

スマートなインフラ維持管理に向けたICT基盤の確立

2017年10月3日

研究代表者: (NTTデータ) 中村好孝

研究分担者: (NTTデータ) 石川裕治、津川拓哉、近藤孟
(NTTデータ経営研究所) 竹内敬治
(アルプス電気) 梶田屋 秀樹

アウトライン

1. 研究開発背景

社会インフラの老朽化進行と破損事例
当社のインフラ状態監視システムの製品開発
更なる普及展開に向けて
無線クラウド型橋梁状態監視システムの技術的課題
政策目標・研究開発目標

2. 研究開発への取組成果

研究開発内容の全体像

- 【広範囲型】研究開発内容
- 【広範囲型】実施内容（低消費電力無線通信制御技術）
- 【広範囲型】実施内容（低消費電力時刻同期技術）
- 【広範囲型】フィールド実証
- 【広範囲型】取組成果

- 【局所集中型】研究開発内容
- 【局所集中型】実施内容（超低消費電力無線送受信技術）
- 【局所集中型】実施内容（効率的無線通信制御技術）
- 【局所集中型】取組成果

3. 政策目標に対する取組成果

- 【広範囲型】政策目標の達成に向けた取組
- 【広範囲型】開発成果適用時の効果試算
- 【広範囲型】無線通信技術に関する国内標準化
- 【局所集中型】国際標準化戦略の検討

4. 今後の成果展開

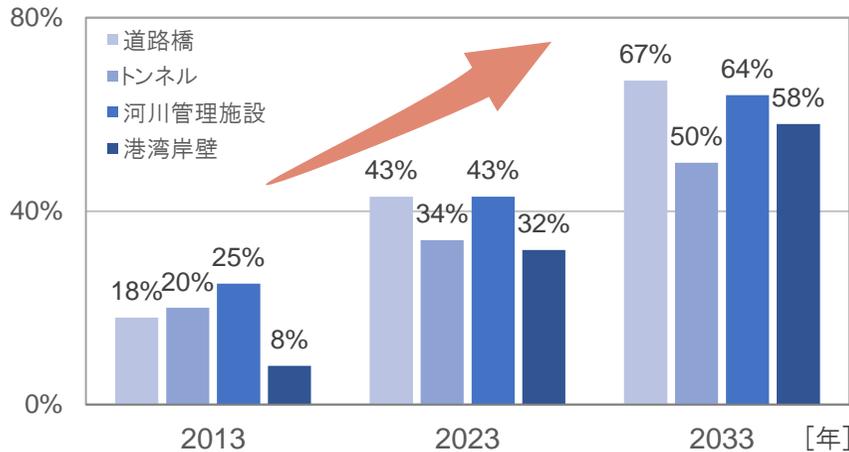
- 【広範囲型】今後の成果展開
- 【局所集中型】今後の成果展開

1. 研究開発背景

社会インフラの老朽化進行と破損事例

- 近年、**築50年を超えるインフラ数**や**老朽化による破損**が年々増加しているため、破損防止に向けた長寿命化施策を施す必要がある。

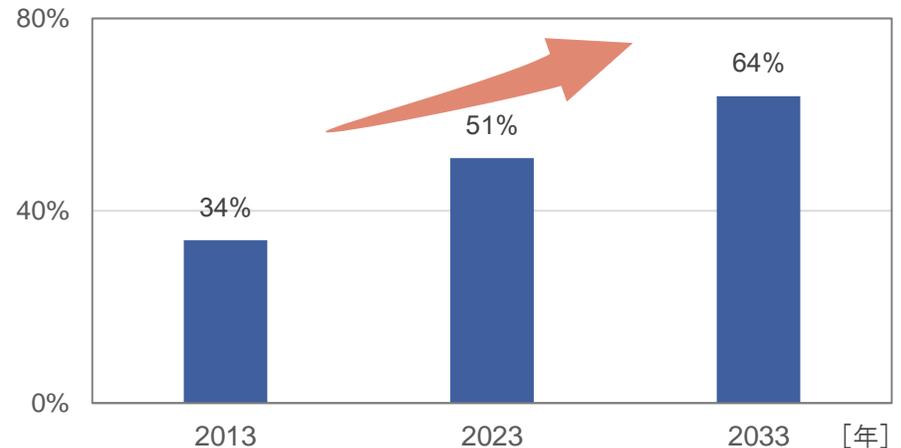
国内でのインフラ老朽化



建築後50年以上経過する日本の社会資本の割合

出典:国土交通省白書(2016年)

米国でのインフラ(橋梁)老朽化



建築後50年以上経過する米国の橋梁の割合

出典:国土技術政策総合研究所資料第645号(2011年)



本荘大橋

トラス橋の斜材の破断

出典:総務省「社会資本の維持管理及び更新に関する行政評価・監視」(2010年)



見晴橋

鋼鉄製の支柱の腐食

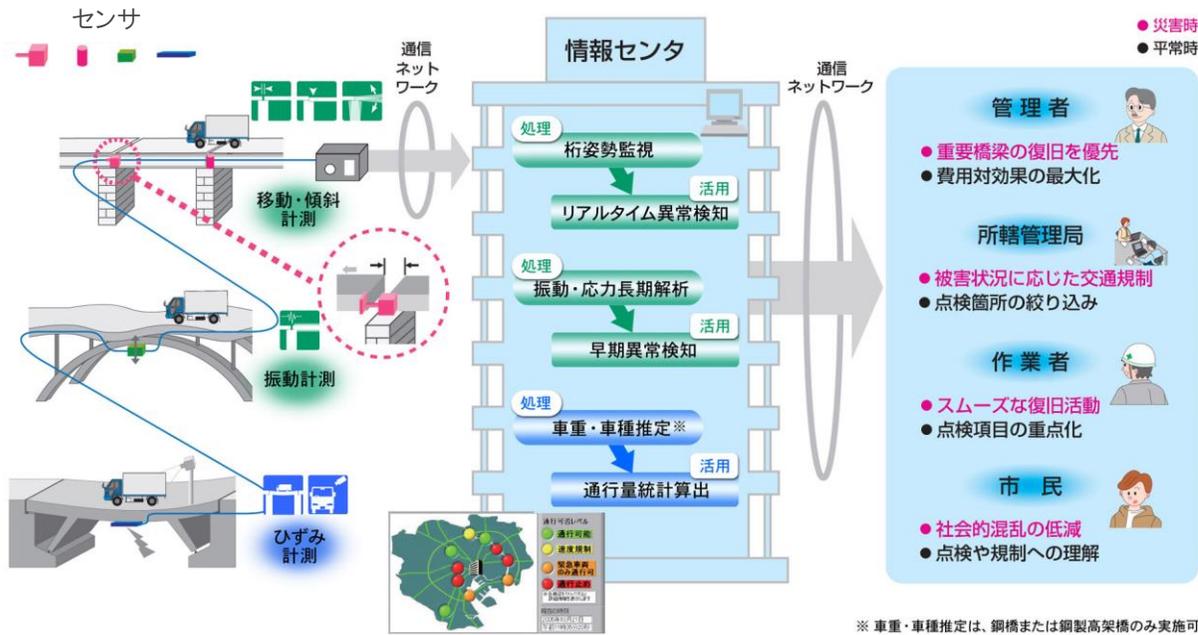


ミネアポリス橋梁の崩壊事故現場

出典:米国ミネアポリス橋梁崩壊事故に関する技術調査報告(2007年)

当社のインフラ状態監視システムの製品開発

- 先述した背景を受けて、**インフラ状態監視システム**の製品開発を行った。
- 各種センサで計測したデータをリアルタイムで加工※・送信することで、人が目視でチェックしてきた**劣化情報**や**車両通行情報**、**気象情報**を継続的に収集・解析する。
※データの加工については、例えば「**変位データ**」を「**閾値超過の有無**」へ加工する等。



構造物異常検知・統計情報収集

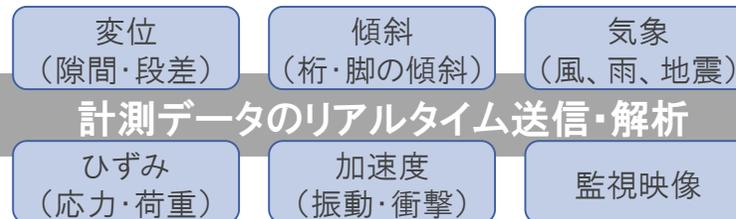
リアルタイムかつ長期継続的に橋梁の状態を計測し、災害時のリアルタイム異常検知、および、平常時の早期異常把握を支援。

走行車両重量推定・車種推定

橋梁に生じるひずみ量から、橋上を走行している車両の重量を算出。また、得られた重量と台数を統計的に解析することによって、車両走行が構造物に与える損傷度を算出し、点検や補修に役立てる。

気象情報収集

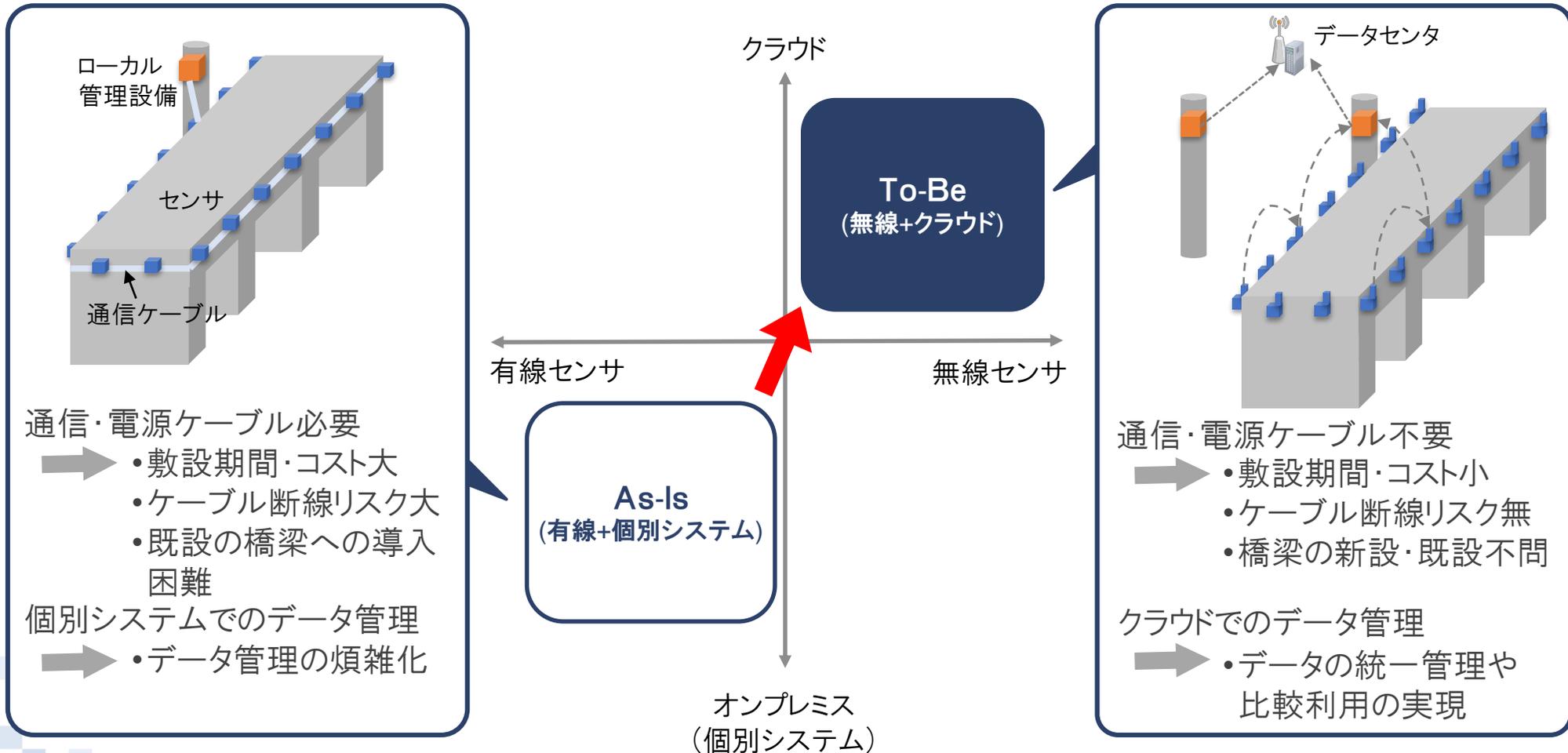
気象情報を収集・提供することによって、通行規制判断に役立てる。



※ 車重・車種推定は、鋼橋または鋼製高架橋のみ実施可

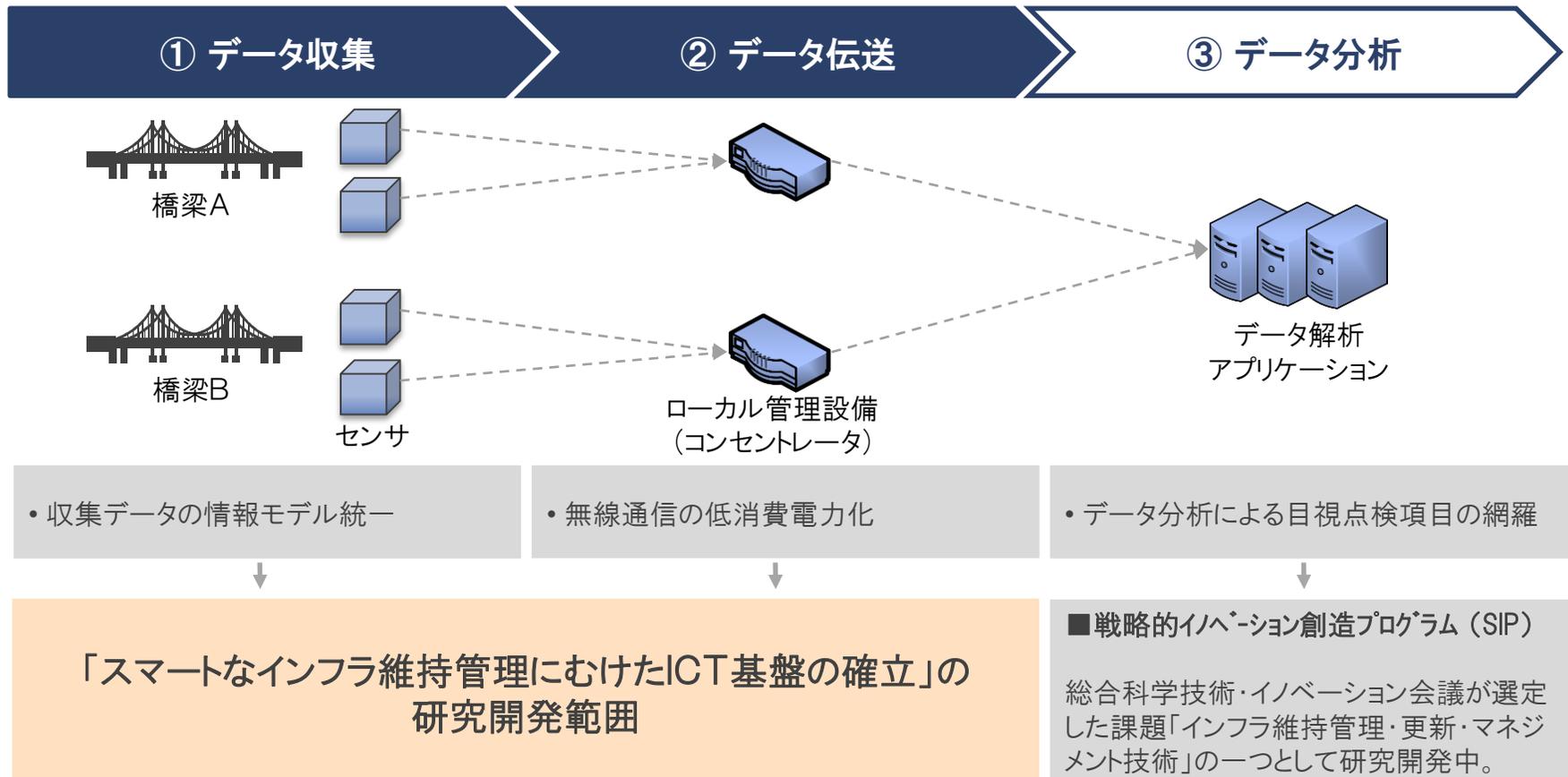
更なる普及展開に向けて

- 当初、インフラ状態監視システムを一般橋梁に展開することを試みたが、展開にはシステム構築のコスト・期間の削減や、収集データの一元管理・比較利用が必要となる認識に至った。



無線クラウド型橋梁状態監視システムの技術的課題

- 無線センサを用いたクラウド型橋梁状態監視は、大きく以下の3つのプロセスに分かれるが、無線センサを電池交換回数を減らして、点検に係る人手を減らすためには、無線通信を低消費電力化する必要がある。
- また、将来的な橋梁状態監視の普及にあたって、センサ間の相互接続性を担保するために、センサの情報モデルを標準化する必要がある。



政策目標・研究開発目標

本研究開発事業は、以下の政策目標および、研究開発目標を設定し遂行した。

政策目標(アウトカム目標)

センサー等を活用した遠隔監視等により、社会インフラの効果的・効率的な維持管理を可能とし、もって、社会インフラの長寿命化の実現に資する。

研究開発目標(アウトプット目標)

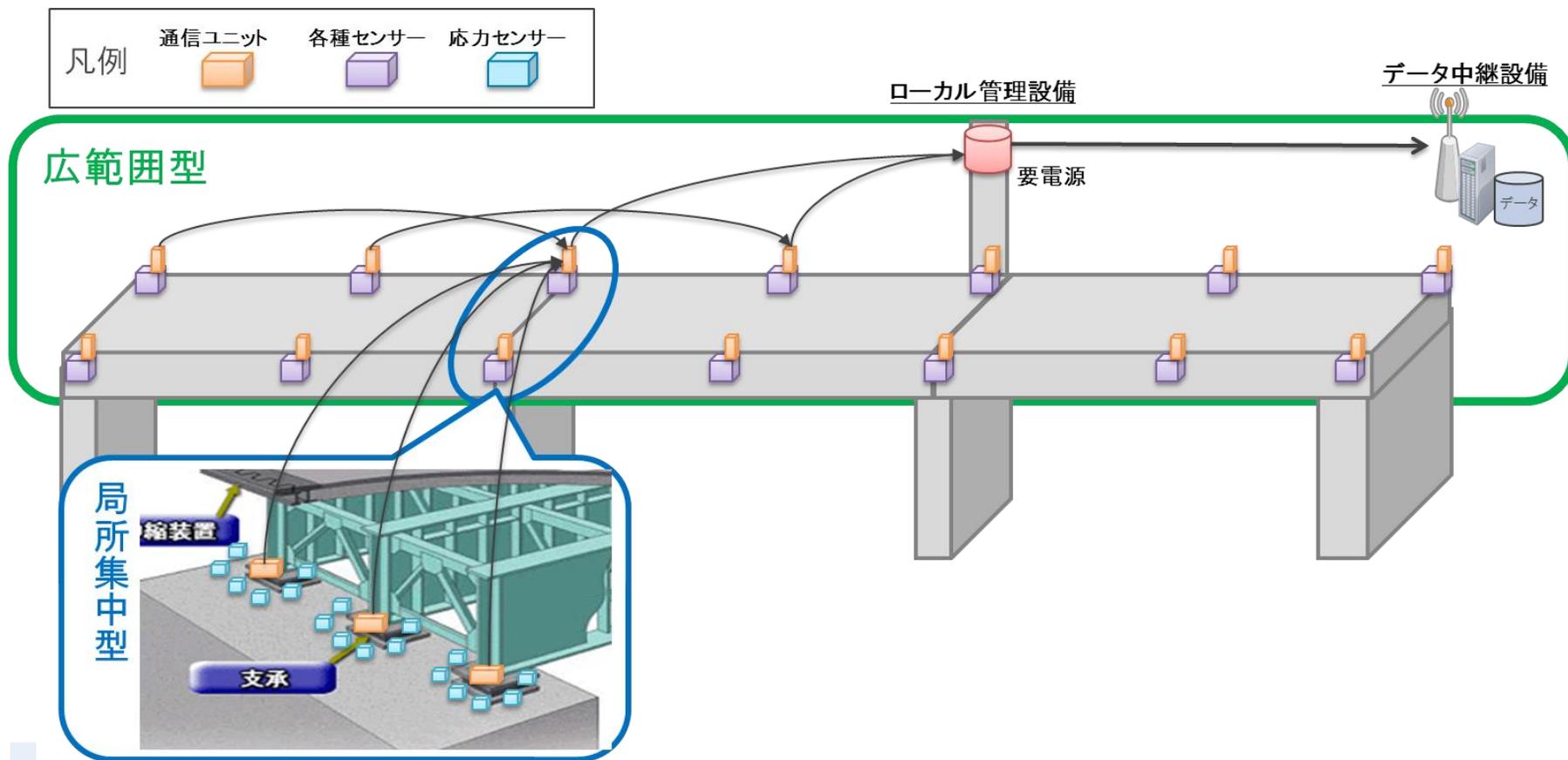
センサーで計測した振動等のデータを、高信頼かつ低消費電力で収集・伝送する無線通信技術を確立し、実際の社会インフラにおいてフィールド実証等を行うことにより、その効果を検証する。また、成果の普及とインフラ維持管理分野における国際競争力強化のために、フィールド実証等の成果を基に国際標準化を推進する。

2. 研究開発の概要と取組成果

研究開発内容の全体像

本研究開発事業では、社会インフラの橋梁を対象に、以下2点の通信技術の開発を行った。

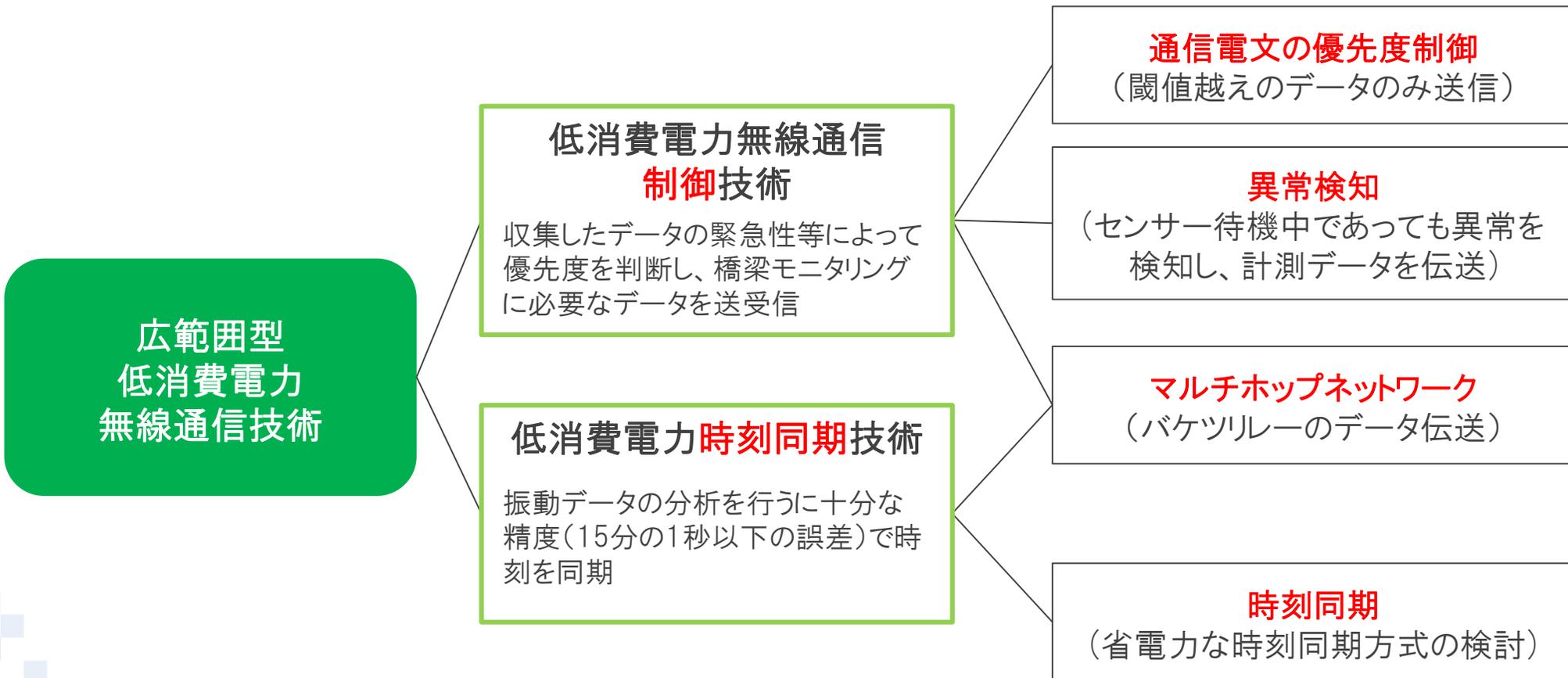
1. 広範囲型低消費電力無線通信技術(下図※の緑枠)
 - センサーの設置間隔が疎であり、低い頻度のデータ収集で十分な計測箇所・事象を対象
2. 局所集中型低消費電力無線通信技術(下図※の青枠)
 - センサーの設置間隔が密であり、高い頻度でデータの収集が求められる計測箇所・事象を対象



【広範囲型】研究開発内容

広範囲型は、低消費電力無線通信制御技術及び低消費電力時刻同期技術の研究開発を行った。

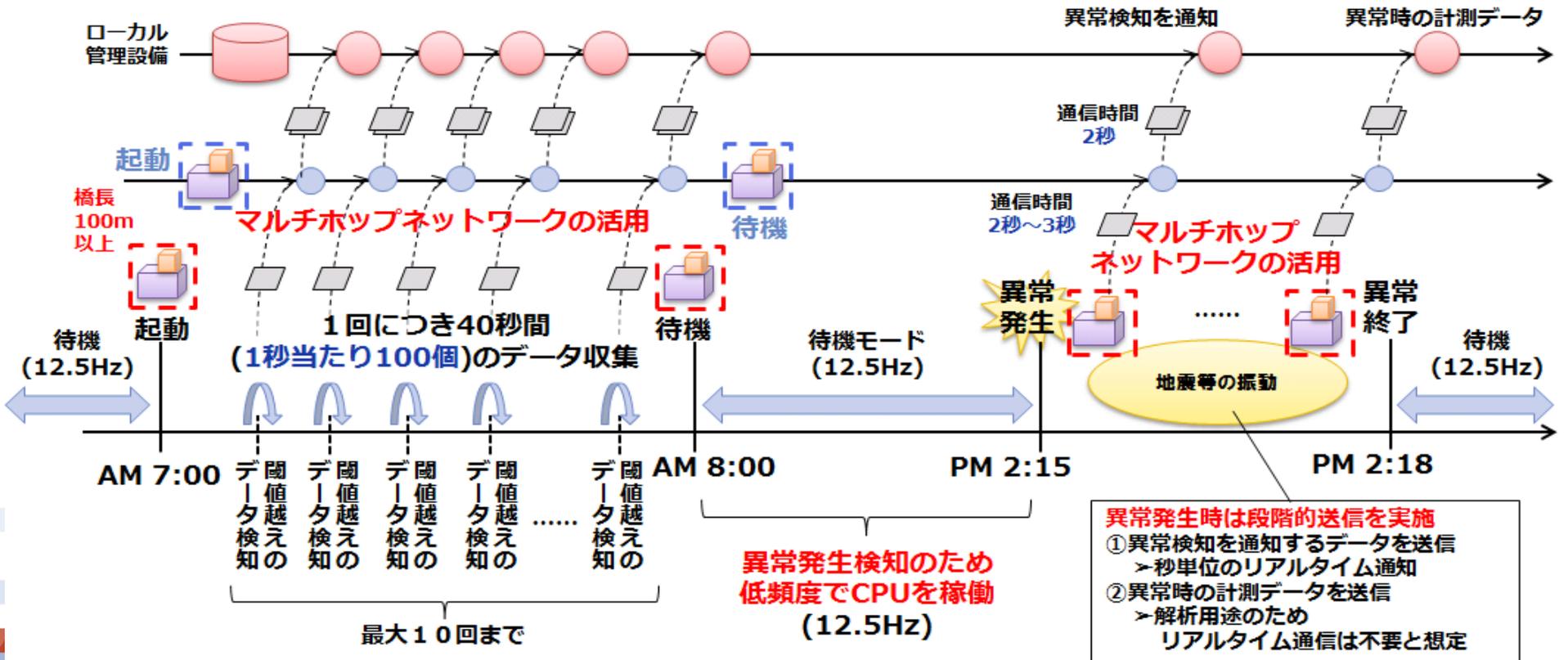
低消費電力無線通信制御技術 : 通信電文の優先度制御・異常検知・マルチホップネットワーク
低消費電力時刻同期技術 : マルチホップネットワーク・時刻同期



【広範囲型】実施内容（低消費電力無線通信制御技術）

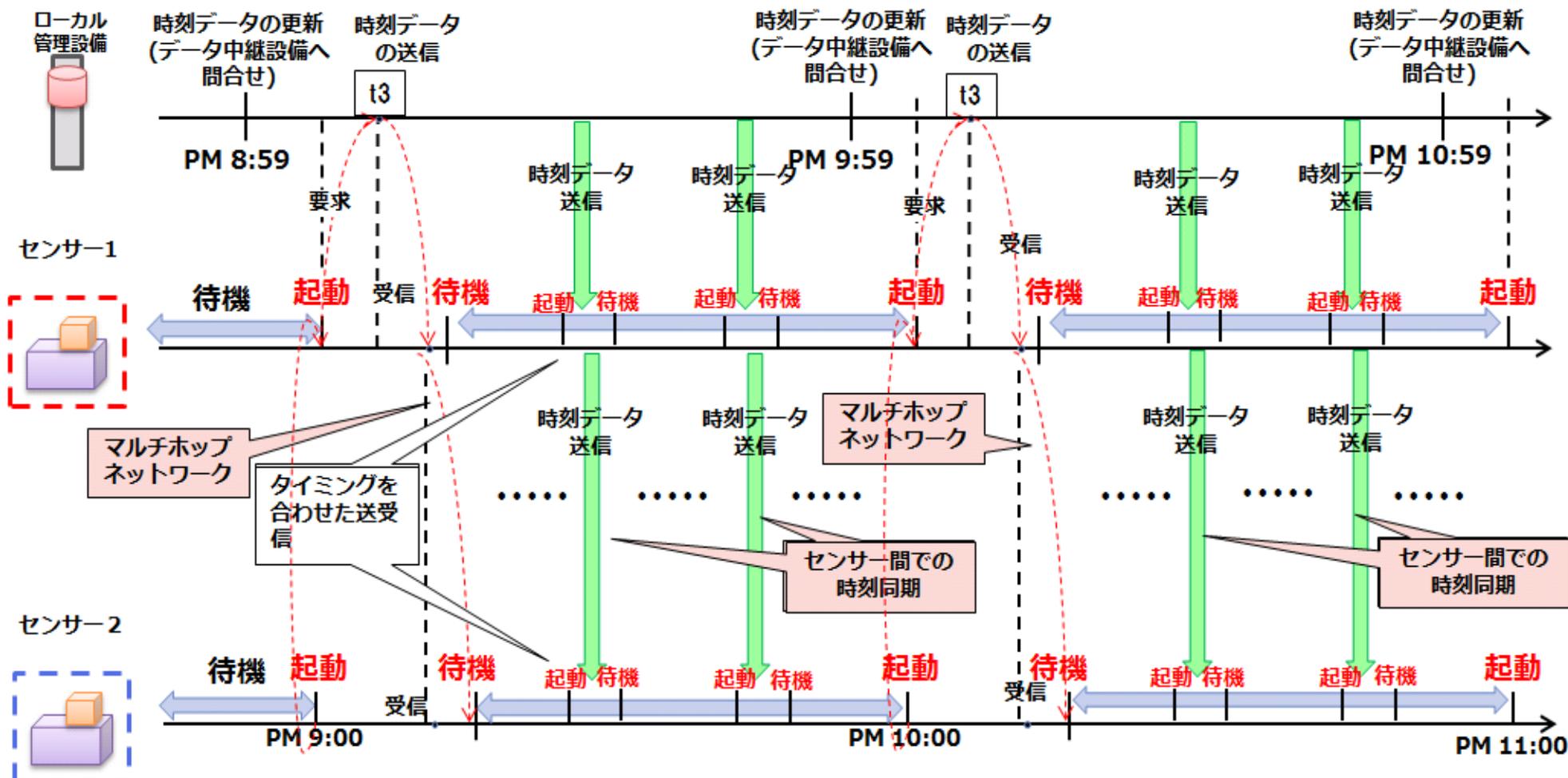
通信電文の
優先度制御
マルチホップ
ネットワーク
異常検知

- 1日のうち車両交通量の多い時間(例:AM7:00~AM8:00)にセンサーを起動し、**閾値越えのデータのみ通信を行う**仕組みについて通信規格を定めた。
- 低消費電力無線通信制御技術の成果は以下の通り。
 - ✓ 閾値越えのデータ検知・送信等に必要な電力の省電力化 → **8.7mAh/日**を達成 (目標:10.9mAh/日)
 - ✓ 長距離通信を可能とするマルチホップネットワーク → **2ホップ**を達成 (目標:1ホップ以上)
 - ✓ 地震等の異常発生を検知し、異常検知を通知するデータ及び異常時の計測データの通信 → **1.071秒**での異常検知データ送信(目標:5秒以内)、**2分41秒**での計測データ送信完了(目標:4分以内)



【広範囲型】実施内容（低消費電力時刻同期技術）

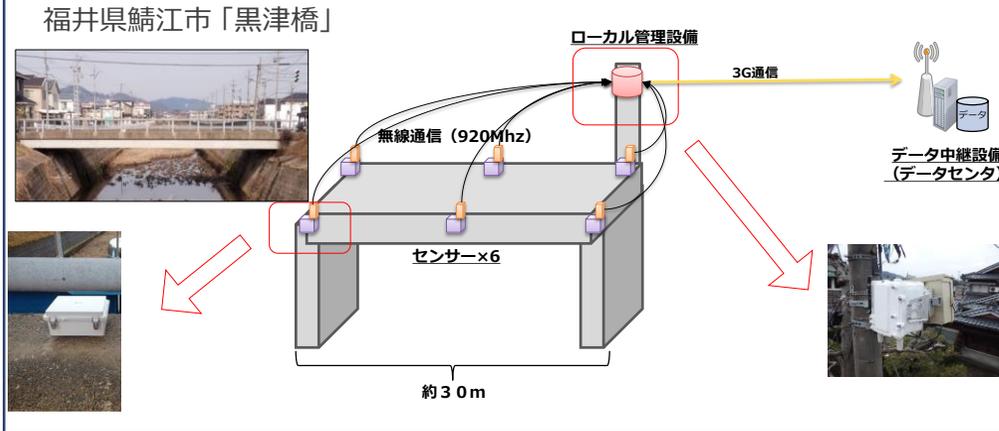
- 時刻同期については、H26年度の結果（温度特性による時刻同期誤差）に鑑み、以下2方式を採用し、精度向上に取り組みました。
 - ✓ 6センサで21.77ms以下の誤差で同期（目標:66ms以下）



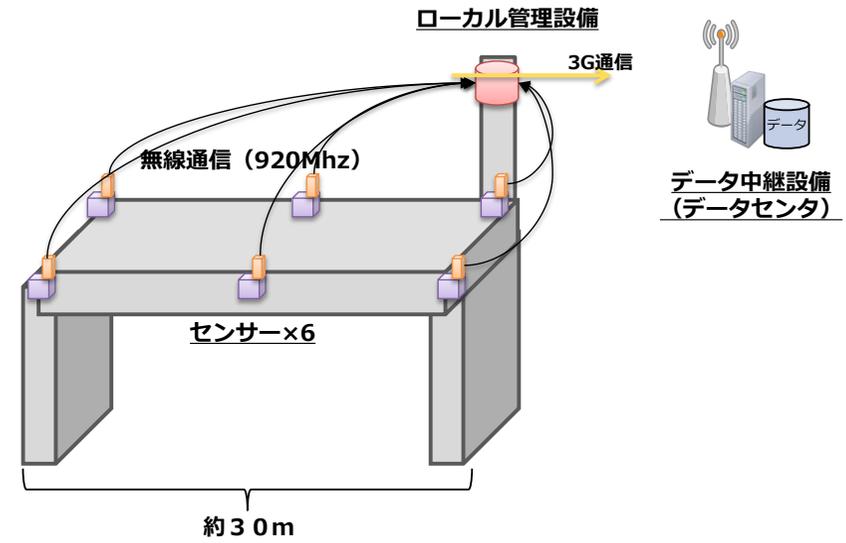
【広範囲型】フィールド実証

- 福井県鯖江市から以下の橋梁を借り、フィールド実証を実施。

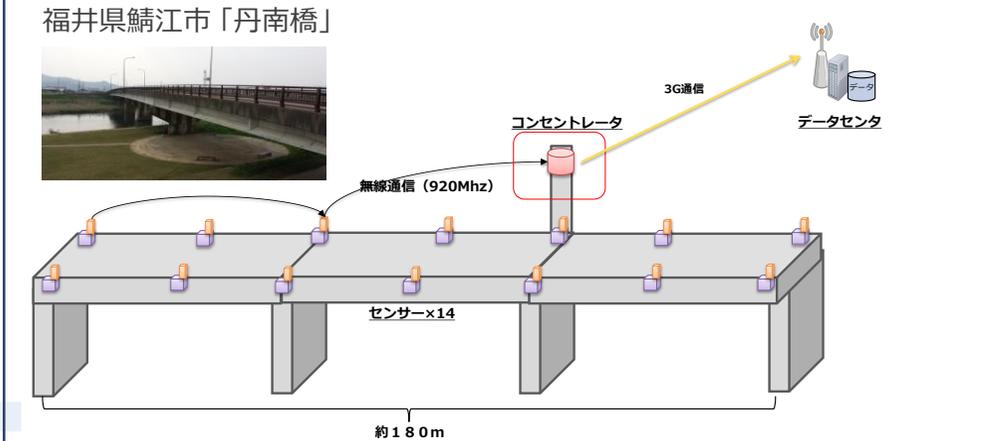
2014年度 (30m程度のコンクリート橋)



2016年度(30m程度の鋼橋)

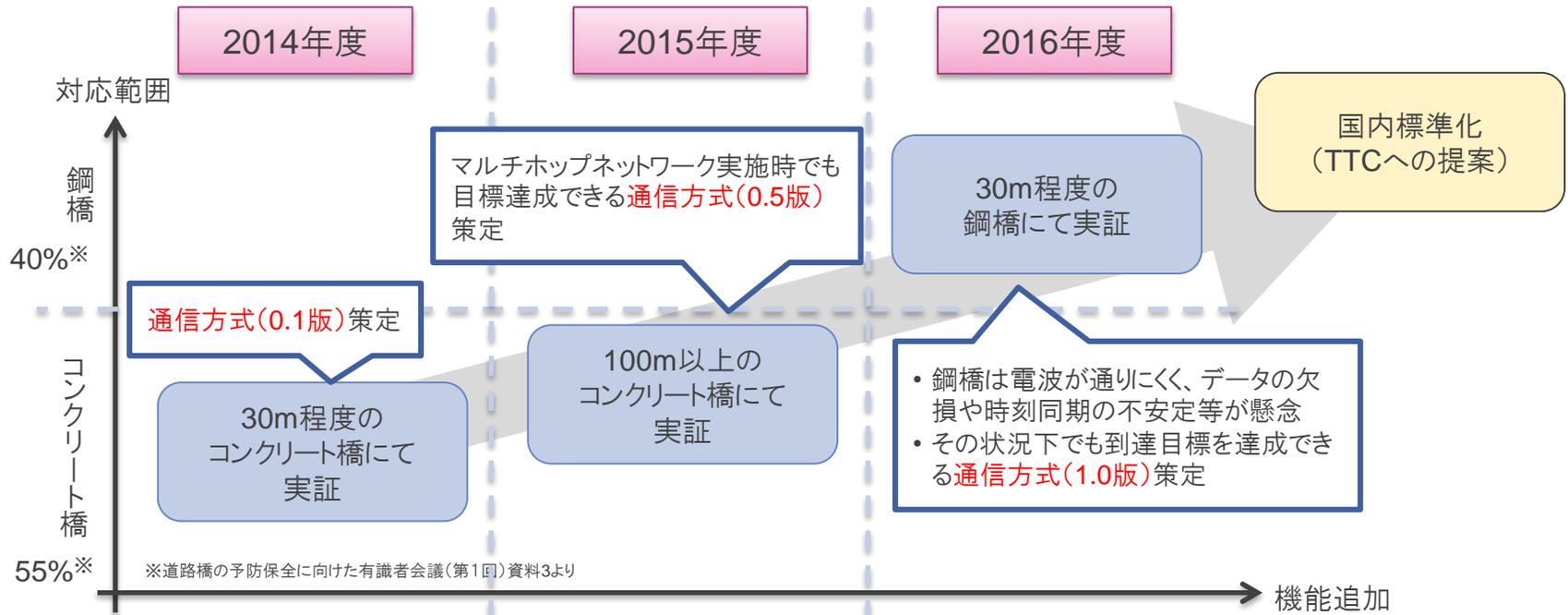


2015年度 (100m程度のコンクリート橋)



【広範囲型】取組成果

- 年度毎に実証する橋梁種別を変更し、2016年度には国内95%の橋梁種別に対応可能となった。



	2014年度	2015年度	2016年度
通信電文の優先度制御	○	◎	◎
時刻同期	○	◎	◎
異常検知	×	○	◎
マルチホップネットワーク	×	○	◎

- 【凡例】
 ◎: 改良版実装
 ○: 実装&実証
 ×: 未実装

【局所集中型】研究開発内容

局所集中型は、超低消費電力無線送受信技術及び効率的無線通信制御技術の研究開発を行った。

超低消費電力無線送受信技術

: 新たなLSIの開発・セミパッシブRFID方式の採用

効率的無線通信制御技術

: 効率的通信プロトコル・情報セキュリティの考慮

局所集中型 低消費電力 無線通信技術

超低消費電力 無線送受信技術

消費電力を従来の技術と比較して大幅に低減し、稼働期間の延長及びエネルギーハーベスティング技術による電源自立化を実現

効率的無線通信制御技術

通信制御情報を大幅に簡素化しつつ、多数のセンサーが連携してデータ送受信を行うことで、効率的なデータの収集・伝送を実現

新たなLSIの開発

(高感度、低消費電力かつ低リーク電流の無線チップを新たに開発)

セミパッシブRFID方式の採用

(距離5~10mの双方向通信を消費電力1000分の1で実現)

効率的通信プロトコル

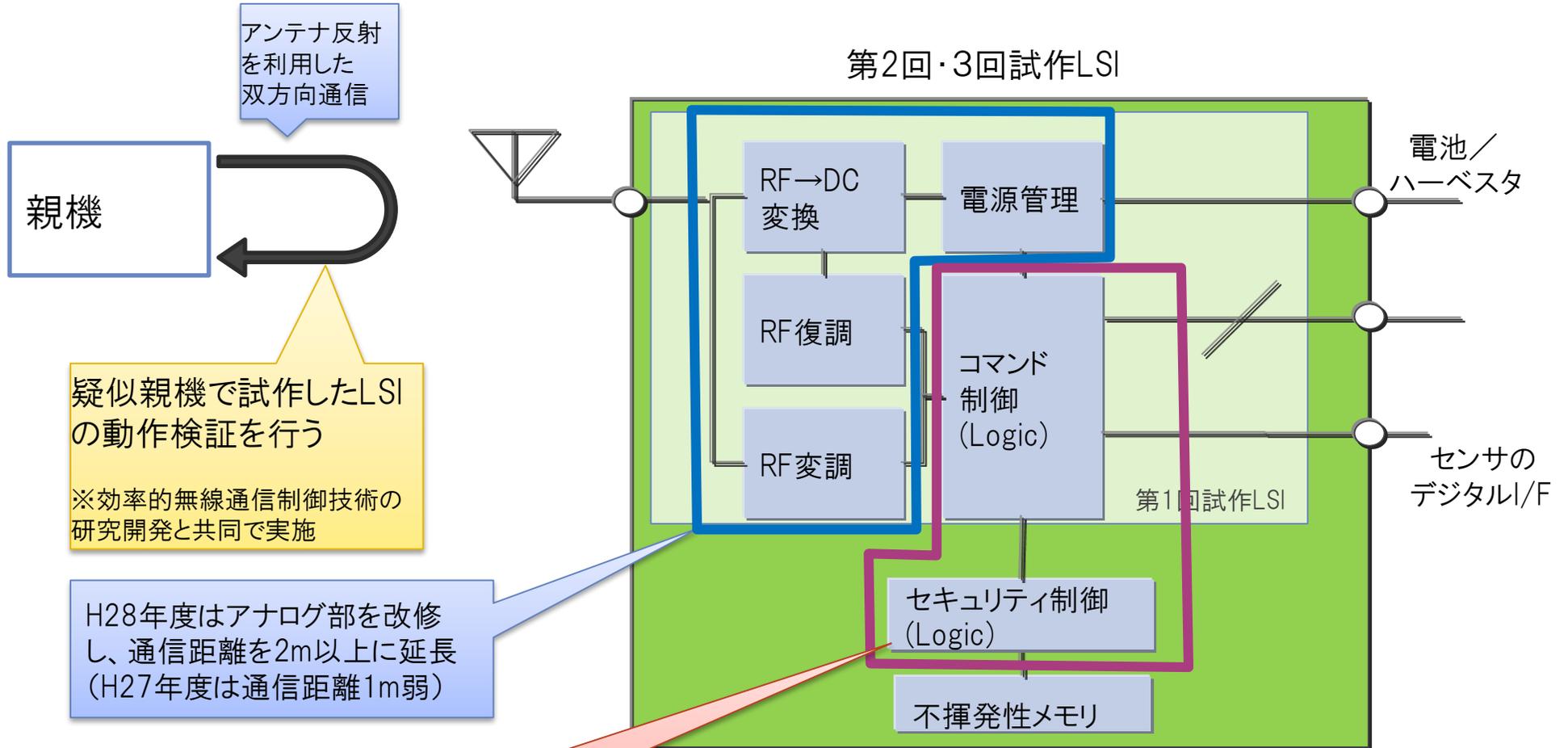
(あらかじめ設定された順序で順次データを送信する通信プロトコルを開発)

情報セキュリティの考慮

(消費電力や通信データ量に大きなインパクトを与えない認証・暗号化方式を開発)

【局所集中型】実施内容（超低消費電力無線送受信技術）

アンテナの反射により通信するRFID方式のLSI(無線チップ)を3回試作した。



疑似親機で試作したLSIの動作検証を行う

※効率的無線通信制御技術の研究開発と共同で実施

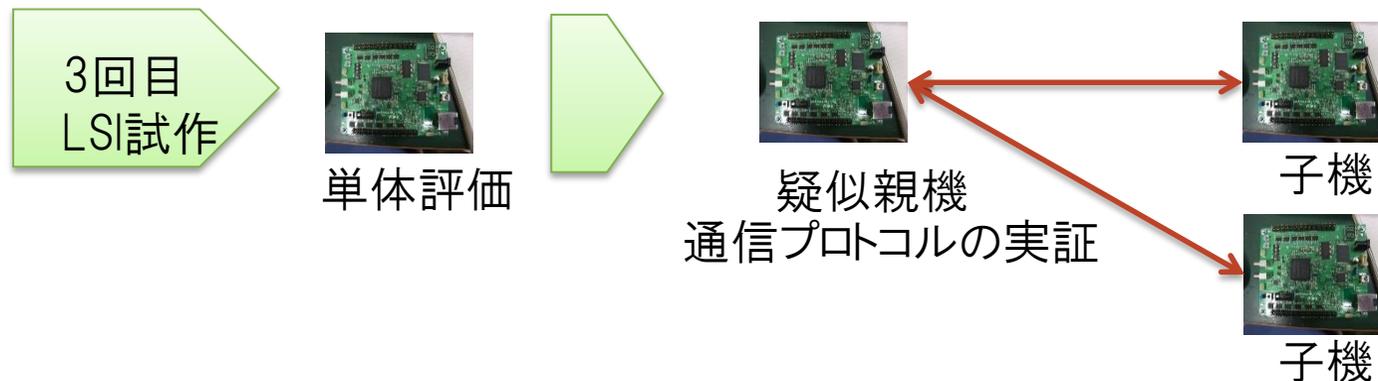
H28年度はアナログ部を改修し、通信距離を2m以上に延長 (H27年度は通信距離1m弱)

その後、ロジック部を改修し、通信距離を5～10mに延長

暗号化プロトコルの改善(相互認証方式、復号・暗号処理ロジック)、低消費電力回路設計の改善により、ロジック部の消費電力を低減して整流回路の負荷を削減することで通信距離の延長を目指す

【局所集中型】実施内容（**効率的無線通信制御技術**）

試作LSIの単体評価環境を構築し、検証作業を行った。
橋梁構造物の近傍で通信プロトコルの実証を行った。

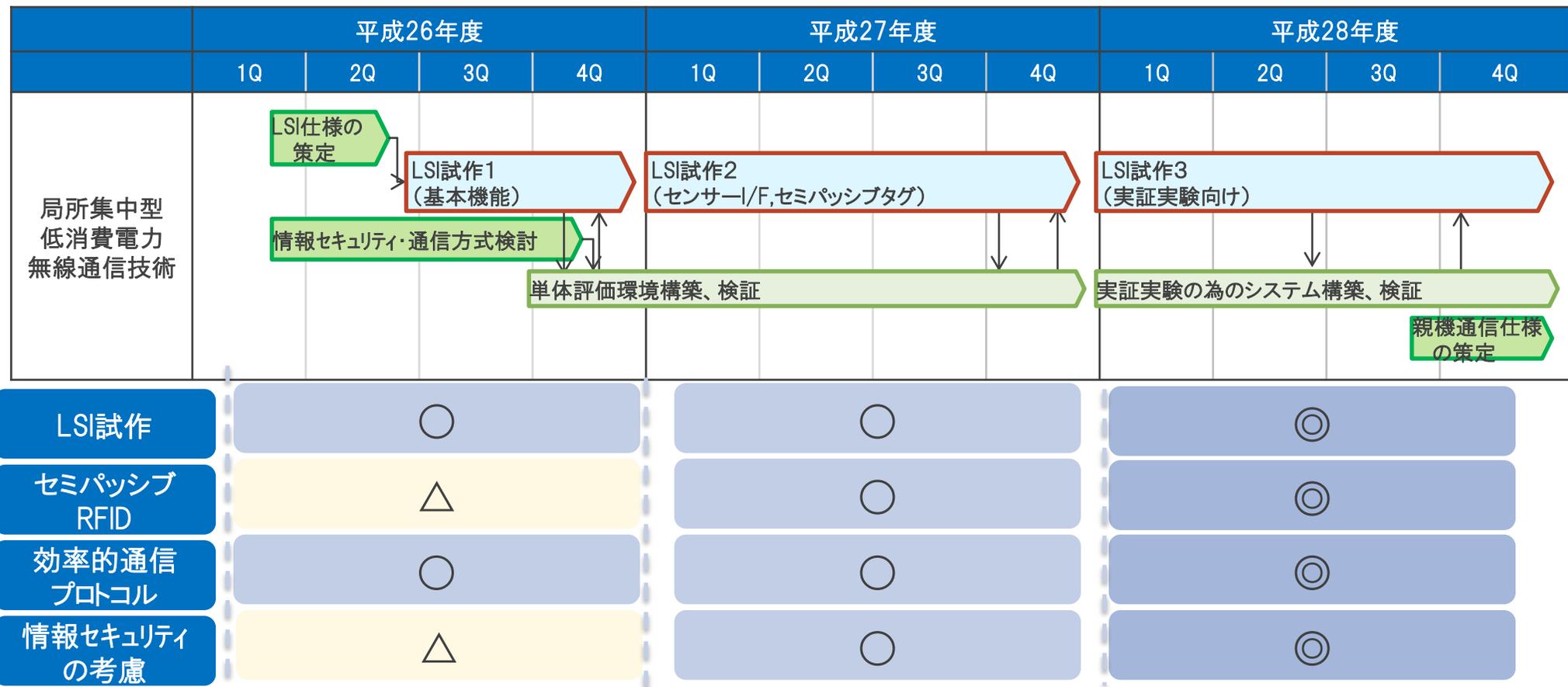


実証場所としては橋梁構造物がアクセスしやすい形で保管されている
独立行政法人 土木研究所 構造物メンテナンス研究センターの臨床研究用撤去部材保管施設を使用。



【局所集中型】取組成果

以上、3年間の実証実験を経て、基本計画書の到達目標は全て達成した。

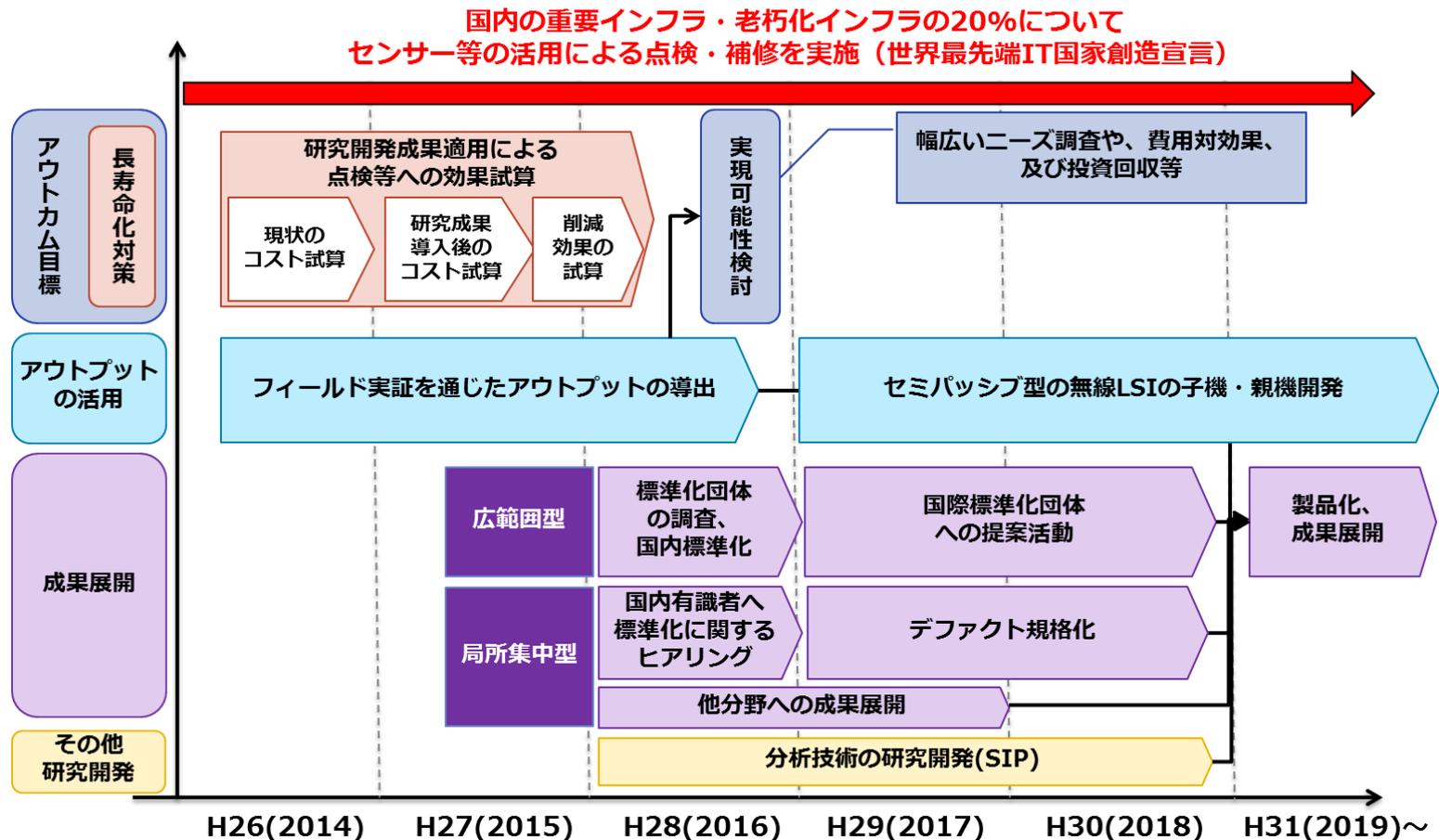


【凡例】
 ◎: 実装 & 実証
 ○: 実装
 △: 仕様検討

3. 政策目標に対する取組成果

政策目標の達成に向けた取組

- 研究開発にて導出した「アウトプット」及び「コスト削減効果」を基に、無線センサーによる橋梁モニタリングの実現可能性について検討を実施した。
- また、成果展開を図る上では標準仕様であることが望ましいと考えられるため、事業期間内から標準化に向けた活動を行った。



【広範囲型】研究開発成果適用時の効果試算

- 現状の橋梁点検費用と研究成果適用後の橋梁点検費用の比較を行い、費用対効果を試算。
- 試算の結果、センサ導入等の初期費用を考慮しても、**研究開発成果を適用した方が費用削減効果が得られる**ことが判明した。

※ 5年間の導入前点検費用を100として設定

※ センサ劣化等を考慮すると、10年に1度の機器交換が必要なため、10年単位で比較。

項目	導入前	導入後	削減コスト	備考
初期費用	0	32	-32	
センサ	0	4	-4	1橋あたり2個のセンサを設置
ローカル管理設備	0	16	-16	1橋あたり1個のローカル管理設備でデータ収集
工事	0	11	-11	
閾値設定等	0	1	-1	
点検費用(10年間)	200	164	36	
日常点検、観察点検	2	2	0	
定期点検	114	84	30	一部の点検項目をセンサにより代替することで費用削減
重要度評価の設定～ 対策優先度の評価	2	2	0	
補修対策の実施	82	68	14	早期発見により補修費用を約2/3に抑えることが可能
通信費	0	6	-6	
ソフトウェア保守	0	2	-2	
合計	200	196	4	

点検費用削減

【広範囲型】無線通信技術に関する国内標準化

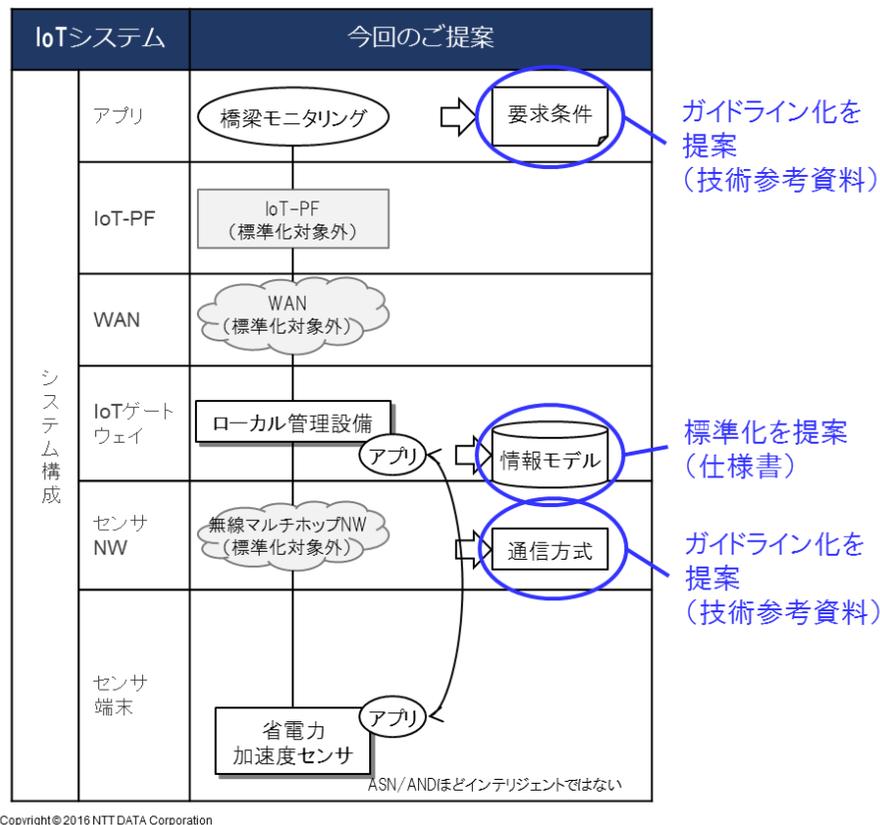
- 実装した情報モデルに関する標準と技術レポートを、以下の目的・スコープでTTC（社団法人 情報通信技術委員会）へ提案し、2017年5月に制定された。

標準

- 橋梁振動データの一元管理や比較利用の実現を目的とし、通信方式や実装技術に依存しない情報モデルを制定。
- 標準では、橋梁監視を想定した加速度センサの動作に関する情報や関係性、規則、操作などを記述。

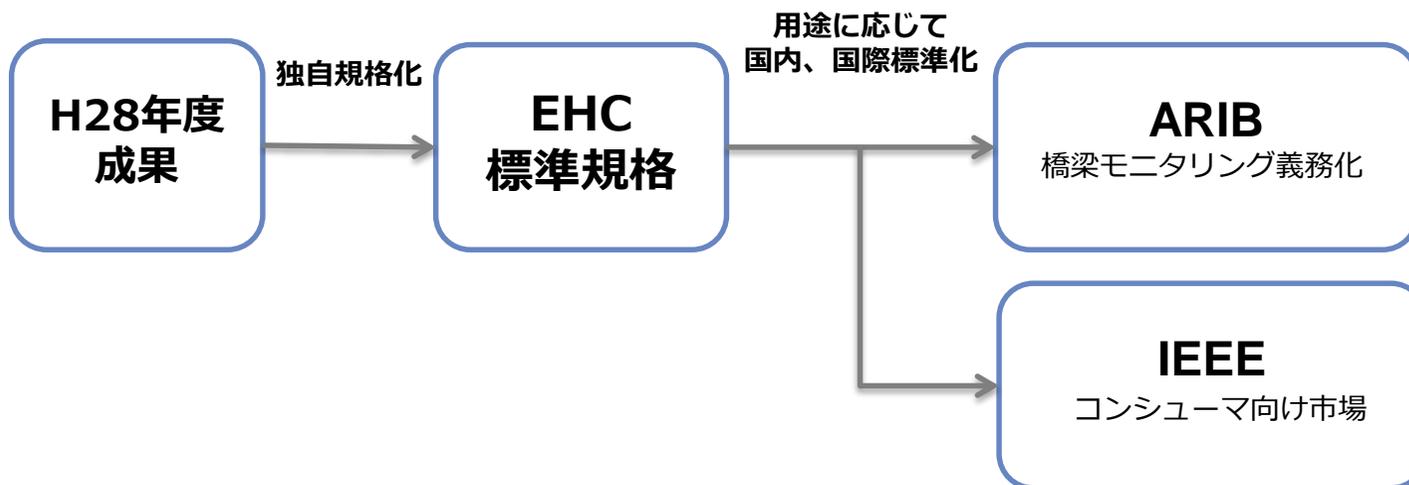
技術レポート

- 類似の研究における指針として参照可能とすることを目的とし、橋梁モニタリングにおいて振動データ収集に求められる要求条件を制定。
- 要求条件は、先述の総務省研究成果をもとに策定。



【局所集中型】国際標準化戦略の検討

- 国際標準化状況の調査を実施するとともに、国内有識者へのヒアリングを8件実施。
- その結果、本技術については、平成28年度までに技術開発が完結しないために国際標準化提案しても成立する可能性が低いことが判明。
- そこで、本事業の成果展開として、デファクト規格化を目指すこととし、H29年度以降にエネルギーハーベスティングコンソーシアム(EHC)の独自標準規格として公表することを目指す。
- この後、研究開発の進捗を待って、橋梁でのセンサー設置義務化の動きなどもにらみ、ARIB(国内標準)やIEEE(国際標準)など、標準化団体への提案可能性を探る。



4. 今後の成果展開

【広範囲型】今後の成果展開

- センサによるインフラ状態監視における今後の課題として、各種センサデータ及び加工データの情報モデルの統一や収集データに対する分析技術の確立、ビジネスモデルの構築が挙げられる。

① 通信規格の統一

- 通信規格の標準化と実装が進めば、データの一元管理や比較利用が可能となります。
- 本事業にて、様々な通信プロトコルに適用可能な加速度センサの情報モデルを標準化しましたが、それ以外のセンサデータ(ひずみ、腐食等)及び加工データ(固有振動数等)、並びに通信規格の標準化も進めていく必要があります。
- また、実装に向けたリファレンスモデルを共有することが有効となります。

- 複数業種間での情報モデル検討
- 国際標準化にむけた活動

② 分析技術の確立

- センシングデータの分析のみで、目視での点検項目を満たすことができれば、インフラ状態監視システムでの維持管理が可能となります。
- センシングデータをもとにした分析手法の研究開発を進める必要があります。

- SIP等による分析技術の研究開発

③ ビジネスモデルの構築

- 社会に普及展開するためには、各ステークホルダにどのようなメリットがあるのかを明確にする必要があります。
- 費用対効果の算出やニーズ調査、法制度の整備(センサでのモニタリングの許容)を行う必要があります。
- また、研究開発成果の他分野への適応を進める必要があります。

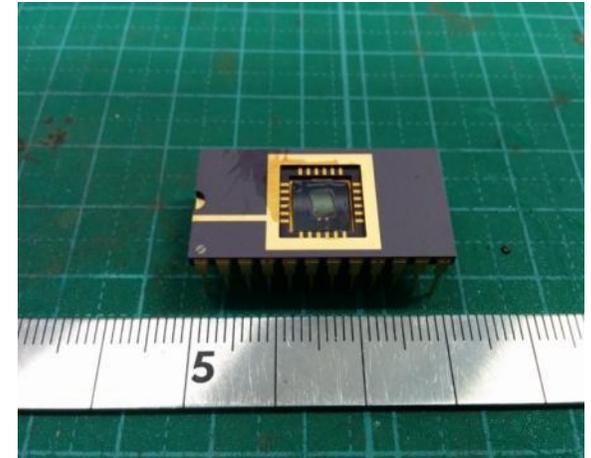
- 自治体へのニーズ調査
- 各研究開発を踏まえた費用対効果の算出
- 研究開発成果の普及活動

【局所集中型】今後の成果展開

- NIMSが開発する腐食環境センサと接続して展開できる可能性がある。



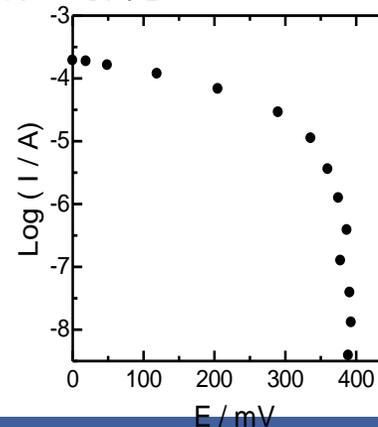
半導体加工技術で腐食環境
センサの小型化・高感度化・
低コスト化に成功



国内外の多数のサイトで長期の運用実績あり



腐食環境センサの電圧電流曲線



300mVで10 μ A程度の発電
(3 μ W程度)が可能

=>

腐食環境センサ自体を電源として
無線通信できる可能性



NTT DATA

Global IT Innovator