

7. 無人ダンプトラック運転システム

（株）小松製作所 若林 洋

1. まえがき

フリートを編成し、定形作業を行なうオフザロードのダンプトラックの全ての運転操作を無人で行ない、省力効果をねらう目的で、本システムを開発した。

本システムは、従来より実験手段や新交通システムへの利用をねらって、国内外で研究された誘導ケーブルによる誘導技術に、車両の制御技術を適用し、それを作業現場にマッチするよう改良を加え、各種安全対策を施してプログラム化を計ったものである。

開発に当っては車両の特性把握の予備テスト、無人装置を装着した実車テスト及びベンチテストを行ない実用性の確認をした。ここにシステムの概要とテスト結果、省力効果の予測などを述べる。

2. システムの設定

システムを設計するに当り、安全性と経済性から実用面を考慮し、次の使用条件を前提とした。

- 1) ダンプトラックの走路、捨場が一定しており、定形作業であること。
- 2) 安全面より、無人車専用路を確保しうること。

またシステム実用上から具備すべき条件として下項を設定した。

- 3) 省力効果を十分なものとするため、積込時、走行、排土など一連の作業を、人間不在の状態でも同時に複数台コントロールできること。

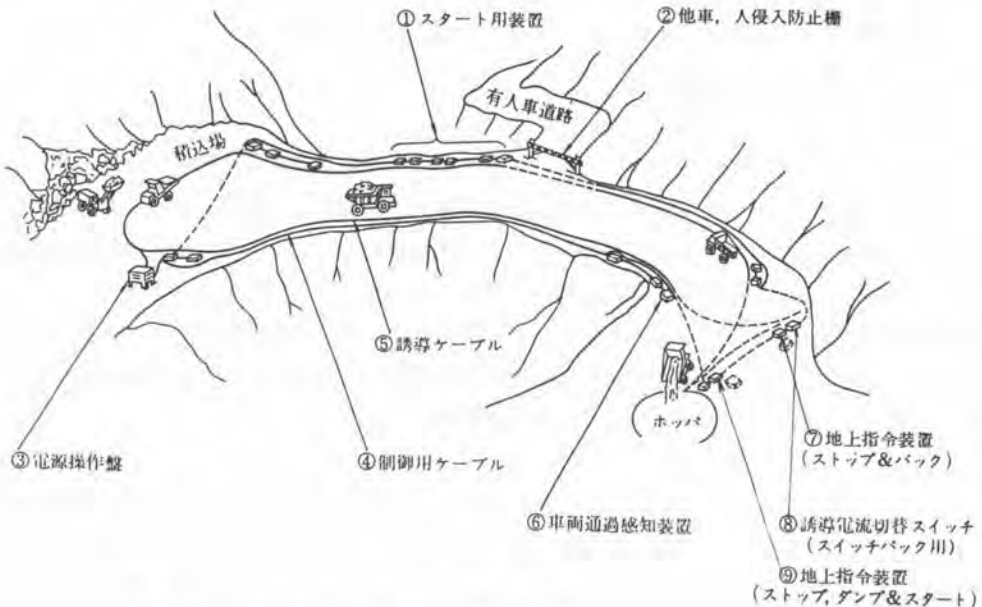


図 1 システム構成図

- 4) 無人運転装置の装着により、オリジナルの車の特性や耐久性を低下させないこと。
- 5) 従来使用しているコースに対して大巾な変更を必要としないし、その維持、運営の面でも負担をかけないシステムであること。
- 6) 安全面に対しては、第三者（人・車・設備など）に対する危害防止、ダンプトラックの保護の両面から十分な対策がとられること。

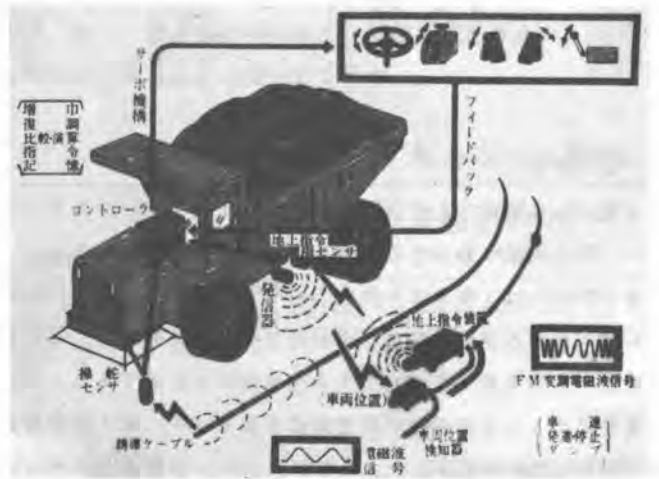


図 2 システム原理図

以上を満足すべき制御方法として、積込場から捨場に至る走路全体をプロセスとし、シーケンス方式のプログラム制御を行う方法を採用した。その場合のシステムは図 1, 2 に図示したが、下記ようになる。

- 1) 走路に沿って誘導ケーブルと地上指令装置を設置し、その地点を通過する無人ダンプトラックに操舵、発進、停止、ダンプなどの指令を電磁波で発信する。
- 2) 無人ダンプトラックはそれを受信して、車載コントローラで信号を判別し、内部指令信号を各サーボ機構を送り、信号受信地点での有人運転と同じ操作が無人車でなされる。
- 3) 安全対策により、危険な場合は無人車は停止するものとする。この場合、システムが混乱しないよう地上装置へはフィードバックがかゝり、後続無人車は停止する。

3. システムの構成

3. 1 操舵制御

ダンプトラックをコースにのせるためには、誘導ケーブル方式が安定した特性と精度を持つ。走路に沿って敷設した誘導ケーブルに低周波電流を流すと磁界が発生し、磁界による誘導起電力は距離に反比例する。従って磁界の強さをセンサで検知し、目標値とのズレをコントローラで検出補償し、サーボモータを駆動し、更に実舵角をコントローラにフィードバックして制御を行うこととした。

特に誘導方法として新たに側線式を採用した。(図 1, 2 参照) これは誘導ケーブルを走路側部に設置することにより、電磁波の干渉を防止し専用路巾の縮少、およびケーブルの埋設不要による移動容易化、道路メンテナンスの容易化をねらったものである。

3. 2 車速制御

ダンプトラックを地点により設定した車速で走行させるためには、前述の各点からの地上指令信号によるが、積込場では、コントローラに走行条件を記憶させたり、ラジコンを併用(図 1 参照)したりして現場への適合を計った。地上からの信号には誤受信防止のため、FM 変調 2 周波混合方式を採用した。車載されたセンサが信号を受信すると、コントローラで判別、指令し、エンジンスロットル

ブレーキ、変速の各操作部を作動させる。なお変速は自動変速機により、負荷に対して最適制御を行ない、ブレーキは減速、一般停止用には低圧回路を、緊急停止用は高圧回路と2系統にした。

3. 3 ダンプ制御

地上よりダンプ指令信号を受信すると、コントローラからシーケンス制御による内部指令をダンプレバー、エンジンスロットル、ブレーキ、自動変速機に送り、ダンプ操作を自動的に行なう。

3. 4 安全装置

- 1) 無人車専用路に人や他車が紛れ込んだ場合に備えて、車載警報ホーン、回転灯の外、コース侵入防止柵(図1参照)やドップラレーダの前方検知などにより無人車を停止させる。
- 2) 操舵系の故障、制御系の異常、岩石乗越しなどで無人車がふらつくとコースアウト(無人車と誘導ケーブルの間隔が規定値を越える)するので、コースアウトセンサにより無人車が停止し、転落や衝突の危険を防止する。
- 3) 無人車どうしの車間距離が接近すると、同地点の地上指令装置にフィードバックがかかり、後続無人車は自動停止し、正常になると自動発進する。(ATS追突防止装置)
- 4) エンジン水温など8項目の異常に対し無人車停止。(車両異常検知装置)及び安全パンパにより落石など衝突防止やホッパでの転落防止など車両保護を計った。
- 5) 地上、車載各装置の電気回路には保護回路やタイマ回路を設け、誤操作防止を計った。

4. 実車試験とその結果

供試車は小松HD320ダンプトラックを使用し、当社実験場でシステムを組みテストした。(写真1)

- 1) 操舵制御 車速35Km/hでの直進走行性は図3に示すように、コースずれ量は±0.15m以内。ステップ波(0.3m)の外乱に対しても安定した制御を示し、側線式の実用性が確認された。

またセンサの改良により、最小回転半径も有人運転と同じまで小さくすることができた。

- 2) 車速制御 走行時の指令車速に対する実車速を測定したのが図5である。図で分る通り、車速のバラツキは各場合とも指令車速に対し2.5Km/h以下となった。

また停止点のバラツキも±0.2m以内におさまることが分り、ダンプ場での停止点の変動についても心配ないことが分った。

- 3) ダンプ制御、安全装置 各装置とも正常に作動することを確認した。



写真 1

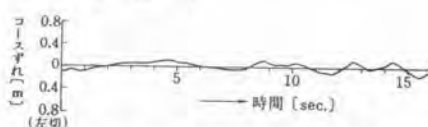


図 3 直線走行試験結果(空荷)

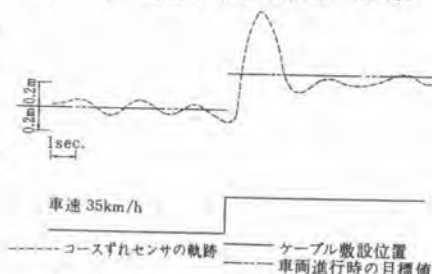


図 4 ステップ応答試験結果(空荷)

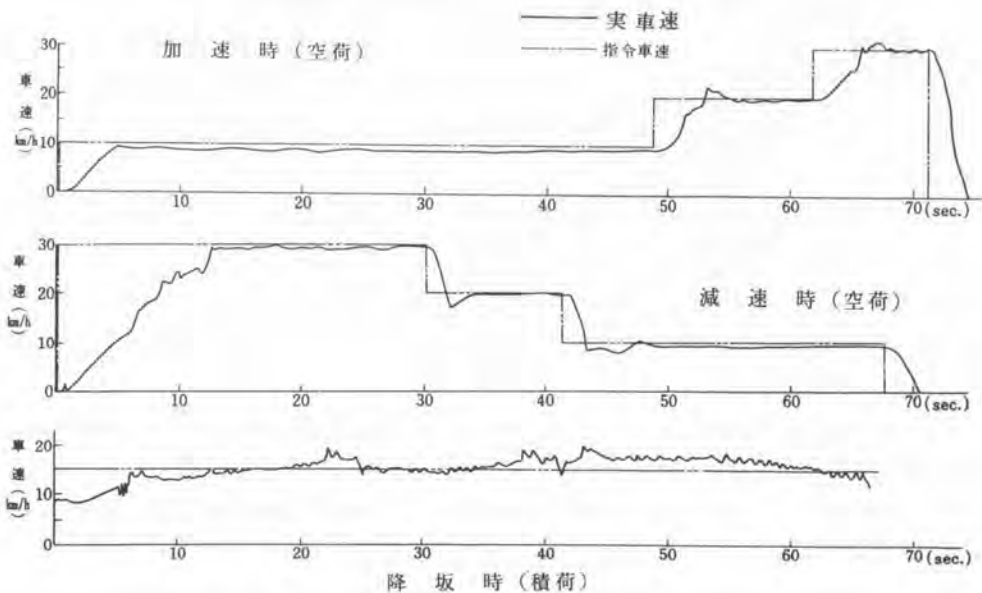


図 5 車速制御試験結果

5. 有人運転との運搬コストの比較

無人運転システム導入により、有人運転と比べ運搬コストがどうなるか、モデルを仮定して計算した。

1) 作業条件 図1による碎石場で、走路片道500m, 1,000mの2種類とし、ダンプトラックは小松HD320, 年間稼働時間は、2,500hとした。

2) 運搬コスト算定 機械保有経費 C_w (償却は15,000h), 機械修理費 G_p , オペレータ経費 C_{op} (機械当り2,500円/h), タイヤ経費 C_t , 燃料、電力料、オイル経費 C_f , 1時間の運搬量 W_h (t/h)とすると

$$\text{運搬コスト } C_w = (C_w + C_p + C_{op} + C_t + C_f) / W_h \text{ 円/H} \dots\dots\dots (1)$$

(1)を無人運転/有人運転で表わしたのが図6である。これよりダンプトラック投入台数3台以上では無人システムの方が有利であり、投入台数が増える程運搬コストが低減する事が分る。

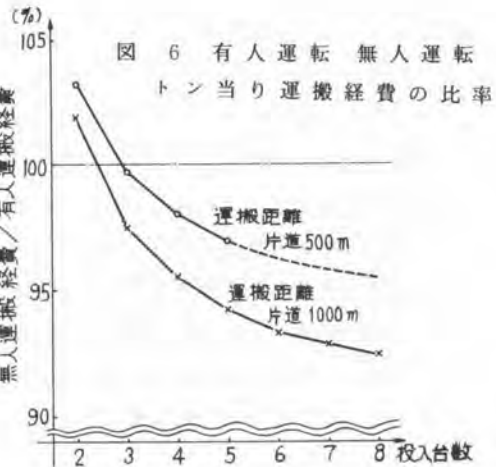


図 6 有人運転 無人運転 トン当り運搬経費の比率

6. あとがき

本システムは鉱山、碎石場など定形作業では実用性があることが分ったが、建設現場へ広く適用させるためソフト面での研究を継続していくつもりである。今後とも各位の御指導御鞭撻を頂き、システムをより良いものとするための努力をしていきたい。