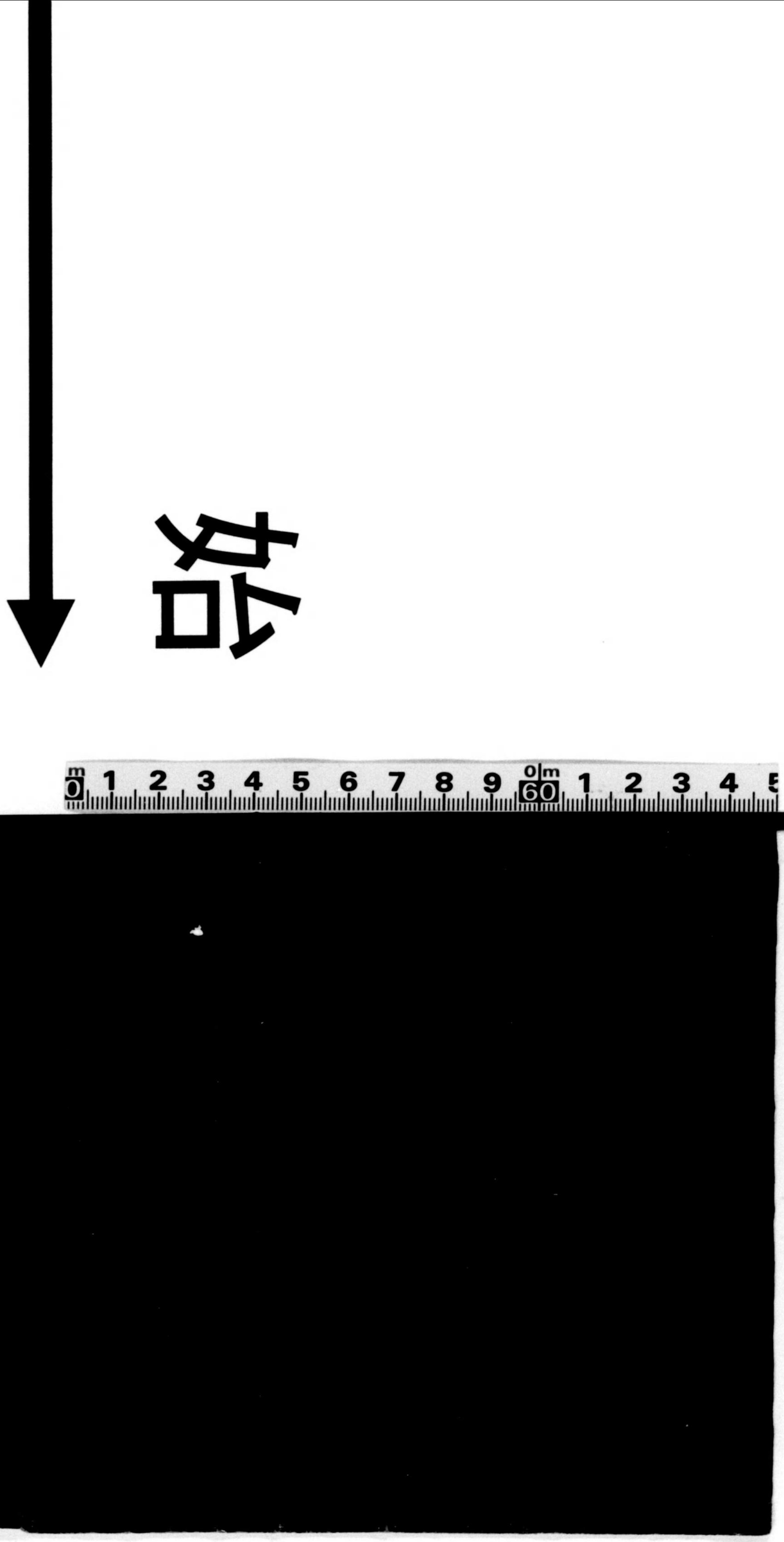


997
41

93v

548
N77
2

實用放送工學

中　卷

日本放送協會編

日本放送出版協會版

997
41

序

我國の放送事業は大正14年3月22日東京芝浦に於て呱々の聲をあげてより玆に早くも十餘年，事業の歴史としては決して長いものではないとはいへ，僅々五千内外の聽取施設を擁するのみであつた創業時代を，聽取者四百三十萬を突破する今日の盛業狀態から回顧すれば轉た感慨深いものがある。

本事業が斯程な異常の發達を遂げ得たことは，固より事業そのものの特異性に由るものではあるが，長年月，默々として撓まざる努力を盡し來つた技術者に負ふところ，蓋に大なるものがあることも見逃せない事實である。

顧れば我々技術者にとつて，この十餘年間に於ける事業發展の跡こそ多難なる荊棘の路であつた。新興時代の幼稚な技術を操守し變遷かの起伏を乘り越え，ただひたむきに研鑽を重ね來つたその勞苦が酬ゐられ，漸くにして處女地開拓の基礎を固め得たる現狀に對し，心から欣びなきを得ない。

併しながら放送事業の將來は遠くして且つ大なるものがある。我々は常に新しい抱負を持つて新しい領野の開拓に努むべきは勿論であるが，所詮この路は無限であるからには，同じ路を歩む人々のための一里塚となり，道標たらしめんがために，我々の踏んで來た十餘年の體驗を基とし，實用的な放送技術の體系を整へ，これを放送工學と名付けて上梓することは，强ち意義のないことでもあるまいと思ひ，ここに本書を編纂したものである。

幸に本書が放送工學に關心を有せらるる人々の好伴侶となり，放送技術の向上發展に幾分なりとも寄與することあらば本懷これに過ぐるものはない。

昭和十四年七月

日本放送協會技術局長　米澤與三七

はしがき

一、本書編纂の目的は、高周波工學を專攻する人々、又は送信及び受信關係の實務に携はる人々の好伴侶となり、日常の仕事に直接役立つやうに說明したものである。

二、執筆者は當協會の樞要の地位にある、それぞれの部門に最も造詣の深いエキスパートが、工學博士箕原技術研究所次長の下に、下記の通り分擔執筆したものである。

三、本書は無線工學の發達に伴ひ、放送技術も飛躍的發展を遂げつつある際、業務繁多の餘暇を見て上梓したもので、不滿の點あらんもこれは讀者諸賢の御敎示により改めたいと思ふ。

編　者　記

執　筆　者

回路理論	溝上銈
眞空管	小林久雄
眞空管回路	靑山嘉彥
放送電波の傳播	溝上銈 藤田德彌
音響學概論	星信兵衞
演奏所設備	足立迪
放送所設備	小池勇二郎 飯田一男
特殊放送	土生英二
受信機	高村悟
聽取障害	平林金之助
テレビヂョン放送	鈴木武二 山下彰
附錄	高島藤雄

實用放送工學中卷目次

第5編　音響概論

第1章　音響物理 …… 1

第1節　音　　波 …… 1
第2節　音のエネルギー及び音の强さ …… 5
第3節　音波の反射と屈折 …… 6
第4節　音波の干涉 …… 10
第5節　定常波 …… 11
第6節　音波の回折 …… 13
第7節　膜及び板の振動 …… 14

第2章　音響生理 …… 16

第1節　樂譜と噪音 …… 16
第2節　周期音(樂音と稱するもの)の三要素 …… 16
第3節　發聲機關 …… 18
第4節　母音とその音響スペクトラム …… 18
第5節　言葉の勢力 …… 20
第6節　聽　　覺 …… 24

第7節 聽感の範圍 ……24
第8節 Intensity Level と Sensation Level ……25
第9節 音の強さの差の辨別及び高さの辨別 ……26
第10節 遮蔽作用 ……28
第11節 音の方向の感知 ……29
第12節 明瞭性 ……30

第3章 室内音響(建築音響) ……34

第1節 概説 ……34
第2節 音の反射吸收と殘響 ……35
第3節 音の吸收，透過と吸音率 ……37
第4節 殘響時間 ……38
第5節 妨害音の漏洩傳達と遮音 ……43

第4章 測定器具 ……46

第1節 レーレー盤に依る音壓測定 ……46
1.1 レーレー盤の形狀 ……46
1.2 盤或ひは懸垂線の各定數よりケーニッヒの公式を適用して較正する方法 ……47
第2節 音響記錄裝置 ……51
2.1 記錄計器の指度 ……51

2.2 對數目盛(デシベル目盛)とする方式 ……54
2.3 レベルレコーダーの構造 ……57
2.4 レベルレコーダーの應用例 ……57
第3節 周波數分析裝置 ……59
3.1 圖的に分析する方法 ……60
3.2 プラニメーターを應用せる分析器 ……60
3.3 廻折格子を應用する方法 ……60
3.4 多數の濾波器を有する分析裝置 ……60
3.5 ヘテロダイン分析裝置 ……62
第4節 殘響測定器並びに吸音率測定 ……65
4.1 耳をもつて測定する方法 ……65
4.2 蓄電器の放電に於ける減衰を利用する方法 ……66
4.3 レベル・レコーダーを使用する方法 ……66
4.4 ブラウン管を利用する方法 ……66
4.5 オッシログラフを使用する方法 ……67
4.6 自働的に測時裝置を制御する方法 ……67
4.7 殘響法による吸音率測定 ……67
4.8 定常波法に依る吸音率の測定 ……68

第6編 演奏所設備

第1章 マイクロホン ……70

第1節 概説 ……70

第2節 炭素粒送話器……71
第3節 蓄電器送話器……73
第4節 動電型送話器……75
第5節 壓電氣型送話器……76
第6節 ベロシテイ・マイクロホン……78
第7節 マイクロホンの諸特性……79

第2章 スタジオ……83

第1節 概 説……83
第2節 スタジオの數……84
第3節 スタジオの形狀……86
第4節 スタヂオの適當なる殘響時間……89
第5節 スタジオの適當なる吸音特性……97
第6節 スタジオの容積と演奏者の制限……100
第7節 スタジオと放送種目……104
第8節 スタジオの遮音……104
第9節 スタジオの設備……110

第3章 調整裝置……120

第1節 概 説……120

第2節 音聲電流調整裝置……122
第3節 信號裝置及び連絡電話……132
第4節 監視及び試聽……133

第4章 操縱裝置……135

第1節 說 概……135
第2節 操縱裝置……139
第3節 信號及び連絡電話……142
第4節 演奏所に於ける放送系統の概要……146

第5章 監視裝置……147

第1節 概 說……147
第2節 放送遮斷裝置……147

第6章 中 繼 線……149

第1節 我國に於ける放送中繼線網……149
1.1 傳送周波數特性……153
1.2 位相特性……155
1.3 非直線歪……156
1.4 雜音及び漏話……156

第2節 放送中繼線の試驗 ……157
2.1 傳送周波數特性の測定 ……157
2.2 線路インピーダンスの測定 ……158
2.3 雜音測定 ……159
2.4 漏話測定 ……160
第3節 搬送式放送中繼裝置 ……161

第7章 スタジオ外中繼 ……165

第1節 概 說 ……165
第2節 スタジオ外中繼用機器及び中繼線 ……166
第3節 スタジオ外中繼系統の概要 ……172

第8章 時報裝置 ……175

第1節 概 說 ……175
第2節 タイムシグナル ……176
第3節 時報裝置 ……179

第9章 錄音裝置 ……184

第1節 概 說 ……184
第2節 機械的錄音方式 ……184

第3節 テレフンケン製 Ela C44型携帶用錄音裝置概要 ……188
第4節 光學的錄音 ……190
第5節 磁氣錄音 ……194
第6節 マルコニー製 M.S.R.I. 型錄音裝置 ……196
第7節 機械錄音光學的再生方式 ……197
第8節 各種錄音方式の比較 ……198

第7編 放送所設備

第1章 放送所概說 ……201

第1節 放送所の概念並びにその構成 ……201
1.1 放送の定義 ……201
1.2 放送所の基本特性 ……201
1.3 放送所構成 ……202
第2節 放送技術に關する諸規程 ……203
2.1 電波の分類 ……203
2.2 放送周波數の割當 ……204
2.3 放送周波數偏差許容限度 ……204
2.4 二放送局間の周波數間隔 ……204
2.5 放送電力 ……204

2.6 放送機の諸特性 ……205
第3節 放送局電力，局能率 ……205
第2章 放送電源 ……207
第1節 受電及び配電 ……207
1.1 受 電 ……207
1.2 配 電 ……209
1.3 電燈照明 ……216
第2節 電壓調整器 ……222
2.1 誘導電壓調整器方式 ……223
2.2 發電機界磁調整方式 ……227
2.3 飽和鐵心型 ……232
第3節 フイラメント電源 ……233
3.1 電動發電機 ……234
3.2 亞酸化銅整流器 ……235
3.3 ペルトーロ ……236
第4節 バイアス電源 ……238
第5節 プレート電源 ……238
第6節 保安，制御裝置 ……250
6.1 保安裝置 ……250
6.2 制御裝置 ……256
6.3 保護裝置 ……262

第7節 發電裝置 ……263
第3章 放送機器 ……267
第1節 放送機構成 ……267
1.1 我國の放送機構成 ……267
1.2 低電力變調方式と高電力變調方式 ……269
1.3 特殊方式 ……270
第2節 水晶發振器，周波數監視裝置 ……272
2.1 ピエゾ電氣效果 ……272
2.2 水晶片 ……273
2.3 水晶發振器 ……274
2.4 周波數安定度 ……278
2.5 周波數監視裝置 ……288
第3節 高周波增幅器 ……292
3.1 高周波增幅器の基本的考へ ……292
3.2 C級增幅器 ……296
3.3 增幅器の實際 ……297
第4節 電力增幅器 ……299
4.1 變調波の增幅 ……299
4.2 グリッド勵振 ……302
4.3 プレート負荷回路 ……305
4.4 中和法(平衡蓄電器) ……307

4.5 不安定，寄生振動 ……309
4.6 對稱增幅器，プッシュ・プル增幅器 ……314
4.7 電力增幅器の實際 ……316
第5節 變調器，被變調器 ……318
5.1 變調の基礎概念 ……318
5.2 プレート變調法 ……320
5.3 グリッド變調法 ……328
5.4 直列變調法 ……332
5.5 高電力變調法 ……334
5.6 變 調 歪 ……337
第6節 放送機附屬裝置 ……338
6.1 變 調 計 ……338
6.2 モニター ……341
6.3 高周波波高電壓計 ……342
6.4 過變調警報裝置 ……342

第4章 調 整 盤 ……344

第1節 A-增幅器 ……345
第2節 B-增幅器 ……346
第3節 モーター增幅器 ……348
第4節 ピックアップ增幅器 ……349
第5節 スピーカー增幅器 ……350

第6節 音量指示機 ……352
第7節 調整盤系統圖 ……354

第5章 冷却裝置 ……355

第1節 水冷方式 ……355
1.1 水冷各種方式 ……356
1.2 各種機器 ……360
1.3 眞空管スケール ……360
第2節 空冷方式 ……362

第6章 放送機調整法 ……363

第1節 最適動作狀態の調整 ……363
1.1 電力增幅器の調整 ……363
1.2 同調の採り方 ……367
1.3 變調器，被變調器の調整 ……369
第2節 同調負荷回路の調整 ……371
2.1 インピーダンスの合せ方 ……371
2.2 同調特性 ……373
第3節 平衡蓄電器の調整 ……374
3.1 グリッド勵振のみで調整する方法 ……374
3.2 プレート電壓を掛けて調整する方法 ……376

第4節 安定度の試驗 ……376
4.1 音聲周波回路 ……376
4.2 高周波回路 ……378

第7章 放送裝置試驗法 ……380

第1節 調整盤試驗法 ……380
1.1 インピーダンス特性 ……380
1.2 出力歪特性 ……381
1.3 利得及び周波數特性 ……383
1.4 雜 音 ……384
1.5 漏 話 ……385
1.6 音量指示器較正 ……385
1.7 ピックアップ ……386
1.8 そ の 他 ……386
第2節 放送機試驗法 ……387
2.1 入力インピーダンス ……387
2.2 變調歪特性 ……387
2.3 變調周波數特性 ……387
2.4 雜 音 ……388
2.5 變調計較正(波高電壓計を含む) ……388
2.6 試聽用整流器 ……388
2.7 擬似空中線抵抗較正 ……389

第3節 一般注意事項 ……390

第8章 空中線,接地,饋電線 ……391

第1節 空中線の種類 ……391
第2節 空中線の概論 ……392
2.1 空中線の電流,電壓の分布 ……392
2.2 空中線のリアクタンス及び固有周波數 ……392
2.3 空中線の同調 ……393
2.4 空中線より水平方向への輻射,メーターアンペア及び實效高 ……394
2.5 空中線の垂直輻射特性 ……394
2.6 空中線の輻射抵抗及び空中線抵抗 ……395
第3節 特殊空中線 ……396
3.1 指向性空中線 ……396
3.2 フエーヂング防止空中線 ……399
第4節 饋電線,結合裝置,接地 ……401
4.1 饋 電 線 ……401
4.2 結 合 裝 置 ……402
4.3 接 地 ……405
第5節 空中線各定數の測定法 ……406
5.1 固有波長の測定 ……406
5.2 容量の測定 C_0 ……407

5.3 輻射抵抗の測定 R_a ……407
5.4 實效高の測定 h_e ……407

第9章 濾 波 器 ……409

第1節 電源濾波器 ……409
1.1 電源濾波器の概念 ……409
1.2 電源濾波器の設計 ……410
1.3 二三放送局における濾波器の實例 ……415
1.4 整流裝置出力脈動率の測定法 ……415
第2節 高調波濾波器 ……417
2.1 高調波濾波器の概念 ……417
2.2 濾波器回路の設計 ……418
2.3 實 例 ……423
2.4 濾波器傳播特性の測定 ……425

第10章 放送所保安心得 ……462

1.1 毎日保守事項 ……426
1.2 毎週保守事項 ……429
1.3 毎月保守事項 ……432
1.4 毎半年保守事項 ……433
1.5 毎年保守事項 ……434

第8編 特殊放送

第1章 同一周波放送 ……447

第1節 概 說 ……447
第2節 同一周波放送の性質 ……447
第3節 同一周波放送の諸方式 ……449
3.1 同一周波放送方式の概念 ……449
3.2 二, 三の實例 ……450
3.2.1 極小電力同一周波放送裝置 ……450
3.2.2 有線同期方式 ……452
3.2.3 同一周波放送を行はんとする局に安定なる發振器を用ひ之を時々同期せしむる方式 ……454

第2章 有線放送と共同聽取 ……457

第1節 概 說 ……457
第2節 有線放送と共同聽取の諸方式 ……458
2.1 各種方式の概念 ……458
2.2 高聲周波方式 ……459
2.3 搬送周波方式 ……462

第3章 海外放送……467

第1節 概 説……467

第2節 短波空中線……470

2.1 指向性空中線……470

2.1.1 水平面内の指向性……472

2.1.2 垂直面内の指向性……473

2.2 饋 電 線……478

2.3 指向空中線の諸方式……480

2.4 ビームアンテナの利得率……482

2.5 放送所及び受信所の設備概要……484

索 引……489

第5編 音響概論

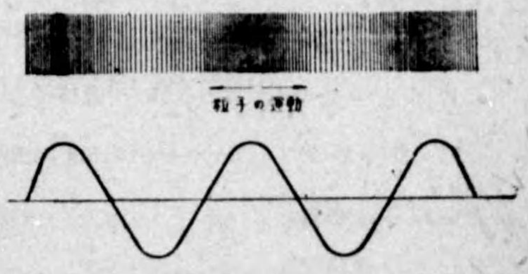
第1章 音響物理

第1節 音 波

音とは彈性體内に生ずる疎密波であり，またこの疎密波動によつて耳に感ずる感覺でもある。即ち物理的に取扱ふ場合と，生理的に取扱ふ場合との二通りの解釋がある。この二つの解釋を區別する必要のあるときには，前者には“音波”なる語を用ひ，後者には“音感”なる語を用ひる。

音を傳播させる媒介物を媒質とよぶ。あらゆる彈性物質は音の媒質となり得るのであるが，ここでは媒質が空氣の場合のみを取扱ふこととする。從つてここでは音といふものは，何か或る振動體に起因する空氣中の疎密波，即ち縱振動と解してよい。

音の傳播する速度は 15°C の空氣中において，毎秒約 340 米であるが，これを傳へる媒質，即ち空氣の分子は，音と同じ速度でその方向に移動するものであらうか？ それは水面における波を例に取つてみれば判るやうに，靜止した水中に石を投ずれば，その波紋は或速度で周圍に擴がつてゆくが，これを傳ふべき媒質，即ち水それ自身はそれぞれの或る定まつた位置を中心として，一種の往復運動を繰返してゐるに過ぎない。



第 1 圖

空氣中における音の傳播現象も，これと同樣であつて，疎密波における疎密の模樣は，每秒340米の速度で進行するけれども，これを傳ふべき空氣の粒子自體は，或る位置を中心として，小さい變位の往復運動を繰返してゐるだけである。第1圖はこの現象を圖示したものである。この粒子の往復運動の速度といふものは，傳播速度とは全く別物であつて，音の壓力及びエネルギー等に關係を持つ量である。この二つの速度を區別するために，前者を傳播速度，後者を粒子速度，或は振動速度とよんでゐる。

傳播速度

空氣中における音の傳播速度に關しては，それを理論的に導出することが長い間なし得なかつたのであるが，熱力學の發達によつて初めて明らかにされたのである。しかしその實驗上より求められた値は非常に精密なもので，後になつて熱力學上より理論的に解決された値と殆ど一致してゐる。

いま空氣中における音の傳播速度を c (cm/sec) とすれば

$$c=\sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} \quad \cdots\cdots(1)$$

但し　ρ＝空氣の密度　gr/cm³

p＝空氣の平均壓力（音が存在しない場合の大氣壓）dyne/cm²

γ＝空氣の定壓比熱と定積比熱との比を表す常數。

で表される。

（空氣については　$\gamma=1.41$）

● は p と ρ との函數であるが，p 及び ρ はまた溫度の函數であつて

$$\frac{p}{\rho}=K\cdot T \quad \text{(Boyles-Charles の法則)} \cdots\cdots(2)$$

といふ關係がある。

但し　K＝比例定數

T＝絕對溫度（絕對溫度の 0° は −273°C に當る）

0°C……$T_0=273$

1 氣壓　$p=1.013\times10^6$　dyne/cm²

のときの空氣の密度 ρ は

$\rho=0.001293$ gr/cm³

であることから K の値が判る。

(2) を (1) 式に入れると

$$c=\sqrt{\gamma K.T} \quad \cdots\cdots(2)$$

即ち傳播速度 c は，絕體溫度の平方根に比例するのである。この式から大氣溫度の變化による c の變化を算出することが出來る。

粒子速度

これは前記の傳播速度 c とは全く異つたもので，空氣粒子が自己の自由位置附近で前後に振動する場合の，粒子の速度をいふのである。いま空氣の粒子が，正弦形の疎密振動を行つてゐるものとする。しかるときは粒子の變位 ξ は

$$\xi=A\sin\omega\left(t-\frac{x}{c}\right) \quad \cdots\cdots(3)$$

A＝振幅

ω＝角速度（圓周波數）……$\omega=2\pi f$

t＝時間　π＝圓周率　f＝周波數

x＝音波の位置を示す坐標

變位を時間について微分したものが速度である故に

$$v=\frac{\partial\xi}{\partial t}=\omega A\cos\omega\left(t-\frac{x}{c}\right) \quad \cdots\cdots(4)$$

である。この式よりみると，變位の最大のところで速度が最小であり，變位の最小のところで速度が最大であることが判る。これを簡單な振子の場合について考へてみると，振子の自由位置は恰度垂直の位置である。即ちこれが變位が零の場

合であつて，もしいまこの振子を振り動かした場合を考へるに，振子が一方に振切つて戻つて來る境目，卽ち最大の變位をなしたところで，振子の球の速度が零になることは容易に判る。同時に垂直の位置，卽ち變位が零のところを通り過ぎるときに，最も速いことも容易に想像されよう。

尙ほ　$v=\omega A\cos\omega(t-\frac{x}{c})$

は粒子速度の瞬間値であつて，上式中の　$\cos\omega(t-\frac{x}{c})$　は時間とともに，1から 0 迄の間で周期的に變化するものである。粒子速度の最大値は

$$v_{max}=\omega A \quad\cdots\cdots(5)$$

實效値 V は

$$V=\frac{1}{\sqrt{2}}\omega\cdot A \quad\cdots\cdots(6)$$

この $\omega\cdot A$ を速度振幅（Velocity amplitude）と稱する。

粒子の振動によつて壓力變化，卽ち音壓の生ずることが當然考へられる。音壓は粒子速度に比例するものであつてその實效値を P とすれば

$$P=\rho cV \quad\cdots\cdots(7)$$

なる關係がある。いま速度振幅に關して具體的な說明をする。

一定の音壓，或ひは粒子速度を得るためには，速度振幅が一定でなければならぬことは，(7) 及び (6) 式から判る。卽ち音壓（または粒子速度）が一定であることを條件とすれば

$$\omega\cdot A=2\pi f\cdot A=\text{Constant}\quad 卽ち\quad f\cdot A=\text{Constant}\quad\cdots\cdots(8)$$

となる。これは周波數 f と振幅 A は双曲線關係にあることを示し，一方が增せば他方は必ず減ずる。また振幅 A が一定ならば，周波數の增すほど音壓が增大されて行く（振子を例に取つて考へると，振れる幅が同じならば單位時間內に振動する回數，卽ち周波數が多いほど振子の球の速度が速くなるのと同じである）。

實際上蓄音機の吹込等においては，(8) 式が示すやうに低周波數になるほど振

幅が大となり，隣の溝に喰込む心配が起るために，低周波部分まで忠實に吹込むことに困難が生じ，已むを得ず低周波數部に於ける錄音機の働きを，制限せねばならぬやうな問題が生ずる。

第2節　音のエネルギー及び音の强さ

音の壓力に關しては前に述べたやうに

$$P=\rho cV$$

の關係がある。

音のエネルギーについては，力學における考へ方と同樣に，單位體積について

$$u=\frac{1}{2}\rho v^2$$

これをエネルギー密度といふ。一周期間の平均を取れば

$$U=\rho V^2 \quad\cdots\cdots(9)$$

となる。但し

U＝エネルギー密度の平均値

V＝粒子速度の實效値

單位時間に單位面積を通つて流れる音のエネルギーを音の强さと稱する。卽ち U なる密度のエネルギーが，1秒間に流れる體積と考へれば良い。今その實效値を I とすれば

$$I=c\cdot U=\rho cV^2=\frac{P^2}{c\rho} \quad\cdots\cdots(10)$$

これ等の式を一見すると，恰度電氣回路における電壓，電流，抵抗及び電力の關係と同一であることが見出される。卽ち

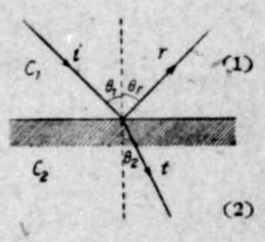
音壓＝P	電壓＝E
粒子速度＝V	電流＝I
音響インピーダンス＝ρc	抵抗＝R

音壓　$P=\rho cV$	電壓　$E=IR$
音の强さ　$I=\rho cV^2=\dfrac{P^2}{\rho c}$	電力　$W=I^2R=\dfrac{E^2}{R}$

音波の波面（Wave Front）が平面である場合について成立する關係である。
球面波の場合については本講では省略する。

第 3 節　音波の反射と屈折

性質の異なる媒質の境界に來ると，音波は反射，屈折等の現象を呈する。即ち音の一部分は境界面で反射され，次に示す反射法則に從つて元の媒質中を方向を變へて進行し，他の一部は屈折法則に從つて他の媒質中を進行する。（光或ひは電波の場合も同樣である）いま第2圖に示す如く媒質（1）及び（2）が一平面において相接してゐるとし，（1）及び（2）の中の音波の速度をそれぞれ c_1 及び c_2 であるとする。且つ入射角，反射角及び屈折角をそれぞれ θ_1 θ_r θ_2 とすると，



第 2 圖

$$\frac{\sin\theta_1}{c_1}=\frac{\sin\theta_r}{c_1}=\frac{\sin\theta_2}{c_2}\quad\cdots\cdots(11)$$

$$\sin\theta_1=\sin\theta_r\qquad\therefore\ \theta_1=\theta_r\cdots\cdots\text{反射法則}$$

（入射角と反射角とは相等しい）

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{c_1}{c_2}\cdots\cdots\text{屈折法則}$$

（境を持つ二つの媒質が與へられた場合入射角の正弦と屈折角の正弦との比は常に一定である。しかしてその値は，兩媒質中の傳播速度の比に等しい。）

が得られる。

反射の現象は，演奏室內裝用吸音材料の吸音率と密接な關係がある故，これについて一言する。

二つの媒質の境界では，次の二つの條件が滿されてゐる。

（1）その面に直角な方向における粒子速度 v は連續であること。

（2）壓力變化 p も連續であること

（1）の條件を式で表す

$$v_1\cos\theta_1+v_r\cos\theta_r=v_2\cos\theta_2\quad\cdots\cdots(12)$$

（2）の條件は

$$p_1+p_r=p_2\quad\cdots\cdots(13)$$

但し　v＝粒子速度瞬間値　　p＝音壓瞬間値（壓力變化）

然るに壓力變化

$$p=\rho cv$$

なる關係がある故に，方向を考へに入れ算術的に扱へば

$$c_1\rho_1v_1-c_1\rho_1v_r=c_2\rho_2v_2$$

が得られる。故に入射波の v_1 と反射波の v_r との比は

$$\frac{v_r}{v_1}=\frac{c_1\rho_1\cos\theta_2-c_2\rho_2\cos\theta_1}{c_1\rho_1\cos\theta_2+c_2\rho_2\cos\theta_1}=r\quad\cdots\cdots(14)$$

及び　$$\frac{v_2}{v_1}=\frac{2c_1\rho_1\cos\theta_2}{c_1\rho_1\cos\theta_2+c_2\rho_2\cos\theta^2}=t_{1\to2}\quad\cdots\cdots(15)$$

を得る。

これ等は入射角が任意の角 θ の場合についてであるが，吸音材料の吸音率における場合の如く，一般に直角入射について論ずるときには

$$\theta_1=\theta_r=\theta_2=0$$

（1）$$\frac{V_r}{V_1}=\frac{R_1-R_2}{R_1+R_2}=r\quad\cdots\cdots(16)$$

（2）$$\frac{V^2}{V_1}=\frac{2R_1}{R_1+R_2}=t_{1\to2}\quad\cdots\cdots(17)$$

但し　$R_1=c_1\rho_1$

$R_2=c_2\rho_2$

であつて，それぞれ媒質 (1)，(2) における音響インピーダンスである。

いま音波の方向を逆にして，(2) の方向から入射する場合には

$$t_{2\to1}=\frac{2R_2}{R_1+R_2}$$

從つて

$$t_{1\to2}\cdot t_{2\to1}+r^2=1 \quad\cdots\cdots(18)$$

以上は粒子速度の關係であるが，エネルギーの間の關係は（簡單のために熱損失を省略する）

$$Rv_1^2-R_1v_r^2=R_2v_2^2$$

書き換へれば

$$r^2+\frac{R_2}{R_1}\cdot t_{1\to2}=1 \quad\cdots\cdots(19)$$

なる關係が得られる。即ち投射されたエネルギーの内 r^2 だけは反射し，$\frac{R_2}{R_1}\cdot t_{1\to2}$ は別の媒質に進入して行くこととなる。これを實際問題につき簡單に考へてみるに，室内にて發せられた音が，或る壁に突き當つた場合，そのエネルギーは，空氣中における損失を無視すれば

投射エネルギー ＝ 反射エネルギー ＋ 損失エネルギー

前式では全部通過するものと考へたが實際には吸收されて熱損失となるものを含む

であることが容易に考へられる。上式の兩邊を投射エネルギーで除すれば，

$$1=\frac{\text{反射エネルギー}}{\text{投射エネルギー}}+\frac{\text{損失エネルギー}}{\text{投射エネルギー}} \quad\cdots\cdots(19')$$

となり，(19) 式に比較すると，全く同じ關係であることが判る。右邊の第一項が反射率で，第二項が通常吸音率とよばれてゐるものである。吸音率の實測法その他に關しては後に述べる。

二つの媒質の境目に音波が投射されると，屈折して一部分第二の媒質の中を進行することは既述の通りで，(11) 式に示す如き法則が成立してゐる。音の屈折に

關する詳細は省略し，二，三の實例によりその現象を説明する。

光の場合に用ふるレンズ及びプリズム等は，この屈折現象を利用したものであるが，しからば音響レンズ，或ひはプリズム等の製作は不可能であらうか？　これ等を製作するためには，空氣の傳播速度と異なる傳播速度を持つ媒質（空氣よりも遲くても速くてもよい，遲いか早いかによつてレンズの凸凹が反對になる）を以て境界を作つた場合に，その媒質の性質として表面の反射が餘り甚しくなく，且つ媒質中の損失が非常に小さく，大部分が突き抜けて行くやうなものがあれば，製作し得るわけである。音が他の媒質に透入する割合は

$$\text{透入率}\quad \eta_{1\to2}=t_{1\to2}^2\cdot\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$$

で表されるが，$t_{1\to2}$ が (17) 式で示されたやうに，$t_{1\to2}=\frac{2R_1}{R_1+R_2}$ だけで與へられ，その中に甚しい吸收損失がないこと，及び R_2/R_1 が餘り大き過ぎぬことの二つを滿足するもので，且つ空氣中で境界を作ることが出來るものがあればよいことになる。しかし實際問題として，空氣中に液體や固體をおいては，餘りに音響インピーダンスが違ひ過ぎて R_2/R_1 が大きくなり，相當量のエネルギーが反射されてしまふことと，液體，或は固體中における吸收の大きいこととで不可能に近い。なほ光に比して波長が非常に長いために，廻折その他の關係でレンズ自身の寸法を，波長以上に充分大きくしなければならない等種々の條件が必要とされ，要するにこれ等は今後に殘された問題である。水中を傳播する超音波については，エボナイト板を使用して，レンズの役目をさせ相當の成績を得てゐる。

しかし同種類の媒質，例へば空氣だけの場合でも，何かの原因によつて速度の不均一が起れば，そのために屈折現象が起る。その例は實際上相當に多い。例へば風や溫度の不均一のために屈折を起したり或は反射さへ起ることがある。風が上空で速く地表近くで遲いやうなことは，通常の出來事であるが，かやうな場合，風下の方に音が進む場合には，音の方向は下向けに曲るやうに屈折され，風上に

向ふ場合には，反對に上に曲らうとする。即ち風下にはよく音が傳はり，風上には傳はり難いのも，この屈折現象の一つの現れである。上向に進行した音が，風のために屈折されて漸次下向きとなり，再び地表面に到達して，比較的近くでは聞取れぬにも拘らず，途方もない遠方で聞き取れた，といふやうな事實も報告されてゐる。かやうな屈折現象はまた大氣の溫度差によつても起る。上空程溫度が低く音が上向けに屈折するのが普通であるが，何かの原因で地表面の溫度が急激に下つたやうな場合には，下向けに屈折する。航海中の船の汽笛が，豫想外の遠距離まで到達することがあるが，これ等もやはり風あるひは溫度の影響により，上層での屈折と水面上での反射を繰返して，到達するものと考へられる。

第4節　音波の干渉

二つ以上の音波が重なつて或る點に到達するとき，その點における變位，粒子速度等は，各音波が獨立に存在するときのもののベクトル和で表される。その結果場合によつては，二つの音波があるためにそれ等が互に打消し合つて，音の到達しないところや弱くなるところ，或ひは逆に却つて强められるところ等が生ずるわけである。これを音波の干渉現象といふ。唸りの發生，定常波の發生はその例である。

同一音源から發せられた音が，別な路を通つて或る點に會するときに，干渉を起すことがある。これ等は音の傳播經路の相違による時間の遲れと，進行方向の違ひとによつて生ずる。いまある室内で音が發せられた場合を考へるに，その音が方々の壁面で反射され，樣々の經路を通つてきて，室内に分布されてゐるわけであるが，これ等多數の反射音及び原音が重疊されて，ある位置では强く聞え，またある位置では弱く聞えるやうなことが常に經驗される。即ち干渉を起してゐるのであつて，これを起してゐる位置は，周波數の變化及び音源の位置の變化によつて移動する。

音源が固定され且つ周波數が固定されれば，干渉の起る位置は移動しない。言葉を換へれば，音源から一定の强さの音を出してゐても，音場では位置が極く僅かに變つても强さが甚しく違ふ，といふやうなことが生ずるのである。故に種々の音響試驗に際し，試驗室の壁面が反射性の場合には，この干渉のために測定結果が，測定の位置或ひは周波數によつて區々に違ふやうなことが起り，正確な測定が出來ないことになる。音響試驗用の測定室を充分に防音するのはそのためであつて，直接音以外の音を出來るだけ減少せしめて干渉を防いでゐるのである。

試驗の性質上，室内に防音裝置を施すことの出來ない場合，例へば既に出來上つてゐる室それ自身の音響的性質を調べる必要のあるとき（後に詳しく述べるが演奏室の音響狀態調査等）等には，他の手段によらねばならない。かやうな場合には，測定周波數をある範圍内で絶えず變化せしめること，音を斷續して發射すること，種々の周波數を同時に出すこと，或ひは音源を絶えず動かすこと等によつて，室内に無數の干渉點を作り，同時に干渉の點を絶えず移動せしめ，音の分布を一樣にし，或る位置附近で平均の値が得られるやうにするのである。吾々が通常の室で，干渉による不自然さを左程に感じないのは，一定周波數が正確に，しかもある時間持續するやうなことが餘り無く，大抵の場合は强さ及び周波數が，短時間で變動するのが普通だからである。しかし室の作り方が不適當な場合には，甚しく干渉による障害が感ぜられることもあるのは周知の事實で，例へば一般には珍しがられてゐる“鳴き龍”の現象等は，この干渉現象より説明することが出來る。

第5節　定常波

媒質が異なる場合，その境界近くで入射波と反射波とが互に干渉して，音源から面までの距離と波長との關係で，定常波なるものを生ずることがある。もしも面が非常に剛く，完全反射性を持つてゐれば，境界面で變位が零で　その面より

音源方向に向つて音の振幅が變つて來る。しかしてその振幅の分布狀態は波狀をなし，しかもこれは移動進行等を爲さない。これを定常波と呼ぶ。即ち完全反射の場合には，振幅が境界面で零で原音の波長の 1/4 に當るところで振幅が二倍となる。

實際上は境界面近くにおいても，面の振動，音波の透過，吸收があるために振幅が零までにはならず，また 1/4 のところでも 2 倍までにはならないのが普通である。振幅の最小のところを節といひ，最大のところを腹とよぶ。

いま腹の振幅を a とし，節の振幅を b とすると，これ等 a, b と反射率との間には，次のやうな關係がある。

$$\text{反射率}=\left(\frac{a-b}{a+b}\right)^2=\left(\frac{1-\frac{b}{a}}{1+\frac{b}{a}}\right)^2 \cdots\cdots\cdots\cdots(20)$$

この式により，演奏室內裝材料等の吸音率を實測することが出來る。即ち第 3 節(19) 式の示すやうに　反射率＋吸音率＝1　である故に

$$\text{吸音率}=1-\left(\frac{1-\frac{b}{a}}{1+\frac{b}{a}}\right)^2 \cdots\cdots\cdots\cdots(21)$$

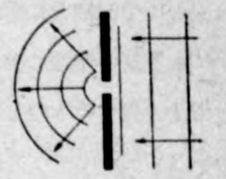
同一周波數では，振幅 a, b は音壓に比例する故に（第 1 節 (6) 及び (8) 式參照）マイクロホンの出力電壓にも比例する。よつてマイクロホンを使用した場合，それから出る電壓を a', b' とすると

$$\text{吸音率}=1-\left(\frac{1-\frac{b'}{a'}}{1+\frac{b'}{a'}}\right)^2 \cdots\cdots\cdots\cdots(21')$$

a' 及び b' 定常波を起してゐる音場內を，マイクロフオンを移動せしめ，節及び腹における電壓を計れば求められる。

第 6 節　音波の廻折

音波，光波等いづれも反射，屈折及び廻折等の現象を起すことにおいて，殆ど同樣の性質を有してゐるが，特に音波は光波に比較して波長が，著しく長い關係上，廻折や散亂の現象が甚しく現れる。



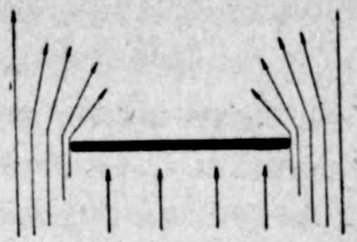
第 3 圖
（小さい孔を通じての音波の擴がり）

いま音波の進行を阻止するやうな遮壁に，極く小さい孔を開けこの孔から音を通す場合を考へてみる。もしも孔の直徑が通る音の波長に比較して，非常に小で殆ど點と見なし得るやうな場合には，音はその孔を中心として，球面狀に擴がるやうな性質があるのである。第 3 圖はその模樣を示すもので，左方から平面波頭の音波が進行して來ても，孔を通して出る音の進行は球面狀となる。即ち孔が二次的の點音源となる。これが音の廻折現象であつて，孔の直徑が波長に比して比較的大きい場合には，直進して來た音は孔の中心附近では，そのまま眞直に通過して平面波頭を持ち，緣のところで外側に擴がるやうにその進行方向が變つて來る。即ち廻折が行はれるのである。ここで考へられることは同じ直徑の孔ならば，波長の長いほど（即ち低い音）擴がりたがる性質を持つてゐるといふことである。

廻折現象を簡單に水面波で實驗してみることも出來る。いま水面に遮壁を立て，その壁に小さい間隙を作つておく。遮壁で二つに分けられた水面の一方を波立たせると，この波が原因となつて他方にも波が起るが，この方に起る波は隙間を中心として，全然別個な擴がり方をするのがみられる。

次に前と模樣を變へて音波の直進して來る途中に，比較的小さい遮壁を立てた場合を考へる。(第 4 圖) この場合も前と同樣に遮壁の周緣で，音波が廻折されて遮壁の後側へも音波が到達するのである。音波の進行の途中に障害物があつても，吾々が通常音を聞き得るのはこのためである。

なほ廻折現象を利用して，レンズ或ひはプリズム等と，同様な作用を爲さしめることが出來るのであるが，これは寧ろ光學的方面に應用が廣く，また研究も光に關するものの方が相當に進んでゐる。音波の場合でも波長の非常に短かい超音波では，廻折格子と稱するものを用ひ，音の分析その他に廻折現象を應用してゐる。

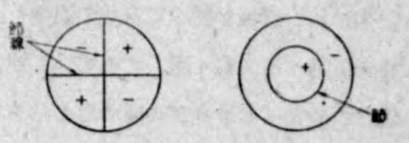


第 4 圖

第 7 節　膜及び板の振動

膜及び板が振動の源となる場合，或ひは音波により驅動されるものとなる場合が比較的に多い。即ち高聲器及びマイクロホンの振動體の如きものがそれである。

振動板の中，剛性の無いもの，または殆ど剛性が無いと認められるものを膜と稱し，剛性あるものを板といふ。一般に振動板は完全な剛體として（換言すれば板が曲らずピストン運動をする場合）働く場合に，最大效力を與へるものである。ダイナミツク高聲器等において周縁を軟かに取付け，所謂フリー・エツヂを使用するのもその一例である。しかし實際上ピストン運動に近い運動を爲すものは，周波數が極く低い場合だけで，周波數が高くなると，それ自體に位相差が生じ，振動板自身が曲がるやうな振動を起す。甚しい場合には，振動板が數個の部分に分れ，相隣れる部分で互に反對方向に振動するやうになる。從つてその境目では振幅が零となるところが出來る。これを節（Node）といふ。節の部分即ち全然振動しない部分が線狀をなしてゐる場合が多い。一例として圓形の板の場合をみるに，第5圖に示すやうに直徑方向にその節線(Nodal Line)を生



第 5 圖

することもあり，また同心圓狀に生ずることもある。節線が出來れば，これを境として振動方向が逆になるから，音の輻射が互に打消すやうになり，出力は甚しく減少される。振動板に放射狀，或ひは同心的の襞をつければ，或る程度まで節線の出來るのを防ぐことが出來る。マイクロホンの振動板，或ひは蓄音機のサウンド・ボツクス等に襞のあるものがあるが，それ等は節線の出來るのを防ぐために附せられるのである。

第2章　音響生理

第1節　樂音と噪音

音を大別して樂音と噪音との二つに分けて考へられる。樂音は音樂的感じを與へる音で，普通の樂器の發する音の如く，相當の時間規則正しい周期を持つた振動が繼續して起る場合のものである。噪音とは不規則な振動，または無關係な周波數を有する多數の振動が，同時に起る場合の不愉快な感じを與へるものをいふ。これは物理的な根據を持たして定義したもので，實際上音響技術者として考へれば，必ずしも以上のやうな區別が適當とはいひ得ない。音樂的効果を持つものを樂音といひ，しからざるものを騒音とよびたい。

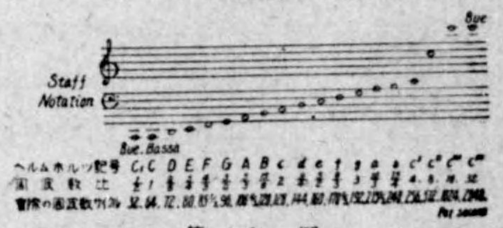
第2節　周期音(樂音)と稱するものの三要素

我々は周期音に對して三つの異つた感覺を有してゐる。卽ち

1. 音の高さ　(Pitch)
2. 音の大いさ (Loudness)
3. 音色　(Timber…Tone quality)

音の高さは音波の振動數によつて定まり，高い音は振動數が多く，低い音は振動數が少い。物理的には周波數（サイクル），或ひは周波數の對數で示されるが，音樂上からは特別な表示がなされてゐる。詳細な說明は省略し第6圖を以て說明に換へる。

音の大いさは音波の振動の振幅の大小によつて定まり，振幅が大ならば音は大きく，振幅が小ならば音は小さい。



第　6　圖

音の大いさと音の强さを混同せざるやう注意が肝要である。それについては大體次のやうに考へれば判然とするものと思ふ。

音の强さ

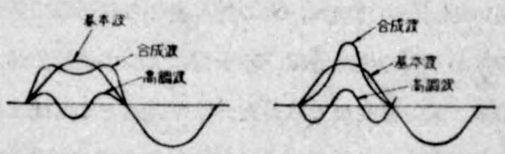
物理的量であつて耳の性質その他を考慮してをらず，單に音壓の如きものの函數として示される量。

音の大いさ

耳の生理的性質に關するものであつて，"感覺上の强さ" とでも稱すべきものである。例へば耳に殆ど聞え難い 15,000 サイクル附近を考へてみるに，音壓は相當に大であつても，耳にはさほど大きい音には感じない。この場合は强さは大であるが，大いさは小なのである。但し同じ周波數ならば，振幅が大であれば大きく聞えることには變りがない。

音色の相違は，音波を構成する各々の成分振動波の種類，及びその大小によつて定まる。基本の周波數を決定するものを基本波といひ，それに含まれる成分波は基本波の整數倍の振動數を持つたものであつて，高調波 (Higher harmonics) と稱される。卽ち音色は高調波の存在の模樣に關係する。

極く通俗的には波の形によつて音色が異なる如くいはれてゐるが，高調波の存在から說明すると，波形が異つてゐても同じ音色のものがあり得るのである。卽ちその高調波の位相の如何によつて，同じ振幅の高調波が含まれてゐる場合でも，波形の異なることは當然考へられる。第7圖はこれを說明する圖で，基本波の三倍の振動數をもつものの合成波の例を示すものであるが，高調波の位相によつて，波形が著しく異つてゐることが見られる。しかして人間の耳の習性として，高調波の位相の違ひは感知し得ないものである故に，高調波說が正しいと考へられるのである。



第　7　圖

以上の如くいはれてゐたが，最新の精密なる研究の結果，音の高さ，大いさ及び音色なる主觀的の三要素がそれぞれ振動數，強さ及び波の構成等物理的要素に單獨に支配せられるのではなく，音色は振動數，強さ及び構成の全部に關係があることが知られるに至つた。

第3節　發聲機關

人間の發聲機關は肺臟，氣管，聲帶，舌，唇及び口腔内の腔等から出來てゐる。母音の發聲は肺臟から出された空氣が，聲帶の振動によつて多數の部分音を有する空氣の振動が起り，この中から口腔の形，唇，舌等の位置によつてそれ等の振動のうち，固有の振動數を共鳴せしめ大きくし，言葉となつて外に出るのである。この說は共鳴說といふのであつて，Helm Holtz 等によつて唱へられ，現在廣く信ぜられてゐる。

しかしこの他に聲帶の振動を認めずに，聲門から出る空氣が口腔の中で，その形に應ずる振動を起すと稱する非共鳴說もある。

子音は口腔や唇で通路を塞がれて空氣が奔出するときに，發せられる繼續時間の非常に短かい音である。即ち瞬時振動を伴ひ，これによつて子音となるのである。例へば（ク）を發音する場合を考へると，初め K の音が發せられ，これが短い時間續いた後に，U の音が發せられるのである。子音の續く時間及び母音との接がり目の模樣等は，各子音によつて異なるが，子音と母音との間を少し開けても，或る程度までは差支へなく言葉として聞える。子音から母音までの時間を延して實驗した結果，0.3 秒位以内ならば普通に聞えるが，それ以上間が開き過ぎると，後から來る母音のみしか聞き取れぬことが報告されてゐる。

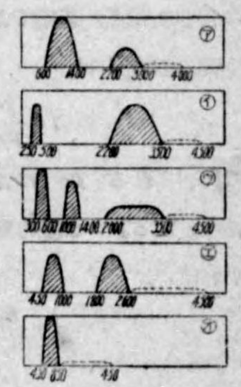
第4節　母音とその音響スペクトラム

母音を發するとき，例へば（ア）がアに聞え（イ）がイに聞えるのは，物理的

に波の組成にいかなる關係があるか？ これに關しては19世紀頃から研究されて來たのであるが，最近優秀なるマイクロホン及び增幅器の發達に伴つて餘程明らかになつた。

各母音は高低や發音者によつて著しく波形が異つてゐる。しかし波形が相當に異つてゐても，結局同じ言葉例へば（ア）がアと聞えるのは，その言葉アに對して，根本的に重大なる物理的共通點のある筈であると考へられる。即ち如何なる場合でもアと聞える限りは，アに對しては必ず存在しなければならないところの周波數帶があり，その必要なる帶域が缺除すれば，アの特性が無くなることが考へられる。かやうな帶域の存在することを，最初に見出したのが Helm Holtz である。後 Trendelenberg, Fletcher 等各々自國語の母音について一層精密な實驗を行つた結果，母音を特性づけるものはただ一つの共鳴周波數ではなく，或る範圍の周波數帶域であることを見出した。ドイツでは，この周波數帶域を Formant とよび，米國では Characteristic Frequency Band（特性周波數帶域）とよんでゐる。

日本語に關しては，高橋，山本，小幡氏等の研究がある。これ等は必ずしも一致してはゐないが，全般的には大してその論に變りはない。第8圖は日本語母音の Formant を示す。なほ母音を決定する周波數帶域は，その音聲の調子の高低，音色に關係せずに，一定周波數帶に止つてゐることに注目すべきである。即ち發音方法の變らない限り，發音した母音の高さに關係無く絶對的に定つてゐるもので，これが他の發音體の音色と全然趣きを異にしてゐるところである。（高さを決定ある基本周波は Formant とは別に存在する）普通の談話に使はれる音聲は，人によつて異なるが男聲の低いもので基本波の周波數が約90サイクル位で，相當に高い女聲の金



第8圖

切聲でさへ400サイクル附近である。平均して男は 120～200 サイクル，女は 200～300 サイクル位である。しかし聲の高さは違ふにしても，その言葉の母音を決定する特性周波帶域は變化するものではない。

言葉を吹込まれた蓄音器レコード盤を，規定よりも速く或は遲く廻した場合を考へると，特性周波數帶域が一樣に高周波部，或は低周波部に移動せしめられることになる。故にこの場合は單に聲の高低が變るのみでなく，發音法が見掛け上變つたことになり，本格的發音による言葉ではなくなる。第8圖の內實線部分は母音の特性周波數帶域であり，點線の部分は個人音色帶域である。卽ちこの點線部が發音者の特徵を示すに役立つ。人間の聲をやや良好に傳へるには，Formant 及び音聲の高低を決定する基本波，その高調波及び子音等を考慮に入れても，50 サイクルから 5,000 サイクルまでが注意深く收音再生されれば，大體差支へはない。但しこれは音聲についてであつて，音樂の場合になると更に廣い周波數範圍が要求される。

第5節　言葉の勢力

放送において取扱ふ音樂の，その主なるものは，いふまでもなく音聲及び樂器の音卽ち言葉と音樂である。

音の强さ I は

$$I=\frac{P^2}{\rho c}$$

で與へられる。ρc は音響インピーダンスであつて，20°C の空氣の場合には大體 41.5 となる。いま壓力變化の實効値（音壓實効値）を P バール（ダイン/平方糎）とすれば

$$I=\frac{P^2}{41.5}\quad \text{エルグ/秒}$$

$$=\frac{P^2}{415}\quad \text{マイクロワット}$$

となる。故に適當なる方法で（例へばレーレー・デイスク或は精密に較正されたマイクロホンを用ふる等）壓力 P を測定すれば，その音響勢力を知ることが出來る。第1表は英語について L. T. Sivian の測定したる結果を示すもので，表に示した勢力値は所謂平均値（average speech power）で，或る人が話をする間の全體の勢力を話した時間で割つたものである。もし會話中休んでゐる時間は，これを除外するものとすれば約50%大となる。

第1表　言語の勢力

	勢力（ワット）
最强	1000×10^{-6}
普通會話	10×10^{-6}
最弱	0.1×10^{-6}
かすかなささやき	0.001×10^{-6}

表によれば通常の會話における勢力の平均値は 10 マイクロワットであるが，もし非常に大聲で話すときは 1,000 マイクロワットにも及び，また小聲で話せば 0.1 マイクロワットでも足りる。更にささやき聲になると，0.001 マイクロワットでも相手に注意を通ずることが出來る。

普通の會話における値を零レベルにとれば，大聲の場合には +40db となる故，ささやき聲から大きな聲までのレベルの範圍は 60 db といふことになる。また表より判る如く，音聲の勢力は比較的その値が小さい。卽ちよく例に出されてゐるやうに，百萬人の合唱の勢力を全部集めても，僅かに白熱電球一個を點燈し得るに過ぎない程度のものである故に，これを傳達する場合における音聲電流の値は，通常の電力線の電流に比べて遙かに小さい。

會話の勢力は勿論その話す人々によつて多少の相違がある。これに對し同じく Sivian が多くの人々について試驗し，第2表に示す如く平均の音聲勢力を1にとり，これより離れた音聲勢力の百分率を與へて居る。

以上は言葉につき概念的に述べたものであるが，更に各々の言葉についてその勢力を求めてみると，音の種類によつて非常に異つてゐる。一般に母音は勢力が大きく，子音のそれは小さい。C. F. Sacia 及び E. J. Beck が 16 人の被試驗

第 2 表　Relative Speech Powers Wed by Individuals in Conversation

Region of average speech power	below $\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$～$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$～$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$～$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$～1	1～2	2～4	4～3	above 8
Percent of speacehs	7	9	14	18	22	17	9	4	0

者より種々の言葉を通常の會話の狀態で發音させて測定した結果によれば，子音のうち最も弱いもの（th の音）の平均勢力は，僅かに 0.05 マイクロワツトに過ぎない。しかもこれは普通の會話の場合であつて，更に弱い聲の場合にはもつと小さくなる故，會話に現れる最も小さい言葉の勢力は，0.01 マイクロワツトと見てよい。しかして最も大きい聲の勢力の尖頭値は，5,000 マイクロワツトにも達し得る故，この勢力比は 500,000:1 となり，强さの範圍は 56 db となる。しかし一般にただ一人の人についていへば，音聲の强き範圍は大體 35～40 db 位である。

次に言葉の勢力は，主としていかなる振動數のところにあるか，即ち勢力の周波數分布について，英語に關しては I. B. Candall 及び D. Mackenzie の研究があり，日本語の母音に關しては高橋，山本兩氏の研究がある。これ等の結果によれば，一つの言葉の中の勢力の分布は，各々の言葉により，また人によつて更に性によつても異るが，母音について平均すれば，勢力の大部分は 1,000 サイクル以下にあつて，全體の勢力の 70～80% を占めて居る。

以上は會話における場合の話であるが，聲樂家が歌を歌ふ場合の勢力について C. E. Lave の測定がある。第 3 表はその結果を示すもので，歌手より約 18 吋の

第 3 表　（ワグナーの巡禮の歌の一節）

音域	壓力（バール）		
	pp	mf	ff
メゾソプラノ	13	18	31
テノール	14	21	34
ソプラノ	14	20	34
アルト	6	13	18

ところにおける音壓をバールで表したものである。これ等聲樂によつて與へられる勢力は，普通の會話の場合のそれに比して，著しく大きく大體 1,000～3,000 マイクロワツトに相當してゐる。

なほ Lane は各種の樂器についても同樣の測定を行ひ，第 4 表の如き結果を得てゐる。これによれば，一般に弦樂器の勢力は，管樂器のそれよりも小さく Violine の音は最も小さき値を示して居る。Bass dram の音はその周波數は低

第 4 表

樂器	壓力（バール）		
	pp	mf	ff
ヴアイオリン	8	18	25
バス・ヴイオラ	13	21	31
マンドリン	13	18	24
バンジヨー	24	32	36
ピアノ（單音）	—	23	31
ハープ	11	20	27
フリユート	12	24	35
クラリネツト	15	27	33
コルネツト	17	25	34
ホルン	17	26	36
サキソホン	20	26	36
トロンボーン	12	21	35
バスチユーバ	21	34	41
バスドラム	29	40	48
オルガンパイプ	—	30	—

いが，その音響勢力は最も大きい。一般に低音樂器の發する音響勢力は大きく，中音樂器がこれに續き，高音樂器は勢力が最も小さいのが普通である。このことは直接耳で聽取する場合に，耳の持つ感裝の周波數特性を併せて考へるとき，極めて好都合なことであるが，放送機器を通じて聽取する場合には，一應の注意を要するところである。これ等に關しては遂次述べることとする。

第6節　聽　覺

音としての認識に要する最小時間

音の感じを生ぜしめるに要する最少の時間に關しては，數多の實驗があり結論も區々である。

Kohlrauch は時間ではなく振動の數であり，振動の數が二回で音として感ぜられるといつてゐる。

また他の人はその最小時間は，すべての周波數で 1/40 位が平均で，熟練した人は 1/100 秒程度であるといつてゐる。E. Luck は 1,000 サイクルで試驗の結果，9～10 周波（約 1/100 秒）が音を認識する最小時間であるといふが，これは試驗周波數を限定して居るから，波の數説か時間説か判らない要領のいい數値を出してゐる。

また理研の田口氏はもつと精密にいつてゐる。卽ち音の波の數が二つ來れば，先づ音として判る。しかして更に數が增すと，音の大いさが大となる感じを起し，數が 10 以上になると初めて一定し，以後は音が續く時間の長さの感じが生じて來るといふのである。

第7節　聽感の範圍

耳は非常に廣い範圍に働き得るのであつて，その周波數において $10^3:1$，その强さにおいて $10^{12}:1$ の廣範圍を含むのである。

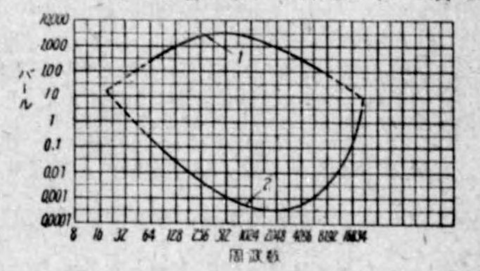
人の耳が感じ得る周波數の範圍については，勿論人によつて異つてゐる。一般に年の若いほど高くまで聞き得る。また老人は高い音に對して感じが鈍くなる。

耳の感ずる强さについても耳によつて異つてゐるのは勿論であるが，耳が音として感じ得る最小の空氣の振動のエネルギーは，また周波數によつて變つてくる。この音として感じ得る最低の値を最低可聽値（Threshold of hearing）と稱

する。

次に音として感じ得る最大のエネルギーについても極限がある。いま音波のエネルギーを段々增して行つて，その壓力變化が或る値に達すれば，その波は音として感ぜられずに，感覺として感ずるやうになる。この極限は勿論周波數によつて違つてゐるが，これを最低可覺値（Threshold of feeling）といふ。

最低可聽値及び最低可覺値については，多くの學者によつて研究されて居るが，その値は必ずしも一致してゐない。これは勿論耳によつても非常な差違がある他，測定の方法によつて少からざる違ひを生ずる。しかし現在一般に標準の耳に對する値として認容されてゐるのは，第 9 圖に示したるやうなものである。



第 9 圖

かやうに耳は 2,000 乃至 2,500 サイクルにおいて最も敏感であつて，10^{-3} ダイン毎平方糎以下の壓力變力に感應するのである。この價は大氣壓の 10^{-9} に當り，空氣の粒子の變位の振幅が 10^{-9} 卽ち酸素分子の直徑の 1/30，空氣粒子の Mean free path の 10^{-4} である。いかに耳が鋭敏なるかが想像せられる。

第8節　Intensity Level Sensation Level

音の强さには物理的にいへば，音波の壓力變化の實效値をとればよいのであつて，これをダイン毎平方糎，卽ちバー（bar）で表す。また音の勢力，卽ち音の傳播の方向と直角をなす一平方糎當りの勢力 I は

$$I\cdot\frac{P^2}{\rho c}\ \text{エルグ毎秒又は}\quad I=\frac{P^2}{10\times\rho c}\ \text{マイクロワツト}$$

である。但し P は壓力變化の實效値（bar），ρ は媒質の密度，c は音の傳播速

度（糎毎秒である。20°C の空氣に對しては $\rho c=41.5$ である。

しかし音響工學においてはかかる單位を用ふるほか，或る標準の音の強さに比較して，どれだけ強いかといふ Level の差を用ひることがある。いま I_0 といふ強さを基準の音の強さとし，I を與へられたる音の強さとすれば，I なる強さの音が基準の音に對する Level の差は

$$d=10.\log_{10}\frac{I}{I_0}$$

にて表される。この I_0 を1マイクロワツト毎平方糎ととして，I を計つた値を Intensity level と稱してゐる。

I_0 を1マイクロワツト毎平方糎にとる理は，普通の會話の勢力は前述の如く10マイクロワツトであるから，平常の電話で送話器の振動板のところでの勢力が，大約1マイクロワツト毎平方糎となるからである。

耳が感じ得る音の最も小さい勢力は，大體 10^{-10} マイクロワツトである。故に耳で聞き得る最小音の Intensity level は -100 db である。

また $\alpha=10.\log_{10}\frac{I}{I_0}$ において，I_0 を耳にて聽き得る最小の勢力ととつた場合の α を Sensation level と稱しデシベル（db）にて表す。

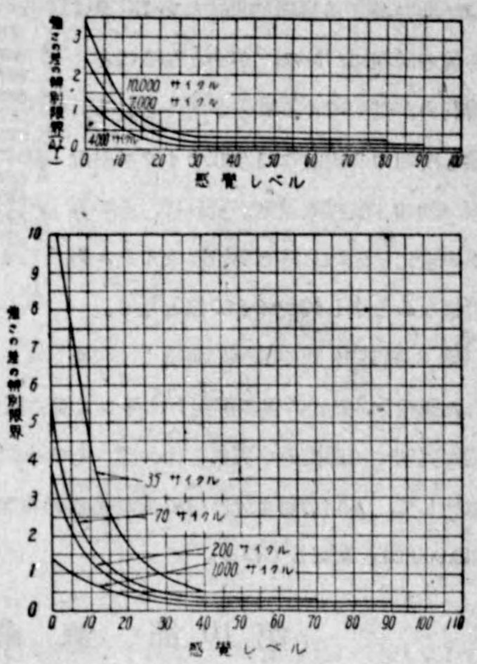
また勢力 I と音壓 P の間には，$I=\frac{P^2}{\rho c}$ の關係のあることは上記の通りである。故に基準の強さ I_0 を與へる音壓を P_0 とし，I における音壓と P とすれば，

$$\alpha=10.\log_{10}\frac{I}{I_0}=10.\log_{10}\frac{P^2}{P_0^2}=20.\log_{10}\frac{p}{p_0}\ \text{デシベル}$$

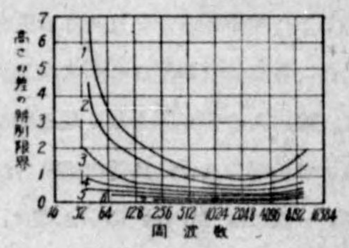
第9節　音の強さの差の辨別及び高さの辨別

第10圖に示したやうな聽感の範圍内での音の強さの差の辨別力，（即ち音の強さに差を生じた場合において，その差が餘りに僅少である場合には，殆どその變化を認めることは出來ないが，その差が或る程度以上になれば，強さの變つた

ことを辨別し得るわけである）は周波數及び Sensation Level によつて異なるものである。第10圖は辨別力と Sensation Level との關係を示すものであつて，横軸が Sensation Level，縱軸が辨別力，即ち變化した強さと，元の強さとの比を示すものである。圖によつて判るやうに，Senstion Level が 50db 以上即ち相當大きい音の場合には，5～10% 位の強さの變化があれば辨別し得るが，Level の低くなるほど辨別力が下つてくるのである。例へば70サイクル位の音で，Sensation Level が10db 位のところでは，160% の變化によつて，初めて辨別し得る程度となる。第11圖は周波數と強さの差の辨別力の關係を示すものであつて，1,000～3,000 サイクル附近で耳が最も鋭敏に辨別し得ることを示してゐる。圖の 1, 2, 3, 4…はそれぞれ Sensation Level が 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80 db の音についての曲線である。



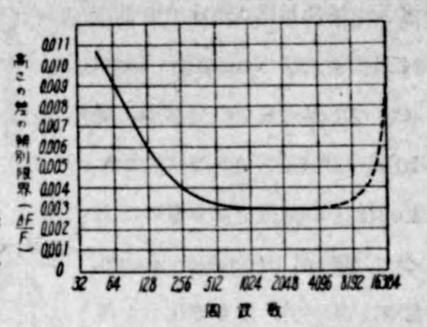
第　10　圖



第　11　圖

音の高さの差の辨別力に關しては，Knudsen が第12圖に示すやうな結果を與へてゐる。圖に明らかなやうに高さの差に對する辨別についても，1,000～3,000 サイクル附近が最も鋭敏である。Senstion

Level に關する實驗結果はないが，やはり前と同樣に，level が小となるほど，辨別力が鈍つてくることが考へられる。最も辨別力の鋭敏な 1,000 サイクル附近で，約 0.3% 位周波數が變れば，その高さの變化を感知し得るが，50 サイクル附近になると小し鈍つて 1% 位となる。

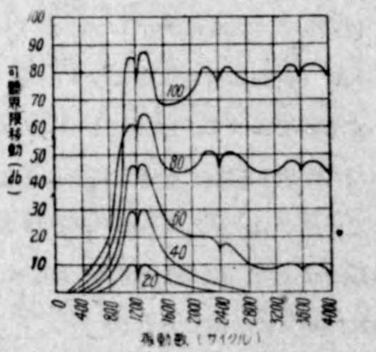


第 12 圖

第 8 節第10圖の聽感の曲線にて包まれた面積を，强さの差の辨別力に從つて横に區切り，高さの差の辨別力に從つて，縱に區切つて澤山の小區劃を作れば，その小區劃は强さの變化及び高さの變化を總括して，人間が聽き分け得る音の總數が推想される。Fletcher はその數を 540,000 個と推定してゐる。

第 10 節　遮蔽作用

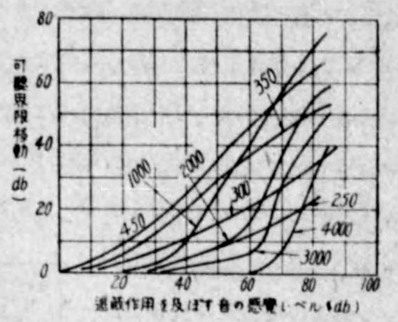
或る音が我々の耳に來てゐる場合においては，他の音を感ずる力が弱くなるといふことは，日常我々の體驗するところである。卽ち聽覺においては遮蔽作用と稱せらるる作用がある。いまAなる音がある場合に，Bなる音の强さを漸次增加するときは，遂にAの音が聞えなくなる點に到達する。この場合A音はB音に遮蔽されたといふ。一般には Meyer のいふ樣に，低い音は高い音を遮蔽し易いが，嚴密にいへば，低い音でも非常な强さにならなければ，振動數のかけ離れた高音を遮蔽することは，



第 13 圖　振動數 1,200 サイクルの音の他の種の高さの音に對する遮蔽作用。曲線上の數字は 1,200 サイクルの音の大いさ(デシベル)を表はす。

困難で，また高い音でも，これと高さの餘り違ひのない低い音は，容易に遮蔽し得る。

第13圖より解るやうに，或る音の遮蔽作用は，これと同程度の音及びその高調波附近の高さの音に對して著しく現はれ，同じ高さまたは高調波と同じ高さの音に對しては，遮蔽作用は急激に感ずる。第14圖において曲線の交叉してることは，複合音を再生聽取する場合，注意を要する。



第 14 圖　振動數 400 なる音の他の種々の高さの音に對する蔽遮作用。曲線上の數字は被遮蔽音の周波數を示す。

複合音によつて生ぜられる遮蔽作用は，一般に複雜なものである。

室內における過剩の殘響は遮蔽作用を起し易く，言葉を混亂せしめ明瞭度低下の原因となる。卽ち一つの言葉の終りが次の言葉と重り合ひ遮蔽の現象を生じる。殊に子音はそれに先行する母音によりて遮蔽され易い。

第 11 節　音の方向の感知

音響の來る方向の認知は，兩耳の作用によつて行はれる。この兩耳を同時に働かせるときの作用，所謂 Binaural effect の現象は，我々の日常經驗するところであるが，その理論については，未だ完全に解決されてゐない。この兩耳作用は兩方の耳における刺戟の性質の相違によるもので，通常これを次の三つに分類する。

(i)　兩耳における音の强さの相違

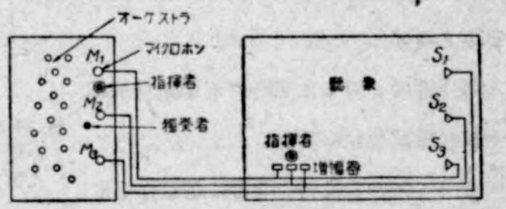
(ii)　兩耳における音の位相の相違

(iii)　兩耳に音の到着する時刻の相違

このうち (ii) の作用は (iii) の作用の一種と見做すことが出來る。

一般には音の方向の判別は，兩耳における強さの差及び時刻の差の兩作用によるもので，それら兩作用の程度は音波の波長に關係するものと考へられてゐる。實際には音の方向判別には，四邊よりの反射等による音色の變化や，反響等が經驗的にある役目を持つてゐるものである。

放送においては，その通話路はただ一個なる故，再生音はこの現象を伴はず平面的なものとなり，原音の立體感を味ふことは困難である。ただ僅かに直接音と反射音との比の如き特殊のもので，立體的の感じを出してゐるに過ぎない。オーケストラ音樂の立體的聽覺を與へる音響再生方式の實驗が，Bell 電話會社において行はれたが，第15圖はその原理を示す。



第　15　圖

二通話路を用ひた我々の簡單な實驗によつても，演奏室内における，音源の移動をよく認知することが出來ない。なほ，放送演奏室ではないが，劇場等のうちには，その音響設備に，立體聽感の原理を應用したものが，現れてゐるやうである。

飛行機の飛來方向を探知する聽音器は，弱音の聽取と同時に，この兩耳の方向感知力を增補せしめたものである。

第12節　明　瞭　性

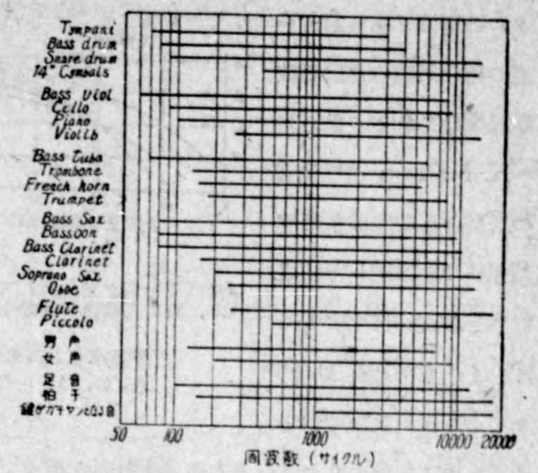
放送におけるやうに音を電氣的に傳達し，これを再生して聽取する場合には，その再生音に明瞭性と自然性が要求される。報道或ひは講演等の放送においては，話された言葉または思想が正確に聽取者に傳達され，その内容が諒解されることが最も大切で，第一に要求されるものは明瞭性である。しかし放送において

は通常の電話の場合とは異なり，話の内容が100%諒解されることの他に，更にこれを原音の通りに聽かうとする欲求があり，自然性もまたこれを忽にすることは出來ない。

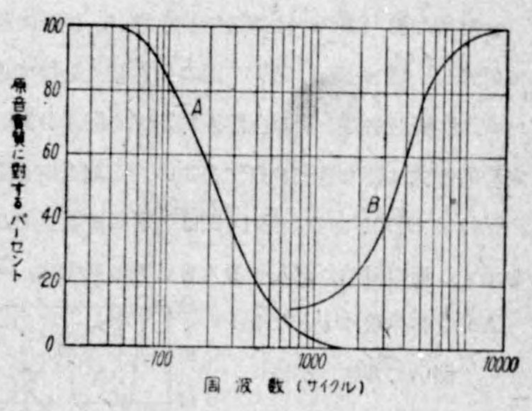
更に音樂或ひは演藝等の放送においては，傳送系統を經て聽く音樂演藝等が，直接我々が出演者の前で聽くのと同じ感じを與へることが肝要で，特に完全なる自然性が要求される。

自然性を保つためには，傳送系統を經て我々の耳に達した音波の音響スペクトラムが傳送系統を經ず，直接耳で聽取した場合と，全然その配置及び大さが等しくなければならない。

自然性を數量的に表す方法としては，いま廣く一般に使用されてゐるものはないやうである。



第　16　圖　種々の樂器の音人の聲，雜音等を忠實に再生するに必要な周波帶數



第　17　圖　オーケストラ音樂よりその高音部或ひは低音部をとり除いたときの影響

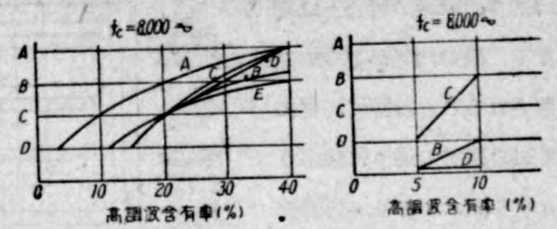
曲線　A：横軸に示す周波數以下の全周波數をとり除いた場合

B：横軸に示す周波數以上の全周波數をとり除いた場合

既述の樣に我々の普通の耳で聽き得る音の周波數は，大體20乃至20,000サイ

タルの範圍であるが，一般の傳送系統の傳送周波數範圍はこれより狹い。

H. F. Olson は再生音の音質とその周波數帶の關係につき試驗した結果，音樂を忠實に再生するには少くとも80乃至20,000サイクルの周波數帶が必要で，更に貨幣のチヤリンとなる如き特殊な音までも完全に再生するには，總ての音聲周波帶が必要であると述べてゐる。



(眞空管一個を過負荷して用ふ，第二高調波が優勢なり)　(眞空管をプツシユプルとしこれを過負荷して用ふ，第三高調波が優勢なり)

變調波歪が再生音聲の音質に及ぼす影響
A，C，D……男聲　E，B……女聲

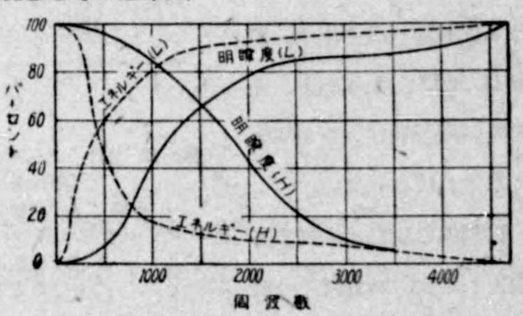
第　18　圖

また W. B. Snow は傳送周波數帶が，種種の樂器の音色に及ぼす影響について研究し，第16圖及び第17圖の如き結果を得て居る。

次に振幅歪が再生音の自然性に及ぼす影響が考へられるが，この問題に關する定量的研究は餘り發表されてゐない。振幅歪の音聲に及ぼす影響について，M. Fronk の研究がある。第18圖は遮斷周波數を 8,000 サイクル選んだ場合の結果を示す。圖の縱軸に記入せるＡＢＣ等の意味は，

A：歪が非常に大となり，聞いて非常に不快に感ずる程度

B：歪が明瞭に認められる程度（正に不愉快の域に達せんとする限界）



第　19　圖　或る周波帶を除去した場合の影響

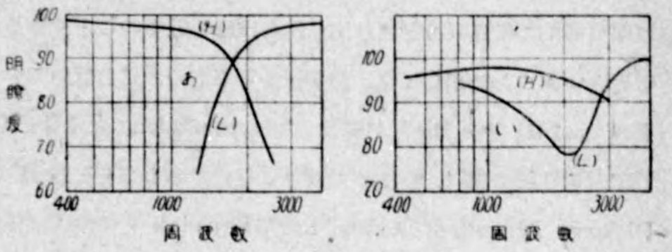
C：再生音音質の變化が原音と比較して明らかに認められる程度

D：再生音を原音と比較することにより再生音音質の明らかな變化が始めて認められる程度

で なほ fc は遮斷周波數を示す。

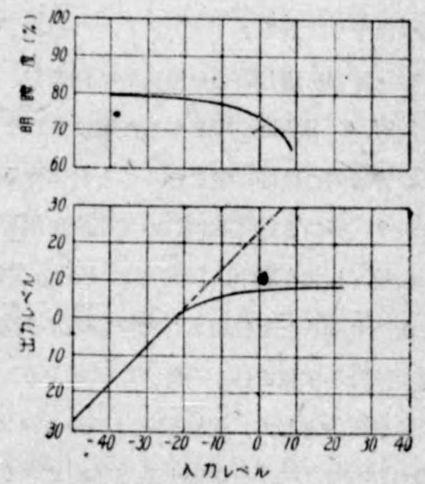
再生音の周波數帶が廣いほど許容し得る歪は小となる。

また W. Tunovsky によれば，純音の場合には歪みの可聽界限度は音の高さ及び強さによつて異なるもので，最も歪を容易に聽取し得るのは，振動數 800 サイクル大さ4フオン（舊フオン＝log₂ Wien）の音であつて，歪音率 0.7% の歪を聞き分けることが出來ると述べてゐる。



第　20　圖

音樂における過負荷の影響は，言葉の場合よりも著しく，Fletcher は聲樂においても樂器においても，過負荷點より 5 db 入力を增しただけで，既に相當の影響が現れ，聽いてゐて判る程度であるといつてゐる。



第 21 圖　言葉の明瞭度に對する過負荷の影響
(明瞭度80%以下の傳送系統を用ひて試驗したる結果)

なほ明瞭度と sensation level，周波數，その他の關係については，種種の研究がある。第19圖第20圖及び第21圖はその一端を示す。圖中（L）は低域濾波器（H）は高域濾波器を挿入したことを意味する。

第3章　室内音響(建築音響)

第1節　概　　説

室内音響學は一般の音響學とは別段階を取つて發達して來たものであつて，これが科學的に研究，檢討され出したのは極く近年のことである。もつとも建築と音響といふことに關しては，前世紀から學者の注目を惹いてをつたことは事實であつて，1835年頃 Ried が殘響 (Reverberation) なる量を取り上げ，これが室内の音響狀態に關して極めて重要なものであることを述べてをり，その後も Dickens, Tyndall, J. Stoney, Lord Rayleigh その他二，三の人によつて，この問題が取り上げられてゐるが，多くは一つの特異な現象としての記述に過ぎなかつたやうである。

室内音響に關し問題を徹底的に探究し，これを一つの學問として築き上げたのは，W. C. Sabine であつて，彼はまたその應用方面に對しても，いかやうにすれば音響的に良好な室を作ることが出來るか？　いかにして音響的障害を防止するか？　等の實際問題について明快な解答を與へたのである。彼が Harvard 大學教授として在職中，1895年に Fogg 美術館が，音響的に非常に不良であるのを改良することを依頼されたのが研究の出發であつた。その後引續き他の音響問題の解決を依頼され，一層深く研究することとなり，その結果現在なほ Sabine の殘響理論として，光輝を放つてゐる論文を，纏めて發表することとなつたのが1900年であつた。その後十數年間倦まざる研究を續けてをつたのであるが，1918年研究の途上において惜しくも死去した。

その後の研究によつて Sabine 教授の理論には，種々の修正を必要とすることが指摘されてゐるが，現在の建築音響學の基礎を築き上げた彼の偉大なる功績はこれ等によつて毫も減少するものではないと思ふ。Sabine 教授に引續いてこの

問題の研究を行つたのは Watson である。しかしてその後のこの方面の有名な研究者としては，米國では W. C. Sabine の甥に當る P. E. Sabin, V. O. Knudsen, V. L. Chrisler, C. F. Eyring, 獨逸では Trendelenburg, E. Meyer, 露國では S. Lifshitz 等である。

我が國でも中村清二博士，佐藤武夫博士その他の學者によつて，盛に研究が行はれてゐる。

第2節　音の反射吸收と殘響

音の反射が比較的に規則正しく，一旦發射された音が或る時間經過後に明瞭に再び聞えてくるやうな場合には，これを反響と稱する。例へば“山彦”の如きものは反響の一つである。卽ち發音體から音が四方に發射されても自分の耳に戻つてくるものは反射體のある一方向のみよりであつて，第22圖により說明することが出來る。もしもこの反射を繰返させるやうな反射物が第23圖のやうに對立してゐるとすれば反射の回數は增加する。しかしてその强さは反射面の吸收透過及び傳播途中の勢力損失によつて，回數毎に減少する。かやうに單純に時間間隔をおいて繰返される場合，これを反響といふ。普通反響として感じられる時間間隔は，1/20秒以上であるといはれてゐる。もしもこの反射面が各方向にあれば，反射は各經路を取つて無數に起り，時間とともに連續的に減衰するやうなものになることは容易に想像される。室内における音の反射がその例であつて，連續的に減衰して音が消えるまでの時間は，

第　22　圖

第　23　圖

室内の各面の材料の音響的性質によつて違つてくる。もしも室内の壁に突きあたつた音が全部反射され，途中の勢力損失が全然なければ，いつまでも殘溜音が續くわけであるが，實際の場合には各壁面における音の吸收及び透過による損失と，傳播路中の損失がある故に，或る時間經過後には消失してしまふ。この二つの損失中，傳播路中の損失は割合に少い故，普通は吸收透過損失を大部分とみて取扱ふ。

かやうな複雜した反射によつて，連續的に減衰するやうな殘溜音は，前記の反響と異なり不明瞭で，單に音が或る時間殘るといふ感じが得られるだけとなる。卽ち餘韻があるといふのはこれであつて，我々は殘響と稱してゐる。

演奏室内にて行はれる各種の演藝の音響効果上，この殘響は頗る重要な役目を持つてゐるもので，所謂音樂的氣分とも稱さるべきものは，殘響時間の長さが適當なるや否やにより，大いに支配されるものである。そこで最適殘響時間といふ問題が大いに論議されることになるのであるが，それ等に關する詳細は第6編で述べられる。

かく殘響現象は重要視されるものであるが，反響の現象は放送演奏室の如きものの場合には可及的に避ける方がよい。演奏室の場合でも吸音材料の配置が不適當な場合（例へば相對する二壁面のみが特に反射性であり，しかも平行してゐるやうなとき。）に往々反響現象を生ずるものである。第24圖は反響現象を伴つた殘響減衰の一例を示す。室内で音が充分に擴散されてゐれば，殘響の減衰は對數曲線形を取るものであるが，前記のやうな反響現象を伴ふ場合または發音體の指向性，室内の材料の配置等によつて充分なる擴散狀態が得られぬために，減衰曲線が必ずしも對數曲線形にならぬことも相當にあるが，それ等に關する細かい檢討は省略することとする。しかし普通には全般的に對數減衰をなすものとみて取扱つてよい。

第 24 圖

第 3 節　音の吸收，透過と吸音率

第1章第3節において述べたが，音が或る反射面に突き當つた場合に，反射されて戻るものと，次の媒質を進行するものとの間には

$$r^2+\frac{R_2}{R_1}t^2_{1\to 2}=1 \qquad \text{但し}\quad r^2=\text{反射率} \qquad \frac{R_2}{R_1}t^2_{1\to 2}=\text{透過率}$$

なる關係がある。この式中で $\frac{R_2}{R_1}t^2_{1\to 2}$ により，通過せしめられたものが再び元の面から出てこないものと假定すれば，この場合は全部吸收されたものとして取扱ふ。（一般に吸音率と稱されてゐるものは必ずしも吸收されたもののみをいつてゐるのではなく，透過されて外に飛出して戻つて來ないものも總括してゐる）また逆に表面で反射され，殘りの音が別の媒質を進行してそれが更に後面で反射されて，再び表面より元に戻つて來るやうな場合には，事實上反射勢力は增大されて來る。しかし結果として考へれば，表面の反射は皮相的に大きいものとして取扱ふべきである。

例を取ればコンクリート面の如き，非常に反射性の大なるものの表面に吸音材料を張る場合，材料が非常に厚い場合は材料を通過した音がコンクリート面で更に反射されても，その吸音材料の途中において殆ど勢力が消滅することが考へられ，この場合は吸音率は大となるが，もし反對に材料が薄ければ一旦通過した勢力でも，コンクリート面から再び表に現れた來ることが容易に考へられよう。

この場合には皮相的に吸音率は小となる。卽ち反射率或ひは吸音率は，その厚さと背面の材料の性質等によつて變り得ることになる，この點物理的にいはれてゐる吸收とは，少々模樣が違ふことを豫め考へておかねばならぬ。

結局室内音響において音の吸收は，表面だけの反射ではなく，厚さ，取付法等一切を含んだ場合を總括して考へるのである。故に使用する狀態によつて同一材料でも吸音する數値が違ふ。これが室内音響における吸音率と稱さるるものの所

釋である。いま吸音率を α 反射率を β とすると $\alpha+\beta=1$ なる關係のあることは前と同じである。ただ使用狀態により同一材料でも，使用條件により α, β が互に變り得ることをいふのである。

次に吸音率は周波數によつて異なるのが普通であつて，その變化の模樣は大部分の材料において，低周波數で吸音率は小であり，高周波數になるに隨ひ逐次增大するが，4,000～5,000 サイクルで最大値を取りそれ以上では再び減少する。これが普通の性質である。なほ低周波數においては外氣の狀態にさほど支配されぬが，5,000 サイクル以上になると濕氣の含有率等に相當支配される。

第4節　殘響時間

室內で或る點音源から一定の强さの音を，或る時間繼續して發射した場合，音は音源から球面波となつて總ての方向に傳播し，壁その他の障害物に衝突してそこで反射及び吸收，透過の現象を起す。その中で反射されたものは，反射の法則に從つて定まつた方向に再び傳播され，次々と第二，第三の壁面に衝突しその都度反射を繰返し，且つ吸收透過の損失を受けつつ室內に充滿する。かやうな反射によつて室內に充滿されるエネルギーは，これ等反復する反射エネルギーの總和である故に，音の强さは時間とともに生長するが，その生長の割合は時間の或る函數であつて，いま

U＝發射される音のエネルギー

c＝音の速度

A＝全吸音力

V＝室の容積

t＝時間

E＝生長の途中における室のエネルギー密度

とすると

$$E=\frac{4U}{cA}\left(1-e^{-\frac{Ac}{4V}t}\right)\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

で表される。

式中の A なる全吸音力に對して簡單に說明する。吸音力は吸音率に關係を持つ數値であつて，吸音率に關しては旣に (19′) 式でも說明してあるが，いま室內に α_1 なる吸音率を持つた材料が，S_1 だけの面積を占めてゐるとすれば，この材料の持つ吸音力 A_1 は

$$A_1=\alpha_1 S_1$$

で與へられる。もしも室內が種々異なつた吸音率を持つ多數の材料で出來上つてゐるとし，$\alpha_1, \alpha_2 \cdots\cdots \alpha_n$ の値のものがそれぞれ $S_1, S_2, \cdots\cdots S_n$ の面積を占め一つの室の內裝が爲されてゐるものとすれば，全吸音力は各部分の吸音力の和であつて，

$$A=\alpha_1 S_1+\alpha_2 S_2+\cdots\cdots\cdots\alpha_n S_n=\sum_{r=1}^{n}\alpha_r S_r$$

である。しかして室の全表面積は勿論

$$S=S_1+S_2+\cdots\cdots\cdots S_n=\sum_{r=1}^{n}S_r$$

である。

$$\frac{\Sigma\alpha_r S_r}{\Sigma S_r}=\text{平均吸音率}=\alpha$$

卽ち全吸音力を全表面積で除したものは，平均の吸音率を示すこととなる。これを等價吸音率，或ひは平均吸音率といふ。

$$\therefore\quad A=\Sigma\alpha_r S_r=S\cdot\alpha$$

故に室內が全部同一材料を以つて內裝されてあれば，平均吸音率 α が直接に材料自體の吸音率となることは當然である。

この關係を（1）式に挿入すれば

$$E=\frac{4U}{c\alpha\cdot S}\left(1-e^{-\frac{cS\alpha}{4V}t}\right)\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

となる。即ちエネルギー密度は時間とともに指數關係を以て生長し，その度合は室の容積，表面積及び吸音率に關係のあることが判る。

前式中の $e^{-\frac{cS_0}{4V}t}$ は時間とともに消失して行くことが明らかである故に，相當時間經過後には E は平衡狀態に達し，

$$E_0 = \text{平衡狀態におけるエネルギー密度} = \frac{4U}{c\alpha S} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

となる。なほ室が比較的反射性の場合は，平衡狀態においては直接音の影響を無視して，室の總ての位置で音のエネルギー密度は，一定であると見ることが出來，しかしてその値は (3) 式で示される。Sabine の殘響理論は，この假定から出發してゐるのである。

次に平衡狀態に達した後に，音源を急激に停止した場合には，音は突然消失せずに徐々に減衰しつつ，或る時間後に消失するもので，その減衰はやはり時間の函數であつて

$$E_1 = \frac{4U}{c\alpha S} e^{-\frac{c\alpha S}{4V}t} = E_0 e^{-\frac{c\alpha S}{4V}t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

で示される。式中の E_1 は減衰途中におけるエネルギー密度である。即ち E_1 は時間に對して指數關係を以て減衰し，或る時間後に消失してしまふ。これが所謂殘響である。

この殘響なる量を表すために，Sabine は次のやうな定義を提案した。

"音源を停止した後の殘溜音の強さが，元の強さの百萬分の一に達する迄の時間を以て量的に扱ふこととし，これを殘響時間とよぶ" こととしたのである。これを音壓でいへば，初めの音壓の千分の一に減衰するまでの時間に概當する。

$$E \propto P^2 \quad (p = \text{音壓})$$

$$\frac{E}{E_0} = 10^{-6} \qquad \therefore \ \frac{P^2}{P_0^2} = 10^{-6} \qquad \therefore \ \frac{P}{P_0} = 10^{-3}$$

これをデシベルで表すと，

$$10.\log\frac{E}{E_0} = 10.\log 10^{-6} = -60 \ (\text{db})$$

或ひは

$$20.\log\frac{P}{P_0} = 20.\log 10^{-3} = -60 \ (\text{db})$$

即ち 60 db だけ減衰するに要する時間を殘響時間といふのである。この定義により (3) 式及び (4) 式より殘響時間 T を導出してみると，

$$\frac{E_1}{E_0} = \frac{\frac{4U}{c\alpha S} e^{-\frac{c\alpha S}{4V}t}}{\frac{4U}{c\alpha S}} = e^{-\frac{c\alpha S}{4V}t}$$

殘響時間は

$$\frac{E_1}{E_0} = 10^{-6}$$

の狀態を取つて定義してゐる故に

$$e^{-\frac{c\alpha S}{4V}T} = 10^{-6}$$

$$\therefore \ \text{殘響時間} \quad T = \frac{\log_e 10^{-6}}{-\frac{c\alpha S}{4V}\log_e e}$$

$\log_e 10^{-6}$, c, $\log_e e$ はいづれも定數である故に

$$T = K\frac{V}{\alpha S}$$

なる形となる。しかし T を秒，$c.\ S.\ V$ の單位を米とすると

$$T = \frac{0.161V}{\alpha S} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

となり，殘響時間が求められる。この式より判るやうに，殘響時間は α 及び S に反比例し，V に比例する。これが有名な Sabine の殘響公式である。

初めにも述べたやうに，この殘響公式には修整を要すべき缺點のあることが後になつて指摘された。それはこの理論式では，直接音を無視し，室のいかなる位

置でも，エネルギー密度の均一である假定から出發してゐる故に，室内が充分に反射性の場合には實測値に合致するが，吸音性の室では誤差が生じて來る。

いま $\alpha=1$ 即ち音の勢力が周壁で，全部吸收される場合を考へるに，この場合は殘響時間は當然零となるべきであるが，Sabine の式 $T=\frac{0.161V}{\alpha \cdot S}$ を見ても判るやうに，$\alpha=1$ でも $T=0$ とはならない。これ等が彼の式の一般的ならざることを示す。

その後 C. F. Eyring が 1930年に Reverberation time in dead Room（吸音性の室の殘響時間）と題する論文を提出し，Sabine とは異つた見地から前記の缺點を無くした新しい殘響理論式を發表した。

その新理論式によれば，音の減衰は次のやうな式に從ふことになる。

$$E_1=E_0 e^{\frac{-cS\log_e(1-\alpha)}{4V}t}.$$

從つて殘響時間 T は

$$T=\frac{0.161V}{-S\log_e(1-\alpha)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

となる。これを Sabine の式と比較すると，α と $-\log_e(1-\alpha)$ が入れ換へられただけの違ひである。

但し Eyring の式では，$\alpha=1$ の場合には $T=0$ となり，Sabine の式の缺點を補つてゐる。

いま $\log_e(1-\alpha)$ を展開してみると，

$$\log_e(1-\alpha)=-\left(\alpha+\frac{\alpha^2}{2}+\frac{\alpha^3}{3}+\cdots\cdots\right)$$

である。もしも α がかなり小さいとき，換言すれば室が充分反射性である場合には，第二項以下は充分に小となり，$\log_e(1-\alpha)$ は $-\alpha$ に近づいてくる。このことは Sabine の式は α が小さくなつてくるほど正確になつてくることを示すものであつて，Eyring の式の方が一層一般的であることが判る。

この殘響式から，吸音率 α が豫め判つてゐる場合には，室の殘響時間を計算することが出來，最適殘響狀態を得るための材料の選擇が出來ることとなる。また逆に殘響時間を實測すれば，吸音率をそれより算出することが出來るものであつて，この式は室内音響學上重要な公式である。

なほ殘響時間の測定方法については第4章に詳しく詳べることとする。

第5節　妨害音の漏洩傳達と遮音

演奏室において内部の殘響狀態が適當であるべきは勿論であるが，また一方外部よりの妨害音が入らぬやうに充分注意しなければならない。妨害音の原因を大別すると

(1.) 空氣を傳つてくるもの……漏洩音

(2.) 壁その他の構造を直接に傳つてくるもの……傳導音

（1）は通常漏音と稱されてゐるものであるが，これを起す原因は

（a）建物全體の構造が不良で音が壁その他を透過してくるもの

吸音材料と遮音材料との考へを混同することがある。吸音材料と稱されるものが，同時に遮音效果を充分に有して居るとは限らぬことに注意を要する。即ち前述したやうに，材料の性質，厚さ等によつて透過性が相當に違ふことを考へねばならない。いまかりに室外面の材料が非常に硬いもので，且つ頗る反射性を有してゐるとすれば，内部に透過される量は減少される。即ち遮音としては大きいこととなる。

一般に同一材料ならば，厚さの大なるほど良く（これは當然考へられる）また同じ厚さの材料ならば，質量の大なるほど遮音能力が大である。即ち材料の吸音效果とは問題が別である。これ等の事實より外部妨害音除去のため，外壁は相當に厚く，且つ堅固なるものでなければならぬことが考へられる。

（b）建物の一部が振動板の作用をなし，その面が二次的音源となつて内部に傳達されるもの。

前に同じ厚さならば質量の大なるほど遮音能力が大となることを述べたが，もしこれが振動板作用をなすやうなものであれば，質量が大でも別な原因から遮音能率が小となる。故に充分硬い材料であつても，この作用が起ららぬ程度に厚いものが必要であると同時に，取付の方法に對しても考慮されなければならぬ。

（c）出入口，窓等の接着狀態が不良で空隙がある場合。

普通に起る漏音はこれが最も大きい。演奏室としては通常（a）（b）は相當に考へられてをるわけであるが，（c）の空隙のある場合に關しては，その除去が比較的容易である故に，室を使用する場合に常に考へておかねばならぬ。

例へば硝子が窓枠に充分ついてをらぬ場合，或は扉等が充分に閉ぢられてをらずに，がたがたしてゐる等の如き些少のことが原因となる。

（d）配線溝，換氣孔等を傳つてくるもの

これ等は演奏室建設當初から考へておかねばならぬ。配線溝の場合は配線終了後詰物等をなして，溝による連絡を切斷すること出來るが，換氣孔の場合には簡單に閉ぢることは出來ない。故に換氣管の途中を太くして海草等にて作つた吸音パイプ多數を入れておくとか，或ひは管内に吸音材料を張りつけ，分岐毎に空氣通路を螺旋狀，或ひは往復を繰返す等の手段により長くして遮音を行ふ。

（2）の建造物を傳導する音は空氣を傳達するものと異り，容易に減衰せぬ故に相當に遠方まで傳はる。

回轉機械の振動，廊下を歩く人めに起る振動，エレベーターによる振動，電車，自動車等が地盤を振動させるためのもの。その他種々の原因がある。

これ等を遮斷する手段としては種々あるが，空氣傳播によるものの遮斷とはまた樣子を異にする。

その根本方策としては，建造物の途中を軟かい彈力性のもので中斷することである。

實際上においては建物の強さの關係より，この手段が必ずしも容易に行はれるものではない。代表的な一例を擧げれば浮動式室（Floating Room）と稱するものがある。これは一室として區劃された中に全然別個に内室を作り，これ全體は四方から，フエルト或はスプリングのやうなもので軟かに支へられてゐるものである。しかして出入口窓等の外室との接續部も同樣に軟かいもので接いでおくのである。しかしてまた外室全體も，周りの建物と緣を切つて建て，廊下等と直接コンクリートで接續しないのである。

放送會館等の演奏室でも使用數多く，且つ重要なるものは，かやうな手段を採用してゐる。又簡單なものでは床のみを浮動式とするもの（Floating floor）がある。

第4章　測定器具

第1節　レーレー盤による音壓測定

マイクロホン，或ひは高聲器特性の測定等においての音壓測定器具として通常使用されるものは

（a）サーモフオンによる方法

（b）コンペンセンターによる方法

（c）レーレー盤による方法

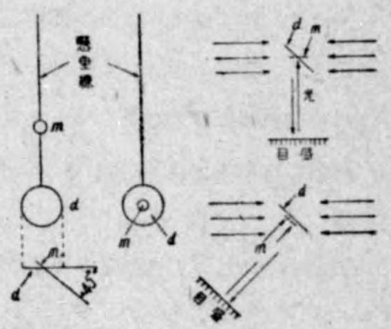
以上の三つが主であるが，その中最も多く使用されるのは，(c) のレーレー盤による方法であらう。これは較正方法が比較的簡單で，且つ取扱が頗る容易である。

以下レーレー盤の製作方法，これによる音壓，音の速度（音の傳播速度に非ずして音場内の空氣粒子の速度である）及び音のエネルギーの較正について記述する。

4.1　レーレー盤の形狀

レーレー盤の構造は目的によつて架臺が異つたり，或ひはまた共鳴器の有無等多少附屬物の違ひはあるが，全體としてまた頗る簡單なものである。

これはレーレー卿の考案によるもので，音場内の或る一點における空氣分子の速度を直接に測定するものである。構造は第25圖に示すやうに極く細い線に輕い薄い平面圓板を懸垂したものに過ぎず，ただこれに懸垂架臺及び盤の振れを檢する裝置等を付加したものである。



第 25 圖 (a)

日本放送協會技術研究所において試作した盤の寸法及び各定數を示せば次の如くである。盤は薄い硝子板である。

半　徑	0.5795 糎
厚　さ	0.0126 粍

懸垂線としてはコルツ・フアイバー，ウオラストン・ワイヤー等が使用せられる。當所で使用したものは直徑10ミクロンの，ウオラストン・ワイヤーである。ウオラストン・ワイヤーとは白金芯線の外側に銀を厚く鍍金したもので，外觀は殆んど銀線のやうに見え，相當に太いから最初の取扱ひは割合に樂である。この線には通常直徑が10ミクロン，5ミクロン及び3ミクロンの三種があるが，10ミクロン以上の太さのものは，盤の感度の關係上餘り使用されない。また5ミクロン以下になると工作が非常に困難になる。

4.2　盤或ひは懸垂線の各定數よりケーニツヒの公式を適用して較正する方法

この較正方法は最も多く用ひられ，當所の盤もこれによつて較正したものである。いまこれについて詳述しなほ試作盤の計算例を示す。

第 25 圖 (b)

盤が薄い圓形のもので線に對して大體對稱的に懸垂される。盤は音波の進行に對して抵抗を增加するやうな方向に向く性質を持つてゐるものであつて，これが摩擦の無い流體の中で運動するとき，これに働く廻轉力は，

$$F=\frac{1}{6}\rho d^3V^2\sin 2\theta \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

で與へられる。

ここに　ρ；流體の密度（通常は空氣の密度）

d；盤の直徑

V；流體の速度（R.M.S）

θ；盤に垂直なる線と流體速度の進行方向とのなす角（第25圖參照）

盤は通常流體速度の方向に對して45°に傾けて設置される。即ち $\theta=45°$ の場合には $\sin 2\theta=1$ となるから

$$F=\frac{1}{6}\rho d^3 V^2 \quad \cdots\cdots(2)$$

また振れの角 ϕ は

$$\phi=\frac{F}{S} \text{ ラヂアン} \quad \cdots\cdots(3)$$

ここに　S：懸垂線の捻り能率

S は盤の慣性能率及び懸垂線の周期と，減衰による小較正率を用ひて，次式で表されるものである。

$$S=\frac{I}{T^2}\left\{4\pi^2+(\log D)^2\right\} \quad \cdots\cdots(4)$$

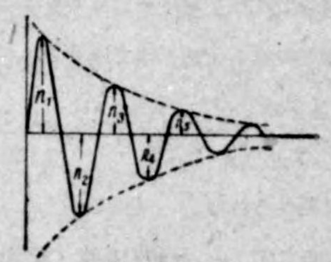
式中　I：盤の慣性能率

T：周期（秒）

D：同一方向における二つの相隣れる振幅の比

圓板の慣性能率は $I=\frac{mr^2}{4}$

また T は懸垂された盤に或る衝撃を與へ，鏡の光點が靜止點を同方向に通過する回數を數へながらストップ・ウオツチで時間を計れば簡單に求められる。これは精密なことを要するが相當振動數を取つて數回の平均を求めればよい。D は相隣つた同方向の目盛の讀みの比であるから，これも盤を振らして計ることが出來る（第26圖參照）。



第　26　圖

即ち　$D=\frac{n_1}{n_3}=\frac{n_3}{n_5}$

或ひは　$\frac{n_2}{n_4}=\frac{n_4}{n_6}$

上述の T は減衰の周期，即ち皮相周期であつて，非減幅振動の周期に換算すると次の如くなる。いま非減幅周期を τ とすると

$$\tau=\frac{T}{\sqrt{1+\frac{(\log_e D)^2}{4\pi^2}}}$$

となり，また $S=\frac{4\pi^2 I}{\tau^2}$ であるから，(4) 式の較正率が得られるわけである。

(2) 及び (3) 式より

$$V^2=\frac{6\phi S}{\rho d^3}$$

$$\therefore\ V=\sqrt{\frac{6S}{\rho d^3}}\times\sqrt{\phi} \quad \cdots\cdots(5)$$

これは $\theta=45°$ として上述の如き計算を行つたものであるが，いま音が當つて盤が $\theta=45°$ の位置より ϕ だけ廻轉すれば，精密にいへば

$$V=\sqrt{\frac{6S}{\rho d^3\sin 2(\theta+\phi)}}\cdot\sqrt{\phi} \qquad \phi=45°$$

となるわけである。即ち靜止の場合と振れた場合とでは，$\sin 2\theta$ と $\sin 2(\theta+\phi)$ の差によつて誤差を生ずるわけであるが，一般には ϕ は θ に對して相當に小さいから

$$\sin 2(\theta+\phi)\fallingdotseq\sin 2\theta$$

と見做すことが出來る。今 $\phi=5°$ として相當振れた場合の誤差を算出しても，約3% に過ぎない。

空氣密度による較正も嚴密にいへば，その都度異るわけであるが，通常の氣壓，溫度及び濕度に對する値を取つて計算すれば，普通の測定に對しては餘り懸念する必要はないと思はれる。よつて (5) 式の如く，流體速度を定めることが出來るのであるが，式において $\sqrt{\frac{6S}{\rho d^3}}$ は一つの盤については，盤の寸法及び懸垂線

によつて決定せられる定數とみられる。卽ち流體速度は振れの平方根に比例することになる。

今 $\sqrt{\frac{6S}{\rho d^3}}=k$ とおくと

$$V=k\sqrt{\phi} \quad \cdots\cdots(6)$$

しかるに v と音の p (R.M.S) の間には，次の如き關係がある。

$$P=\rho cV$$

ここに c 音波の傳播速度 (15°C において 340 m/sec)

$$\therefore\ P=\rho ck\sqrt{\phi} \quad \cdots\cdots(7)$$

いま $\rho ck=k'$ とすると

$$P=k'\sqrt{\phi} \quad \cdots\cdots(7')$$

卽ち音壓も $\sqrt{\phi}$ に比例するもので，k' なる定數は容易に算出される。

また音の强さと壓力との關係は

$$U=PV=\rho cV^2 \quad \cdots\cdots(8)$$

$$=k'\sqrt{\phi}\cdot k\sqrt{\phi}=kk'\phi=k''\phi \quad \cdots\cdots(8')$$

卽ち强さは直接振れに比例するものであつて，k'' も容易に計算される定數である。

以上の式中 ϕ は振れの角度で表したものであるが，ランプ・アンド・スケールで讀む場合に，これを目盛板の讀みに移すと，實際上頗る便利である。しかしこの場合には目盛板と盤との距離によつて定數が異る。目盛板と盤との距離を R とすると，讀み n は ϕ をラヂアンで示せば

$$n=2\phi R$$

$$\phi=\frac{n}{2R}$$

故に (7)′ 及び (8)′ より

$$P=k'\frac{1}{\sqrt{2R}}\sqrt{n}$$

及び

$$U=k''\frac{1}{2R}\cdot n \quad \cdots\cdots(10)$$

(9) 及び (10) 式にみるやうに，音壓は目盛板の讀みの平方根に比例し，音の强さは目盛板の讀みに比例する。しかして k' 及び k'' は一つの盤については定數であるから，R を定めると定數の項は決定される。

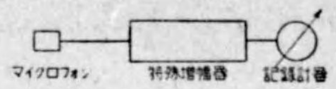
第2節　音響記錄裝置

これは音の壓力を自働的に記錄せしめる裝置であつて，通常レベル・レコーダーと稱されてゐる。音響に關する測定において，このレベルレコーダーが必要とされることが非常に多い。例へば，時間とともに音の壓力が變化するやうなものを測定する場合に，これを使用すればその音壓の變化の模樣を詳細に調査することが出來る。卽ちオーケストラの演奏等において，弱音と强音とでどれほどの開きがあるか？　平均の强度はどの程度か？　或ひはレコードによつて吹込まれた音が，針先によつて生ずる雜音（スクラツチ・ノイズ）に比較して，どの程度迄强く入つてゐるか？　等を調べるのに役立つ。勿論この外にも樣々の用途があるが，それ等に關しては遂次述べることとし，始めに本裝置の動作，構造等に關して極く大略の說明をする。

2.1　記錄計器の指度

本裝置で最も重要なものが計器の指度である。第2章第5節に述べたやうに，我々が感感し得る音壓の範圍は，耳の感度の最も良好な 500～3,000 サイクル附近において，すくな目にみても 10^{-3} ダイン/平方糎から 10^{3} ダイン/平方糎にまで及ぶ。卽ち 120 db 以上にも及んでゐる。實用上 80 db 位を記錄し得れば充分とみても，音壓の比にすれば $10^4:1$ となり，これを電壓比の例でみると，0.1 V から 1000 V までの範圍の變化となる。

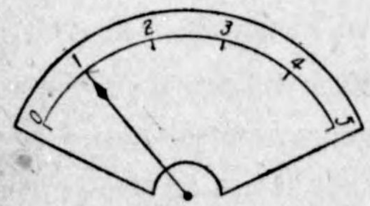
記錄裝置の主體は第27圖に示す如く，マイクロホンと增幅器と電流（或ひは電壓計）とであるが，普通の增幅裝置をそのまま使つたのでは，その出力電流を廣範圍に渉つて同正確度で全部記錄させることは出來ない。



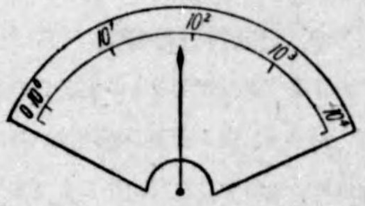
第　27　圖

普通に用ひられてゐる出力計器は直流電流計である。(交流の音響電流を整流して計器に流す）それは直流計器は電流に對し等間隔目盛の指度を與へることが容易であるからである。本裝置の計器にも直流計器を用ひるのであるが，その用ひ方に關しては次に述べることとし，先づ要求される指度に關して述べる。普通の直流計器の目盛に就いて細かく考へてみると，指度が電流に比例するやうに作られてあり，目盛は“等差”間隔なのである。かやうな“等差”目盛では，到底限られた狹い幅の中に，$10^4:1$ の範圍全部を正確に記錄することの出來ないことは，第28圖を見ても容易に想像される。即ち振れが小な場合には誤差が非常に大となる。

然るにもしも計器の目盛を第29圖のやうに“等比”目盛とすることが出來れば，前記の程度の範圍は狹い幅の中にでも容易に納めることが出來ると同時に，目盛の中のどこを取つても，指度の正確度の百分比は一定である。即ち $10^4:1$ の



第　28　圖



第　29　圖

全範圍を同じ%の正確度で記錄し得ることになり，レベル・レコーダーとして最も便利であることが判る。

かやうな“等比”間隔目盛に作るといふことは，指度を電流の對數に比例するやうに作ればよいといふことである。これに關する詳細の説明は省略するが，第28及び29圖を比較し，なほ次の式から考へてみれば容易に理解し得る。

“等差”目盛り　　n＝指度　　a＝電流　　$n \propto a$

即ち　　$n=ka$

いま電流 a が 1 m.a のときに振れが n とすると，$2n$, $3n$, $4n$ については 2, 3, 4 m.a と等差的に增加する。

“等比”目盛り

等比目盛りの場合には，初項として 0 を取つては不都合である故に 0 より僅かに大なる値を初項に取り，それを基準としてそれに對して等比關係を持つやうに目盛をする。いま初項を a_0（この場合 a_0 は電流であつて，計器に幾分電流の流れてゐるところを基準とする必要がある。）

n＝指度　　a_0＝基準電流　　a＝計るべき電流

等比目盛とするためには　　$n \propto \log_{10} \dfrac{a}{a_0}$　……log の底數は任意であるが，いま假りに 10 とする。

即ち　　$n=k.\log_{10} \dfrac{a}{a_0}=k.\ \log_{10}\left(\dfrac{a}{a_0}\right)$

となる。今 a_0 を 1 m.a と取り，これを基準として考へると，a が 1 m.a のときには　$\dfrac{a}{a_0}=1$　である故に

$$n=k.\ \log_{10}\frac{a}{a_0}=k.\ \log_{10} 1=0.$$

であつて，基準電流と同じ電流のところで，目盛が 0 であつてここから出發する。もしも

a＝10 m.a　に增大すれば

$$n=k.\ \log_{10}\frac{a}{a_0}=k.\log_{10} 10=k.$$

$a=100$ m.a では　$n=2k$.

これを通覽すれば，振れ k の値を 1, 2, 3 倍と增加せしめるためには，10, 10^2, 10^3 m.a なる關係を持つて電流が增大せねばならない。卽ち指數目盛り，換言すれば等比目盛りとなつてゐることを示す。

通常は　$n=20\log\frac{a}{a_0}$　とし，適當なる a_0 を基準としてデシベル目盛りを用ひる。(第2章，第8節參照)

なほ正確度について數的にみるに，普通の目盛では任意の電流における振れを x とし，その誤差を h とすると，誤差を含んだ讀みは $x+h$.

$$\text{誤差の率}=\frac{(x+h)-x}{x}=\frac{h}{x}$$

である。故に率は x に關係する。卽ち x が大なる場合には誤差の率が小であるが，x が小になるに隨つて增大し，無限にまでなり得る。

しかるに等比目盛り，卽ち指數目盛では，任意の電流に對する振れを x とすれば，電流と振れの讀みとの間には

$$i=A^x$$

なる關係がある。いま讀みの誤差を h とすれば，誤差を含んだ讀みは A^{x+h}, 故に

$$\text{誤差の率}=\frac{A^{x+h}-A^x}{A^x}=A^h-1$$

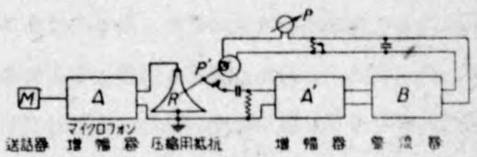
であつて，率は x に無關係となり，電流のいかなる値に對しても一定である。

以上によつて音響勢力の如く，非常に廣範圍に涉つて變化するものを記錄させるためには，その計器の振れは電流に對して等比關係を持つもの，卽ちデシベル目盛のものが最も便利であることが判る。記錄計器のみでなく，通常音量指示計として用ひられる直接指示の計器においても，これが用ひられれば便利であることは勿論である。

2.2　對數目盛(デシベル目盛)とする方式

レベル・レコーダーの目盛りとして，對數目盛を用ふることの便利であることは前述の通りであるが，しからば如何やうにすれば，かやうな指度を與へられるかを考へてみる。

計器自身にかやうな働きをさせることが出來れば簡單であるが，實際上種々の困難がある。故に“等差”間隔目盛りの直流計器をそのまま使用することを考へた方が早い。そのためには，マイクロホンに加へられる音壓の變化に對して，增幅器の出力電壓が對數關係を持つて變化するやうに工夫し，對數關係に變換された電流を普通の計器に流せば目的が達せられる。第30圖はその動作の略圖を示す。M がマイクロホン，A は增幅器，R は增幅器に付屬する音量調整用抵抗，P は記錄用計器，P' は對數壓縮用調整針である。



第 30 圖　對數壓縮機構（音響水準記錄裝置）

いま假りに P' が無い普通の增幅器として考へる。マイクロホンに入つた音は增幅器で增幅され，その音の壓力は出力計 P に電流となつて示される。

次に音が急に大きくなつた場合を考へるに，もしも增幅器に手を觸れなければ音壓に直接比例して P の針先の指度が大となるが，R なる音量調整用の抵抗を加減すれば，P の針先を獨立に調整することが出來るから，音壓が急激に增加して，P の針先が振れ出し，これが或る指度に到達する前に素早く R を調整して，恰度音壓の增加の對數値に概當する點で，針先を止めるやうにすることが出來ればよい。相當に急激な，しかも短時間の變化でも間髪を入れずに，P の指度を絕えず入力に對して對數關係になるやうに，R の調整を行へば目的が達せられるのである。かやうな素早い調整を人間の手先で行ふことは到底出來ない。しからば何によつてこれを行はしめるか？　結局 P の針先自身に，その調整を行はせるのである。この針先を電氣導體とし，驅動部分から絕緣して增幅器のグリッドに接續し，針の先で音量調整用抵抗を加減させる。卽ち P の針先の動きによつて，

増幅器の増幅度は絶えず加減されるやうにするのである。音量調整用の抵抗値の配列を適當に選べば，針先の指度を入力音壓に對して，その對數値とすることが出來る。

普通は P 自體を使用せずに，これに直列に別の電流計 P' を挿入するか，Pと連動の針を用ひて，これにより自働調整を行はしめ，P によつて記錄させる。音壓が急激に減少した場合についても，全く同様の動作を行はしめることが出來るわけで，改めて說明する必要もない。但し連續函數の一部分を取つて，有限の範圍内でこの關係を成立せしめてゐるのであること，即ち前にも述べたやうに，零より極く僅かに大きい値より出發せしめる必要のあることに注意を要する。結局計器の零指度，即ち電流が零となる附近で不連續となり，對數關係を成立させ得ないこと，即ち指度の大きいところでは比較的正確に動作するが，計器の零指度附近の或る範圍だけが，誤差が大きくなることを忘れてはならない。しかし裝置の製作に際して充分に注意すれば，不正確な部分を，零附近の極くわづかな振れの間に止めることが出來る。前記のやうに增幅器の增幅度を自働的に加減し，入力電流に對して出力電流を對數關係になるやうに，動作させる增幅器を對數壓縮增幅器といふ。この壓縮增幅器では出力が增加するほど增幅度が減少する。

出力計の針先によつて，自働的に音量調整用抵抗を加減するのも對數壓縮の一方法であるが，この他にも二，三の方法がある。

增幅器用眞空管として可變增幅眞空管を使用する方法もある。これは增幅器終段において出力電流を整流し，その整流電流を前段の可變增幅管に饋還せしめ，自働的に對數壓縮を行はしめるのである。

また亞酸化銅整流器を利用する對數壓縮方法もある。亞酸化銅整流器はその中を通る電流によつて，抵抗が變化する性質を持つてをり，その抵抗變化の有様は電流に對して，大略對數關係になるやうな部分がある故に，その部分を利用してゐるのである。

各方法とも各々得失があるが，比較的動作の確實なものは，最初に述べたやうな自働音量調整法であらう。

2.3 レベルレコーダーの構造

構造の略圖は第30圖に示す通りで，マイクロホン M を先づ A 增幅器で普通に增幅する。しかしてこの A 增幅器の出力端子に，特殊な抵抗を接續しておく。この抵抗は對數壓縮とするために，特別な配列が必要とされるのであつて，ある裝置では 0.5デシベル飛びになるやうに，120個～160個位のターミナルを狹い幅に配列し，その上を針が滑動し得るやうになつてゐるものもあるが，また多數の抵抗の代りに水抵抗器を使用する方法もある。即ち水の中にグリセリン等を溶かして或る抵抗を有せしめ，この水を入れる容器の形狀を特別に工夫して，對數關係を持つやうな連續配列のものに作る。この水の中を針 P' が自由に動けるやうにしてあるのである。針先 P' は電氣導體であつて，これが次の增幅器 A' の制御グリッドに加へられる。故にもしも針先が動けば，A' の增幅度は變化することは旣に述べた通りである。P' は普通の直流用の電流指示計器を改造したもので，動作は全く電流計と同じである。これの可動線輪には，A' 增幅器の出力電流を整流したものが流される。P は記錄計で P' と單に直列に接續されてをり，同じ電流が流れてゐる。針先は毛管ガラスのペン先になつてゐて，これが針の動きに隨つて紙の上に記錄する。紙は時計仕掛により，絶えず均一速度を以て移行せしめられてゐるのである。

2.4 レベルレコーダーの應用例

a. 音聲，音樂及び雜音等の音量範圍の調査

b. レコード吹込，トーキー吹込及び放送の變調等における音量の監視

これ等の利用については初めに大體述べたが，その他に，

c. マイクロホン或ひは高聲器の周波數特性の自働測定

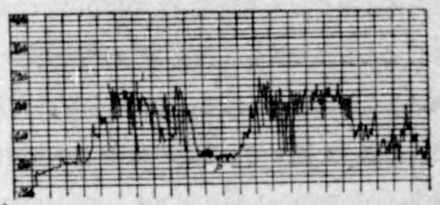
この用途に使ふ場合は，レベル・レコーダーの他に周波數を連續して變化し得

る可聴周波ビート發振器を必要とする。ビート發振器の出力に高聲器を接續して，時間とともに周波數を變へつつ鳴らして行く。その音をマイクロホンで受音し，レベル・レコーダーで記錄したとする。記錄用紙の時間軸に周波數目盛りをつければ，記錄された曲線はマイクロホン及び高聲器の綜合周波數特性を示す。もし豫め高聲器の特性が判つてゐる場合は，この曲線よりマイクロホンの特性を見出すことが出來，また反對にマイクロホンの方の特性が既知であれば，高聲器の特性を見出すことが出來る。

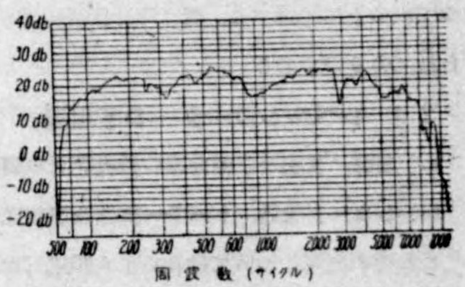
d.　殘響時間の測定への應用

殘響時間の測定に關しては第4節に述べるが，その中にレベルレコーダーを使用するものも，その一つとして擧げられてゐる。よつてこの方法に關しては，先にここで述べておくこととする。

殘響は時間とともに，對數的に減衰するものと理論上考へられることは，第3章において既に述べた通りである。實際の場合には必ずしも對數減衰でない場合もあるが，測定に際してはほぼ對數減衰が成立するものと考へて大した誤差は生じない。普通の等差指度記錄計器で記錄すれば，對數減衰曲線は時間とともに上向きに彎曲もするわけであるが，レベル・レコーダーの如く豫め對數壓縮が行はれてゐるものでは，時間に對して減衰曲線が直線狀になる。故に原音



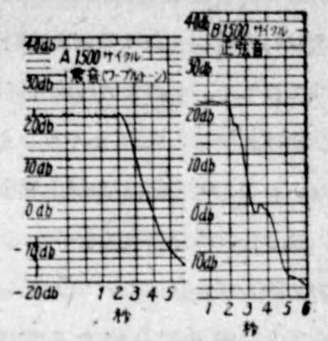
第 31 圖　ベートーベン第九交響樂第一樂章（レコード第一面）
極く弱い音で演奏を初めて徐々に強くなる。



第 32 圖　マイクロホン……日本電氣製可動線輪型
高聲器…ローラー會社製PM—8型

壓から 60 db だけ減衰するまでに要する時間（即ち殘響時間）は，減衰曲線（實際は直線）の傾斜を計ることによつて直ちに求めることが出來る。殘響時間は音の强さに關係なく，この傾度が一定なる限り同じである。但し記錄の速度は時間に對して均一であることが必要である。

第 31 圖から第 34 圖までは前記の各應用の例を示す實際の測定結果を示す。



第 33 圖　殘響測定への應用例

第 3 節　周波數分析裝置

如何に複雜した波形を持つた音でも，周期音は，その基本となる周波數を持つ正弦波と，その基本波に對して整數倍の周波數を持つ多數の正弦波（即ち高調波或ひは倍音）とから成立つてゐるものである。これは有名なフーリエの級數として，周期量である限り一般的に成立するものであることは，理論的に說明されてゐる。

或る周期音があつた場合，その音は如何なる周波數成分によつて組立てられたものであるか？　または各成分の各々の强さはいかやうであるか等を調査することは，音響研究上誠に重要な事項である。

また單に周期音のみでなく騷音の場合，即ち各々無關係な周波數を持つ振動が合成された音に對してでも，その各成分を分析調査したいやうなことが起る。但し騷音の場合には，各分振動の周波數，或ひは各成分の强さが絶えず變るのが普通である故に，分析された結果そのものは騷音の性質を表すのに充分なものでないことが多いが，その性質の調査に對する一つの目安として大いに役立つものである。

樂音でも周期音とみなし得ないもの，例へばピアノ，三味線の如き絃樂器，ま

たは打楽器等における如き減幅音では，成分振動の周波數間には，或る關係を持つてゐても，その強さは成分毎に時間とともに，獨得な變化をして行くものと考へなければならぬが，かやうなものについても，この分析調査は決して無意義ではない。この場合には極く短時間の振動を取り，その間で周期音と考へて取扱ふ。

或る音の成分周波數を分けて見出すことを周波數分析といふ。以下周波數分析の方法及び裝置について簡單に述べる。

3.1　圖的に分析する方法

音をオツシログラフ等によつて圖形に取り，その圖によつて分析を行ふ方法である。波の一周期を取り時間軸を等分して，その等分點から時間軸に垂直に波までの高さを物指しで計る。その高さからフーリエ級數における各項の係數を算出して，成分周波數の存在と振動の強さを見出すのである。その分析能力は等分する數に關係するものであつて，n 等分して計測すれば，$n/2$ 番目までの高調波を見出すことが出來る。その計算法の詳細については省略する。

3.2　プラニメーターを應用せる分析器

これは不定形の面積を測るに用ふるプラニメーターを應用したものであつて，波形分析及び波形の組立兩用に使用し得る。

3.3　廻析格子を應用する方法

普通の可聽音そのままでは波長が非常に長いために，廻析格子を應用することは殆ど不可能であるが，媒介として超音波を使用し，これを分析せんとする可聽音波で變調して，それを分析するといふ比較的新しい方法である。これによるときは，比較的持續時間の短い衝擊音の如きものでも分析が可能である。この裝置の構造，動作等に關する説明は省略する。

3.4　多數の濾波器を有する分析裝置

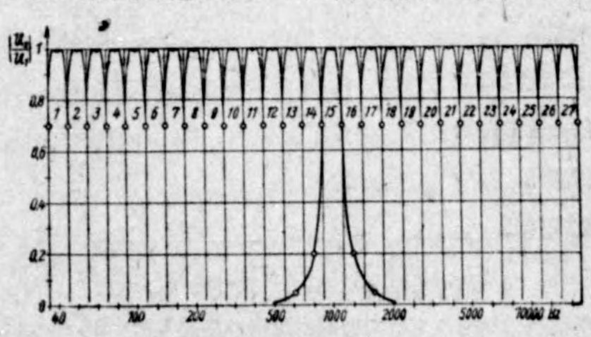
この分析裝置も比較的新しいものであつて，分析に要する時間も短かく，持續時間の短かい音の周波數分析に適してをり，これが本裝置の重要な特徴の一つで

ある　次にその動作原理の大要を説明する。

これは各々通過周波數帶の異なる多數個の濾波器を用意しておき，これを普通の增幅器の出力端子に次々とつけ換へて分析を行ふ方法である。濾波器の選擇度は直接に分析能力に關係する故に，充分に鋭いものでなければならない。

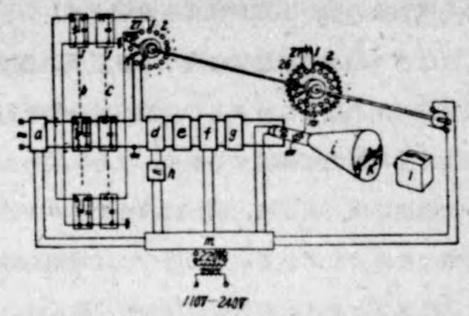
いま增幅の出力端子に，例へば 500 サイクルのみを通過し得る唯一つの濾波器を接續した場合を考へる。この場合には增幅器の入力に，如何やうな音響電壓が加へられようとも，その音響の持つ周波數成分の中の 500 サイクル成分以外のものは通過し得ない。もしも入力音響に 500 サイクル成分が含まれてゐないならば，何も現れないこととなる。かやうにして加へられた音響の中に，500 サイクル成分があるや否や，及びその成分の强さが如何程か，等を見出すことが出來る。

次に通過周波數帶の異なる濾波器と付け換へ，例へば 1,000 サイクル通過のものと付換へて，前の音響の中に 1,000 サイクル成分の有無を調べることが出來る。かやうにして順次に通過周波數帶の異なる濾波器を付換へることによつて，種々の成分周波數を檢出することが出來るわけで，結局周波數分析が行へることとなる。增幅器に加へられる音響電壓が，變化せずに相當時間持續するものであれば，濾波器の切換へをゆつくり行つても差支へはないが，持續時間の短かい音の場合には，出來るだけこの切換へ操作を素速く行ひ，成分波の檢出をしなければならない。普通はロータリー・スキツチを使用して，多數個の濾波器を 10～20 ミリセカンドの短時間で切換へ，その檢出にはブラウン管を使用してゐる。



第 34 圖　分析裝置の濾波器群の特性

この裝置は音聲周波範圍内で不連續であるために，測定結果が幾分不正確である缺點がある。即ち或る通過周波數帶域と，その次の帶域の濾波器との間の帶域に成分周波數がある場合には，濾波器の選擇度の如何によつて兩側の帶域，或ひはいづれか一方に實成分とは，違つた成分强度で現れるからである。第34圖は本裝置の濾波器の通過帶域と濾波器間の周波數間隔を示し，第35圖は本裝置の動作概略圖を示す。



第35圖 スペクトロメーターの動作原理

3.5 ヘテロダイン分析裝置

本裝置の分析に要する時間は現在のところ 10〜20 秒程度である故に，持續音の分析以外には不適當である。但し操作の簡單であること，及び動作が周波數に對して連續的であることに特徴がある。次にその動作の大要を述べるが，その前に本裝置としての主要部分の各個の動作を說明し，次に分析裝置として全體が組合はされた場合の動作を說明する。本裝置の主なる部分は，

增幅器

環狀變調器

掃査音發振器

濾波器

記錄計器

である。

增幅器は普通のもので特別に說明の必要もないが，前に述べたレベル・レコーダーにおける如く，對數壓縮增幅器を用ひる方が便利である。

環狀變調器は二つの周波數を重疊せしめるために使用するものであつて，ヘテロダイン分析裝置の根幹となるものである。即ち f_1 サイクルと f_2 サイクルの二つの周波數が到來した場合に，この環狀變調器によつて f_1+f_2，或は $|f_1-f_2|$ サイクルの周波數を作る役目をするのである。この作用に關しては後次說明するが f_1 は加へられた音聲電流の各成分周波數で，f_2 は次に述べる掃査音發振器の周波數である。

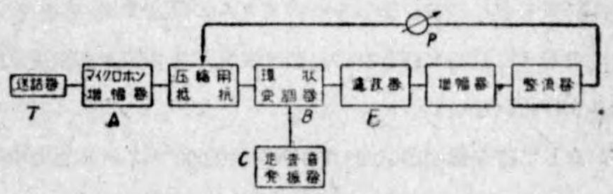
掃査音發振器は時間とともに連續的に，周波數を變じ得る一つの可變周波發振器であつて，通常その變化し得る周波數範圍は，20,000 サイクルから 10,000 サイクル附近に取る。即ち 20,000 サイクルから 10,000 サイクルまで變化する間に，分析すべき音聲に含まれる周波數を探し出す役目をする故に，かやうな名稱がある。

濾波器は比較的鋭い選擇性を持つたものが必要であつて，掃査音發振器の周波數を前記の値に取れば，通過周波數は，20,000 サイクルになる。しかして前に述べた分析裝置の場合と異なり，本ヘテロダイン方では濾波器はただ一つでよい。

記錄計器は特別なものは必要としないが，等間隔目盛りが便利である故に，普通直流計器を使用する。そのために濾波器の出力電流をこの計器に加へるために整流することが必要となる。

以上がヘテロダイン分析裝置の主要部分であるが，以下これ等主要部が如何やうに組合はされて，分析裝置として働くかを說明する。

第36圖はこの動作を說明する圖であつて，T がマイクロホン，A が增幅器，B が環狀變調器，C が掃査音發振器，F が濾波器，P が記錄計である。今マイクロホンに或る音が到



第36圖　對數壓縮機構（音響分析裝置）

達して來たとする。説明に便利なために實數を以て示すが，その音は基本周波數が 100 サイクルで，高調波として 200, 300, 500, ……サイクルが含まれてゐるものと考へる。これ等は總て前に述べた f_1 に概當する。これ等が增幅されて環狀變調器 B に加へられてゐる。

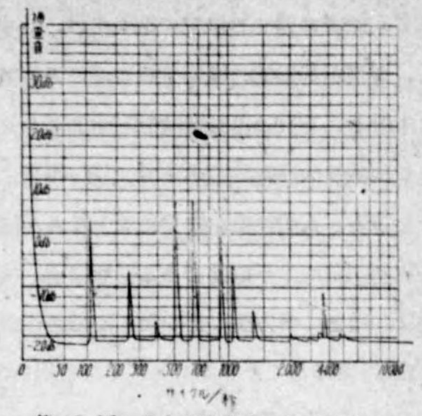
次に別方面から掃査音發振器によつて環狀調器に f_2 が加へられてゐるものと考へる。今 f_2 を 20,000 サイクルと考へると，環狀變調器の出力側には $|f_1 \pm f_2|$ 卽ち　20,000±0　20,000±100　20,000±200……の種々の周波數が出てゐる。

この變調器の次に 20,000 サイクルのみを通す濾波器がついてゐて，その濾波器を通過したもののみが，記錄計に流れるやうになつてゐる。現在記錄計に流れてゐるものは 0+20,000 サイクルだけで，他のもの通過し得ない。しかし如何なる分析に際しても，0 において必ず 20,000 サイクルが出來る故に，この最初の振れは考へなくてもよい。

次に掃査音發振器のダイヤルが動き出して，周波數が 20,000 サイクル以下に變化したとすると，その次には f_1+f_2 が 20,000 になるまで計器は全然振れない。もし掃査音が 19,900 サイクルになつたとすると，初めて音の基本數 100 サイクルと合同して，20,000 サイクルを作り計器が振れて來る。19,900 サイクルを過ぎて更に周波數が下ると，もう 20,000 サイクルは無くなり，濾波器からは計器に電流を通さないが，19,800 サイクルまで低下すると，原音の成分の 200 サイクルと合同して，また 20,000 サイクルを作り，計器を振らすこととなる。かやうに次々と掃査音の周波數を低下して行くと，f_1+f_2 が 20,000 サイクルになる毎に計器が振れることになる。卽ち 300 サイクルの高調波は，掃査音が 19,700 サイクルになつたときに拾ひ上げられて計器に表れ，その他の高調波は同じ時間には決して拾ひ上げられない。

かくして掃査音振器が 20,000 から 10,000 サイクルまで周波數が下つて行く間に，原音に含まれた 0 から 10,000 までの成分周波數は，次々と順序よく拾ひ上げられて記錄されることとなるのである。

なほ掃査音の周波數が 20,000 から 10,000 まで變化する間に，その出力電壓が一定であれば，記錄計器の振れの度合は，原音に含まれる高調波の强さに比例するものである故に，同時に成分波の强さをも知ることが出來る。第37圖はヘテロダイン方によつて分析したものの例を示したものである。



第 37 圖　日本語母音"ア"に含まれる特性周波帶數帶域

第 4 節　殘響測定器並びに吸音率測定

第3章において述べたやうに，殘響時間とは音を急激に遮斷した後，殘音の强さが原音の强さの百萬分の一に減少するまでの時間，音壓でいへば原音の音壓の千分の一に減少するまでの時間をいふ。デシベルでいへば 60 db 減衰に要する時間をいふのである。

この殘響時間の測定は，間接に吸音率の測定方法にもなることは，旣述の第3章第（6）式によつて明らかである。殘響時間測定の主なる方法を擧げれば次の如きものがある。

4.1　耳を以つて測定する方法

耳は强さに對して，大略對數的性質を持つて居ることにより，この方法が成立する。いま最低可聽値より以上 60 db の音を室內に發せしめ，これを急激に遮斷してよりのち，耳に聽えなくなるまでの時間を測定し，この時間を殘響時間とする。

最初の音の强さが 60 db に達してゐるや否やは，オーデイオ・メーター等を以つて定める。なほ測時計器としては，普通のストツプ・ウオツチを用ひ，これを直接に手働にて使用するか，或ひは簡單な繼電器を使用して時計を制御するので

ある。原音の強さの決定に關しては，必ず60 dbまでレベルを上げ得ない場合でも，殘響が對數的に減衰すること，及び耳の對數的性質を基礎として減衰する割合を計り，それより殘響時間を求めることも出來る。

この方法は殘響時間が充分に長い場合には，相當に正確であるが，時間が短かくなると，人的誤差が非常に大となり不正確となる故に，1秒以下の短かい殘響時間の測定には不適當である。增幅器，マイクロホン及び高聲器等の發達する以前は，殆どこの方法によつたものであつて，有名なSabineの初期の實驗に際しては，音源としてオルガン・パイプを用ひ，耳によつて時間を計測したのである。その後增幅器及音響機器の發達によつて，種々の測定法が生れて來た。以下の方法は總てれこ等の機器を用ひたものである。

4.2　蓄電器の放電における減衰を利用する方法

蓄電器を充電し，その端子を抵抗にて短絡して，放電せしめる場合の放電々流の減衰割合は，蓄電器の容量と抵抗値によつて定まることを利用したものであつて，この減衰と殘響の減衰とを平衡せしめて，殘響時間を計る方法である。殘響がほぼ對數減衰をなす場合には，かなりに結果が正確である。

4.3　レベル・レコーダーを使用する方法

この方法に關しては，既に本章第3節に述べてゐる故にここでは省略する。レベル・レコーダーの動作には，僅少の時間の遲れがあるために，この遲れの時間以上に長い殘響時間でないと正確でない。大體0.3秒以下の殘響時間では，この裝置の利用は困難である。

4.4　ブラウン管を利用する方法

レベル・レコーダーの場合と同樣に對數壓縮增幅器を使用し，ブラウン管のスポットが移動した軌跡から，減衰の割合を見出す方法である。これに使用するブラウン管は特別な螢光物を塗付し，殘光時の非常に長いものとする必要がある。

定の原理は(4.3)のレベル・レコーダーの場合と同じである。

4.5　オッシログラフを使用する方法

これはオッシログラフを使用して，殘響の狀態を一度寫眞に取り，その寫眞より振幅を計つて殘響時間を定める方法である。殘音の振幅が原音の振幅の$\frac{1}{1,000}$になるまでの時間が殘響時間である。(オッシログラフの振幅は音壓に比例する故である)しかし實際上$\frac{1}{1,000}$までの振幅を計ることは，殆ど出來ない故に$\frac{1}{10}$に減少するまでの時間を見出して，それを3倍する方法を取つてゐる。$\frac{1}{10}$になるまでの時間をtとすれば，對數減衰と見ることが出來る故に，$\frac{1}{10^n}$になるまでの時間はntであることは容易に判る。

この方法は測定に手數を要すること，及び測定費が大となる缺點があるが，かなり短かい時間でも計測し得る利點がある。

4.6　自働的に測時裝置を制御する方法

殘響が原音の強さの$\frac{1}{10}$まで減衰した場合に，自働的に繼電器を働かして時間を計る方法である。必ずしも$\frac{1}{10}$になつた場合とは限らない。普通は$\frac{1}{10}$以下の適當な値までの時間を取つてゐる。

4.7　殘響法による吸音率測定

前述の各方法によつて殘響時間を測定し，それより材料の吸音率を求めることが出來ることは，既に述べたところである。即ち殘響時間Tが實測に依り求まれば

$$T=\frac{0.161\,V}{-S\log_e(1-\alpha)}$$

の式を用ひて平均吸音率αが計算より求まる譯である。いま或る空室の殘響時間をT_0とし，この室に測定すべき吸音材料を入れた場合に，これがT_1に變化したとすれば，T_0，T_1より各々の平均吸音率を算出することが出來る。

今　S_0＝空室の內表面積

　　s＝挿入せる供試吸音物質の面積

α_0＝空室の平均吸音率

α_1＝吸音物を挿入した場合の室の平均吸音率

α_x＝求むる吸音材料の吸音率

とする。

空虚の室の場合　$T_0=\dfrac{0.161V}{-S_0\log_e(1-\alpha_0)}$

の關係から，α_0 は實測値 T_0 を基礎として計算に依り求まり，また室内に被測定吸音材料を入れた場合も，同様にして T_1 の實測値から α_1 が求まる。

而して

A_0＝空虚なる室の全吸音力＝$\alpha_0 S_0$

A_1＝被測定吸音材料を入れた場合の全吸音力＝$\alpha_1 S_0$

の關係のあることは，既に述べたところである。この關係から α_x を導出して見ることとするに，先づ

$$A_1=\alpha_1 S_0=s\alpha_x+(S_0-s)\alpha_0$$

但し $A_1=\alpha_1 S_0=\Sigma\alpha_r S_r$ であるが，この測定に於ては S_0 の面積が全部同一材料で出來てをり，その中に α_x のものを s だけ置換へたことになると考へて居る故に上のやうな式になり，それより α_x を出すと，

$$\alpha_x=\frac{\alpha_1 S_0-\alpha_0(S_0-s)}{s}=\frac{\alpha_1 S_0-\alpha_0 S_0}{s}+\alpha_0$$

となつて α_0, $\alpha_1 S_0$ 及び $\alpha_0 S_0$ は，實測値より計算出來るものである故に，s を豫め測つて置けば α_x は容易に判る。

4.8　定常波法に依る吸音率の測定

これについては，第1章第5節に，その原理を述べたが，實際にこの方法を應用して吸音率を測定する場合には“音響管”を使用するのである。管の直徑は大體 30～50 糎程度で，長さは測定せんとする周波數に依り定まるが，測定音の一波長以上の長さを必要とする。隨つて低周波數，例へば100サイクルの音につい

て測定せんとすれば，約 3.4 米の長さが要る譯である。この管の一端に測定せんとする吸音物質を當て，他端より音を出して，この管中で恰度常波數が起るやうに，長さを調節するのである。管中に極く小さいマイクロホンを入れ，(定常波狀態を亂さぬやうに小さいものを用ふること) これを管の長さ方向に移動せしめて，音壓の分布狀態を調べ，その節と腹 (Node and Loop) に於けるマイクロホンの出力電壓から

$$\text{吸音率}=1-\left(\frac{1-\dfrac{b'}{a'}}{1+\dfrac{b'}{a'}}\right)^2$$

a'＝腹に於ける電壓 (管中の最大値)

b'＝節に於ける電壓 (a' に續いて起る最小値)

であることは第1章，第5節 (21′) 式の通りである。

實際上は管中に於ける吸音損失，音源の持つ反射性 (End Effect) 等を考慮した補整が必要であるが，ここではその檢討を省略する。

尙その他にも，吸音率を求める各種の方法があるが，本書では省くこととする。

第6編　演奏所設備

第1章　マイクロホン

第1節　概　　説

マイクロホンとは，いかなるものをいふかについて，今更細かく述べることは省く。本章においては，實際に放送用として使用するものの構造，動作の大要及び取扱上の注意等に關し述べる。

放送用マイクロホンとして主なるものは

1. 炭素粒送話器　Carbon Microphone
2. 蓄電器送話器　Condenser Microphone
3. 動電型送話器　Dynamic Microphone
4. 壓電氣型送話器　Piezo Crystal Microphone

等である。

この外に二，三のものもあるが，それは放送用として現在使用されてゐない故に省略する。

種々のマイクロホンを考へる場合，音響勢力を電氣勢力に變換する機構上より，次のやうに分けて考へることが出來る。

（a）　即ち一種の繼電器の如き働きをなすマイクロホン

（b）　機械變成器としてのマイクロホン（Mechanical Transformer）

（a）の種に屬するものは，1の炭素粒送話器である。（b）に屬する機械變成器は簡單にいへば，マイクロホン，及び高聲器としてその動作の可逆的なものをいふのであつて，2以下4まではすべてこれに屬する。

即ち2以下のものは同構造のままでも高聲器として働き，反對に蓄電器型高聲器（Condenser Speaker），動電型高聲器（Dynamic Speaker）及び壓電氣型高聲器（Piezo Crystal Speaker）等は，逆にマイクロホンとして動作する性質を有してゐる。

尙ほ空氣の振動が振動體を驅動する方式によつて

（a）　壓力制御方式（Pressure Control System）

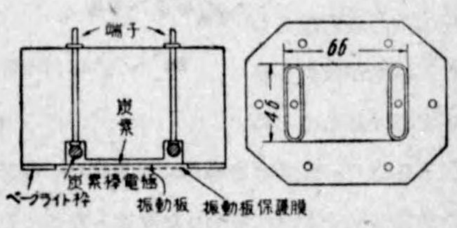
（b）　速度制御方式（Velocity Control System）

とに分けることが出來る。（a）は在來一般のマイクロホンであつて，（b）はベロシテイ・マイクロホン（Velocity Microphone）とよばれるものである。

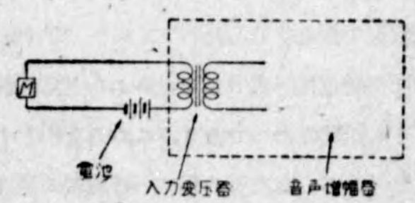
ベロシテイ・マイクロホンに關しては別に述べる。

第2節　炭素粒送話器

可變抵抗型のマイクロホンであつて，高聲器としての可逆作用はない。放送用として代表的のものは，ライス・マイクロフオン（1924獨逸人オイゲン・ライスの發明）である。日本放送協會が特許權を有するM.H送話器はこれに屬する。その構造は，第1圖に示す如きものであつて，炭素粒は46×66×1.5mm³の矩形室内に隙間なく充塡されてゐる。（粒子の大いさは100ミクロン以下の不整形のもの）その直流抵抗は大體600オーム程度であつて，6Vの電池を直列に接續して使用する。このマイクロホンの接續方法は頗る



第　1　圖



第　2　圖

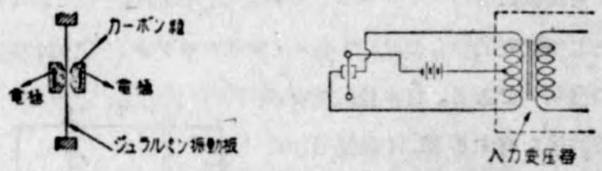
簡單であつて，第2圖に示す通りである。

即ち音聲增幅器の入力變壓器に 6V の蓄電池，或は乾電池とマイクロホンとを直列にして接續すればよい。

電池の極性は正負いづれでも差支へない。但し音聲增幅器のフイラメント用電池を共用する場合，及び1個の電池を以つて數個のマイクロホン回路に共用するやうなことがあるが，その場合には電池を短絡する虞がある故，一應注意することは必要である。

入力變壓器は，一次インピーダンス約600オーム程度の捲線を有する鐵心入變壓器であつて，直流抵抗が出來るだけ小なることを必要とする。普通600オームインピーダンスのもので，直流抵抗40オーム以下にすることは容易である。

ダブル・ボタン・カーボン・マイクロホンは，現在殆ど放送には使用されてゐないが，放送用マイクロホンとして歴史的に有名なものである。その構造は略圖の第3圖に示す。



第　3　圖

炭素粒送話器の缺點の内，最大なるものは炭素が吸濕し易いものであることに依るもので，吸濕せる場合には甚だしく雜音が增大される。ライス型のものはその缺點が幾分除かれるやうな構造となつてゐるが，ダブル・ボタンの場合には，構造上吸濕し易くなつてゐる。この雜音の問題は，この種の送話器に共通なる重大な缺點である。

尙ほ可變抵抗形式であるといふこと自體が，音聲を歪ましめる原因を持つといふことも缺點の一つであり，この歪を小とするためには，感度を相當に犧牲にせねばならぬが，またその爲に一層雜音の問題が大となる。

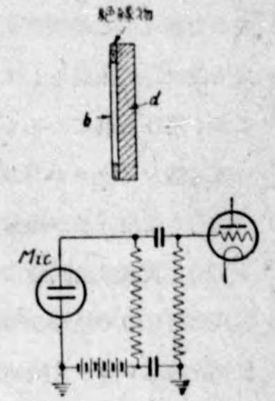
但し構造簡單で取扱ひが便であり，且つ堅固であることに利點がある。

第3節　蓄電器送話器

第4圖は蓄電器送話器の動作原理圖を示す。即ち平行に對立した2枚の金屬盤の内，a は固定し，b は振動板を形成し，しかして兩板は充分に絶緣されてゐる。

今兩極間に高抵抗を通じて，100～300 V の電壓を加へておくと，音波が到來せる場合には，振動板が振動する故に，兩板間の電氣容量が變化し，豫め加へられたる直流電壓のために，蓄電器内に音波に相應せる充電電流が流れ，高抵抗内に電壓降下の變化が起る。この高抵抗内の電壓變化を增幅器にて增幅し，マイクロホンとして使用する。

音波→振動板の振動→電氣容量變化→充電電流變化（電氣振動）



第　4　圖

蓄電器送話器を大別すると，

ウエンテ型

リツガー型

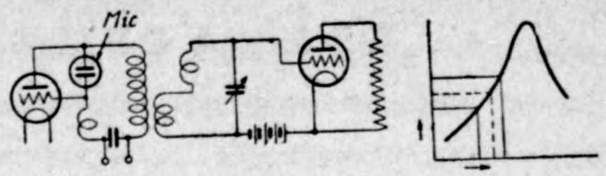
との二つになる。實際の場合には兩者を組合はせたやうなものも，相當用ひられてゐるが，ウエンテ型では，振動板を殆ど限界强度附近まで强く張つて使用して居る。

リツガー型ではこれが幾分緩かに張られ，振動板とその裏側の金屬盤との間の空氣層を調整して，周波數に對する特性を補整してゐる。空氣層調整に依る補整はウエンテ型に於ても機械抵抗附加のために用ひられてゐる。

リツガー型は，マイクロホンとして使用する電氣回路に特徴がある。

第5圖はその略圖を示す。即ち兩極板に高壓の成極電壓を與へずに，蓄電器を高周波發振回路の同調蓄電器として作用せしめ，發振周波數の變化を同調曲線の

適當なる部分に於いて行はしめ，それを整流檢波してマイクロホンとして使用するのである。この使用方法は，變成器としてでなく繼電電器としての用ひ方である。しかし現在割合に多く用ひられてゐるものは，成極電壓を與へる普通の方式である。



第　5　圖

蓄電器マイクロホンの特徴は，

（1）　使用方法が適當であれば，マイクロホン自體より雜音を發せぬこと

（2）　炭素粒送話器に比して歪が小であること

等が主なもので微音の檢出，及び各種の精密な研究等に使用される。尙一般用として放送，レコード吹込，トーキー用等，多方面に用ひられる。

この型の送話器の不便な點は，マイクロホンは，2枚の對立したる電氣容量に依り形成されてゐるものである故に，內部インピーダンスが非常に高く，そのために兩板間に極く僅かの漏洩電流があつても，障害を起すことである。卽ちマイクロホンの內部インピーダンスに對して，その絕緣抵抗が非常に高くなければならない。我國の如き割合に濕氣の多い國では，ややもすると濕氣の爲に絕緣抵抗が低下されるが，その爲に雜音を發生することが往々生ずる。（餘り初期において使用されなかつたのはその爲である）

また內部インピーダンスが非常に高い場合には，マイクロホンより增幅器にいたる導線において，誘導雜音障害を受けやすいこと，マイクロホンは，極く小さい電氣容量により形成れてゐる故に，導線を長くする場合には，導線間の容量が遙かに大となる故に，能率を低下し，同時に導線の動きが直接雜音となる憂ひがある。

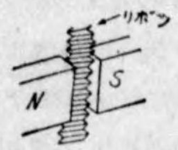
以上のためにマイクロホン・ボタンより，第一段目までの導線は出來る限り短

くしなければならぬ。

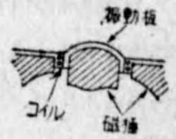
一般のコンデンサー・マイクロホンが，ボタンの直ぐ下に增幅器箱を有してゐるのはそのためであるが，その增幅器が餘り大きい場合には，音場の障害となる。（マイクロホンより增幅器までの導線の長さは，普通 10 糎內外の短いものである）しかして增幅器には電源がつきものである爲に，音聲線の長さと同程度の電源用線が必要となり，取扱ひを非常に不便にする。

第4節　動電型送話器

磁界內に於いて電氣導體が動いた場合に，起電力を生ずることを利用せるものである。單に1本の導線をおきそれ自身を振動體としたるものが，リボン・マイオロホンであつて，導線をコイル狀に捲き振動板に張り付けて，磁界內で振動させるものが，可動線輪型送話器（Moving Coil Microphone）である。第6圖及び第7圖にその機造略圖を示す。（コイルを平面狀に捲き，コイル自身を振動體とせる Magnetophone と稱するものがあるが，これは現在殆ど用ひられない）



第　6　圖



第　7　圖

電動型送話器は振動部のインピーダンスが，かなり低い故に，前の蓄電器送話器と異り，增幅器との接續が容易であり，また直接に變壓器結合もまた容易である故に，任意のインピーダンスに變換し得ることが特長である。

しかして內部雜音も非常に少なく，取扱ひも蓄電器送話器に比して，簡單である。

導線は約 40～50 m 程度ならば延ばしても差支へなく，增幅器を音場內におかねばならぬやうな不便はない。

リボン・マイクロホンは，原理としては古くから知られてをり，また一時製作

されたものであるが，その使用が中斷された形となつてゐたものである。

最近にいたつて獨逸のジーメンス會社が，相當優良なものを作り出し，また米國に於いては，ベロシテイ・マイクロホンとしてこのリボン・マイクロホンを作り出し，現在日本に於いても多數製作され，各方面に用ひられてゐる。ベロシテイ・マイクロホンの説明は後に述べることとする。

可動線輪送話器も相當良好なるものがあり，盛んに用ひれらてゐるものである。

第5節　壓電氣型送話器

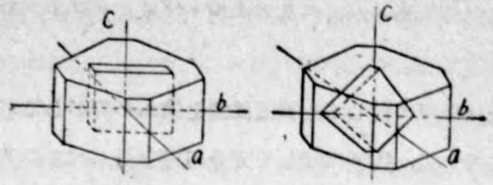
通常クリスタル・マイクロホンとよばれてゐるものである。水晶，トーマリン，ロツシエル鹽結晶等は，壓電效果（Piezo Effect）を持つもので，即ちこれ等の結晶板に或る機械的歪を與へた場合，その中に所謂壓電氣を生ずるのである。この現象は前に述べたやうに可逆的であつて，逆に電氣を與へれば，結晶板が變形する。上記結晶の中で壓電效果の最も大きいものは，ロツシエル鹽結晶であつて，その値は水晶の場合の200倍以上にもなる。かやうに有望な結晶であるが，水成結晶である故に，（水溶液中において成生せしめられる結晶）勿論水に容易に溶ける。即ち濕氣に甚しく侵され易く，空氣中に露出しておけば，短期間に潮解，風化等のために使用し得なくなることが主な缺點である。且つ溫度に對してさほど安全では無くまた機械的に弱い。

最近において濕氣に對する防濕處理法の研究が進み，相當安定に使用し得るものが製作されるやうになつてゐる。

これは20°～30°Cにおけるロツシエル鹽の飽和溶液を作り，その溫度を徐々に下降せしめつつ結晶を成生せしむるものであつて，その成生法に就いては省略するが，やや手數を要する。第8圖はロツシエル鹽結晶の形狀を圖示せるものである。

使用する結晶板はc及びb軸の決定する面に平行で，a軸に直角なる平板で

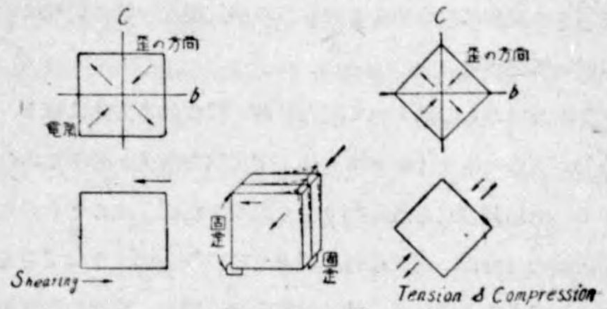
ある。第8圖及び第9圖は切取つた平板に，壓電氣を起させるために與ふべき歪力の方向を示す。



第8圖　第9圖

a＝機械軸　d＝電氣軸　c＝光軸

通常使用するのは，第8圖の如き切斷法に依る。即ち1枚の板に對してShearingを與へた場合に，兩面間に壓電氣が起る。もしこの結晶板を逆に2枚を組合はせ，三隅を固定すれば，自由の一隅のBendingにより內部にShearingが起ることになる。この一隅を音波によつて驅動するやうにすれば，送話器として使用し得るものである。電極は結晶板の兩面に金屬箔を張り，これにより外部に導出し，增幅器に接續する。



第10圖

これも一種の蓄電器を形成してゐるものである故，內部インピーダンスは非常に高い。（直流に對してはロツシエル鹽は絕緣體である）しかし前述の蓄電器送話器に比し，感度が相當大である故に，端子の導出にさほど困難はなく，ピツクアツプに用ふる如き場合は，振幅の大きい點もあるが，2～3米程度の導線が自由につけられる。

この送話器を使用するに際し注意すべきことは，機械的に弱い故に取扱ひに注意し，突き當てるやうなことのないやうにすること。

日光に直射される場所では使用しないこと。

雨天等の場合に直接ぬれぬやうにすること。（これは一般マイクロホンでもす

べて同樣であるが，クリスタル・マイクロフオンの場合には特に留意すべきである）

なほ濕氣に對しても相當注意を拂ふ必要があるが，これに就いてはむしろ製作者に於いて，防濕に關して充分考慮を拂ふべきことである。尙結晶が脫水されるからである故，加溫乾燥或ひは乾燥劑に依る人工乾燥は不可である。

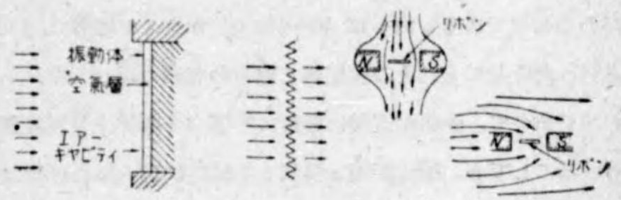
第6節　ベロシテイ・マイクロホン

これの代表的なものが前に述べたリボン型のものである。ほかに蓄電器型，クリスタル型等に同作用のものがあるが，現在一般に實用に供されてゐるリボン型に就いて述べる。

前記までのものはすべて壓力制御と稱される方法に依り，振動體が驅動されるのであるが，本マイクロホンは，速度制御方式と稱する方法で驅動されるものである。兩制御方式を最も判り易く說明すれば，次のやうになる。今マイクロホンの振動板自身が，音波進行を阻止するやうな形となつてをり，振動板の裏面が閉ぢられてあるとすれば，音波は振動板の彈力，裏面の空氣層の彈力等に抗して，振動板を動かすわけであつて，卽ち振動板は音の到來せざる場合の靜止の位置から，壓力差に依つて變位が與へられ，しかしてその變位は振動板系の持つ抗力に支配される。これが壓力制御方式の形であるが，一般にはその振動板系の抗力は，周波數により變化するものである。これがマイクロホンの周波數特性を劣下せしめる一原因である。なほ外に寸法の大きいために生ずる周波數の影響及び振動板前面のキヤビテイの共鳴等が，周波數特性劣下の原因となる。もしも今振動體の寸法を波長に比して，非常に小さくし且つ振動體の附近に音波進行の障害となるものをおかぬものとする。（振動體は寸法が小である故に，勿論音波進行の障害にならぬ程度である）卽ち振動體の前面及び後面とも自由な空氣中におかれ，附近の音場は亂されぬこととなる。

振動體が非常に輕く且つ自然狀態に緩く張られてあれば，音波が到來せる場合には，殆ど空氣分子の運動と同じやうに，運動するやうになることが考へられる。かりに振動體の質量が空氣と等しければ，振動體は全く空氣の粒子速度と同じ速度で運動することになる。質量を持つてゐる場合には，その速度は小となるがその速度は，この場合には周波數に無關係に粒子速度に比例するものである。結局かやうな構造を有せしめれば，周波數に無關係な一樣な感度を持つ送話器が得られる。これがベロシテイ・マイクロホンの動作の原理であつて，これに依つて大體ベロシテイ・マイクロホンの構造を想像することが出來よう。

第10圖は兩驅動方式の差異を示す略圖である。實際にはベロシテイ・マイクロホンにおいても，幾分音波進行の障害となる故に，周波數が高くなれば，波長とその寸法との割合が近づいて，速度制御方式が成立し難くなり，感度に變化を來たすが，それは大體6,000サイクル位より上である。



第　10　圖

尙ベロシテイ・マイクロホンの特長は，主として指向性が各周波數に對して不變なることにある。これは相當注意すべき點であつて，壓力制御方式よりは優れてゐるものである。

このマイクロホンの取扱法等は，前に述べたるムービイングコイル，或ひはリボンマイクロフオン等における場合と同樣である。

第7節　マイクロホンの諸特性

周波數特性　マイクロホンとして，具備すべき條件の一部として重要なことは，周波數特性の良好なことである。卽ち可聽周波數範圍內（30～15,000程度）

の各周波數で，感度の一樣なことである。ここで感度といふのは一定音壓を與へた場合の，出力電壓（電流）をいふ，卽ち一定音壓に對して，各周波數で一定電壓が出ることが望ましい。

一定音壓の下における周波數と，マイクロホンの出力電壓との關係を示す曲線が，周波數特性曲線であつて，この曲線の水平に眞直のものが良いことになる，（實際問題として種々特性曲線の形狀に就いて論議されてゐることもあるが，ここでは變成器の性質として一樣であればよいと考へる）

實際上は前記 30～15,000 サイクル範圍で平線をなしてゐるものは殆ど無く，いかなる範圍以內の感度差ならば許し得るか？　または同じ範圍內の變化としてもその曲線の形狀の如何に依つて，音質がどのやうに變化するか，等種々の議論があるわけである。例へば 50～10,000 サイクル範圍で，6 db の變化ならば許すと考へたとしても，その範圍內で曲線の形狀に至つては，いかやうにも成り得るわけであつて，形狀が直接に音質に影響する關係上，周波數に關する許容條件を考へるにしても，變化範圍と形狀とを同時に考へなければならない。かやうな事項を調査する上に於いて，周波數特性を檢討することは重要なことである。

非直線歪（歪率）　前記周波數特性の不良なものでは，周波數歪を起すが，これ以外に非直線歪と稱するものがある。今入力音波が正弦波形の場合に就いて調べることにする。この場合マイクロホン出力電壓は，同樣に正弦波形をなしてゐなければならない。もしも入力波形が正弦波であるに拘らず，出力電壓の波形がそれ以外の波形をなしてゐるとすれば，マイクロホン內に於いて，非直線歪を起してゐるのである。

波形が崩れるのは入力音壓に對して，出力電壓が直線的關係にないために生ずる。卽ち兩者間に比例關係が成立してゐない。そのために音が正弦波であるに拘らず，出力波は高調波を含んだものとなる。

この歪の大小は，出力波に含まるる高調波によつて計ることが出來る。

この量は歪率を以て示し，次の如きものである。

$$\text{歪率}\quad K=\frac{\sqrt{a_2^2+a_3^2+a_4^2+\cdots}}{a_1}$$

但し a_1＝基本波の振幅

a_2＝2 nd Harmonics の振幅

a_3＝3 rd　〃　〃

指向性　マイクロホンを取扱ふ際に，その使用するものの指向性を，豫め充分に知つておかなければならない。卽ちマイクロホンの指向性及び室の音響的性質等を考慮した上で，演奏者の配置が定められる關係上，それ等の性質を悉く知つてゐなければならない。

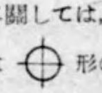
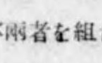
指向性は周波數によつて變るのが普通である。指向性は，マイクロホンの振動體の寸法と，到來する音の波長とに關係するものであつて，寸法が波長に比して非常に小であれば，壓力制御マイクロホンでは，所謂無指向性に近くなり，その寸法が波長に近寄つてくれば，鋭い指向性となる。卽ち一つのマイクロホンでは，高周波音に對するほど指向性が鋭くなるのである。

これは音の進行方向に對して近い端と，他の遠い端との間の位相差に依つて生ずるものであつて，各周波數に對して，指向性變化を起さしめぬやうにするためには，マイクロホンの寸法を，出來るだけ小にすべきことが考へられる。これ等の事實より逆に，マイクロホンの後に反射鏡の如きものを附して，鋭い指向性を持たせんとする場合に於いて，波長の長い低周波に對しても，その鋭さを保持せしめんがためには，反射鏡が充分大でなければならない。（名古屋放送局に於いて試用したる指向性反射鏡は，この事實を示す好適例である）

ベロシテイ・マイクロホンの場合でも，同樣のことがいへる。卽ち，リボンの寸法が大であつては，やはり周波數に依つて指向性變化を起す。實際上ベロシテイ・マイクロホンは，橫方向には僅々 3～4 mm 幅の振動體であり，また磁極の

幅も小である故に，指向性變化は割合に少い。但し縱方向には幾分指向性變化を起してゐる。

尙ベロシテイ・マイクロホンは，周波數に對して指向性が比較的に變化せぬこと以外に，更に重要な性質を有してゐる。それはベロシテイ・マイクロホンの項に於いて述べたやうに，振動體はその表裏兩側の空氣粒子運動の速度に依り，差動的に驅動されるために生ずる特殊性に依るものであつて，壓力制御方式のマイクロホンの場合のやうに，一方よりのみ音壓を受ける場合とは，相當に異つた性質を有してゐる。前面及び後面に於いて同じ形の指向性曲線を持ち，（丸形）側面に於いて感度が零に近い。即ち 字形で，極座標にて示されたる Cosine 曲線形となる。

指向性に關して望ましいことは，周波數に依つて指向性が變化せざるものであること，だけであるといつてもよい。この條件を滿足してゐる場合の指向性曲線の（方向的性質を表はす等感度曲線の一種）形狀に關しては，マイクロホンの使途に依り，優劣は容易に判斷し難い。或る場合には  形の望ましきこともあり，またベロシテイ・マイクロホンの如き 字形を望む場合もある。また時には非常に鋭い の如きものの必要なことも起る。一般的な指向性曲線としては 型 字型及び兩者を組合はせた場合に生ずる  心臟形が主である。

第2章　スタジオ

第1節　概　說

ラジオ放送における音の拾收は，レコードの吹込みや，トーキーの錄音におけると同樣マイクロホンを通して行はれる。このラジオ放送系における聽覺器官ともいふべきマイクロホンは，全然機械的のもので，本質的に人間の耳とは大分その趣を異にしてをり，人耳の示すやうな特殊な心理的作用を具備して居ない。從つてマイクロホンを用ひて收音し，充分なる音響上の效果を得るためには，人耳を對照とする一般建築とその趣を異にし，音響上特殊な考慮を施した室を設ける必要が起つて來る。演奏所において，この目的のために造られた收音の場所が卽ちスタジオである。スタジオの第一の要件は，先づ何よりもそれが出來得る限り音響に良好なるべきことであるが，實際上に得られる音響的良好さは，マイクロホンによつて拾收されたものの質によつて，決定さるべきものである。スタジオ內における演奏の質の判斷は，人間の耳によるものでは充分なものといひ得ないことは，上述したところで明かである。演奏所におけるスタジオが，一放送系中にあつて，音響上極めて重要な役割を演ずるものであることは，今更いふまでもないところで，最近新設される大規模の演奏所においては，その放送施設の大部分を占めてるといつても過言ではない。元より演奏所運用の目的，取扱ふ放送系並に放送種目の數，或はその規模の大小等により一樣ではないが，スタジオに要する總面積は，演奏所延面積の 20% 前後にも及ぶ。

實際放送が始めて實施せられてより，今日まで，比較的淺い年月[1]にもかかはらず，この方面における進步發展の目覺しさは，洵に驚く可きものであるが，尙ほ

（1）1920年米國ピツバーグに世界最初の放送局 KDKA が開設され，同年11月に大統領ハーヂングの選擧ニユースを放送した。

その歴史は新しく，僅僅十數年にしかならない關係上，スタジオの音響問題に關しては，未だ確然たる理論の得られてゐないところもあり，現在では音響界諸先輩者の理論結果を基礎とし，これに實際上の經驗を加味し，種種の設計或は施設を行つてゐるのがその實狀で，將來一層の研究に俟つ所が多い。

第2節　スタジオの數

ここ數年來演奏所新設の機運があり，歐米諸外國ともに相次いで，放送新局舍の建築を實施し，それぞれ優劣なる演奏所を新設してゐるが，我國においてもさきに大阪放送會館の新設があり，更にまた昭和14年には東京放送會館が完成された。元來放送事業創始時代には，今日より見れば極めて少數の聽取者を對照としてをり，放送局舍はいづれも既設建築の一部を改造するか，或は小規模の建物を造り，僅かに二三のスタジオと事務室を設け，同時に放送所をも兼ねた頗る幼稚なものであつたが，近來聽取者の激增，放送事業の發展と技術的の進歩，高度の放送品質の要求等に伴ひ，各國とも放送所を都市の近郊に分離して，大電力化を計るとともに，都心近く最新設備を有する大放送會館を新築し，放送業務の運營，放送出演者出入の便宜を計るに至つた[2]。これ等の新局舍におけるスタジオの數は，舊來のものに比して著しく多い。

近來各方面に於ける放送技術の長足の進歩發展に伴ひ，その質的要求が遽かに高まり，放送效果は從來にも增して益益重要視されるやうになつて來た。一方放送取材は，これを數的に見てもまた內容的に見ても愈愈多く，愈愈複雜となつて來たが，これら多種多樣のプログラムに對し，それぞれ與へられた條件の下に，最大の效果を收めて行くためには，實際の放送に先立ち充分なる試演を行ふことが必要で，また實際に收音上試演は最近極めて重要視されるやうになつて來た。

（2）放送會館の中にはオーヂトリアム・スタジオを備へ，劇場，音樂室等と同樣に使用し多數の聽衆を容れるものがあり，これも都心に演奏所を設ける一理由と考へられる。

即ち，極く特殊の例外を除く外，殆ど總てのプログラムに亙つて，放送に先立つて先づ試演を行つてみるのが理想で，これにより室內の音響狀態を適當に調節し，臺詞，樂器，擬音用具，或はマイクロホン等の位置を定め，更にこれら相互の調整，演出等の豫行を行ひ，最良の結果の收められるやう各種の條件を定め，これと同一の狀態の下に，實際の放送を行ふやうになつて來た。

米國NBCの統計によれば，放送1時間に對し試演4時間を必要するといはれて居る。從つて連續的に放送を行ふものとすれば，或るスタジオが放送中なるとき，別に他の4個のスタジオは試演中といふことになり，更に第6番目のスタジオは次のプログラムに對して，用意をして居なければならぬといふことになる。

また場合によつては，一つの放送種目（例へば劇放送）において，同時に數個のスタジオを使用し，それらの出力を一つの調整室で統轄し，調整演出すること，即ち所謂スタジオ・ミツクシングの行はるることも少くない。この方法の大規模に行はれて居るのは，BBCロンドン放送局で，6階及び7階に亙つて約10室のドラマ用スタジオ群を有し，所謂ドラマ調整室でその綜合演出を行つてゐる。尙ほこの放送局では必要ならば，別に造られた反響室をも併せて使用出來るやうになつてゐる。

上述の如く放送の內容が複雜になり，音質に對する要求の高められた結果，近來豫め大きさ，形狀，或は音響特性等を異にした各種のスタジオを相當數用意しておき，これらを放送內容の如何により適宜選擇使用する傾向にあり，例へば洋樂スタジオ（管絃樂，吹奏樂，室內樂，合唱，獨唱等に用ふるもの）和樂スタジオ（長唄，淸元，常磐津，新內，哥澤，三曲等に用ふるもの）演劇スタジオ（ラジオ・ドラマ，舞臺劇，物語，脚本朗讀等に用ふるもの）講演スタジオ，宗教スタジオ，報道スタジオ，レコード・スタジオ，擬音スタジオ，テレビヂヨン・スタジオ等等の如きものがある。更に演奏所によつては同時に2系統以上の放送を取扱ふものもまた相當にある。

以上の如き種種の理由の他，新進藝術家の技能或は音響の試驗，或は更に將來の特殊放送(例へばテレビジョン)等に備へて，豫備スタジオを設けておくこと等も種種考慮され，最近新設される各演奏所のスタジオは，從來のものに比し著しくその數が多いのである。第1表は各國の演奏所におけるスタジオの數を示す。

第 1 表　各國の演奏所におけるスタジオの數

	放送局	スタジオの數
日本	東京放送會館	16
	大阪放送會館	13
獨逸	伯林放送局	15
	ハンブルグ放送局	8
伊太利	羅馬放送局	11
チェッコ	プラーグ放送局	10
英國	倫敦放送局	22
米國	紐育ラジオシチー	26
	市俄古放送局	7

第 3 節　スタジオの形狀

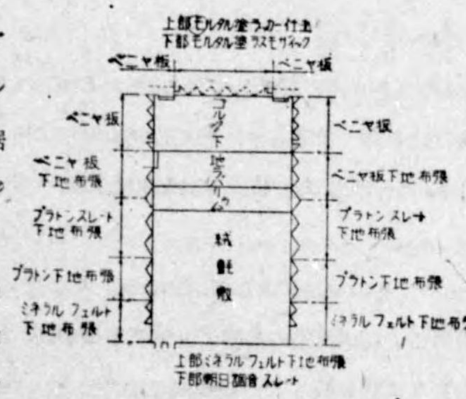
劇場或は公會堂の如く，容積の大きい室の場合には，その形狀の如何も頗る重要なことである。

スタジオの場合でも，その形狀に就いては勿論重要視する必要があるが，通常のスタジオでは釣合の取れた矩形の場合が多い。聽取者が室内の廣い面積に分布されてゐる劇場などと，收音上マイクロホンのみに對する音響的考慮が主であるスタジオとでは，後者は形狀の點からその重要さは幾分輕減されるが，スタジオの形狀はその音響效果に重大な關係をもつもので，よく調和の取れてをることは必要である。勿論スタジオの形狀は，その音響的特性を良好ならしむることを第一義として定むべきで，音の集中點，不要の共鳴，定常波或は甚だしき干渉縞等の起ることは出來るだけこれを避け，總ての音，特に中音，低音を成るべく均一に分散せしめるやうにしなければならない。例へば，建築上如何に裝飾的價値があらうとも，

圓天井または甚しく彎曲した壁面は用ひず，成るべく平面狀とすべきである。

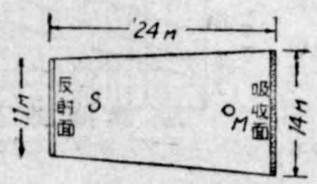
一般にスタジオの形狀は立方形のものが普通であるが，滑らかな平行した壁面の間には定常波を生じ易いといふ見地よりこれを避け，同時に反射音の反響として現れるのを防ぐ目的で，スタジオの中には梯形のもの，天井面を傾斜せるもの，壁面或は天井等を波形または鋸齒形にしたり，適當に區分して凹凸を與へたりしたものが多量にある。スタジオの形狀は，吸音材料の配置と密接なる關係にあり，例へば梯形スタジオにおいては，その端壁の短い側を反射壁とし，これに對向せる長い方の側を吸收壁として居る。第11圖(A)及び(B)は東京放送會館における波形スタジオ及び梯形スタジオを，(C)はベルリン放送局の梯形スタジオ，(D)はフランクフルト・アム・マイン放送局の鋸齒形スタジオを示し，第12圖(A)(B)及び(C)はいづれも Michael Rettinger によるスタジオの新形態を示す。

第 11 圖

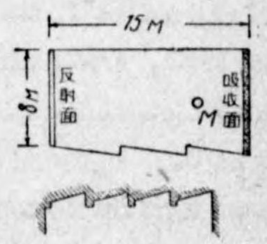


(A)　東京放送會館第1スタジオ平面圖

(B)　東京放送會館第5スタジオ平面圖

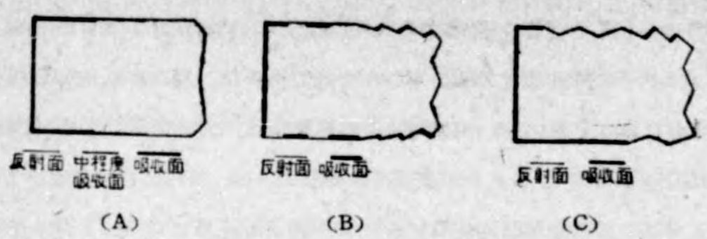


(C)　ベルリン放送局第3スタジオ平面圖



(D)　フランクフルト・アム・マイン放送局中スタジオ平面圖及び小スタジオ天井斷面圖

次にスタ



第12圖　Michael Rettinger に依るスタジオの新形態

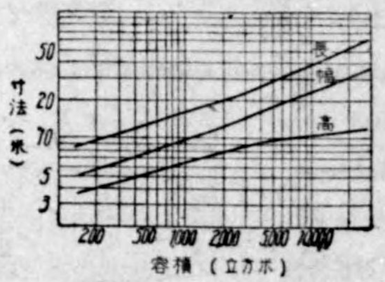
ジオの寸法比に就いて，米國 NBC の Hanson 及び Morris 兩氏は，音響的並に美術的見地より，高さ幅及び長さの比は 2:3:5 が最もよいと述べてをり，これに對し獨逸の Hans Poelzig 教授は，既往の音響的に評判のよい實例に基いて

$$幅 > \frac{1}{2} \times 長さ$$

$$高さ \doteqdot \left(\frac{2}{3} \sim \frac{4}{5}\right) \times 幅$$

を標準とし，ベルリン放送局のスタジオを設計して居る。また BBC の Ashbridge 氏はこれに對し，左程嚴格な比を考へて居らず，ただ音樂放送用スタジオにおいては，一般に長さは幅より約25～75%大とし，高さは相當に高い方が良いと思はれると述べて居る。

第13圖は釣合の取れたスタジオの寸法比として，Stanton 及び Schmid 兩氏の提案せるものにして，兩氏によれば圖示の比率より長さを増せば，演奏者の配列とマイクロホンに據る適當な收音を妨げ，また幅を増せば，所謂音の空間效果を減殺する。また高さは實際問題を考慮して許し得る最小限度に止めてあるといつてゐる。



第13圖　寸法比

第2表は各國における主な放送局のスタジオの寸法を示せるもので，高さ，幅及び長さに對いてその比を求めて見れば，大體次の範圍に納まるものが多い。

$$幅 = (0.9 \sim 2.2) \times 高さ$$

$$長さ = (1.5 \sim 3.0) \times 高さ$$

尙ほ容積が小さい場合には，可聽範圍内の低周波音で，室が共鳴することも考へなければならない。

第　2　表

放送局	スタジオ	長さ（米）	幅（米）	高さ（米）	面積*（平方米）	摘要
ニューヨークラジオシチー放送局	A	39.62	24.38	9.14	966.2(292.7)	
	B	25.91	15.24	5.48	393.6(119.2)	
BBCロンドン放送局	コンサートホール	32.33	12.81	9.45	413.4(121.1)	オーケストラ及バンド用
	8 A	15.55	10.06	4.88	156.0(47.0)	同上
ベルリン放送局	大スタジオ	38.00	24.00 27.00	12.00	779.0(236.0)	梯形，大演奏用
フランクフルト・アム・マイン放送局	大スタジオ	27.00	17.00 14.00	10.00	459.0(139.1)	梯形，大いさを加減出來る
	中スタジオ	15.00	8.00	5.00	120.0(36.4)	大演奏，ドラマ用，鋸歯形
ハンブルグ放送局	大スタジオ	27.00	14.00	10.00	378.0(114.5)	大きさを加減出來る 各種演奏用
ラジオ・パリ放送局	大スタジオ	18.00	8.00	6.00	144.0(43.4)	1/3，2/3を用ひ得
ローマ放送局	No. 1	31.00	14.00	9.00	434.0 (131.5)	オペラ用
プラーグ放送局	大スタジオ	23.96	12.00	12.50	288.0(87.3)	コンサート ドラマ用
大阪放送會館	第一			10.30	399.0(121.0)	洋樂，ドラマ用
東京放送會館	第一	26.00	15.00	9.00	390.0(117.5)	豫定

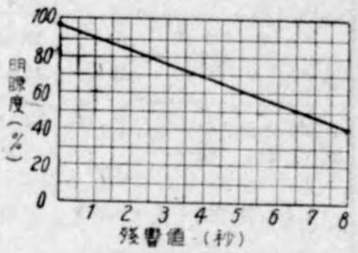
* 括弧の中は坪數

第4節　スタジオの適當なる殘響時間

放送聽取上充分なる感じを持たせるために，殘響の必要であることは周知の通りであるが，それぞれ場合場合により，適當な限度があるものである。

もしスタジオの殘響が限度を超え，餘りに多きに過ぎるときは音の混亂を來た

し，言葉の明瞭度を低下せしむる原因となるが，これに對しその重なる理由として，通常次の二つが擧げられてゐる。第一の理由は，音の遮蔽作用で一つの音の終りと次の音の始めとが重複して，遮蔽の現象を生ずるといふのである。殊に子音は同時に存在する母音によつて遮蔽され易いものである。第二の理由は，反射に伴ふ壁體の選擇吸收の結果が現はれ，數十回以上の反射により，音聲に一種の變歪を生じ，言葉の明瞭度が減減されるといふのである。（殘響があれば，必然的に音の增響を伴ひ，直接聽取するときは極めて好都合であるが，マイクロホンを用ひて收音する我我の場合には，殘響と音の增響の問題に就いては，餘り考へなくともよい。）



第 14 圖

尙ほ殘響値が言語の明瞭度に及ぼす影響に關しては Knudsen の研究がある（第14圖參照）。

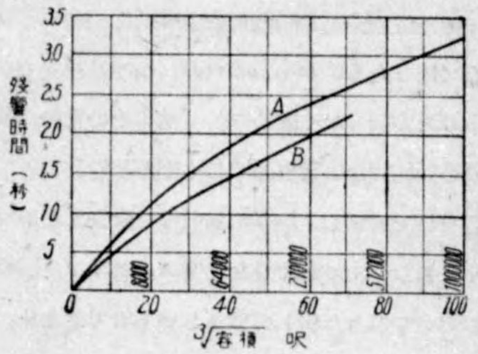
かく考へ來るときは少くともスタジオにおいては，（音の强いことは餘り必要でない故）殘響が少いほど明瞭度は高く，好都合のやうであるが，實際放送の場合においては餘りに殘響が少ければ平常聞き慣れて居る side tone が非常に弱くなり放送に馴れない人達はその演奏狀態を亂し勝ちで，必要以上に强く演奏したり，或ひはマイクロホンに向つて，叫聲に近い程の大聲を發するやうな結果となり勝ちで面白くない。殊に音樂の放送においては，再生音は平面的な硬い感じのものとなり，耳に面白く響かない。我我が普通直接耳で聞く音，卽ち所謂自然音は概ね多少の殘響を伴つて居るもので，我我は日常殘響を不可避の現象として，これとともに生活し，特に音樂の如きは，敎會や音樂堂の如く，殘響のある場所に適合するやうに發達して來てゐる。出來るだけ自然音に近い狀態を，電氣的に再現しようとするラジオにおいては，各樂器を聽き分けることの他に，これらを味ふ上に所謂生氣とか，味はひとか，或は艶とか深味等と稱せられるものも要求されてをり，

更にまた皮相的には，明瞭度が總てであると思はれるやうな講演等においてすらも，場合によつてはある程度の殘響がなければ，我我の感情に及ぼす迫力に對しある物足りなさが感ぜられるもので，これに對しても多少の殘響感が要求されて居る位である。

從つてスタジオに對してはそれぞれその使用の目的により，最も適當な殘響時間，卽ち所謂最適殘響時間が存在する筈である。

卽ちここに「適當なる殘響時間」といふ問題が起つて來る。適當なる殘響時間は放送の場合には，主に演藝種目とその演藝のスケールに依つて異なるものである。劇場，公會堂等では室の隅隅まで充分に音を傳達せしめ，且つ相當の音量を必要とする關係上，容積が大になるに隨つて殘響を增加し，それに依つて室內の平均の音の强度を增大せしめるといふ重要なる役目を有して居るが，スタジオの場合には，この增響は左程の意味を有してゐない。

一般聽衆堂においては，吾吾は耳によつて直接音を聽くが，放送においてはマイクロホンを用ひて收音する。



第 15 圖

謂ふ迄もなくマイクロホンには，耳の示す如き注意の集注に基く特殊選擇性や兩耳作用による指向性が無く（特殊のものはこれを除く），室內に擴散された種種の方向より來る所謂間接音を，そのあるがままに感じ，また高聲器（或は受話器）にてこれを再生するときは，直接音と間接音とは同じ方向から到來し，且つその上聽取室の殘響までもこれに加はることとなる。從つて放送においては普通の聽衆堂の場合におけるよりも殘響感は强くなる。また直接聽取の場合と異なり，目の働きを伴はぬ故高聲器よりの音は大きくし勝ちで，殘

響のレベルも高くなる傾向があり，直接聽取のとき感じなかつた殘響まで，耳に感ずるやうになることも，また殘響感增加の理由と考へられる。

これらの理由により，スタジオの最適殘響時間は，聽衆堂のそれに比し幾分少く定むるのが通例である。

第15圖はその間の關係を示すもので，Aは聽衆滿員の音樂堂に對する Watson 氏の曲線で，Bは演奏者の居る音樂用スタジオに對し，BBC の技術部で適當と認めた曲線である。第3表は兩者の比較を示すものである。

第　3　表

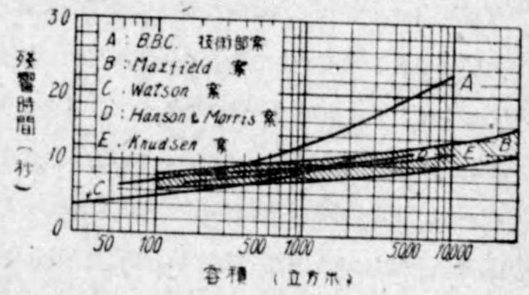
スタジオ容積（立方呎）	音樂堂における最適殘響時間(秒)	音樂用スタジオにおける最適殘響時間(秒)
,000	0.75	0.50
8,000	1.20	0.75
15,000	1.40	1.00
64,000	1.90	1.50
125,000	2.20	1.75

一體放送事業創始時代には，普通の室例へば漆喰塗の室等をそのままスタジオとして用ひたものが多かつたが，かやうな室で演奏すると，再生音に殘響の多過ぎることが間もなく認められ，殊にその當時は放送技術並に使用機器の幼稚なりしため，明瞭なる聽取甚だしく困難なりしを以て，壁，天井，床の全面を强力な吸音材料で處理し，極端に反射音を除去したデッド（dead）なスタジオが作られるやうになつた。かやうな無響スタジオは，演奏者側からいつても，また聽取者側からいつても，決して望ましいものではなく，その後放送技術の全般的進歩とともに，音質に關する問題が段段と重視せられて來た結果，スタジオの殘響時間も漸次增大の傾向を見せ，床にコルク，フェルト或は絨氈等を敷き，壁，天井をフェルト及びクロース類で處理し，これを開閉してその殘響時間を加減し得る如きスタジオ等が現はれて來た。然しかかる方法では，比較的大きい音樂用スタジオ等で，尙ほ殘響時間の短か過ぎる嫌ひがあり，更にクロースの類は吸音特性上，

一般に低音部に比し，高音部の吸音力大なる結果，所謂バス效果を生じ易い傾きがあつた。近來マイクロホンその他放送機器，並にその運用に關する著しい技術的進歩に伴ひ，スタジオの殘響時間も一層增大され，殊に演奏者の位置する場所に，充分良好なる演奏環境を形成することが考慮されて來た結果，今日では音樂用スタジオの殘響時間等は相當に長くなり，一般聽衆堂のそれに段段接近して來て居る。

音に附與すべき最適の殘響時間は，報道，講演，音樂，劇等，放送番組の種類によつて更に嚴密にいへば，その內容或は使用する樂器の種類，數等によつても相當の範圍に變るものである。

第16圖は洋樂演奏の場合における適當な殘響時間を示す曲線である。圖は殘響が容積に隨つて稍稍增大してゐるが，容積の增大とともに演奏のスケールも增大することも考へなければならない。この曲線は洋樂に關してのものであるが，我國獨特の演藝に關して，適當なる殘響時間の問題を論じてゐる資料は極めて少ない。邦樂演藝は，洋樂とはかなりに趣きを異にしてゐるものであるから，洋樂に關するもの或は外國の演藝に關するものの例を，そのままに取ることは難點がある。その樣式の異る點は，



第 16 圖　スタジオの容積と最適殘響時間との關係

（1）　洋樂の樣に100人以上もの多人數にて形成される如きものは殆どない。

（2）　樂器のみで演奏されるものよりも，音聲と樂器とが組合されたものの方が數において頗る多い。例へば長唄，淸元，常磐津，新內及び義太夫等その他音聲と樂器との組合はされるものが多く，樂器のみの合奏或は獨奏は比較的少ない。

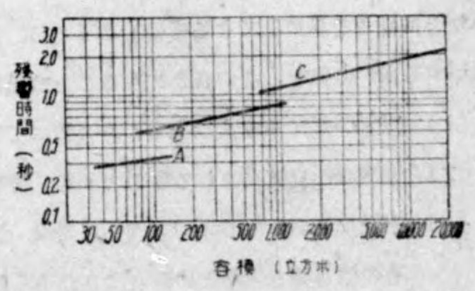
これ等の事實から考へると，先づ容積に關しては聽衆を室內に入れない限りは

演奏者の數から見て，スタジオは洋樂の場合のやうに，非常に大きい容積を必要とすることは殆どない。次に音聲の明瞭度を必要とすることが多いといふことが考へられる。而して音聲はマイクロホンで收音する場合は，殘響が少ないほど明瞭になつて來ることは，既に述べた通りで實驗上確められてをる所である（劇場の如きものでは，稍稍遠い座席にまで明瞭に傳へる必要があるために，相當の音の强さを持たせねばならないから，必ずしもこの事實とは一致しない）。

以上の事柄から，邦樂に對する適當なる殘響時間は，洋樂のものに比して，幾分短く取るべきであらうといふことが，音聲に對する他の實驗の結果から考へられる。

次に講演，講座及びアナウンス等の如く，音聲のみに使用するスタジオに就いての殘響問題であるが，これ等に就いて音響的に考へなければならないことは，第一に明瞭であるべきことである。殘響が減少して來るに從つて，明瞭度が增して來ることは，前にも述べた通りであつて，場合によつてはスタジオの殘響は殆ど減殺してしまつても差支へはない。明瞭度以外にその人の聲の特徵を失つてはならないが，その特徵も殘響が減少するに從つて，判然として來るものである。

然し實際上甚しい吸音は，講演者自身に重苦しい感じを與へるし，また一方經濟的見地からも，許さるべき殘響以內で設計するのが普通であつて，その程度は殘響時間にして0.2秒乃至0.4秒位である。殘響時間が0.4秒を超過しては，明かに殘響過多が感ぜられ，また明瞭度も低下して來るものである（第17圖參照）。（殘響時間は512c/sを基準として述べてある）



A：アナウンス系　B：邦樂の如きもの　C：洋樂系

第17圖　演奏種目と最適殘響時間

かく放送內容により，それぞ

第4表　スタジオの殘響時間（1）

放送會館	スタジオ	容積（m³）	殘響時間（秒）	主用途
東京放送會館	1	3,535.9	1.7	管絃樂，ドラマ，合唱
	1 A	19.7	0.12	アナウンス
	2	729.8	1.1	和洋樂，ドラマ，物語
	2 A	16.7	0.12	アナウンス
	3	368.0	0.8	和洋樂
	4	535.0	0.7	和洋樂
	5	336.5	0.6	和洋樂
	6	282.0	0.6	和洋樂
	7	126.2	0.5	和樂
	8	194.0	0.35	講話，座談會
	9	105.1	0.3	講演
	10	62.8	0.25	講演
	11	60.0	0.23	講演
	12	50.0	0.2	經濟市況
	13	44.9	0.25	ニュース，メモ
	豫備	63.0	0.2	打合
	レコード	33.8	0.17	レコード演奏，解說
	擬音研究	66.9	0.25	擬音
大阪放送會館	1	4,320.3	1.5	大規模の洋樂，ドラマ
	2	632.7	1.2	洋樂，合唱，ドラマ
	3	287.0	0.75	劇，大規模の和樂，唱歌
	4	218	1.05	小規模の管絃樂，獨奏，和樂
	5	112	0.7	和樂，俚謠
	6	86.5	0.7	小規模の和樂
	7	100.0	0.48	室內樂，器樂獨奏
	8	112.0	0.4	特別講演，座談會
	9	95.0	0.25	講演，講座
	10	63.2	0.28	講演，講座
	11	44.5	0.25	ニュース，氣象
	12	45.5	0.25	經濟市況，物價
	13	44.0	0.33	豫備

第4表　スタジオの殘響時間（2）

放送會館	スタジオ	容積（m³）	殘響時間（秒）	用途
B・B・Cロンドン	コンサートホール	3,539.4	1.75	管絃樂，吹奏樂
	BA	854.9	1.1	ボードビル，輕音樂
	8A	755.0	1.1	小管絃樂，室內樂
	6A	283.0	0.85	ドラマ
	3A	283.0	0.85	ダンス・バンド，子供の時間
	BB	283.0	0.6	ダンス・バンド，室內樂
	6D	235.0	デッド	效果
	3E	198.0	0.8	宗教放送
	6B，7B	91.0	0.6	臺詞，ピアノ
	6C，7C	91.0	デッド	臺詞
	8B	59.4	0.45	座談會
	7A	42.5	デッド	臺詞
	3B	42.5	0.35	講演
	3C	42.5	デッド	講演
	3D	42.5	0.35	講演
	7D	39.7	——	效果
	6E，7E	25.4	處理せず	ロード效果
	4A，4B	19.0	デッド	ニュース
ブダペスト	大	1,400.0	0.5—4.0	管絃樂，オペラ，芝居
ベルリン	Ⅱ	2,110.0	1.2—1.6	管絃樂
ローマ	Ⅰ	4,077.0	1.4	オペラ
	Ⅱ	2,960.0	1.8	管絃樂
チューリッヒ	大	2,587.0	1.3—1.5	管絃樂，合唱，ドラマ
	中	342.7	1.1	ドラマ，室內樂
	小	56.3	0.7	講演，報道
ケニーベルグ	Ⅰ	2,705.4	1.35	管絃樂，
	Ⅱ	913.2	1.3	室內樂，ドラマ
	座談會	123.7	0.7	座談會
	講演	42.9	0.25	講演

れの要求するところが異なる故，殘響時間を異にした種々の容積のスタジオを多數に設けるか，或は放送さるべき音樂の型式に應じて，任意に殘響時間を調節し得る特殊の裝置をスタジオ內に設備することが望ましい。

周知の如く吸音係數 a，表面積 S（平方米），容積 V（立方米）なる室の殘響時間 t（秒）は次の式によつて與へられる。卽ち，

$$t=\frac{0.161\,V}{-S\log_e(1-a)}\qquad\text{(Eyring)}$$

或は

$$t=\frac{0.161\,V}{4m\,V-S\log_e(1-a)}\qquad\text{(Knudsen)}$$

但し Knudsen 氏の式中，m は空氣の粘性によるエネルギーの消耗を考慮に入れた修正項で 20°C の空氣では 3,00c/s の音に對し 0.0002 位の値である。

依つて與へられたる室の殘響時間を所要値ならしむるためには，吸音係數 a の適當な値を持つた材料を選擇使用すればよいが，實際には，次に述べる殘響の周波數特性の問題もあり，多數の材料が組合せて使用される。

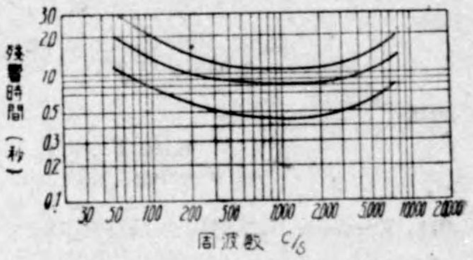
各國のスタジオにおける殘響時間の實例を表記すると第4表の如くである。

第5節　ラジオの適當なる吸音特性

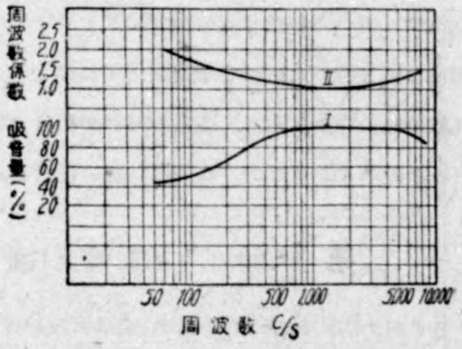
スタジオ內における音の音色，或は音質の保存もまた大切である。音聲や樂器の特質は，その發する音波を構成する基音及び倍音によつて定まるが，音がマイクロホンに收音されるまでにおけるそれらの相對關係の變化を，出來得る限り小さくしなくてはならない。このためには共鳴の現象の他に，種種の周波數の音に對するスタジオの吸音特性が問題となる。卽ちスタジオにおいてその殘響時間が適當であると同時に，その殘響特性がまた良好なものでなければ musical brilliancy が失はれるものである。吸音材料の一般的性質として，低周波數で吸音率が小で高周波數でそれが增大して來るが，このままの性質をスタジオに採用すれば，高周波

音部のみが速く減衰し，低周波音部が優勢となり，加へて耳の遮蔽作用が働くため，所謂 boomy な感じを與へるやうなものとなる。而してこの boomy な感じを救ふ一手段として，マイクロホン或は增幅器の低周波數部の出力を，故意に低下せしめること等が行はれて居るが，要するに頗る消極的な方法であり，やむを得ず採用してをる手段であるともいへる。室の殘響特性の缺陷は，やはり室自體で補整しなければならない。

その場合に如何なる殘響の周波數特性が，音響的に最も良い效果を擧げ得るかを知つておく必要がある。第18圖(A)は望ましき殘響周波數特性の概略を示すもので，この問題については Knudsen, Macnair, Wente, Gloyer, Lifshitz その他の人人の研究があり，理論的にも經驗的にも種種に論議されてをる。それらに依れば總べての振動數に對し，その感覺レベル（sensation level）が時間に對し同一の割合で減衰せねばならぬとするもの，總べての純音の大いさ[3]が時間の經過に從ひ同一の割合で減衰すべきであると述ぶるもの，或は單に色



第 18 圖（A）　望ましき殘響特性の概略



第 18 圖（B）　曲線 I 總べての周波數の純音が同一の割合で減衰するための吸音量と周波數との關係（Macnair）
曲線 II 殘響時間と周波數の最適關係（NBC 技術部）

（3）Kingsbury氏の實驗結果によれば，純音の場合における感覺レベルと，感覺上の強さ卽ち音の大いさと等しいのは，700 乃至 4,000c/s の間に限られ，その他の周波數においてはこの兩者は等しくない。

色の人人の擧げた最適條件の中間値を採るもの，經驗的に一種の最適殘響周波數型を與ふるもの等種種であるが，結局として，大體同一の傾向（卽ち類似形狀の曲線）に歸して居る。第18圖（B）の（I）は Macnair 氏による室の吸音量（%）と周波數の關係，同じく（II）は NBC 技術部で經驗的に求めた殘響時間と周波數の最適關係を示す。尙ほ BBC 技術部では，スタジオが大きくなるほど殘響時間の周波數關係は，理想的なものよりの隔りが，段段問題でなくなると述べてゐる。

要するに第18圖の曲線に依つても明かなる如く，殘響時間の周波數特性は，必ずしも水平曲線が良いわけではないことがわかる。これは耳の可聽限界の曲線に關係を持つもので，結局人間の耳の感度の低い低音域及び高音域の兩部分で上つてをり，耳の感度の一番良い中間部分で，低くなつてゐるやうな形を授るものが望ましいことになるが，合理的でもあり，また實際上結果からもその良好なこと

第　5　表

吸音材料	1,000c/s に對する吸音係數	使用個所
ミネラルウール	0.61	各演奏室，壁，天井下地
朝日調音スレート（ロックウール裏張）	0.47	第一，第三，第四，第六，第九，第十二，第十三スタジオ仕上
多孔アルマイト ブロック（ミネラルウール裏張）	0.40	第十スタジオ，擬音研究室壁仕上
プラトン	0.40	各スタジオ，壁，天井下地，第一第五，第六スオタジ天井仕上
プラトン調音スレート	0.22	オルガン室，第六スタジオ壁，天井仕上
プラトン スレート	0.165	第一，第二，第四，第五スタジオ壁，天井下地
ラバリウム	0.051	第一，第六スタヂオ，擬音研究室床仕上
桐ベニヤ板	0.042	第二，第四スタジオ天井仕上
ベニヤ板	0.042	各スタジオ壁，天井下地
コルク	0.039	各スタジオ床下地
ラスモザイック	0.03	第一，第三 壁仕上
椽甲板(檜)	0.03	各スタジオ床下地

が認められて居る。

依つてスタジオ内面に，吸音材料を適當に配置し（原則として音源側をライブにしマイクロホン側をデツドに作る），その殘響時間を調節する場合，使用すべき材料を吟味し，その吸音性が殘響時間を最適値及び所要周波數特性に一致せしめることが最も肝要である。しかし實際には唯一種の吸音材料で，所要の目的を達し得ることは殆ど皆無なる故，各種の材料の周波數特性を考慮に取り，適當にこれらを組合せ目的の達成を計る必要がある。次に一例として東京放送會館に使用された吸音材料の吸音係數及び使用個所を擧げてみると第5表の如くである。

第6節　スタジオの容積と演奏者の制限

スタジオにおいては收音上の制限，演奏上の便宜及び再生音の空間效果の點より，その大いさと許容樂器數との間に，ほぼ一定の關係が保たるべきことが知られてをる。

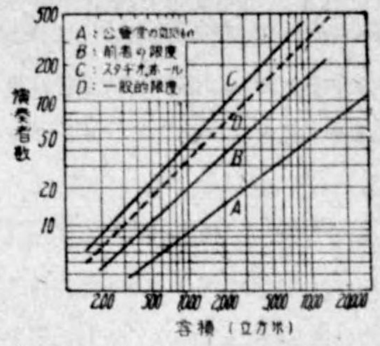
收音に當つては，マイクロホンに對する演奏者の配置の他，音量に就いても考へなくてはならない。卽ち各樂器の音が，互にバランスしてをる上，全體として適當な音量でなくてはならない。室の容積に對して多過ぎる演奏者を容れるときは，マイクロホンに過負荷を來たしたり，指揮者や各演奏者に非常な困難を感ぜしめたりする虞れがある。

第　6　表

實際の樂器數	試驗者によつて判斷された樂器數
9	15～17
11	15～20
20	20～25
40	25～30

第19圖を基礎として，17人にて組成されたるオーケストラに適合するやうに作られたスタジオにての試驗結果

またスタジオ内における演奏者の人數が增加した場合には，その增加した感じが充分に音響的に表現されなければならない。そのためには室が充分大きくなければならないのであつて，米國における實驗であるが，有名な音樂家或はその道の經驗者等に依つてなされた第6表のやうな興味ある結果が報告されて居る。卽ち或限度までは樂器の數の增加は，その感じと稍稍比例するが，その限度を超過した場合は，甚しく效果が減殺されるものであることが判る。第19圖は前記の事項及び現在良好と思はれて居るスタジオ，ホール等の實際の狀態より，經驗的に定められた人數と容積との關係である。



第19圖　人數の制限

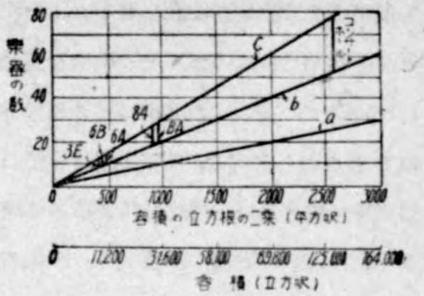
圖中Aは一般聽衆堂の容積と，これに適合する最小限度の演奏者數との關係を示すもので，Bは經驗上最適と考へられる理想的關係を示す。Cは與へられたる演奏者數に對するスタジオの容積の最少限度を示すもので，Dは與へられた演奏者に對し，音質及び經濟上の實際問題を考慮に入れたスタジオの大いさの限度を示すものである。また Watson 氏は，室内に加へ得る音のエネルギーは，同じ音響狀態においた室においては，その全表面積に比例するものと考へ，聽衆堂に對しその容積の立方根と許容樂器の數の關係を與へて居り，これに對しBBC關係の

第　7　表

放送局	スタジオ	大いさ				適當な樂器數
		長さ(呎)	幅(呎)	高さ(呎)	容積(立方呎)	
ロンドン放送局	コンサートホール	106	42	31	138,012	50乃至80
	BA	44	36	19	30,096	20乃至30
	BB	29	18	19	9,918	9乃至12

人人は，今日の進歩したマイクロホンは可なりの負荷に耐へることが出來ること，及び演奏者や指揮者が音樂的修練の結果，一般聽衆より遙かに强い音に順應し得ること，スタジオの殘響は一般聽衆堂より短いこと等を考慮に入れ，スタジオにおいては，Watson 氏の與へた曲線の示す數に比し，その2倍乃至3倍の演奏者を許容し得るといつて居る。第20圖（A）はBBC關係の人人によつて

與へられた曲線を示すもので，これよりロンドン放送局における二三のスタジオの大いさに對し，適當な演奏者の數を求めて見ると，第7表の如くである。

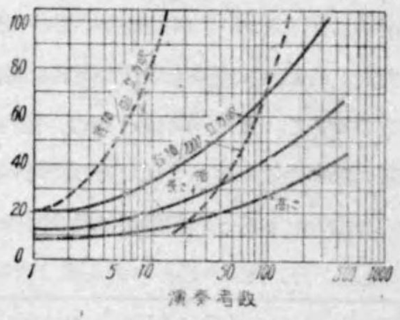


第 20 圖（A）

また NBC の Hanson 及び Morris 兩氏は，前述の如くスタジオの高さ，幅及び長さの比を 2:3:5 とした場合音響的に最も成績が良いといふ假定の下に出發し，更に許容演奏者數は床面積よりも，寧ろ容積に比例するといふ考へを基とし，實驗上の結果を適用し更に最小スタジオにおいても，高さは最小限度8呎を必要とするものとして次の如き式を得て居る。

$$h=5.8\sqrt[3]{N}+2.5$$

但し h は室の高さ，N は出演者の數である。第20圖（B）はこの關係を表はしたもので，大體この算式を基準として設計されたシカゴ放送局の二三のスタジオの大いさと樂器の數を求めて見ると，第8表の如くである。



第 20 圖（B）

第　8　表

放送局	スタジオ	大きさ 長さ(呎)	幅(呎)	高さ(呎)	容積(立方呎)	適當な樂器數
NBC シカゴ放送局	A	72	47	26	87,984	90乃至100
	B	45	31	21	29,295	30乃至40
	C	26	21	10	5,460	4乃至10

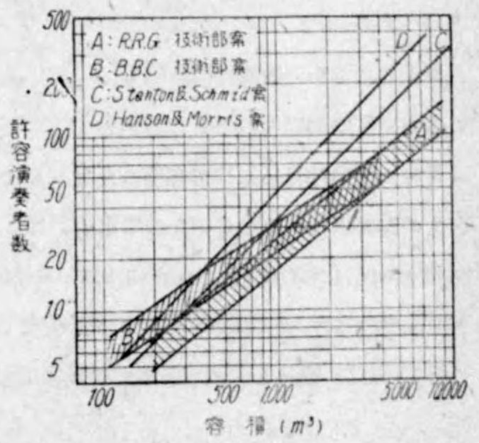
この他スタジオの大いさと許容演奏者數との關係に就いては，RRG 技術部，

Stanton 及び Schmid 兩氏の研究等がある。第21圖はこれを示す。尙ほローマ及びプラーグの兩放送局では大スタジオに對して，第9表の如く人員を豫定して居る。

第　9　表

放送局	スタジオ	大いさ 長さ(米)	幅(米)	高さ(米)	容積(立方米)	適當な樂器數
ローマ放送局	第二スタジオ	25.85	14.80	8.00	2,800	90乃至100 內譯オーケストラ20 合唱者 25 獨唱者 數名
プラーグ放送局	大スタジオ	23.96	12.00	12.00	3,456	最大 200 內譯オーケストラ80 合唱 120

要するに今日の所スタジオと樂器の數の關係を定めるデータは乏しいが，實際問題としては放送の規模も次第に大きくなる傾向にあり，またプログラムの都合によつては，往往相當多數の人員を容れねばならぬこともあり，或は演奏者の配置に對し收音上の注文もあり，更にまた將來特殊な放送を行ふやうになることも考へ得られる故，相當に廣い床面積が必要で，スタジオとしてはその大いさに充分の餘裕を見ておく必要がある。實際使用する場合には，豫め種種の大いさのものを建設しておき，放送種目，演奏者の數或は放送效果上の要求等を考慮し，適當せるものを選定使用出來れば便利であるが，中には佛蘭西ラジオパリ局または獨逸のハンブルグ放送局の如く，相當の大いさの



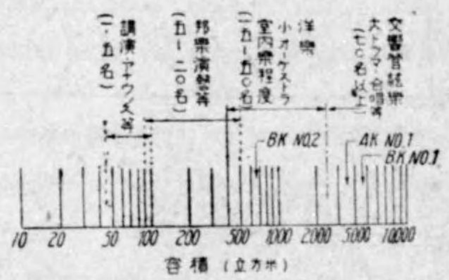
第 21 圖　スタジオの容積と許容演奏者數との關係

スタジオを用意しておき，適宜その容積を變化し得るやうにしたものもある。

第7節　スタジオと放送種目

前節においてスタジオの容積と許容演奏者數との關係について述べたが，これは同時に演奏種目に關聯のあることが，容易に想像されよう。

第22圖は演奏種目と室の大いさ及び適當なる人數に關して，その極く概略を示したものである。即ち講演，アナウンス等は大體デッド（dead）であれば良いと同時に，さほど大なる容積を必要とするものではない。然し大規模な演奏に對しては，適當にライブ（live）であることが必要であると同時に，容積も大なるものが要求される。



第22圖　放送種目とスタジオの大きさの概略

以上のことから最適殘響時間も，これと同樣の關聯性があることが考へられ，演奏種目に依つて容積の大なるものが要求されると同時に，殘響値も長いものが要求されるやうになつて來る。もし放送種目が類似のものであれば，第16圖の如く1本の連續した曲線を以て，その大體を律することが出來るが，種目が違ふ場合には，その種目に隨つて幾分變化しなければならぬことが考へられる。

第17圖は，種目と最適殘響値との關係の大略を示すものである。

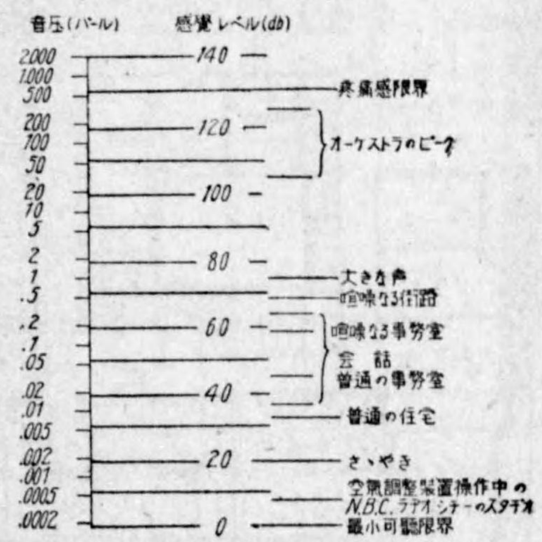
第8節　スタジオの遮音

スタジオの音響問題には，室内の音響狀態を良好ならしめること以外に，更に外部より侵入する騷音の防止，即ち遮音がまた重要な部門を占めてゐる。放送においては目的とする音以外の音響は，それが樂音であると噪音であるとを問はず，

總て皆これを騷音と考へて良いが，何等意思的選擇性を持たぬマイクロホンを用ひて收音するスタジオにおいては，僅かの騷音もあつてはならない。即ち遮音に對しては，出來得る限りの方法を講じ，萬全を期さなくてはならない。外部よりスタジオへ傳達される騷音としては，各種の市井騷音，演奏所建物内で起る種種の騷音（エレベーターその他機械類の運轉の音，煖房換氣等の設備のために起る音，扉の開閉音或は足音談笑の聲等），或は他のスタジオからの漏洩音等がある。

通例スタジオに許され得る騷音の限度は5乃至10 db とされて居り，遮音の程度としては，70 db 位あれば先づ大抵の騷音に對して充分であるといはれて居る。

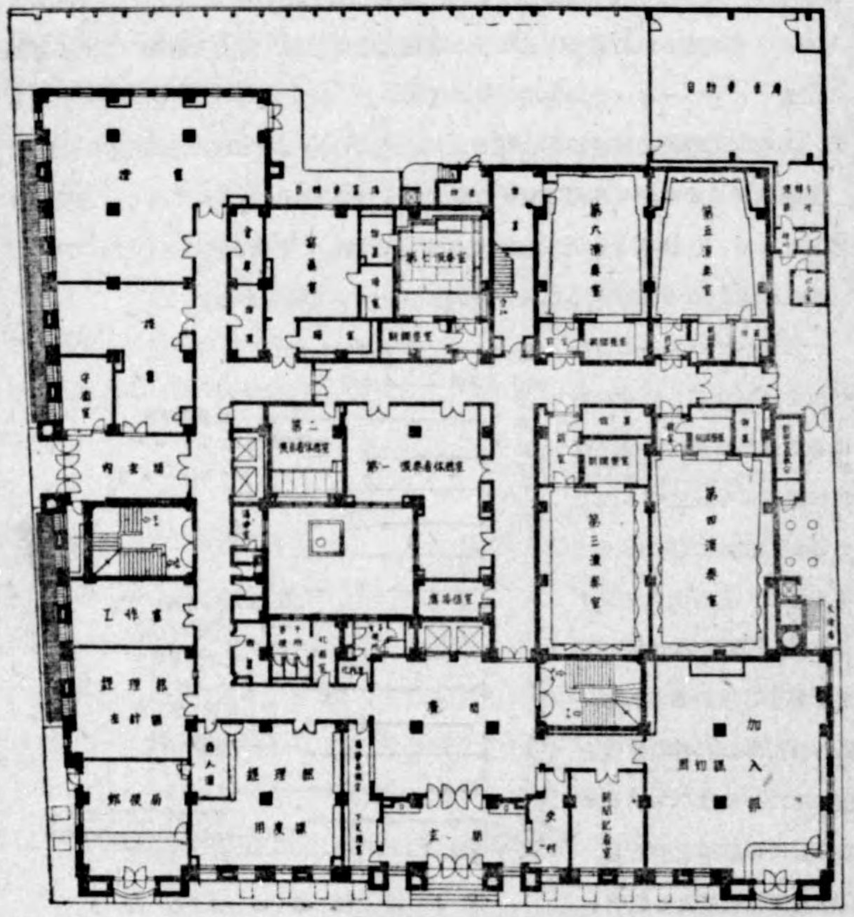
第23圖は db 單位に依る種種の音の强さを示すものである。



第23圖　種種の音の强さ

一般にスタジオ内の音響狀態を良好ならしめるために施される吸音材料は，同時に遮音にも役立つものであるが，勿論これのみでは不充分で，遮音上スタジオの位置，配置，構造等に考慮を要する點が多多ある。例へば市井の騷音の傳達を避けるためには，スタジオの外壁に事務所を廻らし，或は人工光線による照明を用ひたり，換氣裝置を使用したりして外方に向つた窓を避ける。これらのことは多くの放送局で實際に行はれて居るが，極端な例としては，ローマ放送局では8個のスタジオを地下に設けて，外音の傳達防止を計つてゐる。またスタジオ相互間に調整室，前室，防音廊下，中庭，書庫等の如き音響を發しないやうな室等を

挾むやうな配置をし，騒音傳達防止をはかつてをるものも少くない。第24圖はスタジオの配置の一例を示す。



第　24　圖

上述のやうな騒音のスタジオ内へ傳達される經路は，二つの形式に分類出來る。

（1）　空氣を媒質として，傳達される空中音（airborn sound）

（2）　建物自體を媒質として傳達される騒音（solid-born sound）

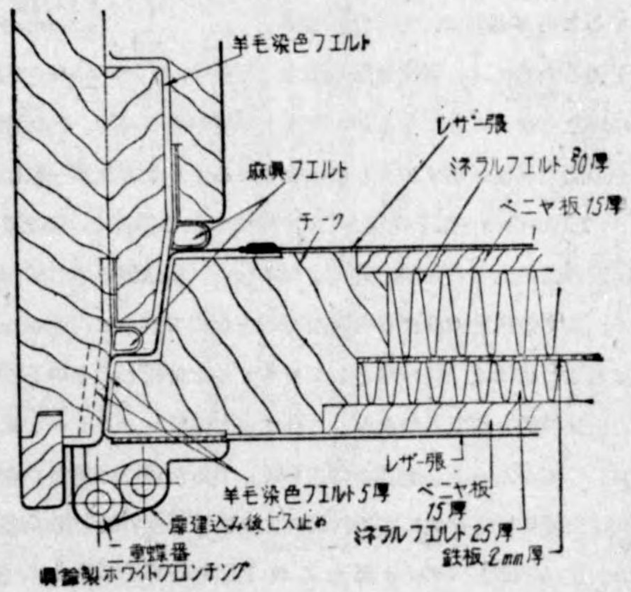
この兩者は，複雜に組合はされて建物内に傳はり擴がるもので，その經路の探索は容易な業ではないが，その遮音對策はこの二方面に分けて考究工夫されるべきである。（1）の空氣音は更にその傳達經路により次の3種に分れる。即ち，

（i）　窓，扉，配線管樋，換氣孔，壁體の小孔その他の開孔を通り抜け，自由空氣を通じて傳はるもの

（ii）　音波が壁面や床に衝突してこれを膜振動させ，他の側へ音を傳へるもの

（iii）　壁面或は床に投射される音波が壁體中の分子に振動を與へ，その固體内の疎密波として他の側に達し，再びそこに接する空氣は振動を與へて，空中音として進むもの

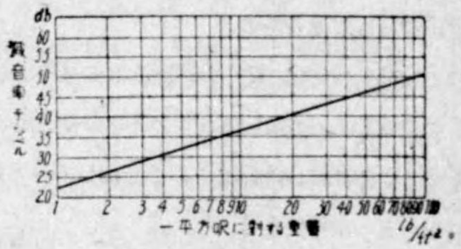
以上3種のうち，第一の經路を取るものが最も重要で，外部に通ずる間隙をなくすることは，遮音上極めて大切である。音の大きさはその强さの對數に比例し，また小孔を通過した音は，よく廻折して各方面へ擴がる故間隙をかなり小さくしても，その割に侵入音の大きさの減少の程度は少ない。扉，窓などの枠の接觸を緊密にせねばならぬ所以で，蝶番なども特殊の工夫が要る。第25圖は東京放送會館におけるスタジオ入口扉の構造を示す。第二の經路を取るものは



第 25 圖　東京放送會館におけるスタジオ入口扉構造圖

その傳達の機構上壁體の重量及び剛度に關係することは明らかで，この種の遮音には重く，且つ堅牢に造ることが必要である。なほこの場合，壁體の自己振動が音波の振動數と一致するときは共鳴を起し，傳達は最も活潑となるが，一般には壁體の振動は相當複雜である。第三の形で傳達する音は空氣と隔壁との密度，及び彈性の差が著しく大きいため餘り多くない。

實際に當つては，これら三作用は同時に複合して行はれるが，隔壁としては，同一材料ならば厚さの大なる程良く，また同じ厚さならば質量の大なる材料ほど遮音能力は大きい。第26圖は剛なる壁の重量と，減音率との關係を示すもので，單位面積當りの重量の對數値と減音率とが直線關係にあることがわかる。即ち遮音能力の點より見れば，隔壁の重量はなるべく大きくすることが必要で，充分な減音率を得るためには，過重な壁を造らねばならないことになるが，實用上限度があるので，その間に吸音材料を充塡し，その間で反覆反射するうちに吸收されるやうな方法が一般に用ひられて居る。



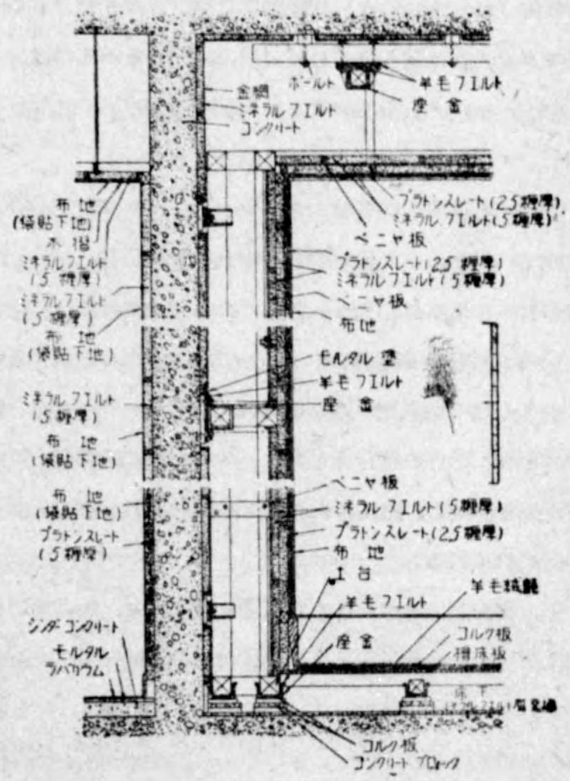
第26圖　剛なる壁の重量と減音率との關係

（2）の建物自體を媒質として，傳達される響音は，構造體に加へられる機械的衝擊の結果生ずる强制振動によつて起り，構造體を通じて殆ど減衰されることなく，遠くの室まで傳はり有害な雜音となつて空中に再生される。在來の煉瓦造或は石造の建物は，接合劑としてモルタルを使用し，その不連結性のために響音防止上比較的有利であつたが，これに反し鐵筋コンクリート或は鐵骨造りの建築は著しく不利である。響音の傳達を防止するためには建物の構造體を切離すか，または密度彈性等を異にする材料により響音傳達の路を絶てばよい。例へばベルリン放送局では，スタジオ部とこれを圍む外廓建築物とは，基礎から屋上に到るまで全く切離されてをり，兩壁の間の間隔は 7.5 糎で，ここに吸音材料が詰めて

ある。また壁體の立上り部とコンクリート基礎の間には，絶緣層を設け傍路交通によつて生ずる響音を防止して居る。

アメリカの放送局では，浮床式構造（floating construction）が用ひられてをり，スタジオの床，壁，天井ともに，スプリングその他の方法によつて，主要構造體から隔離されて居る。即ち適當な方法を講じて構造體の中に，更に絶緣された第三の構造體を造り，兩者の間の接觸を出來るだけ少くして，響音の防止を行つて居る。Hanson 氏の浮床式構造によれば，60 db 程度の減音率を得ることは容易で，各スタジオが同樣な方法で絶緣されれば，100 db 或はこれ以上の減音率が得られるといはれて居る。

東京放送會館においても，浮床式構造が採用されて居る。第27圖にその概略を示す。尙ほ各スタジオに附屬する調整室とスタジオの間には窓が取付けられるがそれらのガラスは二重或は三重のものが用ひられ，各各フェルト等で絶緣され，且つ共鳴による音の傳達を防ぐためそれぞれ異つた距離に異つた厚さのものが用ひられてゐる。



第27圖　スタジオ一部斷面

また演奏所内に設備された機械類の振動が前述の（2）の形式で傳へられ騒音の原因となることがあるが，これを防止するには，スプリング，鉛板，コルク板，フェルト等を用ひ，騒音の源たる機械類の基礎と構造體との間を絶縁する。またスタジオの人工的空氣調節裝置に伴ふ騒音も忽せには出來ない。これには通風管を通して，スタジオ内に送り込まれる送風裝置の騒音の他，通風管が一種の傳聲管となり，通風管によつて連結されて居る他の室の音が洩れて來ることがある。これを防ぐには換氣用のダクトはなるべく元の方から分岐し，各室共通の部分を少くする。また場合によつては，吹出し口に吸音材製の帽子をかぶせたり，或は空氣室（air chamber）消音器等を取附けたりなどすることもある。送風裝置よりスタジオ内に送り込まれる騒音の原因となるものは，

（i）　モーター及びフアンの回轉する音

（ii）　フアンが空氣に抵抗する音

（iii）　運動する空氣が，フアンのケース及び管を振動させて起す音

（iv）　管に沿つて空氣の走る場合の摩擦の音

等が考へられるが，これらを防ぐには送風機の設計を適當にし，容量の大きなものを低い速度で回轉するやうにして，機械自身の發する騒音を減じ，管の斷面積を大きくして空氣流の速さを弱め，或はモーターだけを防音的に包み，フアンケースと送風管との接合分をカンバスによつて絶縁し，更に管の途中の接合部にフエルトを挿入し，内面に吸音材を貼布し，且つ管の屈曲を多くしたりすること等が行はれて居る。

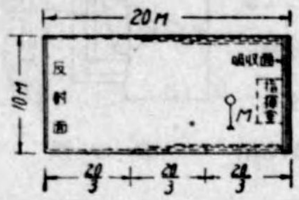
更にまた前に述べた如く空氣室を設けたり，消音器のやうなものを通したり，或は送風孔または排氣孔に，適當な帽子を被せることも行はれて居る。

第9節　スタジオの設備

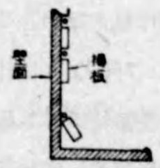
スタジオは，マイクロホンその他の放送設備の他，換氣，照明或は殘響調整等

に對し種種の設備を持つて居る。

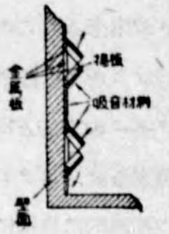
既に述べたやうに放送效果に及ぼす殘響感の影響は，極めて大切で，而かも場合場合によりそれぞれの要求が異なる故，これらの總てに應ずるためには，各種の音響特性と，大いさとを具へたスタジオを多數用意しておくのが理想であるが，



第28圖　ブダペスト放送局大スタジオ平面圖



第29圖



第30圖

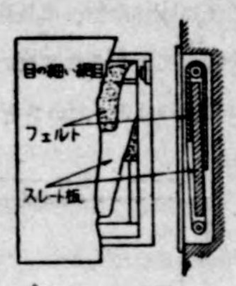
尙ほスタジオの殘響値を或程度まで調節し得るやうにすることも，また相當に便利である。

このため，從來最も多く用ひられた方法は，吸收幕を用ひる簡單なもので，これでは通常漆喰や板張りの壁，または天井の表面に吸收用カーテンを吊下げておき，その開閉により音に曝される反射性の壁面の面積を變へ，殘響の調整を行ふのである。この形式で比較的良く出來て居るものに，第28圖の如き例がある。この方法による場合には，幕の有する吸音周波數特性及び壁面と幕の間の距離等について，充分なる考慮が必要である。

また一面を反射性の物質で，その裏面を吸音性物質で造つた壁掛板を表裏掛け換へることによつて，殘響の調整を行つてゐるものもある。第29圖及び第30圖。更に第31圖に示す如く，三角形の斷面を有する柱の各面に，それぞれ吸音率の異つた物質を張りつけたものを多數並べたシヤツターを用ひ，各柱を外部より操作して，各各を適當な角度に回轉させることにより，所要の殘響調整を行ふ方法も考案されて居る。

第31圖

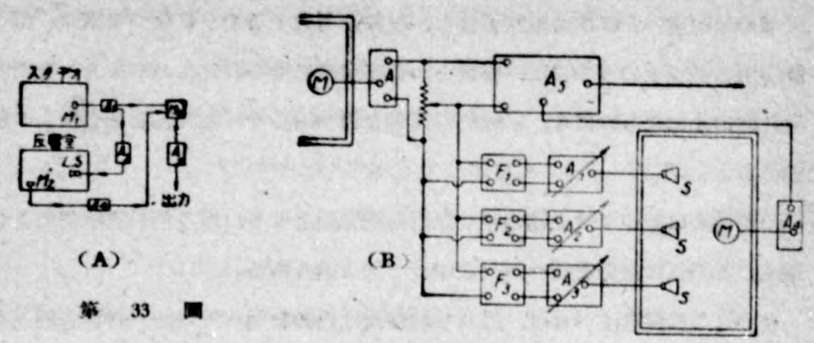
或はまた第32圖の如き方法もある。即ち壁に2個のローラーを設け，これに吸音性フェルトをベルト狀に掛けておく。このフェルトの奥の方は非吸音性の（例へばスレート板の如き）板となつて居る故，フェルトの移動により室内殘響が變化することが出來る。この構造の表面を細い網目で覆つておけば，フェルトの動きは目に見えない。この裝置は前のシヤツターの方法と同樣に，外部よりこれを操縱することが出來る故，スタジオの殘響特性を容易に，而かも迅速且つ連續的に自由に調整出來る特徴を有して居る。



第 32 圖

尙ほハンブルグ放送局における大スタジオ（27m×14m×10m）は音響處理上極めて特色あるもので，室内殘響時間が任意に調節出來るばかりでなく，更に精巧な機械裝置によつて容易にその容積をも增減するやうにしてある。即ちこのスタジオの兩側には，三層よりなる幅約2米半の音響用廊下がある。これはスタジオの主要部と細い柱で仕切られてゐるだけで，各層毎に約30糎張り出してをり，柱間には最下層の廊下では厚地のカーテン，上部廊下には垂直に上げ下げ出來る二重の板狀ブラインドが具へてある。このブラインドのうち一つは板張で他のものはフェルト張りである。このスタジオの一方は，合唱または獨唱に用ひる舞臺になつてをり，その直ぐ前にオーケストラピツトがある。舞臺の天井は木製で上げ下げ出來るばかりでなく，任意の角度に傾斜させることが出來る。またオーケストラピツトの床は，上下せしむることが出來，これによつてピツトを任意の深さにし，その共鳴の模樣を調節することが出來る。この舞臺の反對側に大きな移動壁があり，前の裝置同樣に水壓を動力としてこれを移動させ，室の大いさを任意に變化させることが出來，室内容積を全體の 2/5 までにすることが出來る。これらの諸設備を適當に加減し，音響狀態を調整し，その殘響を所要の値にして居る。

この他任意の殘響を附加するものに，反響室を使用する方法がある。これは第



第 33 圖

F_1 F_2 F_3 は濾波器で，それぞれ高音中間音及び低音用のものである

33圖に示す如く，電氣的及び音響的方法を組合せたもので，これに用ひられる反響室は壁，天井，床ともに煉瓦積または硬漆喰の如きもので剛に造り，且つその表面は滑かに仕上げた極めてライヴなものである。

この方法によれば，極めて容易に所要の殘響の周波數特性を與へることが出來，且つその殘響の程度を任意に加減し得る特徴を有するが，純音樂的見地よりこれを見るときは，適當な殘響時間を有するスタジオで收音したものに比し，その結果は劣つて居る。依つて總ての放送種目に亙つて，この方法を適用しようとすることは無理であるが，使用目的によつては充分な結果が得られ，その運用さへ誤らなければ，極めて興味ある方法である。

この方式は英國BBC放送局で，專ら用ひられてゐる。尙ほ殘響附加法としては，これと類似のものに音響管を使用せんとするものがあり，更にこの他電氣的遲延裝置を利用せんとするもの，或は錄音裝置を利用せんとするもの等も考案されて居る。

更にまた表裏吸音性の異なる衝立，または屏風やうのものを用ひて，部分的に音の反射或は吸收を計るものもある。

スタジオは，勿論音響的合理性を第一條件とすべきものであるが，更に進んで

環境の放送者へ及ぼす心理的影響も，段段と考慮するやうになつて來た。例へば講演用スタジオのうちには，書齋とか圖書室風に造られたものがあり，また宗教用放送室の如きものにも，宗教的雰圍氣を與へ得るやうな裝飾を施したものなどがある。

尙ほ場合によつては上述のやうな附加的裝飾よりも，寧ろ色彩的照明によつて環境の雰圍氣に氣分を副へ效果を擧げて居る例もある。

またここに留意すべきは，これら裝飾或は色彩を加へたため，音響處理上本來の效果を減殺しないやうにすることである。

次にスタジオは防音上厚い壁で取り圍まれ二重，或は三重の扉を有し，而も窓を取らないのが普通で，外部に對し氣密に遮斷されて居り，內部の表面は音響處理上，種種の吸音材料で被はれて居る。その結果スタジオは熱に對しても，同時に絕緣されることになる。それ故かやうな室內に，比較的多數の人人が長時間連續的に滯在する場合には，內部の空氣が汚染される他，人體より放散される熱量と水分及び人工照明等によつて生ずる熱量等のために，室內の溫度及び濕度が上昇し，且つ殆ど無風狀態であるため，極めて不健康で中に居る人人は，不快感に陷り勝である。それ故スタジオ內の空氣を快適に保つためには，適當な通風裝置を設けて，溫度濕度及び純粹度を適宜調節した空氣を，人工的に供給しなければならない。

スタジオの冷暖房は空氣調節裝置により，換氣に直接關連して行はれる場合が多い。例へば冬期においては戶外より取入れた空氣を加熱器で加熱し，これを噴霧器に導いて洗滌し，更に加熱して所要の溫度に調節してスタジオ內へ送り込む。また夏期には戶外から取入れた空氣を冷却器で冷却し，噴霧器を通して洗滌冷却し，更に必要ならば加熱器を用ひて溫度を調節し，これをスタジオへ送り込む。

スタジオにおける照明もまた演奏者の心理狀態に關係するもので，相當の明るさを必要とする。先に述べた如くスタジオには，直接外面に向つた窓を設けないのが普通で，また窓があつたにしても，放送中は窓を閉め切り，その上厚地のカーテンを掛ける故，天然光線のみによることは出來ない。從つて人工照明を必要とする。通例天井より照明を行ふのが普通であるが，場合によつては飾り窓を設け，恰もこれから天然光線が入射するかのやうな感じとして，照明してゐるものもある。なほ大きなスタジオでは，天井燈の他壁燈その他を設備し，室內の照度の均一を計ることも必要である。

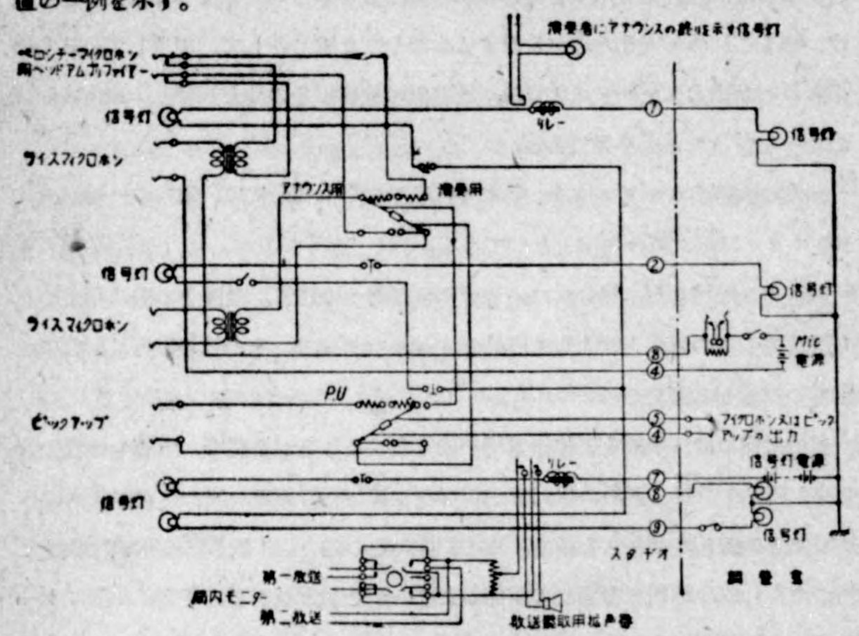
照度は大體200ルクス位で，特に局部照明を行ふ場合には，室內の一般照度は100ルクス位が大體の標準となつてゐる。

電燈用の配線を行ふ場合には，音聲電流回路への誘導，壁面その他の開孔により騷音導入等の原因とならぬやう注意すべきは勿論で，その他停電等に對しても相應の準備が必要である。

劇效果室には，水槽その他擬音用の設備をすることが必要で，床等も種種の音を出し得るやうに，各種の材料で張つておけば便利である。またスタジオ內にスタジオと遮音したブースを造り，ここで伴奏その他とは，別個に臺詞或は物語を行つたり，或は防音窓を通して擴聲器よりの音を聽きながら，スタジオ內のオーケストラを指揮することも便利で，實際大きなスタジオのうちにはかやうな設備のあるものもある。

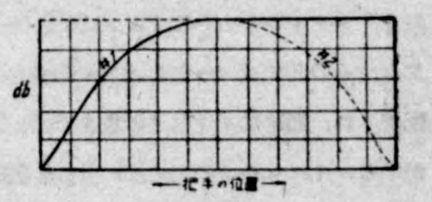
スタジオには適當な場所に，ソケツト或はジヤツクを裝備し，プラツグを用ひてマイクロホンを接續し，使用するやうになつてゐるものが多い。ジヤツク設置數は，スタジオの大小により，1乃至4〜5個或はそれ以上にも及ぶ。これらジヤツクはその凡て或は一部を並列に配線したものもあるが，多くはそれぞれ別個に配線され，同時にジヤツクの數までは，マイクロホンを使用することが出來る。かかるマイクロホンの出力は，これを調整室或は試聽室のミツクサーに導き，その各各を適宜調節し，平衡を取つた後マイクロホン用の增幅器へ送る。2個以上のマイクロホン設備を有する場合には，通常その中1個はアナウンス專用，その

他は全部演奏用のもので，マイクロホン切替裝置によりアナウンス用マイクロホン及び演奏用マイクロホン群の切替へを行ふ。第34圖はマイクロホン切替へ裝置の一例を示す。



第 34 圖　ペロシチーマイクロホン，ライスマイクロホン併用の場合におけるマイクロホンの切替裝置

切替に當つて，その狀態が唐突に變化するときは，聽いてゐて不愉快なものである。依て切替の際における抵抗の値の變化はこれを適當に選ぶことが必要で，場合によつては移り變りにおける音量の變化が第35圖に示すやうな形を取るやうに設計したものもある。



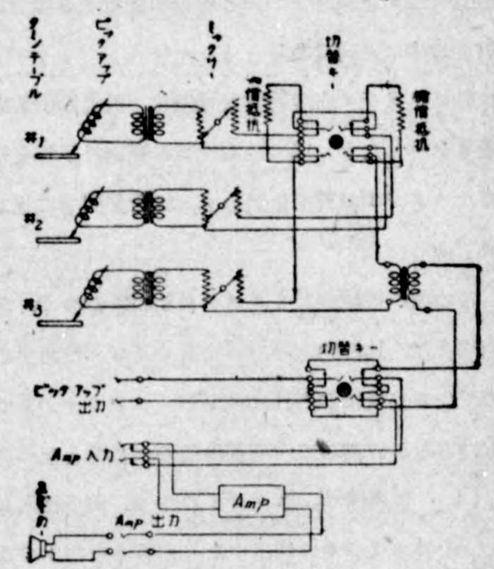
第 35 圖

尙ほ切替へにおける摺動接點は，雜音發生の原因となり易い故，その設計並に工作には充分な注意が必要である。これらマイクロホン切替裝置（フェーデ

イングユニツトともいふ）はスタヂオ內に設備され，アナウンサーによつて操作されるのが普通で，特にアナウンス室の設けてある場合には，アナウンス室にてマイクロホンの切換を行ふ。

マイクロホンの出力はその操作樣式により，直接調整室に行くものと，試聽室，アナウンス室を經て調整室に行くやうにしたものとある。

マイクロホンには既に述べたやうに種種の種類のものがあり，それぞれ目的に應じて使用されてゐる。次にスタヂオにはレコードに據る音樂放送，レコードによる劇效果，或は物語伴奏等のため，或は更に所謂錄音放送に備へて錄音再生裝置，即ち蓄音機設備を有するものが多い。この場合二面以上のレコードを連續的に再生したり，或は劇效果におけるやうに同時に2種，3種のものを重ねて再生したりするためには，少くとも2連或は3連以上の再生設備が必要で，6連の裝置を有するものさへある。第36圖は3連錄音再生裝置の一例を示す。



第 36 圖

再生裝置は，通常回轉盤，ピツクアツプ，ミツクサー增幅器及び擴聲器よりなるものが普通で，場合によつては更に音量指示裝置を有するものもある。これらは勿論，直接放送系の一部を構成するもので，その特性の優秀なるべきはいふまでもない。物語の伴奏とか，劇效果等の場合には，擴聲器を通して再生し，マイクロホンにて收音するのが普通で，音樂の放送或はその他

の各種の錄音放送における如く，特に音質を問はれる種類のものでは，ピツクアツプより直接切換へ裝置，或は調整室または試聽室のミツクサー等へ行き更に放送用增幅器へ導かれる。

スタジオ或はアナウンス室内に放送聽取設備を設けておくことも，何かと便利である。但しその室内にて放送中，これを使用するときはシンギングを起す虞れがある故，信號裝置またはマイクロホン切換裝置の動作と，關連させておく必要がある(第34圖參照)。

またスタジオと調整室，或は操縱室の間に豫備幹線を設けておけば，2個以上のスタジオを同時に，同じ種目に使用する場合，或は多元放送，その他各種放送打合せ等に便利である。

特にスタジオ内の適當な場所に，音量指示裝置や，時計裝置を設け，演奏者に音量を示したり，或は放送時間の經過終了等を知らせるやうにしたものもある。またスタジオの運用を誤らず，放送を圓滑に運ぶためには，各種の信號裝置が必要である。

この種の信號裝置も，スタジオの數が少く，取扱ふ放送が餘り複雜なものでない場合は，比較的簡單で「用意」及び「始め」の信號で間に合ひ，例へば青と赤の二色の信號燈があれば良いが，スタジオの數が多くなり，取扱ふ放送が複雜なものとなるに從つて，種種の信號が必要となつて來る。例へば

(1)　使用指示。スタジオの外部，例へば入口のところなどに信號燈を設け，そのスタジオの使用中なりや否やを明示するもので，スタジオの運用を司る係によつて點滅される。この信號燈は練習中であらうと，放送中であらうと，單に使用中なることを示すものである。

(2)「放送」及び「練習」の指示。スタジオの内外に設けられ，そのスタジオの放送中なりや，練習中なりやを示すもので，調整室のものと同時に點滅するもので，技術の係員によつて操作される。

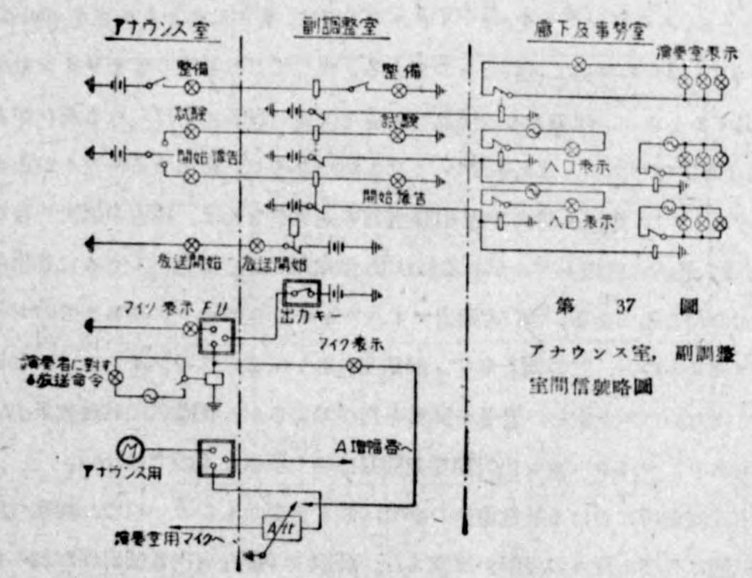
(3)「用意」「開始」「中止」。實際放送を行ふ場合に，その「用意」「始め」或は「休み」「終り」等の合圖に使用するもの。

(4)　動作マイクロホンの表示。アンナウンスマイクロホンと，演奏用マイクロホンの切替へを調整係に指示するもの，或は多數のマイクロホンを使用する場合，そのとき放送系に完全に接續されてゐる。所謂「生きて居る」マイクロホンを指示するもの。

等種々のものがある。

尙ほ場合によつては，スタヂオと調整室の間の連絡に通話設備，或はテロートグラフを設備することも考へられてゐる。これら信號裝置は，放送その他に對し確實な操作をなし，各種の間違を豫め防ぐ上に極めて重要なものである。

第37圖は東京放送會館におけるアナウンス室，副調整室間の信號回路を示す。



第　37　圖

アナウンス室，副調整室間信號略圖

第3章　調整装置

第1節　概　説

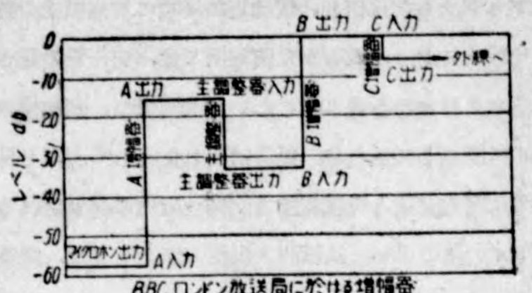
マイクロホンよりの出力は，極めて微弱でそのままのレベルでは，これをラインに送り出すことは出來ない。

調整室にはミツクサー，増幅器，減衰器その他の設備があり，マイクロホン出力を所要のレベルまで増幅すると同時に，適宜これを調整し操縦盤その他の裝置を經て，放送所或は他の放送局等の關係各方面へそれぞれ送出する。

上に述べたやうにマイクロホンより得られる出力は，相當に低く，比較的大きな出力を有する炭素マイクロホンでも，−60 db 乃至−40 db 位で，ベロシチーマイクロホンとか，ムービングコイル・マイクロホンでは，更にこれより小さく−80 db 乃至 −60 db 程度の極めて微弱なものである。從つてこれをそのままラインを通して送出するときは，他線よりの漏話や誘導その他の雜音に妨げられる處れがあり，完全な傳送を行ふことは出來ない。また反對にラインへ送出するレベルがあまり高過ぎるときは，他線へ漏れる他，關係機器の過負荷を招き，障害の原因となる故，自ら或る最適な送出レベルがあるわけで，演奏所における送出レベルは0db前後に選ぶのが普通である。第38圖はマイクロホンよりラインに至るまでのレベルダイヤグラムの一，二の例を示す。調整室においては，このラインレベルを對照として出力レベルを定め，音量の調整を行つてゐるが，實際には放送效果上の要求等もあり，マイクロホン出力調整の問題はさう簡單なものではない。

調整室は演奏所における放送機構の中で，最も重要なものの一つで，調整，混合及び試聽に必要な種々の機器が設備され，聽取上必要な室内音響處理が加へられてゐるが，その設備の程度内容は演奏所の放送網における位置，規模の大小，或はその取扱ふ放送系の數等によつて色々である。例へば演奏所と放送所の役目

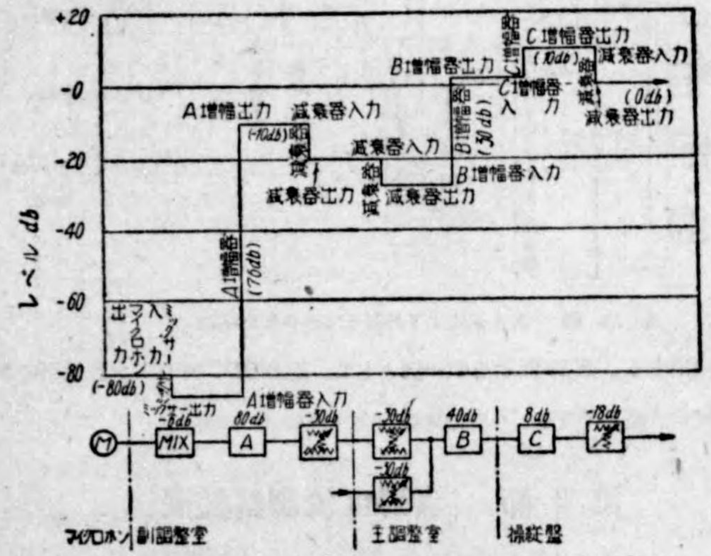
を同時に務めてゐるやうな，極めて小規模なものは別としても取扱つてゐる放送系がただ一つで，スタジオの數も2個乃至3個の程度を超えずしかも放送網中央部よりのプログラムの入中繼を主としてゐるやうな演奏所と，多數のスタジオを擁し，種種の演奏を取扱ひ，自局の放送所以外に更に内外多數の放送局に向つて，



BBC ロンドン放送局に於ける増幅器のレベル ダイヤグラム.

BBCロンドン放送局における増幅器のレベルダイヤグラム
零レベル＝10ミリワット＝600オーム純抵抗端子間電壓 2.45 ボルト
炭素マイクロホン及びコンデンサーマイクロホン附屬增幅器よりの出力は共に等しく −58 db である。

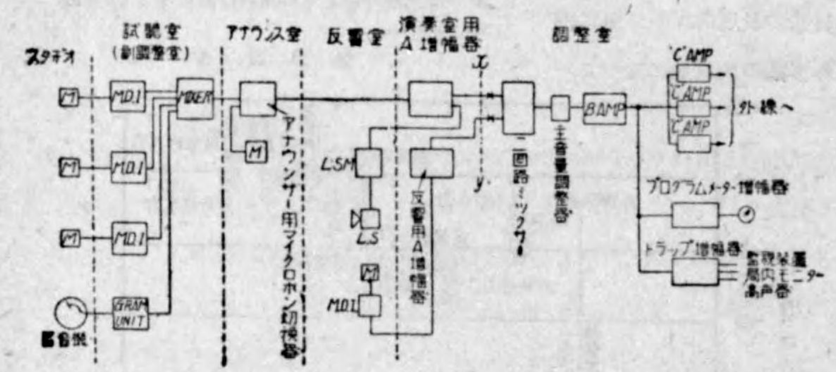
第 38 圖（A）



第 38 圖（B）東京放送會館におけるレベルダイヤグラム
零レベル＝1ミリワット

プログラムを送出し，或は更に同時に二つ以上の放送系を取扱つてゐるやうな，比較的スケールの大きな演奏所では，自らその趣が異なる。

スタジオのあまり多くない演奏所では，調整室は調整に便利なやうに，スタジオに隣接して造られ，係員は覗窓を通して演奏を見ながら調整する。場合によつては調整装置と操縦装置とが同一室内に設備されることもある。これに反しスタジオの數の多い，比較的大規模の演奏所では，調整装置は主副兩調整室に二分される場合が多い。このとき副調整室は，それぞれ所屬のスタジオに隣接して造られ，主にマイクロホンの出力の調整，混合等を司り，主調整室はこれと別個に設けられ，ここでは主に各副調整室よりの出力，スタジオ外中繼，或は，他局よりの入中繼入力の處理調節を行ひ，規定レベルを以て，それぞれ自局放送所或は關



第 39 圖　スタジオより外線までの全回路略圖

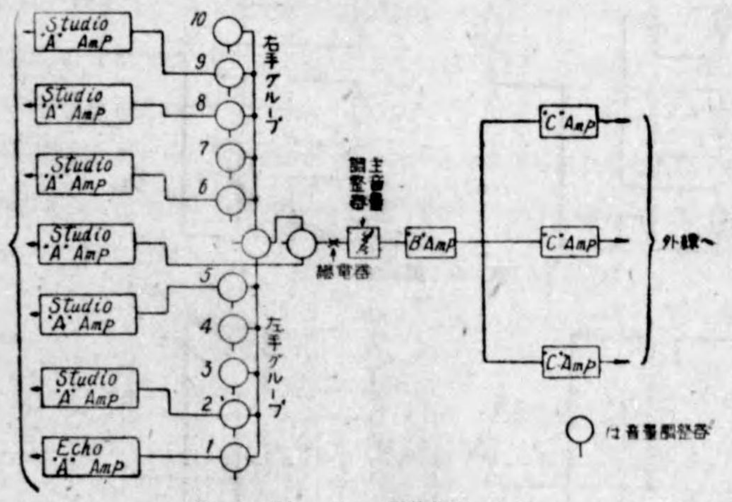
係他局へ送出する。第39圖はその一例として，英國 BBC ロンドン放送局における放送系統の大略を示す。

第 2 節　音聲電流調整装置

調整室には，音聲電流の調節装置の他，聽取装置或は各種打合用電話機等のものも設備されるが，それら設備の程度，内容等は既述の如く，演奏所の使用目的

により，或はその規模の大小により，それぞれ趣を異にし，必ずしも一定したものではない。装備の形式にもパネル型，デスク型，コンソール型等のものがある。いづれにしても，音聲電流の調整には，音量指示計を見ながら，容易に使用スタジオの演奏狀態が見透せることが望ましく，調整室はスタヂオに隣接して設けられ，覗窓があつてスタジオを見透すことが出來，その床などもスタヂオのものより，幾分高目に造られるのが普通である。

調整装置の中樞となるものはミツクサー，音量調整器，レベルメーター及びスイッチング装置である。ミツクサーはその使用目的により，マイクロホン・ミツクサー，スタジオ・ミツクサー等と區別することがある。第40圖はドラマ調整装置の一例にして，ロンドン放送局で採用されてゐる方法である。



第 45 圖　ドラマ調整装置の一例

ミツクサーは

（1）周波數特性の良好なること

（2）調整用ダイヤルの位置及び他のものの調度如何に拘らず，入力並に出力インピーダンスが常に一定なること

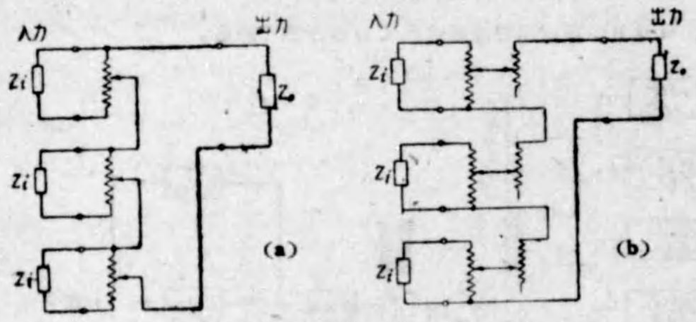
（3）　入力及び出力インピーダンスは，それに附隨せる回路のそれに整合すること

（4）　ミツクサーを挿入せるために生ずる最小損失の出來るだけ小さいこと

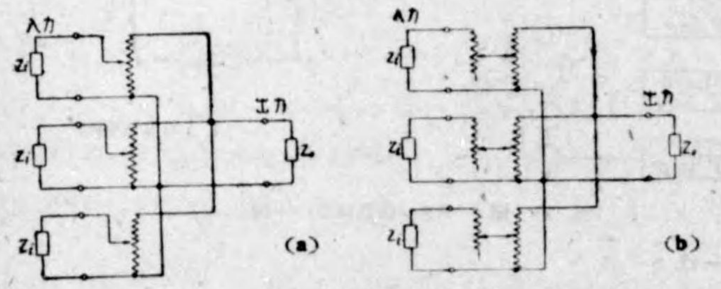
（5）　相互間に漏話のないこと

等が大切な要件で，通例無誘導，無容量の抵抗結線網が用ひられる。第41圖及び第42圖はその接續の一例を示す。

次に全體としてのレベルを調整するためには，別に主利得調整器，または音量調整器が使用される。音量の調整は使用增幅器の利得を加減して行ふ場合もあるが，通例はインピーダンス一定な可變減衰器を挿入し，その減衰量によつて調節



第41圖　並列型



第42圖　直列型

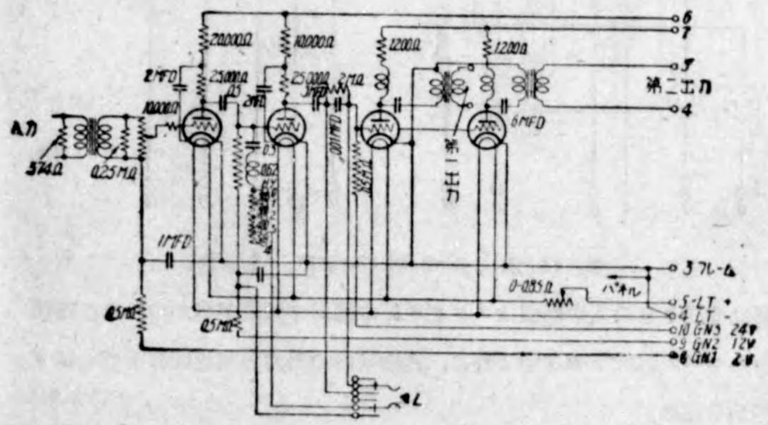
する。減衰器には，その結線網の形式により，種々のものがあるが，普通に用ひられてゐるものは，L型，T型，π型，H型等のものである。

音量調整器にしても，ミツクサーにしても，そのタツプはdbで目盛るのが普通で，各タツプ間のdbの値は聽取してゐて不自然でないやうに選ばねばならない。通例この値は，1.5乃至2db位にとる。ミツクサー或はスイツチには，適當な方法で，信號裝置を聯動させ「オン」「オフ」（on, off）を明かにしてゐるものもある。

既述のやうにマイクロホンの出力は，極めて微小で，これを放送所，或は他の放送局に向つて送出するには，增幅器により所要のレベルまで擴大しなければならない。このために使用される放送用音聲增幅器は，演奏所設備の特性の良否を左右する重要な要素の一つで，良質な放送を行ふ上に大切な役割を演ずるものである。

演奏所においては，放送用音聲增幅器を使用の目的によつて區別し，A增幅器，B增幅器，C增幅器，D增幅器と呼んでゐる。（動作狀態による區別，*A*級增幅器*B*級增幅器等の意味ではない。）

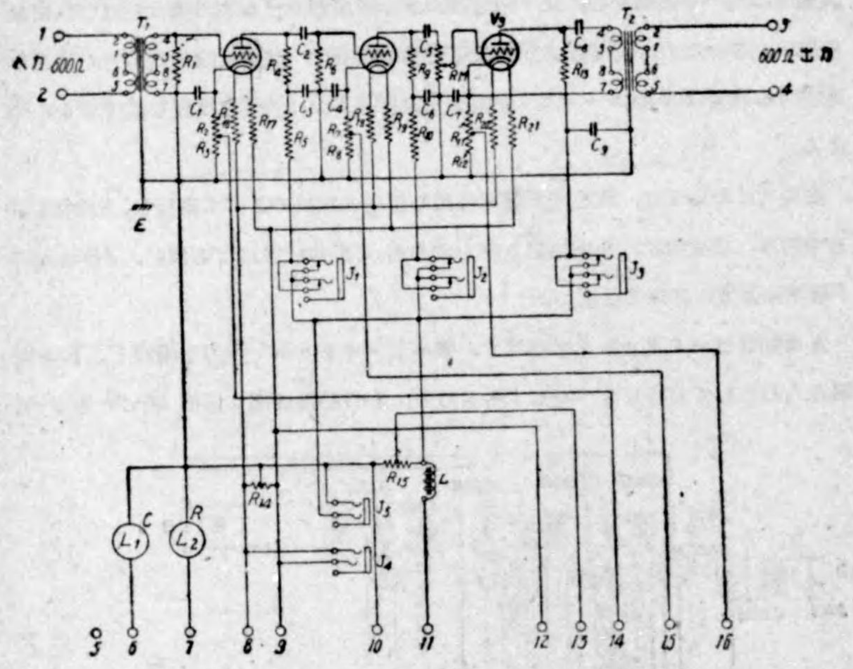
A增幅器はマイクロホン增幅器で，微小なマイクロホン出力を增幅し，B增幅器の入力として充分なレベルにするもので，その利得は高く通例40db乃至80



第43圖　A增幅器回路—I

db 程度で，所謂高利得增幅器である。場合によつてはA增幅器に適當な形の周波數特性を持たせ，マイクロホンの特性を補整することもある。

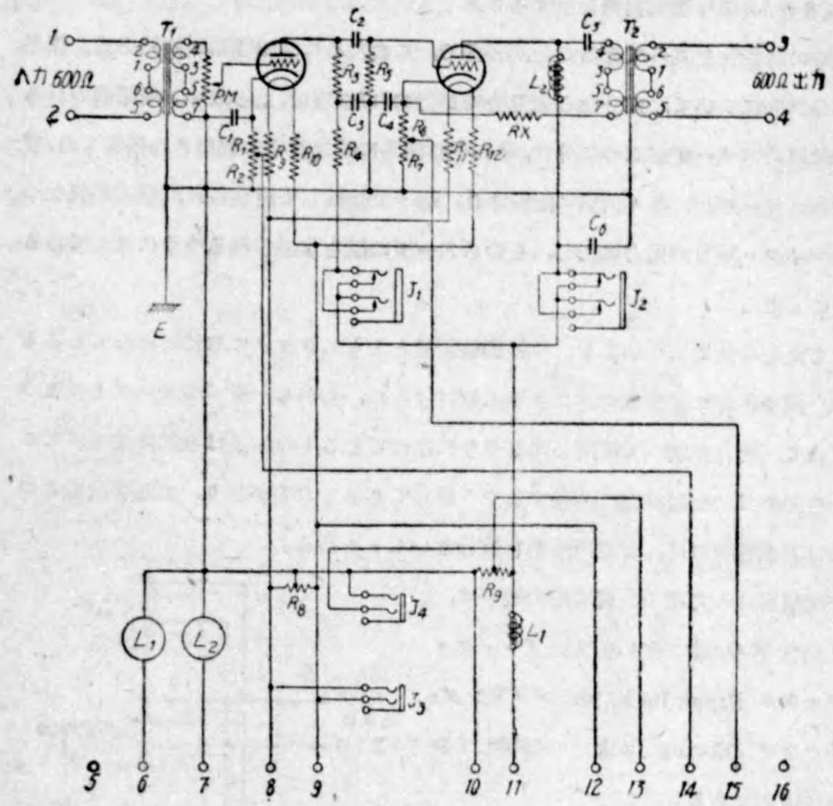
B增幅器はライン增幅器で，その利得はA增幅器よりも低く，30 db 乃至 60 db 程度の一種の電力增幅器である。B增幅器はライン送出に必要なレベルを與ふるもので，その入力にはA增幅器の出力の他，スタジオ外中繼或は他局よりの入中繼に於ける中繼線よりの入力等がある。



第 44 圖　A 增幅器回路 — II

D增幅器は他局よりの入中繼或はスタヂオ外中繼線の減衰が多かつたり，等化器挿入のためレベルが低下せる場合等に，A增幅器の出力と同程度のレベルにするために用ひられる。

またマイクロホンの種類によつては，A增幅器に入る前に，特にヘツド・アムプリフアイヤー(Head Amplifier) が用ひられることがある。第43圖，第44圖及び第45圖はこれら增幅の一例を示す。



第 45 圖　B 及びD 增幅器回路

なほこの他調整室には，直接放送系にはあづからないが，試聽用或は監視用の增幅器が，別に設けられてゐる。

いづれにしても增幅器は，

（1）　周波數特性の良好なること

（2）　波形歪のないこと

（3）雑音レベルの低いこと

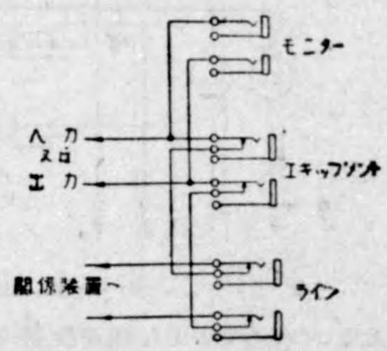
（4）動作の安定なこと

（5）必要な増幅利得を有すること

等の諸條件を具へてゐることが必要で，このためには増幅器の回路方式，使用部分品等について，充分なる研究吟味が行はれなければならない。増幅器のうちには出力ステーヂが二つに分れ，それぞれ相手には無關係に運用され得るもの，或は各ステーヂが，各々別個に配線され，端子で接續して用ひられ，様式の異なつたマイクロホンの出力に對し，そのステーヂの數を加減し得るやうになつてゐるものもある。

またその裝備についても，各種調整裝置とともにラツクに取付けられてゐるもの，調整裝置には別個にラツク等に取付けられ，しかも一臺づつユニツトになつてゐて，適宜差換へて使用し得るやうになつてゐるもの，或は増幅器はすべてこれを纏めて，増幅器盤に裝備するやうにしてあるもの等があり，また場合によつては副調整室には，音聲増幅器を設けないこともある。

増幅器の入力端子，或は出力端子は，これを第46圖に示すやうなブレーク・ジャツク（Break Jack）或はスプリング・ジャツク（Spring Jack）に接續しておけば便利である。

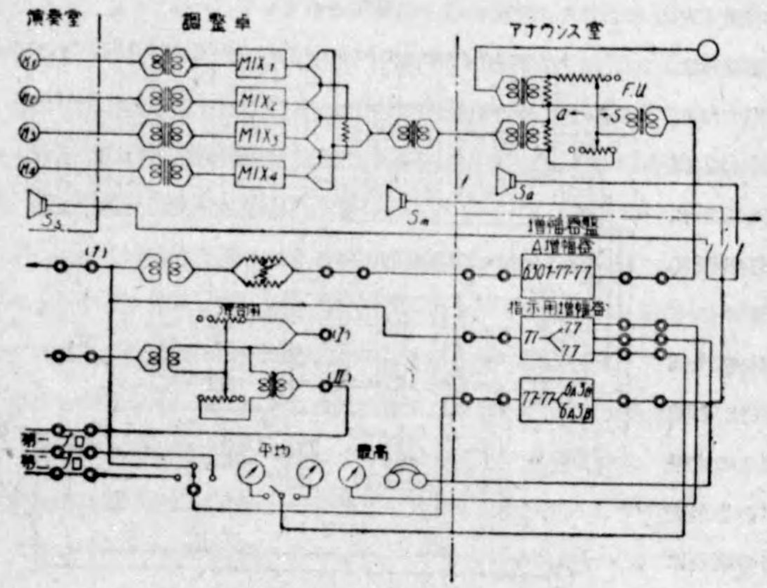


第46圖　ブレーク・ジャツク

放送系全體の電氣的綜合特性としては，受信機の特性，忠實度に對する耳の性質，經濟的考慮等の點より　今日では大體次の如き程度に考へられて居る。即ち，周波數特性は 1,000 c/s を中心として 50 c/s より 8,000 c/s 迄の範圍で，偏差 0.5 db 以内，40 c/s から 10,000 c/s の範圍では，1 db 以内で均一でなければならない。歪特性は 100 c/s より 4,000

迄の範圍内で，規定レベルまでは歪率が 0.5% 以下，規定レベルより 10 db 上でも 1% 以下で，50 c/s から 8,000 c/s までの間では，規定レベルで 1% 以下，10 db 上のところで，2% 以下の程度であることが必要である。シグナル・レベル對雑音レベルの比は，30 乃至 10,000 c/s で 60 db 以上であることが望ましい。

第47圖及び第48圖は，いづれも東京放送會館における調整裝置の大體の略圖にして，前者は副調整室，後者は主調整室 B 調整盤の接續の概要を示す。副調整室の主要部は調整卓にして，ここにミツクサー，音量調整器，音量指示器，切替キー，出力キー等が取付けてある。いま圖についてその大體を述べれば，スタヂオ

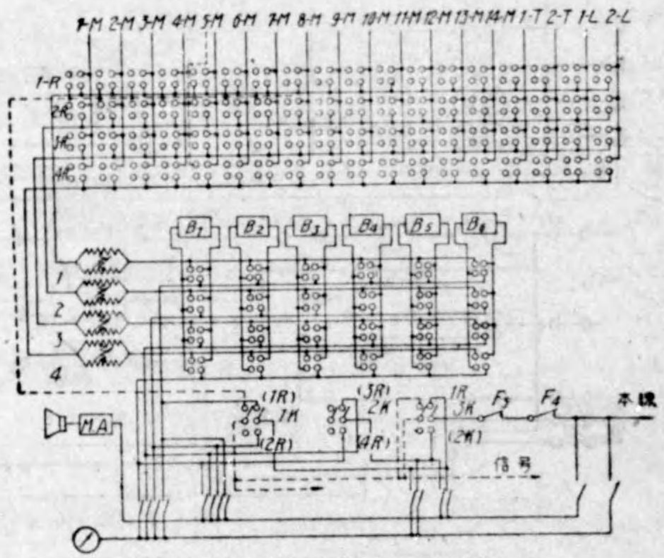


第47圖　副調整室接續圖

は同時にマイクロホン4個までは，使用可能にして，それらの出力はプリツヂ型に接續されたミツクサーにより，適當の割合に混合される。ミツクサーの出力はアナウンス室の切替器 $F.U.$ に至り，ここでアナウンス用マイクロホンの出力と切替へられる。$F.U.$ の出力は A 増幅器に導かれ擴大される。A 増幅器は，眞空管

として6301を1個，77を2個使用した3段抵抗結合のもので約80 dbの利得を持つて居る。(第44圖參照) A增幅器の出力は音量調整器を經て，大體 −20 dbのレベルで主調整室に送られる。(第33圖(B)參照) このレベルを表示するため，音量指示裝置が取付けられてゐる。監視或は試聽用としては，77を2段とし，最後に6A3Bを用ひたモニター增幅器があり，その出力は副調整室内の高聲器に行くとともに，アナウンス室及びスタヂオ内の高聲器へも行く。但しアナウンス室，或はスタジオ内のマイクロホンが働く狀態にあるときは，リレーによりその室内の高聲器回路を切り，シンギングの起ることを防いでゐる。混合用調整器は，所謂スタジオミツクシングの場合に使用される。

副調整室よりの出力は，調整室のB調整盤へ導かれる。第48圖に示したの如くB調整盤上部には18の垂直路4の水平路があるが垂直路の端子には14の副調整室の出力の他，操縱盤より來るトール・ラインと，スタジオ外中繼用のループ・ラインが各々2回線づつ，合計18だけ接續されてゐる。水平路は上より順次第1ランク，第2ランク，第3ランク，第4ランクと呼ばれ，これら水平路ジヤツクに垂直路ジヤツクを接續することにより，18のうち所要のものを4つだけ繋ぐことが



第48圖　B調整盤接續圖

出來る。各ランクには專用の30 db，600オームの減衰器があり，それらの出力は再び水平路に配列される。ここでは6つの垂直路があり，その各々にそれぞれB增幅器の入力及び出力が導かれてゐる。各B調整盤所屬のB增幅器は6臺あり，これら垂直路及び水平路兩ジヤツクを接續することにより，任意の增幅器を任意のランクに挿入することが出來る。これに使用されるB增幅器は77及び6A3Bなる眞空管を使用せる2段抵抗結合のもので，40 dbの利得を持つてをり，その入出力のインピーダンスはいづれも600オームである(第45圖參照)。各ランクの出力は各々1k或は2kなるスイツチを經て3kなる切替キーに行き，それらの組合せにより，4つのランク中いづれか一つを選擇し，これを操縱盤へ送る。B調整盤よりの出力レベルは，+1 db前後のものである(第33圖(B)參照)。

增幅器用電源としては，鉛蓄電池，複卷直流發電機，廻轉刷子型整流器(ペルトーロ)，或は眞空管整流器，金屬整流器等が用ひられ，これに適當な電壓調整裝置，濾波裝置，浮動電池等が併用される。

例へば，東京放送會館における增幅器用電源裝置についていへば，3相交流200ボルトをサイラトロン應用の自働電壓調整器を經て，プレート及びフイラメント並に信號用の整流器へ供給する。プレート用としては，容量3アンペア，電壓變動率5%のセレニウム3相全波整流器4組が設備され，濾波裝置を經て容量12アンペア時(10時間放電率) 350ボルトの鉛蓄電池を浮動しつつ，350ボルトの直流が各增幅器へ供給される。この他プレート用豫備裝置として470ボルト，12アンペアのペルトーロが設備されてゐる。フイラメント用としては，11ボルト，120アンペアのペルトーロが3臺設備され2臺を常用とし，1臺を豫備としてゐる。フイラメント用のものも，プレート用のものと同用に濾波裝置を經た後8ボルト，363アンペア時の鉛蓄電池を浮動しつつ，8ボルトの直流を增幅器へ供給してゐる。いまこれらを表にて示せば第6表の通りである。

第 6 表　東京放送會館における增幅器用電源設備

種別	整流器							蓄電池				
	種類	數量	交流側 電壓（ボルト）	交流側 周波數（サイクル）	直流側 容量（ワット）	直流側 電壓（ボルト）	直流側 電流（アンペア）	種類	數量	10時間半放電電流（アンペア）	容量（アンペア時）	極板數
プレート用	セレニウム	4	200	50	1,050	350	3	チュードル	4	1.2	12	3
プレート用豫備	ベルトーロ	1	〃	〃	5,640	470	12					
フイラメント用	〃	2	〃	〃	1,284	11/8	120	〃	2	36.3	363	21
フイラメント用豫備	〃	1	〃	〃	1,284	11/8	120					
信號用	〃	2	〃	〃	1,625	65/48	25	〃	1	9.6	96	9

第 3 節　信號裝置及び連絡電話

機器の設備が複雜となり，プログラムの取扱ひが煩雜となるに從ひ，操作を確實にし，放送の圓滑な進行を期するためには，信號裝置は極めて重要で，種々のものが用ひられる。放送系統の動作狀態を示すには，信號燈によるのが普通で，それぞれ調整卓或は增幅器盤等に設備され，自働的に信號が表示され，各機器間の接續狀態，スイツチングの狀態，リレーの動作狀態等の適否を示すもの，或は放送の開始終了その他の場合に，特に操作して種々の合圖を行ふものがある。いまその二三の例を擧げてみれば，

コール・ランプ——自分の相手に向つて接續を要求するもの

*OK*ランプ——接續を要求した相手に必要な接續の完了を知らせるもの

*GA*ランプ——相手に何時送出してもよいことを知らせるもの

オーダー・ランプ——放送開始を知らせるもの

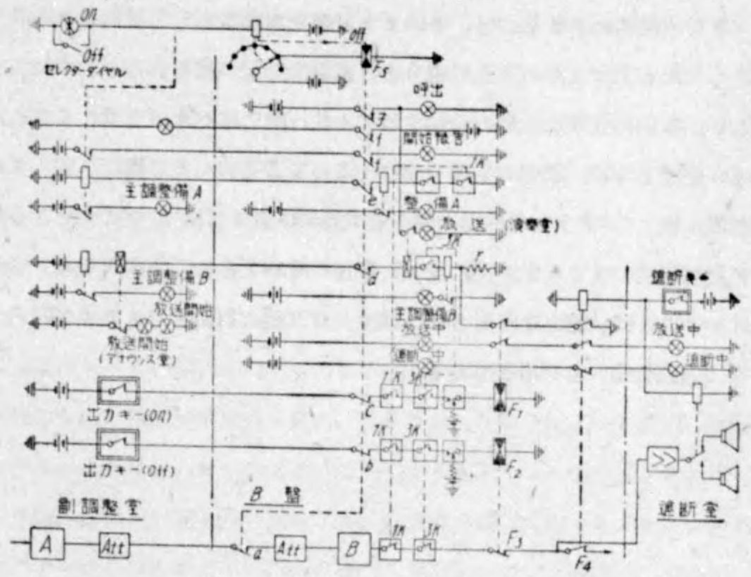
*OL*ランプ——放送中なることを示すもの

その他，放送遮斷標示燈，テストランプ等，種々のものがある。これら信號裝置

の動作方法は設備の樣式によつて定まり，必ずしも一樣ではない。

第49圖は，東京放送會館における主調整室，副調整室間信號回路の大略を示す。

實際の放送において，プログラムの運行を圓滑にし，或は各種臨機處置を行ふためには，關係者相互間の直通連絡もまた必要である。通例この目的のために使



第 49 圖　東京放送會館主調整室副調整室間信號回路

用されるものに，調整室，操縱室，放送所の間の技術的打合用のものと，調整室聽視室及び編成室等の間の業務打合せ用のものとがある。この他各放送局間に連絡電話があり，更にまたスタジオ外中繼の場合には，別に現場と調整室の間に臨時打合電話を設ける。また場合によつては打合せ並びに信號用として，電信裝置を用ふることもある。

第 4 節　監視及び試聽

音響電流を調整或は送出する場合には，音量指示裝置によつて，量的にこれを

監視する他，更に載頭受話器または高聲器を通して音を聽き，効果上の適否，質的良否，或は機器類の動作狀態等の判斷を行ふ。このためそれぞれ適當な個所に，モニター用ジャツク，キー或は增幅器等が設備してある。

音量指示計の目盛は，通例 db で較正されてをり，種々の樣式のものがある。

モニター增幅器のあるものは，そのまま試聽用增幅器として使用されるのが普通で，このためには實際の放送の場合と，同樣の結果が得られるものでなくてはならない。放送の効果上試聽の大切なることは，既に述べた通りで，これにより演奏者の配置を定め，調整の手順を豫め知るのであるが，その實際に當つては技術的知識の他，プログラムの內容に對する文藝的素養も必要で，更に充分なる經驗並びに熟練に待つところが多く，段々と專任の技術者をおく傾向にある。このためスタジオに特に試聽室を附屬させ，調整及び試聽を行ふ場合もあるが，多くは調整室（副調整室）を利用してゐる。

第4章　操縱裝置

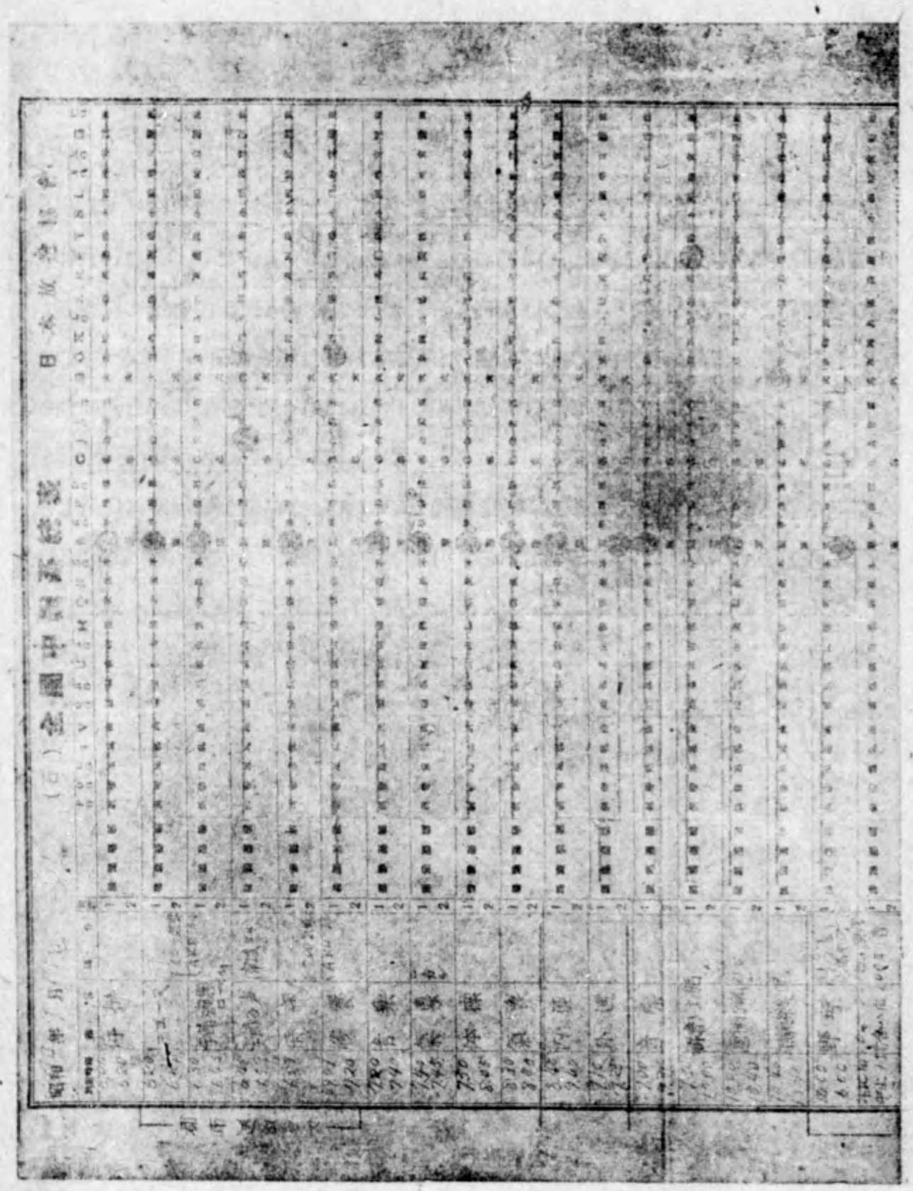
第1節　概　說

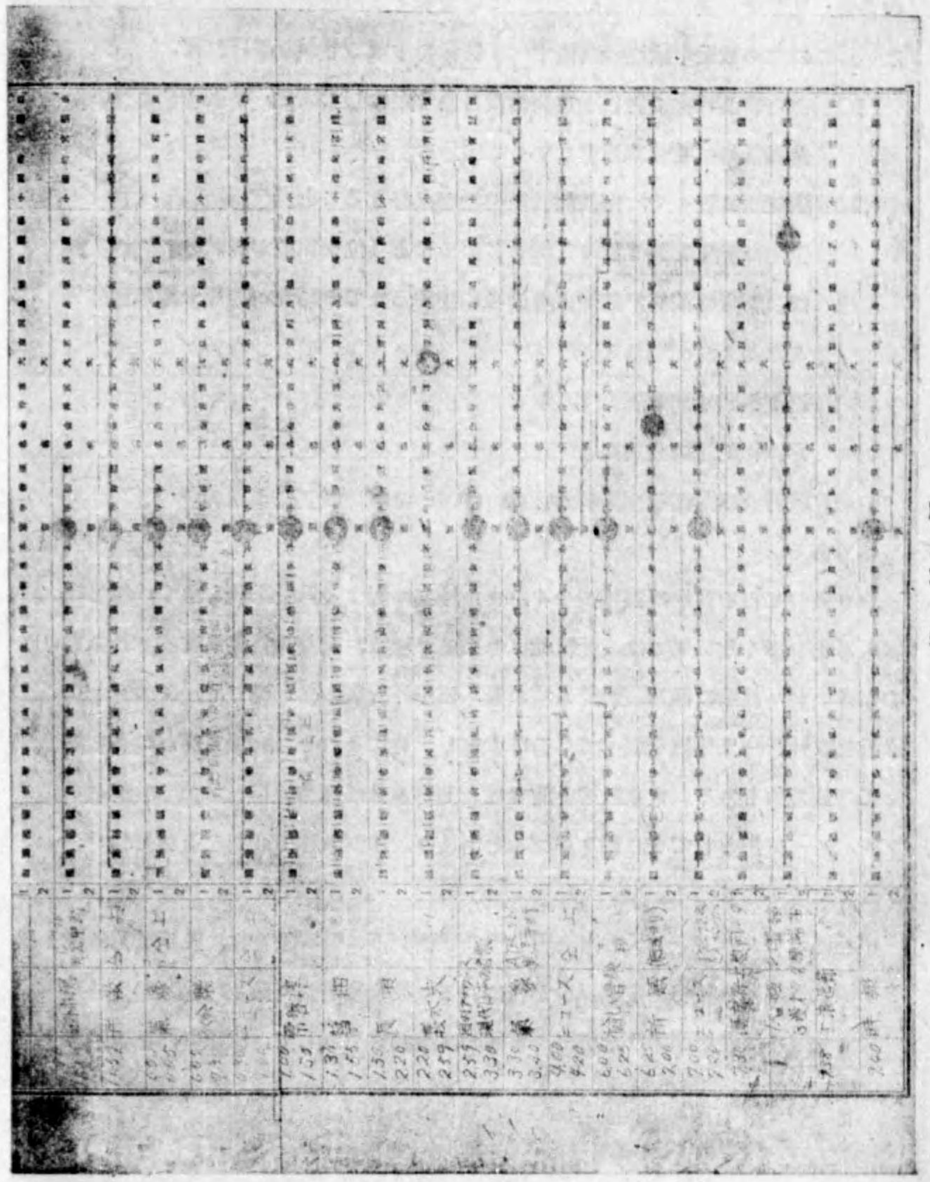
操縱室においては，調整室よりの出力を受けて，これを放送所へ向ひて送出すると同時に，もし必要ならば，同じものも他の放送局へ送つたり，或は反對に他の放送局より，プログラムを受け入れて，調整室へ送り適宜調節を加へた後再びこれを受取つて，放送所や他局へ送出したりする。また場合によつては，一方の放送局よりプログラムを受けて，自局は放送せず單に取次ぎだけでこれを他の別の放送局へ送るだけのこともある。これら三つの場合はそれぞれ出中繼，入中繼及び通中繼と呼んで區別してゐる。通中繼においてもなほ必要な增幅器には通し，或る程度のレベルの調節を行つてゐる。（國內中繼線網については第6章參照）

以上のものの他，所謂貸スタジオ，多元放送，外地放送，海外放送，國際放送等があり，また場合によつては，或る一つの放送系から，他の別な放送系への切換へ（例へば二重放送）等放送のうちには實に多種多樣のものがあるが，これらプログラムの外部に對する出入りは總べて操縱盤において取扱つてゐる。

以上各種プログラムの出入に對する中繼操縱の操作は，總べて豫め作られたその日の放送番組中繼系統表に據つて行ふ。放送番組中繼系統表とは，放送種目と放送時刻，及び發局並びに中繼系統をグラフ式に表はした一種の表で，第50圖はその一例である。このやうな中繼をトール（toll）中繼といひ，これに對しスタジオ外中繼のやうなものをループ（loop）中繼と呼んでゐる。

かやうに操縱盤においては，放送プログラム送受處理の操作を行つてゐるため，放送中繼線，或は連絡線のケーブルは，操縱室に引込まれるのが普通で，通例ループ用ケーブルもともに一緒に引込まれ，それぞれ外線用分線盤に收容されてゐる。放送においては通話のみを目的とする普通の電話の場合に比し，遙かに高度





の音質，明瞭度が要求される故，從つて中繼線もまた優秀なものでなくてはならない。このため放送中繼線の具備すべき條件の主なるものを擧げれば，

（1）あらゆる障害に對し，安全確實且つ安定にして天候，季節等によつて，傳送能率に變化を生じないこと

（2）廣範圍に亙つて，傳送周波數特性が良好なること

（3）位相の變化を周波數に比例せしめること（位相定數が周波數に比例すれば，音聲電流が，送端より受端に達するまでの時間が，周波數に無關係となる）

（4）過渡振動時間を短くすること

（5）非直線的歪の少いこと

（6）雜音及び漏話の少いこと

等である。

取り扱つてゐる放送の種類が少く，また外部に對する送受系統も少く，使用外線もあまり多くない局では，分線盤より來る外線は，直接操縱盤に收容されるものが多いが，放送の種類，送受系統の數，使用外線數の多い局では，別にジャツク盤を設け，一旦外線をすべてここに收容し，更にそれぞれ關係方面へこれを導いてゐるものもある。東京放送會館では，トール及び連絡線用として 54 對ケーブル，ループ用として 250 對ケーブルを引込み，54 對及び 100 對をそれぞれジャツク盤に收容してゐる。

中繼線については，AK送出全國中繼の狀態の下に周波數特性，及び雜音に關し全國放送中繼系統特性定期試驗が行はれる。（技術參考資料第 40 號參照）

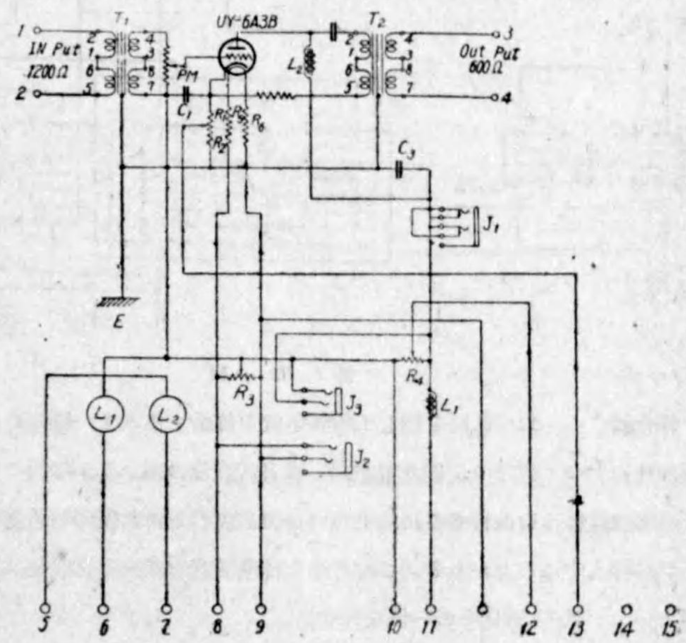
なほ放送には直接關係はないが，各種の試驗測定用として，試驗盤の設備があれば便利である。

第2節　操縱裝置

操縱裝置はまた中繼操縱裝置といはれ，前述のやうな外部に對する各種の送受操作をするのに必要な機器設備，例へばジャツク盤，增幅器，音量調整器，音量指示器，切換キー，送受キー，等化器，中繼線輪，モニター設備，試驗裝置等を具へてゐる。

ジャツク盤　各種の機器の入力出力，その他をジャツクに接續し，これをパネルに收容したもので，必要に應じパツチングを行つて接續を行ふものであるが，常用のものはブレーク・ジャツクを用ひて，豫め內部接續をしておき，臨機に必要なパツチングの出來るやうにしておけば便利である。操縱ジャツク盤のジャツクは夥しい數に上る故，通例送受の系統別に適宜配列しておくのが普通である。なほ主要回路の接續完了を指示するため，特にスリープ回線を用ひ信號燈を點ずるやうにしたものもある。

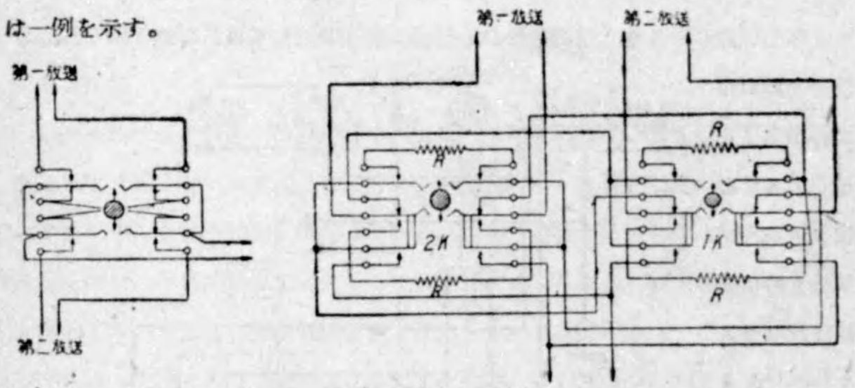
增幅器　操縱裝置で使用される增幅器は C增幅器といはれ，ライン增幅器で



第 51 圖

はあるが，主として分配器(separator)として用ひられ，B 増幅器の出力をそれぞれ必要方面へ分けて送るためのもので，各中繼線の線路特性に應じ，その送出レベルを他のものに關係なく別個に調整し，線路障害の場合も，その影響の他線に及ぶのを防ぐ。場合によつては相當數のC増幅器がB増幅器の出力側に接續される故，その入力インピーダンスは相當高い値に選ぶのが普通で，切換へ操作によつてそのあるものを除く場合には，代りに等價抵抗を入れ，インピーダンスの變化による影響をさけるやうにしてあるものが多い。C 増幅器は，性質上餘り利得を必要としない。第51圖はその一例を示す。

切換キー　ここにいふ切換キーとは，送出に際し，その放送系の切換へを行ふためのものをいひ，例へば全國放送と都市放送の切換へ等を意味する。第52圖は一例を示す。



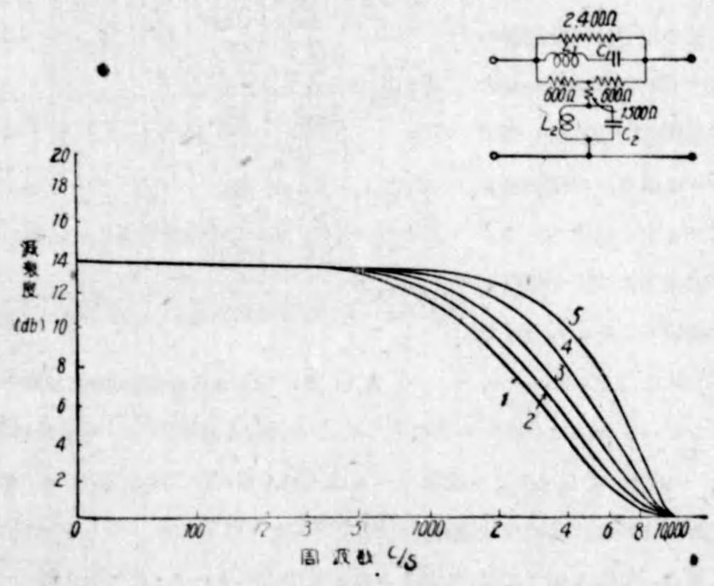
第　52　圖

等化器　一般に線路を通して音聲電流を傳送するとき，線路の減衰特性は，周波數によつて異なり，周波數が高いほど減衰量の多いのが普通である。依つてその周波數特性を改善する目的で線路の減衰特性と，反對の特性を有する回路網を特に挿入することがある。このやうな補償裝置を減衰等化裝置，或は單に等化器といふ。第53圖はその一例を示す。

中繼線輪　中繼線と內部裝置の間には，適當なインピーダンスの中繼線輪を

挿入するのが普通で，中繼線と局內設備のインピーダンスが異なるときは，中繼線輪によつてインピーダンス整合を行ふ。

これらの裝置は，それぞれ適當なパネルに取り附けて使用してゐる。モニターその他の裝置については，調整裝置の場合にほぼ同樣である。

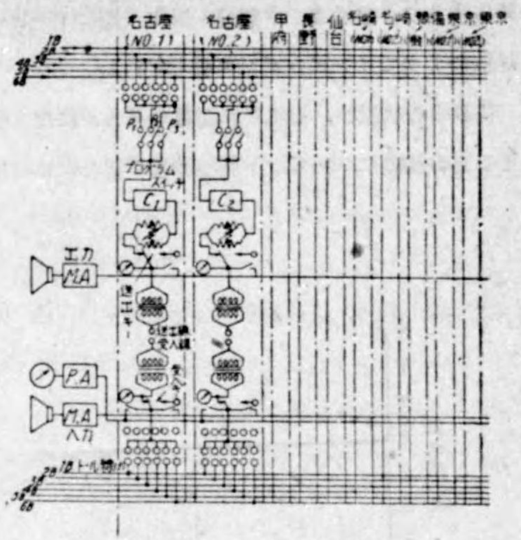


第　53　圖

	L_1mh	L_2mh	C_1μf	C_2μf
1	3.22	19.69	0.0547	0.00895
2	4.22	15.01	0.0417	0.0117
3	5.27	12.024	0.0334	0.0146
4	6.96	9.108	0.0253	0.0193
5	10.66	5.94	0.0165	0.0296

東京放送會館における操縱盤は，連絡に便なるやう主調整室內に B 調整盤と並んで設置され，15の回路のグループがある。第54圖はその接續略圖にして，いまそのグループの一つについて述べれば，各B調整盤の出力が1B, 2B, 3B, 4B, 5B, 6B なるジヤクに導かれてをり，これを3つのプログラム選擇スイツチに入れる。

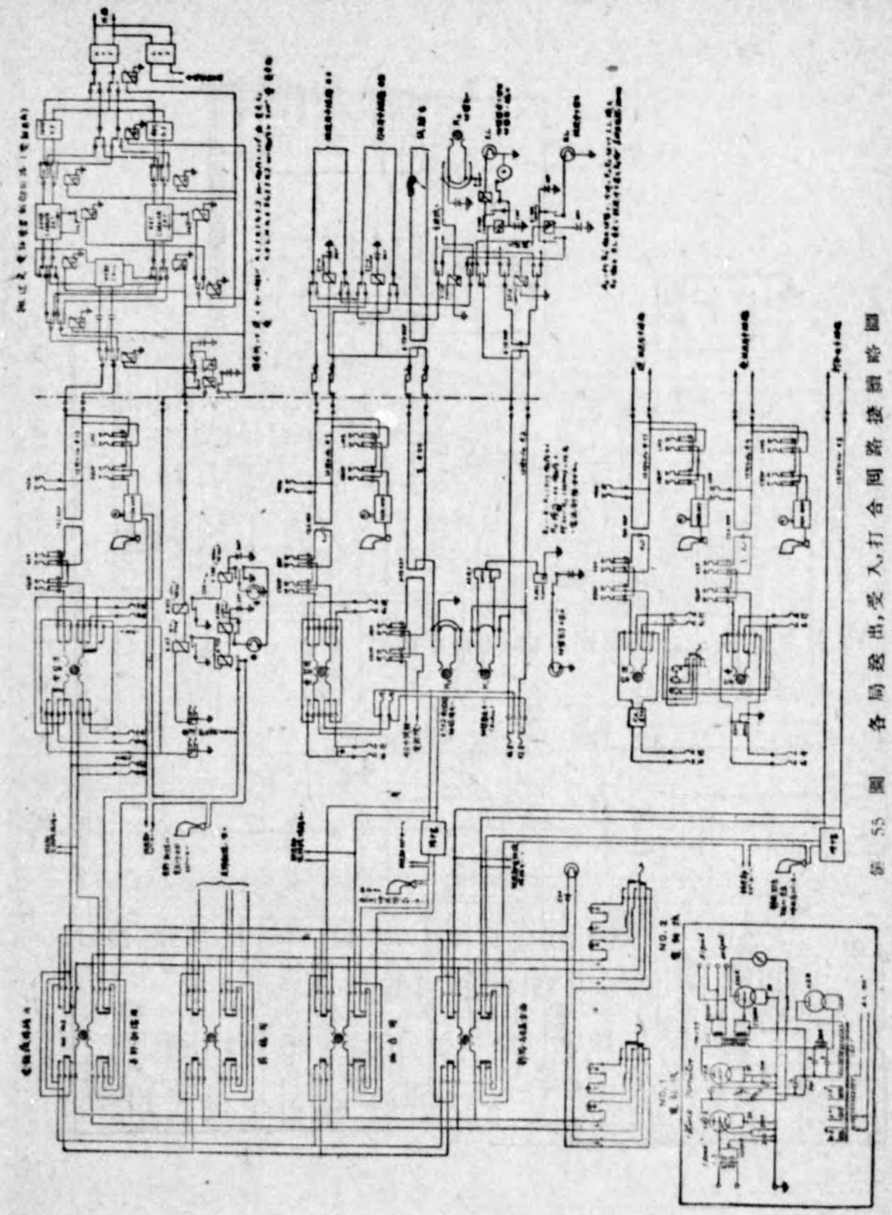
1 Bの出力はP_1に，4Bの出力は P_2 に直接接續され，他の4つのB調整盤出力は P_3 へパッチングされる。この選擇スイッチの出力はC增幅器へ導かれ，C增幅器を出たものは，音量調整用減衰器を經て送出キーに至り，中繼線輪を通つてラインに送出される。C增幅器は 6A3B を使用した一段增幅で，その入力インピーダンスは 12,000 オーム，出力インピーダンスは 600 オームになつてゐる(第51圖參照)。C增幅器の出力レベルは +10 db にしてライン送出レベルは大略 0 db 位である(第38圖B參照)。入中繼の場合には，受線は中繼線輪を經て受入キーに導かれ，受入キー出力ジャックに至る。實際の場合には，これをB調整盤に行くトール・ジャックにパッチングする。



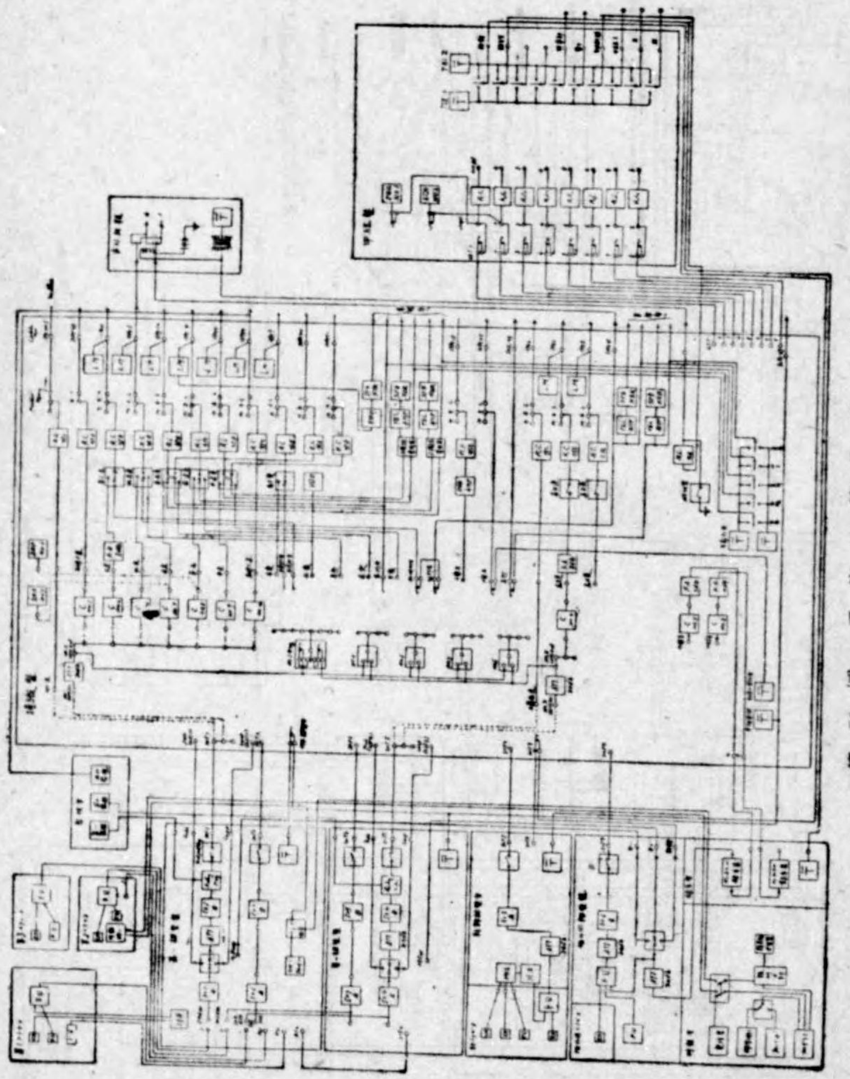
第 54 圖　東京放送會館操縱盤接續圖

第 3 節　信號及び連絡電話

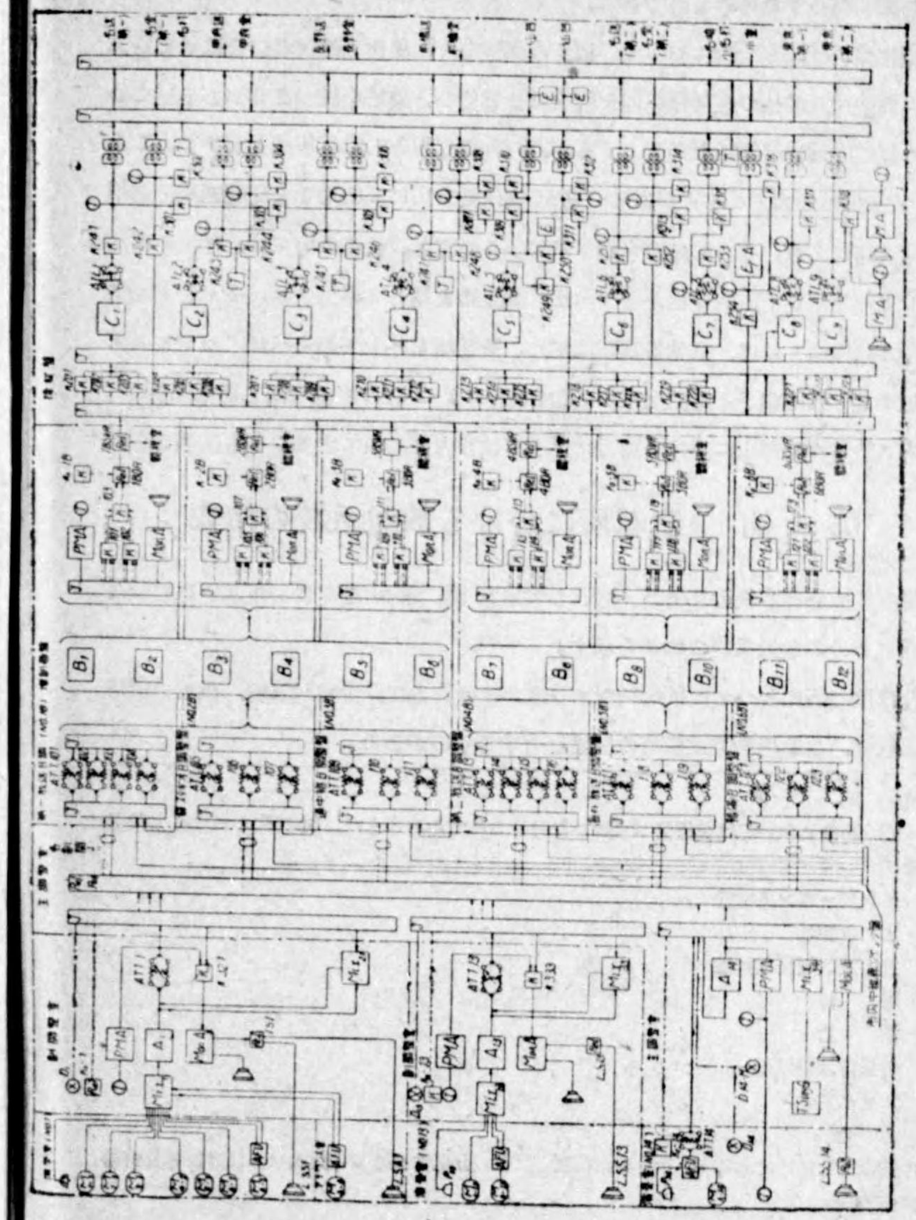
各裝置の接續完了，或は機器動作の良否を示す信號も重要で，調整裝置におけると同樣，種々のものが用ひられてゐるが，操縱裝置で特に大切なのは『送出し待て』の信號である。操縱盤においては，種々の系統のものを取扱ひ，次々に切換へを行つて，必要なプログラムの送受を行つてゐるが，時々豫定の時間を超過することがある。例へばA系統よりB系統に移る場合，A系統のプログラムが豫定の時間を超過した場合，切換操作を行ふことが出來ない故，B系統の送出關



第 55 圖　各局送出，受入，打合回路接續圖



第56圖 愛宕山演奏所系統圖



第57圖 東京放送局放音館放送系統圖

始を暫く待たすためのものである。

操縦係員は演奏所内において，相手の調整室と，操作上種々の打合はせを行ふ他，放送所及び他の直接關係局と打合はせを行ひ，連絡を保つ必要がある。このため局間直通連絡電話を必要とするが，打合はせ用として專用線を有するところと，放送線兼用のところとがある。第55圖は愛宕山にて使用せし局間連絡打合用電話回路につき，その接續の大體を示す。この電話設備においては，呼出しにはリンガーを用ひず，直接相手を呼べば，高聲器を通して再生され，キーを倒して通話の狀態にすれば，高聲器回路は切れ，受話器を外して出合へば，シンギングを起すことなく相手と通話出來る。なほ場合によつては，電話呼出し用增幅器は，入力ステーヂを澤山に分け，出力ステーヂは各方面共通にすることも出來る。

第4節　演奏所に於ける放送系統の概要

演奏所における放送系統の一例として第56圖，第57圖に愛宕山及び東京放送會館における放送系統の概要を示す。

なほ演奏所によつては放送に對する應急設備として，豫備送信機，放送中繼用受信設備，自家用發電設備等の裝置を有するものがある。

附　記

放送協會においては會報第170號に記載せられてゐるやうに，演奏所における放送裝置について

インピーダンス特性
出力歪特性
利得及び周波數特性
雜　音
漏　話
音量指示器較正
ピックアップ
その他

の試驗法を定めてゐるが，その詳細に關しては，上記會報第170號或ひは技術參考資料第30號參照。

第5章　監視裝置

第1節　概　說

調整裝置，或ひは操縦裝置における監視裝置については，既に述べたところであるが，この他實際ラインに送出されてゐる放送プログラムの狀態を監視するため，特に主調整盤の出力，または放送所送出用連絡線の送端より，トラップ(Trap)增幅器を通して，これを調整室へ送り，モニター增幅器で增幅し，高聲器によつて，これを監視することも行はれてゐる。さらにこのモニター增幅器の出力を，適當な制御裝置を通して，アナウンス室またはスタジオ内に導き，先行する放送の聽取を計つてゐるものもある。この他各室モニター，または局内モニターと呼び，上記トラップ增幅器の出力を，必要なだけの出力を有する電力增幅器を通し，これによつて，各室に配置された高聲器を鳴らし，放送の監視或ひは聽取を行つてゐる。以上はすべて連絡線に送出するまでのものであるが，場合によつては「送り返し」と稱し，放送所より有線で送り返して來たもので，局内モニターを鳴らすこともある。

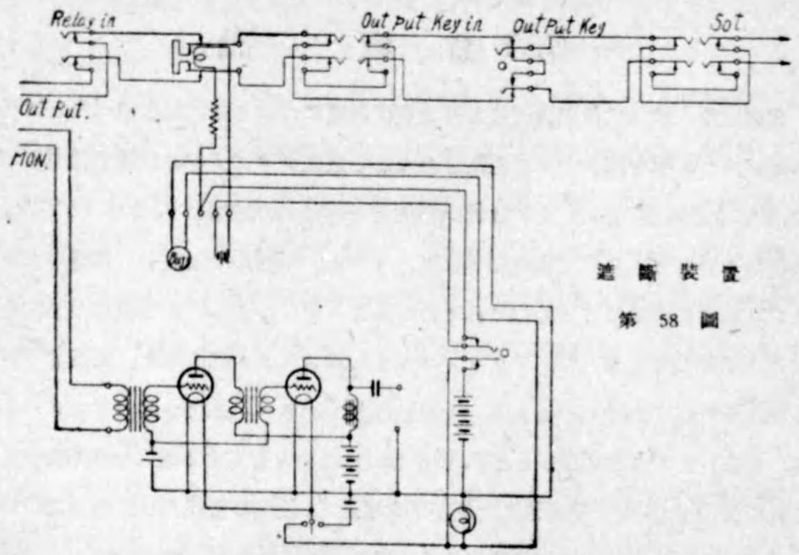
また演奏所には，實際に放送所より放送されたものに對する監視用の受信機が設けられてゐる。

受信機のうちには，特に 500 kc の電波を受信するために設計されたものがあり，放送中は常に 500 kc の電波を受信することが規則によつて定められてをる。もし船舶よりの "SOS" 遭難救助信號を受信せし場合には，規定の處置を取ることになつてゐる。

第2節　放送遮斷裝置

放送監視の特別なものに，聽視裝置がある。これは放送遮斷の裝置で，聽視係

が操作する。聽視係は，放送を內容的に聽取し，內容が不穩ならばスイッチを入れ，リレー裝置により調整裝置の出力を切り，線端を短絡するのである。放送を



遮斷裝置

第 58 圖

遮斷した場合，調整室には遮斷を知らせるブザーが鳴り，更に遮斷表示燈がつく。このとき，聽視室に適當な表示法が講ぜられてゐる。放送遮斷中といへども，聽視係及び調整係は，繼續中の演奏がモニター出來るやうになつてゐる。第58圖は遮斷裝置の一例を示す。

第6章　中　繼　線

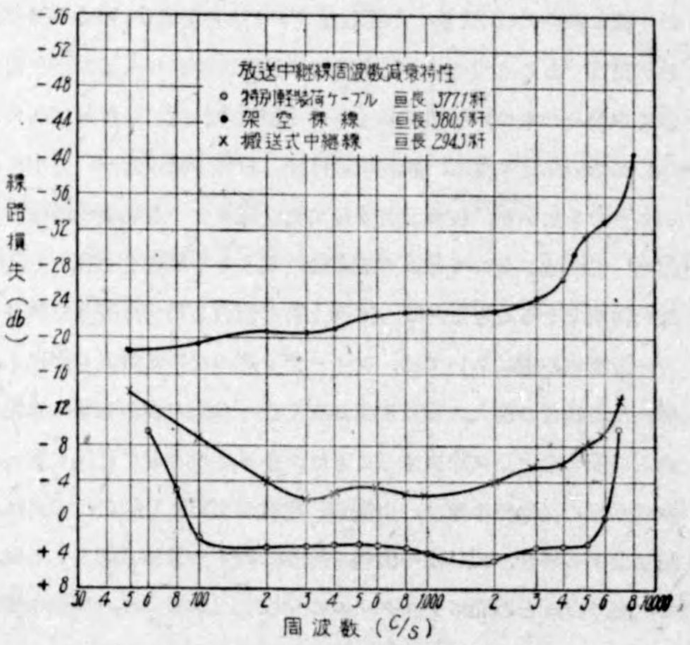
第1節　中繼線の現狀及び性質

全國各地に放送局が數多く建設されるに及んで，これらの局を互に連絡し，プログラムの交換を行ひ得るやうにすれば，放送內容を一段と豐富にすることが出來，且つ放送事業が國家的見地から，極めて重大なる使命を有することを考へれば，全國すべての放送局を，緊密なる連絡の下におくといふことは，最も必要なことである。放送局相互の間を連絡するには，專用線路を設けて，有線中繼方式によるか，或は他局の電波を受信して，これを再放送する方法，即ち無線中繼方式のいづれかによらねばならないのであるが，放送業務を目的とするプログラムの中繼においては，受端に到達したプログラム電流が，充分强勢であり，從つて音量が豐富であると同時に，音質並びに明瞭度の良好なることを要するのは勿論，常に中繼そのものが信賴度高く，安定確實に行はれなければならないのである。

これらの點より見て，無線中繼に比し有線中繼の方が，遙かに優つてゐるのはいふまでもないが，技術上より見て充分滿足すべき高度の品位を有する專用中繼線を，長距離に亘つて架設するには，莫大なる經費を必要とし，保守もまたなかなか面倒であることなどは，經濟上甚だ輕視し得ざる問題である。

一方無線中繼においては，フエーヂングのために音量が變化し，空電，その他種々なる雜音の混入，或は混信妨害を受ける恐れがある等の缺點があり，且つこれらの障害を完全に除去することは，今日なほ容易に實現し難いのであるから，結局今日では無線中繼は，中繼線の建設が不可能な場合，またはこれに莫大な費用を要する場合，或ひは中繼線の障害に對する豫備設備として使用するのが一般で，海外諸國との間にプログラムの交換を行ふ場合は，無線中繼により行ひ，國內のすべての放送局は，有線中繼により連絡されてゐる。

我國において中繼放送が實施されたのは，昭和三年十一月五日であつて，當時は熊本，仙臺間の主幹線には，萬難を排して有線中繼が行はれたのであるが，仙臺，札幌間には無線中繼が採用され，札幌に適當なる受信所が設置され，またその後開局された金澤，長野，新潟等にも受信所を設けて無線中繼を行つた。その後搬送式電話裝置によつて，放送中繼の目的を充分達し得ることが試驗の結果明らかとなり，先づ名古屋，金澤間に實施して良好なる成績を擧げたのである。本方式を採用するときは，既設線路を利用して放送中繼用回線を增設することが出來るから，經濟上から見ても極めて有利であり，且つ無線中繼に比し信賴度も高く，從つて前述の如き初期の無線中繼はこれを順次廢止し，代つて搬送式有線中繼方式が採用されることとなり，その後新設された小放送局との間には，概ね本方式が實施されてゐる。尙ほ本方式においては初めはプログラムの傳送に際しては，後述の如く一方向傳送路に切替へられ，放送中は他方向への通話が全然不可能であつたがその後漸次改良せられ，今日では受信狀態を送出局に對し，通報し得るやうになつてゐる。



第 49 圖

かくして我國の放送局は，すべて有線中繼によつて連絡されてをり，線路障害その他によつて，有線中繼が不可能となつた場合，所謂非常時においてのみ無線中繼を行ふこととし，何時でも最寄放送局，或ひは受信に最も適當なる局を無線中繼し得るやう，各局には必ず中繼用受信裝置が設備されてゐる。

各放送局を連らねる所謂中繼線は，放送局と電話局とを結ぶ連絡線と，電話局と電話局との間を長く結ぶ中繼線とに區別され，この中繼線は架空裸線，または特別輕裝荷ケーブルを以て構成され，海峽の横斷には連續裝荷海底ケーブルを用ひ，市街地及びその近郊においては，地下ケーブルが使用されてゐる。また減衰甚だしき區間には，必要に應じ中繼所を設けてある。大電力局は一般に放送所を郊外に，演奏所を市中交通の便利なるところに設置されるのが普通であるが，かかる場合にはこの兩者をつなぐ連絡線が必要であり，またスタヂオ外中繼に際して，臨時使用する中繼線も，技術上すべて同樣に取扱ふことが出來る。

技術的見地からして，放送中繼線の傳送特性に對する要求は，普通の電話線に對するそれと大いに異つてゐる。即ち放送中繼線は一方向傳送回路であるため，反響，鳴音或ひは傳播時間等の問題が起らず，この點に關しては，普通の電話線に比較して技術的には容易である。しかして一方放送中繼線においては，放送せらるべき音聲，音樂等の品質を高度に保持しつつ傳送せねばならぬから，傳送周波數範圍，傳送音量範圍，歪等の點において，遙かに大きい困難を伴ふものである。

傳送回路の理想は，送端において或る電氣的波形を確實に受端において，或る電氣的波形として再現することであつて，この理想的傳送狀態を，無歪傳送といふのである。但しここに送端波形の忠實に再現された波形といふのは，時間の經過に對して，或る規準値に對する比較的の大いさの全然同一な波形を意味し，大いさの一樣な縮小，及び送端波形と受端波形の相對應する點の時間的遲れは問題にしない。第49圖は，各種中繼線の周波數減衰特性の一例を示すものである。

一樣な電氣特性を有する長さ l なる傳送回路において，受端をこの回路の特性

インピーダンス Z_0 で終端し，送端に E_1 なる電壓を加へたるとき，受端における電壓 E_2 は

$$E_2=E_1\varepsilon^{-\gamma l}=E_1\varepsilon^{-\alpha l}\varepsilon^{-j\beta l}$$

從つて $\dfrac{E_1}{E_2}=\varepsilon^{\alpha l+j\beta l}$

ここに α は減衰定數（Attenuation Constant），β は位相定數（Phase Constant）であつて

$$\alpha=\sqrt{\frac{1}{2}\left\{\sqrt{(R^2+\omega^2L^2)(G^2+\omega^2C^2)}+(RG-\omega^2LC)\right\}}$$

$$\beta=\sqrt{\frac{1}{2}\left\{\sqrt{(R^2+\omega^2L^2)(G^2+\omega^2C^2)}-(RG-\omega^2LC)\right\}}$$

$$\gamma=\alpha+j\beta$$

ただし R, L, C 及び G は線路の單位長の抵抗，インダクタンス，靜電容量及びリーカンスを表はし，γ は傳播定數（Propagation constant）と呼ばれる。

この傳送量 $\alpha+j\beta$ に對し，無歪傳送のために必要なる條件を求めると，

$$\alpha=k$$

$$\beta=\omega\tau+2m\pi$$

但し k 及び τ は定數，m は零または正負の整數であつて，これは傳送回路が E_1 及び E_2 に關して，無歪なるための必要且つ充分なる條件は，傳送量 $\alpha+j\beta$ の實數部即ち減衰定數 α がすべての周波數に對して一定であり，一方それの虚數部即ち位相定數 β が周波數に比例して變化し，且つ $\omega=0$ に對する位相定數が 0 または 2π の整數倍となることである。

從つて傳送回路の歪は，減衰定數 α と位相定數 β のいづれか一方か，或ひは兩方が以上の無歪條件を滿足してゐない場合に生ずるもので，減衰定數 α が無歪條件を滿足してをらぬことに起因するものと，位相定數 β が，無歪條件を滿足してゐないことに起因するものとに分けて考へることが出來，前者を減衰歪または

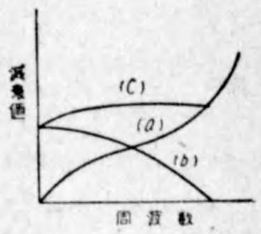
振幅歪と稱し，後者を位相歪と名付けてゐる。

この他回路に非直線性要素が含まれてゐる場合には，このために波形の歪が生ずるのであつて，これを非直線歪（Non-linear distortion）といひ，これに對して減衰歪と位相歪を總稱して Linear distortion と呼ぶことがある。

1.1　傳送周波數特性

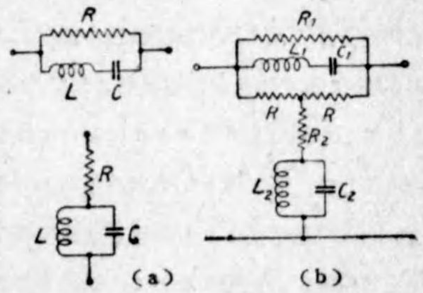
放送に必要な周波數帶域は，大體30乃至10,000サイクルとされてをり，放送機を始めすべての機器は，この周波數帶内において充分良好なる周波數特性を有するやう，設計され製作されてゐるのであつて，中繼線としても勿論同樣なことが要求される。

架空裸線においては，比較的良好なる周波數特性が得られ8,000サイクル程度までは，充分傳送されるのであるが，ケーブル回線においては，種々なる原因から，これが相當困難となり，これに特別輕裝荷を施す等のことを行つてゐるが，現在なほ100乃至4,500サイクル程度の範圍内において，良好なる特性が得られるに過ぎない。しかし少くとも30乃至8,000サイクルに亘り，良好なる傳送特性が得られるやう，絶えず努力が拂はれてゐる。



第 60 圖

減衰特性を良好ならしめる一方法として，等化裝置が使用されるのであるが，これは一つの結線網であつて，例へば線路の減衰特性が，第60圖（a）曲線の如き場合に，減衰等化裝置として，同圖（b）曲線の如き減衰特性を與へるやうにすれば，その合成されたものが，（c）曲線の如くなつて廣範圍に亘つて減衰値が一樣になつてくるのである。この減衰等化裝置としては



第 61 圖

第61圖(a)の如き結線網を線路に直列に，或は橋路に入れることが行はれるが，これはインピーダンスが，周波數により變化することを利用せるものであつて，その變化がかなり大なるため，線路終端のインピーダンス整合の上から不充分である。そのため第52圖(b)の如き定インピーダンス型のものを使用すれば，一層良好であり，場合によつてはかかる裝置を2組，或ひはそれ以上組合はせて用ひられる。

なほ第52圖(b)に示す結成網の減衰値は，次式によつて計算される。

$$d_{(ab)}=10\log_{10}\left(\frac{a^2(1-\omega^2p)^2+\omega^2q^2}{(1-\omega^2p)^2+\omega^2q^2}\right)$$

但し　$a^2=\left(1+\frac{R_1}{R}\right)^2$

$$p=L_1C_1$$

$$q=R_1C_1$$

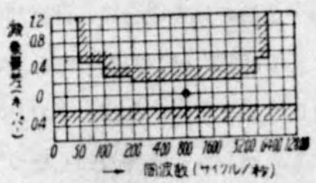
$$\omega=2\pi f$$

且つ　$R^2=R_1R_2$

$$=\frac{L_1}{C_2}$$

$$=\frac{L_2}{C_1}$$

なる關係により，これを定インピーダンス型とすることが出來る。なほ國際電話諮問委員會(C.C.I.F.)では，放送中繼線における減衰歪に對する許容限界として，第62圖に示す如き方法が提唱されてゐるのであつて，これは800サイクルにおける減衰値を基準として，他の種々なる周波數における減衰値の，この基準値よりの偏差を曲線に描くときはその曲線が恰度圖において，斜線を施さない中間部分に存在することを以て，許容の可否を判別しようとするものである。

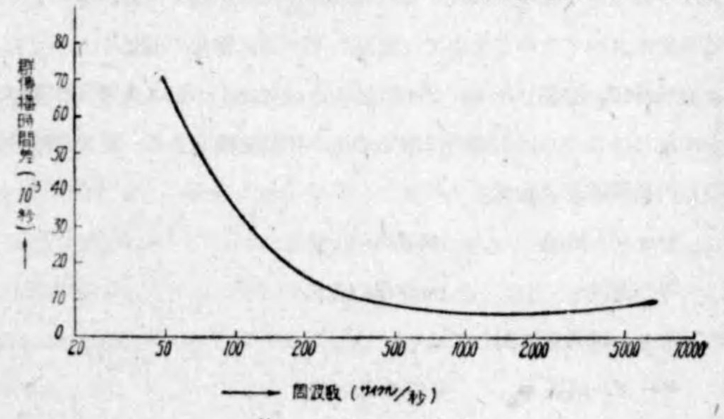


第　62　圖

1.2　位相特性

無歪傳送に必要なる條件の一つとして，位相定數が周波數に比例することが要求されることは，既に述べた通りであるが，かかる狀態においては，電流が送端より受端に達するまでの時間は，周波數に無關係となるのである。しかして或る周波數範圍内に，成分周波數を有する信號波の無歪傳送には，その個々の波形そのものよりは，寧ろかかる群の信號波の波形の包絡線の無歪傳送といふことが重要であつて，かかる信號波群の傳播速度，從つて群傳播時間が一定なることを必要とするのである。かかる理由のために，一般に或る線路の位相特性を無歪特性と比較するに當つては，群傳播時間が用ひられるのであつて，傳送回路の群傳播時間を必要なる範圍内の周波數に對して實測，又は計算によつて求めこれが或る一定値より如何ほど偏つてゐるかを見て，その回路の位相特性の良否を判斷してゐる。

しかして位相歪に關する限り，それぞれの周波數に對する群傳播時間の絶對的の大いさは，寧ろあまり必要としないのであつて，或る周波數範圍内の最小群傳播時間を基準とし，これと他の任意の周波數における群傳播時間との差，即ち群傳播時間差（これはその傳送回路の過渡振動時間に相當する）が重要であつて，これが或る許容限度内にあるか否かによつて，その良否を辨別することを要する



第　63　圖

のである。これに對し F. Strecker 氏は，放送中繼線に對し，その許容限度を第63圖の如く定め，群傳播時間差特性が，圖示の曲線と横軸との間に挾まれた範圍内にあることを以て，位相歪の許容條件としてをり，C.C.I.F. は 50 c/s において，80 ms, 6,400 c/s において 10 ms と定めてゐる。

位相歪は，通話の明瞭度を劣化せしめるものであつて，長距離回線において，一層顯著となるため，これを補正するため位相補償裝置を挿入する。

1.3　非直線歪

傳送回路に挿入せられる增幅器或は各種の線輪その他が，過負荷或ひは特性の不良などのために非直線要素を含む場合には高調波を生じ，所謂非直線歪を生ずるにいたる。これを防止するためには，線輪の鐵心として安定な高導磁率の鐵合金を使用し，適當なる眞空管を選定し，また增幅器の特性を，直線的なるやうに設計することなどが必要である。この非直線歪の限度として放送中繼線に對しては，發生せる高調波が基本周波に對し－50 db 以下，放送連絡線に對しては－60db 以下たらしむることが望ましい。

1.4　雜音及び漏話

雜音及び漏話は中繼線に接近せる送電線，電信電話線よりの誘導により，或ひは大地電流によつて生ずるもので，回路の不平衡に密接な關係をもつてゐる。この點より見れば，遮蔽したケーブル回線にあつては，かかる雜音及び漏話は極めて僅少になし得るが，架空裸線においては，相當困難である。放送中繼線に對して許容し得る漏話量として

ケーブル回線	－78 db 以下
架空裸線	－60 db 以下

と定めてをり，雜音量に對しては

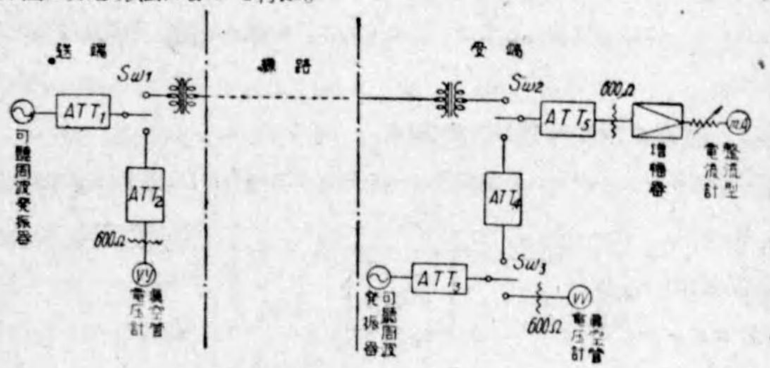
ケーブル回線	－57.8 db 以下
架空裸線	－51.8 db 以下

となつてゐる。以上述べたる諸特性に對し，放送中繼線として充分これを良好ならしめるべく努力を要するのであるが，架空裸線は天候季節等によつて，著しくその線路狀態が變化し，且つ障害により放送が中斷される危險性が多分にあり，放送用中繼線としては，不適當と考へられる點が少くない。

第 2 節　放送中繼線の試驗

2.1　傳送周波數特性の測定

中繼線の線路損失が，周波數によりいかに變化するかを測定するのであつて，第64圖の如き方法によつて行ふ。



第　64　圖

先づ送端側のスイツチ SW_1 を，Att_2 の側に倒し，600 Ω 終端抵抗器の端子電壓を眞空管電壓計 V.V. により測定する。この電壓は線路を構成してゐるすべての機器が過負荷とならない狀態において，且つまた受端側において測定するに好都合なるやう，送端における入力を定めたときの 600 Ω 抵抗器の端子電壓であつて，これを例へば V_1 とする。Att_2 は線路減衰の小なる場合には，必要としないのであつて，線路減衰が大なる場合に，送端入力を所要レベルまで高めるために使用するものである。

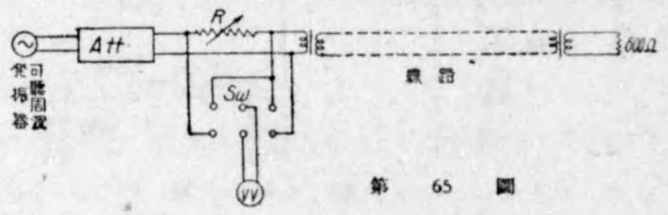
次にスイツチ SW_1 を線路側に切換へ，受端に送出する各周波數につき同樣の

ことを繰り返へせば，入力インピーダンスの如何に拘らず，常に入力レベルは一定に保たれることとなる。受端においては，スイツチ SW_2 を，先づ線路側に倒し，送端より送られた信號電流を增幅器によつて增幅すれば，その出力端の整流型電流計に，或る偏れ I を生じる。次にスイツチ SW_3 を 600 Ω 抵抗器側に倒し，Att_3 により，可聽周波發振器よりの出力を調節し，抵抗器の端子電壓を送端側における電壓 V_2 に等しからしめたる後，SW_3 を Att_4 の側に切換へる。同時に SW_2 をも Att_4 の側に切換へ，Att_4 の減衰値を變化せしめて，增幅器出力端の整流型電流計の偏れを，再び I ならしめる。しかるときは Att_4 によつて與へらるる減衰値は，直ちに線路の減衰値を示すこととなる。

これらを一つの測定器としてまとめたものに，6 號A通話能率測定器といふのがある。

2.2　線路インピーダンスの測定

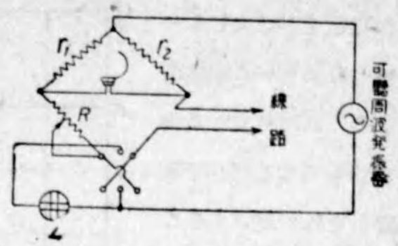
單に線路インピーダンスの絶對値のみを測定する場合には，第56圖の如き接續による。即ち受端を線路の特性インピーダンスに等しい抵抗器（多くの場合は 600 Ω）を以て終端し，可聽周波發振器より種々なる周波數の電流を送る。しかしてスイツチを左右に切換へ，そのときの眞空管電壓計の偏れが，同じになるやうにすれば，このとき R による電壓降下は，線路の入力端電壓と等しくなり，線路インピーダンスは直ちに R の抵抗値により與へらるることとなる。



第　65　圖

また線路インピーダンスを，抵抗部分とリアクタンス部分とに分ち，測定せんとする場合には，インピーダンスブリツチを用ひる。ウエスターン電氣會社製1－B インピーダンスブリツチは，この目的に使用される。

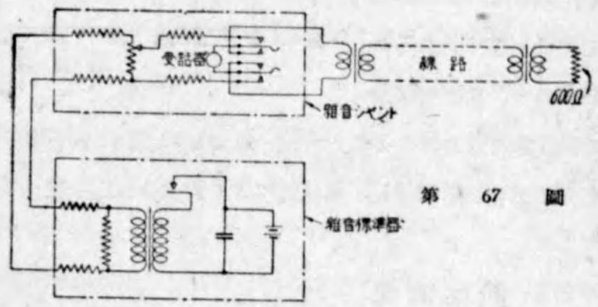
その原理は第66圖に示す如く，ホイートストンブリツチの原理に依つて，インダクトメーター L の誘導量，及び可變抵抗器 R を變化して，發振器からの交流電源を用ひ平衡を求め，これによつてインピーダンスの抵抗部分と，リアクタンス部分とを求めるのである



第　66　圖

2.3　雜音測定

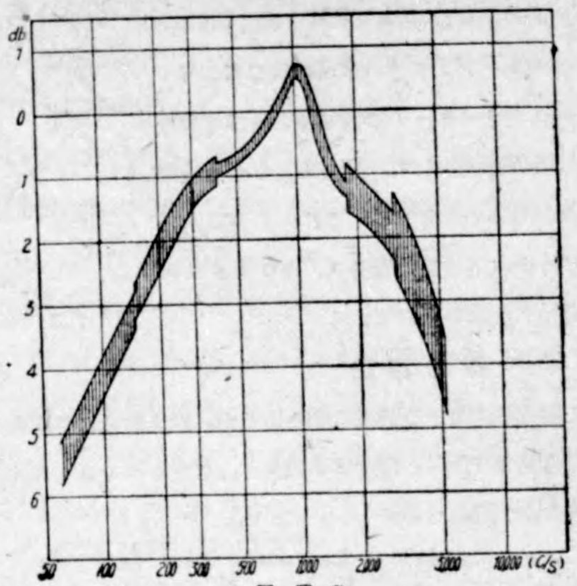
雜音を測定する裝置に種々あるが，最も普通に從來使用されてゐるものは，第67圖に示す如く，雜音標準裝置と，雜音シヤント（Noise shunt）とからなり，前者は一種のバイブレーターで高調波成分を多く含む比較的低周波基本波の電流を發生するもので，後者は一つの分壓器で，雜音量を表示するものである。雜音單位（漏話單位と同じ）で目盛がしてあるが，これは雜音標準器から送られる電流の百萬分の幾つかを示すやうになつてをり，100 雜音單位は，600 Ω 終端抵抗器に對し，1 ミリボルトと等價であり，1 ミリワツトを 0デシベルとすれば，－57.8 db に相當する。



第　67　圖

測定するには雜音シヤントを加減しつつ電鍵を操作し，受話器によつて雜音標準器からの音と，線路雜音とが同じ妨害を與へる點を求めて，雜音量を決定するのである。なほ線路雜音の最大原因となるものは誘導妨害である。なほかかる測定法によるときは，測定者によつて或ひはその測定場所の周圍の雜音の程度により，

測定結果が必ずしも一致しないといふ缺點があるため，適當なる增幅器を有する眞空管電壓計を以て測定することもある。この場合耳の感度は周波數により異なるものであるから雜音電流が音となつて妨害を與へる程度を判斷するには，このことを充分考慮に入れる必要があり，前記增幅器の周波數特性を耳のそれと大體一致せしめ，第68圖斜線の範圍內の周波數特性を有する結線網を附加し，周波數により評價の程度を變へて測定する方法も行はれてゐる。

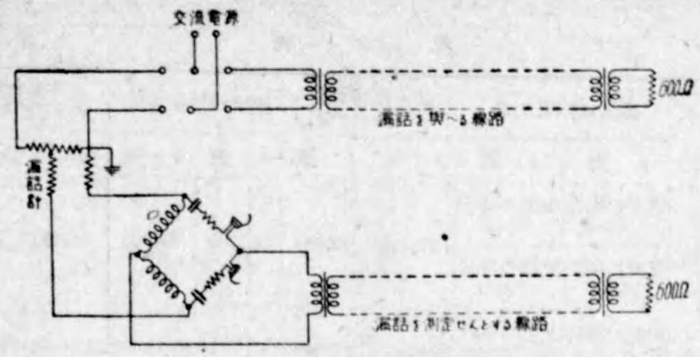


第　68　圖

2.4　漏話測定

漏話測定器の動作の原理は，第69圖に示す如く充分に平衡した塞流線輪 $D.D$ が，ブリツヂの二つのアームを形成し，並列に流れる電流に對しては無誘導抵抗として同量に働き，直列に流れる電流に對しては大なるインピーダンスを與へる。いま受話器の接續されてゐるアームが，平衡してゐるとすれば，漏話計からの電流は大部分兩受話器を直列に流れ，漏話を測定すべき回路には流れない。

また漏話を測定すべき回路からの電流は，受話器及び塞流線輪を並列に通じ，從つて漏話計回路に影響を與へない。漏話を測定するには，交流電源を漏話を與へる回路に接續した場合に，漏話を測定すべき回路に生ずる漏話量が，交流電源



第　69　圖

を漏話計に接續した場合，漏話計から供給されるものと等しくなるやうに，漏話計を調整するのである。

漏話測定の結果，漏話量が大なる場合には，線路に不平衡があることを示すものであるから，このインピーダンス不平衡を測定して，その原因を突き止めねばならぬ。

第3節　搬送式放送中繼裝置

搬送式電話裝置が放送中繼用として良好なる結果が得られるため，現在多くの區間においてこの方式が採用されてゐることは，既に述べた通りであるが，傳送可能周波數帶を出來る限り廣くするため，放送中繼中は一方向にのみ傳送するやうになつてをり，局間相互の打合せが不可能となる。

また現在のところ，傳送し得る音聲周波數帶域も約100乃至5,000サイクルであつて，なほ不充分ではあるが，將來は30乃至8,000サイクルの範圍に亘り，良好に傳送し得るやう計畫されてゐる。現在使用されてゐる裝置の概要を表示すれば第7表の如くなる。

放送中繼用として設計された搬送電話裝置は，BC 型と稱するものであつて，第70圖，第71圖及び第72圖に示す如く，プログラム電流の送出，受入及び通話

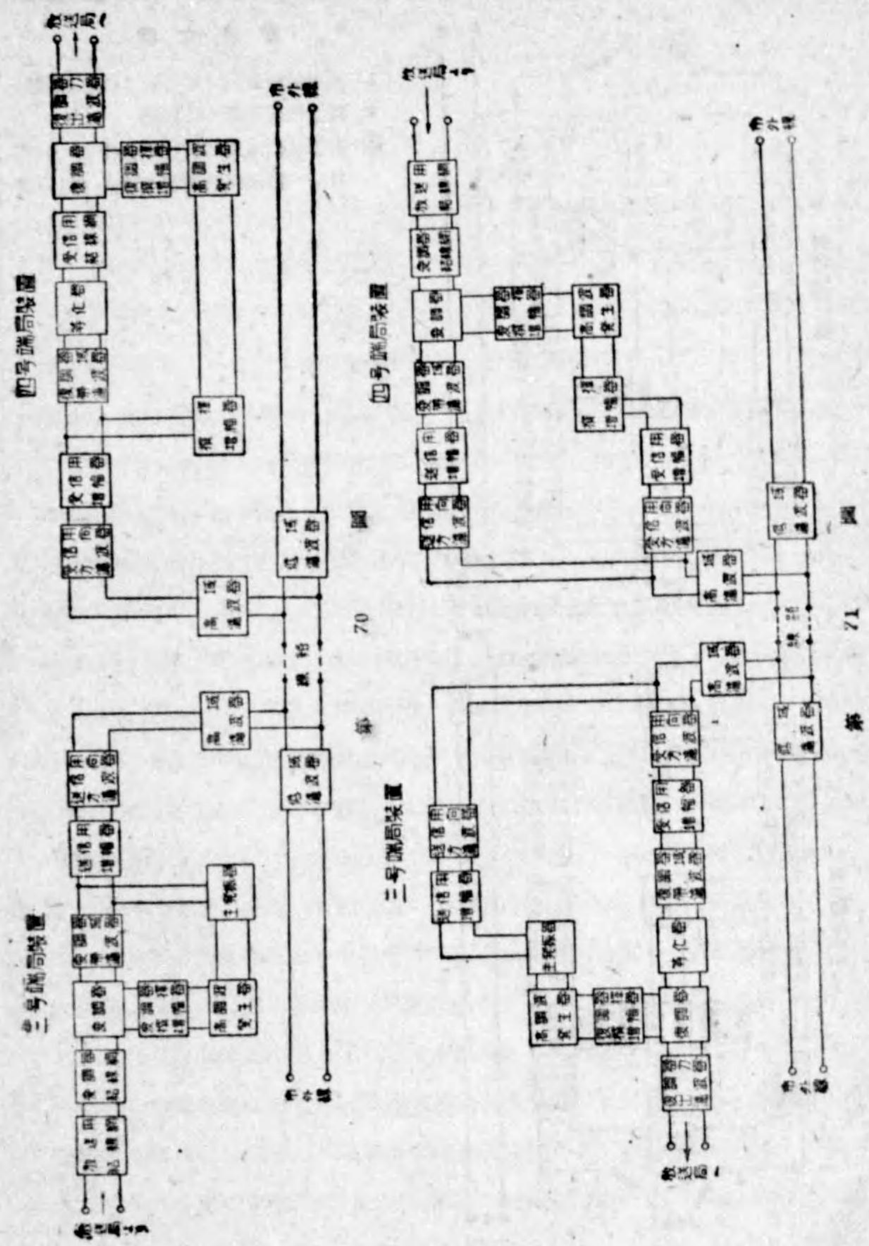
第　7　表

方式及種類	搬送周波阻止式		基本波傳送搬送周波阻止式		搬送周波傳送式		基本波傳送搬送周波阻止式	
	1　號	2　號	3　號	4　號	5　號	6　號	7　號	8　號
搬送周波數(サイクル)	變調の場合 12,400 復調の場合 10,000	復調の場合 12,400 變調の場合 10,000	12,400	20,400	11,200	28,000	11,400	20,800
周波數帶域	放送の場合 自 12,400 至 17,600 通話の場合 自 12,400 至 17,600	放送の場合 自 12,400 至 17,600 通話の場合 自 10,000 至 7,600	自 12,400 至 17,600	自 20,400 至 25,600	自 11,200 至 16,400	自 28,000 至 22,600	自 10,400 至 17,000	自 20,800 至 27,400

の三様に切換へ使用するやうになつてゐる。端局裝置は，電話局内に設備されてをり，從つてこれを前記の如く切換へるために，制御裝置があり，これを監視するための監視裝置がある。この制御は，放送局側において行ひ得るやう，電話局との間に連絡線があり，また監視用回線もある。この他，プログラム電流の送受を行ふ中繼線があることはいふまでもない。

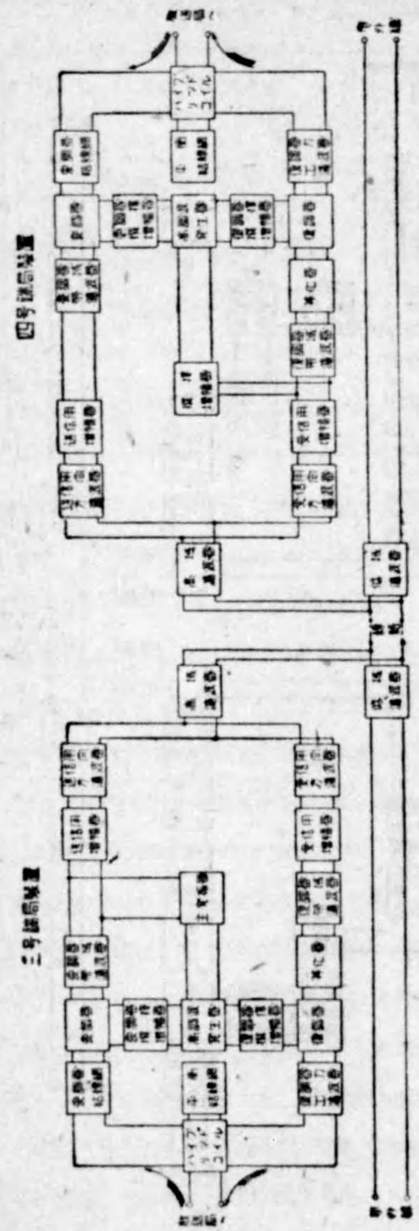
1號及び2號端局裝置は，上表の如くその搬送周波數が比較的低いため，線路損失の多い區間，或ひは長距離回線に有效であるが，兩端局の變調器及び復調器の同期を保持する必要があるから，保守上頗る厄介である。5號及び6號端局裝置は搬送周波を傳送するものであるから，かかる困難はない。また3號及び4號端局裝置並に，7號及び8號端局裝置は一端局に主發振器をおき，基本周波を發生し，これを他局に傳送し，高調波發生器及び選擇器により，變調及び復調にそれぞれ必要な搬送周波を取出すものである。

これらの裝置によつて，傳送される音聲周波數範圍は，既に述べた通り，約100乃至5,000 c/s であるが，7號及び8號裝置は最も廣く，50乃至6,000 c/s となつてゐる。



70圖

71圖



第72圖

參考文獻

1. 放送無線電話：丸毛登　共立社發行
2. 搬送電信電話：堀孝治　〃
3. 有線通信回路に於ける位相歪：山本昇一　電氣試驗所調整報告 第106號

第7章　スタジオ外中繼

第1節　概　　說

演奏所より放送所へ向つて送出されるプログラムの中には，その演奏所自身のスタジオ内において行はれた演奏によるものの他に，所謂中繼に據るもの，卽ち外部より種々の方法によつて演奏所へ傳送されたものに，適宜必要な處置を加へたものがある。かやうなものを總稱して，一般に中繼放送と呼んでをり，スタジオ外中繼は，そのうちの一つである。スタジオ外中繼とは演奏所外の劇場とか，講演會場または式場とか，運動競技場，或はその他種々の催しものの行はれる現場，卽ちスタジオ外より實況その他を中繼し，これを放送するものをいふ。スタジオ外中繼は現場より，直接實際の場面を如實に傳へるもので，放送效果上極めて有效で，放送の一分野として，今日では重要な位置を占め，取扱回數も非常な數に上つてゐるが，將來益々增加の傾向にある。一般に中繼放送は，その傳送の形式により，これを無線中繼と有線中繼とに分けることが出來，スタジオ外中繼のうちにも，スタジオ外無線中繼とスタジオ外有線中繼とがある。いふまでもなく，無線中繼とは電波の助けを藉りて中繼傳送を行ふものであり，有線中繼はこれに反し，終始ラインを利用するものである。なほこれらの中間を行く如き形のものに，搬送式傳送がある。無線中繼では比較的良好な周波數特性が得られるが，フェーヂングとか，空電その他の原因による雜音を伴ひ易く，他の無線通信との間の混信，殊に電信混入による妨害を受けやすい。また場合によつては，特殊現象のために受信狀態が影響を蒙ることもある。

これらの點を考へるとき，放送效果上有線中繼の方が望ましく，實際の中繼放送においても，原則として出來るだけ有線に據り，やむを得ない場合に限つて，電波を利用するのが普通で，從つて純然たる無線中繼の行はれることは稀である。

スタ　オ外中繼における無線中繼は，大體移動放送とか或は利用し得るラインのない場合等に限られてゐる。中繼放送のうちには，スタジオ外中繼の他に，

全國各放送局間中繼放送

外地放送

國際放送

等がある。

第2節　スタジオ外中繼用機器及び中繼線

スタジオ外中繼では，現場で收音，調整を行ひ，これを演奏所に傳送し，演奏所のB增幅器を通して放送を行ふもので，現場へはマイクロホンの他，マイクロホンミツクサー，マイクロホン增幅器，その他の中繼用機器一式を携行するのである。

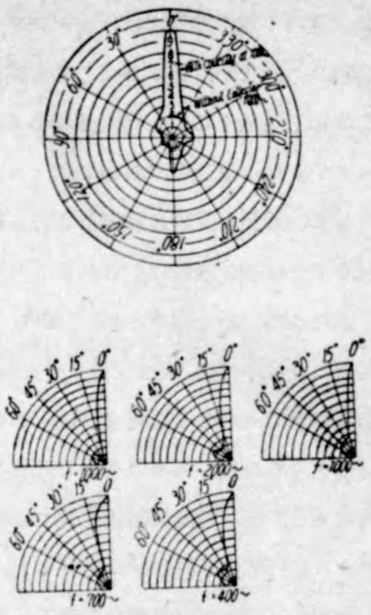
マイクロホン　スタヂオにて使用のものと，ほぼ同樣のものを使用するが，收音すべき音源，或は環境の條件に從ひ，適當なものを選んで用ひる。例へば屋內における音樂，劇その他の中繼には，ベロシチー・マイクロホンが主として用ひられ，屋外では普通ライス・マイクロホン，コンデンサー・マイクロホン，或はムービングコイル・マイクロホン等が用ひられる。特に音響處理のしてない屋內中繼においては，反射音を遮る目的で，マイクロホン・バツフル（baffle）を用ひることがあり，また屋外中繼にては場合により，雨風等天候に對し相應の用意が必要で，このため特殊のマイクロホン・ガツグ（microphone gag）等の用ひられることもある。また往々マイクロホンを移動させながら收音することがあるが，この目的には，ライス型は炭素粒の狀態が變り易く，雜音を發生し易いから不適當で，クリスタル・マイクロホン，コンデンサー・マイクロホン，ムービングコイル・マイクロホン等が使用される。

マイクロホン・コードとしては，屋內中繼の場合には主として絹糸編上げ被覆のもの，屋外中繼の場合には，キヤブタイヤー・ゴム被覆のもの，または被鉛電線等が用ひられるが，いづれにしても銅網，錫箔，または鉛覆等により，完全に遮蔽しこれを接地することが必要である。

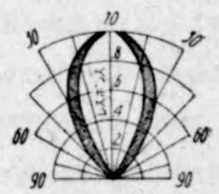
スタジオ外中繼放送においては，スタジオ內における如く，マイクロホンを對象として，音源が配置され發音される場合は極めて稀で，從つて相當都合の惡い條件の下で收音を餘儀なくされることも尠くない。例へば音響處理の考慮してない，または不完全な室內とか，工場內，自動車內，飛行機內等の如き騷音の甚だしい場所における放送，或は收音すべき目的の音源が遠く離れてゐて，これに近づき難い場合等で，かやうな場合にはとかく間接音や騷音に觸され，或は目的音の强度が不充分で，從つてそのままでは充分な效果を收めることは困難である。これが對策としては，通例指向性を有するマイクロホン，または特に口元に近付けアナウンスし得る如き特殊マイクロホン，或は集音器等の如きものを使用し，妨害音と目的音との相對的强度を引離し，或は所謂集音作用により音の强さの不足を補ふ。（ここにいふ集音器とは，マイクロホンとともに使用し，特定の方向の音響を能率よく收音するものは，總べてこれを含み，ただ單に音を集聚するもののみを指すものではない。）

集音器として通常用ひられてゐるものに，ホーン型集音器，拋物線鏡面反射型集音器，管狀集音器の三種がある。ホーン型のうちには，エキスポーネンシヤル・ホーンとコーンの二種があり，マイクロホンはホーンの底部，またはその近くにホーンの開口部に向つて取付けられる。この種の特殊なものとして簡單な小型のものが，反響防止函の名稱の下に集音器といふよりは，寧ろ單なる指向性バツフルとして，從來スタジオ外中繼放送において盛に使用されて居る。拋物線鏡面反射型集音器は，平行波として入射した音波を反射させ，焦點に集中させるもので，從つてマイクロホンは，反射鏡面に向けて取付けられる。拋物線型においては，ホーン型と同樣，開口部の大いさと指向性の周波數特性と關係があり，音波の波

長が短い程指向性は鋭い。即ち換言すれば，低い音に對しても充分なる指向性を與へるためには，反射鏡面の寸法が相當大きくなる。然し實際には取扱上或は製作上の制限を受け，特殊のものを除く他は通例鏡面開口部の直徑1米前後を限度としてゐる。第73圖は，AK にて使用せる口徑90糎，焦點距離20糎，深さ25.3糎の拋物線鏡面反射型集音器の特性の概略を示す。管狀集音器は適當に設計された多數の小管と，マイクロホンを組合せたもので，使用せる小管の形狀，大いさ及びそれらの束ね方により，種々の形狀のものがあり，管狀指向性マイクロホン，(1) 線型マイクロホン(2)等はその一例である。第74圖は Olson 氏の超指向性線型マイクロホンの特性の概略にして，85乃至8,000 c/s の廣範圍に亘り，その指向性は圖の斜線の部分に收り，極めて優秀な性能を示してゐる。



第73圖　集音器の指向特性



超指向性線型マイクロホンの85乃至8,000c/sにわたる指向特性

第74圖

放送用集音器の特性は，直接音と間接音との比，或は一般に目的とする音と，他の好ましからざる音との比によつて定まる有效立體角の大いさ，即ち指向性と，その指向性の周波數特性に依り定まる。いま簡單な餘弦函數として表はされる指向性の二，三を求めると，第75圖の如くなる。シグナル對雜音及び殘響の比を，同一程度に

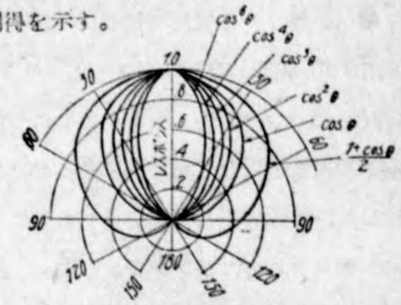
(1) J. A. S. A. Jan. 1939.

(2) I. R. E. July. 1939.

許し得るものとすれば，指向性のマイクロホンは無指向性のものに比し，その指向能率(3)の平方根倍だけ離して使用し得る。第8表は第75圖の曲線にて示される，指向性マイクロホンの指向能率及び距離利得を示す。

第　8　表

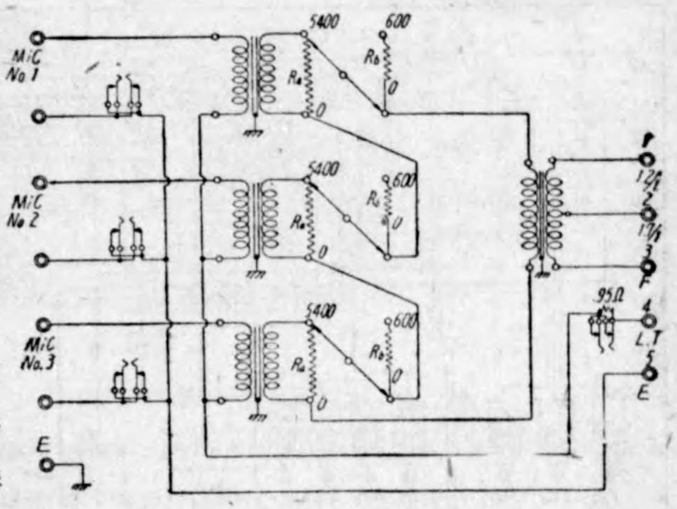
函　　數	指向能率	距離利得
$\frac{1+\cos 2\theta}{2}$	3	1.7
$\cos\theta$	6	2.4
$\cos^2\theta$	10	3.2
$\cos^3\theta$	14	3.8
$\cos^4\theta$	18	4.2



第75圖　指向曲線

ミツクサー

上述の如くスタヂオ外中継において，演奏その他が放送のためにのみ行はれることは極めて稀で，多くの場合收音の對象となるものは，放送のためにあるのではない。從つて收音に必要な使用マイクロホンの個數は，スタジオ內收音の場合に比し一般に多くなる。これらを適當に混合調整し充分な

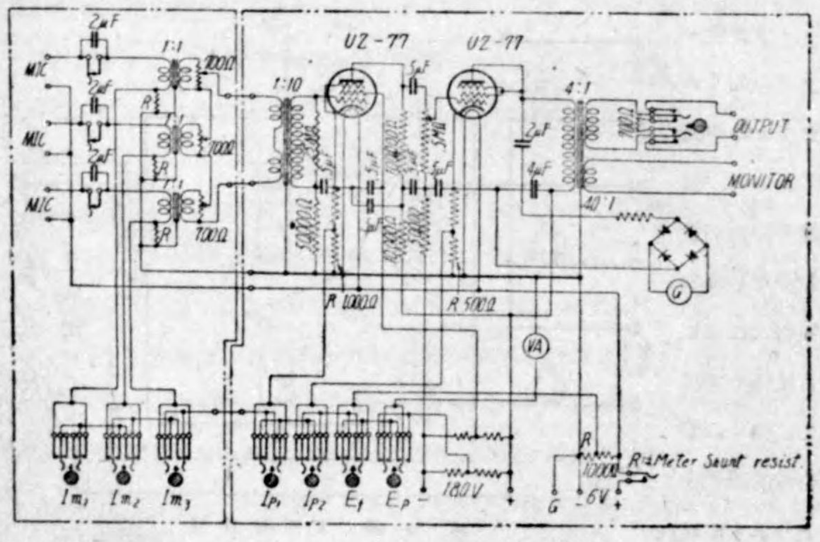


第76圖　T型整音器

(3) 任意の方向の音源が在る場合（凡ての方向に同じやうに在り得るものとして）における無指向性マイクロホンと，指向性マイクロホンとのエネルギーレスポンス比を以て指向能率とする。

る效果を收めるため，ミツクサーを使用する。第76圖は，携帶用ミツクサーの一例である。

增幅器　中繼用增幅器は所謂A增幅器，卽ちマイクロホン增幅器で，60乃至70db程度の利得を必要とし，ラインに相當レベルで送出し得る充分な出力（送出しレベル零db）を有するものでなくてはならない。中繼用增幅器は，他の機器同樣携帶用なるため，出來るだけ小型輕量で，動作確實，誘導障害を蒙ること少く，振動に對しても安全であることが望ましく，現場に設置する場合にはスポンヂ・ゴム等のクツションを與へ，振動を防止する。增幅器用電源には，通例電池が用ひられる。第77圖はその一例を示す。使用マイクロホンが，特にその出



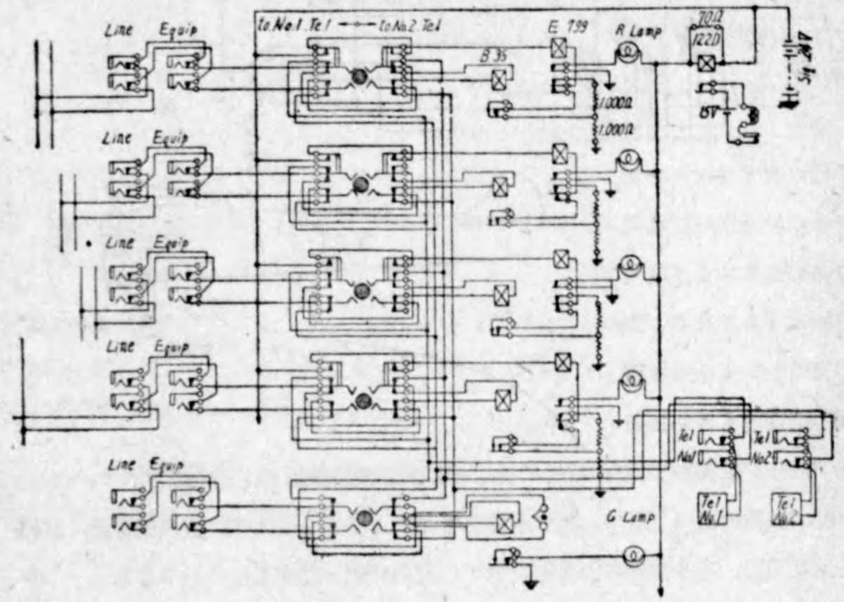
第77圖　携帶用音聲增幅器接續圖

力が小さかつたり，インピーダンスが高かつたり，或はマイクロホン・コードの電氣容量の影響を受けたりする場合には，さらにヘツド・アンプリフアイヤーを使用する。

實際中繼の場合には，上述の機器の他，その附屬品，豫備品，工具類，打合用

電話機，ライン切換用ジヤツクボツクス，遮斷通知用ベル等を携行する。

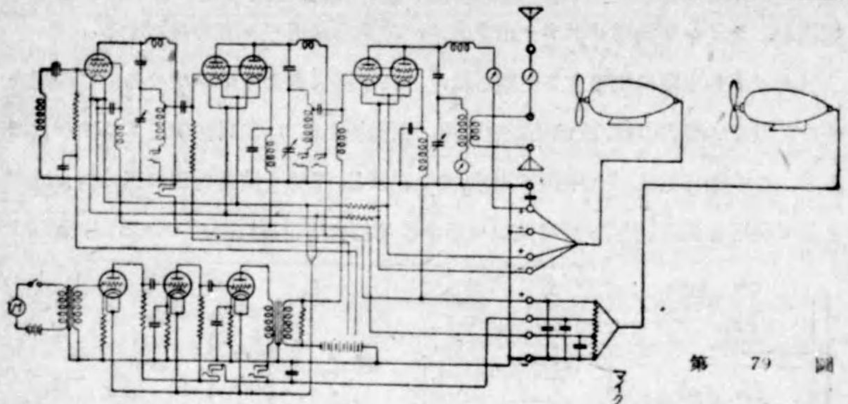
スタジオ外中繼に使用する中繼線は，これを遞信省より借り受ける。この場合やむを得ない場合の他，放送線の他に更に豫備線を借り，二回線使用するのが常である。この豫備線は，その兩端に電話機を接續し，現場と演奏所間の連絡打合線用として利用される。第78圖は演奏所における打合用電話回路圖である。中繼線は



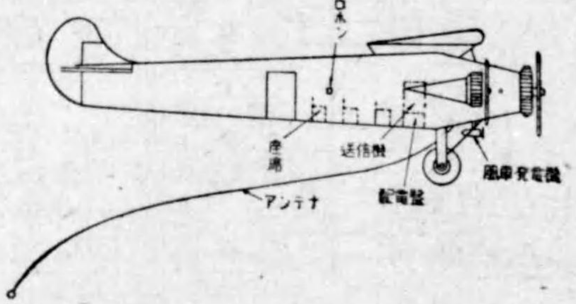
第78圖　電話線路圖

二回線とも，放送に先立ち（通例その前日）それぞれ絕緣抵抗（線間及び大地間）線路抵抗及び兩線抵抗の不平衡の程度，他線よりの漏話雜音混入の程度，及び中繼線相互間の漏話等について，嚴密に測定し，放送に使用して差支へなきや否やを試驗する。

無線中繼の場合には，音聲增幅器の出力を中繼用の送信機に導き，豫め定められた受信所に向つて連絡する。中繼用送信機にはそのときの放送の模樣，或は場所等に應じ，種々の波長及び電力のものが用ひられる。電源も交流電源，或は蓄電池



第　79　圖



の他，ガソリンエンヂンまたは蓄電池或は風車等で驅動する直流發電機等種々である。空中線についても同様種種の形態のものがある。

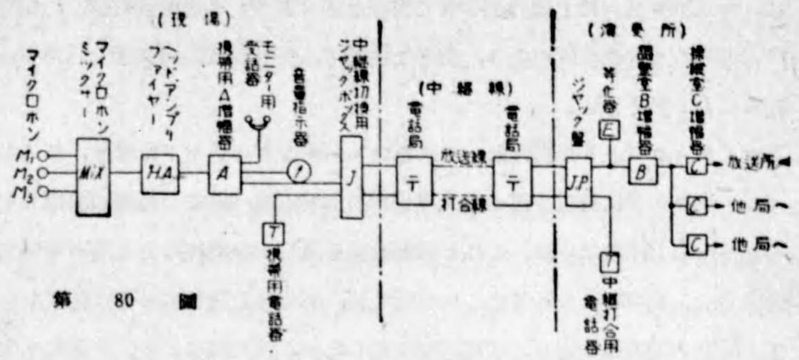
第79圖は飛行機上よりの放送に使用せし送信機接續圖及び空中線を示す。

特に無線中繼用として，放送用音聲增幅器及び送信機の他，放送受信機，連絡用送受信機，電源裝置等の設備を有する所謂無線自動車も造られてゐる。

また特殊なものとしては，背嚢式超短波放送機，或はさらにトツプハツト送信機等の考案もある。

第 3 節　スタジオ外中繼系統の概要

スタジオ外中繼は，既に述べた通り，主として有線の形式で行はれ，放送現場にマイクロホン，增幅器，その他必要な機械類を携行し，增幅器の出力を，ラインを通して演奏所に向つて送出する。第80圖にスタジオ外有線中繼の場合の系統の大體を示す。



第　80　圖

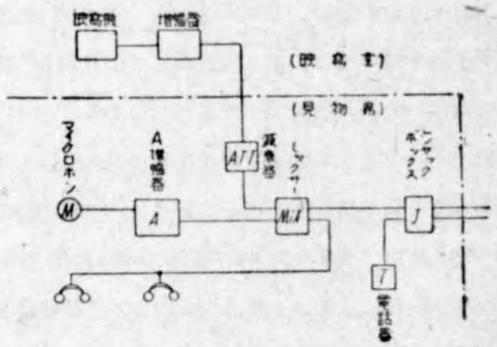
演奏所内スタジオよりの放送においては，演奏は全然放送するために行はれ，從つて樂器その他の配置は，放送に都合のよいやうに選んで，マイクロホンを中心にして音源の關係位置をきめることが出來，收音は比較的容易なため，使用マイクロホンの數は，あまり多くなくても充分な效果を擧げ得る。これに反しスタヂオ外中繼の場合には，大抵放送すべき催物が放送そのものを，直接の目標としてゐないため，收音すべき音源を中心に，マイクロホンを配置しなければならぬ故，場合によつては使用マイクロホンの數は，スタジオ内の場合に比し，著しく多くなることは既述の通りである。例へば舞臺の相當廣い大劇場よりの中繼においては使用マイクロホンの數は，5個，6個，或はそれ以上10個に近い數に上ることも珍らしくない。從來この種のスタジオ外中繼放送においては放送現場の音響狀態に不案内であるといふことの他に，之等マイクロホンを適當な場所に配置し，その出力を適宜切替へ，或はミツクスするところに相當の困難を伴ふことになり，從つて實際の放送に先立つて，先づ豫行演習を行つてみることが必要となつてくる。事實，舞臺中繼等においては，放送と同じ條件の下に，兩三回，或はそれ以上の豫行演習をやらなければ，相當の經驗者でも，なほ充分なる效果を收めることは困難である。

しかし場合によつては，例へば報道的な實況放送等の如き簡單なものにあつて

は，マイクロホンは1個乃至2個で済むときもある。また前述の如く，場合によつてはそのときの狀況に從ひ，適當な反響防止裝置或は集音裝置を利用すれば便利なことも尠くない。

マイクロホンよりの出力は，これをフエーヂングユニツトに導き，ここで切替へ，ミツクス或は調整を行つた上携帶用の A 增幅器へ送る。音聲增幅器で充分なるレベルに上げたならば，これを切替裝置を通し，中繼線により演奏所へ向つて送出する。演奏所においてはこれを受入れ，等化器を通して必要な補償を行つた後，所謂 B 增幅器を通し，適宜調節を施した後，連絡線により，放送所へ向けて送り出すのである。なほ B 增幅器の出力は同時に C 增幅器へも導き，それぞれ必要な放送局へ向つて送出する。特にヘツドアンプリフアイヤーを使用する場合には，フエーヂング・ユニツトと，携帶用 A 增幅器の間にこれを挿入すればよい。

スタジオ外無線中繼の場合には，有線中繼の場合の A 增幅器と，中繼線の間に送信機及び受信機が挿入される。更にこの場合連絡用として受信所と送信機設置所に，それぞれ送信機及び受信機が設けられ，放送その他に關する種々の連絡に使用される。



第　81　圖

なほ特殊なものの一例として，第81圖にトーキー中繼の場合の系統を示す。

第8章　時報裝置

第1節　概　說

毎日の放送番組中，或る意味において特殊の位置を占めてゐるものに，時報放送がある。今日のところ時報放送は毎日4回，卽ち午前7時，正午，午後7時及び10時の定刻に行ふのを原則としてゐる。このうち正午及び午後10時の時報は，午前11時及び午後9時前5分間に亙つて發せられる東京天文臺よりのタイムシグナル（日本中央標準時）を基準にして行はれ，午前7時の時報は，前日午後9時のタイムシグナルに基準をおき，これに推定を加へて算出した値によつて行はれてゐる。

第　9　表

局名	測定日（昭和十一年）	タイムラグ
熊本	三月三一日	〇・〇二七
大阪	三月三一日	〇・〇一九〇
名古屋	三月三一日	〇・〇一二五
札幌	三月三一日	〇・〇一〇〇
旭川	四月〇二日	〇・〇一〇三

（注意）各中央放送局に屬する支局（大阪に對する京都の如き）の値は大略親局に近似の値と考へて差支へない。親局と支局は全國の大部分が線送式に依つて接續されて居る。

時報放送は所謂AK發全國中繼にて行はれるもので，全國各放送局はAKより送出されたものをリレーし，同時に同一のものを放送してゐる。然し嚴密にいふならば時報は他のプログラムと同樣連絡線による有線中繼なるため僅少ではあるが時間の遲れを免れることが出來ない。例へば第9表によればAKの時報に比し，旭川では約0.010秒，熊本では約0.022秒の遲れを示してゐる。なほAKの時報に對する誤差についての天文臺の報告によれば，その最小誤差±0.00秒卽ち無誤差で，最大誤差は±0.16秒平均誤差±0.045秒とのことである。

今日放送されて居る時報の形式は，第82圖に示すやうなもので，完全な時報を行ふためには，一分を必要とする。卽ち定刻の恰度1分前に報時時刻を告げ，40