

# 独立機関の調査により、ダイレクト音声ストリーミングの音について、リサウンド・リンクス クアトロが好まれることが判明

Miguel Aranda de Toro, Jennifer Groth (GN Hearing)  
Søren Vase Legarth (FORCE Technology, SenseLab)

## 要約

この研究では、特に iPhone からのストリーミング音に対して、リサウンド・リンクス クアトロと他のプレミアムクラスの補聴器との音の好みを調査しました。スマート機器の利用やそれらの機器を通してのメディア視聴は高齢者グループにおいて継続して増加しています。また、補聴器ユーザーの大部分はこのような高齢者が占めています。また、これら的高齢者は補聴器ユーザーの大部分を占めています。そのため、補聴器とスマート機器の相互作用により作られる音質について慎重に検討することが重要です。独立した研究施設で行われたこの試験では、16 人の補聴器ユーザー（訓練を受けた音質評価パネリストの一部）が、リサウンド・リンクス クアトロ、リサウンド・リンクス 3D、および他のプレミアム補聴器 5 器種によってストリーミングされた音声サンプルと音楽サンプルの録音を個々に評価しました。さまざまなタイプのストリーミング音に対して、リサウンド・リンクス クアトロとリサウンド・リンクス 3D が好まれました。音質に関するさまざまな評価因子による影響について考察されました。

## はじめに

補聴器への直接音声ストリーミングは最新技術の重要機能となっており、エンドユーザーに多様なメリットをもたらしています。例えば、音声通話やビデオ通話を両耳ではっきりと聞けること、音楽やメディア放送をステレオで楽しめること、短い言葉を読み上げる道案内の指示を聞きとれることなどです。ストリーミング音の音質は重要で、補聴器装着に前向きなユーザーに成果をもたらすことができます。音質が良ければ、補聴器の使用を簡単で便利なものにできます。例えば、ユーザーが音楽を鑑賞できるようになり、今までよりも音楽に関わる活動に参加できるようになります。音楽は、あらゆる文化や社会生活の多くの場面において何らかの役割を果たしており、健康面でのメリットがあることが明らかになっています。<sup>1</sup> 音楽には重要な精神的作用もあるので、退屈を紛らわせ、居心地の良いパーソナルスペースを作り、気分を高めるために、日々の生活でよく使用されます。<sup>2</sup>

この考え方を推し進めれば、補聴器が提供する音質のおかげで、補聴器を取り外したり、そうするために補助装置とつないだりする必要がなくなり、補聴器ユーザーのメディア視聴方法のノーマライゼーションが実現できます。人々が音楽や他の音声視聴する方法は、音声や動画のストリーミングサービスへと大きく移行しています。55 歳以上のシニア視聴者は、スマート機器やオンデマンドストリーミングのような関連サービスの使用増加を牽引しています。高齢者によるスマート機器を通してのメディア視聴が急激に増加する一方、高齢に伴

う難聴率と補聴器装着率の増加に直面しています。補聴器を装着している高齢者は、当然のことながら、補聴器が自分たちのスマート機器の使用方法に対応することを望んでいます。

## 音質評価

補聴器ユーザーであり、しかも訓練を受けているリスナーで構成された音質評価方法は、数社の補聴器メーカーとの協力により、SenseLab で開発されました。SenseLab は、さまざまな分野の聞き取りテストの実施を専門とする、独立した試験施設です。この評価方法は、食品や香水の業界からヒントを得たものです。この業界では、訓練を受けた評価者からなる感覚的なパネルによって、食品科学で確立された方法に基づいて製品を評価しています。味覚と嗅覚の感覚分野の評価に使用する方法を、聴覚など他の感覚分野に移行できるとする考え方です。この方法は二重盲検法で、評価者も試験官もどの条件が使用されているか知りません。先入観の除去という点で、その評価方法は強力なものになります。Legarth 他<sup>4</sup> は、軽度～中等度の同じような漸傾型聴力をもつ訓練された補聴器ユーザーで構成されるパネラー（被験者）が適正であるとレポートしました。そのパネラーは、現状の補聴器経験にほとんど影響を受けることなく、補聴器の主な音響的機能について安定した一貫性のある評価が行えることを明らかにしました。この方法は、数年間にわたり、補聴器の音質を評価するために使用され、補聴器業界で認められた方法となりました。

今回の研究目的は、iPhone からストリーミングされた音声と音楽に対する音質嗜好を、それに対応した補聴器を使用して評価することでした。補聴器の音声処理と処方された周波数利得特性が補聴器メーカーごとに異なっている可能性があるため、リサウンドのプレミアムクラス補聴器の他に、さまざまなメーカーのプレミアムクラスの補聴器を含めました。

## 方法 参加者

Senselab の専門家パネリスト 16 人が参加しました。その内の 5 人が女性、11 人が男性で、平均年齢は 75 歳でした (65 ~ 84 歳)。左右の耳に対する、参加者の平均オーディオグラムを図 1 に示します。

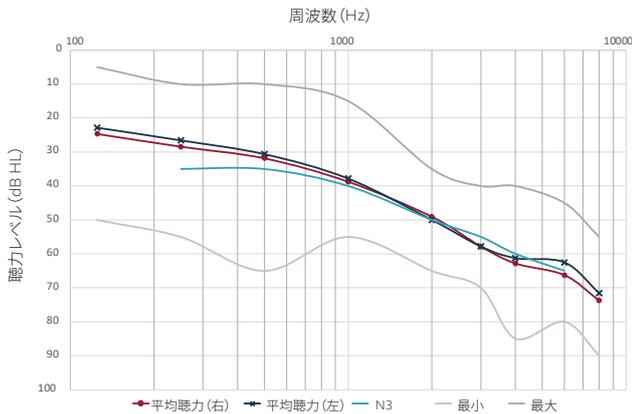


図 1 左右の耳に対する、試験参加者の個人および平均のオーディオグラム。参加パネリストは、標準の N3<sup>5</sup> オーディオグラムに似た聴力型を示しています。

## 補聴器のフィッティングと録音

この試験では、iPhone からの直接ストリーミングを扱えるリサウンド・リンクス クアトロ、リサウンド・リンクス 3D、他社のプレミアム外耳内レシーバ耳かけ型 (RIE) 補聴器 5 器種を使用しました。テスト刺激は、個々の参加者の耳ごとに補聴器の各セットの出力が録音されました。補聴器の調整は、メーカーの標準設定を用い、各リスナーに対応するオーディオグラムに合わせてプログラムされました。録音用に選択した音楽ソースは、音楽リスニング、録音した音楽のリスニング、または特定の製品に依存するストリーミング用のもの、およびストリーミング音楽用にメーカーが推奨したものです。補聴器のマイク入力を止め、録音のためにそのメーカーの最も遮音性の高いドーム型耳栓を使用して、その装置を標準ダミーヘッド (HATS、タイプ 4128c) に取り付けました。試験音の刺激を iPhone 6 から補聴器へストリーミングし、出力を HATS の外耳道に設置されたマイクで捉えました。補聴器からの信号出力の音量が録音中に可能な限り均一になるように、iPhone のミュージックプレーヤーのボリュームを調節しました。録音後の処理では、10 Hz より低周波数の雑音をフィルターで

除去し、HATS の外耳道のレスポンスに合わせて補正を行いました。評価において再生用に使用した Sennheiser HD650 ヘッドフォンに対しても同様です。録音用の細かな配置を図 2 に示します。

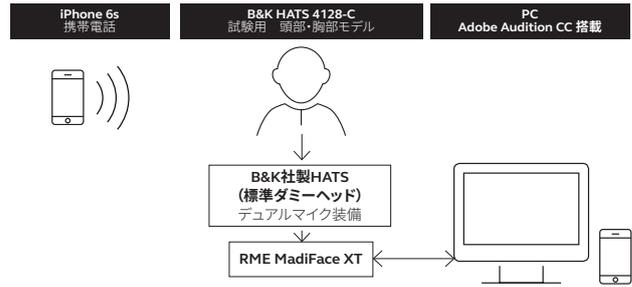


図 2 音声ファイルは iPhone にロードされ、搭載されている Apple ミュージックプレーヤーアプリにより再生され、HATS に取り付けられた補聴器へストリーミングされました。補聴器の出力は、HATS の外耳道に置かれたマイクで録音されました。録音されたアナログ信号は、増幅、デジタル化され、24 bit、48 kHz の wav ファイルとして保存されました。

## 試験刺激

録音用に使用した音声ファイルは、女性の音声サンプル、男性の音声サンプル、および 3 種類の音楽サンプルです。試験参加者はデンマーク語のネイティブスピーカーであるため、ここで使われた音声はデンマーク人の女性と男性が本を朗読しています。3 種類の異なるスタイルの音楽サンプルは、女性ボーカル付きのジャズ、クラシックのピアノ曲、クラシックのオーケストラ曲を一部抽出したものです。音声ファイルは繰り返し再生されるので、音楽ファイルは、つなぎ目でのリズムが保たれるように編集しました。音源ファイルのリストを表 1 に示します。

音源	内容	アルバム
女性の音声	本の朗読セレクション	Senselab の音声ライブラリ
男性の音声	本の朗読セレクション	Senselab の音声ライブラリ
シーネ・エイ	Highway One	Don't Be So Blue (10 周年記念版、2014)
シューベルト	ピアノ五重奏曲 Op.114, D. 667「ます」 Scherzo (Presto)	Alfred Brendel (Philips Classics)
ショパン	ノクターン第8番 変二 長調 Op27-2	Best of Lang Lang (Deutsch Grammophon 2010)

表 1 補聴器へストリーミングされる録音用音源ファイル

## 手順

試験が終わるまで、試験参加者は1枚壁で仕切られた、聴力検査室の中に座られました。試験用の刺激を Sennheiser HD 650 ヘッドフォンで再生しました。ヘッドフォンは外部機器(内臓アンプ付き FIIO E07K Andes サウンドカード)に接続しました。FORCE Technology<sup>6</sup> が開発した SenseLabOnline ソフト(ver.4)を、すべての試験で使用しました。すべての変数に対するあらゆる組み合わせを使い、評価因子の全てに渡る要因実験を実施しました。SenseLabOnline により、二重盲検法による刺激付与とデータ収集を管理しました。多重刺激タイプの試験を採用しました。すべての刺激付与の順番を、評価者ごとにランダムに並べました。

試験は 1 セッションで、約 2 時間行われました。試験の開始前に、被験者は試験用インターフェイスにあるスライダーを用いて音量が同じになるように、録音を調節しました。これは、嗜好と知覚特性に対して音量差を持つ既知のバイアスを取り除くためです。

被験者は、セッションの間に 2 つの作業を完了させます。1 つ目は、音サンプルの「好き・嫌い」を評価することです。この嗜好評価で、参加者は、ビジュアル・スケールにより音の好き嫌いの度合いを示して、補聴器を評価しました。図 3 に示すように、スケールの両端は、「非常に好き」と「非常に嫌い」でした。テスト再生中、参加者は、再生を中断せずに比較する録音同士を切り替えることができました。

2 つ目の作業は、音質に関わる因子を評価することです。因子テストは、同様の方法で行われました。ただし、スケールは、装置が各属性をどの程度示しているかに対応し、スケール両端は言葉で表現されました。この評価因子は、すべての録音に対する非公式な聞き取りに基づいて、SenseLab の研究者が選択したものです。また、評価委員会のメンバー6人で行った 2 時間の決定会議でさらに改良されました。選択項目は、補聴器の違いを特徴づけられるような知覚的な因子を描写することを基準としました。テストリーダーはストリーミング音源の特徴

的な録音が評価者に提示されるしくみを解説し、彼らはその評価因子とその表現に関して納得しました。評価因子、左右のアンカー、および定義について、表2で説明します。

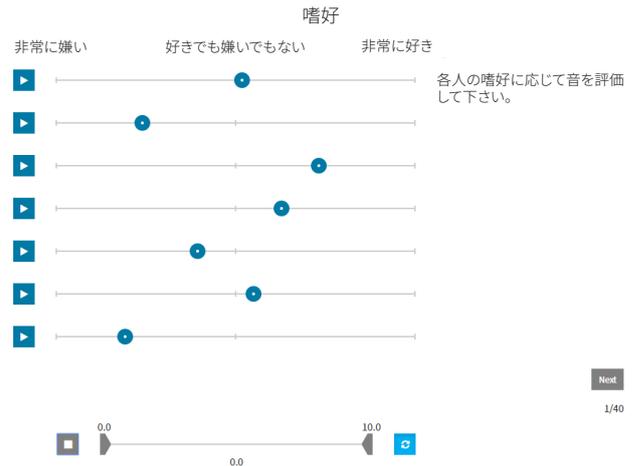


図 3 嗜好試験用のユーザーインターフェイス。因子テスト用のユーザーインターフェイスは似ていますが、スケールは、その音が対象の評価因子をどの程度満たしているかを示します。

## 結果および考察

### 作業 1: 嗜好

すべての試験を総合して、全般的な嗜好が決められました。16 人の評価者が関わり、5 種類のサンプルを使用しています。これは、全般的な嗜好が、テスト対象の各補聴器に対する 80 回の評価に基づいていることを意味します。リサウンド・リンクス クアトロは、iPhone からストリーミングされた音声サンプルと音楽サンプルに対して、最も好まれると評価されました(図 4)。この評価値は、リサウンド・リンクス 3D とブランド D を除けば、テスト対象のどの補聴器よりも有意に高いものでした (Tukey 検定、 $p < .05$ )。

評価因子	下端	上端	定義
音色バランス	暗い	明るい	低音重厚で深みのある音か、軽くて深みのない音か?
音のこもり	少量	多量	昔の電話または 40 年代から 50 年代のラジオ放送の音に似ている
細部の聞き取り	少ない	多い	楽器や音源の分離が劣っていて、音が混ざり不明瞭な場面で、細部が消えていないか? または、分離が優れ、細部が多く含まれていて、音の細部が明瞭で鮮やかか?
音の抑揚	平坦	起伏が大きい	音の鮮やかさ。最も強い音と最もおだやかな音に差があるか? または、すべての音が単調で同じレベルに押し込められているか?
音の反響・響き	少量	多量	深い低音における反響、または大きな樽の内部での音。不明瞭で不正確な音。
高音部の漏れ出し	少量	多量	明るい音調のみだれ。高音シャドウが音声部分に多量にあり、「S」や「T」の音が間延びしたように感じられる。
アーチファクト	少ない	支配的	シューシューという音、パチパチする音、またはがさがさする音などの雑音やひずみ

表 2 評価対象の特性、両端の意味、高度な定義

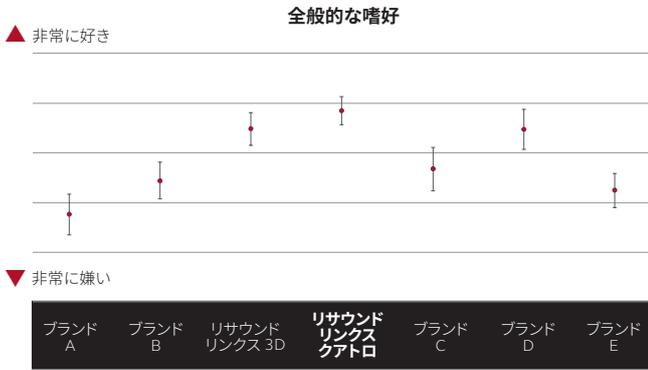


図4 ストリーミングされた音声サンプルと音楽サンプルに対する嗜好評価値の平均と、95%の信頼区間。リサウンド・リンクス クアトロは最も好まれましたが、リサウンド・リンクス 3Dやブランド D との差は有意ではありませんでした。

図5は、ストリーミングされた音声サンプルと音楽サンプルに対する嗜好評価値を別々に示したものです。嗜好パターンは全般的な嗜好と似ていて、リサウンド・リンクス クアトロが最も好まれるとして評価されていますが、リサウンド・リンクス 3D やブランド D との差は優位ではありません。これにより、リサウンド補聴器、特にリサウンド・リンクス クアトロには、さまざまなタイプのコンテンツをストリーミングするための堅牢な設定がサポートされていることを示しています。ストリーミング音声に対する嗜好評価値の補聴器間の差が、ストリーミング音楽よりも大きくなっています。これは、メーカーが設定した専用音楽プログラムが使用されているという可能性があります。今日、ほとんどの補聴器メーカーは、音楽鑑賞用の特殊な設定を自社製品に搭載しています。これらの設定は、一般的に、「less-is-more (少ないほど良い)」というアプローチを狙ったものです。そのアプローチでは、通常、指向性や雑音除去などの特殊な機能が無効にされ、音楽の強弱を維持するために圧縮率が下げられます。ベースなどの音楽の特定の音質属性を強めるために、聴力レベルに適した既定の利得に対して余分な利得を加えることさえあります。このようなプログラムは、あらゆる装置のストリーミング音声の明瞭さとクォリティーの面で理想的であるとは限りません。これが、音声に対する評価値の差が広がっていることに反映されている可能性があります。メーカーによる音楽プログラムに含まれるゲインオフセットが、個人の嗜好や特定の音楽ジャンルに対する最適条件とは合っていない可能性もあります。テストしたリサウンドの補聴器では、音声と音楽に対する評価値がよく似ています。リサウンドの音楽プログラムは、雑音抑制機能を無効にし、圧縮率をわずかに下げます。しかし、その一方で、利得周波数特性は、その人の聴力に合わせて処方された設定から変更することはありません。この最新結果は、リサウンド補聴器のプログラムが音声と音楽の両方のストリーミング入力に対して同等に良質なクォリティーを提供できることを意味しています。

加えて、すべてのテスト補聴器について、音楽評価値に対する信頼区間が、音声評価値に対する信頼区間より狭くなっています。これも音楽プログラムの使用に関係している可能性があります。しかし、明瞭さがストリーミング音声に対する嗜好に影響され、評価値のバラツキを大きくするので、聞き手にとっては、ストリーミング音楽を評価するときの方が単純に音質に焦点を当てるのが容易だということも考えられます。

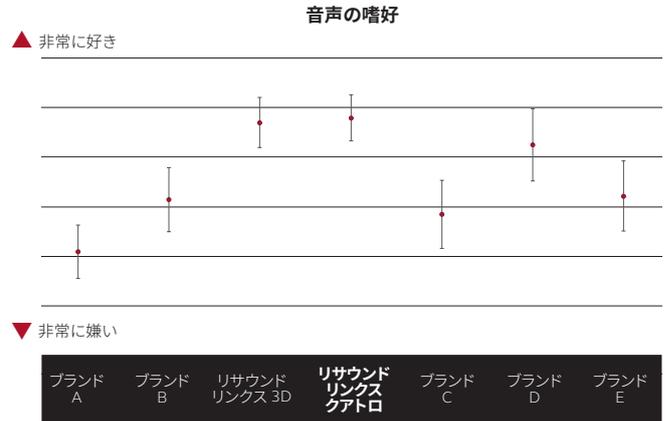
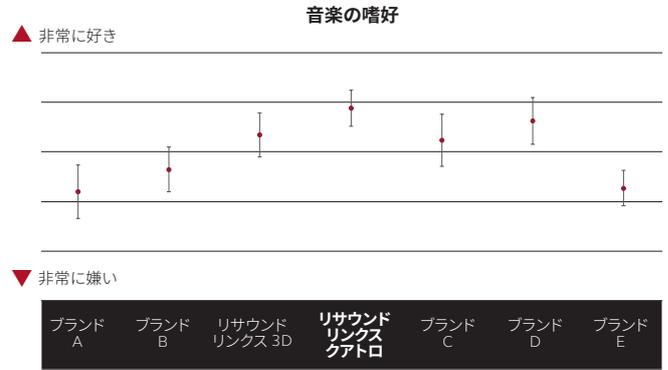


図5 ストリーミングされた音声サンプルと音楽サンプルに対する嗜好評価値の平均と、95%の信頼区間。リサウンド・リンクス クアトロは、音楽・音声の両方の刺激に対して最も好まれると評価されました。

### 作業2:特性

因子分析の結果を示す1つの方法は、プロフィールプロットを使用することです。図6のプロフィールプロットは、7つの因子に対して、リサウンド補聴器2器種と、一番嫌いな補聴器と2番目に嫌いな補聴器の2器種の性能を示したものです。各値は、5種類すべてのサンプルに対する平均値です。これらのプロフィールプロットから、テストした補聴器の相互の違いを視覚的に確認することができます。リサウンド・リンクス クアトロとリサウンド・リンクス 3Dが非常によく似ていること、「音色バランス」がわずかに「明るい」寄りであること、「音のこもり」が低レベルであること、および「音の抑揚」と「細部の聞き取り」が高レベルであることがわかります。ブランド A はすべての試験製品の中で「最も好まない」とされたもので、評価因子の特徴がかなり異なっています。一方、ブランド E は「その次に好まない」とされたものですが、全体的にリサウンド補聴器と似たパターンを示しました。「細部の聞き取り」がさらに「明るい」寄りに、「音の抑揚」と「細部の聞き取り」が少し低めに評価されています。これは、これらの評価因子が補聴器にとって重要な指標となっている可能性を示唆しています。実際に、補聴器間で最も違いが表れる評価因子は、「音色バランス」、「音の反響・響き」、「音のこもり」、「音の抑揚」、および「細部の聞き取り」であることがわかりました。

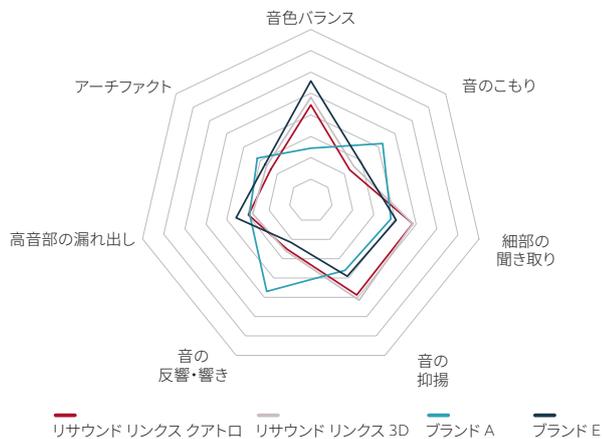


図 6 テスト対象のうち、「好まれる音質」の上位2器種、および、下位2器種の補聴器に対する評価因子の値をプロットしたものです。リサウンド・リンクス クアトロとリサウンド・リンクス 3D は最も好まれ、「音の抑揚」、「細部の聞き取り」、さらに「音色バランス」で高レベルであると評価されました。

### 周波数レスポンス

評価因子ごとの印象と全般的な音質の評価は、補聴器の周波数領域の利得特性に影響される可能性があります。例えば、他のすべての補聴器よりも「音の反響・響きが強い」と評価された補聴器は、ストリーミングされた音声と音楽の両方で最も嫌われました。これを補聴器の低周波領域の出力特性と関係づけることは、理にかなっていません。そのため、その補聴器を用いて作られた録音スペクトルを分析することにも意味があります。

すべての録音は HATS に取り付けられた補聴器を使用して作られたので、その録音には個人の耳の音響効果は含まれていません。加えて、今回の被験者は、難聴度に軽度～中等度のバラツキがありますが、似たような高音漸傾型の聴力パターンを持っていました。これを考慮すると、被験者による周波数ごとの処方利得特性が違っていても、おそらく補聴器の周波数レスポンス特性はそれほど違っていなかったと考えられます。したがって、さまざまな補聴器の出力において、異なる音声サンプルに対する相対的な印象の違いは、被験者間でほぼ一定だったと思われるため、ある1人の被験者の録音出力を分析し、音楽タイプと補聴器の間の相対的な違いは、すべての実験参加者における違いを適切に代表しているものと想定しました。図 7、8 に示すスペクトルは、リサウンド・リンクス クアトロの周波数スペクトルを基準として正規化したものです。この補聴器は最も好まれた補聴器であるので、各補聴器の出力特性と相対的にどのように違っているかを確認することに意味があります。

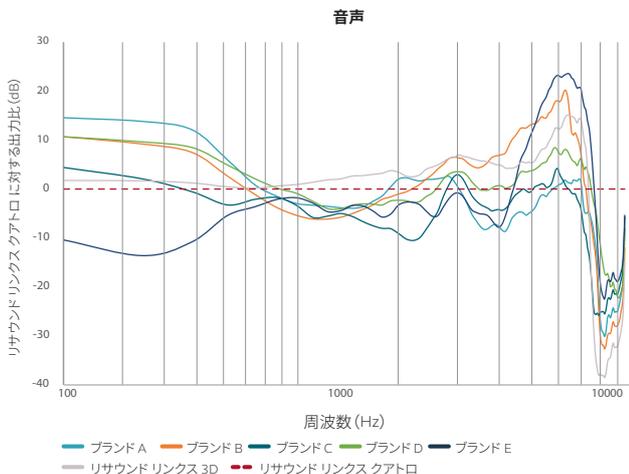


図 7 音声サンプルに対する各補聴器の周波数レスポンスをリサウンド・リンクス クアトロを基準として比較したときの違い(ある1名の被験者に対して行ったもの)。比較したすべての補聴器との共通の違いは、リサウンド・リンクス クアトロと比べて 7 kHz 以上の出力が大きく下がっている点です。

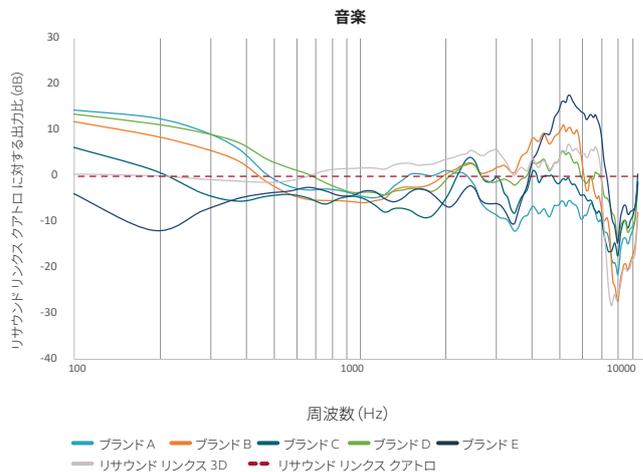


図 8 音楽サンプルに対する各補聴器の周波数レスポンスをリサウンド・リンクス クアトロを基準として比較したときの違い(ある1名の被験者に対しておこなったもの)。音声サンプルで観察された結果と同様に、すべての補聴器で共通の違いは、リサウンド・リンクス クアトロと比べて 7 kHz 以上の出力が下がっている点です。

リサウンド・リンクス クアトロと他のテスト対象補聴器との明確な違いは、他の補聴器では 7 kHz 以上での出力がとても低いという点です。他のテスト補聴器のうちの 2台は、ストリーミング信号に対して、より高い周波数帯を利用しているはずであること、および補聴器自身がこの周波数より上の信号を増幅する能力を持っていることを考えると、これは驚くべき結果でした。これは、メーカーにより、利用可能な周波数帯の全てが使用できるように処方されていないことを反映している可能性があります。リサウンド・リンクス クアトロの「細部の聞き取り」が高いこと、そして最終的にこの補聴器に対する嗜好が高いことに影響している可能性もあります。

また、3 器種については、リサウンド補聴器よりも音楽またはストリーミング用プログラムにおいて低域レスポンスを強めているように思われる結果が得られました。音楽のジャンルによって、これが音楽リスニングに好都合であったり、不都合であったりします。例えば、ロックやポップのジャンルは音楽の重低音ラインによって特徴づけられることが多く、この特徴を高めることが好まれることもあります。今回のテストでは、音楽ソースとしてクラシックとジャズのジャンルを使用しました。これらのジャンルでは、補聴器の低域レスポンスが強すぎると、音楽の細部が隠されたり、さまざまな楽器の認識が邪魔されたりする可能性があります。このことは、補聴器を個人の嗜好に合わせて調整して、個人向けにカスタマイズすることの重要性を強調しています。

特に音楽リスニングにおいては、音楽リスニング用の一般的な設定が全ての人に適するわけではないということが論文で指摘されてきました。<sup>7</sup> リサウンド補聴器は、リサウンド・スマート3Dアプリ™による調節を通して極めて高いレベルのコントロールをユーザーに提供します。図 9 に示すように、特にこのアプリの音声/雑音調節機能により、ユーザーは低音、中音、および高音域で、プログラムされたゲイン設定から 6 dB 上まで、または 6 dB 下まで調整できるようになります。これを使えば、他の多くの調整機能に加えて、ユーザーは必要に応じて低域の増幅率をさらに上げることができます。聴覚専門家がリサウンド・スマート3Dアプリ™の可能性と利用に関してユーザーに助言し、個人に合わせてカスタマイズするよう勧めることが、強く推奨されます。

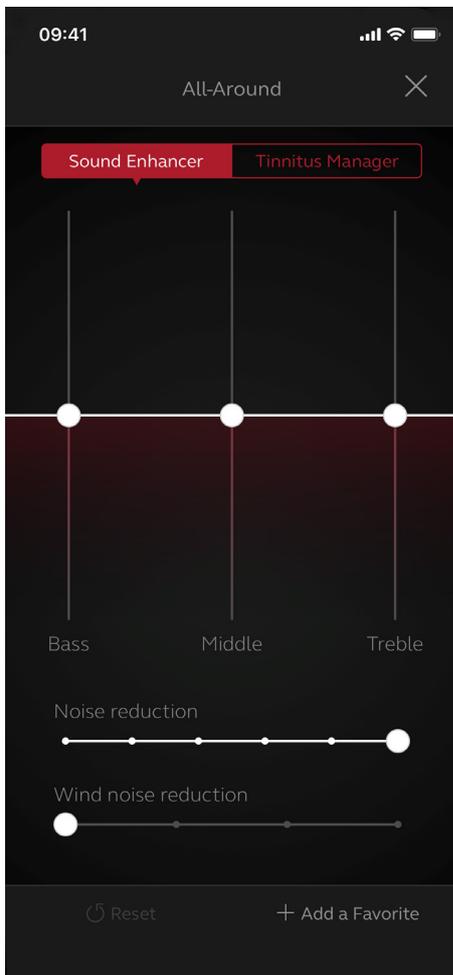


図 9 リサウンド・スマート3Dアプリ™ の音声/雑音調節を使い、ユーザーは補聴器の音声を個人専用に設定できます。例えば、ユーザーは低音、中音、および高音域をカスタマイズできます。

## まとめ

音質は、個人的で主観的な経験に基づくものなので、定量化が難しいものです。変動を抑えるために訓練を受けた評価者が音質を評価するという方法が、補聴器の音質を調査するための方法として認められるようになりました。この方法を使用して、iPhone から直接ストリーミングできるリサウンド・リンクス クアトロ、リサウンド・リンクス 3D、他のプレミアム補聴器 5 器種のストリーミング音質を評価しました。二重盲検法を使用して、訓練を受けた 16 人の難聴を持つ評価者が音声サンプルと音楽サンプルの評価を行った結果、リサウンド・リンクス クアトロが最も好きな製品であると判定されました。リサウンド・リンクス クアトロ とリサウンド・リンクス 3D は、明らかな違いがなく、特性パターンが似ていると評価されました。リサウンド補聴器では、「音色バランス」がよく、「音の抑揚」と「細部の聞き取り」が高く、「音のこもり」が低いという評価因子が共通していました。最も嫌いな補聴器としては、「音の抑揚」が平坦で「細部の聞き取り」が弱く、非常に明るい音、または非常に暗くてブーミーな音を持つという特徴がありました。リサウンド・リンクス クアトロと比較すると、他の補聴器を用いて作られた録音の出力特性は、ストリーミング信号の 7 kHz 以上の出力が非常に低いことが分かりました。低周波数部分の出力にも大きな違いが観察され、複数の補聴器で音楽リスニング用に低域レスポンスが強調されています。被験者はこの低音域の強調に対して嗜好を示しませんでした。嗜好は音楽のジャンルに関わっている可能性もあります。リサウンド補聴器のユーザーには、リサウンド・スマート3Dアプリ™ を使用して自分の補聴器を個人の嗜好に合わせてカスタマイズ設定するための幅広い選択肢が用意されています。

## 参考文献

1. MacDonald RAR. Music health and well-being: a review. *International Journal of Qualitative Studies of Health*. 2013; 8(1): 20635.
2. Schäfer T, Sedlmeier P, Städtler C, Huron D. The psychological functions of music listening. *Frontiers in Psychology*. 2013; 4: article 511.
3. 2017 Global Mobile Customer Survey: US edition. The dawn of the next era in mobile. 以下から入手可能: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/technology-media-telecommunications/us-tmt-2017-global-mobile-consumer-survey-executive-summary.pdf>
4. Legarth SV, Simonsen CS, Dyrland O, Bramsloev L, Jespersen C. Establishing and qualifying a hearing impaired expert listening panel. Poster presentation at ICHON. 2012, Lake Tahoe.
5. Bisgaard N, Vlaming M, Dahlquist M. Standard audiograms for the IEC 60118-15 measurement procedure. *Trends in Amplification*. 2010; 14:113-120.
6. Senselab Online. 以下から入手可能: <https://senselab.madebydelta.com/senselabonline/>
7. Looi V, Rutledge K, Prvan T. Music Appreciation of Adult Hearing Aid Users and the Impact of Different Levels of Hearing Loss. *Ear and Hearing*. 2019; 40(3): 529-544.

GNヒアリングジャパン株式会社  
〒220-0012 神奈川県横浜市西区みなとみらい3-6-3 MMパークビル8F  
☎ 0120-921-310 [www.resoundpro.com](http://www.resoundpro.com)

第二種医療機器製造販売業許可番号 14B2X00044  
CVR no. 55082715