

オープンプランオフィスの室内音響特性に関する実測例と会話音に関する指摘の改善方法の検討

Measurement for acoustic characteristics of an open plan office and study of improvement method of the indication regarding the conversation sounds

キーワード

オープンプランオフィス, 音声明瞭度指数, サウンドマスキング, 快適距離, 妨害距離

平岡 千春*, 吉岡 清*

研究概要

オープンプランオフィスの室内音響特性を、ISO3382-3:2022(以下、ISOと略記する)に基づいて実測評価し、執務者から出されていた会話音に関する指摘について改善する方法を検討した。測定は、3種に分類される6ゾーンで行い、ISO規定の5つの評価指標を求めた。測定の結果、指標ごとに異なる評価となったが、背景騒音レベルの不足を示唆する結果であった。そこで、背景騒音レベルの適切化を行った場合の効果を、実測値をもとにした計算によって求めた。これにより一部の指標(妨害距離 r_D など)は改善したが、すべてのISO指標を改善することは難しく、他の要因にも着目した多角的な対策が必要であることが分かった。本報の手法により、オープンプランオフィスの音響特性の評価と改善方策の検討は可能であると考えられ、今後の同様空間の計画に活用できることが分かった。

ABSTRACT

Acoustic characteristics of an open plan office was measured based on ISO3382-3:2022 (hereinafter called "ISO") to consider the improvement method of the indication by office workers regarding conversation sounds. Measurements were carried out to classifying three categories which were consisted to six zones, and specified by ISO five evaluation index was determined. Although the measurement results differed depending on the index, lack of background noise level was shown by the results. From the above, the effect of optimized background noise level was determined by calculations according to actual value. By this way, some index values such as distraction distance r_D was improved, but all ISO index was not able to be improved. Necessity various countermeasures were found to be focused other reasons. The possibility of evaluation and improvement of acoustic characteristics open plan office was shown in this method. It was cleared to adopt planning similar open plan office for the future activities.

1 はじめに

オープンプランオフィスの室内音響特性に関して実測する機会があり、ISO3382-3:2022¹⁾(以下、ISOと略記する)に基づく評価指標を算出し、会話音に関する指摘事項を改善する方法を検討したので報告する。対象としたオフィスは、空調方式として、躯体(天井)輻射方式+床染み出し方式を採用しており、前者のため、天井を設置できないRC躯体あらかし仕上げ(EP仕上げ)となっている。また、後者により、通常の空間では一般的に存在する空調騒音(吹き出し音や機械音)の影響が小さく、会話音に対する背景騒音レベルが小さい空間となっている。

竣工後の執務者の評価では、会話が遠くまで響きすぎる、会話が気になり作業に支障が出る、といった会話音に関す

る指摘が挙がった。

このような問題背景を調査、改善するため、ISOに規定する5つの評価指標を実測し、ISOの評価基準と照合して、その特性を評価した。測定したゾーンは、3種類に分類される6つのゾーンで、天井に吊下げ式吸音体を施工したゾーン、衝立(ブース)を用いたゾーンがあることから、これら要因の影響、効果に関して考察した。また、室内の背景騒音レベルの適切化を目指して、マスキング音を付与する場合の効果を、実測値をもとに、計算によって求め、評価指標の改善傾向を考察した。これらにより、オープンプランオフィスの音環境評価の改善を目指した。

* 技術センター 建築研究部

2 測定概要

2.1 測定対象室

測定対象としたオフィスは、いくつかのゾーンに区画された基本的にオープンな空間（H3.7m、一部下がり天井H2.6m）である。フリーアドレスで自由度の高い執務環境であり、ローパーティションなどは無く、平デスクにPCモニターを立てて執務している。床仕上げは、タイルカーペット、壁仕上げはせっこうボード（EP仕上げ）及びガラスである。

測定ゾーンは、天井を躯体あらわし仕上げとしているゾーン（Z01、Z02、Z03）を基本として、吸音対策のために吊下げ式の吸音体が施工されているゾーン（ZA）の2種類の執務ゾーンを設定した。これらのゾーンに加え、上部開放型のブースが設置されたゾーン（ZB1、ZB2）を含む3種、計6ゾーンに対して測定を行った。（表-1、写真-1）。

2.2 測定方法

室内の発話者を想定した位置（音源）に12面体スピーカ（OSS）（高さ1.2m）を設置し、受音者の位置（受音点）にマイクロホン（高さ1.2m）を設置した。各ゾーンに対して2側線を設定し、側線の一端に音源、側線上の音源から2～16mの点に受音点を4～7点設定した（図-1）。

測定は、音圧レベル分布測定、インパルス応答測定、暗騒音レベル測定を行った。音声レベル（音圧レベル）は、スピーカによりピンクノイズを発生させて求め、同じスピーカによりTSP信号を用いてインパルス応答を測定することで、STI（Speech Transmission Index）を求めた²⁾。この方法により求められるSTIは、暗騒音の影響を含まない値であるため、暗騒音の実測値を用いてSTIの実測値を算出した。STIを算出する計算式については、3.1に述べる。

また、暗騒音レベルは、各受音点において空調稼働時/停止時の等価騒音レベルを測定した。

測定は、測定者を除いて無人の状態で行い、音圧レベル測定及びインパルス応答測定については、空調機を稼働させた状態で行った。

3 測定結果と考察

3.1 ISO指標の算出

各ゾーンにおける測定結果から、ISOに規定されている各指標（表-2）を求めるために、STI及び音声レベル $L_{p,A,S}$

表-1 測定ゾーンの概要

記号	ゾーン仕様		面積 [m ²]	残響時間[s] (500Hz)
	用途	天井仕上げ		
Z01	執務空間 (基本空間)	吸音体なし	250	0.74
Z02				0.79
Z03				0.69
ZA	執務空間	吸音体あり	165	0.45
ZB1	ブース設置部	-	-	-
ZB2				

※Z01とZA、Z02とZ03は同一階

の実測値を算出した。

STIは、以下に示す手順で求めた。

- ① 実測で得られたインパルス応答 $h(t)$ を自乗して求められる自乗インパルス応答 $h^2(t)$ から、式(1)に示す Schroeder の式²⁾により、変調度伝達関数 MTF (Modulation Transfer Function) を求める。

$$m(F) = \frac{|\int_0^\infty h^2(t)e^{-j2\pi Ft} dt|}{\int_0^\infty h^2(t) dt} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $m(F)$ ：変調度伝達関数 MTF

$h(t)$ ：インパルス応答

F ：変調周波数 (Hz)

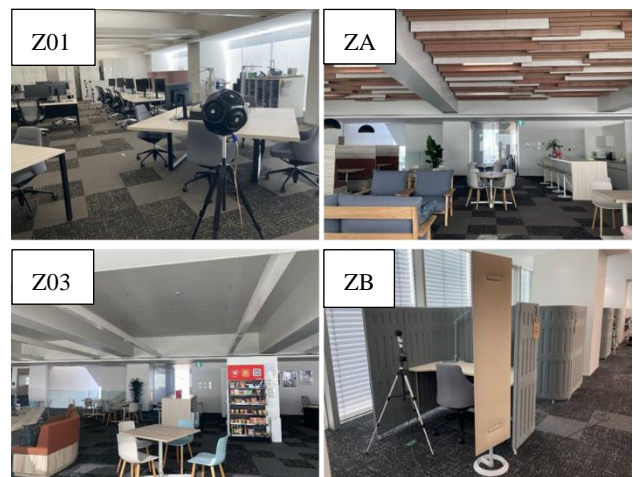


写真-1 測定ゾーン

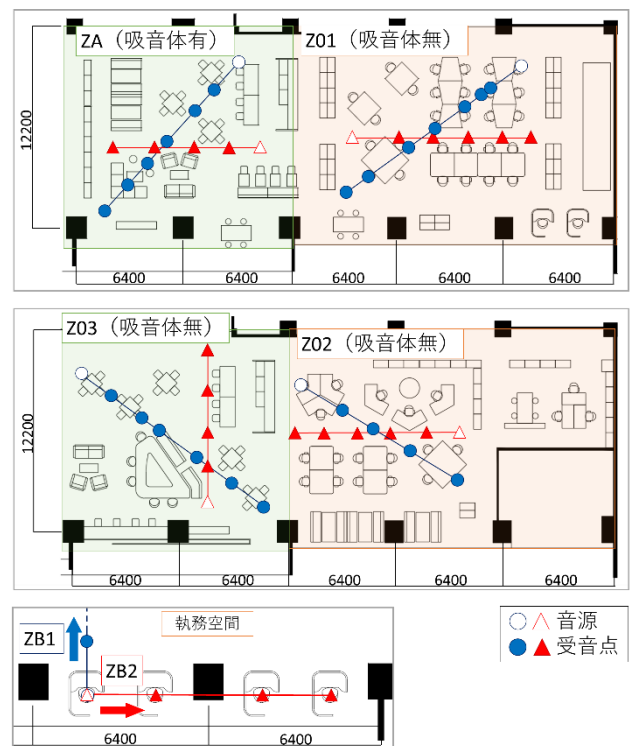


図-1 測定点（ゾーニング）

表-2 測定で求めた ISO338-3 における室内音響評価指標

指標	概要
r_D (妨害距離 : distraction distance)	STIが0.5を下回る時の音源から測定点までの距離 (m)
r_C (快適距離 : comfort distance)	A特性音声レベル($L_{p,A,S}$)が45dBを下回る距離 (m)
$D_{2,S}$ (倍距離減衰量 : spatial decay rate of speech)	音源受音点間の距離が倍になったときの $L_{p,A,S}$ の減衰量 (dB)
$L_{p,A,S,4m}$ (4m 音声レベル : speech level at 4m distance)	音源受音点間の距離が4mの時の $L_{p,A,S}$ の大きさ (dB)
$L_{p,A,B}$ (暗騒音レベル : background noise level)	各測定点の暗騒音レベル (dB)

② 式(1)では、暗騒音の影響を含まない空間情報のみによる MTF が求められるため、実測値又はシミュレーション値の暗騒音を付加した場合の MTF を式(2)より求める。

$$m'(F) = m(F) \cdot [1 + 10^{-SNR/10}]^{-1} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 $m'(F)$: 音声と暗騒音の SN 比の影響を含む MTF
 SNR : 音声レベルと暗騒音の SN 比 (dB)

③ STI は、変調周波数 F ごとに求められた MTF を、IEC 規格³⁾に準拠した重みづけ平均を行うことで算出する。

$L_{p,A,S}$ は、測定に用いたスピーカと同じ出力で、自由音場における1m 距離の音圧レベルを測定し、各受音点における音圧レベルの実測値との差を減衰量として求めた。求めた減衰量と、ISO の normal effort speech として記載されている自由音場における1m 距離の音声レベル (表-3) との差分を取った値を $L_{p,A,S}$ の実測値とした。

3.2 ISO 指標評価の測定結果と考察

3.1に示した方法により、STI と $L_{p,A,S}$ を求めた結果の一例を図-2に示す。STI 及び $L_{p,A,S}$ の実測値に対する音源受音点間の距離との関係をプロットし、ゾーンごとに回帰直線を算出した。これにより得られた回帰直線から、表-2の各指標を求めた。

実測値から求められる各指標の値を、ISO の Annex C に記載されている指標の評価区分と比較して図-3にまとめた。同図には、後述する背景騒音を付加した場合の計算値を併記している。

図-3を見ると、当初、吸音不足を懸念して吊下げ式の吸音体を施工したゾーンZAにおいては、Z01~Z03に比べ、 r_C や $L_{p,A,S,4m}$ などわずかに改善が確認されたが、 r_D は悪化している。

一方、ZB2のゾーンでは、他のゾーンと異なる傾向が確認され、 r_D 、 r_C 、 $D_{2,S}$ 、 $L_{p,A,S,4m}$ において、他のゾーンより good の範疇に近いことから、ブースなどの衝動的な執務環境の特性が影響していると考えられる。

また、各ゾーンで $L_{p,A,B}$ の評価が低く、低レベル側の基準外の領域にあることが特徴的である。

$L_{p,A,B}$ の測定結果と NC 値を照らし合わせた結果を表-4

表-3 ISO 規定の音声レベル (normal effort speech)

単位 : dB

	A特性 音圧レベル	1/1オクターブバンド中心周波数[Hz]						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{p,S,1m,ff}$	57.4	49.9	54.3	58.0	52.0	44.8	58.8	33.5

※ $L_{p,S,1m,ff}$: 自由音場において音源から1m距離での音声の音圧レベル

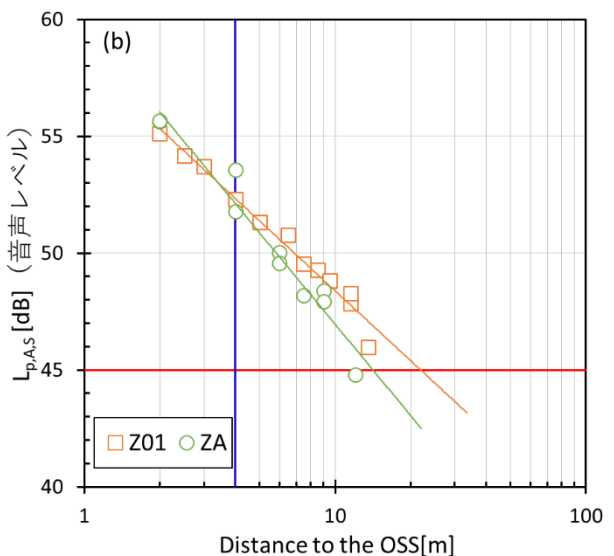
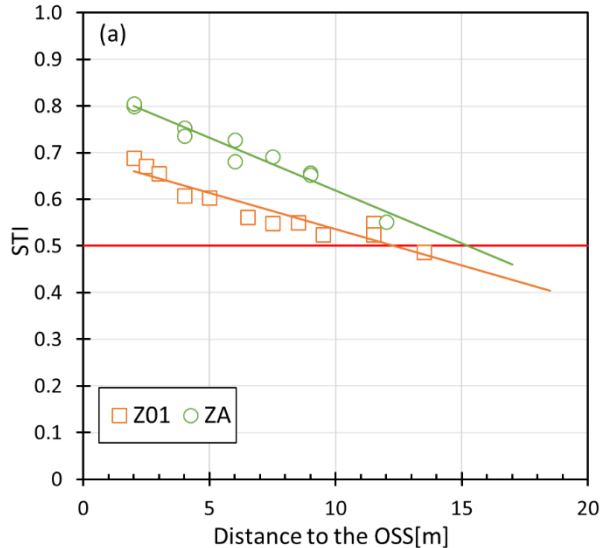


図-2 音源受音点間距離と STI(a), 音声レベル(b)の関係

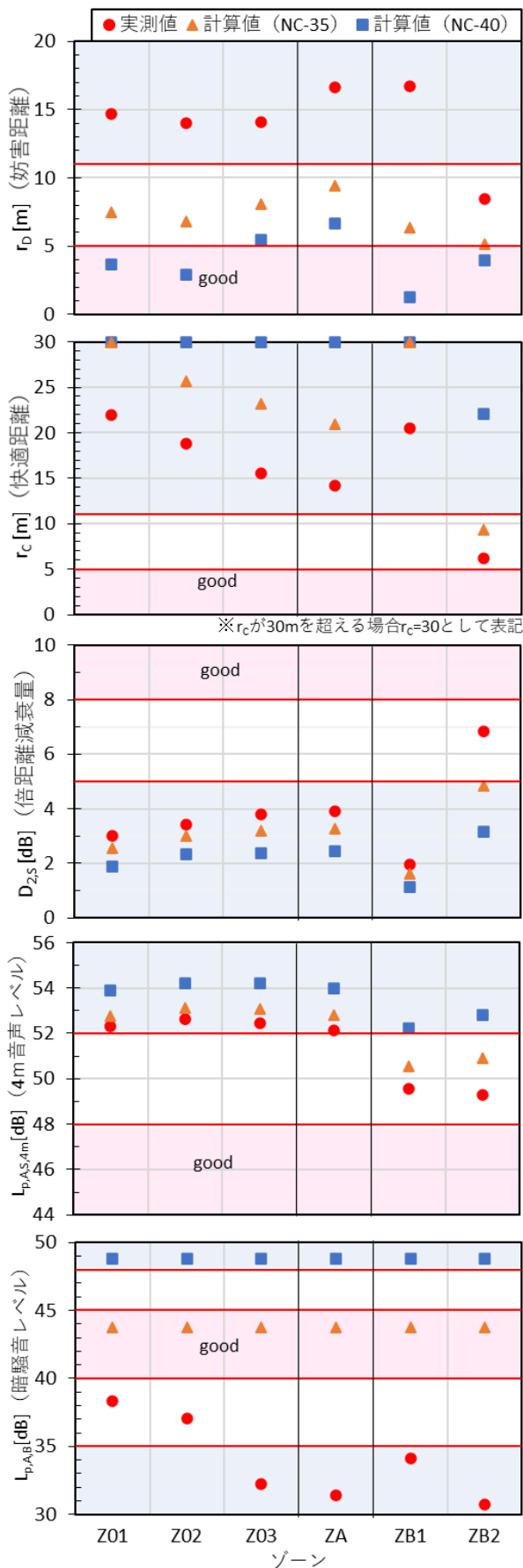


図-3 ISO 評価指標の実測結果とこれをもとにマスクングサウンドの付加を想定して背景騒音レベルを NC-35, NC40 として計算した同指標の比較

及び図-4に示す。全体的に NC 値は小さく、ゾーン Z01 で空調稼働時に NC-35, 吸音体を施工したゾーン ZA では NC-25 となった。

4 改善案の検討

測定結果から $L_{p,A,B}$ が低い評価域に位置しており、執務者の指摘からも、この影響が大きいと考察された。これらを改善するためには、背景騒音を適切に上昇させる手法（サウンドマスクング）が有効と推測された。そこで、実測値をもとに、NC-35, NC-40の2種類の背景騒音を付加した場合についてシミュレーション計算を行い、各指標を算出して改善効果を比較した（図-3に併記）。

図-3を見ると、背景騒音の付加により、 r_C , $D_{2,S}$, $L_{p,A,S,4m}$ で改悪の方向になるが、 r_D と $L_{p,A,B}$ では改善され、 r_D は NC-40を背景騒音としたとき、 $L_{p,A,B}$ は NC-35のときにおいて good の範疇となる空間が多くなることが確認された。背景騒音の付加により、改悪される r_C , $D_{2,S}$, $L_{p,A,S,4m}$ は、室内吸音力をさらに大きくすることで改善が期待されるが、ZA の結果を見ても、空間の特性上から吸音部位が限定されることにより、効果は限定的と考えなければならない。

背景騒音を付与することが、一律に高評価につながることを考慮すると、実測値で確認されたように、ブースなどの衝動的な方策の併用が有効であると考察される。

5 おわりに

本報告では、オープンプランオフィスの室内音響特性を

表-4 暗騒音の NC 値

	ゾーン名					
	Z01	Z02	Z02	ZA	ZB1	ZB2
空調ON	NC-35	NC-35	NC-30	NC-25	NC-30	NC-25
空調OFF	NC-25	NC-30	NC-25	NC-20	NC-25	NC-20

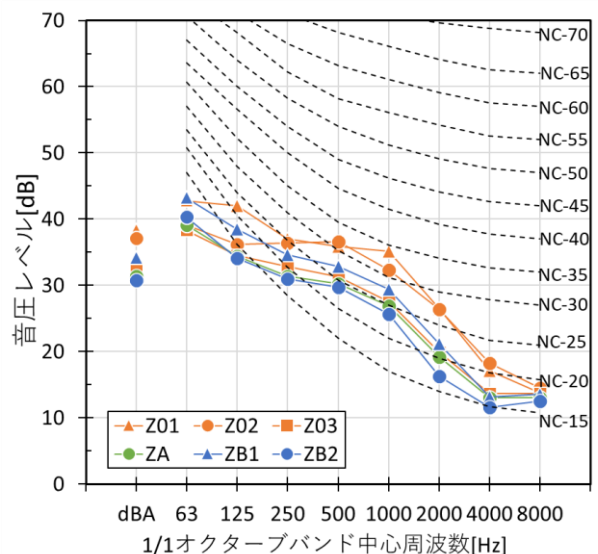


図-4 暗騒音レベル（空調稼働時）

ISOに基づいて実測評価し、執務者から出されていた会話音に関する指摘について、改善方法を検討した。

ISO 指標の測定は、3種に分類される6つのゾーンで行った。測定結果は、基本空間（ゾーン）で、満足できる水準と言い難い結果であったが、吊り下げ吸音体による効果や、上部開放式ブースによる効果を、一部示唆する結果であった。オープンプランの空間的制約から、さらなる吸音の増強は難しいと考えられた一方で、測定結果は、背景騒音レベルの不足を示唆する結果でもあったため、背景騒音レベルを適切化（マスキング音を付加）した場合の指標を、実測値をもとに計算で求めた。背景騒音の付加を行った効果は認められたが、すべてのISO 指標を改善することは難しく、衝立等を用いる対策を含め、多角的な対策が必要であ

ることが分かった。

本報の手法によれば、オープンプランオフィスの音響特性の評価と改善策の検討は可能であると考えられる。この知見に基づき、今後、より良い室内音響特性を有した空間の計画に役立てていきたい。

参考文献

- 1) ISO3382-3:2022 Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part3: Open plan offices
- 2) Schroeder, M.R.: Modulation transfer functions: Definition and measurement, *Acustica* 49, pp. 179-182, 1981.
- 3) IEC60268-16, Sound system equipment -Part16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index