

ダイバー支援のための無人潜水機について

岡本 峰雄*¹ 福田 俊一*¹ 柴田 正樹*¹
山口 仁士*¹ 沼田 光政*¹ 青木 昱*¹

ダイバー支援のための無人機2種について検討した。調査潜水の場で浅海ダイバー支援に用いた無人機については効果が認められなかった。海中作業実験船「かいよう」からの飽和潜水時に運用可能な深海ダイバー監視用無人機は、有効性は認められたが国産で使用可能なものは無く、開発が期待された。

そこで、我国最初の実用型ランチャー方式の無人機「ホーネットランチャーシステム」の開発を行った。1989年1月の完成後、室戸沖の深層水取水管の敷設状況調査、初島沖の200m潜水実験、300m潜水実験、潜水実験候補海域調査、の4実験で合計21回、のべ65時間31分運用された。本装置により深海潜水の安全性と効率を高めることができ、またダイバーと共同して海底に大型重量物を設置回収できる見通しが得られた。またDPS船「かいよう」から運用することで、海洋構造物の下面や脚部構造物の点検、海洋生物の数昼夜以上に及ぶ連続観察等への利用が可能となった。

キーワード：深海潜水, 無人機, ダイバー支援, ダイバー監視

A Conceptual Examination of Diver Assist ROVs and Development of a Launcher-type ROV-HORNET LAUNCHER SYSTEM

Mineo OKAMOTO*² Shun-ichi FUKUDA*²
Masaki SHIBATA*² Hitoshi YAMAGUCHI*²
Mitsumasa NUMATA*² Akira AOKI*²

Two concepts of diver assist ROVs are examined. They are for shallow water research diving and for deep saturation diving. A small observation ROV which had been expected to reduce the diver's hard work was proven to be a tiresome

*¹ 潜水技術部

*² Diving Science and Technology Department

apparatus for a small research group. The ROV for deep diver manitoring was expected to be a good apparatus to increase the diver's safety and to do combined Diver/ROV operations.

The New 500m ROV system, which is able to operate simultaneously with diving bell operation from a dynamically positioned research vessel 'KAIYO', had been developed and completed on January 1989. The ROV named HORNET LAUNCHER SYSTEM was used for four experimental tasks from January until July in 1989 from 'KAIYO'. It was used for surveying of flexible pipeline, monitoring 200msw depth saturation divers and diving bell, monitoring 300msw saturation diving and for presurvey at new dive sites. The vehicle was launched 21times, and swayed down for a total of 65hr 31min at depths ranging 60 to 300msw. The HORNET L. S. is the first Japanese made launcher-type ROV for practical use and the only ROV available which works together with a DP vessel in Japan.

Key word: Diver Assist Vechicle, Saturation diving, ROV. Diver Monitoring.

1 はじめに

ダイバーによる有人潜水は深度の増加に伴って困難性を増し、支援設備と経費の増大をもたらす難点がある。ダイバーの装備品も安全面での配慮から重く大きくなり、スクーバ潜水のように自由に遊泳したり細かな作業を行うことは苦手となる。一方無人潜水機（以下、無人機）の性能は飛躍的に向上し、かなりの作業をダイバーと同等に実施し得るようになってきた。すでに欧米の海中作業先進国では、観察やワイヤーの切断や付け替え等の単純作業は無人機で行うのが一般的となっており、大気圧潜水装置でさえその必要性が疑問視されるに到っている。複雑な作業についても、海中構造物の設計段階からダイバーレスで保守管理ができるようなシステム設計¹⁻⁴⁾をしたり、無人機の一層の性能向上等の研究⁵⁾が進められている。また海中作業は大規模化の傾向にあり、ダイバーレス化を目指した装置の海底設置工事⁶⁾等がその典型といえる。通常維持管理をダイバーレス化するために海中機器の自動化、単純化を進めると必然的に各種安全装置を要することになり、全体システムが大型化する。そして建造段階でもダイバーレスが図られていた⁶⁾にもかかわらず、実際にはダイバー作業を要した⁷⁾等のこともある。

今後とも海中作業はダイバーレス化の方向で研究開発が進められ、長期的にはロボットや無人機

が主体になると考えられる。潜水に関して世界で最も厳しい安全管理を行っているノルウェーにおいては、180mを越える海中作業ではこの10年以内に、ダイバーの役目は無人機のバックアップが主になるとの予想もされている⁸⁾。しかし無人機であっても、海中作業に用いる場合にはDPS（動的船位保持装置）を装備した支援船のように確実な足場となる場所から運用する必要があり⁸⁾、作業内容と深度によっては有人潜水に対して優位とは限らない。またダイバーは水中乾式溶接の支援¹⁰⁾、特殊作業¹¹⁾、海底設置型石油生産基地（サテライト）の維持管理段階での予期せぬ事態¹²⁾への対応、事故対策¹³⁾等の分野では将来にわたっても重要な位置を占めることが確実視されており、450m潜水の実用化にむけて研究開発が活発に行われ^{14,15)}、また効率良いダイバー作業を行うための海中機器の単純化の研究開発¹⁶⁾も進められている。実際の海中作業では、ダイバーや無人機単独では一連の作業を完結させるのは困難であり、両者を組み合わせて作業の効率化を図ることが必要となっている。

本稿ではダイバーと無人機の組合せによる効果を明確にすることを目的とし、ダイバー作業を支援するための無人機の現状と可能性を検討した。また、その検討結果に基づいて製作されたランチャー方式の無人機の概要およびその運用結果等につい

て報告する。

2 ダイバーを支援するための無人機 の概念について

無人機の運用は作業目的によって小型船舶、DPS装備船舶、リグ、海底石油・ガス資源開発用プラットフォーム等種々異なった足場から行われる。そして作業によっては無人機単独でなく、大型クレーン設備やダイバーとの共同作業となる。ここでは潜水作業を主体として考え、その支援にどのような形で無人機を関与させまたは利用できるのかを検討した。

ダイバー支援のための無人機概念として、(i) 単純作業を無人機に任すことによりダイバー作業を減少させる、(ii) 常時海中状況やダイバーの状況を監視し、また船上と海底の仲介役として潜水の安全性、作業性を向上させる、(iii) ダイバーの使用する作業工具類、動力源の運搬等の重量物運搬を肩代わりする、という3種¹⁷⁾が考えられる。また潜水の方式によってもダイバーの必要とする支援内容は変わってくる。典型的な潜水のパターンと、それに対して考えられる支援装置の関わりを簡単に整理して表1に示した。潜水は飽和または短時間に大別されるが、それぞれが調査潜水と作業潜水の場合で一回の潜水時間（ロックアウト時間）が異なる。無人機としては、短い潜水時間を支援するには小型の観察用機種での補助

作業、長い潜水時間に対応したものとしてはダイバーの作業機器となり得るダイバー操作型、深海の飽和潜水では単なる監視用無人機の必要性も考えられた。そこでダイバー支援用無人機を、(i) 浅海ダイバー支援用無人機、(ii) 深海潜水ダイバー監視用無人機、(iii) ダイバー操作型無人機、の3種に大別して検討することにした。

浅海ダイバー支援用無人機はスクーバを用いた調査研究のための潜水を対象に、潜水の事前調査やダイバーの補助作業を行うための無人機として位置付けた。簡便な小型観察用無人機がこれに相当し、国産の小型無人機の多くはこの範疇に含まれる。本稿では人工魚礁を対象にした調査潜水の場で使う無人機¹⁸⁾として検討し、その結果を報告する。

深海潜水ダイバー監視用無人機は、DPS装備潜水支援船からの飽和潜水時に、ダイバーや潜水装置の監視に用いる無人機とした。外国製のRCV 225, SEAOWL, DART, SCORP I, 等のランチャー付き小型無人機¹⁹⁾がこの範疇となる。本稿では海中作業実験船「かいよう」をDPSによって定点保持し、飽和潜水装置SDC/DDCシステムを用いて水深300mまでの潜水作業を行う場合に使用するための無人機として検討し、その結果を報告する。さらにその検討結果に基づき、「300m潜水作業技術の研究開発」(ニュー

表1 潜水パターンとダイバー支援装置の概略分類
Table 1 Concept of diver assist vehicle for typical diving works.

潜水方式	潜水の目的	潜水深度	潜水時間	支援装置の形式
短時間	調査	30 m	20分	浅海ダイバー支援型
"	作業	10	8時間	ダイバー操作型
飽和	調査	30	2時間	ダイバー操作型
"	作業	200	4時間	深海ダイバー監視型 ダイバー操作型

シートピア計画)の一環として「ホーネットランチャーシステム」を開発したので、その概要と運用結果について報告する。

ダイバー操作型無人機はダイバーが操縦する形式の装置で、海中ブルドーザや海中フォークリフト等に類する作業機器として位置づけた。小型無人機の延長線上にある浅海ダイバー操作型のものと大型海中工事や深海潜水で使用する大型装置の2種が考えられる。前者では概念検討が行われたRODAP²⁰⁾、後者では5基製作されたDAVID^{21,22)}が代表例であるが、この検討結果については別途報告する。

3 浅海ダイバー支援用無人機について

3.1 ダイバーによる人工魚礁調査について

著者らは、水深30mの海域に設置された人工魚礁で魚類の種類や行動生態に関する調査を行ってきた²³⁾。調査には5tクラスの小型船を用い、(i)ダイバーによる魚類の調査、(ii)海底設置型測器類による魚群行動の昼夜連続計測、(iii)魚群探知機を用いた海上での航走調査、の3種を組み合わせた手法で継続調査を実施した。調査の主要手段はダイバー作業であり、第1回の潜水で魚礁を探索して係船索を浮上させ、船はそこに係船した。次に海底設置型測器類(2昼夜の計測が基本)を目的の場所に設置し、以後は潜水観察と魚探調査を行い、最後の潜水で測器を回収し、係船索を切り離してダイバーはそれ伝いに浮上した。参加したダイバーは最低4名であり、潜水は2名ずつが一組になって行った。人工魚礁の配置と設置状況を図1、写真1に、概略の調査方法、参加人員、使用機器等を表2に示した。なお調査日程は理想的な海象状況の場合を示してあり、実際には荒天や波浪の影響で大幅な変更となるが多かった。また調査参加者はこの数よりも多いことがほとんどであった。ここに示した調査手法は、魚礁調査としては相当に密度が濃く一般的なものではないが、厳密な調査潜水の典型的な例と見なして良いと考えた。

この調査の過程でダイバー作業についていくつかの限界と基本的な問題点を感じ、何らかの支援装置を用いて調査研究の一層の前進を図りたいと

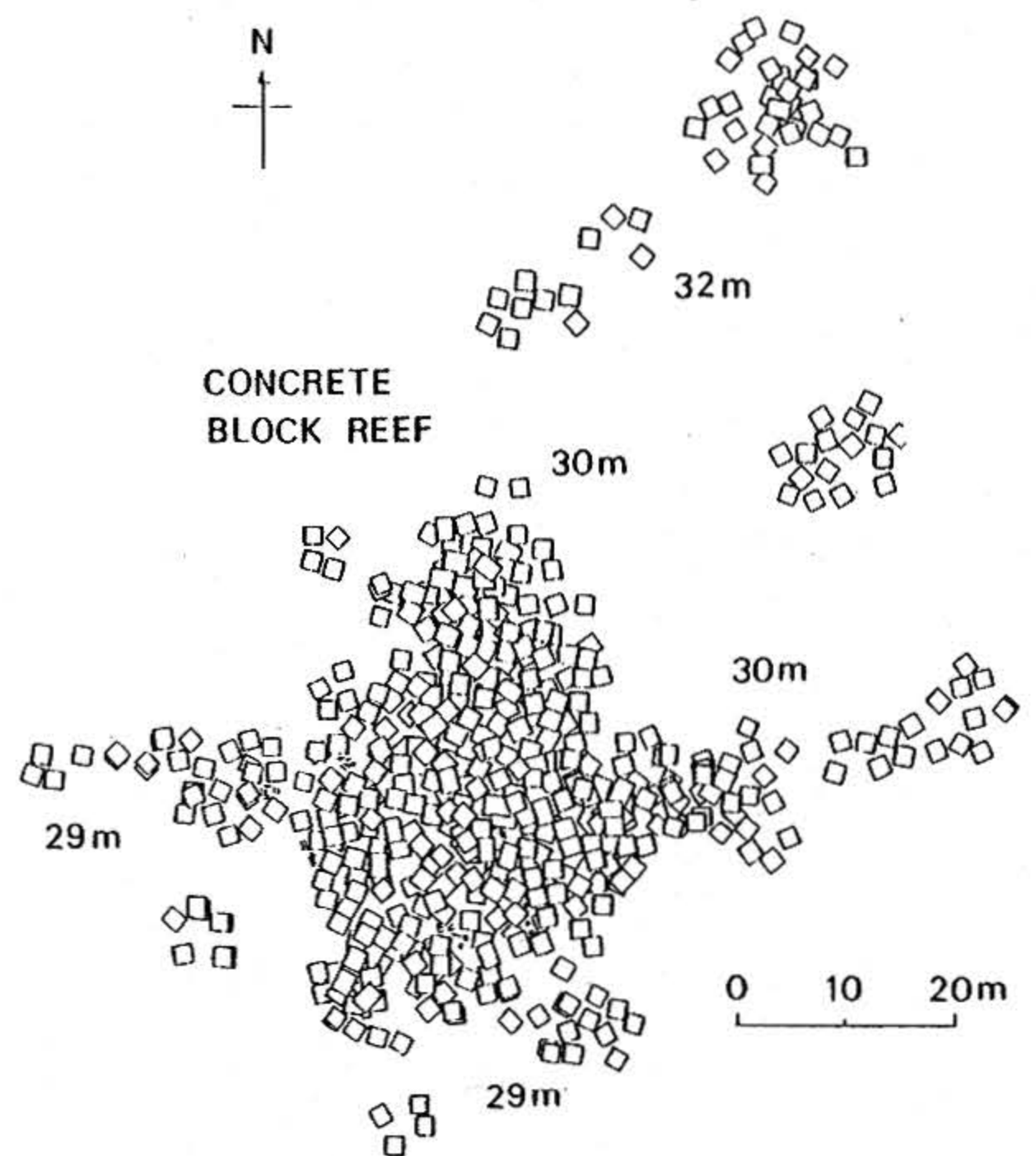


図1 人工魚礁の配置

Photo 1 Setting configuration of artificial fish reef.

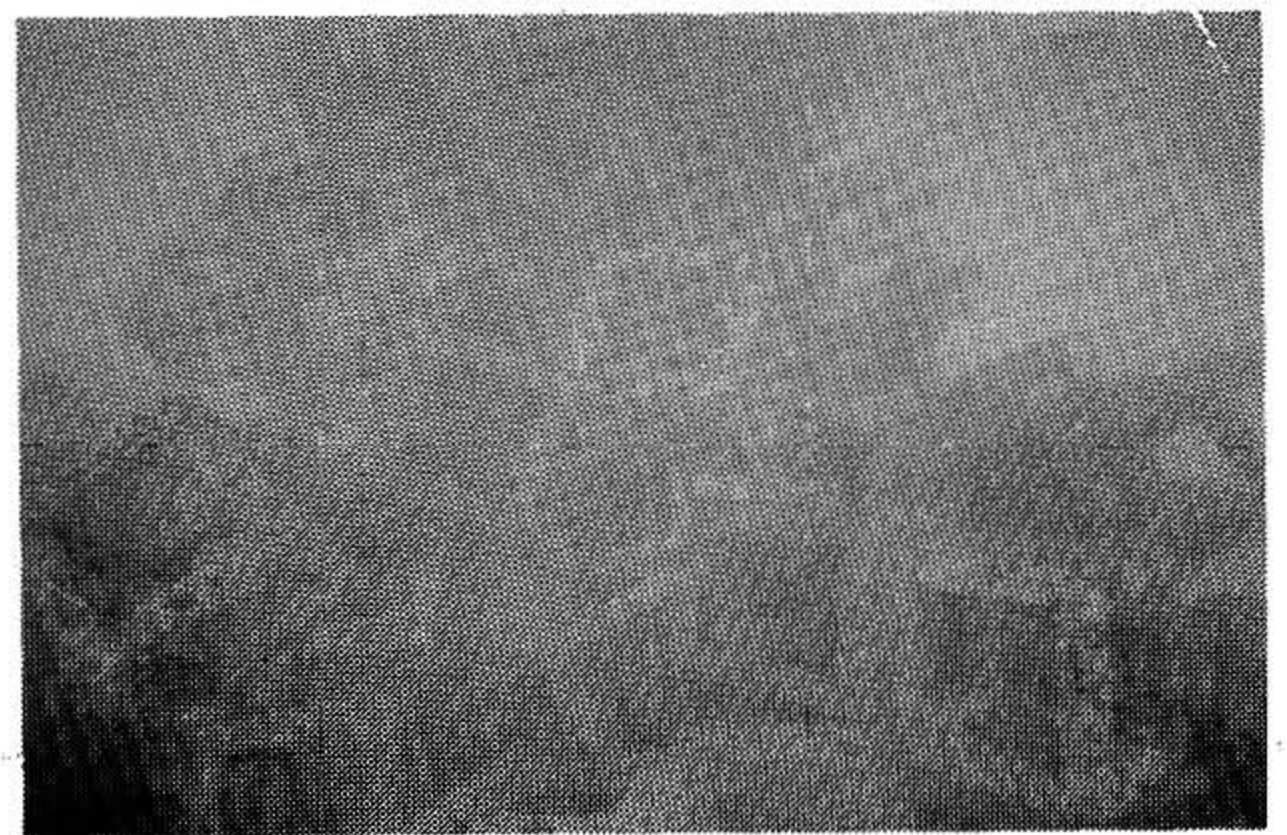


写真1 人工魚礁

Photo 1 Artificial fish reef

の希望を持っていた。問題点は次のような項目であった。

(1) 魚礁からの係船索設置の困難性

調査計画上で最も重要なのは事前作業の短縮化であった。第1回の潜水で魚礁の探索と係船索の設置を行うが、この作業に失敗すると第2回目の潜水で再度魚礁の探索をせざるを得なくなる。これは4人のダイバーを半日拘束する作業量となった。

表 2 ダイバーによる人工魚礁調査の概念
Table 2 Procedure of diving survey at the artificial fish reef.

1. 調査参加者		
(1) 観察者 (ダイバー)		4 名
(2) 操船者		1 名
2. 使用装置		
(1) 小型船舶		1 隻
(2) 潜水装備品 (常用 4, 予備 1)		5 式
(3) 係船索 (浮上用ベスト付き)		2 式
(4) 浮力調整用耐圧ブイ		5 ~ 6 個
3. 調査機器		
(1) 潜水調査用	水中カメラ	4 式
(2) 連続計測用	設置型自動カメラ	2 式
	設置型自動魚探機	1 式
	設置型流向流速 水 温 計	1 式
(3) 航走調査用	計量式魚群探知機	1 式
	船速計とコンパス	1 式
4. 調査日程		
(1) 第 1 日		
午前 :	Dive 1.	魚礁探索と係船索設置
	Dive 2.	自動測器類設置
午後 :	Dive 3, 4.	魚類調査
(2) 第 2 日		
午前 :	計量式魚群探知機による航走調査	
午後 :	Dive 5, 6.	魚類調査
(3) 第 3 日		
午前 :	Dive 7, 8.	魚類調査
午後 :	Dive 9.	測器類回収と係船索外し

(2) 短い潜水時間と多くの準備, 整備作業

調査潜水は安全上の配慮から無減圧で行うのが原則である。水深 30 m で 1 日 2 回の潜水を行い途中 4 時間の休息をとる場合, 第 1 回が 25 分, 第 2 回が 18 分となる。これには潜降時間も含まれるので, 実質の海底での作業時間はそれぞれ約 22 分, 15 分となる。この観察時間をさらに伸ばすことが望まれた。潜水装備品の準備及び整備作業, 調査機器の準備及び整備作業, 現場海域間との船舶の移動等の作業, 調査結果の記録等の付帯作業のため, この 2 回の潜水を行うことで参加ダイバーはほぼ一日活動状態となり, 他の作業を並行して行うのは困難であった。

(3) 運搬可能機器の数量制限

ダイバーは係船索伝いに潜降し, 調査終了後はその索伝いに浮上するのが原則である。しかしダイバーは海中で各所に移動するため, 係留索の位置まで戻れず, 目印なしに浮上することもある。従って潜水観察時に運搬する調査機材は, 浮上操作及び海面での遊泳の妨げとならない量以下にすることが必要であり, 水中カメラ一式 (水中ストロボ付きニコノス等) と記録用具程度しか運搬できなかった。機器の設置回収等を目的とする場合, 作業位置の近くにガイド索 (係船索もしくは別の係船索) を張ってそれ伝いに機器を沈設・回収し, ダイバーの移動距離を小さくすることが必要であり, そのために別の潜水を要した。

以上のことから, 調査潜水の支援に用いる無人機としては, (i) 無人機であらかじめ魚礁の位置を正確に把握して係船索設置の補助を行うこと, (ii) 無人機はダイバーのように運用時間の制限がないため, 長時間にわたってじっくりと魚類の観察を行うことができること, という二点に集約された。

3.2 小型観察用無人機の魚礁等での運用について

無人機による調査潜水支援の可能性を検討するため, ダイバーによる人工魚礁調査と並行して無人機を運用し, その運用上の問題点や性能について基本的な情報を得ることとした。

1984 年 11 月, 静岡県西伊豆の田子港近辺の海域を対象に現地調査を行った。ダイバーによる調査グループとは別に無人機グループを編成し, 前

述の内容を検討しつつ、無人機の運用を行った。調査の主目的は「ダイバーとの比較からみた魚礁における無人機の魚類観察能力について」¹⁸⁾であり、魚類相と魚群量の調査について、ダイバー2名の20分の潜水観察と無人機による2時間の観察結果の比較を行った。調査は田子港内のコンクリート製栈橋の周辺海底、魚類養殖場の海底、転石によって造成された築磯で各1回、人工魚礁で3回、以上合計6回実施した。この過程で、前述の内容について無人機がダイバー作業を支援し得るのか検討した。

調査の体制を表3に示した。実際にはこのほかに3~4人が補助作業を行ったが、表には調査の結果から明確になった最低所要人員を示した。船舶はダイバーと無人機に別のものを準備した。なお船の運用と係船方法については、栈橋(水深0~13m)では船は用いずに岸から調査し、養殖場(10~20m)では2隻の船を海面の同一の生

簀に係船し、築磯(5~10m)では近くに別々に錨を打った。魚礁(30m)ではダイバーが魚礁に固縛した係船索に2隻が係船した。この調査の結果、無人機の運用と無人機の魚類観察能力について、ダイバーによる潜水調査と比較して次のような問題点、相違点のある事が明確になった。

(1) 支援船としてやや大きなものが必要

潜水調査は特に装備を持たない小型船舶から行うことが可能で、船外機付きボートで行うこともあり、魚探機や計器用電源設備は特に必要ないことが多い。無人機の場合、ビークル着水揚収用の装備、電源設備、制御記録用機器に海水がかからないようなスペース等が必要で、潜水調査に比較して大きめの船を要した。写真2,3に運用状況を示した。

(2) 係船しないで無人機を運用するのは危険かつ無意味

無人機で海中の状況や魚類等を観察するにはビー

表3 ダイバーと無人機での人工魚礁等の調査の概念
Table 3 Typical procedure of Diving survey and ROV survey at the artificial fish reef

項目	潜水調査		無人機調査	
1. 調査参加者	(1) ダイバー	4名	(1) 操縦者等	3名
	(2) 操船者	1名	(2) ダイバー	1名
			(3) 操船者	1名
2. 使用装置	(1) 小型船舶	1隻	(1) 小型船舶	1隻
	(2) 潜水装備品	2式	(2) 無人機	1式
	(3) 水中カメラ	4式	(3) 発電機	1式
			(4) 潜水装備品	1式
3. 調査手順	(1) 現場にて仮係船		(1) 現場にて係船	
	(2) 魚礁探索と係船索設置		(2) 無人機運用(120分)	
	(3) 潜水観察(20分)		(3) 係船索回収	
	(4) 係船索回収			

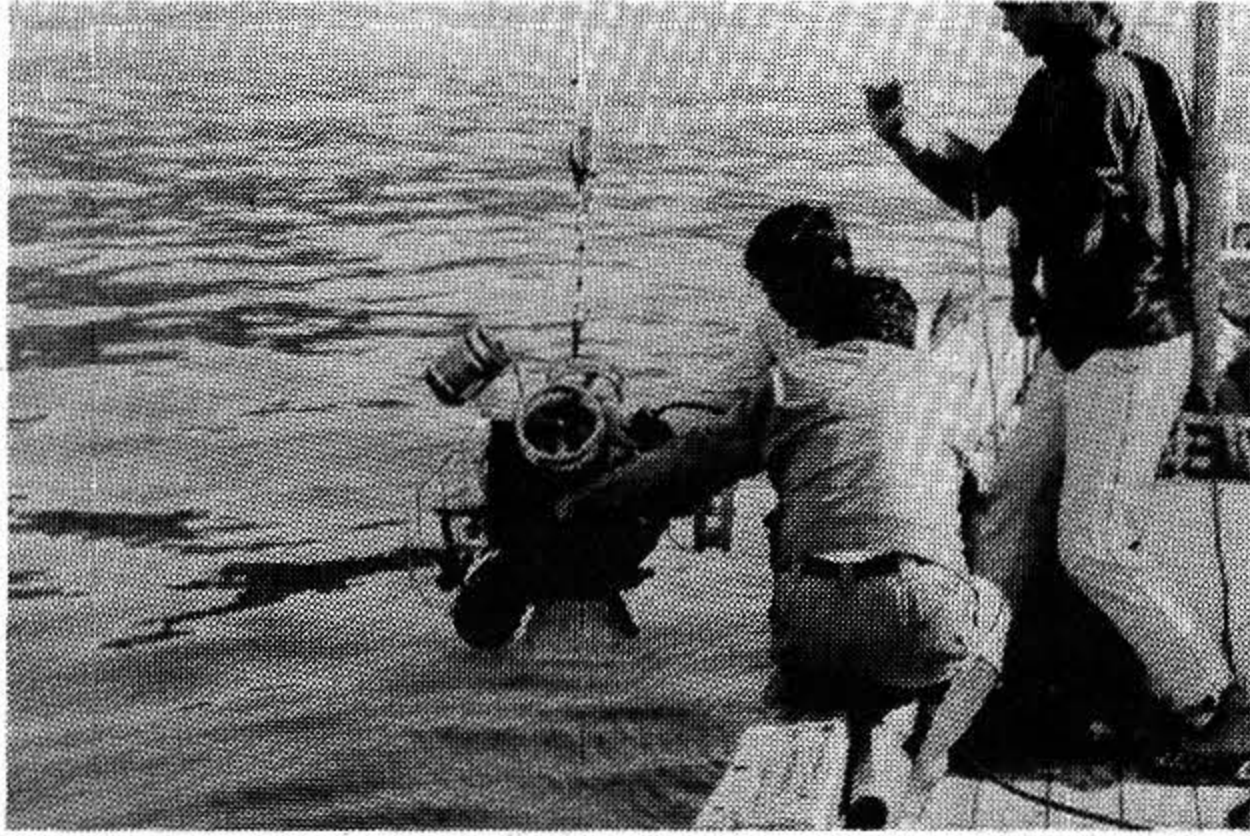


写真 2 小型船からの無人機着水状況
Photo 2 Launching a small observation ROV from a small boat.



写真 3 無人機とダイバー
Photo 3 A ROV and divers above artificial fish reef

クル正面で対象物の側面をじっくりとらえることが必要であった。魚類を例にとると、魚体を上から眺めたり、ごく一瞬だけとらえたのでは種名の判断はできなかった。

運用面では、浅深度の築磯であっても、係船しないとビークルの着水と運用は危険で実施できなかった。船の上から海底状況の視認はできても凹凸を明確に把握することは困難で、そこで船が漂流した状態で無人機を運用するには、ケーブルを船の直下に降ろして岩に絡まないように短くし、船が流れるに従って岩の凹凸に合わせてケーブル長を調整する操作が必要であった。これでは効果的な観察を行うことは事実上不可能であった。水深 30m の人工魚礁の場合、無人機を着水して海底付近に降ろすまでに最低 3 分間を要したが、その間に船は少なくとも 30~40 m は流され、直径 40 m の小山状になった魚礁をとらえるのは極めて困難かつ危険が伴うことは明白であった。

(3) 係船方法が潜水調査の場合と異なる

魚礁での係船方法について、ダイバーによる調査と無人機の場合とで図 2 に示したような基本的な相違があった。また潜水調査の係船方法で無人機を運用するのは容易であったが、無人機調査の係船では潜水観察は極めて困難と考えられた。

潜水調査では四爪錨を魚礁に絡ませて仮係船するか、魚探機で魚礁の位置を概査して魚礁位置に

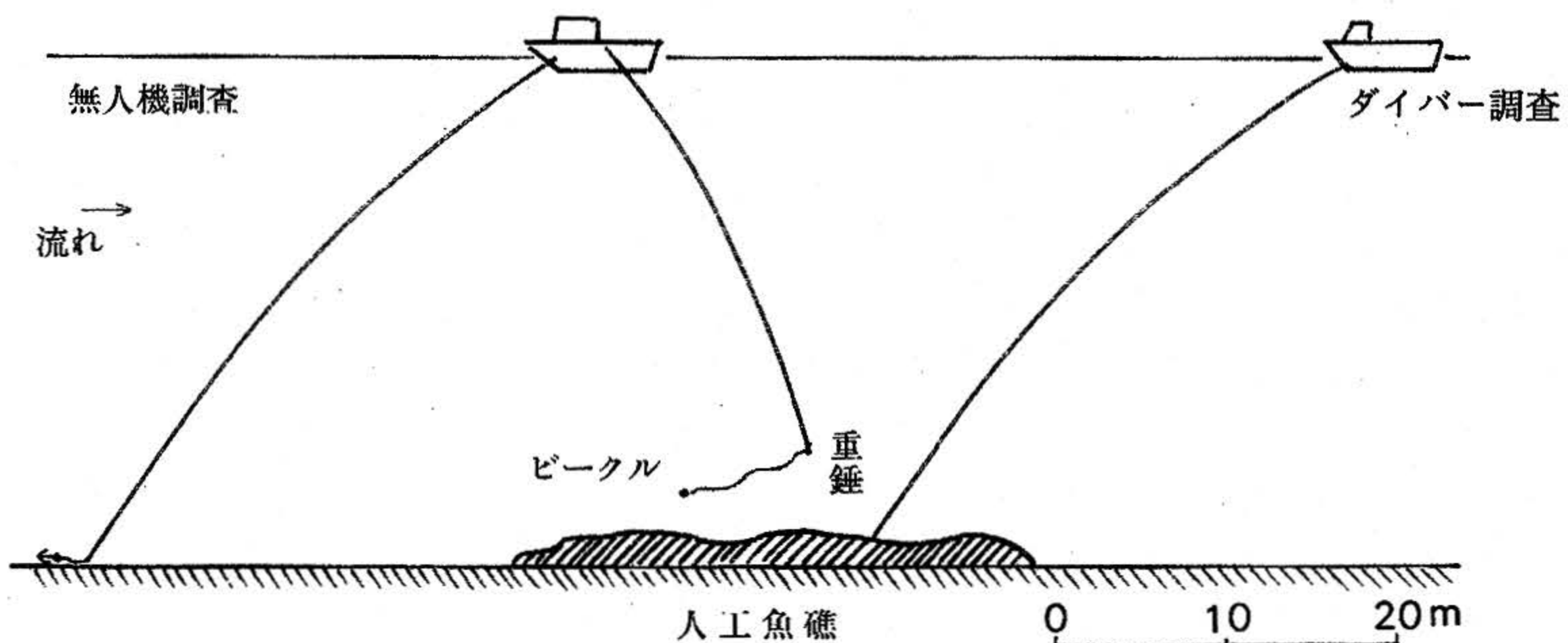


図 2 ダイバー調査と無人機調査での係船索設置方法の相違
Fig. 2 Difference in anchoring procedure for Diving survey and for ROV survey at the artificial fish reef.

ブイを投入して船は流したままにしておく。最初の潜水で係船索を持って四爪錨の索もしくはブイの索に伝って潜降し、係船索を魚礁に固縛して他の端を浮上させる。船は以後それに係船する。四爪錨やブイの重錘が魚礁に絡んでいる場合にはそれを外し、船から回収できるようにしておく。

無人機調査では余分な索類を海中に展開することは危険で、また魚礁に錨を打つと回収できなくなる。このため魚礁の潮上に錨を打って調査を行う必要がある。波や流れの影響を受けた船が、結果的に魚礁の直上に来るような位置に投錨する必要があるが、かなり困難な作業であった。

(4) 無人機は絡みやすくダイバーの待機を要する

無人機は周囲全域を同時に見ることはできないので障害物やロープ類等があればほぼ確実に絡む。魚礁での3回の調査では毎回係船索に絡み、一度は魚礁に拘束された¹⁸⁾。いずれの場合もダイバーが外したが、ダイバー無しであれば流失事故となっていた。複雑な海底地形の場所で無人機を運用するにはダイバーの待機が必要であった。

また絡んだ状態でダイバーがそれを外すにはある程度の時間を要するが、その間に船が移動しては流失事故となるのは明白であり、船は係船状態であることが重要となる。

(5) 調査の時間配分がダイバーによる潜水と異なる

無人機は現場海域に到達してからじっくりと時間をかけて運用しないと絡みや拘束の事故に通じる。それに対して潜水観察は事前に十分な検討を行い、現場での作業を短い潜水時間の中で完了することが必要であり、調査が終了したら速やかに帰港してウェットスーツを脱ぎ、体力の消耗を防ぐことが必要である。

(6) 同一の小型船からダイバーと無人機の調査を同一時間帯に行うのは無理

無人機の操作員が操作の合間にウェットスーツに着替えて潜水調査に従事する場合、潜水後の濡れた状態では無人機の操作はできず、再度着替えて海水が無人機の操縦装置等に触れるのを防ぐことが必要であった。今回は1回の無人機の運用を2時間としたが、その範囲内での2種の調査に同一人員が参加するのは困難であった。結局、無人

機による調査と潜水調査を同一の人員と船から行うのは事実上困難であった。

(7) 無人機の魚類観察能力は低い

魚礁での3回の調査結果からダイバーと無人機の魚類相観察能力を比較したところ、ダイバーの20分の観察と同程度の成果を得るには無人機で6時間以上の観察を要することがわかった¹⁸⁾。またダイバーの観察結果は定量化が可能であるが、無人機のは困難であった。

(8) 船酔い

個人差の大きい内容であるが、揺れる小型船で長時間にわたってテレビの画面を眺めて無人機を運用するのは相当な苦痛を伴った。潜水調査は現場海域に短時間しか滞在しないが、無人機の場合は長時間に及ぶのでむしろ海象条件の影響を受け易かった。

3.3 浅海ダイバーへの小型無人機の支援について

潜水調査が可能な深度では、無人機を潜水調査前の概査に用いるのは問題が多く、また魚類の観察能力についてもダイバーの代わりとするには問題のあることがわかった。調査手順の面でもダイバーと無人機で別のグループを編成することが必要であった。一方、無人機は海中で物に絡みやすく、それを外すには少なくとも船は係船されていることが前提で、最終的にはダイバーの補助を要することも明らかとなった。

浅海ダイバー支援用無人機の結論としては、ダイバーと無人機を併用すると、船と人員が大規模化して経費が多大なものとなり、さらにデータにならない作業が増大すると判断された。結局、浅海の調査潜水に関しては、ダイバーまたは無人機の一方式で行うのが効率的と考えられた。

4 深海ダイバー監視用無人機について

深海潜水では船舶、乗員、潜水支援要員のほとんどが、直接または間接に、海底で潜水中の1ないし2名のダイバーの支援作業を行っている。従って海中のダイバーの状況を船上で常時監視することは全体的な作業効率を高めるうえで重要な項目であり、潜水の安全性を確保するうえでも重要である²⁰⁾。また船から海底に機器を設置回収する場合、ウインチ操作の補助に無人機の映像を用い、

切離しや連結作業をダイバーが行う等の組合せ作業によって大規模な海中工事が可能となる²⁵⁾。

一般の無人機は中性浮力に調整され、船との間は中性浮力に近いケーブルで結ばれて運用される。海底の無人機が目標物を常時捕捉するためには、船舶はケーブルの挙動に注意しながら回頭もしくは移動を行って無人機の支援を行う必要がある。また着水揚収作業では無人機が船体に衝突したりケーブルがプロペラで損傷するのを防ぐため、船は波や流れに向ける等、細心の注意をもって運用しなければならない^{9,26)}。

深海潜水時には図3のようにSDCが「かいよう」から降され、ダイバーは最大30mの範囲内で海中作業を行う。「かいよう」はガイドシンカー設置、SDC潜降、ダイバーの海中作業、SDC揚収、ガイドシンカー回収、と続く一連の潜水作業の間、3～4時間にわたってDPSによる定点保持を行う。この間、特殊な場合を除いて船位移動や船首方向の変更はできない。監視用無人機はこの間、潜水の支障とならないように運用する必要がある。船上でのSDCと無人機の垂下位置間の水平距離は20～30mであり、そこから300m下方に降ろしたSDCと無人機（及びケーブル）が交差してはならない。北海で行われている商業潜水を例にとる¹⁹⁾と、SDCの運用（ベルラン）は7～8時間に達し、それを1日に3回繰り返す、24時間連続作業を行うことが一般化している。

海中乾式溶接を行う場合には海底に乾式溶接ハビタット、パイプラインメント装置等が展開され、そこと支援船間は多数のガイドワイヤー、アンピリカル類で結ばれている。SDCはその間に潜降し、ダイバーは各所に移動して作業するが、無人機はその状況下で各所の監視作業を行うことになる。

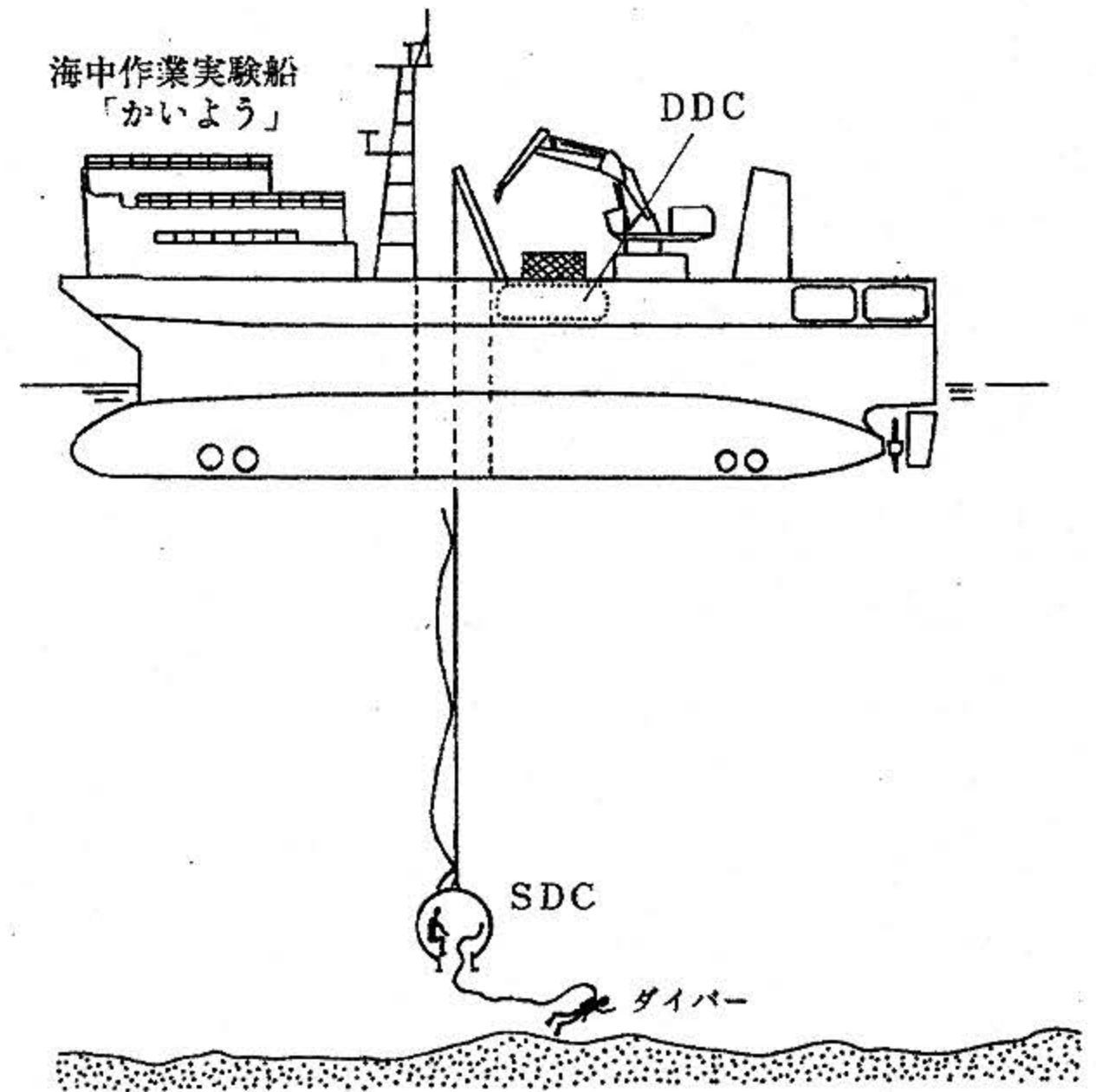


図3 深海潜水の状況
Fig. 3 A concept of deep diving from multi-purpose research vessel 'KAIYO'.

表4 一般の無人機と深海潜水ダイバー監視用無人機の相違

Table 4 Comparison of standard observation ROV and deep driving monitoring ROV

項目	一般の無人機	深海潜水ダイバー監視用無人機
船の状態	無人機を運用しやすいよう操船	無人機のための船の回頭、船位移動は不可
観察対象	目的により異なる	SDCを中心とした特定物
運動性能	強力なほど有効	運動よりも安定性が重要
運用制限	ケーブルの挙動に注意を要す	ケーブル等がダイバーや潜水装置に絡むことは不可
運用状態	運用中は船、無人機とも連続操作	船に負担をかけず、ビークルは時々海底で待機する
運用体制	全員が無人機に関連	無人機は潜水のための補助装置で一部人員のみ関連

従って、深海潜水監視用無人機は一般の無人機とは異なった性能が要求されることになり、それをまとめて表4に示した。結論として、第一に、無人機とケーブルが流されることなく海底まで降下することが必要である。無人機のケーブルが潜水装置に絡むとダイバーに危害を及ぼす恐れがあり、最悪の場合にはSDC揚収の妨げとなる。また無人機に故障や事故があって操縦不能になっても、ダイバーがSDCに戻り、SDCが海面まで揚収されない限り、無人機のための回頭や移動を行ってはならない。第二に、無人機は船上クレーンやウインチ同様、あくまでも潜水の支援装置で潜水装置と同時に運用することが必要であり、運用面での省力化が必要である。

以上のことから、重錘を兼ねた容器に無人機を収納して海底まで降下させて垂下用ケーブルが弛まないようにし、そこから必要な距離だけ無人機を発進させるランチャー方式が最適との結論に達した。またこの装置はかなりの大型化が予想されたことから、専用の着水揚収を有して運用の省力化を図ることが必要と考えられた。

5 ホーネットランチャーシステムの開発と運用について

5.1 概念の検討

国内でも各種の無人機が開発され広く用いられているが、深海潜水ダイバー監視用無人機の検討結果から、国産の無人機にはDPS船から潜水装置と同時に運用できるものは無いことがわかった。欧米の潜水支援船ではランチャー方式の無人機をダイバー監視に用いて効果を発揮しており¹⁹⁾、国内には同種の装置の輸入実績もある。我々は国産機をベースに、プロジェクト研究「300m潜水作業技術の研究開発」(ニューシートピア計画)の一環として、安価かつ簡便な深海潜水ダイバー監視用無人機を開発することとした。潜水実験中の無人機運用については、「かいよう」を四点係留方式で定点保持した状態(60及び100mの潜水実験時)で小型の観察用無人機、DLT300C、RTV100を使用した実績があり、その結果からビークルは観察専用のもので十分な効果を有するとの見通しが得られた。ただしその時の着水揚収は写真4,5に示したようにダイバーの補助を要

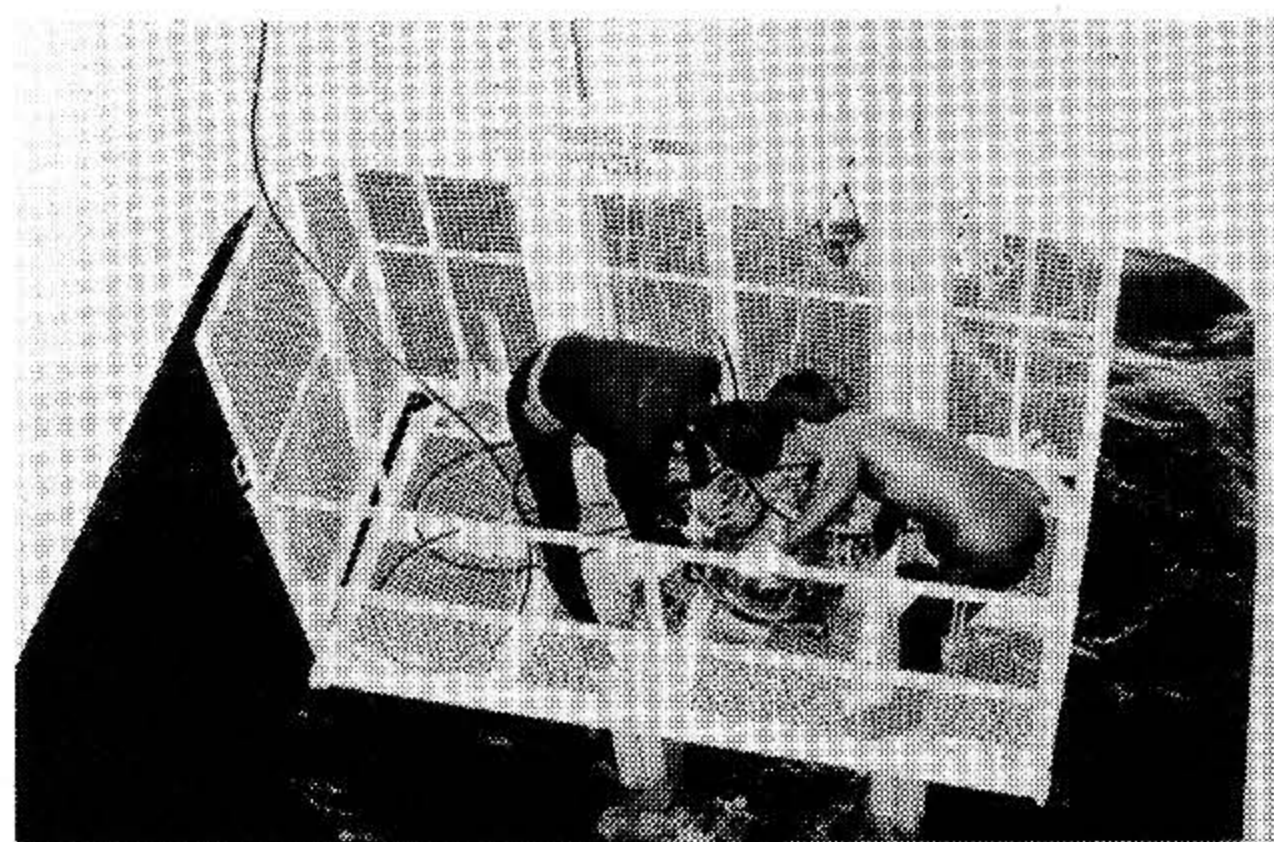


写真 4 四点係留した「かいよう」からの無人機着水状況

Photo 4 Launching a small observation ROV from four point moored multi-purpose research vessel 'KAIYO'.

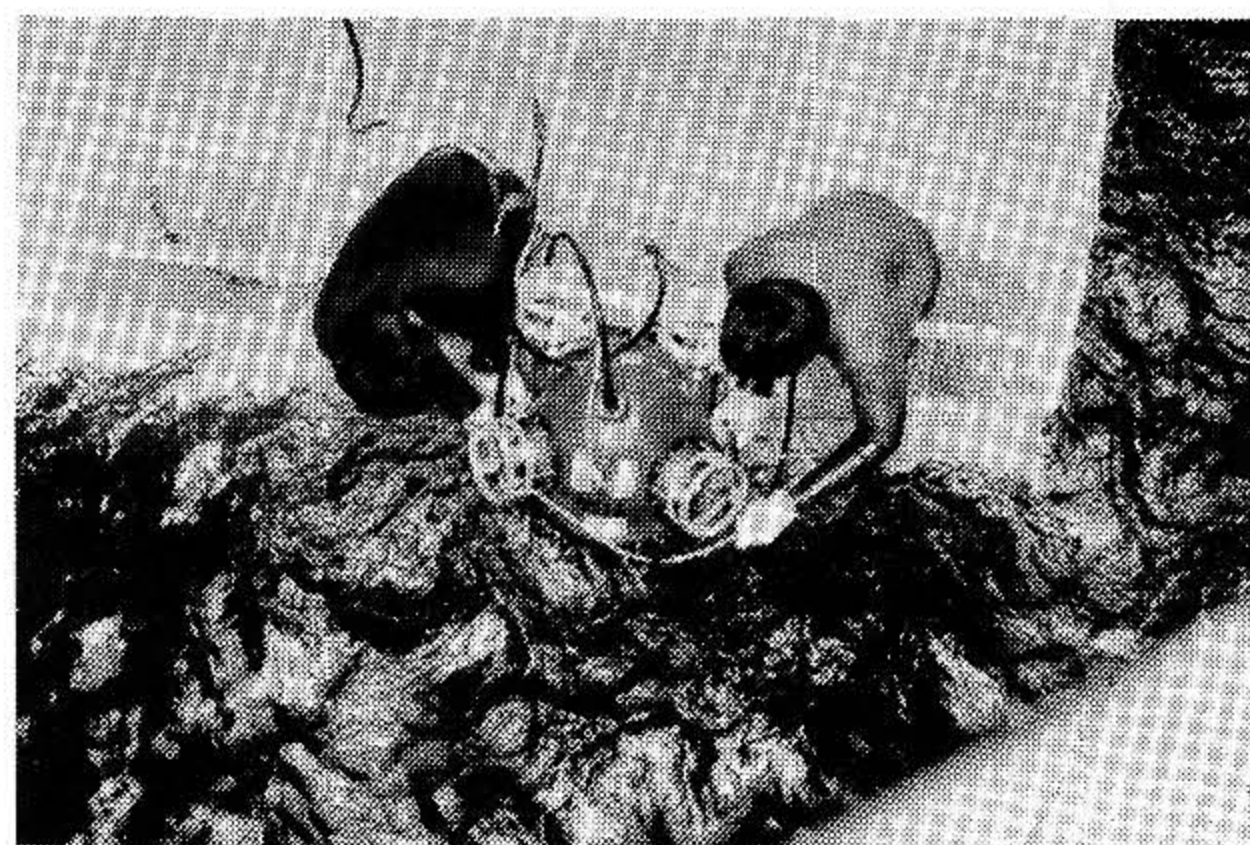


写真 5 四点係留した「かいよう」からの無人機着水状況

Photo 5 Launching a small observation ROV from 'KAIYO'.

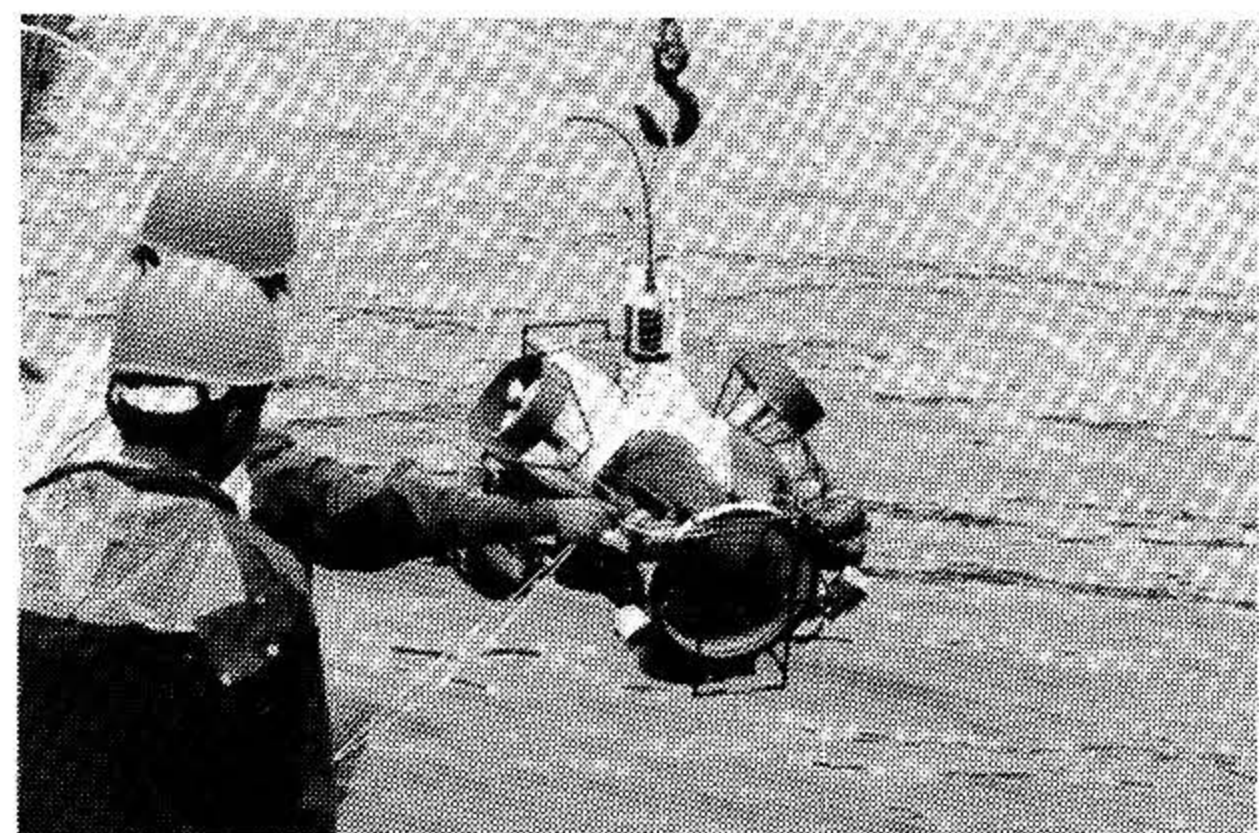


写真 6 観察用無人機「ホーネット500」

Photo 6 A observation ROV 'HORNET 500'.

し、とてもDPS状態でSDCと同時運用できるものではなく、専用の着水揚収装置の重要性を認識させられるものであった。

深海ダイバー監視用無人機としては、海洋科学技術センター深海開発技術部が開発した観察用無人機「ホーネット500」を利用して開発を進めることとした。観察以外の機能に関しては、装備用のスペースを確保してケーブルには予備線等を組み込んでおき、ランチャーシステムを実用化した後に必要に応じて機能向上できるようにした。

「ホーネット500」²⁷⁾ (写真6) は小型船から運用できるように考慮された観察用無人機システムで、ズームレンズ付きの高解像度型テレビカメラを装備し、情報を光ファイバーで伝送することによって鮮明な水中映像を得ることができ、主として海洋生物資源探査を目的に開発された。システムはビークル、ケーブル(800m)、ケーブルリール、監視制御盤で構成されている。本装置をランチャーシステムに改造するにあたって次の点に注

意した。

- ①旧システムの機能、基本仕様は変更しない。
- ②最大使用深度は500mとする。
- ③ランチャーからのビークルの行動範囲は最大50mとする。
- ④二次ケーブル及びビークルの連結・発進状況の監視装置を設けること。
- ⑤専用の着水、揚収装置を装備する。
- ⑥船舶からは電力の供給のみとする。
- ⑦トラックで運搬可能なこと。
- ⑧運用の省力化。
- ⑨専門のオペレータを要しないこと。

5.2 設計、製作と試験検査

ホーネットランチャーシステムは、ビークル、二次ケーブル、ランチャー、一次ケーブル、クレーン、ウインチ、監視制御盤、電源装置から構成される。図4、写真7、8に船上配置、監視制御盤、表5に主要目を示した。ビークルは重いランチャーとともに(写真9)海底付近まで垂下され、そこ

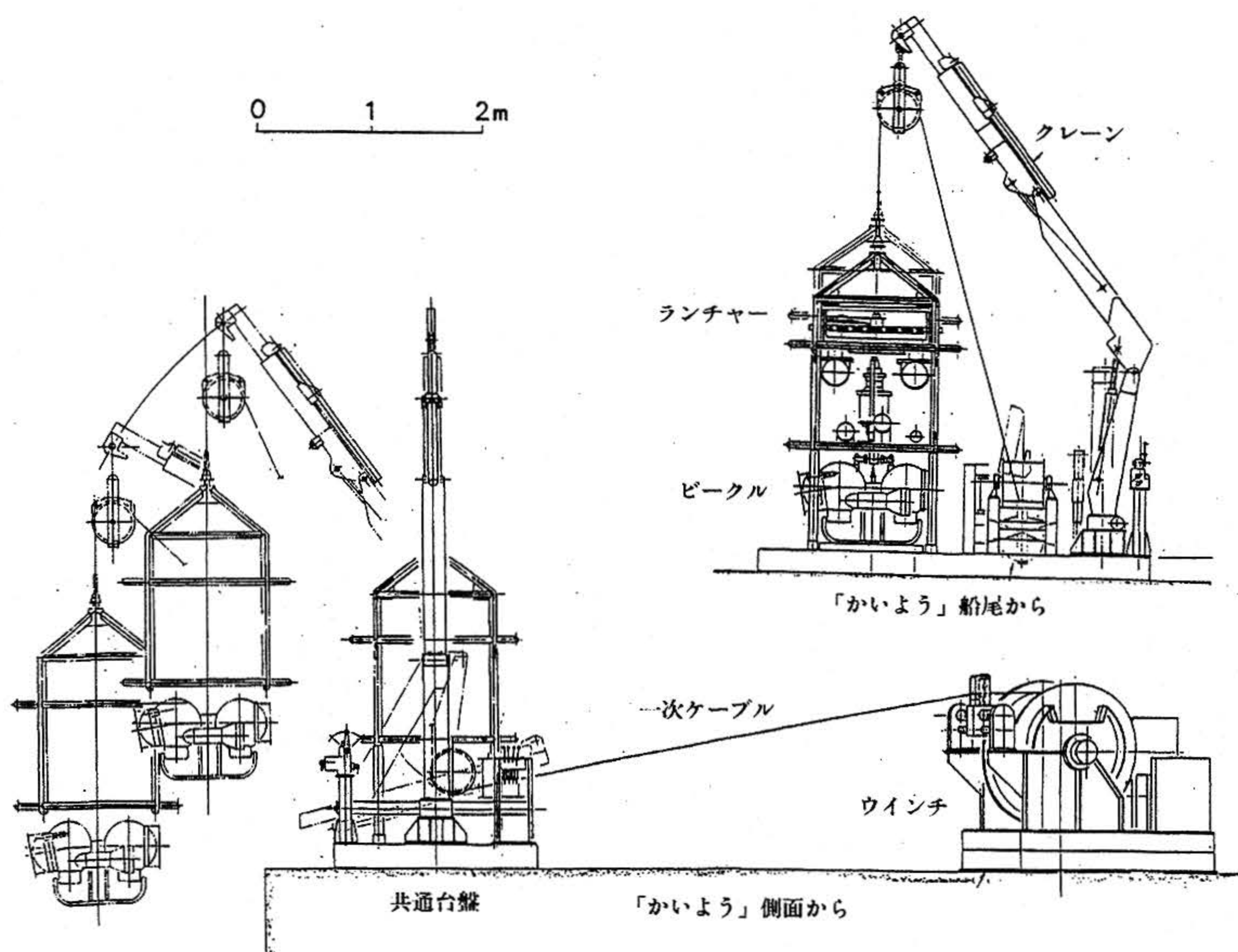


図4 ホーネットランチャーシステム船上配置

Fig. 4 Deck arrangement of 'HORNET LAUNCHER SYSTEM' onboard 'KAIYO'

表 5 ホーネットランチャーシステム主要目
Table 5 Specifications for 'HORNET LAUNCHER SYSTEM'.

使用深度：最大 500m

行動範囲：ランチャーから50m以内

構成機器：

コンテナ	監視制御装置, 電源等収納
油圧ウインチ	30 m/min
鋼線鎧装一次ケーブル	破断強度 10 トン, 550m
クレーンユニット	HIAB 45S
ランチャー	空中重量 475kg
強化二次ケーブル	破断強度 0.9トン, 50m
ビークル	ホーネット 500, 空中重量 132kg

全体重量：約10トン

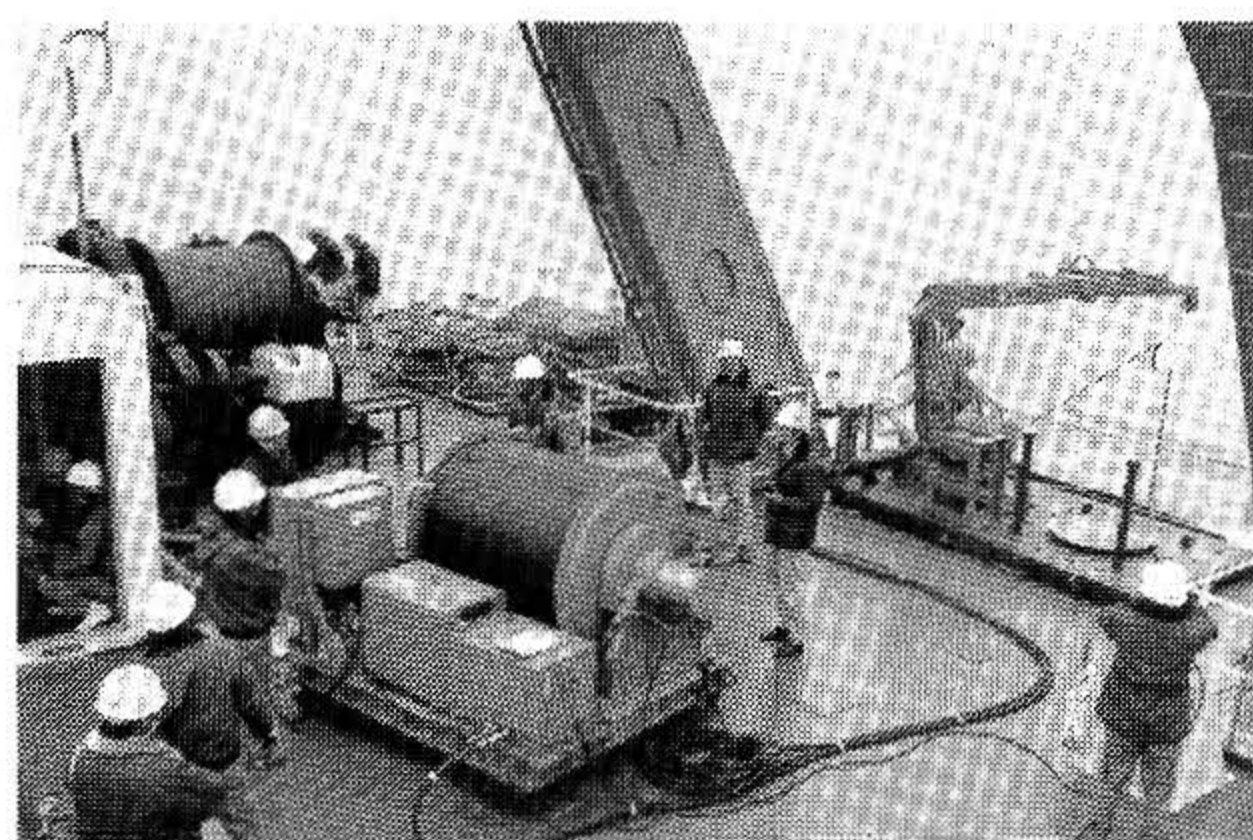


写真7 ホーネットランチャーシステム船上装置
左；コンテナ,中央；ウインチ,
右；クレーン

Photo 7 'HORNET LAUNCHER SYSTEM' on-board 'KAIYO'.

Left to right ; A container for control consoles, a winch for 550m length armoured cable and a crane .

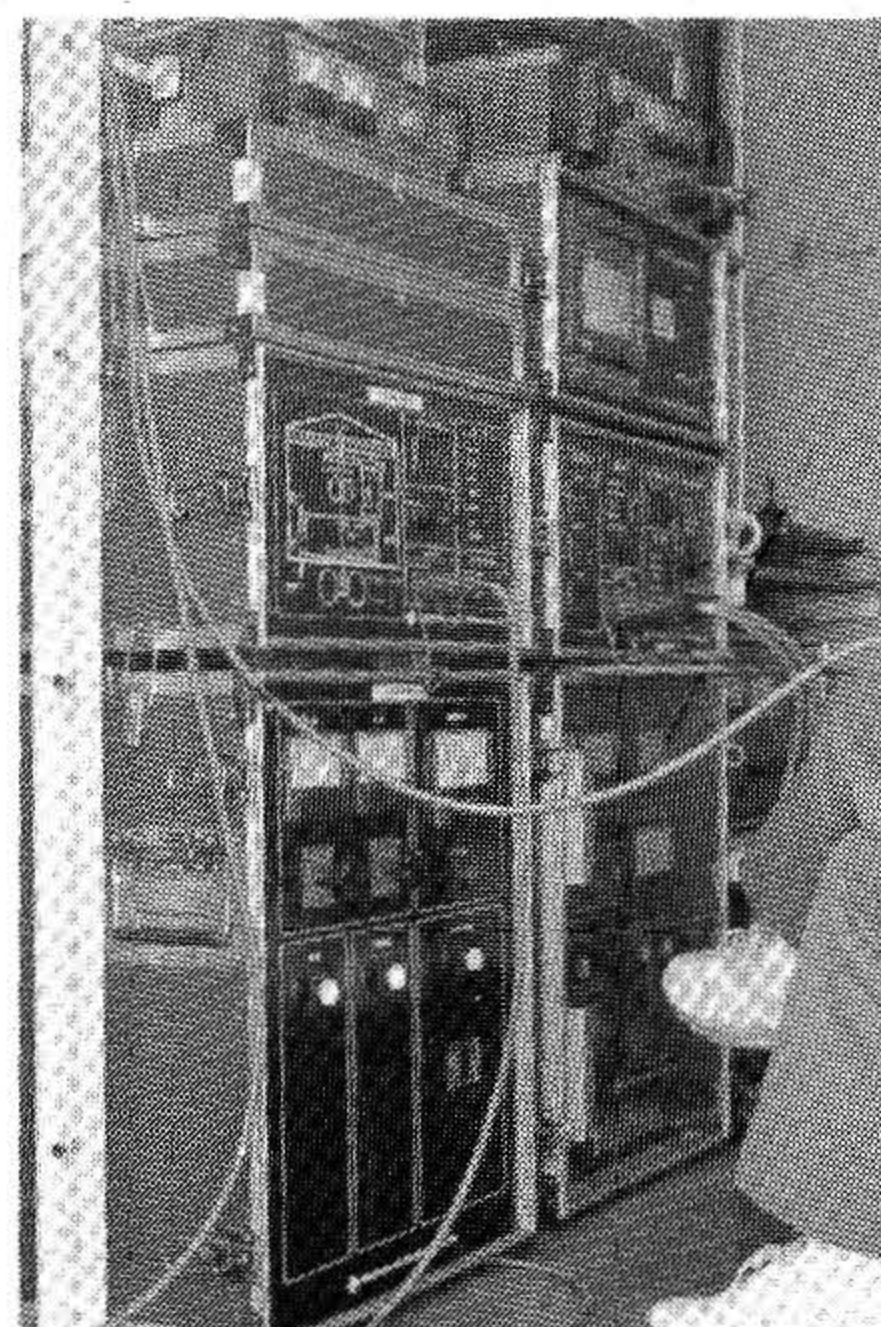


写真 8 ホーネットランチャーシステム監視
制御盤

左；ランチャー制御盤, 右；ビークル制御盤

Photo 8 Control consoles for 'HORNET LAUNCHER SYSTEM'

Left ; A launcher control,

Right ; A vehicle control .

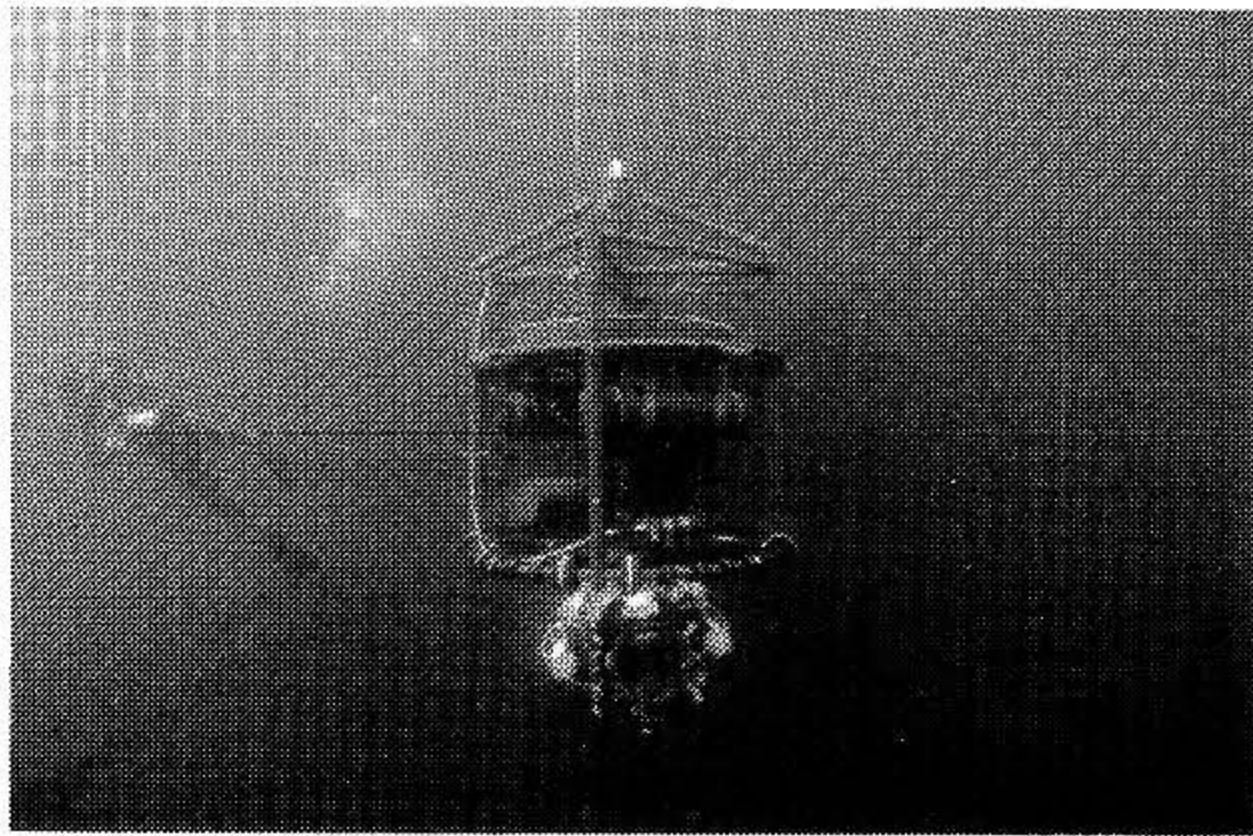


写真 9 ホーネットランチャーの海中状況
Photo 9 A launcher with a vehicle 'HORNET'.

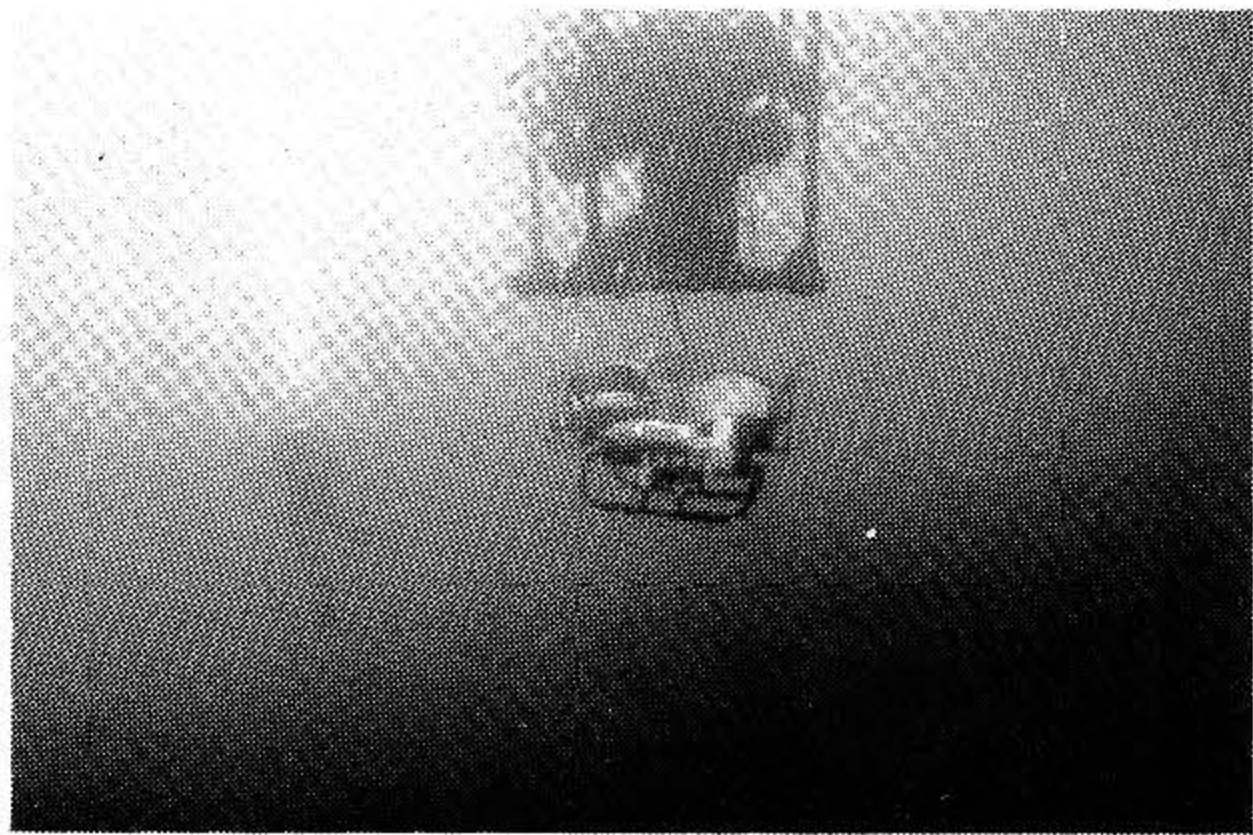


写真 10 ランチャーからのビーグル発進
Photo 10 A vehicle departure from a launcher.

から発進（写真10）し、最大50mの範囲を行動することができる。運用が終了するとビーグルは再度ランチャーに結合し、船上に揚収される。

ランチャーは二次ケーブル、ケーブルハンドリング機構、ビーグル連結機構を持ち、併せて重錘としての機能を有している。ビーグルはランチャー下部に連結する方式とした。ビーグルには前後に2台のテレビカメラ（前；高解像度型カラー、後；低照度型白黒）が装備されているが、前方カメラを観察に、後方カメラをビーグル上方監視（発進連結状況と二次ケーブル挙動の監視）に用いた。船上装置ではクレーンとウインチを一人で操作する方式とし、特にウインチ操作レバーの配置は、操作員が海面の状況を見ながらランチャーの着水や水切り操作ができるよう考慮した。（写真11）

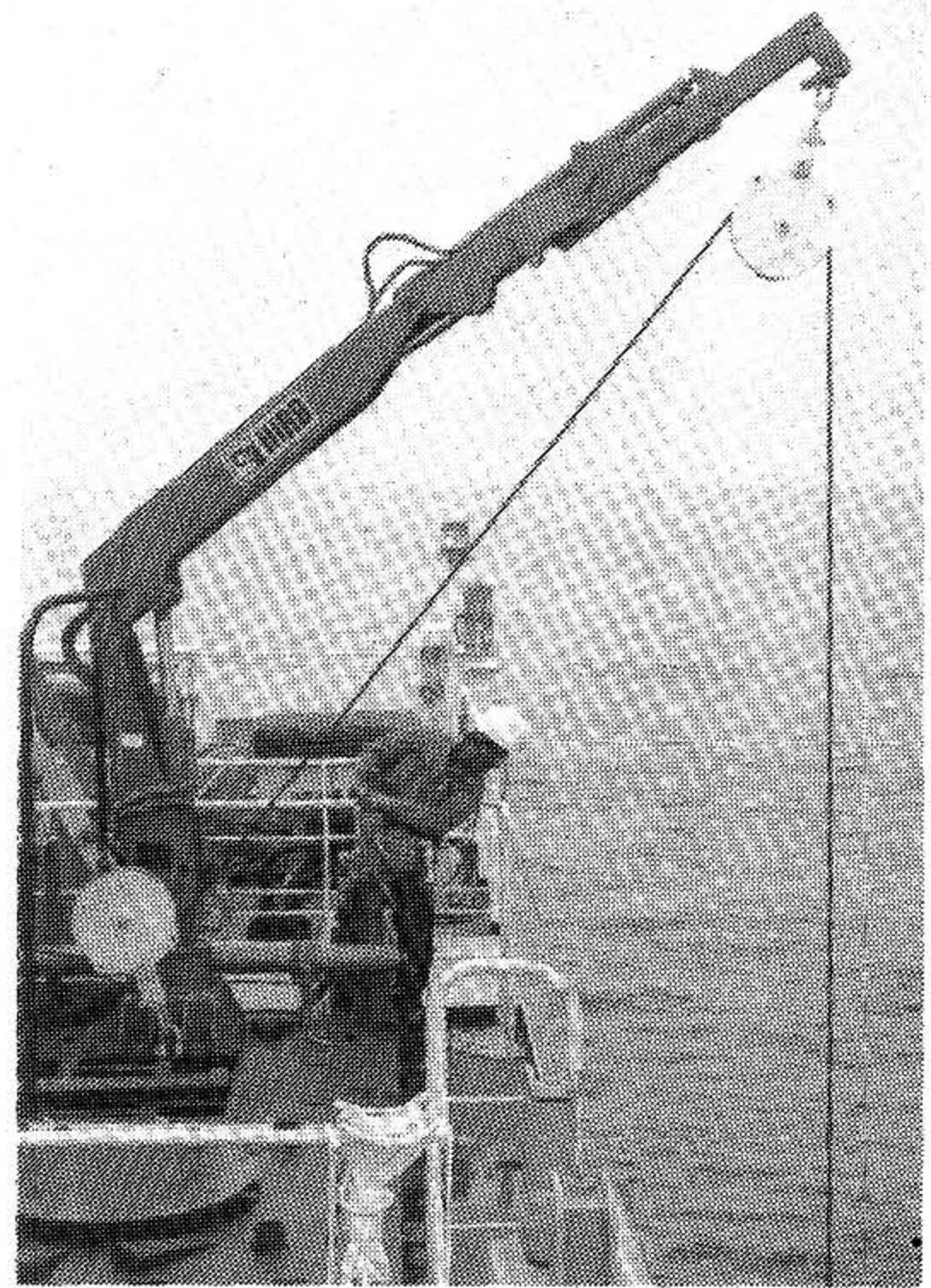


写真 11 ホーネットランチャーシステム着水揚収状況
Photo 11 Launch and recovery system for a launcher.

各構成機器は十分な単体試験を行い、最終的にはDPSで定点保持した「かいよう」から水深300mで実海域総合試験を行った。その過程で、最重要部であるランチャーについては厳密な試験を行って確実を期した。住友重機械工業株式会社の大型高圧水槽を用い、ランチャーを500mの圧力下に保って発進・連結及び二次ケーブル巻出し試験を行い、また海洋科学技術センターのドルフィン3K用水槽を用い、船の動揺を模してランチャーを上下させながらビーグルの発進連結試験を行い、さらに発進連結監視装置の暗黒海中での性能確認のため深夜の操作試験等を行った。

試験段階で明確になった問題点のうち最大のものは、ビーグル「ホーネット500」の上昇下降速度不足であった。当ビーグルは住友重機械工業株式会社にてライセンス生産される前のものでスラスタ出力が小さく、現製品の上昇下降速度1ノット(0.5m/sec)に対して0.3ノット(0.15m/sec)しかなかった。ランチャーは「かいよう」の

上下動に伴って同一の位相と振幅で動揺することが確認されており、発進・連結のタイミングによってはランチャーがビークルに衝突することが明らかとなった。衝突しても水中のためビークル破損の恐れは少ないが、二次ケーブルが短い時に衝突（例えば連結1秒前で15cmの時）するとケーブルが両者に挟まれて座屈し、ケブラー繊維や光ファイバーが折れる事態が予想された。ドルフィン3K用水槽での試験はこの対策を明確化するためのものであった。その結果、上下動の動揺周期8秒以上、両振幅1.2m以内であれば、発進・連結の瞬間がランチャーの上昇時期になるようにタイミングをとることで安全確実に運用できることが確認された。「かいよう」での運用は原則としてこの海象範囲内で行っている。

5.3 運用実績

「ホーネットランチャーシステム」は1989年1月に静岡県熱海市の初島沖海域での「かいよう」を用いた実海域総合試験にて最終完成検査が行われた。その後表6に示したように4実験で、合計21回、のべ65時間31分運用された。

(1) 深層水取水管調査

最初の運用は1989年1月、高知県室戸沖の深層水取水管の敷設状況調査であった。「かいよう」はホーネットランチャーシステムの完成検査完了後そのまま室戸沖海域に回航され、深海開発技術部がビークル、潜水技術部がランチャーを運用することで調査が行われた。船はマイクロ波による

位置情報に基づいてDPSで定位し、ランチャーを海底上約10mに垂下してビークルを発進させた。まず取水管発見のために設置ラインを横切る方向で「かいよう」を5m刻みで移動し、管を発見した後はそれに沿って5m刻みで深い方向に向かって観察を続けた。その結果、取水管の設置状況を長距離にわたってじっくりと観察することができた。ランチャーとビークルには海中位置表示装置（ハイドロスター）のピンガーを付けて位置を計測したが、船の微速移動中であってもランチャーは垂下点から数メートル以内の直下に位置しており、ランチャーの重錘としての有効性が確認された。

本調査において、水深約120mに急崖があり、取水管と海底に隙間のある状況が確認された。ここでビークルが取水管の下をくぐり抜けてしまう事態が発生したが、約45分間の懸命な操作により脱出することができた。「かいよう」のDPSによる定点保持が良好で船が動かず、ランチャーと取水管の位置関係が変化しなかったこと、またランチャーとビークル間の二次ケーブル長を15mと短めに運用していたことで脱出が可能であった。

(2) 200m潜水実験

1989年3月に初島沖の200m潜水実験で使用された。本装置はSDCと同時に運用され、ガイドシンカーの設置状況、ガイドワイヤーの張り具合、海底付近でのSDCの挙動監視、ロックアウト

表6 ホーネットランチャーシステム運用実績（1989年）
Table 6 Operational record of 'HORNET LAUNCHER SYSTEM' on 1989.

対象	時期	深度	運用回数	総運用時間
室戸沖深層水取水管	1月	98~122 m	2回	4時間22分
初島沖200m潜水実験	3	60~300	11	49 46
初島沖300m潜水実験	7	298	2	6 57
駿河湾実験海域調査	7	66~300	6	4 26

トダイバーの監視等に用いられ、また減圧期間に次の潜水実験海域（深度300m）の調査と操作訓練（深度60m）が行われた。潜水時の運用状況を図5、海中映像を写真12～15に示した。本装

置により深海潜水ダイバー監視装置として次のような項目で有効性が実証された。

(a) 安全性向上

無人機の照明によりロックアウトダイバーの安

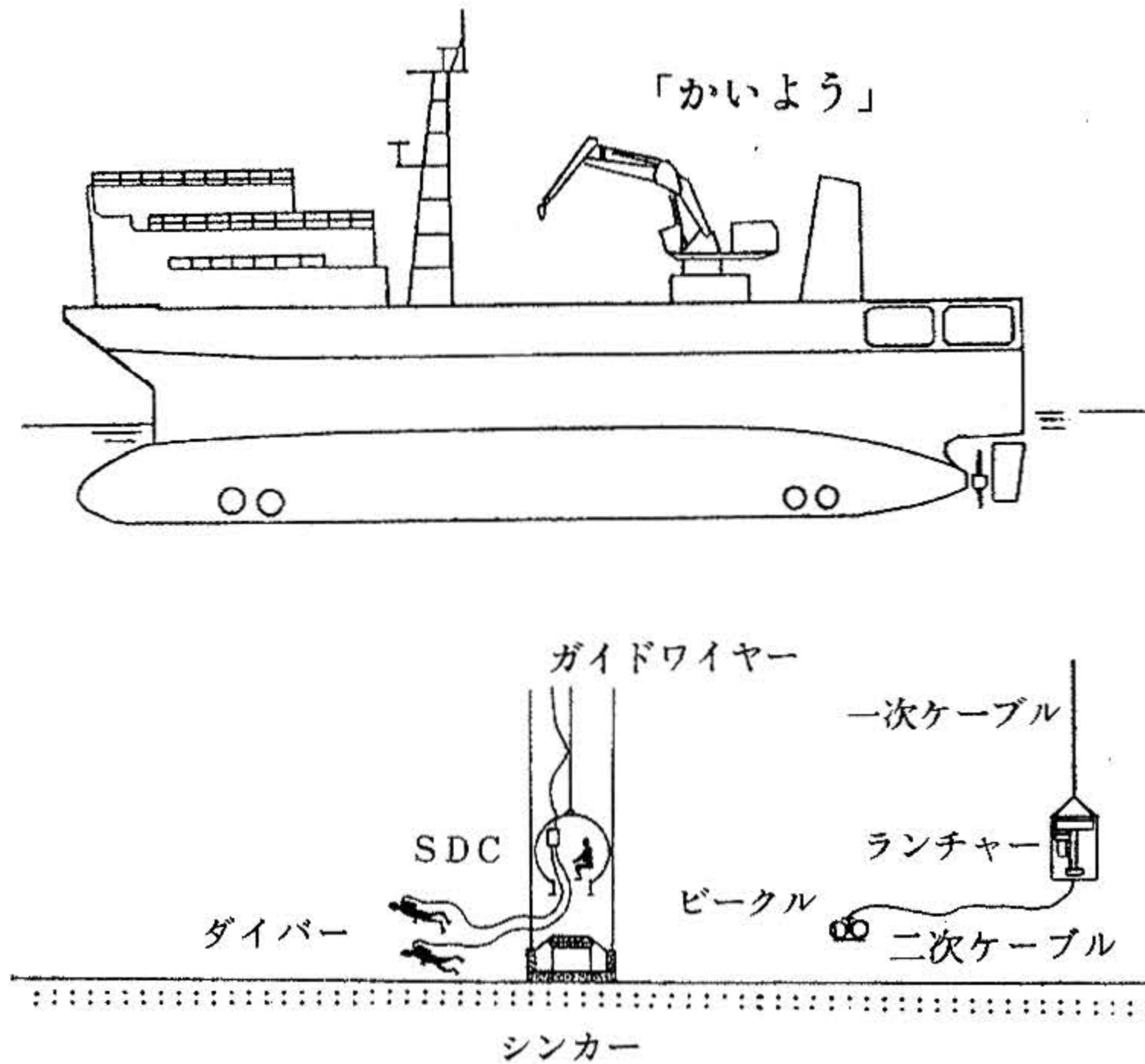


図5 潜水実験でのホーネットランチャーシステム運用の概念

Fig. 5 A concept of 'HORNET LAUNCHER SYSTEM' which monitoring deep diving.



写真12 ホーネットランチャーシステムによる200m潜水時のSDC（上）とガイドシンカー（下）の監視

Photo 12 A diving bell (upper) and a guide sinker (lower) at 200 msw depth monitored by 'HORNET LAUNCHER SYSTEM'.



写真13 ホーネットランチャーシステムによる200m潜水時のダイバー監視

Photo 13 A diver at 200 msw depth monitored by 'HORNET LAUNCHER SYSTEM'.

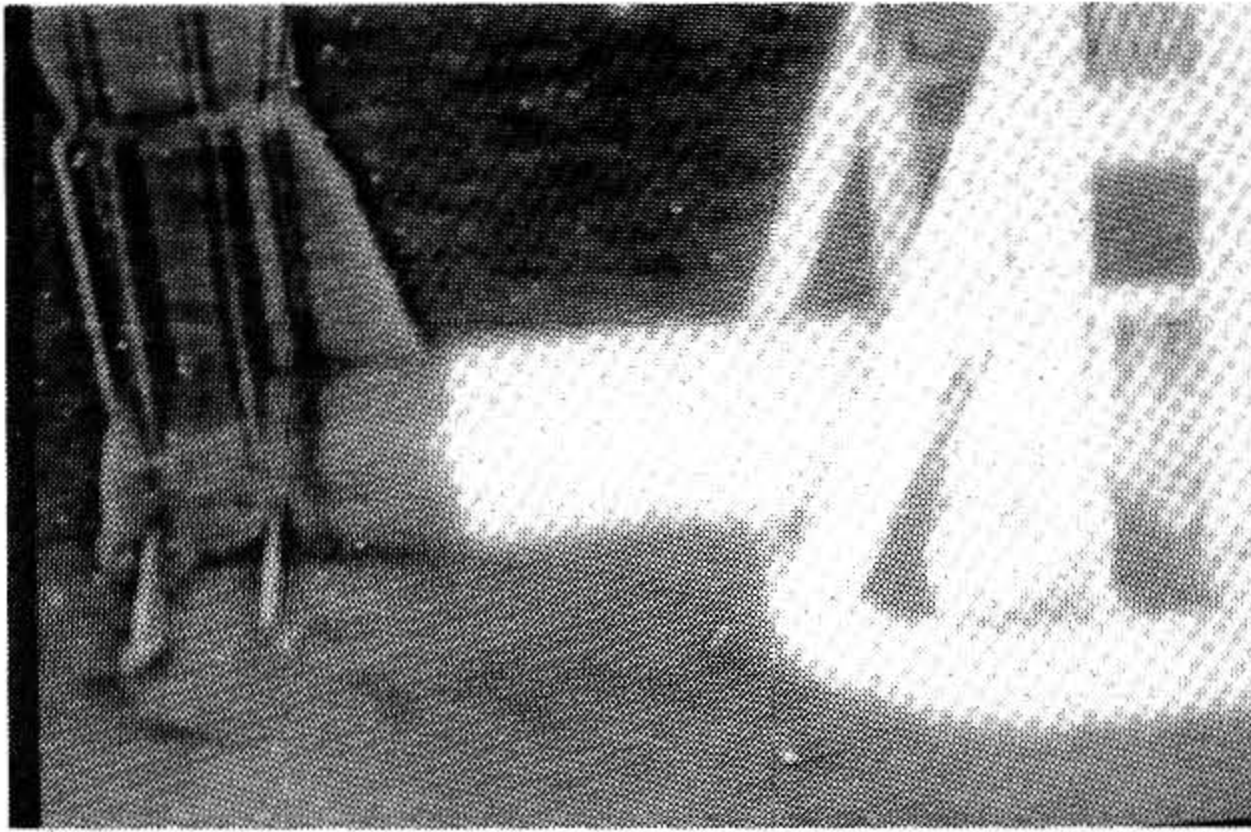


写真 14 ホーネットランチャーシステムによる
200 m 潜水時のガイドシンカー揚収状
況のモニター、ウインチ巻上げの瞬間
Photo 14 A guide sinker which was leaving
from 200 msw depth sea floor mon-
itored by
'HORNET LAUNCHER SYSTEM'.



写真 15 ホーネットランチャーシステムで観察
したガイドワイヤーの不具合状況
Photo 15 Malfunction of guide wire system at
200 msw diving monitored by
'HORNET LAUNCHER SYSTEM'.

心感が増し、作業の冷静沈着化に寄与した。またダイバーの気付かない異常事態についても船上で認識してダイバーに適切な指示を与えることが可能となった。

(b) ダイバー作業の効率化

従来2名のダイバーがロックアウトしても、1名はダイバー用テレビカメラを操作して海中状況や他のダイバーの作業状況を撮影するため、実質1名しか作業できなかった。今後2名の同時作業も可能となり、しかもその状態は船上で客観的に

モニターできることとなった。

(c) ダイバー作業の軽減

ダイバーの心電図モニター等で得られた知見から、ロックアウト潜水中の作業のうち、ダイバーにとって最もきつい作業のひとつは水中テレビカメラ操作（特にSDC外部での取外しと収納作業）であることが確認されていた。本装置によりこの作業から開放される見通しが得られた。

(d) 交話の減少

船上で海中の状況を客観的に把握できることで、船上のダイバー監視員と海底のダイバー間での意思の疎通が良好となった。

(e) 潜水前の海底情報の取得

潜水作業に先立って海底状況を調査して状況を把握することが可能となった。

(f) 宙吊り状態の物体の観察

DPS状態で潜水作業点を移動する場合、SDCとガイドシンカーを少し上昇させてから移動を開始する。この作業時にガイドシンカーの浮上状態、移動時の状況、再着底時の状況、ガイドワイヤーの張り具合等を監視することが可能となった。これにより7月の潜水実験で重量物の設置回収を実施し得る見通しが得られた。

(g) 記録作成

客観的な視点からの記録が取得できるようになった。

(3) 300m 潜水実験

1989年7月、初島沖の300m潜水実験で使用された。重さ約4tの海中作業台を衝撃を与えずに海底に設置し、それをダイバーが切離し、約1週間後にワイヤーに結んで回収する作業をビークルの映像情報に基づいて行う計画であった。実験は海底火山の噴火のために中止となったが、準備段階で海底調査と重量物の海底設置訓練が行われた。

水深300mの海域にDPSで定位した「かいよう」の舷側から長さ約5mの鋼管（ダミー重量物、写真¹⁶）を海底上約5mまで垂下し、そこでウインチ操作員は無人機の映像で管の上下動を見ながらタイミングをとって着底させた。（写真17）さらに船を10m水平移動させ、その間に吊りワイヤーが張り過ぎないようにウインチ操作を行った（写真¹⁸）。この一連の作業は「かいよう」の高い定点

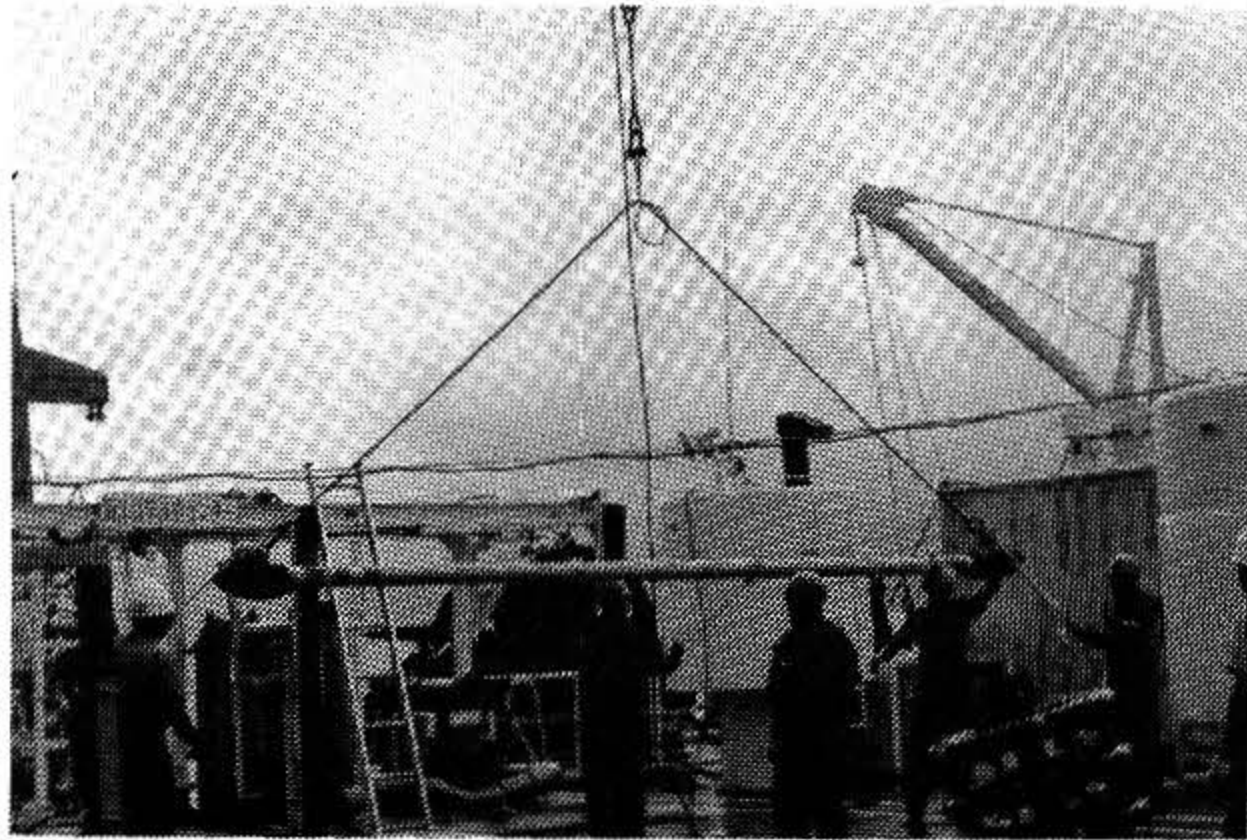


写真 16 水深 300 m への重量物設置訓練用の重錘

Photo 16 A dummy weight to train the settlement procedure for a large article on 300 msw sea floor by the aid of 'HORNET LAUNCHER SYSTEM'.

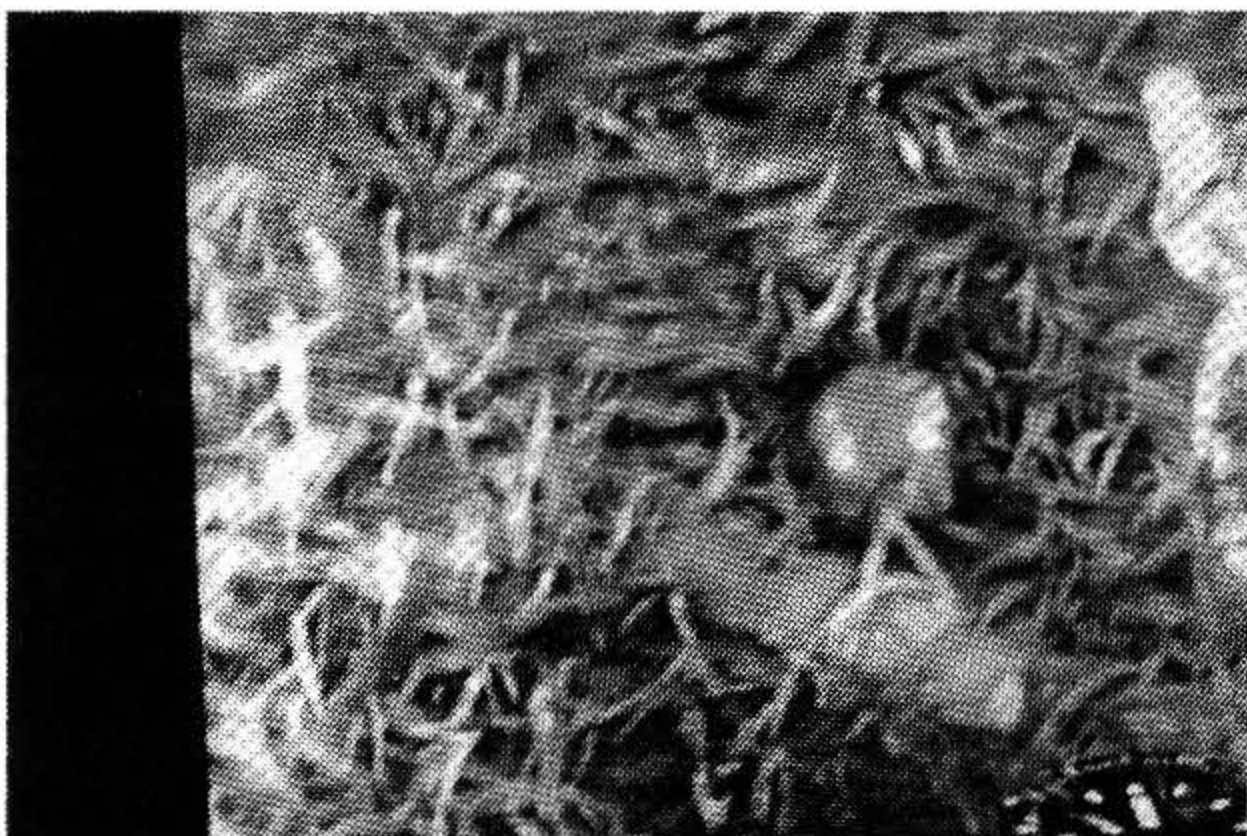


写真 17 ホーネットランチャーシステムによるダミー重量物の着底状況観察

Photo 17 A dummy weight at 300 msw depth sea floor monitored by 'HORNET LAUNCHER SYSTEM'.

保持能力とビークルの映像があって初めて可能となった。

(4) 潜水実験候補海域事前調査

300m 潜水実験が海底噴火で中止になったため、初島海域以外にも実験候補海域を選定しておくことが必要となった。300m からの減圧が終了した後、伊豆半島西岸の沼津沖海域、田子沖海域でそれぞれ水深 200m, 300m の海域を選定し、「かいよう」をDPSで定位して海底調査を行った。

本調査において、海底に沈設された物体に固縛



写真 18 ホーネットランチャーシステム監視下での吊りワイヤー伸し
ダミー重量物着底後、船を水平移動させながら吊りワイヤーを伸す

Photo 18 Lowering a lifting wire of the dummy weight simultaneous with horizontal 10 m movement of 'KAIYO' by the aid of 'HORNET LAUNCHER SYSTEM'.

されていたロープ (約 12mm) がビークルの二次ケーブルに絡む事態が生じた。しかし「かいよう」がDPSで定点保持していたことにより慎重なビークル操作が可能で、絡んでから約 1 時間後にこのロープを外すことができた。

5.4 運用方法について

ホーネットランチャーシステムは着水揚収時の操作性に重点をおいて製作したため、潜水作業の合間を縫ってごく容易に運用することが可能となった。運用に要する人員と時間を作業手順ごとにまとめて表 7 に示した。従来はこの大きさと重量を有したものを着水揚収するには、かなりの数の人員が補助作業を行う必要があったが、本装置の場合、常時の所要人員が 3 名、着水揚収作業時 (各約 5 分以内) に 1 ~ 2 名の追加補助を要するだけに省力化された。次に運用手順を詳しく述べる。

(1) 油圧ユニット作動とクレーン準備

着水揚収用のクレーン (H I A B 製) はトラック用クレーンと同様、保管状態では折り畳んで収納している。これを作動状態とし、先端に一次ケーブル用シーブを取付け、一次ケーブルを通す。所要時間約 15 分。所要人員 3 名。

(2) ビークル、ランチャーの電源投入と着水前点検

表 7 ホーネットランチャーシステム運用に要する人員と時間

Table 7 Operational sequences for 'HORNET LAUNCHER SYSTEM'.

作業内容	所要時間	所要人員
準備作業	20分	3
ランチャー着水	3	4
ランチャー下降	15~20*	3
ビークル発進	5	3
ビークル運用	任意	3
ビークル連結	5~10	4
ランチャー上昇	15~20*	2
ランチャー揚収	3	4
整備作業	15	3

* ; 水深300mの場合

通電と作動点検。所要時間約5分。所要人員2名。

(3) 着水作業

クレーンでランチャーを吊り上げ、水面下約10mまで垂下する。所要時間約3分。所要人員4名(クレーン及びウインチ操作1名, ランチャー保持2~3名)

(4) ランチャー下降

ウインチ操作によりランチャーを海底上10~15mまで下降させる。鎧装一次ケーブルの巻出速度は毎分約30mであるが、15~20m程度で運用する。下降中はビークル, ランチャーに通電し, 海中状況をモニターする。所要時間15~20分(浅ければ短い)。所要人員3名(ウインチ操作1名, ビークル・ランチャー監視1名, 深度管理1名)

(5) ビークル発進

船の上下動のタイミングをみてビークルを下方

に発進させ, 二次ケーブルが弛まないようにして海底が視認できるまでビークルを下降させる。次にビークルを対象物に向けて前進させながらランチャーを適当な深度まで下降させる。ランチャーの位置は海底傾斜, 地形によって変えるが, 概ね海底上5~10m程度である。所要時間5分。所要人員3名(ウインチ操作1名, ビークル・ランチャー操作2名)

(6) ビークル運用

二次ケーブルを適当な長さに巻出してビークルを運用するが, ランチャーとビークル間でケーブルがなるべく直線状態になるよう注意する。所要人員3名(ウインチ監視1名, ビークル・ランチャー操作2名)

(7) ビークル連結 ランチャーを海底上10m程度まで上昇させて二次ケーブルを3mまで巻込む。上方監視カメラでランチャーとケーブルの状態を確認し, ランチャーの上下動(船体と同一位相, 同一振幅で上下する)の大きさに応じてケーブルを1.2~1.5mまで巻込み, 最後にランチャーの上下動タイミングをみて一気に巻込み操作を行い, ビークルを連結させる。この一連の操作の間, 衝突防止のためビークルは全速下降状態とする。また最後の巻込み操作段階でウインチ操作によりランチャーを全速で巻上げ, ビークルとランチャーの衝突を避けることもある。所要時間5~10分。所要人員4名(ウインチ操作1名, ビークル・ランチャー操作2名, 全体監視1名)

(8) ランチャー上昇

ビークルとランチャーの電源を断とし, ウインチ操作によりランチャーを海面下約10mまで上昇させる。巻込み速度は定格で毎分約30mであるが15~20m程度で運用する。所要時間15~20分(浅ければ短い)。所要人員2名(ウインチ操作1名, 深度管理1名)

(9) 揚収作業

クレーンでランチャーを吊り上げ船上に揚収する。所要時間約3分。所要人員4名(クレーン及びウインチ操作1名, ランチャー保持2~3名)

(10) 事後整備

清水洗い, 一次ケーブルのシーブからの外し, シーブをクレーンから外して定位置に固定, クレーンを折り畳んで収納し電源断とする。所要時間約

15分。所要人員2～3名。

5.5 運用結果について

ホーネットランチャーシステムは我国で最初に実用化されたランチャー方式の無人機であり、従来の国産の無人機とは異なった性格のものである。またDPSで定位した船からSDCによる潜水と同時に運用できる無人機として開発したが、こうした運用は国内では初めてであった。運用結果から、今後の無人機的设计製作上で参考になると思われるいくつかの知見を得ることができた。それらは開発段階で目的としていた項目ではあるが、実際に体験して重要性を再認識したもので、以下に特に重要と考えられる項目を述べる。

(1) ランチャーは垂下位置の直下に定位する

現在までの運用条件下（流速1ノット程度、水深300mまで）では、「かいよう」がDPSで定位していても、微速で小移動（約10m）を行っても、一次ケーブルは直下に降り斜めに流されている様子は認められなかった。無人機運用中の操船方法としては、潜水作業中は、ダイバーの作業点移動のために船位を移動する場合にのみ無人機側に注意を与えた。無人機単独運用の場合、流れや波浪は全く考慮する必要がなく、無人機側の希望する位置に船を移動（前進、後進、横移動）させることで対処できた。

(2) 海底の流れは微弱である

水深200～300mの海域では上下層で流れが異なる場合もあり、また中層で異常に速い流れを経験したこともあった。そうした状況下であっても海底直上層の流れは微弱であり、海底に沿って這い廻るビークルは何ら行動の制約を受けず、また二次ケーブルも長さが短いために流れの影響はほとんど受けず、運用は容易であった。また上昇・下降時にはランチャーとビークルはそうした強い流れの層を速やかに通過することができた。

(3) 船の動揺はそのままランチャーまで伝わる

ランチャーを深度50～250m層まで50m刻みに吊した状態で、船の上下動をヒープ計で計測しビークルの上下動をその前面に付けた目印で観察して両者の位相差を計測したが、ずれは認められなかった。従って水中に垂下されたランチャーは水の抵抗や付加重量には影響されず、船の上下動の影響を直接受けると判断された。なおランチャー

から二次ケーブルで結ばれたビークルは動揺から開放された。

(4) 二次ケーブルはビークルを揚収できる強度が必要

ビークルの故障、二次ケーブルへの異物の絡み、ランチャーの故障、海象条件の悪化等によってビークルをランチャーに連結できず、二次ケーブルでビークルを揚収せざるを得ない事態もあった。本装置では二次ケーブルが十分な強度をもっていたことで揚収が可能であった。海中でも連結前のようにランチャーとビークルの間隔が短い場合、ランチャーの上下動に対してビークルが動かないため、ケーブルとビークルの引留め金具に強い衝撃がかかった。

(5) ランチャー方式の無人機はDPS船での運用により効果を発揮する

深層水取水管の調査をDPS装置のない船から一般の無人機で行う場合を例にとると、船は無人機のケーブルが損傷しないように波や流れの状況を見て細かな移動を繰り返し、さらに無人機側が要求する位置を外れないように注意深く運用する必要がある。それでもビークルやケーブルが海底の岩や障害物に絡んだ場合、直ちに流失事故につながるの明白である。

ホーネットランチャーシステムは「かいよう」をDPSで定点保持する場合にのみ使用し、目的によって定位または小移動（5～10m）を行ってきたが、その運用が数昼夜に及んでも、船は単にDPS装置に任せて運用すれば良いし、無人機側はゆっくりと時間をかけて慎重に操作し、不要な時には着底して待機しておけば良い。ビークルやケーブルが海底の岩や障害物に絡んだ場合でも、船は動かないのでゆっくりと時間をかけて離脱操作を行うことができる。

(6) 船上の位置関係がそのまま海底に展開される

「かいよう」のセンターウェルからSDC、船体中央の右舷から重量物、船尾からホーネットランチャーを降ろした場合、海底での三者間の水平的な位置関係は船上とほぼ同様である。したがってビークルの運用はコンパスのみで容易に可能であり、例えば重量物の着底位置にあらかじめビークルを待機させ（二次ケーブル長とビークル方位

で判断), 降りてくる状態をモニターすることが容易に可能であった。

(7) ビークルは平面的に運用すれば良い

ランチャーから離れたビークルは二次ケーブルの長さ範囲内で比較的自由に動けるが, その移動は海底沿いの平面に限られ, 鉛直方向を考慮する必要はない。このためビークルの運用はプールでの運用訓練と同様に容易となり, 連結等の技量を要する作業以外は熟練者でなくても操作が可能となった。

5.6 ホーネットランチャーシステムの可能性について

ランチャー方式の無人機はDPS船や海上基地のように洋上で確実に定点保持した場所から運用するのに適した装置である。ホーネットランチャーシステムはDPSを装備した「かいよう」と組み合わせることで運用することにより, 従来の無人機システムでは実施できなかった調査や特殊作業に使用することが可能となった。

中層に浮遊係留された構造物(兵庫県津居山沖中層型浮魚礁, 図6)を例にとると, この浮体部の下面や係留系の調査を行う場合, 海面から長いケーブルで垂下される従来の無人機では絡みの危険があるが, 「かいよう」をDPSで直上に定位し, ランチャーを構造物の側面に降ろしてビークルの二次ケーブルを短めにして運用すれば絡みの恐れはない。またランチャーを上下させることで係留系全体の調査を安全確実に実施できる。同様に海洋構造物の脚部構造物の点検, パイプラインの長距離にわたる確実な調査, 海洋生物の数昼夜以上に及ぶ連続観察, 重量物の大深度への設置回収作業等への利用が可能である。こうした作業を行うにはDPS船とランチャー方式の無人機を組み合わせることが, 作業の確実性を増す上で極めて効果的と考えられる。

ホーネットランチャーシステムの欠点としては, 既存の無人機を用いたため, 性能面で当初よりランチャー方式として開発したものに及ばないことがあげられる。現在は「かいよう」で潜水実験を主体に運用しており, SDCによる潜水作業が可能な海象条件化(シーステート3)での運用は問題ない。しかし無人機単独で用いる場合にはさらに厳しい海象条件下でも運用できることが望まし

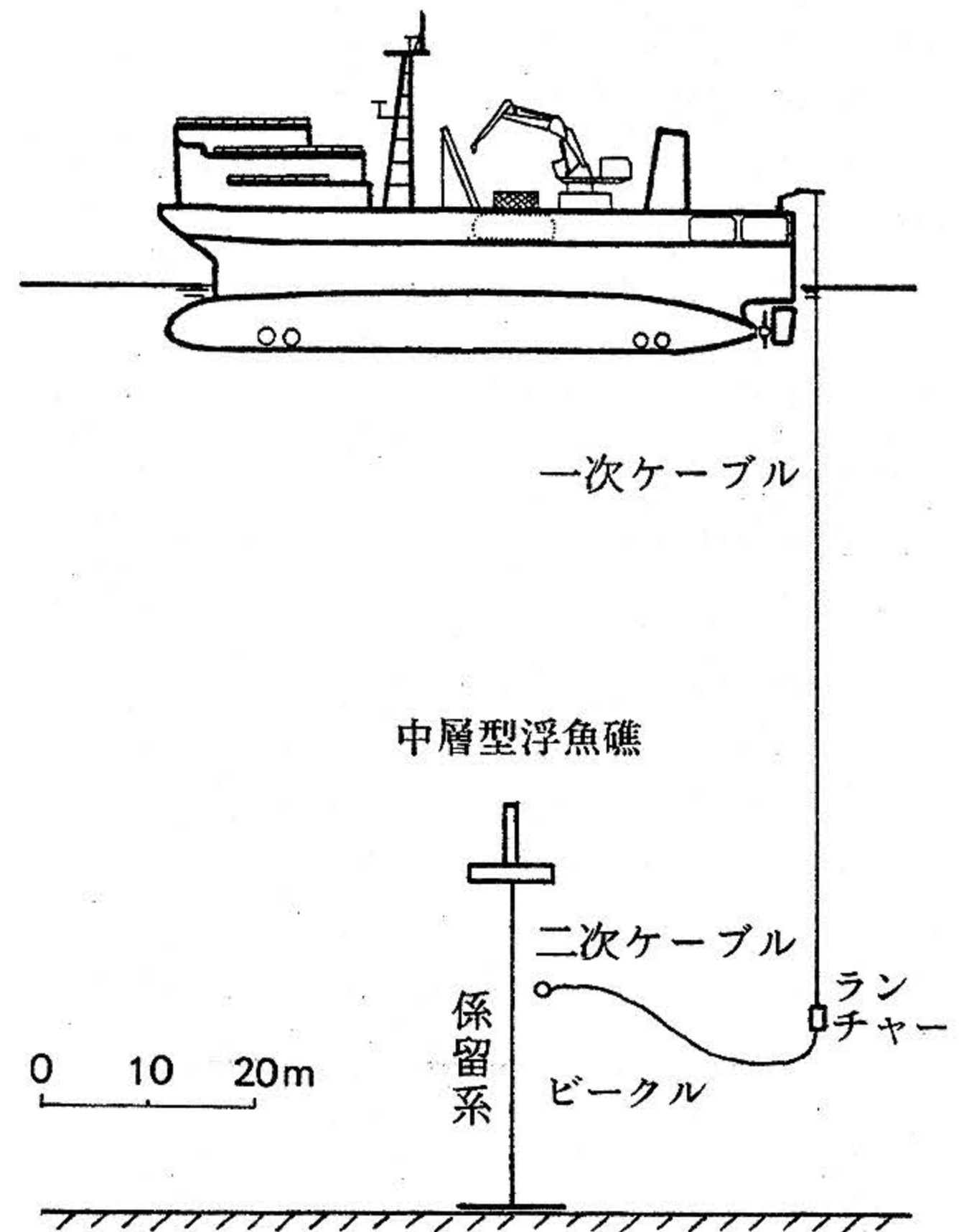


図6 中層魚礁調査の概念
 Fig. 6 A concept for research artificial floating fish reef by 'HORNET LAUNCHER SYSTEM' from dynamically positioned 'KAIYO'.

く, 比較的小型の船から運用できることも期待されている。ビークルの上昇下降速度不足に起因する「船の動揺周期と振幅による運用可能海象の制限」は小型船での稼働率の低下を予想させるものであり, 新たにランチャー用ビークルを開発して現在のビークルと交換することができれば, 万能型の観察用無人機システムとして一層の活躍が期待できる。なおランチャー用ビークルで重要な機能は, (i) 突起が少く衝突に対して強い, (ii) 上下動速度が速い(短時間でも良い), (iii) 安定性が良好, (iv) 視野が広い, 等と考えられる。

6 まとめ

ダイバー支援のための無人機について, 浅海ダイバー支援用と深海潜水ダイバー監視用という2種の典型的な装置の概念を検討した。浅海ダイバー

支援用の無人機については、小規模かつ小人数で行う調査潜水の場には無人機を同時運用するための余力がなく、無人機のために別の調査グループを擁することが必要であった。また複雑な海底地形の場所で無人機を運用する場合、安全上から船舶の係船が必要なことが明確となったが、特定の構造物を対象にした調査では係船作業自体が極めて困難なこと、そしてビークルが拘束された場合にはダイバーの補助を要する等のことが明らかとなった。従って浅海の調査潜水に関しては、潜水もしくは無人機のどちらかの方法に専念するほうが良い結果が得られると考えられた。深海ダイバー監視用無人機は潜水の安全性と作業効率を高める上で重要と考えられ、海中作業実験船「かいよう」をDPSで定点保持してSDCで潜水する場合を例に概念を検討した。その結果、ランチャー方式の無人機を開発することの必要性が明確となった。そこで深海開発技術部が開発した観察用無人機「ホーネット500」を利用し、我国で最初の実用型ランチャー方式の無人機「ホーネットランチャーシステム」を開発した。本装置によって、深海潜水ダイバーの安全性と作業効率を高めることができたばかりでなく、大型重量物の設置回収等の作業がダイバーと無人機の共同で可能となる等の見通しが得られた。

「ホーネットランチャーシステム」の開発においては、ダイバー、無人機、DPS船を一つのシステムとして考え、そこで実際に必要な無人機システムを製作した。このように明確な要求性能に基づいて専用システムを製作した結果、それ単独でも高性能な無人機システムとして運用が可能であり、他の目的にも使用できるものとなった。本装置開発のポイントは、ビークルに必要以上の高性能を望むことなく、実際の運用上でもっとも重要な着水揚収装置を充実したことである。こうした応用が可能となったのはベースにした無人機システム「ホーネット500」の性能が安定しており、そこに注意を払わずに機能向上を図れたことが大きく、これは海洋科学技術センターでの無人機の研究開発がかなり熟成していることを裏付けたものと考えられる。

海中技術の研究開発は各種基礎技術の組合せで可能となるものであり、そのベースとなる潜水技

術、無人機技術、といった基礎的共通的技術については着実な研究を進めてゆくことの必要性が痛感された。これによって必要に応じてどのような組合せも可能になることが本装置の製作で実証されたものとする。

今後の課題として、(i) ホーネットランチャーシステムの機能向上、(ii) ダイバーと無人機の組合せによる海中作業技術の研究開発、(iii) 大型のダイバー操作型の無人機システムの研究開発、(iv) 無人機をベースにした時のダイバーの介在技術、等各種考えられ、検討を加えて行きたい。

ホーネットランチャーシステムの開発では「ホーネット500」システムを快く提供頂き、多くのご指導とご協力を賜った海洋科学技術センター深海開発技術部、服部陸男研究主幹、青木太郎、渡辺正之、内田徹夫、小原孝文の諸氏にお礼申しあげる。装置の製作にあたっては住友重機械工業株式会社及び住友電気工業株式会社の関係者各位に多大なご協力を賜った。また海中作業実験船「かいよう」乗員の諸氏にはビークルの拘束、異常事態での回収作業、その他多くの問題点発生時に適切な措置をとって頂いた。現在ホーネットランチャーシステムが完全な状態であるのも乗員諸氏の協力あってのことで、ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Osborne J.M. and T. Sorensen: The Diverless Installed and Maintained Production System (DIMOS) - Continuing Evolution, ROV '88, Bergen, Norway, pp290-302, (1988)
- 2) Herwig H.A. and J.M. Cattranach: Standardization of North Sea Multiple Control Systems for Diver-Assisted Developments, OTC '88, 5670, Houston, U.S.A, pp489-496, (1988)
- 3) Renard B.M., J.I. Pederson and M. Freudenrich: The East Frigg Development, OTC'88, 5765, Houston, U.S.A, pp181-191, (1988)
- 4) Lomenech H., K. Ohm and P. Longuet: Diverless Installation of Templates and Pipelines on East Frigg Field, OTC'88, 5770, Houston, U.S.A, pp181-191, (1988)

- 5) Renard D.B.: ROV/Diverless Intervention on Oseberg Subsea Production System, ROV'88, Bergen, Norway, pp202-223, (1988)
- 6) Inderberg O. and T.W. Knudsen: Gullfaks A Subsea System Development, Completion, and Production Startup, OTC'87, 5402, Houston, U.S.A, pp389-397, (1987)
- 7) Kock E. : Installation of Subsea Protection Structures - Procedures and costs, UTC'86, Bergen, Norway, pp277-304, (1986)
- 8) Vinsen R.J.W and R.B. Malone: ROV Intervention - the Status and the Future, ROV'88, Bergen, Norway, pp462-476, (1988)
- 9) Linden J.: Vessel Vehicle - a Working Partnership, ROV'83, San Diego, U.S.A, pp241-245, (1983)
- 10) Rowe M. and H. Eidsens: A World Record Hyperbaric Welding Turnkey Project in Norway, ROV'88, Bergen, Norway, pp110-135, (1988)
- 11) Price D.A. and J.M. Osborne: Central Comorante Underwater Manifold Center 4 Years on : A review of Operational Experience, OTC'86, 5314, Houston, U.S.A, pp207-218, (1986)
- 12) Gil N.S. and H. Rensvic: Two Years Operational Experience in Subsea Production system. Underwater Inspection, Maintenance and Repair, UTC'86, Bergen, Norway, pp451-462, (1986)
- 13) Skattum K.S. and I.G. Ball: TOGI - Troll Oseberg Gas Injection Project, ROV'88, Bergen, Norway, pp136-170, (1988)
- 14) Norton W.B.: Norske Shell's Diving and Subsea Intervention Studies, UTC'86, Bergen, Norway, pp305-322, (1986)
- 15) Luther G., P.B. Benett, W. Elsner, J. Holthaus, H.G. Schafstall and J. Vollbrandt: Efficiency of Working Diver in Depths Down to 600 m, OTC'88, 5706, Houston, U.S.A, pp227-235, (1988)
- 16) Dailey D.A., P. Blakeley and C.E. Cunningham: Thames Subsea trees: Deep-water Diver-Assist Technology for a North Sea Shallow Water Application, OTC'87, 5401, Houston, U.S.A, pp379-387, (1987)
- 17) Virr L.E.: ROV Support to Divers, NDT'88, London, England, 573-582, (1988)
- 18) 岡本峰雄: ダイバーとの比較からみた魚礁での無人機の魚類観察能力について, 日本水産学会誌, 55, 1539-1546, (1989)
- 19) 岡本峰雄: D P S 装備潜水支援船の現状, JAMSTECTR, 18, 29-37, (1987)
- 20) Busby R.F.: A Concept for Remotely Operated Diver Assist Vehicle (RODAP) U.S. Department of Comitee, NOAA, pp.1-30, (1980)
- 21) Marsland G.E. and K.H. Marschner: A Tethered Submersible for Use as a Tool by a Diver, OTC'82, 4280, Houston, U.S.A, pp.581-594, (1982)
- 22) ZF-Hreion-Systemtechnik: Project DAVID, Fellbach, Germany, pp.1-124, (1984)
- 23) 海洋科学技術センター: 昭和59年度沿岸漁場開発基礎調査事業報告書 (海中構築物周辺の水産動物の挙動に関する調査), pp.1-83, (1985)
- 24) Arnoux G.: ROVs Increase Diver Safety, ROV'86, Aberdeen, UK, pp121-123, (1986)
- 25) Gray W.E.: Planning and Conduction Combined Diver/ROV Operations, ROV'86, Aberdeen, UK, pp.86-92, (1986)
- 26) 渡辺雅之, 他: 「かいよう」, 「なつしま」におけるドルフィン3Kの運用, JAMSTECTR, 22, 247-264, (1989)
- 27) 青木太郎, 服部陸男, 野本昌夫, 高橋賢一: 自航式ビークル「ホーネット 500」の開発, JAMSTECTR, 12, pp.39-49, (1984)

(原稿受理: 1989年11月14日)