

DPS 装備潜水支援船の現状

岡本 峰雄*¹

飽和潜水作業中のダイバーが操作する方式の無人機DOV (Diver Operate Vehicle) の概念を検討しているが、実際にそれを運用するには大型の潜水支援船が必要と考えられた。そこで現在稼動しているDPS 装備潜水支援船DPDSVのうち15隻について性能、装備品等の現状をまとめた。また水中乾式溶接時の運用についても実態を調査した。

DPDSV 15隻の内訳はモノハル型12隻、セミサブ型3隻である。モノハル型は、全長90~100m、船体幅18~20mが主で、セミサブ型はさらに大型である。潜水装置の使用深度は300m又は450mの16人用が標準で船体内部に装備されている。広い作業甲板、大型のクレーン(50~70トン以上)、作業用ムーンプール等が外観上の特徴である。

高性能なDPS 装置、良好なベル昇降装置により船舶と潜水装置の運用は大幅に省力化されている。実作業では海底の作業現場と海面の船舶とを仲介するため、監視用ROVの運用が必要不可欠となっている。

The present situation of Dynamic Position Diving Support Vessels (DPDSV)

Mineo OKAMOTO *²

As part of fundamental research on Diver Operate Vehicles (DOV), fifteen Dynamic Position Diving Support Vessels (DPDSV) - twelve mono-hull vessels and three semisubmersible vessels - were reviewed in their technical aspects.

The normal dimensions of mono-hull vessels were 90-100m in total length, 18-20 m in moulded beam, semi-submersible vessels were larger. Diving systems were normally rated up to 300 or 450 m for 16 divers with two diving bells. Characteristic of DPDSV were a broad working deck, a big main crane, and a working moon pool.

The number of persons engaged in DPS control and bell control was quite small because they were equipped with a high performance dynamic positioning system, a high accuracy underwater acoustic navigation system and a functional diving bell handling system. When operating the DPDSV, a small Remotely Operated Vehicle (ROV) was indispensable for observation between the surface vessel and working points at the bottom.

*¹ 潜水技術部

*² Diving Science and Technology Department

1. はじめに

ダイバーの行う海中作業は、科学調査を目的とした浅所の軽作業から、海底石油・ガス資源に関連した深所の重作業まで、広い分野に及んでいる。

近年ROVの開発が進むにつれ、ダイバーの作業を支援またはダイバーが操作するROVの開発が進められている。科学調査用としてはRODAP¹⁾が検討され、海底資源の分野ではDAVID²⁾が実用化されている。

著者らは今後海洋科学技術センターで開発されてゆく大深度飽和潜水の場において、ダイバーの海中での足場及び動力・ガス源としての役割をもつDOV（ダイバー操作型無人機 Diver Operate Vehicle）を導入するための基礎調査を行っている。しかし国内でのROV運用の現状としては、浅海用の超小型無人機が単独で科学的調査に使用されている程度であり、作業用ROVはほとんど運用されていない。ダイバーとROVの共同作業に関しても、その経験はごくわずかであり^{3,4)}、相互の作業に係りがとれているとは言い難い。またDPDSV装備の船舶からのROV運用は国内では未経験である。

欧米においては60~70隻のDPDSV（Dynamic Position Diving Support Vessel）が稼動していると言われており^{5,6)}、飽和潜水の実用化とともにダイバー作業を支援するためのROV運用が一般化している。この現状がダイバー操作型無人機の開発への背景になっているものと考えられる。

本稿では現在運用されているDPDSVの具体像を明確にするとともに、実際の飽和潜水作業におけるダイバーと無人機のかかわりについて報告する。

2. 方法

DPDSVの現状をまとめるに際しては、1985年中に著者が乗船・見学したもの、及び同年に訪問した潜水企業で直接入手した資料を用いた。さらに事後のニュースで改造の有無等をできるだけ調べ、1986年3月現在でまとめた。

DPDSVからの飽和潜水の具体例としては、1985年4~5月にベルゲン港内で行われた165mでの水中乾式溶接実験の流れについて簡単に紹介する。

本実験はSTATOILの支援によってSubSea Groupが行ったものであり、半自動溶接ロボットOTTO開発の最終テストであった。著者は水中乾式溶接ハビタットの環境ガス浄化及びモニタリングシステムを担当したNUTECの好意により、全期間乗船の機会を得ることができた。

3. DPDSVの現状

調査を行ったのは表1に示した15隻で、建造年次はDPDSV第1号と思われるArctic Surveyorの1974年から最新のSeaway Pelicanまで広い範囲に及んでいる。船形としてはモノハル型12隻、セミサブ型3隻である。以下に要目ごとの特徴をまとめて述べる。

表1 DPS装備潜水支援船の主要目

Main data of DPDSV (Dynamic Position Diving Support Vessel)

Name	Total length(m)	Beam moulded(m)	Year built
Arctic Surveyor	79.0	12.0	1974
Seaway Farcon	80.65	16.0	1975
Subsea Canopus	83.75	17.25	1976
Arctic Seal	96.0	18.0	1977
Seabex One	104	21	1981
Seaway Condor	101.0	19.6	1982
Ugland Comex 1	83.2	19.4	1983
Norskald	101.7	19.6	1983
Orelia	119	19	1983
Explorer	81.0	16.2	-
Seaway Harrier	83.4	19.5	1985
Seaway Pelican	89.3	18.0	1986
Uncle John*	77.00	52.63	1977
Safe Karinia*	89.9	65.4	1983
Safe Regaria*	97.8	92.0	1985

* ; Semisubmersible

3.1 船の大きさ、外形

モノハル型及びセミサブ型の外形はほぼ共通している。典型例としてSeaway CondorとSafe Regaliaを図1,2に示した。

モノハル型は全長90~100m、船体幅18~20mが中心を占めており、最大のもは全長119m、船体幅19mのOreliaであった。船体の特徴としては、後半部に広い作業甲板と大型クレーンを有していること、潜水装置はほぼ中央部の船体内に収納されていること、船首部にヘリコプターデッキを有していること等が共通している。

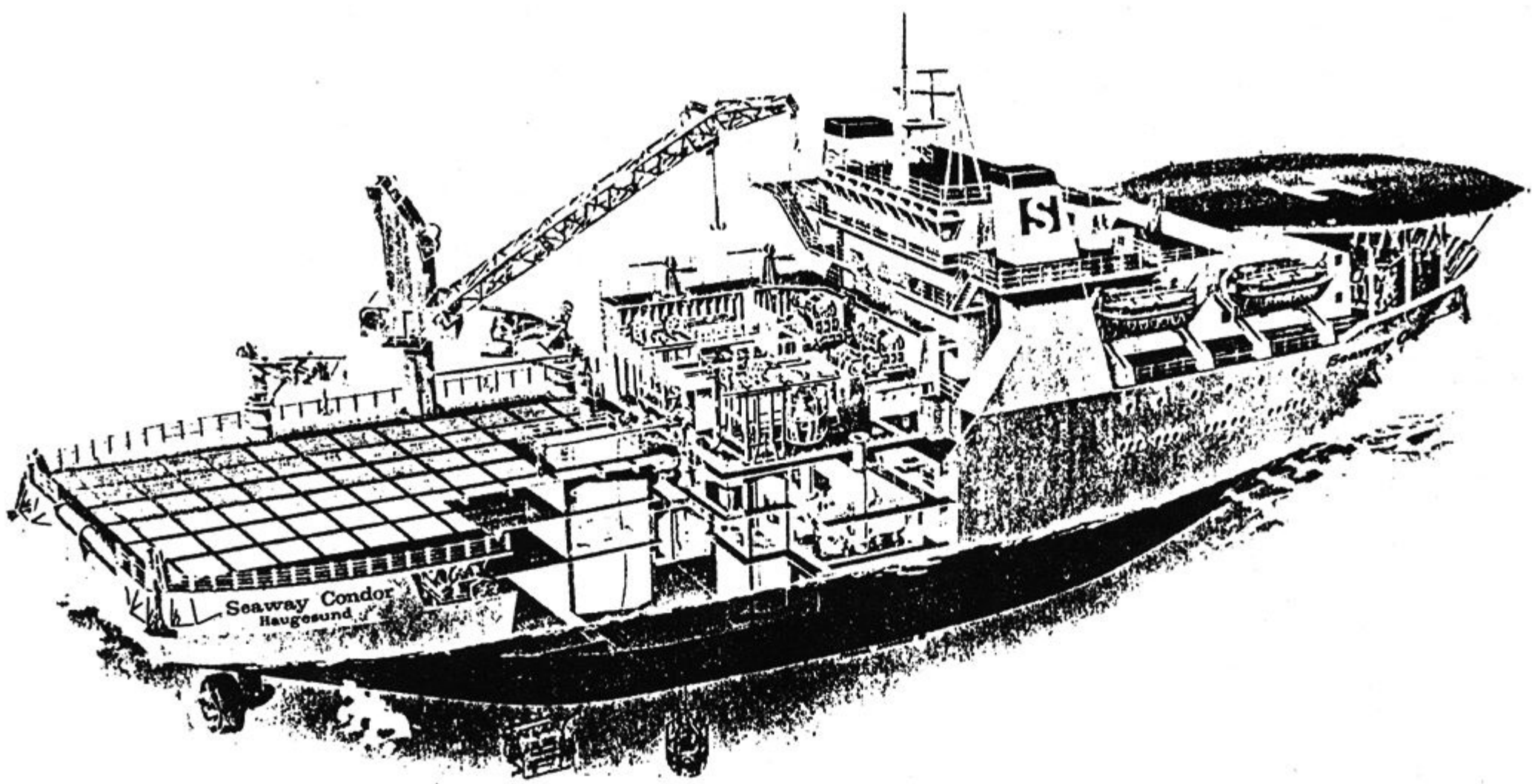


図1 モノハル型DPDSVの一例
An example of monohull DPDSV Seaway Condor

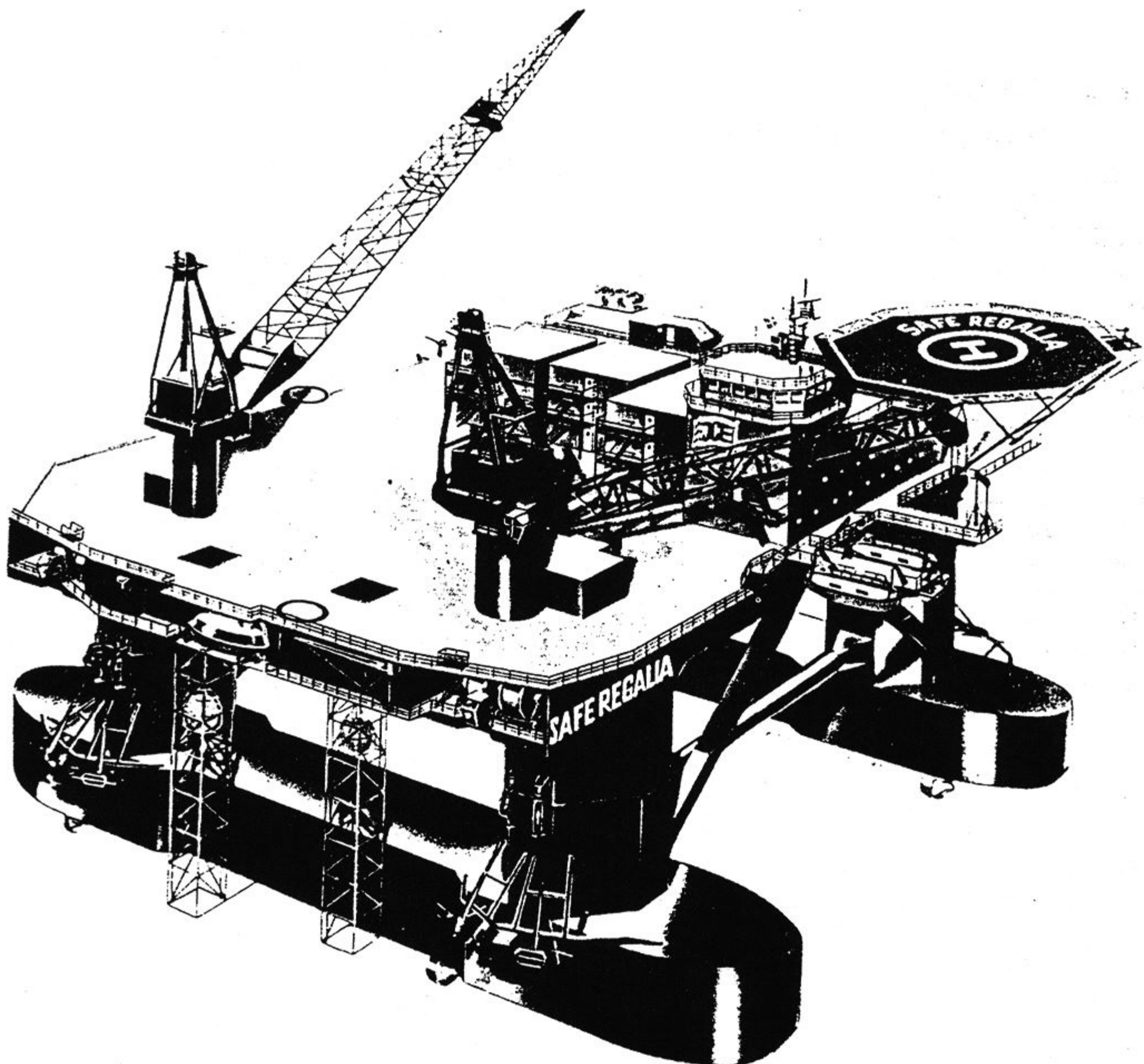


図2 セミサブ型DPDSVの一例
An example of semisubmersible DPDSV. Safe Regalia

セミサブ型3隻は、建造年次が新しくなるにつれて大型化しており、最新のRegaliaは全長97.8m、全幅92mである。幅広い船体を利用して広大な作業甲板と大型クレーンを装備している。潜水装置は船の側面に収納されているが、ダイビングベル昇降用のカーソルが船底付近まで伸びているのが特徴である。

3.2 潜水装置

潜水装置は300m用5隻、350m用1隻、400m用3隻、450m用6隻であった。主要目を表2に示した。1980年以降は300mまたは450m用で定員16名が標準となっている。ダイビングベルは3人用を2基装備するのが標準であり、同時運用できるようになっている。ダイバーの救命用具では、高圧救命艇装備が11隻、高圧救命チェンバー装備が4隻であり、いずれもDDCの定員を収容できる大きさになっている。

表2 潜水装置
Diving System of DPDSV

Name	Depth rating (m)	Complement of DDC	No. of Bell	Complement of Bell	Diver rescue
Arctic Surveyor	400	9	1	3	HRV
Seaway Farcon	300	8	1	2	RC
Subsea Canopus	300	12	1	3	RC
Arctic Seal	400	12	1	3	HRV
Seabex One	450	16	1	3	HRV
Seaway Condor	350	16	2	3	HRV
Ugland Comex 1	300	16	1	3	HRV
Norskald	450	16	2	3	RC
Orelia	450	20	2	3	HRV
Explorer	300	12	1	3	RC
Seaway Harrier	300	18	2	3	HRV
Seaway Pelican	450	18	2	3	HRV
Uncle John	400	12	1	3	HRV
Safe Karinia	450	16	2	3	HRV
Safe Regalia	450	16	2	3	HRV

HRV; Hyperbaric Rescue Vessel. RC; Rescue Chamber.

ダイビングベルの昇降は、モノハル型はムーンプール、セミサブ型はカーソル経由で行われる。ベルは把持金物でがっちりと固定された状態で水面下まで保持され、脱着が行われる。脱着の深度はモノハル型で約5m、セミサブ型は12~15mである。

3.3 DPS

動的船位保持装置(DPS: Dynamic Positioning System)の製作メーカーの内訳はKONGSBERG

11隻、GEC2隻、HONEYWELL2隻であった。

位置決め用のリファレンスシステムとしては、(i) トウトワイヤシステム、(ii) 水中音響システム、(iii) 海上近距離測位システムの3種が標準装備品であり、潜水中の船位保持に際しては、このうち最低2つのシステムのデータが同時にDPSに入力されているよう義務づけられている⁷⁾。

トウトワイヤシステムは潜水用としては最も重要視されており、15隻中10隻が2式装備している。KONGSBERG製 Light Weight Taut Wire Systemが主である。

水中音響システムは13隻がSIMRAD、2隻がHONEYWELLであり、トランスデューサは2個装備している。固定式と旋回式、または旋回式2個の組合わせであり、DPSのリファレンス及び海中でのダイビングベル、ROV、作業対象物等の位置表示に用いられる。

洋上近距離測位装置としては、KONGSBERGがARTEMIS Microwave System、HONEYWELLがMOTORORA製を用いている。

3.4 係留装置

DPDSVは海底石油・ガス生産用プラットフォーム等の海洋構造物にごく接近した場所に定位して潜水作業を行うことが多い。こうした場所では係留装置で船位保持することは極めて困難であり、浅所であってもDPSモードで定位する。係留装置は新たな海底構造物の建造など限られた用途でのみ使用される。係留装置を有していたのは表3に示した6隻で、モノハル型は12隻中4隻に四点係留装置、セミサブ型3隻中2隻に八点係留装置が装備されていた。

1980年代に建造された船では、係留装置はブリッジの集中制御装置で遠隔操作できるようになっている。潜水作業中、ダイビングベルを少し離れた場所に移動させるような場合でも、ブリッジでごく容易に船位を変えることができる。

3.5 ムーンプール

ムーンプールの数、主クレーンの主要目を表4に示した。

モノハル型ではダイビングベルごとに専用ムーンプールを有している。これらは船体内に開口しており、外側からは見えない。DPSのリファラ

表3 係留装置

Anchor Mooring System of DPDSV

Name	Anchor			Wire		
	Number	Weight (t)	Type	Dia. (mm)	Length (m)	Number
Subsea Canopus	4	2	Bruce	44	1300	4
Arctic Seal	4	9	Warp	44	1300	4
Seaway Condor	4	2.8	-	38	1300	4
Seaway Harrier	4	3.06	-	36	1200	2
				46	750	2*
Safe Karinia	8	9	Flipper Delta	64	2300	8
Safe Regalia	8	9	Flipper Delta	86	2500	8

* ; Chain

表4 ムーンプールと主クレーン

Moon pool and Main deck crane of DPDSV

Name	Moon pool			Main deck crane		
	Bell	Taut wire	Working (m)	Max road (t)	Outreach (m)	Capacity (m)
Arctic Surveyor	1	-	4.5 x 4.5	30	-	305
Seaway Farcon	1	-	6.5 x 4	30	10	300
Subsea Canopus	1	-	-	100	-	225
Arctic Seal	1	-	9.4 x 4.6	100	22.8	102
Seabex One	1	-	14 x 8	50	14	300
Seaway Condor	2	1	6.5 x 4	70	10	300
Ugland Comex 1	1	-	-	25	20	300
Norskald	2	1	7 x 7	70	14	350
Orelia	2	-	-	100	15	450
Explorer	1	-	4 x 3.5	50	15	450
Seaway Harrier	2	-	3.6 x 3.6	60	10	300
Seaway Pelican	2	2	4.2 x 3	60	10	400
Uncle John	-	-	-	100	-	200
Safe Karinia	-	-	(8 x 8)	200	-	450
Safe Regalia	-	-	(8 x 8)	400	-	450

ンスであるトウトワイヤは、通常船首または船首付近の舷側に装備されているが、船体内に専用ムーンプールを有したものもある。

ほとんどの船には大型の作業用ムーンプールが装備されており、ROV用または重量物の運搬用として用いられている。最大の開口部を有しているのはSeabex Oneで、14×8mという大きさである。作業用ムーンプールは作業甲板の船首寄りに位置し、通常は蓋がかぶせられている。特殊な例としては船内に開口しているもの（Seaway Harrier）もある。

3.6 クレーン

自船への岸壁での物品の積み降し、潜水作業現場への物品の運搬用として各種のクレーン類が装備されている。表4には主クレーンの能力だけを示した。

モノハル型では主クレーンの能力は、水中乾式溶接装置を運用するのに十分なようになっている。乾式溶接用ハビタット（Welding Habitat）とパイプライン保持装置（SPAR: Subsea Pipe Alignment Rig）の重量や形式は潜水企業によって大きく異なるが、概ね50～70トン前後である。DPDSV

は多くの潜水企業にチャーターされることから、こうした要求を満たす能力が必要とされる。ただし建造年次が古く、自船からの溶接作業を考慮していなかった2隻（Arctic Surveyor, Seaway Farcon）と補給船の改造形である1隻（Ugland Comex I）には25～30トンの小型クレーンしか装備されていない。

セミサブ型は水中乾式溶接だけでなく、各種海底構造物の建造に使われるため、モノハル型よりも大きなクレーンを装備している。最大の能力を有しているのはSafe Regaliaで、400トンのものを450m深度まで運用できる。

DPDSVには主クレーンの他、数トン程度の

小型クレーンが多数装備されており、いずれも潜水作業深度までの物品輸送ができるようになっている。

4. DPDSVの運用例

水中乾式溶接は潜水作業のうち最も困難かつ熟練を要するものと言われている。ここで紹介するのは実験潜水であるが、全体の手法は実作業そのままのスケジュールで行われた。溶接作業は半自動TIG溶接ロボットで行われたが、実海域で同種の装置が用いられたのは世界で最初である。使用船舶、装置等を表5に、船上の各装置の配置を図3に示した。以下に運用状況について流れを追って述べる。

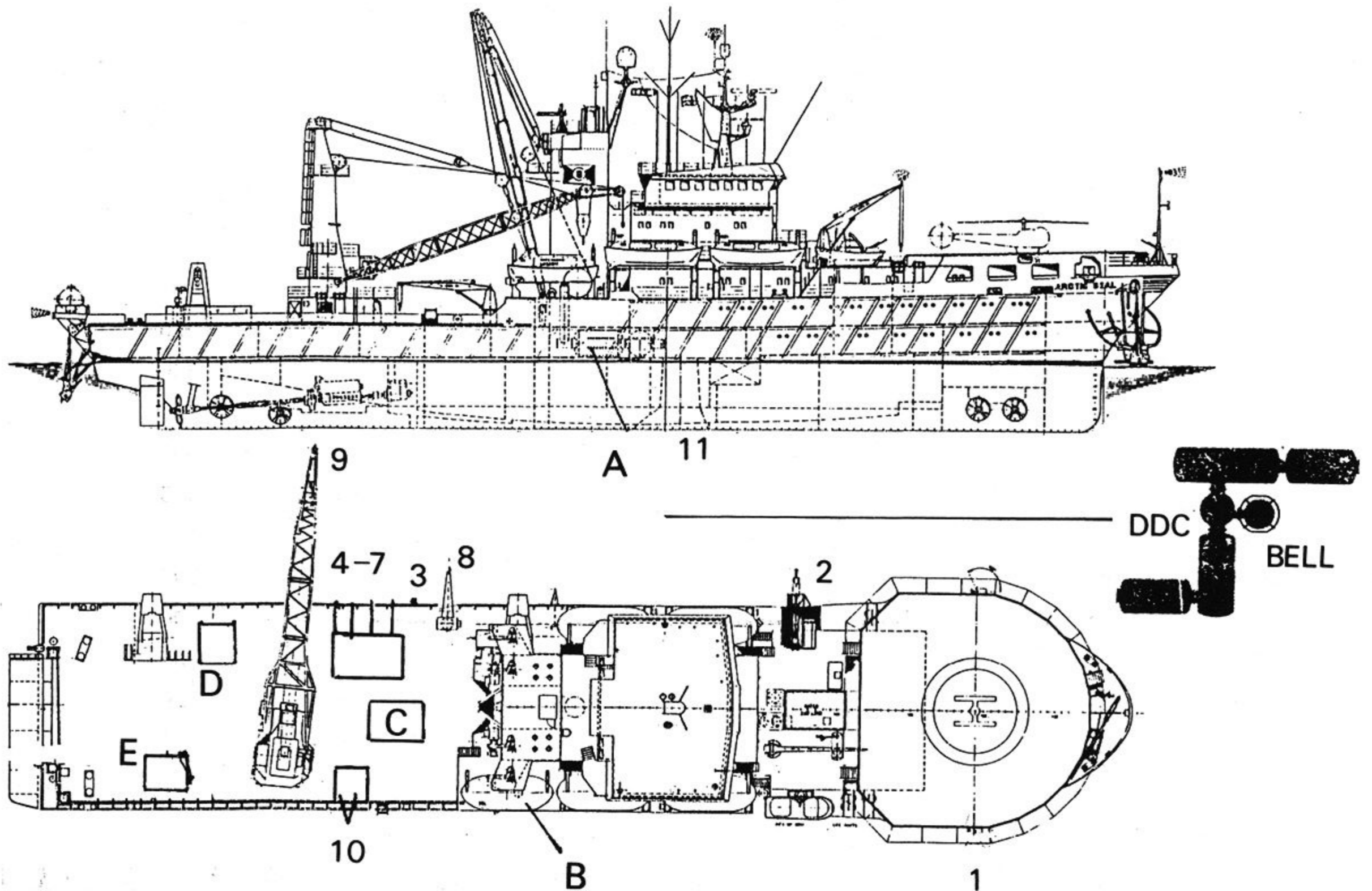


図3 水中乾式溶接時のDPDSV Arctic Sealの船上配置

Arrangement of apparatuses onboard DPDSV Arctic Seal used for OTTO Welding dive

I Diving System and other control rooms

A: Diving System, B: Hyperbaric rescue vessel, C: Welding-CR, D: OTTO-CR E: ROV-CR

II Cable or wire extended to the bottom

1. Taut wire for DPS, 2. Transponder for DPS, 3. Guide wire between SPAR and Vessel, 4~7. Umbilicals for SPAR and OTTO

III Diving support cranes

8. For service capsule, 9. For heavy devices.

IV Others

10. ROV Cage, 11. Diving bell.

表5 水中乾式溶接に使用した装置類
Main apparatuses used for OTTO
Welding Dive

DPDSV	; Arctic Seal (Displacement 5,575 ton)
Water depth	; 165 m
Saturation period	; 13 days
Number of divers	; 9
Spar, Welding habitat	; Odd Berg (About 65 ton)
Welding machine	; OTTO (Automatic Orbital Welding System)
ROV	; SCORPI
Welding Habitat	
Gas Recovery System	; Membrane System
Diver	
Gas Recovery System	; Krasberg

4.1 出港準備

港にて機器の積み込みや安全教育等を実施。積み込みは全て自船のクレーンで行った。

4.2 出港から船位保持まで

実験海域はベルゲン港内であり、Arctic Sealは出港後約30分で現場に到着。直ちにDPSのリファランスシステムのトウトワイヤとトランスポンダを海底に下げ、20~30分でDPSモードでの定位が完了した。フィヨルド内であるため洋上測位装置は使用しなかった。

4.3 ダイバーの加圧

船の定位後、9名のダイバーがDDCに入室し、約30分で飽和深度まで到着した。

4.4 SPAR及びWelding Habitatの設置

Tie-inによる2面の溶接を行うため、36インチのパイプを保持したSPAR及びWelding Habitat一式約65トンが、自船の旋回式クレーンで海底に降された(図4)。沈設はハビタット内を均圧し

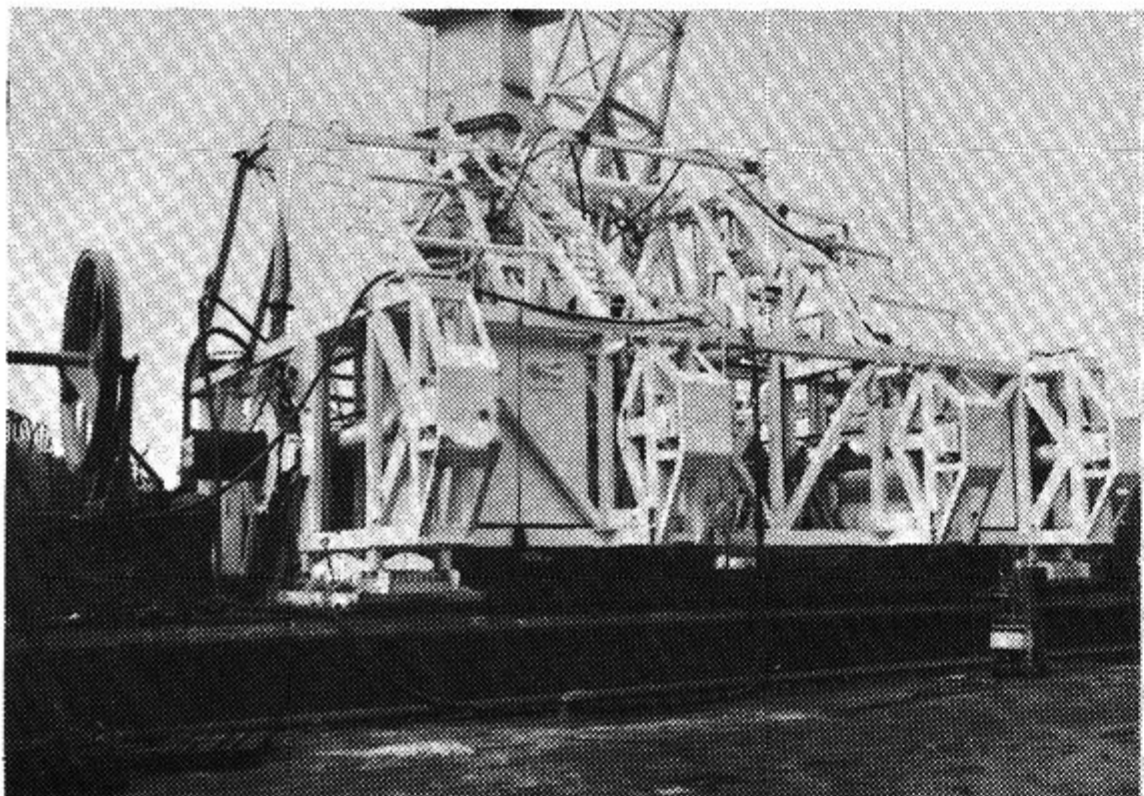


図4 溶接ハビタット
SPAR and Welding Habitat

ながらゆっくりと行われ、海底付近ではROVの映像にもとづいて慎重なクレーン操作が行われた。

4.5 潜水作業

潜水は定員3名のダイビングベルを用いて行われ、9名のダイバーが8時間ずつ3交代で昼夜連続作業を行った。飽和深度の居住は13日間であった。

最初の潜水はSPARの四点吊り金具の取り外し作業であり、以後溶接ロボットの運用に関連した細かな補助作業、溶接完了後の非破壊検査、再度のパイプ切断作業と溶接の事前準備作業等が継続して行われ、最後の吊り金具かけで完了した。

4.6 ROVの運用

潜水作業と並行してROVも24時間連続して運用され、SPARやHabitatの調査、ダイバー作業の監視、船と海底間の物品の輸送、実験全体のVTR及びスチール写真記録作成等の作業を行った。

4.7 船側と海底側の物品の受け渡し

海底に置かれたSPAR、Welding Habitatと、海上の揺れる船との間で、頻りに物品の輸送が行われた。この作業を行うため、船のDPS監視制御室とROV監視制御室では、SPAR、ダイビングベル、ROV等すべての物体の位置が常に表示されていた。またROVの映像はDPS監視制御室のほかダイビングベルの監視制御室にも導かれており、あらゆる場所で必要な情報が得られるようになっていた。

軽量小型の物品は物品輸送カプセルで運搬されるが、この時はROVの映像だけが海底と船との仲介に用いられた。カプセルはSPARと船を結ぶガイドワイヤーに沿わせてウィンチで昇降され、ウィンチ係は海底でダイバーが待機したりカプセルを固縛している様子等のROV映像をながめて、ウィンチの操作を行った。

重量物で特定の位置に固定する必要のあるものは、ROV、海中位置表示装置、DPS、ダイバー、クレーンを総動員して中継作業が行われた。重量3~4トンのバッテリーポッドをSPARの定位位置に運搬した時は次のような手順で行われた。(i)吊り下げは旋回式クレーンによりガイドワイヤーなしで行われた。(ii)降下中、SPAR、ベル、ポッド、ROVの位置は常時モニターされ、ポッドが

SPARの少し上面に近づいた所で停止。(iii)海中位置表示装置とROVの映像を見ながら、水平移動はDPS、垂直移動は吊り索の伸縮、で慎重に操作。(iv)ダイバーが若干補助して定位置に収納。吊り索を外してポッドをワイヤー等で固定して作業完了。

4.8 SPAR, Welding Habitatの揚収

最後のダイバー作業で吊り金具を取りつけ、SPARとWelding Habitatを船上に回収。

4.9 帰港及び減圧操作

船は直ちにDPSのリファランスであるトウトワイヤとトランスポンダを巻き上げ(所要時間約5分)、実験海域を離れた。

帰港後、各種装置の整備作業が行われ、翌日からダイバーの減圧が開始された。

5. DOVのベースとなるDPDSVについて

DPS装備の潜水支援船について、船舶の基本仕様、及び最も困難な海中作業と言われている水中乾式溶接の運用、という両面から調査を行った。その結果、DPDSVからの潜水作業の概念がほぼ明らかになった。概要を次にまとめて述べる。

5.1 DPSについて

DPSでの船位保持能力は良好であり、潜水作業に際しては何ら不安は感じられなかった。トウトワイヤ、水中音響、海上測位の3つのリファランスシステムを組み合わせて用いることにより、複雑な海底地形の場所、岸から遠く離れた海域、構造物のごく近辺、浅海域等どこでも定位が可能である。

5.2 海中位置表示装置

実作業では海底での各物体間の位置把握が必要である。作業対象物、ダイビングベル、ROV、沈設・揚収を行う物体、こうした各物体間の位置を音響装置でモニターしながら船舶全体の運用を行う技術が一般化している。

5.3 船と海底の仲介役としてのROV

物体の沈設・揚収作業を行う時、クレーン手は物体と海底の位置関係及びそれを支援しているダイバーの行動等を視認しながら作業を行う必要がある。ROVは海底と動揺する船舶との仲介役となる重要な装置である。

DPDSVで用いられるROVは、小型でスチ

ールカメラ、障害物探索ソナー等を装備した観察専用のものである。機種はRCV-225, DART, SEA OWL, SCORPIが多く、システムは監視制御盤や電源を収めたコンテナハウスと専用の着水揚収装置から成り、ビークルは全てケージ(ランチャー)方式となっている。

5.4 クレーン設備

海中作業を行う場合、作業に用いる装置・機器類を作業現場まで確実に運搬する必要がある。同様に、岸壁でこうした機器類を搭載、荷降しする作業も必要不可欠である。

一般的なクレーン設備としては50~70トンの主クレーン、5~10トンの副クレーン、及び1~2トンの補助クレーン数基が装備されており、いずれも最大潜水深度まで使用できる。ROV、トウトワイヤ、トランスポンダ等のためには別途専用クレーンが用いられる。

6. まとめ

ダイバー操作型の無人機(DOV:Diver Operate Vehicle)の具体例としては、西ドイツのZF-Herion Systemtechnik GmbH製のDAVIDが稼動を始めた(図5)。DAVIDの構成は、ビークル約4トン、ケーブルとウインチ約20トン、その他コントロールルームからなり、非常に大規模なものである。運用時には別途ビークル用クレーンも必要である。わが国においては、DAVID単体を運用するのでも相当の困難を伴うが、北海域では前述のような大型DPDSVが多数稼動している。どの船舶であっても直ちにDAVIDを搭

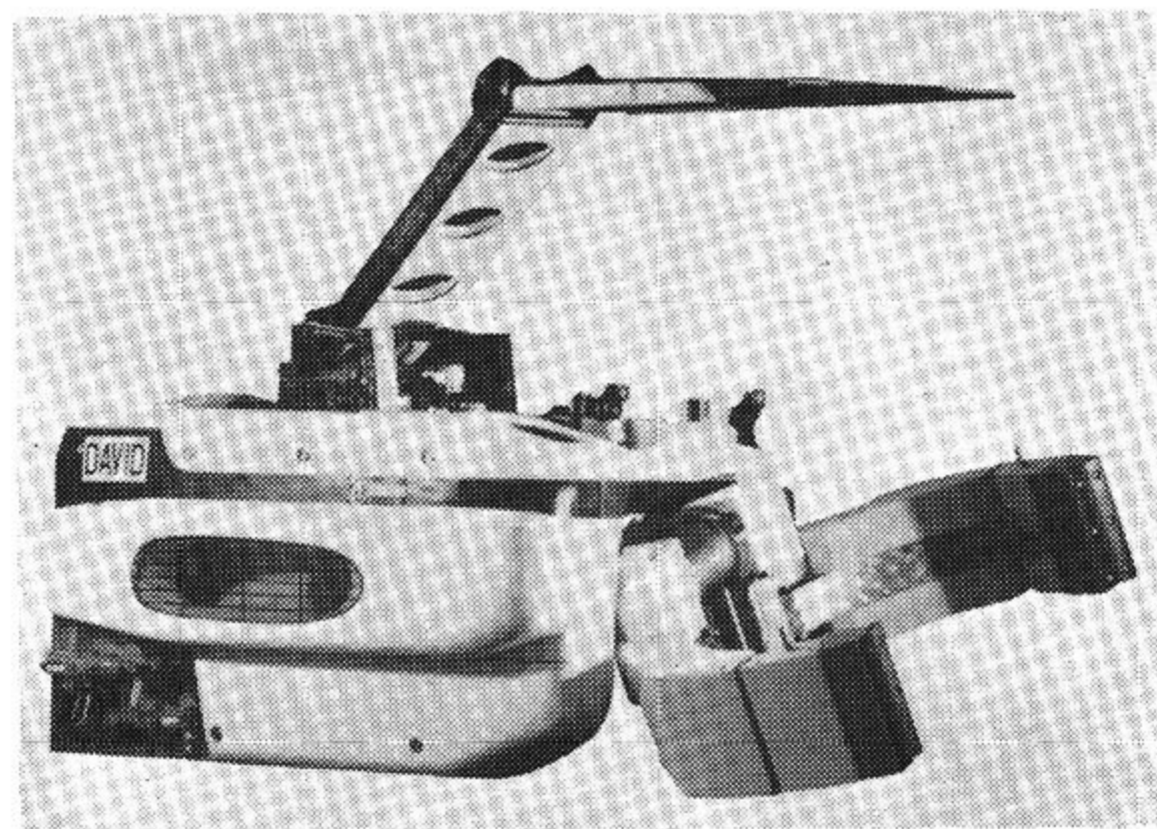


図5 ダイバー操作型無人機 DAVID
Diver Operate Vehicle DAVID

載でき、しかもダイビングベルと並行してそれを運用することが可能である。

今後「かいよう」で潜水実験を行う過程においては、DOVの導入は困難と言わざるを得ない。当面の課題として、(i) DPSモードでの安全な潜水法の確立、(ii) 潜水作業監視用としてDPS定位状態で運用できるROVの導入、(iii) 海中位置表示装置を導入した潜水時の船舶運用技術の確立、こうした基盤を固めてゆくことが必要と考える。

文 献

- 1) NOAA ; A Concept for remotely operated diver assist vehicle (RODAP), 1980.
- 2) Marsland G.E. and Marshner K.H. ; A tethered submersible for use as a tool by a diver, OTC (4280), 1982.
- 3) 岡本峰雄 ; 無人機の魚類観察能力, DOVの基礎調査— I., (未発表)
- 4) 岡本峰雄 ; 潜水作業モニターのためのROV運用について, 60m実海域潜水実験, (未発表)
- 5) Sub Note ; ROV Review 1985, p.47—52, 1985.
- 6) Norman Chambers ; Dynamic Positioned Vessel, International Diving Symposium '85, p.1—104, 1985.
- 7) Norwegian Petroleum Directorate ; Guideline for the specification and operation of dynamically positioned diving support vessels, 1983.

(原稿受理：1986年12月1日)