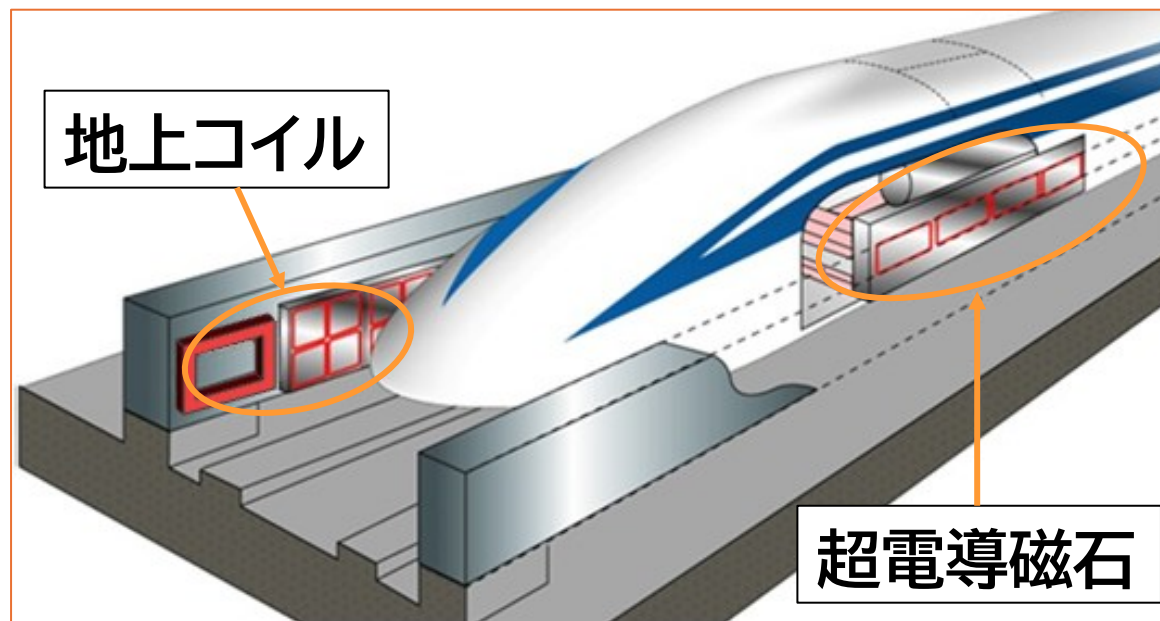


バッテリーフリー無線加速度センサを 用いた地上コイル振動監視手法

浮上式鉄道技術研究部 磁気浮上研究室長
田中 実

超電導リニアの技術開発は、鉄道総研とJR東海が共同で作成し、
鉄道総研が国土交通省に申請した「超電導磁気浮上方式鉄道技術
開発基本計画」に基づいて推進



鉄道総研では、「ICT技術等を
活用した効率的な保守体系の
検証」のため、地上コイルの
効率的な状態監視手法の検証
を実施

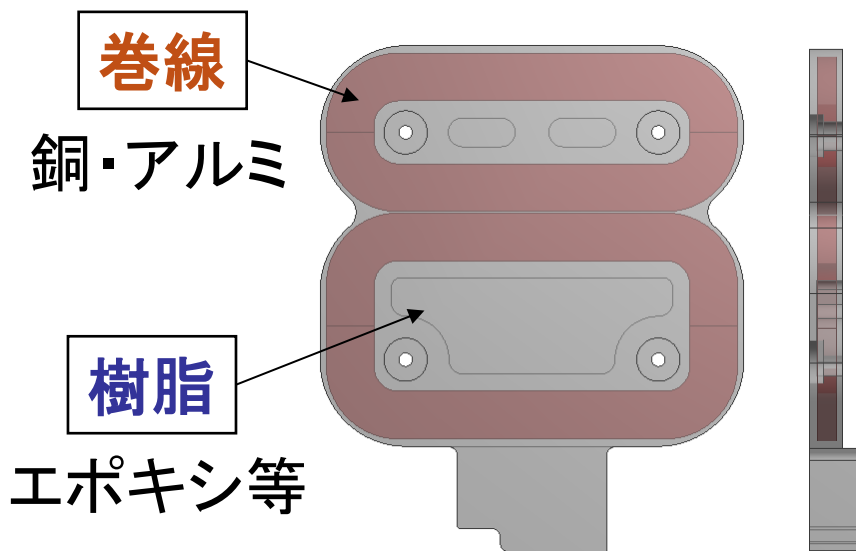
超電導磁気浮上式鉄道

背景 浮上式鉄道用地上コイルは、列車通過時に電磁力で振動
⇒現場で適用可能な簡易な振動監視手法が必要

目的 配線や外部電源が不要、かつ、複数センサデータの収集が
可能なバッテリーフリー無線センサを地上コイルの
振動監視に適用する手法を検討
特に、浮上式鉄道特有の直流磁場影響を評価すると共に、
電磁加振装置により、地上コイルに電磁力を加えて、
振動監視が可能か検証

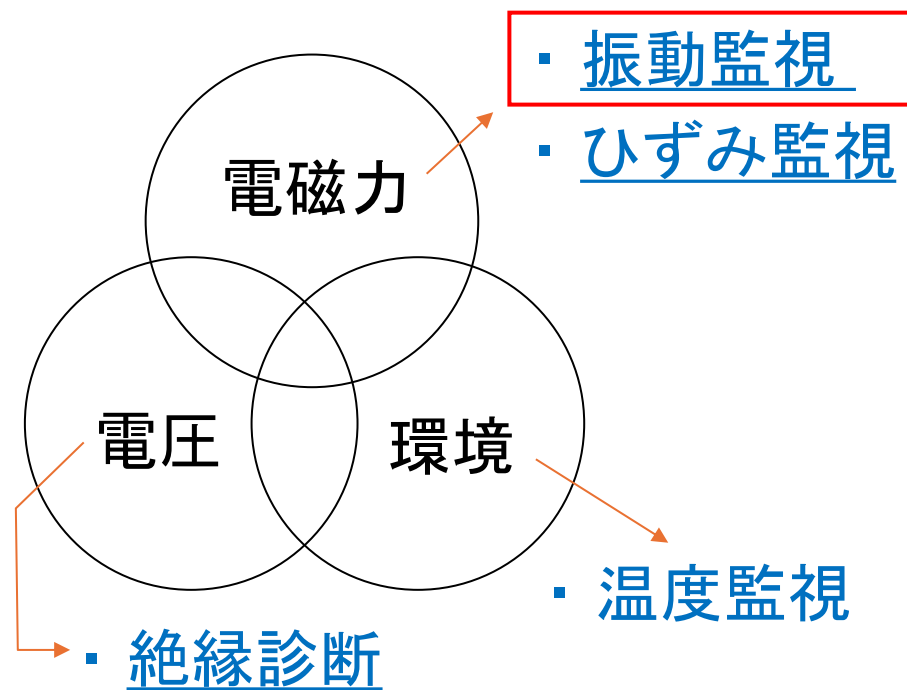
1. 地上コイルの振動評価
2. バッテリーフリー無線センサのしくみ
3. 機械加振装置を用いた地上コイルの振動監視
4. バッテリーフリー無線加速度センサの直流磁場影響評価
5. 電磁加振試験装置を用いた地上コイルの振動監視
6. まとめ
7. 成果の活用

1. 地上コイルの振動

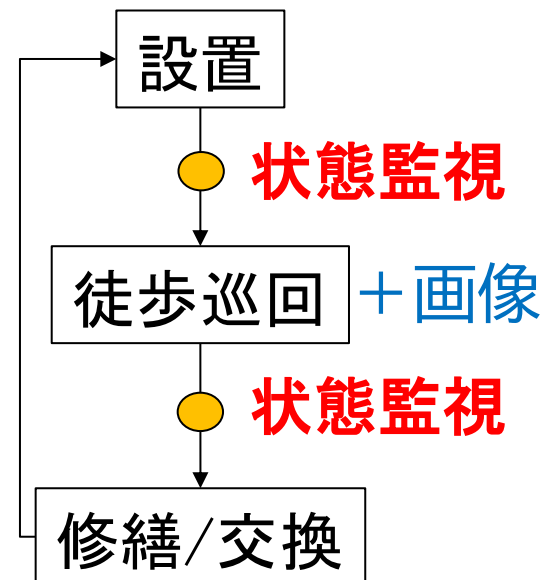


地上コイル (PLGコイル)

地上コイルは非接触のため、
摩耗部品は無く、基本的には
メンテナンスフリー



負荷と状態監視



状態監視

長期に渡って使用する場合、機械/電気/環境負荷が
繰り返し加わるため、疲労に対する検討が必要

➡ ICT技術を活用した状態監視手法の研究開発

1. 地上コイルの振動

- 浮上式鉄道用地上コイルは、車両通過時に電磁力により加振されるため、ベンチテスト(機械加振試験, 電磁加振試験)で振動特性や耐久性を検証



機械加振試験



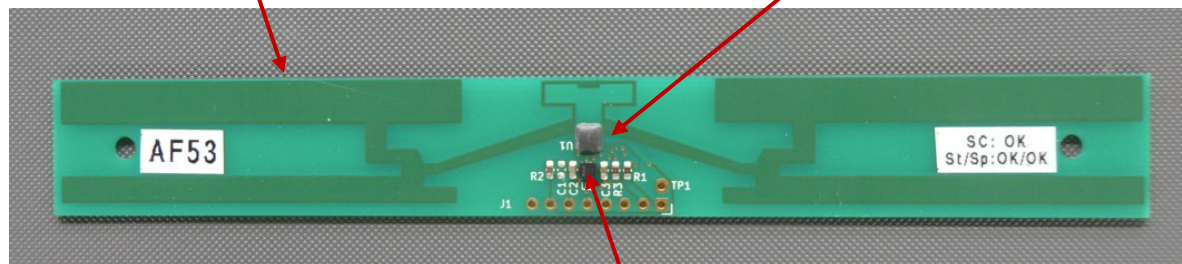
電磁加振試験

- 現場で地上コイルの振動を監視するには、簡易な振動監視手法が必要。
⇒ ① 配線不要、② 外部電源不要、③ 複数センサデータ収集

2. バッテリーフリー無線センサのしくみ

920MHz帯アンテナ

高周波IC

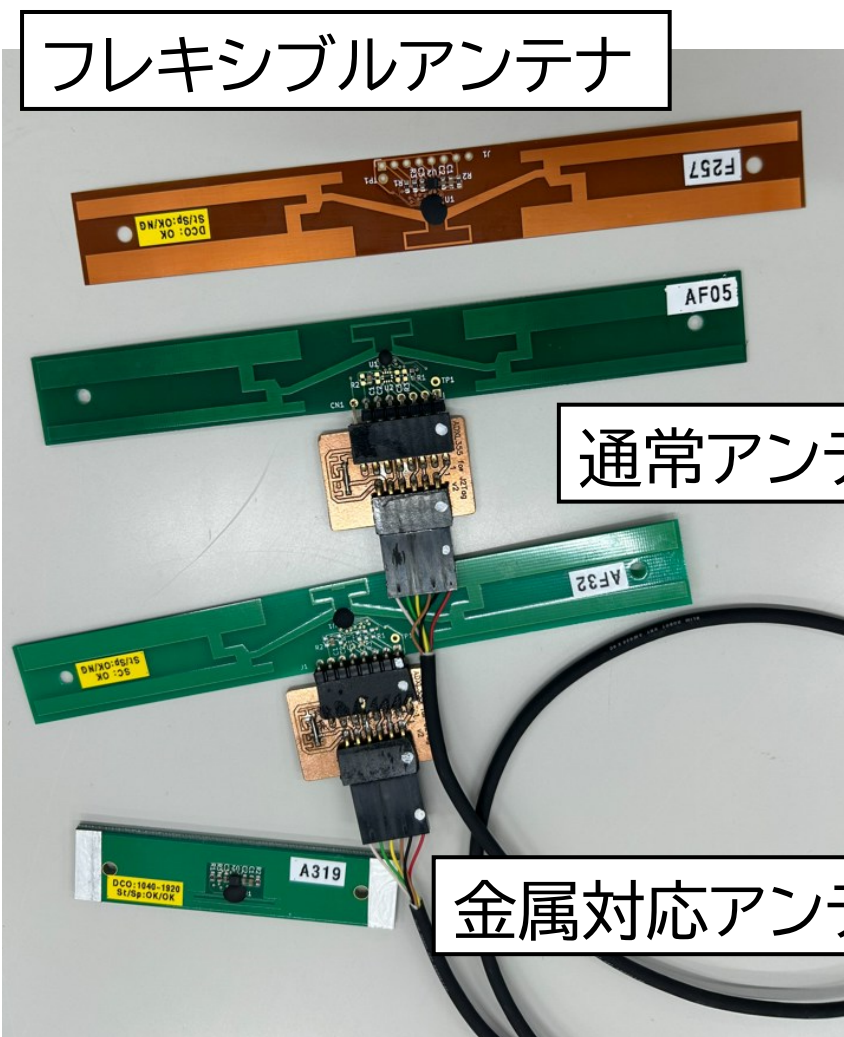


MEMS加速度センサ:
ADXL367 (400Hz/±2g)

電源無し、配線無し

バッテリーフリー無線加速度センサの構成例

フレキシブルアンテナ



通常アンテナ

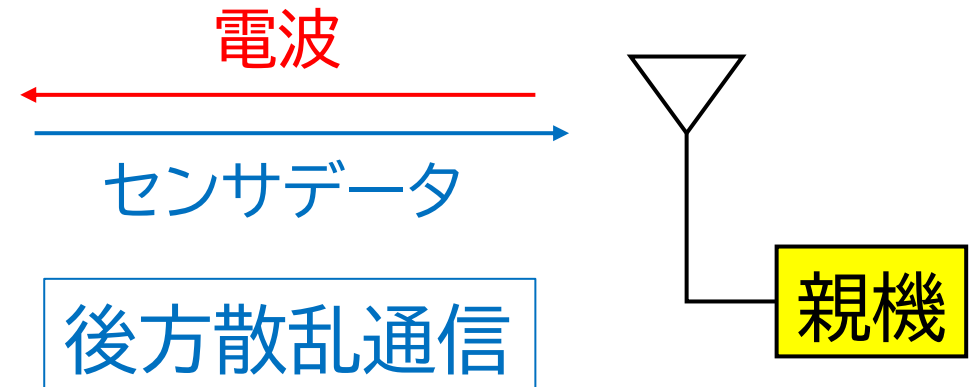
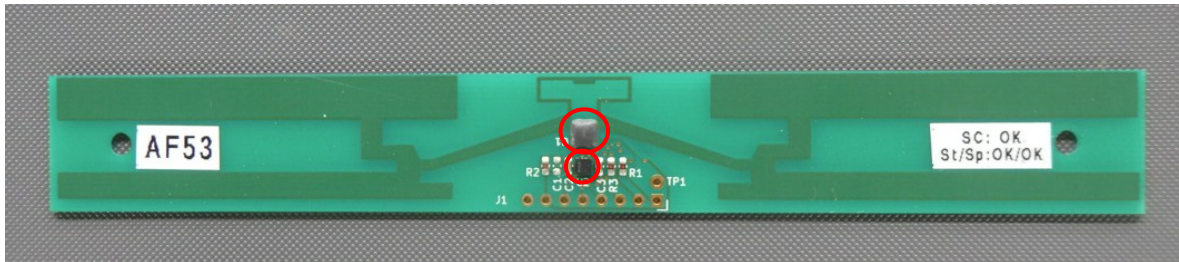
金属対応アンテナ

監視対象の材質や形状に合わせて
アンテナ設計が必要

2. バッテリーフリー無線センサのしくみ

国際規格 ISO/IEC 18000-65

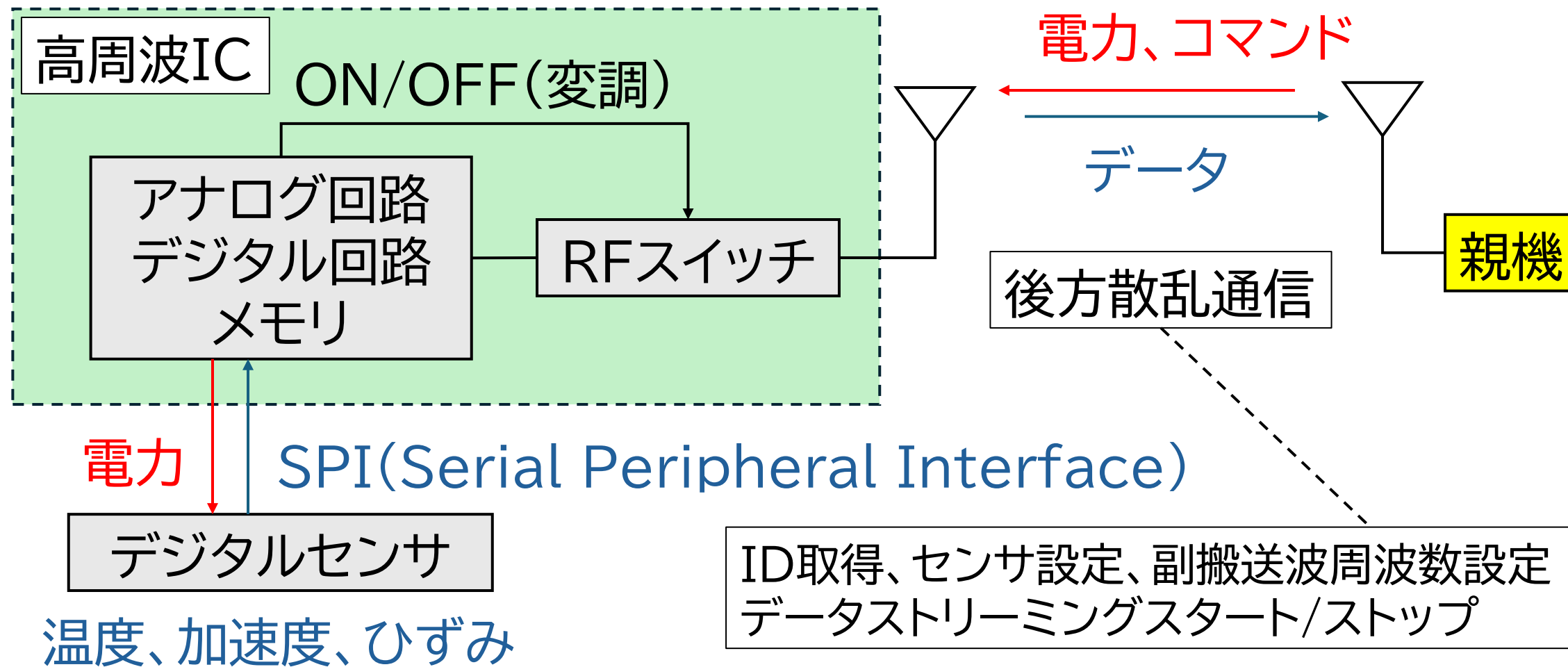
UHF帯RFID(Radio Frequency IDentification)の
国際規格 **ISO/IEC 18000-63** をベースとした
ストリーミングセンサ用エアインターフェース



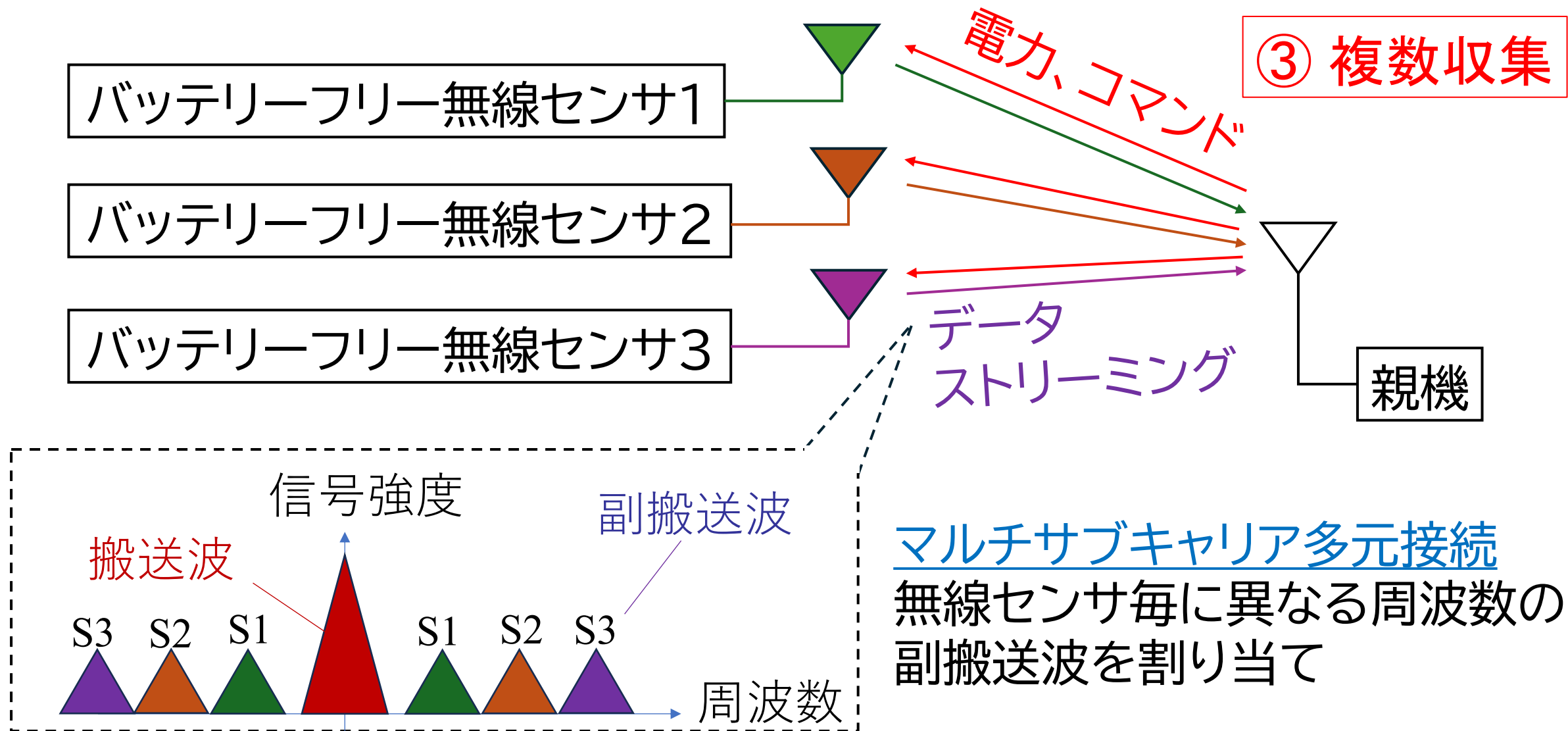
親機(質問器)から電波をあてると、高周波ICやセンサに電力が
供給され、電波の反射によりセンサデータをストリーミング

2. バッテリーフリー無線センサのしくみ

① 配線不要、② 外部電源不要



2. バッテリーフリー無線センサのしくみ

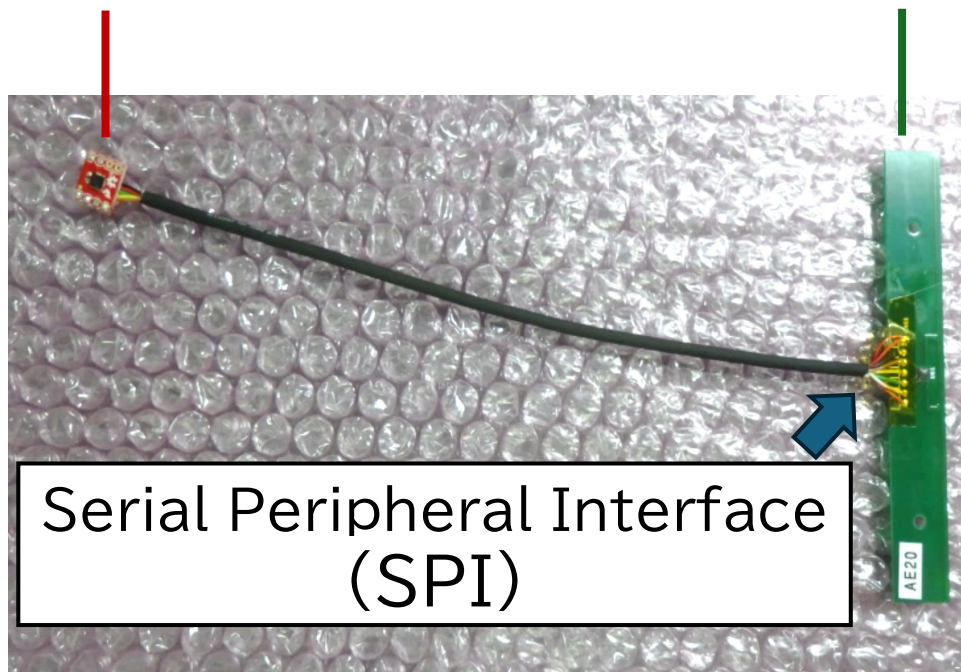


バッテリーフリー無線センサの複数データ収集方法

2. バッテリーフリー無線センサのしくみ

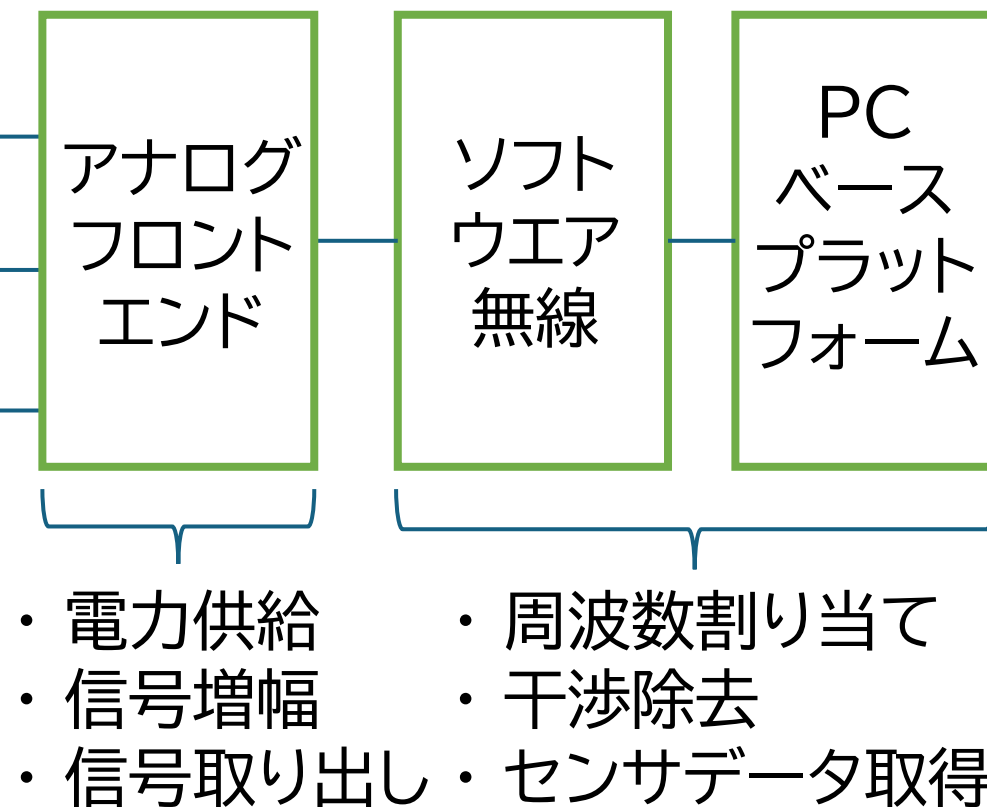
MEMS3軸加速度センサ
(市販品:ADXL367)

アンテナ
RFIC



センサとアンテナを分離した
バッテリーフリー無線加速度センサ

親機の構成

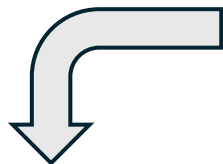


2. バッテリーフリー無線センサのしくみ

Railway Technical Research Institute

アナログフロントエンド

国際規格化



RFIDと同様
リーダライタ
開発に期待



LABVIEW

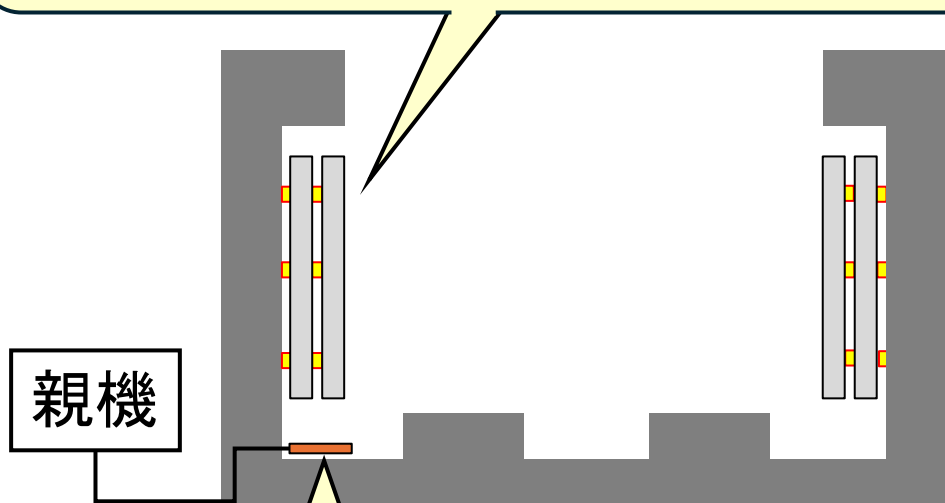
PCベースプラットフォーム ソフトウェア無線

親機の写真

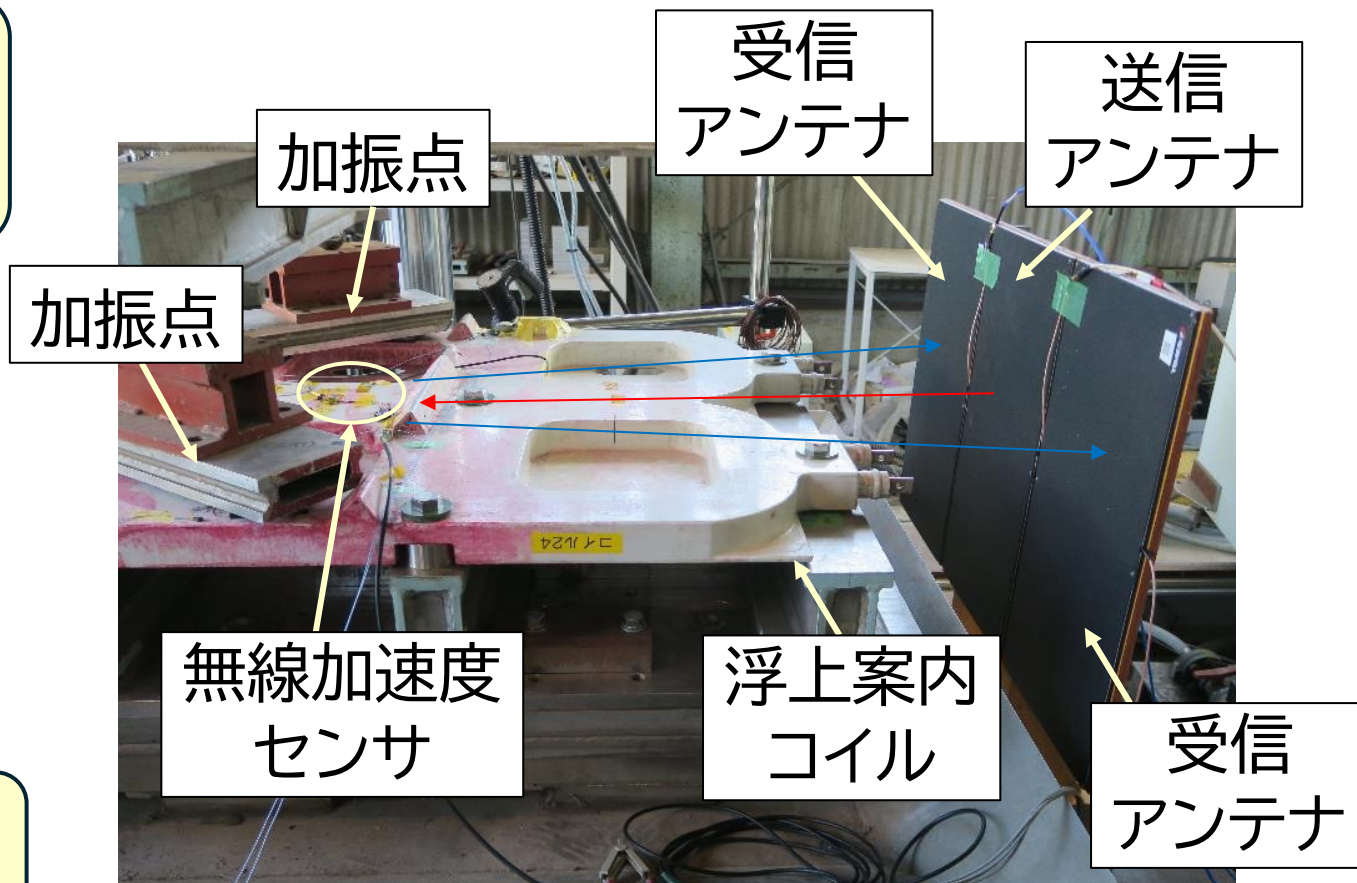
3. 機械加振装置を用いた地上コイルの振動監視

Railway Technical Research Institute

- ① あらかじめ、安価なバッテリーフリー無線加速度センサを地上コイルに仮設



- ② 振動監視が必要な時に、アンテナと親機を仮設

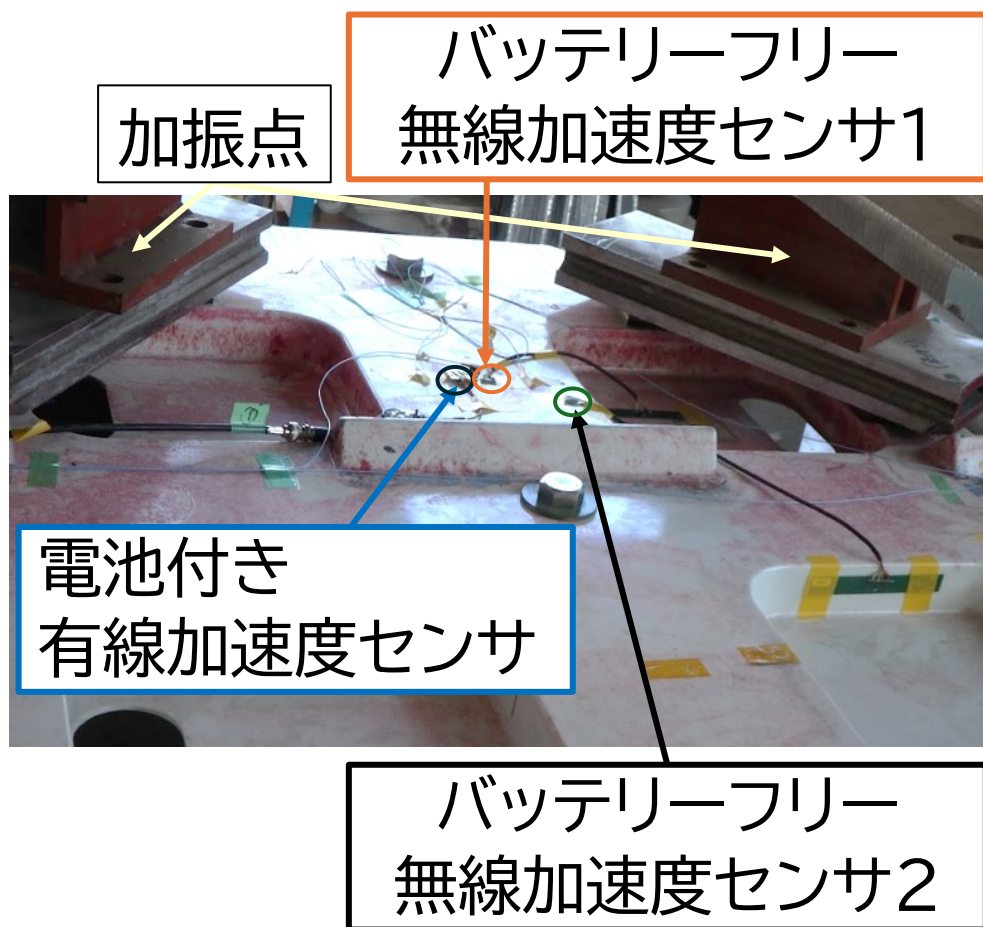


バッテリーフリー無線加速度センサによる
地上コイルの振動監視（案）

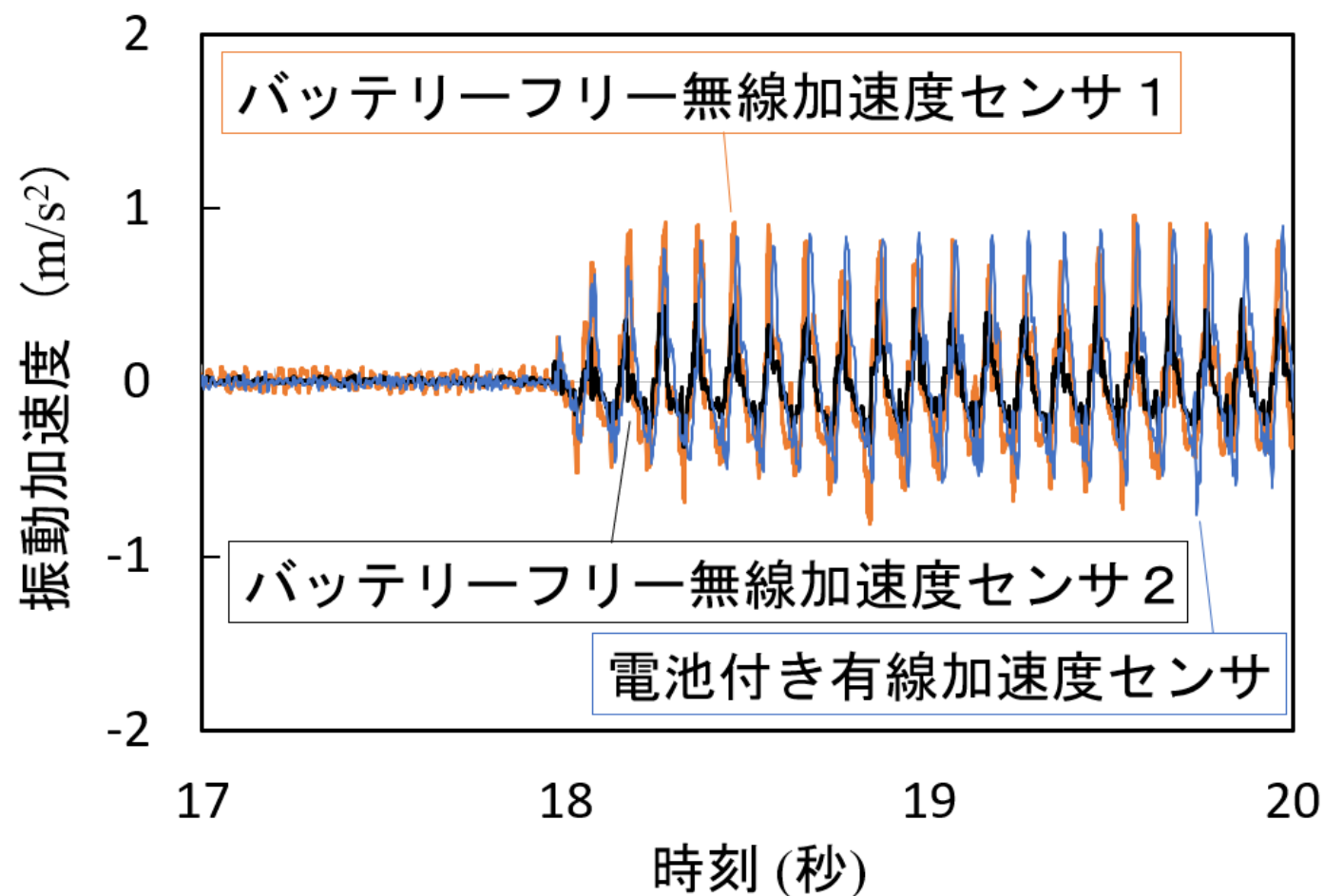
機械加振装置による地上コイル振動測定

3. 機械加振装置を用いた地上コイルの振動監視

Railway Technical Research Institute



バッテリーフリー無線センサの設置状況



振動測定結果(加振方向の軸で比較)

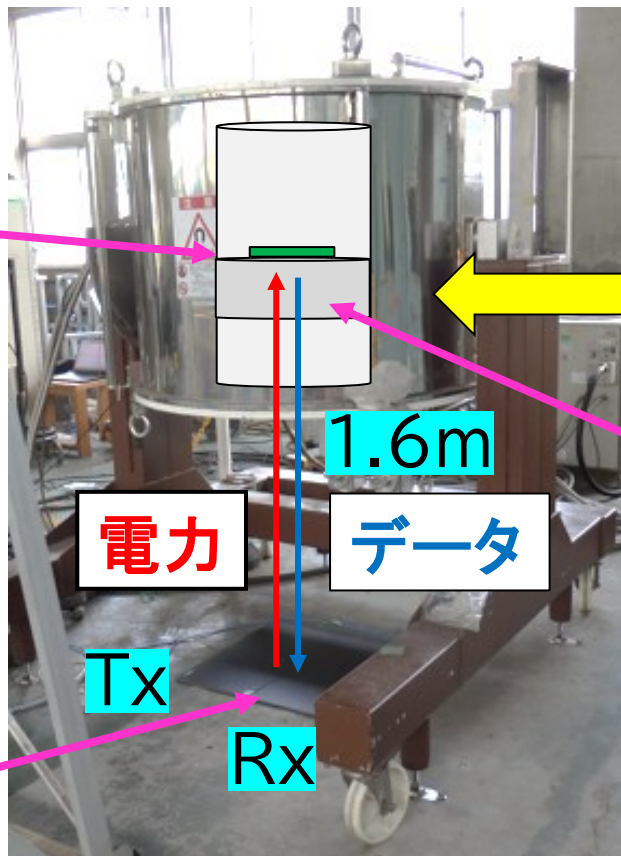
2個の加速度センサのデータをサンプリング周波数400Hzで収集

4. バッテリーフリー無線加速度センサの直流磁場影響評価

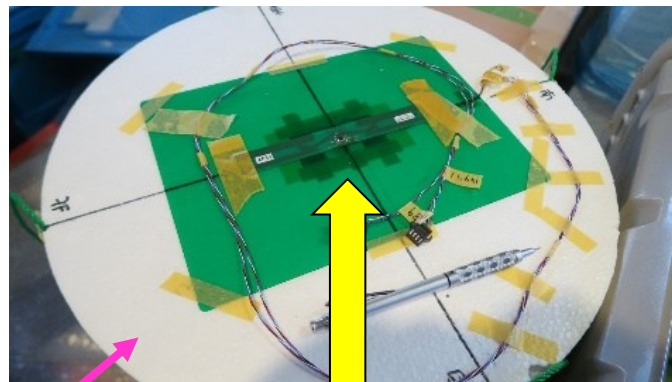
Railway Technical Research Institute

ボア径
400mm

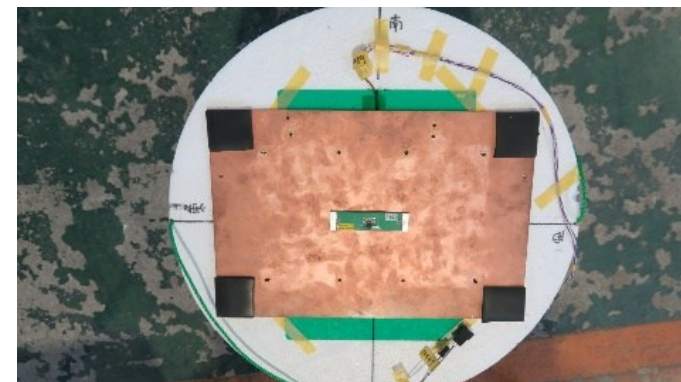
最大磁界
~5T



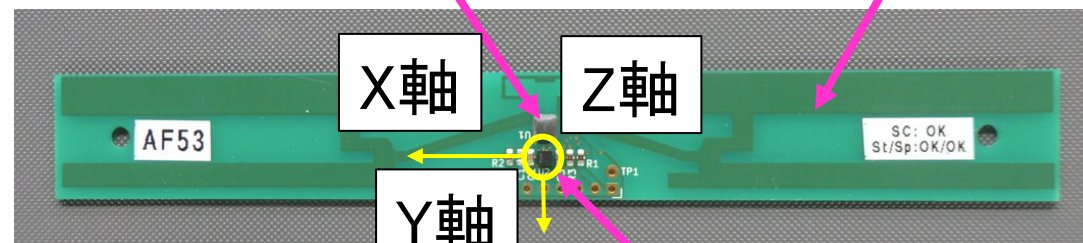
通常アンテナ



金属対応アンテナ



高周波IC 920MHz帯アンテナ



MEMS加速度センサ

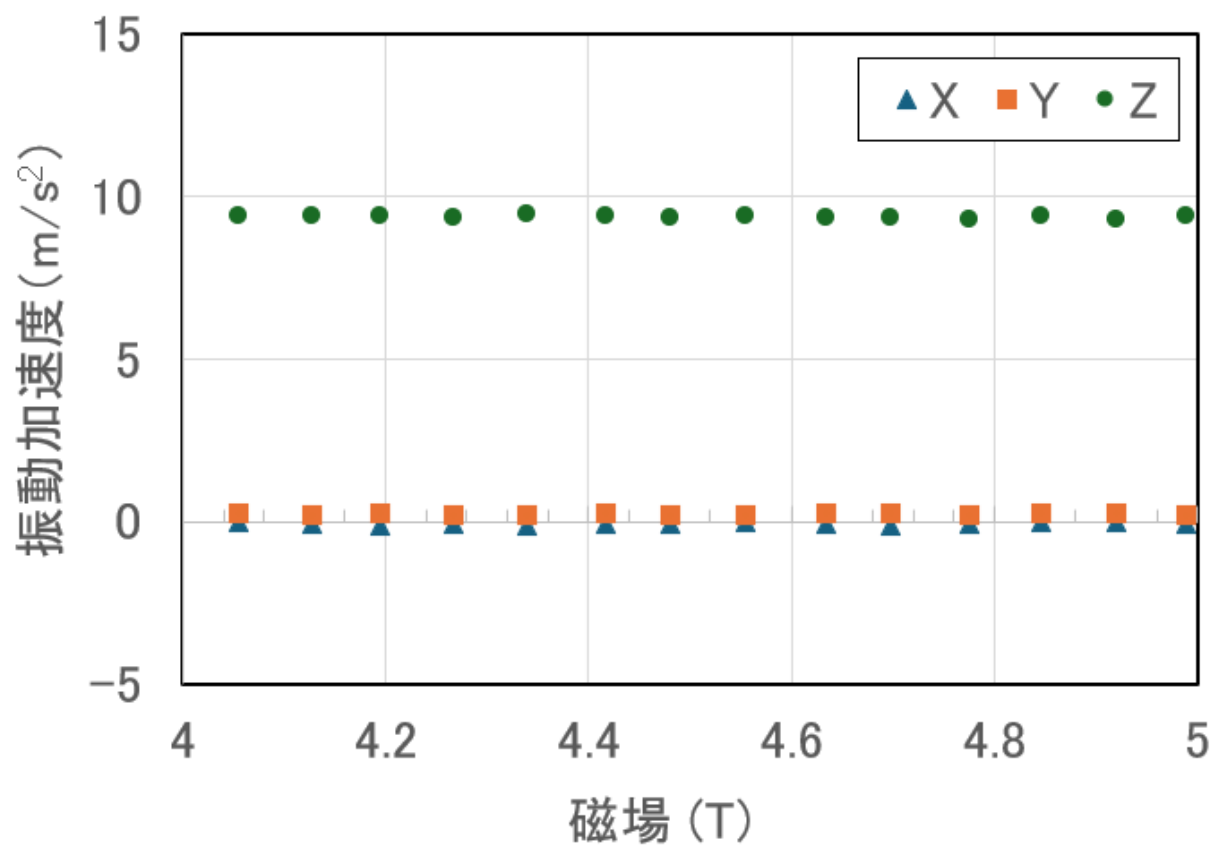
(a) 無冷媒直流磁界発生装置

(b) バッテリーフリー無線センサ

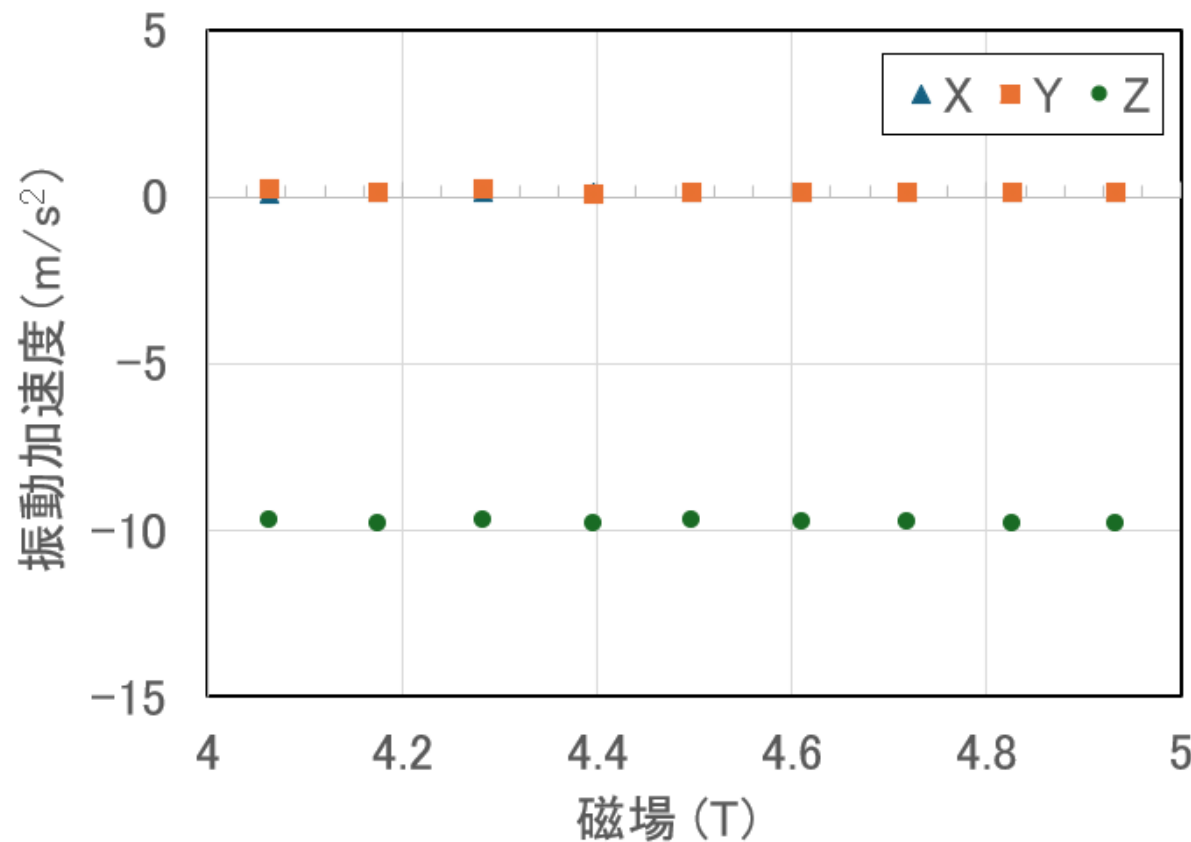
バッテリーフリー無線センサの直流磁場影響評価

4. バッテリーフリー無線加速度センサの直流磁場影響評価

Railway Technical Research Institute



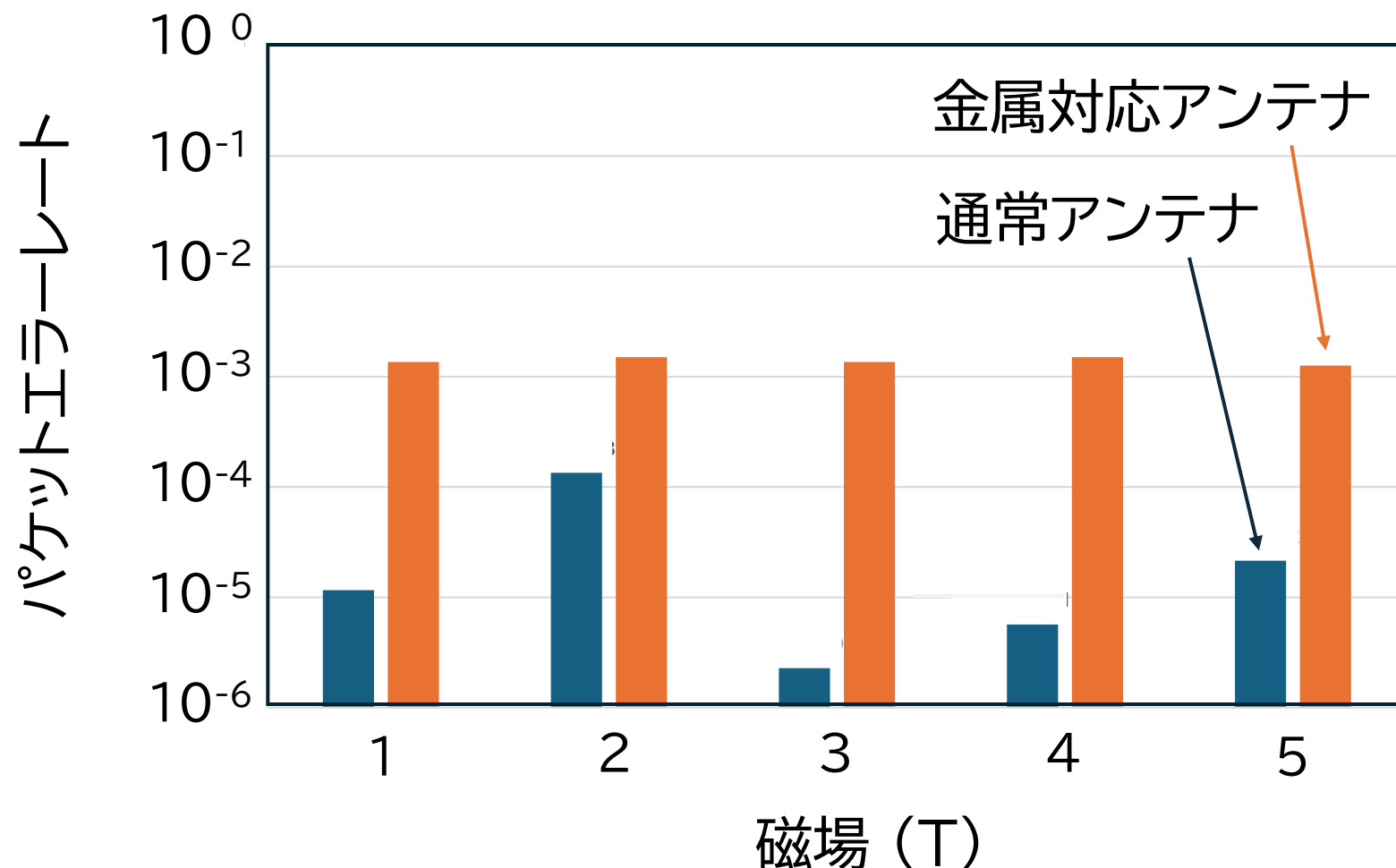
通常アンテナの振動測定結果



金属対応アンテナの振動測定結果

4. バッテリーフリー無線加速度センサの直流磁場影響評価

Railway Technical Research Institute



直流磁場によるパッケージエラーレートの変化

パッケージエラーレート

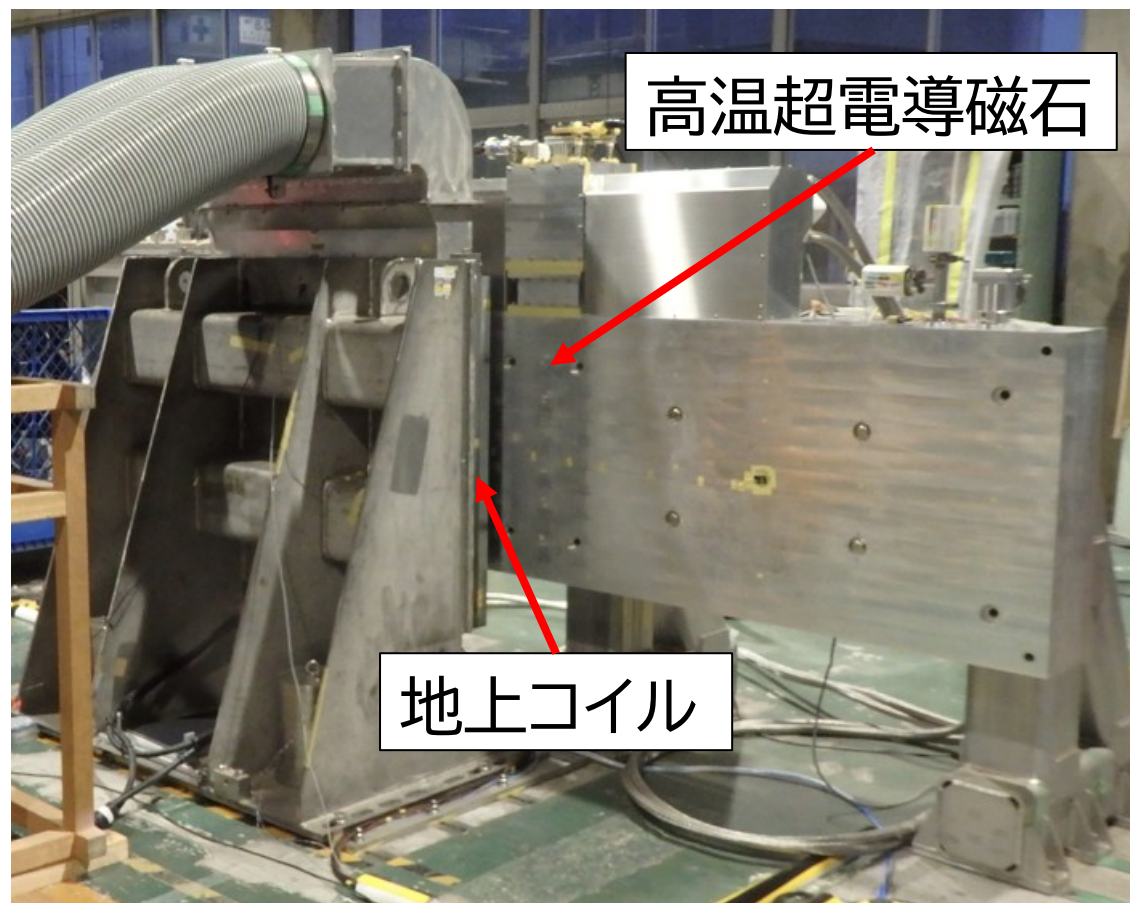
$$= \frac{\text{エラーフレーム数}}{\text{受信フレーム数}}$$

直流磁場による
エラーレートの
大きな変化は無い。

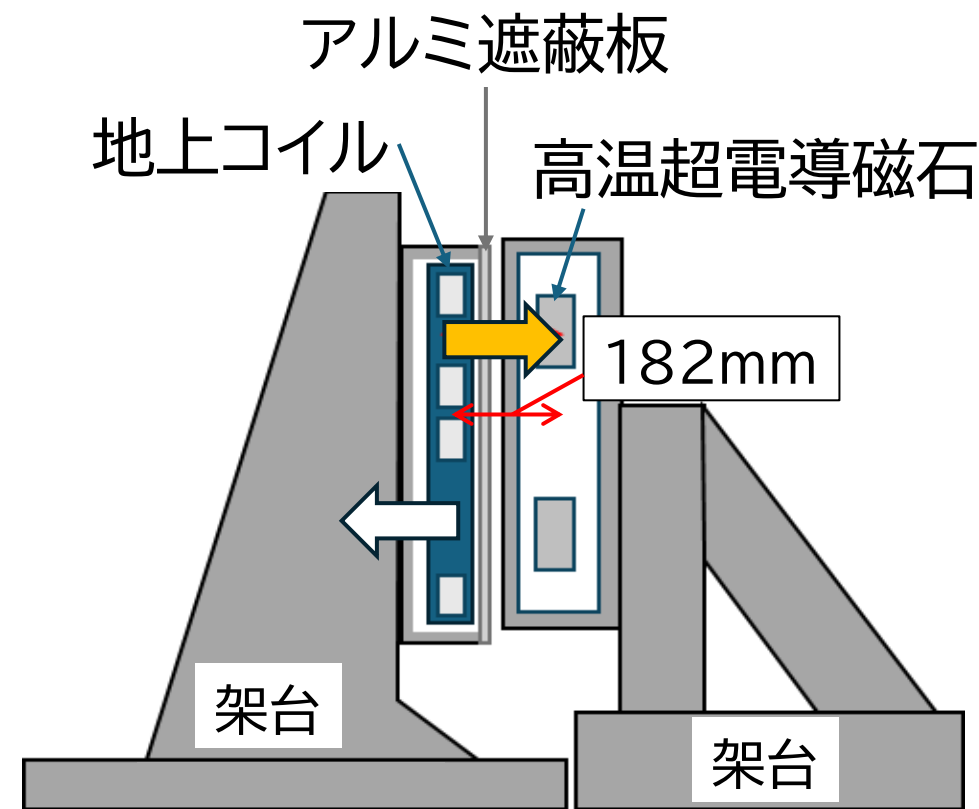
バッテリーフリー無線センサは、5テスラの直流磁場中でも正常に動作

5. 電磁加振装置による地上コイルの振動監視

Railway Technical Research Institute



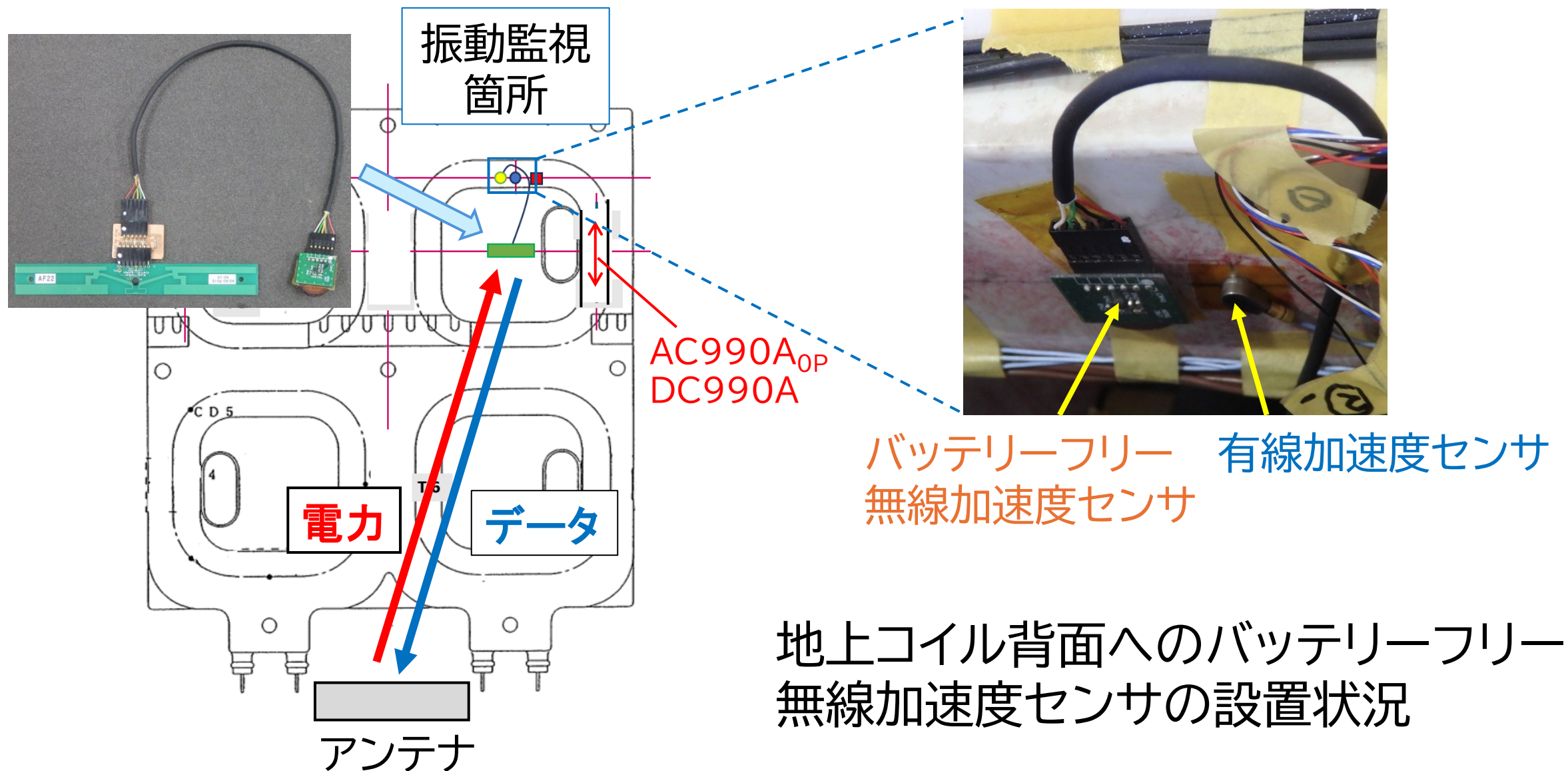
地上コイル電磁加振試験装置



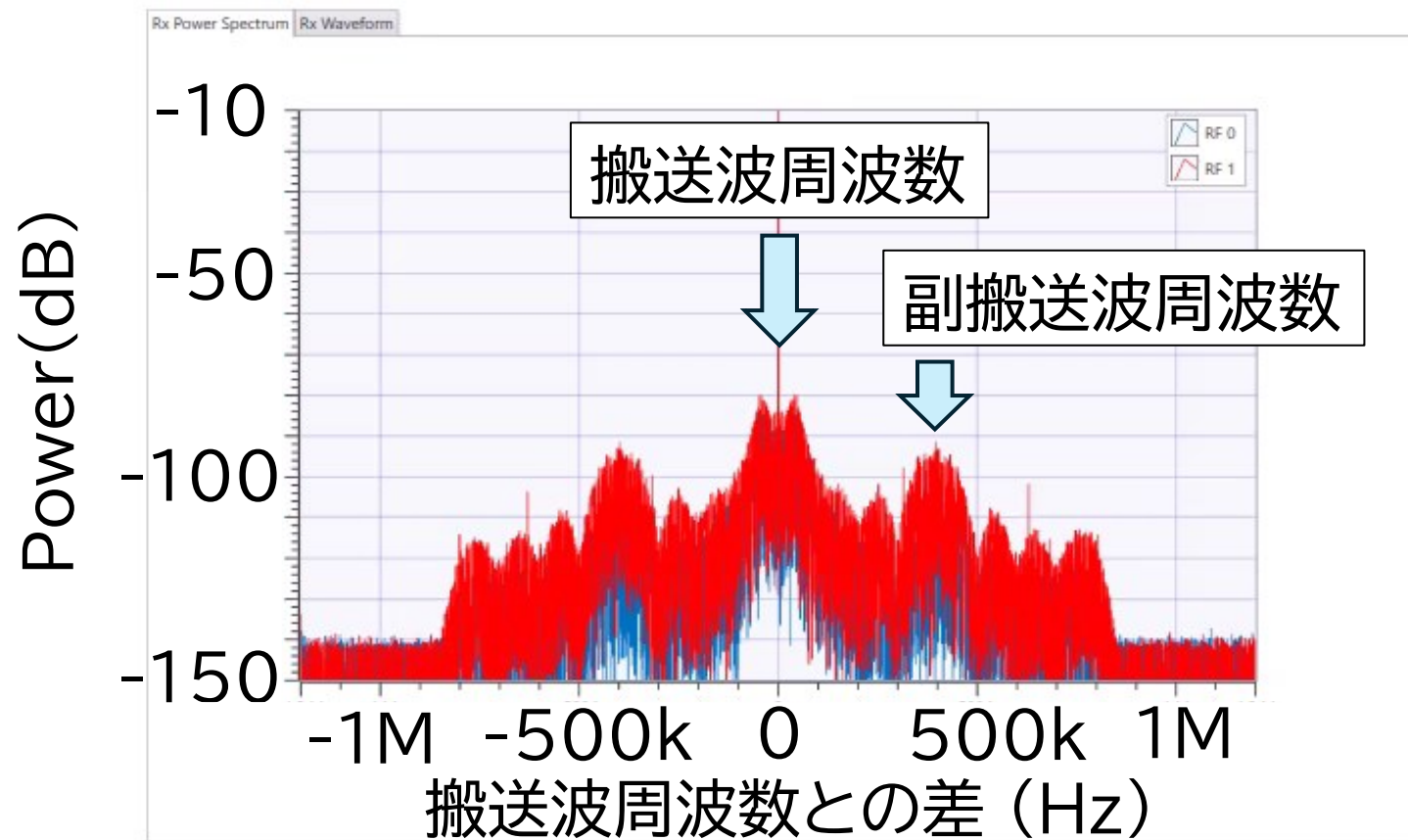
地上コイルと超電導磁石の配置

高温超電導磁石の磁場と地上コイルの通電により電磁力を発生

5. 電磁加振装置による地上コイルの振動監視



5. 電磁加振装置による地上コイルの振動監視



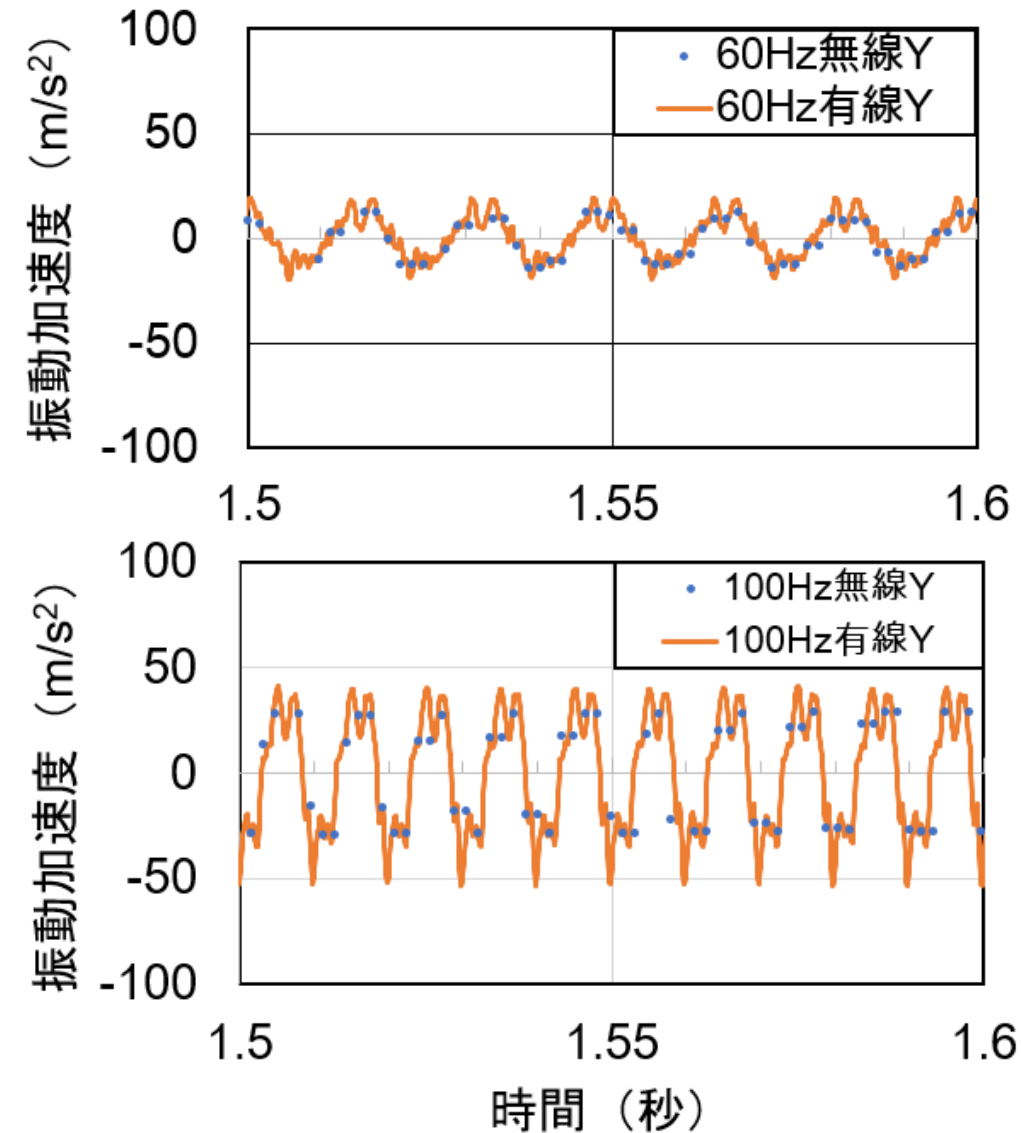
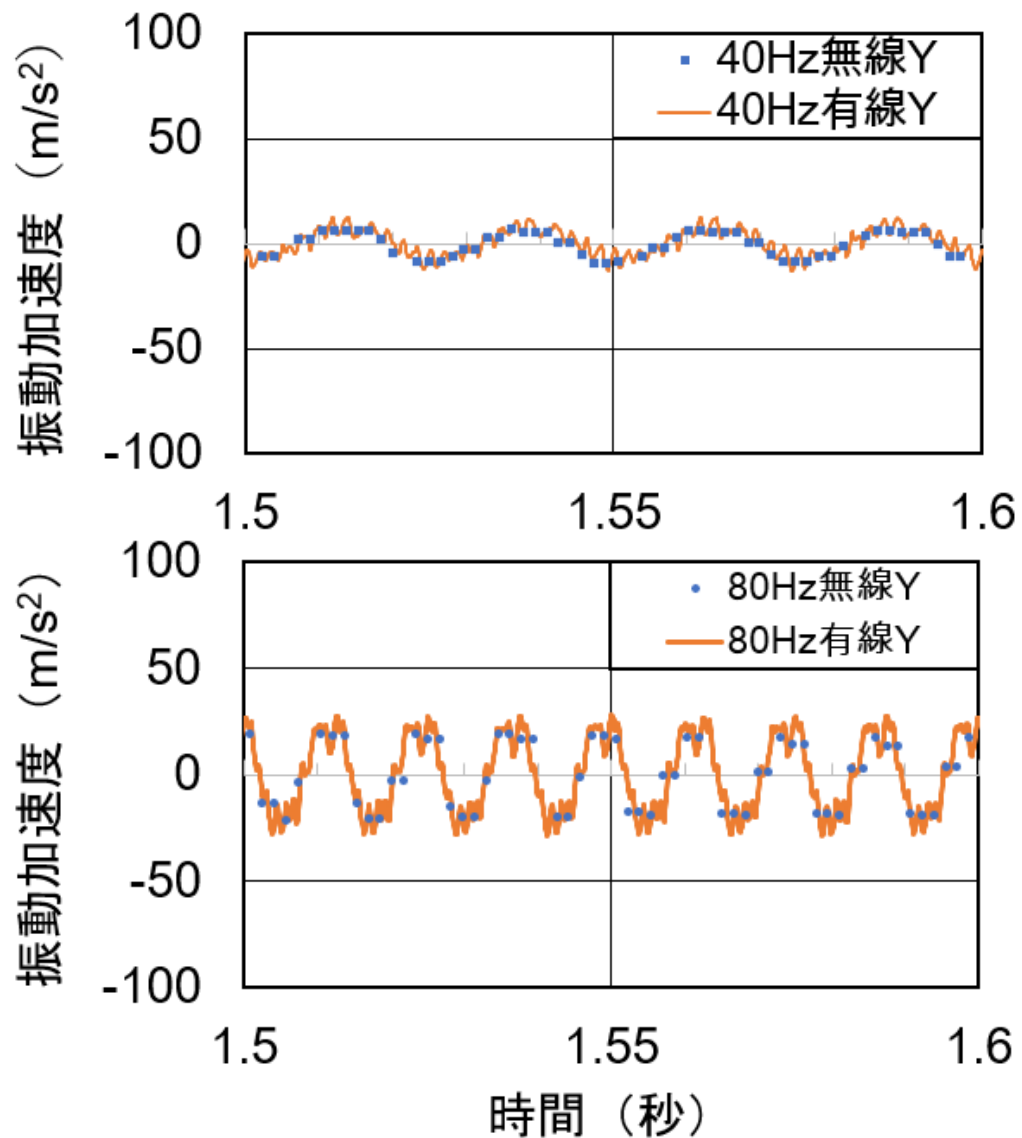
スペクトラム波形（通電無し⇒通電あり）

直流＋交流通電時のスペクトラム波形

地上コイルに直流＋交流を
通電すると、意図しない
後方散乱通信（背景バック
スキッタ）が発生

ただし、受信信号強度の
向上や副搬送波の
周波数の調整等により、
計測への影響を回避
可能

5. 電磁加振装置による地上コイルの振動監視



バッテリーフリー無線加速度センサと有線加速度センサの比較

6. まとめ

- 浮上式鉄道用地上コイルは、列車通過時に電磁力によって振動するため、現場に適用可能な簡易な振動監視手法が必要
- 配線や外部電源不要のバッテリーフリー無線加速度センサの適用を検討
- 機械加振試験により、2個の3軸加速度センサのデータをサンプリング周波数400Hzで収集可能なことを確認
- バッテリーフリー無線センサは、5テスラの直流磁場中で正常に動作することを確認
- 電磁加振試験装置を用いて、地上コイルに電磁力を加えた際、意図しない背景バックスキッタが発生したが、受信信号強度の向上や副搬送波の周波数の調整等により、振動加速度の測定が可能なことを検証

7. 成果の活用

- バッテリーフリー無線加速度センサは、浮上式鉄道用地上コイルの振動監視に活用可能
- 直流磁場中で利用できることから、超電導磁石の振動監視にも活用可能
- バッテリーフリー無線センサは市販センサが使用でき、振動以外の監視も可能
- 配線や外部電源が不要となるため、浮上式鉄道に限らず、極限環境など監視困難箇所の解消期待

本研究は、慶應義塾大学との共同研究で実施しました

田中実, 細川雄太, 中村一城: 無線センサーを用いた効率的な
状態監視で鉄道設備を守る, RRR, Vol.81, No.6,
pp.46-51, 2024.11-12