

位置情報を活用したサウンドマスキングシステムの開発

宮島 徹
(技術研究所)

Development of Sound Masking System based on Location Information

by Tohru Miyajima

Abstract

In smart work places with no partition walls to separate the working spaces of individuals from of groups, individuals can be disturbed by the noise of a group's discussion. The author has developed a sound masking system that uses location information to determine the location of disturbance and emits the minimal masking sound need to reduce the disturbance. Sound masking effect was verified by measuring the RASTI (Rapid Speech Transmission Index) value. As a result, 0.75-0.8 RASTI value which observed with no masking sound decreased by 0.20-0.25 using masking sound. While this result shows the system to be effective to a certain degree. However, the difficulty was indicated to reduce sufficiently articulation degree with the realistic volume of masking sound, since the RASTI value kept still 0.55-0.6.

概要

個人席のスペースと共用スペースを隣接させるコンビネーションレイアウトを採用したスマートワークプレイスでは、両スペースが間仕切りも無く隣接するため、話声による個人作業への妨害が懸念された。その妨害度合いを低減させるためにサウンドマスキングを開発し導入した。このシステムは、個人の位置情報を活用して、必要な時に、必要な場所に必要最低限のマスキング音を放射する制御方法とした。設置されたサウンドマスキングシステムに対して、明瞭度評価指数 RASTI 値を測定しマスキング効果を検証した。その結果、共用スペースの発声者想定位置の近傍個人席において、マスキング音無しの場合 0.75～0.8 であった RASTI 値が、マスキング音によって 0.20～0.25 低下し、ある程度の効果が得られることを確認された。しかしその RASTI 値は 0.55～0.6 であり、現実的なマスキング音の音量では明瞭度を十分に低下させることは困難であることが示された。

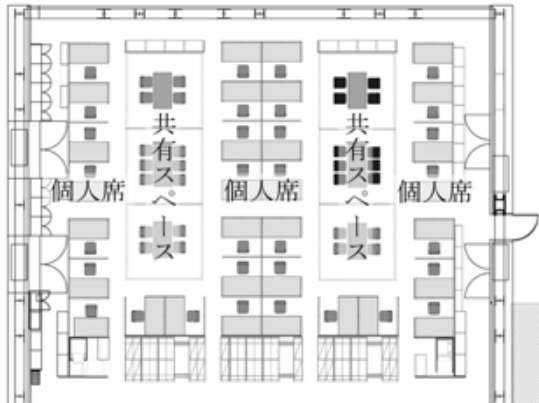
§1.はじめに

スマートワークプレイス^{1)～3)}は、ICT 技術を活用した建築環境のきめ細かな制御により、省エネルギーと快適性向上の両立を目指す実験オフィスである。スマートワークプレイスのレイアウトにおける最も大きな特徴は、個人席と共用スペースが隣接するコンビネーションレイアウトが採用されていることであり、その間に音響的な遮蔽物が配置されていない。そのため、共用スペースでの話声が個人席での思考作業を妨害することが懸念されたため、サウンドマスキングシステムの開発・導入を計画した。

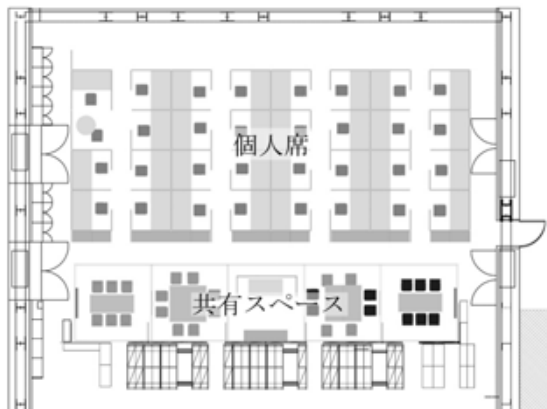
本稿では、開発したサウンドマスキングシステムの制御方法を含むソフトウェア、ハードウェアについて述べ、スマートワークプレイスへの導入方法とその効果について報告する。

サウンドマスキング技術は、人工的に発生させた音(マスカ)によってその場にある音を、聞こえなく、又は聞こえにくくする技術の総称である。マスカ音にいわゆるノイズを使用したものを特にノイズマスキングと呼ぶ。マスキングとは、着目している信号音 A に対し別の音 B が存在すると、信号音 A の最小可聴限が上昇し、妨害されて聞き取りにくくなる聴覚上の現象であり、マスキングによって信号音 A が聞こえなくなる場合を完全マスキング、妨害はされるが聞こえる場合は部分マスキングと呼ぶ。騒音の大きな電車の中などで話し声が聞き取りにくくなるのもマスキングであり、身近な聴覚上の現象である。

サウンドマスキングは、スピーチプライバシーと呼ばれる音声の保秘性と深い関係がある。スピーチプライバシーは 50 年以上前から欧米では研究が行われており⁴⁾、「会話が外部へ漏洩すること」と「会話によって侵害さ



(1)レイアウト1 : 2010年5月~11年10月



(2)レイアウト2 : 2011年10月

図 - 1 スマートワークプレイスレイアウト

れること」という2つの側面から評価方法⁵⁾や設計方法が提案されている。

スピーチプライバシーを確保するための設計上の基本的な考え方としてABCルールがある。吸音を表すA(bsorb) : Absorb sound with ceiling & Carpeting、遮音・遮断を表すB(lock) : Block sound with furniture panels & walls、そしてサウンドマスキングを表すC(over-up) : Cover sound by electronic sound maskingを組み合わせることによってスピーチプライバシーを確保するとの考え方である。

スマートワークプレイスを、このABCルールに照らすと、天井面は岩綿吸音板によるシステム天井、床はタイルカーペットであるためA(bsorb)は考慮され、B(lock)は該当する設えは無く、C(over-up)によって音環境の改善を図るということになる。

§2.国内におけるサウンドマスキング

欧米では、オフィスにおけるサウンドマスキングは音環境改善の選択肢として一般的に用いられているとされるが、日本国内では現時点において普及しているとはいえない。オフィスにおけるプライバシーの考え方や、個室や半個室中心の欧米に対し、大部屋方式が多い日本というオフィス形態の差が、国内でサウンドマスキングが普及しない要因であると考えられる。一方オフィス以外に目を向けると、個人のプライバシー確保の観点から、薬局や病院など、高度な秘匿性を要する個人情報を取り扱う場への導入は今後拡大していく可能性はある。

オフィスへの導入を前提としたシステムとしては、相互の遮音性能が低い会議室や応接室間にマスキングシステムを導入し、漏洩してくる音をマスキングして実効的な遮音性能を向上させる仕組みが提案されている⁶⁾。また、調剤薬局の店頭で薬剤師と顧客との会話をマスキングすることを目的とした可搬型のシステムが提案されている⁷⁾。このシステムの特徴は、情報マスキングとよばれる音声の周波数・時間特性を模擬したマスキング音を使用していることにある。単純なホワイトノイズなどによるエネルギーマスキングより低い再生レベルでマスキング効果が得られるとされている⁸⁾。

§3.スマートワークプレイスの概要

スマートワークプレイスは、個人席と打合せのための共用スペースを隣接させたコンビネーションレイアウトを採用し、個人作業と共同作業の場を近接することによって、両方の作業の相互の移行を容易にすると同時に、予期せぬ出会いによって新たな価値が創造されることが期待されている。スマートワークプレイスの特徴は次の通りである。

- 1)個人席と共用スペースは、基本的にローパーティション(H=1,200mm)程度の仕切りによって隣接する。
- 2)在籍者はセミアクティブタグを所持し、ほぼリアルタイムでワークプレイス内での位置が検知される。
- 3)位置情報に基づき、各個人の好みに応じた設備環境制御(照度調光、空調吹出風量)が行われる。

スマートワークプレイスのレイアウトを図-1に示す。上段は2010年5月~2011年10月(レイアウト1)、下段は2011年10月以降(レイアウト2)のレイアウトである。レイアウト1は、全体が2つのブロックに分けられ、それぞれの中央部に共用打合せテーブルが3つ設置され、それらを取り巻くように個人席が配置されている。個人

席は出入の部分を除き H=1,200mm のローパーションで囲まれている。一方レイアウト 2 は、個人席と共用スペースは大まかに分離されていることになるが、その境界は H=1,200mm のローパーションである。個人席はレイアウト 1 と同様に入出りの部分を除きローパーションで囲まれている。

このレイアウトから分かるように、個人席と共有スペースは、わずかな距離で接しており、共有打合せテーブルにおける話声の個人席に対する距離減衰は殆ど期待できないことがわかる。

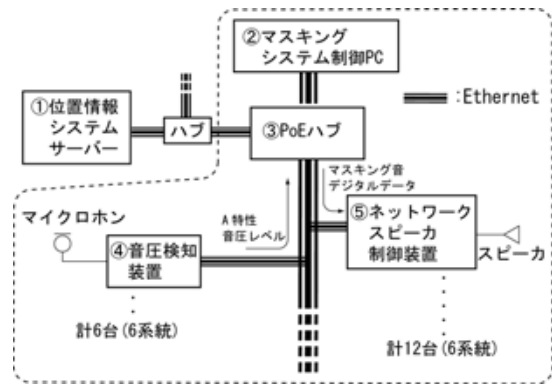


図-2 システムハードウェア構成

§4.位置情報を活用したマスクングシステムの開発

4.1 マスクングシステムの考え方

スマートワークプレイスに導入するマスクングシステムの開発にあたり、セミアクティブタグによって検出された個人の位置情報を利用して、「必要な時、必要な場所に必要最低限のマスクング音」を供給することを基本的なコンセプトとした。またマスクング音としては、情報マスクングの観点から、男性と女性の性別に応じた周波数特性を有するノイズを適用することとした。一方で、このマスクングシステムは業務を行う個人席を対象としているため、マスクング音を一過性ではなく長時間聞き続けなければならない状況も考えることから、オフィスの騒音として最も親和性の高い空調騒音を模擬したノイズも合わせて準備することとした。

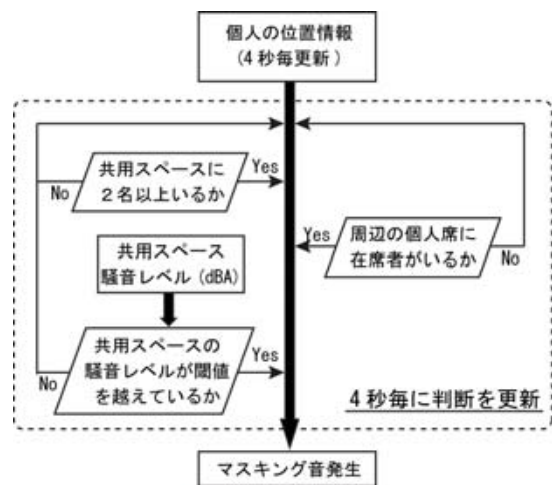


図-3 システム制御の考え方

4.2 ハードウェアの構成

図-2 にハードウェアの構成図を示す。マスクングシステムの上に位置情報システムサーバーを置き、マスクングシステム制御コンピュータと LAN によって接続する。マスクングシステム制御コンピュータの下位にはネットワークハブを介して、音圧検知装置 6 台とネットワークスピーカー制御装置 12 台を接続する。音圧検知装置にはマイクロホンが、ネットワークスピーカー制御装置には平面スピーカーが、それぞれ接続される。音圧検知装置からは共用スペースの A 特性音圧レベルデータが制御 PC に送られる。ネットワークスピーカー制御装置には、制御 PC からマスクング音のデジタルデータが送信され、内部で A/D 変換と増幅がなされてスピーカーから再生される仕組みとした。

音圧検知装置とネットワークスピーカー制御装置は、オフィスレイアウトの変更に容易に対応できるように、イーサネットの UTP ケーブルを通じて電力を供給する PoE (Power over Ethernet)対応とし、個々の装置への商用電源の供給は不要な構成とした。

4.3 制御方法

図-3 に基本的なシステム制御の考え方を示す。LAN で接続された位置情報システムサーバー上のデータベースに最小時間間隔 4 秒毎にアクセスし、個人の位置情報を取得する。その位置情報から、ひとつの共用スペースに2名以上が設定時間(現状30秒)以上在席しているのか、またその共用スペースの周辺の個人席に在席者がいるかを判断する。この個人席と共用スペースの組合せについては、4.4 項にて述べる。両者が何れも“Yes”と判断された場合には、共用スペースで常時計測している A 特性等価音圧レベルが、設定された閾値(現状の設定値 55dB)を超過しているかを判断する。これは、共用スペースの 2 名以上の在席者が相互に無関係ではなく、ある程度以上の大きさの声を出して打合せを行っているということを検知している。これも“Yes”と判断された場合には、マスクング音を発生させることとなる。

マスクング音として準備した音の周波数特性を図-4 に示す。ここでは 3 つのマスクング音の特性を、A 特性

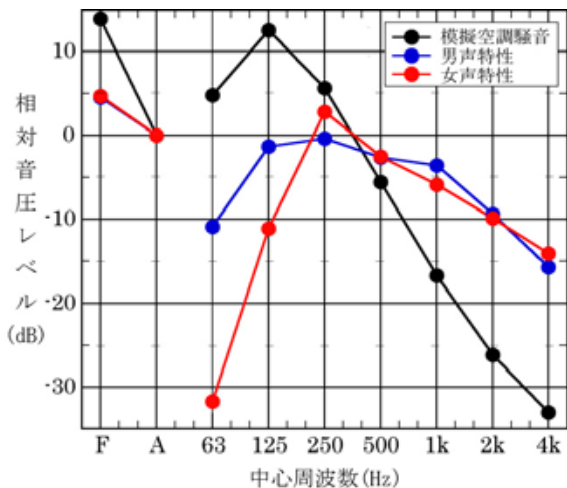


図 - 4 マスキング音の周波数特性

音圧レベルを 0dB とした相対音圧レベルとして示している。男声特性は女声特性に比較して低周波数帯域の成分が多く、また模擬空調騒音は、男声特性、女声特性に対し、低周波数成分が多く、高周波数成分が相対的に少ないという特徴を有している。共用打合せテーブルの在席者が男性のみの場合には男性特性、女性のみの場合には女声特性のマスキング音を再生させる。男性と女性が混合の場合には、男声特性と女声特性を時間軸上で 1:1 の割合によってミキシングしたマスキング音を再生させることとした。

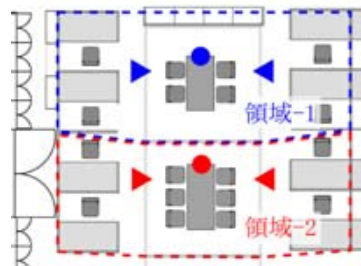
マスキング音の再生開始時には、時間を掛けて、徐々に音量を増加させるフェードイン制御を行う。これは、急に大きな音量で再生させることによる不快感や驚きを避けるためである。マスキング音を停止する際も徐々に音量を低下させるフェードアウト制御とした。

このフローに従った判断を、位置情報システムサーバーのデータベースにアクセスする 4 秒毎に繰り返し、マスキング音を発生させるか否かを決定する。なお、データベースへのアクセス間隔(s)、共用スペースの在席時間(s)、共用スペース等価 A 特性音圧レベル算出時間(s)、フェードイン・アウト勾配(dB/秒)など、システム制御上のパラメータはこのシステムの管理者が任意に調整できるようにし、運用の中でより適切な数値に設定できるシステムとした。

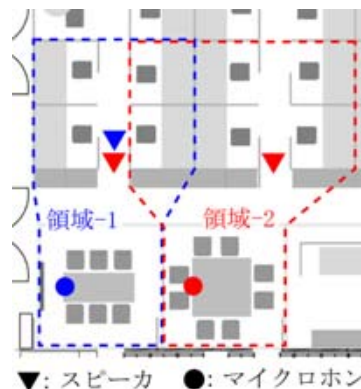
4.4 マスキングシステムの設置

マスキングシステムの設置には、ひとつの共用打合せテーブルとそれを取り巻く個人席からなる領域を設定する。その領域の中に、共用打合せテーブルでの騒音レベル測定用のマイクロホンと、マスキング音再生のためのスピーカを設置した。

図 - 5 に、レイアウト 1,2 での領域の設定とマイクロホ



(1)レイアウト 1



(2)レイアウト 2

図 - 5 領域の設定とスピーカ、マイクロホンの設置位置



図 - 6 制御装置、スピーカの OA 床下設置状況

ン、スピーカの設置位置を示す。レイアウト 1 では、ひとつの共用スペースに対して、隣接する 4 つの個人席を組み合わせて領域を設定した。レイアウト 2 では、ひとつの共有スペースに対して、領域 1 では個人席 4 席、領域 2 では個人席 6 席を組み合わせて領域を設定した。

図 - 6 にマスキング音再生用のスピーカの設置状況を示す。フローフロー空調用の孔が開いた OA 床下のスペースに設置した。

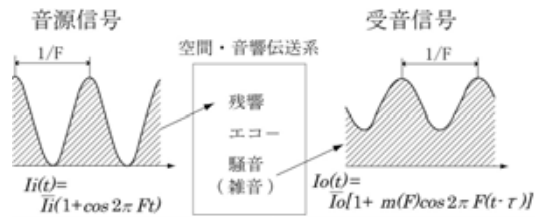


図 - 7 STI による明瞭度測定の考え方

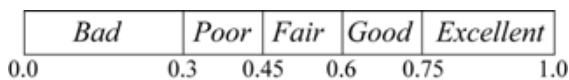


図 - 8 RASTI 値評価尺度

5. 効果検証

5.1 効果検証の評価方法

マスクングの効果検証には、ホールや大空間の音声の明瞭性の物理的評価手法である STI(Speech Transmission Index)を簡略化した RASTI(Rapid STI)⁹⁾を用いた。通常 RASTI は、音声伝送の明瞭性を測定するが、ここでは逆に明瞭ではない、或いはどの程度明瞭でなくなった、という評価をすることに用いる。

STI は、変調度伝達関数 MTF(Modulation Transfer Function)を用いて、空間の残響、反射音による時間歪み、及び騒音の両者による変調度の低下度合いを求めることによって明瞭度の指標を算出する手法である。図 - 7 に示すように、変調度 100%の振幅変調波を空間に放射した時に、残響と反射音の影響を受けた上に、場の騒音(雑音)が重畳されて受音点で観測される。この時にもともと 100%であった変調度が低下する。その変調度の低下を変調周波数の関数であらわしたものが図中式の変調度伝達関数 $m(F)$ である。ここで変調周波数 F は 0.63~12.5Hz の 1/3 オクターブ間隔の 14 周波数であり話声の強さの変動パターンを模擬している。また被変調波はオクターブ中心周波数 125~8k Hz の 7 オクターブ帯域である。変調度伝達関数から各オクターブ帯域毎に 14 の変調周波数の変調度を求め、その結果から STI を算出する¹⁰⁾。

RASTI は、STI の簡易法として提案された指標であり、被変調周波数を、音声の明瞭な伝送に寄与が大きい 500Hz 帯域と 2kHz 帯域に限定した上、500Hz の変調周波数を 1,2,4,8Hz、2kHz の変調周波数を 0.7,1.4,2.8,5.6, 11.2Hz として同様の手続きで算出する方法である。この手法で求められた値の評価尺度を図 - 8 に示す。

RASTI の測定には、B&K 社製 RASTI 送信機 Type

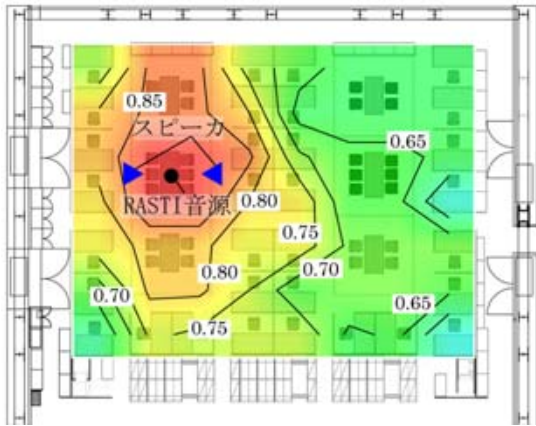
4225、RASTI 受信機 Type4419 を用いた。RASTI 信号は、Type4225 の信号出力を増幅し、共用スペースのテーブル中央に設置した小型 12 面体スピーカ から再生した。再生レベルは、スピーカから 1m の位置で A 特性音圧レベル 65dB とした。測定時間モードは 8 秒モードとし、各測定点において 3 回の測定を行って、その平均値を求めた。測定点は個人席の位置 32 点と共用スペーステーブル位置 6 点の計 38 点とした。マスクング音は、レイアウト 1 では男声特性、レイアウト 2 では男声特性と模擬空調騒音での測定を行った。

マスクング音の A 特性音圧レベルはスピーカの直上、床上 1m 点において 50dB とした。マスクング音の再生レベルは、マスクング効果と不快感の二律背反であり、これまで適正な再生レベルの検討が行われてきている。それらの結果からノイズによるマスクング音の場合には、おおよそ 42~50dB が適当であるとされている^{11),12)}。今回の効果検証では、その上限値とされる 50dB に設定した。

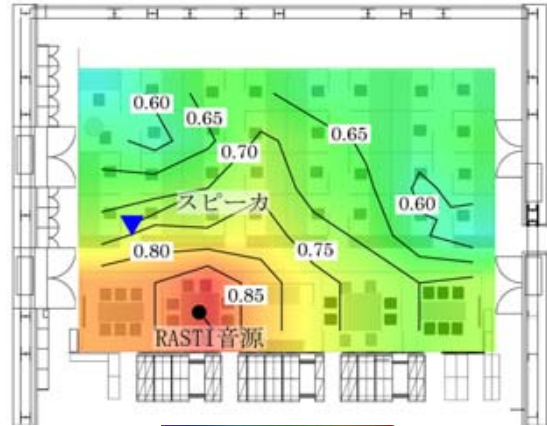
5.2 測定結果

図 - 9 に、レイアウト 1 での RASTI 値測定結果を示す。●で示したテーブル上の位置に、RASTI 音源再生用の小型 12 面体スピーカを設置した。マスクング音再生用のスピーカは青▲で示し、当該位置の OA フロア下に設置されている。(1)はマスクング音無しの状態での RASTI 値測定結果である。スピーカ近傍では 0.85 以上、隣接する個人席位置では、0.7~0.8 程度の値を示しており、図 - 8 の評価尺度によると、"Excellent"~"Good"と評価される。(2)は男声特性のマスクング音を再生した場合の RASTI 値であり、(3)にはマスクング音の有無による RASTI 値の差を示している。音源を設置した共有打合せテーブルに隣接する個人席位置では RASTI 値は 0.2~0.25 程度低下しており、マスクング音によって明瞭性が低下することが確認された。一方で RASTI 値は、依然 0.55~0.60 程度を維持し、評価尺度では"Fair"と評価されるレベルであり、十分な明瞭性の低下は得られていないことがわかる。

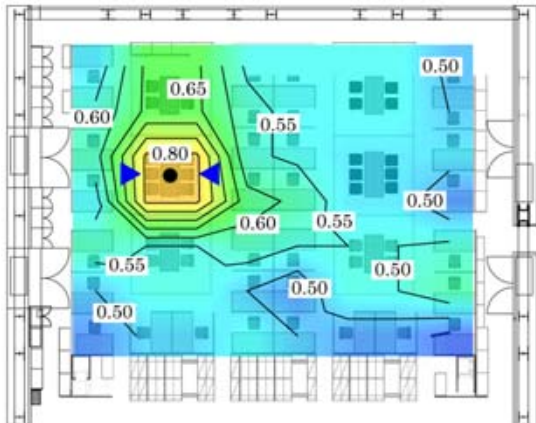
図 - 10 に、レイアウト 2 での RASTI 値測定結果を示す。RASTI 音源の位置、マスクング音再生用スピーカの位置はレイアウト 1 と同様に示した。レイアウト 2 ではレイアウト 1 と比較して、隣接座席までの距離が若干大きいので、(1)に示すように隣接座席での RASTI 値は 0.7~0.75 程度であり、評価尺度によると"Good"と評価される。(2)は男声特性マスクング音、(3)は疑似空調騒音による RASTI 値の低下量を示す。マスクング音再生用スピーカの近傍では、男声特性の場合の低下量は 0.25、疑似空調騒音の場合は 0.20 となっており、若干ではあるが、男性特性のマスクング音の方が、明瞭性の低下に対する効



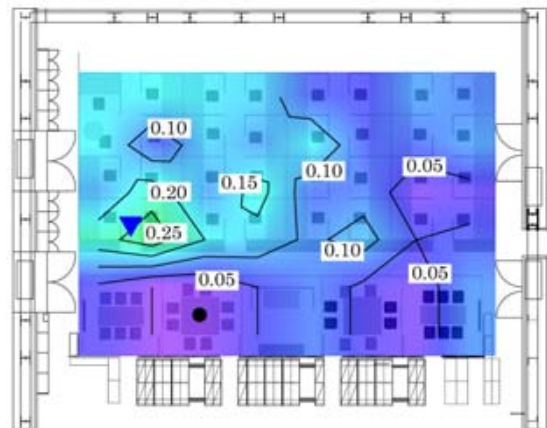
(1) RASTI 値 : マスキング音無し



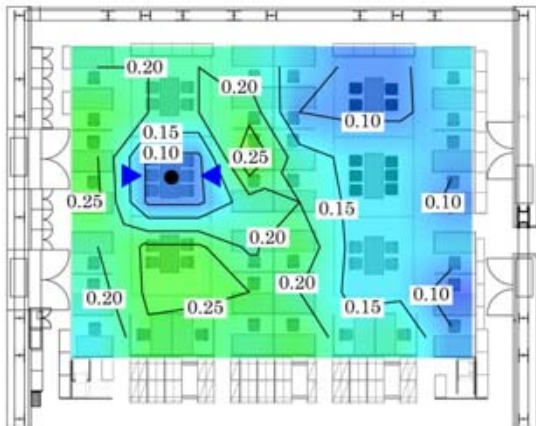
(1) RASTI 値 : マスキング音無し



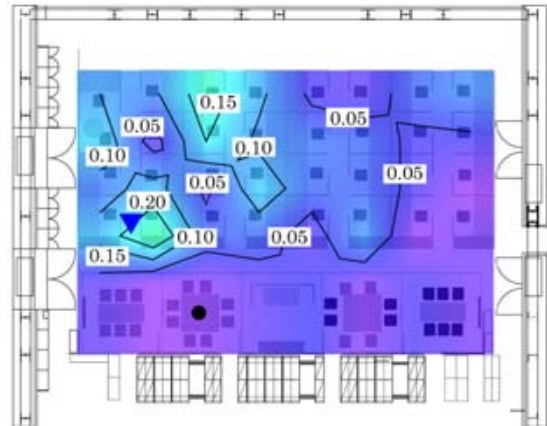
(2) RASTI 値 : 男声マスキング音



(2) RASTI 値低下量 : 男声マスキング音



(3) RASTI 値低下量 : 男声マスキング音



(3) RASTI 値低下量 : 疑似空調騒音マスキング音

図 - 9 レイアウト 1 での RASTI 値測定結果と RASTI 値低下量

図 - 10 レイアウト 2 での RASTI 値測定結果と RASTI 値低下量

果が大きいといえる。紙面の都合により示していないが、**RASTI** 値は **0.55~0.6** 程度で、その評価は"**Fair**"となっており、レイアウト **1** と同様に十分な明瞭性の低下は得られていない。

§6.まとめ

個人の位置情報に基づく制御を行うサウンドマスキングシステムを開発し、実証のために個人席と共有スペースを隣接して配置するコンビネーションプランを採用したスマートワークプレイスに導入・設置した。このサウンドマスキングシステムの効果を検証する為に、音声の明瞭性を評価する **RASTI** 値の測定・評価を行った。その結果、適当とされる最大限の音量のマスキング音によって、**RASTI** 値は **0.20~0.25** 程度低下させ得るが、その値は **0.55~0.6** 程度であり、十分に明瞭性を低下させる

には至らなかった。

今回、サウンドマスキングシステムを導入したスマートワークプレイスは、ローパーテーションによって個人席は囲まれているものの、いわゆるオープンプランオフィスであり、冒頭に述べた **ABC** ルールのうち"**B**"が存在しておらず、スピーチプライバシーの確保や話声による妨害度合の低減には厳しい条件ではある。前述の通り、マスキング音を大きくすれば明瞭性が低下することは明らかであるが、一方で不快感が増大する二律背反の関係にある。コンビネーションレイアウトを採用したオープンプランオフィスにおける、サウンドマスキングの導入による音環境の改善には、この音響的側面と、共有スペースと個人席の連続性を出来るだけ持たせるという建築的側面との折り合いを、どこに取るかという問題に帰着され、音響的側面からだけではない検討が必要と考えられる。

<参考文献>

- 1)山田哲弥, 田中康裕:“研究執務スペースにおけるコンビネーションレイアウトの有効性 スマートワークプレイスに関する研究 その1”, 建築学会学術講演梗概集, pp.593-594, 2011
- 2)貞清一浩, 山田哲弥, 五十嵐雄哉:“スマートワークプレイスの開発 その1:スマートワークプレイスの概念と制御システム”, 建築学会学術講演梗概集, pp.475-476, 2011
- 3)五十嵐雄哉, 貞清一浩:“スマートワークプレイスの開発 その2:ワークプレイスにおける人の位置情報システムの活用”, 建築学会学術講演梗概集, pp.477-478, 2011
- 4)W.J.Cavanaugh, W.R.Farrell, P.W.Hirtle and B. G. Watters : “Speech Privacy in Buildings”, J. Acoust. Soc. Am. , 34(4), 475-492, 1962
- 5)ASTM E1130-02e1 : “Standard Test Method for Objective Measurement of Speech Privacy in Open Offices Using Articulation Index”
- 6)http://www.kokuyo-eng.co.jp/products/sound_masking.html
- 7)<http://www.yamaha.co.jp/acoust/speechprivacy/>
- 8)藤原舞:“マスキングの原理と応用”, 音響技術, No.152(Vol39 no.4), pp.37-41, 2010
- 9)T.Houtgast, and H.J.M.Steenken : “A Review of the MTF Concept in Room Acoustics and its Use for Estimating Speech Intelligibility in Auditoria” , J. Acoust. Soc. of Am. , Vol.77(3), pp.1069-1077, 1985
- 10)日本音響学会:“音響工学講座3 建築音響”, コロナ社, pp.131-133, 1988
- 11)A.C.C.Warnock : “Acoustic Privacy in the Landscape Office” , J. Acoust. Soc. of Am. , Vol.53(6), pp.1535-1543, 1973
- 12)J.S.Bradley : “From Speech Privacy to speech security” , 19th ICA, Nadrid, pp.1-15.2007

