

「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム
開発プロジェクト」

事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 ロボット・AI部
-----	---------------------------------------

—目次—

概要.....	i
プロジェクト用語集.....	x
1. 事業の位置付け・必要性について.....	1
(1) 事業の目的の妥当性.....	1
(2) NEDOの事業としての妥当性.....	10
2. 研究開発マネジメントについて.....	16
(1) 研究開発目標の妥当性.....	16
(2) 研究開発計画の妥当性.....	22
(3) 研究開発計画の実施体制の妥当性.....	24
(4) 研究開発の進捗管理の妥当性.....	27
(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性.....	42
3. 研究開発成果について.....	45
3.1 事業全体の成果.....	45
(1) 研究開発目標の達成度及び開発成果の意義.....	45
(2) 成果の普及.....	48
(3) 知的財産権等の確保に向けた取り組み.....	57
3.2 研究開発項目毎および個別テーマの成果.....	59
研究開発項目① インフラ状態モニタリング用センサシステム開発.....	59
【①-1】道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの研究開発/技術研究組合NMEMS技術研究機構.....	65
【①-2】ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発/(一財)マイクロマシンセンターコンソ.....	130
【①-3】道路付帯構造物モニタリングシステム開発/(株)日立製作所.....	139
【①-4】高信頼性センサによるインフラモニタリングシステムの研究開発/横河電機(株).....	148
【①-5】道路橋の維持管理及び防災・減災を目的としたセンサシステムの研究開発/日本電気(株)コンソ.....	157
研究開発項目② イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発.....	165
【②-1】道路構造物ひび割れモニタリングシステムの研究開発/首都高技術(株)コンソ.....	165
【②-2】位相解析手法を用いたインフラ構造物用画像計測システムの研究開発/福井大学コンソ.....	173
研究開発項目③ インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発.....	181
【③-(1)-1】マルチコプタを利用した橋梁点検システムの研究開発/川田テクノロジーズ(株)コンソ.....	181
【③-(1)-2】小型無人ヘリを用いた構造物点検技術開発/ルーチェサーチ(株)コンソ.....	189
【③-(1)-3】磁石走行式ロボット等を活用した橋梁点検システムの開発/(株)熊谷組コンソ.....	197
【③-(1)-4】複眼式撮像装置を搭載した橋梁近接目視代替ロボットシステムの研究開発/富士フイルム(株)コンソ.....	206
【③-(1)-5】インフラ診断ロボットシステム(ALP)の研究開発/(株)開発設計コンサルタントコンソ.....	215
【③-(1)-6】橋梁桁端部点検診断ロボットの開発/ジビル調査設計(株)コンソ.....	223
【③-(1)-7】河川点検を効率化・高度化するフロートロボットの研究開発/朝日航洋(株).....	232

【③-(1)-8】可変構成型水中調査用ロボットの研究開発/(株)キュー・アイコンソ.....	240
【③-(1)-9】土石流予測を目的としたセンシング技術ならびに高精度土石流シミュレーションシステムの開発/国際航業(株)コンソ.....	248
【③-(1)-10】災害調査用地上／空中複合型ロボットシステムの研究開発/(株)日立製作所コンソ.....	256
【③-(1)-11】引火性ガス雰囲気内探査ロボットの研究開発/三菱重工業(株)コンソ.....	262
研究開発項目③インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発(ii)非破壊検査装置開発.....	271
【③-(2)】超小型X線及び中性子センサを用いたインフラ維持管理用非破壊検査装置開発/日立パワーソリューションズコンソ.....	271
4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて.....	279
(1) 本プロジェクトにおける「事業化・実用化」の考え方.....	279
(2) 実用化・事業化に向けた戦略.....	280
(3) 成果実用化・事業化に向けた具体的取り組み.....	283
(4) 成果実用化・事業化の見通し.....	288

【添付資料】

(添付資料 1)	プロジェクト基本計画
(添付資料 2)	事前評価関連資料
(添付資料 3)	中間評価関連資料
(添付資料 4)	特許・論文・外部発表リスト

概 要

		最終更新日	平成 31 年 6 月 24 日
プロジェクト名	インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト	プロジェクト番号	P14011
担当推進部/担当者	ロボット・機械システム部／菅原 淳(平成 26 年 4 月～平成 27 年 3 月) ロボット・機械システム部／安川裕介(平成 27 年 4 月～平成 28 年 3 月) ロボット・AI部／安川裕介(平成 28 年 4 月～平成 31 年 3 月)		
0. 事業の概要	本プロジェクトでは、既存インフラの状態に応じて効果的かつ効率的な維持管理・更新等を図るため、的確にインフラの状態を把握できるモニタリングシステムの技術開発及び維持管理を行うロボット・非破壊検査装置の技術開発を行い、インフラの維持管理・更新等における財政問題及び人材・技術不足の解決に寄与する。		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>高度経済成長期以降に整備されたインフラのうち、社会インフラは、今後 20 年で建設後 50 年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなる。これは、石油精製プラント、化学プラント、鉄鋼所などの産業インフラも同様である。適切な維持管理が行われないことにより、インフラの崩壊や機能不全が発生し、人命や社会に影響を及ぼす危惧が高まっている。</p> <p>我が国のインフラの維持管理・更新に対する課題は以下に集約されると考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・維持管理・更新に対する財政問題 <p>今後、維持管理・更新に従来どおりの支出を行うと仮定すると、2037 年度には現在のレベルの投資総額を上回り、2011 年度から 2060 年度までの 50 年間に必要な更新費(約 190 兆円)のうち、約 30 兆円(全体約 16%)の更新ができなくなる。</p> ・維持管理の人材・技術不足 <p>維持管理の技術者の高齢化が著しく、一定レベルの知見を有する技術者が不足している。また、共用年数の長い施設に関する知見が不足し、維持管理に必要な技術が不十分である。</p> <p>また、我が国の主要なインフラでは、数年毎に定期点検を実施しているが、定期点検間の急激な劣化進行等の異常の把握は、人材の確保及び人件費の削減により困難である。加えて、定期点検時においても目視点検が困難な箇所も存在する。さらに、災害時においては、緊急点検に時間を要し、迅速な復旧が困難であるといった課題もある。</p>		
II. 研究開発マネジメントについて			

事業の目標

【研究開発項目① インフラ状態モニタリング用センサシステム開発】

本研究開発は、2016 年度末までに概ねの研究開発を終了することを中間目標とし、以降は、実証実験を中心に実施する。

(1) センサ端末開発

以下の全てを満たし、簡易に設置できるセンサ端末を開発する。

- インフラ構造物及びその構成部材の健全度を診断するための振動、変位及びその他必要と考えられるデータを計測できるものとし、これらは温度も同時に計測できるものとする。
- 少なくとも 1 時間に 1 回の無線通信を含む全ての動作を自立電源で自己動作できるものとするともに、地震等の突発事象を検出できるものとする。
- 片手で取り付け可能なサイズ(概ね 7cm×10cm×5cm)以下とする。
- 無線通信は、電波法による無線局の免許を受けることなく利用することができる周波数とし、その距離は実環境下で 30m以上とする。
- 実環境下で 10 年以上の信頼性を有するものとする。

(2) センサネットワークシステムの構築と実証実験

(1)で開発したセンサ端末を活用したインフラ状態をモニタリングするネットワークシステムを構築するとともに、インフラの実環境下で適用できるシステムを開発する。

【研究開発項目② イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発】

本研究開発は、2016 年度末までに概ねの研究開発を終了することを中間目標とし、以降は、実証実験を中心に実施する。

(1) イメージング技術開発

- ①完全自動により画像データから 0.2mm以上のひび割れ等を 8 割以上の確率で判別できる画像処理手法を開発し、実証する。
- ②撮影時の位置ずれを補正でき、平面のみならず、奥行き(3 次元)の変形も計測できる画像解析手法を開発し、実証する。なお、1 回の撮影で構造物の支点間の長さの 2 万分の 1 の変位を計測できること及び 15m以上の構造物を計測できることとする。

(2) イメージング技術を用いたモニタリングシステムの実証実験

(1)で開発したイメージング技術を用いて、インフラ状態をモニタリングするシステムを構築するとともに、インフラの実環境下で適用できるシステムを開発する。

【研究開発項目③ インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発】

(1) ロボット技術開発

	<p>本研究開発は、2015 年度末までに、概ねの研究開発を終了することを中間目標とし、以降は実用化開発、実証実験を中心に実施する。</p> <p>「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入における重点分野」が指定する維持管理業務について、従来の作業員による点検や重機を用いた作業と同程度のトータルコスト及び同程度の精度を有するロボットを開発し、「ロボット現場検証委員会」の評価の下、実証実験を行う。</p> <p>(2)非破壊検査装置開発</p> <p>本研究開発は、2016 年度末までに、概ねの研究開発を終了することを中間目標とし、以降は実証実験を中心に実施する。</p> <p>上記のロボット技術開発で想定されるロボットへの搭載可能な非破壊検査装置を開発する。開発する装置は、X線や赤外線等を検査光源とし、正確な計測を可能にするために必要と考えられる光源数を搭載する。また、ロボットに搭載可能なサイズ、重量とし、検査対象の健全性を診断するための検査精度を備えたものとする。さらに、稼働寿命は 2 万時間以上とし、検査光源に対する安全性を十分に考慮したものとする。</p>					
事業の計画内容	主な実施事項	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	H30fy
	①インフラ状態モニタリング用センサシステム開発	→				
	②イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発	→				
	③インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発 (1)ロボット技術開発 (2)非破壊検査装置開発	→				
開発予算 (NEDO 事業費 執行額) (単位:百万円) 契約種類:委託(H28 ③(1)のみ助成)	会計・勘定	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	H30fy
	一般会計	1,571	2,187	1,767	987	626
	エネルギー特別会計				524	379
	総額(一般会計)	7,138				
	総額(エネルギー特別会計)	903				
	(委託)	1,571	2,187	1,406	1,242	1,005
(助成):負担率 1/3 または 2/3	-	-	360	269		
開発体制	経産省担当原課	産業技術環境局研究開発課、製造産業局産業機械課				
	プロジェクトリーダー	芝浦工業大学工学部教授 油田信一				
	サブプロジェクトリーダー	富山県立大学 学長 下山勲				

	<p>委託先 (組織表記は平成 30 年度の もの)</p>	<p>①インフラ状態モニタリング用センサシステム開発 【①-1】道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの研究開発 技術研究組合NMEMS技術研究機構 【組合員】(株)NTT データ、大日本印刷(株)、(株)東芝、日本ガイシ(株)、 富士電機(株)、三菱電機(株)、東日本高速道路(株)、中日本高 速道路(株)、西日本高速道路(株)、阪神高速道路(株)、(国研) 産業技術総合研究所、(一財)マイクロマシンセンター、(株)リコー 【再委託】京都大学、東京大学、首都大学東京、東京工業大学 【①-2】ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発 (国研)産業技術総合研究所、(一財)マイクロマシンセンター、明星電気(株)、 沖電気工業(株)、高砂熱学工業(株) 【再委託】東京大学 【①-3】道路付帯構造物モニタリングシステム開発 (株)日立製作所 【①-4】高信頼性センサによるインフラモニタリングシステムの研究開発 横河電機(株) 【再委託】大成建設(株)、長野日本無線(株)、東京大学 【①-5】道路橋の維持管理及び防災・減災を目的としたセンサシステムの研究開発 日本電気(株)、(一財)首都高速道路技術センター</p>
--	--	--

		<p>②イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発</p> <p>【②-1】道路構造物ひび割れモニタリングシステムの研究開発 首都高技術(株)、東北大学、(国研)産業技術総合研究所【再委託】(株)アダコテック</p> <p>【②-2】位相解析手法を用いたインフラ構造物用画像計測システムの研究開発 ジェイアール西日本コンサルタンツ(株)、4Dセンサー(株)、(株)共和電業、福井大学</p> <p>③インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発</p> <p>(1)ロボット技術開発</p> <p>【③-1-1】マルチコプタを利用した橋梁点検システムの研究開発 川田テクノロジーズ(株)、大日本コンサルタント(株)【委託】(国研)産業技術総合研究所</p> <p>【③-1-2】小型無人ヘリを用いた構造物点検技術開発(H28～) ルーチェサーチ(株)【委託】(株)建設技術研究所</p> <p>【③-1-3】複眼式撮像装置を搭載した橋梁近接目視代替ロボットシステムの研究開発 富士フイルム(株)、(株)イクスリサーチ【委託】(一財)首都高速道路技術センター</p> <p>【③-1-4】橋梁桁端部点検診断ロボットの開発(H28～) ジビル調査設計(株)【委託】福井大学</p> <p>【③-1-5】インフラ診断ロボットシステム(ALP)の研究開発 (株)開発設計コンサルタント【委託】法政大学、岡山大学、ステラ技研(株)、開発電子技術(株)</p> <p>【③-1-6】磁石走行式ロボット等を活用した橋梁点検システムの開発(H28～) (株)熊谷組、(株)移動ロボット研究所【委託】つくばソフトウェアエンジニアリング(株)、【共同研究先】名古屋大学</p> <p>【③-1-7】可変構成型水中調査用ロボットの研究開発 (株)キュー・アイ、(株)日立製作所【委託】(国研)産業技術総合研究所</p> <p>【③-1-8】河川点検を効率化・高度化するフロートロボットの研究開発(H28～) 朝日航洋(株)</p> <p>【③-1-9】土石流予測を目的としたセンシング技術ならびに高精度土石流シミュレーションシステムの開発 国際航業(株)、(株)エンルート【委託】(株)フィールドプロ、東北大学、工学院大学</p> <p>【③-1-10】災害調査用地上／空中複合型ロボットシステムの研究開発 (株)日立製作所、(株)エンルート、八千代エンジニアリング(株)【委託】(国研)産業技術総合研究所</p> <p>【③-1-11】引火性ガス雰囲気内探査ロボットの研究開発 三菱重工業(株)【委託】千葉工業大学</p> <p>【H26～27年度】</p> <p>【③-1-13】水中構造物の近接目視等を位置計測しつつ安定に実施可能なテザー伸展操舵型ROVの研究開発 (株)ハイボット、(株)建設技術研究所</p> <p>【③-1-14】音カメラを活用した橋梁点検ロボットの研究開発 (株)応用技術試験所、(株)移動ロボット研究所、(株)熊谷組、東京エレクトロンデバイス(株)、名古屋大学</p> <p>【③-1-15】複合センサ搭載ワーム型多関節ロボットの研究開発 (株)タウ技研、【再委託】東京工科大学、神奈川県産業技術センター</p> <p>【H26～28年度】</p> <p>【③-1-16】遠隔搭乗操作によるマルチクローラ型無人調査ロボットの研究開発 (株)大林組【委託】(株)移動ロボット研究所、慶應義塾大学</p> <p>(2)非破壊検査装置開発</p>
--	--	---

		<p>【③-②】超小型X線及び中性子センサを用いたインフラ維持管理用非破壊検査装置開発 (国研)産業技術総合研究所、(株)日立パワーソリューションズ、静岡大学 【共同実施者】三菱ケミカル(株)</p>
--	--	--

評価に関する事項	事前評価	25年度実施 ロボット・機械システム部
	中間評価	28年度実施 ロボット・AI部
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>【事業全体】 本プロジェクトは、「研究開発項目①インフラ状態モニタリング用センサシステム開発」、「研究開発項目②イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発」及び「研究開発項目③インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発」にて構成しており、研究開発項目毎の成果は以下のとおり。</p> <p>【個別テーマ】 <u>①インフラ状態モニタリング用センサシステム開発</u></p> <p>【①-1】道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの研究開発/技術研究組合NMEMS技術研究機構 ■ 橋梁の劣化・損傷をモニタリングする 1Hz～1MHz までの振動を1つのセンサで検出できるスーパーアコースティックセンサ、橋梁のひずみを面状に検出できる面パターンセンサ、道路付帯物の劣化状態を振動、傾き、温度で検出する傾斜マルチセンサ、法面の3次元表面変位をミリメートルオーダーで検出する電波位相差方式変位センサのプロトタイプを試作し、それを用いてセンサ端末を制作してシステムとしての有効性を示すとともに、高速道路会社等の実証場所において実証試験を実施して実用的に活用可能な目途を得た。将来技術の原子時計に関しては、フイージビリティスタディによって、小型、低消費電力、高性能なチップ型モデルを開発できた。</p> <p>【①-2】ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発/(一財)マイクロマシンセンターコンソ ■ 都市インフラ(ライフライン)で特に公共性の高い病院、地域エネルギー供給システムの中核(コア)となるポンプ、発電機、圧縮機等の回転機器は、経験に基づく非定常な目視・聴音点検が主体であることから、劣化の兆候を検知することが難しい。また、故障の有無に関係なく一定の時間間隔でメンテナンス・部品交換を実施する「時間基準保全」のため、保全コストの低減が課題となっている。振動発電によるセンシング方式と低消費電力(10年間電池交換不要)マルチホップ無線通信により、従来のシステムに比べ導入コストを格段に低く抑え、かつ監視ポイントの増減などの現場状況の変化への柔軟な対応を可能とする振動のモニタリングシステムを開発した。更に異常振動固有の周波数情報だけを収集するP型(ペットボトルキャップサイズ)センサ端末を開発し、複雑かつ膨大なログ解析を必要とせず、異常検知を可能とした。</p> <p>【①-3】道路付帯構造物モニタリングシステム開発/(株)日立製作所 ■ 従来、ジェットファンや照明柱などの道路付帯構造物の点検は、遠方目視の簡易点検や、近接目視の定期点検が一般的である。しかし、遠方目視の簡易点検では設備の異常を見落としやすく、近接目視の定期点検は、点検頻度が少ないため、点検合間の異常の検知が難しい。また、近接目視での点検作業では高所作業車や道路規制等が必要となりコストが増大する問題があった。そのため、コストを如何にして削減できるかが課題となっている。開発したシステムは、点検対象の道路付帯構造物に対してセンサ端末を取り付け固有振動数等を計測し、無線を利用してデータ回収を実現するシステムである。このシステムにより、日々の巡回業務の中で、走行中の車両内から点検対象の計測データを回収することが可能となった。その結果、道路付帯構造物の予防保全の実現や、年に複数回行われている定期点検において、優先順位や緊急度を事前に把握することで点検作業の効率化を図ることが可能となった。</p> <p>【①-4】高信頼性センサによるインフラモニタリングシステムの研究開発/横河電機(株) ■ 公共性の高い建築や生産施設の拠点となるビルを対象とする。地震発生時に震度を表示するシステムはあったが、平常時の常時微動のモニタリングおよび地震発生等の非常時に、速やかに定量的かつ客観的な評価基準で構造物への入室を確認できるシステムが少なかった。開発したセンサは、サーボ型センサと同等の性能・耐久性を有した高信頼性 MEMS 型センサである。このセンサにより、平常時の微振動観測から長期的なトレンド変化を監視するとともに、地震発生等による非常時の大きな振動観測から構造物の短期的なトレンド変化も評価することが可能になった。その結果、目視では確認しづらいインフラ構造物内部の状態が確認でき、構造物の使用継続の可否が判断できる支援ツールとなった。</p> <p>【①-5】道路橋の維持管理及び防災・減災を目的としたセンサシステムの研究開発/日本電気(株)コンソ ■ 予算や橋梁管理の土木技術者の不足などによりメンテナンスサイクルが回らない状況が顕在化している。また、地震時等災害時において被災状況の迅速な把握が困難となっている。開発したセンサシステムは「定期点検の間5年間の損傷進展把握」及び「災害時における迅速な変状把握」を解決することを目的としている。「振動センサによる卓越振動数の変化」及び「変位センサによる支承部変位」により橋梁の損傷進展及び災害時での変状検知を可能とする。以下の技術を開発した。</p>	

- ①特定小電力無線(920MHz)によるセンサネットワーク
- ②コンパクトなセンサ端末(100×48×25.5mm)
- ③自立発電装置(太陽光発電)による電源供給
- ④検知可能変位量±50mm、精度 0.02mm の変位センサ
- ⑤監視局サーバから計測時間、計測間隔の設定
- ⑥遠隔からのセンサ端末のソフトウェア更新

②イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発

【②-1】道路構造物ひび割れモニタリングシステムの研究開発/首都高技術(株)コンソ

■道路などのコンクリート構造物の点検補修、補強の計画的実施には、ひび割れの発生位置、大きさ、進展の有無を正確に知ることが重要である。しかし、従来のひび割れ検知の画像処理技術は実用レベルに達しておらず、これまで人が行っていたひび割れの記録作業は、労力が大きく、結果にバラツキも多かった。上記の課題解決を目指して、高精度のひび割れ検知技術の中核としたひび割れ記録システムを開発した。コンクリート構造物の代表的な損傷であるひび割れは、それ自体が劣化要因となるだけでなく、物理的・化学的な変状の結果としても発生する。構造物の補修・補強の要否は、ひび割れの発生位置や、太さ、進展の有無などを考慮して検討されるため、高精細なひび割れの記録が求められていた。しかし、ひび割れの記録は、実際には点検員の技量や主観に左右されて記録にバラツキが生じ、経年変化によるひび割れの進展などが定量的に評価できていないという課題があった。一方、ひび割れ自動検出技術の開発はこれまでも行われていたが、検出精度がコンクリートの表面状態や撮影条件に大きく左右され、ひび割れの見落としや見誤りへの対処が必要なため、実務に用いられることは少なかった。本研究では、ひび割れ特徴抽出技術と AI の活用により、コンクリート表面画像から高精度にひび割れを検出できる技術を開発した。これにより、これまでの自動検出と比べて特に誤検出が少ないことを特徴とする高精度なひび割れ自動検出技術を実現した。さらに、開発したひび割れ自動検出技術を大きなコンクリート構造物で使用するためのパノラマ画像合成技術、ひび割れ記録システムをあわせて開発し、ひび割れの記録作業の省力化、検出結果の定量化を実現した。開発したひび割れ記録システムは構造物のより適切な補修・補強の計画立案等に貢献する。

【②-2】位相解析手法を用いたインフラ構造物用画像計測システムの研究開発/福井大学コンソ

■10メートル程度から30メートル程度の遠距離から土木構造物の微小な変位や回転角を計測できる手法を開発する。従来の画像による計測手法ではキャリブレーションが必要であったが、屋外での計測でキャリブレーションを行うことは現実的ではなく、必要とする計測精度が得られるものはほとんどなかった。また、回転角を精度よく測定できるものは皆無であった。一般土木用としては、現場で使いやすいように、その場で計測結果が確認できること、長時間の安定した時系列の計測や他のセンサーとの連携が必要とされた。鉄道橋梁用としては、必要な変位の計測精度と撮影速度が得られることだけでなく、現場での設置と計測作業が短時間でできることも必要とされた。本プロジェクトでは、サンプリングモアレ法を用いて「一般土木用変位計測システム」と「鉄道橋梁用変位計測システム」の技術開発を行った。本手法は、計測対象にパタンを印刷したシートを貼るだけで、遠方からでもカメラで撮影するだけで変位や回転角を計測することができる。キャリブレーションが不要であることも現場での利用にとって大きな利点である。「一般土木用変位計測システム」は、リアルタイムに変位(XYZ)と回転角(θ)が計測でき、各種の現場における計測作業に適用できる。各種のセンサーとの同時計測、24時間以上の長期連続計測、リアルタイムでの波形の確認、複数箇所の計測結果による変形モデル表示などもできる。道路橋や人道橋、建物、トンネル、風車などの多くの構造物に適用する実証試験を行い、有効性を確認した。「鉄道橋梁用変位計測システム」は、鉄道橋の健全性の評価に適用することができる。現場に設置するカメラが組み込まれている装置を無線化することで、準備や計測作業の効率化を行うことができた。さらに、無線化によって風による振動を低減させる効果も確認した。開発したシステムは回転角(たわみ角)を精度よく計測できることから、列車の重量によらずに得られる新しい評価指標や、支承部の不具合を容易に見つける手段にもなる検査手法の提案も行なった。

③インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発

(1)ロボット技術開発

【③-1-1】マルチコプタを利用した橋梁点検システムの研究開発/川田テクノロジー(株)コンソ

■従来のマルチコプタを使った橋梁の画像取得は、対象部材の画像解像度が均一ではなく、一定指標での評価が必要な点検用として、解像度の一定化に課題があった。また鋼橋狭隘部の撮影に関しては、マルチコプタが構造物に近接する必要があるため、高度な安定制御の実装に課題があった。さらに、本技術を含めた従来のロボットシステムにおいては、ロボットシステム単体で点検実務を完結することが困難であるため、従来点検手法と組み合わせた活用方法を検討する必要があった。「一定離隔飛行制御」

「安定ホバリング制御」「安定上昇降下制御」「カメラ正対制御」「照明装置」を開発・実装することで、一定解像度の画像取得が可能となった。さらにこれらの技術によりマルチコプタの操縦に係る難易度も低下した(高精細画像取得タイプ)。また、機体に搭載可能な、永久磁石を用いた橋梁着脱・移動/アーム式カメラモジュールを開発することで、鋼桁の狭隘部の撮影が可能となった(橋梁着脱タイプ)。さらに機体の小型化など、可搬性にも配慮した設計とすることで、システムを点検のツールにすることができ、これにより従来点検手法との組み合わせ活用が可能となった。橋梁点検車上からの運用による高橋脚柱の画像取得にも成功した。

【③-(1)-2】小型無人ヘリを用いた構造物点検技術開発/ルーチェサーチ(株)コンソ

■小型無人ヘリを用いた構造物点検技術開発では RC コンクリート橋、PC コンクリート橋、及び高橋脚等のコンクリート構造物の点検において既存のマルチコプタにカメラを搭載して撮影する手法では風の乱流や吹上などによる影響を受けやすく、安全に高精細な写真撮影が困難といった課題があった。開発したロボットシステムは短時間で着脱できるプロペラガード、可変ピッチプロペラを有するドローン、オルソ画像作成のために市販の汎用ソフト活用により乱流環境下での高い運動性能と耐候性、安全性を両立させ、高精細な写真を元にした精度の高い橋梁点検を可能とした。

【③-(1)-3】複眼式撮像装置を搭載した橋梁近接目視代替ロボットシステムの研究開発/富士フィルム(株)コンソ

■鋼桁橋の鋼部材・コンクリート床版の点検において、従来の高架下の足場設置による点検、高所作業車による点検、通行規制を伴う橋梁点検車による点検では点検コストの低減が必要、点検効率の向上、高架下に足場が設置できない橋梁への対処、通行規制の影響が大きといった課題があった。鋼桁橋の主桁フランジに懸架し、プログラム制御で動作する点検ロボットシステムにより安定性、耐候性、精度、自動化においてバランスよい性能を有し、交通規制が不要で、点検員の負担が少なく、経済的な点検を実現した。更に、コンクリート床版のひびわれ自動検出等を搭載することにより事務所作業の効率化を実現した。

【③-(1)-4】橋梁桁端部点検診断ロボットの開発/ジビル調査設計(株)コンソ

■トラス橋や斜張橋、側道橋等の部材が複雑に構成された橋梁等、従来の点検方法による点検が困難となる橋梁点検では、特殊な点検方法(架設足場やロープアクセス、大型橋梁点検車)による作業実施で人材・機材不足とコスト高といった課題があった。一方、これに対処するため開発された従来型アームロボットでは、狭隘部の撮影が困難、あるいは点検障害物となる支承周辺の堆積土砂の除去が困難であり、構造物本体の正確な点検が出来ないといった課題があった。開発したロボットシステムは、橋面上に設置するコンパクトな台車で操作を行うアーム懸架型点検ロボットである。複線型の水平アーム上に狭隘部点検を目的としたフレキシブルアーム搭載型の狭隘部点検カメラロボットと、点検障害物を高圧散水で除去する噴出清掃メンテナンスロボットを搭載する事により狭隘な支承部の清掃と撮影を橋上からのコントロールで交通規制なしに少人数で、短時間で行なうことを可能とした。

【③-(1)-5】インフラ診断ロボットシステム(ALP)の研究開発/(株)開発設計コンサルタントコンソ

■従来、橋脚やダム堤体等の高さの高い構造物のコンクリート製鉛直壁面の調査は、高所作業用の足場の設置などにより、人間による点検を行ってきた。しかし、足場の設置時間や費用、高所作業の危険性などの課題がある。開発したロボットシステム(ALP)は、コンクリート製鉛直壁面を、脚に設置した真空吸着パッドにより移動し、点検対象箇所へ近接して画像撮影・打音検査・鉄筋探査を行って、点検評価に必要なひび割れ・浮き・剥離等の劣化要因を判別するものである。本システムにより、安全で定量的かつ経済的な高所における点検を可能とした。

【③-(1)-6】磁石走行式ロボット等を活用した橋梁点検システムの開発/(株)熊谷組コンソ

■従来、はく落防止ネットが設置された鋼桁の道路橋の近接目視点検において調査員による点検では高所作業の危険作業をする必要があり、はく落防止ネットをはずす費用と時間が多大にかかるといった課題があった。開発したロボットシステムは、はく落防止ネット越しでの走破が可能な磁力吸着機構によりはく落防止ネットが設置された橋梁においても、高所作業等の危険作業が不要となるため、仮設足場費用を削減でき、比較的強い風(地上で 5m/s~6m/s 程度)でも床版の詳細ひび割れ画像の取得を可能とした。

【③-(1)-7】可変構成型水中調査用ロボットの研究開発/(株)キュー・アイコンソ

■重力式コンクリートダムの堤体上流部の表面点検において、ダイバーによる潜水調査ではダイバー個別の技量差による品質バラツキや、40m以上の大深度の作業には危険が伴い高い点検コストが必要となる事といった課題があった。開発したロボットシステムは水上機から水中機を分離・垂下するシステム構成と自動動作制御技術を備える事により大深度においても安全かつ安定した品質を低コスト・高効率で実

現する事を可能とした。

同時に、水中音響イメージングソナーを開発した。高分解能のビーム幅及び距離計測(ビーム幅 0.5度、距離精度 10cm)を廉価に実現する事により水中安全性確認及び水中構造物の概略形状の把握を容易に実現することを可能とした。

【③-(1)-8】河川点検を効率化・高度化するフロートロボットの研究開発/朝日航洋(株)

■長大な河川の地形計測(三次元形状データの取得)では、広域を短時間で、かつ、陸部と水部をシームレスに計測できる航空測深システム(ALB)が有効な手段だが、濁度、深度、遮蔽、等の環境条件により欠測が生じる課題がある。スポット的(離散狭域)に発生した欠測部を従来は有人スワム測深※で補測していたが、この方式は、効率面、経済面、で費用対効果が薄く、安全面でのリスクも高いといった課題があった。今回開発した河川点検を効率化・高度化するフロートロボットでは、機動性の高い船体に測深機等の計測器をコンパクトに搭載し、操船支援機能や自動航行機能による運用支援を実現することで、効率的・経済的に現場搬入や計測航行が可能となり、河床・護岸の安全かつ効率的なスポット計測を可能とした。

【③-(1)-9】土石流予測を目的としたセンシング技術ならびに高精度土石流シミュレーションシステムの開発/国際航業(株)コンソ

■土石流・火砕流の発生が予測される災害現場において、従来の有人による調査では火山噴火直後に警戒区域が設定されて、火口周辺等の状況を迅速・詳細に調査できないといった課題があった。開発したロボットシステムは UAV により立ち入り禁止区域に侵入し、地形計測、土砂採取、表面流発生状況の直接観測により土石流発生の可能性に関する情報収集や、氾濫範囲予測に資するシミュレーション精度を向上させることで、被害の軽減や避難情報をより確実に発することを可能とした。

【③-(1)-10】災害調査用地上/空中複合型ロボットシステムの研究開発/(株)日立製作所コンソ

■土砂災害や火山災害の発生現場等の人の立ち入りが困難であった現場において、従来の有人による被災状況計測では、情報収集や監視が困難であり、確度や精度の高い情報が得られなかったといった課題があった。開発したロボットシステムでは、災害発生から変化し続ける現場の状況下でも対応が可能な、空中飛行型の無人ヘリ及び地上移動型無人車両からなる情報収集プラットフォームにより迅速な現場状況の把握と二次災害予測に有用な情報提供を可能とした。

【③-(1)-11】引火性ガス雰囲気内探査ロボットの研究開発/三菱重工業(株)コンソ

■引火性ガスの発生が予想されるトンネル災害発生時に、救助や災害拡大防止のための現場の状況を確認する状況において、従来の消防士等の人が現場に立ち入って確認する手法では引火性ガスの充満の可能性による危険性から、ガス濃度が下がるまで立ち入りができず、内部の状況把握に時間がかかるといった課題があった。開発したロボットシステムは防爆検定合格した移動ロボットにより、引火性ガスの有無と内部状況を遠隔操作で確認できる事により引火性ガスの発生状況および現場状況を、作業員の安全を確保しつつ、ファーストレスポンドとして迅速・安全に確認する事を可能とした。

(2)非破壊検査装置開発

【③-(2)】超小型 X 線及び中性子センサを用いたインフラ維持管理用非破壊検査装置開発/(株)日立パワーソリューションズコンソ

■高経年化した基幹産業インフラは、大規模保全が必要な段階となっており、このうち配管に代表される保温材下外面腐食(CUI)は喫緊の課題のひとつである。CUI検査としては、保温材解体後の目視検査や超音波による肉厚検査が一般的であるが、検査箇所全ての保温材解体や高所配管の全面足場設置など、多大な付帯工事のコスト・時間が課題である。保温材を解体せずに配管の状態を確認できる非破壊検査手法を軸とし、さらには非破壊検査装置をロボットに搭載して自動化することにより、CUI検査の大幅な効率化を実現した。ただし全てを足場レスとするのではなく、腐食リスクの高いフランジやバルブなどの不連続部は足場を設置しての詳細検査が必要であると考え、足場を部分的に利用することで総コストを最小化するベストミックスな検査手法を構築した。

投稿論文

「論文」97 件

	特 許	「特許出願」130 件
	その他の外部発表 (プレス発表等)	「学会発表・講演」390 件、「新聞・雑誌への掲載」125 件、「展示会の出展」187 件
IV. 実用化・事業化 の見通しにつ いて	<p>【事業全体】 本プロジェクトは、「研究開発項目①インフラ状態モニタリング用センサシステム開発」、「研究開発項目②イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発」及び「研究開発項目③インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発」にて構成しており、研究開発項目毎の実用化・事業化の見通しは以下のとおり。</p> <p>【個別テーマ】 ①インフラ状態モニタリング用センサシステム開発</p> <p>【①-1】道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの研究開発/技術研究組合NMEMS技術研究機構 ■参画する高速道路会社(NEXCO3社及び阪神高速道路)との強い連携のもと、参画企業が橋梁、道路付帯物、法面のセンシングシステムに対して東芝、大日本印刷、富士電機、三菱電機が事業化のシナリオを明確にして研究開発を進めた。共通基盤技術である無線通信共通プラットフォーム技術、高耐久性パッケージング技術も他への展開が可能であり、NTT データ、日本ガイシ、大日本印刷が事業化を見据えて研究開発を進めた。高速道路から一般道への展開、さらに、エネルギー施設、鉄道、港湾施設等他の社会インフラへの展開も可能である波及効果の高い技術となっている。将来技術のセンサ端末同期用原子時計に関してはリコーが事業化を進める。</p> <p>【①-2】ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発/(一財)マイクロマシセンタコンソ ■振動センサ端末・ネットワークシステム: PJ 終了後、平成 31 年度に商用設計を行い、平成 32 年度サンプル出荷、平成 33 年度より量産開始予定。国内の公共性の高い施設を中心に、エネルギー管理指定工場相当の大規模施設をターゲットに実用化・事業化を図る。 モニタリングシステム: PJ 終了以前から事業化検討を開始し、システムの汎用化や クラウド環境の構築を検討、センサメーカー(明星電気)、クラウド型ネットワークを構築できる ASP(アプリケーションサービスプロバイダ)事業者とのコンソーシアムにより実用化を促進。平成 32 年度センサ端末のサンプル出荷を踏まえてトライアル販売の後、平成 33 年度より本格販売およびメンテナンス子会社による有償診断サービスを開始する予定。 具体的には、中継機・ネットワークシステムについては、沖電気工業(株)が無線親機、M型中継機、ネットワーク管理機器の製品化を行う。モニタリングシステムについては、高砂熱学工業(株)がクラウド型振動監視診断システム(①無線親機、②M型中継機、クラウドシステム等で構成)の販売、有償診断サービスの提供を行う。</p> <p>【①-3】道路付帯構造物モニタリングシステム開発/(株)日立製作所 ■今回の成果として、2点挙げられる。1つは高速道路管理会社に向けた広範囲を管理するためのオンプレでのシステムの提供と、もう1つは自治体向けの低コストでのサービス提供である。既に日立製作所では、平成 25 年 10 月にインフラ分野をターゲットとした「施設モニタリングサービス」の事業化を発表しており、何社かのパートナー会社とも連携を取りながら本事業を推進している。本プロジェクトでの研究成果も施設モニタリングサービスの一部として適用を進めることで、早期実用化が見込まれると考えている。 実用化・事業化に向けて、実ユーザーにヒアリングを実施し、ヒアリング結果を基に、対象ユーザー別の基本方針(要件)を策定した。高速道路会社に向けての基本方針は、研究開発実施者の設備内に構築するシステム提供方法とし、データ収集、見える化の基盤のみ提供、分析用基盤は別途展開、機械設備の場合は、電源機能も検討可能である。その他、既存の点検システム、制御監視システムの追加機能としての適用も可能であるとしている。地方整備局や自治体に向けての提供方法の基本方針は、可能な限りサービス形態で提供するシステム提供方法とし、見える化など基本機能をベースとして提供するほか、健全度評価はコンサル会社委託(コンサル経由でサービス提供)により、低コスト(ランニングコストも抑えた方式)での提供を基本とする方針を定め、実用化・事業化を進める基本方針を策定した。</p> <p>【①-4】高信頼性センサによるインフラモニタリングシステムの研究開発/横河電機(株) ■“全国地震動予測地図 2018 年度版”によると、太平洋ベルト地帯を中心に今後 30 年間に震度 6 弱以上の揺れに見舞われる確率が高く示されている。2011 年 3 月 11 日の東日本大震災の際にも首都圏では 515 万人の帰宅困難者が発生し、帰宅困難者を受け入れる施設の不足が明らかになった。東京都では、帰宅困難者対策条例が制定され、建物の管理者は発災時には施設の安全確認を速やかに行い、帰宅困難者の建物内への待機に備えなければならぬとされている。企業は、BCP の観点から、早期に</p>	

復旧作業を開始するために、建物に入れるかどうか早く判断しなければならない。しかし、現状では専門家による応急危険度判定が必要で、膨大な時間と労力を要している。このような背景から、建物の健全性評価をリアルタイムに行い、発災時直後の建物の使用継続可否を即時に判定する本システムは、社会的なニーズがあり、一定規模の市場が拓けると見込んでいる。

事業化に向けては、子会社の横河ソリューションサービスが既にインフラ関連事業を手掛けており、本プロジェクトの事業化に向けた取り組みを一体となって活動を行っている。震災におけるBCP対策の高まりに応えるべく、加速度計、ひずみ計および傾斜計の量産体制の取組みや、常時・非常時による構造物の健全性を迅速に行える診断システムの製品化を優先して検討する計画を立てている。

【①-5】道路橋の維持管理及び防災・減災を目的としたセンサシステムの研究開発/日本電気(株)コンソ

- ①実用化・事業化に向けての見通し:センサシステムの設置対象となる15m以上の道路橋は約17万橋である。全国の点検結果から建設後30年以上を経過すると健全度「判定区分Ⅲ:早期措置段階」が増加し、損傷の進行モニタリングの必要性が高まり、クラウド方式のセンサシステムの事業化が課題解決に資する。道路橋センサシステムの運用管理は共通プラットフォーム(クラウド基盤)での集中管理が効率的である。このため、実用化・事業化は「センサシステム設置」と「センサシステム運用管理」に区分される。センサシステムの設置は建設コンサルタントが、センサシステムの運用管理はクラウド事業者が担うことを想定している。実用化において、日本電気が「センサシステム設置」でのハードウェアの提供及び「センサシステム運用管理」での損傷検知ソフトウェアの提供を、首都高速道路技術センターがモニタリングシステムの設置・運用企画の提供を想定している。販売予定時期は2020年である。
- ②実用化・事業化に向けての取組:本研究開発終了後2年以内(平成32年度中まで)に事業化を考えている。各道路管理者がクラウド方式によりモニタリングシステムを導入し、橋梁の専門技術者が計測データを管理する方式での実用化・事業化を目指している。全国的なセンサシステムの普及のためには、センサ・通信技術、運用方法(計測対象別計測頻度、管理者への報告・異常通知方法)の標準化が必要となる。標準化に向けて取り組む。地方自治体での計測データ処理は広域単位での共通プラットフォーム(クラウド基盤)においてなされる必要がある。地方自治体に対して事業化可能なビジネスモデルに取り組む。

②イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発

【②-1】道路構造物ひび割れモニタリングシステムの研究開発/首都高技術(株)コンソ

- 平成29年度から道路事業者・検査測量企業等へのヒアリング、市場調査、試験公開サーバによる試用環境提供、利用者アンケートなどを実施することで、事業化に向けた具体的なニーズの把握を図るとともに、システム開発の参考とした。また、システムのブラッシュアップや周辺技術の追加開発と並行して、撮影機材の性能や撮影方法等の仕様検討を行った。

ひび割れ検出サービスはクラウド上にシステムを構築し、利用者へ提供することを想定している。試験公開サーバでの試用環境提供により、システム運用やアクセス負荷への対処に関するノウハウを蓄積することができた。この結果、クラウドサービスによるひび割れモニタリングシステムの事業化を早期に実現可能と考えており、事業終了後、早期に事業開始を目標として準備をすすめている。また、スタンドアロン動作のためのソフト販売の要望もあり、引き続き市場調査の結果を通じて提供の形態を検討していく。

【②-2】位相解析手法を用いたインフラ構造物用画像計測システムの研究開発/福井大学コンソ

- 本研究開発では実用化を念頭に、「一般土木用変位計測システム」「鉄道橋梁用変位計測システム」ともに多くの実証試験を積み重ねた。一般土木用変位計測システムについては、計測機器メーカーの製品開発手法が適用された製品となっており、安定して動作する完成度の高いシステムにすることができた。研究目標を予定より早期に達成したため、一部のプロジェクト終了時期を繰り上げ、研究成果を利用した製品を発売している。鉄道橋梁用変位計測システムについてはの実証試験を通して、実用的に使えるレベルに到達している。本プロジェクトを早期に卒業することで製品化済。

③インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発

(1)ロボット技術開発

【③-(1)-1】マルチコプタを利用した橋梁点検システムの研究開発/川田テクノロジー(株)コンソ

- 画像を核としたAI技術などの発展およびそれらの技術の道路橋の維持管理分野への応用が進むことで、本開発品のような画像取得ロボットの重要度やニーズは増々大きくなり、道路橋の定期点検に係る省令、要領などの改正、改訂にも影響を及ぼすと考えられる。近い将来、一定規模の市場が開けると見込んでおり、今後は開発品を用いた点検事業、機体製造・販売・リース事業ならびに要素技術・知財展開などに係る事業化を目指す。国内だけでなく海外への事業展開も視野に入れている。実用化サイクルを効率的かつ効果的に回すため、オープンイノベーション手法の活用を検討し、開発品およびその運用のブ

ラッシュアップや周辺技術の組み込みを行ない、実用化領域まで完成度を高めるとともに、当システムの有効性を広め、市場形成を試みる。

【③-(1)-2】小型無人ヘリを用いた構造物点検技術開発/ルーチェサーチ(株)コンソ

■以下の3方針を同時に実施して実用化・事業化を確実に図る。①自社の点検業務における活用：国交省の現場検証に参画し、次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会橋梁維持管理部会の評価ランク「I」（試行的導入に向けた検証を推奨する）を受けた。機体は自社で所有し、現場での画像撮影と事務所での合成画像作成等を一貫して実施することで、自社の点検業務に活用する。②他社への販売：建設コンサルタント等の点検専門会社に対し、機体と点検システムを販売。販売先には、ロボットハードのみならず、安全飛行と高精度撮影を実現させるためのオペレータの訓練も含める。③民間事業に関わる点検：構造物点検の対象は、橋梁以外のダム堤体、港湾構造物などの公共性のあるもののほか、民間事業である送電ケーブル、LNG タンク、プラント施設の煙突などへの適用として事業化を推進する。

【③-(1)-3】複眼式撮像装置を搭載した橋梁近接目視代替ロボットシステムの研究開発/富士フィルム(株)コンソ

■高速道路事業者、建設コンサルタント及び点検業者を販売先として提案・販売していくほか、点検支援ソフトウェアによる画像解析・調書作成を支援するシステムまたはクラウド上のサービスとして提供・課金することを検討している。コンソーシアム内にて「事業化検討ワーキンググループ」を設置し、H30 年度の事業化に向けた具体的な検討を行った。点検ロボットについては、点検コンサルタント、高速道路会社、レンタル会社にロボットを販売することと、モジュール化されたロボットのカスタマイズサービスにより事業を展開する。損傷検出と点検調書作成支援サービスについては、ロボットで撮影された画像データを解析（ひびわれ検出やひび幅計測）し、点検調書の作成を支援するサービスの提供の形態の事業を実施する。

【③-(1)-4】橋梁桁端部点検診断ロボットの開発/ジビル調査設計(株)コンソ

■開発開始 1.5 カ月であるが、本申請者は開発者であり、エンドユーザの立場でもあるため申請者の顧客である国土交通省並びに地方自治体の橋梁管理者ニーズには日々実施している点検業務を通して最新ニーズを体感できる業務環境下にある。よって、顧客ニーズへの的確な対応が可能な点検ロボットを目指す方針を基本として堅持したい。それが他のロボットとの差別化を促し、実用化、事業化に優位な方向性を生むことに期待している。具体的な事業化計画としては、橋梁定期点検の支援業務に活用することとし、オペレータ付きのレンタルでの点検業務支援を実現する。さらに、展開計画として、全国ネットワークの構築や各地方の橋梁に知識を持った建設コンサルタントを技術サービス代理店とした技術提供、組織を構築し各代理店の専属オペレータによるオペ付きレンタルでの点検業務支援の展開を検討中である。

【③-(1)-5】インフラ診断ロボットシステム(ALP)の研究開発/(株)開発設計コンサルタントコンソ

■「ALP」は、当面高さ約 20m・幅約 5m(面積約 100 m²)の鉄筋コンクリート製橋脚の壁面に適用することを指向しており、最終的な現場機能検証を、橋脚と構造的にほぼ同じである J-POWER が保有するダムの洪水吐ゲートピア側壁で実証実験を実施済みである。今後、J-POWER が保有する発電施設への活用を想定している。平成 30 年度には J-POWER と協議の上、適用する対象・方法・機能等を検討し、実用性の実証に向けたロボット開発の基本構想をまとめる予定である。さらに、構造物の劣化や延命の必要性、点検の可能性等を踏まえ、設備管理者と調査対象について協議・選定し、適用を図る展開を構想中である。

【③-(1)-6】磁石走行式ロボット等を活用した橋梁点検システムの開発/(株)熊谷組コンソ

■本研究開発がほかの画像診断技術に対する優位性として、①磁石走行ロボットが鋼桁に吸着して撮影するので安定した画像を取得できる、②磁石走行ロボットの特性として、コンクリート片等の落下防止ネットの上からも走行が可能、③鋼桁橋だけでなく産業プラント施設や鋼製タンク等の維持管理にも適用できる、などの利点がある。実用化・事業化計画として、以下の方針で推進する。・橋梁維持管理の調査・設計・工事が一体となった包括契約方式の案件に適用する場合は自社で使用する。・点検事業者ロボットをリースまたは販売する。・ロボットの製造は移動ロボット研究所、リースまたは販売を熊谷組グループ会社が行う。今後、製品を利用したサービスの利用法についてユーザと意見交換を行いつつ、・ロボットによる橋梁点検を促進するため、道路管理者・点検業者へ製品を使用した点検手法を提案する。また、製品による点検手法の教育・普及を図ることで事業化を推進する

【③-(1)-7】可変構成型水中調査用ロボットの研究開発/(株)キュー・アイコンソ

■事業終了後の平成30-31年度の当初には、自社ビジネス(水中機器の製造・販売)に適用する事業とする。すなわち、サンプル出荷と点検デモンストレーションを行い、ダム調査ロボット製造はキュー・アイが行うこととする。製造したロボットは、水中点検業者であるノダックが点検事業に活用する。(ノダックは水中点検に実績がある有力事業者)。水中音響イメージングソナーの製造は日立製作所が行い、イメージングソナーによる点検デモンストレーションを、各種点検業者に対して実施する。

さらに、平成32年度以降の展開計画として、販売の拡大を考える。ダム調査ロボットについては水中点検業者、建設業者、ダム管理団体(自治体、電力会社、水道局)への販売を計画している。水中音響イメージングソナーは、水中点検業者、建設業者、ダム管理団体、警察、防衛省への展開を計画している。用途の拡大についても検討する。本ロボットシステムは他の水中構造物の調査にも使用可能であり、コンビナートの蒸留水タンク、その他水槽設備の点検調査等も視野に入れ、普及に取り組む。水中音響イメージングソナーは、点検用だけでなく、港湾工事の水中施工状況の観察、港湾監視、水中無人機搭載、不法投棄物の水中調査への展開を計画している。

【③-(1)-8】河川点検を効率化・高度化するフロートロボットの研究開発/朝日航洋(株)

■国土交通省の試行的導入に向けて、国土交通省と共に検討を行っている。また、各地方整備局に赴き、当該ロボットの説明と現場要望等の意見交換を実施し、普及に努めている。当初の事業化としては、自社受注のビジネス測量業務に活用することを計画している。すなわち、ロボットの所有は朝日航洋とし、航空測深システム(ALB)との組合せで地形計測サービスを提供する。その際、計測データの解析サービスも込みとする。さらに、航空測量以外の適用領域に展開する。例えば、以下を想定する。ダム・貯水池等、広域な水域で自動航行による堆砂を測量、港湾の構造物調査、地形調査、水中道路橋脚周辺の洗掘調査として事業展開を行う。

【③-(1)-9】土石流予測を目的としたセンシング技術ならびに高精度土石流シミュレーションシステムの開発/国際航業(株)コンソ

■本テーマでは、火山噴火時の現場において、安全上の問題から人や航空機が進入できない区域の中で活動できる無人飛行機やロボットを開発し、火山噴火の状況を正確に把握することにより、その後の災害対応の精度を上げ、火山噴火後の各種災害から住民を守ることを実現した。シミュレーション環境は、国際航業等に設置したサーバ内に実現することを決めた。平時は関係機関の訓練や情報共有として、機器を使用し活火山データを提供するビジネスとする。緊急時には、災害協定に基づいた国交省からの要請に基づき、調査・解析業務を受託し、構築したデータベースで関係機関に情報共有する事業とする。

【③-(1)-10】災害調査用地上/空中複合型ロボットシステムの研究開発/(株)日立製作所コンソ

■①国土交通省 TEC-FORCE が全国配備する事業、②製品あるいは構成サブシステムを消防庁、防衛省などの災害対応機関あるいは自治体、指定公共機関、インフラ会社などへの販売を想定する。③国土交通省地方整備局や自治体等が発注する観測業務サービスあるいは得られた観測情報から災害現場の復旧工事計画作成に係るサービス事業も想定する。マーケットとして、国土交通省 TEC-FORCE 殿が配備する事業やサービス提供事業や、自治体、警察、消防、防衛などの災害対応機関が配備する事業やサービス提供事業、公共インフラを保有する指定公共機関が配備する事業やサービス提供事業を想定する。事業体制は、製造事業者として(株)エンルート、販売事業者として(株)エンルート、(株)日立製作所、八千代エンジニアリング(株)、運用事業者として(株)エンルート、八千代エンジニアリング(株)、システムの改良・検証として(株)エンルート、産業技術総合研究所、(株)日立製作所の体制としている。事業化のため、各機関が機器を保有するか、あるいはリースする方策とし、各機関でオペレータを育成するか、あるいは必要に応じ、災害時協定に基づき運用サービスを提供するビジネス体制とする。

【③-(1)-11】引火性ガス雰囲気内探査ロボットの研究開発/三菱重工業(株)コンソ

■事業化としては、トンネル災害対応だけでは売り切りは困難である。これは、災害はいつ発生するか不明であるため、いつ使用するかわからない機材にお金は掛けられないにも関わらずロボットの維持・メンテに継続的にコストが発生するという理由がある。このため、リースによるロボット実用化・普及をリース会社と協議中である。ロボットはリース会社が購入・保持し、リースの形態を取る(販売も可能)形態であり、保守メンテはリース会社が実施する。ロボット操作は自治体・消防等のユーザが実施することとなる。オペレータの教育・訓練マニュアルについては、三菱重工業で整備する。別途の研究開発にて、石油プラントや製鉄プラント等の産業プラントにおける巡回点検の日常使いと非常時の災害対応として共用化検討中である。今後、災害調査に限定せず、広く活用領域を検討することとし、自律移動が可能な防爆移動ロボット開発中である。

(2)非破壊検査装置開発

	<p>【③-②】超小型 X 線及び中性子センサを用いたインフラ維持管理用非破壊検査装置開発/日立パワーソリューションズコンソ</p> <p>■開発品の現状は、中性子水分計および中性子水分計搭載自走ロボットは既に実用のレベルに達しており、先行して高所配管向け中性子水分計測ビジネスを開始する。X 線管厚計によるエッジ撮像技術は基盤技術の確立までは達成できているが、ロボットへの搭載には至っておらず、ロボット搭載に向けて技術開発の継続が必要である。</p> <p>実用化・事業化に向けた見通しとしては既に中性子水分計測技術を導入しているユーザは、検査ニーズが高いと考え、先行的に展開する。また検査ニーズは産油国を中心とする海外からもあるが、日本よりも高温多湿の過酷な環境でも適用できるような改善が必要となる。さらには本開発で得られた非破壊検査技術は配管検査以外の分野でも応用が期待されており、ニーズに即した技術開発を継続する必要がある。</p> <p>今後、過去に日立パワーソリューションズ製ポータブル型中性子水分計を購入もしくは導入しているユーザを対象に中性子水分計測サービス事業展開を開始する。新規顧客向けにはシステム完成度の高まった段階で展開することとする。装置販売ではなくサービス展開を重ねることによりシステム全体のブラッシュアップを図る。並行して次世代型中性子水分計と捉えているシンチレータ式中性子水分計の開発を継続し、将来的にはロボットへの搭載を計画する。X 線管厚計についてはフォトンカウンティングなど新技術の適用検討をふまえ研究開発を継続するとともに実用化を加速する。</p>	
<p>V. 基本計画に関する事項</p>	<p>作成時期</p>	<p>平成 26 年 3 月 作成</p>
	<p>変更履歴</p>	<p>平成 27 年 2 月:研究開発項目③(1)「ロボット技術開発」に関し、平成 28 年度からの助成事業へ移行及び期間変更(平成 29 年度まで)に伴う改訂。 平成 28 年 3 月:研究開発項目④「ロボット性能評価手法等の研究開発」追加に伴う改訂。 平成 29 年 3 月、研究開発項目④「ロボット性能評価手法等の研究開発」が2017年より「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」に移行、需給勘定の予算追加につき改訂。</p>

プロジェクト用語集

(一般では分からない専門用語とその説明を記入。五十音順)

番号	用語名	説明
【①-1】道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの研究開発/技術研究組合NMEMS技術研究機構		
1	CMOS	CMOS(Complementary MOS; 相補型 MOS)とは、P 型と N 型の MOSFET をデジタル回路(論理回路)の論理ゲート等で相補的に利用する回路方式(論理方式)及びそのような電子回路や IC のこと。
2	CPT 共鳴	Coherent Population Trapping の頭文字を取った略称で、原子とレーザー光のコヒーレントな相互作用の結果現れる現象。
3	Cs ディスペンサ	Cs を含む固体の化合物で、高温加熱することにより Cs を放出。
4	DARPA	アメリカ国防高等研究計画局(Defense Advanced Research Projects Agency)の略称。軍隊使用のための新技術開発および研究を行うアメリカ国防総省の機関。
5	FAN	Field Area Network の略。屋外の建物間でスマートメーターなどをつなぐネットワーク。
6	FPGA	Field-Programmable Gate Array の略で、製造後に購入者や設計者が構成を設定できる集積回路であり、広義には PLD(プログラマブルロジックデバイス)の一種。
7	ICT	Information and Communication Technology の略で、情報処理および情報通信、つまり、コンピュータやネットワークに関連する諸分野における技術・産業・設備・サービスなどの総称。
8	JIS A5557	外装タイル張り用有機系接着剤の JIS 規格。
9	JIS C60068-2-52	環境試験方法—電気・電子—塩水噴霧(サイクル)試験方法(塩化ナトリウム水溶液)の JIS 規格。
10	LAN	Local Area Network の略。ネットワークの種類のひとつで、建物内やフロア内といった狭い範囲にあるコンピュータで構成されたネットワークのこと。
11	LiPo バッテリー	リチウムイオンポリマー二次電池の通称。電解質にポリエチレンオキシドやポリフッ化ビニリデンからなるポリマーに電解液を含ませてゲル化したもの。

番号	用語名	説明
1 2	LTCC	「低温同時焼成セラミックス」を意味する Low Temperature Co-fired Ceramics の略称。産業界で用いられる高純度セラミックスは「ファイン・セラミックス」とも呼ばれるが、LTCC はそうしたファインセラミックスの内、電子材料として用いられる電子セラミックスのひとつ。
1 3	MEMS	MEMS(メムス、Micro Electro Mechanical Systems)は、機械要素部品、センサ、アクチュエータ、電子回路を一つのシリコン基板、ガラス基板、有機材料などの上に微細加工技術によって集積化したデバイス。
1 4	NIST	National Institute of Standards and Technology (アメリカ国立標準技術研究所)の略。アメリカ合衆国の国立の計量標準研究所。
1 5	NTP	NTP とは、TCP/IP ネットワークを通じて正しい現在時刻を取得するためのプロトコルの一つ。コンピュータの内部時計の時刻を正しく調整するために、ネットワーク上で時刻情報を配信しているサーバに問い合わせる手順を定義したものの。
1 6	PCT	Pressure Cooker Test の略。試験体に圧力を加圧しながら、温度を 110°C~130°C加熱することにより、耐湿度性を加速試験すること。
1 7	PDMS	polydimethylsiloxane(ポリジメチルシロキサン)の略。ジメチルシロキサンが沢山つながった構造をしているシリコーンゴムのベース材料。
1 8	PEN	Poly Ethylene Naphthalate(ポリエチレンナフタレート)の略。耐熱性やガスバリア性が高い高分子フィルム。
1 9	PET	Poly Ethylene Terephthalate(ポリエチレンテレフタレート)の略。化学的・物理的高機能性に加え、品質の安定性・均一性にもすぐれた高分子フィルム。
2 0	PLL	Phase Locked Loop の略。入力信号や基準周波数と、出力信号との周波数を一致させる電子回路。入力信号と出力信号との位相差を検出し、VCO(電圧によって周波数を変化させる発振器)や回路のループを制御することで、正確に同期した周波数の信号を発信することが可能。
2 1	PZT	チタン酸ジルコン酸鉛(lead zirconate titanate)のこと。代表的な圧電材料であり、高い圧電定数を有することが特徴。
2 2	Q 値	Q 値(Quality factor、品質係数 Q)は主に振動の状態を現す無次元数。弾性波の伝播においては、媒質の吸収によるエネルギーの減少に関係する値。振動においては、1 周期の間に系

番号	用語名	説明
		に蓄えられるエネルギーを、系から散逸するエネルギーで割ったもので、この値が大きいほど振動が安定であることを意味する。
2 3	Rb 時計	原子時計の一種。ルビジウム(Rb)の基底状態(5S 軌道)の超微細構造の遷移周波数を計測して、高精度に時間と周波数を求めるもの。測定時間 1 秒で 10-11、1000 秒で 10-13。
2 4	RF-IC	高周波(RF)の信号を処理する集積回路(IC)の総称。
2 5	RIE	Reactive Ion Etching (反応性イオンエッチング) の略で、ドライエッチングに分類される微細加工技術の一つ。原理としては、反応室内でエッチングガスに電磁波などを与えプラズマ化し、同時に試料を置く陰極に高周波電圧を印加する。すると試料とプラズマの間に自己バイアス電位が生じ、プラズマ中のイオン種やラジカル種が試料方向に加速されて衝突する。その際、イオンによるスパッタリングと、エッチングガスの化学反応が同時に起こり、微細加工に適した高い精度でのエッチングが行える。
2 6	SN 比	SN 比(Signal Noise Ratio)は、通信理論ないし情報理論あるいは電子工学などで扱われる値で、信号 (signal) と雑音 (noise) の比。
2 7	SOI	Silicon on Insulator の略。絶縁膜上に形成した単結晶シリコンを基板とした半導体、および半導体技術。
2 8	STN	Smart Things Network の略。ものをつなぐ末端のネットワーク。
2 9	SUS312L	NI 含量を増し、C 含量を抑えることで、耐食性と耐熱性に優れているステンレス鋼。
3 0	TELEC 認証	TELEC は一般財団法人テレコムエンジニアリングセンターで、「技術基準適合証明・工事設計認証」を行う日本で最も古い歴史と実績をもつ機関。技術基準適合証明とは、特定無線設備(小規模な無線局に使用するための無線設備)が電波法令の技術基準に適合していることを証明(電波法第 38 条の 2)すること。
3 1	VOC	Voltage-controlled oscillator(電圧制御発振器)の略。電圧(制御電圧)で発振周波数を制御する発振器。

番号	用語名	説明
3 2	VCSEL (面発 光レーザー)	Vertical Cavity Surface Emitting Laser の頭文字を取った略称。基板に対して垂直方向へ射出する構造の半導体レーザー。
3 3	WAN	Wide Area Network の略。遠隔地の LAN(ラン)を連携させたコンピューターネットワーク。
3 4	Wi-Fi	Wi-Fi Alliance によって認定された無線 LAN の規格。
3 5	YAG レーザ	イットリウム・アルミニウム・ガーネットを用いた固体レーザーのこと。
3 6	アコースティック・エミッション(AE)	固体材料内部の微小な破壊、あるいはそれと同等なエネルギー解放過程によって生ずる弾性波動現象。
3 7	圧電材料	圧電性（機械的ひずみを与えたとき電圧を発生する、あるいは、逆に電圧を加えると機械的ひずみを発生する性質）を示す結晶性物質の総称。
3 8	位置標定	AE の発生位置を定めること。
3 9	エッジ端末	通信ネットワークの境界におかれた端末。
4 0	オールインワンパッケージ	自立電源、無線モジュール、環境センサ、電子回路等すべての部品を1つのパッケージに内蔵させたもの。
4 1	カーボンナノチューブ	カーボンナノチューブ(carbon nanotube、略称 CNT)は、炭素によって作られる六員環ネットワーク(グラフェンシート)が単層あるいは多層の同軸管状になった物質。
4 2	ガスセル	ガスを閉じ込める容器。
4 3	環境発電素子	太陽光や照明光、機械の発する振動、熱などのエネルギーを採取(ハーベスティング)し、電力を得る素子。
4 4	協定世界時	国際原子時(TAI)に由来する原子時系の時刻で、UT1(天文台で恒星や銀河系外電波源の日周運動の観測、あるいは月や人工衛星の継続観測によって決められる世界時 UT0 から

番号	用語名	説明
		観測地の経度に表示される極運動の効果を補正して計算される値)世界時に同調するべく調整された基準時刻。
4 5	グラファイト	炭素から成る元素鉱物。六方晶系(結晶対称性は P63/mmc)、六角板状結晶。構造は亀の甲状の層状物質、層毎の面内は強い共有結合(sp ² 的)で炭素間が繋がっているが、層と層の間(面間)は弱いファンデルワールス力で結合している。それゆえ、層状に剥離する(へき開完全)。電子状態は、半金属的である。
4 6	傾斜マルチセンサ	MEMS 加速度センサをベースとした高精度に傾斜、振動、温度が計測可能なセンサ。
4 7	結晶欠陥	結晶は原子が 3 次的に規則的に並んでできているが、その結晶の中に存在する欠陥。
4 8	コアサンプル	コアボーリング(刃先にダイヤモンド粒子を埋め込んだコアビットを高速で回転させ、ダイヤモンドの切削力を利用して鉄筋コンクリートを穿孔する工法)により採取した円柱形の供試体。
4 9	構造ヘルスマニタリング (SHM)	SHM(Structure Health Monitoring)ともいう。建築物等の構造物の振動を計測し、計測した振動の解析より、揺れの強度や変形量、振動周波数を解析し地震時の構造物安全性を診断や微小地震や常時微動の計測結果から構造躯体の状態変化をモニタリングする技術。
5 0	コヒーレント光	光束内の任意の 2 点における光波の位相関係が時間的に不変で一定に保たれていて、任意の方法で光束を分割した後、大きな光路差を与えて再び重ねあわせても完全な干渉性を示す光。
5 1	コレット	工作機械で使用する、工具やワークを固定する筒状(コレット形状)の部位のこと、またはそのパーツ(治具)単体のこと。
5 2	コンスタンタン	銅 55%、ニッケル 45%の組成からなる合金。電気抵抗の温度係数が小さいことから、ひずみゲージ・精密抵抗に使われる。熱起電力が低いことから、例えば熱電対に使われる。
5 3	コンセントレータ	データ通信の分野で使用する集信装置。本プロジェクトではセンサを設置するフィールドに設置し、複数のセンサから送信されるデータをまとめ、インターネット経由でクラウドサーバに送信する機器を指す。
5 4	床版	床の機能をもつ構造部材。

番号	用語名	説明
55	シリコンカーバイド	SiC(シリコンカーバイド)はシリコン(Si)と炭素(C)で構成される化合物半導体材料。絶縁破壊電界強度が Si の 10 倍、バンドギャップが Si の 3 倍と優れているだけでなく、デバイス作製に必要な p 型、n 型の制御が広い範囲で可能であることなどから、Si の限界を超えるパワーデバイス用材料として期待されている。
56	スーパーアコースティックセンサ	MMES 技術で製作したピエゾ抵抗型ビームの上に液体をパレレン薄膜で封止してその上にシリコンゴム(PDMS)を有する多層構造の 1Hz~1MHz の広帯域が計測できる振動センサ。
57	スクリーン印刷	孔版印刷のひとつ。木または金属の枠に張った絹・ナイロンなどを版材とし、画線部は細かい織り目を通してインクを定着させる印刷法。
58	ストレイ容量	寄生容量、浮遊容量とも呼ばれ、電子部品の内部、あるいは電子回路の中で、それらの物理的な構造に起因する、設計者が意図しない容量成分のこと。
59	静電容量式センサ	導電膜の間での静電容量の変化を利用したセンサ。
60	対候性加速試験	キセノンランプ等の太陽光より、10 倍~100 倍の強い強度の光を試験体に照射することにより、紫外線等の屋外の太陽光の影響を加速する試験方法。
61	ダイバシティアンテナ	無線通信において、複数のアンテナで同じ電波を同時に利用することにより通信品質を向上させる技術。また、そのようにして一体的に運用される複数のアンテナ群。
62	タイムスタンプ	センサなどで取得したデータに対して、データを取得した時刻情報を記録して付与する仕組み。
63	卓越周波数	1.地震動の数ある波形の中で、建物に大きな影響を与える周期。 2.地震動の数ある波形の中で、発生する回数が最も多い周期。
64	弾性波	弾性体中を伝わる変形波で、弾性応力波、弾性ひずみ波とも呼ばれる。体積変化を伴う「体積波」と、形状変化は生じるが体積変化を伴わない「等体積波」とに大別される。
65	チップスケール原子時計(CSAC)	原子時計(atomic clock)は、原子や分子のスペクトル線の高精度な周波数標準に基づき、正確な時間を刻む時計。チップスケール原子時計は、この原子時計をコンパクトにしたもの。

番号	用語名	説明
6 6	デュアルセル	ガスセルに Cs と Rb を封止したもの。
6 7	電子ビーム露光	感光剤を光で露光する代わりに、電子ビームの照射で露光する方法。
6 8	電波位相	電波の 1 波長 (920MHz 帯の場合、約 0.3m) を 360° とし、1 波長内における遅れあるいは進み具合を角度で表したもの。
6 9	導電性ペースト	試料を試料台に固定したり、導電性を持たせるために周辺に塗布するときを使うペースト。樹脂中に銀粒子やカーボンブラックをフィラーとして分散したものや、水にコロイド状のグラファイトを分散したもの。
7 0	特小無線	特定小電力無線の略で、電波法による無線局の免許を受けることなく利用可能。
7 1	ドングル	コンピュータに接続する小型装置。主にソフトウェアの不正使用防止のために利用されるほか、無線通信などの機能を提供する機器。本プロジェクトでは無線通信機能を保有する小型装置。
7 2	粘接着シート	光硬化性エポキシ樹脂製のシート状接着剤。
7 3	法面	道路建設時に、山地を削ったり、盛土をすることにより造られる人工斜面、または自然斜面。
7 4	配線保護フィルム	有機・無機複合層からなる紫外線と水蒸気をカットするフィルム。
7 5	パリレン	パリレン (ポリパラキシレン、poly-para-xylene) は中性・非導電体の高分子で薄膜形成でき、耐薬品性、ガスバリア性に優れる、などの特徴をもつ。
7 6	ヒートサイクル試験	試験体を温度を -40°C と 100°C 前後の温度を、上昇及び下降させることによる温度影響の耐力をみる加速試験方法。
7 7	ピエゾ抵抗素子	電圧を力に変換したり、力を電圧に変換する素子。

番号	用語名	説明
7 8	光ナノ共振器	フォトニック結晶により実現した、数百ナノメートルの非常に小さな領域に光を閉じ込める共振器。
7 9	ひずみセンサ	対象物に貼り付けひずみを測定するセンサ。抵抗式、圧電式、容量式など検出原理が様々ある。
8 0	フェールセーフ	機器やシステムの設計などについての考え方の一つで、部品の故障や破損、操作ミス、誤作動などが発生した際に、なるべく安全な状態に移行するような仕組みにしておくこと。
8 1	フォトニック結晶	周期的屈折率分布によって作り出された光を伝播しない周波数帯域をもつ光学構造。微小領域に光を閉じ込める光共振器などを実現。
8 2	プライマ	最初に塗る塗料。
8 3	プラズマエッチング	プラズマ中に試料をさらすことにより、不必要な部分の原子を化学的または物理的に取り去る加工法。
8 4	フレキシブル面パターンセンサ	フレキシブル基板上にひずみセンサを並べてひずみ分布を測定するセンサ。
8 5	フロントエンド回路	フロントエンドは、プロセスの最初の工程を指す一般的用語。フロントエンドは各種入力をユーザから収集し、バックエンドが使える仕様に合うようにそれを加工。無線回路においては、アンテナ側の送受信端の回路部分をフロントエンドと呼ぶ。
8 6	分周	電波の周波数を $1/n$ にすること。
8 7	ベースプレート	柱脚底部に取り付ける鋼板のこと。
8 8	ポリマー	有機化合物の分子が重合して生成する化合物(重合体)の総称。
8 9	マイグレーション	電気伝導体の中で移動する電子と金属原子の間で運動量の交換が行われるために、イオンが徐々に移動することで材質の形状に欠損が生じる現象。

番号	用語名	説明
90	マイクロマシニング技術	マイクロマシンを作ること。また、その技術の総称。半導体加工技術を応用した、微小部品の製造技術。
91	マルチホップ機能	1つの端末から他の複数の端末へデータを次々にホップ(飛び越え)させることで、通信距離を伸ばす機能。
92	メッシュネットワーク	通信機能を持った端末が、相互に通信を行うことで形成したネットワーク。
93	陽極接合	ウェハ接合法の一種で、ガラスと Si 基板の研磨面を重ねて加熱しながら電圧をかけることで、共有結合による強い接合が生じる接合法。
94	ラマンレーザ	光と原子振動の相互作用によって生じるラマン効果に起因する光学利得によって発振するレーザ。
95	ロガー	センサにより計測・収集した各種データを保存する装置のこと。

【①-2】ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発/(一財)マイクロマシンセンターコンソ

1	920MHz	無線 LAN などの 2.4GHz 帯と比較して電波の到達距離が長く、また障害物を回り込んで届く特性が高いため、通信距離を必要とする場合や障害物が多い場所での利用が可能。
2	AlN 圧電プロセス	AlN はウルツ鉱構造の結晶構造で圧電性を有する材料であり、分極処理も不要。この圧電材料を用いた、センサに加工する工程を総称して N 圧電プロセスという。
3	Au-Au 低温活性化接合	通常、金と金の接合(接着)は、400℃程度の高温が必要とされ、圧電デバイスの特性に影響が出る。そこで、Ar プラズマ処理により、金表面の清浄化を行い、直ちにある程度の圧力で圧着することにより、低温化接合を行う接合方法。
4	MCU	一つの集積回路にコンピュータシステムをまとめた、組み込み用のマイクロプロセッサのこと。MCU には、ROM や RAM などのメモリ、I/O 関連など多くの周辺機能を MCU 自体に搭載。
5	P 型センサ端末	回転機器に取り付け、低周波振動センサ情報、高周波振動センサ情報、表面温度情報を測定する大きさペッドボトル大の小型無線端末。
6	RFIC	無線通信を行うための処理を行う半導体チップ。
7	RFLSI	無線通信用 LSI。

番号	用語名	説明
8	ScAlN	AlN の圧電特性は、圧電定数が PZT に比べると 2 桁近く低いことから、より大きな出力を得るには圧電定数を向上させる必要がある。そこで、AlN を母材とし Sc を添加することで圧電定数が 10 倍に向上することが近年見いだされ、MEMS デバイスへの応用研究が盛んに行われている。
9	ウェハーレベルパッケージング工程	パッケージング工程をそれぞれの材料の基板を接合することにより行う、実装工程。一度に多量のセンサを実装することができるので、低コスト化を実現。
10	オールドライエッチングプロセス	AlN 圧電デバイスは AlN 圧電材料を Pt 電極で挟むことにより、形成される。Pt は難エッチング材料であるが、カンチレバーを構成する Si を含めて、これらの材料をすべて、ドライエッチング法により加工する方法。比較的短時間で高精度の加工が可能。
11	コンパレータ	参照電圧に対して入力されている電圧の高低によって出力が変化するデバイス。
12	参照電圧発生回路	一定以上の電源電圧が印可されている状態で、常に一定の電圧を出力する回路。
13	鹿威し	規定の電圧が蓄積した時点で動作する仕組み。
14	鹿威しエミュレータ	従来の振動加速度ピックアップで計測した振動加速度を積分し、鹿威し方式データを生成するための振動加速度の連続収集装置。
15	スタット	P 型センサ端末を回転機器に取り付けるための金属台座。
16	スパッタ	真空チャンバー内に堆積させたい材料をターゲットとして設置し、イオン化させた希ガス元素等を衝突させる。ターゲット表面の原子がイオン衝突によりはじき飛ばされ、対向して設置されている基板上にターゲット材からなる薄膜が成膜される。
17	整流回路	振動発電デバイスから得られる交流電力を直流電力に変換する回路。
18	センサデータ収集端末	P 型センサ端末からの (P 型センサ端末 ID、振動センサ、表面温度) データを受信し、タイムスタンプ (受信時刻情報) を付加し、複数データをまとめ、(センサデータ収集端末の送信タイム

番号	用語名	説明
		スタンプおよびセンサデータ収集端末 ID)を付加して 上位装置である M 型中継端末に送信する無線中継装置。
19	多元スパッタ	スパッタ成膜において、複数のターゲットを持ち、それぞれを個別に制御しながら成膜する方法。
20	立型ラインポンプ	ポンプ効率と省スペース化を図ったインライン型の渦巻きポンプ。ポンプと上部にあるモーターが独立したユニットで構成。
21	パッケージング工程	AIN圧電デバイスを高温多湿の環境下で長期間動作させるため、Siやガラス材料を用いて、外部から4気密状態で遮断し、保護するための実装工程。
22	バンドパスフィルタ	周波数の高域成分を遮断するローパスフィルタと、低域成分を遮断するハイパスフィルタの組み合わせからなり、任意の周波数帯域の信号を取り出すのに用いる。
23	マルチホップ	他の無線通信装置を経由して、バケツリレーのようにデータを伝送する方法を無線マルチホップ通信と呼ぶ。基地局などの通信インフラがなくても通信できることから、センサーネットワークなどに広く使われる。
【④-3】道路付帯構造物モニタリングシステム開発/(株)日立製作所		
1	RSSI 値	受信強度 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) の略。受信した電波の強度を示す指標。
2	VMWare	物理的な一台のコンピュータ上にソフトウェアによって仮想的に複数のコンピュータを立ち上げ、別々の OS やソフトウェアなどを動作させる仮想化ソフトウェアの提供するシステム。
3	応答周波数	応答周波数は、近接センサの応答性を表し、標準検出物体を繰り返し接近させた時、追従可能(ON/OFF 可能)な毎秒あたりの検出回数。
4	巡回型データ回収方式	監視対象施設に通信設備を構築し、定期的にデータを取得するのではなく、定期点検(巡回)時に点検車両が走行する際にデータを回収する方式。
5	ダイオードブリッジ回路	電流を正か負のどちらか一方にのみ流れるようにする整流回路の一種で 4つの整流用のダイオードを用いて全波整流を行うことで交流電圧を直流電圧にすることが可能な回路。
6	ダイバーシティ方式	無線通信で生ずるフェージングの影響を軽減するため、信号の時間変動が相互に異なる二つ以上の受信信号を合成したり、切り替えたりする方式。
7	卓越周波数	それぞれの区間において最も振幅が大きい周波数。

番号	用語名	説明
8	ダンパー	振動エネルギーを消散させて衝撃または振動の振幅を軽減する装置。
9	ターンバックル	ロープやワイヤーやタイロッドなどの張力を調節する装置。
10	ビームフォーミング方式	電波を細く絞り、特定の方向に向けて集中的に発射する手法。
11	モバイルリーダ	無線通信機能、Bluetooth 通信機能、電源監視機能等を有しており、設置したセンサ端末からデータを受信し、タブレット端末等へデータを送信する機器。
12	モバイルリーダ駆動方式	モバイルリーダが継続的にビーコンパケットを送信しながら走行する方式で、センサ端末はモバイルリーダからビーコンパケットを受信する際のみ起動するため、低消費電力化が実現可能な受信端末。
【①-4】高信頼性センサによるインフラモニタリングシステムの研究開発/横河電機(株)		
1	GPS-1PPS	GPS 基準時計に同期した 1 秒間隔のパルス信号。
2	ゲージ率	一般的には、抵抗ゲージにおけるゲージ率は、ひずみに対する抵抗の変化率を指すが、シリコン振動式センサでのゲージ率の定義は、ひずみに対するシリコン振動式センサの周波数変化率に相当。
3	逐次部分空間法	検討対象とする動的システムの入出力データを用いて、固有振動数等の振動特性の時間変化を時々刻々評価することのできるシステム同定手法。
【①-5】道路橋の維持管理及び防災・減災を目的としたセンサシステムの研究開発/日本電気(株)コンソ		
1	3G 通信	携帯電話の通信方式の一種。
2	AD コンバータ	アナログ信号をデジタル信号に変換する電子回路。
3	FEM モデル	複雑な形状・性質を持つ物体を小部分に分割することで近似し、全体の挙動を予測する手法。
4	I2C	フィリップス社が提唱した周辺デバイス とのシリアル通信の方式。
5	IP54	JIS の保護等級のレベルのひとつ。防塵性能と防水性能を規定したもの。

番号	用語名	説明
6	MCU	一つの集積回路にコンピュータシステムをまとめた、組み込み用のマイクロプロセッサ。
7	MEMS	機械要素部品、センサ、アクチュエータ、電子回路を一つのシリコン基板などの上に微細加工技術によって集積化したデバイス。
8	MTBF	機械システムや情報システムなどにおける信頼性 (Reliability) をあらわす指標となる数値。
9	PC 橋	あらかじめ応力を加えたコンクリート材、すなわち、プレストレスト・コンクリート (PC、Prestressed Concrete) を使用した橋。
10	SRAM	読み込み、書き込みが可能なメモリ (RAM) の一種で、一時的にデータを保持するための揮発性メモリ。
11	Web-API	コンピュータプログラムの提供する機能を外部の別のプログラムから呼び出して利用するための手順・規約 (API) の類型の一つで、HTTP など Web の技術を用いて構築されたもの。
12	圧電セラミック	結晶の分極を利用して、電気エネルギーと機械エネルギーの交換を行うもの。
13	インダクタンス	コイルなどにおいて電流の変化が誘導起電力となって現れる性質。
14	エナジーハーベスト	太陽光や照明光、機械の発する振動、熱などのエネルギー (エナジー) を採取 (ハーベスティング) し、電力を得る技術。
15	キャリブレーション	計測器具の偏りを基準量によって正すこと。
16	ゲートウェイ	異なるネットワーク同士を接続するネットワーク機器。
17	鋼橋	主要部材に鋼を用いた橋。
18	サンプリング周波数	アナログ信号からデジタル信号への変換 (AD 変換) を 1 秒間に何回行うかを表す数値。
19	支承	橋梁において、上部構造 (主桁・主構) と下部構造 (橋台や橋脚) の間に設置する部材。

番号	用語名	説明
20	主桁	橋の荷重を支える桁。桁橋で、水平方向に渡した桁。
21	センシング	センサーを利用して物理量や音・光・圧力・温度などを計測・判別すること。
22	通信プロトコル	ネットワーク上での通信に関する規約を定めたもの。
23	デジタルチェーン	複数の電気・電子機器を数珠つなぎにするような接続方法。
24	特定小電力無線	免許を要しない無線、その内のいわゆる小電力無線の一種。
25	汎用シリアルインタフェース	データ伝送の際、デジタルデータを1ビットずつ順次伝送、または、そのような方式を用いる接続インタフェース。
26	ファームウェア	電子機器に組み込まれたコンピュータシステムを制御するためのソフトウェアで、ROM 等のLSI などに書き込んだ状態で、機器に組み込んだもの。
27	床版	橋の上を通る車両の重みを橋桁(はしげた)や橋脚(きょうきやく)に伝えるための床板(ゆかいた)。
28	リチウムイオンキャパシタ	充放電サイクル寿命が長く、大電流の急速充放電が可能な蓄電デバイス。
【②-1】道路構造物ひび割れモニタリングシステムの研究開発/首都高技術(株)コンソ		
1	舗装	道路の路床、床版上面に敷設された、アスファルト等で車両の走行性を向上させる構造。
2	床版	橋梁において、路面を構成して、舗装を介して、交通荷重を受けて、主桁に荷重を分配させる構造。
3	橋台	橋梁端部で橋桁を支える構造で橋桁に載荷された荷重を基礎に伝達させる。
4	橋脚	橋梁中間部で橋桁を支える柱構造で、橋桁に載荷された荷重を基礎に伝達させる。
5	定期点検	5年に1回等、期間を定めて定期的におこなう詳細点検を指す。

番号	用語名	説明
6	詳細点検	構造物に接近して、点検ハンマーを用いた打音検査や、触診等をおこなう点検。
7	野帳	現場において点検の状況(位置、損傷ランク、寸法)を記録する手帳。
8	カルテ	記録のための規則に沿って点検結果を整理した資料で長期保存しているもの。
9	損傷図	構造物の図面に損傷位置、大きさ、種類等をマッピングした図面。
10	逐次的画像認識	二値化、エッジ検出などの個別の処理を順次適用して対象を識別し特定すること。
11	統計的パターン認識	検出対象の抽出に適した特徴パターンを見出して、画像に含まれる特徴量を多変量解析等の統計手法によって識別し特定すること。
12	局所特徴量	対象データ中に含まれる微視的な特徴の集合によってその対象が特定可能であるとして算出する量的な値で、多くの場合はベクトル量。
13	畳み込みニューラルネットワーク	深層学習を画像処理に適用するにあたって主に用いられるフィルタ処理層を有するニューラルネットワーク。
14	Mean Average Precision	個々の対象について設定値によって変動する精度の平均値を求め、全ての対象の平均値を平均した値。
15	再現率	全ての正解のうち検出に成功した検出結果の割合。
16	適合率	検出した結果の総数のうち正解の割合。
17	パノラマ合成	対象物を断片的に撮影した複数の画像から対象物全体の画像を合成する方法。
18	経年変化検出	点検時期の異なる同一対象について、劣化や損傷の進行状況を量的な差として算出すること。
【②-2】位相解析手法を用いたインフラ構造物用画像計測システムの研究開発/福井大学コンソ		
1	位相解析	格子パターンのような繰り返し模様を明るさの変化の波と捉え、その波の位相を求めること。

番号	用語名	説明
2	位相シフト法	位相解析の手法のひとつで、格子パターンを人為的に移動させることで、画素ごとの位相を変化させて複数の輝度値を取得し、その複数の輝度値から位相値を算出する方法。画素ごとに位相値が得られるため、空間分解能が高く、精度も良い手法として、格子画像解析にはよく用いられる。
3	サンプリングモアレ法	格子画像の位相解析方法のひとつで、格子画像を等間隔に抽出(サンプリング)することによりモアレ縞を発生する。サンプリング位置を移動させることでそのモアレ縞も移動することを利用し、位相シフト法を適用することで精度よく位相解析を行う手法。
4	サンプリングモアレカメラ	カメラの内部にサンプリングモアレ法のアルゴリズムを組み込んだカメラ。撮影と同時に位相解析を行い、その結果をリアルタイムに出力する。
【③-(1)-1】マルチコプタを利用した橋梁点検システムの研究開発/川田テクノロジーズ(株)コンソ		
1	GPS	Global Positioning System。衛星を使い位置を計測する技術。
2	下部工	上部工(主桁、主構)からの荷重などを地盤へ伝達するための下部構造。橋台・橋脚およびそれらの基礎の総称。
3	鋼I桁橋	I形断面を有する鋼材によって桁が構成された鋼橋。
4	支承	上部工(主桁・主構)と下部工の間に設置する部材のこと。
5	床版	橋の上を通る車両の重みを橋桁や橋脚に伝えるための床板。
6	道路橋の定期点検	道路橋の定期点検は、5年に1回近接目視を基本として実施し、健全性の診断結果を4段階に区分して行うことが、国の法令により義務付けられている。国直轄の橋梁に対しては「橋梁定期点検要領」、地方公共団体の管理する橋梁に対しては「道路橋点検要領」が適用される。
7	マルコ TM	本プロジェクトで開発するマルチコプタを利用した橋梁点検システムの総称。商標登録済み。
8	マルチコプタ	3枚以上のプロペラを有した回転翼型の航空機。
9	メンテナンスサイクル	点検⇒診断⇒補修⇒記録という、インフラの長寿命化を目的とした一連の維持管理サイクル。
10	ロープアクセス	桁下にロープを張り、ロープを伝って自在に移動しながら、近接点検を行っていく点検手法。

番号	用語名	説明
【③-(1)-2】小型無人ヘリを用いた構造物点検技術開発/ルーチェサーチ(株)コンソ		
1	可変ピッチプロペラ	現在市場に出回っているマルチコプターは、プロペラ角度が一定で、回転数で機体の動きを制御している固定ピッチが大半である。プロペラの角度を変化させる機構を加えると、動きが柔軟になる。但し、機構が複雑になり、操作も煩雑になる懸念もある。
【③-(1)-3】複眼式撮像装置を搭載した橋梁近接目視代替ロボットシステムの研究開発/富士フィルム(株)コンソ		
1	懸垂型ロボット	橋げたにぶら下がる形で移動しながら、橋の裏側の鋼部材、コンクリート部材を撮影し点検するロボット。
2	床版	橋の道路面の裏側にあたる部分。
3	スクリプト	ロボットへの動作命令を箇条書きのように並べて記述したもので、簡単なプログラムのようなもの。
4	正対補正	斜めから撮影した画像を、あたかも真正面から撮影したかのように変形し補正する画像処理方法。
5	複眼式撮像装置	いわゆるステレオカメラ。カメラを2台並べて撮影することで、三角測量の要領で対象物への距離や対象物の大きさを測定することができ、付加的な測量手段が不要となる。
【③-(1)-5】インフラ診断ロボットシステム(ALP)の研究開発/(株)開発設計コンサルタントコンソ		
1	ZigBee	センサーネットワークを主目的とする近距離無線通信規格の一つ。転送可能距離が短く転送速度も低速である代わりに、安価で消費電力が少ない。電氣的仕様は IEEE 802.15.4 として規格化。通信プロトコルについては「ZigBee アライアンス(ZigBee Alliance)」が策定。
2	脚・走行ユニット	吸着ユニットをX方向、Y方向に駆動制御し、ロボットを移動させる走行部であり、ユニット化された複数台を搭載可能。
3	塩化物イオン量	コンクリート中の鋼材腐食環境を判定するために用いられる。土木学会による指標では、鋼材付近の塩化物イオン量が1.2~2.4kg/m ³ で腐食が開始するといわれている。
4	カウリング	本体部を覆うカバー。また風の影響を減らす働きをする。
5	コンクリートの塩害	コンクリート表面に付着した塩量は次第に内部に浸透して、鋼材付近の塩化物イオン量が一定値を超えると、鋼材は腐食環境下となる。腐食によって生じた錆は体積を増し、その膨張圧

番号	用語名	説明
		によってコンクリートにひび割れを生じ、鉄筋との付着力低下、かぶりコンクリートの浮き・はく離、鉄筋断面の減少を招き、構造物の耐荷力や安全性が低下する。
6	三次元モデル	3DCG ソフトウェアを使用し、3次元において作成された立体データ。平成 28 年度策定予定の国交省の「CIM 導入ガイドライン」の CIM (Construction Information Modeling) により 3次元モデルの作成・活用を促進。
7	写真撮影(画像解析)	コンクリート構造物のひび割れ等のデジタル画像を撮影し、コンピュータによる画像解析によりひび割れ等を計測する方法。
8	真空吸着式パッド	ロボットALPに備えられ、壁面に吸着する吸着ユニットのパッド。パッドは吸着部に真空室を設け凹凸不整面に吸着可能。
9	打音検査	コンクリート表面をハンマー等で打撃し、その反射音により、構造物のうきや内部状況を点検する方法。
10	電磁波レーダ	パルス電磁波をアンテナからコンクリート表面に向けて放射すると、その電磁波がコンクリートと電氣的性質の異なる物質(鉄筋や空洞等)の境界面で反射され受信される。送信から受信までの時間から、反射物体までの距離を測定し、構造物の内部状況を点検する非破壊検査の一手法。
11	偏心モーメント	垂直面に吸着し走行するロボットの吸着支持点の変化、吸着姿勢の変化により発生する壁面からロボットを引き剥がそうとする力のモーメント。
12	マニピュレータ	写真撮影のためのカメラ、打音検査装置、電磁波レーダ等の検査機器を搭載し駆動するための装置。
【③-1-7】可変構成型水中調査用ロボットの研究開発/(株)キュー・アイコンソ		
1	ROV	遠隔操作型の無人潜水機(ロボット)。
2	クリアサイト	カメラと撮影対象物の間に設置することで、濁った水の中でも良好な視界を得るためのもの。
【③-1-8】河川点検を効率化・高度化するフロートロボットの研究開発/朝日航洋(株)		
1	GCP	Ground Control Point の略。人工衛星画像の正確な位置関係を調べるために測定する地上の点。

番号	用語名	説明
2	GIS	Geographic Information System、地理情報システムのこと。
3	GPS	Global Positioning System。上空にある数個の衛星からの信号を GPS 受信機で受け取り、受信者が自身の現在位置を知るシステム。
4	UAV	Unmanned Aerial Vehicle。無人航空機一般を総称して UAV と呼ぶ。
5	Structure form Motion(SfM)	撮影対象をカメラの視点を変えながら撮影した複数枚の画像から、その対象の 3 次元形状と撮影したカメラの位置を同時に復元する手法。
6	オルソ画像	ラジコンヘリ、航空機、人工衛星等から撮影された空中写真に対し、正射投影によりその歪みを補正した画像をオルソ画像と呼ぶ。地形図と同様に利用でき、GIS の背景データとして使用可能。
7	火山噴火後の土石流災害	火山噴火に伴い生じる降灰は一般的に細粒分を多く含み地上に堆積した場合、降雨に対する浸透能を低下させることで土石流の発生確率を増加させる。
8	含水率	物質に含まれる水分の割合を示したもの。重量基準と体積基準の含水率があるが、単純に含水率と呼ぶ場合は、重量含水率を示す。
9	クアッドコプター	4 枚のプロペラ(ローター)により無人飛行する小型航空機。
10	スカイクレーン方式	UAV を減速させながら降下させ、ケーブルで吊り下げたデバイスを地上に接地させる方式。
11	鳥瞰図	地図の技法および図法の一つで、上空から斜めに見下ろしたような形式。
12	テザー	ケーブルのこと。ここでは、マルチロータ機とデバイスを繋ぐために利用。
13	テレメトリ	観測対象から離れた地点から様々な観測を行い、そのデータを取得する技術。ここでは、飛行ロボットの位置や姿勢等の情報をオペレータに送信する技術を指す。

番号	用語名	説明
1 4	透水性	土などの物質が水を通す性質のこと。通しやすさを示す値として透水係数が用いられる。
1 5	二次元氾濫 計算	解析範囲を 2 次元格子(メッシュ)に分割し、メッシュ間で計算を行い氾濫範囲や流動深を推定する手法。
1 6	無人マルチ ロータ機	複数(マルチ)のプロペラ(ローター)により無人飛行する小型航空機。
1 7	リアルタイム	実時間。ここでは、日オーダーで更新するデータベースをリアルタイムデータベースと定義。
【③-(1)-10】災害調査用地上／空中複合型ロボットシステムの研究開発/(株)日立製作所コンソ		
1	係留型ヘリシステム	人の立ち入りが困難な災害現場に対し、空中に長時間ホバリングして災害現場を定点監視する、また無線中継等を行うために開発した、陸上の無人車両及び有線給電可能なマルチコプターから構成されるシステム。
2	災害情報 データベース	各機器からの情報を集約し一元管理するシステム。災害情報を 3 次元的に可視化したり、定量的に確認したりするためのシステムで、GIS に重量可能な標準フォーマットとして蓄積することにより、防災関連組織が保有する GIS をベースとした防災システムで災害現場の情報共有が容易に行える機能を提供可能。
3	地すべり検知 システム	無線中継機能、GPS、加速度センサ、気圧・温度センサ等を搭載した地すべり検知ノードをマルチコプターより複数災害現場に投下し、土石流発生等をリアルタイムに情報収集可能なシステム。既存の崩壊検知センサー、ワイヤーセンサー等の置き換えとして有効な手段。
4	吊り下げ式電 磁探査システム	地下 10m 程度の比抵抗率(電気伝導度)を計測可能な電磁探査センサ及びセンサ吊り下げ用マルチコプターから構成され、災害現場をセンサ吊り下げにより走査することで、埋没した車両の検出、土壌の含水率等の推測が可能なシステム。
5	不整地踏破 アーム付無人 調査車両	災害現場における不整地移動、不整地踏破アームを活用した作業(現場での土壌サンプリング、移動路の造成等)を目的に、市販のミニショベルを遠隔操作化した車両。

番号	用語名	説明
6	無人調査プラットフォーム車両	人の立ち入りが困難な災害現場に対し、半自律的な制御を伴う遠隔操作により不整地や斜面等を移動して現場に接近し、現場の状況や地形、地質の情報を直接得ることが可能なロボット車両。無人調査プラットフォーム車両として、CRoSDI (Crawler Robot System for Disaster Investigation)を開発。
7	無人調査プラットフォームヘリシステム	人の立ち入りが困難な災害現場に対し、空中飛行で接近、または高い位置からの観測によって、現場の状況や地形、地質の情報を得ることが可能なマルチコプターを利用したプラットフォームヘリシステム。

【③-1-11】遠隔搭乗操作によるマルチクローラ型無人調査ロボットの研究開発/(株)大林組コンソ

1	N値	重さ 63.5kg のハンマーを 75cm の高さから自由落下させて、サンプラーが 30cm 地面に貫入するのに必要な打撃回数。
2	TORSOロボット	人の上半身の動きとリンクする 6 自由度ロボットの頭部に、人間の目と同等にステレオカメラを配置し、ヘッドマウントディスプレイ上に映像を投影。
3	コーン指数	コーンペネトロメーターを土中に押し込む際の貫入抵抗力度。
4	スウェーデン式サウンディング試験	1KN のおもりの荷重と、回転によるロッドと土の貫入抵抗を測定し、その硬軟と地盤の締まりを判定する原位置試験。
5	スループット	通信回線の単位時間あたりの実効通信速度。
6	レイグジスタンス	遠隔地にある物(あるいは人)が、あたかも近くにあるかのように感じながら、操作などをリアルタイムに行う環境を構築する技術およびその体系。
7	トラバース機構	クローラを走行装置本体に対しロールさせ、スキーの斜滑走のようにエッジを山側へ立てることによって、斜面横断走行を可能とする機構。
8	パッチアンテナ	平面アンテナのひとつで、指向性を高めたアンテナ。
9	マルチクローラ	メインクローラ(履帯)の前後に、サブクローラを備えた走行装置。

【③-1-12】引火性ガス雰囲気内探査ロボットの研究開発/三菱重工業(株)

番号	用語名	説明
1	ATEX	爆発可能性のある雰囲気中で使用する機器に対する安全(防爆)に関する指令。EC(欧州共同体)指令 94/9/EG により、CE マーキング適合指令の一つとして、2003 年 7 月より「強制(compulsory)」となった。
2	BMS	Battery Management System の略で、リチウムイオン電池の各セルの電圧やモジュール温度を測定し、リチウムイオン電池を監視・制御(保護)する装置。充・放電時の過充電、過放電の検出のほか、各セル間の電圧バランスを維持する機能も有する。
3	Ex px d II B +H2 T4 Gb	Ex: 防爆構造の表示(国際整合防爆指針) Px: 内圧防爆構造 d: 耐圧防爆構造 II B+H2: 電気機器の分類されたグループ(分類 B の可燃性ガス、蒸気および H2 に適用) T4: 整合指針による温度等級(電気機器の最高表面温度 135℃以下) Gb: 機器保護レベル(Equipment protection level)。通常運転及び頻繁に発生する外乱ともに適する、又は、不具合(障害)発生を通常は考慮している機器。危険場所ゾーン 1 およびゾーン 2 において機能を維持。
4	オドメトリ	車輪型移動ロボットにおける車輪やステアリングの回転角度の計算からそれぞれの移動量を求め、その累積計算からロボットの位置を推定する手法。
5	クローラ	複数枚のリンクを鎖状につないで外周に履板を取り付けた構造、又は環状のベルト等をスプロケットホイールで支持して順次、送り出すことによって移動を可能とする機構。
6	国際整合防爆指針(Ex2015)	電気機械器具防爆構造規格第 5 条に基づく型式検定の基準。国際電気標準会議(IEC)の発行した国際規格(IEC60079 シリーズ)に整合。
7	産業安全技術協会	労働安全衛生法令で定める機械等の検定業務や JIS 基準による安全性能試験業務及び機械等の認定業務を行う。公益社団法人。
8	耐圧防爆構造	全閉構造の容器内部で可燃ガスの爆発が起こった場合に、容器がその圧力に耐えて、外部の爆発性ガスに引火するおそれのない構造。
9	内圧防爆構造	容器内の保護ガスを外部の気圧より高めて維持するものと、容器内のガスの濃度を爆発限界より低いレベルにすることによって防爆性能を確保する2通りの防爆構造方式。

番号	用語名	説明
10	防爆型式検定	検定申請品の規格への適合性並びに製造及び検査設備等を有するか否かを確認するために、労働安全衛生法第44条の2(型式検定)の定めるところにより、機械等検定規則(昭和47年、労働省令第45号)に基づいて行われる検定。
【③-②】超小型 X 線及び中性子センサを用いたインフラ維持管理用非破壊検査装置開発/日立パワーソリューションズコンソ		
1	CdTe検出器	テルル化カドミウム(CdTe)の半導体素子を用いたX線検出器。半導体検出器は、X線を直接信号に変換するので、質の高い画像が得られる。CdTeは他の半導体に比べて実効原子番号が大きく、高エネルギーX線を検出しやすい。
2	X線非破壊検査	一般的には、X線源から放出されるX線を被検体を透過させて、X線透過イメージを得る方法。
3	X線管の管電圧	管電圧が高いほど透過能力の高いX線を発生できる。医療用では数十～120kV程度の管電圧が一般的だが、数cm厚の鉄構造物をイメージングするには200kV以上の管電圧が必要。
4	隔壁シンチレータX線検出器	X線が入ると光を出すシンチレータ式の検出器は、CdTeなどの半導体式の検出器に比べて大面積化が容易であるが、高エネルギーX線を検出するためシンチレータの厚さを厚くすると、光が拡がって得られる画像の質が低下するという問題があった。本プロジェクトでは、この光の拡がりを抑えるた隔壁を設けたシンチレータ式の高エネルギーX線対応大面積検出器を開発。
5	カーボンナノ構造体冷陰極電子源	電子をターゲットに入射することによりX線を発生するが、これまで電子ビームは電子源(陰極)にフィラメントやヒーターを用いて発生するのが一般的。しかし、バッテリーで高出力のX線を発生しようとする、フィラメントやヒーターの電力が問題となることから、本プロジェクトではこれらが不要な冷陰極の電子源を使ったX線管を開発。
6	シンチレータ式中性子検出器	中性子が入ると発光するシンチレータを用いた中性子検出器。
7	中性子水分センサ	中性子は水素などの軽元素に散乱されやすいという性質を利用して、散乱中性子の強度を計測することにより配管保温材等の水分の含水率を計測できる計測技術。

番号	用語名	説明
8	ヘリウム3中性子検出器	ヘリウム3が中性子との相互作用が強いことを利用して中性子を検出する方式。中性子の検出器として優れているが、ヘリウム3の資源の枯渇が心配されており、代替の検出器開発が望まれている。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

(a) 事業実施の背景と事業の目的

高度経済成長期以降に整備されたインフラのうち、社会インフラは、今後 20 年で建設後 50 年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなる。これは、石油精製プラント、化学プラント、鉄鋼所などの産業インフラも同様である。適切な維持管理が行われないことにより、インフラの崩壊や機能不全が発生し、人命や社会に影響を及ぼす危惧が高まっている。また、我が国のインフラの維持管理・更新に対する課題は以下に集約されると考えられる。

(1) 維持管理・更新に対する財政問題

今後、維持管理・更新に従来どおりの支出を行うと仮定すると、2037 年度には現在のレベルの投資総額を上回り、2011 年度から 2060 年度までの 50 年間に必要な更新費(約 190 兆円)のうち、約 30 兆円(全体約 16%)の更新ができなくなる。

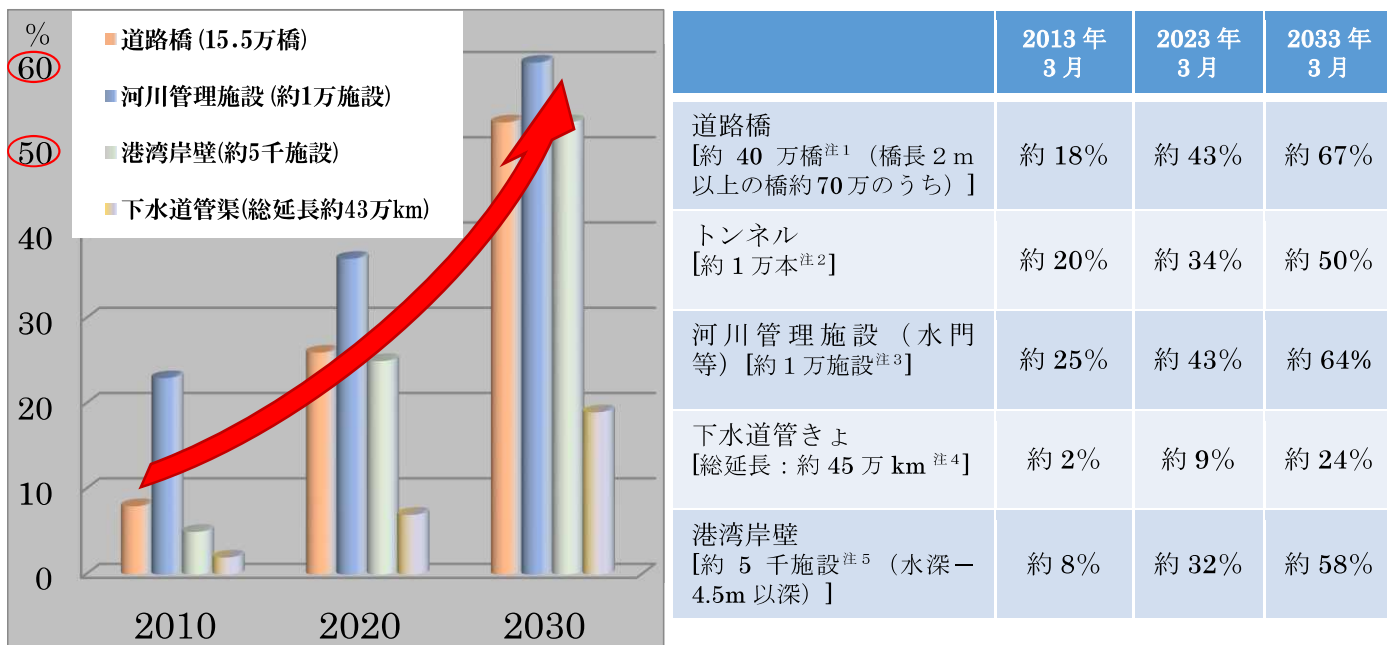
(2) 維持管理の人材・技術不足

維持管理の技術者の高齢化が著しく、一定レベルの知見を有する技術者が不足している。また、共用年数の長い施設に関する知見が不足し、維持管理に必要な技術が不十分である。

また、我が国の主要なインフラでは、数年毎に定期点検を実施しているが、定期点検間の急激な劣化進行等の異常の把握は、人材の確保及び人件費の削減により困難である。加えて、定期点検時においても目視点検が困難な箇所も存在する。さらに、災害時においては、緊急点検に時間を要し、迅速な復旧が困難であるといった課題もある。

世界の取組状況として、米国では、1960 年代後半から橋の事故が続発した。70 年代はじめに、全ての道路橋に2年に1度の点検を義務化しており、現在は、毎年約 30 万の橋の点検のために 1,000 億円を超える予算を連邦政府が支出しているが、費用面・検査時間・人材面などにおいて課題がある。また、欧州においても建設後 50 年を経過したインフラが多数存在するとみられており、同様な課題がある。中国では、新規のインフラを中心にモニタリングが進みつつある。

本プロジェクトでは、既存インフラの状態に応じて効果的かつ効率的な維持管理・更新等を図るため、的確にインフラの状態を把握できるモニタリングシステムの技術開発及び維持管理を行うロボットの技術開発を行い、インフラの維持管理・更新等における財政問題及び人材・技術不足の解決に寄与する。



図表 1-1a-1 建設後 50 年以上経過するインフラ施設の割合(平成 24、25 年度国土交通白書)

- 注 1 : 建設年度不明橋梁の約 30 万橋については、割合の算出にあたり除いている。
 注 2 : 建設年度不明トンネルの約 250 本については、割合の算出にあたり除いている。
 注 3 : 国管理の施設のみ。建設年度が不明な約 1,000 施設を含む。(50 年以内に整備された施設についてはおおむね記録が存在していることから、建設年度が不明な施設は約 50 年以上経過した施設として整理している。)
 注 4 : 建設年度が不明な約 1 万 5 千 km を含む。(30 年以内に布設された管きよについては概ね記録が存在していることから、建設年度が不明な施設は約 30 年以上経過した施設として整理し、記録が確認できる経過年数毎の整備延長割合により不明な施設の整備延長を按分し、計上している。)
 注 5 : 建設年度不明岸壁の約 100 施設については、割合の算出にあたり除いている。

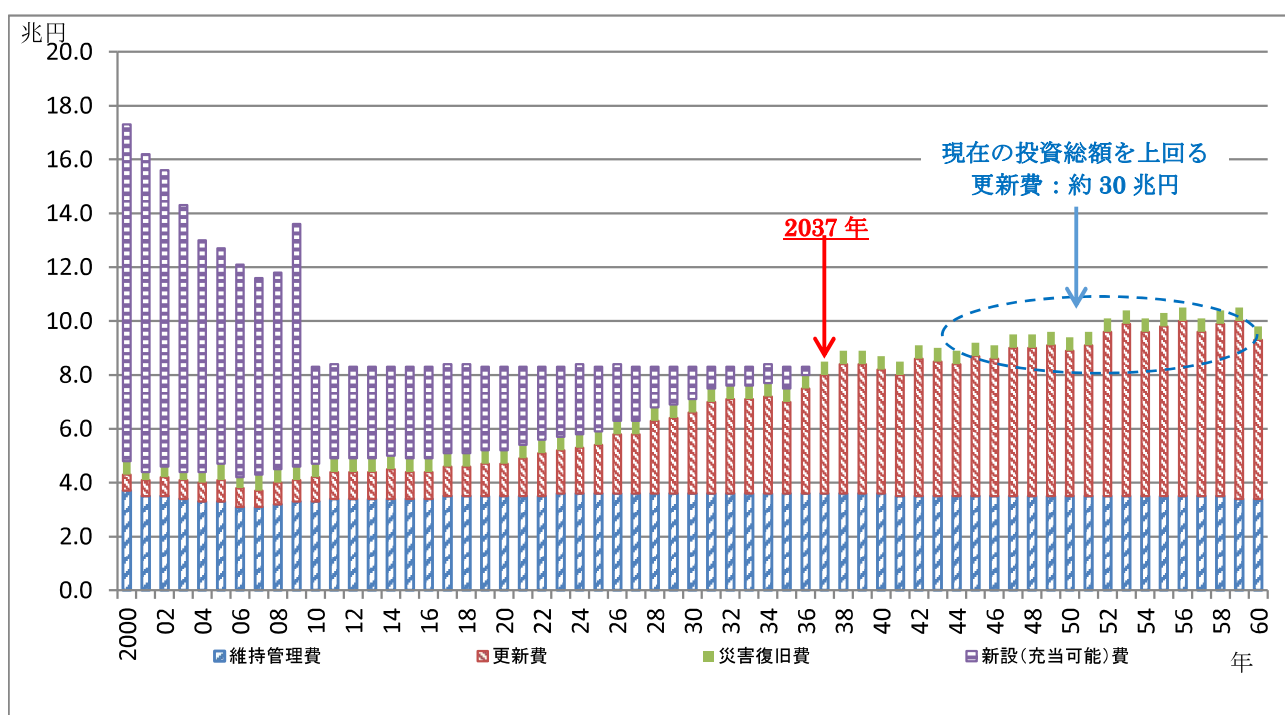


図 1-1a-2 従来通りの維持管理・更新した場合の投資総額の推計(平成 23 年度国土交通省白書)

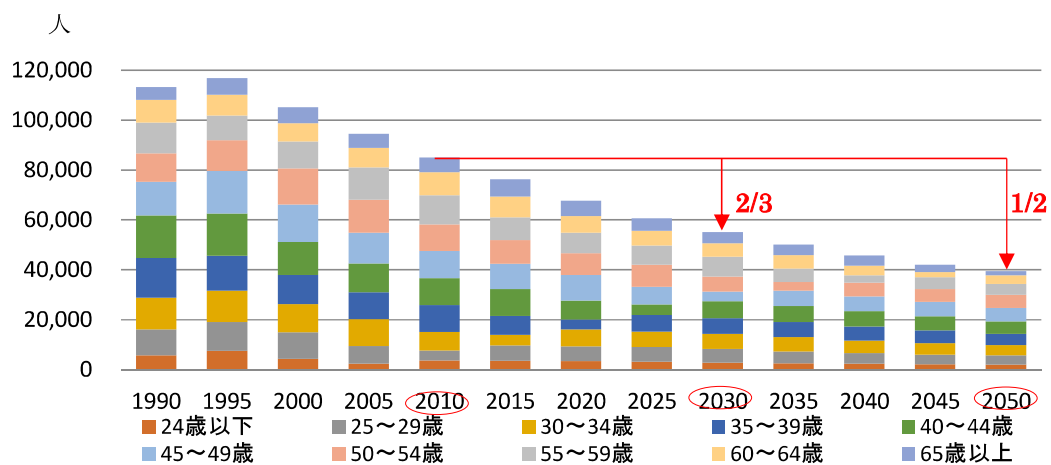


図 1-1a-3 公務部門における維持管理技術者・作業員数の推計

(出典) 総務省「国勢調査報告」、国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口 (平成 18 年 12 月推計)」における出生中位(死亡中位)推計

(b) 政策的位置付け

本プロジェクトの取組みであるインフラ維持・管理については、「日本再興戦略(平成25年6月14日閣議決定)」、「科学技術イノベーション総合戦略(平成25年6月7日閣議決定)」、「世界最先端IT国家創造宣言(平成25年6月14日閣議決定)」等の政策の中でその重要性及び必要性が位置づけられており、詳細は以下のとおり。

■日本再興戦略(抜粋)【平成25年6月14日 閣議決定】

テーマ3:安全・便利で経済的な次世代インフラの構築

(1) 2030年の在るべき姿

インフラを、経済社会活動の礎となる機能を発揮する社会的な資産と捉え、最先端の技術と蓄積したデータを賢く利用することにより、財政規律に資するコスト削減を図りつつ、その機能が恒常的に発揮され、時代の変化に対応して安全性・利便性が向上していく環境を実現する。

その中で、世界最先端の技術力を有するセンサーやロボットなどのデバイス・システム技術や宇宙インフラによる測位・観測技術、データ管理・活用技術などが駆使され、世界共通の課題であるインフラ老朽化問題対策のフロントランナーの地位を築く。

このため、次の2つの社会像の実現を目指す。

- ① 安全で強靱なインフラが低コストで実現されている社会
- ② ヒトやモノが安全・快適に移動することのできる社会

これにより、世界に先駆けて次世代のインフラを社会実装できる環境が整えられ、世界中から技術や投資が集まることにより、国内でのインフラ環境の改善及び日本のインフラビジネスの競争力強化の好循環を実現させる。

(2) 個別の社会像と実現に向けた取組

- ① 安全で強靱なインフラが低コストで実現されている社会

I) 社会像と現状の問題点

センサーやロボット、非破壊検査技術等の活用により、生活インフラ、公共インフラ、産業インフラといった様々なインフラの損傷度等をデータとして把握・蓄積・活用することにより、早期の異常検知により事故を未然に防ぎ、最適な時期に最小限のコストによる補修によってトータルライフサイクルコストが最小化されている社会を実現する。

II) 解決の方向性と戦略分野(市場・産業)及び当面の主要施策

○IT等を活用したインフラ点検・診断システムの構築

センサーやロボット、非破壊検査技術等による点検・補修の信頼性・経済性が実証できたところから、順次、これらの新技術を導入する。(中略)モニタリング技術の高度化、ロボットによる点検・補修技術の開発等により、効率的・効果的なインフラ維持管理・更新を実現する。

安全で強靱なインフラが低コストで実現されている社会

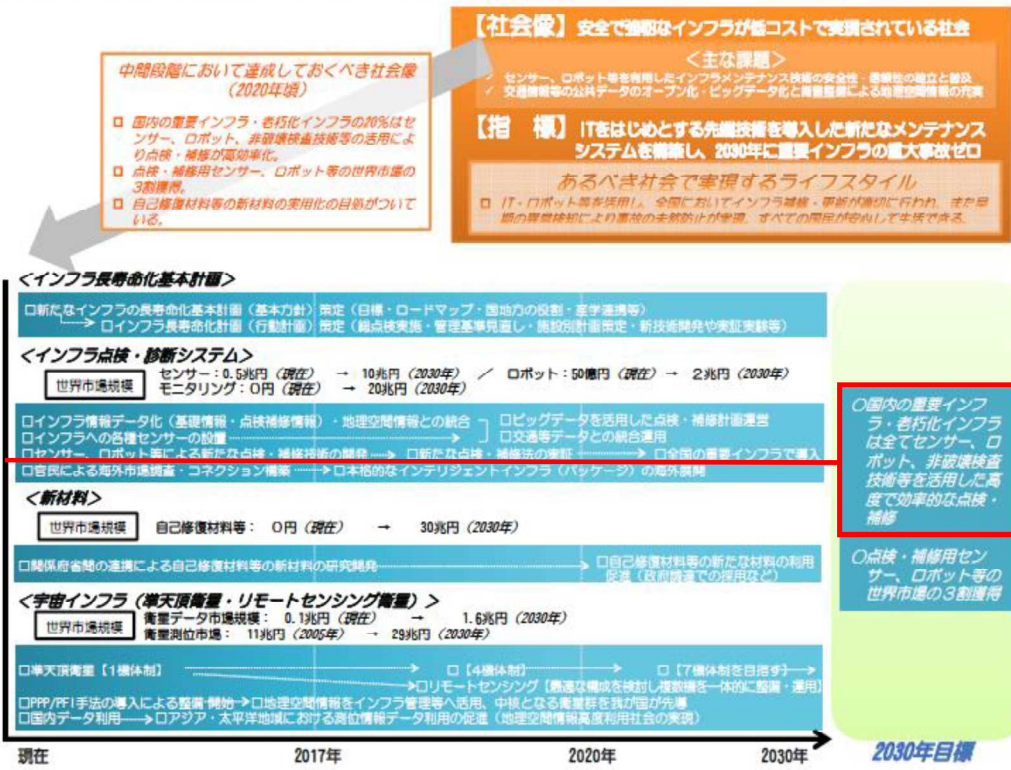


図 1-1b-1 戦略市場創造プラン（日本再興戦略から抜粋）

■日本再興戦略 2016(抜粋)【平成26年6月2日 閣議決定】

8. ものづくり産業革命の実現

i) ロボットによる新たな産業革命の実現

■適切な性能や安全性を備えたロボット開発のため、ロボットテストフィールドにおいて、物流、インフラ点検、災害対策の分野を対象に、ロボットメーカー、ユーザー、学識経験者等から成る検討チームを組織し、本年度から、分野ごとに求められるロボットの性能や操作技術等に関する国際標準を見据えた評価基準やその検証方法の研究開発を開始する。

Ⅲ. 世界に先駆けた次世代インフラの整備

1. 基本的認識

人口減少や少子高齢化、産業構造の変容、大規模自然災害への備えなど、我が国を取り巻く社会環境は急速に変化しており、必要とされるインフラ需要も質的に大きく変化しつつある。また、高度経済成長期に整備されたインフラが一斉に更新期を迎え、今後、多額の維持補修・更新に係る投資需要が発生することが想定されるが、財政状況の悪化により、公的部門のインフラ供給余力が低下している。

2. 重点的に取り組むべき課題

近年の財政状況の中でインフラの老朽化対策を進めるには、維持管理・更新にかかる費用の低コスト化を図るとともに、確認困難な箇所等も的確に点検・診断し対処することでインフラの信頼度を高める必要がある。このため、「インフラの安全・安心の確保」を重点的課題として設定する。

3. 重点的取組

(1) 効果的かつ効率的なインフラ維持管理・更新の実現

①取組の内容

この取組では、効果的、効率的に構造物の劣化・損傷等を点検・診断する技術やインフラを補修・更新する技術、インフラの構造材料の耐久性を向上させる技術等の開発を推進する。この取組により、災害時対応や確認困難な箇所等の対応が安全かつ適切に行えるようになるほか、近年進むインフラ老朽化にもコスト・安全性のバランスを鑑みて戦略的に対処することが可能となり、長期にわたり安心してインフラを利用できる社会を目指す。

「Ⅲ. 世界に先駆けた次世代インフラの整備」の課題と取組の例

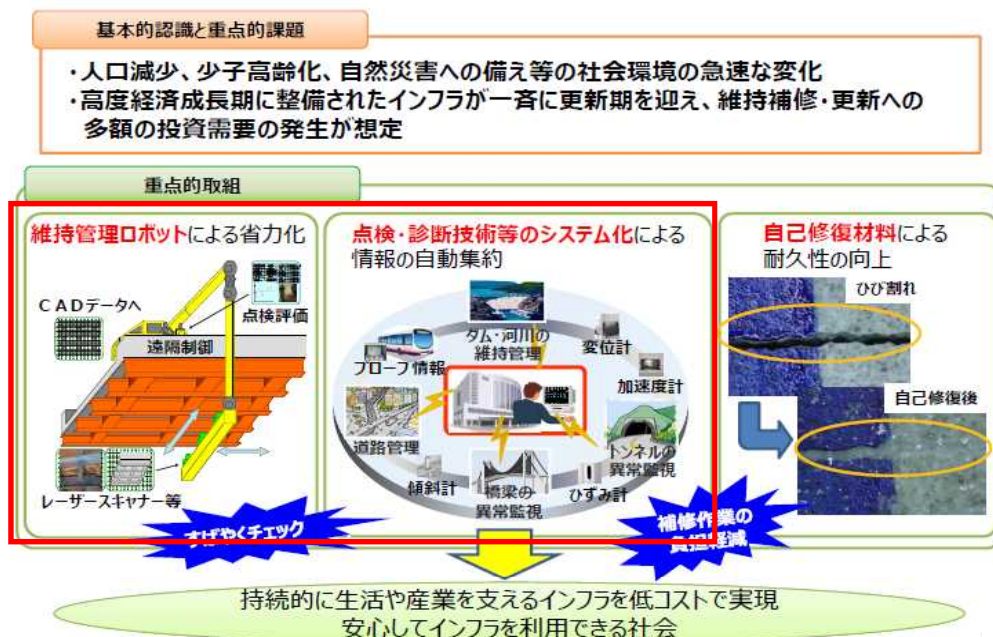


図 1-1b-2 科学技術イノベーション総合戦略(概要)から抜粋

■世界最先端 IT 国家創造宣言(抜粋)【平成25年6月14日 閣議決定】

2. 健康で安心して快適に生活できる、世界一安全で災害に強い社会

(2) 世界一安全で災害に強い社会の実現

センサー、ロボット、非破壊検査等の技術も活用することにより、社会インフラの実態を正確に把握・蓄積し、それらを活用することにより、社会インフラを安全により長く利用できることにつなげ、世界で最も安全で経済的な社会インフラを実現する。

② IT 利活用による世界一安全で経済的な社会インフラの実現

劣化・損傷個所の早期発見、維持管理業務の効率化につながるセンサー、ロボット、非破壊検査等の技術の研究開発・導入を推進する。研究開発に当たっては、開発された技術が現場での導入につながるよう、ニーズや信頼性、経済性に十分配慮するなど、将来的な普及促進を見据えた研究開発を行う。

実施スケジュール (2. 健康で安心して快適に生活できる、世界一安全で災害に強い社会)

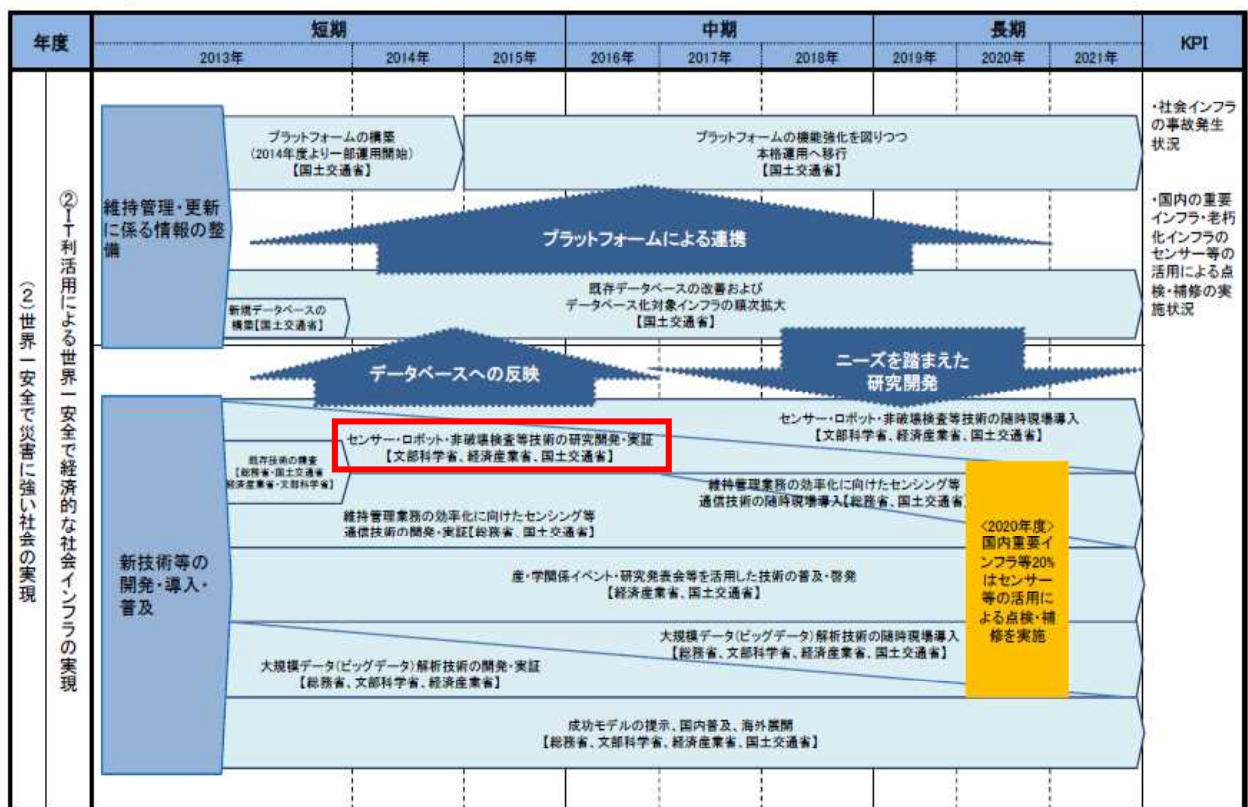


図 1-1b-3 世界最先端 IT 国家創造宣言工程表から抜粋

第4節 インフラ・災害対応・建設分野

②インフラ(維持管理)

昭和 30 年代からの高度経済成長期に集中的に整備された社会資本が急速に老朽化してきており、今後、維持管理・更新の作業とこれにかかる費用の増加が予測されている。

また、産業インフラを含めて我が国のインフラ全体について、点検、診断、補修、更新等に必要技術者不足が懸念されていることから、省力化が期待されている。

③災害対応

日本の国土は世界的に見て非常に地震・火山噴火などの災害が発生しやすい地域にある。世界で発生するマグニチュード6以上の地震のうち2割が日本で発生している。活火山数は世界全体の約7%が日本に集中している。

また、気象的に見ても梅雨や台風が毎年襲来し、地形も急峻であるために、風水害や土砂災害が毎年発生している。

さらに、近年では、東日本大震災はもちろん、昨年1年間だけでも、御嶽山や阿蘇山の噴火や、台風、梅雨前線による浸水・土砂災害で死者が発生する被害が全国各地で多発している状況。

このような状況のもと、被災直後の調査や応急対策を迅速化することで、二次災害被害の軽減、早期の復旧・復興に資することが期待されている。

一方、災害発生後の、応急復旧等を行う際にも2次災害発生リスクが非常に高く安全性を確保した中での作業が求められる。

(3) ロボット活用を推進すべき分野(重点分野)

② インフラ(維持管理)

厳しい財政状況への対応及び今後懸念される点検、診断、補修等への技術者不足については、研修等による技術者の育成のほか、維持管理用ロボット技術の導入により、維持管理の効率化・高度化を支援することにより対応する。

③ 災害対応

被災直後の調査や応急対策の迅速化に対しては、災害調査ロボットによる被災状況把握の迅速化及び無人化施工の施工効率向上や高い安全性の確保により対応する。

ロボット新戦略(アクションプラン)(平成27年1月23日 ロボット革命実現会議)

インフラ・災害対応・建設

就業者数の減少・高齢化により、深刻な労働力不足に直面する可能性

重点分野

- ✓建設現場の省力化、作業の自動化により、中長期的な担い手不足に対応
- ✓インフラの目視点検等にロボットを活用することで、技術者による維持管理を効率化・高度化
- ✓災害調査ロボットによる被災状況把握の迅速化、土砂災害現場等における無人化施工の施工効率向上

2020年に目指すべき姿

- ◆生産性向上や省力化に資する情報化施工技術の普及率3割
- ◆国内の重要・老朽化インフラの20%はセンサー、ロボット、非破壊検査技術等の活用により点検・補修を効率化
- ◆土砂崩落や火山等の過酷な災害現場においても有人施工と比べて遜色ない施工効率を実現

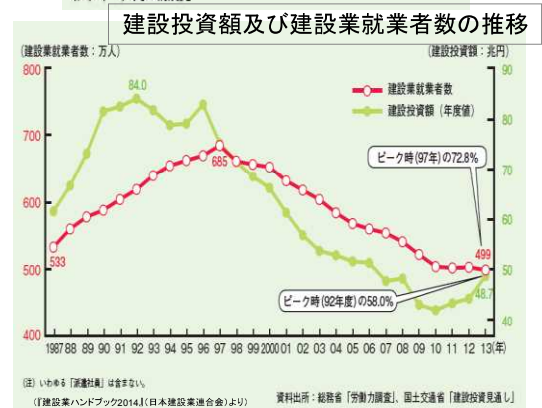
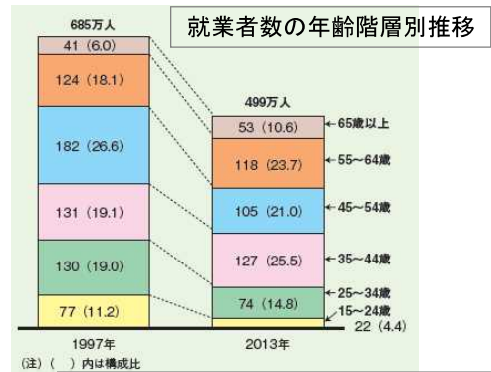


図 1-1b-4 ロボット新戦略アクションプラン(ロボット新戦略のポイントから抜粋)

(c) 国内外の研究開発の動向と比較

世界の取り組み状況としては、米国では、1960年代後半から橋の事故が続発した。ミネソタ州では、2007年にミネアポリスの州間道路35号線(I-35W)の橋梁が落橋し、13名が死亡、145名が重軽傷を負う事故が発生した。事故後、調査を行った米国国歌交通安全委員会は、事故の原因がガゼットプレートの設計ミスであるとし、ガゼットプレートの歪曲が橋梁点検の対象となっていないこと等が過大であると指摘している。この事故を受けて、交通省連邦道路局や崩落事故が発生したミネソタ州をはじめとする米国各州は、橋梁・構造物に関する点検・維持管理に関するマニュアル等の見直しを図り、点検の効率化を図っている。

また、70年代はじめには、全ての道路橋に2年に1度の点検を義務化しており、現在は、毎年約30万の橋の点検のために1,000億円を超える予算を連邦政府が支出しており、費用面、検査時間及び人材面などにおいて課題がある。

欧州においても、建設後50年を経過したインフラが多数存在するとみられており、同様な課題がある。中国では、新規のインフラを中心にモニタリングが進みつつある。

(d) 他事業との関係

戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)は、総合科学技術・イノベーション会議が司令塔となり、府省の枠や旧来の分野の枠を超えたマネジメントに主導的な役割を果たすことを通じて、科学技術イノベーションを実現するために新たに創設するプログラムである。第1期 11 開発テーマのうち、「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術(2014 年度～2018 年度)」(以降、SIP インフラ)では、インフラ事故の未然防止とライフサイクルコストの最小化を実現するための、新技術を活用したインフラマネジメントシステムの確立を目指している。

本プロジェクトと同様に、インフラの高齢化の中で老朽化が進むことを課題とし、2012 年の笹子トンネル事故のような重大な事故リスクの顕在化や、維持修繕費の増大が懸念されていること、厳しい財政状況が続き、熟練技術者が減少していることを社会課題として捉えて対応策を開発している。

一方、SIP インフラでは、メンテナンスサイクルの正確性、効率性を高めること、余寿命予測技術、インフラに関わるビックデータに対する AI 技術の応用技術などをベースに、予防保全の精度を段階に高めることに注力している。

全体としては、以下の 5 項目を研究開発項目とした総合的なインフラマネジメントシステムの構築を目指している。

- (1)点検・モニタリング・診断技術
- (2)構造材料・劣化機構・補修・補強技術
- (3)情報・通信技術
- (4)ロボット技術
- (5)アセットマネジメント技術

さらに、インフラ維持管理における問題点を地域特性とつなげる形で地域大学を中心としたチームがまとめ、地域特性を考慮したアセットマネジメントシステムを構築する活動などを行っている。

研究開発項目には、本プロジェクトと同じくロボット技術も含んでいるが、本プロジェクトは早期の運用を目指し、実用的技術の構築と実証による技術熟成を狙ったもの出ることに対し、SIP インフラでは、検査・分析・技術蓄積を含めた統合的管理を指向し、打音解析技術などの挑戦的技術開発を含めた次世代維持管理技術の構築を狙ったものである。

(2) NEDOの事業としての妥当性

(a) 事業の概要

本プロジェクトの目的は、対象とする社会インフラの状態に応じて効果的かつ効率的な維持管理・更新等を行うために、的確に構造物の状態を把握できるモニタリングシステムの技術を開発することと、維持管理を行うロボット技術や非破壊検査装置の技術開発を行うことで、社会インフラの維持管理・更新などで問題となっている財政や人材・技術不足の解決に貢献することである。

また、ロボットは災害現場での活躍も見込まれている。日本では地理的に地震・火山噴火などの自然災害が多く発生する。危険防止のため人の立ち入りが禁止されている等アクセス困難な箇所へも災害調査ロボットであれば的確かつ迅速に移動できる。ロボットを用いることで、被災状況を素早く把握することが可能となり、それにより迅速に対処計画を

策定することが可能となる

本プロジェクトでは、このような諸課題に対応するために、図 1-2a-1 に示す 3 つの研究開発項目を設定した。

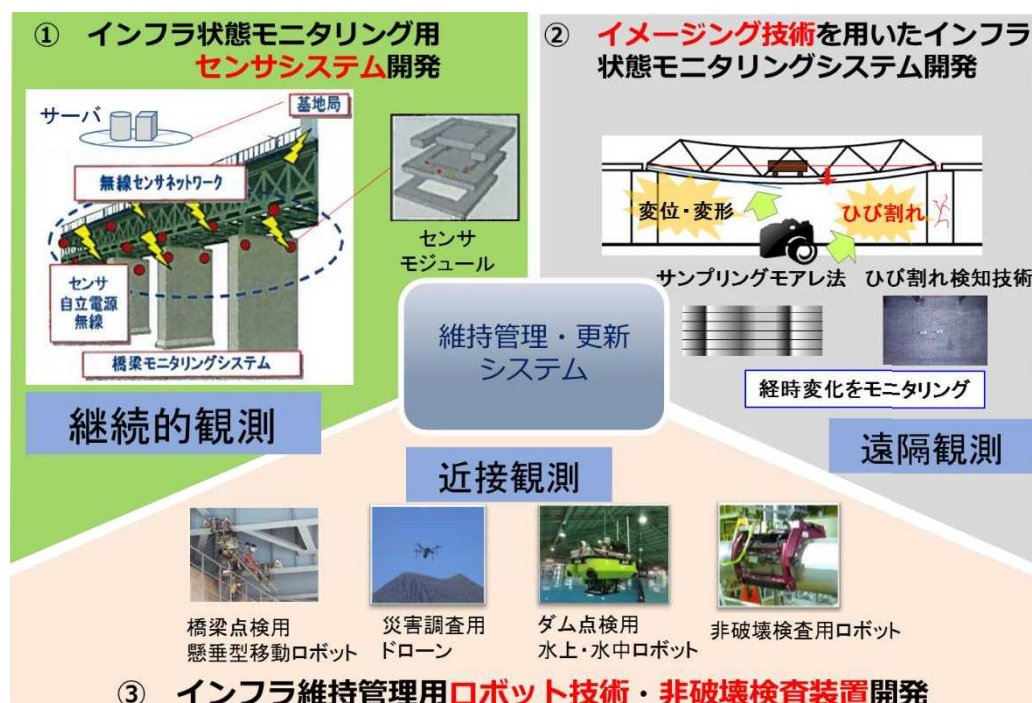


図 1-2a-1 本プロジェクトを構成する 3 つの研究開発項目

研究開発項目① インフラ状態モニタリング用センサシステム開発 (2014-2018 年度)

インフラ構造物及びその構成部材の状態を常時・継続的・網羅的に把握するため、主として MEMS 技術に基づくセンサシステム開発、および、そのセンサシステムを用いたセンサネットワークシステムについて研究開発実施者 5 団体により 11 技術を開発した。

橋梁等のインフラ構造物に取付したセンサシステムによりインフラ構造物を継続的に観察し、状態を把握する技術を開発した。MEMS 技術の開発と利用により、広帯域の振動センサによるモニタリングシステム等の従来にないシステムを開発することを目的としている。インフラ構造物に容易に取り付けるために手のひらに乗るサイズと重量のセンサ端末を開発し、10 年間ノーメンテナンスで情報取得するため、無線送信可能で、自己発電により電源を賄う意欲的な目標を設定している。

まず、インフラ構造物及びその構成部材の健全度を診断するための振動、変位等を計測でき、安定な接続性と信頼性がある無線通信機能を搭載したセンサ端末を開発した。これらのセンサ端末を駆動させるため、光等の環境エネルギーを利用して発電する長寿命で高効率な発電・蓄電一体型自立電源、長期耐久性や信頼性を確保するためのパッケージング技術等も開発した。これらの開発システム・装置を実現場に適用し、有用性や信頼性を確認した。実証実験において改善点または不具合が確認された場合は適宜開発品にフィードバックし、実用的なシステム・装置をつくりあげた。また、インフラ構造物の状況を常時・継続的・網羅的に把握するセンサシステム及びセンサネットワークシステムの社会実装研究を行った(図 1-2a-2)。さらに、開発したセンサシステムを、長大橋、発電所、石油プラント等の大規模インフラに適用し、有用性の確認、改善を行った。加えて、

これら大規模インフラを含む社会インフラに開発システムを適用することで期待されるインフラ長寿命化による省エネ効果を検証した。

研究開発項目② イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発 (2014-2018年度)

インフラ構造物のコンクリート面の撮影写真などから高精度に完全自動でひび割れ等を検出できるデータ処理手法、および、遠方から撮影した画像からインフラ構造物の全体の変形挙動や応力集中箇所の局所的な変形分布を簡易に把握できるイメージング技術について、以下の2 課題を開発テーマとし2技術を開発した。

(a) 橋梁、トンネル、道路、プラント等のインフラ構造物を対象として、インフラ構造物をカメラで撮影し、取得した画像をデータ処理することにより、構成部材のひび割れ等を検出し、損傷を把握できるデータ処理技術を開発した。具体的には、近年技術発展が著しい機械学習の技術を利用して、コンクリート壁面を撮影した画像からのひび割れ等を検出できる手法を開発した。

(b) 構造物の全体もしくは広い範囲を遠方からカメラで撮影し、取得した画像をデータ処理することにより、それらインフラ構造物全体の変形挙動や応力集中箇所の局所的な変形分布を容易に把握できるイメージング技術を開発した。カメラの設置に精度が不要でありながら、平面のみならず奥行きもわかる 3D 方向画像解析手法の開発に成功した。これにより、橋梁等のたわみ量などの変形を遠距離から撮影した画像を元に計測可能となった。

実構造物を対象とした実証実験により、有用性や信頼性を確認した。また、開発したシステム・装置を実現場に適用し、実証実験において改善点及び不具合が確認された場合は適宜開発品にフィードバックし、実用的なシステム・装置をつくりあげた。



図 1-2a-2 センサシステム分野及びイメージング技術分野における開発技術

研究開発項目③ インフラ維持管理用ロボット技術および非破壊検査装置開発

インフラ構造物の中で、人間の立入りが困難な箇所へアクセスし、インフラの維持管理に必要な情報を取得できるロボット、ならびに、災害時に危険区域において対処に必要な情報収集を行うシステムを11技術開発した。また、ロボットに搭載可能な、小型の非破壊検査装置について2技術を開発した((ロボット分野は2014-2017年度。非破壊検査装置分野は2014-2018年度)

ロボット分野の事業期間は2014年度～2017年度、非破壊検査は2014年度～2018年度。

2013年12月の「次世代社会インフラ用ロボット開発の重点分野」に基づいて開発テーマを決めており、

ロボット分野では、国土交通省と経済産業省が連携して行った「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」(2013年)で決定された「次世代社会インフラ用ロボット開発の重点分野」に基づき、1)橋梁の維持管理、2)トンネルの維持管理、3)河川およびダムの中中部の維持管理、4)災害状況調査、5)災害への応急復旧の5分野を対象として提案募集した。その結果、橋梁・水中の維持管理用としてインフラ構造物の中で、人間の立入りが困難な箇所へアクセスし、インフラの維持管理に必要な情報を取得できるロボット、ならびに、災害時に危険区域において対処に必要な情報収集を行うシステムを開発した。

インフラ維持管理用非破壊検査装置分野では、高度成長期を中心に大量に整備された社会インフラや産業インフラが老朽化して一斉に更新時期を迎えるのに対し、それらの長寿命化を図るための適切な維持管理が必要とされているが、インフラの構造は総じて大規模であり、ロボットに搭載可能な非破壊検査装置により効率性を確保することが望まれている。これに対応して、産業用インフラ構造物として化学プラントで高所に敷設されている保温材付水平配管を対象とした小型の非破壊検査装置として2技術を開発した。



図 1-2a-3 ロボット分野における開発技術

(b) NEDOが関与する意義

我が国では高度成長期以降に集中的に整備されたインフラが今後一斉に高齢化する。例えば、今後 20 年で、建設後 50 年以上経過する道路橋（橋長2m以上）の割合は現在の約 16%から約 65%となるなど、高齢化の割合は加速度的に増加する。

これらのインフラの中には、建設年度や構造形式等の施設諸元や、劣化や損傷等の老朽化の進展状況など、維持管理に必要な情報が不明な施設も多く存在している。また、維持管理に係る基準やマニュアル等は管理者間でばらつきが存在するほか、国や地方を通じ職員定数の削減が進む中、地方公共団体の中には維持管理を担当する技術職員が不在、若しくは不足している団体も存在するなど、制度や体制についても、我が国全体として十分とは言えないという指摘もある。このような現状に至った背景には、短期間で集中的にインフラ整備を進める必要があったことや、経年劣化や疲労等に伴う損傷はその進行速度が遅く、問題が顕在化するまでに長期間を要するため必要な措置が講じられてこなかったことなどが考えられ、一刻も早く取組を開始する必要がある。

上記の背景を踏まえ、センサやロボット、非破壊検査技術等の活用により、生活インフラ、公共インフラ、産業インフラといった様々なインフラの損傷度等をデータとして把握・蓄積・活用することにより、早期の異常検知により事故を未然に防ぎ、最適な時期に最小限のコストによる補修によってトータルライフサイクルコストが最小化されている社会の実現が望まれる。

他方、現実にはデータを把握するためのセンサの導入が試行的に始まったばかりであり、データの蓄積が進んでいない。また、新技術の安全性・信頼性・経済性も確立しておらず、点検・補修の大宗は人によって行われている状況にある。

このため、IT 等を活用したインフラ点検・診断システムの構築として、センサやロボット、非破壊検査技術等による点検・補修の信頼性・経済性が実証できたところから、順次、これらの新技術を導入する必要がある。

上記のようなインフラの維持・管理については、国や自治体等が抱える課題であり、急務であることから、民間企業の活動にまかせるのではなく、国等が主導して取り組んでいくべきであり、本プロジェクトを通じて、上記の課題解決に繋げていくことは NEDO として関与する意義は極めて高いと考えられる。

(c) 実施の効果(費用対効果)

「世界最先端IT国家創造宣言(平成25年6月14日 閣議決定)」では、劣化・損傷個所の早期発見、維持管理業務の効率化につながるセンサ、ロボット、非破壊検査等の技術の研究開発・導入を推進する。研究開発に当たっては、開発された技術が現場での導入につながるよう、ニーズや信頼性、経済性に十分配慮するなど、将来的な普及促進を見据えた研究開発を行う。さらに、センサ、ロボット、非破壊検査等の技術と大規模データ解析技術とを組み合わせることにより、世界最先端の高精度分析手法の確立に向け、2020 年度までに、産官学が連携して、社会インフラの劣化状況等の把握に関する低廉かつ現場に即した技術の現場への導入を図る。これらの取組により、社会インフラの維持管理に関わる新産業の創出等につながるるとともに、2020 年度までに国内の重要インフラ・老朽化インフラの20%についてセンサ等の活用による点検・補修を行うとともに

に、世界共通の課題となりうる社会インフラの老朽化対策について、我が国がフロントランナーとなるよう、課題解決の成功モデルを構築し、国際展開を図る ことが示されている。

一方で、平成23年度の「国土交通省白書」では、国土交通省所管の社会資本(道路、港湾、空港、公共賃貸住宅、下水道、都市公園、治水、海岸)を対象に、過去の投資実績等を基に今後の維持管理・更新費(災害復旧費を含む。以下同じ。)を推計しており、今後の投資総額の伸びが2010年度以降対前年度比±0%で、維持管理・更新に従来どおりの費用の支出を継続すると仮定した場合、2037 年度には維持管理・更新費が投資総額を上回る ことが示されている。

以上を踏まえ、今後、維持管理・更新に係る費用の推計は約3.5兆円程度で推移する予測であり、その内20%がセンサ等の活用による点検・補修を前提とした場合、約7,000億円の市場が見込まれる。あわせて、維持管理の技術者の高齢化が著しく、一定レベルの知見を有する技術者不足に対しても、センサ及びロボットの活用による課題への対応が期待される。

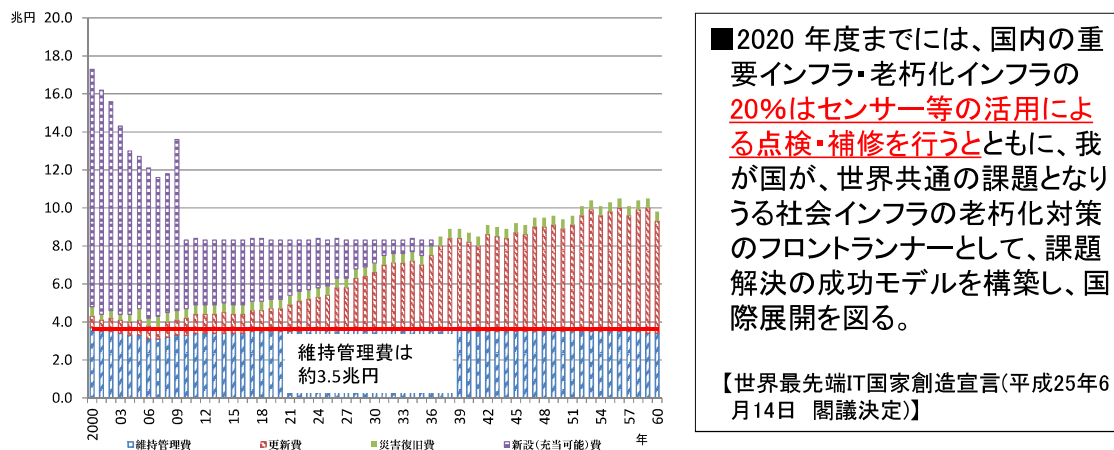


図 1-2c-1 従来どおりの維持管理・更新をした場合の推計
(平成 23 年度国土交通白書から抜粋)

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

(a) 事業の目標

①アウトプット目標

本プロジェクトは、2018年度末までに、的確にインフラの状態を把握できるモニタリングシステム及び非破壊検査装置を開発する。なお、開発するモニタリングシステム及び非破壊検査装置は、事業終了後2年以内の実用化を目指した、妥当なコストを考慮したものとする。

(対象事業)

研究開発項目①「インフラ状態モニタリング用センサシステム開発」

研究開発項目②「イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発」

研究開発項目③「インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発」(2)「非破壊検査装置開発」

本プロジェクトは、2017年度末までに、的確にインフラの維持管理を行うロボットを開発する。なお、開発するロボットは、事業終了後2年以内の実用化を目指した、妥当なコストを考慮したものとする。

(対象事業)

研究開発項目③「インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発」(1)「ロボット技術開発」

②アウトカム目標

開発するモニタリングシステム及びロボット等からのデータとインフラの損傷程度の関連付けやインフラ安全度の基準設定や導入技術の評価基準が出来ることにより、安全性を維持しつつ、低コストでインフラの維持管理を行うことが可能になる。また、こうしたインフラ維持管理・更新・マネジメント技術について2030年に約7,000億円超の市場創出が期待できる。

上記目標を達成するために、下記の「研究開発の目標と根拠」に示す①～④の研究開発項目について、基本計画(別紙)の研究開発計画に基づき研究開発を実施した。また、本プロジェクトの確実な成果が得られるよう、本プロジェクトとは別に実施する府省連携のインフラの維持管理・更新・マネジメント技術に関する事業と連携していく。

社会的背景

社会インフラの老朽化

老朽化に対する十分な資金と高度な維持管理の専門知識を有する人材の不足
対策は世界的課題



既存インフラの状態に応じて効果的かつ効率的な維持管理・更新等を図る方法の必要性

事業の目的

技術による維持管理・更新の支援

- ・的確かつ迅速に状態を把握できる**モニタリング技術**の開発
- ・点検・調査を行う**ロボット技術・非破壊検査技術**等の開発

(b) 研究開発の目標と根拠

研究開発項目① インフラ状態モニタリング用センサシステム開発

1) 研究開発の必要性

インフラの維持管理は、定期的な目視点検が基本であるが、地方自治体では財政面や人材面等の問題により十分行われていないのが実態である。また、過去に経験のない程インフラの老朽化が進んでいることから、定期点検間もインフラ構造物及びその構成部材の状態を常時・継続的・網羅的に把握する必要性が高まっている。さらに、災害時に構造物の変状を即時に把握することや目視点検で確認困難箇所の状態を把握することも必要である。

センサを活用したモニタリングシステムは、インフラの健全度を的確に把握できる技術として期待されているが、現状では試験的活用に留まっており、広く普及されていない。この理由としては、センサに対して以下の技術面での問題点が挙げられる。

- ・センシング性能が不十分なため、インフラ状態を完全に把握するには限界があり、健全度を診断することが出来ない。
- ・センサの大きさ、設置面積等による設置箇所や設置個数の制約が大きい。
- ・センサの電源や通信を有線で配線すると設置工事で大きな負担が生じる上に、設置にも最適な技術や方法がない。
- ・電池を内蔵して無線にする場合、現状のセンサや送信技術では電力消費が多く、電池交換等のメンテナンスが必要である。
- ・センサの耐久性や信頼性が不十分である。

したがって、センサを活用したモニタリングシステムの普及のカギとなるポイントは、①構造物の状態を適確に把握するために必要なセンシング性能、②センサ自身で自己動作するための、低消費電力、自立電源、無線通信機能、③センサを長期メンテナンスフリーとするための耐久性、信頼性、④センサ設置容易性(小型化等)の技術開発が必要である。

2) 研究開発の具体的内容

(i) センサ端末開発

橋梁、トンネル、プラント等及びそれらの付帯物を対象とし、それら構造物及びその構成部材の健全度を診断するための振動、変位等を計測でき、安定な接続性と信頼性がある無線通信機能を搭載したセンサ端末を開発する。これらのセンサ端末を駆動させるため、振動、熱、風、光等の環境エネルギーを利用して発電する長寿命で高効率な発電・蓄電一体型自立電源、長期耐久性や信頼性を確保するためのパッケージング技術等を開発する。

(ii) センサネットワークシステムの構築と実証実験

(i) で開発したセンサ端末を活用した設置容易なセンサネットワークを構築し、実環境下でインフラ状態のモニタリングを行い、実用に求められるセンサ端末及びネットワークシステムの機能を検証する。

3) 達成目標

本プロジェクトは、2016 年度末までに概ねの研究開発を終了することを中間目標とし、以降は、実証実験を中心に実施する。

(i) センサ端末開発

以下の全てを満たし、簡易に設置できるセンサ端末を開発する。

- ・ インフラ構造物及びその構成部材の健全度を診断するための振動、変位及びその他必要と考えられるデータを計測できるものとし、これらは温度も同時に計測できるものとする。
- ・ 少なくとも1時間に1回の無線通信を含む全ての動作を自立電源で自己動作できるものとするとともに、地震等の突発事象を検出できるものとする。
- ・ 片手で取り付け可能なサイズ(概ね7cm×10cm×5cm)以下とする。
- ・ 無線通信は、電波法による無線局の免許を受けることなく利用することができる周波数とし、その距離は実環境下で30m以上とする。
- ・ 実環境下で10年以上の信頼性を有するものとする。

(ii) センサネットワークシステムの構築と実証実験

(i)で開発したセンサ端末を活用したインフラ状態をモニタリングするネットワークシステムを構築するとともに、インフラの実環境下で適用できるシステムを開発する。

なお、基本計画の目標設定にあっては、社会課題対応システム開発プロジェクト(研究開発成果等の他分野での先導研究)の結果やプロジェクト開始当時に国内外のセンサシステムの開発状況を調査し、ベンチマークを踏まえて設定している。

基本計画の目標値	根拠
振動または変位、温度計測機能	構造物の経時変化による劣化および地震や想定外の外力による突発事象を検出および、健全度診断には、振動、変位、傾斜、変形、温度等の計測が必要である。
・1回/時以上の無線通信 ・自立電源動作 ・地震等の突発事象検出	社会インフラの経時変化はそれ程急に発生するものではないので、1日数回の状態計測及び地震等の突発事象をイベントドリブンで検出できる必要がある。道路の場合、ラッシュ時の朝、夕および太陽光の影響が最も大きく、最も高温になると思われる昼と気温が最も下がる夜に計測することが必要である。
サイズ: 概ね 7cmx10cmx5cm 以下	取り付けが容易に行えるよう、作業者が片手で持ち運びおよび据え付けが可能な手のひらサイズ。
無線通信:免許不要、通信距離 30 m 以上	広範な場所での使用が可能のように、電波法による無線局の免許が不要な周波数を使用する。また、無線の到達距離30mは、受信感度と通信距離の関係推定式をもとに、見通しが良くない屋内の品質係数にて、受信信頼性(-90dBm)が得られる距離である。
信頼性:10年以上	耐久性の達成目標は、現行屋外で使用されている太陽電池パネルと、厳しい信頼性が要求されている車載電子部品の信頼性に準拠するものとした。また、寿命に関しては、ユーザヒアリングで要求された10年以上を実環境下で達成するものとした。

表 2-1b-1 基本計画の目標値の設定根拠 (①センサシステム)

研究開発項目② イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発

1) 研究開発の必要性

イメージング技術を用いたモニタリングシステムは、インフラ構造物をカメラで撮影し、取得した画像をデータ処理することにより、構成部材のひび割れ等を検知できることから、目視点検を補完できる技術として様々な取組が行われている。しかしながら、既存技術では、1つの構造物に対して大量に撮影しなければならないこと、取得した画像データの処理に手間がかかる、構成部材の変状しか検出できず構造物全体の状態を把握できない等の問題点がある。これらの課題を解決するようなイメージング技術の開発が必要である。

2) 研究開発の具体的内容

(i) イメージング技術開発

橋梁、トンネル、道路、プラント等のインフラ構造物を対象として、①構造部材の画像データから完全自動で確実にひび割れ等を検出し、損傷を把握できるデータ処理技術及び、②構造物の全体もしくは広い範囲を遠方からカメラで撮影し、取得した画像をデータ処理することにより、それらインフラ構造物全体の変形挙動や応力集中箇所の局所的な変形分布を簡易に把握できるイメージング技術を開発する。

(ii) イメージング技術を用いたモニタリングシステムの実証実験

(i)で開発した技術を用いたモニタリングシステムについて、実環境下でのインフラ状態モニタリングの実証実験を行い、実用に求められる機能を検証する。

3) 達成目標

本プロジェクトは、2016年度末までに概ねの研究開発を終了することを中間目標とし、以降は、実証実験を中心に実施する。

(i) イメージング技術開発

- ① 完全自動により画像データから 0.2mm以上のひび割れ等を 8割以上の確率で検出できる画像処理手法を開発し、実証する。
- ② 撮影時の位置ずれを補正でき、平面のみならず、奥行き(3次元)の変形も計測できる画像解析手法を開発し、実証する。なお、1回の撮影で構造物の支点間の長さの2万分の1の変位を計測できること及び 15m以上の構造物を計測できることとする。

(ii) イメージング技術を用いたモニタリングシステムの実証実験

(i)で開発したイメージング技術を用いて、インフラ状態をモニタリングするシステムを構築するとともに、インフラの実環境下で適用できるシステムを開発する。

なお、基本計画の目標設定にあっては、プロジェクト開始当時に国内外のイメージング技術の開発状況を調査し、ベンチマークを踏まえて設定している。

基本計画の目標値	根拠
画像データから 0.2mm 以上のひび割れ等を 8 割以上の確率で判別	国土交通省通達「土木コンクリート構造物の品質確保について」において、ひび割れ発生状況調査要領として 0.2mm 以上のひび割れ幅について展開図および対応する写真撮影を行うこととしている。幅 0.2mm のひび割れは、人目でも判断に迷う事例が 1/4 ほど存在する。そのため、人目での判断をやや上回る 8 割以上を目標とすることとした。
平面／奥行きの変形を計測、支点間の長さの 2 万分の 1 の変位を計測できること及び 15m 以上の構造物を計測	国土交通省の橋、高架の道路等の技術基準より、橋のたわみの許容値は支間長(10m以下)の 1/2000 であり、その 1/10 の精度(1/20000)で変位を計測できる必要がある。道路橋は、2m 以上のものが 70 万橋、15m 以上は 15 万 5 千橋であり、大部分は 15m 以下である。よって、支間長の 2 万分の 1 の変位および、15m 以上の構造物を計測できることを目標とした。

表 2-1b-2 基本計画の目標値の設定根拠 (②イメージング技術)

研究開発項目③ インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発

1) 研究開発の必要性

高度成長期を中心に大量に整備された社会インフラや産業インフラが老朽化して一斉に更新時期を迎えるのに対し、それらの長寿命化を図るためには適切な維持管理を行う必要があるが、維持管理に必要な財源や専門人材が不足している現状では、ロボットを活用した経済的な維持管理技術を研究開発する必要がある。

また、適切な維持管理には、従来人間が立ち入れない箇所での点検も必要となり、特に筐子トンネル天井板落下事故以降に国土交通省が実施している「総点検」の実施要領では、従前の点検箇所・点検方法からの内容強化が図られていることから、ロボットを活用した点検への期待が大きくなっている。

さらに、インフラの構造は総じて大規模であり、今後、目視や打音検査に加えて非破壊検査が必要となる機会が増大すると考えられることから、ロボットに搭載可能な非破壊検査装置を開発する必要がある。

2) 研究開発の具体的内容

(i) ロボット技術開発

「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」(国土交通省、経済産業省、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、(独)産業技術総合研究所、(独)土木研究所)が平成25年12月に公表した「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入における重点分野」が指定するロボット技術を開発する。

開発の検証評価は、国土交通省平成25年12月25日付け報道発表資料「「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入重点分野」を策定致しました」の「別紙 3 現場検証及び開発評価に係る体制・スケジュールについて」に掲載される「ロボット現場検証委員会(仮称)」の下で行う。

なお、これらの重点分野や評価体制は、当該検討会での議論を経て改定等が行われた場合には、改訂後の内容に準じる。

(ii) 非破壊検査装置開発

上記のロボット技術開発で開発されるロボットへ搭載可能な非破壊検査装置を開発する。

3) 達成目標

(i) ロボット技術開発

本プロジェクトは、2015年度末までに、概ねの研究開発を終了することを中間目標とし、以降は実用化開発、実証実験を中心に実施する。

「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入における重点分野」が指定する維持管理業務について、従来の作業員による点検や重機を用いた作業と同程度のトータルコスト及び同程度の精度を有するロボットを開発し、「ロボット現場検証委員会」の評価の下、実証実験を行う。

『次世代社会インフラ用ロボット開発・導入重点分野』（平成25年12月25日 国交省・経産省公表）
 国土交通省と経済産業省において、重点的に開発支援する分野を特定（平成26年度から開発支援）

(1) 維持管理	(2) 災害対応
<p>○橋梁</p> <ul style="list-style-type: none"> ・近接目視の代替ができる装置 ・打音検査の代替ができる装置 ・点検者を点検箇所に近づく作業台車 <p>○トンネル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・近接目視の代替ができる装置 ・打音検査の代替ができる装置 ・点検者を点検箇所に近づく作業台車 <p>○河川及びダムの中筒所</p> <ul style="list-style-type: none"> ・堆積物の状況を全体像として効率的に把握できる装置 ・近接目視の代替ができる装置 	<p>○災害状況調査（土砂崩落、火山災害、トンネル崩落）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・土砂崩落及び火山災害現場において、高精細な画像・映像や地形データ等の取得ができる装置 ・土砂崩落及び火山災害現場において、含水比や透水性等の計測等ができる装置 ・トンネル崩落において、引火性ガス等に係る情報の取得ができる装置 ・トンネル崩落において、崩落状態や規模を把握するための高精細な画像・映像等の取得ができる装置 <p>○応急復旧（土砂崩落、火山災害）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・応急復旧ができる技術 ・排水作業の応急対応ができる技術 ・遮断・自律制御にかかる情報伝達ができる技術

図 2-1b-3 次世代社会インフラ用ロボット開発・導入における重点分野

(ii) 非破壊検査装置開発

本プロジェクトは、2016年度末までに、概ねの研究開発を終了することを中間目標とし、以降は実証実験を中心に実施する。

上記のロボット技術開発で想定されるロボットへの搭載可能な非破壊検査装置を開発する。開発する装置は、X線や赤外線等を検査光源とし、正確な計測を可能にするために必要と考えられる光源数を搭載する。また、ロボットに搭載可能なサイズ、重量とし、検査対象の健全性を診断するための検査精度を備えたものとする。さらに、稼働寿命は2万時間以上とし、検査光源に対する安全性を十分に考慮したものとする。

(2) 研究開発計画の妥当性

(a) 研究開発のスケジュール

本プロジェクトの研究開発スケジュールを図 2-2a-1 に示し、各研究開発項目①～④の執行額を表 2-2b-1 に示す。

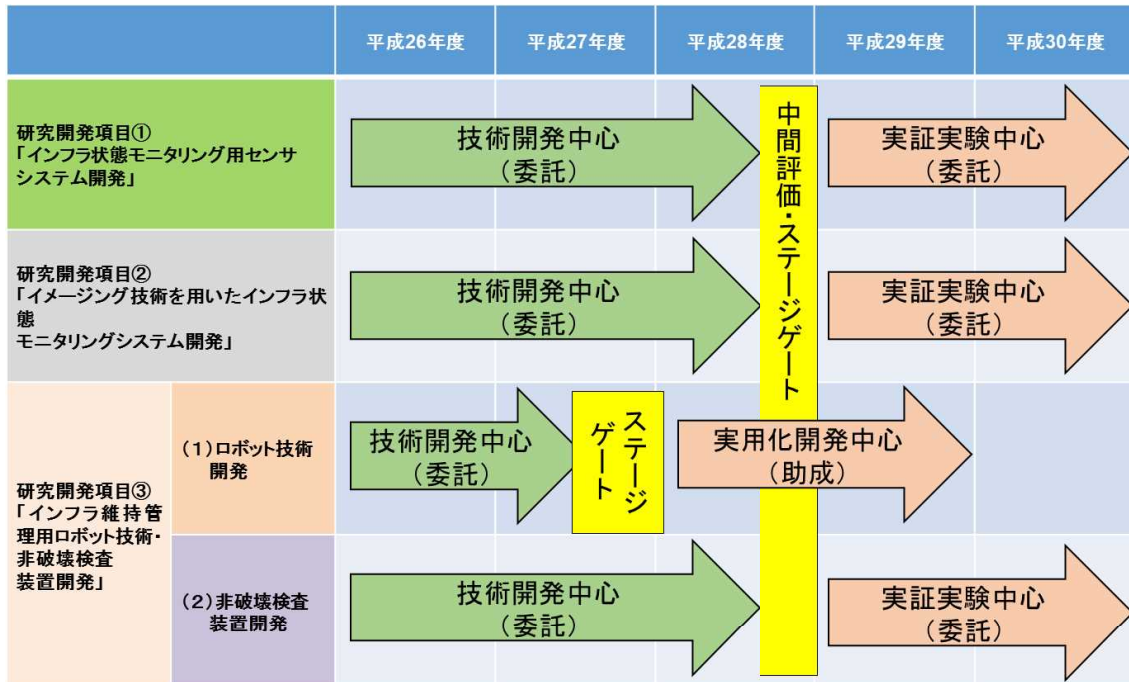


図 2-2a-1 研究開発スケジュール

(b) プロジェクト費用

(単位: 億円)

研究開発項目 (単位: 億円)		H26	H27	H28	H29	H30	合計
①インフラ状態モニタリング用センサシステム開発		7.2	12.7	10.0	10.1	8.7	48.7
②イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発		0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	3.2
③インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発	(1) ロボット技術開発	7.0	7.6	3.7	2.7	-	21.0
	(2) 非破壊検査装置開発	0.8	1.0	1.2	0.9	0.7	4.7
④ロボット性能評価手法等の研究開発				2.1			2.1
合計		15.7	21.9	17.7	15.2	10.1	80.6

表 2-2b-1 各研究開発項目の執行額)

(c) 要素技術の網羅性

システムを構成する各要素技術については網羅的に開発を行っている。例えば、センサシステム分野では、橋梁等のインフラ構造物の維持管理に必要なシステムを開発しているが、システムに必要な MEMS センサや省電力を実現する回路や発電デバイス、無線装置、センサ端末、高耐久容器を開発している。また、データ伝送に必要な無線通信システム、データ使用を開発し、計測したデータを分析するソフトウェアや管理アプリ、監視センター用の運用ソフトまでトータルに開発し、実現するシステムに対して漏れのない技術開発を行った。これらの開発には異分野企業、研究機関が協調して研究開発を実施。ユーザ機関も参画することで、より実用的なシステムを構築した。

目標達成に必要な要素技術の開発を網羅

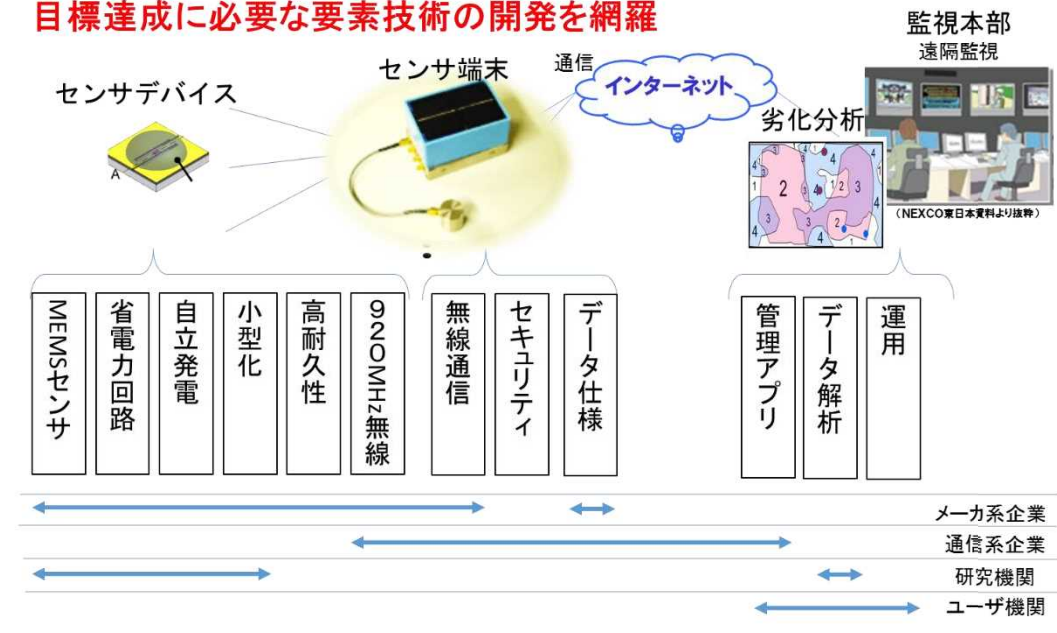


図 2-2c-1 センサシステム分野における開発技術の網羅性

(3) 研究開発計画の実施体制の妥当性

(a) 研究開発の実施体制

本プロジェクト全体の実施体制をを図 2-3a-1 に示す。

プロジェクトマネージャー(PM)は、研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする役割を担い、効率的かつ効果的な方法による運営管理を実施した。本プロジェクトでは、プロジェクトマネージャーとして以下を任命した。

ロボット・機械システム部／菅原 淳(平成 26 年 4 月～平成 27 年 3 月)

ロボット・機械システム部／安川裕介(平成 27 年 4 月～平成 28 年 3 月)

ロボット・AI部／安川裕介(平成 28 年 4 月～平成 31 年 3 月)

プロジェクトマネージャーは、プロジェクトの進行全体の企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的及び政策的効果を最大化させる。

プロジェクトリーダー(PL)は、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する研究開発責任者である。本プロジェクトではプロジェクトリーダーとして芝浦工業大学 SIT 総合研究所特任教授(当時) 油田信一を任命し、各研究開発実施者は PL の下でそれぞれの研究テーマについて研究開発を実施する。

また、PL を補佐し、センサシステム関係の研究開発を効果的に実施するためにサブプロジェクトリーダー(SPL)として東京大学(当時)(現在 富山県立大学)の下山勲教授を任命した。

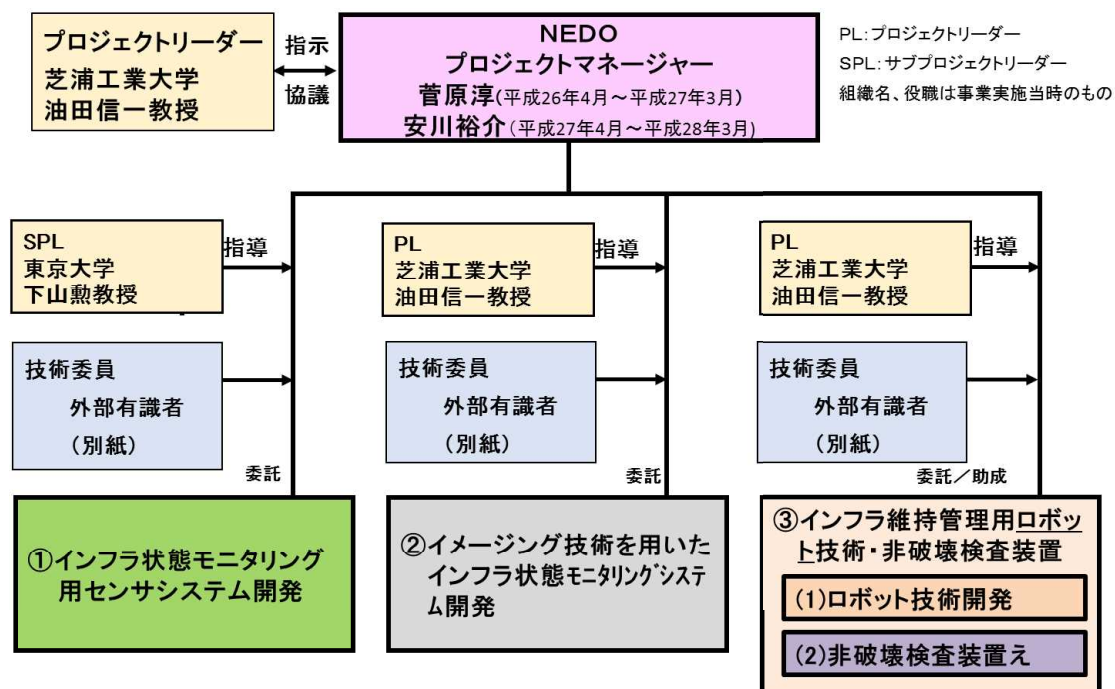


図 2-3a-1 プロジェクト全体の実施体制

(b) 研究開発の実施体制(技術委員)

本プロジェクトの目的及び目標に照らして成果を最大化するために、推進委員会を設置し以下に示す技術委員を委嘱した。本プロジェクトを効果的に推進するためには、センサ等のデバイス技術やロボット技術、適用対象としてのインフラ構造物や点検技術等の多方面の知識が必要である。また、ビジネス領域からの助言も必要と考えた。このため推進委員会を組織し、多方面の有識者に技術委員を委嘱し参加していただいた。推進委員会やサイトビジットにおいて研究開発実施者に多様な角度からの適切な評価や助言を提供する任を担っていただいた。

表 2-3b-1 に本プロジェクトの技術委員の構成を示す。(所属役職は委嘱当時のもの)

センサシステム・イメージングシステム分野の技術委員

氏名	所属	役職	分野
松田 浩	長崎大学大学院 工学研究科 教授	教授	画像・インフラ
三田 彰	慶應義塾大学 理工学部 教授	教授	センサ・インフラ
大和田 邦樹	一般社団法人 次世代センサ協議会 専務理事	専務理事	センサ・標準化
河西 龍彦	宮地エンジニアリング株式会社 執行役	執行役	事業化

ロボット分野の技術委員

氏名	所属	役職	分野
木村 嘉富	国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部	部長	インフラ
伊藤 文夫	日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所	技師長	インフラ
増 竜郎	先端建設技術センター	技術調査部長	インフラ
浅間 一	東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻	教授	ロボット
大須賀 公一	大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻	教授	ロボット
栗栖 正充	東京電機大学 工学部 機械工学科	教授	ロボット
菅野 重樹	早稲田大学 創造理工学部 総合機械工学科	教授	ロボット
三治 信一郎	(株)NTTデータ経営研究所 事業戦略コンサルティングユニット	グループ長	事業戦略

非破壊検査装置分野の技術委員

氏名	所属	役職	分野
菅野 重樹	早稲田大学 創造理工学部 総合機械工学科	教授	ロボット
大竹 淑恵	国立研究開発法人理化学研究所	チームリーダー	センサ
細田 祐司	一般社団法人日本ロボット学会	理事/事務局長	ロボット
五内川 拓史	株式会社ユニファイ・リサーチ	代表取締役社長	事業化

表 2-3b-1 本プロジェクトの技術委員の委嘱者

(c) 研究開発の実施体制(実施者)

本プロジェクトの研究開発実施者は公募により募集し、図 2-3c-1 及び図 2-3c-2 に示す 19 の研究開発実施者により実施した。

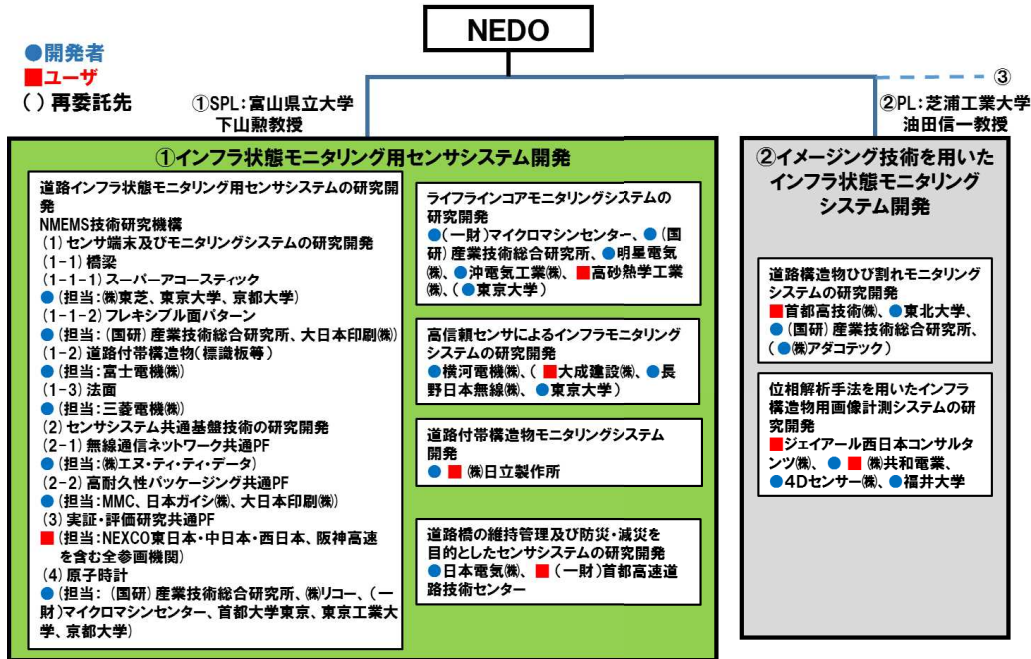


図 2-3c-1 ①センサシステム分野及び②イメージング技術分野の実施体制

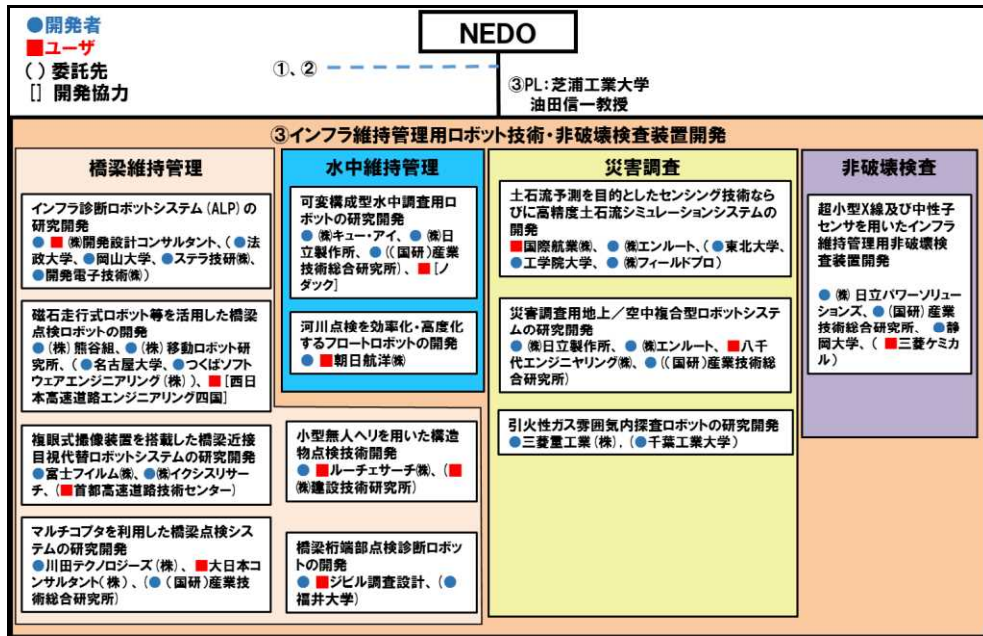


図 2-3c-2 ③ロボット技術分野・非破壊検査装置分野の実施体制

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

(a) 研究開発の進捗管理

研究開発の運営に当たっては、インフラ構造物の老朽化等の社会課題に対応するシステムを早期に実現するという事業目標に鑑み、プロジェクトマネージャーとプロジェクトリーダーによる積極的なマネジメントの元に研究開発実施者と協力関係を築き事業を遂行した。

主に「目標とそれを実現する手段の明確化による進捗管理」「推進委員会による進捗管理」「現場実証やサイトビジットによる進捗管理」の3項目を実施した(図 2-4a-1)。

このプロジェクトの大目標

実現場での実用性をとくに重視したシステム開発

- 実現場を支援するための技術。 ■ 現場で役に立つシステムの開発。
- 汎用性より、具体性を重視
- 要素技術は必要なときに(のみ)開発

大目標を実現するための手段

(1) 社会とユーザの要求(ニーズ)に基づいた開発目標の設定

- 実用的な運用方法をベースとして開発目標・達成目標を設定。
- 目標の設定には、(シーズ側から見た)システムの実現性が重要

(2) 開発されたシステムを使うユーザを含む開発体制

- 現場でシステムを使用するユーザを開発チームに含め、連携して開発を進める
- 実用化開発と実証試験を協力して行う体制を構築。

(3) 現場での実証実験を繰り返しつつ開発を推進

- 実証実験と検証評価を繰り返して行いつつ、実証フィールドで動作させた結果を評価して、開発にフィードバック。
- 実証フィールドは、実現場、または、出来る限り実現場に近い環境とする
- 評価においては、ユーザ視点で実用性を実証すること

図 2-4a-1 本プロジェクトの大方針とそれを実現するための手段

(a)-1 研究開発の進捗管理(目標とそれを実現する手段の明確化による進捗管理)

このプロジェクトは、「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト」というプロジェクト名である通り、要素技術の研究開発ではなく、「社会における問題を解決するためのシステム」の開発を目的としている。すなわち、プロジェクトで開発したシステムは、社会に普及し、実現場で有用に使われることを目指している。

これに基づき、本プロジェクトの大方針は「社会課題に具体的に対応できるシステムを開発すること」とした。この大方針を実現するため、「システムを現場で使い、抽出した課題を改良し、実用的技術を開発すること」と、「ユーザを巻き込みつつ、実使用者による評価に基づいて開発すること」を重視することとした。すなわち、以下の 1)~3)に示すような 3 項目を運用上の方針とし、現場に役に立つシステムを作り上げることを目指した。

1) 開発計画を策定するにあたり、システムを実際に利用するユーザ(施設管理者や点検コンサルタント)のニーズを調査し、要望を反映する。ユーザとは施設管理者や点検発注業者、あるいは、ロボット等を使って点検を行うコンサルタント会社などである。これらのユーザのニーズとは、ロボットのみでなく、現場での操作性や運用法を含んだものであり、想定する運用方法をベースとして具

体的な達成目標を設定することを求めている(図 2-4a-2)。

2) 現場で有用な実用技術を実現するため、開発に際し、ユーザを開発体制に組み込む。すなわち、実施者の構成には開発したデバイスや点検システムを実用化するメーカーの他に、それらを受け取ることが期待できるユーザ機関を確保することとした。これにより開発計画の策定や、実験の計画と運用、動作評価において、具体的なニーズや現場の状況を十分に知っているユーザが身近にすることで、相談しつつ成果の有効性を検討し、連携して研究開発できる体制で実施することとしている。なお、ユーザ機関はインフラを維持管理しており、実証実験のためのインフラの実環境を提供できる機関とした。

このように、本プロジェクトでは、現場での具体的なニーズを対象にシステム開発を進めているところが特徴的であり、システム開発研究者とシステムを利用するユーザ、いわゆるシーズ側とニーズ側が専門分野間の障壁を越えて協力し、異業種とも言うべきこれらの分野間のコミュニケーションの元に実用的なロボットやモニタリングシステムを開発できたことは、本プロジェクトの大きな成果と思われる(図 2-4a-3、図 2-4a-4)。

3) 実用ロボットを着実に完成させるため、現場に早期投入し、実用上の課題を早期抽出しつつ改良を重ねる。

現実のインフラ構造物は過酷な自然環境下にあり、形態も状況も多様であって、それをモデル化して的確に説明することは難しい。多様な実環境でモデル化の難しい実際のニーズに対応するシステムの開発には、出来る限りリアリスティックな現場で使うことによる実験・実証を繰り返しつつ、その結果をフィードバックして開発を進めることが必須である。開発者が、その環境条件とそこで達成すべき作業の内容を、確実に把握することが、有用なシステムを実現するための必要条件である。それを達成して、開発されたシステムの実用性を確保するには、実際にロボットが働くべき環境の中で実証試験と検証評価を繰り返して行い、それによって開発者が環境と問題を確実に理解し、それをを用いて開発を進めるというアプローチが重要である

それぞれの点検システムの実用性を確認するために、それぞれが想定する適用対象そのものを使用して動作させ、計測・帳票作成までの実用性を確認した。現場投入時の動作を確認するため、可能な限り供用中の実際の施設を用いて点検動作の実験を行うこととした。NEDO インフラロボット PJ でも、現場で使用しつつ改良を繰り返すことを基本的な態度とし、開発中のシステムについて、常には実証フィールドにおいて検証・評価をしながら開発を行っていくことを強く求めた。また、ここに、システムを使用する最終ユーザの参画を促し、開発に、ユーザの視点による評価や指摘をしっかりと反映させることを条件として実施した(図 2-4a-5、図 2-4a-6)。



図 2-4a-2 技術開発テーマ設定の際に抽出・選定したニーズの例



コンソ名	実証試験に参加・協力のユーザ
川田テクノロジーズ	大日本コンサルタント
ルーチェサーチ	建設技術研究所
富士フィルム	首都高速道路技術センター
ジビル調査設計	ジビル調査設計(自社使用)
開発設計コンサルタント	J-POWERおよびグループ会社
熊谷組	西日本高速エンジニアリング四国
キュー・アイ	キュー・アイ(自社使用)、ノダック
朝日航洋	朝日航洋(自社使用)
国際航業	国際航業(自社使用)
日立製作所	エンルート、八千代エンジニアリング
三菱重工業	(自社オペレータによる操作)

図 2-4a-3 ユーザの連携した開発体制 (センサシステム分野、イメージング技術分野)



委託先コンソ名	開発に参加・協力のユーザ
センシング技術	
NMEMS技術研究機構	東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)、西日本高速道路(株)、阪神高速道路(株)
横河電機	大成建設
マイクロマシンセンターコンソ	高砂熱学工業
日本電気	首都高速道路技術センター
日立製作所	日立製作所(自社事業)
イメージング技術	
福井大コンソ	ジェイアール西日本コンサルタンツ
首都高技術コンソ	首都高技術
非破壊検査装置技術	
日立パワーソリューションズコンソ	三菱ケミカル
産総研	産総研ベンチャー

図 2-4a-4 ユーザの連携した開発体制 (ロボット分野)



図 2-4a-5 課題抽出・改良のために実施した現実のインフラ施設を使用した実証実験の例 (センサシステム分野、イメージング分野)



図 2-4a-6 課題抽出・改良のために実施した現実のインフラ施設を使用した実証実験の例 (ロボット分野)

(a)-2 研究開発の進捗管理(推進委員会による進捗管理)

「①インフラ状態モニタリング用センサシステム開発」、「②イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発」及び「③インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発」においては、それぞれも研究開発項目ごとに推進委員会を平均して年 3 回開催し、研究開発実施者からの発表に対して、PL や技術委員による内容確認と助言、指導を行った。

年度の年初はその年度の年間開発計画をチェックし、中期は進捗確認と実施者相互の技術交流、年末は計画達成の確認のための委員会を開催した。

研究開発項目毎の運営管理に関してそれぞれ以下に示す。①センサシステム分野、②イメージング技術分野についての委員会、会議等の目的及び内容を表 2-4a-1 に示す。③ロボット分野委員会、会議等の目的及び内容を表 2-4a-1 及び 2-4a-2 に示す。

委員会・会議等	目的・内容
進捗報告会	<ul style="list-style-type: none"> ■半期毎に開催するテーマ毎の開発評価会であり、全事業者が個別の開発進捗及び事業の見通しを報告する発表形式の進捗報告会。 ■PL、SPLからの質疑とコメントを通じて開発の方向性を確認し、また効果的な開発となるようにアドバイスを受けることが目的。
個別テーマ定例研究会	<ul style="list-style-type: none"> ■個別テーマの実施者内において、定期的で開催する研究検討会。より具体的な進捗をこまめにチェックするとともに、実施者間の円滑な連携を図る。
現地進捗確認委員会	<ul style="list-style-type: none"> ■おおむね研究開発を完了させるプロジェクト 3 年目(H28 年度)に、事業者代表からPL、SPL、PM及び技術委員に対し、研究進捗を報告するとともに、実証実験現場を見学。 ■外部委員の視点が加わることにより、実証実験及び実用化に向けての課題の早期抽出につなげる。
サイトビジット	<ul style="list-style-type: none"> ■研究開発の実施場所や現場実証実験において、PL、PM等が、研究開発実施者等に対して研究進捗を確認。出口を見据えた事業戦略等について意見交換を実施し、課題の共有化等を図る。

表 2-4a-1 委員会、会議等の目的及び内容 (①センサシステム、②イメージング技術)

委員会・会議等	目的・内容
ロボット開発 評価委員会	<ul style="list-style-type: none"> ■本事業は、経済産業省及び国土交通省との連携事業であり、上位委員会として「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」が存在。 ■その下で、ロボットシステムの開発を討議する委員会として「ロボット開発評価委員会」を経済産業省及びNEDOが事務局として有識者を招へいし年度末に開催。 ■当該年度の開発内容を審議し、次年度の研究開発の方針を決定。
推進委員会	<ul style="list-style-type: none"> ■PJの年度運営計画を審議するための計画検討会であり年に1回開催。 ■有識者により組織する技術委員の前で、PM及びPLが年度報告および年度計画を報告。 ■技術委員が運営の妥当性を確認し助言を提示。現場実証実験やステージゲートの進め方、事業者の追加公募の妥当性等について検討。
全体連絡会	<ul style="list-style-type: none"> ■各年度当初等に実施者全社を集め、PJの年度方針や運営計画についてNEDOから発信。 ■質疑を通してPJ内容の理解を深め、新たに開始する実証実験計画及び自治体との連携についてNEDOから報告。 ■H27年度は、助成事業に移行する際に変更となる経理処理やステージゲートの案内、提出物の注意事項等の事務処理を連絡し疑問点を事前に解消。
進捗報告会	<ul style="list-style-type: none"> ■半期毎に開催するテーマ毎の開発評価会であり、全事業者が個別の開発進捗及び事業の見通しを報告する発表形式の進捗報告会。 ■NEDO技術委員からの質疑とコメントを通じて開発の方向性を確認し、また効果的な開発となるようにアドバイスを受けることが目的。

表 2-4a-2 委員会、会議等の目的及び内容 1/2 (③ロボット)

委員会・会議等	目的・内容
現場実証実験	<ul style="list-style-type: none"> ■開発するシステムは、最終使用場所として事業中のインフラ施設であるため、実務環境での機能・性能の発揮が求められる。このため、初期から実際の現場において動作試験を行い課題を抽出しつつ改良を進めることが有用なシステムを完成させることにつながる。 ■国土交通省が「現場実証」事業を進めていた期間は、国交省設定の現場で動作実験を実施。その後は、NEDOが実証現場を設定して、動作実験場所を提供する予定。なお、事業者が自主的に実験現場を設定し、実験を繰返す場合も多数。
サイトビジット	<ul style="list-style-type: none"> ■研究開発の実施場所や現場実証実験において、PL、PM等が、研究開発実施者等に対して研究進捗の確認、出口を見据えた事業戦略等について意見交換を実施し、課題の共有化等を図る。
キックオフ ミーティング	<ul style="list-style-type: none"> ■新規事業の開始時及び追加公募による新規事業者の加入時に、PJ内容の理解を図り、また、年間の事業内容を案内及び事務処理について説明。

表 2-4a-3 委員会、会議等の目的及び内容 2/2 (③ロボット)

また、実際の推進委員会の開催スケジュールの例として、図 2-4a-4 に平成 30 年度の①センサシステム分野と②イメージング分野のスケジュールを示す。

前年度平成 29 年の 2 月～3 月には、推進委員会として年度計画検討委員会を開催した。最終年度である平成 30 年度の運営方針について、PM と PL、関係者が集まり意見を調整し方針決定を行った。

平成 30 年度の 3～4 月には推進委員会として実施方針ヒアリングを行った。実施者と PM、PL が実施者ごとに 15 技術別々に面談し、それまでの研究開発達成状況の確認と、それを基盤に最終年度である平成 30 年度の達成目標を確認した。また、それを実現するための年間の研究開発内容を設定した。開発内容に心配があったり、プロジェクトの達成内容として合意できない実施者については繰り返しの面談を行い、最大の成果を達成するべく、最良の研究開発内容を決定した。

年度開始時のヒアリングについては、開発対象技術ごとに PM、PL が面談し内容確認を実施した。面談前に開発ポイントや達成目標について明瞭に記載した「カルテ」を準備し、開発者の意図や意思、開発のポイントを確認し、問題点を議論して必要に応じて修正した。この過程で運営者と開発者の間の意図を共通化し、最終目標を明瞭に設定する効果があった。また、課題に対する共通理解が図られ、協力して対応を検討することができた。

平成 30 年度の 3～4 月には推進委員会として技術検討会を行った。この会は、全実施者が一堂に会し、交互に開発方法と成果を報告する会であり、相互の理解と研究開発成果の相互活用、技術交流を促すことを目指したものである。この会には関係省庁や関係団体も招待し、プロジェクトの研究開発成果の社会普及のためにも活用した。

平成 30 年度の 9～12 月には推進委員会としてサイトビジットを行った。サイトビジットについては次項で詳述する。

平成 30 年度の 11 月には学会発表を行った。NEDO から実施者へ発表を募ったところ、全 15 技術について、複数発表する所もあり合計 22 件の発表件数となった。研究開発内容を社会に発表し、国家プロジェクトの成果を一般や専門家に公開するとともに、研究開発者相互の理解の機会になった。この機会に、会費制で交流会を開催し、研究開発者同士による情報交換の場を提供した。

平成 30 年度の 12 月には推進委員会として最終成果検討会を開催した。PM、PL と技術委員の前で全 15 技術の実施者が個別に 5 年間の事業期間の成果について発表し、それまでの研究開発成果について確認と内部評価を行った。評価結果は実施者にフィードバックし、今後の継続開発に活用してもらうとともに、プロジェクト紹介冊子に「技術委員からのコメント」として要旨を掲載した。

平成 31 年 2 月には NEDO インフラ公開シンポジウムを開催し、広く一般に向けて開発成果を報告した。この会では、プロジェクトを詳細する冊子や技術資料集、動画を制作して公開した。

これらの頻繁で緻密な推進委員会により、どの実施者も実験用プロトタイプを完成し、実際の現場で動作を評価することができた。また、5 年間の推進委員会とフィードバックの成果により、研究開発と現場実験により抽出した課題に対応し改良開発することにより、実際の現場に適用できる実用的な技術を開発できた。

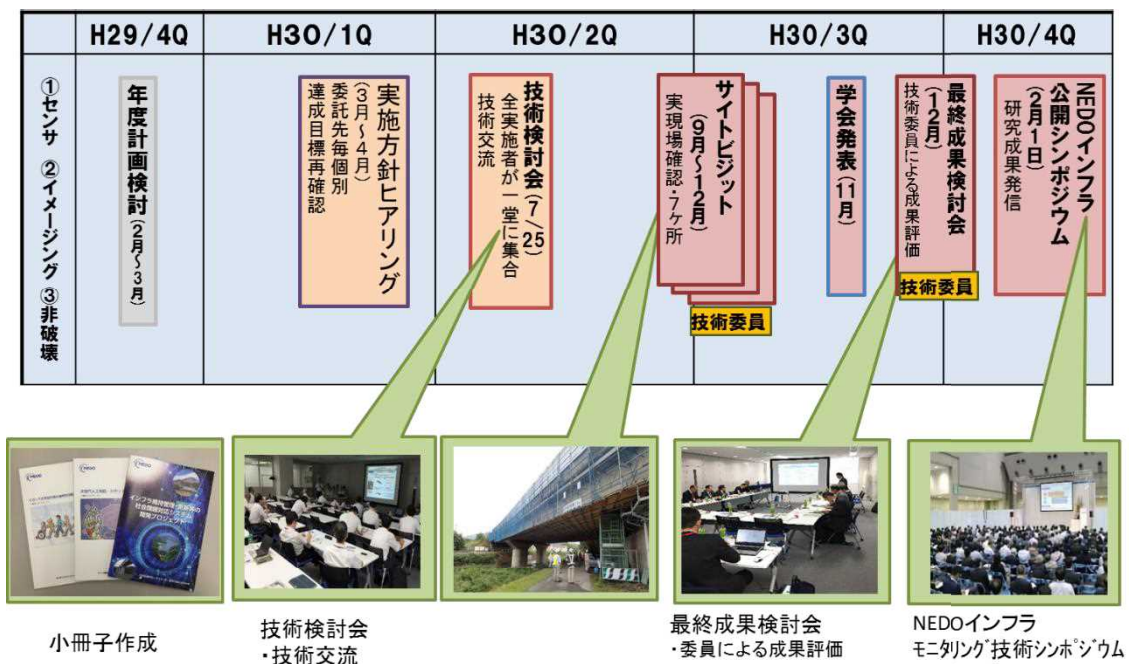


図 2-4a-4 進捗管理スケジュールの例(2018 年度)

(a)-3 研究開発の進捗管理(現場実証実験やサイトビジットによる進捗管理)

このプロジェクトでは現場実証実験は全開発者の義務として課しており、開発技術の想定適用先である実際の橋梁やダムなどの現場で開発システムを運用し、現場での稼働状況の確認や実現場での課題を抽出しつつ改良を施し、実用的システムを開発する運用とした。

特に、事業期間後半には、計画に従い、全研究開発実施者がそれぞれに定めた現場において現場実証実験を行い、課題の抽出、修正、改良を行った。現場実証実験は、国交省と連携して活動したロボット分野では国交省が提供したインフラ構造物で実施したほか、各社が自分で設定したインフラ現場でも実行した。

また、サイトビジットは、現場実証実験のうち、PM、PL が参加し、公式に現場での動作状況を確認した会である。本プロジェクトにおいては、サイトビジットとして実証実験場所を訪問して、開発システムの完成度や現場適応性の確認を行った。サイトビジットには出来得る限りの技術委員に参加していただき、それぞれの専門性に応じた指摘や助言をいただいた。これらの指摘は、実施者にフィードバックして、その後の開発に活用してもらった。

開発技術の有用性の確認には、点検システムが実際の現場で実用的に動作する事を確認する事と、現場で取得した計測データから損傷を検出したり調書を作成したりと実用的に使用可能である事を確認する事の両者が必要である。すなわち、実証現場で取得した計測データを用いた事後処理の評価も必要である。例えば、施設の損傷個所の検出や局所撮影画像の貼合せ合成(パノラマ化)や検査帳票作成等の機能の確認を行った。このため、サイトビジット後にプレゼン評価会を開催し口頭発表に基づく成果確認を行った。ここでも有識者により到達度を確認した。

現場実証実験は、①センサシステム分野・②イメージング技術分野、③ロボット分野の全分野で少なくとも毎年1度は実施した。

また、サイトビジットは、現場での動作を確認しやすい③ロボット分野では全社について毎年行った。表 2-4a-5 及び図 2-4a-6 は 2017 年度のロボット分野のサイトビジットの実施例である。現場での確認では開発過程が確認しにくい①センサシステム分野・②イメージング技術分野では、事業終盤2年間で全社の現場を訪問するスケジュールとした。表 2-4a-7 及び図 2-4a-8 は 2018 年度①センサシステム分野・②イメージング技術分野のサイトビジットの実施例である。2018 年度には表に見られるように全15技術のうち、7カ所の現場でのサイトビジットとしているが、2017 年度と合わせれば研究開発15技術の全技術についてサイトビジットを実施している。

	助成先	実施日	実証実験場所
1	日立製作所	10/25	栃木県日光市 稲荷川第10砂防堰堤
2	キュー・アイ	11/1	北海道 豊平峡ダム
3	熊谷組	11/8	神奈川県 毘沙門橋
4	川田テクノロジーズ	11/17	天竜川 草木ランプ橋
5	国際航業	11/24	長崎県島原市 雲仙普賢岳
6	開発設計コンサルタント	12/6	天竜川 新豊根発電所取水口
7	ジビル調査設計	12/12	北陸地方鋼鉄桁橋
8	富士フィルム	12/12	北陸地方鋼鉄桁橋
9	朝日航洋	12/14	神奈川県平塚市 相模川下流域
10	ルーチェサーチ	12/18	広島県呉市 大積川高架橋
11	三菱重工業	1/12	宮ヶ瀬ダム北岸林道 青山トンネル・葦尾根TN

表 2-4a-5 ロボット分野のサイトビジット (2017 年度の例)



図 2-4a-6 ロボット分野のサイトビジット実施風景

現場実証実験の例 2018年度 ①センサシステム、②イメージング技術分野

分野	委託先	実施日	サイトビジット場所
センサシステム	NMEMS(富士電機、標識)	10/22	中央自動車道管内
	NMEMS(三菱電機、法面)	10/25	東日本高速道路管内
	NMEMS(産総研・原子時計)	10/24	宮城県名取市リコー応用電子研究所屋外実験施設
	NEC(橋梁モニタ)	9/12	福島県郡山市鋼橋
	横河電機(建造物モニタ)	11/6	神奈川県横浜市大成建設技術センター
非破壊検査	日立パワーソリューションズ(非破壊)	11/14	広島県大竹市三菱ケミカル大竹事業所
	産総研(大面積X線パネル)	11/21	茨城県つくば市産総研つくば北サイト

図 2-4a-7 センサシステム分野と非破壊検査分野のサイトビジット (2018 年度の例)



図 2-4a-8 センサシステム分野と非破壊検査分野のサイトビジット対象 (2018 年度の例)

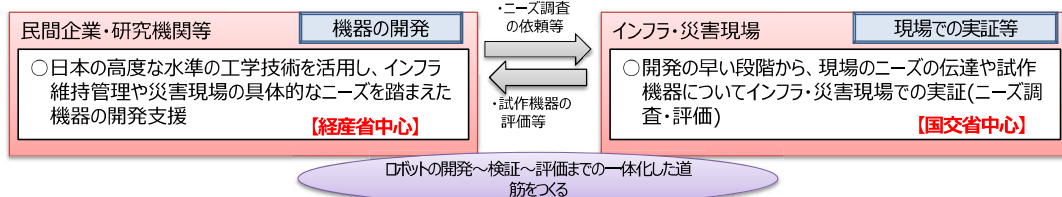
(a)-4 研究開発の進捗管理(国土交通省との連携)

経済産業省及び国土交通省では、社会インフラの維持管理及び災害対応に関して、その効果及び効率の一層の向上のため、それらを支えるロボットの開発・導入を推進すべく、平成25年7月16日「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」を設置した。

また、インフラ管理者及び災害対応経験者等への現場ニーズ調査や、国内外の異分野を含めた技術シーズ調査の結果を、平成25年12月25日に「社会インフラ用ロボット開発・導入重点分野」として策定している。

さらに、平成26、27年度において国土交通省では、「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入に向けた現場実証」にて、維持管理(橋梁、トンネル、水中)及び災害対応(調査、応急復旧)に役立つ技術として現場検証及び評価を対象とする「ロボット技術・ロボットシステム」を募集し、実際の社会インフラを用いた現場実証を実施している。本プロジェクトの研究開発実施者においても、当該事業の実証の場を通じて実用性を確認し、その結果を改良することで、社会課題を解決するシステム開発に繋げるとともに、実用システムとして認定されるという戦略的な事業展開を行い、研究開発の普及に向けてのマネジメントを行った。

・経済産業省の機器開発と国土交通省の現場実証が連携し、ロボットの開発・検証・評価まで一体的な体制を構築。



『次世代社会インフラ用ロボット開発・導入重点分野』(平成25年12月25日 国交省・経産省公表)
 国土交通省と経済産業省において、重点的に開発支援する分野を特定(平成26年度から開発支援)

(1) 維持管理 (2) 災害対応

<p>○橋梁</p> <ul style="list-style-type: none"> ・近接目視の代替ができる装置 ・打音検査の代替ができる装置 ・点検者を点検箇所に近づける作業台車 <p>○トンネル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・近接目視の代替ができる装置 ・打音検査の代替ができる装置 ・点検者を点検箇所に近づける作業台車 <p>○河川及びダムの水中箇所</p> <ul style="list-style-type: none"> ・堆積物の状況を全体像として効率的に把握できる装置 ・近接目視の代替ができる装置 	<p>○災害状況調査 (土砂崩落、火山災害、トンネル崩落)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・土砂崩落及び火山災害現場において、高精細な画像・映像や地形データ等の取得ができる装置 ・土砂崩落及び火山災害現場において、含水比や透水性等の計測等ができる装置 ・トンネル崩落において、引火性ガスに係る情報の取得ができる装置 ・トンネル崩落において、崩落状態や規模を把握するための高精細な画像・映像等の取得ができる装置 <p>○応急復旧 (土砂崩落、火山災害)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・応急復旧ができる技術 ・排水作業の応急対応ができる技術 ・遠隔・自律制御にかかるとの情報伝達ができる技術
---	---

(b) 動向・状勢の把握と対応

(b)-1 動向・状勢の把握と対応(事業計画の見直し)

ロボット分野に関しては、ドローン等のロボットが当初の予想以上に早く普及するなどの環境変化があり実用化をより重視する要望が高まった。このため、PJ開始当初は 5 年間の委託事業であったが、実用化を加速すべく、平成 28 年度に事業期間を1年短縮(4 年間)し、研究開発実施者が主体となる「助成事業」へ移行した。



図 2-4b-1 事業計画の見直し及びステージゲート審査(③ロボット)

(b)-2 動向・状勢の把握と対応(ステージゲート審査)

プロジェクトの中間年度にはステージゲート(外部有識者による継続審査)を行い各研究開発項目の「開発の進捗状況」及び「今後の事業期間内の実現性」について外部有識者を含めて評価した。センサシステム分野の5テーマ及びイメージング技術分野の2テーマに関しては、プロジェクト実施期間の5年のうち、前半 3 年目を経過した時点を進捗判定の時期とし、ステージゲート審査はその前年 11 月 1 日～2 日にかけて実施した。審査の際の評価項目は表 2-4b-2 で示すとおりである。また、審査委員としては、表 2-4b-3 で示す4名の委員に評価を委託した。

その結果、一部の研究開発実施者の進捗状況と目標達成可能性に疑問が生じたため、開発計画の再検討を促す延長審議の判定となった。該当実施者は1か月の猶予後に再審査に行い、新計画に従うことを条件に研究開発の継続が認められた。

審査項目	審査の観点
開発コンセプト	ユーザニーズに対する適合性、現場環境への対応性
開発進捗	アクセス機能及び情報取得・判断機能の開発進捗、システム全体の開発進捗
実機審査	アクセス機能・性能の達成度、取得データの有用性、運用性の
助成事業計画の審査	目標・計画設定の妥当性、費用の妥当性、実用化への体制と役割

表 2-4b-2 センサシステム分野及びイメージング分野のステージゲートの主な評価項目

	氏名	所属	役職
委員長	大和田 邦樹	(一財)次世代センサ協議会	専務理事
委員	庄子 習一	早稲田大学 理工学術院	教授
委員	松田 浩	長崎大学大学院 工学研究科 インフラ長寿命化センター	センター長／教授
委員	睦好 宏史	埼玉大学大学院 レジリエント社会研究センター	センター長／教授

表 2-4b-3 センサシステム分野及びイメージング分野のステージゲート審査委員

ロボット分野はまた、プロジェクト実施期間が4年間であるため、ステージゲートは前半 2 年目の直前の平成28年 1 月 27 日～29 日に実施した。審査の際の評価項目は表 2-4b-4 で示すとおりである。また、審査委員としては、表 2-4b-5 で示す 5 名の委員に評価を委託した。

ロボット分野では、平成26年夏に開発テーマとその実施者を公募し、11 の開発テーマが選考・採択され、開発が開始された。採択された開発テーマの内訳は、橋梁点検 4、水中点検 2、災害調査(自然災害)3、災害調査(トンネル事故)2 であった。全11テーマに関する平成 26～27年度における「開発の進捗状況」及び「今後の事業期間内の実現性」について審査し、各研究開発テーマの平成 28 年度(助成事業)への継続の可否について審査した。その結果、11 の内の 9 テーマについて実証実験を中心とする後半ステップへの継続が認められた。

審査項目	審査の観点
開発コンセプト	ユーザーニーズに対する適合性、現場環境への対応性
開発進捗	アクセス機能及び情報取得・判断機能の開発進捗、システム全体の開発進捗
実機審査	アクセス機能・性能の達成度、取得データの有用性、運用性の
助成事業計画の審査	目標・計画設定の妥当性、費用の妥当性、実用化への体制と役割

表 2-4b-4 ロボット分野のステージゲートの主な評価項目

	氏名	所属	役職	専門分野
委員長	木村 嘉富	国土交通省 国土技術政策総合研究所	道路構造物管理システム研究官	インフラ
委員	藤野 健一	(国研)土木研究所 技術推進本部	主席研究員	インフラ
委員	浅間 一	東京大学 工学系研究科 精密工学専攻	教授	ロボット
委員	大隅 久	中央大学 理工学部 精密機械工学科	教授	ロボット
委員	栗栖 正充	東京電機大学 工学部 機械工学科	教授	ロボット

表 2-4b-5 ロボット分野のステージゲート審査委員

非破壊検査装置開発分野は 5 年間のプロジェクト期間であるので、センサシステム分野と同時期（平成 28 年 10 月 17 日）に、ステージゲート審査を実施した。その結果、研究開発テーマの継続開発が認められた。

主な評価項目と審査委員を表 2-4b-6 と表 2-4b-7 に示す。

審査項目		審査の観点
技術	<中間目標> 研究開発目標の設定 及び達成度	ユーザーズに適合した目標設定、開発システムの現場環境への対応性
		非破壊検査装置(線源及びセンサ)に関する開発進捗
		検査システム(非破壊検査装置+移動ロボット)に関する開発進捗
		競合技術(既存技術)との技術的な比較
	<最終目標> 達成見込み	実証実験計画、社会課題への対応
事業	事業化の見通し	運用における優位性・有用性、実用化シナリオ、事業化計画、波及効果等

表 2-4b-6 非破壊検査装置分野のステージゲートの主な評価項目

	氏名	所属	職位	専門分野
委員長	菅野 重樹	早稲田大学 創造理工学部 総合機械工学科	教授	ロボット
委員	細田 祐司	(一社)日本ロボット学会	事務局長	ロボット
委員	大竹 淑恵	(国研)理化学研究所 光量子工学研究領域 (RAP) 光量子技術基盤開発グループ	中性子ビーム技術開発 チームリーダー	非破壊
委員	五内川 拓史	(株)ユニファイ・リサーチ	代表取締役社長	事業化

表 2-4b-7 非破壊検査装置分野のステージゲート審査委員。

(b)-3 動向・状況の把握と対応(追加採択)

ステージゲートにより、ロボット分野の研究開発テーマが減少したため、の実用化体制の強化が求められた実用化体制を強化するため、前年の国土交通省による現場実証評価で優れたパフォーマンスを見せたロボットを主な対象として、ニーズはあるものの、必要とされる技術レベルが高く、民間の力だけでは、開発が進まない分野において、あと一押しで実用化できそうな研究開発実施者を後押しすることとして、2016年度の始めに開発テーマの追加募集を行った(図 2-4b-8)。採択委員の厳正な審査の結果4種のロボット(表 2-4b-9)を新たなテーマとして採択し、その結果、プロジェクトの後半期間(2016-2017年度)は、12テーマ(内1テーマは2106年度限りで繰上終了)の開発体制として研究開発を進めた。

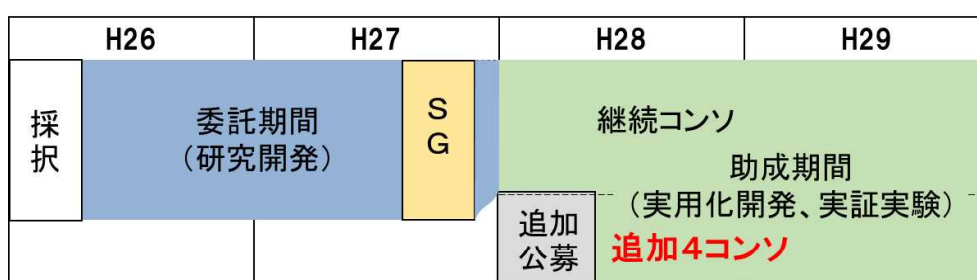


図 2-4b-8 追加採択の時期と研究開発団体数

筆頭助成先	テーマ名
ルーチェサーチ	小型無人ヘリを用いた構造物点検技術開発 (飛行型橋梁点検ロボット)
ジビル調査設計	橋梁桁端部点検診断ロボットの開発 (アーム型橋梁点検ロボット)
熊谷組	磁石走行式ロボット等を活用した橋梁点検システムの開発
朝日航洋	河川点検を効率化・高度化するフロートロボットの開発 (フロート河川点検ロボット)

表 2-4b-9 追加採択が決定した4団体

(b)-4 動向・状態の把握と対応(早期事業化の実現)

「イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発」分野において、平成 26 年研究開発が予想以上に進展し、早期の事業化が可能なテーマが生じた。研究テーマのうち、その開発項目を早期終了とし、事業終了を待たずに迅速な事業化を実現した。

1. イメージングによる変位計測技術の早期実用化 (共和電業)



・プレスリリース9/5 (NEDOと実施者の連名)

サンプリングモアレカメラ開発仕様(目標)

- XYZ (θ) 3方向の変位を計測
- 高速撮影 (最大500fps以上可能)
- 計測中のリアルタイムモニタによる多Ch波形確認
- 計測後すぐにグラフ確認、振動解析等可能
- 24時間以上の長期連続計測対応



共和電業 製品情報ページ
<https://www.kyowa-ei.com/jpn/product/special/dsmc-100a/index.html>

図 2-4b-10 早期卒業による事業化促進

(b)-5 動向・状態の把握と対応(開発促進財源の投入実績1)

本プロジェクトでは、研究開発の加速及び実用化の促進を目的に開発促進財源(追加予算)を投入し、成果を得ている。

センサシステム分野に関する開発促進財源(追加予算)の実績を表 2-4b-11 に示す。また、ロボット分野に関するセンサシステム分野に関する開発促進財源(追加予算)の実績を表 2-4b-12 に示す。さらに、イメージング技術分野と非破壊検査装置に関する開発促進財源(追加予算)の実績を表 2-4b-13 に示す。

件名	年度	目的	成果
1-1: NMEMS (Pilot-RIMSの開発)	H 27	セキュリティ上実際に接続できない各高速道路会社システムとの接続可能性を事前に検証、課題の抽出を行い、プロジェクト終了後のシステム導入、実用化を加速。	高速道路会社のシステムを模擬する統合システムの試作が完了し、平成28年度以降の実証実験において、システム運用時の課題抽出と早期解決を期待。
1-2: NMEMS (インフラモニタリングセンサ同期用原子時計の適用可能性検証)	H 27	長大橋等のモニタリングにおいて課題となる時刻同期方法について、原子時計の適用可能性を検証するとともに、必要な技術要件を明らかにし、プロトタイプを試作。	インフラモニタリングセンサ用の原子時計として、必要な技術要件が明確となり、実現への技術ロードマップを策定。また、プロトタイプを試作し、技術的実現性を示した。
2-1: MMC (ScAIN専用スバツタ装置導入)	H 27	ポンプ振動を振動元とする振動発電において、AIN圧電デバイスの10倍の発電量が期待できるScAIN圧電デバイスを開発。	装置導入により、ポンプ振動が小さいものに対しても、十分な発電量が期待できるとともに、量産に目処。
2-2: 産総研 (カスタムIC回路設計の前倒し)	H 27	ポンプ機実機の振動条件での予備実証を早い段階で行うため、研究開発を前倒し。	当該開発を前倒ししたことにより、平成28年度にポンプ機実機での実験が可能となり、実験が加速。
3: 横河電機 (加速度センサ評価用振動試験器の導入及びソフトウェア外注等)	H 27	振動試験器の導入および、データ収集ソフトウェアの作成を行うことにより、研究開発を効率化。	試験機を導入することにより、外注で試験するよりも手続省略や、データソフトウェア作成の外注等の効果により、全体でおおよそ半年程度の研究前倒し効果が得られた。
4: NMEMS (加速度センサ評価用振動試験器の導入及びソフトウェア外注等)	H 29	振動発電デバイスを新たな自立電源としてセンサシステムとして一体化することで、橋梁の微振動で発電する振動発電によるセンサデバイスを開発。	太陽光が十分に得られない橋梁内部でも発電可能なスタック構造及びインターポーザ構造の振動発電モジュールの開発に成功。低振動でも十分な発電が可能なことを確認し、適用範囲が拡大。

表 2-4b-11 開発促進財源案件(①センサシステム)

件名	年度	目的	成果
東北大学 (土石流予測を目的としたセンシング技術ならびに高精度土石流シミュレーションシステムの開発)	H27	空撮による3D地図作成技術に対し、地表設置マークを用いた地図の高機能化技術の開発を加速。	ユーザのニーズにより、撮影高度を設定して地図の詳細化と処理高速化のトレードオフを選択できる高機能化技術を開発。
三菱重工業 (引火性ガス雰囲気内探査ロボットの研究開発)	H27	機構の開発を加速し、平成27年度中に防爆機構を完成させ、平成28年度には防爆認定に注力。	機構の開発を早期に終了し、平成28年度には防爆認定を取得。
富士フイルム (複眼式撮像装置を搭載した橋梁近接目視代替ロボットシステムの研究開発)	H27	懸垂型のアクセス性と安定性の向上を期待し、走行可能橋の対象を拡大。	懸垂走行部をモジュール化して、対象橋の構造やサイズに適合させて設置可能とし、点検可能な対象橋梁数を拡大。
朝日航洋 (河川点検を効率化・高度化するフロートロボット)	H28	計測機器の水中抵抗対応機構を追加することにより、運動性・運用性を向上。同時に、各種操船支援機能によるUI改良や障害物センサ・操船用カメラの追加による安全性の向上の開発を前倒し	ロボットの運動性・運用性を向上させての点検を効率化するとともに、開発前倒しにより現場実験を充実化しロボットの現場適用性を向上。

表 2-4b-12 開発促進財源案件(③ロボット)

研究開発項目	投入先	年度	課題	成果
センサシステム技術	マイクロマシンセンター	H27	ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発	適用設備や新方式無線の前倒し試行による開発加速
センサシステム技術	産業技術総合研究所	H27	ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発	素子開発を支援するソフトウェアの導入による開発加速
非破壊検査技術	産業技術総合研究所	H27	超小型X線及び中性子センサを用いたインフラ維持管理用非破壊検査装置開発	大面積X線イメージセンサの基盤技術開発を開始。
センサシステム技術	マイクロマシンセンター	H28	ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発	センサに新組成比のターゲットを導入を実現
イメージング技術	ジェイアール西日本コンサルタンツ	H28	位相解析手法を用いたインフラ構造物用画像計測システムの研究開発	橋梁支承部に健全度評価を新たに実現
非破壊検査技術	産業技術総合研究所	H28	超小型X線及び中性子センサを用いたインフラ維持管理用非破壊検査装置開発	X線検出器の大面積化により、非破壊検査のスループット向上
イメージング技術	4Dセンサー株式会社	H30	位相解析手法を用いたインフラ構造物用画像計測システムの研究開発	計測用カメラの無線化により性能向上
非破壊検査技術	日立パワーソリューションズ	H30	超小型X線及び中性子センサを用いたインフラ維持管理用非破壊検査装置開発	LiCAFセンサー(中性子センサー)を追加試作し研究開発を促進

表 2-4b-13 開発促進財源案件(その他)

(b)-6 動向・状勢の把握と対応(中間評価結果への対応)

本プロジェクトでは、平成 28 年度に中間評価を実施した。中間評価時の指摘事項には前向きに対応を検討し、表 2-4b-14 に示す内容で指摘を採り入れた。

指摘		対応
1	技術だけではなく、うまく進んでいる事例のエッセンスを横出しする。あるいは、連絡会議を設けるなどとして、横串での ノウハウ共有 が進むとよい。	実施者が一堂に会して進捗確認、技術に関する意見交換を実施する 技術検討会 を、2017年度に2回、2018年度に1回実施した。各テーマの取組について議論し、技術面、運用面について、ベストプラクティス及び課題を共有し、協調促進を図った。
2	ハードによらない側面での検討が必要となるため、 システム面、運行管理といった方面での有識者の投入 が必要である。さらには、戦略構築のためのアドバイザー機能を、外部有識者により設けてもよいと考えられる。	①センサシステム、②イメージング技術分野に関しては、 あらたに技術委員会を組織 し、インフラの専門家や事業化の専門家を含む委員により、助言を行う体制を構築した。 また、③ロボット分野に関しては、技術委員会のインフラ施設の専門家と事業戦略の専門家を拡充した。
3	プロジェクトの数が多く、重複なども散見されることから、 テーマごとの再編、メンバー構成の見直し、企業間連携の強化 などを進めるべきである。	ステージゲート を実施し、専門の委員によりテーマごとの検討を行った。 また、実施者が一堂に会して意見を交換する 技術検討会 を実施し、相互交流を促した。この結果、技術のテーマ間活用の効果が生じた。
4	「定量化することができても アラートをどのように設定 し発信するのか」という質問も、サイトビジットやステージゲート審査会の時に多く出された。	この指摘は 大きな課題として残っている 。各テーマで努力し、ある程度の警告を発する技術が完成しつつあるが、実際の運用に耐える判定技術は今後の実用化ステージで検証されることが期待される。

表 2-4b-14 中間評価における指摘とその対応

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

知的財産権委員会を設置し、知財ポリシーの策定、知的財産権の帰属、知的財産の管理・活用について、事業全体の目的を達成するための連携を生かした戦略、合理的なルールの確立を行った。

(a) 知的財産等に関する戦略

(1) 委託事業の知財権の取扱い(センサシステム分野、イメージング技術分野、非破壊検査装置分野)については以下の戦略とした。

委託先における研究開発のインセンティブや成果意欲を高め、開発成果を効果的に社会還元するとの狙いから「日本版バイ・ドール条項(産業技術力強化法第 19 条)」を適用し、原則として、当該委託研究に係る知的財産権は、事業者には帰属する。(ただし、この適用には国が公共の利益のために必要がある場合に、当該知的財産権を無償で NEDO に実施許諾すること等の条件あり)

(2) 助成事業の知財権の取扱い(ロボット分野)については以下の戦略とした。

助成先が主体に取り組む研究開発に対し、NEDO がその事業費の一部を助成金として負担する事業である。すなわち、助成先が行うインフラ維持管理・更新等の技術に関する研究開発を助成することにより我が国産業の持続的な発展を図り、もって国民生活の安定向上及び国民経済の健全な発展に資することを目的としている。知的財産権は事業者には所屬し、開発成果をインフラ点検という公的利益に沿う技術に活かすことで社会還元を図る。

(b) 知的財産管理

NEDO 知財マネジメントガイドラインに従って、実施者間で知財合意書を作成し、研究成果の有効利用を図っている。すなわち、知的財産取扱規定の策定については、産業財産権等の帰属、発明の出願に関わる手続き、知的財産権等の実施に関する取り扱いを定めている。

また、知的財産権委員会を設置した。委員会のメンバーは、各研究テーマの実施機関の代表者で構成され、発明の権利配分、実施許諾等について審議・認定する。また、委員会はPJ期間中、知財運営において必要となった際に開催することとしている。

3. 研究開発成果について

3.1 事業全体の成果

(1) 研究開発目標の達成度及び開発成果の意義

(a) 研究開発項目ごとの目標と達成状況

「研究開発項目①インフラ状態モニタリング用センサシステム開発」、「研究開発項目②イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発」及び「研究開発項目③(2)インフラ維持管理用非破壊検査装置開発」にあつては、平成30年度末までに研究開発を終了した。基本計画に掲げる研究開発内容を完了し、研究開発目標を達成した。

「研究開発項目③(1)インフラ維持管理用ロボット技術開発」にあつては、平成29年度末までに研究開発を終了した。基本計画に掲げる研究開発内容を完了し、研究開発目標を概ね達成した。

本プロジェクトの3つの研究開発項目ごとの目標と成果、達成度、今後の課題と解決方法を表3-1a-1に示す。ただし、開発項目③については、(1)ロボット分野と(2)非破壊検査装置分野に分離して示した。

いずれの研究開発項目においても、事業開始時に設定した目標を達成した。ただし、ロボット分野については、コストを作業員による点検作業と比較した場合に、作業の困難度や点検環境に依存して変化する結果となり、11種類の開発ロボットの全てがトータルコストが同程度以下となる、とは判定できない結果となった。

研究開発項目	目標 (再掲)	成果	達成度	今後の課題と解決方針
センサシステム技術	インフラ構造物及びその構成部材の状態を常時・継続的・網羅的に把握するセンサシステム開発及びそのセンサシステムを用いたセンサネットワークシステムを構築	開発する15技術において、以下の目標を実現 ・振動または変位・温度計測機能 ・1回/時以上の無線通信 ・自立電源動作 ・地震等の突発事象検出 ・サイズ: 概ね7cmx10cmx5cm以下 ・無線通信: 免許不要、通信距離30m以上 ・信頼性: 10年以上	○	・更なる運用を重ねて現場運用性の向上や実運用上の機能や精度の検証を重ねたい。 ・計測値から異常警告を自動発生する論理の開発が望まれる。
イメージング技術	完全自動により取得データからひび割れ等を判別できるデータ処理手法、撮影時の位置ずれを補正できる平面のみならず、奥行き(3D)もわかる画像解析手法を開発	開発する2技術において以下の目標を夫々達成 ・画像データから0.2mm以上のひび割れ等を6割以上の確率で判別 ・平面/奥行きの変形を計測、支点間の長さの2万分の1の変位を計測できること及び15m以上の構造物を計測	○	・耐環境性、特に雨天時の運用の改善が必要。 ・確実性や使いやすさの向上。計測実績を積み上げることで信頼性を向上し、顧客の拡大を図る。
ロボット技術	インフラ構造物の中で、人間の立入りが困難な箇所へ移動し、インフラの維持管理に必要な情報を取得できるロボットを開発	開発する11技術において以下の目標をほぼ達成 ・「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入における重点分野」が指定する維持管理業務について、従来の作業員による点検や重機を用いた作業と同程度のトータルコスト及び同程度の精度を有するロボットを開発し、「ロボット現場検証委員会」の評価の下、およびサイトビジットにおいて現場実用性の検証を行った。	○ 点検コストは一部未達成	・点検コストは現場だけでは現状超過。事務作業を含めてトータルで軽減模様 ・実用化に向けて、機体・運用体制の更なるコスト削減が望まれる
非破壊検査装置技術	ロボット技術開発で想定されるロボットへの搭載可能な小型の非破壊検査装置を開発	以下の目標を達成 ・X線や赤外線等を検査光源とする検査対象の健全性を診断するための検査精度を備えたロボットに搭載可能なサイズ、重量の検査装置を開発する。 ・稼働寿命は2万時間以上とし、検査光源に対する安全性を十分に考慮したものとする。	○	・大規模プラントの高所や狭隘部等の難検査部位への対応や安全管理。 ・その他の管径への対応拡大。

表 3-1a-1 本プロジェクトの研究開発項目ごとの目標と成果、達成度、今後の課題と解決方法

