

# 第23回 国際建設ロボットシンポジウム (ISARC)

## — ISARC の20年を振り返って —

久武 経夫

1984年に米国ピッツバーグのカーネギーメロン大学にて第1回を開催した国際建設ロボットシンポジウム (ISARC) は、各国を巡回開催し、日本では、第5回 (1988年)、第9回 (1992年)、第13回 (1996年)、第23回 (2006年) に開催されている。

日本で最初に開催された第5回のISARCは、バブルの絶頂期では、建設施工の自動化・ロボット化への研究は様々な施工分野で闊達に行われたが、1990年のバブル崩壊によりロボット熱が沈静化した。

1992年の雲仙普賢岳の火山災害を契機に、建設機械の遠隔操縦を前提とした「無人化施工」が危険作業の分野で一般化し、ロボット化研究の一翼を担うようになって来た。景気低迷や建設投資抑制など厳しい経済環境の中で、安全施工、苦渋作業の回避などへの社会的な要求を背景に、実用化を目指した新たな展開が始まっている。

ロボット技術 (RT) や情報処理技術 (IT) の急速な進歩によって、従来、困難とされていた建設など屋外作業における高度な省力化・自動化・ロボット化の実現が可能になってきたが、解決しなければならぬ問題も数多く残されている。これら、建設業をめぐる諸問題を解決すべく建設分野のロボット技術の開発とその導入、普及促進などへの寄与が期待されている。

キーワード：国際建設ロボットシンポジウム, ISARC, IAARC, 建設ロボット, 産学共同, RT

### 1. はじめに

今回のシンポジウムは、日本を含め諸外国の建設産業における建設ロボット分野の技術革新と建設生産システムの近代化促進を目的に、「建設産業をリードするロボット技術 (RT) & 情報技術 (IT)」を総合テーマとした。

シンポジウムでは、国内外の土木・建築をめぐる建設活動へのロボット導入の現状と将来を展望するとともに、建設ロボットの要素技術に関する研究、ロボットの適用事例、ロボット化施工に対する計画・管理技術、コンピュータによる情報化施工、環境、防災、安全回復、リニューアル、急速施工などが発表された。

本稿では、第9回 (1992年) を除くと、1988年以降ほぼ10年間隔で日本で開催された第5回 (1988年)、第13回 (1996年)、第23回 (2006年) のISARCの参加者数と参加者の属性の推移、日本の技術者による発表論文の内容変遷、技術革新の時系列的な発展傾向の分析を行った。分析を通じて下項が明らかとなった。

- ①現在も進行中の建設ロボットの多くが1988年の段階で研究に着手されていた
- ②研究の対象が個別のロボット研究から情報化施工や

維持管理などの分野に拡大している

- ③大学の存在が研究の継続を支えている

### 2. 建設現場へのロボット導入

#### (1) ISARC2006における発表技術の現状

計画・管理技術では、シミュレーション手法を用いた建築計画、部材等をモデル化した建設計画支援、複数機械による施工空間の共有の手法、人間とロボットの共存の在り方などが議論された。

GPSや光学系のセンサを融合した3次元の位置計測技術や機械位置制御システム、3D設計図に基づく掘削施工など、計測制御技術を駆使した情報化施工が道路や造成などの施工分野での研究の潮流となっている。

施工機械群の遠隔操縦によって、施工現場に作業者が立ち入らない無人化施工に関連した報告も行われた。

RFIDや空間の情報伝達手段を用いた、人、機械、資材の所在と属性管理、道路や建築施工現場での所在認識など、新しい発想の報告もあった。RFIDなどの外部記憶装置は、設計・管理用コンピュータシステム

表一 建設活動へのロボット等導入 (ISARC2006)

		ISARC2006 発表技術	将来の展望
計画・管理技術		部材などをモデル化した建設計画支援システム, ライフラインなどインフラのGIS情報, プロブレムシミュレーション	管理情報入力の自動化・高速化 計画・管理支援システム導入による誤計画抑止やコスト削減の実効性確認
情報化施工 (IT construction)		設計・施工・施工管理・維持, コスト管理の統合化 設計情報の3D表示, 3D施工支援システム, 自動掘削・整形 出来高管理可搬端末の改良	設計とロボット機械制御の情報融合
無人化作業	全自動ビル建設システム	施工の統合管理, 複数クレーンの干渉回避, RF-IDに依る施工情報取得	有人作業部のロボット化 (搬送・設置・溶接など, 全作業プロセスのロボット化など)
	施工の無人化	施工機械の遠隔操縦化技術 掘削・積込機械の自動化 (ホイールローダ, 油圧ショベル)	各種工種への無人化技術の展開 対象物の認識 自動化, 施工機械群の統合管理
防災, 安全回復		探査ロボット, 救援・復旧ロボット, RFIDによる空間管理, その他	実現場での成果実証
リニユーアル	状態の調査・計測	状態監視計器の統合管理 (橋梁), 道路の路面状態の検査 トンネルや管内検査ロボット	交通流を阻害しない高速検査, 最終検査レベルの検査制精度, 機器・ソフトウェアの標準化を通じた広域利用
	修復	煙突や下水道管内の清掃など狭隘・悪環境作業のロボット化	多様な空間への対応
急速施工		全自動ビル施工	在来工法を凌駕する施工速度の実現

表二 施工分野別のロボット化などの事例の時代変遷

施工分野	1988年	1996年	2006年
造成, 一般土工	転圧機械の自動運転 石積みロボット	スクレーパ作業シミュレーション	油圧ショベルの半自動掘削
道路	遠隔操縦 舗装切断ロボット 地盤圧密度検査ロボット化	作業機構軌跡・起点・終点指示で自動掘削 リアルタイム圧密データ管理	掘削・舗装目標の3D (GPS, 光波) 表示, 3D設計データに基づく自動掘削など。 路面性状調査システム
トンネル・シールド	シールドトンネルのロボット施工, 自動検査	セグメントの搬送, 締結の自動化, マルチメディア管理, トンネル用無線テレメータシステム, TBMの自動化	資材の自動搬送 検査・保守・運用支援ロボット
地下	地中連壁施工のコンピュータ制御	地中壁自動掘削, ウォータジェット式パイル切断, オープン/ニューマチックケーソンの自動化	—
建築	ハンドリングや仕上作業のロボット化, ロボット化用壁面材料 施工計画シミュレーション	全自動ビル建設システム ボード設置他ロボット	3Dモデル, 3D-CADを用いた施工管理
ダム, 湖水		クレーン自動化	—
河川, 湖水	橋梁ピア昇降ロボット	堤防検査, 自動浚渫他	—
海洋	捨石均しのロボット化	—	水中バックホー作業・調査船高精度位置決め技術
その他	計画用エキスパートシステム	—	—

と個々の施工ロボット間のデータ授受, 資機材と施工機械や施工ロボットを連繋するツールとしての活用も期待されている。

その他, 状態監視や検査ロボット, 清掃や再生など, 維持管理に係わるシステムの発表も今回の特徴として

上げられる。

表一に, その概要を示した。表中の将来への展望は, 発表論文の展望記述に依った。

## (2) 工種別のロボット化事例

表二に, 第9回を除く約10年毎の開催時の発表

事例について、施工分野毎に特筆すべきロボット化や高度化の事例を示した。

一般の土工事に用いられる汎用建設機械の高度化は、1988年代の遠隔操縦から半自動システムに展開している。但し、発表の多くは試作機械の段階で、商品として市場に供給はされていない。

道路工事用の機械・システムに関しては、個々の機械の遠隔操縦や自動化から、GPSや光学系センサにより計測した位置を目標とした自動掘削が一般化しつつある。

シールドやTBMなどトンネルは、1996年の時には各社が発表した、セグメントの搬送、組立、締結などの自動化から、検査・保守・運用支援システムなど、維持管理にシフトしている。地中連続壁やケーソン工事などに関して、今回は報告例が見当たらなかった。

ビル建築の自動化システムは、後述の早稲田大学を中心とした研究開発コンソーシアムが契機となり各社が研究を行った。今回も複数件の研究成果が発表されている。

ダム、トンネル、大型造成工事など、大規模施工に関する発表が少ないのが今回の特徴である。

### (3) 機械別のロボット化事例

ロボット化発表事例の時系列的な推移を機種別に分類した結果を表一3に示す。表一3では、今回のシンポジウムで発表されたロボットの内、実際の作業現場に採用された研究成果を過去に遡り検証した。

共通技術である、屋外での位置決め技術に関しては、GPSやレーザスキャナなどによる位置決め精度の向上がロボット施工を容易にした。カメラシステムを用いたリアルタイムの位置認識も最近の技術である。

油圧ショベルに関しては、この20年、基本的な技術は変わっていないが、掘削対象地形や機械の姿勢をモニタに表示する高速データ処理とビジュアル化が最近の特徴である。

1996年時にシミュレータの製作が発表されたブルドーザに関する研究発表は無かったが、後述する、ローダの自動化システムが10年間の研究成果を一気に発表した。

その他、レスキュー、自動車椅子、脚ロボット、マニピュレータなど、多様なロボットが発表された。個々の作業のロボット化から作業単位で機械やロボットを見たシステム化指向が今回の特徴の一つである。但し、報告文書から判断すると、積上げの成果継承が行われていない事例も見受けられた。

表一4に、油圧ショベルなどマニピュレータ機能を有する移動ロボットの自動化研究例を示す。ブー

ム・アームを持つ油圧ショベルは、フィールドロボットの研究対象として選ばれ易いのか、多くの研究機関が研究の対象としている。

(株)フジタによるポータブルロボットは、建設機械の座席に設置したロボットアームが人間の代わりに機械を操縦する装置で、ブルドーザやクローラダンプトラックにも搭載実績がある。

後述の、独立行政法人空港港湾研究所が開発中の水中バックホウは、海中での実験も終え、実用段階に達している。

今回は、油圧ショベルをベースマシンとした双腕型機械が3種類発表された。ランカスター大学は、5自由度の油圧ショベルに6自由度のマニピュレータを搭載した11自由度を有する機械で、原子力発電プラントの解体などの工事を行うことを想定して開発された。

油圧ショベルの操縦の容易化や自動化研究に関連し、今回は報告されなかったが、後述の千葉工業大学の中野教授が、操縦支援、半自動操縦の研究を進めている。

本報では網羅できなかった、過去10年間のトピックスとして、キャタピラー社の支援による、カーネギーメロン大学の研究成果も注目すべきである。

### (4) 国・組織別参加者

#### (a) 組織別参加者

表一5は、ISARCの、第5回(1988年)、第9回(1992年)、第13回(1996年)、第23回(2006年)の参加者数を、国別、所属組織別に分類したものである。上記開催毎の参加者の傾向として、下記がある。

- ①2006年の基調講演、パネルディスカッションなどを除く発表論文数は、1996年の1.4倍である。
- ②国外論文の比率は、1996年40%から2006年51%と増加している。
- ③国外は従来から大学の参加が中心であったが、国内においても大学の発表数が激増している。総発表数の内大学が関与した発表は、1996年44%、2006年66%である。内国内では1996年23%、2006年47%である。日本では、大学が関与した発表数が1996年の3倍、大学単独の発表が5倍に増加している。公的研究機関の発表数の増加も顕著である。独立行政法人化、大学法人化の影響が顕著に顕れたものと思われる。
- ④国内組織での大学と民間企業の共同発表の数には大きな変化は見られず、共同研究までの展開までに至っていない。その中で、公的研究機関を中心に複数大学や企業も巻き込んだ共同研究体による成果発表が注目される。本件に関しては、別節で詳述する。

表-3 機械別のロボット化発表事例の時代の変遷

		第5回 1988年	第13回 1996年	第23回 2006年
共通技術 (センシングシステムなど)		レーザービーム式3次元位決め 技術データベースの構築 ミリ波利用の提案 人工知能, バーコード管理	ノンプリズムTSによる自動地形計測, 複数レーザービームによる2次元位置認識, 2眼位置認識, 立体視, 超音波トランス スポンダによる機械安全化システム	高精度位置認識/レーザーキャナ・GPS・ カメラ・超音波, 人感センサ現場安全管理 固定・移動カメラによるトラッキング RFID技術
汎用建設機械	油圧ショベル	作業端高度化(石積みロボット) バックホウ自動掘削モデル フロントショベルの水平押し出し システム	作業機構軌跡・起点・終点指示 で自動掘削 埋設物探知47中野	実機実験, 機械の3D位置・姿勢 表示, 設計データに基づく自動 掘削, 把持等力帰還センサ, モ ノレバー操縦支援システム
	ホイール及びク ローラ型ローダ	水平押し出し制御 自動化研究用モデル構築	模型の軌道制御	模型・バーチャル実験 対象の認識・モデル化, 自動積込
	ブルドーザ	軟弱地盤走行時の最適操縦	運転シミュレータの開発	
	グレーダ モータスクレーバ	レーザー均平装置	スクレパカッチングエッジの 位置制御	GPS・光波によるレベル計測・制 御
	転圧機械	コンパクト無人走行, 仕上検査ロボット	位置認識, 無人運転/振動ローラ	
	クレーン	クレーンとマニピュレータロボッ トの協調 ワイヤ式2次元空間対応クレーン クローラクレーンの吊荷高さ制御 クランプの遠隔切離し	クレーンとマニピュレータロボッ トの協調 クレーン視界運転支援 ケーブルクレーンの自動運転 クレーンの可動領域設定・制御	—
マニピュレータ・ ハンドリングロボッ ト	空圧式・バランス付マニピュレータ ボード設置・石積みロボット 水平ディストリビュータ 6自由度マニピュレータの最適経路	耐火被覆吹付・ボード設置・軽量 部材設置・内装仕上ロボット 超遠隔操作ロボット, 4脚マニ ピュレータロボット	5~6自由度マニピュレータ 双腕型マルチアームロボット	
移動ロボ ット	水平面移動	レーザー・超音波他に依る位置認識 路面切削・コンクリート打設・仕上げロボット, 転圧仕上検査ロボット クリーンルーム検査ロボット, 宇宙ロボット	6汎用移動体	GPS・光波による位置認識
	凹凸・階段	—	6脚作業ロボット	レスキュー, 脚ロボット, 自動車椅子
	ヒューマノイド	—	—	画像解析による対象認識
	アシストスーツ	—	—	作業補助, 腕力増強
	壁面 煙突内	壁面検査, 塗装ロボット 壁面歩行ロボット	壁面塗装ロボット, 耐火被覆吹付ロボット	塗装 自動昇降・清掃ロボット
トンネル用機械	セグメント設置等・シールド自動制御 削孔・コンクリート吹付け・打設ロボ ット レーザー仕上計測等・トンネル自動検 査ロボット	セグメント搬送・設置・掘削自動化 小口径・TBMの全自動掘削 削孔・溶接ロボット 走行型自動保守ロボット 地中無線テレメータ	検査・保守・運用支援ロボット	
地下施工機械	コンピュータ制御地中連壁施工機械 地盤改良機	ケーソン内自動掘削, 立孔掘削ロ ボット, 地中掘削機の最適制御	—	
ビルディング施工機械	遠隔操縦・自動ロボット, 各種ハンドリング/仕上ロボット ビル建設プロセスシミュレーシ ョン	半/全自動ビル建設(上階持上・外 壁施工・溶接・資機材搬送) ドーム建設へのロボット導入 ロボット化対応のプレキャスト部材	施工管理	
海洋機 械	海底調査・作業	8脚式捨石均し機械 6脚水中調査ロボット	—	水中バックホー操縦支援, 超音波形状認識 水中調査ロボット
	水中浮遊型	—	—	深度, 姿勢制御可
	作業・調査船	—	—	高精度位置決め技術
調査	打音式壁面内検査装置	土工現場検査・空調検査ロボット	路面調査	
その他	単管パイプ清掃・修復ロボット パイプライン・管路検査ロボット	超音波トランスポンダ式対物監視 パイプライン自動溶接	—	

表—4 油圧ショベルなどマニピュレータ機能を有する移動ロボットの自動化研究例 (ISARC2006)

発表内容		報文頁	国	発表者
1	水中バックホーの海底地形認識と操縦の容易化など	36,52	日	空港港湾研, 筑波大学, 佐伯建設
2	ステレオビジョン, レーザスキャナを用いた3D計測, 作業動作分析	24,252,527,543	日	土木研究所, 東大, 理化学研究所
3	マスタースレーブマニピュレータ	499	日	鹿島建設
4	ポータブルロボット (機械の座席に設置)	642	日	フジタ
5	GPSを用いた3-D運転支援システム	7	フィ	Oule 大学
6	マルチアーム レスキュー用機械として開発された双腕型油圧ショベル	237,669	日	テムザック
7		539	日	日立建機
8	6自由度のマニピュレータを5自由度の油圧ショベルに搭載	231	英	ランカスター大学

表—5 国際建設ロボットシンポジウム国・組織別参加発表報文数

		第5回	第9回	第13回	第23回
開催年		1988年	1992年	1996年	2006年
開催月日		6.6~8	6.3~5	6.11~13	10.3~5
(除基調講演等) 発表数	国内	52	54	63	77
	内外		4	4	1
	国外	37	41	43	80
	合計	89	99	110	156
国内	大学	11	5	4	19
	大学・公的研究機関	1	1	1	7
	大学・民間企業	1	6	7	6
	大学・公的研究機関・民間企業				4
	公的研究機関	4	10	5	11
	公的研究機関・民間企業	2	3	9	3
	民間企業	34	29	37	27
国外	大学	25	30	32	58
	大学・公的研究機関			1	4
	大学・民間企業		1	3	5
	公的研究機関	8	6	5	11
	公的研究機関・民間企業			1	
民間企業	3	4	1	1	

注：JHも公的機関とした。

(b) 国別参加者

国内で開催された、過去4回のISARCについて、国別の参加傾向を調査した。表—6に調査結果を示す。

現在までに、延べ28カ国からの参加があり、海外からの参加者の比率が増える傾向にある。第5回の参加は10カ国であったが、第9回12カ国、第13回16カ国、今回18カ国と、回を重ねる毎に増加している。当初は、米、英、仏、独が、海外からの参加者の主流を占めていたが、参加者の増加に従ってその比率は低下している。開催回毎の新規参加国が参加者数を押し上げる結果となっている。今回は、特に、台湾と韓国の発表者が全発表者の4分の1を占めている。

(c) 大学が関連した研究課題の変遷と研究の継続性

表—6 国際建設ロボットシンポジウム国別発表報文数

	第5回	第9回	第13回	第23回
	1988年	1992年	1996年	2006年
日本	52	54	63	77
アメリカ	16	17	8	8
イギリス	6	12	11	3
ドイツ	3	2	5	4
フランス	6	2	1	
オランダ				2
イタリア				2
スペイン			1	3
ルーマニア				3
ハンガリー		1		
チェコスロバキア		1		
チェチェン			1	
ロシア		2	1	
ポーランド			2	1
フィンランド	1			1
スエーデン		1		
デンマーク	1	1		1
イスラエル			1	1
クエート			1	
イラン				1
インド				3
カナダ	1		1	1
オーストラリア	1	1	2	4
ニュージーランド			1	
中国	1	1		
タイ			1	
台湾			7	26
韓国				16
国際		4日/米	3日/米	1台/米
参加国数	10	12	16	18
合計	89	99	110	156

表—7に、国内で開催された、4回のISARCの内、第5回(1988年)、第13回(1996年)、第23回(2006年)における大学の研究発表の課題と発表者を示した。大学が関連した研究発表の特徴として、下項がある。

表一 国内開催の ISARC における大学が関連した研究課題の変遷と研究の継続性

	発表の内容	発表者	開催年・報文掲載頁			備考
			1988	1996	2006	
1	建設施工のロボット化の現状と将来	東京理科大学	239			
2	地下ライフラインの維持管理	香川大学			30, 293	
3	WABOT-HOUSE 研究所の紹介	早稲田大学			152	
4	プロジェクト管理におけるリスク分担	京都大学			381	
5	人とロボットの協調の在り方	京都大学			388	
6	建設と車の生産プロセスの差異分析と新提案	京都大学			371	
7-1	ビル建設ロボット導入	早稲田大学	213			長谷川教授 WAS COR プロジェクト 展開特許出願：31 嘉納教授
	ビル建設施工ロボット化に向けた作業分析	早稲田大学				
	ビル自動建設施工情報管理システム	早稲田大学		925		
7-2	エキスパートシステムと施工計画	早稲田大学	521			嘉納教授
	床面昇降による建設空間確保	早稲田大学			176	
	施工管理と 3D-CAD, バーチャルリアリティ, RFID, 映像	早稲田大学			430	
8	木造住宅向け CAD-CAM システム	東京大学			357	
9	衝突回避法を用いたモジュラー構造物の組立	東京工業大学			853	
10	建築用 2 次元移動型クレーン	東京大学	661			
11	クレーンと産業ロボットによる重量物ハンドリング	東京大学	747	113		新井教授
12	ID タグを用いた建設部材の位置姿勢推定	大阪大学			164	
	RFID タグ付建材で材料・施工等ライフサイクル管理	大阪大学			365	
13	ホイールロードスケールモデルの軌道制御	山祇研究会		699		山祇研究会メンバー による発表
	自律型ホイールロードによる積込システム	筑波大学			466	
	ホイールロード岩石の自律掘り込み作業時の外乱監視	中央大学			472	
	バケット掘り込み作業時の岩石山の反力分析	東京電機大学			476	
	履帯系車両のバーチャルモデルの軌道制御	産業技術総合研究所 (産総研)			482	
	ブレーカによる岩石破碎の対象認識と最適位置制御				487	
14	パイプライン検査ロボット	東京理科大学	887			福田教授
	6脚ミニビュレータロボット	名古屋大学		261		
	3D 映像等によるクレーン操縦支援	名古屋大学		581		
	空調検査ロボットの視覚ナビゲーション	名古屋大学				
15	可変ベクトルプロペラを用いた小型水中移動体の開発	長崎大学			66	
16	プレハブ壁材を用いたビル壁面ロボット施工	東京理科大学	441			
17	壁面検査用歩行ロボット	宮崎大学	581			
18	壁面昇降型窓清掃ロボット, 未来機械	香川大学			215	
19	建設施工用自動走行車両	大阪大学	249			
20	重量物搬送用 4 脚移動ロボット	香川大学			221	
21	フォークリフト型階段昇降ロボット	産業技術短大			206	
22	段差を昇降する 6 脚ロボット	大阪大学			225	新井教授
	ヒューマノイドロボットを用いた…	大阪大学			517	
23	パワーアシストスーツによる搬送作業支援	名古屋大学			523	
24	スクレーパカッチングエッジの数値制御	東北大学		587		高橋教授
25	軟弱地盤におけるブルドーザの最適操縦	愛媛大学	717			室教授, 他
	隔壁掘削自動化システム 掘削機と地盤の反力予測	愛媛大学		285 625		
26	自動削孔機を用いた発破作業	山口大学		285		
27	リアルタイムネットワークを用いたバイラテラルアームロボット制御	慶応大学			548	
28	屋内解体作業用破砕機械の作業性の評価と改善	慶応大学			822	
29	熟練オペレータによるバックホウ操縦技術の解析	東京大学			543	
30	バイラテラル型水中バックホウ	筑波大学			36	
	遠隔操縦バックホウの操縦性評価	空港港湾研究会			52	
31	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		547		中野教授
32	車載型 3 次元路面形状計測	早稲田大学			569	早稲田大学, 他
		国土総合研究所				
	3D カメラによる道路白線高精度認識	早稲田大学			675	
33	複数センサの組合せによる防波堤の観察	東京大学			72	
34	転圧作業における地盤評価法	京都大学		645		建山教授
35	固定及び移動カメラの協調監視による施工現場の安全空間の確保	大阪大学			182	
36	RFID タグ等をも用いた施工現場の安全管理等	筑波大学			158	
37	音源探求による周辺理解	名古屋大学	325			

注：転・就職などで結果的に共同発表の形態となった事例も含む

①早稲田大学

早稲田大学の研究室の様に、20年間ビルディング等建築構造物の施工合理化を追求し、成果発表を続けた事例（表中7-1, 7-2項）がある。同校では、建設作業用ロボット開発のための基礎的な調査研究を目的として、1982年～1995年の14年間、大学と民間13社の共同研究「WASCOR研究プロジェクト」を運営し、多くの学会発表と31件の特許出願を行っている。上述の3回のISARCでの発表例は無いが、1973年に発表されたWABOT-1はヒューマノイドロボットの先駆けとなった。今回紹介された「WABOT-HOUSE研究所」（表中3項）によって、これらの研究の継続性が保障された。大学を核とした研究体制の整備と研究の継続性を担保するための外部組織との連繋が特徴である。

②山祇研究会（研究組織の連繋）

中央大学・筑波大学・東京電機大学・独立行政法人産業総合研究所が参加した「山祇研究会」に日立建機（株）が協力した研究集団が、ホイール（写真-1）若しくはクローラ型ローダによる積み込み作業自動化の研究を行っている。研究会に属している研究者のISARCでの研究成果発表は、1996年に1件、今回は、ホイールローダによる掘削・積込作業、履帯系車両のバーチャルモデルの軌道制御、ブレーカを装備した油圧ショベルによる岩石破碎作業の自動化関連5件（表中13項）の研究成果の発表を行った。各研究機関・研究者が得意分野を持ち寄って補完的な研究体制を確立している。持続的な成果を上げて行く効率的な研究手法で、これからの研究の在り方を示唆するものとして注目される。

③独立行政法人空港港湾研究所（水中バックホーの研究）

空港港湾研究所が主体で研究を推進している水中バックホー（図-1）は、特定研究領域では、筑波大学

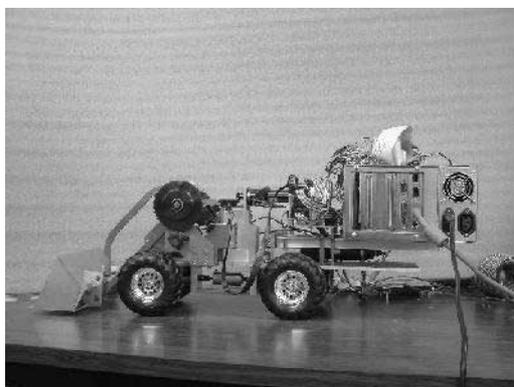


写真-1 ホイールローダ

や佐伯建設（株）などの知見を集約して効率的な研究を推進している。非搭乗の水中機械を自在に操縦するためのワンレバー型の操縦支援装置、濁水中の掘削対象物の位置と形状を認識するための超音波式対物認証システム（超音波トモグラフィー）などの研究を進めている。今回の報告では、簡易操縦装置による操縦の容易化とバケットの位置と反力から海底の地形推定などの実験結果が報告された。

④独立行政法人 土木研究所（油圧ショベル自動化の研究）

土木研究所による油圧ショベル自動化の研究成果では、1988年（第5回）で、バケットの軌跡制御の研究成果が発表されている。その後、ファジー制御などの研究を経て今回の発表に至っている。20年越しの研究である（図-2）。

自動化を指向する今回の研究では、東京大学、理化学研究所が関連した研究を行っており、その成果も併せ発表された。

⑤その他の大学と民間企業や公的研究機関との連携

②の日立建機（株）の他、名古屋大学（表中14項）、愛媛大学（表中25項）、慶応義塾大学（表中27,28項）、早稲田大学（表中32項）などがある。東北大学（表中31項）も1987年の研究開始以来、複数の民間企業との共同研究を経ている。

今回実施した発表傾向の分析結果では、研究の効率化を求める企業とのロボットや映像処理技術などの研究成果活用を求め大学とは、現場での活用を企図した共同研究を今後更に積極的に展開するものと思われる。

図-3は、慶応義塾大学と日立建機（株）による、建築物の屋内解体作業用の破碎機械の作業性の評価と改善の研究対象機械である。

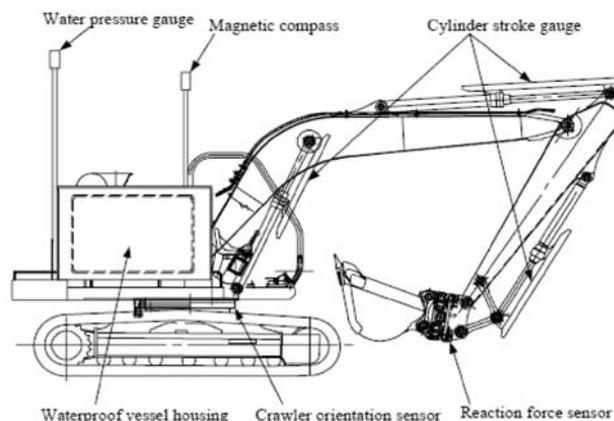
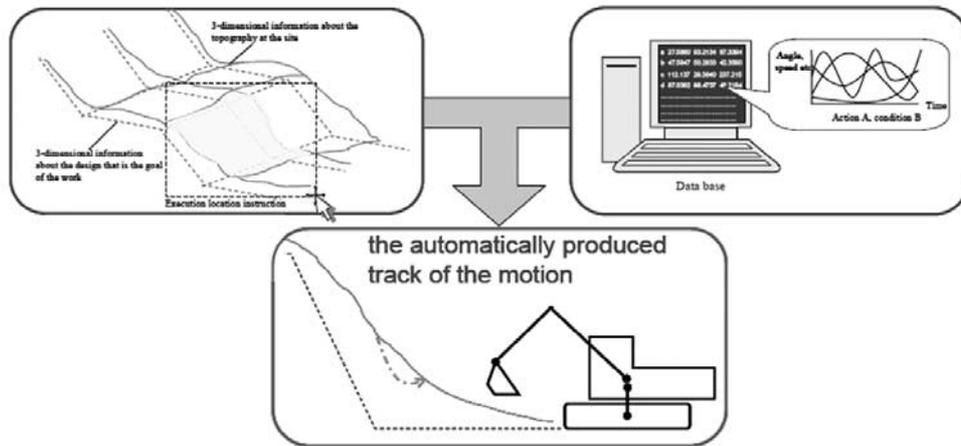


図-1 水中バックホー



図一 油圧ショベルの自動制御（施工情報とロボットの融合）

える要素技術を例示した。

#### 4. おわりに

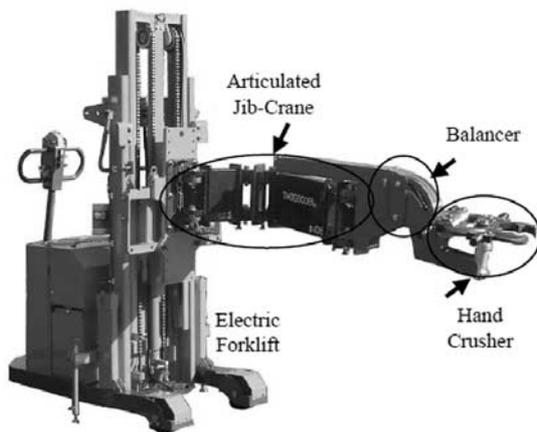
10年ぶりのISARCの開催が、参加者数、参加国数ともに過去の開催例を上回り、成功裏に閉会した。今回の国内開催を、10年後とすると2016年となるが、少子化・高齢化の中で作業のロボット化への要求は更に高まるものと想定される。

過去20年間の研究を総覧した結果、研究の実を上げるためには、研究の継続が最も重要である事が判明した。課題によっては、10～20年の研究期間を要している。筆者等が携わった、日鉄鉱業(株)の石灰採掘現場で採用された無人ダンプトラックは、スケールモデルやシミュレーションによる基礎研究を開始してから現場で採用されるまで8年間、現場での玉成に更に3年間の研究期間を必要とした。その間、代替案などの周辺技術の研究に大学に支援頂いた。

1996年に発表された、千葉工業大学中野栄二教授による、油圧ショベルのイーザーオペレーション化と半自動化の研究は、東北大学在籍中の1986年の研究開始以来、研究が20年間継続されている。この研究に協力した民間企業が、4回交替したが、現在まで研究が途絶える事は無かった。

大学の協力による持続性、周辺技術への研究展開による研究課題維持の安定化は、期間限定のプロジェクトで成果を見ずに終了した研究が多々存在する中で、課題の延命策や今後の研究の在り方を示唆するものとして注目される。研究の継続性に留意した支援施策が求められる。

尚、国際建設ロボットシンポジウムの第1回（1984年）～第14回（1997年）の14年間の発表論文についてはデータベース化され、テーマの変遷など詳細な



図一 破砕機を装備したフォークリフト

### 3. 無人化施工

無人化施工については、「ロボQ」など要素技術の発表の他、無人化施工に関する総括的な報告も行われた。

1993年に長崎県雲仙普賢岳に導入された無人化施工は、「人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」と定義され、以来、災害復旧現場を中心に150現場で導入されている。

無人化施工の実現には、人力で行われている様々な作業の機械化と作業機械の遠隔操縦化が前提となる。13年間の無人化施工の実績の中で、転圧機械や運搬機械などの自動化も試みられている。遠隔操縦～半自動化～自動化への展開の道程として注目すべきである。危険現場の安全施工を目的に、国が積極的に支援し、組織的、継続的な導入を行って成果を上げた例として注目すべきである。表一8に、無人化施工を支

表-8 無人化施工の技術進展

	導入技術	稼働条件, 装着機器・システム	使用例他
<b>制御</b>			
	機側での遠隔操縦	機械, オペレータ距離50m以内	鉄鋼プラント
	現場映像を見て遠隔操縦	同上50m以上, 現場が見通せない	
	・同上	立体視/対象物間の距離情報の付与	眼鏡利用での試行例
	操縦の容易化	操縦かん	
	作業機の軌跡表示	施工目標と作業機の位置を表示	
	作業機の半自動制御	作業機位置・姿勢制御	
	作業機の全自動制御	反復作業	品木ダム, 霞ヶ浦
<b>計測</b>			
	機械稼働情報の帰還	機械の状態を操作室に伝送	雲仙普賢岳
	GPS機械位置情報の追加	地形, 転圧面積, 転圧回数, 沈下量	雲仙普賢岳
	機械の姿勢・対象位置情報	姿勢や対物距離センサ	コンクリート吹付け実験/国土交通省
	遠隔測定器の搭載	地形, 地盤強度, 地表温度, 他	災害調査車両
<b>機械・システム</b>			
	非搭載型建設機械	遠隔操縦機能を標準装備	災害調査車両/用ベースマシン他
	操縦ロボット/ロボQ, ALT	空気/電磁アクチュエータによる遠隔操縦	国土交通省, 西尾レントール(株), 他
<b>電波</b>			
	アンテナ自動追尾/建設機械搭載	50GHz帯の高画質映像伝送	日立建機(株), (株)熊谷組, MHI
	中継等による長距離伝送	制御信号と画像の多重伝送	雲仙普賢岳, 有珠山, 他
	高出力電波の特例利用	災害復旧用/1.25W/地域限定	雲仙普賢岳, 北海道有珠山
	複数機械情報の多重伝送	400MHzの6波を50GHzで統合	雲仙普賢岳で実験
	遠隔操作器(操縦桿)	操縦装置・送信機の共通化	国土交通省北陸地方整備局
	双方向多重伝送	制御信号と画像の多重伝送	国土交通省関東技術事務所
	無線LAN	接続の汎用化による多重化, 広域化	五洋建設(株)
	無線・有線LAN	複雑な地形への対応, 遠距離化	谷沢川無人化施工/国土交通省

注: Kitahara, Yoshida "Deployment of construction robots applying the information technology and network system" 23th ISARC 2006.10 に筆者が追記した

トレンド分析が行われた。分析結果は、第14回(1997年)、15回(1998年)シンポジウム及び「建設作業のロボット化」(株)工業調査会 1999.6で報告されている。

JICMA

《参考文献》

- ・第5回, 第9回, 第13回, 第23回国際建設ロボットシンポジウム 予稿集
- ・上野高敏「国際建設ロボットシンポジウム (ISARC) の論文傾向分析」建設作業のロボット化 pp.649—658 (株)工業調査会 1999.6



【筆者紹介】

久武 経夫 (ひさたけ つねお)  
株式会社インロッド・ネット  
代表取締役