



## 空間スピーチエンハンス：

[ SPATIAL SPEECH ENHANCEMENT ]

よりチャレンジングな環境でこそ役に立つ補聴器

By Jumana Harianawala, Au.D. and Ben Waite, MS

補聴器ユーザーにとって、騒音のある環境での聴き取りは容易ではありません。背景雑音が補聴器を通して増幅されると過剰に大きな音に聞こえ、不快感を生じさせることも少なくありません。他人の声や周囲のお喋りが聞こえる状況では、対象となる話し手に意識を集中するのも大きな困難を伴い、認知機能の疲労を招きます。このようなわけで、補聴器ユーザーの不満の中でも一番多いのが雑音環境下での補聴器の性能に対するものであるのは驚くに当たりません (Kochkin, 2000; Hickson, Clutter buck, Khan 2010; Hong, Oh, Jung, Kim, Kang, & Yeo, 2014; Johnson, Xu, & Cox, 2016)。この不満は、自分の補聴器を常時装用しない、更には装用を止めてしまう大きな理由にもなっています (McCormack & Fortnum, 2013; Hickson, Meyer, Lovelock, Lampert, & Khan, 2014; Aazh, P rasher, Nanchahal, & Moore, 2015; Bennett, Laplante-l-évesque, Meyer, & Eikelboom, 2017)。

これらの問題に対処するために、ほぼ全ての現代の補聴器は何らかの形式の指向性処理とデジタルノイズリダクション(DNR)システムを採用しています。これら二つの技術は補聴器ユーザーに聞こえる雑音の量を減らす点は共通ですが、方法は大きく異なります。指向性処理はユーザーの前方にいる話者の声を強調するために、後方から聞こえる音(話し声も含めて)減衰させますが、DNRシステムは音が届いた方向に関わらず、雑音に特有な性質を持った音を減衰させます。この結果、指向性処理は対面している話者の声に対する語音明瞭度を改善します。一方DNRシステムは快適性を向上させ (Mueller, Weber, & Hornsby, 2006; Palmer, Bentler & Mueller, 2006)、また語音明瞭度を改善はできなくとも維持しながら、聞き取りに要する労力を軽減します。

必要とする話し声を残しながら雑音を抑制するのはDNRシステムの核心であり、DNRシステムの有効性は如何に巧みに、必要な音声信号から雑音を分離するかにかかっています。仮にシステムが雑音を雑音と認識することに失敗すると、システムは如何なる音も減衰せず、補聴器ユーザーにとっての恩恵が無くなります。システムのエラー

によって会話の相手の声を雑音と認識してしまうと、その声は減衰され、結果的に語音明瞭度が低下します。

シングルマイクDNRシステムは、一つのマイクロフォンからの信号を入力音とします。スターキーのボイスiQ2は独自の高速なシングルマイク・ノイズリダクションであり、語音と雑音の時間変化における既知の相違点を利用して語音と雑音を分離します。簡単に言うと、語音の信号レベルは短時間(音節)の中で変化しますが、雑音のレベルは短い時間の中では一定です(即ち雑音は定常的な傾向がある)。従って信号が比較的变化のない時間で周波数領域は減衰され、語音的な動的信号は処方されたゲインで補聴器ユーザーに届けられます。ボイスiQ2の臨床的調査では快適性、音質、背景ノイズへの許容度に関して改善が示されました (Pisa, Burk & Galster, 2010)。その他の研究においても、ボイスiQ2によって騒音環境下の聴き取りの労力を減らせることが示されています (Desjardin & Doherty, 2014)。

定常的な背景雑音の中でボイスiQ2がユーザー体験を向上させることは疑いのないところですが、雑音が語音に似ていて定常的でない環境での問題は残ります。騒がしいレストランやバーで遭遇する背景雑音を想像してください。反響する空間の中で、大勢の人の発する声が混ざり合った、変動するノイズフロアの上に、右や左から不要な話し声に乗っているような環境です。レストランは日常生活で遭遇する多くの環境と同じように、語音的な雑音で溢れており、音響環境での語音と雑音の相違を利用するシングルマイクDNRシステムでは対応に困難をきたす場面があったのも事実です。こうした環境で更に効率的な雑音抑制を行うには、ノイズリダクションシステムへの入力を改善しなければなりません。

### 空間スピーチエンハンス

スターキーの新しい空間スピーチエンハンス(SSE)は、両耳の補聴器が捉えた信号を用いてより良く語音から雑音を分離し、必要な語音を犠牲にすることなくノイズの減衰を行います。これはLivio AI/Livio補聴器のThrive(スライブ)プラットフォーム



フォームで導入した近接場磁気誘導 (NFMI) による高音質な両耳間音声ストリーミングによって可能になりました。

SSEは、同側の音声入力とストリーミングされた反対側の音声入力を比較します。これらの入力が似ている場合は、必要な入力として扱われ、異なる場合は不要なノイズとして扱われます。この処理方法には二重の効果があります。第一に、ランダムな定常雑音は、シングルマイクDNRシステムと同様にノイズとして扱われます。第二に、シングルマイクDNRとは対照的に、可干渉性の入力(例えば、音声)であっても左右の耳で相関性がなければ雑音として扱われます。

もう一度レストランの場面を想像してください。あなたは正面にいる話し相手の声に集中していますが、右手のテーブルにいる人の話し声が邪魔になっています。シングルマイクDNRの場合には、右手にある不要な話し声は右耳にも左耳にも同じようにとらえられます。しかしSSEの場合には、右手にある不要な話し声は右耳と左耳では違うとらえ方をされます。不要な話し声は、右耳から左耳へと伝搬(聞き手の頭部を回り込んで)する間に変化し、レベル差と位相差を生じます。SSEはこれらの違いを利用して必要な信号から不要な雑音を分離し、補聴器ユーザーを不要な話し声から

解放します。

実質的な結果として、SSEは語音的な雑音の減衰に関してシングルマイクDNRよりも有効であり、(不要な話し声を含む)語音的な雑音の中での聴き取りの信号対雑音比(SN比)をより改善します。語音的な雑音に対するSSEの効果を図1に示します。グラフ(A)は、語音的な雑音の入力レベルが大きくなるほどシングルマイク方式に対するSSEの優位性が顕著になることを示しています。グラフ(B)も同様な効果ですが、語音的な雑音が混ざった中での語音の聴き取りにおける有効性を示しています。この混ざった音の信号対雑音比(SN比)が劣化する(対象とする話者の声に対して雑音が大きくなる)と、補聴器の出力でSSEのSN比改善能力(即ち、対象とする話し手の声をそのままに、雑音を減衰させる能力)はシングルマイクDNR方式に対する優位性を増大させます。

### ノイズリダクションと指向性処理の再検討

前述のとおり、現代の補聴器はDNRシステムと指向性処理を組み合わせることで騒音環境下でのユーザー体験を向上させており、各社のアプローチはそれぞれの特徴を持っています。

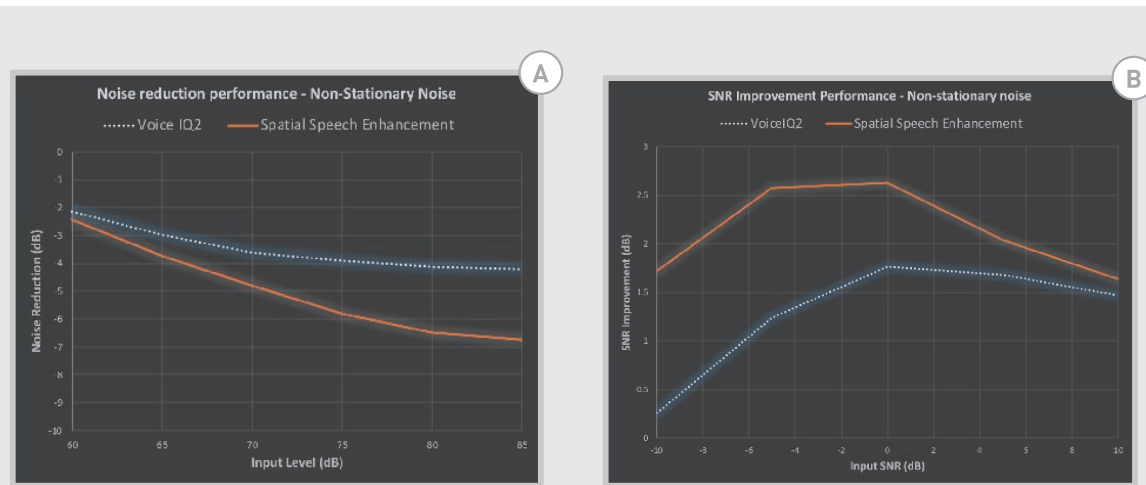


図1：シングルマイク・ノイズリダクション技術(ボイスiQ2)と両耳マイクノイズリダクション技術(空間スピーチエンハンス)の電気音響学的な比較結果; グラフ(A)は語音的な雑音だけが存在する場合の雑音低減効果を表し、グラフ(B)は語音的な雑音の混合雑音の中での語音の信号対雑音比(SN比)の改善効果を表す。



図2：Inspire Xのサウンドマネージャー画面と会話強調画面に表示されるボイス強調シンクロ切り替え、および空間スピーチエンハンス(SSE)機能

SSEは従来からある定常的雑音を減衰させる技術として作用しながら、側方からの可干渉性の信号を抑制する指向性のベネフィットも持っている点で、古いパラダイムとの決別を意味しています。この指向性処理との結合が、雑音低減と指向性を統合的に扱うアプローチへの動機付けになりました。

補聴器の指向性処理を自動的に有効化および無効化する技術は、シングルマイクDNR技術と同様に、いたるところで使われています。低い入力レベルでは、指向性処理がオフ(無指向性)または中程度(高周波数でのみ指向性)とされ、高入力レベルでは広帯域指向性処理が有効にされます。これにより、低入力レベルでの最適な音声の明瞭度とアクセスが可能になり、より高い入力レベルでは前方への意識集中を支援します。SSEの導入により、同様のアプローチがノイズ低減に適用されます。より高い入力レベルでは、SSEが有効になり、より低い入力レベルでは、シングルマイク・ノイズリダクション方式が有効になります。

Thriveプラットフォームでは、シングルマイク・ノイズリダクション機能をSSEとペアになるように再調整しています。これはSSEの理論的な基盤を採用していますが、ストリーミングされた反対側の音声信号は使いません。従って、語音的な雑音に対してはSSEと同じ機能を提供しませんが、定常雑音に対しては同じ性能を発揮します。これに

より、高い入力レベル (Inspireでは「ボイス強調シンクロ」と呼ばれます) で最も効果的なSSEと、音声明瞭度と状況認識が最も重要な、より低い入力レベルでのシングルマイク・ノイズリダクション(または「ボイス強調」)をシームレスに切り替えることができます。

### 会話強調技術：ヒアリングリアリティ会話強調

ノイズリダクションと指向性処理はスターキーのフィッティングソフトウェア Inspire X で管理されます。図2のサウンドマネージャー画面でボイス強調シンクロとボイス強調の調整を行います。ボイス強調とボイス強調シンクロの強度は会話強調画面のボイス強調コントロールを使って調節します。ノイズリダクションの強度をボイス強調コントロールで調節することは、従来のノイズリダクション機能の反復と理論的に一貫性があります。ノイズリダクションを強力に効かせるのを好むユーザーもいれば、より自然な音を好むユーザーもいます。ボイス強調シンクロコントロールはSSEの有効/無効を制御します。デフォルトは雑音低減と音質の最適なバランスを考慮して設定されていますが、フィッティングを行う専門家のサービスの重要な部分は、このバランスを各人の好みに合わせて調節することにあります。

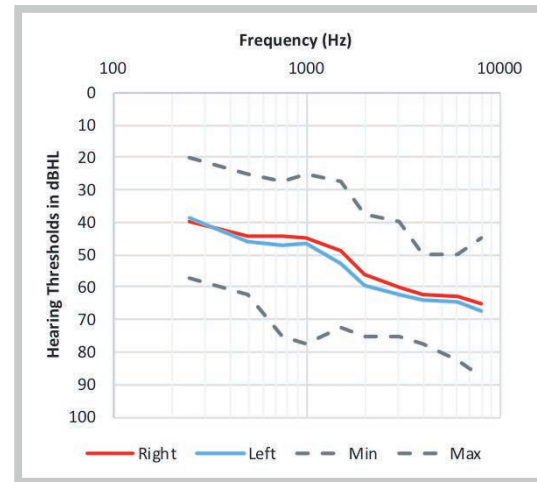


図3：平均的聴力データと15名の参加者の最小及び最大閾値

## 実験検証

### 参加者と補聴器フィッティング

複雑な騒音環境下で聞き取りをする際の補聴器ユーザーのSSEとボイスiQ2に対する嗜好を比較するために、研究室での実験を行いました。参加者は15名(男性7名、女性8名)、年齢は54歳から87歳でした(平均年齢72歳)。平均して、すべての参加者は両側、対称性、軽度から重度の感音難聴を有していました(図3)。すべての参加者は、補聴器の装用経験豊富な両耳装用のユーザーでした。

補聴器はスターキーの処方方式e-STAT (Scheller & Rosenthal, 2012)でフィッティングしました。SSEとボイスiQ2はデフォルト設定(最大10dBのノイズ低減)で比較しました。指向性処理の効果を除外してSSEを評価するために、マイクロフォンモードは無指向性に設定しました。すべての参加者に対し、適切なサイズのイヤチップを使って両耳にフィッティングを行いました。実耳での検証も行い、可聴性を確かなものとするために微調整を行いました。SSEとボイスiQ2の2つのメモリーは、ノイズリダクションのアルゴリズム以外は同条件になるようにしました。

### 嗜好性テスト

SSEとボイスiQ2に対する参加者の嗜好は、一対比較法によって評価しました。参加者は防音室の中で、円形に配列された8つのスピーカーの中心に座りました。対象スピーチは参加者の正面(方位0°)のラウドスピーカーから73dB SPLで呈示され、参加者を取り囲む他の7つのラウドスピーカー(±45、±90、±135、180)からは70dB SPLの拡散性バブルノイズが呈示されました。拡散性バブルノイズに加えて、参加者の両側(±90°)のラウドスピーカーから70dB SPLの干渉音信号も呈示されました。こうして4つの異なるボイス強調構成がテストされました。

- 拡散性バブルのみ(対象スピーチ無し)
- 拡散性バブル中の対象スピーチ
- 拡散性バブル中の対象スピーチ + 1人の干渉話者
- 拡散性バブル中の対象スピーチ + 2人の干渉話者

各々のボイス強調構成で、参加者は現在の設定を知らされずにSSEとボイスiQ2をスイッチで切り替え、嗜好を記録しました。全ての比較が、各被験者によって2回行われました。

### 結果

図4は、SSEとボイスiQ2に対する嗜好をパーセンテージで示しています。ウィルコクソンの符号順位検定は、SSEへの嗜好がボイスiQ2への嗜好よりも有意に高いことを示しました( $Z=3.327$ 、 $p<0.001$ )。ボイスiQ2に対するSSEの嗜好の優位性は、拡散性バブルノイズ中の対象スピーチという構成以外のすべての構成において、偶然性として予想されるよりも大きい結果でした( $p<0.5$ )。拡散性バブルノイズ中の対象スピーチに干渉する話者が一人だけ加わった条件では、前に述べたように、SSEとボイスiQ2の両方が同様に、対象スピーチを拡散性ノイズと区別して、同様のSN比改善をもたらすことができます。妨害する複数の話者を伴う、より複雑な雑音環境では、これらの結果で示されているように、ボイスiQ2よりもSSEへの嗜好が優位となりました。

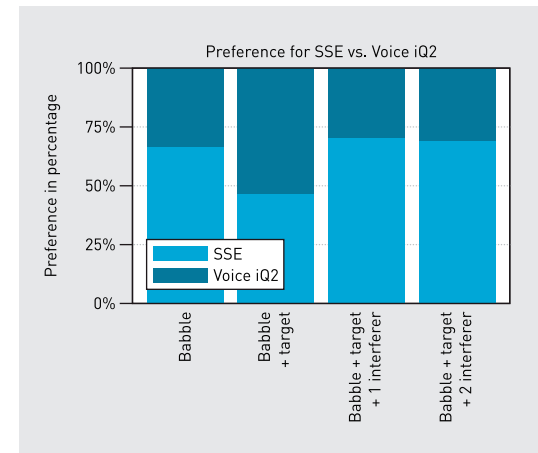


図4：各種のノイズ構成の下でのSSEとボイスiQ2に対する15名の参加者の嗜好(パーセンテージ)の調査結果。グラフはSSEとボイスiQ2に対する嗜好を積み上げグラフで表す。

## 参考文献

- Aazh, H., Prasher, D., Nanchahal, K., & Moore, B. C. (2015). Hearing-aid use and its determinants in the UK national health service: a cross-sectional study at the royal Surrey county hospital. *International Journal of Audiology*, 54(3), 152-161.
- Bennett, R. J., Laplante-Lévesque, A., Meyer, C. J., & Eikelboom, R. H. (2017). Exploring hearing aid problems: Perspectives of hearing aid owners and clinicians. *Ear and Hearing*, 39(1), 172-187.
- Bentler, R., Wu, Y., Kettle, J., & Hurtig, R. (2008). Digital Noise Reduction: Outcomes from laboratory and field studies. *International Journal of Audiology*, 47(8), 447-460.
- Desjardin, J.L., & Doherty, A.K. (2014). The effect of hearing aid noise reduction on listening effort in hearing-impaired adults. *Ear and Hearing*, 35(6), 600-610.
- Hickson, L., Clutterbuck, S., Khan, A. (2010). Factors associated with hearing aid fitting outcomes on the IOI-HA. *International Journal of Audiology*, 49, 586-595.
- Hickson, L., Meyer, C., Lovelock, K., Lampert, M., & Khan, A. (2014). Factors associated with success with hearing aids in older adults. *International Journal of Audiology*, 53(S1), S18--S27.
- Hong, J. Y., Oh, I. H., Jung, T. S., Kim, T. H., Kang, H. M., & Yeo, S. G. (2014). Clinical reasons for returning hearing aids. *Korean Journal of Audiology*, 18(1), 8-12.
- Johnson, J. A., Xu, J., & Cox, R. M. (2016). Impact of hearing aid technology on outcomes in daily life II: Speech understanding and listening effort. *Ear and hearing*, 37(5), 529.
- Kochkin, S. (2000). MarkeTrak V: "Why my hearing aids are in the drawer": The consumers' perspective. *The Hearing Journal*, 53(2), 34-41.
- McCormack, A., & Fortnum, H. (2013). Why do people fitted with hearing aids not wear them? *International Journal of Audiology*, 52(5), 360-368.
- Mueller, H.G., Weber, J., & Hornsby, B. (2006). The effects of digital noise reduction on acceptance of background noise. *Trends in Amplification*, 10(2), 83-93.
- Palmer, C. V., Bentler, R., & Mueller, H. G. (2006). Amplification with digital noise reduction and the perception of annoying and aversive sounds. *Trends in Amplification*, 10(2), 95-104. <http://doi.org/10.1177/1084713806289554>
- Pisa, J., Burk, M., & Galster, E. (2010). Evidence based design of a noise management algorithm. *The Hearing Journal*, 63(4), 42-48.
- Sarampalis, A., Kalluri, S., Edwards, B., & Hafter, E. (2009). Objective measures of listening effort: Effects of background noise and noise reduction. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 52, 1230-1240.
- The authors would like to acknowledge Ivo Merks for his contributions.

## 結論

DNRアルゴリズムは、騒音環境での聞き取りの快適性を改善することが知られています。拡散性バブルノイズ中に一人の話者が居るような、さほど複雑でない環境では、ボイスiQ2のようなシングルマイクDNRシステムが十分なノイズ低減を提供します。しかし、妨害する複数の話者が居るような複雑な環境では、シングルマイクDNRシステムでは十分ではありません。こうした環境では、空間スピーチエンハンスがボイスiQ2よりも好まれます。この記事で紹介した調査結果は、ボイスiQ2よりも、Livio AI / Livio 補聴器が搭載する空間スピーチエンハンスが補聴器ユーザーに好まれることを明確に示しています。SSEは、最も困難な環境にあっても、気を散らす話し声や背景雑音を最小限に抑えるという利点を補聴器ユーザーに提供します。 /