

不整地運搬車（クローラキャリア）の自動走行技術の開発

小林 勝

災害復旧工事で活用してきたネットワーク対応型無人化施工技術の中で建設機械を操作室から遠隔操作して、施工する技術を応用し、不整地運搬車（クローラキャリア）の自動走行技術を開発した。この技術により、不整地運搬車オペレータの負担軽減による工事の安全性向上と複数の建設機械の運転管理を1名のオペレータで行うことによる生産性の向上が期待できる。その技術について本稿で紹介する。

キーワード：i-Construction, 遠隔操作, 自動走行, 不整地運搬車, 土運搬

1. はじめに

一般的な土木工事において発生する土砂の運搬は、土砂の積込場所から土砂搬出場所までの間ほとんど同じ経路を往復し、移動、積込、移動、搬出といった単調な作業の繰返しでありながら、運搬経路からの逸脱や車両の離合箇所での接触といった危険や運搬車オペレータの疲労蓄積や集中力の低下による危険がある。

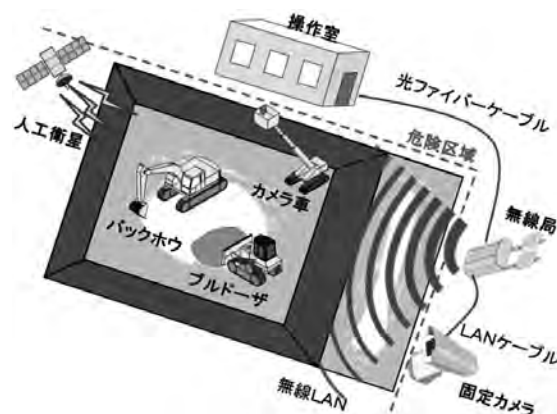
また、昨今の建設分野での人材不足や国土交通省のi-Constructionの推進に対応するために一人当たりの生産性を向上する必要性が高まっている。

そこで、不整地運搬車のオペレータが運転席から離れた操作室より走行状況を現場カメラからの映像で確認しながら土砂積込場所と搬出場所間の経路を遠隔で運転操作する。その遠隔操作時の速度の加減と走行経路をコンピュータに記憶させ（これを「教示運転」という）、記憶した情報を基に不整地運搬車を制御し自動走行させる。これにより、単調な繰返しでありながら危険をともなった作業から運搬車オペレータを解放することを目標として、「不整地運搬車の自動走行技術」の開発を進めている。

本稿では、複数台の建設機械を使用して自動走行と遠隔操作を組合せた実証実験について報告する。

2. 技術の特徴

災害現場において二次災害の恐れがあり人の立入が規制された場所で復旧工事を施工するために開発され、発展してきた「ネットワーク対応型無人化施工技術」は、施工場所と操作室を光ファイバーケーブルや



図—1 ネットワーク対応型無人化施工技術概要

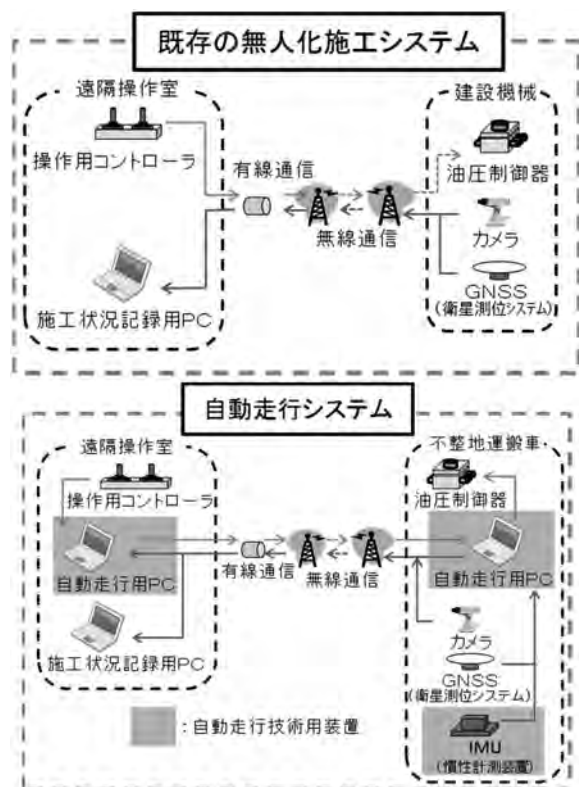
無線LANによって接続し、操作情報や映像情報、施工情報を伝達することで遠隔操作対応型建設機械を操作し施工を行ってきた。また、施工管理を行うため各建設機械の位置は人工衛星を利用した測位システム（GNSS）により把握してきた（図—1）。

今回、不整地運搬車の自動走行技術ではこの「ネットワーク対応型無人化施工技術」の活用に加えて、不整地運搬車の位置をより高精度に連続で測位するためのIMU（慣性計測装置）と走行経路を作成、記憶し、記憶された経路で不整地運搬車を自動走行させるコンピュータとでシステムを構築している（図—2）。

3. 使用機器

(1) 不整地運搬車

自動走行技術の開発には、11tクローラキャリア（写真—1）を使用した。この車両は、排ガス対策として、DOC（ディーゼル酸化触媒）と尿素SCR（選択式還



図ー2 無人化施工システムと自動走行システムの構成図

元触媒）を採用しており、最新の排ガス規制※¹に対応している。

操作方式には、ジョイスティックレバーを採用し、走行、ダンピング、エンジン始動／停止、ホーンの操作が左手一本で行える（図ー3）。

車両の状況確認には、視認性の良い液晶モニターを使用し、運転操作環境の確認が容易に行える（図ー4）。

今回、遠隔操作と自動走行を行うために搭乗して操作する搭乗モードと操作室から遠隔で操作する遠隔モードの切替スイッチを運転席に設置した（図ー5）。

また、遠隔操作・自動走行時に車両や通信の状態を外部から簡単に視認出来るように運転席の屋根に回転灯を設置した（図ー6）。

※1 対応している排ガス規制…日本：特定特殊自動車排ガス規制 2014 年規制，EC：Stage IV，US：EPA Tier4 Final



図ー3 ジョイスティックレバー



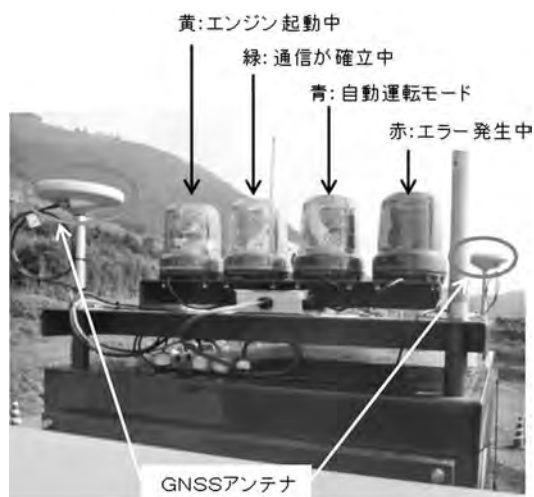
図ー4 液晶モニター



図ー5 モード切替スイッチ



写真ー1 自動走行対応型不整地運搬車



図一六 状態表示用回転灯

(2) 位置測位システム

無人化施工において建設機械の位置を測位するには、人工衛星からの電波を利用して測位する GNSS (全地球航法衛星システム) で、位置の分かっている基準局と車両とを同時に測位し、基準局での既知位置情報と観測された情報との差を補正情報として車両に送り車両側で解析して車両の位置を決定する方法 (RTK 測量) が使われるが、次の欠点がある。

- ・測位するための衛星が4つ以上必要
- ・データの更新が遅い
- ・姿勢、方位が検出できない

車両の姿勢、方位、位置をジャイロや加速度計といった慣性センサを用いて求める慣性計測装置 (IMU) があるが、IMU のみでは、加速度・角速度を用いた積分による計測であるために得られた情報の誤差が時間と共に増大する。そこで、GNSS と IMU の両方の長所を活用し、各々の短所を補った GNSS/IMU (複合慣性計測装置) を用いてより高精度に車両の位置を計測し経路として記憶することで自動走行が行えることとした (写真一2)。



写真一2 GNSS/IMU 装置

(3) 車載コンピュータ (車載制御盤)

車載コンピュータ (図一7) は、教示運転時において GNSS/IMU からの位置情報と遠隔操作盤からの速度情報により経路情報を作成する。作成された経路情報は、教示運転終了と同時に遠隔操作盤に伝送されて遠隔操作盤内で保存される。

次に、自動走行に移ると、遠隔操作盤から伝送された経路情報と前進か後進の正逆走情報をもとに不整地運搬車を制御し、自動走行を行う。また、安全措置として自動走行中でも常に遠隔操作盤との通信は確立されており、遠隔操作盤からの停止指示、緊急停止等の信号が常に優先され自動走行を停止できる。また、通信が途絶えた場合も同様に自動走行を停止させる。



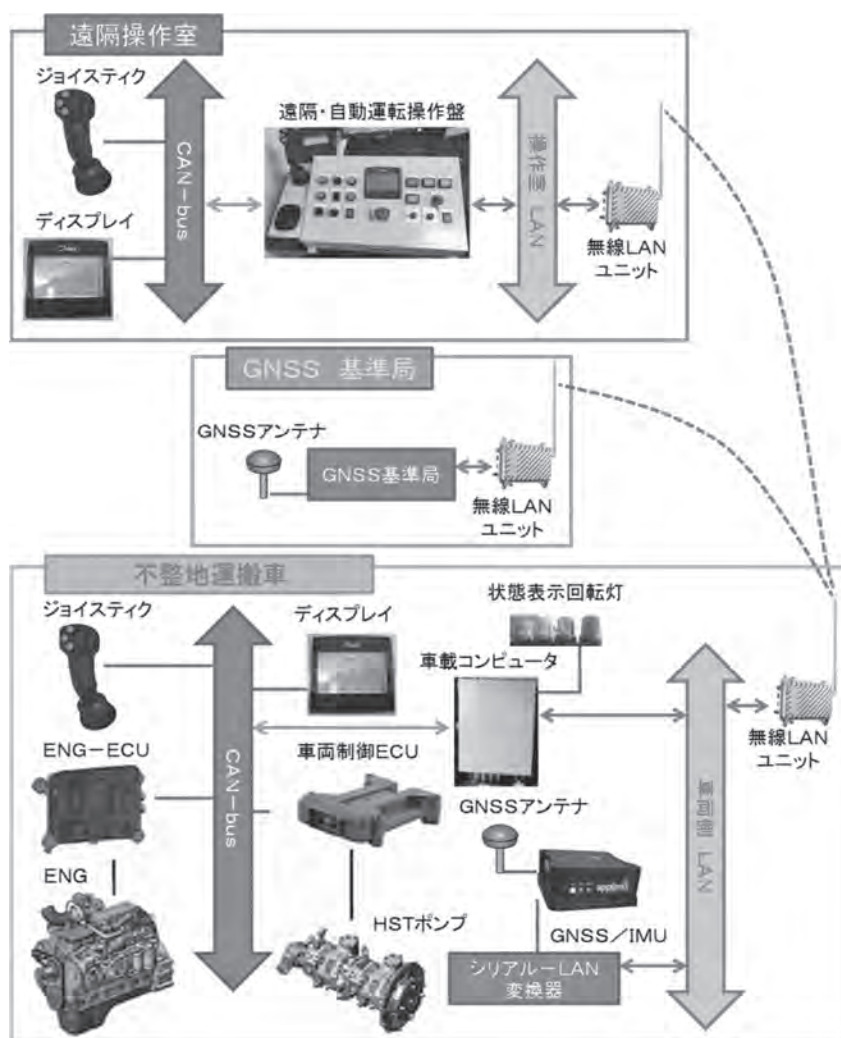
図一七 車載コンピュータ

(4) 遠隔・自動走行操作盤

操作室で不整地運搬車の遠隔操作、教示運転、自動走行を行う遠隔操作盤は、遠隔操作部分と教示運転／自動走行を指示する部分と教示運転経路を保存する部分から成り立っている。盤内にはコンピュータが組み込まれており、車載コンピュータで作成された教示経路を最大3つまで保存できる。パネル面には操作スイッチのほかには不整地運搬車に取付けられている液晶パネルと同じ物が組み込まれており、運転席と同様に車両環境が把握できる。また、各表示ランプで動作状態、通信状態、異常等を視認できる。

4. 遠隔操縦・自動走行システム

不整地運搬車内部の制御は、CAN-busで行っており、ジョイスティックを動かして発生する操作信号は CAN-bus を通じてエンジンや油圧ポンプに伝達されその信号に従って制御される。今回の遠隔操縦・自動走行システムでは、遠隔・自動走行操作盤内と車載のコンピュータで CAN-LAN の変換を行っている。



図一 8 遠隔操縦・自動走行システム

操作室からの操作信号は、操作盤内コンピュータから車載コンピュータを通じて車両に伝達され、車両の環境は車載コンピュータから操作盤内コンピュータを通じて操作盤に表示される。

また、車両の位置情報は、GNSS/IMU装置で算定され、シリアル-LAN変換して車載コンピュータへと伝達される（図一 8）。

5. 実証実験

本技術の実運用に向けて、自動走行技術の精度と運用方法の確認を行うため、阿蘇大橋地区斜面防災対策工事の現場にて2回の実証実験を行った。

(1) 第1回目の実証実験

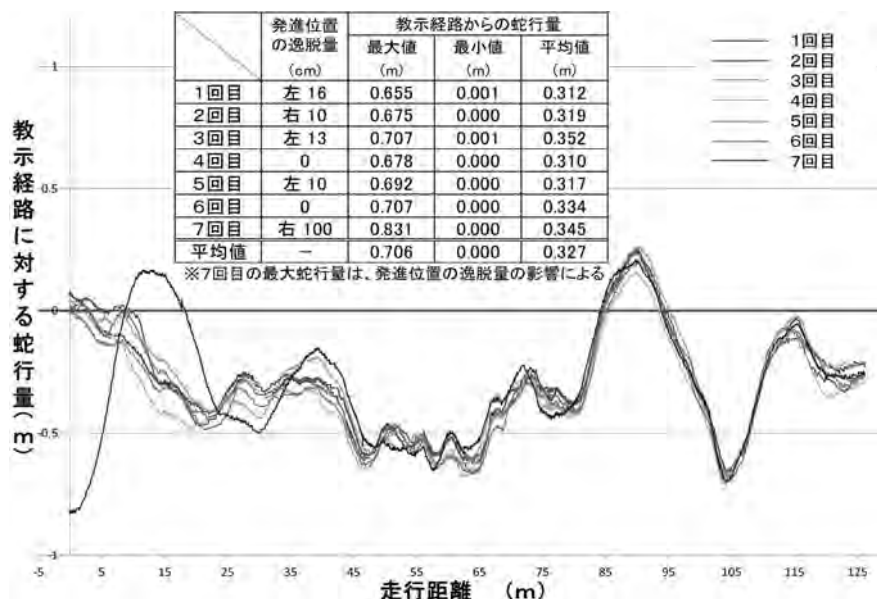
第1回目の実証実験では、教示経路に対する自動走行経路の精度に関する実験を行った。

実験内容は、現場に用意した試験経路を使用し、発進位置を横に逸脱させながら7回（7回目は1m横に

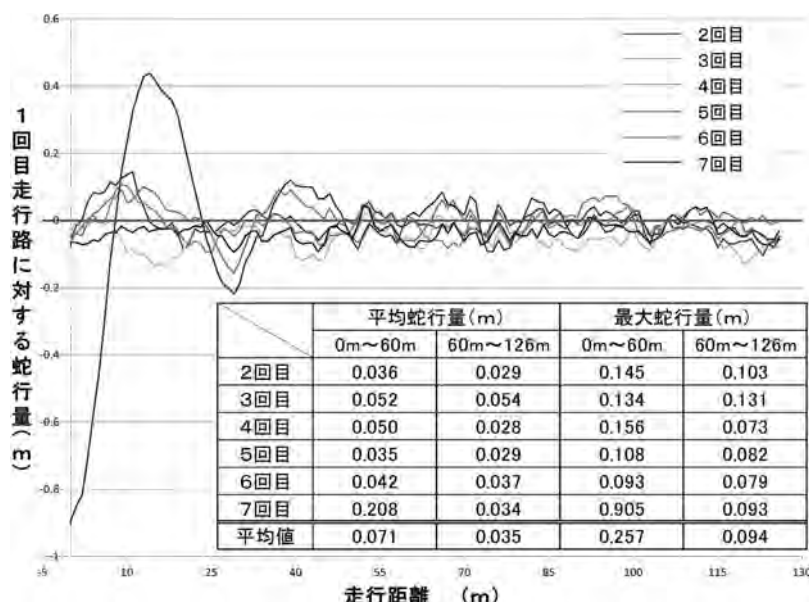
逸脱）自動走行を行い、各回で教示経路に対する自動走行経路の蛇行量を測定した。

教示経路に対する7回の自動走行の平均蛇行量は、最大値で706 mm、平均値で327 mm、（図一 9）となったが、実験経路の状況（約13°の勾配、地盤が黒木を含む軟弱な崩落土、不陸、線形）が影響を与えていると考え、実験経路の状況等の外的条件を排除した同一条件での比較を行うために1回目の自動走行経路を基準として、再度蛇行量を算定した。算定結果から6回の自動走行の平均蛇行量は、発進から中間までは、最大値で257 mm、平均値で71 mmとなり、中間から終点までは、最大値で94 mm、平均値で35 mm（図一 10）となった。

蛇行の特質としては、自動走行の教示運転に対する蛇行が、ほとんど同じ傾向で発生していることと発進位置を逸脱した影響は、経路を進行するに従い収束していることである。以上の実験結果より教示経路における平均蛇行量が35 mmという自動走行時の経路走行に関する制御としては満足のいくものとなった。



図一 9 教示経路に対する走行経路の蛇行量



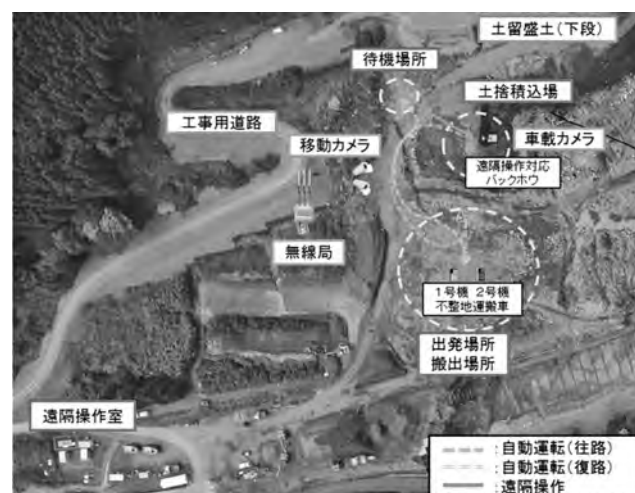
図一 10 1 回目自動走行経路に対する各回の蛇行量

(2) 第 2 回目の実証実験

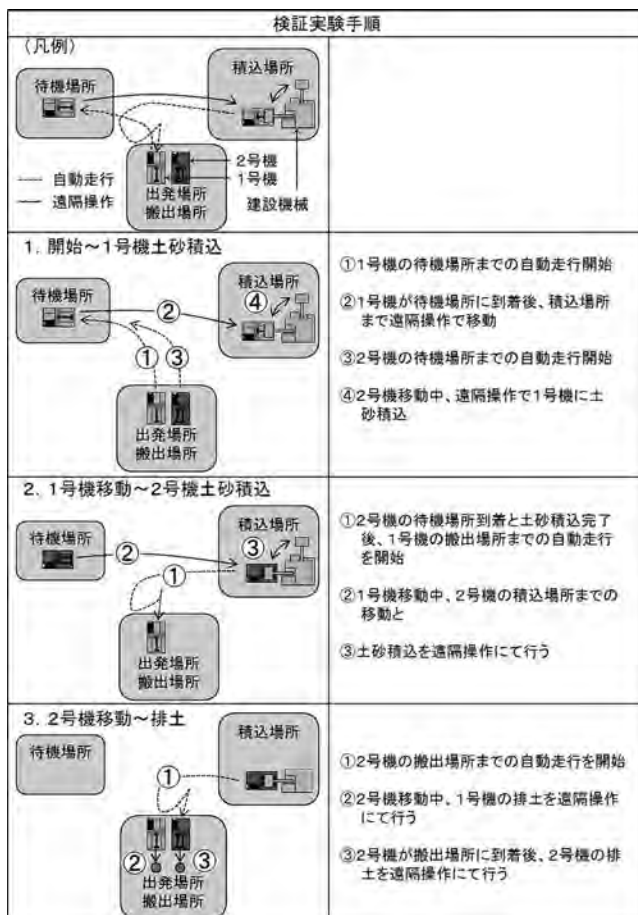
第 2 回目の実証実験では、自動走行技術の運用方法に関する実験を行った。

実験方法は、自動走行式の不整地運搬車 2 台と遠隔操作式のバックホウ 1 台をオペレータ 1 名で操作し、不整地運搬車の土砂積込場所までの移動→土砂積込→土砂搬出場所までの移動→土砂搬出の一連の作業を行い検証した (図一 11, 12)。

不整地運搬車が自動走行で移動している時間をもう 1 台の不整地運搬車への土砂積込や土砂搬出作業に利用することで複数台の建設機械をオペレータ 1 名で操作し、作業が出来ることを確認できた (写真一 3)。



図一 11 運用方法に関する実験



図一 12 実験の手順

6. 今後の展開

今回の実証実験の結果、自動走行経路の精度に関して、外的要因が影響する場合と外的要因を排除した場合とでは、蛇行量の最大値で、1/7、平均値で1/10となっている。これは、実験経路の状況の影響や車載コンピュータの信号に対する車体への制御・対応の影響が考えられる。今後の対策としてパラメータの調整・改良により、教示運転に対する走行経路の精度が高められると考えられる。

7. おわりに

オペレータ1人による複数台の重機の操作では、各操作盤間の移動が生じるため、操作がやや煩雑に感じられた。今後は、操作盤のコンパクト化を進めオペレータの移動の負担を減らす予定である。

安全面では、実施工に向けて更なる検討が必要と考える。

今後は、本格的な実運用に向けて当社筑波研究所内に新設した実験フィールドにおいて制御の向上と安全性の確立を進めていく所存である。

JCMMA



写真一 3 運用実験状況

〔筆者紹介〕

小林 勝 (こばやし まさる)
 ㈱熊谷組
 土木事業本部 機材部

