

# 精密騒音計用マイクロホンについて

菅原 謙蔵\* 米島 照幸\* 金岡 威\*  
大島 敏\*

## On the Microphon for the Precision Sound Level Meter

Kenzo Sugawara, Teruyuki Yoneshima  
Takeshi Kanaoka and Satoshi Oshima

### 1. まえがき

騒音計を設計・製作するに当っては、特性の良好な無指向性マイクロホンを得ることが重要な課題である。精密騒音計の規格では普通騒音計の規格に比べ、誤差の許容値が一段ときびしいので、マイクロホンの選定およびその使用方法については格段の配慮が必要である。

本報告では、国産の計測用コンデンサマイクロホンとして代表的なMR-103型マイクロホンを精密騒音計に用いたときに得られる諸特性について検討、実験した結果について報告する。

### 2. 精密騒音計用マイクロホンの条件の検討

精密騒音計<sup>1)</sup>（以下単に騒音計という）の規格に適合する騒音計を設計、製作する場合、使用するマイクロホンについてはつぎのような諸条件が要求される。

- (1) 圧力型で、指向特性が表1および表2に適合すること。
- (2) 音場レスポンスがなるべく平坦、単純な形で、容易に良好な聴感補正特性が得られること。
- (3) 個々の特性が均一で、互換性がよいこと。
- (4) 精密な感度校正ができる型式、および構造であること。
- (5) 感度が良好で、雑音が少なく、ダイナミックレンジが広いこと。
- (6) 特性の経時変化が少なく、また、温度、気圧、その他の周囲条件の変化に対し、動作が安定であること。
- (7) 構造が丈夫で、各種の測定条件に適する附属品を備えていること。

表1 ±90°以内における指向特性の許容差

周波数 (Hz)	許容差 (dB)	
31.5~1000	1	-1
1000~2000	1	-2
2000~4000	1	-3
4000~8000	1	-6
8000~12500	1	-10

表2 ±30°以内における指向特性の許容量

周波数 (Hz)	許容量 (dB)	
2000以下	0.5	-0.5
2000~4000	0.5	-1
4000~8000	0.5	-1.5
8000~12500	0.5	-2

### 3. 計測用マイクロホンの実例とその特性

以上の条件をそなえたマイクロホンはなかなか得がたい現状であるが、音圧基準マイクロホン<sup>4)</sup>を騒音計に用いたときの諸特性を検討してみる。なお、特性の比較対称としてB&K社製の騒音計に用いられている4131型コンデンサマイクロホン<sup>5)</sup>を選び、その特性も併せて検討した。

#### (1) 定格

表3に両マイクロホンの定格を示す。両者とも、外径23.77mmの無指向性マイクロホンである。両者の構造は類似で、前置増幅器のマウントは互換性がある。但しMR-103型は元来、音圧基準用として設計されているのに対し、4131型は音場測定用として設計されているので、細部の構造および特性にかなりの差がある。このた

\* 東京都電気研究所光音部

表3 MR-103型および4131型の定格

	MR-103型	4131型
外径 (mm)	23.77	23.77
高さ (mm)	21.1	17.0
キャビティの容積 (cm <sup>3</sup> )	0.5	—
キャビティの深さ (mm)	1.9	—
膜の共振周波数 (Hz)	約8500*	10000
静電容量 (μF)	55*	66
成極電圧 (V)	200	200
音圧感度 (dB)	-49*	-46
音場レスポンス	図1	図2

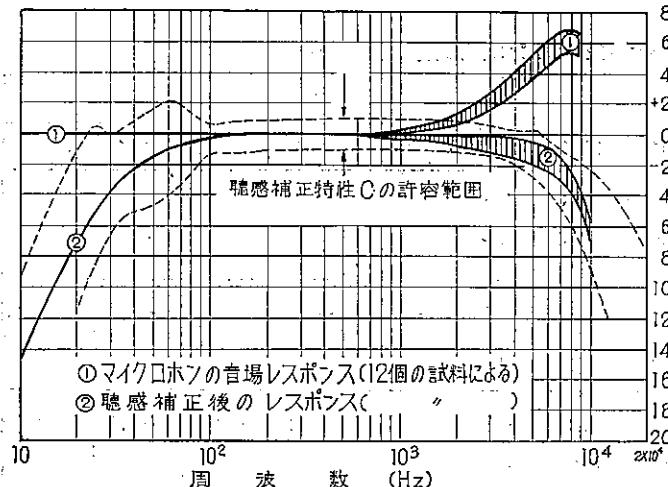


図1 MR-103型マイクロホンを用いた騒音計の聴感補正特性例

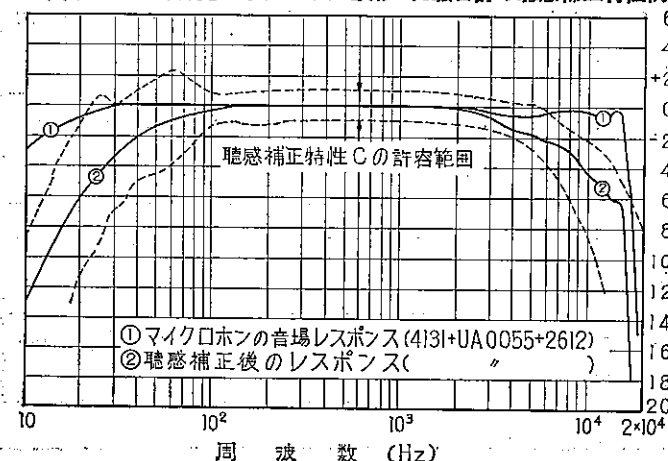


図2 B&K社4131型マイクロホンを用いた騒音計の聴感補正特性例

め、以下に述べるMR-103型のサンプルはとくに音場用に調整されたものを用いた。

(2) 音場レスポンスおよび指向特性

図1にMR-103型の標準入射角(0°)の音場レスポンス(サンプル12箇の特性)および、これを騒音計の聴感補正曲線Cに等化したときの特性を示す。これと同様に、図2に4131型の特性を示した。但し、音場レスポンスはメーカ発表の標準値を用いている。また用いた等化回路は両者とも同一形式のものであるが、その特性はマイクロホンの音場レスポンスに合せている。

両者の音場レスポンスを比較すると、MR-103型は低域の平坦部に對し、7~8KHzで約6dBの上昇特性であり、10KHz以上のデータはないが、やや急な下降特性が推測される。しかし、サンプル個々の差が少ないの

で10KHz以下で、聴感補正の許容差内に納まっている。4131型では、音場レスポンスが広域にわたって、ほぼ平坦なため、20KHz以下で良好な聴感補正特性が得られている。

表4に指向特性の測定結果を示す。表中の\*印は表1の許容差を越えていることを示すが、その量はわずかであり、両マイクロホンとも、ほぼ規格に適合している。

(3) 特性の互換性

図3にMR-103型12箇の音圧レスポンスを示す。これによると、1KHzにおける感度は、平均49.3dB 偏差+0.3dB、-0.5dBである。また、1KHzを基準としたレスポンスの平均値からの最大偏差は、1KHz以下で0dB、4KHz以下で0.4dB、10KHz以下0.5dBである。この程度の均一性があれば、騒音計の許容差に対して、完全な互換性が得られよう。

(4) 感度校正

両マイクロホンとも、相互校正法<sup>9)</sup>によって音圧感度が精密に校正できる構造である。前置増幅器を含めたマイクロホンの形状、寸法が一定であれば、音場補正係数を用いて、音圧レスポンスから音場レスポンスが換算できる。また、感度が安定であるから、電気入力を用いて騒音計の感度校正を正確に行なう

ことができる。

(5) 雑音と低いレベル測定限界

騒音計の最低測定レベル<sup>3)</sup>はマイクロホン出力の信号対雑音比、および増幅器の内部雑音によって制限されるから、マイクロホンの感度はなるべく高く、また、雑音が少ないことがのぞましい。

コンデンサマイクロホンは、その出力インピーダンスが容量性で、抵抗分が無視できるので、マイクロホン自身が発生する雑音は極めて少ないものと考えられる。しかし、低域まで一様な出力を得るためには、負荷抵抗を非常に高くとらなければならないので、負荷抵抗の熱擾乱雑音（以下熱雑音という）が問

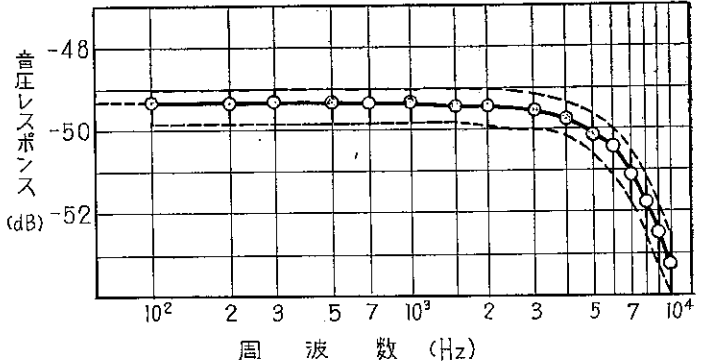


図3 MR-103型マイクロホンの音圧レスポンス  
(音響測定用として調整された試料12個による)

表4 コンデンサマイクロホンの指向特性 (単位dB)

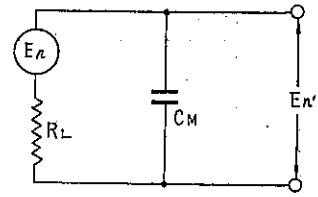
周波数 (KHz)	MR-103型					4131型				
	30°	60°	90°	180°	不規則入射	30°	60°	90°	180°	不規則入射
0.5	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0	0	0	0	0
1	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	-0.1	-0.3	0	-0.6	-0.4
2	-0.1 (-0.2)	-0.42 (-0.42)	-1.02 (-1.0)	-0.95 (-1.1)	-0.8 (-0.9)	0	-0.2	-0.6	-0.7	-0.6
4	-0.2 (-0.1)	-1.0 (-1.0)	-2.2 (2.5)	-1.7 (-1.6)	-1.8 (-1.8)	-0.4	-1.7	-2.4	-2.9	-2.2
8	-0.9 (-1.1)	-4.3 (-4.6)	-7.4 (-7.6)	-7.2 (-7.6)	-5.4 (-5.6)	-1.2	-4.1	-7.6	-9.4	-5.5
10	-1.6 (-1.6)	-4.7 (-4.8)	-8.4 (-8.6)	-9.2 (-9.5)	-6.2 (-6.2)	-1.8	-5.5	-9.2	-12.1	-6.6
12.5	-2.1* (-2.2)*	-7.2 (-7.6)	-12.4* (-13.2)*	-12.5 (12.7)	-7.8 (-8.0)	-2.0	-7.6	-14.4*	-16.5	-8.1
備考	1. ( )は振動膜保護用グリッドをはずしたとき 2. 両マイクロホン共試料2個の平均値									

題になる”。この熱雑音を図4の回路について求めると(1)の式のようになる。

$$E_n = 1,272 \times 10^{-4} \sqrt{\frac{1}{2\pi C_M}} \mu V \dots (1)$$

ここで、 $E_n$ は常温(20°C)における熱雑音出力電圧( $\mu V$  r.m.s.),  $C_M$ はマイクロホンの静電容量(F),  $R_L$ はマイクロホンの負荷抵抗( $\Omega$ )である。

(1)式によれば、 $E_n$ は $R_L$ に関係なく、 $C_M$ の平方根に逆



4図 コンデサマイクロホンの負荷抵抗の熱雑音等価回路

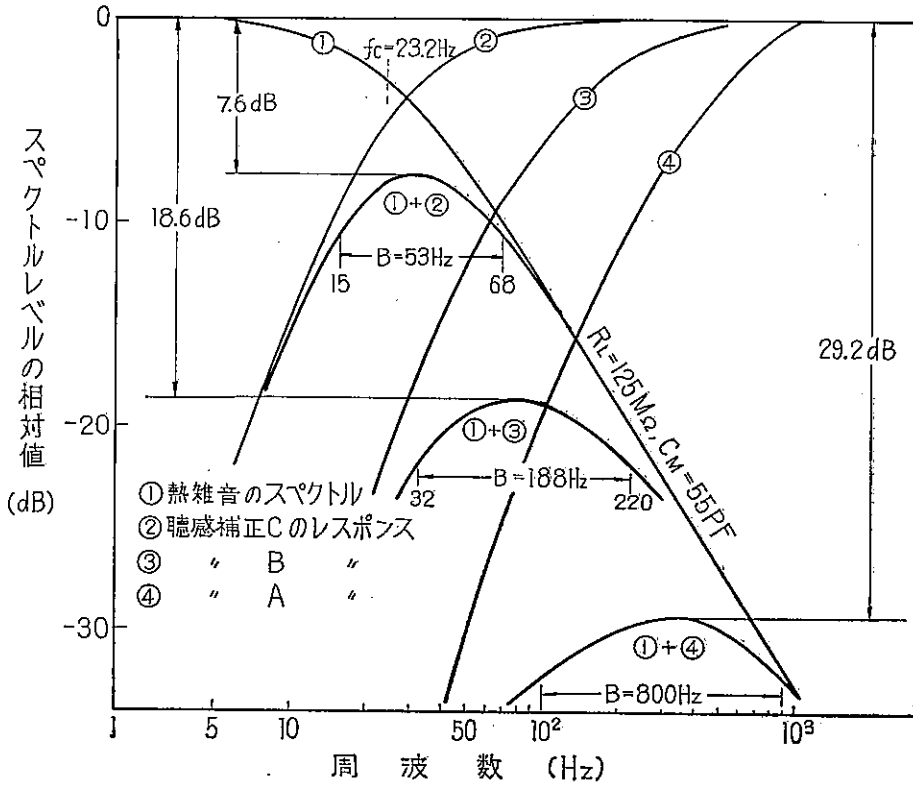


図5 MR-103型マイクロホンを騒音計に用いたときの抵抗熱雑音

比例する。MR-103型, 4131型の $C_M$ として表3の値を用いれば、 $E_n$ はそれぞれ $6.9\mu V$ ,  $6.2\mu V$ となる。この値と表3の音圧感度を用いて信号対雑音比5dB<sup>注1)</sup>に相当する音圧レベルを求めると、MR-103で24.8dB, 4131型で21.0dBを得る。騒音計では、低域下降形の聴感補正回路が用いられているので、 $F_c = \frac{1}{2\pi C_M R_L}$ 以下にスペクトルをもつ $E_n$ は大きな減衰を受ける。図5はMR-103型を騒音計に用いたときの $E_n$ の減衰を示したもので、 $C_M=55PF$ ,  $R_L=125M\Omega$ のときの $E_n$ のスペクトルに、A, BおよびCの標準聴感補正值で補正を行なったも

のである。この場合の等価雑音出力は $E_n' = \sqrt{\Delta E_n \cdot B} \mu V \dots (2)$ から求められる。ここで、 $\Delta E_n$ は聴感補正回路で補正された周波数1Hz当りの熱雑音出力電圧(r.m.s),  $B$ は等価周波数帯域幅(Hz)である。

$E_n'$ の計算値は、聴感補正Aで $1.4\mu V$ , Bで $2.3\mu V$ , Cで $4.3\mu V$ である。この数値から $S/N=5dB$ に相当するS.L.<sup>注1)</sup>を求めると、Aで11dB, Bで15dB, Cで21dBである。これが $R_L$ の熱雑音だけを考えたときの低レベル測定限界である。

(6) 感度の直線性

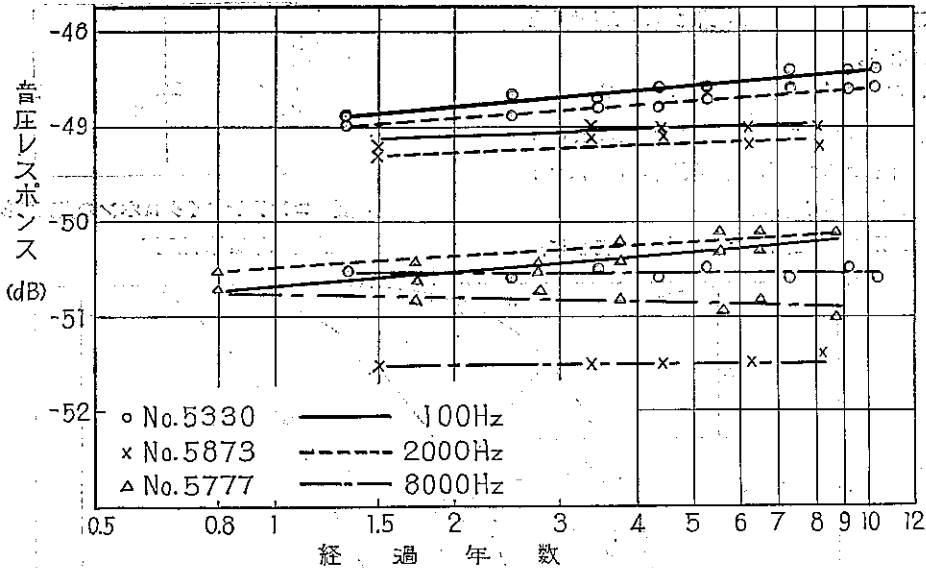


図6 MR-103型マイクロホンの音圧感度経時変化

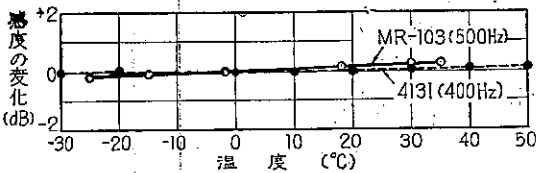


図7 MR-103型および4131型の感度-温度特性

騒音計<sup>1)</sup>の最高測定レベルは100dB (S.P.L)<sup>2)</sup>と規定されているが、通常130dB (S.P.L)程度は必要である。MR-103型; 4131型ともに150dB (S.P.L)程度までの直線性があるものと推定される。<sup>5), 8)</sup>

(7) 安定性

図6にMR-103型の音圧レスポンス経年変化を示す。試料は何れも当所で試験研究に用いているものである。感度の変化は10年間に最大0.5dBであり、安定性のよいことを示している。

図7はMR-103型; 4131型の低域(400, 500Hz)における感度の温度特性を示す。何れも良好な特性である。

(8) 付属品について

騒音計の応用分野は広く、測定対象の周囲条件も多様である。したがって、マイクロホンは、それらの条件に適応する補助器具を備えていることがのぞましい。例えば、風の影響をさける風防スクリーン、気流をとまら

音場で使用するための振動膜保護器具などである。4131型には、これらの専用付属品が豊富に用意されているが国産の計測用マイクロホンには、これらの付属品が少ない。

4. 前置増幅器

コンデンサマイクロホン用前置増幅器は、通常、マイクロホンを直接取付けて收音すべき音場におかれるので、その形状、寸法はマイクロホンの音場特性に影響を与える。また、その電気回路はマイクロホンの動作に欠くことのできないものである。したがって、前置増幅器はマイクロホンの一部と考えるのが適当である。前置増幅器の具備すべき一般的な特性については周知のとおりであり、多言を要しないと思うので、ここでは、騒音計の場合の具体的な2, 3の問題について検討を行ない、実験した結果について述べる。

4.1. 前置増幅器についての考察

(1) 直線性

騒音計の過負荷特性は、最高測定レベル (S.P.L) に相当する正弦波入力よりも12dB大きいレベルまで直線動作が要求される<sup>3)</sup>。この条件を入れて、MR-103型用前置増幅器の必要な直線性を求めてみる。同マイクロホンの1KHzにおける感度を-49dBとすると、S.P.L.

100dBに対する出力電圧レベルは-23dB(実効値のレベル)である。同マイクロホンは8KHz付近で音場レスポンスが、最大約6dB上昇するので、これと規定の過負荷+12dBを加えると、出力電圧レベルは-5dB(0.56V)である。一般の騒音計では、最高測定レベルがS.P.L 130dBであるから、このときは、正弦波の実効値レベルで+25dB(約18V)、P-P値で約50Vまでの直線動作を確保しなければならないことになる。これは電源電圧の低いトランジスタ式騒音計の場合やっかいな問題である。もし、マイクロホンの音場レスポンスが平坦であれば、25V(P-P)まで直線性をとればよいことになる、前置増幅器のトランジスタ化が容易になる。

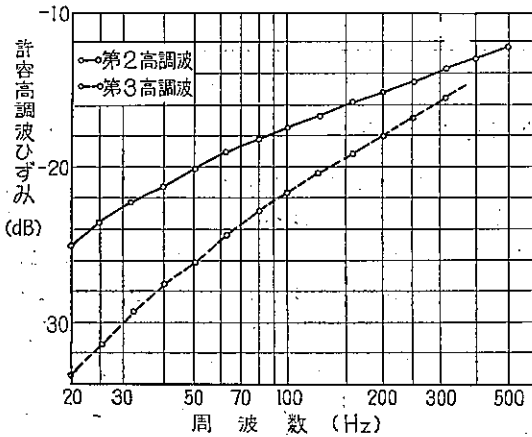


図8 高調波ひずみによる誤差0.5dBに対する増幅器の許容ひずみ(聴感補正Aの基準特性)

(2) 高調波ひずみの許容値

騒音計の聴感補正特性は、低域減衰形の周波数レスポンスをもっている。このような特性で、低音域に強いスペクトルをもつ音を測定する場合には、聴感補正回路以前の増幅器の波形ひずみが強調される結果、ひずみによる誤差が等価的に大きくなる。正弦波入力について、このときの誤差  $e$  を求めると、つぎようになる。

$$e = \left( \frac{K_1 F^2 + K_2 h_2 \dots + K_n h_n^2}{K_1 F^2} - 1 \right) \times 100\% \dots (3)$$

ここに、 $K_1$ は基本波に対する感度、 $K_2 \dots K_n$ はそれぞれの高調波に対する感度、 $F$ は基本波成分、 $h_2 \dots h_n$ はそれぞれの高調波成分である。また騒音計の複合音に対す

る感度は、聴感補正された各々の分音の2乗の和に比例するものとする。

前置増幅器の単独のひずみによる測定誤差を、かりに0.5dBとし、聴感補正Aの標準特性を用いたときの許容ひずみ率を(3)式で求めると図8のようになる。

(3) 回路方式

必要な取音周波数範囲で一樣な出力を得るため、入力抵抗は十分高く、出力抵抗は十分低くなければならないことは勿論である。騒音計では、とくに悪い使用条件での安定性を確保するため、湿気や温度の変化、振動などに対して十分な配慮が必要である。

前置増幅器の回路としては、周知のようにカソードホロアが代表的であるが、近年、騒音計のトランジスタ化が進むに従い、前置増幅器のトランジスタ化が必要になってきた。前置増幅器のトランジスタ化を実現するための有望な素子としては、電界効果トランジスタ(F.E.T)が目されるが、その問題点をあげると

- A) 過電圧入力に弱く、取扱いに注意を要すること。
- B) 出力電力が低く、騒音計に必要な直線性が得にくいこと。
- C) 利得が低く、特性のパラツキが大きいこと。
- D) 発熱がないこと。

などの利点がある。上記の欠点も現在最も進歩した品種では、ほぼ完全に改善されている。

4.2 接合型F.E.Tを用いたソースホロアの実験

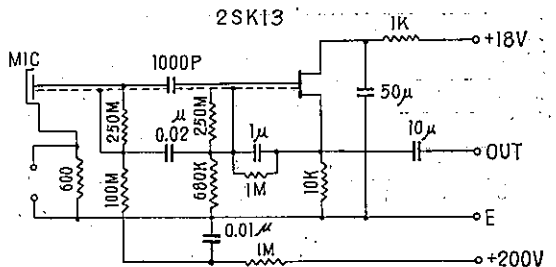


図9 試作ソースホロア回路図

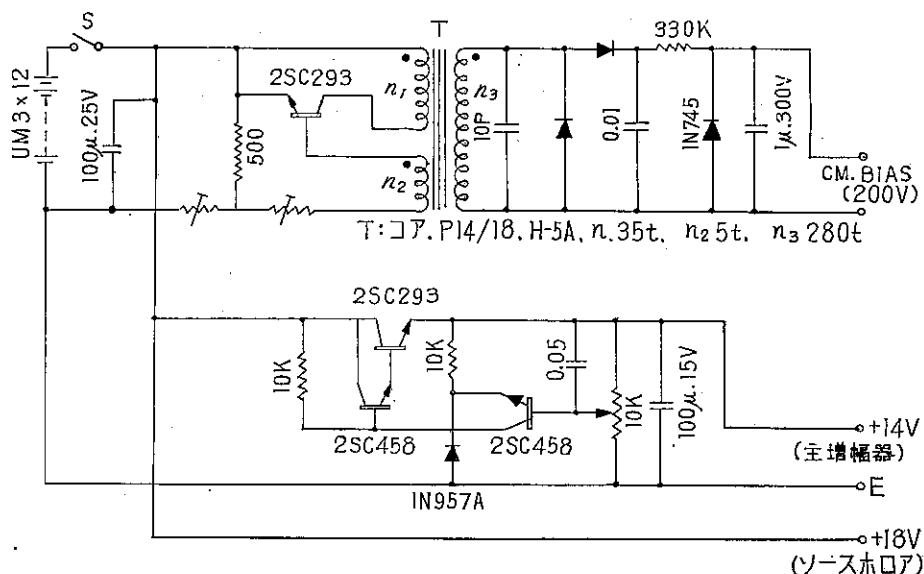


図10 試作精密騒音計用電源回路

図9に実験回路を示す。回路方式は標準的なソースホロアで、F.E.T は国産の2SK13を用いている。回路の主要定数は、F.E.T. の相互コンダクタンス  $1\text{ m}\Omega$  をとすると、入力抵抗  $R_i = 1000\text{ M}\Omega$ 、出力抵抗  $R_o = 940\Omega$ 、電圧利得  $A_v = 0.89$ 、最大出力電圧（無負荷時）  $E_{omax} = 14\text{ Vp-p}$ 、である。

図10に電源部の回路を示す。携帯用騒音計に用いるため、電源は電池式とし、ソースホロア用  $18\text{ V}$ （非安定化）、主増幅用  $14\text{ V}$ （安定化）、コンデンサマイクロホン成極電圧用（安定化）の出力を得ている。

図11は実験器の利得周波数特性で、抵抗  $100\text{ K}\Omega$ 、並列容量  $1000\text{ pF}$  の負荷に対し、 $10 \sim 20000\text{ Hz}$  で十分な特性が得られている。

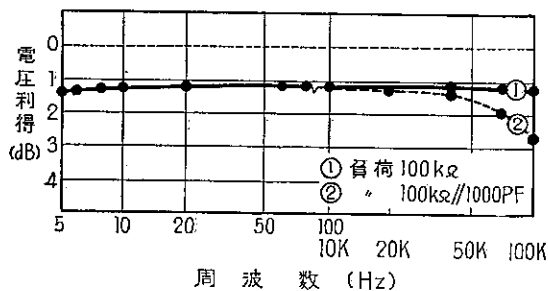


図11 試作ソースホロアの利得周波数特性

静電容量  $60\text{ pF}$  をマイクロホンを置換えたときの聴感補正された雑音出力電圧レベルは、聴感補正Aで  $3.5\mu\text{ V}$ 、Bで  $5.5\mu\text{ V}$ 、Cで  $12\mu\text{ V}$ （何れも実効値）である。この雑音からMR-103型マイクロホンを用いたときの  $S/N = 0\text{ dB}$  となる、S.P.L ( $1\text{ KHz}$ ) を求めると、聴感補正Aで  $15\text{ dB}$ 、Bで  $18.5\text{ dB}$ 、Cで  $26\text{ dB}$  となる。騒音計では最低測定レベルにおける  $S/N$  は  $5\text{ dB}$  以上であるから、これを入れると、聴感補正Aで  $20\text{ dB}$ 、Bで  $23.5\text{ dB}$ 、C

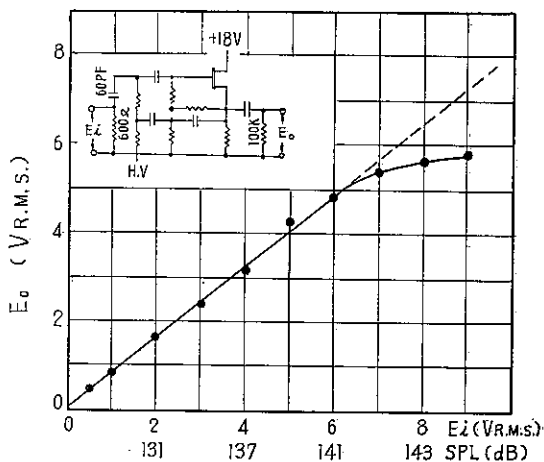


図12 試作ソースホロアの直線性

で31dB (S.L) が最低測定レベルである。

第12図に直線性, 第13図に高調波ひずみ率特性を示す。入力電圧6V (実効値) 以下で, ほぼ, 満足な直線性が得られている。また, 全高波調ひずみ率が1%を越える入力電圧は4V (実効値) で, これは入力音圧 (MR-103の1KHzにおける値) に換算すると135dBに相当する。

マイクロホン成極電圧の温度特性は, 0°~50°C 間の変化が, 20°Cの基準値に対し-0.5dB+0.24dBである。

マイクロホニックス雑音については, 目下測定の方法を検討中であるが, 入力回路の部品を充分強固に固定すれば, 問題にならないことが確認された。

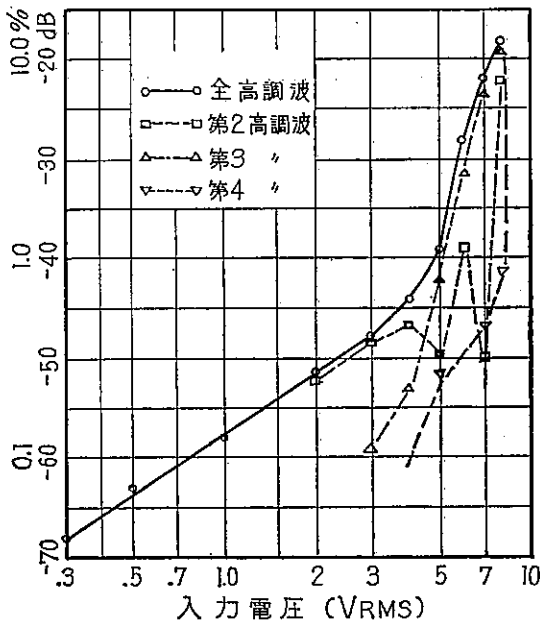


図13 試作ソースホロアの高調波ひずみ率

## 5. 結言

以上, 精密騒音計用マイクロホンと前置増幅器の例について検討した結果を報告した。マイクロホンについては, 良好な聴感補正特性を得るため, および前置増幅器のF.E.T化を容易にするため, より平坦な音場レスポンスをもつ品種を開発することが目下の急務といえる。また, 前置増幅器のF.E.T化については, 実験の結果, ほぼ満足すべき特性が得られたが, 最近F.E.Tの高耐圧化が進んでいるので, さらによい結果が期待できよう。

## 参考文献

- 1) I E C Publication 179 Precision Sound level meter
  - 2) I E C Publication 123 Ordinary Sound level meter
  - 3) J I S C1502-1966 指示騒音計
  - 4) 早坂, 鈴木, 日本音響学会誌, 15, No. 1, p43 (昭 34)
  - 5) B&K Instructions and Applications, 4131 /32
  - 6) 日本音響学会誌, 9, No2, p.69~82 (昭 28)
  - 7) 東京都電気研究所研究報告, 9, No.3 p56 (昭 40)
  - 8) 東京都電気研究所研究報告, 8, No6, p, 1 (昭 36)
- (注)
- 1) S.L. は Sound level (騒音レベル) の略で, 騒音計で測った音の「ホン」数をいう。この数値は周波数1KHz では S.P.L. と等価である。
  - 2) S.P.L. は Sound Pressure level (音圧レベル) の略。