

潜水調査船操縦シミュレータ

網谷泰孝^{*1} 徳永三伍^{*2} 甲斐源太郎^{*1}
濱田幸信^{*1} 早柏宏一^{*2} 前田俊夫^{*2}
山本恵三^{*3}

昭和53年(1978)度から昭和56(1981)年度にかけて2,000 m潜水調査船システムの開発建造を行うとともに、このシステムの運用に万全を期すべく、昭和54(1979)年度から昭和56(1981)年度にかけて“潜水調査船操縦シミュレータ”を製作した。

本シミュレータは、潜水調査船模擬部、海底視界模擬部、管制卓、および計算制御部からなっており、通常の操船訓練、緊急時の操船訓練、および潜航支援訓練ができる。また、グラフィック表示を用いた評価システムが完備しており、教官は容易に訓練状況を把握、評価して指導することができる。

現在、本シミュレータは潜水船要員の訓練に供されており、大きな成果をあげている。今後は、潜水船乗船予定研究者の模擬潜航体験にも、実施していく予定である。

Training Simulator for SHINKAI 2000

Yasutaka Amitani^{*4}, Sango Tokunaga^{*5}, Gentaro Kai^{*4},
Yukinobu Hamada^{*4}, Koichi Hayakashi^{*5},
Toshio Maeda^{*5}, Yoshimitsu Yamamoto^{*6}

JAMSTEC began developing and constructing a 2,000 m deep submarine research vehicle system from FY 1978 and completed it in FY 1981. This system consists of the submersible “SHINKAI 2000” and her support ship, “NATSUSHIMA.” The operation of this system must be done with great care regarding safety. Therefore, beginning in FY 1979, the authors began developing and constructing a training simulator for “SHINKAI 2000” for the purpose of training the crew members in the aspects of safety and efficiency. The simulator was completed in FY 1981. The simulator consists of a room (sphere) for the trainees, a visual simulator, a computer system, and an instructor console. By utilizing this simulator, we are able to train the crew members in operational procedures, emergency procedures, and communications and tracking. By observing the display monitor of the instructor console panel, the instructor can easily grasp the conditions of training and evaluate the trainees. We are currently training crew members using this simulator and are obtaining good results.

*1 深海開発技術部

*2 三菱重工業株式会社

*3 日本電気株式会社

*4 Deep-Sea Technology Department

*5 Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

*6 Nippon Electric Co., Ltd.

1. はじめに

昭和53年度から昭和56年度にかけて、2,000m潜水調査船システムの開発建造を行った。さらに、その一環として、わが国初の2,000m潜水調査船“しんかい2000”の運用に万全を期すべく、陸上での操縦訓練設備についても検討した。その結果、“潜水調査船操縦シミュレータ”を製作することにした。

そこで、潜水調査船開発研究会にシミュレータ専門部会を設けて多角的検討を行い、昭和54年度から昭和56年度にかけて、基本設計、詳細設計および製作を行った。

2. 潜水調査船操縦シミュレータの必要性和意義

“しんかい2000”は、わが国では初めての本格的な深海潜水調査船であり、このオペレーションは複雑な業務であるため、完成後、実用潜航にはいるまでには、かなりの要員訓練が必要である。

すなわち、上昇、下降および航走の三次元運動の制御に加えて、支援母船との通信、ソーナー等航海計器の監視、船内環境の調整、その他電気、油圧系統等の監視などを、ほとんど同時に冷静、かつ正確に実行しなければならないため、初歩的な操船訓練から実用潜航にはいつてからの練度維持および向上のための訓練に至るまで、かなりの操船訓練が必要である。

この操船訓練を、すべて実機を用いて実施することは、安全性、経済性および実用潜航としての稼働率等の点で、非常に問題が多い。したがって、これらの一部をシミュレータによる訓練に置換えることにした。

ここで、操縦訓練にシミュレータを用いることの意義をまとめてみると、次のようになる。

(1) 訓練の安全性

初心者による操縦であるため、実機では危険を伴うが、シミュレータによる訓練では、安全に機器操作の手順等に慣熟することができる。

(2) 緊急時の訓練

緊急時の操作訓練は、訓練上最も重要であるが、実機では物理的、または安全性の問題から実施できない。しかし、シミュレータでは実施可能である。

(3) 訓練効率

実機での訓練は、気象、海象の影響を受け、いつでも訓練できるというわけではないため、訓練効率が悪いが、シミュレータでは、いつでも訓練でき、非常に効率がよい。

(4) 費用の軽減

実機では、訓練海域まで支援母船を出動させるなど、莫大な費用を要するが、シミュレータを用いれば、その費用を軽減することができる。

(5) 模擬潜航体験

研究者等が実機に乗船する前に、シミュレータによって擬似潜航体験をすることによって、潜水船の運動性能等を理解し実際の調査研究時の一助とすることができる。

3. シミュレータによる訓練

本シミュレータの計画にあたって、各方面で実際に使用されている操縦訓練用シミュレータについて調査した（表1参照）。

これを参考に要員訓練計画における本シミュレータの位置づけ、訓練項目、および訓練方法について検討した。

3.1. 要員訓練における本シミュレータの位置づけ

シミュレータによる訓練だけでは、潜水船を自由に操ることはできない。要員訓練は、大きく分けて、次の3段階からなる。

(1) 潜水船の原理や構造の学習

(2) 基本的な操船要領の体得

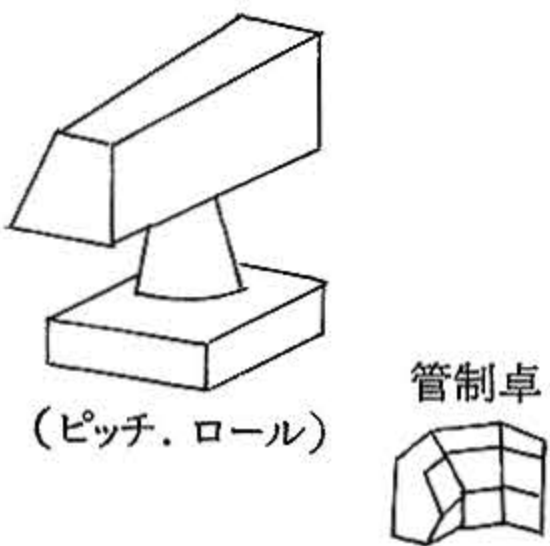
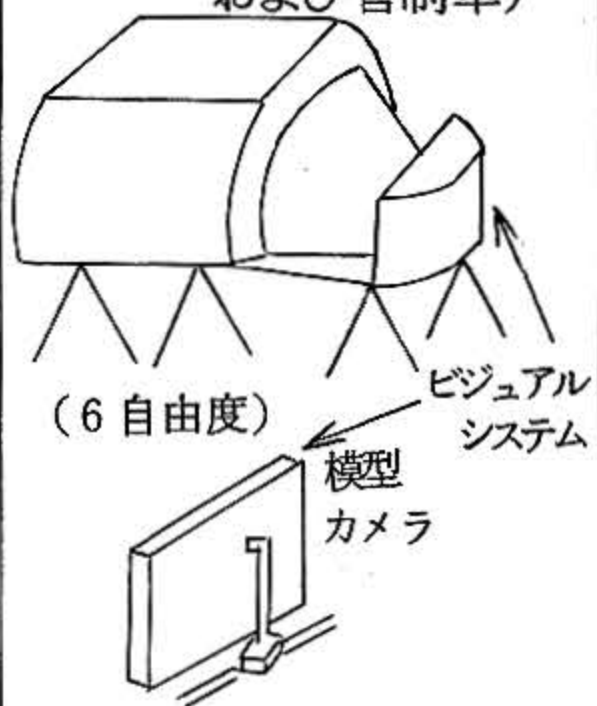
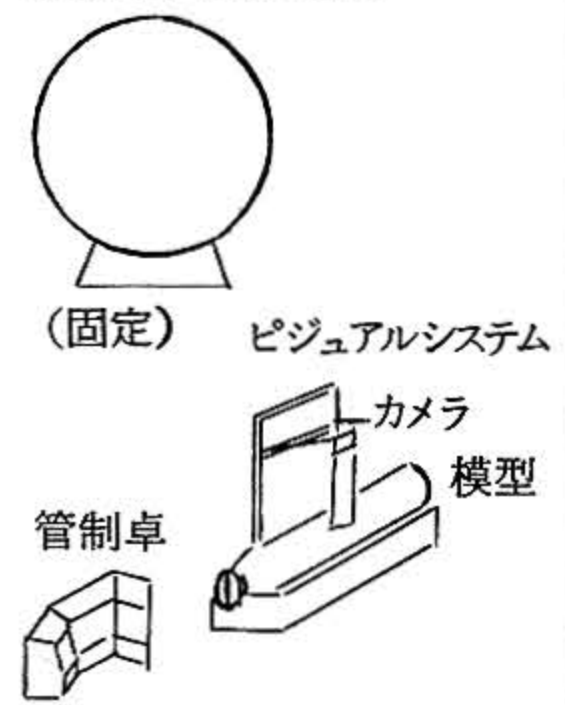
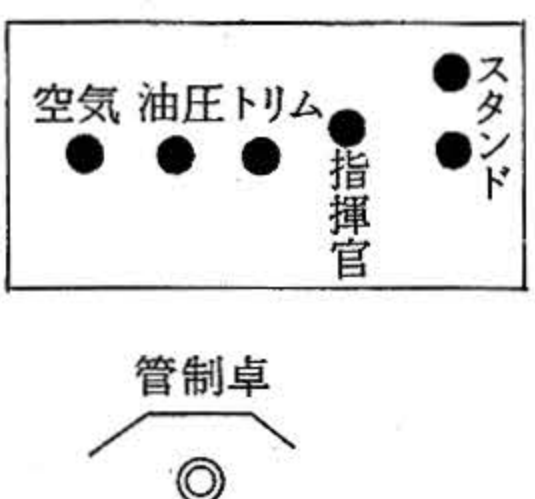
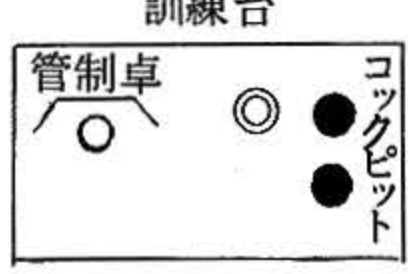
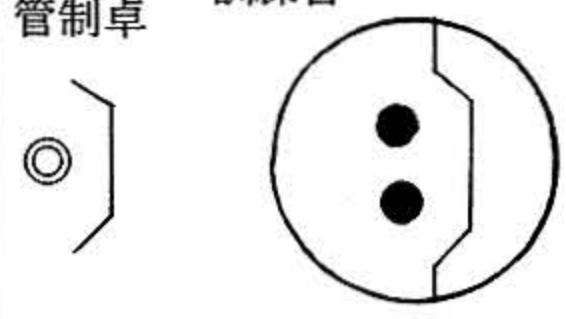
(3) さらに高度な操船技術の体得

上記(1)は座学や実機（陸上）によって行う。この学習が十分でないと、のちの操船訓練が通り一遍のものとなり、実際のミッション潜航の際に臨機応変な操船ができなくなる。

また、(2)および(3)はシミュレータおよび実機（実海域）で行う。座学などでは習得できない操船要領、性能を、シミュレータを用いて実際に機器を操作して習得し、さらに実海域で確実なものにするわけである。

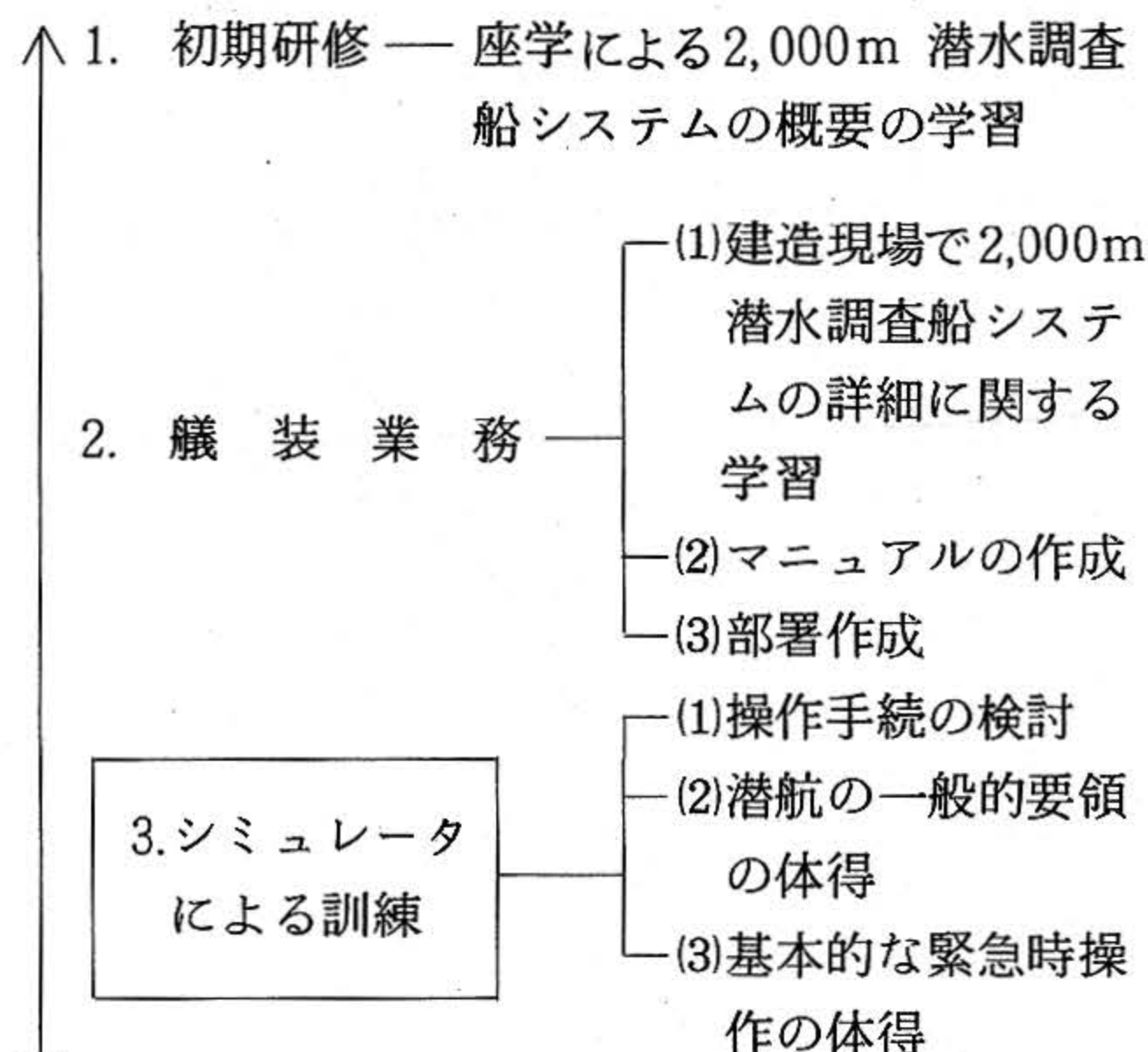
したがって、シミュレータによる訓練は、あくまで要員訓練計画の一部であり、実海域での訓練をより効果的に行うための準備である。また、実海域では不可能な訓練を行うためのものである。

表1 代表的な操縦訓練シミュレータ
Examples of training simulators

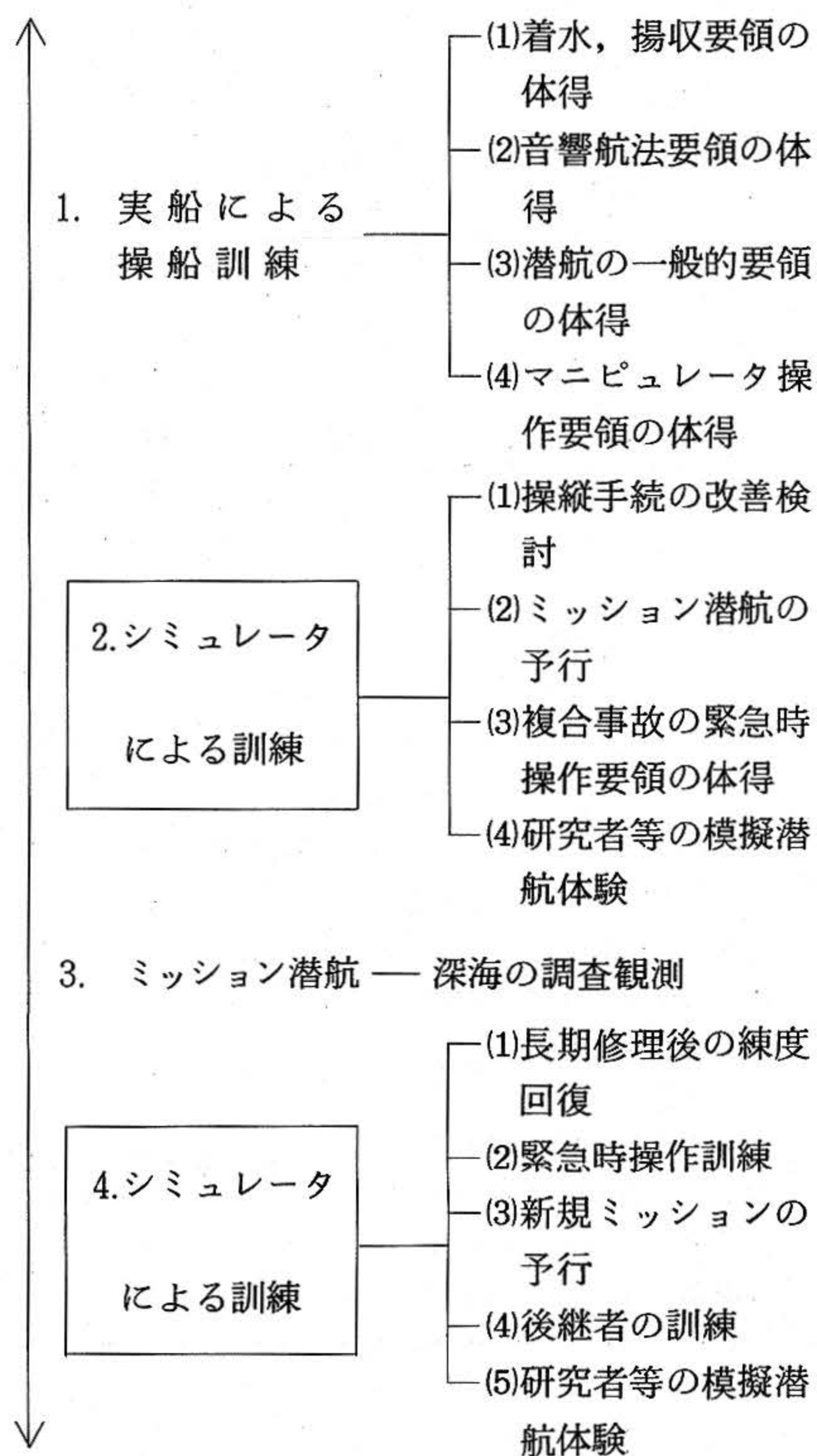
各種シミュレータ 比較事項 Item Training simulators	潜水艦シミュレータ (防衛庁 うずしお型) Divng trainer	航空シミュレータ (日本航空 DC10) Flight simulator	潜水船シミュレータ (米海軍 DSRV) DSRV simulator
訓練項目 Training items	(潜水艦潜航操縦訓練) (1) 水上航走 (2) スノーケル (3) 潜水浮上 (4) 水中三次元運動	(DC10飛行訓練) (1) 空中三次元運動 (2) 離着陸 (3) 非常時操作	(DSRV 操縦訓練) (1) 水中三次元運動 (2) 潜水艦探索 (3) 潜水艦メーティング (4) センサおよびシステムの評価
構成 Components	訓練台(操縦室)  (ピッチ、ロール) 管制卓	訓練台(コックピットおよび管制卓)  (6自由度) ビジュアルシステム 模型カメラ	訓練台(耐圧殻)  (固定) ビジュアルシステム 管制卓 カメラ 模型
訓練方法 Method of training ◎ 教官, instructor ● 訓練生, trainee ○ 管制卓オペレータ, operator	訓練台  管制卓	訓練台  管制卓	管制卓 訓練台 
	(1) 管制卓における指導員の訓練条件の設定に応じて、訓練生(指揮官)の発令で、他の訓練生が操縦する。 (2) 管制卓の位置で、訓練生の動作が見え、発令、復唱の声が聞える。	(1) 指導員の指示で管制卓オペレータが訓練条件を設定し、これに応じて、訓練生が操縦する。 (2) 指導員は訓練生の後方から訓練状況を見、チェックする。 また、訓練生の数を制限し、指導員が訓練生の側に座し、指導することもある。	(1) 管制卓における指導員の訓練条件の設定に応じて、訓練生が操縦する。 (2) 管制卓のモニターで訓練状況をチェックする。

次に潜水船要員の訓練計画を示す。

I 潜水船建造期



II 潜水船実用期



3.2. 訓練項目

訓練項目（表2参照）として、通常の操船訓練を柱に、緊急時の操作訓練、潜航支援訓練を考えた。

緊急時の操作訓練は、シミュレータでしか実施できないことである。また、潜水調査船システムは、潜水船と母船の係がうまくとれて初めて、その真価を発揮できることから、潜航支援も重要である。

3.3. 訓練方法

訓練を実施する際の部署には、指導員、訓練生およびオペレータの三つが考えられる。

さらに、その配置は大きく分けて二つが考えられる。一つは、指導員が耐圧殻内または、そのすぐわきにいて指導するパターン、他の一つは指導員が管制卓にいて指導するパターンである。

前者は、訓練生の操作状況を詳細にわたって直接観察し、その良否を即座に指摘することができるが、そのときの潜水船の運動なども含め、訓練状況全体を把握することができない。また、後者は、その逆である。したがって、訓練の目的に応じて、いずれの方法でも訓練できるようにすべきである。

これらのことを考慮して“潜水調査船操縦シミュレータ”の設計製作を実施した。

4. シミュレータの構成

本シミュレータは、潜水調査船模擬部、海底視界模擬部、管制卓、および計算制御部から構成されている（図1参照）。

4.1. 潜水調査船模擬部

潜水調査船模擬部（写真1および写真2参照）は、訓練生と指導員が搭乗して訓練する場所で、実船の耐圧殻部分を模擬したものである。

内部形状および寸法は実機と全く同じであり、中に納められた機器も、コントロールコンソールをはじめとして、実機のものと同様の外観、機能を有している。

さらに訓練生が操作するジョイスティックやその他のスイッチ類は、できる限り実機と同じものを使用し、操作に応じて、計器類の指示、表示燈の点燈、警報などが、時間遅れ等も考慮したかたちで実機と同じように作動するようにした。

表2 シミュレータによる訓練項目
Principal items of Training

訓練区分 Category	訓練項目 Item	訓練内容 Content
通常の 操船訓練 Normal operation	(潜航訓練) diving (1) 機器チェック check of equipment (2) 潜入, 浮上 immersing, surfacing (3) 下降, 上昇 descent, ascent (4) 着底, 離底 landing, taking off (5) 監視, 報告 watch of equipment, communication with surface	母船上, 潜入前, 潜入後の機器チェックおよび作動確認 メインバラストタンクのベントおよびブロー, 潜入後の重量トリム調整 バリアブルバラストタンクによる下降および上昇, ショットバラストによる下降および上昇, 速力, 姿勢および位置の調整, 規定深度での停止, 海底を視認しながらの停止 着底時の速力, 姿勢, 位置の調整, 着底力の調整, 離底要領 船内環境の制御, 電池残量のチェック, 計器および警報の監視, 母船との通信
	(海底付近航走訓練) cruise above sea bottom (1) 視窓からの視認操船 visual cruise (2) 計器による操船 instrument cruise (3) 条件変化に対応した操船 cruise under variable circumstances (current, density of water etc.)	直進, 変針, 高度調整, ホバリング平坦海底岩場, 傾斜海底における目標物への接近 目標物表示装置による前方監視操船, 音響方位探知器による目標探知操船 潮流がある場所での操船, 海水比重や水温が変化する場所での操船
緊急時の 操船訓練 Emergency operation	(1) 機器異常時の操船 operation under failure of equipments (2) 異常状態での操船 operation under accidents (3) 緊急浮上 emergency surfacing	電気系, 油圧系, 空気系, その他, 実船の故障監視システムに現われるすべての故障に対する操作 火災, 浸水, からみ, 強潮流, 重量増, 海底吸着等の異常に対する操作 緊急浮上装置の操作, 救難ブイの離脱操作, 電池, 環境制御, 通信等の監視
潜航支援訓練 Support operation	(1) 潜水船への指令 command to submersible (2) 潜水船の誘導 induction of submersible (3) 潜水船の追尾 tracking of submersible	潜水船との通信要領, 指令の出し方, 報告の受け方, 緊急時の対応 目標位置への誘導, 強潮流時の誘導, 危険な場所付近での誘導 潜水船と母船の相対位置の保持, 潜水船浮上位置の決定

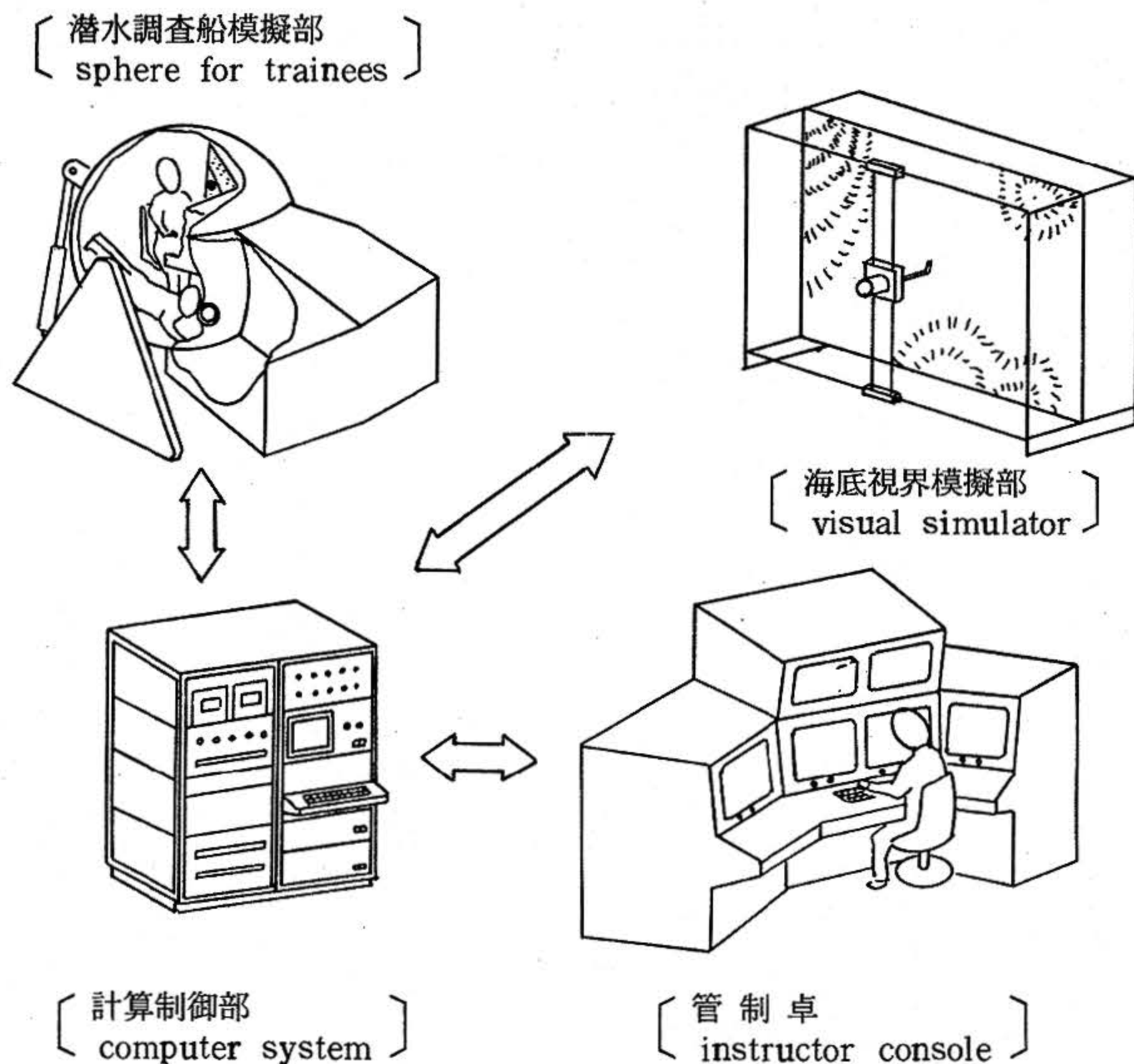


図1 シミュレータの構成
Components of simulator

また、実際の深海調査において、前後方向に傾斜をつけて航走することを想定し、縦傾斜制御装置を用いて前後方向の傾斜がつけられる。

これら、さまざまな工夫によって、訓練生は実機と全く同じ姿勢および感覚で操縦訓練が行える。

さらに、実機には装備されていないが、訓練状況が容易に観察できるように、耐圧殻後部に窓付の扉とプラットフォーム、耐圧殻の中にはTVカメラを装備した。

4.2. 海底視界模擬部

海底視界模擬部は、覗き窓からの視認による操船訓練を行うため、潜水船の運動に対応した外景を覗き窓前方に投影するものであり、次のような装置からなっている。

4.2.1. 海底模型

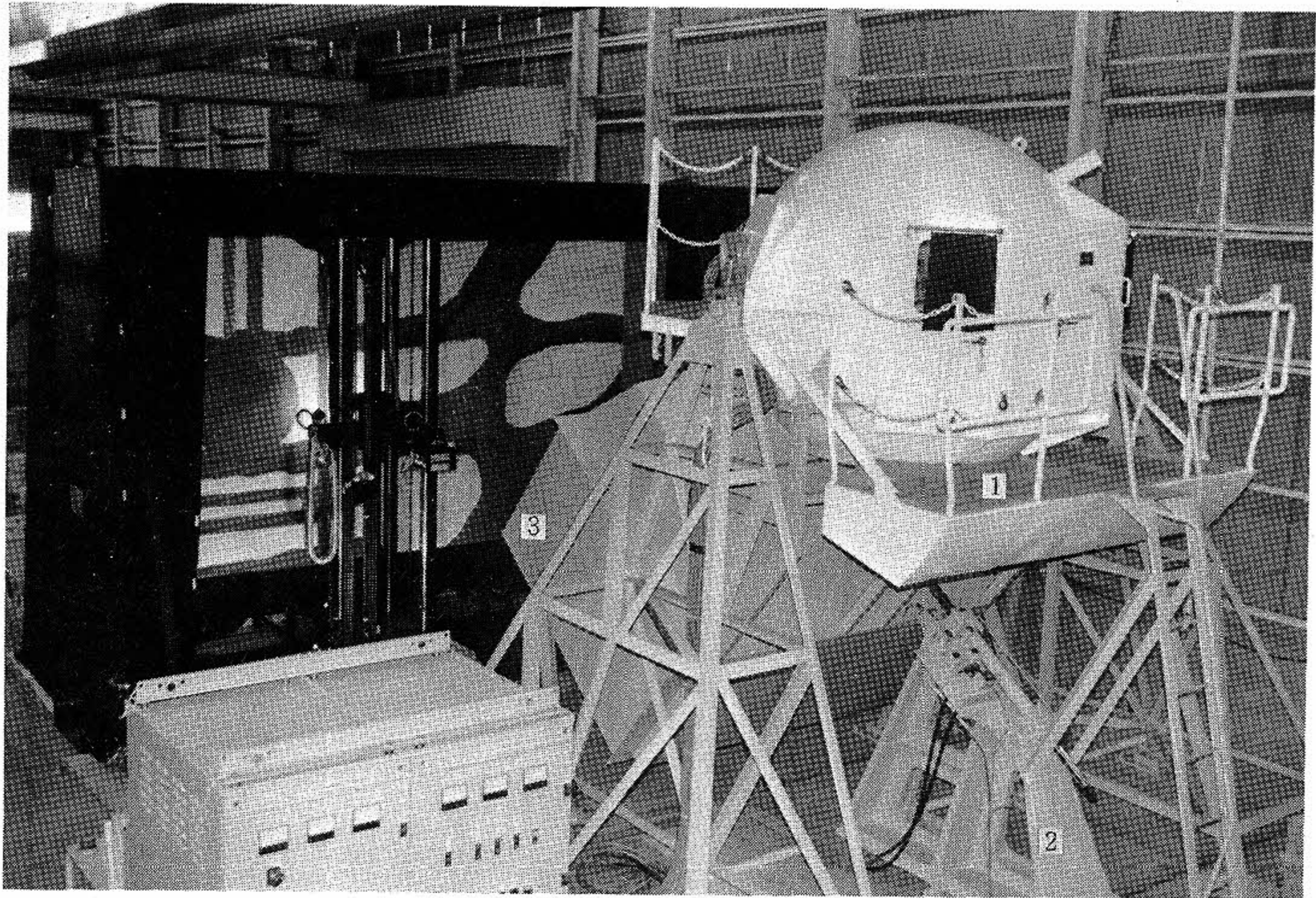
海底模型は、大きさ3 m×5 mの海底面に模式的に山や谷、崖などを配置したもので、縮尺は1/100である。したがって、海底表面を模擬するため、非常に細かいサンドペーパー用の砂を塗布してある。

また、模型は取換え可能で、特別なミッション用の模型を取付けて訓練することもできる。

4.2.2. 撮影装置

撮影装置（写真3および写真4参照）は、計算機からの信号で、TVカメラが潜水船の運動に応じて動き、海底模型を撮影する装置で、撮像部と駆動部からなっている。

撮像部には、広角で、焦点調整の必要がなく、



1. プラットホーム, platform, 2. 縦傾斜制御装置, trim controller
3. 投影装置, projector

写真1 潜水調査船模擬部および海底視界模擬部
Sphere for trainees and visual simulator

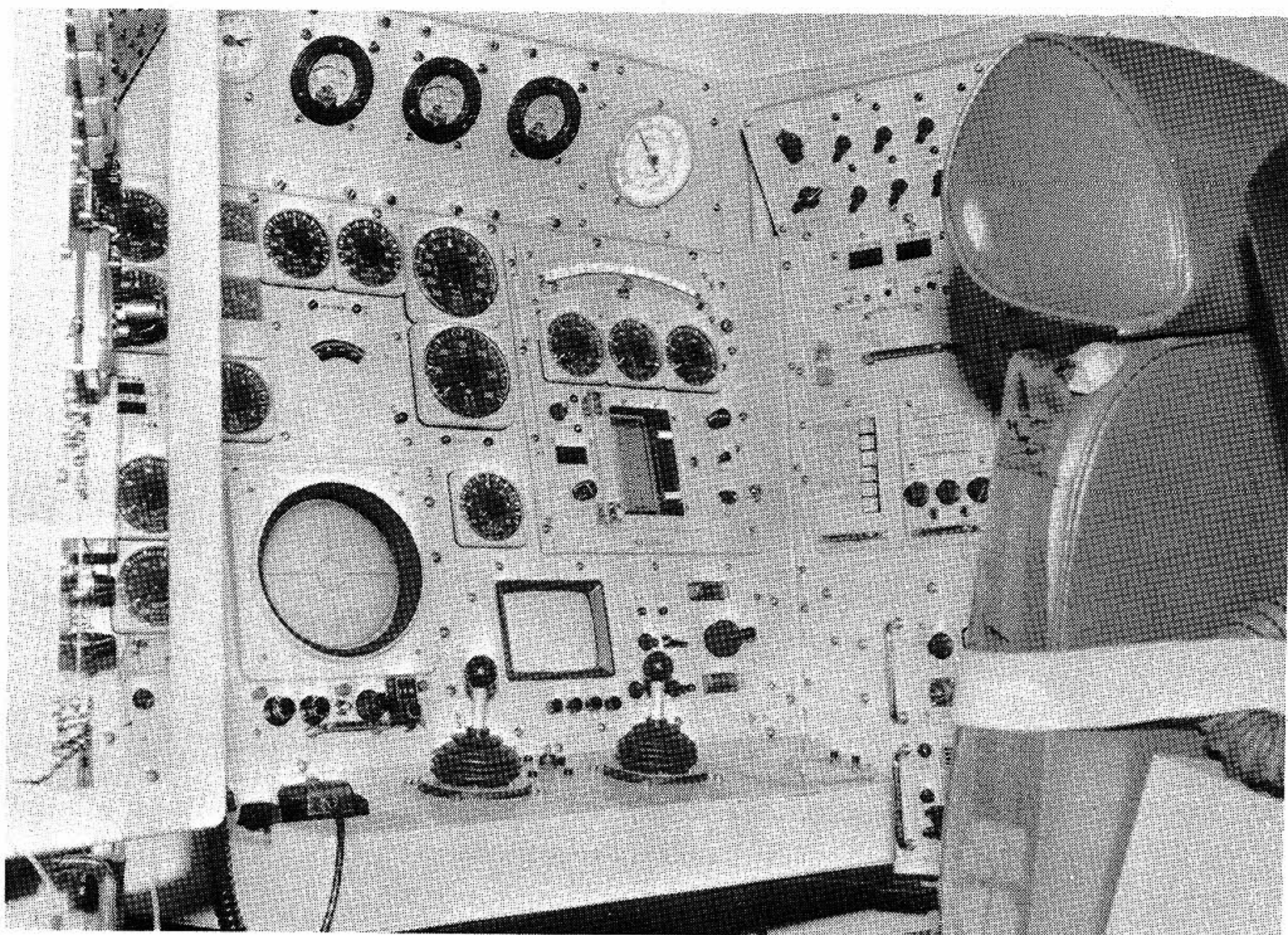
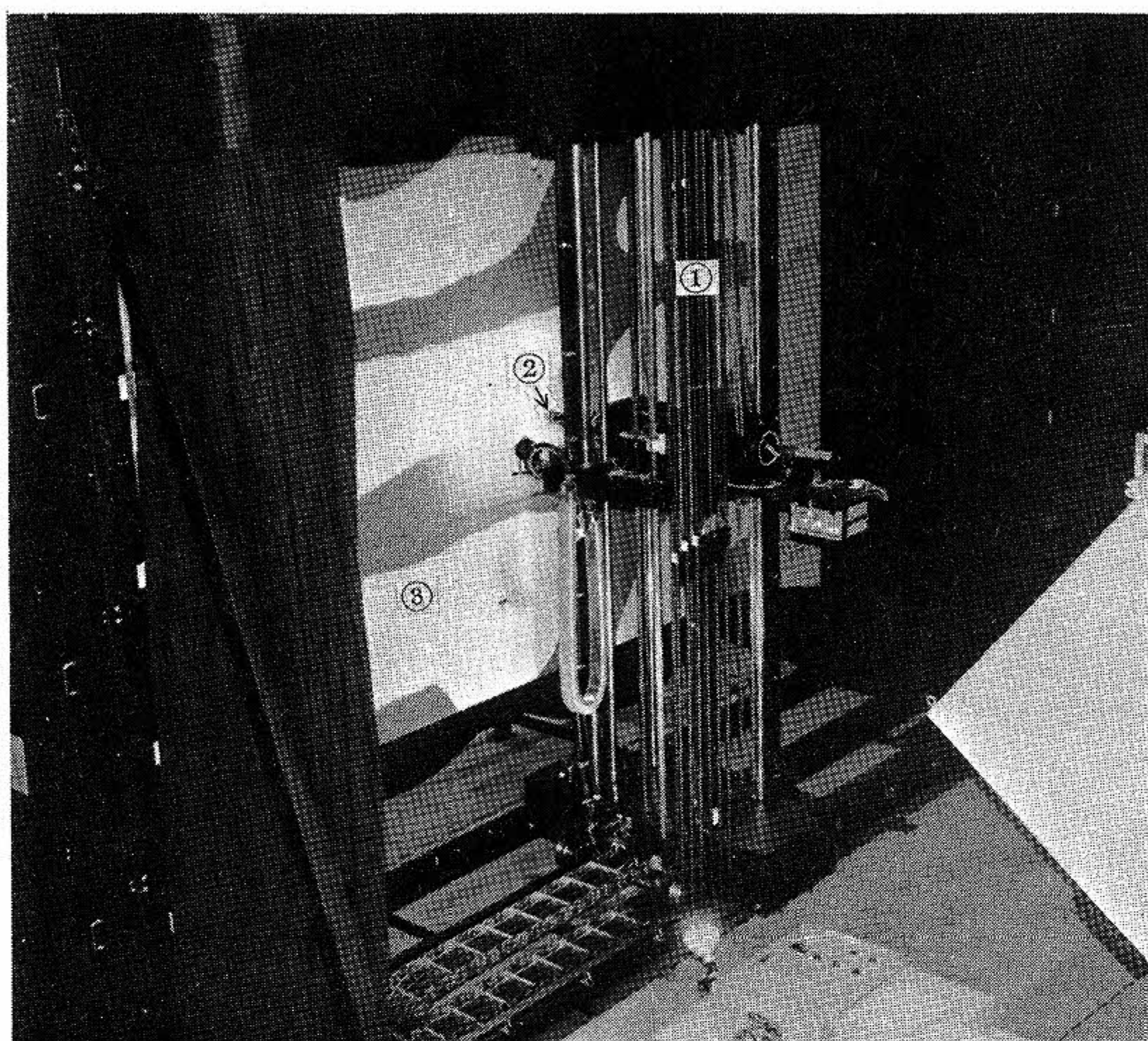
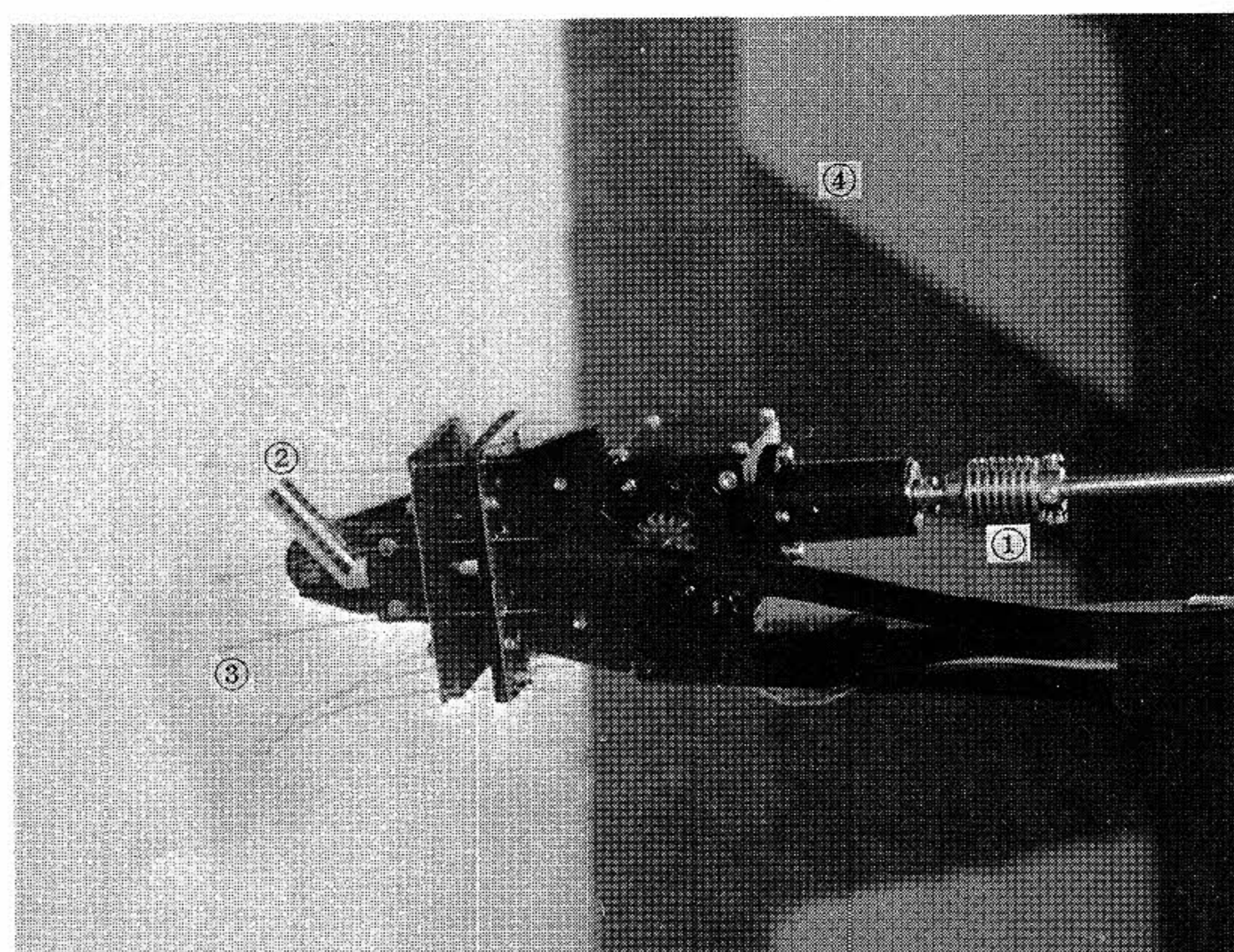


写真2 耐圧殻内部 (コントロールコンソール)
Inside of sphere (control console)



1. 駆動装置, driver of TV camera, 2. 先端レンズ部, TV camera head
3. 海底模型, sea bottom model

写真3 海底視界模擬部
Visual simulator



1. ファイバースコープ, optical fiber scope, 2. ファイバースコープの先端, it's head
3. レンズ保護用リミットスイッチ, limit switch for protection of lenses
4. 海底模型, sea bottom model

写真4 撮影装置先端レンズ部
TV camera head (optical fiber scope)



1. 管制卓, instructor console, 2. 計算制御部, computer system

写真5 管制卓および計算制御部

Instructor console and computer system

駆動機構上障害のないものということで、先端レンズ系には可撓性のあるファイバースコープを用いた。

駆動部には、パルスモータを用い、 X 、 Y 、 Z の3軸方向の動き、水平面内での回転、および前後方向の傾斜が可能な機構を用いた。また、像が投影装置に投影されるときは、100倍に拡大されることから、機構の円滑性に細心の注意を払っている。

4.2.3. 投影装置

写真1に示す投影装置は、撮影装置で得た画像を覗き窓の前方に投影する装置で、60インチのビデオプロジェクタを使用している。

海底模型は、撮影装置のファイバースコープ、TVカメラおよびこのビデオプロジェクタを経て、100倍の画像となる。

4.3. 管制卓

写真5に示す管制卓は、耐压殻内で行われる各種操作の状況および、その結果としての潜水船の運動等の状況を把握、評価して、適切な指導を行う場所であり、訓練条件の初期設定や訓練中の外乱（潮流や海水温度の急激な変化）および故障、異常状態（電気系統の絶縁低下や火災）の設定も行えるようになっている。

また、母船からの潜航支援訓練の際には、母船側の役目を果せるようにした。

4.4. 計算制御部

写真5に示す計算制御部は、デジタル計算機および、その周辺機器からなっている。

デジタル計算機はプロセス入出力装置を介し、耐压殻内のほとんど、すべてのジョイスティックやスイッチ、およびメータやランプと接続されて

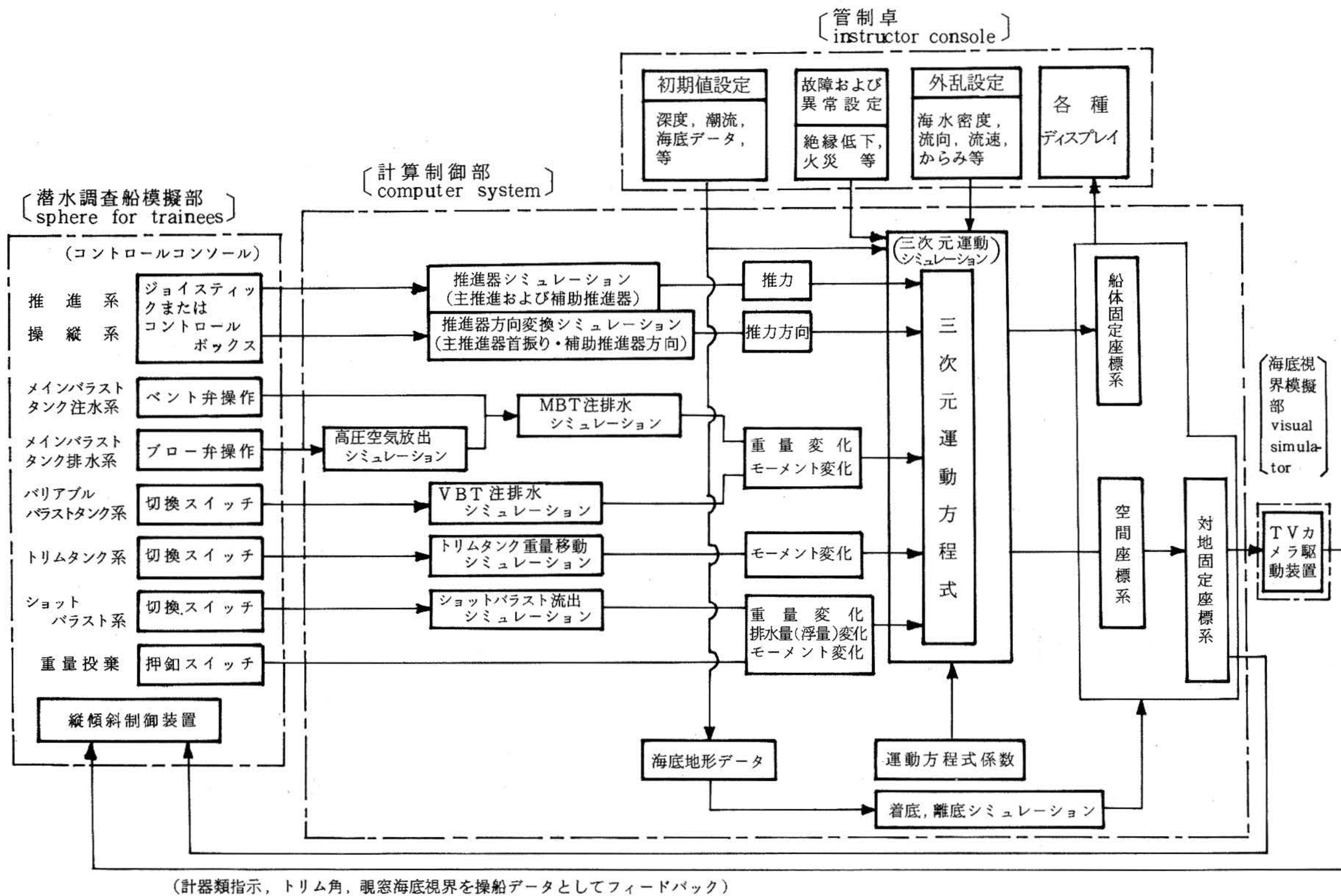
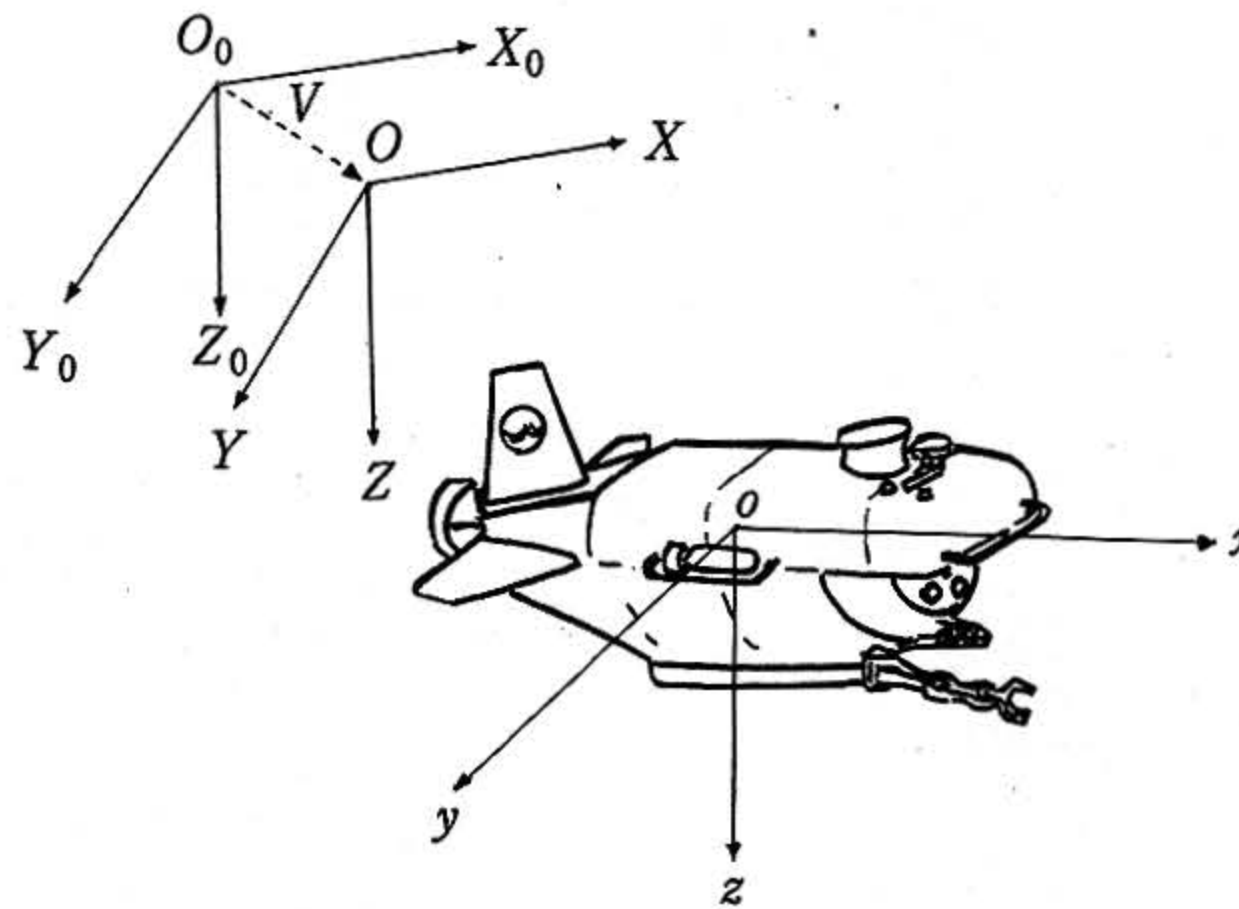


図2 船体運動模擬ブロック図

Block diagram of motion simulation



$O_0 - X_0 Y_0 Z_0$; 対地固定座標系
 coordinate fixed to sea bottom
 $O - X Y Z$; 空間座標系
 coordinate fixed to bulk of water
 $O - x y z$; 船体固定座標系
 coordinate fixed to submersible
 V ; 潮流
 current
 $O - X Y Z$ は $O_0 - X_0 Y_0 Z_0$ に対して潮流によって移動する。
 $O - X Y Z$ move by current velocity (V)
 against $O_0 - X_0 Y_0 Z_0$

図3 運動方程式の座標系
 Coordinate system of equation
 of motion

おり、訓練生がなにかを操作すると、その信号が計算機に入力され、さまざまなシミュレーション計算を行い、各部に表示信号や制御信号を出力するようになっている。

この計算制御部で行っているシミュレーションの主なものには、次に掲げるものである。

- (1) 船体運動のシミュレーション
- (2) 船内環境 (O_2 分圧および CO_2 分圧) シミュレーション
- (3) 蓄電池の放電量のシミュレーション
- (4) 電源システムのシーケンスのシミュレーション
- (5) 各要素機器の動作特性のシミュレーション
- (6) 耐压殻内のメーターなどのシミュレーション

5. シミュレーション

5.1. 船体運動のシミュレーション(図2参照)

訓練生に潜水船の運動性能を体得させるため、上昇、下降、航走の三次元運動のシミュレーション計算を行い、その結果に従って、海底視界模擬部を駆動し、覗き窓から見える外景を変化させている。また、前後方向の傾斜については、縦傾斜制御装置で耐压殻を傾斜させることによって、訓練生に体感させている。

潜水船の船体運動のシミュレーションの中核をなすものは、三次元運動方程式である。また、これにさまざまなパラメータの変化を与えるものとして、操作機器(推進系等)のシミュレーションや外部環境(海水密度、潮流等)のシミュレーション

ンおよび深度変化などによる船体特性の変化（排水量の変化等）のシミュレーションがある。また、着底、離底のシミュレーションおよびからのシミュレーションについては特殊運動として別途行っている。

5.1.1. 三次元運動方程式

三次元運動方程式は次式で表わされ、船体の運動特性などは模型水槽試験設計データから決定し、さらに実船の海上試験の解析結果を用いて修正した。

座標系は図3のとおり。

$$\left. \begin{aligned} x \text{ 軸方向} & ; (m+m_x) \dot{u} = (m+m_y) v r \\ & - (m+m_z) w q + \Sigma X_i \\ y \text{ 軸方向} & ; (m+m_y) \dot{v} = (m+m_x) u r \\ & - (m+m_z) w p + \Sigma Y_i \\ z \text{ 軸方向} & ; (m+m_z) \dot{w} = (m+m_z) u q \\ & - (m+m_y) v p + \Sigma Z_i \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} x \text{ 軸まわり} & ; (I_x + J_x) \dot{p} \\ & = (I_z + J_z - I_y - J_y) q r + \Sigma L_i \\ y \text{ 軸まわり} & ; (I_y + J_y) \dot{q} \\ & = (I_x + J_x - I_z - J_z) r p + \Sigma M_i \\ z \text{ 軸まわり} & ; (I_z + J_z) \dot{r} \\ & = (I_y + J_y - I_x - J_x) p q + \Sigma N_i \end{aligned} \right\} (2)$$

ただし、 m ；船体質量

m_x, m_y, m_z ； x, y, z 軸方向の付加質量

u, v, w ； x, y, z 軸方向の速度

p, q, r ； x, y, z 軸まわりの角速度

I_x, I_y, I_z ； x, y, z 軸まわりの慣性モーメント

J_x, J_y, J_z ； x, y, z 軸まわりの付加慣性モーメント

X_i, Y_i, Z_i ； x, y, z 軸方向の外力（流体力、重力、浮力、推進力など）

L_i, M_i, N_i ； x, y, z 軸まわりの力によるモーメント

・は $\frac{d}{dt}$ を示す

また、外部環境として、潮流をシミュレートしているが、船体の大きさに比べて潮流の規模のほ

うが大きいことから、全くの一樣流と考え、対地速度にのみ、影響するものとして扱った。したがって、運動方程式中には組込まず、船体の空間座標が潮流の速度で平行移動するだけとした。その他の外部環境として、海水密度、海水温度および水圧を深度の関数として与えており、これらのデータから、船体各部の排水量の変化や浮量変化を求めて重量浮量関係の変化およびモーメントの変化を計算している。

作動機器のシミュレーションには、主推進および補助推進の特性、ショットバラスト等の重量投棄特性、バラストタンク注排水特性、およびトリム調整特性に関する実機および模型試験で得られたデータを開いて推進力、重量浮量関係、およびモーメントを計算している。

5.1.2. 特殊運動のシミュレーション

(1) 着底離底

着底とは、潜水船の深度が海底の深度と一致した状態を指し、このとき、三次元運動方程式は一時停止する。

負浮量（補助推進器の鉛直方向の推進力も考慮）が30kg以下の場合、鉛直方向の運動はキャンセルされて平面運動を行い、この運動はZ方向以外は三次元運動方程式と同じである。また、負浮量が30kgを超えると、運動方程式が切りかわり、潜水船は停止状態となり、海底砂泥へのめり込み量計算を行う。

めり込み量の計算は着底後の負浮量の時間積分とし、その最大値は底質に応じて設定してある。また、底質に応じた係数と着底時間との関数として、地切力を設定し、正浮量を地切力の差の時間積分として引抜量を設定している。

この引抜量がめり込み量を超えた時点で着底状態での平面運動に切りかわる。

$$\text{めり込み量} ; \beta = \iint \frac{W_B - B}{\rho V} dt dt \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{地切力} ; F = k_1 \cdot \frac{t}{1+t} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{引抜量} ; \beta^* = k_2 \iint \frac{B - (W_B + F)}{\rho V} dt dt \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 β ；めり込み量

W_b ; 着底中の潜水船の重量

B ; 浮量 (補助推進器の鉛直方向推進力も含む)

ρ ; 海水密度

V ; 潜水船の排水量

k_1, k_2 ; 底質による係数

F ; 地切力

β^* ; 引抜量

(2) からみ

からみは潜水船が海中のロープや網などにかからんで、前進、後進および上昇、下降ができなくなったことを想定するものである。

信号として、推力や重量、浮量の反力、すなわち x 軸方向または z 軸方向のステップ状の力として管制卓から入力される。さらに、この設定値と推力または重量、浮量を比較して、設定値が大きいときには、潜水船は x 軸方向または z 軸方向に動くことができず、小さくなるとからみは解除される。

5.2. その他のシミュレーション

5.2.1. 船内環境のシミュレーション

船内環境の変化に注意をはらい、適正に維持する習慣をつけるため、船内の人員、滞留時間に応じた酸素分圧、炭酸ガス分圧の変化および各分圧限界値における警報を模擬している。

また、管制卓からの設定で、故意に各分圧をコントロールすることもできる。

5.2.2. 蓄電池放電量のシミュレーション

各操作機器の ON-OFF スイッチの状態を監視し、その負荷電流と作動時間から、蓄電池の放電量を計算している。

5.2.3. 電源システムのシーケンスのシミュレーション

潜水船の電源システムには、多くのスイッチがあり、各スイッチには上位、下位の関係がある。したがって、各スイッチの ON-OFF 状態を監視して電源システムを模擬している。

例を上げると、蓄電池の NFB が ON になっていないと、各スイッチは作動しない。また、圧力センサーのスイッチが ON になっていないと、油圧システムのスイッチは作動しない。

6. 評価システム

指導員は、訓練生の横で観察、指導することができるが、そのときの潜水船の運動状況などを正確に把握することはできない。そこで、管制卓に潜水船の運動や各機器の操作を同時に把握し評価できる表示装置を装備した。また、緊急時の操作手順を評価できるように、海水密度、潮流およびさまざまな故障異常も設定できるようにしている。

さらに、訓練終了後、その日の訓練内容について評価するため、潜水船の運動軌跡等を再生することができるようにした。

6.1. 耐圧殻内の監視

管制卓にいても、訓練生の訓練状況が十分観察できるように、耐圧殻内に TV カメラを管制卓にモニタを装備している。

これによって、訓練生が敏速で確実な操作を行っているかどうか観察できる。

6.2. 水平方向の運動の評価

水平方向運動表示画面 (写真 6 参照) は、潜水船の水平方向の運動を評価する画面で、潜水船の航跡、船速、進行方向および潮流のデータを表示している。

また、支援母船の航跡 (進行方向および船速は自由に設定できる)、海底地形の特異な点 (山や谷)、およびトランスポンダの位置なども表示している。

潜水船は母船からの指示、誘導があって初めて、その真価が発揮できる。したがって、この画面と水中通話器を用いて、潜水船と母船の連絡プレイを訓練することは非常に重要である。

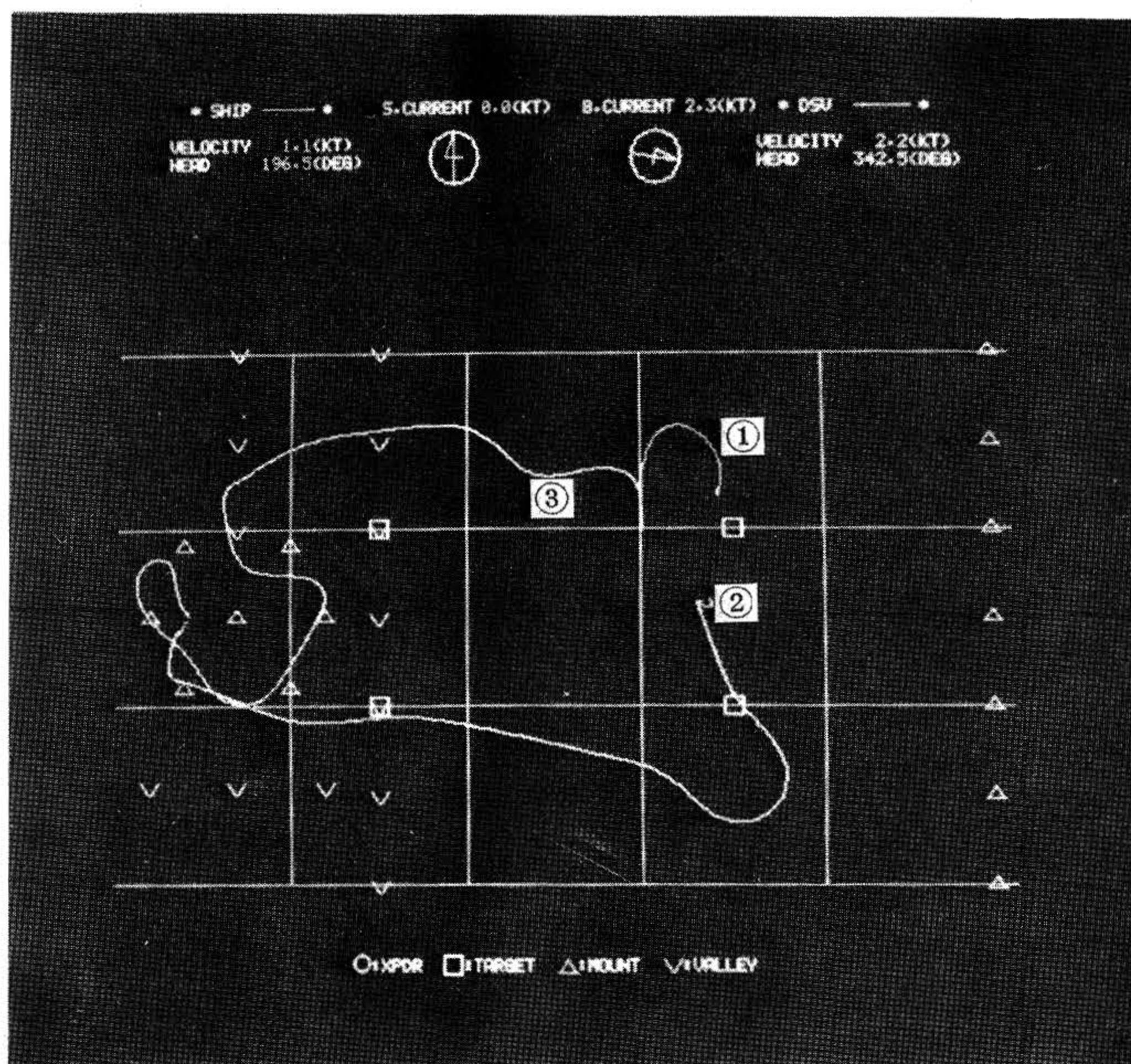
表示範囲は $4000\text{m} \times 4000\text{m}$ および $500\text{m} \times 300\text{m}$ (海底模型に対応) の 2 種類である。

6.3. 鉛直方向の運動の評価

鉛直方向運動表示画面 (写真 7 参照) は、潜水船の鉛直方向の運動を評価する画面で、潜水船の深度、上昇下降速度、および船体の前後方向の傾斜 (トリム) を時間軸に沿ってグラフ表示するとともに、デジタル表示もしている。

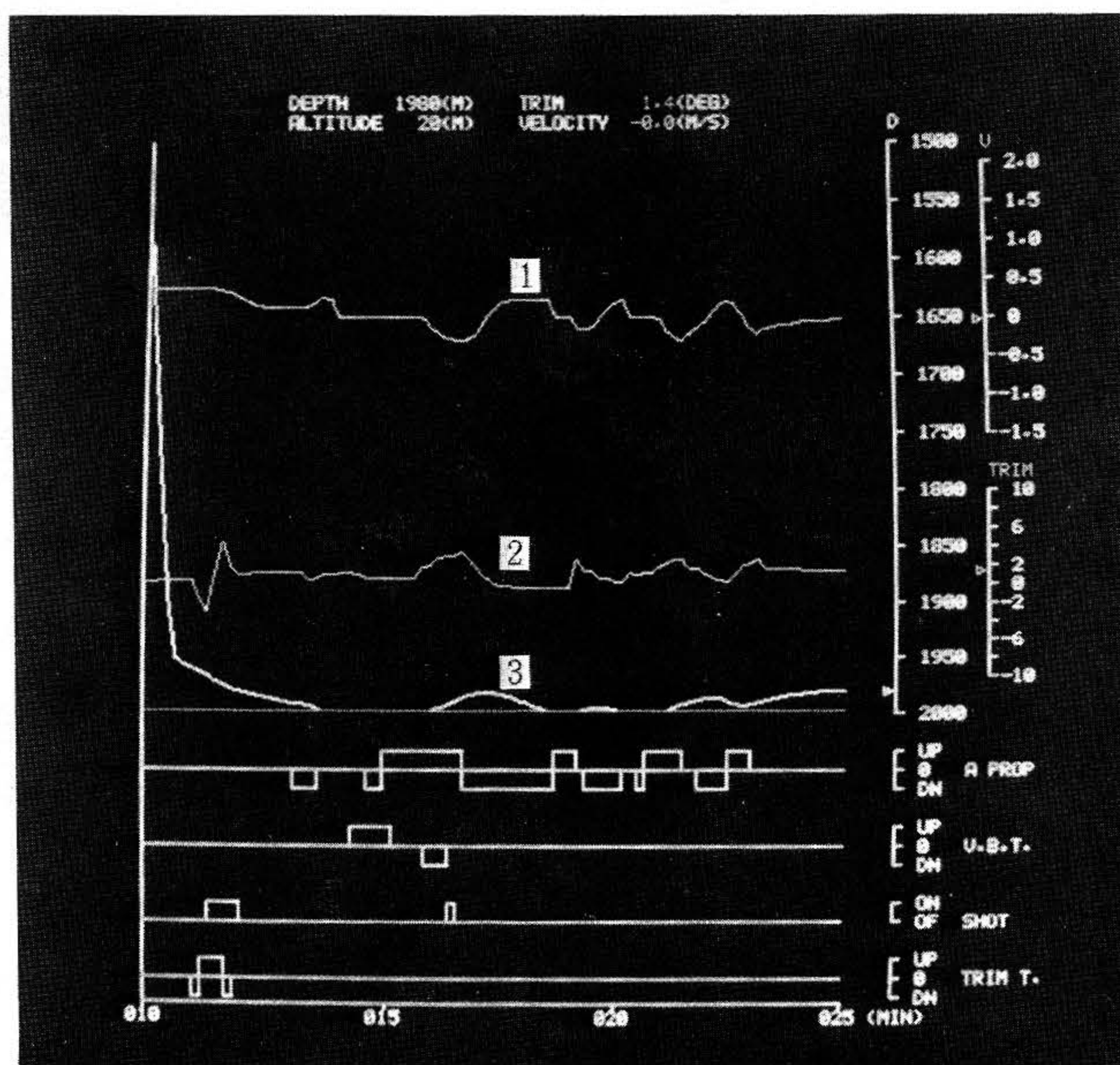
また、これらの情報にかかわる操作機器として、補助推進器、バリアブルバラストタンク装置、ショットバラスト投棄装置、およびトリムタンク装置の作動状況がグラフ表示できる。

潜水船は深海調査を効率良くするためには、水中での三次元運動を自由自在にできるようにしな



- トランスポンダ, transponder
- 目 標 物, target
- △ 山, mount
- ▽ 谷, valley
- 1. 母 船, track of mother- ship
- 2. 潜 水 船, track of submersible
- 3. 着 水 地 点, launching point

写真6 水平方向運動表示画面
Horizontal motion display



1. 上昇下降速度 (V), velocity of ascent or descent
2. トリム角 (TRIM), trim
3. 深 度 (D), depth

A. PROP (auxiliary propeller) 補助推進器
V. B. T. (variable ballast tank) バリアブル バラストタンク
SHOT (shot ballast) ショットバラスト
TRIM T. (trim tank level) トリムタンク

写真7 鉛直方向運動表示画面
Vertical motion display

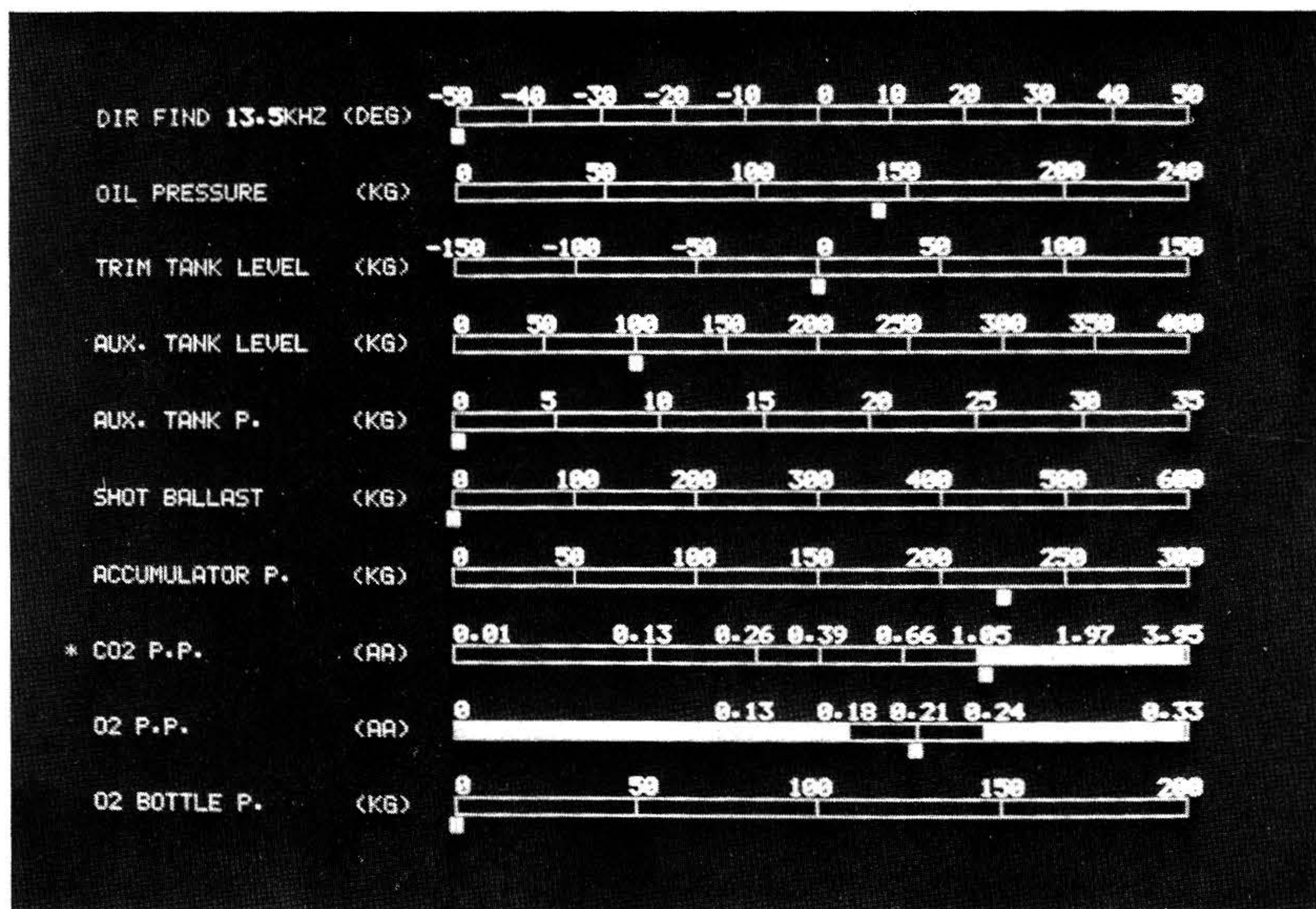


写真8 メーター表示画面
Meter monitor display

ければならない。

したがって、重量浮量の調整や一定高度、または深度での航走および停止の訓練を十分に行う必要がある。教官は、その訓練状況を、この表示画面によって評価、指導する。

表示範囲は500m(深度)×15min(時間軸)および330m×3minの2種類である。

深度は手動で100mずつ表示深度をずらしていくことができ、時間軸は自動的にフルスケールの $\frac{1}{3}$ ずつ更新していくようになっている。

6.4. 各種メーターの監視

メーター表示画面(写真8参照)は、耐圧殻内の各種メーターの指示を表示する画面である。

各スケール下部の□印が指示値である。また、左側の*印は訓練生の誤操作または管制卓からの設定によって、故障、異常が生じ、警報が出ていることを示している(この写真では炭酸ガス分圧

が高くなり危険な状態になっている)。

このとき、訓練生が適切な処置(この場合は炭酸ガス吸収剤の交換)を行うと警報は解除される。教官は、この様子を操作履歴表示画面(耐圧殻内の操作を刻々表示する画面)を見て評価、指導する。

この画面は電源関係と、その他の2種類がある。

6.5. 故障異常の設定

故障異常設定画面(写真9参照)は、故障異常を設定できる項目のメニューである。

これは実機の警報システムに対応する項目と、火災、海底吸着、からみ等を含んでいる。また、これらは、故障(Failure; 海中では復旧の見込みがないもの)と、異常(Malfunction; 負荷を小さくするとか、炭酸ガス吸収剤を交換するとか、適切な処置をすることによって、警報を解除できるもの)に分けられている。

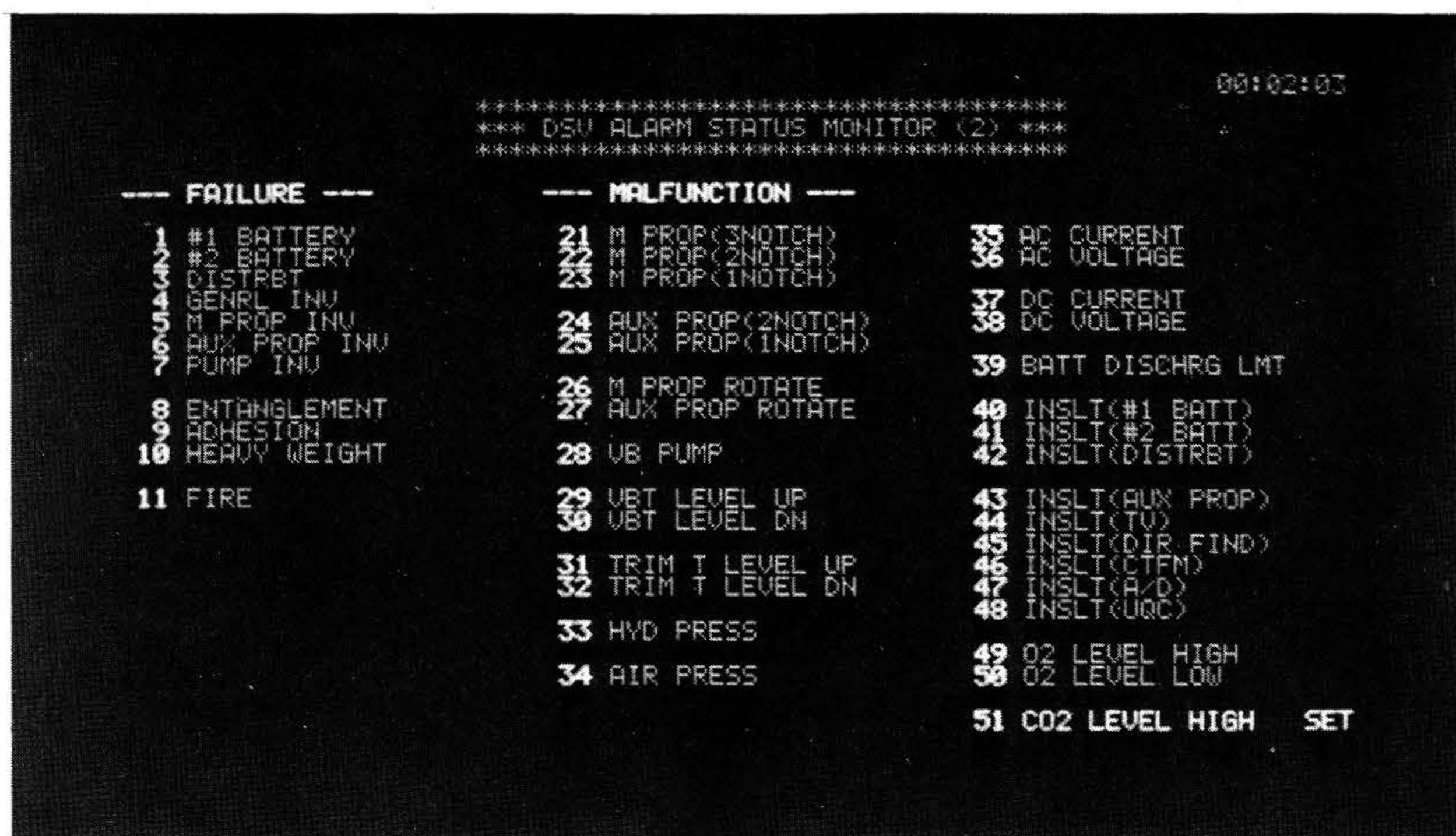


写真9 故障異常設定画面
Failure and malfunction menu

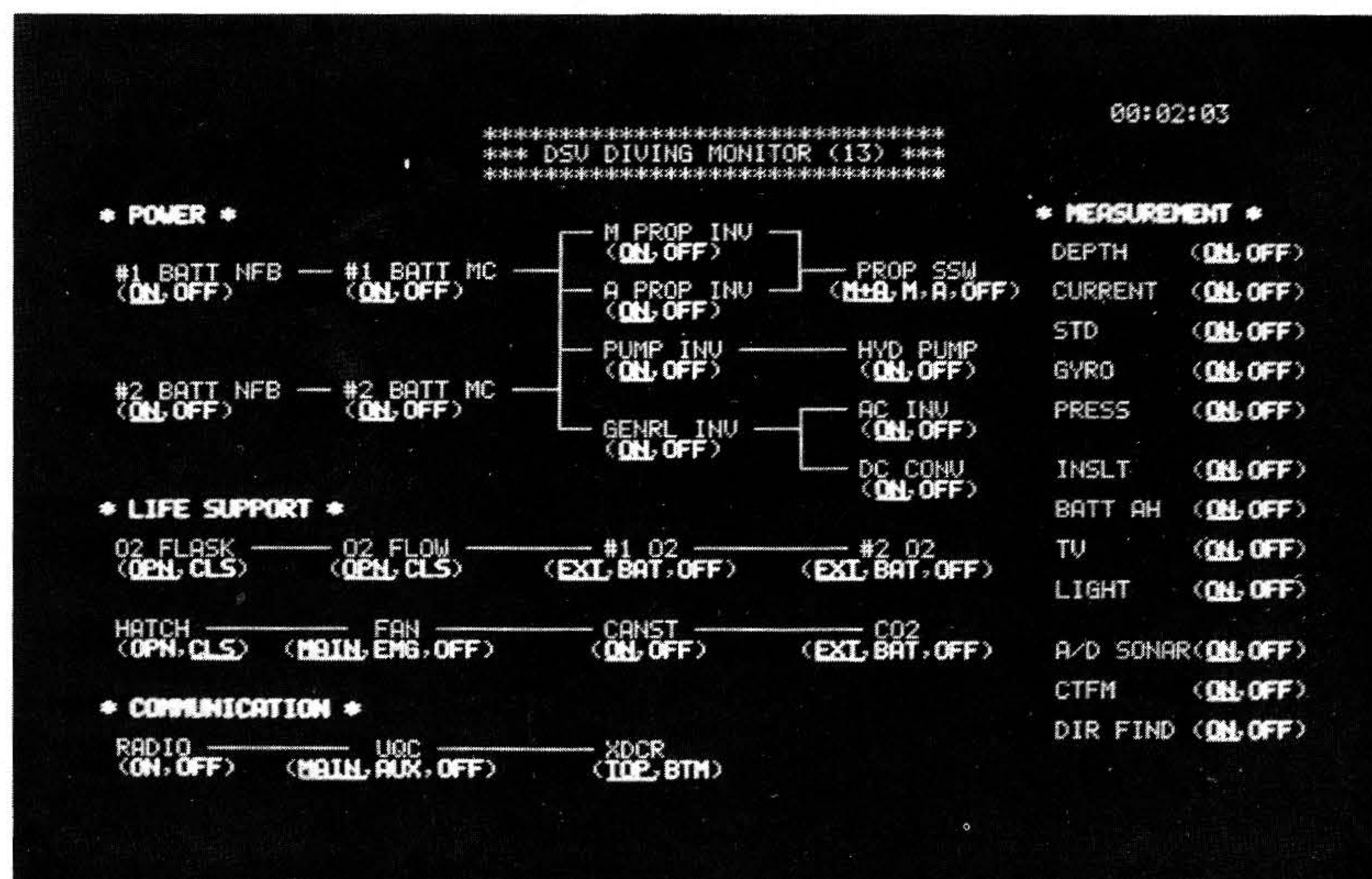


写真10 耐压殻内部機構 ON - OFF 表示画面
Power switch ON-OFF monitor

各項目の右端に“SET”とあるときは、その項目が管制卓から設定されていることを示す（写真9では炭酸ガスの分圧が高くなるように設定してある）。

操縦訓練用のシミュレータでは、このような緊急時の訓練を行う機能は非常に重要であり、不可欠である。

6.6. 耐圧殻内部機器の ON-OFF 状態の監視

耐圧殻内部機器 ON-OFF 表示画面（写真10参照）は、耐圧殻内部機器のスイッチの ON-OFF 状況を、動力関係、環境制御関係、通信関係計測器関係に分類して表示する画面である。

また、この画面は、着水前、着水後、潜航中の3種類があり、それぞれの過程での各スイッチのあるべき状態と、実際の状態を色分けして表示している。

教官は、これによって訓練生が各機器のスイッチの ON-OFF を、チェックリストどおりに正確にチェックしているかどうかを評価し指導する。

以上6.2～6.6の五つの画面は、すべてカラーグラフィックディスプレイを用い、各項目ごとに色分けして表示しており、見やすくなっている。

7. おわりに

本シミュレータは、製作途中の昭和56(1981)年

3月から潜水船要員の訓練に供されており、大きな成果をあげている。今後、潜水船乗船予定研究者の模擬潜航体験訓練にも実施していく予定である。また、今後、本シミュレータが有効に利用され、“2,000m 潜水調査船システム”が安全に運航でき、大きな研究成果があがることを期待する。

謝 辞

本シミュレータの設計製作にあたって、ご指導いただいた、潜水調査船開発研究会シミュレータ専門部会の堀元美氏、荒木浅吉氏、大原信義氏、筒井為雄氏、野間聖明氏に深謝いたします。また、部会長としてご指導いただき、本シミュレータの完成を目前にして、逝去された故橋本邦衛氏に深謝し、ご冥福をお祈りいたします。

最後に基本設計時、深海開発技術部部長として、ご指導いただいた對馬克己氏に深謝いたします。

文 献

- 1) 計測と制御 16(7), (1977)
 - (a) シミュレータ総論 津村俊弘
 - (b) フライトシミュレータ 菅本進一
 - (c) 操船シミュレータ 坂野 希, 松浦由次
 - (d) 潜水船シミュレータ 久保田勉, 井上憲弘