

# 崇教真光世界総本山の大拝殿の音響について

真 藤 利 孝      平 野      滋  
坪 井 政 義

## Acoustic Design of Sanctuary of Sukyo-Mahikari

Toshitaka Shindo      Shigeru Hirano  
Masayoshi Tsuboi

### Abstract

This paper describes the acoustic design of the sanctuary of Sukyo-Mahikari located at Takayama in Gifu, Japan. This sanctuary has a large space with a balcony at the back and sides (volume 52,000 m<sup>3</sup>, seating capacity 7,600). 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 (1.2 sec, 500 Hz, full capacity) through architectural considerations and supplementing a Spatial Impression and Reverberant Feeling by Electroacoustical system. This system is constituted by surrounding loudspeakers developing early reflections of sound energy from the sides and the basic reverberant sound energy in excess of that naturally occurring in the hall. It was ascertained that the sanctuary has a good sound field by acoustic measurements made after completion of the building.

### 概 要

大拝殿の音響計画は明瞭度を確保し、かつパイプオルガン演奏に必要な豊かな音場を得るという課題を、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 および残響感は電気音響設備にて補うことを試みた。建築音響設計では、大拝殿の縮尺模型を用いて種々の検討を行ない影響の大きい大天井・壁・低天井は吸音率を測定して仕様を決めた。パイプオルガン効果音システムは、ある時間遅れの拡散音を周辺のスピーカから発生させる方式を採用した。竣工後の聴感試験を含む音響測定により当初の目的を達し良好な音場が得られているのを確認した。

### 1. まえがき

崇教真光世界総本山は、崇教真光が岐阜県高山市に建設した大型空間の拝殿を持つ特殊な建築物である。この建物は、東洋大学教授・素木三郎氏の設計によるもので、地下1F・地上3Fの本殿と別棟から成り、本殿には1Fに国際会議場・第1錬成場・第2錬成場があり、2F・3Fが大拝殿となっている。大拝殿は容積 52,000 m<sup>3</sup>、床面積 5,360 m<sup>2</sup>、収容人員 7,600 人の側・後方にバルコニーが廻り込んでいる大空間であり後方にはパイプオルガンが設置されている。大拝殿の2F平面図・3F平面図を図一1、縦断面図を図一2、横断面図を図一3に示す。大拝殿前方には大扉と齋庭と呼ばれる舞台があり、ここでは、奉納演芸などが行なわれる。大拝殿は、1年

に何回か信者が集まって大祭が催される他に、2F席中央部平土間に1,500人程度収容してパイプオルガン演奏会も可能な様に計画した。大拝殿の音響計画で第一の目標は教え主様の御説教がどの席においても完全に聞取れる事であり、第二の目標はパイプオルガンを設置したからには、それに相応しい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、宗教的な雰囲気には残響感も大切であろうと思われる。明瞭度の確保と相反する豊かな音場が望まれるパイプオルガン演奏のためには、オルガンの音源付近の反射音が客席に落ちるようコンクリートの反射板でオルガンを囲い、天井もオルガン上部は、反射性にするなど、建築的に最大限配慮しながら、電気音響設備にて Spatial

impression および残響感を補助することを試みている。明瞭度確保のために設定された短めの残響時間を持つ大空間は有害なエコーを一層目立たせることとなるが、設計上の困難さは、メインスピーカとは反対側にあるパイプオルガンの音源付近を反射性にしてオルガンからの Power loss を少なくし、かつ前方のメインスピーカ音源時のエコーを防ぐことであった。竣工後の測定ではスピーチの明瞭度も十分確保され、パイプオルガン演奏に対しても十分満足できる結果が得られたので、大容積空間の音響設計に対して一つの資料を得たものと考え、以下に音響設計と音響特性ならびに電気音響設備の概要について述べることにする。

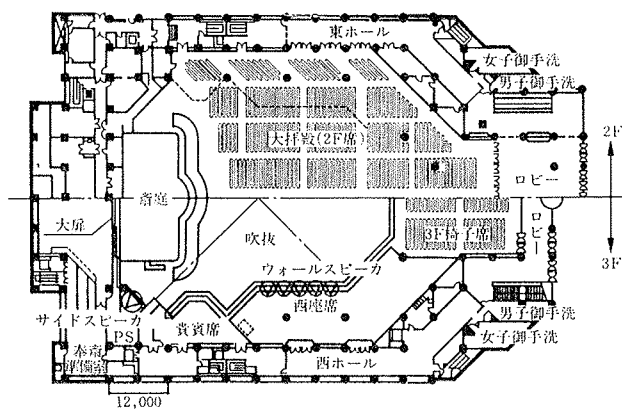
## 2. 音響設計

大拝殿の音響設計の最重要課題は、大空間において如何にエコーなどの音響障害を防止して明瞭度を確保するかである。音源となるスピーカシステムの検討から始め、次にそのスピーカと反対方向に位置するパイプオルガンの両音源についてエコーなどの音響障害の検討を1/20縮尺模型にて行ない、内装の仕様を決定していった。残響時間は明瞭度の確保を第一義として1.2秒(500Hz・満席時)とし、平坦な残響時間周波数特性を目指した。

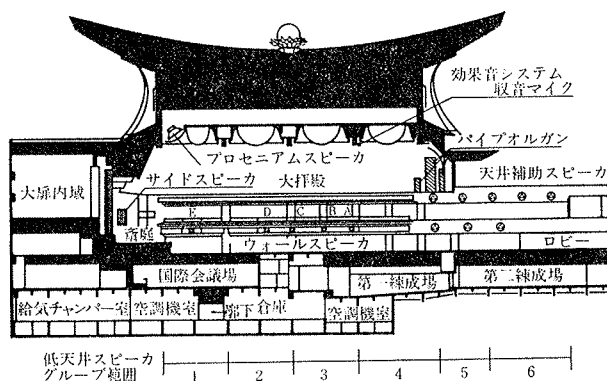
### 2.1. 電気音響設備

**2.1.1. 祭壇からの拡声装置** 大拝殿の音響状態に多大な影響を及ぼすスピーカシステムは明瞭度を重視して慎重に検討を行なった。吹抜け部分に大天井よりスピーカを複数吊り下げる方式や椅子席にスピーカを埋め込む方式なども検討したが、客席において比較的平坦な音圧分布が得られるものの全体的に散漫な感じが強く明瞭度も悪くなる。そこで最終的にスピーカシステムは図一1～3に○印で示すように大天井の前方中央部にプロセニアムスピーカ、前方の両側の壁にサイドスピーカを設ける方式を採用した。プロセニアムスピーカは、『天の声』として教え主様用に使用して、サイドスピーカは『地の声』として一般信者が使用するという演出効果を狙っている。バルコニー奥はプロセニアムスピーカ・サイドスピーカともに十分な音圧が得られないので、低天井に補助スピーカを設けた。これらの補助スピーカには、プロセニアムスピーカ・サイドスピーカからの距離に応じてディレイが付加されておりこれらのスピーカシステムによって、明瞭度の確保と方向感を得ることができる。

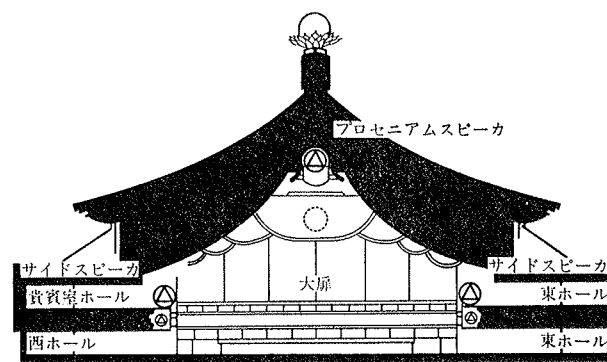
**2.1.2. パイプオルガンの効果音システム** 大拝殿の残響時間は、明瞭度を確保するために短くなっているが、パイプオルガン演奏で自然で豊かな音場を得るために採用した効果音システムは、2階席平土間中央に1,500人



図一1 2F・3F 平面図



図一2 縦断面図



図一3 横断面図

程度の聴衆のオルガン演奏会を想定し、バルコニー先端に設けた専用の10個のウォールスピーカをメインに、すべてのスピーカからある時間遅れの拡散音を出し、初期反射音を補っている。このシステムについては、次の点に特に留意した。

- (1) スピーカからの音を認識させるなど、不自然さを絶対に与えないこと。
- (2) パイプオルガン本体が、客席後方上部にあるが、音源の位置をあいまいにさせないこと。

(3) パイプオルガンの音が、身体全体を包み込むような雰囲気にすること。

(4) バルコニー下へは、天井スピーカを用いて適度な音圧を与えること。この時はディレイを適度を使用すること。

(5) パイプオルガンの音を、より効果的に演出するため、ディレイ時間を変えられること。

パイプオルガンの音の収音用として、大天井内および本体内に4箇所ずつのマイクコンセントを用意し、大天井よりマイクを2本吊り下げて収音することにした。効果音用スピーカとして、バルコニー先端にウォールスピーカを左右に各5台ずつ配置し、聞き手の側面に設置した。この時、スピーカの出力はディレイをかけ、時定数はオルガン本体とスピーカ間の距離計算に、30 ms の時間遅れを加算した上で、表-1 に示すようにウォールスピーカのBとDのディレイ時間を入れ換えて規則性を崩した。低天井スピーカも、同様の考えにより距離計算値プラス 30 ms としてセットした。低天井スピーカ用ディレイマシンは、一般拡声用とパイプオルガンの時定数が異なるが、ディレイマシンのメモリ切替により瞬時に切替えられるようになっている。参考までに、表-2 に時定数表を掲げておく。

以上のセットにより、空席時におけるヒアリングを行なった結果、Spatial Impression に関しては 30 ms~50 ms が自然であった。

2.2. 音響障害の防止設計

大拝殿は、建築・意匠上の制約から、音源が前方のスピーカと後方のパイプオルガンに二極化されているために音響設計が非常に困難であった。そこで、大拝殿の1/20縮尺模型を用いてプロセニウムスピーカ・サイドスピーカ・パイプオルガンを音源とした時のエコータイムパターン・音圧分布の測定を通して内装の仕様を検討した。なお、一つの試みとして模型内でのNHKニュースアナウンスを利用した了解度のテストも行なった。大拝殿の音響特性に及ぼす影響の大きい大天井・側壁・低天井については、実際に幾つかの検討案の吸音率を測定して最終仕様を決定した。

2.2.1. 大天井のパネル吸音構造について 大天井は、次に挙げる四つの理由から図-4 に示す低音域吸音構造の箱型の二重有孔パネルとなった。図-4 に大天井パネルの吸音特性を○—○線で示す。①大天井面は図-3の横断面から明らかのように大きく内側に凸曲線を描いている。この形状により、プロセニウムスピーカからの音が、低音域において床の吸音率が小さいために、床からの反射音が大天井で反射して中央席への音の集中を生じ、エコーの原因となる。②拝殿内で唱和がなされるが、人

ウォールスピーカ番号(図-2参照)	E	D	C	B	A
ディレイ時間計算値(距離計算)	97	59	52	41	36
" 空席時検計値(+30ms)	127	71	82	89	66
" 11/4演奏会時値(+120ms)	217	161	172	179	156

表-1 ウォールスピーカディレイ時間 (msec)

低天井スピーカグループ	1	2	3	4	5	6
一般拡声時	93	108	134	150	177	211
パイプオルガン時	106	76	55	0	30	57

表-2 低天井スピーカディレイ時間 (msec)

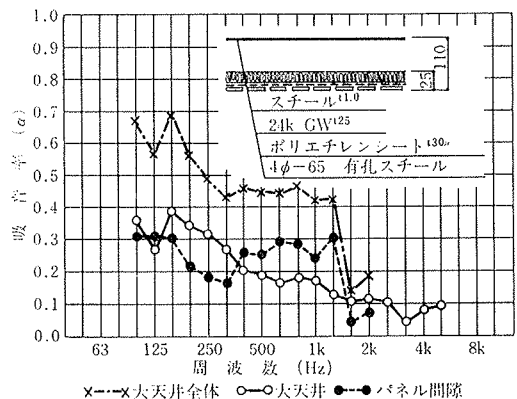


図-4 大天井パネル間隙の吸音率周波数特性

の声の主成分である 125~250 Hz 周辺を適度に吸音して響き過ぎを防ぎ明瞭度を確保する。③残響時間周波数特性を平坦にするための低音域の吸音力の確保は建築・意匠上の制約から大天井に頼るしかない。④二重有孔パネルとしたのは、大天井背後が 6~10 m の大空気層となっているために 125~250 Hz を中心とした低音域吸音特性を有孔パネルだけでは出せないため、背後にパネル1枚使って仕切り箱状にして適度な空気層厚を得た。

2.2.2. 大天井のパネル間の隙間の影響について 大天井のパネルは意匠上、重ね合せた構成で取付けられるためにパネルとパネルの間に 15 mm~50 mm の隙間が生じる。そこでパネル間の隙間の影響を調べるため、1/10の縮尺模型を製作し吸音率の測定を行なった。大天井の背後には前述の大空気層の他に屋根の支持鉄骨側には断熱天井(48k グラスウール t50・アルミ箔布団貼り)があるので、断熱天井の吸音率を測定してそれに相似する模型材料を使用している。図-4 にパネル間隙の吸音特性を●—●線で示す。1.25 kHz 以下では隙間の見かけ上の面積(全天井面の5%)よりも隙間の吸音率が大きくなっている。

2.2.3. 側壁の吸音構造について サイドスピーカを使用する場合、スピーカの設置位置が3F側壁の高さと

同レベルのために側壁からの反射音が有害なエコーを発生させる。そこで、全帯域吸音構造としたが意匠・強度・保守などの制約から図-5に示す仕様となった。図-7に側壁の吸音特性を○-○で示す。

2.2.4. バルコニー下の低天井の吸音構造について

低天井は、バルコニー席での信者の唱和などの声の騒がしさを防ぐと共に、大拝殿の残響時間周波数特性の平坦化を目指して低音域吸音構造としたが、意匠上の制約から岩綿吸音板を使って検討し、図-6に示す仕様とした。岩綿吸音板は、低音域での吸音率が比較的大きい無水製法の岩綿吸音板(ミネラトーン)を用いて、背後の空気層(約2m)を有効に使うべく開孔率の大きい有孔石膏ボード下貼りで仕上げた。高音域の吸音力は極力抑えるようにするために表面をEPローラ塗で仕上げた。図-7に低天井の吸音特性を●-●線で示す。

2.2.5. バルコニー先端の吸音構造について

バルコニー先端は、ガラスの手摺りを含むと腰壁の高さが3mを越えるため、エコーを発生させる。そこで、図-8に示すような吸音構造とした。

2.3. パイプオルガン演奏時の検討

パイプオルガン演奏時の検討は、大拝殿の2F中央部席に1,500人収容してオルガン演奏会を開催した場合を想定して行なった。前述のように大拝殿は、明瞭度を確保するために残響時間は短め(500Hz・7,600人収容時で1.2秒)になっているが、残響時間周波数特性が平坦になるように内装を検討し、さらに1/20縮尺模型を用いてパイプオルガンを音源とした時のエコータイムパターン・音圧分布の測定や短い音律を使った聴感試験をオルガン設計者大林徳五郎氏を交えて行ない、大拝殿各部の最終形状・仕様を決定した。なお、パイプオルガン自身の設計は、残響時間周波数特性に合わせて大林徳五郎氏によってなされている。

2.3.1. パイプオルガン近傍の反射板の形状  
パイプオルガンの反射板としてだけみた場合は、オルガンを包み込むような形状が客席に対して効果的で好ましいが大拝殿は前述のように音源が前方のスピーカと後方のパイプオルガンに二極化しているためにスピーカ音源時にパイプオルガン反射板から有害なエコーを発生させる。そこで、縮尺模型を使って、パイプオルガンの反射板として有効な形状で、かつ有害なエコーを発生させない形状を比較・検討し最終形状を決定した。図-9、図-10にそれぞれ反射板の平面図・断面図を示す。

2.3.2. パイプオルガン周辺の大天井について  
パイプオルガン周辺部は、客席に有効な反射音を到達させるために、原則的に全帯域反射性の仕様にしたが、大天井もパイプオルガン上部ならびにパイプオルガン側の大天

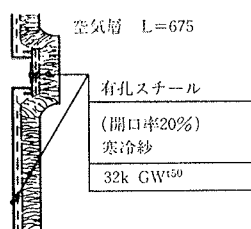


図-5 側壁の仕様

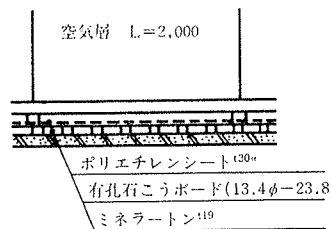


図-6 低天井の仕様

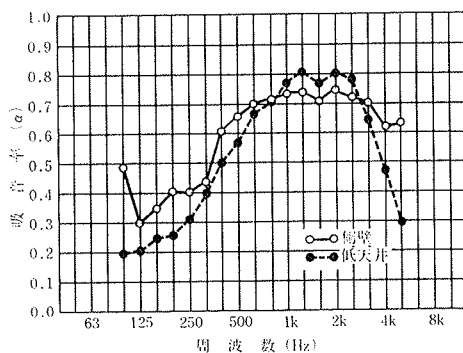


図-7 側壁・低天井の吸音率周波数特性

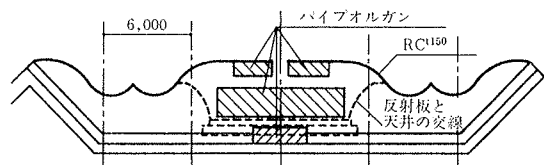


図-9 パイプオルガン近傍の反射板平面図

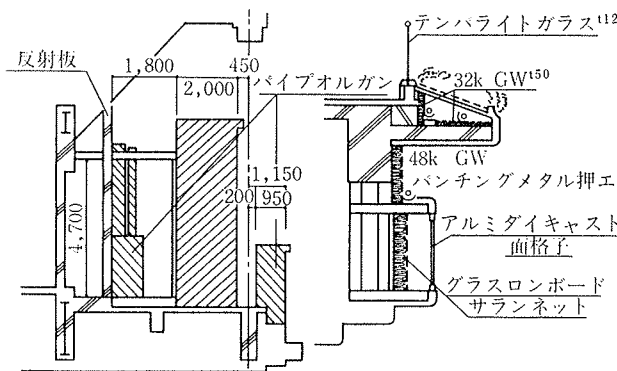


図-10 パイプオルガン近傍の反射板断面図

図-8 バルコニー先端の仕様

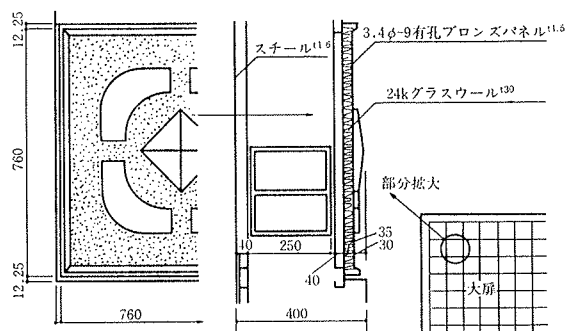


図-11 大扉の仕様

井の全面積の約 1/4 の面積に相当する部分が無孔板パネルとし、パネルの重なり部分はゴムシートで塞ぎ反射性を保つようにした。

2.3.3. 大扉の形状について パイプオルガン演奏を行なう場合、前方の大扉からの反射音の影響が無視できないので、大扉を平板形状・拡散形状・吸音形状と大きく三種の形状に分けて縮尺模型を用いてエコータイムパターン・音圧分布さらに短い音律を使った聴感試験を行ない、図-11に示す形状に決定した。すなわち形状は基本的に平板にして表面板を有孔とする低音域主体の吸音構造とした。

### 3. 大拝殿の音響特性

#### 3.1. 残響時間

図-12に空室時の残響時間周波数特性の測定結果を示す。大扉を全開にした場合および緞帳を下げた場合は、500 Hz で 1.7秒・大扉を全閉にした場合は、1.6秒となっている。これらの値より、大祭などの開催時(7,600人収容)の残響時間を推定すると 500 Hz で 1.2 秒前後となり、明瞭度を重視した設計目標を満足している。パイプオルガン演奏時は、電気音響設備の効果音システムを作動しているので昭和59年11月4日の世界総本山御建立記念パイプオルガン演奏会では、当初の予定 1,500 人を大幅に上回る満席の 7,600 人を越える人々を収容したにもかかわらず、図-13に示すように残響時間が500 Hz で1.9秒相当となっていた。

#### 3.2. 了解度試験

NHK の天気概況から 10音節以下の文節に分けた了解度試験テープを作成して、これを基に大拝殿の17ポイントにおいて、17人で4点移動し(延68人)で了解度試験を行なった。評価方法は、了解度試験テープの全音節数の何%が正解かででない98.5%を得た。これは、同じ了解度試験を異なる3人に無響室にて行なった結果98.3%(試験テープに問題があり、100%とならなかった)とほぼ同じであり、大拝殿の明瞭度が高いことを示している。

#### 3.3. パイプオルガン効果音システムの効果

図-14に 1 kHz の大拝殿信者席中央部でのパイプオルガン音源時のパイプオルガン効果音システムを作動させない場合・システムを作動させ補助スピーカに 30 ms のディレイを掛けた場合・80 ms のディレイを掛けた場合のエコータイムパターンの比較を示す。これをみるとオルガン効果音システムを作動させた方が、側方からの有効な初期反射音相当の音が入射して好ましいことがわかる。聴感上でも、システム作動時の方が、全体から包まれるような自然で豊かな音場が得られることを確認し

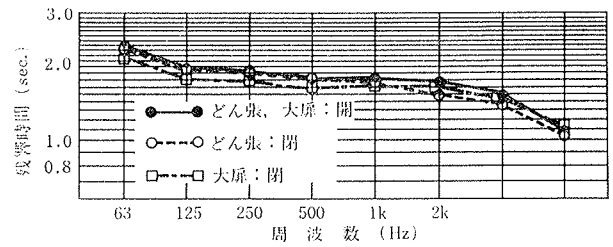


図-12 大拝殿の残響時間周波数特性

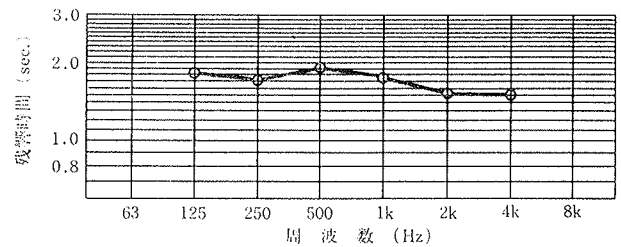


図-13 パイプオルガン演奏会時の大拝殿の残響時間周波数特性

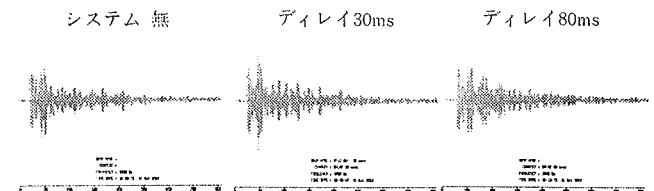


図-14 エコータイムパターンの比較・1 kHz

た。竣工後、パイプオルガンの演奏会時には、1,500 人の予定が急に 7,600 人の観客が来場することになり、適切なディレイタイムの設定は大変困難であったが 120 ms 遅れを基本とした。この値は、オルガン設計者と建築設計者との妥協点であったが、演奏会では十分目的が達せられたと考えられた。今回は時間的な制約もあってウォールスピーカなどのディレイタイム・音圧レベルの設定は聴感のみに頼って決定したが、空席状態から満席状態を予想することが難しく、今後はこれらの資料を集積しながら合理的な設定方法を見出したい。

### 4. おわりに

末筆ながら、建築音響・電気音響に理解をいただいた崇教真光の教え主様をはじめとする関係者の方々、および種々の御指導をいただいた素木三郎教授および設計の当初から密接な協力をいただいた大林徳吾郎氏に深甚なる謝意を表します。また、種々御協力いただいた設計監理室と共同企業体の方々および(株)サンセイ・エンジニアリングの鈴木 勲氏・本間純司氏にも合わせて謝意を表します。