

# 無人情報化施工を目指して

## —自動車及び船舶による自動測量システムの開発—

増田 稔・藤山 映

近年、無人化施工技術は実用化段階に入っており、防災やセキュリティ分野での活躍はもちろんだが、建設現場にも徐々に普及してきている。東亜建設工業株式会社（以下、当社）も本技術を利用し測量時や施工時における情報処理業務の効率化を図るため、様々な取り組みを行い実現場にて運用してきたが、2005年度よりヤマハ発動機と陸上・海上における自動測量システムの開発に着手している。本システムは、当社が持つ水中施工管理システム（ベルーガシステム）の関連技術とヤマハ発動機の駆動系技術を持寄り、自動測量可能な次世代型測量システムであり、すでに試作機による各種実験を行っている。本報文はこれら自動測量システムの概要および従来方式との測量精度比較結果について述べるものである。

キーワード：無人化施工，自動走行，リアルタイム施工管理，防災

### 1. はじめに

1980年代よりロボット制御技術は著しく進歩し、現在では自動車、鉄鋼製造の工場などの産業用はもとより、家庭用としても監視、警備、生活支援、玩具など様々な分野で活躍している。

そもそもロボットの定義とは、ある程度自律的に何らかの自動作業を行う機械であり、従来同じ動作を繰り返す単純作業や流れ作業の一環として適用されてきた。建設業界においてもロボットを利用した無人化施工が積極的に取組まれており、主に災害現場に適用される遠隔操作可能な建設機械などがそれにあたる。被災現場では二次災害などの恐れがあり、安全性確保のため、遠隔地よりカメラを通して状況を常に確認しながら作業を行っている。

このように無人化施工のニーズは年々増加傾向にあり、当社も平成12年度より自走式双胴船にナローマルチビーム測深機とレーザプロファイラを組み合わせ、水中および陸上の計測を同時に行う「自動ベルーガシステム」<sup>※1</sup>を開発し、閉水域や湖の浅瀬など、通常、測量困難な場所に適用してきた。一方、近年では、港湾における防災対策の強化や危険区域、夜間での作業など現状のシステムでは対応困難なケースが発生して

いる。

今回、このようなニーズに対応すべく、当社はYAMAHA発動機と技術協力し、完全自動化のもと施工管理（位置管理、リアルタイム出来型管理）を効率的に行う自動測量システム（陸上～海上）の構築を実施し、更には工事全体の安全管理に寄与することが可能なシステムの開発を目指している。

### 2. システム概要及び構成

今回開発した自動測量システムには、機動性に富むバギー車をベースとしたUGV（Unmanned Ground Vehicle）測量システムと小型船舶をベースとしたUMV（Unmanned Marine Vehicle）測量システムがあり、それぞれ陸上・海上に対応している。

測量には、当社が開発したベルーガシステム<sup>※1</sup>を適用し、各計測機器からの測得データを瞬時に処理し3次元データを生成する。

#### （1）UGV 測量システム

UGV 測量システムとは、車体にヤマハ製 ATV（All Terrain Vehicle）グリーズリー 660 をベースとして用い、自動制御を行うためのアクチュエータ、制御装置、通信機器と GPS、傾斜計、方位計などの計測機器を搭載しており、自動走行により面的測量を可能としたシステムである。写真—1 にシステム外観を示す。

※1 ベルーガシステム：本システムは、ナローマルチビーム測深における海上施工管理データの測得を目的として東亜建設工業が独自に開発した3次元データ処理技術である（建設の施工企画10月号、pp. 20-23, 2006）。

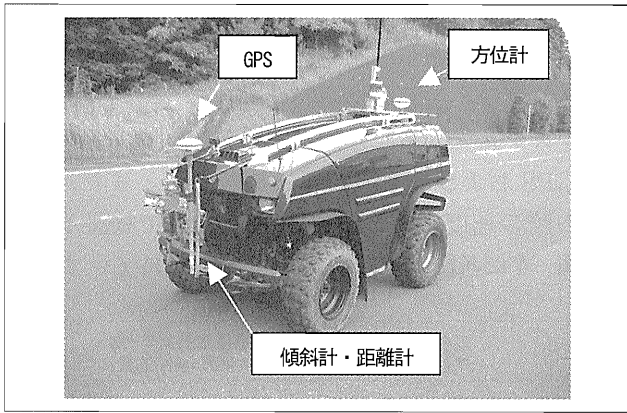


写真-1 UGV 測量システム外観

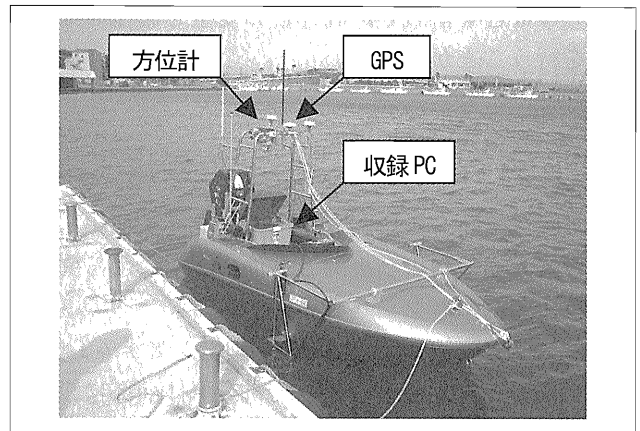


写真-2 UGV 測量システム外観

制御システムは測位・制御コンピュータと車体を制御するアクチュエータドライバから構成される。

前者は設定されたコースの記録や自動走行をするための指示を出力するもので、衛星測位からの車両位置データと設定されたコースを比較しながらステアリング角度や速度指令を出力する。また、後者は主に車両制御を行っている。図-1 にシステム構成を示す。

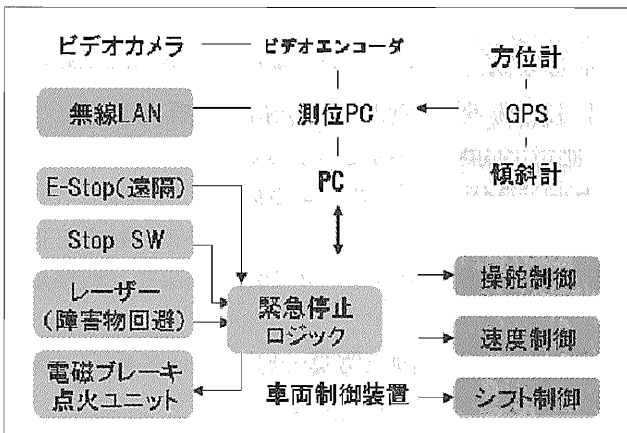


図-1 システム構成

当初、測位演算は衛星測位+慣性航法装置と車速を組合わせた方式を採用していたが、測量における走行精度は許容範囲内であったことやコスト削減の理由から衛星測位のみでの制御方式に変更した。

(2) UGV 測量システム

UMV 測量システムとは、2人乗りタイプのウォータージェット推進式FRPボート(全長4.4m)をベースとして使い、自動制御を行うためのアクチュエータ、制御装置、通信機器と超音波式音響測深器、GPS、傾斜計、方位計などの計測機器を搭載しており、自動航行により深浅測量を可能としたシステムである(写真-2)。

音響測深器は、船体底部に設置しており容易に昇降

可能な構造となっているほか、航行への影響を考慮し船体中心に固定されている。また、傾斜計などの計測機器は船体へかかる加重の影響を考慮し船首内部の中心に固定されている。

制御システムはヤマハが開発した自動制御技術(衛星測位と慣性航法および磁気方位センサを組合わせた方式)を用い、測量結果は、ベルーガシステムによりコンタ図や鳥瞰図へ出力され、その結果は無線LAN経由で基地局モニターにてリアルタイム監視可能である。図-2 にベルーガシステムの構成を示す。

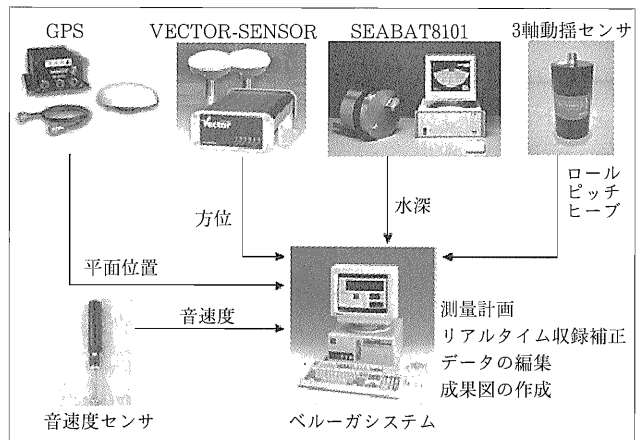


図-2 ベルーガシステムの構成

3. システム機能および安全対策について

(1) システム機能

本システムは、広範囲な用途に利用できるように走行経路や目的地の自由動画が確保できるように無軌道方式を採用しており、機能として電子マップによる入力や実際に走行した経路を記憶させるティーチングが可能である。

操作方法は、自動制御、遠隔操作、マニュアルの三つのモードに切替えが可能であり、カメラや回転灯、

スピーカなどを搭載し、周囲との安全を確保しながら運用を行うことができる。

## (2) 安全対策について

### (a) フェールセーフ設計

常時自己診断を行い、センサ異常などを検出した場合や車両内通信および車両と基地局通信による異常時には、自動的にエンジンを停止する。

### (b) 障害物検知機能 (UGV 測量システム)

障害物検知としてレーザレダを車体前部に設置しており、設定範囲内に何らかの障害を検知した場合は回避ルートを自動的に作成して回避する、もしくは停止する。

### (c) 緊急停止機能

無線式専用リモコンによりいつでもエンジンの停止が可能である。この停止命令は緊急停止ロックにより直接車両制御装置と通信を行うため、即時に対応可能な構成となっている。

## 4. システム実験結果

### (1) 実験概要

本実験の目的は自動測量システムの確立を目指し、UMV および UGV における基本動作の確認および測量精度の検証を行うものである。各システムの検証結果を以下に示す。

#### (a) UGV 測量システムの検証

主な検証項目としては自動走行時の測線に対するずれ量および地盤計測精度の把握である。

実験場所は関西国際空港 2 期空港島工事現場内、40 m×40 m (測線間隔 5 m ピッチ) を使用した。

#### ① 測線に対する蛇行性

本項目は、設定された測線に対してどの程度正確に自動走行可能かを有人のバギー車と比較を行うものである。図-3 に実際に走行した際の、測線に対する誤差分布を示す。

図-3 より、有人測量と比較して多少蛇行が見られ

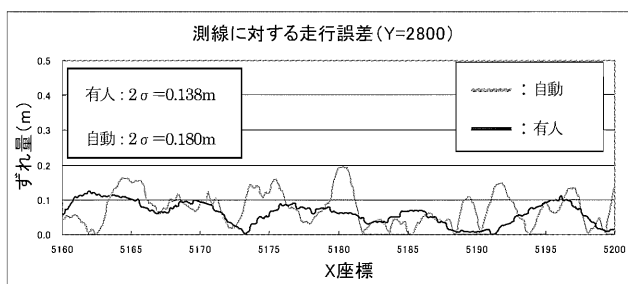


図-3 測線に対するずれ (絶対表示)

るが、そのずれ量は  $2\sigma = 0.2$  m 以下であり、問題ない範囲であることが確認できた。

### ② 各種測量手法との地盤高精度比較

本システムで測量した地盤高を有人バギー測量、携帯型 GPS およびレベル測量と比較する。また、自動制御の際の速度は 5 km/h と 10 km/h で検証を行った。図-4 に各測量との差分を度数分布にて示す。

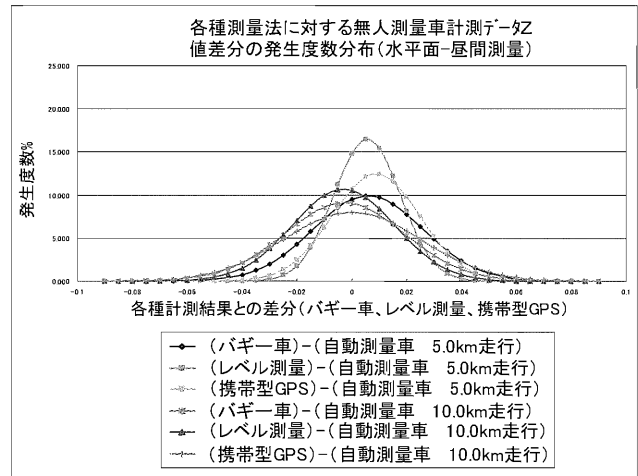


図-4 度数分布 (各種測量との差分値)

図-4 より、現状のバギー測量やレベル測量及び携帯型 GPS 測量との地盤高差分結果は概ね  $\pm 4$  cm であり、測量上問題ない精度であることが確認できた。

### (b) UMV 測量システムの検証

主な検証項目として自動航行時の挙動の特性を把握するため、自動とマニュアルで測量結果を比較検証した。

実験場所は浜名湖 (写真-3)、60 m×40 m (測線間隔 5 m ピッチ) のエリアで行った。



写真-3 浜名湖

マニュアル走行では、船底に設置した音響測深機および天候 (風速 15 m) の影響で多少舵をとられたが、測線に対して比較的安定した航行が確認できた。

それに対し自動制御では船体底部に設置した音響測深機の影響で操舵特性が変化してしまい蛇行が確認さ

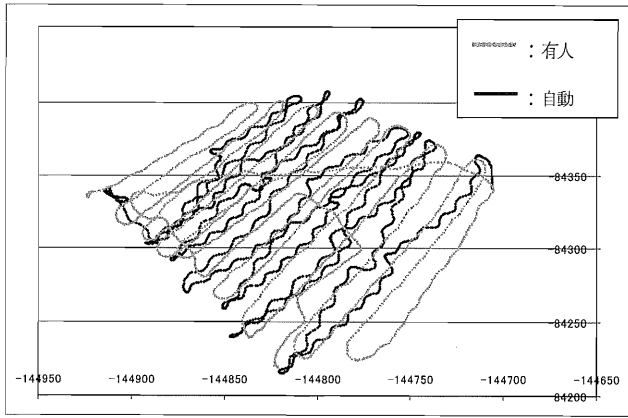


図-5 有人、自動航行軌跡の比較

れた(図-5)。

制御ゲインを調整し、方向安定フィンの効果を増幅することで改善が期待されるため、今後更なる基礎実験を行いデータの取得を行う予定である(図-6)。

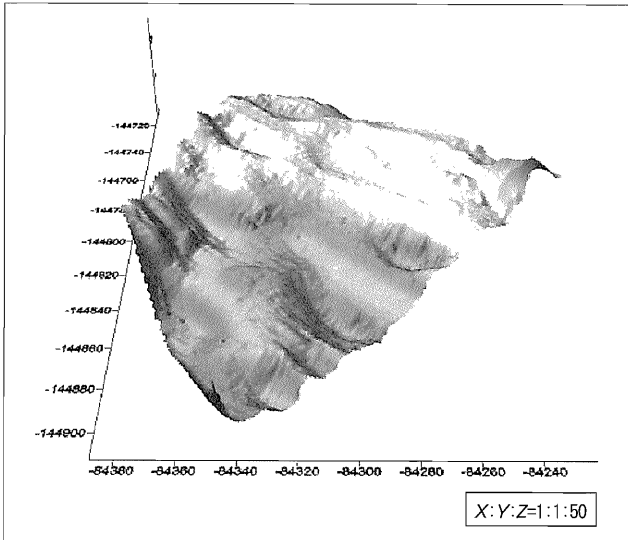


図-6 マニュアル航行による測量結果(鳥瞰図)

(2) 問題点と対策方法について

本システムを自動制御するに際し、大きな問題点は発生していないが、実運用するにあたっては以下の点を検討する必要がある。

- ① 基地局からの無線 LAN が途切れた場合
- ② GPS 測位が悪化した場合

①の対処法として、基本的にエンジン停止としている。しかし、停止困難なエリア(ダンプ走路や測量エリア内など)では、通信復旧後の遠隔操作もしくはマ

ニュアル操作による移動が必要となり、完全自動とするためには、更なる検討、対応を行う必要がある。

②の対処法として、現状では GPS との通信が途切れた場合のみエンジン停止としている。これは、本システムが Navcom 社製「スターファイヤ」を用い(RTK-GPS+WADGPS※2)ハイブリッド測位方式を採用している。RTK 状態をはずしても高精度な位置誘導ができるためであり、自動制御上問題ないことは検証済みである。その一方、測量中に発生した場合、高さ方向の誤差が大きいため、測量値として採用しないようにあらかじめ設定されている。

今回、自動制御の測位方式を GPS のみに変更したことで、走行する際、多少のハンドル蛇行が発生した。今後安価な慣性航法装置の搭載もしくは、カルマンフィルタなど時間遅れを検証したうえで導入を検討したい。

(3) 実験状況写真

写真-4、写真-5 に UGV, UMV 測量実験の状況を示す。



写真-4 UGV 測量実験状況

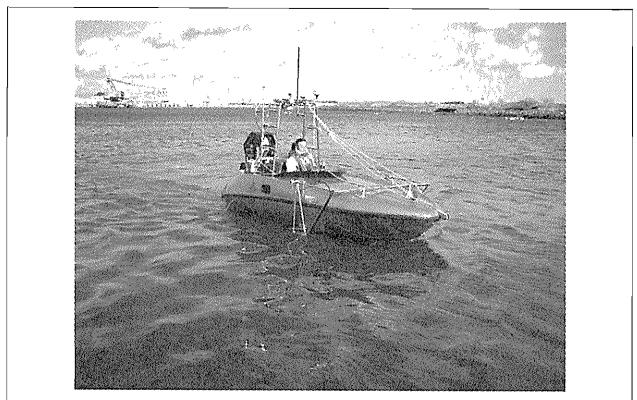


写真-5 UMV 測量実験状況

※2 WADGPS (広域型 DGPS; wide area differential GPS) : 世界 55 箇所に設定されている GPS 基準局データを基に、電離層/対流圏の伝播誤差補正と GPS 衛星軌道/時計情報の補正をリアルタイムに反映した補正データを生成し、この情報をインマルサット(人工衛星)から配信することにより全世界で基準点を設けることなく±15cm 程度の精度を実現できるシステム

5. おわりに

今回、無人情報化施工への取組みとして、試作機を

もとに現場運用を目的としたさまざまな基礎データの取得を行った。その結果、ハード・ソフト両面において問題点を把握できたと共に、有人との精度比較など実運用に向け、貴重なデータを取得することができた。

UGV 測量システムについては本実験をもとに問題点を改善し製作した実機を、来月実現場に導入する予定である（写真—6）。今後、これら自動測量システムは、防災現場や、危険区域、夜間作業など、多くの現場施工へ適用が見込まれており、安全対策機能を更に充実したシステム設計を行い、現場導入に向け更なる

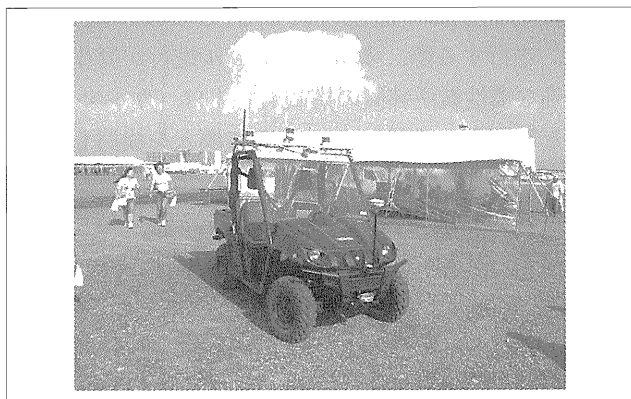
研究開発を進めていく所存である。

本システムの開発にあたり、ご助言下さった関係各位の皆様およびヤマハ発動機 AS プロジェクトの方々  
に心より感謝し、末筆ながら謝意を表する次第である。

JCMA

《参考文献》

- 1) 神谷剛志・今井浩久・増田裕：ユビキタス領域技術を利用した Unmanned Vehicle システム—UGV の開発—, ユビキタス領域周辺の技術特集 YAMAHA Motor Technical Review, No.39, 2005. 3
- 2) 増田 稔：自律走行型測深システム「自動ペルーガ」の開発, マリンボイス 21, vol.227, 2002. 5



写真—6 UGV 測量システム（実機搭載）

【筆者紹介】



増田 稔（ますだ みのる）  
東亜建設工業株式会社  
土木本部  
機電部  
電気課  
課長



藤山 映（ふじやま えい）  
測位衛星技術株式会社  
戦略営業部（東亜建設工業土木本部機電部付外向）

## 大口径岩盤削孔工法の積算

——平成 18 年度版——

■内 容

- (1) 適用範囲
- (2) 工法の概要
- (3) 岩盤用アースオーガ掘削工法の標準積算
- (4) ロータリー掘削工法の標準積算
- (5) パーカッション掘削工法の標準積算
- (6) ケーシング回転掘削工法の標準積算
- (7) 建設機械等損料表

■A 4 判 約 250 頁（カラー写真入り）

■定 価

- 非会員：5,880 円（本体 5,600 円）  
会 員：5,000 円（本体 4,762 円）  
送 料：会員・非会員とも  
沖縄県以外 450 円  
沖縄県 340 円（県内に限る）

※学校及び官公庁関係者は会員扱い

### 社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289 <http://www.jcmanet.or.jp>