

# 8. 不整地運搬車の自動走行技術の開発

株式会社熊谷組  
株式会社熊谷組  
株式会社熊谷組

○ 小林 勝  
宮川 克己  
北原 成郎

## 1. はじめに

一般的な土木工事において発生土の運搬作業は、土砂積込場所から土砂搬出場所までの間のほとんど同じ経路を往復し、移動・積込・移動・搬出を繰返す単調な作業でありながら、運搬経路からの逸脱や車両離合場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等による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推進する i-Constructionへの対応のため、1人当たりの生産性向上の必要性が高まっている。

ここで、発生土の運搬作業の内容を確認すると土砂積込場所では、積込機械の位置が常に移動し、土砂搬出場所では、排土する位置を都度変えないと土砂の整形や均し等後作業の効率が低下する。そのため自動走行を土砂積込場所から搬出場所間にし、自動走行で1台の不整地運搬車が移動している間に土砂積込場所や土砂搬出場所で、ほかの機械を遠隔操作して作業することで1人のオペレータが複数台の建設機械の運転管理が出来、生産性が向上する。また、同じ経路を何回も往復運転をすることが無くなるので不整地運搬車オペレータの作業負担が軽減する。

本稿では、「不整地運搬車の自動走行技術の開発」について説明する。

## 2. 自動運転技術の概要

### 2.1 ネットワーク対応型無人化施工技術

災害復旧工事において二次災害発生の危険がある場所での施工は、立入が禁止されているため、現場から離れた場所に設置した操作室から現場の映像や施工情報を基に遠隔操作式建設機械群を操作しての施工となる。この操作室と施工場所の通信にネットワークを対応させることで、光ケーブルをはじめ各種無線LANを使用出来るようになり、より安全で利便性のある場所に操作室を設置できるようになる。図-1にネットワーク対応型無人化施工概要図を示す。

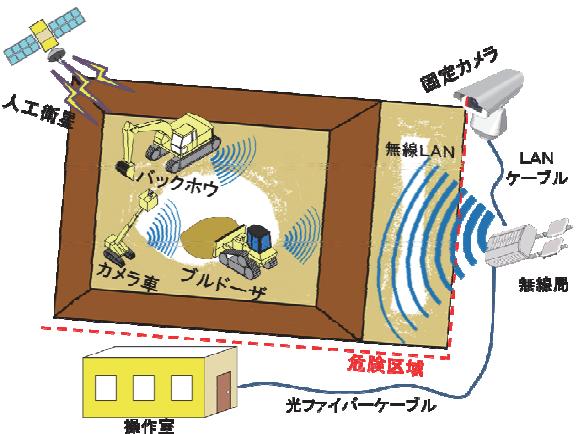


図-1 ネットワーク対応型無人化施工概要図

### 2.2 自動走行技術

今回開発した不整地運搬車の自動走行技術は、操作室から映像を見ながら不整地運搬車を遠隔操作し、その遠隔操作時の速度の加減と走行した経路をコンピュータに記憶させる。(これを「教示運転」という) 自動運転では、教示運転で記憶した情報を基に自動走行経路を作成し、自車の位置と比較しながらコンピュータ制御で移動する。

操作室で集中管理することにより、複数台の建設機械を実際に乗り換えることなく、席を移動するだけで運転管理できる。

### 2.3 自動走行システムの構成

自動走行技術では、「ネットワーク対応型無人化施工技術」からネットワークを使用して不整地運搬車を遠隔操作する技術と人工衛星を利用した測位技術(GNSS)を活用している。

これらの技術に加え、GNSSと組合せてより高精度で連続して測位するためのIMU(慣性計測装置)並びに操作信号と車体の情報を操作盤と車体で送受信するため及び自動走行経路を作成し、作成した自動走行経路をもとに車体を制御するために操作盤内と車内に設置したコンピュータの2つの装置でシステムを構成している。図-2に無人化施工と自動走行のシステムの構成を示す。

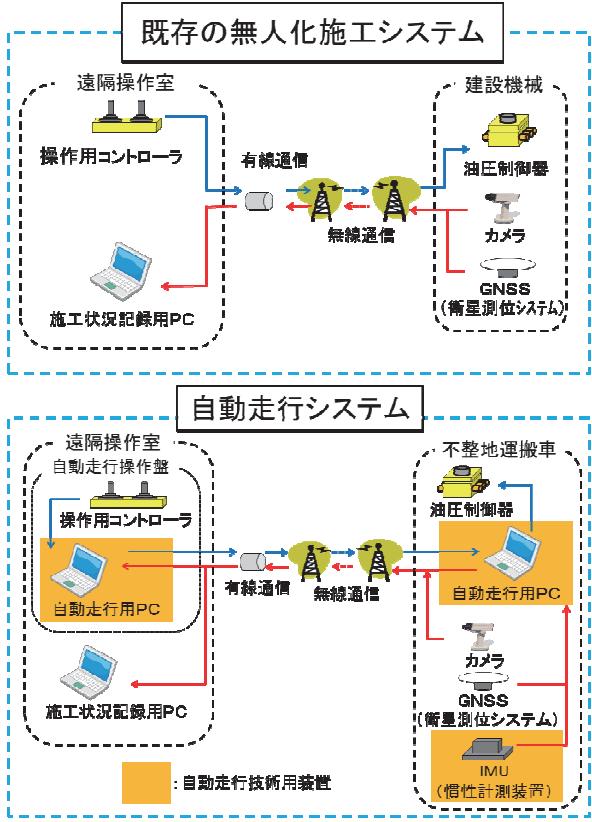


図-2 無人化施工と自動走行システム構成図

## 2.4 自動走行の手順

### (1) 教示運転

操作室から教示運転開始信号を送信し、遠隔操作を行うと不整地運搬車は、移動しながらGNSSとIMUからの位置情報とコントローラからの速度情報を基に車載コンピュータが経路情報を生成する。この情報は、教示運転終了信号を受信するまで100msce毎に記録され、教示運転終了後に保存される。図-3に教示運転の概要を示す。

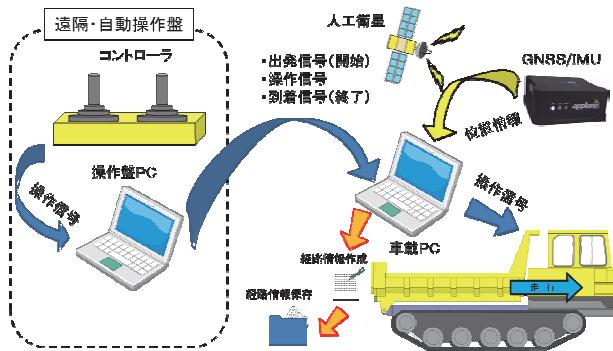


図-3 教示運転概要図

### (2) 自動走行準備

モードを自動走行に切り換え、正走・逆走信号と開始信号を不整地運搬車に送信すると車載コン

ピュータが教示運転時に作成した経路情報を加工して自動走行経路を作成する。図-4に自動走行準備の概要を示す。

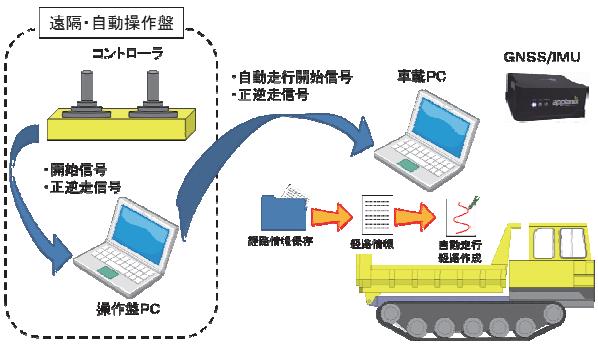


図-4 自動走行準備概要図

### (3) 自動走行

自動走行の準備が完了後、再び開始信号を送ると車載コンピュータが自動走行経路と車体の位置を比較しながら不整地運搬車を制御して走行する。

自動走行中も車両と操作盤の通信は、常時行われており燃料やエンジン回転数等の情報を伝達する。安全装置として、操作盤からの停止信号、非常停止信号は、最優先され即座に自動走行を中止する。また、操作盤と車両の通信が途絶えた際も自動走行は、即座に中止される。図-5に自動走行の概要を示す。

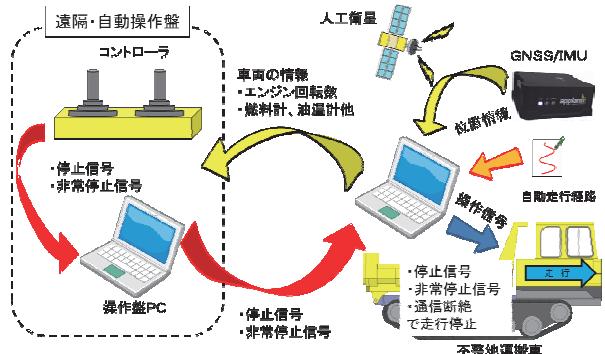


図-5 自動走行概要図

## 3. 使用機械

### 3.1 不整地運搬車

この自動走行技術に使用した不整地運搬車は、写真-1の11tクローラキャリアである。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（選択式還元触媒）を採用しており、最新の排ガス規制に対応している。

操作方式は、ジョイスティックレバーを採用し、走行・ダンプ・エンジン始動／停止・ホーンの操作が左手一本で行える。図-6にジョイスティック

クレバーを示す。

車両の状況確認は、図-7に示した視認性の良い液晶モニターが採用されており、エンジンの回転数や燃料計等の確認が容易に行える。このジョイスティックと液晶モニターは、同じ形状のものが遠隔操作盤に組み込まれており、運転席と同じ感覚で遠隔操作ができる。

今回、運転席に座っての操縦と操作盤での操縦ができるように搭乗モードと遠隔操作モードを切り換えるスイッチを図-8に示すように運転席に設置した。

遠隔操作・自動走行時にエンジンや通信状態、自動走行状態が外部より容易に視認できるように図-9に示すように運転席屋根の上に回転灯を設置した。



写真-1 自動走行対応型不整地運搬車

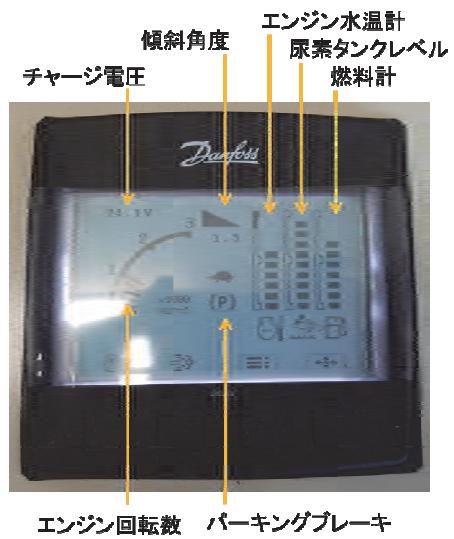


図-7 車両状態確認用液晶モニター



図-8 モード切り換えスイッチ

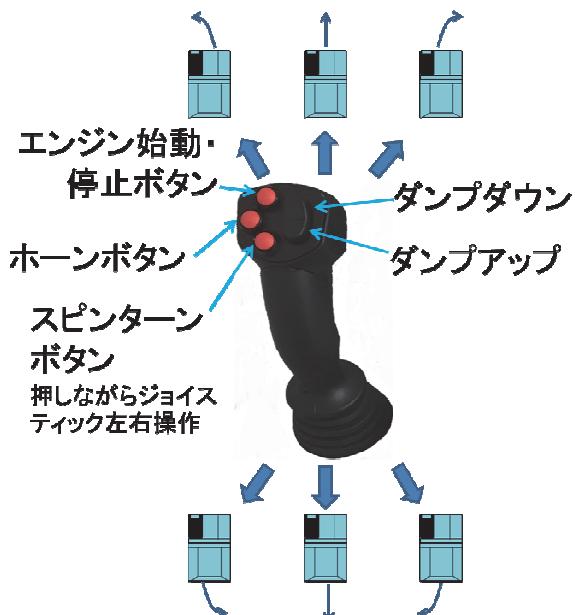


図-6 操作用ジョイスティックレバー



図-9 状態視認用回転灯

### 3.2 位置測位システム

自動走行技術において、不整地運搬車の位置を

正確に把握することは、自動走行経路作成や走行において重要である。

無人化施工において建設機械の位置を測位する方法は、人工衛星から発信されている電波を利用して測位するGNSS（全地球航法衛星システム）で、位置が判明している基準局と移動局である車両の位置を同時に測位し、基準局での既知位置情報と測位された位置情報の差を補正情報として車両に送信し、車両側で解析して車両の位置を確定する方法（RTK測量）が使用されるが、この測位方法には、次の欠点がある。

- ・測位するために人工衛星が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、位置を測位するのには、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だけでは、加速度・角速度を用いた積分による計測のために測位結果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）を使用してより高精度に車両の位置の測位を行った。写真-2にGNSS/IMU装置を示す。



写真-2 GNSS/IMU装置

### 3.3 車載コンピュータ

図-10に示す車載コンピュータは、教示運転においては、GNSS/IMUからの位置情報と操作盤からの速度情報から経路情報を作成し、教示運転終了と同時に保存する。

自動走行になると保存された経路情報を操作盤からの自動走行が自動走行経路に対して正走か逆走かの正逆情報をもとに自動走行経路を作成し、作成した自動走行経路と車両の位置情報を比較して不整地運搬車を制御して自動走行を行う。

遠隔操作では、操作盤からの操作信号を車体に

伝達して、車体を操作信号通りに稼動させる。また、車体の情報を操作盤に伝達して表示させる。

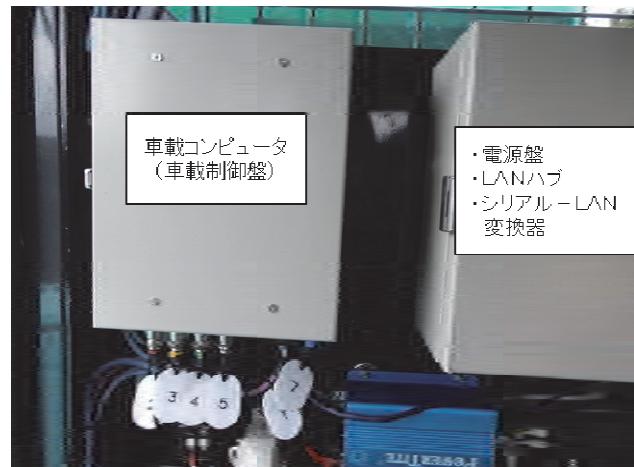


図-10 車載コンピュータ

### 3.4 遠隔・自動操作盤

操作室で不整地運搬車の遠隔操作・教示運転・自動運転を行う遠隔・自動操作盤は、運転席と同様に操作と車体の状態を表示する部分と自動走行・遠隔操作の準備状態を表示する部分から成り立っている。操作盤内にはコンピュータが組み込まれており、車載コンピュータと通信を行い操作信号と車体の状態信号の送受信を行っている。写真-3に遠隔・自動操作盤を示す。



写真-3 遠隔・自動操作盤

## 4. 自動走行技術の通信

自動走行技術における各種信号の流れを図-11に示す。

### 4.1 車両の状態、制御信号

操作盤の操作信号を不整地運搬車に伝達し制御を行い、また不整地運搬車の状態を操作盤に伝達し表示させる方法について説明する。

不整地運搬車内部では、エンジンや油圧ポンプ、

操作装置やディスプレイ等が車載ネットワーク(CAN)で結ばれて通信を行い制御している。車体の各設備はCANの通信線であるCAN-busで接続されている。

今回の自動走行技術では、操作盤と車内にコンピュータを設置して車内のネットワークであるCANを全体のネットワークであるLANに変換して通信を行っている。

操作室のジョイスティックを操作すると操作盤内のCAN-busに操作信号が流れ操作盤内のコンピュータに伝達される。コンピュータ内でCANからLANに変換され、無線LAN等により車載コンピュータに伝達される。車載コンピュータ内でLANからCANに変換され車内のCAN-busに送られ各機器を動かし、操作通りに不整地運搬車を稼動させる。

エンジンの回転数や燃料の量等の情報は、操作信号の流れと逆に車載コンピュータでCAN-LAN変換され、操作盤へと伝達される。操作盤コンピュータで再びCAN-LAN変換して、操作盤の液晶モニターに表示される。

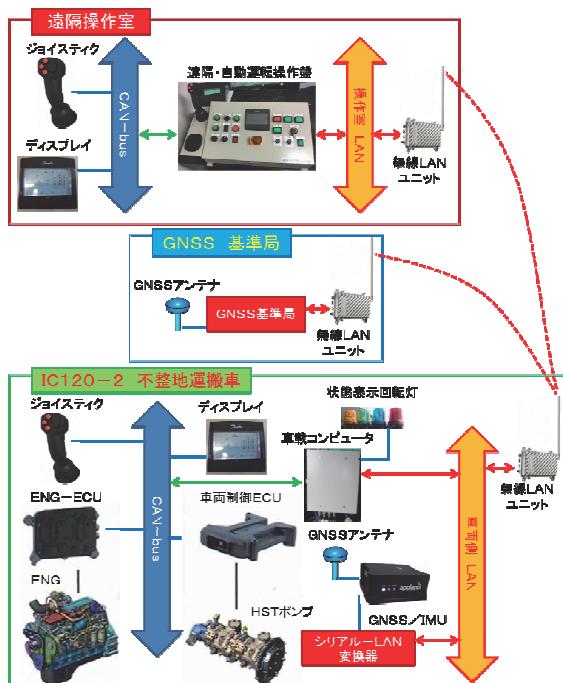


図-11 自動走行技術の通信

#### 4.2 不整地運搬車の位置情報

不整地運搬車の位置情報は、GNSS基準局からの補正信号をLANで受け取りシリアル信号に変換してGNSS/IMU装置に伝達される。GNSS/IMU装置内で基準局の補正值を基に不整地運搬車の位置を算定しシリアル信号で出力し、シリアル-LAN変換されて車載コンピュータに伝達される。

## 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。

### 5.1 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の精度に関する実験を行った。

実験内容は、現場に準備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、各回において教示経路に対する自動走行の蛇行量を測定した。

図-12に示すように教示経路に対する7回の自動走行の平均蛇行量は、最大値706mm、平均値327mmとなつたが、実験経路の状況(約13°の勾配、地盤が黒ボク土を含む軟弱な崩落土、不陸、線形)が影響を与えていたと考え、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回目の自動走行を基準として、再度蛇行量を算定した。算定結果は、図-12に示すように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257mm、平均値71mmとなり、中間から終点までは、最大値94mm、平均値35mmとなつた。

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自動走行の蛇行量が35mmという自動走行時の制御としては、満足のいくものとなった。

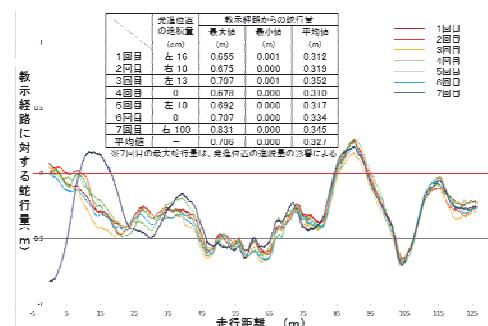


図-12 教示経路に対する自動走行の蛇行量

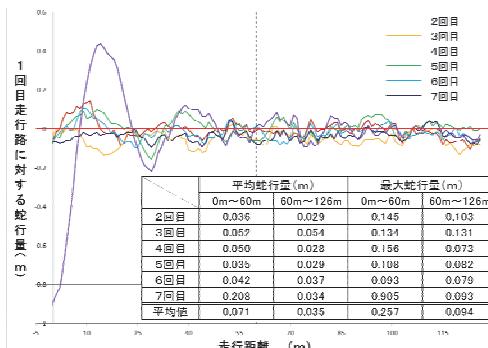


図-13 1回目の自動走行に対する各回の蛇行量

## 5.2 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、操作室内でオペレータ1名が自動走行式の不整地運搬車2台と遠隔操作式バックホウ1台を操作し、2台の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→土砂搬出までの一連の作業を行い、自動走行技術を活用した運用方法の検証を行った。図-14に実験場所を図-15に実験手順を示す。

不整地運搬車が自動走行で移動している時間を利用してもう1台の不整地運搬車への土砂積込作業や土砂搬出作業を行うことにより、複数台の建設機械をオペレータ1名により操作し、一連の作業が行えることを確認出来た。写真-4に状況を示す。



図-14 運用方法に関する実験

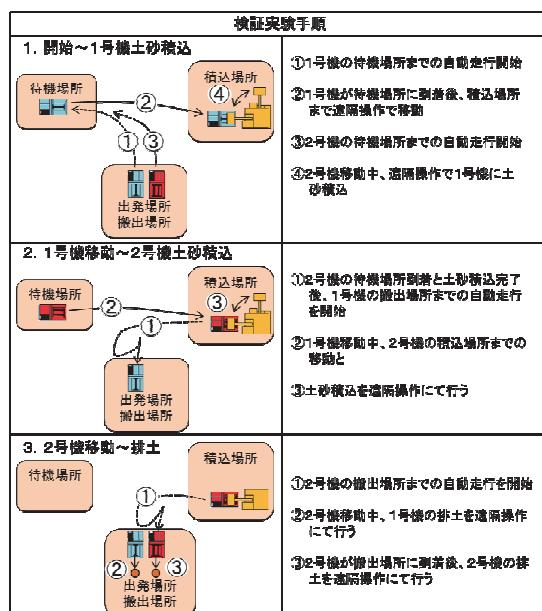


図-15 運用方法に関する実験の手順



写真-4 運用方法に関する実験状況

## 6. 今後の展開

今回の実証実験の結果、自動走行の精度に関して、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、実験経路の状態による影響や車載コンピュータからの操作信号に対する車体の反応による影響が考えられる。今後、車両を制御するパラメータの調整・改良により、教示経路に対する自動走行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人による複数台の建設機械の操作では、各機械の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軽減する予定である。

安全面では、複数台同時走行時の相互間認識や不測障害物への対応等実施工に向けて更なる検討が必要であると考える。

今後は、本格的な実運用に向けて写真-5に示す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。



写真-5 筑波技術研究所内実験ヤード