

micon fit: 音質と可聴性の両立

www.siemens.com

SIEMENS

Rosa-LindeFischer（博士）,
SebastianPape,
UlrichGiese（博士）,
OliverDressler

摘要：

micon fit とは、Siemens が開発した最新の補聴器アルゴリズムである。本ホワイトペーパーでは、micon fit の基本原理について説明する。また Siemens micon 補聴器が他の最新型補聴器を上回る音質を備え、なおかつ同レベルの語音了解度を維持していることを示した臨床研究結果についても報告する。

補聴器に関する新技術の開発は、常に語音了解度の改善を第一の目標として行われている。しかし、この目標を達成するには、語音やその他の環境音の音質を劣化させざるをえないことが広く知られている。micon fit は、Siemens が低速型・高速型コンプレッションシステムの長所を最適に組み合わせ、新たに開発した高性能補聴器用の処方フィッティングアルゴリズムである。さらに Siemens micon 補聴器のフィッティングの目指すところは、周波数帯域幅の拡張（最大 12 kHz）による効果も取り入れ、これにより、優れた音質と語音了解度の双方を実現している。

本ホワイトペーパーでは、語音了解度を低下させることなく音質を最適化するために開発された micon fit の原理について説明する。また Siemens micon 補聴器が他の最新型補聴器を上回る音質を備え、なおかつ同レベルの語音了解度を維持していることを示した臨床研究結果についても報告する。

序論

補聴器に対する総合的な満足度を高めるには、増幅信号の音質が優れていることが重要な要件となる。例えば Bentleretal. (1993)らは、補聴器に対する満足度が 20%の範囲で、補聴器の音質の良し悪しに関係することを研究結果から明らかにしている。このことは、補聴器を違和感なく受け入れさせるには、音声の明瞭性に必要な音声信号に関係する、可聴性を改善するだけでなく、優れた音質を備えている必要があることを示している。ただし、そのためには静的な増幅特性（さまざまな入力レベルに対する周波数特性）を最適化するだけでなく、コンプレッションシステムによる動的増幅についても受け入れられる状態にしなければならない。したがって、上記の目標を達成するのは容易なことではない。

動的増幅により、ダイナミックに変化した音声の知覚を可能な限り元の状態に戻す必要がある。コンプレッションを行うには、時定数（一般にアタックタイムやリリースタイムと呼ばれるものなど）を適正に設定しなければならない。コンプレッションシステムを開発する際には、高速型コンプレッションシステムと低速型コンプレッションシステムのどちらを選択するのが最適であるかを検討する必要がある。全ての研究が一致した結果を示しているわけではないが、一般には語音了解度の面で最も優れているコンプレッションシステムと音質の面で最も優れているコンプレッションシステムとは一致しないと考えられている（概要については Kates(2010)ならびに Gatehouse,Naylor &Eberling (2006)を参照すること）。このことを示した文献の例としては、Gatehouseetal.(2006)による研究があげられる。この論文では、全般的な傾向として、聞き取りの快適性に関しては低速型コンプレッションシステムを用いたフィッティングの評価が高く、語音了解度に関しては高速型コンプレッションシステムの方が評価が高いことを報告している。言うまでもなく、コンプレッションシステムに対する各個人の満足度は、聴覚に関する補聴器装用者のライフスタイル（特に音の広がり感の変化）によって左右される。

聴覚フィッティングの基本は、聴覚障害者の聴覚閾値の上昇を補償することを目標としなければならない。一般的に加齢により、高周波数に対する閾値の低下を伴う軽・中等度の聴覚レベルの変化が生じる。語音了解度の観点からは、語音信号のうち 3~6 kHz よりも高い周波数に対する可聴性が重要な要素であることが判っている。ただし不快な音量レベルは、聴覚閾値に比べフラットな特性を備えている（聴力レベル 50~60 dB の人にとっての不快な音量レベルは、正常な聴力を有する人とほとんど変わらない）。その

ため、上記の周波数に関するダイナミックレンジはさらに制限される。Hornsby and Ricketts (2006) が述べているように、音量と音質に関する個々の知覚は、本質的に高い周波数領域を増幅することによって低下すると考えられることから、最適な増幅特性を決定するにはその知覚について考慮する必要がある。また Moore(1998)は、内耳不感領域 (dead region) については、上記よりも低い高周波数領域を増幅すべきであると提言している。さらに個々のフィッティングを適切に行うためには、聴カレベルの程度と特性の他に、音響的な結合 (ベント効果) や装用者の補聴器の装用経験についても考慮しなければならない。

以下のセクションでは、Siemens micon 補聴器の解決方法について説明する。ここで明らかにするように、この解決方法は語音了解度を劣化させることなく最高レベルの音質を実現することを目的として設計されたものである。この解決策は、処方方式の目標利得特性を組み入れ、革新的なコンプレッションアプローチを取り入れた画期的な新しいプラットフォーム技術により実現したものである。

micon フィッティング方式

micon フィッティングの目標は、音質と可聴性の双方を重視している。この目標は、先に開発した Siemens XCEL-fit が提示したアイデアを継承するものである。XCEL-fit では、音響心理学的モデルを通じて可聴性と音質のバランスの最適化を行った。新フィッティング方式「micon fit」では、新型コンプレッションシステムと micon 補聴器のために帯域幅を拡張した柔軟性の高い 48 チャンネルシステムを駆使している。

micon コンプレッションシステム

micon fit では micon コンプレッションシステムを採用し、個々の装用者の聴覚の特徴に固有の動的特性を適応することができるようになっている。不快感をもたらす可能性がある状況では、コンプレッションシステム自体が特定の信号特性に対して適応する。音声の快適性は、音量の変動の大きさによって左右されることが判っている。この変動が小さいほど、より滑らかで快適な信号として知覚される。一方、突出したピークの発生を伴う音量の変動が生じた場合、耳障りな信号や不快な信号として知覚される可能性が高くなる。また後者による影響は、周波数が高くなるほど顕著になると考えられている。適応型 micon コンプレッションシステムは、図 1 に示す機能を果たすことによって、環境内の音量の変動に変化が生じた場合でも快適な聴取を維持するように設計している。音量の変化が小さい場合には、micon コンプレッションシステムのアタックタイムとリリースタイムは長くなる。一方、音量の変動が激しい場合には、時定数が低速型から高速型のシステムに切り替わり、音量変化の増大に対応する。

低速型コンプレッションの場合、長時間持続する入力レベルのみに反応する。したがって語音信号の場合、短時間で変化し、その変化量が小さい語音信号のセグメントには、コンプレッションによる影響がほとんど生じないことになる。これよりも高くても速いコンプレッション比を使用するのは、短時間に突発的な事象が発生し、語音信号の利得低減が長期化する現象が生じやすい極限状態のみとなる。micon シリーズでは、適応型のアタックタイムとリリースタイムを通じ、入力レベルが高く、時間が極めて短い場合の利得のみを減衰させることにより、語音了解度の維持に不可欠な小さい語音入力信号の聞き取りを維持している。

これにより、語音了解度を損なうことなく、高い音質を生み出すことができる。また高音域が低下した難聴者に一般的に見られる残存ダイナミックレンジの低下に対し、適切

なフィッティングを行うことができる。

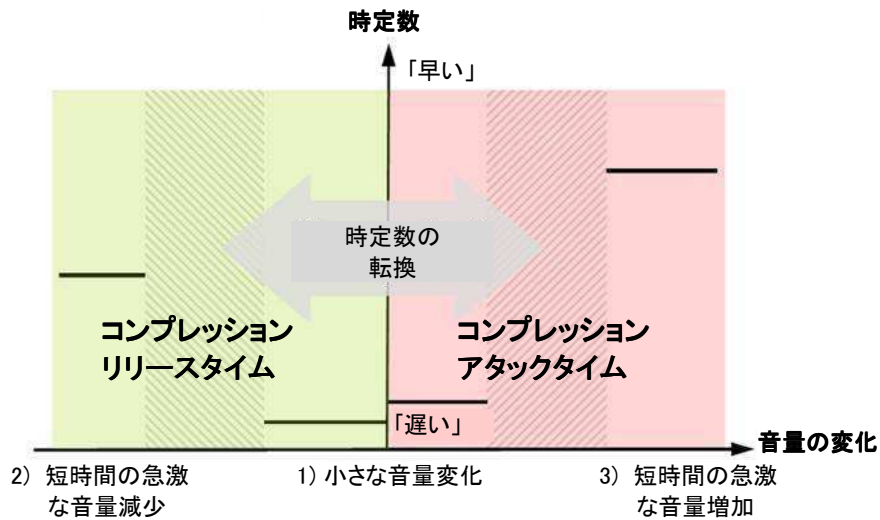


図 1 : Siemens micon 補聴器の適応コンプレッションシステム。音量変化の検出結果に応じて時定数が早く、もしくは遅くなる範囲を示す。コンプレッション・リリースタイムを左側（緑の斜線部）、コンプレッション・アタックタイムを右側（赤の斜線部）に示す。

- 1) 小さな音量変化：アタックタイムもリリースタイムも遅くなる
- 2) 短時間で急激に音が弱くなった場合：リリースタイムが中程度になる
- 3) 短時間で急激に音が強くなった場合：アタックタイムが速くなる

この点について、AGCi 処理を通じて実現した可聴性と聞こえの快適性を維持する適正な利得について議論を行った。また AGCo コンプレッションの活用方法について述べておくことも重要である。最大出力は広帯域出力もしくはチャンネル毎の出力コンプレッションによって制限できるが、このコンプレッションについては最大 20 バンドの調整が可能である。このマルチチャンネル MPO 制御を利用すれば、聴カレベルと装用者の不快レベル（UCL）に応じて、個々の特性に合わせた調整を強化することができる。UCL の測定値をソフトウェアに入力しない場合には、Dillon (2001) が発表した（純音オーディオグラムに基づく）推定値を micon fit の初期値としている。マルチチャンネル調整機能を備えた MPO は、狭い周波数帯域について機能を発揮することができるという長所もある。具体的には、MPO が大きすぎることによる不快な影響を受けている帯域の出力信号のみを減衰させ、他のチャンネルについては圧縮しないで可聴ダイナミックレンジを維持することができる。またこの効果は、音量の大きな環境下でも音質と語音了解度を維持することにつながる。すなわち、ある特定の周波数領域が不快になっている場合には、その周波数の出力信号に限って減衰しなければならない。これにより、出力信号全体に不要な減衰を生じるのを防ぎ、言葉の聞き取りに重要な要素となるピークを削ってしまうような悪影響を防ぐことができる。

micon fit

高度な柔軟性を備えた 48 チャンネルチップと適応コンプレッションシステムの能力を最大限に活用すれば、3~6 kHz の周波数レンジの利得を高め、これらの周波数レンジの聴取感覚を耳障りな音や不快な音にすることなく、語音の認識を強化することができ

る。この方式を用いて、語音の認識と区別に不可欠な要素である、小さな会話成分の周波数特性を維持できる。一方、最大 12 kHz まで補聴器の帯域幅を拡張し、これを用いて自然で豊かな音の広がり感を獲得し再現することができる。

聴覚障害者のために音の伝送周波数の帯域幅を拡張し、改善する方法については、1970 年代後半に Mead Killon が実施した研究に明確に示されている。Killon はその後の研究において、帯域幅を拡張した補聴器（高忠実度補聴器）について KEMAR を用いて実施した録音を比較し、さらにこの結果を他のデジタル補聴器と比較した（Killon, 2004）。高忠実度補聴器の場合、正常な聴覚を有する被験者と聴覚障害を持つ被験者の双方ともに、オープンイヤ（自然な状態）の音をより忠実に再現しているとの認識を示した。さらに（おそらくはより重要な事実として）その評価が高いほど、背景雑音下における被験者の語音了解度が改善された。この結果を受けて Killon は「忠実度に応じて語音了解度は改善される。事実、忠実度を改善することが語音了解度を高める唯一の方法であると思われる」（Killon, 2004, p.70）と結論づけた。最近の研究においても、Ricketts, Dittberner & Johnson (2008) が高忠実度補聴器の優位性を裏付けている。Ricketts らは、周波数によって聴力レベルの異なる中程度の難聴の被験者の場合、音質に関しては帯域幅が広い方を好むとした結果を報告している。

超高周波数帯域の増幅に関しては、ある程度の検討を行う必要がある。この周波数レンジに対しては、（特に高周波数における）装用者の聴力レベルと、超高周波数増幅によるメリットを知覚している被験者を対象とした臨床研究に基づき、micon fit における目標利得の処方が行われている。高周波数の聴覚閾値が 40~50 dB HL 以上の被験者の場合、この拡張した帯域の追加利得により、音声がより自然に近く、明確なものとなる。

一方、それ以外の被験者については、高周波数帯域の増幅を行っても、難聴の重症度に応じて言葉の理解が困難となる場合がある。また特に高周波数で急激に聴力レベルが低下する被験者に関しては、難聴が重度（~90 dB HL など）に達した場合、従来型の増幅法だけでは均一に語音を聴取できる状態にすることは不可能であることが多い。その潜在的な要因としては、これらの被験者の中に、内耳不感領域（dead region : 内有毛細胞や聴覚神経細胞の機能が非常に低下している、あるいは全く機能していない内耳の領域）を有している可能性が考えられる（Moore, 2001）。このような被験者の場合、micon fit を利用すれば、周波数コンプレッションを活用して目標利得を実現することができる。周波数コンプレッションを利用すれば、本来の音を難聴者の可聴周波数レンジ内に変換して聞かせることができる。この効果は Ricketts et al. (2008) によっても裏付けられている。Ricketts らが実施した研究では周波数コンプレッションを用いていないが、その結果によれば、高周波数で急激に聴力レベルが低下する被験者（高い周波数ほど高い聴覚閾値となる被験者）の場合、狭い帯域幅の音を好んで選ぶことが示されている。Ricketts 他. (2008) らは、内有毛細胞の健全性、もしくは外有毛細胞の完全損失が原因となり、音質の知覚が低下するとの仮説を提示している。micon 周波数コンプレッションを利用すれば、聴覚障害を持つこれらの被験者に対し、補聴帯域の情報の一部を被験者の可聴レンジに合わせてフィッティングすることができ、そこに含まれる情報を提供することができる。micon の周波数コンプレッション方式については、関連のホワイトペーパーで詳しく説明する。

以上で述べた micon fit の基本原理に加え、オーディオロジストが補聴器の音響的カップリング（=ベント効果）を適切に選択し、個々の装用者の経験レベルを選択することにより、フィッティングをさらに強化している。micon fit では、選択した音響的カップ

リングに応じて 1500 Hz 以下の周波数の利得を指定している。その際、ベントを通じて直接入力される音があるほど、低周波数において必要となる利得補償が少ないとする仮定を用いている。各種の音響的カップリングに対するベント効果については、ベント効果のモデル化とシミュレーションに関する研究プロジェクト結果に基づいて補償される (Saltykov and Serman, 2012)。このプロジェクトでは、高精度実耳測定結果に関するベント効果モデルを開発して総合的に評価した。その他にも micon fit では、周波数が低いほど高い利得を与えるクローズフィッティングにおいて、低周波数に対して短い時定数を与えている。その結果、難聴の種類を問わず、音量の知覚バランスが良くなり、補聴器装用者自身の音声を自然に聴取することができるようになった。さらに低周波数に対する補償時間を短縮することにより、上方向マスキングに起因する語音了解度への悪影響を抑制することが可能となった。

ベント効果の他にも、音響的カップリングは音響フィードバックの安定性に影響を与える。各種のイヤモールド、ドーム、チップの音響特性は、各装用者の耳の構造によって大きく変化する。したがって、フィッティングを可能な限り最適化するために、各装用者の限界利得測定 (CGM) を実施することを勧める。この種のデータが利用できない場合、micon fit では、実耳測定に関する総合的なデータベースを基にした平均的な限界利得曲線を使用している。

オーディオロジーの目標利得は、経験レベルの選択によって異なる。NAL による研究 (NAL Research and Development Report, 2007) や Keidser et al. (2008) が述べているように、初めて補聴器を利用する人は、補聴器を装用した経験が豊富な人よりも、増幅が小さい補聴器を好む場合が多い。また初めて補聴器を利用する人と補聴器を装用した経験が豊富な人との違いは、聴力レベルによって異なる。初めて補聴器を利用する人の場合、聴力レベルが高いほど、(同程度の聴力レベルを有する) 補聴器を装用した経験が豊富な人よりも、全般的な利得が小さい補聴器を好む割合が高くなる。micon fit のターゲットゲインの算出システムでは、上記の傾向をフィッティングアルゴリズムに取り入れている。Keidser et al. (2008) による詳細な研究結果からは、(経験レベルとは無関係に) 個人によって好む利得に違いがあることが示唆されている。すなわち、各種の入力信号に対する利得の大きさに関して、より感受性の高い人が存在すると思われる。したがって、増幅利得の感受性が異なる聴覚障害者を対象としたフィッティングを行うことを考慮して、フィッティングのオプションとして「初心者」と「経験者」の音を比較して聞かせることができるようにしている。

micon fit について評価するため、語音了解度と音質の知覚について、他の独自のフィッティング基準との比較に基づいて調査する研究を実施した。

研究 I

最初の研究では、Siemens Pure 7mi について、競合他社の最上位器種との比較評価を実施した。このベンチマーク研究は、Hearing Center（オルデンプルク）で 14 名の被験者を対象として実施した。被験者は補聴器を装用した経験が豊富な人を対象とし、両補聴器ともにメーカー独自の First Fit 機能を用いてフィッティングを行った。被験者の難聴の重症度は低・中程度であったため、オーブドームを用いた。図 2 に、被験者の平均オーディオグラムを示す。

本研究では、客観的行動データと主観的行動データの双方を取得した。客観的試験については、フライブルガーテスト（DIN 45621）を用いて、静かな環境下（65 dB SPL）での単音節語表テスト、（語音了解度 50%（SRT）を目標とする）雑音環境下での適応語音テスト（OLSA;Wagener,1999a-c）の 2 種類を実施した。語音テストの環境としては、被験者の正面 1 メートルの距離に設置したスピーカを使用し、135 度方向から雑音を発生させた。

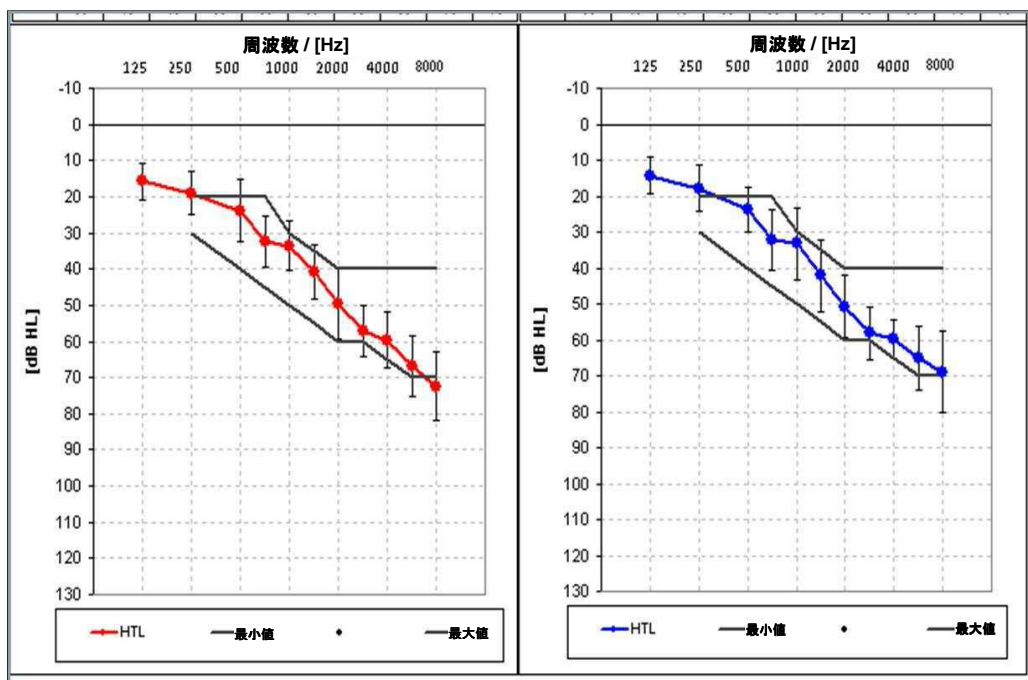


図 2 : 被験者 14 名の右耳と左耳の平均聴力レベルと聴力レベル範囲

さらに、各種の音声サンプルを提示し、許容度に関する主観的評価結果を取得した。テスト用にセッティングされたスピーカから、静かな環境下の語音、雑音環境下の語音、環境雑音、音楽を発生させた。被験者に対しては、2種類の補聴器について、音質を4点満点で評価するよう依頼した。そして評価結果から、総合的な音質評価を導き出し、その後、複数の自然な音場における補聴器の評価を行うため、短距離を徒歩で移動し、調査を実施した。本研究では被験者に対して、総合的に好ましい音と判断した補聴器に対する短時間の面談も実施した。

雑音環境下における平均語音了解閾値 (SRT)

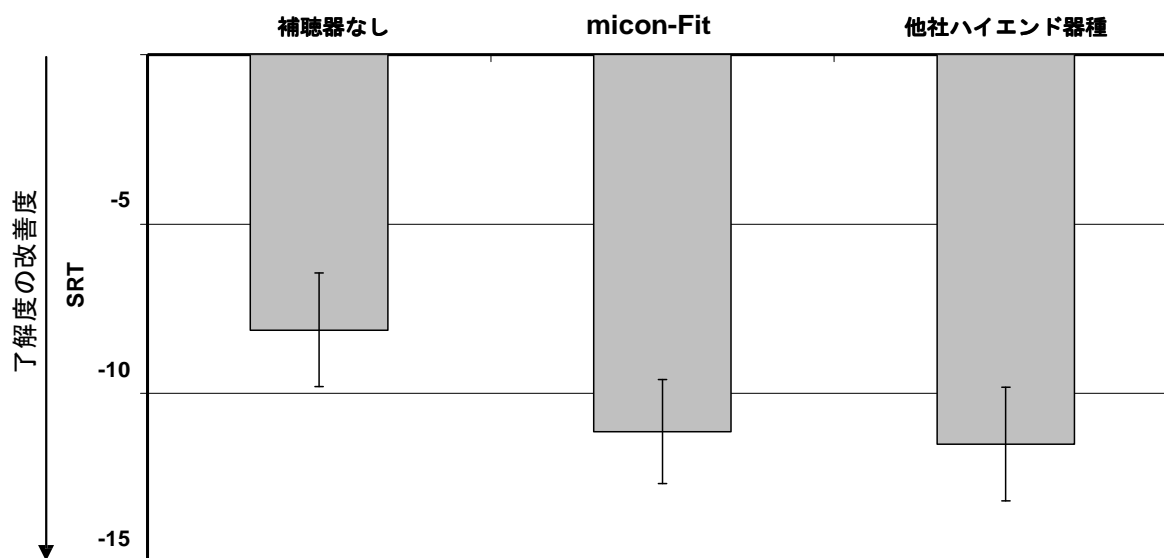


図 3 : micon 補聴器と最新型補聴器との比較によるベンチマーク研究結果。本研究結果から、micon 補聴器を利用することにより、補聴器を装用しない場合と比較して、雑音環境下における語音了解度が大幅に改善されることが示されている。(他社ハイエンド器種と同程度)

図3から判るように、両補聴器とも、補聴器を装用しない場合と比較して、語音了解度が大幅に改善している。また両補聴器の間に差は見られない。静かな環境下における言葉の聞き取りについても、同様の結果が得られた。この結果は、語音了解度の好みの測定結果と一致している（これも、両補聴器の間に差が認められなかった）。両補聴器とも語音了解度に関しては同程度の性能を発揮しているにもかかわらず、言葉の音質に関する主観的評価では、SiemensPure7miが大幅に優れていることが明らかとなった（図4を参照）。

反響の多い環境（エントランスホール）における好みのテスト

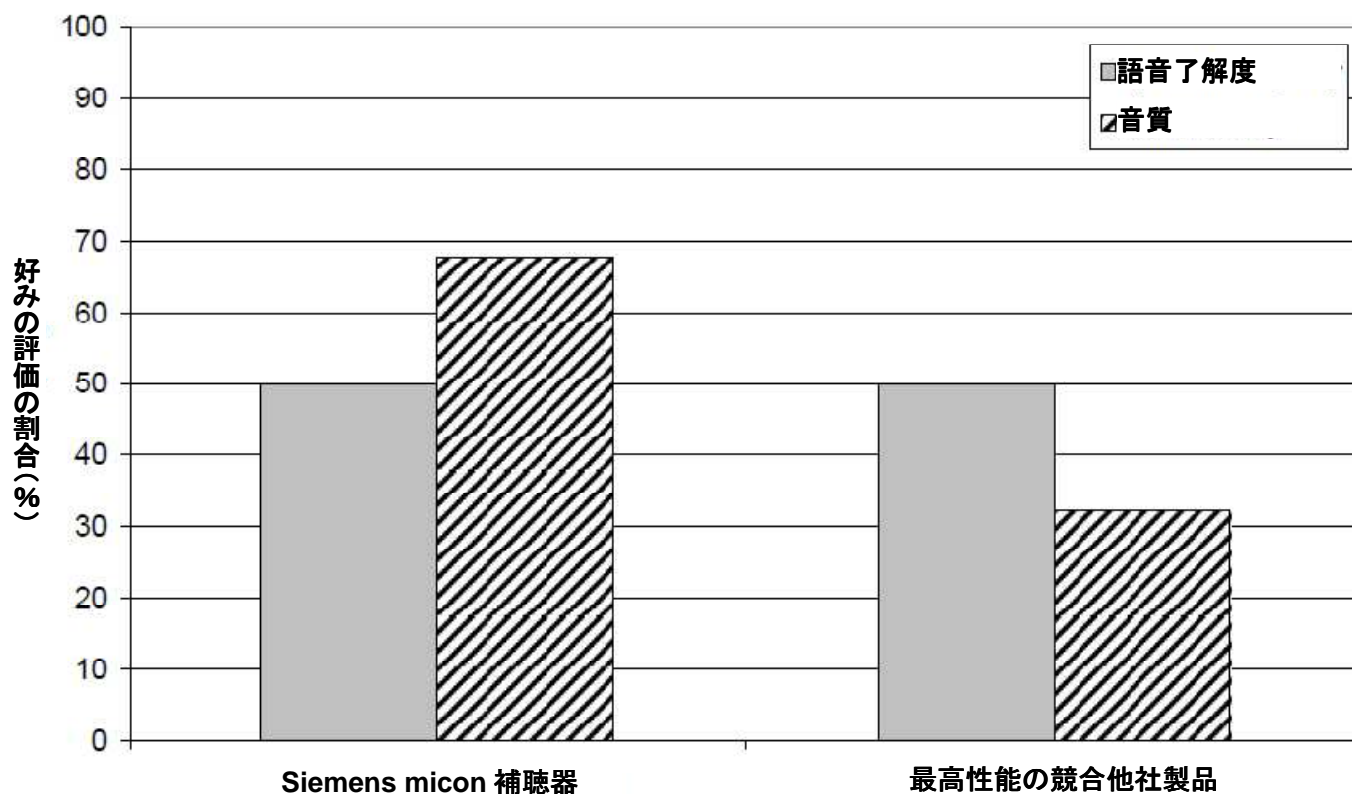


図4 : micon 補聴器と他社最新型補聴器との比較による好みの比較テスト結果。本研究結果から、音質に関しては、micon 補聴器の方が他社ハイエンド器種よりも好まれる割合が高いことが示されている。

研究 II

2番目の研究では、補聴器の音質に関する好みだけに重点を置いた。本研究は、DELTA Sense Lab（ホースホルム（デンマーク））で実施した。対象とした機種は、SiemensPure7miの他に、各メーカーの最新型補聴器（RIC型：外耳道内レシーバー）5器種であった。全ての補聴器について、装用経験の豊富な補聴器着用者向けにメーカーが独自に開発したFirst Fitを用いて（IEC60118-15WD規格に基づき）N3聴力レベルに合わせてフィッティングした。各補聴器には、利用可能な音楽プログラムを追加した。音響的なカップリング（ベントの選択）については、各メーカーが提供している適切なオープンドームを使用した。

全補聴器に関するブラインドテスト、ならびに直接比較テストを実施することを考慮して、各補聴器に使用する音声については、複数の背景雑音を含めた音声信号をHATS（ダミーヘッド：頭部・胴部シミュレータ）を使って録音された。被験者には

ヘッドフォンを通じてそれを再生し聴かせた。

DELTA N3 と呼ばれる、聴覚障害をもったパネラー（被験者）16 名が本研究に参加した。被験者が録音した項目を自ら選択できるようにしたグラフィック・ユーザー・インターフェース（GUI、図 4 を参照）をこの評価実験のために採用された。被験者に対し、「最も好ましくない」から「最も好ましい」までの間で自由に好みを評価することが可能な連続した評価スケールを示し、好みの度合いを示すように依頼した。

Gadehjørne med trafik

Kan lide mindst Kan lide mest

A
B
C
D
E
F
G
H
I

Stop Gem

SenseLab

Definition at attributten:
Placér høreapparatet med den lyd du bedst kan lide helt til højre på skalaen.
Placér høreapparatet med den lyd du mindst kan lide helt til venstre på skalaen.
Bedøm resten af lydene i henhold til skalaen.

1/7

© DELTA Software Development 2010

図 5 : 音質の好みの評価用グラフィック・ユーザー・インターフェース

テスト対象の語音サンプルを聞かせた結果から、周囲環境を問わず、音声の聞き取りについて SiemensPure 7mi が最も好まれる傾向が強い補聴器であることが示されている（図 6 参照）。

音声の好みテストの評価結果（平均値）

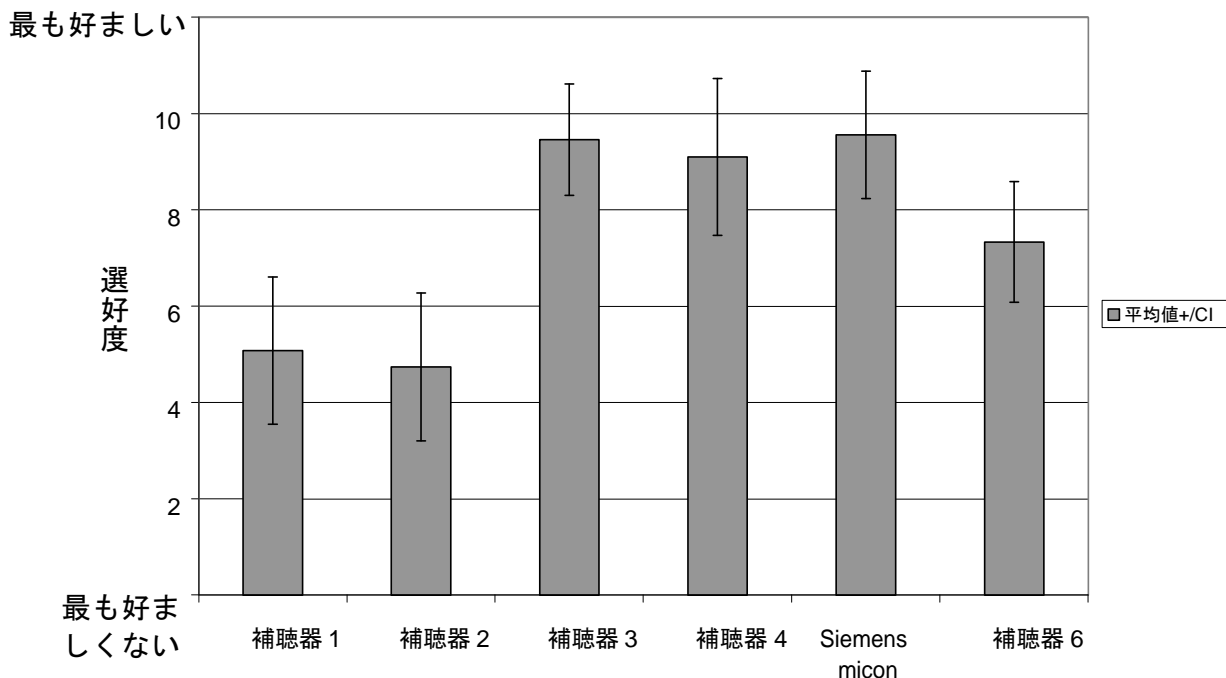


図 6 : micon 補聴器と他社の最新型補聴器との比較による音声の好みテスト結果。本研究結果から、静かな環境・雑音環境下における言葉の聞き取りに関して、各補聴器の中で micon 補聴器が最も高い評価を受けたことが示されている。

テスト対象とした各補聴器の知覚性能を詳細に評価するため、様々な聴取環境（静かな環境での聞き取り、雑音環境下での聞き取り、複数の環境音、音楽）に対する評価を合わせて平均し、総合的な比較評価とした。総合的な音質の知覚に関する結果から、SiemensPure7mi の性能が総合的に優れていることが示されている（図 7 参照）。このことは、SiemensPure 7mi が言葉の音質だけではなく、環境音や音楽についても優れた音質を備えていることを示唆している。

音質の好みテストの評価結果 - (総合平均)

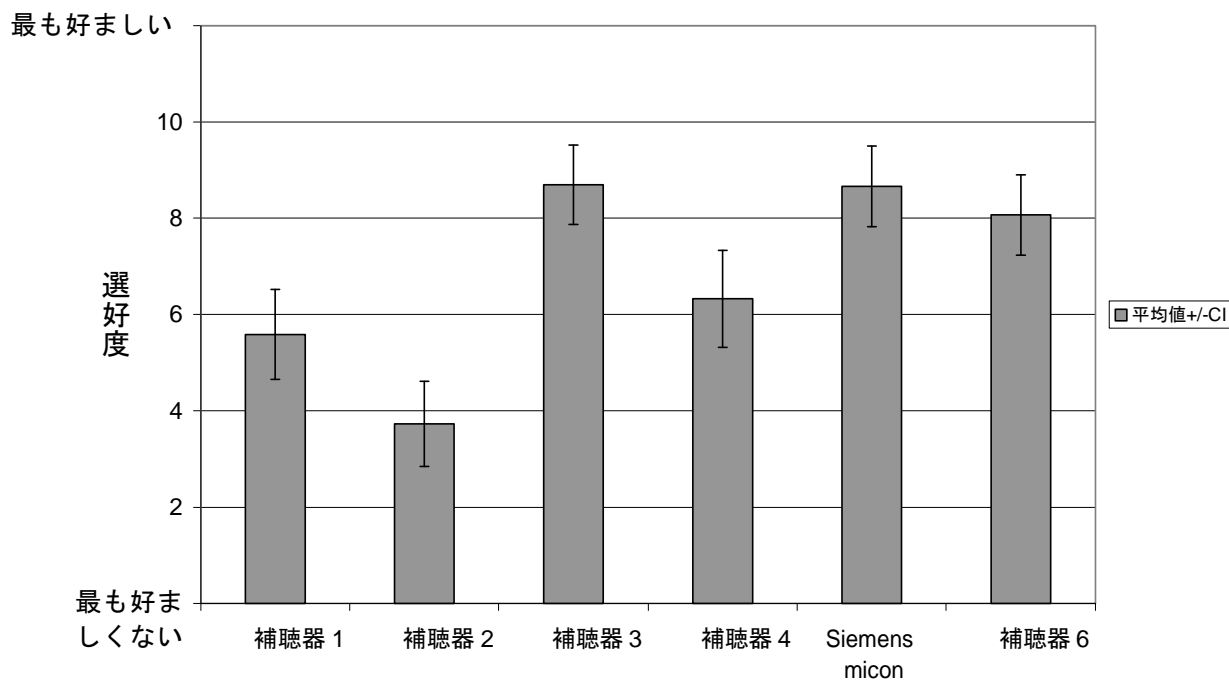


図 7 : micon 補聴器と最新型補聴器との比較による音質の好みの主観テスト結果。本研究結果から、各補聴器の中で、micon 補聴器の音質が総合的に最も高い評価を得たことが示されている。

まとめと結論

最新の Siemens フィッティングアルゴリズム「micon fit」は、XCEL-Fit で培われたメリットを活かして導入された処方方式である。micon fit の長所としては、ワイドバンド周波数特性(12kHz)に沿ったチャンネル処理を強化した機能（高性能 micon コンプレッション）があげられる。さまざまな環境音について他の高性能補聴器と比較したところ、micon fit を用いてプログラミングした Siemens micon 補聴器は、言葉の聞き取りを維持したまま、優れた音質を一貫して備えていることが示された。

References

- Bentler, R.A., Niebuhr, D.P., Getta, J.P. & Anderson, C.V. (1993). Longitudinal Study of Hearing Instrument Effectiveness I: Objective Measures, *Journal of Speech and Hearing Research*, 36, 808-819.
- Dillon, H. (2001). *Hearing Instruments*. Boomerang Press, Sydney.
- Gatehouse, S., Naylor, G., & Elberling, C. (2006). Linear and nonlinear hearing instrument fittings – 1. Patterns of benefit. *International Journal of Audiology*, 45(3), 130-52.
- Hornsby, B.W.Y. and Ricketts, T.A. (2006). The Effects of Hearing Loss on the Contribution of high-and low-frequency Speech Information to Speech Understanding. II. Sloping Hearing Loss. *Journal of the Acoustical Society of America*, 119(3), 1752-1763.
- Kates, J.M. (2010). Understanding Compression: Modeling the effects of dynamic-range compression in hearing instruments. *International Journal of Audiology*, 49, 395-409.
- Killion, M.C. (2004). Myth that discourage improvements in hearing instrument design. *The Hearing Review*, 11(1), 32-40; 70.
- Moore, B.C. (1998). *Cochlear Hearing Loss*. Whurr Publishers Ltd., London.
- Ricketts, T.A., Dittberner, A.B. & Johnson, E.E. (2008). High-Frequency Amplification and Sound Quality in Listen-
- 著作権©Siemens AG 2012. 無断複写・転載を禁ず

ersWithNormalThroughModerateHearing Loss, *Journal ofSpeech,Language,andHearingResearch*,51,160-172.

- Saltykov,O.andSerman,M.(2012).Vent In effects in“behindtheear”hearing instrumentear molds:Measurementmethod,measurementsand simulations. Proceedingsofthe15thAnnualMeetingoftheGermanAssocia-tionofAudiology(DGA) onCD-ROM.ISBN: 978-3-9813141-2-0.
- NALResearchandDevelopmentReport(2007).
Onlineavailableunder<http://www.nal.gov.au/pdf/Research&Development-Report-2007.pdf>
- Keidser,G.,O’Brien,A.,Carter,L.,Mc Lelland,M.&Yeend,I.(2008).Variationinpreferredgainwithexperienceforhearing-instrumentusers. *InternationalJournalofAudiology*,47, 621-635.
- Vickers,D.A.,Moore,B.C.&Baer,T.(2001).Effectsoflow-passfilteringontheintelligibilityof speechinquietforpeoplewith andwithoutdeadregionsat highfrequencies. *Journal of theAcousticalSocietyofAmerica*,110(2),1164-1175.
- Wagener,K., Kühnel,V.&Kollmeier,B. (1999a).Entwicklung und Evaluation einesSatztestsfürdiedeutscheSprach:Teil:DesigndesOldenburgerSatztests.*ZeitschriftfürAudiologie*, 38,4-15.
- Wagener,K., Kühnel,V.&Kollmeier,B. (1999b). Entwicklung und Evaluation einesSatztestsfürdiedeutscheSprach:Teil II:Optimierungdes OldenburgerSatztests.*ZeitschriftfürAudiologie*,38,44-56.
- Wagener,K., Kühnel,V.&Kollmeier,B. (1999c). Entwicklung und Evaluation einesSatztestsfürdiedeutscheSprach:Teil III: EvaluationdesOldenburgerSatztests.*ZeitschriftfürAudiologie*,38,86-95.