

## 講義室におけるハンズフリー拡声の音質評価

03-210092 西 恵太郎

### 1. はじめに

#### 1.1 研究背景

現状の拡声システムでは雑音や部屋の残響の影響での音質劣化を抑えるため、音源から近い距離で収音できるハンドマイクやピンマイクを用いることが多い。しかし、ハンドマイクやピンマイクでは不自由さや煩わしさ、衣擦れによる雑音、発話者とスピーカの位置関係によるハウリング等の問題がある。そこでマイクロホン天井に設置することで、発話者の動きを制限せずに拡声を行えるハンズフリー拡声システムが会議室（天井高約2.5m）などの天井高の低い空間を中心に導入され始めている。

#### 1.2 研究目的

本研究では、天井高が高い講義室においてスピーカとマイクの条件を変更した複数の拡声条件でハンズフリー拡声システムを使用し、物理測定と心理実験から音質評価を行うことを目的とする。

### 2. ハンズフリー拡声システムの概要

講義室内の機器配置を図1に示す。マイク構成としては、感度は高い(-23.8dBFS/Pa)が遅れ時間(22ms)が生じるシーリングアレイマイクロホン(以下CA)と感度は低い(-41dBFS/Pa)が遅れ時間のない超指向性マイク(以下SC)の2つを用いる。スピーカ構成としては前方に設置したフロントLCRスピーカ(以下FR)、天井に設置したシーリングスピーカ(以下CE)、側方と後方に設置したサラウンドスピーカ(以下SU)を用いる。

### 3. 測定実験

#### 3.1 実験概要

本実験は、東京大学本郷キャンパス工学部1号間15号講義室にて行い、発話者を想定して指向性スピーカ(1.5m)から流したスイープ信号からインパルス応答を測定して残響時間( $T_{20}, T_{30}$ )、クラリティ( $C_{50}$ )、ストレングス( $G$ )、音声明瞭度( $STI$ )を算出した。測定点は図1に示したR1~R6の6点(1.2m)で行った。拡声条件はハンズフリー拡声システムを用い、スピーカとマイクの条件を変えた6条件のそれぞれに対してハウリング限界(以下HL)-6dBとHL-3dBの拡声量で行った12条件(表1)、ハンドマイクを用いて拡声した条件(以下Case0)、拡声なしの条件の計14個の条件で行った。

#### 3.2 実験結果

室平均の残響時間(250~2000Hz: $T_{30}$ , 4000Hz: $T_{20}$ )と最も条件間で差が生じたR4での $C_{50}$ 、 $G$ 、 $STI$ を図2.3に示す。残響時間については、拡声量が大きくなると残響時間が長くなる傾向があり、A1の6条件はシステムoffと大きく変わらないが、A2の6条件は長くなっている。また、A1,A2の条件下それぞれにおいてCase1,1'の残響時間が最も長くなり、逆にCase2,2'が最も小さくなった。 $C_{50}$ においては、残響時間と逆の傾向があり、拡声量が大きくなると $C_{50}$ が小さくなり、A1に対してA2の $C_{50}$ が小さくなっている。これは、 $C_{50}$ が直接音+初期反射音と後期残響音の比で求められる値のため、直接音+初期反射音が増幅されず、後期残響

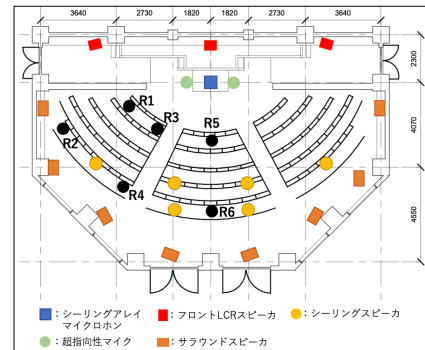


図1 マイク・スピーカ及び音源・測定点の位置

表1 拡声条件

Speaker条件	Mic条件				M3	
	M1 CAのみ	M2 SCのみ	M3 CA+SC	Case4 A1 HL-6dB	Case4' A2 HL-3dB	
S1 FRのみ						
S2 FR+CE	Case1 A1 HL-6dB	Case1' A2 HL-3dB	Case2 A1 HL-6dB	Case2' A2 HL-3dB	Case3 A1 HL-6dB	Case3' A2 HL-3dB
S3 FR+SU				Case5 A1 HL-6dB	Case5' A2 HL-3dB	

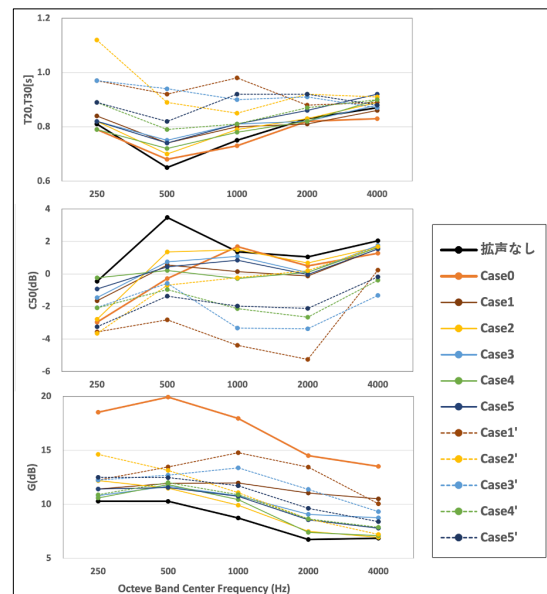


図2 室平均の残響時間(上段)、R4におけるクラリティ(中段)、R4におけるストレングス(下段)

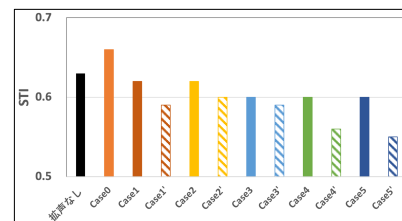


図3 R4における音声明瞭度

音が増幅されていることが原因であると考えられる。G に関しては、A1,A2 条件のそれぞれに対して Case1,1' と Case3,3' が大きい値を示し、逆に Case2,2' の値が小さくなった。感度の高い CA を用いると拡声量が大きくなっていることがわかる。STI においては、全条件で A1 に対して A2 は小さい値をとるが、Case2,2' 間と Case3,3' 間では弁別閾 0.03 を超える差は生じなかった。

#### 4. 聴感印象実験

##### 4.1 実験概要

実験場所は測定実験と同一の講義室であり、被験者は 20,30 代の男女 12 名 (男声 6 名、女声 6 名) で行った。被験者には 1 つの条件につき拡声なしの条件と拡声条件それぞれで 15 秒間の音声聞かせ、『声の大きさ』『声の響き』『すっきり感』『音像の明瞭性』『音色の自然さ』の 5 項目に対して一対比較法で 7 段階の評価をさせた。音源音声は男女の朗読音声それぞれで行い等価騒音レベルは 1m 点で 60dB とし、指向性スピーカ (1.5m) から流した。座席位置は前方の R3 と後方の R2,4,6 の 4 点で行った。拡声条件は Case1,1',2,3,3',4 の 6 条件に加えて、評価の基準として Case0 でも行った。

##### 4.2 実験結果

個人差、音声性別、座席位置、拡声条件を要因とした四元配置分散分析 (音声性別、座席位置、拡声条件 3 つの交互作用は除く) と Tukey の HSD 検定を行い、測定実験で求めた物理指標との相関分析を行う。分散分析の結果を表 3 に示し、平均評点と標準偏差の一部項目を図 4,5 に、相関分析の一部項目を図 6,7,8 に示す。

被験者実験の結果から、CA を用いた Case1,1',3,3' では声を大きく感じる事が確認でき、音色の自然さに関しては拡声量を増やした Case1',3' では不自然さが増すことが分かる。

相関分析から『声の大きさ』『声の響き』『音像の明瞭性』『音色の自然さ』の 4 項目において残響時間、C50 との相関関係が強く出た。『声の大きさ』に関しては、音量間を表す G との相関係数は 0.56 となった。単純な音量感よりも残響感や明瞭性の方が『声の大きさ』に強く寄与したと考えられる。『音像の明瞭性』『音色の自然さ』では、残響時間、C50 との相関が強く出たことから残響感がなく、明瞭に聞こえると音像の明瞭度が高くなり音色が自然に聞こえることが確認できる。『すっきり感』についてはどの物理指標に対しても強い相関関係は見られなかった。これは全要員の主効果が有意であったため評価値にばらつきが生じたからと考えられる。

#### 5. おわりに

本研究ではハンズフリー拡声の講義室への実用例として物理的、主観的な側面から音質評価を行った。

本実験では聴取者の聴感印象実験を行ったが、ハンズフリー拡声システムの実用性を示すため今後発話者の使用感の調査などが求められる。

##### 参考文献

- [1] ISO 3382-3:2022, Acoustics - Measurement of room acoustic parameters, Part 1: Performance Space
- [2] Bradley, J.S., Reic, R. and Nercress, S.G.: A just noticeable difference in C50 for speech, Applied Acoustics 58, pp. 99-108, 1999

表 2 四元配置分散分析の結果  
(\*:p<0.05, \*\*:p<0.01, \*\*\*:p<0.001)

評価項目	主効果				交互作用		
	被験者	音声性別	座席位置	拡声条件	音声性別 × 座席位置	音声性別 × 拡声条件	座席位置 × 拡声条件
声の大きさ	***	***		***			
声の響き	***			***			
すっきり感	***	***	*	***			
音像の明瞭性	***			***			*
音色の自然さ	***		*	***			

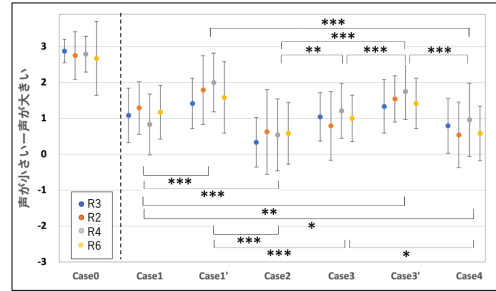


図 4 声の大きさの結果比較

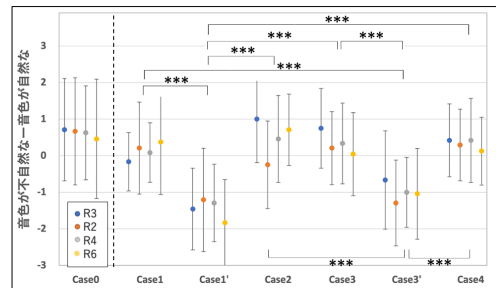


図 5 音色の自然さの結果比較

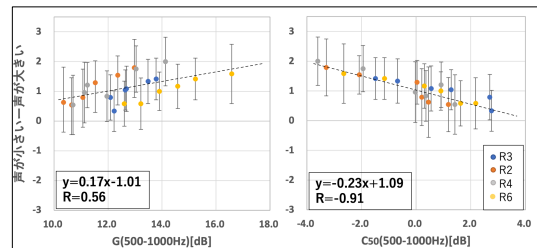


図 6 声の大きさ (左: ストレngthス、右: クラリティ)

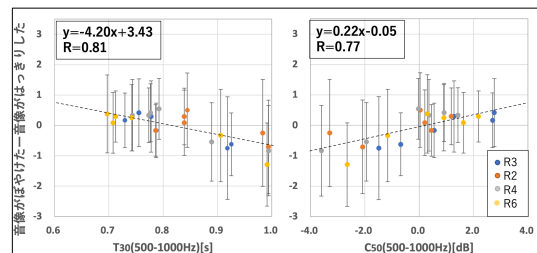


図 7 音像の明瞭性 (左: 残響時間、右: クラリティ)

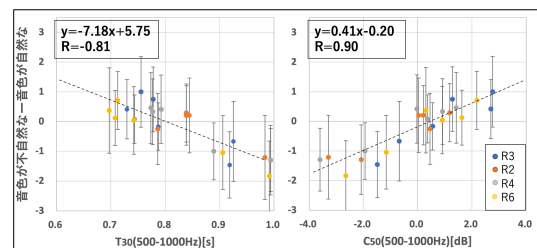


図 8 音色の自然さ (左: 残響時間、右: クラリティ)