

# 建設機械ロボット化への取り組み

Advances in Robotics for Construction Machinery

石井 啓範

Ishii Akinori

石本 英史

Ishimoto Hidefumi

小倉 弘

Ogura Hiroshi

水落 麻里子

Mizuochi Mariko

自動車や家電などさまざまな製品におけるロボット化が進む中、日立建機は、建設機械の適用範囲拡大と基盤製品競争力強化を大目標として、建設機械のロボット化に取り組んでいる。

建設機械のロボット化では、(1) 運転者が操作する建設機械を機械自身の知能・制御によってサポートする作業員補助、(2) 人間と機械のスムーズなインタラクションを実現するH/I (ヒューマンインタフェース)、(3) 作業フロントや移動機構など、建設機械の身体機能向上という三つに関する技術を開発している。また、建設機械のロボット化を推進するうえで重要となる、機械の外側に位置する情報ネットワークとの融合についての取り組みも進めている。

## 1. はじめに

近年、コンピュータの普及と高度化に伴い、自動車や家電といった身の回りの製品の「ロボット化」が進んでいる。そのような流れを受け、日立建機株式会社は、建設機械の適用範囲拡大、基盤製品競争力強化を大目標として、建設機械ロボット化を推進している。ロボット技術は、いわゆるインテグレーション (統合) 技術であり、その技術範囲は多岐にわたる。そこで、建設機械ロボット化の対象とする技術キーワードとして、「知能・制御」、「H/I (Human Interface)」、「身体機能」の三つを規定し、それぞれの分野で技術開発を推進している。

ここでは、建設機械のロボット化における知能・制御、H/I、身体機能の概要と開発技術、および外部ネットワークとの連携の例として情報化施工について述べる。

## 2. 知能・制御

### 2.1 作業員補助

知能・制御とは、いわゆる「脳」に該当する部分である。ロボットにおける知能化というフレーズからは、自動・自律化、つまり無人で機械を動かすというイメージが連想さ

れやすい。しかし、建設機械は、作業状況に応じて時々刻々と形状が変化する不定形物を作業対象とすることが多く、一足飛びに自動・自律化を実現することは困難である。そこで、オペレータが操作する建設機械を機械自身がサポートする、作業員補助という視点に立って知能化の研究開発を行っている。特に、オペレータが作業そのものに注力できるよう、作業以外の安全性や乗り心地などの部分でのサポートが、現在の研究テーマの中心である。

### 2.2 動的重心計測

建設機械の安全性および作業性の向上を目的とし、作業によって生じる慣性力の影響を考慮した動的安定性を実時間で計測するシステムを開発している。従来、建設機械の安定性評価は、クレーン作業などの静的な作業を対象として行われてきた。一方、建設機械はさまざまな作業に用いられており、素早く大きな動作が要求される作業では大きな慣性力が発生し、これが安定性に影響を与える。動的安定性については、日本工業規格 (JIS : Japanese Industrial Standards) においても簡易評価方法が記載されているのみであり、定量評価方法に関する開発例は見当たらない。

そこで、開発システムでは、作業中の動的状態を考慮した安定性評価指標としてゼロモーメントポイント (ZMP : Zero Moment Point) を導入し、作業中のZMPを実時間で計測している。ZMPは従来、歩行ロボットなどで用いられている指標であり、動的状態を考慮した重心の投影点と捉えることができる。

安定性評価指標にZMPを用いる利点として、以下の2項目が挙げられる。

- (1) 動的状態 (慣性力) を考慮した評価が可能
- (2) 不安定化と車体の浮き上がりが一致し、機械の挙動との対応が明確

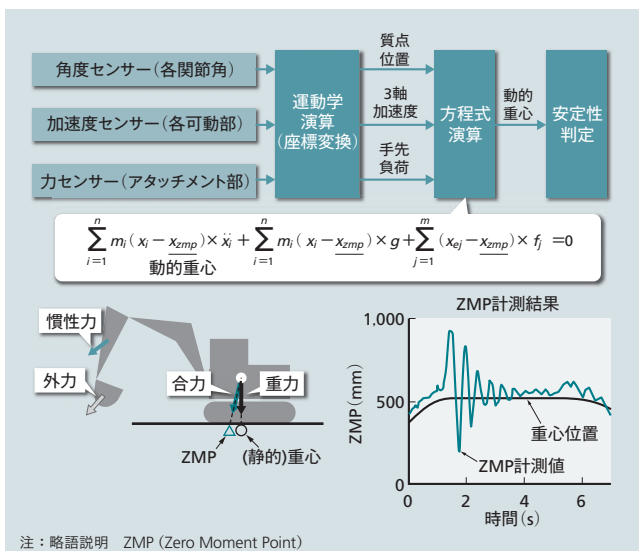


図1 | 建設機械の動的重心計測システム

建設機械の姿勢、各主要部材の重心における加速度、アタッチメント部の負荷をセンサーによって検出し、ZMPを算出する。

開発システムでは、建設機械の姿勢、各主要部材の重心における加速度、アタッチメント部の負荷をセンサーによって検出し、ZMPを算出する。このシステムを用いることにより、静的な安定性評価では捉えられない安定性の変動を正確に捉えることができる（図1参照）。

### 3. H/I(ヒューマンインタフェース)

#### 3.1 スムーズなインタラクション

H/Iは先にも述べたように、人間が搭乗して操作を行う建設機械特有の技術分野である。大別して、オペレータが機械に指示を与える情報入力系と、機械側がオペレータに、機械自身や周囲環境などの情報を提示する情報出力系に分類される。特に、作業機械の取り扱うデータ量は、機械に搭載されたコンピュータが高度化することに比例して大幅に増加してきており、これらの情報をいかに分かりやすくオペレータに提示するかが大きな課題である。

また、双腕作業機のように、より複雑になっていく機械システムに対し、できる限りシンプルに指令を与える手段も重要である。つまり、人間と機械のスムーズなインタラクションが重要であり、その実現をめざして研究開発を行っている。

#### 3.2 周囲監視

オペレータへの情報出力系の高度化として、建設機械周囲の死角を低減し、広範囲の視野情報を提供する俯瞰（ふかん）ビューモニタを開発している。車体に搭載した複数のカメラの画像を変換・合成することにより、車体を中心として上方から俯瞰したような周囲監視画像を生成し、キャブ（運転室）内モニタに表示出力するものであり、特

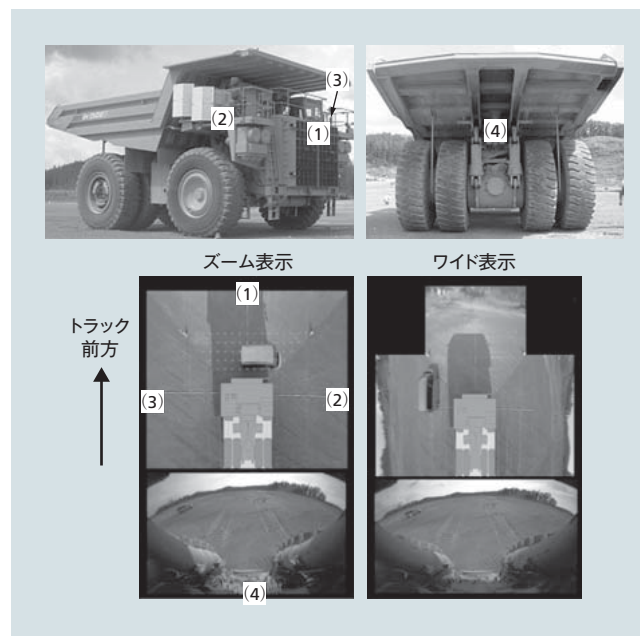


図2 | 俯瞰ビューモニタシステム

複数のカメラの画像を変換・合成することにより、車体を中心として上方から俯瞰（ふかん）したような周囲監視画像を生成する。

徴は以下のとおりである（図2参照）。

- (1) 水平視野角160度の広角カメラを複数搭載し、各カメラ画像の視点変換および合成により、広い視野範囲（最大360度周囲）を実現する。周囲状況（障害物や作業員までの距離および方向）を一見して把握することができる。
- (2) 表示範囲や画面構成が異なる複数の画面パターンを持ち、状況によって最適な画面パターンをオペレータが切り替えて選択できる。俯瞰画像と後方カメラ画像の同時表示も可能である。

### 4. 身体機能

#### 4.1 建設機械の身体機能向上

身体機能とは、まさにこの言葉が示すように、建設機械の身体そのものに関する分野である。二つ示した大目標のうち、特に建設機械の適用範囲拡大を担う技術分野であり、腕（フロント）や、脚（足回り）の機能向上をめざした研究により、建設機械の作業内容や活動範囲をこれまで以上に広げていくことを目的としている。また、「身体性」にはセンサーなどの感覚機能も含まれている。センサー自体を開発するのではなく、センサー情報の活用や、複数のセンサー情報の活用（センサフュージョン）が主な研究対象である。

#### 4.2 双腕作業機

「腕」機能の高度化として、今までよりも複雑な作業への対応能力の向上をめざし、双腕作業機を開発している。この作業機は、人間と同様に二つの作業フロントを有して

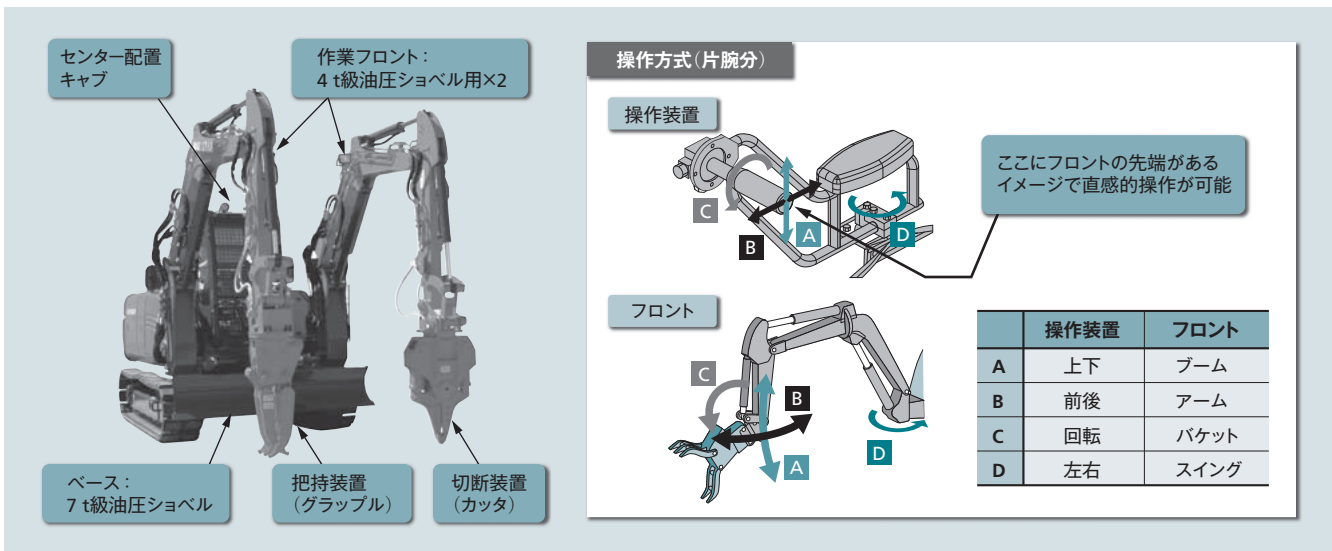


図3 | 双腕作業機と操作方式

消防機関に正式採用された7 t級双腕作業機(特注機)の外観を示す。操作方式には、速度式ワンレバーシステムを採用しており、直感的な双腕同時操作を実現している。

おり、それらの同時駆動によって「つかみながら切断する」といった複雑な作業を実現したものであり、特徴は以下のとおりである(図3参照)。

- (1) 双腕により、「つかみながら切断する」、「長い物を折り曲げる」といった複雑な作業が可能
- (2) ポンプ1台で多数のアクチュエータを駆動できる油圧システムを採用し、双腕の同時駆動を実現
- (3) オペレータの右手で右フロント、左手で左フロントを操作する操作方式により、双腕同時操作が可能
- (4) 操作装置に速度式ワンレバーシステムを採用し、直感的操作と疲労低減を実現
- (5) 三次元的にフロント姿勢を演算することで、左右フロントどうしの接触を回避

2008年10月に、7 t級の実験機が災害現場におけるレスキュー用として消防機関に試験導入された。評価の結果、2011年3月に、専用装備を備えた後継の特注機2台が正式採用された。

### 5. 外部ネットワークとの連携

建設機械のロボット化を推進するうえでは、機械単独ではなく、外部の情報ネットワークとの融合も重要となる。外部ネットワークとの連携の例として、情報化施工について述べる。

情報化施工とは、建設事業の調査、設計、施工、維持管理、更新という建設生産プロセスのうち「施工」に注目し、ICT (Information and Communication Technology) の活用によって各プロセスから得られる電子情報に基づき、高効率・高精度な施工を実現するものである。さらに、施工で得られる電子情報を他のプロセスに活用することによ

て、建設生産プロセス全体における生産性の向上や品質の確保を図ることを目的としたシステムである。建設機械は、工事工程の中で、実際に物を形づくる施工工程で用いられる。したがって、建設機械は施工のために工事情報を利用する、あるいは施工状況を情報として発信する情報源となりうる。

情報化施工は、機能面からは二つに分けることができる。一つは、ICTを用いて建設機械の自動化あるいはオペレータの作業支援を図る機能である。その一例として、油圧ショベルのガイダンスシステムがある(図4参照)。機

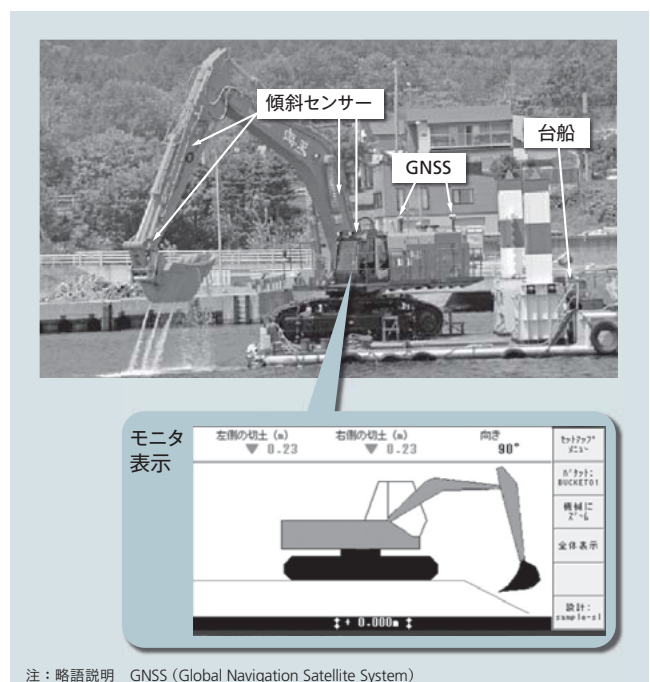


図4 | 油圧ショベルのガイダンスシステム

機械の位置・姿勢を計測し、作業図面と作業軌跡を提示することにより、オペレータの作業を支援する。

械の位置をGNSS (Global Navigation Satellite System : 汎地球測位航法衛星システム) やTS (Total Station : トータルステーション) を利用して計測し、設計図面あるいは作業軌跡を見せることにより、オペレータの操作を簡略化することができる。高齢化などで熟練オペレータが不足しつつある今日、このようなオペレータ支援技術を導入しているケースが徐々にではあるが増えている。設計図面を運転室内のコンピュータに入れる作業は、現状はメモリカードを使い、人の手によって行われている。今後、施工を効率化し、図面修正をいち早く機械側に反映させるためには、建設機械がインターネット網に接続され、現場事務所から遠隔で図面を更新できるようにする必要があると考えられる。

もう一つの機能は、施工で得られる情報を現場で実務に携わる技術者の判断の高度化に利用する機能である。その一例として、鉱山現場におけるダンプトラックの運行管理システムがある(図5参照)。鉱山では、数キロメートル四方にもなる現場内のダンプトラックの適正配車管理を行うために、ダンプトラックにGNSSを搭載し、車両の位置をリアルタイムで鉱山内の現場事務所に送信している。現場事務所では、各車両の位置を確認しながら、目標生産量、ダンプトラックや積み込み機械、プラントの稼働状況を勘案し、ダンプトラックへの配車指示計画を立案し、行き先を現場事務所からダンプトラックの車載コンピュータへ送信している。運行管理システムを運用するためには、現場内で無線ネットワーク網を構築することが必須となる。現状は2.4 GHz帯の無線LAN (Local Area Network) で、メッシュネット型のものが使用されている。今後、機械の健康状態、作業量などを正確かつリアルタイムに把握するためには、機械と現場事務所間だけでなく、機械どうしの情報通信も必要になると考えられる。

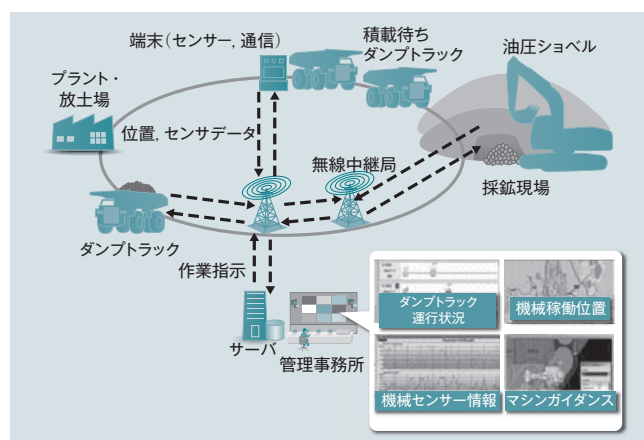


図5 鉱山ダンプトラックの運行管理システム

鉱山内事務所において、各ダンプトラックから送られてきた位置情報を基に配車指示計画を立案し、各ダンプトラックの行き先を車載コンピュータに送信している。

## 6. おわりに

ここでは、建設機械のロボット化における知能・制御、H/I、身体機能の概要と開発技術、および外部ネットワークとの連携の例として情報化施工について述べた。

成長を続ける建設機械市場では、環境問題への観点からの低燃費化とともに、解体作業などの作業機能をより高性能化したロボット化へのニーズが高まっている。日立グループは、今後も、電動化技術や制御技術などさまざまな力を結集し、新たな建設機械の開発に積極的に取り組んでいく。

### 参考文献など

- 1) 水落、外:建設機械における動的安定性計測システムの開発、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(2010.6)
- 2) 石井:特殊条件下での建設施工機械 2つのフロントを有する双腕作業機の開発—速度指令式ワンレバー方式で制御—、建設の施工企画, 670, p.31~35 (2005.12)
- 3) 国土交通省, 情報化施工推進戦略,  
<http://www.mlit.go.jp/common/000020669.pdf>

### 執筆者紹介



#### 石井 啓範

1999年日立建機株式会社入社, 研究本部 技術開発センタ 所属  
現在, 双腕作業機の研究開発に従事



#### 小倉 弘

1992年日立建機株式会社入社, 研究本部 技術開発センタ 所属  
現在, 建設機械の情報化に関する研究開発に従事



#### 石本 英史

1998年日立建機株式会社入社, 研究本部 技術開発センタ 所属  
現在, 建設機械の周囲認識技術の研究開発に従事



#### 水落 麻里子

2006年日立製作所入社, 日立研究所 機械研究センタ 輸送システム  
研究部 所属  
現在, 建設機械の運動制御の研究開発に従事  
電気学会会員