

# 拡声音のオーバラップマスキング量SORと「聴き取りにくさ」の関係 —拡声システムの調整結果を評価するツールへの応用—\*

○栗栖清浩 (TOA), 中村 進, 安 啓一, 荒井隆行 (上智大・理工)

## 1 はじめに

$STI^{[1]}$ は音声明瞭性の指標として、拡声音の評価にも広く用いられているが、拡声系を調整して聴こえ方が改善しても  $STI$  がほとんど変化しない場合があり、調整の効果を評価するには必ずしも向いていない。これは以前から識者により指摘されていた  $STI$  の限界でもある<sup>[2]</sup>。そこで、拡声系で調整用フィルタ処理を施す／施さない場合の拡声音の「聴き取りにくさ」<sup>[3]</sup>と各拡声音の  $SOR$  ( $\rightarrow 2SOR$ ) の関係から、調整によりどれだけ「聴き取りにくさ」が改善したかで調整の効果を評価する試みがなされた<sup>[4]</sup>。

本報告では前報<sup>[4]</sup>の概要に加え、 $SOR$  と  $C_{50}$  との違いについて検討する。

尚、本報告の聴取実験で調べた「聴き取りにくさ」は、親密度が高く音素バランスの取れた単語セットを用いた場合のもの<sup>[3]</sup>ではなく、後述の通りある特定のアナウンス文を聴取したときの「聴き取りにくさ」である。

また、拡声器による拡声という立場から、対象とする伝送系は室の音響系だけでなく、拡声系と音響系からなる pathware<sup>[5]</sup> (Fig. 1) であることを明確にしておく。

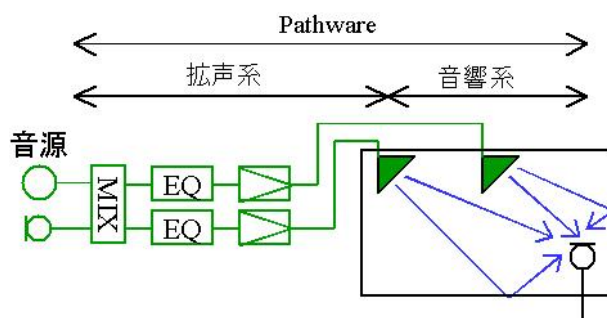


Fig. 1 Pathware

## 2 SOR

$SOR^{[6]}$  (Speech to Overlap-masking Ratio) は定常部抑圧処理<sup>[7]</sup>による単音節明瞭度の向上

に対する指標として提案されたが、今回の対象はあるアナウンス文全体である。そこで、インパルス応答  $h$  を持つ pathware で音源  $s$  を拡声したときの  $SOR$  を次のように定義した (注: pathware に非線形処理が含まれていても  $h$  には殆ど非線形の影響は現れていない):

$$SOR_i = 10 \log_{10} \frac{E_{d,i}}{E_{r,i}} \text{ dB}, \quad (1)$$

$$SOR = \frac{1}{N} \sum_i^N SOR_i \text{ dB}, \quad (2)$$

ここで、 $E_{d,i}$  は  $p_d = s * h_{50}$  ( $*$ : 畳み込み演算子,  $h_{50}$ :  $h$  のうち直接音から 50ms までの分) を時間幅 150 ms で分割した  $i$  番目のフレーム (フレーム総数  $N$ ) に含まれるエネルギー,  $E_{r,i}$  は受音点で実測した音圧  $p$  のフレーム  $i$  のエネルギー  $E_i$  から  $E_{d,i}$  を差し引いたもので、フレームごとの比 (式(1)) を平均して拡声系全体の  $SOR$  としている (式(2))。尚、 $SOR$  が極端に小さくなることを避けるため、 $E_{d,i}$  に閾値を設定し、閾値以下であれば式(2)の平均処理から除外するようにした。

## 3 聴取実験

音源  $s_m$ : 男声アナウンス「職員の指示に従い、落ち着いて避難して下さい」(発話速度 6.6 mora/s) と 5 つの音響系  $h_j$  ( $j=1\sim 5$ ,  $T_{60}=0.2s, 0.5s, 0.9s, 1.4s, 2.6s$ ) を畳み込んだものを、室が共鳴していない場合の拡声音刺激  $S_j$  ( $j=1\sim 5$ ) とした。更に、 $S_j$  に 170Hz で 14.5dB, 620Hz で 4dB のゲインを持つフィルタ  $g$  を畳み込んだものを、室が共鳴している場合を模擬した拡声音刺激  $R_j$  ( $j=1\sim 5$ ) とした。これらは、最初、室が共鳴していたが ( $R_j$ ), 拡声系を調整することで共鳴が低減された ( $S_j$ ) ことを模擬している。

日本語を母語とする 34 名 (♂: 31, ♀: 3, 年齢: 20 代~60 代, 平均年齢: 38.4 歳) に、防音室において耳覆い型ヘッドホンを通して

\* Signal to overlap-masking ratio of the transmitted speech and its listening difficulty: An application for an evaluation tool of sound system tuning, by KURISU Kiyohiro (TOA Corp., Japan), NAKAMURA Susumu, YASU Keiichi and ARAI Takayuki (Sophia Univ., Japan).

ランダムな順番で呈示した  $S_j$ ,  $R_j$  の「聴き取りにくさ (LDR)」(1.聴き取りにくくない, {2.やや, 3.かなり, 4.非常に} 聴き取りにくい) を回答させた。Fig. 2は各刺激に対する評価2~4の合計数の割合をz値に変換したものと、各刺激のSORの関係を表したものである。

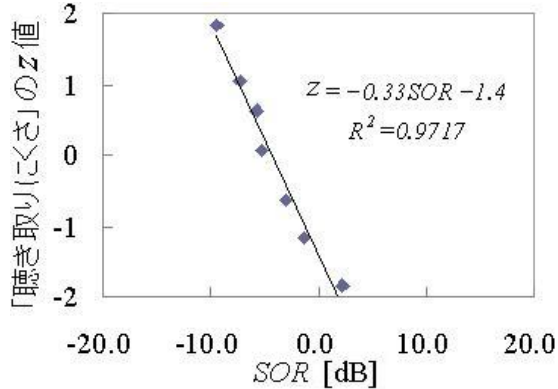


Fig. 2 LDR(Listening Difficulty Rating) vs. SOR

決定係数の高い回帰直線を元に、

$$LDR = \frac{1 \pm \sqrt{1 - \exp\left(-\frac{2(-0.33SOR - 1.4)^2}{\pi}\right)}}{2} \times 100\% \quad (3)$$

where, 負号は  $SOR \geq -4.3$  のとき, なる関係式を得た。

Table 1 調整前後のSTI, SOR及び「聴き取りにくさ(LDR)」

施設 (床面積)	調整前 調整後 変化量			
	STI	SOR	LDR	変化量
小部屋 (30.9m <sup>2</sup> )	STI	0.70	0.70	0
	SOR[dB]	-7.2	-5.7	+1.5
	LDR[%]	83.0	67.7	-15.3
ホールロビー (300 m <sup>2</sup> )	STI	0.68	0.69	+0.01
	SOR[dB]	-5.0	-1.2	+3.8
	LDR[%]	59.1	15.4	-43.7
音楽ホール (313 m <sup>2</sup> )	STI	0.66	0.65	-0.01
	SOR[dB]	-1.4	1.2	+2.6
	LDR[%]	17.0	3.3	-13.7
体育館 (1,600 m <sup>2</sup> )	STI	0.49	0.47	-0.02
	SOR[dB]	-6.6	-6.0	+0.6
	LDR[%]	77.5	71.1	-6.4

#### 4 調整結果の評価ツールとしての応用

いくつかの拡声システム納入施設において測定したシステム調整前後のSTI, SOR及びSORから式(3)を用いて予測した拡声アウンスの「聴き取りにくさ (LDR)」をTable 1に示す。各施設において調整前後で殆どSTIが変化していないがSORは変化しており、SORに基づく「聴き取りにくさ」がどれだけ減少したかによって、調整の効果を表現出来

るようになった。

#### 5 議論

SORは直接音から50msまでの直接音成分とそれ以外の成分のパワー比でありC<sub>50</sub>に類似しているが、以下の点で異なっている。

##### ・評価に必要な帯域だけを考慮している

SORは実際に拡声する音声信号を試験音としているので、必要な帯域でのみパワー比を測定している。対してC<sub>50</sub>は音声帯域以外の特性をも含むインパルス応答に基づくため、必ずしも拡声音声の評価に特化していない。

##### ・拡声系の非線形処理の効果も評価可能

C<sub>50</sub>はインパルス応答に依存しているため、インパルス応答に含まれないpathwareの非線形処理の効果を評価することが出来ない。対して、拡声系の非線形処理及び音響系の残響などpathware上の全ての効果を含んだ受音点における実測信号に基づくSORは、拡声系の非線形処理に反応することが可能である。今回示した結果は拡声系におけるフィルタ処理(線形処理)だけによる「聴き取りにくさ」の変化であったが、今後の拡声系に定常部抑圧処理<sup>[7]</sup>やハイパーコンプレッス処理<sup>[8]</sup>が適用される可能性を鑑みるに、拡声系の非線形処理によるSORと「聴き取りにくさ」の関係<sup>[9]</sup>を明らかにしておく必要がある。

#### 6 終わりに

STIでは評価できなかった拡声系の調整の効果を、SORに基づく「聴き取りにくさ」の改善量で評価できた。

#### 謝辞

議論していただいた神戸大学の佐藤逸人先生に感謝します。

#### 参考文献

- [1] IEC60268-16, Edition 4.0, 2011.
- [2] 佐藤 日本建築学会シンポジウム 1月17日, 12, 2003.
- [3] Morimoto M et al., JASA, 116(3), 1607-1613, 2004.
- [4] 栗栖 他, 建音研資料 AA2011-47, 2011.
- [5] Campbell D, Syn-Aud-Con Newsletter, 35(1), 10-17, 2007.
- [6] Arai T et al., AST, 28(6), 438-441, 2007.
- [7] 荒井 他, 音講論(秋), 449-450, 2001.
- [8] Vickers E, JAES, 59(5), 346-351, 2011.
- [9] 中村 他, 音講論(春), 1-9-22, 2012.