

## 福岡電気ホールの音響特性

五十嵐壽一・子安 勝(東大理工学研究所)

(昭和29年9月13日 受理)

### The Acoustics of the Denki Hall in Fukuoka

Juichi IGARASHI and Masaru KOYASU

(Institute of Science and Technology, University of Tokyo)

(Received September 13, 1954)

The Denki Hall is accepted today as one of the best in this country from the point of acoustics judged from subjective evaluations. This paper reports on data from objective measurements made on its acoustical properties together with the results of a survey of audience impression. The interior volume of this hall is about 5700 and the seating capacity 1164 persons.

In preparing for our investigation, we aimed at grasping the general characteristics of the hall with a minimum of time spent in actual measurements. With this point in mind, the measuring set up was arranged as shown in Fig.3. The sources of sound used for reverberation measurements were the octave band noise (1 sec and 50 millise), previously recorded on magnetic tape, and pistol shots. The reverberant sound in both cases were also recorded on tape. The recorded sounds were then reproduced, analyzed and recorded on a Bruel high speed level recorder. From these data we studied the reverberation characteristics, the steady state pressure distribution and other factors. The results of measurements may be summarized as follows.

(1) The frequency characteristics of reverberation time (abbreviated R.T.) for the empty hall are shown in Fig.5 for six different stage conditions. (It is the usual practice now in Japan to use such halls for a variety of purposes such as for music, lectures, operas, plays, movies and so forth. The stage arrangement is changed according to these purposes and this influences the acoustics of the hall considerably.) In this figure, i) iii) are for cases where a sound reflecting board was set on the stage and iv) vi) for cases without the board. The sound reflecting board lengthens the R.T. in the medium frequency region and shortens it in the lower frequencies (Fig.6). Deviation of R.T. from mean values at each point are represented in Fig.7.

(2) The R.T. with the audience half full is shown in Fig.8. It is 1.3 sec at 500 c/s which is 0.2 sec shorter than the Knudsen-Harris optimum value for a hall of this size. The R.T. of other halls in Japan are in general considerably shorter than that of this hall, and so it is probable that this is the important reason accounting for the superiority of this hall..

(3) The steady state octave band noise levels were also measured at several points in this hall and the results are shown in Fig.9.

The comments from the audience are collected in Fig.10. Except for the low-frequency reverberation, the acoustics of this hall were thought to be good by the greater part of the audience. In the lower frequencies, 30 % of the audience comments mention insufficient reverberation. This could be predicted from the results of our objective measurements.

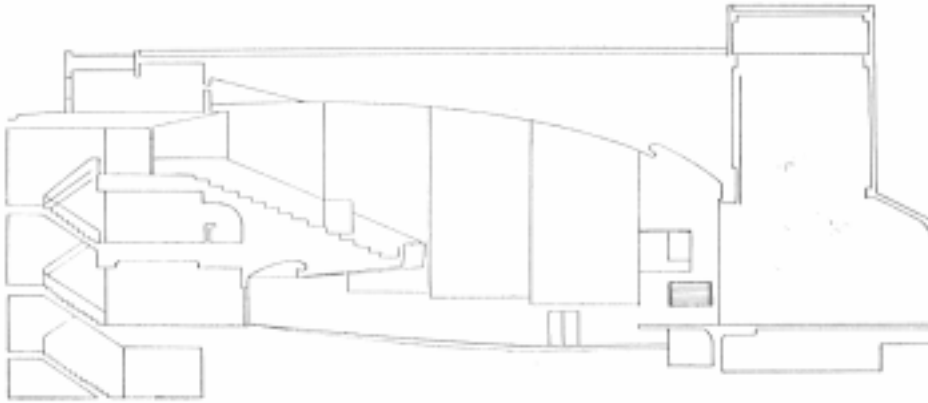
#### 1. まえがき

ホールや講堂などの音響特性を研究するために

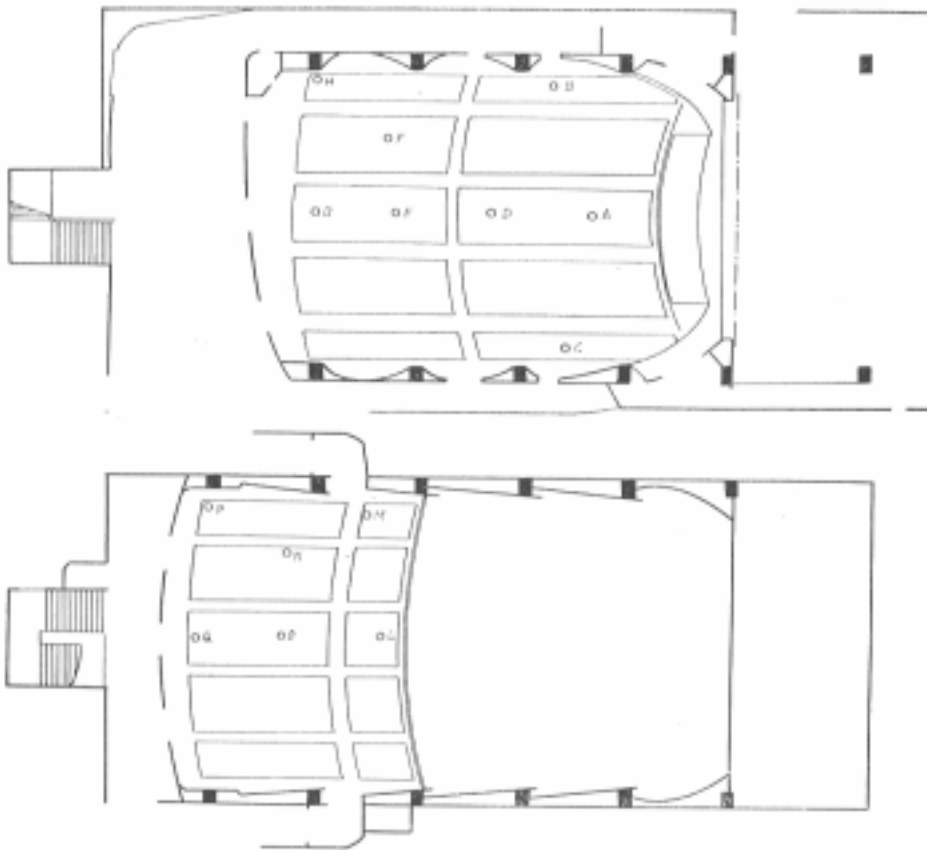
は、まず現在あるホールを種々の方面から詳細に  
しらべることが一つの重要な手段と考えられる。

本報告では現在各方面に定評のある福岡市電気

福岡電気ホールの音響特性



第1図



第2図

ホールについて昭和 29 年 3 月 10, 11 日の両日にわたり残響時間周波数特性, 音圧分布, 庶音特性などを測定した結果をのべる。

この測定を準備するにあたって, とくに測定時間を短縮することと, 現地に持ってゆく測定器類を簡単にすることに留意した。またこのホールのように各種の用途に使われるところでは, 各々の場合によってステージの状態がちがってくるので, その音響特性に対する影響にとくに注目して測定を行った。

またこの測定に続いて聴衆に対する主観調査が行われたので, その結果と音響測定との対応について考察した。

## 2. ホールの状態

このホールは福岡市電気ビルの 1 階にあって, 音楽, 映画, 演劇, 講演などの多方面に使われている。第 1 図, 第 2 図にその断面図と平面図を示した。短形に近い平面で, 大きさや収容人員は次の通りである。

容 積 約 5,700 m<sup>3</sup> (ステージを除く)  
 表面積 約 2,060 m<sup>2</sup>  
 客席数 1,164  
 (階上 406, 階下 758)

1 席あたりの容積 約 5 m<sup>3</sup>

第 1 図からもわかるように, このホールは他の同程度の大きさのホールにくらべて天井が高く, そのため 1 席あたりの容積がわが国のものとしては, かなり大きいことが一つの特徴である。内装は天井が大部分テックス張りで, 側壁はほとんどモルタル掻き落し, 後部のわずかの部分とバルコニー前縁とがロックウールを糊で固めてぬってある。床はコンクリートで通路にリノタイルを敷いてある。ホール全体として, 音響的にかなり堅い構造になっている。また後にのべるステージの反射板は木の枠に寒冷沙と和紙を張ってペンキで仕上げたもので, かなり軽くその取付, 取はずしも簡単でステージの使用目的に応じて位置を変

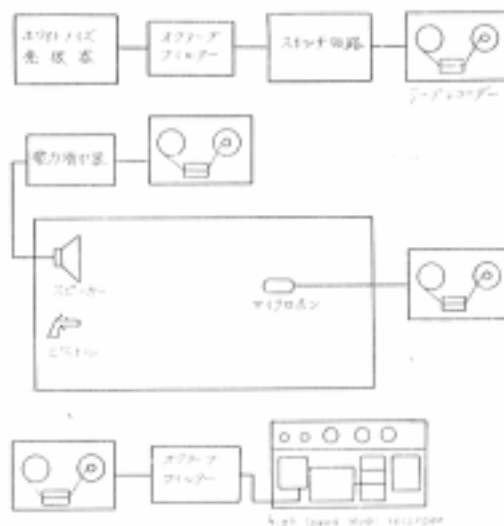
えることができる。

## 3. 測定項目および方法

オーディトリウムの音響特性をしらべるためには, 現在いろいろの方法が行われており, その各々がそれぞれに意味をもったものと考えられるが, 音楽を主としたホールではまず第一歩として残響時間周波数特性の測定から部屋の状態の概要をしらべ, それから更に詳細に進むのが一つの方法であろう。そこで今回は残響時間の測定を主として, 同時に音圧分布, 庶音特性の測定を行った。まずその各々の場合について測定法の概要をのべる。

### 3-1. 残響時間周波数特性

残響測定の音源としてはピストル発射音を主とし, 同時に継続時間 1 秒および 50 ミリ秒のホワイトノイズを使った。ノイズはあらかじめオクターブバンドに分けてテープに録音し, これをホールに備付けの映画用増巾器およびスピーカー (Western 製) によって再生して音源とした。オクターブバンドとしては 75 サイクルから始まものに, 低音と高音に 100 ~ 200, 3200 ~ 6400 サイ



第 3 図 残響時間の測定方法

## 福岡市電気ホールの音響特性

クルの2つのバンドを加えたものを使った。(第1表参照)

ピストルとノイズによる残響音をホール内数点についてテープレコーダーに録音して持帰り、これを再生しオクターブフィルターを通して high speed level recorder に記録したのから残響時間を求めた。(第3図)

残響音を直接に level recorder で記録したとき、録音再生の操作を経たときとの問題については、すでに他の場所で検討を行い<sup>1)</sup>、ほぼ一致する結果をえているので、ここではすべて録音によった。これによって現地に持参する測定器を少くするとともに、測定時間を非常に短縮することができた。

### 3-2. 音圧分布

1秒のノイズによる残響測定するとき、出力レベル、録音再生時の増巾器利得をすべての測定点に

ついて一定値で行い、level recorder に記録された定常態レベルから各オクターブバンドについてのホール内音圧分布を求めた。

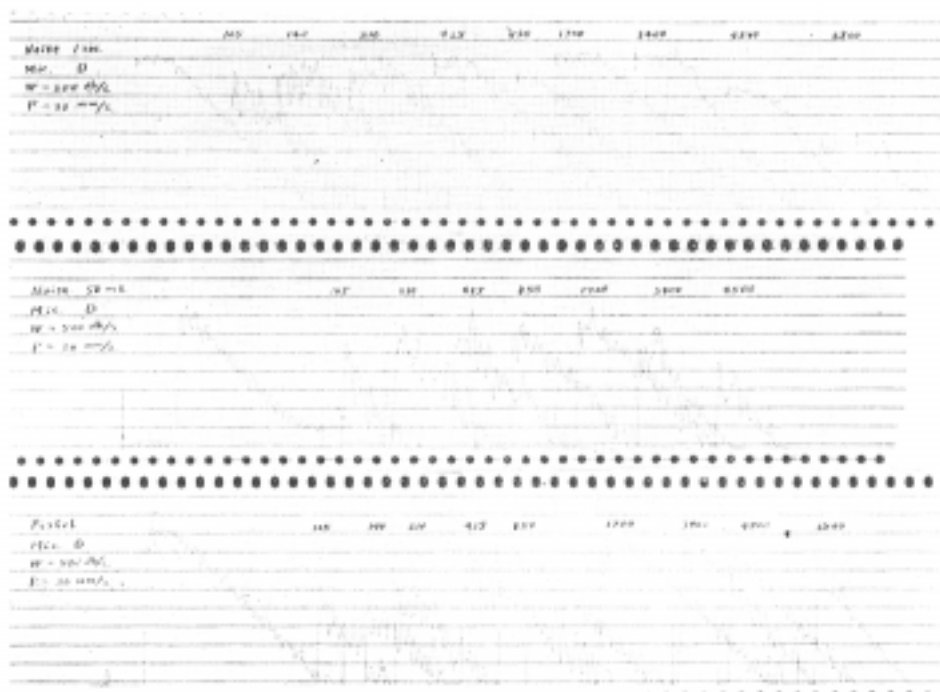
### 3-3. 庶音特性

上と同様に残響測定するときの定常態レベルをホールの内外で直接に騒音計(GR survey meter)で読み、それから各周波数バンドの庶音特性を求めた。(この方法では音源がホール内にあるので、外部からの騒音を問題にすれば、ここで得られた値とはちがってくるが、一応の目安を与えることはできよう)

## 4. 測定結果

### 4-1. 残響時間周波数特性

残響時間の測定点としては第2図に示した階下8点、階上6点をえらんだ。音源の位置はピストル、スピーカーいずれもステージ中央、前縁から



第4図 残響記録の一例(測定点D)  
残響曲線上の数字は各周波数バンドの中心周波数を示す

約 4 m のところで、スピーカーは正面を客席の方に向けておいた。

a) 空席時

この種のホールのように各種の用途に使われているところでは、それぞれの場合によってステージの状態がちがってくる。とくに音楽のときに使われる反射板はホールの音響特性に大きな影響を与える重要な問題と考えられる。そこで空席時に次の 6 つのステージの状態について測定を行った。

- (i) 反射板奥
- (ii) 反射板中央
- (iii) 反射板前
- (iv) 反射板なし
- (v) 反射板なし、ステージ前縁から約 6 m に幕を 1 板おろす。
- (vi) 反射板なし、映写幕とスピーカーをおく。ただしノイズの場合の測定は上の(i), (ii)の条件でのみ行った。

high speed level recorder による記録の一例として測定点 D (第 2 図) についての結果 (ステージの条件は (ii), 音源はさきにものべた 3 種類) を第 4 図に示した。level recorder の記録速度は 1 秒のノイズでは 300 db/sec., ピストル

および 50 ミリ秒のノイズのときは 500 db/sec. とした。

第 4 図の例と他の一点 L で、3 種類の音源による減衰曲線から残響時間を求めたのが第 1 表である。この表の中心周波数とは各バンドの両端の周波数の幾何平均周波数である。また残響時間の値の横に括弧で示した数値は残響時間を求めるときの減衰曲線のレベルの範囲 (デシベル) である。低音部での不一致の原因としては、とりうるレベルの範囲が小さい上に在京曲線に著しい変動 (音源の変動も含む) があるためである。さらにノイズを出すのに使ったスピーカーは、さきにものべたように映画用のおきなバッフルについてのものであるので、ステージの条件による影響がピストルの場合にくらべてちがってくるのが予想される。これらの点は測定法として更に検討を要することである。

ピストルを音源としたとき、さきの 6 つのステージ条件各々について、各測定点の残響時間周波数特性の平均値とその偏差をあらわしたのが第 5 図である。ホワイトノイズによる測定結果はその平均値のみを図に示した。

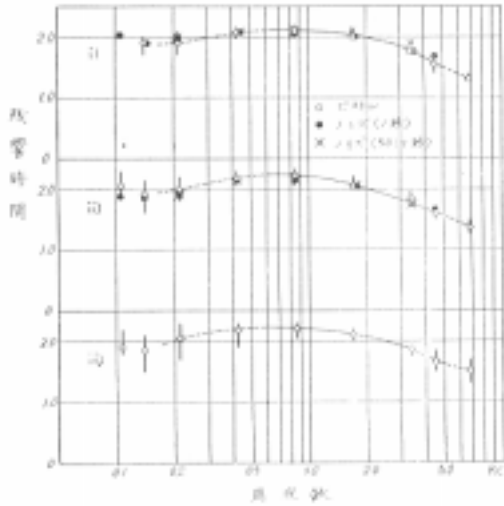
この図の結果からまず反射板のないときのこのホールの残響時間周波数特性は、中音部で 2 秒、

第 1 表

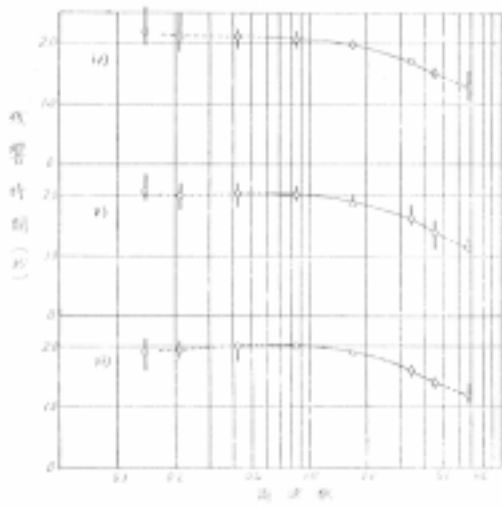
測定位置		D			L		
周波数	音源	ピストル	ノイズ (1 秒)	ノイズ (50 ミリ秒)	ピストル	ノイズ (1 秒)	ノイズ (50 ミリ秒)
	バンド						
	c/s	秒	秒		秒	秒	
75 ~ 150	105	2.3 (15)	2.1	—	1.9 (15)	2.1 (20)	—
100 ~ 200	140	2.1 (20)	2.1	—	1.9 (20)	2.0 (20)	—
150 ~ 300	210	2.1 (20)	1.9	1.9	2.0 (20)	1.9 (20)	1.9 (20)
300 ~ 600	425	2.3	2.0	2.0	2.1	2.1	2.1
600 ~ 1200	850	2.3	2.1	2.1	2.2	2.1	2.3
1200 ~ 2400	1700	2.2	2.0	2.0	2.1	2.0	2.0
2400 ~ 4800	3400	1.9	1.6	1.6 (10)	1.8	1.8	1.5 (20)
3200 ~ 6400	4500	1.6	1.8 (20)		1.6	1.6	
4800 ~ 9600	6800	1.4	—		1.3 (20)	—	

福岡電気ホールの音響特性

低音部にゆくにしたがって次第に長くなる大体自然な特性である。ただ高音部で残響時間がかなり短くなっている。



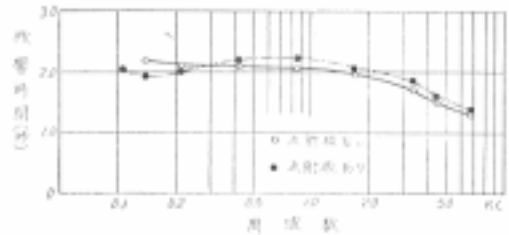
第5図(a)  
残響時間周波数特性(反射板のあるとき)



第5図(b)  
残響時間周波数特性(反射板のないとき)

ステージに反射板がおかれると、この様子はかなり変わってくる。(第6図)まず第一に中音部の残響時間が反射板のないときよりも長くなること

である。中音部では場所による残響時間のちがいはほとんどないので、この差は反射板の影響として充分意味のある結果と考えられる。また低音部では場所によるちがいはかなり大きい、反射板によって中音部とは逆に残響時間が短くなる傾向がみとめられる。



第6図 反射板の有無による残響時間の変化  
(反射板の位置中央)

反射板の3つの位置による変化は低音、中音部では平均としてはとくにみとめられないが高音部では反射板を前方位置にしたときが、多くの場所で、他の2つの場合にくらべてかなり残響時間が長くなる。

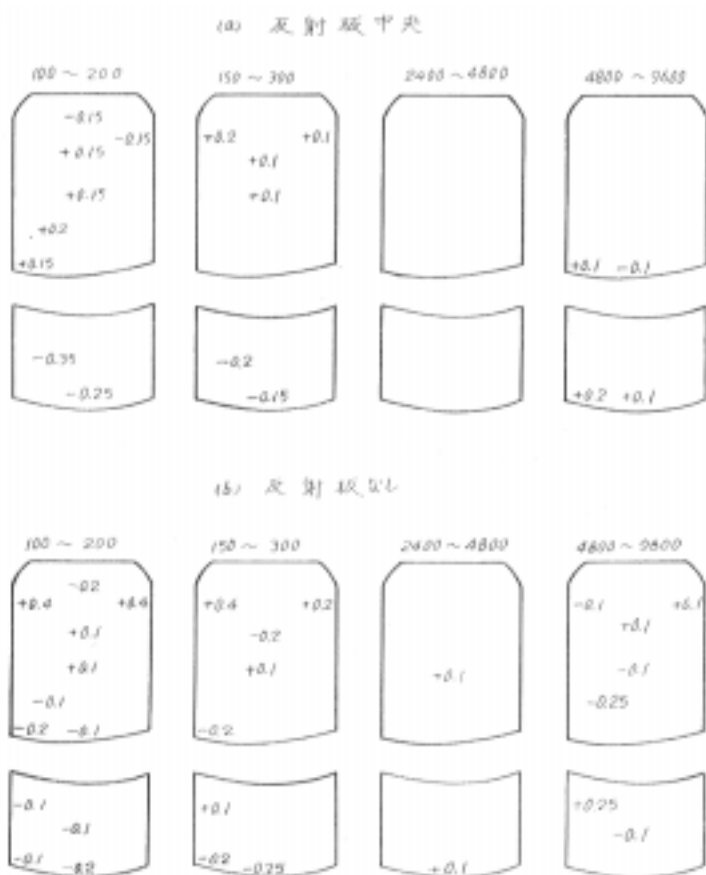
第7図は低音部、高音部で残響時間の平均からの各場所のずれの傾向を示したものである。ここで興味のあることは階下前部壁ぎわの席が低音部で残響時間がとくに長くなっていることである。(とくに反射板のないとき)低音では全体として階下の方が平均より長く階上が短い。ただ階上でM位置(第2図からわかるようにこのすぐ横が出入口への通路になっている)では反射板の位置によって平均より長くなったり、短くなったり変動が大きくみられる。

高音部では一般に低音ほど大きな偏差はないが、階上の後方の席が平均より長いのが目立っている。

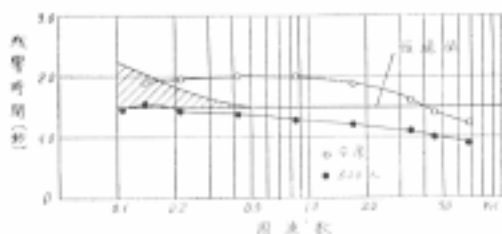
b) 人が入ったとき

ホールの音響特性としては、聴衆のあるときの状態が実際には重要なことである。そこで我々はピストルを音源として人の入ったときの残響時間周波数特性を測定した。





第7図 残響時間の場所による変化(音源ピストル)  
各場所の数字は平均からの偏差(秒)を表わす



第8図 残響時間周波数特性(人が入ったとき)  
音源ピストル, ステージ(vi)映画用

ステージの状態は前節でのべた(vi)映画用で、人数は約600人であった。階上6点、階下5点(第2図でA, C, Hをのぞいた点)についての測定結果からその平均値を求めたのが第8図であ

る。比較のために同じ図に空席時の同じステージ状態に対する残響時間の平均を示した。図の最適値はKnudsenによって与えられたもので、この容積のホールについて音楽に対する最適残響時間である。高音部がかなり短いが大体最適値に近い値になっている。

入場者の数が正確にはわからないので、一人あたりの吸音力の値はやや厳密さを欠くと思われるが、第2表に各周波数バンドについて空席時と人が入ったときそれぞれの全吸音力およびその増加量と、聴衆を600人としたときの一人あたりの吸音力を示した。このホールの椅子はシートのみ皮張りの木造なので人による吸音力の増加量はかなり大きくなっている。

またこのときの測定は映画用のステージについてであったので、反射板を使ったときには第5図の結果らみて、第8図に示した人の入ったときの周波数特性よりも中音部で残響時間が長くなり、更に平坦な周波数特性になることが予想される。

#### 4-2. 減衰曲線の形について

残響時間とともにその減衰の途中の状態が部屋の音響特性に重要なものであるが、このホールでの測定結果ではピストル、ノイズいずれの場合にも一般にとくに目立った異常はみとめられず、ほぼ対数的減衰に近い状態である。

#### 4-3. 音圧分布

音圧分布はさきにもものへたようにノイズによる残響測定の結果から求めたもので、ステージに反射板を置いた状態である。

福岡電気ホールの音響特性

第 2 表

周波数バンド	全吸音力 (m <sup>2</sup> )		吸音力の増 加	1人あたり吸音力 (m <sup>2</sup> )
	空席時	600人		
100 ~ 200	480	585	105	0.18
150 ~ 300	465	625	160	0.27
300 ~ 600	450	670	220	0.37
600 ~ 1200	450	725	275	0.46
1200 ~ 2400	490	755	265	0.44
2400 ~ 4800	570	825	255	0.43
3200 ~ 6400	650	910	260	0.43
4800 ~ 9600	755	1010	255	0.44

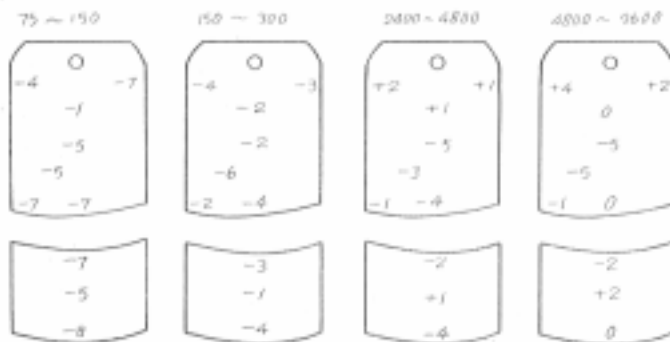
低音部では階上のレベルはバルコニーの下になっている部分とほぼ同様であるが、高音部ではバルコニー下が基準位置にくらべて低音部とほぼ同程度レベルが下がっているのに対して、階上ではそれ程変化がみられない。このことは残響時間の場所による変化と対応して考えることができる。ただ階下前部側壁の近くは、

第 3 表

周波数バンド	場所による音圧レベルの偏差	
75 ~ 150	8	db
150 ~ 300	6	
300 ~ 600	4	
600 ~ 1200	4	
1200 ~ 2400	3	
2400 ~ 4800	7	
3200 ~ 6400	9	

第 4 表

周波数バンド	ホール内外のレベル差	
75 ~ 150	18	db
150 ~ 300	18	
300 ~ 600	17	
600 ~ 1200	19	
1200 ~ 2400	19	
2400 ~ 4800	19	
4800 ~ 9600	20	



第 9 図 低音，高音での音圧分布  
印：基準点，反射板中央

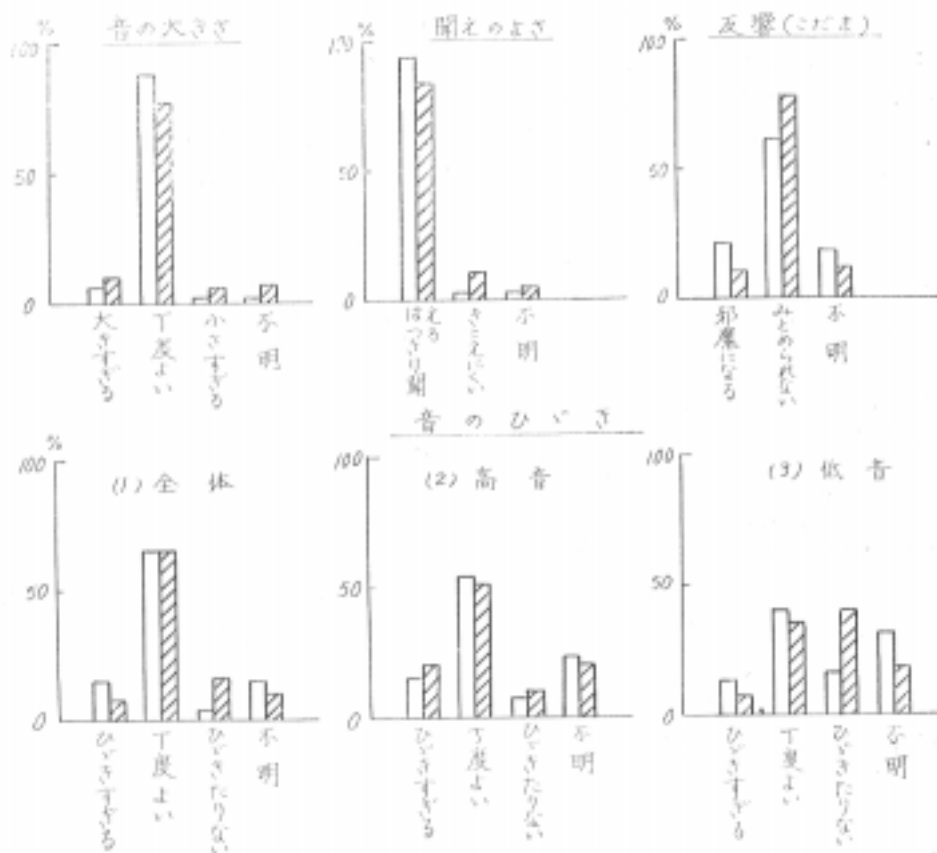
各周波数バンドでの各測定点のレベルの偏差を示したのが第 3 表である。残響時間と同様に中音部では偏差が少ないが低音，高音で大きくなっている。この範囲で音源に最も近い位置（第 2 図の A）を基準にして、そのレベルの差をとったのが第 9 図である。

そのまま対応させることができないがこれは音源に近いための指向性の影響などもあるのではないかとと思われる。

4-4. 庶音特性

階下の座席後方の出入口扉の内外でのノイズ（1 秒）のレベル差を各周波数バンドについて求めたのが第 4 表である。これがそのままこのホールの外部騒音に対する庶音の程度をあらわすものとはいえないが、廊下に対する庶音は充分ではない。ただこのホールはビルの本館にとりかこまれて、直接街路には面していないので、街頭騒音はほとんど問題にならないようである。





第10図 主観的評価の調査集計

### 5. 聴衆による主観的評価

このホールでの聴衆に対する調査は2回にわたって(第1回バックハウスピアノ演奏会, 第2回福岡合唱団公演)次の各項目について行った。

- (a) 音の大きさ
- (b) 音の聞こえ
- (c) 音のひびき
- (d) 反響(こだま)
- (e) 騒音

このうち騒音については邪魔になるとしている回答も多くはホール内部の聴衆自身によるものを問題にしているのここでは除外して考えること

にする。

2回とも回答数はほぼ160通であった。上の(a)から(d)まで4項目についてその結果を回答数に対する百分率で示したのが第10図である。

低音部のひびきの不足をうたっている回答がかなり多いのをのぞいては、大体このホールが音楽に対してほぼ満足されるものであることがわかる。

回答数が少くまた調査回数も2回であるので、これだけからさらに場所による差などを問題にすることは無理かと思われるが、階上では低音部のひびきが不足し、高音のひびきが多すぎるという

## 福岡電気ホールの音響特性

回答が比較的多くなっているのは、残響時間の測定と対応して興味あることである。また残響測定の項でいくらか他の点と異った傾向がみられることをのべた階上 M 位置の付近が聞きにくいという意見もあった。

### 6. むすび

以上このホールの音響特性の測定結果を要約すると次のようになる。

(1) 空席時残響時間は低音で 2.3 秒中音部で 2 秒, 2000 サイクル以上で次第に短くなって 6000 サイクルで 1.3 秒である。

(2) 反射板を置くと中音部の残響が長くなり, 低音部で短くなる傾向にある。

(3) 人が入ったとき(約 1/2)の残響時間は中音部で約 1.3 秒になる。

(4) 低音部では残響時間および定常音圧が場所によってかなり大きく変化する。

(5) 長音および短音による減衰特性には, ほとんどの点でとくに目立った異常はみとめられない。

(6) 階下バルコニー下でも残響, 音圧分布ともとくに変化はない。

はじめに述べたように, 測定にあたってはできるだけ簡単な方法によってホールの特徴をとりあげることが主として考えたので, 我々の測定結果からこれ以上の詳細にわたって論ずるのは無理なことと思われるが, 以上の結果から電気ホールの第一の特長としては, 我国の他の同程度のホールにくらべて残響時間が長く, 大体 Knudsen の最適値に近い値になっていることである。これが電気ホールの音響特性が高く評価されている大きな原因であろう。

終りにあたり, ご援助いただいた平山教授ならびに種々便宜を与えられ, 実験にご協力いただいた電気ビルおよび竹中工務店九州支店の方々に感謝する次第である。尚この研究は主として文部省の科学研究費によるものである。

### 文 献

五十嵐: 日本音響学会誌: 本号 p. 230.