

# 変圧器用油中水素ガス常時監視装置

## Continuous Monitoring Device of Hydrogen Gas Dissolved in Transformer Oil

現在、運転中の変圧器が正常であるか否かは、油中溶存可燃性ガスの量で判定しているが、この手法は、油採取、油中ガス抽出、ガスクロマトグラフィ分析などの複雑な作業を要する。一方、変圧器内で種々の異常が発生した場合の油中ガス成分の中で、異常の種類にかかわらず主成分の一つである水素だけを検知することによっても、変圧器異常の前兆を知ることができる。

今回、ポリイミド膜で油中水素を分離し、これを水素に鋭敏なガスセンサで検知する方式の変圧器用油中水素ガス常時監視装置を研究、試作した。その結果、検知した水素量は液体の拡散の法則から導き出したガス透過式で計算することができ、計算値と実験値とは良く一致した。更に、この装置の実用化に当たっては、構造的にも既設器に使用できるように考慮を払った。

森 悦紀\* *Mori Etsunori*  
 月岡 淑郎\*\* *Tsukioka Hideo*  
 菅原 捷夫\*\* *Sugawara Katsuo*

### 1 緒 言

変圧器内で局部過熱、放電などの異常が発生すると、その異常部近くの絶縁油、紙などが分解して各種のガスを発生し、これらが油に溶けて存在する。この現象に着目し、油中ガスを分析し、事故に進展する前に内部異常を早期に診断する手法が現在広く用いられている。この手法は、変圧器から油を採取し、油中のガス成分を抽出し、更にこのガスをガスクロマトグラフィで定量分析するもので、かなり複雑であり、労

力、時間も要する。これを改善するために、油中の内部異常では必ず水素が分解ガスの主成分の一つになっていることに着目し<sup>1)</sup>、更にこの水素を高分子膜のガス透過性を応用して、油から極めて容易に分離できることを明らかにした<sup>2)</sup>。そこで、膜を透過した水素の検知に可燃性ガスセンサを利用し、保守点検作業がほとんど必要のない完全自動の変圧器用油中水素ガス常時監視装置を開発した。

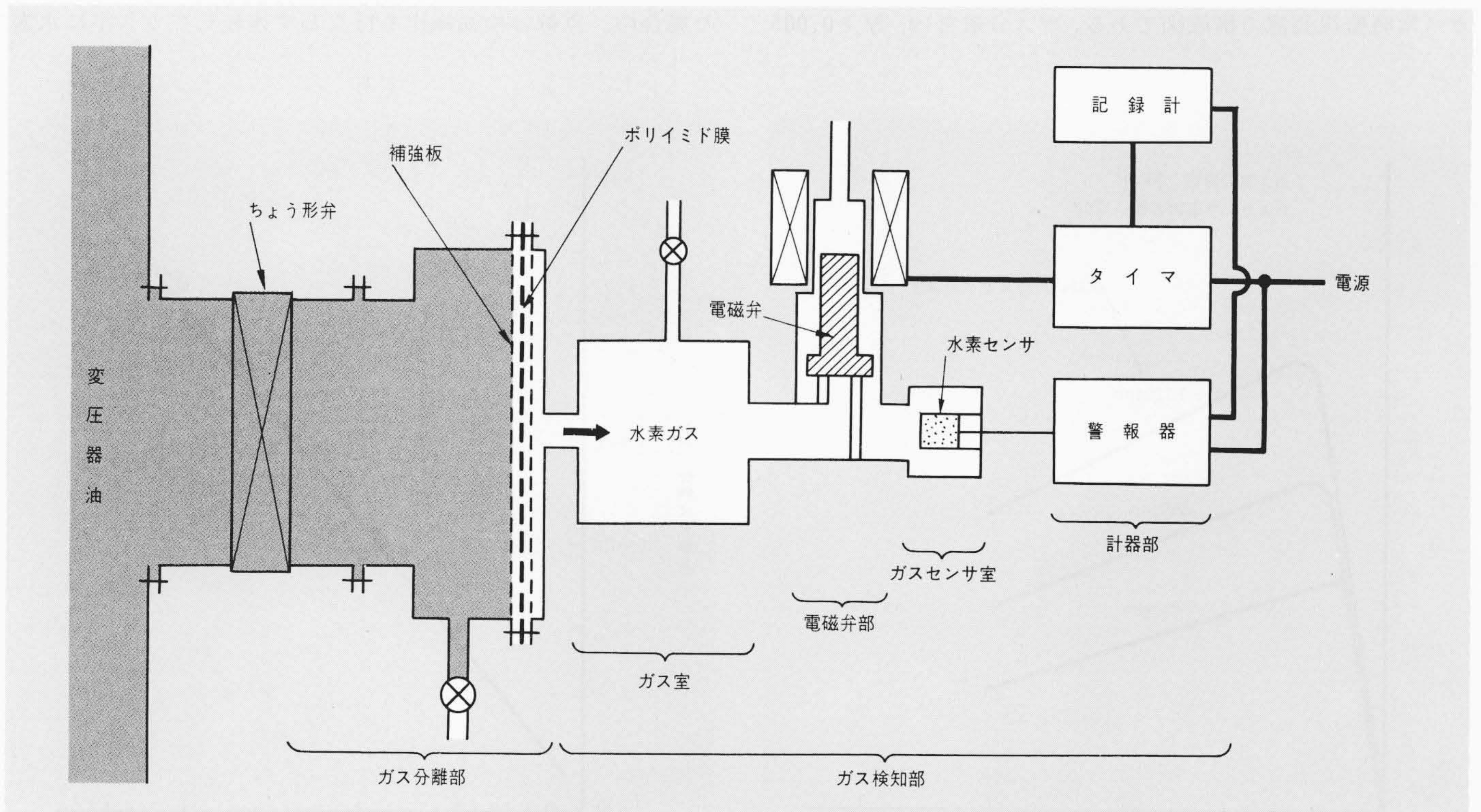


図1 変圧器用油中水素ガス常時監視装置の構成図 この装置は、ガス分離部とガス検知部から成り、前者は変圧器タンク側壁に直付けされる。計器部は制御盤室に設置できる。

\* 日立製作所国分工場 \*\* 日立製作所日立研究所



## 2 原理

変圧器の異常が発生したとき、必ず水素が分解ガスの主成分となる。この水素を自動的に追跡し検知することにより、変圧器用常時監視装置とすることができる。

### 2.1 油中水素ガスの抽出

油中水素ガスの抽出には高分子膜のガス透過性を応用し、メンテナンスフリーと自動化に適した、耐油・耐熱性に優れたポリイミド膜を使用した。ポリイミド膜の透過側の水素ガス濃度  $C$  (ppm)、透過側の初期水素ガス濃度  $C_0$  (ppm) とすると、次式が得られる。

$$C = (18v - C_0) (1 - e^{-0.76 \times 10^{-8} \frac{A}{V} t}) + C_0 \dots\dots\dots(1)$$

- ここに  $v$  : 油中水素ガス濃度 (ppm)
- $A$  : 膜の面積 ( $\text{cm}^2$ )
- $d$  : 膜の厚さ (cm)
- $V$  : 透過側容器の容積 ( $\text{cm}^3$ )
- $t$  : 透過時間 (s)

油中水素ガスの単位時間当たりの透過量は、(1)式から膜の面積が大きいほど、また透過側の容器が小さく膜厚が薄いほど多くなる。

### 2.2 水素ガスの検知

膜を透過した水素ガスの検知には半導体ガスセンサを用いた。このセンサは、センサの電源が入った状態では水素ガスを消費するため、透過側の容器(以下、ガス室と呼ぶ。)にたまったガスは、検知時にだけセンサに接触させる構造とした。

## 3 装置

図1は、上述の考え方をもとに考案した変圧器用油中水素ガス常時監視装置の構成図である。ガス分離部は、厚さ0.005

cm、直径9.6cmのポリイミド膜と鉄製補強板から成り、これがちょう形弁を介して変圧器の側面に取り付けられる。ガス検知部は、ガス室、電磁弁部、ガスセンサ室及び計器部から成っている。ガス室の水素ガス濃度測定時に電磁弁が作動して、ガスセンサ室が大気からしゃ断されると同時にガス室と通ずる。計器部は、電磁弁を一定時間ごと開閉させるタイマ、警報器及び記録計から成っている。

そこでまず、ガスセンサの検知性能を調べた。図2はガス室の水素ガス濃度が250ppm、560ppm、1,120ppmでのセンサの出力-検知時間特性を示したものである。出力は検知時間が3~5分で最大となり、その後漸減する。漸減する理由は、水素ガスセンサにより、ガス室内の水素ガスが消費されるからである。また、最大値に到達する時間は水素濃度が高いほど長くなる。

図3は、ガス室の水素ガス濃度とその濃度に対するセンサの最大出力値との関係を測定した結果を示すものである。両者の間には、両対数で直線的な関係が認められる。一方、図2で出力が零になるまで長い検知時間を要する。図4は、水素ガスセンサの水素消費速度を調べるため、検知時間とガス室の濃度残率を調べたものである。これにより、ガス室容積が小さいと、水素の濃度残率は比較的早い時間に零になることが分かる。

## 4 実験結果

### 4.1 油中水素ガス濃度が一定の場合

以上の検討結果から、この装置の油中濃度が一定の場合でのガス室の水素ガス濃度を計算した。図5は、(1)式を用いて油温が60°Cで油中水素ガス濃度が30ppmの検知特性を計算して示したものである。実線は72時間ごとに検知操作を繰り返した場合の、点線は検知操作を行わず連続してガス室に水素

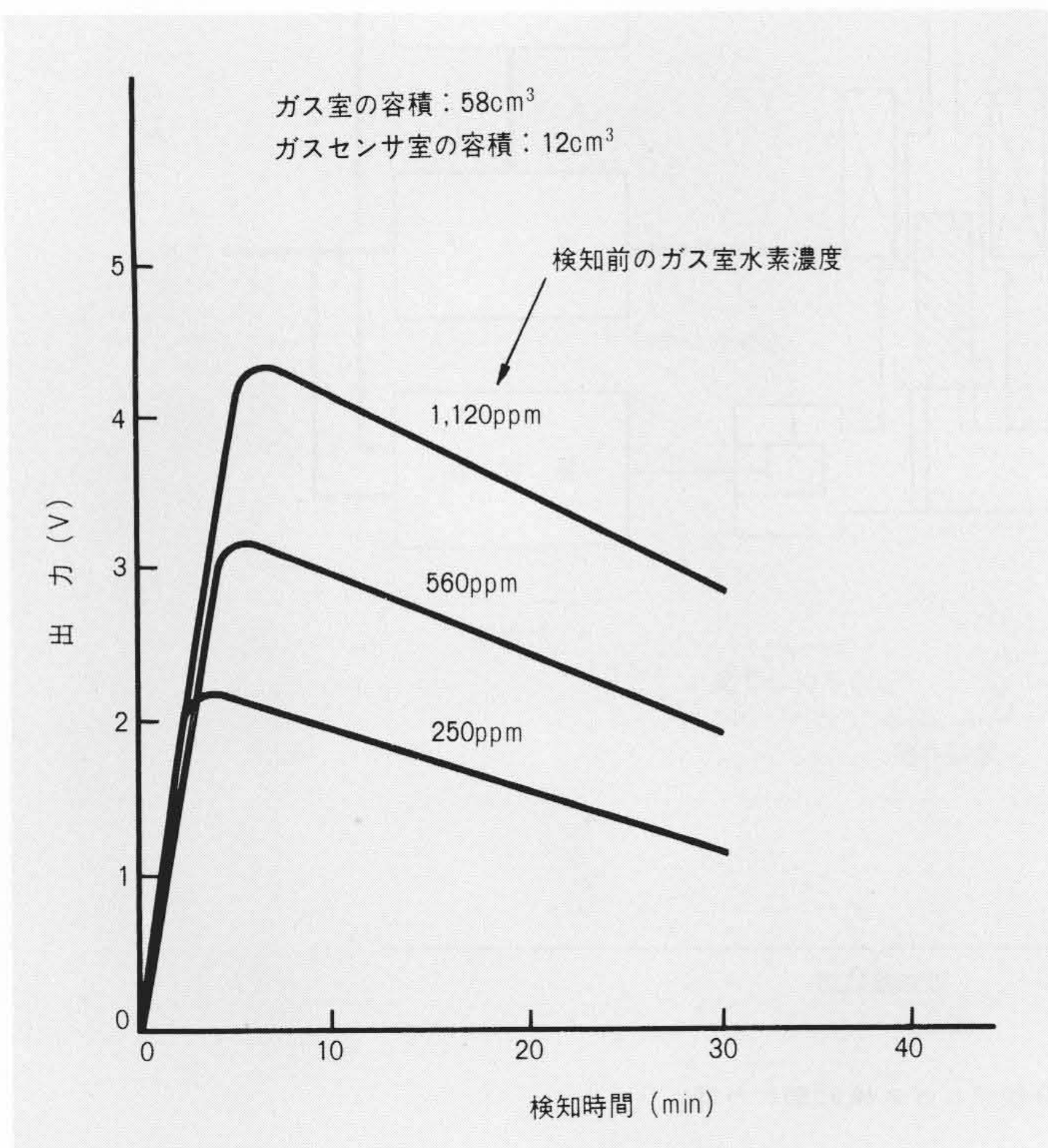


図2 水素ガスセンサの出力-検知時間特性 出力は3~5分で最大となり、その後漸減する。最大値に到達する時間は、水素ガス濃度が高いほど長くなる。

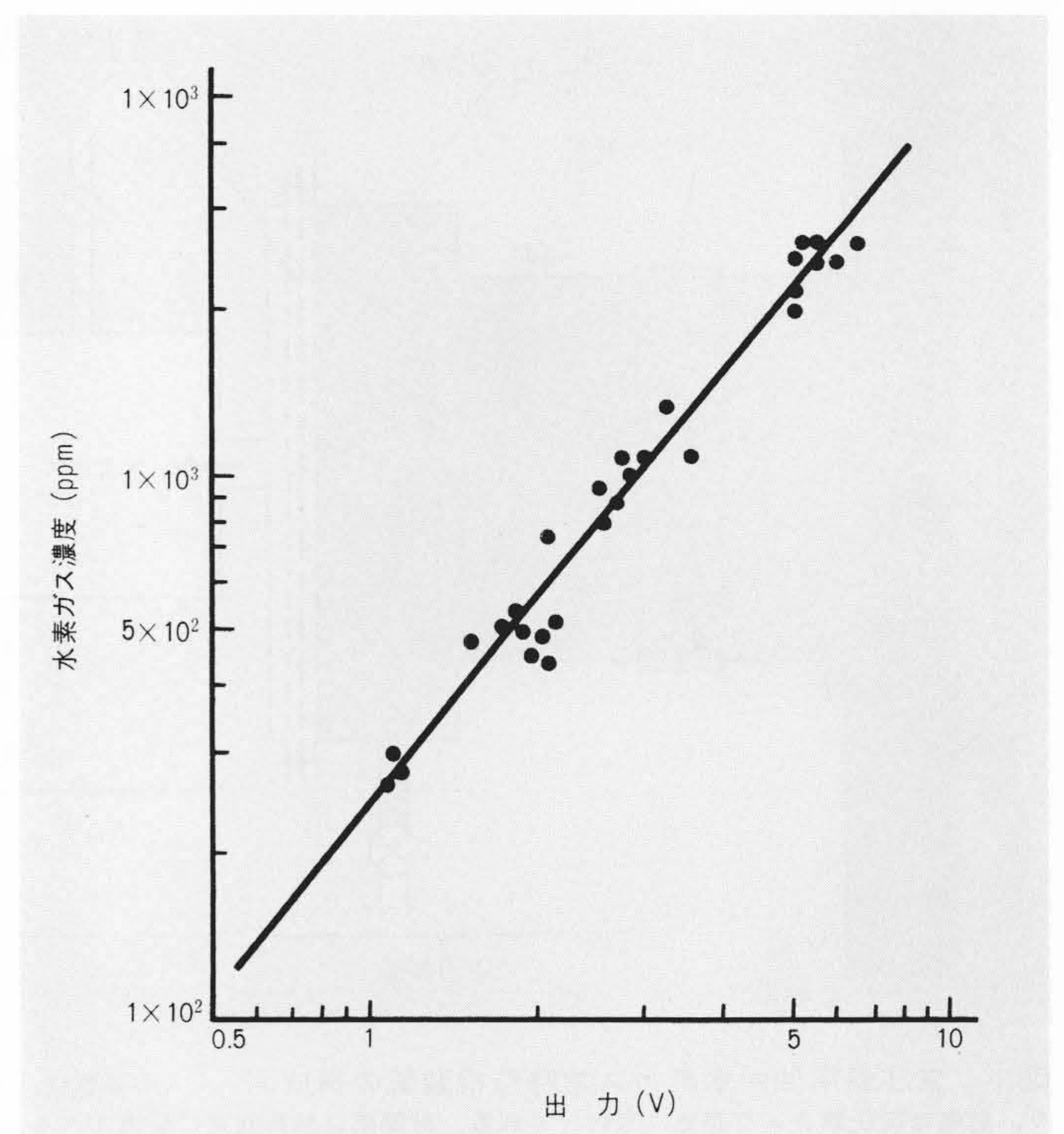


図3 水素ガスセンサの出力-水素ガス濃度特性 出力と水素ガス濃度の間には、両対数で直線的な関係が認められる。



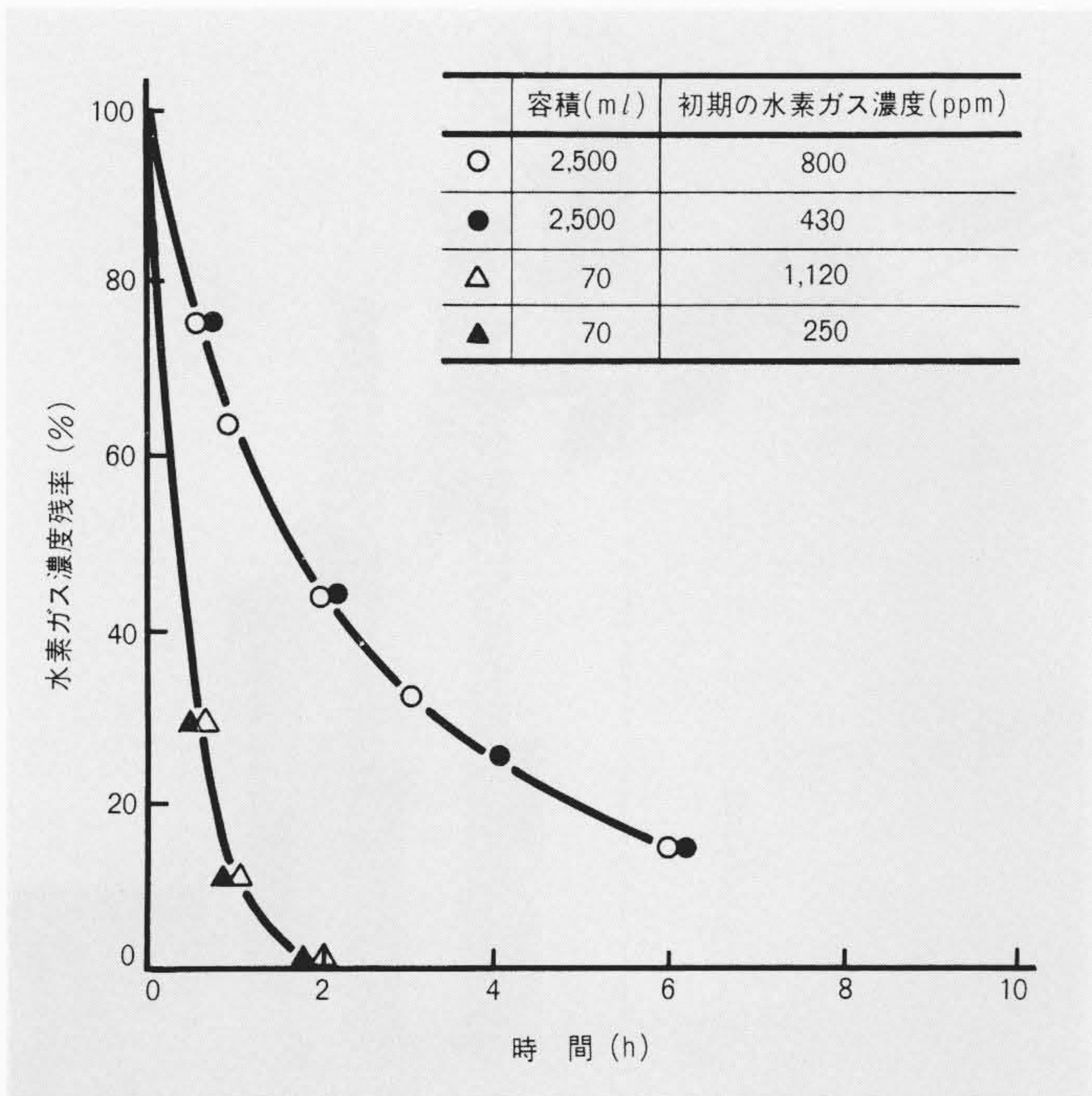


図4 水素ガスセンサの水素ガス消費速度 ガス室の容積が小さいと、水素ガスの濃度残率は比較的早い時間で小さくなるので、初期の水素ガス濃度による影響はほとんどなくなる。

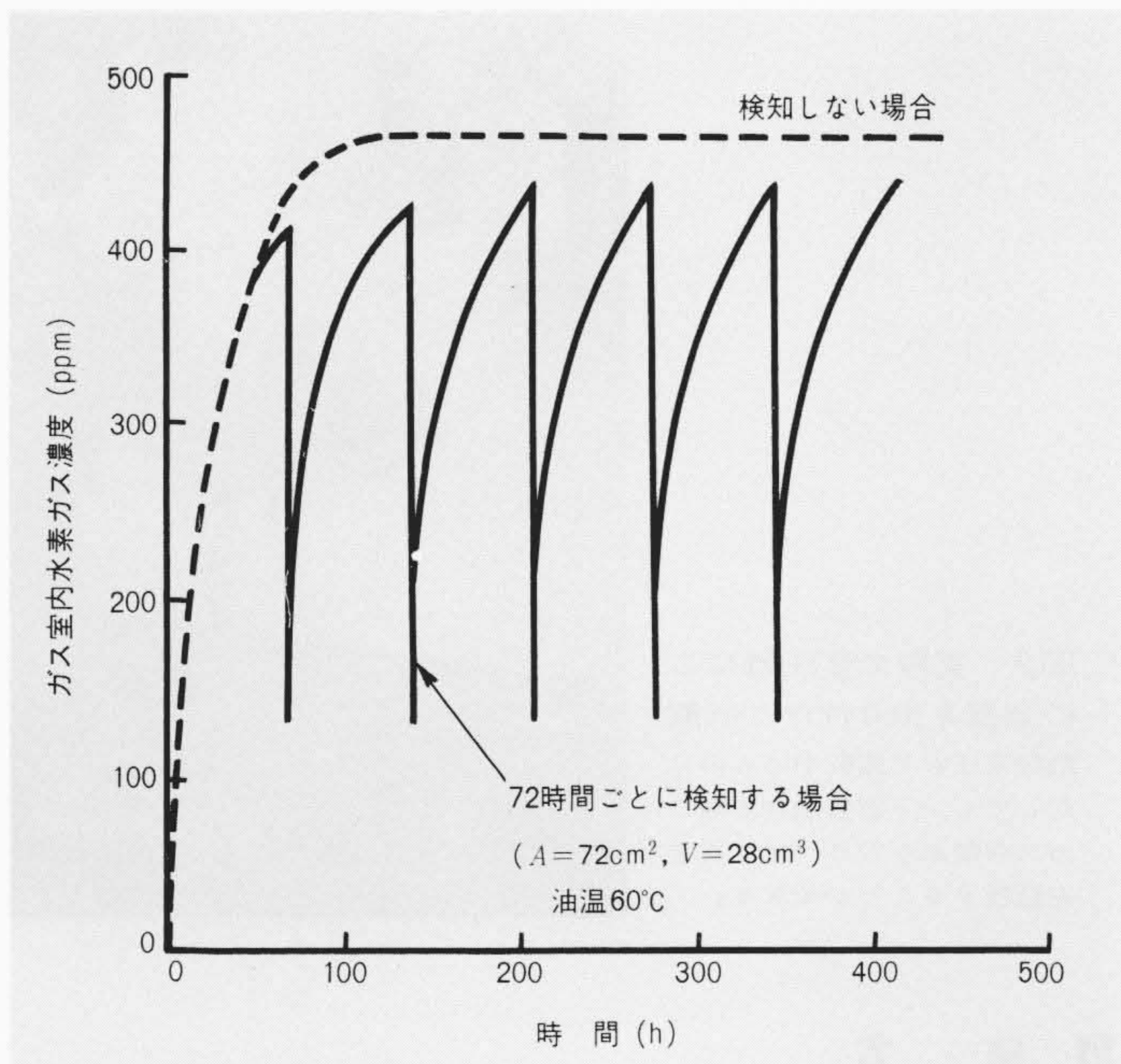


図5 油中水素ガス濃度が一定の場合におけるガス室の水素ガス濃度計算結果 72時間ごとに検知操作を繰り返すと2～3回目ではほぼ飽和値に達する。

表1 72時間ごとに検知を繰り返した場合の水素ガス濃度 透過側水素ガス濃度は、72時間ごとの測定で、2～3回目に飽和値に到達する。

項目	測定結果					
測定時間 (h)	72	144	216	288	360	432
検知素子出力 (V)	2.5	2.75	2.8	2.75	2.85	2.85
透過側水素ガス濃度実測値 (ppm)	330	410	420	410	430	430

ガスがたまった場合の計算値を示すものである。同図の結果から72時間に1回の割合で検知操作を繰り返すと、2～3回目ではほぼ飽和値に達する。したがって、油中水素ガス濃度と72時間ごとに検知した場合のガス室の水素ガス濃度飽和値との検量線を求めておけば、72時間ごとの測定で監視できることになる。表1は、油温が60°Cの場合について72時間ごとに実測した結果を示したものである。ここでは170l入り油タンクにこの装置を取り付けて実験した。この結果からも72時間ごとの検知を繰り返すと2～3回ではほぼ飽和値に達することが分かる。

#### 4.2 油中水素ガスが増加する場合

次に、油中水素ガス濃度が増加する場合の水素ガス検知特性を実測した。図6は、60°Cでの検討結果を示したものである。同図からこの装置による水素ガス濃度は、ガスクロマトグラフィによる実測油中水素ガス濃度の増加とともに増加するが、この装置の水素ガス濃度は約72時間前の油中水素ガス濃度の値に対応している。変圧器内の油中水素ガス濃度をこの装置により検知することになるが、実際の変圧器ではこの程度の遅れは問題とはならない。

#### 4.3 変圧器に取り付けた場合

次にこの装置を実際の変圧器に取り付けた場合の水素ガス検知特性を実測した。ここでは、休止している油量40kl入り変圧器内の油に定期的に一定量の水素ガスを注入して増加させ、油ポンプで循環するようにした。油温は0～20°Cで約3,000時間に達するまで実験を行なった。図7(a)は、油中水素ガス濃度の経時変化を、(b)はその時のガス室の水素ガス濃度変化を示したものである。同図を基にして油中水素ガス濃度とガス室の水素ガス濃度との関係を示したのが図8である。同図中に計算値も併記した。この結果、実測値と計算値とは比較

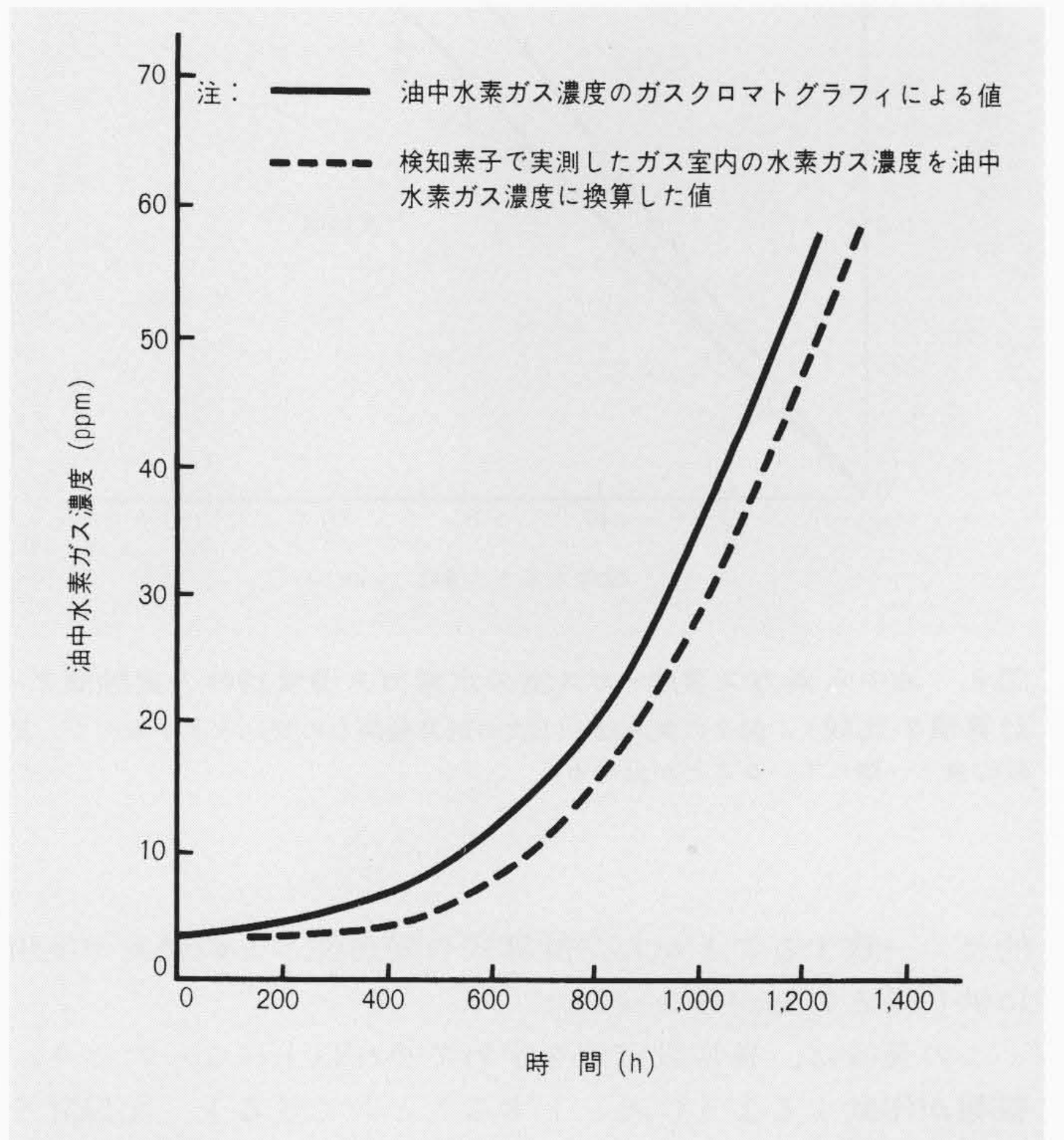


図6 油中水素ガス濃度が増加する場合におけるガス室の水素ガス検知特性 ガスクロマトグラフィによる油中水素ガス濃度の増加とともに、この装置の水素ガス濃度は増加するが、その値は72時間前の油中水素ガス濃度値に対応する。



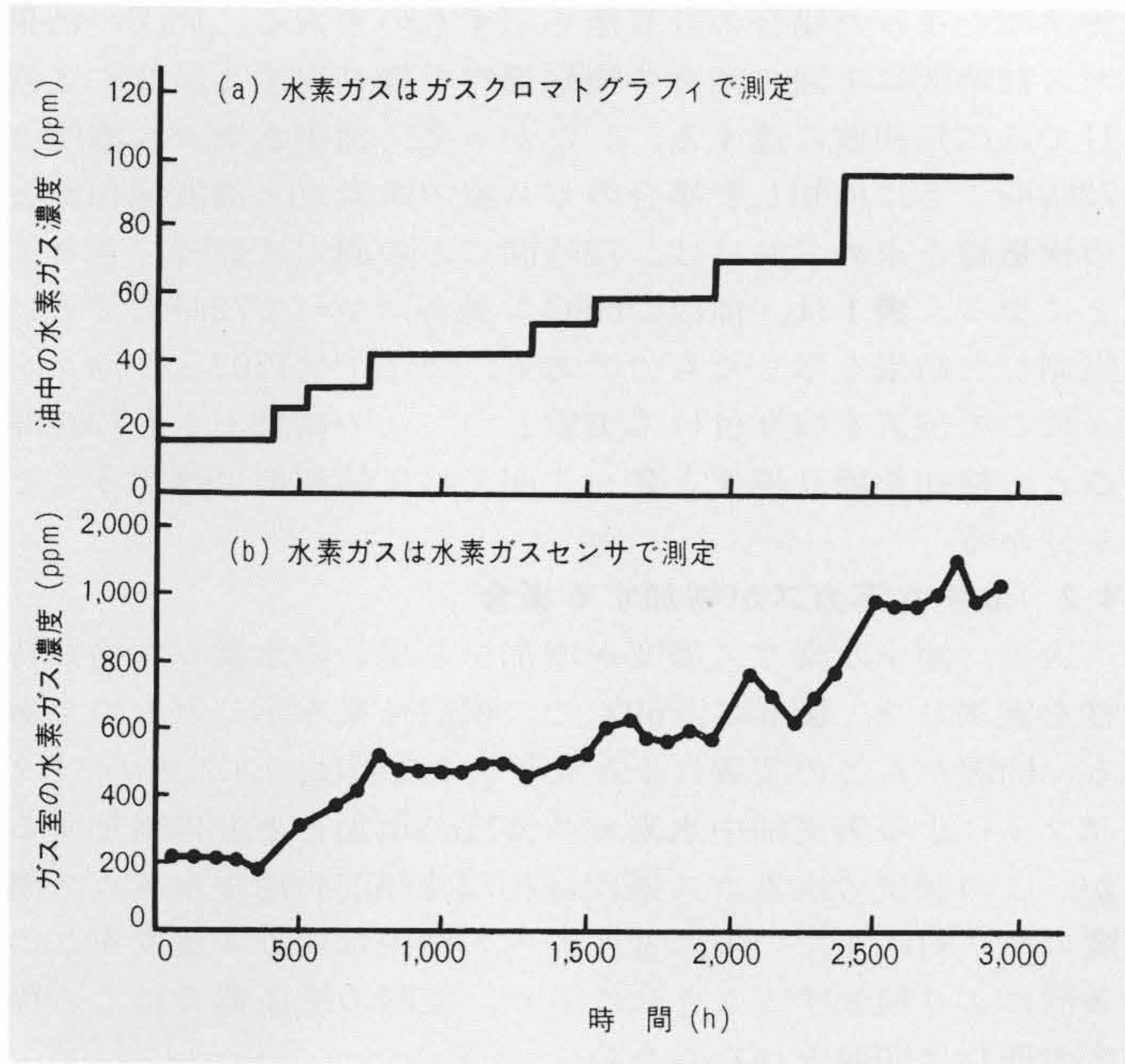


図7 変圧器に取り付けた監視装置の水素ガス検知例 40kV入り変圧器を使用し、一定量の水素ガスを注入しながら、油温0~20°Cで8,640時間実験を行なった。

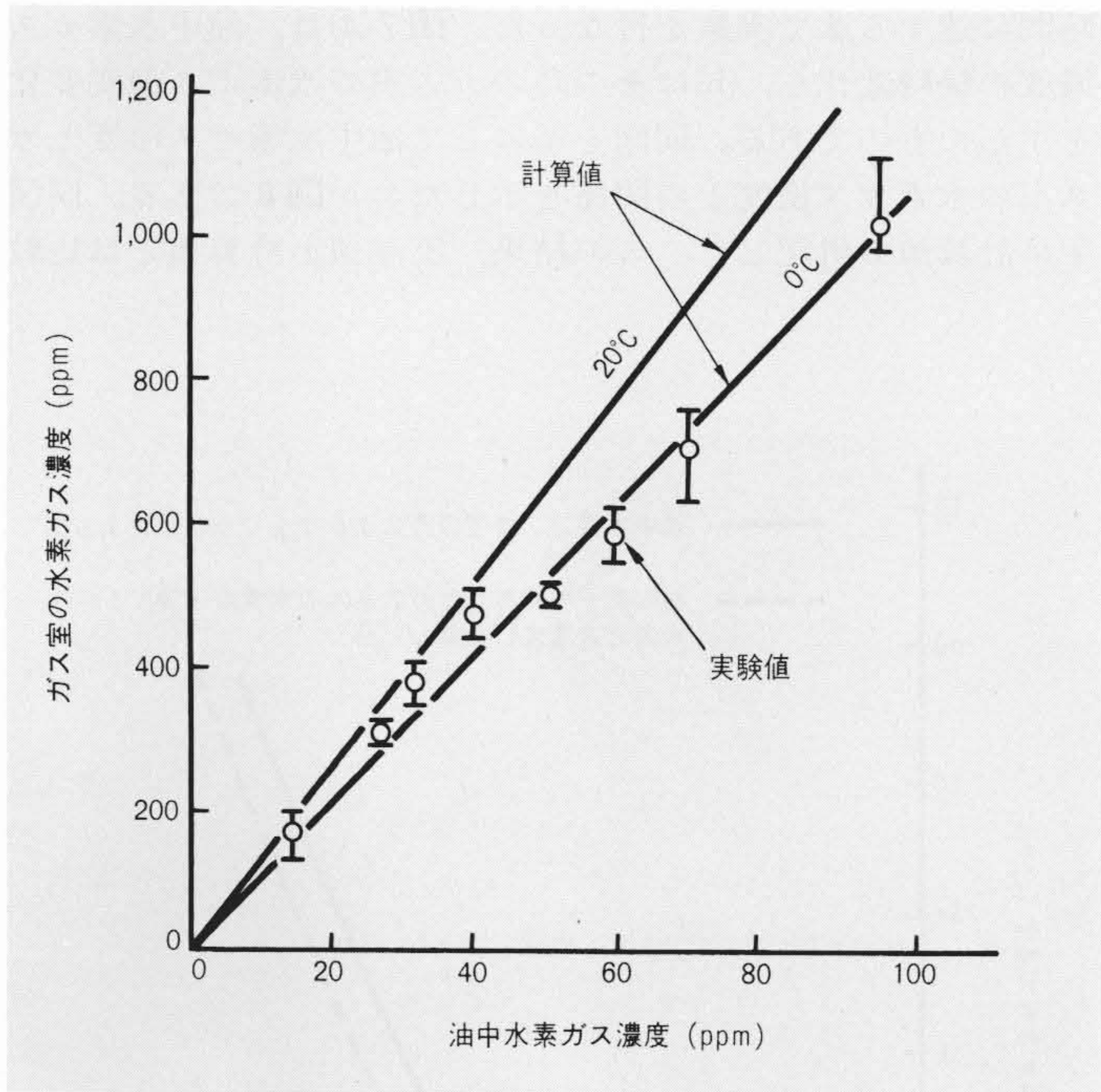


図8 油中水素ガス濃度-ガス室の水素ガス濃度特性の実験値と計算値の比較 図7の実測値と(1)式の計算結果との対比を示すもので、比較的良く一致していることが分かる。

的良く一致することから、計算式の妥当性とこの装置が実用に供し得ることが分かった。

この装置は、異常設定値を定めてそれ以上になったとき、警報が作動するようにセットすることができる上、記録計を取り付け、水素ガス濃度の変化を知りこともできる。更に、構造が簡単で既設変圧器への取付けも可能である。図9は既設変圧器の排油弁の先端にガス分離部を取り付けた状態を示す写真である。

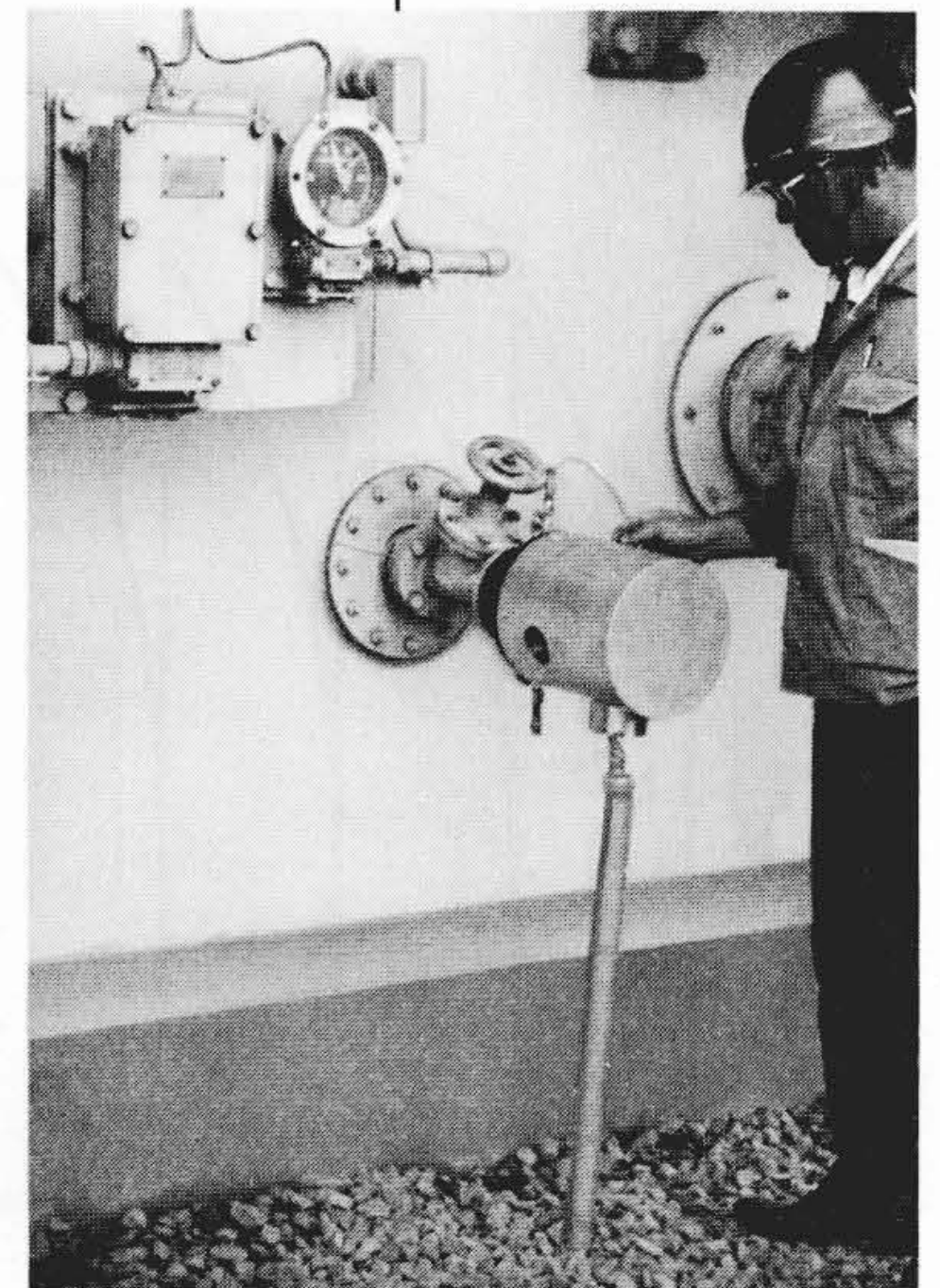
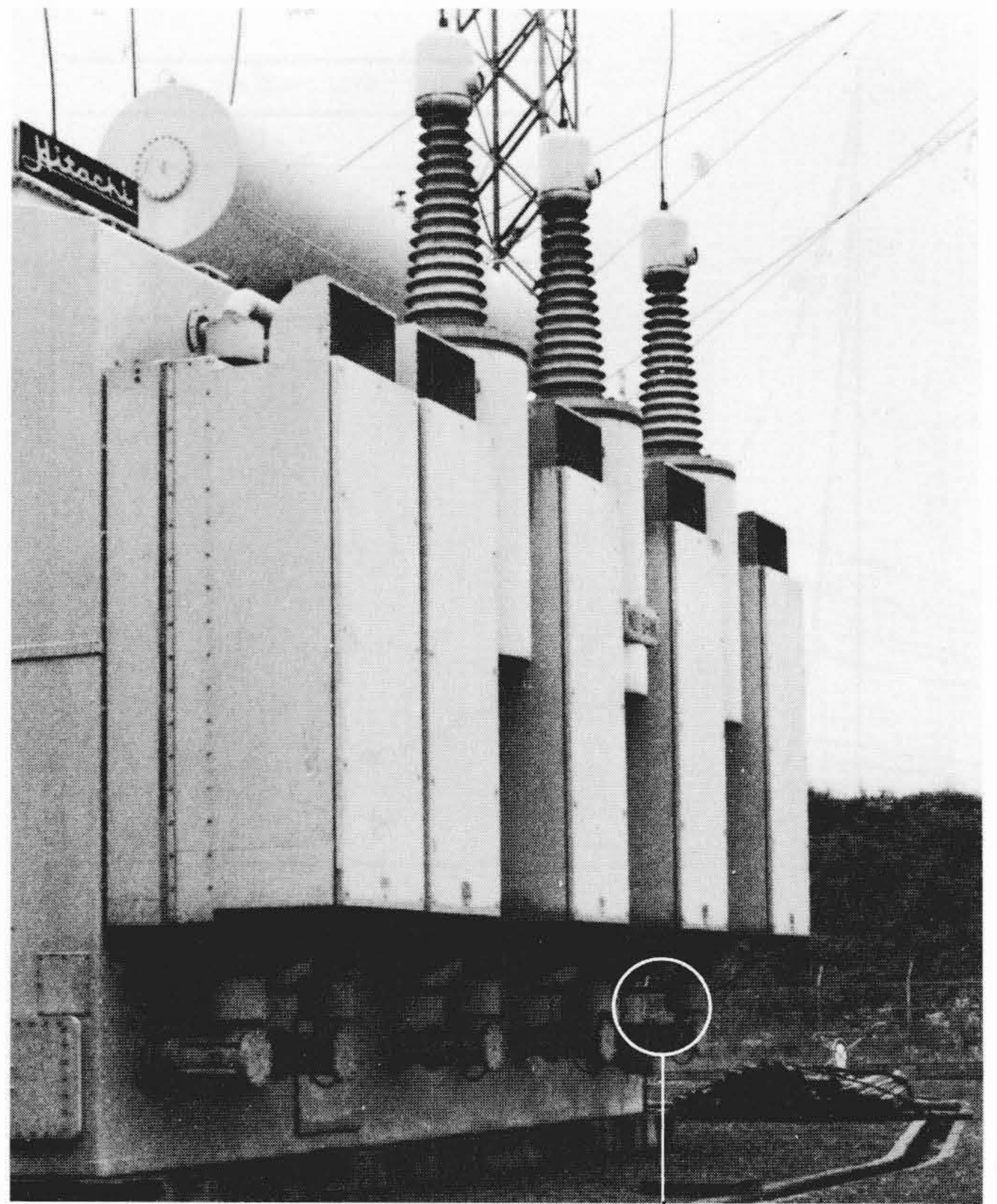


図9 実際の変圧器にこの装置を取り付けた状態 既設変圧器で運転中のものに対して、下部排油弁先端にガス分離部を取り付けて異常を監視することができる。

## 5 結 言

以上の結果から、変圧器用油中水素ガス常時監視装置として、ポリイミド膜で油中水素ガスを分離し、これを水素ガスセンサで検知する方式が適用できる。また、(1)式の水素ガス透過式は実験値と比較的良く一致することから、この装置は完全自動化、メンテナンスフリーのもとに常時監視し、まずは変圧器に異常の前兆が発生したかどうかを早期に発見することをねらいとしたものである。

## 参考文献

- 1) 月岡, 菅原, 大江: 絶縁油の局部過熱による分解ガスの挙動, 電学論 A-98, 381~388, (昭53-7)
- 2) 月岡, 菅原: 油中溶存水素分離手段としてのポリイミド膜の応用, 電学論 A-99, 135~141, (昭54-3)