

潜水船救難装置用嵌合金物の 嵌合検知機構の試作

網谷泰孝*¹ 土屋利雄*¹ 高川真一*¹
中西俊之*¹ 濱田幸信*¹

2000m潜水調査船“しんかい2000”システムには、万一の事態に備えて、“救難ブイシステム”が装備してある。本システムの有効性については、幾度かにわたる実海域実験において確認されてきた。しかしながら、本システムの嵌合金物には嵌合検知機能がなかったため、ガイド索に手を触れて、索の振動の有無によって嵌合完了の判断をくだしてきたが、大深度になるにつれて、本方式が困難になってきた。そこでフォトトランジスタと赤外LEDを組み合わせたセンサとピンガーを接続した嵌合検知機構を試作し、実験に供した。その結果、本検知機構は深度2000mにおいても良好に作動することが確認された。

DEVELOPMENT OF THE MATING SENSOR FOR THE RESCUE BUOY SYSTEM OF THE SUBMERSIBLE “SHINKAI 2000”

Yasutaka Amitani *² Toshio Tsuchiya *²
Shinichi Takagawa *² Toshiyuki Nakanishi *²
Yukinobu Hamada *²

The 2,000 m deep submergence research vehicle “SHINKAI 2000” system is equipped with a rescue buoy system for emergency situations. The usefulness of the system had been proved in certain ocean experiments. At depths shallower than 500m, mating could be found by sensing the vibration of the guide rope, but at depths greater than 500m, it couldn't be found. Therefore, a mating sensor consisting of a phototransistor and infrared LED without a pressure vessel were developed. Ocean experiments of this sensor at a depth of 2,000 m were successfully conducted.

*1 深海開発技術部

*2 Deepsea Technology Department

1. はじめに

2,000m潜水調査船“しんかい2000”システムに装備してある“救難ブイシステム”の有効性については、昭和54年以来幾度かの深度100～500mにおける海域実験において確認されてきた。⁽¹⁾⁽²⁾

そして、昭和57年7月の水深1,300m～2,000mの大深度の海域における実験においても、本システムの有効性を確認することができた。⁽³⁾しかしながら、本システムの嵌合金物には嵌合検知機能がなかったため、ガイド索に手を触れて、嵌合金物の降下に起因する振動が停止した時をもって、嵌合完了の判断をくだしてきた。しかし、昭和57年7月の大深度の実験においては、この方法では全く嵌合を検知することができなかった。また、浅海においても、風や波の影響で検知しづらかったり、個人差があったりして、確実な判断基準とはなり得なかった。そのため、嵌合金物付きの揚収索をかなり余分に繰り出すこととなり、ひいては、揚収にかなり余分な時間を費やすこととなった。そこで確実に嵌合を検知でき、嵌合の妨げにならないようなセンサの開発に着手した。

2. 方式の検討

本検知機構の方式の検討にあたって、考慮しなければならないことは次の点である。

- (1) 水深2,000mの海中環境下でも良好に作動すること。
- (2) 嵌合金物の降下および嵌合の妨げとなる要因が少ないこと。
- (3) 機構が簡単、小型で信頼性が高いこと。

- (4) 既存の嵌合金物の嵌合部への再加工が極力少なくてすむこと。

これらの事項を考慮した結果、機械的に接触を必要とする機構は難点が多いため、光センサを用いた非接触型のスイッチとピンガを組み合わせた嵌合検知機構の試作を実施することにした。

3. 光センサ方式検知機構の原理

本機構の原理を図1に示す。

発光素子と受光素子を雌型の嵌合金物の内部に向かい合わせに取り付け、嵌合時に雄型嵌合金物が、両者間の光線を遮断するようにする。嵌合していない状態では、受光素子は光を検知しているが、嵌合すると光を検知できなくなるため、その出力に変化が生じる。この変化を検出して、ピンガを駆動すれば、母船上でピンガの音を捕捉することによって、確実に嵌合を検知することができる。

4. 発光素子および受光素子の選択

本機構で最も重要なものは、発光素子と受光素子であり、現在、陸上では発光素子として、GaAs, GaAsP, GaAlAsなどのLED（発光ダイオード）、ネオンランプ、タングステンランプなどがある。また、受光素子としては、フォトダイオード、フォトリジスタ、CdS, CdSe, 太陽電池などが用いられている。

これらの素子のうちで、発光効率、発光波長と受光素子の分光感度の適合性、信頼性、検知機構の小型化の可能性、および消費電力などを考慮し

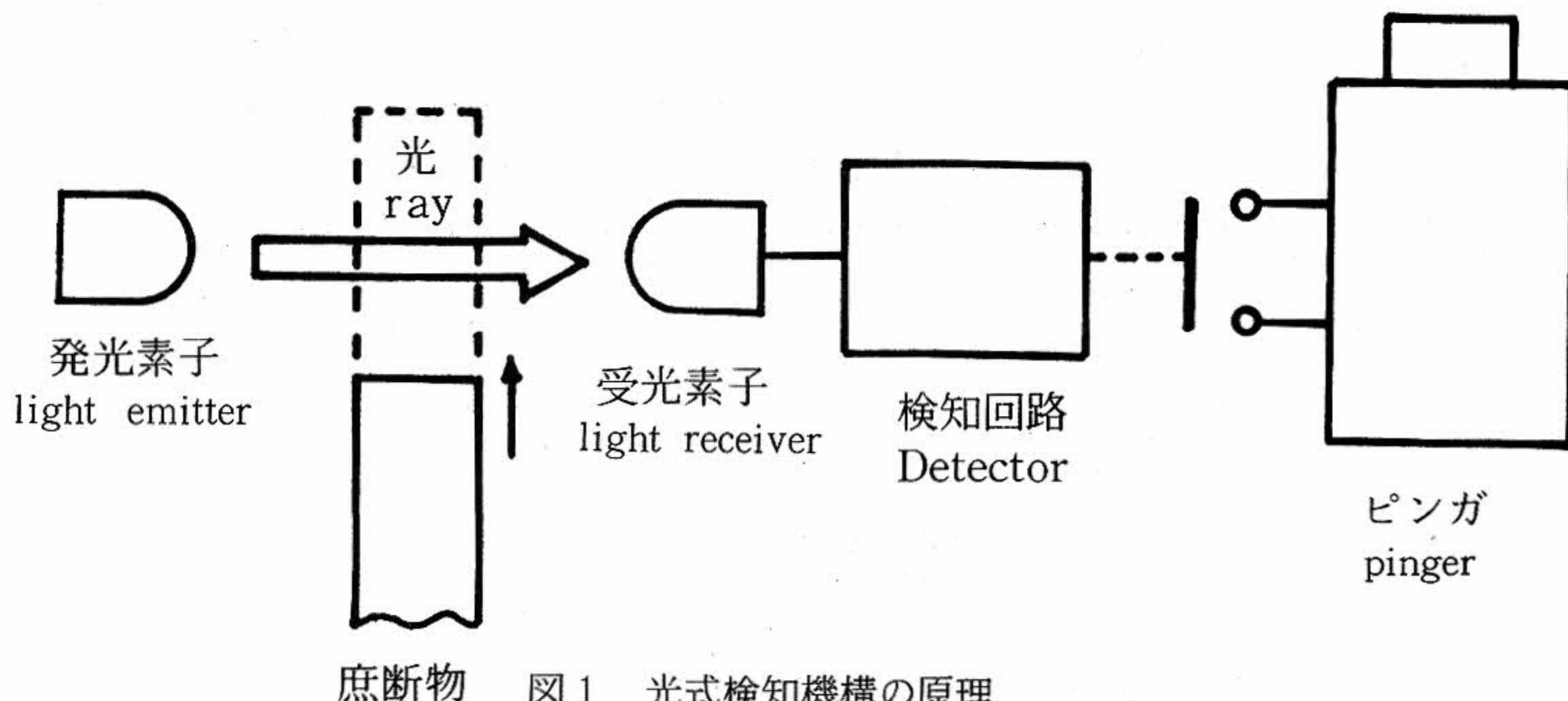


図1 光式検知機構の原理
Mechanism of optic mating sensor

て、LEDとフォトランジスタ（以後、フォトTrと記す）の組み合わせを用いることとした。また、LEDには可視LEDと赤外LEDがあるが、前者の発光効率は2%程度であるのに対して、後者は7%程度と発光効率が非常に良く⁽⁴⁾大きな光出力が得られることから、赤外LED（以後、単にLEDと記す）を用いることにした。

5. 試験回路

以後の各試験で用いた回路を図2に示す。

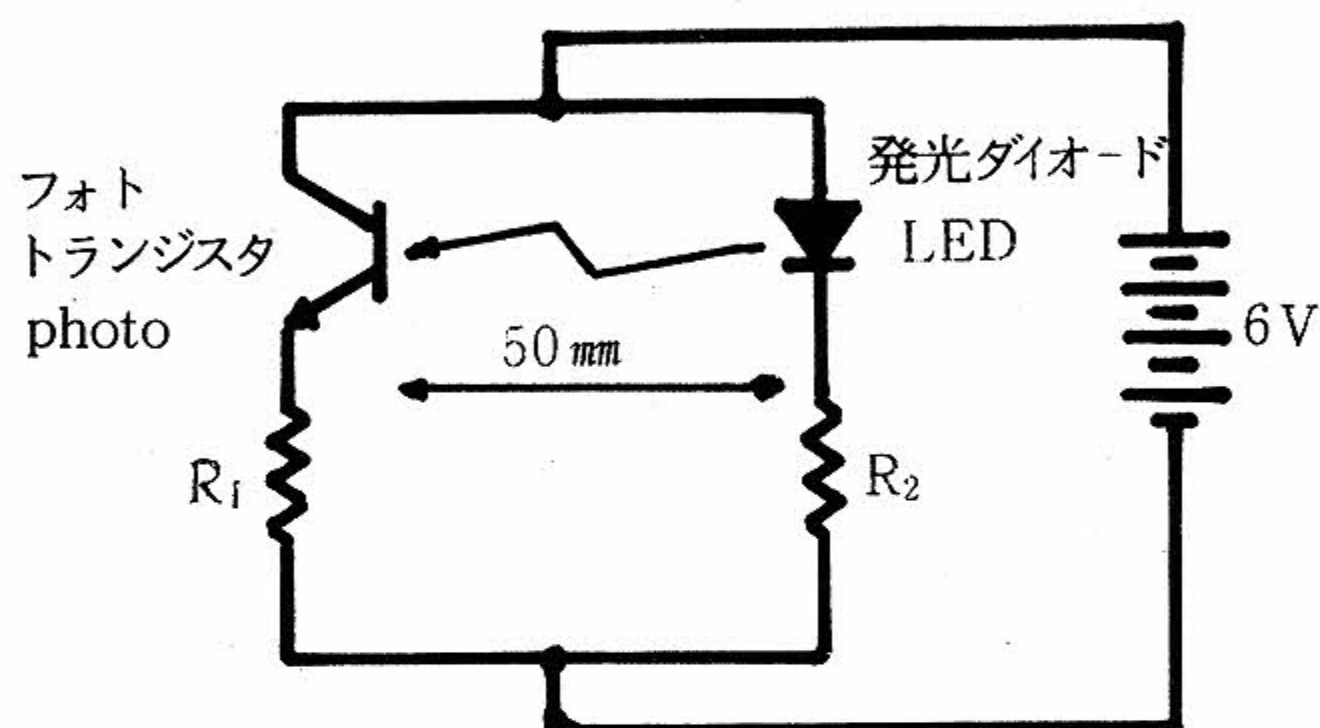


図2 供試回路

Circuit used in test

フォトTrは、入射光の光強度に応じて順電流が流れるため、嵌合していない時は、LEDの光出力に応じた順電流が流れ、嵌合時には、光が遮断されて、ほとんど電流が流れない（暗電流）。したがって、本検知機構では、この順電流の変化を図2の抵抗R1の両端電圧の変化として検出し、嵌合を検知することとした。

そこで、以後の各試験においても、LEDがONの時およびOFFの時のR1の両端電圧（以後、 E_{R1} と記す）を測定して、フォトTrおよびLEDの良否の判断基準とした。また、LEDの順電流をみるために、図2の抵抗R2の両端電圧（以後、 E_{R2} と記す）も測定しLEDの良否の判断基準とした。

6. 予備試験

フォトTrとLEDを使用するにあたって、最も問題となるのは、その取り付け方法である。耐圧容器に納めると、大型化の原因となり、既存の嵌合金物にかなりの改造を要することになる。しかし、耐圧容器に入れず、直接、高圧の海水中へ

暴露することが可能ならば、検知機構がかなり小型化でき、嵌合金物の改造も最小限ですむことから、その可能性を探るために予備試験を実施した。

本試験では、一般に市販されているフォトTr 11種、LED 7種、各1個を絶縁油中に入れて、小型高圧水槽（海洋科学技術センター施設）で230 kg/cm²（水深2,000mの水圧の約1.1倍）に加圧し、その前後の E_{R1} を測定した。なお、フォトTrの測定には加圧していないLED（EL-1K3）を標準発光素子として用い、LEDの測定には加圧していないフォトTr（SPA-IMLA）を標準発光素子として用いた。また、順電流の最大定格が最も小さい素子を基準にして、 R_1 は1 k Ω 、 R_2 は108 Ω とした。

供試品の仕様および形状を表1および写真1に、試験結果を表2に示す。

供試品のモールド法は大きく分けて3種類で、(1)ガラスあるいはエポキシ樹脂のレンズと金属ステムを用いハーメチックシールしたもの、(2)エポキシ樹脂とセラミックステムを用いたもの、(3)全体をエポキシ樹脂モールドしたものである。

本試験の結果、外観上破損の確認できるものはなかったが、 E_{R1} および E_{R2} の測定から、(1)のタイプのフォトTrが2種、LEDが1種、破損していることがわかった。しかしながら、(1)のタイプ以外ならば、高圧の海水中へ暴露しても、十分に使用に耐える可能性のあることがわかった。

この結果から、本検知機構の発光素子としては、加圧前後の特性変化が小さく、光出力の大きいEL-1L1を、受光素子としては、加圧前後の特性変化が小さく、ダーリントン構造になっており感度の良いTPS605を採用することとした。また、これらの素子には、全体をエポキシ樹脂でモールドにした構造であるため、最も耐水圧性、水密性に優れていると考えられる。

7. 試作試験

フォトTr（TPS605）およびLED（EL-1L1）、各6個について、次のような耐海中環境性試験を実施し、各環境下での E_{R1} および E_{R2} を測定した。なお、両素子の順電流の最大定格を考慮して、 R_1 は1 k Ω 、 R_2 は59 Ω とした。

また、本試験では、各素子を絶縁のために、ベ

表1 供試素子の仕様

Specs of elements applied to test

赤外発光ダイオード

形 名	最大定格($T_a=25^\circ\text{C}$)		P_o		V_F		λ_p	モールド 形 式	メーカー
	I_F (mA)	P (mW)	I_F (mA)	min. (mW)	I_F (mA)	max. (V)	typ. (nm)		
EL-ICL 3	40	70	40	1.8	40	1.5	940	②	光電子工業
EL-IK 3	100	200	100	4.0	100	1.7	"	①	
EL-IKL 2	"	"	"	6.0	"	"	"	①	
EL-IKL 3	"	"	"	15.0	"	"	"	①	
EL-IL 1	"	100	"	20.0	"	"	"	①	
EL-IL 2	"	"	"	15.4	"	"	"	③	
EL-IML 2	"	170	50	2.7	50	1.5	"	③	

フォトトランジスタ

形 名	最大定格($T_a=25^\circ\text{C}$)			I_{CEL}				I_{CEO}		λ_p	モールド 形 式	メーカー
	V_{CEO}	P_c	T_{oov}	(mA)		V_{CE}	E_v	(mA)	V_{CE}	(nm)		
	(v)	(mw)	($^\circ\text{C}$)	min	max	(v)	(lx)	max	(v)	typ		
ST-IKLA	40	100	-35~+125	—	—	—	—	1.0	10	850	①	光電子工業
ST-IKLB	"	"	"	—	—	—	—	"	"	"	①	
ST-ICL 3H	"	75	-25~+75	0.5	2.4	3	1000	"	"	800	②	
SPA-IMLA	"	100	-25~+100	2.0	6	10	500	"	"	830	①	
SPA-IMLAR2	"	"	"	"	—	"	"	"	"	900	①	
SPA-IMLB	"	"	"	"	6	"	"	"	"	830	①	
SPA-IMLBR2	"	"	"	"	—	"	"	"	"	900	①	
TPS-601	"	150	-30~+125	10	30(typ)	3	10mW/cm ²	0.2	30	800	①	東芝
TPS-603	20	75	-20~+75	0.5	1.5	"	"	0.1	10	720	②	
TPS-604	40	150	-30~+125	10	30	"	"	0.2	30	800	①	
TPS-605	20	75	-25~+75	15	30	"	1mW/cm ²	0.25	16	720	③	

モールド形式 ① レンズ，金属ステム，ハーメチックシール
 ② エポキシ樹脂，セラミックステム
 ③ エポキシ樹脂

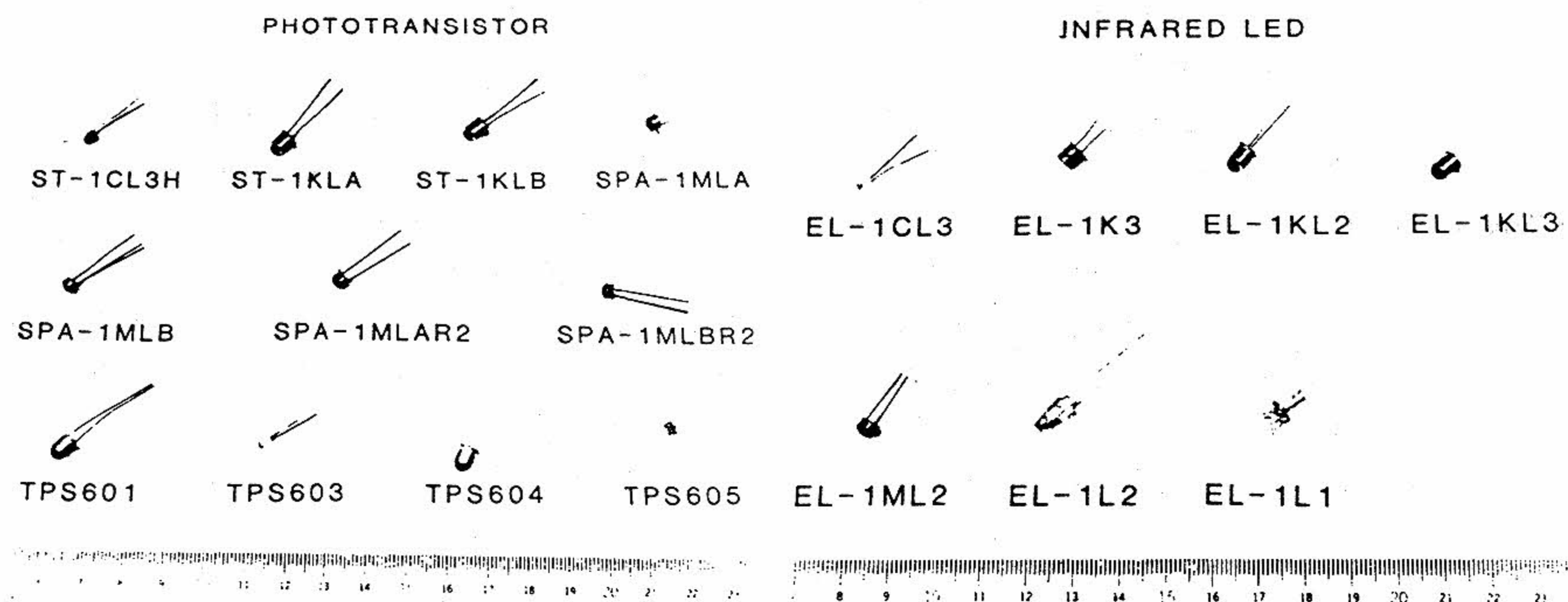


写真1 供試素子

Elements applied to test

表2 油漬加圧試験の結果

Result of pressure test using insulating oil

フォトトランジスタ

供 試 品	R ₁ 両 端 電 圧	
	加圧前	加圧後
ST-1KLA	1.3 (V)	1.4 (V)
ST-1KLB	1.3	1.28
ST-1CL3H	0.056	0.05
SPA-1MLA	0.77	—
SPA-1MLAR2	0.95	0.75
SPA-1MLB	0.64	—
SPA-1MLBR2	0.58	0.59
TPS-601	0.73	0.86
TPS-603	0.053	0.063
TPS-604	0.39	0.50
TPS-605	5.2	5.2

赤外LED

供 試 品	R ₂ 両 端 電 圧	
	加圧前	加圧後
EL-1CL3	0.38 (V)	0.37 (V)
EL-1K3	1.1	—
EL-1KL2	3.9	4.5
EL-1KL3	0.90	1.2
EL-1L1	5.5	5.6
EL-1L2	2.7	3.2
EL-1ML2	0.58	0.55

ントス社製204-S S sealant stripを用いて図3のようにモールドして試験に供した。

7.1 繰り返し加圧試験

供試品を小型高圧水槽を用いて真水で、常圧 $\rightarrow$ 230kg/cm²の繰り返し加圧を行い、それぞれの圧力下で測定を実施した。結果を図4に示す。

この結果により、LEDがONの時の E_{R1} は約5Vで、圧力による変化はほとんど認められなかった。空中と水中との差約0.2Vは、水中における赤外線の影響によるものと思われる。また、L

EDがOFFの時の E_{R1} は、ほぼ0Vで、フォトTr④および⑥が圧力の影響を受けて約0.2V程度変化しているが、この変化量は、LEDがONの時(嵌合していない時)とOFFの時(嵌合時)の差約5Vと比較すると無視できる程度である。

7.2 海水中加圧試験

供試品を、海水を入れたポリ袋に入れて密封し、これを小型高圧水槽で230kg/cm²に加圧して、 E_{R1} および E_{R2} を測定した。結果を図5に示す。

この結果より、 E_{R1} および E_{R2} は、海水中にお

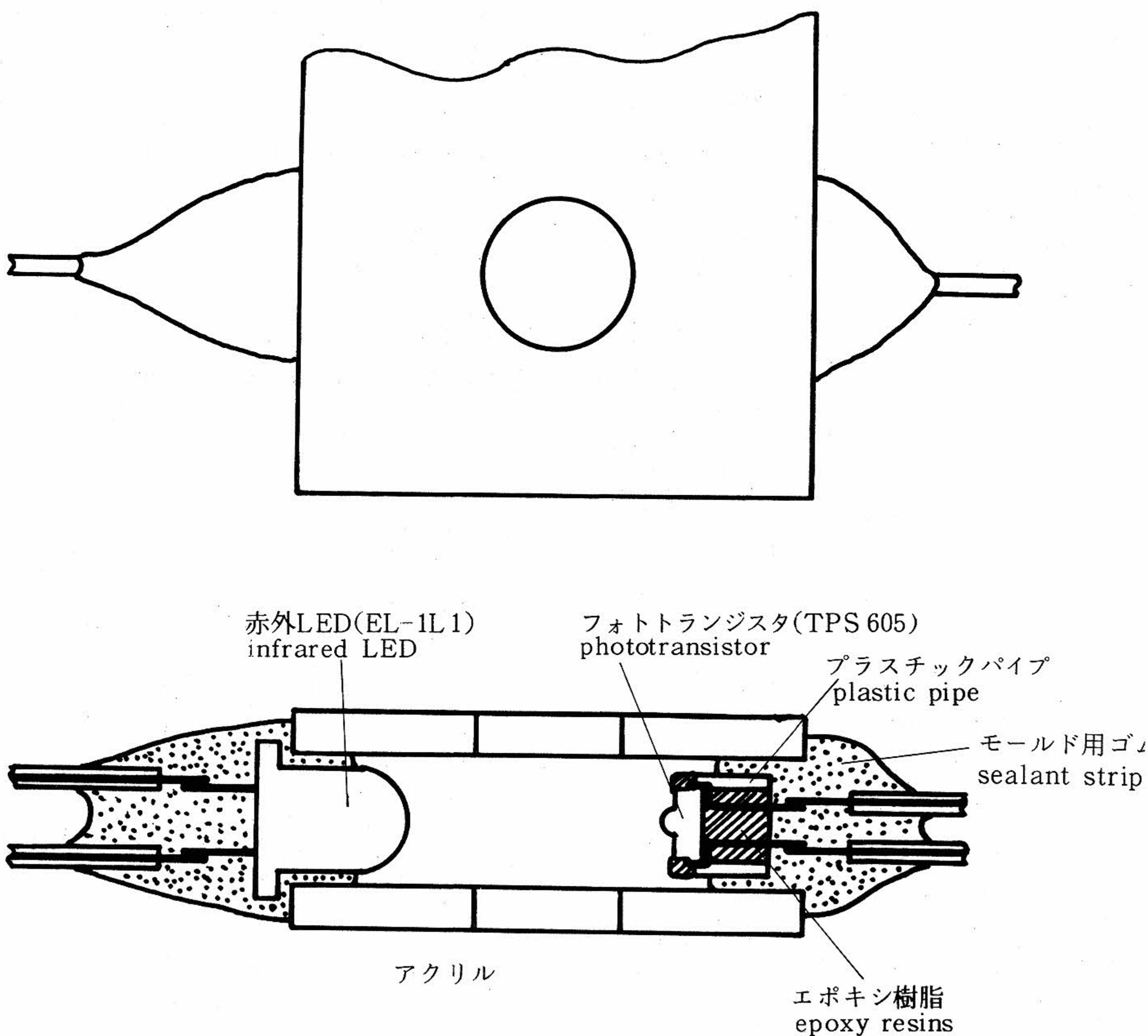


図3 モールド法
Method of mold

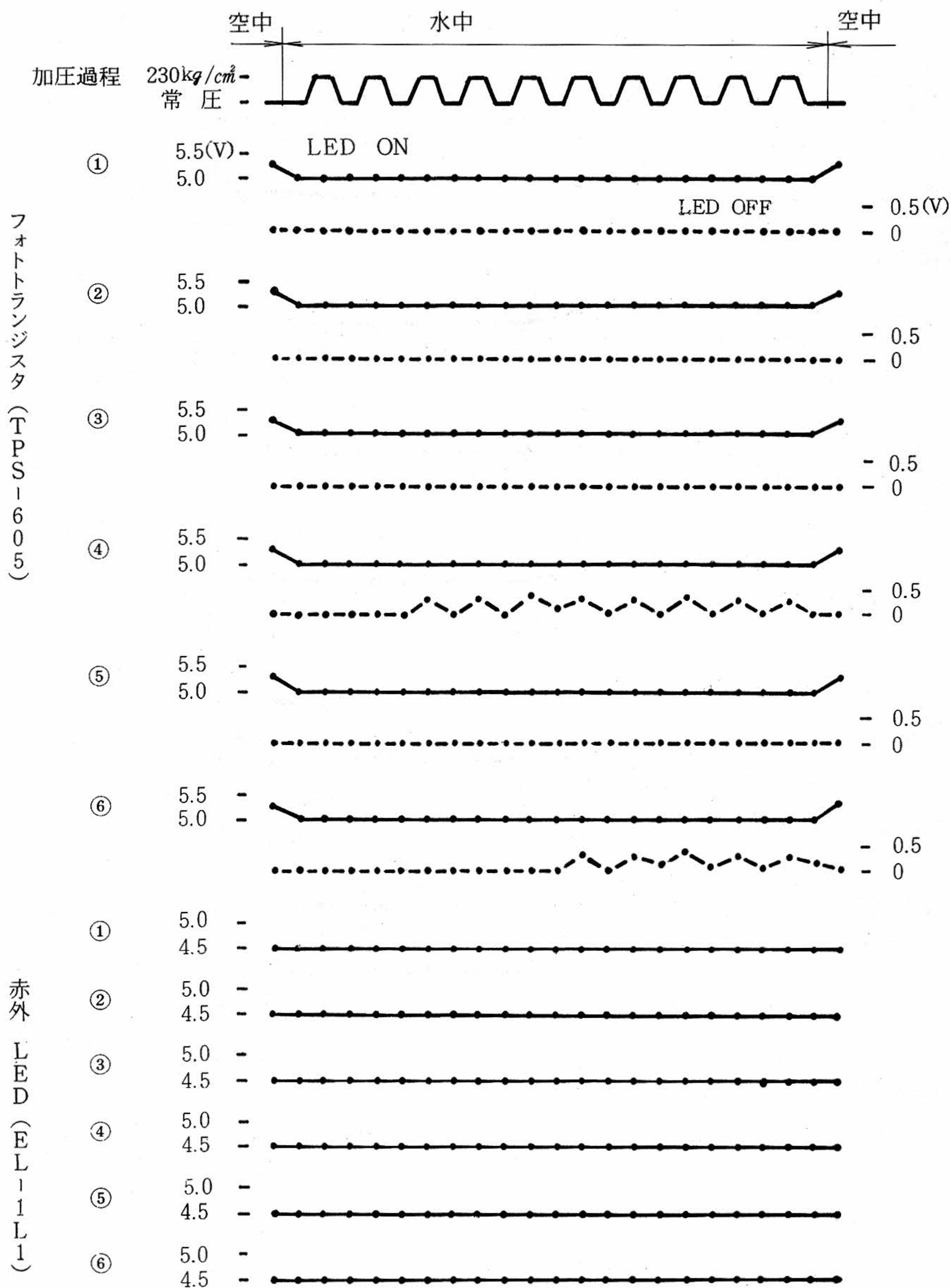


図4 繰り返し加圧試験結果

Result of cyclic pressure test

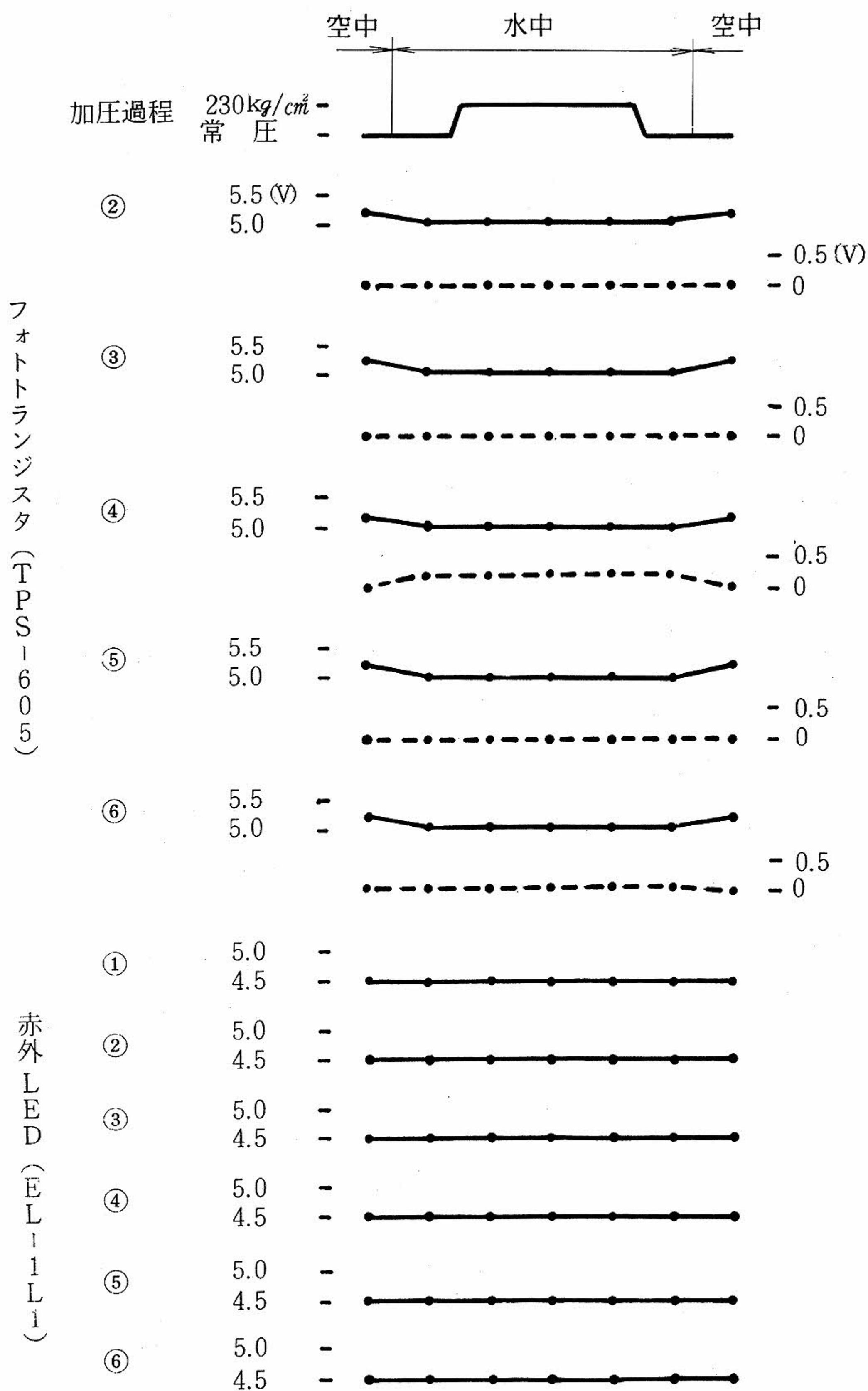


図5 海水中加圧試験結果

Result of pressure test in sea water

いても真水中と何ら差異のないことがわかった。
また、今回採用した簡易なモールド法により、目的の高圧下で十分な絶縁が得られることがわかった。

なお、フォトTr①は、試験準備中にリード線が断線し、復旧不能となったため以後の試験ができなかった。

7.3 温度特性試験

供試品を水中に入れ、氷で温度を下げながらEの測定を実施した。結果を図6に示す。

この結果により、供試品は、深度2,000mの海底付近の低温環境下で、 E_{R1} はほとんど変化しないことがわかった。

7.4 泥水中特性試験

供試品を様々な濁度の泥水中に入れて、 E_{R1} を

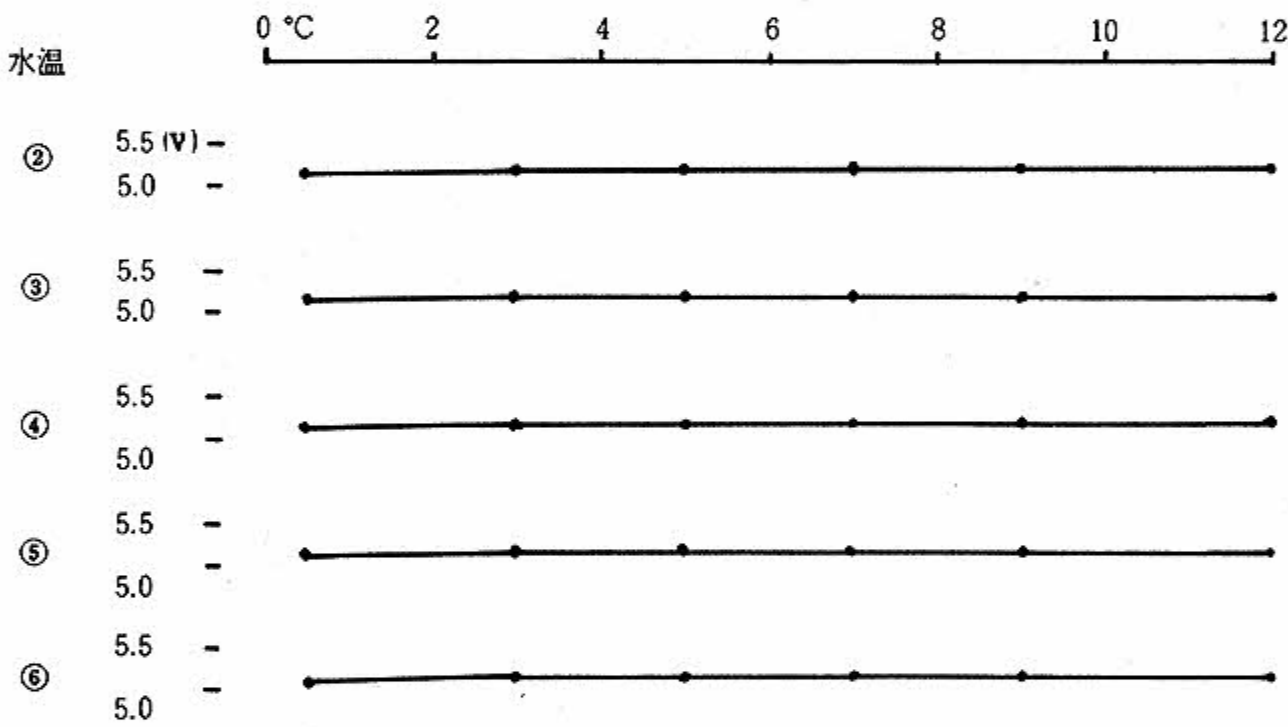


図6 温度特性試験結果
(フォトトランジスタ TPS 605)
Result of temperature test (phototransistor TPS 605)

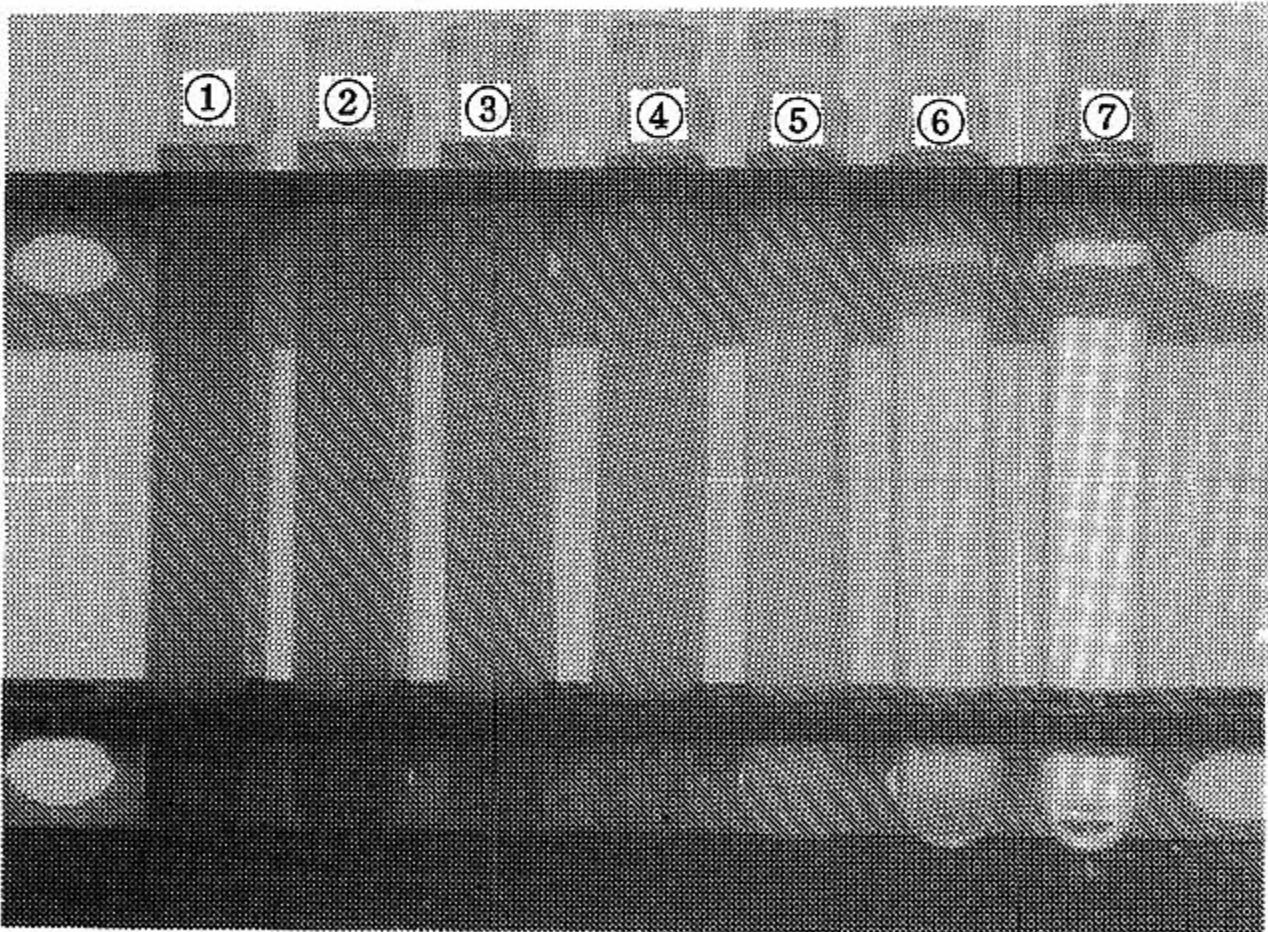


写真2 泥水のサンプル
Samples of muddy water
① 500ppm ⑤ 100ppm
② 400ppm ⑥ 50ppm
③ 300ppm ⑦ 4ppm
④ 200ppm

測定した。写真2に泥水のサンプルを、図7に測定結果を示す。なお、濁度は、(株)東邦電探製FN-5型水中濁度計を用いて測定した。

この結果から、360 ppm 以下では、LEDがONの時 E_{R1} は約5 Vでほとんど変化がなかった。なお、500 ppm 以上（濁度計の計測範囲は最大500 ppm で、測定不能）でも、最も低いもので4 V以上程度までしか低下しなかった。なお、500 ppm 以上では、各供試品間に測定値のばらつきが認められるが、これは、泥水の沈澱が速く十分かくはんできなかったためと思われる。

以上の試験結果から、本機構の実現の可能性が十分あることが確認できたことから、嵌合金物用の試作品を製作し、実海域実験に供することとした。

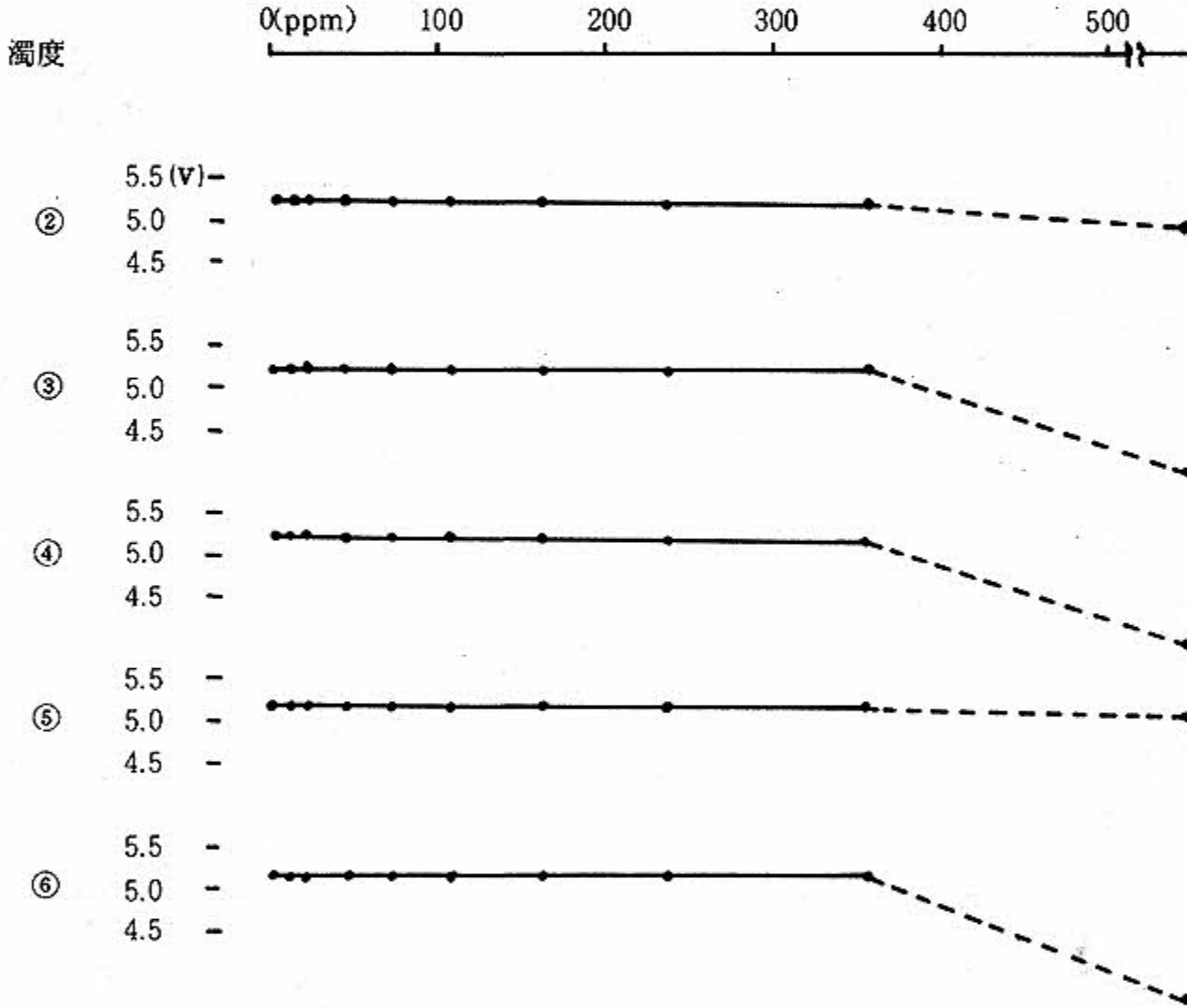


図7 泥水中特性試験結果
(フォトトランジスタ TPS 605)
Result of test in muddy water
(phototransistor TPS 605)

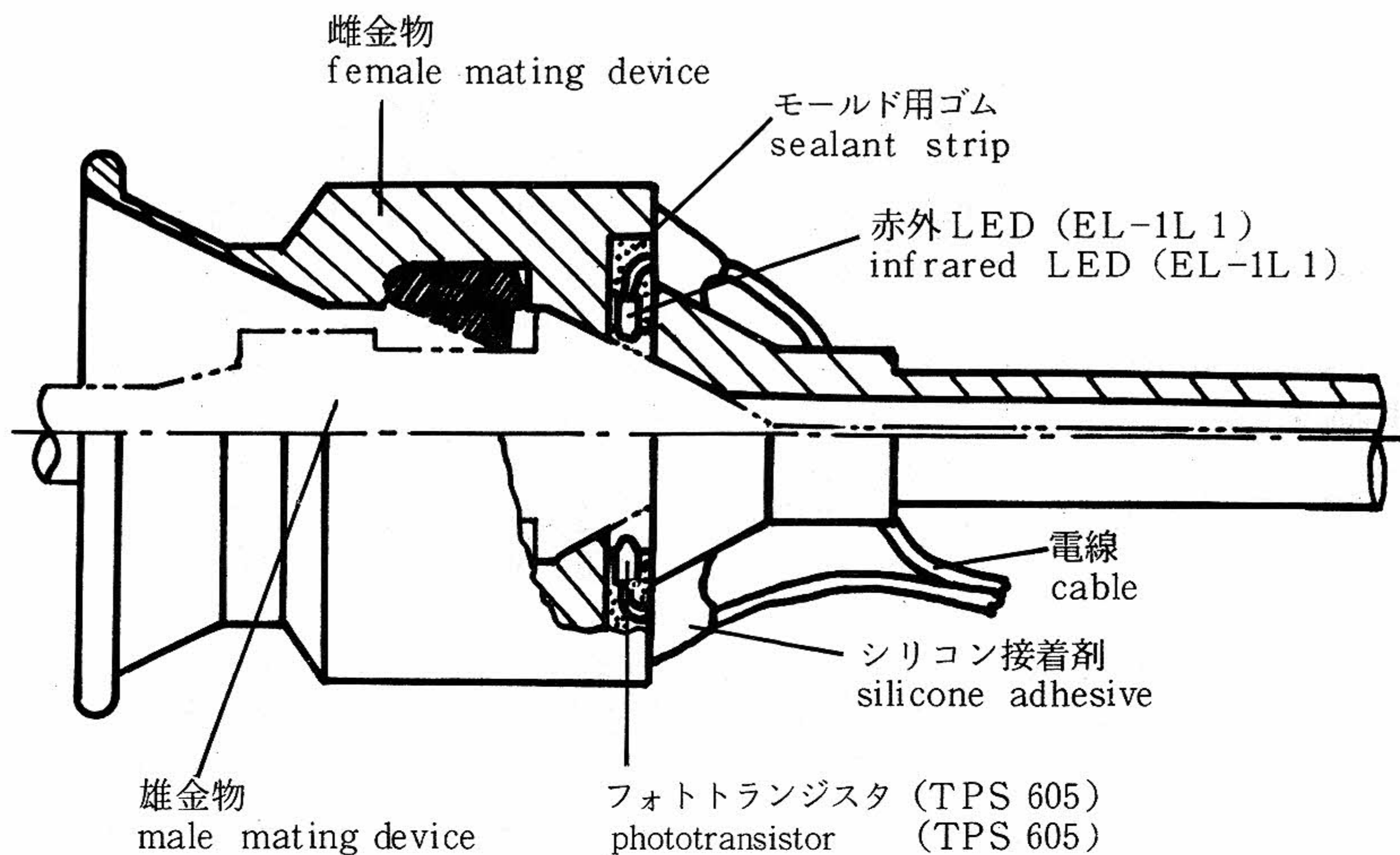


図8 嵌合金物センサ部
Mating sensor

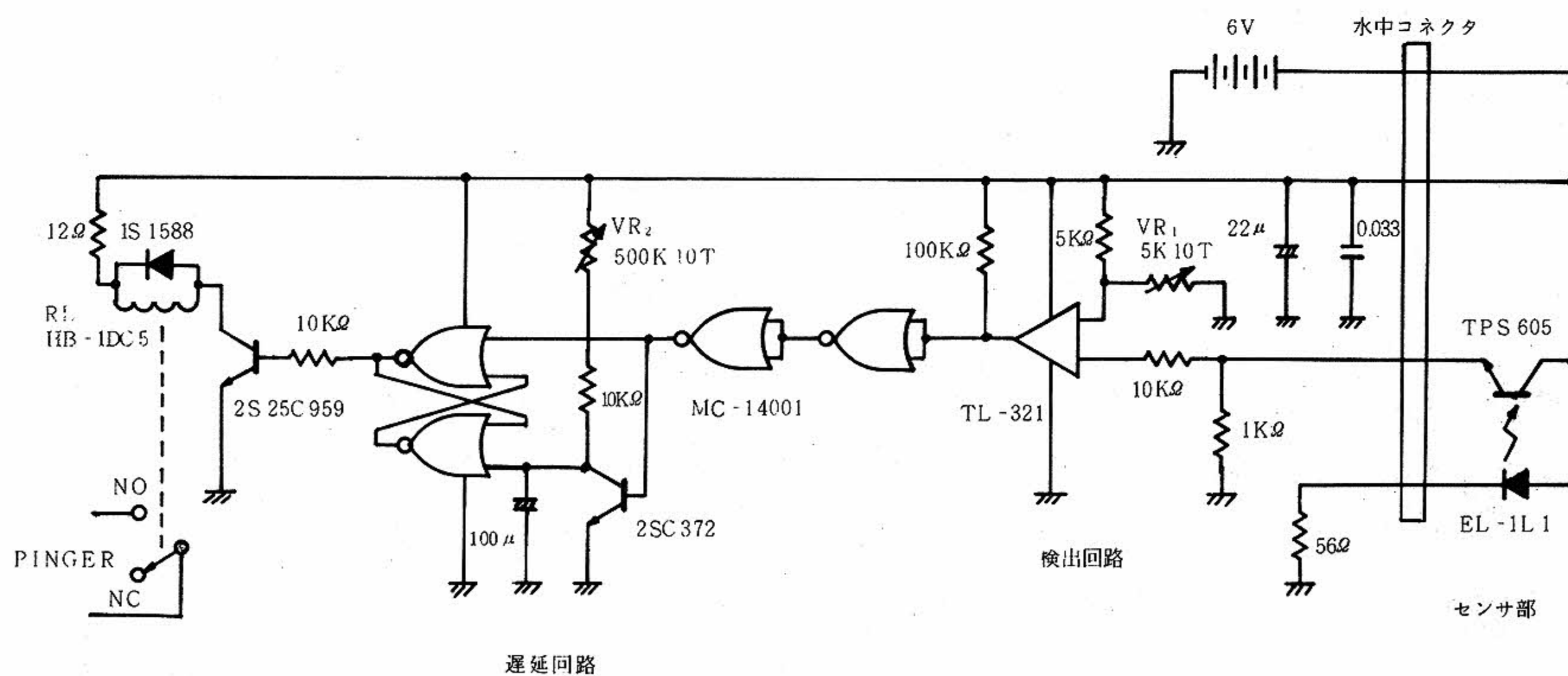


図9 検知回路
Detector circuit

8. 試作品

試作品のセンサ部を図8に、検知回路を図9に示す。

センサ部のモールドは試作試験と同等のモールドを施し、さらに、このモールド部を外部からの機械的な外力から保護するためにシリコン系の接着剤で固めた。

検知回路は、泥水中特性試験の結果を基にスレショールドレベルを VR_1 によって3Vに設定して、かなりの泥水中でも誤動作しないようにした。また、瞬間的にガイド索が赤外線を遮断する可能性があるため、連続して30秒以上赤外線が遮断されなければ、ピンガが作動しないように VR_2 で調整した。さらに、一度赤外線が遮断されてピンガが作動しても、何らかの要因で、遮断が解除されるとピンガの作動は停止するようにしてある。なお、本検知回路は、ピンガの耐圧容器の空所に納めた。

9. 実海域実験

昭和58年1月に水深2,000mの海域で、本検知機構を装備した嵌合金物を用いて、救難装置の実海域実験を4回実施した。結果は良好で、本検知機構は正確に作動した⁽³⁾。

10. おわりに

本検知機構の試作によって、供試フォトTrおよび赤外LEDは、近距離(50mm程度)であれば、両者の間の物体の有無を検知する目的では、簡易なモールドをするだけで、水深2,000mまで使用できる可能性のあることが確認された。また、これらと同様の構造の半導体についても、水深2,000mの水圧下で使用できる可能性があることも確認できた。

文 献

- 1) 高川真一ほか.“潜水船救難装置の海上実験”. JAMSTECTR(5) P.13-26 (1980).
- 2) 高川真一ほか.“潜水船救難装置の海上実験 (第2報)”. JAMSTECTR(9) P.21-37 (1982).
- 3) 高川真一ほか.“潜水船救難装置の海上実験 (第3報)”. JAMSTECTR (12) P.1-7 (1984)
- 4) 電子通信学会編.“電子通信ハンドブック”, 東京, オーム社, 1979. P.53 2-533
- 5) 久保大次郎.“フォトセンサ&カプラの具体的利用法” トランジスタ技術11 (12) P.124-146 (1974).
- 6) 渡辺國寛ほか.“フォトダイオード, フォトトランジスタ”. トランジスタ技術18 (9) P.273-293 (1981)
- 7) 松本真郷.“非接触スイッチなど用途拡大ホトセンサ”. センサ技術2 (6) P.62-63(1982)
- 8) 高浜罔彦.“光量に比例した電流を出力, ホトダイオード”. センサ技術2 (6) P.66-67 (1982).
- 9) 黒羽正之.“光量に応じた電流を発生, ホトトランジスタ”. センサ技術2 (6) P.68-69 (1982).
- 10) 渡辺國寛.“光起電力効果を利用, シリコン受光素子”. センサ技術2 (6) P.72-73 (1982).
- 11) 電子通信学会編.“電子通信ハンドブック”. 東京, オーム社, 1979. P.460-462, 1483-1484.