

アスファルトフィニッシャの遠隔操作技術の開発

板 東 芳 博

アスファルト舗装工事で用いられるアスファルトフィニッシャはこれまで遠隔化や自動化への取組みはほとんど行われてこなかった。筆者らは重機オペレータの働き方改革、生産性向上の一助としてアスファルトフィニッシャの遠隔操作システムを開発した。社内での検証を踏まえ、実道の現場での試験施工を行い本システムが有効に機能することを確認した。本稿では当システムの開発概要、社内検証、現場検証で得られた成果、課題を報告するものである。

キーワード：アスファルトフィニッシャ、遠隔操作、自動操舵、生産性向上、働き方改革

1. はじめに

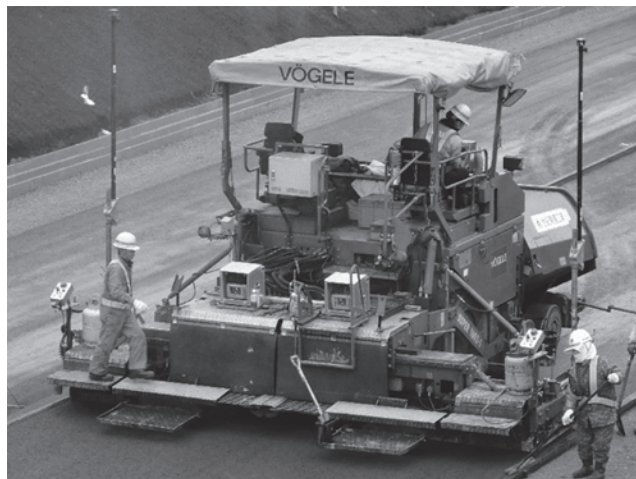
近年建設業界においては、少子高齢化や労働人口の減少により省人力化や技術の継承が喫緊の課題となっており、その対策の一例として建設機械の遠隔操作が開発されている。

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。

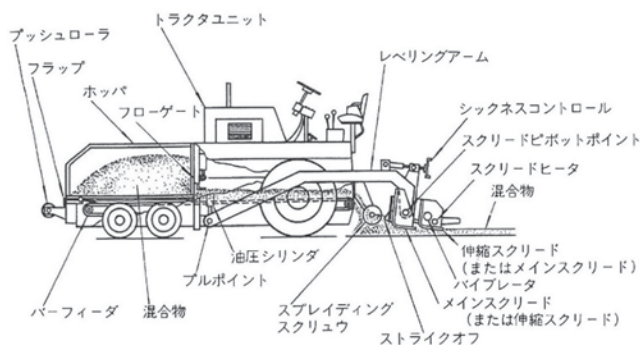
筆者らはアスファルト舗装工事現場の課題としてアスファルトフィニッシャ（以下、AF）のオペレータが行うアスファルト合材運搬ダンプトラックの誘導やAFの速度、ステアリング操作、その他細部にわたる機械操作が煩雑であることに対して専門技術者が不足していることを鑑み、これらのAF操作を舗設現場ではほとんど適用されていない遠隔技術で操作できるようにして省力化できないか検討した。また、これにより現場で操作する未熟なオペレータに対して遠隔で熟練者が教育することも可能となると考えた。

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AFは写真—1に示すように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。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AFのホッパ(図—1)へ荷受けし、



写真—1 従来（2人体制）のAF作業状況



図—1 一般的なAFの機構¹⁾

パ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や施工幅員の調整を行う。

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、表—1 に示す作業を遠隔で行うものとして選定した。

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クラウドを介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である。システム全体のイメージを図—2 に示す。またシステム開発においては重機本体に改造を加えないことを前提とした。

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。

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）は電気的な制御に対応することは困難であることがわかった。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。

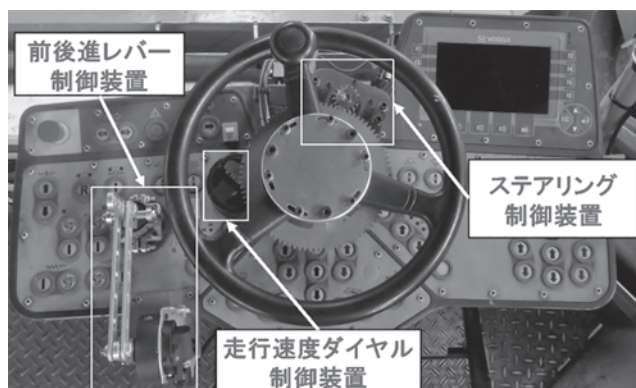
4. システムの実装

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—2 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—3）、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。ステアリング操作もサーボモータを用いて制御信号をステアリングに伝えてステアリング制御を行う仕組みとした。

表—1 遠隔操作を行う作業項目

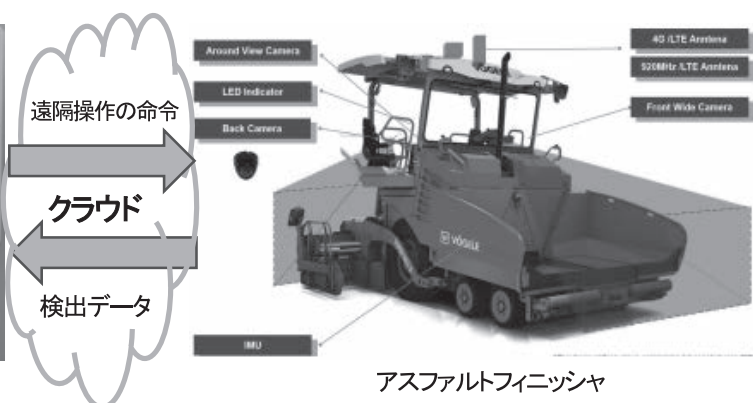
系統	遠隔操作可能な作業
走行系	前後進
	ステアリング操作
	速度調整
作業系	ホッパ開閉
	バーフィード操作
	スクリュウ操作
その他	ダンプ誘導装置
	ホーン操作



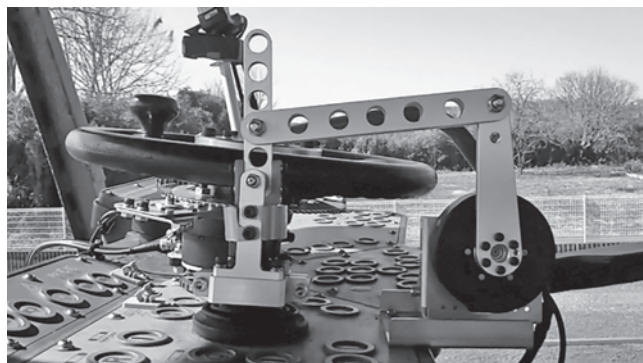
写真—2 AF 操作盤の制御機器設置状況（全景）



遠隔操作室



図—2 遠隔操作システムの概略イメージ



写真—3 前後進レバー制御装置



写真—5 ダンプ誘導装置のインジケータ表示（白丸部）



写真—4 AFに搭載した通信・制御PCユニット（白枠部）

走行系以外の作業装置の操作はCANバスに介入することで電氣的な制御が可能なシステムとした。

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ラウンドビューカメラ、自動操舵の画像認識用のカメラの合計4台を設置した。

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（写真—4）、以上が重機側の装備となる。

遠隔操作基地側の設備は、図—2左側に示すように制御用コンピュータ1台、モニター、ステアリングのついたゲームパッドからなりインターネット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。遠隔操作は画面上のボタンをマウスでクリックする方法、キーボードで操作する方法の2通りで行うことが可能である。

ダンプ誘導装置は、合材運搬ダンプのAFへの進入、離脱、荷台の上げ下げを写真—5に示すようなインジケータによってダンプ運転手に指示するもので

ある。従来は誘導員を配置したり、AFオペレータが手で合図したりしていたが、視認性や安全性の向上が期待できる装置として普及が進んでいる。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機能も装備した。

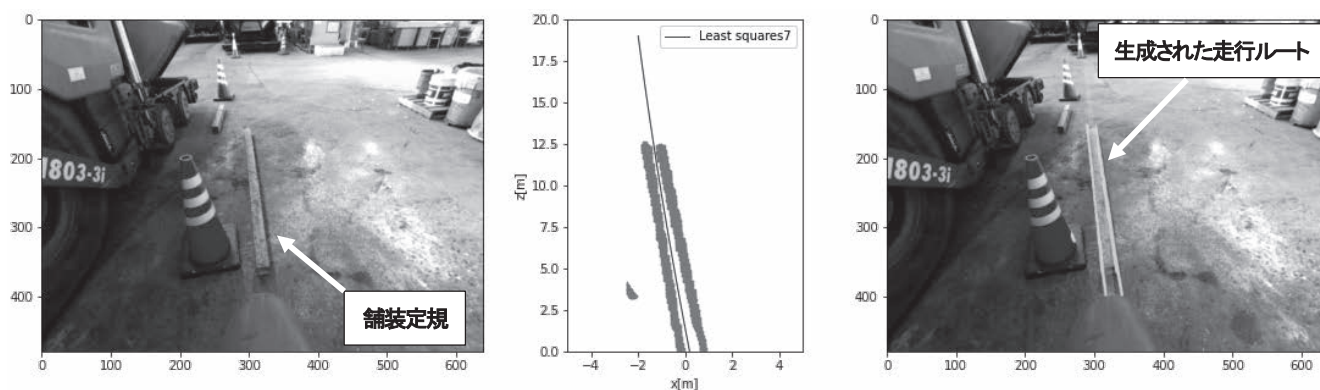
5. AIによる自動操舵機能の付加

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、既にクローラタイプの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使わずに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。自動車の自動操舵で目印となる路面標示（白線）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による自動操舵は写真—6に示すようなカメラを設置し、図—3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



図ー3 AIによる走行ルート作成イメージ



写真ー6 自動操舵走行用カメラ



写真ー7 遠隔操作基地での画面表示

証を行った。遠隔操作基地での画面から視認状況を写真ー7に示す。

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（ホップ開閉、バーフィーダ操作、スクリュー操作、ホーン）は想定通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動作することを確認した（写真ー8）。

AIによる自動操舵の動作実証時の舗装定規の認識状況は、概ね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たが、日射による影や舗装ジョイント等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。そこでカメラ設置位置や画角、画像認識範囲を調整するなどして誤認識の発生しにくい設定を行った。

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1秒以内であり実用上ほぼ問題ない程度といえる。

7. 現場検証

構内での検証結果を踏まえ、2023年11月に実道での現場検証を3日間行った。現場は群馬県内の片側1



写真ー8 現場における自動操舵認識状況

車線の国道の舗装修繕工事（切削オーバーレイ）で実施した。

現場での実証は、安全を考慮しAFオペレータは従来通り2名配置し、上乗りオペレータも従来通り運転席に搭乗させて作業を行った。また遠隔操作も遠隔操作ノートPCをAFに搭載しAF上から遠隔操作、つまり写真ー9に示すように重機の操作盤を用いずに現場でノートPCを用いてAFの操作を行った。

現場での遠隔操作で一連の操作が問題なく動作することを確認した後、当社技術研究所（栃木県）からの遠隔操作を行った。その操作状況を写真ー10に示す。遠方からの操作においても通信の大きな遅延はなく作業可能であることが確認できた。また自動操舵の認識



写真—9 現場における遠隔操作状況



写真—11 非常停止端末



写真—10 遠隔操作基地からの操作状況

AIは当初舗装定規を認識するように設定されていたが、当現場では舗装定規は使用していないため、路面切削の端部の段差を走行ガイドとして認識させたが、重機走行に支障をきたすような誤認識は発生しなかった。

現場での遠隔操作は機能的には問題なく行うことができたが、適用する上での大きな課題として電線、標識といった架空物、マンホールなどの路面構造物が遠隔操作画面からの視認は困難であることがあげられる。今後これらの障害物認識について対策を講じていく必要はあるが、当面は適用現場に条件を付けた運用を行っていく予定である。

8. 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。

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写真—11に示すように無線式の非常停止端末を重機に配備している。また写真—12に示すようにシステム上では人間を認識できるよ



写真—12 AIによる人間の立ち入り認識

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。今後の現場検証によりデータを蓄積し、自動停止機能の装備の検討を進めていく予定である。

9. 効果と課題

自社構内および現場施工における検証では、当初目標としたAFの操作が遠隔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名は現場へ赴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、これまでの検証において得られた課題は以下のとおりである。

- ①AF周辺、特に敷きならし装置周辺の視認がしにくい。
- ②架空物や路面構造物を視認しにくい。
- ③遠隔操作時に臨場感が感じられない。
- ④安全性を確保するための運用方法の確立。

①は上乗りオペレータは敷きならし装置内にあるアスファルト合材の量を視認しながらダンプトラックから荷下ろしを行うことから、カメラを追加するなどして視認性の向上を図りたい。

②は早急に対応策を講じるのは困難と考えられるため、前述のとおり当面は適用現場に条件を設定して運用を図る予定である。

③は現在キーボード、マウスで行っている遠隔操作をより現実に近い状況で行えるよう装置の改良を図っていく予定である。

④については、現状の舗装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通り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。また2024年3月に国土交通省から示された「自動施工における安全ルール Ver.1.0」に沿った運用の適否についても検証を行っていく予定である。

10. 今後の取り組み

今後は架空線など支障物のない現場での適用を進め、操作性や自動操舵精度の向上を図りつつ、更なる現場での運用上の課題の抽出を行っていく。

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、舗装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。

J C M A

《参考文献》

- 1) 高野 漠, 舗装機械の使い方 第2版, 建設図書, 1995.8

【筆者紹介】

板東 芳博 (ばんどう よしひろ)
世紀東急工業(株)
技術本部 技術研究所
所長

