

鉄道構造物のモニタリング技術の 開発状況

公益財団法人 鉄道総合技術研究所

構造物技術研究部 部長 舘山 勝



本日の内容

1. 鉄道構造物の現状と技術開発
2. 構造物ヘルスマモニタリングシステム
3. 今後の課題

鉄道構造物の現状と技術開発

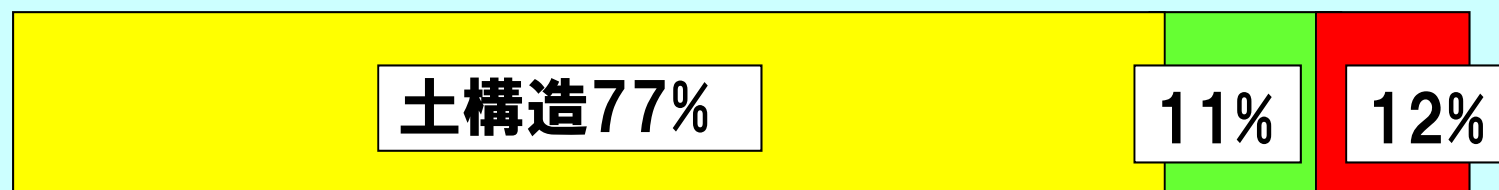


鉄道構造物の概況(全体数量)

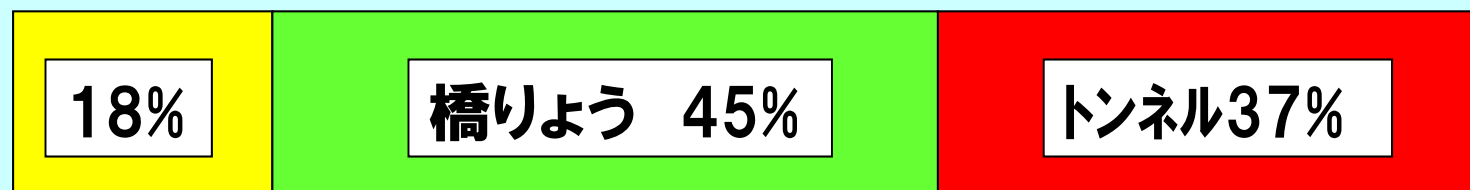
鉄道の現状

●下記は、JR(6社)、民鉄・第3セクター(52社)、公営(8社)鉄道事業者の施設集計である。このうち、**約7割がJR施設**、**約1割が新幹線施設**である。また、**橋りょう・トンネルは各々1割程度**である。

在来線
25,600km



新幹線
2,400km

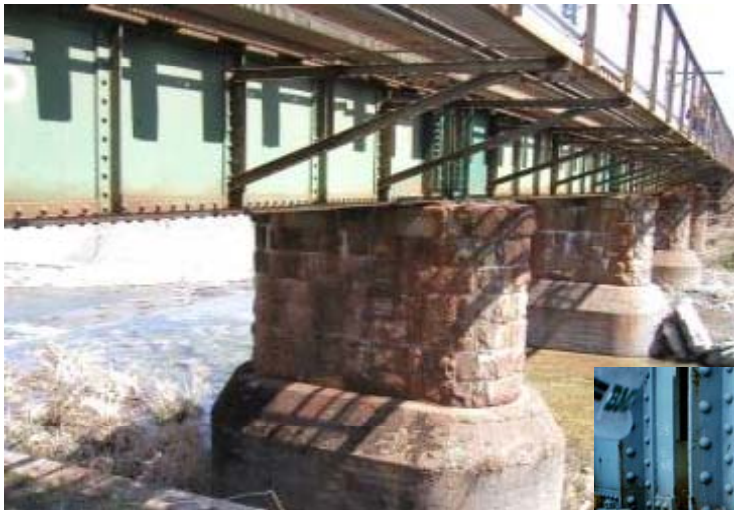
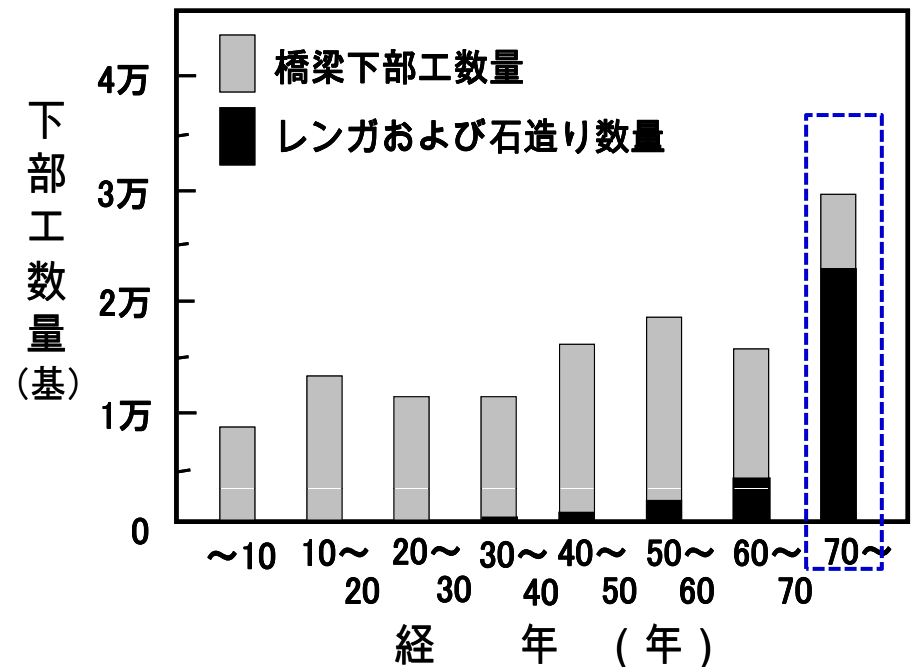
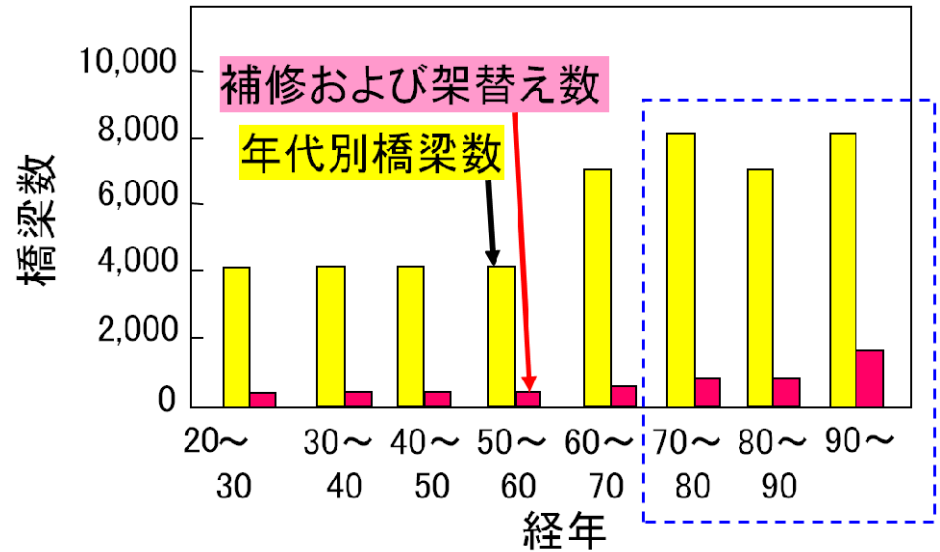


■ 土構造 ■ トンネル
■ 橋りょう(高架橋含む)

H24年集計

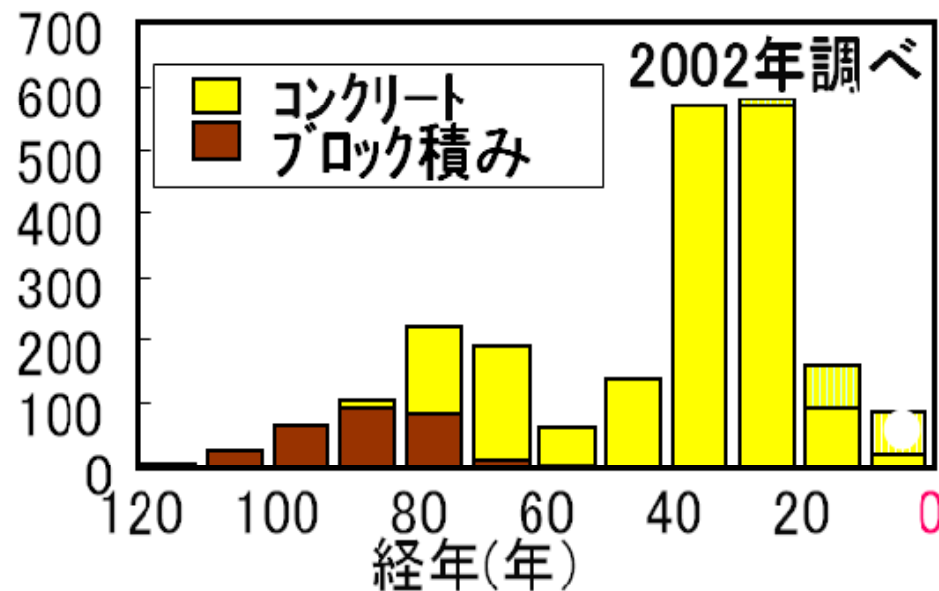
老朽化の現状(橋りょうの例)

- ▶ 例えば、**鋼桁**では**2万5千橋**、**下部工**では**3万脚**が経年70年を経過



老朽化の現状(トンネルの例)

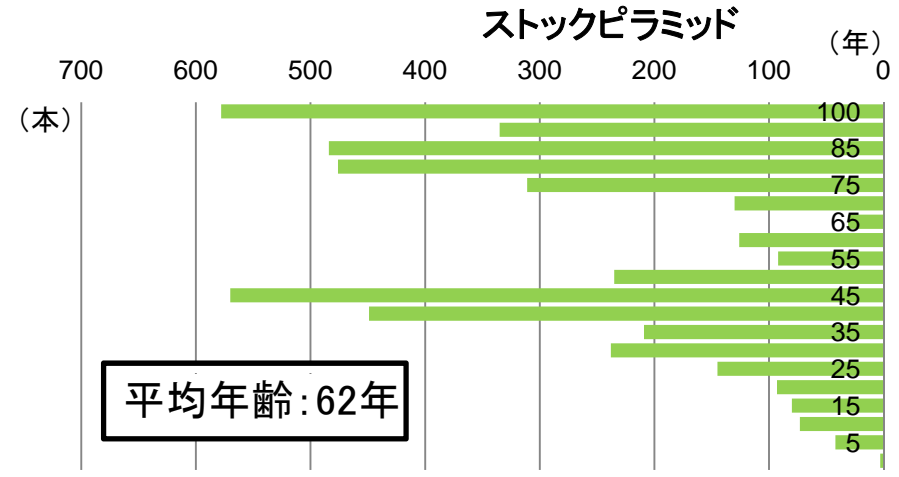
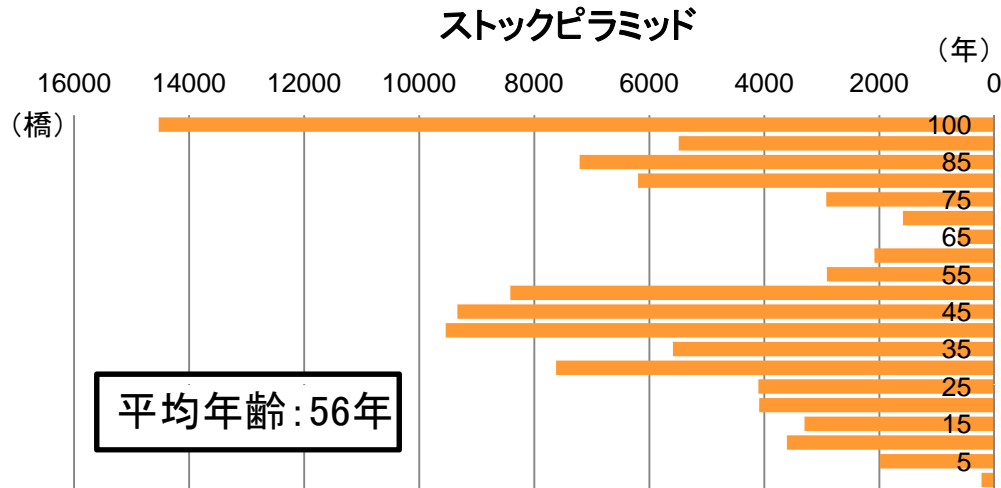
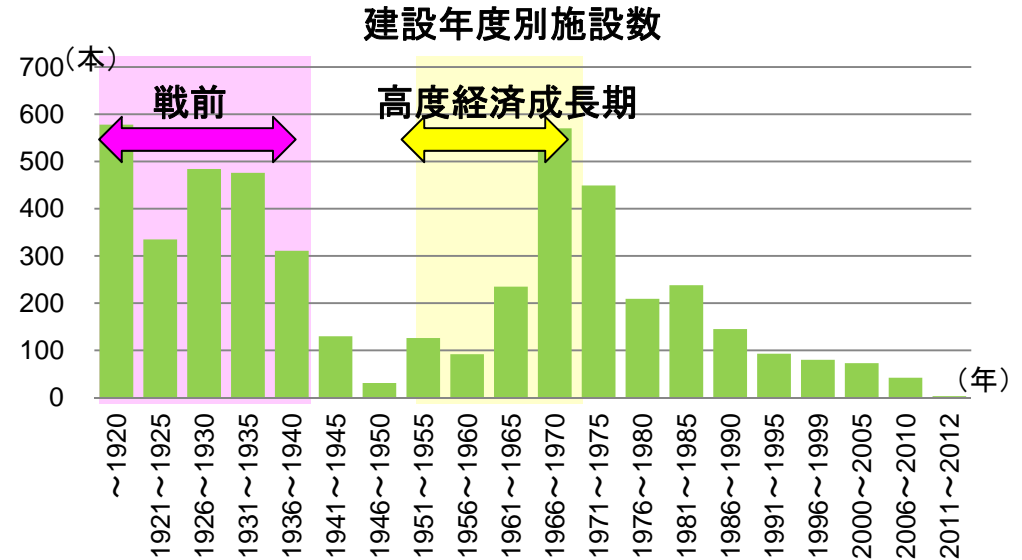
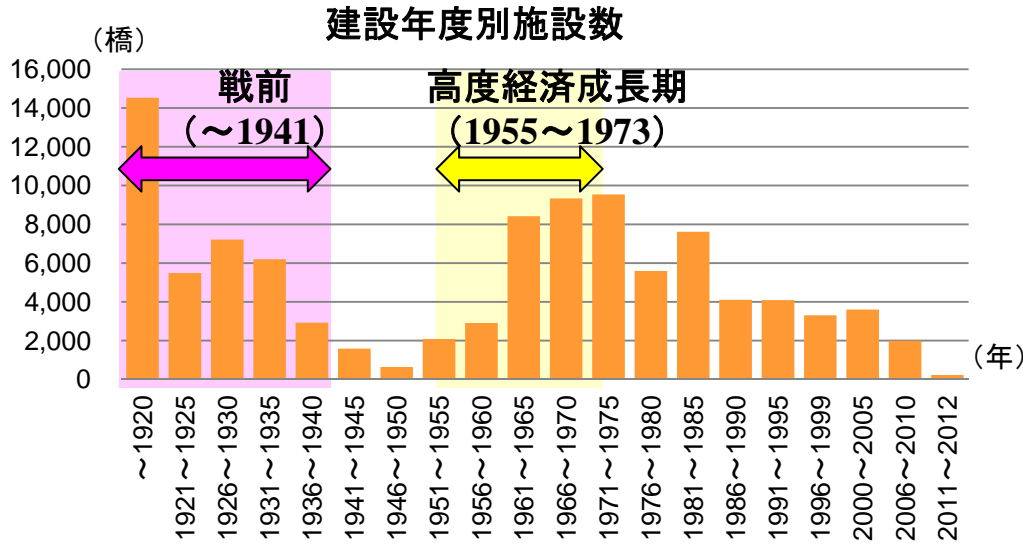
- ▶ 戦前に建設されたトンネルは全体の1/4で、概ねがブロック積み覆工
- ▶ 経年トンネルの1/3は措置が必要なトンネルであるが、狭小断面



鉄道施設のストック量(橋りょう・トンネル)

橋りょう総数: 102,293橋 (1m以上)

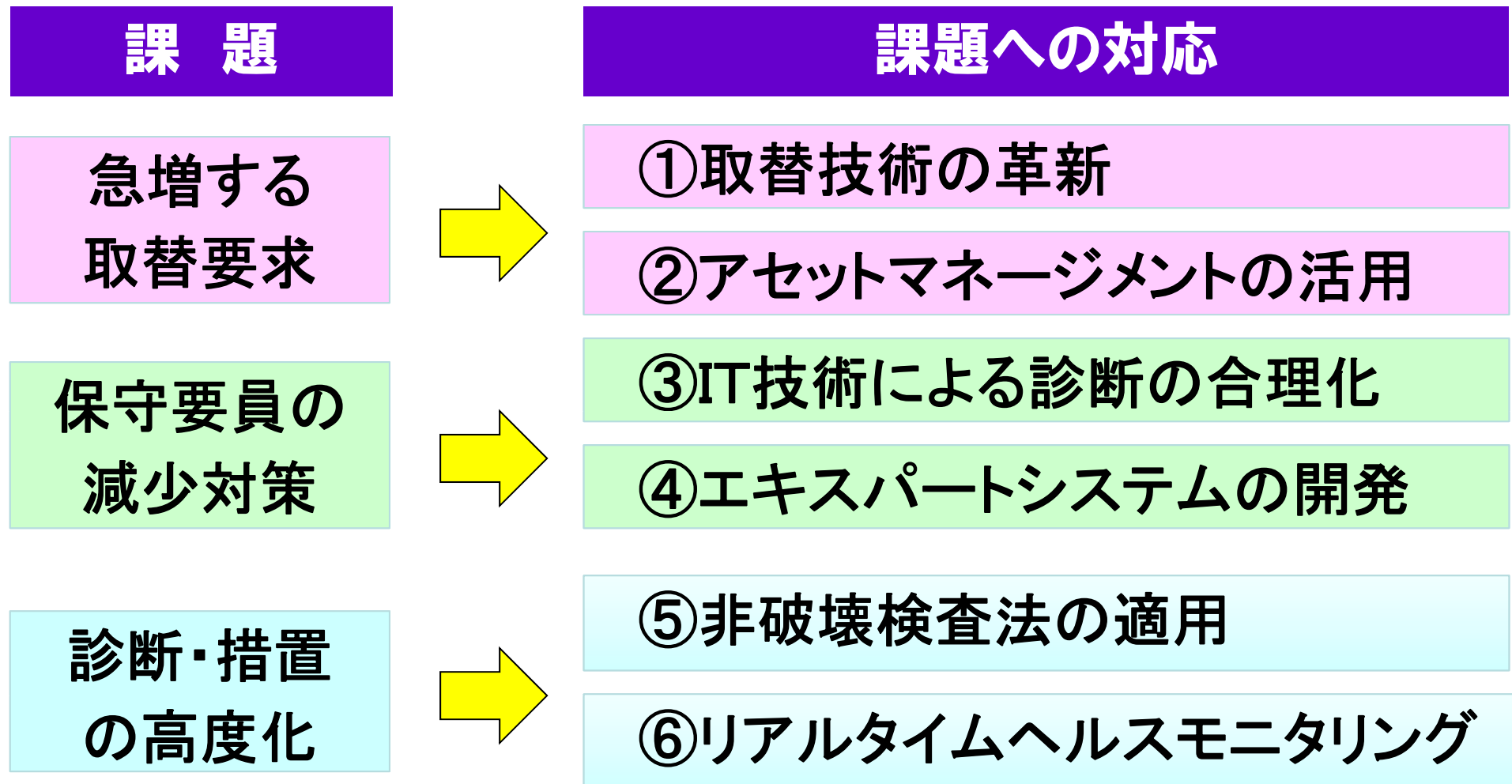
トンネル総数: 4,737本



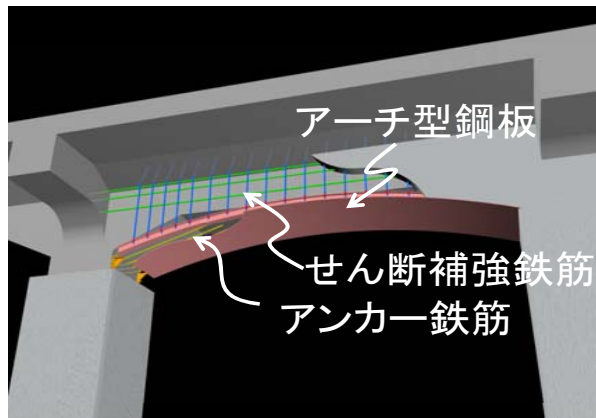
注) 平均年齢は、建設年度が把握されている施設の平均

維持管理に関する課題と対応

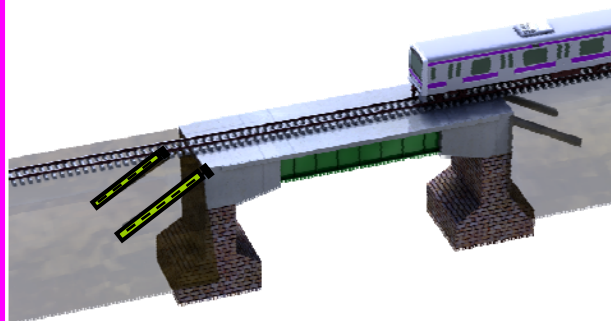
●維持管理においては、今後急増する**取替要求**、保守要員・熟練**技術者不足**、診断技術・措置技術の更なる**高度化**などが求められる。



延命化対策



(a) 高架橋延命化技術

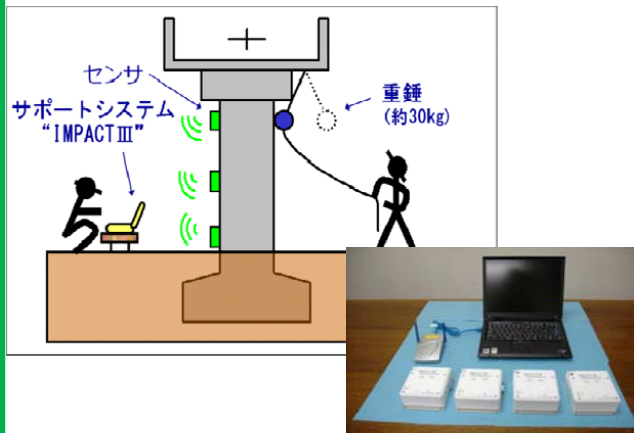


(b) 鋼橋延命化技術

診断技術の高度化

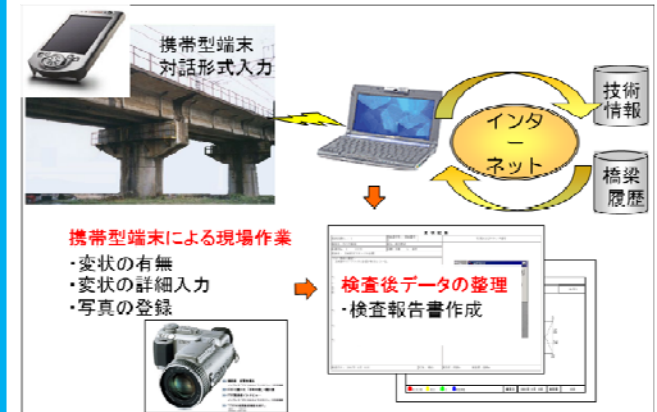


(c) BMCシステム



(d) IMPACTシステム

検査記録システム



(e) 橋守システム

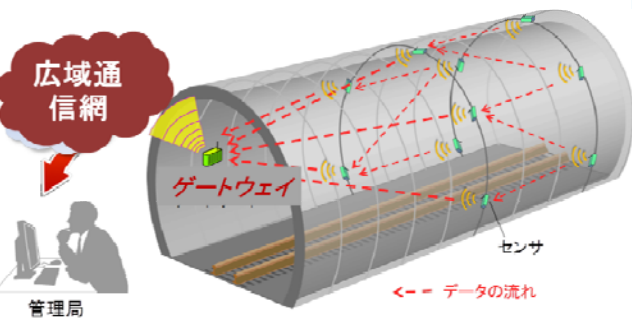


(f) システム検査台帳

常時状態監視技術

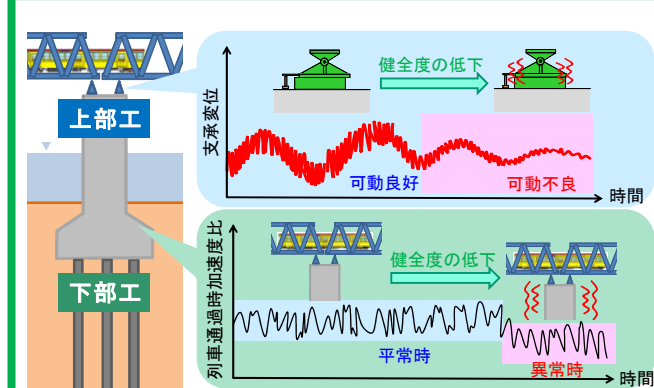
き裂検知塗料 導電性塗料
 Sensors 常時
 ▶ 検査しづらい部位の監視
 ▶ 検査周期の間の補間
 ▶ 発生した変状の監視
 ひずみセンサ
 電圧による回収
 RF-IDによる人的回収
 検知電圧網による自動回収
 ひずみセンサ
 ピークセンサ
 通電カプセル
 異常時 Sensors
 異常発生の早期検知 ◀
 損傷箇所・程度の把握 ◀
 外乱[震度や最大風速]の把握 ◀

(a) 構造物ヘルスマニタリング

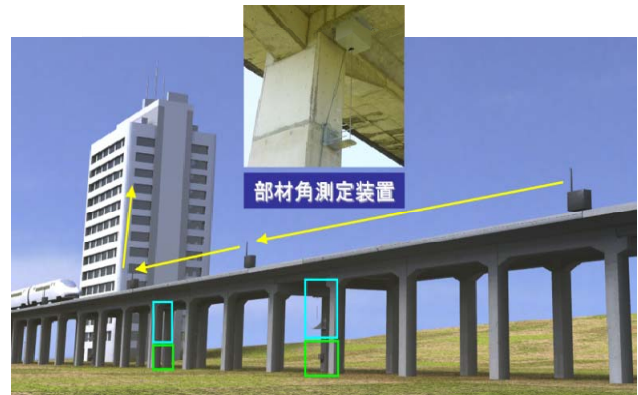


(b) トンネル状態監視技術

異常時監視技術

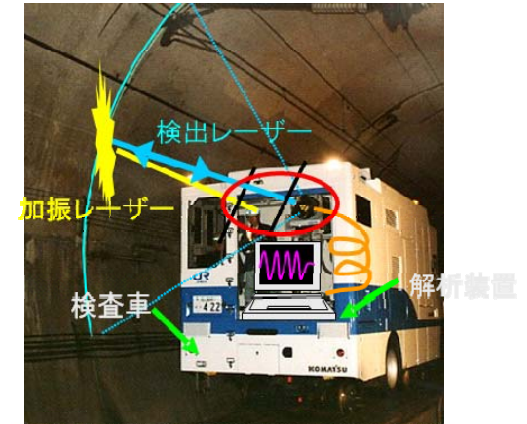


(c) 橋梁状態監視システム

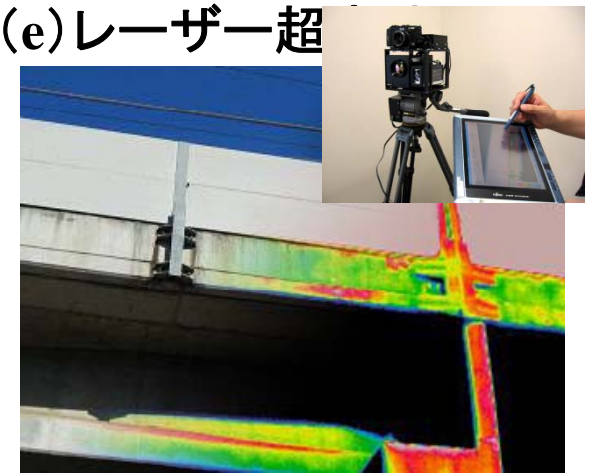


(d) 地震時損傷検知

検査技術



(e) レーザー超



(f) 赤外・可視画像融合法

構造物ヘルスマニタリングシステムの開発



鉄道の全般検査における課題

モニタリング

●鉄道では、全般検査や随時検査において、列車を安全に運行するために、目視を基本とした以下の検査を実施している。

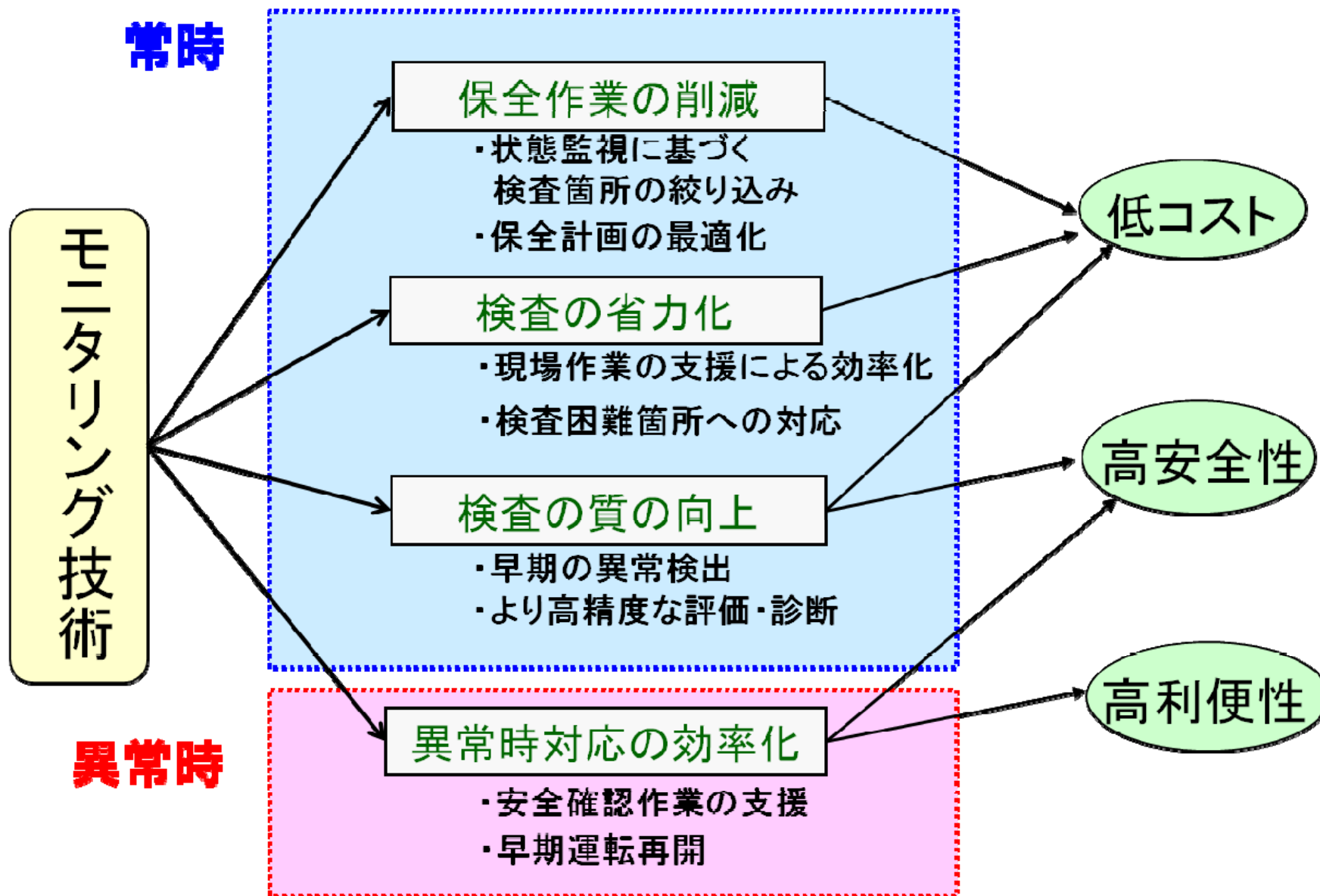
①全般検査 【2年に一回の定期検査】

目的	構造物の健全性の確認
課題	<ul style="list-style-type: none">▶ 老朽構造物の急激な劣化を把握しにくい場合がある。▶ 検査しにくい箇所がある。▶ 検査に多くの人手を要する。

②随時検査 【地震時や豪雨時などの不定期検査】

目的	突発的な事象における構造物の安全性の確認
課題	<ul style="list-style-type: none">▶ 徒歩で広範囲を見て回るため運転再開までに時間を要する。▶ 検査しにくい箇所がある。▶ 検査しに多くの人手を要する。

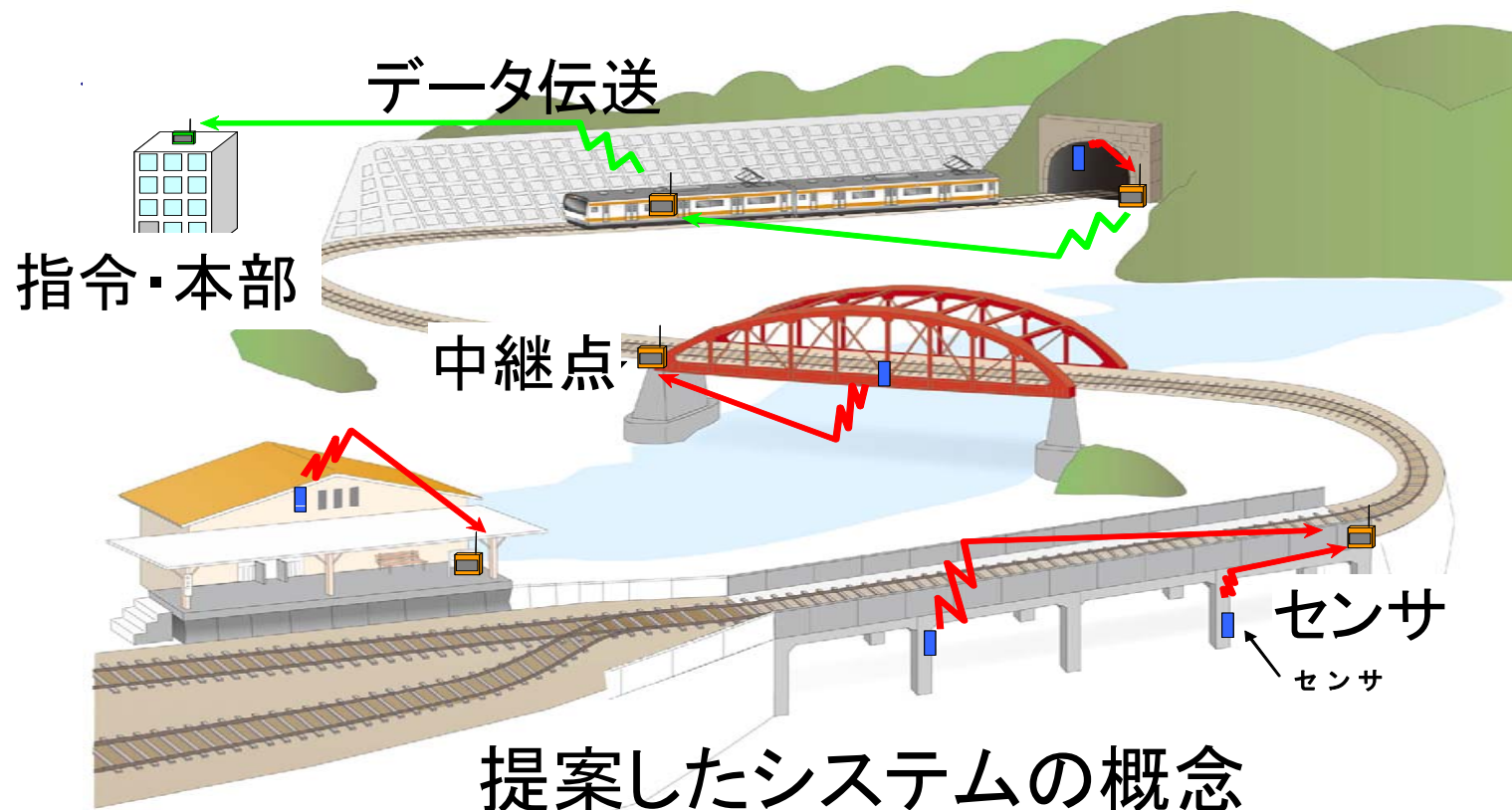
モニタリング技術がメンテナンスにもたらす効果



構造物ヘルスマモニタリングシステム

モニタリング

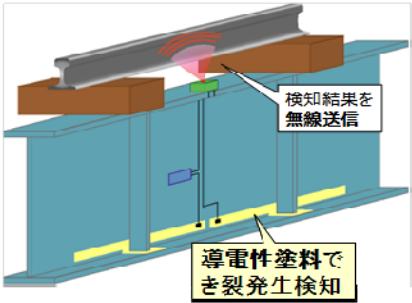



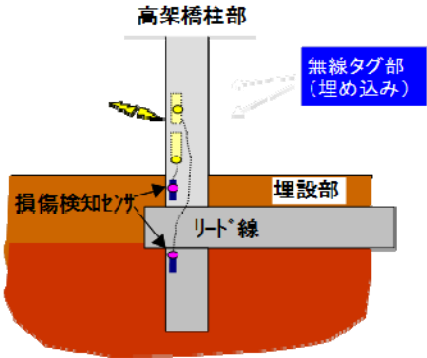


● **検査精度の向上**と、維持管理**業務の効率化**を目指して、「**構造物健全度診断センサ**」ならびに「**データ伝送システム**」の開発を行っている。



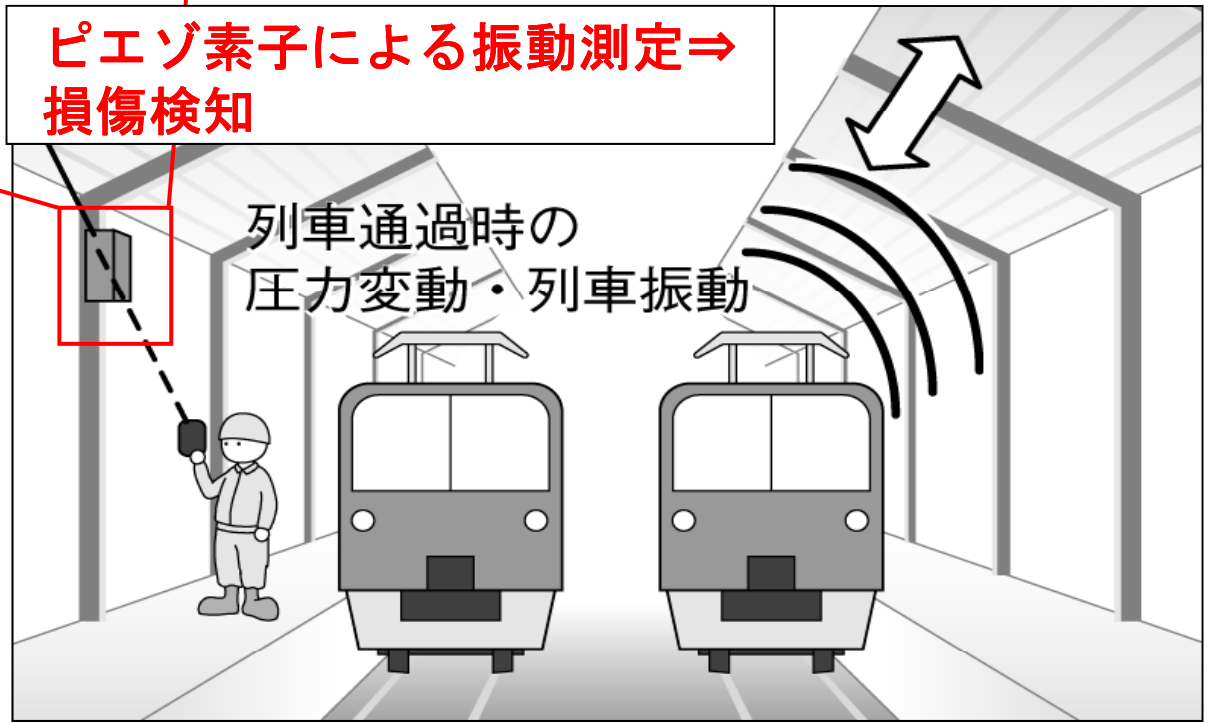
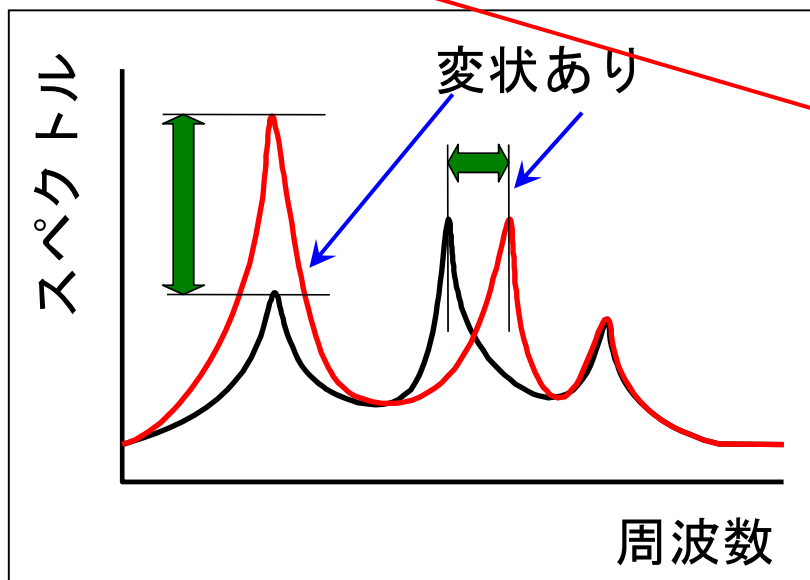
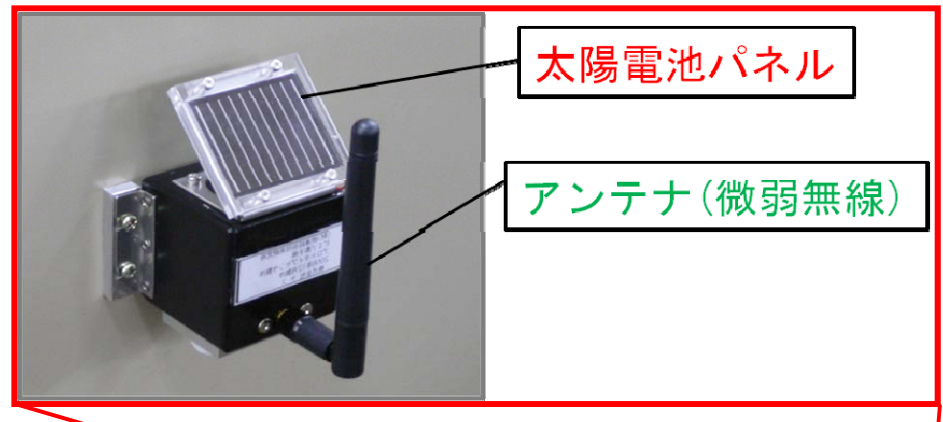
開発した実用センサ群

【課題】

- ・安価なセンサ開発
- ・電源供給の問題
- ・センサの耐久性、信頼性
- ・計測値と健全度との関係性

常時モニタリング	き裂センサ	ひび割れセンサ	ピエゾセンサ
	<p style="text-align: center;">導電塗料による送信</p> 	<p style="text-align: center;">πゲージによる送信</p> 	<p style="text-align: center;">駅舎における振動送信</p> 
異常時モニタリング	損傷検知センサ		ピークセンサ
	<p style="text-align: center;">基礎の損傷検知</p>  	<p style="text-align: center;">部材の最大変位の計測</p>  	

常時用センサの例 (ピエゾ素子による損傷検知)

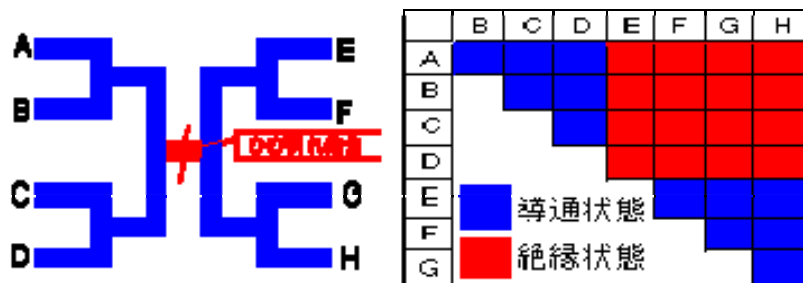


周波数情報の変動に
着目して損傷評価

常時用センサの例 (ひび割れセンサの開発)

トンネル内のひび割れ ⇒ 剥落の恐れ

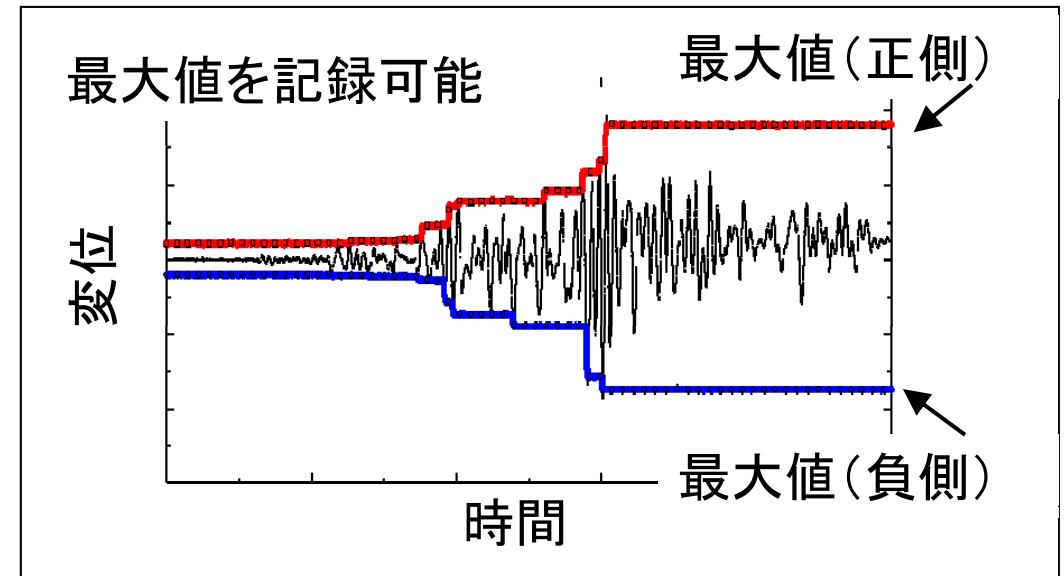
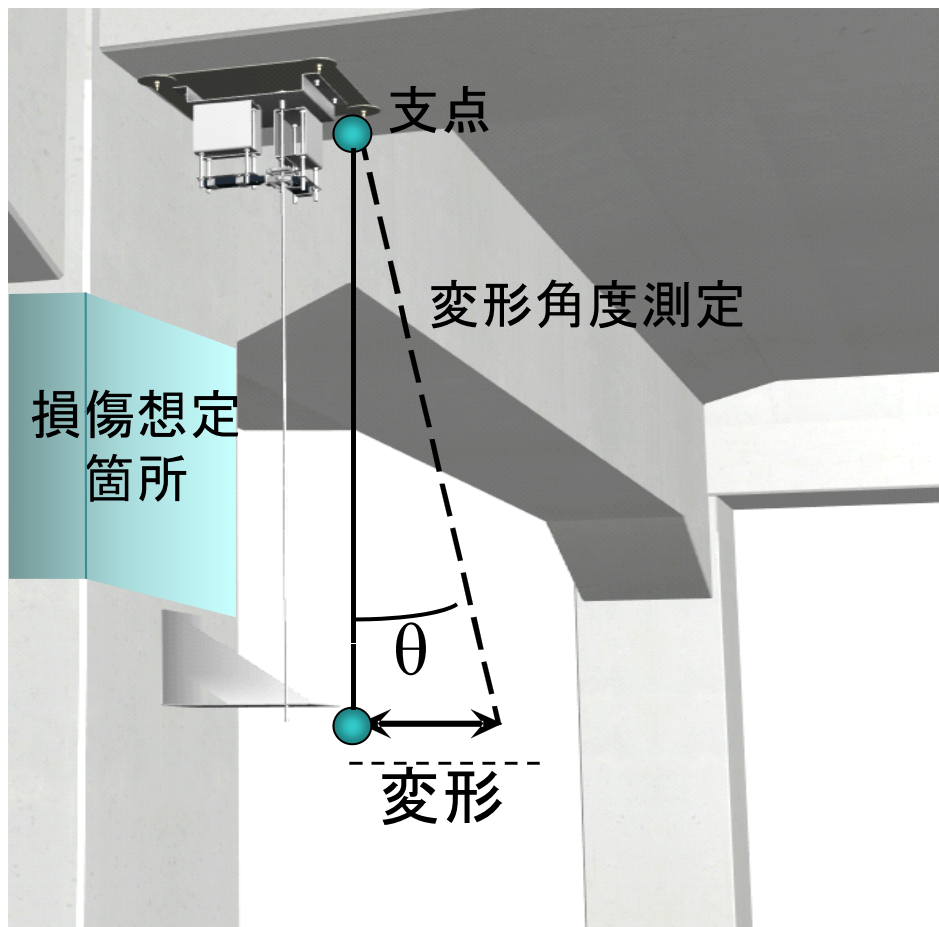
導電性塗料を用いてひび割れの発生と位置を特定



- ・導電性塗料によりひび割れを検知
- ・トーナメント回路により発生位置も同定

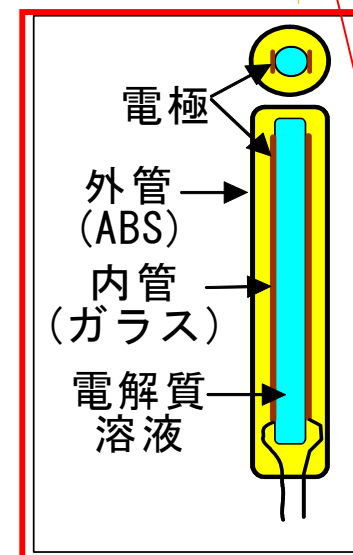
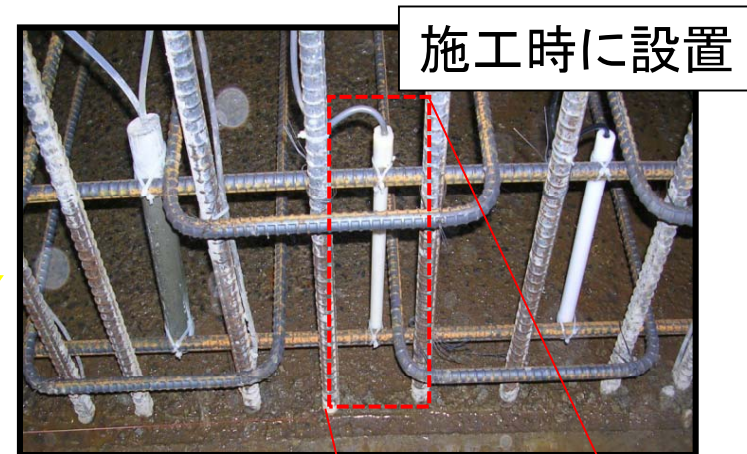
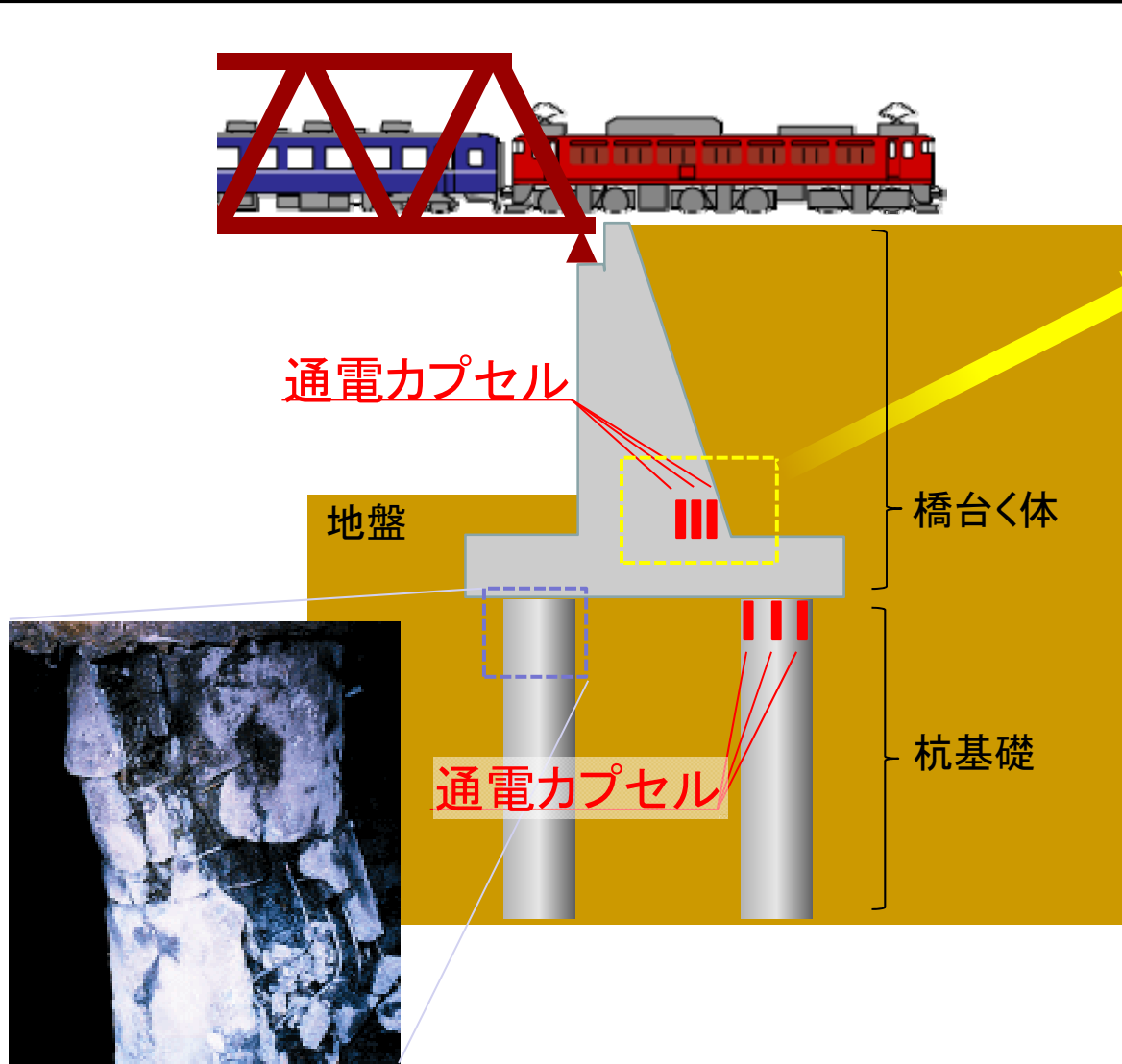
異常時センサの例(ピークセンサによる損傷検知)

地震による損傷 ⇒ 建造物の崩壊につながる
 高架橋の柱の変形角度より部材の損傷を評価



損傷したRC柱

異常時センサの例(通電カプセルによる損傷検知)



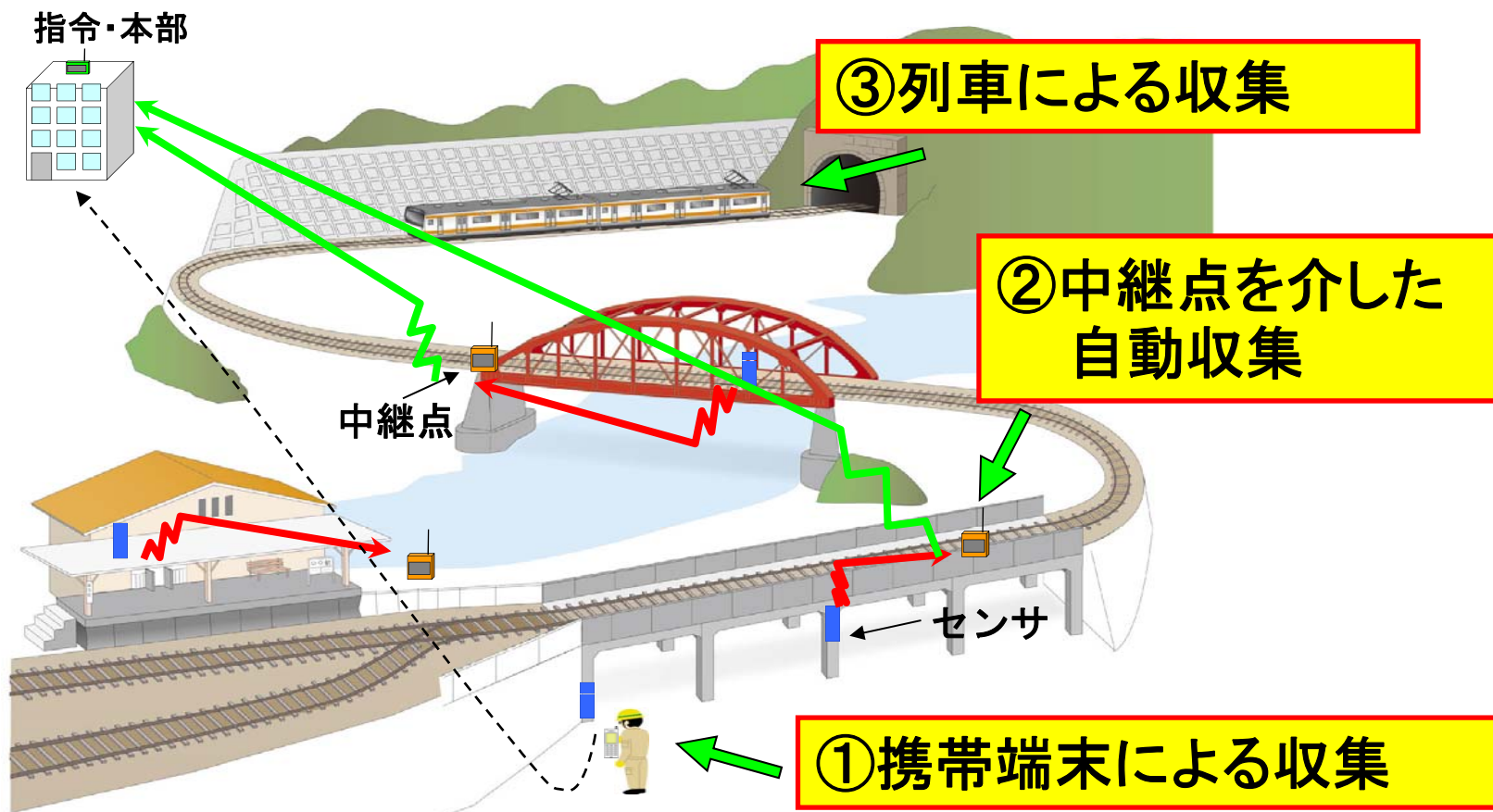
地盤中の基礎部材は
損傷の早期発見が困難

- ・大変形時に内管が損傷し
電解質溶液が回る
- ・通電により損傷を検知

開発した伝送方式

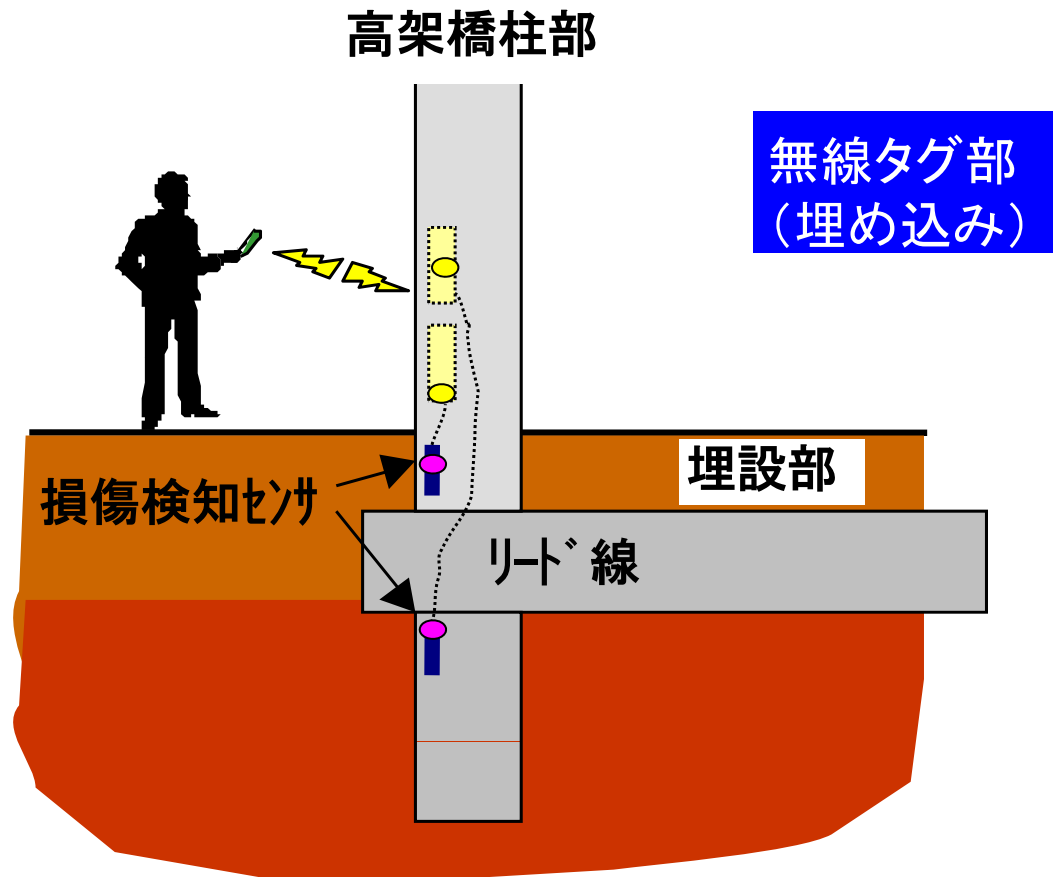
〔課題〕

- ・高額な通信費
- ・電源供給の問題
- ・緊急時の伝送確保
- ・携帯電話の圏外対策



① 携帯端末による収集

- 特徴：測定のための電源は携帯端末から供給するため、センサ側に電源は不要
- 課題：埋め込み部分の耐候性検証



非接触で 電源供給 データの読取



損傷検知センサー/測定状況

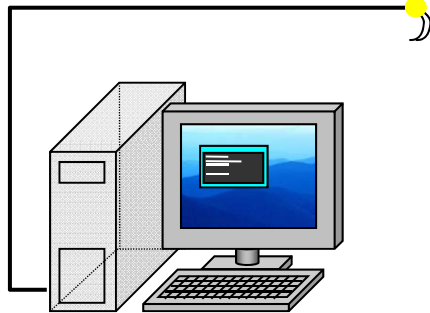
②中継点を介した自動伝送

- 特徴：データ集約によるデータ伝送の効率化

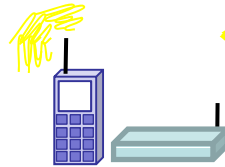
中継点で異常判定 ⇒ 異常値を即座に伝送

指令・本部

携帯電話によって
本部へ伝送

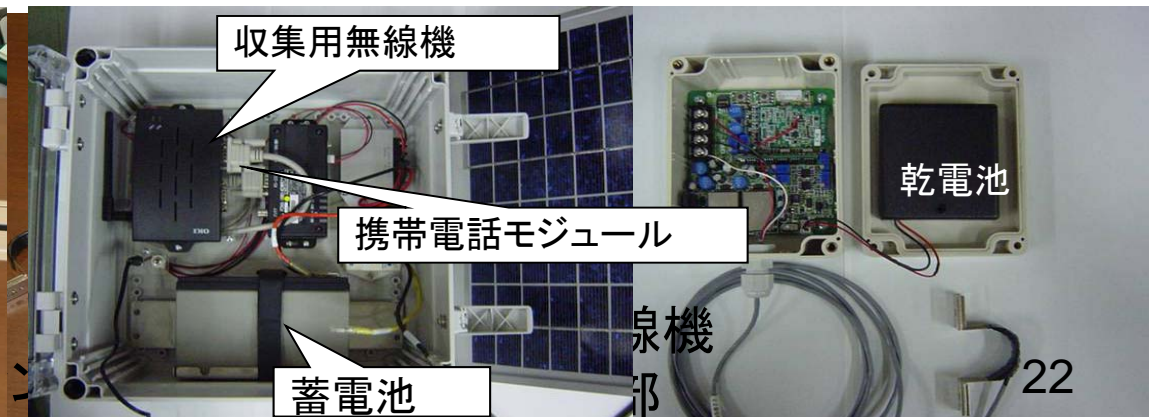
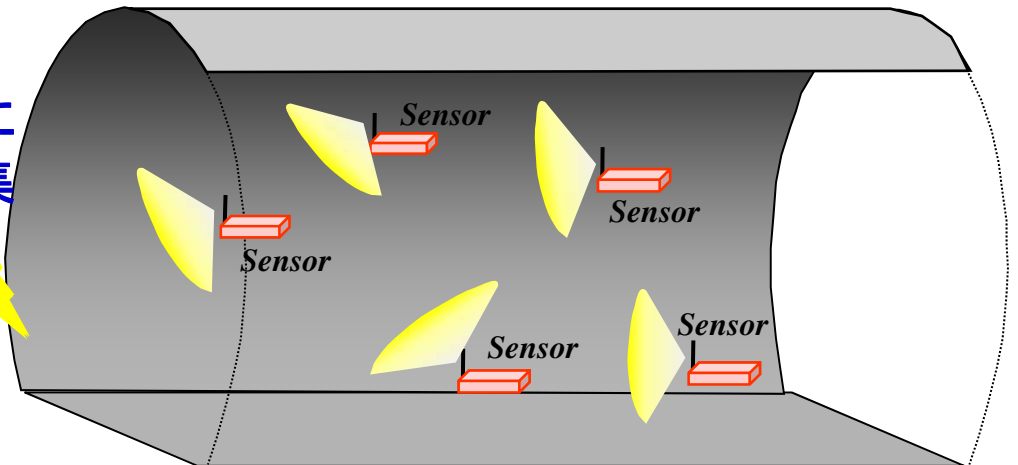


坑口にある中継点に
無線で収集



中継点

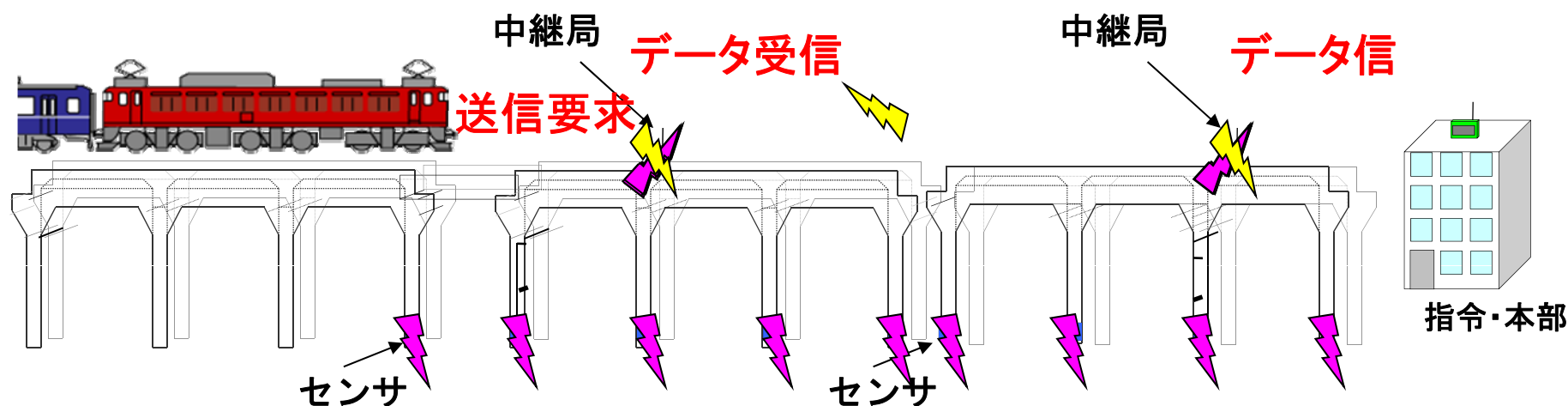
構造物(例:トンネル)



③ 走行列車による収集(その1)

— 高速移動体との伝送実験 —

- 特徴: 営業列車活用による収集コストの削減
- 課題: 高い移動速度への対応、データ送信のタイミング制御

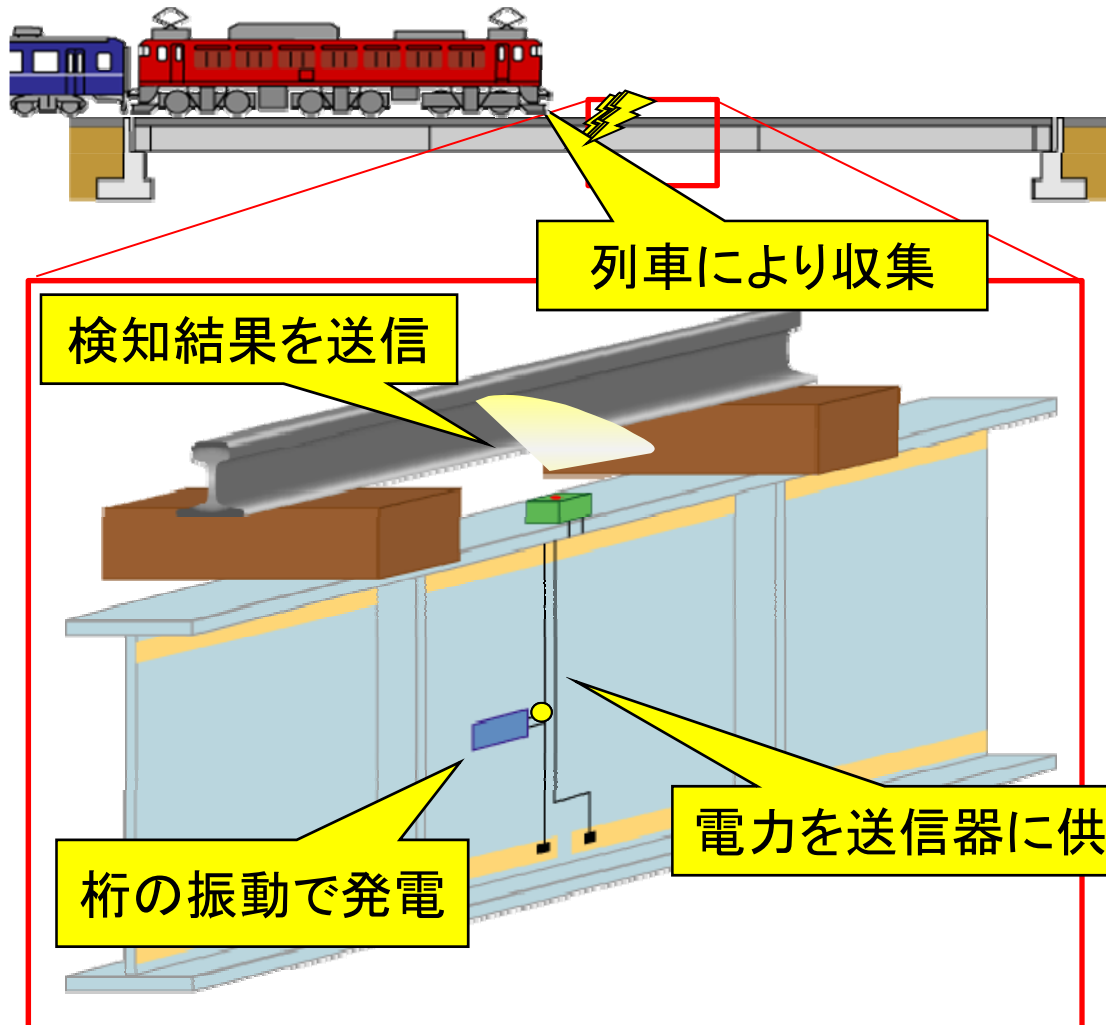


免許不要の特定小電力無線
(429MHz帯)を使用

地上側に大がかりな通信設備を置くことなく
経済的にデータ伝送が行なえることをめ
ざす

③ 走行列車による収集 (その2)

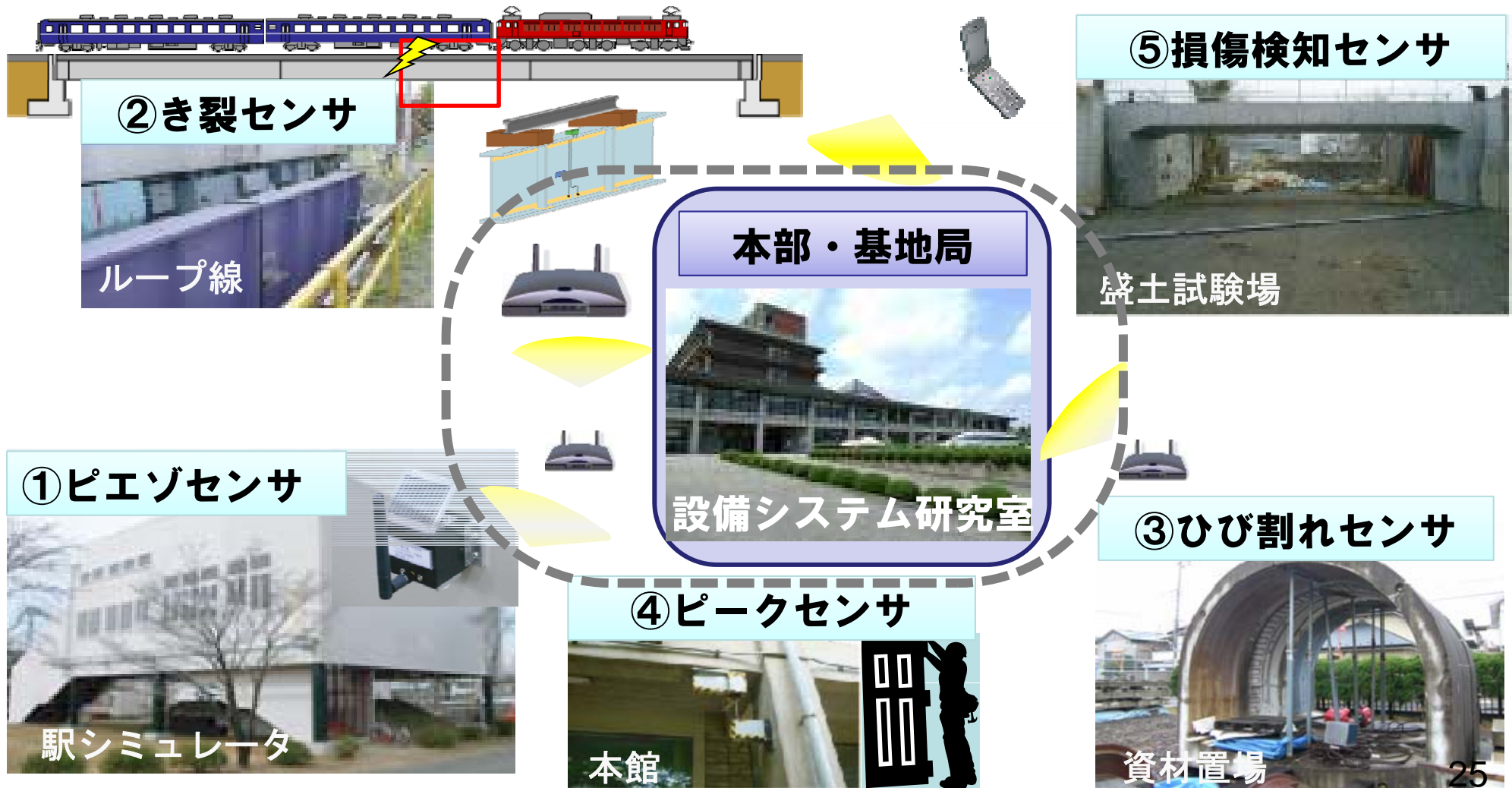
－ バッテリーレス伝送システムの開発 －



- ▶ 特徴: 桁の振動で発電
データ送信のタイミング
制御が不要
- ▶ 課題: 更なる発電効率の向上

所内ネットワークによる検証

●センサの耐久性・測定精度の検証を目的に、現在、所内センサーネットワークを構築し、システム全体の経済性・信頼性向上を確認している。



今後の課題



モニタリングシステムの課題

① 配置計画、データマイニング手法の確立

- 計測目的(全般検査、詳細検査、随時検査)に応じたシステム設計が重要！
- 何を測るべきか？ どこをどの程度測るのか？ 対象構造の形式が多岐！
- 計測値を用いた健全性の判断基準は？ データの蓄積が不十分！

② 一層のコスト削減と信頼性の向上

- 信頼性・測定精度とコストは、トレードオフ(必要な精度は？)
- 誤作動の徹底排除！ 伝送コストの軽減

③ モニタリングシステム自体の省メンテナンス化

- モニタリングシステムに維持管理が必要だと本末転倒！
- 電源の供給方法、安価で耐久性の高いセンサ開発