

# 騒音下における音声の明瞭度向上に関する基礎的検討 II

石黒勝也\*・大島静夫

## Basic Study on Enhancement of Speech Articulation under Noisy Environment II

Katsuya ISHIGURO, Shizuo OHSHIMA

(1995年11月30日受理)

### 1. はじめに

一般に駅や空港など公共の場での放送内容は、周囲の騒音によって聞きとりにくい場合がある。さらに日本では高齢化社会が進み、このような場を利用する高齢者が年々増加することが予測されている。高齢者は加齢とともに聴能力が低下していくので、騒音下での公共放送はより聞きとりにくいはずである。このような観点から騒音下にあっても明瞭度が低下しないような音声加工を伴う放送設備の検討が必要と思われる。

現在の公共放送は、周囲の騒音を考慮し、その明瞭度を向上させるような機能を持たない場所がほとんどであるが[1]、最近騒音下での公共放送の明瞭度を向上するための、さまざまなシステムが提案されており、例えば安藤氏ら[2]による「子音区間の補強による明瞭度の改善」、栗栖氏ら[3]による「フエジ・ニューラルネットワークを用い音響技術者のイコライザー調整を模擬する拡声音制御システム」などが上げられる。

また関連する分野として、補聴器における技術開発はめざましく、浅野ら[4]の開発したデジタル補聴器は感音系難聴者に有効とされており、ここでは、感音系難聴者のラウドネスを補償するための関数としてラウドネス補償関数が提案されている。

一方人間の音の大きさに関するラウドネス関数は、騒音によってその特性が低下するが、この低下後の特性は、感音系難聴者のラウドネス関数と良く似ている。本研究では、この点に着目し、公共放送にこのようなラウドネス補償を行うことによる明瞭度の向上の効果を評価することである。

### 2. 実験で用いた単音節について

#### 2・1 単音節の録音方法

明瞭度試験には、100音節を用いることとし、単音節の録音は、周囲の騒音に影響されないように簡易な防音室内で行った。話者は40歳代の男性である。音声信号は、あらかじめ遮断周波数8[kHz]のLPF、および誘導ノイズ防止のための50[Hz]のHPFを通しA/D変換している。A/Dコンバータの量子化量は12[bit]、サンプリング周波数は16.6[kHz]である。単音節の収録に際しては、子音立ち上がり部分のデータが失われることのないように特に留意した。そのために音声が入力レベルに達するまでは、リングメモリの1000[Word]の配列に信号を記録し、トリガレベル以降はデータ格納用配列に記録し、収録後リングメモリの部分も含め、音声波形を画面表示させ、子音部分が録音されていることを、モニター上および再生音で確認している。また実験では、ホワイト・ノイズを擬似的な騒音として用いたが、これも同様な方法でオーディオチェック用CD(CBS/SONY48DG3)から録音している。

録音した単音節のレベルは、多少バラついており統一することとした。レベルの測定は、単音節の大きさと音声の基本周波数に近い200[Hz]の正弦波音とを直接比較した。単音節が正弦波音に対して小さいと判断したらL、逆に音声が入力レベルよりも大きいと判断したらHという二者択一方式で判断する方法をとった。単音節の再生レベルは固定とし、正弦波音は70[dB]~90[dB]の範囲、刻みは1[dB]で、乱数提示している。上記の方法で全単音節のレベルを測定し、レベルの過不足に応じた定数を音声データに乗ずることにより、単音節のデータベースとしてのレベルを統一した。明瞭度試験の結果は、ノイ

\* 秋田高専専攻科学生

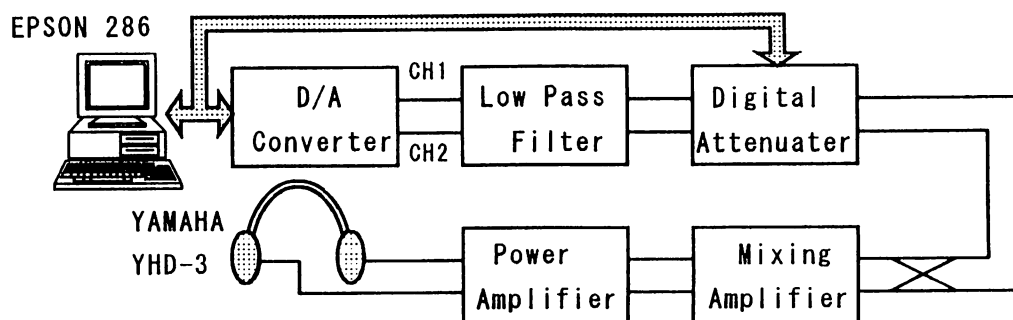


図1 単音節再生システム

ズ無し状態で約92[%]であり、以降の実験を行う上で特に問題はないと判断した。

## 2・2 実験システムおよび被験者

実験で使用したシステムを図1に示す。図においてCH1にはノイズ信号、CH2には音声信号を送っている。これらの信号は、サンプリング周波数16.6[kHz]のD/Aコンバータでアナログ信号に変換し、遮断周波数8[kHz]のLPFを通して信号を円滑にしている。また、デジタルアッテネータで各信号のレベル調整を行い、音声信号とノイズ信号をミキシングアンプで混合し、ヘッドホン(YAMAHA YHD-3)で再生している。音圧の校正には6[CC]カップラ、1/2インチコンデンサーマイク(TYPE7023)、精密型騒音計(TYPE6041)およびピストンホーン(いずれもACO社)を用いている。

全ての実験において明瞭度試験は100音節で行った。単音節の出現順序は20種類の乱数表を用い、乱数提示している。被験者は19~22歳の男子学生3名で、全員実験の目的は熟知している。

## 3. 音声の加工法について

### 3・1 子音区間補強法について

ラウドネス補償法の比較対象としては、安藤氏らによる子音区間の補強による明瞭度の改善法を取り上げることにした。子音区間補強法は、子音区間部のみを3倍に増幅するという考え方である。この方法を再現するため、明瞭度実験で使用する全単音節の波形をモニターでの視察によりその子音部を定めた。図2に単音節/ki/の子音区間補強法による加工例を示す。図2(a)は原波形であり、この波形に図2(b)に示すような過渡時間20[ms]の窓関数を乗じ、単

音節を加工する。加工音節の波形を図2(c)に示す。

擬似騒音としてホワイト・ノイズを用い、1人につきS/N比が、5[dB], 10[dB], 15[dB], 20[dB]の4点で明瞭度試験を行った。再現した子音区間補強法の明瞭度試験の結果と、安藤氏ら[2]によって報告された結果とを比較すると、図3に示すように、両特性ともほとんど同じ特性を示しており、この結果から、子音区間補強法をほぼ正確に再現できたと思われる。

### 3・2 ラウドネス関数補償法について

人間の音の大きさに対する感覚量に関しては古くから調べられており[5]、例えばLochnerらによる純音のレベルとラウドネスの関係などが上げられる。我々は人間の音の大きさに対するラウドネスが、雑音によって図4のように、変化することに着目した。

この図は、1[kHz]の純音のレベルとラウドネスの関係をグラフにしたもので、(b)は付加雑音がないとき(生理的雑音のみ)、(c)、(d)、(e)はそれぞれ15[dB], 35[dB], 55[dB]最小可聴値が上昇するような雑音を加えたときの曲線であり、(a)は $S = kI^a$ で表されるそれぞれの曲線の漸近線となっている。このように、人間の音の大きさに対するラウドネス関数は、雑音のレベルが上昇すると最小可聴値も同時に上昇するが、また図にみられるように急に、(a)の直線に急激に近づくという補充現象を示すようになり、(c)、(d)、(e)のグラフから分かるように雑音レベルの上昇とともにその非線形性が増している。

図5はラウドネス関数補償法の説明図である。ここで、図の対角線は、付加雑音のないときの入力音に対する感覚量を示す。またa, bは、雑音があったときの、健聴者の最小可聴値および不快レベルの例とする。

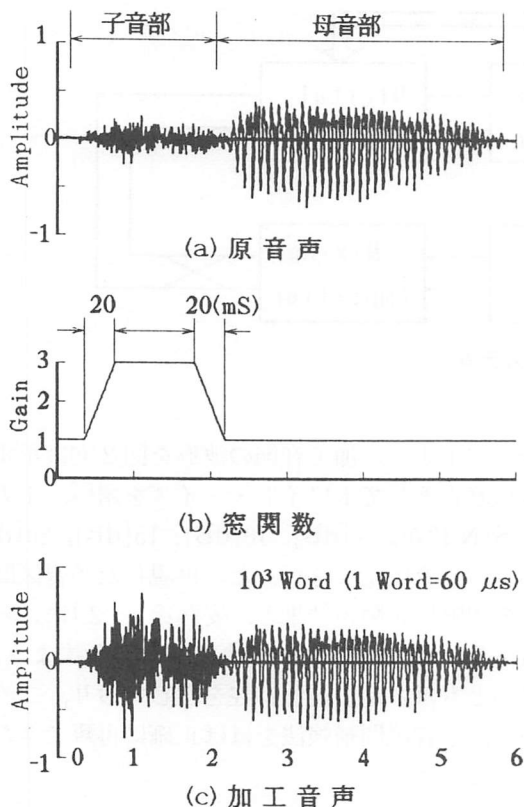


図2 子音区間補強法の加工例/ki/

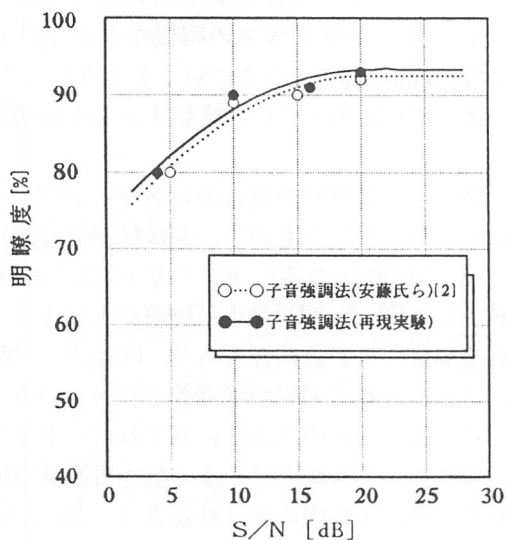


図3 子音区間補強法の明瞭度特性

図4では、この2点は(b)–(e)で示される曲線となるが、同図において0.1~10[sone]の間ではほぼ直線に近似できるものとし、ここでは最小可聴値および不快レベル間を直線で結ぶことにした。ここで不快レベルは、人間がうるさく感じ始める音のレベルである。公共放送においては、ほぼ80[dB]という一定のレベルで放送が行われており[1]、我々はこのレベルを仮の不快レベルと設定した。いま図5においてp[dB]の音を入力した場合、感覚量はc点となり、対角線との差分(Gainで示す)が感覚量の減少分となる。この差分を補えば対角線と一致し、雑音がない場合と同じ感覚量を生ずることになる。このことは、もとの対角線に図で示したGainを加えることと等価であり、同様な作業をa点で行えばa'点となり、不快レベルの点をb'とすれば、この間を直線で結んだものがラウドネスを補償する直線となる。これをラウドネス補償関数と呼ぶ[4]。

図6は、健聴者と感音系難聴者のラウドネスの関係を表したものである。図において対角線の破線は、健聴者のラウドネスを示している。ここで示されている感音系難聴者のラウドネスは、最小可聴値60[dB]、不快レベル100[dB]間ではほぼ直線に近似でき、この直線は図5のab間の直線に対応すると考えられる。このことから、公共放送にラウドネス補償を行えば、感音系難聴者への補償も行っているともいえる。

我々は、ラウドネス補償法の効果を確認するために、最小可聴値を10[dB]、20[dB]、30[dB]に上昇させるような3種類の騒音レベルを想定し、図5の方法で直線近似し、ラウドネス補償関数を求め単音節を加工することにした。無加工の単音節波形を図7の(a)に、ラウドネス補償法の加工波形を(b)、(c)、(d)に示す。

本手法の加工波形は、無加工の波形と母音部の波形がほぼ同じであり、補償レベルが上昇するごとに、子音部の波形が大きくなっている。このことから、本手法は一種の子音区間補強法と思われる。明瞭度試験の結果は結論でその詳細を述べる。

#### 4. 結 論

##### 4・1 明瞭度試験の結果について

ラウドネス補償法の明瞭度試験の実験総数は、100音節×4点(S/N比5[dB]、10[dB]、15[dB]、20[dB])×3種類×3人である。実験結果を以下に

騒音下における音声の明瞭度向上に関する基礎的検討II

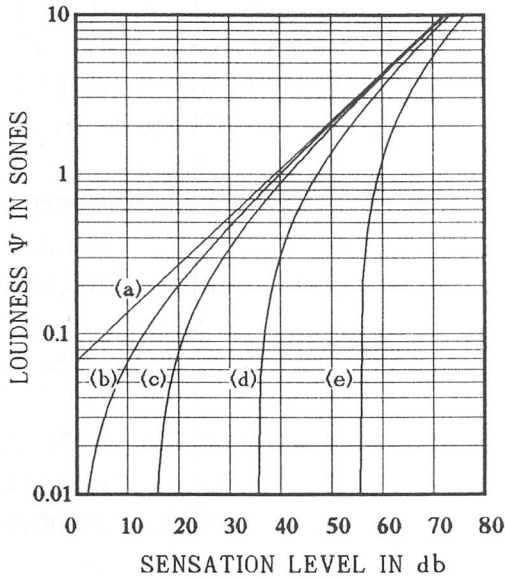


図4 1 [kHz] の純音のレベルとラウドネスの関係 [5]

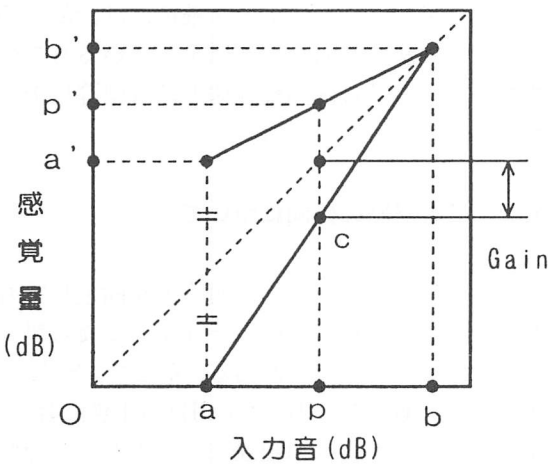


図5 ラウドネス補償関数の例 [4]

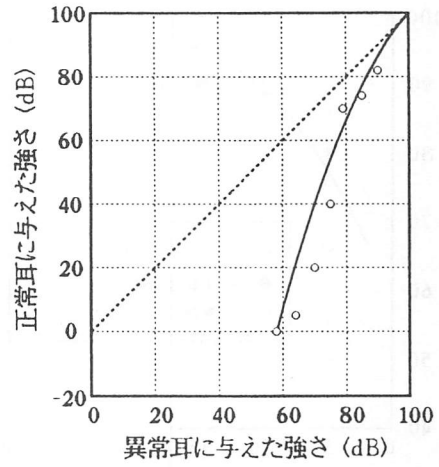


図6 健聴者と感音系難聴者のラウドネス対応 [4]

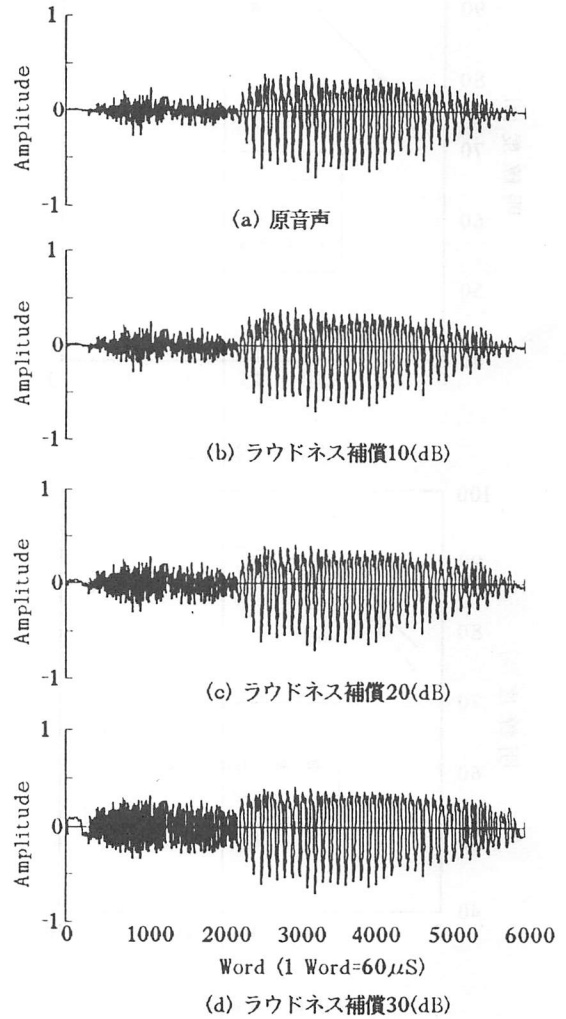


図7 ラウドネス補償法による単音節加工波形例/ki/

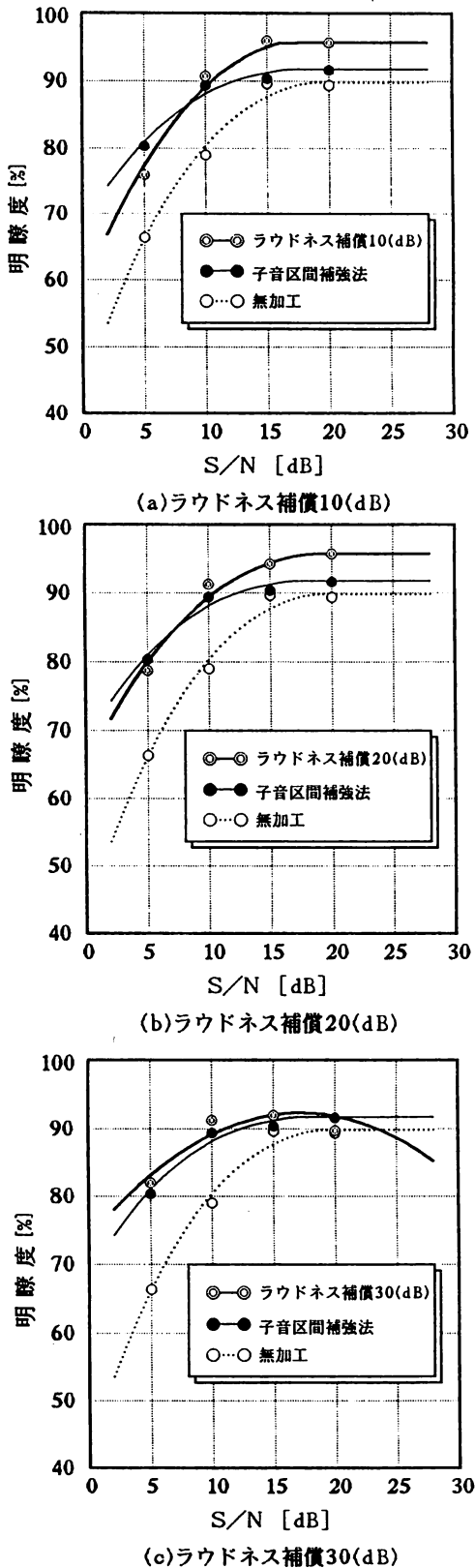


図 8 単音節明瞭度試験の結果

示す。図 8(a)は、ラウドネス補償10[dB]の明瞭度試験の結果である。この図から、子音区間補強法とラウドネス補償法の明瞭度は、無加工の音声より明瞭度が向上していることがわかる。両加工法を比較した場合、子音区間補強法は、S/N 比が 2 [dB]~ 8 [dB]の区間で、明瞭度が 1 [%]~ 3 [%]向上している。ラウドネス補償法は、S/N 比が 8 [dB]以上で、明瞭度が 1 [%]~ 5 [%]向上している。

図 8(b)は、ラウドネス補償20[dB]の明瞭度試験の結果である。この図より、ラウドネス補償法は、S/N 比が 2 [dB]~ 8 [dB]の区間で、子音区間補強法とほぼ同じ明瞭度であり、S/N 比が 8 [dB]以上で、子音区間補強法より明瞭度が 1 [%]~ 5 [%]向上している。

図 8(c)は、ラウドネス補償10[dB]の明瞭度試験の結果である。この図より、ラウドネス補償法は、S/N 比が 2 [dB]~ 15 [dB]の範囲で、子音区間補強法より明瞭度が 1 [%]~ 3 [%]向上している。しかし S/N 比が 15 [dB]以上でのラウドネス補償法は、子音区間補強法より明瞭度が 1 [%]~ 5 [%]低下している。明瞭度が低下する原因として考えられることは、ラウドネス補償法では、図 5 の入力音において、0a 以下のレベルのデータは全てマスキングにより、聞こえないという立場から、音声データそのものを 0 とするため、聞きとりにくい単音節に加工されている可能性がある。

以上の結果から、ラウドネス補償法は、部分的に子音区間補強法より明瞭度が低下しているものの、全体的にみると子音区間補強法とほぼ同等以上の明瞭度を示しているといえる。

#### 4・2 子音異聴の傾向について

単音節を加工して全体的に明瞭度が向上しても、加工によって、単音節が聞きとりやすくなる場合と聞きとりにくくなる場合がある。そこで、S/N 比が 5 [dB], 10 [dB], 15 [dB], 20 [dB]の 4 点において、無加工の音声、子音区間補強法、ラウドネス補償法の子音異聴率を調べた。結果は以下のとおりである。

表 1 は、子音/h/を含まない単音節が、/h/で始まる単音節に異聴を示す傾向を表したものである。第 1 列目の無加工の音声は S/N 比の上昇とともに異聴率は 19/276~0/276へ、また第 2 列目の子音区間補強法は、S/N 比の上昇とともに、異聴率が、5/276~0/276へと低下した。ラウドネス補償法は、それぞれ 8/276~0/276, 7/276~0/276, 0/276 と低下し

## 騒音下における音声の明瞭度向上に関する基礎的検討II

た。このことから、両手法で単音節を加工したことにより、子音/h/を含まない単音節が、/h/で始まる単音節に変化する異聴率は改善されたといえる。

表2は、子音/h/を含む単音節が子音/p/で始まる単音節に異聴する傾向を表したものである。表より無加工の音声は、S/N比の上昇とともに異聴率が、6/24～0/24へと低下した。子音区間補強法、ラウドネス補償法の10[dB], 20[dB]は、表に示すように全体的ばらついているが、異聴率は改善されている。しかし、30[dB]の場合ラウドネス補償法で加工した単音節の異聴率は向上していない。

表3, 4は、子音/s/, /z/を含む単音節が示す異聴率である。表より、無加工の音声は、S/N比の上昇とともにそれぞれ、6/24～0/24, 3/24～0/24と低下した。子音区間補強法、ラウドネス補償法ともに0/24または1/24と、低い異聴率を示した。これも加工によって異聴率が改善されたといえる。

表5は、子音/h/を含む単音節が子音/k/で始まる単音節に異聴する傾向を表したものである。表から、無加工の音声はS/N比の上昇とともに異聴率が3/24～7/24へと増加した。一方子音区間補強法、ラウドネス補償法はともに、表に示すようにS/N比全般にわたって、無加工の音声より更に高い異聴率を示し、加工により異聴率が悪化している。この理由として考えられることは、子音区間補強法、ラウドネス補償法ともに、単音節を加工する過程で、子音部が強調増幅され、例えば、FFT解析した場合に周波数領域で、他の子音の周波数分布に近い形に変化するためとも考えられる。これらの解析は今後の検討課題の一つである。他の単音節はラウドネス補償法のほうが異聴が改善されていた。

#### 4・3 まとめ

4・1で述べたように、ラウドネス補償法は部分的に子音区間補強法より明瞭度が低下しているものの、全体的にみると子音区間補強法とほぼ同等以上

の明瞭度を示しており、明瞭度を向上させるための有効な方法の一つと思われる。更に、図8を詳細に検討すると、補償レベル10[dB], 20[dB]ではS/N比が大きくなると明瞭度が向上し、補償レベル30[dB]ではS/N比が小さいときに明瞭度がそれぞれ子音区間補強法より向上している。このことより環境騒音が低いレベルであれば、低いレベルのラウドネス補償を行い、逆に高いレベルの騒音下では高いレベルの補償を行えば、より効果的に明瞭度の向上が期待できると思われる。具体的には、受話者の周囲の騒音レベルをマイクで実時間で捕らえ、静かな環境（防音室など）におかれている送話者の音声を、その騒音レベルに応じたラウドネス補償関数で加工し、受話者に送るという方法である。今後はDSPの手法などを用い、リアルタイムのシステムを検討したい。

#### 参考文献

- 1) 城戸勝孝, 野呂雄一, 井 研治, 久野和宏: “騒音下における最適な放送レベルについて”, 電子情報通信学会信学技報 EA91-9, pp. 39-59
- 2) 安藤善康, 長田総一郎, 野呂雄一, 井 研治, 久野和宏: “子音区間の補強による明瞭度の改善効果について”, 電子情報通信学会信学技報 EA91-7, pp. 25-29, 1991
- 3) 栗栖清浩, 福山和男: “ファジィ, ニューラルネットワークを用いた拡声音制御システム—騒音下における明瞭性改善のための知識獲得—”, 電子情報通信学会信学技報 EA93-82, pp. 1-23, 1994
- 4) 浅野 太: “補聴器のためのデジタル信号処理手法に関する研究”, 東北大学審査博士学位論文, pp. 21-26, 1991
- 5) 曾根敏夫, 鈴木陽一: “ラウドネス”, 日本音響学会誌44巻10号, pp. 768-774, 1988

表1 子音/h/を含まない単音節が/h/で構成される単音節に異聴を示す傾向

S/N 比	無加工音	子音強調	10dB 補償	20dB 補償	30dB 補償
5[dB]	19/276	5/276	8/276	7/276	0/276
10[dB]	8/276	0/276	0/276	1/276	0/276
15[dB]	2/276	0/276	0/276	0/276	0/276
20[dB]	0/276	0/276	0/276	0/276	0/276

表2 子音/h/を含む単音節が子音/p/を含む単音節に異聴を示す傾向

S/N 比	無加工音	子音強調	10dB 補償	20dB 補償	30dB 補償
5[dB]	6/24	4/24	0/24	0/24	4/24
10[dB]	9/24	2/24	1/24	2/24	2/24
15[dB]	2/24	0/24	2/24	0/24	3/24
20[dB]	0/24	2/24	2/24	4/24	5/24

表3 子音/s/を含む単音節が異聴を示す傾向

S/N 比	無加工音	子音強調	10dB 補償	20dB 補償	30dB 補償
5[dB]	6/24	1/24	0/24	0/24	0/24
10[dB]	4/24	0/24	0/24	1/24	0/24
15[dB]	1/24	0/24	0/24	0/24	1/24
20[dB]	0/24	0/24	0/24	0/24	0/24

表4 子音/z/を含む単音節が異聴を示す傾向

S/N 比	無加工音	子音強調	10dB 補償	20dB 補償	30dB 補償
5[dB]	3/24	0/24	1/24	0/24	0/24
10[dB]	2/24	0/24	0/24	0/24	0/24
15[dB]	0/24	0/24	0/24	0/24	1/24
20[dB]	1/24	0/24	0/24	0/24	0/24

表5 子音/h/を含む単音節が子音/k/を含む単音節に異聴を示す傾向

S/N 比	無加工音	子音強調	10dB 補償	20dB 補償	30dB 補償
5[dB]	3/24	7/24	8/24	8/24	10/24
10[dB]	4/24	11/24	6/24	7/24	13/24
15[dB]	5/24	8/24	5/24	9/24	9/24
20[dB]	7/24	8/24	7/24	7/24	14/24