

室の規模と吸音率に基づいた STIr の推定

その2 電気音響設備による効果の検証

小林 正明^{*1}松岡 明彦^{*1}
土屋 裕造^{*1}

概 要

既報では、音声伝送性能の物理的評価指標として IEC60268-16:2003 において規格化されている STIr に着目し、室内音響性能測定用スピーカを用いて実測した最小値と拡散仮定で求めた値を比較した。その結果、電気音響設備を使用しない場合の STIr の最小値が室の規模および平均吸音率を用いて推定できることを示した。

本報では、空間に付随する電気音響設備を用いて実測した STIr が室の規模および平均吸音率を用いて推定可能であるかを検討した。

Estimation of STIr from absorption coefficient in consideration of room volume Part 2 Effect of electro-acoustics systems

Masaaki KOBAYASHI^{*1} Akihiko MATSUOKA^{*1}
Yuzo TSUCHIYA^{*1}

STIr is an objective measure for the evaluation of speech transmission standardized in IEC60268-16:2003. In the previous report, speech transmission performance in a room defined as the minimum value of STIr and the interrelationships of the STIr measured by the speakers for measuring room acoustics and calculated by the theory based on the assumption of a diffuse sound field were considered. As a result, it was demonstrated that STIr is strongly related to the room volume, surface area and absorption coefficient of the room. This means that speech transmission performance can be designed by the parameters as usual.

In this paper, the interrelationships of the STIr measured by the electro-acoustics systems and calculated by the theory mentioned above were considered.

^{*1} 技術研究所

^{*1} Technical Research Institute

室の規模と吸音率に基づいた STIr の推定

その2 電気音響設備による効果の検証

小林 正明¹
 松岡 明彦¹
 土屋 裕造¹

1. はじめに

既報¹⁾では、同一空間における音声伝送性能の最小値に着目し、音声伝送性能の物理的評価指標としてIEC60268-16:2003²⁾において標準化されているSTIrの最小値と室の規模、および、室内平均吸音率の関係について検討した。その結果、電気音響設備を使用しない場合のSTIrの最小値が室の規模および平均吸音率を用いて推定できることを示した。

本報では、拡散仮定のもとで算出されたSTIrを用いることで、電気音響設備使用時のSTIrの最小値が推定できるかを検討した。

2. MTF と STI について

STI (Speech Transmission Index) は、会話音声の特徴を信号強度の時間的変化をあらわす包絡線情報としてとらえ、音源位置で発せられた音声波形(100%強度変調した音源信号波形)の包絡線が、受信位置でどの程度保存されているかを示すMTF (Modulation Transfer Function) の結果を用いて算出される^{3,4)}。

一般に、式(1)であらわされる100%強度変調された音源入力信号に対し、伝送路内を経過した出力信号は式(2)であらわされる。ここで、 $m(F)$ は、変調周波数 F における変調指数であり、 τ は伝送による時間遅れをあらわす。変調深さの減少度を変調周波数の関数としてあらわした $m(F)$ が伝送路のMTFである。

$$\bar{I} = (1 + \cos 2\pi Ft) \quad (1)$$

$$\bar{I}_0 = [1 + m(F) \cdot \cos 2\pi F(t - \tau)] \quad (2)$$

Schroeder⁵⁾は伝送路のインパルス応答 $h(t)$ とMTFの関係が式(3)であらわされることを証明した。実音場におけるMTFは測定結果の $h(t)$ を式(3)に代入し算出されることが一般的である⁶⁾。

$$MTF = \frac{\int_0^{\infty} h^2(t) \cdot e^{-2\pi Ft} dt}{\int_0^{\infty} h^2(t) dt} \quad (3)$$

一方、残響が指数的に減衰する場合、受信点における暗騒音と音声レベルのSN比が十分に確保されているならば、MTFは式(4)であらわされる。

$$MTF = \left[1 + \left(\frac{2\pi FT}{13.8} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (4)$$

F : 変調周波数 (0.63 ~ 125 Hz)

T : 残響時間 (sec)

STIとその計算過程の一部に修正を加えたSTIrは、音声の周波数成分をカバーする125~8KHzの7つのオクターブバンドごとに、一般的な会話のスピーチレートに対応する14個の変調周波数について求められた計98個のMTFをもとに、AI法に準じる手続きによって計算される物理的評価指標である⁷⁾。

3. 実音場における STIr の推定

3.1 拡散音場における STIr と吸音率の関係

残響が指数的に減衰する場合、すなわち、拡散仮定の音場では、MTFは式(4)であらわされる。したがって、MTFに基づいて算出されるSTIrも、変調周波数 F と残響時間 T によって求められる。ここで、拡散音場における残響時間 $T^8)$ は式(5)によってあらわされる。

$$T = \frac{0.161V}{-S \log_e(1 - \bar{\alpha})} \quad (5)$$

T : 残響時間 (sec) V : 室容積 (m^3)

S : 表面積 (m^2) $\bar{\alpha}$: 室内平均吸音率

式(4)と(5)より、拡散音場におけるSTIrは、室容積 V (m^3)を表面積 S (m^2)で除した V/S と室内平均吸音率 $\bar{\alpha}$ によって求められる。受信点での音声レベルを男声による60dBAとし、十分なSN比が確保されている場合、 V/S に応じたSTIrと室内平均吸音率の関係は図-1のようにあらわされる。図-1によれば、同一の V/S では、室内平均吸音率が増加するにつれてSTIrも大きくなる。また、同一の室内平均吸音率であれば、 V/S が大きいほどSTIrは小さくなる。

3.2 STIr の測定

実音場におけるSTIrは、各音場で実測したインパルス応答より、式(3)で求まるMTFに基づいて算出した。

インパルス応答の測定は再生系がゆがまない程度に音源を増幅し、十分なSN比が得られる状況で実施した。音源は12面体スピーカ、音声伝送性能測定用スピーカ(AIJSPP)⁹⁾および各室に常設された電気音響設備(拡声設備)とした。なお、電気音響設備を用いたインパルス応答の測定はマイクを介さない直接入力(ライン入力)にて実施した。また、12面体スピーカおよびAIJSPP使用時の音源位置は各室で想定される話者位置とし、インパルス応答の測定点は室内の複数

¹⁾ 技術研究所

点とした。

本検討に用いた音場は室の規模・用途の異なる9音場である。実測した音場の諸元を表-1に示す。用いた音場の室容積は約1,300~25,000 m³に分布しており、室容積V(m³)を表面積S(m²)で除したV/Sの範囲は約1.3~4.5であった。12面体スピーカを用いて得られた各音場の残響時間と室内平均吸音率 $\bar{\alpha}$ (いずれも中心周波数500Hz、オクターブバンド)はそれぞれ0.97~4.36秒、0.09~0.28であった。

3.3 拡散音場のSTIrと最小STIrの関係

図-2は各音場で得られたSTIrの最小値と拡散仮定のもとで予測されるSTIrを音源ごとに比較したものである。なお、STIrの予測には全周波数における残響時間として500Hz(オクターブバンド)の残響時間を用いた。

図-2より、音源に12面体スピーカおよびAIJSPを用いた場合はすべての音場で実測値が予測値と同等以上になることが示された。この傾向は既報で得られた知見、すなわち、拡散仮定のもとで算出されるSTIrを用いれば、実音場におけるSTIrの最小値が設計可能であるとの見解を支持するものである。

一方、音源に電気音響設備を使用した場合は一部の

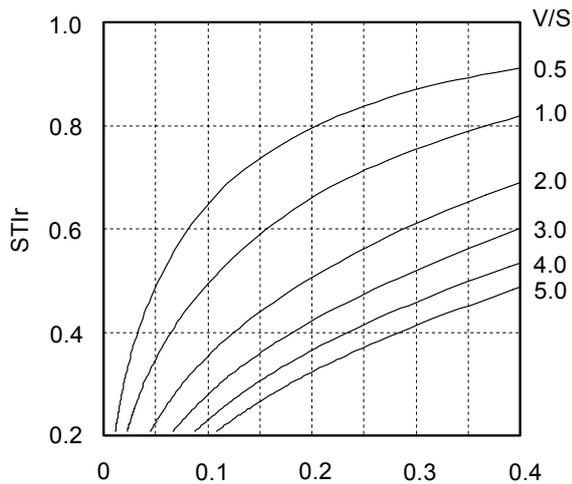


図-1 室の規模に応じたSTIrと室内平均吸音率 $\bar{\alpha}$ の関係例

表-1 実測した音場の諸元

音場	室用途	室容積V (m ³)	表面積S (m ²)	V/S	残響時間 (秒)	室内平均吸音率
A	講堂	3,225	1,625	1.98	0.98	0.28
B	多目的室	4,600	2,100	2.19	1.22	0.25
C	講堂	1,960	1,140	1.72	1.05	0.23
D	体育館	4,430	1,870	2.37	1.43	0.23
E	体育館	25,000	5,600	4.46	4.36	0.15
F	講堂	5,600	2,700	2.07	1.40	0.21
G	教室	1,330	770	1.73	0.97	0.25
H	教会	2,170	1,685	1.29	1.34	0.14
I	教会	2,170	1,685	1.29	2.27	0.09

※音場HとIは同一空間であり、内装仕様が異なる。

※残響時間(秒)と室内平均吸音率は12面体スピーカによって測定した500Hz(オクターブバンド)の値である。

音場で実測値が予測値を明らかに下回る結果となった。これは、電気音響設備を使用する際のSTIrを拡散仮定のみで設計することは危険であることを意味する。

3.4 音源の違いが同一測定点のSTIrに及ぼす影響

図-3および図-4は音場Hの同一測定点におけるSTIrを音源の違いによって比較したものである。図-3はAIJSPと12面体スピーカによる比較を示しており、図-4はAIJSPと電気音響設備の比較である。

図-3より、AIJSPを用いた場合のSTIrが12面体スピーカを用いた場合と同等以上であり、また、STIrが小さくなるほどAIJSPと12面体スピーカによる測定結果の差が小さくなることが示された。これは、音源であるAIJSPと12面体スピーカが同じ位置に設置されたこと、および、音源と受音点が離れることによって、音源の指向性によらず、音声伝送に重要とされる直接音が低減する一方、反射音が増大することに起因する。

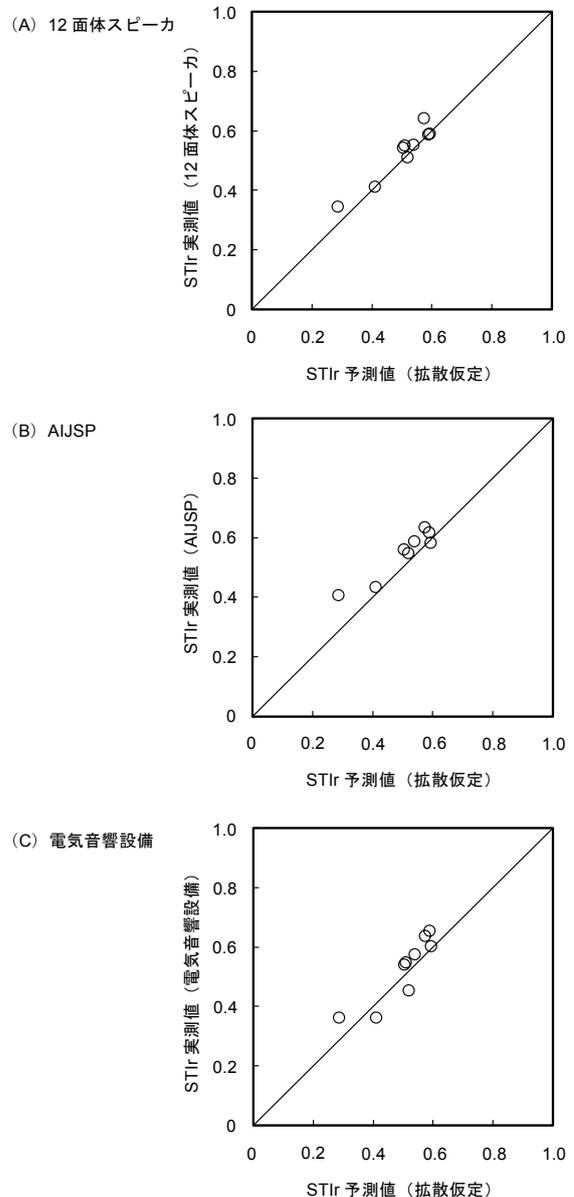


図-2 拡散仮定で得られるSTIrと実音場で得られた最小STIrの関係

これらを考慮すれば、図-4において、電気音響設備を用いて測定したSTIrがAIJSPを使用した場合を下回る主な原因として、両者の設置位置の違いが挙げられる。すなわち、各音場で想定される話者位置から最も近い測定点が電気音響設備から最も近いとは限らず、両音源を用いた際のSTIrの分布が大きく異なると考えられる。

なお、本検討に用いたいずれの音場においても、図-3および図-4と同様の傾向がみられた。

3.5 音圧レベル分布偏差がSTIrの最小値に及ぼす影響

図-2から図-4までの結果を考慮すれば、音源に電気音響設備を使用した場合のSTIrが拡散仮定に基づいて算出した値を下回る原因として、一部の測定点が電気音響設備のカバーエリアを外れていた可能性が考えられる。そこで各音場について、電気音響設備を音源とした場合の受聴位置における定常音圧レベル分布とSTIrの最小値の関係を検討した。

図-5の横軸は定常音圧レベル分布の偏差をあらわし、縦軸は実測したSTIrの最小値と拡散仮定で求めたSTIrの偏差をあらわす。なお、定常音圧レベル分布は音源信号にピンクノイズを用いた場合の4kHz(オクターブバンド)の値を用いた。また、図中には両者の関係を表す回帰直線、回帰式と相関係数を示す。

永田¹⁰⁾によれば、スピーカシステムの設計が適切であれば、2000席程度の大ホールにおいて、定常音圧レベル分布のばらつきを6dB程度に抑えることが可能であるとされており、一般に定常音圧レベル分布偏差の目標値は6dB以下とされる。検証に用いた音場数が少ないものの、図-5では、音圧レベル分布の偏差がおおむね6dB以下であれば、STIrの最小値が拡散仮定と同等以上となることが示された。

4. まとめ

本報では、同一空間における音声伝送性能が受音点によって大きく異なる点を考慮し、空間に付随する電気音響設備を用いて実測したSTIrの最小値と拡散仮定のもとで予測されるSTIrを比較・検討した。その結果、定常音圧レベル分布の偏差が6dB以下であれば、STIrの最小値が拡散仮定と同等以上となることが示された。この結果はスピーカシステムの設計が適切であれば、拡散仮定のもとで算出されるSTIrを用いることで電気音響設備使用時におけるSTIrの最小値が設計可能であることを示唆している。

音声による情報伝達を必要とする空間の音声伝送品質を確保するための検証を引き続き行う所存である。

参考文献

- 1) 小林正明、松岡明彦、土屋裕造、室の規模と吸音率に基づいたSTIrの推定、戸田建設技術研究報告第35号、2009
- 2) International Electrotechnical Commission, IEC 60268-16, Sound system equipment-Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index, 2003
- 3) T. Houtgast and H. J. M. Steeneken, The modulation

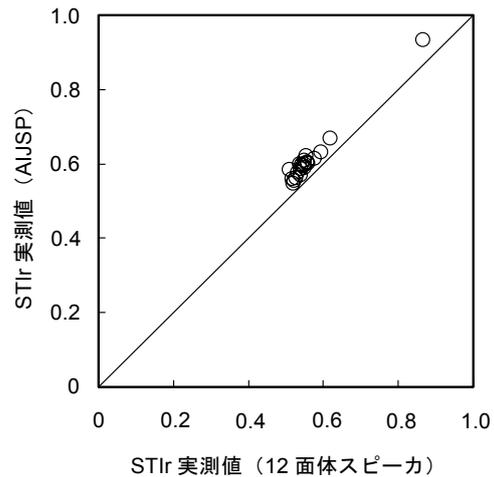


図-3 音場Hの同一測定点におけるSTIrの比較(AIJSPおよび12面体スピーカ)

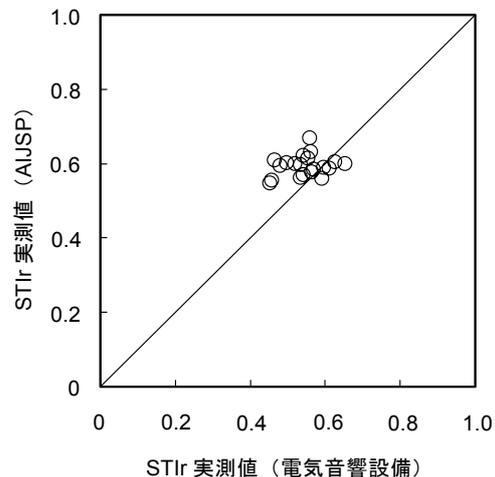


図-4 音場Hの同一測定点におけるSTIrの比較(AIJSPおよび電気音響設備)

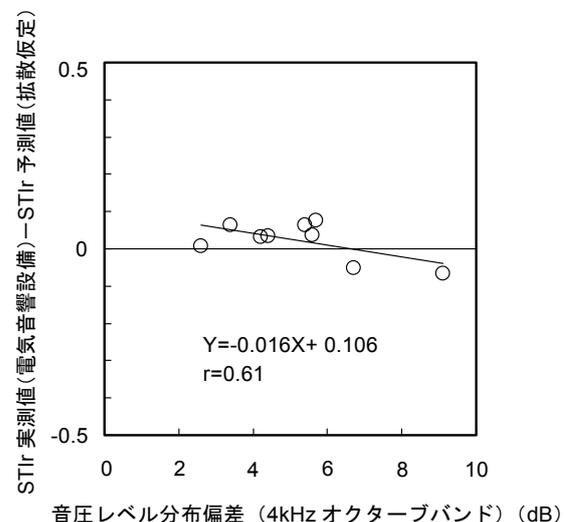


図-5 音圧レベル分布偏差がSTIrの最小値に及ぼす影響

- transfer function in room acoustics as a predictor of speech intelligibility, *Acustica*, 28, 66-73, 1973
- 4) T. Houtgast, H. J. M. Steeneken and R. Plomp, Predicting speech intelligibility in rooms from the modulation transfer function, I. General room acoustics, *Acustica*, 46, 60-72, 1980
 - 5) M. R. Schroeder, Modulation transfer function; Definition and measurement, *Acustica*, 49, 179-182, 1981
 - 6) 中島立視、音声の明瞭度指数 (STI) の測定、音響学会誌、49、103-110、1993
 - 7) 小椋靖夫、浜田春夫、三浦種敏、音場における音声伝送品質のための MTF と STI について、音響学会誌、40、181-191、1984
 - 8) C. F. Eyring, reverberation time in "dead" rooms, *J. Acoust. Soc. Am.*, 1, 217, 1930
 - 9) 小林好人、測定用のスピーカの提案とその使用方法について、日本建築学会シンポジウム 音声伝送品質の評価と設計 現状と今後-建築学会音声伝送 SWG 活動成果報告 (1999 ~ 2002)、9-11、2003
 - 10) 永田 穂、新版建築の音響設計 (オーム社)、1991

