

1. 潜水船の救難システムに関する考察

高 川 真 一,*¹ 徳 永 三 伍,*¹ 岡 田 光 豊,*¹

海洋科学技術センターでは、日本で初めての 2,000m 潜水調査船を開発建造中である。本稿では、潜水船の事故の中で、乗員の生命の危険に最も関係のある浮上不能事故を分類し、さらに過去の事故例を解析するとともに、本潜水調査船の安全および救難対策について、現状と将来の展望を述べた。

Consideration of the Rescue System for Undersea Vehicles

Shinichi Takagawa,*² Sango Tokunaga,*² Mitsutoyo Okada*²

JAMSTEC is now in development and construction of 2000 m Deep Submergence Research Vehicle (DSV-2K).

In this paper, the most fatal accidents, that is the accidents of caused by being unable to ascend to the surface, are categorized, and the accidents which have occurred in the past are analysed.

Furthermore, the present conditions and the future prospects of the DSV-2K safety and rescue system are discussed.

1. ま え が き

現在、海洋科学技術センターで開発建造を進めている DSV-2K (2,000m 深海潜水調査船) は、昭和56 (1981) 年完成の予定であるが、このような大深度の潜水船は、日本では初めての事業である。したがって同程度の深度まで潜航できる潜水船は日本にないため、万一、この潜水調査船が 2,000 m の水深の海底で事故や故障で浮上できなくなった場合にはもし日本に救助手段がなければ、2,000 m 以上の潜航深度を有する潜水船等の救助能力を持つ国に救助を求めなければならなくなる。このような事態にたち至らないため、本潜水調査船では、船自身のハードウェアおよびオペレーションの要領等のソフトウェアで事故や故障の起こらないような信頼性の十分高いものを使用すると

共に、一部が故障しても、他の機器で十分補えるような二重系をふんだんに使用し、事故および故障に対処できるようにするほか、万一の事態に備えて緊急浮上装置を装備し、万全を期している。

しかし、“3 潜水船の事故例等の解析”の結果からも分かるように、本船のような大深度の潜水調査船の場合には、浮上不能の事故はほとんどないと考えられるが、将来、浅深度や人工構造物周りでの潜航の要請も強くなると予想されるので、自力浮上が困難な場合でも支援母船等の海上船舶上で、操作する外部救難の方法も計画しており、救難に対して幾重もの配慮を進めている。

以下に、潜水船の事故と救難方式、事故例の解析、本潜水調査船装備の事故および故障対処方策、外部救難方策について述べるとともに、将来の方向について展望する。

*¹ 深海開発技術部

*² Marine Technology Department

表1 潜水船の救難方式の比較

方 式	方 法	問 題 点
潜水船の自力による浮上	重量調整装置による浮上	(1)重量調整装置が作動する場合に限られる (2)浮量には限度がある
	ドロップウェイト投棄による浮上	(1)浮量には限度がある (2)ドロップウェイトの量だけ船の重量が増加する (3)投棄物の回収が不可能である
	耐圧殻からの個人脱出・浮上	(1)きわめて浅深度に限られる (2)体力的に個人差がある
		(1)耐圧救命具の開発が必要である (2)浅深度に制限される
	脱出球による浮上	(1)船体が大形となり、船の重量が増加する (2)脱出球の装備のため構造が複雑となる (3)球の離脱装置が必要である
	耐圧殻離脱による浮上	(1)船体の切り離しのほか、電線の切断等の装置が必要となる (2)切離し装置の開発が必要となる (3)切離し装置が船体強度上の弱点となる (4)人力で機械的に切り離す場合は耐圧殻に可動貫通部が必要となる (5)技術的に信頼性が得難い
潜水船以外からの救助による浮上	DSRVによる救助 (有人)	(1)深海救助船が必要である (2)潜水船にメーティング面(耐圧構造)が必要であり、重量が増加する (3)潜水船への姿勢の多様性に問題がある
		(1)深海救助船が必要である (2)引上げ索によって荷重に限度がある
	無人潜水作業船による救助	(1)無人作業船の開発が必要である (2)引上げ索によって荷重に限度がある
		(1)無人作業船の開発と同時に、嵌合技術の開発が必要である (2)引上げ索によって荷重が制限される
	救難ブイによる救助	(1)嵌合技術の開発が必要である (2)引上げ索によって荷重が制限される
		(1)ロープの張力が大きいことが必要であり、ブイロープの収納が問題である (2)潜水船の重量が大きくなる
	有人耐圧殻による救助	(1)浅深度に限られる (2)母船の高精度な位置保持機能が必要となる (3)潜水船の姿勢の多様性に問題がある (4)潜水船の重量が大きくなる
	掃海による救助	(1)きわめて浅深度では可能性があるが、深深度では困難である
	ダイバーによる救助	(1)きわめて浅深度に限られる

2. 潜水船の事故想定と各種救難方式

一般の水上船舶が、水と空気の境界面を平面運動のみを制御し、鉛直方向の運動は浮力でいわば自動的にある範囲内に保たれるのとは比べて、潜水船は、ほとんどを水中で、深度によって変化する大きな圧力を受けつつ、三次元の運動を制御しながら航行するところに、その事故の様態も独特なものとなる。

潜水船の重大事故（要因）としては、次のようなものが想定される。

- (1) 動力喪失
- (2) 電氣的短絡および火災
- (3) からみ
- (4) 衝突
- (5) 海底固着
- (6) 浸水
- (7) 沈没物の持込み

ここで海底固着（bottom adhesion）とは、潜水船が着底した際に海底の堆積層が船底と密着し、離底できなくなることであり、沈没物の持込み（sediment pick-up）とは、沈没物が外殻の非水防部に一時に、または徐々に堆積することである。これらの重大事故は、相互に因果関係が絡み合い、複雑な場合も想定されるが、潜水船が最終的に降り着くべきところは水面（安全な母船上）であるから、自力では浮上不能になった状態（一時的で

あっても、予期していないものであれば）を中心に考えなければならない。

このような何らかの原因による浮上不能事故に対処する方法として、まず、なによりも、このような事態に至らぬような設計および運航上の予防措置¹⁾が肝要である。

潜水船の救難方式としてとりまとめたのが表1である。

それぞれ一長一短があり、ここでは問題点だけ

表2 潜水船の救難方式
Submersibles' Rescue System

船名	潜航深度m	方式	重量物 投棄	機器 投棄	耐圧殻 離脱	自己 脱出	脱出 球
ALVIN	3600			○	○		
BEAVER	600			○		○	
DEEP QUEST	2400		○	○			
DEEP STAR 4000	1200		○	○			
DSRV-1,2	1500			○		○	
HAKUYO	300			○			
PICES IV,V,VI	2000		○	○			
SEA CLIFF	2000			○	○		
SP-3000(CYANA)	3000		○	○			
TRIESTE II	6000		○	○			
SHINKAI	600		○	○			○
YOMIURI	300		○			○	

表3 潜水船が浮上不能となった事故例

分類	船名	発生年月日	発生深度 (m)	概要	外部救難の方法
からみ	STAR II	'67	30~45	石油関係施設調査中、突然発生した急潮流で、構造物に衝突し、離脱困難となる	救助のため、ダイバーを派遣したが、到着前に潮流で拘束がとかれ、自力浮上
	Deep Quest	'69.10	131	切断目的の3/8インチのポリプロピレン索を左舷推進機に巻込み、浮上不能となる	ネクトン (Nekton) がマニピュレーターにナイフを取付けて潜航し、からんだ索を切った、8時間後
	Johnson Sea Link	'73.6.17	110	漁網引上げ作業中、沈船Barr号の3/4インチのワイヤが船体にかからまり、浮上不能となる	6月18日 1700 引上げ成功、Naval Ordnance Lab. のSled (無人機) による、後部チャンバーの2名死亡、2名生存、31時間後浮上
	TS I	'74.10.14	84	パイプラインの調整中、船尾のプロペラにロープをからませ浮上不能となる	6時間後、ダイバがロープを除去
	PC 9	'78.3.9	108	海底作業中、ウェルヘッドのワイヤが船尾にかからみ、浮上不能となる	3月10日 PC1202が遭難点で潜航、ダイバーがワイヤをはずす
浸水	Alvin	'68.10.16	水面 (1,540)	水中エレベーターで着水作業中、ケーブルが切れ、海中へ滑り落ち、ハッチから浸水して海底に沈没、乗員3名は脱出した	'69年8月末、アルミノート (Aluminaut) で引上げ成功
	Pisces III	'71	183	潜航中、水平ツリムが維持できなくなり、後部球の浸水警報が作動し、M.B.T. ブローによっても浮上できず。原因：後部球ドレンプラグの開忘れ	SDL-1 が潜水船体のプロペラガードに引上げ索をつけ、引上げ成功
	Pisces III	'73.8.29	水面 (480)	浮上時、曳航索が後部球のハッチにかからまり、ハッチが開き、後部球に浸水 (1.8トン) して沈没	CURV を使用し71時間後の9月1日救助

を取上げて比較してあるが、各要素の技術の進歩によって今後の変化が期待できる。

表2にはいくつかの潜水船の救難方式をまとめた。この表からわかるように、ほとんどの潜水船が投棄装置を装備している。又、ALVIN, SEA CLIFF, TURTLE は耐圧球が切離せるようになっており、船体が索にからまっても、自力で脱出できるようになっている。この方式は非常に望ましいものであるが、切離し機構を作動させる際、貫通電線等も切離さなければならず、機構的に十分信頼性のあるものとしておかねばならない。

耐圧殻のほか、脱出球を別に持っているものもある。しかし、これは“しんかい”のみであってこのように大形のもののみに装備できるものであり、最近、の小型潜水船に使用できるものではない。

また、自己脱出筒を持っているものもあるが、これは人間が外圧にさらされながらダイバーと同様の方法で浮上するものであり、浅深度でしか使えない。

表1に示す、救難ブイを装備している潜水船は9隻あり、ブイ索で直接引上げる方式のものは、Pisces VII 及びXI であり、またブイ索を揚収索ガイドとして使用する方式のものは、Johnson Sea Link I およびII, Griffon など6隻となっている。²⁾

3. 潜水船の事故例等の解析

^{3~6)}
外国の潜水船の事故例を調査した。その事故総数は、41件で、発着操作等に関する事故7件、運航面での事故22件、装備機器に関する事故12件であった。

自力では浮上不能となり、外部救難を求めざるを得なくなった重大事故を表3に示す。

この表を見てわかるように、発着操作等に関する重大事故は2件(Alvin, Pisces III), 運航面での重大事故6件で、装備機器自体によるものは皆無である。

また前述の重大事故(要因)のうち、外部救難を求める必要の生じたものは、からみおよび浸水の二つであり、動力喪失、海底固着、沈没物の持ち込み等は皆無であった。

これらの重大事故の深度を見ると、かなり浅いものばかりで、しかもなんらかの人工構造物の近辺での作業を目的とした潜航となっている。

事故の内容を見ると、索等のからみがこの数少ない重大事故の中で大半を占め、このような事故は

石油リグやパイプライン等の構造物、または沈船付近での作業中のものばかりである。これらの事故の救助方法を見ると、外部救難を要請しながらも、たまたま自力でからみから離脱できたものが一例あるが、残りは他の潜水船、ダイバーまたは無人機による外部からの助けて、からんだ索を切断解除している。

浸水では機器の故障、衝突等の外的な要因によるものではなく、潜航前の整備不良、オペレーションミスによるものである。救助方法は他の潜水船や無人機が浮上不能の潜水船に索を取付けて引上げている。

これらのことから、潜水船に装備している機器は信頼性の十分なものとすることは当然であるが、その他、潜水船の整備に万全を期し、オペレーションミスは絶対にないようにしなければならず、又仮にオペレーションミスが発生しても事故に至らないように、十分な対策を講じておく必要があるといえる。

また数少ない重大事故の中で多数を占めるからみの事故に対して、潜水船の船型をからみにくいものにする 것도重要であるが、それ以外に、そのような危険な地点に近づかないようにすることが肝要であり、潜航目的の関係で近づく必要がある場合には付近の様子を十分把握した上で接近しなければならない。そのため、状況把握にはソーナ一類の充実や視窓からの視野の拡大が重要である。

しかし不幸にしてからみの事故が発生した場合には、その原因となる索類の切断、解除のできる別の潜水船や無人機等の外部救難方式が必要となることはいえる。

その他、からみの事故には対処できないもののささいな事故に対して即座に浮上できるように十分信頼性のある投棄装置を装備しておく必要がある。

4. DSV-2K の救難安全

DSV-2Kでは、前述の事故例を考慮して、十分信頼性のある機器を用い、かつ、二重系をふんだんに用いて機器の故障がないようにし、かつ、万一故障しても、DSV-2Kの行動に大きな障害にならないようにしている。

そのほか、作業現場付近の状況の把握のため、CTFM 方式の障害物探知ソーナ一を設けると共に、通常、光線の全反射角のため90°程度の視野しか得られない覗き窓に対して、図1に示すような

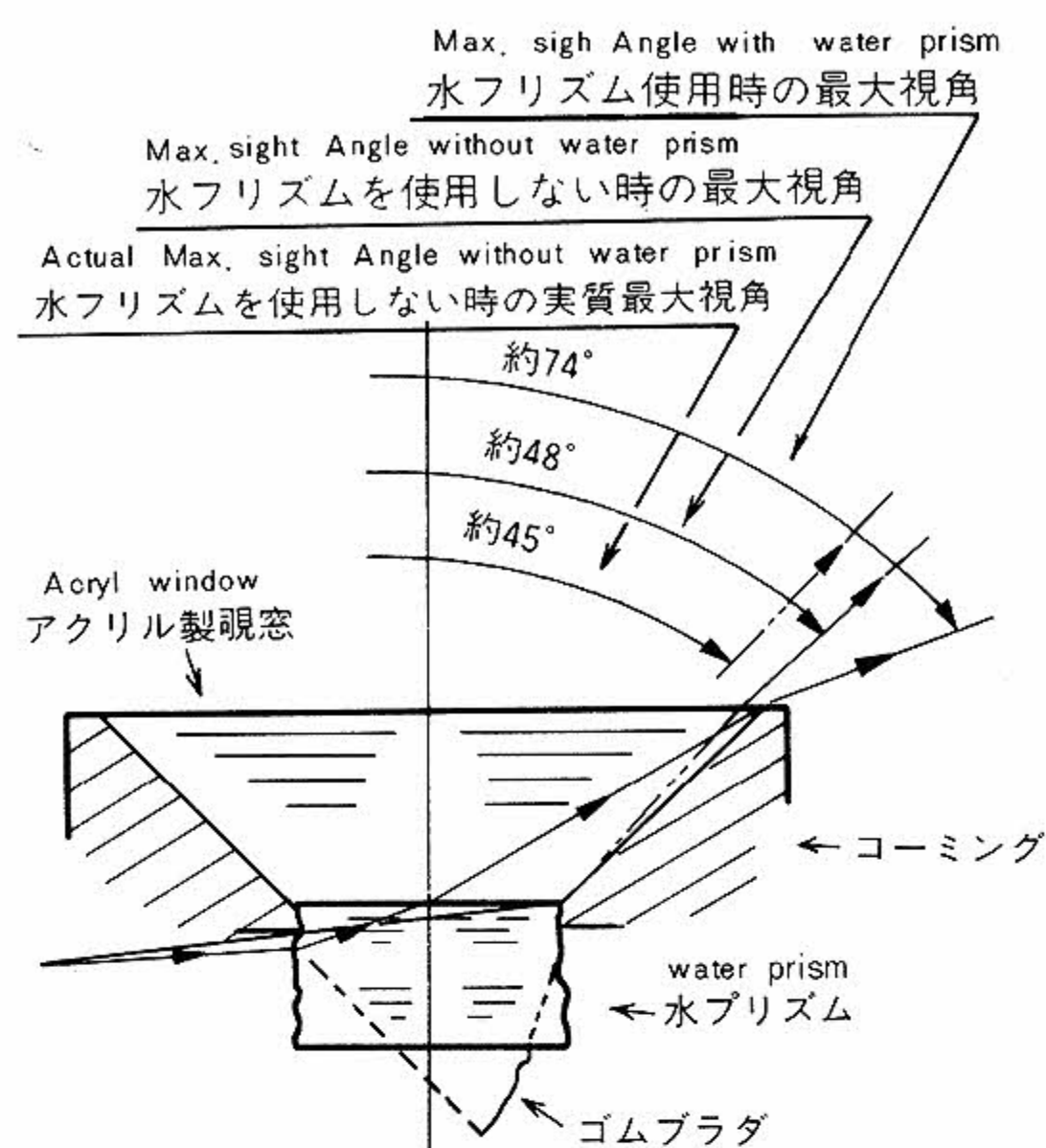


図1 広い視野が得られる水プリズム
Water prism of wide sight zone

“水プリズム”と称している装置をとりつけるようにし、これによって視野を約 150° まで拡大できるようにして覗き窓からの状況把握が広く、かつ正確にできるようにしている。さらに 360° 旋回でき、かつ俯仰のできる水中テレビカメラも装備し、状況の把握に万全を期し、索等の危険物の発見、避行が早期にできるようにして安全を計っている。

DSV-2K には耐圧殻のほか通信用インバーター容器、推進用インバーター容器、動力用インバーター容器および補助タンクの4基の耐圧容器がある。これらは十分安全に設計されており、かつ相当な注意をもって製作されようとしている。万一、浸水事故があった場合は、容器1基当り約 300kg の重量増加がある。これらに対処するため、投棄用重錘の投棄、ショットならびにホッパーの投棄、ペイロード投棄等によって合計 840kg の浮力をつけることができ、2個分までの耐圧容器の浸水に対して浮上できるようにしてある。これは、前述のアルビン等の耐圧球離脱の方式と異なり、機械的貫通部、および貫通電線の切離しも不要なので、この点での信頼性は向上していると言える。

通常、インバーター容器に浸水があった場合には、ショット等によってブレーカーが飛び、電流が遮断されるようになっている。DSV-2K では、重量調整のショット投棄方法に電磁栓方式を用いており、通電状態でショット保持、無通電でショット投棄とする安全サイドに立った設計を取り入

れている。したがって浸水等によって、電気が遮断されると同時に、ショットが投棄され、ただちに浮上しはじめるようになっている。

種々の機器には状態測定用のセンサーが入っており、耐圧殻内で船外各機器の状態が一目でわかるようになっており、異常が検知されれば、ただちに浮上できるようにしている。

耐圧殻内のライフサポートシステムは、潜水船特殊基準（48時間以上）ならびに米国MTSの基準（潜航時間+72時間）を満たす80時間以上の呼吸用酸素および炭酸ガス吸収剤を備え、さらに7時間以上の容量（ただし静止状態での値）を有する閉鎖式応急呼吸具も備え、万全を期している。

耐圧殻内の万一の火災に対処するため、消火器を備えているほか、電気火災に際して有毒ガスが発生しないように、テフロン被覆電線を用い、機器の塗装は難燃性の塗料を用いて安全を計っている。

一方、オペレーション要領上の安全方策としては、DSV-2K では使用目的が海底の調査であり、索等の危険物が散在する構造物や沈船付近での作業が目的ではないので、そのような危険が想定されるような地点には近づかないことを大前提とした設定をしている。またなんらかの異常が検知された場合には、たとえそのまま調査を続行できる状態であったとしても、調査を打ち切って浮上することにし、無理な作業をしないようにしている。

5. 外部からの救難方法

前述のように、DSV-2K は、機器の故障がないように十分信頼性の高いものを選定し、かつ、万一故障が生じても、行動に支障がないよう二重糸がとり入れられ、また異常が検知された場合には、たとえ調査が続行できる状態にあっても、ただちに浮上する等、十分な安全を配慮したきわめて安全性の高い潜水船であるといえる。したがって、浮上できないような事態は、ほとんど起こり得ないと考えられるので、万一浮上できなくなった事態にも対処できるようにするため、救難ブイを装備している。このブイは、耐圧殻内からの操作により切離され、DSV-2K に接続されている細い索をはき出しながら浮上していき、海面で支援母船に回収されるものである。したがってこのブイでDSV-2K の沈座位置が明確にわかるものである。さらに現在検討中のものであるが、索に沿って丈夫な引上げ索を降下させ、DSV-2K と結合させて

引上げる方法を研究している。

この方法は浮上できなくなった原因が索等とのからみの場合には引あげが困難であり、また潮流がある程度速くなると、使用不能になるものであるが、きわめて簡便なものであり、救難ブイ回収と同時に、ただちに救難作業にとりかけられるため、その効用は大きいと考えられる。

6. あとがき

以上、建造中のDSV-2Kを念頭に置きながら、潜水船の救難システムを述べた。

DSV-2Kとしては、からみ、浸水等の重大事故には至らぬような設計、運用両面から予防措置を講じ、万一の事態に対処できるように緊急浮上装置を備え、さらに外部救難用にブイ装置を備えることにしている。しかし、事故例の解析からわかるようにブイ装置は、からみに対して、その能力に制約があることが明らかである。

今後、この隘路を開くため、なるべく速かに、救難用無人機を利用できる体制の確立が必要と思量される。そのため、当センターでは、その開発を検討するとともに、将来の国際的救難体制の確立のステップとして、外国との一層緊密な情報交換を推進している。

人命の安全対策の基本にたちかえって考えれば、重大事故では社会的責任はまぬがれ得る場合があるとしても、人命の尊さは償えるものではない。可能な限りの対策を立て、必要な技術開発は推進させねばならないと考える。

文 献

- 1) 海洋科学技術センター：1978、深海潜水調査船システムの研究開発 昭和53年7月
- 2) R. Frank Busby Associates : Review of Manned Submersibles Design, Operations, Safety and Instrumentation, U. S. Navy, U. S. Coast Guard & NOAA. Jul. 1978
- 3) Marine Technology Society : Safety and Operational Guidelines for Undersea Vehicles, Book I (1968), II (1974) & III (1979), Marine Technology Society, Washington D. C.
- 4) Busby, R. F. : 1976, Manned Submersibles, Office of the Oceanographer of the Navy.

5) Barrows, B. : Rescue of the PC-9, a Case Study, Marine Technology Society Journal 12 (6) Dec. 1978~Jan. 1979

6) Kriedt, F. : 1971, Determination of Bottom Breakout For Deep Submergence Vehicle Safety, Naval Engineering Journal, Oct. 1971