

6. 深海潜水調査船の乗員の姿勢に関する研究^{※1}

浜田^{※2} 馨、野中良一^{※3}、坂倉勝海^{※3}、高川真一^{※3}、名執^{※3} 薫

深海潜水調査船（以下潜水船と呼ぶ）の設計にあたっては、潜水船を小型軽量にまとめることが非常に重要であり、その成否は、潜水船運用上、安全性や稼働率の面に重大な影響をおよぼす。

潜水船を小型軽量にするには装備機器類の小型軽量化をはかることも重要であるが、潜水船の重要な大きな部分を占める耐压殻をできるだけ小さく軽くすることが最も重要である。しかし耐压殻の中には所定の乗員が長時間搭乗して操作を行うので、乗員の能力の低下を招かない程度の空間が必要である。そこで乗員の姿勢とこの最小空間を設定するために本研究を行った。まず内径2m（諸外国の例ではこの大きさが多い。）の実物大木製球殻模型を用いて

(1) 耐压殻中で乗員がとり得る姿勢

(2) (1)の姿勢における装備機器と乗員相互のスペースの関係

(3) 長時間搭乗したときの乗員の耐性

について実験し検討を加えた。その結果、装備機器類については未確定要素があり、陸上と水中との相違を十分シミュレートしていないが内径2mというのは決して小さすぎる大きさではなく、本実験からみる限りこの中に長時間搭乗していてもさしたる問題のないことがわかった。

A Study on the Attitude of Deep Submersible's Crew

Kaoru HAMADA^{※3}, Ryoichi NONAKA^{※3}, Katsumi SAKAKURA^{※3},
Kaoru NATORI^{※3}, Shinichi TAKAGAWA^{※3}

It is one of the most important things to design a deep sea, research submersible to be small and light, and if it cannot be done satisfactorily, she comes to get serious results on her safety and rate of operation. In order to make her small and light, it is important to design the pressure hull as small as possible because it has a large part of her weight. As the crew have to operate the submersible for long hours in the pressure hull, some space for them must be provided so that they can do their missions without losing their abilities. Therefore, in this study, using the wood mock-up of the pressure hull having the inner diameter of 2m (many submersibles in the world have pressure hulls of this diameter) the followings were studied;

- (1) The attitude which the crew can take in the pressure hull,
- (2) Spatial relation between machinery and crew and between crew themselves by the attitudes mentioned in (1),
- (3) Endurance of crew in the pressure hull for long hours.

※1 本研究は、科学技術庁研究調整局から委託を受けた「深海潜水調査船に関する調査研究」の一環として実施したものである。

※2 前海洋開発技術部(現三菱重工業(株))

※3 海洋開発技術部

※4 former, Marine Development Technology Department (present; Mitsubishi Heavy Industries, LTD.)

※5 Marine Development Technology Department

From this experiment it is found that the pressure hull having the inner diameter of 2m is not too small, and the crew can operate with little problem for long hours, although the inner machinery and equipment have not been decided yet in detail.

1. ま え が き

潜水船の設計にあたっては、潜水船が大型大重量となると、目的海域まで潜水船を持って行くには曳航方式か、あるいは母船に搭載する方式にするにしてもその発進揚収方式が非常に大型複雑なものになり、そのために潜水船の安全性や稼働率に重大な影響が生ずるので、出来るだけ小型軽量にまとめることが非常に重要である。

潜水船を小型軽量にするには他の機器類の小型軽量化並びにそれらのトレードオフを図ることも重要であるが、潜水船の重量の大きな部分を占める耐压殻を出来るだけ小さくすることが極めて重要である。

一方耐压殻の中には所定の乗員が長時間搭乗して潜水船の操縦や観察・測定・調査を行うのであるから、耐压殻をあまりに小さくしすぎて乗員の能力の低下を来すようでは問題であり、このようなことのない程度の空間を確保する必要がある。

従って耐压殻の大きさはできるだけ小さくするとともに乗員の能力の低下を招かないように適当な空間を確保し、乗員の姿勢や機器の配置等を考慮することが必要である。

そこで本研究では、耐压殻の大きさとして諸外国に例の多い内径2mのものに着目し、その実物大球殻模型を作製して、その中で乗員がどのような姿勢をとり得るか、乗員が姿勢を変えたり球殻内へ出入りしたり機器類を操作する上からどの程度の空間が必要かという面から装備機器と乗員相互のスペースの問題について検討を加えた。またこの模型球殻内に長時間搭乗した場合の乗員の能力はどうなるかについて3名の被験者を搭乗させて実験を行った。

なお本研究の遂行に際し、日本大学生産工学部橋本邦衛教授に終始熱心なご指導を戴いた。ここに記して感謝の意を表する。

2. 乗員の姿勢、装備機器と

乗員相互のスペースの関係

諸外国の潜水船の実例を調べてみると乗員が3名で耐压球殻の内径が2m前後のものが非常に多く、乗員3名の内訳はパイロット1名、コパイロット1

名、オブザーバ1名となっているのが一般的である。

乗員が3名というのは、他に救助手段のない潜水船においてはパイロットの事故など緊急の場合を想定するとパイロットのほかにコパイロットも必要不可欠と考えられ、それにオブザーバ1名を加えて最小限の員数と考えられる。また球殻の内径については、体格が日本人よりも一般に大柄な欧米人が内径2m前後の球殻内に入っていることを考えて、内部装備機器の大きさが球殻の大きさに直接影響するものの、1つの目安として内径2m⁽¹⁾を採用するのが良いと考えられる。

そこで本研究では乗員を3名と仮定し、内径2mの耐压球殻の実物大木製模型を製作して種々の検討を加えた。

2.1. 乗員の姿勢

人間のとり得る姿勢はいろいろあるが、潜水船の乗員に適応し実際に各国において採用されている姿勢は、こしかけ、はらばい、あぐらおよびそれらの変形である。また窓の位置と姿勢とは密接な関係があり、窓の位置から乗員の姿勢もかなり決ってしまう。

観測用のぞき窓の満たすべき要件としては次のようなものが挙げられる。

イ. 出来るだけ目の位置を低くしてなるべく手前の海底を見ることができる。

ロ. マニピュレータの操作に必要な視界が得られる。

ハ. 操船にも利用できるやや前方が見える。

ニ. オブザーバとコパイロットが楽な姿勢でのぞける。

ホ. 観測上窓の中心間距離を小さくしたいという要望と、球殻強度、乗員の姿勢等との兼合いで、窓の中心間距離を適正にする。

次に乗員の姿勢については次のようなことが挙げられた。

イ. はらばい

はらばいの姿勢では胸部が常に圧迫を受けてお

註(1) なお本研究では、乗員1名当りの空間1.5m³という基準にはこだわらない。

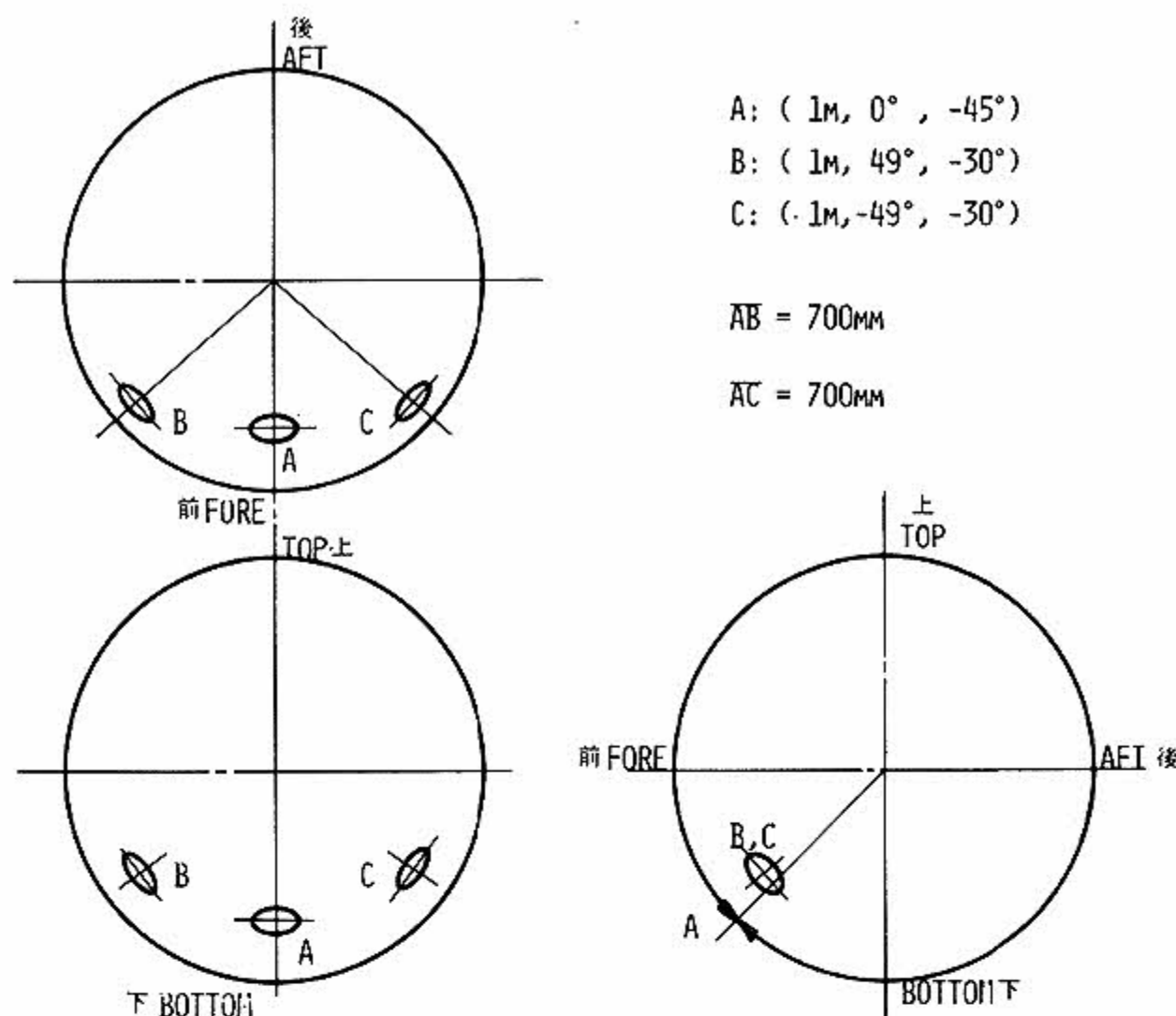


図1 のぞき窓の位置
Position of viewports

り手を自由に動かせないということを除けば、顔面をのぞき窓に密着できることにより観測姿勢としては適しているといえるが、長時間この姿勢を維持することは難しいと考えられる。

ロ. こしかけ

いすに掛ける姿勢は最も楽な姿勢で長時間の作業に適しているが、のぞき窓の位置が低いと腰掛けたまま外をのぞこうとすると極めて無理な姿勢をとらざるを得ず観測姿勢としては非常に不具合である。

ハ. あぐら

あぐらは一般的に日本人に適した姿勢であり窓もよくのぞけ、手も自由に使えるので窓からの観測のほかに機器操作も行える利点があるが、長時間この姿勢を続けるとやはり肉体的苦痛等の不都合な面が出てくるおそれがある。

以上の検討の結果、パイロットの姿勢としては長時間計器を監視しながら各種スイッチ、ハンドル等を操作する関係上こしかけ姿勢が最も望ましいと考えられる。しかしこしかけ姿勢では窓からの観察が苦しいので、むしろ窓からのぞけなくてもやむを得ず、外界はテレビモニター等を通して確認することとし、窓はもっぱらオブザーバ、コパイロットがのぞくこととして図1に示すように、正面俯角45度の位置に1個、正面より左右49度、俯角30度の位置に各1個、計3個の窓を配することにした。またオブザーバとコパイロットの姿勢については特定せず、必要に応じてあぐら、はらばい等の姿勢がとれるようなスペースを考慮して姿勢に大幅な自由度を与えることが望ましいという結論を得た。なおこの問題の検討中、球面壁に背中をもたれると非常に楽な休憩

姿勢のとれることがわかった。

2.2. 装備機器と乗員相互のスペースの関係

耐圧殻内には種々の機器類が装備され、その剰余空間を用いて乗員が耐圧殻内への出入り、機器類の操作等をする。したがってこの剰余空間の形状、広さが機器操作および観測能力等に重大な影響を与える。

そこで、現在のところ装備されるべき機器類の種類、大きさなどは未定であるができるだけ実情に即するように適当に仮定して機器スペースをとり、これらのスペースと剰余空間内の乗員との関係ならびに乗員同士の配置上の問題等について検討を加えた。

まず機器スペースのとり方であるが、全機器を1カ所に集中させると容積効率は良くなるが奥行きが深くなり整備が困難になるので、ハッチを頂点に設け、これを極とする軸心の周囲に壁に沿って配置する方法をとった(図2参照)。なお、剰余空間容積はこの場合 2.4m³となる。

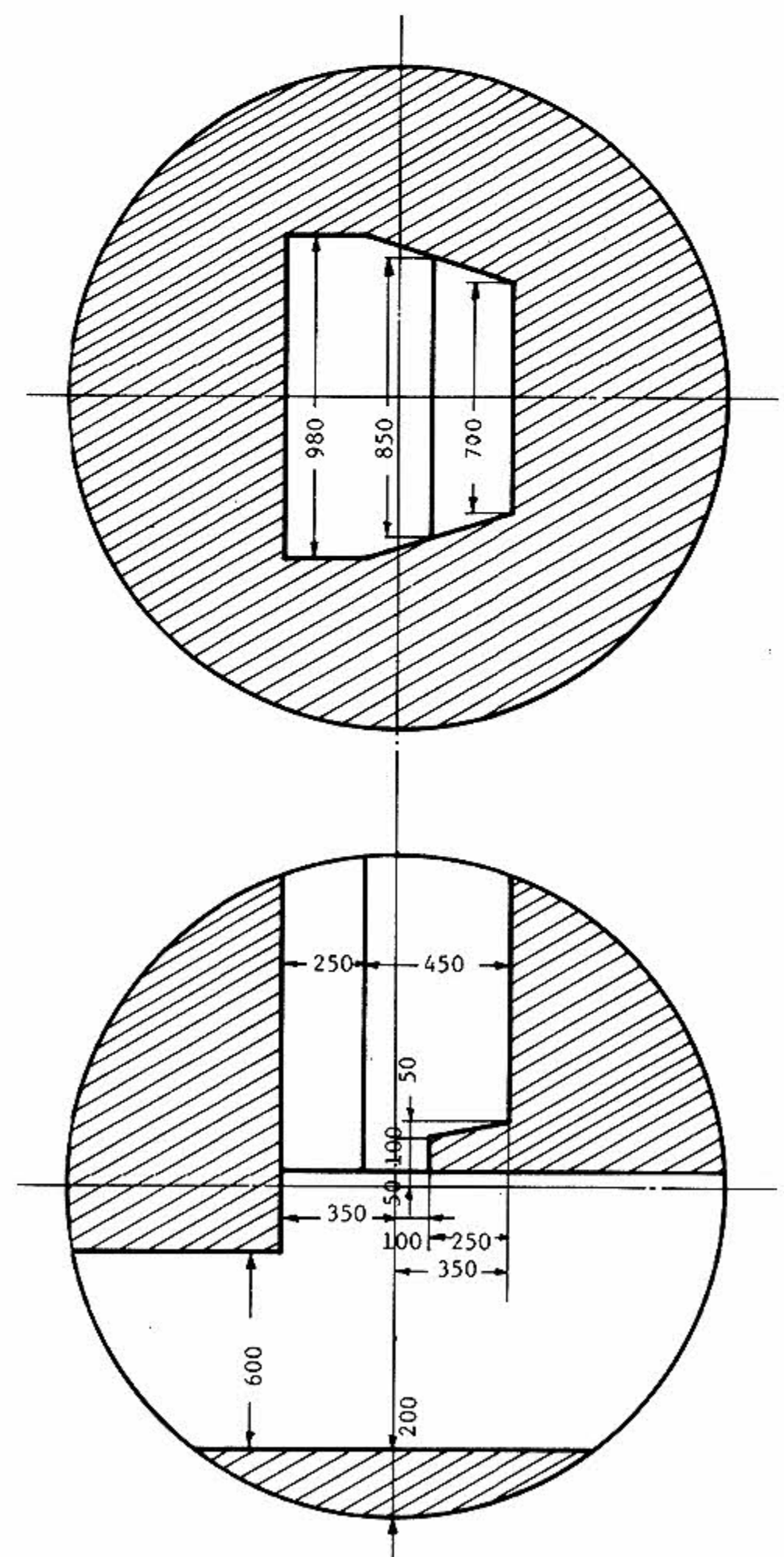


図2 内部装備機器の占める空間
Space of inner equipments

次に、ハッチの真下は耐圧殻からの乗員の出入りに用いるために何もおけないからここをパイロットが占めるのが最も良いと考えられる。

オブザーバとコパイロットの位置としては、のぞき窓の位置からも当然パイロットの左右に分かれて場所を占めることになる。

3名の乗員の位置が決まったので、まずオブザーバとコパイロットの2名を入れて機器の操作や窓からの観測、身体の移動等にどの程度支障があるか調査したがほとんど問題がなく、むしろかなりスペース的に余裕があった。これは姿勢を固定してしまうコーチ等の器具が設けられておらず、かなり自由に身体を動かせることが好結果をもたらしたものと考えられる。

次にパイロットも入れて乗員を3名にしたところ、パイロットの位置そのものは球殻の床面よりもかなり高いところにあるのでスペース的に狭くなったという感じはしないが、普通の椅子に座った形でのパイロットの足は床面にいるオブザーバやコパイロットにとってかなり邪魔な存在となる。そこでこの足の処置をいろいろ検討した結果、パイロットの椅子の前方に足のせ用の板をほぼ水平に出しこの上にパイロットが両足をそろえて乗せる方法をとった。この方法により椅子から下は床面全体にわたって極めてクリアになり、オブザーバとコパイロットにとってはパイロットが乗船したことによって耐圧殻内が狭くなったという感じを受けなくて済むようになった。また足のせ用の板もオブザーバやコパイロットが身体を動かすのに支障となるようなものとはな

っていない。

パイロットのこの姿勢はちょうど畳の部屋のすみで座ぶとんを2、3枚重ねた上に壁に背をもたれかけて足をのばしている形であり、かなり楽な姿勢である。

以上から図3に示すような姿勢を本研究における潜水船の乗員の基本姿勢とした。

3. 長時間耐性試験

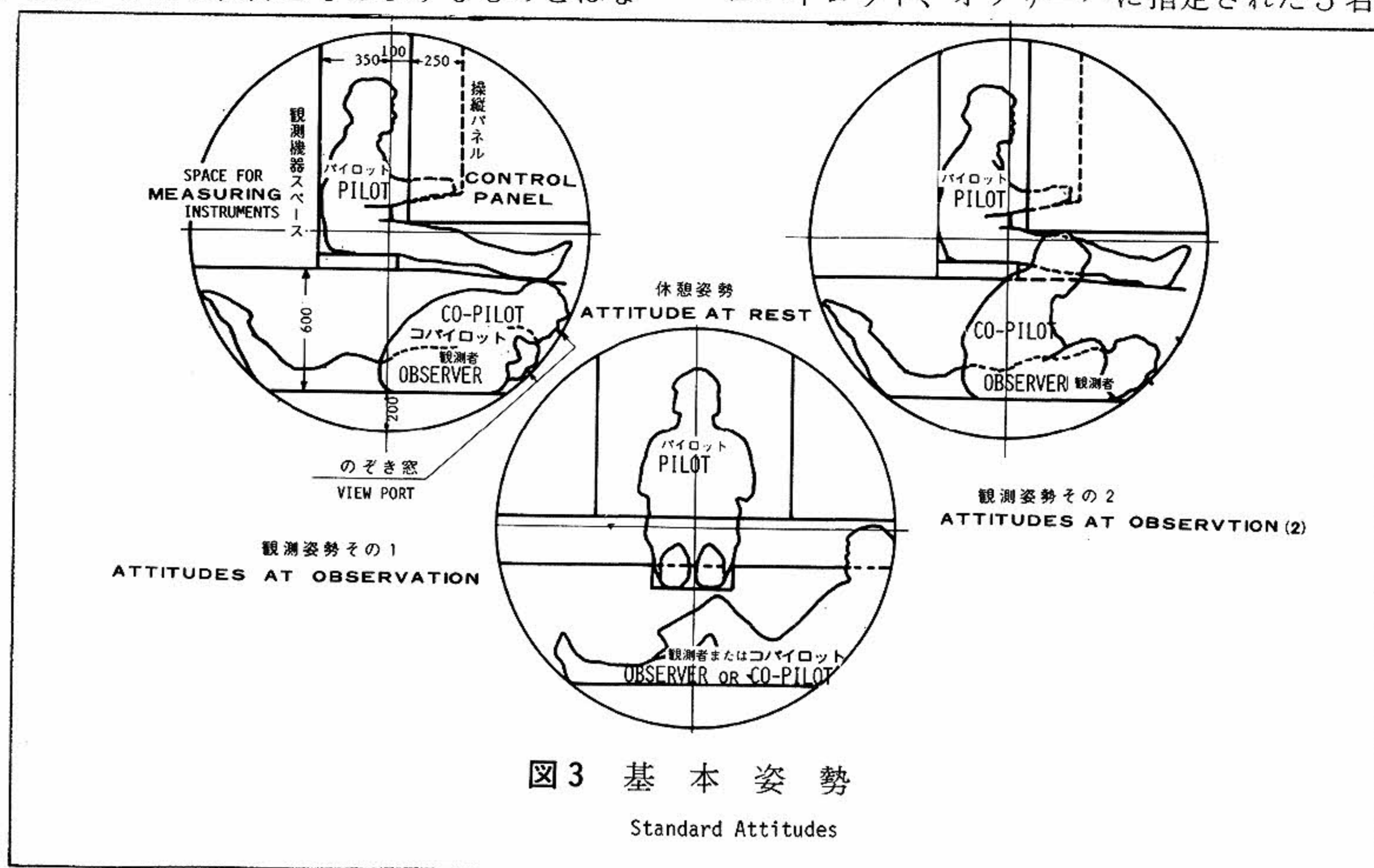
前項で定めた基本姿勢は、本実物大模型球殻（以下模型球殻と呼ぶ。）内に極めて短時間入って調べた結果定めたものであって、実際の潜水船のように乗船時間が数時間から10数時間にもおよぶような場合にはこのような姿勢でも大丈夫かどうかを改めて調査する必要がある。

そこで模型球殻を用いて長時間潜航作業シミュレーションを実施し、これらの姿勢の長時間における是非ならびに時間経過と乗員の能力、疲労との関係等について調査した。

試験は、連続3時間の予備試験と連続8時間の本試験とを行ったが、前者は後者の可能性の見通しを得ることを目的に行ったものである。また実施時期については、潜水船が大深度に潜航した場合には艇内は相当低温になるのでそれをシミュレートするために12月～2月の寒冷期を選んだ。

3.1. 予備試験

各々の姿勢の是非を調べるために、パイロット、コパイロット、オブザーバに指定された3名の被験



者を別々に1名ずつ模型球殻内に搭乗させ、所定の姿勢を大きくくずさずに1姿勢を保持しながら潜航シナリオに従って作業を実施させ、各種計測を行った。

イ. 計測項目

a. 脈拍

脈拍は連続的に計測した。

b. フリッカ値

フリッカテストを球殻内に持ち込み、10分間隔で測定した。

c. 色別呼称試験

5種類の色紙が規則性無しに100枚並んでいるものを順に読んで行き、読み終るのに要した時間と読みまちがい数、読み直し数を調べるもので、疲労してくると所要時間や読みまちがい数等が増してくるものである。この試験は30分間隔で行った。

d. 計算試験

スライドフィルム99枚に各9個の乱数を入れておき、スクリーン上に映写して予め指定された場所の数字を加算するもので、例えば数字が $a_1, a_2, a_3, a_4, \dots$ と出てきたら、 $a_1 + a_2, a_2 + a_3, a_3 + a_4$ の値をいうことになり、合計98回の計算結果の正解、誤答の数が調べられる。各数字の表われる速度は、スライドプロジェクタを早送りで送っているので99枚送るのに約150秒要する。この試験は30分間隔で行った。

e. 注意力、記憶力試験

被験者の前面に種々の機器の異常を示す警報ランプを6個とりつけ適宜にこのランプを点滅させたときにこれに被験者が気付くまでにどれだけ時間を要するか、またそのランプに付加した異常の内容がまちがいなく報告できるかを調べた。なおこの試験はランプの取付位置によって結果が大幅に変化するので2回目の予備試験以後は行わなかった。

f. 自覚症状

適宜報告させた。

以上の試験では3名の被験者が役割りを変えて試験を受けているために各データに個人差がかなり強く入っているので、この試験結果から一般的な結論を下すことはできないが、各被験者共あまり疲労した様子もなく、また能力が特に落ちるということとはなかった。

次に各姿勢についてであるが、腰掛け姿勢は尻の

痛み、しびれ、足先の冷えなどを訴えているが、時に眠けを感じる程度であり、足を水平に伸ばして長時間腰かけている姿勢はそれほど苦しくないことがわかった。

あぐらの姿勢では、長時間この姿勢を全くくずさないでいると足、腰、足のつけ根、背中等に痛みやしびれを感じるが、適宜に足の組み替えや背のびなどを行うとこれらの苦痛をかなり減ずることができ、姿勢をある程度変えれば長時間あぐらの姿勢を続けることも無理ではないことがわかった。

腹ばいの姿勢では腰、首のつけ根、あご等の痛みや腕のだるさ、足先の冷えなどの訴えがあるが、胸あてや額あてをうまく利用すると非常に楽な姿勢であり、長時間同一の姿勢を取り続けることが可能である。

これらの試験から基本姿勢として採用したこれらの姿勢はかなり良好な姿勢であって若干姿勢の変更を認めるならば連続8時間の長時間試験の実施も可能であるという結論を得た。

3. 2. 本 試 験

本試験では3名の被験者を同時に模型球殻内に搭乗させ、予備試験で良好なことを確認した各姿勢を基本姿勢として、連続8時間の長時間試験を行った。

各被験者の姿勢は、予備試験の時のように姿勢を大きく変えることを許さないのではなく、潜航シナリオによって潜入に3時間、滞底に3時間、浮上に2時間を割り当て、パイロットは潜入・浮上時は基本姿勢を保ち、滞底時間中も極めて短時間以外はこの姿勢を保たせ、オブザーバは滞底時のみ基本姿勢、コパイロットは滞底時のほか必要に応じ基本姿勢をとることとした。また食事はこの球殻内でとった。そして潜航シナリオに従って各種の仮想作業を実施するとともに、脈拍測定、フリッカテスト、色別呼称試験、計算試験を行い、同時に自覚症状も報告させた。

この試験の結果、8時間という長時間の試験にもかかわらず、パイロットが腰の痛みをわずかに訴えたほかはこれといった苦痛の訴えはなく、また水分を極力控えたためか尿意の訴えもなく、能力の低下や際立った疲労もなく、これらの基本姿勢は8時間という長時間試験にも十分適用できることがわかった。

4. 考 察

以上の試験は内径2mの模型球殻を用いて行われたが、内部装備機器が確定できずそのために適宜仮

想せざるを得なかったという難点はあるものの、剰余空間は 2.4m^3 、1人当たり 0.8m^3 しかなく極めて小さいものとなっている。しかしその極めて小さい空間に3名の人員が入って長時間能力の低下も疲労もさほどなく作業をなし得、また空間的に余裕すら感じられ、さらにはこの狭い中でパイロットとコパイロットとが交代もできた。

このことから、採用した基本姿勢は極めて妥当なものであるとともに、3人の乗員に対し 2.4m^3 程度の剰余空間があればその配置を適当にすることによって長時間の潜航作業に特に支障となることはないと考えられる。

ただ、今度の実験はごく簡単な模型球殻を用いて行ったため、完全な密閉環境が作り得ず、また乗員の作業として行った模擬操作に実際に即したフィードバックがないために単にシナリオに従った単純な動作に限られ、精神的な緊迫感がなかったことに留意する必要がある。

参 照 文 献

- 1) Attwood, D. A., McCann, C. 'HUMAN ENGINEERING EVALUATION OF THE SD SDL-1, DCIEM REPORT "1973, 73-R-996 96D
- 2) Morgan, C. T., Cook, J. S. III, et al
"人間工学データブック" 近藤武訳 コロナ社, 1972, 539P
- 3) 大島正光 "人間工学" コロナ社, 1969, 327P
- 4) Vadus, Joseph R, "INTERNATIONAL REVIEW OF MANNED SUBMERSIBLES AND HABITATS.", Atlantic International Search and Rescue Seminar-LANTSAR'75, New York, 1975-04, 81P,
- 5) Woodson W. E. "人間工学" 青木和彦, 野本明訳 コロナ社, 1969,