

立正佼成会横浜教会普門館の法座席の音響

真藤利孝 吉田克雄
坪井政義

Acoustic Design of Rissho Koseikai Yokohama Temple, Fumonkan Hozaseki

Toshitaka Shindo Katsuo Yoshida
Masayoshi Tsuboi

Abstract

This paper describes the acoustic design of Rissho Koseikai Yokohama Temple, Fumonkan Hozaseki, located in Yokohama, Japan. The object of acoustic design is to assure good speech intelligibility, and moreover, provide rich resonance in pipe organ recitals. The objective was attained by means of making reverberation time short through architectural considerations and supplementing a "Spatial Impression and Reverberant Feeling by Assisted Acoustic System (Electro-acoustical System)." This system is constituted by surrounding loudspeakers developing early reflection of sound energy from the sides and basic reverberant sound energy in excess of those naturally occurring. It was ascertained by acoustic measurements after completion of the building that the Hozaseki has a good sound field.

概 要

立正佼成会横浜教会普門館法座席の音響計画での課題は、講話などの明瞭度を完全に確保し、かつパイプオルガン演奏に必要な豊かな音場を得ることであった。建築的に残響時間を短めにする事で明瞭度を確保し、パイプオルガンのSpatial impressionと残響感は電気音響設備で補うことで試みた。建築音響設計では、天井・側壁などを吸音処理するなどしてエコーなどの音響障害を防止しながら残響時間を短めにした。電気音響設計では、パイプオルガン演奏の豊かな音場を得るためにAssisted Acoustic System（音場支援システム）を開発し、採用することにした。このシステムは周囲に適切に配置されたスピーカーにより、初期の側方反射音や拡散音を発生させて良好な拡がり感や残響感を得るものである。竣工後の聴感試験を含む音響測定により、前述の二つの課題を満足し、良好な音場が得られているのを確認した。

1. はじめに

横浜西口に建設された立正佼成会横浜教会普門館は9階建の宗教施設で、1F・2Fに宗教諸行事と講話を行なう法座席、4Fに舞台のある多目的な講堂、9Fにバンケットルームとして使用可能な国際会議場等を有している。法座席は正面に聖壇、その両側にパイプオルガン、側方にバルコニー、および2F後方に礼拝席がある。法座席の音響計画での第一の目標は、講話がどの席においても完全に明瞭に聞き取れることであり、第二の目標はパイプオルガンに相応しい豊かな音場を得ることであった。一般に人々がパイプオルガンというものに対して望む音場とは低音域での音量感と、音に包み込まれる感じであ

り、豊かな残響感である。これに対して講話の明瞭度には、話をしている人の方向がわかり、残響が長すぎないことが要求され、パイプオルガンの音に包み込まれる感じや豊かな残響感と相反する。これらの相反する音響的課題を建築的に残響時間を短めにする事で明瞭度を確保し、パイプオルガンのSpatial impressionと残響感は、電気音響設備にて補うこととした。適切な建築音響計画を行ない、かつパイプオルガン演奏時の電気音響設備として、音場支援システム（Assisted Acoustic System）を日本楽器製造（株）と共同開発し、法座席に採用したところ、良好な結果が得られたので、ここに報告する。図一1, 2に法座席の平面図、図一3, 4に断面図を示す。表一1に法座席の概要を示す。

2. 音響計画

2.1. 明瞭度の確保

建築音響計画では明瞭度を最優先して残響時間を短めにし、かつ有害なエコーが生じないように天井と側壁を吸音処理するなど(表-1参照)、室内の仕上げを十分検討した。

電気音響の拡声システムに関しても、講話に対して十分な明瞭度と方向感を得るために、正面両サイドのパイプオルガン上部にメインスピーカーを設け、図-7に示すようにスピーカーを配置した。フロントスピーカー、バルコニススピーカー、天井補助スピーカーにはメイン

スピーカーからの距離に応じたディレイタイムを付加して明瞭度と方向感を確保した。

2.2. パイプオルガンのための豊かな音場

パイプオルガンの音に対しては、十分豊かな音場を得るために新たに開発した A. A. S. (Assisted Acoustic System) を採用することにした。A. A. S. を簡単に述べると、室内に適切に配置されたスピーカーによって、響き、音量感、拡がり感などの良好な室内音響状態を得るための理想的な反射音構造と残響感を電気的に創り出して支援する音場制御システムである。

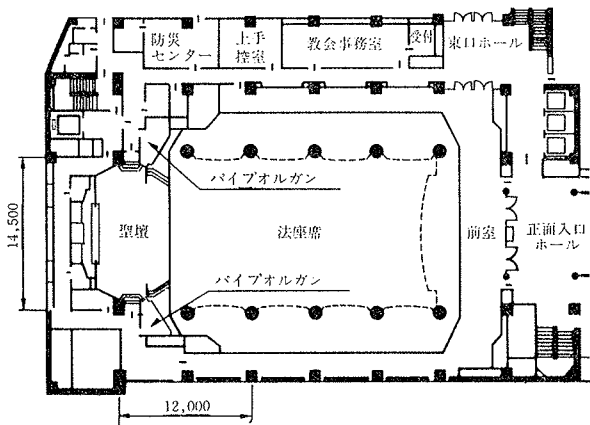


図-1 1F 法座席の平面図

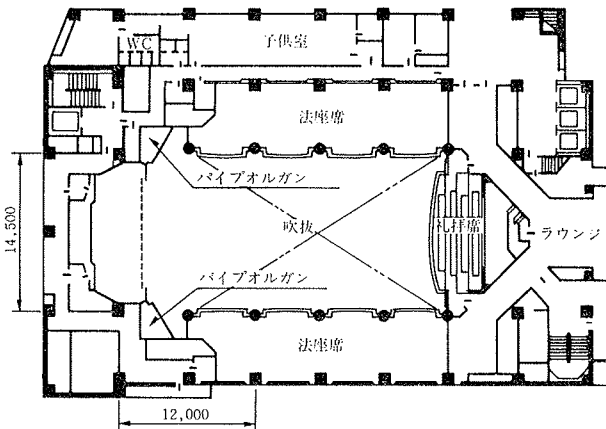


図-2 2F 法座席の平面図

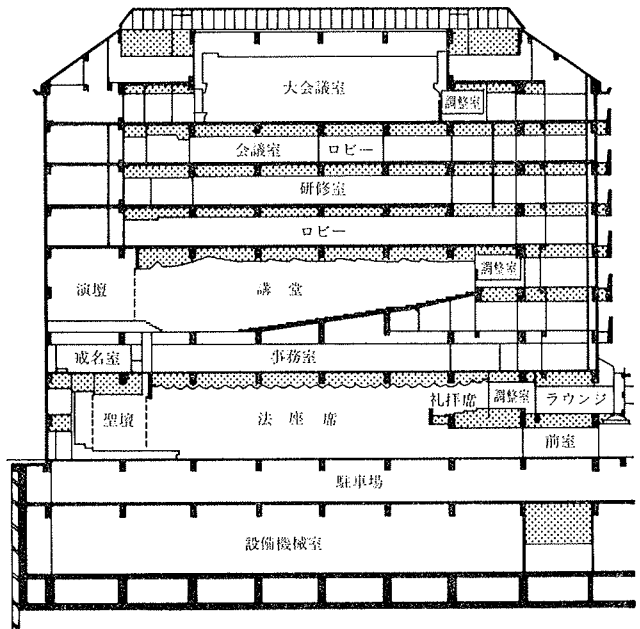


図-3 普門館縦断面図

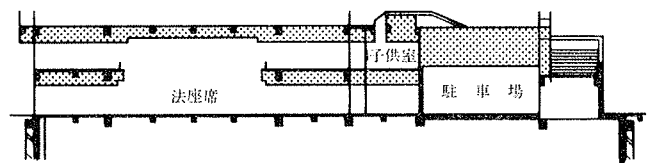


図-4 法座席横断面図

諸元と仕上材	容積4,934m ³ , 表面積3,795m ² , 平均吸音率0.16(空席・500Hz)
天井(含聖壇)	: アルミ鋳物成型板 ¹⁶
低天井	: アルミ特殊成型板 ¹⁵ 有孔スリット グラスウール充填寒冷紗貼
側壁	: ブロンズグリル 24Kグラスウール ¹⁵ 充填寒冷紗貼
腰壁と柱型	: 花こう石 ³⁰ ジェット&ポリッシャー仕上
床	: モルタル金ごてフェルト ¹⁸ ウールウィルトンカーベット ¹²
通路床	: 花こう石 ⁴⁰ ジェット&ポリッシャー仕上
聖壇床	: 捨て板松 ¹⁵ +桜 ¹⁸ ポリウレタン塗装クリア仕上げ

表-1 法座席の概要

3. A.A.S. (Assisted Acoustic System) について

音場制御技術は、(1)多目的使用性の拡大(8,000人収容施設におけるオーケストラコンサート)、(2)催し物に即した最適音場への可変、というニーズから、増々その必要性が高まりつつある。我が国では室内の吸音力可変に代表される建築音響的可変方式が、最も普及している。一方、欧米では電気音響設備を利用して、拡がり感や残響感などの室内の音響条件を積極的に制御することを目的とするシステムとして、Assisted Resonance¹⁾、MCR System²⁾、ERES³⁾、など電気音響的手段を用いた音場可変が実施されている。電気音響を利用した音場可変は、可変幅や操作性の面で優れている一方、(1)ハウリングループによる Coloration (特定の音が目立つ現象) (2)反射音の分離など時間構造の Anomaly (変則)、など不自然さを引き起こし易いという問題を含んでいる。

今回、FIR フィルター⁴⁾ (有限インパルス応答を時間領域で畳み込むフィルター) による複数反射音の付加を基本に、残響時間、初期反射音構造など聴感上重要な物理特性を可変して室内の響き、音量感、拡がり感⁶⁾、など主観的印象を使用目的によって可変する音場支援システム (Assisted Acoustic System) を開発し、専門館法座席において実施した。

このシステムは、図-5に示すように収音、反射音合成、音場補正、再生の4 SYSTEM で構成され、

- (a) 補数反射音の付加による、時間軸、周波数軸上での不自然さの除去。
- (b) 横方向からの反射音エネルギー制御による空間的印象(拡がり感)の可変。
- (c) 合成した残響音を収音した音に対して付加する方法とマイク・スピーカー間で生じるフィードバックループによって生じる残響音合成とを併用した残響時間の可

変。以上の考え方をもとに検討されている。

音響的フィードバックループによる残響可変は図-6に示すような Δt , ΔL の可変により、実現が可能であるものの、ハウリングによる Coloration や反射音密度の低下による反射音の不自然さが検知され、使用可能な範囲に限度があるという問題を含んでいる。複数反射音付加は、このような問題点を解決する一方法として検討されたもので、継続時間、反射音密度の設定によって Δt 増加に伴う反射音の分離を防ぐとともに、聴覚における積分機能により、初期反射音制御にとって重要な付加反射音のラウドネスを高めることができる。

スピーカーは、横方向の反射音のエネルギー増加と、室内全体における音響エネルギーの増加を考慮して配置した。法座席の A. A. S. のブロック図を図-8に、スピーカーの配置を図-7に示す。各スピーカーからの付加反射音は Image shift(音像の移動)や Coloration を考慮して、生音に対して 40~50 msec. の遅延を行なうとともに、バルコニースピーカーを拡がり感制御に、天井スピーカーを残響感制御として調整を行なった。収音には、無指向性マイクロホン客席内で2箇所、パイプ室内で2箇所設置しパイプ室内のマイク系統については、ラウドネス・ペダルの変化に対応したレベルの変化を考慮して、VCA を挿入した。オルガンの試奏などの聴感チェックも含め、最終調整された各スピーカー間レベルバランスの代表値を表-2に示す。なお、これは実使用状態においてオルガンを音源として測定を行なったものである。

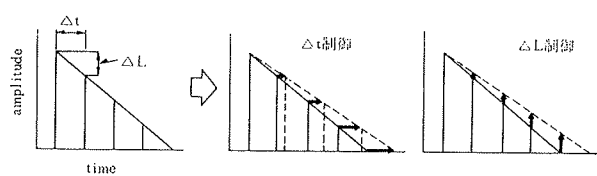


図-6 音響的フィードバックを利用した残響可変概念

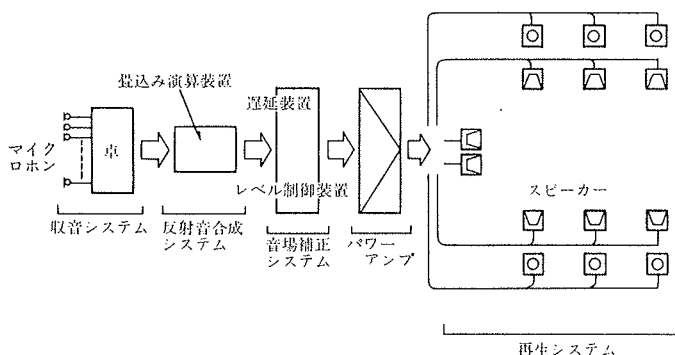


図-5 A. A. S. の概念図

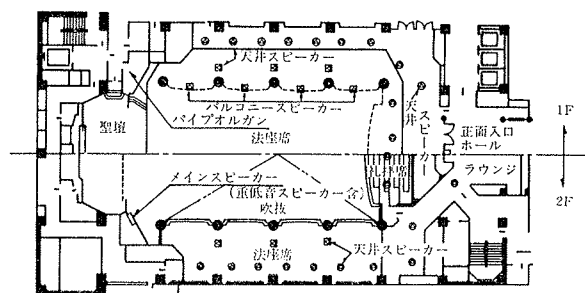


図-7 スピーカーの配置

	パイプオルガン 演奏音(基準)	バルコニー スピーカー	1F天井 スピーカー	2F天井 スピーカー
相対音圧 レベルdB	0.0	-8.2	-4.4	-3.0

表-2 客席における SPL (A特性) 測定結果

スピーカー群番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
ディレイタイム (ms.)	97	50	114	69	122	88	176
スピーカー群番号	⑪	⑫	⑬	ロイヤル ボックス	ロイヤル ボックス 下	廊下	-
ディレイタイム (ms.)	33	50	60	77	79	0	-

表-3 A.A.S.各スピーカー群のディレイタイム

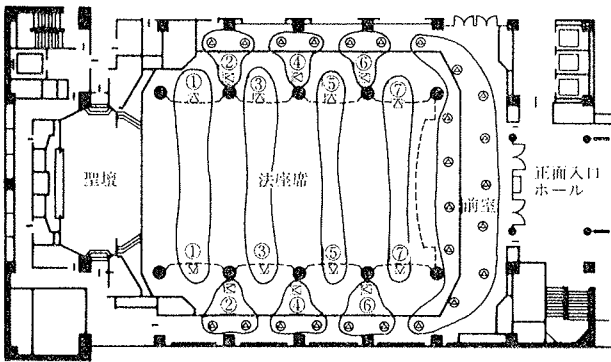


図-9 1階電気音響ディレイグループ群

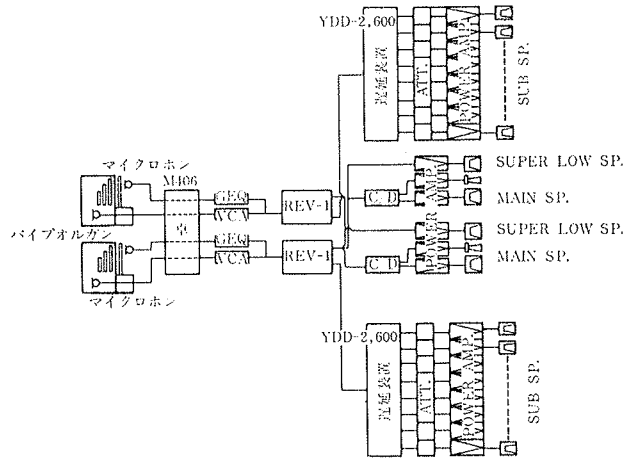


図-8 法座席 A.A.S. のブロック図

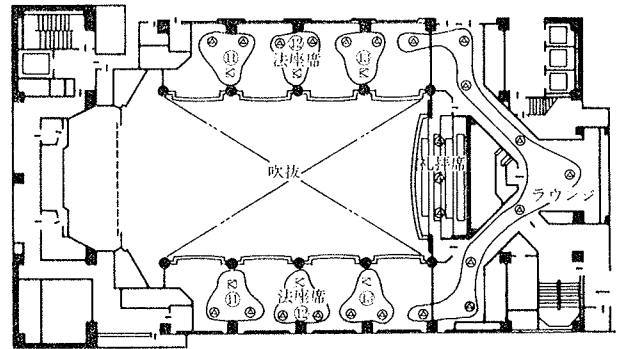


図-10 2階電気音響ディレイグループ群

4. 音響特性測定結果

4.1. 建築音響

図-11に聖壇中央部を音源にした場合の空室時の残響時間周波数特性を示す。残響時間は低音域から高音域の広帯域に渡りほぼ平坦で、500 Hzで1.2秒程度であるが、1,200人収容時には0.8秒前後(500 Hz・計算値)となる。それらを、図-12のホールの室容積と残響時間のグラフにプロットしてみると Knudsen & Harris の講堂の推奨値前後となる。図-13に聖壇中央部を音源とした場合の音圧分布を示す。

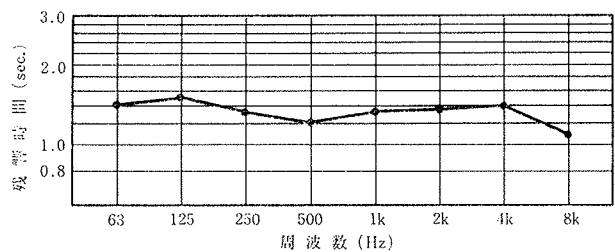


図-11 空室時の残響時間周波数特性

4.2. 電気音響

図-14に拡声システムを使った場合の音圧分布を示す。
A. A. S. の調整完了後、残響時間、音圧分布、LE (初期の側方反射音の割合を示す指標)、エコータイムパターンについて、メインスピーカーを音源に測定を行なった。各スピーカー群のディレイタイム、測定結果を表-3、図-15、16に示す。残響時間は500 Hzで1.3秒から2.0秒まで変化している一方、LEについても10%程度の増加が確認され、当初の目的を満たす良好な結果が得られた。

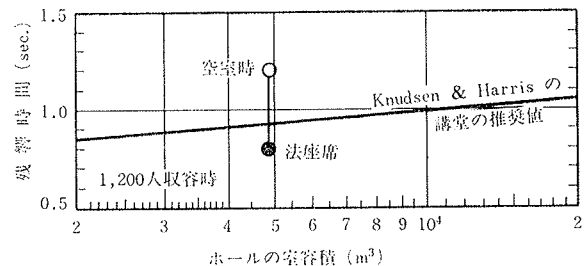


図-12 ホールの室容積と残響時間

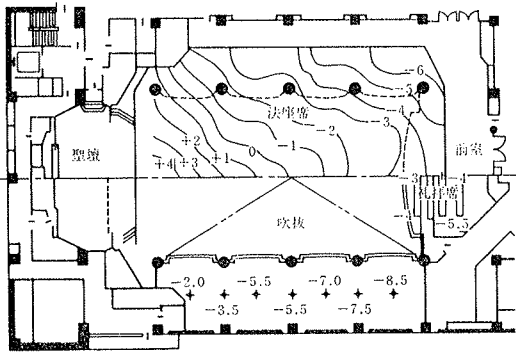


図-13 聖壇中央部を音源にした場合の音圧分布

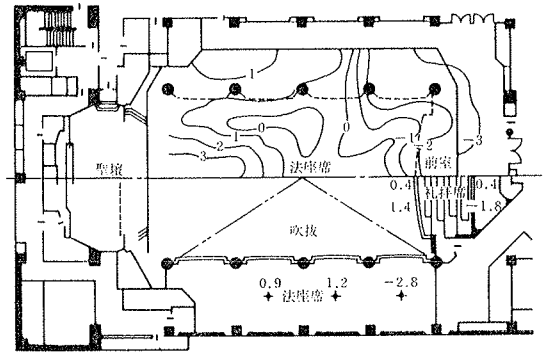


図-14 拡声システムを使った場合の音圧分布

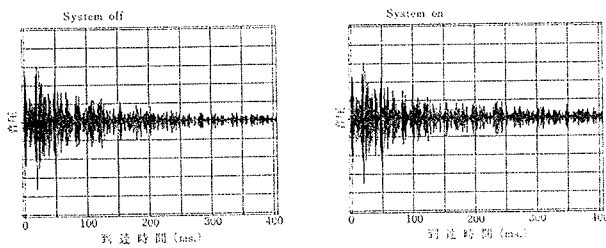


図-15 システム ON/OFF におけるエコータイムパターン

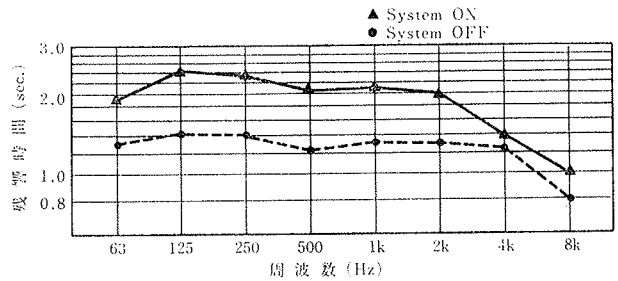


図-16 システム ON/OFF における残響時間

5. おわりに

筆者らは竣工後の試聴により、当初の二つの目的が十分に達せられたことを確認したが、A. A. S. の基本的な考察と効果については、先に竣工した真光大拜殿⁷⁾において確認していた。これら二つの宗教建築の完成によって、明瞭度を完全に保ちながら、パイプオルガンなどの音楽のために豊かな音場を得るための方策の一つを得たと考えている。

謝 辞

末筆ながら、種々御協力いただいた佼成会施設部、設計担当各位、ならびに設計の当初から密接な協力をいただいたオルガンビルダーの大林徳吾郎氏、および電気音響システムの実現に尽力された日本楽器製造(株)、(株)サンセイエンジニアリングの各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) P. H. Parkin, K. Morgan: J. Sound Vib., Vol. 2, No. 1, (1965), pp. 74~85
- 2) S. H. de Koning: Philips Tech. Rev., 41, No. 1 (1983/84), pp. 12~23
- 3) ARCHITECTURAL RECORD, (May 1983)
- 4) A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer: Digital Signal Processing, Prentice-hall Inc.
- 5) W. Kuhl: ACUSTICA, Vol. 40, (1978), pp. 167~181
- 6) V. L. Jordan: Applied Acoustics, 14, (1981), pp. 253~266
- 7) 真藤, 平野, 坪井: 崇教真光世界総本山の大拜殿の音響について, 大林組技術研究所報, Vol. 31, (1985), pp. 171~175