

建設現場における 大型ダンプトラックの自動運転実証実験

運転自動化レベル4相当の自動運転ダンプトラックによる有人ダンプトラックとの混在走行を実証

岡本邦宏・岩下正剛・中川遥稀・柳拓也

近年、建設業では現場作業員の高齢化が懸念されている。夜間作業や単純作業における省人化や生産性向上を目指し、自動運転システム（自動化レベル4相当）の開発を行い、大型ダンプトラックによる自動運転の実証実験を、建設中のダム建設現場で実施した。今回の実証実験では、夜間作業において骨材運搬を行う有人ダンプの中に自動運転車を1台導入し、有人ダンプと自動運転車の混在走行、また自動運転車の単独走行における検証と評価試験を行った。本稿では実証実験の概要と結果について報告する。

キーワード：ダンプトラック、自動運転、運転自動化レベル4、省人化、生産性向上

1. はじめに

建設業就業者の高齢化に伴い、将来的にダンプトラックの運転手も不足していくことが懸念されている。現在当社は、建設現場で運搬業務の大部分を担っているダンプトラックの自動運転システムの開発を自動車メーカーと共同で進めている。GNSSやLiDAR等の測位やセンシング技術により基本走行技術を有したダンプトラックの自動運転システムを開発し、実際に建設現場において有人ダンプと混在走行させることで実用化に向けた様々なデータの取得を行った。

2. 概要

実証実験のフィールドとなるダム建設現場では、夜間にダンプトラックによる骨材の運搬作業を行っている。実証実験では夜間に骨材運搬を行う有人ダンプ2台の中に自動運転車を1台導入し、全長約1.3kmの運搬路を最高速度30km/hで走行させた（図-1）。運搬作業を行う有人ダンプの中で自動走行を行うため、現場の安全確保が必須であり、監視カメラや照明などの付帯設備や、自動運転車の安全システム作動の要因となるライン舗装などのインフラ設備の工事を事

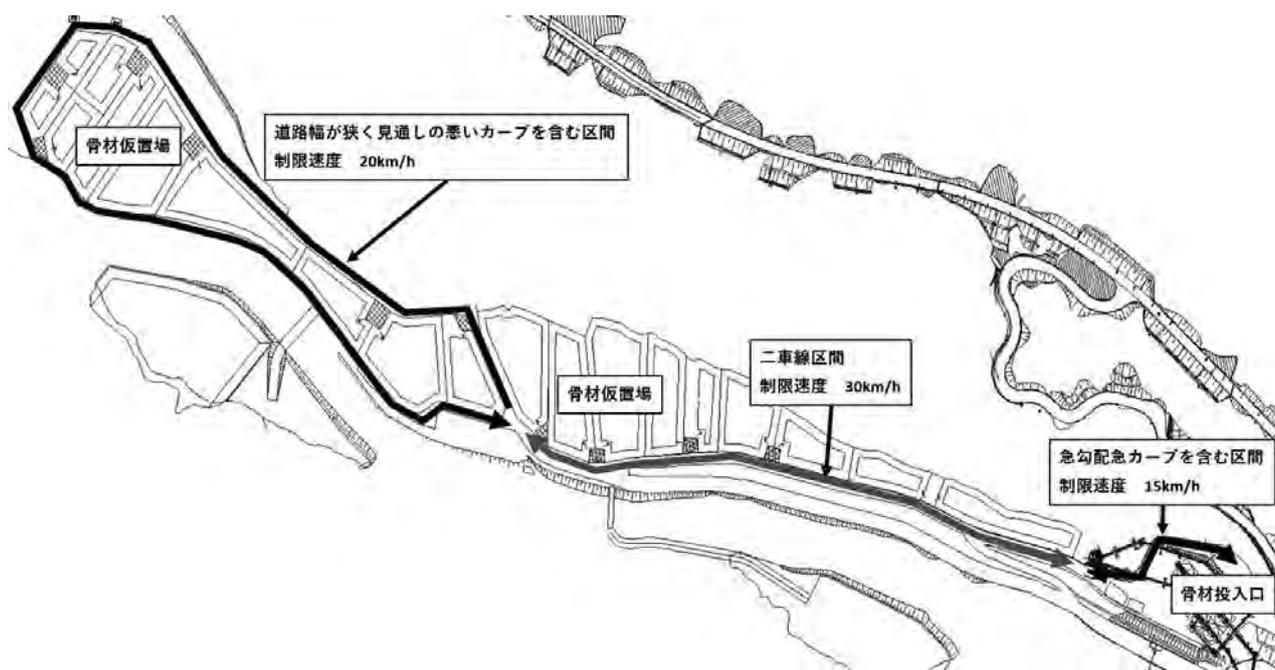


図-1 骨材ストックヤード運搬路

前に実施した。なお、本実証では走行ルート上のみを自動運転とし、積み込みや荷降ろし動作はマニュアル操作で行った。

(1) 自動運転車両の仕様

実証実験で使用する自動運転車は、ベース車両である大型トラックに自動運転システムを搭載している(写真-1)。主な車両性能を(表-1)に示す。搭載した自動運転システムは運転自動化レベル4相当である。運転自動化レベルとは、公益社団法人自動車技術会によって定義されており、運転手と自動運転システムが担う運転動作の比率や技術到達度、走行可能エリアの限定度合いなどによって、レベル0からレベル5の6段階に分類されている。運転自動化レベル4では、「自動車専用道路や私有地などの限定された領域内において運転手を必要としない無人走行を可能とする」自動運転システムである。ただし、本実証実験では安全を最優先し、想定外の事態に備えアクセル、ブレーキ、ステアリング操作介入できるセーフティードライバーや自動運転システム状態をモニタリングするシステム監視者が乗車する実証体制とした。



写真-1 自動運転車両

表-1 自動運転車両の仕様

実験車両仕様	
車両重量	約20,000kg
積載可能重量	8,000kg
トランスミッション	16段 自動変速(オートマチック)
ステアリング	電子制御油圧パワーステアリング
ブレーキ	電子制御ブレーキシステム

(2) 基本走行技術

主な基本走行技術はGNSSを利用した自動走行、前走車との安全な車間距離を保つ全車速追従機能付クルーズコントロール、LiDARによる前方の人および障害物の検知と、自動停車動作中のカメラによるライントレース機能、想定外の事態に対応するためのオーバーライドシステムである。

① GNSSを利用した自動走行

自動走行経路をマニュアル操作で運転走行し、GNSS情報を基に走行ルートの作成を行う。自動走行の際はGNSSで取得した座標データによって自車位置を特定し、作成した走行ルート上に沿って走行するよう誘導制御を行う。

② 障害物検知

LiDAR、ミリ波レーダーを用いて周辺環境と自車との距離を認識し、人および障害物を検知した場合には自動で停車動作に入る。

③ カメラ画像認識技術を利用したライントレース機能

自動走行中にGNSS信号が失陥した場合、自動で停車動作を行う。停車動作時にはカメラで撮影したライン舗装の画像認識を行い、車両がライン舗装内から出ないように停車させる。

④ オーバーライドシステム

自動運転中にアクセル、ブレーキ、ステアリング等を監視搭乗者が操作した場合、直ちに自動運転が解除されマニュアル運転に切り替わる。これにより、逸走や野生動物の飛び出しなどの想定外の事態の際には、システム監視者が即マニュアル運転に切替えて停車できるように安全性を確保した。

(3) 走行コース

自動運転時には現場の安全確保を最優先とし、自動運転車の制限速度は直線部では現場ルールにあわせて30 km/hとした。また走行ルート上の幅員の狭い区間は20 km/h、急カーブ急勾配の箇所では15 km/hと実証実験実施における独自の走行ルールを定めた。さらに交差点部と車両の出入りが多い箇所の付近では、自動で一旦停止させることとした。自動運転の走行ルートは日々採取先が変わる骨材ヤードの位置に応じてルートの設定を行う。また、自動運転車が自動停車する際に行うライントレース機能のため、走行コース上にライン舗装工事を行った。走行コースとなる工事用道路の幅員にあわせて一車線路と二車線路を分けし、自動運転時の自動停車用に交差点部や見通しの悪いカーブの手前には停止線を敷設した。



写真一 遠隔監視室

(4) 遠隔監視システム

自動運転走行中は、監視室に設置した遠隔監視システムで一括管理を行った（写真一）。管理システムの構成は、クラウドサービス型データ管理システムをパソコンブラウザ上で表示させたものと、カメラ映像の18画面マルチ出力による、カメラ18台での同時監視である。自動運転中の連絡体制として、自動運転車内と監視室、走行路監視員、積み込み建機のオペレーターの間で無線機を使用して連絡を取り合うこととした。この連絡体制は、トラブルを未然に防ぐための安全管理のみならず、積み込み場所や荷降ろし場所への入場のタイミングの確認等の運行管理の役割も担った。

①監視カメラ

自動運転中のダンプトラックの監視やトラブルが発生したときの事後確認のために監視カメラシステムを構築した。1.3 km の走行コース上のどの地点を車両が走っていても監視できるように、18台のカメラを設置しマルチ画面で表示した（写真一）。また、夜間での実証走行となるため夜間撮影に適した超低照度対応カメラを使用した。

②クラウドサービス型データ管理システム

車両の様々なデータを、モバイル通信によりクラウドサービスにアップロードし、自動運転車の状態監視をリアルタイムで行った（写真一）。

3. トライアル走行

約1カ月間にわたりトライアル走行を実施した。トライアル走行では自動運転車単独で走行を行い、センサー類の性能確認及び自動運転走行の調整を行った。自動運転走行の確認後は、骨材を積載した状態での動作確認と、積み込み・荷卸し動作はせずに走行のみで混在走行を行い、自動運転システムの確認調整を行った。また、稼働中の現場内を実際に走行するため、現場側と安全運行ルールを取り決め、監視設備と監視員の配置、無線合図による安全確認の上、走行ルート付近の



写真二 監視カメラ画面



写真三 監視システム画面

安全性を確保しながら自動運転走行を行った。

(1) センサ類の性能確認

マニュアル運転で走行ルートの周回を重ね、実証実験におけるセンサ性能の確認を行った。ほとんどのセンサは環境による影響もなく良好な動作であったが、GNSSによる自車位置特定に不具合が生じる部分を確認された。走行ルートの上空にプラント設備が存在する箇所があり（写真—5）、その地点を通過する際にGNSSアンテナの受信状況が悪化し、マップ上の自車位置座標がずれる事象が発生した。対策として仮想基準点方式のRTKと自律航法システムを併用することで、自己位置座標の精度に改善がみられた。



写真—5 走行中の自動運転車とコース上空の建造物

(2) 積荷の有無による走行挙動の変化

積載荷重限度に近い質量の骨材を積載した状態では、走行速度の低下やブレーキが利きづらくなり、制動距離が延びるのでステアリングの操作タイミングにも影響を及ぼすことを確認した。通常、ダンプトラックの場内運搬作業では積載荷重限度に近い重量の積込みと荷降ろし動作を頻繁に行うことになり、それぞれの積荷の状況による車両総重量に合わせた運転操作量が必要となる。この課題の解決のため、トライアル期間中に積荷の有無による自動走行での検証を重ね、積荷の有無両方の状況に対応した最適な操作量を模索し、自動運転システムに適用した。

4. 実証走行

実証走行では、休工日の日中に自動運転車単独で実施した走行コース全周自動運転走行と、平日夜間に実施した有人ダンプと自動運転車の混在状況下での自動運転走行を行った。混在状況での検証の際は、実際の運搬業務に参加して行った。ただし安全確保を最優先にするため、回数を限定して運搬業務に参加するよう計画した。トライアル走行から実証走行終了までに大

きなトラブルは一切無く、期間を通して無事故で本実証を終えることが出来た。

5. 実証実験の結果

本実証実験では現場内実走行におけるセンサ類の性能について確認評価し、運転自動化レベル4相当の自動運転車による、骨材運搬道走行ルートの全周自動走行を達成した。また、実際の骨材運搬業務に加わり、有人ダンプトラックとの混在状況下での自動運転走行も達成し、自動運転車の建設現場への導入効果についても確認できた。

(1) センサ類の性能評価

GNSSは今回の実証実験条件下での走行道路の凹凸や山間部という地理条件、天候不順の中での走行による影響はなく、トライアル走行時に行った上空建造物への対応を含め一定の成果が得られた。LiDARで取得したデータは想定どおりの結果が得られ、障害物検知の役割を果たした。ライントレース機能のためのカメラ画像認識によるラインの認識は、ライン舗装が傷んだ箇所やライン上に異物があると正しく認識しないことが確認された。

(2) 走行時間の検証

自動運転走行の停車は自動運転走行用に施工した停止線で行われる。この停止線は走行ルート上の交差点や、見通しの悪いカーブでの安全確保のため、実証実験用に敷設した。自動運転車はシステム上必ず停止線で停車するが、有人ダンプは停車しない場合もあり、有人ダンプに比べて自動運転車の走行時間が増加した。

(3) 自動運転車の導入効果

有人ダンプトラックとの混在走行のデータを基に、実際の有人ダンプによる運搬回数を想定回数とし、運搬業務の全てを自動運転車のみで行ったと想定し、作成したシミュレーションで導入効果を検討した。走行時間のシミュレーション結果を（表—2）に示す。本実証では自動運転走行を行ったのが走行路のみだったとはいえ、シミュレーションでは有人走行に比べて合計時間が1.25倍という結果になっている。更に自動運転車の導入による省人化や生産性向上を図るには積込機械などの建設機械と連携させ、積込み荷降ろし動作までを自動化することが必要であると考えられる。しかし、自動運転システムが完成し実用化の暁には365日24時間稼働可能であることを考慮すると、本

表一2

各骨材置場から骨材投入口までの平均走行時間						
	骨材置場A	骨材置場B	骨材置場C	骨材置場D	骨材置場E	
有人ダンプ 走行時間	2分15秒	1分59秒	1分43秒	1分28秒	1分27秒	
自動運転ダンプ 走行時間	3分19秒	2分44秒	2分21秒	1分40秒	1分25秒	
平均走行時間を基に1日の運搬回数でシミュレートした走行時間						
	骨材置場A	骨材置場B	骨材置場C	骨材置場D	骨材置場E	1日合計
運搬回数	6回	24回	16回	16回	24回	86回
有人ダンプ 走行時間	13分30秒	47分36秒	27分28秒	23分28秒	34分48秒	146分50秒
自動運転ダンプ 走行時間	19分54秒	65分36秒	37分36秒	26分40秒	34分00秒	183分46秒

実証実験の結果から当自動運転システムを導入することで、運搬作業での省人化、生産性向上に対しての効果が期待出来る。

6. おわりに

実証実験期間中、自動運転状況の確認をするため助手席に乗車する機会があった。自動運転の完成度を高めていくと、ステアリング操作、アクセルワーク、ブレーキ操作等が、まるで人が運転しているように滑らかな操作感になり、乗り心地も良くなっていったのが印象的であった。本実証では現場の多大な協力もあり、無事故・無災害で終えることができ、実証実験としても今後のための有効なデータが得られた。今回の実証で得られたデータを基に更に検証を進め、今後は自動運転車と積込機械や敷均し機械等と動作連携させ、そして建設現場での建機自動化を目標に開発を進めていく。また、建設業で培った自動運転技術を他業界（製造業・物流業等）にも展開し、新規事業を拡大させることも想定している。

謝 辞

最後に、実証実験に際し、現場をご提供頂いた発注者の水資源機構様に誌面を借りて心より謝意を申し上げます。



【筆者紹介】

岡本 邦宏（おかもと くにひろ）
大林組
西日本ロボティクスセンター
施工技術部 技術開発課
職員



岩下 正剛（いわした せいごう）
大林組
西日本ロボティクスセンター
施工技術部 技術開発課
担当部長



中川 遥稀（なかがわ はるき）
大林組
西日本ロボティクスセンター
施工技術部 技術開発課
職員



柳 拓也（やなぎ たくや）
日野自動車
自動運転技術研究部
企画グループ
主幹

