

62. 無人ダンプトラック運行システム

コマツ：村山 理・須藤 次男

1. はじめに

日本の鉱山、砕石、土木業界は慢性化した労働力不足（いわゆる3K職場、高齢化）の状態にありこれを解消するため重機の大型化等で高能率化を押し進める一方、職場イメージの改善等に積極的に取り組んできている。

しかしながら付帯設備の大型化に伴う合理化にも限界が見られ、よって最近では重機大型化による高能率化から車両の自動化を含めた省人化に注目が集まりつつある。

一方メーカーサイドでは、近年のセンサ、アクチュエータ技術進歩とそれらを組み合わせて自動制御する技術進歩により高度の自動化技術を商品化しつつある。

今回、鉱山、砕石業での運搬設備の主力であるダンプトラックの自動運行技術に取り組んだのでその概要を報告する。

2. 鉱山で望まれる自動化形態

自動運行技術に取り組む上でまず、鉱山における車両運行をターゲットとし稼働現場は図-1に示すような現場を想定する。運搬機械であるダンプトラックは積み込み場である切り羽の積み込み機にて原石又は鉱石を積み込み、立坑又はホッパーへ投入する。投入された原石は1次破碎プラントを経て2次、3次プラントで商品となる。1次砕石プラント以降の自動化はほぼ確立され、無人プラントとなっている。

今後切り羽における発破、採掘と運搬作業が自動化の対象となりつつある。

ダンプトラックは切り羽とホッパーの間を繰り返し往復作業するため比較的自動化対象となりやすいと考えられる。

しかし、実際の稼働現場では工場等における画一され且つ整備された経路を繰り返し運行するのは異なり、切り羽の状況に応じ時々刻々変化する作業エリアに柔軟に対応できるシステムの開発が必要となる。

往復の経路はある程度固定可能だが、切り羽にて積み

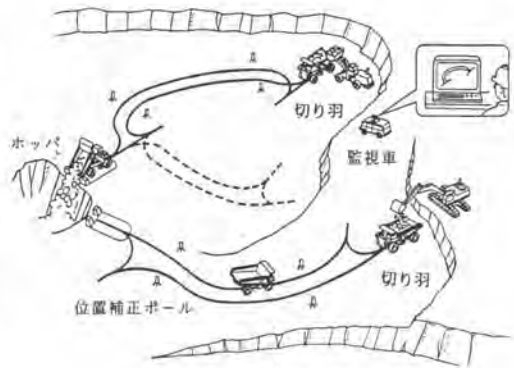


図-1 運行概要図



図-2 システム装着車

込み場が頻繁に変更される様な稼働現場でも、走行コースを容易に変更可能なシステムが望まれる。

3. システム構成

1) 運行の概要

図-1のようなモデル化された稼働現場において受け入れ側の鉱山に要求される稼働条件を以下に示す。

- ㊸ 排土は固定とし、立坑又はホッパーとする。
- ㊹ 走行コースは複数設定可能だが閉じた往復コースとなる。
- ㊺ 走行コースの切り替えは原則として立坑またはホッパーで切り替える。
- ㊻ 走行コース内にはベンチ間の移動等に対応するための坂路も許容される。
- ㊼ 走路脇には定期的に位置を補正するための補正ポールを設置する。
- ㊽ 積み込み場では積み込みオペレータが必要に応じ無線にて誘導可能。
- ㊾ 1コース内の複数台の車輛を管制するため監視車輛を配置する。

2) システム構築でキーとなる技術

工場ラインシステムに見られるような閉ざされたエリアで整備された道路を走行するのと異なり、次の技術が必要となる。

表-1 キーとなる技術

システム条件	達成するため技術
・ 誘導設備を極力廃止し走路変更柔軟に対応できる。	・ 推測航法の採用で誘導設備の廃止。
・ 凹凸のある走路においても外乱の影響を受けずに目標点へ誘導できる。	・ 外乱に強いロボスタ制御及び予見制御の採用。
・ 監視車の管制意図を正確に車両に伝える。	・ 遠距離制御可能な通信システム採用

以上の技術を織り込み今回開発したシステムの主要スペックを表-2に示す。

表-2 主要スペック

1. ベース車両	HD785-3 (積載量78t ダンプトラック)
2. 走行コース設定	オペレータが通常作業するのと同じの走行をすることでコースデータをICカードに自動編集記録する。
3. 運転モード	3種類の運転モードを任意に設定可能 1) 無人プログラム運行 2) 無線誘導走行 3) 有人走行
4. 無人運転機能	プログラムによる自動車両誘導 (自動操舵、車速制御、自動排土) 監視車両からのコース設定、発進制御
5. 走行コース	走路幅10m以上 (片側) 勾配12%以下
6. 最高車速	前進36km/h、後進10km/h
7. 誘導精度	誘導誤差 (走行時最大2m、停止時最大0.5m) 車速制御 (目標に対し10%以内)
8. フリート管制	1コース最大3台の車両を管制

このような車両スペックにての運用は大きく分けて次の2つに分けられる。

2-1) 走行コースの設定

あらかじめ走行するコース脇に定期的に車両位置を補正する補正ポールをセット。次に有人でコース形態選択を行いながら実際にコースを走行することで搭載されたコントローラのICカードに走行コースを自動編集記録する。

1枚のICカードには走行コースが最大10コース記憶可能である。

1コースの編集入力はポールセット時間を含めても実際に1サイクル走行する時間の約2倍の時間で可能である。

更に入力作業においては、対話式タッチパネルコントローラの採用でコンピュータにアレルギーのある人でも十分操作可能である。 走行コース設定のフローを図-3に示す。

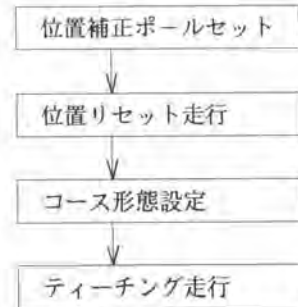


図-3 走行コース設定フロー

2-2) 自動走行

複数台車両にて自動運行するにはまず、1台の車両が入力したコースデータをコピーし、他の車両に装着する事で走行コースデータを共有する。

監視局より対話式タッチパネルコントローラを用い、走行するコースを選択し発進指示を行えば、無線伝送され自動走行が開始される。車両に搭載されたシステムが目標となる走行コースデータをICカードより読み込み、更に現在走行中の位置情報と目標点の情報を比較し走行制御コントローラが各アクチュエータを制御することで自動走行する。

また積み込みオペレータが積み込み位置を変更したいときは無線誘導で任意の位置に誘導可能。その時前回まで誘導データは更新され新しい誘導情報は同一コース内の他の車両に自動的に伝送され、コースデータを書き換え記憶される。これにより車両は更新された位置に誘導され車両停止する。

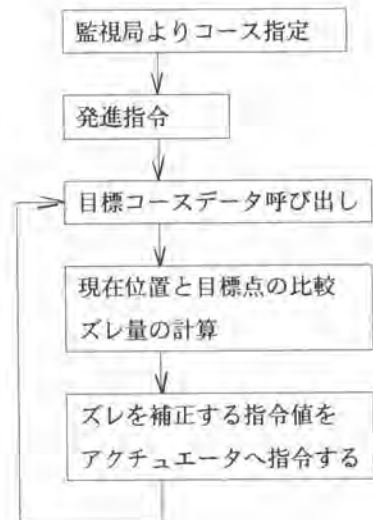


図-4 自動走行運用フロー

3) システム構成

自動運行を行うためのシステムは既存の車両にあとから搭載可能なように構成されている。

構成要素は大別すると車両本体システムと管制を司る監視局より構成される。

更に車両本体のコントロールシステムは図-5に示すように6個のサブシステムをネットワークにより結合することで構成される。次に各コントローラの機能を説明する。

3-1) 車載コントローラ

・上位監視コントローラ

コントローラ間のネットワークを制御すると共に、各コントローラからの信号を整理し、全体を機能させるためのモード設定の決定権を持つ。

・位置計測コントローラ

車両の現在位置を認識するためジャイロ、タイヤ回転センサを用い車両位置を計算すると共に、レーザ投受光器からの信号を用い、位置計測誤差を定期的に補正する機能を持つ。

・ペイロードメータコントローラ

ボディに積まれた積載量を計算し位置計測へタイヤ負荷半径計算の情報を伝える。

・マンマシン・インターフェースコントローラ

オペレータとコンピュータ間のインターフェースを行うと共に走行コースデータの編集管理を行う。

・無線誘導コントローラ

監視局より送信された情報をコントロールネットワークに流し、車両誘導すると共にネットワークより情報を取り出し、監視局に伝える機能を持つ。

・安全管理コントローラ

車両に取り付けられた各種センサ情報より車両異常を認識し車両を安全な方向へ機能させると共に障害物検出センサ情報に基づき車両を停止させる機能を持つ。

・走行制御コントローラ

上記各コントローラより得られる信号に従い車両を目標点へ誘導するため、各アクチュエータへ指示を出し車両誘導する。

3-2) 監視局コントローラ

・マンマシン・インターフェースコントローラ (監視局)

フリート管制するための車両現在位置を検出し画面表示すると共に、ニアミスを防止する。更に走行するコース選択指令、発進指示、切り羽での車両誘導指示を行う。

4) システム構築で核となる技術

今回のシステム開発で核となる制御技術のうち、代表的な位置計測、誘導制御技術を紹介する。

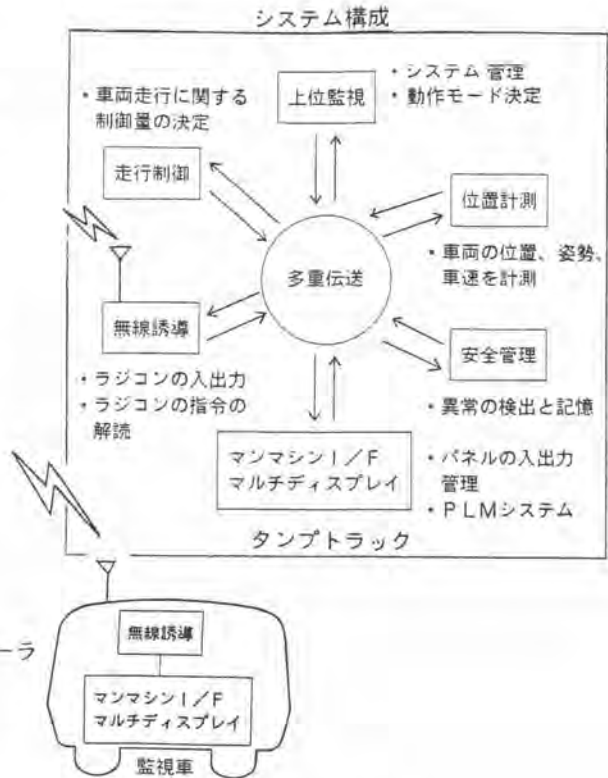


図-5 コントローラネットワーク

4-1) 車両位置計測、補正技術

本システムは鉱山で走行コース変更に対応するため、車輪回転センサによる距離データと光ファイバージャイロによる方位角情報で位置を計算しながら進む推測航法を用いたシステムであり計算原理は図-6に示すように、距離計測により得られた単位時間当たりの移動量と、方位計測により得られた、方位移動ベクトルを積算することで

車両の現在位置を算出するものである。

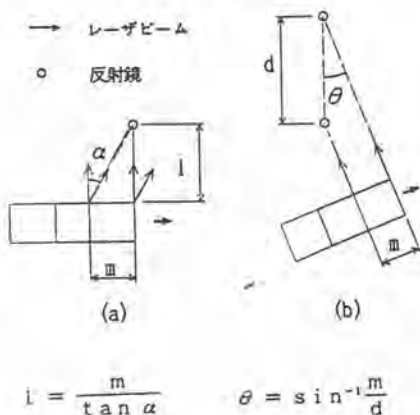
移動距離の計測は当初後輪回転のみで計測していたが鉱山での実稼働テストにてグリップ走行では特に問題ないが降雨によりスリップが生じる(坂路走行時)とき計測誤差が大きくなり制御不良が生じた。

その対応として前輪タイヤ回転データも取り込むことで、十分実用可能なレベルとなった。方位計測には機械式ジャイロに比べ立ち上げ時間が短く、機械的摺動部のない光ファイバージャイロの採用で高精度の計測が可能となった。上述の様な推測航法ではいくら高精度のセンサを採用してもシステムの性格上累積誤差が生じる。従ってその誤差を定期的に補正するシステムが必要となる。

この補正法として図-7に示すような車両に一定角度で設置した2個のレーザ投受光器と地上に設置された反射鏡との組み合わせで補正する。コースの左右方向のズレは(a)に示すように受光地点間の走行距離より三角形の相似則で投受光器と反射鏡の距離を計算することにより算出し、車両の方位角のズレは(b)に示すように1台の投受光器と、2台の反射鏡にて算出する。



図-6 位置計測補正原理



$$l = \frac{m}{\tan \alpha} \quad \theta = \sin^{-1} \frac{m}{d}$$

図-7 位置補正レーザ計測原理

4-2) 車両誘導制御

目標となるコースデータをICメモリーカードから呼び出し、また位置計測から得られる車両現在位置情報とを比較しながらズレ量が0となるように走行制御コントローラが各アクチュエータへ指示を出す。

位置計測に推測航法を利用する上で誘導コース入力方式が車両運行効率に占める割合が極めて高い。一般的に知られる誘導コースの作成入力法としては、いくつかの直線の組み合わせで制御するか又は点と点を直線で結び交点のある決められた曲率で結びコースデータを作成し制御する方法である。データの作成に当たっては目標となる走路ポイント座標を正確に計測し、パソコン等を用い座標を

入力する方式をとるが、操作に当たってはコンピュータ操作に熟知したシステム要員が必要となる。

今回開発したシステムは走行コースデータ入力、コース変更にも柔軟に対応でき、且つコンピュータになじみの薄い人にも十分操作可能なように、オペレータが実際に運転することでコースデータが自動入力編集されるティーチング方式を採用した。

目標となるコースデータは点の座標の組み合わせで自動入力されるため3次曲線的な走行誘導も可能となった。更にステアリングのアライメント変化（空積み時の積載量変化による変化や調整不良）が生じてても十分吸収可能なように制御器に積分を追加することにより安定した誘導が可能となった。

曲線走行時の膨らみを防止するため、目標点の更に先の点を読み込み、予見制御器を追加することでカーブ走行時の膨らみを押さえることが可能となった。

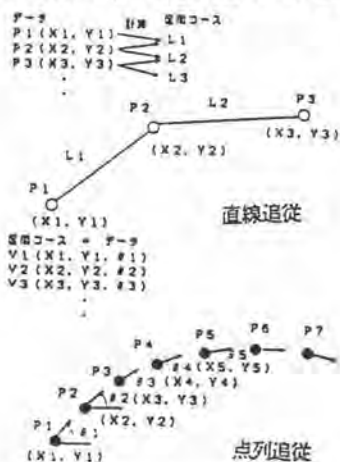


図-8 誘導方式比較

4. まとめ

鉱山での実用テストを通じ現在も改良中だが鉱山以外の実用例として、土木分野で試験的に実用テストが行われた。建設省の指示のもと、雲仙普賢岳噴火災害の水無し川土砂の無人除石試験施工に本システムがテスト導入された。

試験施工には下流の整備された現場では無人自動運行システムのテストが行われ、上流側の警戒区域では本システムの無線誘導部を用いフルラジコンにて試験された。

試験結果はおおむね良好で土木分野でも、条件さえ整えば十分実用可能であることが証明された。

鉱山、採石、土木においてシステムを導入するに当たり、安全且つ効率的に運用するには、表-3に示すようなユーザ側のハード、ソフト面での意識改革が必要と思われる。

表-3 システム導入に必要な意識改革

ハード		ソフト	
走路	余裕のある走路幅確保及び路面整備。坂路勾配を最大12%に押さえた走路整備	システム	サポート要員の育成
安全	ホッパーでの排土可否の外部監視。 稼働エリア内の部外者進入禁止	サポート	システム要員の多能化 コントローラアレルギー解消
		安全	自動運行車両の他作業車との優先順位明確化

5. 参考文献

「ダンプトラック自動走行システムの開発」第53回石灰石鉱業大会

コマツ 大川幸男、金子潔、日本セメント(株)野本知巳、佐々木英人

「鉱山用無人ダンプトラックのナビゲーションシステムの設計」コマツ 村山 理

「無人ダンプトラックの誘導制御」コマツ技報 大川幸男