

AUV/ROV 技術について

海洋工学センター 吉田 弘

海中ロボット概説

海を故郷とする生命体であるヒトは、こころのなかに深海を見たいという思いが少なからずあるようだ。日本で最初にこの思いを成し遂げたのは西村一松氏であり、1929年に有人の潜水艇を開発した。1980年ごろからは、有人潜水船に加えて、遠隔操作型無人探査機（Remotely Operated Vehicle：ROV）や自律型無人探査機（Autonomous Underwater Vehicle：AUV）が開発できるようになった。エレクトロニクスの急激な発展によりヒトの代わりにセンサやコンピュータが高度化され、通信速度も急激に高速化したからだ。

深海無人探査機（ここからは海中ロボットとよぶことにする）は、有人潜水船に比べると、安全性のリスクを大幅に下げることができるので、費用を大幅に安くすることが可能だ。一方でヒトが操作に関わらないほど高い技術力が要求されるので、海中ロボット開発は技術者冥利につきるが、実用化はなかなか難しい。遠隔操作ができるROVは開発と同時に運用も開始され、国内にもROV開発メーカーが数社あり、数kgの小型なROVから、専用母船を必要とする数トンクラスの大型なROVまで運用されている。おもなROVのミッションは海中の搜索、海中映像等の記録、センサによる観測、マニピュレータによる作業などであり、海中建築物のメンテナンスから海底鉱物資源の探査まで広く用いられている。

自律型の海中ロボットであるAUVはROVと同様の時期に研究に着手されたものの、なかなか実用化できなかった。日本では1996年に東京大学の「R-One」が、2000年にはJAMSTECの「うらしま」が本格的なAUVとして海での初潜航を開始した。しかしながら、本格的な運用に至るまでは長い年月が必要であり、「うらしま」が公募運用されるようになったのは2011年のことである。2017年のいまでも、民間企業でしっかりAUVを運用しているのは国内では1社のみである。この理由は国内に有力な深海産業が無いために、海中ロボットのニーズがほとんど無いことによっている。一方、国外ではイラク戦争における機雷掃討で利用されるなどしてAUVは急激に発展し、現在では欧米にAUV専門メーカーが数社ある。我が国のAUVの基礎技術力は世界トップレベルであるが、量産化やオペレーションの単純化では欧米に先を越されている。

ROVとAUVの技術

この2つの探査機は無人ということから共通点も多い。大きな違いはヒトが直接操作するかしないかという点である。ROVはケーブルで繋がれているために幾つかの利点と欠点を有している。海中は電波が伝わらないために、直接操作をするためにはケーブルでつなぎリアルタイム通信を行う必要が生じる。通信をするのであれば電力も供給した方が有利であることから、ROVは母船から豊富に電力を供給している。よって、ROVが活動するためのエネルギーを制限する必要がなくなるため、推進装置は高出力で設計され、ハイパワーのマニピュレータや豊富な観測装置を搭載することができるようになる。つまり、オペレータは船上のモニタ装置をリアルタイムに監視しながらROVを操作することができ、マニピュレータによる作業を実施することができるのだ。不利な点は、ケーブルで繋がれているため、活動範囲は母船直下付近に限定され、母船が必須であるという点だ。

AUVはプログラムによって航行するため、ケーブルなどによる制限は受けず、運動性能が格段に向上する。また、システムの設計次第では母船を利用しなくても良くなり、大幅な運用コスト削減が期待される。しかし、すべての機能をロボットの機体内に有する必要がある。海中で利用できる電源は、主として化学電池となるため電力量が制限される。プログラムによって調査を行うため、航行センサとそれを処理

するソフトウェアが重要になる。もし、主要なセンサが故障した場合やプログラムにバグが発生した場合は、直ちに浮上して救難信号を送信し、母船により回収する必要がある。

共通の技術は、耐圧耐水技術(深海技術)、機体・流体構造技術、運動制御技術、通信・測位技術、センサとのインターフェース技術、運用技術などである。海洋ロボットは潜水艦と異なり排水量の大きな居住エリアを有さない。ロボットの浮力を得るためには浮力材とよばれる比重が0.4～0.6程度の材料を用いる。電子機器は、耐圧・耐水には耐圧容器とよばれる円筒形の金属容器(アルミ、ステンレス、チタンなどが用いられる)に収納する。耐圧容器は機能ごとに複数用意することが多く、耐圧容器同士は専用の水中ケーブルで接続される。(図1)機体構造はROVとAUVで大きく変わらないものの、流体構造は異なる。AUVは限られたエネルギーで航行するため、流体抵抗を低減できる形状とし、外周をフェアリングカバーで覆う。(図2)



図1 水中ケーブルが接続された耐圧容器



図2 AUV(左)はフェアリングカバーで覆われた流線型であるが、ROV(右)は危機がむき出しのフレーム構造である。

運動制御技術は特にAUVで重要になる。姿勢や速度をプログラム制御するため、形状による流体抗力と推進力を数値的に把握して運動モデルを作成して、制御則に反映する。制御には大抵の場合古典的なフィードバック制御が用いられる。海中は電波が伝わらないため通信と測位には音波が用いられる。音波であっても高周波になると吸収減衰が大きくなるため、数十キロHzの周波数が用いられることから通信の速度も数十キロbps程度と低速になる。また、音波は海水の密度変化などの影響を大きく受けるため、GPSのような正確な測位は難しい。そこで海中の測位には慣性航法装置とドプラー速度計が併用される。AUVは海中で故障が起きた場合に備えて、どんな場合でも必ず浮上できるように投下式の錘(バラスト)を搭載している。よく使われるのは電磁石で鉄を保持する方式で、電磁石に電源を供給する電池が無くなれば必ず浮上してくる。

海洋ロボットによく搭載されるセンサは、CTD(伝導度・水温・深度)計、海底の物質を音波で見るサイドスキャンソナー、音波で海底地図を作成するマルチビームエコーサウンダなどがある(図3)。

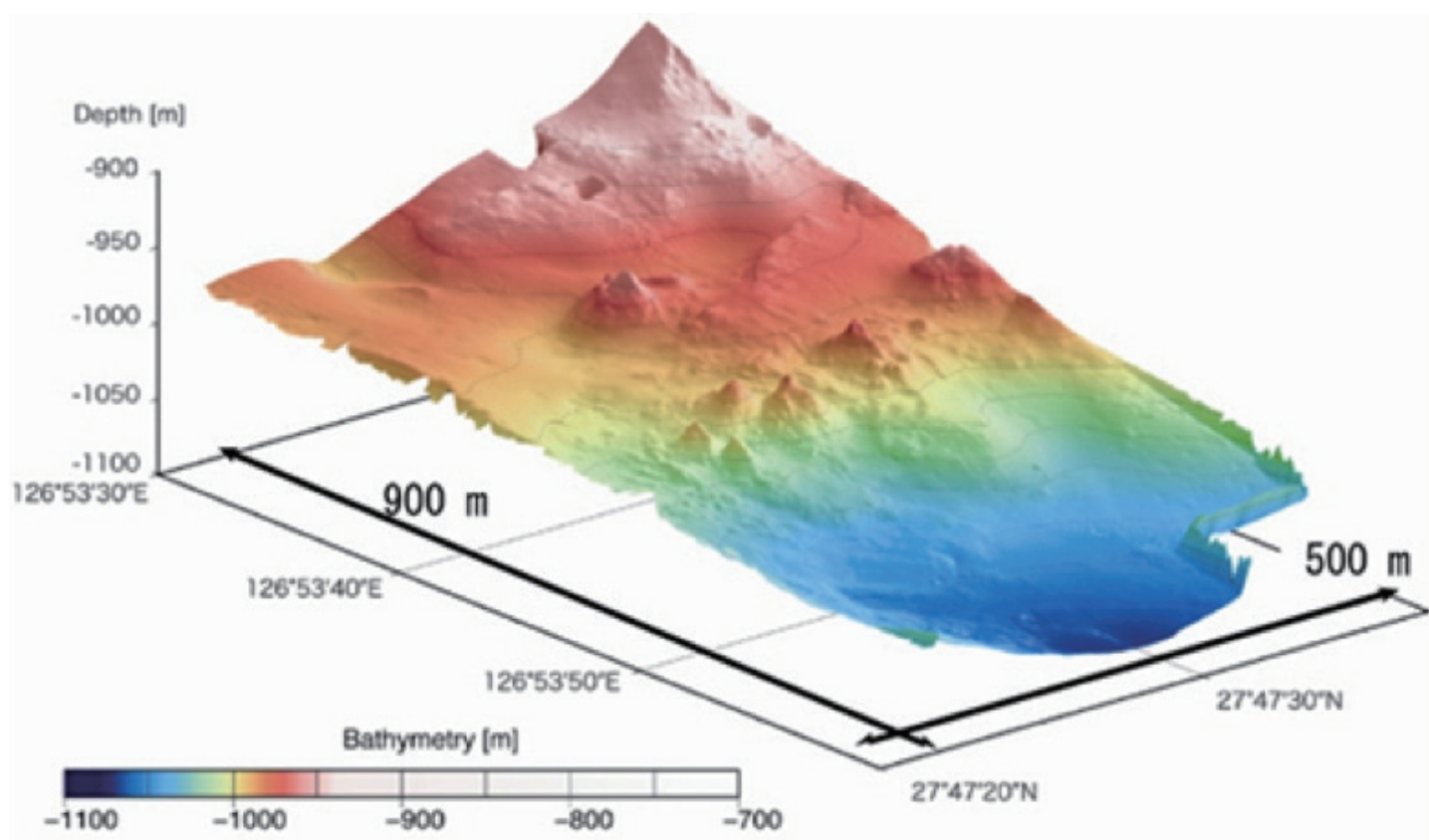


図3 「うらしま」で取得したマルチナロービームデータから作成した3次元地形図。

海洋ロボットの今とこれから

2017年現在の海洋ロボットのトレンドは、ROV利用からAUV利用へと移り変わってきている。AUV運用が圧倒的にコスト安だからである。諸外国の海軍では以前からAUVの導入が進んでいたが、近年ではオイル&ガス業界も、海中設備の点検にAUVを用いるようになってきた。2010年を過ぎた頃から、組込みマイコンレベルのCPUでも複雑な画像処理が可能になり、AUV本体内で画像による認識・分類が可能になってきたからである。さらにここ数年では機械学習の技術も飛躍的に進歩したために、海洋ロボット自身がセンサ情報から判断を行えるようになってきている。こういった技術のひとつがSLAM (Simultaneous Localization And Mapping) 技術であり、画像情報や音響情報から自己位置推定と地図作成を同時に行うことで、測位が難しい海中でのポジショニングに新たな手法を提供している。海中

ロボットの複数機運用もここ数年で多く実施され始め、Swarm（群制御）技術も研究が進んでいる。また、AUVの音響測位と通信中継として洋上ドローン（Autonomous Surface Vehicle：ASV）（図4）も開発導入され母船レスの海中ロボット運用化へ向かっている。これらの技術は小型から中型のAUVが対象になっている。



図4 国産のASVの例

用途が限られているが、超長距離を航行するAUV（海中グライダーという海中を滑空航行する探査機もあるがそれは含まない）も研究開発が進んでいる。前述のAUVは1日程度の運用時間であるが、このタイプのロボットは何ヶ月という長期スケールで海中を単独探査することを目標としており、動力源には深海燃料電池が用いられる。長距離の通信・測位も研究課題である。長期間連続動作ということで、システム信頼性や自動補修機能なども検討課題となっている。【AUVのタイプ別ロードマップ】

今後、コンピュータの高速化とAI技術の進歩、そして生物の仕組みや量子技術を取り入れたセンサの高度化によって、海中ロボット自身の高知能化が進んでいこう。また、通信・測位にも全く新しい媒体、たとえばニュートリノなどが導入されれば、地上の電波と同じような使い方が実現されるかもしれない。海中はヒトが立ち入れない場所である。ロボットがどんどん高度化され、ヒトの代わりに海中に入っていけば、そこに新たな産業も生まれ、リアルタイムに緻密な海洋・海中データをクラウドに貼り付けられれば、ヒトはバーチャルに深海に入って行けるだろう。海中ロボットは近い将来、人間社会に新たな恵をもたらすだろう。そう考えてワクワクする毎日を過ごしている（図5）。

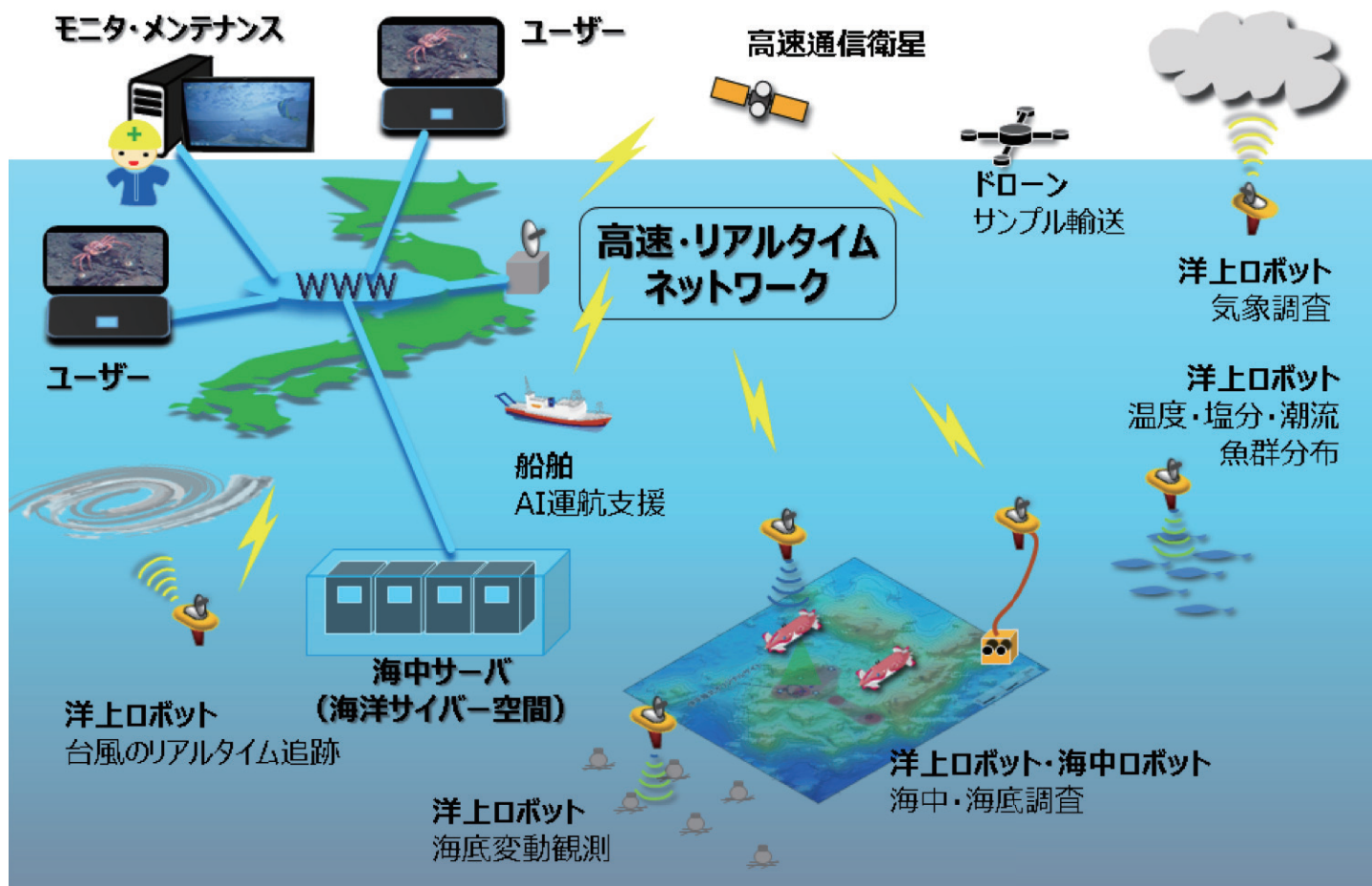


図5 近未来：海洋サイバー空間