

海中調査向け無人水中航走体

Unmanned Underwater Vehicle for Undersea Investigation

須 藤 拓 技術開発本部総合開発センター船舶海洋技術開発部 主査 博士（工学）
深 井 隆 広 航空宇宙事業本部防衛システム事業部機器技術部 主査
小 林 陽 技術開発本部総合開発センター電機システム開発部

海洋基本法の発足を受けて海洋資源の調査・開発に関するプログラムが具体的にスタートしている。そのなかで海底資源の賦存領域の調査や海底環境の調査に無人の水中機器の利用が検討されている。特に熱水鉱床やマンガングラストなどの資源については賦存領域が水深 1 000 m を超える深海となるため、ケーブルでつながれていない無人水中航走体の利用が有力視されている。当社は、水中航走体の研究開発を長年にわたり実施し、こうしたニーズにも対応可能な水中航走体制御技術および開発支援環境をもっており、その現状について紹介する。

IHI has been studying unmanned underwater vehicles (UUV) for about 20 years. The latest model has an inertial navigation system (INS), a Doppler velocity log (DVL), a depth indicator, GPS, and a forward-looking sonar (FLS) for autonomous running with an obstacle-avoidance ability. It is expected to be used for oceanographic surveys or exploration of marine resources. IHI recent UUV system and test facilities are described.

1. 緒 言

我が国の内水を含む領海と排他的経済水域 (EEZ) の面積の合計は国土の面積の 11.8 倍の 447 万 km² であり、世界第 6 位の管轄水域をもっている。この水域は、これまで主に海上輸送と水産目的で利用されてきたが、近年、海洋エネルギー・鉱物資源の利用、環境の保全および安全保障の観点からも注目されるようになってきた。

2007 年 7 月に海洋基本法が施行され、2008 年 3 月には政府の計画として海洋に関する施策の総合的かつ計画的な推進を目的とした海洋基本計画が決定された。さらに、2009 年 3 月にはこの基本計画に沿って「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画」が決定され、海底下の海底鉱物資源やメタンハイドレートの商業化を目指す今後 10 年間のロードマップが示された⁽¹⁾。

このように我が国における海洋開発・利用の機運が急速に高まってきているが、海底鉱物資源やメタンハイドレートの開発は水深 1 000 m を超える深海が舞台である。その資源ポテンシャルの調査一つを取っても莫大な時間とコストが必要となるため、効率的かつ効果的な技術手法の確立が求められている。その解決策の一つとして各種の無人水中システムの利用が検討されており、無人水中航

走体 (Unmanned Underwater Vehicle : 以下、UUV と呼ぶ) もその一つである。UUV は自律性を強調する場合には AUV (Autonomous Underwater Vehicle)^{(2),(3)} と呼ばれる。例えば、UUV に調査機器を搭載し、広域の深海調査を行い、詳細な海底面の地形、海底下の地層情報、特定の化学物質の分布情報などを取得することで資源の分布情報を取得する試みも実施されている。

一方、このような資源・エネルギーを開発・利用するに当たっては、海洋環境との調和を満足させることも要求されており、商業化の可能性評価に加え、商業化による環境影響評価も必要となっている。開発に伴う海域環境の保全のためには一元化された広域の海洋情報の取得と整備が必要である。時々刻々と変化する広域の海洋情報を効率的に取得するためには、従来の、船舶や係留された海洋ブイによる限定的な海洋観測だけでは不十分であり、ここでも UUV などの無人の自動海洋監視システムの利用が検討されている。

当社は、UUV を始めとする各種水中機器の研究開発を長年にわたり実施してきており、その時代の要請に合った研究開発および開発支援環境の維持・整備を行ってきた。本稿では、特に当社の UUV 制御技術およびその開発支援環境についての現状を紹介する。

2. UUVの開発経緯

UUVの開発は1989年にスタートしたが当初は防衛向けUUVの開発に主眼を置いていた。最初に社内開発した大型UUV(直径533mm)の外観を第1図に示す。この大型UUVの開発を通じて航法、推進・操舵、電源、自律制御、水中測位(位置を計測すること)、耐压殻、流体力評価法、三次元6自由度運動シミュレーションおよび実海域試験評価法などUUV開発に必要な多くの基盤技術を獲得することができた。この大型UUVの開発成果が認められ、防衛庁(現防衛省)の研究試作“魚雷防衛システム”用小型UUV(直径127mm)の受注につながった。このUUVは潜水艦を音響的に模擬するためのもので、この開発を通じて水中音響技術とUUVの小型・軽量化、水槽試験評価法に関するノウハウを獲得することができた。第2図に社内研究で開発した小型UUVの外観を示す。その後、社内研究や客先研究(防衛省)での中型UUV(直径324mm)の開発を経て、以下に紹介する高度な自律性をもつUUVの開発につながっていった。第3図に社内研究で開発した中型UUVの外観を示す。



第1図 大型UUVの外観
Fig. 1 Overview of large UUV



第2図 小型UUVの外観
Fig. 2 Overview of small UUV



第3図 中型UUVの外観
Fig. 3 Overview of medium UUV

3. UUVシステムの概要とその開発支援環境

海洋調査において比較的浅い深度で狭い範囲の調査には、ケーブルで接続されたROV(Remotely Operated Vehicle)が有利だが、大深度または広域の調査には、ケーブルでつながれていないUUVが有利となる。また、調査範囲があらかじめ決まっている場合には、UUVは設定経路に沿って自動的に航走が可能のため、浅い深度や狭い範囲での調査でも有用であり、目的に応じて両者は使い分けられる。第1表にUUVとROVの一般的な比較を示す。UUVでは、ケーブルでつながれていないためエネルギーの制約だけでなく、外部との通信および制御にかかわる支援も制約を受けるため、水中での測位情報に基づく自律的な航走制御技術(自律制御技術)が中核的な技術となる。

当社では、慣性航法装置(INS: Inertial Navigation System)とドップラー流速計(DVL: Doppler Velocity Log)を利用した自律制御システムを搭載したUUVシステムを基本形とし、目的に応じてソナーなどの各種機器を搭載し、機能向上を目指したUUVの研究・開発を行っている。UUV自律制御システムの概要とその開発支援環境について以下に説明する。

3.1 UUVの自律制御システム

運用中にはUUVは搭載した計測用センサを移動させ

第1表 UUVとROVの比較
Table 1 Comparison between UUV and ROV

項目	UUV	ROV
エネルギー	内蔵	ケーブルを通して供給可能
通信	音響通信 低速・時間遅れあり	ケーブルを通して 高速・リアルタイムに可能
測位	音響測位	音響測位もしくは 深度計とコンパスなど
艦上設備	小規模	大規模(大深度時)
観測	高速・広い範囲	低速・狭い範囲
作業(遠隔操作)	難	可能
遺失可能性	大きい	小さい

る運搬手段とみなすことができる。このとき、UUV は定められた経路を、計測用センサの求める速度・姿勢で航走することが要求され、そのため緯度・経度・深度（高度）からなる座標（ウェイポイント）を順番に設定した速度でたどる。この航走制御機能を以後ウェイポイント追従機能と呼ぶ。また、一連のウェイポイントで設定した経路をコースと呼ぶ。

当社の UUV の自律制御システムの基本機能は、不確実な通信・測位の環境下で、自律的にウェイポイント追従を行い、その過程で生じた異常に対処し、可能な限り自律的にウェイポイント追従を継続する機能である。この自律制御システムの機能には障害物回避も含まれる。前方検知ソナー（FLS：Forward-Looking Sonar）で障害物を検知した場合には、ウェイポイント追従よりも障害物回避を優先し、障害物回避終了後ウェイポイント追従を再開する。障害物回避制御の詳細については後述する。

3.1.1 ウェイポイント追従機能

当社の自律制御システムでは、各ウェイポイントに対して、第 2 表の項目を設定する。

① 航走パターン、で ② 以下の項目から使用する目標値を選択し、使用するアクチュエータ（舵・スラスト）を設定する。目標ウェイポイントへ向かう航走パターンでは、現在位置が ② 目標緯度・③ 目標経度、に対して ④ 平面位置許容半径内、に入り、さらに現在深度が ⑥ 目標深度、± ⑦ 許容深度、内に入ったときに目標ウェイポイントに到達したものとし、次のウェイポイントを目指す。⑨ タイムアウト時間、内に目標ウェイポイントに到達できなかった場合には次のウェイポイントを目指すし、航走を継続する。ただし設定回数連続してタイムアウトした場合に、異常処理で浮上するように設定することもできる。

ウェイポイント追従を行うためには、UUV は現在位置を把握し、目標のウェイポイントに移動するための制御を

自律的に行うことが必要であり、まず UUV の測位方式と運動制御方式について以下に説明する。

3.1.2 測位方式

水中での測位には電波を用いた GPS (Global Positioning System) を使用することができないため、超音波を用いた音響測位を行うことが一般的である。しかし、音響測位は環境によっては測位精度が著しく低下したり、測位ができないことがあり、これらはあらかじめ予測することが困難である。このようなときでもウェイポイント追従を継続することが必要なため、水中では音響測位と慣性航法を併用している。

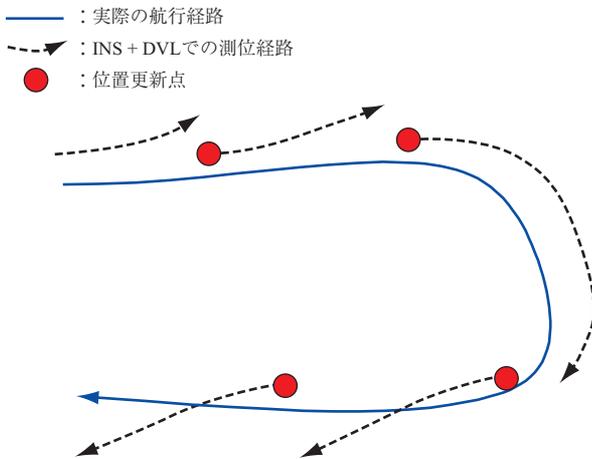
音響測位には USBL (Ultra-Short BaseLine) 方式を用いている。USBL 方式の音響測位装置も USBL と呼ばれる。USBL では、音波の往復時間と水中音速から UUV までの距離を決定し、USBL の受波アレイ（複数の受波素子を並べたもの）での位相差から角度を決定し、USBL トランシーバ（送受波機）に対する三次元空間内の UUV の相対位置を求めることができる。トランシーバを搭載した支援船では、トランシーバの地球座標での位置（緯度・経度）と姿勢角（水平からの傾きと方位）に UUV の相対位置を加えることで、UUV の緯度・経度を得る。この位置を音響通信で UUV に伝えることで、UUV は現在位置を得ることが可能になる。

UUV の音響測位ができない場合や、測位できても音響通信で UUV に伝えることができない場合には、UUV は現在位置を長時間更新できないことになる。また、音響測位間隔の数秒ごとではなく、より短い時間間隔で位置を把握したいという要求もある。そこで慣性航法を併用する。慣性航法とは、UUV の姿勢角（左右角・上下角・方位角）と水底に対する UUV の三次元空間内の速度を UUV 搭載センサで短い時間間隔で計測し、地球座標でどの方向にどれだけ動いたかを求め、それを加えていくことで位置を求める方法である。姿勢角は INS で計測し、速度は DVL で計測する。INS での加速度計測値の積分で速度を求めるよりも精度が良いので速度の計測には DVL を用いる。

慣性航法の測位間隔は数百ミリ秒であり、DVL で速度が計測されれば常に測位可能である。そこで、USBL と慣性航法の測位特性を組み合わせ、第 4 図に示すように UUV の測位を行う。慣性航法による位置誤差は時間とともに増加するが、USBL による位置誤差は時間とともに増加しないので、USBL での複数回の計測値に基づ

第 2 表 ウェイポイント設定項目
Table 2 Waypoint setting items

No.	単 位	項 目
①	—	航走パターン
②	度	目標緯度
③	度	目標経度
④	m	平面位置許容半径
⑤	度	目標方位
⑥	m	目標深度または目標高度
⑦	m	許容深度
⑧	m/s	目標速度
⑨	s	タイムアウト時間



第4図 位置更新併用測位

Fig. 4 Positioning system with position-updating function

いて求めた測位位置を、慣性航法による測位位置と置き換えることで位置誤差の蓄積を防ぐ。水上では、GPSでの測位が可能なので、定期的に慣性航法による測位位置をGPS測位位置で置き換える。

3.1.3 運動制御方式

第5図に、当社のUUVの1形態を示す。後部に左右エレベータと上下ラダーを備え、四つの舵を独立に動かすことができる。スラストとしては、メインスラストと、前部水平スラストおよび前部垂直スラストを備える。

速度制御はメインスラストで行い、最大8kt(時速約15km)での航走実績がある。速度制御は、目的によって左右角の振れを小さくするためのメインスラスタ一定回転数制御と、X軸方向速度をフィードバックして設定した速度で航走させる一定速度制御を切り替えて運用している。停止時にはメインスラスタを逆転し、短い距離で停止することも可能である。

左右角制御は、前進時には対向する舵を逆方向に切るこ

とで目標の左右角に制御している。静止時は重心と浮心の静的な安定性で左右角を0度にする。

方位角制御は、大きな半径での旋回時は上下のラダーだけで行い、小さな半径での旋回時と前進速度が小さいときには、水平スラストを併用する。

上下角の制御は、左右角と同様に大きな半径で旋回するときは左右エレベータだけを使用するが、小さな半径もしくは前進速度が小さいときには垂直スラストを併用する。

深度制御は、現在深度と目標深度の差から目標上下角を求め、上下角を制御することで行う。

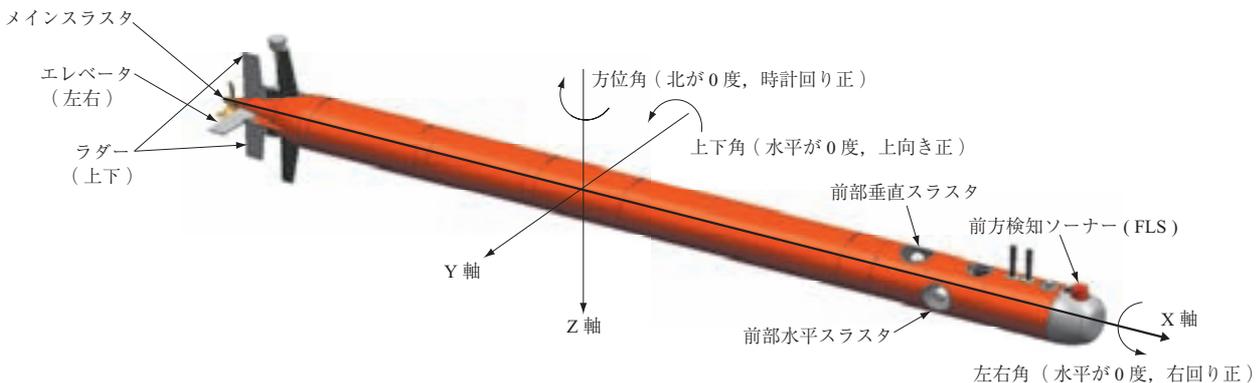
3.1.4 通信機能

水中では陸上で通常使われる波長の電波はすぐに減衰するため、超音波を用いた音響通信を用いる。超音波の水中音速は約1500m/sで、UUVが支援船から離れると時間遅れの影響が大きくなる。

理想的な海の状態でもUUVが支援船のほぼ真下にいる場合は音響通信でも数十kbpsでの通信が可能であるが、音響測位と同様に環境によって通信状態は著しく変化し、近くでも全く通信できない場合もある。そのため、一定時間内に確実に情報が伝達されることを前提にしたシステムにはできず、通信の信頼性が下がっても運用可能なシステムにする必要がある。

UUVは音響通信またはイーサネット通信(陸上・水面上)を用いて、UUVへのコマンド送信(更新位置送信を含む)と、UUVの状態情報(慣性航法測位位置・姿勢角・舵角度・スラスタ回転数・異常検知項目および内部状態など)の取得を行う。また、ジョイスティックを用いた遠隔操縦も可能である。イーサネット通信は、有線通信と無線通信の双方が可能である。

さらに、上記とは別系統の音響非常停止装置も搭載して



第5図 UUV座標系と搭載アクチュエータ

Fig. 5 UUV coordinates system and actuators

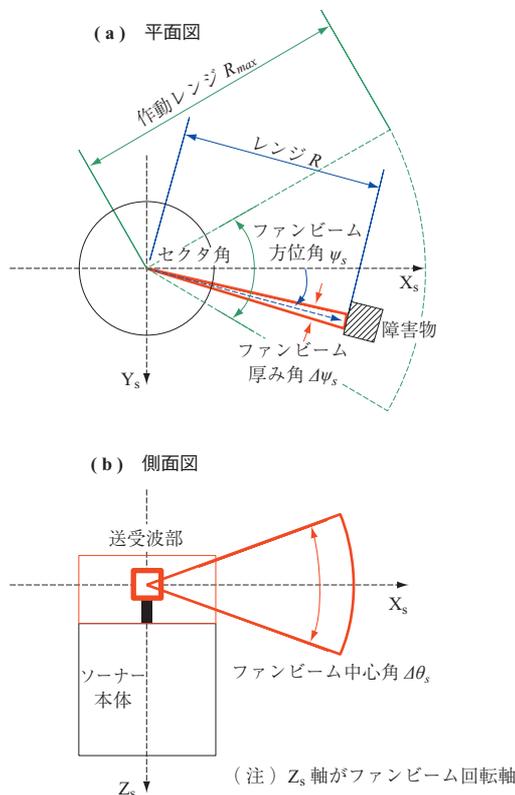
いる。この装置は数秒間の連続波で非常停止の情報を送るだけなので、通常の音響通信よりも信頼性が高い。

3.1.5 障害物回避機能

当社のUUVには、第5図に示すように前方検知ソナー（FLS）を搭載することができ、これによって障害物を検知することが可能である。第6図にFLSの座標系を示す。FLSの送受波部は水平方向に回転し、設定したセクタ角の間をワイパのように動いて計測を行う。ファンビーム厚み角 $\Delta\psi_s$ とファンビーム中心角 $\Delta\theta_s$ の範囲に障害物がある場合には、障害物までのレンジ（距離） R が返される。

通常航行時には衝突する可能性のある範囲をスキャンする。障害物検知時は、計測レンジ R が設定値よりも遠い間は、前進速度を変えずに針路を変更して障害物を避け、回避所要時間の増加を最小限に抑える。

計測レンジ R が設定値よりも近くなった場合には、一旦UUVを停止させ、セクタ角を拡げて回避可能な方位を探索して回頭方向を決定し、障害物が針路上に検知されなくなるまで前部水平スラストでその場回頭し、回頭後に障害物までの距離を前進して障害物回避を終了し、ウェイポイント追従に復帰する。



第6図 FLS座標系
Fig. 6 FLS coordinate system

セクタ角を360度まで大きくしても回避可能な方向が見つからない場合には、浮上するように設定することもできる。

3.1.6 異常検知・異常処理機能

前述の通信・測位の不確かさに対応するためには、自律的に異常を検知し、異常の種類に応じた処理を行う必要がある。最も重篤な異常発生時は浮力で水上に浮上させる。軽微な異常に対して浮上させれば調査が進まなくなり、重篤な異常に対して調査を続行すれば遺失の可能性が大きくなるので、異常処理はバランスを見極めて適切に設定することが重要であり、実運用での調整が必要である。当社のUUVでは、異常処理を四つのレベルに分けて運用しており、重篤度が軽微なものを異常レベル4、高いものを異常レベル1としている。異常レベル4では、支援船上の操作画面に発生異常項目を表示し注意を喚起する。異常レベル1は自律航走に必要なセンサもしくはアクチュエータの故障などによって自律航走ができない場合で、浮力で浮上させる。

3.1.7 設定ファイル・ログ機能

UUVの運用に必要な各種設定ファイルは無線通信で送信でき、揚収せずに水上で動作プログラムを変更することも可能である。第3表に設定ファイル一覧を示す。

(1) ウェイポイント設定ファイルは3.1.1項で説明したウェイポイント追従のためのコース設定ファイルである。コマンドでコース番号と開始ウェイポイント番号を指定して、ウェイポイント追従を開始することができるのでコース途中で異常処理によって浮上した場合でも、異常原因を解消後、指定の緯度・経度および深度まで移動させるコマンドによって自動操縦で誘導し、指定のウェイポイント番号からウェイポイント追従を再開することができる。

(2) オペレーションパラメータ設定ファイルでは、UUV動作時の異常検知のしきい値、異常処理パラメータ設定、ログの記録頻度および障害物回避機能の設定などを行う。

(3) 制御パラメータ設定ファイルでは、各種制御ゲイン・飽和値の設定などを行う。

第3表 設定ファイル一覧
Table 3 Setting file lists

No.	項目
(1)	ウェイポイント設定ファイル
(2)	オペレーションパラメータ設定ファイル
(3)	制御パラメータ設定ファイル

ログファイルには、時刻、動作時の設定パラメータ、内部状態遷移、発生異常項目、コース番号とウェイポイント番号、各センサの取得値、各アクチュエータの動作指令値および通信データなどが保存される。このログファイルは、航走終了後に回収し、航走結果を自動的にグラフ表示することができる。ログ再生プログラムを用いて、アニメーション表示も可能で、UUV の位置・姿勢・舵角およびスラスト回転数などを容易に確認することができ、障害物回避時の障害物の見え方と回避の状況が確認できる。第 7 図に速度 5 kt (時速約 9 km) で 120 × 60 m の四角形追従航走時のログ再生プログラムでの再生例を示す。

3.1.8 船上管制装置と周辺プログラム

オペレータは船上管制装置を用いて、UUV へのコマンド送信と状態情報取得を行う。取得された状態情報は、船上管制装置のスクリーン上にグラフィカルに表示され、UUV の位置、姿勢、指令値、内部状態および異常項目などが表示される。また、バイナリ通信データをテキストに変換するような各種周辺プログラムがある。

3.2 開発支援環境

上記 UUV の自律制御システムの研究・開発を効率的に進めるため、シミュレーションと実航走試験を目的に応じて活用している。以下に、そのシミュレーション技術および試験支援環境について紹介する。

3.2.1 HILS 技術

UUV システムの調整をより効率的かつ効果的に行うために、HILS (Hardware-In-the-Loop Simulation) を活用している。

HILS とは、UUV に搭載する制御装置とシミュレータを実際のアクチュエータやセンサを接続するものと同じ種類の信号線 (電圧・シリアルなど) で接続し、シミュレータによって制御対象の挙動をモデルを用いてリアルタイムで演算し、実際の信号形式で入出力を含めて模擬する方法である。

UUV 用 HILS シミュレータの諸元と機能を第 4 表に示す。このシミュレータで UUV に使用する全ての入出力信号のシミュレーションを行っている。

運動シミュレーション機能は、UUV の運動モデルと、各アクチュエータの応答モデルから構成される。運動モデルは過去の UUV 研究の知見に基づくモデルで、UUV の水中での三次元 6 自由度の運動を模擬する。

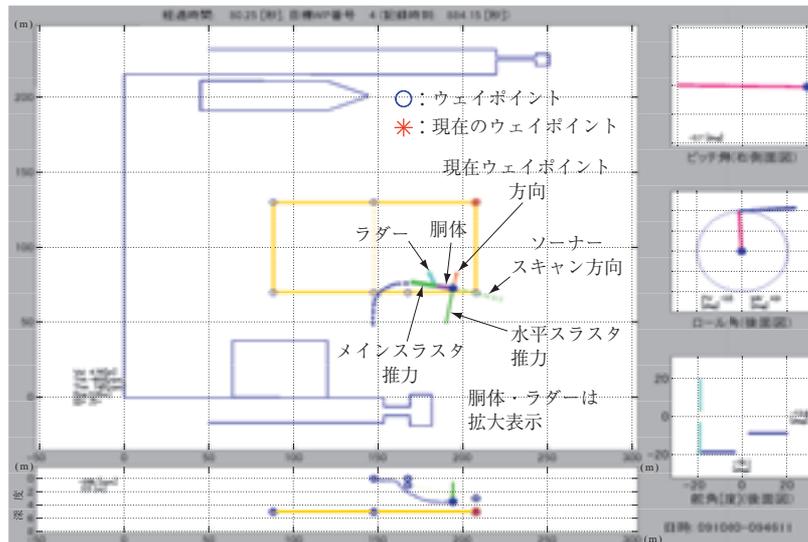
環境シミュレーション機能は、潮流の速さと向き、海底の深さと地形および海中の障害物などを設定し模擬することができる。

ソナーシミュレーション機能は、UUV と障害物の位

第 4 表 IHI HILS シミュレータ諸元

Table 4 Specifications and functions of IHI-HILS simulator

項目	内容
計算機	A&D 製 AD5435 (モデル実用 CPU: PentiumM 1.1 GHz)
開発環境	Simulink
計算周期	マルチレート (最小 2 ms)
主要機能	運動シミュレーション 環境シミュレーション ソナーシミュレーション ロジックシミュレーション 計測誤差シミュレーション



第 7 図 ログ再生プログラムの再生例

Fig. 7 Example of log regeneration screen

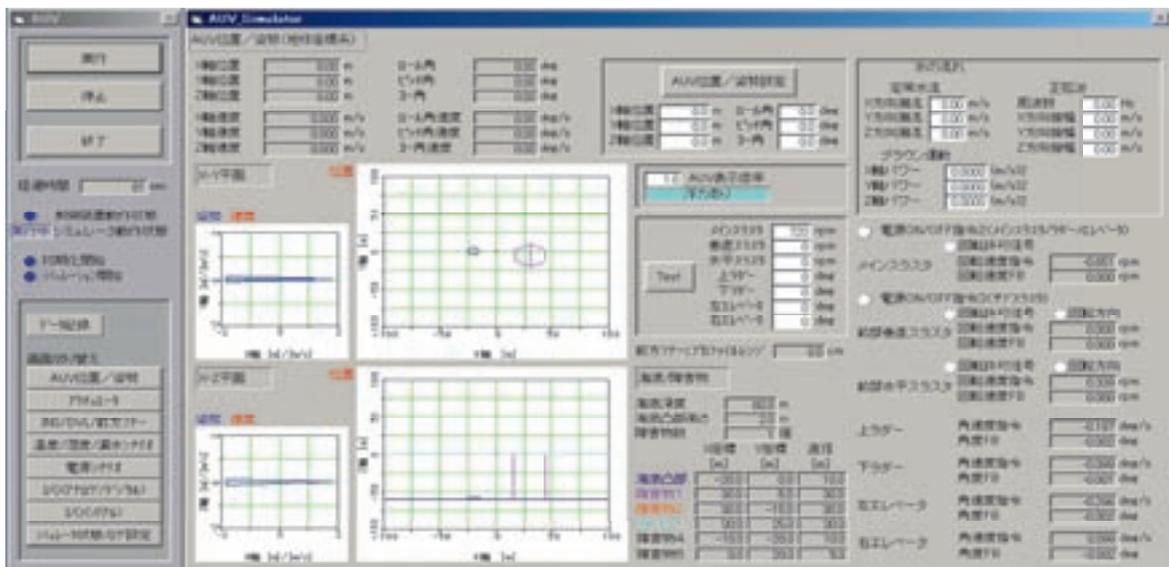
置関係から、UUV の前方検知ソナー (FLS) が得る障害物の方向とレンジの情報を算出し、FLS の出力信号を模擬する。これによって、UUV の障害物回避アルゴリズムの調整・検証を可能にしている。

ロジックシミュレーション機能は、UUV の漏水や通信エラーなどの異常状態を模擬する。これによって制御システム単体では発生させることの困難な異常に対する異常処理機能の調整・検証を可能にしている。

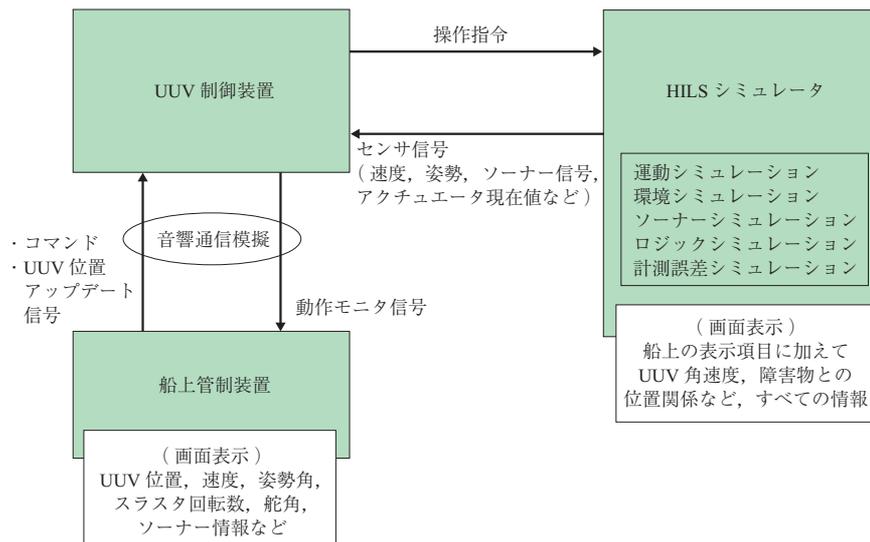
計測誤差シミュレーション機能は、各センサの計測誤差を任意に設定でき、計測誤差に対する制御アルゴリズムの頑健性の調整・検証を可能にしている。

参考までに、これらの機能のユーザインタフェースである HILS シミュレータの画面の一例を第 8 図に示す。画面には、運動シミュレーションによって得られた UUV の位置、速度、姿勢角および角速度が表示される。この画面で位置、姿勢角、潮流の向き・速さなどの設定を行う。他の機能は左下の画面切り替えボタンで画面を切り替えて使用する。

HILS シミュレータのシステム構成を第 9 図に示す。シミュレーションでも、オペレータは実運用で使用する船上管制装置を用いて UUV に対する指令を送信し、動作結果は船上管制装置の表示と HILS シミュレータの双方



第 8 図 IHI HILS シミュレータの画面
Fig. 8 User-interface of IHI-HILS simulator



第 9 図 HILS シミュレーションシステムの構成
Fig. 9 Diagram of HILS simulation system

で直ちに確認できる。

HILS のメリットとして、机上で制御装置の入出力部を含めた機能の大部分を検証できるため、効率的に制御装置の完成度を高めることができる。これによって水槽および実海域試験における機能確認作業を最小限に留めることができ、試験期間の短縮と試験費用の低減が図られた。

また、潮流の速さを変更してのウェイポイント追従試験など、実海域では発生させることが難しい条件での調整も、HILS シミュレータを利用することで容易に実施することができ、UUV 自律制御アルゴリズムの頑健性を高めることができた。

HILS シミュレータを用いて制御シーケンスの動作確認を行った例を第 10 図に示す。長方形のコースを 2 周する航走を HILS シミュレータと実海域において同一条件で行った結果を比較して示したもので、赤の線は HILS シミュレータでの動作結果、緑の線は実海域試験での動作結果、青の線は目標ウェイポイントを結んだ四角形を示している。これによれば、HILS シミュレータでの航走軌跡と実海域試験の航走軌跡は、どちらも長方形のコースに沿った軌跡を描いていることが分かる。HILS シミュレータでの動作と実海域試験の軌跡のずれは、モデル誤差に

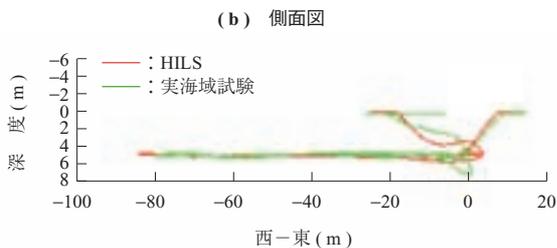
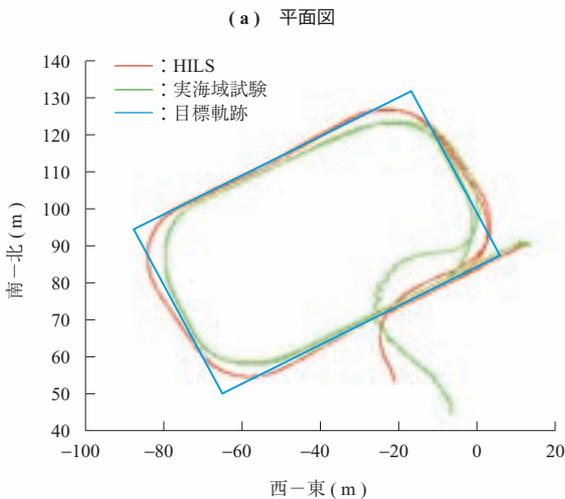
よって旋回半径が異なることが原因と考えられ、シミュレーションモデルを実海域試験結果に合わせて調整することで今後さらに正確なシミュレーションが可能になる。

これまでの実績から、HILS シミュレータで動作確認を行った結果、水槽試験および実海域試験でのプログラムの修正の必要はほとんどなく、制御パラメータの微調整を実施した。以上から HILS シミュレータを利用した動作確認と事前調整が UUV 制御システムの調整には非常に有効であると考えられる。ただし、HILS シミュレータ内の各モデルに誤差があるので UUV の制御性能の最終確認を以下に紹介するような水槽および実海域で実施することも重要である。

3.2.2 水槽試験環境

第 11 図に示す船型試験水槽は、UUV の推進性能評価に利用される。この水槽は、長さ 210 m、幅 10 m、水深 5 m の水槽で、通常、船舶の推進性能評価に利用される。この水槽で機体の抵抗、推進機の性能評価、深度制御および長さを利用した高速直進航走の制御調整などを行っている。

第 12 図に示す運動性能水槽は、UUV の運動性能にかかわる評価に利用される。この水槽は、長さ 70 m、幅



(注) 試験条件：80×50 m、3 kt

第 10 図 HILS と実海域試験の航走結果
Fig. 10 HILS simulation trajectory and sea tests



第 11 図 船型試験水槽
Fig. 11 Towing tank (210×10×5 m)



第 12 図 運動性能水槽
Fig. 12 Seakeeping and maneuvering tank (70×30×3 m)

30 m, 水深 3 m の水槽で, 通常, 船舶の運動性能の評価に利用される. この水槽内で UUV を航走させ, UUV の旋回性能評価, 障害物回避制御などの調整を行っている. 水槽には水面上の任意の軌跡に沿って移動可能な試験用電車があり, UUV をこの電車に固定することで水槽内を正確に移動させることができる. このとき, UUV の慣性航法の測位記録と比較することで慣性航法の精度の評価を実施することができ, こうした目的にも利用されている.

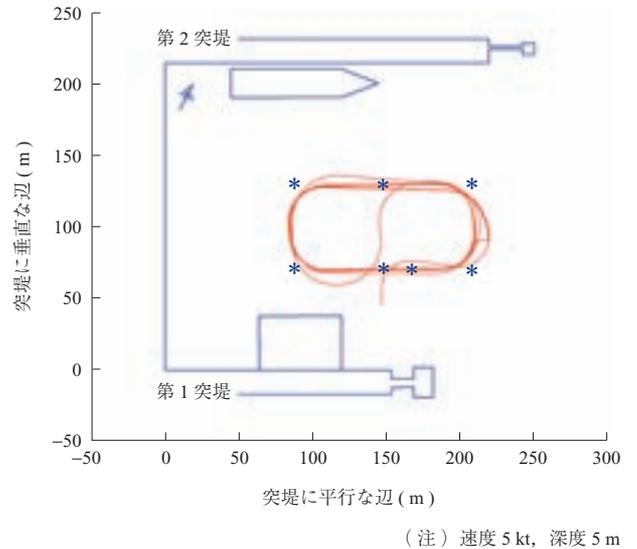
3.2.3 実海域試験環境

当社の横浜事業所に隣接する株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッドの横浜工場の突堤周辺で UUV の動作検証を行うことができ, 深度は約 10 m である. この海域を利用して, 水槽で実施することが難しい速度 (約 3 kt ~) での各種航走試験, GPS 運用, 音響通信および音響測位にかかわる機能の確認・評価などを行っている.

第 13 図には港湾での運用を想定して実施した周回航走試験結果の一例を示し, このとき使用した UUV の諸元を次に示す.

長さ	5 100 mm
直径	324 mm
空中質量	328 kg
耐圧深度	200 m
最大速度	8 kt (約 15 km/h)
航続時間	2 h, at 3kt (鉛蓄電池)

120 × 60 m の四角形に沿って, 速度 5 kt, 深度 5 m で 8 周自律航走 (途中で 1 度の反転を含む) させたときの慣性航法測位による航走軌跡を示す. 図中の赤い線が航走軌跡であり, * が周回航走のために設定したウェイポイントである. 航走軌跡で図中右側に不連続になっている部分は, 慣性航法測位中に蓄積した誤差を音響測位値に基づき音響通信で補正したことを表している.



第 13 図 自律周回航走例
Fig. 13 Autonomous round cruising

4. 結 言

障害物回避を優先したウェイポイント追従を行い, 異常発生時には各異常に対処する UUV システム技術を保有していること, その動作確認および調整のために HILS シミュレータを含む各種試験環境があることを説明し, 当社の UUV 制御技術とその開発支援環境について紹介した. 今後の海洋開発・利用において本技術が貢献できることを期待する.

参 考 文 献

- (1) 海洋技術フォーラム: 我が国における海洋開発利用の基本戦略 海洋技術フォーラムシンポジウム資料 2009 年 6 月
- (2) T. Ura : Development of autonomous underwater vehicles in Japan Advanced Robotics Vol. 6 No. 1 (2002. 4) pp. 3 - 15
- (3) T. Ura et al. : Introduction to an AUV "r2D4" and its Kuroshima Knoll Survey Mission, Proc. Oceans'04 Kobe Japan (2004. 11) pp. 840 - 845