

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 ～

平成 25 年 4 月

建設ロボット技術に関する懇談会

目 次

はじめに	- 1 -
第1章 建設生産システムを巡る現状.....	- 2 -
第1節 建設生産システムを巡る諸情勢・課題.....	- 2 -
第2節 ロボット技術による課題解決の可能性・方向性.....	- 3 -
第2章 建設ロボット技術の活用を巡る状況.....	- 5 -
第1節 建設ロボットに関する国内の取り組みの歴史.....	- 5 -
第2節 国土交通省の技術開発・活用制度と取り組み.....	- 6 -
第3節 情報化施工の現状と推進戦略.....	- 8 -
第4節 無人化施工の現状と課題.....	- 9 -
第5節 最近の災害用ロボットの開発状況.....	- 11 -
第6節 各種団体の提言.....	- 12 -
第3章 建設施工を巡る諸課題に関するニーズ・シーズ調査.....	- 14 -
第1節 ニーズ調査について.....	- 14 -
第2節 シーズ調査について.....	- 15 -
第4章 建設ロボット技術の開発・活用の必要性と目標.....	- 17 -
第1節 建設ロボット技術の必要性.....	- 17 -
第2節 開発・活用の目標.....	- 18 -
第1項 建設施工の生産性・安全性向上のための技術.....	- 18 -
第2項 災害対応のための技術.....	- 19 -
第3項 インフラ老朽化に対応する技術.....	- 21 -
第3節 共通の基盤となる技術の構築.....	- 22 -
第5章 建設ロボット技術の発展と普及のための方策.....	- 23 -
第1節 課題.....	- 23 -
第2節 基本的な考え方.....	- 24 -
第3節 技術開発・活用のスキーム.....	- 25 -
おわりに	- 28 -

はじめに

我が国の国土は、気象、地形、地質等の環境がきわめて厳しく、毎年のように水害・土砂災害等の自然災害が発生している。また、地震・火山噴火が非常に発生しやすい地域に位置するため、活発な火山活動に伴う広域的かつ大規模な土砂災害も発生している。この状況の中で、我が国が国際競争力を維持するためには、災害被害からより迅速に復旧する力が求められる。

また、我が国の社会資本ストックは、今後急速に老朽化が進展し、戦略的な維持管理・更新を行うことが課題となっている。

さらに、建設施工・建設産業に関しては、施工効率の向上、熟練技能者不足の解消、危険作業の解消等の問題がこれまでも指摘されている。

我が国は今後、少子・高齢化、社会資本の老朽化等、人類史上経験のない多くの課題に直面する。これら新たな課題解決に向けて、抜本的な改善提案の構築とその実行に集中的に取り組むことが求められるが、その中で技術の担う役割は極めて大きい。特に、近年、電子技術や制御技術、測量技術などが著しく進歩しており、製造業をはじめとする多くの分野で、高度なロボット技術や ICT の導入が進められている。

これまで建設施工の分野では、雲仙普賢岳試験フィールド制度等による遠隔操作型建設機械、地下トンネルにおけるシールド掘削機の自動制御技術など、課題の解決のためロボット技術を活用した技術開発が行われてきた。また、総合技術開発プロジェクト「ロボット等による IT 施工システムの開発」等においても、国により建設ロボット技術の調査・開発等が進められてきた。

さらに、平成 23 年 3 月に発生した東日本大震災を契機に、大規模災害に備える機運が高まり、建設ロボット技術の開発・活用への期待が更に高まっている。

本提言は、こうした社会的情勢や建設分野の現状を踏まえ、建設ロボット技術の活用の目的及び今後の技術開発・活用に関する方向性やその実現に向けた方策などについて、短期～中長期的な視点に立って取りまとめたものである。

なお、本提言では「建設ロボット技術」を、「建設施工・調査の現場で用いられる機械・機器に、何らかの新しいメカニズムや制御・情報処理の機能を付加することにより、作業の支援や、自動化・遠隔制御化を実現し、効率、精度、安全などの性能向上・課題解決を可能にする技術」ととらえることにする。

第1章 建設生産システムを巡る現状

第1節 建設生産システムを巡る諸情勢・課題

建設施工に関して、以下の課題が指摘されている。

少子高齢化（熟練者不足）

- ・ 建設産業就業者数は、建設産業への若年就業者数の減少、及び団塊世代の技術者の大量退職により減少傾向にある。
- ・ 特に、これまで建設生産システムの中核を担ってきた熟練した技術者・技能者が不足してきており、品質の良い社会資本の構築に際して障害になりつつある。
- ・ これを回避するために、次世代の建設生産を担う技術者、技能者の育成と確保、技能の継承に向けた対策が求められる。

労働生産性の向上

- ・ 建設産業は、自然界に構造物を構築する産業であるため、気象や地形に生産システムが直結しており、屋外生産、単品受注生産などの特徴を有している。
- ・ このため、建設生産システムでは常に状況に応じた創意工夫を求められ、他の産業に比べて労働生産性が低くならざるを得ない。
- ・ 一方で、建設業就業者数の減少などもあり、生産性の向上が一層求められる現状にある。

作業現場の安全確保

- ・ 建設産業の現場特性から、屋外作業、高所作業等を伴うことが多いため、他の産業に比べ労働災害が多い。全産業中の死亡災害のうち約3割が建設産業が占めるという状況にあるため、作業現場の安全性向上は常に注意を払うべき課題となっている。

多発する災害

- ・ 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。
- ・ 近年では、新燃岳の噴火、東日本大震災、平成23年台風12号による紀伊半島での土砂災害、平成24年北九州豪雨災害などが発生している。

- ・ 災害発生後の、応急復旧を行う際にも 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。

社会資本の老朽化

- ・ 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。
- ・ 社会資本の点検・診断等に関する考え方を明確にしつつ、戦略的な維持管理・更新に向けた対応策が求められる。

地球温暖化問題

- ・ 地球温暖化問題から、建設産業においても二酸化炭素排出量の削減が求められており、建設機械の稼働時間短縮や建設機械の燃料消費量の削減等に積極的に取り組む必要がある。

国際展開

- ・ 建設産業の国際化を視野に入れ、インフラの海外展開を行うためには、生産の効率化や品質向上などの面において、日本の強みとなる高い技術力・施工能力が求められている。また、我が国が自然災害大国であることを踏まえると、近代国家としての災害への対処技術についても我が国が世界に貢献すべき分野である。

第 2 節 ロボット技術による課題解決の可能性・方向性

これまでの建設生産システムにおける諸課題の解決のために、様々な創意工夫が行われてきた。特に、大規模土工をはじめとして機械力の導入はその生産性・安全性の向上に大きく寄与してきた。

近年、電子技術や制御技術、測量技術などが著しく進歩しており、製造業をはじめとする多くの分野で、高度なロボット技術や ICT の導入が進められている。建設施工の分野でも、従来の機械技術をさらに高度化して諸問題に対処していく必要がある。

ここで、建設施工における諸問題の解決について、ロボット技術の可能性と方向性を整理する。

① 無人操作・遠隔操作による、危険箇所での調査・施工

災害対応などにおいては、ほとんどの場合、要調査箇所が危険な場所に位

置ることが多く、無人遠隔操作が可能な調査ロボットを活用することに大きな期待が寄せられている。また、迅速な復旧作業を行う際にも、2次災害のリスクの中で、施工を可能にする技術として無人化施工技術が活用されているが、今後はさらに効率性の改善やコスト面での改善を進めて行く必要がある。

②反復作業・自動化作業による施工の効率化

同じ動作を反復的に作業していくことは、ロボット技術の最も得意とする分野であり、製造業において溶接ロボットなどが活用されている。このように、建設生産システムにおいても、反復作業においてロボット技術の活用を図ることは、効率化に大きく寄与することが期待される。

③新しい機械の導入と自動化による軽作業化と危険・苦渋作業の軽減

建設分野には、未だいわゆる3Kの作業が少なくなく、建設作業員の高齢化と相まってその労働環境の改善が求められている。

④情報化・自動化による施工品質の維持

すでに情報化施工などの取り組みの中で、情報技術・測量技術の進歩を踏まえたマシンコントロールやガイダンスが開発・導入されており、複雑な機械操作からオペレータを解放し、非熟練オペレータでも一定以上の品質で施工が行える環境が提供されている。

しかしながら、これらのシステムは土工作业の一部にとどまっており、同様の課題を有する他職種などでの展開が期待される。

⑤調査結果の一元管理や施工のトレーサビリティによる品質向上

調査や施工においては、これまでも調査の結果のとりまとめが問題となることが多く、特に調査箇所とデータの連携をうまくとれず有効性が損なわれるケースなどが報告されている。ロボット技術ではその記録をGISやCADと連携して保存することにより、その後の対策等の検討に効果的なデータを提供することが可能であり、情報化施工におけるトレーサビリティとあわせて、調査や施工の品質向上に大きく寄与することが期待される。

⑥市街地等の工事における周辺住民や利用者の不便や不快の軽減

一般の建設工事はもとより、構造物の解体撤去や清掃作業における騒音や粉塵発生の防止、及び通行止め期間の短縮など、社会における市民の生活と建設工事の両立のため、新たな機械や技術への期待は大きい。

第2章 建設ロボット技術の活用を巡る状況

第1節 建設ロボットに関する国内の取り組みの歴史

まず、建設ロボットに関する国内の取り組みの歴史について、山岳トンネル工事、シールド工事、プレハブ化・プレキャスト化の3つの例を示し、その特徴と今後期待される取り組みについて述べる。

山岳トンネル工事

- ・ 昭和20年代から40年代にかけて NATM 要素技術が開発され、また、機械（建設ロボット）の導入もされはじめた。
- ・ 昭和40年代から50年代にかけては、施工性向上を目的とした本格的な機械化（ロボット化）施工への移行が進み、また、国内での NATM 工法が確立された。
- ・ 昭和55年頃から平成7年頃にかけて、管理手法の確立、機械の大型化、ICT（情報通信技術）化の導入が進み、昭和60年には、世界で最長の鉄道トンネルである青函トンネルが貫通するに至った。
- ・ 平成8年頃から現在に至るまで、管理手法の高度化、機械の大型化・自動化、ICT化が促進されてきている。特に平成18年に拡充された総合評価方式により、覆工コンクリート、工程短縮、安全管理などに関する機械やシステムについての技術提案が多く受け入れられるようになり、民間の技術開発が加速している。

シールド工事

- ・ シールド工事では、昭和30年代に掘削前面が開放された圧気併用の手掘り式シールドが導入された。
- ・ 省力化と安全確保などの面から昭和40年頃から昭和55年頃にかけて、掘削前面を密閉したシールド機による掘削が可能となる泥水式や土圧式のシールド工法が採用され、現在主流となっている。
- ・ 昭和60年頃からは、輻輳する都市部において地下空間の有効利用を目的に、トンネルの大深度化が進むとともに、トンネルの用途に応じた効率的な断面形状のニーズに対応し、複円形シールド工法が開発され、特殊断面へ適用範囲が拡大された。断面の規模も、トンネル用途が当初、下水道が主流であったため、小断面であったが、鉄道や道路等への適用拡大により、大断面となっていくた。
- ・ 平成元年には、シールドを発進／到達させる立坑の設置を削減するため、長距離化と高速化への対応が求められ、地中接合技術が開発された。平成2年

頃から平成 12 年頃にかけてはシールド機の自動制御技術、セグメント自動組立技術が開発された。

- ・ 平成 6 年に実施された東京湾横断道路トンネルでは、これらの技術が活用され、活発な技術開発が実施されている。
- ・ 平成 7 年から平成 17 年にかけては、更なる長距離化と高速化への対応が求められ、ワンパスセグメント、同時掘進シールド技術が開発された。このように、高速化、省力化と併せてコスト縮減、高耐久性拡大を目的とした技術が開発されてきた。

プレハブ化・プレキャスト化

- ・ 昭和 60 年代に山岳トンネルにおいて、施工性の向上、工期短縮を目的に、スライドセントルの開発、プレキャストトンネル工法の開発、プレキャストアーチ部材の開発が行われている。
- ・ 平成元年からは、シールド工事において、高速化、省力化を目的に、セグメントピースの大型化、セグメント自動組立・搬送装置の開発が行われた。
- ・ 平成 10 年代には、シールド工事において、更なる高速化、迅速化を目的にワンパスセグメントの開発が行われた。

今後期待される取り組み

- ・ 上記の三つの工事の方式は、自動化やロボット化を前提に施工システム全体を見直して、ロボットや機械が効率よく働く環境を作り出すことで、ロボット技術が大きな役割を果たしている。
- ・ 一方、中小規模の施工や災害時の対応など、環境側に手を入れないままで作業を進める必要がある現場では、個々の状況に応じてステップバイステップで自動化・機械化やロボット技術の開発や導入の試みがなされてきた。しかし、これらについては、期待に応えたものとなっていないケースが多く、今後の更なるロボット技術開発が期待されている。

第 2 節 国土交通省の技術開発・活用制度と取り組み

国土交通省の技術開発・活用の取り組みについては、総合技術開発プロジェクト、建設技術研究開発助成制度、新技術活用システム、総合評価方式の 4 つの取り組みについて示す。

総合技術開発プロジェクト

総合技術開発プロジェクトとは、建設技術に関する重要な課題について、産学官の連携により、総合的、組織的に研究を実施する制度であり、これまでに

建設ロボット技術に関しては、以下のプロジェクトが実施されている。

- 昭和 58 年度から昭和 62 年度にかけて実施した「エレクトロニクス利用による建設技術高度化システムの開発」では、レーザー光を利用したブルドーザの排土板制御技術、ロボットによる自動化施工に適した建築工法の開発などに取り組んでいる。
- 平成 2 年度から平成 6 年度にかけて実施した「建設事業における施工新技術の開発」では、自動化オープンケーソンや自動化フィニッシャ等の施工の自動化技術の開発と、工場生産部材（ユニット鉄筋、埋設型枠等）の活用によるコンクリート構造物の施工合理化技術の開発に取り組んでいる。
- 平成 15 年度から平成 19 年度にかけて実施した「ロボット等による IT 施工システムの開発」では、3 次元情報を用いた施工管理技術の開発、建設機械の IT 施工技術の開発が行われ、情報化施工や無人化施工の発展に寄与している。
- 平成 22 年度から平成 24 年度にかけて実施した「社会資本の予防保全的管理のための点検・監視技術の開発」では、箱桁内部等の狭隘部の診断手法、外壁の遠隔診断手法、床下部材の劣化診断手法など、構造物の目視困難な部位の点検・診断技術の開発に取り組んでいる。

建設技術研究開発助成制度

建設技術研究開発助成制度とは、国や地域の諸課題の解決に資する研究テーマに対し、提案を公募し、優れた技術提案を助成する競争的資金制度である。近年の建設ロボット技術に関係した採択事例は、以下に示すとおりである。

- 平成 21 年度から平成 22 年度にかけて、「構造物現況形状データと設計データを用いた品質管理と施工支援に関する技術の開発」が採択された。この研究テーマでは、トンネル内空面の出来形計測において、移動式の三次元形状計測装置の開発、及び設計情報と取得情報の比較表示を行うリアルタイム照合ソフトの開発が行われた。
- 平成 22 年度から平成 23 年度にかけては、「X 線ライナックを搭載した量子ビームロボットを用いた橋梁部材の計測システムの開発」が採択された。この研究テーマでは、橋梁の腐食について、ロボットに搭載した高エネルギー X 線発生装置と X 線検出器で効率的に非破壊検査を行うシステムが開発された。
- 平成 24 年度からは、「次世代無人化施工システムの開発」が採択された。この研究テーマでは、機械が自ら判断・作業するインテリジェント型の無人化施工機械により、屋内作業にも適応可能な未来型の無人化施工システムの研究・開発が行われている。

- 同じく平成 24 年度から「無人化施工による応急対応技術とその基盤となるデジタル通信技術の開発」が採択された。この研究テーマでは、無人化施工による新型土のうを用いた高速築堤技術や地盤改良技術等の研究・開発が行われている。

新技術活用システム

新技術活用システムとは、民間事業者等が開発した有用な新技術を公共工事等で積極的に活用・評価し、技術開発を促進していくためのシステムである。なお、新技術活用システムにおける技術の活用の型は、試行申請型、発注者指定型、施工者希望型、フィールド提供型の 4 種類ある。

その中で、平成 25 年 3 月現在、「ロボット」、もしくは「無人化施工」をキーワードとして新技術情報提供システム（NETIS）に登録している技術は約 50 件ある。以下に一部を示す。

- 海上工事における無人化施工技術として、ケーソン据付時にケーソン上で人手により行っていた一連の据付作業を、遠隔監視及び遠隔操作の一元管理を行うことにより、作業安全性と作業効率を向上させる技術。
- トンネルボーリングマシンの直後に自動化した吹付ロボットを設置し、掘削作業と併行して吹付作業を行い、早期に覆工を完成させる技術。

総合評価方式

総合評価方式とは、価格と品質（技術力）を総合的に評価し落札者を決定する調達方式であり、民間企業が有する技術力を活用することで、公共工事の総合的な価値を高めることが期待される。

以下に、建設ロボット技術に関する提案の例を示す。

- 課題設定による無人化技術の提案
雲仙普賢岳災害復旧では、着工前測量、施工時測量、ライン引き、はつり等の作業の無人化が提案され採用された。
- 高度技術提案型による民間技術の提案
住宅地の地下を通過するトンネル工事にて、当初の開削工法の計画に対し、工事による周辺環境の負荷低減を図るため、受注者からシールド工法が提案され採用された。
- 情報化施工技術の提案
舗装工事や鋼橋上部工事等での交通規制日数等の短縮のため、情報化施工を活用する提案が採用された。

第 3 節 情報化施工の現状と推進戦略

情報化施工については、一般的な土工工事を中心に普及が進んでいる。
ここでは、情報化施工に関する主な取り組みの経緯と現状、及び新たな推進戦略について示す。

経緯と現状

情報化施工は、ICT を活用した新たな施工であり、建設事業の調査・設計・施工・維持管理という一連の建設生産プロセスの中の施工プロセスに着目し、施工に関わる多種多様な情報を他のプロセスの情報と相互に連携させることにより、建設生産プロセス全体の生産性、施工の品質、さらには建設事業に対する信頼性の向上を図る技術の総称である。

国土交通省では、平成 20 年度に平成 24 年度末までの重点目標やロードマップを定めた推進戦略を策定し、直轄の道路土工、舗装工、河川土工の各工事において、情報化施工の普及推進を図っている。

新たな推進戦略

平成 24 年度には、一層の普及推進を図るため、平成 25 年度から平成 29 年度までの新たな推進戦略が策定された。

この新たな推進戦略の重点目標では、以下の 5 つの項目が掲げられている。

- ①情報化施工に関連するデータの利活用に関する重点目標
- ②新たに普及を推進する技術・工種の拡大に関する重点目標
- ③情報化施工の普及の拡大に関する重点目標
- ④地方公共団体への展開に関する重点目標
- ⑤情報化施工に関する教育・教習の充実に関する重点目標

第 4 節 無人化施工の現状と課題

無人化施工は、特に平成 6 年以降、多くの災害現場などで活躍してきた。

ここでは、無人化施工の主な発展の経緯と現状、課題と解決の方向性を示す。

経緯と現状

- ・ 平成 6 年から雲仙における試験フィールド制度を中心として、危険区域作業での安全確保のため遠隔操作技術の確立が進められた。雲仙では、当初、除石工のみであったが、新たな機械や技術開発により、平成 7 年には、RCC による砂防堰堤の築造が開始された。
- ・ 平成 11 年からは遠隔操作の長距離化、無線の多様化、工種の多様化を目指した技術開発が行われた。
- ・ 平成 12 年には、雲仙で培われた技術が有珠山噴火災害に活用された。有珠

山噴火災害では、市街地での施工を約 2km の遠隔地から実施している。その後、GPS や ICT 機器の発展と相まって、無人化施工における情報化機器の採用が進んだ。

- 平成 16 年以降は、これらの情報化機器を本格的に採用した無人化施工が実施されている。
- 平成 20 年からは、遠隔操作だけでなく、映像伝送のデジタル通信化が進み、平成 23 年には、雲仙普賢岳にて、約 80 km の超長距離での無人化施工の実験に成功した。この技術は、その後、台風 12 号による紀伊半島の河道閉塞災害復旧や東京電力福島第一原子力発電所復旧にも使用されている。
- 無人化施工においても、迅速性、撤去性、施工性の向上を目的に、プレハブ化・プレキャスト化の導入が進んでおり、ブロックによる堰堤構築技術が開発されている。

課題と解決の方向性

上記の経緯により発展し、災害時において人の立ち入ることのできない現場の応急復旧工事に大きな役割を發揮することとなった無人化施工であるが、建設生産プロセスを巡る現状を考慮すると、盤石とは言えない。

無人化施工の発展と、災害現場における活用を中心に中心的な役割を担ってきた建設無人化施工協会から、無人化施工の課題と解決の方向性について、ヒアリングを実施した結果、課題は以下の 3 点にまとめられる。

- 技術開発、人材の確保・育成、災害時の活用のためには、無人化施工を継続的に活用する仕組みが必要であるが、災害対応のみに使うのであれば現場に限られてしまうこと。
- 大規模災害に備えるには、大規模災害を想定、もしくは実際の災害対応を検証し、必要な作業の抽出を行うことで、明確な目標を設定することが必要であること。
- 技術開発の促進、検証のためには産学官が連携して技術開発できる環境、具体的には試験フィールドなどが必要であること。

また、解決の方向性は以下の 3 つの観点に整理される。

- 無人化施工技術を維持・発展させるため、無人化施工を継続的に活用するための環境を整備すること。
- 必要とされるニーズの掘り起こしのため、官民が一体となり災害時の対応を顧みて、検討できる場をつくること。
- 無人化施工の運用体制と人材育成のため、定期的な訓練のみならず、実工事における経験を重視した人材育成プログラムの整備を図ること。

第5節

最近の災害用ロボットの開発状況

特に、東日本大震災以降、建設ロボット技術に対する期待が高まり、国内外での災害用ロボットに関する開発の取り組みが行われている。ここではその一例を紹介する。

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)

NEDO では、災害や重大事故等によって家屋、産業・公共施設等が被災し、作業員の立ち入りが困難となった状況において、速やかに状況把握、機材等の運搬、復旧活動を行うための災害対応ロボットの開発として、平成 23 年度から平成 24 年度にかけて「災害対応無人化システム研究開発プロジェクト」を実施している。

研究開発項目としては、(1) 作業移動機構の開発、(2) 計測・作業要素技術の開発、(3) 災害対策用作業アシストロボットの開発があり、例えば、過酷環境下でも使用可能な狭隘空間先行調査型の小型移動装置や重量計測機器搭載可能な移動装置、水中の構造物や水流の調査が可能な水中調査センサとそれを搭載可能な水陸両用の遠隔移動装置などが開発されている。

この開発においては、事故後の福島第一原子力発電所の環境と作業ニーズを念頭に、個々のロボットが果たすべき具体的な働きが設定されており、災害・事故時の状況把握や軽作業に有用なシステムの開発となっている。

アメリカ国防高等研究計画局 (DARPA)

DARPA では、「DARPA Robotics Challenge (DRC)」という大規模災害に対応できるロボットを開発するプログラムを平成 24 年 4 月に発表し、同年 10 月より開始した。開発者は幅広く公募されるが、3 段階で絞り込みが行われる競争形式が採用されている。平成 25 年 12 月までの具体的な開発目標は、以下の 8 つの項目をひとつのロボットで行うことである。(平成 25 年 3 月現在)

- ①災害現場での自動車等を運転する
- ②崩れたがれきのなかを移動する
- ③出入り口をふさいでいる破片を取り除く
- ④ドアを開け、建物内に入る
- ⑤作業用はしごや通路を移動する
- ⑥作業装置を使い、障壁となるものを壊す
- ⑦漏れているパイプに近づき、バルブを閉める
- ⑧電気回路のハーネスや消防用ホースなどを取り付ける

第6節

各種団体の提言

東日本大震災以降、建設ロボット技術に対する期待の高まりに対応して、各種団体が建設ロボット技術に関する検討を行い、提言を公表している。

ここでは、その一例を示す。

土木学会

○土木学会 建設用ロボット委員会

「建設用ロボット技術による災害対応及び復旧・復興支援に向けた

委員会提言」(概要より抜粋)

東日本大震災においては主に津波被災地域湾内の啓開作業や海中の搜索活動及び原子力発電所敷地内の高放射線区域における瓦礫撤去作業・状況調査・屋内清掃・冷却・原子炉カバー設置等に建設用ロボットとその関連技術が用いられた。近い将来予想される首都圏直下型地震や東南海地震、その他の自然災害に備えるには、今後産学官が一致団結して建設用ロボット関連技術の開発、保有・維持運用、教育訓練に取り組むことが重要である。

1. 災害対応のための建設用ロボットの開発と積極的活用
2. 開発ロボットの検証・改善・維持のための環境整備
3. 建設用ロボットを運用するための継続的教育・訓練等の制度整備
4. 建設用ロボット技術を活用するための情報収集と共有、インフラの整備

産業競争力懇談会

○産業競争力懇談会

2012年プロジェクト最終報告「災害対応ロボットと運用システムのあり方」

(エグゼクティブサマリーより抜粋)

【産業競争力強化のための提言及び施策】

防災ロボットに関しては、様々な自然災害・人為災害に対して適用可能なロボット技術として、産業競争力の維持発展に不可欠な重点課題を検討した。その研究開発に関しては、遠隔現場へのアクセシビリティ向上(特に、超小型軽量飛行体、登壁ロボ、狭所探査ロボ)、ロボットによる現場悪影響の防止(特に、防爆技術・規格)、無線通信・有線通信の問題点解決、遠隔状況認識・知能化・自動化、コンテスト形式による基盤技術研究の奨励などの重点化が必要であるとの結論に達した。また、ロボットの性能評価法や部品の可換性のための国際標準化、国際安全規格の整備、複数の研究開発拠点の整備、防災ロボットセンターの開設などが重要となるとの結論を得た。

無人化施工システムに関しては、災害発生時の緊急対応、復旧作業において、想定される災害の状況とその緊急・復旧方法を洗い出し、今後必要と考えられ

る建設機械のロボット化技術に関する技術開発要素を抽出した。具体的には、ショベル系建設機械（災害発生後、最初に現場に入り走行路の確保、障害物撤去を行える高機能車、復旧作業を安全かつ効率的に行える高度情報化、高度な安全性の確保と作業効率の向上）と水陸両用運搬車両（津波等の災害復旧に際し、陸上から浅水深域に侵入可能な運搬車両、土砂災害等に際し、一般の運搬車両が走行できない場所に侵入可能な運搬車両）の重点化が必須であるとの結論に達した。

また、インフラ点検／メンテナンスロボットに関しては、社会資本や設備の老朽化が進展している状況を鑑み、事故や災害の予防、及びメンテナンス市場の拡大に対する対応という点からもインフラ点検／メンテナンスロボットの開発・活用が重要であり、難アクセスエリア（高所、狭隘、悪性ガス等）へのアクセスを含む、複合型アクセス・シーズの開発（飛行ロボットの点検用制御ソフト開発など）、移動体防爆基準の策定と移動ロボット防爆技術の開発、壁面移動技術の開発などが急務であるとの結論に達した。これらのロボット技術は、災害対応ロボットとしての転用が可能な技術であり、システム化と規格化・標準化、汎用化とコスト削減、悪環境に適用可能にする機能拡張、防爆機能の認定なども必要であるとの結論を得た。

さらに運用システム及び事業化に関しては、防災ロボットセンターの設置を提言するとともに、早急にそこでの運用システムを構築し、モックアップ試験や実働訓練を開始すると同時に、災害対策基本計画で指定公共機関として位置づけ、災害時の緊急出動に備えるべきであるとの結論に達した。また、防災ロボットの事業化については、防災ロボットセンターの設置や、国や自治体などの官需主導によるトップダウンな事業推進と同時に、災害対応ロボットとインフラ点検／メンテナンスロボットとの併用による事業展開、サービスを主体としたビジネスモデルなどが重要であるとの結論を得た。

第3章 建設施工を巡る諸課題に関するニーズ・シーズ調査

第1節 ニーズ調査について

本提言をとりまとめるにあたり、建設施工を巡る諸課題の解決に向けた建設ロボット技術に関する施工者側のニーズを把握するため、ゼネコンや専門工事業者などの施工業者8社及び発注者側として現場監督等の経験が豊富な国土交通省地方整備局等の職員36名に対して、各課題・ニーズへの重要度の認識（関心の高さ）、取り組み状況等について調査を行った。

その結果、『少子高齢化（熟練者不足）』、『多発する災害』、『社会資本の老朽化』が重要な課題として指摘された。特に、『社会資本の老朽化』のうち、「点検作業」と「補修作業」については、施工業者、発注者のどちらも「非常に重要」、「重要」という回答が多く、関心の高さが伺われる。その一方で、『地球温暖化』や『国際展開』は施工業者のみが関心が高く、『労働生産性向上』のうち、「道路修繕」や「舗装」といった工種については、発注者のみが関心が高いという結果であった。これは、施工業者と発注者の立場の違いや、施工業者の業務領域外、または施工業者が自社で担当しない工種であるため、関心が低いという結果になったものと考えられる。

また、ニーズ調査における自由意見には、以下のようなものがあった。

- 単品生産は建設業の特徴であり、生産性向上の大きな障壁となっている。個々の技術開発も重要だが、設計・計画における標準化も重要と考える。
- 災害の緊急復旧に使用する無人化施工機械は必要不可欠なものと考えられる。いざ災害が発生した場合における機械やオペレータの確保の迅速な対応が課題である。無人化施工機械の配置状況は偏りが見られ、迅速な対応が期待される地元の施工業者では対応できない状況となっている。災害の場合の対応として、事務所の災害協定会社と建設無人化施工協会との間において何らかの協定を締結しておくことも必要である。
- 大学などの研究レベルでは、様々な提案が行われているが、これらの研究に対し建設現場（直轄）が協力する体制が整っていないと思える。他分野での開発技術の活用も含め建設産業へ展開することは有効であると考ええる。
- 建設業界は受注環境がさらに厳しくなり、労務者、機材を持たない施工管理会社が増えている。このような労働環境において、若年技術者や技能者にとって魅力のない産業と思われている。ロボット技術の導入は3K産業のイメージを払拭するために効果的と考える。
- 技術ばかり先行し、使う者がスキル不足となってしまえば、せっかくの有用な技術であっても最大限の能力を発揮することができないと思う。技術開発をすることも重要であるが、現場で使われてこそ初めて開発された技術が

活かされると思うので、技術開発と開発された技術の伝承を同時進行で進めていってもらいたい。

- 社会的損失の低減という観点からは、片側交通規制に用いる信号機の知能化による待ち時間・渋滞量の最小化や、インフラ点検の際の仮設足場設置や交通規制をなくす技術なども必要性が高い。

第2節 シーズ調査について

ニーズ調査を踏まえ、ニーズに対応する技術シーズ（技術開発の可能性）を把握するため、学識経験者や電機メーカ及び建機メーカ等のロボット関係者に対して、各課題・ニーズへの技術面の評価と収益面から見た魅力等について調査を行った。

その結果、技術面の評価では、いずれも技術的に開発できる可能性があるものの、収益面に課題があり、研究開発の促進や技術の維持を実現できる制度や体制などについての指摘があった。

シーズ調査における自由意見には、以下のようなものがあった。

- 技術面をみると建設機械以外の分野で開発が進められているロボット関連技術の進歩は著しく、これらのシーズと、「収益面から見て技術開発を行う魅力がある」ニーズが結びつけば、建設機械の自動化は自ずと進展するものと思われる。
- プレハブ化建設手法に対しては、製造業向けロボット技術と、生産最適化手法が適用できる可能性は高いと考えており、自動化対象作業について調査を希望する。
- 産学官をあげて、この分野の研究開発に取り組もうとする米国の姿勢を看過することはできない。我が国はロボットの研究に熱心ではあるが、産学官の間の積極的な連携が少ないことは危惧される。
- 先行事例である製造業における産業用ロボットのこれまでの取組についてレビューをしっかりと行い、考え方や技術で転用可能なものについて検討を行うべき。
- 産業用ロボットの現在の課題は、人との協働作業、自動化機械と人が混在するラインであり、その解決には優秀なヒューマンインターフェースが求められる。これを建設分野に応用すると、例えば、人がいても危なくない玉掛け技術や、油圧ショベルの掘削作業をオペレータ操作に介入してアシストする技術などが考えられる。
- 近年、製造業において技術的イノベーションは見られない印象があるが、生産技術の関係者はむしろ増加しており、産業用ロボット分野では、システムインテグレータが企業として成立している状況にある。

ニーズ調査とシーズ調査の結果をあわせてみると、『労働生産性の向上』の「道路改良」・「築堤護岸」・「道路修繕」、『施工現場の安全確保』の「建設機械関連」、『社会資本の老朽化』の「点検作業」、『多発する災害』の「状況把握」についてはニーズ側の関心の高さとシーズ側の収益面から見た魅力がともに高いことが伺える。従って、これらの分野においては、ロボット技術の活用による課題解決の早期実現が期待される。

表 ニーズ・シーズ調査結果について

項目	ニーズ調査結果			シーズ調査結果								
	関心の高さ			技術面の評価			収益面から見た魅力					
	a	b	c	a	b	c	a	b	c			
(1)少子高齢化(熟練者不足)												
鉄筋工	33%	56%	10%	31%	62%	8%	9%	64%	27%			
型枠工	28%	51%	21%	15%	46%	38%	0%	50%	50%			
左官工	16%	56%	28%	23%	31%	46%	0%	50%	50%			
(2)労働生産性の向上												
道路修繕	26%	63%	11%	50%	40%	10%	14%	71%	14%			
舗装	27%	62%	12%	17%	33%	50%	0%	44%	56%			
道路改良	31%	49%	20%	21%	71%	7%	27%	64%	9%			
トンネル(NATM)	22%	56%	22%	21%	71%	7%	17%	50%	33%			
築堤・護岸	20%	60%	20%	21%	71%	7%	27%	55%	18%			
道路維持	30%	31%	37%	27%	55%	18%	0%	63%	38%			
雪寒工	11%	68%	21%	18%	64%	18%	0%	50%	50%			
鋼橋上部	8%	62%	31%	67%	17%	17%	0%	44%	56%			
河川維持工	5%	68%	27%	10%	70%	20%	0%	67%	33%			
橋梁下部	16%	42%	42%	25%	58%	17%	11%	56%	33%			
コンクリート橋上部	12%	46%	42%	27%	55%	18%	13%	50%	38%			
(3)施工現場の安全確保												
建設機械関連	49%	49%	2%	64%	29%	7%	25%	58%	17%			
墜落・転落	54%	34%	12%	10%	70%	20%	0%	50%	50%			
倒壊・土砂崩落	39%	55%	5%	25%	50%	25%	11%	44%	44%			
自動車関連	37%	56%	7%	36%	57%	7%	0%	82%	18%			
飛来・落下	33%	59%	8%	21%	57%	21%	0%	70%	30%			
(4)社会資本の老朽化												
点検作業	62%	32%	5%	25%	67%	8%	11%	78%	11%			
補修作業	35%	38%	26%	10%	70%	20%	14%	57%	29%			
更新工事	25%	46%	29%	14%	43%	43%	20%	40%	40%			
(5)地球温暖化問題												
	14%	57%	29%	-	-	-	-	-	-			
(6)国際展開												
	12%	71%	18%	-	-	-	-	-	-			
(7)多発する災害												
状況把握	41%	53%	6%	42%	50%	8%	0%	89%	11%			
応急復旧	43%	51%	6%	8%	83%	8%	0%	78%	22%			
簡易型遠隔操作装置	50%	46%	4%	62%	31%	8%	10%	70%	20%			
倒壊、破損構造物撤去	40%	52%	8%	23%	46%	31%	10%	70%	20%			

赤文字：最も値が高い項目 青文字：2番目に値が高い項目

※ ニーズ調査は、発注者 36 名、施工業者 8 社に対して実施。

シーズ調査は、懇談会委員 8 名、建設機械メーカ 5 社、機械・電機メーカ 5 社に対して実施。

【凡例】関心の高さ
a.非常に重要
b.重要
c.あまり重要ではない

【凡例】技術面の評価
a.技術的に可能、確実性も高い
b.技術的には可能性があるが、確
実ではない
c.技術的に困難

【凡例】収益面から見た魅力
a.収益面から見て、技術開発を行
う魅力がある
b.収益面から見て、他の条件次第
c.収益面から見て、魅力がない

第4章 建設ロボット技術の開発・活用の必要性と目標

第1節 建設ロボット技術の必要性

我が国の国土は脆弱であり、毎年のように自然災害が発生している。この状況の中で国際競争力を維持するためには、災害被害からより迅速に復旧する力が求められる。

また、近年、社会資本の老朽化が進んでおり、適切な機能維持のための維持管理や不具合を未然に防ぐための点検の対象箇所や作業量は膨大となっており、かつ今後も増大していく。

一方で、団塊世代の退職により建設現場から熟練作業員が急激に減少するのみならず、少子高齢化により労働人口の減少も避けられない状況となっている。

これまでも建設生産システムにおいては、過去における人海戦術による工事から、大規模土工をはじめとして機械技術の導入により生産性・安全性の向上が図られてきた。近年 ICT やロボット技術がめざましく発展し、産業や生活などあらゆる場面での活用が増大していることから、建設分野のこれらの課題に対しても、さらに高度なロボット技術を活用し、解決を図るべきである。

また、ロボット技術を建設現場に積極的に導入することにより、将来を担う世代にとって建設産業が魅力ある産業になることが期待される。

建設ロボット技術への期待は大きく、社会から見ても建設ロボットのイメージはそれ自体が大きくふくらんでいる。しかし、実際の具体的な現場に役立つ汎用ロボットがすぐにもできあがるわけではない。具体的な社会からのニーズに基づいたロボット技術の利用場面を定めて、一步一步の開発と導入を進めていく必要がある。特にロボット技術の開発・導入にあたっては、ロボット技術そのものは決して目的ではなく、安全・確実で経済性の高い建設施工や検査・点検・調査等を実現することが目的であることを常に意識の中心においておく必要がある。

ここでロボット技術を建設分野に導入することの意義を整理すると、以下のとおりとなる。

- ①水中や高所、危険な箇所など人が立ち入れない箇所において、人に代わって作業を行う。
- ②人が行う作業を支援することにより、または人に代わって行うことにより、省人化を図ることができるとともに、スピードアップなど作業の効率化、安全性や品質・精度の向上等にも資する。
- ③さらに、以上の波及効果として、作業による経済活動や日常生活への影響を軽減できる。例えば、高所にある設備等の点検作業を点検ロボットで行うこ

とにより、足場が不要となり、交通規制による渋滞が解消できる。

このように、建設ロボット技術は導入効果が期待できる技術であり、積極的な導入が期待される。

第2節 開発・活用の目標

建設ロボット技術の開発・活用については、技術的にも社会的にも多くの側面があるため、短期的、長期的な視点に立った目標を、産学官で共有し、協力して課題解決に取り組むことが重要である。ニーズ・シーズ調査結果からは『労働生産性の向上』、『施工現場の安全確保』、『社会資本の老朽化』、『多発する災害』に対してロボット技術の活用による課題解決の可能性が高いことが分かった。このため本章では、建設ロボット技術の活用目的として、①建設施工の生産性・安全性の向上、②災害対応、③インフラ老朽化への対応、の3つを設定し、各目的達成の課題とその解決の方向性について整理する。そして、建設ロボット技術による将来像（長期目標）と、それに向けて短期的に達成を目指す重点目標を掲げる。

第1項 建設施工の生産性・安全性向上のための技術

ここでは、まず情報化・遠隔化・自動化により建設作業における労働生産性を向上させる技術、作業員の高齢化や熟練技術者の減少に対応する技術、現場の安全性を高める技術など、建設施工の生産性・安全性向上のための技術が求められている。特に、建設機械のオペレータについて、その高齢化と、機械操作技術習熟のためには長期にわたる訓練期間が必要なため、熟練オペレータの不足が具体的な問題となっている。

これらに対して、解決方策としては以下のことが提案される。

- ①ロボット化・機械化を前提とした施工方法の改善とそれによる自動化
 - ・ロボット技術を利用することによる省力化を行うためには、従来の設計の考え方そのものを変えるべきである。
 - ・ブロックや排水路等の2次製品について、形状の単純化や大型化を図り、ロボット技術を利用することで、効率化・工期短縮を目指すべきである。
- ②オペレータや作業員の支援技術の開発
 - ・進展している情報化施工の活用によって、土工作业における熟練オペレータ不足の問題解消を図るべきである。
 - ・一般車両用が開発され普及している機器・装置等を建機へ適用して効率化や安全性向上を図るべきである。また、鉱山用機械の情報化技術の転用を想定しておくべきである。

- ・外骨格型のロボットスーツや生体工学に基づくサポータ、或いは高度なバランサー等の技術により、重量物等を扱う作業における身体への負荷を軽減するアシスト技術の開発を推進すべきである。

これらのことを踏まえ、建設施工の生産性・安全性向上のための建設ロボット技術活用の将来像（長期目標）を2つ設定する。

(1) 施工自動化による施工現場の省人化

ー建設ロボット技術による自動的な施工を前提としたプレキャスト製品の標準化を図り、設計の三次元データに基づき自動で施工する機械の実現と併せて施工現場の省人化を図る。

(2) 建設機械の自動化や既存を含めて有用な技術の活用・普及

(情報化施工の推進)

ーマシンコントロール/マシンガイダンスの発展・普及を推進すると共に、NETISに登録されている有用な技術や、他分野で活用されているICTを建設生産システムへ、活用・応用することにより一層の生産性と安全性の向上を図る。

また、将来像に向けて、短期的（概ね5年後）に達成を目指す重点目標を以下のように設定する。

(I) ロボット技術による省力化が可能なプレキャスト活用型設計・施工の実現

ー建設ロボット技術を施工プロセスに導入することにより省力化を可能にすることを目標に、例えば、プレキャスト製品の利用を設計段階から想定した施工を直轄現場で試行する。

(II) 情報化施工推進戦略に基づく建設機械の自動化等の推進

ー平成25年度から始まる新たな情報化施工推進戦略に基づき、施工の効率化や安全性の向上を推進する。例えば、乗用車で実用化されているアラウンドビューモニターにより、建設機械作業における安全性を向上させることや、作業装置（バケット等）の可動範囲の制限機能とマシンガイダンス機能をもつ土工機械の普及により、検測作業を不要として、工程短縮と現場の安全性向上を図ることなどを目指す。

第2項 災害対応のための技術

本節では、これまで発展をしてきた無人化施工や、今後の大規模災害に備えて必要とされている災害現場の状況把握や情報収集を、安全を確保して遠隔で行える無人調査機械など、災害対応のための技術について整理する。

これらの技術に関しては以下の課題が指摘されている。

- ・開発された技術は、使われていないと維持されず、発展しない。
- ・無人化施工は、実施の手間や効率やコストで有人に及ばず、使われる場合が限定されており、使われるための検討が必要である。

これらに対して、解決方策としては以下のことが提案される。

- ・無人化機械は日頃から使っていないといざという時に使えないため、使える機会があれば使う環境を整備するべきである。例えば、通常の調査でも使用する無人調査機械を開発すべきである。
- ・無人化施工機械を効率よく、さらに熟練者でない人でも操作が容易なものとするため、遠隔操作アシストを導入していくべきである。
- ・通常の施工で使っている機械を、災害時に搭乗操作から遠隔操作へと迅速な改造を可能とする技術を開発するべきである。また、その技術の適用対象を広げるため建設機械の操作系の電子制御化を促進する施策を検討すべきである。
- ・三次元座標データを高速に取得する技術も向上しており、オペレータに提供すべき情報や、災害現場等の状況把握等に活用すべきである。

このことから、災害対応のための建設ロボット技術活用の将来像（長期目標）を2つ設定する。

(1) ロボット技術による災害現場調査

- －無人調査機械によって、大規模土砂崩れ、火山噴火など、人が立ち入れない災害現場に対し、地上・空中・水中などあらゆる方面からアクセスし、被害状況等を確認することのできる現地映像や地盤情報・三次元地形情報を取得する。また通常の調査でも使用されるものを目指す。

(2) 無人化施工の適用範囲の拡大、効率の向上及び操作環境の改善

- －無人化施工の対応工種を拡大するとともに誰でも短時間の訓練で無人化施工機械が操作可能となるよう、アシスト機能による操作の簡易化、効率向上を図る。また、訓練環境、機器調達・輸送環境の体制を整備する。

また、将来像に向けて、短期的（概ね5年後）に達成を目指す重点目標を以下のように設定する。

(I) 災害調査ロボットの実用化

- －災害対策用ヘリコプタ等から災害現場に直接投入が可能で、現地映像等を対策本部等に送信可能な無人機械を実用化する。

(II) 無人化施工の対応力の改善

- －大規模災害において、直轄保有や民間保有の無人化施工に対応した遠隔操

作機械が時間経過と共に順次搬入される際に、通信システムの調整を現場作業を止めることなく可能とする IP アドレスの割り振り方法などの通信ルールを実現する。

- －災害時に必要とされる工種のうち対応が難しい地盤改良や築堤等の工種にも無人化施工の適用範囲を拡大する。
- －作業領域制限とマシンガイダンス機能をもつ土工機械の普及・活用により、無人化施工の効率向上を実現する。
- －車体安定度計測と転倒防止制御技術を備えた土工機械の開発により、無人化施工の安全性・確実性向上を実現する。

第3項 インフラ老朽化に対応する技術

インフラ老朽化に対しては、コストを削減して、より良いメンテナンス体制を作る有効な手段となり得るロボット技術の開発が求められている。

これらの技術に関しては以下の事項が課題となる。

- ・人が入れない場所へのアクセスを可能とするロボット技術の開発及び活用。
- ・インフラ点検ロボットの技術開発を実現するため、構造物の劣化に関する研究等とリンクした、必要な点検対象の整理。
- ・インフラの老朽化に対応するには適切な維持管理が重要であり、点検技術とあわせて、トンネルや遮音壁の清掃などについても作業コストや社会的損失を抑えたサービス提供を可能とするロボット技術の導入の検討。
- ・写真等を撮影した場所などを認識する技術も開発され始め、点検記録のマッピングも可能になりつつあることに鑑み、計測や映像記録とその位置情報が、容易に管理・活用される技術を検討すべきである。

これらに基づき、インフラ老朽化に対応する建設ロボット技術活用の将来像（長期目標）を設定する。

(1) ロボット技術による無人点検、補修の高度化

- －点検・補修用ロボット技術の導入により、作業のスピードアップ・コスト低減・品質確保を実現する。

また、将来像に向けて、短期的（概ね 5 年後）に達成を目指す重点目標を以下のように設定する。

(I) 点検ロボット技術の開発・活用

- －一人が立ち入ることのできない箇所等で、以下のような点検を可能とする点検ロボットを開発する。
 - ・水中の不可視部（放流管、戸当り、橋脚等）を閉めきりをせずに点検

- ・ 通常の速度で走行しながらトンネル内壁や路面の性状の点検
- ・ 橋梁床版や法面上部などを通行規制や仮設足場の設置をせずに点検

第3節 共通の基盤となる技術の構築

前節の各技術については、その開発がばらばらにならないように、できるだけ共通化を図り、共通の基盤となる技術をきちんと構築していくことが重要である。

例えば、インフラ点検については、多様なアクセス技術や検査技術が必要であるが、災害調査においても同様の技術は極めて重要である。このような技術は単独で民間企業が事業化することが難しい。このため、国が活用できる場면을複数想定して技術開発を促進し、現場で活用しながら実用化を進めていくことは、民間が開発経費を調達し易くするという点においても意義がある。

また、今後の維持管理の重要性を鑑みたとき、点検・維持管理のコストを削減し品質の確保・向上を図るためにはロボット技術を活かすための構造物設計もまた必要である。構造物の設計において、施工や維持管理のために「ロボット技術の導入しやすさ」を配慮することについて、機能や品質に対するこれまでの経緯を踏まえて関係者で検討することが重要である。

第5章 建設ロボット技術の発展と普及のための方策

建設ロボット技術の発展と普及に向けて、現時点の課題と、その解決に向けた基本的な考え方、そして考え得るスキームについて整理する。

第1節 課題

現在及び近い将来に予想される建設分野における問題点の解決に貢献する建設ロボット技術の開発とその活用に向けての課題は、建設作業を自動化するロボット技術の開発に係る課題、ニーズとシーズ把握のための関係者の情報共有に係る課題、開発された技術の継続的な活用に係る課題に分けて整理できる。

○建設作業を自動化するロボット技術の開発に係る課題

- ・建設作業を自動化する場合には、建設作業の各工程に最適なロボットを開発する方が技術的には現実性がある。しかし、この場合、極めて多種多様なロボットを開発し、各工程に専用機を用いることになり、導入には現実性が乏しい。また作業員の経験が必要となる作業の自動化は、現状の産業用ロボットの能力では難しい。
- ・また、実際に研究開発コストに見合うかが問題となるなど、収益面から見て魅力的なものが少ないため、現場導入の実現性は低くなる。

○ニーズとシーズ把握のための関係者の情報共有に係る課題

- ・ロボット技術を建設分野における問題の解決に役立てるためには、シーズを応用するという立場は望ましくなく、ニーズドリブンな技術開発、研究開発が非常に重要であり、課題・ニーズに対して、技術的にも投資効果的にも可能で有効な解決策を見いだす必要がある。
- ・そのためには、ニーズ・シーズ関係者（ゼネコン、ロボットメーカなど）や大学等の研究者が互いの状況を理解する必要があるが、現状では建設業界と機械・電機業界のように業界が違っていると、まったく考え方が異なっており、情報共有・意見交換を行う機会が不足している。

○開発された技術の継続的な活用に係る課題

- ・現場での実用化には、試行・評価して峻別・改善する開発過程を要するが、既存技術も含めた技術開発の成果が、その後のフォロー体制の不備で、必ずしも継続的に使用されるとは限らず、実用化に至らない現実がある。例えば、NETISに登録されているような既存の技術についても必ずしも十分な活用がされていないのが現状である。
- ・また「継続性が確保されなければ、費用対効果が低く、更なる新規開発の進展は望めない」との指摘もある。

第2節 基本的な考え方

懇談会において提起された意見から建設ロボット技術の発展や普及に不可欠な基本的な考え方を整理する。

○建設ロボット技術開発における PDCA サイクルの重要性

- ・不定型な作業のための機器や技術、有用で高度な技術の開発においては、機器・技術を使いながら、使った結果をフィードバックして進歩・進化させるべきである。(高度実用化研究)
- ・上記のような開発と活用のサイクルの中で建設ロボット技術を発展させていくために、既存のフィールド提供型などの制度も活用しつつ、国が継続的にフィールドを提供するべきである。

○開発の目標設定と評価方法の明確化が重要

- ・建設ロボット技術においては、「どのような環境」で「どのようなもの」を求めるのか、開発の前に具体的な目的と達成すべき性能を明確にするべきである。
- ・技術の評価は、まず直接の目的である具体的な作業の達成度と効率・経済性によって評価すべきである。その次にそれが、ほかの作業に、どのように適用できるかの評価をするのが良い。
- ・国土交通省の建設技術研究開発助成制度などは、この種の研究開発を加速させるためには、効果的な制度であり、一層活用すべきである。
- ・また、成果の蓄積と再利用等のための情報共有・意見交換の場を継続的に設ける必要があり、適切な競争環境も導入するべきである。

○国による制度・システム作りの必要性

- ・生産性の向上やコスト縮減に関する建設ロボット技術開発は、できる限り民間で対応すべきである。しかし、「安全」など法制度に関わることや、今後戦略的な取組がすすめられる社会資本の維持管理・更新や老朽化対策、及び民需の少ない災害対応の分野では市場メカニズムに任せているだけでは技術開発は進まない。このため、個々に適用すべきロボット技術については、国がリードして、継続的に関与し、開発を進めるとともに、「直接的な開発投資・助成」、「インフラの点検・更新の体系化」などの新たな制度・仕組みづくりも進めるべきである。
- ・特に、開発のための情報の蓄積と流通は国の制度・システムとして実施すべきである。

○人材教育・人材育成の場が必要

- ・建設ロボット技術の活用にあたっては、人材教育・人材育成は必要不可欠であり、実地のみならずシミュレータ技術も活用した訓練センターを設置すべきである。例えば、バーチャルリアリティ技術を用いて、建設機械の足場が悪く車体が不安定になるような地形において自ら足場を作る作業を無人化施工で行う訓練をシミュレータ上で行い、オペレータの育成を図ることが考えられる。
- ・この種のシミュレータは、訓練のみならずロボットの仕様決定や作業計画などにも利用できるものであり、広く活用すべきである。

第3節 技術開発・活用のスキーム

上記、基本的な考え方を踏まえて、産学官の関係者が建設ロボット技術の発展と普及のために実施すべきスキームについて提案をする。

○共用できるフィールドの提供

- ・現場では、実作業の達成度が評価できる必要がある。そのためには、実現場とシームレスにつながっているべきであり、直轄事業の現場を活用し、重要目標に取り組む仕組みをつくり、継続的に実施していくべきである。
- ・例えば、新技術活用システムの試行申請型やフィールド提供型を活用して、実施工現場に立入禁止などの制限を加えて研究開発のためのフィールドを設けることを検討すべきである。このためには、特別に規制を緩和した区域や、特別に通信インフラを整備した地域なども有効と考えられることから、国が自ら特区をつくっていくことも検討すべきである。
- ・災害対応のための建設ロボット技術については、技術の維持、技能継承、作業方法の伝承のため、緊急時を想定した工法を使った工事現場を準備・活用して、継続的に人材育成の場とする方策も検討すべきである。

○コンペティション方式の導入

- ・技術の高度化を図っていく仕組みとして、特定の課題を設定し、複数の研究機関がその実現を競い合う、コンペティション方式の導入を検討するべきである。
- ・コンペティション方式の中では、「ものの性能」を競うのではなく、与えられたミッションを与えられた環境で達成するためのソリューション導出やシステム設計の能力を競うことが不可欠である。
- ・例えば、無人化施工コンテストなどを開催して、ロボットを研究している学生を惹きつける仕組みとすることは、ソリューション導出・システム設計の能力を有する人材の育成を図る方策としても有効である。

○情報交換の場の設定

- ・ロボット関連の有識者は、ロボットの研究成果の使い道を探しているが、建設業界の状況について多くを知らないのが現状である。このため、建設生産システムの高度化を目指した建設ロボット技術開発のためには、ロボット関係・建設関係の産学官の多様な関係者による継続的な情報交換の場を設置すべきである。
- ・なお、情報交換の場においては、建設ロボット技術の中長期的な重点分野、評価基準や明確な目標設定についての議論が行われるべきである。また、情報交換の場においては、建設施工側の参加者が常にニーズを把握し、発信していくことも重要である。

○省庁連携等による技術の開発促進と活用の円滑化の枠組み

- ・特殊な用途の建設ロボットの開発については、研究コンソーシアムにて取り組むメリットもあり、開発目標や達成度評価のコンソーシアムと、開発に競争原理を導入するコンペティション方式を組み合わせた仕組みなども検討すべきである。
- ・コンペティション方式による技術開発促進を実施するための研究助成等については、省庁連携も視野に検討すべきである。例えば、アメリカの **Disaster City** のように、ロボットの実証試験や訓練などを実施する仕組みと研究開発拠点設置を日本でも検討すべきである。
- ・ここで重要となるのは、技術開発と実地への適用のシームレスな接続であり、そのための省庁連携の制度が求められる。
- ・技術の活用の円滑化という観点からは、例えば、災害時の無人調査・無人化施工のための無線周波数の確保など、機器を遠隔から操作するためのインフラ・環境の整備も検討すべきである。

○実際の活用者を含む大きなフィードバック（PDCA サイクル）の確保

- ・現場で役立つ建設ロボット技術を高度化してゆくためには、最終ユーザーの活用経験が、遅滞なく開発・研究者に届く仕組みが必要である。
- ・そのためには、想定される建設ロボット技術の最終利用者である各省庁（国交省、消防庁、自衛隊等）や各セクタ（地方公共団体等）、施工業者を含む密な情報共有・連携の場が求められる。

最後に、上記に提案したスキームの関係のイメージを図示する。

フィールドの提供／情報交換の場の設定

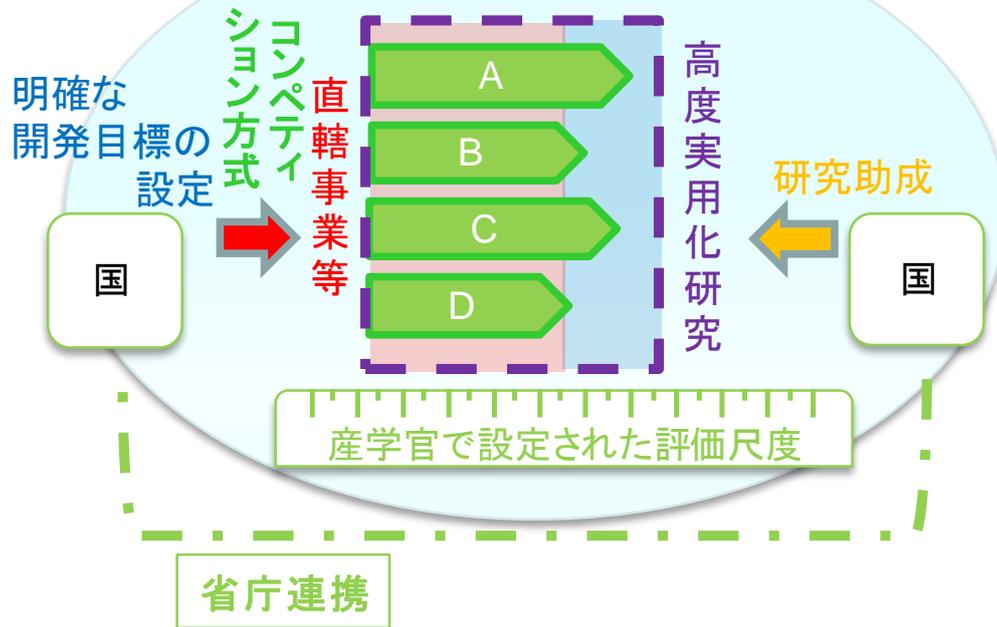


図 技術開発・活用のスキームのイメージ

おわりに

近年 ICT やロボット技術がめざましく発展しており、建設生産プロセスが抱える課題に対して、建設ロボット技術は有効な解決手段の一つとなると考えられる。

このため、建設ロボット技術の現状について調査し、また、学識者、施工業者、建設機械メーカー、機械・電機メーカー及び発注者に対して、ニーズ調査とシーズ調査を実施し、全 3 回の懇談会において議論を重ね、建設ロボット技術の開発・活用の目標及び発展と普及のための方策を盛り込んだ提言をとりまとめた。

今後は、本提言を契機とし、関係者間の共通認識を醸成し、産学官が協力・協調し、具体的な取り組みを検討・実施していく必要がある。

来年度以降は、更にニーズを掘り下げて、建設ロボット技術の開発目標を明確化し、具体的な制度化・予算化・体制づくりへとつなげていくとともに、技術開発後も、現場での使用、使用結果のフィードバックという、継続的な改善と実用化のサイクルを継続していくことが重要である。

本提言により、建設ロボット技術の開発・活用が促進され、安心・安全・快適な暮らしの実現に向けて、建設ロボット技術が一層の貢献を果たすことを願う。

建設ロボット技術に関する懇談会 委員名簿

座長

油田 信一 芝浦工業大学 工学部 電気・電子学群（電気工学科） 特任教授

委員

浅間 一 東京大学大学院 工学系研究科 教授
鈴木 剛 東京電機大学 工学部 情報通信工学科 教授
高橋 弘 東北大学大学院 環境科学研究科 教授
建山 和由 立命館大学 理工学部 環境システム工学科 教授
永谷 圭司 東北大学大学院 工学研究科 准教授
植木 睦央 建設無人化施工協会 会長
岡本 直樹 (一社)日本機械土工協会 技術委員会 委員
北原 成郎 (公社)土木学会 建設用ロボット委員会 土木技術小委員会 委員長
立石 洋二 (社)日本建設業連合会 土木工事技術委員会 専門委員
三浦 久 (社)全国建設機械器具リース業協会 企画広報委員会 委員
見波 潔 (一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 所長
山崎 豊彦 (一社)建設電気技術協会 企画部長
渡辺 和弘 (独)土木研究所 技術推進本部長

(敬称略、五十音順)

行政委員

中村 健一 国土交通省 大臣官房 技術参事官 (総合政策局担当)
越智 繁雄 国土交通省 大臣官房 技術調査課長
安藤 淳 国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課長
山田 邦博 国土交通省 水管理・国土保全局 治水課長
渡 正昭 国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部 保全課長
三浦 真紀 国土交通省 道路局 国道・防災課長
石橋 良啓 国土交通省 関東地方整備局 企画部長

(敬称略)

事務局

国土交通省	総合政策局	公共事業企画調整課	施工安全企画室長	山元 弘
			企画専門官	宮武 一郎
			課長補佐	森川 博邦
			計画係長	渡邊 賢一
			建設機械係	小池 喬

建設ロボット技術に関する懇談会 事務局

国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課内

〒100-8914 東京都千代田区霞が関 2-1-3(合同庁舎3号館)
TEL: 03-5253-8111(代表)
FAX: 03-5253-1556
