



Francis Kuk, PhD, is director of the Widex Office of Research in Clinical Amplification (ORCA) in Lisle, Ill.

GOING BEYOND:

A Testament of Progressive Innovation

The science, research, and technology behind Effortless Hearing

By Francis Kuk, PhD

- 老化現象、認知、聴覚の重要性についての理解が深まるにつれ、補聴器やフィッティングの目標が条件（SN比）の良い音の供給、音声を理解する労力を減少することであるのは明らかである。ユーザーにとって「聞きやすい音」あるいは「**楽に聞けること**」を実現する。

この記事では、この目標のためにワイデックスが補聴器をいかに開発設計しているかを概説する。

『**楽に聞くことが出来る**』ことの重要性

- 認知的に脳に負担が少ないのは、「**より自然な音**」であるとワイデックスは認識しており、ワイデックス補聴器は、業界内において最も自然で良い音質を実現している。
作動（短期的）記憶力が低下している場合
言語理解に重要な時間的・周波数スペクトル情報を原音通り維持する自然な音が有効
作動記憶力が良い場合
言語理解程度を大きく高めることはないものの、良い音質を享受できる利点
作動記憶力の良し悪しに関わらず、「自然な音づくり」が有効であり、これが長年にわたるワイデックスの設計思想となっている。
この設計思想「**楽に聞けること**」は、UNIQUEで現実化され、BEYONDに継承されている。
- 言語理解は、複雑な処理である。聴覚の情景分析理論によれば、両耳からの音の情報（レベル、時間的、周波数的要素）を基に聴取環境が分析され、さらに音声特有の要素により区別される。音声の意味を理解するには、記憶された語彙からの検索や文脈との照合が行われる。
このように**言語理解は、聴覚経路の各段階における処理の整合性、十分な認知能力そしてより自然な入力音に依存する。**
補聴器ユーザーとなる難聴者の平均像を推定することは、残念ながら難しい。
認知能力、記憶力や処理能力の低下に関連する聴力レベルの低下、聴覚系能力の損失を持つ高齢者の難聴の場合には、特にそうである。



老化に伴う脳の変化

- 老化に伴い生理学的に低下、減少するもの
 - 脳の容量
 - 作動記憶や指令機能に関する大脳皮質前頭葉や学習・記憶に関する領域の灰白質
 - 前頭葉や脳梁の白質
 - シナプス結合（結合が40%以上減少すると認知症）
- 上記の生理学的な老化は、集中力、記憶、実行機能、言語や視覚空間などの認知に関わる能力の低下を引き起こす
- 一方、経験により蓄積された能力は、年齢によらず変化しない、もしくは改善する
- 感覚刺激に対する感度の低下を補うために、注意する、聞くためにより多くの労力が必要となる

- **高齢者は、作動記憶力が低下し、注意力が散漫となり、行動を完了するために多くの労力を必要としている**

老化に伴う聴覚の変化

- 蝸牛内の有毛細胞の減少 → 高音域の聴力低下
- 老化と騒音暴露によるシナプスの減少
これらの減少は、蝸牛から聴覚中枢への信号伝達を制限する

- 聴覚皮質の灰白質の減少
- 聴神経線維の減少 → 聴覚中枢における神経伝達信号の発火、同期に影響
音の時間的変化、スペクトル、レベル変化に対する解像度が低下

- 複数の音源がある場合の区別が難しくなる
→ 難聴者にとって騒音下での聴き取りが困難

- 難聴の高齢者は、健聴の高齢者に比べて、少ない音源、**より良いSN比を必要**としている



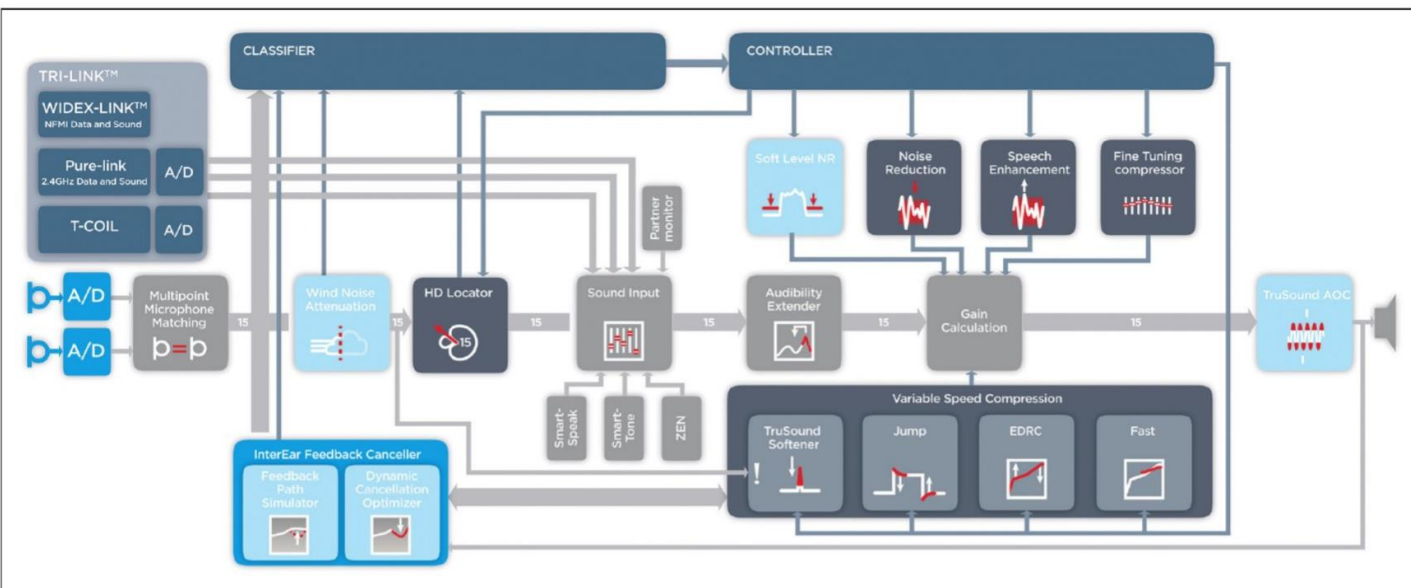
言語を理解するしくみ、そのための労力

- 老化に伴う作動記憶容量の減少は、騒音下での言語理解力の低下に関連する
- 聴取される音声情報は長期記憶域にある文脈表現と比較され、一致すると理解される。一致率が低い場合には、不一致を解消するようトップダウンとボトムアップの処理が始まる。一致率が低いほど、この処理に必要な時間と労力が多くなる。
- 作動記憶力が良ければ、少ない時間と労力で済むが、**作動記憶力が低下しているとより多くの時間と労力が必要**になる。
- 音環境、発話者の特性、補聴器の信号処理などにより決定される入力音が感覚器を經由して知覚される。
もし、**入力音が歪んでしまうと正しく知覚されるために上述の余分な処理が必要**になる。
- 余分な処理を必要としないように「**良い音**」を供給することが、「**労力の少ない言語理解**」に貢献する。これは、認知能力の高低に関わらず、どのユーザーに対しても言えることである。
- 「**楽に聞けること**」は、単なるスローガンではなく、脳における言語理解についての最新の知見に基づいた、ワイデックスが補聴器を開発する際の目標である

『楽に聞くことが出来る』ために補聴器に必要なこと

原音の音響的特徴を維持できること

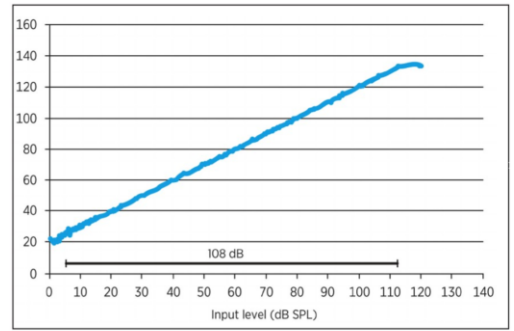
- **音を取り込む** – 歪むことなく、自然な音のニュアンスも維持
- **音をきれいにする** – すべての音が必要なわけではない
- **音を処理する** – 聴こえに合わせて「楽に聞くことが出来る」ように



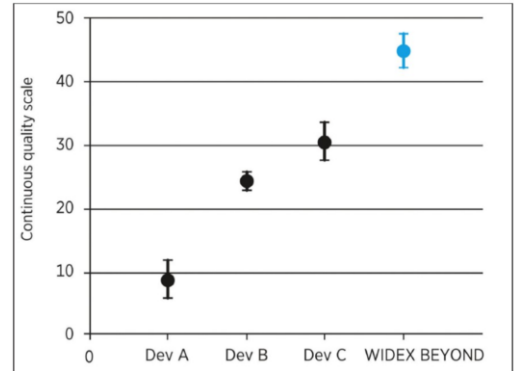
BEYOND ブロックダイアグラム

BEYOND 音を取り込む

- 原音情報を維持することが重要
- サンプリング周波数 33kHz
(ワイヤレス通信：25kHz)
- 入力音レンジ 108dB (5-113dB SPL)
- 4つの独立したADコンバーター
テレコイルやワイヤレス通信時に指向性マイク使用可
- 両耳間協調
音源定位に重要な両耳間レベル差、時間差を維持
- Widex-Link (独自の通信プロトコル、NFMI)
 - DEXからの通信、補聴器間通信
 - 低消費電流
- Pure-Link (Made for iPhone)
 - 高音質
 - 低消費電流



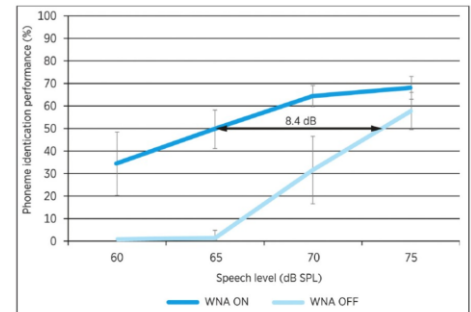
入力音ダイナミックレンジ



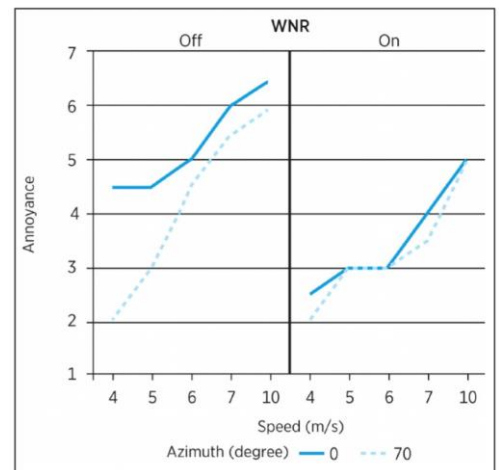
ストリーミング音の音質評価

BEYOND 音をきれいにする

- 不要な音を取り除くことで、次の処理の精度、スピードが改善され、聴き取るための労力の減少につながる
- 風雑音への対策 (従来の手法)
 - 無指向性マイクへの切替え
 - 低音域減衰
 - マイクカバー (RIC, BTE)
- 風雑音 減衰 機能
 - 2つのマイク入力音の相関性、スペクトルから風雑音を検出
 - 適応型LMS (最小二乗平均) フィルタにより、風雑音成分のみを減衰



風雑音 減衰機能の効果：音素識別



風雑音 減衰機能の効果：わずらわしさ



HD ロケーター

必要な音声や原音の特徴を維持し、不要なノイズを抑制 → 聴き取る労力を軽減

● マルチチャンネル適応型指向性マイクシステム

- 2つのマイク特性の自動マッチング → 実使用環境においても指向性による効果を発揮
- スピーチトレーサー 背面や側面方向からであっても音声入力信号であれば減衰させない
- 指向性に切替えた場合の低音域の減少をアンプで補正し、ラウドネスを保つ
- デジタルピナ 前後方向の音源定位を自然に (RIC, BTEモデル)
- フォーカス 後ろ 背面方向からの音を優先的に聴取 (運転中に便利)



BEYOND 音の処理

前段までに除去できなかったノイズをさらに抑制し、音声信号を強調する

- ユーザー個人の補聴器装着状態での音響的特性を考慮
センソグラム・フィードバックテスト・ベント効果補正

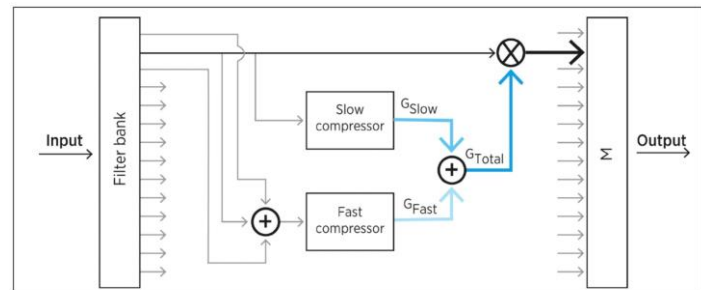
聴こえる範囲の拡張と時間的要素

● 低いニーポイント

- 小さな音の聴き取りに重要
- ワイデックス補聴器の特長

● コンプレッションのスピード

- 原則としてゆっくりゲイン制御
原音の時間的構造、音質を維持できる
- 音のレベル変化が速く大きいときには素早いゲイン制御



BEYOND 変速コンプレッサー



BEYOND 音の処理

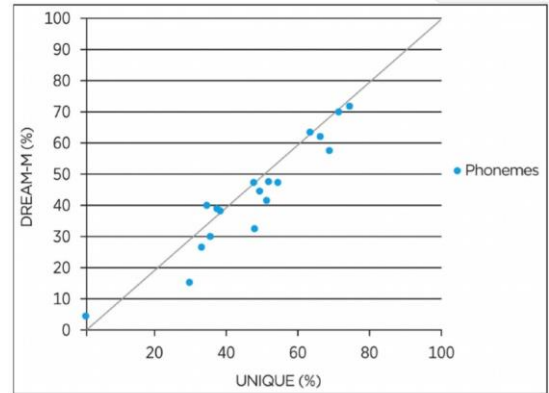
● 変速コンプレッション

2つのコンプレッサーを状況に合わせてすばやく切替え（ジャンプ）

- 素早いコンプレッションは、変調が大きいSN比が高い場合のみ作用→時間構造の維持
- 隣り合うチャンネルの信号レベルも考慮 → スペクトルスミアリングの防止
- 高度難聴、圧縮率が高い場合には、素早いコンプレッションを使わない

● IEコンプレッション 両耳間協調

音源定位に重要な両耳間レベル差、時間差を維持

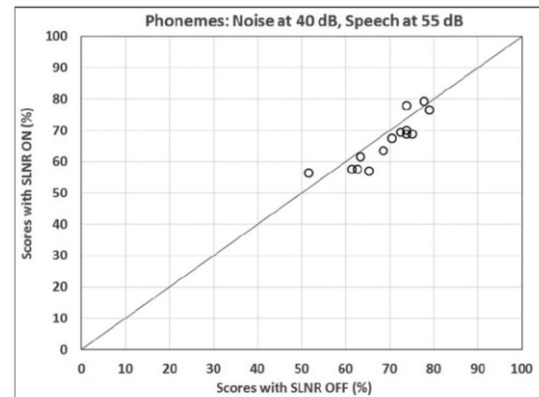


大きな音に続く小さな音の聴き取りを DREAMとUNIQUEで比較

騒音の影響を最小に

● ソフトレベル 騒音抑制

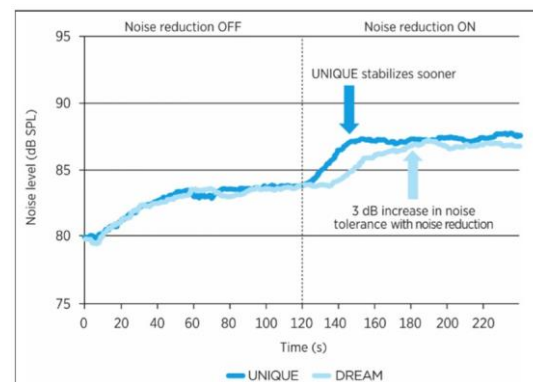
- 小さな声の増幅は維持
- 定常的な騒音を抑制



小さな音の聴き取りをソフトレベル 騒音抑制 オン・オフで比較

● リアルタイム スピーチ エンハンサー

- 入力音のSN比とセンソグラムからSII（語音明瞭指数）を最大にするように各チャンネルのゲインを制御
- ノイズを抑制するだけでなく、音声情報を強調
- IE両耳協調により、左右補聴器で連携した処理
- **音声検出精度、スピードの向上（リアルタイム）**
- サウンド クラスのクラス判別により動作を適応（音声あり→音声強調優先、音声なし→騒音抑制優先）



許容できるノイズレベルをスピーチ エンハンサーの オン・オフ で比較（UNIQUE、DREAM）



高い周波数の音の聞こえを拡張

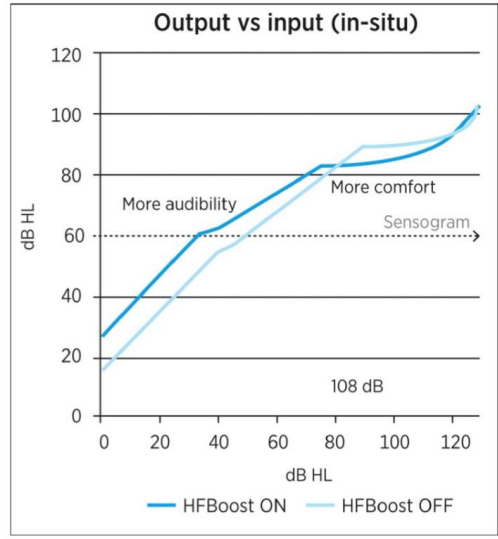
- 高音域が出ている方が、音質が良く、騒音下での聴き取りにも有利であるが、対象の聴力により、異なるアプローチが有効である。高音域の聴力が70dBHL以下では、増幅の効果을期待でき、逆にもっと厳しい聴力の場合には、増幅による効果を見込めないことが多い。

● 高音域 強調

- 80dBHL以下の高音域入力音をより増幅
- 80dBHL以上の高音域入力音を抑制

● オーディビリティ エクステンダー AE

- リニア周波数移調
- 移調元範囲の音を増幅して同時に出力可能
使い始めの違和感を軽減
- 有声音については、減衰した後に移調
無声音 (s/t/sh..)については、そのまま移調
- 順応機能 (徐々に移調音の大きさを上げる)



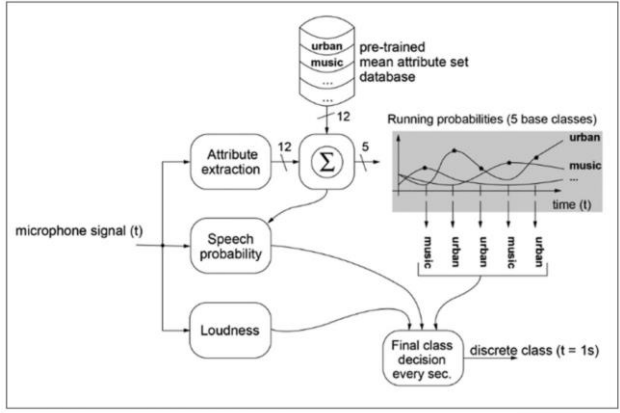
6000Hzでの入出力特性、高音域強調のオン・オフで比較

自動化に向けて

ユーザー自身が音環境を判断し、プログラム切替操作をしなくてもいいように

● 音環境の判別

- 12種類の音響的特徴に基づいて
- 実録音され、学習訓練されたデータベースと比較
- 音声の有無も区別

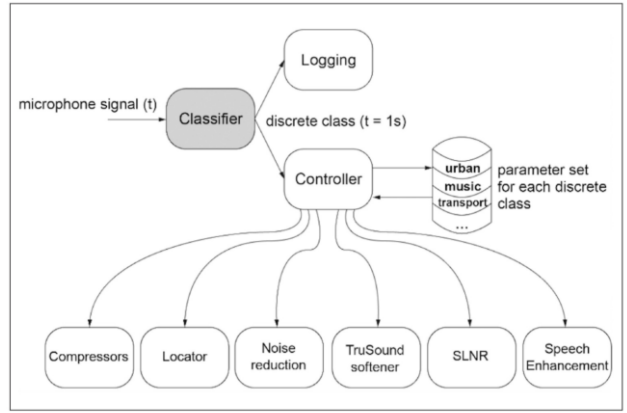


音環境のクラス判別

● クラスごとの信号処理

各機能の程度、スピードを制御

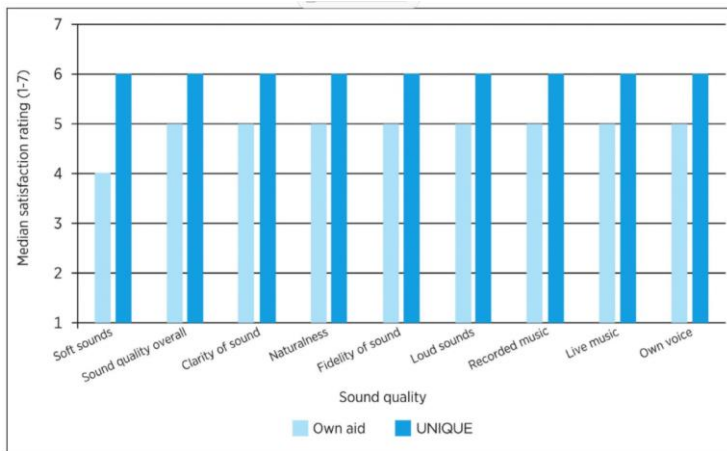
- トゥルーサウンド ソフトナー
- ソフトレベル 騒音抑制
- スピーチ エンハンサー
- ロケーター
- コンプレッション



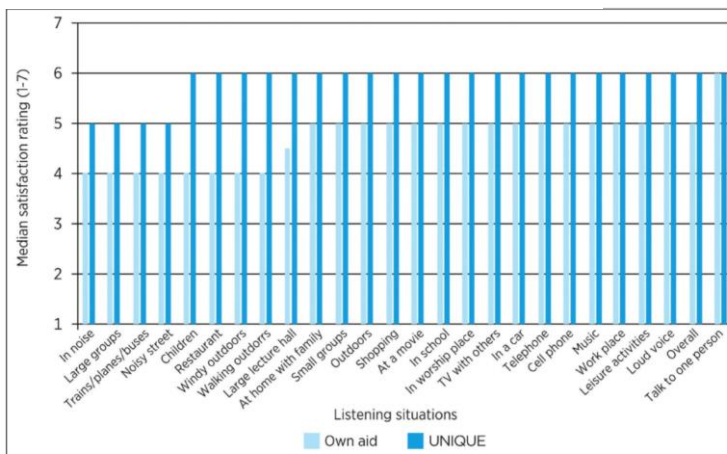
クラス判別結果に基づく各機能のコントロール

BEYONDに対する満足度

- MarkeTrakの質問紙を基に101名のユーザーについてUNIQUEと所有補聴器を比較
- 全般的にUNIQUEについて高評価
- 所有補聴器との差が大きかった聴取状況
 - 小さな音
 - 子どもの声
 - レストラン
 - 風の強い戸外
 - 外を散歩中
- これらの結果に寄与している機能
 - ソフトレベル 騒音抑制
 - 高音域強調の効果
 - 変速コンプレッション
 - リアルタイムスピーチ エンハンサー
 - サウンド クラス
 - 風雑音 減衰



音質評価：所有補聴器とUNIQUEの比較



聴取環境別の評価：所有補聴器とUNIQUEの比較

