

室の規模と吸音率に基づいた STIr の推定

小林 正明^{*1}松岡 明彦^{*1}土屋 裕造^{*1}

概 要

音声伝送性能の設計では、同一空間における音声伝送性能が音源と受音点の位置関係に大きく影響を受けるという点に配慮が必要である。そこで、本研究では、音声伝送性能の物理的評価指標として IEC60268-16:2003 において標準化されている STIr をとりあげ、同一空間における STIr の最小値に着目した。

拡散仮定の下で算出した STIr の予測値と実測値の比較結果より、STIr が室の規模と室内平均吸音率によって推定可能であることが示された。これは、従来の音響設計と同様の手法によって、音声伝送性能の設計が可能であることを意味している。

Estimation of STIr from absorption coefficient in consideration of room volume

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

Speech transmission performance depends on the positions of sound source and receiver and it is necessary to take it into consideration for acoustic design of a room. To solve the problem mentioned above, speech transmission performance in a room defines as the minimum value of STIr in this study. STIr is an objective measure for the evaluation of speech transmission standardized in IEC60268-16:2003.

The interrelationships of the STIr measured and calculated by the theory based on the assumption of a diffuse sound field were considered and the result demonstrated that STIr was 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.

^{*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

小林 正明^{*1}
 松岡 明彦^{*1}
 土屋 裕造^{*1}

1. はじめに

会議室や教室、講堂のようなスピーチを主用途とする室はもちろん、不特定多数が利用する病院や駅といった公共空間においても、音声による情報伝達は必要不可欠である。

音声による情報伝達を必要とする空間には、高い音声伝送品質（性能）が求められるが、音声伝送性能の設計では、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に配慮が必要である。

本稿では、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 IEC60268-16:2003¹⁾ 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する。

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、受音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²⁾。

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。

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

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

Schroeder⁴⁾ 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 の測定は、式 (3) の $h(t)$ を測定して実施されることが一般的である⁵⁾。

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

一方、残響が指数的に減衰する場合、受音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れば、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る計 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⁶⁾。

3. 拡散仮定における 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^0 は式 (5) によってあらわされる。

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

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。受音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 実音場における STIr の測定

実音場における STIr は、各音場で得られ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。本検討に用いるインパルス応答は、室の規模・用途の異なる 66 音場で得られた 682 データである。検討で用いた音場の室容積 V と V/S の関係を図-2 に、室容積 V と室内平均吸音率 $\bar{\alpha}$ の関係を図-3 に、

^{*1} 技術研究所

室容積 V と各音場における STIr の最小値の関係を図-4 にそれぞれ示す。

本検討に用いた音場の室容積は約 25 ~ 15,000 m^3 に幅広く分布しており、室容積 $V(m^3)$ を表面積 $S(m^2)$ で除した V/S の範囲は 0.5 ~ 3.5 である。室内平均吸音率は、室容積に関わらず 0.05 ~ 0.35 に分布している。また、STIr の最小値は 0.4 ~ 0.8 の範囲に分布しており、室容積が大きいかほど値が小さくなる傾向がみられる。

測定では、音源位置を各音場で想定される話者位置とし、測定点は室内の複数点とした。なお、音源として、12 面体スピーカと音声伝送性能測定用スピーカ(AIJSP)⁸⁾を用いた。

3.3 同一音場における STIr の最小値の推定

図-5 は、音源に 12 面体スピーカを用いた場合に各音場で得られた STIr の最小値と、拡散仮定の下で予測される STIr について、125 ~ 4kHz の 6 つの帯域ごとに比較したものである。図-5 において、縦軸は

実測値をあらわし、横軸は予測値をあらわしている。また、図中には、実測値と予測値の関係をあらわす回帰直線、回帰式と相関係数を示している。なお、STIr の予測値は、各音場で得られたインパルス応答から残響時間 T を導出し⁹⁾、式(4)に代入して得られる MTF に基づいて算出している。

図-5 より、250Hz 以上の帯域では、実測値が予測値とほぼ同等以上となる。このことは、拡散仮定の下で算出される STIr によって、実音場における STIr の最小値の推定が可能であることを示唆しているが、本検討では、図中の回帰式に基づき、各帯域における実測値と予測値の関係、および、音声伝送性能が両者の関係に及ぼす影響について検討する。

図-5 に示した回帰式によれば、切片は全帯域で正しい値となる。よって、各帯域の回帰式に基づけば、音声伝送性能の低い音場、すなわち、STIr が小さい音場では、周波数帯域によらず、実測値が予測値を上回

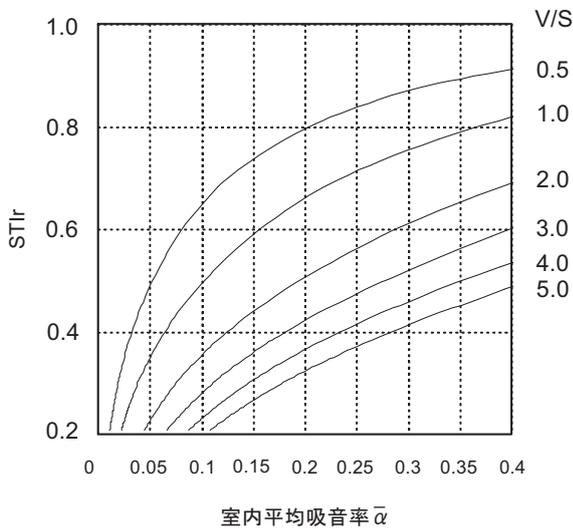


図-1 室の規模に応じた STIr と室内平均吸音率 $\bar{\alpha}$ の関係

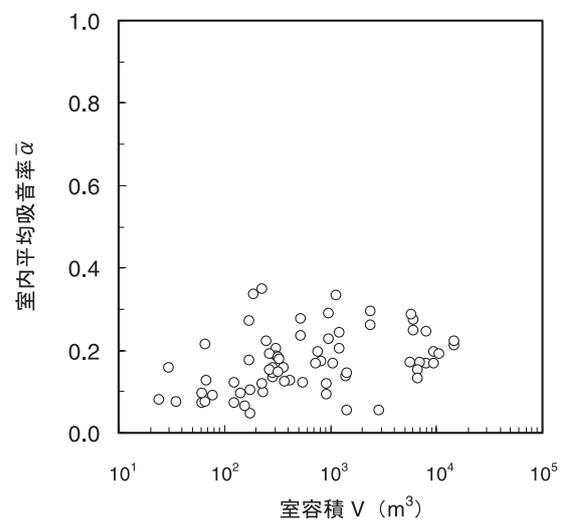


図-3 検討に用いた音場の室容積 V と室内平均吸音率 $\bar{\alpha}$ の関係

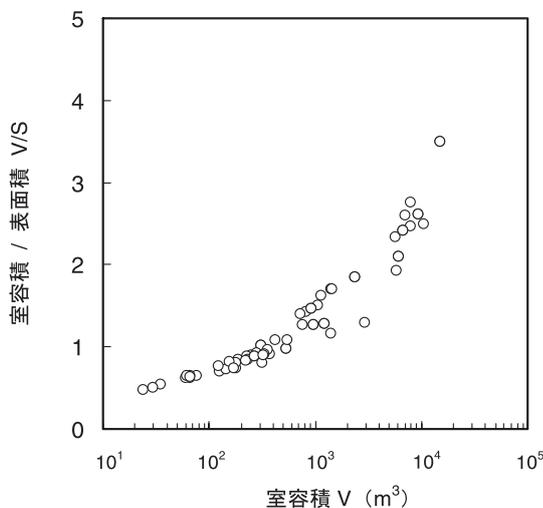


図-2 検討に用いた音場の室容積 V と V/S の関係

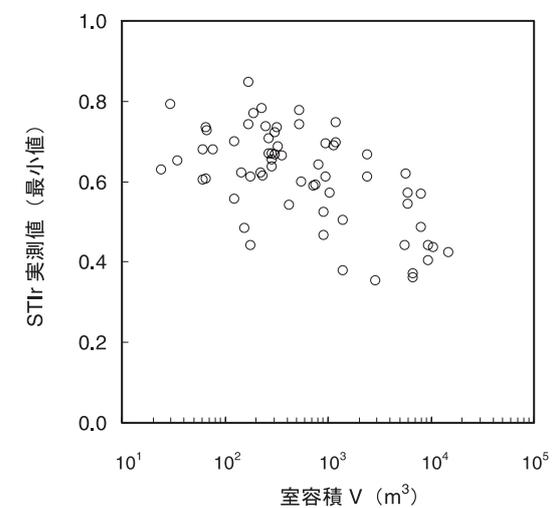


図-4 検討に用いた音場の室容積 V と STIr の最小値の関係

る。一方、1kHzと2kHz帯域では、回帰式の傾きと切片の和が1を下回る。このことは、両帯域では、音声伝送性能の高い音場、すなわち、STIrが大きい音場において、予測値が実測値を下回ることを意味するものの、STIのJND(Just Noticeable Difference)が0.03である¹⁰⁾ことを考慮すれば、問題ない程度と考える。

なお、回帰式の傾きは実測値と予測値の関係に音声伝送性能が及ぼす影響をあらわしており、1に近いほど、その影響が小さいことを意味する。図-5によれば、回帰式の傾きが1に近い帯域は、4kHz、250Hz、500Hzの順となり、それぞれ、0.980、1.023、0.963である。

また、本検討による実測値と予測値の相関係数は、125Hz帯域において最も小さい0.78となり、250Hz帯域と4kHz帯域でそれぞれ0.89、0.93である。500Hz～2kHz帯域では、0.95以上となっている。

図-6は、室容積に応じた実測値と予測値の差を125～4kHzの6つの帯域ごとに示したものである。図-6の縦軸は各音場で得られたSTIrの最小値と予測値の差をあらわしており、横軸は室容積をあらわす。

図-6より、全ての帯域において、実測値と予測値の差が室容積によらず、ほぼ均一に分布していることから、本検討における実測値と予測値の差に室容積が及ぼす影響は無視できると考えられる。

4. 音源の指向性がSTIrの最小値に及ぼす影響

ISO3382:1997¹¹⁾では、室の残響時間の測定において、

無指向性スピーカを使用することが規定されている。一方、話声の伝送性能の測定においては、人の声の指向性に近似した音源を用いることが望ましいとされている。そこで、測定スピーカの指向性の違いが、同一音場におけるSTIrの最小値に及ぼす影響について検討した。

図-7は、同一音場において12面体スピーカとAIJSPを用いてSTIrを測定した57ケースについて、両音源で得られたSTIrの最小値の関係を示したものである。

図-7より、AIJSPを用いた場合のSTIrの最小値は、12面体スピーカ使用時と比較して同等以上であり、また、STIrが小さいほどその差が大きくなる傾向がみられる。ただし、同一音場におけるSTIrの最小値に音源指向性が及ぼす影響は、STIのJNDを考慮すれば¹⁰⁾、問題ない程度と思われる。

5. まとめ

本稿では、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、同一空間におけるSTIrの最小値と拡散仮定の下で予測されるSTIrを比較・検討した。その結果、中高音域では、STIrの最小値が予測値とほぼ同等以上であることを示した。このことは、STIrの最小値が室の規模と室内平均吸音率によって推定可能であることを意味しており、従来の音響設計と同様の手法によって、音声伝送性能の設計が可能であると考えられる。

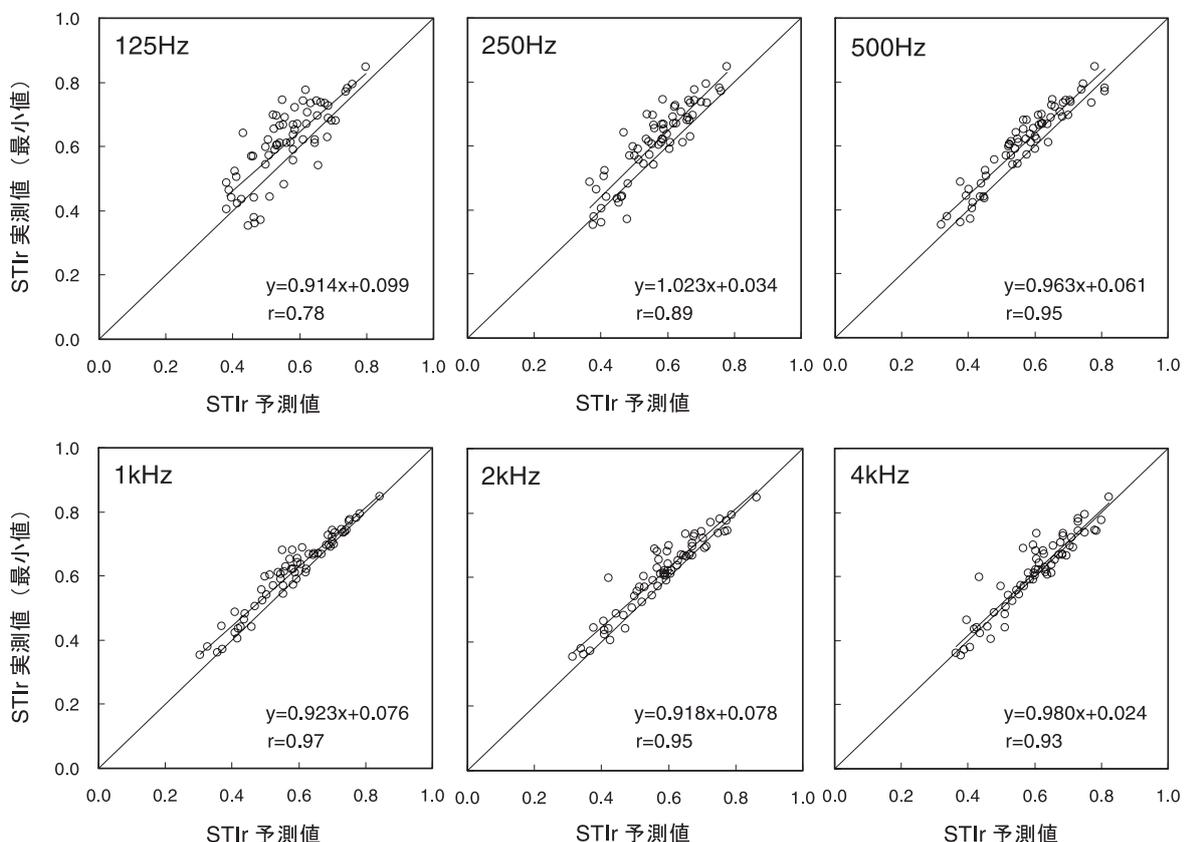


図-5 同一音場におけるSTIrの最小値と予測値の関係

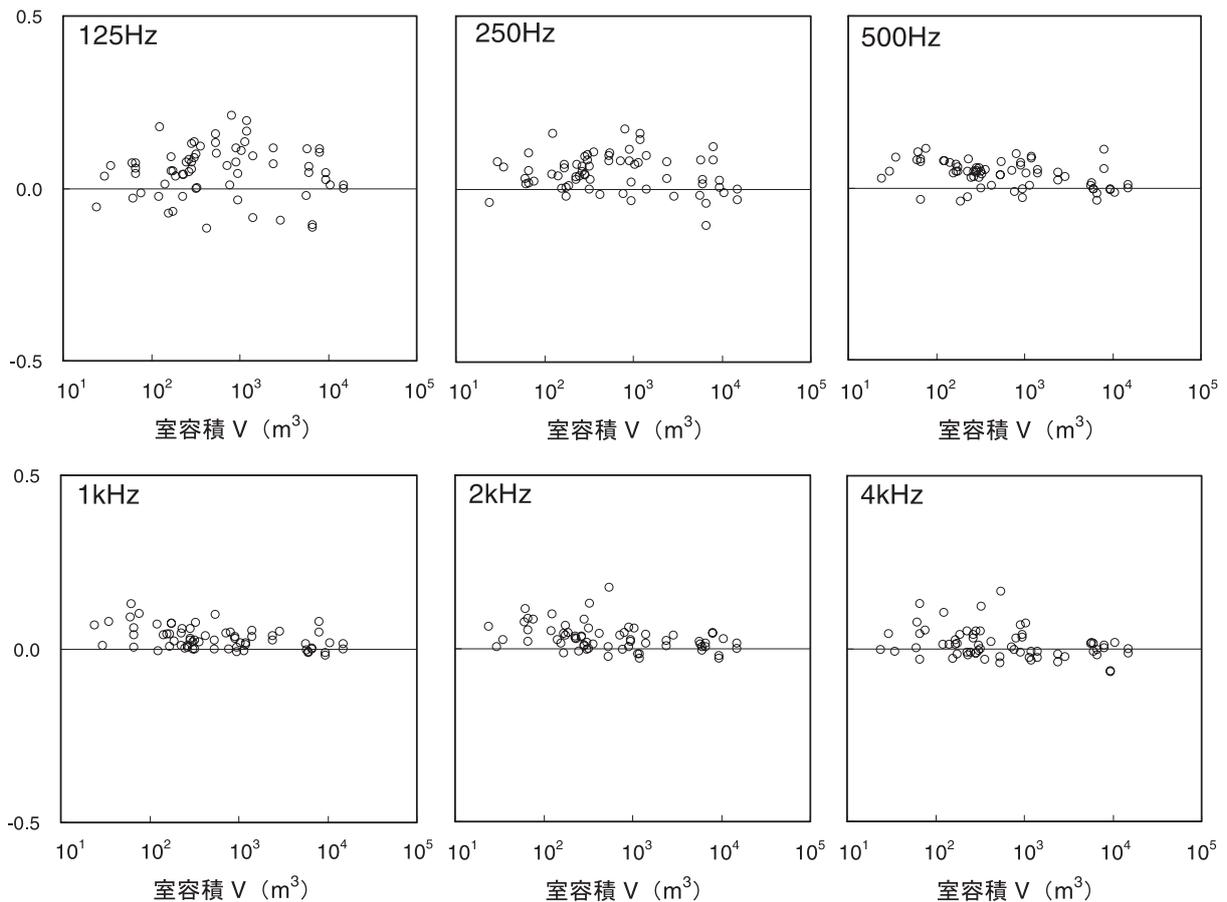


図-6 室容積 V に応じた実測値と予測値の差

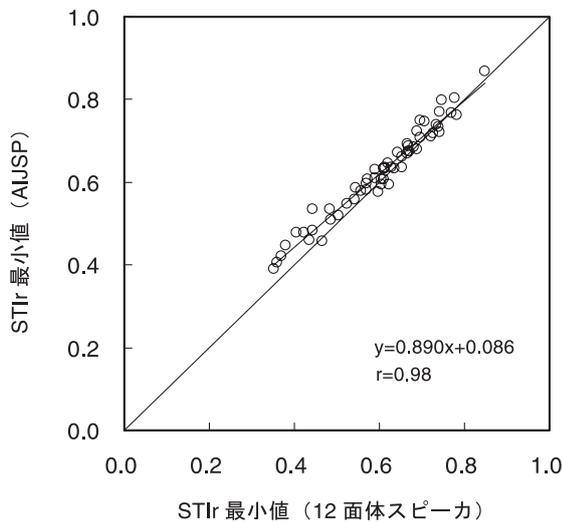


図-7 音源の違いと STIr の最小値の関係

参考文献

- 1) International Electrotechnical Commission: IEC 60268-16, Sound system equipment-Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index, 2003
- 2) T. Houtgast and H. J. M. Steeneken: The modulation

transfer function in room acoustics as a predictor of speech intelligibility, *Acustica*, 28, 66-73, 1973

- 3) 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
- 4) M. R. Schroeder: Modulation transfer function; Definition and measurement, *Acustica*, 49, 179-182, 1981
- 5) 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
- 6) 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
- 7) C. F. Eyring: reverberation time in "dead" rooms, *J. Acoust. Soc. Am.*, 1, 217, 1930
- 8) 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
- 9) M. R. Schroeder: New method of measuring reverberation time, *J. Acoust. Soc. Am.*, 37, 409-412, 1965
- 10) J. S. Bradley, R. Reich, S. G. Norcross: A just noticeable in C_{50} for speech, *App. Acoust.*, 58, 99-108, 1999
- 11) International Organization for Standardization: ISO3382, *Acoustics - Measurement of the reverberation time of room with reference to other acoustical parameters*, 1997

