フォナック ベンチャー
今後のベンチマーク[*1]になる音楽プログラム

理想チャートに最も近い主観的評価の結果[*2]

この研究では、デンマークにある DELTA 社の SenseLab[*3] で、3 つの他社補聴器の音楽プログラムとフォナックのベンチャー補聴器の音楽プログラムを比較しました。全ての音楽プログラムをテストした結果、フォナックのベンチャー補聴器が提供する音楽プログラムが最も理想的な音楽の聴こえに近いと評価されました。

はじめに

補聴器初心者や経験者のユーザーは、音楽が聞き取りにくい、もしくは不自然だと訴えることがしばしばあります。これまでで最も自然な音楽の聴こえを提供するためにと、補聴器メーカーは音楽プログラムに磨きをかけ、開発し続けています。音楽信号や音楽知覚の処理における補聴器での効果において、注目できる調査結果はほとんどありませんでした(Wessel, Fitz, Battenberg, Schmeder と Edwards. 2007)。難聴を抱える人も健聴の人と同じように、音楽に興味を持っています。したがって、音質が半減するからといって補聴器を取り外すのではなく、補聴器をしながら音楽も楽しみたいと補聴器ユーザーが願うのは当然です(Chasin と Russo, 2004)。音楽を聴くことで生活の質が高まり、他人とのやり取りに必要な伝達手段が得られ、社会構造や社会的能力を形成してくれます(Cross, 2006)。これらを考慮した上で、フォナックのベンチャーシリーズ補聴器は、独特な属性を持つ音楽に注目しながら、数えきれない困難な聞こえの環境に対する多くのニーズに対応することをねらいとしています。フォナックのベンチャー補聴器の音楽プログラムでの効果を評価するため、Worch とそのチームが開発した「理想チャート法(IPM)」の適応を採用しました(2013, 2014)。

この研究では、フォナックのベンチャー補聴器の音楽プログラムを調査することを 1 つ目の目的に、そして他社補聴器を使ってベンチマークテストを実施することを 2 つ目の目的としました。これらの目的を達成するため、音楽を聴く際の補聴器の性能を調査するために必要となる、関係のあるいくつかの属性を基に理想度を評価する“理想チャート”というものを開発しました。補聴器の音楽知覚で直面する典型的な属性例は Legarth とそのチームが書いた書面で確認できます(2012)。

研究方法

中等度難聴（IEC 60118-15[Bisgaard, Vlaming と Dahlquist, 2010]で定めた N3 聴力タイプ(+/-10 dB)）を抱える 65 歳～81 歳までの被験者 13 名（男性 9 名、女性 4 名）がこの研究に参加しました（図 1）。全ての被験者が補聴器の装用経験があるユーザーで、彼らは音響システムを評価するという任務を遂行するため、音響デモンストレーションを主観的に評価する訓練をしました。この研究方法は、広帯域スペクトルシステムを知覚的に評価するといった、音声と視覚刺激の主観的評価を専門とする DELTA 社の SenseLab で設計、実施、分析、考察が行われました。

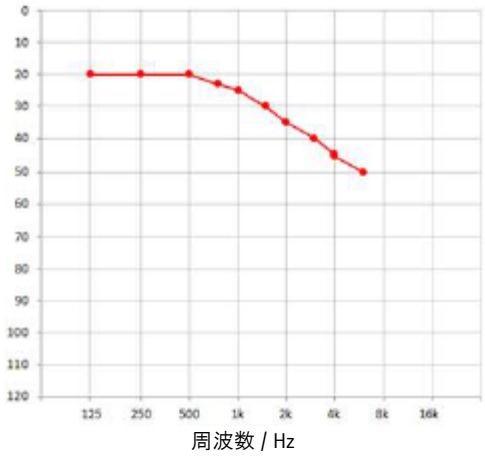

図 1：IEC 60118-15[Bisgaard, Vlaming と Dahlquist, 2010]で定めた N3 聴力タイプ

*1　業界が目標とする水準点

*2　フォナック社比較

*3　製品の音響性能を完全にさせるための世界クラスの音響テスト

PHONAK life is on

研究は 2 部で構成されました：第 1 部では、音楽を楽しむ体感に関係のある、音楽に特化した音の属性（音色、音量など）を特定しました。第 2 部では、第 1 部で特定した属性を基に、異なるテスト機器（補聴器）を評価し、それらの属性ごとの“理想点”を定めました。N3 聴力タイプの難聴者が補聴器で音楽を聴く際に、最も好ましいとされる各属性に対する評価をイメージ化するため、第 1 部で特定した属性を使い“理想点”を作成しました。

被験者の聴覚情報と各テスト機器の音楽プログラムを基に、4 つの異なる補聴器（D1, D2, D3, D4）をプログラムし、調査を行いました。D1～D3 は他社補聴器の音楽プログラムで、D4 はフォナックのベンチャー補聴器の音楽プログラムです。一世代前のクエスト補聴器で使用していた音楽プログラムをさらに進化させることで、フォナックのベンチャー補聴器の音楽プログラムをさらに改良させることに成功しました。

十分な知識を有したフィッターが、規格に従った試聴室で、校正したステレオスピーカーの中央に補聴器を装用させた測定用ダミーヘッドを設置し、そこに届く音を補聴器を介して録音しました（図 2）。全てのテスト機器に対し、聴力レベルに最適な設定を基に音響パラメータを選択し、フィッティングソフトでファーストフィットを行いました。

階層的なクラスタリングによる準備研究を経て、製品の属性を区別するための、ベースとなるプロファイルプロットが開発されました。製品の類似点と相違点を明らかにし、主に関係のある音楽のジャンルを特定するため行いました。異なる音楽ジャンル（クラシック、ポップ、ジャズ）を 3 つの異なる音サンプルとして使用しました。

図 2：補聴器の録音時に使用した規格に従った試聴室 DELTA 社 EBU 3276 の環境設定

被験者は最初に属性を定めるよう指示を受けました。そして手順書が手渡されると、異なる音楽ジャンルを判断するのに関係のある音サンプルの属性について調査する任務内容であると理解を示しました。テストリーダーが書き留めた誘発単語が集められると、任務リストを作成するためにこの研究で使う様々な補聴器の音楽プログラムを評価するために使用する最終的な属性のリストになりました。次の属性と内容は以下のとおりです：

Timbre balance（音色のバランス）：暗い～明るい
音色のバランスは、暗い（低音が重くて深い）～明るい（細くて薄い、豊かさに欠ける）において、音の再現に対する一般的な感じ方に関係します。

Can-sound（くぐもる音）：少ない～多い
くぐもる音というのは、昔の電話や 40～50 年代のラジオ放送のように、缶を頭から被り、その中で話した時に聞こえるような音です。バランスが十分に取れた音である場合、くぐもる音を感じることなく、評価も一番左側になるはずです。

Shrill（甲高い音）：少ない～多い
甲高い音は、バイオリン・フルート・女性の声といった、高い音で感じることが一般的です。甲高さを多く感じれば評価は一番右側になり、全く感じなければ評価は一番左側になります。

Reverberation（反響）：少ない～多い
壁、床、天井の材質や部屋の形状により、その部屋の特徴となる“反響”が存在します。浴室、室内プール、教会で音楽を聴いた時のような音です。反響がなければ、評価は一番左側になります。

Loudness（音量）：小さい～大きい
機器の全体的な音量。

Dynamics（ダイナミックさ）：弱い～強い
どれだけ音が本物そっくりに感じるかというのがダイナミックさです。小さい音と大きい音に差があるか否か。ダイナミックさが弱ければ、音楽は変動が少なく提示されているように聞こえます。ダイナミックさが強いと、より生き生きとしていて本物の音のように感じます。

Source sepation（音源分離）：曖昧～分離
全体のサウンドイメージ内で、楽器（声を含む）が互いに分離して聞こえているかというのが音源分離です。楽器が混ざっていて分離していない場合、評価は左側に近付きます。音源分離がしっかりと出来ていて、その詳細が感じられる場合、評価は右側の分離に進みます。

Treble shadow（高音部の影）：少ない～多い
明るい楽器や声がささやき音やシューという音に感じるのが高音部の影と称するものです。この音は明るい音の後に音があるようで曖昧で分かりにくくなります。高音部がぼやけている場合、評価は一番右側になります。高音部が全くぼやけずはっきりと聞こえる場合、一番左側になるはずです。

2 つのトレーニングセッションを終えた後、被験者は、第 1 部で特定した 8 つの属性に基づき、各機器と各音楽ジャンルに対し、スケール上でスライダーを動かして評価を付けました（図 3）。全ての評価が終わると、被験者は評

価された属性の“理想チャート”を作りあげるため、評価結果を点でマークしていきました。この“理想チャート”は、内部基準と現在評価段階にある製品を基に、被験者が要望する製品の特性を投影したものです。“理想点”を定めるため、録音した音は提示しませんでした。

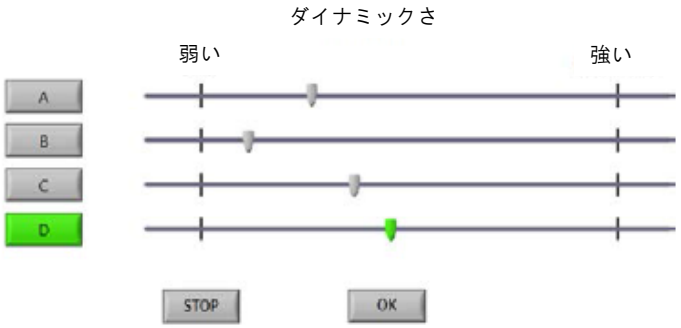

図 3：評価する属性（上部）、各テスト機器の調整可能なスライダー、属性に対する選択項目を表示した、DELTA 社の SenseLab が開発したソフトウェアの画面

結果

理想点の平均評価と 95%信頼区間は図 4 のレーダーチャートで確認できます。このレーダーチャートで全ての属性とそれに対する評価を一目で確認できます。“理想チャート”の特性は次のように述べられています：

- 音色のバランス：わずかに暗い
- くぐもる音, 高音部の影、甲高さ：非常に低い
- 音量：普通、反響：少ない
- 音源分離、ダイナミックさ：高いレベル

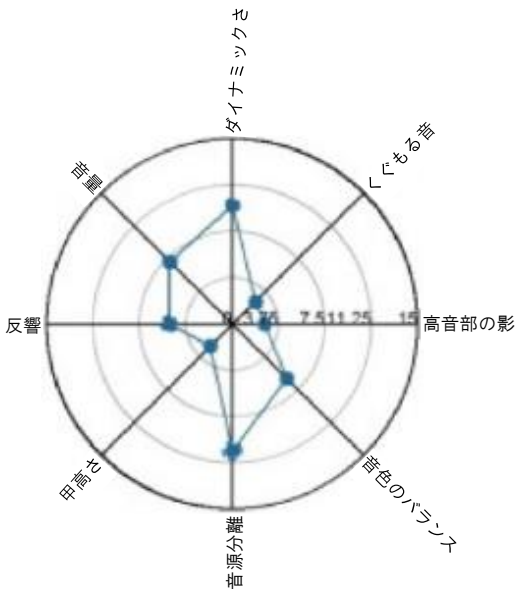

図 4：音楽を聴いた際の被験者による最適評価を示したレーダーチャート；これを“理想点”とする

“理想点”に基づき、異なるテスト機器の評価を作成しました。ほぼ全ての機器が平等に評価され、それぞれが高いレベルとなりました。平均評価と 95%信頼区間を区別するため、レーダーチャートを使い機器を評価しました（図 5）。各テスト機器の評価は次のように述べられています：

- D1：ダイナミックさ、音量、甲高さ、反響、音源分離が一番低い結果となった機器。音色のバランスはやや暗め。
- D2：音量は理想的。しかし音色がやや明るく、甲高いという結果になった機器。
- D3：音源分離、ダイナミックさ、甲高さ、くぐもる音、音量が“理想チャート”に近い結果になった機器。
- D4（フォナック）：D3 と類似した特性を持つが、わずかに高音部の影と甲高さが多く、音源分離が少ない。しかしながら、反響も少ないという結果になった機器。

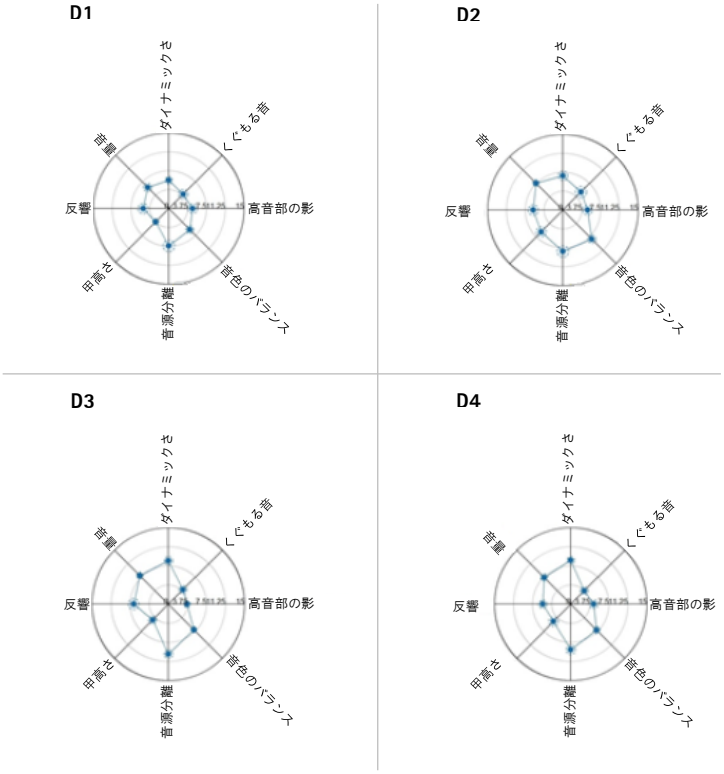

図 5：3 つの音楽サンプルにおいて、“理想チャート”と比較した 4 つの補聴器の平均評価を示したレーダーチャート

異なる機器の評価を示した図 5 のレーダーチャートと図 4 の理想点を比較すると、D3 と D4 の評価が“理想点”に最も近いことが分かります。この記録を統計で示すため、補足的解釈となる主成分分析(PCA)を実施しました。各結果は図 6～9 で確認できます。PCA の結果、分散 65%の説明となる 3 つの主な指標ができました。指標 1(29%)は甲高い音、高音部の影、くぐもる音の属性が優位を占めていて、指標 2(23%)は音量と音色のバランスの属性（図 6）、指標 3(13%)は反響に関係しています（図 8）。図 7 と図 9 はそれぞれ指標 1 と指標 2、指標 2 と指標 3 にわたるエリアを表示しています。4 つのテスト機器と“理想点”の平

均値と 95%信頼区間を楕円形で示し、これらをデータの簡単な考察としました。指標 1 と指標 2 から、全てのテスト機器が “理想点”とは統計的に異なることが分かります。したがって、“理想点”と全てのテスト機器の信頼区間が重ならないので、いずれも提示した指標に対する望ましい評価は得られません。さらに、図 5 からも分かるように、テスト機器 D3 と D4（フォナック）が“理想点”に最も近いということをレーダーチャートが明示しています。これらの機器の信頼区間の重なりから、それぞれの評価は互いに有意な差はありませんが、同じレベルであるということが分かりました。

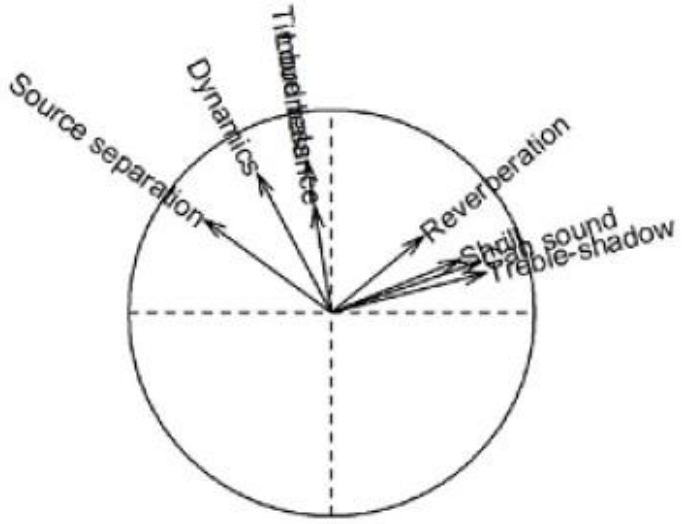

図 6：属性グループを表示した全てのテスト機器と全ての音楽ジャンルの PCA 結果。いくつかの属性が組み合わさった指標が 2 つ。指標 1 は甲高い音、高音部の影、くぐもる音の属性による分散 29%で、指標 2 は音量と音色のバランスによる分散 23%

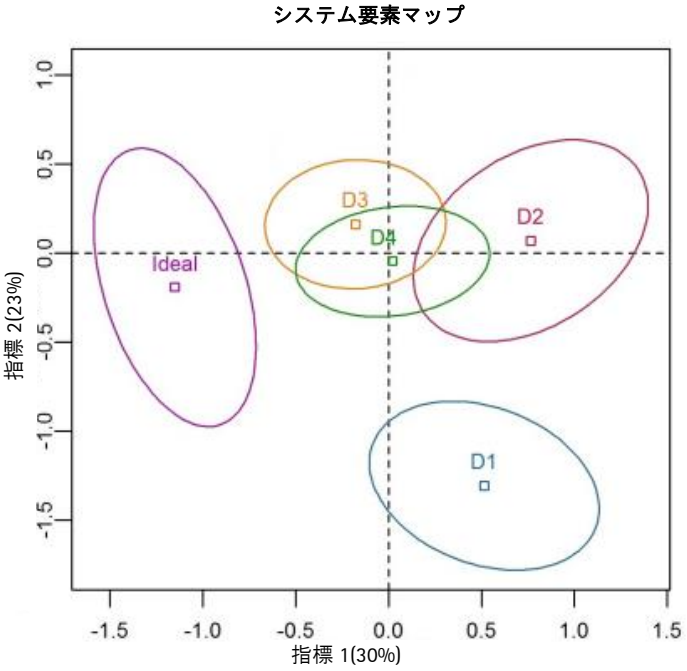

図 7：全てのテスト機器と“理想点”の平均値と 95%信頼区間。指標 1 と指標 2 を基に、互いに関係するこれらの配置は分散 52%を示す

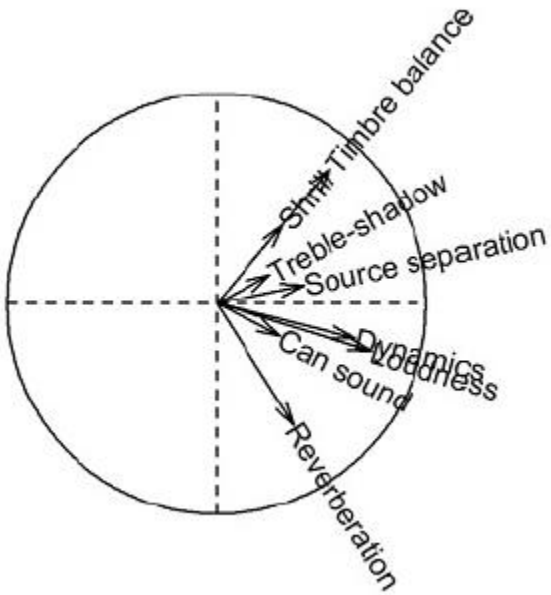

図 8：全てのテスト機器と全ての音楽ジャンルの PCA 結果。図は属性グループを示している。いくつかの属性が組み合わさった指標が 2 つ。指標 1 は甲高い音、高音部の影、くぐもる音の属性による分散 29%。指標 2 は音量と音色のバランスによる分散 23%

指標 2 と指標 3（図 9）を分析すると、D1 と D2 は“理想点”から大きく離れていますが、D3 と D4（フォナック）は“理想点”と重なっている部分があることが分かります。これは D3 と D4 が互いに統計的な差はないものの、理想的な評価であることを意味します。D1 と D2 には統計的に差があります。

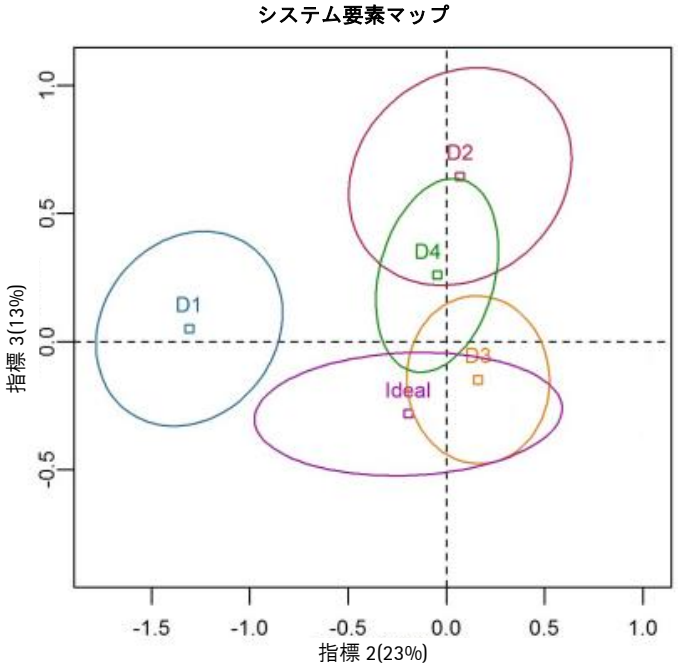

図 9：全てのテスト機器と“理想点”の平均値と 95%信頼区間。指標 2 指標 3 を基に、互いに関係するこれらの配置は分散 36%を示す

まとめ

3 つの異なる音楽サンプルに対し、N3 聴力タイプ(Bisgaard, Vlaming と Dahlquist, 2010)を抱える 13 名の訓練を受けた当研究の被験者である審査員が理想的なプロファイリング手法である属性テストを用いて 4 種類の補聴器のベンチマークテストを行いました(Worch, Le, Punter と Pages, 2013; Worch, Crine, Gruel と Le, 2014)。それぞれの聴力情報に基づき補聴器をプログラムし、各メーカーが提供する音楽プログラムで評価を行いました。審査員で形成されたグループが 2 つの属性コンセンサスセッションで決定した 8 つの属性を以て補聴器を評価しました。音楽サンプルを使って 4 種類の補聴器で知覚できる差を特定するため、補聴器での聞こえのテストの結果を分析しました。各補聴器のチャートと理想チャートには関連性があり、この理想チャートは聞こえの審査員がテスト実施の期間で定めました。分散分析(ANOVA)によると、ほとんどの属性に対して有意なシステムの効果があることが分かりました。テスト機器 D3 と D4（フォナック）が理想チャートに最も近くなりました。その結果、音楽の聴こえに対する理想点において、どの音楽プログラムもフォナックの音楽プログラムよりも近くなるというわけではないという評価になりました。さらなる改善を追い求めて、理想チャートにより近付くために、補聴器の甲高い音と高音部の影が減らせるよう前向きな取り組みが行われるでしょう。

全体を通して、この研究に参加した被験者によって決定した理想チャートが、補聴器の音楽プログラムを改良させ、実現性を促進すると結論付けられます。研究の結果、評価した 4 種類の補聴器の音楽プログラムに、補聴器からの音楽の聴こえを改善するのに何が必要であるかという一般的な見解の一致があることが分かりました。被験者からの意見を参考にし、最新補聴器の音楽プログラムを継続して改善、調節することは、補聴器で聴く音楽に対する全体的満足度を達成するのに有益で、非常に重要です。

参考文献

Bisgaard, N., Vlaming, M.S., & Dahlquist, M. (2010). Standard audiograms for the IEC 60118-15 measurement procedure. Trends in Amplification, 14(2), 113-20.

Chasin, M. & Russo, F.A. (2004). Hearing AIDS and music. Trends in Amplification, 8(2),35-47.

Cross, I. (2006). The origins of music: Some stipulations on theory. Music Perception, 24(1), 79-81.

International Telecommunications Union Radiocommunication Assembly (ITU-R). (2014). Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems (Recommendation BS.1116-2 06/2014). Retrieved from http://www.itu.int/

Legarth, S., Simonsen, C.S., Dyrlund, O., Bramsløw, L & Jespersen, C.T. (2012, August). Establishing and qualifying a hearing impaired expert listener panel. Poster at the International Hearing Aid Research Conference, Lake Tahoe, California.

Wessel, D., Fitz, K., Battenberg, E., Schmeder, A. & Edwards, B. (2007). Optimizing hearing aids for music listening. Conference Paper at 19th International Congress on Acoustics, Madrid, Spain.

Worch, T., Crine, A., Gruel, A. & Lê, S. (2014). Analysis and validation of the Ideal Profile Method: Application to a skin cream study. Food Quality and Preference, 32, 132-144.

Worch, T., Lê, S., Punter, P. & Pagès, J. (2013). Ideal Profile Method: the ins and outs. Food Quality and Preference, 28, 45-59.

著者と調査員

外部調査員代表

Søren Vase Legarth は音響学を専攻して学び、2004 年にデンマーク工科大学で修士（理学）を取得。卒業後は DELTA 社の音響部門に勤務し、2007 年に SenseLab ができると、訓練されたテスト団、製造施設、テスト用ソフトウェア開発の構成責任者に就任。2011 年、部署長に就任。

Nick Zacharov は 2007 年に DELTA 社 SenseLab を共同設立したシニア技術者。ヘルシンキ工科大学で電子音響学の学士（工学）、理学修士、博士（理学）を取得。数々の技術論文の著者として執筆し特許を取るだけでなく、"Perceptual Audio Evaluation" の共著者でもある。

フォナック調査員代表

Matthias Latzel は 1995 年にドイツのボーフムとオーストリアのウィーンにて電気工学を専攻。2001 年に博士号を取得すると、2002 年から 2004 年までの間はギーセン大学の聴覚学科に在籍。2011 年、聴覚学科に在籍。2011 年、Phonak Germany の聴覚部門のリーダーに就任。2012 年より Phonak HQ の臨床研究マネージャとして勤務。

Volker Kühnel 博士は 1995 年に物理学位を取得。1995～1997 年まで、Kollmeier 医学物理学教授グループの博士研究員としてオルデンバーグで勤務。1998 年より、スイスの Phonak AG で勤務。現在、製品開発部門に所属し、補聴器のアルゴリズムとフィッティングソフトウェアの界面で "Audiological Performance" チームを先導している。