

19. 閉式潜水呼吸器用ヘルメットの試作

富安和徳,^{*1} 青柳重雄,^{*2} 村井 徹^{*1}

閉式スクーバーに組合せて使用できる深海潜水用の“閉式潜水呼吸器用ヘルメット”を試作した。個人装備品寸法は、使用者の体格によって少なくとも3段階に分けるべきであるとの考え、ヘルメットをダイバーの頭にフィットさせることをデザインの方針としたので、試作品は従来の潜水ヘルメットよりも小形となった。その特徴は、すべてのバックパック型潜水呼吸器と組合せて使用可能で、小形のため遊泳潜水に適し、通信と照明が確保されていること等である。またこのヘルメットの使用試験潜水は、潜水訓練用プールと300mの潜水シミュレーター実験中に行った。

Development of a New Type Diving Helmet

Kazunori Tomiyasu,^{*3} Shigeo Aoyagi,^{*4} Tohru Murai,^{*3}

In early 1978 we made a new type diving helmet for use with the closed circuit underwater breathing apparatus.

In this new type helmet, there are several characteristics as follows;

- a. The helmet involves the oral-nasal mask, and there are small amount of dead space within this mask and it fit very comfortably.
- b. As it is designed small to satisfy our idea that the size of a parsonal equipment must be fitted the user, the diver can swim and dive comfortably.
- c. This helmet is adaptable to semi-closed circuit underwater breathing apparatus and the double hose regulator Aqualung.

The diving tests on this new helmet have been conducted at the diving pool within 3 meters depth, and 300 meters depth tests has been tried in the wet chamber of the Diving Simulation Facility.

1. ま え が き

深海潜水環境は、高圧、低水温、暗黒である。高圧は、ダイバーにとって、生理的に過酷なだけでなく、水深に比例して呼吸ガスが増大するので、潜水呼吸器の循環回路、送気方式等が、装置のシステムによって経済的およびガスの設備規模に応じて、大きな影響を及ぼす。低水温はダイバーの体表から、または低温と高圧は呼吸から多大の熱量を奪うので、ダイバーの活動を助け、またライフサポートとして、ダイバー

を加温することが要求される。また、深海における暗黒は、ダイバーにとって恐怖であり、照明、通信およびライフライン（命綱）なくして、潜水活動は困難である。

深海潜水用呼吸器に、ガスの消費量および使用深度範囲からみると、閉式潜水呼吸器が最良である。しかし、深海の条件から閉式スクーバ(SCUBA)は使用できず、われわれの調査からもガス補給能力からみて、安全上、推奨し難い。そこで、深海潜水用閉式潜水呼吸器は、閉式スクーバーを他給気方式に変えて使用するか、又はS

*1 潜水技術部

*2 横浜潜水衣具株式会社

*3 Underwater Technology and Engineering Department

*4 Yokohama Diving Apparatus Company, Ltd.

DC（加減圧装置付き水中エレベーター）とダイバー間で呼吸ガスを循環させる方法の大循環式潜水呼吸装置とする必要がある。他給気方式では、閉式スクーバーに緊急用呼吸ガスをアンビリカルホースで送るシステムが米海軍、その他から紹介されている。又大循環式では、コメックス、その他の数社が開発しているほか、当センターでも開発研究中である。

以上の検討結果、深海用として考案した閉式潜水呼吸器の概略を図1に示す。

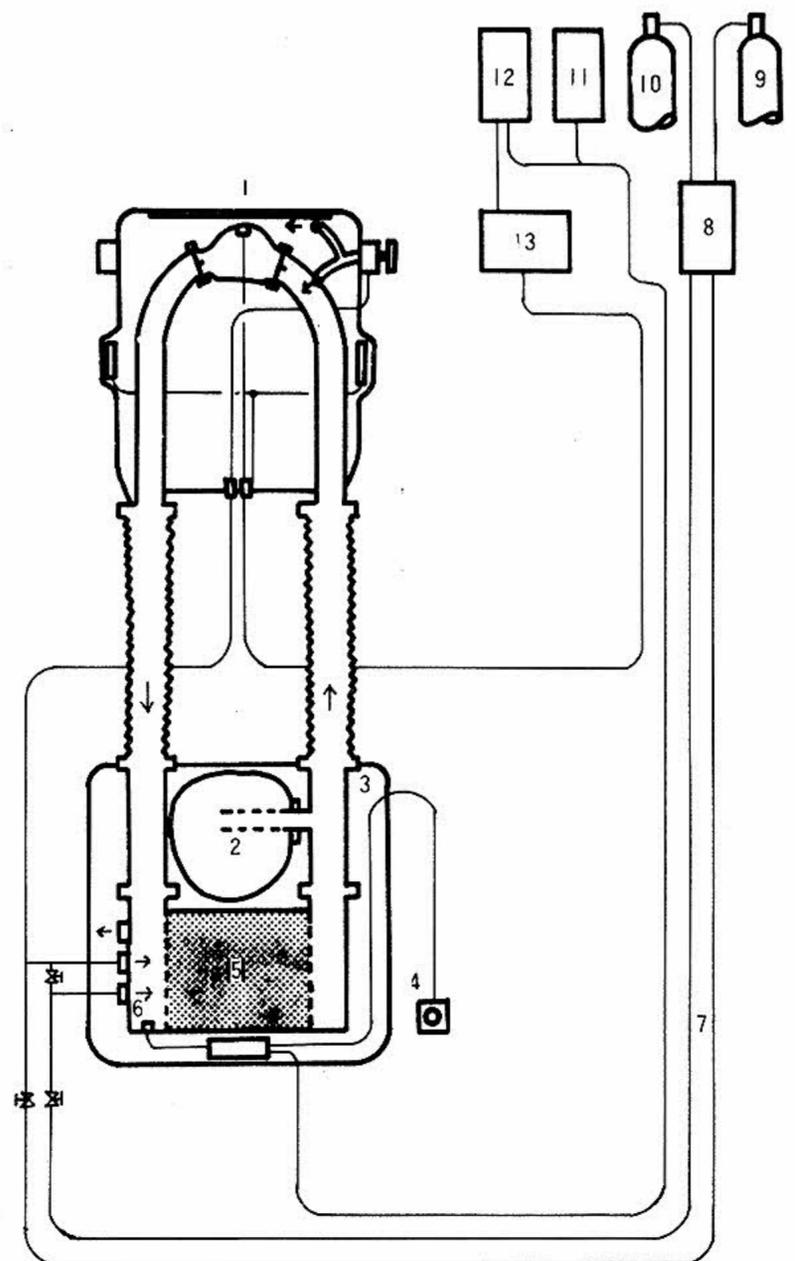
本報告の潜水ヘルメットは、その一部として製作したものである。したがって使用目的は、深海用閉式呼吸器ではあるけれども、一般的な潜水（試験も含めて）ではほとんどが極く浅い深度で行われることを考慮し、多様な使用方法が可能であるように検討した。

2. デザインの要求および特徴

閉式ヘルメットを試作するに当り、デザインについて要求される事項は、次の通りであった。

- (1) 使用の最大深度：300mまで
- (2) 使用方法：
 - (a) 閉式バックパック潜水呼吸器と組合せて使用する
 - (b) 半閉式潜水呼吸器と組合せて使用できる
 - (c) アクアラングと組合せて使用できる
 - (d) 空気用ヘルメット潜水器として使用できる
- (3) 深海潜水：
 - (a) SDCからロックアウトして行われるものとしての考慮に関連して、
 - (i) 装脱着は使用者自身で行えること
 - (ii) 遊泳型および歩行型のいずれの潜水方法にも採用できること
 - (b) 深海潜水用として必要な考慮
 - (i) 通信が確実に行えること
 - (ii) 保温性が良いこと
 - (iii) 照明燈が取付けられること
- (4) 一般的条件：
 - (a) 視野が広いこと
 - (b) 装着時の安定性が良いこと。
 - (c) 周囲に突起物が少ないこと。
 - (d) 取扱いやすいこと。

これらの要望、特に(2)および(3)を満すには、次の二つの事項が重要であり、またこれが本潜水ヘルメットの特徴となっている。



1. 閉式呼吸器用ヘルメット, helmet
2. 呼吸バッグ, breathing bag
3. バックパック, back pack case assembly
4. 腕表示計, wrist display
5. CO₂キャスター, CO₂ canister
6. 酸素分圧センサー, Po₂ sensor
7. アンビリカルホース, umbilical
8. ガスマニホールド, manihold
9. 酸素ガス, oxygen gas
10. ヘリウム-酸素混合ガス, helium oxygen mixed gas
11. 電池, battery cells
12. 酸素分圧計, Po₂ meter
13. 通信機, telephone

図1 閉式潜水呼吸器の構成略図

Closed circuit underwater breathing apparatus on design

第1には、ヘルメット内ではヘルメット内のガスと遮断されている呼吸気用循環路がある。これはヘルメット本体と一体構造の気道と、呼吸弁を

持つ口-鼻マスクからなる。

第2には、遊泳に適するヘルメットであるため、ダイバーの頭部にフィットするように小形化したことである。

従来の潜水ヘルメットは、不特定多数の人を対象にしているため、体格の大きい人の寸法に合わせざるを得なくなり、そのため、体格の小さい人にとっては重量の負担が大きい。したがって、これを防止するには、使用者に合わせて少なくとも大、中、小の3段階の大きさに分けるべきであるとの考え方に基づいている。

3. デザイン

閉式潜水ヘルメットを具体化するに当たって全体的および細部の検討を行い、各部の要素決定を行った。

3.1. ハードハットとすること

遊泳型潜水装備における頭部装置のうち、マウススペース呼吸は、寒冷時および、通信時の障害となるため除外し、マスク式潜水器とハードハット潜水器が選択の対象となった。

(注1) ヘルメット潜水器とハードハット潜水器とは同意語である。ここでは特に、旧来のものよりも小形の金属製ヘルメット潜水器、FRP製のヘルメット潜水器、および頭保護用に硬質カバーを取り付けたマスク式潜水器をハードハットと言う。

マスク式潜水器は軽便であるが、締付け感が強く、頭部は水に濡れる。又、口-鼻マスクは、日本人用の規格でないためか、フィットしない。一方、ハードハットは、保温性にすぐれるが、装脱着が面倒であり、又重量-浮量の面から遊泳に適しているとは言い難い。いづれにしても、呼吸ガス循環路を新たに設けねばならず、既存装置の比較と既存装置からの改良は断念し、保温性、多用性、堅牢性等を考慮し、ハードハット構造にすることとした。

3.2. ヘルメットの大きさ

前述のように、ヘルメットは小形化が要求される。小形化することによって、より軽量となり、又、水流抵抗の減少によって遊泳に適するようになるのが自然である。

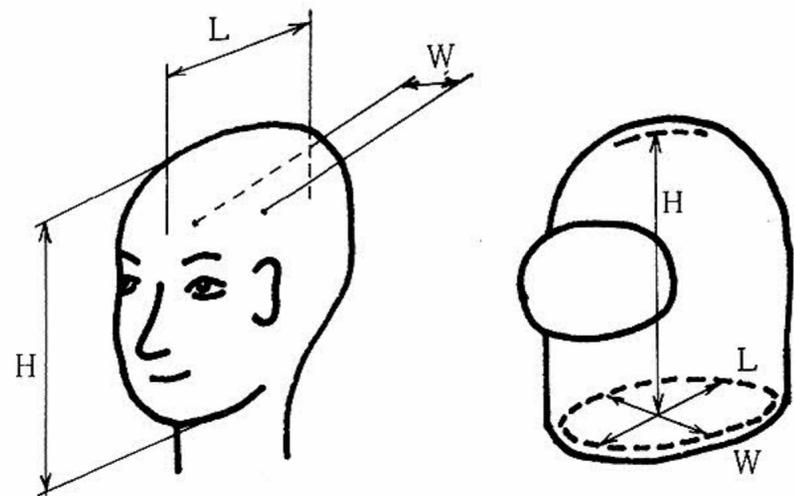
ヘルメットを被るときにヘルメットの首部寸法、つまり被り穴の大きさがヘルメット寸法の決定要素である。この穴の大きさは頭の寸法および形に対応するが、ダイバーに関する資料が見当らな

かったので、日本人の平均値²⁾を採用した。

前述のヘルメットの寸法を大、中、小の3段階に分け、中の大きさの寸法を決める。日本人の平均値Mに標準偏差aを加えた値(M+a)は、95%の日本人に適用するものである。余裕が必要であるから、耳と鼻の突出を加味し、短径18cm、長径21cmの楕円穴で、深さ21cmをヘルメットの製作の基本寸法とした。

他の潜水ヘルメットとの比較を表1に示す。

表1 ヘルメット — 頭の寸法
Size of the Head and Helmet



| 名称 names | | L (cm) | W (cm) | H (cm) | 備考 remarks |
|---|---|---------------|---------------|-----------|--|
| 人間 human body | mean value (M) | 18 | 15.3 | | |
| | (M+a) | 17.7~ 19.1 | 14.8~ 15.9 | | |
| | example Mr. O. N. | 18.8 | 15.7 | 24.0 | 救急訓練用 for first-aid and training |
| | 例: 人形 example puppet | 18.5 | 16.0 | 21.0 | |
| ヘルメ ット helmet | Aquadyne DMC-7 | 22.9 | 18.0 | 24.2 | 深さが不足 H is short |
| | SAVOI helmet | 25.0 | 20.2 | | |
| | Aquadyne GH-2 | 22.7 | 22.7 | | ネック穴 は円 circle neck ring |
| | DIVEX Model3000 横浜ヘルメット Yokohama ACT type | 24.7 23.0 | 24.7 23.0 | | |
| 試作ヘルメット希望値 expect value to the New Helmet | | 21.0 | 18.0 | 25.0 | |

M: 日本人の平均寸法 Size of the Japanese head
a: Mの標準偏差, standard deviation of M.

3.3. ヘルメットを頭にフィット・固定させること

一般にヘルメット内部は、頭を動かすだけの十分な余裕がある。このことは、視点を変えるときには体ごと動かす必要があり、浮力に対抗する重量増の必要等のため、機敏な行動の妨げとなる。もし、オートバイ用のヘルメットのように頭にフィットしていれば、このような不都合はなくなり、軽快な行動ができるであろう。

頭にフィットするハードハットには、SAVOI社ヘルメット、U. S. Diversのコムハット、Div

ing System International 社のスーパーライトのほか、多数あるが、ほとんどがマスク式潜水器である。また、これらのほとんどが、一般的な潜水ヘルメットのように、肩金とベルトで潜水服にしっかり固定することを要しない。

水中浮力と重量の差を小さくしておけば、顔、側頭および後頭部の摩擦と顎の引掛りを利用する程度でよい。そこで前述のヘルメットと頭部の寸法差の空間を頭巾形式で、弾力と摩擦を適度に有する材料の内部パットで埋めることとした。

3.4. 窓

潜水具の水中視野は、ほとんど面ガラスの形と、⁴⁾ 眼と面ガラスの距離によって決まる。

一般には光の屈折の法則により、水と空気面の臨界角が48.5度であるため、視軸との角度をこれよりも大きくしても無意味である。前述のように、ヘルメットが頭部に固定されるので眼と面ガラスの相対位置関係も固定的であり、まず、臨界角に少し余裕を与えて視軸と50度をなす線を窓枠とした。

次いで、眼から面ガラスまでの距離は、近づければ、窓の構造が複雑になるので、適切な距離として、顔面部の口-鼻マスクの部分として4~5.5cmを見込み、さらにヘルメットの寸法条件を入れ、図2に示すように窓の内側寸法を横18cm、高さ13cmの矩形とした。

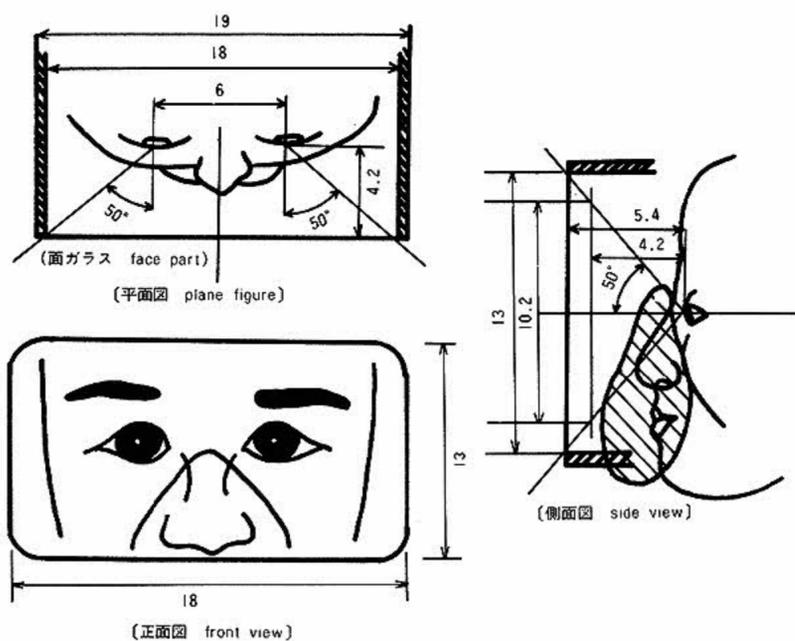


図2 面ガラスと眼の位置

Face part design

窓の高さは、条件よりの値としては10.2cmであるが、個人差により眼が窓の中央よりズレることを加味した値である。

3.5. ガスライン

閉式用ヘルメットのガスラインは Aquadyne 社または Divex 社の半閉式用ヘルメットと同様に、呼吸ガスの循環用流路と一般用送気ラインとが必要である。

3.5.1 呼吸ガス循環ライン

閉式スクーバダイバーは、肺力で呼吸ガスを循環させるが、マウスピースを使っている。

アクアラング式のマウスピースは、通信と冷水に対処できない。Electrolung-II型に使用されているウインドルフマスク (Windlf Mask) のように全面マスクの中にマウスピースが設けられたものもあるが、会話通信に不都合である。そこで、GE社の閉式スクーバMK10型用のU. S. DiversのMorgan10Helmet³⁾、米国海軍の半閉式および閉式用としてのClam Shell Helmet等が製作されているが、いずれもマスク式潜水器である。しかし、これらを参考にすると共に、ヘルメットの前面および側面の突出は極力避けたいため、図3に示す馬蹄形回路を考えた。

この回路は、ヘルメット本体の一部からなる気道と呼吸弁を設えた口-鼻マスクで構成される。バックパックと連絡する呼吸蛇管はヘルメットの後部に繋ぐ。

3.5.2. 送気ライン

送気ラインは、呼吸ガス循環ラインと別途設置され、循環ラインとの繋がりが必要である。

送気ラインは、逆止弁付ホース接手、送気弁、面ガラスクリヤーおよび排気弁とそれらを繋ぐガス管から構成される。又、閉式用ヘルメットでは、循環ラインに送気されるガス管が特別に必要である。

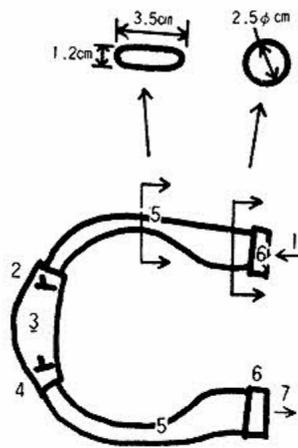
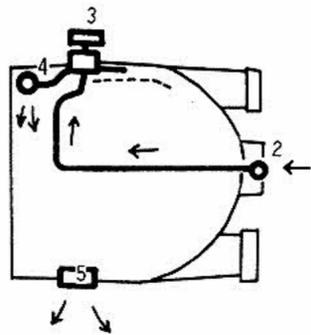
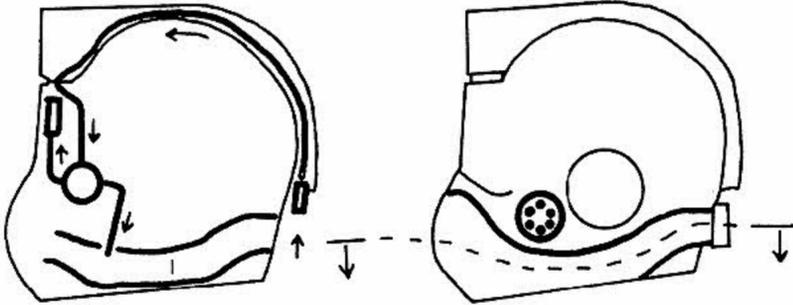
これら送気ラインの役割を、つぎに示す。

- (1) ヘルメット内がなんらかの理由で陰圧、又は浸水があった場合の排除
- (2) 面ガラスの曇りの除去
- (3) バックパックの故障の場合の緊急用呼吸ガス
- (4) 開式用として使用する場合の常用装置

これらの操作を別個のバルブで行うことによる誤操作および煩わしさを避けるため、1個のバルブで用を足すようにした。送気能力は開式用のため100 l / minを見込んだ。

(a) 送気ライン
supply gas line

(b) 呼吸ガス循環ライン
breathing gas line



- | | |
|---------------------------------|--|
| 1. 吸気, inhale | 1. 気道, wind pipe |
| 2. 吸気弁, one way valve | 2. 逆止弁付ホース接手, gas hose joint with non-return valve |
| 3. ロー鼻マスク, oral-nasal mask | 3. 送気弁, supply valve |
| 4. 呼気弁, one way valve | 4. 面ガラスクリヤー, pot cleare |
| 5. 気道, wind pipe | 5. 排気弁, exhaust valve |
| 6. 呼吸蛇管接手, joint hose breathing | |
| 7. 呼気, exhale | |

図3 ガスライン
Gas supply and breathing line

3.6. 通信設備

潜水ヘルメットの通信装置はマイクロホン、レシーバー、ケーブルコネクターおよびコードからなる。

マイクロホンは、ロー鼻マスクに組み込み、ロー鼻マスクを使用しないときは面ガラス下部に取り付ける。レシーバーは、両耳にかぶさるようにセットし、送受信は4線式回路とした。またロー鼻マスクと内部パットによる雑音の消音効果による通信の明瞭度の向上を期待した。

なお、マイクロホンおよびレシーバーは、当センターで開発中の防水均圧型マイク-レシーバーを使用することにした。

3.7. ロー鼻マスク

ヘルメットの寸法が全体的に小さくなったため、マスク式潜水器では通常使われているロー鼻マスクは採用できない。そこで、死空をできるだけ小さく、呼吸弁とマイクロホンの付くロー鼻マスクを特別に使うことにした。

人形の鼻-口-顎にかけて油粘土を押付けた押型(写真1参照)の内側を彫って人の顔に当てながら適切な粘土型を作った。この粘土型を基に図4の通り、寸法と形を決めた。

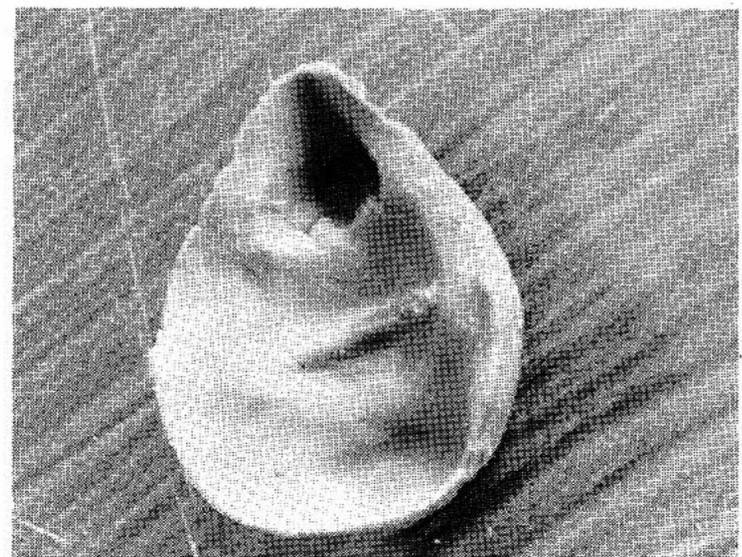


写真1 人形を用いた油粘土の押型

Oilclay Model for oral-nasal mask from manikin

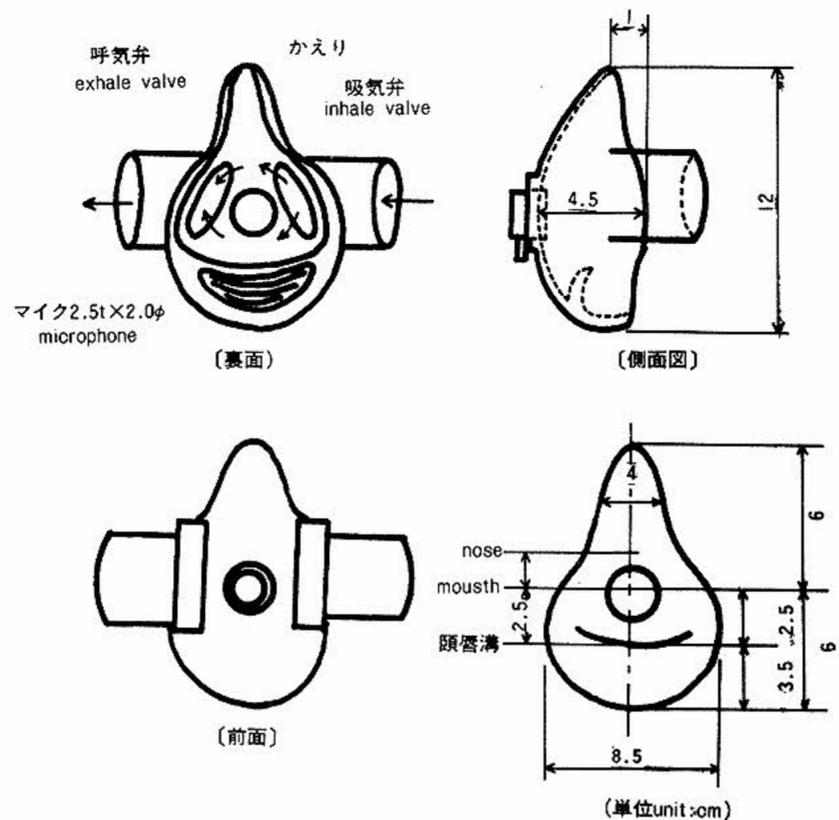


図4 ロー鼻マスク

Oral nasal mask

3.8. ヘッドランプ

深海潜水に照明を欠くことはできない。作業灯は別途設備されているものとし、ダイバーが携行するのは補助灯とした。

照明灯にはハンドランプとヘッドランプとがあり、ヘッドランプには固定式と可動式とがある。

固定ヘッドランプのある潜水器には、Safety Sea Systems 社の The Helmax SS-20 および Comex Pro 社の Beluga の 2 例がある。その得失を調べることにした。

照明能力は、足元および手先を対象として 2 m 先方で径 50 cm 範囲内で 200 lux とした。

3.9. ネックジョイント

ヘルメットのネック部は、肩金方式とネックダム方式があり、潜水服との関連で決まる。

いずれもヘルメット本体とは分離されている。このため、通常装脱着時に接合、切離し作業に人手を要する。ハードハットは重装の肩金を使わないのが特長で、ネックダム方式はウェットスーツおよびドライスーツ（定容量式の）にも使用でき

る。

このようなことと、デザイン上の要求とから、本体と一体化したネックダム方式を試みることにした。

3.10. 重量バランス

遊泳に適する潜水具の条件として、小形で、水中重量がゼロに近いことが望ましい。したがって、排水量に相当する重量とする必要上、比重の小さい材質を用いるのは得策でない。

ハードハットの多くが FRP で作られるのは、近年の流行のようであるが、金属性に比べて暖かさ、柔らかさがあり、保温性が良く、また軽量感があるので、試作品もこれに倣うことにした。水中重量と浮力とのバランスは、その各大きさと作用中心について釣合うことが必要である。表 2 の例を参考に、上部と首部に重量を加えることとした。また呼吸に伴うネックダム部の容量変化は、Aquadyne 社や Divex 社のヘルメットではかなり大きく、強いサポートが必要である。

表 2 重量バランスと固定方法の例

Weight— buoyancy balance and support method

| 名 称 names | 空中重量 weight in air (kg) | 装着時浮力 buoyancy (kg) | 固 定 方 法 fitting & supporting method |
|--|----------------------------|------------------------|--|
| 水中通話用マスク | 0.9 | +0.29 | くも形の頭バンドで 5 箇所止め by five stopper with spider head harness |
| ウインドルフルフェースマスク windif full face mask | 2.95 | -1.25 | 同 上 same as above |
| KMB-8 バンドマスク KMB-8 band mask | 4.0 | +0.15 | 同上、フード付き same as above, added Hood |
| SAVOI ヘルメット SAVOI helmet | 15.0 | -4.3 | 顎バンド strap on the Jaw |
| DIVEX ヘルメット DIVEX helmet | 15.6 (22.0) | -0.8 | サポーターにより固定、() は肩金を含む重量 pull to diver's body with harness, weight within () is add value breastplate |
| AQUADYNE ヘルメット AQUADYNE helmet | 13.4 | +2.3 | 同 上 same as above |
| 横浜 AC 型 ヘルメット Yokohama AC type helmet | 12.2 (8.8) | +4.8 | 肩金を潜水服に固定、() は肩金を含む重量 Breastplate joint to diving suite |

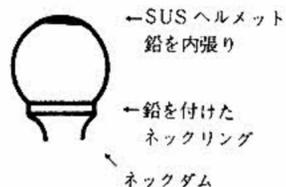
重量 G と浮力 B

Weight G and buoyancy B



空中重量が
重くなる

例: SAVOI

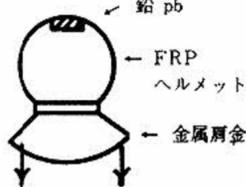


G = B



呼吸のつど
ヘルメットが
上下する

例: DIVEX



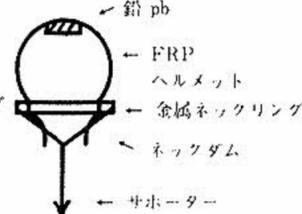
G < B

G < B

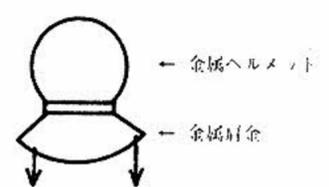


強固な
接続が
必要

例: AQUADINE



例: 横浜 AC 型



3.11. その他

以上の要素を組立てるに当り、ヘルメット前面、側面に突出物を少なくしたいとの考えによれば、送気ホース、通信およびヘッドランプのケーブルと接手の配置が問題となった。しかもヘルメット内部に余裕がないので、これらを配列するピットを設けることとした。

4. 製作

前項のデザインを基に、各部の形および概略寸法を検討し、油粘土を用いてイメージアップしたのが写真2である。

この模型を用いて細部を検討し、写真3を製作した。

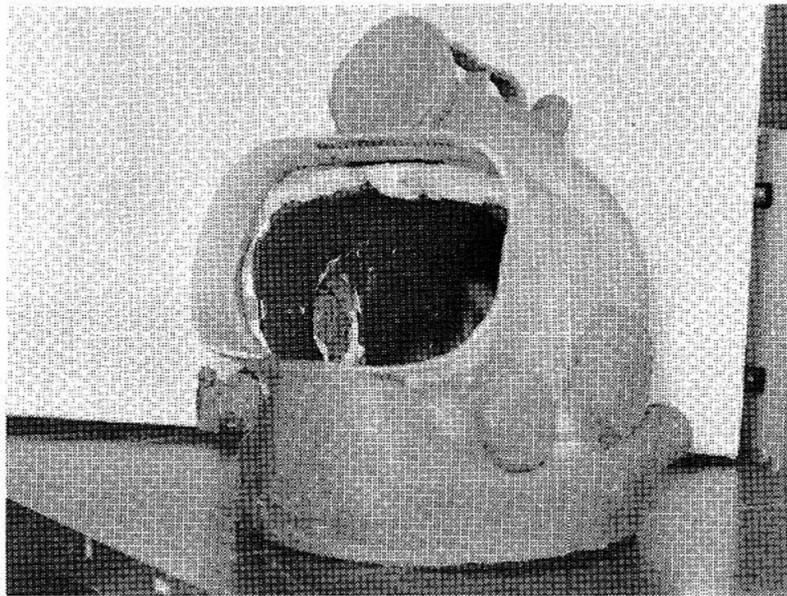


写真2 ヘルメットの塑型
Image uped model of new helmet



写真3 試作ヘルメット
Made up new type helmet

本体はFRP製、上部および首部は砲金製、面ガラスはアクリル製である。外形寸法を図5に示す。

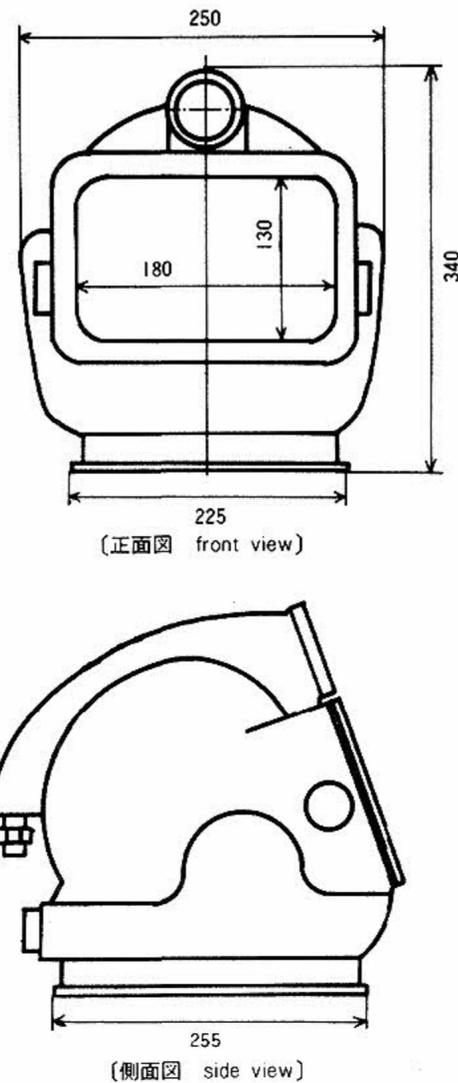


図5 ヘルメットの外形寸法
Outside size of the helmet(unit:mm)

5. 潜水テスト

試作したヘルメットに関し、次の潜水テストを行った。

5.1. 開式ヘルメットとしての使用テスト

水深3mの潜水訓練プールで、6名のダイバーが潜水し、装着の具合、安定性、給排気調節等のテストを行った結果、開式ヘルメットとして使用するには、送気および安定性、その他の点で十分ではなかった。

5.2. 閉式ヘルメットとしての使用テスト

水深3mの潜水訓練プールで、4名のダイバーが潜水し、装着の具合、安定性、呼吸の具合等のテストを行った結果、全般的に良好な結果を得た。

装具は他給気式に改造したG. E社製Model-1500の呼吸ホースに試作ヘルメットを結合し、ウェットスーツおよび足ひれを用いた。

呼吸は空気中では多少重かったが、水中では

きわめて軽く、通信の明瞭度はきわめて良好であった。また、開式呼吸のときに見られた呼吸に伴うヘルメットの動きもなく、写真4のように自由に遊泳することができた。

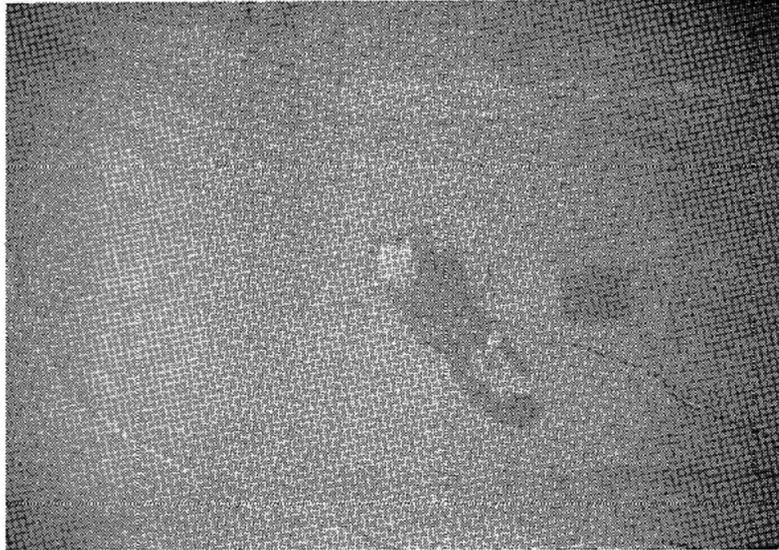


写真4 潜水テスト

Test Dive in pool

5.3. 高圧下潜水テスト

昭和53年（1978年）9月～10月に行われた300m潜水シミュレーション実験で、9月28日に2回の潜水テストを行った。

1回目は、閉式ヘルメットとして、12minの潜水とヘッドランプの照明テストを行った。2回目は、アクアリング用のダブルホースレギュレーターを用い、呼吸ガス循環ラインによる呼吸で10minの潜水を行った。潜水環境は、いずれも300m、水温7℃であった。

なお、閉式スクーバと組合わせた潜水を試みる予定であったが、スクーバの酸素制御系に故障が発生し、実施できなかった。

6. まとめ

閉式潜水呼吸器用のヘルメットを試作し、使用テストを行った結果、デザイン要求を一応は満足し、300mにても閉式呼吸ができることがわかった。さらに完全なものとするためには多くの改良すべき点も見い出された。

これらの点のほとんどは小形化に起因し、またテストダイバー（前記テストダイバー以外の者も含めて）の感覚的な個人差も大きいように考えられた。

文 献

- (1) Bentz R. L.; The Mark X I V Push-Pull Under-water Breathing System, The Working Diver (1976), p. 14~23
- (2) 蓑島高; 日本人人体正常数値表 (1967), 技報堂
- (3) Morgan. B.; The Kirby 15 Diving Helmet, Fifth Annual International Diving symposium (1975)
- (4) 富安和徳ほか, 潜水マスクの水中視野計測, 海洋科学技術センター試験研究報告書第2号 p. 107, (1978)