

11. 建設車両自動運転システム (HIVACS) の開発

(株)間 組：畠山 修・杉浦 仁志

*齊藤 宏明

東京航空計器(株)：西出 健一・塙 守智

1. まえがき

建設工事における資材運搬作業は、掘削作業やコンクリート打設作業等とともにあらゆる工種の中で最も根幹的な作業といえる（写真-1）。そこで我々は、このうち特に車両を用いた運搬作業に注目し、これをある条件下で無人化することにより近年建設業で問題となっている人手不足や合理化に対する一つの解決策にしたいと



写真-1 ダンプトラックによる運搬状況

考えている。本報では、この自動運転システムを実現させるための建設車両自動運転システム (HIVACS*) 構想を紹介し、さらにその技術開発状況について報告する。

2. 建設車両自動運転システム (HIVACS) 構想

車両を用いた運搬作業を自動化するための技術的課題は、以下の4つに大別できる。

- ① 無人走行あるいは誘導方法
- ② 障害物認識等の安全対策
- ③ 積み込み、荷降しの協調作業
- ④ 複数台の車両運行管理システム

これらの課題を総合的に解決するには、段階的なアプローチが重要と考える。そこで提案しているのがHIVACS構想である。この構想は、表-1に示した様な4つの段階的なアプローチから構成しており、第1～第3段階においてはダンプトラックについてRCD工法によるダム施工を適用対象として取り上げ、この中で各種運搬作業をモデル化して段階的な実用化を行なう計画である。さらに第4段階に至っては、ダンプトラック以外の各種車両系建設機械についても無人運転化を図ることを考えている。

表-1 HIVACS 構想 (4段階のアプローチ)

開発段階	名 称	内 容	適 用 対 象
第1段階	固定経路無人走行システム	固定経路無人運転197 (運搬部), 有人運転197 (積み込み, 荷降し部) で構成。固定経路内で無人走行。	骨材運搬
第2段階	変動経路無人走行システム	第1段階のシステムに変動経路無人運転197 (荷降し部) が加わる。固定経路, 変動経路内で無人走行。	コンクリート運搬
第3段階	複合経路無人走行システム	第1段階のシステムに複合経路無人運転197 (積み込み部) が加わる。固定経路, 複合経路内で無人走行。	原石運搬
第4段階	各種工事への応用	各種建設用ロボットと車両系機械の全自動運転化の組合せによる各種工事の完全自動化。	ダム・空港・土地造成・トンネル工事他

* HIVACS: HAZAMA-Intelligent-Vehicle-Automatic-Control-Systemの略で「ハバックス」と読む。

3. 第1段階の技術開発

3.1 固定経路無人走行システム

我々は現在、HIVACS構想の第1段階の技術開発を行なっている。

図-1に示す様に、ここではダンブトラックの運転区間を有人運転エリア、固定経路無人運転エリアの2つに区分している。有人運転エリアで行なう積込み、荷降し作業は、従来通り運転者が車に乗り込

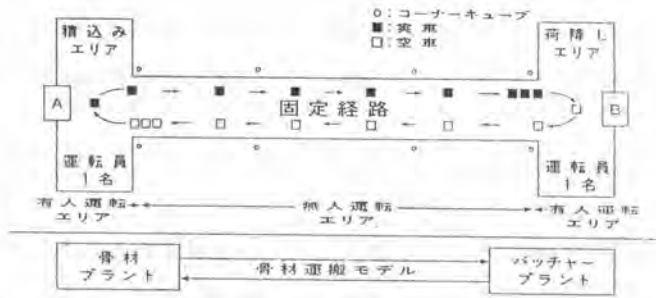


図-1 第1段階：固定経路無人走行システム

んで行なう操作あるいはラジコン等による遠隔操作によって行なう。なお、ここでの各車両の流れは、積込み、荷降し作業の順番が変わらない単純な方式を採用することになっている。また、固定経路無人運転エリアでは、レーザー誘導技術によって車両の無人走行を行なう。この固定経路とは、月単位程度の短い期間では走行経路が変化しない経路を想定している。この固定経路無人運転エリア内で我々が設定した条件は、以下の通りである。

- ①無人走行は比較的固定された経路内のみとする。
- ②走行路は起伏が比較的少なく平坦である。
- ③走行速度は30km/h以下とする。
- ④専用走行路には人間が進入しない。

これらの条件を考慮し、しかもダンブトラック1台あたりのシステムコストを現状の運転者の人件費程度に抑えることができれば実用化のメリットがあると考えている。

3.2 制御システム

図-2は、第1段階におけるソフトウェアの構成を示したものである。各センサ出力情報の取得や各アクチュエータの制御出力の低レベルなプログラムモジュールは、各々独立した機能とし、これらのモジュールの上位にメインのプログラムモジュールを配置した階層化を行なっている。従って、将来センサおよびアクチュエータ類の変更や拡張にも十分対処できると考えている。さらに無人搬送車の最終的な形としては、図-3に示した様な4つのCPUの搭載を考えている。なお、CPUの負荷増大の問題に関しては、パラレルI/Oによる分散処理を行なうことにより対処できると考えている。

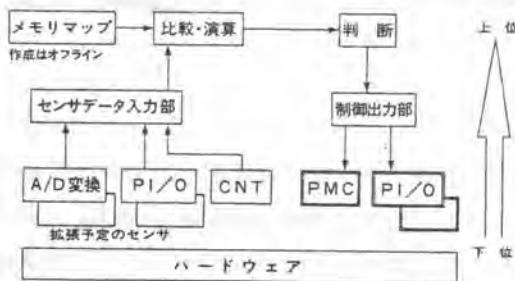


図-2 実験車のソフトウェア

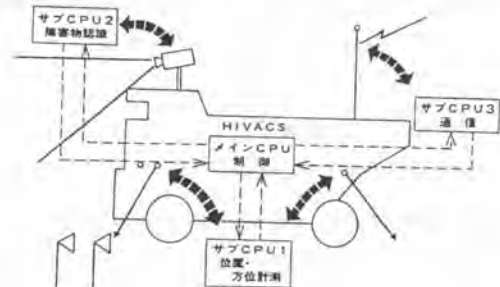


図-3 4つのCPUによる分散処理

実際の走行は、走行前にメインCPU内に用意したメモリマップ（走行予定経路情報）と各センサからの走行情報とを比較・演算し、コンピュータの判断により必要に応じて命令を各アクチュエータに送り、この繰り返しによって自律的に無人走行を続けるものである。

4. 実験状況

4.1 実験車諸元

現在、市販のワゴン車を改造し、テスト走行を行なっている。実験車およびこれに搭載している主な自動化機器の仕様諸元を、表-2に示す（写真-2～3）。

表-2 実験車の仕様諸元

【実験車】 形式 N-CM36V(TOYOTA)*オートマチック車 重量 2,020kgf 外寸 3,995mm(全長)1,650(全幅)2,100mm(全高) ホールベース 2,100mm トレッド 1,405mm(前)1,370mm(後) エンジン排気量 1,974cc(ディーゼル)	【コンピュータ】 CPU i80286+i80287(10MHz) OS MS-DOS Ver.3.1 言語 TurboPASCAL+ASSEMBLER
【隔操作送受信機】 8chラジオコントロール装置（双葉電子工業）	【主要なセンサ】 エンコーダ E6C-CWZ3E(OMRON) レーザユニット LN-110(東京航空計器)
	【主要なアクチュエータ】 パルスモータ UPD599HG2-A2(オリエンタルモータ) 電動シリンダ LP10H2D1LP(椿本チキン)



写真-2 無人走行実験車の外観



写真-3 無人走行用アクチュエータ

4.2 無人走行誘導方式

最近の屋内無人搬送車で利用されている埋設ケーブル等による誘導技術をそのまま建設現場の様な屋外環境に適用することは困難な点が多い。そこで我々は誘導に必要な固定設備の設置・撤去が容易であり、しかもエネルギー供給が不要でかつ耐久性の高い方法として、走行経路の路肩に一定間隔でコーナーキューブ（反射ミラー）を設置し、これと車両に搭載したレーザー発受信装置との組合せによる誘導方式を採用した（図-4, 写真-4）。本システムの原理は、車

輪に取り付けたエンコーダ（回転数計測センサー）からの出力情報と、レーザー発受信装置からの出力情報を組み合わせることにより長距離走行においても計測誤差の蓄積がなく走行中の車両の現在位置と方位を認識し、メインCPU内に記憶している計画コースとのズレを修正しながら車両を計画コース通りに誘導するものである。

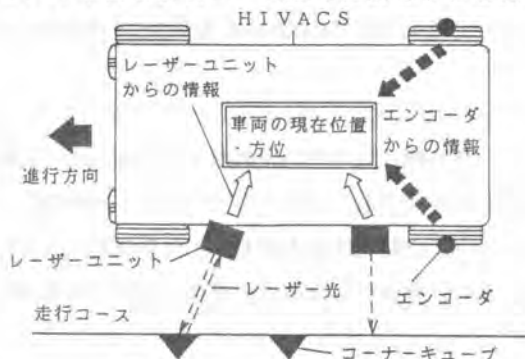


図-4 レーザー誘導方式

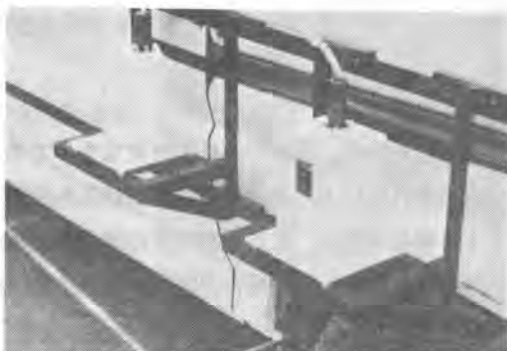


写真-4 レーザー発受信装置

4.3 LN-110性能評価実験

図-5～6に、先に述べたレーザーによる自己位置・方位計測装置（LN-110）の性能評価実験結果の一例を示す。これは、性能評価実験のために有人運転によって約5km/hの等速度で実験車を直線走行させた際の出力データである。エンコーダによりデッドレコニングで計測し、演算された位置・方位情報がコーナーキューブ設置地点でレーザー装置によって修正されながら走行しているのがわかる。

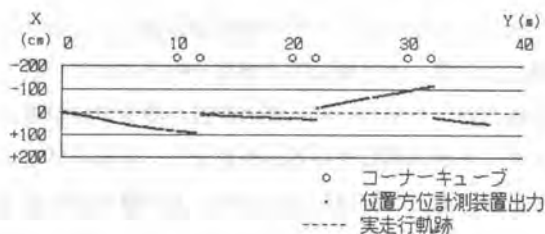


図-5 走行軌跡(X,Y)データ

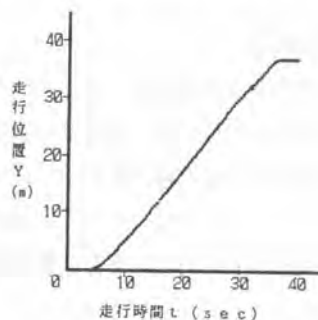


図-6 走行時間(t)と位置データ(Y)の関係

5. あとがき

現在は、レーザーを用いた位置・方位計測装置のカーブ走行や高速走行についての性能評価実験を行なっている。今後は、障害物回避のための外界認識技術を早期にある程度のレベルで開発し、実際の建設現場でのテスト走行を行ないながら第1段階実現のために必要な各要素技術を確認していきたいと考えている。なおHIVACS構想については、第1回建設ロボットシンポジウム論文集（'90.6）に具体的に紹介しているので参照されたい。