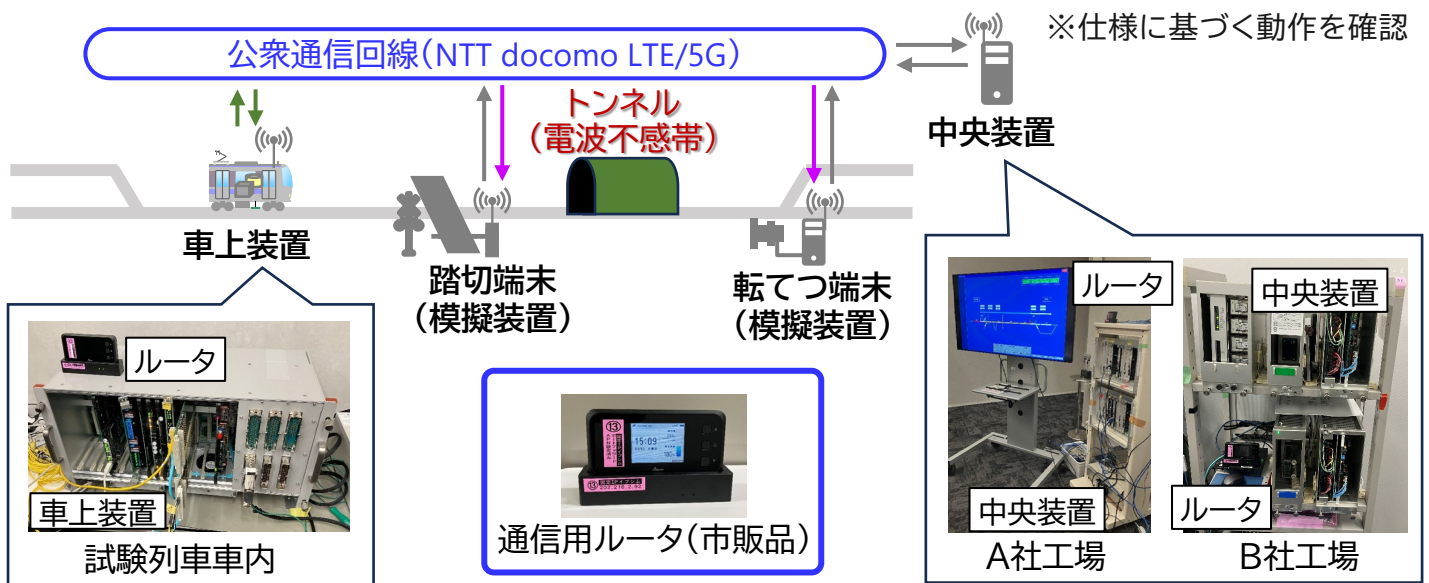
- 転てつ機、踏切、先行列車の後端などの個々の安全確認対象の状態を順次確認
- 各装置間で双方向の情報伝送を行い、制御に対する応答と各装置の安全側制御の成立状態を相互に確認して状態を保持



- ▷ 公衆通信回線活用における課題のひとつである通信途絶発生時も安全に運転を継続可能

公衆通信回線が適用可能

走行試験による検証（2駅1中間にて実施）



マルチバンダー化のイメージと課題

地上装置	車上装置		
A社装置 中央装置 現場装置	A社装置 車上装置	インタフェース に関する課題 (現地試験)	位置誤差および余裕距離の共通化
B社装置 中央装置 現場装置	B社装置 車上装置		列車長管理の共通化
			走行指示の共通化
		運用上の課題 (机上検討)	セキュリティ確保で必要となる 暗号鍵の管理方法の共通化
			車上データベースの管理・ 配信方法

自営回線および公衆回線の切替に対応した高機能ルータ

自営・公衆回線を問わず複数の通信路で構築可能で、かつ複数の装置が接続可能な鉄道向け統合ネットワークを提案し、その構成要素となる高機能ルータのプロトタイプを開発しました。

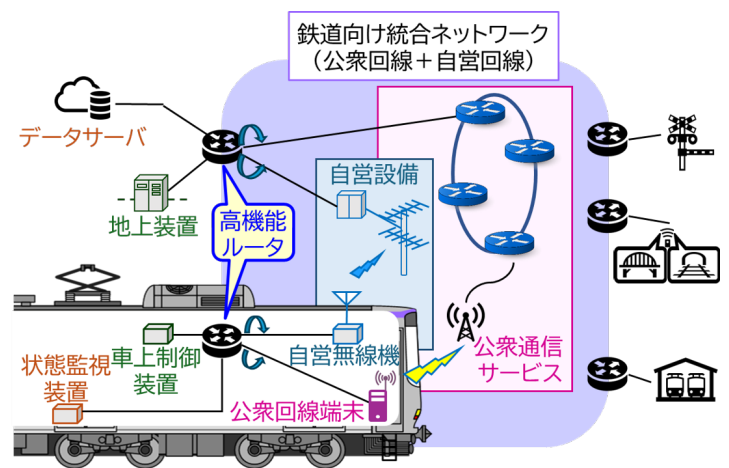
研究の背景と目的

- 鉄道システムでは、アプリケーションや装置ごとに専用の通信路を構築することで、高い安定性を実現しています。
- しかしながら、専用設備の導入・維持コストや通信資源の確保に課題があります。
- アプリケーションや装置ごとに通信路を構築するのではなく、複数の装置が共有可能なネットワークを構築し、コスト低減と通信資源の有効活用を図ります。

研究成果

- 既存の装置ごとの通信路および公衆回線を統合し、複数の装置が自営・公衆回線を問わず共通の通信路を活用できる「鉄道向け統合ネットワーク」を提案しました。
- 鉄道向け統合ネットワークは、通信路と装置との間の接続点に「高機能ルータ」を設置して構成します。
- 高機能ルータの機能のひとつとして、複数の伝送回線の状態を一般的な通信確認手法で監視しながら、最適な伝送回線を選択する「回線切替機能」を提案しました。
- 回線切替機能を搭載したプロトタイプにより、列車走行中も自営・公衆回線を問わず切替可能なことを確認しました。

鉄道向け統合ネットワークと高機能ルータ

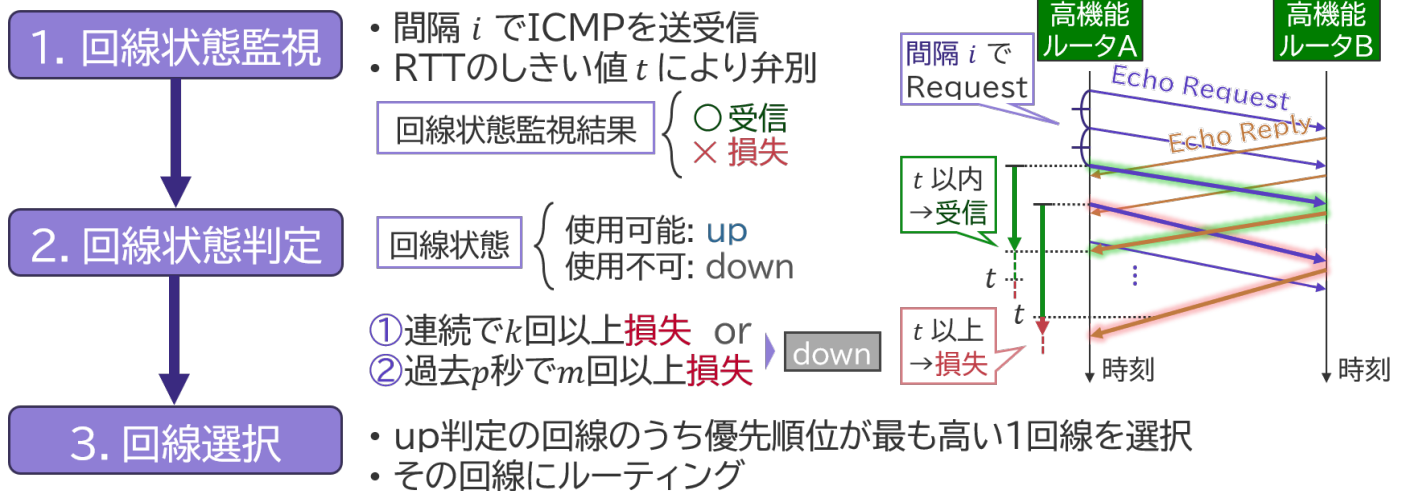


今後の展開

- 複数車両を想定した検証試験を実施します。
- 高機能ルータに必要とされる機能を整理し、仕様の標準化を目指します。

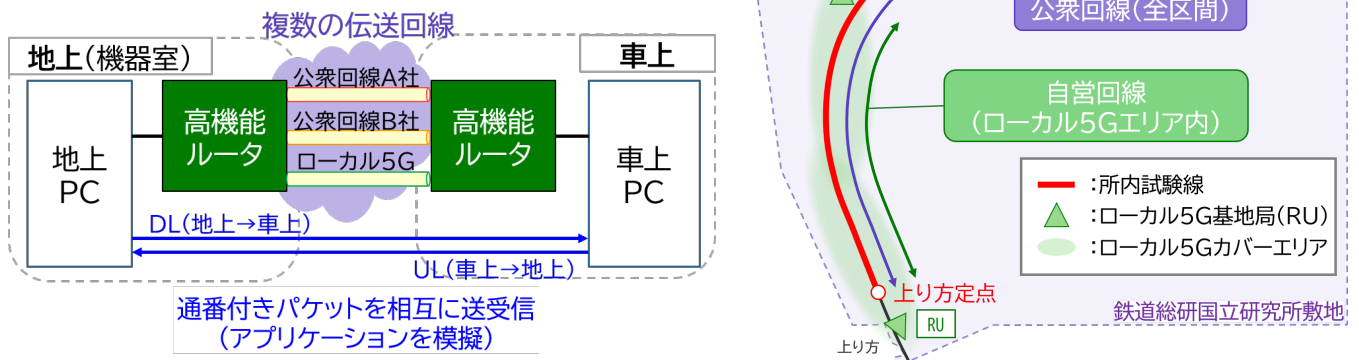
プロトタイプに実装した回線切替機能

- すべての伝送回線の状態を常時監視・判定し、装置やアプリケーションの要求に応じて適切な回線を選択する手法

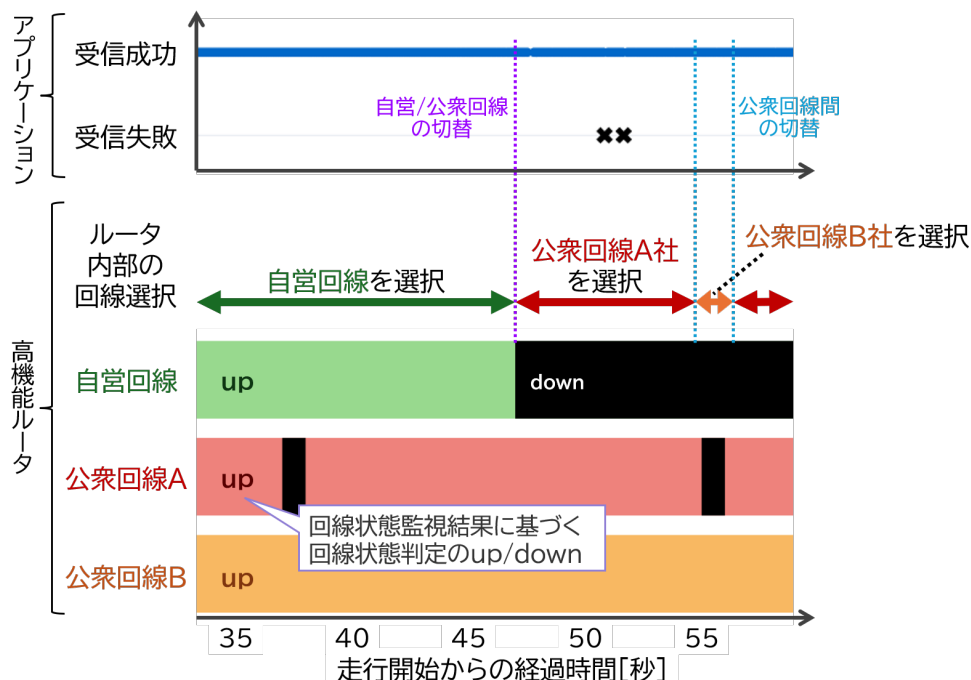


検証試験のネットワーク構成および検証試験環境

- 地車間伝送を想定
- ルータ間を3つの伝送回線で接続



検証試験結果の一例



CG空間を用いた カメラ・センサシステムの評価手法

CG空間を用いて、カメラ・センサの配置やアルゴリズムの有効性を仮想的に評価する手法を開発しました。天候など様々な環境条件での検証ができ、システム開発の事前検討に利用可能です。

研究の背景と目的

- 近年、カメラやセンサを車両に搭載したシステムの開発が進められています。
- センサの配置検討やアルゴリズムの検証には現車確認や撮影試験が必要で、労力が高いという課題がありました。
- 現地試験によらずセンサの配置やアルゴリズムの性能を事前評価できる手法の開発を目指します。

研究成果

- 沿線設備や車両のモデルをCG空間上に構築し、カメラやセンサの取得データを仮想的に生成する手法を開発しました。
- センサ固有のスキャンパターンや照明の照度特性を再現でき、実機に近いデータを模擬できます。
- 日照条件や天候(雨・雪など)を変化させた、様々な環境条件での検証が可能です。
- 生成したデータにアルゴリズムを直接適用し、解析結果を評価できます。
- 実際に本手法を活用して、検測装置に採用するカメラ・センサ類の選定や、既存車両への配置検討、アルゴリズムの開発を実現しました。

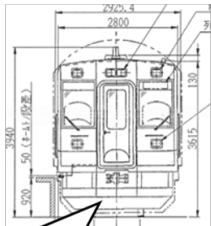
日照条件を変化させたCG空間の例



今後の展開

- 今後のカメラ・センサによるシステム開発の仕様決定に活用していきます。
- アルゴリズムの環境条件ごとの検証など、適用範囲の拡大に取り組んでいきます。

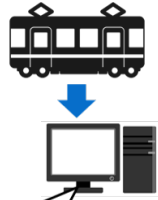
従来のシステム開発における課題



△図面ベース
で配置検討



△カメラ毎に
撮影試験

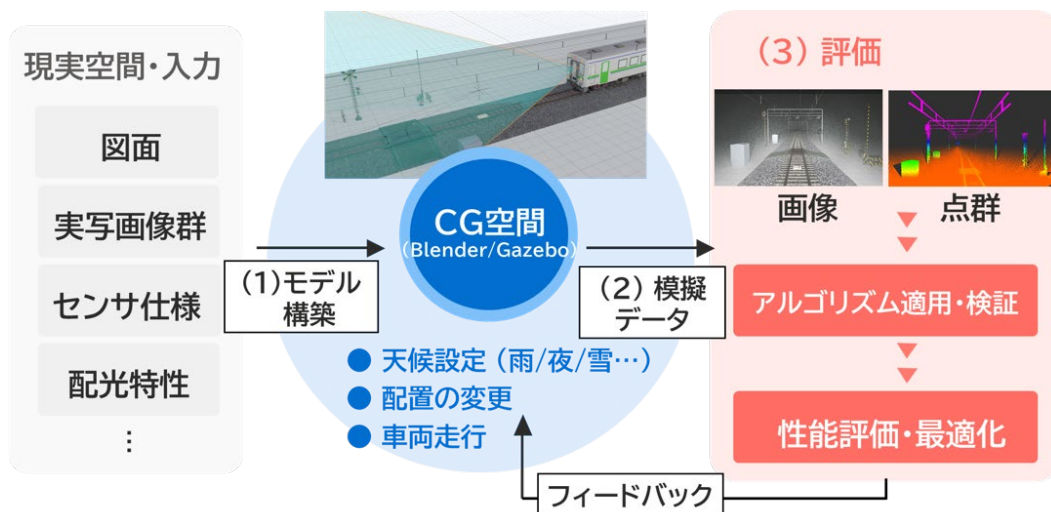


△手法検証は
現車試験後

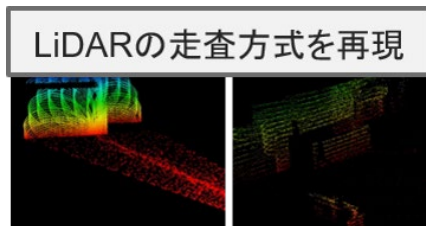
車両へのセンサの配置やアルゴリズムの検証のために現車確認や撮影試験が必要であり、様々な設置パターンを試すことに労力が大きいという課題がありました。

提案手法の全体像

提案手法は、(1)モデルの構築、(2)カメラ・センサの仮想的なデータ取得、(3)センサ配置やアルゴリズムの評価、の3段階に分けられます。



CG空間上でのデータ取得の模擬



実写画像をもとにした沿線環境や、センサ固有のスキャンパターンを再現できます。

模擬データを用いたAIモデルの評価

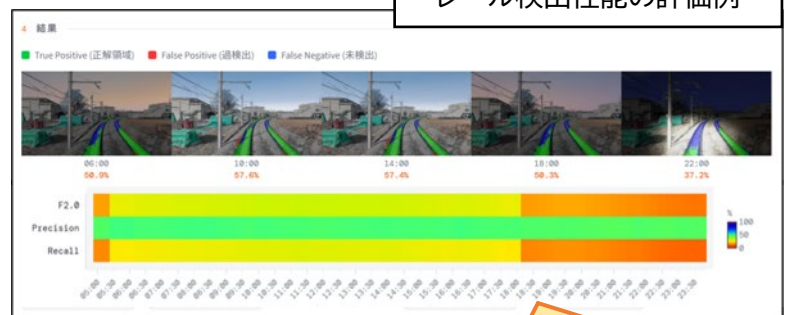
模擬データを使って、AIモデルの性能評価ができます。

仮想データを生成

AIモデルで推論

環境条件ごとの性能を評価

レール検出性能の評価例



夜間の性能低下が見てとれる

営業列車を用いた 3次元線路空間データの構築手法

現地作業の省力化のために、複数台のカメラ映像から線路空間の3次元モデルを構築する手法を開発しました。市販のハンディカメラで時速130km/h走行の営業列車からでも適用可能です。

研究の背景と目的

- 沿線の現地確認や設備管理といった業務はコスト削減が求められています。
- とくに特殊信号発光機(特発)の見通し検査は移動距離が長く労力が大きいです。
- 線路沿線を3次元空間として再構成することで、空間データ上での効率的な設備管理業務の実現を目指します。

研究成果

- 複数台のカメラ映像から3次元線路空間を構築する手法を開発しました。LiDARなど専用のセンサは不要です。
- 空間構築のための映像は営業列車の運転台からハンディカメラで手軽に撮影できます。
- 空間データを使って、従来の二次元画像では実施できなかった長距離の見通し検査が可能です。
- 工事計画など、沿線の状態確認にも活用できます。

構築した3次元線路空間



今後の展開

- 空間構築の精度向上や処理の高速化に取り組んでいきます。
- 距離計測や柱類の傾斜など、他業務への展開を検討しています。

カメラの取付イメージ



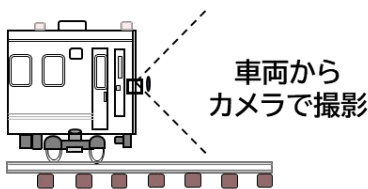
営業列車の後方運転台窓に
吸盤でカメラを取り付けて
撮影します。

※設置時間は約10分

3次元線路空間の生成フロー

車上から複数台のカメラで撮影した二次元映像から、画像ごとの視差情報を使って3次元空間を構築します。

データ取得



撮影画像の例

点群の推定



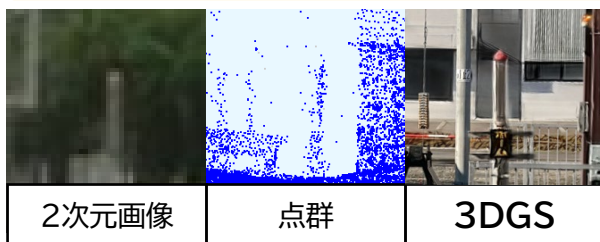
カメラの位置と
3次元点群を
SfMによって推定

レンダリング



点群情報をもとに
3次元モデルを構成

3Dガウスによるデータ表現



2次元画像

点群

3DGS

3次元データの表現形式として3Dガウス方式を採用することで、従来手法と比較して遠方の設備の判別性能も向上しています。

データ上での特発の見通し検査

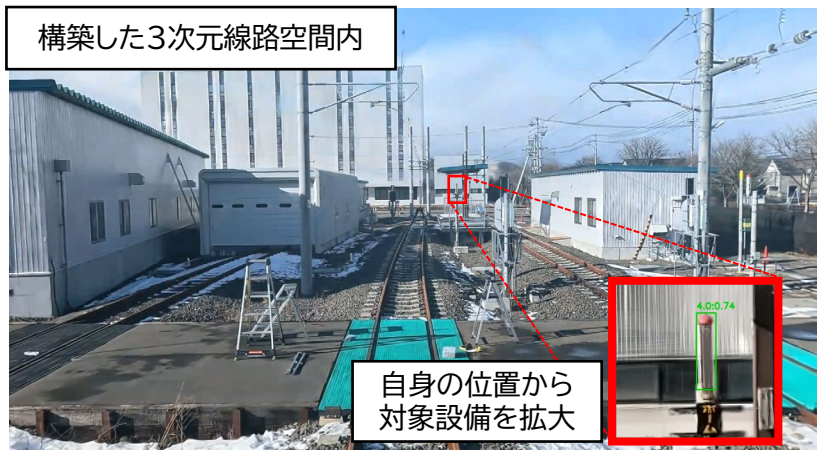
3次元線路空間上で、特発の見通し検査を実施可能です。

視点移動

特発を拡大表示

AIによる見通し判定

構築した3次元線路空間内



自身の位置から
対象設備を拡大

B-13

災害仮復旧に用いる 新幹線高強度トロリ線接続金具

- ・新幹線トロリ線の災害仮復旧に用いる接続金具を開発しました
- ・速度200km/hまで適用できることを所内試験で実証しました
- ・災害仮復旧時の通過速度制限を110km/hから緩和できます

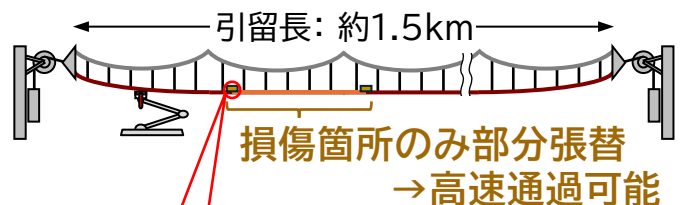
研究の背景と目的

- 大震災等で破断・損傷したトロリ線を接続金具で繋いで仮復旧した場合、新幹線では接続箇所の離線や疲労破断等の懸念から徐行(例:110km/h)していました。
- 新幹線の災害仮復旧時に速達性を早期に回復するため、高強度トロリ線を接続可能で高速通過が可能なトロリ線接続の実現を目的として、接続金具を開発しました。

研究成果

- 在来線用接続金具のJISと整合した新幹線高強度トロリ線用接続金具の仕様を策定しました。
- 金具材料と詳細形状を工夫することで、仕様を満足し、質量0.9kgと軽量の接続金具を実現しました。
- 所内実機試験にて通過性能を評価し、試験機最高速度の200km/hまで適用可能であることを実証しました。
- 理論解析により、トロリ線ひずみ(疲労破断の指標)を推定し、速度320km/hまで適用可能性があることを示しました。

開発品と活用イメージ



新幹線高強度トロリ線接続金具

- 金具質量: 0.9kg
- 接続性能: PHC-130・22.5kN、SNN-170・22.5kN等
- 通過速度: 200km/h以上可能

今後の展開

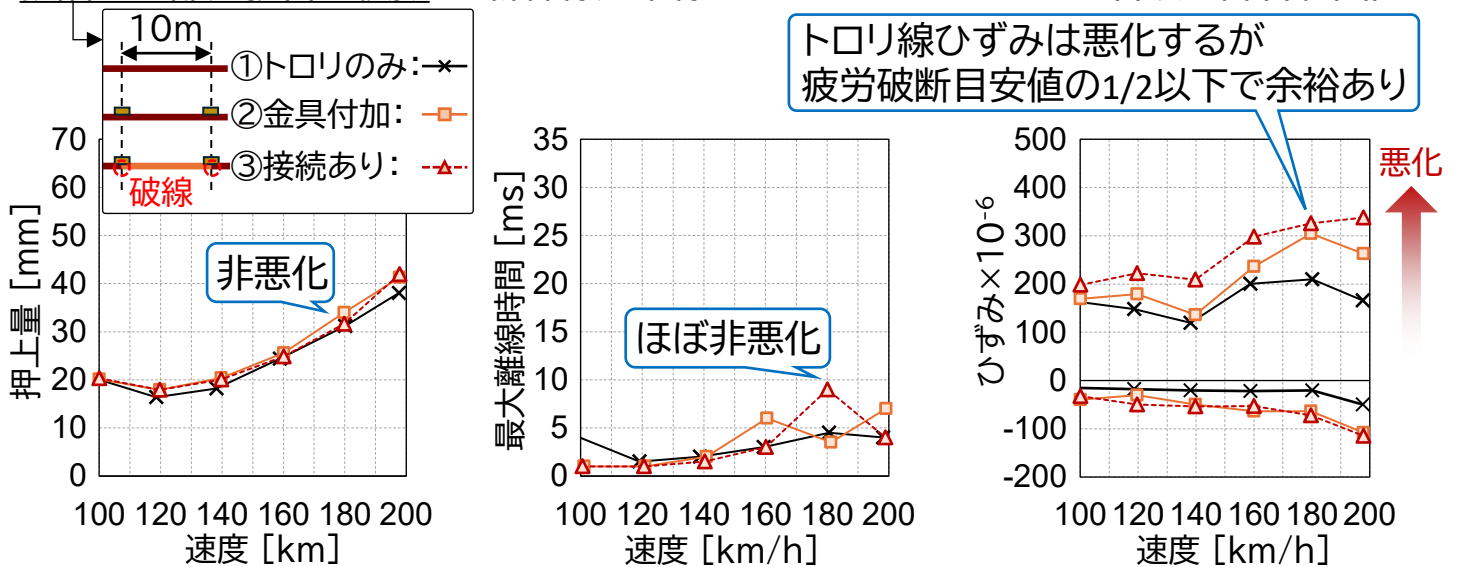
- 多様な新幹線トロリ線に適用でき、災害仮復旧時の通過速度制限を緩和できます。
- 新幹線で検証試験を行い、200km/h超での適用性を検証します。また、トロリ線摩耗等の長期使用時の影響を検証していきます。

接続性能に関する策定仕様

測定項目	性能値	目的
最大締付トルク	設計締付トルク×1.5以上	・設計トルクから損傷までの裕度を確保
耐引張荷重	標準張力×2.0を1分間	・機械的接続の設計性能を確認
最大引張荷重	標準張力×2.6以上	・鉄道技術基準のトロリ線安全率と整合 標準張力×張力変動×安全率2.2 以上
耐加振回数	複振幅70mmを3～5Hzで 2×10 ⁶ 回以上	・長期使用のボルト緩みを評価 ・現在の新幹線の架線振動条件を考慮
接続部電気抵抗	同長トロリ線の電気抵抗値以下	・電気設備基準との整合性を確認
温度上昇	トロリ線の連続許容電流30分間 通電でトロリ線の温度上昇以下	・使用状態で接続箇所の異常発熱防止
耐過電流	連続許容電流×5を30秒間 通電後抵抗増加10%未満	・事故電流に対する耐性を確認 (き電金具JIS採用)

集電試験装置による性能評価：高速シンプル架線(PHC-130・22.5kN)

段階的に部分張替を模擬し、新幹線用架線パンタで200km/hまで各項目許容範囲内



ひずみ推定による適用可能速度予測：高速シンプル架線(PHC-130・22.5kN)

トロリ線ひずみ推定手法を構築

接続金具近傍のトロリ線
(疲労破断の弱点箇所)のひずみ

II

トロリ線の場合のひずみ

×

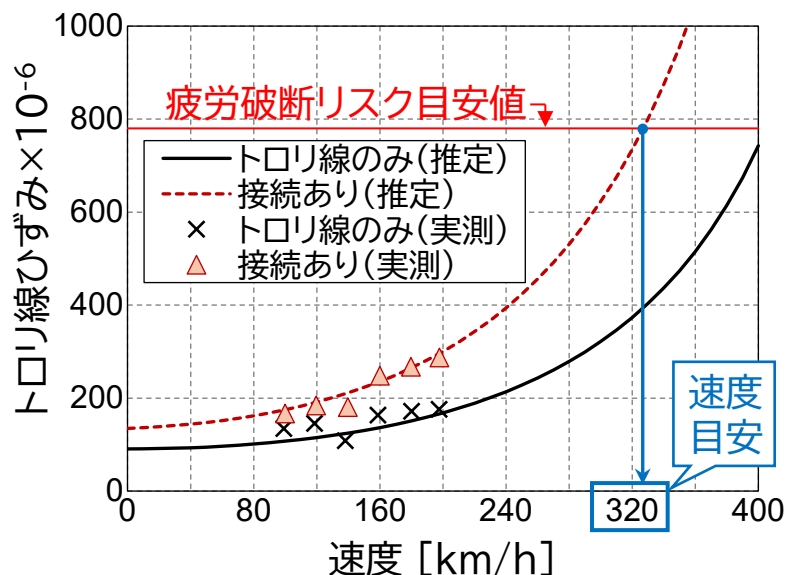
接続金具の曲げ剛性による
ひずみ増加倍率(応力集中)

×

接続金具の質量による
ひずみ増加倍率(慣性力)

×

破線によるひずみ増加倍率
(実験結果)



高頻度検査対象の架線設備の異常スクリーニング手法

既開発のトロリ線周りの異常スクリーニング手法を拡張し、高頻度検査対象の架線設備に対する外観検査の9割を自動化する画像解析手法を開発しました。

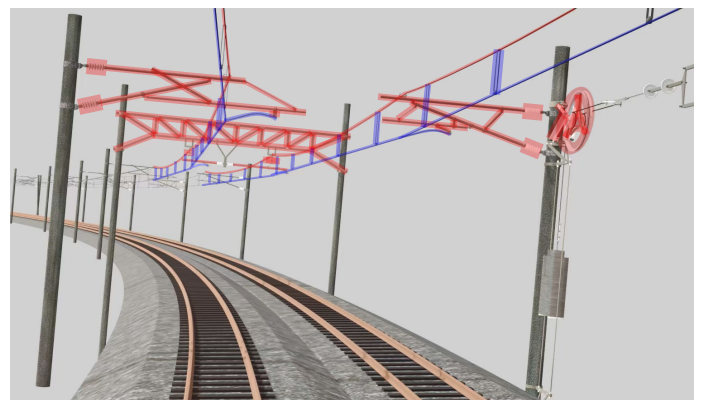
研究の背景と目的

- 架線設備のメンテナンスを省人化するため、車両から撮影した設備画像の確認により、徒歩巡回を置換していく取り組みが進められています。
- この取り組みを、より複雑な形状を含む高頻度検査対象の架線設備全体へ拡張していくためには、局所異常の見逃しや背景映り込みによる誤検出への対応が課題でした。

研究成果

- 架線設備の特徴的な形状に特化した画像の部分切り出しや縦横比の変更、座標処理とAIを組み合わせた高精度な背景除去など、異常検出AIへの入力画像に独自の前処理を施すことで、異常スクリーニング精度を向上させる手法を提案しました。
- ハンガやコネクタに加え、可動ブラケットやビーム、がいし、流止装置などにも対応可能です。
- 在来線の車載カメラで撮影された画像をベースに、代表的な異常を再現した加工画像を作成し、本手法の性能を評価しました。判別性能を総合的に評価する指標(AUROC)により、作成した画像に対する異常スクリーニング性能を評価した結果、0.76から1.00に向上したことを確認しました。

スクリーニングの対象設備を拡大



これまでの対象設備

トロリ線、ハンガ、コネクタ、曲線引金具、etc.

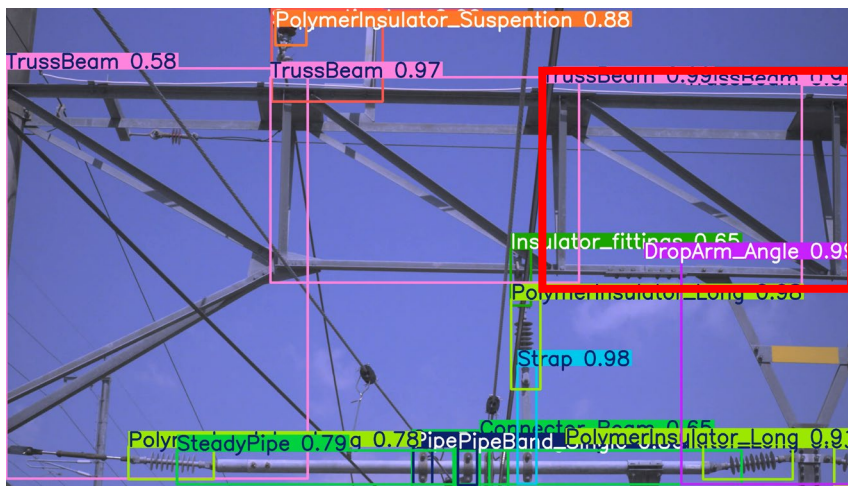
拡大した対象設備

ちょう架線、可動ブラケット、ビーム、がいし、流止装置、etc.

今後の展開

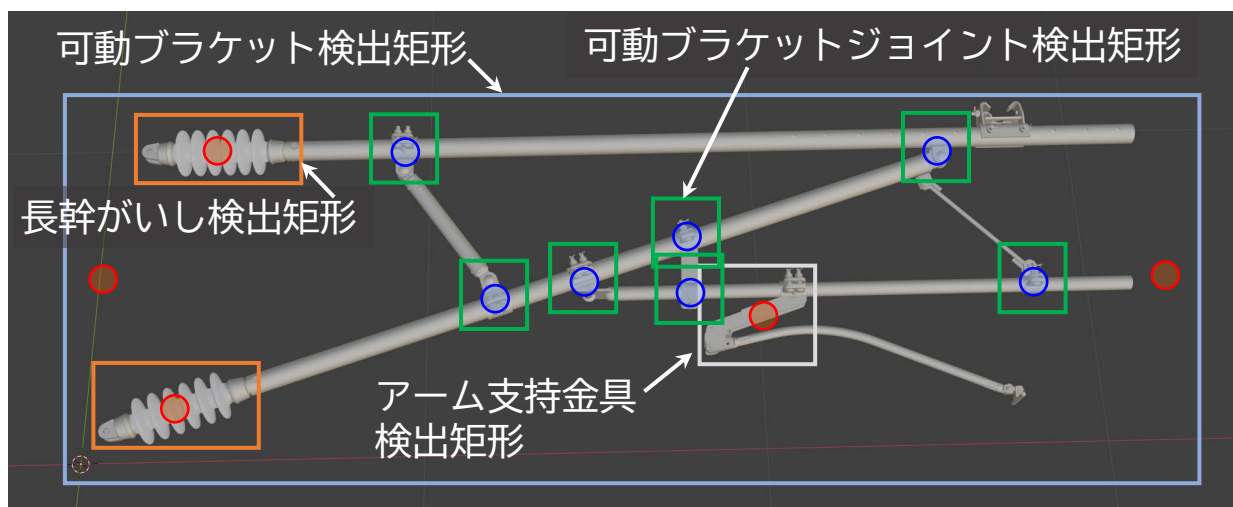
- 開発された異常検出手法の性能を、様々な設備の異常を模擬した仮想空間上で評価する手法の研究に取り組めます。

設備の部分切り出し手法



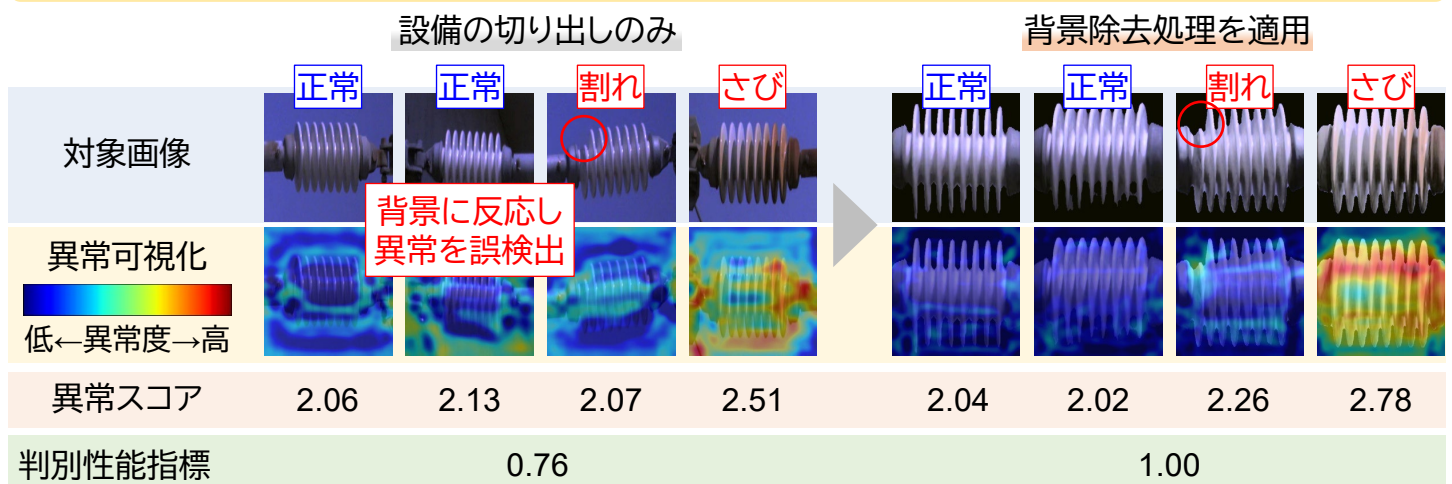
トラスビームを
分割して切り出し

座標処理を組み合わせた高精度な背景除去手法



○ ● 背景分離のための座標情報をAIに入力

開発手法の適用によるがいしの異常スクリーニング精度向上例



- 営業線の画像を加工して異常模擬画像を作成
- 学習用画像90枚、評価用画像25枚を用いて判別性能を評価

判別性能指標(AUROC)

0.50
ランダムな
分類

1.00

誤りなく判別可能な
しきい値が存在

※ 本研究の一部は静岡大学・株式会社明電舎との共同研究により実施しました。

電車線金具の 疲労要注意箇所抽出手法

車載カメラで撮影した架線の画像を基に、疲労劣化のおそれが大
きい電車線金具(コネクタ・ハンガ)を個別に抽出する手法を開発
しました。

研究の背景と目的

- コネクタやハンガなどの電車線金具は、電車線構成や金具の状態などに起因し、列車通過時に金具が共振したり、金具の曲げが大きくなったりすることで想定より早く疲労破断する場合があります。しかし、現状ではどの金具が疲労破断のリスクが高いのかを把握できていません。
- そこで、コネクタとハンガを対象に、疲労破断のおそれのある金具を抽出する手法を開発しました。

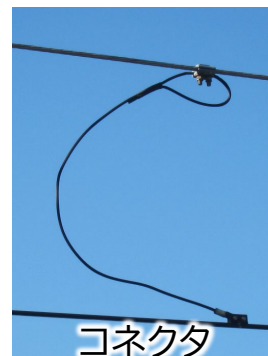
研究成果

- 電車線設備の画像を基に、列車通過時の架線振動による金具の共振の有無や金具に生じる応力の大きさを推定し、要注意金具を判別する手法を構築しました。
- コネクタについては、形状を近似するベジエ曲線制御点座標を導出し、機械学習により固有振動数やひずみを高精度かつ短時間で予測する要素技術を開発しました。
- ハンガについては、トロリ線高さからハンガ軸力の低下量を推定する要素技術を開発しました。

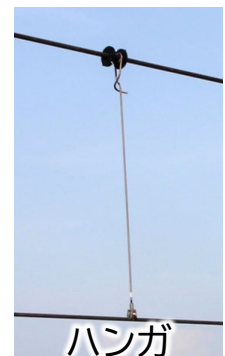
今後の展開

- 本手法を、電車線を検測する装置で使用可能なソフトウェアとして実装することで、金具の疲労要注意箇所の自動検出を実現する予定です。

本手法で対象とする金具

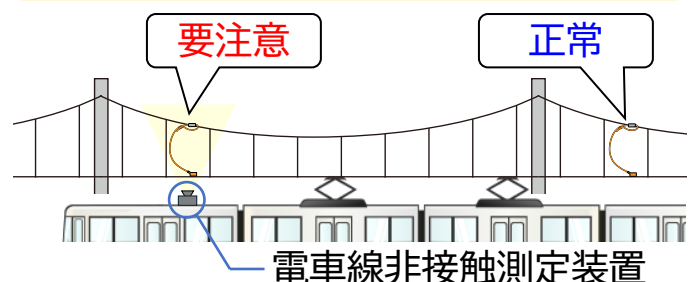


コネクタ



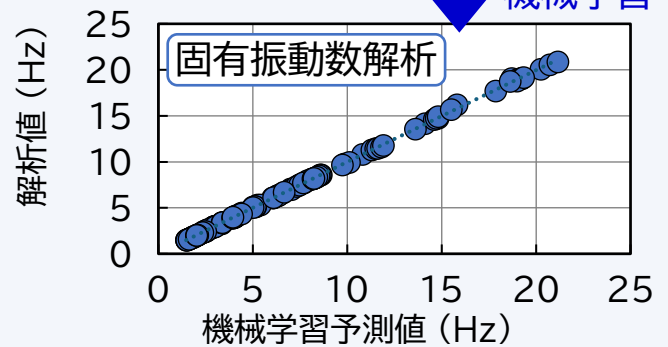
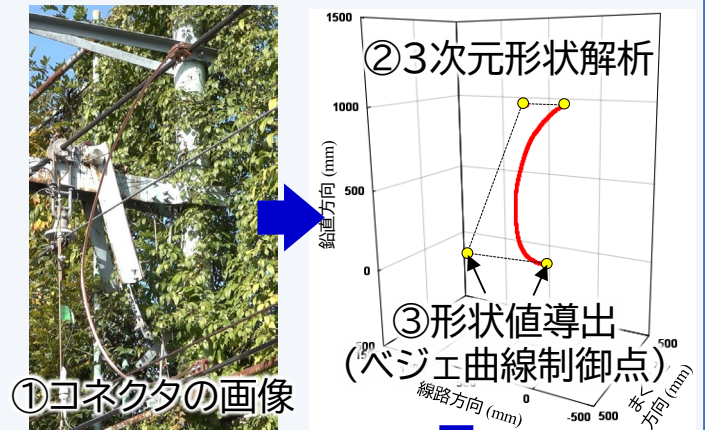
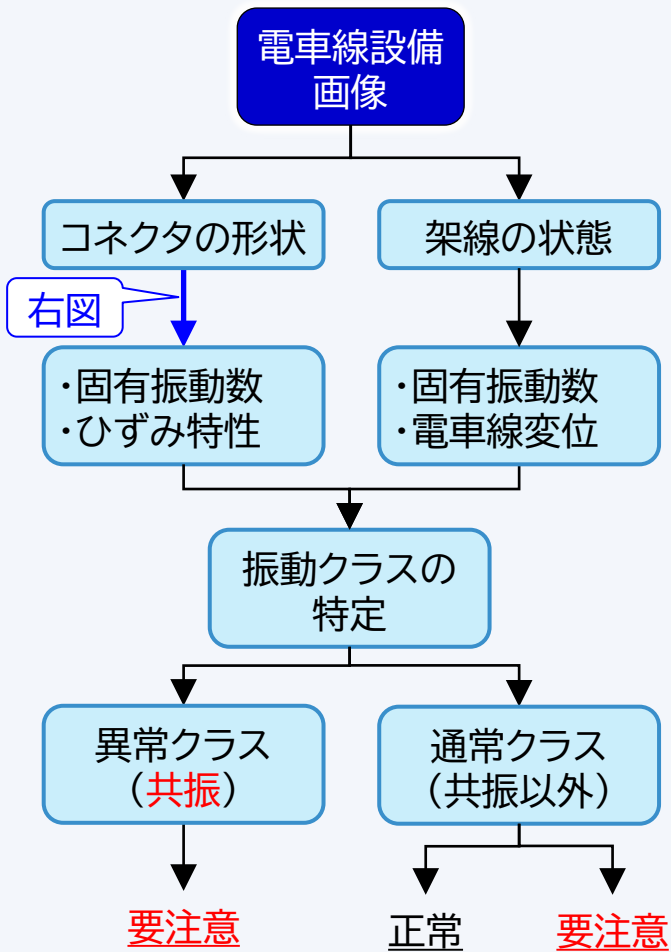
ハンガ

疲労要注意箇所抽出イメージ(将来)



コネクタの疲労要注意箇所抽出フロー

コネクタの固有周波数・ひずみ予測

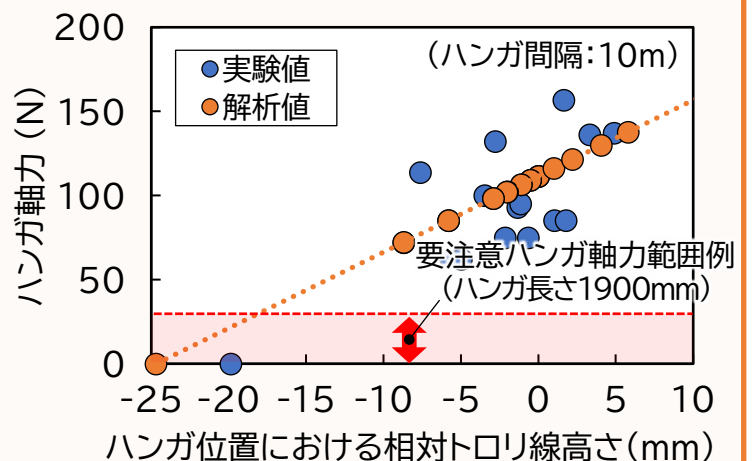
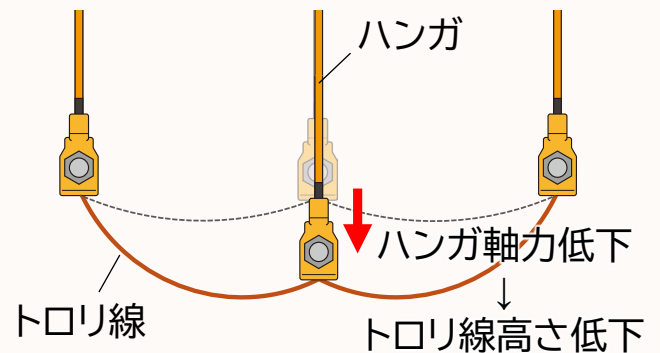
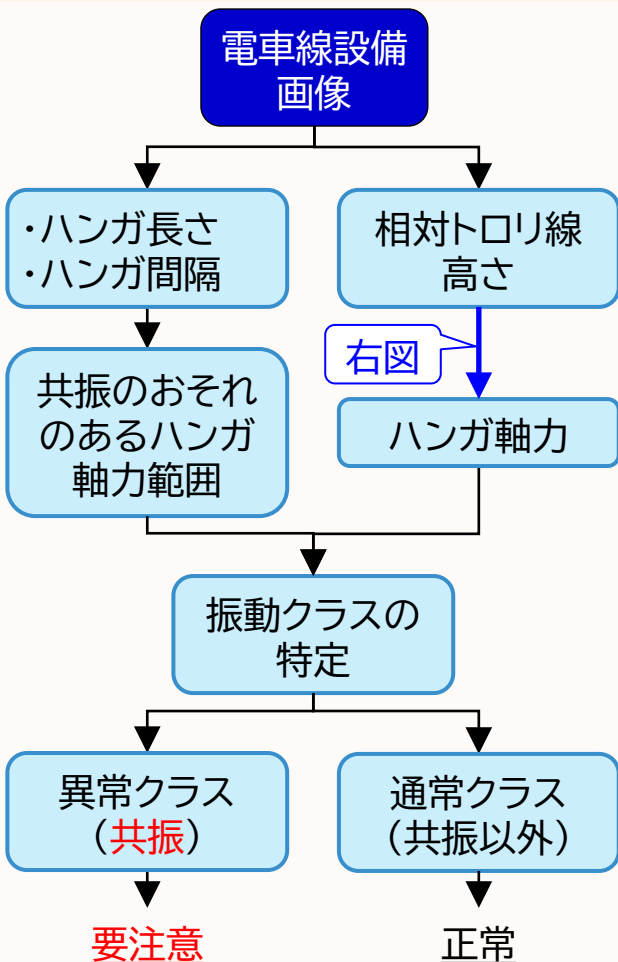


④固有振動数・ひずみ予測

コネクタ画像から解析結果を予測

ハンガの疲労要注意箇所抽出フロー

ハンガ軸力とトロリ線高さの関係



トロリ線高さからハンガ軸力を推定