

# 超音波センサーを利用した蒸発計 (超音波式蒸発計) の検討

東京の主に気象庁に納入される気象機器を製造されている会社からのレポートです。今は懐かしいと思うのみ。

平成26年9月12日

神谷康広

## 1. 目的

現在使用しているフロート式蒸発計は、感部がフロートという稼働部を必要とするため、メンテナンス・フリーで長時間運用することが大変難しい。また、製作・調整技術に神経をはらわざるをえない。これらの問題点を解消し、安価で取扱いの容易な蒸発計の開発が急務であった。

以上の事柄を勘案し、比較的安価な超音波測距儀（以下「超音波センサー」と呼ぶ。）を利用して蒸発計の開発を試みる。

## 2. 概要

超音波センサーと大型蒸発計のパン（以下「パン」と呼ぶ。）を組み合わせることで蒸発量を測定し、リアルタイムで記録・データの収集を行う。パンに張られた水面上の仮の固定点から超音波を放射し、水面で反射してもどってくるまでの伝搬時間を測定して、水面までの距離を算出するものである。

超音波センサーは、発信周波数 200kHz、パルス巾 75 $\mu$ のパルスを1秒間に約60回、送波部より放射して連続的に水面までの距離を測定できる。風等による水面の振動による測定値の誤差を軽減するため、パン内部にサージタンクを設置する。サージタンクは、発錆の心配の無い市販の塩ビ管を使用し、サージタンク底部付近に後述のような導水管を設ける。このサージタンクの上部に超音波センサーを固定する。超音波センサーの固定は送波ビームの中心軸が、サージタンクの中心に位置するようにし、かつ水面と直角になるように取り付ける。

## 3. 構成

### 3.1 構成部品

センサー部覆

超音波センサー（雑音カットホーン付）

サージタンク

導水管（高周波雑音除去）

大型蒸発計用パン

サージタンク取付調整機構

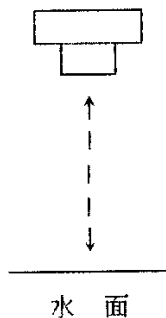
変換部（供給電源・出力信号平滑化回路及び成形回路等）

大型蒸発計用パン設置台

### 3.2 構成図

概要図：第1図、第2図

## 4. 測定原理



超音波式蒸発計は、超音波センサーを用いて水面の変動を精度良く測定するものである。左図に示すように水面に対し超音波ビームの中心が直角になるように送受波器を設置して超音波を放射し、水面で反射して返ってくるまでの時間を測定することで、送受波器から水面までの距離を知ることができる。

超音波送受波面から水面までの距離をL（mm）、超音波の伝播速度をV（Sec）とすると、超音波を放射して水面で反射して受信されるまでに要する時間T（Sec）との間には、

$$T = 2L / V \quad (1)$$

の関係がある。

したがって、

$$L = 1/2 (V \cdot T) \quad (2)$$

で、機械的に固定された送受波面から水面までの距離を求めることができる。しかし、音波の伝播速度は温度に影響される部分が大きく、通常大気中で約0.6 m/Sec/°Cの温度係数をもつ、したがって、前述のサージタンク内部に温度計を設置して、周辺大気温度を測定して電氣的に温度補償を行っている。

## 5. 超音波センサーの動作試験

(無人・24時間)

超音波センサーを気象測器として使用可能か否か、特に、**連続的動作の可能性**、**風雨の影響**、自然蒸発時の動作状況の把握、取付および防護覆い等製作時の基礎資料の把握を重点に屋外での動作試験、屋内での動作安定度確認試験、サージタンク導水管のフィルター効果等について試験を行った。

### 5.1 屋外での動作試験

#### 5.1.1 試験概要

蒸発計として屋外での連続運用試験(耐久性)、温度補償状況の確認等を主に平成12年7月13日～7月22日に試験を行った。社内実験用百葉箱の脚部を利用して超音波センサーを取り付けた。取付状態は第3図および写真1～4参照。

試験方法は、巾・奥行ともに700 mm、深さ約300 mmの角型の水槽と水面の変動による雑音を防ぐため、長さ約380 mm、直径約100 mmの真管をサージタンクとして用いた。また、超音波センサーは、雨量計感部の基台ベース部を利用して振動などで動かないように設置し、送受波部には回折および多重反射による雑音の影響を除くため、紙製コップでホーンをつけた。

各機器の配置は第3図に示すように、百葉槽内に0.0. 24Vの電源装置を、調整部窓際棚に6打点式記録計を設置した。出力信号の記録は、電気式湿度計、外気温等と一緒に記録した。

#### 5.1.2 考察

動作試験の状況は、電源投入時は観測値に変動が見られ、数時間の間は周期的な変動が認められた。試験機関中多少ドリフト的な変動が認められるが、全体的にはほぼ安定した動作状況であると言える。

風による水面の乱れ、木の葉や昆虫の混入による水面の乱れの影響等に対する対策を施していないため、これらの影響を受けている様子が窺える。ここでは、初期的な屋外試験結果として、1) 電源投入直後の初動作状況 2) 電源投入後数時間の動作状況 3) 1)および2)以外の、ほぼ安定してからの状況、の3段階に分けて定性的な検討をする。

#### 1) 電源投入時の出力変動について

電源投入後、安定した出力が得られるまでの、出力安定化(ウオームアップ)時間は、メーカーの仕様では約10分(1% F・S)となっているが、今回の試験結果では、電源投入後約20分間出力が増加している。20分以降も出力変化は認められるが、単純な増加(減)現象ではなく区別する必要がある。

電源投入時の出力変化傾向を記録から求めると、

t = 0分の記録値：31.0 deg.

t = 20分の記録値：31.2 deg.

この値で、距離換算すると、

t = 0分時 : 44.80 cm

$t = 20$ 分時 : 44.96 cm  
 $t_{20} - t_0 = 0.16$  cm 変化率: 0.08 mm/min

この傾向は、室内試験等数回の試験時にも同じような値が得られている。したがって、本超音波センサーを使用する場合は、設置・調整時等、この変化量と時間を考慮して扱う必要がある。

2) 電源投入（作動開始）数時間のドリフトについて

作動開始数時間に顕著なドリフトが認められる。記録より周期、振幅を求める。

自記 読取点	読 値 (deg.)	距離換算値 ( cm )	差 ( mm )
A 1	31.0	L1=44.8	
A 2	31.5	L2=45.2	L2-L1=+4.0
A 3	31.2	L3=45.0	L3-L2=-2.0
A 4	31.5	L4=45.2	L4-L3=+2.0
A 5	31.2	L5=45.0,	L5-L4=-2.0

表および右図から、周期  $T = 2$  時間、振幅  $A = 2.0 \sim 4.0$  mm が得られる。

3) 出力安定後の記録

平成12年7月13日～22日まで連続運用の記録（第4図）から、風の影響やノイズ的な変動の大きい時間帯を除いて連続した部分を抽出した。これは、前述のように風などによる水面の変動、昆虫・木の葉の落下等による水面の変動等、ノイズとして処理すべきものの対策を施していないため、明らかに超音波センサーの異常とは言えない、これらノイズの混入している部分を検討の対象から除いた。風の影響したと思われる部分は、近傍の百葉箱内にて試験中の電気式湿度計の記録値（同時に3台運用）が大きく乱れている時間帯とした。その結果、下表に示す結果が得られた。

観 測 日 時		自記紙読値 ( deg. )	距離換算値 ( cm )	差 ( mm )
自	至			
12.07.14 19:00	07.15 05:00	32.0~32.2	45.60~45.76	1.6 (10 h)
12.07.15 18:00	07.16 05:00	43.0~43.3	54.40~54.64	1.4 (11 h)
12.07.16 20:00	07.17 06:00	44.7~45.0	55.76~56.00	2.4 (10 h)
12.07.17 19:00	07.19 07:00	37.4~38.8	49.92~51.04	11.2 (36 h)
12.07.20 19:00	07.22 07:00	41.0~42.0	52.80~53.60	8.0 (36 h)

表から見られるように、運用期間中1時間当たり0.2~0.3(mm)の安定した水面変化量を（水面の下がる方向）を記録しており、高温多湿の環境条件の中で電気的にも安定した性能を有するよう思える。

水面の変動によるノイズ除去については後述する。

## 5.2 室内試験

外部ノイズの影響の少ない室内で、観測精度の安定性の確認を主に運用試験を行った。試験は、平成12年08月07日から08月30日（第5図参照）に、反射物（水面に代わるもの）の質、距離、記録器の入力感度等を変えて行った。

試験結果は、いずれも後述のように精度良く安定した結果が得られた。

### 5.2.1 試験概要

試験の方法は、雨量計の胴体を利用して第6図の<sup>と?</sup>用に超音波センサーを設置した。超音波センサーの送受波部に、約10度の広がりをもつ長さ30mmのフードをつけ、送信波の第1次回折波の影響及び多次反射による雑音の影響の除去を図った。

センサーの取付は、雨量計の基台を利用して、基台中央に約30mmの穴を開け、取り付け用金具によりビス止めした。このとき、基台面と送受波面との平行を取る必要がある。センサーを取り付けた基台を胴体の上部に挿入固定する。これで、超音波の送波ビームと胴体の平行と中心位置を確保することができる。

### 5.2.2 試験結果

はじめに、送受波面から反射物までの距離を約20cmに固定し、記録器の入力感度を5v/Full scale、紙送り速度20mm/Hとして記録した。記録計及びセンサーの接続は第6図に示す。

電源投入後3～4時間の間に変位量に換算して2mm以下の変動が認められた（第5図中1頁）が、それ以降は安定した記録（第5図の1～26頁）が得られた。

次に、反射物を段ボール板に変え、送受波器からの距離を約15cmにして、記録の変動中をより拡大するため、記録器の感度を2v/Full Scaleにして記録した。

第5図の27頁に見られるように、立ち上がり時の変動は前記の試験から継続したため、約30分と少ない。安定度は、平成12年8月22日08時00から8月31日までの9日間の記録を見ると、74目盛の線上~~から~~はずれることなく大変安定した良い結果が得られた。

## 6. その他

蒸発計の感部として小型超音波センサーの使用の可能性を、電気的な動作状況から検討したが、実際に導入するにあたっては超音波送受波器の雑音対策および水面の変動による雑音対策などが必要である。

### 6.1 超音波センサーの雑音除去について

超音波を使用する場合電波に比べ基本的にアンテナの指向性が広いため色々な障害が発生することが多い。その主なものに、アンテナエッジにおける回折現象と周辺からの反射による多重散乱波の影響がある。この影響を除くために超音波センサーの指向角よりやや広い指向角（10度）をもつホーン（第2図参照）を使用した。

### 6.2 水面振動の影響について

屋外試験時の資料からも吹風、虫、木の葉等落下、地面の振動等様々な外力による水面の振動（変動）が見られる。この影響を軽減するため導水管（第2図参照）を設置する。

導水管の形状は、第4図の屋外試験結果から数分程度の時定数を仮定して検討する。第7図に直径3mmのチューブを用いた試験結果を示す。導水管の長さにより適切な時定数の得られることが分かる。直径3mmで200mmのチューブを使用すると約7分の時定数を得られれば風などによる水面の変動の影響が除去できることが分かった。しかし、導水管については管の詰まり、メンテ、製作等問題も見受けられ、大きさ、形状、材質について再度検討する。

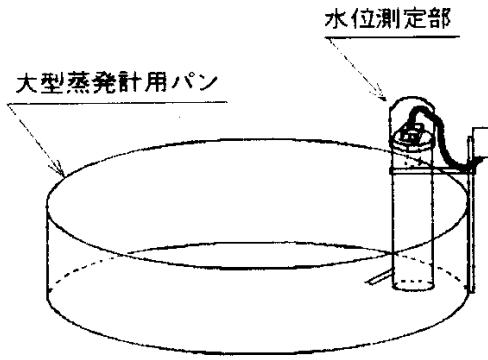
## 7. まとめ

以上の結果から、蒸発計感部として超音波センサーを使用することは十分に考えられるが、蒸発量の変化は夏期日中でも数mm以下で、非常に小さい変化量を正確に測定できることが必要である。

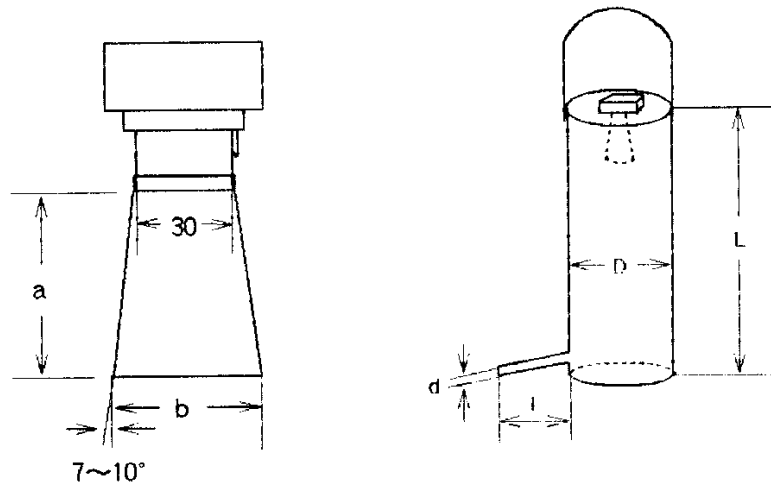
しかし、超音波センサーの測定精度が1mmであることから最終測定値の決定は、1秒間に約60回繰り返されるパルス信号を統計処理（現状で回路をいじるのは難しいと思われる）をするか、現状のままアナログ出力値の平均化回路等検討する必要がある。

超音波センサーを使用した場合の利点

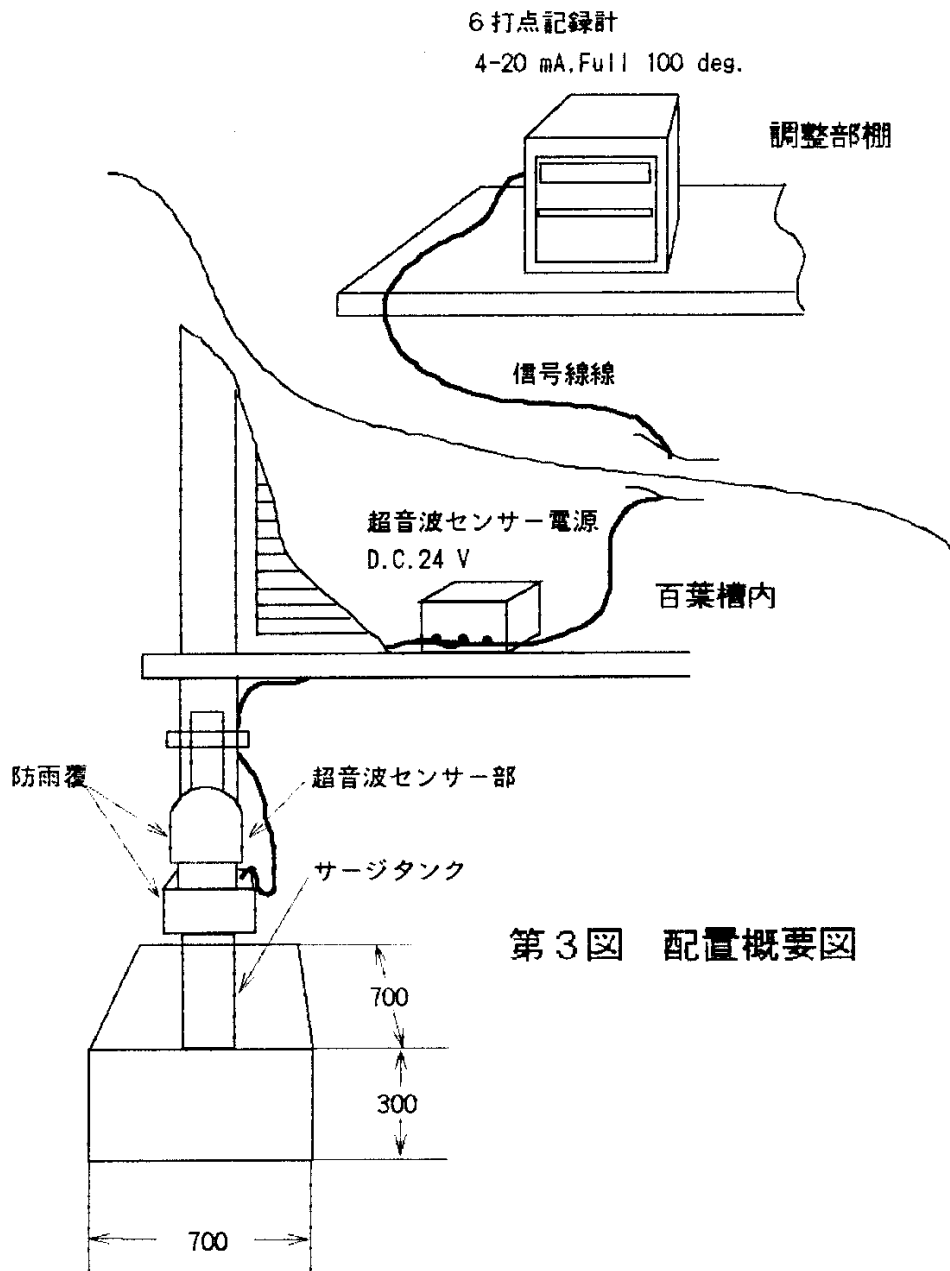
- 1) 現蒸発計に比べ安価となる。
- 2) 製作及びメンテ（センサーの交換を含め）が容易となる。
- 3) 材料に市販または手持ちのものが考えられる。



第1図 超音波式蒸発計概要図

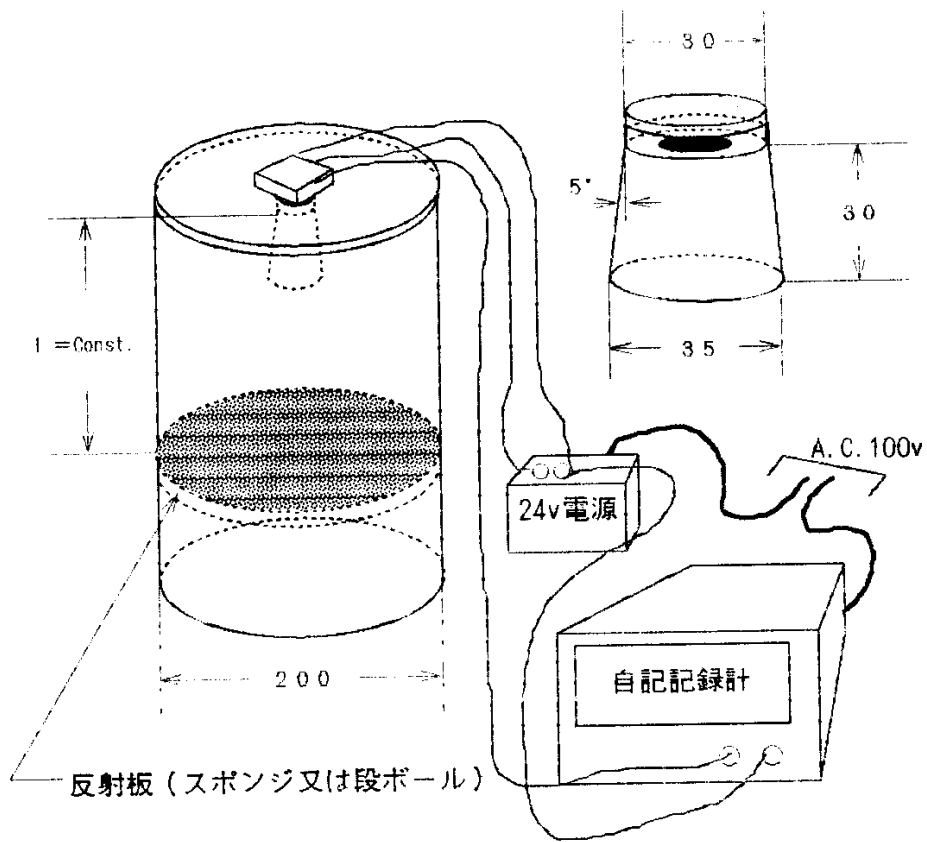


第2図 水位測定部概要図

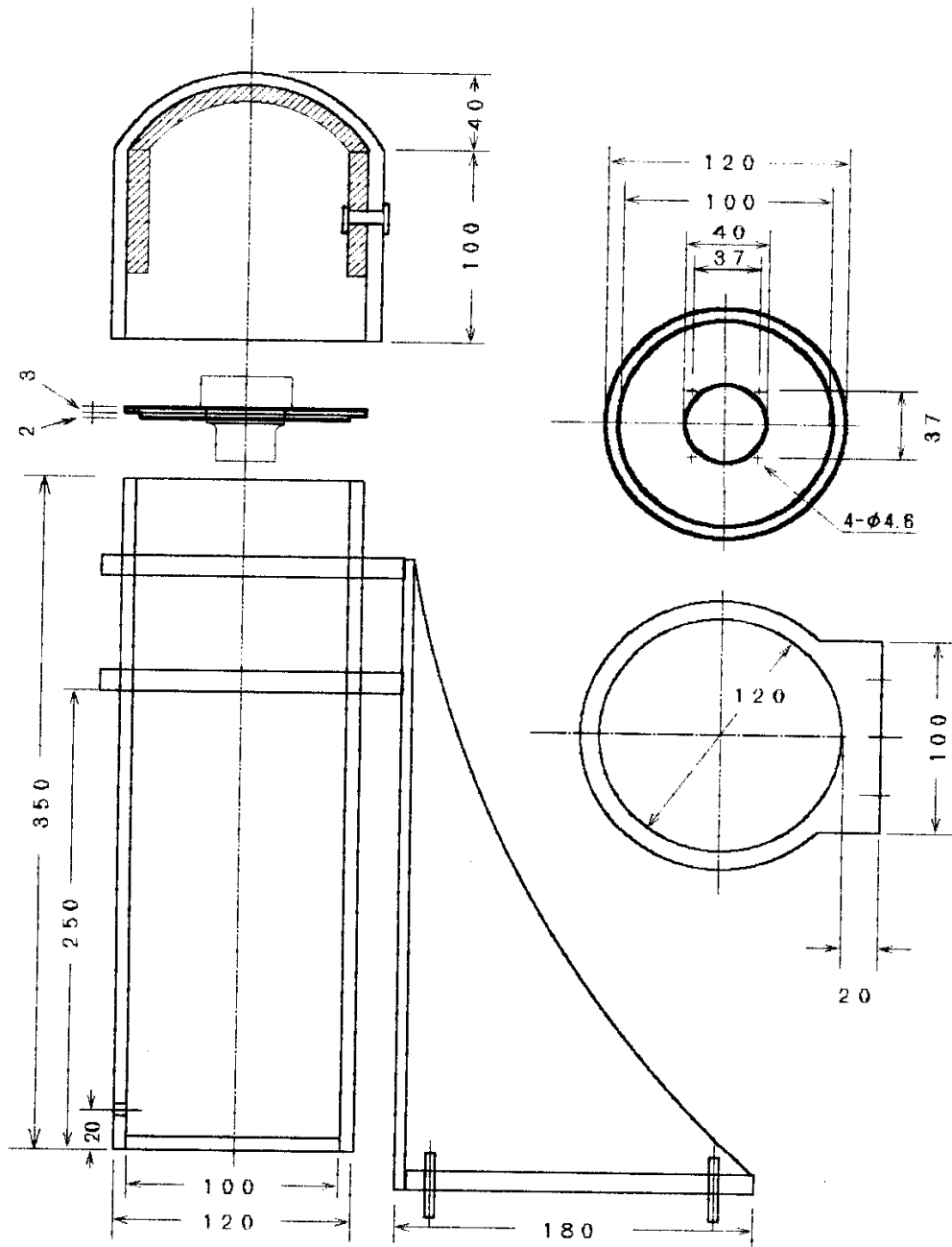


第3図 配置概要図

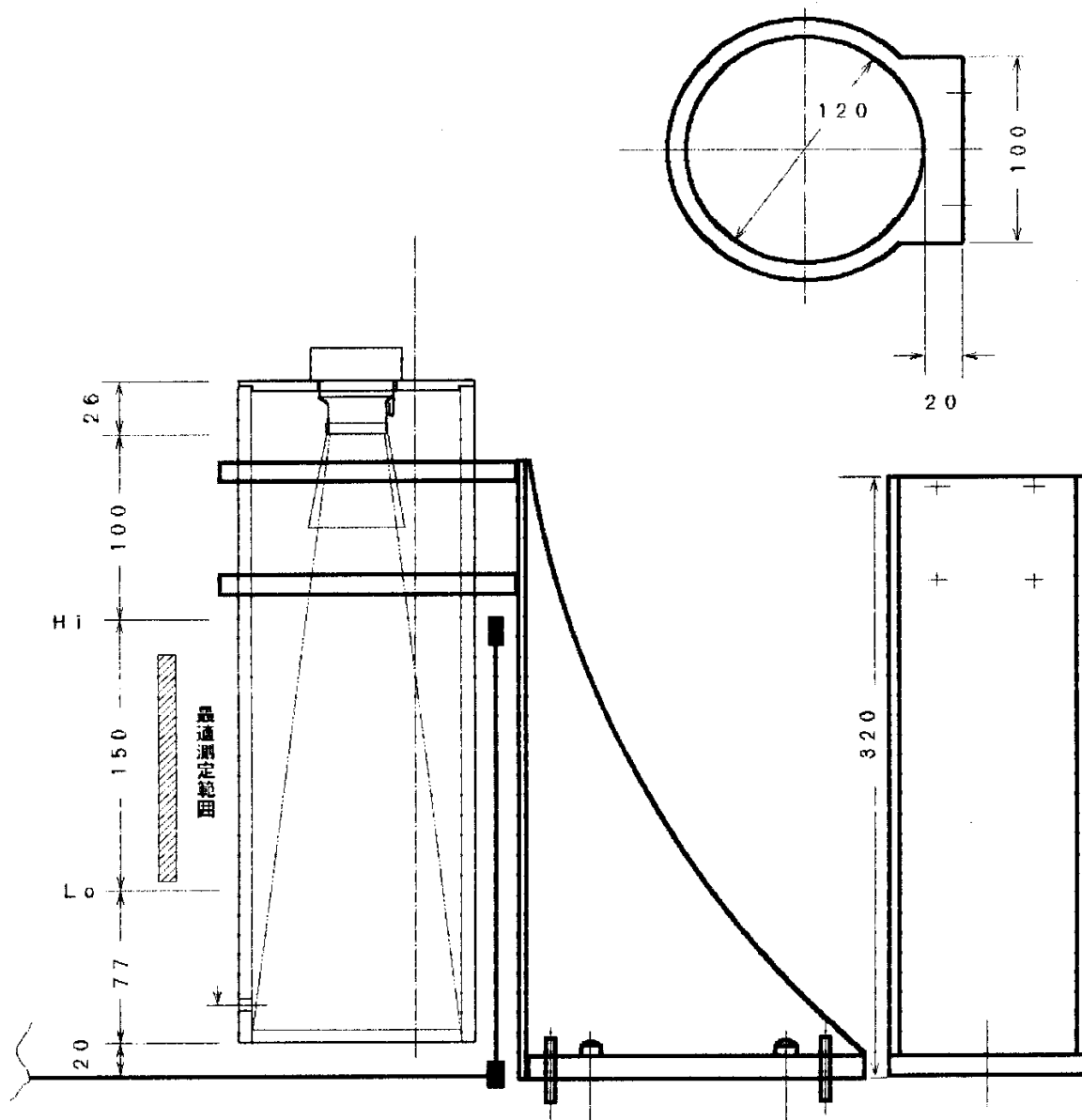




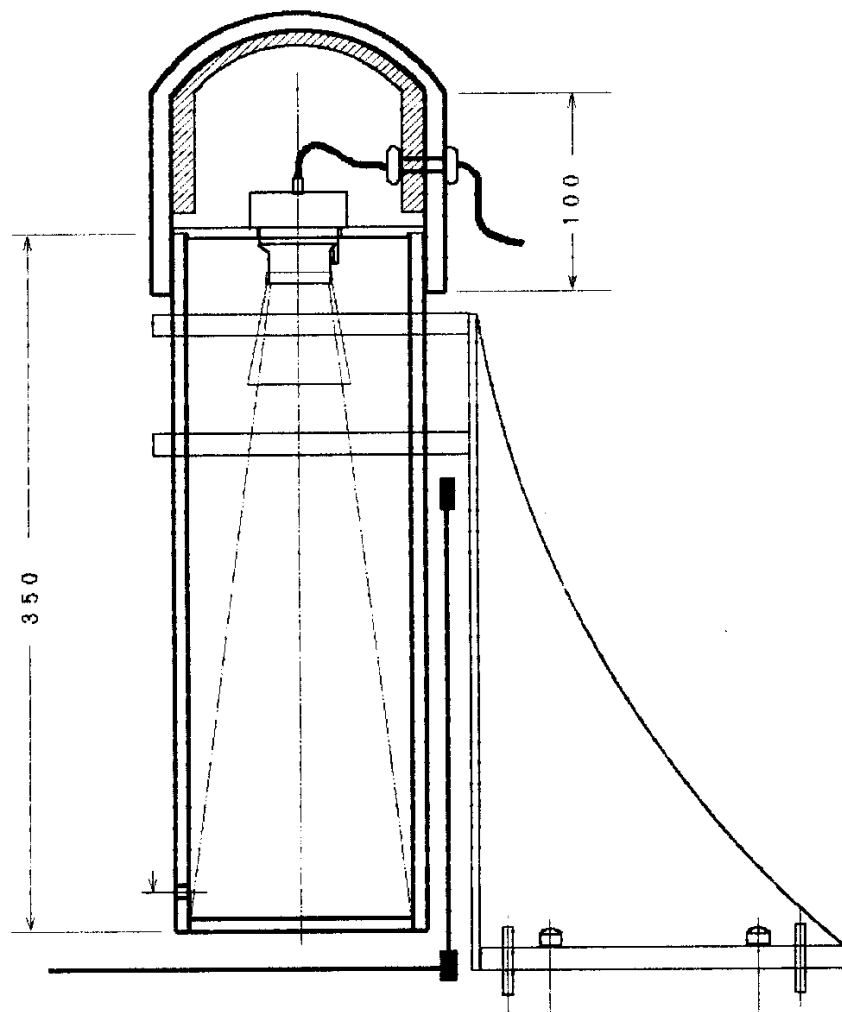
第5図 室内試験配置と送受波部部拡大図



超音波式蒸発計外觀及びセンサー取付部

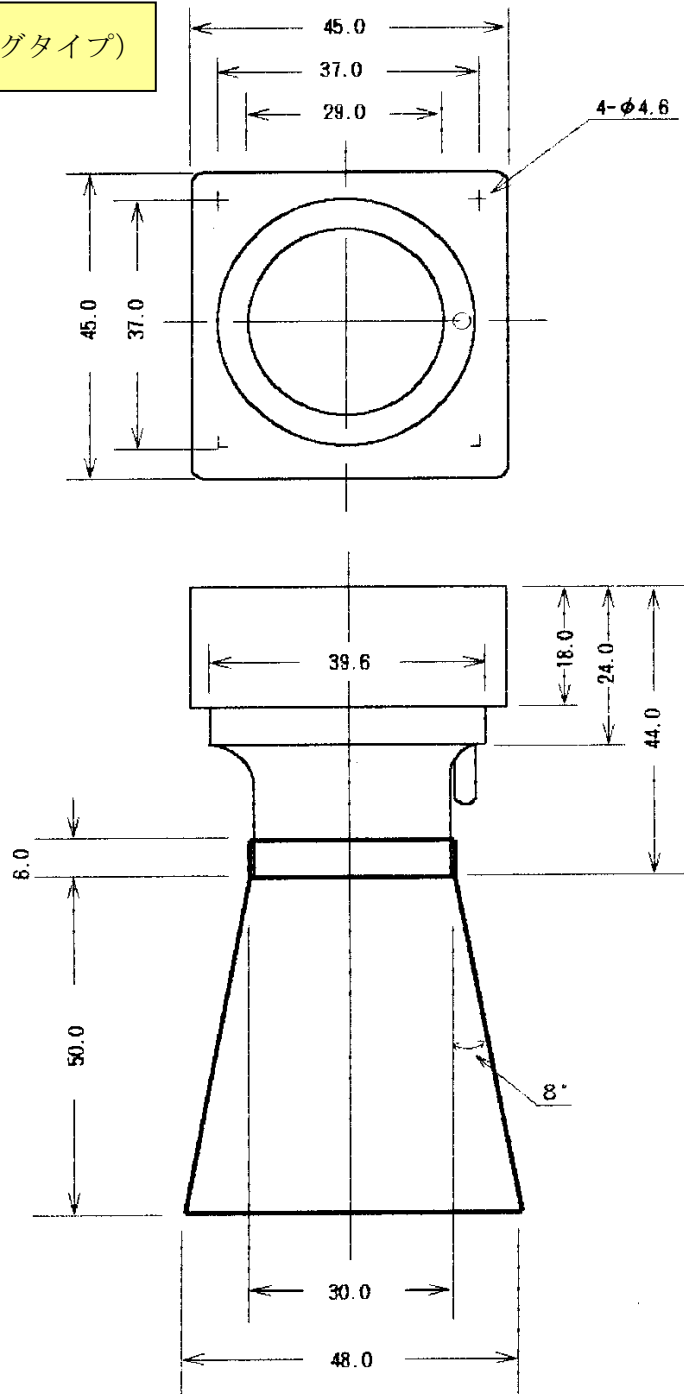


超音波式蒸発計計測部支持台  
及び測定範囲



超音波式蒸発計計測部

型式は今のOM7-1S(アナログタイプ)



超音波式蒸発計センサー部