

Phonak

Field Study News●

「全方位からのことばの明瞭性」を使用して騒がしい環境でのことばの理解を高める

「フォナック オーデオ インフィニオ スフィア」は、ユーザーが最も重視する騒がしい環境でのことばの理解を高めるため、画期的な技術革新を導入して開発されました。この補聴器は専用の人工知能（AI）チップであるDEEPSONIC™を搭載し、あらゆる方向からの「雑音」をリアルタイムに除去しながら「ことば」を優先的に強調します。さらに、従来の技術と比較して53倍の処理能力を有しています。本研究では、技術的な測定結果をもとにDEEPSONIC™が従来の技術をはるかに凌駕する、明瞭でクリアな音声を提供できることを明らかにしました。

Raufer, S., Kohlhauer, P., Uhlemayr, F., Kühnel, V., Preuss, M. & Hobi, S. 2024年8月.

主なポイント

- 全方位からのことばの明瞭性（以下、SSC）により、騒がしい環境でも瞬時にあらゆる方向からのことばを明瞭に聞き取れます。信号対雑音比（以下、SN比）が最大10dB向上という前例のない性能を実現しています。
- SSCはあらゆる方向からのことばが聞きやすくなります。

実践上の考慮事項

- 騒がしい環境でのことばの理解は依然として重要な課題です。
- SSCはあらゆる方向からのことばの理解を大幅に向上し、聴取努力を軽減します（Wrightら、2024年）。
- SSCとステレオズーム2.0は、SN比向上に特化した機能であり、補聴器の効果を最大限に引き出す重要な要素です。

はじめに

過去75年間、フォナックは難聴を抱えている方（以下、難聴者）の最も重要なニーズである「騒がしい環境でのことばの聞き取り」に応えることに尽力してきました。騒がしい環境でのことばの理解は、難聴者にとって最も困難な聞き取り状況の一つであり、補聴器の満足度を左右する重要な要素でもあります（Abrams&Kihm、2015年）。また、難聴者が健聴者と同等のことばの理解を得るためには、より良いSN比が必要です（Killion、1997年）。

指向性マイクロホン技術

騒がしい環境でのことばの理解を向上させるための確立された方法の1つに、指向性マイクロホン（ビームフォーミング）があります。この技術では2つのマイクが連携し、前方からの音に対する感度を高め、他の方向からの音の感度を低減することで仮想的な「音のビーム」を形成します（Derlethら、2021年）。指向性マイクロホンを使用すると、前方向のSN比が向上します（Rickettsら、2005年）。SN比の向上により、騒がしい環境でも前方の音声により明瞭に聞き取れるようになります。特に、話し手が前方にいる場合、雑音が側面や背後から入る場合に効果を発揮します

（Muellerら、2000年；Bentlerら、2005年）。フォナック補聴器は、20年以上にわたり固定指向性やウルトラズームを「騒音下でのことば」プログラムに活用してきました。ステレオズームは2012年にフォナックのクエスト シリーズで初めて導入された両耳間指向性です。この技術は、左右の補聴器に搭載された計4つのマイク（各補聴器に2個のマイク）の信号をワイヤレスで連携させることで、より狭いビームフォーミングを形成し、前方向のSN比をさらに向上させます。複数の研究により、フォナックのステレオズームは従来の指向性マイクロホンと比較して、会話の明瞭性を向上させることが確認されています（Appleton&Königら、2014年；Latzel&Appleton-Huber、2015年）。ステレオズーム2.0は、2022年にフォナック ルミティ シリーズで導入された技術で、環境の雑音レベルに応じて指向性を自動調整するよう設計されています。ステレオズーム2.0は低い雑音環境では空間認識を維持し、雑音レベルが高まると会話へのフォーカスを強化する仕組みを採用しています。これは、ウルトラズームからステレオズーム2.0へのスムーズな移行によって実現されています。さらに、ステレオズーム2.0の強度は雑音レベルに応じて自動調整され、雑音が増すほど会話へのフォーカスも強まるようになっています。従来のウルトラズームやステレオズームと比較すると、ステレオズーム2.0はより厳しい聞き取り環境で

も優れたSN比を提供します。最新のフォナック オーデオ インフィニオ でも「非常に騒がしい中でのことば」プログラムにステレオズーム2.0を搭載しており、引き続き優れた聞き取り性能を提供します。

DNNによる騒音からの音声分離

フォナック オーデオ インフィニオ スフィアは、専用の人工知能（AI）チップ「DEEPSONIC™」を搭載した世界初の補聴器であり、補聴技術における新たなパラダイムシフトをもたらします。この独自開発のチップには、ディープ・ニューラル・ネットワーク（以下、DNN）アルゴリズムが組み込まれており、あらゆる方向から背景雑音を音声から分離します。その結果、ことばの理解が飛躍的に向上します（Diehlら、2023年）。DEEPSONIC™によって、補聴器技術におけるディープラーニングベースのアルゴリズムの可能性が十分に解き放たれました。

DEEPSONIC™チップは、従来の技術と比べて53倍の処理能力を誇り、騒がしい環境でのかつてないレベルの音声明瞭度を実現するために設計されています。このチップにより、フォナックの新しいDNNベースの雑音除去機能「全方位からのことばの明瞭性」が可能となり、最も困難な音響環境でも革新的な信号処理を実現します。特に、「カクテルパーティー効果」と呼ばれる、多くの音が交錯する環境での会話理解の難しさに対して、DEEPSONIC™は画期的なソリューションを提供します。

フォナック オーデオ インフィニオ スフィアに搭載されたオートセンスOS 6.0 は、複雑で困難な音響環境を自動的に識別し、適切なプログラムヘシームレスに移行します。特に、非常に騒がしい環境に適応するための「非常に騒がしい中での全方位からのことば」プログラムに自動で切り替わる機能を備えています。「非常に騒がしい中での全方位からのことば」プログラムは、指向性マイクロホンと全方位からのことばの明瞭性を組み合わせた独自の技術で、極めて騒がしい環境でも最適なことばの理解を提供します。本研究では、フォナック オーデオ インフィニオ スフィア（SSC搭載）およびフォナック オーデオ インフィニオ（ステレオズーム2.0搭載）が、困難な聞き取り環境においてどのような性能を発揮するかを検証しました。

技術測定の結果

図1ではフォナックの技術進化の過程を示し、無指向性マイクロホンと比較したSN比の改善効果を可視化しています。

SN比が高いほど、補聴器が騒音とことばをより効果的に分離できるため、よりクリアな会話を聞き取ることができます。フォナックの最新技術（SSC、ステレオズーム2.0など）は、従来の指向性と比べても飛躍的なSN比を実現しています。この進化により、騒がしい環境でのことばの理解が大幅に改善され、聴取努力も軽減されます。固定指向性マイクロホン設定を使用すると、前方からの話者の音声に対して2.9dBのSN比が向上されます。これは実際の聞き取り環境において、雑音の中でもことばをより明瞭にする効果を発揮します。さらに、ダイナミックノイズキャンセル（以下、DNC）といったノイズキャンセリングアルゴリズムを導入することでSN比は2.9 dBから5.1dBへ向上します。

ステレオズーム2.0にDNCを組み合わせることでSN比がさらに向上し、合計6.4dBのSN比改善が得られます。これは、フォナックのよく知られた最先端の指向性マイクロホンとノイズリダクション技術がユーザーの聞き取り体験を向上させる上で不可欠であることを示しています。全方位からのことばの明瞭性は、既存の技術をはるかに超える革新的な機能を提供します。固定指向性マイクロホンと組み合わせることで、デフォルト設定で9dB、最大設定で10.2 dBのSN比向上を実現します。SSCの強度の設定は、フォナックのフィッティングソフトTargetまたはマイフォナック アプリを使用して変更できます。

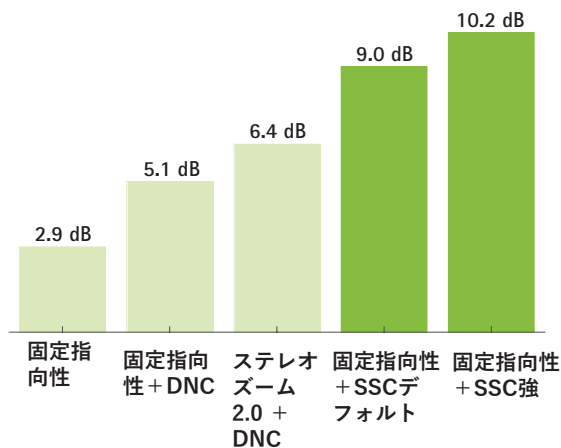


図1. フォナックの技術進化に伴うSN比の向上について無指向性マイクロホンとの比較。測定は3つの現実的な環境（カフェ、ディナー、パーティー、フードコート）における平均値を用いて実施されました。音響カップリングは閉塞および聞こえの良い耳での結果が示されています。音声信号は常に0°（正面方向）から提示されました。

全方位からのことばの明瞭性：あらゆる方向からのことばをよりクリアに聞き取れるようにする技術

人間は、聴覚を通じて周囲の状況を把握し、どこを見るべきか、どのように体を位置づけるかを判断し

ます。これにより、音の世界の心的表象を形成することができます（Derlethら、2021年）。この能力は、会話に集中するだけでなく、周囲の間接的な音声や環境音にも注意を向けることを可能にします。目は前方に集中している一方で、耳は全方向からの重要な情報をキャッチし、環境をより正確に認識する役割を担っています。難聴者は、周囲の音環境を把握するために健聴者よりも多くの認知的負荷を費やすことがあります。ことばの理解を補うために「聞き取れなかった部分を補完する」ことが必要になるのと同様に、環境音を把握するための追加の努力が、他の認知活動に使えるリソースを奪う可能性があります（Edwardsら、2016年）。

この課題に対処するため、フォナックの研究センター（Phonak Audiological Research Center；PARC）でSSCの臨床研究が行われ、ことばの理解と聴取努力について検証しました。その結果、本研究で測定されたSN比向上効果は実際の聴覚体験においても有意な改善をもたらすことが確認されました。特に中等度から高度難聴者においてことばの理解の向上が示されています。

高度な会話理解テスト（Coordinate Response Measure Task）において、SSCの有効性が検証されました。2024年Wrightらの研究によると、SSC有効時、60°、120°、240°、300°の方向からの音声をすべての単語にわたって理解できる確率が2倍に向上しました。

この研究では、Adaptive Categorical Listening Effort Scaling（ACALES）というテストを用いSSCが聴取努力の軽減にどのように寄与するかを評価しました（Wrightら、2024年）。その結果、SSC有効時と無効時とを比較して、聴取努力が有意に軽減されることが確認されました。この結果はSSCが単にことばの理解の向上に寄与するだけでなく、聴取時の疲労や負担を軽減し、より快適な聴取環境を提供することを示しています。

図2では、異なる入射角（0°～180°）からの音声信号に対するSN比向上効果を示しています。この測定では指向性マイクロホンの影響を除外し、SSC単独の効果を評価しました。結果として、SSCは話者の入射角（方向）に依存せず、全方位からのことばを均一に向上させることが示されました。SN比の向上は5.8～6.9dBの範囲にあり、全体の平均性能との差は1dB以内であることが確認されました。

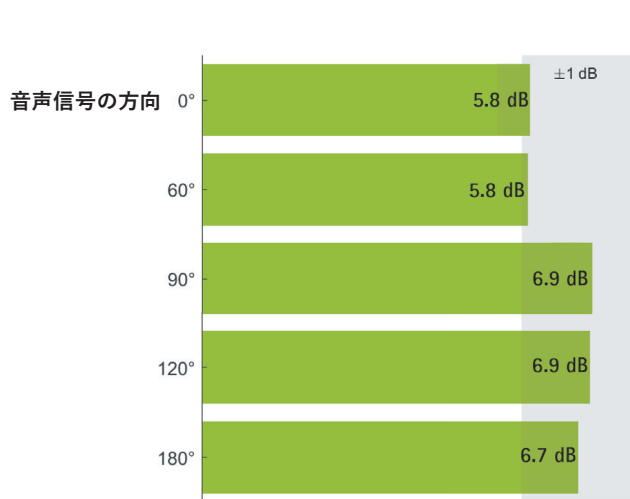


図2. 異なる方向（0°、60°、90°、120°、180°）からの音声信号に対する全方位からのことばの明瞭性のSN比向上効果。測定は3つの現実的な環境において行われました。測定条件：0° または60° において、（強レベルで有効にした場合と無効にした場合で比較した）全方位からのことばの明瞭性は、固定指向性マイクホンを使うことを参考条件としました。結果のポイント：SN比の向上は5.8dBから6.9dBの範囲に収まり、方向による大きな差異は見られませんでした。グレーのボックスは全方向の平均性能に対して±1dBの範囲を示し、SSCが一貫した効果を発揮することを確認しました。

方法

測定環境

すべての測定は、反響時間（RT60）が 0.15 秒の音響処理済みの部屋で行われました。フィンランド製の Genelec 8020D ラウドスピーカー 12台が、半径1.4mの円状に配置され、隣り合うスピーカー間は30°の間隔となりました。デンマークGRAS Sound&Vibrationの KEMARマネキン（実際の耳の形状に合わせた耳型を備えたモデル）がスピーカーの中心に設置され、0°の方向に向くようにしました。

KEMARマネキンの耳道の中心は、スピーカーと同じ高さに位置しました。また、オーディオ信号の送信にはドイツ製Audio AGのRME M-16 DAコンバーターが使用され、KEMARの耳道マイクからの音声記録には同社のRME Fireface 802 USB サウンドカードが用いられました。

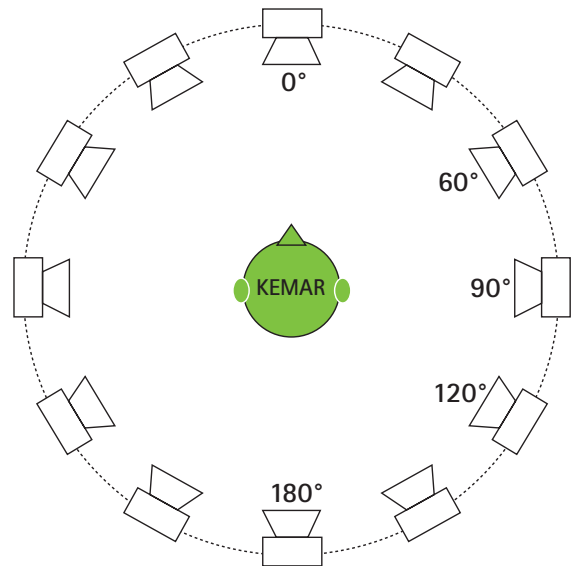


図3. セットアップの上方図。12台の Genelec 8020D ラウドスピーカーが、半径1.4mの円状に配置されています。人体計測に基づいた耳を備えた KEMARマネキンが、ラウドスピーカーの中央に設置され、0°の方向に向くようにしました。KEMARマネキンの耳道の中心は、ラウドスピーカーと同じ高さに位置しました。

背景雑音およびターゲット音声

ARTEデータベースから取得した3つの実際の音響シーンが背景雑音として使用されました（Weisserら、2019年）これらのシーンは、記録時の音圧レベル（SPL）で再生されました。具体的には、カフェのシーンは71.7dB SPL、ディナーパーティーのシーンは72.8 dB SPL、フードコートシーンは78.2dB SPLで使用されました。背景雑音は、ISTS音声信号（Holubeら、2010年）と混合され、カフェシーンでは自由音場SN比が0dB、ディナーパーティーシーンでは-3dB、フードコートシーンでは-6dBとなるように設定されました。

ARTEによるシーンは高次アンビソニクス（HoA）の録音です。これらの録音はデコードされ、1.4m離れた位置に配置された12個のスピーカーを通して水平面上で再生されました。標準的なHoAデコーディングで問題となる空間エイリアシングなどの欠点を克服するため、連続背景信号のデコードにはCoding and Multi-Parameterization of Ambisonic Sound Scenes (COMPASS) 手法が用いられました（Politisら、2018年）。ISTS信号は、それぞれのシーンのインパルス応答（特性）を加えました。部屋のインパルス応答（RIR）は、McCormackら（2020年）によるHigher-order Spatial Impulse Response Rendering (HO-SIRR) 手法を用いてデコードされました。

反響時間（RT60）は、カフェシーンが1.2秒、ディナーパーティーシーンが0.4秒、フードコートシーンが0.9秒でした。なお、前述の通り、実際の部屋はRT60が0.15秒でしたが、この値はデコード処理には反映されていませんでした。

音刺激の提示

図4は音刺激の提示の全体像を示しています。各測定の前に補聴器が安定するのを待つため、ISTS音声信号とそれぞれの背景雑音を40秒間再生しました。評価期間は各Hagerman位相反転ブロックにつき10秒間で、すなわちISTS音声信号および対応する背景雑音の最初の10秒が各Hagerman位相で繰り返されることで、1条件あたりの総取得時間は70秒となりました。図1～3のデータでは、ISTS音声信号は0° の方位から提示されました。なお、図3の測定では、音声信号の提示方向を0°、60°、90°、120° および180° に変更して繰り返し行われました。

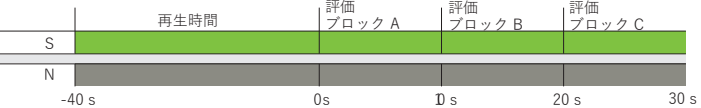


図4.音刺激の提示。各測定の前にISTS音声信号（S）とそれぞれの背景雑音（N）を40秒間再生し、補聴器が安定するのを待ちました。評価期間は、各評価ブロックごとに10秒間としました。

HagermanとOlofsson 位相反転法

HagermanとOlofsson(2004年)は、同時に提示される音声信号から信号成分と雑音成分を抽出する方法について説明しています。このテストでは、複数回の録音が行われ、その際に信号または雑音の位相が測定ごとに反転されます。この位相反転法により、補聴器の出力において信号（S'）と雑音(N')を分離し、SN比を計算することが可能となります。

3つの評価ブロックが再生されました：

- ブロック A = S+N
- ブロック B = S-N
- ブロック C =-S-N

補聴器処理後、KEMARマネキンで記録された信号は以下の通りです：

- ブロック A' = S'+N'+ε
- ブロック B' = S'-N'+ε
- ブロック C' =-S'-N'+ε

録音された音声信号S'、雑音信号N'、誤差εは以下のよう

S'=(A'+B')/2
N' = (A'-B')/2
Error ε = (A'+C')/2

補聴器処理後のSN比および誤差信号は、以下の式で計算されます：

SN比= 20*log10(rmsSII(S')/rmsSII(N'))
Signal error ε S = 20*log10(rmsSII(ε)./rmsSII(S')
Noise error ε N = 20*log10(rmsSII(ε)./rmsSII(N')

ハーガーマン誤差は、競合製品を含むすべての測定条件において、SII重み付けで-15 dB未満でした。

SII重み付け

SN比の利得は、語音明瞭度指数（SII,ANSI S3.5/1997；表3）の各帯域の重要度関数に基づいて、周波数ごとに加重されました。

補聴器フィッティング

補聴器フィッティングには、標準的なN3オーディオグラム（Bisgaardら、2010年）と完全閉塞のカップリングが用いられました。実耳閉塞利得（REOG）は国際女性ノイズ（IF noise, Holubeら、2010年）を用いて測定され、各デバイスとも100Hzから20kHzの周波数帯域で15dB以上のREOGが得られました。さらに、左右の耳で閉塞効果と挿入利得が対称であることを確認するため、100Hzから10kHzの範囲での挿入利得が測定されました。

各デバイスでは、独自のフィッティング処方が用いられ、最も高い経験レベルが選択されました。また、HagermanとOlofsson(2004年) の手法を実施するため、各デバイスのフィードバック管理システムは無効化されました。さらに、インパルスノイズ低減および風雑音低減も各デバイスで無効化されました。

結論

フォナック オーデオ インフィニオ スフィアは、騒がしい環境でのことばの理解というユーザーが最も求めるニーズに応えるため、ディープ・ラーニングを活用したアルゴリズムを導入しています。専用のAIチップを搭載し、瞬時に「ことば」と「雑音」を分離する世界初の補聴器です。発売時点で従来の技術と比べて53倍の処理能力を持つ、独自に開発したDEEPSONIC™チップによりSSCが実現されています。この革新的な技術は従来の補聴技術をはるかに凌駕し、非常にクリアで明瞭な音声を提供します。その結果、臨床での客観的テストにおいて、機能オフの場合と比べて音声理解が向上し、聴取努力も軽減されます（Wrightら、2024年）。また、SSCとステレオズーム2.0という専用機能は、それぞれSN比の改善に寄与します。フォナック オーデオ インフィニオ スフィアとフォナック オーデオ インフィニオ Rは、難聴者の成功をサポートするための最新のプレミアム補聴器です。

参考資料

- Abrams, H. B. & Kihm, J. (2015). An introduction to MarkeTrak IX: A New Baseline for the Hearing Aid Market. *Hearing Review*, 22(6).
- ANSI S3.5 1997. Methods for calculation of the Speech Intelligibility Index.
- Appleton, J. & König, G. (2014). Improvements in speech intelligibility and subjective benefit with binaural beamformer technology. *Hearing Review*, 21(11), 40-42.
- Bentler, R. A. (2005). Effectiveness of Directional Microphones and Noise Reduction Schemes in Hearing Aids: A Systematic Review of the Evidence. *J Am Acad Audiol*, 16(07), 473-484.
- Bisgaard, N., Vlaming, M. S. M. G., & Dahlquist, M. (2010). Standard Audiograms for the IEC 60118-15 Measurement Procedure. *Trends in Hearing*, 14(2), 113-120.
- Derleth, P., Georganti, E., Latzel, M., Courtois, G., Hofbauer, M., Raether, J., & Kuehnel, V. (2021). Binaural Signal Processing in Hearing Aids. *Seminars in Hearing*, 42, 206 - 223.
- Diehl, P. U., Zilly, H., Sattler, F., Singer, Y., Kepp, K., Berry, M., Hasemann, H., Zippel, M., Kaya, M., Meyer-Rachner, P., Pudszuhn, A., Hofmann, V. M., Vormann, M., & Sprengel, E. (2023). Deep learning-based denoising streamed from mobile phones improves speech-in-noise understanding for hearing aid users. *Frontiers in Medical Engineering*, 1:1281904. doi: 10.3389/fmede.2023.1281904
- Diehl, P.U., Singer, Y., Zilly, H., Schönfeld, U., Meyer-Rachner, P., Berry, M., Sprekeler, H., Sprengel, E., Pudszuhn, A., & Hofmann, V. M. (2023). Restoring speech intelligibility for hearing aid users with deep learning. *Sci Rep* 13, 2719. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29871-8>
- Edwards, B. (2016). A Model of Auditory-Cognitive Processing and Relevance to Clinical Applicability. *Ear and Hearing*, 37(1), 85-91.
- Hagerman, B., & Olofsson, A. (2004). A Method to Measure the Effect of Noise Reduction Algorithms Using Simultaneous Speech and Noise. *Acta Acustica united with Acustica*, 90, 356-361.
- Holube, I., Fredelake, S., Vlaming, M., Kollmeier, B. (2010). Development and analysis of an international speech test signal (ISTS). *International Journal of Audiology*, 49(12), 891-903.
- Kates, J. M., Arehart, K. H. (2014). The Hearing-Aid Speech Quality Index (HASQI) Version 2. *Journal of the Audio Engineering Society*, 62, 3, 99-117.
- Killion, M. C. (1997). The SIN report: Circuits haven't solved the hearing-in-noise problem. *Hearing Journal*, 50(10), 28-32.
- Latzel, M., & Appleton-Huber, J. (2015). StereoZoom – Adaptive behaviour improves speech intelligibility, sound quality and suppression of noise. *Field Study News* available at <https://www.phonak.com/en-int/professionals/audiology-hub/evidence-library>
- McCormack, L., Pulkki, V., Politis, A., Scheuregger, O. & Marschall, M., (2020). Higher-Order Spatial Impulse Response Rendering: Investigating the Perceived Effects of Spherical Order, Dedicated Diffuse Rendering, and Frequency Resolution. *Journal of the Audio Engineering Society*, 68(5), 338-354.
- Mueller, G. H., Ricketts, T. A. (2000). Directional-microphone hearing aids: an update. *Hearing Journal*, 53(5), 10-19.
- Politis, A., Tervo S., & Pulkki, V. (2018). COMPASS: Coding and Multidirectional Parameterization of Ambisonic Sound Scenes. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*
- Ricketts, T. A. (2005). Directional hearing aids: then and now. *J Rehabil Res Dev* 42(4, Suppl 2), 133-144.
- Weisser, A., Buchholz, J. M., Oreinos, C., Badajoz-Davila, J., Galloway, J., Beechey, T., & Keidser, G. (2019). The Ambisonic Recordings of Typical Environments (ARTE) database. *Acta Acustica united with Acustica*, 105, 4, 695-713.
- Wright, A., Kuehnel, V., Keller, M., Seitz-Paquette, K., Latzel, M. (2024). "Spheric Speech Clarity applies DNN signal processing to significantly improve speech understanding from any direction and reduce the listening effort ." *Phonak Field Study News* retrieved from <https://www.phonak.com/evidence>.

著者と研究者

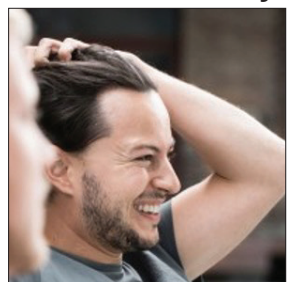
Stefan Raufer, 聴覚学研究者



Stefanは2021年にソノヴァに入社し、補聴器の新機能のための聴覚学的コンセプトを開発しています。他チームと共に最新技術を製品に反映させ、新技術がユーザーのメリットにつながるよう

しています。ハーバード大学で音声聴覚科学の博士号を取得しました。

Frédéric Uhlemayr, オーディオ&開発エンジニア



Frédéric は2021年にソノヴァに入社し、現在は知覚モデルや技術測定用ツールの開発に取り組んでいます。ウィーン音楽・舞台芸術大学でディプロム・トーンマイスターと

して卒業しました。オーディオ再生と自動車オーディオのバックグラウンドを持っています。

Michael Preuss, フォナック本社 聴覚マネージャー



Michaelは2020年に聴覚マネージャーとしてフォナック本社に入社しました。リューベックの聴覚音響アカデミーで講師を務めた経歴と難聴を持つという強みを生かし、包括的な専門家向けトレーニングセッションを

実施し、製品を提供しています。ドイツ開発時に聴覚学的な意見のリューベックにある応用科学大学で聴覚音響学を学びました。

Shin-Shin Hobi, フォナック本社 聴覚パフォーマンス担当 シニア・プロダクト・マネージャー



Shin-Shinは2006年にフォナック本社に入社し、オーディオロジー・マネージャーとして様々なプロジェクトに携わっていました。現在の職務であるオーディオロジー・パフォーマンス担当 シニア・プロダクト・マネー

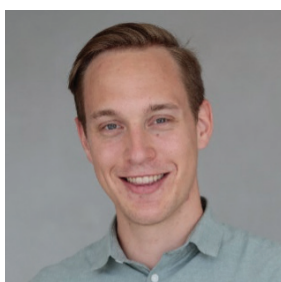
ジャーでは、オーディオロジー機能の製品開発において、エンドユーザーと聴覚ケアの専門家のニーズが考慮されていることを保証しています。オーストラリア出身で、メルボルン大学で聴覚学の資格を取得し、パースの個人診療所で幅広い臨床経験を積んだ後、スイスに移住しました。

Volker Kuehnel, プリンシプル・エキスパート・ヒアリング・パフォーマンス



Volker Kuehnelは1995年に物理学の博士を取得しました。1995年から1997年まで、オルデンプルクにあるB.コルマイヤー教授の医療物理学グループの研究助手として勤務しました。1998年よりフォナック・ソノバ社にて、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インターフェースにおける聴覚設計の製品開発に携わっています。顧客の最大限の利益を達成するための聴覚システムの聴覚学的品質に焦点を当てて仕事しています。

Philipp Kohlauer, 聴覚学研究者



Philippは2021年に聴覚研究員としてフォナック本社に入社しました。補聴器の専門家としての経歴を生かし、新機能の開発をサポートしてその品質と最適な性能を保証します。リューベック大学で聴覚技術の修士号を取得しました。