

# 微小温度差測定器

小山 恒夫\*

(信州大学工学部 電気工学教室)

(1956年10月5日受領)

## DIFFERENTIAL ELECTRICAL THERMOMETER FOR MEASURING TEMPERATURE DISTRIBUTION

Tsuneo KOYAMA

(Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering)

(Received: October, 5, 1956)

**Synopsis** In order to measure the temperature distribution in an oil well and an ocean, the author made an differential electrical thermometer using a semiconductor and an electric hydrobarometer.

The thermometer is simple in structure and its accuracy is  $5/1000 \sim 1/100$  °C in differential temperature. The semiconductor element is of rod type having the volume of  $3 \times 3 \times 4$  mm<sup>3</sup>. The author measured the temperature distribution in water of a tank and liquids of the oil well at Nishiyama oil fields of Teikoku Sekiyu Co. According to these measurements, the temperature distribution in the well gives the data of oil layers and others.

The electric hydrobarometer indicates, directly and continuously, the depth by converting the displacement of a Bourdon tube caused by hydro-pressure to the change of electric resistance. This hydrobarometer can measure the depth of 0~40, 30~800 meters.

The temperature distribution in a sea, a river, etc. can also be measured by means of the hydrobarometer in combination with the thermometer.

The author measured a temperature-depth characteristic at a dam of 9 meters deep.

## 1 緒 言

温度測定には古くから水銀温度計、熱電対その他多くの種類のものが使用されており、近年半導体を用いたいわゆるサーミスタ温度計が研究され実用化している。これにも各種のものがある。

---

\* 信州大学助教授

筆者は安定な半導体を用いて構造装置の簡単な微小温度差を測定する測定器を試作し、従来あまり実施されていない地下資源の探知や海洋研究調査就中魚類と温度、深度との関係を調査して漁法に対する資料を得るために、これに必要な測定器即ち深度計についても考案試作して、実験することにした。

地下資源の鉱油に関する油井の温度分布測定は従来熱電対を使用していたが、これは感度が低く取扱上にも不便がある。また水中の温度分布測定に当つては深度測定が必要であつて、この深度は水中の任意点の深度が測定できなければならない。水底或は適当な物体までの距離は例えば超音波で測定できるが、水中の任意点の深度は測定できない。深度計については従来数拾メートル<sup>(1)</sup>まで、或はそれ以上は階段的に測定する等の測定器はあるが、深度の大きい範囲に亘つて連続的に直読できるものはないようである。この要求を満たす目的で深度計を試作し、温度と深度の関係を実測した。

油井の温度分布測定は帝国石油株式会社西山油田<sup>(2)</sup>、水中温度分布は東京電力小田切発電所ダムにおいて夫々実測した。海水については農林省水産研究所並びに東京水産大学の協力を得ているが、未だ測定は実現していない。

以下本研究の試作品と測定結果について述べる。

## 2 温度測定素子と測定法

### 2.1 温度測定素子

測定素子は銅マンガナイトに酸化第二銅を混和して作った半導体で、 $3 \times 3 \times 4 \text{mm}^3$ のロッド型である。半導体はそれ自体に流れる電流によつて自己加熱するが、これを最小におさえ、なるべく感度を大にし、しかも特性が安定で劣化しないため両端子を保持器に取付け、多少の衝撃にも耐えるようにした。ロッド型にするとビード型より応答速度は小になるが、端子線との間の劣化を防ぐ点においては優れている。この素子をガラス封入しないときは油、水等で浸されないように塗料で被ふく処理し、更に液体中で温度及び時間を変化して絶縁試験を行い被ふくの完全を確認した。

### 2.2 温度測定法

この半導体は顕著な感熱特性をもっているので、これを金属抵抗とともにホイートストンプブリッジに組み、測定範囲を一応  $0 \sim 100^\circ\text{C}$  の範囲に見当つけ、更に目的によつてその範囲の小さい場合に詳しく測定できるよう準備しておく。

指示計は  $1 \text{mA}$  の直流計器で、電源は  $3$  又は  $6 \text{V}$  を使用する。半導体素子はリード線(ケーブル)に取付けるが、リード線が相当長いのでこの抵抗値を予め考慮しなければならない。リード線の抵抗変化を考慮した  $3$  線式もあるが、半導体の抵抗は比較的大であるから取えて  $3$  線式でなくとも影響は小さい。

第1図は測定回路の一例で予備としての実験結果である。測定範囲に対して最適の半導体  $R$  と回路素子  $p, q, r$  を決定しておき、既知温度に対する指示の関係を  $I_0$  一定にして測定した。この測定器では視誤差を除いてほぼ  $5/1000^\circ\text{C}$  の温度差が測定できる。図示のように温度範囲がせまいときは指示特性は殆んど直線的になる。この図では

$I_0$  = 一定としたが、測定時間の短縮と取扱いの簡易から  $I_0$  の調整は行わないで  $R_e=0$  とする方法もある。これについては後述する。

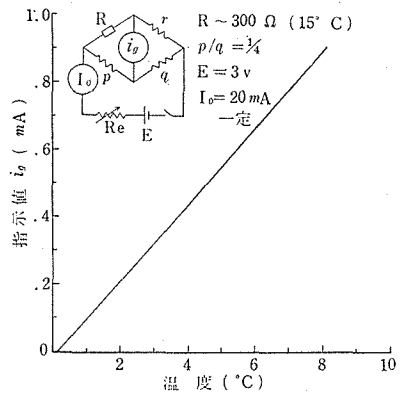
### 3 油井内温度分布の測定

油井内の温度分布状態を知ることは地下資源の探知に重要であり、また油井掘さく後適当な時期にコンクリートを入れて管壁にすることが多いが、このコンクリートの固化状態をその反応熱から温度測定して判定することにも重要な資料となり温度測定の意義は大きい。

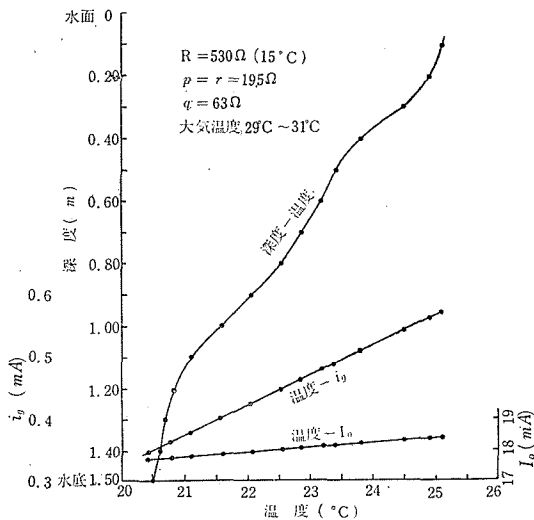
#### 3.1 実験方法及び測定器

半導体の抵抗値は大であるからリード線が相当長くなつてその抵抗が数拾オームあつても感度に及ぼす影響は少ない。

現場測定を実施する前に次の方法で準備した。半導体素子を  $15\phi, 40\text{mm}$  のガラス管に封入したものとガラス管に封入しない2つの素子を準備して、抵抗温度特性を測定し第1図と同様にブリッジ回路の各抵抗を決定して温度計を作つた。これを用いて手近にある貯水層の温度分布を測定した結果が第2図である。第3図はこの実験の状態で、指



第1図 温度指示特性

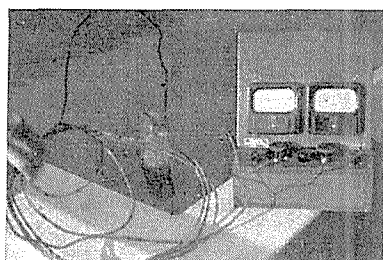


第2図 水槽の深度-温度特性

示計の右は温度を、左は  $I_0$  を指示する。この場合は半導体素子をガラス管に封じたものを使用した。深度はリード線に目盛つておいて決定した。この測定では電源電流  $I_0$  を一定に調整しないで、指示値(温度)とともに予め何回か繰返し実験した結果と一致していることを確認して決定した。

このような予備実験から実測に入ればよいことが判明したので、半導体素子を  $17^\circ\text{C}$  で約  $1800\Omega$  のものを用いることにし、 $p/q \approx 4/1$  とし、現場の温度範囲を  $10 \sim 60^\circ\text{C}$  と予測して測定器を調整し、既知温度に対する指示値の関係を数回繰返して測定し、安定であることを確めた。

測定場所は深度が大であるためリード線もピアノ線入のケーブルで長さ  $1,000\text{m}$  のも



第3図 水層温度測定状況

のを使用した。油井の内径は小であるから素子及びケーブルの降下速度は過大にならないよう適切でなければならない。もしこの速度が大であれば、内部の液体を攪拌して乱れることになる。測定は素子の降下時に行うべきで、目的の深さまで達すると、ケーブルのため液体は既に若干ながらも攪拌されているから上昇時に測定しても温度分布は異なっている。

半導体素子は油井管壁で損傷しないため保護するが、ケーブル先端には降下を容易にするための重錘を取付ける。ケーブルの一芯の抵抗は  $62\Omega$  である。

測定間隔は  $10\sim 25\text{m}$  とし、一点の測定に要する時間を約3分間とし、ケーブル降下速度を  $10\text{m}/60\text{s}$  とする。深度の測定はケーブルに接触回転する方式によった。第4図の写真は現場で使用中の温度測定器である。



第4図 油井温度分布測定状況

### 3.2 温度分布測定結果

実測した井戸は帝国石油株式会社柏崎鉦業所西山油田にあるもので昭和29年4月からポンピングを中止していた。これを1年余経た30年5月30・31日の両日に亘って測定した。測定中の大気温度は  $20.5\sim 26^\circ\text{C}$  である。

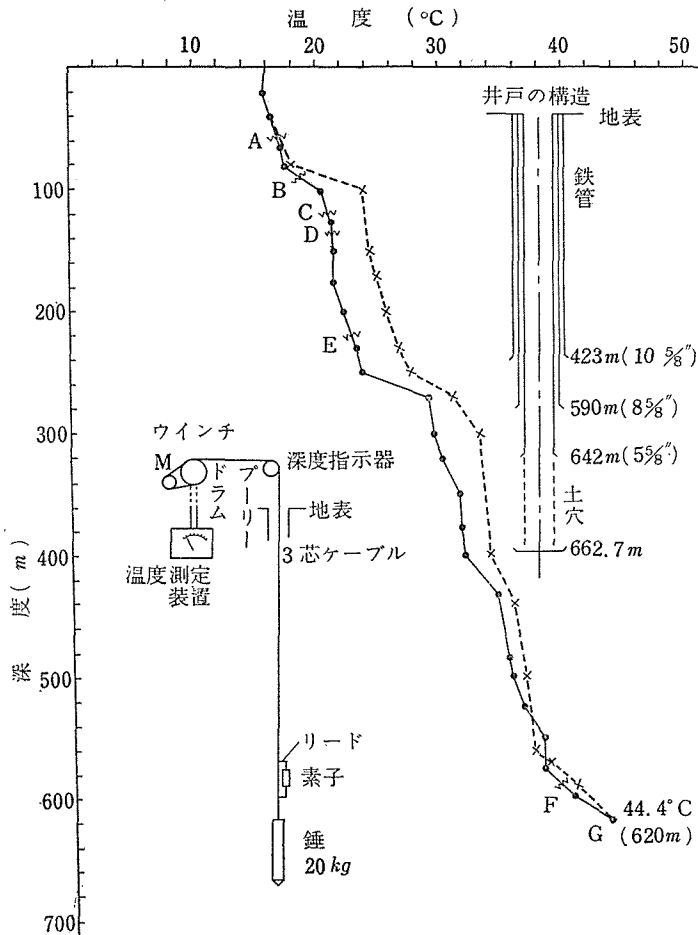
測定結果の深度—温度特性と井戸の構造等を第5図に示す。井戸は図示のように3本の鉄管が同心に入っており、最下部は土穴になっている。ポンピング当時は深度が  $662.7\text{m}$  あつたが以後若干埋まつていることが予想されたので  $620\text{m}$  まで測定した。素子が目的の深度に達してから引上げる際にも降下速度と同一にして、上昇時の測定値を第5図に破線で示した。地表面の温度 ( $16^\circ\text{C}$ ) は日光の直射をさけた位置の値である。なおケーブル引上げ後、第5図曲線のAB間は揮発油であり、それ以下のある区間はそれより比重の大きい油であることを認めた。又測定終了後既知温度に対する指示計の値が、測定前の値と一致していることを確めた。

### 3.3 考 察

実測した油井は1年余ポンピングを中止していたため、液面は予定以上に上昇していた。そのため最初の測定では半導体素子がガラス管に封入したものを使用した。が、深さ約  $250\text{m}$  に降下した時指示計に異常を認めたので引上げた。が、ガラス管は破壊していた。これは液体の圧力約  $20\text{kg}/\text{cm}^2$  のためである。従つてこの測定で攪拌された油井内が充分安定するまでの時間をおくため、翌日測定した。この時は半導体素子はガラス封入しないで表面を塗料で被ふく処理したものを使用した。

半導体素子が地表面から約  $50\text{m}$  降下した処で指示計に僅か動揺があり、このA点が揮発油の面であることが判つた。更に降下してB点で再び同じく動揺したがこれは揮発

油とそれより重い油との境界であることが、ケーブルを引上げた際に確認できた。即ち A B 間のケーブルの表面は揮発油で洗滌されていた。つづいて C, D, E, F 各点で同様の指針の変化があつたが、これも液体の性質が異なつているためと思う。



第5図 油井内温度分布

一般には地下の温度勾配は、約 30m で 1°C の温度上昇があるが、油田地帯では若干高いようである。

測定素子やケーブルが降下するとその表面には上部の液が附着して下方に移り若干の攪拌が伴うし、またケーブルを引上げる時に更に液体の移動が生じるので、ケーブル上昇時の温度測定結果は信頼性が小になるが参考までに測定した。この結果では攪乱の影響はあるが、降下時、上昇時の差は比較的少ないようである。

尙本測定実施後、測定器の指示と既知温度との関係を再び測定した処、実測前と一致していたので前記測定結果が信頼できることを確認した。また絶縁についても充分安全

であつた。

## 4 海水の深度温度測定

水中の温度分布を測定するに当り、その深度が判らなければならない。深度測定は従来各種の方法があり例えばベローを用いた方法<sup>(1)</sup>、水中素子内で温度とともに深度を自記させて引上げた後に読みとる方法等があるが何れも不便な点がある。筆者は水圧の作用による機械的変位を電気抵抗の変化に換えて広範囲の深度を直読する深度計について試作検討し、いわゆるストレングージを用いる方法とブルドン管を用いる方法について吟味した結果後者の方法を採用することにした。海、河川、沼湖等では一般に流れがあるために測定素子は投入直下には存在しないのでこのような方法が必要となる。この深度計に温度測定素子を併せて深度温度の測定を行うのである。

### 4.1 深度測定法

#### 4.1.1 深度計の原理

水深の圧力による機械的変位を電気抵抗の変化に換えて水深を測定するため、ブルドン管を使用し、その変位に比例する電気抵抗の変化を測定する方式にしたのがこの深度計の原理で、第6図はこの回路を示す。

図について説明すれば次の通りである。

ブルドン管Bに水深に比例した圧力が加わると、Bの尖端は上方に変位するからこの端に接点をつけて可変抵抗 $r_1$ 、 $r_2$ の適当な位置に接触させておけば、圧力に比例して抵抗 $r_1$ 、 $r_2$ は変化する。これを導入ケーブルを経て、ホイートストンブリッジに組み、抵抗変化を指示計 $i_{gd}$ で測定指示させれば、指示値は圧力即ち深度を函数としたものになる。

即ち圧力 $Pr$ によつてBの尖端は変位 $X$ を生じ、抵抗変化が $x$ であるとすれば

$$x = \xi X \propto Pr \quad (1)$$

ただし $\xi$ は比例定数とする。固定抵抗を $q_1$ 、 $q_2$ 、回路電圧を $E$ とする。大気圧では $x=0$ であるから、 $i_{gd}=0$ になるよう $q_1$ 、 $q_2$ を調整しておけば、抵抗変化 $x$ により $r_1$ は $r_1+x$ 、 $r_2$ は $r_2-x$ となり、指示値は

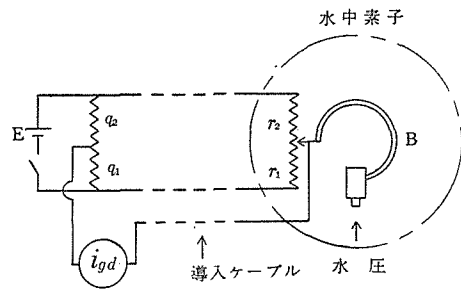
$$i_{gd} = E(q_1 + q_2)x / \Delta \quad (2)$$

ただし  $\Delta = (r_1 + x)(r_2 - x)(q_1 + q_2) + (r_1 + r_2)\{q_1 q_2 + r_g(q_1 + q_2)\}$

$r_g$ を指示計の内部抵抗とする。今簡単にするため $r_1 = r_2 = r$ 、 $q_1 = q_2 = q$ とおくと

$$i_{gd} = \frac{x}{(r + q + 2r_g)r - x^2} \quad (3)$$

ここで $(r + q + 2r_g)r \gg x^2$ とおき展開して第4項以下は第2項に比し極めて小とすれば



第6図 深度計

$$i_{gd} = \frac{x}{(r+q+2r_g)r} + \frac{x^3}{\{(r+q+2r_g)r\}^2} \approx \frac{x}{(r+q+2r_g)r} \quad (4)$$

即ち指示計の指示値はほぼ抵抗変化  $x$ ，従つて水深に比例する。

#### 4.1.2 温度補償

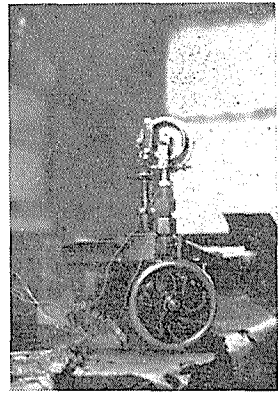
ブルドン管の温度による変位の補償は，例えばブルドン管圧力計として使用する時に用いる中心部の回転部と先端との間に，温度特性の適切なバイメタルを取付けることによつて行うことができる。

#### 4.1.3 深度測定器の試作

適当な絶縁物に巻いた抵抗線  $r_1+r_2$  を，ブルトン管の先端に取付けた回転式接触子に均一な圧力で接するように取付ける。接触子と抵抗器との摩擦をできるだけ小にするため回転式接触子とした。これを圧力試験器で圧力と指示値の関係について試験し，圧力即ち深度を目盛する。

第7図はこの試験状態を示す。

圧力試験器によつて既知圧力と指示計の指示値の関係の例を第8図に示す。図の800型は800m用 ( $80\text{kg/cm}^2$ )，40型は40m用 ( $4\text{kg/cm}^2$ ) のものである。この特性では圧力上昇時と降下時では若干の差を生じ，低压部では約7%の誤差



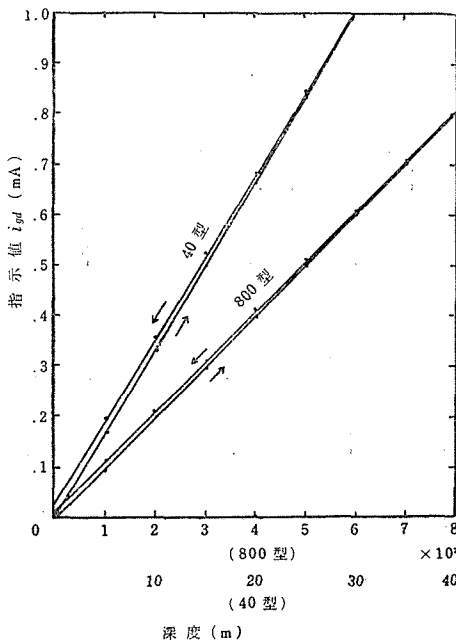
第7図 深度計の試験

を生じた。圧力と指示値の関係が何回繰返しても一致するように各可動部を調整する。

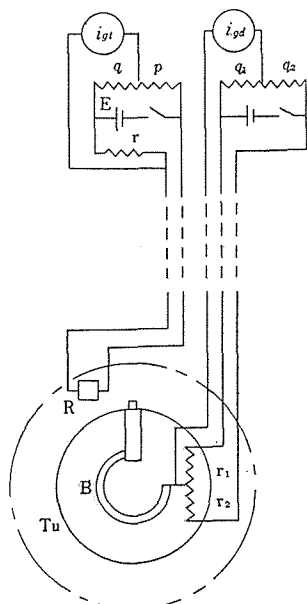
ここに使用した抵抗は  $r_1+r_2=1000\Omega$ ， $q_1+q_2=200\Omega$ ，電源は直流で  $E=6V$  とし，指示計は  $1\text{mA}$  の携帯用計器である。800型，40型共に同一定格とし，ブルドン管のみ異なる。この素子を耐圧性の気密タンクに封入する。

#### 4.2 深度温度測定回路と測定器

上に述べた深度計と前述の温度計の夫々の測定素子を合せて水中に投入する。この測定回路を第9図に示す。図の破線より下部が水中素子となる。リード線は温度測定用に2本，深度測定用に3本計5本が必要である。 $i_{gt}$  は温度計の指示である。第10図は深度温度測定素子（中央上部タンク）



第8図 深度計指示特性



第9図 深度温度測定回路

と指示計である。

尙温度計に使用した半導体による既知温度と指示値の關係等を第11図に示す。

#### 4.3 深度温度測定結果

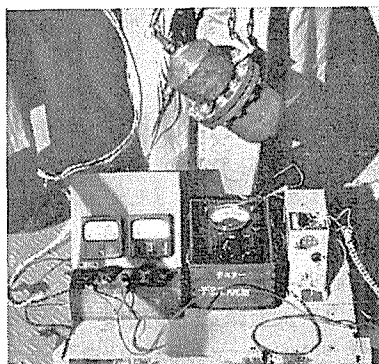
東京電力小田切発電所のダムに於いて測定した。排水中のゲートの上流側で測定したが、深度は約9mで若干の流速があつた。深度計は40型を使用した。この測定結果を第12図に示す。曲線(3)が深度温度特性である。なおこの深度計と別に準備した重錘をつけて目盛を施した紐を、近くの流速の殆んどない所に下げ、前記の電気式深度計とともに降下及び上昇時の深度の指示値を比較した曲線が(1)及び(2)である。曲線(3)は曲線(1)にもついで示してある。曲線(1)と(2)に差が表われたのは、40m用の深度計にはあまり適当でない浅い9m前後の場所の深度を測定したために、接触子と抵抗器との摩擦が原因したのであろう。このことは第8図の特性からも判る。

測定終了後再び圧力試験器によつて既知圧力と指示計の値の關係を実験した処測定前の値と一致していた。

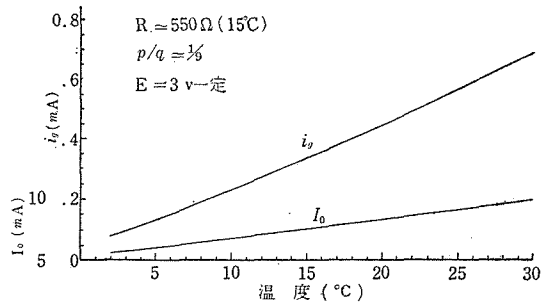
尙主目的の海洋における測定は種々の都合で未だ実施されないが、当局の御協力を得次第測定することになっている。

#### 4.4 考 察

温度測定は実験結果からも明らかであるように非常に安定で、充分信頼できる値であつた。一点の温度測定は3分間と予定したが約1分間で指示は安定した。



第10図 深度温度測定素子と指示計



第11図 温度指示特性



深度測定については最初ストレインゲージを使用して実験したが、特に高感度の指示計を必要とし、また増巾器も必要となるので構造取扱の簡易化の観点から、ブルドン管を使用することにした。この方法を用いると構造は簡単で取扱も容易であり、回路各素子の抵抗値の如何によつて感度も比較的大となり、指示値は直線性の特性をもち、指示計も 1 mA または 5 mA のもので充分である。

ブルドン管の精度は高くはないが、圧力変化範囲が大であるので深度の大きい場所に対しても広く測定できるので、精度の許される測定には効果があろう。ブルドン管圧力計についての諸特性は文献<sup>(3)</sup>に詳細に報告されているので本文では理論及び特性は省いた。

ブルドン管を用いた深度計の誤差は接触子と接触面の摩擦抵抗が大きな原因である。この部分の工作には特に注意する必要がある。誤差に及ぼす部分は可動部による点が多いから工作は精密にすべきである。筆者の試作したものは比較的精密を欠いたため低圧部で 7% の誤差を生じた。

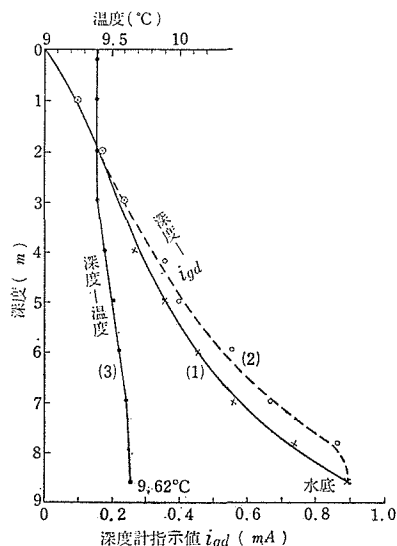
この深度計の欠点は電気式であるため、リード線が 3 本必要で、更に温度計用に 2 本必要となるから、計 5 本の 5 芯ケーブルが必要である。

## 5 結 言

半導体を用いた温度測定器による油井内温度分布測定と、ブルドン管を用いた電気式深度計と温度計を併用した水中深度温度の測定に関し、測定器の試作と測定結果について述べた。海洋については未だ実測するには至っていないが、手近の貯水池で実測した。以上の研究において得たことを要約すれば次の通りである。

〔1〕 温度測定 (1)半導体を用いた温度計は構造簡単で取扱容易なものを試作し、測定値の差も充分信頼できるものであり、感度は  $5/1000 \sim 1/100^\circ\text{C}$  を得た。(2)電源電流は特に制御する方式としないでも安定である。(3)油井内の温度測定の時、液質の相異により指示に脈動のような現象を生じる。これによつて液質判定の資料が得られる。(4)本測定法は温泉の試掘に利用できる。

〔2〕 深度測定 (1)ブルドン管を用いた電気式の深度計は構造及び取扱が簡易で測定範囲が広く、測定は連続的に直読できる。(2)この測定器は可動部が多いため摩擦を小にし工作は精密でなければならない。(3)試作品の 800 型は深度 30m 以上では誤差 7% 以下であるが、工作法によつて 2% 以下にすることも可能と思う。但しブルドン管自体



第12図 深度—温度特性

の誤差は別である。(4)ブルドン管の温度補償は可能である。(5)航行しつつ直読できるのは本測定器の特徴であるが、この場合適切な潜航器と強度の十分なケーブルが必要である。(6)水中素子は耐圧性気密容器に納めなければならない。(7)深度計素子は今後の検討により更に信頼の高いものが作れると思う。

終りに本研究に御指導を賜っている東京工業大学教授齋藤幸男博士に深く感謝の意を表すると共に、油井内温度測定に協力と御便宜を賜った帝国石油株式会社柏崎鋳業所岩松次長、中島生産課長、小林鋳場長並びに同所各位、柏崎工業高校樋浦教諭、深度計について御助言を賜った東京工業大学助教授草間秀俊博士、東京水産大学の熊凝武晴教授並びにその他の各位、農林省東海区水産研究所高山部長、試作に協力された国鉄長野工場川崎技師、実験に協力された中村浩君に深く感謝する次第である。

### 参 考 文 献

- (1) 内藤外：電気試験所彙報、16巻 533頁(昭27)、17巻 523頁(昭28)
- (2) 小山：電気三学会連合大会 148(昭31)
- (3) 小川外：生産研究 8巻 1頁(昭31)