

参考文献

1. Bregman AS. Auditory scene analysis. Cambridge, MA: MIT Press, 1990.
2. Ricketts T, Dhar S. Aided benefit across directional and omni-directional hearing aid microphones for behind-the-ear hearing aids. J Am Acad Audiol. 1999;10:180-89.
3. Amlani AM. Efficacy of directional microphone hearing aids: a metaanalytic approach. J Am Acad Audiol. 2001;12:202-14.
4. Bentler RA. Effectiveness of directional microphones and noise reduction schemes in hearing aids: A systematic review of the evidence. J Am Acad Audiol. 2005;16:473-84.
5. Bentler R, Palmer C, Mueller H. Evaluation of a second-order directional microphone hearing aid, I: Speech perception outcomes. J Am Acad Audiol. 2006;17:179-89.
6. Walden B, Surr R, Cord M, Dyrland O. Predicting hearing aid microphone preference in everyday listening. J Am Acad Audiol. 2004;15:365-96.
7. Cord M, Surr R, Walden B, Olson L. Performance of directional microphones in everyday life. J Am Acad Audiol. 2002;13:295-307.
8. 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.
9. Akeroyd MA. The across frequency independence of equalization of interaural time delay in the equalization cancellation model of binaural unmasking. J Acoust Soc Am. 2004;116:1135-48.
10. Edmonds BA, Culling JF. The spatial unmasking of speech: evidence for within-channel processing of interaural time delay. J Acoust Soc Am. 2005;117:3069-78.
11. Shinn-Cunningham B, Ihlefeld A, Satyavarta, Larson E. Bottom-up and Top-down Influences on Spatial Unmasking. Acta Acustica united with Acustica. 2005;91: 967-79.
12. Simon H, Levitt H. Effect of dual sensory loss on auditory localization: Implications for intervention. Trends Amplif. 2007;11:259-72.
13. 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.
14. 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.
15. Cord MT, Walden BE, Surr RK, Dittberner AB. Field evaluation of an asymmetric directional microphone fitting. J Am Acad Audiol. 2007;18:245-56.
16. 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.
17. Hornsby B, Ricketts T. Effects of noise source configuration on directional benefit using symmetric and asymmetric directional hearing aid fittings. Ear Hear. 2007;28:177-86.
18. Coughlin M, Hallenbeck S, Whitmer W, Dittberner A, Bondy J. Directional benefit and signal-of-interest location. Seminar presented at: American Academy of Audiology 20th Annual Convention; 2008; Charlotte, NC.

ジーエヌリサウンドジャパン株式会社

〒220-0012 神奈川県横浜市西区みなとみらい3-6-3 MMJパークビル8F

☎0120-921-310 www.gnresound.jp/

ジーエヌリサウンドによる 音環境自然連動™：自然のままに最適化する技術

タマラ・ステンダー 聴覚学博士

要約

音環境自然連動™は新しく革命的な補聴器信号処理方法である。補聴器間の無線情報交換を利用し、重要な信号に対するユーザーの意図を考慮しながら、信号を最適化する。音環境自然連動™は、リサウンド・パーソナルに導入された2つの新しい機能：両耳連動指向性™及び両耳連動環境適応システム™IIを備えている。

人体の構造は非常に優れている。両目によって周囲の視覚的入力が入力され、環境が3次元描写される。同様に、両耳によって異なる情報が脳の聴覚皮質に送られ、すべての豊かな音環境が正確に描写される。聴覚情景分析は、音環境の心的描写を提供するために脳がそれぞれの耳からの音入力を組織化するという方法である*1。聴覚情景分析の理論では、注目すべきことと無視することを個人が選ぶことができる。図1にこの概念が示されている。全体的な環境音スペクトルが左に示されている。電話で話している人、頭上を飛んでいる飛行機、及び走り去る車に音スペクトルなどの部分が発見されているかを人は区別することができる。その上で人は、それら電話で話している人に注意を向ける一方で、複雑な音環境の中でそれ以外の音入力を無視する。

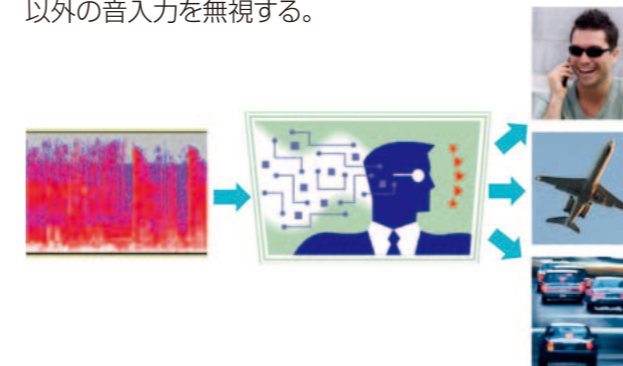


図1.聴覚情景解析の説明。ヒトは音環境全体の中で異なる音源を区別することが可能で、重要な信号に注意を向けることができる。

しかし、両耳からの入力従来型の補聴器を通して変化すると、この自然過程が阻害される。脳は、受け取った入力ではしか処理できないため、補聴器を通して誤った情報、

不完全な情報又は人工的な情報が耳から入った場合、最終的な音環境描写も不自然であったり、調和しないものとなる。例えば、それぞれの耳の補聴器が、特定の設定（固定型指向性など）にプログラムされていると、ユーザーの後ろで生じた音を聞き取ることができない場合がある。このように、ユーザーは健聴者と同じように音を感知することができないため、音環境、又は聴覚情景が人工的な描写となる。

音環境自然連動™と一般的な両耳通信の違い

ジーエヌリサウンドの新しい音環境自然連動™は、人の脳における音処理と耳からの感覚入力との相乗関係を再確立している。これは、左右の耳から入る2つの入力間で脳が処理をおこなうことを意味し、無線技術を備えた補聴器によって用いられる一般的な両耳通信とは区別される。可聴性又は指向性パターンを最適にするため、情報を補聴器間で共有することはできるが、人が普遍的に行う自然な両耳処理に必ずしもつながるわけではない。一般的な両耳通信では、補聴器が常に最大会話信号を最も聞きたい信号と仮定しているが、必ずしもそうとは限らない。ユーザーは信号処理に振り回され、個人の聞き取る意思はほとんど無視される。図2は、音環境自然連動™と一般的な両耳通信の基礎的な違いを説明している。音環境自然連動™では、利用者、及び脳への自然な音伝達処理に焦点が置かれているのに対し、一般的な両耳通信では、補聴器及び機械処理が中心的役割を担っている。

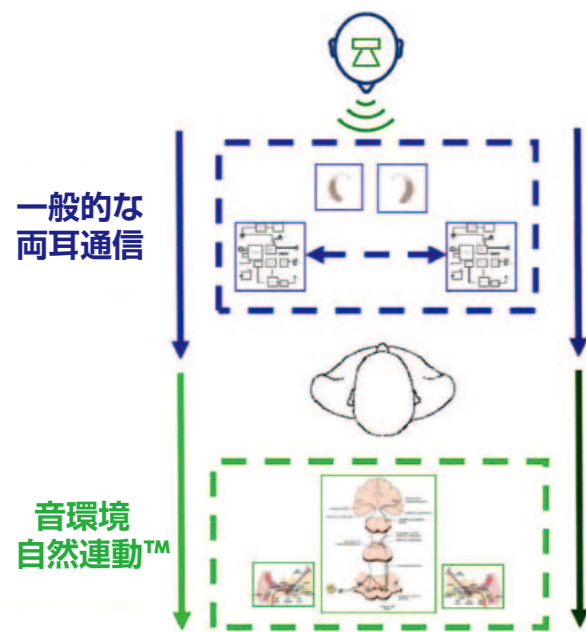


図2.一般的な両耳通信と音環境自然連動™との根本的な違いは、焦点がある場所である。一般的な両耳通信は補聴器間の伝達を中心であるのに対し、音環境自然連動™では自然の音伝達及びユーザー個人の意思が中心となる。

ジーエヌリサウンドの音環境自然連動™は、環境の中で最も強い音声信号を検知し、確実にそれを聞き取れるようにするが、さらにもう一歩進んでいる。ユーザーにとって重要な信号を推定しないことによって、ユーザーが聞きたい音声を選択できるように、必要な聴取環境を提供する。ユーザーは周りの音に集中するか、無視するかを選択することができる。音環境は補聴器を通して形作られ、聞き取り設定をさらに総合的に分類するために補聴器間で共有される。最も有効な指向性又は無指向性パターンが適用されるのはこの時である。補聴器が、環境に合わせて利得と雑音抑制の補正が正しいかを相互に決定するもこの時である。補聴器は、脳に左右対称の入力音を提供する以上のことを実行している。補聴器は最も正確な音声像をユーザーに提供し、ユーザーが音環境において情報に基づく判断ができるようにしている。

個人が雑音下に入ったときに、音環境や聴覚情景を解析するため脳内で2つの処理が働く。「ボトムアップ」処理は、雑音の中ですべての音をどのように感知するかである。「トップダウン」処理は、近くの人と会話している場合など、その時点で重要な信号に集中する際に関わるものである。実際にこの2つの処理が行われている例は、他の

人に交じって雨の中でバス停にいる場合である(図3)。自動車のエンジン音及び雨音、バス停の近くにいる他人の音声などが混ざっているときに、バス停で並んでいるユーザーに知人が後ろから近付いてきて、名前を呼ぶ。これらの音入力はすべて、「ボトムアップ」処理によって脳に登録される。しかし、バス停で立っているユーザーにとって、後ろからの知人の声が最も重要である。したがってユーザーは、まずこの信号を選択し、専念するために高度の「トップダウン」処理を用いる。環境内の他の信号(エンジン音、雨及び他人の会話)は聞き手の脳内で抑制され、重要な信号(知人の声)が聞き取りやすくなる。



図3.「ボトムアップ」及び「トップダウン」処理は日常状況に関わっている。脳におけるこれらの両耳処理によって、聞き手は環境内の音を感知し、最も顕著な音、又は重要な信号に注意を向けることができる。

音環境自然連動™を備えたジーエヌリサウンドの補聴器は、耳が自然に音を受け取り処理する状態を模倣しようと試みたジーエヌリサウンドのサラウンド・サウンドの技術が生かされている。ジーエヌリサウンドのサラウンド・サウンドは、脳に対し最良の描写を提供するために、原音に近い音質、雑音のないきこえ、自然な聞きとり、ハウリングをカットを実現している。原音に近い音質では、内耳機能ワープ™及びワイド・ダイナミック・レンジ・コンプレッションを介して一時的な情報を確保し、非線形性を復元する。信号は一定のノイズやマルチトーカーノイズに対してスムーズで快適な雑音抑制をもたらすノイズトラッカー™II™を介して明瞭化される。指向性は指向性混合率によって入力信号を周波数成分に基づき処理するため、音にバランスを与える。スケーリング及び入力モデル化

が改善されたウルトラDFS™の進化版であるウルトラDFS™IIは、最高の音質を提供し、安定かつハウリングのしない聞き取りを保証する。

補聴器で実現された音環境自然連動™

リサウンド・パーソンに導入された音環境自然連動™の技術的理論は、脳による両耳処理をサポートし、ユーザーが望むものを聞けるようにする。健聴者がそうであるように、ユーザーは聞きたいものを選択することができる。これは、補聴器が1つのシステムとして動作し、最も最適で自然な音描写をユーザーに提供することによって可能となる。補聴器は音環境の中で音の種類や音圧を独自に解析し、会話に関する音源定位及び音声の信号対雑音比(SN比)を判断する。次に、左右の補聴器によって集められた情報を交換し、最適な音処理を得るために共通の解決法を導く。補聴器間の連動によって、あらゆる音環境下でも、最も有効なマイクモード、及び雑音抑制と利得設定が行われる。音環境自然連動™は、聞き取りを最適化するための2つの新しい機能から生まれたものである(表1)。

この技術を合わせたことで補聴器を必要としない健聴者が行う自然な聞き取り方に、さらに近づくような相乗効果が補聴器間で得られる。この技術によって、雑音の中で会話をその環境に合わせて最大限理解できるようになる。聞き取りの快適さは、ユーザーが1日を通して様々な聞き取り状況を体験することによって、達成される。最も重要なことは、聞き手を取り巻く聴覚入力確保されるため、ユーザーに選択肢が与えられることである。

表1.2.4GHzワイヤレス機能付きのリサウンド・パーソンにおける音環境自然連動™の特性

音環境自然連動™の特性	両耳処理への特性の関与
両耳連動指向性™	この新しい指向性選択肢は、左右の耳それぞれに対し、無指向性モード又は指向性モードに自動的に割り当てる。あらゆる環境に適合し、音の検知を維持しながら、会話に対し最良の指向性モードに切り替える。ユーザーは周囲環境のすべての音入力を把握するため、音声の存在する場所が側面か後方かにかかわらず、ユーザーはその信号に応えるかどうかを判断することができる。
両耳連動環境適応システム™II	両耳の補聴器のSN比及び全体の音圧レベル分析に基づき、雑音抑制及び利得調整が、補聴器間で自動的に同調調整される。

両耳連動指向性™への指向性の進化

何年も前に、指向性の技術が補聴器業界に革命をもたらした。それ以来、雑音の中での言葉の聞き取りを改善するための探究は終わることがなく、多くの改善がなされてきた。障害を克服し、解決策が講じられてきたが、問題がなくなることはなかった。両耳連動指向性™の必要性及び根拠を説明するためには、指向性がこのような発展をとげたことをみていくと良いだろう。

指向性の技術は、雑音の中でユーザー装用者に対しSN比を改善させることが唯一証明されている方法である*2,*3,*4,*5。だがユーザーに対する指向性の優位性に影響を及ぼす欠点はまだある。両補聴器を固定型指向性又は適応型指向性に設定した場合、後方からの音への環境意識が失われる。指向性技術は、聞き手が話し手の方向をみている事を想定している。これは多くの場合であてはまるが、すべてにあてはまるわけではない。

例えば、雑音下で補聴器を指向性モードに設定した場合、後方からの反応が出来ないため、ユーザーが後ろからの話しかけに気付く事は難しい。

この問題を解決するために、別のプログラムとして無指向性モードをユーザーが選択できるようにする。従来、無指向性プログラムは、プログラム1として設定されており、指向性パターンはプログラム2として設定される。これはユーザーが指向性モードを使用するのが全体の30%程度なので*6適切な解決策といえるであろう。このことは、無指向性モードをプログラム1、指向性モードを

プログラム2に設定している通常のユーザーは、使用時間の3分の1はプログラムを切り替えなければならないことを意味している。しかし、Cord et al.のユーザー調査*7では、被験者の約3分の1が音環境に適合するようプログラムを切り替えていないことが明らかとなった。

自動切り替えを取り入れた指向性機能は、異なる環境に合わせてユーザーがプログラムの切り替えを忘れたり、切り替え方が分からない場合でも有効な解決法であった。しかし、補聴器が、その環境に不適切な指向性モードに切り替わった場合、問題が生じる可能性がある。さらに、音入力のみに基づき、重要な信号が補聴器だけで決定された場合、ユーザーの意思が無視される。雑音下でもユーザーが無指向性モードを好む場合もあることが確認されている*6。さらに、重要な対象となる信号は必ずしも聞き手の前方からとは限らない*6。

両耳連動指向性™では、脳がすべての音入力を受け取り聴覚情景を把握する事ができ、「ボトムアップ」及び「トップダウン」処理を介してどの音声に注目するかを選択できる。ユーザーがこのように両耳処理が出来るのは補聴器を通してすべての音環境にアクセス出来る場合のみであり、両耳連動指向性™は、指向性機能の革新的な進歩を表している。

両耳連動指向性™は自然の両耳処理を支える

両耳連動指向性™とは、脳による両耳処理を補助するために、左右の補聴器のマイクモードを操作する方法である。競合品には各補聴器の間で通信を行い、その調整を同調させる機能をそなえているが、ジーエヌリサウンドは、科学的に証明された、より良い聞き取り方、両耳間位相差、そして聴覚空間認識を行う真の両耳処理機能を最初に導入した*8,*9,*10,*11,*12。環境の中で音を分類すると、同じような音の中で容易に信号を聞き取ることができるようになる。高度な空間認識、あるいは「トップダウン」処理が働く事により、雑音の中から重要な信号を区別できるようになる。ジーエヌリサウンドの両耳連動指向性™は必要な情報をすべて脳に提供するため、脳での高度な処理が可能となる。従って補聴器間の無線通信が両耳間の指向性モードを両耳で操作、調整するために、有効に用いられている。両耳連動指向性™は、絶え間なく音環境を分析し、その環境に適応させる事でSN比を最適化させてユーザーへ指向性処理の優位性を与えている。

両耳連動指向性™は、最適な両耳反応にするため、ジーエヌリサウンドの2.4 GHz 無線技術を用いて両耳間のマイクモードの調整を行う。それぞれの補聴器にある前後2つの音声検出器で、ユーザーに対する音声の位置を推定する。雑音の有無について環境も分析する。無線通信を使い、補聴器のマイクモードは、両耳補聴器に搭載されている4つの音声検出器によって受信された入力に基づき、切

表2.最適な両耳マイクモードに関する外部研究所見によって、両耳連動指向性™の4つのマイクモードが開発された。

両耳連動指向性™パターン	所見
無指向性/無指向性	静かな環境では、左右共に無指向性モードは、ユーザーによって強く支持されている*6,*13。
指向性/指向性	左右共に指向性モードの時は、会話信号が主として聞き手の前方にある場合に最も有用である*14。
無指向性/指向性	片方の補聴器が指向性モードで、もう一方の補聴器が無指向性モードである場合、固定された指向性モードよりも、指向性の優位性を損ねる事なく、周囲の音を聞きやすくなり、注意を向けやすくなります*15。 *15,*16。さらに、騒音下で音声ユーザーの側面にある場合、音声のある側の補聴器が無指向性モードで、反対側の補聴器が指向性モードになることで最良の明瞭度を得ることができる*17,*18。

り替えが決定される。異なる音環境での両耳補聴器での最適なマイクモードは外部研究により導き出されている。表2には、それぞれの両耳でのマイクモードの妥当性が示されている。

無指向性モードと指向性モードは徐々に(10~20秒)移行されるため、切り目のない滑らかな聞き取りを経験できる。これによって、環境内の瞬間的な音事象による切り替え、音質の知覚変化を防ぐ。

他の指向性オプションを選択した場合と同様、両耳連動指向性™には指向性条件のための指向性混合率が組み込まれている。そのため、指向性分岐点以下の周波数は無指向性として処理され、指向性分岐点より上の周波数は指向性として処理される。この処理により低音域の利得が指向性により減衰する現象に対して補正する際に生じるノイズの問題を克服できる。低周波数を無指向性処理することで、低周波音の可聴性を保ちながら、指向性プログラムの音質全体を改善することができる。

両耳連動指向性™の試験

両耳連動指向性™をプログラムしたリサウンド・バーソンの左右のマイクモードの時間の割合を確認するために研究的試験を実施した。4週間にわたり被験者29名からデータを入手した。結果は図4に示されているが、補聴器が左右共に無指向性モードにあったのは使用時間の78%、それ以外の指向性モードにあったのは使用時間の22%であった。これは、無指向性の状態が使用時間のほぼ70%

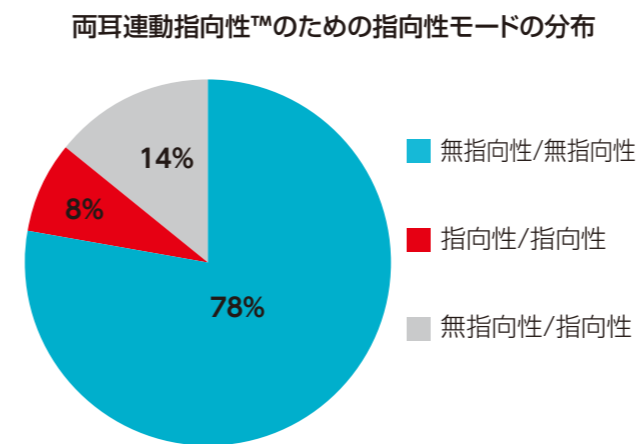


図4.両耳連動指向性™でプログラムされたリサウンド・バーソユーザーのデータロギングの結果

を占め、残りの30%で指向性モードが役に立つと報告した発表論文*6とほぼ一致している。

両耳連動環境適応システム™IIにより強化された環境分類

環境適応システム™IIは、補聴器間での無線情報交換することによって、さらに一歩進化した。左右の補聴器からの入力に基づき環境が分類されるため、両耳連動環境適応システム™IIでは、ユーザーにとって音環境情報がさらに正確さが増す(図5)。以前と同様、環境の全体的な音圧及びSN比に基づき分類される。この分類に基づき雑音抑制及び利得調整が行われるが、左右の補聴器間で同調及び最適化もされる。この同調によって、音環境の描写がより正確になり、利得及び雑音抑制調整がさらに最適化される。また、音質がさらにまとまりのあるものとなる。

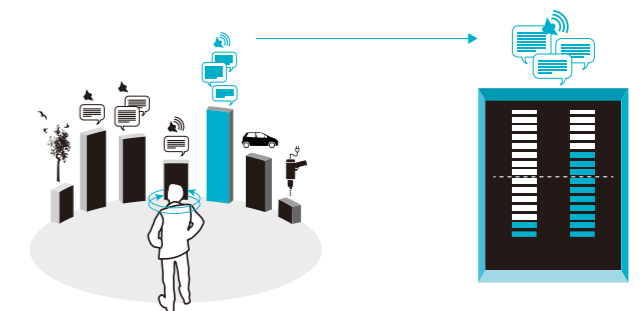


図5.両耳装用の場合、両耳連動環境適応システム™IIが、異なる音環境に対して正しい利得と雑音抑制を選択し、補聴器間で対称的にする。

音環境自然連動™の効果に関する実際の例

両耳連動指向性™及び両耳連動環境適応システム™IIによってプログラムされたリサウンド・バーソは、無線で両耳間通信するその他の補聴器と比較し、左右の指向性マイクモードがより有効に働く。家族との夕食の例がこの違いを示している(図6)。



図6.ジーエヌリサウンドの音環境自然連動™技術は、複雑で日常的な音環境の中でも、類まれな優位性をもたらします。

フォークをもっている黒い服の女性がユーザーである。皆がしゃべりあい、笑っている。右側の補聴器にとっては、ユーザーの後ろで赤ちゃんを抱いている女性の声が、最も大きい信号であるが、ユーザーは、テーブルの端にいる男性が話す内容も聞き続けたいと思っているかもしれない。

一般的な両耳通信機能を持つ補聴器はそれぞれ別の働きをするが、ジーエヌリサウンド以外で、この利用者にとって重要な信号(男性の話)に関する入力を正しく提供できるものはない。競合Aの補聴器の場合、赤ちゃんを抱いている女性の声の可聴性を増加させる為、左耳補聴器については利得を下げ雑音抑制を上げる、そして右耳補聴器については利得を上げ、雑音抑制を下げる。また競合品Bの補聴器の場合は、赤ちゃんを抱いている女性の声のSN比及び可聴性の両者を改善しようとする。後方指向性に切り替わるか、左側の利得を大幅に低下させ、右耳で入力した信号を左耳へストリームする。いずれの場合も、ユーザーにとって重要な信号は低下し、無視され、その他の不要な音声が強調される。

両耳連動指向性™及び両耳連動環境適応システム™IIでプログラムされたリサウンド・バーソでは、状況の対処が全く異なっており、ユーザーの意思が尊重される。赤ちゃんを抱いている女性の声の最も大きい信号として検知されたとしても、補聴器は、この信号がユーザーが聞きたがっているものであると推定することはしない。したがって、補聴器は、音環境を最適化し、ユーザーが最も聞きたいと思っている信号を選択できるようにする。環境内の音源が複雑なため、左右で無指向性と指向性のマイクモードが作動している。右耳の補聴器は、ユーザーの後ろ側の可聴性を確保するために、無指向性モードにある。ユーザーの前方から同時に会話が生じているため、左耳補聴器は指向性モードにある。ユーザーは、男性の話より快適に聞き取るために前方からの会話に関わる好ましいSN比を利用できる。ユーザーは、話し手を見上げることによってさらにSN比を改善できる。これはある種の重要な信号に集中する際、最も自然な反応である。補聴器ユーザーの後ろの女性が、「ジュリー、手作りのロールパンはいかがですか?」と、重要な何かを話した場合、ジュリーは

音に気付くことができる。このような状況が変化した場合、ユーザーの最も自然な応答は、女性の方に顔を向けて、「はい、いただきます」と答えることである。

両耳連動環境適応システム™IIは、リサウンド・バーソユーザーに対しこの情景を最適化させる時に関わっている。両耳間連動し、利得と雑音抑制の設定を調整する。利得の調整は雑音下での聞き取りを向上させ、雑音抑制の調整でさらに聞こえを快適にする。これらの調整が両耳連動して行われるため、切れ目のない滑らかで上質な音質を提供することができる。

まとめ

脳は、耳から入力した信号に基づいた音環境のみを処理し分析できる。左右の補聴器が無線通信する従来の方でもフィッティングの可聴性及びビーム幅の特性を最適化できるが、必ずしも音を自然に両耳処理されているとは限らない。ジーエヌリサウンドの新しい音環境自然連動™技術では、補聴器が「重要な信号」を決めるとは対照的に、ユーザー及び自然の音処理に集中することによって、脳が最良の音描写を受け取ることができる。これは、ユーザーが重要な信号を選択できるという点で、その他の市販されている無線通信を使った音の処理方法とは一線を画している。さらに、音環境自然連動™技術はジーエヌリサウンドのサラウンド・サウンドに組み込まれ、ユーザーに対し最良の音質を保証する。補聴器は、健聴耳の真の代用品とはならないが、ジーエヌリサウンドの音環境自然連動™技術では、音入力が脳に伝達され、自然のまま最適化される。