

ミュージックホールの音響設計

Acoustical Designing of Music Hall

西山 静 男*
Shizuo Nishiyama

米村 茂 樹**
Shigeki Yonemura

大崎 昭 太 郎**
Shōtarō Ōsaki

内 容 梗 概

昭和33年12月に毎日大阪会館に、34年12月に名古屋の栄町に、それぞれミュージックホールが建設された。これらはショールーム、喫茶室などとともにファミリーセンターを形成している。ミュージックホールはその名のとおり主として音楽鑑賞に利用する設備である。したがって音響設計、施工、そのほか音響機器などの諸設備もこの面から検討した。

完成後の測定結果では、小形ホールではあるが、良好な音響特性をもち、現在種々の催物に利用されている。

1. 緒 言

ホールの音響特性で重要なのは次の諸点である。

- (1) 室の容積と使用目的によって適当な残響時間をうるようにすること。
- (2) 室内の音の拡散、反射を考え、特に後方客席で必要な音場の強さが得られるようにすること。
- (3) 有害な反響や定在波の形成を避けること。
- (4) 騒音は外部からくるものも、内部で発生するものもできるだけ減少させ、音楽鑑賞などに妨害を生じないような低いレベルにすること。
- (5) 再生装置、拡声装置は客席全体に必要な音圧を与えるように、出力、指向性に留意すること。

大阪、名古屋の両ホールでも内装、諸設備について以上のことに重点をおいた。

2. 設計方針と内装材料

2.1 最適残響時間

最適残響時間の値についてはKnudsen⁽¹⁾やBeranek⁽²⁾などにより発表されたデータがあるが、容積の小さいものでは後者のほうが適当と考えられる。(第1図(a))。

残響時間の計算式は普通、次の Eyring の式が用いられている⁽³⁾。

$$T = -\frac{0.161V}{S \ln(1-\bar{\alpha})} \dots \dots \dots (1)$$

T : 残響時間 (sec) V : 室の容積 (m^3)

S : 室内の表面積 (m^2)

$\bar{\alpha}$: 室内面の材料の平均吸音率

また、残響時間の周波数特性については、Knudsen などによって次式のような比率 R をかけただけ、低音部で長くしたほうが良いとしている。

$$T_L = R \cdot T_H$$

T_L : 500 c/s 以下の残響時間

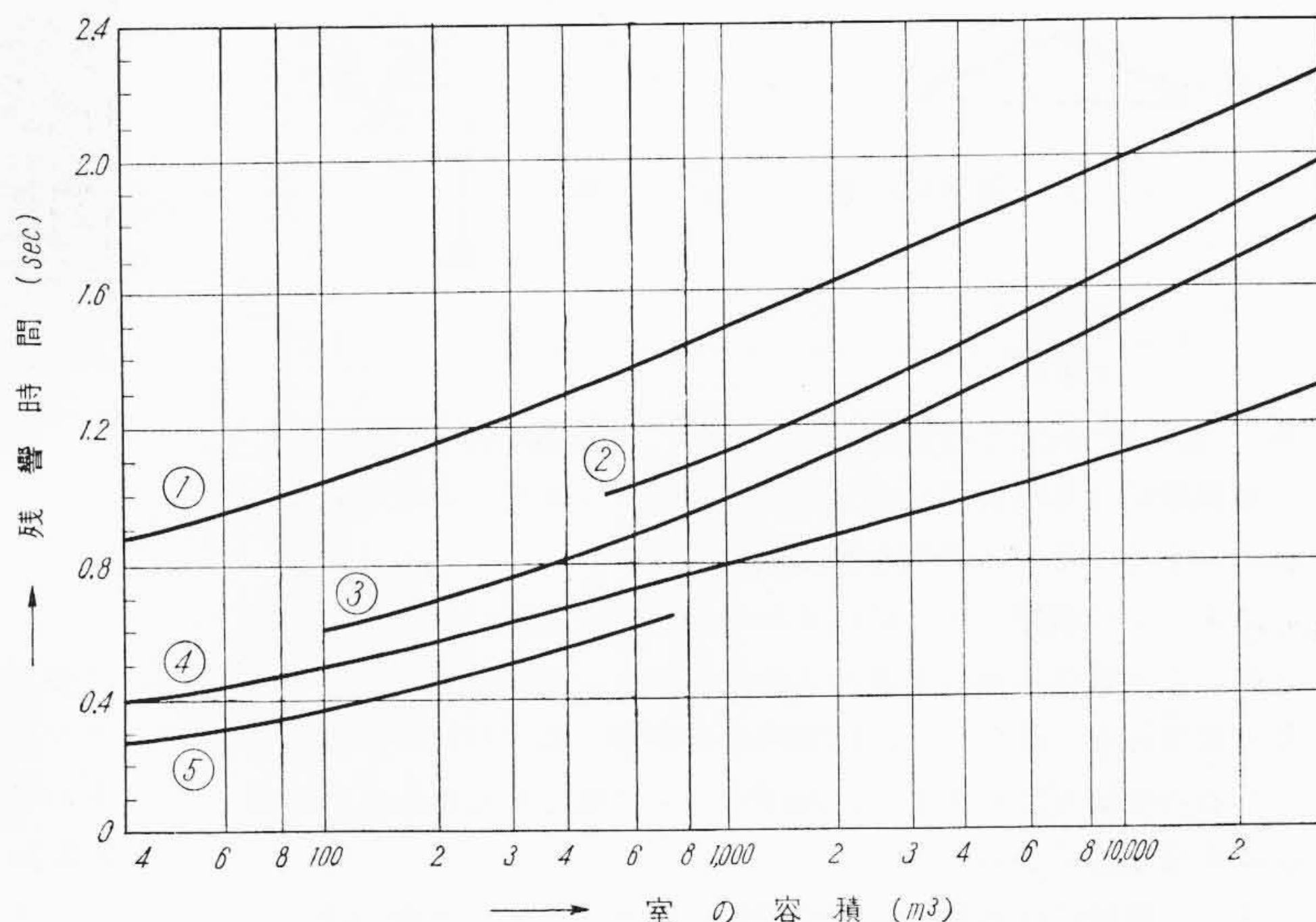
R : 1 以上の値

T_H : 500 c/s 以上の残響時間 (一定)

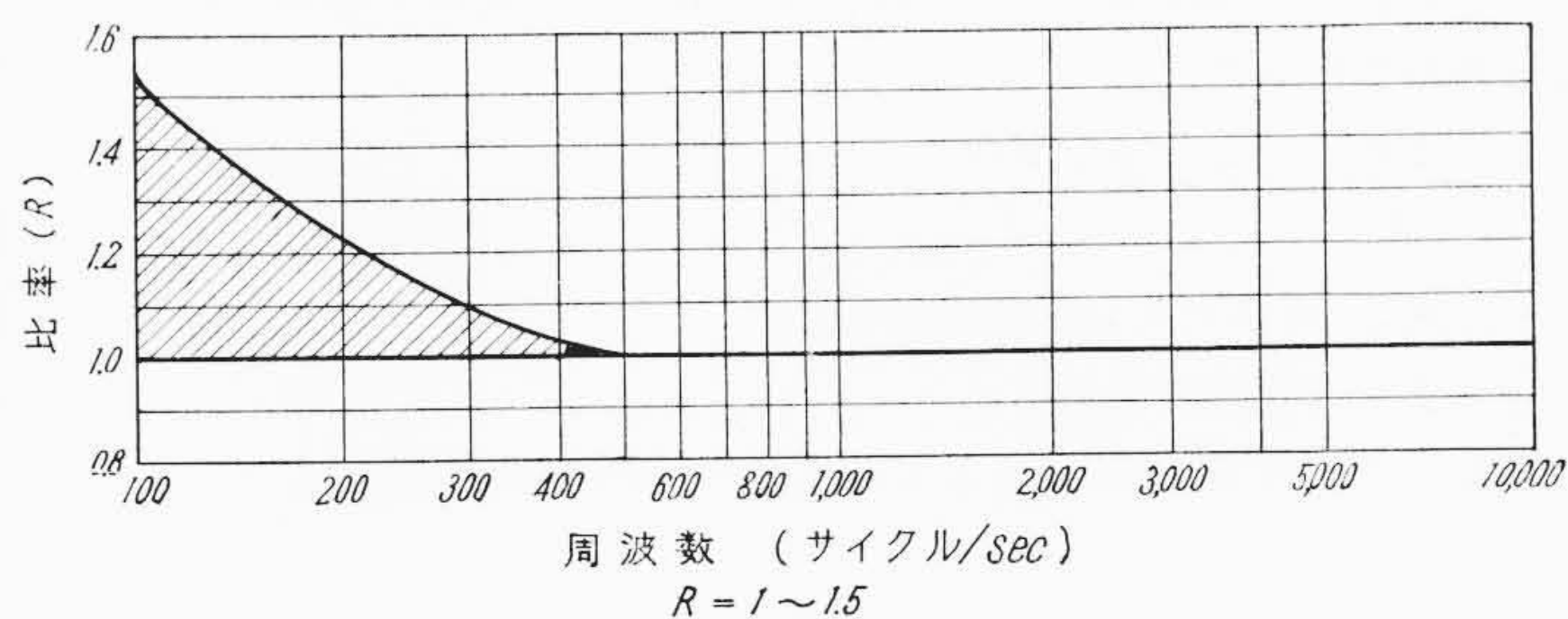
R の値は第1図(b)に示す斜線の部分である。

大阪ミュージックホールの概略の規模は容積 $440m^3$ 、表面積 $500m^2$ 、定員 120 名である。

音楽はレコードおよびテープの再生がおもなものであり、これらはすでに録音の際に残響が付加されているから一般のホールのように



第1図 (a) Beranek による最適残響時間



第1図 (b) 残響時間の周波数特性

な残響は不必要であるし、場合によってはむしろ有害であろう。

したがって講演用よりも少し長い 0.6 sec を目標にした。

名古屋ミュージックホールは容積 $210m^3$ 、表面積 $260m^2$ 、定員 80 名であり、残響時間は 0.5 sec を目標とした。

2.2 両ホールの内装材料

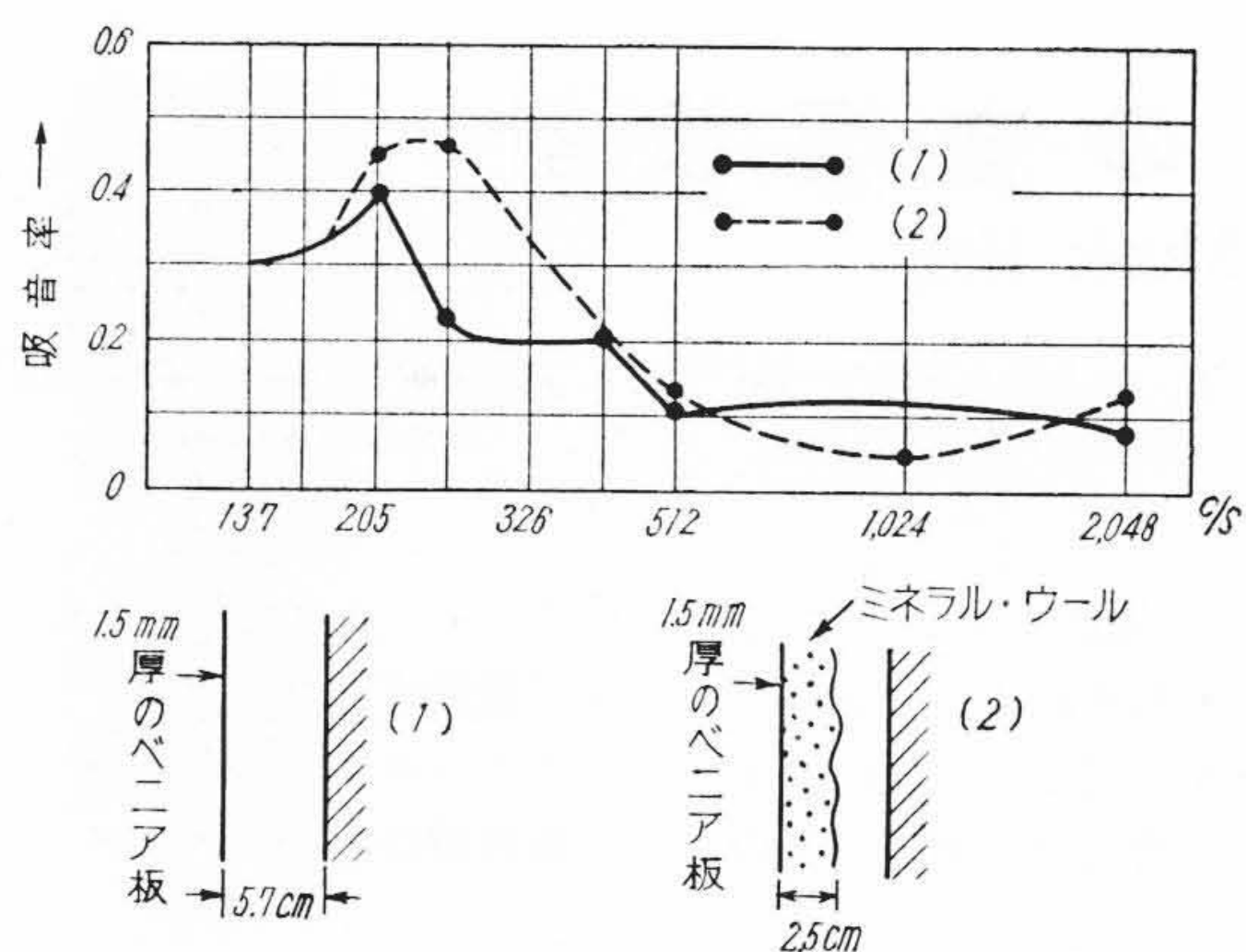
2.2.1 大阪ミュージックホール

残響時間の周波数特性は、人間の吸音力が 1,000 c/s 以上の高音域で相当大的な値になるから、低音域の吸収を考えねば一定な残響時間が得られなくなる。これには板共振を利用することにした。

板共振による共振周波数、吸音率はその取付方法などにより変化し、正確な解析は不可能で、実験的に求められているが、板が薄く、裏面の空気層が大きいときは、最大の吸音を示す周波数は次式で与えられる⁽⁴⁾。

* 日立製作所戸塚工場 工博

** 日立製作所戸塚工場



第2図 板の吸音特性



第3図 拡散体

$$f_r = \frac{600}{\sqrt{m d}} \quad (2)$$

m : 板 1 m^2 あたりの重量 (kg) d : 空気層の厚さ (cm)

板共振による吸音率は空気層にロックウールなどの吸音材を入れると上昇する。その例を第2図に示す⁽⁵⁾。

ステージの側壁、天井には6 mmのベニア板をつけ、反射と板共振による低音の吸収を兼ねさせた。また、客席側の一方は三角形の拡散体をつけた。これは場内に定在波、鳴き竜などの現象を生じるのを防ぐためであり、表面はベニア板であるから低音の吸収にも役立っている。

また、後壁には有効ベニアで成形したポリシリンダをつけ、内部にロックウールをつめて音の拡散と、ステージへの反響を除去した。これらの拡散体については次式が成立する範囲で効果があるとされている⁽⁶⁾。

$$\frac{2\pi}{\lambda} r > 2 \therefore f > \frac{100}{r} \quad (3)$$

r : ポリシリンダの半径 (m)

f : 周波数 (c/s)

また、凸面体第3図に対しては次式の範囲で拡散性をもっている⁽⁷⁾。

$$\frac{3.6 \times 10^2}{a} < f < \frac{(7 \sim 9) \times 10^2}{c} \quad (4)$$

ただし、第3図の a と b の間には次式の関係がある。

$$\frac{b}{a} > 0.15 \quad (5)$$

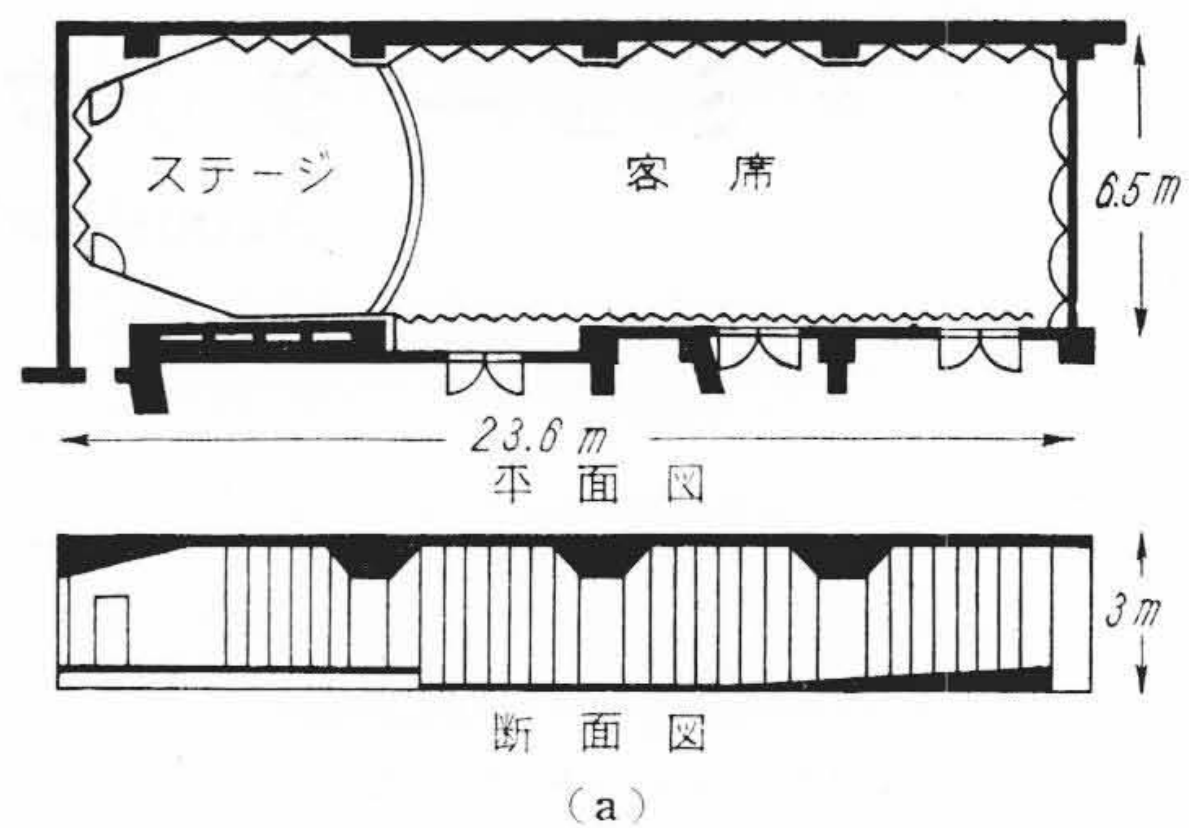
a, b, c : 単位 m.

上式で定まる上限の周波数以上の高音では、三角形を形成する一面が反射面となるが、屈曲面が多ければ、各面によって生じる像の数もふえるからあまり悪影響はない。下限の周波数より低い音波では凸面としての働きが失われる。拡散周波数の範囲を増すには、 a を大きくするとともに、小さな凸面を付加すればよい。

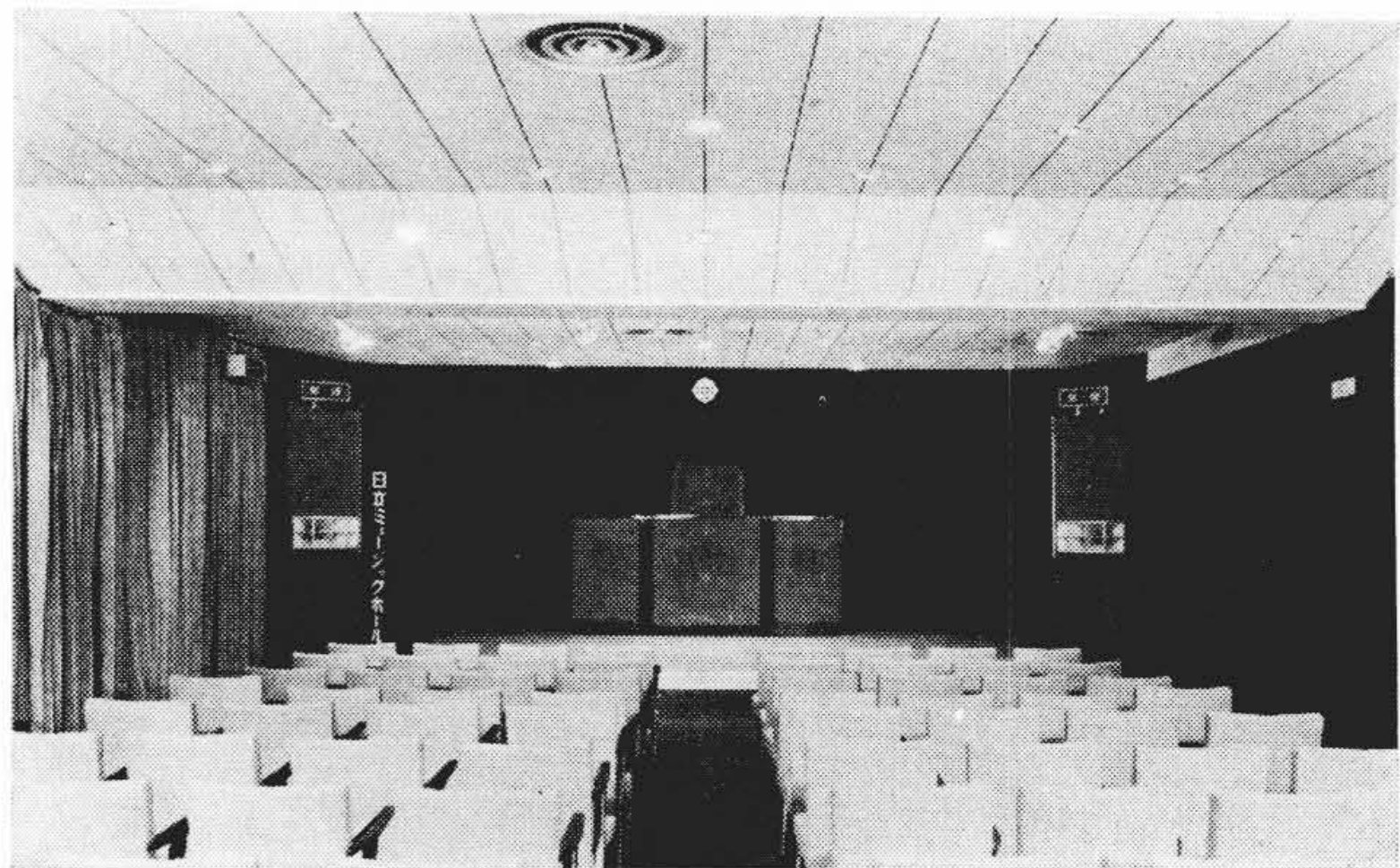
大阪ではポリシリンダの半径 50 cm、三角壁の底辺 1 m であるから、200~1,800 s/c 位の範囲で拡散効果が期待できる。

天井高が長さの割に低いので、屈曲した反射面をつけるのをあきらめ、吸音率のあまり大きくないテックスを天井にはって、ステージ上の音源の強い像をつくるのを防いだ。

床面はアスタイル、客席の片側は通路の連絡用とびらが多いの



(a)



(b)

第4図 大阪ミュージックホール

で拡散体をつけずカーテンをつけた。入場者が少ないときはカーテンを引いて吸音力を増し、多いときはたたんでおく。第4図にその概要を示す。

2.2.2 名古屋ミュージックホール

ステージ側は側壁、天井などすべて合板で作って反射と低音吸収を兼ねさせた。床にはアスタイルをはった。

側壁は両側とも、断面が底辺 1 m、高さ 0.25 m の三角形の拡散体で、この拡散効果は(4)式より 350~1,800 c/s の範囲である。しかし屈曲面の数は多いから 1,800 c/s 以上でも悪影響はない。後壁は調整室、とびらなどであるが表面に種々の有孔合板をはり、内部にロックウールをつめて反響を防いでいる。第5図に概略を示す。

有孔ベニア、あるいは有効テックスは板共振と空洞共振を兼用したもので共振周波数は次式で与えられる⁽⁸⁾。

$$f_r = \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{h(t+0.8d)}} \quad (6)$$

P : 有孔率 C : 音速 (m/s) t : 板の厚さ (m)

d : 孔の直径 (m)

h : 空気の厚さ (m)

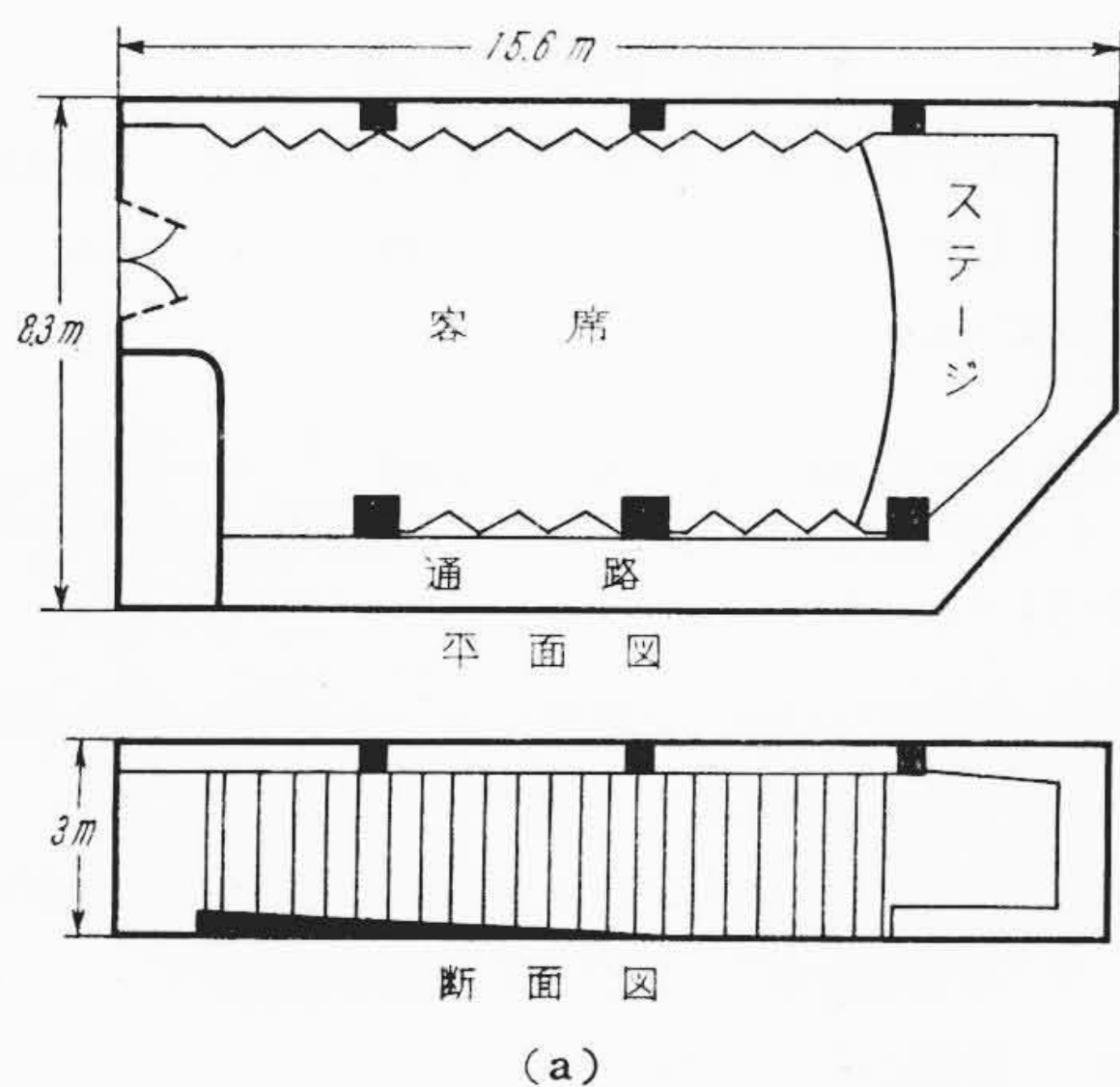
空隙内に吸音材を入れると上式の共振点で80~90%の高い吸音率を示す⁽⁹⁾。

2.2.3 暗騒音

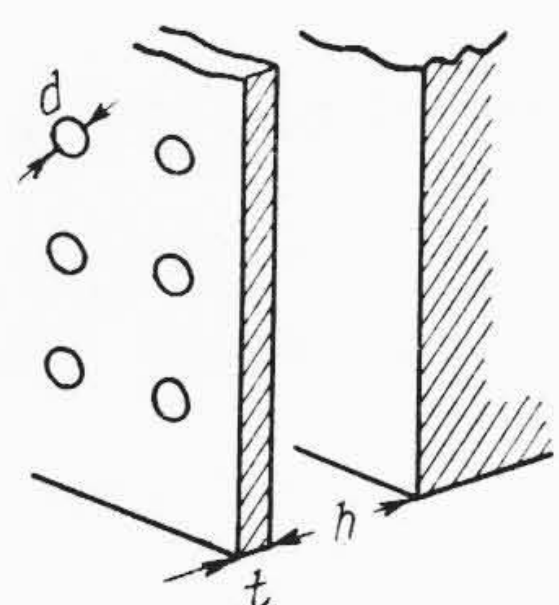
ホール内の暗騒音は少なくとも 40 ホン以下でなければならない。

大阪では地下にある電源室の変圧器より 120, 180 c/s の低周波音が固体音としてホール内に伝わり、定在波的な分布をしていた。この対策として変圧器を防振ゴムで浮かせ固体音の伝ばを防いだので現在は40ホン以下になっている。

名古屋は交通幹線に面しており窓をあけると65~73ホン位の騒音レベルになっていたのを窓を密閉し、空気層(50mm)をおいて合板をつけ二重構造にした。



第5図 名古屋ミュージックホール



第6図 有孔吸音板

重い材料で作った遮音壁による減衰量は質量制御によると考えてよく、近似的に次式で与えられる⁽⁸⁾。

$$20 \log \frac{\omega M}{2\rho C} \approx 20 \log \frac{f M}{135} \text{ (dB)} \dots\dots\dots (7)$$

ω : 角波数

f : 周波数(c/s)

C : 音速(m/s)

M : 壁 1 m²あたりの質量(kg)

ρ : 空気の密度(kg/m³)

また実験的な結果として次式がある⁽¹⁰⁾。

$$14.3 \log \left(\frac{M}{4.883} \right) + 22.7 \text{ (dB)} \dots\dots\dots (8)$$

質量が2倍になっても 5 dB 位の減衰量しか増加しないから、十分な遮音には二重壁が有効であり、この場合それぞれの壁を独立した取付方法にし空隙寸法も大きいほど効果がある⁽¹¹⁾。

名古屋では窓を二重にし、さらに内部の壁面を建物の周壁より 1 m ほどはなして取付けた。ガラスが 6 mm、合板が 4.5 mm であるからこれだけで 30 dB 位の減衰量がある。

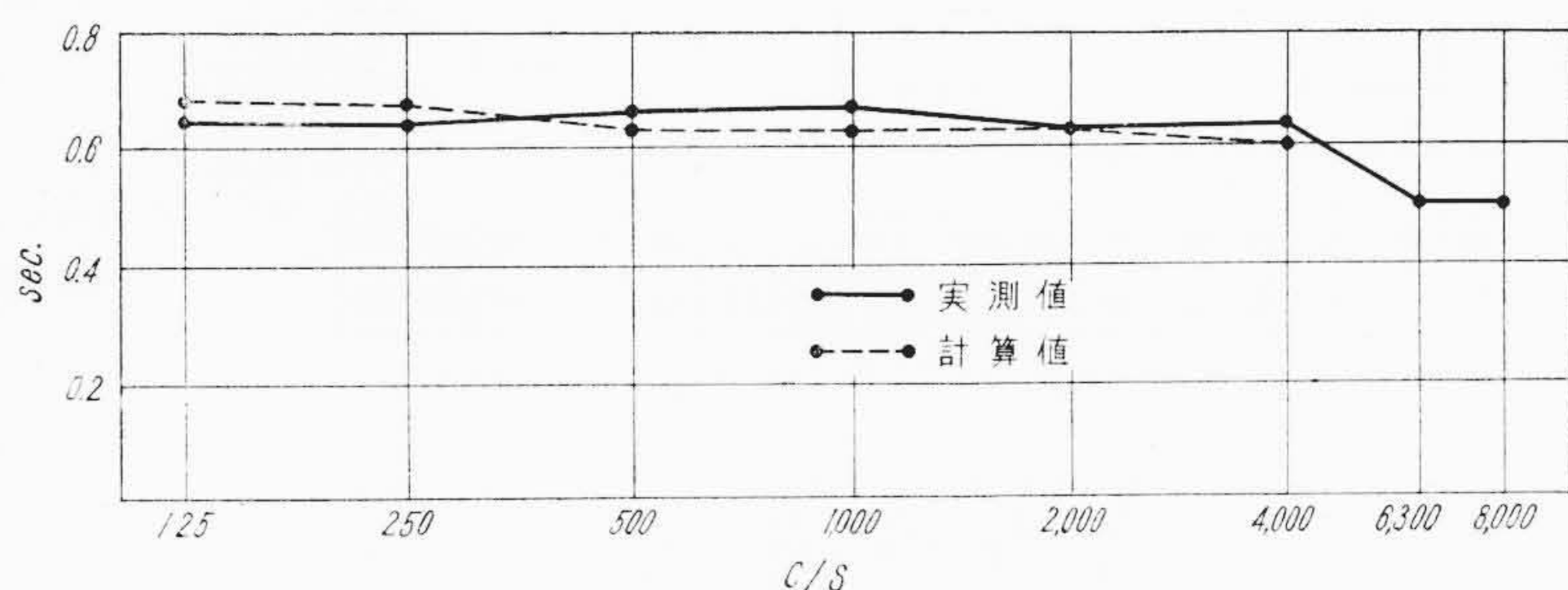
全体として 40 dB 以上の減衰量が期待でき実測の結果では 35 dB 以下にすることができた。

3. 両ホールの音響特性

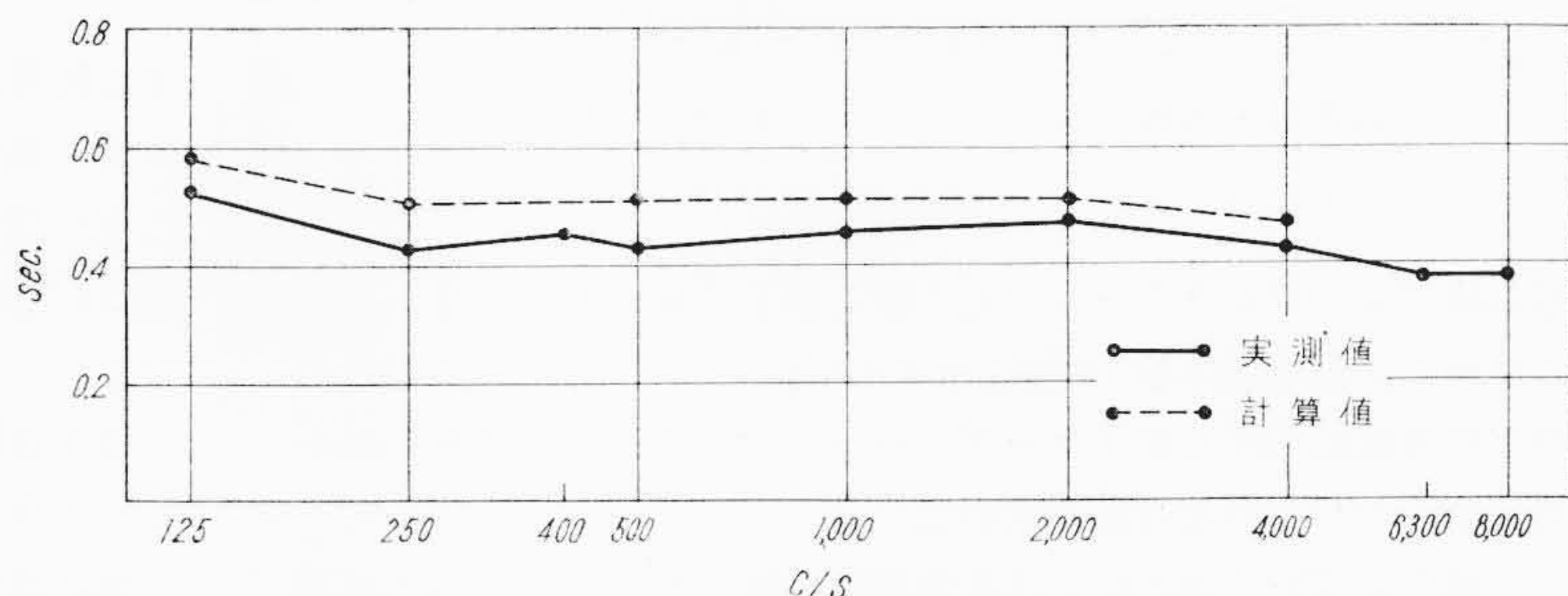
3.1 残響時間

大阪ミュージックホールの計算値と実測値を第7図に示す。実測は空席時にホワイトノイズを $1/3$ オクターブフィルタで切ったものと、ピストル音とを音源に使用して、第9図に示す8点(A, B, C... ..H)で測定した。この平均値が第7図の実線である。それぞれの場所における変動は低周波以外でほとんどなく、またパルス音による鳴き竜などはまったく認められない。

計算値と実測値の相異は、低音では板共振による吸音が推定値より大きかったものと考えられる。高音で急激に減少するのは空気の吸音がおもな原因であろう⁽¹²⁾。



第7図 大阪ミュージックホールの残響時間



第8図 名古屋ミュージックホールの残響時間

名古屋ミュージックホールの残響時間の計算推定値と実測値を第8図に示す。

250 s/c 以下の差は側壁（特に通路を仕切っている側）の板共振による吸収のためであり全体に短い値になったのは椅子が上質で高音部の吸音率の推定が小さかったためと思われる。

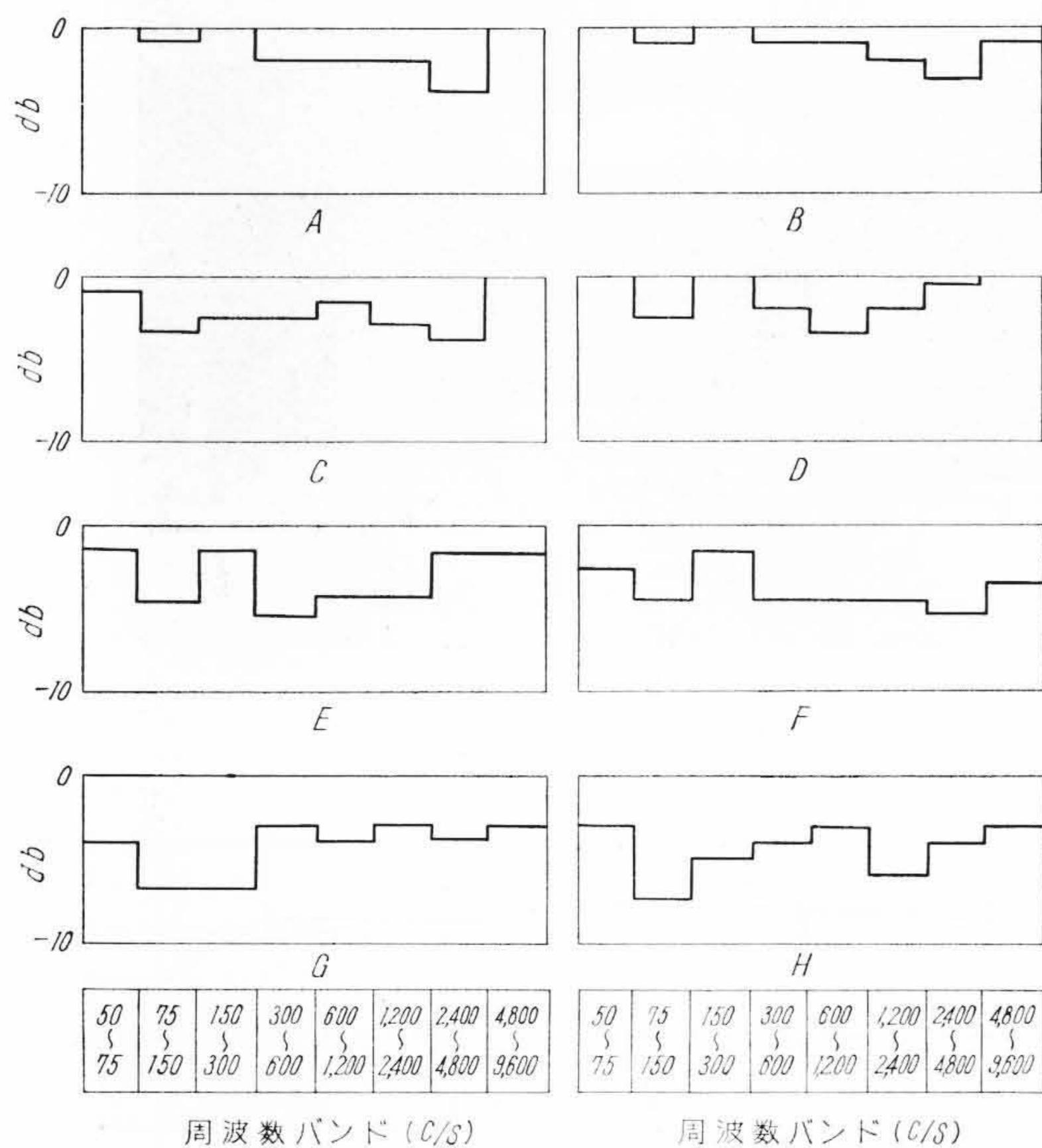
音源はピストル音を用いて第10図に示す12箇所の平均値を出したが 125 c/s 以外はほとんど変動はなかった。

両ホールとも拡散体の寸法が小さいので低周波音で残響時間の変動が大きい。拡散体をあまり大きくすると数が減少し、高い周波数で単純な反射面となって拡散効果が悪くなる。

3.2 伝送特性

大阪ミュージックホールの伝送特性は音源にオクターブ、バンドホワイトノイズを用い、ステージの中央においたスピーカから拡声して第9図に示す8点で測定した。第9図はスピーカの正面 1 m の位置の音圧を 0 dB としこれを基準としてほかの場所の変動を示したものである。G 点、H 点では 75~150 c/s の変動が大きい。このような低周波では拡散効果が悪くなっているためと考えられる。また、客席の中心軸に關し対称的位置にある C と D、E と F の各点の伝送特性が異なるのは壁面の構造が両側で違っているためと考えられる。

75~150 c/s の範囲を除けば 5 dB 以内に変動値が収まっており、大体満足すべき特性といえる。



周波数バンド (C/S)

周波数バンド (C/S)

第 9 図 大阪ミュージックホールの伝送特性

名古屋ミュージックホールでも大阪と同じくホワイトノイズを音源に用いた。測定点は第 10 図に示す 12 点について行い、中央最前列の②の位置におけるオクターブ、バンドの音圧を 0 dB としほかの列の音圧レベルの相対値を求めた。

この場合も 75~150 c/s では拡散効果が悪くなっているがこの部分をのぞけば大体、5 dB 以内に変動が収まっている。

4. 再生装置

再生装置に要求される出力を簡単に検討してみる。Beranek⁽¹³⁾によれば音響出力 W の点音源から r の距離の音圧レベル (Sound Pressure Level) は次の式で表すことができる。

$$SPL = 10 \log W + 10 \log \rho_0 C + 94 + 10 \log \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R'} \right) \dots (9)$$

$$R' = S\bar{\alpha} (1 - \bar{\alpha}) \dots (10)$$

SPL : 0.0002 μ bar を基準にとった音圧レベル (dB)

W : 音源からの出力 (watt)

$\rho_0 C$: 空気特性インピーダンス、標準状態で $10 \log \rho_0 C = 10 \log 407 = 26.1$ dB (mks 単位)

r : 音源からの距離 (m)

$\bar{\alpha}$: 室の壁面の平均吸音率

必要な音源出力は

$$10 \log W = SPL - 120 - 10 \log \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R'} \right) \dots (11)$$

となる。上式に大阪ミュージックホールの値を入れ、音源から 10m (ステージ中央からほぼ客席中央までの距離) の点について考えると

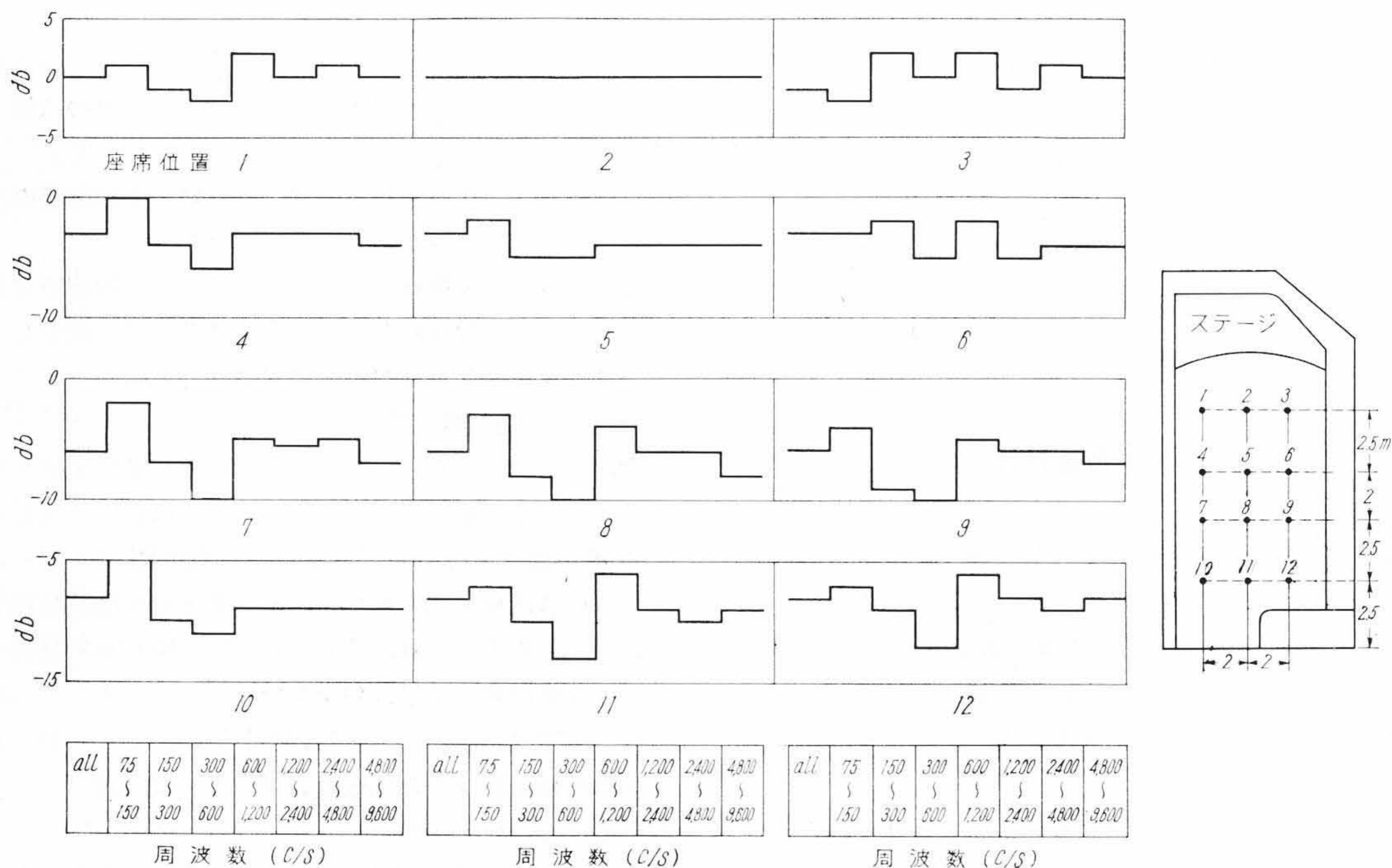
$$10 \log \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R'} \right) = -15.1$$

となり、これを (1) 式に代入すると

$$10 \log W = SPL - 120 + 15.1 \doteq SPL - 105 \dots (12)$$

すなわち、客席の中央で 105dB の音圧レベルを得るためには 1 watt の音響出力が必要である。実際には 100 dB もあれば十分であるから約 0.3 watt の音響出力があればよい。拡声器は高能率のものを使用したが安全のため 2% の能率と仮定しても電氣的出力は 15 watt でよい。

以上は簡単のため音源は無指向性と考えたが、実際に使用したスピーカシステムはあとで述べるようにほとんど無指向性であり、また指向性を考慮に入れた場合も同様に計算でき、結果は大体同じになる。

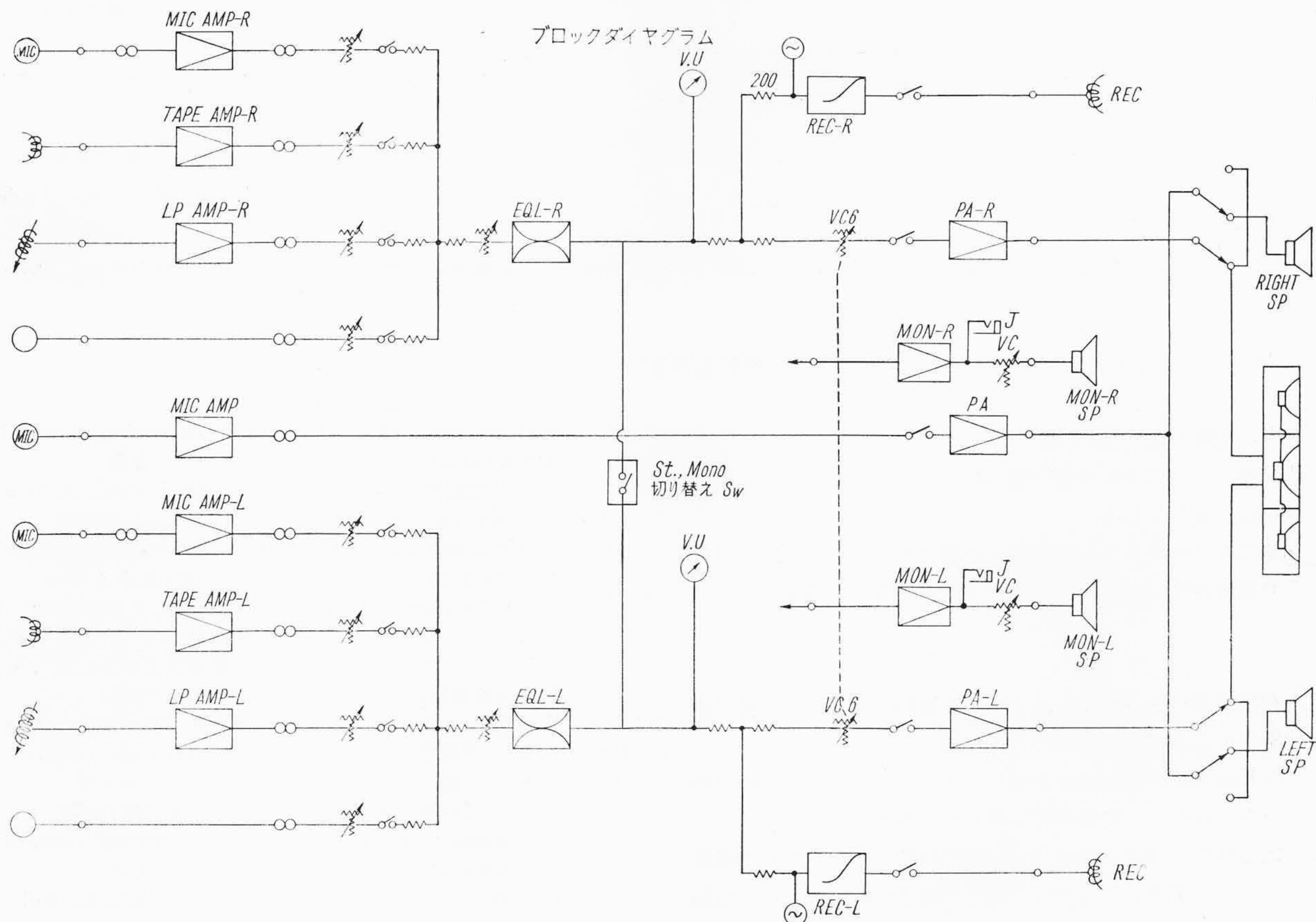


周波数 (C/S)

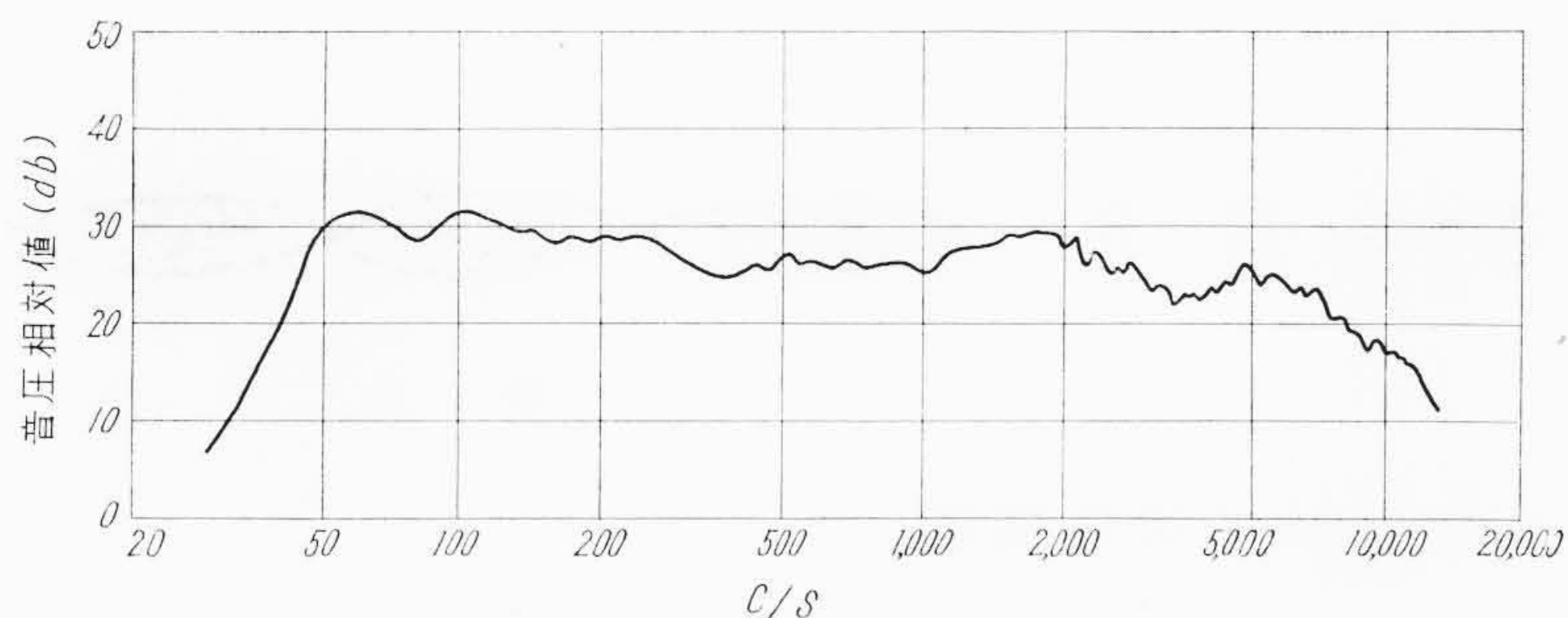
周波数 (C/S)

周波数 (C/S)

第 10 図 名古屋ミュージックホールの伝送特性

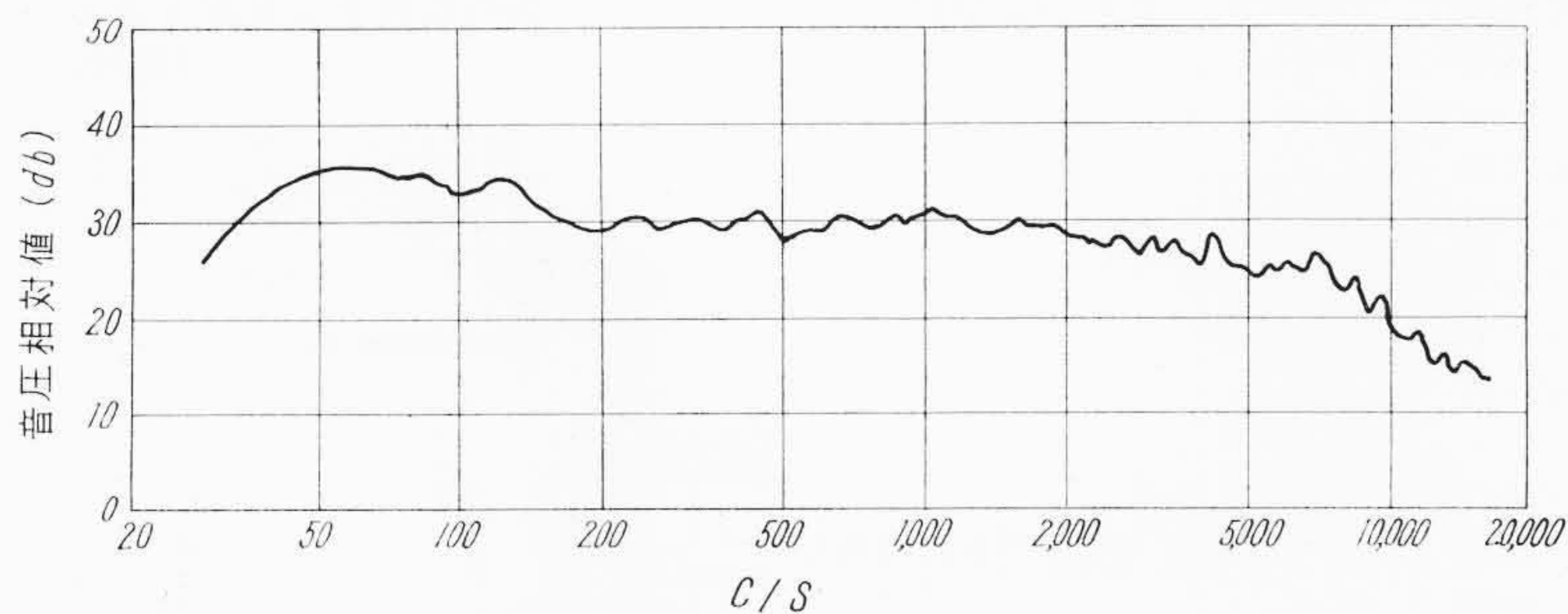


第11図 再生装置のブロックダイアグラム



(大阪ミュージックホール)

第12図(a) ステレオ拡声装置の周波数特性



(大阪ミュージックホール)

第12図(b) モノラル拡声装置の周波数特性

再生装置のブロックダイアグラムの大要を第11図に示す。これは再ホールともほぼ同じで次のような再生を行うことができる。

- (1) ディスクプレーヤーによるレコードのモノステレオ演奏
- (2) テーププレーヤーによる再生と録音(モノステレオ)
- (3) ペロシティマイクロホンの出力の増幅とミキシング

(4) ラジオチューナーの出力増幅

(5) その他上記に準ずるもの。

周波数特性ひずみ、S/N比などには十分注意した。メインアンプの出力は各チャンネル30Wである。

5. 拡声装置

5.1 大阪ミュージックホール

モノラル用としては5ウェイシステムをとっている。80 cm スピーカを 200 c/s 以下のウーファ、38 cm スピーカを 200~800 c/s の中低音用とし、さらに 800 c/s 以上は無指向性の形式として、800~4,000 c/s, 4,000~6,250 c/s, 6,250 c/s 以上の3ウェイに分割している。

分割周波数の 200 c/s, 800 c/s, 4,000 c/s, 6,250 c/s では 18 dB/oct の LC 回路を用いた。

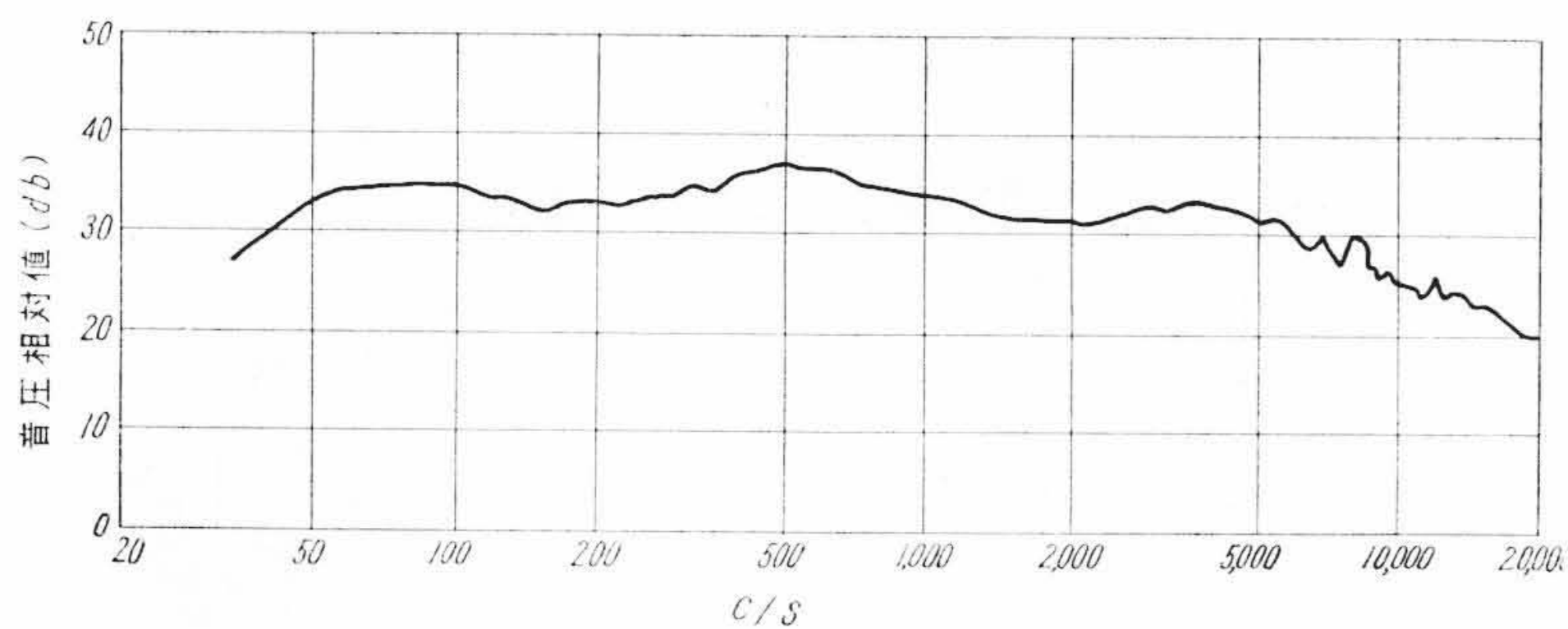
また減衰器を中音以上のスピーカに取付けてトーン調整用として使用できるようにした。(第4図(b))

ステレオ用としては、ステージの左右に 38cm スピーカをウーファとする3ウェイ方式を取り、中音部はマルチセラー形式をとっている。(第4図(b))

第12図(a)はステレオ用の片側のみの周波数特性であり、(b)はモノラルの拡声装置の正面5mの位置における周波数特性を示す。

5.2 名古屋ミュージックホール

大阪のモノラル用の中音部以上を2個に増加して、ステレオを兼用させている。200 c/s 以下の低音では指向性がほとんどないといってよいから 80 cm のウーファのみは左右両チャンネルに共通である。そして 200 c/s 以上のみ、左右にはなして、ステレオ感をも



第13図 名古屋ミュージックホールの拡声装置の周波数特性

たせるように配置した。(第5図)

別に講演用として20cmの高性能スピーカをキャビネットに収め左右の側面に付置してある。

第13図はモノラルとして使用した場合のステージスピーカシステムの周波数特性であり中央ウーファの正面5mで測定した。

6. 結 言

大阪名古屋の両ミュージックホールの音響特性について述べたが、その結果をまとめると次のようになる。

- (1) 残響時間は再生音楽を目標として、設計しほぼ所期の結果が得られたが、生の演奏に対しては残響時間が短い。
- (2) 伝送特性も大体変動が5dB以内の特性が得られたが既設のビルを改造したために、天井の低さが天井に、反射

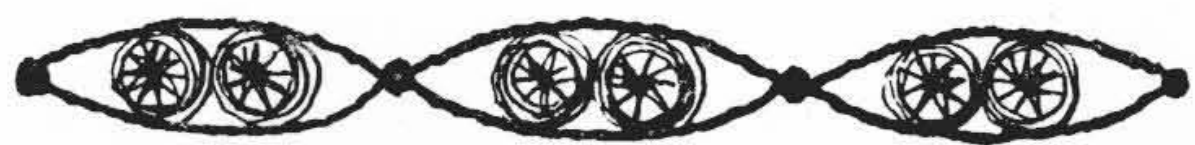
面をつけて客席後部の音圧を補強することが不十分であった。

- (3) レコード再生による音楽に対しては、専門家の批評でも好評であった。

最後に、音響設計につき多大のご教示をいただいたNHK技術研究所音響部牧田副部長、また、この製作に絶大なるご激励とご支援をいただいた大阪営業所、名古屋営業所の所長以下幹部各位、関係各位に深謝申しあげる。

参 考 文 献

- (1) Vo Knudsen and C. M. Harris: Acoustical Designing in Architecture 150(1957) (平山ほか訳) 丸善
- (2) L. L. Beranek: Acoustics 425 (1954) McGraw-Hill
- (3) C. F. Eyring: J. A. S. A Vol. 1 217~241 (1930)
- (4) Vo Knudsen and C. M. Harris: Acoustical Designing in Architecture 150(1957) (平山ほか訳) 丸善 p. 293
- (5) P. E. Sabine and L. G. Ramer: J. A. S. A Vol. 20 267(1948)
- (6) 二村ほか: C B Cホールの音響設計 94~97, 184 (1957)
- (7) 石井: オーディトリウム室内音響設計と施工に関する研究, 生産技術報告, 第8巻第2号 82~84 (1958)
- (8) 牧田他: 音響学会誌, 第10巻第4号 225~229 (1954)
- (9) 子安: 音響学会誌, 第10巻第4号 117~124 (1954)
- (10) 伊藤: 音響工学原論(下) 605 (1957) コロナ社
- (11) 竹内: 遮音壁, 都市問題研究第5巻第10号(1953)
- (12) Vo Knudsen and C. M. Harris: Acoustical Designing in Architecture 123(1957) (平山ほか訳) 丸善
- (13) L. L. Beranek: Acoustics 314(1954) McGraw-Hill



新 案 の 紹 介



実用新案登録第485723号

青 木 勝・森 幸 治

コ ー ル カ ッ タ の ジ ブ 切 込 装 置

この考案は原動機1に連動する歯車14, 15, 16によって駆動される軸17の先端にカッタチェーン駆動用ドライブスプロケット18を固定し、油圧モータ4に連動する歯車5, 6, 7によって駆動される軸8に小歯車9, クラッチ10をゆるくはめ、その小歯車9をジブ支持腕13に固定した大歯車12とかみ合せ、ジブの適宜箇所にロープ切込用ガイドローラ19を設けたものである。

クラッチ10は常時入りの状態にあつて小歯車9が軸8と一体になって回転するから、原動機1により駆動される油圧ポンプ2の圧油で回転される油圧モータ4によって、歯車5, 6, 7, 9, 12を介して軸17およびドライブスプロケット18が旋回される。そのためスプロケット18にかかっているカッタチェーンは回転して機械切込作動を行う。

もし、ジブが炭層に食い込んで機械切込が不能になった場合には、シフトを操作してクラッチ10を切りの状態にすれば、歯車9と軸8との結合はとかれて歯車9, 12は回転可能となるから、ジブ支持腕13は駆動機構と切り離されて旋回自由となる。そこで、ロープ切込用ガイドローラ19にフィードロープをかけ、これを別の動力により駆動させてロープ切込みを行えば、そのロープの強大な力によりジブ支持腕13を旋回させてジブの切込み、拔出しなどを容易に行うことができる。したがってジブ駆動部を解体しなくてもよい。また、

軸8を油圧モータ4により駆動するようにしたので、機械切込時における衝撃に対し緩衝性を有して振動のない静粛な運転を行うことができるばかりでなく、カッタチェーンの駆動とは無関係にジブ自体の旋回、駆動および停止を必要に応じて随時に行うことができる。

(野村)

