

無線による鉄道信号設備の 状態監視システム開発

JR東日本のスマートメンテナンスの取り組み



東日本旅客鉄道株式会社
JR東日本研究開発センター テクニカルセンター

鈴木 雅彦



目次

JR東日本のご紹介

当社を取り巻くメンテナンスの現状

当社の研究開発

無線による信号設備の状態監視システム開発



JR東日本のご紹介



JR東日本のご紹介



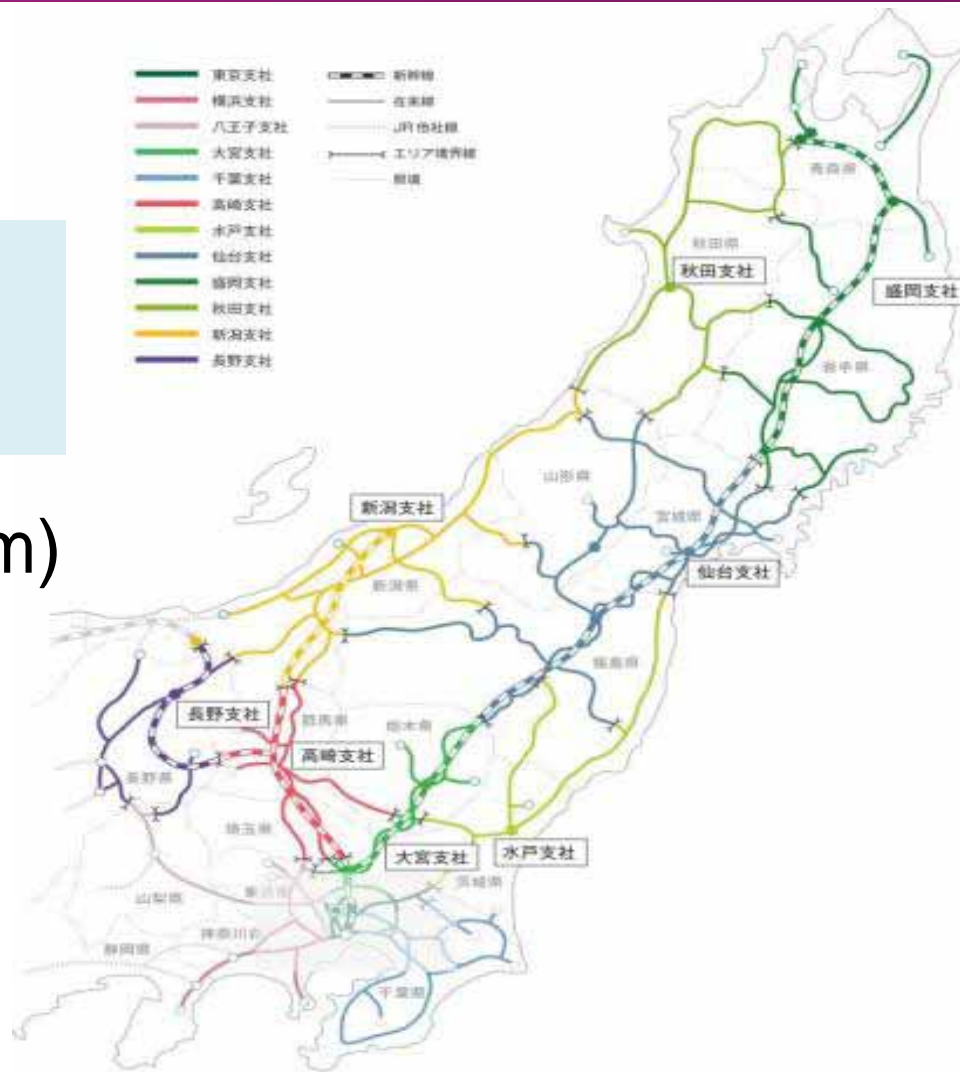
関東、甲信越から東北までの
広範な範囲が事業エリアです

営業線区 69線区 (延べ7,458.2km)

駅数 1,665駅

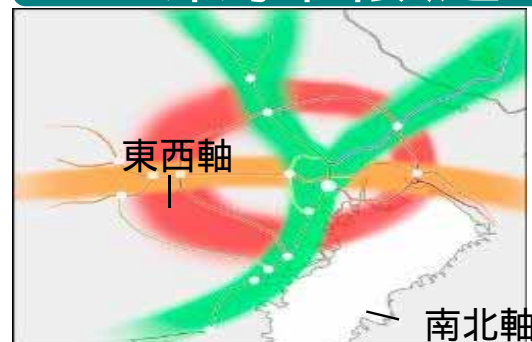
社員数 58,550人
(2015年4月1日現在)

営業収益 27,561億円
(2014年度期末連結決算)



JR東日本のご紹介

東京圏鉄道ネットワークの充実



【南北軸】

上野東京ライン開業(2015年3月)

宇都宮・高崎・東海道・常磐線と直通運転

【東西軸】

中央線等のサービス改善

(グリーン車サービスを2020年度開始予定)



北陸新幹線・北海道新幹線開業

(1) 北陸新幹線金沢開業(2015年3月)

(2) 北海道新幹線新函館北斗開業(2016年3月)



豪華列車・「のってたのしい列車」

(1) クルーズトレイン「TRAIN SUITE 四季島」の導入

(2017年春運転開始予定)

(2) 「GENBI SHINKANSEN(現美新幹線)」(2016年4月運転開始)



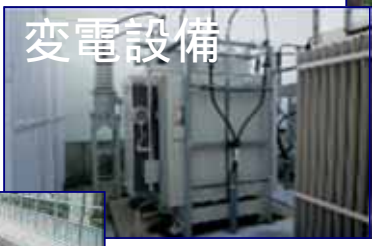
GENBI SHINKANSEN

JR東日本のご紹介

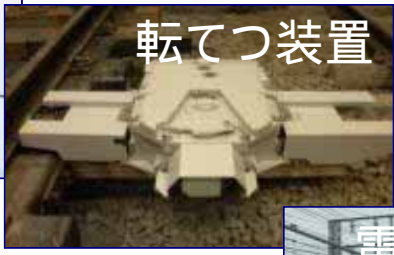
信号



変電設備



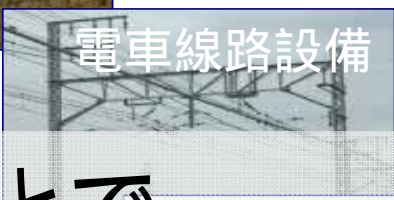
転てつ装置



線路設備



電車線路設備



これらの設備が機能することで、

安全・安定な鉄道輸送サービスが成り立っている



車両

機械設備



他にも多種多様な設備がある

当社を取り巻くメンテナンスの現状



当社のメンテナンス対象設備(その1)

車両



在来線 約10,800両
新幹線 約1,247両

信号



信号機 約13,500基
転てつ機 約10,500台

設備機械



自動改札機 約4,300台
券売機 約4,800台

電力



在来線 直流 約2,700km
交流 約1,700km
新幹線 交流 約1,140km



給配用 18箇所
運転用 337箇所

当社のメンテナンス対象設備(その2)

線路

軌道



在来線 約9,500 km
新幹線 約2,100 km

分岐器



在来線 約12,000台
新幹線 約1,000台

踏切



約7,200箇所

土木構造物

橋りょう



約15,000箇所

トンネル



約1,300箇所

土工設備



約5,600 km

～ 設備・車両のドクターとして ～

常日頃の
検診(検査)・診察(分析)

↓
処方(計画)・治療(施工)

故障の未然防止

～ 故障のない設備

最大のサービス

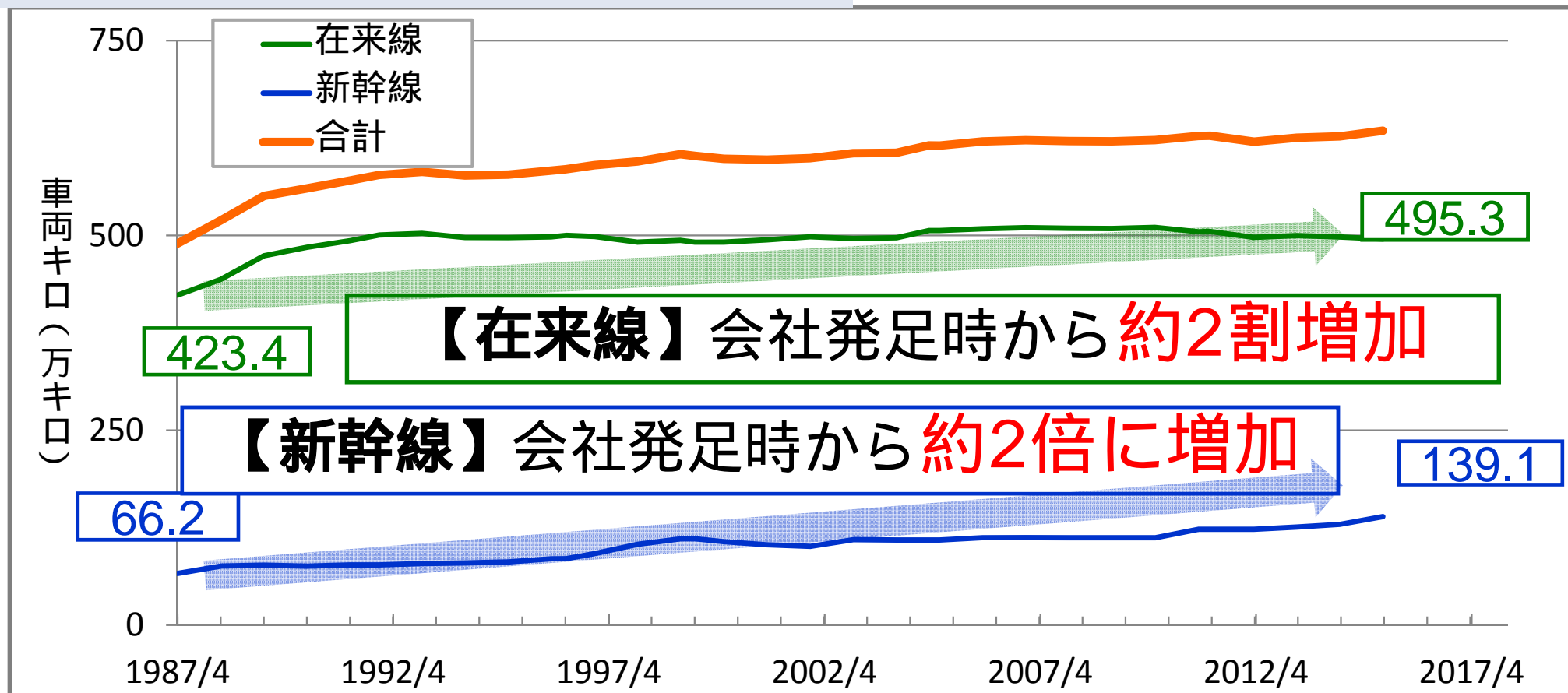
安全・安定輸送の確保
快適な設備の提供

膨大かつ多様な設備が
健全に機能するようメンテナンス

鉄道構造物をとりまく環境(1日あたりの車両キロの推移)

車両キロ：列車キロに編成両数を掛けた値

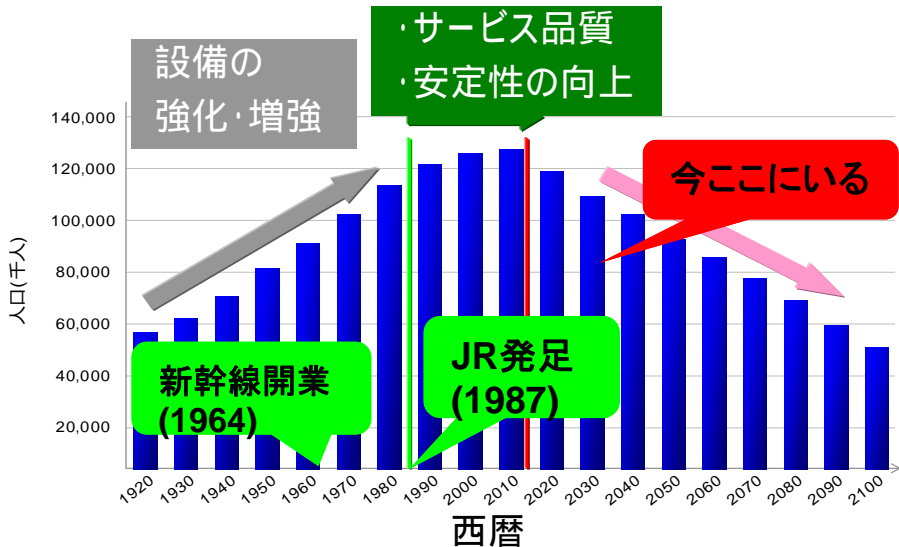
旅客列車のみ(回送除く)、定期列車+季節列車



車両キロの増加による保守量の増大に対応

社会背景とメンテナンス(1)

人口予測と当社の鉄道運輸収入

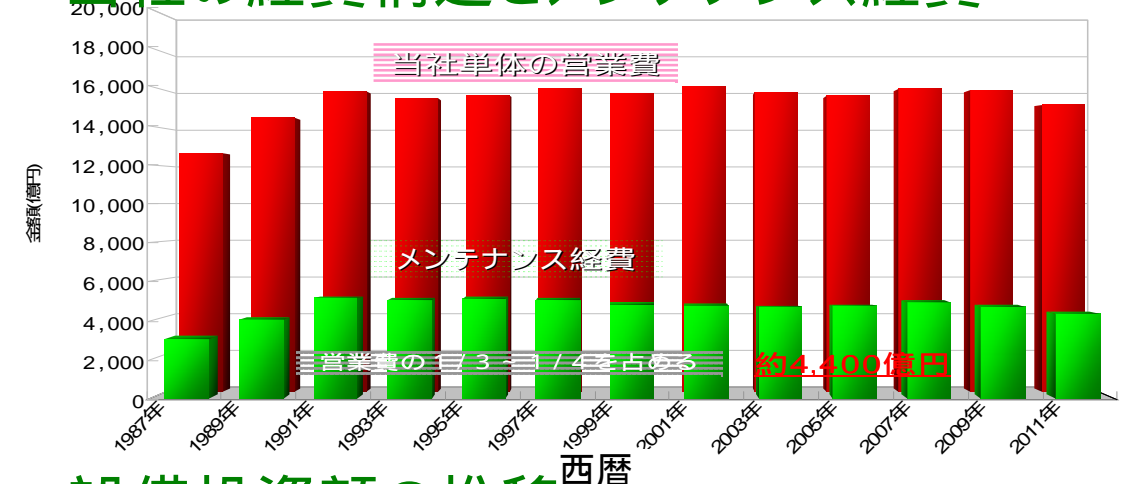


品質の向上
最小コストで資産価値を長期にわたって最大化

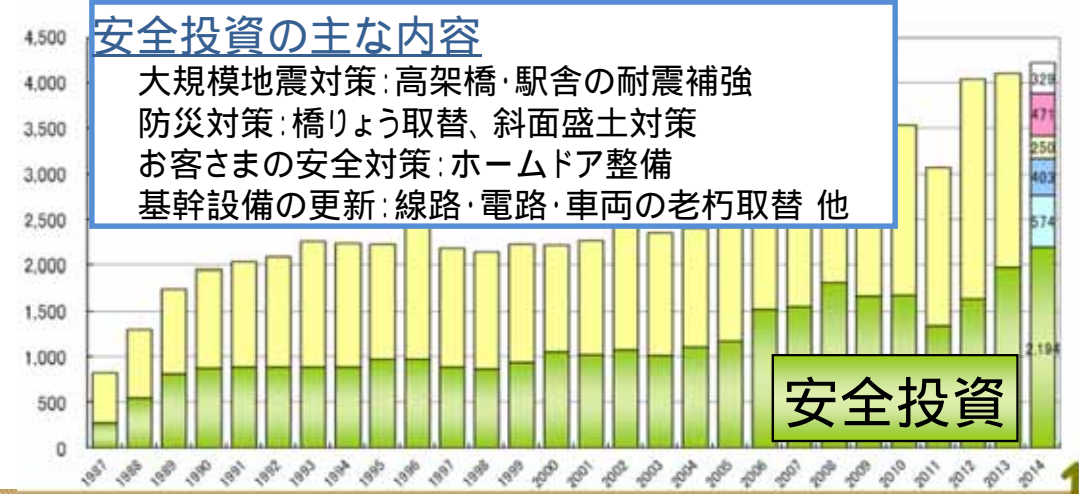
これからのメンテナンスに求められること

- 保有設備量 → 横ばい?
- 保守レベル → レベルアップ
- メンテ経費 → 削減・抑制

当社の経費構造とメンテナンス経費



設備投資額の推移



社会背景とメンテナンス(2)

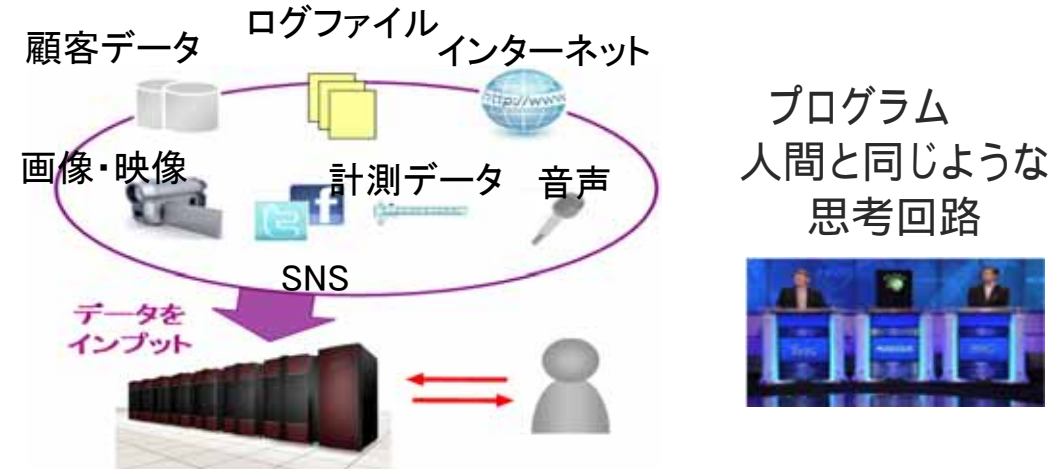
多種多様な情報端末の普及とネットワークの進化

利用者が時と場所を選ばずに情報サービスを利用できる



コンピュータの発達(人工知能化)

対話形式で人間の考え方のアルゴリズムを学習



ビッグデータが新しいサービスを生む



大量の形式の異なるデータをリアルタイムで処理することができる

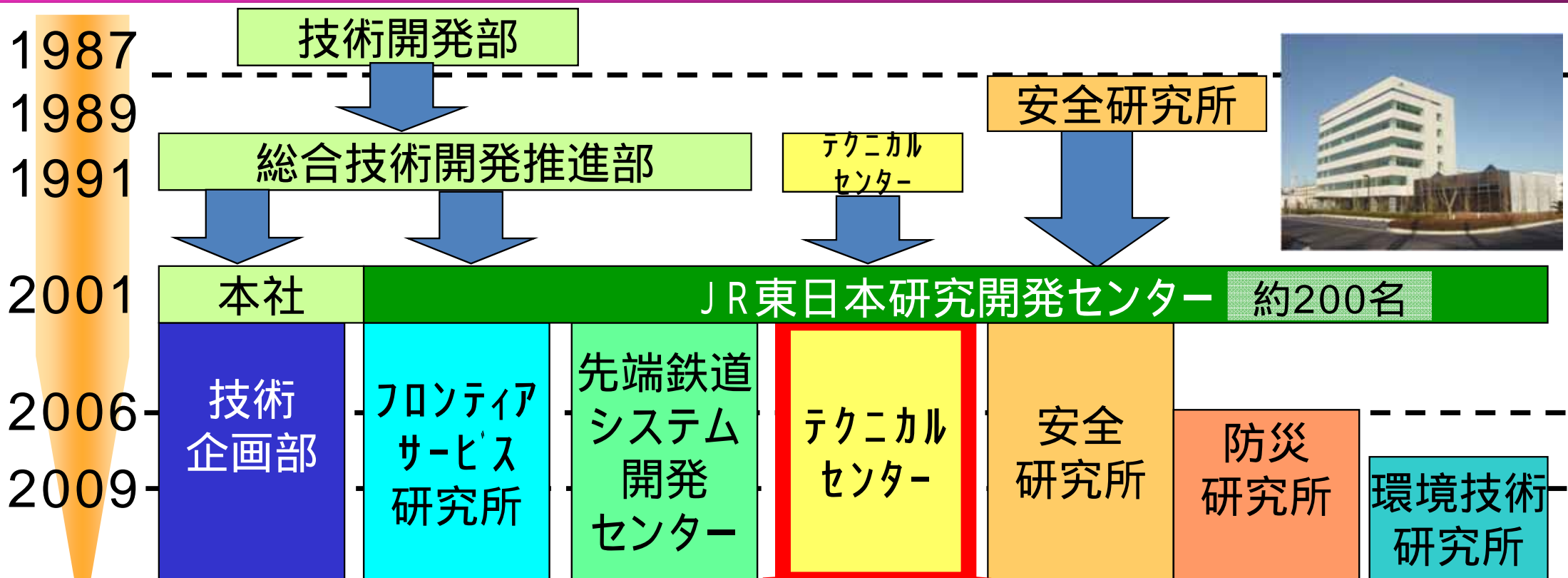


今まで存在しなかった新しい付加価値、サービスを生んでいる

当社の研究開発



研究開発体制



テクニカルセンター : モニタリング、アセットマネジメントなどICTを活用したスマートメンテナンスの実現およびメンテナンス業務革新のための研究開発、グループ会社も含めたメンテナンス業務における現場支援



テクニカルセンターの主な開発成果

手のかからない車両・設備



TC省力化軌道（1998年）



ベアリング床板（1999年）



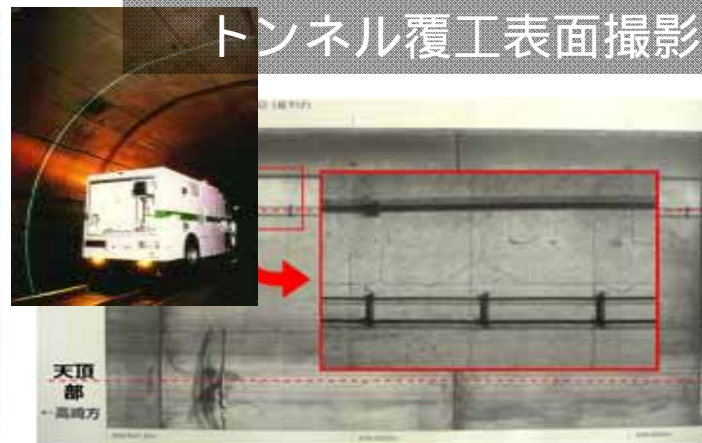
次世代分岐器・
転てつ機（2002年）

検査のインテリジェント化

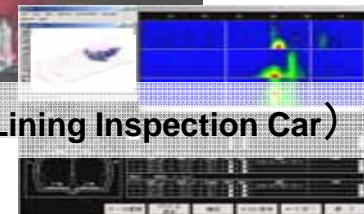
軌道中心間隔測定車（1991年）



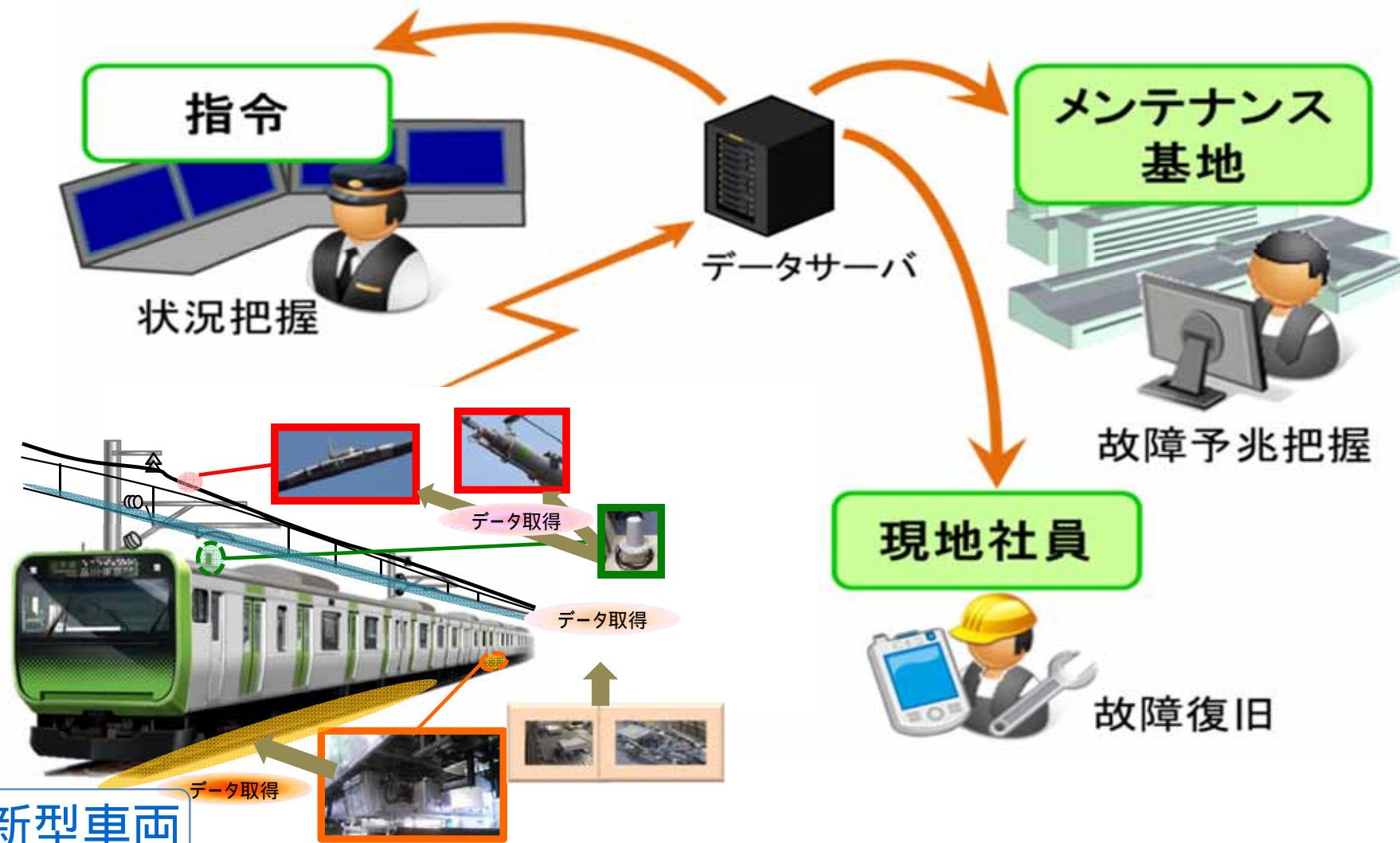
トンネル覆工表面撮影車・検査車



（CLIC: Concrete Lining Inspection Car）



E235系による地上設備のモニタリング



研究開発の方向性

民営化当時

課題

輸送量増加、速度向上等
による保守量の増加

【当時の状況】
営業収入は増加中



対策の方向性

設備強化(又は新設)
 ✓ メンテナンスの軽減
 ✓ 安全性向上
 ✓ サービス向上

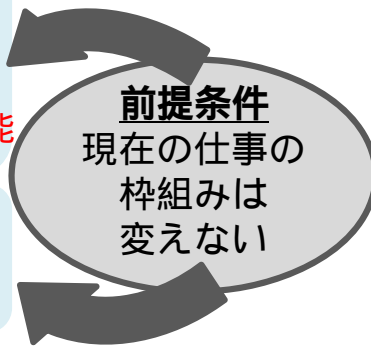
お金をかけた
メンテナンスが可能

人手不足

【当時の状況】
3K作業解消のニーズ



メンテナンスの機械化、システム化
技術者の育成

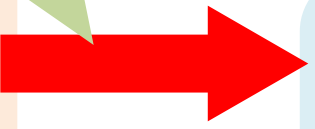


今後

課題

安心・快適な輸送サービスを
維持するための保守

【今後】
営業収入の大幅な
増加は見込めない



対策の方向性

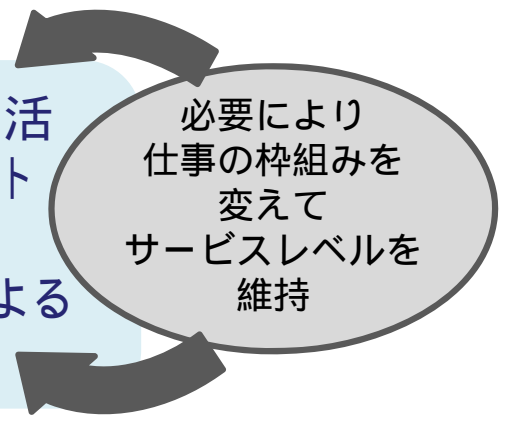
ICTや最新技術・ビッグデータを活用したCBM、アセットマネジメント

人手不足

【今後】
生産年齢人口減少
労働力絶対的不足



AI、エキスパートシステム等による
意思決定支援



無線による信号設備の状態監視システム開発



無線による信号設備の状態監視システム開発

背景と目的

基礎研究

端末開発

フィールド試験および評価



背景と目的(1) ～信号設備、状態監視システム～

鉄道の信号設備



信号機

踏切制御装置



踏切設備



ATS-P装置

電気転てつ機



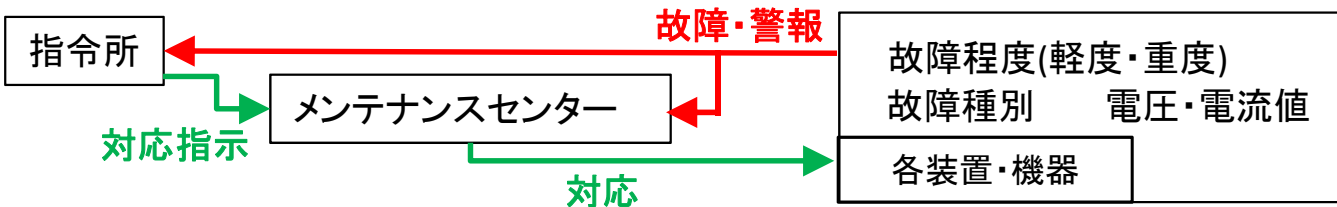
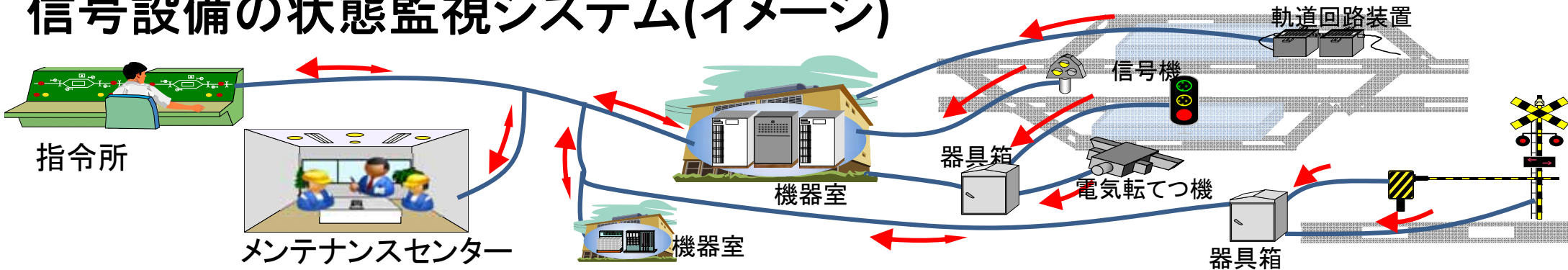
軌道回路設備



連動装置

列車の安全・安定運行に直結する装置

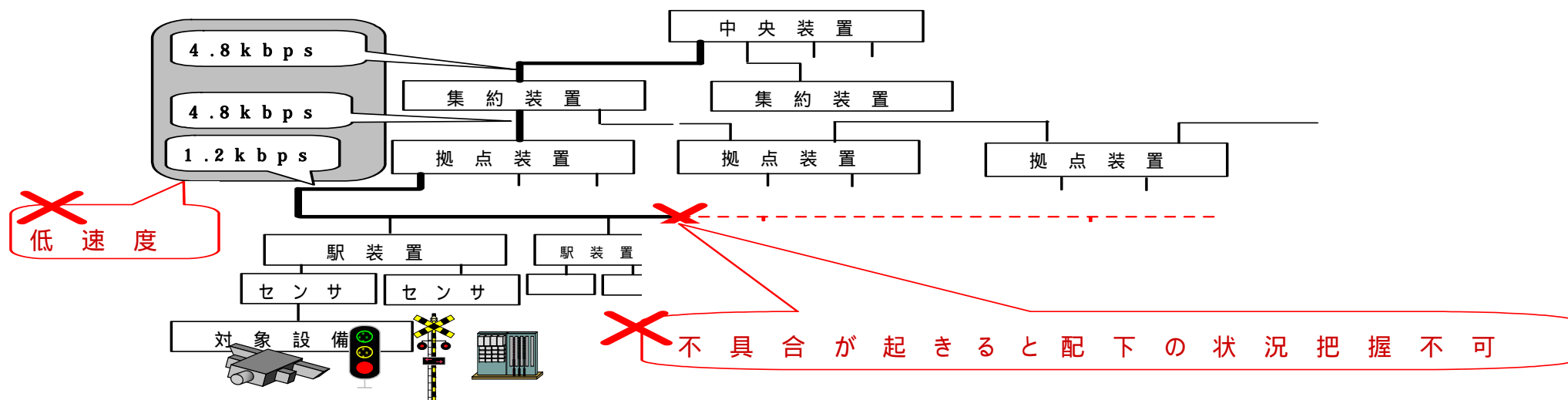
信号設備の状態監視システム(イメージ)



列車の安全・安定運行を支える装置

背景と目的(2) ～ 現行の課題～

現行設備の課題



- ・20年以上前に構築されたシステム
- ・低速度(最遅部1200bps)
- ・回線上で不具合が起こると、不具合箇所以下の状態が監視不能

本研究の目的

上記の課題を解決できる、
現行システムおよび将来の定常監視システムに対応可能な監視端末類の開発

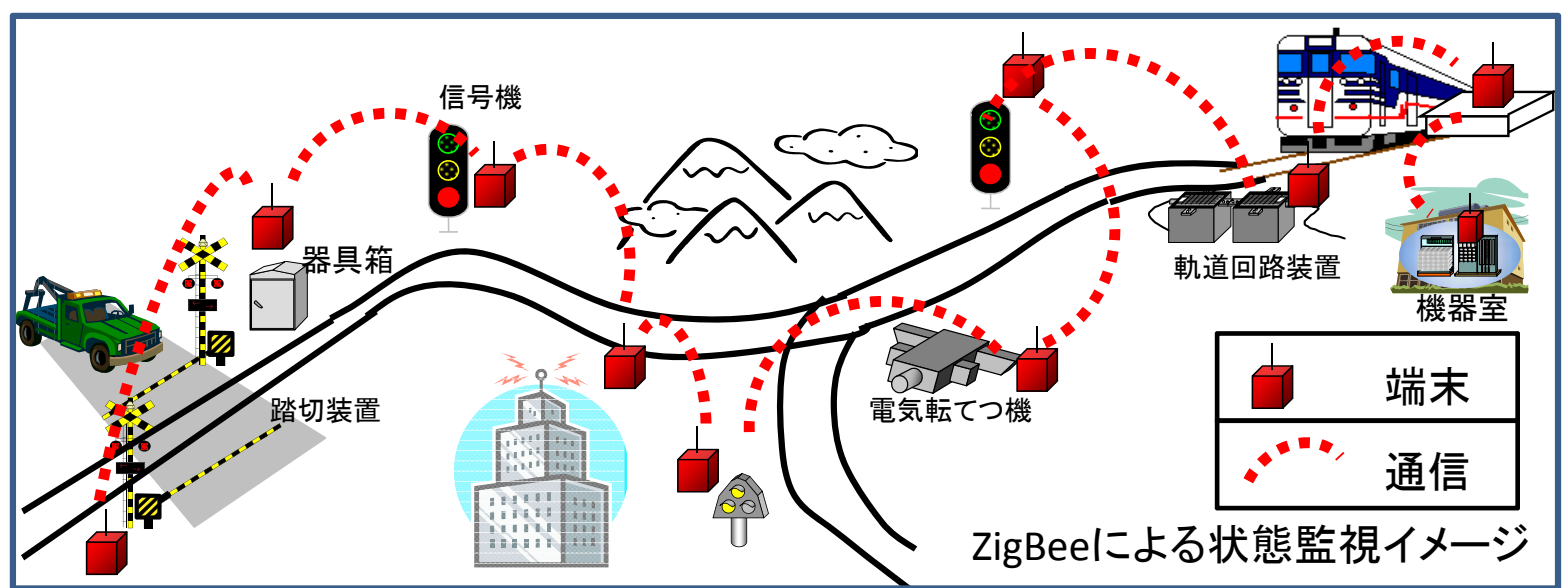
新しい状態監視の考え方

課題を解決するためのアプローチ

- 常時監視機能 → 信号設備安全安定稼働の確保
- 速度 → より詳細な情報を伝送 (数百kbps程度)
- 施工コスト (時間・費用) → 設置/メンテ費用・時間を短縮
- 汎用技術活用による開発費用の削減

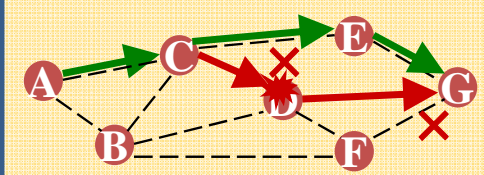
| 有線 | 無線 |
|----|-----|
| ○ | 要検証 |
| ◎ | ○ |
| × | ◎ |
| ○ | ○ |

無線(ZigBee)による仕様検討を行うこととした



ZigBeeについて

- ・IEEE 802.15.4
- ・センサーネットワーク
- ・転送速度は低速
- ・安価で低消費電力
- ・マルチホップ
- ・自動ルート再構成



- ・排他制御
 - 通信エリアA
 - 通信エリアB
-
- Diagram showing two overlapping communication areas, A and B. Area A contains nodes A and B, and Area B contains nodes B and A. This illustrates mutual exclusion control between the two areas.

導入事例:
電力メーター
パイプライン監視等



ZigBee基本性能検証試験

2.4GHz用端末を使用した基礎試験

端末 67x67x28 (mm)

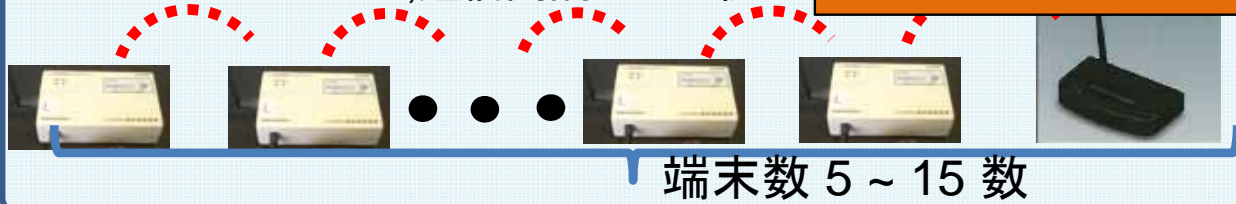
集約機 160x95x30(mm)



8bit
8MHz
クロック
周波数

データ 5~200 バイト,送信間隔 1~10 秒

試験パターン



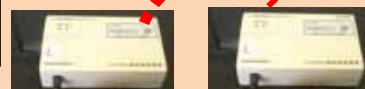
ホッピング

ホッピング数による負荷



通信時間

1ホッピングに要する通信時間



インターバル

通信間隔による負荷



ラッシュ

複数端末から同時通信した場合の負荷



遮蔽物 貫通 / 迂回

ビル等建築物、鉄、
鋳物などによる
通信への影響



判明した課題

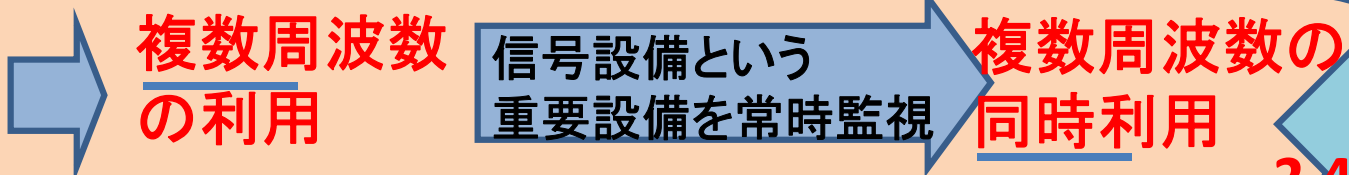
10ホップ超で大幅な通信速度低下
CPU性能不足による処理遅延



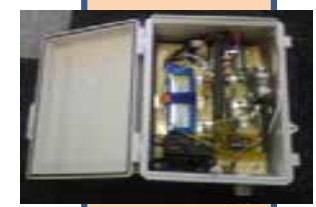
装置の改良を検討

二重化ZigBeeの開発(1)

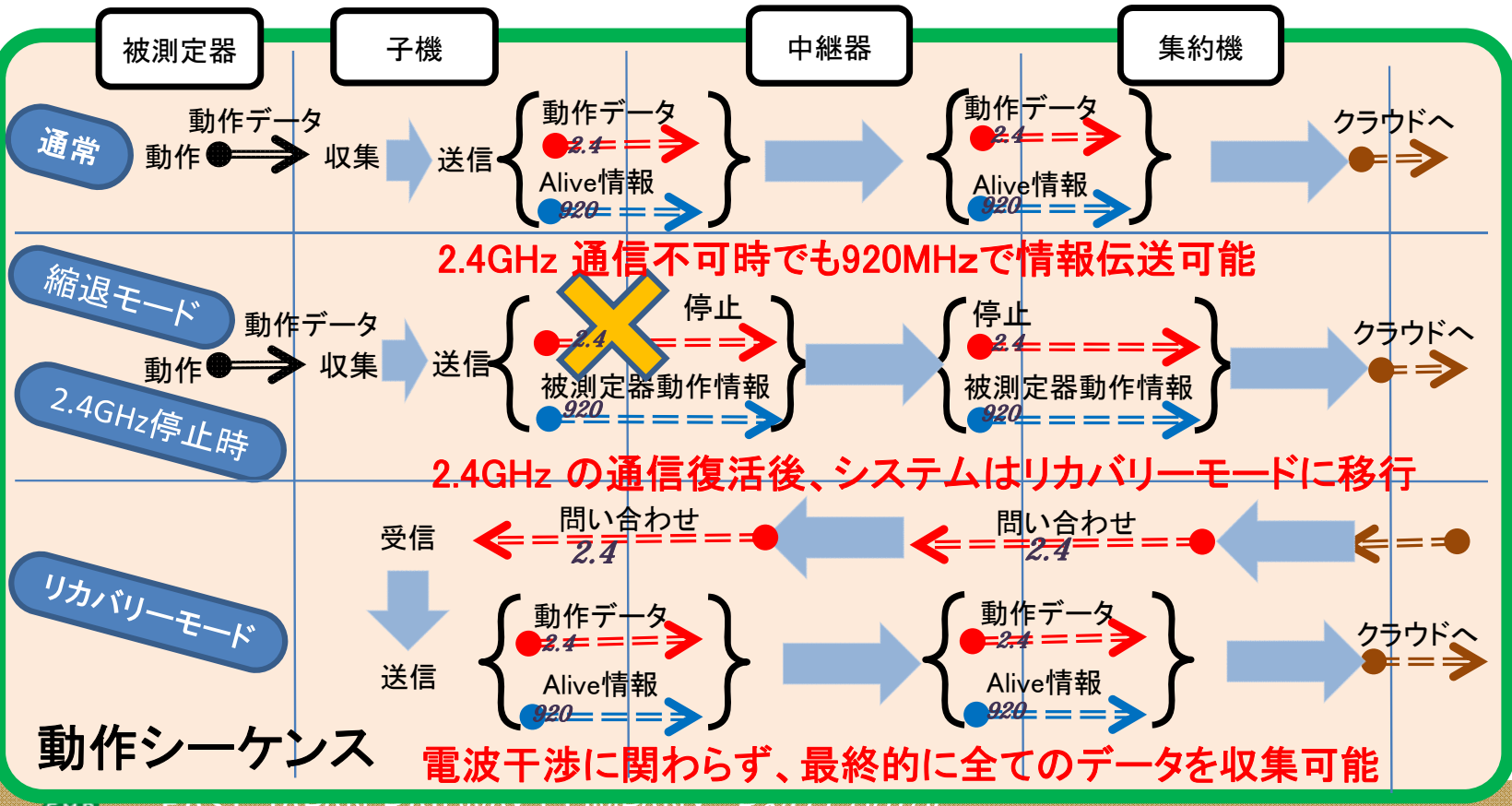
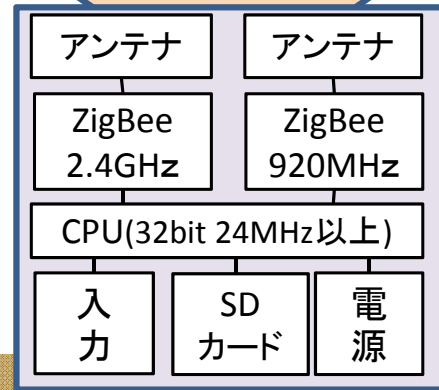
- ・無線通信の不安定さ
- ・2.4GHz帯/ 920MHz帯の仕様を持つ



2.4GHz/920MHz
同時通信可能な
端末開発
(二重化ZigBee)



機器構成イメージ



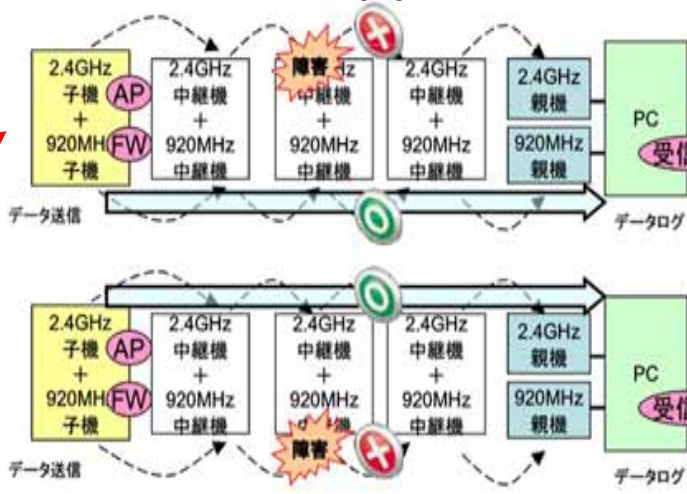
二重化ZigBeeの開発(2)

各種性能確認試験

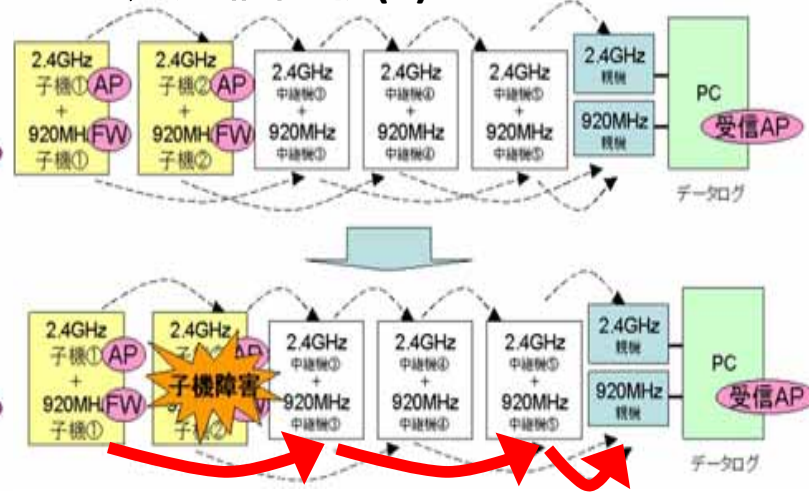
- ・ホッピング、通信時間試験
- ・ラッシュ試験
- ・遮蔽物迂回／通過試験
- ・通信距離試験
- ・同時通信試験
- ・冗長通信試験
- ・電波干渉試験

○速度は 60kbps程度
○距離は 960mまで確認

冗長通信試験(1)イメージ



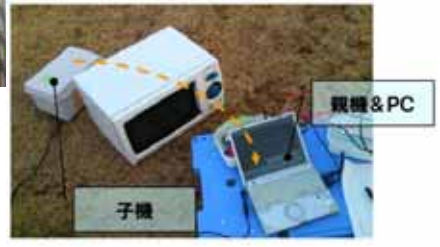
冗長通信試験(2)イメージ



2帯域が同時に通信障害にならない限り、システムとしては稼働

2帯域のルーティングを変えることによって、子機が故障してもシステムとしては稼働

冗長構成によって、システムの稼働率を高めることが可能となった



鉄道信号設備用 二重化ZigBee端末の開発

一重系設備かつデータ取得に時間を要する設備を選定し、端末開発

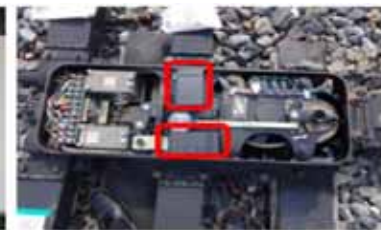
踏切動作記憶装置用端末

人身事故等の危険性がある踏切において事故等が発生した場合、踏切の動作状況を確認するために、現在は直接現地に赴いて動作記録を取得しなければならない



電気転てつ機用端末

電気転てつ機のトラブル時に、どのように動作したかを把握することにより原因と復旧に寄与できるためニーズがある

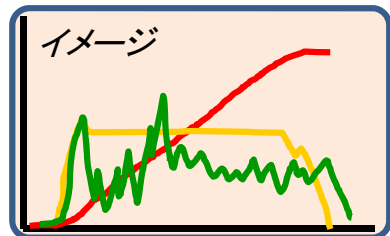


二重化ZigBeeによってメンテナンスをレベルアップ

二重化ZigBee端末の開発 【電気転てつ機用端末】

電気転てつ機

車両を1つの線路から他の線路に分岐させる装置「分岐器」を動作させる機械。トングレールを所定の位置に転換し、転換後に鎖錠(ロック)させる。



分岐器・電気転てつ機の不具合は列車運行に影響を与えるため、重要であり、そのために詳細な動作情報収集を行いたい。



電気転てつ機用端末

サイズ 38×84×145(mm)
+65×84×145(mm)
電源 AC100V
収集データ 6ch



ポイント

- ・狭隘な装置内部に後付可能な筐体
- ・トリガによる効率的データ収集

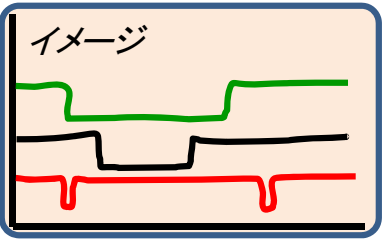
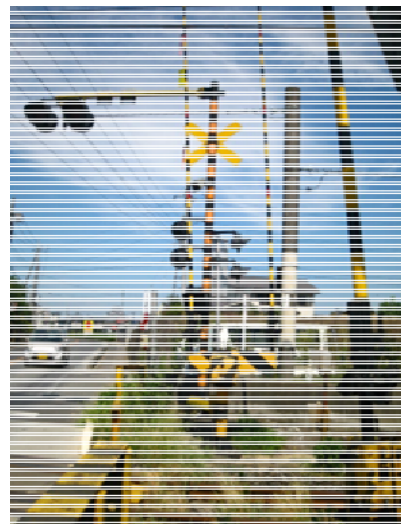
課題

- ・アンテナ設置 (位置・伝送距離・配線)

二重化ZigBee端末の開発 【踏切動作記憶装置用端末】

踏切保安装置

線路と道路が平面交差する踏切において、列車と通行車(者)が衝突しないように設けられている装置。踏切制御装置・踏切警報機・踏切遮断機などから構成され、接近する列車の位置により動作が制御される。



トラブル発生時に、装置の動作履歴を調べることにより、原因究明・対策実施を行うことができる

踏切動作記憶装置用端末

サイズ 270×56×140(mm)
電源 AC100V
収集データ 動作記憶装置で収集した全データ



営業線で稼働中の実設備に接続し、フィールド試験を実施

二重化ZigBee端末の開発 【中継器・集約機】

中継器

端末からのデータを集約機に中継する機能を持つ。
電源確保が困難であるケースを想定し、ソーラーパネル
+バッテリーの構成

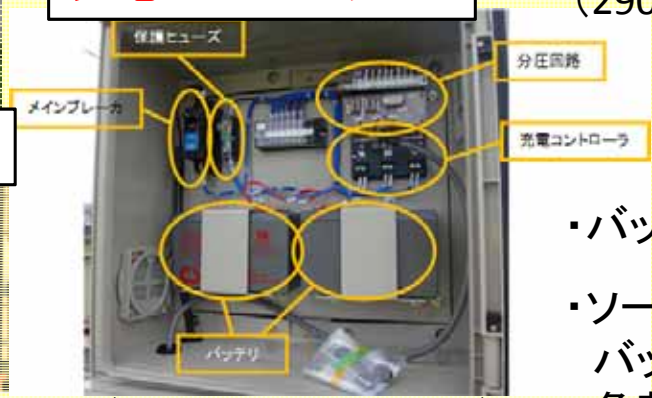


ソーラーパネル
(666 x 535 mm)

中継器
(290 x 215 x 133 mm)



充電コントローラBOX
(400 x 500 x 200 mm)



- ・バッテリーは2日分
- ・ソーラパネル発電量、
バッテリー充放電量、
負荷消費量の計測

・1日で2日分の発電

集約機

端末からのデータをクラウドに送信する装置。LTE/3Gで接続する

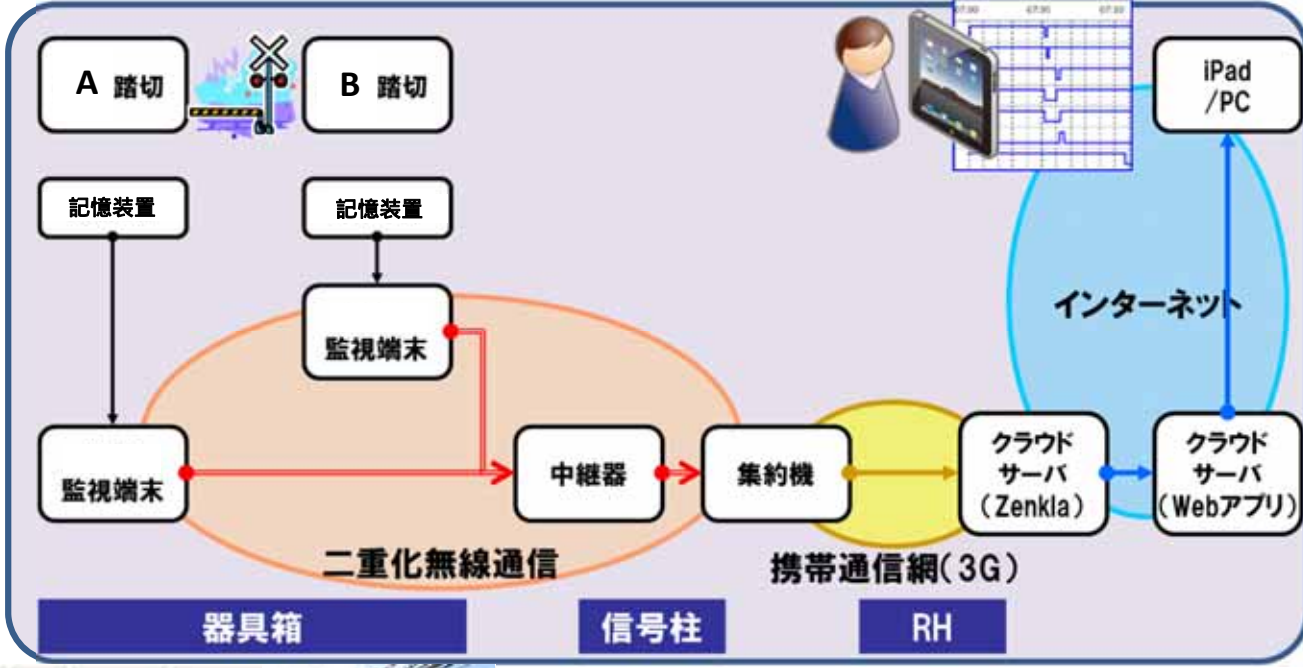


集約機 (290 x 215 x 133 mm)

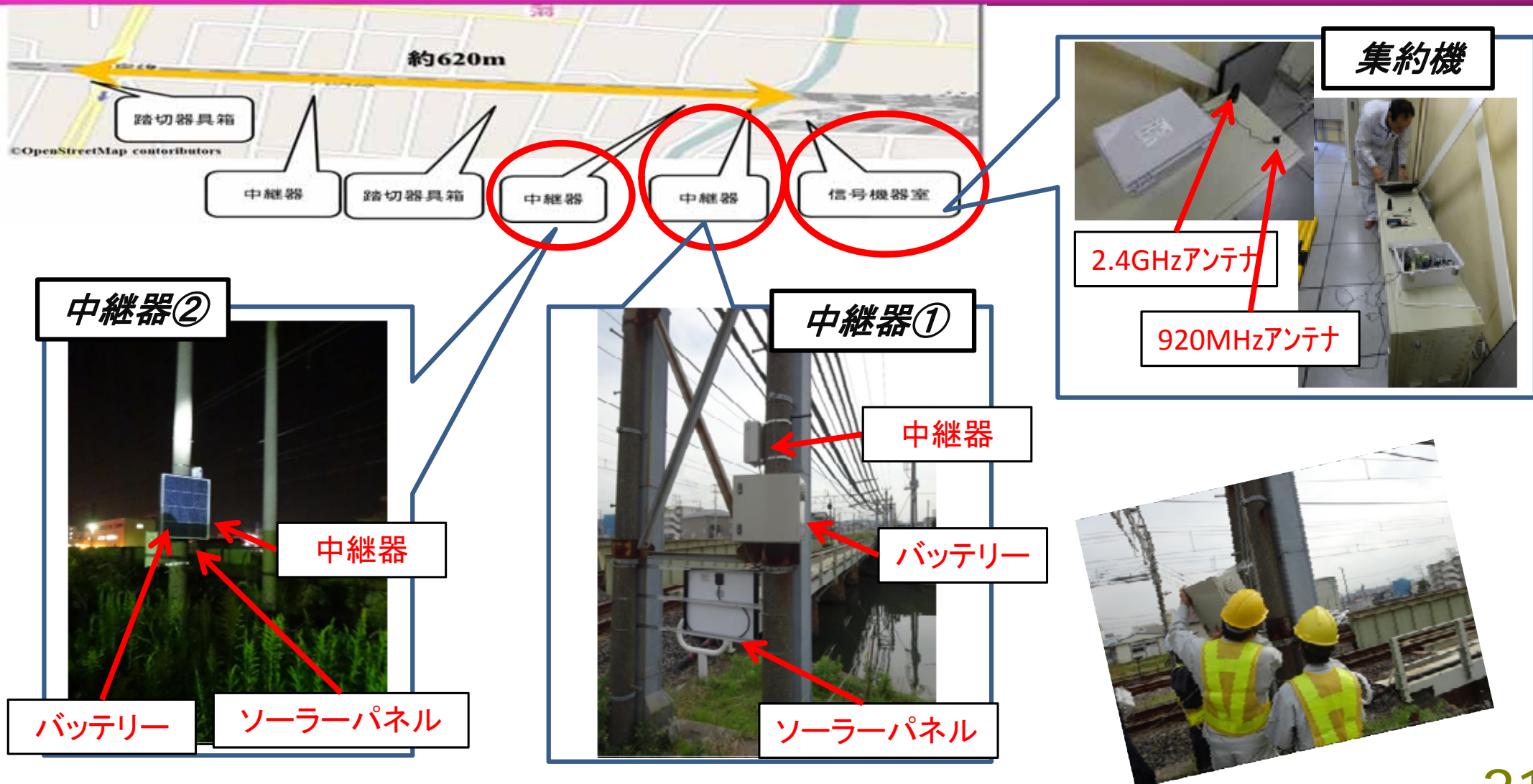
二重化ZigBee端末の開発 【フィールド試験】

検証内容

- ・施工性
- ・稼動設備への影響
- ・データを確実に収集
- ・二重化ZigBee 機能の確認
- ・実環境下における長期安定稼動
- ・メンテナンススタッフのニーズ



二重化ZigBee端末の開発【フィールド試験】【機器設置①】



二重化ZigBee端末の開発 【フィールド試験】 【機器設置②】

約620m

踏切器具箱

中継器

踏切器具箱

中継器

踏切端末②

踏切端末①

踏切動作記憶装置

2.4GHzアンテナ

920MHzアンテナ

監視端末

中継器③

バッテリー

中継器

ソーラーパネル

踏切器具箱

中継器

踏切器具箱

中継器

信号機

二重化ZigBee端末の開発【フィールド試験】【試験結果】

| 日付 | 設置場所 | 10/20 | 10/21 | 10/22 | 10/23 | 10/24 | 10/25 | 10/26 | 10/27 | 10/28 | 10/29 |
|------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ①VAM32監視装置 | 貝淵踏切 | | | | | | | | | | |
| ②中継機#3 | 信号付近 | | | | | | | | | | |
| ③VAM16監視装置 | 荒入踏切 | | | | | | | | | | |
| ④中継機#2 | 河川付近 | | | | | | | | | | |
| ⑤中継機#1 | RH横 | | | | | | | | | | |
| ⑥集約機 | RH内 | | | | | | | | | | |

| 日付 | 設置場所 | 10/30 | 10/31 | 11/1 | 11/2 | 11/3 | 11/4 | 11/5 | 11/6 | 11/7 | 11/8 |
|------------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ①VAM32監視装置 | 貝淵踏切 | | | | | | | | | | |
| ②中継機#3 | 信号付近 | | | | | | | | | | |
| ③VAM16監視装置 | 荒入踏切 | | | | | | | | | | |
| ④中継機#2 | 河川付近 | | | | | | | | | | |
| ⑤中継機#1 | RH横 | | | | | | | | | | |
| ⑥集約機 | RH内 | | | | | | | | | | |

| 日付 | 設置場所 | 11/9 | 11/10 | 11/11 | 11/12 | 11/13 | 11/14 | 11/15 | 11/16 | 11/17 | 11/18 |
|------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ①VAM32監視装置 | 貝淵踏切 | | | | | | | | | | |
| ②中継機#3 | 信号付近 | | | | | | | | | | |
| ③VAM16監視装置 | 荒入踏切 | | | | | | | | | | |
| ④中継機#2 | 河川付近 | | | | | | | | | | |
| ⑤中継機#1 | RH横 | | | | | | | | | | |
| ⑥集約機 | RH内 | | | | | | | | | | |

| 日付 | 設置場所 | 11/19 | 11/20 | 11/21 | 11/22 | 11/23 | 11/24 | 11/25 | 11/26 | 11/27 | 11/28 |
|------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ①VAM32監視装置 | 貝淵踏切 | | | | | | | | | | |
| ②中継機#3 | 信号付近 | | | | | | | | | | |
| ③VAM16監視装置 | 荒入踏切 | | | | | | | | | | |
| ④中継機#2 | 河川付近 | | | | | | | | | | |
| ⑤中継機#1 | RH横 | | | | | | | | | | |
| ⑥集約機 | RH内 | | | | | | | | | | |

| 日付 | 設置場所 | 11/29 | 11/30 | 12/1 | 12/2 | 12/3 | 12/4 | 12/5 | 12/6 | 12/7 | 12/8 |
|------------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ①VAM32監視装置 | 貝淵踏切 | | | | | | | | | | |
| ②中継機#3 | 信号付近 | | | | | | | | | | |
| ③VAM16監視装置 | 荒入踏切 | | | | | | | | | | |
| ④中継機#2 | 河川付近 | | | | | | | | | | |
| ⑤中継機#1 | RH横 | | | | | | | | | | |
| ⑥集約機 | RH内 | | | | | | | | | | |

| 日付 | 設置場所 | 12/9 | 12/10 | 12/11 | 12/12 | 12/13 | 12/14 | 12/15 | 12/16 | 12/17 | 12/18 |
|------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ①VAM32監視装置 | 貝淵踏切 | | | | | | | | | | |
| ②中継機#3 | 信号付近 | | | | | | | | | | |
| ③VAM16監視装置 | 荒入踏切 | | | | | | | | | | |
| ④中継機#2 | 河川付近 | | | | | | | | | | |
| ⑤中継機#1 | RH横 | | | | | | | | | | |
| ⑥集約機 | RH内 | | | | | | | | | | |

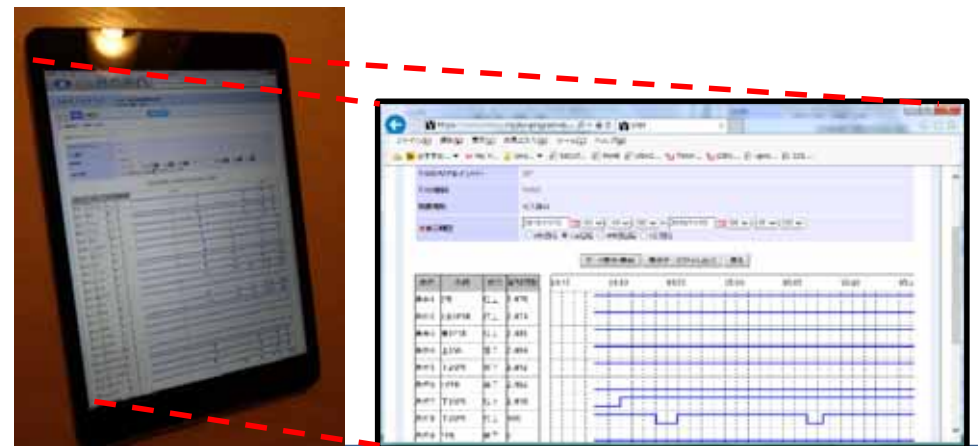
- 非稼働
- アプリケーション非稼働
- 3G接続不可

稼働率:

99%超 100%

(ネットワーク稼働時) (リカバリーモード含)

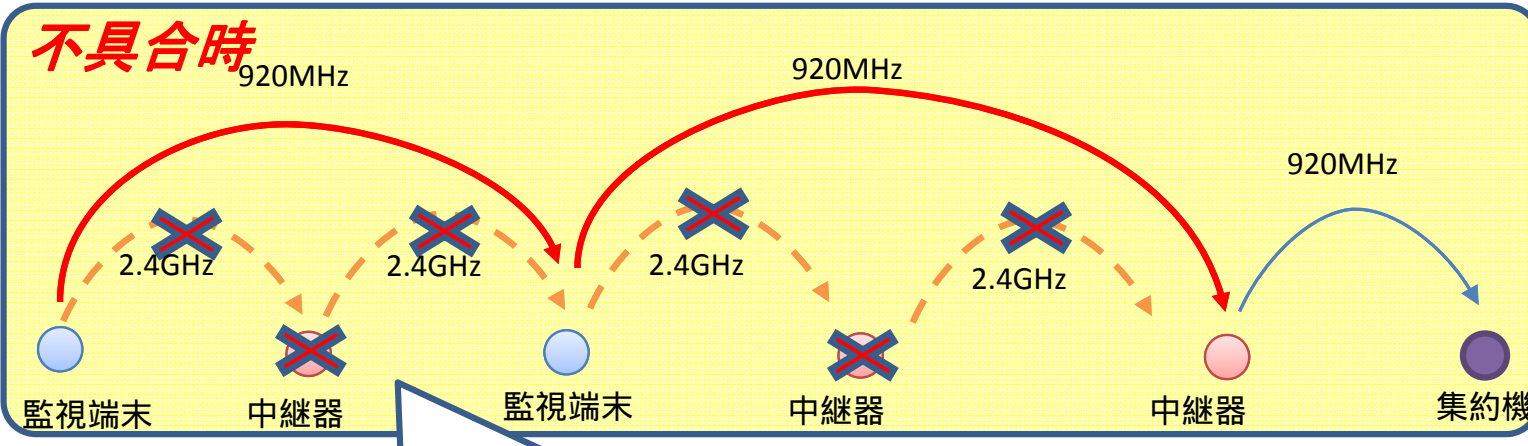
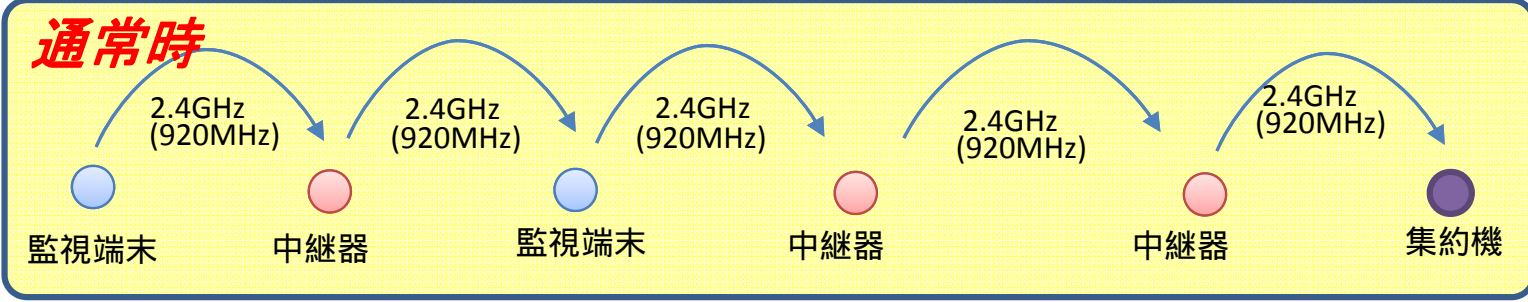
日照不足による中継器停止等があったものの、十分な稼働率を得た



タブレット端末等で動作状況を随時確認

二重化ZigBee端末の開発【フィールド試験】【試験結果】

中継器不具合時の動作について



日照不足で
中継器#2,#3停止

中継器を飛ばし、920MHz帯でネットワークを確立（端末が中継機能を果たす）

外乱に強いネットワークを実証

二重化ZigBee端末の開発 【総合評価】

・二重化通信(920MHz/2.4GHz)性能

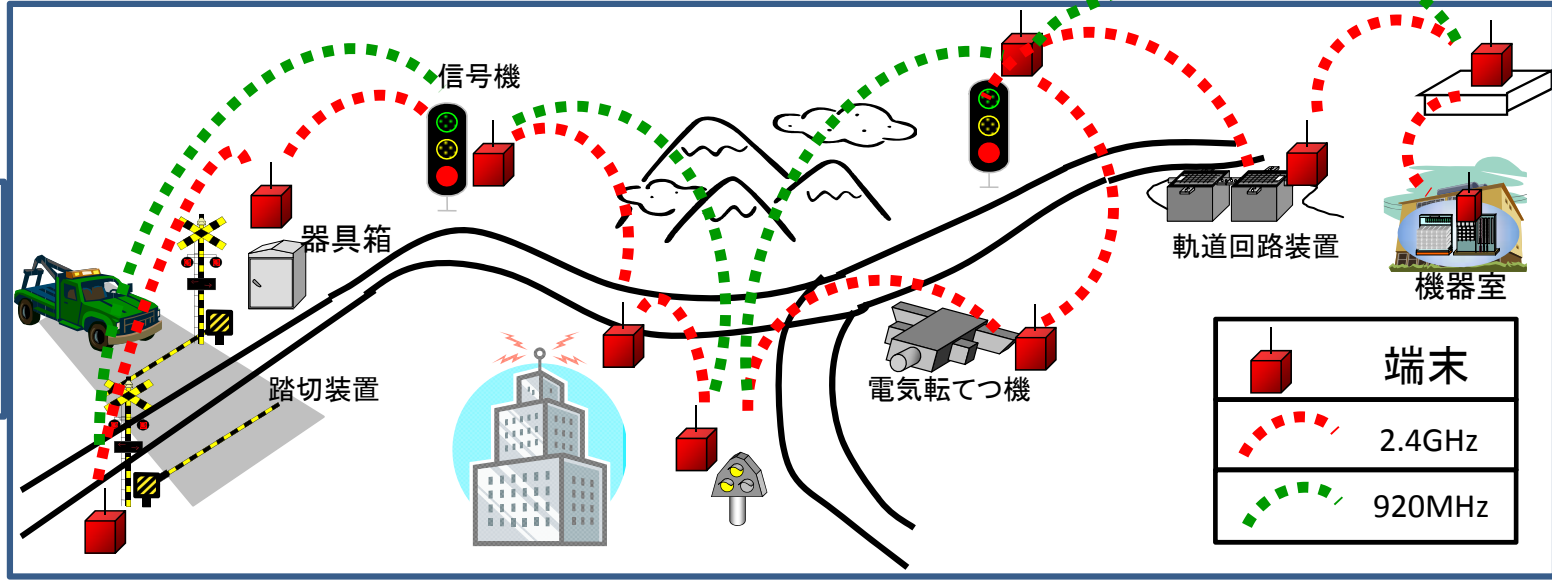
リカバリー機能、安定動作を実現

・実環境下における安定稼働

約1ヶ月の安定稼働

・稼働率

99%超
(リカバリーで
100%)



・稼働設備
への影響

影響なし

・鉄道沿線における施工性

限られた作業時間実施可能

・メンテナンススタッフのニーズ

現地に行かずにデータを取得可能

課題

| | |
|------|----------|
| 伝送距離 | 長期稼働 |
| 運用方法 | 既存装置との共存 |

二重化ZigBee端末の開発 【今後の構想】

他の信号装置用端末への応用

他の設備用監視端末の開発



モニタリング対象機器の拡充による
スマートメンテナンス促進

二重化通信(920MHz/2.4GHz)ZigBeeネットワーク
拡充による、監視系インフラの充実

既存の状態監視システムと共存し、よりきめ細かい
監視ネットワーク構築に寄与

他の分野への適用・応用可能性

二重化通信(920MHz/2.4GHz)によるZigBeeネットワーク

屋外の悪環境における、より安定の高いモニタリングインフラとして他分野へも

例えば、送電線、道路 ……



ご清聴ありがとうございました



(東京駅)

BITS
2016

BITA GROUP 2016
MARCH 4 - 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 2016