

シリーズ 進化する土木ロボット ①

～産・官・学，協調による技術開発の未来展望～

土木ロボットと産官学協調

＝学校や公的研究機関での土木施工ロボット化への研究の現状＝

株式会社 インロッド・ネット 久武 経夫

1. はじめに

土木施工の効率化や安全な作業環境の実現には様々な課題がある。熟練者にしかできない繊細な操作を初心者でも簡単に、バケットの爪先に眼や触覚センサを、掘削位置が施工図面の何処か正確に知りたい、危険・苦汁・単純な作業を代ってくれるロボットを、疲れしない・腰痛にならないよう助けてくれる作業支援ロボットを、もっと安全に作業をしたい、等々と要求は際限ない。

建設機械や施工を支援する機械やセンシングシステム等はこれら現場の要求を糧にして発達を遂げてきた。トンネル、ケーソン、連壁などの地下工事、浚渫など大型海洋工事、舗装など反復的な作業では、様々な自動化機械が導入されている。

都市土木など小規模な工事の場合には、作業の進捗に応じて変化する施工環境に対応した複雑な動作が求められる。この分野で活躍する土木ロボットの実現には、環境を理解するセンサ、環境に対応して最適な動作を判断する知能、現場に合わせた複雑な動きをするための機構が求められる。

これらの要求に応える土木ロボットを実現するためには高度な技術と継続した取り組みが必要である。民間企業では特定研究テーマに優秀な技術者を長期間貼り付ける事は難しい。土木ロボットの實現には学校や公的研究機関との協調が必須である。現実には多くの学校や公的研究機関で土木ロボットの研究が行われている。本編ではこれらの研究成果の現場での活用を期待して研究事例を紹介したい。

1. 土木ロボットと産官学協調
2. 人間型ロボットと土木施工
3. 多機能機械、油圧ショベル系機械のロボット化
4. 不整地に強い多足機械のロボット化
5. その他の土木ロボット
6. 計測や安全管理の自動化

2. 土木ロボット実現の背景

繰り返し作業が前提であり機械の位置決めが容易な工場ロボットに比べ、刻々変化する環境への対応が前提な屋外作業ロボットの實現には個々の企業のみでは實現困難であると考えられてきた。このため、行政による政策的な支援や公的研究機関による研究支援が絶えずに行われてきた。以下に土木ロボット實現への道程を辿ってみたい。

(1) 工場用ロボット

工場生産の分野では過去50年ロボットの導入が行われ高い生産性を確保してきた。

1975年頃から工場の中で働く産業用ロボットは、年間10万台生産され、100万台規模のロボットが数百万人の就労者に代わって働いている。

土木施工の分野でも、高齢化、少子化、熟練者不足対策としてロボット化を推進する必要がある。
(http://www.onishi-hideo.com/gikai/toki/toki200705_1.pdf#search=次世代ロボット参照)



図1 ロボット化された土木現場のイメージ
(「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 報告書」)

図2 無人化施工

(建設無人化施工協会
http://www.kenmukyou.gr.jp/f_sekouhou.htm 参照)



(2) エレクトロニクス総プロ

土木施工の分野でも1980年頃からロボット化の研究が始まった。国レベルで土木分野へのロボット導入を最初に提唱したのは1983~1987年に実施された「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(エレクトロニクス総プロ)」である。前頁の図1がその段階でイメージしたロボット化された土木現場のイメージである。

(3) 無人化施工

1992年長崎県の雲仙普賢岳の噴火災害の復旧工事では、人間が立ち入ることができない危険な作業現場において遠隔操作が可能な建設機械を使用し作業を行う「無人化施工」が導入された。図2が工事のイメージで、全国100件を超える災害対策、災害復旧工事に導入されている。

(4) 大学・高等専門学校や

公的研究機関の法人化

2003年7月に学校経営の民営化ともいべき国立大学法人法等関係6法が成立、同10月に施行、2004年4月には89の国立大学が国立大学法人に、55の国立高等専門学校が独立行政法人国立高等専門学校機構に移行した。

独立行政法人化によって、各大学や高等専門学校は、教育のカリキュラムの立案、教職員の採用、施設整備を実施するための学校債券の発行やTLO(Technology Licensing Organization: 技術移転機関)に対する出資などを独自に行える様になった。

この様な背景の基に、全国の大学や高等専門学校で産学連携の動きが高まり民間企業の協力によるロボット化の

成果も出始めている。国立大学や国立高専の動向に私立大学も産学官協同への動きを活発化した。従来は産業界との連携に関心のある特定の研究者に限定されていた民間企業との共同研究を全学的に行う体制の整備が進んでいる。学校や公的研究機関が保有している特許などの知的財産を活用する事で他分野に較べ遅れていた土木作業の機械化やロボット化の進展が期待される。

(5) ロボット総プロ

2003年から5ヶ年計画で国土交通省が産学官連携の基に実施した、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(ロボット総プロ)」が終了した。ロボット総プロでは、熟練オペレータの操作スキルに基づいた効率的な油圧ショベルの無人化施工技術の開発、3次元情報を用いた施工管理技術の開発を主テーマとした研究が実施された。同研究では、3次元設計情報と3次元地形情報を基に施工機械の自動化などを行う技術が研究された。

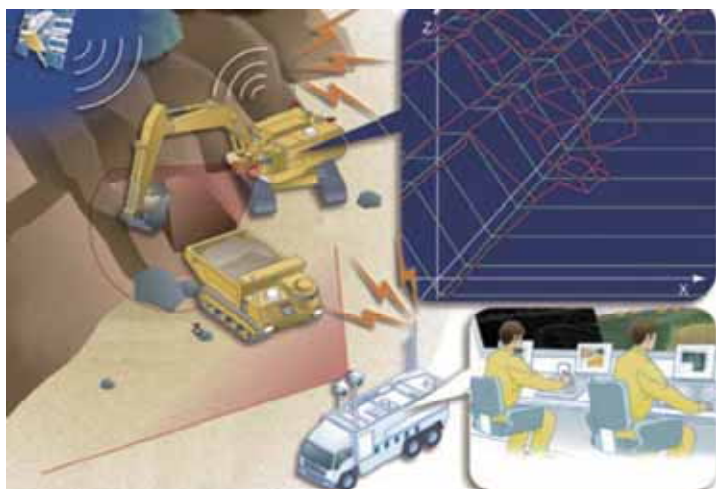


図3 IT施工システム

(国土交通省 <http://www.mlit.go.jp/tec/gijutu/kaihatu/pdf/01.pdf> 参照)

表1 異分野ロボット技術の土木ロボットへの導入の可能性

分野	活用可能な技術例	土木分野での活用案	開発機関
農業	複数台の知能ロボットが相互に通信しながら協調作業するシステム	土木工事における機械間協調に活用	北海道大学, 他…①
	農業支援のためのパワースーツ (力仕事や同一姿勢での繰り返し作業時の力添え)	土木工事における部材搬送に活用。コンクリート2次製品などの大型化, 腰痛対策に有効	北海道大学, 他
林業	脚輪連結履帯など急峻地での作業が可能なロボット	不整地現場作業などへの採用	千葉工業大学, 他
鉱業	発破作業用の自動掘削機	山岳トンネルの切羽で活用	山口大学, 他
	無人ダンプトラック	大型土工事の土砂搬送に導入	建設機械メーカ
	研究が進められている自動積込機械	のり積込などへの導入	山祇研究会(注1), 他
工業	マニピュレータロボット	土木ロボットの作業腕として活用	
医療	機能的電気刺激による遠隔操縦装置 (細かな手術を行う場合の操作支援)	建設ロボットに導入。未熟練者でも繊細な作業を行える。	秋田大学, 他…②
福祉	パワーアシストスーツ(筋力増強)	搬送及び作業支援	(注2)③
家事	家電店でも販売している掃除ロボットの技術	仕上, 転圧, グリーンカット, 施工現場清掃などに転用	
防災	レスキューロボット	床下や点検ロボット開発に展開	…④

注1：中央大学, 東京電機大学, 筑波大学, 産業総合研究所が参加した共同研究組織

注2：名古屋大学, 筑波大, 神奈川工科大学, 名古屋大学等多くの大学が研究を行っている。研究の対象は介護支援が主である。

(6) 異分野ロボット技術の土木ロボットへの導入

学校や公的研究機関で研究されている, 農業, 林業, 医療, 福祉など異分野のロボット技術にも土木ロボットとして活用可能なものがある。表1が他分野での研究例で土木ロボットへの導入の可能性を有するものである。

次項に, 表1で例示した他分野の研究テーマで土木分野での活用可能なロボットやシステムの代表例を示した。

① 知能ロボット群の協調作業(農業分野)

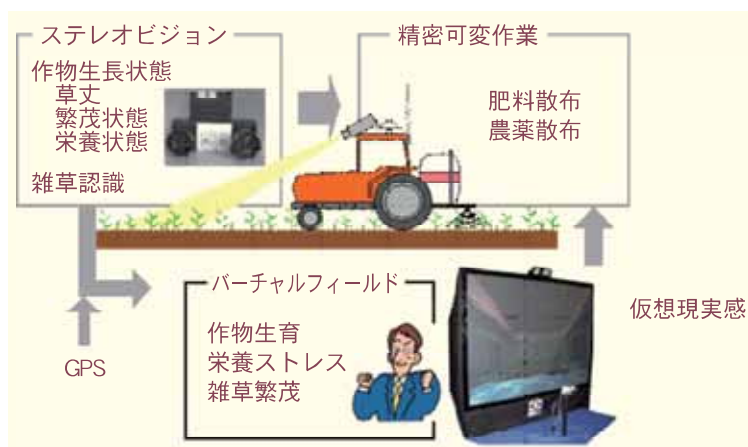
圃場1区画を複数台の知能ロボットが相互に通信しながら協調作業するシステム。造成工事など土木分野でも活用可能。

② 繊細な動きを生み出す遠隔操縦装置

秋田大学工学資源学部機械工学科(大日方五郎教授)が東急建設(株)に協力し, 医学分野で用いられている機能的電気刺激を建設ロボットの遠隔操縦装置に応用する研究を行っている。

図4 農業ロボット

(<http://avse.bpe.agr.hokudai.ac.jp/>参照)



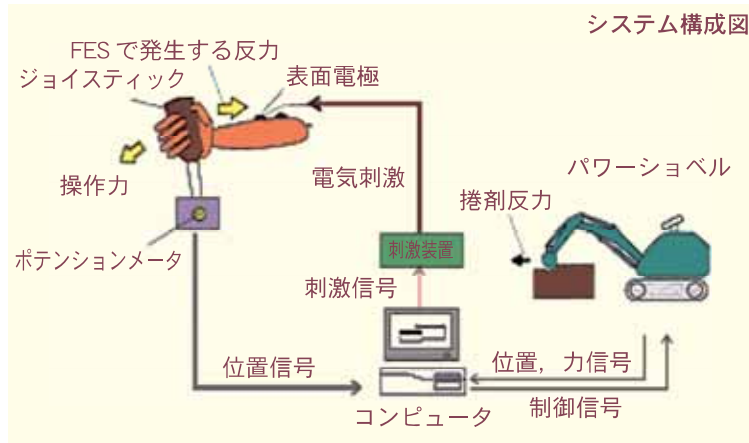


図5 機能型遠隔操縦装置
(http://const.tokyu.com/topics/1998/topics_03.html 参照)

③ ロボットスーツ HAL

ロボットスーツは、体に装着することで身体機能を拡張したり増幅する世界初のサイボーグ型ロボットである。介護支援や運動訓練など福祉や医療の分野で研究が行われてきたが、建設や荷役分野での重量物を持ち上げたり運んだりする作業の支援、スコップなどによる人力掘削時の支援などへの活用も注目されている。

写真1は、筑波大学山海研究室が開発したロボットスーツ HAL (Hybrid Assistive Limb) である。

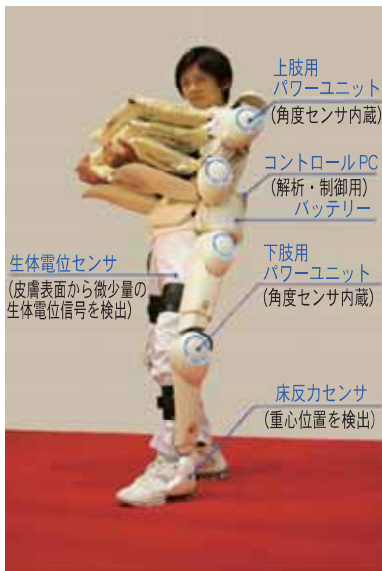


写真1 ロボットスーツ HAL

“Prof. Sankai, Univ. of Tsukuba/CYBERDYNE Inc.”

④ 床下点検ロボット

床下点検ロボットは、「狭い床下を匍っての点検は辛い、ロボット化できないか」との大和ハウスの要求で千葉工業大学がレスキューロボットを小型化して実現した。施工者のニーズ



写真2 床下点検ロボット

(<http://robot.watch.impress.co.jp/cda/news/2006/10/27/237.html> 参照)

と大学の保有技術が合体した成功例である。「こんな作業をロボット化できないか」のニーズを発見すれば土木ロボットの実現も夢ではない。

3. 学校や公的研究機関による土木ロボット関連研究

表2に大学、高等専門学校、公的研究機関による土木ロボットに関連した研究例を示す。学会等への発表実績等を基に研究例は研究が継続されているものを原則としたが、土木ロボットに活用可能な課題に関しては過去の研究事例も付記した。

前章で例示した異分野で研究されているロボット技術で土木ロボットへの展開が可能なものについても表に追記した。

次号以降、表示した研究事例を類似した機械やシステム毎に纏め、研究開発の現状、土木現場への適応性などの解析を行いたい。

表2の研究分野は、1：調査・計測、2：計画・設計、3：施工、4：施工管理・品質管理、5：維持管理、6：防災・安全化とした。

研究対象(内容)は施工に係る上記の3項が過

総合技術開発プロジェクト

総合技術開発プロジェクトは、国土交通省が建設技術に関する重要な研究課題のうち、特に緊急性が高く、対象分野の広い課題を取り上げ、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る。1972年度（昭和47年度）の創設以来、2005年度（平成17年度）までに58課題が採用された。<http://www.mlit.go.jp/tec/gijutu/kaihatu/souseika.html>

下項が2003年から5ヶ年計画で本年3月に終了したプロジェクトである。

1. ロボット等による「施工システムの開発
2. 準天頂衛星による高精度測位補正に関する技術開発
3. 持続可能な社会構築を目指した建築性能評価・対策技術の開発
4. 都市空間の熱環境評価・対策技術の開発

2項が建設施工ロボット化への研究プロジェクトで「建設機械の「施工技術の開発」及び「3次元情報を用いた施工管理技術の開発」で構成される。前者は「ロボット技術を活用して施工を自動的に行う油圧ショベル等のロボット建設機械による「施工技術」、後者は3次元設計情報と3次元地形情報により効率的な施工管理を行う技術である。土木施工分野へのロボット導入に、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（1983～1987）、建設事業における施工新技術の開発（1990～1994）がある。
(<http://www.mlit.go.jp/tec/gijutu/rd17/pdf/10.pdf#search=> 参照)

半を占めている。特に、油圧ショベルの自動化に係る研究が多くの大学で行われている。油圧ショベルのブーム、アーム、バケットが人間の腕と手の動きに酷似しているため、ロボット研究者にとって魅力ある研究課題となっている。

4. おわりに

2008年3月に終了したロボット総プロを契機に土木ロボットが新しい展開をすることになる。土木ロボット実現のキーワードは、異分野ロボット技術の導入と産官学の協調である。

表2に示した55件の研究内容は、学校や公的研究機関での土木現場に生かせる研究の事例である。これらの研究成果を現場の改善に生かすためには、研究者と施工者の交流が前提である。研究事例の6割が建設機械メーカーなど民間企業と共同で研究を進めているが、建設事業者との共同研究事例は全体の2割程度である。

建設事業者がもっと積極的に学校や公的研究機

関との共同研究に取り組み、研究成果を土木施工に採り入れていけば、現場のニーズが研究者の耳に到達し、土木ロボットの実現は更に速まることになる。

表1は、学会論文集、学術講演会予稿集などのよったが十分な調査では無い。土木作業の高度化に採用可能な研究事例、土木施工のこんな所で活用できないかなどの情報を筆者にお寄せ頂きたい。

hisatake@inrod-net.com

Phone : 045-433-5340

F a x : 045-433-5306

【参考文献】

- 久武経夫（インロッド・ネット）「第23回 国際建設ロボットシンポジウム（ISARC2006）」—ISARCの20年を振り返って—建設の施工企画 2007.1
- 八嶋厚（岐阜大学）「特集 大学新時代 第3 渉大学の新たな取組み 地方大学と地元建設関連業界との連携 大企業に負けない研究所を作る」土木学会誌

表2 建設機械のロボット化研究例

分野	研究内容 注1	研究・開発組織			備考
		学校・公的研究機関	同左研究者	協力組織	
1 5	岩盤調査ロボット メッシュネット登攀ロボット	釧路高専 電子工学科	梶原秀一助教授	計測技販(株) エースコンサルタンツ(株)	
3	農業支援のためのパワースーツ	北海道大学大学院 情報科学研究科	田中孝之 准教授	北海道大学医学部, 他	
4 5	複数の小型ロボットが協調して作業 を行う自律分散型ロボットシステム	北海道大学 大学院農 学研究科ピークルロボ ティクス研究室	野口伸教授		図4参照
4	センサー付きICタグの開発及び建 設現場への応用に関する研究	室蘭工業大学工学部 建設システム工学科	矢吹信喜助教授	財先端建設技術セン ター	
2	シールドトンネルのプロダクトモデ ルの開発	室蘭工業大学工学部 建設システム工学科	矢吹信喜助教授	東亜建設工業, JACIC, 他	注2
4	簡易 GPS ブルドーザ走行軌跡記録	岩手大学 大学院 農学研究科, 岩手県農業研究センター	古賀潔教授 須藤勇人研究員		
3	機能的電気刺激を活用した遠隔操縦 装置	秋田大学工学資源学部 機械工学科	大日方五郎教授	東急建設	
3	バケットホイールエクスカベータ自 動化	東北大学大学院工学部工学研究科 環境科学研究科	高橋弘教授		
4	バックホウのバケットに埋設物探知 /映像と力センサ	東北大学大学院 情報科学研究科	中野栄二教授		現千葉工業 大学
3	複数台数制御/ダンプトラックと積 込機械等	東北大学大学院工学部 工学研究科 立命館大学理工学部	高橋弘教授 建山和由教授		
6	色認識機能を用いた旋回型建設機械 の安全監視システム	筑波大学 知能ロボッ ト研究室	油田信一教授	MLIT 関東技術事務所, (株)インロッド・ネット	
6	環境情報を持つクビキタスタグを用 いた施工と現場の安全管理	筑波大学空間機能研究グループ 産総研和能システム研究部門	大原賢一研究員 大場光太郎研究員		
6	レーザ式測域センサ	筑波大学和能ロボット研究室	油田信一教授	北陽電機(株)	
3	腕力や脚力補強用補助服	筑波大学大学院 システム情報工学科	山海嘉之教授	サイバーダイナ(株) 大和ハウス工業(株)	写真1参照
3	人間型ロボットの建設作業への適応 性	早稲田大学理工学部 総合研究センター	高田博尾	清水建設	
3	掘削作業の自動制御	独土木研究所先端技術チーム 東京大学	山元弘主管研究員 浅間一教授		
4 5	車載型3Dカメラによる道路面3次 元形状、道路白線高精度認識、移動 ロボットの位置・姿勢認識 3Dカメラによる道路白線高精度認識	早稲田大学 施工技術総合研究所 国土総合研究所	橋詰匠教授	三菱電機 三菱電機	
5	梯子型動的輪郭モデルによる道路の 白線認識	東京理科大学電気電子 情報工学科	伊東晋教授		
5	無人ヘリコプターによる送電線監視 (土木現場の空撮などに利用できる)	千葉大学大学院工学部 工学研究科	野波健蔵教授	中国電力(株) (株)ヒロポー, 他	
3	モノレバー型半自動システム [知能 型建設機械]	千葉工業大学 ロボティクス学科	中野栄二教授	(株)インロッド・ネット 科学技術振興機構	前東北大学
3	多自由度冗長度系建設作業機械の イーゾオペレーション化	千葉工業大学 ロボティクス学科	中野栄二教授	財先端建設技術セン ター	
4 5	床下点検ロボット (土木構造物の狭隙部、海底や岸壁 の点検などへの展開)	千葉工業大学 未来ロ ボット技術研究センター 筑波大知能ロボット研究室	小柳栄次助教授 油田信一教授	大和ハウス	写真3参照
3	履帯機構、カメラ、障害物回避セン サ、物体把持アーム、遠隔操作等搭 載の半自律ロボット	芝浦工大工学部 電気工学科 ヒューマン・ロボット・イ ンタラクション研究室	水川真教授		
3	パワーショベルのロバスト制御 油圧駆動パラレルリンク機構の制御	武蔵工業大学工学部機 械システム工学科高機 能機械制御研究室	鈴木勝正教授		
1	港湾区域、海洋構造物周辺における 環境観測	東京大学生産技術研究所 海中工学研究センター	浦環教授		
3	3次元空間データを用いた施工技術 の確立	(独)土木研究所施工技術 総合研究所	山元弘主管研究 員, 上石修二	東亜建設工業, 東急 建設, コマツ, 他	
3	4足歩行型法面作業ロボット	東京工業大学	廣瀬茂男教授	大昌建設	

3	空気圧式建機操縦装置 ロボQ	東京工業大学精密工学 研究所	川嶋健嗣准教授	フジタ, MLIT 九州 技術事務所	注3
3	ホイールローダによる積込作業の自 動化	中央大学理工学部 筑波大学和能ロボット研究室 東京電機大学工学部 産総研和能システム研究部門	大隈久教授 坪内孝司教授 栗栖正充助教授 皿田滋	日立建機	山祇研究会
3	リアルタイムネットワーク上でのバ イラテラルロボットコントロール	慶応大学理工学部シス テムデザイン工学科	大西公平教授	鹿島建設	油圧ショベ ル
1	油圧ショベル自動操縦ロボットの基 礎研究	東京工科大学大学院 工学研究科	金子洋平教授	日立建機	
3	電子油圧ハイブリッド制御	東京工科大学			
3	パワーアシストスーツ	神奈川工科大学	山本教授		
3	水中バックホウマンマシンインター フェース(ワンレバー等),水中での可視化	独空港港湾技術研究所 施工・制御技術部	白石哲也室長 平林文嗣研究官		
3	触像及び相似形入力装置を用いた油 圧汎用施工機械	独空港港湾技術研究所 施工・制御技術部 筑波大知能機械シス テム専攻	白石哲也室長 平林文嗣研究官 岩田洋夫教授 矢野博明准教授	佐伯建設	
3	バックホウ法面施工支援システム	施工技術総合研究所 研究三部	上石修二	MLIT 中部地方整備 局	
3	建設ロボット用遠隔操作システム	岐阜大学工学部 人間 情報システム工学科	山田宏尚教授	カヤバ工業	
3	操作シミュレータによる建設機械の 操作性評価	福井工業大学	新谷裕和		
3	遠隔操作建機の操縦支援	岐阜大学	山田宏尚教授	デンソー	
3	油圧パラレルメカニズムとバーチャ ルリアリティ	岐阜大学	山田宏尚教授		
3	パワーアシストスーツによる大工仕 事支援	名古屋大学福祉工学グ ループ	大日方五郎教授		
3	双腕機械	京都大学	横小路助教授	テムザック	
3	油圧ショベル用1本レバー法面仕上 システム	福井工業大学 大阪大学 大学院 基礎工学科	新谷裕和 新井健生教授	神鋼リサーチ コベルコ建機	
3	ファジィ推論を用いた油圧ショベル の作業判別	大阪大学 大学院 基礎工学科 福井工業大学	新井健生教授 新谷裕和	コベルコ建機 神戸製鋼所	
4	転圧作業における地盤評価法	立命館大学	建山和由教授	前田建設	
3	人間型ロボットの作業移動-建設作 業応用を目指した基礎動作実験	大阪大学 大学院 基礎工学科 福井大学工学部助教授	新井健生教授 前泰志准教授		
6	固定及び移動カメラの協調監視によ る動体追跡技術を利用した施工現場 の安全確保	大阪大学大学院基礎工学科 福井大学和能システム工学科 名古屋大学芸術工学研究科	新井健生教授 前泰志准教授 梅谷智弘准教授		
3 5	情報・部品一体化生産システムの研 究開発	大阪大学大学院基礎工 学研究科 早稲田大学 青山学院大学	新井健生教授 長谷川幸男名誉教授 玉川鉄也教授	NEDO, 清水建設, トステム, 日立造船情報シス テム	
	RFID タグ付建材で材料・施工等の ライフライン管理	大阪大学マテリアル生 産科学専攻	荒井栄司教授	清水建設	
	ID タグを用いた建設部材の位置・ 姿勢推定	大阪大学 名古屋市立大学大学院 芸術工学科	新井健生教授 梅谷智弘助教授		
3	自動掘削機を用いた発破作業	山口大学		間組	
5	地下ライフラインの維持管理	香川大学	神崎正教授	NTT インフラネット	前大成建設
3	映像下でのブルドーザ排土板の高さ と傾きの調整精度の評価	九州大学大学院 システム情報科学研究院	松永勝也教授	MT ラボ	図3参照
4	河川工事の出来形検査における3次 元データ利用へ向けた実証実験	熊本大学 空間デザイン研究室	小林一郎教授		

注1：分野区分は下記とした。

1：調査・計測，2：計画・設計，3：施工，4：施工管理・品質管理，5：維持管理，6：防災・安全化

注2：JACIC 日本建設情報総合センター

注3：MLIT: Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (国土交通省)

注4：NEDO：新エネルギー・産業技術総合開発機構