

氏 名(本籍)	服 部 昭 三(東京都)
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 第 5 1 号
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 4 3 年 7 月 3 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
最 終 学 歴	昭 和 2 1 年 9 月 大阪帝国大学工学部通信工学科卒業
学 位 論 文 題 目	拡散音場における音響機器の校正法に関する研究
	(主査)
論 文 審 査 委 員	教授 二村 忠元 教授 城戸 健一 教授 柴山 乾夫 教授 本多 波雄

## 論 文 内 容 要 旨

電気試験所では音響標準に関する研究を十年來実施しているが、この研究のうち標準マイクロホンの音圧校正、自由音場における音場校正については理論・実験からの厳密な研究により、大きな問題はほぼ解明され、また自由音場における二次校正の問題についてもすでに解明されている。しかし音響機器を使用する現場は、自由音場と拡散音場とが混在した音場であり、個々の状況に応じて自由音場感度と拡散音場感度とを使い分ける必要がある。ところがこの拡散音場感度は、現在では自由音場における指向特性から計算で求めており、この方法は非常に手間のかかる操作で、しかも得られた値は近似値にすぎない。

そこで筆者らは、拡散音場において直接に音響機器を校正する方法を確立する必要に迫られ、拡散音場についての研究に着手したが、こゝである程度の成果を得たので論文にまとめた次第で

ある。

残響室において純音で音源を駆動した場合、定常態後の任意の位置の音圧は理論的に確定的となる。しかし実際の測定では音源・受音点の位置、あるいは駆動周波数などのわずかな変動により、音圧レベルが30 dB程度まで大巾に変動するので、精密な音響測定を実施するためには統計的な手法を導入せざるを得ない。

そこでこの論文では、まず拡散音場について確率論的に考察し、統計処理を行なうための基礎的な考え方を導びいてこれを第1部とし、ついで第1部の結論を基にして残響室における音響機器の二次校正法および測定精度について明確にし、これを第2部とした。

つぎに第1部、第2部の要点について総括するとつぎのようになる。

## 第 1 部

残響室の音場を統計的に扱う場合、標本点の取り方として音源の駆動周波数を変数にする場合と、音源・受音点の位置を変数にする場合とに分けられる。

第2章ではまず、周波数を変数にした場合について詳しく扱った。

直方体残響室の音場については、Morseが詳しく解析しており、音圧は各固有モードの集合で表わされる。ここで音圧を実部と虚部に分離してその分布を考えると、これは周波数軸について各固有モードが重畳した状態である。そこで考察する周波数範囲をモードの周期性が現われない範囲に限定すると、モードの発生はポアソン分布的であると仮定でき、その結果、S. O. Rice が誘導した真空管の陽極における散弾雑音電流の確率密度関数の式をそのまま適用することができる。この式はEdge-worth級数と呼ばれる正規分布の近似式であり、音圧の実部、虚部にこの式を適用して、固有モードの密度による正規分布への近似の程度を明確にした。これが確率論的な考え方の出発点で、この実部と虚部の結合確率から音圧の確率密度関数を計算しレーレ分布の近似式を誘導した。

また一般の音響測定ではdB表示が用いられるので、音圧の確率密度からdB表示の確率密度を誘導し、その分布の平均値および標準偏差を計算した。その結果、音場がレーレ分布を満足する場合は、多数の標本点の音圧レベル値の平均値に2.5 dB加えたレベルが音の強さのレベルとなり、固有モードの密度が減少してレーレ分布からずれる場合の誤差が明確にされた。

また測定を行なう前に音場がレーレ分布を満足するかどうかを検定する必要がある。音圧レベルの柱状分布について、 $\infty$ からあるレベル $Z$ までの累積を $F(Z)$ とし、

$$L(Z) = \log \cdot \ln \frac{1}{F(Z)} \quad \text{を計算すると,}$$

レーレ分布の場合は傾斜が1/10の直線となる。そこでこのL(Z)が45度の直線となる確率紙を製作し、これによりレーレ分布の検定がきわめて容易になった。

第3章では、実用的な見地から音源として経験的に使用されている震音について確率論的に解析した。すなわち音響機器の二次校正の場合に、純音で駆動して多数の標本点について統計処理をする操作は手間が多く現実的でない。そこで一回の測定操作で多数の標本点を同時にとる方法、すなわちマルチ周波数による駆動が必要となる。独立なn個の周波数成分によるマルチ周波数で音源を駆動し、受音点のマイクロホン出力を2乗して、うなりを平均化できる程度の長い時定数で積分すると、その値の分布は自由度2nの $\chi^2$ 分布で示される。そこでこの分布についてdBに変換し標準偏差を計算すると、つぎの式で表わされる。

$$\text{標準偏差} = 4.3\sqrt{\Psi'(n)} \quad [\text{dB}] \quad \Psi' \text{ はポリ・ガンマ関数}$$

ところがマルチ周波数として使用される震音は、搬送周波数を中心とし変調周波数の周波数間隔でスペクトルがならび、各スペクトル間には相関が生ずる。この相関は周波数相関と呼ばれ、 $\rho(\Delta f) = 1 / [1 + (2\pi r \Delta f)^2]$  (ただし $r = T_{60} / 13.8$ ,  $T_{60}$ : 残響時間) で表わされるように残響時間に関係する量である。すなわちこの相関のために独立な標本数が減少したことと同じ結果となり、測定値のバラツキが大きくなる。そこで全スペクトルについて相互間の相関を全部計算してdB表示の標準偏差を求め、等価的な独立標本数を誘導した。この結果、残響室の残響時間、音源に用いる震音の変調周波数、変調度が決まると、残響室内の音圧レベルの標準偏差が図表を用いて理論的に導びかれるようになった。

この第3章が第1部の肝要となるところで、この結果第2部で述べる残響室における音響機器の校正法が開発され、音源に使用する震音の種類が決定された。

第4章では、音源および受音点の位置を変数にした場合について扱った。すなわち純音で駆動した場合、音源・受音点の位置を変数とすることによって得られる音圧分布はレーレ分布の近似式で表わされ、周波数を変数とした場合とほぼ同じ近似の程度であることを示した。ついで震音で駆動して音源・受音点の位置を変数とした場合の測定レベルの標準偏差の理論的な限界を導びいた。しかし実際の測定では、音源・受音点の位置を壁から $\lambda/2$ 以上離れた点にとっているので、場所を変数としたための影響はほとんど無視できる。

また残響室において、音源と受音点とが接近しすぎると直接波の影響で誤差を生ずる。直接波と反射波とが混在した場合の音圧分布は、ガウス雑音に正弦波が重畳した場合のエンベロープの分布と全く同じなので、Ric $\theta$ の解析を適用して音源・マイクロホン間の最小限界距離 $r$  [m]を導びいた。この値は要求される測定精度、残響室の容積 $V$  [m<sup>3</sup>]、残響時間 $T_{60}$  [秒]によ

て決定されるもので、例えば直接波の影響による誤差を0.5 d B以内にするためには、常温では最小限界距離はつぎの式で示される。

$$r > 0.16 \sqrt{\frac{V}{T_{60}}}$$

## 第 2 部

第 1 部で述べた確率論的な考察を基礎として設計・建設した電気試験所の残響室の構造および音響特性を第 2 章で述べる。この残響室は壁厚 30 cm, 容積 210 m<sup>3</sup> の不整形の中形残響室である。残響室内の音場について  $\bar{v}-\bar{v}$  分布の検定をした結果、5000 c/s 以上で  $\bar{v}-\bar{v}$  分布となり、拡散音場を満足する。

第 3 章では、残響室においてマイクロホンの拡散音場感度を二次校正する方法および校正精度について述べる。音源の駆動に用いた震音の種類は、第 1 部第 3 章の結論に従って定めたもので、0.2 ~ 1.0 c/s のごく低い周波数の鋸歯状波で変調し、周波数帯域巾を  $\pm 50 \sim \pm 75$  c/s とした。マイクロホンの出力を 2 乗して、30 秒程度の時定数をもつレベル計で指示を読むと、測定値の標準偏差は理論的に 0.6 ~ 0.9 d B になる。そこで回転台によりマイクロホンを移動して独立な 10 個の標本点についての平均値をとると、標準偏差を 0.2 ~ 0.3 d B 程度におさえることができる。

この方法による校正を実施した結果、マイクロホンの拡散音場感度の二次校正の誤差は最大で  $\pm 0.4$  d B, 全測定例の 70% は  $\pm 0.2$  d B 以内であった。一般に残響室における測定精度は悪いものであると考えられていたが、このような統計的な手法により拡散音場において  $\pm 0.5$  d B の精度で校正が可能になった。

第 4 章では、音源の音響パワーレベルの測定法および測定結果について述べる。音響パワーレベルは残響室内の音圧レベルと残響時間の値から求められる。この音圧レベルを求めるための震音の種類は第 3 章のマイクロホン校正の場合と同じで、10 個所について音圧レベルの平均値をとった。また音響パワーレベルは、自由音場における正面入射レスポンスおよび指向性利得の値からも算出できるが、この値は近似値にすぎない。拡散音場と自由音場とにおいて測定した音響パワーレベルを比較した結果、その差は最大で 2.4 d B, 全測定例の 70% は  $\pm 1$  d B 以内であった。

第 5 章では、残響室において騒音計を校正する方法について述べる。音源は震音で駆動し、残響室内の音圧レベルをあらかじめ 84 d B に設定する。つぎに騒音計を持った観測者が残響室に入り、騒音計のメータを S L O W とし、任意の 10 点の平均値をとって校正する。残響室における騒音計校正の有利な点は、観測者を含めての校正が可能なる点にある。無響室で騒音計を校正す

る場合には観測者がマイクロホンの近くにいと、校正誤差が非常に大きくなるという不利がある。

騒音計の拡散音場レスポンスは、現在まで、自由音場における正面入射レスポンスと指向特性から算出する非常に手間のかゝる方法を用いていたが、この方法により残響室において直接に拡散音場レスポンスを求めることが可能になった。

この論文の結論を一言でいえば、拡散音場における確率論的な考察を基礎とし、従来経験的に使用されていた震音について解析し、音圧レベルの標準偏差が震音の周波数帯域巾、変調周波数および残響時間に左右されることを理論的に導びいたこと、ならびにこれらの関係から残響室における音響機器の二次校正法を確立したことである。この研究により拡散音場についての考え方が明らかにされ、拡散音場においても $\pm 0.5$  dB以内の精度で音響機器の感度の値づけが可能になった。

この研究に併行して、現在拡散音場における相互校正法による標準マイクロホンの絶対校正の研究が行なわれており、この両者の研究成果をあわせてはじめて拡散音場における音響標準が確立されたことになる。拡散音場における諸問題のうち、残響時間などの過渡現象を含んだ問題については、いまだ不明確な点が多く、今後さらに定常状態で扱ったように確率論的に考察して解明していく必要があるように思われる。

## 審査結果の要旨

騒音計などの音響機器を使用する実際の音場は、環境に応じて自由音場から拡散音場までのさまざまな形態をとる。したがって、すでに確立された音圧校正、自由音場における音場校正に加えて、拡散音場における音場校正法を明確にする必要がある。しかし、拡散音場における音場の複雑さから、従来、その校正法は確立されておらず、音圧感度および自由音場における指向特性から間接的に拡散音場感度を求めているにすぎなかった。

本研究は、まず拡散音場に確率論的な考え方を導入して、その性質を明確にし、音響工学的な立場から拡散音場における二次校正の問題を理論的および実験的に扱って成功したもので、この成果は、ただ単に音響機器の校正ばかりでなく、広く拡散音場における音響測定技術に有用な知見を与えたものである。

本論文は、第1部4章、第2部6章からなり、第1部で拡散音場についての確率論的な考え方を明確にし、第2部で残響室における音響機器の校正法を扱っている。

第1部第1章は、拡散音場に確率論を導入するための緒論で、同時に本研究の必然性と目的について述べてある。

第2章は、直方体残響室の音場の解析から出発し、周波数を変数とした場合の室内の音圧レベルの確率密度、平均値、標準偏差などについて論じたもので、確率論的な考え方の基礎となるものである。

第3章は、一回の測定で、多数の標本点をとるために、震音を利用することについて解析したもので、震音の種類と室の残響時間および測定レベルの標準偏差との関係を明確にしている。この研究が第1部の最も重要な部分であって、この結論により残響室における音響機器の校正法の基礎的理論が確立された。

第4章は、音源・受音点の位置を変数にした場合について取扱ったもので、測定誤差の理論的な限界を示している。

第2部第1章は、第2部の緒論で、第2章には残響室について述べてある。

第3章から第5章までは、それぞれ、残響室におけるマイクロホンの二次校正法とその校正精度、音源の音響パワーレベルの測定法とその測定精度および騒音計の校正法および校正精度について述べたものであり、観測者が近傍にいても測定が可能であることを示している。

第6章は、第2部のまとめで、最後の「むすび」は、本論文の概要と結論である。

以上要するに、本論文は拡散音場における確率論的な考察を基礎として、従来、経験的に使用されていた震音についてその特性を明確にして、残響室における音響機器の二次校正法を確立したもので、電気通信工学および音響工学に寄与するところが少なくない。

よって本論文は、工学博士の学位論文として合格と認める。