

スマートなインフラ維持管理に向けた I C T 基盤の確立

Establishment of the I C T foundation for smart maintenance of infrastructure

代表研究責任者 中村 好孝（株式会社エヌ・ティ・ティ・データ）

研究開発期間 平成 26 年度～平成 28 年度

【Abstract】

Towards the realization of bridge monitoring with wireless sensors, we developed a wireless communication scheme that can operate at low power consumption.

We developed the technology for transfer of the collected data on the basis of the urgency in the multi-hop network and the technology for updating time data of different wireless sensors to control wireless communication at low power and synchronize the time of each wireless sensor. Also, we developed the LSI (Large Scale Integration) to which the communication control protocol is implemented to transfer the collected data at low power from about 30 sensors to the base unit in one tenth of the time of the conventional wireless communication scheme.

In addition, on the basis of the development results, we calculated a cost effect of the system and are trying to standardize the developed communication protocol through TTC (The Telecommunication Technology Committee).

1 研究開発体制

- 代表研究責任者 中村 好孝（株式会社エヌ・ティ・ティ・データ）
- 研究分担者 石川 裕治（株式会社エヌ・ティ・ティ・データ）
津川 拓哉（株式会社エヌ・ティ・ティ・データ）
近藤 孟（株式会社エヌ・ティ・ティ・データ）
竹内 敬治（株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所）
梶田屋 秀樹（アルプス電気株式会社）
- 総合ビジネスプロデューサ 指田 光章（株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所）
- ビジネスプロデューサ 磯 尚樹（株式会社エヌ・ティ・ティ・データ）
指田 光章（株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所）
神田 幹雄（アルプス電気株式会社）

- 研究開発期間 平成 26 年度～平成 28 年度
- 研究開発予算 総額 434 百万円

(内訳)

平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度
207 百万円	152 百万円	75 百万円

2 研究開発課題の目的および意義

老朽化した社会インフラの増加により、維持管理・更新に要する費用の増加が予想されるとともに、必要な社会資本整備だけでなく既存施設の維持管理・更新にも支障をきたすおそれがある。

そのため、社会インフラにセンサーを設置して常時遠隔監視することで、社会インフラの状態を正確に把握することにより適時適切に対応し、事後的な対処ではなく、ICTを活用した予防保全を基本とする社会インフラの効果的・効率的な維持管理を可能とし、社会インフラの長寿命化の実現に資する。

センサーを活用した社会インフラの維持管理は、社会インフラの供用期間が一般に数十年の長期間にわたり、維持管理を目的として設置するセンサー（送受信機含む）等についても長期の稼働が求められることから、現在、データの送受信、電源供給等は、通信ケーブル、電源ケーブル等を接続するなど有線方式により実現している。しかし、有線方式は、ケーブルの敷設箇所を確保する必要があるなど既存の社会インフラへ適用することは困難であり、また、ケーブルの敷設コスト及びケーブル自体の維持管理費用、災害時等の断線等の課題がある。

本研究開発事業では、平成 26 年度から平成 28 年度の 3 カ年で、センサーで計測した振動等のデータを無線方式により高信頼かつ低消費電力で収集・伝送する通信技術等を確立するとともに、国際標準化を推進し、ICTを活用して社会インフラの効果的・効率的な維持管理を可能とする橋梁モニタリングシステムの実現を目指す。

3 研究開発成果（アウトプット）

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う。2 つのモニタリング方式を組み合わせ、必要十分なセンサーで健全性の管理を実現する。

- 広範囲型 低消費電力無線通信技術（グローバルモニタリング）
 - ・ 構造物全体における健全性の評価
 - ・ 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
- 局所集中型 低消費電力無線通信技術（ローカルモニタリング）
 - ・ 部材レベルの健全性の評価
 - ・ 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

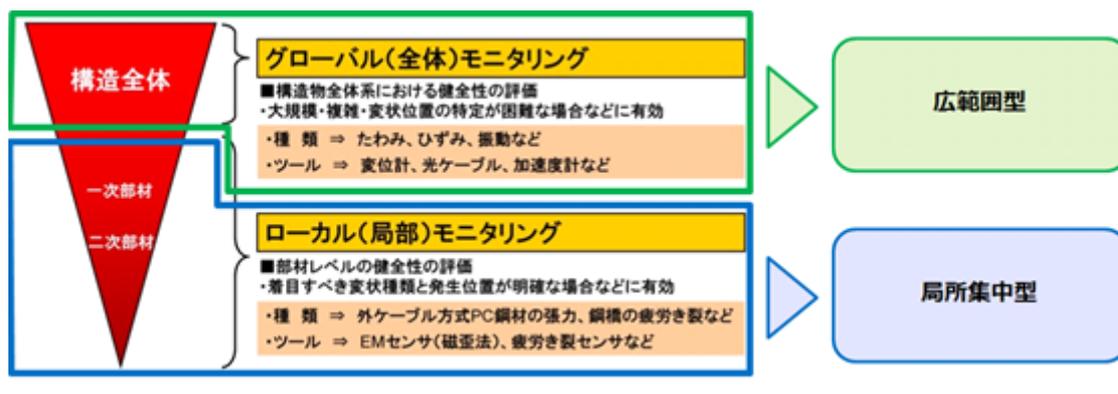


図 3-1 社会インフラのモニタリング技術の体系¹

「広範囲型」及び「局所集中型」のモニタリング方式を組み合わせた、橋梁モニタリングシステムの全体像を下図に示す。広範囲型で橋梁全体の挙動を監視し、局所集中型により主要部材の結合部を監視する。

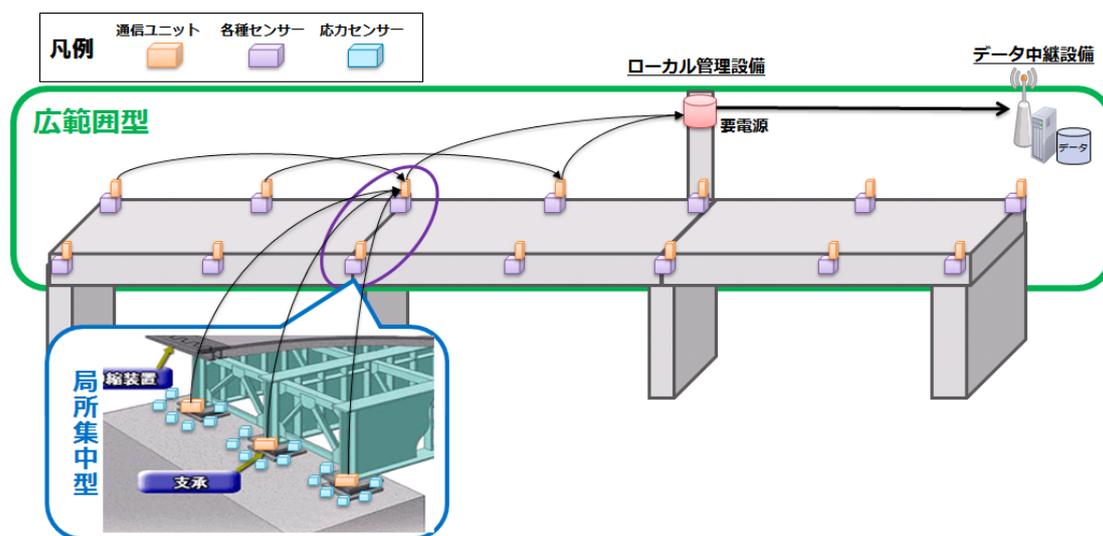


図 3-2 広範囲型と局所集中型の関係性

上図に示す通り、「広範囲型」においては、各種センサーに通信機能を有した通信ユニットを併設し、センサーデータを収集するローカル管理設備には、1 橋梁当たり 1 つ程度の目安で設置する。ローカル管理設備は、データの管理・分析等を行うデータ中継設備へデータを送信する役割を担う。データ中継設備は 1 地域あたり 1 つ程度の目安で設置し、複数橋梁のデータをまとめて管理・分析する。

「局所集中型」においては、部材と部材の結合部（支承等）に複数個の応力センサーと 1 つの結合部に対して 1 つ程度の目安で通信ユニットを設置する。

¹ 産業競争力懇談会 2013 年度 プロジェクト 最終報告 【インフラ長寿命化技術】，2014 年 3 月 3 日，産業競争力懇談会

3. 1 広範囲型 低消費電力無線通信技術

(1) 低消費電力無線通信制御技術

設置したセンサーから、毎秒 100 回程度で振動データを一定時間収集し、1 日あたり数百キロバイトとなるデータの伝送を、乾電池等の電源で 5 年以上の長期間にわたり実現する。

また、地震等の災害発生時に、社会インフラの異常を適時適切に把握するため、通常時と異なるデータが計測された場合には、迅速にデータの収集・伝送を行うこととする。

なお、本技術の研究開発に当たっては、実際の社会インフラにおいてフィールド実証を行うこと。

(2) 低消費電力時刻同期技術

3 つ以上の橋桁で構成される 100 メートル以上の橋りょうにおいて、乾電池等の電源で 5 年以上の長期間にわたり、15 分の 1 秒以下の誤差で 6 個以上のセンサー間の時刻同期を実現する。

なお、本技術の研究開発に当たっては、実際の社会インフラにおいてフィールド実証を行うこと。

「広範囲型」の課題と対応策は、下図の 4 点が考えられる。これらは、基本計画書にて定められた研究開発内容と下図の通り対応している。

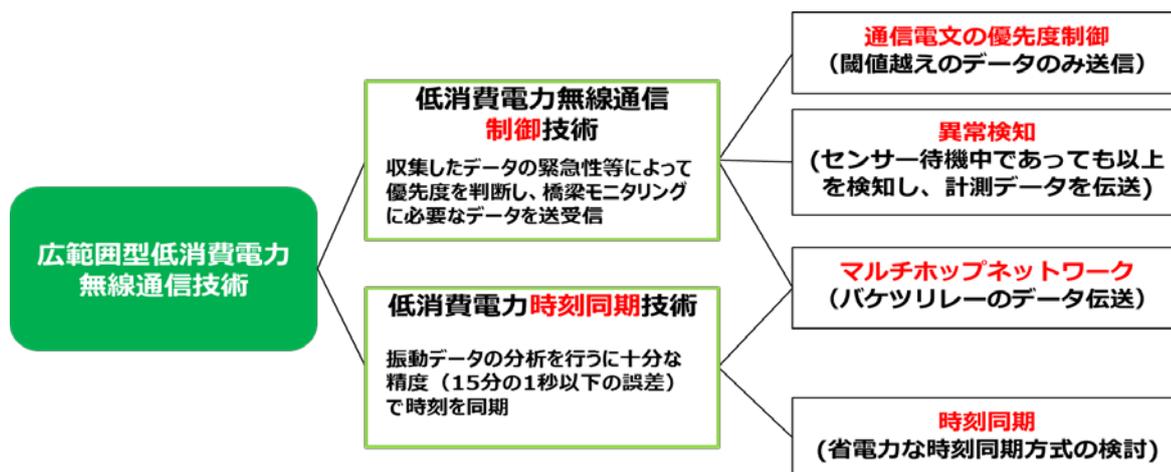


図 3-3 「広範囲型」の課題と対応策及び研究開発内容との対応

また、上記課題に対して、以下の計画に従いフィールド実証を実施した。本計画に従い、年度毎に機能・精度ともに高度化することで、H28 年度には国内 95%の橋梁に対応可能となる。

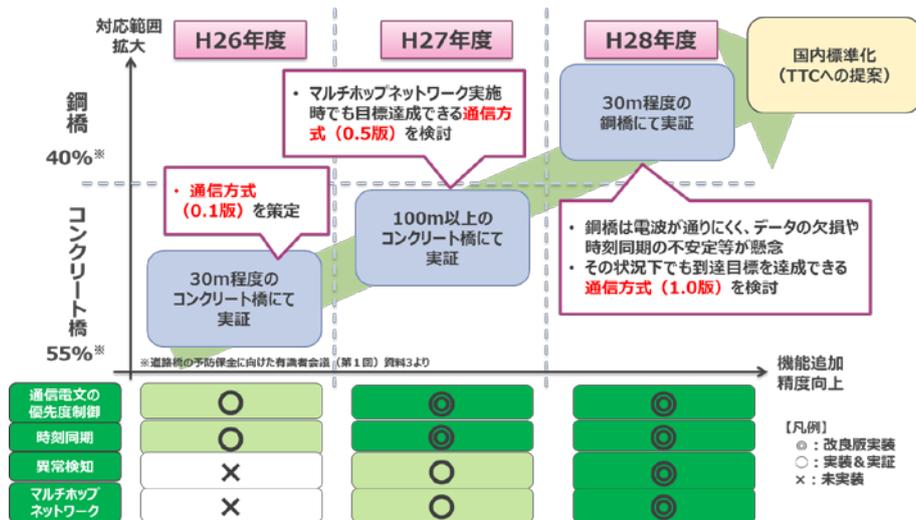


図 3-4 「広範囲型」における3年間の取組計画

フィールド実証は以下の橋梁で実施した。

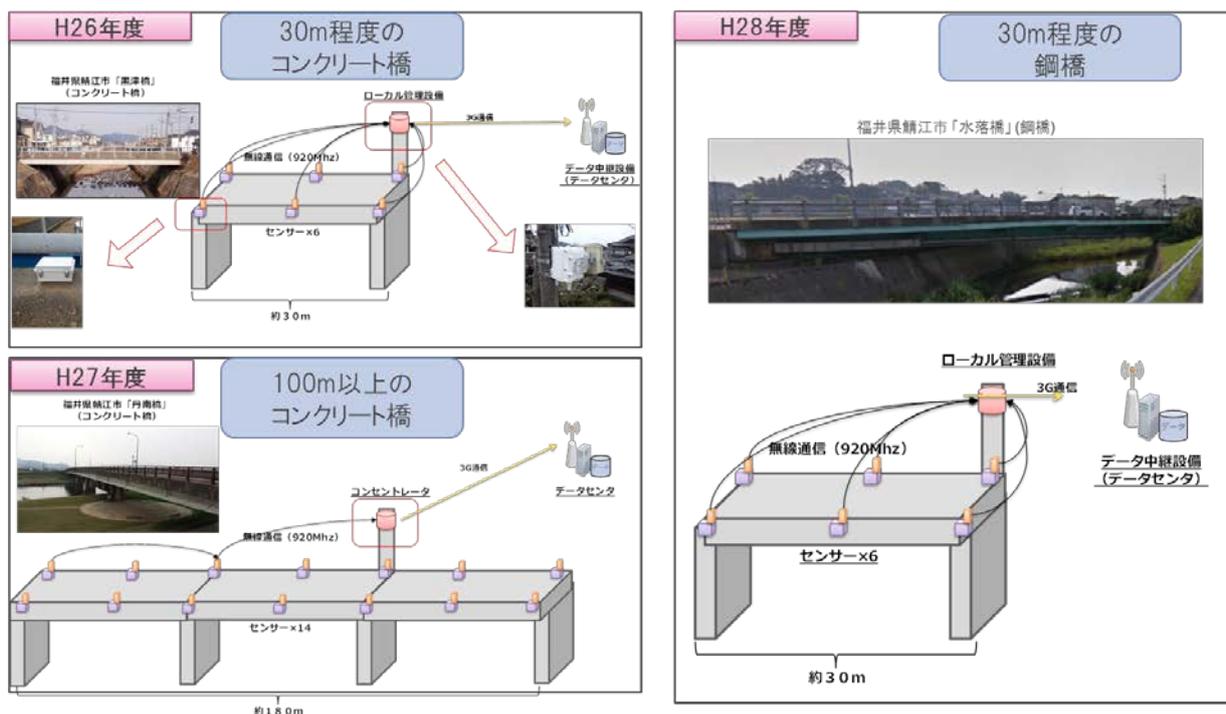


図 3-5 フィールド実証で使用了橋梁

(1) 低消費電力無線通信制御技術

低消費電力無線通信制御技術の到達目標の達成に向けて、1日のうち車両交通量の多い時間（例：AM7:00～AM8:00）にて閾値越えのデータのみを通信する機能（通信電文の優先度制御）や、地震等の異常発生の検知と計測データの伝送（異常検知）、長距離通信への対応(マルチホップネットワーク)を実現する研究開発を行った。

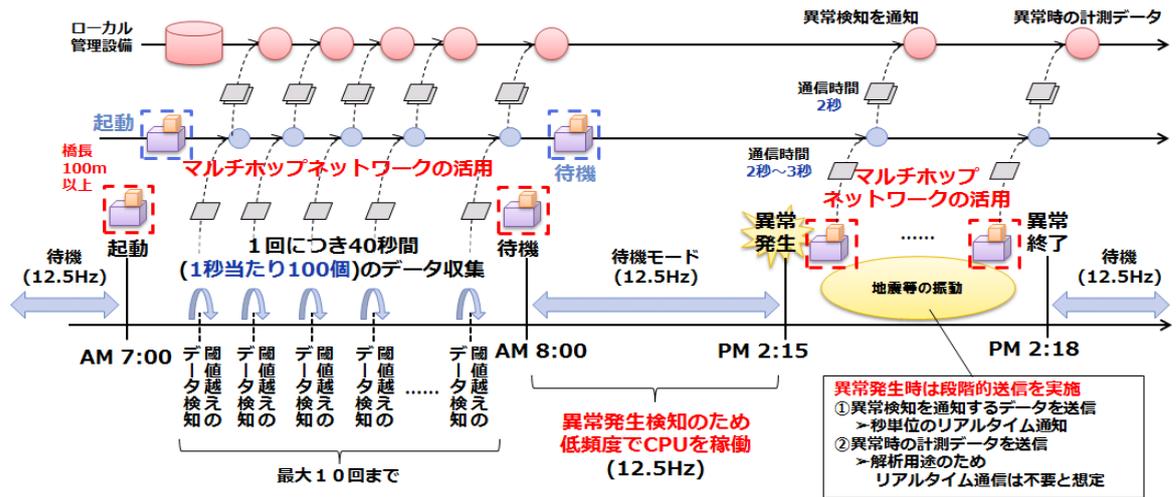


図 3-6 低消費電力無線通信制御技術の概要

低消費電力無線通信制御技術に関する基本計画書の到達目標を、具体的な評価項目と数値目標に分解したものを以下に示す。上記研究開発を通して、設定した数値目標は全て達成した。

表 3-1 基本計画書の到達目標と達成状況(低消費電力無線通信制御技術)

基本計画書の 到達目標	評価指針		達成状況	
	具体的な評価項目	数値目標		
1 設置したセンサーから、毎秒 100 回程度で振動データを一定時間収集し、1日あたり数百キロバイトとなるデータの伝送を、乾電池等の電源で 5 年以上の長期間にわたり実現する。	1-1	データ中継設備に蓄積されたデータが、分析を行うに十分な蓄積量であるか確認する。	データ欠損率 0.5%以下	【達成】 0%
	1-2	送信データが 1 日あたり数百キロバイト以上となっているか確認する。	送信データ量 100KB 以上	【達成】 約 116KB 以上
	1-3	比較的長い橋梁 (100m 以上) でも計測可能なマルチホップネットワークを用いているか確認する。	ホップ回数 1 ホップ以上	【達成】 2 ホップ
	1-4	センサーの稼働やデータの送受信にかかる消費電力量が、5 年以上の長期間にわたり実現できるか確認する。	消費電力 10.9mAh/日 以下	【達成】 8.7mAh/日

基本計画書の 到達目標		評価指針		達成状況	
		具体的な評価項目	数値目標		
2	地震等の災害発生時に、社会インフラの異常を適時適切に把握するため、通常時と異なるデータが計測された場合には、迅速にデータの収集・伝送を行うこと。	2-1	異常発生後に、異常を検知したことを示すデータを送信するのにかかる時間を確認する。	異常発生後のデータ送信完了時間 5.0秒以内	【達成】 1.071秒
		2-2	異常なデータを計測後、そのデータをローカル管理設備に送信するまでにかかる時間を確認する。	異常データ計測後のデータ送信完了時間 4分以内	【達成】 2分41秒
3	本技術の研究開発に当たっては、実際の社会インフラにおいてフィールド実証を行うこと。	3-1	橋梁の種類や大きさによって、実証結果に違いがあるか確認する。	コンクリート橋 鋼橋を対象	【達成】 コンクリート橋、鋼橋にて実証を実施
				1年目は1橋 2年目は1橋 3年目は1橋	【達成】 各年度に1橋ずつ実施

(2) 低消費電力時刻同期技術

低消費電力 時刻同期技術の到達目標の達成に向けて、1時間に1回の時刻同期と、カウンタパケットによる時刻同期の2方式を組み合わせ、時刻同期の精度向上に取り組んだ。

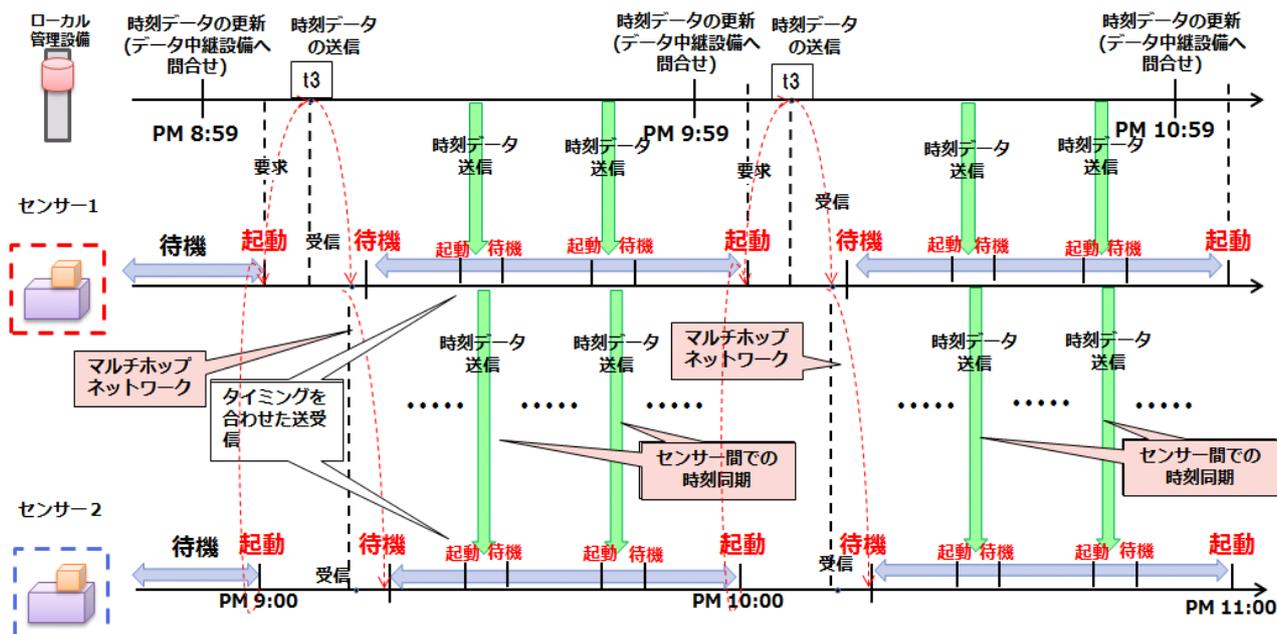


図 3-7 低消費電力無線通信制御技術の概要

低消費電力時刻同期技術に関する基本計画書の到達目標を、具体的な評価項目と数値目標に分解したものを以下に示す。上記研究開発を通して、設定した数値目標は全て達成した。

表 3-2 基本計画書の到達目標と達成状況(低消費電力時刻同期技術)

基本計画書の 到達目標		評価指針		達成状況	
		具体的な評価項目	数値目標		
1	3つ以上の橋桁で構成される100m以上の橋梁において、乾電池等の電源で5年以上の長期間にわたり、15分の1秒以下の誤差で6個以上のセンサー間の時刻同期を実現する。	1-1	15分の1秒以下の誤差で6個以上のセンサー間の時刻同期を実現する。	6個以上のセンサーを15分の1秒以下の誤差	【達成】 6個のセンサーで 21.77ms 以下
		1-2	省電力に資するマルチホップネットワークを用いているか確認する。	ホップ回数 1ホップ以上	【達成】 2ホップ
		1-3	センサーの稼働やデータの送受信にかかる消費電力量が、5年以上の長期間にわたり実現できるか確認する。	消費電力 10.9mAh/日 以下	【達成】 8.7mAh/日
2	本技術の研究開発に当たっては、実際の社会インフラにおいてフィールド実証を行うこと。	2-1	橋梁の種類や大きさによって、実証結果に違いがあるか確認する。	コンクリート橋 鋼橋を対象	【達成】 コンクリート橋、鋼橋にて実証を実施
				1年目は1橋 2年目は1橋 3年目は1橋	【達成】 各年度に1橋ずつ実施

3. 2 局所集中型 低消費電力無線通信技術

(1) 超低消費電力近距離無線送受信技術

IEEE802.15.4 等の従来の低消費電力無線通信技術と比較して、消費電力を 1,000 分の 1 以下に低減し、リチウム電池等の電源で 5 年以上の長期間にわたり、1 日当たりの約 2.5 メガバイト程度のデータの伝送を可能とするセンサー側無線通信技術を実現する。

なお、無線通信距離は鉄やコンクリートが近傍にある環境下において、5～10 メートル程度とし、アンテナは線状の場合は 20 センチメートル以下、面状の場合は 200 平方センチメートル以下とする。

(2) 効率的無線通信制御技術

リチウム電池等の電源で 5 年以上の長期間にわたり、30 個程度のセンサーから、情報セキュリティを考慮しつつ、それぞれ 2 バイトのデータを順次送信し、IEEE802.15.4 等の従来の無線通信技術の 10 分の 1 以下の時間（数十ミリ秒）で全データの送信完了を実現する。

「局所集中型」の課題と対応策は、下図の 4 点が考えられる。これらは、基本計画書にて定められた研究開発内容と下図の通り対応している。

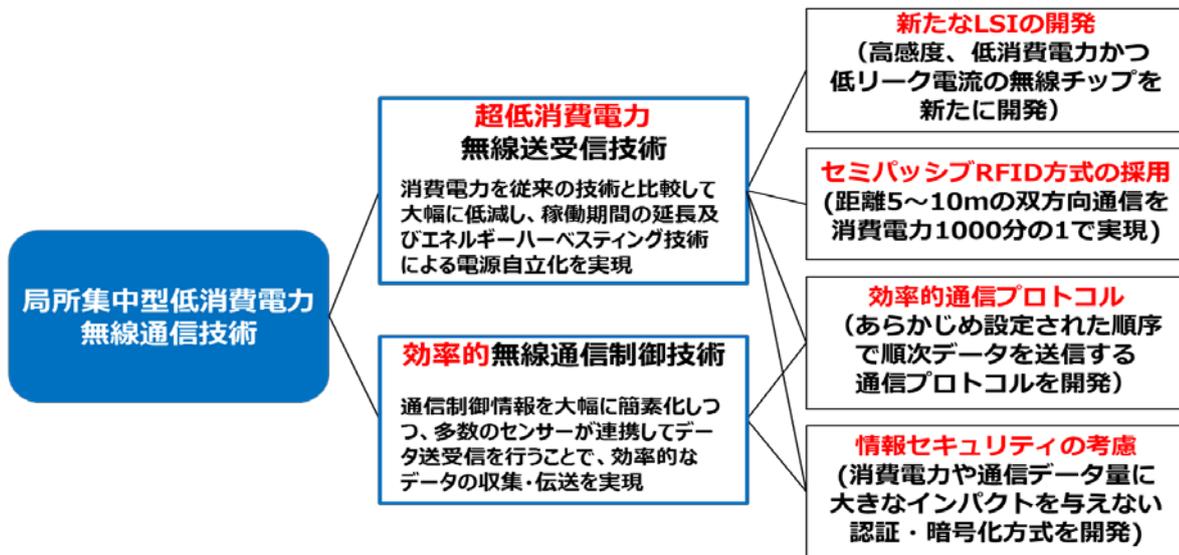


図 3-8 「局所集中型」の課題と対応策及び研究開発内容との対応

無線通信の大幅な低消費電力化を図るため、センサー側では無線を発せず、親機からの電波をアンテナで反射するときに変調をかけるバックスキッタ方式を採用することとし、専用の通信 LSI を、3 回の試作により開発した。

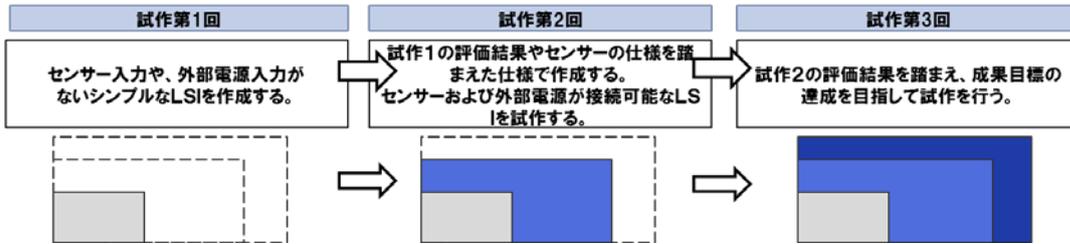
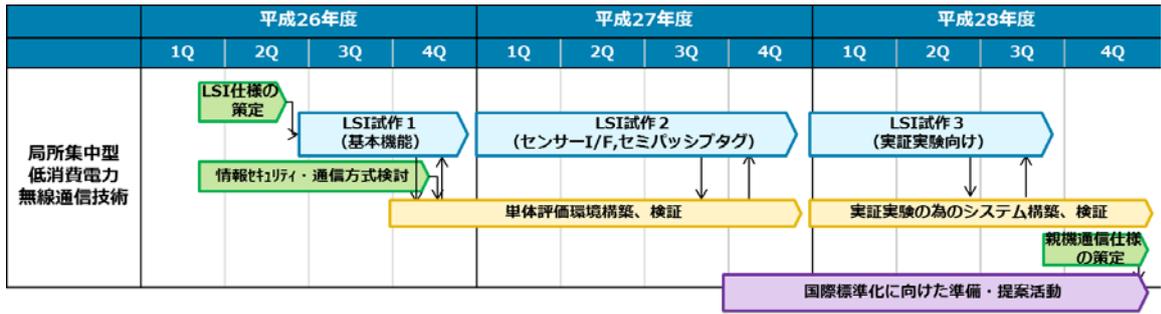


図 3-9 3回の試作による通信 LSI の開発

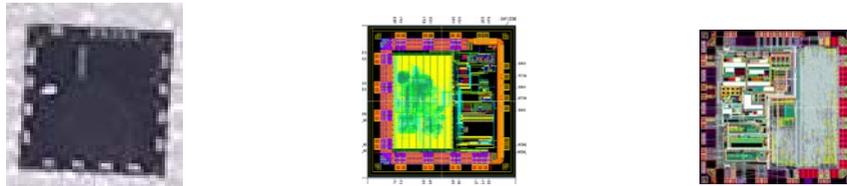


図 3-10 試作した通信 LSI (左) 第1回試作 LSI の外形 (中) (右) 第2回、第3回試作のレイアウト図

30 個程度のセンサーから高速にデータ収集を行うため、通信 LSI には、あらかじめ決められた順序でセンサーから順次データ送信を行う効率的な通信制御プロトコルを実装した。

R/W	立上り時間	Pre	コマンド						
子機 1		Pre	コマンド	1					
子機 2		Pre	コマンド		2				
子機 3		Pre	コマンド			3			
子機 4		Pre	コマンド				4		
子機 5		Pre	コマンド					5	
子機 6		Pre	コマンド						6
⋮									⋮
子機 26		Pre	コマンド						26
子機 27		Pre	コマンド						27
子機 28		Pre	コマンド						28
子機 29		Pre	コマンド						29
子機 30		Pre	コマンド						30
子機 31		Pre	コマンド						31

図 3-11 親機と子機の通信のタイミング

送受信に際しては、軽量暗号 Present80 とローリングコードを組み合わせ、通信の都度、親機・子機の相互認証と暗号化を行い、セキュリティを確保するプロトコルとした。

試作した通信 LSI を用いて、国立研究開発法人 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において、橋梁構造物である鉄やコンクリートの近傍で通信試験を実施した。

下図に臨床研究用撤去部材保管施設の写真を示す。実証実験を行った日（平成 28 年 11 月 30 日）に撮影したものである。第 3 回試作の通信 LSI に、パッチアンテナ及びダイポールアンテナをとりつけて、通信試験を行った。



図 3-12 （左）臨床研究用撤去部材保管施設（中）パッチアンテナを取り付けた通信 LSI（右）ダイポールアンテナを取り付けた通信 LSI

親機がないため、交信距離を変えながら、子機側での受信波形、返信波形を確認した。試験の結果、コンクリート橋、鉄橋ともに、7m の距離まで返信波形が確認できた。



図 3-13 通信確認試験の状況

距離	コンクリート	鉄橋
5m	○	○
6m	○	○
7m	○	○
8m	×	×



図 3-14 通信確認試験結果

基本計画書の到達目標は、全て達成した。消費電力は従来技術の 1300 分の 1 以下【到達目標の 1.3 倍】、

通信距離は7m以上【到達目標の1.4倍、平成28年度目標の3.5倍】を達成した(200cm²の面状アンテナを使用)。31個のセンサーから2バイトのデータを順次送信し、全データの送信完了を、従来技術の数十分の1以下の時間(10ミリ秒)で可能とした【到達目標の数倍】。2.5メガバイトのデータ送信に必要な時間は14分【到達目標の100倍】、コイン型リチウム電池BR3032(公称容量500mAh)で26年以上稼動(自己放電等を考慮しない場合)と試算された【到達目標の5倍】。

平成28年度は、通信距離の到達目標を2~5mとし、ロジック回路の改修を見送ることで、費用を大幅に削減したが、前倒しで最終目標(5~10m)を達成した。費用対効果の面で非常に効率性が高い事業となった。

基本計画書の到達目標に対する詳細な達成状況を下記に示す。

表 3-3 基本計画書の到達目標と達成状況

基本計画書の到達目標		評価指針		研究開発成果		
		具体的な評価項目	数値目標			
1	IEEE802.15.4等の従来の低消費電力無線通信技術と比較して、消費電力を1,000分の1以下に低減し、リチウム電池等の電源1で5年以上の長期間にわたり、1日当たりの約2.5メガバイト程度のデータの伝送を可能とするセンサー側無線通信技術を実現する。	1-1	送受信時におけるセンサー側の通信に係る消費電力(μ W)	65 μ W以下 ※セキュリティ考慮なし時の目標値	【達成】 アンプOFF 33 μ W アンプON 48 μ W ※セキュリティ考慮済み	
		1-2	2.5メガバイトのデータ伝送に要する時間(秒)	24時間以下	【達成】 14分 (20msec毎に、31個のセンサーから、2バイトずつ送信した場合)	
		1-3	2.5メガバイトのデータ伝送に要するセンサー側の通信に係る電気量(mAh)	2000mWs以下	【達成】 28mWs (33 μ W \times 14分)	1日の消費電力量は、 28mWs+6 μ W \times 3600 \times 24/1000=547mWs 計算上は、コイン型リチウム電池BR3032(公称容量500mAh)で、26年以上稼動(559mW/3V/3600 \times 365.25 \times 26=481mAh)
		1-4	待ち受け時のセンサー側の平均消費電力(μ W)	3 μ W以下	【達成】 約6 μ W ※ロジック部を改修すれば1 μ W程度に低下見込み(デューティ比0.1%でスリープから起動)	
2	無線通信距離は鉄やコンクリートが近傍にある環境下において、5~10メートル程度とし、アンテナは線状の場合は20センチメートル以下、面状の場合は200平方センチ	2-1	鉄が近傍にある環境下において、親機から5mの距離における受信のパケット誤り率	2mの距離において1%以下	【達成】 7mの距離において1%以下(アンプOFFの状態では、3mの距離において1%以下)	
		2-2	鉄が近傍にある環境下において、親機から5mの距離にセンサー側を設置し、親機位置での受信	2mの距離において-90dBm以上	【達成】 7mの距離において-76dBm(子機の受信感度より推定)	

基本計画書の 到達目標	評価指針		研究開発成果	
	具体的な評価項目	数値目標		
メートル 下とする。		電波強度(dBm)		
	2-3	鉄が近傍にある環境下で、親機から5mの距離にセンサー側を設置し、親機位置でのパケット誤り率	2mの距離において1%以下 【達成】 7mの距離において1%以下 (子機の受信感度より推定)	
	2-4	コンクリートが近傍にある環境下において、親機から5mの距離における受信のパケット誤り率	2mの距離において1%以下 【達成】 7mの距離において1%以下 (アンプ OFF の状態では、 3mの距離において1%以下)	
	2-5	コンクリートが近傍にある環境下において、親機から5mの距離にセンサー側を設置し、親機位置での受信電波強度(dBm)	2mの距離において-90dBm以上 【達成】 7mの距離において-76dBm (子機の受信感度より推定)	
	2-6	コンクリートが近傍にある環境下において、親機から5mの距離にセンサー側を設置し、親機位置でのパケット誤り率	2mの距離において1%以下 【達成】 7mの距離において1%以下 (子機の受信感度より推定)	
	2-7	センサー側との送受信を実施するための親機の通信仕様(物理層)	親機を開発可能な仕様(数値目標なし) 【達成】 (親機要求仕様を作成)	
	3	リチウム電池等の電源で5年以上の長期間にわたり、30個程度のセンサーから、情報セキュリティを考慮しつつ、それぞれ2バイトのデータを順次送信し、IEEE802.15.4等の従来の無線通信技術の10分の1以下の時間(数十ミリ秒)で全データの送信完了を実現する。	3-1	受信データのパケット誤りを検出する
3-2			受信データのパケット誤りがないように、親機にACKを返信する	ACK返信に成功 【達成】
3-3			受信データのパケット誤りがある時に、親機にデータ再送要求を返信する	データ再送要求の返信に成功 【達成】

基本計画書の 到達目標	評価指針		研究開発成果
	具体的な評価項目	数値目標	
	3-4	成り済ましや盗聴を防ぐ暗号化されたセンサー読み出しシーケンス (1-5~1-8)	3-5~3-8のシーケンスに従い正しく応答 【達成】
	3-5	通信暗号化のための秘匿情報をセンサー側に初期登録する	初期登録に成功 【達成】
	3-6	秘匿情報を使用して、センサーの呼び出し順をセンサー側に登録する	登録に成功 【達成】
	3-7	暗号を含む正規のセンサー呼出しコマンドに対して、センサー側が正しく応答する	正しい応答に成功 【達成】
	3-8	不正なセンサー呼び出しコマンドに対して、センサー側が応答しない	応答しない 【達成】
	3-9	30個のセンサーノードから2バイトのデータを順次送信し、センサー呼出しコマンドの受信完了から全データ送信完了までの時間(ミリ秒)	50ミリ秒以下 【達成】 (通信速度160kbpsの場合、10ミリ秒以下の見込み)
	3-10	セキュリティを考慮した順次送信時のセンサーの通信に係る消費電力(μW)	100 μW 以下 【達成】 アンプOFF 33 μW アンプON 48 μW
	3-11	センサー側との効率的な送受信を実現するための親機の通信仕様(上位層)	親機を開発可能な仕様(数値目標なし) 【達成】 (親機要求仕様を作成)

4 政策目標（アウトカム目標）の達成に向けた取組の実施状況

アウトカム目標達成に向けた取組計画を以下に示す。

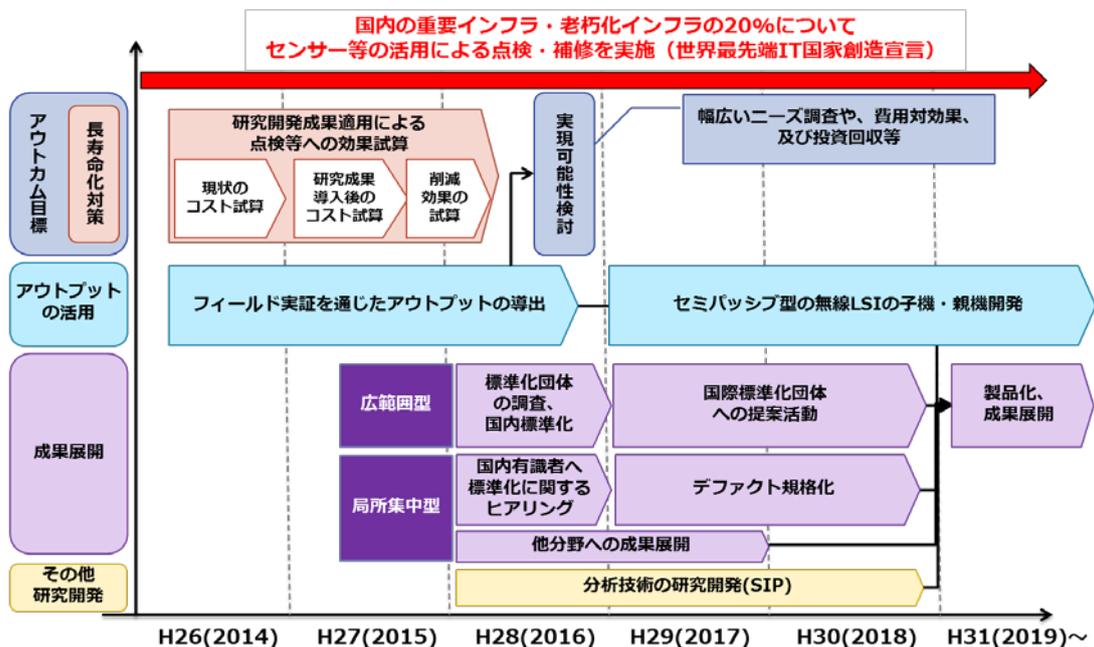


図 4-1 アウトカム目標達成に向けた取組計画

4. 1 広範囲型 低消費電力無線通信技術

広範囲型 低消費電力無線通信技術においては、以下の項目を実施した。

(1) フィールド実証を通じたアウトプットの導出

「3. 研究開発成果(アウトプット)」にあたるので、割愛する。

(2) 研究開発成果適用による点検等への効果試算

ここでは、費用対効果の試算をすることとし、後述の「(4) 実現可能性の検討」へのインプットとなる。現状の橋梁維持管理業務と研究成果導入後の橋梁維持管理業務を比較することで算出可能と考える。

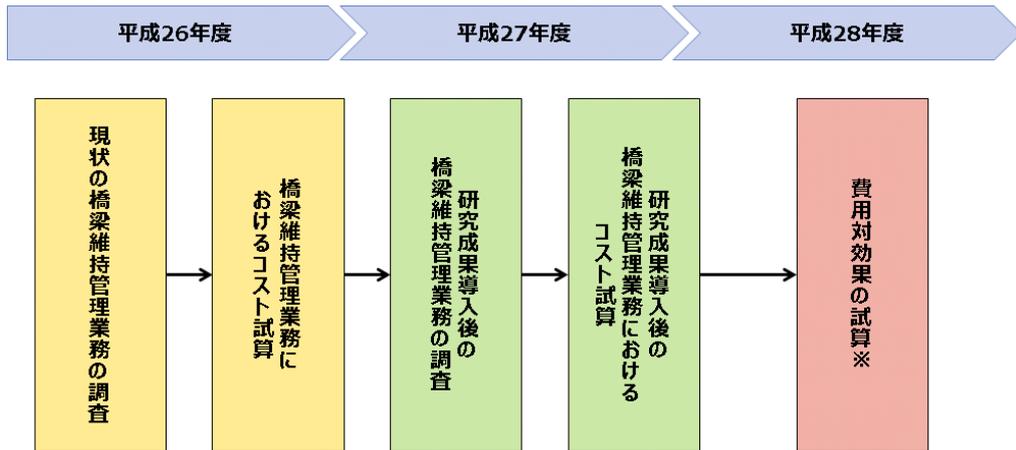


図 4-2 研究開発成果適用による点検等への効果試算実施計画

以下に、研究成果導入後の橋梁維持管理コスト案を示す。表は導入前コストと導入後コスト、導入による削減コストを並べている。また、1橋を5年に1度の頻度で点検するため、1橋当たり5年間におけるコストとしている。情報機密保持のため具体的な数値は記載しないが、導入前コストの合計（5年間）を100とし、それに対する各項目の割合比を記載している。

表 4-1 研究成果導入前・導入後の点検費用

項目		導入前コスト	導入後コスト	削減コスト	備考
1. 日常点検 3. 観察点検		1	1	0	
2. 定期点検		57	42	15	一部の点検項目をセンサーにより代替することで削減
4. 重要度評価の設定～ 7. 対策優先度の評価		1	1	0	
8. 補修対策の実施		41	34	6	早期発見により補修費用を約2/3に抑える
通信費	3G	0	3	-3	
	クラウド	0	0	-0	
ソフトウェア保守		0	1	-1	
合計(5年間)		100	82	18	
【参考】1年間コスト		20	16	4	

上記試算結果では、研究開発成果導入により、導入前のおよそ 18% のコストを削減できている。上記試算は、前述した「定期点検費用の削減」と「補修費用の削減」の効果を反映している。

通信費（クラウド）のコストは最も低い数値となっているが、本研究開発成果のモニタリングシステムが送受信するデータ量は比較的小さいため、複数の橋梁（100橋等）をまとめて集約する利用方法とすれば、製品にもよるが、1橋当りは小さいコストで利用できると思われる。

表 4-2 研究成果導入時の初期費用

導入初期費用(1 橋梁)			
項目	費用	備考	
初期費用	センサー	4	1 橋当り2 個のセンサーを設置
	ローカル管理設備	16	1 橋当り1 個のローカル管理設備でデータを収集
	工事	11	
	閾値設定等	1	
合計		32	

本コストは導入時のみに発生するものであるが、センサーやローカル管理設備の経年劣化も考慮し、定期的な機器交換が必要であり、交換時にも同様のコストが発生する。

10 年に 1 回の機器交換が必要である場合、10 年間におけるコスト削減効果は

$$18 \text{ (橋梁時事管理業務における 1 橋当り 5 年間の削減コスト (割合))} \times 2 \\ - 32 \text{ (10 年に 1 回発生する導入時コスト)} = 4$$

となり、10 年間で 4 の削減効果が得られることがわかる。

(3) 実現可能性の検討

「5. 政策目標(アウトカム目標)の達成に向けた計画」にて記載のため、割愛する。

(4) 標準化団体の調査、国内標準化

本研究開発にて策定した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通信仕様を“標準仕様”とすべく、一般社団法人 情報通信技術委員会（以下、TTC とする）への提案活動を行い、TTC 標準としての採用を図った。TTC 標準は国内標準と同等であり、本研究開発の研究開発目標(アウトプット目標)における“国際標準化の推進”を達成する前段階として、重要であると考えられる。

今回の通信規格を提案するにあたり、通信規格の内容を以下 2 つのドキュメントに整備し、提案を行った。

① 橋梁モニタリングガイドライン

橋梁モニタリングにおける振動情報収集に求められる要求条件やアプリケーション層に関する動作条件を、国の指針と本実証実験結果と併せて記録したもの。類似の研究開発や、今後の実運用上での指針としての参照先とし、同分野の発展の一助とすることを目的とする。

② 橋梁モニタリング情報モデル仕様書

通信規格 1.0 版において、センサーとローカル管理設備間でやり取りしているデータ項目（計測データ、計測時間、計測タイミング等）を記録したもの。異なる方式で収集したデータが、橋梁モニタリングの要求条件に沿ったデータとして、均一に扱えるようにすることを目的とする。

上記2つのドキュメントを整備し、2017年3月7日をもって、TTCのWG3600にて承認を頂き、2017年3月8日にTTC標準案として提案を行うことができた。

4. 2 局所集中型 低消費電力無線通信技術

国立研究開発法人物質・材料研究機構で開発が進められている腐食環境センサーとの接続可能性を検討した。インフラ維持管理分野、その他の分野（自動車、セキュリティ事業、電力インフラなど）への事業展開を目指し、ポテンシャルユーザとの意見交換を行い、一部の要件についてはLSI仕様へ反映した。

RFIDに関する国際標準化の状況を調査し、国内有識者へのヒアリングを行った。その結果、本技術については、標準化のメリットが必ずしも明らかでなく、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した。よって、本事業においては、デジュールではなく、デファクトでの標準を目指すこととした。平成29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独自の規格として公表することを目指し、特許出願の準備を行った。

5 政策目標（アウトカム目標）の達成に向けた計画

5. 1 広範囲型 低消費電力無線通信技術

無線センサを用いたインフラ維持管理に関する実現可能性検討の結果、今後の課題として以下が挙げられる。

① 情報モデルの統一

情報モデル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る。総務省実証にて、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）の標準化も進めていく必要がある。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る。

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る。そのため、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る。

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る。そのため、費用対効果の算出やニーズ調査、法制度の整備(センサによるモ

ニタリングの許容)を行う必要がある。

5. 2 局所集中型 低消費電力無線通信技術

開発技術の事業化を進めるにあたっては、LSIのロジック部改修及び親機の研究開発が必要である。開発予算を確保して平成30年度以降に開発を継続することを目指している。

研究開発の進捗を待って、橋梁でのセンサ設置義務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。

5. 3 アウトカム指標 (追跡調査に向けたベンチマーク)

アウトカム指標	目標年度	数値目標等	調査方法	終了条件
関係府省との連携を視野に入れたビジネス戦略の検討	平成30年度	その他の分野(自動車、セキュリティ事業、電力インフラなど)におけるユースケース検討2件以上	各社にて件数を集計し報告	数値目標が達成した時点
研究開発成果の国際標準化	平成30年度	国際標準化団体への橋梁モニタリングサービスモデル必要性の訴求活動1団体以上	各社にて件数を集計して報告	数値目標が達成した時点
研究開発成果の情報発信	平成30年度	外部講演3件以上 特許の出願1件以上	各社にて件数を集計して報告	数値目標が達成した時点

6 査読付き誌上発表論文リスト

7 査読付き口頭発表論文（印刷物を含む）リスト

8 その他の誌上発表リスト

9 口頭発表リスト

- [1] 石川裕治、“「標準化」が変える社会インフラのセンサ利用”、土木学会全国大会（大阪府豊中市）（2014/9/10）
- [2] 竹内 敬治、“エネルギーハーベスティングの最前線”、平成26年度 第1回低エネルギーセンサネットワーク技術研究会（長野県長野市）、（2014/9/19）
- [3] 石川裕治、“橋梁モニタリングシステムと実用化に当たってのセンサへの課題”、社会インフラ・モニタリングシステム研究会第25回定例会（東京都千代田区）（2014/9/24）
- [4] 竹内敬治、“IoT/CPSに向けた エネルギーハーベスティングの最新動向”、“Wireless Japan 2015（東京）（2015/5/28）
- [5] 竹内敬治、“エネルギーハーベスティング”、平成27年度電子情報通信学会東海支部第2回一般講演会（名古屋）（2015/8/5）
- [6] 石川裕治、“橋梁モニタリング分野における無線センサ通信規格の標準化に向けた取り組み”道路構造物専門委員会 勉強会（東京都千代田区）（2015/8/28）
- [7] 石川裕治、“橋梁モニタリング分野における無線センサ通信規格の標準化に向けた取り組み”、スマートインフラ利用研究会（大阪府大阪市）（2015/12/3）
- [8] 竹内敬治、“環境発電を使いこなす ～設計・実装のポイント、超低消費電力無線通信技術の活用～”、“Wireless Japan 2016（東京）（2016/5/26）
- [9] 石川裕治、“橋梁モニタリング分野における無線センサ通信の研究開発の取り組み”、第6回日欧国際共同研究シンポジウム（千葉県千葉市）（2016/10/7）
- [10] 竹内敬治、“エネルギーハーベスティングの動向と今後の展望”、R&D 支援センターセミナー（東京）（2017/2/20）
- [11] 竹内敬治、“スマートなインフラ維持管理に向けた ICT 基盤の確立～局所集中型低消費電力無線通信技術～”、エネルギーハーベスティングコンソーシアム総会（東京）（2017/3/3）

10 出願特許リスト

11 取得特許リスト

12 国際標準提案・獲得リスト

13 参加国際標準会議リスト

14 受賞リスト

15 報道発表リスト

研究開発による成果数

	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	合計
査読付き誌上発表論文 数	0 件 (0 件)			
査読付き口頭発表論文 数 (印刷物を含む)	0 件 (0 件)			
その他の誌上発表数	0 件 (0 件)			
口 頭 発 表 数	3 件 (0 件)	4 件 (0 件)	4 件 (0 件)	1 1 件 (0 件)
特 許 出 願 数	0 件 (0 件)			
特 許 取 得 数	0 件 (0 件)			
国 際 標 準 提 案 数	0 件 (0 件)			
国 際 標 準 獲 得 数	0 件 (0 件)			
受 賞 数	0 件 (0 件)			
報 道 発 表 数	0 件 (0 件)			
報 道 掲 載 数	0 件 (0 件)			

注 1 : 各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。(括弧)内は、その内海外分のみを再掲。

注 2 : 「査読付き誌上発表論文数」には、定期的に刊行される論文誌や学会誌等、査読 (peer-review (論文投稿先の学会等で選出された当該分野の専門家である査読員により、当該論文の採録又は入選等の可否が新規性、信頼性、論理性等の観点より判定されたもの)) のある出版物に掲載された論文等 (Nature、Science、IEEE Transactions、電子情報通信学会論文誌等および査読のある小論文、研究速報、レター等を含む) を計上する。

注 3 : 「査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)」には、学会の大会や研究会、国際会議等における口頭発表あるいはポスター発表のための査読のある資料集 (電子媒体含む) に掲載された論文等 (ICC、ECOC、OFC など、Conference、Workshop、Symposium 等での proceedings に掲載された論文形式のものなどとする。ただし、発表用のスライドなどは含まない。) を計上する。なお、口頭発表あるいはポスター発表のための査読のない資料集に掲載された論文等 (電子情報通信学会技術研究報告など) は、「口頭発表数」に分類する。

注 4 : 「その他の誌上発表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等 (査読の有無に関わらず企業、公的研究機関及び大学等における紀要論文や技報を含む) を計上する。

注 5 : PCT 国際出願については出願を行った時点で、海外分 1 件として記入。(何カ国への出願でも 1

件として計上)。また、国内段階に移行した時点で、移行した国数分を計上。

注6：同一の論文等は複数項目に計上しないこと。例えば、同一の論文等を「査読付き口頭発表論文数（印刷物を含む）」および「口頭発表数」のそれぞれに計上しないこと。ただし、学会の大会や研究会、国際会議等で口頭発表を行ったのち、当該学会より推奨を受ける等により、改めて査読が行われて論文等に掲載された場合は除く。