



建設機械知能化の現状と展望

高橋 弘

現在、ほとんどの建設作業は機械化されており、一部の作業では自動化機械が導入され、作業効率の向上に寄与している。さらに建設機械に各種センサを搭載して、機械を知能化する試みも行われつつあり、近未来では自ら作業状況判断して簡単な作業を実行する知能化建設機械が開発されると考えられる。建設機械は不整地の建設現場を移動し、自然界を対象にして作業を行うことが多いので、知能化建設機械は移動作業ロボットにならざるを得ない。本報文では、建設機械知能化システム概念を述べ、知能化要素技術について概観する。

キーワード：建設機械、知能化、知的センサ、環境認識、自律移動、自律施工

1. はじめに

近年、「知能化」という言葉が多く分野で頻繁に使われている。この言葉の意味するところは様々であり、センサ情報に基づく簡単なオンオフの制御からアクチュエータのきめ細かい制御まで幅広い。知能化のための要素技術も様々な分野で研究されているが、建設機械の知能化は、他の製造業における機械の知能化に比べて遅れているのが現状である。この理由としては、

- 建設機械は自然界を対象にしており、対象物の形状が不定形で常に形状が変化すること、
- 重量物をハンドリングしなければならないこと、
- 環境の変化の影響を大きく受けること、
- 土砂・鉱石とバケットなどのエンドエフェクタとの相互関係は土質の影響を大きく受け、その記述には多くのパラメータを必要とすること、

などが挙げられる^{1),2)}。

しかし、近年、社会問題となりつつある熟練オペレータの減少や災害復旧現場での作業のような作業員にとって危険な環境からの作業員の解放・安全確保、さらには作業の効率化などに対処するために、建設機械の知能化・自動化に多大の期待が寄せられている。

本報文では、初めに建設機械自動化の一例を紹介し、次に建設機械を知能化するための要素技術について詳述し、最後に建設機械知能化の今後の展望について簡単に述べることにする。

2. 建設機械自動化の現状

現在、建設作業のほとんどは機械化が進み、作業員が人力とする作業は極めて少なくなってきている。また建設機械自動化の研究も精力的に進められており、既に実作業に用いられているものもある。ここでは、建設機械自動化の一例を簡単に紹介する。

(1) クローラドリル^{3),4)}

クローラドリルはベンチ発破を行う際の発破孔を削孔するための機械であり、岩質に合わせてフィード速度や回転数、打撃数などをファジー制御し、入力された深度までロッドを継ぎ足しながら自動削孔する自動化機械が既に開発されている。

(2) ダンプトラック^{3),5)}

無人ダンプトラックは、日本でも一部の鉱山で既に使用されている。この無人ダンプトラックの走行は、後述するデッドレコニング（推測航法）方式を基本としており、これに加えてレーザ距離計と反射板を用いて内界センサの計測誤差を打消す制御方式などが採用されている。さらにGPSを用いたダンプトラックの移動制御方法などについても検討されている。

(3) ホイールローダ³⁾

自動化技術として、タイヤスリップ防止システム、自動掘削システム、Vシェーブ移動の自動化、自動ローダなどが実現されている。またホイールローダの

操舵方式はアーティキュレート・ステアリング方式であり、この特徴を考慮した移動制御則などについても検討されている。

(4) ロータリ除雪機⁶⁾

除雪作業の省力化、省人化を図る目的で車両の運転操作の自動化が試みられている。車両を走行させる道路にレーンマーカを埋設し、車両には検出センサを搭載してマーカからの信号を検知し、車両を埋設軌道に誘導するものである。さらに GPS/GIS を用いて車両の位置を特定し、走行制御を行う試みも行われている。

(5) モービルマイナー⁷⁾

元々は鉱山の坑道を掘削するために開発された機械であり、直径 120~130 inch 程度のカットホイールの外周にディスクカッタを装備し、カットホイールを左右にスイングすることにより坑道を掘削する。日本では、従来のモービルマイナーにブームを取付け、カットホイールを上下にも動かすことにより自由断面を掘削できるようにし、トンネル掘削に使用された実績がある。掘削も含めた機械の一連の動作は PLC (Programmable Logic Control) で全て自動制御されている。

(6) パワーショベル^{8),9)}

バケットの位置を設定軌道に沿って移動させるための制御則の検討やバケットに作用する掘削抵抗力の解析など、本機械に関しては様々な研究が進められている。

(7) シールド掘進機・TBM¹⁰⁾

機械本体の位置・姿勢の制御からセグメントの組立てまで、ほぼ一連の作業が自動化された優れたトンネル掘進機であり、既に数多くの施工実績を有する。

(8) ドラグライン¹¹⁾

バケットがワイヤにより吊下げられているため、ブームを回転させた時のバケットの振動制御が自動化のキーポイントになるが、このバケットの揺れを視覚センサで捉えてバケットの揺れを自動制御し、作業を自動化する試みが行われている。

この他にも、ドリルジャンボやブルドーザなど様々な建設機械で自動化のための研究が進められているが、紙面の関係上、割愛させて頂く。

3. 建設機械知能化システムの概要

建設機械にかかわらず、ほとんどの知能ロボットの構成要素は「環境情報を取込むセンサ」、「センサによって取込まれた情報を認識・判断する知識」および「実際に作業を行う部分を制御するアクチュエータ」であり、これらをまとめると図-1 に示すようになる¹²⁾。

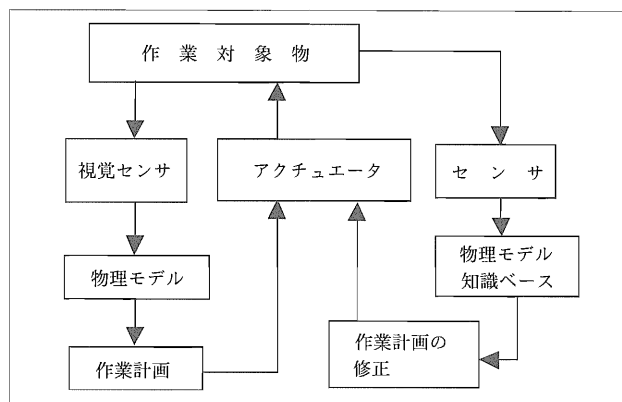


図-1 知能化建設機械の構成要素

例えば、発破で起砕された岩石の掘削作業を考える場合、作業の対象は破碎堆積物であり、この破碎堆積物の堆積状況などの3次元情報および作業対象物と自分(知能建設ロボット)がどれくらい離れているかなどといった情報をセンサで取得しなければならない。

破碎堆積物の堆積状況が把握でき、自分を取巻く環境の認識が行われたら、次にコンピュータなどに蓄えられている知識を基に、実際にどのように作業を行ったら効率よい作業が行えるか、といった作業計画を構築することになる。そして最後に、この作業計画を遂行すべくコンピュータは各アクチュエータに指令を出し、実際に作業を行う。もし、作業空間が知能建設ロボット用に整備されたものであり、外界からの外乱や予期せぬ状況などが起こりにくい環境であれば、以上のシステムだけで作業の大半は達成できる。

しかし、建設機械が対象とする相手は自然界であり、知能建設ロボット用に整備された環境とは言い難い。地面の状況も同様ではなく、柔らかい部分もあれば硬い部分もある。含水率や透水性も場所によって異なる。特に発破によって起砕された堆積物では、岩石の粒度は一定ではなく、時にはハンドリングが困難になるような大岩が含まれることもある。

掘削作業あるいは積込み作業が進行すれば作業環境はその都度変化する。つまり、これらの作業は事前に定型化された作業の繰返し(ティーチングプレイバック)だけでは達成できないばかりでなく、作業前にセ

ンサによって得られた情報を基にして構築された作業計画を途中で変更しなければならないことも頻繁に生じる。

すなわち、知能建設ロボットには一旦作業を開始したら、別なセンサで作業の進行状況を把握し、硬い岩石にぶつかっているとか、外乱のため目標軌道を追従できていないといった状況が発生したら、知識ベースを基に作業計画を変更するという一連の動作を自律的に行うことが要求される。

4. 建設機械知能化の試み

人間は、視覚、聴覚、臭覚、触覚、味覚のいわゆる五感により周辺環境の情報を得ているが、視覚からの情報は、人間が取得する全情報の8割を占めると言われている¹³⁾。建設機械を知能化する場合も同様であり、視覚センサは必要不可欠であると考えられている。また建設作業現場は日々変化し、また広大であることが多く、その結果、建設ロボットは移動作業ロボットにならざるを得ない。ここでは、

- ① 作業対象物の自動認識、
- ② 自律移動、
- ③ 作業の自律施工、

について建設機械知能化要素技術の現状を簡単に紹介する。

(1) 作業対象物の自動認識

作業対象物の認識方法としては、超音波センサを用いる方法、レーザスキャナを用いる方法、画像を用いる方法などがある。

(a) 超音波センサによる方法¹⁴⁾

超音波センサによる環境認識では、一般に音波の伝播速度を利用して対象物までの距離を計測する。すなわち、発信素子から超音波を発射し、対象物に当たって返って来る音波を受信素子で受信し、その間の時間 t を計測する。音波の伝播速度を a とすると、対象物までの距離 L は(1)式で与えられる。

$$L = (ta)/2 \quad (1)$$

これは一般に点計測であるので、この計測をある範囲内にわたって何点も行えば、対象物の形状が得られることになる。計測結果を物体の見え方としてデータベース化して、コンピュータに蓄えておき、機械の目として利用しようという試みもある。

(b) レーザスキャナによる方法¹⁵⁾

計測原理は超音波センサと同じであるが、レーザは指向性が高く、減衰が少ないので超音波距離計よりも

精度の高い計測が可能である。ただし、レーザ距離計は、粉塵が発生するような場所ではレーザが粉塵によって乱反射してしまうので、計測結果に誤差が生じたり使用が困難となるなどの問題がある。この問題点に対して、Dust Cloud という概念を導入し、対象物までの距離を正確に把握しようとする試みも行われている¹⁶⁾。

(c) 画像による方法

画像を用いた視覚センサでは、広範囲の情報を瞬時に把握することが可能であり、また目的に応じて柔軟に後処理に対応できるなどの利点があることから、機械を知能化するための視覚センサとして有望視されている。しかし、近年、コンピュータが急速に発達したとは言え、コンピュータの画像認識機能はまだ十分ではない。それゆえ、対象を限定して画像認識機能を確立していくのが有効であると考えられる。

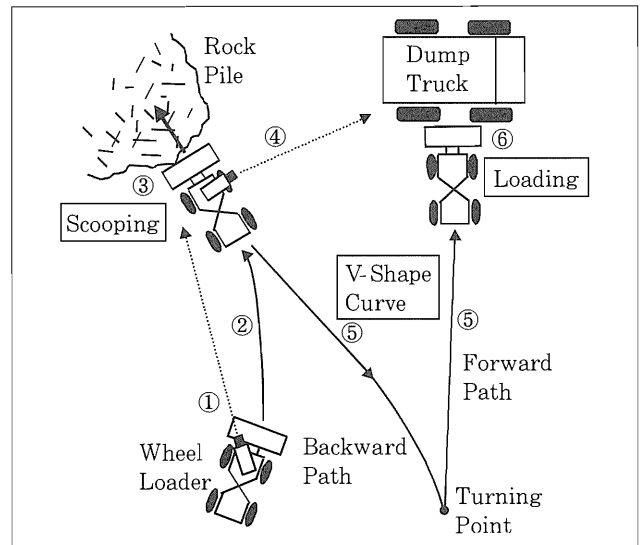


図-2 ロータによるダンプトラックへの土砂の自律積み込み作業の概念

図-2は、ローダによるダンプトラックへの土砂の自律積み込み作業の概念図を示したものであり¹⁷⁾、この場合の自律作業は以下ようになる。

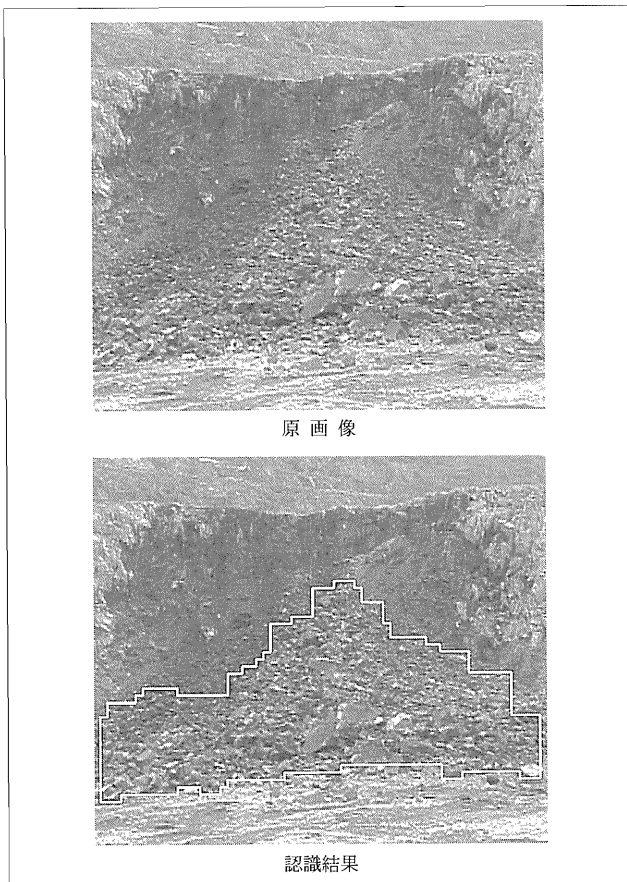
- ① ロータにはビジョンシステムを搭載し、ビジョンが山の形状、堆積量を認識し、バケットを貫入させる位置、方向を決定する。
- ② バケット貫入位置、方向を基にローダの移動軌跡を生成し、この移動軌跡に沿ってローダを移動させる。
- ③ すくい取り作業計画を構築し、バケットを制御して土砂をすくい取る。
- ④ ロータに搭載したビジョンシステムがダンプトラックの位置、姿勢を認識する。
- ⑤ ダンプトラックまでの移動軌跡を生成し、この

移動軌跡に沿ってローダを移動させる。

- ⑥ ローダはダンプトラックに近づき、積込み作業を自律的に遂行する。

著者らは、発破により起砕された破碎堆積物に対象を限定し、破碎堆積物を認識する画像処理アルゴリズムを提案している¹⁸⁾ (図—2の①の作業に相当する)。詳細は文献¹⁸⁾に譲るが、微分処理や面積処理などの基本的な画像処理法と破碎堆積物が有する特徴を組み合わせることにより複雑な背景から破碎堆積物のみを抽出した。

図—3は原画像とそこから抽出された破碎堆積物を示している。また二つのカメラを用いて複眼視を構成し、左右それぞれのカメラから取得される画像を上述の方法で処理して破碎堆積物を抽出し、その輪郭から左右の画像の対応点を自動的に検出し、破碎堆積物の量を推定する試みも行われている¹⁹⁾。



図—3 画像処理による破碎堆積物の認識

さらに著者らは、ロード・ホール・ダンプ模型（以下、LHDと記す）に視覚センサとしてCCDカメラを搭載し、カメラから得られる破碎堆積物の画像を処理して、バケットを貫入すべき位置、方向を認識し、碎石のすくい取り作業を行った結果、堆積物の端から順にすくい取りを行うティーチングプレイバックによ

る作業と比較してすくい取り回数が減り、作業効率が向上することを確認した²⁰⁾ (図—2の①と③の作業に相当する)。

本実験は、堆積量を3次元的に把握したものではなく、プリミティブなものであるが、対象物を常に認識し、最適な作業計画を構築して作業を実行することの重要性を示すものであると考えられる。建設現場を取巻く環境は複雑であるが、ほぼリアルタイムに作業環境を認識できる視覚センサの開発が期待される。

(2) 自律移動

建設機械のナビゲーション方法としては種々のものが提案されているが、その基本システムは内界センサと外界センサとの融合による移動である。

内界センサとは機械自体が有するセンサであり、ロータリーエンコーダ、ジャイロ、レーザレンジファインダ、加速度計などがある。一般にはジャイロで進行方向を知り、エンコーダで移動距離を計測して自己位置を把握する方法が取られるが、内界センサは計測誤差が蓄積するので、この誤差をキャンセルするのが外界センサである。以下に、ナビゲーション法のいくつかを紹介する。

(a) 誘導方式によるもの

① 電磁誘導線を用いる方法²¹⁾

機械の移動経路に沿って地下に電磁誘導線を埋設し、この誘導線に電流を流して磁界を発生させる。一方、機械には検出器を搭載し、検出器が磁界を追いながら機械を移動させる方法である。

機械自体にはジャイロとエンコーダを装備させ自己位置を認識させるが、一種の外界センサとしての誘導線により誘導線からの誤差を小さくするようにステアリングや車速などを制御して進む方法である。

② 光学反射ラインを用いる方法²²⁾

地下に電磁誘導線を埋設する代わりに、坑道やトンネルの天盤に光学反射ラインを設置し、カメラによりこのラインを検出し、画像処理によりラインからの偏差を把握し、ラインに沿うようにステアリングおよび車速を制御する方法である。

メインの光学反射ラインの脇にバーコード状にラインを所々に設置し、カーブや切羽、あるいはダンピング地点が近づいていることを機械に認識させる工夫が施されている。

(b) 自律移動方式によるもの

① デッドレコニング（推測航法）による方法^{3), 23)}

ジャイロにより機械の進行方向を求め、エンコーダにより移動距離を求めて自己位置を把握する方法であ

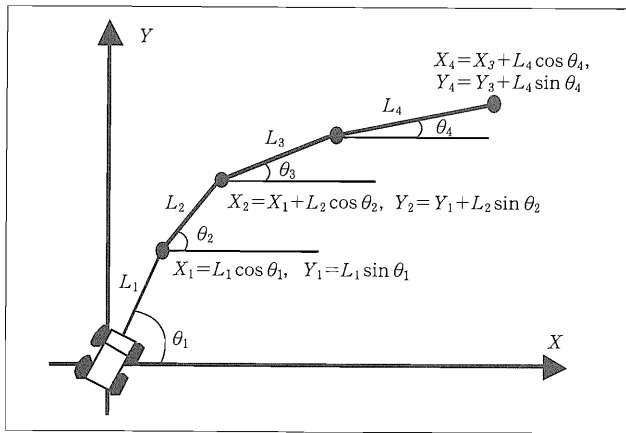


図-4 デッドレコニングによる自律走行の原理

る。図-4 にその原理の概略を示す。

前述したように内界センサだけでは誤差が蓄積するので、例えば、走行経路の脇に反射板を設置し、ダンプトラックの側面からレーザを照射し、反射板で反射して戻って来るまでの時間から走行経路からのずれを計測し、ずれをキャンセルするようにステアリング等が制御されている。

② 超音波を用いる方法²⁴⁾

これは主としてトンネル・坑道内を走行する機械に適用される方法であり、機械の左右の側面に複数の超音波センサが設置されている。この超音波センサにより壁面から機械までの距離を計測し、壁面に衝突しないように機械が制御されている。

トンネル・地下坑道などを自律走行する場合、分岐などを早めに認識する必要がある。一般にはランドマーク（道標）を設置することが多いが、地下環境ではランドマークの設置にはコストがかかり、またメンテナンスも大変であるので、坑道の形状を一種のランドマークに見立てようとする研究もある。

この場合は、分岐などはランドマークとして使用できるので、分岐を検出するために超音波センサをできるだけ進行方向に向ける必要がある。しかし、角度を急にすると反射波が得られないので、最適な角度に設置する必要がある。

③ 視覚センサを用いる方法

視覚センサとしては2台のビデオカメラを用いて複眼視を構成する場合が多い。高性能の画像処理装置を用いて画像を瞬時に処理し、対象物までの距離を把握して機械を設定経路に沿って制御する方法である。

著者らは、ローダにCCDカメラを搭載してダンプトラックを認識するための画像処理アルゴリズム²⁵⁾（図-2の④の作業に相当する）や、逆にダンプトラック模型にCCDカメラを搭載し、ローダを認識しながら接近する画像処理アルゴリズム²⁶⁾などを提案してい

るが、詳細は文献^{25), 26)}を参照されたい。

(3) 自律施工

建設機械が自分の作業対象物を認識し、対象物のところまで移動した後は、実際の作業を自律的に行う必要がある。ダンプトラックなどの運搬機械の役割は土砂、碎石などを運搬することであるから自律走行が主な目的になり、この作業はほぼ実用化の域にある。

一方、パワーショベルやホイールローダによる掘削作業などでは、自然界に積極的にアプローチすることになるが、地盤の不均質性や岩石の粒度の不均一性などのため、自律掘削作業が困難な状況にある。

この掘削作業を自律化するためには、機械自らが作業の進行状況を把握する必要があり、そのためには作業が順調に進んでいる時の理論掘削抵抗力をあらかじめ把握しておき、さらに機械には力覚センサを搭載して作業中の掘削抵抗力を取得し、理論掘削抵抗力と比較検討することが必要である。それゆえ、パワーショベルやホイールローダのバケットに作用する掘削抵抗力を理論的に予測するためのモデルの開発が行われている^{27)~30)}。

自律施工の一例として、著者らは大岩の自律破碎システムを開発している³¹⁾。本システムは、

- ① 大岩の自動検出
- ② 大岩の3次元位置計測
- ③ 大岩破碎の実行

の3つのサブシステムから構成されている。

①は(1)作業対象物の自動認識、に相当し、②は、油圧ブレーカを移動させるため(2)自律移動、に相当する。③のサブシステムが、いわゆる(3)自律施工、に相当するが、本システムでは、油圧ブレーカの「のみ」の部分に歪ゲージを貼付けて力覚センサとし、打撃を自動的に開始し、さらに大岩が破碎された時に直ちに打撃を停止するアルゴリズムを開発している。

一方、地盤に積極的にアプローチしながら自動化を達成している優れた機械にシールド掘進機およびトンネルボーリングマシン(TBM)がある。機械の位置、姿勢の制御やセグメントの自動組立も既に実施されており、今後は多様な地質構造に柔軟に対応できる制御システムの確立が待たれる。

5. 建設機械知能化の今後の展望

我々は大量の資源、エネルギーを消費し、インフラストラクチャを建設・整備して豊かな文化生活を営んできたことは誰しもが認めるところであろう。この豊

かな文化生活を維持し、さらに発展させるためには、未利用の資源・エネルギーの有効活用が必要不可欠であるとともに、新たなインフラストラクチャの建設および社会基盤整備が重要な課題である。そして、建設機械の高度活用なくして、この課題の解決はありえない。

しかし、近年、環境問題がクローズアップされるにつれて、「開発＝環境破壊」というイメージから、ややもすると建設機械は環境破壊の一因であると言われることもある。そこで次世代の建設機械はどうあるべきか。キーワードは、「環境」、「リサイクル」そして「安全」であると著者は考えている。

まず、次世代の建設機械は、「環境調和型」である必要があり、環境と調和しながら建設機械を上手く利用して、資源・エネルギーの開発、新たなインフラストラクチャの建設を進めるべきであると考え。すなわち、状況に応じて環境負荷を最小にするような作業工程を自ら選択できるような環境調和型知能化機械の開発が期待される。

「リサイクル処理」は、環境に優しい建設機械の開発につながるばかりでなく、「資源循環型社会の構築」に大いに寄与する。著者らは、掘削土砂、建設残土のリサイクル処理機械最適設計支援のための土砂混合シミュレータの開発^{32), 33)}や建設汚泥等の高含水比泥土の新しい再資源化処理工法の開発^{34), 35)}を行っているが、このような建設廃棄物の再資源化処理や汚染土壌の修復処理では、土砂と添加剤の混合処理が極めて重要な役割を果たす。しかし、土砂の混合処理は土質の影響を大きく受け、非常に複雑である。したがって、土砂の混合処理を行いながら、機械自らが土質を判断し、最適な操業条件に自らを自動制御するような知能リサイクル処理機械の開発が望まれる。

また災害復旧現場や地下深部での開発作業では、「安全」のための自動化・ロボット化技術が必要不可欠である。つまり知能化建設ロボットは我々の豊かな文化生活を発展させるためになくてはならない次世代建設機械と言える。知能化建設機械の1日も早い実現を期待し、本報文の結びとするが、誌面の関係上および著者の力不足からカバーしきれなかった多くの文献等がある。読者の方々からご批判を頂ければ幸いである。

J C M A

《参考文献》

- 1) S. Singh and R. Simmons: Task Planning for Robotic Excavation, Proc. of the 1992 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.1284-1291, 1992
- 2) S. Singh: A Survey of Automation in Excavation, 資源・素材学雑誌, Vol.112, No.8, pp.497-504, 1996
- 3) 三宅謙三郎ら: 砕石業における岩石採取作業の自動化技術開発, 資源・素材学雑誌, Vol.112, No.8, pp.571-580, 1996
- 4) 古河さく岩機販売(株)パンフレット
- 5) A. Hori et al.: Off-highway Truck Unmanned Navigating Systems, Proc. of the 2nd Int. Symposium on Mine Mechanization and Automation, pp.425-434, 1993
- 6) 吉田 正ら: ロータリ除雪車の自動操舵支援システム, ジオメカトロニクスの高度展開と社会基盤整備に関するワークショップ講演論文集, pp.76-81, 2002
- 7) 内田正孝ら: 硬岩自由断面掘削機の自動掘削について, 第6回建設ロボットシンポジウム講演論文集, pp.59-64, 1997
- 8) Q.P. Ha et al.: Force and Position Control for Electro-hydraulic Systems of a Robotic Excavator, Proc. of the 16th Int. Symposium on Automation and Robotics in Construction, pp.483-489, 1999
- 9) A. Hemami et al.: Some Experimental Force Analysis for Automation of Excavation by a Backhoe, ibid. Ref. 8), pp.503-508
- 10) 松本嘉司: 最新シールドトンネル, 日経BP社, 1994
- 11) P.I. Corke et al.: Swing Load Stabilization for Mining and Construction Applications, ibid. Ref. 8), pp.367-372
- 12) 深川良一ら: ジオメカトロニクスの提案と展望, 土木学会論文集, No.700/VI-54, pp.1-14, 2002
- 13) 木内雄二: 画像認識のはなし, 日刊工業新聞社, p.1, 1993
- 14) 中野栄二: ロボット工学入門, オーム社, pp.185-190, 1990
- 15) S. Singh: State of the Art in Automation of Earthmoving, 2002, ibid. Ref. 6), pp.51-69, 2002
- 16) A. Stentz et al.: Robotic Excavator for Autonomous Truck Loading, *Autonomous Robots*, Vol.7, No.2, pp.175-186, 1999
- 17) H. Takahashi and T. Sugawara: Vision System for Intelligent Loaders to Recognize the Piled Fragment Rocks, Proc. of the 4th International Conference on Materials for Resources, Vol.2, pp.243-248, 2001
- 18) 高橋 弘ら: 画像処理による破砕堆積物形状認識のためのビジョンシステムに関する研究, 資源・素材学雑誌, Vol.116, No.9, pp.767-772, 2000
- 19) 高橋 弘ら: 複眼視による破砕堆積物の形状認識と堆積量推定に関する研究, 資源・素材学会春季大会講演集, pp.185-186, 2002
- 20) H. Takahashi et al.: Autonomous Shoveling of Rocks by Using Image Vision System on LHD, Proc. of the 3rd Int. Symposium on Mine Mechanization and Automation, pp.33-44, 1995
- 21) T. Gocho et al.: Automatic Wheel-Loader in Asphalt Plant, Proc. of the 9th Int. Symposium on Automation and Robotics in Construction, pp.803-812, 1992
- 22) M. St-Amant et al.: A Simple Robust Vision System for Underground Vehicle Guidance, Proc. of the 1st Int. Symposium on Mine Mechanization and Automation, Vol.1, pp.6/1-6/10, 1991
- 23) 大島 寛ら: 鉱山・砕石における積み・運搬作業の自動化, *Komatsu Technical Report*, Vol.43, No.1, pp.27-39, 1997
- 24) J.P.H. Steele et al.: Modeling and Sensor-Based Control of an Autonomous Mining Machine, ibid. Ref. 22), pp.6/55-6/67, 1991
- 25) H. Takahashi and Y. Konishi: Path Generation for Autonomous Locomotion of Articulated Steering Wheel Loader, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol.16, No.3, pp.159-168, 2001
- 26) 高橋 弘, 森川康弘: ローダとダンブトラックの協調作業による積み込み作業の自動化に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.672/VI-50, pp.169-177, 2001
- 27) A. Hemami: Force Analysis in the Scooping/Loading Operation of an LHD Loader, ibid. Ref. 5), pp.415-424
- 28) A. Hemami and L. Daneshmend: Force Analysis for Automation of the Loading Operation in an LHD-Loader, Proc. of the 1992 IEEE Conf. on Robotics and Automation, pp.645-650, 1992
- 29) 高橋 弘ら: 破砕堆積物のすくい取り作業時におけるバケットに作用する抵抗力に関する基礎研究, 日本機械学会論文集(C編), Vol.63,

- No.609, pp.1491-1497, 1997
- 30) H. Takahashi et al.: Analysis on the Resistive Forces acting on the Bucket of a Load-Haul-Dump Machine and a Wheel Loader in the Scooping Task, *Advanced Robotics*, Vol.13, No.2, pp.97-114, 1999
- 31) 高橋 弘ら：力覚と画像処理を用いた大岩小割作業の自動化に関する研究, 資源・素材学会誌, Vol.118, No.5-6, pp.369-375, 2002
- 32) 高橋 弘ら：掘削土砂リサイクル処理機械内土砂挙動解析用シミュレータの開発に関する基礎研究, 資源・素材学会誌, Vol.116, No.6, pp.502-508, 2000
- 33) 高橋 弘ら：掘削土砂リサイクル処理機械における土砂と添加剤の混合に関する研究, 資源・素材学会誌, Vol.116, No.10, pp.839-846, 2000
- 34) 森 雅人, 高橋 弘ら：故紙破砕物と高分子系改良剤を用いた新しい高含水比泥土リサイクル工法の提案と繊維質固化処理土の強度特性, 資源・素材学会誌, Vol.119, No.4-5, pp.155-160, 2003
- 35) 高橋 弘ら：高含水比泥土の再資源化を目指した軽量繊維質固化処理土の生成に関する研究, 日本素材物性学会誌, Vol.16, No.1, pp.21-26, 2003

[筆者紹介]

高橋 弘 (たかはし ひろし)
 東北大学大学院環境科学研究科
 環境科学専攻
 助教授
 工学博士



建設機械技術者必携

建設機械施工ハンドブック (改訂版)

建設機械による土木施工現場における監理技術者、専任の主任技術者、オペレータ、世話役、監督等の現場技術者、建設機械メーカ、輸入商社、リース・レンタル業、サービス業などの建設機械の技術者や、大学、高等専門学校、工業高等学校において建設機械と建設施工を勉強する学生などを対象として本書は書かれています。

今回、最近の技術動向、排気ガス対策、安全衛生管理体制、建設副産物、適正な施工体制等について最新の技術と内容をより充実させ、機械化施工における環境の保全、効率的な工事の施工が図られることを念頭に改訂編纂し出版しました。

建設機械技術者にとって必携の書でありますのでご案内申し上げます。

■掲載内容 (三分冊)

- ・基礎知識編 (土木工学一般, 建設機械一般, 安全対策・環境保全, 関係法規)
- ・掘削・運搬・基礎工事機械編 (トラクタ系機械, ショベル系機械, 運搬機械, 基礎工事機械)
- ・整地・締固め・舗装機械編 (モータグレーダ, 締固め機械, 舗装機械)

■体 裁：A4判 全約910頁

■価 格：会 員 10,000円 (消費税込) 送料 600円
 非会員 11,550円 (消費税込) 送料 600円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館) Tel. 03(3433)1501, Fax. 03(3432)0289