

4. 耐圧ガラス球を用いた深海カメラシステムの試作について

橋本 惇^{*1}、服部 陸男^{*1}

海洋科学技術センターは、1974年に、福新硝子工業株式会社の協力を得て、深海ブイや各種海洋計測機器のハウジングとして用いるための耐圧ガラス球を2種開発した。その1つは、外径36cm、内径32cm、空中重量16kg、実効浮力8kgのガラス球（JE-36-32）であり、他の1つは、外径36cm、内径33cm、空中重量12.5kg、実効浮力12.5kgのガラス球（JE-36-33）である。JE-36-32ガラス球は、高圧実験水槽で1,007kg/cm²まで加圧し、全く異常の無いことを確認しており、更に実海面では、水深5,910mまで使用し、異常は認められなかった。現在、耐圧ガラス球を用いた各種深海用計測機器の開発計画を立てている。その一環として、耐圧ガラス球を、耐圧殻およびドームポートとして利用した深海カメラシステムを開発試作したのでここに報告する。このシステムは、カメラ用ガラス球とストロボ用ガラス球の2個のガラス球より成り、前者にはモータードライブ仕様35mmカメラ、タイマー、小型ストロボが、後者には、100watt/secのストロボが2つとストロボ用積層乾電池およびフォトセルが内蔵されている。これらのストロボは、カメラと同調した小型ストロボの光を、フォトセルが受け、照明用ストロボが同調発光する。2つのガラス球は、各オペレーション毎に、軽量フレームにボルトで取り付け、250枚の写真撮影が可能である。1975年から1976年にかけて、水深80～5,810mの太平洋で、多くの写真撮影を行い、成功している。

Development of Deep Sea Camera System Using Hollow Glass Sphere

Mutsuo HATTORI^{*2}, Jun HASHIMOTO^{*2}

Since 1974, the Japan Marine Science and Technology Center has developed two types of glass spheres for deep sea bouys and instrument housings in cooperation with the Fukushin Glass Co., Ltd. The outer diameter of both spheres is 36 cm and the inner diameters are 32 cm and 33 cm; their weights in air are 16 kg and 12.5 kg and net bouyancies are 8 kg and 12.5 kg respectively. They have been pressure tested at 1,007 kg/cm² in a high pressure test tank and at 5910 m depth in the ocean. Using these spheres we are planning to develop many types of free instruments for deep ocean study. The first of these instruments which we have developed is a deep sea camera system using a sphere as a pressure capsule and also a photographically clear dome port for camera and strobe. We installed a motor driven 35 mm camera and strobe in the glass spheres. The system is composed of two spheres, camera sphere and strobe sphere. A camera, timer and small strobe were installed in one sphere and two 100 watt/sec strobes, batteries and CDS cell were installed in the other sphere. These strobes were synchronized to the small strobe of the camera sphere by a CDS cell. These two spheres were

*1 海洋開発技術部

*2 Marine Development Technology Department

bolted in the flame during operation and 250 shots of photograph could be taken in every operation. From 1975 to 1976, many photographs were taken in the Pacific Ocean, at a depth rating of between 80 m to 5810 m.

1. まえがき

ガラス球は、スチールよりも強く、アルミニウムよりも軽いという優れた特性を持つので、1964年頃からアメリカで、耐圧容器および深海用ブイとして利用され始め、現在では各種サイズのものがあり、それぞれ機器および貫通部を組み込んである。しかし、入手に手数がかかり、その表面仕上げ状態も良好とはいえない。そこで、海洋科学技術センターは、福新硝子工業株式会社（東京）の協力を得て、1974年に耐圧ガラス球を開発試作した。この耐圧ガラス球は、真球で歪も無く清浄なものであった。内部にカメラを封入し、ガラス球をドームポートとして使用すれば、歪の非常に少ない、鮮明な写真が撮影されるであろうことが推測され、この耐圧ガラス球入り深海カメラを開発試作したものである。現在、水深 6,000m まで使用可能な深海カメラは、米国等で市販されている。しかし、必要とする設備は、かなり大掛りなものであり、高価である。深海カメラの持つべき条件は、耐圧性に優れ小型軽量であること操作が簡単で取り扱い易いこと、安価であり耐久性に優れていることなどであろう。このシステムは従来の深海カメラの半以下の価格であり、自身で浮力を有するため、自由落下方式で利用するのに最適で

あり、今後、各種試験を行う予定である。

この研究を進めるにあたり種々ご教示、ご協力下さった、東京大学海洋研究所の小口節子氏に謝意を表すると共に、タイマーの設計を担当した、当センター海洋開発技術部研究員土屋利雄氏、ならびに、海上実験に協力を得た海洋保全技術部研究員中島敏光氏にも謝意を表したい。

2. 耐圧ガラス球の仕様および特性

この耐圧ガラス球には、JE-36-32、JE-36-33の2種類があり、前者は耐圧容器として使用するもので、浮力を抑え、陸上での取り扱いのとき破壊するのを防ぐため肉厚を 2 cm と厚くしてある。後者は、主に深海用ブイとして使用するため、実効浮力を 12.5 kg と大きくし、肉厚を 1.5 cm とした。耐圧ガラス球の仕様および特性は、表 1、表 2 に示す通りである。

このガラス球の内径を決めるにあたり、国産の最小のモータードライブカメラが収納でき、レンズの入射瞳の位置をガラス球の中心において固定するスペースを考えて内径を 32 cm とした。肉厚については製作上の技術的制約もあり、最初のもは 2 cm とした。肉厚と外径の比は 0.05 となる。ちなみに Benthos 社のガラス球は 0.03 である。センターのものは必要以上に厚いが、取り扱いの時破壊する心配がなく Benthos 社のものよりも安心して、しかも、早く開閉できる。両半球のジョイントの部分には薄くグリスをぬるが、これで 1,007 kg/cm² まで充分健全であることを確めた。Benthos 社の特許 (US Patent 3587122.1971) および、Raymond. S.O. (1975) によると、高圧下ではジョイント面のグリスがガラスの内壁に侵入し、ジョイントのまわりの内壁に細かいクラックが発生する “Hydraulic fracturing” が起こることがあるという。このため Benthos 社のものは、ジョイントには何もぬらないで、外側を生ゴムでふさぐ方式を使っており、その方式が特許になっている。ジョイント面の平均圧縮応力は $S = PD/4t$ で計算される。ここで P は外圧 D は球の外径、t は肉厚である。“Hydraulic fracturing” は $D/4t$ が大きいほど、またジョイント面の仕上げが悪いほど起りやすいと考えられる。実例を示すと、JE-36-32 は $D/4t$ が 4.5、Benthos の球は 7.7 であり、外圧を 700 kg/cm² と仮定した場合 S はそれぞれ 3.150 kg/cm²

Model	JE-36-32	JE-36-33
外径 (outer diameter)	36 cm	36 cm
内径 (inner diameter)	32 cm	33 cm
空中重量 (weight in air)	1.6 kg	1.25 kg
実行浮力 (net buoyancy)	8 kg	12.5 kg
耐圧 (depth rating)	6,700 m 以上	

表 1 耐圧ガラス球の仕様

(Specifications of the glass spheres)

タイプ type	JIS 1 級相当硬質ガラス (硼硅酸ガラス) (low-expansion borosilicate glass)
膨張係数 (thermal coefficient of expansion)	$32 \times 10^{-7} / \text{deg}$
屈折率 refractive index	1.475
熱伝導率 (thermal conductivity)	0.0005 cal·cm / (cd·sec·deg)
ヤング率 young's modulus	850,000 kg / cd
ポアソン比 poisson's ratio	0.2 ~ 0.25

表 2 ガラスの特性

(Properties of the glass spheres)

5.400kg/cm²となりかなりの差となる。またグリスは比較的浅い水深でほとんどしぼり出されてしまうので、ジョイント面にグリスのたまりができるほど精度の悪い球ならともかく国産の場合は“Hydraulic fracturing”については、少なくとも水深6,700mまでは心配なさそうである。より高圧でのテストはセンターの高圧水槽を使用して行う予定である。

3. 耐圧ガラス球入り深海カメラシステム

この深海カメラシステムは、一般に市販されているカメラ、ストロボ、フォトセル等をそのまま耐圧ガラス球に封入していることを1つの特徴としており、2つの耐圧ガラス球より成っている。1つのガラス球（カメラ球）には、モータードライブ仕様カメラ（オリンパスOM-1）、タイマー（9V乾電池を含む）、小型ストロボ（6V乾電池を含む）が封入されており、カメラレンズの入射瞳がガラス球の中心に位置する様にカメラが固定されている。他のガラス球（ストロボ球）には、100wat/secのストロボ（カコP-5S）が2個、ストロボ用456V積層乾電池が2個、およびフォトセル（スレーブ、ミニセルストロボ増灯器として市販されている。）が封入されている。カメラ球とストロボ球は、全く連結されておらず、カメラ球のモータードライブ仕様カメラのシャッターに小型ストロボが同調すると、ストロボ球のフォトセルがその光を受け、2つの照明用ストロボが同調発光する様になっている。このカメラシステムを固定する際、カメラ球の小型ストロボとストロボ球のフォトセルが必ず向い合う様に注意せねばならない。（図1参照）

なお、カメラのピント調整および絞り値は、ガラス球をシールする前に、陸上でセットしなければならない。レンズは通常ズイコー24mm F2.8（画角84°）

を使用、必要に応じズイコー50mm F1.8（画角47°）を使用した。シャッタースピードは $\frac{1}{60}$ 秒、ピントおよび絞り値は、水槽実験による実測値を使用した。

3.1. タイマー

耐圧ガラス球入り深海カメラを駆動させるには、タイマーを用いた。このタイマーは2種類の働き（ド

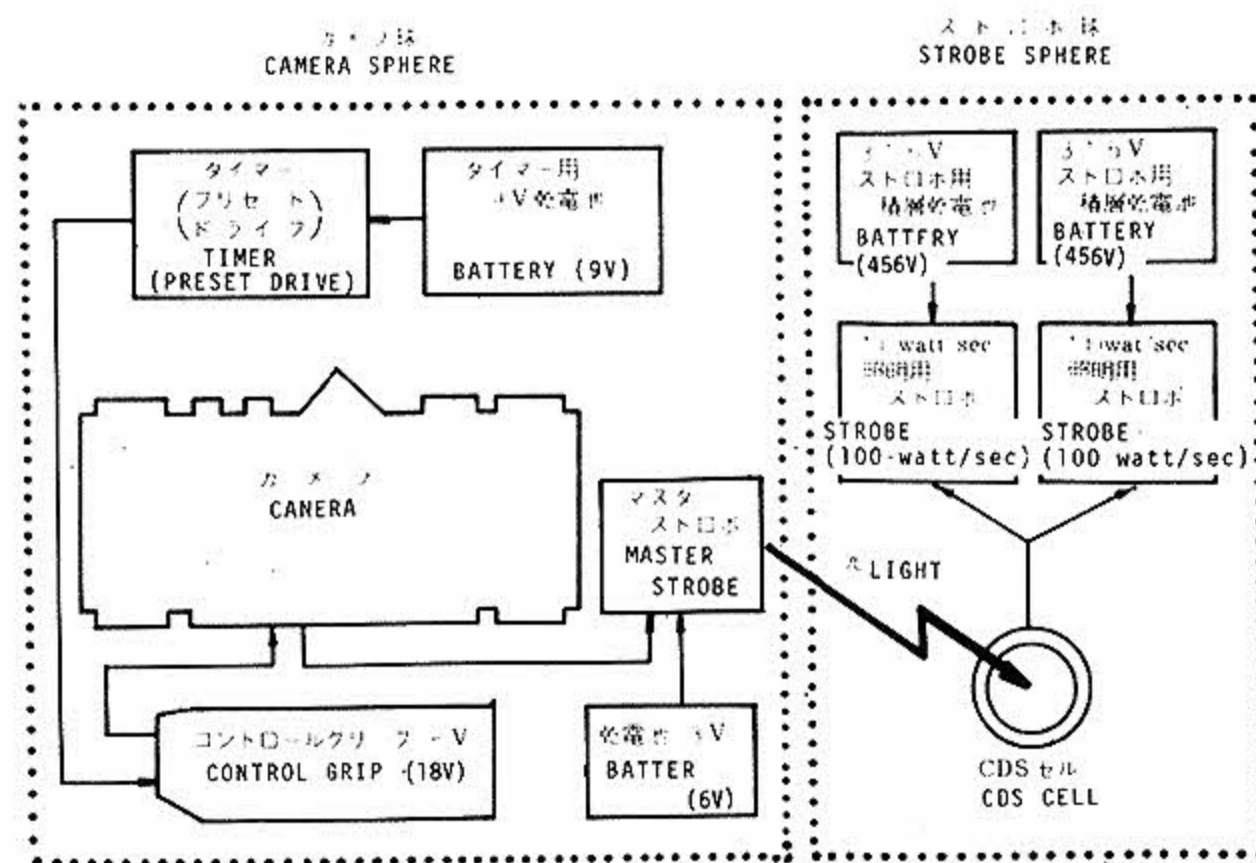


図1 耐圧ガラス球入り深海カメラシステム
Deep sea timer drive camera system'

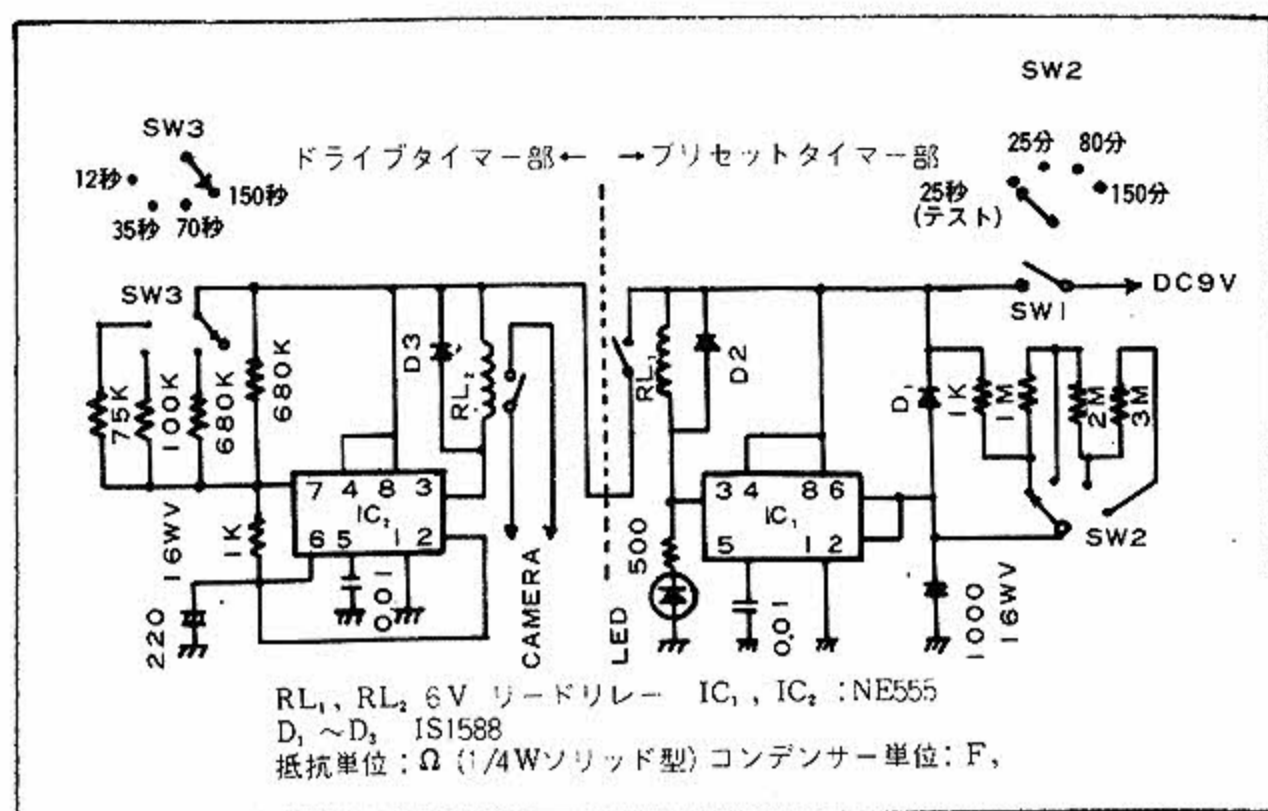


図2 タイマー全回路図
Schematic Diagram of The Timer

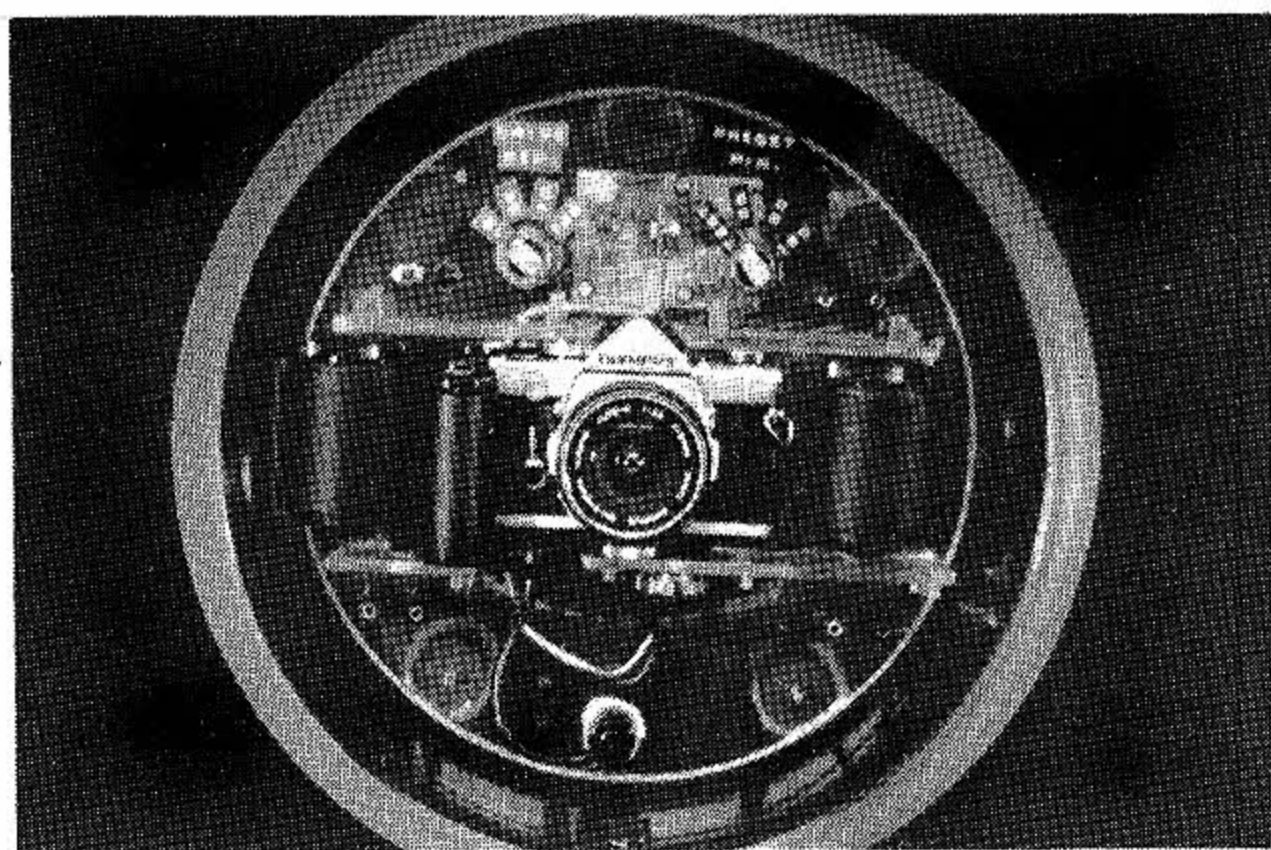


図3 ガラス球にカメラを固定した状態
The Camera in the glass sphere.

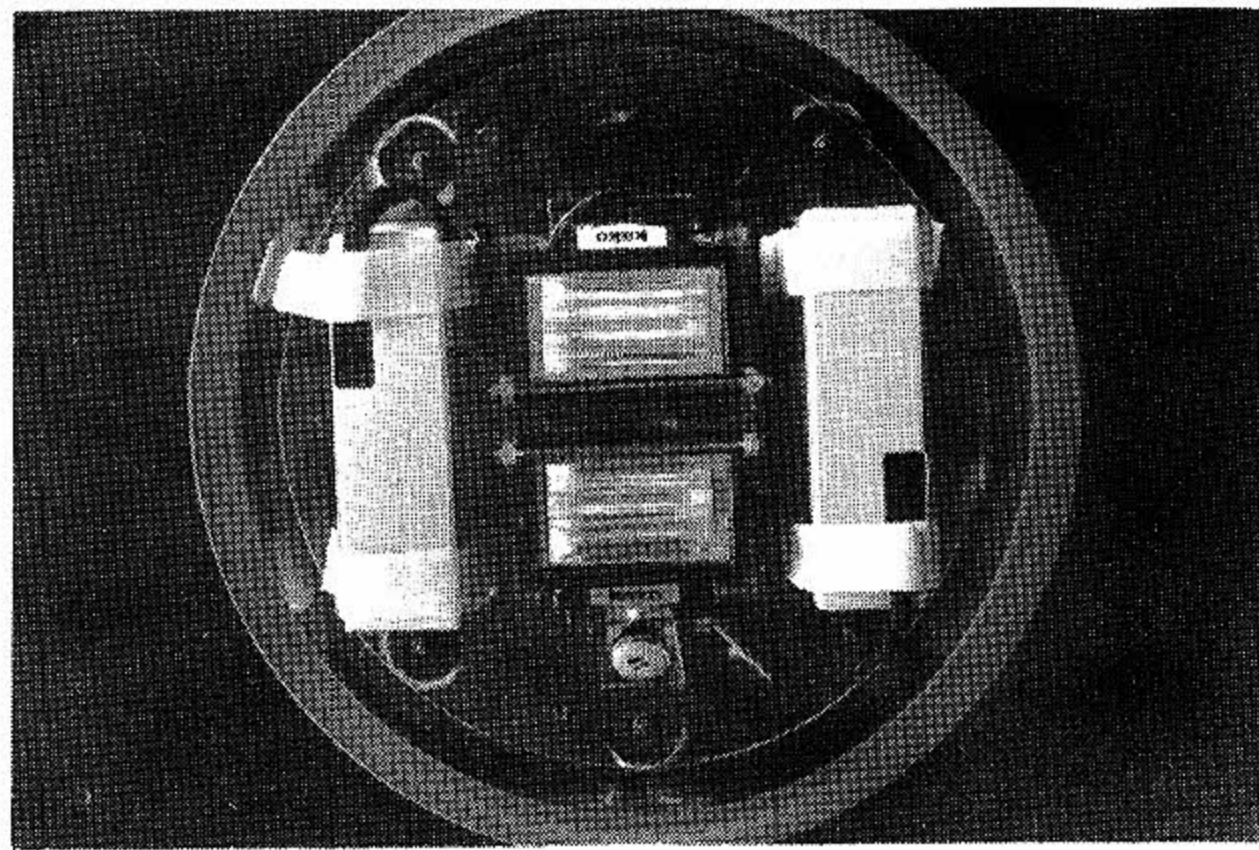


図4 ガラス球にストロボを固定した状態
The strobes in the glass sphere.

ライブタイマー)で、他の1つはそのドライブタイマーがカメラを船上でセットしてから目標地点に着くまでの一定時間、作動しないようにさせる働き(プリセットタイマー)である。タイマーを実際に使用する場合は、次のような条件を満足しなければならない。

- 1) 作動が確実であること。
- 2) 小型軽量であること。
- 3) 時間設定が簡単で自由に出来ること。(数秒～数時間)
- 4) 物理的衝撃に強いこと。
- 4) 消費電流が少ないこと。
- 6) 低価格であること。
- 7) 構造が単純で故障が起こらないこと。

以上のような条件から、純電子的な方法で製作することとした。純電子的なタイマーとしては、クロックパルスを発生し作動するデジタルタイマーと、コンデンサー・抵抗の充放電を利用するアナログタイマーが考えられる。しかし、必要とするタイマーは、時間の精度をあまり必要とせず、前記2) 6) 7)の点で優れているアナログタイマーを製作した。全回路図は、図2に示す通りである。ここで使用したICは、SIGNETICS社のNE555である。

このタイマーは、4cm×6cmのプリント版板上にまとめ、カメラ取り付け基板に直接ネジ止めした。電源としては、単三アルカリ乾電池6本を直列にし使用している。各タイマーの設定時間は、コンデンサーと抵抗を変えることによって適宜変えることができるが、この深海カメラシステムでは、プリセットタイマーを、25秒(テスト用) 25分、80分、150分、4段階に、ドライブタイマーを12秒、35秒、70秒、150秒の4段階とした。全電流はリレー作動時数mA程度で、タイマーは10時間問題なく働いた。また、50°Cから-5°Cの範囲で正常に働いた。

3.2. カメラおよびストロボの固定方法

カメラおよびストロボは、まずアクリル基板にボルトやベルクロで取り付け、それを、ガラス球に密着したゴム製の支持台にボルトで固定する。(図3 図4参照)この際、注意することは、ガラス球の中心にカメラレンズの入射瞳の位置が来るよう、アクリル板を固定せねばならず、その位置はレンズにより異なるので、用いるレンズのうちで一番焦点距離の短いものに合わせておき、より焦点距離の長いレンズを用いる場合は、適宜、ゴム製支持台とアクリル基板の間にリング等を挟み調節する。

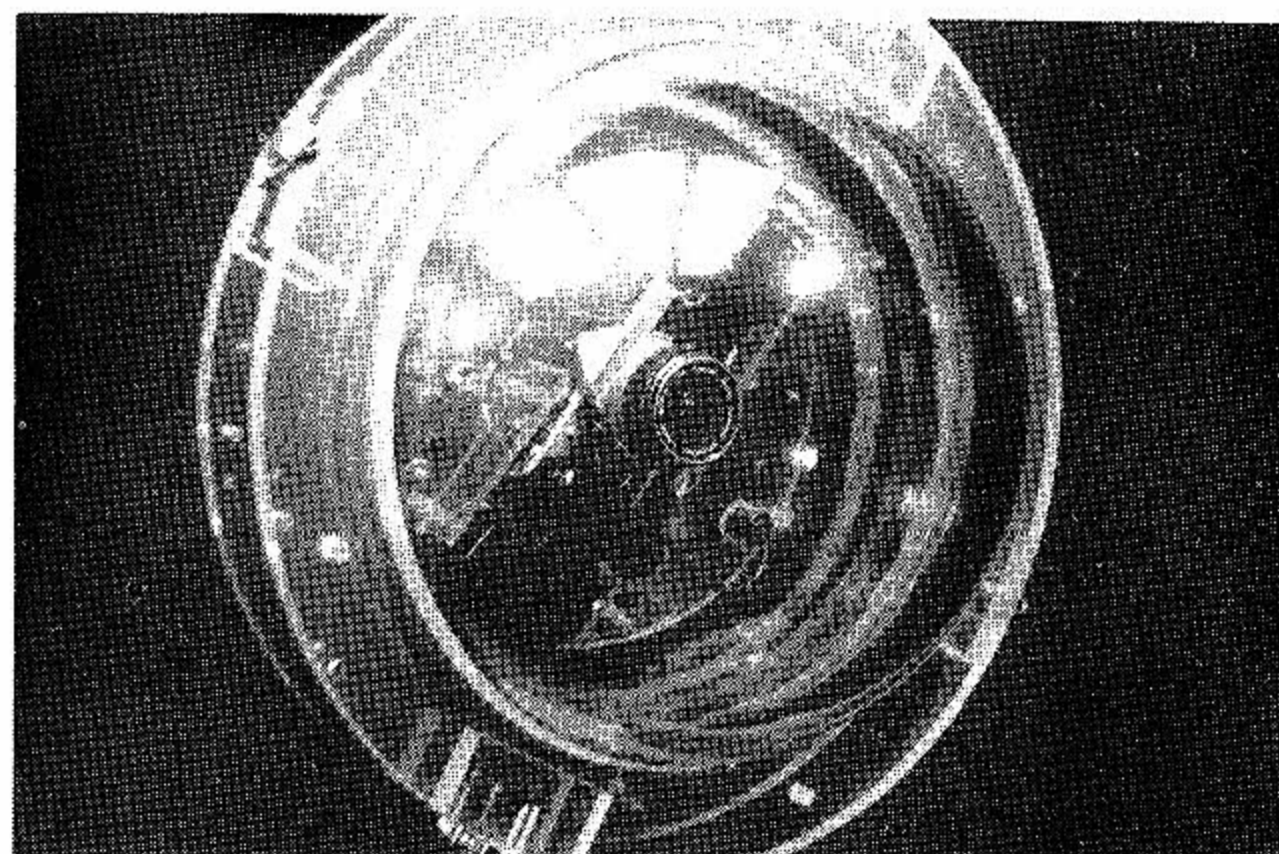


図5 ガラス球を組み立て、アクリル製の枠で固定した状態

Fully installed glass sphere type camera with plastic flange

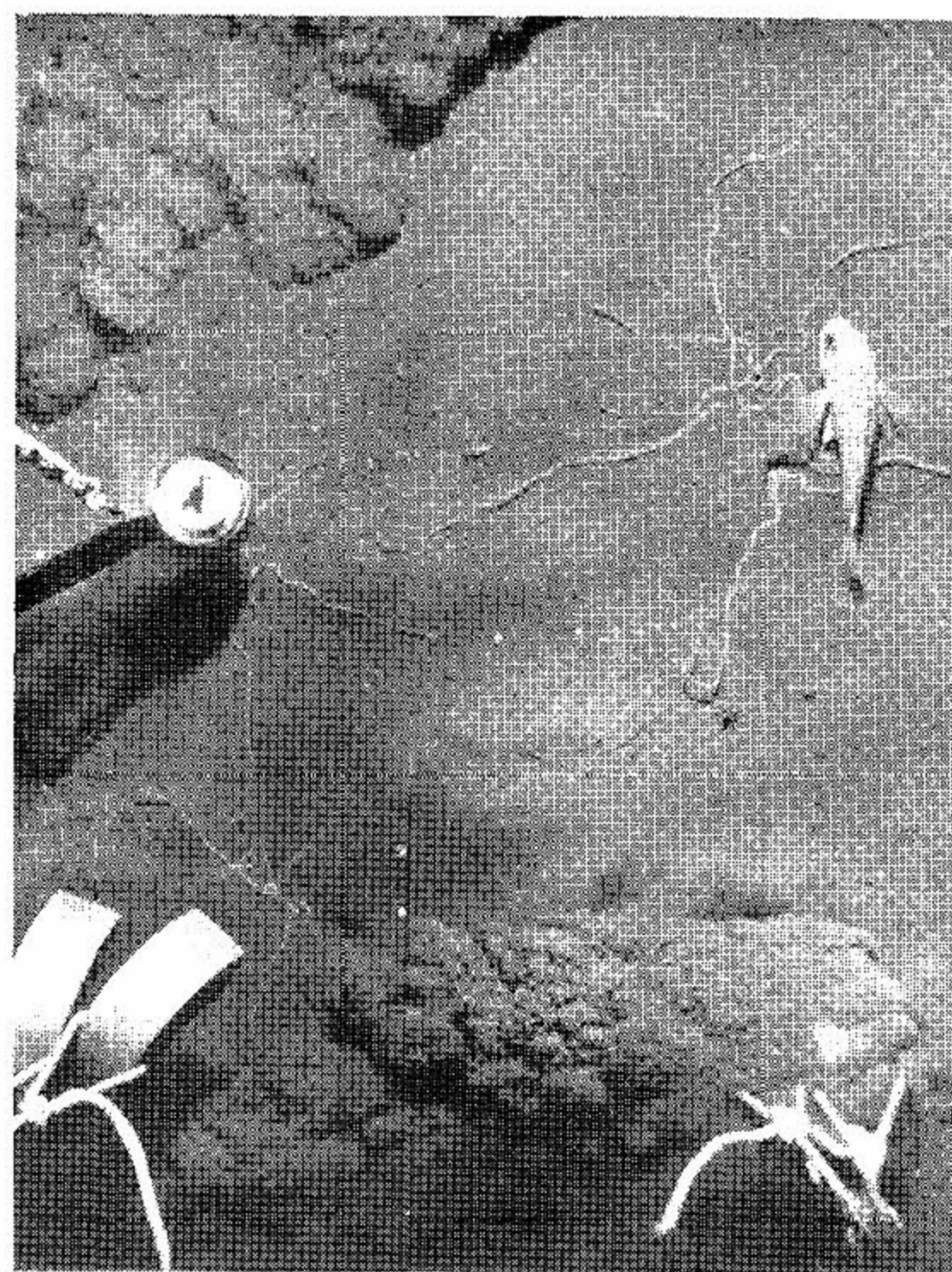


図6 耐圧ガラス球入り深海カメラシステムで撮影した写真(駿河湾水深約180m)

Fish and ophiuroide.
Photo. by glass sphere type camera,
at 180 meters depth, SURUGA Bay.

3.3. ガラス球の組み立ておよび分割

ガラス球の組み立ておよび分割は以下の通り行う。

3.3.1. ガラス球の組み立て

①トルエンを含ませたウェス等で、球全体および摺り合わせ面を清拭する。摺り合わせ面は特に清浄にする。

②両半球の摺り合わせ面全面に薄く均一になるよう

シリコングリスを塗る。

③片半球を持ち上げ、他の半球にぶつけないよう注意しながら重ねる。

④上の半球を重ねる時に指がふれた部分に薄くグリスを塗り直し、両半球を重ねる。この時摺り合わせ面に気泡が残らないように強く摺り合わせる。

⑤摺り合わせ面の外側にはみ出したグリスをトルエンを含ませたウエスで良く拭き取る。

⑥摺り合わせ面の外側に防食テープを二重に巻く。

⑦防食テープの外側から摺り合わせ面の上にステンレス製ホースバンドを巻く。

⑧図5に示すように、アクリル製の枠でガラス球をはさみ、ステンレスキャッチクリップで固定する。

以上で、ガラス球の組み立ては完了。以後アクリル製の枠を、使用目的にあったフレーム等に取り付ける。

3.3.2. ガラス球の分割

①ホースバンドをドライバーでゆるめる。

②テープを巻き取る

③ホースバンドを斜めにかけてしめる。しめて行くと摺り合わせ面に食違いが生ずるが適当にずれたところでホースバンドを外し、ガラス球を分割する。

④外れたらグリスを、トルエンを含ませたウエスで拭き取り、保管する。

4. あとがき

この耐圧ガラス球入り深海カメラシステムを用いて撮影した写真は、歪も殆んどなく、極めて鮮明であった。(図6参照)しかし、この深海カメラシステムは、現在フレームに取り付け、ワイヤー等で吊り下げ撮影しなくてはならない。浅海であれば撮影

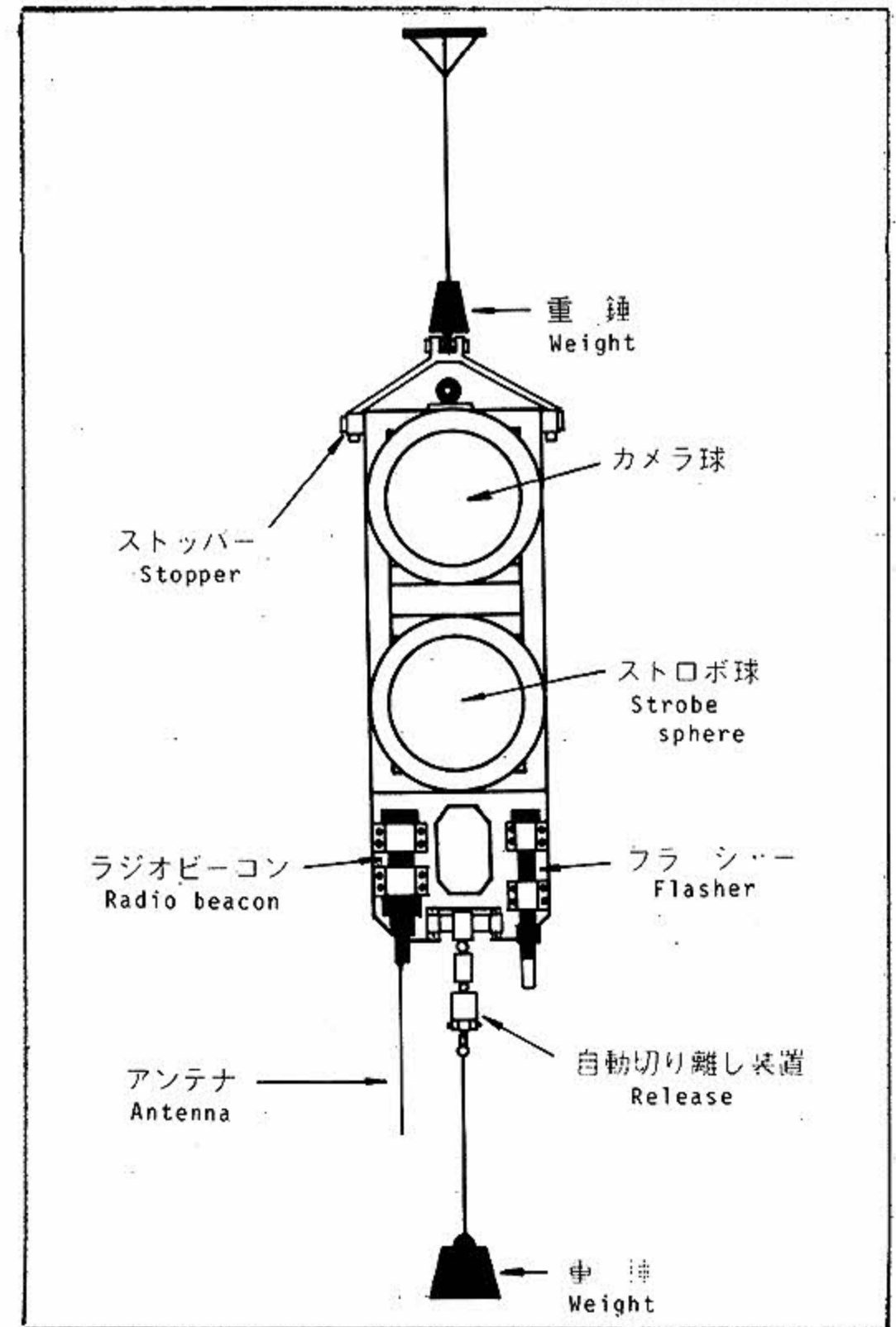


図7 フリーカメラシステム

Free camera system

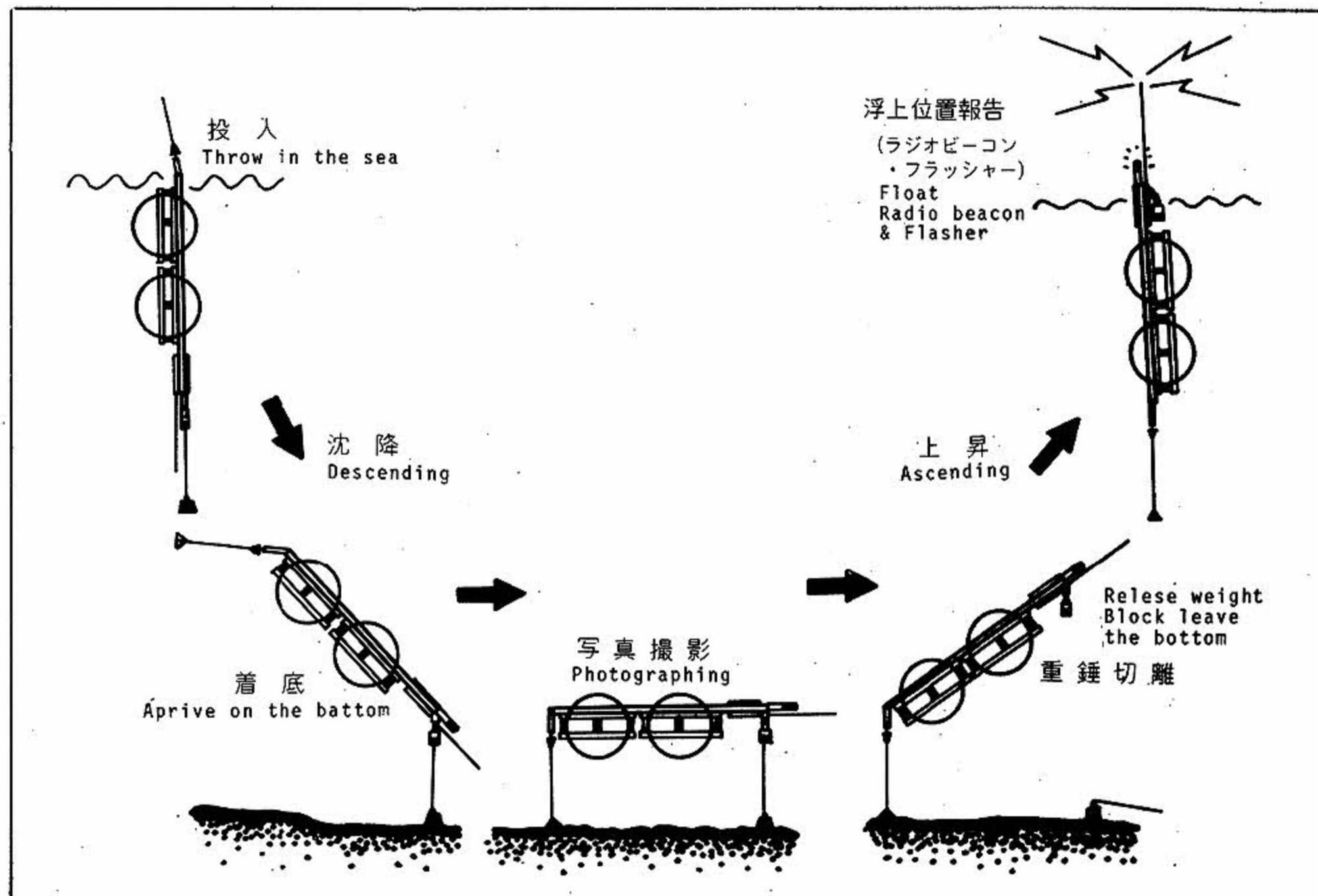


図8 フリーカメラシステムによる写真撮影方法

Motion of free camera system

も容易であるが、5.000m～6.000mの深海となると、ワイヤー等を使用しない自由落下方式を考えた方が効率が良い。現在、これと平行して、バラスト投下用のレリーズの実験を行っており、このレリーズの完成を待って、図7に示すようなFree Camara Systemを開発試作する予定である。このシステムの撮影方法は、図8に示してある。

なお、模型実験により、このシステムが図8に示すような姿勢をとることを確認している。

参 照 文 献

- 1) Humphrey, G. R. 'Oceanographic Spheric Spherical Glass Instrument Housing' U.S.P. Patent. 3587122. (1971)
- 2) Raymond, S. O., 'Hollow Glass Spheres Under Pressure in the Ocean-Experiments Show Interesting Properties,' IEEE OCEAN' 75 San Diego, 1975-09, IEEE & MTS, P. 537-544.