

IECフィッティング技術に基づく聴覚補償上の知見獲得

藤井, 成清
九州芸術工科大学音響設計学科

高木, 英行
九州芸術工科大学芸術情報設計学科

大崎, 美穂
静岡大学情報学部情報学科

新居, 康彦
金沢工業大学工学部人間系

<https://hdl.handle.net/2324/4481614>

出版情報 : 聴覚研究会資料. H-99-121, pp.1-8, 1999-12-17. 日本音響学会
バージョン :
権利関係 :



IEC フィッティング技術に基づく聴覚補償上の知見獲得

藤井成清¹⁾ 高木英行²⁾ 大崎美穂³⁾ 新居康彦⁴⁾

- 1) 九州芸術工科大学 音響設計学科 〒815-8540 福岡市南区塩原 4-9-1
- 2) 九州芸術工科大学 芸術情報設計学科 〒815-8540 福岡市南区塩原 4-9-1
- 3) 静岡大学 情報学部 情報科学科 〒432-8011 静岡県浜松市城北 3-5-1
- 4) 金沢工業大学 工学部 人間系 〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1

あらまし IEC フィッティングとは、数多く存在する補聴処理の中でも最も効果の大きいラウドネス補償に着目し、補聴器の増幅特性を決定する補償信号処理パラメータを、事前測定データを用いずに、操作者の主観評価情報のみで自動最適化する技術である。このようなトップダウンの手法である IEC フィッティングでは、生物の進化にヒントを得た探索や最適化のアルゴリズムである進化計算 (Evolutionary Computation) を、人間とコンピュータとの対話関係 (Interactive) に応用した技術が組み込んであり、これが従来の手法とはまったく異なる点である。本研究では、無処理音声、IEC フィッティングシステム処理音声、従来のラウドネス補償音声、これら 3 種類の音声をエネルギーの比較、LPC 分析によって解析した。その結果、従来のラウドネス補償処理では、特に子音部や日常生活で重要性が低い小さな音を増幅し過ぎるため、音声の自然さが損なわれる可能性があり、母音の聞き取りに重要な第 1、第 2 フォルマントの情報も失われやすいことが示唆された。一方、IEC フィッティングシステムでは、ユーザの求める以上の増幅は行わず、原音声のフォルマント情報を比較的保って処理されているという知見を得た。

キーワード 聴覚障害補償、ラウドネス補償、インタラクティブ進化計算、補償音解析、補聴器フィッティング

Knowlegde acquisition for compensation for hearing impairment based on IEC fitting

Shigekiyo Fujii¹⁾ Hideyuki Takagi²⁾ Miho Ohsaki³⁾ Yasuhiko Arai⁴⁾

- 1) Kyushu Institute of Design, Dept. of Acoustic Design
4-9-1, Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka, 815-8540 Japan. Email:fujii@artemis.ad.kyushu-id.ac.jp
- 2) Kyushu Institute of Design, Dept. of Art and Information Design
4-9-1, Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka, 815-8540 Japan. Email:takagi@kyushu-id.ac.jp
- 3) Shizuoka University, Faculty of Information
3-5-1, Johoku, Hamamatsu, Shizuoka, 432-8011 Japan. Email:miho@cs.inf.shizuoka.ac.jp
- 4) Kanazawa Institute of Technology, Division of Human Information Science
7-1, Ohgigaoka, Nonoichi, Ishikawa, 921-8501 Japan. Email:araiyasu@neptune.kanazawa-it.ac.jp

Abstract In this study, three kinds of speech sounds —normal speech sound, speech sound with the IEC fitting, speech sound with the conventional loudness compensation— are analyzed by comparing the energy and LPC spectrum of processed sound. The IEC fitting method optimizes the fitting parameters of a hearing aid based on the end user's evaluation of sounds heard. In the conventional loudness compensation method, it was observed that soft sound or consonants are likely to amplify too loud and there is a possibility to suppress formant information too much which are important to distinguish vowels. Furthermore, it is suggested that the IEC fitting method doesn't have too much gain than user's need and processes with keeping information of original formants.

Key words compensation for hearing impairment, loudness compensation, interactive evolutionary computation, speech analysis, hearing aids fitting

1 はじめに

従来、補聴器フィッティングの初めの段階では、オーディオグラムを基に POGO 法、ハーフゲイン法、NAL 法などの選択的増幅法が用いられ、その後、比較選択法で修正されることが多い。しかし、フィッティングを行う専門家のレベルや意識、補聴器販売店の姿勢や規模などが大きく影響しており、すべてのユーザに十分なフィッティングが行われることは困難である。特に、従来のフィッティング方法では、ユーザ自身が自分の聴こえを判断し説明することで、パラメータの微調整が行われていた。ところが、ユーザにとって、感性レベルでの知覚は、いくら言葉に表してもすべてが他人に伝わるほど単純なものではなく、また、フィッティングを行う専門家にとっても、聴覚障害者の最終的な聴こえが最も改善されるパラメータを探し出すことは容易でないという問題がある。

最近では、ユーザとの対話による自動フィッティングシステムが開発されている。しかし、聴覚特性パターンの知識とそれに対するフィッティングノウハウをコンピュータ上にストックし、ユーザの応答からそれらを選択しており、専門家によるフィッティングを模擬したものである。このように、現在でもほとんど確立したシステムのない補聴器フィッティングにおいて、ユーザとフィッティングを行う専門家に生じる前述の問題点を解決したシステムとして、IEC フィッティングシステム ([3][4][5][9][10]) が挙げられる。IEC フィッティングとは、数多く存在する補聴処理の中でも最も効果の大きいラウドネス補償に着目し、補聴器の増幅特性を決定する信号処理パラメータを、ユーザの主観評価情報のみで最適化する技術であり、純音聴力検査などの事前測定や専門家による微調整を基本的に用いなくてもよい。

文献 [3] の第 9 章では、IEC フィッティングシステムの音質向上の効果を調べるため、以下の 3 種類の音声による主観評価実験が行われている。

- ・ 無処理音声
- ・ 提案システム処理音声

(IEC フィッティングで処理した音声)

- ・ 従来法処理音声

(従来のラウドネス補償 ([1][2]) で処理した音声)

その結果、ほとんどの条件で提案システム処理音声の方が、無処理音声、従来法処理音声よりも有意に評価が高く、提案システムの音質向上の有効性が示された。

また、IEC フィッティングシステムの明瞭度向

上の効果を調べるため、3 種類の処理 (無処理、提案システム処理、従来法処理) をされた音節に対して、音声明瞭度試験が行われた。その結果、多くの条件で提案システム処理音声の方が、無処理音声、従来法処理音声よりも明瞭度が高く、提案システムの明瞭度向上の有効性が示された。

本論文では、どのような物理的要因が、以上のような IEC フィッティングシステムの心理的有効性に寄与しているのかを、音声データのエネルギーの比較、LPC 分析によって解析し、若干の知見を得たので報告する。

2 従来のラウドネス補償システムについて

従来のラウドネス補償システムは、聴覚障害者の狭くなったダイナミックレンジを補償することに、特に焦点を置いて開発されたシステムである。よって、患耳のラウドネスが健耳とラウドネスと等しくなるまで、入力音を増幅または減衰する。

処理の概要は、入力信号を短時間区間で切り出し、このブロック内信号に対して短区間 DFT 分析を行い、ブロック内の平均スペクトルを求める。このデータから、周波数毎にあらかじめ用意しておいたラウドネス写像関数 (健聴者と聴覚障害者のラウドネスの対応関係を示す関数) を用いて、このブロックに対して最適となる周波数特性補償量を決定する。次に、この最適補償量を実現するデジタルフィルタを構成し、各ブロック毎にフィルタ処理を行う。

次に、本研究で用いた従来のラウドネス補償システムについて説明する。ラウドネス関数測定時の刺激音は、250, 500, 1k, 2k, 4kHz の 1 オクターブバンドノイズを用いた。文献 [1][2] では、入力音声の周波数振幅特性の算出において、原波形から 2[ms] (サンプリング周波数 16[kHz] で、32 ポイント) の 4 フレームを切り出し、各フレームで DFT を行っていた。そして 4 フレームの平均を、1 ブロック ($2 \times 4 = 8$ [ms]、128 ポイント) の周波数振幅特性とみなしていた。しかし、今回は処理速度の問題から 128 ポイント (8[ms]) を一括で DFT して、入力音声の周波数振幅特性を求めた。また文献 [2] では、周波数帯域ごとに算出した増幅率を滑らかにつなぐのに雲型定規的スプライン関数を使用しているが、今回は 3 次スプライン関数を用いた。これらの処理を行った音声を、従来法処理音声として解析に用いた。

3 IEC フィッティングシステムについて

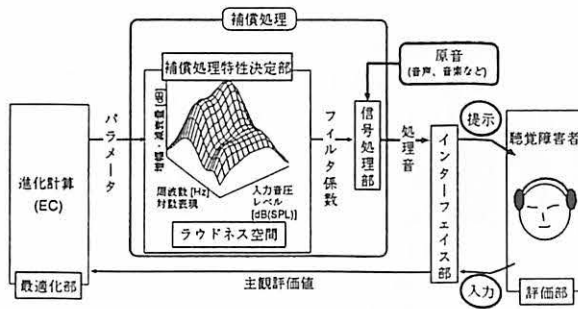


図 1: IEC フィッティングシステムの構成図

図 1 に、IEC フィッティングシステムの構成図を示す。このシステムが従来の手法とまったく異なる点は、生物の進化にヒントを得た探索や最適化のアルゴリズムである進化計算 (Evolutionary Computation) を人間とコンピュータとの対話関係 (Interactive) に応用した技術を組み込んでいることである。その結果、IEC フィッティングシステムでは、人間の主観評価情報のみに基づいて、EC が人間の求める方向へ補償信号処理パラメータの自動最適化を行うため、事前測定した聴覚特性データなどの情報を基本的に用いる必要がない。

操作者は、EC が生成したパラメータに基づいて信号処理された音を聴いて、自分の心にある聴こえの評価基準によって評価値を与える。EC は、人間から与えられた主観評価値に基づいて、次の解候補 (信号処理パラメータ) を自動的に生成する。この操作を EC と人間が繰り返すことによって、求める補聴器パラメータを操作者自ら積極的に手に入れることができる。よって、ラウドネス補償に着目している手法ではあるが、患耳のラウドネスを健耳のラウドネスに近づけるという従来のラウドネス補償とは考えが異なる。

このシステムでは、フィッティング用の刺激音を限定しないため、従来用いることができなかった音楽や日常生活における環境音を刺激音として用いることにより、個人の好み、使用環境に応じたフィッティングを行うことができる。

4 解析に用いた IEC フィッティングシステム処理音声について

入力音声は、補聴器調整用 CD[11] より用いた。図 2 の上段には、無処理音声 (女声「白い猫が蛙を

押えた」) の波形を示す。中段には、被験者の主観評価によって最適化された補聴器パラメータで構成される入力音圧増幅特性を被験者毎に示す。この空間は、空間加算された複数の 3 次元ガウス関数により構成され、X 軸: 周波数 (対数表現)、Y 軸: 入力音圧レベル [dB]、Z 軸: 増幅・減衰レベル [dB] を 3 軸とする。下段には、IEC フィッティングシステム処理音声を示す。解析では、この下段に示した音声データを提案システム処理音声として用いた。なお、解析には、図 2 で示した女声のほかにも男声 (「お掃除を下さい」) も用いた。

5 被験者について

被験者は、日常生活レベルでは正常範囲内である IA(67 歳、4 分法平均聴力レベル 12.5dbHL)、軽度聴覚障害である IB(29 歳、4 分法平均聴力レベル 42.5dbHL)、中等度聴覚障害である IG(45 歳、4 分法平均聴力レベル 52.5dbHL) の計 3 名である。平均聴力レベルは、実験で用いた聴力レベルの高い方の片耳についてを示す。

6 音声データの解析

無処理音声、4 節で述べた提案システム処理音声、2 節で述べた従来法処理音声、これら 3 種類の音声データを解析に用いた。

6.1 エネルギーの比較

6.1.1 解析方法と結果

5msec 毎の全帯域エネルギーの差分を図 3 に示す。図 3(a) は女声 (「白い猫が蛙を押えた」) を用いてフィッティングした場合で、図 3(b) は男声 (「お掃除を下さい」) を用いてフィッティングした場合である。図中の IEC(実線) は、提案システム処理音声のエネルギーと無処理音声のエネルギーの差分を示し、conv.(一点鎖線) は、従来法処理音声のエネルギーと無処理音声のエネルギーの差分を示す。

解析結果 (図 3) では、例えば図 3(a) の先頭の /s/ や 13000 点付近の /k/、あるいは図 4(b) の 3000 点付近の /s/ や 11000 点付近の /s/ などの子音部分において、特に従来法処理音声 (conv.) のエネルギーが急峻に立ち上がっており、提案システム処理 (IEC) より大きく増幅していることが分かる。

6.1.2 考察

解析結果より、以下の可能性が示唆される。

- (1) 従来のラウドネス補償(図3中 conv.)は、特に日常の重要性が低い小さな音を大きく増幅するためノイズ感が強くなる、あるいは、子音のような小さな音を増幅し過ぎるため自然さが失われて好まれなかった。
- (2) 本実験の従来のラウドネス補償は、ラウドネス特性を帯域ノイズで測定しているが、もし日常音でラウドネス特性が計測できたとすると、帯域ノイズによるラウドネス特性は、日常音によるラウドネス特性に対して、強調され過ぎた特性が得られるのではなかろうか。
- (3) 従来のラウドネス補償システムと IEC フィッティングシステムの双方において、8msec で補償特性を切り替えた場合、125Hz の男性ピッチ相当長なので、ピッチの山谷の影響を多く受けてしまった。これは、母音部で不安定な増幅・減衰が見られることから分かる。

(1) について、従来のラウドネス補償では、ラウドネス関数の測定の際に最小可聴値を測定するため、小さい音を重要度に関係なく増幅する特性が与えられる。一方、刺激音に音声を用いた IEC フィッティングシステムでは、音の大小を含めた総合結果としての音声に対して増幅するので、部分的な小さい音区間のみを増幅するのではない。

(2) について、聴く人が求めているか否かにより、音に対するラウドネスは異なると考えられる。よって、音声・音楽ならば不快レベルに達していない入力音圧でも、ラウドネス関数の測定に用いた帯域ノイズならば不快に感じることは十分考えられる。すると、可聴レンジは狭く測定されることになるので、補償量が増加し、音声・音楽の歪が大きくなると言える。もし、純音やノイズを用いて得られたラウドネスと特定音源を用いて得られたラウドネスとの間に相関性を見出すことができれば、純音や帯域ノイズに対するラウドネスを基本として構築されたシステムを、実環境下での複合音や音声に応用するための指標となり得る可能性がある。

静かな環境ではノンリニア型が有効であるが、交通騒音環境下での会話聴取は、リニア型とノンリニア型の差が認められなかったことが報告されている[12]。まだ、考察は行っていないが、上記(1)、(2)の現象が実際に起こっているならば、騒音環境下でのノンリニア型の語音明瞭度の低下に、これらの現象が関与しているのではないかと推測される。

6.2 LPC 分析

6.2.1 解析方法と結果

母音安定部分の LPC 分析を行った。サンプリング周波数が 16kHz であるため LPC の次数は 20 とした。スペクトログラムにより、音声データのセグメンテーションを行い、母音安定部分をハミング窓(25msec)で切り出して解析を行った。女声の母音 /a/ についての結果を被験者毎に図4(左側、a,c,e)に、男声の母音 /o/ についての結果を被験者毎に図4(右側、b,d,f)に示す。各図において、上段は無処理音声、中段は提案システム処理音声、下段は従来法処理音声の解析結果を示す。

女声の /a/ の解析結果(図4左側)より、被験者 IA、IB において、提案システム処理音声(中段)では、無処理音(上段)の第1フォルマントの情報が比較的保って処理されており、従来法処理音声(下段)では、無処理音(上段)の第1フォルマントの情報が失われていることが分かる。

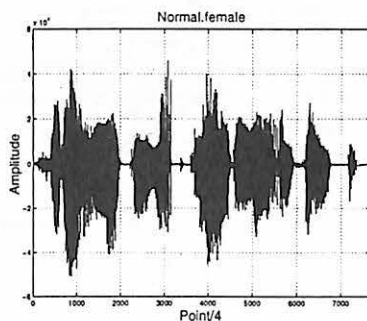
また、男声の /o/ の解析結果(図4右側)より、3人の被験者に共通して、第2フォルマントの情報に関する上記と同様の結果が得られる。

6.2.2 考察

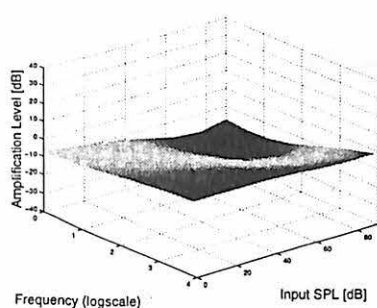
従来法処理(各図下段)では母音の聞き取りに重要な第1、第2フォルマントの情報が失われる場合があることが分かる。一方、提案システム処理(各図中段)では、原音声のフォルマント情報を比較的保って処理されていると言える。

従来のラウドネス補償システムでは、ラウドネス関数の測定結果が増幅特性に反映されるので、今回のようにラウドネス関数を帯域ノイズで測定した場合、複合音や音声の混在する実環境下の入力音をカバーできるフィッティングが十分に行われない可能性がある。よって、その増幅特性を実環境下で用いると、フォルマントの情報の欠如やエネルギーの比較から示唆されたような会話聴取にあまり重要でない音を必要以上に増幅してしまう場合が生じ、心理的有効性に繋がらなかったのではないかと考えられる。

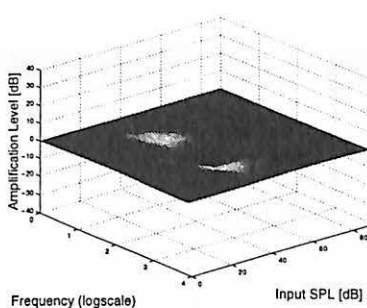
また、IEC フィッティングにおいても、ノイズのない音声を刺激音として用いた場合、実環境下の入力音を十分カバーできるフィッティングが行われない可能性がある。よって、駅の構内のような騒音下での音声などを刺激音に用いてフィッティングを行い、実際の騒音下における効果を検討する必要があると言える。



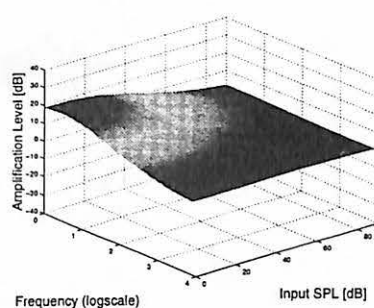
(a) 無処理音声 (女声「白い猫が蛙を押えた」)



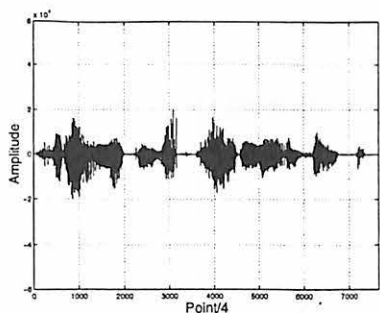
(b) 被験者 IA によって求められた増幅特性



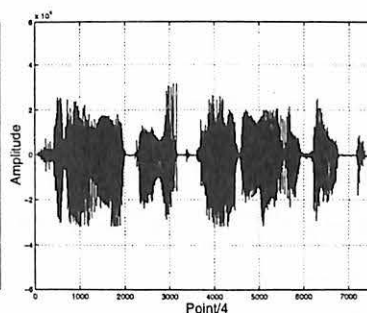
(c) 被験者 IB によって求められた増幅特性



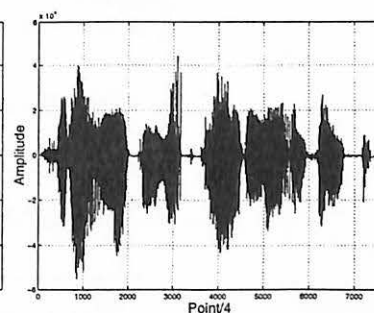
(d) 被験者 IG によって求められた増幅特性



(e) 上図 (b) により処理された、被験者 IA の IEC フィッティングシステム処理音声

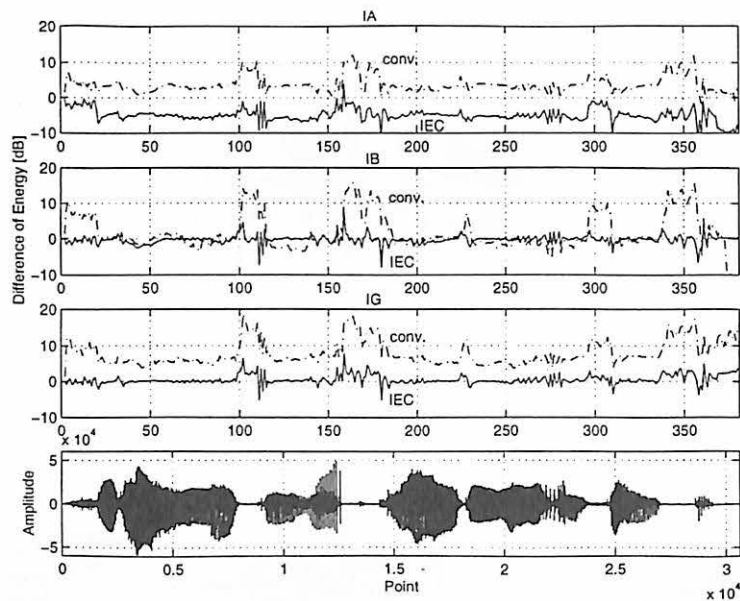


(f) 上図 (c) により処理された、被験者 IB の IEC フィッティングシステム処理音声

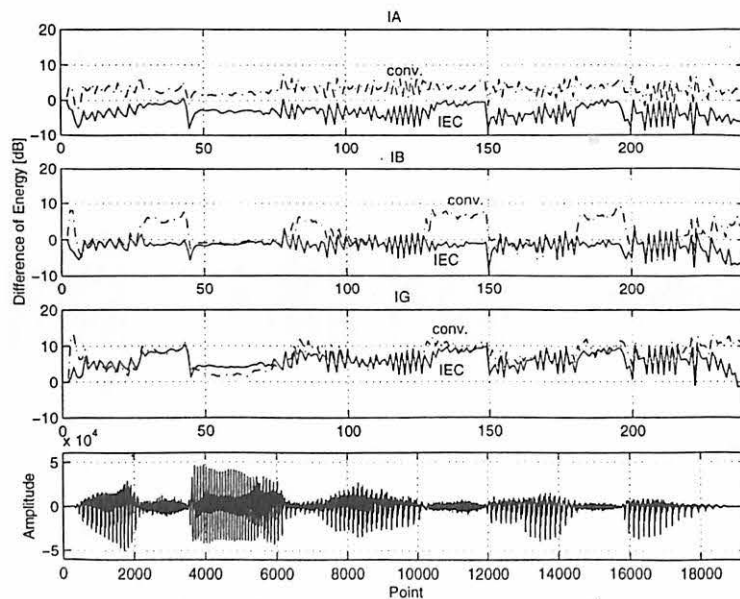


(g) 上図 (d) により処理された、被験者 IG の IEC フィッティングシステム処理音声

図 2: 音声データと各被験者の増幅特性。上段には、無処理音声 (女声「白い猫が蛙を押えた」) の波形を示す。中段には、被験者の主観評価情報によって最適化された入力音圧増幅特性を被験者毎に示す。この空間は、空間加算された複数の 3 次元ガウス関数により構成され、X 軸: 周波数 (対数表現)、Y 軸: 入力音圧レベル [dB]、Z 軸: 増幅・減衰レベル [dB] を 3 軸とする。下段には、IEC フィッティングシステム処理音声を示す。

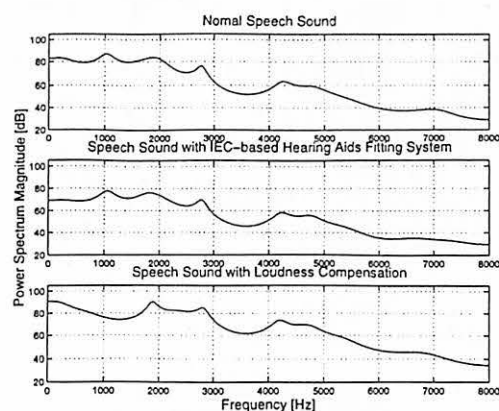


(a) 女声(「白い猫が蛙を押えた」)を用いてフィッティングした場合の、被験者毎のエネルギーの差分と原音声波形

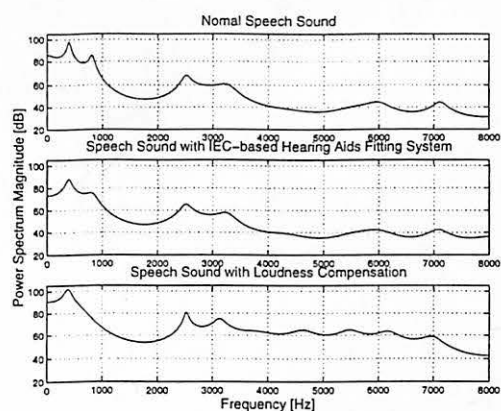


(b) 男声(「お掃除をしない」)を用いてフィッティングした場合の、被験者毎のエネルギーの差分と原音声波形

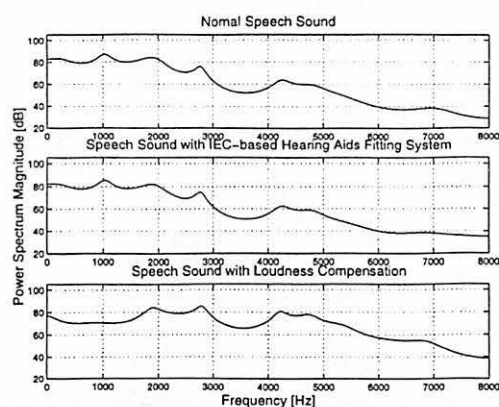
図 3: エネルギーの解析結果。図中の IEC(実線) は、提案システム処理音声のエネルギーと無処理音声のエネルギーの差分を示し、conv.(一点鎖線) は、従来法処理音声のエネルギーと無処理音声のエネルギーの差分を示す。



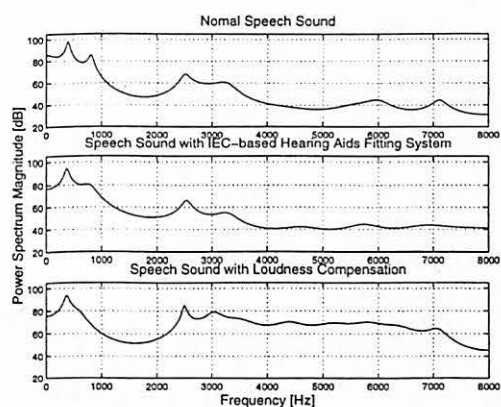
(a) 被験者 IA (女声の母音 /a/)



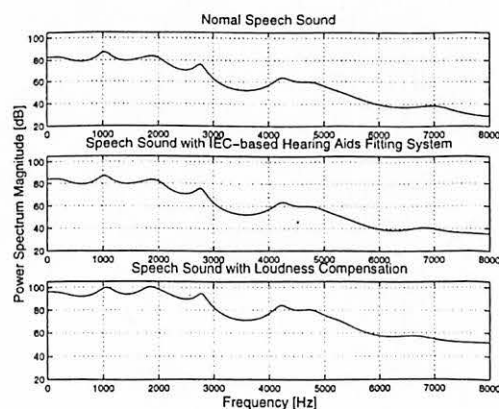
(b) 被験者 IA (男声の母音 /o/)



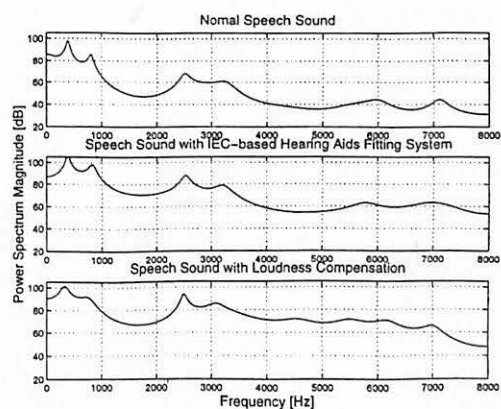
(c) 被験者 IB (女声の母音 /a/)



(d) 被験者 IB (男声の母音 /o/)



(e) 被験者 IG (女声の母音 /a/)



(f) 被験者 IG (男声の母音 /o/)

図 4: LPC 分析結果。左側 (a,c,e) は女声の母音 /a/、右側 (b,d,f) は男声の母音 /o/ について示す。LPC の次数は 20 とし、母音安定部分をハミング窓 (25msec) で切り出して解析を行った。各図において、上段は無処理音声、中段は提案システム処理音声、下段は従来法処理音声の解析結果を示す。

7 まとめと今後の課題

無処理音声、IEC フィッティングシステム処理音声、従来のラウドネス補償音声をエネルギーの比較、LPC 分析によって解析した。

従来のラウドネス補償システムと IEC フィッティングシステムに共通して、補償特性の切り替え間隔によっては、ピッチの山谷の影響を多く受け、母音部の不安定な増幅・減衰に繋がる可能性が示唆された。

従来のラウドネス補償システムでは、特に子音部や日常生活で重要性が低い小さな音を増幅し過ぎるため自然さが損なわれる可能性が示唆され、ラウドネス関数を測定する刺激音の選定が重要であると考えられる。また、母音の聞き取りに重要な第 1、第 2 フォルマントの情報も失われやすい傾向があることが示唆された。

IEC フィッティングシステムでは、ユーザの求める以上の増幅は行わず、原音声のフォルマント情報を比較的保って処理されており、これらの物理的要因が、IEC フィッティングシステムの心理的有效性に寄与しているという知見を得た。

次に、実環境下での IEC フィッティングシステムの汎用性を考慮し、いくつかの課題を挙げる。

一般に補聴器適合困難とされている高音急墜型、低音障害型、谷型、山型などの聴力像を示す聴力障害者は、理論上は良いと思われる調整も、ユーザにとっては受け入れられない場合もあり、フィッティングには長期間を要する。このような条件下での IEC フィッティングシステムの効果を調べる必要がある。

今回のシステムでは、出力制限に AGC (automatic gain control) 方式を用いたが、この方式には出力信号の歪が大きい、作業・解除に一定の時間を必要とする、衝撃音のような過渡的過大音による出力信号のエンベロープの突出を完全に抑制することは困難であるなどの欠点が報告されている [6]。文献 [6] では、この問題の解決と、語音聴取能も考慮したシステムとして、時間領域増幅型システムが提案され、衝撃音下の環境でも有用であることが報告されている。また前述の文献 [12] の報告も考慮し、今後は、衝撃音・騒音環境下での語音聴取も重視したフィッティングシステムを導入し、文献 [6] のようなシステムへの応用も考えたい。

フィッティングに用いる刺激音については、今回は 1 種類の刺激音を 1 回のフィッティングに用いたが、日常の環境音は多種多様である。したがって、汎用性を考慮すると、複数の種類の音声や補聴器装用者が一般に不快と感じる騒音・衝撃

音を 1 回のフィッティングの刺激音に用いる方が望ましい。しかし、その結果、進化計算の探索空間が広がることで収束が遅くなり、操作者の疲労が増える。この問題を解決方法として、今回のシステムでは、進化計算の初期値をランダムに選んだが、事前測定した聴力データ (オーディオグラム、不快レベルなど) を初期値の選択に用いることができるならば、高速収束化による操作者の疲労軽減に繋がると期待される。

参考文献

- [1] 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. 東北大学博士論文. 1991 年 1 月.
- [2] 浅野太, 鈴木陽一, 曽根敏夫, 他. ラウドネス補償特性を有するデジタル補聴器の一構成法. 日本音響学会誌, Vol.47, No.6, pp.373-379, 1991 年.
- [3] 大崎美穂. 進化的計算手法を用いた聴覚障害補償に関する研究. 九州芸術工科大学博士論文. 1998 年 12 月.
- [4] 大崎美穂, 津村尚志, 高木英行, 他. IEC フィッティングシステムの音声聴取に対する評価. 日本音響学会講演論文集 1-2-19, pp.361-362, 1999 年 3 月.
- [5] 大崎美穂, 津村尚志, 高木英行, 他. IEC フィッティングシステムの音楽聴取への応用. 日本音響学会講演論文集 1-2-20, pp.363-364, 1999 年 3 月.
- [6] 金子賢一, 他. 衝撃音下での補聴器による語音聴取成績. Audiology Japan, Vol.42, No.4, pp.217-221, 1999 年.
- [7] 小寺一興, 神崎仁, 他. 補聴器の選択と評価. メジカルビュー社. 1996 年.
- [8] 高木英行, 畠見達夫, 寺野隆. 対話型進化計算法の研究動向. 人工知能学会誌, Vol.13, No.5 pp.692-703, 1998 年.
- [9] 高木英行, 大崎美穂. 聴覚障害者の聴こえに基づく聴覚補償の自動最適化. 日本音響学会講演論文集 1-2-18, pp.359-360, 1999 年 3 月.
- [10] Hideyuki TAKAGI and Miho Ohsaki, "IEC-based Hearing Aids Fitting," IEEE Int'l Conf. on System, Man, and Cybernetics (SMC'99), Tokyo, Japan, pp.657-662, Oct. 12-15, 1999.
- [11] 田中美郷. 補聴器適合評価機器の試作に関する研究. 昭和 63 年度科学研究費補助金研究成果報告書, No. 61870069, 1991 年 3 月.
- [12] 長井今日子, 池上正, 他. 騒音下におけるノンリニア補聴器装用時の語音明瞭度 - リニア補聴器との比較 - 第 2 報. Audiology Japan, Vol.42, No.5, pp.447-448, 1999 年.