

大気圧潜水の現状と操作者の生体負担

植木 暢雄*¹ 毛利 元彦*¹

大気圧潜水は環境圧潜水に比較し、高圧環境への順応や浮上・減圧が不要な点から、夢の潜水方法とされている。そのため、近年の日本における主な大気圧潜水装置の概要を、その最大人口を占める潜水艦を含め調査し、また代表例として潜水調査船の「しんかい6500」と大気圧潜水服“ニュースーツ”の内部環境とパイロットの生体負担を測定した。

その結果、潜水調査船、大気圧潜水服の内部はともに、低水温域における耐圧殻と潜水服の内壁面からの輻射冷却や、夏季や低緯度域における潜航準備期や低水温域に達するまでの潜降初期の高温多湿環境が大きな問題である。また、大気圧潜水服の操作は、物理的にも負荷が大きく、かなりの訓練を要することが判明した。

大気圧潜水の現状は、決して理想的ではなく、潜水者にとってかなり過酷な場合もあり、よりよい調査研究の手段とするには、さらなる環境制御技術の改善が必要である。

キーワード：大気圧潜水，生体負担，温熱環境

Environmental stress on operators of a one atmospheric diving system (research submersible Shinkai-6500 and one atmospheric diving suit Newtsuit).

Nobuo NARAKI*² Motohiko MOHRI*²

The environmental conditions of operators in a one atmospheric diving system (research submersible, submarine and one atmospheric diving suit) seem to be stress free compared with normal diving, where the human body is exposed directly to hydrostatic pressure depending on the dive depth, and it needs adaptation to high pressure conditions during diving and long decompression time to return to the surface. The thermal conditions of the research submersible Shinkai-6500, Shinkai-2000 and one atmospheric diving suit “Newtsuit” were recorded and the heart rates of their operators were measured during their diving operations. The environmental conditions of the submarine crew of MSDF were analyzed with publications.

At a depth deeper than 1000m, the sea water temperature is below a few degrees Celsius, though the gas temperature in the research submersible cabin did not go down to below 20°C. The crew were severely cooled by radiation from the cold inside surface of the pressure hull, in spite of the mild gas temperature ambience. During the diving operation in tropical regions or during summer in temperate regions, until the submersible and Newtsuit went

* 1 海域開発・利用研究部

* 2 Coastal Research Department

down to a few hundreds meters depth, the operator's environment condition is very severe with high temperature ($>30^{\circ}\text{C}$) and high humidity. Operations of the Newtsuit needs enough training for a few weeks, especially walking at the sea bottom is very difficult because of the rotary articular joint system squeezed by hydrostatic pressure. The ambient conditions inside the Newtsuit, the partial pressure of oxygen and of carbon dioxide, are not ideally controlled, because of the insufficient gas analyzing system and the gas partitions with the joint part.

The vehicle or equipment utilized under extreme situations usually demands the operator's adaptation to them, and the realization of stress free condition for the operator in one atmospheric diving systems is very important for them in order that they may be able to concentrate their attention on performing their duties.

Key Words: one atmospheric diving, environmental stress, thermal condition

1 はじめに

近年のめざましい技術の進歩により、遠くは宇宙からまた深海からの映像を見ることができるようになった。しかし、それらの画像等から得られる情報は、専門家の直接観察に比較できる水準には遠く¹⁾、有人宇宙飛行と同様に有人潜水の必要性は高い。

ヒトの潜水活動は次のように二分できる。ヒトが直接水中に出て深度に比例した環境の水圧を受ける環境圧潜水と、ヒトは耐圧殻に守られ潜水深度と無関係に大気圧(1気圧)空気環境下にいる大気圧潜水である。環境圧潜水による最大潜水深度が500~700mであるため、それ以深では潜水艇等の大気圧潜水や無人潜水機を用いることになる。またそれ以浅においても環境圧潜水に要する減圧時間等を考慮し、大気圧潜水が用いられることもある。本文は、近年の日本における大気圧潜水について、潜水調査船と大気圧潜水服は実測資料に、また潜水艦関連は文献や関係者からの聴取した資料に基づき、大気圧潜水機の操作者の生体負担を検討したものである。

大気圧潜水を技術開発の歴史経過より分類すると、球形や円筒形の耐圧殻で水圧から身を守り、水面からの支援を要する潜水球、冒険のためや研究調査用の独立自走型潜水艇、兵器としての潜水艦、さらに最小の大気圧潜水機としての大気圧潜水服などがある。

現在の日本における大気圧潜水従事者は千数百名程度で、その生理学的特性や環境の影響等はほとんど研究されていない。そのため、本文ではその特殊な活動環境を主として記す。

2 潜水球と潜水艇

日本における第二次世界大戦後の本格的な調査研究用の大気圧潜水は、まず数名の乗員に対し数時間の水中活動を可能とした潜水球と小型潜水艇がある。1951年に進水し深度200mまで2名を運んだ潜水球の「くろしおⅠ号」、1960年に進水し海上からの有線で電力供給を受け深度200mにおいて自走可能な乗員4名の「くろしおⅡ号」、1964年の独立自走型の「よみうり号：4名-300m」、1969年の「しんかい：4名-600m」、1971年の「はくよう：3名-300m」などがあつた^{2)~4)}。またこの間には深海潜水として、仏国のバチスカーフによる1958年の日本海溝で深度3,200m、さらに1962年の千島・カムチャッカ海溝で9,500mまで潜水した佐々木氏の例もある⁵⁾。その後は、本格的な深海の調査研究用として1981年に進水した「しんかい2000：3名-2,000m」、さらに現役では世界最大潜航深度をもつ1989年に進水の「しんかい6500：3名-6,500m」がある(表1)。

これらの潜水球と潜水艇における乗員の環境に関する問題は、乗員の代謝による環境ガス中の酸素の減少と二酸化炭素の増加が主なものである。初期のものでは環境ガス浄化装置の性能上の問題で、酸素濃度の下限を18~19%、二酸化炭素濃度の上限を2~3%とし、「しんかい」においてはその大きな内部容積を考慮し、積極的な環境ガス浄化を行わず、浄化装置は緊急用と考えられていた。

2.1 潜水調査船「しんかい2000」と「しんかい6500」の搭乗条件

「しんかい2000」と「しんかい6500」が所属している海洋科学技術センターのパイロット数は、1996年末でそれぞれ6名と8名で、年間の潜航回数は機器整備用潜航を含めると70回と65回程度である。また、潜航にはパイロットとサブパイロットの2名と研究観察者1名の計3名が乗り込むため、パイロットの平均的搭乗回数は年間15～25回となる。1回の潜航時間は最長でも8～9時間であるが、母船上の乗船から海面に降ろされ下降開始まで約30分、それぞれ最大深度への潜水調査では下降に2～3時間と上昇に2～3時間、さらに海面から母船上への揚収、乗員下船まで30分と、海底調査がない単なる海底までの往復だけでも最低5～6時間を要する。母船から海面への吊り降ろし、また潜航後の海面から母船への揚収を日中に行うため、北半球における潜航調査は、日中の時間が長く天候が安定した夏期に集中し、搭乗員は昼食持参の潜航となる。さらに搭乗員の体調は自己管理とされ、潜航中の排泄物は宇宙服用時と同様に水分は固めて処理する(写真1)。

2.2 「しんかい2000」と「しんかい6500」の船内居住環境

「しんかい6500」の居住空間は艇前部の内径2mの耐圧殻で、上部の出入り用ハッチの下にある小空間以外は諸機器で埋められ、3名の乗員は直径1.3m足らずのマット床に座る。一方、「しんかい2000」の内径は2.2mで、さらにコンソール(操縦部)が船内上部にあるため、1名のパイロットが脚パイプ1本の椅子で床から40～50cm浮かんでおり、他の2名の乗員にとっては貴重な空間をマット上に供給している。この点については操縦機能をジョイスティック状の操縦桿に集約し、座って全操縦操作が可能のため、全乗員3名がマット上に座る「しんかい6500」との居住性に差が生じていることはおもしろい。さらに乗員にとって、同乗者の体格は潜水船のペイロードの点のみならず、船内空間の占有率という快適環境の大きな要因となり、体格の比較的小さな日本人や女性の観察者の同乗が好まれることになる¹⁾(写真1)。

2.3 船内ガス環境

「しんかい2000」と「しんかい6500」における船内環境ガスの基準は、酸素濃度を24～18%とし、二酸化炭素濃度は1%で警告ブザーが鳴り吸引筒の交換が指示さ

表1 日本における近年の主な潜水球と潜水調査船

Table 1 Manned underwater vehicles (one atmospheric dive apparatus) in Japan.

名前 Name	進水年 Launched	潜航深度 Diving depth	耐圧殻の大きさ Pressure hull		重量 Weight	乗員数 Crew	潜航時間 Endurance time
			diameter	length			
	(year)	(m)	(m)	(m)	(tons)		(hours)
Kuroshio-I*	1951	200	1.45	1.5	5	2	5
Kuroshio-II	1960	200	1.5	5.5	12.5	4	24
Yomiuri-go	1964	300	2.0	10.0	36.3	3+3	4
Shinkai	1969	600	4.0	2 sp	90	4	5
Hakuyo	1971	300	1.4	3.6	6.6	3	5
Shinkai-2000	1981	2000	2.2	1 sp	24	3	8
Shinkai-6500	1989	6500	2.0	1 sp	26	3	9

*:潜水球 observation sphere, sp:球形 sphere

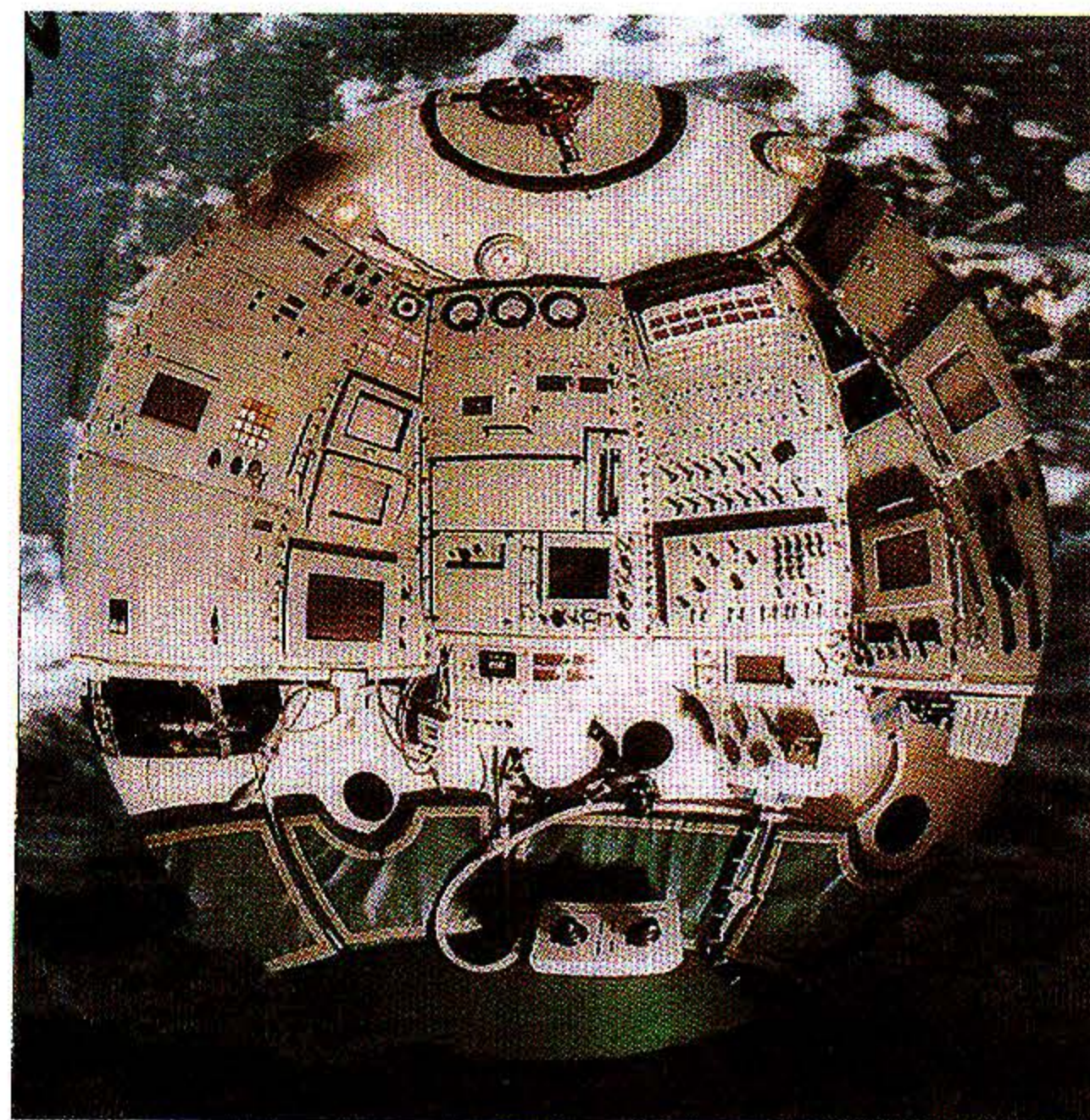
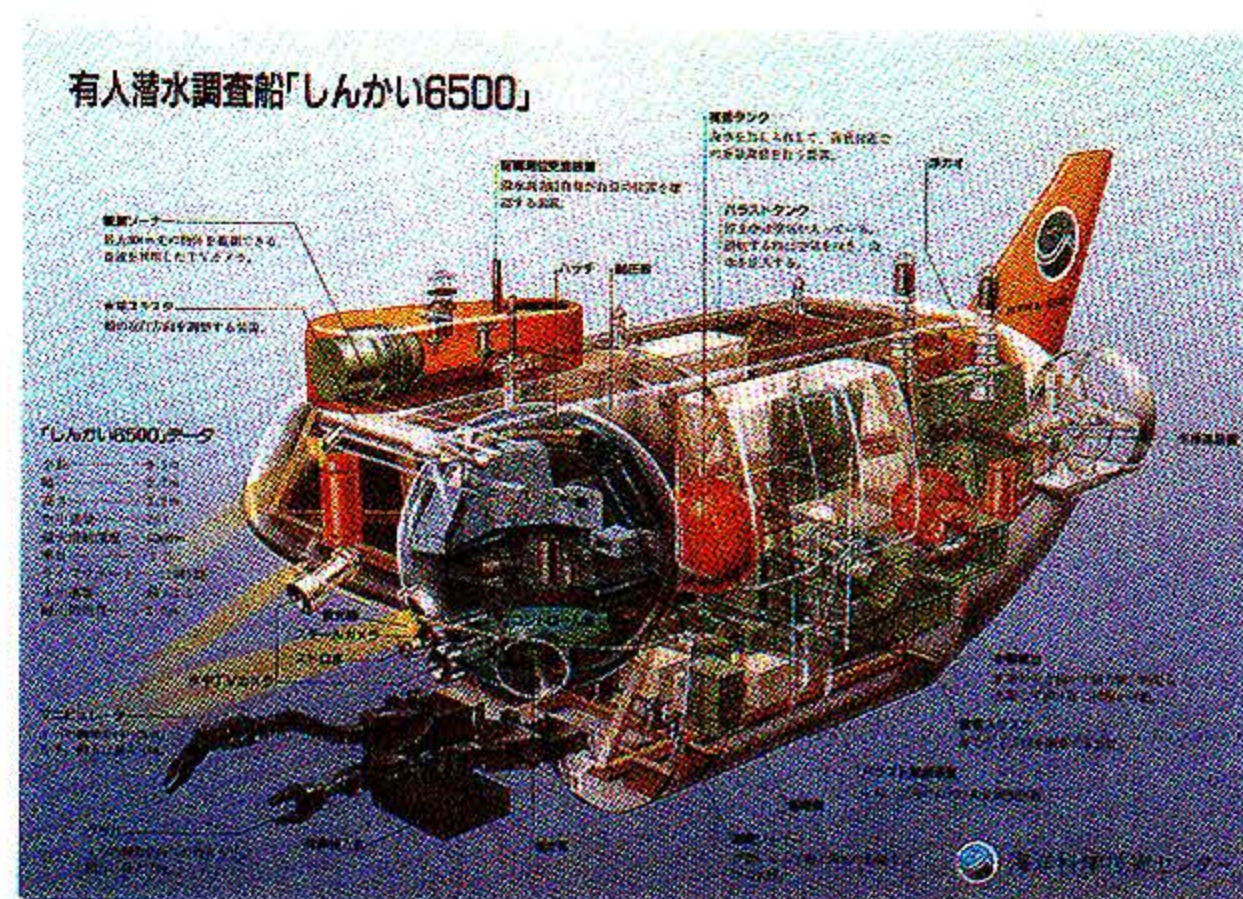


写真1 「しんかい6500」の構造概図(A)と耐圧殻内部(B)
Photo 1 Deep research submersible "A: Shinkai-6500" and B: inside of a pressure hull.

れ、さらに2%以上では応急マスクを使用し、二酸化炭素の吸収と酸素ボンベからの直接添加を行うことになっている。さらに緊急事態に備え、「しんかい2000」では3日分、「しんかい6500」では5日分の酸素と二酸化炭素吸収剤を装備している。

2.4 船内の温度環境

潜水深度が200~300m以上で問題になるのは、低温海水による冷却である。浅海域では季節差はあるものの、日本近海では水温が10℃以下になることは少ないが、深度1,000m以上では水温が数℃となり、金属製の耐压殻を急速に冷却する。温度制御装置は大電力を必要とするため、内部環境を制御できる深海潜水調査船はなく、下降時はその0.3~1.0m/sの速度のため、さらに強く冷却されることになる。

また意外なことに、「しんかい2000」の低温環境の問題は「しんかい6500」より深刻である。それは「しんかい2000」の低速下降を考慮しても、その耐压殻が厚さ30mmの鋼製であるいっぽう、「しんかい6500」の耐压殻は厚さ73.5mmの熱伝導度が鋼の約1/7であるチタンアルミ合金製で、その断熱性が「しんかい2000」の数倍以上であることによる。下降開始の数十分後には深度1,000mを越え、周りの水温は1~3℃と非常に低くなるが、内部ガス温が20℃以下になることは少ない。しかし、内部壁温は5℃以下となり、乗員は通常の生活では経験のない輻射による強い冷却を受ける。そのため乗員は狭い空間にもかかわらず、寝袋状の防寒着を着用する(図1)。

潜水調査船の温度に関する問題は、低温に関するものだけではない。夏期や熱帯での潜水調査においては、母船上の待機中は母船からの冷気をダクトにより船内へ導き冷房することが可能である。しかし、乗員の搭乗後にハッチが閉鎖されてから数百mまで下降する間は、乗員の代謝産熱と機器の発熱等により船内はかなりの高温多湿環境となる。そのため深度千mを越えたあたりで汗で濡れた下着を交換するという。8月の遠州灘沖の例では、ハッチ閉鎖後の20~30分間は内部気温が30℃以上、湿度が90%以上と蒸し風呂状態であった。このような条件での潜水調査は、乗員にとって前述の寒冷への対処以上に大変であるという。

2.5 「しんかい6500」パイロットの心拍数からみた生体負担

「しんかい6500」における、水深6,500mへのテスト

潜航時のベテランパイロットの心拍数の変化を図2に示す。心拍数の変化からみたパイロットの負担は、乗下船時には狭いハッチからの出入りのため瞬時的に高い心拍数を示すが、そのほかの状況では比較的負担が少ないと思われる。ただし、着底後の昼食とそれに続く海底調査時に高心拍数を示しており、これが昼食によるものか操縦操作によるものか不明である。しかし、他の潜航における昼食前の海底調査用の操縦時にも同様の高心拍現象が認められており、図中の高心拍数は海底を這うような

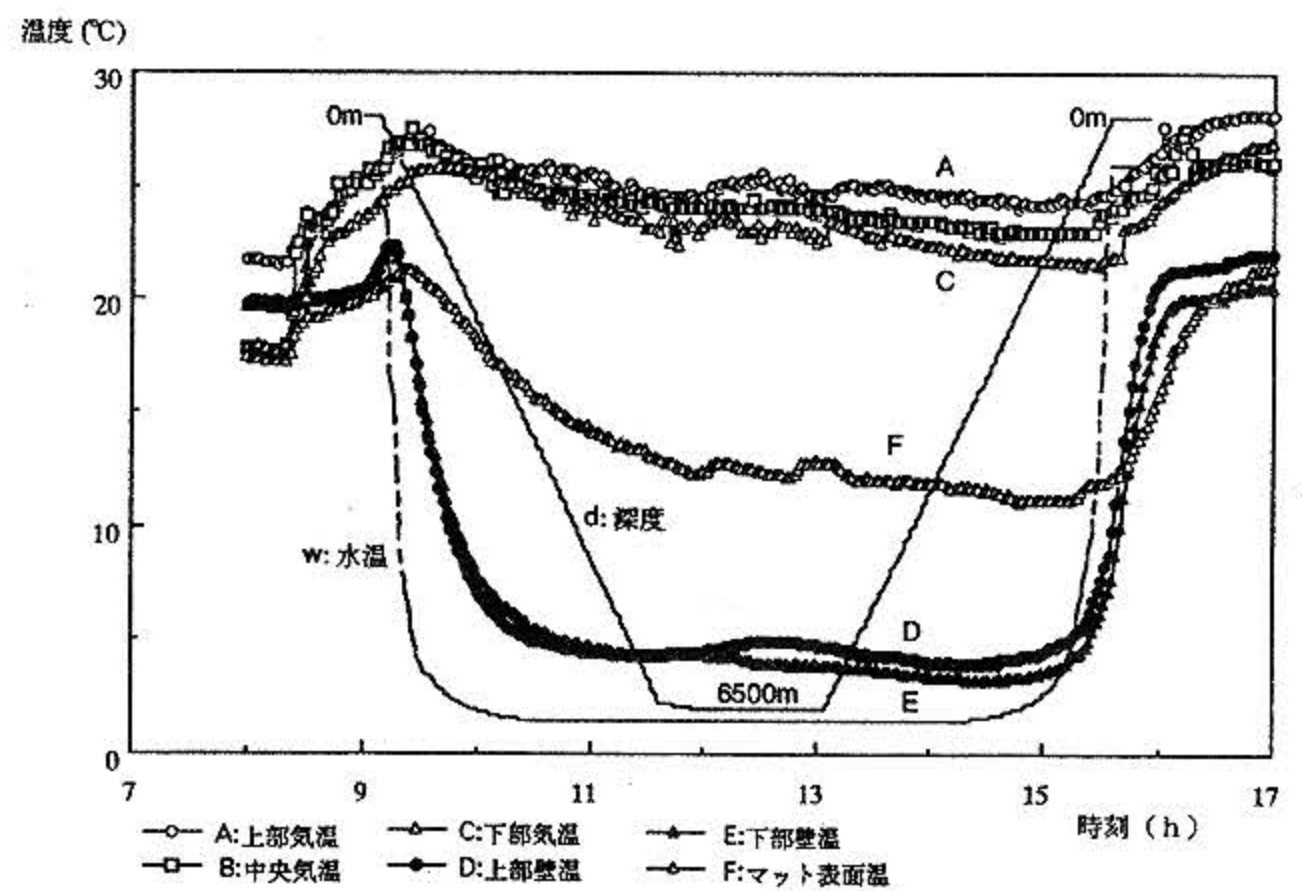


図1 「しんかい6500」の潜航時の環境温 (10月中旬、金華山沖、深度6,500mへの試験潜航)

Fig. 1 Ambient temperatures inside of a pressure hull, "Shinkai-6500" during test dive to 6,500 meter depth, in October.

Ambient gas temperature
- A : upper, B : middle, C : lower,
Inside wall surface temperature
- D : upper, E : lower,
mattress surface temperature - F
d : depth (m) and w : water temperature

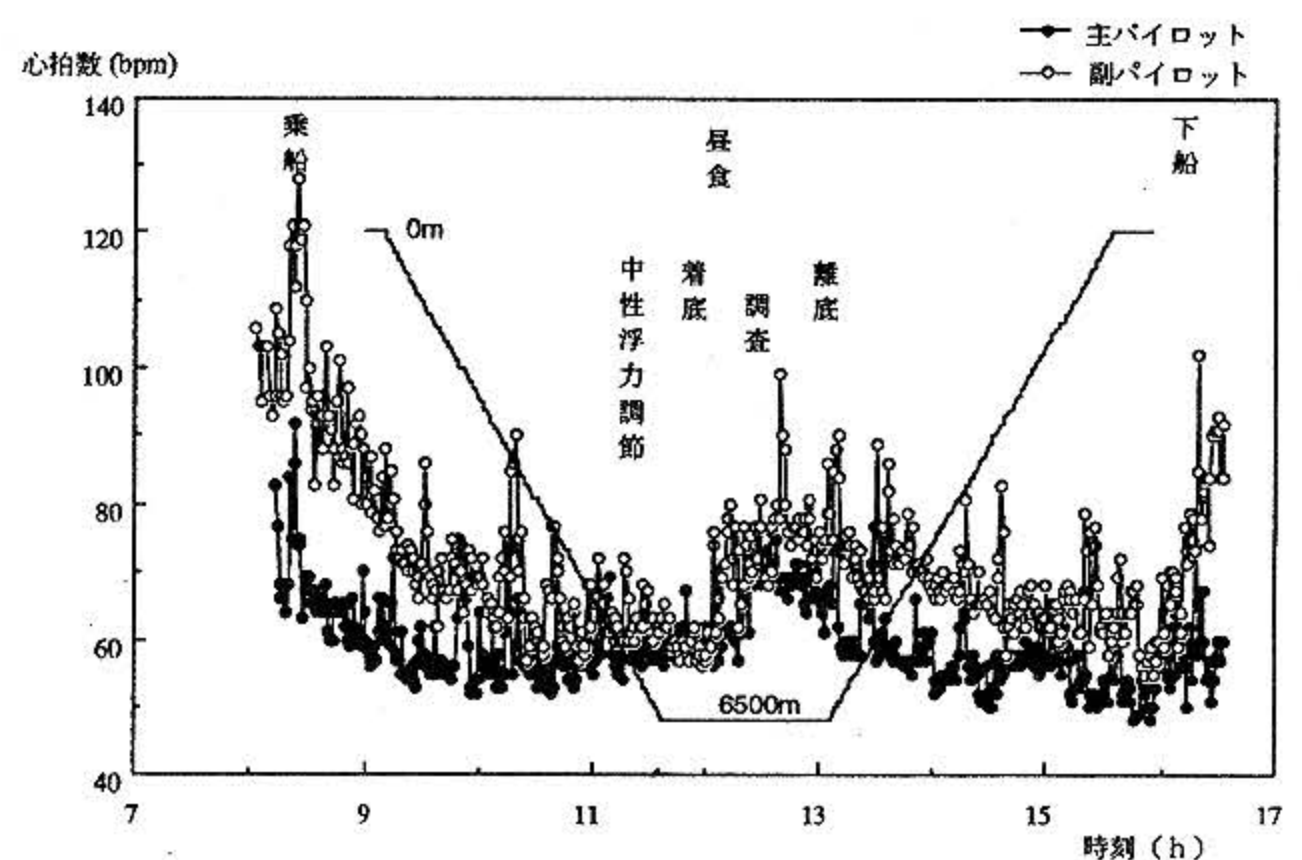


図2 「しんかい6500」乗員の潜航時心拍数の変化

Fig. 2 Heart rate changes of Shinkai-6500 crew, during test dive to 6500 meters depth in October.

● : main pilot, ○ : sub-pilot

航走操縦やマニピュレーター操作による精神集中と、覗き窓に対するやや無理な伏臥姿勢等が原因と思われる^{1),6)}。

3 大気圧潜水服

金属製宇宙服状の大気圧潜水服の分類はone-Atmosphere (Armored) Diving System または Atmospheric Diving Suit : ADSとされており、その潜水深度は600～700mまで可能なものもあるが、通常タイプでは200～300mである。これまで“JIM”や“SAM”と呼ばれる大気圧潜水服が国外で考案されてきたが、最大の問題は操作者：ダイバー自身の力で動かす関節の問題である⁷⁾。大気圧潜水服は、最近の20年間に約200機が生産されているが、まだ国産の実用化されたものはない。また最近では軽量化と関節機構の改良、さらにスラスタやTVカメラの装備により、超小型潜水艇に近くなった

ものもある。現在日本において潜水活動に用いられているのは、カナダのニュー・スーツ(Newt-Suit)社製の深度300m仕様のニュースーツ(Newtsuit)が数機あり、そのダイバーは十数名から数十名の範囲である(写真2)。

3.1 ニュースーツ(Newtsuit)

ニュースーツ本体はアルミニウム合金製で、その空中重量は歩行型で285kg、スラスタ型で350kgである。しかし、最大でも約100kgの部分に分解でき、最も簡単なシステムの総重量は昇降機を含めても1tに満たないため、車両やヘリコプター等での運搬が可能である。さらに潜水現場到着後2時間以内に深度300mでの作業が可能であり、また潜水作業終了後は1時間以内の撤収が可能である。またこのシステムの運用人員数はダイバーを含めて5名程度と少数で、消耗品も原則として、ダイバーが消費した酸素と二酸化炭素吸収剤のみである。しかし、

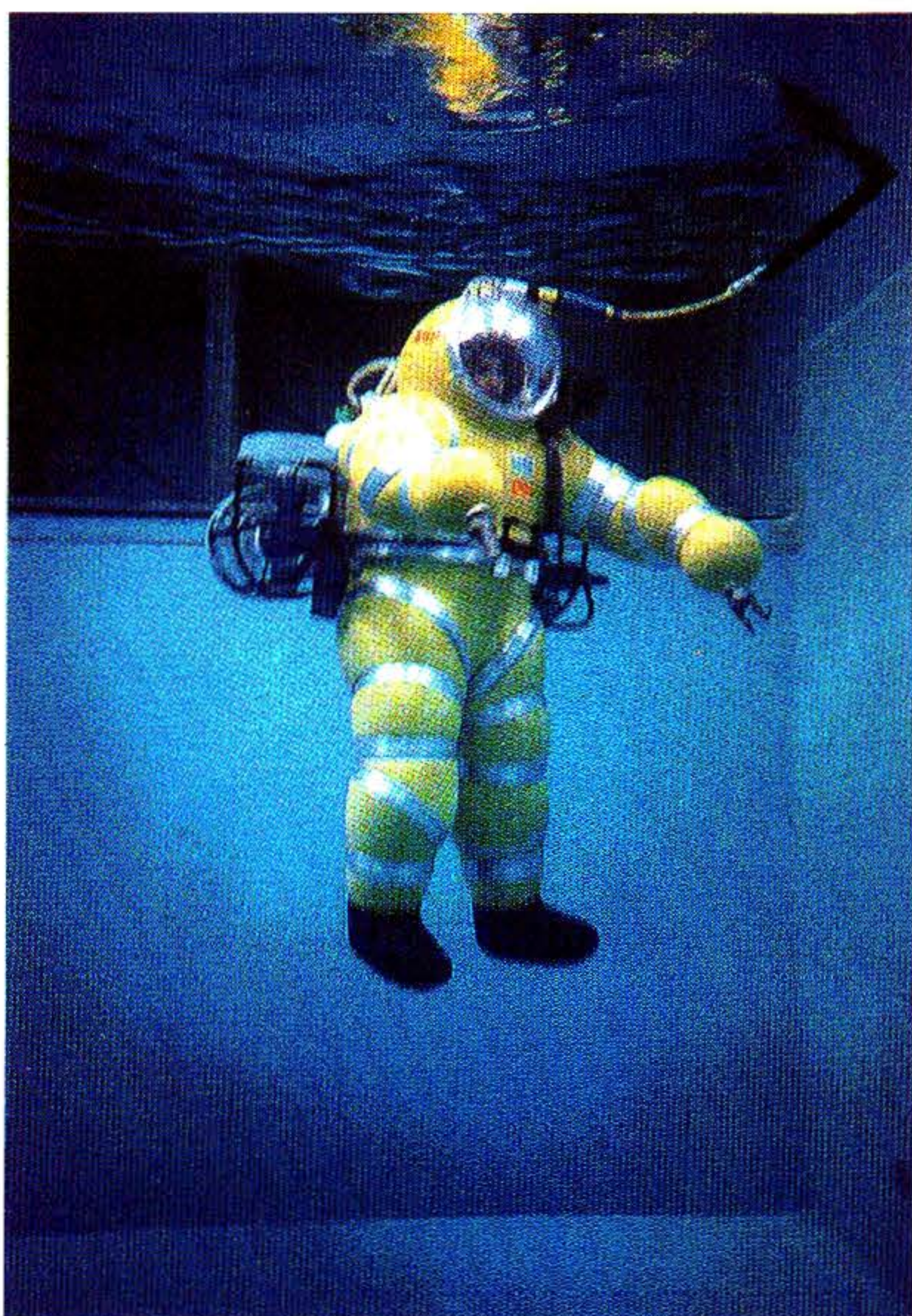


写真2 大気圧潜水服：Newtsuitを用いた中層作業（スラスタ型）スラスタ操作は、両足のフットスイッチによる
Photo 2 Hovering operation of “Newtsuit : 300 m class one-atmospheric diving suit” with thruster pack, indoor test swimming pool.

Rotary joints are used at all articular parts and operator controlled the thruster with two foot switches.



写真3 大気圧潜水服の着脱（歩行型）
Photo 3 Newtsuit walk-type (without thruster pack), the upper part is separated at the waist joint.

大気圧潜水服は機動性や経済性を追求し過ぎたためか、その操作者への負担はあまり研究されておらず、特殊環境下の装置の常として、ヒトを装置に合わせることにより、潜水作業を遂行している傾向があると思われる⁸⁾。

ニュースーツの水中重量は錘により調節し、歩行型で13~17kg、スラスタ型で2~3kgとする。ダイバーの体格差は、胴部と下腿部へ各種長さのスペーサーを挿入し、ある程度の調節が可能である。関節部は、四肢全体で20個のロータリ・ジョイントより構成されており、ダイバーのニュースーツへの出入り(脱着)は、上下に切り離された胴部より行う(写真3)。

歩行型は水面の支援船に対し完全独立となれるが、その歩行速度は関節のロータリ・ジョイントの問題で毎秒0.2m程度、その操作にはかなりの訓練を要し、歩行だけでも中程度の筋作業に相当する。そして機動性を高めるため、推進機を用い毎秒約1mの移動が可能なスラスタ型が考案された。しかし、スラスタ用電力は水面から供給されるため、その行動範囲は電源ケーブルの長さに依存し、さらに数百mのケーブルを引く場合の水の抵抗や海流等の問題もあり、水中の作業現場の近くまでニュースーツと動力ケーブルを送るランチャーが必要になる。スラスタの操縦は靴底の中敷状のフットスイッチにより行い、中性浮力状態を得るトリム機構を持っている。

作業用の2指と3指のマニピュレーターの軸は360°の回転が可能で、その軸も手先端において40°の角度変更が可能であり、またものを掴んだまま固定することも可能である。

顔面前部の観察窓は、曲率半径約15cm、厚さ2cmの亚克力製で、半球状の視野が確保されており爪先を見ることが出来るが、窓が球面のため視界が多少歪んでいる。

ダイバーの服装は、潜水服内壁や関節端部に触れるため、潜水用ドライスーツの下着や上下繋ぎ服や厚手の靴下と手袋を着用している。

3.2 ニュースーツ内部ガス環境

内部環境ガスの制御は、原則として二酸化炭素は潜水服内の腰背部に装備しているバッテリー・ファン式スクラバーにより吸着除去し、減少した酸素をスーツ外背部の酸素ボンベより補給する。酸素濃度計は装備されているが、二酸化炭素濃度計は装備されていないため、二酸化炭素量は酸素濃度と内部環境圧より推測することになっている。

携帯できる酸素の量は、大気圧換算で約1,000ℓで、

安静状態では約50時間のダイバーの酸素消費を補充できる。酸素濃度の管理は、二酸化炭素吸収による内部環境圧の低下を検知して酸素をスーツ内に添加する自動系と、酸素濃度計を見てダイバーが添加する手動の2系統がある。二酸化炭素の吸収能力は約2,000ℓで、スクラバー用換気ファンが作動しない場合に備え、スクラバー直結のマスクも装備されている。

ニュースーツ内部の酸素濃度の調節に関して、安静時の過剰酸素状態や筋作業時の低酸素状態がみられ、酸素濃度変動が大きい(図3)。これは潜水服内部のガスの出入りが関節部において制限され、内部ガス全体の酸素濃度が均一ではなく、また呼吸できる頭部付近のガス容積が小さいためと考えられる。

通常の使用条件において、ニュースーツの二酸化炭素吸収能力に問題はない設計であるが、潜水作業後に頭痛を訴える場合もあり、その原因として二酸化炭素濃度の上昇も考えられ、二酸化炭素濃度計の装備が望まれる⁸⁾。

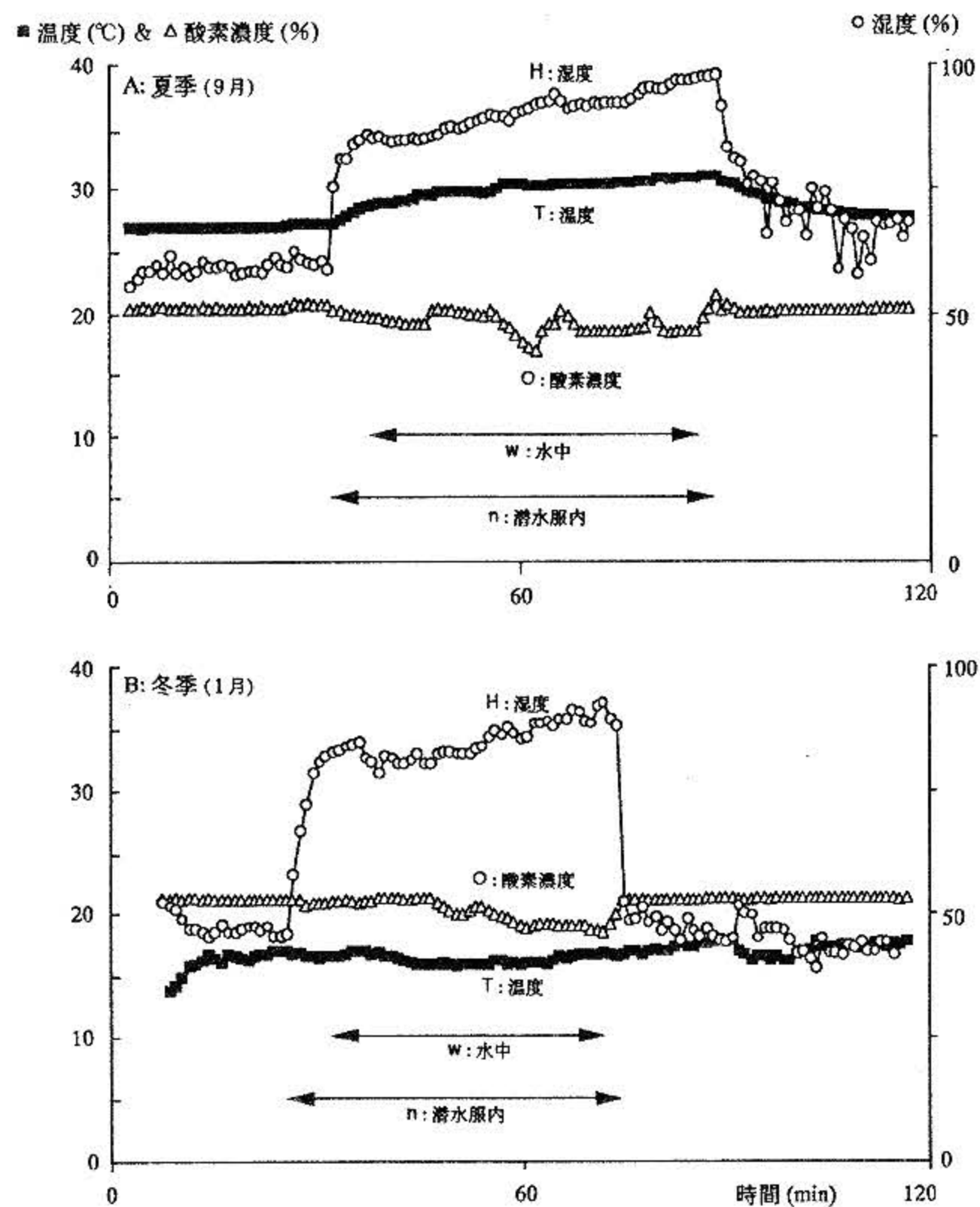


図3 大気圧潜水服の内部環境(室内訓練プールにて)
Fig. 3 Ambient conditions inside of Newtsuit, A : in summer and B : in winter, the water temperatures of indoor test swimming pool are respectively 28.5 and 12.0°C.

H : humidity, T : temperature, O : oxygen, w : under water, n : in Newtsuit

3.3 ニュースーツの内部温熱環境

スーツ内の温湿度環境に関しては、乾燥による二酸化炭素吸収剤の能力低下防止もあり、内部の温湿度は制御されていない。

夏季の室内プールの測定では、水温：28～29℃の条件下において、スーツの装着後数十分で内部環境温は30～32℃、湿度は95%以上と非常に蒸し暑くなる。しかし、冬季は低水温(水温：11～13℃)のため内部壁温が12～13℃、内部環境温は15～18℃、湿度は80～90%と、高湿ではあるが夏季に比べかなり快適である(図3)。

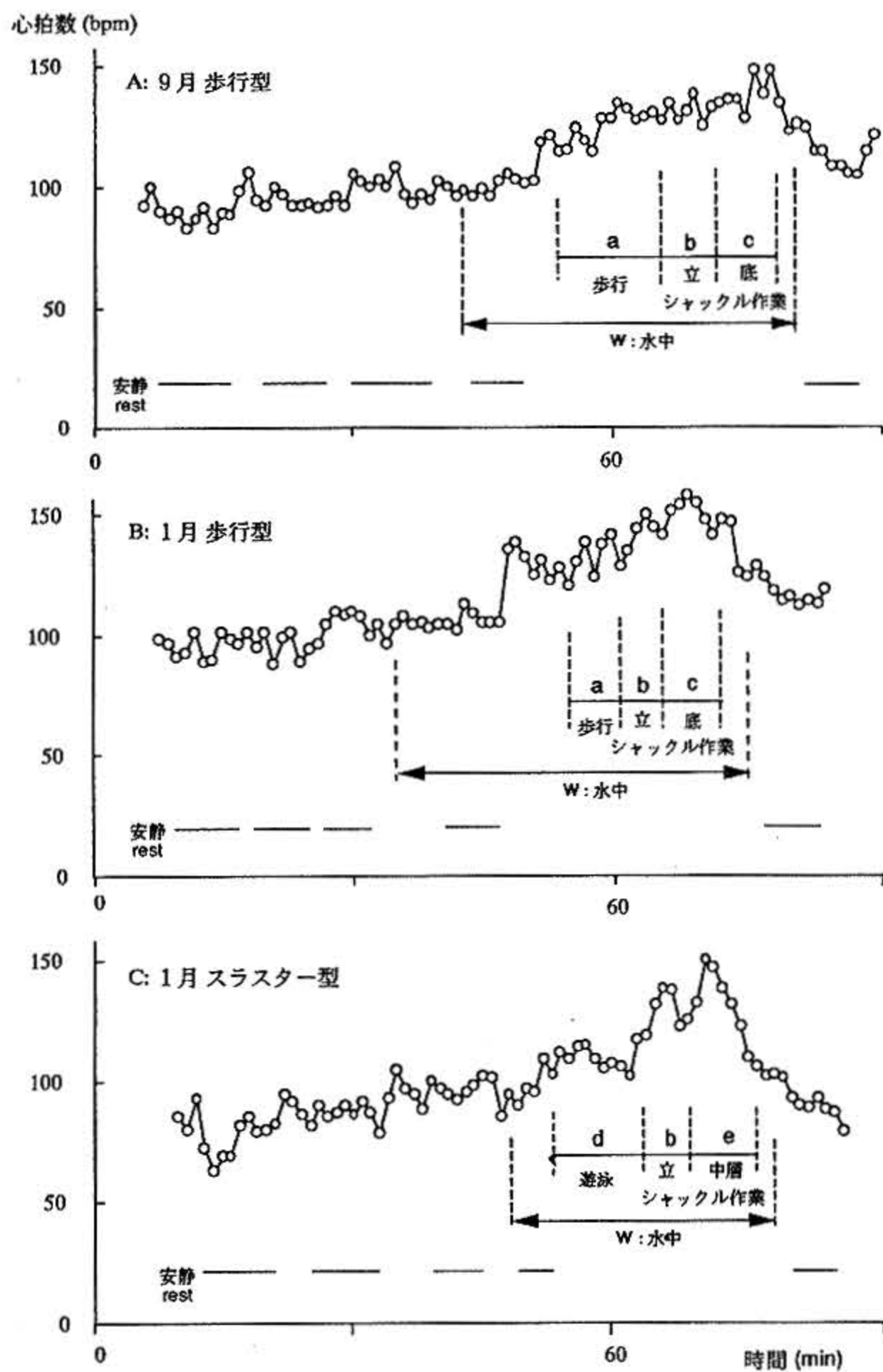


図4 大気圧潜水服を用いた潜水作業時の心拍数(ダイバー:T.O.)
水温差(9月:28.5℃と1月:12℃)の比較,歩行型とスラスタ型の比較

Fig. 4 Heart rate changes of operator : TO in Newtsuit, with the different types (Walk-type & Thruster-type).

A : Walk type in summer, B : Walk type in winter, C : Thruster type in winter
a : walking, b : standing shackle work, c : bottom shackle work, d : swimming, e : hovering shackle work, w : underwater

夏季の潜水における蒸し風呂のような内部環境は、ダイバー自身の代謝産熱を含めたスーツ内の総産熱量が安静時に約100W, また作業時には400～600Wにも達し、それに二酸化炭素吸収剤の発熱が加わり、さらにダイバーの厚い着衣が原因と思われる。一般的に裸体における体熱放出は、環境温が28℃以上では発汗蒸散により、また温度:33℃, 湿度:75%以上では熱中症の発生もあると指摘されており、夏期や低緯度地域における浅海等の高水温海域での潜水では、高温多湿の潜水服内環境への対処が必要になる。

いっぽう、ニュースーツが高熱伝導性のアルミニウム合金製であるため、氷海等での潜水作業では、ダイバーが内壁へ直接触れない場合においても、前述の潜水調査船と同様に、輻射による体熱喪失は非常に重要な問題となる。

3.4 ニュースーツを用いた潜水作業の生体負担

3.3の測定において得られた作業時の心拍数の最大値は、ほとんどの作業条件で150拍/分であった(図4)。

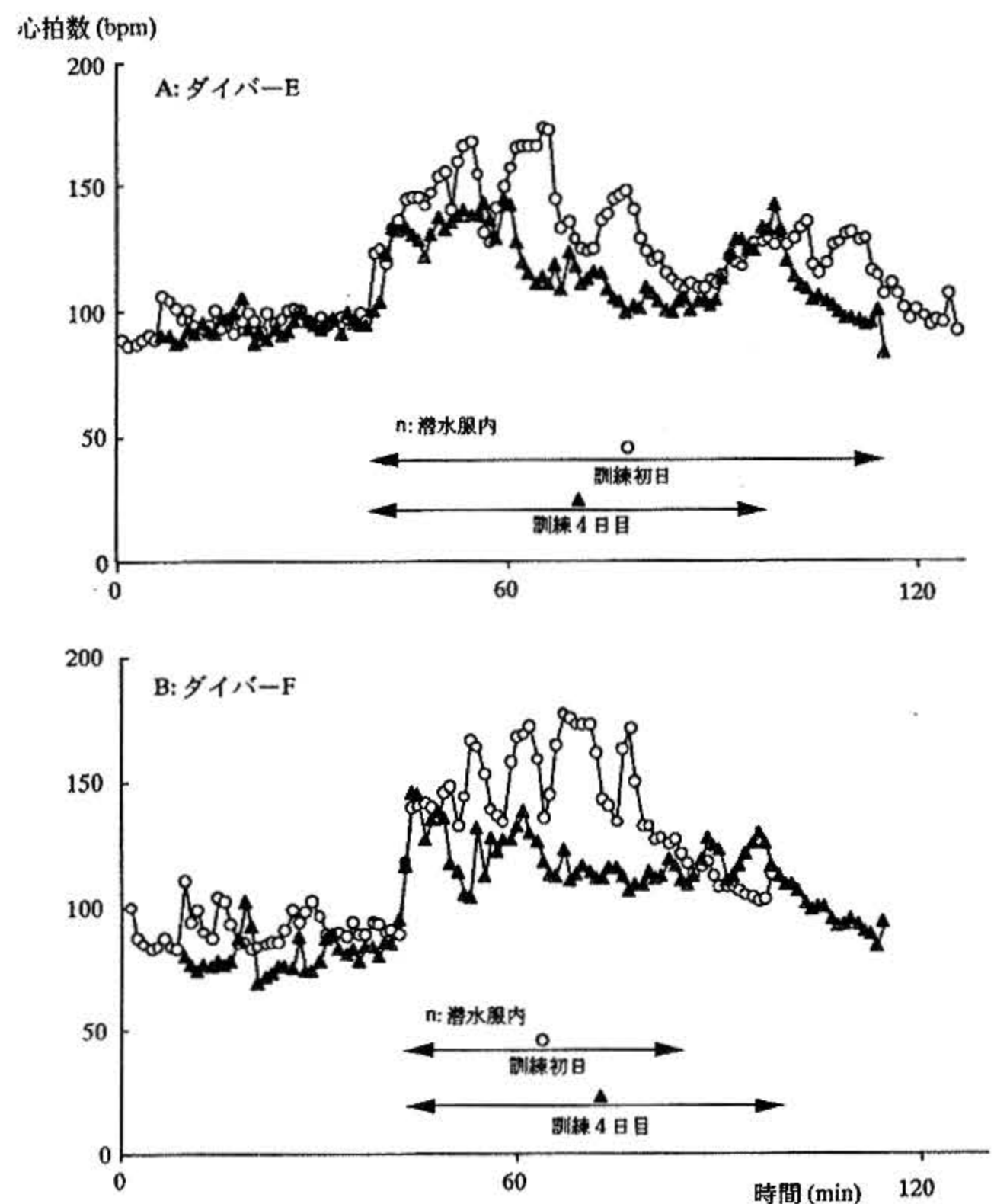


図5 大気圧潜水服を用いた潜水作業時の心拍数
潜水作業の訓練効果(訓練初日と4日目の比較)

Fig. 5 Training effect shown with the heart rate changes of Newtsuit's operators, comparison with first day and 4th day of training.

A : diver-E, B : Diver-F,
○ : first day of training, ▲ : 4th day of training, n : in Newtsuit

高い心拍数を示した作業項目は、歩行、シャックル作業、前傾姿勢作業、スラスターを用いた中層のシャックル作業であった。また、図5に示したダイバーE、Fの心拍数は、訓練初日には最大値が約180拍/分と高い値を示したが、訓練4日目には同じ作業に対して、実験初日ほどの心拍数の増加が認められず、訓練効果が顕著に認められた。

4 潜水艦

潜水艦による潜水者は、大気圧潜水従事者の大半を占める。潜水艦が初めて日本に導入されたのは、明治38年に米国より購入し、横須賀工廠で組み立てられた5隻のホランド型（排水量：約110t、潜航深度：46m、乗員：16名）であった。その後、第二次大戦末までに約220隻の潜水艦が就航したが、その稼働率等は不明のため乗船時間等の詳細を知ることはできないが、定員数の合計は約13,000にも達する⁹⁾。戦後は米国より譲り受けた初代の「くろしお：排水量1,500t、乗員数：80名」以来、1995年までに約35隻の潜水艦が就航しており、戦前と同様に定員数の合計は2,500に達し、十数隻の現役艦の総乗員数は千数百名になる^{10),11)}。

4.1 潜水艦の勤務環境

日本における潜水艦乗員の乗船期間は数日から数週間、任務によっては1ヶ月間程になることもある。1艦に対し乗員1チームで、その構成員の年齢制限はなく20～50才で、近年では眼鏡の使用やコンタクトレンズの使用も許可されている。外国の原子力潜水艦(米国の攻撃型原子力潜水艦-ロスアンゼルス級：6,927t 乗員：133名)の場合は、1航海が数ヶ月にも及ぶため、1艦に2乗員チームがあり原則として交互に乗船する。日本の潜水艦の排水量は、この15年ほどの間に約2,000tから約3,000tへ増大しているが、その乗員数は約80名から70名へと減少している。これは乗員当たりの空間が増えたのではなく、装備の大型化と自動化によるものである。

一般乗員の勤務は、6時間の当直と睡眠を含む12時間の自由時間の計18時間を1周期とした3直制である。また生活のリズムを左右する食事は、原則として06時、11時、16時、20時の4食のうち、睡眠中の1食を外した3食である。さらに食事の内容は、運動量が少ないにも関わらず、数少ない気分転換の意味を含め、陸上勤務時よりやや豪華で、カロリーもやや高い。しかし、狭い艦内でのバイキングスタイル、全員が揃ってゆったりとした食事はできず、席待ちの乗員のため手早く済ませなければ

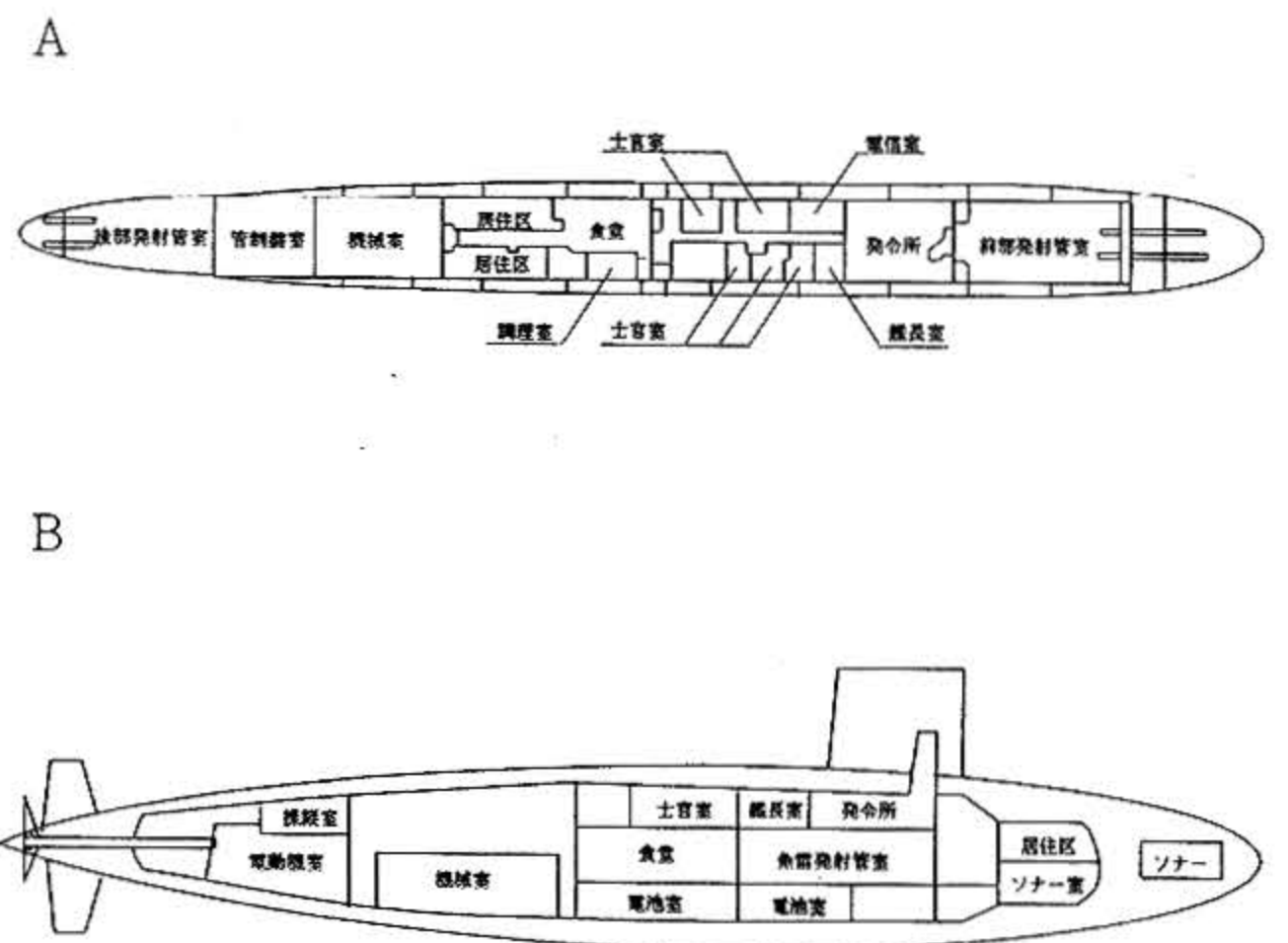


図6 A 潜水艦乗員の健康維持及び環境適応に関する研究が行われた。

「あさしお」型潜水艦(1983年除籍)の内部概略平面図
排水量：1,650t 全長：88.0m 最大幅：8.2m
深さ：7.6m 水中速力：18kt 乗員：80名

B 「ゆうしお」型潜水艦(1979年進水) 複殻構造 立面図
排水量：2,450t 全長：76.0m 最大幅：9.9m
深さ：10.2m 水中速力：20kt 乗員：75名

Fig. 6 A: A plan layout of MSDF's old-type submarine "Asashio - 1,650 t", expelled 1983.

B: An elevation layout of MSDF's tear drop type submarine "Yuushio - 2,450 t" lanced 1979.

ならない。またその食堂は、食事以外の時間には乗員の娯楽室となるが、乗船時の重量制限のため副食品は少なく、飲酒も不許可である。入浴は週に1回程度だが、短期の航海では入浴無しの場合もある(図6)。

4.2 潜水艦の艦内ガス環境

潜水艦はいったん港を出ると、位置の察知を避けるため直ちに潜航する。日本の潜水艦はディーゼルエンジン搭載型であり、推進力と潜航時の推進用蓄電池を充電するため、深度十数mから給排気用シュノーケルを海面に出し、数時間単位のディーゼル発電を行うとともに、艦内の空気を強制的に入れ替える。この空気の入替は、まず艦内圧を0.85気圧程度に減圧した後、一気(数分内)に外気を導入する。これは「シュノーケリング」と呼ばれており、このシュノーケリングを数回繰り返す、艦内環境ガス条件はかなり良好に保たれるが、急激な環境圧の変化による軽い難聴の問題がある^{12),13)}。

第二次大戦前や戦後初期の潜水艦では、エンジンや諸機器の発熱と空調機器の性能等の問題により、艦内はかなり暑い部署もあり、とくにエンジン関係では高温と騒音等の問題があった。しかし近年の新型艦では、環境温

はほぼ25℃、湿度は60%に保たれているが、この良好な温熱環境は乗員のためより、電子機器の保護のためともいわれている。また、自動化や機械化が進んだといえども、機関室では35～40℃にもなるエンジンの近くで1名が空調機の冷気吹き出し付近で監視している。

艦内の二酸化炭素濃度の許容限界は2%とされているが、緊急時を除き1.0～1.5%を越えることは希である。また、一酸化炭素に関しては測定されておらず、喫煙は所定の場所では自由に行われており、乗員の半数近くが喫煙者といわれている。通常の艦内環境ガス浄化はシュノーケリングにより行われるが、緊急時には艦内に二酸化炭素吸収剤を撒き、二酸化炭素を許容範囲内に維持する。また、国外の原子力潜水艦ではシュノーケリングを行わないため、潜水艦内の環境ガス制御は非常に重要な要素である。

日本の潜水艦乗員の医学生理学的諸問題について約15年前に行われた調査では、現在はほぼ解消された高温多湿環境の問題、現在も考慮すべき18時間周期の3直制による生活リズムへの適応、シュノーケリングによる環境圧の急激な変化に伴う難聴、閉鎖狭隘環境における対人関係を含めた精神的問題等が指摘されている^{12),13)}。

5 おわりに

大気圧潜水は環境圧潜水に比べ夢の潜水と考えられやすいが、長期滞在を前提にした潜水艦以外では、そのガス、温熱環境は非常に過酷な場合がある。そのため、大気圧潜水を海中の調査研究の手段として活用するには、諸測定機器の開発に劣らず、海中であることを意識させないほどの環境設定が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 田代省三：深海へ行こう！－深海潜水調査船とともに14年－。JAMSTEC, 8(4), 65-72. (1996)
- 2) 梶原昌弘：潜水艇くろしお号（井上直一教授記念）。北海道大学水産学部，北洋水産研究施設・海

洋部門, 214pp. (1973)

- 3) 加藤 洋：潜水調査船「しんかい」操船の実際。財団法人 日本水路協会発行, 112pp. (1974)
- 4) Jane's Yearbooks - Jane's Ocean Technology 1974-1975. ed. by R.L. Trillo, Macdonal and Jane's, 344pp. (1974)
- 5) Houot G. : Vingt ans de bathyscaphe. Arthaud (France), 256pp. (1971)
- 6) M.Mohri, N.Naraki & H.Yamaguchi : Changes of crew's heart rate and environmental conditions in deep sea submersible "Shinkai 6500". Int. J. Biometeorol. vol.137, 106-107, (1993).
- 7) Curley M. D. and A. J. Bachrach : Operator performance in the one-atmospheric diving system JIM in water at 20℃ and 30℃. Undersea Bio, Med, Res, 9(3), 203-212. (1982)
- 8) 榎木暢雄, 中川 宏, 毛利元彦：大気圧潜水服を用いた潜水作業時の生体負担。日本高気圧環境医学会誌, 28(2), 115-123. (1993)
- 9) 日本潜水艦史。木津 徹 編集, 世界の艦船－第469集。海人社, 東京, 149pp. (1993)
- 10) Jane's Fighting Ships 1986-1987. ed. by Captain J. Moore RN, Jane's Publishing Company Limited, 838pp. (1986)
- 11) Jane's Fighting Ships 1995-1996. ed. by Captain R. Sharp RN, Jane's Information Group Limited, 908pp. (1995)
- 12) 潜水艦乗員の健康維持及び環境適応に関する研究。海上自衛隊潜水医学実験隊 実験研究報告, 第3号, 1-102. (1981)
- 13) 閉鎖環境(潜水艦)における環境適応に関する研究。海上自衛隊潜水医学実験隊実験研究報告, 第4号, 56-102. (1982)

(原稿受理：1997年5月21日)