

## 映画館テクニカルガイド：音響編

川上 一郎

前々回から映画館設計に関わる様々な問題・課題を解説してきたが、今月号では音響編として次世代立体音響の詳細について紹介する。

最初に解説を行っていくのは Barco の Auro である。APX AutoMax 空間オーディオプロセッサを使用して、SMPTE 2098-2 イマーシブオーディオ規格と互換

性のある標準化された次世代立体音響を実現するシステムである。

図 1-1 は、次世代立体音響スピーカシステム Barco Auro を設置した映画館スクリーンのイメージである。

図 1-2 は Barco Auro の基本となっている立体音響イメージであり、水平方向の最も敏感に音源の方向を感じ取ることができる水平聴覚層：Surround Layer が両耳を中心にして上下 15° の範囲と停止しており、そして頭頂部方向の上部 30° 付近を中心とした 15° ~ 60° の領域を上部聴覚層：Head Layer、さらに頭頂部中央から 60° の範囲を頭頂部聴覚層：Top Layer として定義している。

これは、3 層ゾーンと、チャンネルとオブ

ジェクトベースのテクノロジーのバランスのとれた混合の両方を利用する唯一の没入型オーディオソリューションとしてバルコは捉えている。

また、従来の 5.1ch、7.1ch サラウンドへの対応、Auro 11.1ch サラウンドに加えて最大の構成となる 26.1ch にまで対応できる。

表 1-1 が音響チャンネルの構成である。ゾーン 1 ~ 3 はスクリーン裏に設置されるスピーカユニットで L・C・R で、4ch は左側面用、5ch は右側面用で、27ch は 35 ~ 120Hz の重低音のみを再生する LFE スピーカユニットとなっている。したがって、1 ~ 4ch と 27ch で 5.1ch が構成できる。



図 1-1 Barco Auro イメージ

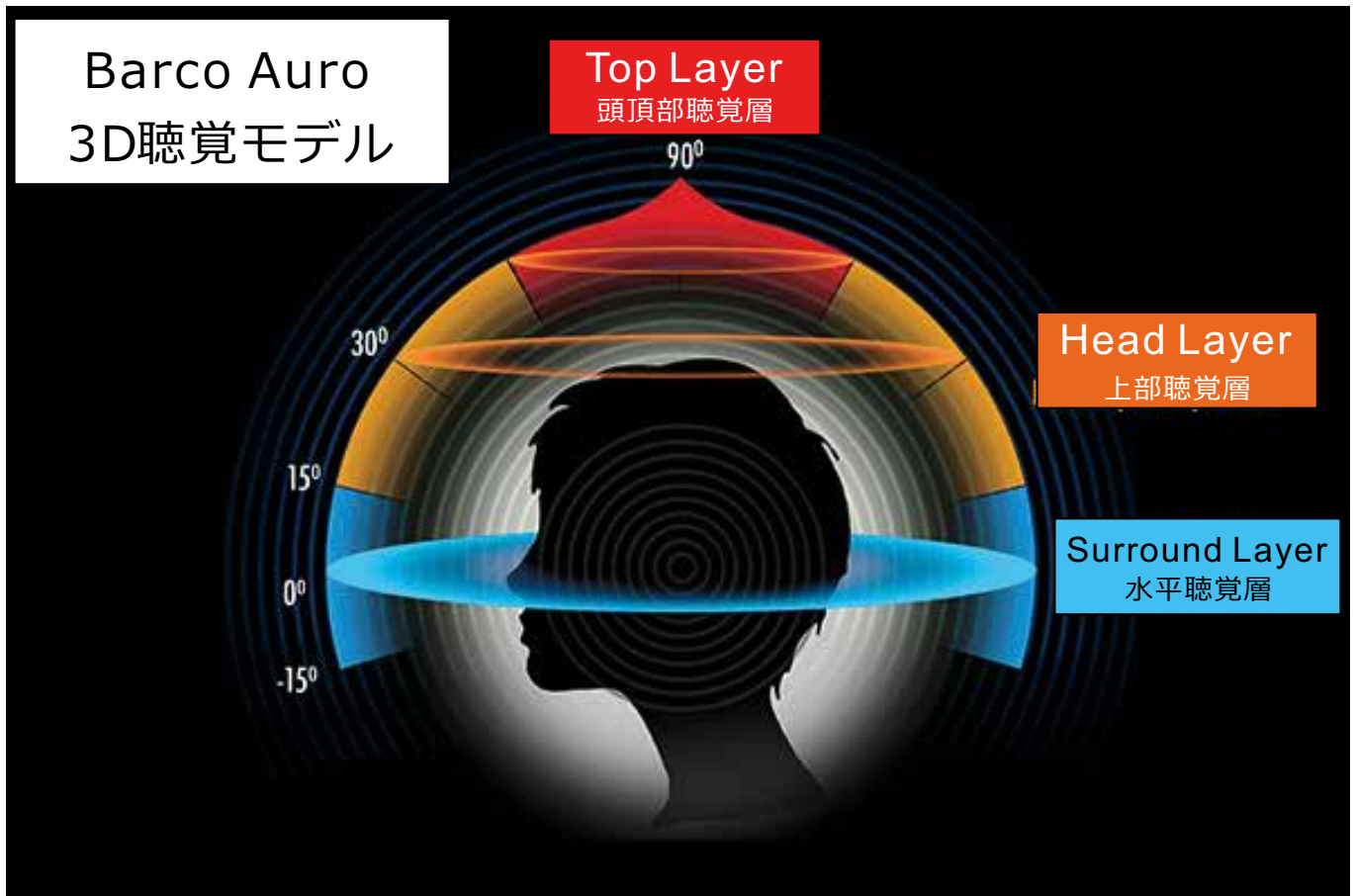


図 1-2 Barco Auro 立体音響イメージ

	ゾーン	Auro-Max 20.1			Auro-Max 22.1			Auro-Max 26.1		
		Obj	Channel 11.1	Channel 13.1	Obj	Channel 11.1	Channel 13.1	Obj	Channel 11.1	Channel 13.1
1	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
2	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
3	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
4	Lw	-	-	-	-	-	-	Lw	-	-
5	Rw	-	-	-	-	-	-	Rw	-	-
6	Lssf	Lssf	Ls	Lss	Lssf	Ls	Lss	Lssf	Ls	Lss
7	Rssf	Rssf	Rs	Rss	Rssf	Rs	Rss	Rssf	Rs	Rss
8	Lssb	Lssb	Ls	Lss	Lssb	Ls	Lss	Lssb	Ls	Lss
9	Rssb	Rssb	Rs	Rss	Rssb	Rs	Rss	Rssb	Rs	Rss
10	Lrs	Lrs	Ls	Lrs	Lrs	Ls	Lrs	Lrs	Ls	Lrs
11	Rrs	Rrs	Rs	Rrs	Rrs	Rs	Rrs	Rrs	Rs	Rrs
12	HL	HL	HL	HL	HL	HL	HL	HL	HL	HL
13	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC	HC
14	HR	HR	HR	HR	HR	HR	HR	HR	HR	HR
15	HLW	-	-	-	-	-	-	HLW	-	-
16	HRW	-	-	-	-	-	-	HRW	-	-
17	HLssf	HLssf	HLs	HLs	HLssf	HLs	HLs	HLssf	HLs	HLs
18	HRssf	HRssf	HRs	HRs	HRssf	HRs	HRs	HRssf	HRs	HRs
19	HLssb	HLssb	HLs	HLs	HLssb	HLs	HLs	HLssb	HLs	HLs
20	HRssb	HRssb	HRs	HRs	HRssb	HRs	HRs	HRssb	HRs	HRs
21	HLrs	HLrs	HLs	HLs	HLrs	HLs	HLs	HLrs	HLs	HLs
22	HLrs	HLrs	HLs	HLs	HLrs	HLs	HLs	HLrs	HLs	HLs
23	TLf	TL	T	T	TLf	T	T	TLf	T	T
24	TRf	TR	T	T	TRf	T	T	TRf	T	T
25	TLb	TL	T	T	TLb	T	T	TLb	T	T
26	TRb	TR	T	T	TRb	T	T	TRb	T	T
27	LFE	-	LFE	LFE	-	LFE	LFE	-	LFE	LFE

L: Left  
C: Center  
R: Right  
HL: Height Left  
HC: Height Center  
HR: Height Right  
LW: Left Wide  
RW: Right Wide  
LSSD: Left Side Surround Back  
RSSD: Right Side Surround Back  
HLSSD: Height Left Side Surround Back  
HRSSD: Height Right Side Surround Back  
LSSF: Left Surround Front  
RSSF: Right Surround Front  
HLSSF: Height Left Surround Front  
HRSSF: Height Right Surround Front  
LSS: Left Surround Side  
RSS: Right Surround Side  
HLSS: Height Left Surround Side  
HRSS: Height Right Surround Side  
LSSB: Left Surround Back  
RSSB: Right Surround Back  
HLSSB: Height Left Surround Back  
HRSSB: Height Right Surround Back  
TLF: Top Left Front  
TLB: Top Left Back  
TRF: Top Right Front  
TRB: Top Right Back  
TL: Top Left  
TR: Top Right  
TLb: Top Left  
TRb: Top Right  
HLW: Height Left Wide  
HRW: Height Right Wide  
TRD: Top Right Back  
TRf: Top Right Front

表 1-1 BARCO Auro-MAX の音響チャンネル割当

AutoMax20.1では、15・16chの左右Head Layer Wide（上部聴覚層の広角スピーカ）と、天井面の23～26chが2chに集約（Top L/R frontとTop L/R backがTop L/Rに）に減されているが、オブジェクトベースの音源では20ch全てが個別指定できる。また、11.1chのサラウンドモードでは、左右の側面スピーカの前部・後部指定が無く、同様に上部聴覚層のスピーカも前部・後部指定が無く、天井面スピーカの指定も23～26chが同一出力となっている。

13.1chのサラウンドモードでは、左右壁面のスピーカがサラウンドスピーカとして指定できるが、上部聴覚層のスピーカも前部・後部指定が無く、天井面スピーカの指定も23～26chが同一出力となっている。

AuroMax22.1では、天井面に配置された23～26chが前部・後部指定を含めてオブジェクト形式の出力が可能となっている。

AuroMax26.1では、LFEを除いた26ch全てにオブジェクト形式での出力が可能であり、11.1chと13.1chでのサラウンド形式出力では他のモードと同一となっている。

図 1-3にはBarco Auro 26.1chのスピーカ配置イメージを示しており、スクリー

ン背面には通常の1～3chのL/C/Rスピーカに加えて上部聴覚層の12～14chのL/C/Rスピーカも設置されている。また、スクリーン近くにL/C/Rスピーカと同一の高さに左右の広角スピーカLW/RWが配置され、スクリーン上面側には上部聴覚層の左右広角スピーカHLW/HRWが配置されている。

図 1-4にはBarco Auro 22.1chのスピーカ配置イメージを、図 1-5にはBarco Auro 20.1chのスピーカ配置イメージを示している。

映画館内での立体音響への取り組み方として、Barcoの提案する3層構造での音源配置は実用的であり、映画制作でのオーサリング作業でも混乱は少ないと考えられる。

さて、国内でも新規開業するスクリーンに導入が続いているDolby Atmosの解説を行っていく。図 2-1はDolbyによるAtmosのイメージ映像であり、頭部を包んだ音響空間のイメージである。

表 2-1にはDolby Atmosの解説書で使用される略称を示しており、聞き慣れな

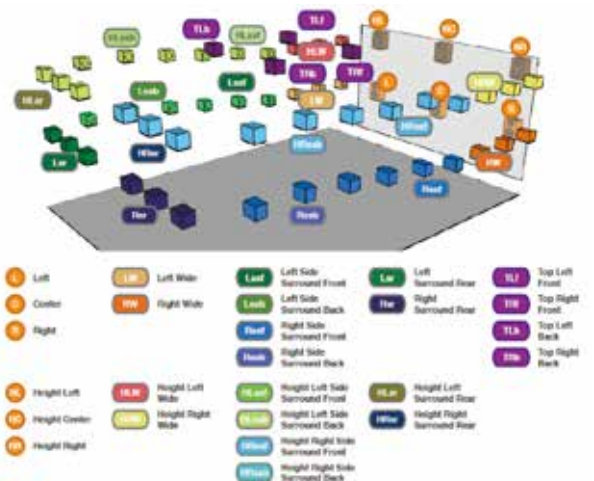


図 1-3 Barco Auro 26.1Ch

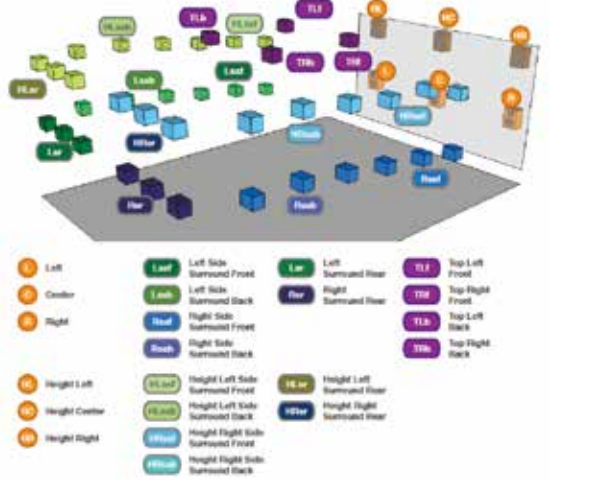


図 1-4 Barco Auro 22.1Ch

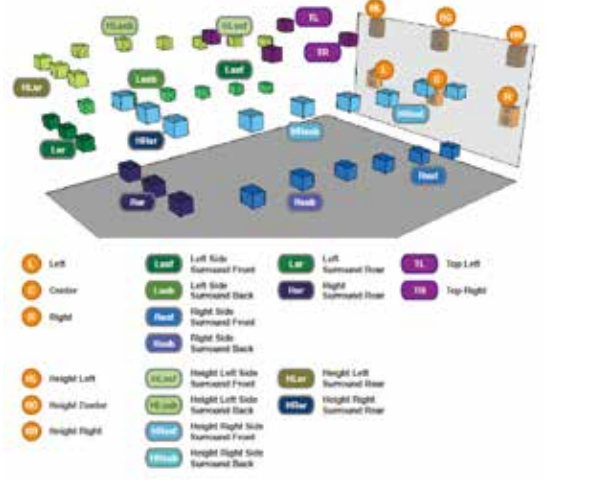


図 1-5 Barco Auro 20.1Ch

い略称ではMADI: Multichannel Audio Digital Interface（デジタル楽器に使用されるMIDIでは無い）や、RMU: Dolby Rendering and Mastering Unit等がある。

表 2-2は、Dolby Atmosで使用される音響チャンネルの略称である。スクリーン裏に設置されるL/R/Cそして重低音用LFEチャンネルに加えて、サラウンド関連のチャンネルが9チャンネル定義されている。天井面に配置されるのはLts: Left top surroundとRts: Right top surroundで



図 2-1 Dolby Atmos の音響空間イメージ

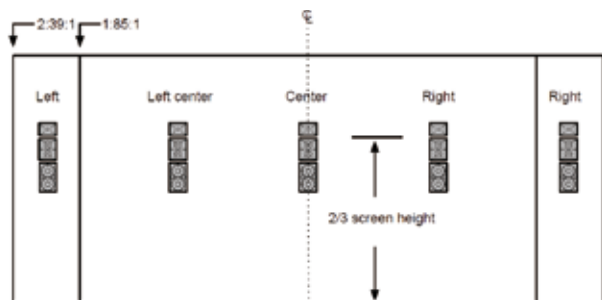


図 2-5-1 上下固定投影でのスピーカ配置

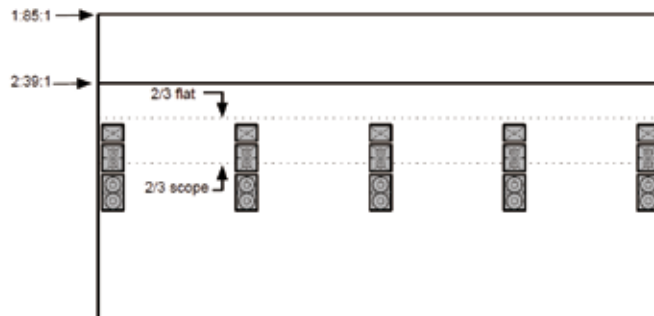


図 2-5-2 左右固定投影でのスピーカ配置

略称	内容
LTC	Linear Time Code
MADI	Multichannel Audio Digital Interface
M&E	Music and Effects
RMU	Dolby Rendering and Mastering Unit
SDDS	Sony Dynamic Digital Sound
UI	User Interface

表 2-1 Dolby Atmos での略称

略称	チャンネル
L	Left
R	Right
C	Center
S	Surround
Ls	Left Surround
Rs	Right Surround
Lsr	Left Surround Rear
Rsr	Right Surround Rear
Lss	Left Side Surround
Rss	Right Side Surround
Lts	Left Top Surround
Rts	Right Top Surround
LFE	Low-Frequency Effects

表 2-2 Dolby Atmos チャンネル略称

Pro Tools bus Channel ordering(Film)	Renderer Send Channel assignment	Render Input Channel Ordering(SMPTE)
Left	Send 1	L
Center	Send 3	R
Right	Send 2	C
Left Side Surround	Send 5	Lss
Right Side Surround	Send 6	Rss
Left Surround Rear	Send 7	Lrs
Right Surround Rear	Send 8	Rrs
LFE	Send 4	LFE
Left Top Surround	Send 9	Lts
Right Top Surround	Send 10	Rts

Source: Dolby Atmos Render Guide

表 2-3 音声レンダリングの割り当て

あり、天井からのサラウンドチャンネルは 2 系統とし、左右のサラウンドは前部・後部のチャンネルも追加してある。

表 2-3 は音声レンダリング時の割り当てであり、SMPTE での呼称とレンダリング後の送出チャンネルが示されている。

これ以降の図面番号は、Dolby Atmos 仕様書 (Issue 3) の章立てに従って図面番号を付けている。(たとえば、スクリーン裏に設置するラウドネススピーカの配置は第 2 章の 5 項に説明されているので図 2-5-1 等)

ラウドネススピーカの音響出力については 105dB が推奨されており、高音・低音の 2 アンブ構成では低音側が 105dB、中高音側が 101dB 等である。3 アンブでは低音側から 105dB、101dB、98dB で、4 アンブでは低音側から 105dB、101dB、98dB、92dB と規定している。

周波数帯域は 40Hz ~ 16KHz、+3/-6dB であり、周波数応答は 80Hz ~



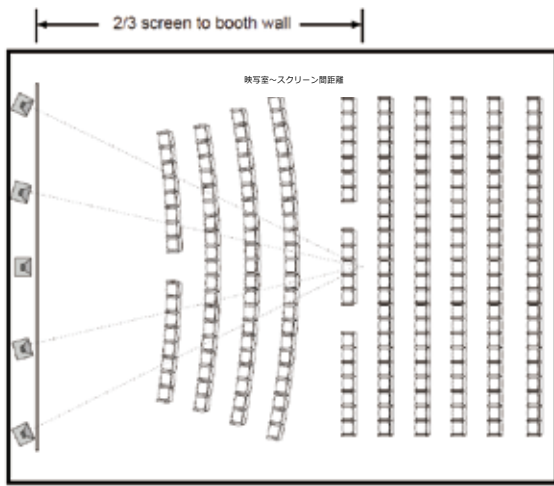
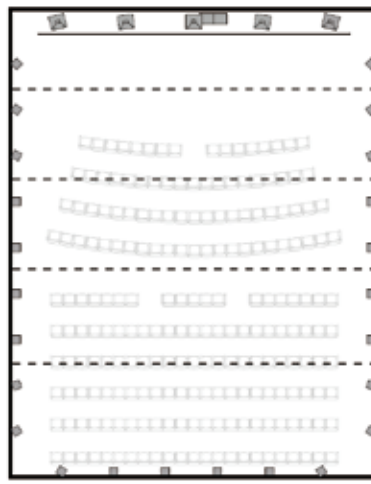
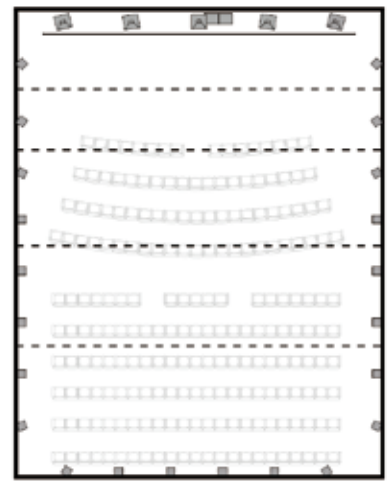


図 2-6-1 スクリーン裏スピーカの設置方向



奇数個の側壁サラウンド  
スピーカー配置事例



偶数個の側壁サラウンド  
スピーカー配置事例

図 4 サラウンドのゾーン配置と区分け

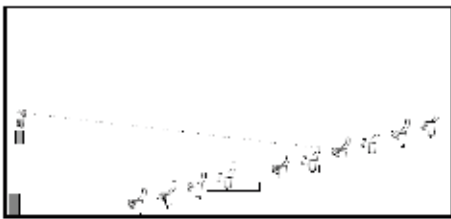
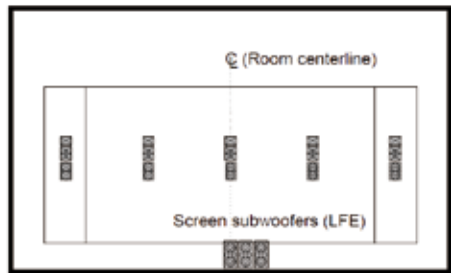


図 2-6-2 スクリーンスピーカの照準位置



LFE : Low Frequency Effects  
31.5 - 120Hz, +10db

図 3-3 LFE スピーカの設置位置

16KHz, ± 3dB である。

図 2-5-1 に示しているのは映像投影が上下位置固定で、アスペクト比 2.39:1 (スコープ) と 1.85:1 (フラット) で幅方向に上映フレームが伸張する場合には、スクリーン裏に設置するラウドネススピーカの Left と Right はアスペクト比 1.85:1 の上映フレーム外側に設置し、スクリーンサイズが 12m (約 40ft) を越える場合には図に示しているように Left Center と Right Center のスピーカも配置することが推奨されている。また、ラウドネススピーカユニットの高音部スピーカ下端がスクリーン高さの 2/3 となるように上下方向を位置決めする。

図 2-5-2 に示しているのは、映像投影が左右固定でスコープとフラットで映像上端が移動する場合には、ラウドネススピーカユニットの上端はフラット上映時の像高 2/3 で、スピーカユニットの高さ方向中央部分がスコープ上映時の像高 2/3 になるこ

とが推奨されている。

また、それぞれのラウドネススピーカユニットは図 2-6-1 に示すように、観客席の奥行き方向 2/3 の客席中央を照準位置として設置することが推奨されている。なお、図 2-6-2 に示すように、ラウドネススピーカの高音部・中央部スピーカの照準位置も同様に観客席奥行き方向 2/3 に位置する観客に合わせることを指定されている。

スクリーン裏に設置する重低音専用のスピーカであるサブウーファは、中央のラウドネススピーカユニットの出力より +10dB あげるように推奨されており、周波数応答特性は 31.5 ~ 120Hz, ± 3dB である。

図 3-3 にはサブウーファの設置位置を示しているが、中央付近の床面に近い所に設置することが推奨されている。120Hz 以下の重低音は人間の聴覚特性としてほとんど音源方向が聞き取れないことから、中央の床面近くに設置することで問題は無い。

図 4 は、サラウンドスピーカの平面配置で、側壁のサラウンド区域個数を奇数とするか、偶数とする場合でのスピーカ設置事例を示している。観客席中央を照準位置として左右の側壁に設置するサラウンドスピーカのスクリーン側と背面側に設置方向を考慮する必要がある。

図 4-1-1 は、観客席の奥行きと横幅によって推奨される側壁のサラウンドスピーカ設置個数であり、図 4-1-2 には下限となる設置個数を示している。一例として観客席奥行きが 19.8m で横幅が 15.2m とすると推奨設置個数は 9 個となり、下限個数は 7 個となる。

図 4-3-1 は、観客席の奥行きと横幅によって推奨される後壁のサラウンドスピーカ推奨設置個数であり、図 4-3-2 は下限となる設置個数を示している。一例として観客席奥行きが 19.8m で横幅が 15.2m とすると推奨設置個数は 6 個となり、下限個数は 5 個となる。

サラウンド効果に使用されるラウドスピーカは 99dB の出力で、連結されたアレイスピーカでは 105dB とし、周波数応答特性は 40Hz ~ 16kHz, +3/-6dB である。

図 4-9-1-1 は側壁のサラウンドスピーカ上下方向設置事例であり、後壁のサラウンドスピーカ設置高さから、スクリーン中央部に向けた延長線上に配置している事例である。

図 4-9-1-2 は、側壁の中央部に干渉する構造物がある場合に、干渉物避ける形で配置する位置を調整している事例である。

図 4-9-1-3 は、観客席中央部に横断通路がある場合にサラウンドスピーカの上下方向配置も客席段差に合わせて調整している事例である。

図 4-9-1-4 は、観客席中央部に横断通路がある場合にサラウンドスピーカの上下方向配置も客席に近づけて傾斜を設け、スクリーン近くでは、ほぼ平行としている事例である。

図 4-9-2 は、側壁のサラウンドスピーカの上下位置を調整する場合に、後壁のサラウンドスピーカからスクリーン中央を結ぶ仮想見通し線からの上下位置可変許容公差を示している。客席からの高さが、仮想見通し線から ± 25% 以内とすることが推奨されている。

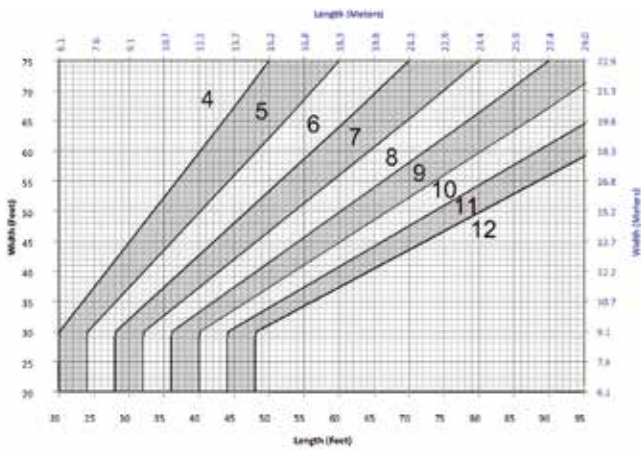


図 4-1-1 側壁サラウンドラウドスピーカー配置個数推奨値

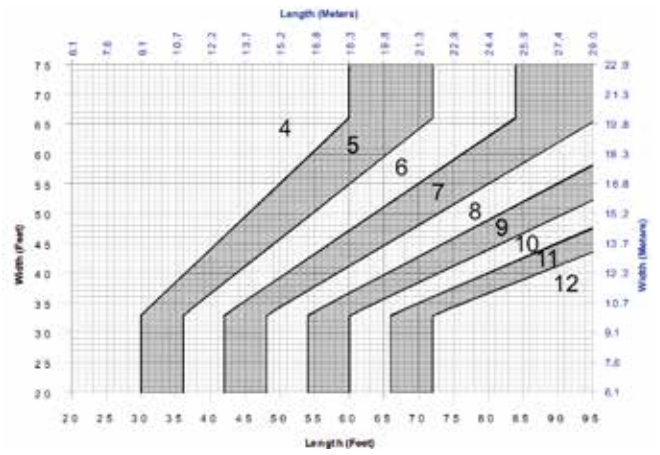


図 4-1-2 側壁サラウンドラウドスピーカーの配置個数下限値

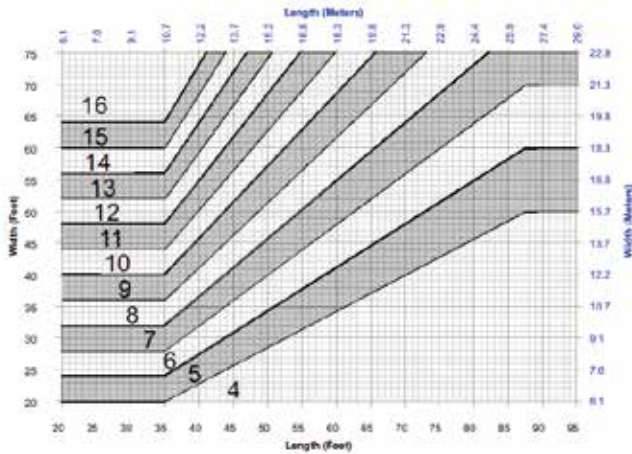


図 4-3-1 後壁サラウンドラウドスピーカー配置個数推奨値

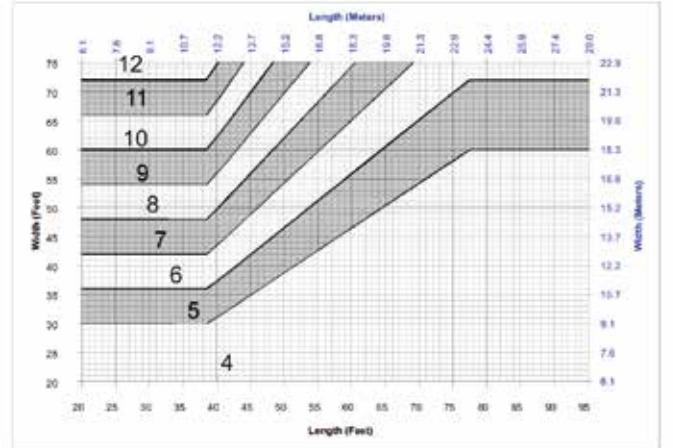


図 4-3-2 後壁サラウンドラウドスピーカー配置個数下限値

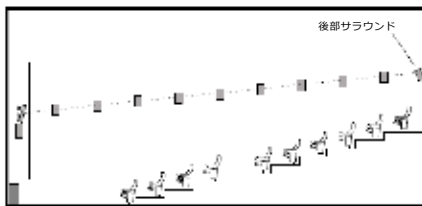


図 4-9-1-1 側壁サラウンドスピーカー配置の参考事例

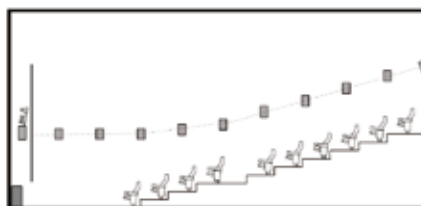


図 4-9-1-4 側壁サラウンドスピーカー配置の新規推奨事例

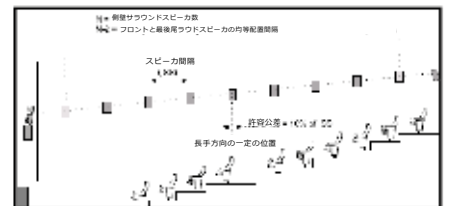


図 4-9-3-2 側壁サラウンドスピーカー間隔と中心位置

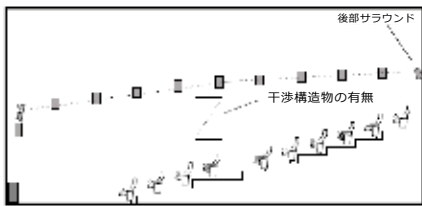


図 4-9-1-2 側壁サラウンドスピーカー配置の注意事項

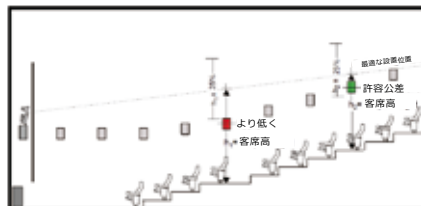


図 4-9-2 側壁サラウンドスピーカーの設置高さ許容公差

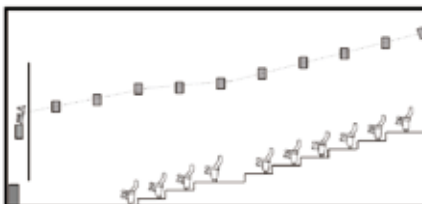


図 4-9-1-3 側壁サラウンドスピーカー配置の従来事例

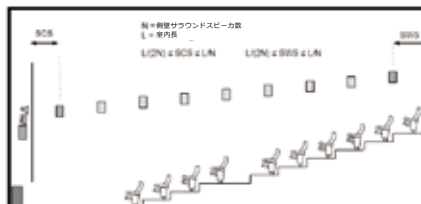


図 4-9-3-1 側壁サラウンドスピーカー奥行き方向配置

図 4-9-3-1 は、側壁サラウンドスピーカーの奥行き方向配置を示しており、側壁サラウンドスピーカーを均等に配置した場合のスクリーン側と後壁側両端のスピーカー迄の距離を規定する計算式を示している。観客席奥行き長を側壁サラウンドスピーカー個数で除算した距離より小さく、かつ観客席奥行

き長を側壁サラウンドスピーカー個数を二倍した値で除算した値より大きい事が求められる。

図 4-9-3-2 は、側壁サラウンドスピーカーの設置間隔と中心位置に対する規定を示しており、スピーカー設置間隔の 10% 以内の公差範囲内の位置で、奥行き方向客席中央

に合わせる事が要求されている。」

図 4-11 は側壁と後壁サラウンドスピーカーの水平方向位置関係を示しており、サラウンドスピーカーの出力が独立して単体スピーカーとして動作する場合、隣り合うスピーカーがペアとして動作する場合、各サラウンドスピーカーの照準調整方向について示している。

図 4-12-1 は、側壁サラウンドスピーカーの上下方向照準位置を示しており、対向する側壁側の末端座席に据わる観客の頭部を想定して照準を合わせることが示されている。

図 4-12-2 は、後壁サラウンドスピーカーの上下方向照準位置を示しており、最前列客席の観客の頭部を想定して照準を合わせることが示されている。

図 4-13-1 は、天井部に設置されるサラウンドスピーカーの水平方向位置を示してお

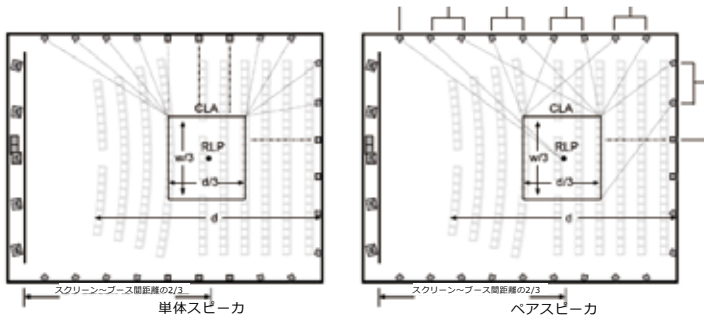


図 4-11 側壁と後壁サラウンドの水平方向位置関係

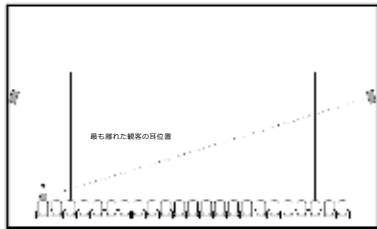


図 4-12-1 側壁サラウンドスピーカーの照準方向

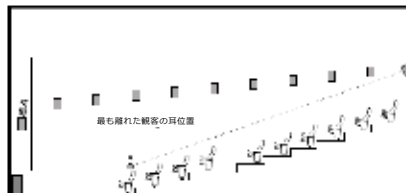
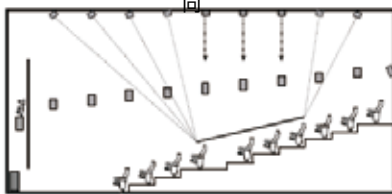
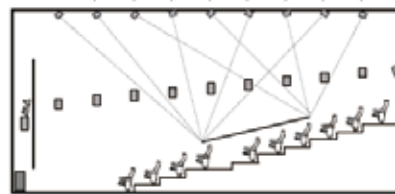


図 4-12-2 後壁サラウンドスピーカーの照準方向



単体スピーカー



ペアスピーカー

図 4-12-2 天井サラウンドスピーカーの照準方向

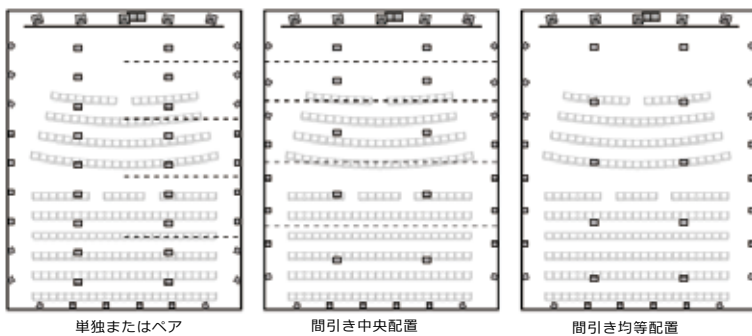


図 4-14 天井サラウンドスピーカーの奥行き方向配置

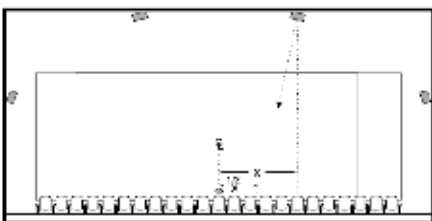


図 4-14-1 天井サラウンドの照準方向

り、センタースピーカーの左右に設置される L-Center, R-Center と同じ横位置で平行に設置することが示されている。

図 4-13-2 は、天井部に設置されるサラウンドスピーカーの垂直方向照準位置を示しており、観客席奥行き方向 2/3 で、中央となる座席の観客頭部を想定して照準を合わせることが示されている。

図 4-12-2 は、天井サラウンドスピーカーの垂直の照準方向を示しており、単体スピーカーの場合には図 4-11 にしめしている側壁と後壁の照準位置となる中央区域と同様に

設置し、ペアスピーカーの場合には、ペアスピーカーが互いに中央区域の反対位置を照準するように設置することが示されている。

この今月号で紹介した Barco Auro と Dolby Atmos は、全く設計思想が異なる事から、サラウンド効果が楽しめる作品を両社の方式で聴きくらべしていただきたいところである。

#### 引用文献

- “Barco AuroMax: room design guidelines”, Tom Bert, Barco Whitepaper
- “Dolby Atmos Specifications”, issue 3, dolby.com
- “Auro 11.1 versus object-based sound in 3D All aspects compared”, Brian Claypool: Barco, Wilfried Van

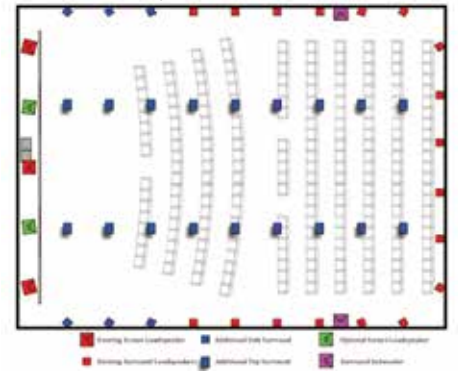


図 4-13-1 Dolby Atmos の立体音響イメージ

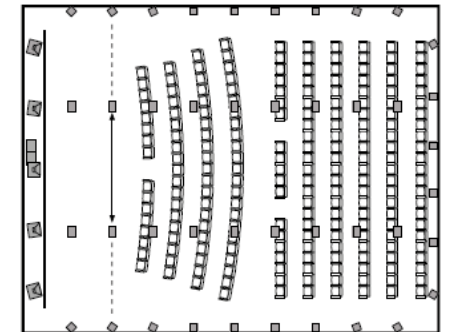


図 4-13-1 天井のサラウンドスピーカー水平方向配置

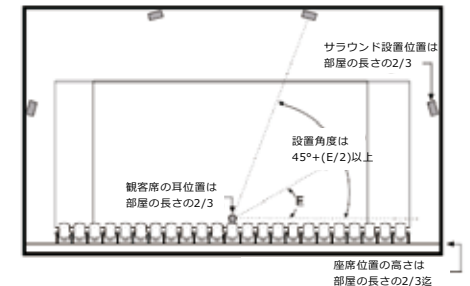


図 4-13-2 天井のサラウンドスピーカー垂直方向配置

$$R > (Nss+1) / 2$$

and

$$R \geq \min(4, Nss)$$

NSS	(NSS+1)/2	min(4, NSS)	R
4	2.5	4	4
5	3	4	4
6	3.5	4	4
7	4	4	4
8	4.5	4	5
9	5	4	5
10	5.5	4	6
11	6	4	6
12	6.5	4	7

表 4 ゾーン区分け

Baelen: Auro Technologies, Bert Van Daele: Auro Technologies

- “AURO-3D OCTOPUS CODEC”, Rev:2.7 2011 Nov 17, Auro 3D white paper
- “Dolby Atmos Renderer Guide”, Software version 3.0, 2 August 2018

Ichiro Kawakami  
デジタル・ルック・ラボ