

# 湖沼等における自律航行型測深システム

## —自動ベルーガの開発—

増田 稔・今村 一紀

ダム湖・沼湖などの汀線を含む全域の詳細な測量は、これまで大勢の人員による人力測量に頼らざるを得なかった。今回開発した自律航行型測深システム「自動ベルーガ」は、山間部での利用を考え、工具を必要としない組立て式小型双胴船タイプのプラットフォームを採用し、運搬性の向上と各センサの設置精度と再現性を確保し、総合精度の向上を図るとともに、測量船（装置）の自律航行を図ることにより省人化および省力化を図ったものである。

本報文では、これまでの実績をもとにダム湖等の調査の効率化と省力化を目指し開発した自律航行型測深システム「自動ベルーガ」の概要と東北地方のダム全面測量の実施例について報告するものである。

キーワード：自律航行、ナローマルチビーム測深機、レーザミラースキャナ

### 1. はじめに

従来のダム湖の測量は、管理する測線を設け、その測線に沿って、水中部は、音響測深機もしくは重錘で計測し、陸上部は、水準測量で計測している。

しかし、全域をカバーするほど密な測線では測らないため測線に沿って帯状に未測深幅ができることになる。この未測深幅が狭いほど測量の精度は高くなる反面、手間と費用がかかっていた。

7年程前に比較的安価なナローマルチビーム測深機「Sea bat」が日本に導入され、コンピュータ技術の飛躍的な向上と RTK-GPS との組合せにより、未測深幅の無い、より効率的で高精度な面的な測量が普及し始めた。

東亜建設工業株式会社においては、ナローマルチビーム測深機「Seabat」が日本に紹介されると同時に導入し、応用技術の開発を行ってきた。そして、RTK-GPS/GLONASS の日本への導入を機に、3年程前からダム湖の調査（測量）を行うようになった。

### 2. 開発の経緯

3年間のダム湖調査の実績の中で、狭隘な場所にあるダム湖等では測量を行う場合、測量船の運

搬が困難な場所もあり、さらに湖底の地形が複雑で測量の際に通常の船では喫水の問題から座礁の可能性もあった。また、調査のたびに使用する船が異なるため艀装や艀装の度に実施するキャリブレーションに多くの時間と労力を割くこともあった。さらに、水底部の測量は、ナローマルチビーム測深機を用いることにより、水深 2m 程度まで全面的な測量が可能ではあるものの、特にダム湖において堆砂量等を正確に把握するためには、陸上部分の測量も不可欠ではあるが、陸上部分の面的な広域測量は現実的には困難であるため、地図データを用いた補間等を行っていた。

そこで、これらの問題を解決すべく、自律航行型測深システム「自動ベルーガ」（以下、本システムと記す）の開発に着手した。

本システムは、運搬性の向上させるために工具を必要としない組立て式小型双胴船タイプで、各機器は、専用の架台に設置するため、計測状態はいつの時点でも同じで再現性があることから総合精度の向上に繋がる。また、自律航行を図ることにより省人化および省力化も実現した。

さらに、狭隘な山間部での計測であるため、位置管理には、RTK-GPS/GLONASS を採用し、水中部の計測は、ナローマルチビーム測深機を、陸上部の計測は、レーザミラースキャナを採用し、水中部と陸上部を同時にかつ連続的に測量し、合成・補間することにより、汀線を含む全域

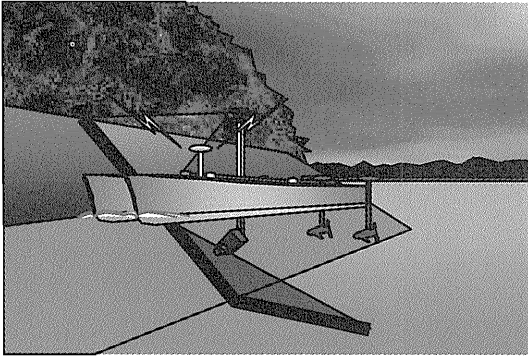


図-1 イメージ図

を高精度かつ迅速に行うことが可能となった。

### 3. システムの構成

近年、測量技術とコンピュータ技術の発達に伴い、精度が高く、安定した測位システムである RTK-GPS 等は、様々な場面で活用されており、特に遠隔操作を行ううえでの位置センサとして利用されている。また、測量分野において三次元測量が注目されるなか、陸上部の測量ではレーザミラースキャナ、水中部の測量ではナローマルチビーム測深機など様々な装置が開発されている。

本システムは、これらの機器を組合せ、高精度かつ効率的な測量を実現している。

#### (1) ハードウェア

##### (a) 船 体

図-2 に船体の概略図を示す。

船体は、分割式双胴船を採用しており、人力による運搬が可能な測量船としては小型の部類に属する。寸法=全長 4,500 mm×全幅 2,300 mm×全高 400 mm、質量=約 80 kg (分割時=最大 20 kg/個程度)、ペイロード=約 300 kg であり、全て蝶ねじやバンドにより固定する構造になっており、工具等を用いることなく組立てが可能である。

推進装置は、推力=20kg 前後/基の電動スラスタを 2 基用いている。

船体には、センターボードが備え付けられており、ここに RTK-GPS/GLONASS を 2 台、動揺補正装置、ナローマルチビーム測深機 (以下、NMB と記す) 及びレーザミラースキャナ (以下、

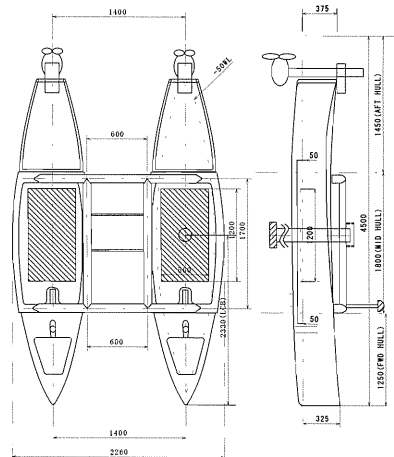


図-2 船体概略図

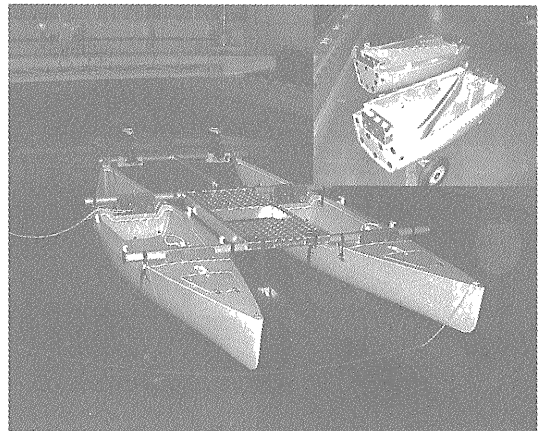


写真-1 双胴船写真

LMS と記す) が設置可能なように専用の架台を設けてある。なお、NMB と LMS に関しては、調査の目的に応じて適宜設置する。

##### (a) RTK-GPS/GLONASS

RTK-GPS/GLONASS 測位システムは、アメリカが管理する GPS 衛星に加えて、ロシアが管理する GLONASS 衛星を併せて受信し、測位するもので、従来 GPS 衛星のみの受信では RTK 測量に必要な衛星数を確保できないような周囲を山に囲まれたダム湖等での測位が可能となっている。

##### (b) ナローマルチビーム測深機 (Sea Bat 8125)

NMB は、 $1^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  のビームを 240 本 (測深幅 =  $120^{\circ}$ ) 発信し、移動 (前進) することにより、湖

底を「面」ととらえ、高密度なデータが取得可能な装置である(図-3参照)。

測量の際には、30%程度ラップさせることにより欠測のない三次元地形を取得することができる。

### (c) レーザミラースキャナ (RIEGL LMS-Z 210)

LMSは、測距範囲が2~350m、スキャンング角が最大で上下方向に80°、左右方向に333°のノンプリズム型レーザ距離計であり、固定点に設置し、測定範囲内にある対象物までの距離と角度を測定し対象地形を三次元に捉えるものである(図-3参照)。スキャン角度およびグラフィックのフレームの大きさは自由に設定でき、分解能を上げることによって高密度のデータを得ることが可能である。

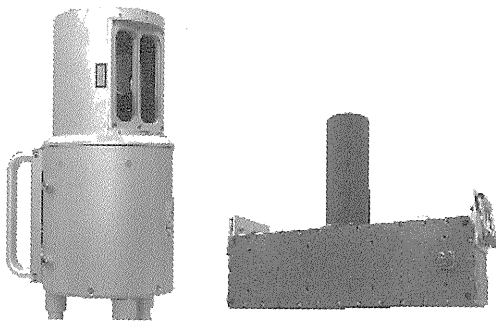


図-3 LMS (左) および NMB (右)

なお、本システムで船体に固定設置する場合は、左右方向のスキャンングは固定し、上下方向のスキャンングのみで測定している。

### (d) 動揺補正装置

動揺補正装置は、測量船のピッチング、ローリング、ヒービングを計測・補正する装置である。

ナローマルチ測深機やレーザミラースキャナは、一度に広範囲のデータを取得することから、わずかな船体動揺でも大きな影響を受けるため、静穏なダム湖とは言え、動揺補正装置の採用は不可欠である。

## (2) ソフトウェア

本システムのソフトウェアはWindowsの優れた動作環境を活用し、現場での操作性、汎用性を重視した設計になっている。

### (a) 測量船側ソフトウェア

図-4に測量時のイメージを示し、図-5に携帯電話による無線LANのイメージを示す。図-6には測量船誘導時の測量船側ソフトウェアの描画例を示す。

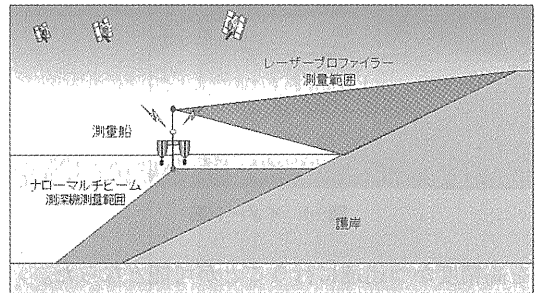


図-4 測量イメージ

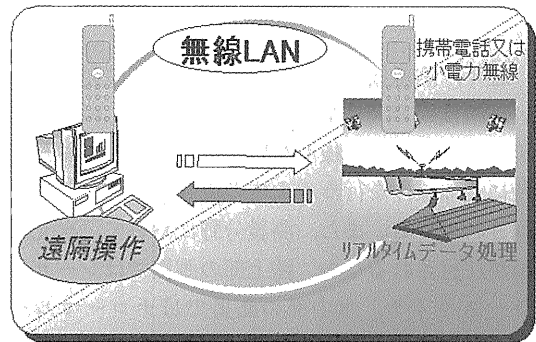


図-5 携帯電話による無線LANイメージ

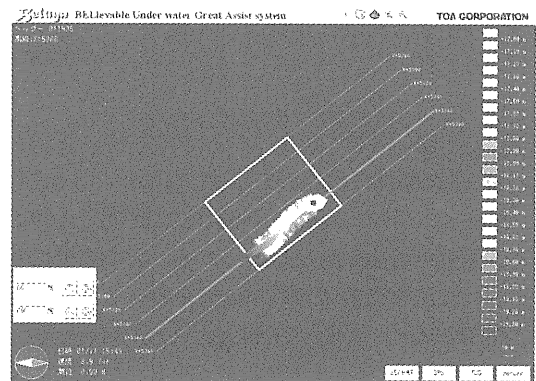


図-6 測量船の誘導画面

測量船側ソフトウェアは、測量船の誘導を主目的としており、水中部と陸上部を同時にかつ連続的に測量し自動収録するとともに測量結果をリアルタイムに表示(コンタ図)する。

測量船の測量状況(誘導画面)は、無線LANにより陸上監視局側に転送され、自動測量時など未測深範囲の確認がリアルタイムにできるようになっている。

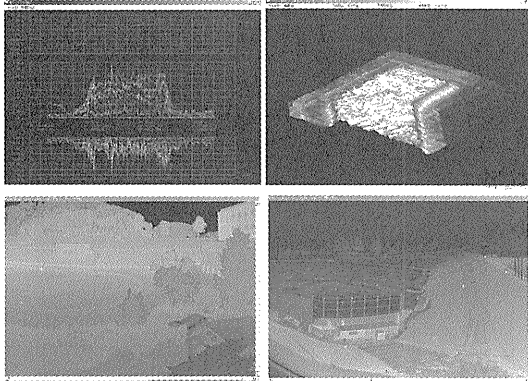
(b) 事務所側解析ソフトウェア

図-7に各解析ソフトの描画例を示す。

事務所側解析ソフトウェアは、MO等を媒体に送られてくる膨大な量のナローマルチビーム測深機の水中部測深データとレーザミラースキャナの陸上部データを合成・補間し汀線部を含めた全域のデータを処理している。

事務所側解析ソフトウェアで、これらのデータを基に詳細なコンタ図および鳥瞰図、任意測線の断面図の出力が可能である。また、データは日付け管理されていることから、継続調査による複数データの任意断面の重ね合わせ図の出力も可能である。

LMSデータとしては、計測されたすべてのレーザ測定点の座標、受光強度、カラーデータが得られ、解析の段階で測定されたデータが、地形データなのか草木等の植物表面を計測したデータなのか判別可能であり、地形測量に関してはノイズである植物表面からデータを除去可能である。



(上：NMB 下：LMS)  
図-7 各解析ソフトの描画例

4. 制御システムについて

測量船(装置)は、図-8の制御システムにより制御され、効率の良い測量が可能である。

制御モードは、

- ① 航行モード
- ② 監視機能
- ③ 制御モード

に大きく分かれている。

- ① 航行モード

「トラッキング」「定点復帰」の2種類があり、

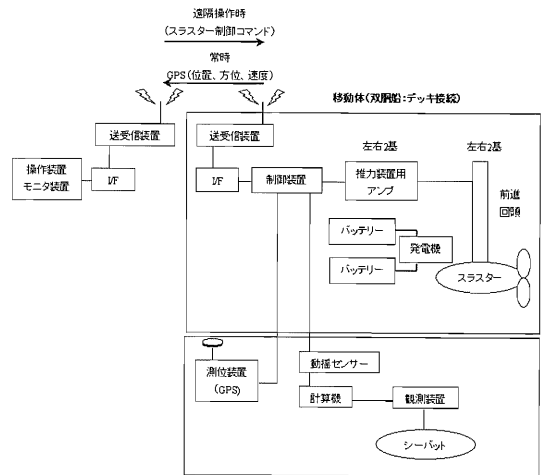
「トラッキング」は、事前設定の位置を通過するように航行し、「定点復帰」は、設定位置周辺を保持するように航行する。

② 監視機能

航跡表示としてGPSによる計測位置を基地でモニタできるようにしている。

③ 制御モード

「自律航行」「遠隔操作」「直接操作」の3種類があり、各種モードは遠隔操作によって選択できる。「自律航行」は、事前に設定した風波や水流の影響を考慮した制御量等に従って航行し、「遠隔



制御システムの構成

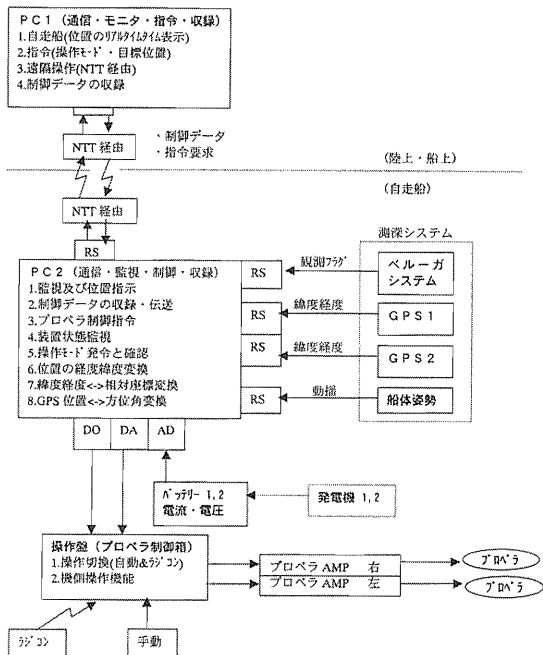


図-8 制御システム構成図

操作」は、無線操縦で手動による操船を行う。「直接操作」は、ジョイスティックによって操作する。

制御システムの自律航行機能により、毎回決められた（地形に合わせた）測線で航行させ、測量することが可能であり、効率的な測量が可能である。

## 5. システムの導入事例

岩手県盛岡地区のSダムにおいて本システムを用いて湖底地形の調査を行った。

調査区域（測量エリア）は、約3,500,000 m<sup>2</sup>で平均水深は約10.7 mであり、広域なため、RTK-GPS/GLONASS 基地局の設置位置や工程を考慮し、全体を18ブロックに分割し、準備を含め約2週間（平成13年4月15日～平成13年4月29日）で行った。

RTK-GPS/GLONASS の基地局は、座標の分かっている用地境界杭等を使用し設置し、RTK-GPS/GLONASS の基地局補正情報の移動局（測量船）側への伝送は、特定小電力型データ伝送装置を用い、地理的に電波の届きにくい箇所については無線中継局を設け対応した。

自律航行を行うための制御システムは、陸上監視局と測量船（装置）間で相互にデータ通信を行う必要があるが、Sダムにおいては、陸上監視局から見通しの利かない区域が多くあり、自律航行による調査は、全体の10%程度であった。

また、この時点では、レーザミラースキャナを用いた陸上部の計測は、テスト段階であったため、陸上部は、航空写真測量をもとに作成された最新の地図データ（縮尺：1/2,500）を用い、合成、補間した。

なお、今回の調査では、現在の総貯水量や湛水前の地図データとの比較から堆砂量を求めた。また、堆砂状況を把握するため、現況の鳥瞰図や堆積分布図等を作成した。

調査状況を写真-2に示し、調査結果（カラーコンタ図）を図-9に示す。

また、図-10には、試験的に行ったレーザミラースキャナを用いた陸上部の計測結果（鳥瞰図）を示す。

今後は、神奈川県川崎市の浮島廃棄物処分場へ

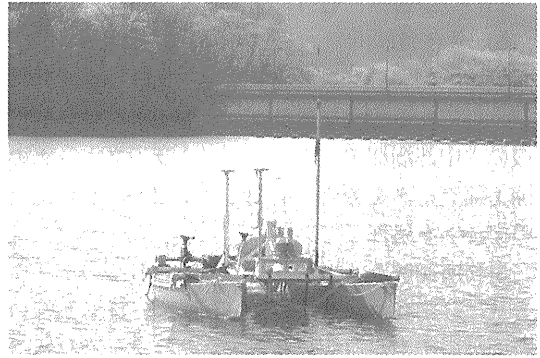


写真-2 調査状況



図-9 調査結果

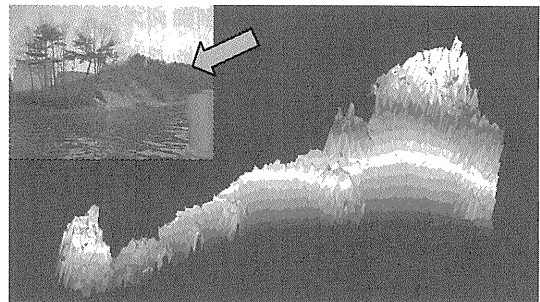
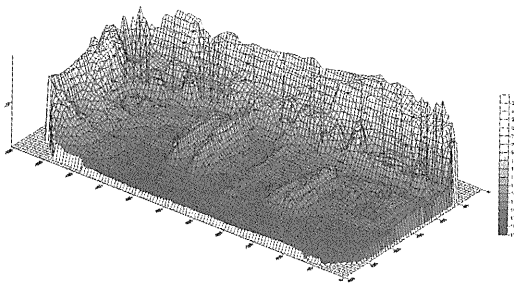


図-10 陸上部計測結果



写真—3 浮島廃棄物処分場



図—11 鳥 瞰

の導入を検討している（写真—3 および図—11 参照）。

ここは、鋼管杭に囲まれた約 550m×300m の処分場で、現在、毎月、埋立て状況を管理するため、既に通常の測量船を用いた全面的測量を実施している。

この廃棄物処分場は、非常に狭く、FCS (Floating Conveyer System) で分断されており、今後、埋て立の進行に伴い水深は徐々に浅くなり、現在用いている船（船体全長約 8 m）での測量が困難になると考えられ、小回りがきき、座礁の危険性も低減できる本システムは有効である。

## 5. おわりに

自立航行型測深システム「自動ベルーガ」は、2000年から構築に掛かり、2001年に入り水槽実

験等を実施し、岩手県盛岡地区の S ダムにおいて本格的に導入した。

本システムを導入することにより、ダム湖等の汀線を含む全域を高精度かつ迅速に行うことが可能となり、面的な測量に要する労力の大幅な削減が期待される。

さらに、定期的な調査を実施することにより、カラーコンタ図や鳥瞰図、層厚分布図等多彩な解析ソフトで湖底地形の変化状況を捉えることが可能であり、適切な対策工へのフィードバックが期待できる。

今後は、無人での調査が可能であることから立入りが制限される危険区域の状況確認等へ利用も考えている。

最後に、本システムの実用化にあたり御協力いただいたチームベルーガの関係各位に厚く御礼申し上げる次第である。

J C M A

### 【参考文献】

- 1) 増田 稔：自動ベルーガシステムの開発—自律走行型測深システム—，東亜建設工業社内技術発表会，2000年11月
- 2) 増田 稔ほか：リアルタイム・高密度水中施工管理システム及び堆積形状予測管理システム，第8回建設ロボットシンポジウム，2000年7月
- 3) 増田 稔ほか：投入土砂堆積形状予測ベルーガシステム，港湾学術交流会年報，No.37，2000年6月

### 【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  
電気課長



今村 一紀（いまむら かずき）  
東亜建設工業株式会社  
土木本部  
機電部電気課  
副参事