

未来の建設機械： オペレータアシスト型油圧ショベルの提案

東北大学大学院工学研究科地球工学専攻博士課程前期 泉

亘

社団法人日本建設機械化協会東北支部は、1953年（昭和28年）設立されて以来、建設の機械化に関連した研究、普及、啓蒙活動を行ってきた。殊に国土交通省東北地方整備局の指定を受けて道路除雪の安全、円滑な遂行のために除雪講習会を開催してきている。

このたび支部創立50周年を記念して次世代の創造を担う学徒の斬新な発想による近未来、未来の建設事業や社会資本整備に挑戦する論文を募集した。募集したテーマは、

- ① 「生き甲斐の大地：東北地方」の生活とまちづくり
- ② 建設工事施工技術の夢・未来
- ③ 未来の建設機械
- ④ その他

であった。応募資格は大学（大学院2年まで）、高等専門学校、工業高等専門学校に在籍する学生。本年2月15日までに提出された応募総数22篇の論文は審査委員会で審査を行い最優秀賞1件、優秀賞6件、佳作6件、を決定した。最優秀賞、優秀賞については6月10日（月）開催された50周年記念式典で表彰した。

ここでは最優秀賞に輝いた論文を紹介する。

1. はじめに

現在の建設機械の操作には、一般に熟練が必要とされている。

例えば油圧ショベルの場合、左右のレバーとペダルが、車体の前進、後退、旋回からブーム、アーム、バケットの動作までをカバーするため、レバーの動作方向と各部の挙動が一致しないことが多い。そのため、オペレータが油圧ショベルの動きを決めた時、どちらのレバーをどの方向に動かせば良いかを瞬時に頭に浮かべる必要があり、言い換えれば、反射的に体が反応するまで操作の訓練を行う必要がある。

また建設作業現場は、いわゆる3K（きつい、汚い、危険）作業であり、荒々しく男っぽいといったイメージがあるため、機械の操作の難しさと相まって、熟練オペレータの不足と高齢化が進んでいるのが現状である。

ところで、これまでの建設機械の自動化・知能化は、過酷な作業環境からの作業員の解放および安全確保、さらに熟練オペレータ不足の解消を目的として進められてきた。その一例として、無人ダンプトラックは既に幾つかの鉱山で稼働中であり、実用の域にあると言える。しかし一般に建設機械が対象とする環境は、作業の進展に伴い、作業対象物の形状や大きさが変化するため、あらゆる状況に対応できるシステムの構築が容易ではない。

このため、ロボット用に整備された環境で作業する従来の産業用ロボットでは対応しきれないことから、建設現場におけるロボット化は他の分野に比べて遅れている。

これに対して未来の建設機械は、外界の状況を自ら検知・判断し、作業を行う高度な機能を備えた機械になることが期待されるが、完全な無人化までいかになくとも、オペレータをアシストする機能を数多く搭載し、簡単な操作で自動的に積込みや掘削を行えることが望まれる。つまり建設機械を簡単に操作できるということは、今より多くの人に就業のチャンスが増えることになり、建設作業現場のイメージアップにもつながるかもしれない。

このような観点から、本論文では、無人建設機械よりも実現の可能性が高い。オペレータアシスト型建設機械を取上げ、その実現のために、現状の建設機械の機能をどのように変えていけばよいかを油圧ショベルを例に考えてみる。

2. オペレータアシスト型油圧ショベル

現在の油圧ショベルの場合、冒頭でも述べたように、左右の作業レバーと左右のペダルで機械のすべての動作をカバーしている。

左右のペダルは車体の走行に関するもので、踏んだ方向にクローラが回転するので、比較的イメージがつかみやすい。これに対し、左右のレバーは、ブーム、アーム

■社団法人日本建設機械化協会東北支部創立 50 周年記念学生懸賞論文

およびバケットの個々の動作ならば比較的わかりやすいが、これらを複数組合せた動作は、空振りの状態ならまだしも、実際に掘削、積込み等を行う場合は容易ではない。

そこで以下ではすくい取りおよび積込み作業の簡易化の方法について考える。

(1) すくい取り作業の簡易化

熟練オペレータは、ブームとアームの操作を同時に行いながら、最短軌道でバケットを作業対象物に貫入させ、貫入後にバケットが障害物に当たった場合でも各部の動きから判断し、貫入点をすぐに変更して、すくい取りを行っているように思われる。まさに作業部を自分の手のように扱えるわけであるが、初心者にとって作業対象物の位置は容易に判断できるにしても、どの場所にバケットの先端を貫入させればよいか、また障害物に当たった場合はどうするかを判断するのは難しいと考えられる。

そこで作業対象物の位置指定はオペレータが行い、貫入点の決定および障害物等の判断は機械が行うようなマンマシンインターフェイスを搭載する。具体的には、作業対象物の形状を3次元的に認識するビジョンシステムやバケットに働く抵抗力の計測である。この時のシステムの入出力関係を図-1に示す。

まず作業対象物の位置指定は、オペレータが対象物地点まで油圧ショベルを動かし、さらにカメラの映像をタッチパネル上に出力し、手動で対象物の範囲を指定する。そして3次元形状認識ビジョンシステムを起動する。

このビジョンシステムについては、人間の目と同様に複数のカメラによる複眼視やレーダなどの距離センサとの融合により、作業対象物と機械との距離および堆積量を3次元的に推定する。これにより、どの地点からすくい取ればバケット容量を満たすことができ、さらにもとのブーム、アームの軌道がわかることになる。

次に抵抗力については、現状の油圧ショベルでは、バケットにかかる力がオペレータにフィードバックされないで、岩石塊への衝突など予期せぬ事態が生じているかどうかの判断基準を定めるために計測する。抵抗力測定のためには、バケット部に力センサを取付け、バケットが対象物に貫入する際に、適当な間隔で抵抗力をサンプリングし、正常に作業が行われている時の抵抗力に比べて大きな差が出ていないか確認する。

この際、あらかじめ熟練オペレータが障害物に衝突したときの対処方法を教師データとしたニューラルネットワークを構築しておき、それにより適切な解を得て、作業を再試行する。

以上のような方法で、すくい取り作業の簡易化が実現できると考えられる。

(2) 積込み作業の簡易化

積込み作業については、運搬機械であるダンプトラックとの協調作業であるため、まずダンプトラックとショベルとの相対位置を考慮する必要がある。また積込みの際に重要なのは、荷こぼれを起こさないのもちろんであるが、ベッセルになだらかに積込めるようにすることである。そのため、ベッセルとバケットの位置調整はオペレータが行うにしても、積込みは自動化するのが望ましい。

まず位置調整については、最近、十分に使える環境になってきたGPSを用いるのが有効であると思われる。例えば、ダンプトラックのベッセルの中心とショベルのバケット部にGPSを搭載すると、あらかじめベッセルとバケットの諸元がわかっているので、荷おろしの範囲が確定される。そこで、オペレータがその範囲にバケットを手動で合わせる。この際、すくい取り時と同様に、熟練オペレータの操縦をコンピュータに学習させ、どの

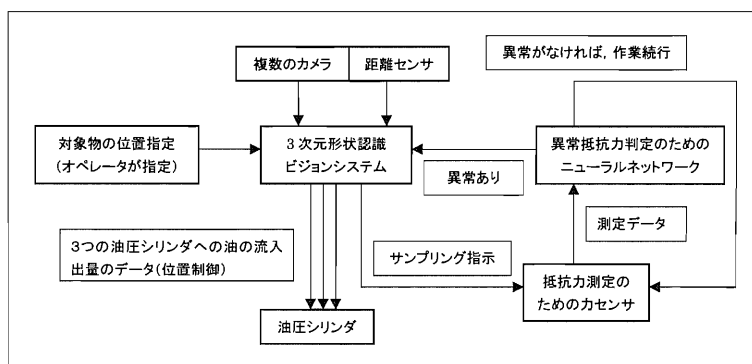


図-1 すくい取り作業時のシステムの入出力関係

■社団法人日本建設機械化協会東北支部創立 50 周年記念学生懸賞論文

点にバケットを合わせれば適切に積込めるかを判断するアプリケーションが必要となる。そしてオペレータの目で荷こぼれが起きそうにないかを最終確認し、必要ならば微調整をしたうえで、ボタン操作一つでダンプトラックへ積込む。

以上のような方法で積込み作業の簡易化が考えられる。

(3) その他具備すべき機能

ここで述べる機能は、作業の簡易化とはやや異なるものであるが、機能面の見直しとして望むのは、盗難防止技術である。現状では、衛生通信を利用して機械の位置を確認するといった方法があるが、盗難後に対策を講じるのではなく、盗難前に防止をすべきであろう。

そういう面で現在研究が進んでいるのは、ICカードを利用したシステムである。これは指定されたICカードを入れなければ、エンジンがかからないというシステムであり、もちろん作業管理・機械管理といった情報のやりとりもできると考えられるが、さらにその人が持っている資格の情報も入れておけば、無資格運転の防止にもなり、単なる盗難防止ではなく、安全にもつながることになる。

3. おわりに

本論文では、未来の建設機械の例として、オペレータアシスト型油圧ショベルを取上げ、現状の油圧ショベルをどのように変えていけばよいかを考えた。

各方面で研究されている未来の建設機械の最終的な目標としては、やはり無人化であろう。しかし例えば、作

業対象物の探索にしても一からやるよりは、人間の目を利用して、オペレータがその場所を指定した方が処理は速いと考えられる。またショベルの走行あるいは旋回という動作は、すくい取りや積込みに比べれば容易であり、初心者でも実行可能であるように思われる。そこで人間と機械の役割分担を明確にし、人間が勝っている面は積極的に利用していくことで、機械と協調していくことを提案したい。

本論文で述べた方法は、技術の表面的な部分であるので、各要素をさらに煮詰めていくと、例えばコストの問題があったり、さらに付加すべき機能があったり、もしくはもっと有効な方法が出てくるかもしれない。その点については、今後の技術革新に期待する次第である。

今後は建設作業現場において、作業の簡易化あるいは安全性の向上に伴い、女性や高齢者が増加するなど、従来の荒々しいイメージが払拭されていくであろう。但し機械の高性能化にあたっては、先に述べたような人間の判断をあえて利用する、つまり人間と機械の新たな協調システムの構築を目指すことが、21世紀の建設機械の自動化であろうと考える。

《参考文献》

- 1) 高橋 弘, 塚本佳明, 中野栄二: 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), 63, No. 609, 1491-1497 (1997).
- 2) 高橋 弘, 菅澤 努, 齋藤清次: 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, 資源と素材, 116, No. 9, 767-772 (2000).