

行政情報

次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の取組み

新田 恭士

国土交通省では、労働力不足が懸念されるなか、膨大なインフラ点検を効果的・効率的に行い、また、人が近づくことが困難な災害現場の調査や応急復旧を迅速かつ確に実施するための「次世代社会インフラ用ロボット」の開発・導入を推進している。重点分野とした橋梁・トンネル・ダム・水中構造物等のインフラ点検や災害時の調査、応急復旧作業を対象に、平成26-27年度の2ヶ年で実用性に優れたロボットを公募し、試行的導入に向けた実用性を確認するための現場検証と評価を実施している。本稿では、本格導入に向けた現場検証の取組みについて紹介する。

キーワード：ロボット、現場検証、インフラ老朽化、点検、災害調査、応急復旧

1. はじめに

建設ロボット技術の導入に関して、国土交通省では、平成25年4月、「建設ロボット技術に関する懇談会（座長：油田信一 芝浦工業大学特任教授）」での議論を経て、今後の調査・開発・活用の方向性やその実現に向けた方策を「建設ロボット技術の開発・活用に向けて～災害・老朽化に立ち向かい、建設現場を変える力～」として提言にまとめた。また、政府として「科学技術イノベーション総合戦略2015」（平成26年6

月19日閣議決定）、「日本再興戦略」改定2015（平成27年6月30日閣議決定）において、社会インフラにおける効率的・効果的な維持管理の実現、及び、安全且つ迅速・的確な災害対応を実現するために、ロボット技術の導入推進が掲げられたところである。また、「日本再興戦略」改定2014で宣言された「ロボットによる新たな産業革命」の実現に向けて設置されたロボット革命実現会議から「ロボット新戦略」（平成27年1月23日）が公表され、国際標準獲得を含め、世界を見据えたロボット利活用社会を目指すこと等が宣

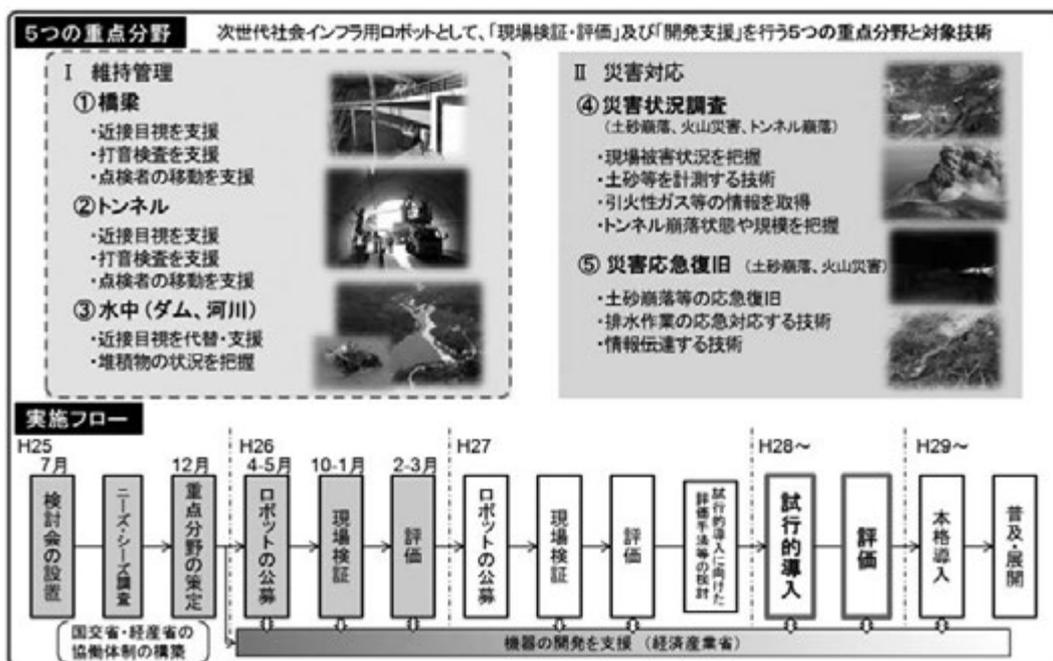


図-1 5つの重点分野と実施フロー

言された。

国土交通省では、開発・導入を推進する重点分野として、社会インフラの維持管理及び災害対応を行う国土交通省とロボット産業を育成支援する経済産業省が共同設置した「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入検討会」において、「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入重点分野」として5つの分野（維持管理：橋梁・トンネル・水中、災害対応：調査・応急復旧）を策定した。これに基づき、国土交通省では、民間企業や大学等から幅広く「点検ロボット」や「災害対応ロボット」を公募し、応募のあったロボットについて、2ヶ年（平成26-27年度）の直轄現場における実用性等に係る現場検証を実施するとともに、この結果を踏まえ、実用性に優れたロボットの試行的導入を予定している（図-1）。

2. 実現場を用いた現場検証の実施について

(1) 検証の目的

現場検証は、ロボットの本格導入に向け“現場で使えるロボット”を見極める目的で行われ、基本要件（ユーザーニーズ）に対する機能と性能を現場環境の下で確認するものである。現場検証の結果、実用性が期待できる技術については、次年度以降に予定する試行的導入の対象技術として推薦する予定である。

今回の現場検証は2ヶ年で実施し、今年度も公募を

経て選定した69技術について142項目の現場検証を実施する。検証現場は、様々なロボットの性能を適切に確認できるよう、検証に適した一般的な条件の現場を全国11箇所において確保した。実際の現場は、形式構造も多種、周辺環境も多様であり、現場検証で確認できる条件も自ずと制約を受けざるを得ないが、応募技術の特長を踏まえ、より現場サイドの視点から安全性や作業効率等の実務的効果が期待できる技術の発掘・見極めを行えるよう工夫した。

さらに、現場検証では予期しないトラブルの発生もあるが、開発に寄与する有益な情報・ノウハウがもたらされており、検証の方法や結果を幅広く情報発信し、開発者と将来のロボットユーザー間で共有し役立てて頂くことを期待している。

(2) 現場検証委員会と専門部会

現場検証と評価の実施にあたっては、「次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会」（平成26年2月25日設置）を設け、その下に5つの「専門部会」を設置した。委員会には、専門部会の長、ロボット分野の有識者の代表者、行政機関等および研究機関の代表者に参画頂くことで、開発と利用の両側面から現場検証を有益かつ効果的に運営するための審議体制を構築した。専門部会では、ロボット公募条件の設定、検証対象技術の選定、検証方法・評価項目・評価方法の決定、そして評価の実施までの現場検証に係る具体的事

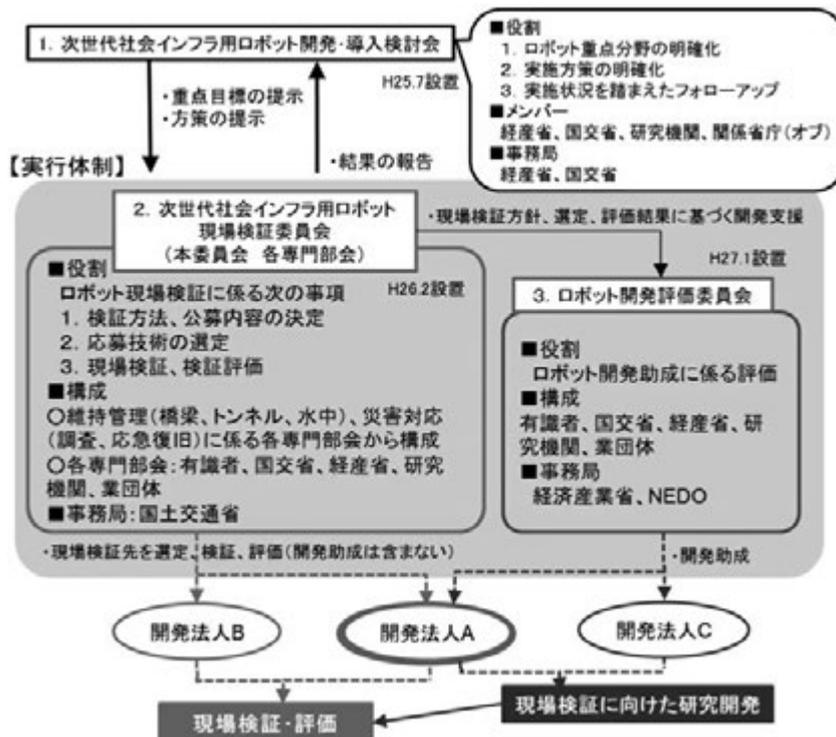


図-2 現場検証の実施体制

項を検討することとし、委員会では部会間での共通事項の審議などを行うこととした。なお、重点5分野毎に設置した専門部会にも産学官の有識者に参画頂いた。以下に、各分野の第一人者から成る専門部会の長、ロボット分野の有識者の代表者を示す。

【次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会

(敬称略)】

- ・橋梁維持管理部会 (部会長：藤野陽三 横浜国立大学 先端科学高等研究院 上席特別教授)
- ・トンネル維持管理部会 (部会長：西村和夫 首都大学 教授)
- ・水中維持管理部会 (部会長：角哲也 京都大学 防災研究所 教授)
- ・災害調査部会 (部会長：高橋弘 東北大学 教授)
- ・応急復旧部会 (部会長：建山和由 立命館大学 教授)
- ・ロボット分野 (主に維持管理) 油田信一 芝浦工業大学 特任教授
- ・ロボット分野 (主に災害対応) 浅間一 東京大学大学院 教授

(3) 平成26年度の検証結果

昨年度は、平成26年10月から平成27年1月にかけて65技術91検証項目について、全国14箇所現場検証を実施した。実際の現場での検証を通じて、実導入に向けてロボットの効果と課題が明確になった。平成26年度は、現場検証1年目ということもあり、橋梁点検やトンネル点検においては、優れた性能を示した技術もあった一方で、様々な不具合も見られた。ロボットから得られた点検結果を、従来の近接目視点検の結果と比較照合した結果、現場適用が推奨された技術が無く、現行の人による点検を代替することの難しさが明らかとなった。災害調査や応急復旧について

は、現場への適用が推奨されると評価された技術もあり、これらの術については、現場検証を通じたロボットの詳細な技術情報及び動画を公開し、適した現場において活用を促進することとしている。平成26年度の検証結果の詳細については、以下の公開用ウェブサイト参照されたい (<http://www.c-robotech.info/> 平成26年度現場検証技術 db-1/)。

【評価結果の要約】

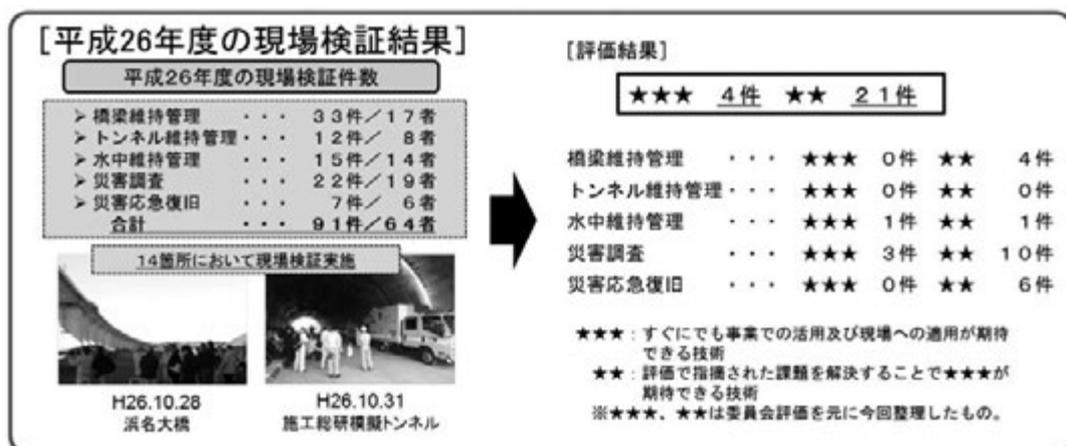
26年度の検証結果は、2ヶ年にわたる現場検証の中間段階評価であり、現場におけるロボットの効果と課題が明確となった。一方、現場適用が推奨される技術もあり、これらの技術については、現場検証を通じたロボットの詳細な技術情報及び動画を公開し、適した現場において活用を促進することとされた。

(a) 橋梁維持管理部会

従来手法による調査精度には至らなかった。飛行系(写真—1)については、橋梁へ近接し写真データの取得が可能なものもあったが、遠景程度のももあった。また、風が強い状況では飛行が不安定となり、更なる技術開発が望まれる。車両系(写真—2)、ポール系、懸架系においても、損傷状況の把握の精度の向上や操作の安定性に向けての技術開発が望まれる。なお、高精細な写真が得られても解析技術が未熟なため、最終成果の精度が低くなったとも考えられ、橋梁の損傷に関する知識や写真判読技術の向上も課題であることが指摘された。(試行的導入推奨技術:該当なし)

(b) トンネル維持管理部会

従来手法の近接目視による調査精度のレベルには至らず、従来手法による点検作業の代替または全面的な支援となる技術は確認できなかった。一方、現場検証によってロボット技術(実用検証技術)の長所および短所が明確となり、長所としては、現行手法による点検作業で必要となる車線規制時間が短縮される可能性



図—3 5つの重点分野と実施フロー



写真一 飛行系ロボット



写真二 車両系ロボット



写真三 堆積物の調査ロボット



写真四 土砂災害の調査ロボット

があること、ならびに点検作業の省力化の可能性が
あることを確認した。また、短所としては、取得データ
から変状を検出する作業において、検出者の熟練度等
によって検出精度にばらつきが生じる可能性が確認さ
れた。(試行的導入推奨技術：該当なし)

(c) 水中維持管理部会

ダムのゲート設備やコンクリート構造物等の近接目
視を代替・支援する技術として、光学カメラを用いた
技術は、比較的低濁度での検証であったが、ほぼ画像
を取得でき一定の評価ができた。また、一部の技術は、
「期待する項目（より深く潜れる・ケレンができる・
打音検査ができる）」まで満足することが確認された。
堆積物の状況の全体像を把握するために音響測深機を
用いた技術(写真一3)は、技術的に確立していること
が確認できたが、その適用条件には課題が残った。
一方、『概査』(損傷が疑われる箇所を抽出するための、
広範囲での1次スクリーニング)および『精査』(1
次スクリーニングで抽出した箇所の詳細調査)といっ
た、段階的な点検計画を考慮した場合の、それぞれの
段階で水中ロボットに求められる仕様が異なるため、
各々の要求精度を明らかにすることで、それぞれの段
階に応じたニーズとシーズのマッチングを進める必要
性が指摘された。(試行的導入推奨技術：1技術)

(d) 災害調査部会

特に土砂災害・火山災害の分野で多くの応募があっ
たマルチコプターは、従来の有人飛行技術では不可能
な被災箇所への接近撮影や計測が可能であり災害調査

に十分に役立つレベルにあると確認できた(写真一
4)。ただし、特に条件の厳しい現場においては、調
査結果としての成果の精度等が、運用技術(飛行計画・
撮影計画の立案、オペレータの技量等)に大きく影響
される点に留意が必要である。トンネル災害において
は、崩落状況及び規模を把握するための画像と映像を
取得できた一方で、移動機構や付属装置等の課題が明
らかになった。(試行的導入推奨技術：3技術)

(e) 応急復旧部会

災害時の現場環境を考えると、使用されるロボット
には、環境変化にも対応できるタフさと安定性が要求
されるが、提案技術の多くは、この点の到達度が不十
分だった。掘削や土砂運搬の応急復旧技術については、
いずれの技術も建設機械を遠隔で操作することは可能
だったが、操作性や安定性の課題が明らかになった。

排水作業の応急対応技術については、技術的に完成
していることが確認され、適用可能な条件下に必要な
場合は導入を検討すべき技術として推薦された。情報
伝達技術については、通信標準を用いて汎用重機を遠
隔操作する技術は、技術的に完成していることが確認

され、導入を検討すべき技術として推薦された。また、高精細な画像を低遅延で伝送する技術は、所定の性能を確認することができたものの、効果的な活用場面を明確化すべきことが指摘された。(試行的導入推奨技術：2技術)

3. 平成 27 年度の検証について

平成 26 年度の検証結果は、災害調査部会や応急復旧部会では、複数の応募技術が試行的導入に推薦される一方で、維持管理 3 分野においては、現時点の水準で点検員の近接目視点検には及ばない状況が明らかになった。

平成 27 年度の公募では、これらの状況を踏まえ、橋梁とトンネル点検について「近接目視や打音検査の代替・支援」から「代替」を外し「支援」に機能を絞り込むとともに、水中についても、利用場面を絞り込み実態に則した検証を実施することとした。昨年度の検証では、風速や流速に対する安定性といった技術的課題のみならず、利用場面や利用環境についての開発者の認識不足が見られる場面もあったが、今年度の現場検証に向けて課題が明らかになり、応募技術の更なる開発・改良が進んでおり大いに期待される場所である。

4. ロボットの活用場面について

ロボットの開発では、具体的利用場面を想定し、必要な機能と達成すべき性能目標を定量的かつ適切に設定することが重要である。勿論、自然相手の次世代イ

ンフラ用ロボットも例外ではない。トンネルや橋梁の点検作業を例に挙げると、国交省では道路管理者に近接目視を原則とした 5 年毎の定期点検及び診断を法的に義務付けており、絶対的な人手不足が懸念される中で、点検員が「コンクリート構造物全面にわたり表面にある幅 0.1 mm 程度の微細クラックを含め、遊離石灰把握、塗膜劣化などの基本的な損傷を把握し記録」している。点検ロボットが点検員の代替を目指す以上は、人と同等水準の点検成果が達成できることを基本要件とせざるを得ない。残念ながら昨年度の現場検証では、基本要件を達成した応募技術はなかった。結果的に現時点の技術で達成するには、容易な水準ではなかったが、維持管理コストを低減し専門技術者の不足を補う点において、導入効果が十分発揮されるならば、ロボットが必ずしも“人の代替”でなくともよい。そこで、今年度は“人の代替”を求めず“支援”できる技術を公募した。今年度の公募要領にロボットの利用場面を例示したので公開用ウェブサイト (<http://www.c-robotech.info/>) を参照頂きたい。本稿では、トンネル維持管理分野の公募要領に例示した利用場面として、点検員による近接目視点検終のスケッチ作業にロボットを利用するシナリオを紹介する(図-4)。このような利用法でも、点検作業の中で手間を要している記録手間の削減のみならず通行規制時間の短縮効果が期待できると考えている。

公募要領では、必須である「基本要件」に加え、「公募技術に期待する項目」として望まれる機能・性能を求めている。要求性能を定量化するためには、技術の成熟度に応じ利用場面(利用方法)を設定することが肝要であり、現時点では将来像を示しきれていない。引き

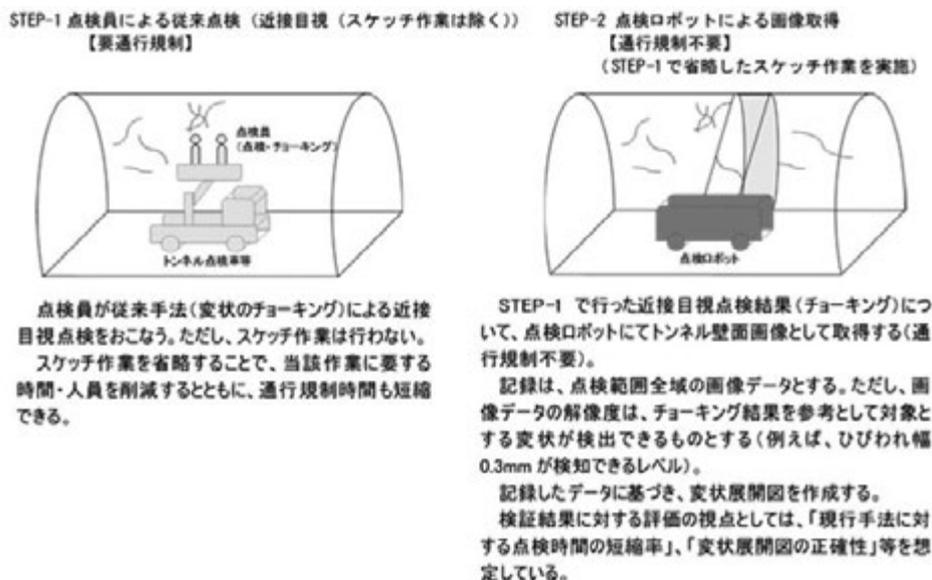


図-4 平成 27 年度の公募要領に示した支援のイメージ (トンネル維持管理分野)

続きユーザーや開発者とニーズや開発意図についての意見交換や議論を活発に行う必要があると考えている。

5. 今後の展開について

(1) 社会インフラ用ロボットの本格導入に向けた試行的導入のねらい

現場検証の結果、より高い導入効果が期待できるロボットについては、現場適用性や効果等を実務的な側面から検証するための試行的導入を実施する予定である。維持管理3分野については、試行的導入は、施設管理者が実施する実際の点検業務と同等の環境条件下においてロボットを用いた点検を試行し、ロボットによる点検成果を報告書にとりまとめ、別途施設管理者が実施した点検成果との比較検証を品質・効率・省人化の観点から実施する予定である（図—5）。試行的導入におけるロボットの機能や効果の発揮状況を踏まえ、ロボットを活用する上で最適な点検手順を提案したいと考えている。なお、災害調査と応急復旧の試行的導入については、導入に向けて技術基準等はないことから災害協定等を活用し積極的に試行的導入を図る予定である。

(2) ロボットを使った点検手順の提案

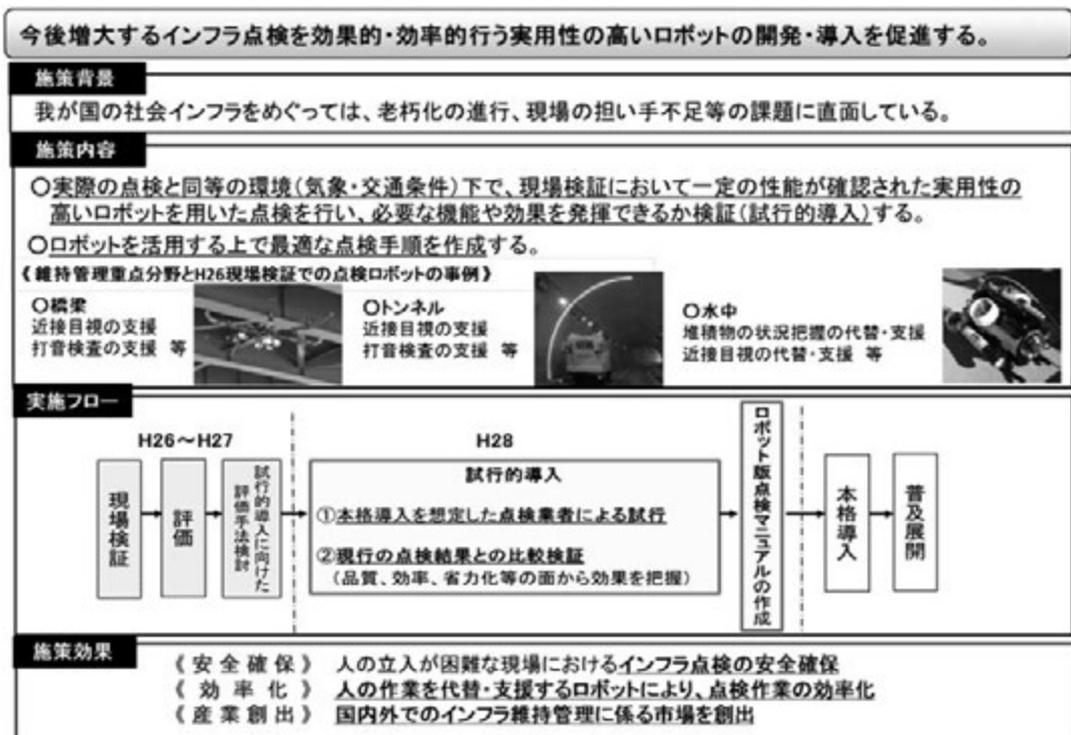
維持管理3分野（橋梁、トンネル、水中構造物）については、試行的導入を通じて得られるデータを検証

し、構造形式の違い等によるロボット技術の適用効果や点検品質の信頼性の違いなどを考慮し、施設管理者が行う点検業務へ適用するための点検手順（ロボット版点検マニュアル）の作成を行う予定である。

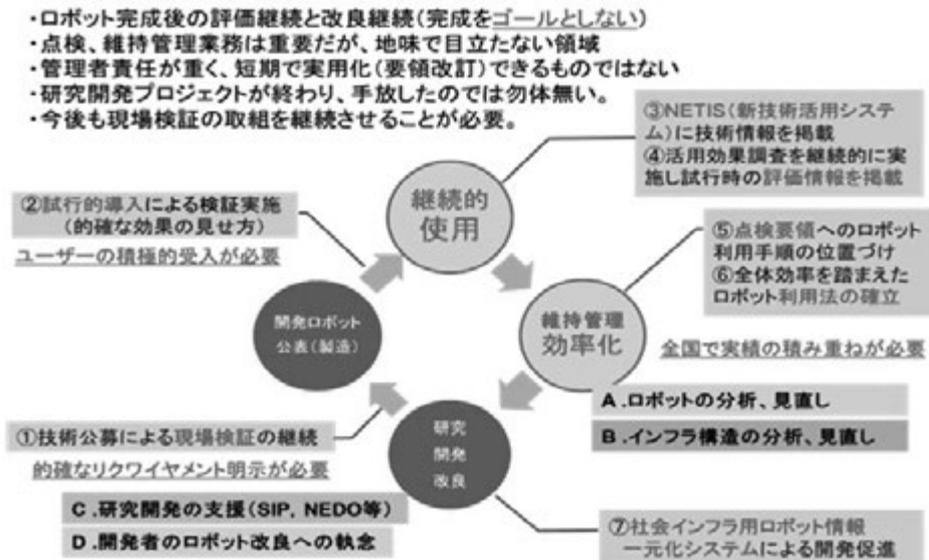
(3) SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）やNEDOプロジェクトとの連携

ここまでは、次世代社会インフラ用ロボットの現場検証について紹介したが、現場検証には研究開発プロジェクトであるSIPやNEDOプロジェクトで開発中の技術も参加しており、現場検証での検証・評価方法を含めて開発者の参考となっていることから、簡単に紹介する。

SIPは、科学技術イノベーション総合戦略及び日本再興戦略において、総合科学技術会議が司令塔機能を発揮し、科学技術イノベーションを実現するため創設された府省・分野横断型のプログラムである。基礎研究から出口（実用化・事業化）までを見据え、規制・制度改革や特区制度の活用等も視野に入れ推進され、現在10課題の開発プログラムが進行している。藤野陽三横浜国大先端科学高等研究員特別教授が率いるプログラム「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の下で13課題が進行中であり、現場検証とも連携を図っている。中でも、本枠組みの下で国土交通省が実施している、「社会インフラの点検高度化に向けたインフラ構造および点検装置についての研究開発」



図—5 試行的導入の概要



図一六 ロボットの本格導入に必要な継続的な検証サイクル(私見)

では、ロボットを利用した点検作業に適したインフラ構造の開発を目指しており、国交省の現場検証で優れた評価を得たロボット技術等が共用できる構造を、現場検証を踏まえて提案している。また、「社会インフラ用ロボット情報一元化システムの構築」では、インフラ用ロボットに関する情報を核として、開発者同士、或いは開発社とユーザーを繋ぐことで、技術の発展、ビジネスの発展などの相乗効果をもたらすデータベースの開発と持続的な運営を目指している。国交省以外では、飛行型維持管理ロボット(6課題)、ガイド上移動式維持管理ロボット(2課題)、維持管理・災害対応ロボット遠隔操作技術(2課題)の開発が現在進められている。

また、NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)では、現在「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(PL: 油田信一・芝浦工大教授)」の下で平成26年度から実施しており、橋梁維持管理・水中維持管理・災害調査をテーマでロボット11技術の開発が行われている。

- ・橋梁維持管理に関する研究開発(4課題)
- ・水中維持管理に関する研究開発(2課題)
- ・災害調査に関する研究開発(5課題)

これらSIPやNEDOプロジェクトの成果として期待される各種のロボット技術についても、実用化に向けて現場ニーズに則した検証評価の継続が必要であり、引き続き連携を維持して参りたい。

6. おわりに

近年の社会経済情勢の変化、とりわけ大規模災害へ

の備えとして国土強靱化や担い手確保の必要性が取り沙汰されるなか、これまで日本の社会資本整備を支えてきた建設施工技術に“機械化”に続く“ロボット化”を推進することで、社会資本整備とその維持管理に貢献することが期待される。

一般にロボット技術は、工場自動化(FA)など製造業分野が先行しているイメージがあるが、多様な自然環境条件と向き合う建設分野では、建設機械そのものがロボット技術であり、無人化施工や情報化施工等の優れた先行事例がある。今後も人手への依存度の高い作業を中心として、大きな生産性向上効果が期待できる分野である。

本稿で紹介した次世代社会インフラ用ロボットの現場検証の取組みについては、わずか2年間の実施予定であるが、ロボットの導入効果を得るために、技術開発成果が還元される継続的な取組みが必要である。

私見ではあるが、ロボットの開発・完成がゴールではなく継続的使用を通じてロボット利用法を確立し、改良のサイクルに載せることが、成果の社会実装であり恩恵を享受するために不可欠なことと考える。関係各位様には、次世代社会インフラ用ロボットの実用化と普及環境の構築に向けて引き続き力強いご支援をお願い申し上げます。

JICMA

【筆者紹介】

新田 恭士(にった やすし)
国土交通省総合政策局公共事業企画調整課
企画専門官

