

# リサウンドの両耳聴取戦略の進化 オールアクセス指向性と ウルトラフォーカス

Jennifer Groth、MA、GN Hearing A/S

## 概要

成人の補聴器ユーザーは、補聴器をさまざまな音環境で装用するが、比較的シンプルな音環境で過ごすことが多い。また、ユーザーの好みや聞き取りの目指しているレベルも異なる。したがって、このような実生活のあらゆる状況で、最良のきこえを提供することが重要である。「オーガニックヒアリング」とは、自然なきこえ、自然な聞き取り、日常生活の場面で機能するようにその適用方法について考慮した、リサウンド独自のよりよいきこえを目指したサウンド哲学である。リサウンド・ワンは、革新的な「オールアクセス指向性」を導入し、あらゆる生活環境の中でユーザーに快適なきこえをもたらす。オールアクセス指向性は、リサウンドが開拓した指向性を進化させ、臨床的な研究に基づく両耳アプローチとして、新しい指向性テクノロジーをもたらします。さらに、ユーザーは、一対一の会話をより良く聞き取るためにウルトラフォーカス機能を有効にすることができる。それは特に、ユーザーが特別なサポートを必要とする、騒音下での聞き取りにとっても効果的である。

今日の補聴器の音声処理機能は、通常、特定の聞き取り環境で生じる問題を解決することを目的に設計されている。たとえば、雑音抑制機能により、交通機関などの騒音が極めて大きい環境下での音をより快適なものにすることができる。しかし、交通機関に合わせた雑音抑制レベルは、環境が異なれば好ましくないこともある。音声処理技術は有益であるが、機能の相対的なメリットとデメリットは、聞き取り環境や補聴器装用者の好みや意向によって異なる可能性がある。このジレンマを解決するため、今日の補聴器では、さまざまな音環境に対する音声処理の適用方法を制御するアルゴリズムを搭載している。これにより、ユーザーは操作を行ったり深く考えることなく、この技術のメリットを活用できる。複雑な補聴器機能の自動誘導が良いアイデアであった理由を示す例として、最近の MarkeTrak 10調査があげられる。指向性マイクを備えた補聴器ではユーザー満足度が高いが、補聴器に指向性マイク補聴器があるかどうかを把握している補聴器所有者はわずか28%であった。<sup>1</sup> 補聴器ユーザーが、装備されていることを知らない、またはアクセス方法がわからない機能の恩恵を受けられないのは確かである。多くのプレミアム補聴器において、音環境に基づいて動作させる機能の1つが指向性マイクである。

指向性マイクは、我々リサウンドの最も効果的なソリューションとして高評価を受けている。指向性マイクにより、補聴器装用者に騒音下でより良いきこえをもたらしており、今日の補聴器の大部分が指向性マイクだけでなく、ワイヤレスストリーミング技術を備えている。従来のデジタル補聴器では、マイクからの信号に対する処理に複雑性のレベルがあり、指向特性のばらつきの原因となっている。多くの場合、適切な複雑性のレベルは聴覚ケア専門家(HCP)によって検討され、自動制御により指向性機能を実生活に適用するようにコントロールされている。一般的には、指向性の処理方法の解説に多くの注意が払われているが、指向性の動きに対する関心は比較的低い。これは、自動車レースの結果をドライバーの能力を考慮せずに、車の機能のみに基づいて予測するのと同じである。

## 指向性システムの設計思想に着想を得た オーガニックヒアリング

これまでの指向性マイクの実装の考え方は、耳の高さで前方から発されるスピーチに対する SN 比の向上を重視しており、ユーザーの脳内での高度な処理や補聴器を使

用している人の意向や好みは考慮しない。リサウンドは当初から、自然な聴覚ソリューションの開発から着想を得ており、オーガニックヒアリングの哲学として具現化された。過去10年以上にわたり、リサウンドは、補聴器における指向性マイク技術の適用に対して独自のエビデンスに基づく両耳聴取戦略を追求してきた。<sup>2</sup>「両耳」と言う言葉は、この戦略では、両耳が受け取った音に基づいて脳が行う洗練された処理は、複製したり置き換えたりすることはできないということを意味している。したがって、我々リサウンドの考え方は、脳による両耳聴取能力を支援し、活用しようとするものである。

技術の進歩に伴い、両耳戦略も進化を遂げている。リサウンド・ワンは、両耳の性質を保つこれまでの戦略に従いながら、耳から耳へ信号情報を渡す、両耳ビームフォーミング技術に基づく高度な処理技術を搭載した新しいバージョンを導入している。オールアクセス指向性本紙では、リサウンドの両耳聴取戦略の背景にある論理的根拠を、オールアクセス指向性（全方向型指向性）の実現方法とともに説明する。

## 両耳ビームフォーミングのメリットと問題点

リサウンド・ワンは、両耳間で音をワイヤレスストリーミングする機能を追加して、劇的に改善されたプラットフォームで構築されている。これにより、両耳ビームフォーミングを介して鋭い指向性を作り出すことが可能になる。両耳ビームフォーミングは、補聴器業界ではよく知られている。両耳に装着されている補聴器の4つのマイクすべてからの信号を使用して、1つの鋭い指向性のモノラル信号を形成して動作する。このモノラル信号が両耳に届く。両耳ビームフォーミングでは、単純な実験室条件における騒音下での言葉の認識の向上が、独立して動作する指向性補聴器で一般的に得られるよりも高いことが報告されている。<sup>3</sup>しかし、より複雑な条件でのテストでは、そのメリットがより少ないことが示されている。<sup>4, 5</sup>これは両耳ビームフォーミングでは両耳による空間認識の手がかりが得られないためであると考えられている。両耳による空間認識の手がかりは、複雑で現実的な聞き取り状況において、聞き手が競合する音の流れを見つけて分離できるようにする。低周波数での両耳間時間差(ITD)の手がかりは、複数の人が同時に話すような現実的な状況で聞き手を支援するために非常に重要であると思われる。たとえば、Bestら<sup>6</sup>は、低周波数での空間認識の手がかりが、ある程度維持されるようにクロスオーバー周波数が変化する高音域両耳ビームフォーミングをテストした。マスキング音として変調ノイズを使用した場合、難聴者も健聴者も、どのクロスオーバー周波数を問わず安定したメリットを示した。スピーチバブルノイズをマスキング音とした、より難しい条件下では、全体的なメリットは少なくなり、平均的なメリットは800 Hz以上のクロスオーバー周波数でしか見られなかった。これらの結果は、低周波数に含まれるITDによる手がかりは聞き手にとってより現実的な条件で言葉を分離し、処理するのに有用であったことを裏付ける。

実生活の場面で会話を的確に捉えようとする聞き手を妨げるような、両耳ビームフォーミングに密接に関わる問題は、話者が見えない方向からの音の可聴性である。補聴器ユーザーがより良い聞こえを望む実生活の多くの場

面で会話を的確に捉えるには、話者と話題の素早い切り替えを把握して、複数の話者の重なる声を区別しなければならない。このような状況では、聞き手は常に新たな関心対象の話者の方に向き直らなければならない。反対に、補聴器の指向性に関する実験室でのテストは、標的音声の位置が変化しない状態で行われることが多い。これが作業を楽にするのである。聞き手は、標的音声の位置が常に自分が見ている方向にあることを知っているため、どこで発されているのかを見い出そうと労力を費やす必要がない。両耳ビームフォーミングがテストされた複数の調査は、標的音声の位置が予測できないことによって、騒音下での言葉の認識力がいかに妨げられるかを示している。<sup>4, 5</sup>また、一部の研究では、頭部の動作追跡装置を使用して、標的音声のある新たな方向を向こうとする行動が補聴器の指向性とどのように相互作用するかを調べている。鋭い指向性は、標的音声の位置が変わったときにその音を把握しようとする聞き手の能力を妨げる。<sup>7, 8</sup>指向性の方向外にある音が12 dB以上減衰すると、指向性マイクは、グループ会話の典型である、話者が入れ替わる状況では役に立たなくなる。<sup>8</sup>

大半の両耳ビームフォーミングで考えられるもう1つの問題は、適応性である。これは指向性パターンを変えて後頭部側の最も支配的な雑音源を相殺することを意味するため、有利となるはずである。しかし、SN比が低いと、適応型指向性マイクシステムは音源定位を妨げることが示されている。<sup>9</sup>1つの理論としては、背景雑音がより拡散的になると指向性システムがその特性を高速で変化させるためであるというものである。これによって両耳間レベル差(ILD)が予測できない歪みを起こし、それにより音源定位の能力を妨げている可能性がある。

## 空間認識の手がかりを維持する リサウンドの両耳ビームフォーミング

オールアクセス指向性で使用するリサウンドの両耳ビームフォーミングは、聞き手の正面で発される音声に対するSN比の最大化と共に、指向性範囲外の音に対する気付きの維持や、新たな、または移動する標的音声に向きを変えられるように、空間認識の手がかりの維持とを両立させている。マルチバンドシステムは、このような目的に対応するために処理の適用を変えることができる。さらに、聞き手の周囲の雑音が均一でない場合には、雑音が少ない方の耳からの音に対する適応的な重み付けにより、両耳ビームフォーミングのメリットをさらに増強できる。

## マルチバンドシステム

図1および図2は、マルチバンド両耳ビームフォーミングを概念化したものである。図1に、音声を複数の帯域に分離し、各耳の指向性システムによる出力をもう一方の耳にストリーミングして反対側の耳の補聴器の出力に合成する方法を示す。低周波数帯では、無指向性応答が適用される。これは、リサウンドが10年以上使用している低周波数ITDの手がかりを維持する指向性である、帯域分割のアプローチと一致している。このアプローチは、その音質により、全帯域型の指向性よりも好まれており<sup>10, 11</sup>、また全帯域型の指向性と比較して全体的により優れた音源定位が可能であることが示されている。<sup>12</sup>このアプローチに対する騒音下における音声認識は、オープン

フィッティングにおける全帯域型の指向性と等価であるが、クローズフィッティングにおける指向性帯域幅の増加により改善する。<sup>13</sup>

中音域は、特にスピーチの重要性が高い周波数帯域である。<sup>14</sup> 両耳ビームフォーミングは、この周波数帯域にのみ適用される。聴力型に応じて、低域周波数帯と中域周波数帯の間のクロスオーバー周波数が規定される。より重度の難聴を抱える人は、クローズフィッティングの補聴

器を利用する可能性が高いため、より広い周波数帯域で指向性のメリットをより多く受けられる可能性がある。<sup>11</sup> したがって、このような人には軽度または中程度の難聴を抱えた人よりも低いクロスオーバー周波数が規定される。5000 Hz を超えると、耳介からのモノラル高周波スペクトルの手がかりを近似し、ILD に対する適応型指向性による潜在的な影響を最小限に抑えるため、モノラルの固定型指向性が適用される。

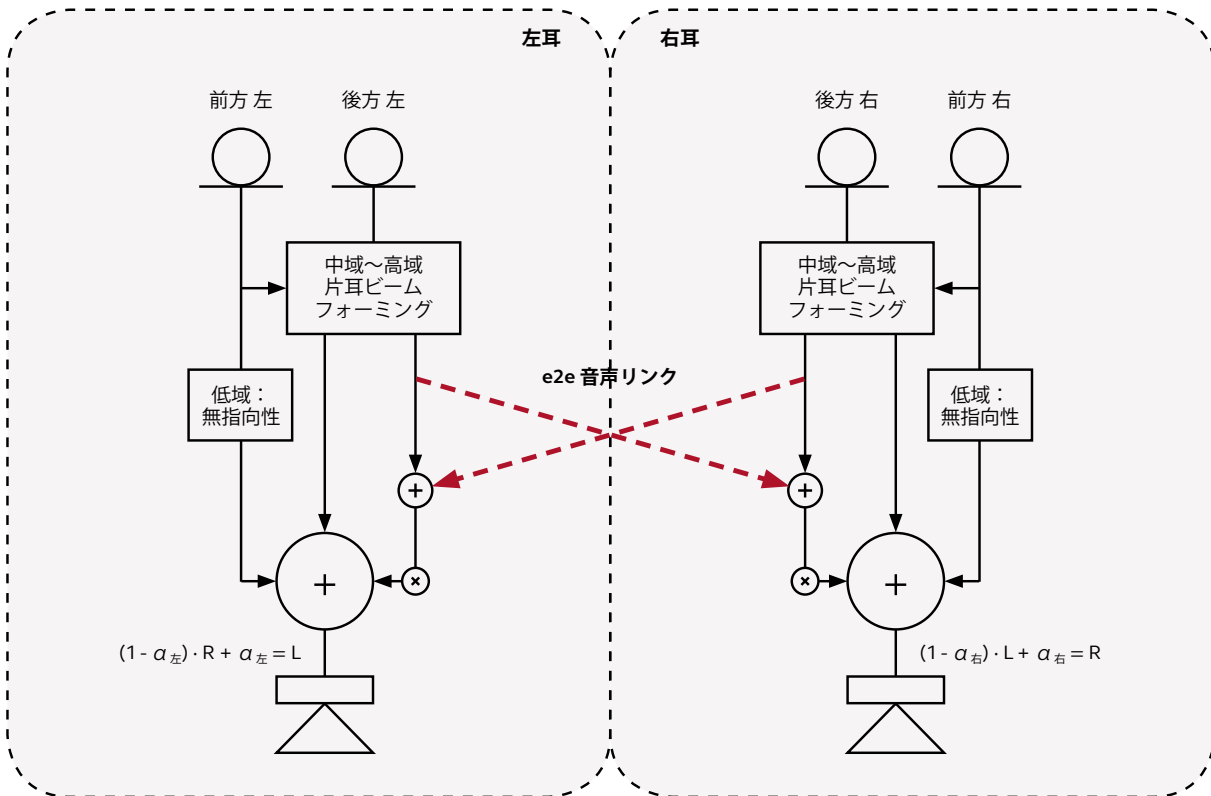


図1 リサウンドの両耳ビームフォーミングのアルゴリズム。赤い矢印は 左右の補聴器のデュアルマイク指向性システムからの音が他方の耳にストリーミングされ、出力に合成されてより鋭い指向性ビームを形成することを示している。指向性ビームの形成は、スピーチが重要である周波数帯でのみ生じるのに対し、他の周波数帯では空間聴取の手がかりを維持する処理が適用される。

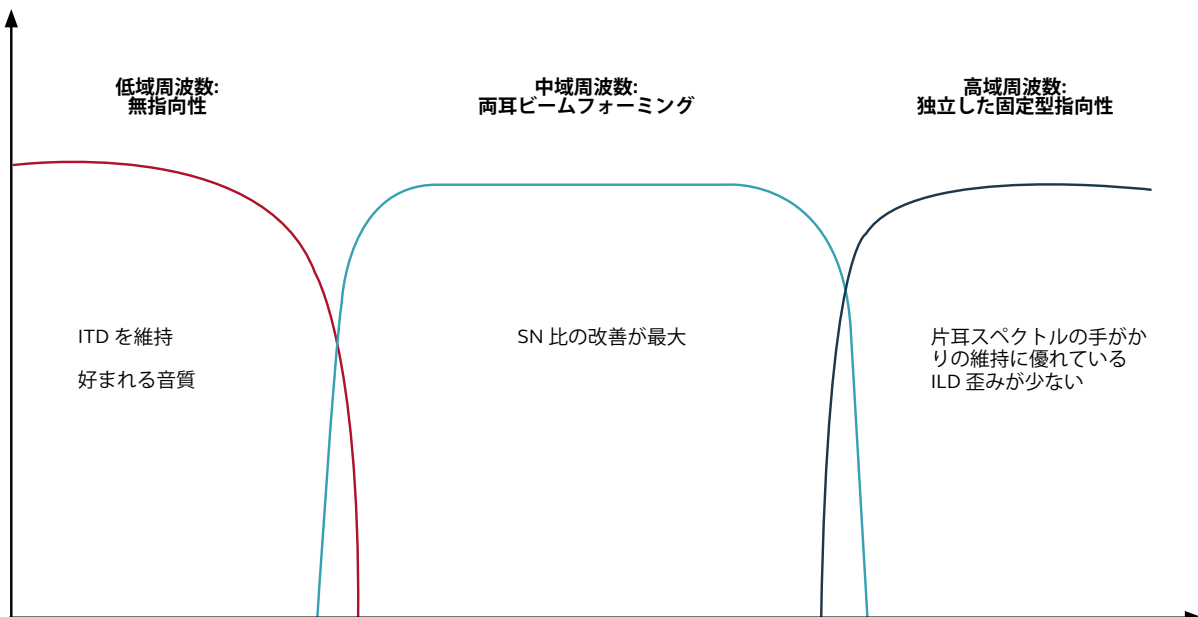


図2 リサウンドの両耳ビームフォーミングは、中域周波帯で強力な指向性を適用しながら、低域周波帯および高域周波帯では空間聴取の手がかりを維持する。

従来のリサウンド指向性技術と比較すると、両耳ビームフォーミングは音声明瞭度指数で重み付けした指向性係数(AI-DI)<sup>15</sup>を約2 dB 向上させる可能性がある。図3は、新たな両耳ビームフォーミングと以前のリサウンド・スプリットバンド指向性技術に対し、4つのクロスオーバー周波数設定で無指向性と比較した場合のAI-DIの改善について比較している。

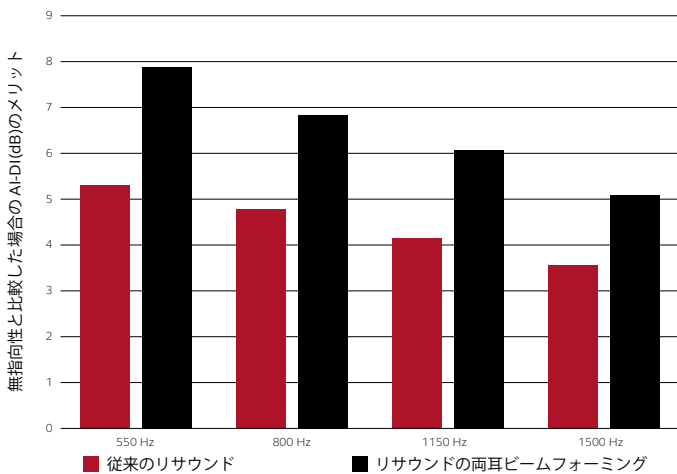


図3 リサウンド・スプリットバンド指向性の無指向性と、新しいリサウンド両耳ビームフォーミングを比較した場合のAI-DIの改善。クロスオーバー周波数に関わらず、両耳ビームフォーミングではメリットが大きい。

両耳ビームフォーミングの付加的機能は、雑音が均一に分散されていないような実生活の場面でさらにメリットとなる可能性がある。たとえば、やや騒がしいレストランで席に着くと、聞き手の片側に他のテーブルよりも騒がしいテーブルがあるかもしれない。このような状況では、両耳ビームフォーミングは、強力な指向性ビームを形成するときに、騒がしくない側からの信号を状況に応じて重み付けして雑音の一部を除去し、頭部陰影効果を利用するように設計されている。2つの補聴器間での騒音レベルの差が広がるほど、騒音が少ない側からの信号はより大きく重み付けされる。これは、両側の補聴器からの信号を等しく混合するビームフォーミングと比較して、非対称の騒音環境におけるSN比を改善する可能性がある。

この重み付けの効果を、正常範囲内の聴力を持つ10人の聞き手でテストした。10人は、騒音下でのスピーチ認識テスト<sup>16</sup>に、カフェテリアの雑音をマスキングとして4つの条件で参加した。雑音は、図4に示すように主に右から、または左から与えた。それぞれの雑音設定について、テストは両耳ビームフォーミングにおいて騒音が少ない方に対する重み付けがある場合と無い場合とで実施した。図5に示すように、重み付けしたビームフォーミングでも重み付けしていないビームフォーミングでも、騒音が左にある場合には、騒音が右にある場合よりも大きくはないがわずかに聞こえが優れていた。平均すると、聞こえは騒音が少ない方に重み付けを適用すると2 dB 強ほど改善した。

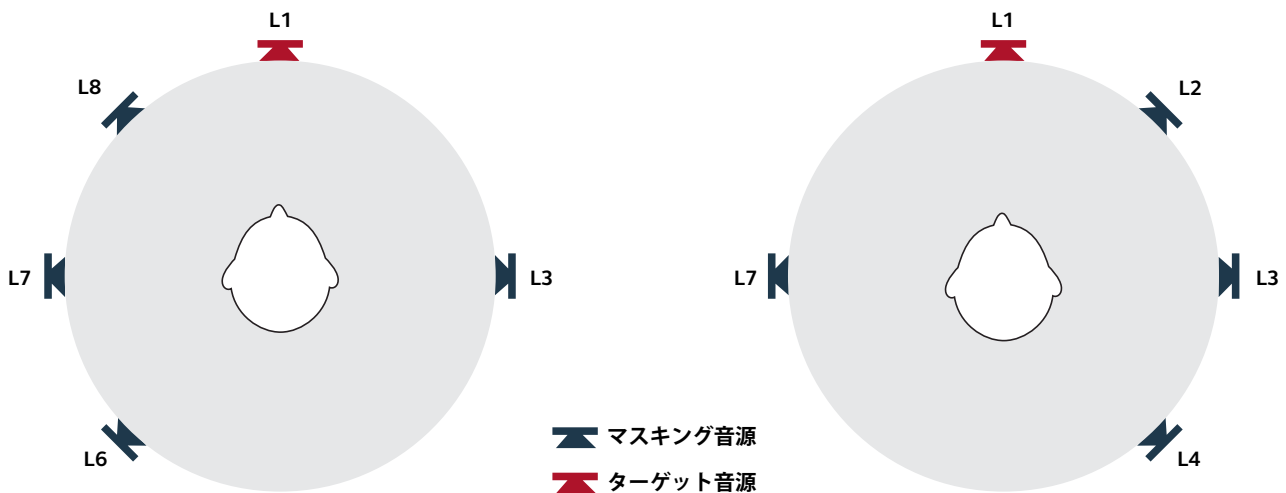


図4 両耳ビームフォーミングの重み付けテストの設定。カフェテリアの騒音は主に右側または左側から、スピーチは正面から与えられた。

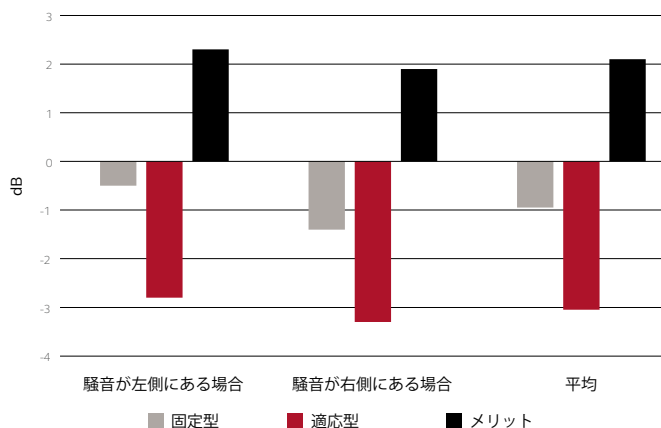


図5 騒音下での語音認識のスコアは、騒音が主に左側または右側にある場合に両耳ビームフォーミングの適応重み付けがあると2 dB 強ほど改善した。

## 実生活で指向性を適用するための 新たな両耳聴取戦略

毎日の生活において、人々は環境の特性や所与の条件下における各自の意図や目的に応じて、自然に、意識せずに、さまざまな聴取方法を用いている。たとえば、静かな通りや公園に散歩に出かけるのであれば、聞き取りの形態は、後ろでたくさんの人が話をしていたり音楽がかかっているような騒音があるパーティで誰かと話している場合とは異なる。静かな通りでは、周りで何が起きているかに注力し続ける。後ろからジョギングしている人が近づいてくるのが聞こえるかもしれない。その人が通過できるようにいつ横に移動して道を空ければいいか理解している。隣人が呼びかけて挨拶するかもしれない。どこを見て挨拶すればいいか、直感的に把握している。鳥のさえずりや葉がカサカサと擦れる音を楽しんでいるのであれば、こういった音の自然さや真正性は重要である。逆に、騒がしく人が集まる場所で会話をしているときは、視覚的情報を利用できるように話をしている相手の方を見る。その人に近づいたり、できるだけ声が聞こえるように頭を傾げるかもしれない。その人の声の可聴性と明瞭性が一番重要となる。どのように音を聞くかは状況と聞き取りの目標レベルによって異なるため、補聴器技術は柔軟性に欠ける方法を強要するのではなく、さまざまな聞き取り方法を支援するように設計されるべきである。オールアクセス指向性は、音環境の分析を活用し、リサウンド・ワン補聴器の両耳フィッティングをコントロールしている。最適な設定を適用する3つの異なる聞き取りモードから選択し、人々が自然に使用する聞き取りの手段を支援する。リサウンドはこれを、空間認識の維持、両耳聴、会話の明瞭度の共存と呼んでいる。

### 空間認識の手がかりの維持

オールアクセス指向性における空間認識の手がかりを維持するモードは、自然さと全体的な音質を重視する。指向性マイクは騒音下でのきこえを手助けするが、音質は低下し、特定の状況ではユーザーにとって最も重要な音情報が妨げられてしまうことがある。静寂下や複雑性の低い聞き取り環境では、ユーザーは指向性処理よりも無指向性の音質を好むことが分かっている。<sup>17, 18, 19</sup> ユーザーは、他の環境よりもこの種の環境で補聴器を装着することが多いため<sup>20</sup>、騒がしい環境だけでなく、単純な環境の中できこえを改善することも重要である。さらに、MarkeTrak や EuroTrak などの調査によれば、ユーザーがこういった環境でのきこえのメリットに非常に満足していることを一貫して示している。したがって、SN 比を向上させたり、雑音を軽減させるために、信号を歪ませたり、全体的な音質を低下させる可能性がある無茶な方法を取る必要はない。<sup>21</sup> 音質を向上させる1つの方法は、ユーザーが環境内の音を分離し、音源の方向感と距離感がわかるよう、空間聴取の手がかりをできるかぎり維持することである。空間認識は、聞き手の聴覚系が環境を聴覚的に構築するために活用する空間聴取の手がかりの維持に役立つ。

空間認識は、空間的な手がかりを妨害する可能性のある、補聴器に関わる3つの問題を考慮しています。まず、耳かけ型(BTE)や外耳道内レシーバ耳かけ型(RIE)タイプでは、耳介の上にマイクがあるため、耳介スペクトルの手がかりがなくなる。<sup>22, 23</sup> 次に、耳介の上にマイクがあると、ILD に歪みが生じる。<sup>24</sup> そして最後に、2つの左右対称にフィッティングされた補聴器で個別に機能する広ダイナミックレンジ圧縮は、ILD を歪ませる可能性がある。<sup>25</sup> 標準的な RIE レシーバーでは、平均的な耳の

特性に基づいて作られた空間認識により耳介効果を補償するアルゴリズムが適応され、これによって無指向性に比べて前後の位置感覚が改善され<sup>26</sup>、ILD の推定を誤ることが少なくなる。<sup>27</sup> また、空間認識により自然な ILD を維持するように設計された両耳圧縮アルゴリズムが適応される。リサウンド・ワン で利用可能な、軽度から中等度難聴向けの新しいマリー専用レシーバーは、1つのマイクをユーザーの外耳道内に配置する。それによって、各個人の耳のスペクトルフィルタリングを完全に維持し、無指向性と耳介補償の両者と比較して、より好ましい音質を提供する。<sup>28</sup>

### 両耳聴

実生活での聞き取り環境の多くは、やや複雑かつ動的である。話者が複数いるだけでなく、他にも雑音源があったり、それぞれの相対的な位置は変化することもある。健聴者は簡単に必要な音を選び、その音に集中することができる。また、さまざまな背景音がある中で自分の注意を切り替え、関心のある音に耳を傾け、そこからまた他のものに耳を傾けたり、複数の話し手がいる会話についていくことができる。逆に、指向性マイク設定を活用した補聴器の大多数は、関心のある信号がユーザーの前方からの会話か、または検出可能な最も大きな会話であると仮定し、背景音があるどのような状況でも基本的に補聴器装着者を1つの聞き取りモードに固定する。当然のことながら、関心のある信号に関するこういった仮定は個人の聞き取りの目標レベルと合わないこともある。たとえば、Cord ら<sup>29</sup> は、毎日の環境において積極的に聞こうとする関心のある音は、およそ3分の1が移動しているか、またはユーザーがそれを見ていないということを見出した。このような状況で両側の補聴器を指向性マイク設定にする補聴器は、ユーザーにとっては使いにくい方式なのかもしれない。

両耳聴モードは、聞き手が頭の両側の耳の位置を利用して、環境内の音を自由に増強または抑制できるという観察結果に基づいている。環境がやや複雑な場合、聞き手は主として空間認識の手がかりに頼るのではなく、代わりに聞きたい音を最も良く聞き取る耳に依存するようになる。言い換えれば、その音に対して「よく聞こえる方の耳」である。両耳の指向性パターンは、この集中する能力に貢献し、よく聞こえる方の耳での SN 比 が優勢になる。<sup>30</sup> この考え方が、補聴器の指向性マイクにも拡張され、それが妥当であることが分かっている。指向性マイクを片側に、反対側に無指向性マイクを取り付けると、従来の騒音下での語音聴取テストでは、聞き手は両耳に指向性マイクを取り付けた場合と同じように振る舞うことができる。<sup>31, 32</sup> 指向性メリットを享受する耳が、知覚的なメリットを決定するのである。聞き取りの意図と音環境の相互作用のため、補聴器ユーザーにとって、最も良く聞き取る耳が必ずしも指向性マイクに適しているとは限らない。指向特性が、聞きたい音へのアクセスを干渉する可能性があるためである。

創造的思考の結果、指向性テクノロジーを適用する方法が生まれた。これは、脳自体の機能を使用してフォーカスを動かし、指向性テクノロジーの主な欠点を回避して、指向性ビーム内に無い音の可聴性を制限することである。両耳聴モードは、両耳の空間指向性パターンを最適化し、補聴器装着者の聞きたい音が何であっても、その音が環境内のどこにあるかに関わらず、常に「よく聞こえる方の耳」があるようにする。指向性範囲外にある語音の特定と理解に対するこの聞き取りモードのメリッ

トは、鋭い指向特性を持つ洗練された補聴器と比較した実験で、Jespersen らによって実証されている。<sup>5</sup> このような結果は、標的語音が前方にあった場合にはほぼ同等の性能を示すが、語音が横または背後から発された場合には両耳聴モードがはるかに優れていることを示した。以前にレビューしたように、他の研究者も目標スピーチの位置を特定し、追跡する際の鋭い指向性の欠点が指摘されている。

オールアクセス指向性は、両耳ビームフォーミング技術を使用した鋭い指向性を両耳聴モードに追加して、対象の音源が前方にあるときは指向性のメリットを向上させる。一見したところ、それは両耳聴モードの目的と矛盾するように思われるが、実際はそうではない。その理由は、鋭い指向性が両耳からの信号を使用して形成されるものの、着用者の前方以外の音へのアクセスを保証するため、最適化された無指向性応答が維持され、反対側の耳にのみ提供されるからである。これらの指向性パターンの組み合わせは両耳への入力のコントラストを大きくし、ユーザーはより良く聞こえる方の耳での聴き取りに依存するチャンスが増すのである。

## 会話の明瞭度

リスニング環境の中には、数人の話者の声が混ざり合ってしまうような拡散する騒音で構成されているものもある。そのような類の環境では、聞き手が会話相手の前方にいて、その人の声が聞こえるようにするだけでなく、視覚的な手がかりも最大にするような聞き取り戦略を利用する可能性が高い。また、背景雑音が拡散状態である場合、両耳共に指向特性にすることで、非対称特性に比べて前方の言葉の認識力が向上することが示されている。<sup>33, 34</sup> この聞き取り戦略を可能な限り支援するため、会話優先モードでは両耳ビームフォーミング技術を利用して両耳の補聴器を鋭い指向特性として動作させる。以前に説明したように、この技術は両耳による聴覚的手がかりを維持させながら、言葉の聴取に重要である周波数帯域の SN 比を向上させるという点に独自性がある。

## ウルトラフォーカス

補聴器ユーザーが、前方にいる人との一対一の会話のみ集中したいような場面もある。ウルトラフォーカスは、リサウンド・ワン補聴器で初めて提供する、ユーザーが選択可能なプログラムである。ユーザーは特別な状況において、プログラムが自動的に切り替えられないようにできる。たとえば、空港は特に騒がしい場所であり、チケットカウンターの担当者の声を聴くのは特に難しいことがある。近くの他の方向から発せられる言葉によって、オールアクセス指向性が両耳聴をサポートするモードとなって邪魔されることも考えられる。しかし、ユーザーの目的は、聞き取りにくい環境で特定の人の声を聴くことであるため、一対一の会話の SN 比と言葉の明瞭度を最大にするように設計された特別な聞き取りプログラムであるウルトラフォーカスに手動で切り替えるのが一番役に立つ可能性がある。

ウルトラフォーカスの設定には、最低クロスオーバー周波数 550 Hz での両耳ビームフォーマーの有効化がある。これによって SN 比を最大 2 dB 向上させ、言葉の認識力を約 30% 向上させることができる。さらに、ウルトラフォーカスでは信号の明瞭性が優先される。低い時定数

による処理方式は、音声のエンベロープや、音声情報を伝達する音のスペクトル パターンの一時的な変化を維持するために使用される。<sup>35,36</sup> これは、ILD に基づく音源定位の手がかりが著しく損なわれないよう、短期間のレベル変化を維持するのににも役立つ。ユーザーがウルトラフォーカスを有効にしたいような音環境は、騒がしいだけでなく反響が大きい可能性もある。そのため、ノイズトラッカー II（雑音抑制）は、信号のひずみを最小化するために中程度に設定され<sup>21</sup>、反響がある中で雑音抑制を強くかけることは、SN 比、言葉の認識、聞き取りの労力にマイナスとなる上、聴取の快適性の面で大きく向上しないことが最近の調査結果で示されている。<sup>37</sup>

## まとめ

指向性マイクシステムはユーザーにとって有益となる可能性があり、補聴器ではユーザーの満足度が高くなるとされている。しかし、多くの補聴器ユーザーは使用している補聴器の高度な機能や、指向性マイクのような機能の効果は状況に依存することを認識していない。したがって、指向性に対する制御メカニズムは音響信号処理技術と同様に重要である。リサウンド・ワンでは、オーガニックヒアリングの哲学に則り、オールアクセス指向性を備えた指向性マイクシステムを操作する、エビデンスに基づいた両耳聴取戦略を一貫して維持していく。同時に、オールアクセス指向性による、自然なきこえの実現に重要な空間認識の手がかりを排除することなく、耳から耳へ信号情報を渡して可能となる、高度な両耳ビームフォーミング機能を追加し、騒音下での言葉の認識力を向上させている。

## 参考文献

1. Picou EM. MarkeTrak 10 (MT10) Survey Results Demonstrate High Satisfaction with and Benefits from Hearing Aids. *Seminars in Hearing*. 2020; 41(1):21-36.
2. Groth J. Hearing aid directionality with binaural processing. *AudiologyOnline*. 2016 May. Available from [www.audiologyonline.com](http://www.audiologyonline.com).
3. Appleton J, König G. Improvement in speech intelligibility and subjective benefit with binaural beamformer technology. *Hearing Review*. 2014;21(10):40-2.
4. Picou EM, Aspell E, Ricketts TA. Potential benefits and limitations of three types of directional processing in hearing aids. *Ear and Hearing*. 2014 May 1;35(3):339-52.
5. Jespersen CT, Kirkwood B, Groth J. Effect of directional strategy on audibility of sounds in the environment for varying hearing loss severity. *Canadian Audiologist*. 2017;4(6). Available from: <http://canadianaudiologist.ca/issue/volume-4-issue-6-2017/directional-strategy-feature/>.
6. Best V, Roverud E, Mason CR, Kidd Jr G. Examination of a hybrid beamformer that preserves auditory spatial cues. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2017 Oct 12;142(4):EL369-74.
7. Brimijoin WO, Whitmer WM, McShefferty D, Akeroyd MA. The effect of hearing aid microphone mode on performance in an auditory orienting task. *Ear Hear*. 2014; 35(5): e204-e212.
8. Archer-Boyd AW, Holman JA, Brimijoin WO. The minimum monitoring signal-to-noise ratio for off-axis signals and its implications for directional hearing aids. *Hearing Research*. 2018 Jan 1;357:64-72.
9. Van den Bogaert T, Klasen TJ, Moonen M, Van Deun L, Wouters J. Horizontal localization with bilateral hearing aids: Without is better than with. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2006 Jan;119(1):515-26.
10. Groth J, Laureyns M, Piskosz M. Double-blind study indicates sound quality preference for surround sound processor. *Hearing Review*. 2010;17(3):36-41.
11. Goyette A, Crukley J, Galster J. The Effects of Varying Directional Bandwidth in Hearing Aid Users' Preference and Speech-in-Noise Performance. *American Journal of Audiology*. 2018 Mar 8;27(1):95-103.
12. Groth J, Laureyns M. Preserving localization in hearing instrument fittings. *The Hearing Journal*. 2011 Feb 1;64(2):34-8.
13. Møller K, Jespersen C. The Effect of Bandsplit Directionality on Speech Recognition and Noise Perception. *Hearing Review Products*. 2013 Jun:8-10.
14. Pavlovic CV. Band importance functions for audiological applications. *Ear and Hearing*. 1994 Feb;15(1):100-4.
15. Ricketts TA. Directional hearing aids. *Trends in Amplification*. 2001 Dec;5(4):139-76.
16. Bo Nielsen J, Dau T, Neher T. A Danish open-set speech corpus for competing-speech studies. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2014 Jan;135(1):407-20.
17. Walden B, Surr R, Cord M, Dylund O. Predicting hearing aid microphone preference in everyday listening. *J Am Acad Audiol*. 2004;15;365-96.
18. Walden B, Surr R, Cord M, Grant K, Summers V, Dittberner A. The robustness of hearing aid microphone preferences in everyday environments. *J Am Acad Audiol*. 2007;18;358-79.
19. Preves DA, Sammeth CA, Wynne MK. Field trial evaluations of a switched directional/omnidirectional In-The-Ear hearing instrument. *Journal of the American Academy of Audiology*. 1999 May 1;10(5):273-84.
20. Humes LE, Rogers SE, Main AK, Kinney DL. The acoustic environments in which older adults wear their hearing aids: insights from datalogging sound environment classification. *American Journal of Audiology*. 2018 Dec 6;27(4):594-603.
21. Rallapalli V, Anderson M, Kates J, Balmert L, Sirow L, Arehart K, Souza P. Quantifying the Range of Signal Modification in Clinically Fit Hearing Aids. *Ear and Hearing*. 2020 Mar 1;41(2):433-41.
22. Orton JF, Preves D. Localization as a function of hearing aid microphone placement. *Hearing Instruments*. 1979; 30(1); 18-21.
23. Westerman S, Topholm J. Comparing BTEs and ITEs for localizing speech. *Hearing Instruments*. 1985; 36(2); 20-24.
24. Udesen J, Piechowiak T, Gran F, Dittberner A. Degradation of spatial sound by the hearing aid. *Proceedings of ISAAR 2013: Auditory Plasticity – Listening with the Brain. 4th Symposium on Auditory and Audiological Research*. August 2013, Nyborg, Denmark. Dau T, Santurette S, Dalgaard JC, Tanejbaerg L, Andersen T, Poulsen T eds.
25. Kollmeier B, Peissig J, Hohmann V. Real-time multiband dynamic range compression and noise reduction for binaural hearing aids. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 1993; 30: 82-94.
26. Carette E, Van den Bogaert T, Laureyns M, Wouters J. Left-right and front-back spatial hearing with multiple directional microphone configurations in modern hearing aids. *J Am Acad Audiol* 2014;25(9):791-803.

27. Groth J. The technical proof for clearer, fuller and richer sound with ReSound LiNX Quattro. ReSound white paper. 2018.
28. Groth J. An innovative RIE receiver with microphone in the ear lets users “hear with their own ears”. ReSound white paper. 2020.
29. Cord MT, Surr RK, Walden BE, Dittberner AB. Ear asymmetries and asymmetric directional microphone hearing aid fittings. American Journal of Audiology. 2011.
30. Zurek PM. Binaural advantages and directional effects in speech intelligibility. In G. Studebaker & I. Hochberg (Eds.), Acoustical Factors Affecting Hearing Aid Performance. Boston: College-Hill, 1993.
31. Cord MT, Walden BE, Surr RK, Dittberner AB. Field evaluation of an asymmetric directional microphone fitting. J Am Acad Audiol. 2007;18:245-56.
32. Bentler RA, Egge JLM, Tubbs JL, Dittberner AB, Flamme GA. Quantification of directional benefit across different polar response patterns. J Am Acad Audiol. 2004;15:649-59.
33. Hornsby B. Effects of noise configuration and noise type on binaural benefit with asymmetric directional fittings. Seminar presented at: 155th Meeting of the Acoustical Society of America; June 30-July 4, 2008; Paris, France.
34. Kirkwood B, Jespersen CT. How asymmetric directional hearing aid fittings affect speech recognition. Canadian Audiologist;4(1). Available from: <https://www.canadianaudiologist.ca/issue/volume-4-issue-1-2017/asymmetric-speech-recognition-feature/>.
35. Drullman R, Festen JM, Plomp R. Effect of temporal envelope smearing on speech reception. The Journal of the Acoustical Society of America. 1994 Feb;95(2):1053-64.
36. Kluender KR, Coady JA, Kieft M. Sensitivity to change in perception of speech. Speech Communication. 2003 Aug 1;41(1):59-69.
37. Reinhart P, Zahorik P, Souza P. The interaction between reverberation and digital noise reduction in hearing aids: Acoustic and behavioral effects. The Journal of the Acoustical Society of America. 2017 May;141(5):3971.