



建設機械遠隔操縦人型ロボットの現状と将来性

吉 田 道 信

過去の災害現場や工事現場では、危険を承知の上で、人による作業が安全第一・人命第一を無視せざるを得ない状況で行われていた。近年の技術でその危険作業を機械で行うことができてきた。機械の効率化、自動化も進み、人命優先の工事現場の確立は、敬遠される建設業界に明るい陽射しを照らし、将来の技術者や労働者の確保の必要な要因になっている。その一つとして建設機械を遠隔で操縦する必要性、従来の専用機よりも安価に施工できることが重要になってきた。その技術と将来性について記述した。

キーワード：遠隔操縦機，DokaRobo，KanaRobo，人型ロボット，搭乗型操縦装置，コクピット

1. 開発経緯

遡ること、2011年に起きた東日本大震災により、その復旧・復興工事に遠隔による重機作業が必須だったことから、「(株)富士建」の角専務が過去から培ってきたロボット技術を駆使して遠隔操縦機の開発に乗り出した。それはラジコン専用機を作るのではなく、従来からある重機をそのまま利用するという画期的なアイデアを基に重機にロボットを乗せて操縦したいという夢を現実にさせる第一歩だった。その考え方が弊社の考え方とマッチしたことからこの開発が始まった。

専用機を作ることは意外と楽にできるかもしれないが、いつ使うともわからない専用機を待機させておくより、日ごろから使っている重機をそのまま利用できたほうが稼働効率を考えてもメリットがあると考えた。災害現場の場合、遠隔操縦機が必要となっても近くにない、重トレーラーで在庫場所から輸送となれば

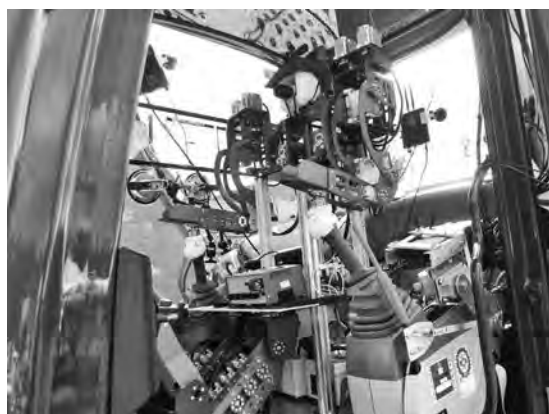
被災地は大型車が入れない状況が想定される。しかし被災地周辺に存在する標準機にワゴン車で運ぶKanaRoboを乗せれば遠隔操縦機に早変わりする。それが今後の建設機械のあり方であり、今思えば、無人化施工・自動化施工・情報化施工の走りだったのではないだろうか？

さらに将来的にはAIを搭載しオペレーターがいなくても指示した作業を行う完全自動化ロボットを目指したい。

しかし、その開発は簡単ではなく想像を絶する苦労と時間と費用を要してしまった。

その生みの親である角専務は、早くからロボット開発を開始しており二足歩行ロボットによる競技大会や格闘技大会に参加し、経験と実績を積んできており、5本指機構を備えた女性型ロボットでピアノ演奏を実現させている（写真—2）。

それを建設機械の操縦に使えると確信し開発は始



写真—1



写真—2



写真—3

まった。建設機械への取り組みは2012年ころから開始し、2014年に初号機を作り上げている（写真—3）。

2. 技術開発

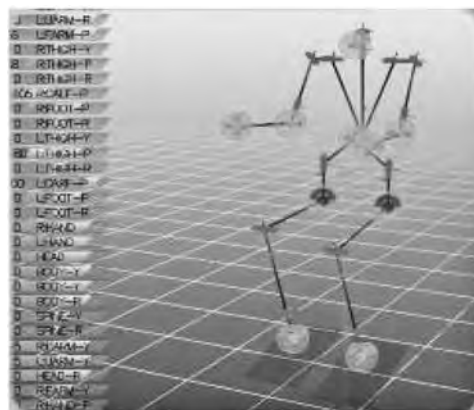
開発に取りかかるも建設機械をロボットが操縦するためには、その操縦レバーを動かす人間の腕に当たる部分の設計、走行するための人間の足や腕に当たる部分の操縦レバーの設計を進めたが、その動かす力に耐えられるサーボモーターを選定するも、その時代にコンパクトで高トルクのサーボモーターはそう簡単には見つからなかった。特注で作らせることも可能ではあったがサーボモーターの寿命を考えると、量産品でなければメンテナンス費が膨大になることが予想された。そのため最大トルクの100 kgcmの汎用サーボモーターを26個選定した。ロボットとしては直線運動がほほないことから、すべての関節のサーボモーターをレバーの操作に合わせたアルゴリズムを構築する必要があるがそのプログラムを一から作り上げることは膨大なデータと時間を要することから、そのロボット技術で世界的に知られている、(株)アスラテックの吉崎航氏の開発した「V-Sido OS」を導入しプログラムを簡素化させた。

(1) サーボモーター単位での稼働範囲設定

関節が想定外の角度に回転して関節を痛めてしまうのを防止するため、各サーボモーター毎に回転可能な角度範囲をあらかじめ設定している。その値は各サーボモーター内のフラッシュメモリーに格納されている。また、トルクが不要ない関節には最大トルクの設定を低めに設定しておくことで、想定外の動きをした時に周囲のものを破損させる可能性を防ぐ。

(2) シミュレーションに基づいた各関節の可動範囲設定

各関節ごとに可動範囲を指定するだけでは、全身の姿勢によっては干渉などを起こす可能性が高い。そこで、ロボットの動きをリアルタイムにシミュレートし、全身の動きが問題なく行える範囲での動作を生成する。シミュレータ画像を写真—4に示す。



写真—4 V-Sido OS

(3) コンプライアンス設定

シミュレーションに基づいた各関節のコンプライアンス設定をして現在の姿勢に合わせた適切なコンプライアンス値を随時各関節に指定することで、腕の柔らかな動きを実現する。

(4) サーボモーター管理

稼働時は各サーボモーターの負荷や温度を監視しており異常時には警報が発せられる。

(5) 実機レバーの中立位置確認

作業継続中に振動、衝撃により中立位置がずれる場合には中立位置確認モーションを起動し再校正を行う。

(6) サーボモーター管理

サーボモーターの制御はRS485のシリアル通信により行われ、主制御装置からコマンドが送受信されている。コマンドは通信エラー等で異常がないかのチェックを行っている。

(7) 通信エラー時の設定

通信が途絶えた場合は安全な位置で停止する機能を設定している。以上のような安全対策を行っている。

初号機では、遠隔先でディスプレイを見ながら操縦するシステムとし、ジョイスティック（プロポ）での



写真—5 DOKAROBO 初号機



写真—6



写真—7

操縦で実現させている。合わせてヘッドマウントディスプレイ（今ではVRと言ったほうが理解できると思うが）による実証も行った。

また、ロボットの設計も人型がベースなので足・胴体・腕・頭のビジュアルも考慮し試行錯誤し、アルミニウムとマグネシウムベースに軽量化と強度を重視し



写真—8 DOKAROBO2 号機

て設計。

しかし、まだ問題は多かった。運転席に座らせるのは人間ではなくロボットであることから、人間用に作られたシートはぐらつきがあり操作レバーのバックラッシュを大きくしてしまう。そのためシートを外して機体に直接固定をする方法で操作の安定性を確立した。さらにヘッドマウントディスプレイでの操縦は実際の目で見える風景とディスプレイから見る映像ではわずかなずれが生じることから「酔い」の現象が発生し作業員の負担が大きくなり、長時間作業は困難なため、ディスプレイによる操作に変更した。ディスプレイの数は前面正面・前面下面・両側面・後方・バケット周り等現場の状況により設定する。



写真—9 DOKAROBO3 号機

操縦も今までは、プロポ等のジョイスティックによるものであったが、細かい操作や日頃より体が覚えている操作は、急にプロポでの操作は難しく危険が伴うもので、操作性を考えると日頃より使い慣れた操縦席のほうが格段に操縦しやすいことから実機のコックピットをそのまま遠隔操縦機に改造した。オペレーターが



写真-10

必要に応じて選択できるようにした。

実際はワゴン車の中に搭載して操縦するが撮影のために屋外に出したものである（写真-10）。

このコクピットの製作にも建機メーカーのアドバイスをいただき実機と同じタッチを実現させるために実機そのものの油圧装置を使用した。

これでほぼ完成の域に達したが、まだ問題点はある。それは実機に乗っていないため実機の傾斜や奥行感、振動が伝わって来ないということだ。これも将来はゲーム機ではお馴染みのバイラテラル制御（実機に合わせて離れた運転席が実機と同じ動きをすること）を装備すれば実現可能であり、すでに製作を行った。



写真-11

奥行感に関しても、画面で見ていることが原因ではあるが、画面上にマトリックス表示と俯瞰カメラの設置で解決していきたい。

また無線操縦であるため、画像送信と操縦送信の2種類の無線装置が必要となる。現在は特定小電力の1.2 GHz や Bluetooth 等で操縦、5.6 GHz で画像を送信しているが、現場の状況によってはほかの無線装置を使用することも可能であるが、日本での電波法により無線は制限されていることから、資格取得等の弊害も無視はできない。現時点での最大の問題点は「遅延」

である。PC も無線も昔から見れば向上しているため、処理速度は速くなっているが、それでも実機を直接動かす動きから見れば0.45秒程度の遅れは生じる。これをOKとするかはオペレーター次第になっているのが現状であるが、自分は最近この装置しか操縦していないので違和感はない。ただ、ベテランオペレーターになればなるほど違和感はあるだろうと思う。スマホが出回ったときに真っ先に飛びついて使いこなしたのは若者で年配者はなかなか馴染めなかったことと事象は同じで、操作後のアンケートでも年齢層で明確に分かれた。それが現実かもしれない。

また、2018年よりこのロボットの名称を「DOKAROBO」から「KanaRobo」に変更した。言わずとも察しはつくでしょう。現在、各地の災害現場や危険地帯、さらに全国の防災訓練でも、デモンストレーションを行っている。

3. 将来性

(1) 第一段階

今後構築される、携帯電話網の5Gであればもっと簡単に全国どこでも操縦が可能となる。たとえば、工事現場と土砂置場にそれぞれ置いておけばオペレーターがいなくても積み込み作業などができることを考えれば省力化になっている。東京の事務所に居ながら北海道の重機を操縦し、午後からは九州の重機を操縦することも可能となる。しかし、無線装置から直接操縦レバーを動かしているのではなくその間にはいろいろな情報が必要でPCにてプログラム制御を行っている。現時点では高性能PCを駆使し処理速度を上げているが、それでも多少の遅延は発生している。慣れればその遅延は許容範囲ではあるものの将来的には遅延ゼロを目指す。

また、遠隔操縦だけではないが後方の未確認による



写真-12

人身事故が多発している。装置としてデブスカメラを備えた装置で AI による画像解析を行い、人間だけを認識させ、注意及び建機を停止させる技術も完成している。

その名も「ナクシデント」。この遠隔操縦機だけでなく日頃使われている建設機械にも装着可能なので必要に応じて順次装備していき、現場の安全管理に役立てたい。

(2) 第二段階

現在、マシンコントロールが主力となりつつある建機業界ではあるが、専用 MC 機でなくても標準機に KanaRobo を搭載することで MC マシンに変身できることも近い将来、可能となるだろう。さらに AI 機能を熟成させることでオペレーターの代わりにこの KanaRobo が指示された作業を行う時代もそう遠くはない。

(3) 第三段階

建設機械も電子化が進んでおり、操縦レバーも従来の油圧制御レバーから電気式操作レバーに進化している。現時点では一部のメーカーだけが採用しているが、操縦性もよく汎用性も高い。

このレバーは電気信号で油圧制御を行っているためシステムが簡素化され自由度は増している。よってこの装置であれば運転席にロボットを乗せる必要性はなくなり、その信号線をバイパスし無線装置（チップ）をセットすることで遠隔操縦は簡単に出来る時代がやってくるであろう。形は変われど KanaRobo で培った技術をそのまま AI に叩き込み万能なロボットを構築していきたい。

4. おわりに

現在はパワーショベルとしてのロボットだが、将来的にはブルドーザーやグレーダーなどの建設機械全般

に使えるロボットとしてブラッシュアップしていく。人が操縦するのではなくこのロボットが AI を基に設計通りの作業を行い、人のお手伝いをしてくれるロボットに作り上げて行きたい。

遠隔操縦機というくくりでは、何社かで作られているが、建機メーカーはラジコン式の建機の開発販売を行っている。よって専用機となる。コクピットの操作レバーを動かすというシステムでは人工筋肉で操作したり、電動シリンダーで操作レバーを直接動かす直動式のものなどさまざまあり、それぞれ一長一短があり、便利なものもある。そのほうが簡単かもしれない。弊社のようにわざわざロボットを作り面倒なプログラムまで組んで、他社より複雑なものを作りあげようとしているのはなぜか？

それは、将来、ロボットが活躍する時代になったとき、このごちないロボットがこれから出来上がってくる鉄腕アトムのような高性能なロボットを作り上げていく一つの礎となれればと考えるからだ。また、ロボットは人間をサポートするものであり、人間の代わりになるものではない。人間の代わりになれば SF ではないが人間はいらなくなる。技術が進歩すればするほど人間は退化していき、何もできない、何も覚えられない人間が増加していく。人間としてサポートしてもらいたいことをロボットにお願いする。これは人間が楽をすることではなく、人間の能力をサポートしてくれる補助として考えるべきである。とはいえ企業も収益を目指している戦国集団であることから、弊社もこれを武器に差別化を図り収益に貢献できるニュープロダクツにしたい。

JICMA

【筆者紹介】

吉田 道信（よしだ みちのぶ）

（株）カナモト

ニュープロダクツ室

