

AI制御による不整地運搬車の自動走行技術の開発

飛鳥馬 翼¹, 北原 成郎¹, 古川 敦¹, 宮川 克己², 藤本 和也³

¹(株)熊谷組 土木事業本部 ICT推進室, ²(株)熊谷組 土木事業本部 機材部, ³SOINN(株)

建設機械の自動制御システムは、生産性の向上を図るためのi-Constructionの主要な要素1つである。著者らは、土砂運搬作業が運搬経路の往復という単調な繰返し作業に着目し、走行させる経路の遠隔操作情報を不整地運搬車に教示し、それを再現することによる自動走行技術を開発した。

本報文では不整地運搬車の自動走行技術と、それらを効率よく自動制御するAI制御技術について報告する。

キーワード：ネットワーク対応型無人化施工, 自動走行, AI, ロボットティーチング, 運行管理

1. はじめに

ICTが革新的に進歩している中、内閣府では我が国が目指すべき未来社会の姿としてSociety5.0を提唱している。我が国を取巻く環境として、経済発展が進み、人々の生活が便利で豊かになる一方で、エネルギーや食料の需要が増加したり、高齢化社会が進んでいたりしている。Society5.0はIoT・ロボット・AI・ビッグデータといったICTをあらゆる産業や社会生活に取入れ、経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会である^①。建設業においても例外ではなく、国土交通省ではi-Constructionという取組みの中で、生産性向上だけでなく、Society5.0に向けて新3K(給与が良い・休暇が取れる・希望が持てる)の魅力ある建設現場を実現するために、UAVや建設ロボットなど先端技術を導入し、省人化・効率化を図る様々な施策を展開している^②。

i-Constructionの普及により、多方面で建設機械の自動制御システムの開発が注目されている。建設機械の自動制御はオペレータの代わりに制御PCなどが建設機械を操作するため、熟練したオペレータが不要になり、人材不足も解消されることで生産性向上が期待できる。著者らは、土砂運搬作業が運搬経路の往復という単調な繰返し作業に着目し、オペレータの労務負担の軽減も兼ねた不整地運搬車(図-1)の自動走行技術の開発を実施した。

本報文では土砂運搬作業の安全性と生産性向上を目的として開発した不整地運搬車の自動走行技術と、同一経路上を往復する複数台の不整地運搬車を効率よく自動制御するAI制御技術について報告する。



図-1 不整地運搬車

2. 自動走行技術^③

(1) 技術の概要

開発した自動走行技術は、始めにオペレータが遠隔操作室から不整地運搬車を遠隔操作し、その時の速度の加減と走行した経路を車載コンピュータに記憶させる「教示運転」を実施する。そして自動走行時には、教示運転で記憶した情報を基に自動走行経路を作成し(教示データ)、教示データを追従しながらコンピュータ制御で走行する技術である。複数台の車両を自動走行させる際には、1機目の教示データを複製して他車両にも記憶させることで同一経路を走行させることも可能となる。

(2) 自動走行システムの構成

本技術にはネットワーク対応型無人化施工システム⁴⁾に対応した不整地運搬車⁵⁾を使用している。ネットワーク対応型無人化施工システムとは、無人化施工で必要とされる制御信号を1つのIPネットワーク(LAN)上で制御および管理するシステムである。

システムの構成を図-2に示す。ネットワーク対応型無人化施工システムに対応した不整地運搬車の構成に①遠隔操作時に走行状況を確認するための車載カメラ、②走行した経路の位置情報を計測するGNSS/IMU装置(GNSS基準局含む)、③自動走行制御させるPC(車両側・遠隔操作室側それぞれ1台)を追加した構成となっている。

GNSS/IMU装置とはGNSSとIMUの複合慣性計測装置であり、GNSSによる位置情報に加え、IMUによる車両の姿勢や方位の計測を複合させ、高精度に車両の位置計測を実施するものである。

車載カメラ・GNSS/IMU装置・PCの制御信号はIP化可能なため、ネットワーク対応型無人化施工システムを活用することにより、不整地運搬車の自動走行システムを容易に導入可能であることが本技術の特長である。

(3) 自動走行フロー

教示運転と自動走行の関係について図-3に示す。

a) 教示運転

遠隔操作室から教示運転開始信号を送信し、遠隔操作を実施すると不整地運搬車は走行しながらGNSS/IMU装置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PCが経路情報を作成する(教示データ)。この情報は教示運転終了信号を車載PCが受信するまで0.1秒毎に記録され、教示運転終了後に保存される。

b) 自動走行準備

走行モードを自動走行に切替え、前進・後進信号と自動走行開始信号を送信すると、車載PCは自動走行させようとする教示データを読み込む。

c) 自動走行

自動走行準備が完了後、再び自動走行開始信号を送信すると、車載PCが教示データと車両の現在位置を比較しながら制御をして不整地運搬車を走行させる。

(4) 自動走行技術の課題

本開発の自動走行技術は不整地運搬車が自動走行を開始すると停止の信号を受信しない限り終点まで走行し続けるため、不整地運搬車に土砂を積載するオペレータの他に不整地運搬車の運行を管理するオペレータが必要になる。複数台の車両が同一経路上を運行するため、車両同士の衝突が無いように安全確認を行う必要があり、自動走行の開始・停止のタイミングはオペレータの判断に委ねられる。自動走行技術は1人のオペレータが複数台の車両を制御することが可能になるので生産性向上に寄与するが、走行経路が複雑化し、自動走行車両が増加す

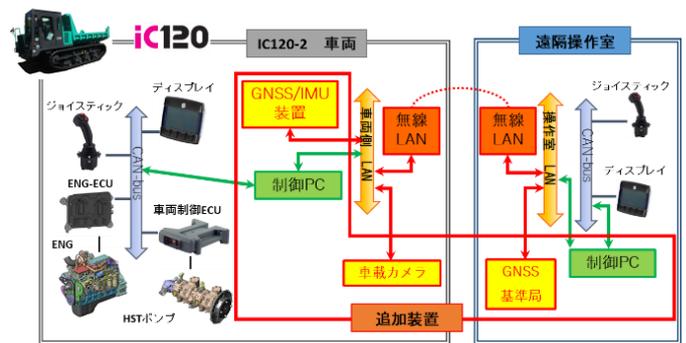


図-2 自動走行システムの構成

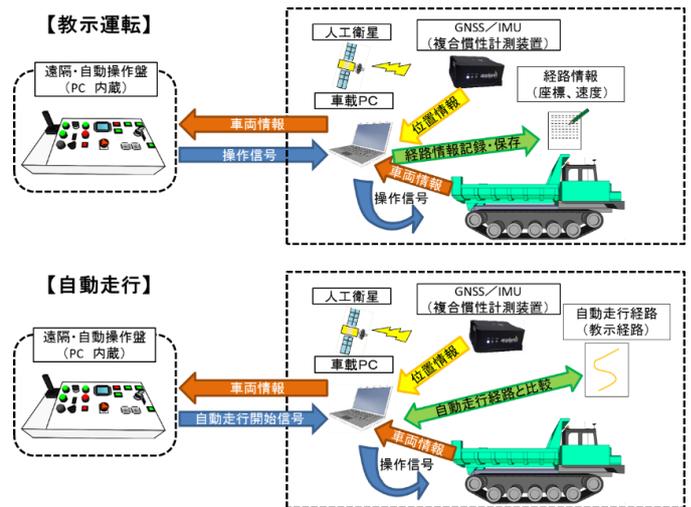


図-3 教示運転と自動走行

るにつれて運行管理が困難となり、土砂運搬作業が滞ったり、衝突事故発生に起因したりする恐れがある。

その課題を解決するために、オペレータに代わる管理手段として、AIによる運行管理を開発したので次章より報告する。

3. AI制御技術

(1) 技術の概要

開発したAI制御技術は、教示運転に基づく不整地運搬車の自動走行技術と、AIによる運行管理技術を組合わせた制御技術であり、複数台の車両のスムーズな運行と、AI制御PCにより人の介在が少なくなるため省人化が可能になる(図-4)。

AI制御では教示データを分析することによって、作業目標に対して時間的なトータルコストが最小となる効率的な運行計画パターンを生成し、かつ車両同士の位置情報を把握し衝突しないように安全な運行を制御する。そのため単独の自動走行技術では車両運行管理のオペレータが必要であったが、AI制御技術では人による運行管理が不要になるため、土砂積載から土砂搬出の一連の作業

がオペレータ1名で可能になる(図-5).

(2) AI制御フロー

AI制御フロー図を図-6に示す.

a) 教示ステップ

自動走行技術と同様にして、遠隔操作による教示運転を実施し、教示データを作成する.

b) 分析ステップ

教示データや車両サイズといった条件に基づき、AIが複数車両のすべての走行位置関係を算出し、車両同士の安全な位置関係や衝突の可能性がある位置関係を計算し、安全である状態のみを抽出する.

c) 計画ステップ

教示データの経路の始点・終点の位置、土砂積載・土砂搬出といった作業目標を考慮し、すべての位置関係の状態からコスト・時間が最小となる効率的な運行計画パターンを生成する.

d) 実行・指令ステップ

生成した運行計画パターンを車両に指示するとともに常時AIによって走行の開始・停止の判断が行われ、衝突することなく効率的に車両の運行が実行される.

4. AI制御技術の検証

本検証では先述の提案手法により以下の項目が実現可能かを確認する.

- ①複数車両のスムーズな運行
- ②複数車両の安全な運行

なお、本検証の条件として、制御させる不整地運搬車は2台で、バックホウなどの積込機械は省略して不整地運搬車だけが運行する検証とした.

(1) シミュレーションによる検証

実機での検証の前に先述の提案によるAI制御フローで2台の車両の運行管理が可能かどうかシミュレーションにより検証した. シミュレーションはGNSSの位置座標を入力することにより、ノードや経路を表示させることが可能である. 分析ステップで必要となる教示データは、実施工を想定して走行経路を決定し、実機による教示運転から得られた教示データを使用した. シミュレーションの初期配置を図-7に示す.

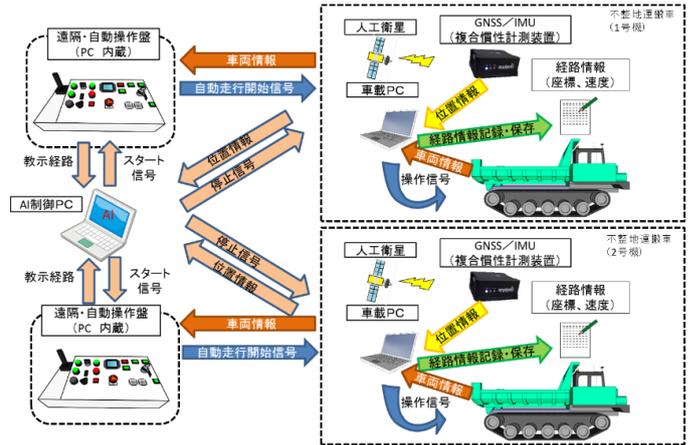


図-4 AI制御による自動走行システムの構成

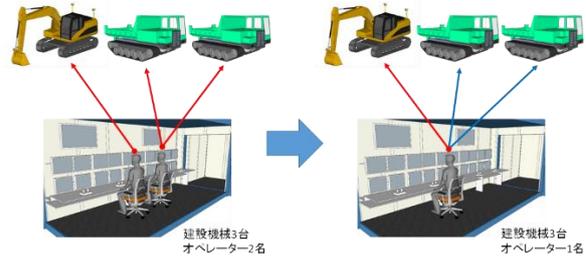


図-5 オペレータ1名による複数車両の制御



図-6 AI制御フロー図

(0,0)を土砂積載場所、(35,-5)を土砂搬出場所とした。それぞれのノードはN1が(35,-5)、N2が(20,5)を初期配置とした。ノードは(35,-5)を出発し、(17,-10)付近から(10,-22)まで弧を描き、(0,0)まで向かう。その後、(20,5)まで弧を描くように進行し、そこから(35,-5)へ戻る。ここまでの1サイクルである。(10,-22)と(20,5)は実施工における待避場所を想定している。

検証時の状況を図-8に示す。シミュレーションを開始して直ぐにN2は②の配置の場所で停止した。その後、N1が通り過ぎたことを判断し、N2は(35,-5)へ向かった。③の配置の時、N1は停止した状態でN2が(10,-22)付近を通り過ぎた時にN1が進行した。N1が進行後、N2が(10,-22)から(0,0)へ向かう際に④の配置でN2が停止した。その後、N1が通り過ぎたことを判断し、N2は(0,0)へ向かった。N2が(0,0)から(20,5)へ向かう間、N1は(35,-5)で停止したままだった(⑤の配置)。

シミュレーション結果より、お互いのノードが干渉することなく運行を可能にしたので、提案するAI制御は有効であることを確認した。

(2) 実機による検証

シミュレーションによる検証によりAI制御の有効性が確認できたので、実環境下において検証実験を実施した。実験環境を図-9に示す。

運行ルートはシミュレーション時に使用した教示データを使用した。1号機と2号機の初期配置は図-9の通りである。不整地運搬車は土砂搬出場所から直進し、左旋回した後スイッチバックし土砂積載場所へ向かう。土砂積載場所からは大きく左カーブを描き、2号機の初期位置の場所でスイッチバックし土砂搬出場所へ向かう。これを反復試行することにより、実機におけるAI制御の有効

性を確認する。

検証時の運行状況を図-10に示す。2台の不整地運搬車は同時に出発し、②の配置の時に2号機が停止した。その後、1号機が通り過ぎたことを判断し、2号機は土砂搬出場所へ向かった(③の配置)。1号機が土砂搬出場所、2号機が土砂積載場所へ向かう際に④の配置で2号機が停止した。その後、1号機が通り過ぎたことを判断し、2号機は土砂積載場所へ向かった(⑤の配置)。本検証は単純な経路であったためか、反復試行してもほぼ同じ結果に収束した。

検証結果から2台の不整地運搬車が運行管理オペレータを配置することなくスムーズかつ安全に運行できたことを確認した。また検証によって確認された本技術の効果を記述する。

a) 不整地運搬車の負荷軽減

AI制御により不整地運搬車が効率よく制御され、速度の平準化に繋がり、燃費効率の向上が期待できる。

b) 近接センサ等が不要

車両同士の衝突を検知するセンサが無くても、AI制御による運行管理で衝突を防止できる。

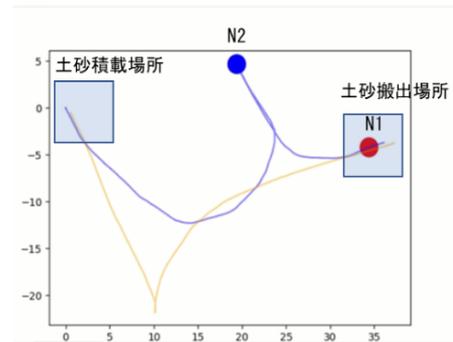


図-7 シミュレーション

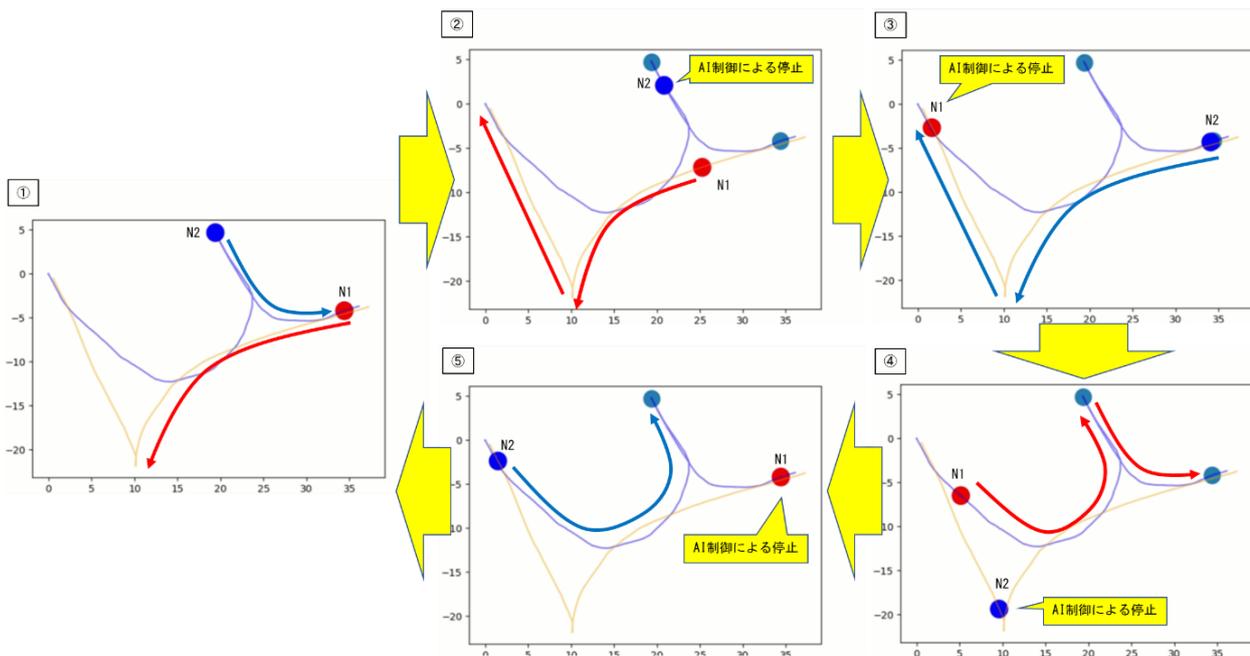


図-8 シミュレーションの結果

c) 経路が複雑かつ長距離化にも対応

本検証では単純かつ短距離の経路であったが、AIが制御するため複雑かつ長距離になっても対応可能なことが期待できる。

5. 本開発のまとめ

AI制御による自動走行技術の成果を以下に示す。

- AIの運行管理により、不整地運搬車同士の衝突の安全確認作業が無くなるため、車両運行管理オペレータが不要になる。
- AI制御により不整地運搬車の速度の平準化が期待できるため、燃費効率が向上する。
- 近接センサ等が無くても、AI制御による運行管理で車両同士の衝突を防止できる。
- AI制御により経路が複雑かつ長距離化しても対応できる。

安全性と生産性を向上するために自動化およびAIを導

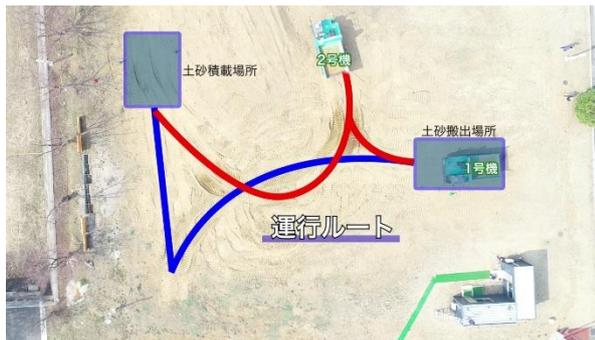


図-9 実験環境

入することは有効であり、Society5.0を実現するAI自動走行システムを確立した。

6. おわりに

本検証においては開発したAI自動走行システムが安全性と生産性を向上させることを示したが、多くの課題が残されている。直近の課題としては3台以上の不整地運搬車の制御と走行経路の複雑化が挙げられる。

今後はAI制御技術をさらに向上させるとともに、安全面や運用方法の検討を十分に行い、本格的な実運用に向けて準備を進めていく。

謝辞：自動走行システムの構築に関わった(株)加藤製作所とJMUディフェンスシステムズ(株)、技術支援を戴いた(株)ファテックと(有)E-MEC、その他開発関係者の方々に深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1)内閣府 HP：Society 5.0-科学技術政策-, https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html, 2019.
- 2)国土交通省 HP, “i-Construction”, <http://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html>, 2019.
- 3)小林勝, 宮川克己, 北原成郎：不整地運搬車の自動走行技術の開発, 平成 30 年度 建設施工と建設機械シンポジウム 論文集・梗概集, pp.35-40, 2018
- 4)野村真一, 北原成郎, 坂西孝仁, “最新の無人化施工技術と i-Construction で挑んだ阿蘇大橋地区斜面防災対策工事”, 平成 29 年度 建設施工と建設機械シンポジウム論文集, 2017.
- 5)北原成郎, 山西晃郎, 千坂修：CAN 制御車両の遠隔操作システムの実用化, 建設機械施工, Vol.68, No.1, pp.66-71, 2016

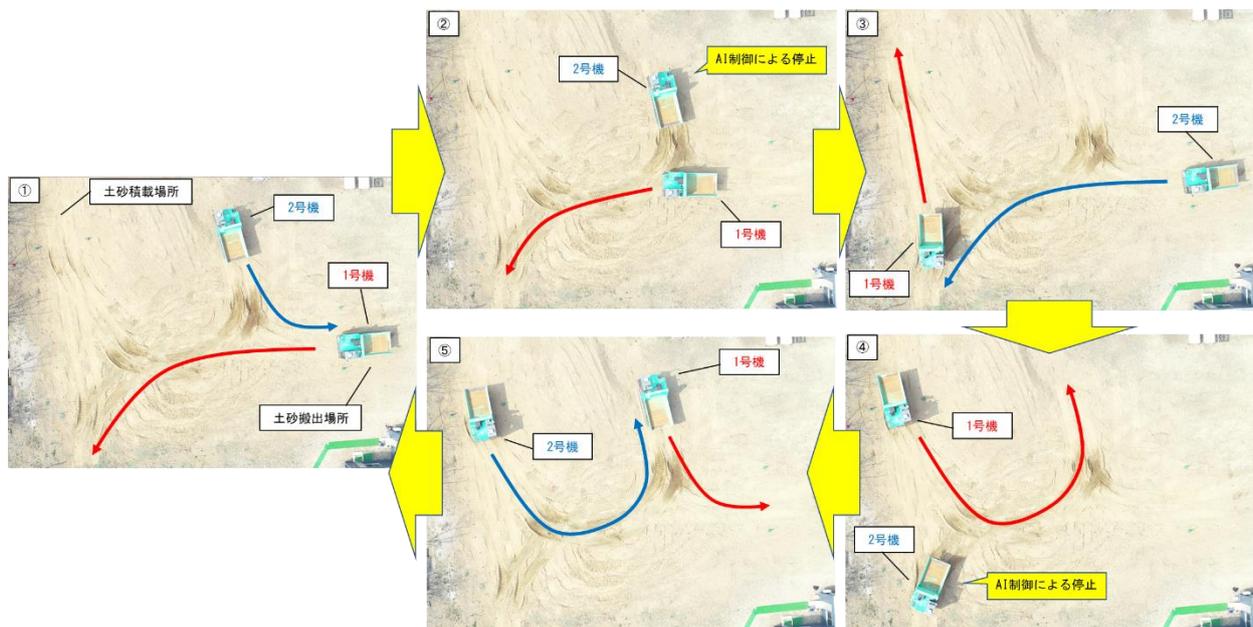


図-10 AI制御の結果