

## CONET 2003 アカデミーロボットの開発状況 —大学など公的研究機関における建設ロボット研究—

久 武 経 夫

建設施工ロボット化の研究は民間企業主体に進められているが、一部の大学や公的研究機関においても、基礎的な共通技術の開発が行われている。CONET 2003 では、これらの大学や公的研究機関による建設施工ロボット化に向けた要素システムやアプリケーションシステムの展示を行った。大学、公的研究機関の独立行政法人化が進められ、民間企業と協力した実用性のある研究が課題となっている。CONET 2003「アカデミーコーナ」出展を契機に産官学連携の活発化が望まれる。

キーワード：建設ロボット，大学，公的研究機関，産官学共同

### 1. はじめに

2003年9月6日～8日の間、千葉県・幕張メッセで開催された「建設機械と新工法展示会（CONET 2003）」（主催：社団法人日本建設機械化協会）において、大学や公的研究機関などにおける建設施工に関連したロボット研究の成果を「アカデミーコーナ」として展示した。展示は、20の大学と公的研究機関の研究成果を特設の15ブースで構成した。大学での建設ロボット研究の展示は、CONET 2001での「ITコーナ」における2大学の出展例があるが、大学や公的研究機関のみのコーナは同展示会としては初めての試みである。

「アカデミーコーナ」では、4ブースの実機展示を除きパネルを中心とした展示であったが、来場者の方々から高い評価を得た。展示されたロボットの内、筑波大学・産業技術総合研究所・中央大学・東京電機大学が共同で研究を進めている全自動ホイールローダと東北大学の斜面移動ロボットの動態模型が、直後に開催された「建設未来館」（国土交通省関東技術事務所内）におけるリニューアルオープンを記念したイベントに出展されるなど、建設分野でのロボット化推進の後押しをする結果となった。

本報文では、このアカデミーコーナの報告と大学における建設施工のロボット化研究の動向を取纏めた。

### 2. CONET 2003における「アカデミーコーナ」

安全化、省人化、低コスト化などを目的とした建設

施工のロボット化の研究には、施工機械のロボット化の他、測量、調査活動の自動化がある。ロボット化研究の対象も、機械の自律化、作業装置の位置決めなどの部分的な自動化、遠隔操縦シミュレーションなど多様である。センシングシステム、アクチュエータなどロボット化を支える要素技術もコーナ展示に加えた。表—1に「アカデミーコーナ」の展示内容を示し、以下（1）～（15）節に各出展内容と出展大学の建設ロボット研究の状況を概説した。表—1中の「\*」は、実機、模型の展示を行ったものを示す。

#### （1）フィールドロボット「あるまじろ」：

東京工科大学工学部機械制御工学科

グラビヤの4輪クローラ型不整地走行車、フィールドロボット「あるまじろ」は、油圧駆動のゴムクローラ4輪が前後左右自在に動く構造で、様々な形状の路面に対応可能である。CONET 2003では、屋外での走行デモンストレーションを行った。

この機械は車体下部に、写真—1のモーションベースにエンドミルカッタを装着してマンホール周辺や橋梁の継ぎ目のアスファルトの切削を行うなど様々な作業を想定して製作された。モーションベースは、上下、水平、回転、ねじり運動が可能な6自由度の平行リンクの直動アクチュエータ軸で構成されている。

写真—2の螺旋形状のマニピュレータも出展され注目を集めた。コンピュータやセンサ系研究が主流の建設ロボット研究の中で、作業装置を支える手足は極めて有用な研究である。

上記の研究は、株式会社菊池製作所、日本ムーク株

表-1 アカデミーコーナ展示リスト

	組織名	展示内容	備 考
1	東京工科大学	フィールドロボット「あ るまじろ」*	4輪クローラ型不整地走 行車
		多自由度のモーションベ ース*	作業機構を自在に位置決 めできる
		螺旋型マニピュレータ*	狭い空間での作業機構
2	岐阜大学	遠隔操作臨場感提示履帯 型積込み機械	画像・音響・力感帰還に よる臨場感提示システム
3	産業技術総合研 究所, 中央大学, 筑波大学, 東京 電機大学	ホイールローダの完全自 動化 (バケット反力に基 づくバケット制御)*	3次元形状計測と作業環 境モデル生成クロスロイ ド曲線を用いた経路計画 と追従制御
4	立命館大学, 京 都大学, 東北大 学	タイヤ型積込み機械の自 動化	建設機械と地盤との相互 作業に関する研究と自動 施工への応用
5	東京工業大学	4足歩行型法面作業用ロボ ット (フレーム付法面のロッ クボルト設置作業用)	フレームを認識, 把持し てよじ登る
6	釧路工業高等専 門学校	ロックネット登攀ロボッ ト/岩盤調査*	リンク機構と車輪を利用
7	東北大学	操作系を一体化, 力帰還 装置を有する半自動油圧 ショベル*	知能型建設機械
		油圧ショベル旋回角度計 測システム*	
8	北海道大学	GPSとトータルステーショ ンを利用した3次元排土 板自動制御システム	3次元マシンコントロ ールシステム
9	東京大学, 理化 学研究所	被災者探索レスキュー用 データキャリア	測量用自律飛行型バル ーン
10	大阪産業大学 京都大学	自律型無人ヘリコプター と三次元地形情報収集シ ステム	
11	東京大学	自律型水中ロボット (水中構造物の調査)	Tri-Dog 1 レーザポイ ンティングと CCD カメラ によるアクティブセン シングシステム付
12	筑波大学	知能移動ロボットとナビ ゲーション技術	
		自律移動ロボット用セン シングシステム	全方位超音波センサシ ステム
13	愛媛大学	掘削ロボット	端面切削機構
14	早稲田大学	バーチャル建設現場	シミュレーションによる
15	神奈川工科大学	パワースーツ	筋肉硬さセンサと関節駆 動アクチュエータ

\*: 実機, 模型の展示を行った。

式会社, 日立建機株式会社, 石川島芝浦機械株式会社, 日立建材株式会社, 株式会社ロボットシステム, カヤバ工業株式会社, 株式会社ハネックスロード, 豊興工業株式会社, 油研工業株式会社, 大久保歯車株式会社など多くの企業の協力に支えられている事が特徴である。

(2) 遠隔操作臨場感提示建設ロボット:

岐阜大学工学部人間情報システム工学科

遠隔操縦の履帯型積込み機械にバーチャルリアリティ (VR) 技術を導入し, オペレータに作業現場の十分な臨場感を与えるとともに, コンピュータの支援に基づく高度かつ精密な作業を人間に優しいヒューマンイ

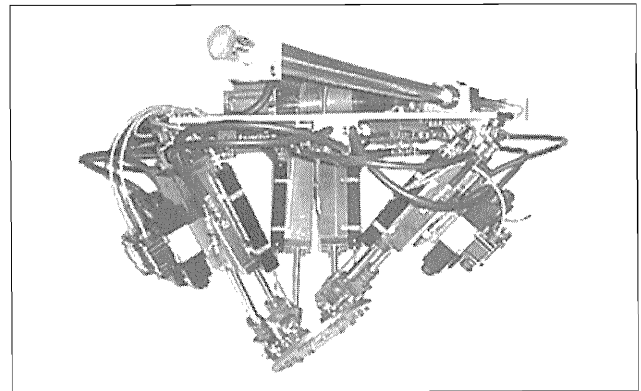


写真-1 モーションベース

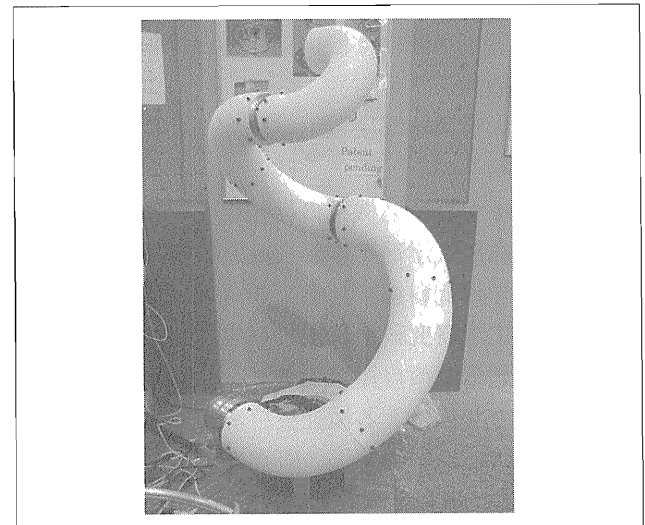


写真-2 螺旋型マニピュレータ

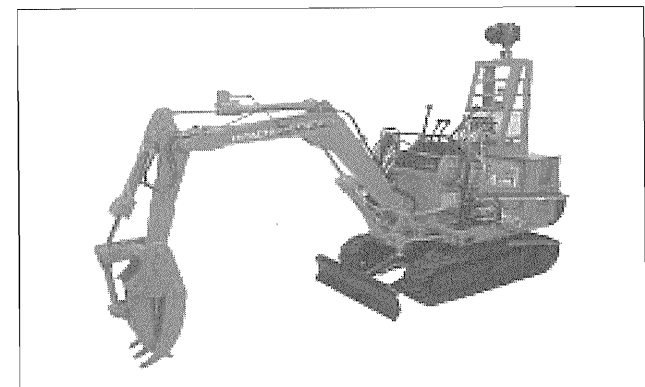


写真-3 遠隔操作臨場感提示建設ロボット

ンターフェースを通じたイージーオペレーションシステムを構築した。写真-3がパネル展示した研究用のモデルである。

(3) ホイールローダの完全自動化システム:  
山祇研究会 (共同研究)

ホイールローダによる破碎岩石や土砂の積込み作業を対象とした完全自動化システムである。

鉱山および土木作業における自律作業システムを構成する下記の要素を、参加組織の専門性に応じて分担を行ったのが特徴である。

- ① 3次元形状計測とモデル化
- ② すくいとり作業計画
- ③ バケット経路の生成と制御
- ④ 車体走行経路の生成と制御

グラビヤに展示した研究用のモデルを示してある。

山祇研究会は以下の1独立行政法人研究機関と3大学で構成された共同研究組織である。

- ・産業技術総合研究所知能システム研究部門フィールドロボテックス研究グループ
- ・中央大学理工学部精密機械工学科
- ・筑波大学機能工学系
- ・東京電機大学工学部機械工学科

#### (4) タイヤ型積込機械の自動化：

立命館大学理工学部建設環境学系，京都大学工学研究科都市社会工学専攻，東北大学大学院工学研究科地球工学専攻

車体屈曲型車輛の自律移動アルゴリズムや制御則を提案して模型実験による検証及びホイールローダによる掘削作業時の抵抗力解析の研究を行っている。写真-4がパネル展示した実験用の模型である。

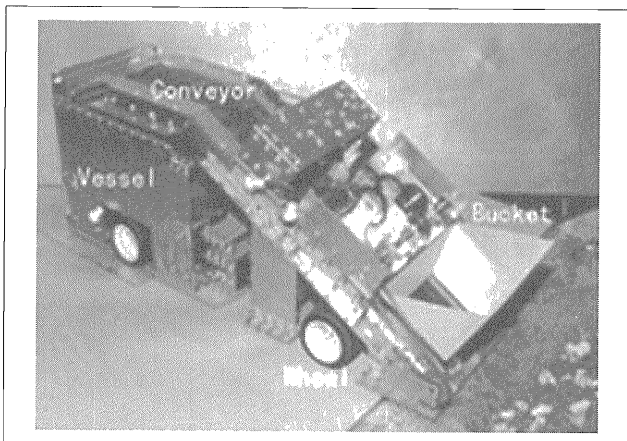


写真-4 実験用の模型

ローダによるダンプトラックへの積込み作業工程の自動化のためには、ローダは自らダンプトラックとの位置関係を正確に認識する必要があります。

研究ではローダにビデオカメラを搭載し、ローダのダンプトラックに対する位置と方向を認識し、積込み作業を行うまでのアルゴリズムを提案している。

山祇園研究会と同様に、参加組織の専門性に応じた分担を行っている。

#### (5) 4足歩行型法面作業用ロボット（TAITAN XI）： 東京工業大学機械物理工学科機械宇宙システム専攻，大昌建設株式会社

崖崩れ防止のためのフレームへのロックボルト設置工事の自動化を目的とした4足歩行型斜面移動作業台と作業機構で構成される法面作業用ロボットである。フレーム付き法面で自動的にフレームを認識し4本の脚で急な法面を動き回り、ロックボルト削孔作業を行う。

従来作業者が行っていた危険な急峻な斜面での作業のロボット化と効率化を企図した実践的な研究である。

グラビヤは、パネル展示した4足歩行型法面作業用ロボットの完成イメージである。本研究は、経済産業省の大学事業創出実用化研究開発事業の支援によって実施されている。

#### (6) 岩盤検査用ロボット（ロックネット登攀ロボット）：

釧路工業高等専門学校電子工学科，エースコンサルティング株式会社

ロックネット登攀ロボットは、岩盤崩落危険箇所には敷設されている崩落防止ネット上を自由に移動し、安全で詳細な岩盤センシングや写真撮影を行うために開発されている。

展示した試作機は1個のモータで駆動されるリンク機構を持ち、分速1.5mでロックネットを登攀することが可能である。写真-5に示したのがロックネット登攀ロボットの試験機である。

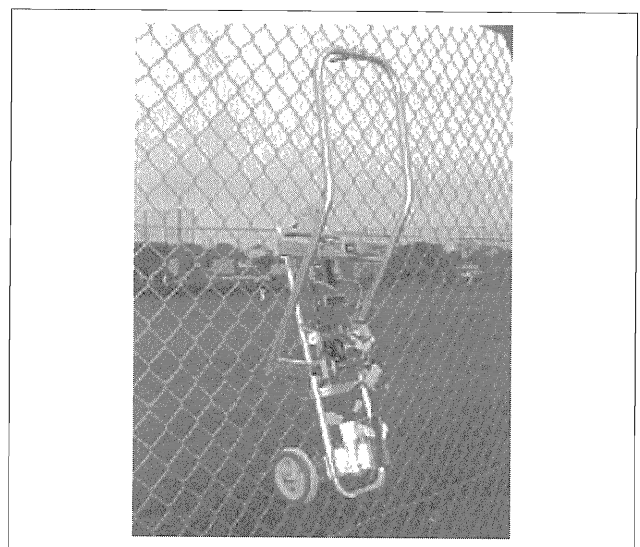


写真-5 ロックネット登攀ロボット

(7) 知能型建設機械：

東北大学大学院情報科学研究科知能ロボティクス研究室，システムテクニカル株式会社

機械操縦の容易化と油圧ショベルの半自動化を目的に開発されたシステムである。

従来，2本の操縦桿を両手で操作していた油圧ショベルの作業装置操作系を一体化した。一体化した操縦桿「モノレバー」と作業機構が相似的に動くため，初心者でも高精度な施工ができる。

法面や立孔掘削などの直線施工に関しては軌跡制御を行う自動化システムを備えている。

作業装置の負荷を検知し操縦桿に力感帰還する機能も有している。

写真-6は油圧ショベルの運転席に装備した「モノレバー」，及び把持装置による力帰還性能の実験状況である。CONET 2003ではモニタ上の擬似油圧ショベルに連動するモノレバーと油圧ショベル旋回角度計測システムを実部品を展示した。本研究は，科学技術振興機構の支援によって実施された。

(8) 3次元マシンコントロールシステム：

北海道大学，北海道電力株式会社，九州電力株式会社，鹿島道路株式会社，株式会社トブコン

GPS，ロボティックトータルステーションを使用して重機のブレードの3次元位置をリアルタイムに計

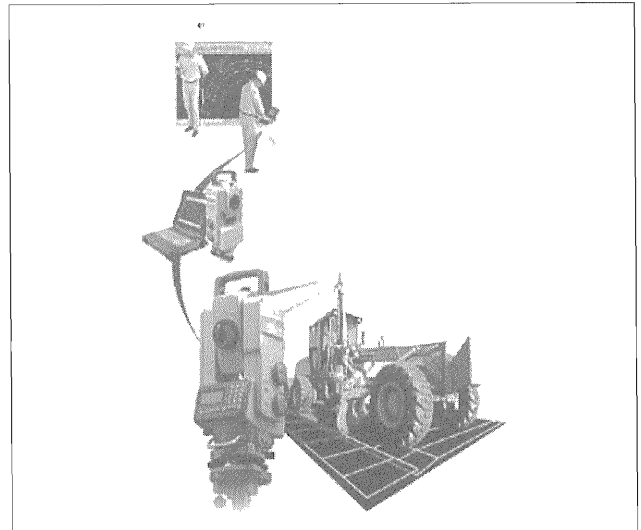
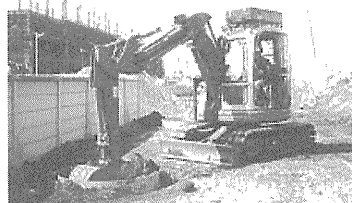


写真-7 3次元排土板自動制御システム

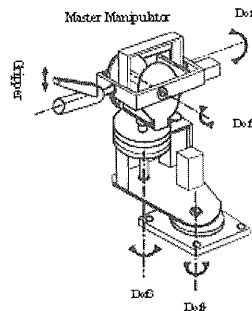
立坑掘削(都市土木) 同一位置(X-Y)での垂直(Z方向)の掘削位置を自動的に設定し正確・迅速に行う



バックホウ浚渫船揚土船他バケット位置制御と作業反力の感知により作業の効率化が目的



ハンドリングマシン 把持対象物による操縦レバー把持トルク差の認識実験を実施した。コンクリート薄板については把持力自動調整による非破碎ハンドリングを実現



法面整形直線仕上げの自動によって難易度の高い作業時の操縦が初心者でも可能となる



無人化施工用バックホウ 右手で作業装置左手でカメラシステムの制御を行う。現在は機械操縦の手を休めるかカメラ操作専用の要員を配置している「モノレバー」導入によって切れ目のないカメラ操作が可能。作業装置位置決め自動化も実現する



家屋の解体 把持・破碎装置の位置きめの自動化，対象物に応じた把持力の自動制御



写真-6 知能型建設機械(半自動システム)

測し、3次元の設計データとの差分を基にブレードの自動制御を行うシステムである。

設計図面を基に測量、測設（杭打ち）、施工、検査の工程を網羅した自動施工システムで、重機オペレータの技量に依存しない高品質な施工が可能である。

写真7が、3次元排土板自動制御システムである。本システムは、北海道大学の指導により、4社が共同で開発したものである。

#### (9) 測量用自律飛行型バルーン：

東京大学人工物工学研究センター，理化学研究所分散適応ロボティクス研究ユニット

パネル展示した自律飛行型バルーンは、本来、震災時の被災者探索システムとして開発されたものである。被災者探索システムは、震災時など瓦礫内の被災者を効率的に探索するシステムで、被災者探索レスキュー用データキャリアと被災地にアクセスする手段である被災者探査用自律飛行船（バルーン）で構成されている。アクセス手段である自律飛行船は、8kgの積荷能力を有し、空中で静止可能なため効率的で確実な測量などの調査活動が実施可能である。

自律飛行船は、地上制御システムと被飛行船制御システムで構成されている。地上制御システムは、飛行船の現在位置を知るための位置追尾機能を持ったトータルステーション、飛行船の移動や姿勢制御の指示を行うための計測用のPC、飛行船に制御情報を伝送するための無線LANで構成されている。

写真8の飛行船は、無線LANを介して、推進、並進、テール制御用モータを駆動によって姿勢と位置の制御を行う。

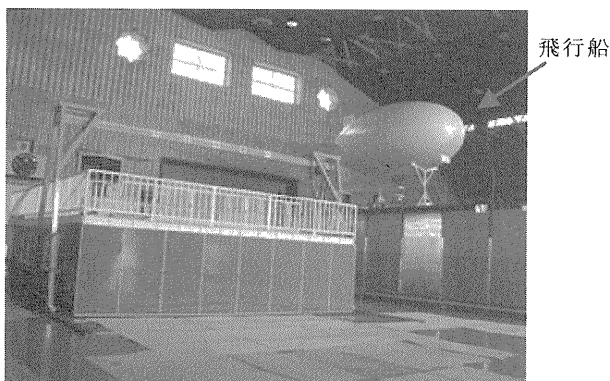


写真8 飛行船の飛行実験

#### (10) 自律型無人ヘリコプターと三次元地形情報収集システム：

大阪産業大学工学研究科機械工学専攻，京都大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻

地形測量や災害発生時の被災地の三次元地形情報収集や航空写真撮影を行うために開発されたシステムである。

写真9のラジコンヘリコプターは自律飛行用のGPS-INS複合航法システムによる高精度な位置や姿勢情報を収集する機能を有している。



写真9 自律飛行型ラジコンヘリコプター

#### (11) 自律型海中ロボット「Tri-Dog 1」：

東京大学生産技術研究所海中工学研究センターダムのゲートやケーソンなど港湾の水中構造物を観測するためのプラットフォームである自律型海中ロボット「Tri-Dog 1」をパネル展示した。

搭載したレーザポインタとCCDカメラによるアクティブセンシングシステムにより、観察対象物までの距離値を基にロボットの運動を制御する。

観測対象物までの距離と角度を正確に保つ機能を有している。写真10が、自律型海中ロボット「Tri-Dog 1」である。

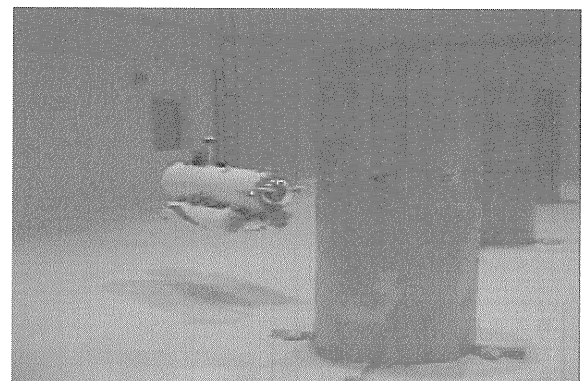


写真10 自律型海中ロボット「Tri-Dog 1」

#### (12) 知能移動ロボットとナビゲーション技術：筑波大学機能工学系

筑波大学機能工学系研究室は、移動型ロボット用のナビゲーションの研究で主導的な研究を行っている。

ダンプトラックの無人化を目的とした移動体の自律走行システムなど建設事業者との共同研究の実績も有している。

センサシステム分野では、超音波センサ列を用いた無指向、高方位分解能な対象物センサを科学技術振興機構の支援の基にシステムテクニカル株式会社と共同で開発した。国土交通省、施工技術総合研究所が研究中の建設機械の稼働領域への侵入者を検知するためのヘルメットなどの色検知システムの開発支援も行っている。写真-11に、全方位超音波センサシステムを示した。

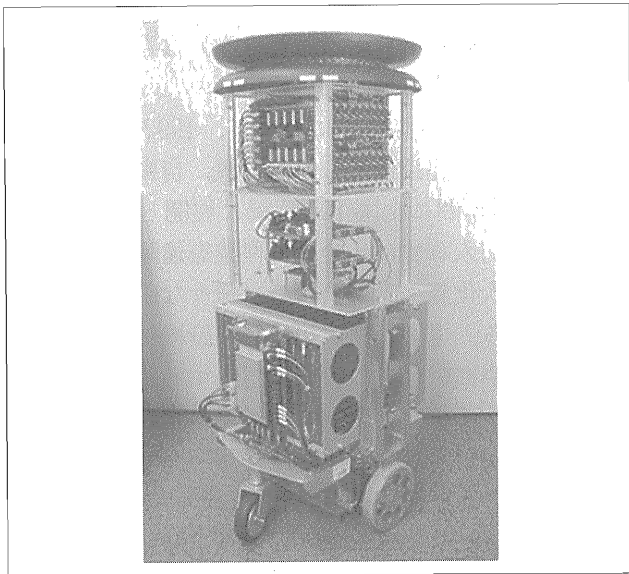


写真-11 全方位超音波センサシステム

(13) 岩盤掘削ロボット用総合自動制御システム：  
愛媛大学工学部環境建設工学科  
岩盤掘削ロボットを用いた深礎工法を目的として岩

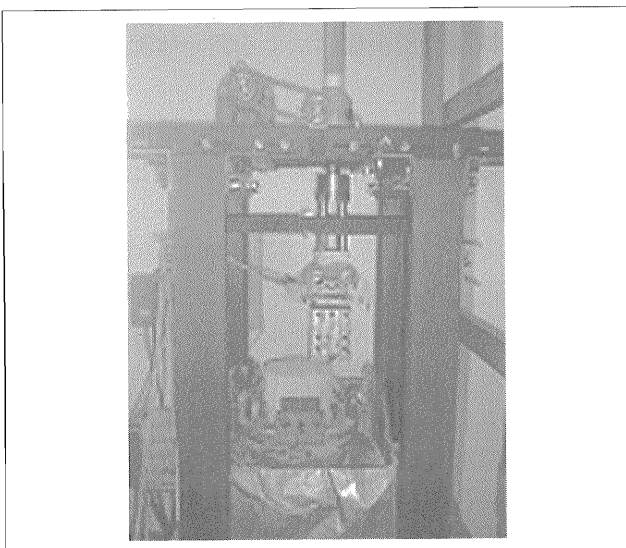


写真-12 岩盤掘削ロボット用実験装置

盤の自由面と端面掘削の比較実験を行った。

硬質岩盤中に立坑等の深礎を施工する場合の作業効率を一段と向上させるため、ディスクカッタに端面切削機構を導入した画期的な掘削ロボットである。自由面を掘削する場合、平面掘削と端面掘削とでは、後者の方が動力67%、比エネルギーは1/25に減少する。

写真-12がパネル展示した実験装置である。

(14) 建設機械のバーチャルシミュレーション：  
早稲田大学理工学部建築学科

建設生産におけるロボット化、情報化を目指した各種の研究活動の中から、バーチャル建設現場における機械化、自動化をめぐる可視化シミュレーションシステムをパネル展示した。バーチャル建設現場システムを用いることによって、各種の機械配置や工法の事前検討が可能になる。図-1及び図-2にバーチャルコンストラクションの手順例を示した。

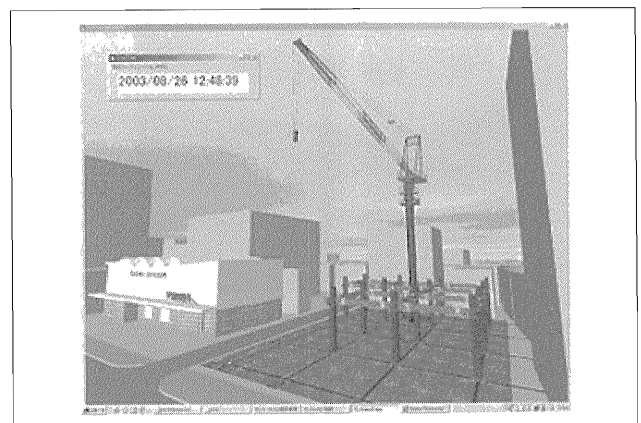


図-1 バーチャルコンストラクション (1)



図-2 バーチャルコンストラクション (2)

(15) パワーアシストスーツ：

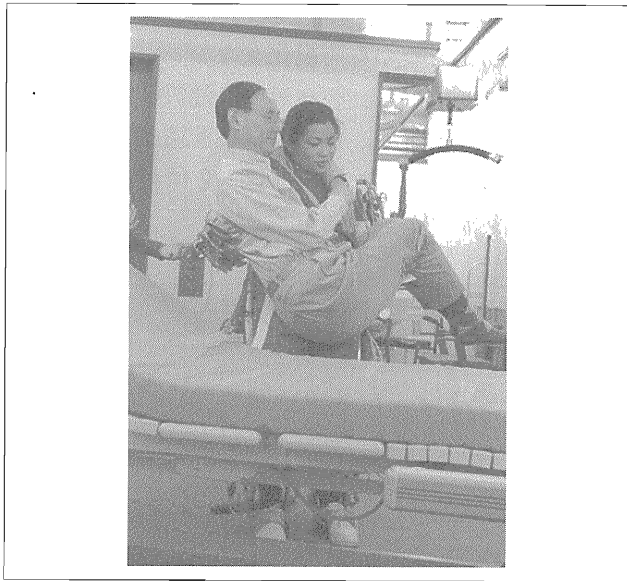
神奈川工科大学福祉システム工学科

パワーアシストスーツは、身に付けることによって

力持ちになれる外骨型ロボットで、介護支援として多くの大学や研究機関で開発が進められている。建設分野でも、高齢化や高能率化への要求に対処する近未来型システムとして期待されている。

パワーアシストスーツは、肘、腰、膝の各関節を駆動している各筋肉が発揮している力を筋肉硬さセンサにより検出し、これに応じてスーツの各関節駆動用アクチュエータを動かすことにより、重労働に伴う各関節駆動筋肉の過負担を軽減する仕組みとなっている。

写真—13がパワーアシストスーツである。



写真—13 パワーアシストスーツ

### 3. 大学など公的研究機関における建設ロボット研究の動向

製造業は、工場内で極限までの自動化を行っているが、屋外でもヤードの搬送などを中心に全自動化システムを導入している。農業や林業分野では、公的研究機関や国の資金的な支援を得た民間企業による作業ロボット化の研究が早くから行われていた。鉱山では、ダンプトラックの無人走行が実現している。科学技術振興機構が支援している地雷探査・除去プロジェクトでのアクセス機構研究には、千葉大学、東京工業大学、名古屋大学が参加している。国内外の遺棄化学兵器等の除去作業用にも大学等の支援によるロボットの採用が検討された。

建設分野では、作業対象が多様なためロボット化すべき課題が多く、トンネルなど地下系工事、全自動ビル建築などを除きロボット化は進展していない。

建設ロボット化への大学での研究実績として、締固

め機械の全自動化システム（東京大学）、漏洩ケーブル上での誘導型ダンプトラックの無人走行（慶応大学）、ダンプトラックの自律誘導（筑波大学）、道路上への白線引きロボット（山梨大学）、壁面吸着ロボット（宮崎大学、他）、壁面タイル剥離検査ロボット、天井すみ出しロボット、高速道路照明ユニット交換ロボット（以上、電気通信大学）など、過去においても多くの研究事例がある。

最近では、除草（九州工業大学）、不整地走行型ロボット（東北大学）、ロボット用アクチュエータの省エネルギー化（名城大学）、ロボット用センシングシステムの開発（筑波大学）、自動ヘリコプタを利用した地形・地勢調査（北海道東海大学）など、ロボットや要素技術の研究が進んでいる。

長崎県島原市の普賢岳において、1992年に始まった、建設機械と建設作業の遠隔操縦、自動化無人化施工が以来12年間に全国100現場に展開した。現場に作業者を一切入れずに、全ての作業を遠隔操縦する機械で行う無人化施工実現のために様々な研究が行われた。すなわち、遠隔操縦が可能な建設機械の種類の拡大、対象物や機械自身の状態を認識するためのセンシングシステムの研究、遠隔での操縦の容易化性を目的とした運転支援の研究、無線伝送路の高度化に関わる諸研究のほか、把持機構の高度化など多方面の研究が行われた。これらの研究の一部に大学など公的研究機関が関わっている。阪神・淡路大震災（兵庫県南部地震）を契機に、救援、探索などを目的とした防災ロボットの研究が開始された。

最近の研究の傾向として、

- ① 技術分野の異なる研究機関同士の連携による研究水準の向上、
  - ② 民間企業との協力により商品化展開を図る、
  - ③ 公的機関の資金提供による開発体制の維持、
- がある。

①は、制御やメカトロニクス分野、機構部、ジオメカトロニクス等施工方法に関わる分野など、研究課題が異なる研究室が連携して行うコンソーシアム（研究組合）型の研究である。CONET 2003の展示参加例では、山祇研究会、京都大学・立命館大学・東北大学、東京大学・理化学研究所のグループがある。

②の例としては、大学とメーカーのみの共同研究と、建設ロボットの利用者である建設事業者や建設コンサルタンツが参加する、という2つの事例がある。東京工科大学と支援各社、東北大学や筑波大学とシステムテクニカル株式会社が前者、東京工業大学と大昌建設、釧路工業高等専門学校とエースコンサルタンツ、北海

道大学と鹿島道路等が後者の事例である。

産業界との連携の先例に、早稲田大学と民間13社によるWASCORプロジェクトがある。このプロジェクトは、1982年～1994年の12年間継続し、ビルディング建築の全自動化の研究を行った。CONET 2003の展示例においても、15例中6例が民間との協力によるものである。産業界との連携によるシステムはより実用に近い形で研究が進められる傾向がある。

③の例として、科学技術振興機構の支援による知能型建設機械や自律移動ロボット用センシングシステムの開発、経済産業省による4足歩行型法面作業用ロボットがある。岩盤調査ロボットも公的な支援による研究事例である。

#### 4. 今後への課題

建設施工のロボット化に関連した基礎技術は、

- ① センサの高機能化,
  - ② 制御・通信システムの高度化,
  - ③ 作業機構の多様化と高機能化,
  - ④ 合理的なエネルギー供給機構とアクチュエータの省エネルギー化,
- など多岐にわたっている。

建設施工のロボット化の実現には、多くの大学等研究機関に分散して存在しているこれらの基礎研究を統合する仕組みが必要である。

「アカデミーコーナ」の企画を通じて、異なった研究分野の研究機関の連携、企業が参加した実用化・商品化の達成、基盤技術の分野への公的機関からの集約的な資金支援などの仕組みが育ち始めていることが判明した。今後、この萌芽を確実に育てていく事、実用化された技術を実証するための試行的な施工現場の提供などが求められる。

財団法人先端建設技術センターでは、建設ロボットに関連した課題の研究を行っている大学や公的研究機関の研究者の連携等を目的として2002年度に「建設ロボット研究会」を設立した。「アカデミーコーナ」の成功は、この研究会メンバーの支援に依っている。

JCMIA

#### 【筆者紹介】

久武 経夫 (ひさたけ つねお)  
システムテクニカル株式会社  
副社長  
Fax : 03-3812-9378  
URL : <http://www.systemtec.co.jp>

