

Phonak Field Study News●

「全方位からのことばの明瞭性」は、DNN処理によりどの方向からでも音声理解を大幅に向上させ、聴取努力を軽減

「フォナック オーデオ インフィニオ スフィア」に関して騒音下での聞き取りの利点を調査した研究の結果、「全方位からのことばの明瞭性」を使用すると、ユーザーは使用しない場合と比べて音声を理解する可能性が2倍高いことが示されました。

Wright, A., Keller, M., Kuehnel, V., Latzel, M., Seitz-Paquette, K., 2024年8月

重要なポイント

- 「全方位からのことばの明瞭性」（以下、SSC）は、フォナックが提供する騒音下での音声理解のためのソリューションで、ユーザーの周囲の騒音を減少させるために大規模なディープニューラルネットワーク（以下、DNN）を使用しており、測定された信号対雑音比（以下、SN比）は10dBの利点があります¹。
- SSCの処理はDEEPSONICチップによって働いており、これは発売時点において補聴器技術の中で最も高速かつ強力なチップです。
- 音声理解と聴取努力を測定するタスクにおいて、SSCはこれまでのフォナックの技術よりも著しく優れたパフォーマンスを示しました。

考慮すべき事項

- SSCが、あらゆる方向からの音声理解を向上させることで、変化する聴取環境において効果的なコミュニケーションを可能にする方法について議論します。
- あまり知られていない難聴の副作用、例えば疲労についてユーザーにアドバイスし、SSCのような高度なノイズリダクションシステムがどのように聴取努力を軽減し、ユーザーが一日の終わりにより多くのエネルギーを持てるようにするかについて説明します。

はじめに

複雑で騒がしい環境における音声理解は、補聴器研究において一般的なテーマです。難聴者にとって最も重要な課題の一つとしてしばしば挙げられますが騒音下での聴取満足度は依然として低いままです^{2,3}。補聴器メーカーは、この特定の困難に対処すべく技術の進歩に継続的に投資しており、その結果、主に指向性マイクロフォンとノイズリダクションアルゴリズムの2つの解決策に焦点を当てた革新が生まれています。

指向性マイクロホンがSN比を改善し行動パフォーマンスを向上させるという証拠は多くの文献に記録されています⁴。しかし、指向性マイクロホンは、対象となる音声マイクロホンの指向性ビーム内にあり、理想的には雑音が主に指向性ビームの外側に位置することに依存しています。指向性マイクロホン技術は非常に効果的ですが、ビーム外の音声や共存する雑音を伴う、動的なコミュニケーションニーズにより適した解決策が求められています。

ノイズリダクションは広義の用語であり、補聴器以外にも多く実装されています。消費者向けアプリケーション（例：Teams、Zoom）が、DNNを使用することで補聴器のノイズリダクション能力を超えたと考えられています。DNNには高い処理能力、独自の構造、効率的な電力供給が必要です。DNNノイズリダクションシステムは、どの方向からの音声に対してもSN比を改善することで、指向性マイクロフォンの限界を克服しています⁵。しかし、補聴器は、現在の補聴器プロセッサの限られた能力など、いくつかの要因により、大規模なDNNシステムの採用が遅れています。

フォナック オーデオ インフィニオ スフィアは、2つのプロセッサを並行して使用しています。ERAチップは、従来の信号処理や補聴器のその他の機能（従来のノイズリダクションアルゴリズムなど）を担います。一方、DEEPSONICチップは、DNNベースのノイズリダクションシステムである「全方位からのことばの明瞭性」を動作させるために開発されました。DEEPSONICは、補聴器におけるDNNベースの信号処理を適用し、音声を強化し雑音を抑えるための特別な設計がされており、これまで補聴器で大規模なDNNベースのノイズリダクションシステムが適用できなかったハードウェアの限界を克服しています。

SSCのSN比への効果を、これまでのフォナック技術と比較するための技術的測定が行われました。SSCと固定指向性マイクロフォン設定を組み合わせることで、ノイズリダクションを適用しない無指向性マイクロフォン設定と比較して、最大強度のSSCにおいて10dBのSN比向上が得られました。

これらの有望な技術結果に基づき、フォナックオーディオロジー研究センター（PARC）で2つの研究群を持つ臨床調査が行われ、前例のないDNNベースの信号処理の実装の利点を検証しました。本書で報告されている研究群では、騒音下における音声理解および聴取努力に関する利点が評価されました。第二の研究群では、フォナック オーデオ スフィアの日常生活におけるパフォーマンスが評価されました⁶。

評価方法

参加者

本研究には、58歳から93歳（平均75.1歳 ± 8）の、両側中等度難聴の27名の経験豊富な補聴器ユーザーが参加しました。テスト前に耳鏡検査が行われ、必要に応じて耳垢管理も実施されました。

比較

本研究では追加の音質向上機能の干渉なしにSSCの効果を孤立させる内部比較が行われました。

内部比較は、SSCをオンとオフにした手動プログラムを使用して測定されました。SSCオンは、マイクモードを「リアルイヤーサウンド（以下、RES）」に設定し、「全方位からのことばの明瞭性」をデフォルト設定とした「非常に騒がしい中での全方位からのことば」プログラムで行われました。SSCオフは、同じマイクモード（RES）を使用しながら、全てのノイズリダクション機能（例：ダイナミックノイズキャンセルやノイズブロック）をオフにした「騒音下でのことば」プログラムで実施されました。「非常に騒がしい中での全方位からのことば」と「騒音下でのことば」プログラムのゲインモデルは同一であるため、これらの手動プログラムの唯一の明確な違いは、SSCオンがSSCをアクティブにしているのに対し、SSCオフはノイズリダクションが無効になっている点です。

SSCをオンとオフにした内部比較は、音声理解タスクと聴取努力タスクの両方に使用されました。

音声理解

騒音下の音声理解は、Boliaら（2000年）⁷によって開発されたスピーチコーパスを使用して測定され、これは「Coordinate Response Measure (CRM)」刺激として知られるものです。スピーカーが参加者の60、120、180、240、および300度の位置に配置され、タッチパネルは0度に置かれました。参加者はタッチパネルで「スタート」を押すよう指示され、「Ready, Baron, go to [色] [番号] now.」という構造の文を聞くように求められました。その後、参加者は発音された色と番号をタッチスクリーンに表示されたクローズドセットから選択しました。文は2人の女性スピーカーによってランダムに読み上げられました。選択を行った後、参加者は正しい応答を示すフィードバックを受け取り、次のテスト文が開始されました。

広帯域ノイズは、スピーカーから発話者の平均スピーチスペクトルに合わせて、固定された合計出力レベル72dB SPLで提示されました。スピーチ文は60、120、240、および300度の4つのスピーカーでランダムに再生されました（図1参照）。

スピーチの出力は69 dB SPLで、SN比は-3 dBとなりました。

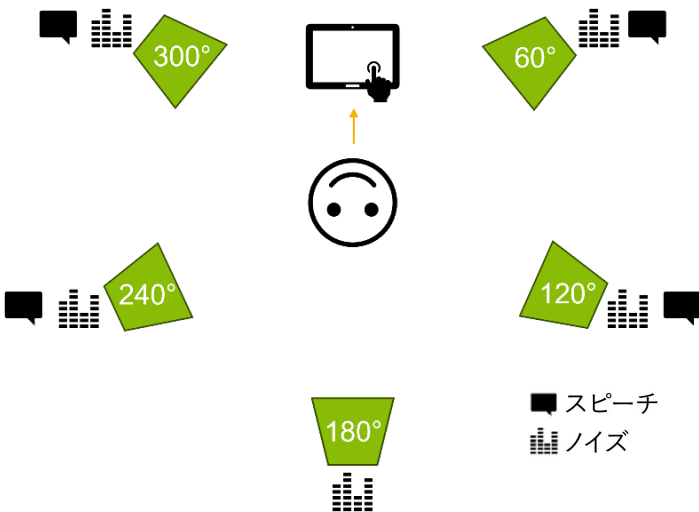


図1. スピーチ理解タスクのための音響設定の概要。

聴取努力

Adaptive Categorical Listening Effort Scaling（以下、ACALES）テストは、主観的な聴取努力を測定するための適応的な方法です⁸。3つの短い文（米国女性マトリックステスト音声コーパス）が、固定音声シェイプノイズの中で順次提示されました。参加者は、主観的な聴取努力を「努力が必要ない」から「努力がとても必要」までの13点スケールで評価しました。各評価の後、スピーチの音量が調整されます。ACALESのアルゴリズムは、個人の「努力が必要ない」から「努力がとても必要」の評価の範囲を含むSN比を捉えるように設計されています。

聴取努力タスクでは、スピーチ理解タスクと同じスピーカー構成が使用されましたが、参加者は180度回転させて、スピーカーが0度の方向に配置しました。0度のスピーカーがスピーチを提示し、他の4つのスピーカーは固定された合計出力レベル72 dB SPLでノイズを提示しました。スピーチの初期出力レベルは72 dBで、スタートのSN比は0 dBとなります（図2参照）。

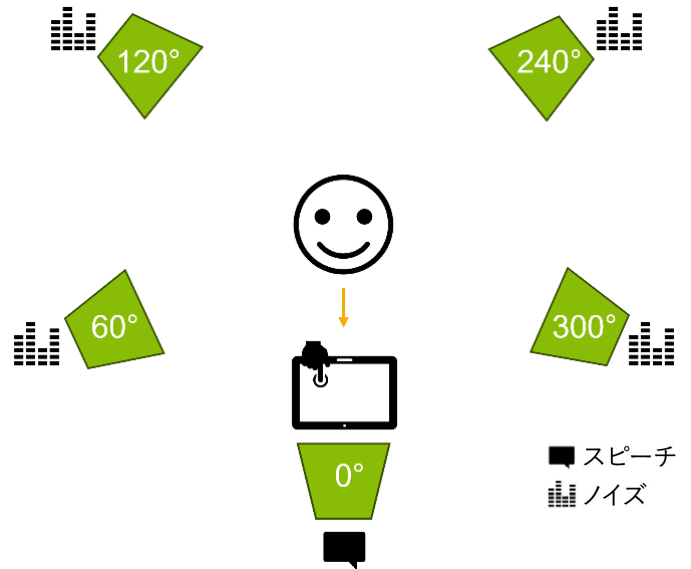


図2. 聴取努力タスクのための音響設定の概要。

結果

音声理解

各条件の正答率は、4つのスピーチ位置からの正しい応答の合計を計算し、それを総応答数の合計で割ることによって算出されました。正答率の結果は、その後、パーセントイル変化を計算するために使用されました。具体的には、パフォーマンスが劣る条件の正答率をパフォーマンスが優れている条件の正答率から引き、その差をパフォーマンスが劣る条件の正答率で割り、最後にその結果に100を掛けます（式（1））。

$$\% \text{結果} = \frac{\% \text{正答率 (優)} - \% \text{正答率 (劣)}}{\% \text{正答率 (劣)}} \times 100 \quad (1)$$

SSCオンとオフの内部比較では、SSCオンが優位であることを示す13.05%のパーセントイル変化が得られました。これは、「全方位からのことばの明瞭性」を使用することで、平均パフォーマンスがSSCなしの場合と比べて13.05%向上したことを示しています。

SSCの利点を本研究参加者を超えて文脈化するために、参加者の応答はロジットリンク関数を用いた一般化線形混合効果モデルでモデル化されました。

このモデルでは、補聴器の処理条件と文の条件を固定効果として取り入れ、参加者をランダム効果として扱いました。このモデルの目的は、異なる補聴器処理条件間で正しい応答を提供するオッズに有意な差があるかどうかをテストすることです。結果は、異なる補聴器処理条件下での正しい応答を提供するオッズの比率として解釈できます。このモデルは、参加者が「全方位からのことばの明瞭性」を使用しているときは、使用していないときの2倍の確率で正しい応答を示すことがわかりました（オッズ比: 2.01、漸近的95%信頼区間: [1.6, 2.52]、 $p < 0.0001$ ）（図5参照）。

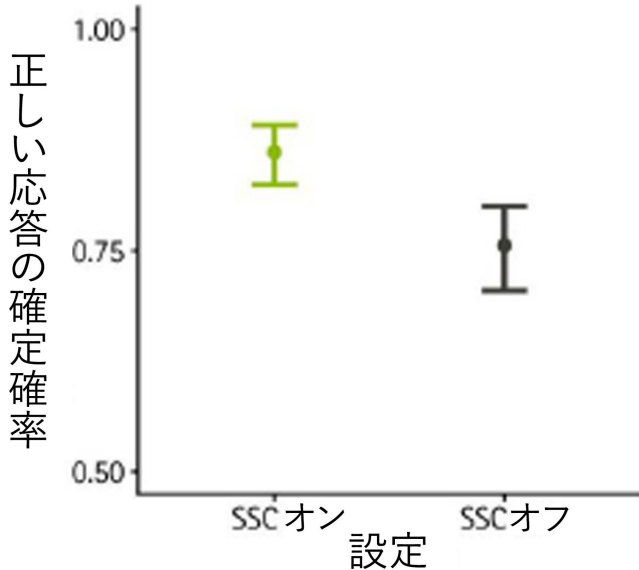


図5. 「全方位からのことばの明瞭性」を使用した場合と使用しない場合、およびオープンマイク（例：リアルイヤーサウンド）での正しい回答を示す確率の推定。エラーバーは95%信頼区間を示しています。

聴取努力

聴取努力の評価は、補聴器の処理を固定効果、参加者をランダム効果として含む線形混合効果モデルを用いてモデル化されました。モデルの結果はSSCがオンの場合、SSCがオフの場合と比べて、主観的な聴取努力の増加なしに2.9 dB劣るSN比を耐えられることを示しました（平均差: -2.86 dB、98% 信頼区間: [-3.32, -2.39]、 $p < 0.0001$ ）（図7参照）。これは、ユーザーが主観的な聴取努力の増加を報告する前に、ノイズが2.9 dB大きくなることを意味します。

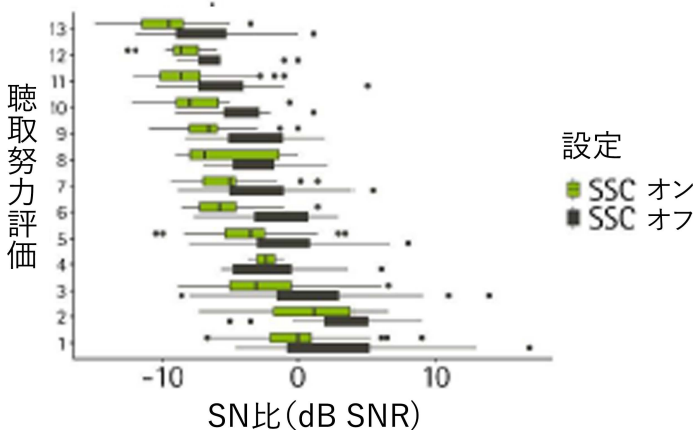


図7. 全方位からのことばの明瞭性の有無における聴取努力スケールの各評価に対するSN比の範囲を示す水平箱ひげ図。

結論

この研究は、フォナック オーデオ インフィニオ スフィアの技術的な特性が、実際の音声理解や聴取努力軽減の向上に繋がることを示す証拠を提供しています。具体的には、フォナック オーデオインフィニオ スフィアは、音声指向性範囲外で、雑音が共存する状況において、競合製品よりも音声理解で優れた性能を発揮しました。これらの2つの利点は、聴覚障害を持つ人々が一般的に報告するニーズと一致しており、フォナック オーデオ インフィニオ スフィアは、騒音下でのコミュニケーションを最も効果的に行いたいエンドユーザーにとって、最適な選択肢となっています。

参考文献

1. Rauffer, S., Kohlhauer, P., Jehle, F., Kühnel, V., Preuss, M., Hobi, S. (2024). Spheric Speech Clarity proven to outperform three key competitors for clear speech in noise. *Phonak Field Study News* retrieved from <https://www.phonak.com/evidence>
2. Appleton-Huber., J. (2022). What is important to your hearing aid clients... and are they satisfied? *The Hearing Review*. <https://hearingreview.com/hearing-loss/patient-care/counseling-education/what-important-to-your-hearing-aid-clients-are-they-satisfied>.
3. Carr, K., & Kihm, J. (2022). MarkeTrak-Tracking the Pulse of the Hearing Aid Market. *Seminars in hearing*, 43(4), 277–288. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1758380>
4. Bentler, R. A. (2005). Effectiveness of Directional Microphones and Noise Reduction Schemes in Hearing Aids: A Systematic Review of the Evidence. *Journal of the American Academy of Audiology*, 16(07), 473–484. <https://doi.org/10.3766/jaaa.16.7.7>
5. Hasemann, H. and Krylova, A. (2024). Artificial intelligence in hearing aid technology. *Phonak Insight*.
6. Miller, A., Wright, A., Keller, M., Kuehnel, K., Latzel, M., and Seitz-Paquette, K. (2024). Phonak Audéo Sphere Infinio is preferred by patients during real world use. *Phonak Field Study News* (in preparation).
7. Bolia, R. S., Nelson, W. T., Ericson, M. A., & Simpson, B. D. (2000). A speech corpus for multitalker communications research. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107(2), 1065–1066. <https://doi.org/10.1121/1.428288>

8. Krueger, M., Schulte, M., Brand, T., & Holube, I. (2017). Development of an adaptive scaling method for subjective listening effort. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 141(6), 4680–4693.
<https://doi.org/10.1121/1.4986938>

謝辞

著者は、本研究に対する熱意と貢献に対してD.N. およびA.B.に感謝の意を表します。

著者・研究者

Ashley Wright, Au.D., シニアリサーチオーディオロジスト



Ashley氏はイリノイ州オーロラにあるフォナック オーディオロジー研究センター (PARC) のシニアリサーチオーディオロジストです。シカゴのラッシュ大学で聴覚学の博士号 (Au.D.) を取得し、2018年にPARCに参加しま

した。成人を対象とした内部臨床研究の管理と、フォナック技術の技術的測定を主に行っています。

Matthias Keller, Ph.D., 科学者, オーディオロジー リサーチ



Matthias Keller 氏は、スイスのチューリッヒ大学で心理学の博士号を取得し、話し言葉の神経処理における年齢に関連する関連の違いについて研究しました。2019年からスイスのフォナックおよびソノヴァで勤務し

た後、2023年にアメリカに移り、PARCチームの一員となりました。

Volker Kühnel, Ph.D., 聴覚パフォーマンスの主要専門家



Volker Kühnel 氏は、1995年、物理学で博士号を取得しました。1995年から1997年まで、ドイツ、オルデンプルグの医学物理学の教授 Dr. B. Kollmeier のグループで、博士後研究員として勤務しました。

1998年以降、フォナックおよびソノヴァで、補聴器のアルゴリズム、フィッティングソフト、音響デザインのインターフェースに関する製品開発に従事しています。ユーザーに最高の利益をもたらすため、補聴器の音響品質に力を注いでいます。

Matthias Latzel, Ph.D., 臨床研究シニアエキスパート



Matthias Latzel 博士は、1995年にボーフムとウィーンで電気工学を学びました。2001年に博士号を取得した後、2002年から2004年までギーゼン大学の聴覚学部で博士研究員を務めました。2011年からは

フォナック ドイツの聴覚学部門のリーダーに就任しました。2012年以降、スイスのフォナック AGで臨床研究マネージャーとして勤務しています。

Kevin Seitz-Paquette, Au.D., PARC 所長



Kevin氏は、イリノイ州オーロラにあるフォナックオーディオロジー研究センター (PARC) の所長です。Northwestern大学でオーディオロジーの博士号、Indiana大学で言語学の修士号を取得しました。

彼のチームは、新たに登場した製品とリリースされた製品の両方を評価し、フォナックの技術が患者や専門家にとってどのような利点をもたらすかを証明しています。