

反射音の到来方向を考慮したステージ音響評価に関する研究 その2 - 各種ホールの測定事例 - *

◎橋本悌（ヤマハ）、板垣大稀、佐久間哲哉（東大・工）

1 はじめに

筆者らは、反射音の到来方向を考慮した舞台音場の評価のため、方向別インパルス応答計測に基づく ST の測定手法を構築した [1]。既報 [2] では、ISO^[3] で定義される ST_{Early}、ST_{Late} を 1 次のアンビソニックスマイクを用いて、直交 6 方向で算出する手法を提案し、評価区間や測定システムの検証等を行った。本報では、室形状・空間規模の異なる複数のホールの多数点で方向別 ST を測定し、その結果について考察を行う。

2 測定概要

2.1 測定システム

測定に使用した音源およびマイクロフォンを Fig. 1 に示す。音源は無指向性の対向スピーカー、マイクロフォンは商用の 1 次のアンビソニックスマイク（Ambeo VR Mic, Sennheiser）を使用した。ISO に基づき、音源から 1 m 離れた位置にマイクロフォンを設置し、インパルス応答を計測した。なお、スピーカーおよびマイクの高さは床面から 1.5 m とした。

2.2 方向別 ST の算出

既報に基づき、Eq.(1), (2) より、測定したインパルス応答から方向別 ST の ST_{Early,dir} および ST_{Late,dir} を算出した。

$$ST_{Early,dir} = 10 \log_{10} \frac{\int_{10ms}^{100ms} p_{dir}^2(t) dt}{\int_{0ms}^{10ms} p^2(t) dt} \quad (1)$$

$$ST_{Late,dir} = 10 \log_{10} \frac{\int_{100ms}^{1000ms} p_{dir}^2(t) dt}{\int_{0ms}^{10ms} p^2(t) dt} \quad (2)$$

ここで、 $p(t)$ は無指向性のインパルス応答、 $p(t)_{dir}$ は方向別のインパルス応答を表し、添字 dir は、舞台上手・下手方向を Left, Right、舞台面・舞台奥方向を Front, Back、上下方向を Up, Down を表す。解析周波数帯域は 250 ~ 2k Hz



(a) Sound source (b) 1st order ambisonics microphone

Fig. 1 Measurement equipment

(1/1 oct, band) の 4 帯域で方向別 ST を算出し、算術平均を算出した。

2.3 測定対象ホール

室形状や客席構成、座席数の異なる 7 つのホールにおいて、音響測定を実施した。音響測定を実施したホールを Fig. 2 に示す。ホール A から F は舞台を反射板形式とした多目的ホール、ホール G はアリーナ型のコンサートホールである。なお、ホール B については、天井反射板が無い舞台となっている。各ホールの諸元を Table 1 に示す。測定点は各ホールの舞台の上手側半面に 2 m 間隔のグリッド上に配置した。Fig. 3 に各ホールにおける測定点の音源位置を示す。全ての測定点において、音源を客席側、マイクを舞台奥側に配置している。ISO に基づき、壁面から 2 m 以上離れた測定点を設定した。

3 測定結果

3.1 ホールによる違い

各ホールにおける ST_{Early,dir} および ST_{Late,dir} の測定結果を Fig. 4 に示す。図中の実線が平均値、破線が最大値・最小値を表す。

ST_{Early,dir} については、全てのホールに共通して方向別に偏差があり、10 ~ 100 ms に到来する反射音は方向毎に強度が異なっている。特に、Front の値が低く、100 ms までに到来する客席側からの反射音レベルが低くなっている。舞台上手・舞台奥付近では壁面との距離が近いため、壁面からの反射音レベルが高くなり、Left, Back の変化量が大きい傾向にある。また、舞台の寸

* Stage acoustic evaluation considering arrival direction of reflection sound, Part 2 - Measurement examples of various venues -, by HASHIMOTO, Dai (Yamaha Corp.), ITAGAKI, Daiki and SAKUMA, Tetsuya (Univ. of Tokyo)

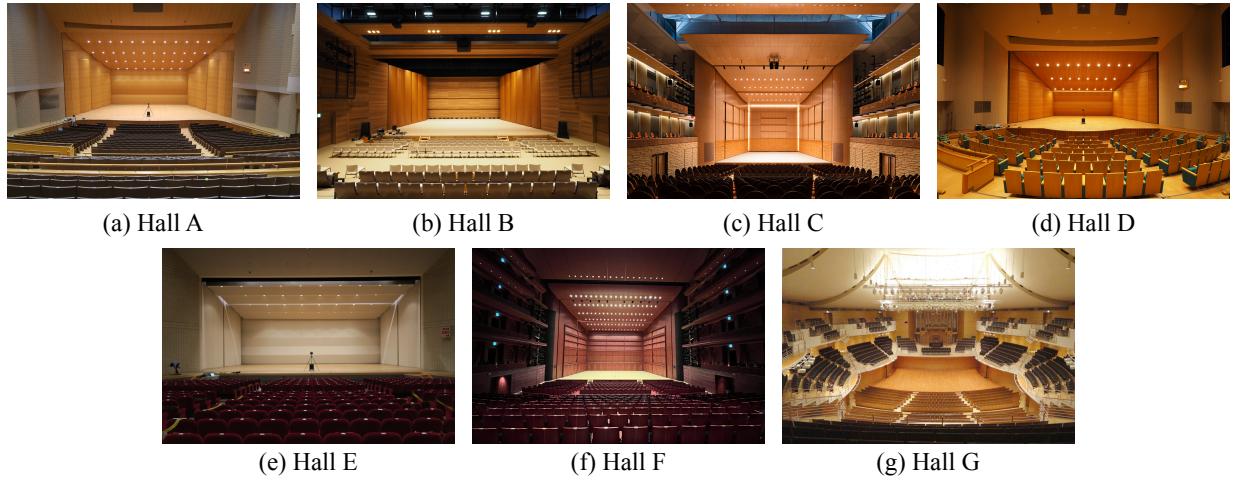


Fig. 2 Outline of the halls where acoustic measurement was performed

Table 1 Building details and acoustical data of each hall

Hall	No. of seats	$T_{30,\text{mid Unocc.}}$ (s)	Absorption Coeff.	Volume (m^3)	Total Area (m^2)	Stage width (m)	Stage depth (m)	Stage height (m)
A	421	1.3	0.23	4,420	2,070	16.5	10.5	8.0
B	500	1.4	0.21	5,680	2,740	15.5	9.0	7.4
C	698	2.5	0.15	11,150	4,600	12.0	16.2	13.0
D	1,033	1.9	0.21	11,940	4,380	20.0	10.0	10.0
E	1,104	1.6	0.27	10,225	3,435	19.0	9.0	8.0
F	1,514	2.3	0.17	15,580	5,860	18.2	18.2	15.0
G	1,884	2.2	0.16	18,610	6,445	20.8	11.7	-

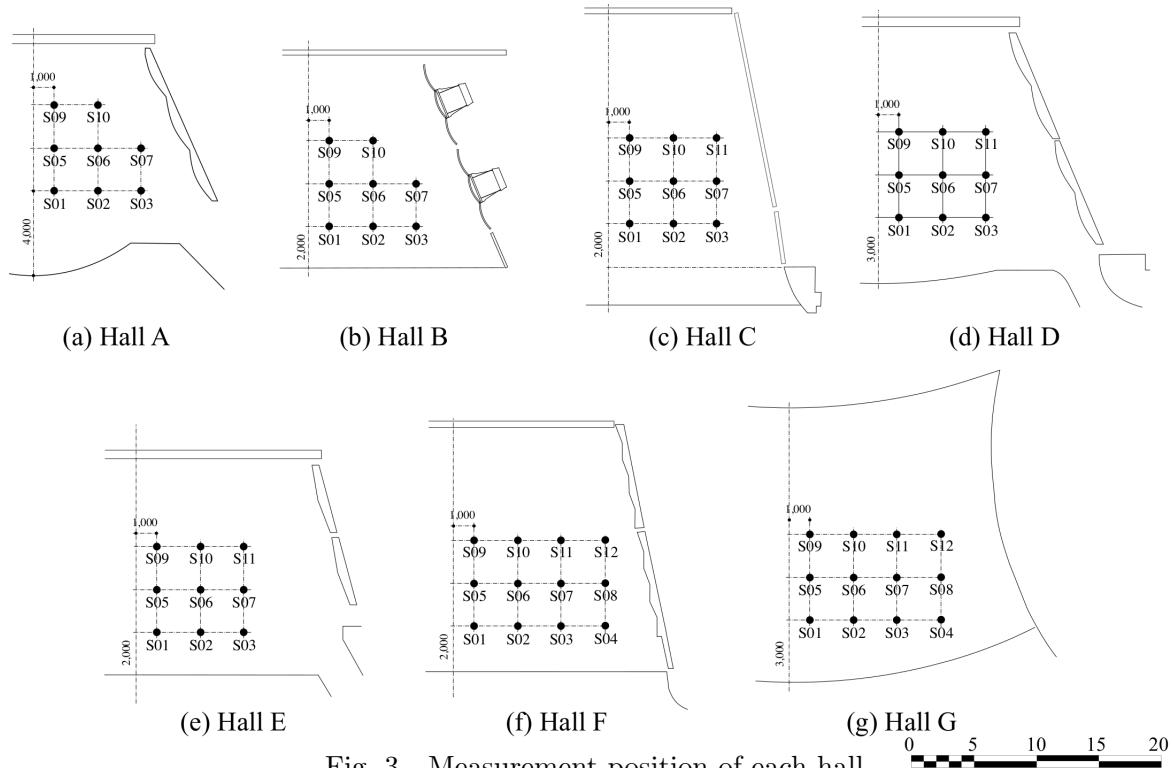


Fig. 3 Measurement position of each hall

法が小さいホールでは、全体的に値が高い傾向にあるが、ホールによって方向分布に違いが見られ、舞台の寸法比や反射面の角度が影響している可能性がある。さらに、舞台空間が音響反射板

に囲われていないアリーナ型のホール H では全体的に値が低く、舞台上の偏差も大きいことが確認できる。

$ST_{Late,dir}$ については、方向別に偏差が小さい傾向にあり、100 ms ~ 1 sに到来する反射音はあらゆる方向から到来し、一様な強度になっている。また、測定点毎の偏差も小さく、舞台上での位置依存性も小さいと推察される。さらに、他のホールに比べて、ホール C, F は全体的に値が高い。これらのホールは平均吸音率 $\bar{\alpha}$ が小さく、残響時間が長いためだと推察される。

3.2 舞台上の位置による影響

各ホールの各測定点の $ST_{Early,dir}$ の測定結果を Fig.5、 $ST_{Late,dir}$ の測定結果を Fig.6 に示す。

$ST_{Early,dir}$ については、舞台上の位置による方向別の偏差が大きい。S01のような舞台面・中央付近では壁・天井面への距離が遠いため、全ての方向において $ST_{Early,dir}$ が低くなっているが、ホール毎の偏差は小さい。舞台上手付近では Left の値が大きくなる傾向にあるが、側方反射板は平面的に傾いているため、上手に近づくほど値が高くなるとは限らない。

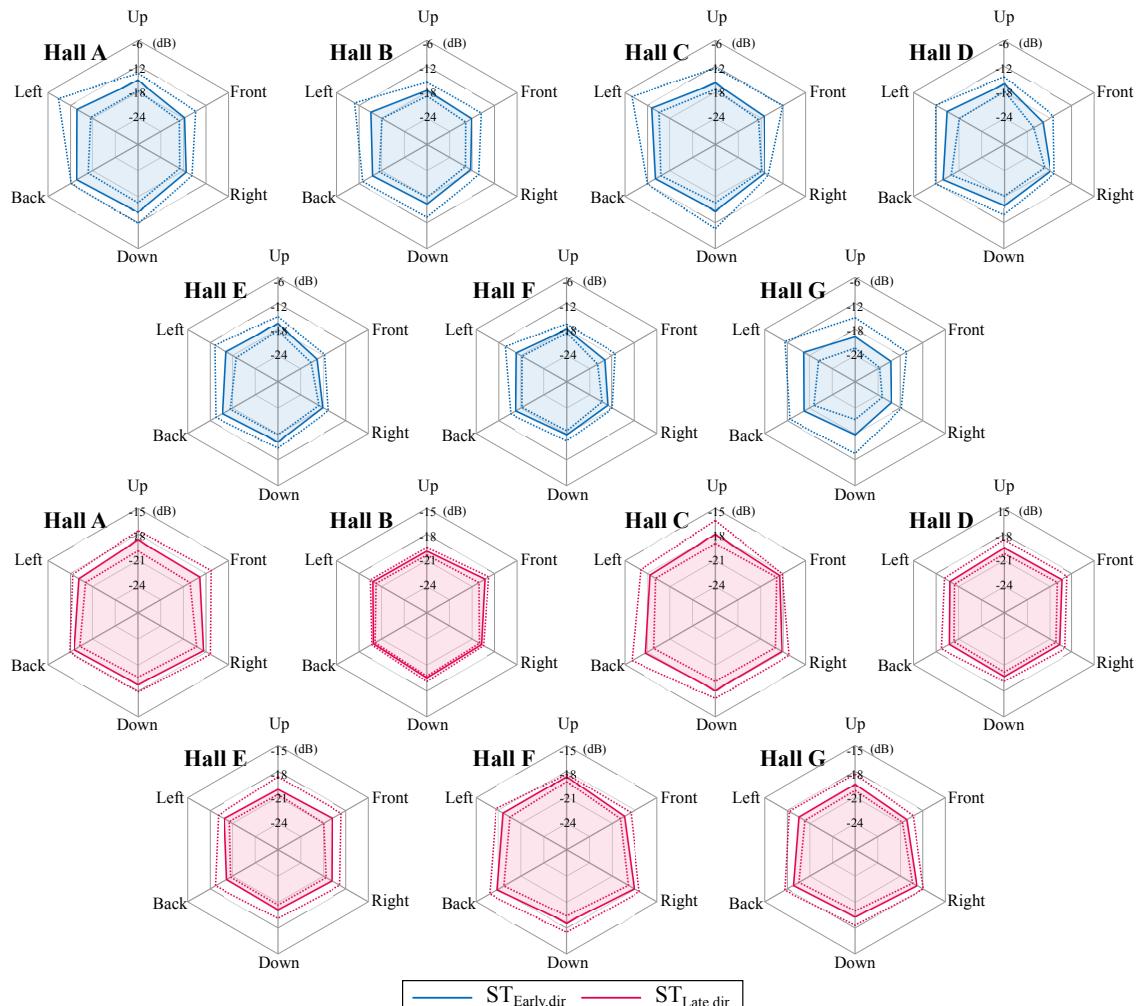


Fig. 4 Measurement result of directional early support and late support of each hall. Solid line represents avarage value; dotted lines represent maximum and minimum value.

$ST_{Late,dir}$ については、舞台上の位置による方向別の偏差が小さい。 $ST_{Early,dir}$ とは異なり、S01のような舞台面・中央付近では値が高くなり、ホール毎の偏差が大きい。

4 おわりに

本報では、室形状・空間規模の異なる 7 つのホールにおいて、方向別 ST の測定を行い、その測定結果の考察を行った。 $ST_{Early,dir}$ と $ST_{Late,dir}$ のそれぞれについて、ホールの規模や音響特性、舞台上の位置による影響が確認された。今後は、ST の方向分布が演奏者の主観評価に与える影響について検討を行う。

参考文献

- [1] 板垣他, 日本建築学会学術講演梗概集, 2022.
- [2] 板垣他, 音講論(秋), 2022.
- [3] ISO 3382-1: 2009, Acousitcs - Measurement of room acousitc parameters - Part 1: Performance spaces

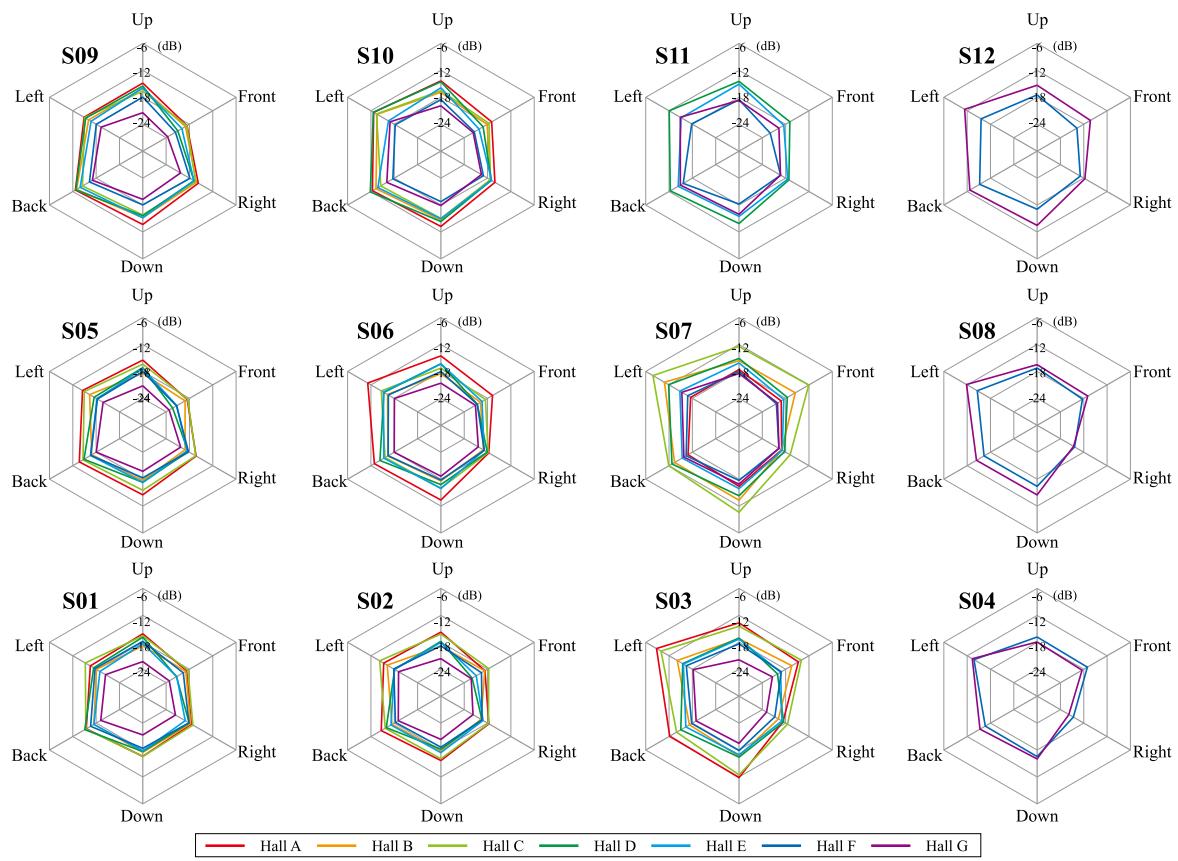


Fig. 5 Measurement result of directional early support at each measurement point of each hall

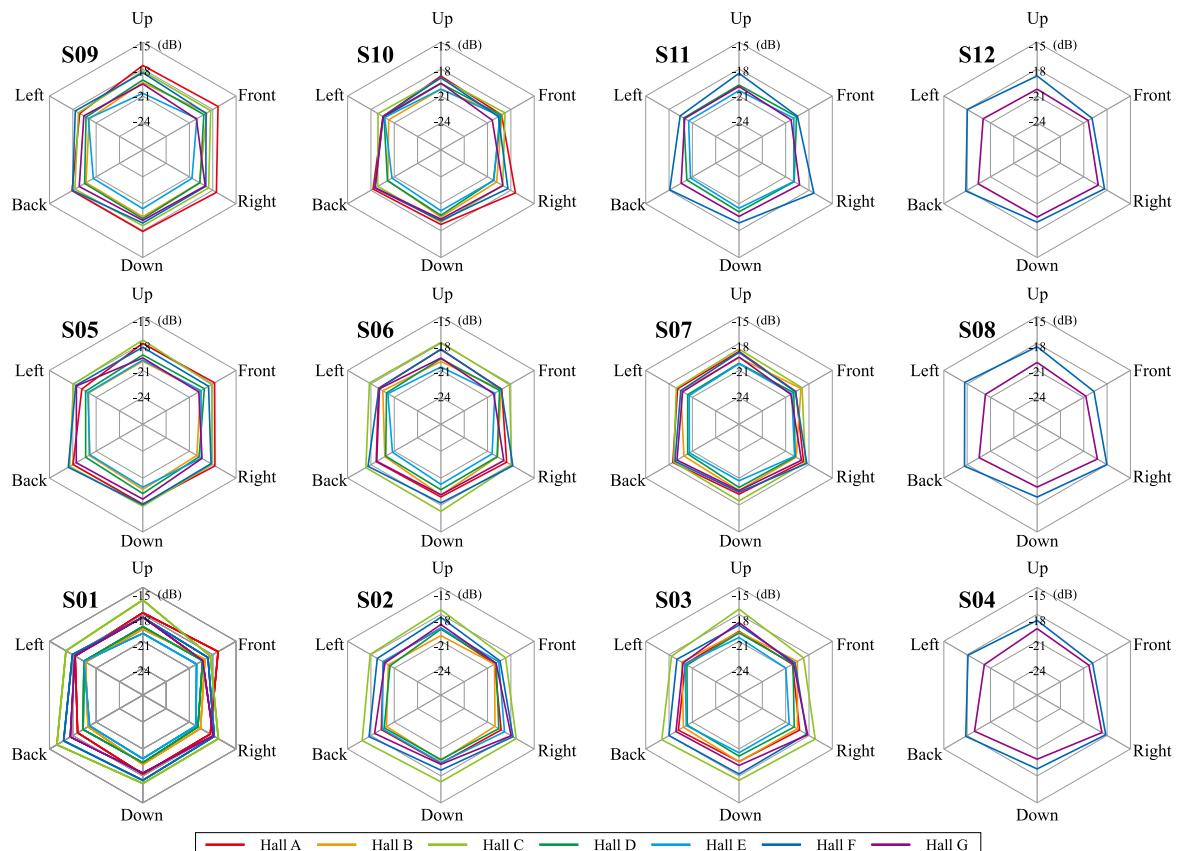


Fig. 6 Measurement result of directional late support at each measurement point of each hall