

研究開発部門 特別賞

アスファルトフィニッシャの遠隔操作技術の開発

世紀東急工業(株) 技術本部 技術研究所 森 晴哉
 // // 磯部 雅紀
 // // 板東 芳博

1 はじめに

近年、建設業界においては、少子高齢化や労働人口の減少により、省人力化や技術の継承が喫緊の課題となっており、その対策の一例として建設機械の遠隔操作が開発されている。

建設機械の遠隔操作は、主に自然災害箇所への復旧や、人間の立ち入りが危険な現場での作業を目的に開発されてきた。しかし、近年は省力化や生産性向上の観点からブルドーザや油圧ショベル、建設用クレーンに遠隔操作技術が取り込まれている。

筆者らは舗設現場の問題点として、フィニッシャオペレータが行うダンプ運搬車の搬入や速度、ステアリング操作やその他細部にわたる機械操作が煩雑であることに対して、専門技術者が不足していることを鑑み、これらフィニッシャ操作を舗設現場ではほとんど適用されていない遠隔技術で操作できるようにして省人力化できないか検討した。また、これにより現場で操作する未熟なオペレータに対して、遠隔で熟練者が教育することも可能となると考えた。

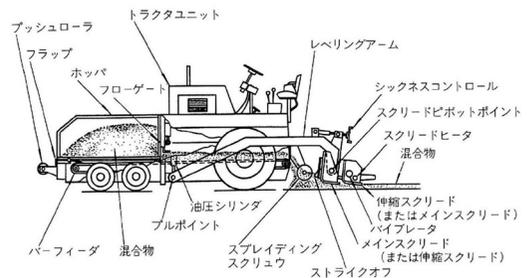
2 遠隔操作システムの概要

道路舗装工事で使用する大型アスファルトフィニッシャ（以下、AF）は、AF運転手とアジャスト

マンの2名1組で操作するのが一般的である（写真－1）。AF運転手の役割はAFの走行制御を中心に、アスファルト合材運搬ダンプトラックから合材をチャージングホッパへ荷受けし、バーフィーダを介してAF後部のスクリーンへスムーズに合材を送り届ける役割を担っている。センサ類の進歩により、合材の供給作業は自動化が図られてい



写真－1 従来（2人体制）のAF作業状況



図－1 一般的なアスファルトフィニッシャの機構¹⁾

るが、それでもAF運転手は常に敷きならし状況を把握しながらAFを操作している。アジャストマンは、主にスクリード付近で敷きならし厚さを施工幅員の調整を行う(図-1)。

当開発では、まずはAF運転手の作業を遠隔化することとした。遠隔で行う作業項目として、以下の操作を選定した。

- ・ AFの走行(前進、後進、操舵)
- ・ ホッパの開閉
- ・ バーフィーダの操作
- ・ スクリューの操作
- ・ ダンプ誘導装置の操作

システム全体の構成としては、AFの前方および全周をカメラで撮影し、その映像を携帯電話回線を利用して遠隔操作基地へ送信し、その映像を基に遠隔操作を行うものとした。システム全体のイメージを図-2に示す。



図-2 遠隔操作システムの概略イメージ

3 制御信号の解析

近年の建設機械の制御は電子化が進み、AFもその例外ではない。今回システム実装を行った外国製ホイール式AFも、CANバスと呼ばれる制御システムを採用している。CANとはController Area Networkと呼ばれる自動車分野で開発された制御システムで、建設機械でも広く採用されている。CANバスの基本原理は、すべての制御ユニット、センサ類が、一本の共有チャンネルによってネットワーク化され、このチャンネルにすべての信号が収束されるというもので、このネットワークに接続している各装置について、あらゆる

情報をいつでも利用できる仕組みとなっている。したがって、AFに流れているCANバスの信号を解析することで、AF制御の仕組みを把握することができる。

しかし、AFメーカーからは制御コマンドの開示はされていないため、独自にコマンド解析を行うこととした。コマンド解析はAF運転席の操作盤にコンピュータを接続し、操作盤のボタンを一つずつ押しながら、装置の挙動と流れる信号の関係のチェックを行った(写真-2)。



写真-2 制御信号の解析状況

制御信号の解析の結果、AF本体の走行に関する制御(前後進切替、速度制御、ステアリング操作)は、電子的な制御に対応することは困難であることが分かった。したがって、これらの操作は機械的な制御を行うこととし、舗設に関わる操作は電子的な制御を行うものとして、システムの製作に取り掛かることとした。

4 システムの実装

AF本体の走行に関わる遠隔制御装置は、機械的な操作によるものとして写真-3、4、5、6に示すような装置を作成し、AF操作盤に設置した。

AFの前後進を制御するレバーはカム+リンク機構により操作するものとし(写真-4)、走行速度コントロールダイヤルは、ダイヤルをサーボモータで回転させてAFの走行速度をコントロールする(写真-5)。ステアリング操作もサーボモータ

タを用いて、制御信号をステアリングに伝えて自動操舵を行う仕組みとした(写真-6)。

AF周囲の画像を撮影するカメラとしては、AF前方を撮影するフロントカメラ、AF後方を撮影するバックカメラ、AFの周囲を撮影するア라운드ビューカメラ、自動操舵の画像認識用のカメラの合計4台を設置した。



写真-3 AF操作盤の制御機器設置状況(全景)



写真-4 前後進レバー制御装置



写真-5 走行速度ダイヤル制御装置(赤枠部)



写真-6 ステアリング制御装置(赤枠部)

そして、遠隔操作基地との間で映像や信号のやり取りを行う通信機器と、制御用コンピュータを収納したボックスを運転席横に設置した(写真-7)。以上が重機側の装備となる。

遠隔操作基地側の設備は写真-8に示すように、制御用コンピュータ1台、モニタ、ステアリングのついたゲームパッドからなり、通信環境の整った場所であればどこにでも設置可能である。



写真-7 AFに搭載した通信・制御PCユニット



写真-8 遠隔操作状況

一連の遠隔操作は、図-3、4、5に示すようにゲームパッドのボタンもしくはディスプレイ上のボタンをクリックすることで可能である。



図-3 遠隔操作ボタンの配置

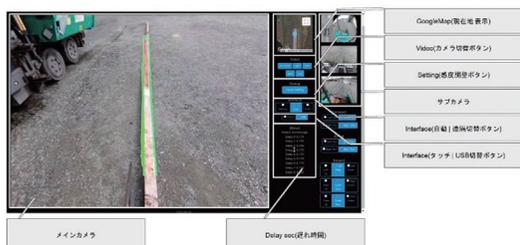


図-4 ディスプレイ上の遠隔操作ボタンの配置①

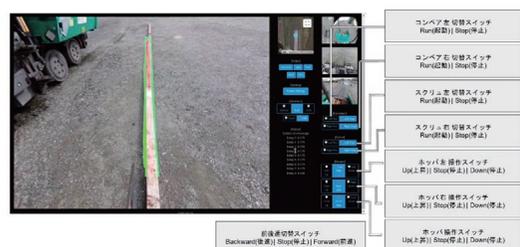


図-5 ディスプレイ上の遠隔操作ボタンの配置②

ダンプ誘導装置は、合材ダンプのAFへの進入、離脱、荷台の上げ下げをインジケータ(写真-9)によってダンプ運転手に指示するもので、通常はAF運転手がAF操作盤のボタン(写真-10)を押して操作するものである。本開発では、このダンプ誘導装置を音声によりコントロールできるように改良を実施した。



写真-9 ダンプ誘導装置のインジケータ表示



写真-10 ダンプ誘導装置の操作部(赤枠部)

5 AIによる自動操舵機能の付加

AF運転手は舗設作業時AF本体の運転に加え、合材の供給状況やAF周囲の安全確認などに配慮しなければならない。そこで遠隔操作時にもその負担を軽減するために、AFのステアリングを自動操舵することを試みた。

自動操舵システムは、クローラタイプのAFで三次元設計データを用いて自動操舵するものは既に実用化されている。本開発では、ホイールタイプのAFで三次元設計データを用いないで自動操舵するシステムの開発を目指した。

開発する自動操舵システムは、自動車で用いられているAIによる画像認識で前方、側方の道路状況をリアルタイムに解析し、舗装端部(切削端部や舗装定規)から目標経路を鳥瞰図に座標変換、二次関数に近似し、道路曲率、道路ヨー角、横位置ずれを計算し、目標ステアリング角度を算出、自動操舵するものである(図-6)。

自動車の自動操舵で目印となる路面標示(白線)



図-6 AIによる自動操舵解析イメージ

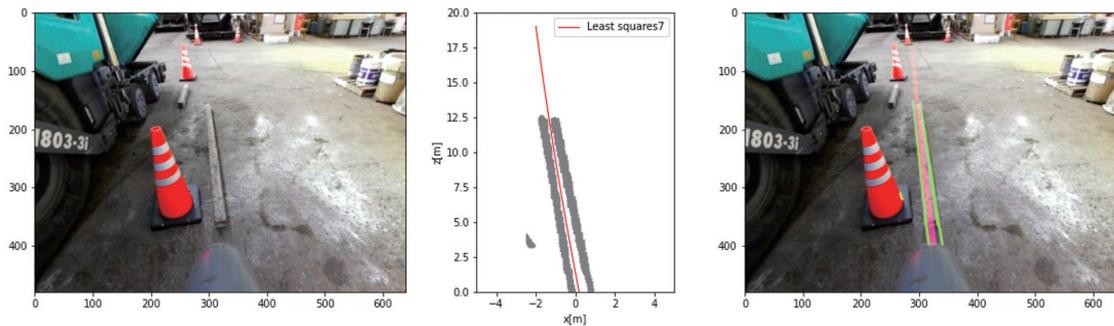


図-7 AIによる走行ルート作成イメージ

に対応するものとして、路面切削の端部や舗装定規、路面の墨打ちなどが想定されるが、本開発では画像認識しやすいと考えられる舗装定規をガイドとして採用した。AIによる自動操舵は図-7に示すように、舗装定規の両端を認識し、その中央を走行ラインと認識するようにプログラミングした。

6 屋外検証

システムを実装したAFで、社内敷地構内での動作実証を行った。遠隔操作基地での画面から視認状況を写真-11に示す。



写真-11 遠隔操作基地での画面表示

遠隔操作によるAFの前後進制御、ステアリング操作、作業装置（ホッパ開閉、バーフィーダ操作、スクリュー操作）は想定どおり動作することが確認できた。ダンプ誘導装置の音声操作に関しても、問題なく動作することを確認した（写真-12）。

写真-13および写真-14は、AIによる自動操舵の動作実証時の舗装定規の認識状況であるが、



写真-12 ダンプ誘導装置の音声操作検証状況



写真-13 正常なルート認識

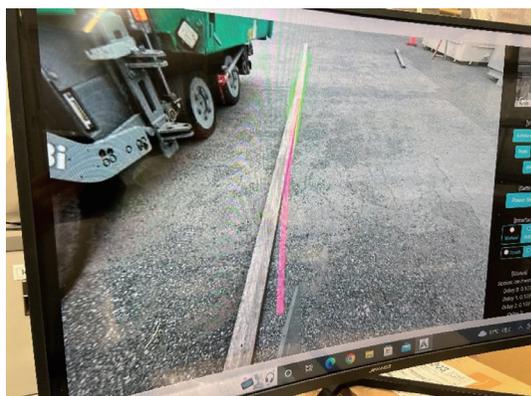


写真-14 舗装定規からずれたルート認識

写真-13では舗装定規端部を正確に認識し、正しい走行ルートが作成できている。一方、写真-14ではAFスクリーン部のサイドプレートが画角に入り、その影響で走行ルートが誤って作成されている。その他日射による影や舗装ジョイントなど基面のコントラストが変化する箇所で、舗装定規を正確に認識できず誤った走行ルートを作成する現象が見られた。

また、遠隔操作を実施する際に懸念されるデータ遅延については、最大で0.1秒程度であり、実用上ほぼ問題ない程度といえる。

7 安全対策

当システムは、将来的には舗設作業の無人化を想定しているものであるが、それを実現するには安全面の対策も講じなければならない。現時点では、建設機械の無人化に関する安全基準などは設けられていないが、様々な事象を想定した対策が必要となる。

本開発では、いかなる場合でも瞬時にAFを停止させることができるように、無線式の非常停止端末(写真-15)を重機に配備している。また写真-16に示すように、システム上では人間を認識できるようになっており、これによりAFを自動停止させることも可能である。

ただし現状のAFでの舗設作業時は、AF周辺に人間が立ち入ることは避けられず、自動停止を機能させると舗設作業が進まなくなることが考えられるため、現時点ではAFを自動停止させる機能は持たせていない。今後の現場での検証によりデータを蓄積し、AIによる学習を経て自動停止機能を付与させる予定である。



写真-15 非常停止端末



写真-16 AIによる人間の立ち入り認識

8 効果と課題

自社構内における検証では、当初目標としたAFの操作が遠隔操作で動作することが確認できた。これにより従来2名体制で現場に臨んでいた機械技術員が、1名は現場へ行かずに舗設作業を行うことができ、舗設現場の生産性向上や、機械技術員の働き方改革の実現といった効果とともに、遠隔操作を行わない場合には、未熟なオペレータに対して遠隔で熟練者が教育することも可能になり、人材育成・教育という面での効果も期待できる。

一方、自社構内の検証において得られた課題は以下のとおりである。

- ① 遠隔でハンドル操作を行った際、実機とハンドル回転量が異なる。
- ② 遠隔操作を行わずに現場でAFを操作する際、AF操作盤に設置した機械的制御のための装置が邪魔になる。
- ③ 自動操舵AIが作成したルートが、現場に設置した舗装定規からずれる場合がある。
- ④ 遠隔操作システム起動時に、システムが正常に立ち上がらないことがある。
- ⑤ 安全性を確保するための運用方法

①については、遠隔側に実機と同じ操作盤、ハンドルを装備することが考えられるが、必ずしも遠隔操作側のステアリング操作はハンドルである必要はないとの意見も出ており、今後最適な操作方法を検討していく。

②については、AFの駆動系の制御は機械的な操作を行っているが、CANデータをさらに解析した結果、電子制御も可能であることが分かった。駆動系の電子制御化も図ることで、この課題は継承できるものと考ええる。

③の詳細は前述のとおりであるが、対策としてはカメラ取り付け位置の工夫、AIによる学習の積み重ねにより解消を図る。

④当システムは、複数のカメラを搭載しており、システム起動時の電力不足やカメラの認識時のID認証に不具合が生じているために起きる現象である。対策としては、複数の電源確保、プログラムの修正で対応を図る。

⑤については、前述のとおり現状の舗設現場は多くの人間がAFの周りで作業を行っている。非常停止装置などシステム上の安全対策は施しているが、当面は遠隔操作時も従来どおりAFは2名体制で運行し、安全面を含めたデータ収集を行う。

が、今後は現場での実証を進めていく。まずは新設の舗装工事現場から適用し、AIの自動操舵精度の向上を図り、実現場での運用上の課題の抽出を行っていく。AIによる自動操舵精度の向上が図れた後は、舗装定規以外の切削端部や、チョークラインなどによる墨出し線などでも路線認識できるようにしていく。

舗装分野における建設機械の自動化は、マシンコントロール技術による敷きならし装置の自動制御においては進んでいるが、重機本体の走行に関する開発は緒についたばかりである。

今回、AFの遠隔操作技術の開発に取り組んだが、最終的には舗装機械の自動化、舗設現場の無人化を目標とした場合、そこまでの道のりには様々なハードルがある。しかし、この目標が達成できれば舗装現場の省力化、生産性向上に大きく貢献できるものと考えている。DXの波は目まぐるしい速度で押し寄せてきているが、一步一步着実に開発に取り組んでいく所存である。

9 今後の取り組み

これまでは自社構内での動作確認を行っていた

【引用文献】

- 1) 高野漠、舗装機械の使い方 第2版、建設図書、1995.8