

51. 建設車両自動運転システムの開発(第4報)

～複数台無人車両の運転管理システム～

ハザマ：*齊藤 宏明
筑波大学：油田 信一

1. はじめに

当社では、建設工事の中核的な作業である各種運搬作業を一部無人運転化することによって、作業の合理化、ローコスト化を図る「建設車両自動運転システム(HIVACS**)」の開発を進めている。

具体的には、図-1に示した様な、大規模土工事における重ダンプトラックを当面のターゲットとしている。

本シンポジウムにおいては、第1報から第3報まで写真-1に示す実験車を用いた無人運転技術の開発状況について主に報告してきた。表-1に実験車の目標性能および現在の性能を示す。

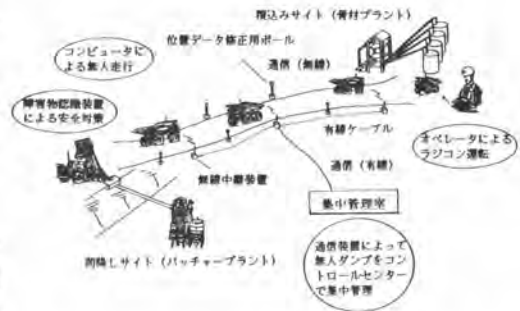


図-1 無人ダンプトラックのイメージ図



写真-1 HIVACS実験車

表-1 実験車の性能

性能	項目	目標性能	現在性能
無人走行	走行継続距離	2km以上	2km以上
	最大走行幅	±90cm以内 (最高速度40km/h)	±110cm以内 (最高速度40km/h)
車両自己位置 方位計測	位置計測精度	±50cm以内	±60cm以内
	方位計測精度	±0.5deg以内	±1.0deg以内
前方障害物 認識	作業員認識率	100%	100%
	前方車両認識率	100%	100%

以上の様に、これまでは単体車両の無人運転化技術を主に開発してきたが、実際に作業の合理化、ローコスト化を図るには、現場内で複数台の無人車両を同時稼働させる必要があり、そのための運行管理技術の開発が必要となる。本報では、この複数台無人車両の運行管理システムの開発概要および実験結果についてを報告する。

**HIVACS: Hazama-Intelligent-Vehicle-Automatic-Control-Systemの略でハイボックスと呼ぶ。

2. 運行管理システムの概要

2.1 工事現場モデルの想定

運行管理システムを構築するために、図-2に示す様な工事現場モデルを想定した。このモデルはダム施工における骨材運搬作業に相当する。

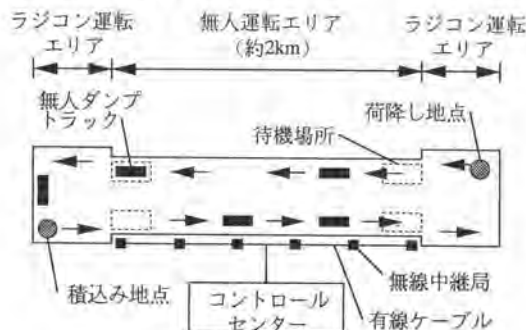


図-2 工事現場モデル

このモデルの運行ルールとして、以下の条件を設定した。

- ① 走行コースの設定は1日単位で行う。
- ② 無人ダンプは5台で1パーティーとする。
- ③ 無人ダンプは、互いに追い越しは行わない。
- ④ 積み込み、荷降ろし作業は人がラジコンによる遠隔操作で行う。
- ⑤ 現場内は無人ダンプの他には、原則として工事用連絡車及び特定作業員のみが存在し、それらは無人ダンプが検知可能である。
- ⑥ その他の突発的に侵入してくる障害物については、現場内に設置した監視モニターを見て安全確保を行う。

2.2 運行管理システムの機能

運行管理システムの主な機能としては、コントロールセンターで各無人ダンプの運行状況をコンピュータ上で把握し、各無人ダンプへ安全に運行するための命令を送信するものである。

なお、コントロールセンターでは各無人ダンプの運行状況をリアルタイムにモニターすることが可能である。コントロールセンターのモニター画面のイメージを図-3に示す。



図-3 コントロールセンターモニター画面

2.3 運行管理方法

各無人ダンプの運行管理は前述したようにコントロールセンターからの運転命令によって行う。この各運転命令の内容を、以下に示す。

- A：通常走行（初期設定した運行速度で走行）
- B：減速（初期設定した速度に減速する）
- C：停止

これらの運転命令の判断は、以下の基本ルールに基づいて行う。

基本ルール：1つの占有エリアに2つ以上の移動体（無人ダンプ、連絡車、特定作業員）を存在させないようにする。

ここで占有エリアとは、図-4に示す様な走行ルートを約100mごとに分けたエリアのことを言う。

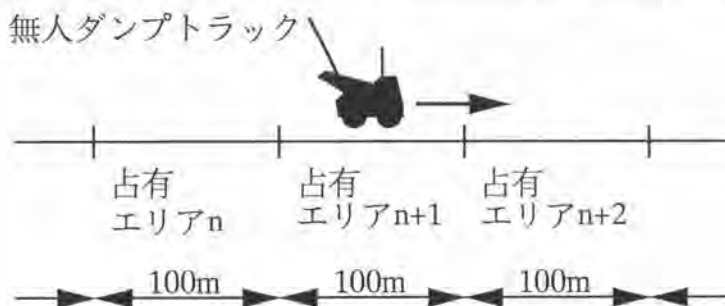


図-4 占有エリア

表-2および表-3は、基本ルールに基づいて作成した運転命令表である。ある占有エリアに無人ダンプが進入してきた場合、その占有エリア内の前方の状況（表-2）と次の占有エリア内の情報（表-3）から合計2つの運転命令が選択される。この2つの運転命令の中から優先順位（高い C>B>A 低い）の高い方を実行する。このように運転命令は簡単なロジックによって各無人ダンプに送信される。

表-2 運転命令表（同一の占有エリアの状況）

同一の占有エリアの状況	運転命令
移動体なし	A
先行車あり	B
すれ違い対向車あり	B
停止車あり	C
作業員あり	C

表-3 運転命令表（次の占有エリアの状況）

次の占有エリアの状況	運転命令
移動体なし	A
通常走行の先行車あり	A
減速走行の先行車あり	B
すれ違い対向車あり	B
停止車あり	C
作業員あり	C

3. 通信方法

3.1 運行管理システムの構成機器

現行の電波法では、全長2kmにもおよぶ運搬経路全域を無免許で1台の無線機でカバーすることは不可能である。そこで、図-2に示した様に、運搬経路の路肩に添って無線通信を行う無線中継局を一定間隔ごとに設置し、無線中継局間およびコントロールセンター間是有線ケーブルで結ぶといった無線、有線の組み合わせ方式を採用している。今回は、プロトタイプとして数百mの通信が可能な運行管理システムを製作し性能確認実験を行った。無線中継局に400MHz、出力10mWの特定小電力モデム（写真-2）、有線ケーブルはRS232Cケーブルを用いている。また、コントロールセンターのコンピュータは通常のパソコンを使用している。



写真-2 特定小電力モデム

3.2 無線中継方法

このシステムでは、無人ダンプと無線中継局が無線通信を行うわけであるが、1台の無人ダンプが交信する無線中継局は無人ダンプの走行に伴い次々に移動していく。また、無人ダンプは30km/h程度の高速で走行するため走行中の通信エラーを防ぐ目的で、各無線中継局の通信範囲は十分重複させておく必要がある（図-5）。ここでは、この重複範囲を以下の式により16.6mとした。

$$\begin{aligned} \text{通信重複範囲} &= \text{無人ダンプの最高走行速度} \times \text{1回の通信時間} \\ &= 8.3\text{m/sec} \times 2\text{sec} \\ &= 16.6\text{m} \end{aligned}$$

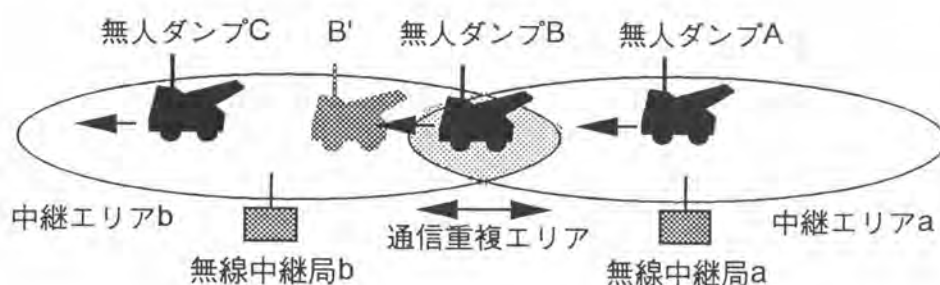


図-5 無線中継局の通信重複範囲

4. 運行管理実験

4.1 実験条件

実験は、図-6に示した様に、固定局（コントロールセンター）1台、無線中継局1台、実験車1台、

固定局上のコンピュータ上でシミュレーションした仮想無人車4台の構成で行った。従って実際には仮想無人車は走行していない。実験条件は、走行距離を片道400m、走行速度を約15km/hとした。また、障害物として、黄色いヘルメットと反射ベストを着用した作業員を走行路面上を横断させ、この作業員を実験車の障害物検知センサーで検知させるものとした。

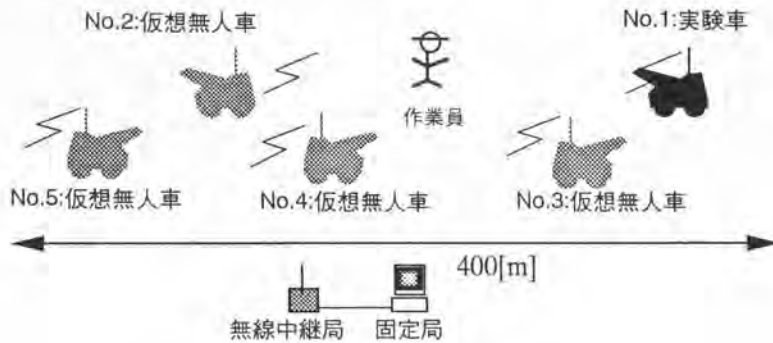


図-6 運行管理実験構成図

4.2 実験結果

評価実験の結果を図-7に示す。図中でのNo.1車両は実験車、No.2～No.5はそれぞれ仮想無人車を示す。

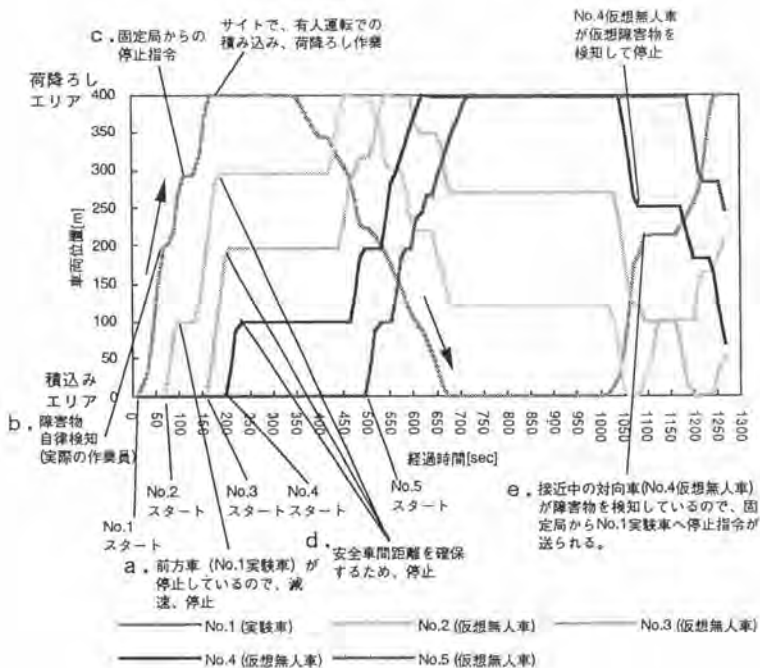


図-7 運行状況図

実験は、故意に走行路上に障害物を発生させる、あるいは車両を停止、減速させる等により行い、それにより固定局から無人車両に適切な運転命令を出して正しく運行管理されているかを把握した。

以下に図-7について説明する。

- ① b点では、No.1実験車が実際の障害物を検知したため、No.1実験車が自動的に停止を行った。また、後続のNo.2仮想無人車は、前方のNo.1実験車が停止しているため、安全車間距離を確保するため減速、停止を行った。
- ② c点では、固定局からNo.1実験車に非常停止の命令を送ったことで、No.1実験車が停止した。これにより手動による非常停止の動作状況が確認できた。
- ③ d点では、No.1実験車が積込み作業を仮定して停止している。このため、車間距離が詰まってきたので、前方車との安全距離を確保するため、後続のNo.2～No.5の仮想無人車が停止動作を行った。
- ④ e点ではNo.4仮想車を疑似的に障害物を検知させ停止状態にしたところ、すれ違い対向してきたNo.1実験車が前方に障害物があるという指示を受けて停止した。

以上の様な行動により、運行管理システムが正しく機能していることが確認できた。

5. おわりに

今回の実験では、プロトタイプとして試作した通信装置を用いて、運行管理システムの基本的な動作確認を行った。今後は、運行効率を向上させる運行ルールを検討していきたい。最後に、無人ダンプを現場内の1つの完全な自動化施工システムとして運用するためには、施工計画、施工管理支援システム等とリンクを行い、情報の統合化を図っていくことがより重要であろうと考えている。

6. 参考文献

- 1) 杉浦, 他: 「建設車両自動運転システム(HIVACS)の開発(第1報)」, 平成2年度 建設機械と施工法シンポジウム論文集, pp42～45, 1990
- 2) 斉藤, 他: 「建設車両自動運転システム(HIVACS)の開発(第2報)～無人走行のための要素技術の開発～」, 平成3年度 建設機械と施工法シンポジウム論文集, pp114～117, 1991
- 3) 滝澤, 他: 「建設車両自動運転システム(HIVACS)の開発(第3報)～現場での無人走行評価実験～」, 平成4年度 建設機械と施工法シンポジウム論文集, pp206～209, 1992