

# 超音波によるプロセス濃度の測定

## Measurement of Process Concentration by the Ultrasonic Method

佐々木 莊 二\* 加 藤 洋 明\*  
Sôji Sasaki Yômei Katô

### 内 容 梗 概

溶液中の超音波伝搬速度が濃度によって変化することを利用したプロセス用の濃度計はすでに試作実験<sup>(1)</sup>されている。われわれはこれと方式の異なる超音波濃度計を試作し、実用的可能性ならびにオンラインで用いる場合の問題点を検討した。

本試作装置により食塩水、メタノール、酢酸ならびに硝酸ウラニル水溶液の濃度を測定したが、食塩水では0.5 g/l、硝酸ウラニル水溶液では0.1 M以上の濃度を検出することがわかった。さらに、オンラインで用いる場合の試料液槽の形状を検討し、超音波の伝搬が試料液の流れに直角な場合がよいことがわかった。また、本濃度計の温度特性を検討し、簡単な温度補償法を確立することができた。

### 1. 緒 言

化学プラントの自動化を目的とするプロセス制御技術が進むにつれ、プロセス中の溶液濃度を迅速かつ連続的に測定しようとするいわゆるオンライン計測の要求が生じてきた。また、計測される量も電気信号として検出されるのが伝送、指示あるいは制御の面からも望ましい。

これらの目的のために、電気伝導度、pHなどによる方法がもっとも一般的に用いられている。また、われわれは原子力用化学プラントを対象としてポーログラフと連続サンプリングを連動させ、ウラン濃度をサンプリング測定する方法<sup>(2)</sup>を試みた。しかし、これらは被測定溶液の種類によって適用できない場合もあり、またサンプリング方式では測定所要時間が長く、プラント制御用に利用するには困難を伴う。

このような問題の一つの解決手段として、超音波の溶液中の伝搬速度が濃度によって変化することに着目し、音速の変化をなんらかの方法で連続的に電気信号として検出し、溶液濃度を測定する試みがなされている<sup>(1)</sup>。

音速を利用して溶液濃度を測定できるのは、液中に含有する諸成分のうち測定の対象となる1成分の含有率が変化し、それによって液中の音速が著しく変わるような場合に限られるが、溶液の電離、非電離性を問わず適用できるので、本方法の実用的価値は非常に大きいものと考えられる。

今回、われわれはすでに報告されている連続超音波を用いて位相差弁別を行なう方式<sup>(1)</sup>とは異なる超音波パルスを用いて時間差弁別を行なう方式の濃度計を試作<sup>(3)</sup>し、有用な結果が得られたので、その原理、特性および各種溶液による実験結果を述べる。またこの濃度計をオンラインに用いる場合の試料液槽の形状ならびに温度補償法についての検討結果をあわせて報告する。

### 2. 測 定 原 理

超音波を利用して溶液濃度を測定する方法としては

(1) 溶液中の音波の減衰を利用する方法

(2) 溶液中の音速の変化を利用する方法

に大別される。(1)は、たとえばパルプ液のように粘度の高いものや、スラリーのように懸濁物が存在して音波の減衰が特に著しい場合にのみ用いられる。そのほかの場合では(2)の方法が適当であり、ここでは(2)の方法について述べる。

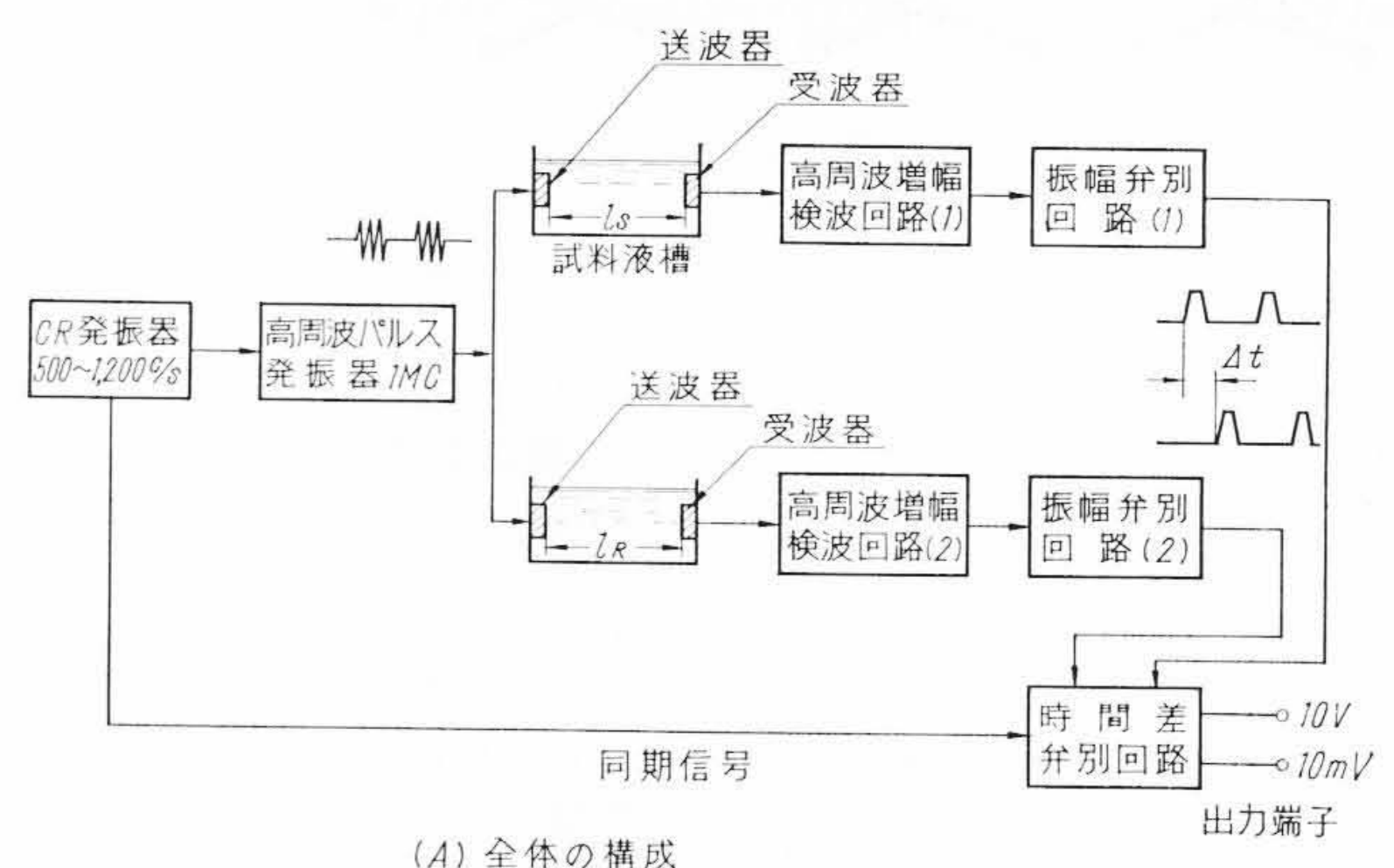
音速変化を検出するには、溶液中において連続した超音波が送波

器から発射され、受波器に達したときの位相のずれを検出する方法と超音波パルスを用いて送受波器間距離を伝搬する時間の差を測定する方法とがある。位相変化を直流電圧信号に変換して検出するためには位相差弁別方式が用いられ、この方式の濃度計についてはすでに報告<sup>(1)</sup>されている。本章では時間差を検出する時間差弁別方式について述べ、これと位相差弁別方式とを比較検討する。

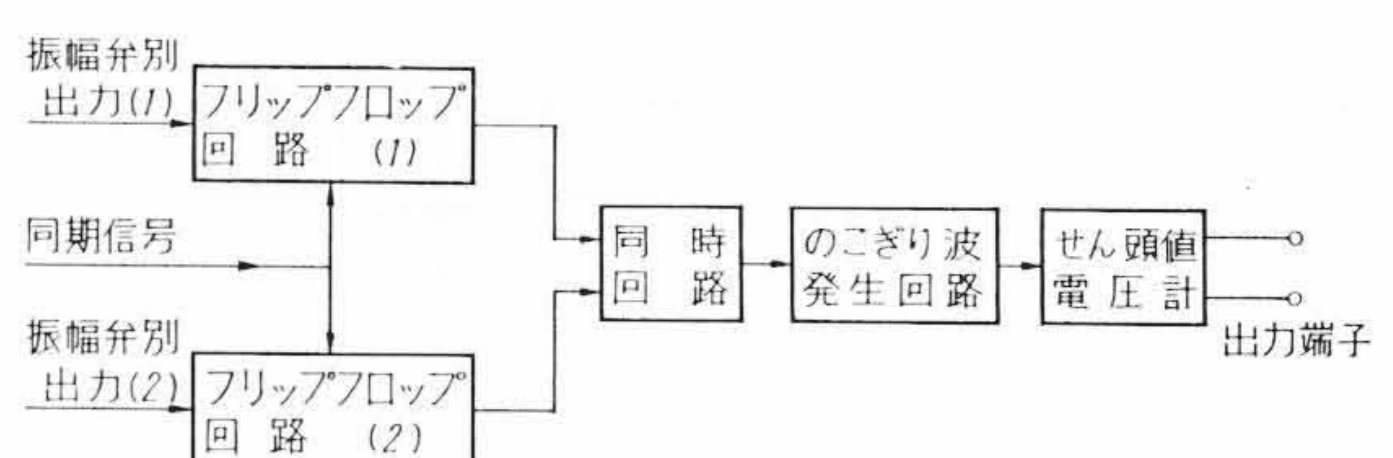
#### 2.1 時間差弁別方式

本方式は、超音波パルスが送受波器間を伝搬する時間の変化を直流電圧として検出するもので、この方式の回路構成を第1図に示す。

同図で高周波パルス発振器は周期  $1/f_M$  ( $f_M$  はパルスくり返し周波数) ごとに周波数  $f_c$  の高周波を発振し、この出力は試料液槽および標準液槽中の送波器にそれぞれ加えられる。この際、くり返し発射されるパルスのうち初めに発射されたパルスが送、受波器間で反射をくり返しながらかつ十分減衰し、その影響が現われなくなったところに次のパルスが発射されるようパルス周期  $1/f_M$  を与えている。二つの送波器から同時に発射された超音波パルスがおののこの受波器に到達する時間の差  $\Delta t$  は



(A) 全体の構成



(B) 時間差弁別回路の構成

第1図 時間差弁別式超音波濃度計の構成系統図

\* 日立製作所日立研究所

$$\Delta t = \frac{l_R}{C_R} - \frac{l_S}{C_S} \dots \dots \dots (1)$$

$C_R$ : 純溶媒中の音速度

$C_S$ : 試料溶液中の音速度

$l_R$ : 標準液槽の送受波器間距離

$l_S$ : 試料液槽の送受波器間距離

となる。いま  $l_S = l_R$  とし、両液槽に純溶媒を入れたときには  $C_R = C_S$  であるから  $\Delta t = 0$  であるが、試料液槽中の溶液濃度に応じて  $C_S$  が変化すれば  $\Delta t$  も変化する。時間差弁別回路は両液槽の超音波パルスの到達時間差  $\Delta t$  に比例した出力電圧を発生するので、したがって濃度に応じた出力電圧を得ることができる。この際、溶液中の音速は濃度のみならず温度の関数でもあるが、温度特性については後章で述べる。

## 2.2 位相差弁別方式と時間差弁別方式の比較

両方式を比較すれば次のようになる。

- (1) 連続波を用いる位相差弁別方式では反射波の干渉により動作が不安定になるおそれがあるが、パルス波を用いる時間差弁別方式ではこのような影響を避けることができる。
- (2) 位相差弁別方式では位相差弁別範囲が 180 度以内に制約されるが、時間差弁別方式ではこのような制約がない。
- (3) 時間差弁別回路のほうが分解能のよいものを容易に製作することができる。

以上のように時間差弁別方式のほうが有利な点が多いので、われわれは試作装置に本方式を採用し、以下の検討を行なった。

## 3. 試作超音波濃度計の構成と動作特性

試作した超音波濃度計の外観を第2図に示す。同図で左側が基礎実験に用いた標準液槽および試料液槽で、右側が各部の電子管回路である。

この回路の構成図は第1図に示したとおりであるが、ここで CR 発振器はパルスのくり返し数を決めるための正弦波信号を発生する。パルスくり返し周波数  $f_M$  は1個のパルスによって送受波器間に生じた反射波が十分減衰し、次のパルスに対してなんらの影響も与えないような十分な時間間隔を置くことが望ましいので、あまり高くすることはできない。またくり返し周波数をあまり低くすると、時間差弁別回路の精度あるいは安定性を悪くするので、これらの点を考慮して、500~1,200 c/s を選んだ。

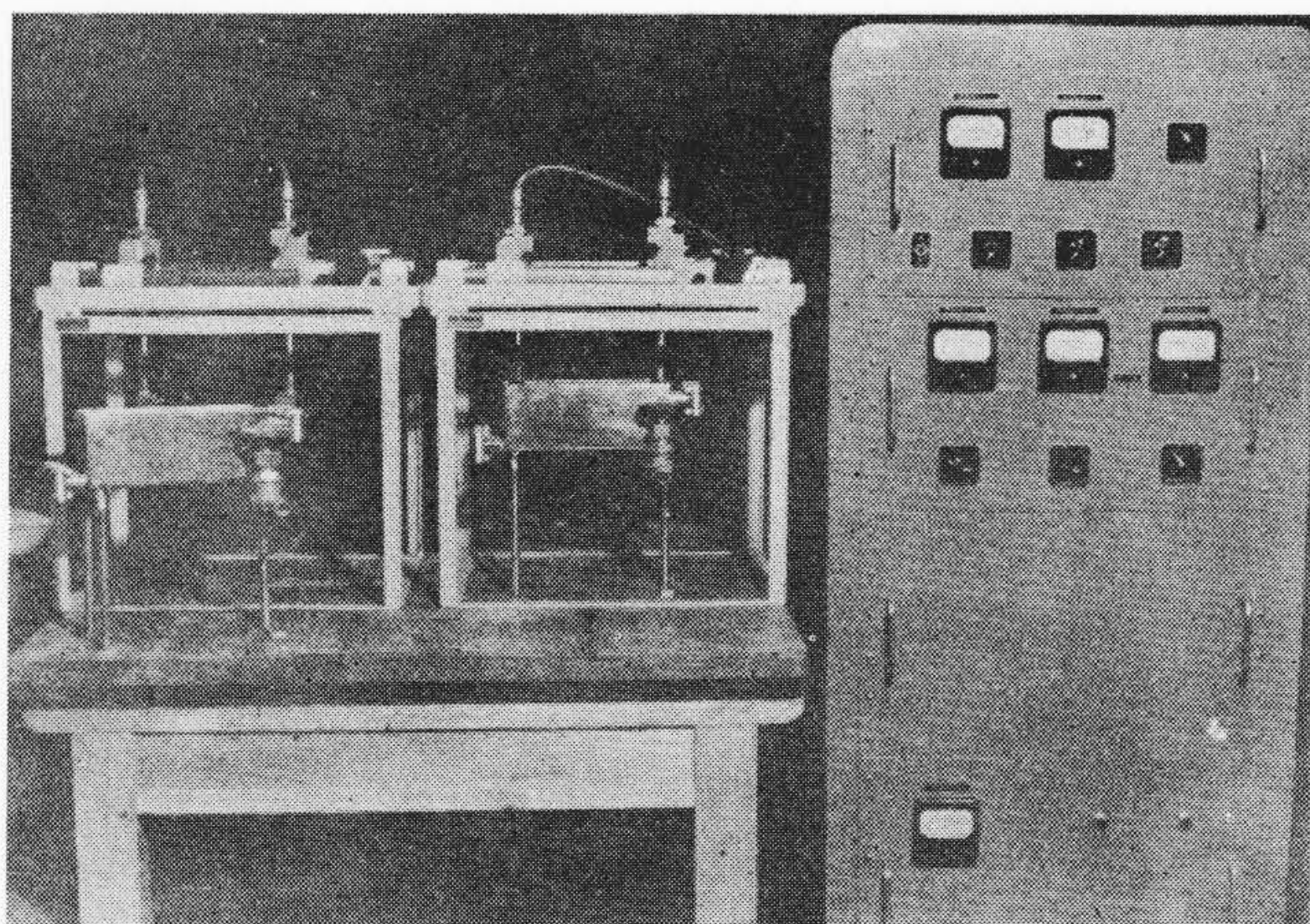
試作装置においては試料液槽と標準液槽を設けたが、これは通常濃度変化による音速の変化は僅少であるため、濃度を精度よく測定するのに音速の違いに基づく(1)式の  $\Delta t$  を検出するためである。したがって標準液槽は一種の遅延回路の機能を果たすものである。

かかる試作装置各部の信号波形の時間的關係は第3図のようになる。試料液槽と標準液槽の超音波到達時間差に相等する同時回路出力信号はのこぎり波発生回路を動作させるが、この傾斜が一定であれば、のこぎり波のピーク値は時間差  $\Delta t$  に比例する。この値はピーク値形真空管電圧計と同様の回路を通してメータに指示される。のこぎり波の傾斜は、積分回路の時定数を切り換えることにより変更し測定範囲の切り替えを行なうことができる。

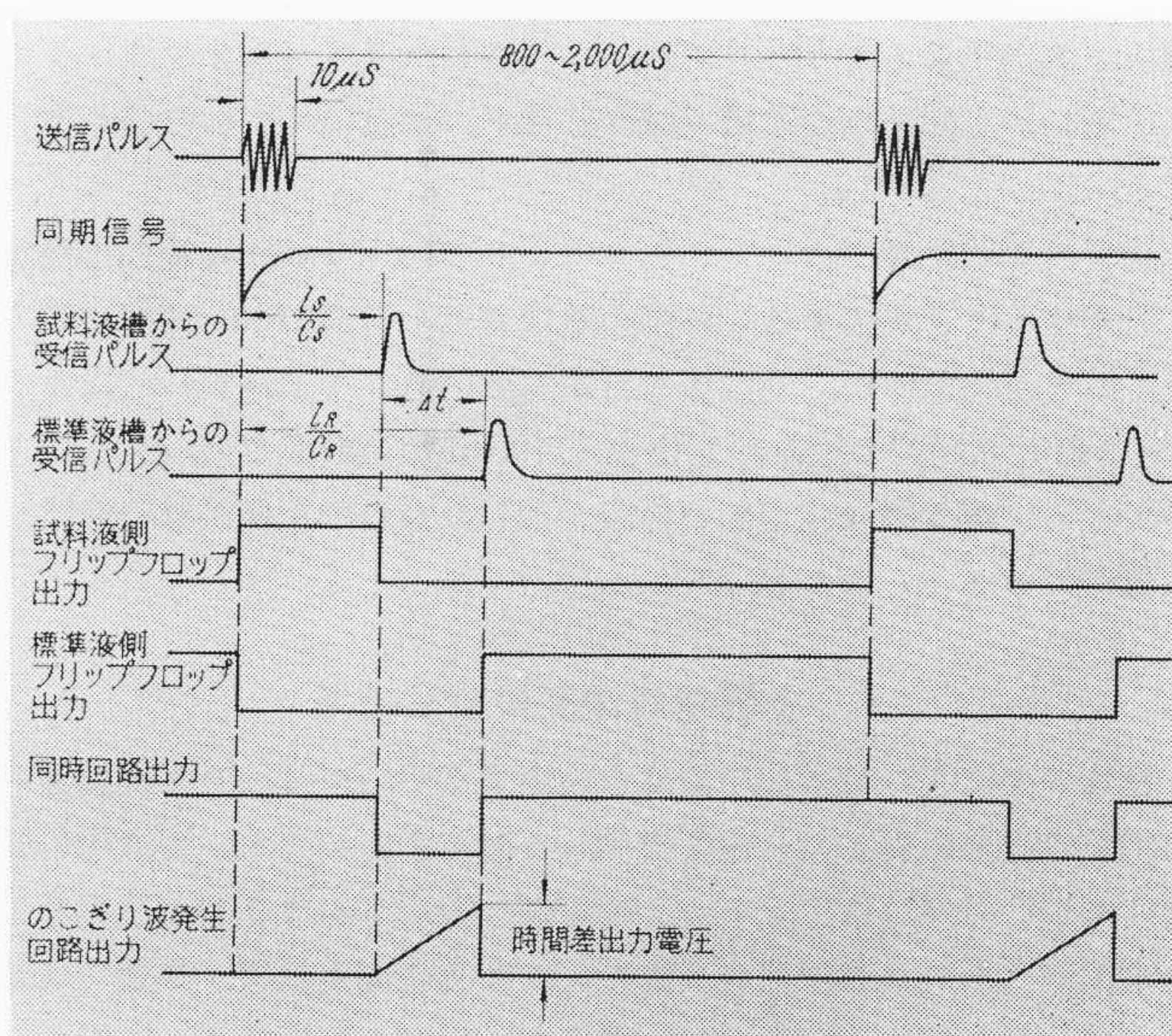
測定範囲は  $\Delta t$  が 3, 10, 30 および 100  $\mu s$  のとき出力電圧が DC 10V になるよう4種類設けた。各測定範囲における電圧計指示値と  $\Delta t$  の値を示す較正曲線は第4図のようになる。なおこの時間差出力電圧はプラント制御信号として用いることもできる。

本装置によれば 0.03  $\mu s$  の時間差変化を容易に識別できるが、電圧計指示値から得られる時間差  $\Delta t$  の値の誤差範囲は  $\pm 0.15 \mu s$  程度である。

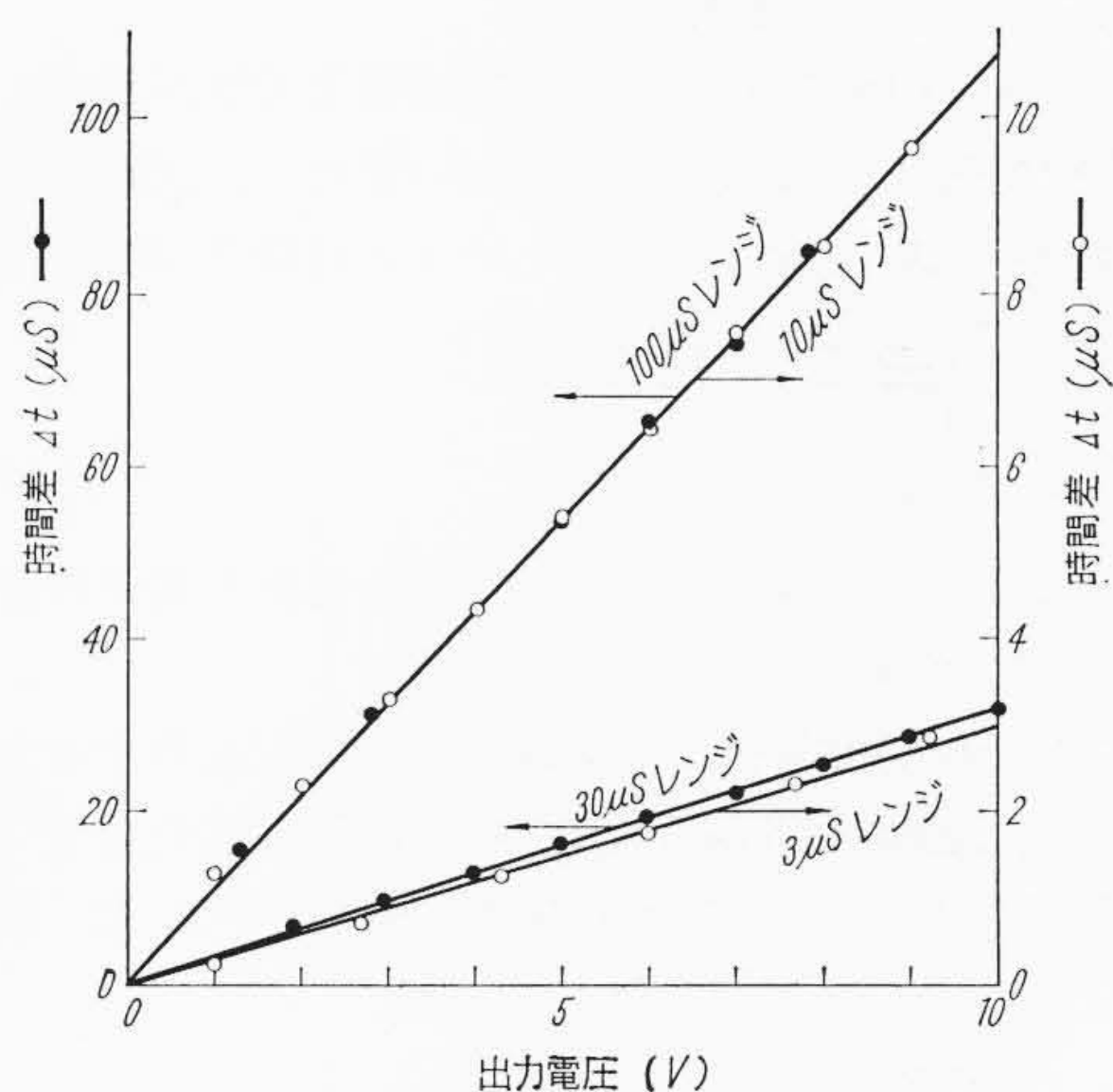
測定部は送波器、受波器、液槽および送受波器間距離を変化させ



第2図 試作超音波濃度計の外観



第3図 試作装置各部の信号波形の時間的關係

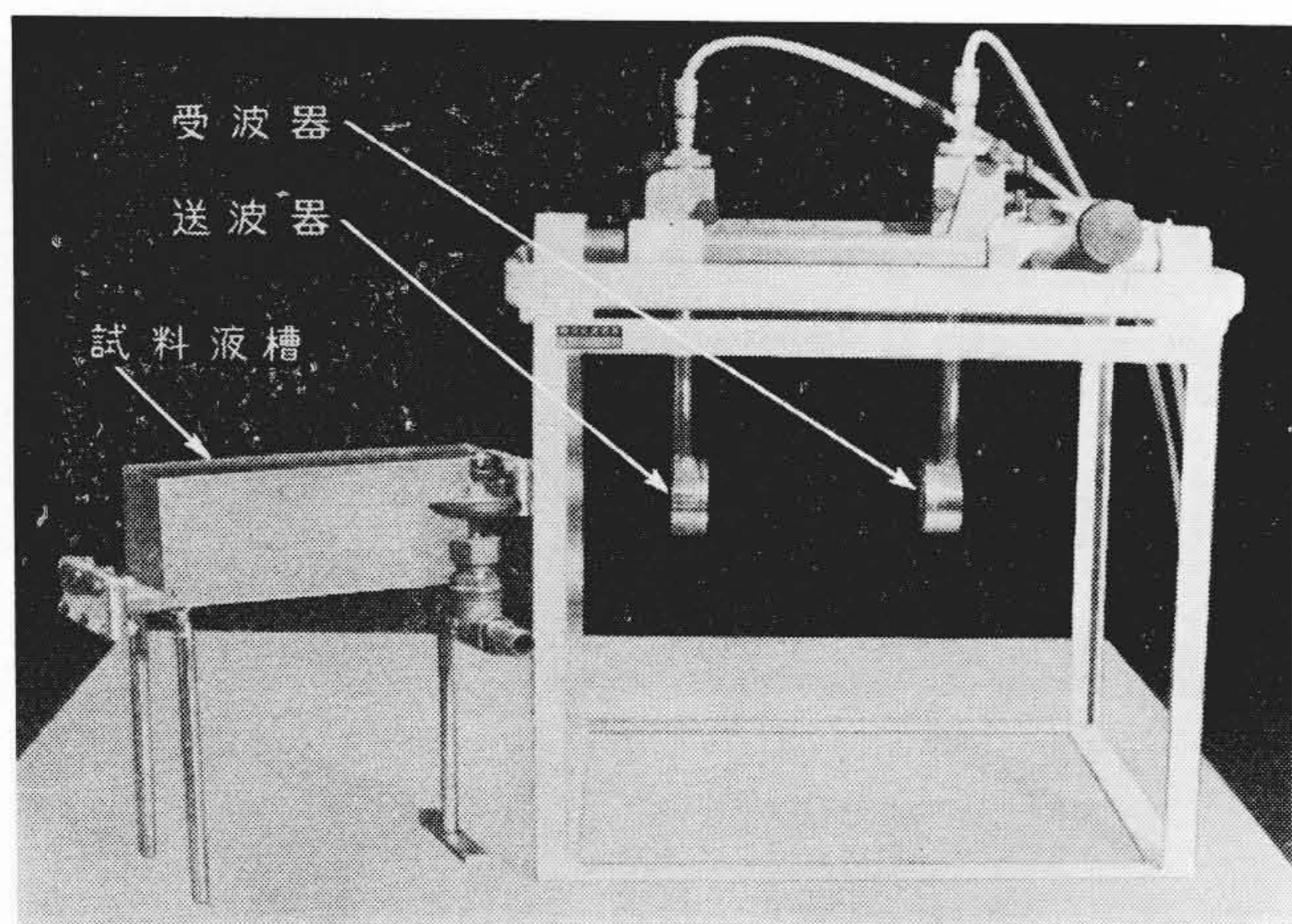


第4図 出力電圧-時間差  $\Delta t$  較正曲線

るためのカセットメータからなっており、これらは試料液系および標準液系の両系統に一組ずつ設けてある。

送波器および受波器は外径 50 mm  $\phi$ 、厚さ 25 mm の円柱形で、固有振動数 1 Mc の水晶振動子に腐食防止のためステンレス鋼板で被覆してある。振動板は直径 30 mm  $\phi$  の円形である。

基礎実験に用いた液槽は 200×80×55 mm 直方体のステンレス鋼製容器で、両側に長方形断面をもつフランジを接続し液を連続的に



第 5 図 試作濃度計の測定部の外観

流入，流出できるようにしてある。試作した濃度計をオンラインで用いるため上記と別の液槽を試作したが，これについては後章で述べる。

送受波器間距離はカセットメータにより 20～150 mm の範囲で任意に設定することができる。移動距離は普通の 1/10 mm 精度で読みとることができるが，受波器に付属しているダイヤルゲージにより 0～10 mm の範囲の距離の変化を 1/100 mm の精度で読みとることができる。第 5 図は測定部の外観を示したもので左側が試料液槽，右側がカセットメータの設けてある架台である。

#### 4. 各種溶液濃度の測定結果

音速の差によって溶液の濃度を検出するためには，まず被測定液の種々の濃度に対して音速度を測っておく必要がある。溶液中の音速度については，糖類，アルコール類，酸，アルカリおよび塩などの水溶液あるいは有機混合液について多くの測定結果が発表<sup>(4)</sup>されている。しかし，音速度は同一濃度でも温度と圧力によって異なるので<sup>(5)</sup>，種々の測定条件における音速度を求めておく必要がある。そこで本装置による音速度の測定方法と実測結果について述べる。

##### 4.1 液中音速度の測定法

本装置による液中の音速度測定には次の 2 方法がある。

(1) 標準液槽の送受波器間距離を一定にし，試料液槽の送受波器間距離  $l_s$  を  $\Delta l_s$  変化させたことによる時間差  $\Delta t$  の変化分  $\Delta(\Delta t)$  を測定し，試料液中の音速度  $C_s$  を

$$C_s = \frac{\Delta l_s}{\Delta(\Delta t)} \dots\dots\dots (2)$$

から求めることができる。ここで  $\Delta(\Delta t)$  は出力電圧の変化から読みとることができる。

(2)  $l_s$  を  $\Delta l_s$  変化させたとき  $\Delta t$  の変化分を相殺するように標準液槽の送受波器間距離  $l_R$  を変化させる。 $l_R$  の変化分を  $\Delta l_R$  とすれば，標準液中の音速度  $C_R$  が正確にわかっているれば，試料液中の音速度  $C_s$  は

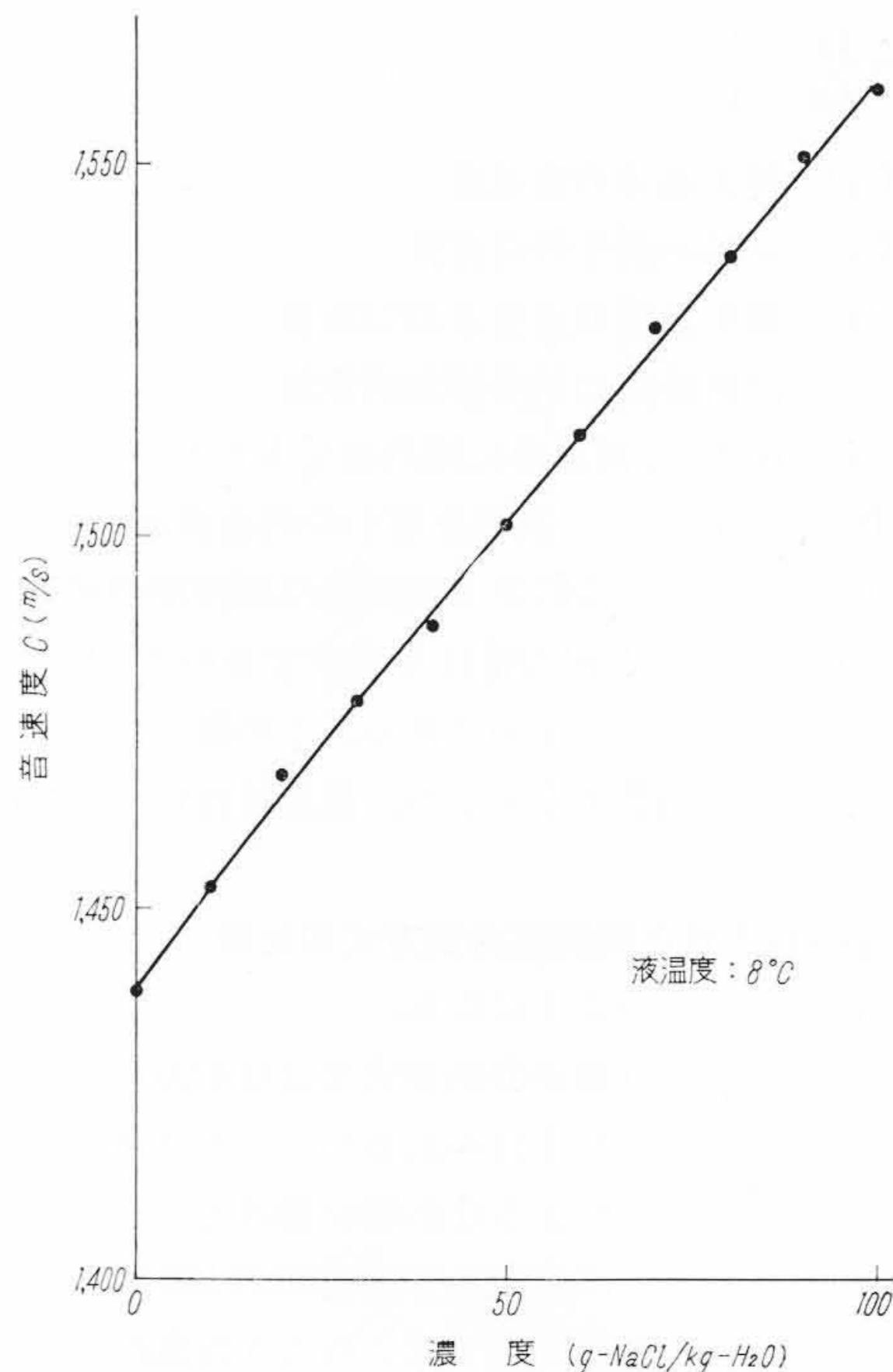
$$C_s = \frac{\Delta l_s}{\Delta l_R} C_R \dots\dots\dots (3)$$

から求めることができる。水中の音速度は種々の温度について正確に測定されているので，標準液として水を用いると便利である。

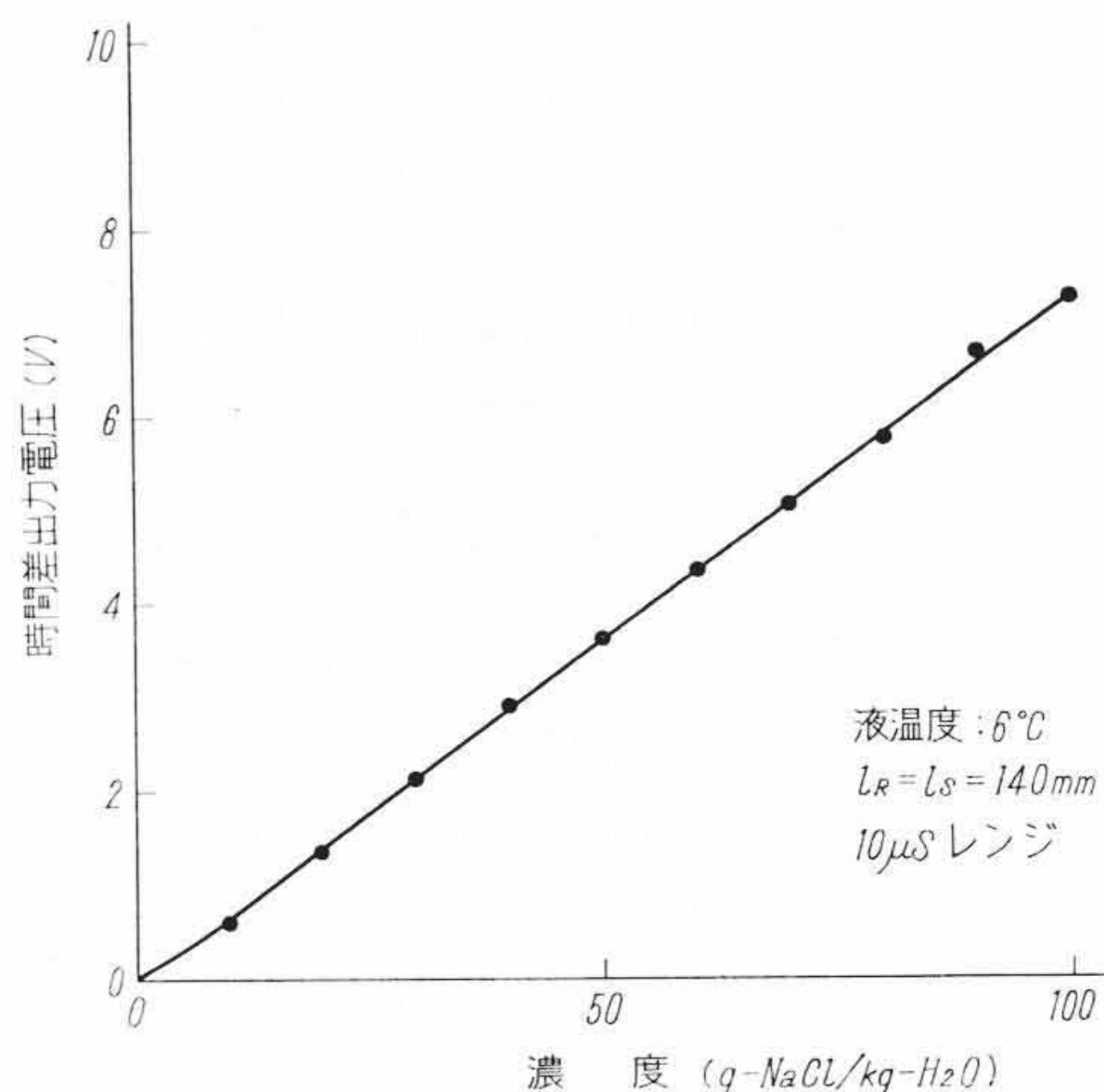
上記 2 方法を比較すれば，(1)の方法は簡便であるが  $\Delta(\Delta t)$  の読みとりの際に誤差を伴う可能性が大きいので，正確な測定には(2)の方法が適していると考えられる。

##### 4.2 実 測 例

本試作装置による各種溶液中の音速度または濃度の実測結果を以下に述べる。



第 6 図 食塩水の濃度と音速度の関係



第 7 図 食塩水濃度と出力電圧の関係

##### 4.2.1 食 塩 水

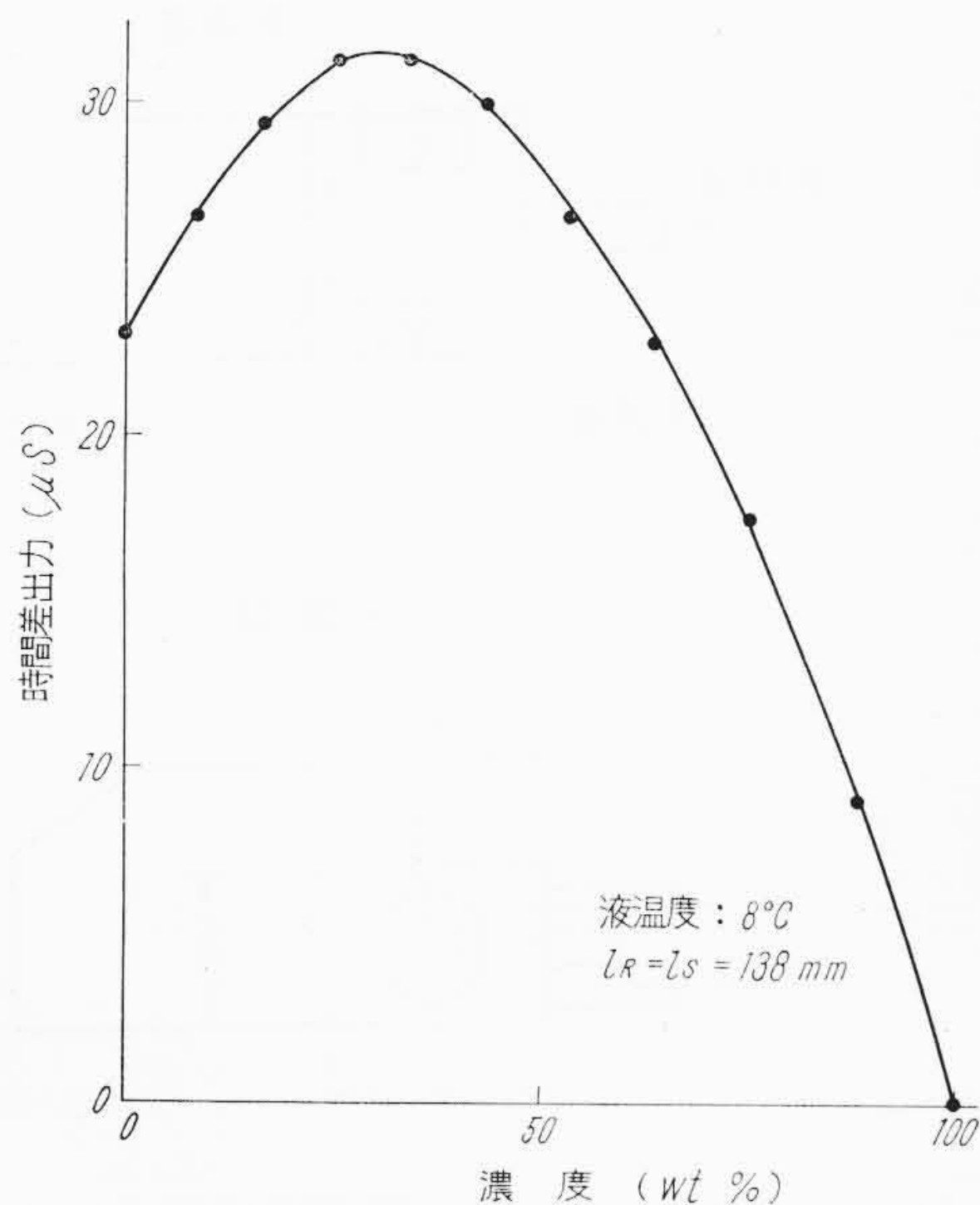
0～100 g NaCl/kg H<sub>2</sub>O の範囲で，液温 8℃ における音速度を前節(2)の方法で測定した結果を第 6 図に示す。この図から測定した濃度範囲では食塩水中の音速度は濃度とともにほぼ直線的に変化することがわかる。また第 7 図は濃度と出力電圧の関係を示したもので一般的にはある操作条件 ( $l_R$ ,  $l_s$ ,  $C_R$ ,  $T_s$  および  $T_R$ ) で試料液濃度と出力電圧の検量線をつくっておくほうが便利である。

##### 4.2.2 メ タ ノ ール

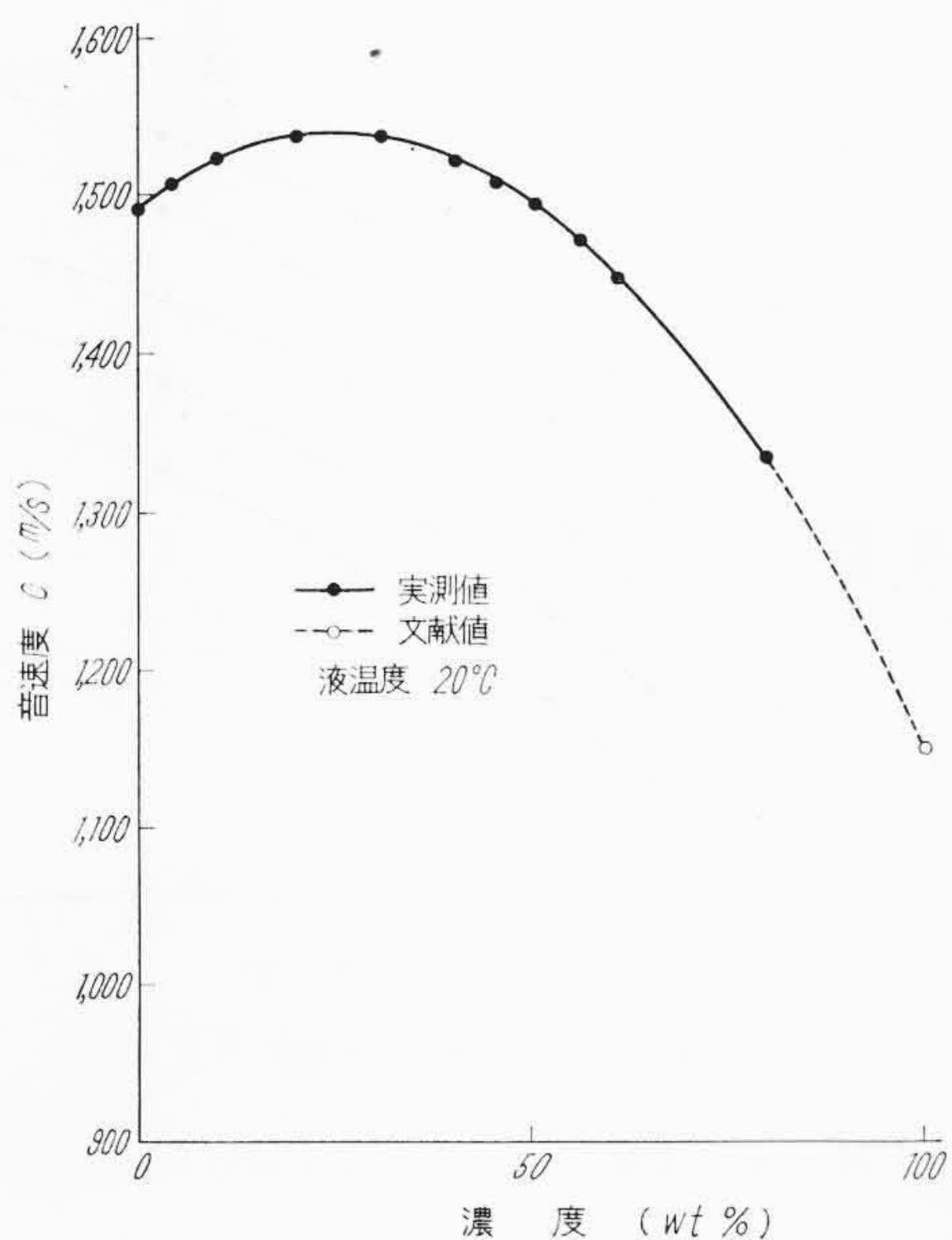
メタノールの濃度変化に対する時間差出力電圧の関係を第 8 図に示す。これは， $l_R = l_s = 138$  mm，液温 8℃ における測定結果で標準液に純メタノールを用いた。この図で注目されるのは，メタノール水溶液の時間差出力電圧，すなわち音速度は特定の濃度で極大値を有し，その前後で減少することである。したがってこのような溶液の濃度測定においては試料液が極大値の低濃度側にあるか高濃度側にあるかをなんらかの方法で判別する必要がある。

##### 4.2.3 酢 酸

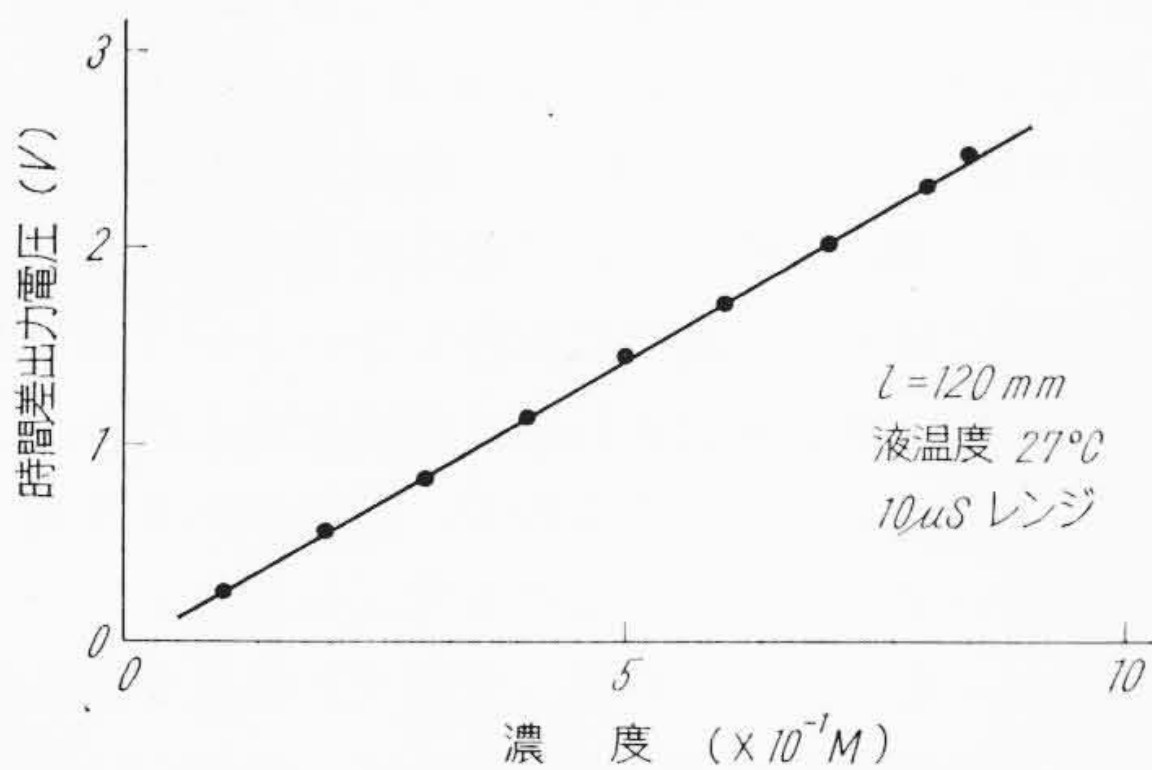
第 9 図は酢酸の濃度と音速度の関係を 20℃ で測定した結果である。酢酸もメタノールと同様 20～30 Wt% 付近で最大音速度の点が存在する。酢酸は音波の減衰がきわめて大きく，特に高濃度で



第8図 メタノール濃度と時間差出力の関係



第9図 酢酸濃度と音速度の関係

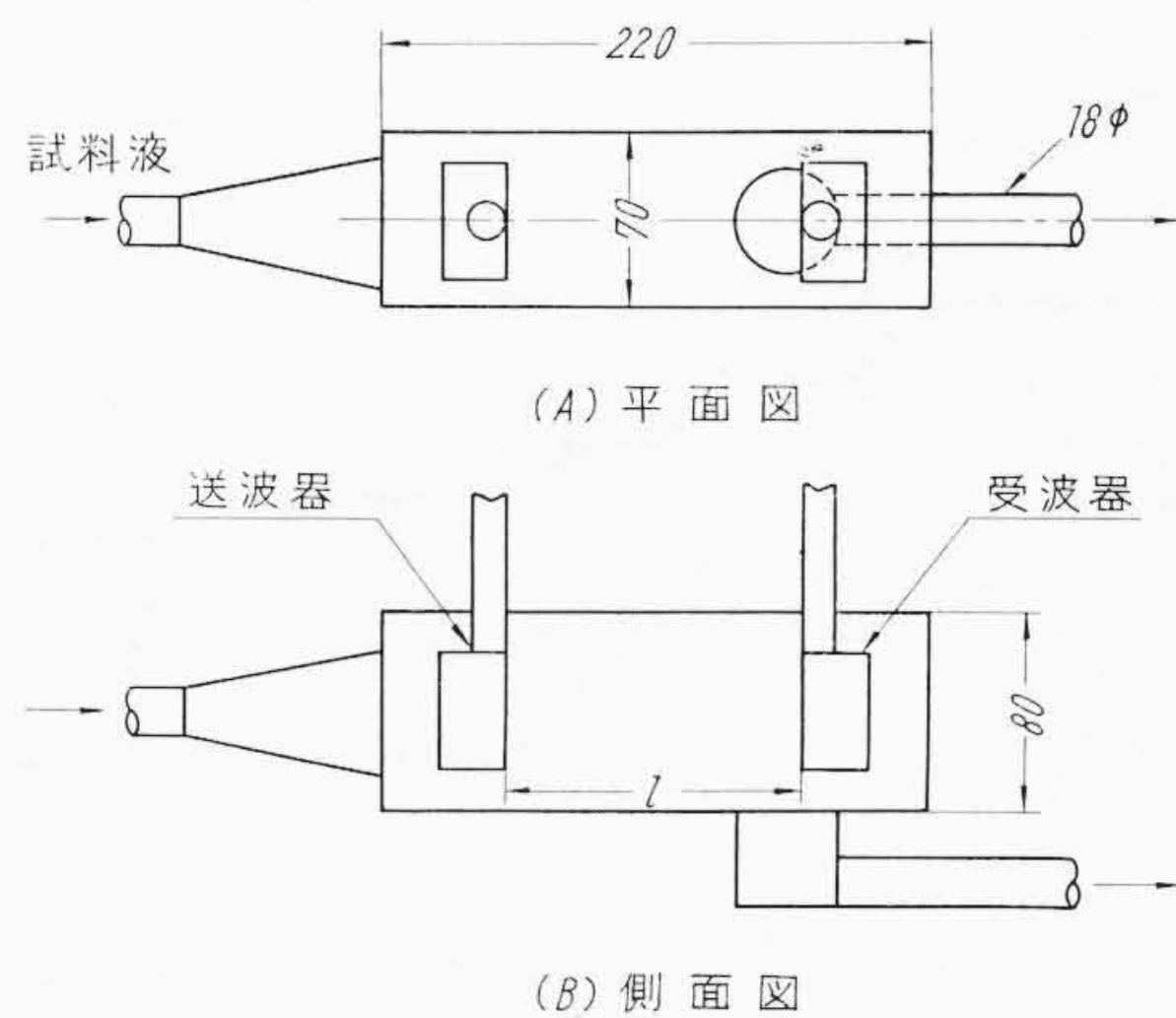


第10図 ウラン濃度と出力電圧の関係

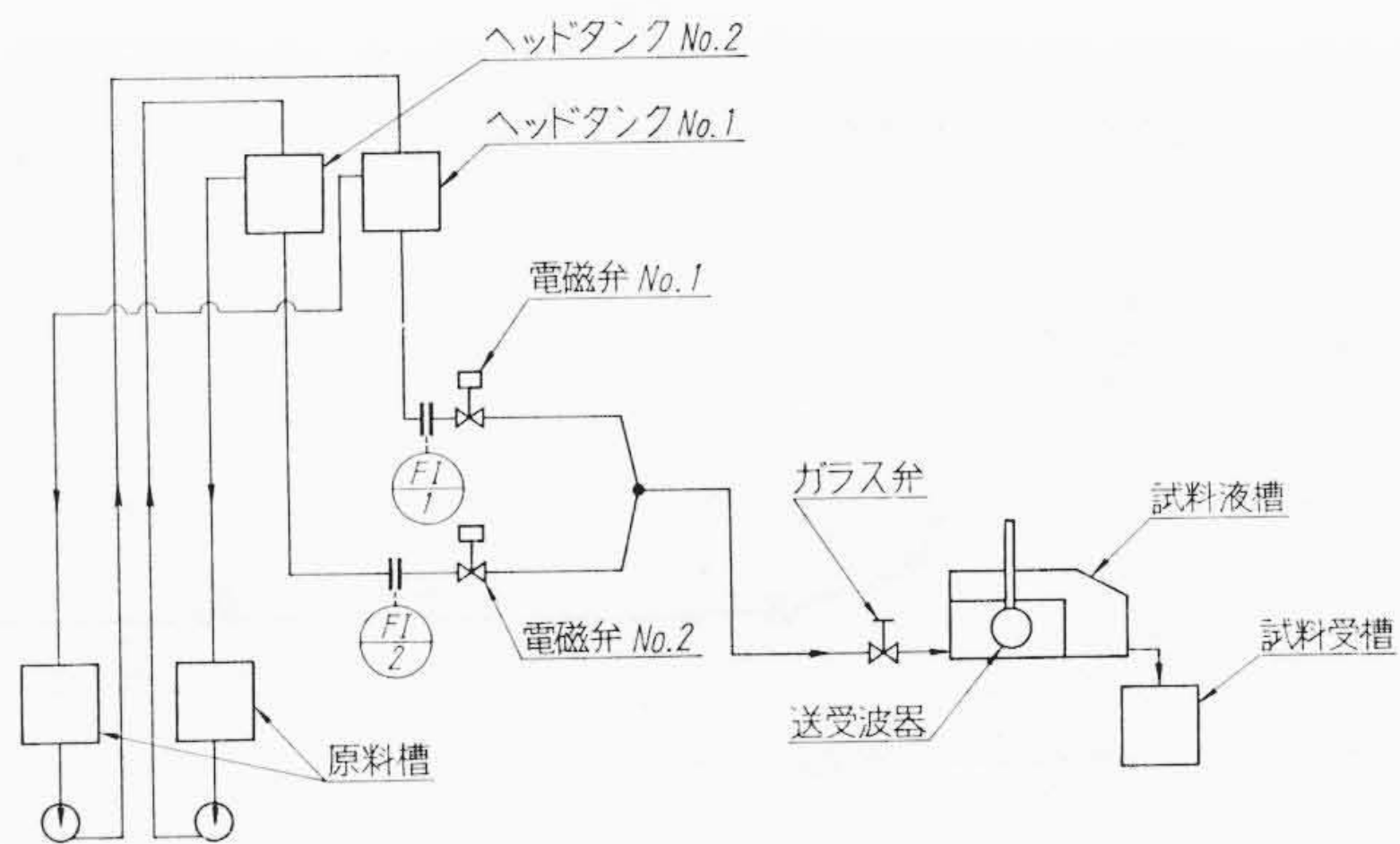
は受信パルス振幅が減衰するので測定は困難であった。それゆえ 100 Wt% の値は文献<sup>(6)</sup>から取り 80~100 Wt% の範囲は点線で推定した。

#### 4.2.4 硝酸ウラニル水溶液

標準液に水、試料液に硝酸ウラニル水溶液を用いてウラン濃度の測定を行なった。測定結果を第10図に示す。送受波器間距離は 120 mm で、測定感度は 10  $\mu s$  レンジで 2.85 V/M となり、0.1 M 以上の濃度において十分測定可能である。



第11図 試作試料液槽 (流れに平行)



第12図 濃度測定フロー線図

### 5. 連続濃度測定用試料液槽の検討

連続して流れる試料液の濃度を測定するため、流れの中に送波器、受波器を設置する場合、超音波の伝搬進路と試料液の流れが平行の場合と直角の場合が考えられる。このような2種類の試料液槽を試作し連続測定の面からそれぞれの特長を検討した。

#### 5.1 超音波の伝搬が試料液の流れに平行の場合

この方式の試料液槽の構造を第11図に示す。この試料液槽の特長は、送受波器間距離を比較的大きくとれるが、送、受波器が流れをさえぎるように配置されるため流れが乱される欠点がある。

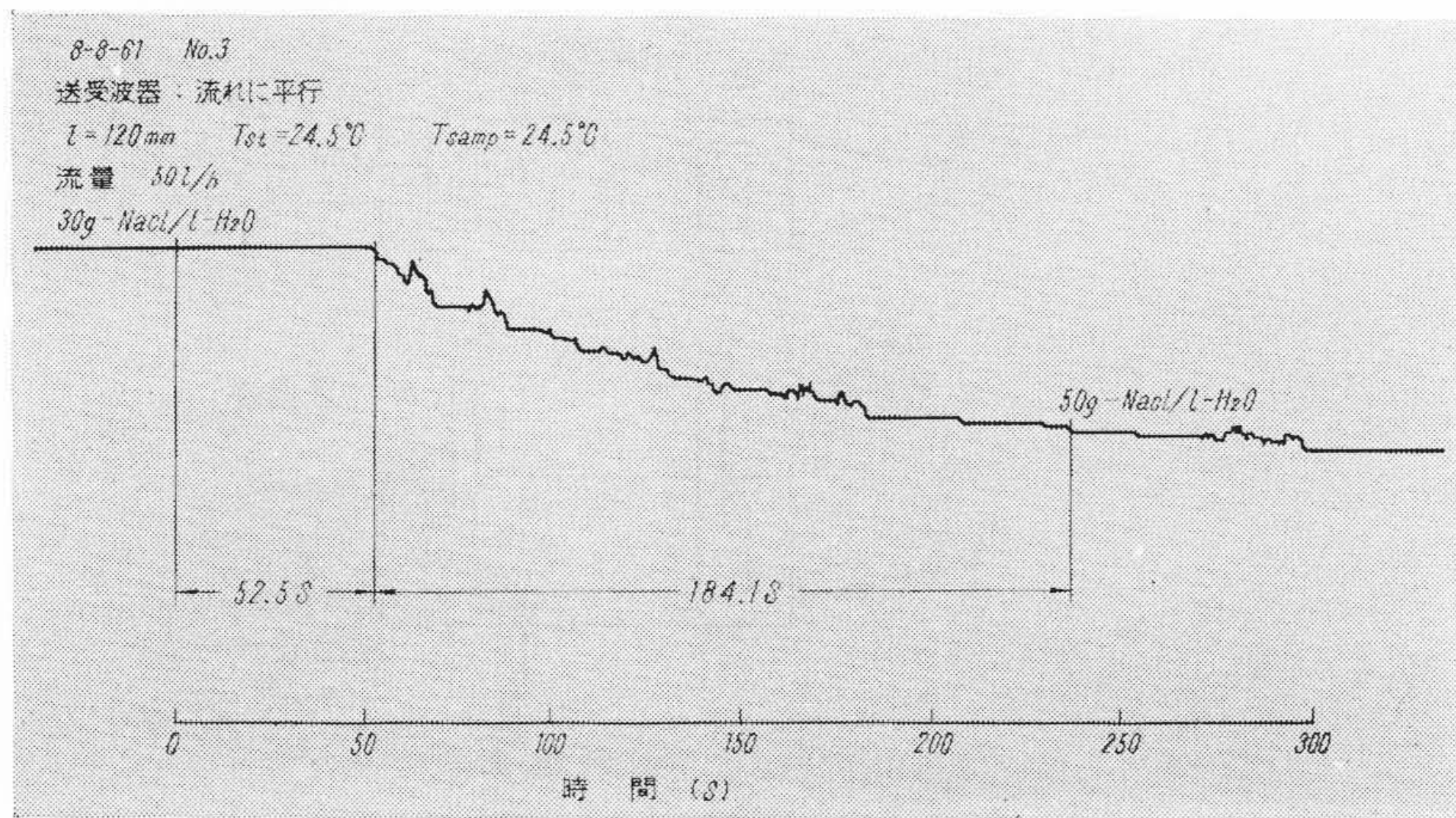
次に流速の音速に対する影響が考えられるが、通常の流量範囲(たとえば 50~500 l/h) 程度ではほとんど影響しないことを実験的に確かめた。

本試料液槽を用いて連続濃度測定を行なう場合の系統図を第12図に示す。この系統図で試料液に食塩水を用い、濃度をステップ状に変えた場合の濃度計の出力電圧の変化を測定した。測定結果を第13図に示す。初期濃度は 30 g-NaCl/l-H<sub>2</sub>O、切り換え後の濃度は 50 g-NaCl/l-H<sub>2</sub>O で、時間は電磁弁切り換え後の時間を表わしている。測定結果より遅れ時間は 52.5 秒で、最終濃度信号に落ち着く時間は 184.1 秒となっている。この遅れ時間は電磁弁から試料液槽までと試料液槽内部の二つに分けられるが、前者は約 33 秒と考えられるので、試料液槽内の遅れ時間は約 19 秒となる。また第13図の結果で濃度信号が安定な値になるまでの時間が長い、これは送、受波器が流れを乱しているためと考えられる。

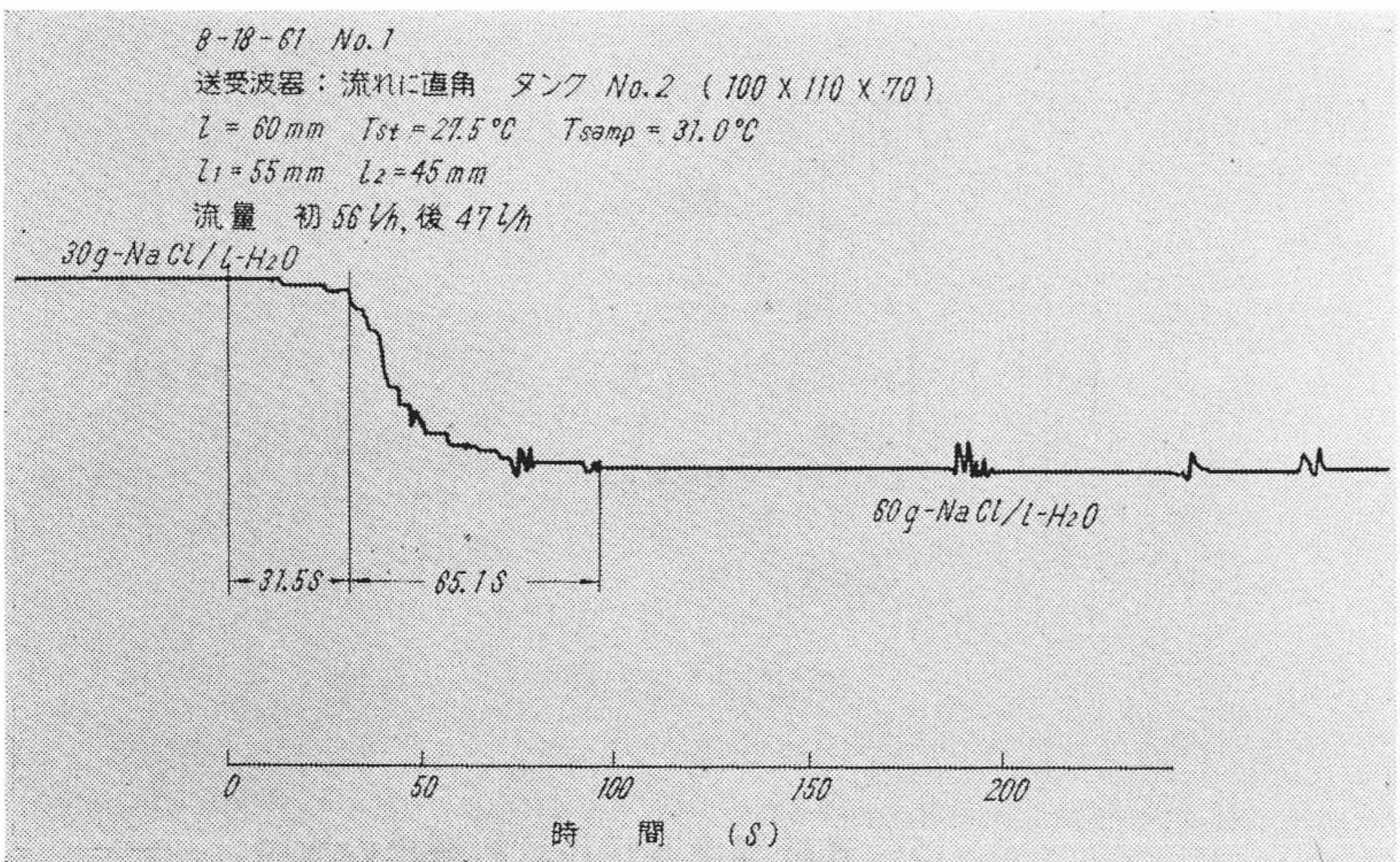
#### 5.2 超音波の伝搬が流れに直角の場合

本方式の試料液槽の構造を第14図に示す。試料液は送、受波器間を通してあふれざきから越流するが、このせきを高くして流出用配管を設けることもできる。

この試料液槽を用いて、前節と同様に測定した結果を第15図に



第 13 図 濃度測定結果 (流れに平行)



第 15 図 濃度測定結果 (流れに直角)

示す。これは流量が  $47\text{l/h}$  の場合で、遅れ時間は  $31.5$  秒、最終到達時間は  $65.1$  秒となっている。この結果を第 13 図の結果と比較すれば、遅れ時間、最終到達時間ともかなり短縮されていることがわかる。特に最終到達時間が約半になっているのが注目されるが、これは送、受波器が流れを乱さないためと考えられる。

### 5.3 最適試料液槽の検討

以上の実験結果から試料液槽としては、液の交替ができるだけすみやかに行なわれるように、超音波の伝搬が試料液の流れに直角になる方式が好ましく、またこのような試料液槽においても送受波器間距離をできるだけ短くして液槽の容積を小さくすることが必要である。しかし送受波器間距離を短くすると感度が低下するので、極端に短くすることはできない。この関係は被測定液、測定濃度範囲などによって異なるが、本装置ではほぼ  $60\sim 80\text{mm}$  にすることが望ましい。

## 6. 温度補償法の検討

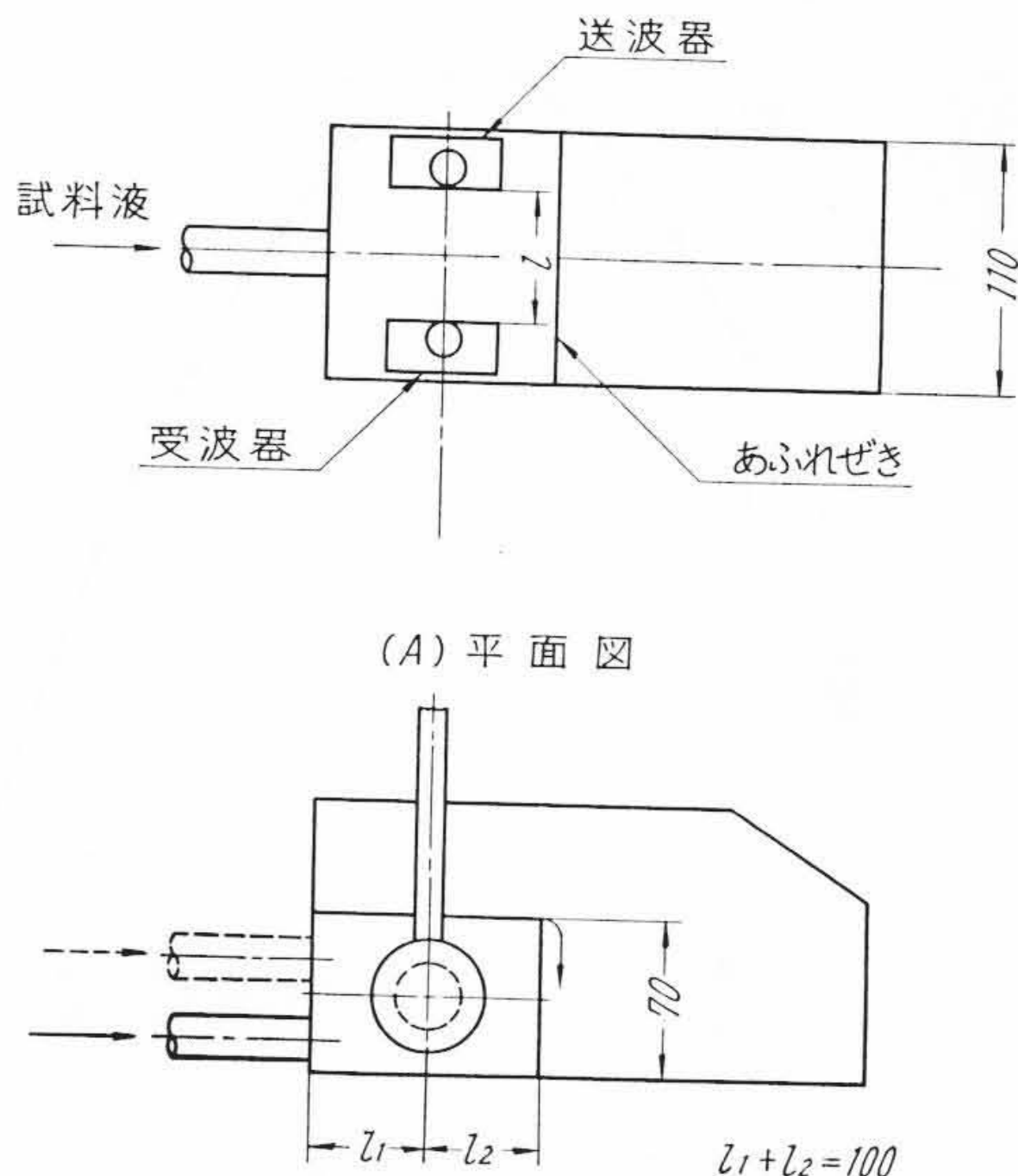
溶液中の音速は濃度によって変化することは上記の実験結果から明らかであるが、さらに温度によっても著しく変化するため、なんらかの方法により温度の影響を補償することが必要である。以下、超音波濃度計の温度特性および温度補償回路などについて検討する。

### 6.1 超音波濃度計の温度特性

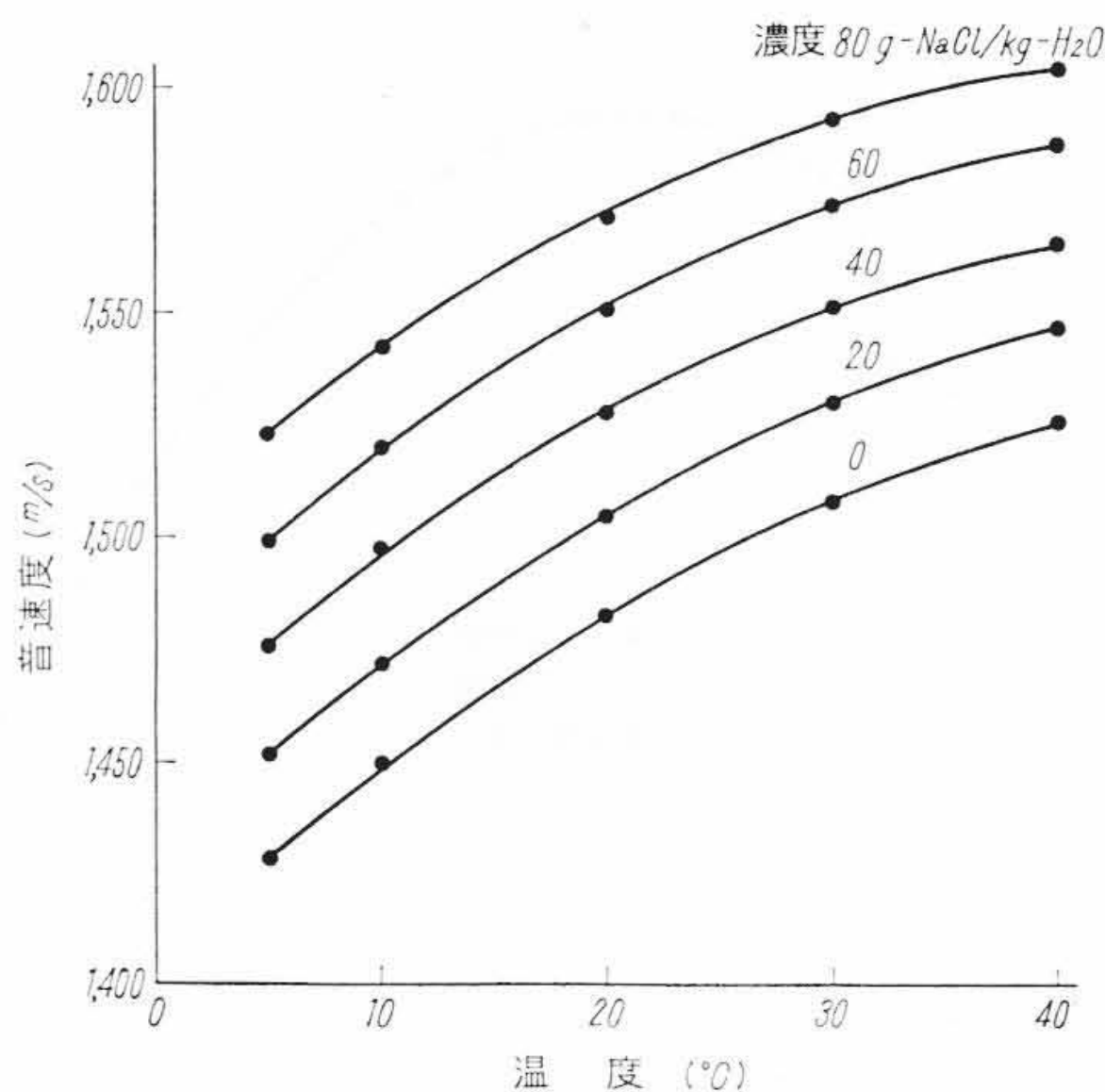
溶液中の音速  $C$  は

$$C = \sqrt{\frac{k}{\rho}} \dots\dots\dots (4)$$

$k$  : 体積弾性率                       $\rho$  : 密度



第 14 図 試作試料液槽 (流れに直角)



第 16 図 食塩水中音速度の温度特性

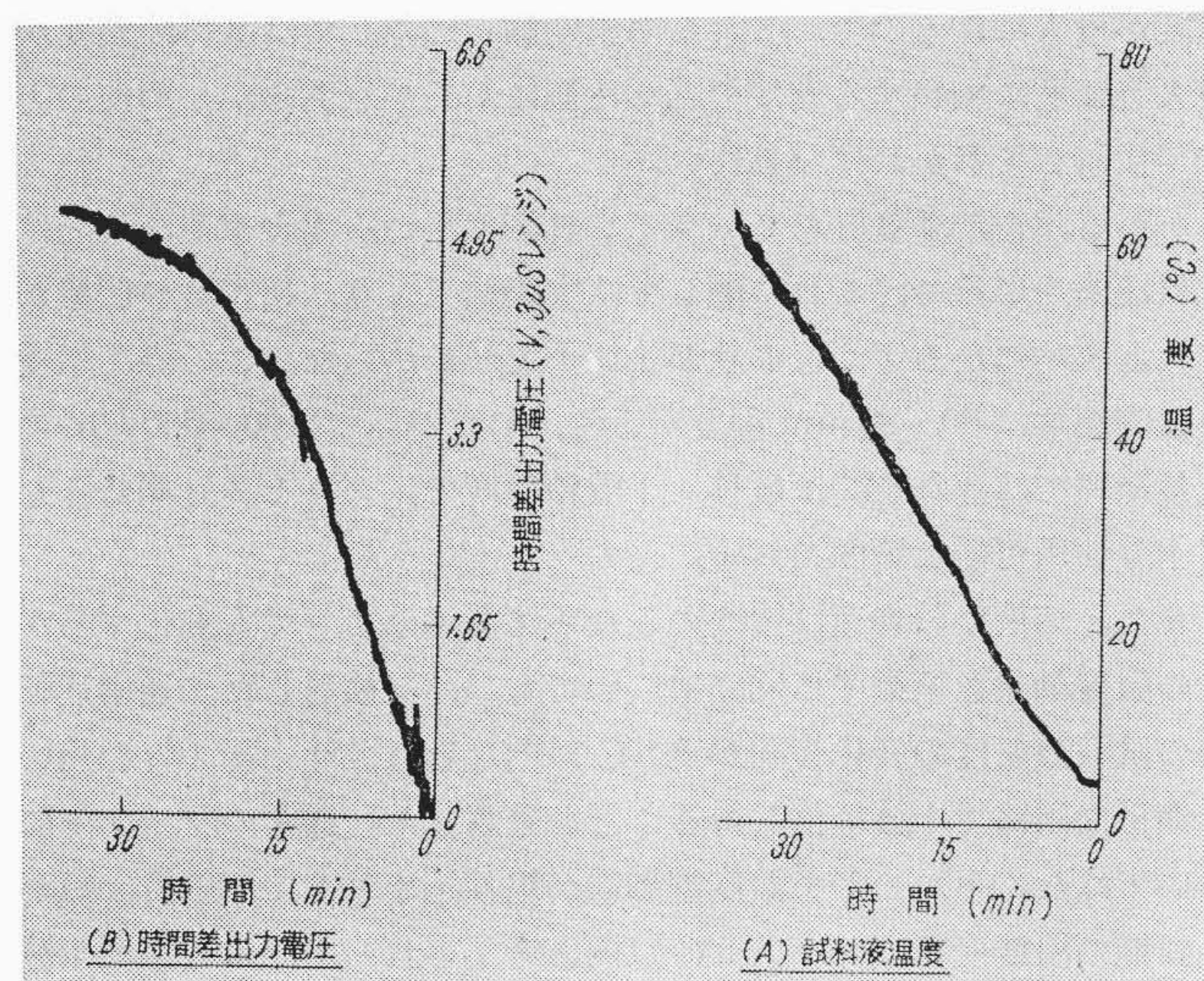
である。  $\rho$ ,  $k$  は溶液の濃度によって変化すると同時に温度の関数でもある。

温度による音速の変化については種々の溶液について実験されているが、食塩水についての実験結果を示せば第 16 図のようになる。この図から  $20^{\circ}\text{C}$  近傍では  $8\sim 9^{\circ}\text{C}$  の温度変化は濃度にして  $20\text{g-NaCl/kg-H}_2\text{O}$  の変化に相当しており、温度の影響はかなり大きいことがわかる。また第 16 図において他に注目すべき点は、音速に及ぼす温度の影響はほとんど濃度に依存しないということで、これは温度補償回路を設計する場合きわめて重要な点となる。このような特性は主として溶媒に依存するもので、濃度があまり高くない場合は他の溶液についても成りたつものと考えられる。

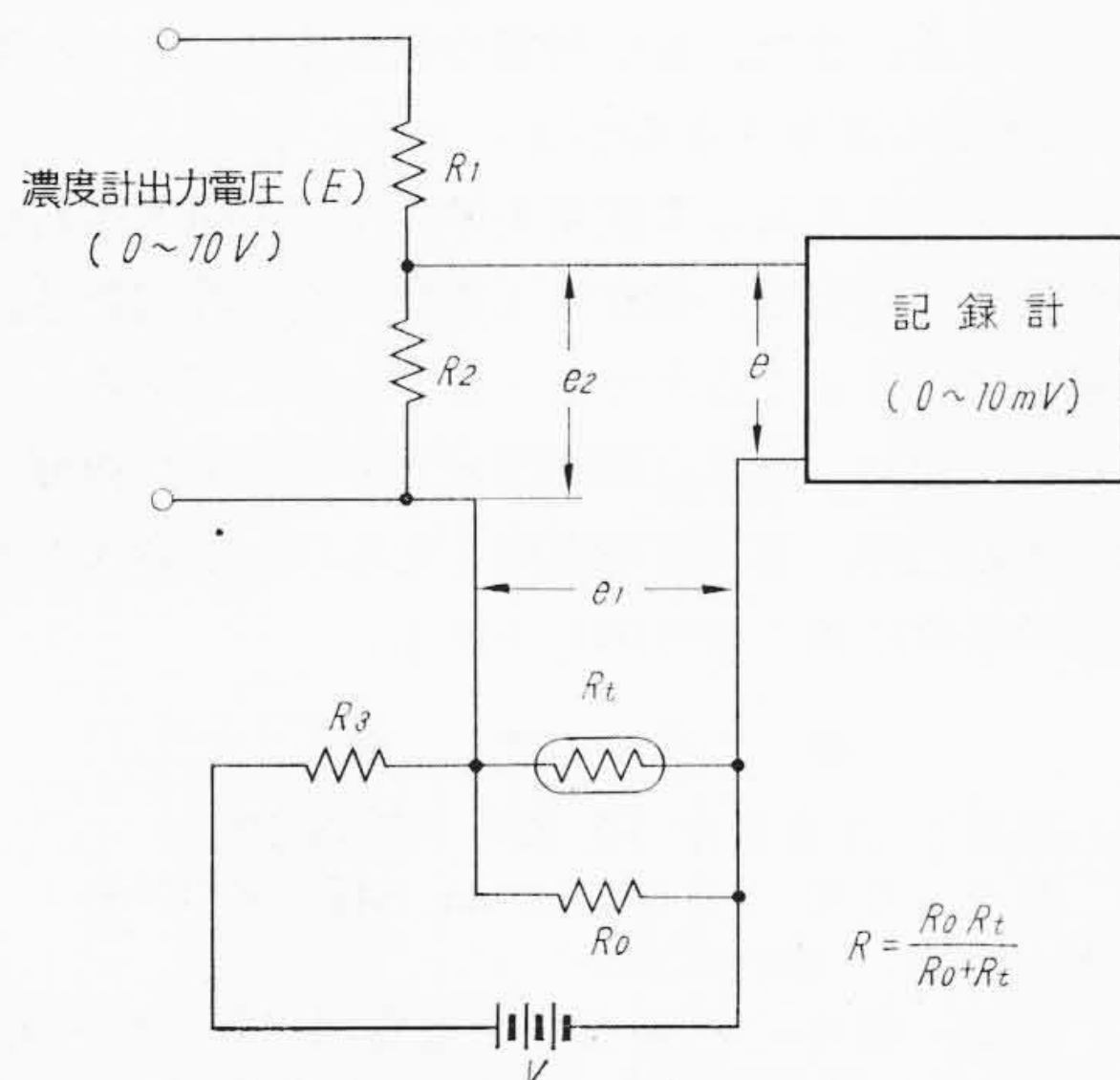
標準液の温度を一定とし、試料液 (食塩水) 温度を変えた場合の時間差出力電圧の実測結果を第 17 図に示す。同図 (A) は試料液温度、(B) は時間差出力電圧の変化を示したもので  $3\mu\text{s}$  レンジで測定した結果である。このような測定結果から、各試料液に対する温度係数を求めることができる。

### 6.2 温度補償回路の検討

超音波濃度計をオンラインで用いる場合、標準液は静止しているのでこれの温度を一定に保つことはさほど困難でないが、試料液は絶えずプラントから流れてくるため、これの温度を一定に保つことは困難である。超音波濃度計の温度特性はたとえば温度とともに音速度が増加するような試料液に対しては正の温度係数をもっている



第 17 図 出力電圧におよぼす温度の影響



第 18 図 電圧差動式補償回路 (1)

ので、これを補償するためには負の温度係数をもつ要素を用いて補償回路を構成しなければならない。また負の温度係数をもつ試料液に対しては正の温度係数をもつ要素を用いればよい。

温度補償法としては、超音波濃度計の出力電圧のうち温度による変化分を外部回路で補償する方法と試料液槽の温度変化分を標準液槽の送受波器間距離によって補償する方法がある。

### 6.2.1 電圧差動式補償回路

本補償回路は試料液中にサーミスタなど温度によって変化する抵抗要素を用いて、濃度計の出力電圧の温度による影響分を差引く方式で、本回路図を第 18 図<sup>(7)</sup>に示す。この回路は標準液の温度が一定で試料液の温度が変わる場合の補償回路である。同図で濃度計の出力電圧  $E$  を

$$E = E_1 + A \cdot \Delta T \quad (5)$$

$A$ : 出力電圧の温度係数

$\Delta T$ : 標準温度からの変化分

$E_1$ : 標準温度での濃度によって変わる電圧

とし、サーミスタ回路の合成抵抗  $R$  を一次式で

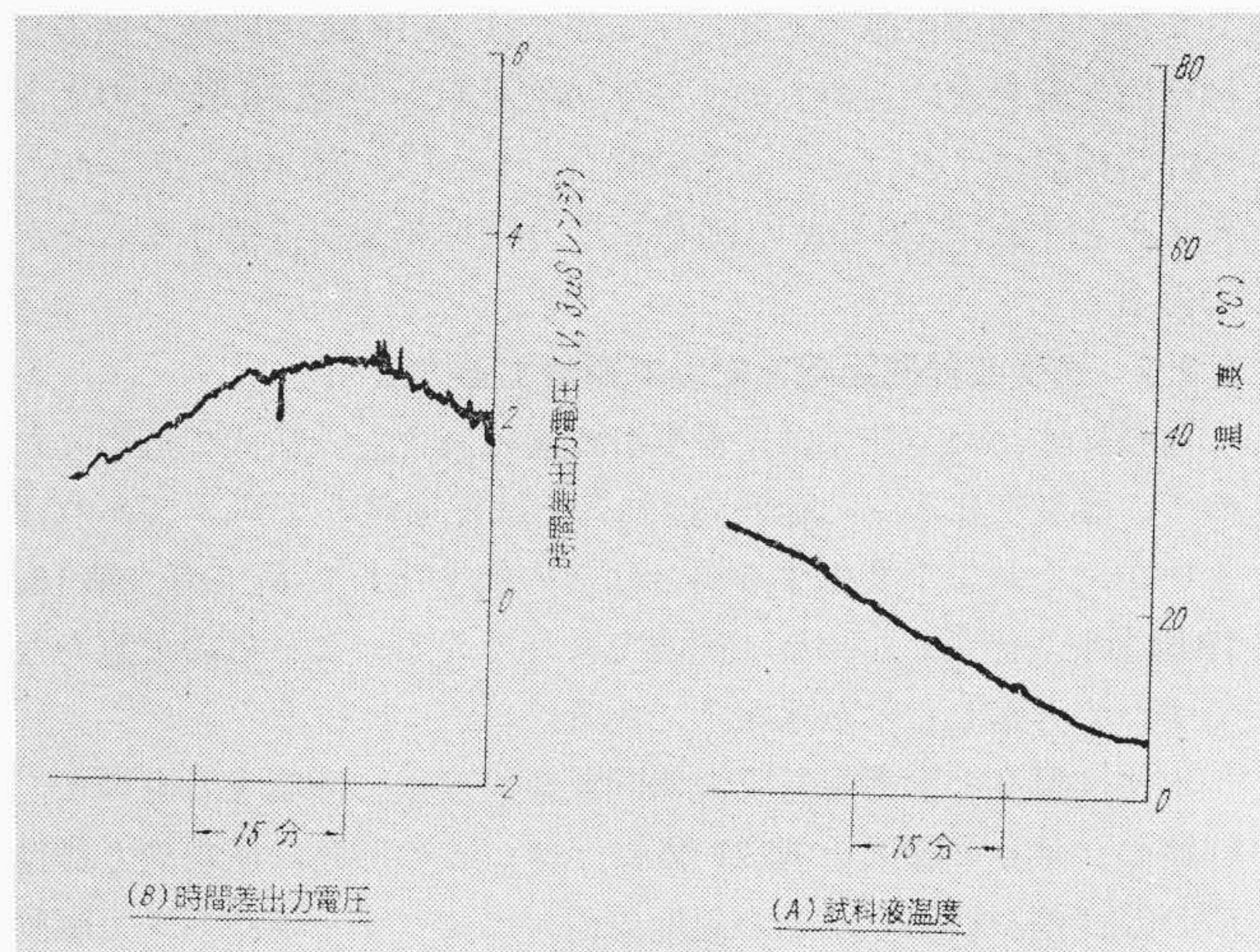
$$R = r_0(1 - \beta \cdot \Delta T) \quad (6)$$

$r_0$ : 標準温度での合成抵抗値

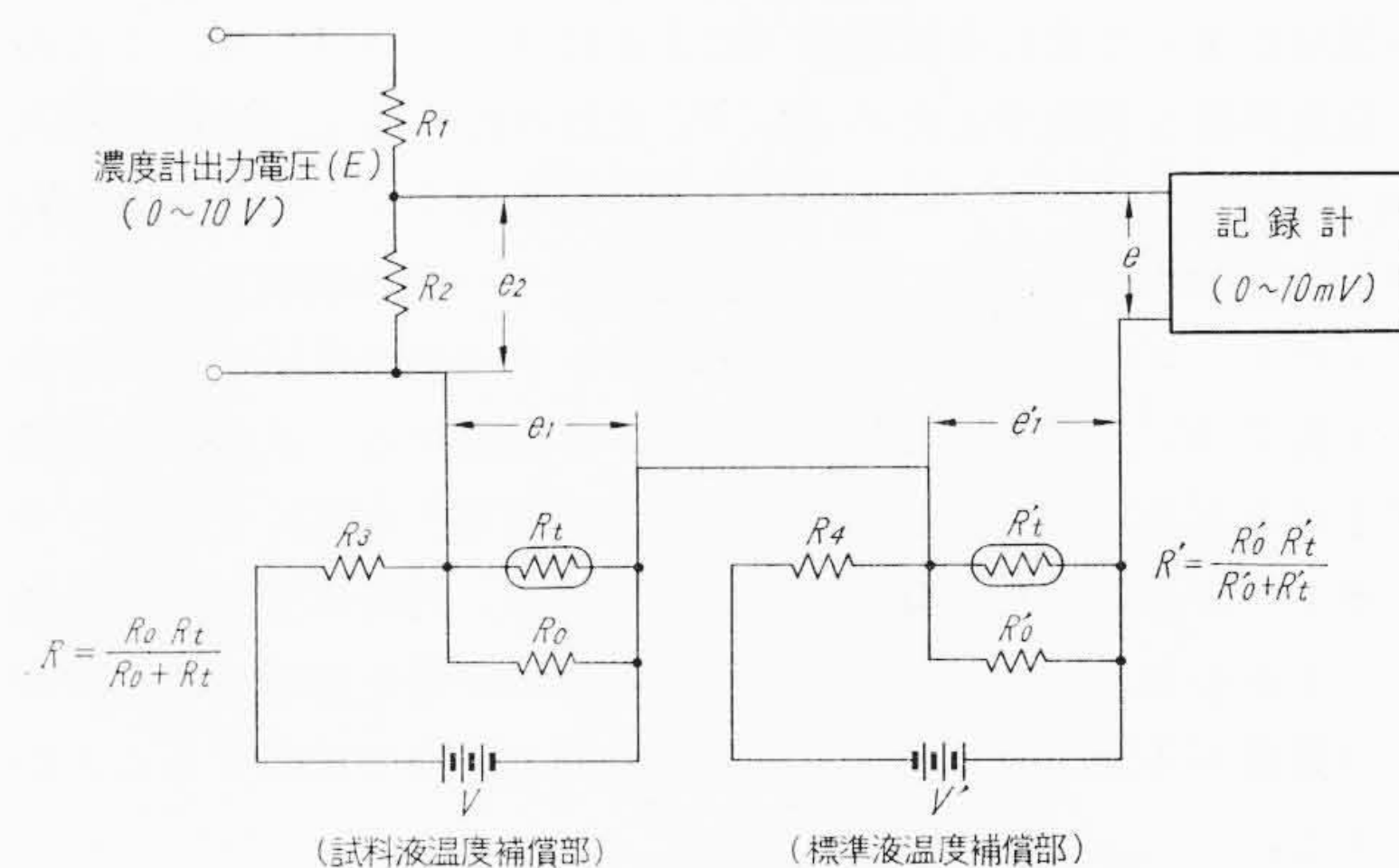
$\beta$ : 抵抗温度係数

$\Delta T$ : 標準温度からの変化分

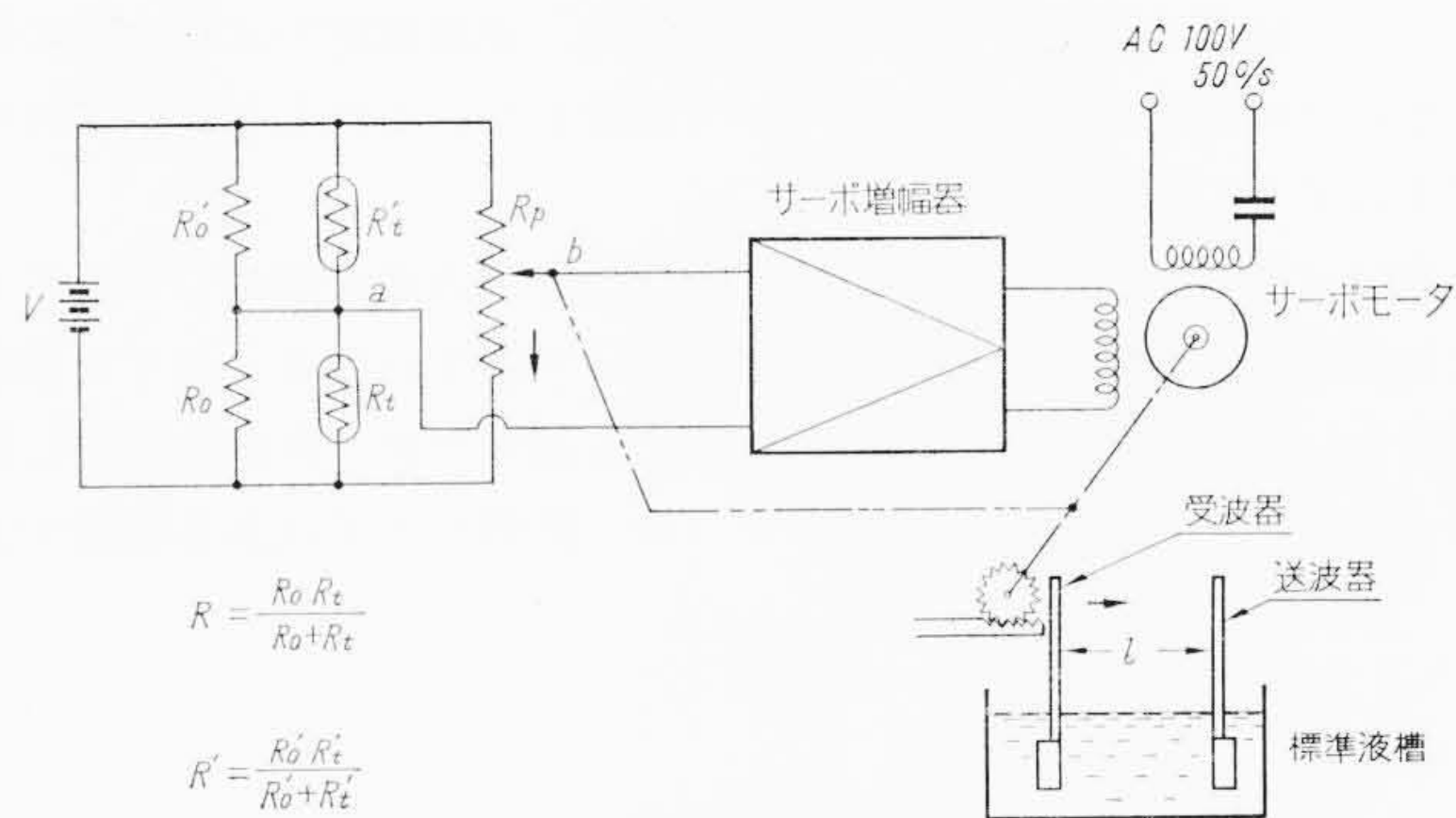
と近似すれば、記録計の入力電圧  $e$  は



第 19 図 出力電圧温度補償結果



第 20 図 電圧差動式補償回路 (2) (両液温度補償用)



第 21 図 送受波器間距離の変化による温度補償回路

$$e = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E_1 + \frac{r_0 \cdot V}{R_3} + \left( \frac{R_2 A}{R_1 + R_2} - \frac{r_0 V \beta}{R_3} \right) \Delta T \quad (7)$$

となる。したがって

$$\frac{R_2 A}{R_1 + R_2} = \frac{r_0 V \beta}{R_3} \quad (8)$$

となるように  $A$  と  $\beta$  の関係を定めれば、記録計の入力電圧は温度に影響されず濃度のみの関数となる。

この回路を用いて温度補償した結果を第 19 図に示す。これは送受波器間距離 60 mm、標準液の温度 4°C で試料液温度を変えた場合の出力電圧を記録したもので、標準試料液温度が 15°C になるよう各部の定数を定めた。実測結果では標準温度の  $\pm 5^\circ\text{C}$  の範囲でよく温度補償されていることがわかる。さらに温度が高くなると出力電圧は低下しているが、これは濃度計の温度係数が小さくなり、補償回路は過補償になっているためである。

また、標準液の温度も変化する場合、第 18 図の回路を拡張し標準液と試料液におのおのサーミスタを用いて第 20 図<sup>(8)</sup>のような回路構成にすればよい。この場合、 $V=V'$ ,  $R_3=R_4$ ,  $r_0=r_0'$ ,  $\beta=\beta'$  とすれば (8) 式の関係により温度効果を補償することができる。

### 6.2.2 送受波器間距離を変えて補償する方法

前項に述べた方法では、濃度計の温度特性を一次式で近似したので、温度変化がある範囲内（たとえば標準値の $\pm 5^\circ\text{C}$ ）であればよいが、それ以上変化する場合、 $\beta$  の値すなわち  $R_0$  の値（第 18, 19 図参照）を変えなければ補償できなくなる。これらの欠点をなくすため考案したのが本法<sup>(9)</sup>である。

本法は温度の影響を送受波器間距離を変えて補償するもので、回路のブロック線図を第 21 図に示す。この回路は試料液と標準液の温度差を検出し、この温度差信号によりサーボモータを駆動して標準液槽の送受波器間距離を変え温度差に相当する分を距離で補償せんとする方法である。同図で  $R_t$  は試料液、 $R_t'$  は標準液の温度によって変わる抵抗体（たとえばサーミスタ）で、これらの温度係数を調整するため  $R_0$ ,  $R_0'$  を設けた。 $R_t$  と  $R_t'$  の接続点（a 点）とサーボモータによって駆動されるポテンショメータ  $R_p$  のしゅう動点（b 点）との間の誤差電圧をサーボ増幅器で増幅し、サーボモータを駆動させる。サーボモータは誤差電圧が零になるまで前記  $R_p$  と受波器移動用ピニオンを駆動する。試料液の温度が上がると a 点の電位が下がるため、誤差電圧を零にするようサーボモータが回転し、b 点の電位を下げる。同時に受波器が移動し、 $l$  が小さくなって試料液の温度上昇の影響を補償する。標準液の温度が下がった場合もこれと全く同じ動作で補償することができる。

## 7. 結 言

以上に超音波濃度計の原理、動作特性、連続測定用試料液槽の形状ならびに温度補償法などについて報告した。これらを総括すれば以下のようになる。

今回試作した超音波濃度計は、時間差弁別方式を採用したもので電気伝導度、pH などのように従来用いられていたオンライン測定法において適用できない種類の溶液にも適用でき、良好に測定し得ることがわかった。ただしメタノール、酢酸などではある濃度で音

速度が最大になるので、これらの濃度測定に際しては試料液濃度が最大音速度に相当する濃度のどちら側にあるかをあらかじめ他の方法で検討しておかねばならない。

かかる超音波濃度計をオンライン計測に用いる場合重要なことは試料液槽の形状で、これに関しては実験結果より、超音波の伝搬が流れと直角になるような形状がよいことがわかった。この際、送受波器間距離は 60~80 mm 程度がよく、したがって 100~500 l/h の流量範囲では遅れ時間は数秒~十数秒程度で、プロセス計測器として十分使用可能な範囲である。

また、溶液中の音速は濃度のみならず温度によっても変化するのでこの温度効果を補償する回路についても二、三検討した。通常運転時の試料液温度の変化範囲が  $\pm 5^\circ\text{C}$  以内ならば、サーミスタを用いた簡単な回路で十分補償し得ることを確認した。通常のプラントにおいてはなんらかの形で温度制御系が組み込まれているので、短かい周期の温度変動はほぼ  $\pm 5^\circ\text{C}$  以内と考えられ、上記の方法で十分である。季節的な温度変動のように長い周期の温度変動に対してはサーミスタと並列に接続した抵抗値を切り換えることによって十分補償できると考える。また、短い周期の温度変動が大きな場合は第 20 図のような方法を採用するのがよいと考える。

終わりに、本研究にあたって東京大学生産技術研究所石橋泰雄氏より賜った貴重な助言と、超音波工業株式会社渡辺哲哉、山崎幹也両氏のご協力に負うところ大であったことを付記する。また終始ご激励、ご指導を賜った日立製作所日立研究所部長西堀博博士、主任研究員片木剣三郎、葛岡常雄両博士ならびに有意義な御討論をいただいた関係各位に厚くお礼申し上げる。

## 参 考 文 献

- (1) 石橋、市川：生産研究 10, 397 (昭 33-12)
- (2) 加藤、金子、片木：日立評論 44, 847 (昭 37-6)
- (3) 佐々木、渡辺：特許出願中
- (4) 実吉、菊地、能本：超音波技術便覧 (昭 35 日刊工業新聞社)
- (5) W. D. Wilson, D. D. Taylor: Electronics, p. 69 (Sept. 9, 1962)
- (6) E. G. Richardson: Ultrasonic Physics (Elsevier Pub. Co.) p. 158 (1952)
- (7) 加藤：特許出願中
- (8) 加藤：特許出願中
- (9) 加藤：特許出願中

Vol. 23

日 立 造 船 技 報

No. 4

- ・軸系質量がねじり振動特性に及ぼす影響
- ・船用プロペラ青銅鋳物について (II) 承前  
——船用プロペラアルミニウム青銅について——
- ・通風トランク分岐合流部のエネルギー損失  
——分流および合流の場合——
- ・クロムメッキの前処理と密着性
- ・通風システムによる船室の騒音

- ・排気管系が排気変動温度および排気エネルギーに及ぼす影響
- ・放射線殺菌の食品貯蔵への応用に関する研究 (第 2 報)  
——殺菌用照射装置について——
- ・鋼板構造プレス本体の溶接開先
- ・定期貨物船“山利丸”の自動化装置について

……本誌に関する照会は下記に願います……

日立造船株式会社技術研究所  
大阪市此花区桜島北之町 60