

「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」事後評価報告書

2019年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

2019年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
理事長 石塚 博昭 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会 委員長 小林 直人

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。



「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」事後評価報告書

2019年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

## 目 次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	6
研究評価委員会コメント	7
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	1-6
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	
3. 評点結果	1-21
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料1 分科会議事録	参考資料 1-1
参考資料2 評価の実施方法	参考資料 2-1

## はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「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」の事後評価報告書であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条に基づき、研究評価委員会において設置された「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」（事後評価）分科会において評価報告書案を策定し、第60回研究評価委員会（2019年12月20日）に諮り、確定されたものである。

2019年12月  
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

## 審議経過

### ● 分科会（2019年7月22日）

#### 公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明

#### 非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

#### 公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他、閉会

### ● 現地調査会（2019年7月10日）

福井市内（一級河川日野川：福井市安田町地先）不死鳥大橋

### ● 第60回研究評価委員会（2019年12月20日）

「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」

事後評価分科会委員名簿

(2019年7月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	あおやぎ せいじ 青柳 誠司	関西大学 システム理工学部 機械工学科 教授
分科会長 代理	うめだ かずのり 梅田 和昇	中央大学 理工学部 精密機械工学科 教授
委員	あべ まさと 阿部 雅人	株式会社ビーエムシー(BMC) 研究開発部 部長
	かとう えま 加藤 絵方	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 構造研究領域 構造研究グループ長
	くらづめ りょう 倉爪 亮	九州大学 大学院 システム情報科学研究院 教授
	はやし えいゆう 林 英雄	株式会社 日刊工業新聞社 総合事業局イベント事業部長

敬称略、五十音順

## 評価概要

### 1. 総合評価

本プロジェクトでは PL、SPL、PM の指揮のもと適切なマネジメントが行われ、時々刻々変化する社会の情勢を踏まえた運営が行われていた。一般的に、研究開発プロジェクトは要素技術の開発を重要視しがちであるが、本プロジェクトは技術のシステム化に着目した点で極めて重要な意味をもつ。また、国交省や関連技術の有識者、各施設保有者・管理者と連携のもと、成果の実証や普及への取組みがなされ、当初の目標の通りすべての研究課題で TRL7 以上をシステムとして達成している。さらに、他分野での応用も期待される科学技術上意義のある関連要素技術も開発されている。

一方で、研究期間の短縮ならびに委託から助成への変更は、大きな影響があったと言わざるを得ず、極力避けるべきであった。

今後は、本プロジェクトで開発された成果は、現場での実証実験が必要であり、異なる環境下での実証を進めることにより、さらに高い成果が見込まれる。NEDO には国土交通省と連携して継続したフォローを期待したい。

### 2. 各論

#### 2. 1 事業の位置付け・必要性について

インフラ維持管理は公共性が高く、民間のみの努力で新技術を開発し、実証して、市場を形成して行くことは、リスクが高く困難であるため、NEDO が本プロジェクトを実施したことは、市場形成効果も含めて、極めて大きい。社会インフラの維持管理に向けた制度整備や、老朽化した社会インフラの安全性確保と長期供用への期待など、我が国でのインフラ維持管理の重要性の高まりを考慮すれば、本プロジェクトの目的は極めて妥当である。本プロジェクトは最先端のロボット、センサ技術を結集し、社会課題に対するソリューションを具現化したものであり、我が国の高い技術水準を国内外にアピールできるものである。極めて適切な時期に、適切な形で行われたプロジェクトであったと評価され、それにより、我が国のインフラ維持管理を、世界的にリードできる地位に高めることに大きく寄与できた。

#### 2. 2 研究開発マネジメントについて

PL、SPL、PM が良い連携をとり、適切な指揮命令が行われており、実施者は技術力および事業化能力を十分に発揮したものと考える。大学と企業との連携も適切に行われていたと思われる。「ロボット技術開発」に関して、研究期間の短縮ならびに委託から助成への変更があったにも関わらず、実施者が想定以上の成果を上げるに至ったことは、PL の強力なリーダーシップによるもので、指揮命令系統及び責任体制が有効に機能しているといえる。また、外部有識者からなる外部委員の設置など、目標達成に向けた評価、推進体制が組織されている。ステージゲートの設定、追加採択、前倒し可能な技術の先行事業化などの取り組み

は、早期実用化を目指したプロジェクトとして妥当である。

一部の研究開発分野（ロボット分野）における研究期間の短縮ならびに委託から助成への変更は、大きな影響があったと言わざるを得ず、極力避けるべきであった

今後は、NEDO 主導で交流の場を継続していただくとともに、プロジェクト終了後のマネジメントの優良実践事例として、他のプロジェクトに反映していただきたい。

### 2. 3 研究開発成果について

本プロジェクトでは、「実現場において実際に機能する具体的なシステムの開発」が大きな目標に設定されており、成果としてプロトタイプが完成されたことが確認できている。また、国土交通省などにより実現場で採用が進められる個別テーマも実績として出ており、高い成果として認められる。点検・モニタリング機器開発および診断といったすべての研究課題において、当初目標である TRL(Technology Readiness Level)7 以上をシステムとして達成しており、インフラ維持管理の省力化・少人化や定量データの取得が見込める技術が創出されている。

一方で、分科会等における研究開発の説明対象は、資金配分額等も考慮して決定すべきであり、今後のプロジェクトで検討してほしい。

今後は、NEDO が中心となって開発された技術の成果を広く国内外に普及させるよう希望する。

### 2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

PL の「現場で役に立つ技術の開発」という強い基本方針がプロジェクト全般にわたり貫かれているため、成果の実用化・事業化に向けた戦略は技術開発テーマごとに明確であり、妥当である。特にロボットシステムについては、国交省や施設管理者との連携のもと、現場試行・検証を繰り返し実施し、実用性の高いシステムが開発されているものが多く、既に事業化された取組もある。さらに、テーマ毎に TRL の段階評価を把握し、今後の追跡、フォローが行える仕組みとなっている。

一方で、TRL の評価は自己評価に加えて、外部委員など第三者からの評価も加えるべきであった。

今後は、プロジェクトの成果をさらに発展させて優れた技術を生み出し、更なる実用化につなげていくためにも、NEDO として、国として継続的にサポートしていくことが強く望まれる。

## 研究評価委員会委員名簿

(2019年12月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	こばやし なおと 小林 直人	早稲田大学 研究戦略センター 副所長・教授 ／研究院 副研究院長
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション 創発センター 研究参事
	あたか たつあき 安宅 龍明	先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事
	かめやま ひでお 亀山 秀雄	東京農工大学 名誉教授
	ごないかわひろし 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
	さく まいちろう 佐久間 一郎	東京大学大学院 工学系研究科 教授
	たからだ たかゆき 宝田 恭之	群馬大学 大学院理工学府 環境創生部門 特任教授
	ひらお まきひこ 平尾 雅彦	東京大学大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻 教授
	まつい としひろ 松井 俊浩	情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科 教授 ／国立研究開発法人産業技術総合研究所名誉リサーチャ
	まるやま まさあき 丸山 正明	技術ジャーナリスト／横浜市立大学大学院非常勤講師
	よしかわ のりひこ 吉川 典彦	名古屋大学 名誉教授
	よしもと ようこ 吉本 陽子	三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部 経済政策部 主席研究員

敬称略、五十音順



## 研究評価委員会コメント

第60回研究評価委員会（2019年12月20日開催）に諮り、以下のコメントを評価報告書へ附記することで確定した。

- 本プロジェクトでは技術のシステム化に向けた適切なマネジメントにより、高い研究開発成果を上げたことは特筆すべきである。今後は開発された成果物を活用するためのプラットフォーム機能や、国土交通省との連携等の仕組みを視野に入れた橋渡し機能を果たして頂きたい。また国際的な展開もぜひ視野に入れることを期待したい。

## 第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

## 1. 総合評価

本プロジェクトでは PL、SPL、PM の指揮のもと適切なマネジメントが行われ、時々刻々変化する社会の情勢を踏まえた運営が行われていた。一般的に、研究開発プロジェクトは要素技術の開発を重要視しがちであるが、本プロジェクトは技術のシステム化に着目した点で極めて重要な意味をもつ。また、国交省や関連技術の有識者、各施設保有者・管理者と連携のもと、成果の実証や普及への取組みがなされ、当初の目標の通りすべての研究課題で TRL7 以上をシステムとして達成している。さらに、他分野での応用も期待される科学技術上意義のある関連要素技術も開発されている。

一方で、研究期間の短縮ならびに委託から助成への変更は、大きな影響があったと言わざるを得ず、極力避けるべきであった。

今後は、本プロジェクトで開発された成果は、現場での実証実験が必要であり、異なる環境下での実証を進めることにより、さらに高い成果が見込まれる。NEDO には国土交通省と連携して継続したフォローを期待したい。

### 〈肯定的意見〉

- ・ インフラ維持管理・更新という社会性の高いテーマ設定に対して、「現場で役に立つ技術の開発」が行われ、成果が十分に上がったものと判断する。PL、SPL、プロジェクトマネージャーの指揮のもと適切なマネジメントが行われ、ステージゲートにおける中間評価等、時々刻々変化する社会の情勢を踏まえた運営が行われていたものと判断する。費用対効果も十分であると判断する。
- ・ インフラの維持管理という、派手さはないが現在ならびに今後の日本にとって極めて重要で対策が急がれる課題を正面から取り上げたことは、大変優れた課題設定であったと言える。また、実現場での実用性を重視し、汎用性ではなく具体性を持つ完成度の高いシステムを構築するという目標設定も適切であり、PL、PM を中心とした強力なリーダーシップの元で実際にこの目標に添った豊富な研究開発成果が上がった、優れたプロジェクトであったと言えよう。
- ・ インフラ老朽化の進展や、事故の発生などの社会的ニーズの高まりと、センサやロボット技術等の新たな産業につながる高度なシーズの近年の急速な進展を踏まえ、極めて適切な時期に、適切な形で行われたプロジェクトであったと評価される。インフラ維持管理は公共性が高く、民間のみの努力で新技術を開発し、実証して、市場を形成していくことは、リスクが高く困難であるので、本プロジェクトによる促進効果は、極めて大きい。それによって、我が国のインフラ維持管理を、この分野を世界的にリードできる地位に高めることに大きく寄与できた。
- ・ PL/PM の適切なリーダーシップのもとに、「現場で動く」というわかりやすく評価しやすいターゲット・ゴールを明示することによって、プロジェクト全般にわたって整合的なスコープのもとに、効果的・機動的なマネジメントにつなげることができている。ムーンショット型のような現代的な研究開発マネジメントの先駆けとして高く評価できる。

- ・ ユーザ側と技術提供側が一体となった研究開発チームが当初より形成されたことが優れた成果につながった。インフラに限らず、ニーズとシーズをマッチングして、新たなシステムを創出するような研究開発全般に対する一つの新たな研究開発マネジメントのあり方が提示されている。また、国交省との連携も、実用化・事業化を見据えた研究開発の推進に大きく寄与したと思われる。
- ・ 現場実証は、研究開発の進捗・改善に大きな効果があるのみならず、ユーザへの啓発効果も高く、普及や市場形成促進への効果が高いという点からも評価される。
- ・ 点検・診断は社会インフラの戦略的な維持管理の実現の根幹を担うものであり、その技術の高度化は、社会インフラの技術基準や安全基準を整備し、かつその大半を保有・管理する国が主導して取り組んでいくべきと考える。このことから、当該事業はNEDOの事業として極めて妥当である。特に、国交省や関連技術の有識者、各施設保有者・管理者と連携のもと成果の実証や普及への取組みがなされたこと、当初の目標の通りすべての研究課題でTRL7以上をシステムとして達成していること、また、他分野での応用も期待される科学技術上意義のある関連要素技術も開発されていることから、当該事業の実施・運営・管理は適切かつ十分であったと判断される。また、プロジェクト終了後においても、各研究課題実施者の交流の場を設け、開発技術の発展・改善に向けた取組みを行っているとのこと。今後もNEDO主導で交流の場を継続して頂くとともに、創出された成果の海外展開のサポート体制を整備するなどして、プロジェクト終了後のマネジメントの優良実践事例として、他のプロジェクト運営にも反映して頂きたい。
- ・ 研究開発プロジェクトは要素技術の開発が重要視されがちであるが、本プロジェクトは技術のシステム化に着目した点で極めて重要な意味をもつプロジェクトである。SIPと補完関係にあり、両方で挑戦的技術から実用技術まで網羅したプロジェクトとなった。  
研究期間の短縮や受託研究への変更などの困難を乗り越え、PM、PLの強いリーダーシップと実施者、NEDO関係者の努力により、一丸となって成功に導いたプロジェクトであった。
- ・ 本事業は、インフラ施設の維持管理における社会的な課題から立ち上がったプロジェクトであり、現場のニーズに合わせて、①センサシステム ②イメージング ③非破壊検査 ④ロボットの技術開発が進められている。  
特に国土交通省との連携において、現場での実証やニーズの共有などにより、明確な目標設定が可能となり、具体的なプロジェクトの成果につながっている。  
また、ユーザがプロジェクトに加わることにより、単なる技術開発だけでなく、ニーズや課題を把握しながら開発を進めることが出来ている。さらに外部の技術委員やNEDOによる進捗管理やマネジメントにおいても中間評価やステージゲート、現場実証などを通じて適切に行われている。  
研究開発の成果においては、全ての個別テーマにおいて、実現場で働くシステムのプロトタイプが開発されており、さらに全26技術の内、6割を超える16技術が事業

用システムの開発につながっており、事業マネジメントによる高い成果であると認められる。

これから事業終了後の2年以内の実用化に向けて、国土交通省や関係者との意見公開会や現場での実証プログラムも行っており、さらなる成果が期待できる。

#### 〈改善すべき点〉

- MEMS・センサのテーマと、ロボット・非破壊検査の予算配分が適切であったのか、やや疑問が残る。本事後評価のプレゼンの際に、もう少し前者の具体例のプレゼンが聞きたかったというのが正直な感想である。
- 「ロボット技術開発」における研究期間の短縮ならびに委託から助成への変更は、社会情勢の変化や政策の動向に適切に対応したとも言えようが、実施者側、特に大学などにおいては、やはり大きな影響があったと言わざるを得ず、極力避けるべきであった。
- インフラ領域は国土交通省が主に管理している領域であるが、今回、NEDOとクロスオーバーした形での連携が行われたことが、効果が大きかったと思われる。今後とも、領域や省庁をクロスオーバーした活動に期待したい。また、そういった境界的な領域に未来を支える新産業・新市場が広がっているものと考えられる。新しい形態の研究開発マネジメントであったと思われるので、本プロジェクトの成果を踏まえ、新たな時代にあった、ニーズとシーズの融合を図る研究管理・支援・マネジメントの方法の開発と体系化を一層進めてほしい。
- 事業化にあたってはフィールド実証が前提となるが、その実施にはコストやノウハウが必要であって、一般には敷居が高い。そこで、異業種やベンチャーなどより多様な企業のこの領域への一層の参入を促すために、フィールド実証等への支援を強化することが効果的であると思われる。
- 当該事業実施の背景を鑑みれば、すべてのインフラにおいて高度な点検技術が必要とされているわけではなく、開発された点検・診断技術の簡略化で必要十分な維持管理が達成できるインフラも多数存在する。インフラの高齢化という喫緊の課題に対応するためには、センサ・ロボット専門の有識者に加えて、インフラ維持管理実施側の有識者・実務者の関与がより必要であったのではないか。研究開発側にユーザー・エンドユーザーの参画・協力が義務付けられていた点は評価できるが、研究開発側の意見のみでは偏りが生じる場合もある。成果の実用化・事業化に向けては、技術開発側と維持管理実施側が、個別のインフラの点検・診断に求める精度・確度・コストの相場観を共有できるような取組みが必要であったと考える。
- 技術委員制度を当初から導入し、よりプロジェクトの実施や評価に関与させるべきであった。

事業期間の変更や助成事業への移行など、事業期間中のプロジェクト実施に係る重要な変更はできる限り避けるべきであり、事業開始前に決定し、周知すべきであった。

### 〈今後に対する提言〉

- ・ プロジェクトが終了後に、開発された技術の成果を広く国内外に普及させるよう希望する。これで終わりということではなく、NEDO がうまく「音頭」を取って、参加した事業者が智恵を寄せ合い、色々な枠組みを作っていくしてほしい。
- ・ 特に現行の法律の縛りから、せつかく本プロジェクトで開発されたシステムや要素技術が、現場ですぐに適用しにくい局面も今後多々生じると思われる。そのような場合において、プロジェクト終了後においても、NEDO が実施者と国交省との橋渡しの存在に是非なってほしい。
- ・ また本プロジェクトから発生するベンチャー企業についても、何らかの支援の枠組みが作られるとよいと思う。
- ・ インフラの維持管理は、今後の日本にとって益々重要性が増していく極めて重要な課題である。今回のプロジェクトの成果をさらに発展させ、更なる実用化につなげていくためにも、今回のプロジェクトに類するものを継続的に NEDO として、あるいは国として準備していくことが強く望まれる。また、今後は、企画段階で事前に十分な検討を行い、研究期間の短縮や委託から助成への変更を中途で行うことがないようにして頂きたい。ただし、(社会情勢の急激な変化などに応じて) 計画を拡大する方向への変更は問題ないとする。
- ・ 今回は、明確な目標設定の下、機動的で効果的なマネジメントに成功していると思われる。実際のマネジメントの記録に加え、その動機や背景、どのように考えたかなどについても、エッセイ的な形や P L、PM 等当事者の個人としての考えや感想などの形でもよいので、記録を残す仕組みを導入すると、より、今後の参考になると思われる。
- ・ 今回のプロジェクトによって、この分野が世界的にトップレベルに達したことは疑いの余地がないが、インフラ維持管理は先進諸国全般に極めて関心が高い分野であり、A I など新たな技術が日々生まれ、激しい競争が繰り広げられている。優位性を保ち、かつ拡大するための研究開発戦略の構想・立案や、資金面のみならず、情報共有・マッチング、現場実証支援等、継続的、かつ、シームレスに支援するような仕組みが望まれる。
- ・ 異分野融合的な取り組みをプロジェクト期間の一過性のものとせず、持続的にイノベーションし続けるような支援の在り方を模索されたい。それにあたっては、情報交換に加え、断片的な現場ニーズを集約化し、技術課題として整理していくこと等も重要であると思われる。
- ・ 今後、この分野においても、近年発展著しい A I を取り入れた一層の取り組みの強化が望まれる。
- ・ インフラ維持管理に対する開発成果の普及のみでなく、研究開発から得られた知見に基づいたインフラ設計・施工側への提言についても検討して頂きたい。インフラ維持管理が抱える課題の早期の解決に向けては、点検・診断の要素技術の研究開発側からインフラ設計・施工側に向けて、ハード面（土木・建築・設備の設計・施工）での技

術的工夫を提案することも有効と考える。開発成果の実用化に対する課題と今後の方針を示すに当たっては、「技術を使う側」への提案も含めるようにし、技術的課題の解決と維持管理技術のさらなる高度化に貢献していただきたい。

- 本プロジェクト終了後は、実施者のみで技術、製品を囲い込むのではなく、業界全体として技術の普及や標準化を目指すとともに、その取り組みを継続して実施してほしい。
- プロジェクトによっては、今後も現場での実証実験が必要であり、異なる環境下での実証を進めることにより、さらに高い成果が見込まれる。NEDOには国土交通省と連携して継続したフォローを期待したい。

## 2. 各論

### 2. 1 事業の位置付け・必要性について

インフラ維持管理は公共性が高く、民間のみの努力で新技術を開発し、実証して、市場を形成して行くことは、リスクが高く困難であるため、NEDO が本プロジェクトを実施したことは、市場形成効果も含めて、極めて大きい。社会インフラの維持管理に向けた制度整備や、老朽化した社会インフラの安全性確保と長期供用への期待など、我が国でのインフラ維持管理の重要性の高まりを考慮すれば、本プロジェクトの目的は極めて妥当である。本プロジェクトは最先端のロボット、センサ技術を結集し、社会課題に対するソリューションを具現化したものであり、我が国の高い技術水準を国内外にアピールできるものである。極めて適切な時期に、適切な形で行われたプロジェクトであったと評価され、それにより、我が国のインフラ維持管理を、世界的にリードできる地位に高めることに大きく寄与できた。

#### 〈肯定的意見〉

- ・ インフラが老朽化し、それを点検するための人員の不足が少子高齢化の影響もあり顕在化している。この問題を最新のロボット・MEMS のテクノロジーを駆使して解決し、そこで開発された要素技術をもとに様々な産業の活性化を図ろうという本プロジェクトは、まさに時宜にかなったものである。テーマの選定は極めて理にかなった、先見の明があるものであると考える。
- ・ 元来企業においては製造販売に軸足が置かれがちであり、それをメンテナンスするサービスは往々にしておろそかになることも多いと考えられる。特に個人消費者用途でなく、社会性、公共性の高い用途については、その傾向が大きいと思われる。その代表例であるインフラにおいて、個々の企業の努力を待つのではなく、NEDO が積極的に関与して、本プロジェクトのオーガナイズ、運営を行ったことは特筆すべきことであり、最大限評価できる。
- ・ インフラの点検整備という、国家の根幹を担う巨大な市場規模を有する課題に対して、80 億円という金額で、MEMS を始めとしたセンサ・イメージング分野で 14 件、ロボット・非破壊検査分野で 12 件もの多数の製品開発を進めている。全てのテーマにおいて、達成水準 TRL(Technology Readiness Level)のスコア 7 以上 (10 がフルスコア) が達成されていることは、費用対効果の面で非常に優れたプロジェクトであったものと評価できる。
- ・ インフラの維持管理は、現在ならびに今後の日本にとって極めて重要で対策が急がれる喫緊の課題である一方、公共性が極めて高く、民間活動のみに頼ってはいち早くなくなる危険性が大きい。事業の目的、特に NEDO の事業としてとりあげることの妥当性は、極めて大である。
- ・ インフラ老朽化の問題の進展や、事故の発生などの社会的ニーズの高まりと、センサやロボット技術等の新たな産業につながる高度なシーズの近年の急速な進展を踏まえ、極めて適切な時期に、適切な形で行われたプロジェクトであったと評価される。それ



によって、我が国のインフラ維持管理を、この分野を世界的にリードできる地位に高めることに大きく寄与できた。

- ・ インフラ維持管理は公共性が高く、民間のみの努力で新技術を開発し、実証して、市場を形成してくことは、リスクが高く困難であるので、NEDOが実施したことによる促進効果は、市場形成効果も含めて、極めて大きい。
- ・ 笹子トンネル天井崩落事故を契機に加速された社会インフラの維持管理に向けた制度整備や、高齢化した社会インフラの安全性確保と長期供用への期待など、我が国でのインフラ維持管理の重要性の高まりを考慮すれば、当該事業の目的は極めて妥当である。
- ・ 点検・診断は社会インフラの戦略的な維持管理の実現の根幹を担うものであり、その技術の高度化は、社会インフラの技術基準や安全基準を整備し、かつその大半を保有・管理する国が主導して取り組んでいくべきと考える。そして、技術的課題の早期解決に向けては、民間・大学等で開発された基礎技術・要素技術を有効活用し、現場適用が可能となるよう、国主導のもとで改善・検証を進めることが効率的である。このことから、当該事業はNEDOの事業として妥当であったと考える。
- ・ 慢性的な人手不足を背景に、社会資本の維持に必要なインフラ点検作業を、ロボット・センサ技術の高度化により、将来にわたり安定的に実施するためのプロジェクトであり、我が国の持続的発展に向けて極めて緊急性、重要性が高い。

現在の技術の統合により実現可能な具体的なシステムを開発目標としており、先端的、挑戦的でリスクが高い技術開発を目的としたSIPと重複せず、相補的な関係が構築されている。

新たな要素技術の開発のみならず、要素技術を統合し新たなシステムを構築するシステム化指向の技術開発も、民間活動のみでは時間がかかり、かつ技術の高度化による国際競争力の維持において極めて重要な課題であり、「ナショナルプロジェクトのあり方について」とも合致している。

最先端のロボット、センサ技術を結集し、社会課題に対するソリューションを具現化したものであり、我が国の高い技術水準を国内外にアピールできる重要なプロジェクトである。

- ・ 我が国における橋梁をはじめとするインフラ設備は、老朽化と維持管理における人手不足、高コスト化が問題となっており、現在、民間企業によって多数の人員、機材や機器等を使って点検、管理している状況である。そのような中、本事業はロボットやICTなどの高度技術を使用して、効果的、効率的に維持管理を行うための技術開発プロジェクト事業であり、本事業の実施は妥当であると認められる。

また、老朽化するインフラ施設の数急増しており、現在の民間企業による対応では難しいのが現状である。そのため、NEDOが関与することにより、インフラ対応システム・技術の研究開発が進み、実現場への早期投入が見込まれる。

その他、費用対効果としてもインフラ施設の維持管理における市場は3兆円を超える予測であり、新たな技術の実用化におけるインパクトは大きく、5年間のNEDOの

事業規模と比較しても妥当である。

〈改善すべき点〉

- 特に見当たらない。強いて言えば、シーズの芽生えの段階であるようなテーマを選択して実用化レベルまで昇華したケースより、ある程度の実績があるテーマを選択して完成度を本プロジェクトにおいて高めたケースが多いように感じられるが、これは本事業の趣旨がプロジェクトリーダー、プロジェクトマネージャーが強調しているように「現場で役に立つ」システムや製品を目指していることを考慮すると、至極当然だと理解できる。
- インフラ領域は国土交通省が主に管理している領域であるが、今回、NEDO とクロスオーバーした形での連携が行われたことが、効果が大きかったと思われる。今後とも、領域や省庁をクロスオーバーした活動に期待したい。また、そういった境界的な領域に未来を支える新産業・新市場が広がっているものと考えられる。

## 2. 2 研究開発マネジメントについて

PL、SPL、PM が良い連携をとり、適切な指揮命令が行われており、実施者は技術力および事業化能力を十分に発揮したものと考えられる。大学と企業との連携も適切に行われていたと思われる。「ロボット技術開発」に関して、研究期間の短縮ならびに委託から助成への変更があったにも関わらず、実施者が想定以上の成果を上げるに至ったことは、PL の強力なリーダーシップによるもので、指揮命令系統及び責任体制が有効に機能しているといえる。また、外部有識者からなる外部委員の設置など、目標達成に向けた評価、推進体制が組織されている。ステージゲートの設定、追加採択、前倒し可能な技術の先行事業化などの取り組みは、早期実用化を目指したプロジェクトとして妥当である。

一部の研究開発分野（ロボット分野）における研究期間の短縮ならびに委託から助成への変更は、大きな影響があったと言わざるを得ず、極力避けるべきであった

今後は、NEDO 主導で交流の場を継続していただくとともに、プロジェクト終了後のマネジメントの優良実践事例として、他のプロジェクトに反映していただきたい。

### 〈肯定的意見〉

- ・ インフラの点検整備が我が国において喫緊の課題であることを考えると、極めて適切な研究開発目標の設定であったといえる。そのために、PL、SPL を始めとしたメンバーの豊富な経験と知識に裏付けされた「目利き」により、性能が良く、適切な開発費を投じれば成果が上がるということが予測されるテーマが選定されている。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されていたものと考えられる。これだけ多くのテーマを推進するので、全部が順調に進行するとは考えにくい。ステージゲートにおいてその分野で高名な識者に依頼して、いくつかのテーマを中止にする等、適切な開発スケジュール（実績）管理および研究開発費の配分が行われていると思われる。
- ・ PL、SPL、プロジェクトマネージャーが良い連携をとり、適切な指揮命令が行われており、実施者は技術力および事業化能力を十分に発揮したものと考えられる。大学と企業との連携も適切に行われていたと思われる。具体例のひとつとして紹介された、スーパーアコースティックセンサによる橋梁センシングシステムの開発は、その好例であると考えられる。
- ・ 研究の進捗状況、社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、ステージゲートにおいて早期実用化が見込まれるものを選定して別の進め方の枠組みを考慮する等、適切な対応が行われていたものと判断する。
- ・ 知的財産の件数も多く、権利化が必要な技術内容については適切な対応が行われているものと考えられる。具体例として紹介された、道路構造物ひび割れモニタリングシステム、大型 FP 型イメージセンサの研究については、特許をもとにベンチャーカンパニーの立上げも視野に入れているということであり、好印象を持った。
- ・ PL、PM を中心に、実現場での実用性を重視し、汎用性ではなく具体性を持つシステムとしての完成度を重視するという目標を実施者に徹底し、それに添った成果を上げることができたことは、高く評価できる。特に、「ロボット技術開発」に関して、研究

期間の短縮ならびに委託から助成への変更があったにも関わらず実施者が想定以上の成果を上げるに至ったことは、PLの強力なリーダーシップがなくてはなしえなかったのではないかと思う。また、開発促進財源の投入は、研究開発の加速に効果があったと判断できる。

- PL/PMの適切なリーダーシップのもと、「現場で動く」というわかりやすく評価しやすいターゲット・ゴールを明示することによって、プロジェクト全般にわたって整合的なスコープのもとに、効果的・機動的なマネジメントにつなげることができている。ムーンショット型のような現代的な研究開発マネジメントの先駆けとして高く評価できる。
- ユーザ側と技術提供側が一体となった研究開発チームが当初より形成されたことが優れた成果につながった。インフラに限らず、ニーズとシーズをマッチングして、新たなシステムを創出するような研究開発全般に対する一つの新たな研究開発マネジメントのあり方が提示されている。
- 研究課題のすべてにおいて、1) 開始当初より、中間目標および最終目標が具体的な要求性能（数値指標等）のもと明確に示されていたこと、2) インフラ維持管理の性質を踏まえて、市場性や経済効果を期待することを第一目的とせず、具体的な条件の現場に適用できるシステム開発を主目的としたプロジェクトマネジメントが実施されたこと、3) 開発技術の現場適用状況の確認のための現場実証実験やサイトビジットがほぼすべての研究課題について実施されたこと、4) センサ・ロボットはもちろんのこと、インフラ維持管理の有識者が技術委員として参画していること、5) すべての研究課題において施設管理者もしくは開発技術のエンドユーザーが実施者として参加・協力するよう体制整備が図られたこと等により、当初予定よりも短期の実施期間であったにもかかわらず、具体の現場に即適用できる各種技術が開発されたものとする。

以上のことから、当該事業についての研究開発マネジメントは適切であり、今後実施される類似事業においても大いに参考にすべきと考える。

- ニーズに基づく目標設定と、ユーザも参加した現場での実証実験を重視する姿勢は、技術の早期実用化を目指した本プロジェクトの趣旨に合致している。

外部有識者からなる外部委員の設置など、目標達成に向けた評価、推進体制が組織されている。

ステージゲートの設定、追加採択、前倒し可能な技術の先行事業化などの取り組みは、早期実用化を目指したプロジェクトとして妥当である。

ユーザ（主に国交省）とも密に意見交換、協力しながら実施されており、出口指向のプロジェクトとして妥当である。

- 研究開発において、①センサシステム ②イメージング ③非破壊検査 ④ロボットの4カテゴリーにプロジェクトを分けて進めており、①～④において異なる最終目標を設定し、現場の課題に即した計画を立てている。また、中間評価とステージゲートを設けて、技術開発の期間から実証実験の期間に移行するため、各プロジェクトの進捗を的確に把握することが出来る。

- ・ 実施体制においては、各プロジェクトともに、ユーザがプロジェクトに加わり、現場のニーズを把握して、技術開発を進めることが出来ている。
- ・ また、各分野の専門性の高い技術委員により、中間評価の後にサイトビジットを行い、プロジェクトの評価や助言を行っており、目標達成に向けた取り組みにつながっている。
- ・ その他、各プロジェクトともに、現場での実証実験やステージゲートにより、研究開発の継続や改善、また継続が難しい 2 テーマの中止をしており、進捗管理が適切に行われている。

#### 〈改善すべき点〉

- ・ 評価項目にある、実施者間の競争が必要な場合それを促したかについては、今回の事後評価の説明ではよく見えてこなかった。
- ・ 予算の配分において、MEMS・センサ分野に、80 億円のうち 50 億円以上が配分されている。本プロジェクトと NMEMS 技術研究機構との関係性も少々不透明であり、どのような理由でこのような配分になったのかの説明が、明示的に必要かとも思われる。
- ・ 研究期間の短縮ならびに委託から助成への変更は、社会情勢の変化や政策の動向に適切に対応したとも言えようが、実施者側、特に大学などにおいては、やはり大きな影響があったと言わざるを得ず、極力避けるべきであった。
- ・ 新しい形態の研究開発マネジメントであったと思われるので、本プロジェクトの成果を踏まえ、新たな時代にあった、ニーズとシーズの融合を図る研究管理・支援・マネジメントの方法の開発と体系化を NEDO としても一層進めてほしい。
- ・ 研究開発項目①センシング関連については、事業予算の 5 割以上が配分されているが、各研究課題での配分が不明であり、その配分の妥当性・費用対効果の判断は困難である。
- ・ 「アーム懸架型橋梁桁端部点検ロボット（ジビル調査設計）」について、その開発技術の完成度は評価に値するが、一方で、高圧噴射装置使用時の排水処理を考慮する必要があり、現状では全ての現場に無条件に適用するには課題がある。一般に、土木インフラの所有者・管理者は、河川や海岸における排水処理の厳守について認知している。この点について、研究開発実施期間中に、プロジェクトマネジメント側や技術委員との議論に基づく方針決定がなされていたが研究開発実施者の事前対応の不備があった。管理者への届出は研究開発実施者が実施すべきであるが、NEDO は届出について指導・指示すべき立場であり、適用条件等に関して十分な検討と取りまとめが期待された。
- ・ （分科会の運営に関して）採択時・中間評価時と評価者が異なることから、事後評価においても各研究課題の採択の理由、中間評価における継続もしくは打切の理由、各研究課題の進捗状況の把握と遅れへの対応などの情報に関する資料を事前に示して頂きたい。
- ・ 事業期間の変更や助成事業への移行など、事業期間中のプロジェクト実施に係る重要な変更は、研究現場に混乱を招き、新たな負担を強いることから、できる限り避ける

べきである。特に助成事業への移行については、事業開始前に決定し、公募要領等で周知すべきである。

- 技術委員の制度は、プロジェクトの早い段階から導入し、第三者の視点から助言や継続的な評価を与える仕組みを整えるのが望ましい。

#### 〈今後に対する提言〉

- プロジェクトが終了した後に、成果を広く世の中に普及させるよう希望する。今回のプロジェクトを契機として国交省との交渉が容易になり、様々なフィールドテストができたような印象もあるが、この仕組みを続けていってほしい。
- 本プロジェクトで開発された技術はインフラ点検のみでなく、例えば原子力発電所の点検や、内部モニタリングにも使用できると思われる。具体例のひとつとして紹介された X 線イメージセンサ等は、Si を使用した通常の CMOS イメージセンサが X 線により使用できない福島原発の内部調査にも利用できるのではと思った。他のプロジェクトや取り組みとの将来的な連携の枠組みも考慮に入れてほしい。
- 研究期間の短縮や委託から助成への変更を中途で行うことは決して望ましいことではなく、企画段階で事前に十分な検討を行って決定し、その後の変更は極力ないようにすべきである。ただし、(社会情勢の急激な変化などに応じて) 計画を拡大する方向への変更は問題ないと考える。
- 情勢に応じて、機動的に実施したマネジメントの実績や方法については、将来の改善につながるような記録がなされているが、それに加えて、どうしてそのようなマネジメントを行ったのかの動機や背景、どのように考えたかなどについても、エッセイ的な形や PL、PM 等当事者の個人としての考えや感想などの形でもよいので、記録を残す仕組みを導入すると、より、今後の参考になると思われる。
- プロジェクト終了後においても、各研究課題実施者の交流の場を設け、開発技術の発展・改善に向けた取組みを行っているとのこと。今後も NEDO 主導で交流の場を継続して頂くとともに、プロジェクト終了後のマネジメントの優良実践事例として、他のプロジェクトに反映して頂きたい。
- 当該事業における開発技術の海外展開に向けたサポート体制を NEDO で整備して頂けるとよい。大企業・大学等の海外との交流の機会が多い、もしくは既に海外拠点が設けられている研究課題には不要であろうが、中小企業が開発した技術の海外展開についてはサポートが必要と考える。  
NEDO が選定した代表的な成果について紹介して頂いたが、今後は審査側の事前の希望・意見を踏まえての研究課題の選定が可能となるよう検討して頂きたい。
- 事業期間の変更や助成事業への移行などプロジェクト実施に係る重要な変更は、事業開始前に決定し、周知すべきである。本プロジェクトの成功が他のプロジェクトの実施に影響を与えるべきではない。

## 2. 3 研究開発成果について

本プロジェクトでは、「実現場において実際に機能する具体的なシステムの開発」が大きな目標に設定されており、成果としてプロトタイプが完成されたことが確認できている。また、国土交通省などにより実現場で採用が進められる個別テーマも実績として出ており、高い成果として認められる。点検・モニタリング機器開発および診断といったすべての研究課題において、当初目標である TRL(Technology Readiness Level)7 以上をシステムとして達成しており、インフラ維持管理の省力化・少人化や定量データの取得が見込める技術が創出されている。

一方で、分科会等における研究開発の説明対象は、資金配分額等も考慮して決定すべきであり、今後のプロジェクトで検討してほしい。

今後は、NEDO が中心となって開発された技術の成果を広く国内外に普及させるよう希望する。

### 〈肯定的意見〉

- MEMS を始めとしたセンサ・イメージング分野で 14 件、ロボット・非破壊検査分野で 12 件もの多数の製品開発を進め、全てにおいて達成水準 TRL の評価において 7 以上のスコアを達成していることは、特筆すべきである。80 億円の予算規模でこれだけの成果を挙げているので、費用対効果の面で非常に優れたプロジェクトであったものと評価できる。
- 学術論文やプレスリリースの数も多く、学会講演会での発表や、国際ロボット展、ナノマイクロビジネス展での成果紹介、プロジェクトの報告会等、成果の普及に関して十分な配慮がなされていたものと考ええる。
- 特にロボット技術、モニタリング技術にテーマを分け、各テーマの内容をコンパクトに過不足なくまとめた冊子は秀逸であると思われ、成果の普及に大きく貢献したものと考える。
- 知的財産権に関しても、特許の出願件数が 130 と数多く、十分な実績があがったものと考ええる。
- 具体性を持つシステムとしての完成度を重視するという目標のもと、十分な成果が上がったことが、分科会でのプロジェクトの詳細説明、現地調査会、ならびに事業原簿などから判断できる。システムとしての完成度は、これまでの他の同様のプロジェクトよりも高く、目標が徹底されたと言えよう。また、副次的ではあるが、個々の要素技術で、学術的にも優れた成果が十分上がったと判断できる。
- 我が国が直面しているインフラ老朽化の問題に、既存インフラ領域のみならず、センサやロボットなどの領域から横断的かつ異分野融合的に取り組んだことで、世界をリードする成果につながっていると評価される。現代的なニーズに対応した、新たなシーズ・技術を創成して対応したところに、新たな市場形成へつながる成果が達成できたものと考ええる。
- 現場実証は、研究開発の進捗・改善に大きな効果があるのみならず、ユーザへの啓発

効果も高く、普及への効果が高いという点からも評価される。

- インフラ維持管理の要素技術については研究対象となり得るが、インフラ維持管理実務そのものは研究対象とするものではなく、ただひたすら現実として対応すべきものである。この点において、当該事業では、点検・モニタリング機器開発および診断といったすべての研究課題において、当初目標である TRL7 以上をシステムとして達成しており、インフラ維持管理の省力化・少人化や定量データの取得が見込める技術が創出されている。その一方で、目標を達成するに向かって他分野にも応用可能な関連要素技術が創出された事例も多数ある（例えば、高耐久パッケージング技術やセンシング要素技術など）。これらについては、国内外での論文発表や知的財産権の取得等も適切に実行されており、我が国の科学技術・イノベーション力の更なる発展に貢献する技術開発がなされた点は高く評価できる。
- 平成 29 年には道路橋示方書、平成 30 年には港湾の技術上の基準・同解説など、各種インフラ構造物の設計コードが改訂された。今後、新規で建設される構造物については、設計・施工時時の配慮により現在生じている『老朽化』を未然に回避あるいは軽減することが可能となっている。ただし、今後も各種インフラの点検義務化は継続されることが予測されるため、外観目視の代替となるロボット類については、省人化・点検時の安全性確保等の観点からも、将来のニーズの拡充が見込めると考える。また、変位・変形、固有振動など構造物・設備自体の状態変化を対象としたセンシング技術については、今後、通常時の維持管理のみならず災害時のインフラ供用可否判断に活用できるものと期待される。
- 国交省作成の性能カタログにも一部の課題が掲載されるなど、現場で実利用可能な技術がユーザも交えて開発されており、目標は十分に達成されている。

人的コストに対する優位性については、その時の社会状況にも大きく依存するものであり、将来予想される人手不足の深刻化から、現時点での評価は問題にはならないと考える。

実用化指向の高いプロジェクトであるが、特許のみならず論文数も多く、また既に事業化された取組もあり、実用化・事業化戦略は適切である。

- 研究開発において、「実現場において働く具体的なシステムの開発」が大きな目標に設定されており、今回の成果として、全ての事業においてプロトタイプが完成されたことが確認できている。また、国土交通省などにより実現場で採用が進められる個別テーマも実績として出ており、高い成果として認められる。
- 成果の普及では、関係者への情報提供を積極的に行い、シンポジウムや展示会、実証実験への招待など多角的に進めており、これからの実現場への投入や関係者との連携に役立っている。

#### 〈改善すべき点〉

- 全く新規の技術において、TRL において低いスコアから 7 以上のスコアを達成したという感じではなく、既存の技術で研究開発費を投じれば成果が見込まれるものをうま



く「目利き」して選択し、プラン通りに成果を達成した感があるが、本プロジェクトの「現場で役に立つ」という根本的な趣旨を鑑みれば、それは仕方のないことだと思われる。

- 我が国のインフラ維持管理・更新がそもそもの目標であることから仕方のないことであるとは思われるが、達成された技術成果が世界の中でどの程度の水準にあるのかが、不明である。
- 直接的な成果に関することではないが、具体例として紹介された4つの技術のうち、MEMSおよびセンサに関するものが1例しかなかった。ロボットよりも予算規模が大きくこちらに振り向けられていることから、もう少し成果の報告を聞きたかったのが正直な感想である。さらに、残り3例のうち2例がひび割れの画像処理に関するものであり、もう少しバラエティーに富んだテーマの紹介をしてほしかった。逆説的に捉えると、現在目視で行われているひび割れの検査の画像処理による自動化が、如何に重要な課題であるかが示されたということかもしれない。
- 分科会でのプロジェクトの詳細説明で報告されたものに関しては、それぞれ優れた成果を上げていることが十分に確かめられた一方で、最も経費を多く使っているサブテーマの「センサシステム開発」からの発表を1件だけでなく複数聞いた上で成果の評価をしたかったのが本音である。また、現地調査会も、1件だけでなく「センサシステム開発」も含めて複数あって良かったと思う。
- 現場実証はコストも高く、また、公開の啓発効果は高いことから、公開と秘匿のバランスについて、知財等の問題もあってケースバイケースではあると思われるが、効果を最大化する実施方法や公開・公表について、今回の成果を踏まえ、検討を進められるとよいと思われる。
- インフラ維持管理の要素技術については研究対象となり得るが、インフラ維持管理実務そのものは研究対象ではなく現実的に対応すべきものである。この点において、当該事業の開発技術については、インフラ維持管理の担い手・ユーザに向けての広報をより重視すべきであったと考える。例えば、日経コンストラクション等が主催するインフラ検査・維持管理展などにおいてNEDOとして当該事業の成果を普及する取組みはなされたのか。また、学会活動を通しての成果の普及については、ロボットやセンサ等の研究者・専門家を対象としたシンポジウムでの発表だけではなく、土木学会や建築学会等が実施するインフラ維持管理技術者を対象としたシンポジウムでの発表が必要ではなかったか。個別の研究課題実施者に成果の普及を委ねるだけでなく、NEDO主導による当該事業に対する総合的な成果の普及の機会がより多ければよかった。
- 「道路構造物ひび割れモニタリングシステム」と「複眼式撮影装置を搭載した橋梁近接目視代替ロボットシステム」については、いずれもひび割れ検出技術の開発を行っているが、双方の情報・技術の交換はなされたのか。シナジー効果を生み出すような取組みはなされたのか。
- 水中点検技術2件について、音響測深技術の最新の情報収集や、有識者の意見徴収はなされたか。当該2技術はロボットと測深技術を組み合わせたものであるが、これら

については海洋構造物施工業者や深海探査分野（特に、同時期に行われていた SIP 次世代海洋資源）において技術開発や事業化が進められている。内外の技術動向の調査に不足はなかったか。開発成果が、競合技術と比較して優位性があるかどうか判断が難しい。

- ・ 「センサ端末同期用原子時計の研究開発（NMEMS）」は、橋梁・附帯構造物等の道路インフラでの状態モニタリングにおける時刻同期を目的に開発されたものであるが、構造物や各種建材の応答特性を考慮した上で 10msec 以下の時刻精度の保持が必要と判断したのか。本研究課題については世界最高水準の技術開発がなされたものと推測するが、当該事業の対象とする必要があったのか、他のふさわしい事業はなかったのか。
- ・ 常時微動、固有振動数等の計測を目的としたセンシング技術については、従来は外観目視による定性的な評価に留まっていた構造物全体の変状の程度について、定量的なデータの取得に基づく評価を可能とするものである。しかし、対象構造物の健全度を定量的に評価するためには、初期状態でのデータ取得が必要と考えられるものがある。当該事業は、既存インフラの『老朽化』への対応を目的としているため、既存インフラの健全性の評価が、維持管理開始時点で把握された状態との相対比較により達成されるような点検診断技術であれば、それが容易に理解できるように成果報告・公表に工夫が必要である。
- ・ （上記の補足）実際に、何かを計測・推定できるだけの技術では、インフラの維持管理はできない。計測データとそれを利用しての評価手法がセットでシステムとして提案されなければ、実用化は難しい。時系列データの相対比較で健全性を評価する必要があるのであれば、そのことを明示すべき。
- ・ 分科会等における研究開発の説明対象は、資金配分額等も考慮して決定すべきである。

#### 〈今後に対する提言〉

- ・ 先述したように、プロジェクトが終了後に、開発された技術の成果を広く国内外に普及させるよう希望する。これで終わりということではなく、NEDO がうまく「音頭」を取って、参加した事業者が智恵を寄せ合い、色々な枠組みを作っていくてほしい。
- ・ 今回のプロジェクトによって、この分野が世界的にトップレベルに達したことは疑いの余地がないが、インフラ維持管理は先進諸国全般に極めて関心が高い分野であり、AI など新たな技術が日々生まれ、激しい競争が繰り広げられている。優位性を保ち、かつ拡大するための研究開発戦略の構想・立案、継続的な関与や支援が望まれる。
- ・ NEDO が作成したパンフレット（小冊子）や YouTube での動画公開について、各種インフラ関連学会、インフラ事業主体のほか、インフラメンテナンス国民会議等を通じての周知を進め、より広範な成果の普及を目指して頂きたい。
- ・ NEDO には、既存インフラに対する研究開発成果だけでなく、研究開発から得られた知見に基づいたインフラ設計・施工側への提言についても検討して頂きたい。例えば、ロボットが運行しやすい附帯設備の設置や、センサの取付け・交換が容易に行える構

造等、インフラ構造物の当初設計における工夫により、センサ・ロボット等の適用の制約条件を軽減できる可能性がある。これは、結果として、インフラ維持管理の省力化やコスト縮減に繋がるものと期待される。

- 本プロジェクト終了後は、実施者のみで技術、製品を囲い込むのではなく、業界全体として技術の普及や標準化を目指すとともに、その取り組みが継続して実施されることが望ましい。
- インフラ施設においては、現場ごとにニーズが異なるため、細かな改良や対応が求められる。そのような現場での実績など、出来る範囲で共有することがさらなる技術開発につながるため、継続的な意見交換会、ユーザを巻き込んだ情報発信等を行うと良い。

## 2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

PLの「現場で役に立つ技術の開発」という強い基本方針がプロジェクト全般にわたり貫かれているため、成果の実用化・事業化に向けた戦略は技術開発テーマごとに明確であり、妥当である。特にロボットシステムについては、国交省や施設管理者との連携のもと、現場試行・検証を繰り返し実施し、実用性の高いシステムが開発されているものが多く、既に事業化された取組もある。さらに、テーマ毎にTRLの段階評価を把握し、今後の追跡、フォローが行える仕組みとなっている。

一方で、TRLの評価は自己評価に加えて、外部委員など第三者からの評価も加えるべきであった。

今後は、プロジェクトの成果をさらに発展させて優れた技術を生み出し、更なる実用化につなげていくためにも、NEDOとして、国として継続的にサポートしていくことが強く望まれる。

### 〈肯定的意見〉

- PLの「現場で役に立つ技術の開発」という太い骨子がプロジェクト全般に渡り貫かれていた印象である。この骨子に沿い、成果の実用化・事業化に向けた戦略も技術開発テーマごとに明確になっており、妥当であるものとする。
- 今後我が国をはじめ、先進諸国においても、インフラの老朽化への対応は喫緊の課題であり、市場の規模が大きく、成長性も見込まれる。
- 実用化・事業化に取り組む各テーマの実施者も明確であり、国交省との交渉を経て今後法律を改正する等の手続きを踏めば、すぐにでも現場で使用できる技術の開発が当プロジェクトで行われたものと思量する。
- 具体例として紹介された4テーマはもちろん、他のテーマも産業技術として現場ですぐにでも役に立つものであると思量する。
- 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方は、公共性が高いインフラの維持管理に対して適切なものであったと判断できる。その上で、適切な実用化への戦略に向けての取組がNEDO、PL/PM、実施者の相互の理解のもとで強力に進められ、それに添って十分な成果が上がったと判断できる。
- 適切な実用化・事業化の目標設定を行ったことで、限られた期間で無理のない形で研究開発が進められていると思われる。また、先導的に研究開発を進めることで、結果的にではあるが、国交省側の動向や点検要領の改正等とうまく同期させることができしており、また、それらに先立って時宜を得た実用化が進められていることも評価したい。
- 国交省との当初からの連携も、成果の最大化と市場の拡大に大きな効果があったと思われる。
- ロボットシステムについては、国交省や施設管理者との連携のもと、現場試行・検証を繰り返し実施し、実用性の高いシステムが開発されているものが多い。実用化・事業化に向けた開発計画及びマイルストーンが明確であった結果と考えられ、これはエ

エンドユーザーが開発者側に参画していること、NEDOによるプロジェクトマネジメントが適宜適切であったことが有効に作用しているものと思われる。ただし、現状では、国内での利活用には、点検要領や安全管理上の規制、また現時点では積算方法が不透明である等の制約があることから、各研究課題実施者には早期の海外への展開も視野に入れて、実用化・事業化をより一層進めて頂きたい。

なお、早期の海外展開という点においては、既に中性子水分計搭載自走ロボットで具体的な世界的市場ニーズが示されており、世界に誇れる技術開発が達成されたものとする。

- ・ 当該事業が「道路橋点検要領」の改訂の一助となったことは評価できる。
- ・ PM、PLの強いリーダーシップのもと、実用指向性の極めて強いプロジェクトとなっており、マイルストーンに従い実用的なシステムが開発され、計画通りに一部で事業化が開始されるなど、成果の実用化、事業化において高く評価できる。
- ・ TRLなど、定量的、客観的な評価指標を設定し、PL、PMも交えた評価を行っており、妥当である。

実用化指向の高いプロジェクトであるが、特許のみならず論文数も多く、また既に事業化された取組もあり、実用化・事業化戦略は適切である。

- ・ 成果の実用化では、全26技術に対して、TRL (Technology Readiness Level) 評価を実施し、16事業において事業用システムが開発されている。本事業では、2年以内の実用化を目指すため、終了後半年の段階での成果としては高い水準であると認められる。また、テーマ毎にTRLの段階評価を把握し、今後の追跡、フォローが行える仕組みとなっている。

今後の実用化に対する課題については、幅広い現場で使用するシステムにするには更なる開発が必要であり、実証や試行も積極的に行うことを方針として明確にしている。

#### 〈改善すべき点〉

- ・ 特に見当たらない。強いて言えば、本プロジェクトで開発された技術の素晴らしさはよく理解できたが、国内外における競合技術や競合他社の状況について不明確であり、これについての踏み込んだ説明がほしいところであった。
- ・ 事業化にあたってはフィールド実証が前提となるが、その実施にはコストやノウハウが必要であって、一般には敷居が高い。そこで、異業種やベンチャーなどより多様な企業のこの領域への参入を促すために、フィールド実証等への支援を強化することが効果的であると思われる。
- ・ 開発技術のすべてについてTRL7以上が達成された結果となったが、プロジェクトマネジメント側や実施者の自己評価ではなく、外部有識者やユーザ等からの意見も徴収し、開発技術の評価の公平性を確保すべきである。
- ・ 開発技術の実用化・事業化を目指すにあたっては、研究課題実施グループに含まれる施設管理者・エンドユーザーだけでなく、他の施設管理者・ユーザからの意見の徴収

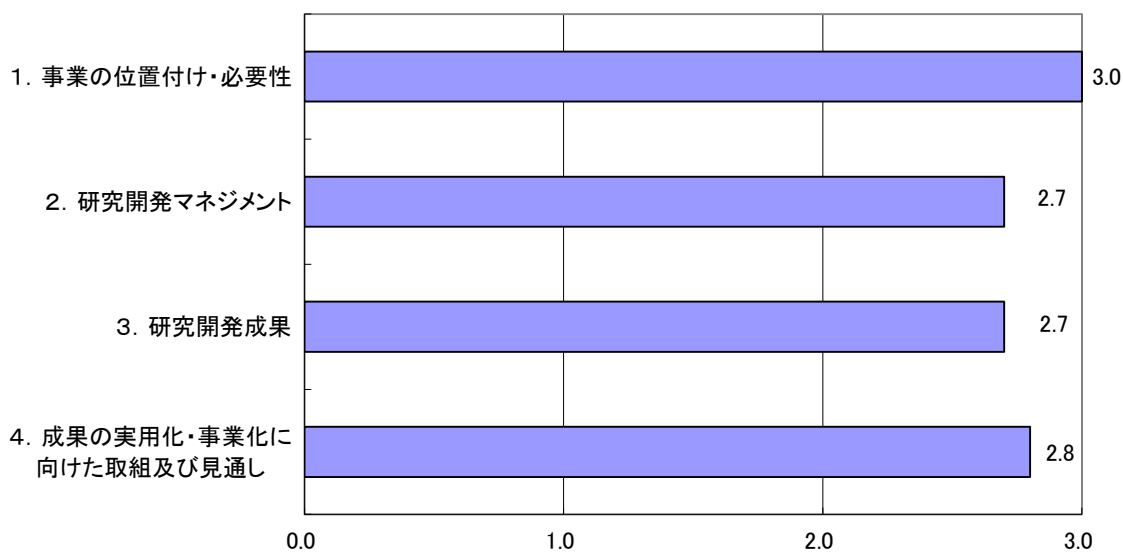
も行う必要がある。

- ・ 「競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか」について、コスト面については開発技術の実施コスト・(特にセンシング技術については)維持コスト等が明示されていないため、判断が困難である。
- ・ すべてのインフラにおいて高度な点検・診断技術が必要とされているわけではなく、開発された点検・診断技術の簡略化(バージョンダウン)で必要十分な維持管理が達成できるインフラも多数存在する。むしろ、そちらの方が多い。当該事業の成果の実用化・事業化にあたっては、インフラの高齢化という喫緊の課題に対応するためにも、ユーザーニーズに応じた開発技術の簡略化(可能であれば低コスト化)についても検討して頂きたい。インフラ維持管理実施側が求める精度・確度に応じた点検・診断技術の選定(松・竹・梅)が可能となるような取組みがなされるとよい。また、技術開発側と維持管理実施側が、個別のインフラの点検・診断に求める精度・確度・コストの相場観を共有できるような取組みが必要である。
- ・ 評価の公平性を確保すべきである。
- ・ **TRL**の評価は自己評価に加えて、外部委員など第三者からの評価も加えるべきである。

#### 〈今後に対する提言〉

- ・ 例えば、「ひび割れは目視で行わないといけない」等の現行の法律の縛りから、せっかく本プロジェクトで開発されたシステムや要素技術が、現場ですぐに適用しにくい局面も今後多々生じると思われる。そのような場合において、プロジェクト終了後においても、**NEDO**が実施者と国交省との橋渡しの存在に是非なしてほしい。これを強く望むところである。
- ・ 十分あがったプロジェクトの成果をさらに発展させて優れた技術を生み出し、更なる実用化につなげていくためにも、今回のプロジェクトに類するものを継続的に**NEDO**として、あるいは国として準備していくことが強く望まれる。繰り返しになるが、インフラの維持管理は今後の日本にとって極めて重要な課題であり、地道かつ継続的に開発を進めていくこと、その体制を確保していくことが、強く望まれる。
- ・ 事業化支援については、ベンチャー支援等別の枠組みになると思われるが、本プロジェクトの成果を踏まえ、資金面のみならず、情報共有・マッチング、現場実証支援等、継続的、かつ、シームレスに支援するような仕組みが望まれる。
- ・ プロジェクト終了後も**NEDO**と研究課題実施者間での情報共有が可能な取組みがなされている点は評価に値する。すべての技術が早期に**TRL 9**を達成できるよう、今後の**NEDO**のフォローアップに期待したい。

### 3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)					
		A	A	A	A	A	A
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.7	A	A	A	A	B	B
3. 研究開発成果について	2.7	A	A	B	B	A	A
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	2.8	A	A	A	B	A	A

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 とし事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

- |                    |                              |
|--------------------|------------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について                |
| ・非常に重要 →A          | ・非常によい →A                    |
| ・重要 →B             | ・よい →B                       |
| ・概ね妥当 →C           | ・概ね妥当 →C                     |
| ・妥当性がない、又は失われた →D  | ・妥当とはいえない →D                 |
| 2. 研究開発マネジメントについて  | 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて |
| ・非常によい →A          | ・明確 →A                       |
| ・よい →B             | ・妥当 →B                       |
| ・概ね適切 →C           | ・概ね妥当 →C                     |
| ・適切とはいえない →D       | ・見通しが不明 →D                   |

## 第2章 評価対象事業に係る資料



1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「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)マイクロマシセンセンターコンソ.....	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かったことにより、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"> <li>・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> </li> <li>・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> </li> </ul> <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  <b>【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</b>      技術研究組合NMEMS技術研究機構  <b>【組合員】</b>(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  <b>【再委託】</b>京都大学、東京大学、首都大学東京、東京工業大学  <b>【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</b>      (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) <b>【再委託】</b>東京大学  <b>【①-3】道路付帯構造物モニタリングシステム開発</b>      (株)日立製作所  <b>【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</b>      横河電機(株) <b>【再委託】</b>大成建設(株)、長野日本無線(株)、東京大学  <b>【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</b>      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><b>【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</b>  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><b>【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</b>  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><b>【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</b>  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><b>【③-1-2】小型無人ヘリを用いた構造物点検技術開発(H28～)</b>  ルーチェサーチ(株)【委託】(株)建設技術研究所</p> <p><b>【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</b>  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><b>【③-1-4】橋梁桁端部点検診断ロボットの開発(H28～)</b>  ジビル調査設計(株)【委託】福井大学</p> <p><b>【③-1-5】インフラ診断ロボットシステム(ALP)の研究開発</b>  (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><b>【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～)</b>  (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><b>【③-1-7】可変構成型水中調査用ロボットの研究開発</b>  (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><b>【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～)</b>  朝日航洋(株)</p> <p><b>【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</b>  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><b>【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</b>  (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><b>【③-1-11】引火性ガス雰囲気内探査ロボットの研究開発</b>  三菱重工業(株)【委託】千葉工業大学</p> <p>【H26～27年度】</p> <p><b>【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</b>  (株)ハイボット、(株)建設技術研究所</p> <p><b>【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</b>  (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><b>【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</b>  (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><b>【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</b>  (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><b>【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</b> (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 <b>【共同実施者】</b>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><b>【事業全体】</b>          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><b>【個別テーマ】</b>  <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><b>【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</b>          ■ 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><b>【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</b>          ■ 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><b>【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</b>          ■ 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><b>【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)</b>          ■ 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><b>【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</b>          ■ 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( $\theta$ )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い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><b>【事業全体】</b> 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><b>【個別テーマ】</b> 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><b>【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</b> ■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><b>【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</b> ■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><b>【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</b> ■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><b>【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)</b> ■“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 m<sup>2</sup>)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><b>【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</b></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	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。
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 <sup>2</sup> 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 次元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	シリコンカーバイト	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° として、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-xylylene) 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℃と 100℃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。
<b>【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</b>		
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。
<b>【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)</b>		
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、ひずみに対しての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、ひずみに対しての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。
<b>【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</b>		
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(きょうきゃく)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	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。
<b>【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</b>		
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
<b>【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</b>		
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。
<b>【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</b>		
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。
<b>【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</b>		
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 <sup>3</sup> 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。
<b>【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</b>		
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。
<b>【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)</b>		
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。
<b>【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</b>		
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。
<b>【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</b>		
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。
<b>【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)</b>		



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。

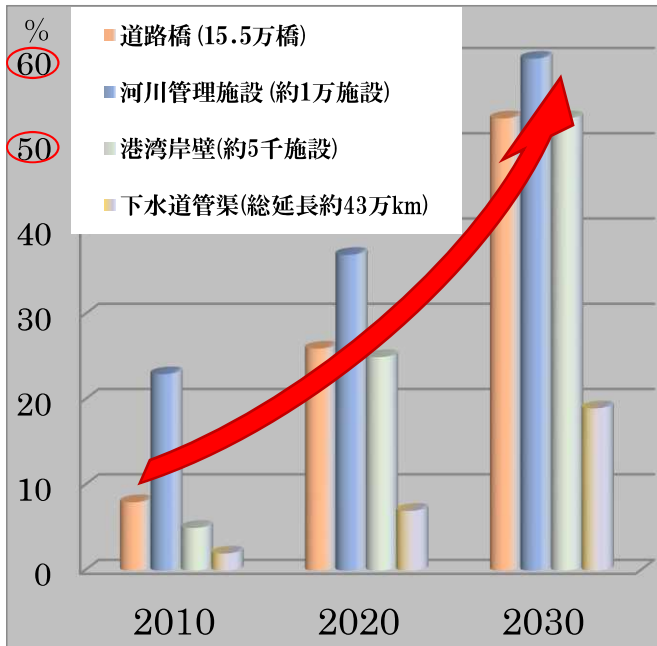
#### (2) 維持管理の人材・技術不足

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。



	2013年 3月	2023年 3月	2033年 3月
道路橋 [約40万橋 <sup>注1</sup> (橋長2m以上の橋約70万のうち)]	約18%	約43%	約67%
トンネル [約1万本 <sup>注2</sup> ]	約20%	約34%	約50%
河川管理施設 (水門等) [約1万施設 <sup>注3</sup> ]	約25%	約43%	約64%
下水道管きよ [総延長: 約45万km <sup>注4</sup> ]	約2%	約9%	約24%
港湾岸壁 [約5千施設 <sup>注5</sup> (水深4.5m以深)]	約8%	約32%	約58%

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。

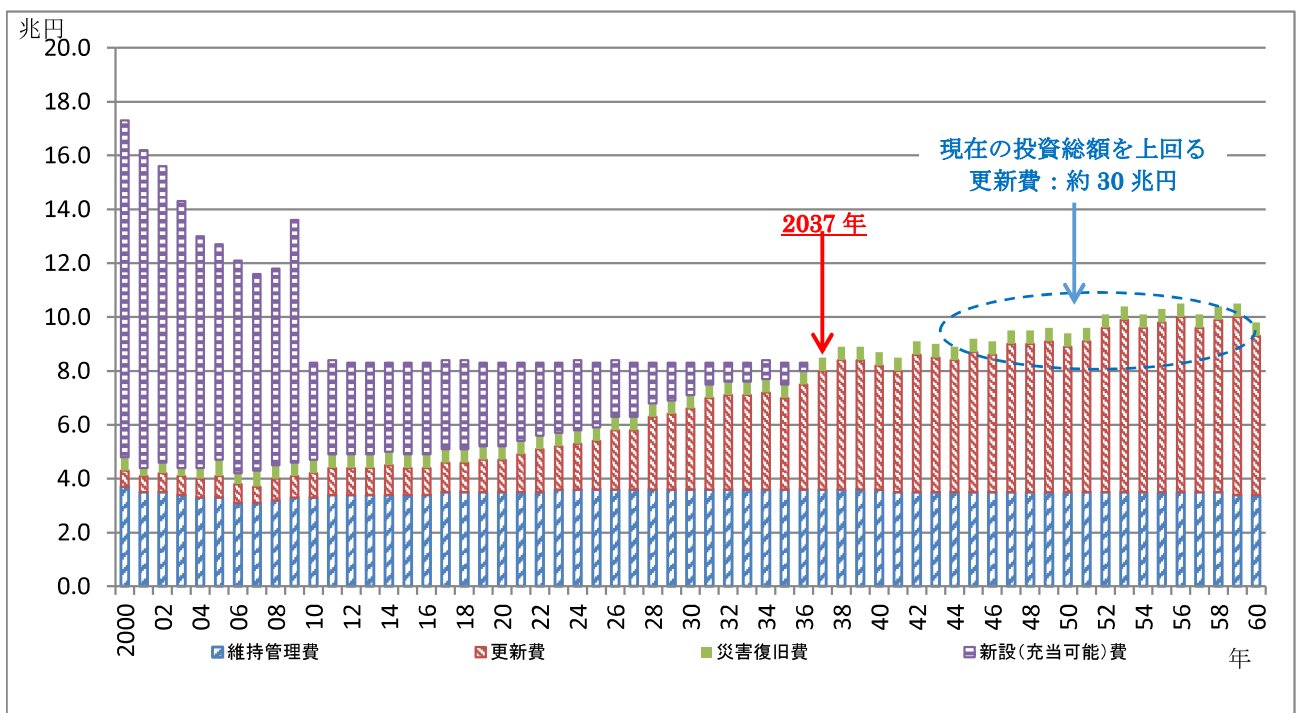


図 1-1a-2 従来通りの維持管理・更新した場合の投資総額の推計(平成23年度国土交通省白書)

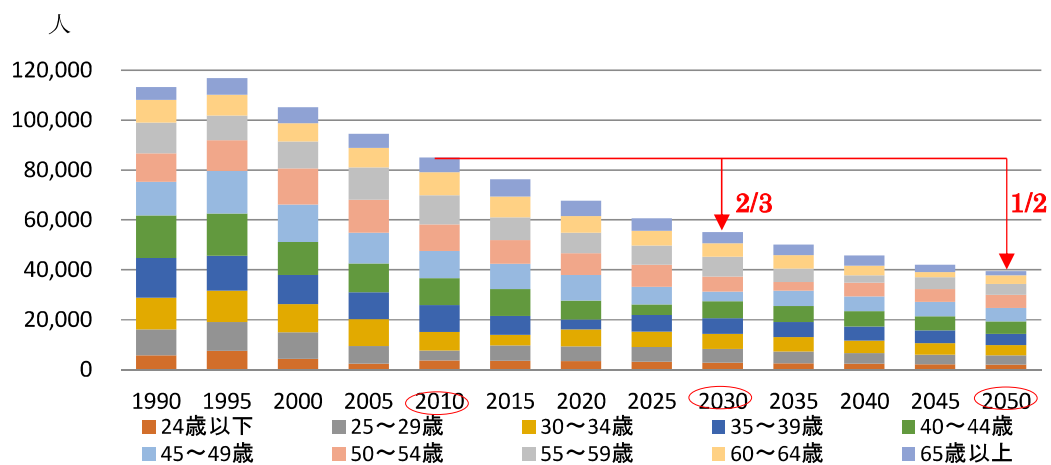


図 1-1a-3 公務部門における維持管理技術者・作業員数の推計

(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

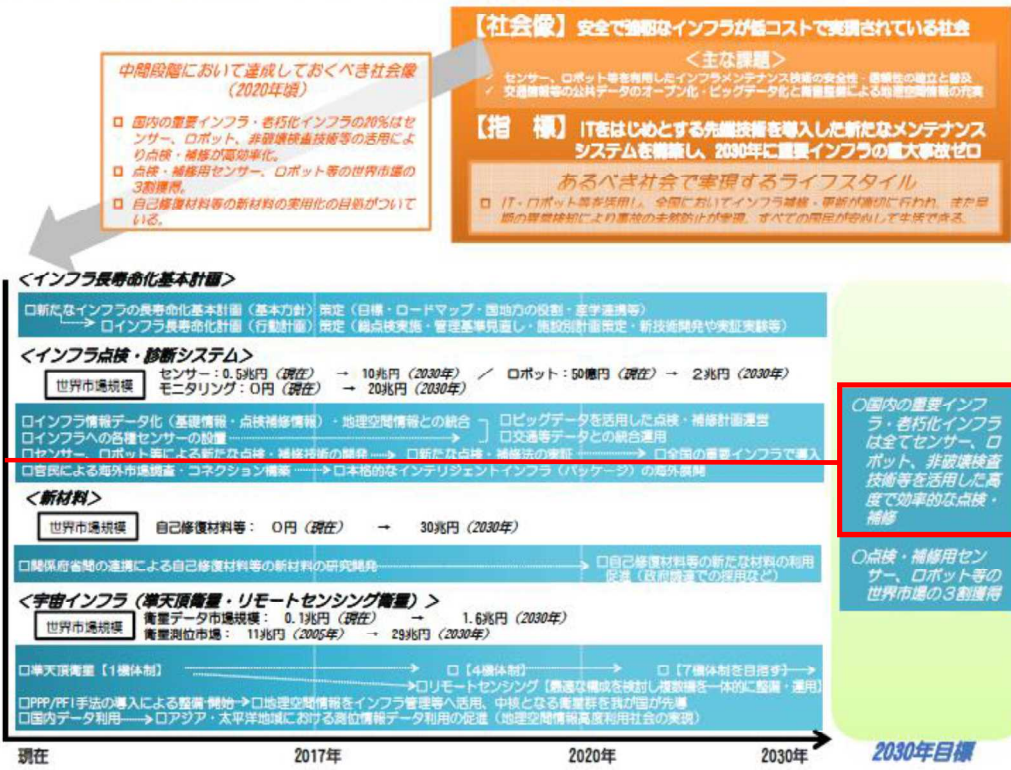


図 1-1b-1 戦略市場創造プラン（日本再興戦略から抜粋）

■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

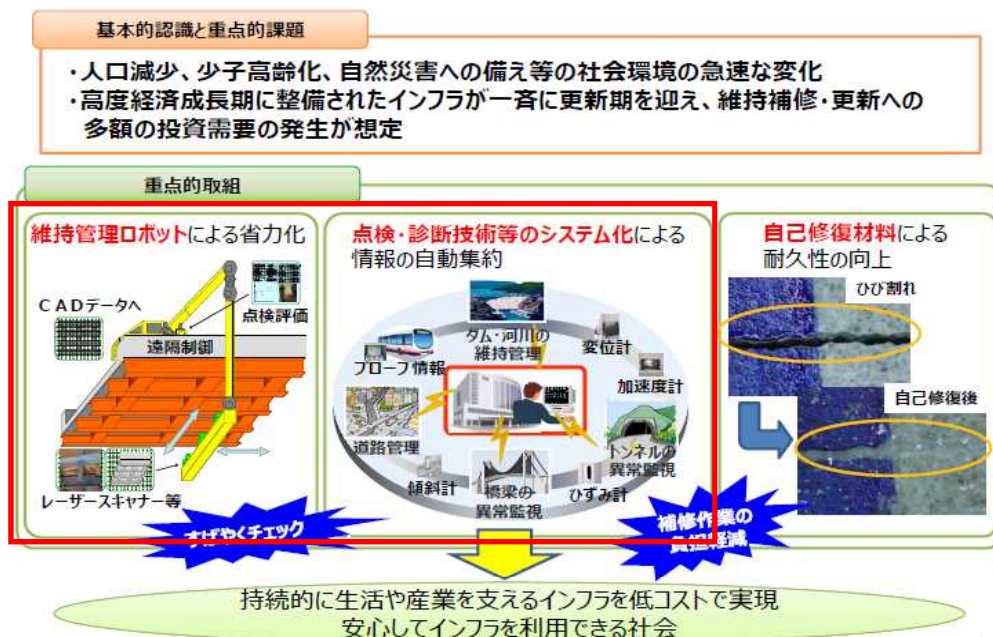


図 1-1b-2 科学技術イノベーション総合戦略(概要)から抜粋

■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)

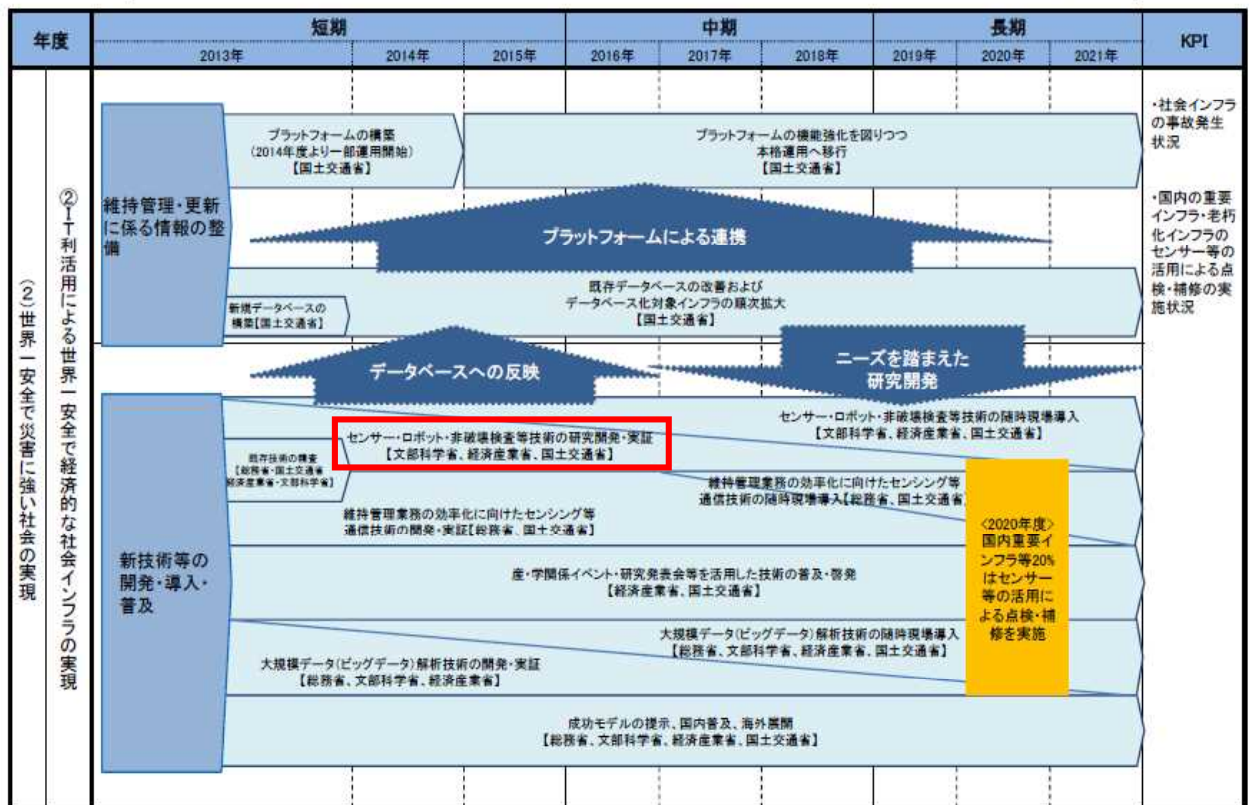


図 1-1b-3 世界最先端 IT 国家創造宣言工程表から抜粋

#### 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

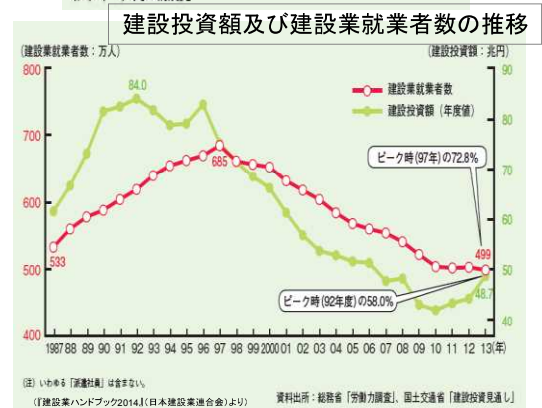
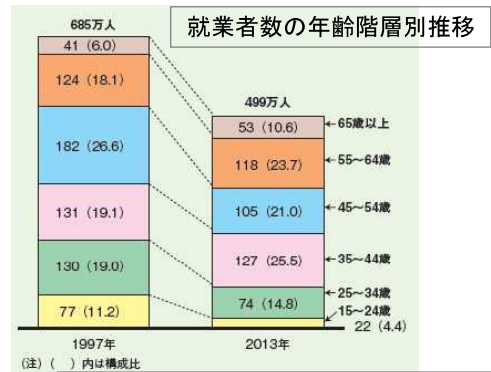


図 1-1b-4 ロボット新戦略アクションプラン(ロボット新戦略のポイントから抜粋)

## (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。

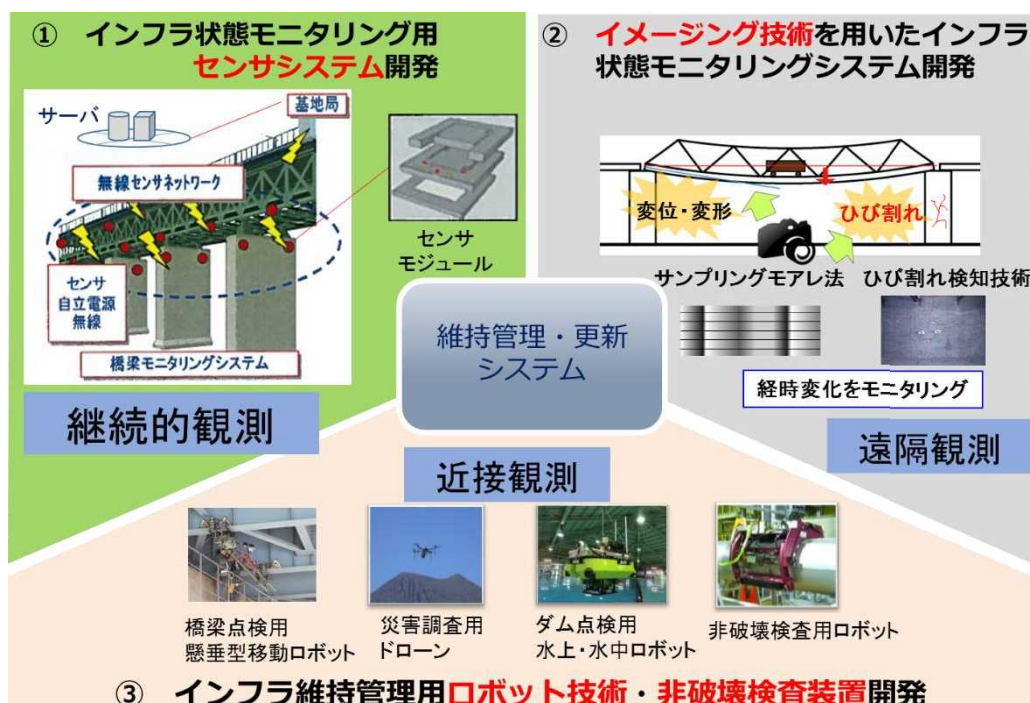


図 1-2a-1 本プロジェクトを構成する 3 つの研究開発項目

#### 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。

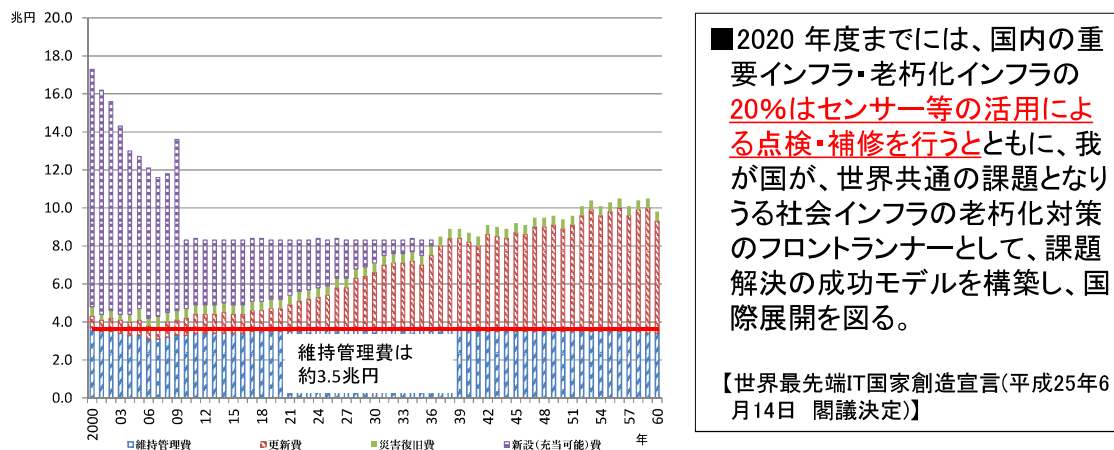


図 1-2c-1 従来どおりの維持管理・更新をした場合の推計  
(平成 23 年度国土交通白書から抜粋)

## 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知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>○<b>橋梁</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・近接目視の代替ができる装置</li> <li>・打音検査の代替ができる装置</li> <li>・点検者を点検箇所に近づく作業台車</li> </ul> <p>○<b>トンネル</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・近接目視の代替ができる装置</li> <li>・打音検査の代替ができる装置</li> <li>・点検者を点検箇所に近づく作業台車</li> </ul> <p>○<b>河川及びダムの中筒所</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・堆積物の状況を全体像として効率的に把握できる装置</li> <li>・近接目視の代替ができる装置</li> </ul>	<p>○<b>災害状況調査</b>（土砂崩落、火山災害、トンネル崩落）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・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</li> <li>・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</li> <li>・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</li> </ul> <p>○<b>応急復旧</b>（土砂崩落、火山災害）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・応急復旧ができる技術</li> <li>・排水作業の応急対応ができる技術</li> <li>・遮断・自律制御にかかる情報伝達ができる技術</li> </ul>

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。

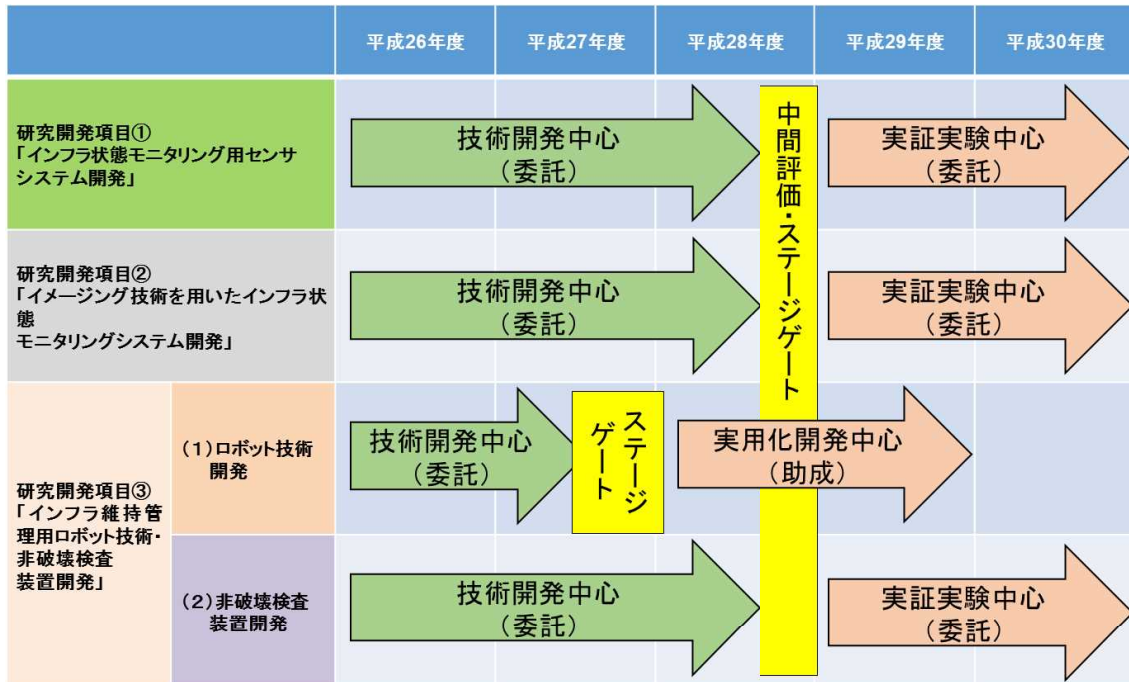


図 2-2a-1 研究開発スケジュール

(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**

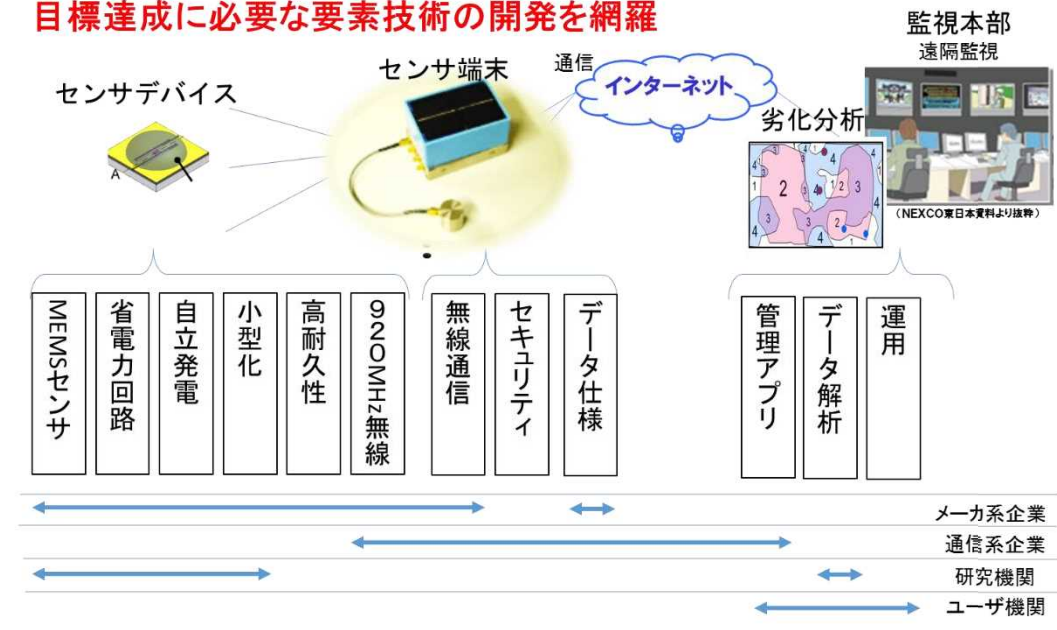


図 2-2c-1 センサシステム分野における開発技術の網羅性

### (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。

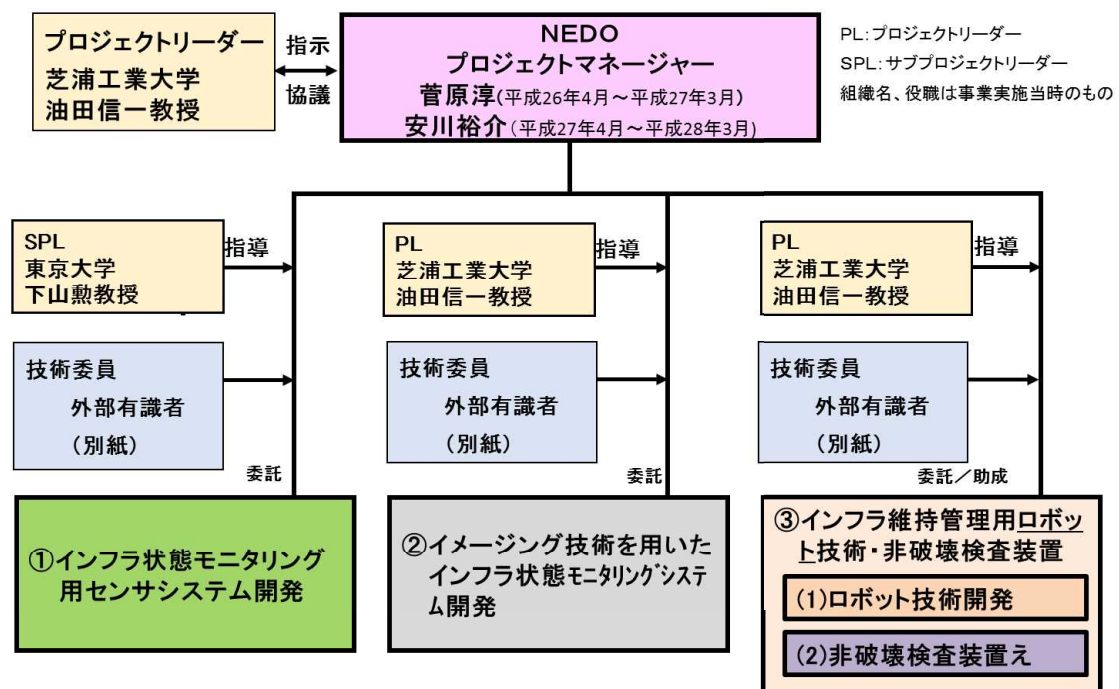


図 2-3a-1 プロジェクト全体の実施体制

## (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。

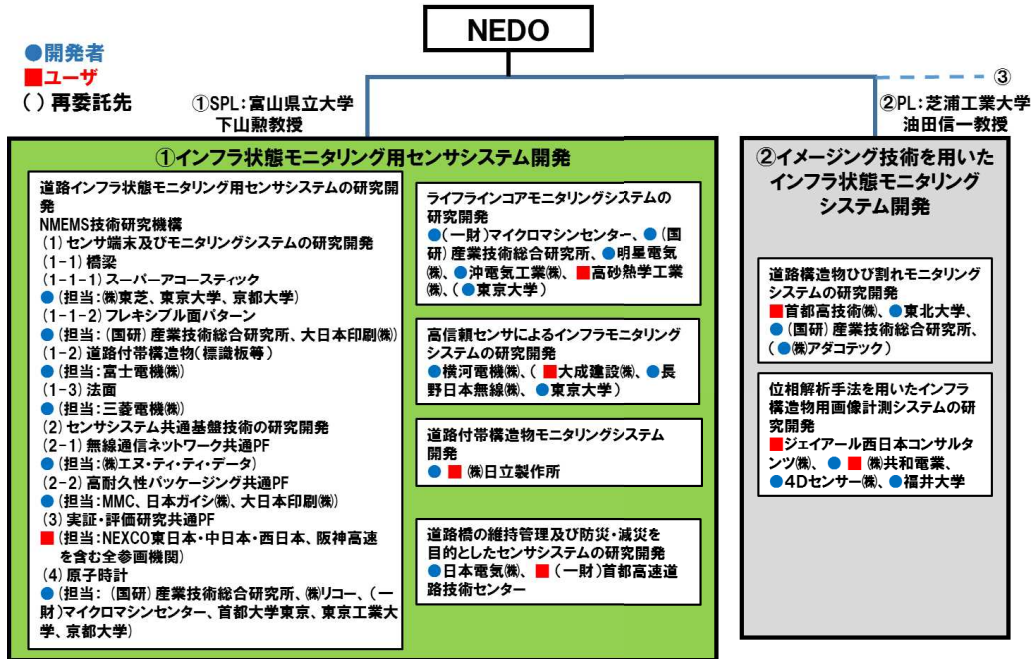


図 2-3c-1 ①センサシステム分野及び②イメージング技術分野の実施体制

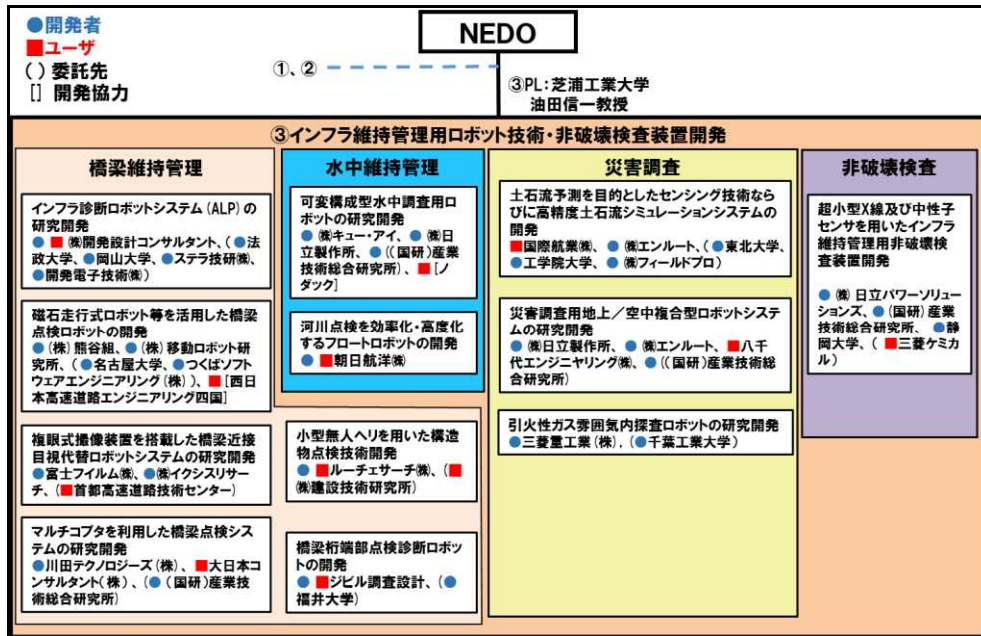


図 2-3c-2 ③ロボット技術分野・非破壊検査装置分野の実施体制

#### (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 대응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
<b>センシング技術</b>	
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)
<b>イメージング技術</b>	
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
<b>非破壊検査装置技術</b>	
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"> <li>■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。</li> <li>■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。</li> </ul>
個別テーマ定例研究会	<ul style="list-style-type: none"> <li>■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。</li> </ul>
現地進捗確認委員会	<ul style="list-style-type: none"> <li>■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。</li> <li>■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。</li> </ul>
サイトビジット	<ul style="list-style-type: none"> <li>■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。</li> </ul>

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"> <li>■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。</li> <li>■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。</li> <li>■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。</li> </ul>
推進委員会	<ul style="list-style-type: none"> <li>■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。</li> <li>■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。</li> <li>■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。</li> </ul>
全体連絡会	<ul style="list-style-type: none"> <li>■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。</li> <li>■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。</li> <li>■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。</li> </ul>
進捗報告会	<ul style="list-style-type: none"> <li>■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。</li> <li>■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。</li> </ul>

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"> <li>■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。</li> <li>■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。</li> </ul>
サイトビジット	<ul style="list-style-type: none"> <li>■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。</li> </ul>
キックオフ ミーティング	<ul style="list-style-type: none"> <li>■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。</li> </ul>

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。

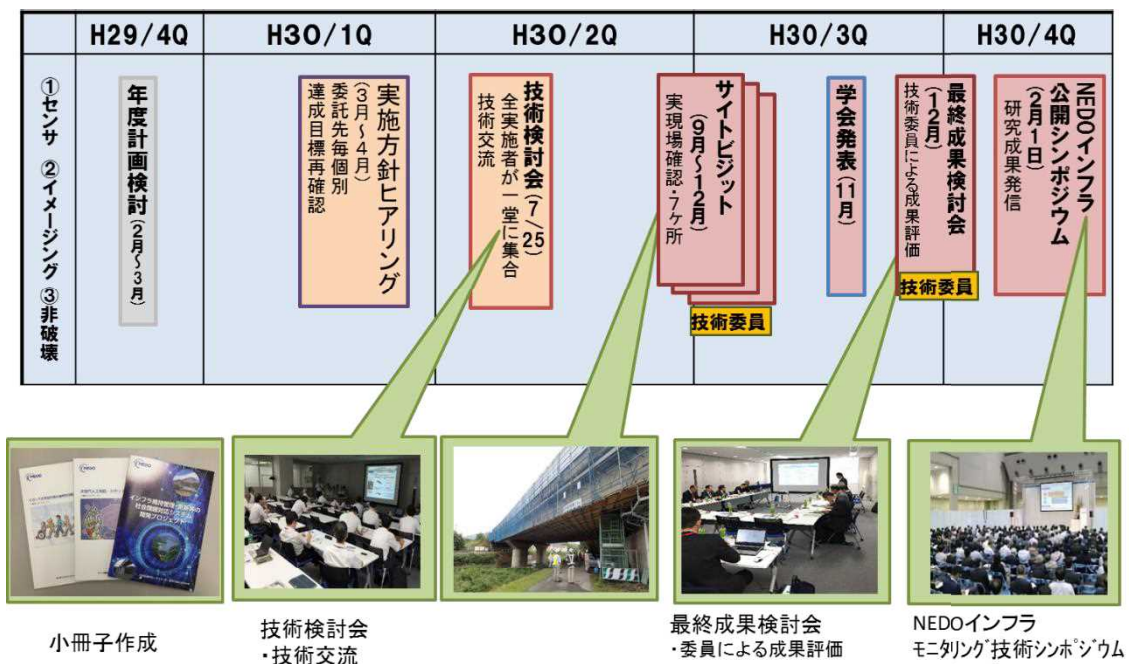


図 2-4a-4 進捗管理スケジュールの例(2018 年度)

**(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・韭尾根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）

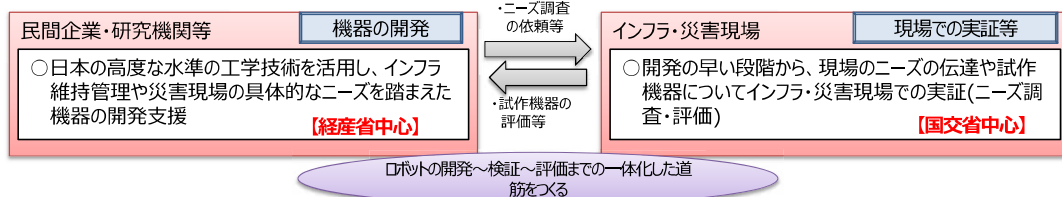
### (a)-4 研究開発の進捗管理(国土交通省との連携)

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 国土交通省・経済産業省公表）  
 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"> <li>・近接目視の代替ができる装置</li> <li>・打音検査の代替ができる装置</li> <li>・点検者を点検箇所に近づける作業台車</li> </ul> <p>○トンネル</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・近接目視の代替ができる装置</li> <li>・打音検査の代替ができる装置</li> <li>・点検者を点検箇所に近づける作業台車</li> </ul> <p>○河川及びダムの水中箇所</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・堆積物の状況を全体像として効率的に把握できる装置</li> <li>・近接目視の代替ができる装置</li> </ul>	<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"> <li>・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</li> <li>・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</li> <li>・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</li> <li>・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</li> </ul> <p>○応急復旧（土砂崩落、火山災害）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・応急復旧ができる技術</li> <li>・排水作業の応急対応ができる技術</li> <li>・遠隔・自律制御にかかるとの情報伝達ができる技術</li> </ul>
---	---



**(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。

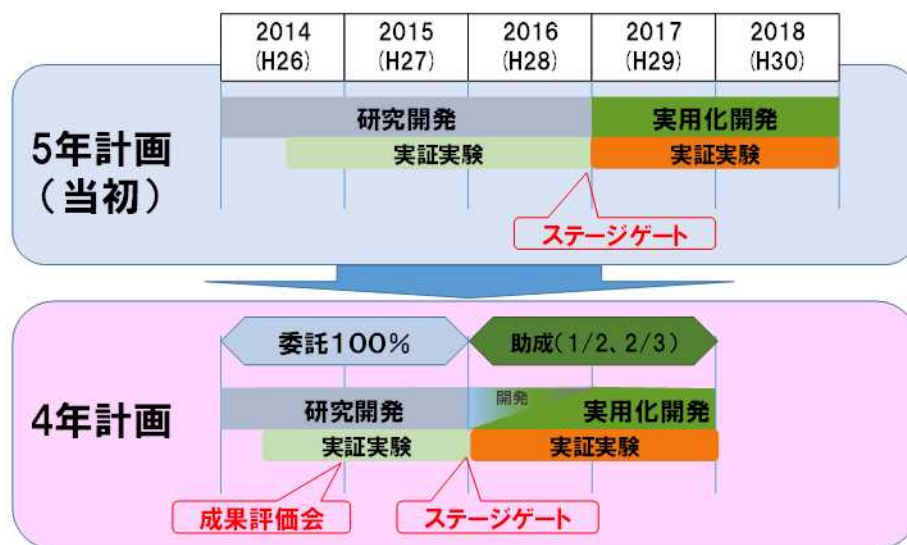


図 2-4b-1 事業計画の見直し及びステージゲート審査(③ロボット)

**(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。

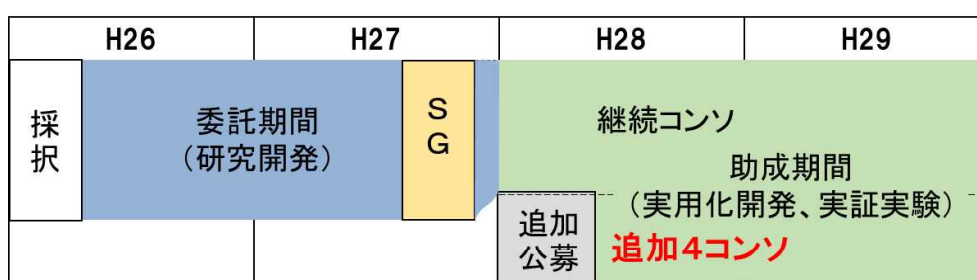


図 2-4b-8 追加採択の時期と研究開発団体数

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 <b>ノウハウ共有</b> 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 <b>技術検討会</b> 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、 <b>システム面、運行管理といった方面での有識者の投入</b> 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、 <b>あらたに技術委員会を組織</b> 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、 <b>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</b> などを進めるべきである。	<b>ステージゲート</b> 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 <b>技術検討会</b> 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 <b>アラートをどのように設定</b> 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 <b>大きな課題として残っている</b> 。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7cm×10cm×5cm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



## 2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

# 「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」 (事後評価) (平成26～30年度 5年間)

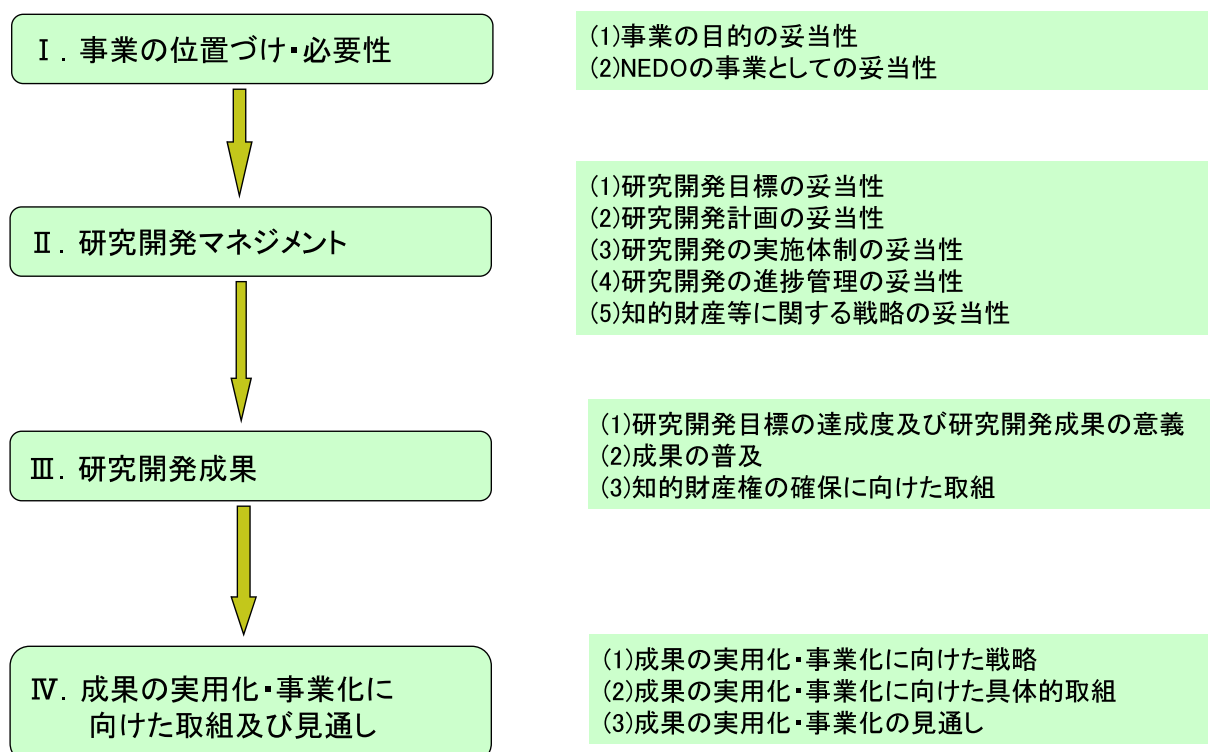
## 事業の概要説明資料 (公開)

### 5.1 事業の位置付け、研究開発マネジメント

NEDO  
ロボット・AI部  
2019年7月22日

発表内容

1



# 1. 事業の位置づけ・必要性

## (1) 事業の目的の妥当性

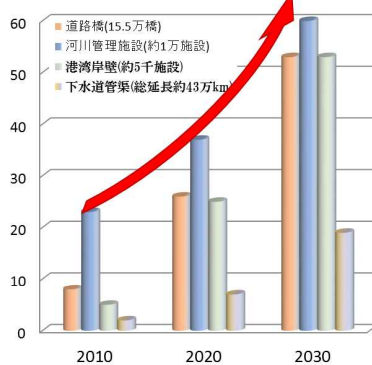
### 1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

#### ◆事業実施の背景

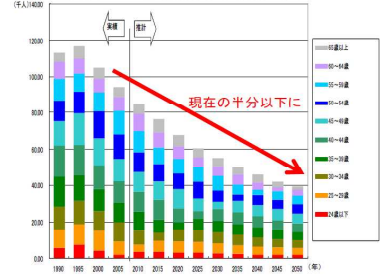


出典)  
 老化対策の本格実施について 国土交通省  
<https://www.mlit.go.jp/common/001027125.pdf>

建設後50年以上経過するインフラ施設の割合



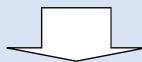
公務部門における建設系技術者・作業者数の推計



出典)  
 「国土の長期展望」中間とりまとめ  
 国土審議会政策部会長期展望委員会  
<http://www.mlit.go.jp/common/000135838.pdf>

#### 社会的背景

インフラ設備の老朽化、少子高齢化による人手不足は世界的課題  
 頻発する災害



既存インフラ施設の状態に応じて維持管理する技術の必要性  
 人が立ち入れない場所で迅速に災害調査が必要

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性



(Mianus River Bridge 1983)

出典)  
国土技術政策総合研究所資料(国総研資料第826号)  
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryu/tnn/tnn0826pdf/ks0826.pdf>



イタリア ジェノバ・モランディ橋の落下(2018年8月14日)  
<https://www.bbc.com/japanese/45218447>

参考情報であることを示す



火山噴火

出典  
<http://www.bosai.go.jp/saigai/2010/kirishima.html>



土砂災害

出典  
[https://www.pwri.go.jp/team/volcano/tech\\_info/disaster\\_info/h23\\_fy2011/201111110\\_totukawa.pdf](https://www.pwri.go.jp/team/volcano/tech_info/disaster_info/h23_fy2011/201111110_totukawa.pdf)

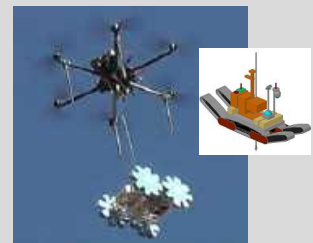


トンネル災害

出典  
[http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/tunnel/pdf/130618\\_houkoku.pdf](http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/tunnel/pdf/130618_houkoku.pdf)

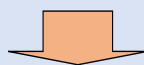
1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆事業の目的

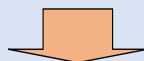


事業の目的

効果的、効率的に構造物の劣化・損傷等を点検・診断する技術等の開発



- ・老朽化対応や災害時対応、確認困難箇所等の対応が安全かつ適切に行えるようになる
- ・インフラ老朽化にコスト・安全性のバランスを鑑みて戦略的な対処が可能となる

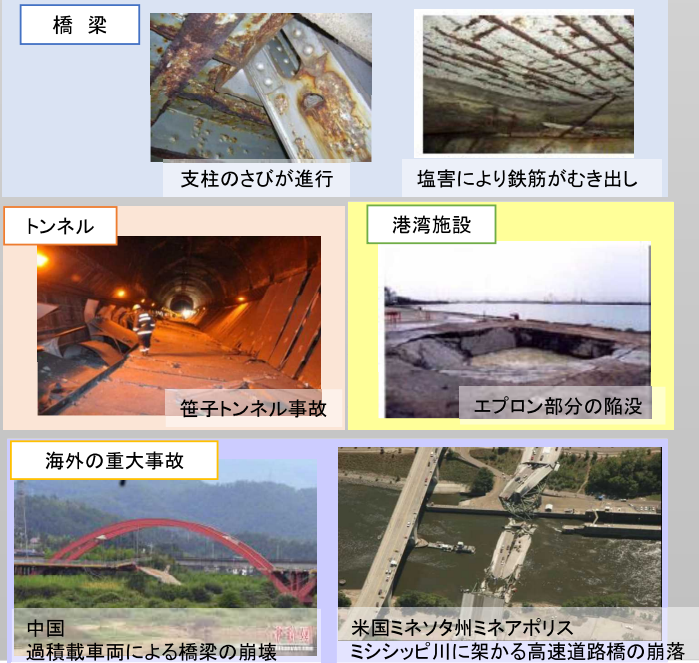
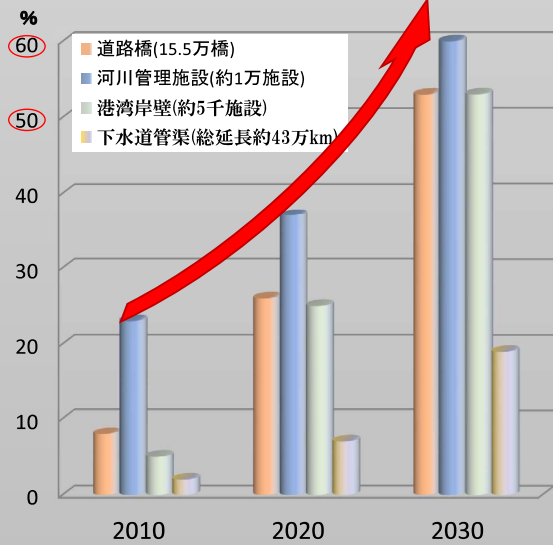


長年にわたり安心してインフラを利用できる社会を目指す。

## 1. 老朽化の進展

- 高度成長期以降に整備された社会インフラは、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、鉄鋼所及び発電所などの産業インフラも同様。
- 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**危険が高まる**。

建設後50年以上経過するインフラ施設の割合



## 建設後50年以上経過する社会インフラの割合

	2013年3月	2023年3月	2033年3月
道路橋 [約40万橋 <sup>注1</sup> (橋長2m以上の橋約70万のうち)]	約18%	約43%	約67%
トンネル [約1万本 <sup>注2</sup> ]	約20%	約34%	約50%
河川管理施設(水門等) [約1万施設 <sup>注3</sup> ]	約25%	約43%	約64%
下水道管きよ [総延長: 約45万km <sup>注4</sup> ]	約2%	約9%	約24%
港湾岸壁 [約5千施設 <sup>注5</sup> (水深-4.5m以深)]	約8%	約32%	約58%

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。  
 (出展:平成25年度国土交通白書)



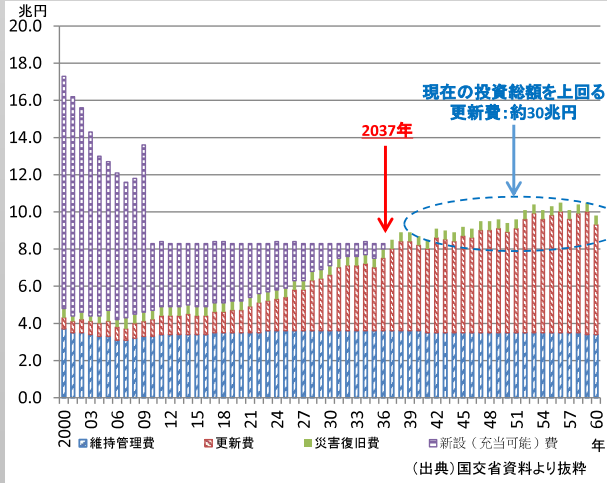
## 2. 維持管理・更新に対する財政問題

■今後、維持管理・更新に従来どおりの支出を行うと仮定した場合、2037年度には現在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(約190兆円分)のうち、約30兆円分(全体の約16%)の更新ができなくなる。

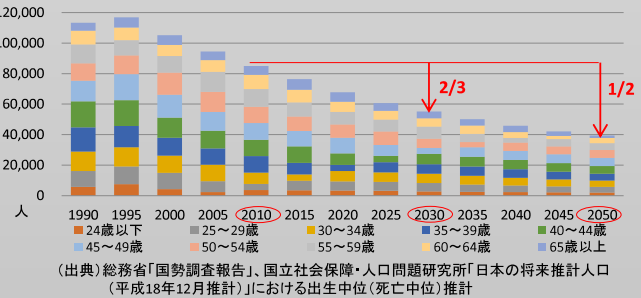
## 3. 維持管理の人材・技術不足

■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。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。

＜従来通りの維持管理・更新した場合の推計＞



＜公務部門における維持管理技術者・作業者数の推計＞



＜インフラ損壊による経済損失の一例＞

対象	損失原因	経済的損失
道路(首都高)	タンクローリー火災による通行止め	約16億円(5日間)
トンネル	笹子トンネル天板崩落による通行止め	約600億円(45日間)
道路橋	米国ミシシッピ川橋梁崩落による通行止	約210億円(414日間)

出所 ※道路:国土交通省関東地方整備局 記者発表資料抜粋  
 ※トンネル:山梨大学地域防災・マネジメント研究センターの武藤慎一准教授算定  
 ※道路橋:土木学会論文集「米国ミネソタ州での落橋事故の社会的影響」

＜インフラ別の維持管理者における市町村の割合＞

・橋梁(橋長2m以上)	68%	・道路舗装	66%
・トンネル	23%	・下水道管渠	75%

## ◆政策的位置付け

### ■ 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)

#### (1)効果的かつ効率的なインフラ維持管理・更新の実現

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**。

### ■ 日本再興戦略(平成25年6月14日 閣議決定)

#### 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**。

### ■ 世界最先端IT国家創造宣言(平成25年6月14日 閣議決定)

#### ②IT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・損傷箇所の早期発見、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。

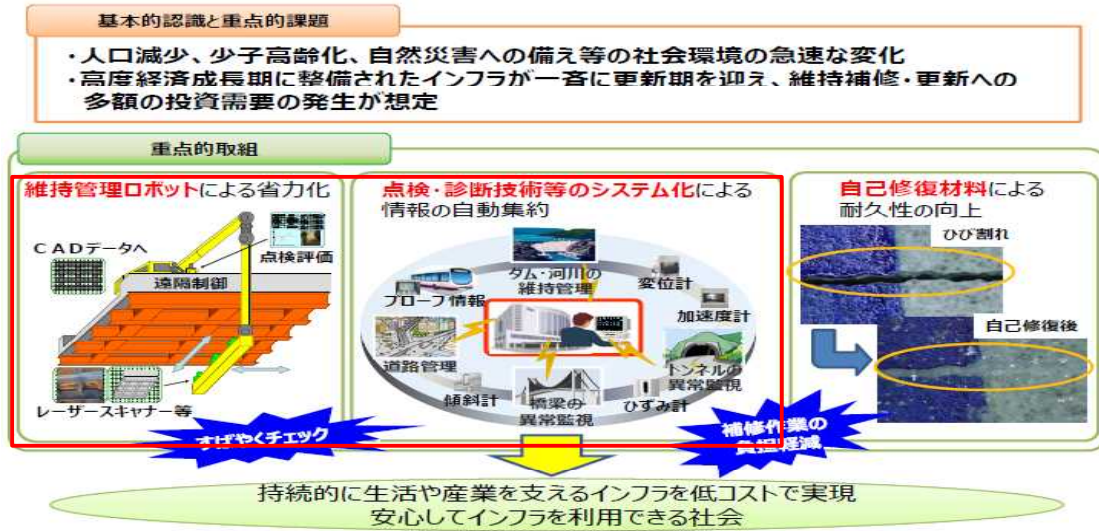
### ■ ロボット新戦略(アクションプラン)(平成27年1月23日ロボット革命実現会議)

科学技術イノベーション総合戦略～新次元日本創造への挑戦～(平成25年6月7日 閣議決定)

(1)効果的かつ効率的なインフラ維持管理・更新の実現

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



日本再興戦略

〇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。**(平成25年6月14日 閣議決定)

**<インフラ点検・診断システム>**

世界市場規模: センサー: 0.5兆円(現在) → 10兆円(2030年) / ロボット: 50億円(現在) → 2兆円(2030年)  
 モニタリング: 0円(現在) → 20兆円(2030年)

□インフラ情報データ化(基礎情報・点検補修情報)・地理空間情報との統合 □ビッグデータを活用した点検・補修計画立案  
 □インフラへの各種センサーの設置 □交通等データとの統合運用  
 □センサー、ロボット等による新たな点検・補修技術の開発 → □新たな点検・補修法の実証 → □全国の重要インフラで導入  
 □官民による海外市場調査・コネクショントラック → □日本格的なインテリジェントインフラ(パッケージ)の海外展開

**<新材料>**

世界市場規模: 自己修復材料等: 0円(現在) → 30兆円(2030年)

□隣国府省間の連携による自己修復材料等の新材料の研究開発 → □自己修復材料等の新たな材料の利用促進(政府調達での採用など)

**<宇宙インフラ(準天頂衛星・リモートセンシング衛星)>**

世界市場規模: 衛星データ市場規模: 0.1兆円(現在) → 1.6兆円(2030年)  
 衛星測位市場: 11兆円(2005年) → 29兆円(2030年)

□準天頂衛星【1機体制】 → □【4機体制】 → □【7機体制を目指す】 → □リモートセンシング【最適な機軸を検出し、観測を一体的に製図・適用】  
 □PPP/PF手法の導入による整備開始 → □地理空間情報をインフラ管理等に活用、中核となる衛星群を我が国の先導  
 □国内データ利用 → □アジア、太平洋地域における異位情報データ利用の促進(地理空間情報高度利用社会の実現)

現在 2017年 2020年 2030年 **2030年目標**

〇国内の重要インフラ・老朽化インフラは全てセンサー、ロボット、非破壊検査技術等を活用した高度で効率的な点検・補修  
 〇点検・補修用センサー、ロボット等の世界市場の3割獲得



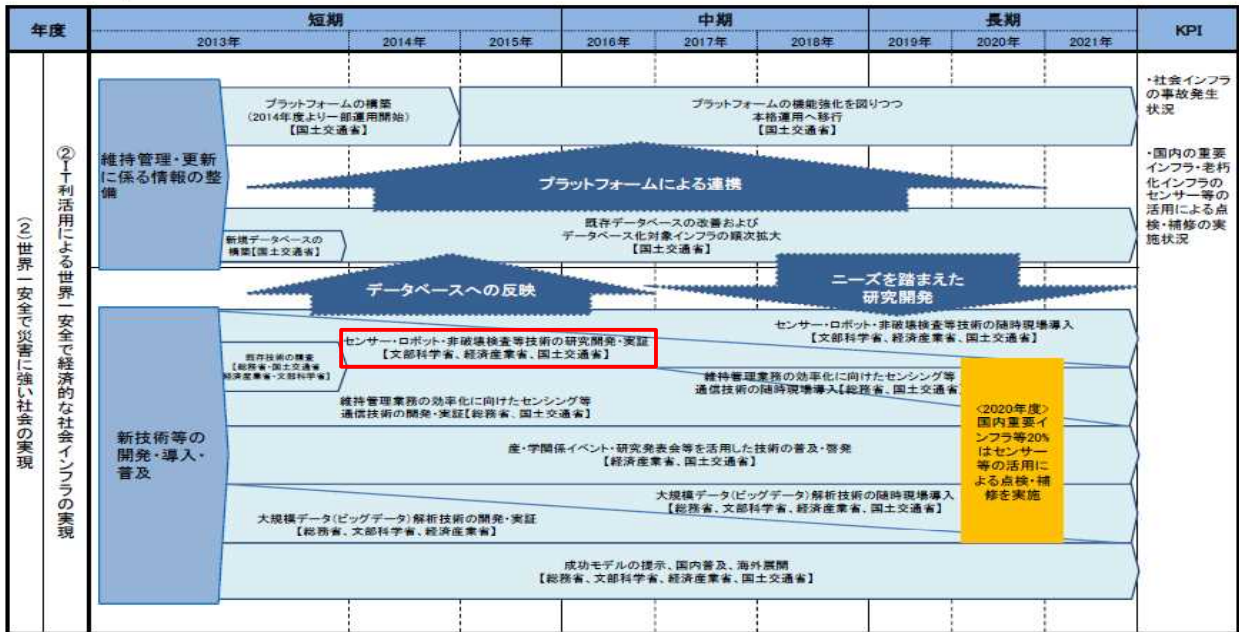
1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

世界最先端IT国家創造宣言 (平成25年6月14日 閣議決定)

②IT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)



1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

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

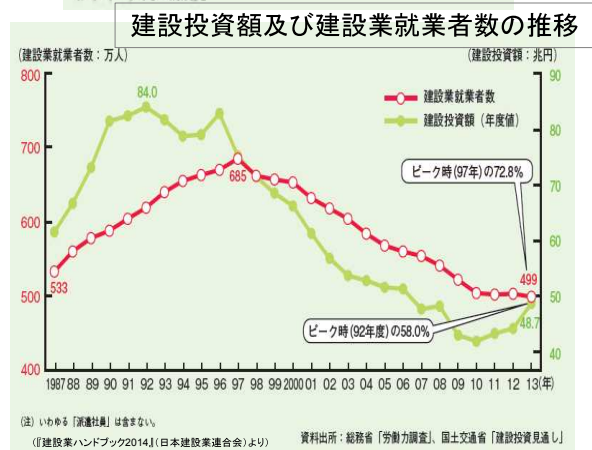
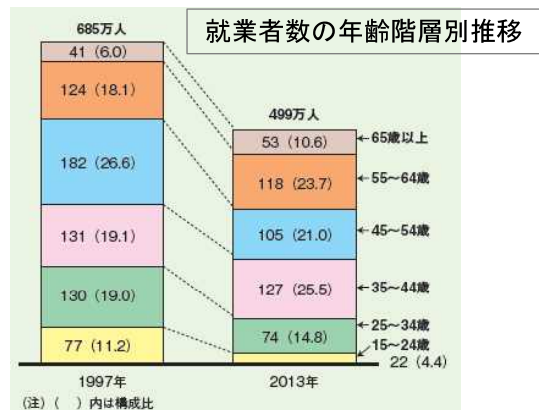
就業者数の減少・高齢化により、深刻な労働力不足に直面する可能性

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





## ◆国内外の研究開発の動向と比較

## &lt;世界の取り組み状況&gt;

- 米国では、1960年代後半から橋の事故が続発。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おり、費用面、検査時間及び人材面などにおいて課題あり。
- 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、同様な課題あり。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。

## 海外の重大事故



米国ミネソタ州ミネアポリス  
ミシシッピ川に架かる高速道路橋の崩落



中国  
過積載車両による橋梁の崩壊

## ◆他事業との関係

## &lt;SIP インフラ維持・管理・マネジメント技術 (内閣府)&gt; (2014年度～2018年度)



## ・5つの研究開発項目

- (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

## インフラの安全・安心をテクノロジーで実現する

## SIPインフラ維持管理・更新・マネジメント技術

プログラムディレクター(PD): 藤野 陽三(横浜国立大学 上席特別教授)



## 本プロジェクトとの違い

- 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。
- SIPインフラは、検査・分析・技術蓄積を含めた統合的管理をめざし、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。

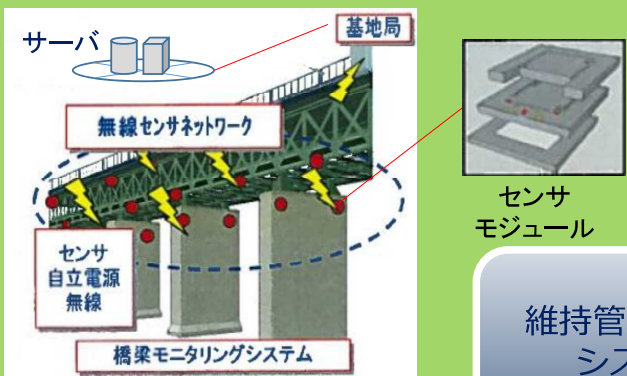
# 1. 事業の位置づけ・必要性

## 事業の概要



### NEDO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の概要

#### ① インフラ状態モニタリング用 センサシステム開発



継続的観測

#### 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



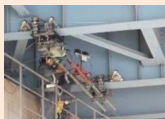
サンプリングモアレ法 ひび割れ検知技術

経時変化をモニタリング

維持管理・更新  
システム

近接観測

遠隔観測



橋梁点検用  
懸垂型移動ロボット



災害調査用  
ドローン



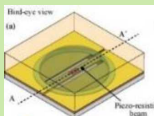
ダム点検用  
水上・水中ロボット



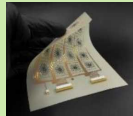
非破壊検査用ロボット

#### 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 インフラ状態モニタリング用センサシステム



橋梁用SAセンサ



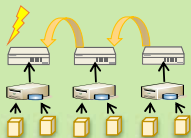
橋梁用面パターンセンサ



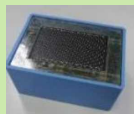
道路構造物傾斜センサ



法面変位センサ



無線通信プラットフォーム



高耐久パッケージング



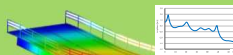
チップ原子時計



ライフラインコアモニタリング



建物健全性センシング



道路橋センサシステム



道路付帯構造物  
モニタリング

## 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



位相解析手法  
を用いた  
画像計測装置



ひび割れ  
モニタリング

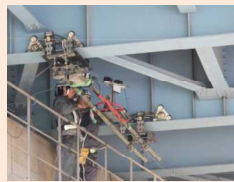
## 橋梁点検用ロボット



真空吸着型  
開発設計コンサルタント



飛行型  
川田テクノロジー



懸垂型  
富士フィルム



磁力吸着型  
熊谷組

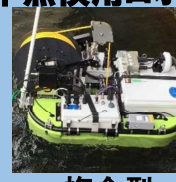


飛行型  
ルーチェサーチ



アーム型  
ジビル調査設計

## 水中心点検用ロボット



複合型  
キュー・アイ



水上航行型  
朝日航洋

## 災害調査用ロボット

<土砂・火山災害>



移動・飛行型  
日立



飛行型  
国際航業

<トンネル災害>



移動型  
三菱重工

## 非破壊検査装置



超小型X線及び  
中性子センサを  
用いた検査装置



大面積FP型  
イメージセンサ

# 1. 事業の位置づけ・必要性

## (2) NEDOの事業としての妥当性

### ◆NEDOが関与する意義

■社会インフラは、今後20年間で建設後50年以上を計画する施設の割合が加速度的に高くなり、今後、維持管理・更新に従来通りの支出を行うと仮定した場合、**2037年度には現在のレベルの投資総額を上回り**、必要な更新が追いつかなくなる。

■**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状況から、現在のレベルの維持管理ですら困難となることが予想される。

■このことは、**国の問題であり、急務であることから、民間企業活動にまかせるのではなく、国が主導して取り組んでいくべきもの。**



**NEDOがもつこれまでの知識、実績を活かし、国家プロジェクトとして推進すべき事業**



# ナショナルプロジェクトの在り方



民間企業等のみでは取り組むことが困難な、  
 実用化・事業化までに中長期の期間を要し、  
 かつリスクの高い技術開発に対し、  
 国の資金提供と技術開発マネジメントの下に取り組む  
**研究開発事業**

(ナショナル・プロジェクトのあり方について - 経済産業省)

[www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g90427b07j.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g90427b07j.pdf)

## ◆実施の効果 (費用対効果)

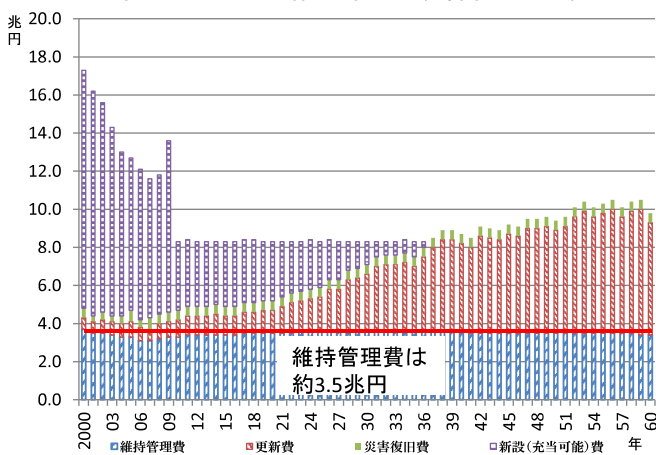
### 1. 維持管理・更新に対する財政問題

■ 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%でセンサー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。(なお、本PJの事業費は5年間で**約80億円**)

### 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おり、センサー及びロボットの活用により人材及び技術不足に対応。

<従来どおりの維持管理・更新をした場合の推計>



(出典) 国交省資料より抜粋

<センサ等の活用(想定)>

■ 2020年度までには、国内の重要インフラ・老朽化インフラの**20%はセンサー等の活用による点検・補修を行う**とともに、我が国が、世界共通の課題となりうる社会インフラの老朽化対策のフロントランナーとして、課題解決の成功モデルを構築し、国際展開を図る。

【世界最先端IT国家創造宣言(平成25年6月14日閣議決定)】

費用対効果を示しましたが、第1は

## 社会的使命を果たすことが目標

### ➤ 本プロジェクトの背景

- 社会課題: インフラ施設の老朽化、作業員の減少
- 市場の大きさが見込めないため、民間企業の積極的参入が見込めない  
→ 国家プロジェクトとしてシステムを開発することが必要

### ➤ 実用化・事業化についての考え方

- 本事業は、インフラ施設の維持管理に具体的に貢献できる実用的な技術を開発することを目標とするプロジェクトであり、**社会的使命を支える技術開発が目的**である。
- 開発するシステムは、**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。

## 2. 研究開発マネジメント

## 2. 研究開発マネジメント

### (1) 研究開発目標の妥当性

#### ◆ 事業の目標

##### 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の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



## ◆ 事業の目標

## 基本計画

項目	最終目標	アウトカム
① センサシステム	■平成30年度末までに、的確にインフラの状態を把握できる <b>モニタリングシステム及び非破壊検査装置を開発</b> 。	■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。
② イメージング	■その装置は、 <b>事業終了後2年(平成32年度)以内の実用化</b> を目指した、妥当なコストを考慮。	
③(2) 非破壊検査		
③(1) ロボット	■平成29年度末までに、的確にインフラの維持管理を行う <b>ロボットを開発</b> 。  ■そのロボットは、 <b>事業終了後2年(平成31年度)以内の実用化</b> を目指した、妥当なコストを考慮したもの。	

## ◆ 研究開発目標と根拠

## 先行PJ※1の検討結果から目標設定

	基本計画の目標値	根拠
① センサシステム	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 <b>センサシステム開発</b> 及びそのセンサシステムを用いた <b>センサネットワークシステムを構築</b>	
	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日数回の状態計測および、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30m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。	

※1、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)

## ◆ 研究開発目標と根拠

	基本計画の目標値	根拠
② イメージング	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平面のみならず、奥行き（3D）もわかる画像解析手法を開発	
	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、効果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。

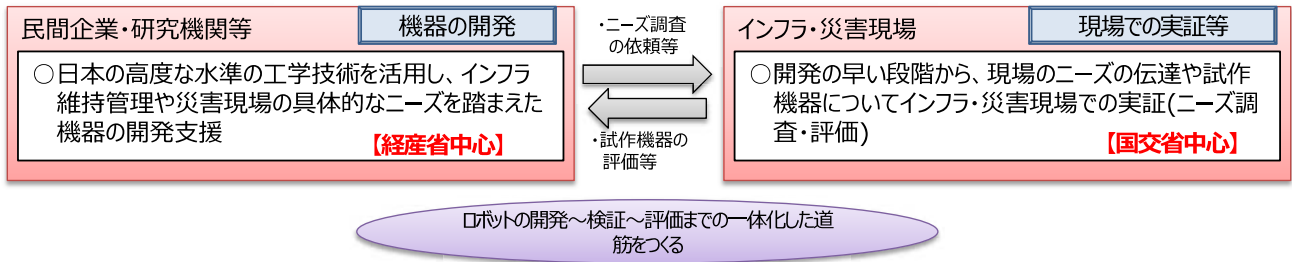
## ◆ 研究開発目標と根拠

## 省庁間連携プロジェクトとして目標設定

	基本計画の目標値	根拠
③ ロボット	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の開発と実証実験を行う。また、これらのロボットに搭載可能な、小型の非破壊検査装置の開発と実証実験を行う。	
	ロボット分野 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	「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」 ※1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。（4年間）
	非破壊検査装置分野 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	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。（5年間）

※1 『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)  
[www.mlit.go.jp/common/001035796.pdf](http://www.mlit.go.jp/common/001035796.pdf) (次頁参照)

# 次世代社会インフラ導入重点分野と省庁連携



## 『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

○橋梁

- ・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



○トンネル

- ・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



○河川及びダムの中水箇所

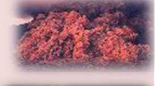
- ・堆積物の状況を全体像として効率的に把握できる装置
- ・近接目視の代替ができる装置



(2) 災害対応

○災害状況調査 (土砂崩落、火山災害、トンネル崩落)

- ・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



○応急復旧 (土砂崩落、火山災害)

- ・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・自律制御にかかる情報伝達ができる技術

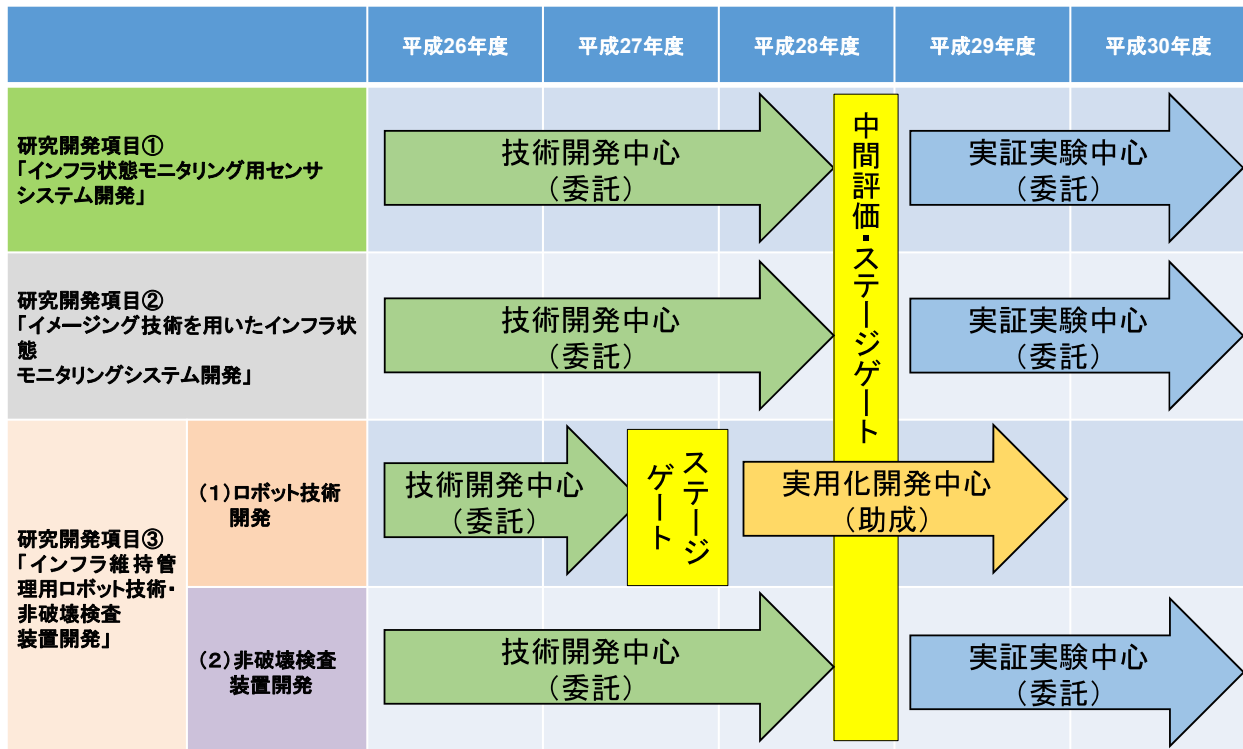


## 2. 研究開発マネジメント

### (2) 研究開発計画の妥当性

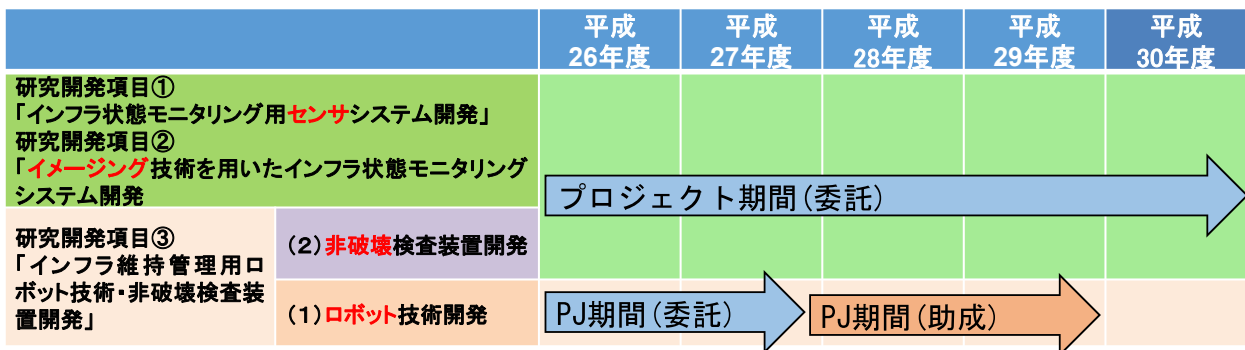
## 2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

## ◆ 研究開発のスケジュール



## 2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

## ◆ プロジェクト費用



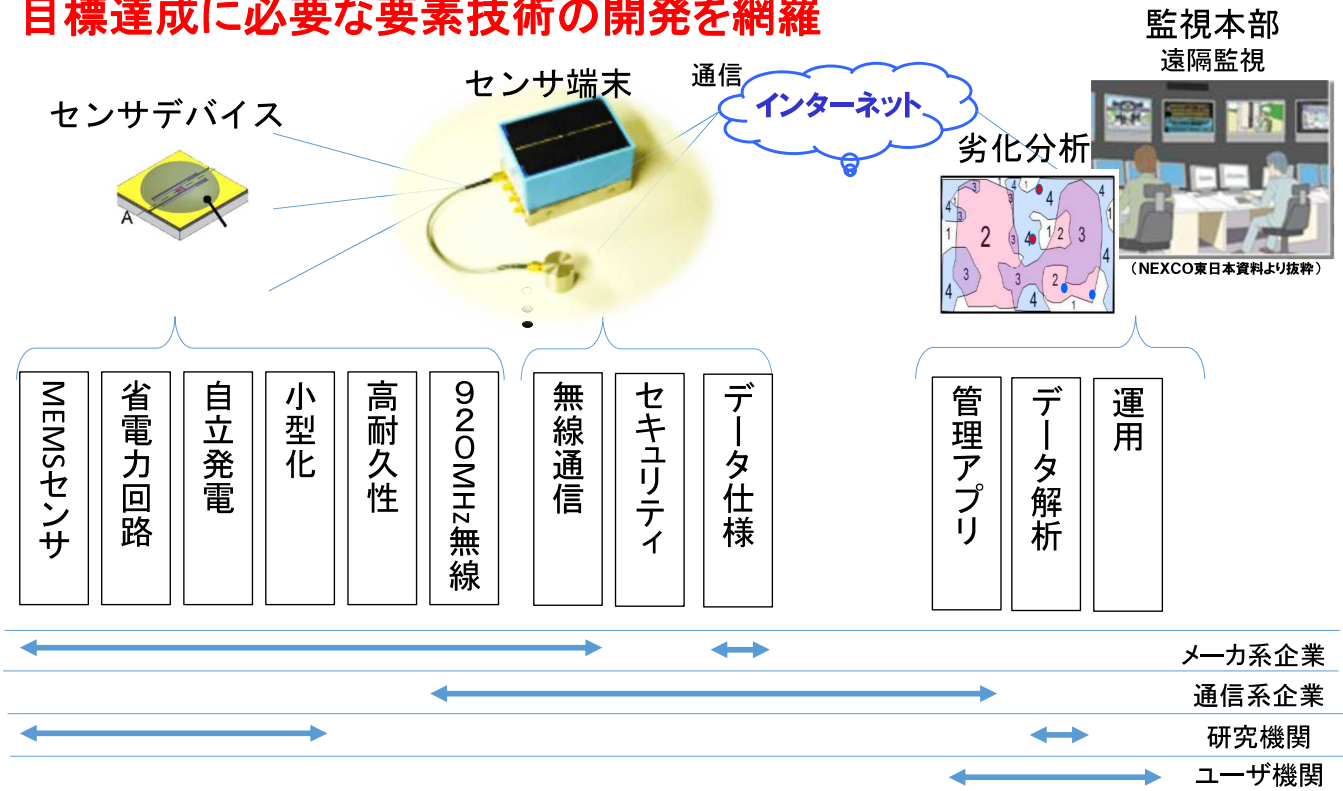
## ◆ 費用

(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	

# 目標達成のための要素技術の網羅性

## 目標達成に必要な要素技術の開発を網羅



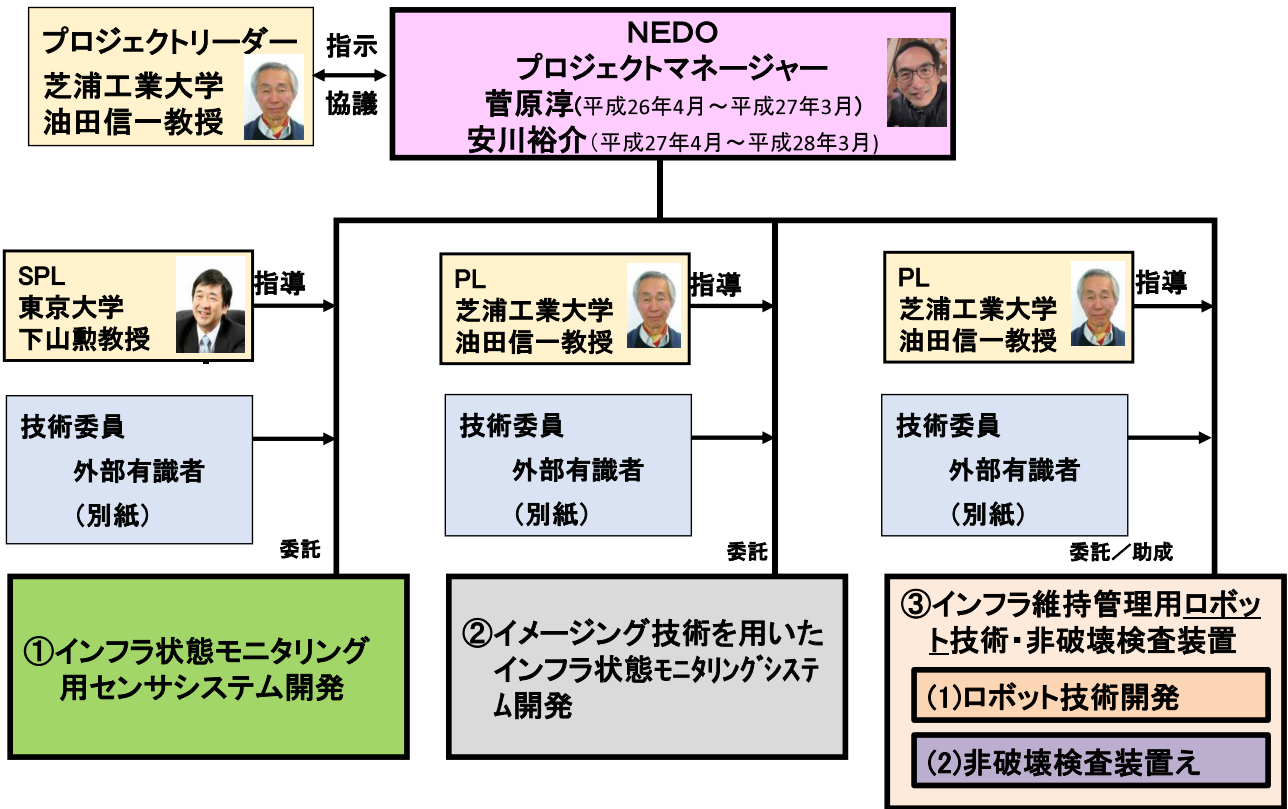
## 2. 研究開発マネジメント

### (3) 研究開発の実施体制の妥当性

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆ 研究開発の実施体制

PL: プロジェクトリーダー、SPL: サブプロジェクトリーダー  
組織名、役職は事業実施当時のもの

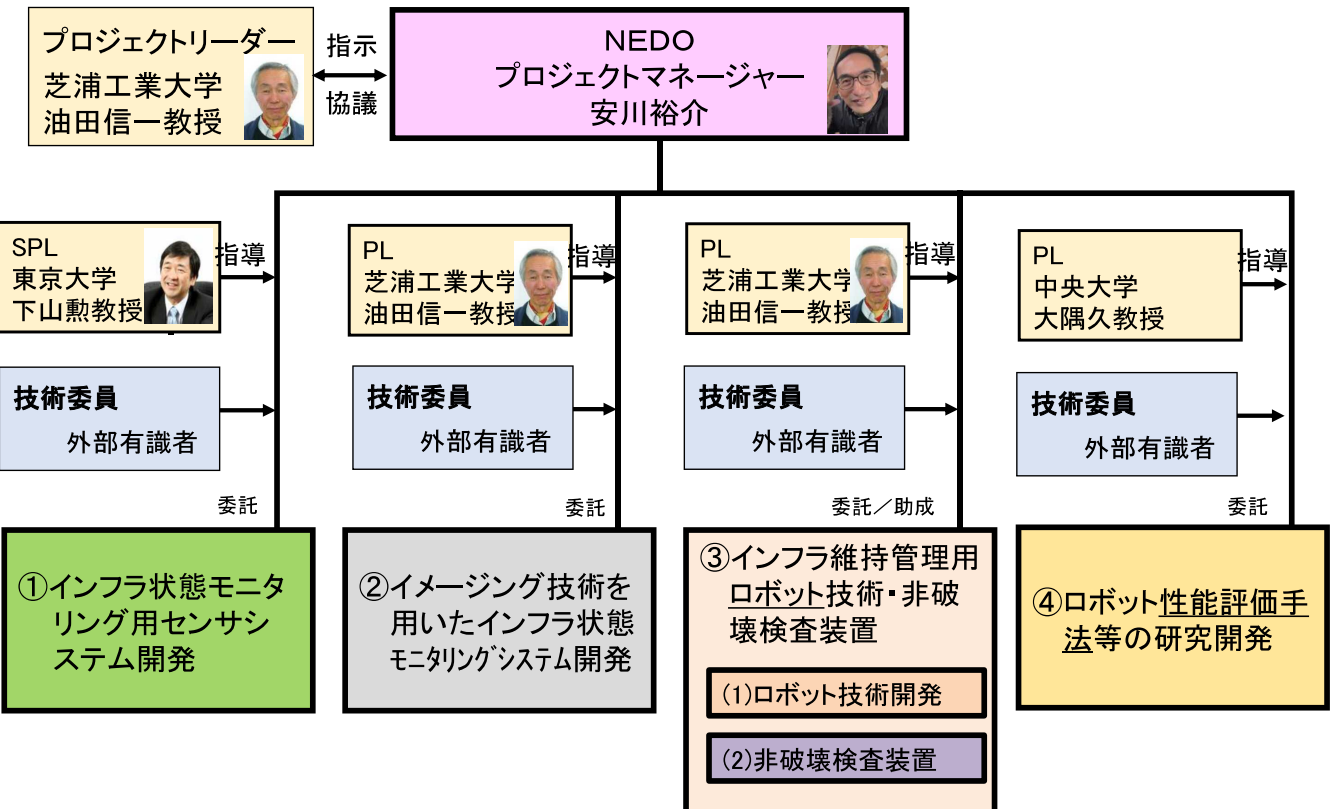


参考：2016年後半のみ

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆ 研究開発の実施体制

PL: プロジェクトリーダー、SPL: サブプロジェクトリーダー  
所属、役職は事業実施当時のもの





2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆ 研究開発の実施体制 (技術委員)

目的・内容

■ 本事業の目的及び目標に照らして成果を最大化するために、**推進委員会やサイトビジットにおいて適切な評価や助言**を行い、NEDOの運営管理をサポートする



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

所属、役職は事業実施当時のもの

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆ 研究開発の実施体制 (研究開発実施者1)

組織名は事業実施当時のもの

● 開発者

■ ユーザ

( ) 再委託先

NEDO

① SPL: 富山県立大学  
下山勲教授

② PL: 芝浦工業大学  
油田信一教授

① インフラ状態モニタリング用センサシステム開発

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  
NMEMS技術研究機構  
(1) センサ端末及びモニタリングシステムの研究開発  
(1-1) 橋梁  
(1-1-1) スーパーアコースティック  
● (担当: (株)東芝、東京大学、京都大学)  
(1-1-2) フレキシブル面パターン  
● (担当: (国研) 産業技術総合研究所、大日本印刷(株))  
(1-2) 道路付帯構造物(標識板等)  
● (担当: 富士電機(株))  
(1-3) 法面  
● (担当: 三菱電機(株))  
(2) センサシステム共通基盤技術の研究開発  
(2-1) 無線通信ネットワーク共通PF  
● (担当: (株)エヌ・ティ・ティ・データ)  
(2-2) 高耐久性バッテリー共通PF  
● (担当: MMC、日本ガイシ(株)、大日本印刷(株))  
(3) 実証・評価研究共通PF  
■ (担当: NEXCO東日本・中日本・西日本、阪神高速を含む全参画機関)  
(4) 原子時計  
● (担当: (国研) 産業技術総合研究所、(株)リコー、(一財)マイクロマシンセンター、首都大学東京、東京工業大学、京都大学)

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、● (国研) 産業技術総合研究所、● 明星電気(株)、● 沖電気工業(株)、■ 高砂熱学工業(株)、(● 東京大学)

高信頼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)、(■ 大成建設(株)、● 長野日本無線(株)、● 東京大学)

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

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

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

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、(● (株)アダコテック)

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)、● (株)共和電業、● 4Dセンサー(株)、● 福井大学



2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆ 研究開発の実施体制 (研究開発実施者2)

組織名は事業実施当時のもの

- 開発者
- ユーザ
- ( ) 委託先
- 開発協力

NEDO

①、② ----- ③PL: 芝浦工業大学  
油田信一教授

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 style="text-align: center;"><b>橋梁維持管理</b></p> <p>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、(●)法政大学、(●)岡山大学、(●)ステラ技研(株)、(●)開発電子技術(株)</p> <p>磁石走行式ロボット等を活用した橋梁点検ロボットの開発 ● (株)熊谷組、(●)移動ロボット研究所、(●)名古屋大学、(●)つくばソフトウェアエンジニアリング(株)、(■) [西日本高速道路エンジニアリング四国]</p> <p>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)、(●)イクスリサーチ、(■) 首都高速道路技術センター</p> <p>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)、(●) (国研)産業技術総合研究所</p>	<p style="text-align: center;"><b>水中維持管理</b></p> <p>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、(●) 日立製作所、(●) (国研)産業技術総合研究所、(■) [ノダック]</p> <p>河川点検を効率化・高度化するフロートロボットの開発 ● (株)朝日航洋(株)</p> <p>小型無人ヘリを用いた構造物点検技術開発 ● (株)ルーチェサーチ(株)、(■) (株)建設技術研究所</p> <p>橋梁桁端部点検診断ロボットの開発 ● (株)シビル調査設計、(●) 福井大学</p>	<p style="text-align: center;"><b>災害調査</b></p> <p>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、(●) 東北大学、(●) 工学院大学、(●) (株)フィールドプロ</p> <p>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)、(●) (国研)産業技術総合研究所</p> <p>引火性ガス雰囲気内探索ロボットの研究開発 ● 三菱重工業(株)、(●) 千葉工業大学</p>	<p style="text-align: center;"><b>非破壊検査</b></p> <p>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、(●) (国研)産業技術総合研究所、(●) 静岡大学、(■) 三菱ケミカル</p>
---	--	---	---

2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性 (1)

事例紹介

◆ 研究開発の実施体制 (大学や公的機関の関与)

	委託先コンソ名	開発に参加・協力の大学や公的機関
センシング技術	NMEMS技術研究機構	産総研、京都大学、東京大学、首都大学東京、東京工業大学
	横河電機	東京大学
	マイクロマシンセンターコンソ	東京大学
	日本電気 日立製作所	
イメージング技術	福井大コンソ	福井大学
	首都高技術コンソ	東北大学、産総研
ロボット技術	川田テクノロジーズ	産総研
	ルーチェサーチ	
	富士フイルム	
	シビル調査設計	福井大学
	開発設計コンサルタント	法政大学、岡山大学
	熊谷組	名古屋大学
	キュー・アイ	産総研
	朝日航洋	
	国際航業	東北大学、工学院大学
	日立製作所	
	三菱重工業	千葉工業大学
非破壊検査技術	日立パワーソリューションズコンソ	
	産総研	産総研、静岡大学

## 2. 研究開発マネジメント

### (4) 研究開発の進捗管理の妥当性 進捗状況の把握

#### ◆ 研究開発の進捗管理

##### 1. 目標とそれを実現する手段の明確化による進捗管理

プロジェクトの大目標とそれを実現するための運用手段3項目を設定した。

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**

中目標:

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**
2. **開発されたシステムを使うユーザを含む開発体制**
3. **現場での実証実験を繰り返しつつ開発を推進**

##### 2. 推進委員会による進捗管理 (PM,PL、技術委員による確認と指導)

研究開発項目ごとに、推進委員会を毎年繰返開催し進捗管理を行った。

年初は当年度の開発計画をチェックし、中期は進捗確認、年末は技術交流。

##### 3. 現場実証実験やサイトビジットによる進捗管理

開発システムの現場適用状況を確認。

サイトビジットではPM,PL、技術委員による確認と指導。

①センサシステム・②イメージング技術は全者、③ロボットは毎年全者の現場実験を訪問

# 1. 研究開発の運営方針(目標・手段の設定)

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

## 1-(1) ニーズに基づいた目標の設定



老朽橋梁の点検



要注意法面の監視



ライフラインの維持



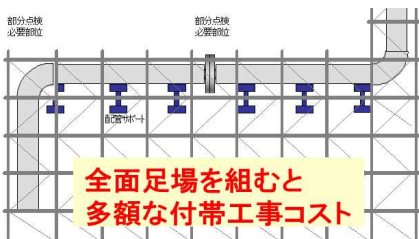
道路情報板の点検コスト低減



配管の腐食検出



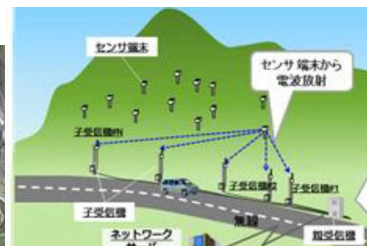
メンテナンス技術者の不足対策



検査コストの低減(足場構築)



ポンプの故障検出



法面の崩壊監視

# 1-(2) ユーザを含む開発体制 (センサシステム分野、イメージング技術分野)

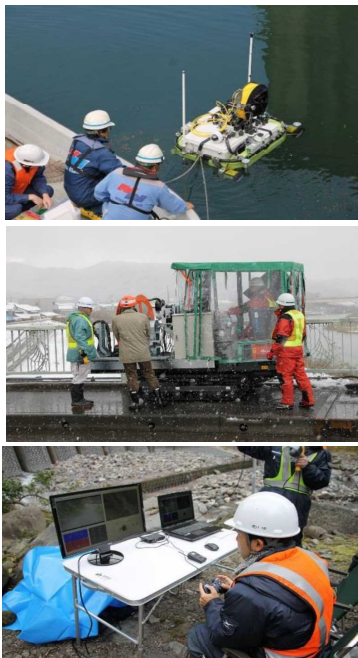
- 現場でシステムを使用するユーザを開発チームに含め、**連携**して開発を進める
- 実用化開発と実証試験を協力して行う体制を構築。



委託先コンソ名	開発に参加・協力のユーザ
<b>センシング技術</b>	
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)
<b>イメージング技術</b>	
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
<b>非破壊検査装置技術</b>	
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

# 1-(2) ユーザを含む開発体制 (ロボット分野)

- 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。



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
富士フイルム	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)



### 1-(3) 現場での実証実験 (センサシステム分野、イメージング分野)



道路橋梁(郡山市)



三菱ケミカルプラント(大竹市)



三岳山トンネル(新東名高速道路)



法面(東日本高速道路管内)



晴海アイランド地区熱供給センター



高架橋(阪神高速道路管内)



跨道橋(北陸新幹線)

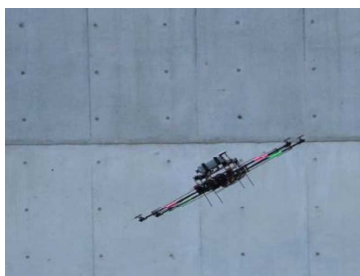


橋梁(西日本高速道路管内)



化学プラント(大竹市)

### 1-(3) 現場での実証実験 (ロボット分野)



可変ピッチドローン



懸架型橋梁点検ロボット



橋梁点検車とドローンの連携運用



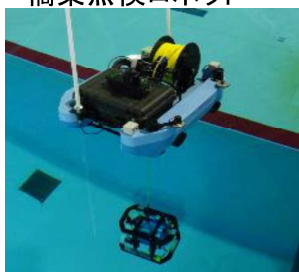
アーム型点検ロボット



橋梁点検ロボット



河川点検ロボット



ダム堤体点検ロボット



無人災害調査車両

## 2 進捗管理の例(推進委員会2018年度)

	H29/4Q	H30/1Q	H30/2Q	H30/3Q	H30/4Q	
①センサ ②イメージング ③非破壊	年度計画検討(2月~3月)	実施方針ヒアリング (3月~4月) 委託先毎個別 達成目標再確認	技術検討会(7/25) 全実施者が一堂に集合 技術交流	サイトビジット (9月~12月) 実現場確認・7ヶ所 技術委員	学会発表(11月) 技術委員による成果評価 技術委員	最終成果検討会 (12月) 技術委員による成果評価 技術委員



小冊子作成



技術検討会  
・技術交流



サイトビジット  
・委員による現地技術評価  
・成果公開用の動画撮影、



最終成果検討会  
・委員による成果評価

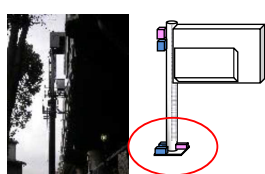


NEDOインフラ  
モニタリング技術シンポジウム

## 3. サイトビジットの例 (2018年度①センサシステム分野等)



NEC(福島県郡山市)  
道路橋のモニタリング。  
卓越振動数の変化から劣  
化を検出



富士電機(東京都調布市)  
道路案内板の振動監視。  
温度、振動、傾斜の関係  
から異常を検知



三菱電機(山形県)  
道路法面の地滑り検  
知。  
電波を使うことで高精度  
に3次元変位を検知



日立パワー(広島県大竹市)  
プラント配管点検用ロボットシ  
ステム。X線、中性子線を用い  
て、配管保護材の水分量、鋼  
管の減肉を計測



産総研・リコー  
(宮城県名取市)  
超省電力小型原子時計。  
暴露試験状況の視察

### 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
	日本電気(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



### 3. サイトビジットの例(2017年度③ロボット分野)



現場実証実験の例 2017年度 ロボット分野

	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 昆沙門橋
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 鋼板桁橋
8	富士フイルム	12/12	北陸地方 鋼板桁橋
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

### 3. サイトビジット実績(2017年度)

- 実証試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。
- 実験を行うフィールドは、実現場、または、出来る限り実現場に近い環境であること
- 実証においては、**ユーザ視点で実用性を評価**した



## 2. 研究開発マネジメント

### (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

#### 情勢変化、状況に応じた対応

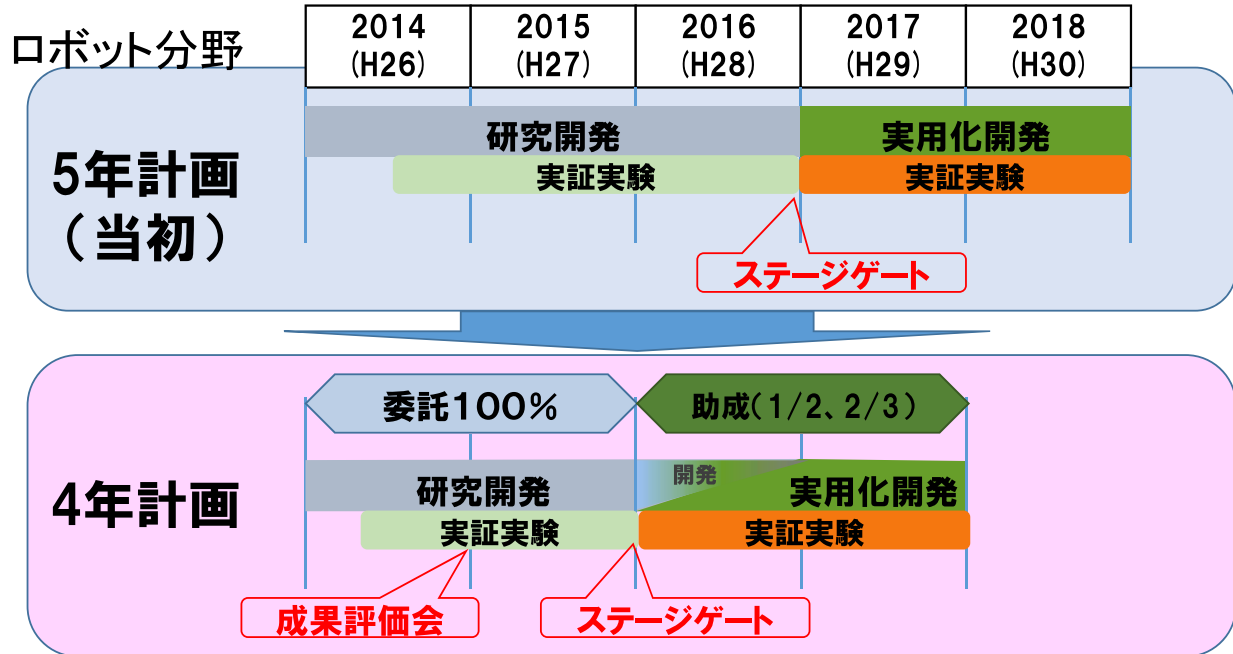
#### ◆ 動向・情勢の把握と対応

省庁連携や事業ヒアリング等により、動向と情勢を把握

情勢	対応
1. ロボット分野に関し、実用化をより重視する要望が高まった	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 <b>1年短縮（4年間）</b> し、事業者が主体となる <b>「助成事業」へ移行</b> した。
2. 研究開発を開始後に開発課題が難易なことが判明し、目標達成を再検討すべきテーマが生じた	<b>ステージゲート</b> により全開発テーマを評価し、中断、縮小、開発項目見直し等の対応を行った。 ③ロボット分野は <b>2テーマの中断と1テーマの縮小</b> 、 ①センサシステム②イメージング技術分野は <b>開発項目の見直し</b> を行った。
3. ステージゲート後にインフラ維持管理するロボット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、 <b>追加採択</b> を実施。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事業者を後押しすることとし、採択委員の厳正な審査の結果 <b>4種のロボットを新たなテーマとして採択</b> した。
4. 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 <b>早期終了</b> とし、 <b>早期事業化</b> を実現した。

## 1. 事業計画の見直し(ロボット分野)

■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、事業者が主体となる「**助成事業**」へ移行。



## 2. ステージゲート(①センサシステム分野)H28.11

■センサシステム分野の5テーマに対し、H26～H28(10月末まで)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」について外部有識者による評価を実施し、事業の「**継続**」、「**方向修正**」を判断。2団体について延長審議として計画再検討を要請。修正後計画を持って、継続を許可。

### 【主な評価項目】

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	ユーザニーズの適合性、開発システムの現場環境への対応性
		基本的なセンサ機能(自立電源、無線センサネットワーク、10年耐久性、サイズ)
		センサ性能に関する開発進捗
		健全性診断機能に関する開発進捗
業 事	<最終目標> 達成見込み	競争技術(既存技術)との技術的な比較
		モニタリングシステムの完成度、実証実験計画、社会課題への対応
業 事	事業化の見通し	運用における優位性及び有用性、実用化シナリオ、事業化計画、波及効果等の評価

### 【審査委員】

	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

## 2. ステージゲート(①イメージング技術分野)H28.11

■センサシステム分野の5テーマに対し、H26～H28(10月末まで)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」について外部有識者による評価を実施し、事業の「**継続**」を判断

## 【主な評価項目】

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	ユーザニーズの適合性、開発システムの現場環境への対応性
		基本的なセンサ機能(自立電源、無線センサネットワーク、10年耐久性、サイズ)
		センサ性能に関する開発進捗
		健全性診断機能に関する開発進捗
	<最終目標> 達成見込み	競合技術(既存技術)との技術的な比較
事業	事業化の見通し	モニタリングシステムの完成度、実証実験計画、社会課題への対応
		運用における優位性及び有用性、実用化シナリオ、事業化計画、波及効果等の評価

## 【審査委員】

	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

## 2. ステージゲート(③(1)ロボット分野)

■ロボット分野の11テーマに対し、H26～H27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」について外部有識者による評価し、**H28年度(助成事業)への継続の可否について審査**。その結果、**2テーマの中止**を決定(平成27年1月27～29日に実施)。

## 【主な評価項目】

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

## 【審査委員】

	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

## 2. ステージゲート(③(2)非破壊検査)

■ H26～H28(10月末まで)における研究成果及び事業終了時の達成見込みについて、外部有識者による評価を実施し、事業の「**継続**」を判定(平成28年10月17日に実施)。

【主な評価項目】

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	ユーザニ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

【審査委員】

	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

## 3. 追加採択(③(1)ロボット分野)

■ インフラを維持管理するロボットの実用化体制を強化するため、追加公募を実施。採択委員の厳正な審査の結果**4種のロボットを新たなテーマとして採択**。(平成28年5月25日に審査委員会)

	H26	H27	H28	H29
採択	委託期間 (研究開発)		SG	継続コンソ 助成期間 (実用化開発、実証実験) 追加4コンソ
			追加公募	

- ・ 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事業者を後押しする



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)

# 4. 早期終了と前倒し事業化

■ 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ため、その開発項目を**早期終了**とし、**製品化を前倒し実現**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）



### サンプリングモアレカメラ開発仕様

- 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

### サンプリングモアレカメラ

カメラによる変位変形計測  
—サンプリングモアレ法—



DSMC-100A

共和電業 製品情報ページ

[https://www.kyowa-](https://www.kyowa-ei.com/jpn/product/special/dsmc-100a/index.html)

[ei.com/jpn/product/special/dsmc-100a/index.html](https://www.kyowa-ei.com/jpn/product/special/dsmc-100a/index.html)

・プレスリリース9/5（NEDOと実施者の連名）

## ◆ 開発促進財源投入実績 (① センサシステム分野)

### 状況に応じた開発促進財源を投入

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専用スパッタ装置導入)	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。低振動でも充分な発電が可能なることを確認し、適用範囲が拡大。



## 2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

## ◆ 開発促進財源投入実績 (③ロボット分野)

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。
富士フィルム (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。

## 2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

## ◆ 開発促進財源投入実績 (その他)

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

## ◆ 中間評価結果への対応

下記は、主な指摘事項に対する対応。

	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して、横串での <b>ノウハウ共有</b> 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 <b>技術検討会</b> 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、 <b>システム面、運行管理といった方面での有識者の投入</b> が必要である。さらには、戦略構築のためのアドバイザリ機能を、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、 <b>あらたに技術委員会を組織</b> 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、 <b>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</b> などを進めるべきである。	<b>ステージゲート</b> 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 <b>技術検討会</b> 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 <b>アラートをどのように設定</b> 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 <b>大きな課題として残っている</b> 。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。

## Ⅱ. 研究開発マネジメント

### (5) 知的財産等に関する戦略の妥当性



## ◆ 知的財産権等に関する戦略

### 委託事業の知財権の取扱い【①, ②, ③(2)】

- 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。）

### 助成事業の知財権の取扱い【③(1)】

- 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所属し、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。**

## ◆ 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

- 知的財産取扱い規定の策定
  - ・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
- 知的財産権委員会の設置
  - ・メンバーは、各研究テーマの実施機関の代表者で構成
  - ・発明の権利配分、実施許諾等について審議・認定
  - ・PJ期間中、知財運営において必要となった際に開催

「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」  
(事後評価)  
(平成26～30年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

5.2 研究開発成果

成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し

プロジェクトリーダー 油田信一

2019年7月22日

### 3. 研究開発成果

- (1) 研究開発目標の達成度及び  
研究開発成果の意義

## ◆研究開発項目毎の目標と達成状況

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8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。

## ◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

項目	最終目標(再掲)	達成状況及び意義
① センサシステム技術	<b>■</b> 平成30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。  <b>■</b> その装置は、事業終了後2年(平成32年度)以内の実用化を目指した、妥当なコストを考慮。	<b>■</b> 「実現場で働く具体的なシステムの開発」が大目標。現場実験による実用技術開発、ユーザの参加による具体的なニーズ抽出により、 <b>現場で実証実験の実績のある実証プロトタイプが開発された。</b>  <b>■</b> 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の作成に向けての環境が整った。  <b>■</b> 副成果:ロボット開発者が現場の実問題を知り、メンテナンスや災害対応側の人々が現状のロボット技術を見ることで、 <b>分野間の情報交換と問題意識の共有</b> が大いに進んだ。  <b>■</b> 国交省との連携によりインフラ点検の機械化の可能性を検証し、関係省庁の理解が進んだ。 <b>道路橋点検要領の改訂(2019)にも、貢献があったものと思われる。</b>
② イメージング技術		
③(2) 非破壊検査装置技術		
③(1) ロボット技術	<b>■</b> 平成29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。  <b>■</b> そのロボットは、事業終了後2年(平成31年度)以内の実用化を目指した、妥当なコストを考慮したもの。	

## 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

## ◆個別テーマの目標達成状況

委託先		開発内容	プロト 完成	現場実 証	助成先		開発内容	プロト 完成	現場 実証
N M E S 技 術 研 究 機 構	センシング				ロボット				
	東芝	SAセンサ:橋梁(振動)	◎	◎	橋 梁 点 検	川田テクノ	飛行支援制御マルチコプタ	◎	◎
	産総研	面パターンセンサ:インフラ構造物(ひずみ)	◎	○		ルーチェサーチ	高運動性能小型無人ヘリ	◎	◎
	富士電機	傾斜センシングシステム(道路情報板)	○	○		熊谷組	磁石走行式ロボット	○	○
	三菱電機	法面変位センシングシステム	○	○		富士フィルム	主桁懸架ロボット+複眼式撮像	◎	◎
	NTTデータ	無線通信ネットワーク共通プラットフォーム	○	○		開発設計コンサル	真空吸着式鉛直壁面移動ロボット	○	○
	MMC	高耐久性パッケージング技術	○	○		ジビル調査設計	アーム懸架型橋梁桁端部点検	◎	◎
	産総研	センサ端末同期用原子時計	○	○		水 中 点 検	朝日航洋	河川点検用水上航行型ロボット	◎
	横河電機	建造物モニタリングシステム(振動)	○	○	キュー・アイ		水中懸垂降下型ロボット	○	○
	マイクロマシンセンター	プラントポンプモニタリング(振動)	◎	◎	災 害 調 査		国際航業	土石流予測マルチコプタシステム	◎
	日本電気	道路橋の損傷進展把握(振動・変位)	○	○		日立製作所	地上/空中複合型ロボットシステム	◎	○
	日立製作所	ジェットファンの振動計測とデータ回収	○	○		三菱重工	引火性ガス雰囲気内探査ロボット	○	○
	イメージング								
	福井大	遠隔画像の位相解析(微小変位計測)	◎	◎					
首都高技術	コンクリひび割れの自動記録	◎	○						
非破壊検査									
日立パワーソリューションズ*	プラント配管(残厚、X線、中性子線)	◎	◎						
産総研	大面積FP型X線イメージセンサ	◎	○						

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み(中間) / 一部達成(事後)、X未達

## 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

## 国土交通省による評価結果、採用状況(③ロボット)

コンソ名	現場検証 評価結果※1	国交省 試行的導※2	九州地整 試験対象※3	性能カタログ 掲載※4
川田テクノロジーズ*	II			掲載
ルーチェサーチ	I	採用		掲載
富士フィルム	評価対象外 (要素検証)		採用	
ジビル調査設計	I	採用	採用	掲載(2件)
開発設計コンサルタント	評価対象外 (要素検証)			
熊谷組	評価対象外 (要素検証)			
キュー・アイ	評価対象外 (要素検証)			
朝日航洋	★★★	採用		
国際航業	★★★		採用	
日立製作所	★★★			
三菱重工業				

※1 橋梁分野はI, II, III評価(最高位はI)、水中・災害分野は星で評価(最高位は★★★)

※2 平成27年度次世代社会インフラ用ロボット現場検証・評価結果の公表について [http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo15\\_hh\\_000149.htm](http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo15_hh_000149.htm)

※3 九州地方整備局：次世代社会インフラ用ロボット技術試験対象技術 [http://www.qsr.mlit.go.jp/press\\_release/h30/18110901.html](http://www.qsr.mlit.go.jp/press_release/h30/18110901.html)

※4 国土交通省 点検支援技術の性能カタログ [http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo5\\_2.pdf](http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo5_2.pdf)

## 3. 研究開発成果

### (2) 成果の普及

#### 3. 研究開発成果 (2) 成果の普及

#### ◆成果の普及

対外的発表を推奨。十分な量の発表が行われた。

##### ①センサシステム

	H26	H27	H28	H29	H30	終了後	計
論文	0	7	16	15	14	1	52
研究発表・講演	6	46	64	60	74	3	253
受賞実績	0	0	6	0	1	0	7
新聞・雑誌等への掲載	2	0	1	25	8	1	37
展示会への出展	2	16	19	23	20	0	80

##### ②イメージング

	H26	H27	H28	H29	H30	終了後	計
論文	1	1	1	2	1	0	6
研究発表・講演	10	19	20	16	12	0	77
受賞実績	0	2	0	0	0	0	2
新聞・雑誌等への掲載	1	1	1	21	5	0	29
展示会への出展	4	4	7	5	3	0	23

※2019年4月末現在  
個々のタイトルは事業原簿に記載



③ロボット技術・非破壊検査装置技術

	H26	H27	H28	H29	終了後 H30	終了後	計
論文	7	12	17	3	7	9	65
研究発表・講演	9	34	31	24	18	30	146
受賞実績	1	0	3	0	3	1	8
新聞・雑誌等への掲載	15	14	15	11	0	19	74
展示会への出展	5	21	35	17	4	24	106

NEDO

	H26	H27	H28	H29	H30	終了後	計
論文							
研究発表・講演		3	3	5	6	1	18
受賞実績							
新聞・雑誌等への掲載				5	7	2	14
展示会への出展	1	1	1	2	2		5

※2019年4月末現在  
個々のタイトルは事業原簿に記載

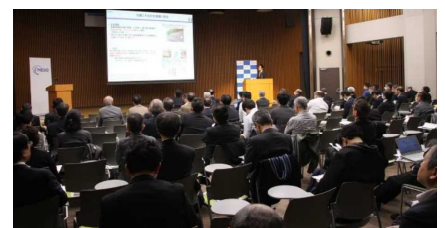
関係者への情報提供・広報



推進委員会・技術検討会への  
関係省庁や土木系研究所の招待  
2018年7月25日



実証実験への  
点検関係者の招待  
2016年12月22日



成果報告会へ関係者参加施策  
(CPD認定証発行)  
2019年2月1日



日本技術士会 神奈川県支部  
における技術士向け講演  
2018年7月26日 (写真はイメージ)



学会発表による  
関係者への訴求  
写真は建設ロボットシンポジウム  
2018年9月13日

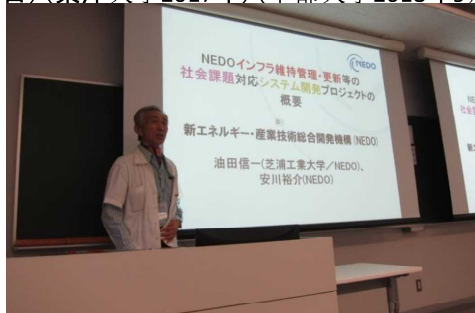


国土交通省  
雲仙事務所との連携実験  
2016年11月23日



## 成果普及(学会活動)

**日本ロボット学会学術講演会**(東京電機大学2015年9月3日~5日)(山形大学2016年9月7日~9日)(東洋大学2017年)(中部大学2018年9月5日~7日)



満員の盛況

基調講演

2015年

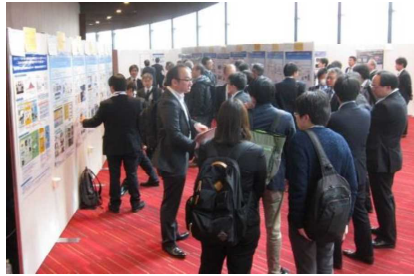
### 建設ロボットシンポジウム

(早稲田大学2018年9月15日~16日)



### センサ・マクロマシンと応用シンポジウム

(10月30日~11月1日 札幌市民交流プラザ)



NEDOインフラ維持管理技術シンポジウム

- ・発表22件
- ・専用論文集
  - ・学会web公開、
  - ・NEDO webでも公開

## 成果普及(展示会)

### ■国際ロボット展

(東京ビッグサイト 平成27年12月2日~5日)



### ■ナノマイクロビジネス展

(パシフィック横浜 平成27年4月22日~24日)



ブース全景



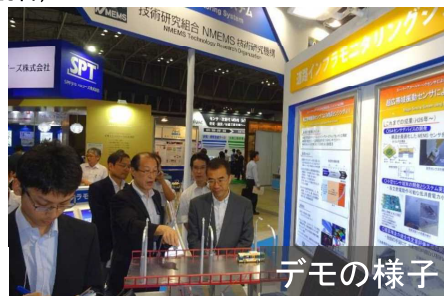
成果報告会

### ■MEMSセンシング & ネットワークシステム展

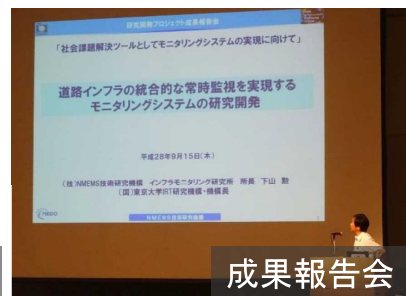
(パシフィック横浜 平成28年9月14日~16日)



ブース全景



デモの様子



成果報告会

## 成果普及(講演会・報告会)

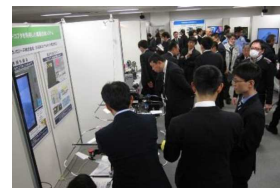
インフラ維持管理用ロボット技術成果報告会(2018年3月8日 機械振興会館 B2ホール)



図3 成果報告会








図4 機器展示



NEDOインフラモニタリング技術シンポジウム(2019年2月1日 機械振興会館 B2ホール)



## 成果普及(出版、動画公開)

		制作目的
 <p>パンフレット(小冊子 A5版50ページ)</p>		<p>開発成果の<b>社会認知を広め</b>、社会普及を促進することを目的。A5版 ロボット分冊とモニタリング分冊の2種</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 報告会や展示会で広く配布。</li> <li>(2) <b>ビジュアル</b>でわかりやすく適用場面や効果を紹介。</li> </ol>
  <p>開発技術説明書(中冊子 A4版190ページ)</p>		<p>各技術に興味を持った人に、<b>詳細に開発技術を紹介</b>することが目的。 A4版 ロボット分冊とモニタリング分冊の2種</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 技術導入に興味のある人に配布</li> <li>(2) 技術的内容を<b>文書</b>として紹介。</li> </ol>
 <p>動画公開 (NEDO Channel)</p>		<p>開発成果の概略を<b>映像により知っていただく</b>ことが目的。Youtube閲覧可全27件を公開</p> <p>・NEDOホームページおよび上記冊子にURL※を掲載</p>

※ [https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100081.html](https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100081.html)



# トピックス: ロボット大賞 国土交通大臣賞受賞

THE 8TH ROBOT AWARD  
第8回 ロボット大賞

HOME
ニュース
ロボット大賞とは
開催概要
応募要領
第8回受賞ロボット

HOME > 第8回受賞ロボット

**第8回受賞ロボット**

- ▶ 経済産業大臣賞/総務大臣賞
- ▶ 文部科学大臣賞
- ▶ 厚生労働大臣賞
- ▶ 農林水産大臣賞
- ▶ 国土交通大臣賞

## 国土交通大臣賞

### ドローンを用いた火山噴火時の土石流予測システム

The Robot Award

国立大学法人東北大学 フィールドロボティクス研究室、国際航業株式会社、株式会社イームズラボ、宇校法人工学院大学システムインテグレーション研究室

ドローンによる遠隔データ収集により  
火山噴火時の土石流被害予測を実現

土石流予測システム全体のイメージ図

**■火山噴火時の土石流予測の必要性**

日本には、111もの活火山があり、毎年のようにどこかで噴火が発生し、時には犠牲者を生むような事態にまで至っています。そのため、活動中の火山周辺における防災・減災のための調査技術の開発は、喫緊の課題です。特に、降雨によって堆積した土砂が流れ、下流に甚大な被害をもたらす「土石流」の予測技術の開発は、住民避難を行う上で、非常に重要なものとなります。この土石流予測には、地形情報、降灰塵、灰の種類、雨量に関するデータ取得が重要

した。

- (2) **ピラミッド型スケールによる降灰塵測定**: 立入制限区域内の降灰塵測定を行うためのピラミッド型スケールと、ドローンを用いてこれらを配備する技術を開発しました。
- (3) **土砂サンプリング技術**: 火山堆積物を直接収集するためのドローン吊下型土砂サンプリング装置を開発しました。
- (4) **表面流確認技術**: ドローン吊下型の表面流確認デバイスを開発しました。着地後に、搭載した水底船を割り、散水後の土に

# トピックス: 国内初の防爆検定に合格した移動ロボット

防爆型式検定合格！  
陸上移動ロボットとしては国内初！

プレス発表@三菱重工品川本社(2016年07月12日)

防爆構造電気機械器具型式検定合格証	
申請者	兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1号 三菱重工株式会社 エネルギー・機械ドメイン 原子力事業部
製造者	兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1号 三菱重工株式会社 エネルギー・機械ドメイン 原子力事業部
品名	移動ロボット
型式の名称	MHI-Wallaby-Ex
防爆構造の種類	本体 内圧防爆構造 (p.x) バッテリーボックス 耐圧防爆構造
対象ガス又は蒸気の 燃焼等級及び燃焼度	II B + H <sub>2</sub> T4 Gb
規格	適用基準 工場電気設備防爆指針 (国際規格技術資料) JN1058-TR-46-1, 2及び3:2015  バッテリーパック リチウムイオン二次電池 製造者 三菱重工株式会社 型式 MHI-Wallaby-Ex 電圧 DC29.6V 容量 15Ah  入出力信号 無線LAN 10mW/2.4GHz 最低動作圧力 3kPa
使用条件	耐圧防爆適合の諸寸法については、取扱説明書を参照すること。 型式検定合格番号 第 TC22032X 号
有効期間	平成28年 7月 8日から平成31年 7月 7日まで 平成 年 月 日から平成 年 月 日まで 平成 年 月 日から平成 年 月 日まで 平成 年 月 日から平成 年 月 日まで
機械等検定規則による型式検定に合格したことを証明する。 平成28年 7月 8日	
型式検定実施者 公益社団法人 産業安全技術協会	



**掲載:**

- ・朝日新聞、産経新聞、日経新聞 他
- ・Response(<http://response.jp/article/2016/07/13/278418.html>)
- ・NIKKEI Robotics(2016年8月10日発行 第14号) 他多数掲載

インフラ検査・維持管理展(7月20日~22日)出展



**お客様の反応**

- ・ 海外石油化学系からの問合せ複数(後日)

# 記者発表・プレスリリース (一部)



水上ロボット 2017.11.7

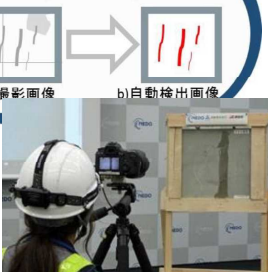


## 原子時計

ひび割れ点検支援システム (AI学習分析)



ひび割れ自動検出システム 2017.8.3



土石流災害予測 2016.11.24

橋梁のひずみを高感度に計測するフレキシブルセンサーを開発  
—橋梁表面に貼るだけで劣化状態をモニタリング—

2017年11月1日  
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
理事長 古川一夫

NEDOプロジェクトにおいて、産業技術総合研究所と大日本印刷(株)は、橋梁のひずみを高感度に計測できるフレキシブル圧力センサーを開発しました。  
本センサーは、安価、低消費電力、高耐久性に加え、橋梁構造体表面に貼り付ける簡易施工で、劣化状態のモニタリングを実現するものです。  
2017年4月から高速道路橋に本センサーを貼り付け、ひずみ分布測定と屋外耐久性評価を行うとともに、補修・補強した橋梁の経路観察の実証試験を行います。



フレキシブルセンサー2017.4.11

# 3. 研究開発成果

## (3) 知的財産権等の確保に向けた取組

## ◆知的財産権の確保に向けた取組

## 戦略に沿った具体的取組

○委託研究は、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、事業者に帰属する取組とした。

○助成事業は、知的財産権は事業者に所属し、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取り組みとした。

特許出願	特許出願件数					(年度)
	H26	H27	H28	H29	H30	計
①センサシステム	2	11	40	21	14	88
②イメージング技術	0	0	2	1	1	4
③ロボット・非破壊装置開発	9	9	8	7	5	38
合計	11	20	50	29	20	130

※2019年4月末現在

## 4. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し

### ◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

機能的かつ経済的に現場で運用可能なプロトタイプが完成しており、さらに実現場における利用性と有効性が確認されていることを言う。

(1) 想定されるユーザが、国交省などの公的な機関の場合は：  
施設管理者（国交省や、地方自治体など）の要望に応じて、現場で働かせる体制が整っていること。

(2) 想定されるユーザが、企業等の場合は：  
（この場合も、導入にはその体制を作る必要があり、時間を要するので）  
実現場で活用するシステムを供給する準備が整っており、ユーザの負担によって導入される体制となっていること

- ・ **社会課題であるインフラ維持管理に的確に対応するシステムを開発**するのが目的としてプロジェクトを推進した。
  - ・ （市場性や経済効果を期待するのが、第一目的ではない）
- ・ 上記定義を、この事業における実用化・事業化と考え、**事業終了2年後までの達成目標とする。**

## 実用化・事業化の定義についての背景

### ➤ 本プロジェクトの背景

- インフラ施設の老朽化、作業員の減少 → インフラ施設の維持管理が社会的課題に
- 市場の大きさが見込めないため、民間企業の積極的参入が見込めない → 国家プロジェクトとしてシステムを開発することが必要
- こうした背景から、「実用化・事業化」の指標として「市場の大きさ」は適さない
- **社会的使命を支える技術開発**としての評価指標が必要

### ➤ 実用化・事業化についての考え方

- **ユーザからの求めに応じてすぐに提供可能なシステムが準備できていることを本プロジェクトの実用化・事業化の定義とする。**
- すなわち、
  - ・ 現場での要求に応じられる機能を発揮できる技術開発が完了し、
  - ・ 全体として一体のシステムとしてまとめ上げられており、
  - ・ 過酷で多様な環境である現実の現場での動作試験を完了することで、
  - ・ 要求に応じて必要機能を提供できるシステムが準備されている事を実用化・事業化として定義する

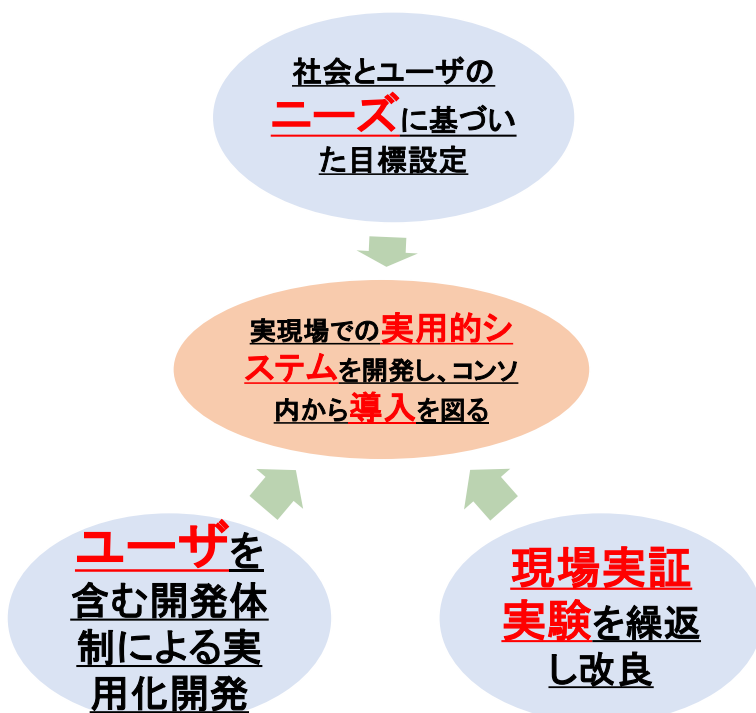


## 4. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し

### (1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

#### ◆ 実用化・事業化に向けた戦略

実用化・事業化に向けたプロジェクト方針



#### センサシステム・イメージング技術

現場実証試験にて、開発システムがモニタリング機能を発揮できることを確認済み。コンソ内の想定ユーザとさらに現場運用試験を繰り返し、ターゲット市場への導入を図る。同時に、要素技術の活用打診に積極的に対応し、開発成果の社会活用を展開する。

#### ロボットシステム

ユーザ(国土交通省、施設管理者等)との連携を継続し、試行的導入プログラム等での現場実績を重ねる。また、点検要領改訂に伴う現場試行要請の増加に応じて早期導入を図る。

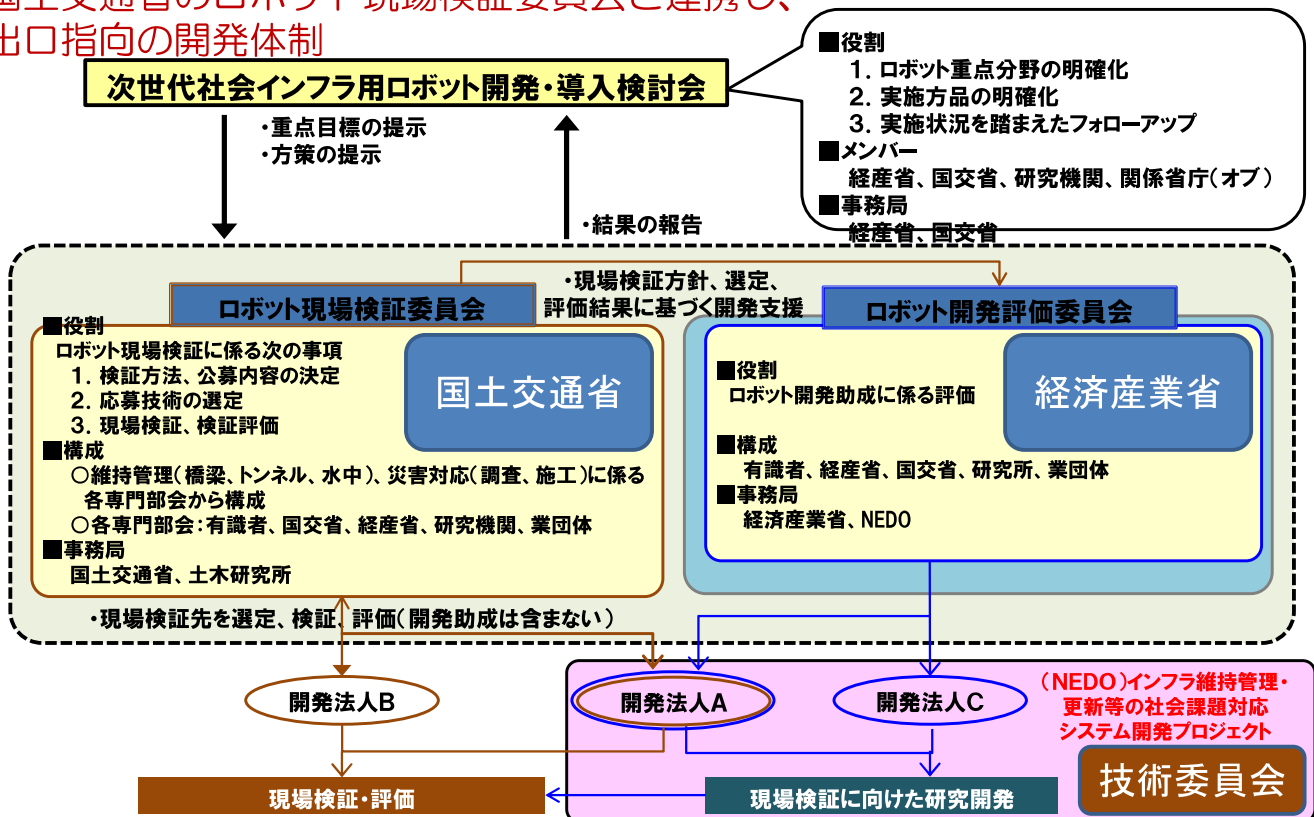
# ユーザを含むシステム開発 (例:2016)

開発チーム代表	開発目的	ロボットの形式(アクセス方式)と特長	開発チームの主なメンバー	
			システム開発	システム運用
<b>橋梁点検</b>				
川田テクノシース	高ト橋脚・コンクリート床板橋、鋼桁橋の点検	マルチコプタ、吊り下げワイヤを用いた飛行領域制限による安全性の確保	川田テクノシース	大日本コンサルタント
*ルーチェサーチ	橋梁やダム等のコンクリート構造物の点検	悪天候や強風下でも動くマルチコプタ	ルーチェサーチ	ルーチェサーチ、建設技研
富士フィルム	鋼桁橋の点検	鋼桁橋の主桁フランジに懸架する走行メカニズムと、画像入力・処理システム	イクシスリサーチ、富士フィルム、首都高技術センター	富士フィルム、
*シビル調査設計	橋梁点検車による検査が困難な橋梁(トラス橋など)	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	シビル調査設計、インテス	シビル調査設計
開発設計コンサルタント	橋脚や、ダム等のコンクリート構造物	コンクリート壁面上の真空吸着による4脚移動	開発設計コンサルタント、ステラ 技研	開発設計コンサルタント
*熊谷組	鋼桁の橋梁	磁石車輪による橋梁鋼桁下部の走行	移動ロボット研究所、熊谷組	熊谷組
<b>水中構造物等の点検</b>				
キューアイ	ダム等の水中構造物の点検	水上機と協調する水中ロボット	キューアイ、日立製作所	シダック
*朝日航洋	航空機測深調査(ALB)と役割分担する河川の調査	河床・護岸を調査するフロートロボット	朝日航洋	朝日航洋
<b>災害調査(土砂、火山)</b>				
国際航業	火山噴火時の土石流予測	火口部まで飛行する自律UAVと、それにより運搬される地上調査システム	東北大学、国際航業	国際航業
日立製作所	自然災害時の情報収集	UAVと地上移動体の協調による調査	産総研、日立製作所	八千代エンジニアリング
*大林組	災害調査のための遠隔走行車両	不整地走行車両とその操作方式	大林組	大林組
<b>災害調査(トンネル災害)</b>				
三菱重工業	引火性ガスが予想されるトンネル内等の調査	防爆仕様の走行調査ロボット、防爆認証。	三菱重工	

\*:2016年度より採択 ※:2016年度で終了

## 国土交通省(施設管理官庁)との連携

国土交通省のロボット現場検証委員会と連携し、  
 出口指向の開発体制



## 4. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し

### (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

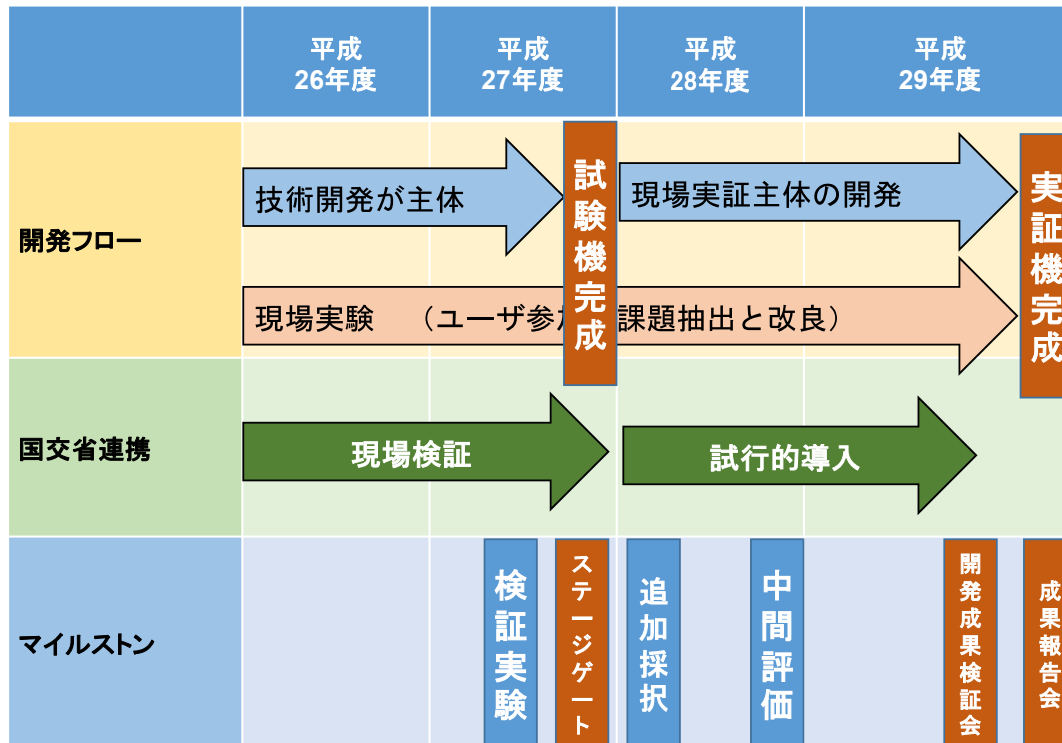
#### ◆実用化・事業化に向けて取組む組織の明確化（ロボットの例）

コンソ名	機体開発者	実証試験に参加のユーザ
川田テクノロジーズ	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	ルーチェサーチ	建設技術研究所
富士フイルム	イクシス 富士フイルム	首都高技術センター、地方自治体 ミクニヤ
ジビル調査設計	ジビル調査設計	ジビル調査設計、福井市
開発設計コンサルタント	開発設計コンサルタント	J-POWER
熊谷組	移動ロボット研究所	西日本高速エンジニアリング
キュー・アイ	キュー・アイ	ノダック、神奈川県
朝日航洋	朝日航洋	朝日航洋(自社内点検実施部署)
国際航業	国際航業	国際航業(自社内点検実施部署)
日立製作所	日立製作所	八千代エンジニアリング
三菱重工業	三菱重工業	消防
日立パワーソリューションズ	日立パワーソリューションズ	三菱ケミカル

## ◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組(マイルストーン)

以下はロボット分野の例。

センサシステム分野、イメージング分野も技術開発期間が3年になるだけでほぼ同様。



## ◆ 実用化・事業化に向けた具体的取組(具体的活動)

1. プロジェクト内向け**実用化講演会**の開催
2. **事業終了後の実施者間交流会**の開催
3. **関連組織との連携**
4. 国土交通省 **道路橋定期点検要領の改訂**





### 3. 関連組織との連携

## 国土交通省との連携

1. 国土交通省 現場検証プログラムへの参加(ロボット全社)
2. 国土交通省 試行的導入プログラムへの参加(指定3社)
3. 国土交通省 九州地整雲仙事務所との連携(指定3社)

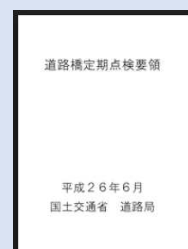
#### 関連組織との連携



国土交通省 現場検証プログラムへの参加  
(2014~2015 橋梁、ダム、トンネルの各地)  
国土交通省 九州地整雲仙事務所との連携(指定3社)



国土交通省 九州地整雲仙事務所との連携  
雲仙普賢岳 2014~2018



国土交通省  
道路橋定期点検要領の改訂

## 4. 国土交通省 道路橋定期点検要領の改訂

■ 平成31年2月の改訂

### 4. 状態の把握

健全性の診断の根拠となる状態の把握は、近接目視により行うことを基本とする。

#### 【法令運用上の留意事項】

定期点検を行う者は、健全性の診断の根拠となる道路橋の現在の状態を、近接目視により把握するか、または、自らの近接目視によるときと同等の健全性の診断を行うことができる情報が得られると判断した方法により把握しなければならない。

道路橋の健全性の診断を適切に行うために、法令では、定期点検を行う者が、道路橋の外観性状を十分に把握できる距離まで近接し、目視することが基本とされている。・・・(以下略)



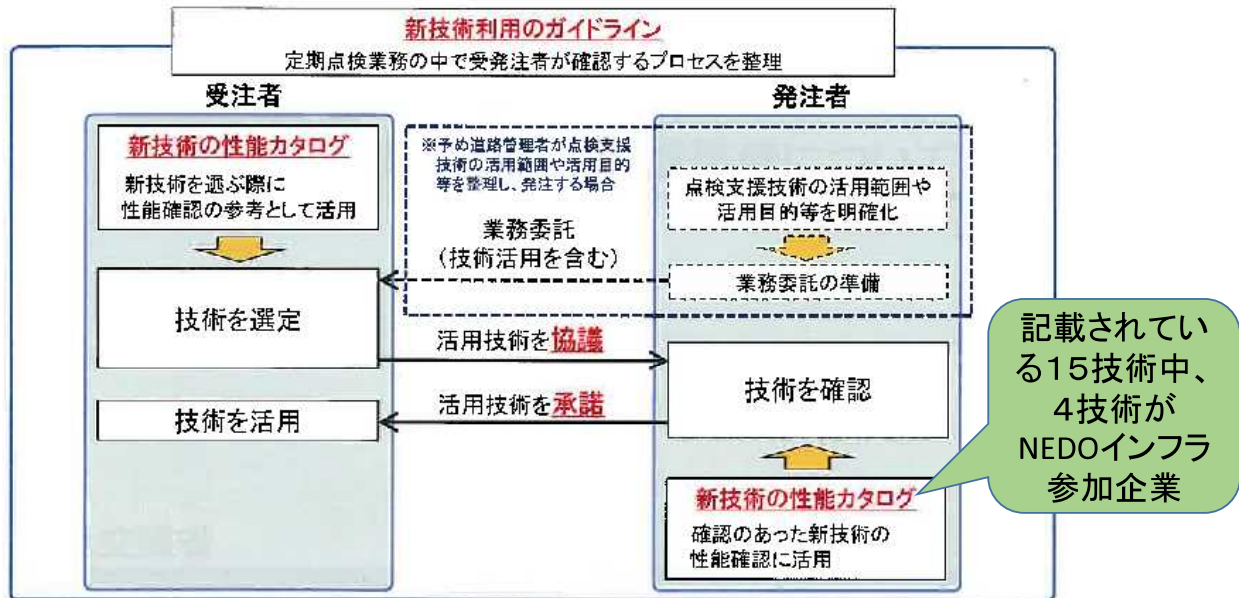
# 国土交通省 新技術利用ガイドライン

## ガイドライン・性能カタログの概要

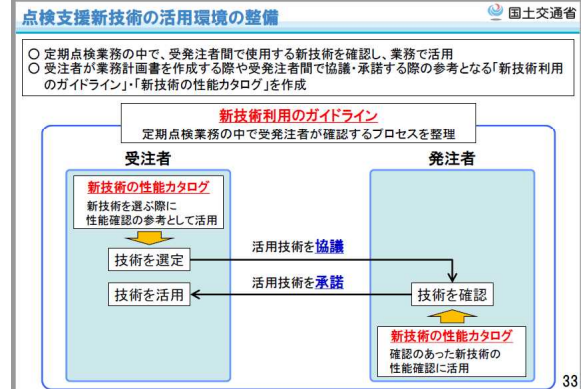
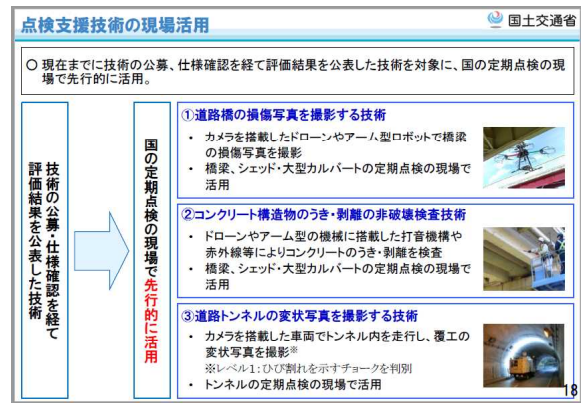
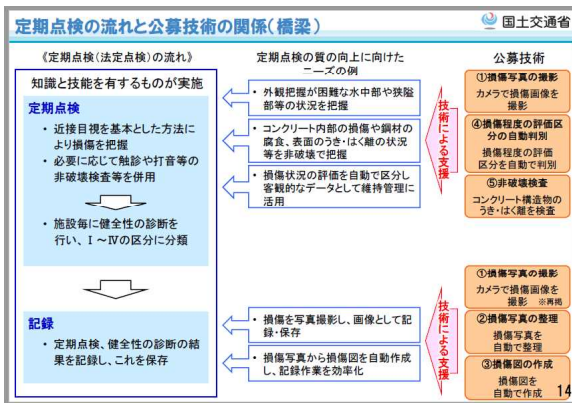
社会資本整備審議会 道路分科会  
 第10回道路技術小委員会 配布資料を一部加筆

資料2-1

- ガイドラインは、定期点検業務の中で受発注者が使用する技術を確認するプロセス等を例示。
- 性能カタログは、国が定めた技術の性能値を開発者に求め、カタログ形式でとりまとめたもので、受発注者が新技術活用を検討する場合に参考とできる。



# 国土交通省 点検支援技術の活用



## 4. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し

### (3)成果の実用化・事業化の見通し

#### ◆成果の実用化・事業化の見通し

実用化水準を評価するため、本事業で開発した全26技術に対し、**TRL (Technology Readiness Level) 評価** (自己評価)を実施。実施者による自己評価を基準にPMが確認(**2019年5月末**)。

#### TRL評価結果サマリー

1. 26技術のうち16技術(**62%**)で事業用システムを開発済み  
2年以内の実用化を目指すのがプロジェクト目標
2. **ロボット**は、2020年度を前に、**81%**が**実用プロトタイプ**を開発済み。**55%**が**事業化済み**と高い水準
3. **センサシステムとイメージング技術**は、**47%**が**実用プロトタイプ**を開発済み。**20%**が**事業化済**。  
終了後0.5年であり比較的順調。「2年後」までに1.5年あるため引き続きの事業化努力が必要。

水準	達成内容		
TRL1	原理的な可能性が示されている。	本プロジェクトとしてNEDOが支援し、達成を求めた水準	
TRL2	技術的な概念モデルが提案されている。		
TRL3	技術的な概念モデルが定量的に検討されている。		
TRL4	技術要素としての実証モデルが実験室レベルで試験されている。		
TRL5	技術要素としての実証モデルが、実際の使用環境に近い条件のもとで試験されている。		
TRL6	実証モデルをシステムとして開発し、動作を試験した。		
TRL7	実証モデルをシステムとして開発し、実導入現場と同様の環境で試験動作させた。		
TRL8	事業用システムのプロトタイプ（量産試作システム）を開発した	NEDOプロジェクト期間以上の水準（自己努力）	実用化達成
TRL8a	事業用システムのプロトタイプを実導入現場と同様の環境で試験動作させた		
TRL9	事業用システムが開発され、事業用に提供されている		

本事業の2年以内の達成目標とする実用化・事業化の水準

#### 4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (3) 成果の実用化・事業化の見通し

参考

40

#### 参考資料

### NEDO追跡調査における「実用化段階」の定義。

(内容的にTRL8とTRL9に相当するため、実用化水準をTRL8と設定)

段階	N E D O追跡調査における段階定義
研究段階	基礎的・要素的な基礎探索段階 (現象の新規性や性能の進歩性等について把握)
開発段階	開発用サンプルの作製。実用化に向けた課題を把握。応用開発段階 (開発用サンプルを作成し、ユーザーへのマーケティング調査を行うとともに技術やコストの優位性及び量産化技術等の課題を把握)
製品化段階	顧客評価(認定用)サンプルの作製。量産化技術の確立。 工業化開発段階 (製品化への社内承認、試作機の製造、所管省庁/監督団体による販売承認/検査、製品を市場に投入するための設備投資の実施等)
上市段階	カタログ掲載など市場での取引を開始。 工場での運転を開始。継続的な売上発生等。
中断	社内での研究開発活動は一時的に停止しているが、将来再開する可能性がある。
中止	社内での研究開発活動は停止され、それ以上の開発は行われぬ。

#### 実用化段階

収益化は上市段階が継続された後となる場合が多い

実用化達成率の定義 (= 累積実用化率)

分母: N E D Oとの関係が、委託先・助成先・共同研究先に該当する企業及び上記の関係にある技術研究組合等の構成企業の数  
分子: 上記のうち、5年経過時点までに実用化(上表における製品化又は上市段階)に至った企業の数



## TRL (Technology Readiness Level) 評価とは

技術開発の**達成水準**としてNASAが策定。  
 それを参考にして独自に設定して段階評価。

### 設定した詳細条件

- ・ NEDOの現場実証や国交省の現場検証はTRL7として評価（プロトを現場実証）
- ・ 事業用システムとは、事業に対して対価を得ているシステムとする

TRL値	定義	適用
TRL8	事業用システムのプロトタイプを開発した	プロトタイプとは <b>量産機</b> の試作システム
TRL8a	事業用システムのプロトタイプを実導入現場と同様の環境で試験動作させた	一度でも実用動作させれば達成
TRL9	事業用システムが開発され、事業用に提供されている	商品化したレベルをいう。 ただし、国土交通省からの依頼で試行的導入として点検業務を実施した場合を含む

- ・ コンソによる開発技術の一部が実用化・事業化した場合には、上位に合わせた  
 たとえば、ロボットとソフトを開発しソフト部分を切り出して製品化した場合
- ・ 開発技術や開発システムを応用したシステムで達成した場合も含む  
 たとえば、開発技術を応用した製品版システムを開発して発売した場合



## TRL評価結果

### センサシステム、イメージング技術等の2018年度終了テーマ

委託先	開発技術	TRL					
		6	7	8	8a	9	
<b>センシング</b>							
NMEMS 技術研究 機構	東芝	SAセンサ:橋梁(振動)	○	○	○	○	—
	産総研	面パターンセンサ:インフラ構造物(ひずみ)	○	○	○	○	○
	富士電機	傾斜センシングシステム(道路情報板)	○	○	—	—	—
	三菱電機	法面変位センシングシステム	○	○	—	—	—
	NTTデータ	無線通信ネットワーク共通プラットフォーム	○	○	○	—	—
	MMC	高耐久性パッケージング技術	○	○	—	—	—
	産総研	センサ端末同期用原子時計	○	○	—	—	—
横河電機	建造物モニタリングシステム(振動)	○	○	—	—	—	
マイクロマシンセンター	都市インフラ回転機器モニタリング(振動)	○	○	—	—	—	
日本電気	道路橋の損傷進展把握(振動・変位)	○	○	—	—	—	
日立製作所	ジェットファンの振動計測とデータ回収	○	○	○	—	—	
<b>イメージング</b>							
福井大	遠隔撮影画像の位相解析(微小変位計測)	○	○	○	○	○	
首都高技術	画像からのコンクリひび割れの自動記録	○	○	○	○	○	
<b>非破壊検査</b>							
日立パワーソリューションズ	プラント配管の肉厚検査(X線、中性子線)	○	○	○	○	—	
産総研	大面積FP型X線イメージセンサ	○	○	—	—	—	

助成先	開発内容	TRL					
		6	7	8	8a	9	
<b>ロボット</b>							
橋梁 点検	川田テクノ	飛行支援制御マルチコプタ	○	○	○	○	○
	ルーチェサーチ	高運動性能小型無人ヘリコプタ	○	○	○	○	○
	熊谷組	磁石走行式ロボット	○	○			
	富士フイルム	主桁懸架ロボット+複眼式撮像	○	○	○	○	
	開発設計コンサル	真空吸着式鉛直壁面移動ロボット	○	○			
	シビル調査設計	アーム懸架型橋梁桁端部点検ロボット	○	○	○	○	○
水中 点検	朝日航洋	河川点検用水上航行型ロボット	○	○	○	○	○
	キュー・アイ	水中懸垂降下型ロボット	○	○	○	○	
災害 調査	国際航業	土石流予測マルチコプタシステム	○	○	○	○	○
	日立製作所	地上/空中複合型ロボットシステム	○	○	○	○	○
	三菱重工	引火性ガス雰囲気内探査ロボット	○	○	○		

2019年5月末時点の実施者自己評価

4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (3) 成果の実用化・事業化の見通し

◆実用化に対する課題と今後の方針

**(1) 安全性・操作性・安定性・耐久性の向上**

・現場実証を実施し、想定導入現場での試行は進んでいるが、誰もが使用可能な安全で頑強なシステムにするには更なる開発が必要。

**(2) 関係省庁におけるロボットによる定期点検等の導入**

・橋梁点検要領が改訂され、点検システムの活用が可能となった。しかし、現場はまだ模索段階。  
・国交省や自治体に技術を紹介するなどの協力を行い、社会実装に務める。今後、広い活用が期待される。

**(3) 現場取得データの分析の容易化**

現状ではデータの分析にも専門的知識が必要。危険を知らせる論理の自動化が待たれる。今後の導入の中で改良を進める。

# 「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」 (事後評価) (平成26～30年度 5年間)

## プロジェクトの概要 (公開)

### 5.4 プロジェクトの全体概要

プロジェクトリーダー 油田信一

サブプロジェクトリーダー 下山勲

2019年7月22日

## 5.4 プロジェクト全体概要

(午後のセッション)

個別テーマの成果及び意義

a. 全26テーマの概要を説明

b. 代表的4テーマを詳細説明



◆各個別テーマの成果と意義

●全26技術。件数が多いので要約を紹介

①インフラ状態モニタリング用センサシステム

橋梁用SAセンサ  
橋梁用面パターンセンサ

道路構造物傾斜センサ  
法面変位センサ

無線通信プラットフォーム高耐久パッケージング

チップ原子時計

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

位相解析手法を用いた画像計測装置

ひび割れモニタリング

③-2 インフラ維持管理用非破壊検査装置

超小型X線及び中性子センサを用いた検査装置

大面積FP型イメージセンサ

③-1 インフラ維持管理用ロボット技術

橋梁点検用ロボット

真空吸着型 開発設計コンサルタント  
飛行型 川田テクノロジー  
懸垂型 富士フイルム

水中点検用ロボット

ダム点検用 キューアイ  
水上航行型 朝日航洋

災害調査用ロボット

<土砂・火山災害>  
飛行型 国際航業  
移動・飛行型 日立製作所

<トンネル災害>  
防爆移動型 三菱重工業

個別技術の紹介: NEDO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 web [https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100081.html](https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100081.html)

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

スーパーアコースティックセンサによる橋梁センシングシステムの開発  
技術研究組合NMEMS技術研究機構(株式会社東芝、国立大学法人東京大学、国立大学法人京都大学)

気液界面振動による広帯域振動センサを実現(1Hz~1MHz)

西日本高速道路管内橋梁

健全性定量評価手法  
AE源密度分布分析+速度構造解析  
→内部損傷を4段階にランク分け

床版実測に基づく損傷ランクマップ  
数年以内の小型無線センサ端末の事業化及び橋梁診断サービスの事業化を予定

フレキシブル面パターンセンサによる橋梁センシングシステムの開発  
技術研究組合NMEMS技術研究機構  
(国立研究開発法人産業技術総合研究所、大日本印刷株式会社)

鋼橋の亀裂の伸展をひずみ分布センサで観察。経過観察がオンラインで可能に。接着シートとの一体化で施工容易

高架橋 (阪神高速道路管内)

ストップホール周囲のひずみ分布

プロジェクト終了後2年以内の実用化を計画、大日本印刷株式会社(DNP)が高速道路各社や電力事業者へ販売

法面変位センシングシステムの開発  
技術研究組合NMEMS技術研究機構(三菱電機株式会社)

要注意法面の監視 法面(東日本高速道路管内)

地すべりの前兆を電波の位相差を用いることで、ミリメートルオーダーで検出。

■ 高速道路における約2000箇所の要注意法面、一般国道1万箇所。ニーズは大きい。低コスト化により、2019年度に実用化に向けたシステム設計、2020年度以降に試作・製品化予定。

道路付帯構造物傾斜センシングシステムの開発  
技術研究組合NMEMS技術研究機構(富士電機株式会社)

メンテナンステクニックの不足対策

情報板状態変化検出の基本原則  
・構造材の腐食による減肉や亀裂  
・ボルト締結部の緩み  
・災害時の変形や基礎部の変動

傾斜の変化(静的変動) 傾れ方の変化(動的振動) 固有振動(動的変動)

MEMSセンサユニット(ユニット構造)

傾斜マルチセンサ搭載インナーユニット

運用中の情報板にセンサを設置し実証実験。卓越周波数や傾斜の継続的な計測に成功、遠隔モニタリングも確認。事業性的見極めを行い、マルチセンサ端末、センシングシステムの製品化を行う。

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

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

無線通信  
技術研究組合NMEMS技術研究機構 (NTTデータ)

多種多様なセンサの差異を吸収し、データ収集やデータ活用を共通の通信基盤で実施する通信仕様を開発。通信基盤の運用コスト削減及び多種多様なデータの横断的な利活用を可能に。



2015年より商用クラウドサービスとして展開しているIoT通信基盤「ANYSENSE」へ機能実装する目論見。平成31年度、クラウドサービス及びソフトウェアパッケージとしての機能提供を前提に検討中。

原子時計  
技術研究組合NMEMS技術研究機構 (産総研、リコー、マイクロマシンセンター、首都大学東京、東京工業大学、京都大学)

センサ端末に内蔵可能な基板搭載サイズと電池動作可能な消費電力の高精度原子時計を開発。ガスセルとVCSELの性能を大幅改善する技術を開発。10年間のメンテナンスフリーの為の将来技術も並行して開発中。



長期安定度と低消費電力を実現するための基本技術を確認。今後は特性のばらつきや信頼性を確保可能な生産技術開発が必要。既存Rb原子時計に対して消費電力・時刻精度ともに凌駕。H37年度を目標に時刻精度で2桁、消費電力で2桁の高精度化を目標に開発を継続。

パッケージング  
技術研究組合NMEMS技術研究機構  
(マイクロマシンセンター、日本ガイシ、大日本印刷)

センサ端末を長期安定して稼働させるための耐久性の高いパッケージを開発。高温、高湿、日射、排ガス、塩害などの過酷な環境ストレス下で、少なくとも10年間維持できる高耐久性。粘着シートによる簡単施工方法も開発。



セラミック(LTCC)パッケージは透光性セラミック基板、無線アンテナ内装などが特長。低コスト化が課題。施工用粘着シートは設置品質、耐久性が特徴。CFRPやガラスにも適用可能。各種IoT端末用としても展開を図る。

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

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

ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発  
産業技術総合研究所、マイクロマシンセンター、明星電気、沖電気工業、高砂熱学工業、東京大学

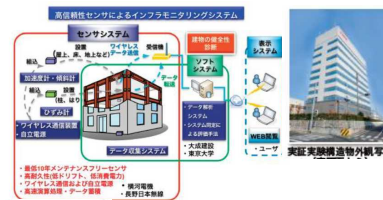


都市インフラ(ライフライン)の中核(コア)となるポンプ等の回転機器の劣化の兆候を振動のモニタリングで検知。格段に低い導入コスト、現場変化への柔軟な対応が可能。膨大なログ解析を必要とせず異常検知が可能。

晴海アイランド地区熱供給センター

ネットワークシステム: 平成32年度サンプル出荷、平成33年度より量産開始予定。モニタリングシステム: トライアル販売の後、平成33年度より本格販売および有償診断サービスを予定

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、(再委託先)長野日本無線、大成建設、東京大学



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し、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使用継続の可否が判断できる支援ツールを開発した

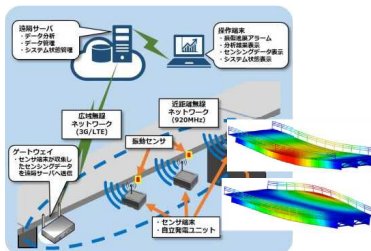


震災におけるBCP対策の高まりに応えるべく、加速度計、ひずみ計および傾斜計の量産体制の取組みや、常時・非常時による構造物の健全性を迅速に行える診断システムの製品化を優先して検討したい。

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  
日本電気株式会社、一般財団法人首都高速道路技術センター



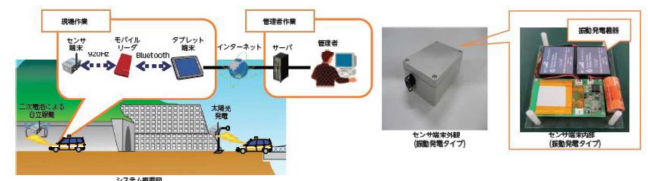
橋長15m以上の単純桁橋で健全度判定区分が「Ⅲ: 早期措置段階」以上の橋梁の経過観察



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。2020年販売予定

道路付帯構造物モニタリングシステム開発  
日立製作所

ジェットファンや照明柱などの道路付帯構造物にセンサ端末を取り付け、固有振動数等の計測データを巡回車両から走行中に回収可能なシステムを開発。予防保全や優先順位決定に活用可能。



高速道路会社には、データ収集、見える化の基盤を提供し分析用基盤は別途展開、地方整備局・自治体にはサービス形態で提供するなど、実用化・事業化に向けての基本方針(要件)を策定。



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

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

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、ジェイアール西日本コンサルタンツ、共和電業、4Dセンサー



屋外で10m~30m程度の遠距離から微小な変位や回転角を計測可能。サンプリングモアレ法を用いてキャリブレーション不要

基本性能としては実用的に使えるレベルに到達。2019年4月に降に製品化(計測業務サービス, 装置の製品販売)予定。

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、東北大学、産業技術総合研究所



AI技術を活用したひび割れ検出技術により、撮影画像から高精度にひび割れ状態を抽出可能。記録作業が省力化され、定量的判断できるので、より適切な補修・補強の計画立案等に貢献する。

ひび割れ自動検出

クラウドサービスによる事業化を比較的早期に創出可能と考え、プロジェクト終了後早期に事業を開始させる。

研究開発項目③-2: 非破壊検査装置

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、産業技術総合研究所、静岡大学



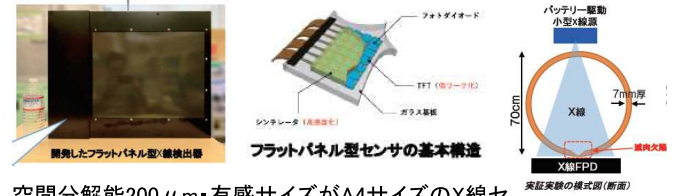
化学プラント(大竹市)

中性子水分計 超小型X線源

プラントの配管の腐食(CUI)を、保温材を解体せずに確認できる非破壊検査手法を開発。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。中性子水分計および搭載自走ロボットは実用レベルに達しており、先行して計測ビジネスを開始。X線管厚計によるエッジ撮像技術は基盤技術を確立したため、今後ロボット搭載に向けて技術開発を継続。

大面積FP型イメージセンサによるX線非破壊検査装置開発  
 産業技術総合研究所

液晶ディスプレイ製造技術を転用しフラットパネル型のX線センサを開発。検査領域の大面積化と高感度化を両立。バッテリー駆動が可能。



空間分解能 $200\mu\text{m}$ ・有感サイズがA4サイズのX線センサは2019年内に市販予定。さらなる高分解能化、大面積化と高感度化を目指し、 $100\mu\text{m}$ 以下分解能タイプや、17インチ×14インチサイズの後継機を2020年に市販化する計画。

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究開発項目③-1 インフラ維持管理用ロボット技術

マルチコプタを利用した橋梁点検システム  
 川田テクノロジーズ、大日本コンサルタント



網羅的画像取得タイプマルチコプタ

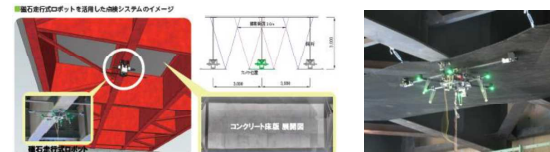
バケットから離陸するマルチコプタ

橋梁点検車とドローンの連携運用

「一定離隔飛行制御」「安定ホバリング制御」「カメラ正対制御」等を開発し、一定解像度の画像を取得を可能とし、点検作業員にも容易に取扱可能としている。従来点検手法(橋梁点検車)との組合せた高橋脚柱の安全画像取得技術を開発した。バケットから垂下された安全索でドローンの飛行範囲を制限する実用的技術が安全性と操作性を担保しており、普及が見込まれる。

磁石走行式ロボット等を活用した橋梁点検システム  
 熊谷組、移動ロボット研究所

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、走破可能な点検用ロボットシステムを開発。比較的強い風(地上で $5\text{m/s}$ ~ $6\text{m/s}$ 程度)でも床版の詳細ひび割れ画像の取得が可能。



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は自社で使用。その他、点検事業者にも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。

小型無人ヘリを用いた構造物点検技術  
 ルーチェサーチ株式会社

可変ピッチプロペラを有するドローンと高熟練の操縦士の構成により「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、高精度な写真を元にした精度の高い橋梁点検」を可能とした。



可変ピッチドローン

国土交通省の現場検証と試行的実証で高評価。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、自社の点検サービス業務として社会に提供する。

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  
 富士フィルム、イクシスリサーチ、首都高速道路技術センター



懸架型橋梁点検ロボット

ひびわれ自動検出の結果

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を開発した。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。車線規制が不要なことから導入効果は大きく、社会普及が望まれる。

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究開発項目③-1 インフラ維持管理用ロボット技術

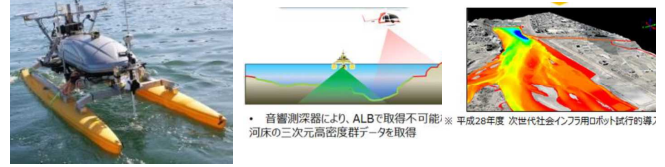
インフラ診断ロボットシステム(ALP)  
開発設計コンサルタント



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、点検対象箇所に近接して画像撮影・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ロボットである。安全で定量的かつ経済的な高所点検が可能となる。

J-POWERが、保有する発電施設への活用を想定。平成30年度に協議の上、実用モデルの基本構想をまとめる予定。

河川点検を効率化・高度化するフロートロボット  
朝日航洋株式会社



長大な河川の地形計測を航空測量(ALB)と連携して動作する水上ロボット。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た。操船支援機能や自動航行機能による運用支援を搭載することで、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にスポット計測を可能とした。自社受注事業を端緒として活用。

橋梁桁端部点検診断ロボットの開発  
ジビル調査設計株式会社



アーム型点検ロボット斜張橋を点検するロボット 歩道橋点検も可能  
従来は点検困難であったトラス橋や斜張橋、側道橋等の部材が複雑に構成された橋梁を点検可能なアーム懸架型点検ロボットを開発した。複線レールや狭隘部点検カメラロボット等を新規開発し最小限の交通規制で、短時間で点検を可能とした。従来のロープアクセス等の特殊点検が不要となり、大幅なコストダウンが見込まれる。

可変構成型水中調査用ロボット  
キュー・アイ



コンクリートダムのでき上流部の表面点検に使用する水上機と水中機のペアロボット。水上ロボットから水中機を垂下し、自動動作制御すること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・高効率で点検を可能とした。従来の、ダイバーによる潜水調査では投量差による品質バラツキや、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を解決する。大深度点検の危険を回避できる技術として、現場から活用が期待されている。

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究開発項目③-1 インフラ維持管理用ロボット技術

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  
国際航業、エンルート

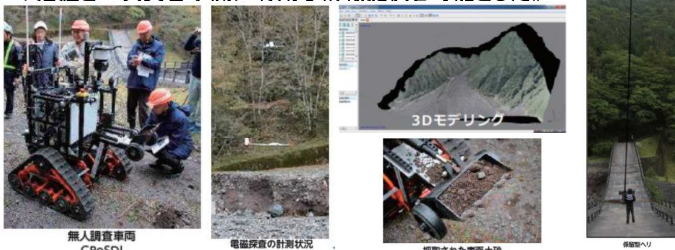


小型移動ロボットの運搬 土砂サンプリングデバイス

火山噴火直後の土石流・火砕流が予測される災害現場において、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を行うシステムを開発。土石流発生の可能性に関する情報を収集し、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、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する。すぐにでも活用可能なシステムとしてロボット大賞を受賞。

災害調査用地上／空中複合型ロボットシステム  
日立製作所 エンルート 八千代エンジニアリング

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で活躍する無人ヘリと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を開発。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。



無人調査車両 CroSOI

電磁探査の計測状況

採取された表面土砂

無人ヘリ

引火性ガス雰囲気内探索ロボット  
三菱重工業株式会社



防爆ロボット 実在トンネルで深夜に実施した実証実験

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できる移動ロボットを開発した。国内で初めて防爆検定合格した電動移動ロボットにより、トンネル内部に安全に侵入し、引火性ガスの有無と内部状況を遠隔操作で確認が可能となった。防爆機能を活かした洋上プラットフォームの点検ロボットとして要望があり対応中。開発技術の展開活用が期待される。

## 参考資料 1 分科会議事録

研究評価委員会  
「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」  
(事後評価) 分科会  
議事録

日時：2019年7月22日(月) 9:30~16:50

場所：大手町サンスカイルームD室

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長	青柳 誠司	関西大学 システム理工学部 機械工学科 教授
分科会長代理	梅田 和昇	中央大学 理工学部 精密機械工学科 教授
委員	阿部 雅人	(株)ビーエムシー(BMC) 研究開発部 部長
委員	加藤 絵万	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 構造研究領域 構造研究グループ長
委員	倉爪 亮	九州大学 大学院 システム情報科学研究院 教授
委員	林 英雄	(株)日刊工業新聞社 総合事業局イベント事業部 事業部長

<推進部署>

弓取 修二	NEDO	ロボット・AI部 部長
安川 裕介(PM)	NEDO	ロボット・AI部 専門調査員
川上 憲治	NEDO	ロボット・AI部 専門調査員
竹内 誠一郎	NEDO	ロボット・AI部 主査
藏重 昂平	NEDO	ロボット・AI部 職員

<実施者>

油田 信一(PL)	芝浦工業大学 SIT 総合研究所	客員教授
下山 勲(SPL)	富山県立大学	学長
渡部 一雄	(株)東芝 研究開発センター	研究主幹
佐藤 久	首都高技術(株) 技術部	構造技術課 主査
菊池 浩明	富士フイルム(株) R&D 統括本部	画像技術センター 兼 産業機材事業部
浅見 研一	(株)日立パワーソリューションズ	日立山側事業所 コンサルティングエンジニア リング本部 分析エンジニアリング部 評価試験グループ 技師
藤原 健	国立研究開発法人産業技術総合研究所	計量標準総合センター 分析計測標準研究部門 放射線イメージング計測研究グループ 研究員

<評価事務局>

梅田 到	NEDO	評価部 部長
塩入 さやか	NEDO	評価部 主査
谷田 和尋	NEDO	評価部 主査



## 議事次第

### (公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
  - 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
  - 5.2 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し
  - 5.3 質疑応答
  - 5.4 プロジェクト成果全貌

### (非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
  - 6.1 スーパーアコースティックセンサによる橋梁センシングシステムの開発 (センサ)
  - 6.2 道路構造物ひび割れモニタリングシステムの研究開発 (イメージング)
  - 6.3 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 (ロボット①)
  - 6.4 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 (ロボット②)
7. 全体を通しての質疑

### (公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

## 議事内容

(公開セッション)

### 1. 開会、資料の確認

- ・開会宣言 (評価事務局)
- ・配布資料確認 (評価事務局)

### 2. 分科会の設置について

- ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき評価事務局より説明。
- ・出席者の紹介 (評価事務局、推進部署)

### 3. 分科会の公開について

評価事務局より資料2及び3に基づき説明し、議題6. 「プロジェクトの詳細説明」及び議題7. 「全体を通しての質疑」を非公開とした。

### 4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より資料4-1~4-5に基づき説明した。

### 5. プロジェクトの概要説明

#### 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

推進部署より資料5aに基づき説明が行われた。

#### 5.2 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

実施者より資料5bに基づき説明が行われた。

#### 5.3 質疑応答

5.1及び5.2の説明内容に対し以下の質疑応答が行われた。

**【青柳分科会長】** ありがとうございました。

技術の詳細につきましては議題6で扱いますので、ここでは主に事業の位置付け、必要性、マネジメントについて議論します。ただいまの説明に対しまして、御意見、質問等をお願いします。

**【阿部委員】** お話をお伺いして5年という期間の中でニーズやシーズ、あるいはユーザーやメーカーを交えたチームを作らせるとか、ターゲットを非常に具体的に設定されるとか、機動的にマネジメントをして入れ替えなど色々とされ、5年という非常に長いようで短い中ですごく色々工夫をされているので、マネジメントとしてはかなり高度なことをされてきたと思います。また、この様な進め方自体はインフラだけではなく、ユーザー側とメーカー側があるような問題で、色々なところでこの様な進め方をしているのかなと思いました。

質問は、なかなかこの様な進め方はパッと思い付かないと思うのですが、どういう経緯でこの様な進め方でないと駄目だ、このような進め方が良いと思って編み出してこられたのかといった話があれば教えてください。

**【油田 PL】** 実は私自身の背景の話を申し上げますと、私はロボット屋です。ただ、例えば実験室の中で動くロボットは幾らでもできるけれども、少し厳しい環境に行ったらうまく動かないというのが、ある部分でロボットの常識です。それをいかにリアルワールドに連れていかかということ、実はヒューマンインタフェースの部分も、あるいは環境の中で、普通の道路環境を走るだけであっても、あるいは何かものを拾うだけであっても、リアル環境の中で動かすにはどうすれば良いかということこそ、しっかりやらなければいけないと、私は思ってまいりました。

それを背景にすると、先ほど申し上げましたように、汎用的にこんなこともできるということ  
を研究者としてやりたかったのだけど、それはもちろんやりたいけれども、一つ課題を出して  
リアルワールドの中でこれをきちんとやりなさいというものを、ちょっと複雑な課題を出して  
「これをやりなさい」ということすらできないのに「汎用的です」という話はないだろうとい  
うのが私の思いです。その意味で、しっかりと建設分野で働くロボットを作ることが、ロボッ  
ト技術の進歩のためにもすごく重要なことだと思っていました。

そうして考えてみると、実はその問題はロボットだけではなく、「実験室の中ではこんなう  
まくいく」という話よりも、とにかく現場でうまくいくものをしっかり作ることに、解決すべ  
き技術要素としてもたくさんあるのではないかと感じていました。実は私自身、このプロジェ  
クトのプロジェクトリーダーというお話を頂いた時に「自分はそういうつもりだ。そのつもり  
でやって良いですよ」と言ったら「是非そうしてください」と言っていたので、その  
様に始まったという経緯がございました。それでお答えはよろしいでしょうか。

**【阿部委員】** そのこのゴール設定がすごく明確なので、マネジメントも非常にしやすかったのではない  
かなと思いました。

**【油田 PL】** ただ、実は国の予算でやる話の中で、では、これだけやれば十分なのかということは、  
具体化しているが故に十分なのかといたら、決してそうではないです。更にやっている最中  
に、本当はもっとダイナミックにテーマややり方を変えるとか、そのような枠組みを更に作っ  
ていかなければいけないと感じたことはありました。

**【青柳分科会長】** 他にございませんでしょうか。どうぞ。

**【林委員】** ありがとうございます。先ほど、安川さんでしたか、始めにお話を頂いたと思うのです  
が、今回のプロジェクトについて確認です。ユーザー側が連携する形で入っていただいている  
ということですが、具体的に良い事例というか、こういった形で連携して取り組んでいるとい  
うものを。全ての事業者で今回のプロジェクトに関して、ユーザーサイドが関わっているのか  
どうか。そして、一つ例として、どういった方々が連携して行われたか、伺ってもよろしいで  
しょうか。

**【安川 PM】** 御質問ありがとうございます。センサ、イメージングに関しては基本計画の中に「ユー  
ザーを含めること」という項目がございます。そういうところから、最初に応募してくださる  
時からユーザーが入っています。ただ、こちらのマネジメント側としては、最初はそうやって  
入ってきても、本当にその方によるコラボレーションといたしますか、きちんと御意見が反映さ  
れているかが心配になってきますので、きちんとやっていますかという確認をしたり、または  
現場に行った時にもなるべく現場の方の声を聞きながら「ここはどういう技術開発に反映して  
いますか」といったお互いのコミュニケーションの中から、ユーザーの声がしっかりプロジェ  
クトに反映されることを、お互いの信頼関係の中からお互いにつくるように努めてまいりました。

ロボットに関しても、ロボットは非常に多くのサイトビジットや現場実証をいたしましたの  
で、実際に現場で使うとなると、その関係しているユーザーだけではなくて、他の建設コン  
サルタントを外注でお願いしてやっていただくとか、または国土交通省や地方自治体の例えば  
ダムをお借りして実験する時にも、ダムの管理者からお声を頂いたりして、現場では何が必要  
か。また、そこで実験したのを見た結果、こんなことが必要だという言葉も頂きまして、なる  
べく多くの方を巻き込むような形で、我々としては色々な方に協力をお願いして、全体として  
現場の声を反映できる、現場で使えるような技術を開発したいという形で進めてまいりまし  
た。

**【青柳分科会長】** よろしいでしょうか。他にございませんか。では、倉爪委員。

【倉爪委員】 一つ質問があります。プロジェクトの途中で期間変更とか助成事業の移行など、かなり大きなプロジェクトの変更があったようにお見受けしましたが、これについてプラスになった点とマイナスになった点があるのではないかと思います。そのあたりを御説明いただければと思います。

【安川 PM】 ありがとうございます。プラスになった点は、やはり事業化を大きく意識に入れたところがあります。委託研究というのは、ともすると NEDO 側が主体となって「こういうお金を出すから、こういう研究をしてください」と NEDO がお願いしてやっていただく仕組みです。それに対して、助成事業というのは実施者が自分の意志で「研究開発をしたいので補助金をください」という仕組みです。色々な意見があると思いますけれども、今回は事業化を大きな目標とするというところで、結果的にこういう助成事業を取り入れたことによって、事業化が大きく進んだのではないかと考えられると思います。そこはプラスのところですよ。

マイナスのところは、もちろん最初は 5 年間の開発のつもりで研究の実実施計画を出していたで、NEDO は契約をしております。5 年間で 4 年間になったことによって、非常に技術開発が忙しくなり、ステージゲートの時期も本来は 3 年後だったものが 2 年後になったわけですよ。当初の研究開発の計画と狂ってきたところは、プラン変更とか、予算の関係もあり、実施者の方には非常に御迷惑をお掛けしてしまったところはマイナスだと思っています。以上です。

【油田 PL】 私からもコメントを。今、安川 PM が申し上げたとおり、もともと 5 年間のテーマ、5 年間 100%助成だと言って公募をして、プロジェクトが始まった数カ月後に、実は予算が続かないことになったという御説明が NEDO から、私も含めて実施者にありした。もともと契約の時点で、少なくとも初年度の契約はなされていて、2 年度目以降についてはその時の事情によるという約束だから、法律的に違反をしているわけではないことになるかと思いますが、実はその意味では正直言って、その時点では実施チーム全員が騙されたと思ったと私は感じています。ただ、それはロボットのテーマについてですが、そこでむしろ、それ故、更に実用化をきちんとするところにフォーカスしてやっていこうというプロジェクト側の判断があって、実際には抜けたチームもあるわけですけども、ほとんどのチームはそのまま 50%あるいは 3 分の 2 助成に移られて、続けていただいたことになります。

継続するのに、予算がなくて困った実施者はかなりおられると思います。具体的にはここにあります M 社では、最初は何が起こったかということ、社内で準備できるのはこの金額だから、予算全体のプロジェクトを小さくしてくれと言われました。そこで相談の上、その様な格好で始めたけれども、その後、社内で成果に基づいて、それなりにある意味でちゃんとした大きなプロジェクトに復活していただいたということがございます。

それから最初の 3 年間というか最初のプロポーザル時点では事実上、大学、産総研とか、公的研究機関がより中心の程度が高く、この中では例えば土石流予測の K 社のチームは最初の 2、3 年間は K 社のニーズの下にきちんとやっておられましたけれども、チームリーダーは T 大学でした。ところが T 大学としては、この枠の中に自前で助成のプログラム、お金を掛けることはできないというので、事実上、T 大学はお手伝いに移られて、随分きちんとやられましたけれども、T 大学に必要な経費は多分、K 社が負担されて、そのうちの半分を NEDO が補助される形で進んだということだろうと感じています。

途中で変わったために、体制変更も余儀なくされた例は幾つかございます。それが悩んだ側でして、よかったと私がここで言ったら実施者に叱られるのですが、少なくとも助成のプログラムが変わって「本当に使えるものを作るぞ」という意味での本気度は、結果としては大分増し

たのではないかと感じてはいます。十分な支援をしながら、いかに本気になってやってもらうかということがキーなのだなと思いました。

**【弓取部長】** この点については担当部の責任者として一言申し上げておかなければいけないのですが、制度が変わったことについては安川 PM より御説明したとおりで、情勢の変化がございました。情勢の変化というのは何かといいますと、雲仙普賢岳、笹子トンネルの事故もありまして、当初 5 年間で技術開発をしようとしていたのですけれども、やはり非常に社会的要請が強い。国交省からも早く実現してくれと。委託事業を 5 年間ではなくて、もっと早く実用化して欲しい。それで経産省と色々話をした結果、短縮をして、助成を 2 年間入れようということにしたわけです。これはなるべく早く出していくというモードにしていけないと。先ほど PL が予算が続かないというのは、その結果起こるかもしれないということをおっしゃったわけで、説明としては、情勢変化があった。早く出さなければいけない。のんびりやっていたのでは、この事業は続かない可能性だって起こり得る。では、自ら予定を変更していこうということをお願いしたということです。

それで実施者の皆さんにそのことをご説明して、確かに実施者の皆さんは「それは何だ」と思われたと思います。ただ、よくご説明をいたしまして、つらい決断ではありましたが、飲み込んでいただいて、実施者様にもその必要性を理解していただいて、結果的に実施者もつらかったとは思いますが、モードチェンジをしてくださった。会社とも内部でも調整をしてモードチェンジをしてくださった。それが結果的に実用化を早めたと考えています。

委託事業を 5 年間実行したケースと、助成事業を 2 年間に変えたケースを平行でやっているわけではないので、どちらがよかったかということは正確には言えないわけですが、先ほど成果としてお見せしたとおり、結果的に非常に良い成果が出てきていますし、プロジェクト後も OB 会として、これは新たな試みですが、皆さん集まってくださって、現在どうなっているかという情報交換、あるいはこういったことをして欲しいという声も上げてくださっています。もし、このプロジェクトが嫌で嫌でしょうがなければ、決してお金も出ない、そういった OB 会なんて行くものかとおっしゃっていただろうと思います。これは一つの証左かもしれませんが、現在、非常に良いコミュニティを作りつつ、成果の実現を図っていること自体が、このプロジェクトは色々ありましたけれども、良いプロジェクトであったのではないかと私自身は思っています。

**【青柳分科会長】** 油田 PL、倉爪委員、何かあれば。

**【倉爪委員】** はい、分かりました。

**【油田 PL】** NEDO の立場は今、弓取部長が御説明いたしました。実はその中では、実施者は NEDO の部分と本当のプレーヤーがあって、NEDO の中では私はプレーヤー側に立って、意見を言わざるを得ない立場でやってまいったわけです。安川さん、あるいは弓取さんともかなりやりあったことはございました。

**【弓取部長】** このようにこういった場でもオープンに議論をしておりまして、包み隠さず実施者の前でも、実際にこのような議論をさせていただいたことが結果的には良かったのではないかと思います。決して、後ろの方で何かごちゃごちゃやっているわけではなくて、こういう違いもあって、それぞれの立場の違いも言い合って、でもやっていきましょうという合意が図られた。これは良かったのではないかと思います。

**【青柳分科会長】** ちょっとクリティカルなものが、色々あると思うのですが、よろしいでしょうか。あと、梅田分科会長代理、加藤委員、何かあれば。

**【梅田分科会長代理】** 今のところにまだ絡む質問で恐縮ですが、事実的な話でお伺いしたいのです

が、まず費用面に関して 80.6 億ということになったわけですが、当初の予算から比べるとどうなっているのでしょうか。減ったのでしょうか、それともそうでもないのでしょうか。

【安川 PM】 パッと出てきませんが、途中の加速財源のお話をさせていただきました。あの部分は純粋に増額です。NEDO のプロジェクトというのはずっと同じ額で続くのは珍しくて、上がったたり下がったりする。下がる方が多いのですが、という中ではこのプロジェクトは非常に必要性を周りの方から認識していただきまして、実質的には維持に近い形で前向きに行けた。それに対して、更に加速が付いていて、非常に評価されているところだと思います。

【梅田分科会長代理】 それは素晴らしいですね。

【安川 PM】 5 年間で見ると最後の年だけちょっと減っているのですが、これはロボットが 4 年間で、最後の年はロボットがなくなっているんで、研究開発項目が減っているんでその分が減ったという認識で、全体としてはきちんとした予算の裏付けを持って、良い研究成果が出たと思っています。

【梅田分科会長代理】 ありがとうございます。それで早まったステージゲートで、結果的に 2 プロジェクトが中止になっていますが、もし差し支えなければどういう理由で中止になった、あるいはどういう評価をされて中止になったかというところを教えてくださいませんか。

【安川 PM】 中間評価の結果、ステージゲートの時の結果は公表されていますので、その範囲内でお答えいたします。

一つは橋梁の点検ですが、その時に打音点検と音響的な判断をするというものをに入れていました。その実施者の中には、研究開発項目の中を見ると二つあった。一つの方は写真による判断、もう一つの方は音響による判断というところがございました。音響による判断のところ、そこまでの研究の進捗を見ているとなかなか難しそうだと。最終的にそれが実用化できるかどうかというところが議論になり、その時期、ステージゲートにおいて、オーバーオールで二つの研究開発を含めた形では難しいということになりましたので、途中退場をお願いしたということです。

ところが実は、その実施者は追加公募の時に音響のところを除いてもう一度応募していただきました。採択委員の評価の結果、音響ではない側の画像による評価の内容で追加採択になり、実質的には研究計画を変更して継続する形に近い内容になっています。

二つ落ちたという、もう一つの方ですが、へび型のロボットだったのですけれども、当初研究開発を開始した時は、これだけのものができるだろうと大きな達成目標を出していたのですが、どうしても作ってみるとなかなか難しいことがだんだん分かってきて、最初の 2 年間における研究開発の難しさが分かったから、そこで途中で中断という結果になったということです。

【梅田分科会長代理】 ありがとうございます。もう 1 点。1 件、早期終了で製品を前倒し実現されたところがあって、本当に素晴らしいと思うのですが、製品の前倒しは良いとして早期終了させたというか、製品化しつつプロジェクトは最後までやっても良かったかなと思わないでもないのですが、そのあたりの経緯がもしございましたら。

【油田 PL】 実は実用的に使い得るシステムを作るというのがこのプロジェクトですので、早期終了する必要はちっともなく、しっかりやってもらえば良いのですが、片や、より根っこの NEDO のルールで、実際のビジネスを支援はしないという基本ルールがございます。そうしますと、実はこの開発成果そのものでお金をもらいながら売るといことはいけないというのがあって、それがいかにきちんと切り分けられるかが勝負です。まさしく今までやってきた成果そのものをすぐにでも売り出したいということが起こって、むしろ特に助成のプログラムにな



っていますので、すぐにでも売り出したいという思いでやっていたチームについては、色々御相談した結果、これはとにかく一旦卒業していただいて、打ち切っていただいて、ビジネスに走っていただく方がいいだろうと。実は実施チームから見ると、本当は助成金をもらいながら続けられた方がうれしかったのかもしれませんが、NEDOのルールではそれはできないという制度で、そのようなやり方になりました。

【梅田分科会長代理】 大変クリアになりました。ありがとうございます。

【弓取部長】 分科会長、よろしいですか。今の点も根っここのところは実ビジネスというのは確かにそのとおりですが、お話だけだと非常に硬直的な組織と思われたかもしれません。もっと柔軟でして、例えば一部分の実用化をして、その他の部分はそうではないという時には、どの部分を実用化して、「ここの部分についての研究開発は以降、支援しません。そこはビジネスにしてください」というような柔軟な対応もNEDOとしてはしていますし、今後とも機能開発に向けて、色々なリクエストを受けて、できることをどんどん実施していく。そういった組織でするので、その点について、根っこはそうですけれども、今回リクエストがあったのは全部ビジネス化したいということだったので、そうなったということと御理解いただければと思います。

【油田 PL】 今、弓取部長が言われたように十分にフレキシブルでして、実は年度が始まった後、これはどうしても途中で売れなくなりました。では、いつまでできちんと線を引きかは御相談をしたという話です。年度更新をしなかったというケースもありますけれども、そうでなく、このテーマはもうきちんと打ち切っていただくということが起こったこともあります。

【倉爪委員】 今のことについてのコメントですけれども、もうプロジェクトを終了したわけですから、開発した技術を囲い込む必要は全くなくて、外販して、例えば業界全体の基本技術、標準化を目指すという方向で今後、進まれるということによろしいですね。ちょっとコメントいただければ。

【油田 PL】 特に社会課題解決のためのシステムで、逆にやらなければいけないことは山ほどある。つまり、解決しなければいけない問題はすごくあるけれども、できることが限られているという状況では、各チームが現状で持たれているノウハウもできる限り公開して、他のチームに使ってもらう方が、実は公開した人たちにとっても結果としてはメリットがあるという状況にあるだろうと思います。その意味では先ほど御説明いたしました、プロジェクト内での情報交換会みたいなことをかなりやり、しかもそれもまたよそに対しても公開して、精神としては我が国が持っている問題を解決するなり、しっかり貢献してくださいという話ですし、実際のビジネス的にも、できる限り公開する方がプラスになるというスタンスで御協力いただいている状態です。

【青柳分科会長】 よろしいですか。では、加藤委員。

【加藤委員】 色々素晴らしいマネジメントで、油田 PLがおっしゃった、システム開発であるということと、現場で動かないものは成果と認めないというのは素晴らしいと思いました。

評価として導入されているTRLですが、全部の技術が7となるように、実際鞭を叩いたのか、自然とそうなったのか。あと、7というところまではプロジェクト推進側が評価されているのだと思いますが、これに実際のユーザー視点、例えば、コンサルや管理側とかの視点が入って、やっと7になっているのかどうかという確認をしたいというのが1点です。

【安川 PM】 このプロジェクトは後半の2年間は現場で使いながら評価をしまするので、現場で評価するための実験用のプロトタイプ、実験用のモデル機は作らなければいけないことが前提となります。TRLのレベルの6は実証モデルを作ったかどうか。TRLの7は実証モデルを実導入現場と同様のところで作ったかどうかという内容ですので、このプロジェクトの目標としてTRL7

まではやってくださいというのは、このプロジェクトとしての目標になっています。このため、右側にプロジェクトとして NEDO が支援してというのはちょっとおこがましい言い方ですが、皆様と協力して、このプロジェクトの 5 年間の中では TRL7 を目指してやりましようということです。それに対して、本当にそれを売るのかと。現場で使い、売れるようなもの、事業用システムを作りましようというのが TRL 8 以降となります。

ですので、NEDO としてはこのプロジェクト内での我々のマネジメントは TRL 7 までを目指しています。事業終了後 2 年間で実用化を目指すと書いていますが、それは TRL8 以上を目指してやってくださいというお願いでやってきたところです。

ここで今、示しているセンサシステムとイメージングの表は、右側のオレンジ色の部分が TRL の 8 以上、実用化というところになります。これはロボットに対して、少ないですけどもセンサシステム、イメージングの方はこの前の 3 月に終わったばかりです。実用化を目指す 2 年間のうちの半年がたったところなので、今このぐらゐの状況です。一方、ロボットの方は 1 年早く終わっていますので、終わってから 1 年半たったところです。2 年間のうちの 1 年半たった状況で、今これだけのものがすぐにでも使える状況にあると見ていただけたらと思っています。以上です。

**【油田 PL】** 追加させていただきます。TRL 7 までいけば成功だという判断でした。実は私自身はこれだけのサブテーマがある中で、全部成功しなければいけないことはないと思っていました。したがって、実は 7 に丸が付いていないのがある方が正直ではないかと言えなくはないと思いますが、自己評価あるいは NEDO の事務局側の PM の評価も、みんなとにかくここまで達したのではないかという判断を。実施者もそのように考えて、こういう結果が出たので、私自身はかなりホッとした部分がございます。

ただし、ここまでいった理由の一つの裏側は、とにかく現場で動くものを作って欲しい。その機能はそれほどすごいものでもなくてもいいから、とにかく現場で動くものを作ってほしいということを何度も申し上げていた。つまり、これだけ良いものができたら次に行くというステップではなかったというのが大きな理由であると思っています。

**【加藤委員】** ありがとうございます。

**【弓取部長】** これはフォロー、サポートといいますか付加情報ですが、もちろんこれは自己評価でもあるのですが、先ほど PM から御説明させていただいたとおり、技術委員会というのがあり、本当に現場に浅間先生、大須賀先生、皆さん来てくださいました。そこで見た後に、時間をかけて議論をいたしました。ですので、本当にできていないものであれば、当然ながら技術委員会で「これは駄目だ」という評価が出ているはずですし、そういったものをくぐり抜けての最終的な自己評価であることを御理解いただけたらと思います。

**【加藤委員】** それに関連して伺いたいののですが、先ほどこのプロジェクトが終わった後も、OB 会としてよいコミュニティを作っているとおっしゃっていました。例えば、コミュニティの中で TRL 8 以上になるような、何か情報交換したり、NEDO が何か御助言したりはされていますか。

**【弓取部長】** まだそういった具体的なアクションはしていないのですが、実は NEDO の中に NEDO 講座という制度があります。これは何かというと、NEDO のプロジェクトで出てきた成果についてフォローアップをする仕組みです。例えば幾らロボットを使っても、どういうふうにするのか、一般の方、事業者が分からない場合も多いわけで、例えばどちらかの大学にそれぞれのロボットについて「こういった活用の仕方をするのですよ」「こういった良いことがあるんですよ」ということを啓蒙していただく。そういった講座を設けることができます。例えば 2

年間、3年間です。

そういった中で先ほどお話のあった標準化の話であるとか、実用化に向けての更なる技術支援であるとか、TRL 8の段階まで持っていくためには、恐らく開発者側だけではなくて、ユーザーに多く集まっていただいて、アジャイル的な発想で実際に市場に出て使ってもらって、良い、悪いとフィードバックを掛けてもらって、やっていく仕組みがないといけないと思っておりますので、そういったNEDO講座のような活動をしてみたらどうかという議論は今、しています。単にOB会として集まるだけではなく、もう少し何かできないだろうか。このプロジェクトに関わっている皆さんに是非とも良い形で成功していただきたいですし、ハッピーになって、我々自身もハッピーになりたいですし、そういった思いで何かしら考えていきたいと思っています。

**【安川PM】** 補足させていただきます。よろしいでしょうか。このページ(資料5b, p.32)が実用化意見交換会で、プロジェクトが終わった後なのに実施者の皆さんに集まっていただいて、お互いに会議をしたという例です。このとき、皆さんに集まってもらって、それぞれから発表していただいたのですが、その時の目的はベストプラクティスを横連携しようと。うちはプロジェクトが終わった後に、こんなふう実際に現場でやってみたら、こんな反応があったとか、こういう世の中への出し方をすると良かったということ。良いことをお互いに参考にしながら、できるだけ実用化を進めましょう。このプロジェクトの全体として、そのような実用化のレベルを上げたいという目的があって、このような会を開きました。TRLレベルの8とか9にいくための、成功のためのコツをみんなで共有しましょうという会を開いたものです。

**【青柳分科会長】** よろしいでしょうか。皆さん、すごく活発な議論があって、時間も過ぎてしまったのですが、私も少し言わなければいけないかなと。この前、福井に見学に行きまして、橋の下を検査するロボットを実際に見たのですが、油田PLのスピリッツが感じられて、実際に動かなければいけないということで、実際に動いて水まで出して、錆のところを見られるようにするというのを見させていただいて、なるほどと感心した次第です。

何点かあるのですが、あそこまで持っていくためには正直、数年でできるというのはなくて、ここに参加してくれたジビル設計様ともう一つの、その下請けの会社もあるのですが、蓄積みたいなものが随分あってやられているという気がしました。だから、私ら、大学の研究というのはゼロから始めることも多いのですが、そうではなくてもうかなり完成に近いものを、NEDOのプロジェクトで更に完成に近づけたというのが私の感想でした。

もう1点は、これは事後評価で、まだ終わってすぐなので、こういうことを是非、制度的に作るのはどうなのかと思うのですが、もう1回ここでやったことが本当にビジネスとして。先ほど倉爪先生も言われたように、やはりビジネスとしてというのがNEDOのミッションかもしれないので、もう少しした後に評価するというのも良いのではないかと。今、評価すると多分、素晴らしいというので終わってしまうと思うのですが、何年か経つとどうなのかなというのちょっと知りたいところです。そんなところですが、皆さん、他に何かどうしてもということがあれば。

**【阿部委員】** 一つだけ、すみません。今回は土木側、インフラ側から見ると色々な業界の人が入ってくれたのが非常に大きかったと思います。それで技術が進んでいるということがあります。私たちから見たら外の分野の人たちがインフラに入ってきてくれる仕組みみたいなのはすごく大事だなと思いました。中で、お金もそうなのですが、やっぱり今回の現場のアレンジメントはすごく大変です。そこがこういうプロジェクトがなくなるとなくなってしまうところ、やはり今後の技術の進歩にすごく影響があるかなという懸念を少し持ちましたので、何か

そのあたりの話を。

あと、やはり今回は事業者の方に、受託者の方に「現場をアレンジしろ」としてきたと思うのですが、そうすると現場をアレンジする力がない企業は参入できないことになってしまうので、ベンチャーとか、そういうものも含めて色々参入規制を下げていくという点では、国交省マターかもしれませんが、現場が気軽に使えるような状況だけでも継続できると良いと思いました。

【青柳分科会長】 何かコメントがあれば。

【油田 PL】 今、阿部委員がおっしゃったとおりで、実は事業者に比べて、例えば NEDO が国土交通省と相談の上「こういうことをやりたいから、実験をさせてください」と言いに行くと、個別の開発チームから見ると一回り実験がしやすい状況が作れたと感じています。その意味で、各チームの極めて大きな努力の大きな成果ではあるのですが、NEDO がプロジェクトとして進めたアクティビティも、実は彼らをかなりサポートしてくれたのではないかと思います。実は国土交通省の現場実証にしろ、新しい制度みたいなものも、そういうことを狙ってくださっていることだとは思いますが、つまり現場を指向したロボット技術とか先端センサ技術などをきちんとテストし、評価し、かつ本当に使ってみた人たちの意見を、現場で使う人たちの意見を聞くという枠組みがあると技術が進むと思っし、何とかしてもらいたいと思っていますところではあります。

【弓取部長】 よろしいでしょうか。何とかしたいと思っし、実は先ほど PM から、ロボットの性能評価手法が一部入ったと申し上げましたが、ここの成果はどこへ行っているかというところ、福島ロボットテストフィールドの設備導入にその成果がかなりの部分生かされています。福島の南相馬に 50ha の土地を確保いたし、インベーション・コースト構想の一環として、そこに水没市街地であるとか、あるいは濁度を調整できるプール、あるいはプラントの設備、トンネル、橋といったものを造っています。ですから、実際に確かに運用されている現場に行くのが一番良いとは思いつつも、福島ロボットテストフィールドに行けば、実は今回開発していただいたロボットの性能を評価できる施設がある。そこに我々は随分関わっていますので、積極的に福島ロボットテストフィールドの活用の方を実施者と考えたいと思っし、そういう方向でお手伝いできると考えたいと思っし。

【青柳分科会長】 よろしいでしょうか。私もそう思っし。これで終わってしまうと、それで終わってしまうのですが、是非続けてやって行くような仕組みを考えたい。これはすごく大事で、インフラの維持は本当にこれから避けて通れないことだと思っし、是非 NEDO の方でも考えながらやっていっし。福島フィールドというのを初めて聞いたのですが、是非また教えていただければと思っし。

大幅に時間を超過しましたが、ありがとうございます。他にも御意見、御質問等があるかと思っし、予定の時間がまいりましたので終了します。

#### 5.4 プロジェクト成果全貌

推進部署より資料 5c に基づき説明が行われた。

(非公開セッション)

#### 6. プロジェクトの詳細説明

省略

#### 7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

## 8. まとめ・講評

【青柳分科会長】 それでは、まとめ・講評に入りたいと思います。

林委員から始めて、最後に私という形で、まとめ・講評を各評価委員の先生にお願いしたいと思います。よろしくお願いします。

【林委員】 林です。本日はありがとうございました。プロジェクトの全体を通してコメントさせていただきます。

まず、今回インフラ維持管理というプロジェクトの中で、今日お伺いして、非常に出口を明確にしているプロジェクトだということが本当に具体的でよかったと思っています。あと、各プロジェクトの事業者が、ユーザーと連携して具体的に取り組んでいることも非常に効果的だったと思っています。

あと、技術委員による現場の調査も、普通は技術開発だけでとどまるところを、外部の専門の方々も積極的に入っていただいて、それをフィードバックしていることに関しては有効であったのではないかと考えています。あと、国交省との連携もよかった。後は自治体とか、色々な施設側との連携といったところも是非、引き続いて行っていただきたいと思っています。

そういう意味で、これから私も今日色々な皆様の発表も含めてお伺いして、事業化とかベンチャーを立ち上げられ、具体的な成果が上がっていると感じましたので、そのサポートの部分は情報提供を。やはり、まだ実証が足りていないとか、継続してもっともっとやらないと具体的な、ユーザーはやはり非常に。普通の製品とは違って、かなり特殊性の高い案件ですので、そういったものに関しては情報提供して、実証の場をもう少し継続して提供を。国交省と連携してやっていただくとか、そういったサポートも大切になると思いますし、情報発信の部分でも引き続き行っていただきたいと思っています。

全体としては、技術開発だけではなく、出口を意識した、連携したプロジェクトということで評価できると思っています。以上です。

【青柳分科会長】 ありがとうございました。では、倉爪委員、お願いします。

【倉爪委員】 本日はありがとうございました。一番感じたことは、普通こういうプロジェクトになると要素開発に重点を置かれて、システム開発についてはあまり強く重きを置かれないという風潮があるかと思っています。今回のこのプロジェクトはそういう意味では全く逆で、システム化技術の方に非常に着目して、出口指向のプログラムだったという意味で、ある意味画期的なプロジェクトだったのではないかと感じています。

繰り返しですけれども、プロジェクトの途中で期間の変更とか、受託での変更とか色々あったとお聞きしています。難しい時期もあったと思いますけれども、PM、PLあるいはNEDOの方々の御尽力で、最終的に今日拝聴したような非常に良い成果が出ているという意味で、これはそういう努力によって達成された稀有なプロジェクトではないかと思っています。できればスムーズ

に行きたいところですけど、仕方がなかったという意味では、それでも非常に挽回されたというか、非常によく最後までまとめられたプロジェクトだなと思いました。

繰り返しですけども、林委員と同じ意見なのですが、せっかく作られた技術です。これは実施者の方々だけで困り込むことは絶対にせずに、それを業界あるいは標準として、標準化という方向を目指して進んでいただきたい。それを実施者の方に強くお願いしたいと思っています。以上です。

【青柳分科会長】 ありがとうございます。それでは加藤委員、お願いします。

【加藤委員】 今日は色々勉強させていただき、ありがとうございます。繰り返しになりますけれども、今回のプロジェクトですが、技術開発をされる方とそれを使う方と、国交省や NEDO の御指導で、短時間でほぼ全てのテーマについてプロトタイプを完成させたということで、素晴らしいプロジェクトだと思っています。

ですので、ここで得られた課題や知見を今後、生かす取り組みを続けていっていただきたい。特にユーザー側に広報活動をしていただきたい。私も土木分野におりますので、そういう情報を色々頂くことによって、こちら側からも開発側にニーズを詳しく示すことができると考えています。今日は結構すごい技術が出てきたなと思っていますけれども、使う側の相場観というのでしょうか、こちらが何をどう評価したいか、期待する精度に応じた技術というのが松竹梅みたいな感じで、開発側と使う側とで共有できるような取り組みが今後できればと思いました。以上です。

【青柳分科会長】 ありがとうございます。では、阿部委員、お願いします。

【阿部委員】 最初、感想としては油田 PL が非常に強力なリーダーシップで、目標設定をクリアにして強力に進められた。皆さんも非常に御苦労もあったと思いますが、歯を食いしばって行ったというのがよく分かりました。やっぱり今、内閣府の方でムーンショット型研究開発を検討されていますけれど、油田 PL のやられたことは正にムーンショットの先駆けなのではないかという印象を強く持ちました。やはりこういうクリアな目標でみんながついていく。今後、こういうやり方がどんどん増えていくのかと思いました。

もう一つは、とりあえずシステム化を重視して、現場で使えるものを作られて、やはりこの分野はこのおかげで日本も世界的にもかなり良いところに来ているのではないかと思います。それでまた実装も進んでいくでしょう。ただ、次もまた日本がトップでいたいと思うと、この中からやっぱり色々な研究課題をまた拾っていただいて、基礎的な研究者の方にも、インフラのこういう問題があると。ロボットとかセンサの研究者の方にも是非知っていただいて、もっとそういう研究をやっていただいて、インフラのこの分野をより高みに導くといったこともまた、ユーザー側と逆に、研究側の方に対する PR といいですか、そういうこともあってもいいのかなと思いました。以上です。

【青柳分科会長】 ありがとうございます。では梅田分科会長代理、お願いします。

【梅田分科会長代理】 本日はどうも大変お疲れ様でした。特に実施者の皆さん、どうもお疲れ様でした。もう私の意見は今までの委員の皆様とほぼ共通なのですが、私は大学の人間で、だいたい大学人がこういうプロジェクトに実施者側として参加する時には、実用化といっても「そうはいつでも、ちゃんと研究させてよ」「研究したいな」みたいなことをつつい考えてしまいます。私が昔、NEDO のお金で一部研究させていただいた時も自由に研究させていただいた記憶があるの



ですが、今回はそうではなくて、きちんと実用化としての成果を出す。新規性ではなく、実用のところをしっかりとやるというポリシーをきちんと統一されて、それをしっかりとプロジェクトリーダー、マネージャーの下で皆さんに意見を浸透されて、それが実際にこういう形になったということは大変素晴らしいと思います。何といたっても NEDO のプロジェクトとして、こういう形は非常に素晴らしいと思うし、それが NEDO、経産省、あるいはひいては国のためになって、結局、国民のためになっていくのだろうなということを強く感じた次第です。

今日、4 件のプレゼンテーションを聞かせていただきまして、あと 1 件はサイトビジットで見せていただきましたけれども、いずれの 5 件も本当に素晴らしい成果を出されていて、心から敬意を表したいと思います。残りの 21 プロジェクトに関しては、報告書をザッと読ませていただいた程度ではあるのですが、皆様方、それぞれ成果を出されているかと思います。そのあたりもまた詳しく聞ける機会があったらと思いますけれども、総じてこのプロジェクトは大きな成功を収めたのではないかと思います。

ということめでたし、めでたしで終わっては駄目で、次につなげていくことを実施者、NEDO、あるいはその他、各省の皆様方の御尽力で進めていくことが、このインフラ点検の今後を支えてくれることになると思いますので、是非皆様方の引き続きの御尽力をお願いしたいと思います。以上です。

【青柳分科会長】 ありがとうございます。最後、私の方でまとめさせていただきたいのですが、今 5 人の先生方が全て私の言いたいことを言ってくれたようなので、話すことがなくて困っているのですが、やはり出口を大事にして、使えるものということをやったということで、素晴らしいです。

それから、皆さん頑張られたのですが、やはり油田 PL、下山 SPL をはじめとして、NEDO の安川 PM、皆さんがうまくマネジメントというのでしょうか。皆さんをうまく方向に導いたということもありますし、また、外部評価の先生をうまく入れて、良い方向に持っていったのではないかと思います。全ての評価が TRL 7 以上というのは、僕ら大学でいったら、10 個のテーマをやっても 1 個か 2 個ぐらいしかうまくいかないところを、すごいなと感心する次第です。

それは多分、油田 PL、下山 SPL の最初の目利きというか、うまくいきそう、いかないという、そのあたり判断が素晴らしいのではないかと。これをやってもうまくいかない、うまくいくというのは実はかなり大事なのではないか。先ほど、非公開の部分で安川 PM の方から当初うまくいくと思っていたけれど、うまくいかなかったというのはあるのですが、それが 10-7 の 3 の部分ではないかと思って、7 ぐらいまで行ったというのは大成功だと私は思います。

それから、皆様もおっしゃっていましたが、是非これで終わるのではなくて、何か将来につなげていくということ。それは非公開の部分で NEDO の推進の方から、こうやっていくのだと色々案がありました。あと、またもう一つ、ベンチャーをやるという。聞いていた中で、ベンチャーを立ち上げますというのはすごく喜ばしいことだと。若い人がそうやってどんどん育っていくのも、このプロジェクトの一つの成果だったのではないかと思います。

総じて素晴らしく、全部聞いたわけではないので分からないところもあるのですが、今日聞いた分では素晴らしかったのではないかと思います。特に土木の 2 人の先生方からは、結構厳しい意見もあったような気はするのですが、それは逆に、そこまで厳しい意見が出る段階まで来てい

るということではないかと思えます。実際にやっていらっしゃる高速道路の方とかも取り込んで、出口の方とかも一緒にやって、更に土木の先生から「もうちょっとこう」という、ものすごく高いレベルのコメントではないかと思っていますので、良いと思えます。私はロボットとか MEMS で、MEMS は 1 件あったのですが、素晴らしい下山 SPL のアイデアを東芝の方、色々な高速道路の方と実用のところまで高めた。最高なのではないでしょうか。大学でやると、なかなか研究発表とか、国際的なジャーナルとかもある程度行くのですが、それは信頼性とか、チャンピオンデータかも知れないし、やはりしっかり使えるものにしたということが素晴らしいです。

あと、非公開の部分でしたか。2 件、ひび割れの検査があった。国交省の方でひび割れが一番の目標であるということで、その部分で素晴らしいことをされた。画像関係です。今日は梅田先生、倉爪先生という、ロボットの方でも画像に詳しい先生からもお墨付きが得られたのかどうか分からないですが、素晴らしい評価が得られました。

ちょっと気になった点としては、やはり AI のところが少しは気になっています。人がやっているデータをもっと蓄えないといけないけれども、人がやっているデータがなかなか蓄えられない。Google みたいにたくさんあつという間に蓄えられるのとちょっと違うので事情が違うし、そのあたりのことを工夫していただければと思いました。

最後の X 線も素晴らしいと思いました。特にインフラ整備とはちょっと違うと思うのですが、原子力発電所の中に入っていく時に、半導体が X 線でやられてしまうことの解決に良いのではないかと思いました。

あと、最後になりますけれども、ものすごくたくさんのテーマがあって、それを全部マネジメントされて、全て 7 以上。7 か 8 といったら大学だと優とか良で、すごいのではないかと思えます。

そのようなところで私のコメントを終わらせていただきたいのですが、よろしいでしょうか。

【谷田主査】 ありがとうございます。これまでの議論の中でたくさんの御意見を既に頂戴しておりますけれども、推進部長及び PL の方からごく簡単に一言ずつ頂けますでしょうか。

【弓取部長】 推進部を代表いたしまして、本日は委員の先生方、どうもありがとうございます。そして、実施者の皆様、PL の油田先生、SPL の下山先生、大変ありがとうございます。色々御意見を頂きまして、誠にありがとうございます。

皆さんと大変良い山登りをさせていただいたかなと思っています。必ずしも装備も十分ではなく、途中で酸素が切れたりすることもあったかと思えますけれども、先ほど委員もおっしゃいましたように歯を食いしばって、目指すところを見失わず、登り続けられたかと思えます。途中、もちろん体調等、やむを得ず下山する方もいらっしゃいましたけれども、下山することによって、また新しい道を踏み出していただいているものと思えます。

そして、何にも増して良かったのは、登頂した後にそこをベースキャンプにして、更に前進キャンプを作って高みを目指していこうと。ベンチャー、実証、そしてマッチング。色々なルートがあると思いますが、是非我々としてしましては、一旦 NEDO 側はベースキャンプに戻りますけれども、通信ラインは閉ざすことなく、皆様に望遠鏡の焦点を当てて、常に皆様が今どのあたりを歩いていらっしゃるのか、見ておきたいと思えます。常にこれからも次の一手を考えて、皆様とまた素晴らしい山登りができることを目指して、我々も機能拡張し、そしてまた精進してい

きたいと思います。本当にどうもありがとうございました。

【谷田主査】 PL、お願いします。

【油田 PL】 評価の先生方にえらく褒められてしまったような気がします。改めて申し上げます。実現場で、ロボットの言葉で言えば実環境で、実際の作業、実際の検査の経験を積んでいくという知見に基づいて開発にフィードバックしていくというのが、ロボットにしても実際に役に立つシステムを開発するためにすごく重要だと感じています。それによって初めて本当に必要な技術が明らかになって、その点で基礎研究としてもそのアプローチが必要だというのが私の気分でした、その気分色々、私が場合によってはその度に違うことを申し上げたりしても、しっかりときちんと応えていただいた実施チームの皆さんに全く感謝を申し上げます。私が今、皆さんに褒められたのは、私が褒められただけではないかも知れませんが、褒められたのはまさしく実施チームの皆さんのおかげであると思っている次第です。本当にありがとうございました。

もう一つ、今、加藤委員が成果の相場観ということを言って、これが本当はどのぐらいのものだというのは実は私にも分からないし、すごく難しいと思います。実はそれをできる限り共有するためと思って、安川 PM が作ってくれたのがこの 2 冊の資料です。これには何が書いてあるかということ「こういうことをやりました」「こういう成果が出ました」というのと「実証試験では具体的にこういうことをやったら、こういう結果が出ました」という正直なことが書いてあります。多くの場合、論文を書いたりする時は良いことだけ書くのが普通ですが、とにかく 1 本勝負。どの現場実証でやったらこうだったということについて、それを是非チームの中だけではなくて、外とも共有をしていくというのが、こういうやり方を生かしていく方法だと感じています。それについては御協力いただいた皆さんに大変感謝をしているところです。どうもありがとうございました。

【青柳分科会長】 よろしいですか。それでは以上で議題 8 を終了します。

9. 今後の予定

10. 閉会

## 配布資料

- 資料 1 研究評価委員会分科会の設置について
- 資料 2 研究評価委員会分科会の公開について
- 資料 3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
- 資料 4-1 NEDO における研究評価について
- 資料 4-2 評価項目・評価基準
- 資料 4-3 評点法の実施について
- 資料 4-4 評価コメント及び評点票
- 資料 4-5 評価報告書の構成について
- 資料 5 プロジェクトの概要説明資料（公開）
- 資料 6 プロジェクトの概要説明資料（非公開）
- 資料 7-1 事業原簿（公開）
- 資料 7-2 事業原簿（非公開）
- 資料 8 今後の予定

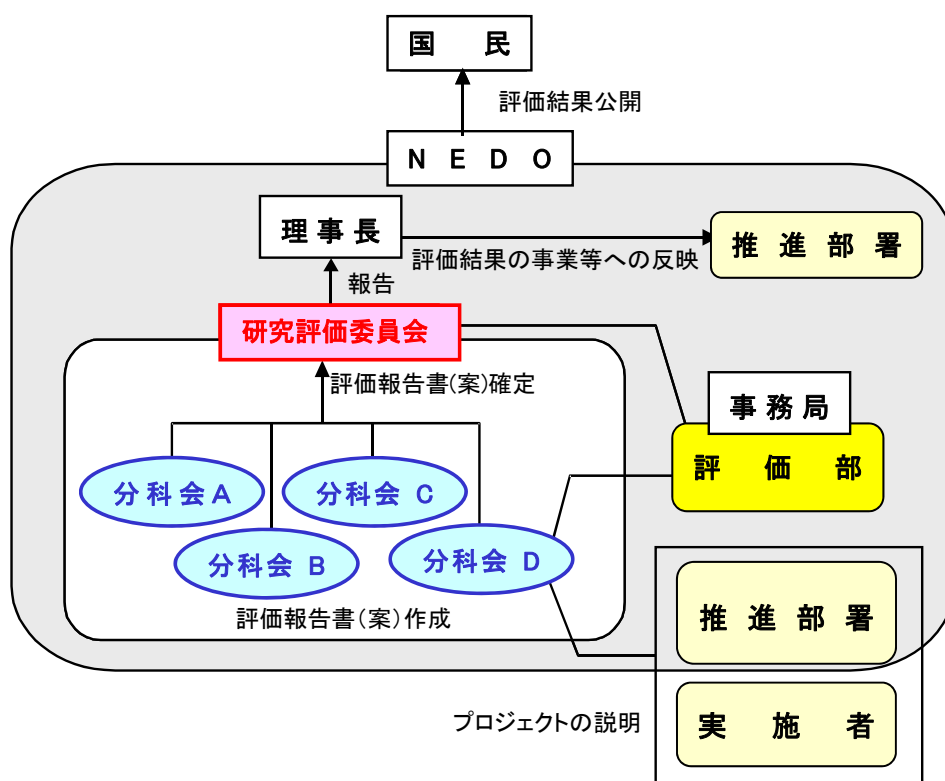
以上

## 参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)における研究評価では、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置





## 1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
  - 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
  - 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

## 2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

## 3. 評価対象

「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」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

#### 4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

#### 5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

## 「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」 に係る評価項目・評価基準

### 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

- ・ 内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。

#### (2) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされた事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

### 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

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、適切な目標であったか。

#### (2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 開発スケジュール（実績）及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）は妥当であったか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されていたか。

#### (3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 実施者は技術力及び事業化能力を発揮したか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は、有効に機能したか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みは有効に機能したか。
- ・ 大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献したか。

#### (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応したか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応したか。

#### (5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産や研究開発データに関する取扱についてのルールを整備し、かつ適切に運用したか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、最終目標を達成したか。
- ・ 最終目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、最終目標達成までの課題及び課題解決の方針を明確にしている等、研究開発成果として肯定的に評価できるか。
- ・ 投入された研究開発費に見合った成果を得たか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 成果が将来における市場の大幅な拡大又は市場の創造につながると期待できる場合、積極的に評価する。

#### (2) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信したか。

#### (3) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外で適切に行ったか。

### 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

#### 「実用化・事業化」の考え方

機能的かつ経済的に現場で運用可能なプロトタイプが完成しており、さらに実現場における利用性と有効性が確認されていること、

- ・ (1) 想定されるユーザが、国交省などの公的な機関の場合は：  
施設管理者（国交省や、地方自治体など）の要望に応じて、現場で働かせる体制が整っていること。
- ・ (2) 想定されるユーザが、企業等の場合は  
(この場合も、導入にはその体制を作る必要があり、時間を要するので)：  
実現場で活用するシステムを供給する準備が整っており、ユーザの負担によって導入される体制となっていること

をいう。

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・ 実用化・事業化に取り組む者が明確か。
- ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンは明確か。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 産業技術としての適用可能性は明確か。
- ・ 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・ 想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致しているか。
- ・ 競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・ 量産化技術を確立する見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

以上

## 「プロジェクト」の事後評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

### 「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

### 「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

## 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

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

### (2) NEDO の事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされた事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

## 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

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、適切な目標であったか。

### (2) 研究開発計画の妥当性

- ・開発スケジュール(実績)及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)は妥当であったか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されていたか。

### (3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・実施者は技術力及び事業化能力を発揮したか。



- ・指揮命令系統及び責任体制は、有効に機能したか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携は有効に機能したか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みは有効に機能したか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献したか。【該当しない場合、この条項を削除】

#### (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応したか。
- ・社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応したか。

#### (5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・知的財産に関する取扱(実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む)を整備し、かつ適切に運用したか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

### 3. 研究開発成果について

#### (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・成果は、最終目標を達成したか。
- ・最終目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、最終目標達成までの課題及び課題解決の方針を明確にしている等、研究開発成果として肯定的に評価できるか。
- ・投入された研究開発費に見合った成果を得たか。
- ・成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。
- ・成果が将来における市場の大幅な拡大又は市場の創造につながると期待できる場合、積極的に評価する。

#### (2) 成果の普及

- ・論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・一般に向けて、情報を発信したか。

#### (3) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行ったか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、国際標準化に向けた見通しはあるか。【該当しない場合、

この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・実用化・事業化に取り組む者が明確か。
- ・実用化・事業化の計画及びマイルストーンは明確か。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・産業技術として適用可能性は明確か。
- ・実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致しているか。
- ・競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・量産化技術を確立する見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・実用化に向けて、引き続き、誰がどのように研究開発に取り組むのか明確にしているか。
- ・想定する製品・サービス等に基づき、課題及びマイルストーンを明確にしているか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等を把握しているか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・整備した知的基盤・標準の維持管理・活用推進等の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・知的基盤・標準を供給・維持するための体制を整備しているか、又は、整備の見通しはあるか。
- ・実用化に向けて、引き続き研究開発が必要な場合、誰がどのように取り組むのか明確にしているか。

【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 成果の実用化の見通し

- ・整備した知的基盤について、利用されているか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部

部長 梅田 到

担当 谷田 和尋

\* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

([https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu\\_index.html](https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html))

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミューザ川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5160 FAX 044-520-5162