

# スピーチプライバシー評価のための RASTI の予測に関する検討

山口 晃治<sup>\*1</sup>・増田 潔<sup>\*1</sup>・買手 正浩<sup>\*1</sup>

*Keywords : speech privacy, finite difference time domain method, rapid speech transmission index, medical facilities*

スピーチプライバシー, FDTD 法, RASTI, 医療施設

## 1. はじめに

近年、日本では、病院、薬局、銀行などにおいて、スピーチプライバシーへの関心が高まっており<sup>1)</sup>、設計・計画段階でのスピーチプライバシーの予測手法が必要である。スピーチプライバシーには、会話による第三者への「妨害阻止」と「情報漏洩防止」という二つの側面があるが、ここでは、情報漏洩防止を扱う。スピーチプライバシーについては、50 年ほど前から米国で研究され、医療施設の音響設計ガイドライン<sup>2)</sup>では、評価指標の一つとして音声伝達指標 STI (Speech Transmission Index) が提案されている。

スピーチプライバシーが問題となりやすい、病院の多床室や薬局のカウンターなどのオープンな空間では、スピーチプライバシーを向上させるひとつの方法として、パーティションの設置が考えられる。パーティションの設置など、反射や回折による影響を考慮する必要がある場合、STI を精度よく予測するには、音波の波動性を考慮した予測手法が必要である。そこで、STI を求めるために必要なインパルス応答の予測法として、時系列解析の FDTD 法 (Finite Difference Time Domain method) を適用した。なお、ここでは、STI の簡易版である RASTI (Rapid Speech Transmission Index) を予測した。

本稿では、会議室にパーティションを設置した場合の解析結果と実測結果を比較することで、予測手法の精度を検証した。次に、病院の四床室において、パーティションの有無や仕様を変更した場合の RASTI の分布を求めることで、スピーチプライバシーに対するパーティションの効果を予測した。

## 2. 予測手法の概要

最大 8 つの参照点による高次差分スキームを用いた FDTD 法<sup>3)</sup>により、RASTI を求めるために 500Hz 帯域と 2,000Hz 帯域の解析をそれぞれ行い、インパルス応答を求め、RASTI を算出した。FDTD 法の境界条件には、音圧の入射波と反射波の比率（反射率）を規定する手法<sup>4)</sup>を用いた。音圧反射率には、実数のみを与えた。また、音源は、無指向性音源とした。なお、パーティションによる透過音は考慮していない。

## 3. 予測手法の検証

### 3.1 解析条件

図-1 に示すように、パーティションを設置した会議室を 3 次元にモデル化し、解析を行った。解析条件を表-1 に示す。

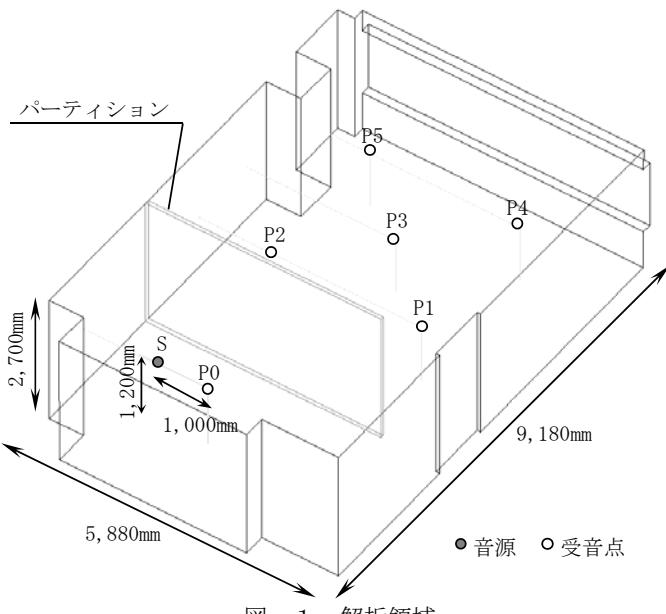


図-1 解析領域  
Fig.1 Calculation area

\* 1 技術センター建築技術研究所環境研究室

表-1 解析条件  
Table 1 Calculation conditions

オクターブバンド 中心周波数 [Hz]	500	2,000
空間離散化幅 [mm]	12	12
時間離散化幅 [ $\mu\text{s}$ ]	10	5
音圧反射率: 床	0.95	0.70
壁	0.99	0.95
天井	0.87	0.45
パーティション	0.99	0.95

### 3.2 実測の概要

会議室に厚さ約 70mm のパーティションを設置し, Speech Transmission Meter (B&K 製, Type 3361) (図-2 参照) を用いて RASTI を測定した。スピーカは, S から P0 に向けて設置した。受音点 P0~P5 において, 5 回ずつ測定を行った。また, 12 面体スピーカを用いてインパルス応答の測定も行い, インパルス応答から RASTI を算出した。

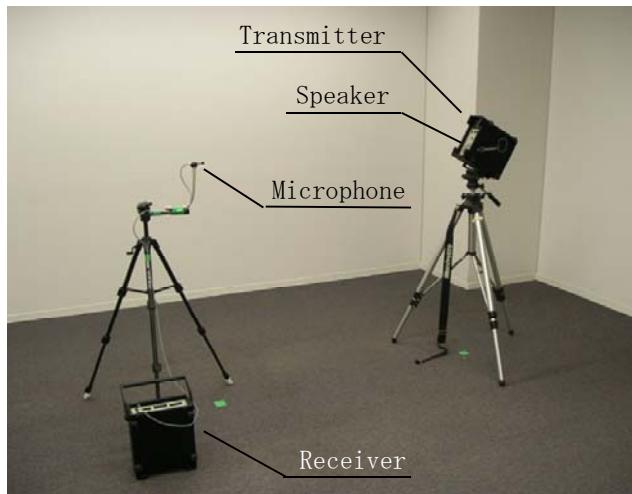


図-2 Speech Transmission Meter Type 3361  
Fig.2 Speech Transmission Meter Type 3361

### 3.3 結果

RASTI の解析結果と実測結果を図-3 に示す。Speech Transmission Meter による実測結果は, 受音点により 0.03~0.08 程度ばらついている。Speech Transmission Meter と 12 面体スピーカには, 音源の指向性に違いがあるが, インパルス応答の実測結果は, 室中央の P3 以外では, よい対応を示している。これは, Speech Transmission Meter を S1 から P0 に向けて設置し, 正面以外が壁やパーティションに囲まれることで, 指向性の違いによる影響が少なくなったためと考えられる。

受音点ごとの実測結果について考察する。音源近傍

P0 の RASTI が最も大きく 0.70~0.74 となり, パーティションを隔てた P1~P5 の RASTI は, P0 に比べて小さい。P1~P5 を比較すると, パーティションからの回折や壁の反射の影響を受けやすい P1 の RASTI が 0.60 ~0.67 となっている。P2~P4 では 0.53~0.61 になり P1 と比べて小さくなっているが, P5 では 0.56~0.64 になり P2~P4 と比べて大きくなっている。これは, 音波が P5 周辺の壁で反射したためと考えられる。

解析結果は, 実測結果のばらつき内に収まり, よい対応を示している。FDTD 法を用いた反射や回折などの音波の波動性を考慮した予測手法によって, RASTI の精度のよい予測が可能であることを確認した。

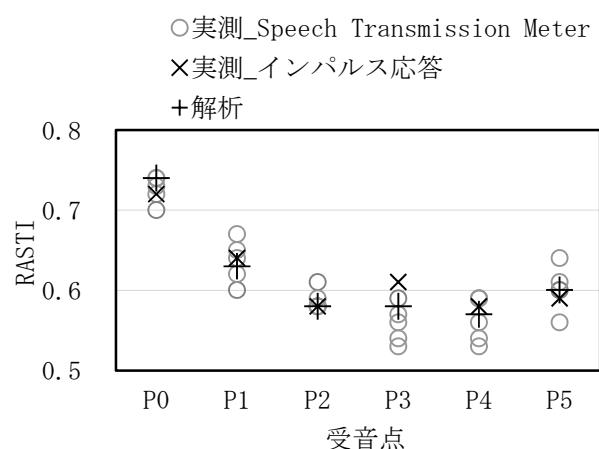


図-3 解析結果と実測結果  
Fig.3 Calculation results and experimental results

### 4. RASTI 分布

四床室において, パーティションの設置によってスピーチプライバシーの向上を図ることを考慮して, パーティションの有無や仕様を変更した場合の RASTI 分布を求めることで, スピーチプライバシーの状況の変化を予測した。

#### 4.1 解析条件

図-4 に示すように, 四床室を 3 次元にモデル化した。S を話し手, S から 1,000mm 離れた P を聞き手として, この位置関係における会話を想定した。P での発生音の A 特性音圧レベルを 55dB とし, 周波数特性は, 日本語男声朗読<sup>5)</sup>を参考にした。暗騒音は, 空調騒音を想定し, 45dB とした。周波数特性を図-5 に示す。

パーティションの仕様を, 表-2 に示す。

高さ 1,200mm の水平面内における 120mm ピッチの評価点のインパルス応答から, P を基準とした音圧レ

ベルの差を求め、各点における SN 比を算出し、それを考慮して、RASTI を求めた<sup>⑨</sup>。解析条件を表-3に示す。

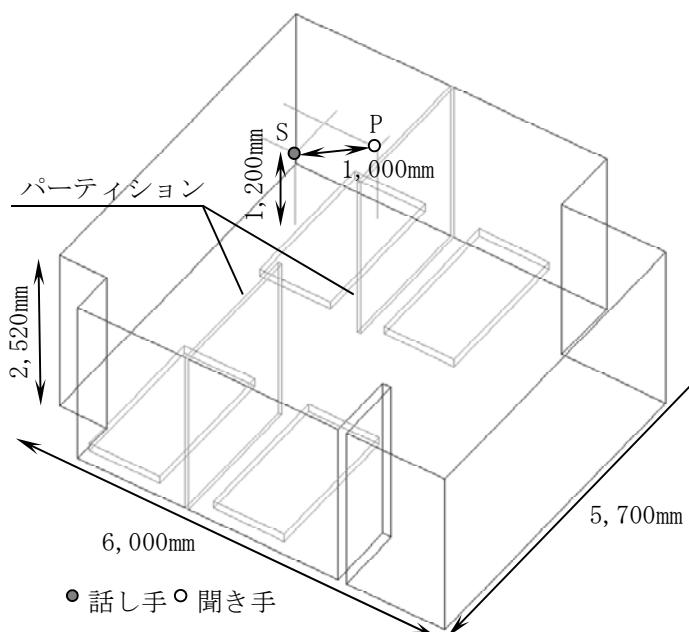


図-4 解析領域  
Fig.4 Calculation area

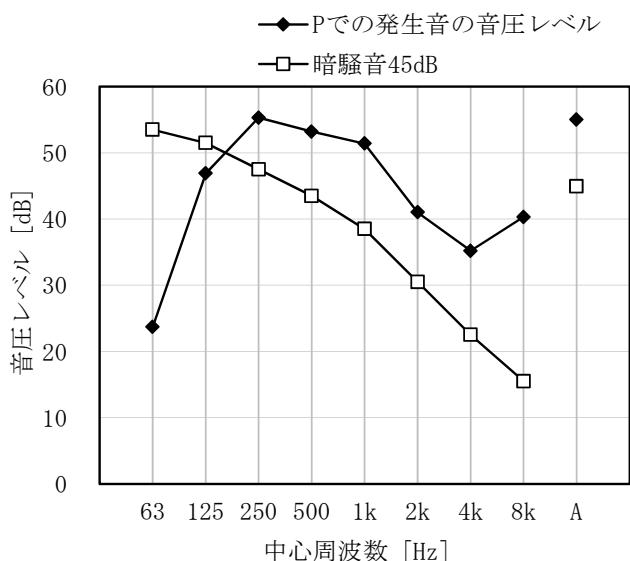


図-5 想定した音圧の周波数特性  
Fig.5 Frequency characteristic

表-2 パーティションの仕様  
Table 2 Specification of partition

- case1 パーティションなし
- case2 パーティション（高さ1,500mm）
- case3 パーティション（高さ2,520mm）
- case4 パーティション（高さ2,520mm, 吸音性）

表-3 解析条件  
Table 3 Calculation conditions

オクターブバンド 中心周波数 [Hz]	500	2,000
空間離散化幅 [mm]	12	12
時間離散化幅 [μs]	10	5
音圧反射率: 床	0.99	0.95
壁	0.99	0.95
天井	0.87	0.45
ベッド	0.99	0.95
パーティション	0.99	0.95
パーティション, 吸音性	0.80	0.70

#### 4.2 結果

各 case の RASTI 分布を図-6～図-9 に示す。

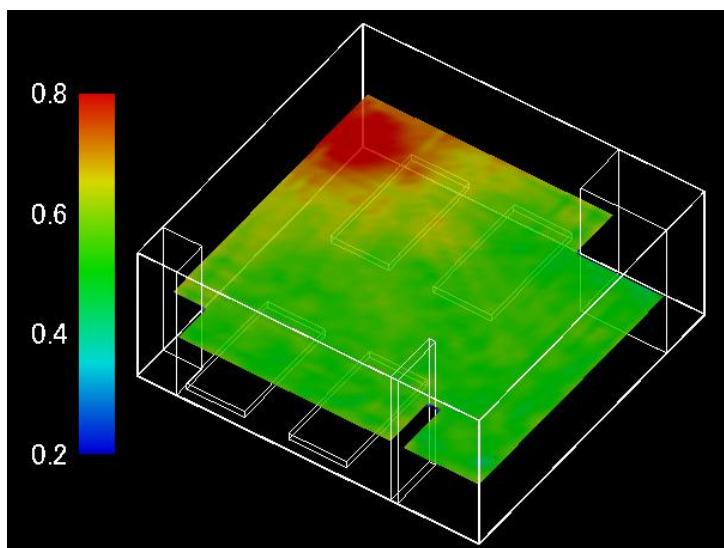


図-6 RASTI 分布 case1  
Fig.6 RASTI distribution case1

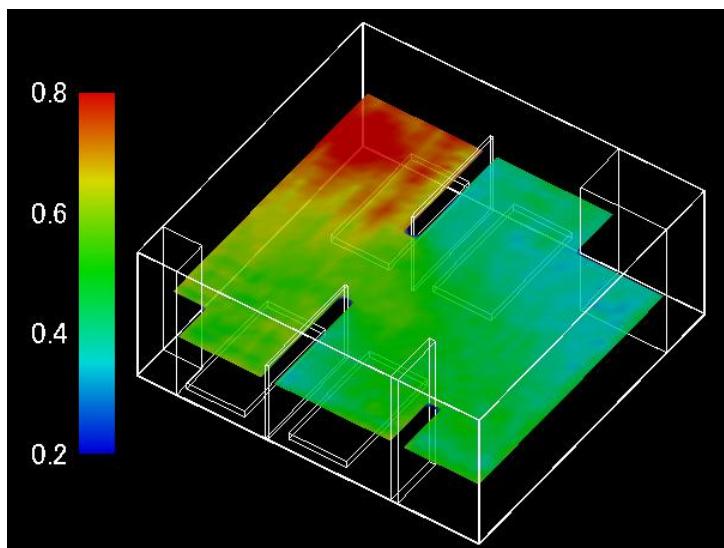


図-7 RASTI 分布 case2  
Fig.7 RASTI distribution case2

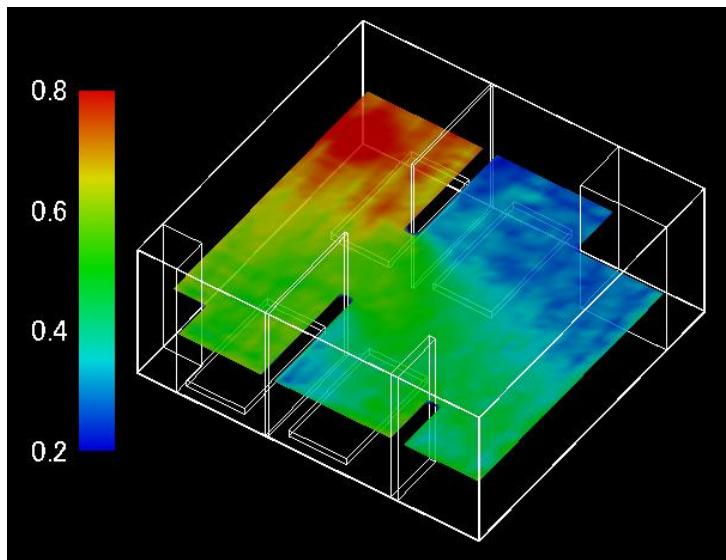


図-8 RASTI 分布 case3  
Fig.8 RASTI distribution case3

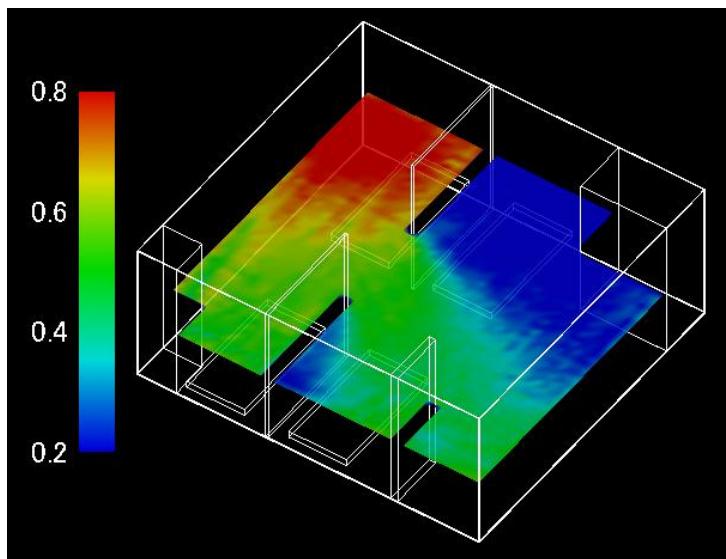


図-9 RASTI 分布 case4  
Fig.9 RASTI distribution case4

話し手のいるベッドに対し、パーティションを隔てた隣のベッドでの RASTI は、case1（パーティションなし）では 0.6 程度、case2（パーティション高さ 1,500mm）では 0.4 程度、case3（パーティション高さ 2,520mm）では 0.3 程度、case4（吸音性パーティション高さ 2,520mm）では 0.2 程度となっている。パーティションの仕様を変更することで RASTI が徐々に小さくなり、スピーチプライバシーが向上しているのが把握できる。しかし、音源が見えている（直接音が到達する）ベッドでは、パーティションを設置したことによる RASTI の変化は小さい。

パーティションの形状や反射率の影響を RASTI の分布に表現し、スピーチプライバシーに対するパーティションの効果を予測した。

## 5. おわりに

FDTD 法を用いることで、反射や回折など音波の波動性を考慮した RASTI の精度よい予測手法を検討した。まず、パーティションを設置した場合の RASTI を予測し、実測結果とのよい対応を確認した。次に、パーティションの有無や仕様を変更した場合の RASTI 分布を求めることで、スピーチプライバシーに対するパーティションの効果を予測した。

さらに、パーティションを設置した場合だけでなく、扉開放時の廊下や隣室等の RASTI を予測し、スピーチプライバシーの状況を予測することも可能である。また、スピーチプライバシーを向上させる方法として、パーティション以外にマスキングノイズも考えられる。マスキングノイズについても、定常的なノイズであれば、暗騒音として考慮することで対応が可能である。

FDTD 法には、無指向性音源を用いたが、話者を考慮した指向性音源<sup>7)</sup>を用いることも検討中である。

今後、設計・計画段階において、スピーチプライバシーの状況を予測することで、スピーチプライバシーの問題改善に役立てていく予定である。

## 参考文献

- 1) 清水寧：日本におけるスピーチプライバシー、音響技術 39(4), pp.1-6, 2010.12.
- 2) D. M. Sykes, W. J. Cavanaugh, et al., : Sound and Vibration Design Guidelines for Health Care Facilities, ANSI S12 WG44, 2010.1.
- 3) S. Sakamoto : Phase-error analysis of high-order finite difference time domain scheme and its influence on calculation results of impulse response in closed sound field, AST, Vol28, pp.295-309, 2007.
- 4) 鹿野洋, 坂本慎一 : FDTD 法における反射境界面の扱い方, 日本音響学会講演論文集, 1253-1254, 2011.3.
- 5) 日本建築学会編集, 建築と環境のサウンドライブラリ SMILE2004, 技報堂出版, 2004.11.
- 6) 中島立視 : 音声の明瞭度指標(STI)の測定, 日本音響学会誌, 49(2), 103-110, 1993.02.
- 7) 鹿野洋, フステイチャバ, 横山栄, 坂本慎一 : FDTD 法における音源の指向性制御を用いたインパルス応答の合成, 日本音響学会講演論文集, 1211-1212, 2010.3.