

短 報

バッテリー駆動による 2000m 級小型 ROV の開発と 運用法の構築

山本 潤^{*1}, 岩森利弘^{*2}, 星 直樹^{*3}, 阿部拓三^{*3}, 坂岡桂一郎^{*3}
 亀井佳彦^{*3}, 高木省吾^{*3}, 沼本 修^{*4}, 阪 幸宏^{*4}, 桜井泰憲^{*5}
 末岡和久^{*2}, 有村博紀^{*2}, 渡邊日出海^{*2}

Development of a Battery Powered Compact 2000m Class ROV System and Its Method of Operation

Jun YAMAMOTO, Toshihiro IWAMORI, Naoki HOSHI, Takuzo ABE, Keiichiro SAKAOKA, Yoshihiko KAMEI,
 Shogo TAKAGI, Osamu NUMAMOTO, Yukihiro SAKA, Kazuhisa SUEOKA,
 Hiroki ARIMURA and Hidemi WATANABE

We developed a battery powered compact 2000m class ROV (Remotely Operated Vehicle) system with a High-Definition video camera. It does not require specialized equipment to operate. It can be operated using only general purpose equipment. This system mainly consists of a shipboard controller, a vehicle and a launcher. A thin, light optical fiber cable (diameter 9mm, length 2,500m), the primary cable, transfers control data and video images between the shipboard controller and the launcher. The secondary cable, a composite cable (diameter 14.2mm, length 50m), transfers control data and video images and supplies power to the vehicle from the six packs of lithium-ion batteries, which are mounted in the launcher. The launcher is suspended by a rope from the support ship, and the depth of the launcher is adjusted by changing the length of the rope using a general purpose rewinder.

Although initially, we had some trouble due to the launcher rope and the primary cable getting tangled, a newly-designed instrument that restricts the movement of the carabiner, and the use of a low expansion rope, facilitated smoother operation and an easier recovery of the ROV.

2011 年 11 月 17 日受付, 2012 年 3 月 26 日受理

遠隔操縦無人潜水機 (ROV: Remotely Operated Vehicle) は, 大深度や人間の潜水が危険な水域においても使用が可能な水中機器である。深海域におけるフィールド研究において ROV に搭載されたカメラによる映像データは大変有効であり, 生物の行動や生息環境¹⁻²⁾, 熱水鉱床³⁾, 巨大地震による海底地形への影響⁴⁾ および

漁業による深海サンゴなどへの影響⁵⁾ 等, 広い分野の調査で活躍している。しかし, ROV を深海まで潜航させて調査し, その後回収するには, 巨大なケーブルウインチや送電用高圧電源装置などの特殊な専用設備を搭載可能な大型で特殊な船舶が必要となり, ROV による深海探査の機会は, 実質上制限されているのが現状である。

*1 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

〒041-8611 函館市港 3-1-1 北海道大学

Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan

yamaj@fish.hokudai.ac.jp

*2 北海道大学大学院情報科学研究科

*3 北海道大学水産学部

*4 広和株式会社マリンシステム部

*5 北海道大学大学院水産科学研究院

本研究では ROV の運用に大型で特殊な専用設備を必要とせず、大学の練習船などでも運用が可能な 2,000 m 級小型 ROV システム HUBOS-2K (Hokkaido University Bottom Sampler 2,000; 写真 1) の開発と運用法を構築することにより、深海域へのアクセスを容易にし、水産分野をはじめとする深海域をフィールドとした研究の発展に貢献することを目的とした。

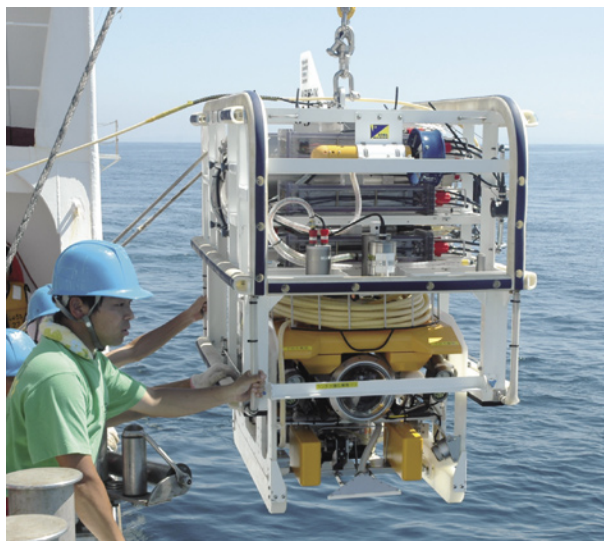


写真 1. 潜航前の HUBOS-2K。2次ケーブルはランチャとビークルとの間に巻かれて収納されている。2011年7月17日相模湾にて。

システム開発と基本的な運用法

本研究では、ハイビジョンカメラを搭載し小型かつ軽量で汎用の設備を用いて水深 2,000 m までの探査が可能であることをコンセプトとして ROV システムの開発を進めた。本システムでは、まず運用のしやすさから目的深度付近でビークル (ROV 本体; 図 1a) をランチャ (中継器; 図 1b) から離脱させる方式を採用した。そしてビークルとランチャの軽量かつ小型化、支援船に送電用の高圧電源装置や大型の専用巻き上げ装置などの設備を必要としない運用を行うために以下の特徴を持たせた。

①ランチャ内に 6 台のリチウムイオン電池 (1 台当たり: 長さ 60 cm, 幅 17 cm, 高さ 11 cm, 9.9 kg, 26.6 V, 30 Ah, 充電器は交流 100 V 電源使用) を内蔵し (図 1 (15)), ランチャとビークルに電源を供給する (最大連続稼働時間約 8 時間)。

②支援船から垂下したロープ (図 1 (28)) によってランチャを吊り、その水中重量や水の抵抗を支える。一次ケーブル (図 1 (26)) は通信と映像転送に特化し、3 本の光ファイバーケーブルを補強した細く軽いケーブル (直径 9 mm, 4.5 g/m 海中) を採用する。ランチャとビークルとを接続する二次ケーブル (直径 14.2 mm 光複合テザーケーブル, 長さ 50 m, 図 1 (13)) は離脱前にはランチャとビークルの間に巻かれて収納されるが (写真 1), 離脱後はランチャに収納されずに伸びた状態のまま浮上する。尚, 2 次ケーブルには, 抗張力体のケブラー繊維が織り込まれており切断のリスクを

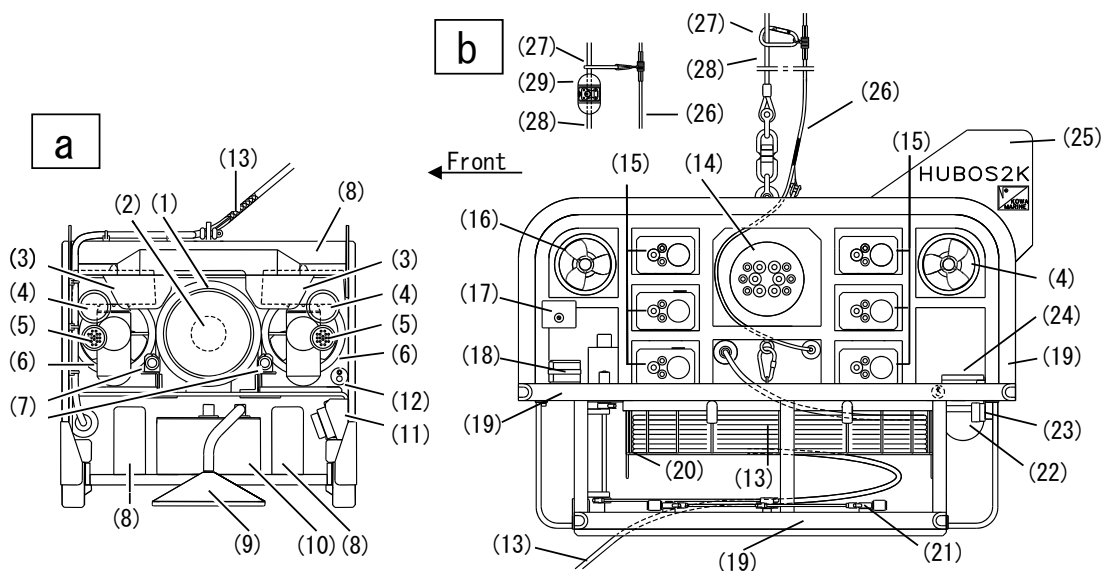


図 1. a) ビークル; 長さ 96 cm, 幅 65 cm, 高さ 63 cm, 空中重量 (採泥器有/無) 129 kg/110 kg, 水中では中性浮力。 b) ランチャ; 長さ 147 cm, 幅 95 cm, 高さ 100 cm, 水中/空中重量 93/230 kg。(1) 主耐圧容器 (2) ハイビジョンカメラ (3) 垂直移動用スラスタ 200 W (4) HID ライト 35 W (5) LED ライト 45 W (6) 水平移動用スラスタ 200 W (7) レーザースケール 250 mm 幅 (8) 浮力体 (9) 採泥器取込口 (10) サンプル容器 (11) 0.4M CCD カメラ (12) 深度・水温センサー (13) 2次ケーブル 50 m (14) 主耐圧容器 (15) リチウムイオン電池 (16) 旋回用スラスタ 200 W (17) 主スイッチ (18) 高度計 (19) パンパー (20) ケーブルケース (21) ビークル離脱用アーム (22) 0.4 M CCD カメラ (23) LED ライト 44 W (24) 深度センサー (25) ウイング (26) 一次ケーブル 2,500 m (27) カラビナ (28) ロープ (29) カラビナストッパ

小さくしている。完成したビークル（長さ 96 cm, 幅 65 cm, 高さ 63 cm, 最大空中重量 129 kg）およびランチャ（長さ 147 cm, 幅 95 cm, 高さ 100 cm, 最大空中重量 230 kg）は、汎用の設備でも吊上・下げが十分に可能な大きさと重量に収めることができた。

本システムの基本的な運用法は、合体したランチャ／ビークルを甲板からクレーンなどで吊上げて海面へと下し、ランチャに連結しているロープをビットやキャプスタンなどを用いて繰り出す。この際、一次ケーブルをできるだけロープに沿わせるため、ケーブルにカラビナ（図 1（27））を一定間隔で装着し、これをロープに掛けながら伸出させる。浮上の際は、ロープをキャプスタンなどで巻き上げ、カラビナを外しながらケーブルを人力で手繰り、甲板上に固縛したケーブルドラムに巻き取る。ランチャを甲板上に収容後、ビークルを支援船に寄せて二次ケーブルと一緒に収容する。

運用法の構築

本システムは 2010 年 3 月に完成し、北海道大学付属練習船おしよる丸（1,396 トン）を支援船として運用を開始した。同船は 1984 年に漁業練習船として竣工し、大型ウインチや A フレームなどの重量物を引き上げる設備は有していない。2010 年 3 月 10 日に北海道南西部で実施した初潜行では運用の手順とビークルおよびランチャの動作確認のために水深約 50 m の浅い深度での潜行を行った。潜航は、まず前方甲板（以下、甲板）からデリックを用いて合体したランチャ／ビークルを吊上げて海面まで降ろし、その後、ランチャに連結しているロープ（テザック社製ナイロンダブラーロープ、直径 14 mm, 規格強度約 5.5 トン）を左舷の舷側に取り付けた二本立てのビット（直径 14 cm, 高さ 40 cm, 中心間隔 40 cm）に“8 の字”に掛け、徐々に人力でロープを緩めながら海中へと伸出させた。一次ケーブルは、甲板右舷側に固縛したケーブルドラムから繰り出しロープの繰り出しに合わせてケーブルに 25 m 毎に装着されたカラビナを掛けながら伸出させた。大きな問題なく海底付近に達し、ビークルをランチャから離脱させて海底の探査を行った。船上からのジョイスティック式のコントローラによるビークルの操作性は非常に良く、遊泳する魚類を追跡し、その遊泳行動をハイビジョンカメラによって鮮明に観察することができた（写真 2）。浮上時には、甲板左舷に設置された押付型ネットホーラー（鈴木鉄工製 STH-200K）を用いてロープを巻き上げた。浮上するにつれてケーブルとロープとの複雑な絡みが何ヶ所も発生し、絡みの解消と回収に困難を要した。これらの絡みは偶然発生した可能性も考えられたため、同 3 月 15 日に絡みの対策をせずに同じ運用方法で同海域付近の水深約 800 m の海底探査を行った。潜行は順調に進み（潜航速度約 16.1 m/min）約 48 分後に水深 775 m の



写真 2. HUBOS-2K に搭載されたハイビジョンカメラによるアンコウの遊泳行動の観察。水深は 50 m。

海底に到達することができた。海底探査の後に離底したが、前潜行と同様にロープとケーブルとが何箇所も複雑に絡んでおり、ランチャをロープで垂下する方法の問題が明らかになった。絡みの発生する原因は状況から推察すると、カラビナが移動してケーブルが所々で張った状態となり、これにロープのヨリが戻りケーブルを巻き込んだ、また、同様にカラビナが移動してロープ連結部のシャックルに固定されてロープのヨリが戻りケーブルを巻き込んだ等の可能性が考えられた。そこで、カラビナの移動を制限し、さらにロープの回転がカラビナに伝わるのを防ぐ“カラビナ・ストップ”（以下、ストップ 図 1（29））を考案した。この器具は上下部が半球形となった俵状をしており、縦に開閉してロープに装着する。カラビナはロープ上のストップを通り抜けることができず、またカラビナがストップの上・下部に接触してロープのヨリが戻った場合でも、カラビナが滑りケーブルの巻き込みを防止する。オモリとロープおよびケーブルを用いた予備試験ではストップを 50-100 m 間隔で装着すると効果が認められた。同年 12 月に襟裳岬沖の陸棚斜面で実施した潜航では、ストップの装着間隔を 50 m 区と 100 m 区に分けて行い、実運用における効果的な装着間隔を調べた。カラビナは 50 m 毎にロープに掛け、これまでと同じ直径 14 mm ナイロン製ダブラーロープを用いた。このロープは伸び率が高く（規格強度時の伸び率約 23%）、船体の動揺などで大きなテンションがかかることも考慮し、ロープに対してケーブルを約 1.3 倍の割合で伸出させた。ストップを装着しながらの潜航は順調に進んだがケーブルをほぼ出し切った状態（ケーブル長 2,375 m）で水深 2,036 m（41°06.9'N, 143°11.4'E）に着底した。着底時のロープ長は 1,828 m でロープの伸び率は約 11% であり、想定伸び率よりも小さかった。また着底までに要した時間は 2 時間 53 分後（潜航速度約 11.8 m/min）であった。離底後、浮上途中での絡みは大幅に減少したが、ストップ間隔が 100 m の 3 カ所で複雑な絡みが発生していた。離底から甲板上に回収するまでに要した時間は 2 時間 18 分後（浮上速度約 14.8 m/min）であった。

本運用からカラビナは 50 m 間隔の装着が効果的で、

さらにケーブル長を有効に使用するには低伸縮のロープを用いることが必要と考えられた。そこでストップの装着を全区間において50 m 間隔で装着し、伸び率が小さい超高分子量ポリエチレン製ロープ（ニチモウ社製 MegatonX, 直径 14 mm, 規格強度約 10.9 トン, 伸び率 3-4%）を用いた運用を 2011 年 7 月 17 日には相模湾にて実施した。本潜航ではケーブルをロープに対して 1.05 倍で伸出し、ストップの装着は全区間において 50 m 間隔で装着した。さらに、カラビナの両方向の移動を制限するために適宜にカラビナの上下にストップを装着した。潜行は、これまでと同様に順調に進み 1 時間 28 分後（潜航速度約 14.0 m/min）に海底（緯度 35°03.4'N, 経度 139°25.0'E, 水深 1,235 m）に到達した。ビークルによる海底探査の後にロープを巻き上げて離底した。浮上時にはケーブルのたるみや張り、さらにロープへの絡みはほとんど認められず 1 時間 3 分後（浮上速度約 19.6 m/min）に甲板上に収容した。本運用法（図 2）により本システムの運用法は実用レベルに達したと考えられる。

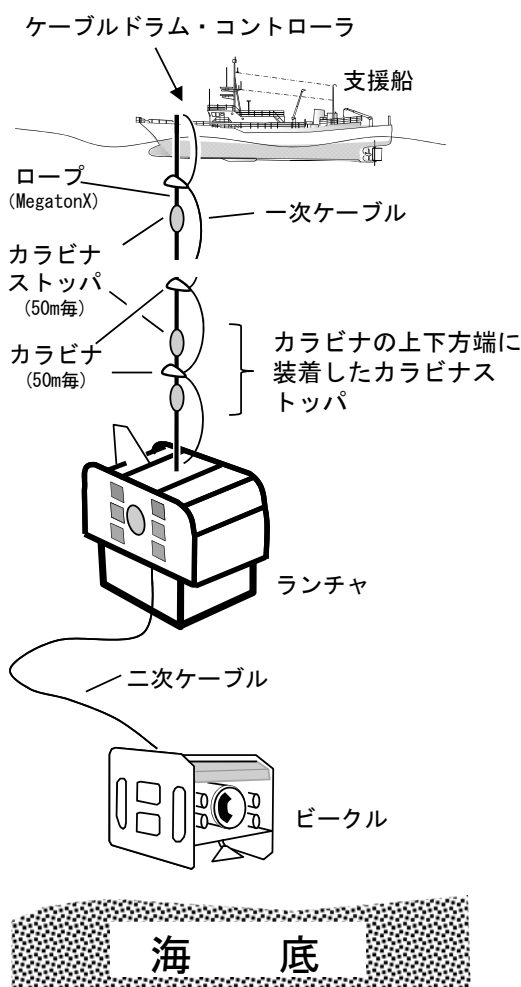


図 2. 構築した HUBOS-2K の運用図。伸縮性の低いロープを用い、カラビナストップを 50 m 毎にロープに装着している。さらに、ストップを適宜にカラビナの両端に装着して上下方向のカラビナの移動を制限している。

おわりに

本研究では、ロープとケーブルとの絡みを軽減させるストップと低伸縮のロープを用いることにより特殊な装備のない船舶においても手作業により 2,000 m までの探査を可能とした。現在、日本近海において学術調査で活躍する独立行政法人海洋研究開発機構の ROV ハイパー・ドルフィン (<http://www.jamstec.go.jp/j/about/equipment/ships/hyperdolphin.html>) は 3,000 m までの探査が可能であるが、大型であるために専用設備を搭載した支援船が必要となっている。HUBOS-2K はハイパー・ドルフィンの最大探査深度まで潜行できないが、おしよる丸だけではなく、他の大学の練習船や調査船などを用いて、陸棚から陸棚斜面域、また、海山や堆周辺をフィールドとする水産分野をはじめ多くの研究で十分に活用することができると考えられる。また、その際には既存の設備をどのように使うのか、人員の配置、役割分担などを船側と綿密に打ち合わせを行い、士官のみならず乗組員とも情報を共有し綿密に打ち合わせすることが極めて重要である。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、多大な協力を頂いた北海道大学水産学部附属練習船おしよる丸の皆様、広和株式会社マリンシステム部の皆様、北海道ニチモウの宮下英司氏に謝意を表します。本研究は、北海道大学情報研究科グローバル COE プログラム“知の創出を支える IT 基盤拠点”の一環で行われた。

文 献

- STEIN, D. L., J. C. DRAZEN, K. L. SCHLINING, J. P. BARRY, and L. KUHNZ, (2006) Snailfishes of the central California coast: video, photographic and morphological observations. *J. Fish Biol.*, **69**, 970-986.
- PREEZ, C. D., and V. TUNNICLIFFE (2011) Shortspine thornyhead and rockfish (Scorpaenidae) distribution in response to substratum, biogenic structures and trawling. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **425**, 217-231.
- PEDERSEN, R. B., H. T. RAPP, I. H. THORSETH, M. LILLEY, F. BARRIGA, T. BAUMBERGER, K. FLESLAND, G. BERNASCONI-GREEN, K. FLESLAND, and S. L. JØRGENSEN (2010) Discovery of a black smoker field and vent fauna at the Arctic Mid-Ocean Ridge. *Nat. Commun.* **1**: 126.
- MOSHER, D. C., J. A. AUSTIN JR., D. FISHER, and S. P. S. GULICK (2008) Deformation of the northern Sumatra accretionary prism from high-resolution seismic reflection profiles and ROV observations. *Mar. Geo.*, **252**, 89-99.
- Heifetz, J., R. P. Stone, and S. K. Shotwell (2009) Damage and disturbance to coral and sponge habitat of the Aleutian Archipelago. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **397**, 295-303.