



1. はじめに

前号では、油圧ショベル（バックホウ）を対象にロボット化等の研究事例、人間との共同作業や建設機械の操縦代行を目的に開発された人形ロボットを紹介した。ただし、現開発段階の2足（脚）歩行の人形ロボットは動的安定性が課題で、整地されていない土木施工現場での作業には不向きである。実用的な安定性と速度で不整地を移動するためには、3脚以上の方が2脚歩行より制御が容易である。今回は、脚ロボット開発の現状と今後の展開について述べたい。

脚ロボットは、車輪や履帯系の移動体に較べて凹凸や段差のある現場で移動、溝を渡る、障害物を回避する、脚関節の角度調整で上体を水平に保

つ等、優れた能力を有している。脚の長さや角度の調整で水平維持を行う事も容易である。脚による移動は、不整地や急峻地における施工の他、地震等の被災地での調査活動や救援作業などにも活用可能である。

実用化されている多足建機として、欧州では都市土木、林業など凹凸や急勾配のある屋外作業現場で使用されている、4足（2脚・2輪）歩行型の「ウォーキングエクスキャバータ」がある。欧州の林業生産性が高いのはこの機械が寄与しているとの説もある。ドイツのD b 大学では、この「ウォーキングエクスキャバータ」のロボット化の研究を行なっている。今回は、これら脚ロボットの土木作業への貢献の可能性について紹介したい。

表1 各種脚ロボット

脚数	ロボット例	備考
1	多足歩行時に、走る、障害物を飛び越える時の空中相安定化の為の基礎研究用	東京工業大学、名古屋大学、龍谷大学、高知大学等多くの研究例がある
2	実環境で働く人間型ロボット (biped)	「進化する、土木ロボット③」参照
3	全方向移動式傾斜不整地走行車両 / 育林機械	3脚にクローラを装備
4	原子力発電施設、海底施設生産支援ロボット	極限作業ロボット技術研究組合
	急斜面移動作業用ロボット/基礎研究	コンクリート吹付けやアンカー施工
	4足歩行型法面作業ロボット	アンカーボルト施工
	ウォーキングエクスキャバータ (quadruped)	欧州の大学でロボット化研究例
	ロックネット登攀ロボット	点検用
6	防災ロボット	極限作業ロボット技術研究組合
	油圧駆動6脚ロボット (COMNET-M)	地雷探査・撤去用
	6脚スライド式急傾斜地歩行機械 (hexapod)	2群3脚式6脚歩行ロボット
	斜面歩行多目的機械 6脚歩行ロボット (LAND MASTER)	農林水産省、三菱重工業、東京工業大学、Tompe
	6脚林業用ロボット	フィンランドで試作
	脚輪ロボット (チャリベイ)	2輪+4脚 (小車輪を装備)
8	8脚歩行式浚渫ロボット、8脚歩行式捨石均し機	土木学会海洋技術小委員会
多足	百足型機械	狭隘な地中部の調査等用/基礎研究

2. 多様な脚ロボット

脚ロボットは、1, 2, 3, 4, 6, 8, 多足と多様である。表1は、各種の脚ロボットを脚数で分類した事例である。

3. 脚ロボットの研究者

脚ロボットは多くの大学が研究を行っている。表2にその一例を示す。

4. 脚ロボット開発例

多足ロボットの脚関節の動きを調和させて各種歩行パターン生成を行う為には、神経振動子モデルの引き込み現象を用いた歩行パターンの生成や歩行運動の安定化を行う必要がある。ロボットが不整地を歩行する際、予期せぬ故障やロボット本体の転倒、特定の脚への過大な負荷がかかる状況下でも移動を継続することが可能な歩行パターンを形成することが必要である。

表2 脚ロボット研究者例

	研究者	研究テーマ	技術的な特徴	備考
1	釧路高専 梶原准教授 エースコンサルタンツ(株)	ロックネット登攀ロボット	シンプルな構造で昇降	エースコンサルタンツ
2	室蘭工科大学システム制御工学研究室 足田弘光教授	6足歩行。神経振動子モデルの引き込み現象を用いた歩様の生成と維持	歩様（歩行の周期運動）の安定化	
3	岩手大学工学部機械工学科 バイオ・ロボティクス研究部門 萩原義裕准教授	多足ロボットによる難路走行に関する研究	環境理解, 知識の発見, 論理的思考, 不足情報の補完等が課題	
4	千葉工業大学 中野栄二教授	3クローラユニット式育林機械/自動姿勢制御/急峻不整地で全方位作業が可能	低接地圧, 走行・作業時に地表面を攪乱しない	
		脚輪ロボット	愛知万博に出展	
5	千葉大学工学部電子機械工学科 野波教授	油圧駆動6脚ロボット, 地雷探知ロボット	地雷探査・除去ロボット	木更津工高等等
6	東京大学工学部精密工学科 新井民雄教授	4脚ロボット	ロボットの知能・技能・操作モデル	
7	法政大学工学部システム制御工学科 伊藤一之講師	百足型レスキューロボット	機構と環境力学による新しい知能の枠組みの実現	
8	東京工業大学 廣瀬茂男教授	東急建設	急斜面移動作業用4足歩行機械	斜面自律走行
		三菱重工業	6脚スライド式急傾斜地歩行機械	育林機械として開発
		大昌建設	4足歩行型法面作業ロボット	法面での移動と削孔
9	電気通信大学知能機械工学科 下条誠教授	階段の形を認識して自律昇降する4脚車輪型ロボット	4脚歩行画像・距離・カセンサー装備	日本精工
10	空港港湾研究所	歩行式水中調査ロボット		
11	名古屋大学	リアルタイムOSを用いた6足歩行ロボットの分散制御の実現	1脚の制御装置故障時のリカバリー実現が目標	
12	龍谷大学	1脚ジャンプロボット	脚の空中相の実現	
13	奈良先端科学技術大学情報科学研究科 西谷紘一教授	8足百足型ロボット	エネルギー極小歩様	
14	東海大学産業工学部機械システム工学科 大友篤教授	蟻型多足歩行ロボット/視覚によるロボットの制御	ステレオカメラによる立体視, 輪郭処理による高速化	
15	高知工科大学システム工学科	1脚ロボットの跳躍	ヒューマノイドロボットの走行実現への基礎研究	
16	Duisburg 大学/Essen 独 Prof. D. Schramm	4足歩行ロボットALDUROの制御/German Research Council(DFG), Federal State of North rhine-Westphalia が支援	ウォーキングエキスカベータが基本モデル	

4.1 1脚ロボット (脚移動の基礎研究)

前号で紹介した2脚歩行ロボットは、1脚を地に付け交互に脚を持上げて歩行するのが前提となる。走る、障害物を乗り越える、溝を飛び越える等の場合には、両足が宙に浮く状態(空中相)が発生する。1脚でジャンプしながらの走行は、2脚～足多での歩行時の走る、障害物を飛び越える時の空中相安定化の研究となる為、多くの研究者が取り組んでいる課題であり最もアカデミックな領域でもある。写真1は、龍谷大学のジャンプ走行実験用の脚である。



写真1 龍谷大学のジャンプ走行実験用の脚

4.2 2脚ロボット (人形ロボット)

…「進化する、土木ロボット③ (2009年1月冬号)」参照

4.3 3脚 (全方向移動車両 TTM)

育林や林業土木での利用を前提に開発された全方向移動車両は、急峻で地形の変化に富み、露岩、伐根、水路などの障害物が点在する山腹での造林作業用ベースマシンとして開発された。柔らかな林内の土壌を荒らさない為に各脚は履帯(クローラ)構造となっている。3組のクローラ走行装置を三芒星形状に配置し、走行・作業時に足回りを接地、上部旋回部を水平維持させて車体の安定性を確保した。機械の構造は、1.8m間隔の植列をまたいで走行することを想定している。写真2に、全方向移動車両 TTM を示す。



写真2 全方向移動車両 TTM

4.4 4脚ロボット

(1) 4脚型極限作業ロボット

屋外作業現場での実用を前提とした脚ロボットの開発例として、原子力・海洋・防災分野での利用及び基盤技術の多分野活用を想定して開発(1983年～1990年)された極限作業ロボットがある。

災害現場の瓦礫、被災プラント内の配管や消防ホース、階段等の段差を乗り越えて目的の現場に到達する、高水圧・暗黒・潮流下の水中で配管等に掛まりながら点検・保守作業を行うために4脚、6脚のロボットが開発された。図1がプラント保守ロボット、図2が海洋構造物保守ロボットである。



図1 プラント保守ロボット



図2 海洋構造物保守ロボット

(2) 汎用型4足歩行ロボット例

画像センサー、距離センサーにより移動空間や階段の位置と形状、力センサーにより脚の接地を検出し、ロボットの姿勢を制御し安定した歩行動作を実現する。階段や段差のある場所では4脚歩行。平地では脚の先端に装備した車輪を使って走行する。幅45×長さ73×高さ75cm、重さ54kg。電気通信大学知能機械工学科の下条誠教授、金森哉史准教授との共同開発。写真3に、汎用型4足歩行ロボットを示す。



写真3 汎用型4足歩行ロボット

(3) 急斜面移動作業用ロボット (1994～)

山岳地帯が多い日本での高速道路や鉄道工事においては、開削部急斜面の崩壊抑止の為にコンクリート製の格子状構造物等の構築作業が必須となる。この作業では車輪やクローラ等の車両では移動が困難なため、作業員が命綱を頼りに急斜面で作業を行っているのが現状で、非能率的、危険な作業となっている。

上述作業の自動化実現には、下項の理由で4足歩行型の移動体が有効である。

- ① 傾斜面の格子状の障害物も容易に乗り越えられる。
- ② 作業面に傾斜や凹凸があっても脚を広げた状態で安定性を維持できる。
- ③ 脚運動の自由度が地表面削孔時のハンドリング力生成に寄与する。
- ④ 平地から急斜面地を連続的に動き回れる。

4足歩行機械は、平地の不整地移動は単独移動、急斜面現場ではワイヤに牽引されながら移動し、脚の運動を利用して傾斜面で作業を行う。足先には、不整地に機構的に適応して滑落を防ぐロッカー・ボギー機構を用い、また床反力と障害物との接触を感知し足先の汚濁に強い足先センサーを有している。脚には斜面で胴体重心を移動して安定性を増加できる脚伸縮機構を導入している。歩容は、クロール歩容より静的安定性の高い間歇クロール歩容を導入、15度の斜面での全方向歩行と、70度急斜面でのワイヤ牽引補助を用いた歩行に成功した。平均歩行速度は177mm/、全質量は60kgである。

歩行機械前方の地形を計測する視覚センサの搭載で障害物の乗り越え歩行に成功している。研究は東急建設(株)との共同研究である。写真4及び5に、TIA TN VII と稼働状況を示す。



写真4 TIA TN VII



写真5 70°の斜面を登攀

(4) ロッククライミングマシンから 4足歩行型法面作業ロボット

実作業で使用されている斜面施工機械として、ロッククライミングマシンがある。この機械は、斜面施工時に上部旋回体(動力部・作業装置部)が水平を保つ様に下部走行部と分離している。搭乗運転、遠隔操縦型を併せ、全国で20台近い機械が稼働している。写真6が、ロッククライミングマシンの一例である。

ロッククライミングマシンと(3)項の機械を統合し、不安定地盤で自己位置の水平維持とアンカー施工機能を併持した機械として4足歩行型法面作業ロボットが開発された。

図3にアンカーロックマシン、写真7に4足歩行型法面作業ロボットを示す。



写真6 ロッククライミングマシン



写真7 4足歩行型法面作業ロボット



図3 アンカーロックマシン

(5) ウォーキングエキスカベータ
(斜面歩行型多目的機械)

欧米では都市土木や山岳地での施工に、4脚が独立して動く歩行型油圧ショベル（ウォーキングエキスカベータ）が普及している。斜面、凹凸、段差、溝（ピット）などが存在する現場での施工機械として極めて有用である。脚を縮めて狭隘な現場にも容易に入り込むことができる。図4にウォーキングエキスカベータ、図5にウォーキングエキスカベータの作業範囲図を示した。

ウォーキングエキスカベータの特徴として下項がある。



図4 ウォーキング
エキスカベータ

- ① 4脚が独立している為傾斜地でも上部旋回体を水平に保ち安定した作業が行える。
- ② 開脚して段差にも対応できる。(1脚で上段を補足, 2脚目を上段に移し, 3脚目を上段に呼び込む手順)。

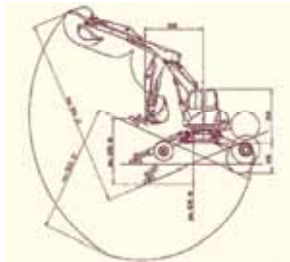


図5 ウォーキング
エキスカベータ
の作業範囲

駆動輪と作業機操作で約45度の勾配でも登降坂可能 	傾斜に関係なく上部旋回体を水平にできる 	足を上げると約3mの溝またぎが可能 	足を寄せ重高を上げると水深1.5mでの作業可能
------------------------------	-------------------------	-----------------------	-----------------------------

図7 地形への多様な対応



写真8 ウォーキングエキスカベータの様々な作業状況

表3 リフティングキャパシティ

積荷までの距離 (m)	リフティングキャパシティ (kg)
2.25	1,250
2.50	1,050
2.75	925
3.00	750
3.25	600

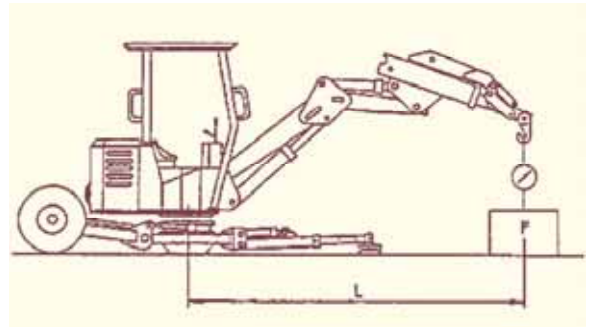


図6 吊り上げ作業時の安定姿勢

- ③ 積込用の斜路無しで、トラックの積み降しが出来る。
- ④ 4脚の開脚によって重心を下げ、転倒時の支点を外側に拡げ（アウトリガー機能）、吊り荷機能向上と安定した吊下げ作業ができる。図6に吊り上げ作業時に取れる安定姿勢、表3にリフティングキャパシティ計測結果を示した。
- ⑤ 4脚を自在に動かして、斜面や溝の跨ぎなど多様な地形に対応できる。

図7に段差の乗り越え等、地形への多様な対応の様相を示した。

- ⑥ 写真8にウォーキングエキスカベータの様々な作業状況を示す。
- 6) リングネット

検査ロボット

岩盤崩落危険箇所敷設されている崩落防止ネット（ロックネット）上を自由に移動できるロボット。調査者が登坂することなく、任意の箇所の岩盤状況を安全、詳細に調査することを目的として開発された。登攀動作は2本の爪機構、後ろの2輪が追従する。単純

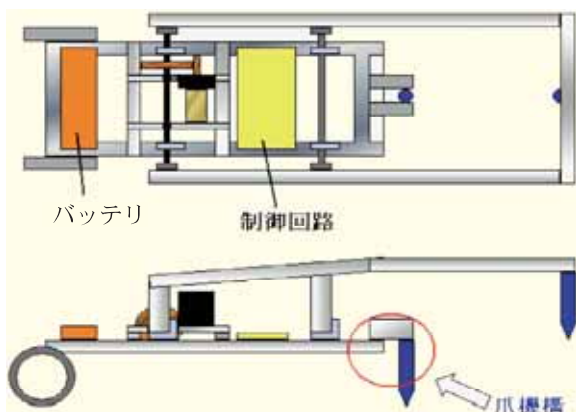


図8 リングネット検査ロボット

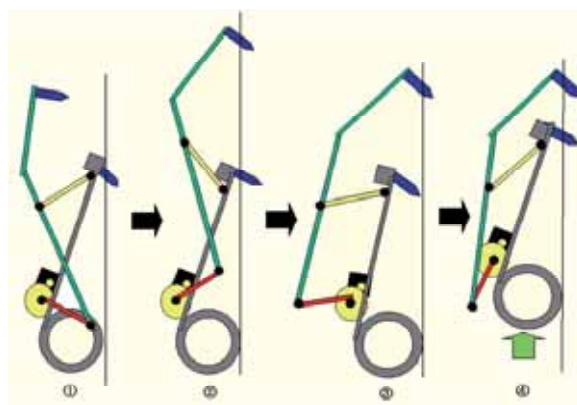


図9 リングネット検査ロボット移動手順

【参考】 ウォーキングエキスカベータの特徴

日本では普及していないが、作業性を確保する為に、下部走行体が斜面に応じてチルトする機構や4脚を独立に昇降可能とする機構を持った機械がある。チルト機構や独立脚によって、作業装置（ブーム、アーム、バケット等作業装置）の支持部である上部旋回体を常に水平に保つ方式である。下表が水平維持機能付き機械例である。

急傾斜地対応の水平維持機能付き機械

機械名称		水平維持機能		備考	
		前後	左右		
フェラバンチャー	ティンバージャック社	27°	19°		
	NEUSON社	25°	15°	勾配30°以上に対応	
	新キャタピラー三菱(株)	25°	15°		
急傾斜地走行用段軸車輛 (コマツゼノア)		30°	30°	林野庁の委託で開発	
揺動型油圧ショベル			10.5°	新キャタピラー三菱(株)	
ウォーキングエキスカベータ(歩行型油圧ショベル)	Ernest Menzi社(ス)			ミニワーキングエキスカベータ1300型	
	Broy社(ノルウェー)			製品が優れている	
	Schaef社			スーパー・バックホウ HS40D 多機能バックホウ/壽産業	
	Moro Macchine社(イ)	45°		Kamo JUNIOR, BABY	
	EUROMA社(イ)	30°			
	KAISER社				
小松ゼノア(株)				半脚式伐倒機/スパイダーバケットと伐倒機装備	
吊下げ型	ロッククライミングマシン	標準機	45°	0°	大昌建設(株), 対応勾配0~80°
		専用機/ラジコン			大昌建設(株), 対応勾配0~80°
	岩盤掘削機	30°	0°	日立建機(株), 設計対応勾配74°	
	アンカーロックマシン			東京工業大学・大昌建設(株)	

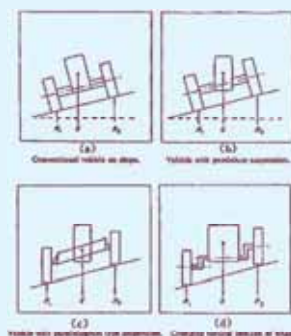
その他、前後・左右方向にチルト可能な機械例として、ティンバージャック社(カナダ)の傾斜地対応林業機械フェラバンチャーがある。キャビンと作業機のベースが下部走行体に対して前方に27°、左右に19°まで傾斜し上部を水平に保つ機能を有している。国産機械(新キャタピラー三菱(株)およびNEUSON社(独)の同様機械は、前方に25°、左右に15°である。

上部旋回体の水平維持によって作業装置は常に水平に動き、旋回時に旋回角度による重心の上下移動は無く安定化する。上部旋回体を持上げるために斜面では重心が上がる方向となるが、重心が斜面上側に移るため、転倒限界角度を大きくすることができる。重心位置を下げずに斜面での安定性を確保する方法である。

斜面に並行して走行する育林用機械のキャブや作業機構の左右方向への傾きを水平に保つ機構として開発された段軸機械がある。

小型建設機械に対してもこれらの機構を参考に、機械の全方向で水平維持のできる機構を考案する必要がある。これら勾配対応機構による機械の安定性向上の再評価も必要と思われる。

段軸機械



な構造で、身軽に斜面を移動できる。図8にリングネット検査ロボット、図9にリングネット検査ロボット移動手順を示す。

4.5 6脚ロボット

(1) 油圧駆動6脚ロボット COMNET-IV

写真9及び10、図10の油圧駆動6脚ロボットは、地雷探査と除去等の危険作業支援への応用を目的に、屋外用脚型移動機械のプラットフォームとして開発。全方向への移動、1km/で歩行、1m程度の段差を昇降、20度程度の斜面を歩行、遠隔操縦、障害物回避などを自律的に行う等の機能を有している。地盤調査、測量助手、斜面運搬などの作業にも使えそうなロボットである。



写真9
油圧駆動6脚ロボット COMNET-IV



写真10
COMNET-IVの
段差乗り越え

(2) 斜面歩行多目的機械（6脚）

図11及び写真11の斜面歩行多目的機械（6脚）は、育林等斜面での作業を支援するロボットとして開発された。

ロボットの脚はフレームの固定された伸縮自在な3本の脚2組で構成されている。移動は、脚の伸縮、フレームの旋回、上下段フレームのスライド、着地、引上げの繰返しによって行う。凹凸への対応は、脚の伸縮量で対応する。作業時は全脚を着地する。農林水産省と三菱重工業㈱が開発。東京工業大学の廣瀬茂男教授が技術的な支援を行っている。試作機は重量が4tあり実用に供せられなかったが、斜面での施工のプラットフォームとして有用である。同様な機械の開発例もある。



写真11 斜面歩行多目的機械

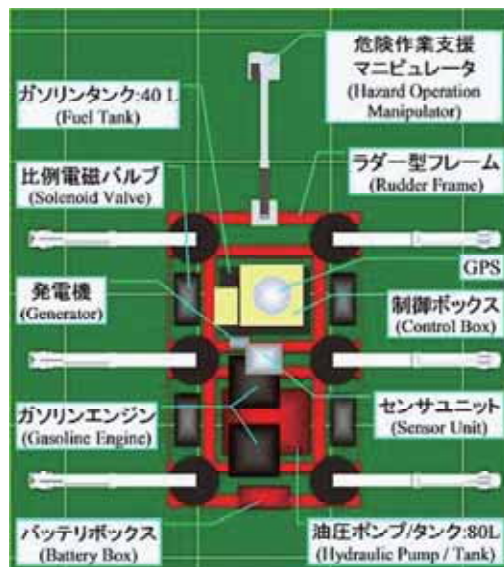


図10 COMNET-IV 構造・仕様

全長・全幅・全高 (L/W/H)	2.5 × 3.3 × 2.8 m
重量 (Weight)	2120 kg
連続動作時間 (Operating Time)	Min. 4 h
最大積載荷重 (Max. Payload)	2000 kg
歩行速度 (Max. Walking Speed)	1000 m/h
昇降高さ (Vertical Step Height)	100 cm
供給圧力 (Supply Pressure)	22 MPa
全自由度 (Degree of Freedom)	24
防水・防塵性 (Water/Dust Resistance)	IP-53
力計測用センサ (Force Sensor)	圧力センサ 24個 (Pressure Sensor)

表4 斜面歩行多目的機械仕様

Total weight (* 1)		4000kg	
Length		3.6m	
Width		2.3m	
Height		2.7~4.5m	
Max. stride		1.2m	
Max. climbable slope (* 2)	by max. stride	30°	
	by half stride	35°	
Max. slope to walk along contour-line		40°	
Max. walking speed	on floor (* 3)	4.6m/min	
	on 30 slope	2.4m/min	
Max. traversable obstacle height		1.6m	
Max. payload (* 4)		1.5 t	
Motion	Leg slide	stroke	1.8m
		Max. force	2500kgf
		Max. speed	210mm/s
	Flame slide	Stroke	±0.6m
Flame turn	Stroke	±48°	
System control	CPU	i80386	
Power supply	Diesel engine 14PS/2400rpm		

1 : c d c e ce
 2 : a a b e de a ° ca e
 e de
 3 : e a cm d a
 4 : e ce e a e c d e e

(3) 6脚林業用ロボット

フィンランド製山林地作業用6脚步行ロボット。オペレータが搭乗操縦。作業装置のハーベスタは、伐木、枝払い、定尺に切り揃えを行う。水平移動速度は2~3km/。20~30度程度の斜面に対応、横行なども可能。試作のみ。写真12に、6脚林業用ロボットを示す。

(4) 水中探査ロボット (独港湾空港技術研究所)

海中の調査、港湾の建設や維持管理など海岸・海底調査用ロボット。

写真13の水中探査ロボットは、6脚でどの方向へも歩行可。海中の安全・効率的な調査が目的。海洋土木施工に先立って、海底地形測量、施工法の検討、その他の用途に供せられる。写真13の「小型陸上実験機」は55kg

■チャリベイ仕様

サイズ	幅1,050mm×高さ693mm×奥行き2,998mm (脚全伸時)
重量	200kg
動力 (電気)	バッテリー, 発電機
稼働可能時間	発電機使用時は連続使用可能
動作	不整地路面では安定な脚車輪モードを使用し、整地路面では高速移動可能な車輪モードを使用
操作	無線 (デモ時は有線)
使用環境	屋外不整地
その他仕様	<ul style="list-style-type: none"> 無線による操作が可能 人が搭乗することが可能 ロボットに取り付けられたカメラ映像を、PCに映し出すことが可能

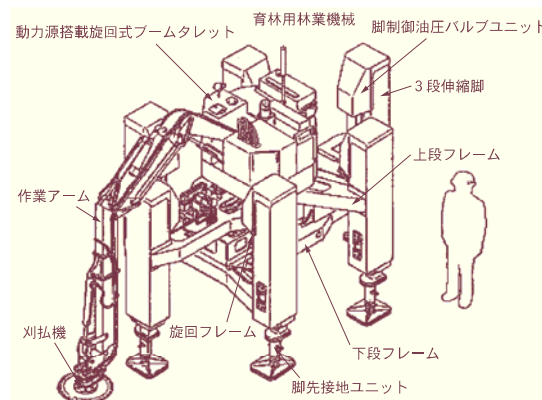


図11 斜面歩行多目的機械



写真12 6脚林業用ロボット



写真13 水中探査ロボット

の小型版。コンピュータを搭載した次世代水中ロボットのプロトタイプである。

(5) 脚輪ロボット(チャリベイ)

岩石や樹根が散在する自然不整地や、段差の続く道でも自由に移動でき、平坦路では高速での車輪走行ができる、用途の広い自然地形用汎用搭乗



写真14 チャリベイ

型移動ロボットである。

山間部等の急峻部に対応するエネルギー消費が大きな脚と平地を高速走行する車輪の組合せによって、広範囲な地形に対応できる。林業用として大型の機械も製作されている。自重200kgの大型機械は、60kg程度の積荷が可能。写真14が、チャリベイである。

(6) 8脚(捨石均しロボット, 浚渫ロボット)

①捨石均しロボット

防波堤等の建設は、海象条件の厳しい海域で、短期間に大量の捨石(基礎石)を設置必要があるが、潜水土に依存する工法では大規模工事には対処できない。このため、マウンド面の捨石均し機械化施工技術が開発された。

ロボットは、捨石捨込みと敷き均し作業を同時に行う。誘導システムにより捨石均し装置を所定の位置に誘導し、捨石供給シュートより均し石を供給、捨込み均しシュートを駆動して、均しと均し面の計測を行う。機械は本体フレーム、移動フレームの各4本の脚により何れの方

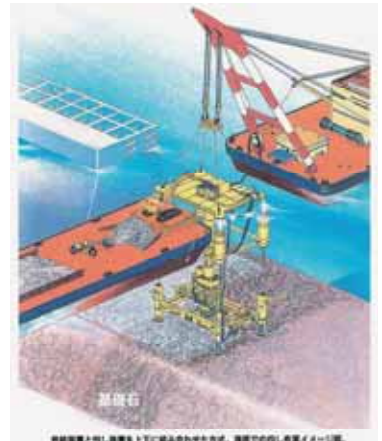


図12 捨石均しロボット

ロボットと施工システムを示す。

②浚渫ロボット

港湾や河川の維持浚渫を行う海底歩行式浚渫ロボット。陸上からの遠隔操縦により、歩行、浚渫を行う。捨石均しロボットと同様に、本体フレーム、移動フレームの各4本の脚により何れの方

(7) 多足ロボットと蛇型ロボット

曲がり部の存在する管路内や複雑で細かな凹凸の有る地形に追従した調査には、多足ロボットや蛇型ロボットが向いている。災害時等に瓦礫の隙間に侵入して内部の調査を行うことなどが、多足や蛇型ロボットの活躍の場である。



写真15 多足ロボット(1)

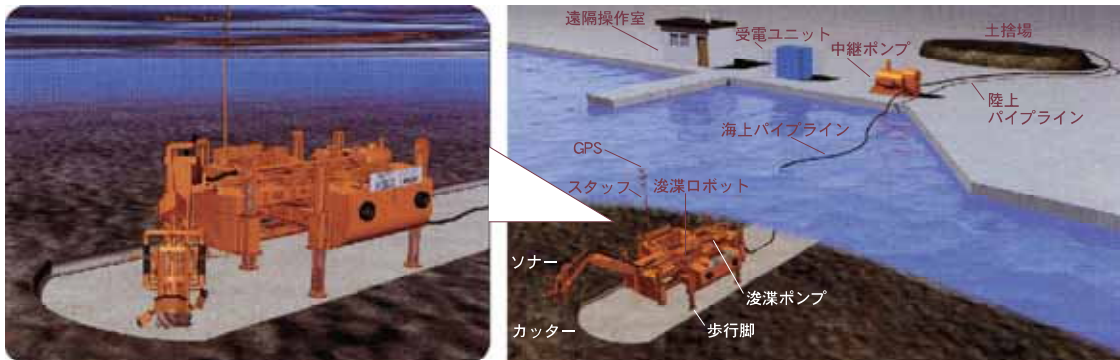


図13 浚渫ロボット



写真16 多足ロボット(2)

多足歩行ロボットは、2足や4足歩行ロボットに比べ、多様な挙動ができる。多足ロボットによる難路走行の研究成果が人間が入り込めない狭隘な空間の調査を可能とする。写真15, 16, 図14に多足ロボットを例示した。

5. おわりに

脚ロボットは、不整地等、屋外作業の支援に向いているが、屋外の自然環境に対応するための技術開発が求められる。環境への適応には、凸凹、段差、溝などが存在する現場を安定して移動する

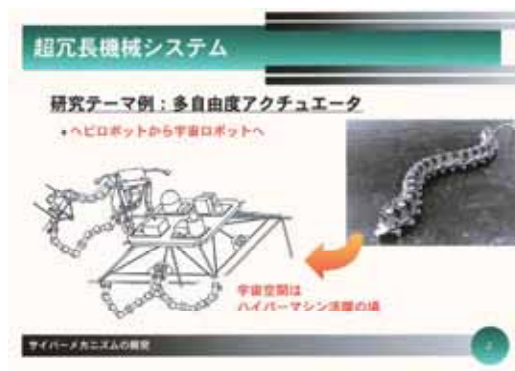


図14 蛇型ロボット

機構、衝突や転落に危険を感知して回避する機能が求められる。前者の解決への手段の一つが脚ロボット、後者の環境認識の手段が、超音波や電磁波による移動環境の観察やステレオカメラ映像による立体視技術である。屋外作業の面では4脚が主となろうが、調査ロボットとしては多足系ロボットも捨てがたい。4脚の「ウォーキングエクスカーベータ」に、環境理解と多脚制御理論研究の成果を結集すれば土木施工現場で有能な作業パートナーとして活用され、土木作業の生産性向上に寄与できる。

【出典】

写真2	// - da c / / / / e 66 // a c / ab / / / -
図1, 2	通商産業省工業技術院大型プロジェクト「極限作業ロボット」 極限作業ロボット技術研究報告(1983~1990年)
写真3	// eb c / e / a 07 4/547048/
写真4, 5	// - b e ec ac / b / a / a 7/ a 7
写真6	// a - c / c / c
図3, 写真7	// ac / b c / a c e/ a a/ / d /61_016_d b d # ea c
写真8	// a e /e / e a a/e ca a / d c / a e - / /
図4, 5	// a e /e / e a a/e ca a / d c / a e - / - -c / // a e /e / e a a/e ca a / d c / a e - / - - a
図10	// ec2 c ba- / a / de Ja
写真11, 図11	//e ed a / /Wa e _ ac e
写真12	// e a e3 c / e /W dR b
写真15	写真提供：名古屋大学 石黒章夫教授
図13	// ce /c ee/ b / a / a _ _ ec
写真16	// c / d c /e a e/e _03 // c ab a /Re ea c / ade // ec a e- ac /02 e b /04 de

【参考資料】

- 「二関節筋を含めた筋骨格構造を持つロボットによる連続跳躍の実現」
高山仁志(大阪大学) 田熊隆史(大阪大学) 正細田耕(大阪大学)
- 計測自動制御学会論文集
V 43, N 3, 1/8 (2006)
- 「ハミルトン系の変分対称性に基づく1脚ロボットの最適歩行生成」
佐藤訓志・藤本健治・玄相昊
- 森 崇, 井上 喜雄 (高知大学) 「一脚ロボットの跳躍に関する研究」高知大学 卒業論文 2008
// c - ec ac / b a / /2004/2004 ec /1050181 d # ea c =
- 広瀬茂男 「空圧駆動不整地踏破型多足歩行ロボット「A H e」の開発」2003
// e c e e /dd /H15- e / d /3-4-5 d # ea c =
- 野波健蔵他 (千葉大) 「油圧駆動型6脚ロボットの力制御による不整地歩行」
// ec c ba- /ad /c e 4/ a e /d d07_ d
// ec2 c ba- /ad /c e 4
- 曾根原光治他 「3 脚車輪型移動ロボット試作機の開発」石川島播磨技報V 44 N 3 (2004-5)
- 長谷川幸男編 「建設作業のロボット化 6.3.5 斜面工」工業調査会1999
- Da e Ge a Ma ed H e D e e Sc a 「De a d C e Q ad ed Wa R b ALDURO」ISARC 2005
- 佐々木尚三 「森林作業に利用するベースマシンの開発研究について—全方向移動車両TTM—」森林総合研究所北海道支所 研究レポートN 66
- 安達弘典 「4脚移動ロボットの歩容制御に関する研究 ISSN 0286-2255 機械技術研究所報告第184号」
// e / / /184 d # ea c =
- 「4脚ロボットにおける脚動作の進化的生成」
安部華代, 橋場隆行, 平俊男, 飯田賢一
Ha a Abe Ta a Ha ba T H a Ke c I da
- 奈良工業高等専門学校
// c a a- ac /d ab/2000 e be /abe d # ea c = '4脚 ロボット'