

52. 建設車両自動運転システムの開発(第3報)

～現場での無人走行評価実験～

ハザマ：滝澤 幸信・齊藤 宏明
筑波大学：油田 信一

1. まえがき

建設工事における運搬作業は、各工種の中でも、最も中核的な作業の一つといえる。そこで、車両を用いた資材運搬作業に着目し、この作業の省人化が、人手不足や作業の合理化への解決策になると考え、建設車両自動運転システム(HIVACS**)の開発に取り組んでいる。

本シンポジウムにおいては、第1報で、建設工事(特に土工事)における自動運転システム実現のための基本構想と、およびその技術開発の進め方について、第2報では各要素技術、それらを評価するために製作した実験車による、研究所内テストコースでの評価実験結果について報告した。

本報では、この実験車を用いた、実際のダム現場での無人走行実験(写真-1)について報告する。



写真-1 実験状況

2. 実験場所

実験は、広島県に建設中の建設省中国地方建設局八田原ダムで行った。今回の評価実験では、図-1に示す左岸上部道路を使用した。この工事専用道路は、全長約500mの全面舗装路である。表-1に道路状況の詳細を示す。なお、実用化の当面のターゲットとしては、原石山からパッチャープラントへ通じる骨材運搬路(全長約2km)を考えている。

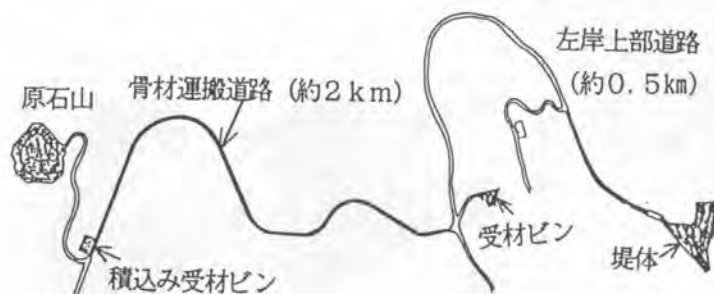


図-1 八田原ダム工事専用道路

表-1. 実験コース環境

実験コース全長	500m
最小カーブ半径	約40m
道路横断勾配	1.5%(直線) 4.0%(カーブ)
道路幅平均	7m(2車線)
最大起伏勾配	1.0%
その他	全面舗装道路

**HIVACS: Intelligent Vehicle Automatic Control Systemの略(ハイパックスと読んでいる)。

3. 評価内容

図-2に、実験車のシステム概要を示す。ここでは、以下に示した3つの要素技術について、今回の実験での評価内容と、その目標値について述べる。

3-1 無人走行

目標速度は、現場内でのダンプトラックの制限速度が一般に30km/hであるため、無人運転による技術的な最高速度を40km/hに設定した。また、目標蛇行幅については、ダンプトラックの車幅と、一般的な運搬用道路の幅員との関係から約±1m以内に抑える必要があると判断した。

3-2 位置・方位計測システム

本実験車では、位置・方位を計測する手段として2種類の計測系を持っている。1つは、実験車に搭載したジャイロとエンコーダから成るデッドレコニング（内界計測）値を得る自律計測系。2つめは、レーザーとコーナーキューブ（反射鏡の一種）を用いた援助計測系である。ところで、自律計測系から得られる位置・方位データには、ジャイロ、エンコーダの誤差により、走行距離・経過時間と共に累積誤差が生じる。本システムでは、その解決策として、約50mおきに援助計測による補正をかけている。なお、前記の無人走行を達成するため、目標精度は、位置：±50cm、方位：±0.5deg以内と設定している。

3-3 前方障害物認識システム

無人走行中、前方に作業員や他車両が進入してきた場合、安全上、無人車は自律判断によって、これらに衝突する前に停止させる必要がある。具体的には、最大無人走行速度30km/hにおける実験車の最小停止距離を考慮すると、20~60m前方の障害物を認識する能力が求められる（図-3）。現状では画像処理によって、作業員を全天候下で100%検知する事を当面の目標としている。本システムでは実験車に搭載したCCDカメラ（写真-2）によって得られる前方の画像をコンピュータ解析し、色や形から作業員のかぶっているヘルメットを認識している。ヘルメット認識の様子を、実画像（写真-3）および解析画像（写真-4）として示す。

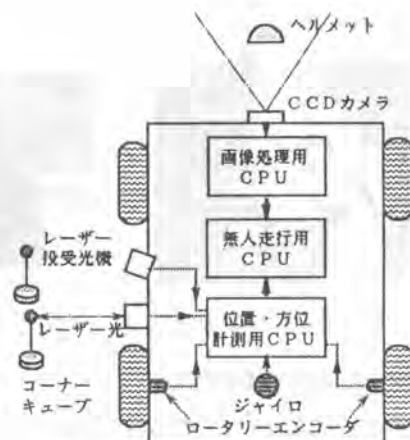


図-2. 実験車システム構成図

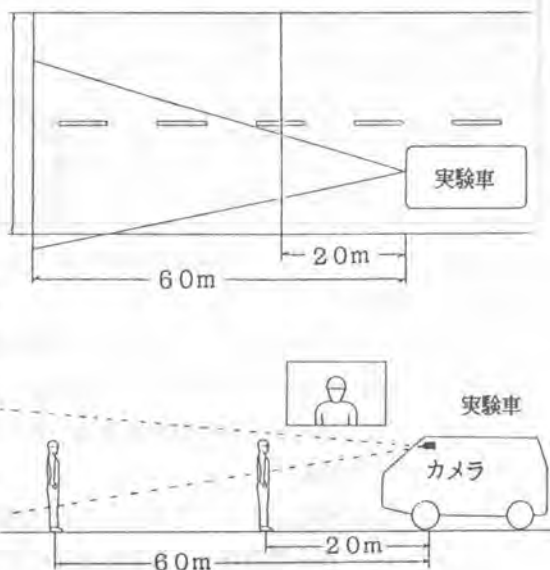


図-3 CCDカメラによる作業員の検知範囲

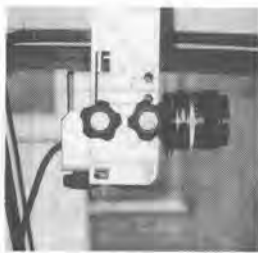


写真-2 CCDカメラ



写真-3 実画像



写真-4 解析画像

4. 実験結果およびその評価

現場実証実験によって得られた結果を、表-2に示す。

表-2 実験結果

機能	項目	目標性能	現在の性能	評価
運転モード	乗車運転機能 遠隔操縦機能 無人運転機能	※左の3つの機能を簡単に切り換えられる。	※同左	○ ○ ○
無人運転 走行性能	走行継続距離 最大走行速度 最大蛇行幅 最小旋回半径	2 km以上 (1ルートあたり) 40 km/h ±0.9m (0~40 km/hにおいて) 15m	2 km以上(1ルートあたり) 15 km/h ±0.9m (0~15km/hにおいて) 40m	○ △ △ △
車両自己位置 方位計測性能	位置計測精度 方位計測精度	±50 cm ±0.5 deg	±70 cm ±1.6 deg	△ △
前方障害物 認識性能	前方認識範囲 作業員の認識 " " (曇天、小雨) 他車両の認識	20~60mの範囲 100% (晴天) " " (曇天、小雨) 100% (視界不良時除く)	同左 20% (晴天) 100% (曇天、小雨) 開発中	○ △ ○ △

注) ○: 完成、△: 未完成

今回の実験から、以下の4つの課題が抽出された。

1) 無人走行機能

急なカーブや高速走行の際、ステアリング駆動装置の動作速度が十分でないため、現状では蛇行幅が大きくなる傾向がある。対策として、ステアリング駆動装置の高出力化、位置・方位計測精度の向上を図ることで目標の無人走行性能を達成出来ると考えている。

2) 位置・方位計測機能

ジャイロ自体の精度が不十分であったため、全体として目標精度を実現できなかった。対策としてはジャイロのハード部分の調整と、援助計測系による自律計測系データの補正アルゴリズムの改良があげられる。

3) 前方障害物認識機能

晴天時では、太陽光がヘルメットに反射し、通常の色抽出が困難となる。今後は、晴天時専用のアルゴリズムを追加することを検討している。また、逆光時においては、画像が完全に飽和し色抽出が不可能となるため、現在は別センサとの併用を検討している。

4) 衝突回避機能

前方障害物認識技術を応用した他車両の移動状況認識システムを現在開発している。

5. あとがき

今後は、今回の実験で抽出された問題点を改良した後、現場実験による再評価を行う予定である。その中では特に、今回の実験では確認出来なかった最高速度40 km/h、走行継続距離2 kmの性能確認に重点をおく予定である。

さらに、これまでの実験結果を基にして、図-3に示すような実機レベルでのシステム検討を行う。特に、複数台車両の運行管理および通信システムについては、シミュレーションや実験による検討を計画している。

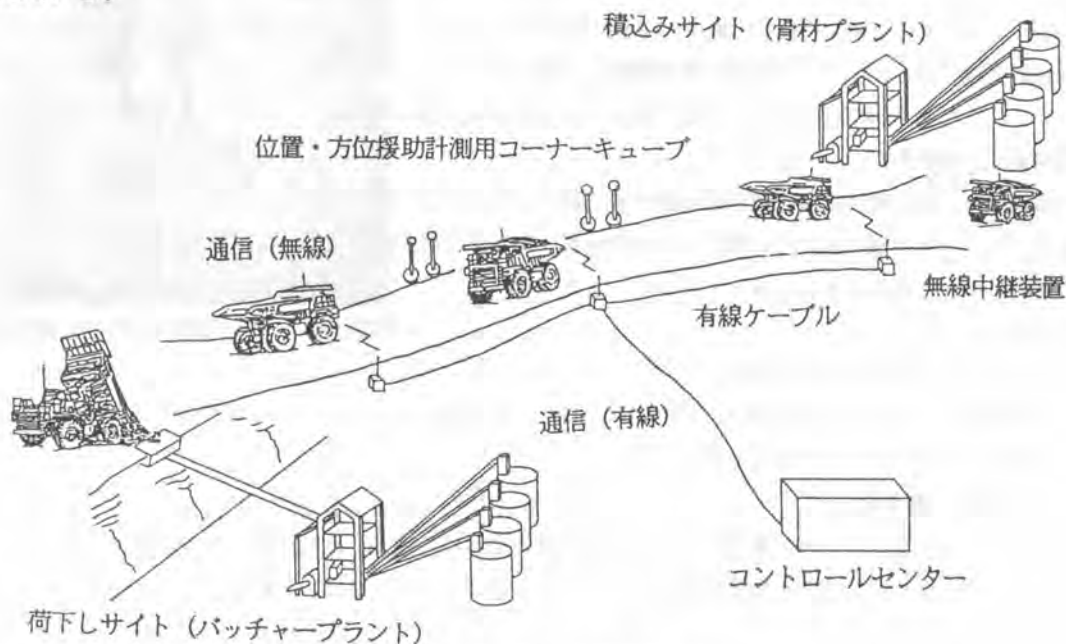


図-3 実機システムのイメージ

6. 参考文献

- 1) 斉藤, 他: 「建設車両自動運転システムの開発」, 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