発声障害音声の修復方法に関する 1 検討

大山 玄・小池 靖夫

A Study on the Modification Method of the Disordered Voice

Ghen Ohyama and Yasuo Koike

(The University of Tokushima School of Medicine)

This paper discusses some methods of modifying the disordered voice. It is uncomfortable to hear the disordered voice. In the first part of this paper, the acoustical characteristics of the disordered voice are discussed. The major acoustical characteristics of the disordered voice include weak intensity, weak periodicity, large periodic perturbation and large intensity perturbation. Because the acoustic characteristics of disordered voices differ, it is necessary to use different methods to modify the disordered voice. A speech analysis synthesis method is employed to modify the disordered voice. Preliminary results suggest that this method is useful for modification of the disordered voice.

Key words : voice disorder, modification, communication aids, speech analysis synthesis, speech conversion

はじめに

発声障害者の音声修復する補装具の基礎的検討を行う。難聴者のための補助具である補聴器は多くでているが、発声障害者のために小さい声を大きくする補装具は余りない。発声障害の他に発話障害もあり、これも重要な問題ではあるが、今回は検討の対象から除外する事にする。一口に発声障害と言ってもさまざまな種類があり、大きく分けて喉頭がある場合とない場合では方法がことになってくる。今回は喉頭がない場合の食道発声、人工喉頭等は検討せずに、喉頭、声帯はあるが、何らかの疾患で発声に障害がある音声(いわゆる嗄声)を対象とする。嗄声にもさまざまな種類がありそれぞれの音響的性質が異なる。また、疾患とその音響的性質が必ずしも1対1に対応するわけでもない。疾患ではなく、それぞれの音響的性質に対応するような修復方法が必要になる。そこで、各種疾患の音声の特徴を検討し、それに対する修復方法についての検討を行うことにする。さらに実用化する場合の問題点についても簡単に考察する。例として反

回神経麻痺、喉頭癌患者等の音声を取り上げ修復を試みる。このような補装具は、ポリープ、結節の初期、または、および術後において大きな声をさける必要がある場合にも役立つと思われる。

対 象

対象音声：対象とする音声にはさまざまあるが、

1つ目は単なる弱い声、小さい声である。このような場合は、声帯は振動するが、強い振動ができず弱い振動しかできない。この場合は有声音の波形に周期性がみられ、その周期性にあまり揺らぎがみられない。

2つ目はいわゆる軽度の嗄声である。声帯は振動するが、その振動に軽い不規則性がある。高い声が出せない場合がある。有声音の波形に周期性がみられ、その周期性には小さい揺らぎがある。

3つ目はいわゆる、ガラガラ声、嗄れ声といわれる場合である。この場合は声はそれほど弱くはないが、強い声は出ない。有声音の波形に周期性はみられるが、周期

性が弱く、大きい揺らぎが見られる。有声音と無声音の区別はできる。声帯の振動は非周期的である。

4つ目は囁き声のような声の場合である。声は弱い。有声音の波形に周期性はみられない。声帯が閉じないか、たとえ閉じても声帯がまったく振動しない場合で、周期性が全くみられない。波形から有声音と無声音の区別は困難である。聴覚的には可能な場合もある。

使用目的と場所：使用目的、場所について分類すると

A. 日常の会話における1対1または1対数人の場合。この場合は小型の持ち運び可能な装置で、外見上見づらくないことが必要である。

B. 会議、講演等において1対多数の場合。この場合は通常マイク等を用いるので固定式でも可能で、多少形が大きくてもよく小型の必要性はない。

C. 運動場、遊び場等で用いる場合。この場合はAと同様であるが、あまり外見上の問題は少ない。ハンドマイク、電気メガホンのようなものでもよい。

D. 電話音声で用いる場合。この場合はBと同じように固定式でもよく、電話機に組み込むか、送話器のところに取り付けることも可能である。

疾患：対象とする発声障害の疾患として反回神経麻痺、声帯委縮、ポリープ、ポリープ様声帯、声帯結節、エッセンシャルボイストレモール等や、呼吸器系の疾患があ

る。

障害の部位、および、原因として

A. 声帯自体に関して

声帯に器質的障害がある場合、ない場合

B. 声帯の可動性に関して

1 声帯の可動性があり、一応閉鎖期がある場合

2 声帯の可動性はあるが、閉鎖期が不完全な場合

3 声帯の可動性はなく、閉鎖期がない場合

C. 肺からの呼気圧が弱い場合

D. 神経系に疾患のある場合、ない場合

等がある。

音響的特徴

音響的特徴はさまざまある。以下に主な特徴を示す。

A. 全体的に強度が弱い：声帯が完全に閉鎖しないので、声門下の圧力が上がらず、息漏れがあり、強い声が出せない。例えば反回神経麻痺、声帯溝症、喉頭癌、心因性、呼吸器疾患等の場合である。

B. 波形に周期性はあるが、周期の揺らぎ、振幅の揺らぎがある：声帯にある程度の閉鎖期があり一応振動はできるので、周期性はあるが、声帯に器質的障害があるため規則的な振動ができない。例えば声帯ポリープ、ポリープ様声帯、声帯結節等の場合である。

図1 両側反回神経麻痺の音声波形の例

A : 母音 /a, i, u, u, o/, B : /o/ の一部, C : 文章の1部を示す.

C. 波形に有声音においても周期性がない：声帯が閉じないか、硬くなって振動できないため、音声に周期性がみられない。例えば、反回神経麻痺、喉頭癌等の場合である。

D. 基本周波数が低下する：声帯が一応振動はするが、声帯自体が重くなるために周期が長くなり、低い声になる。例えば声帯ポリープ、ポリープ様声帯等の場合である。

これらの特徴の1つまたは幾つかを合わせ持っている。代表的な疾患の波形を図1～4に示す。図1は両側性反回神経麻痺の例である。母音 /u, o, a, e, i/ の波形と /o/ の拡大および文章「北風と太陽が力くらべをしました」を示す。この例では声帯に器質的な疾患はないが声帯の可動性がないため閉鎖期がない。このため母音区間でも波形に周期性はみられず囁き声のような波形になっている。図2は声帯ポリープの例である。母音 /o/ の波形を示す。この場合は、声帯は閉鎖するが声帯自信に器質的な疾患があるので完全には閉鎖はしない。多少周期性はみられるが、きわめて不安定で周期揺らぎ、振幅揺らぎがみられる。図3に二重音声の例を示す。2種類の高さの音声で聞こえるような例である。この場合も声帯自信に器質的な疾患がある。振幅に速い規則的揺らぎがみ

られる。図4にエッセンシャルボイストレモールの例を示す。いわゆる震え声の場合である。この場合は声帯には器質的な疾患はない。閉鎖期もある。しかし、振幅の比較的ゆっくりした揺らぎがみられる。

修復方法

修復方法としてはさまざまな方法が考えられる。

A. 波形に直接処理を施す方法

この方法は原波形に直接処理を手を加える方法で、簡単な処理しかできず複雑な処理は困難である。

B. 自己相関関数を利用する方法 SPAC¹⁾

SPAC は音声信号自信の相関である自己相関関数を積極的に利用した方法で、本来は雑音除去を目的に開発された方法であるが、その他発話速度の変更や、スペクトルの変換等さまざまな処理も可能な方法である。

C. 音声分析合成系を利用する方法²⁾³⁾

音声の生成のモデルに基づいた方法であり、発話成分、発声成分別々に処理できるのでかなり複雑な処理も可能である。代表的な方法に PARCOR 分析合成方式³⁾がある。

この方法は声道の形状、その共振の推定に基づいた方法であり、かなり複雑な処理ができる。音源としては、

図2 声帯ポリープの音声波形の例
母音 /o/ の一部を示す。

図3 2重音声の音声の例
母音 /u/ の一部.

図4 エッセンシャルボイス Tremorの音声の例
母音 /u/ の一部.

喉頭原音に相当する信号を推定して用いる場合と、それをモデル化して、声帯が振動する有声音の場合は基本周期ごとのインパルス列、声帯が振動しない無声音の場合は雑音成分を用いる場合との2種類がある。

A. 波形に直接変形を加える方法：この方法は有声音部、母音部で周期性はみられるが、全体の強度が弱いだけの音声の場合にも有効と考えられる。単純に音声の振幅を増幅して強度を増すか、またはフィルタ等を用いて、高い周波数の帯域または、低い周波数の帯域を強調するような増幅を行う。実時間の処理が可能であり最も実用化しやすい方法である。

B. 自己相関関数を利用する方法 (SPAC)：この方法は、有声音部で多少周期性があるが、これが弱い、周期に揺らぎがあり、雑音、息漏れがあるような音声に有効と考えられる。すなわち元々の SPAC の特徴である雑音を取り除き、周期性を強調する特徴を用いて、息漏れ成分を弱め、母音、有声音部で周期性を高め、周期、振幅揺らぎを減少させる方法である。

C. 分析合成系を用いる方法：この方法は有声音部においても周期性がないような重度の嗄声にも適応できる可能性がある。音声分析合成系の特徴である音源と共鳴系を分離して扱える性質を利用して積極的に音源のみを変換し、有声音区間における欠如した音源のパルス成分を与えて周期成分を与え、同時に揺らぎを減少させ、音声の強度を増加させる。

ここでは主に3番目Cの分析合成系を利用した方法について検討する。この場合問題になるのは

1. 音声区間と無音区間の判定
2. 有声・無声(または母音部/子音部)の判定
3. 音源の作成
4. 周期の与え方等である。

音声区間と無音区間の判定：健常者の音声では原則的に信号の強度が強い区間を音声とみなし、強度の弱い区間を無音区間とみなす。この場合、音声の強度が非常に弱いので、通常行っているようなパワー等を用いた判定方法は実際にはあまり有効とは思えないが、一応ここでは、パワーをもとにして、判定を行う。域値は実験的に定める。

有声・無声(または母音、子音)の判定：健常者の音声では周期性の有無をみて、多少でも周期があれば、その区間を有声音(または母音)区間とみなす。ただ、正常の

音声と異なり周期性に揺らぎがあり周期性が弱いので、判定基準はかなり緩やかにする必要がある。声帯が全く振動せず、波形に周期性がない場合は、音声のパワーの強い区間を有声音区間とみなす。

母音区間での駆動音源の修復：駆動音源としては

- A. 完全に置き換える方法
- B. 声帯音源に相当する残差を利用する方法
- C. その中間を用いる方法

等が考えられる。

A. 完全に置き換える方法：この方法は有声音区間は周期ごとのパルス列、無声音区間は白色ノイズにする。この方法は分析合成方法で標準的に用いられている方式と同様の方法である。

B. 残差を用いる方法：この方法では、音声から口腔内の共振の影響を取り除き喉頭原音に相当する残差信号を推定して、これを音源として利用する。声帯の振動がある有声音(母音)区間では残差を変形して周期性を強調する。すなわち、1周期に相当する残差信号を切り出し、これを繰り返して用いる。またはこの残差に周期ごとのパルス列成分を加え合わせて周期性を強調する。この方法は、残差に多少の周期性がある場合に有効と思われる。

C. 中間系の方法：この方法では有声音部では基本周期ごとのパルス列信号を用い、無声音部では残差信号をそのまま用いる。

母音区間での基本周期の与え方：多少でも周期があれば、それを周期として用いる。ただし、周期が安定でない場合が多いので、多少長めの区間で周期を検出する。または、ある程度の区間での平均値を用いることにする。また、なるべくなめらかに変化するようにし、急激な変化をさけるようにする。

周期がない場合は

- A. 強制的に同じ周期を与える方法
- I. 何らかの情報から与える方法

の2通りが考えられる。

A. 強制的に同じ周期を与える方法：この方法では同じ周期を長い区間用いるのと不自然で単調になるので、逆にある程度の揺らぎを与える必要がある。

I. 何らかの情報から与える方法：一般的に、正常の音声で高い声を出す場合は強度も多少増加し、低い声の場合は強度も減少する。この性質は発声障害音声でも現れる。このような例として、図5に周期性が全くない音声の発声条件を変えた例を示す。図は左から、低い声、

図5 両側反回神経麻痺の発声条件を変えた場合の音声波形
図は左から母音 /a/ の低い声、高い声、小さい声、大きい声を示す。

高い声、小さい声、大きい声の音声波形を示す。この場合も高い声の方が低い声よりも振幅が大きいことが示される。そこで、この性質を利用して周期を与える。すなわち、強度、振幅を基にして周期を与える。この場合、音声波形の強度、振幅または残差波形の強度、振幅を基にして与える2つが考えられる。

子音部の扱い：子音部の音源は、声帯の振動がない無声子音と、声帯の振動がある有声子音で異なるものを用いる必要がある。無声子音の場合は雑音系列を音源として用いるか、残差をそのまま用いる。有声子音の場合が問題である。パルス系列と雑音源と両方必要になるが、パルス系列に周期を与えないといけない。そこで、母音区間と同じ方法で周期を与えることにする。このパルス系列を基の残差または雑音系列に加えて、新たな音源とする。

実験結果

実際の発声障害の音声を用いて実験を行い、初歩的な検討を行った。音声は簡易防音室内でDATに録音した。なるべく息がかからないように注意をして録音した。この音声8kHzのサンプリング周波数でA/D変換して計算機に取り込んだ。取り込んだ音声を分析合成方法を利

用して変換を行った。分析は時間窓30msecのハミング窓を用いて音声を切り出し、10msecごとに分析次数10次のPARCOR分析を行い、口腔内の共振特性、音声のエネルギー等を求めた。また、音声を声道の共振特性の逆の特性のフィルタにたおして喉頭原音に近い(駆動音源)残差信号を求め、その強度も計算した。

前節で検討した各種の方法で駆動音源を生成、変形して、これを声道の共振特性による合成フィルタに入力して、修復された音声を得る。音声資料としては図1に示したような、周期性が全くない反回神経麻痺患者、喉頭癌患者等の発声した持続5母音、童話「北風と太陽」の一部の文章「北風と太陽が力くらべをしました」を用いた。

ここでは初歩的検討として音源の生成、変換方法としては、前章で述べたA.完全に置き換える方法、およびC.残差の一部を利用する方法を用いた。また、母音部でも周期性が見られない場合、基本周期の与え方は前章で述べたB.強度情報から与える方法を用いた。すなわち、強度が大きい場合は短い周期を、強度が小さい場合は長い周期を与えた。

図6～10に結果の1例を示す。図6～9の例は音源を完全にパルス駆動に置き換える方法の結果である。(た

図6 音声の強度を基にパルス列を与えた変換後の音声の例
母音の例.

図7 音声の強度を基にパルス列を与えた変換後の音声の例
文章の例.

図8 音声の残差信号を基にパルス列を与えた変換後の音声の例
母音の例.

図9 音声の残差信号を基にパルス列を与えた変換後の音声の例
文章の例.

だし、まだ有声無声の判定は行っていない。)図6, 8は持続母音, 図7, 9は文章「北風と太陽」の一部である。図6, 7は周期を音声波形の強度を基にして与えた例である。この場合は母音部に確かに周期が与えられているが、母音と母音の間の無音部でも吸気時の音の悪影響と思われるバイアスが表れている。図8, 9は周期を音声の残差波形の強度を基にして与えた例である。この場合は吸気時の音は多少再現されているがあまり気にはならない。文章においては子音部もパルス列で駆動されているが、子音部は強度が小さいのであまり奇異な感じにはなっていない。図10に中間の方法の例を示す。この場合は有声・無声の判定を残差のエネルギーから区別し、エネルギーの小さいところでは残差信号をそのまま用い、エネルギーの強い所ではパルス系列を用いている。

実用化の為の検討課題

ここでは、実際に装置化をする場合のハード面での問題について簡単に検討する。持ち運び可能な増幅装置を用いる場合を考えるとこれまでの検討に加えて、

- A. マイクロフォンと
- B. スピーカーについても検討する必要がある。

さらにこれらの

イ. 種類

ロ. 配置をどうするかなどが問題になる。

A. マイクロフォンの種類としては空気の振動をとらえる通常のマイクと、空気の振動は拾わず、骨導等の振動をとらえる振動ピックアップの2種類が考えられる。通常のマイクロフォンを用いるのが一般的と思われるが、その場合はマイクロフォンの位置を考慮する必要がある。位置としては口前がいいが、固定の仕方を考えないといけない。例えば野外での中継用とか、交換手、電話オペレータが用いるようなタイプが考えられる。ただ、その位置では外見上の問題がある。また、音声自体が弱いので外部の雑音をさけるためできるだけ口に近づけたいが、息漏れが多いので、あまり近づけると逆にそれを拾う可能性がある。振動ピックアップを用いれば、例えば耳、ノド、鼻等に接触させて振動を拾えるので、素子を隠すことができる。このため外見上の悪さを押さえられ、また息漏れの悪影響をさけられる。

B. スピーカーとしてはある程度の音量が必要であるので、あまり小さな物は使えないが、あまり大きくなると逆に持ち運びに問題がある。取り付け場所としては自

図10 変換後の音声の例

有声、無声を判定し、有声音部では音声の残差信号を基にパルス列を与え、無声音部では残差信号をそのまま用いた場合。

然さを考えると顔の付近が望ましいが、外観上、およびマイクロフォンの位置との問題もあり、腰に付けるか、肩から下げるか首から吊すことが考えられる。

もう一つの問題としてはハウリングの防止である。マイクとスピーカーの位置はできれば離しておきたい。この点では振動ピックアップの方が直接空気の振動を拾わないので通常のマイクロフォンより有利かと思われる。

さらにスピーカーを駆動するため、かなりの駆動電流が必要になるので大型の電池をつかわざるを得ないが、あまり重くなると持ち運びに不便である。

おわりに

喉頭、声帯がある場合の発声障害音声(いわゆる嗄声)を修復する方法についてのさまざまな問題点について検討を行った。発声障害をおこす疾患は反回神経麻痺、声帯ポリープ、エッセンシャルボイストレモールなどさまざまあり、その原因も声帯に器質的障害がある場合、ない場合、神経に障害がある場合などさまざまである。また、それぞれの音響的性質も、強度の低下、周期性の乱れ、周期性の欠如などさまざまである。そのため、それ

ぞれ異なった処理が必要になる。今回は周期性が全くない音声を例にとり、音声分析合成系を利用し、周期性を与える修復法について検討を行った。今回は音声波形のみを利用したが、呼気流量、口腔内圧力等の生理的要素を利用する方法や、SPAC等の他の方法、声質変換、音声認識等他の方法との組み合わせも有効と思われる、今後のさらなる検討が必要である。

参考文献

- 1) 高杉敏男, 鈴木誠史, 田中良二: 自己相関関数を利用した音声処理方式(SPAC)の機能と基本特性. 信学論(A)J62-A, 3: 175~182, 1979.
- 2) 鹿野清宏, 中村 哲, 伊勢史郎: 音声・音情報のデジタル信号処理(辻井重男編). 4~16頁, 昭光堂, 東京, 1997.
- 3) 古井貞熙: 音声情報処理(辻井重男編). 16~46頁, 森北出版, 東京, 1998.

(別刷請求先: 大山 玄
〒770-8503 徳島市蔵本町3丁目18-5
徳島大学医学部耳鼻咽喉科学教室)