# Field Study News

# フォナック クロス Ⅱ

## 2 種類のワイヤレス CROS システムのカギとなる性能面から見た電気音響測定

Contralateral Routing of Signal （以下、CROS）機器は一側聾(Single-Sided Deafness 以下、SSD)を抱える人に推奨されるソリューションの 1 つです。良聴耳側に増幅が必要な人は BiCROS での使用が適切です。Phonak Audiology and Research Center (以下、PARC)では、他社の CROS 機器と比較して、フォナック クロス Ⅱの音質やサウンドクリーニング、そして一般的なユーザビリティについて細かく調査しました。2 つのシステムで調査した暗騒音の技術的測定では、フォナック クロス Ⅱは他社の CROS 機器よりも暗騒音が小さいレベルであったことが分かりました。さらに、より進化した雑音管理と最適な聞こえの性能を簡単に設定できる自動機能が備わっていることから、フォナック クロス Ⅱは背景雑音がある環境でもより良い言葉の聞き取りが得られることが分かりました。

### はじめに

CROS 機器は一側聾を抱えた人に一般的に認められている有効的な処置方法です(Ryu ら, 2013, Schafer ら, 2013, Williams, ら, 2012, Hol ら, 2010)。このテクノロジーの進化にもかかわらず、多くのユーザーが全体の満足度に対して低いと評価をしており、これを解決するための大きな取り組みがまだ必要とされています(Cashman ら, 1984; Ericson ら, 1988; Hayes ら, 2005)。(Bi)CROS 機器において、以前はユーザービリティや背景雑音下における困難な聞き取り、そして機器の外見に対する不満足さが報告されていました(Williams ら, 2012)。一側性難聴（Unilateral Hearing Loss 以下 UHL）を抱える人は両耳加算や両耳スケルチを含める両耳機能を損失しています。そのため、雑音管理同様に、良い聞き取りに対するニーズが極めて重要なのです。CROS ユーザーは騒音下での言葉の聞き取り以上のものを求めています。彼らの良聴耳が鋭敏な聞こえであるため、妨害音、音の歪み、機器内部で起こる大きいレベルの雑音といった音質に対して敏感な場合があります。現在の(Bi)CROS 機器が困難な聞き取り環境下でどのように機能しているか評価する調査を行いました。

暗騒音レベル、指向性マイクロホン機能、そして使用の容易さを含めた一連の技術的測定において、フォナック クロス Ⅱと他社の CROS 機器を比較調査しました。

### 研究方法

最新の調査をするため、PARC ではいくつかの測定ツールが使用されました。一つ目は Matlab[1] を使用する SN 比分析ツールです。この測定を行うにあたり、(Bi)CROS 機器を低金属の KEMAR に設置しました。この低金属の KEMAR を使用することで、CROS 送信機から受信機へワイヤレス送信する際に起こり得る妨害や中断を回避できます。この測定では、スピーチと雑音を同時にスピーカーから提示し、KEMAR（疑似耳内蔵）を使い録音します。この録音を分析し、有効的な出力の SN 比を計算し、すでに分かっている入力信号の SN 比と比較します。こうすることで騒音下で実際の言葉の SN 比がどれくらい改善するか客観的に測定することができます(Hagerman, Olofsson と Nästén, 2002)。この SN 比を測定することによって、入力信号に対しての SN 比の効果が分かります。そのため、出力バーが高ければ高いほど、SN 比の効果が大きくなり、予測される性能も高くなります。暗騒音レベルと KEMAR からの提示音を録音するため、音声編集ソフト(Adobe Systems Incorporated, 2007)が使用されました。その後、周波数毎の暗騒音を測定するため、この録音したものをスペクトル領域で可視化しました。

2cc カプラと成人の平均 RECD を使用した測定箱による全ての測定で検証システムの Verifit II[2]が使用されました。CROS システムは両耳伝送するため、受信機と送信機、両方に Verifit II の両耳カプラを接続しました。この調査では、CROS

[1] MATLAB は波形解析の強力なツール
[2] 両耳装用での測定が可能な特性器

PHONAK life is on

システムの受信機である補聴器側の特性が全て測定されました。この測定において、受信機側のマイクロホンが拾って増幅する音でなく、送信機から受信機に伝送した音のみが切り離されていることを保証するため、測定中は送信機のみを測定箱に入れました。送信信号の特性は、測定箱から出して Verifit II に取り付けた受信機で測定されました。

この調査では、フォナックのベンチャーシリーズの耳かけ型補聴器ボレロ V と耳かけ型フォナック クロス Ⅱ送信機が使用されました。フォナックの CROS システムとの比較に、他社の耳かけ型補聴器と CROS 送信機が使用されました。それぞれの器機を KEMAR の標準耳かけ型用カプラーに設置し、KEMAR の耳に取り付けました。

**補聴器のプログラム**

製造メーカー専用のフィッティング処方がそれぞれの器機に適用されました。周波数移動、ハウリング抑制、サウンドクリーニング機能は無効にしました。標準チューブとベント無しの標準閉塞イヤーモールドが Phonak Target と他社のフィッティングソフトで設定されました。CROS 機器では良聴耳の聴力を 0 dB に設定し、BiCROS 機器では良聴耳を全周波数帯において 60 dB フラットで設定しました。全ての測定においてこの設定が使用されました。

## 結果

**内部雑音と外部雑音**

Nabelek (1991)の調査で、装用時間の増加と相関関係にある高いレベルの背景雑音に対して耐えながら、効果的に補聴器を使用するという点において、背景雑音の存在とこの雑音に対する忍耐力というのは、非常に重要な考慮すべき項目であると述べられています(Nabelek ら, 1991)。2006 年、Nabelek らは、背景雑音下における語音明瞭度よりも、許容等価騒音レベル(Acceptable Noise Level 以下 ANL)で測定した方が補聴器の使用をより正確に予測できることを発見しました。さらに、背景雑音に敏感と見られる人口の割合は大きいことから、雑音が聴力閾値よりもかなり高いレベルに達すると、補聴器は拒絶されやすくなります。

191 名の補聴器ユーザーに行った研究で、64%が背景雑音に対してより敏感、すなわち ANL のスコアが低いという結果になり、彼らはテスト中は補聴器をほとんど使用しなかったと述べました。さらに、Agnew (1997)は補聴器の内部雑音レベルが聴力閾値より 4 dB を超えると、装用者は不快感を感じると述べました。内部雑音同様に外部雑音は、Bi(CROS)機器で得られる最大効果や快適性という点において、重要な要素であるということをこの発見が立証しています。

**暗騒音**

図 1 と図 2 から、フォナック（緑）と他社（赤）の CROS / BiCROS システムを周波数で表示した暗騒音レベルを確認することができます。この 2 社のシステムにおいて、フォナック クロス Ⅱでは、暗騒音は常に小さいことが分かりました。この暗騒音がユーザーにいくつか影響を与える可能性があります。CROS モードで使用する場合、図 1 の他社の機器（右）でも見られるように、良聴耳が 20 dB HL 以下であると、20-35 dB SPL の雑音レベルが聞こえる可能性があり、そうなると小さい入力音の聞こえが阻害されてしまいます。調査の結果によると、CROS モードでフォナック クロス Ⅱを使用しても、暗騒音は聞こえなかったということが分かりました。BiCROS モードでフィッティングする場合、フォナック クロス Ⅱの暗騒音レベルは、他社の機器と比べて、10-35 dB 低い結果になりました。60 dB HL の基準線（青）を用いると、軽度・中等度・高音急墜型難聴を抱える人は、他社の機器では暗騒音がよりはっきりと聞こえる可能性があります。実際の調整において内部雑音の影響に気付くため、この測定で、補聴器のデータシートに記載された標準スペック（すなわち等価入力雑音(EIN)）以上のさらなる値と適応性を提供することができます。

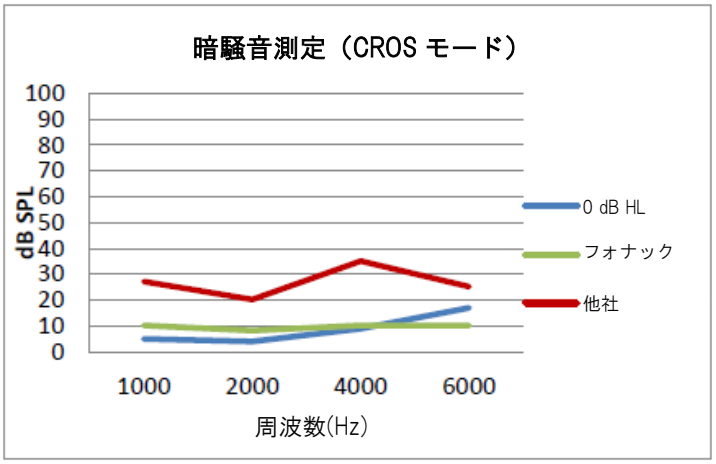


**図 1：他社の CROS システム（赤）とフォナックの CROS II システム（緑）による暗騒音の周波数スペクトラム。青いラインは、全周波数帯の聴力閾値が 0 dB HL で聞こえるとされる暗騒音の基準。**
*** フォナック クロス Ⅱで測定した 1000 Hz と 2000 Hz の暗騒音の値は、測定システムの限界により提示された値よりも実際には低い可能性がある。**

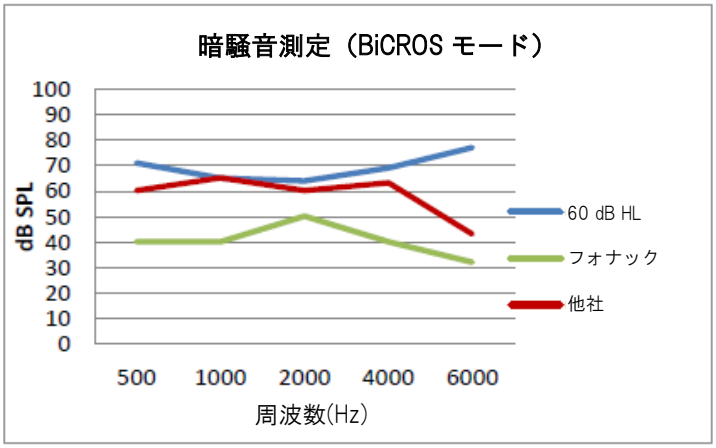


**図 2：良聴耳の聴力レベルが全周波数帯で 60 dB HL で、BiCROS として設定したときの他社の CROS システム（赤）とフォナック CROS II システム（緑）による暗騒音の周波数スペクトラム。青いラインは、全周波数帯の聴力閾値が 60 dB HL で聞こえるとされる暗騒音の基準。**

小さい言葉の手がかりを聞き取る際に起こり得る暗騒音の影響についても考慮することが重要です。図 3 は、40 dB SPL（青）で提示した平均スピーチサンプルの周波数スペクトラムと他社の機器で見られた暗騒音の周波数スペクトラムです。2 つのカーブが重なる部分は、小さい言葉の可聴性

に影響を与える暗騒音が干渉している可能性を示しています。40 dB SPL（青）で提示した同じ平均スピーチサンプルの周波数スペクトラムと、赤で示したフォナック クロス Ⅱの暗騒音を図 4 から確認することができます。この図では、暗騒音とスピーチのカーブが重ならず広帯域周波数において、一定の距離を保たれていることがはっきりと分かります。さらに言えば、補聴器から聞こえる暗騒音はニーポイントの調整で大きく減衰できると言及することも重要です。しかし、暗騒音を減衰させるためにニーポイントを上げても、小さい言葉の可聴性にも影響を与えてしまいます。フォナック クロス Ⅱで聞こえる暗騒音は、何も変更する必要がないほど小さいため、ニーポイントをさらに上げると、小さい音に対する可聴性が制限されると述べられています。

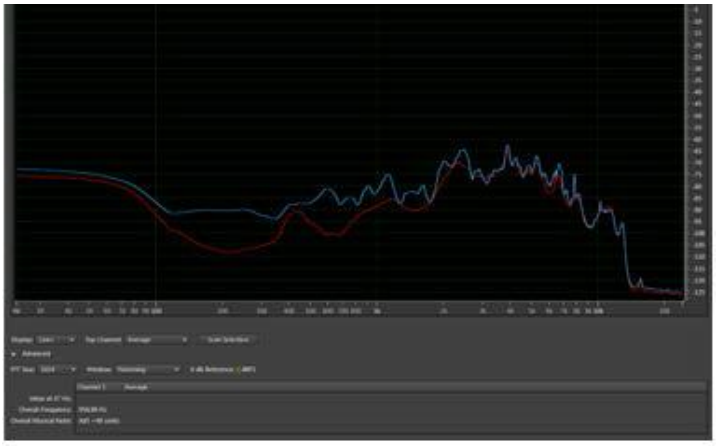

**図 3：小さい言葉のレベルを表示させるため、40 dB SPL で提示録音した平均スピーチサンプルの周波数スペクトラム（青）。他社の CROS 機器で録音した暗騒音（赤）。2 つのカーブが重なる部分は、小さな言葉の聞き取りが暗騒音で干渉している可能性を示す。**

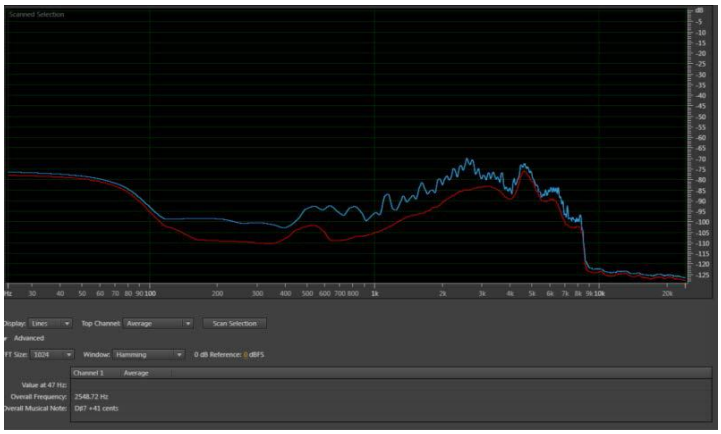

**図 4：小さい言葉のレベルを表示させるため、40 dB SPL で提示録音した平均スピーチサンプルの周波数スペクトラム（青）。フォナック クロス Ⅱで録音した暗騒音（赤）。2 つのカーブが 4000 Hz までずっと保つ一定の距離は、小さな言葉に対する聞き取りがより高い可能性を示す。**

## 指向性マイクロホン機能

良聴耳で聞いていると思われがちなため、一側性難聴や両耳機能の損失で起こる困難さというのは過小評価されているかもしれません。騒音下での音源定位や言葉の聞き取りを含む多くの重要な機能には両耳からの入力が必要です。Valente ら(2002)は、健聴者が経験する聞こえに対し、一側性難聴の場合は SN 比が 13 dB 悪くなると述べました。Chiossoine-Kerdel ら(2000)の研究によると、HHIA (Hearing Handicap Inventory for Adults)[3]の中で、一側性難聴を抱える被験者の 86%が聞こえに大きな障害を感じていると回答しました。一方で、CROS を使用しても両耳機能が改善する訳ではありませんが、感じる聞こえの障害を減少させて、生活機能を改善させるため、サウンドクリーニング[4]によって聞こえの問題が減少するように機能させるといったことが可能になります。

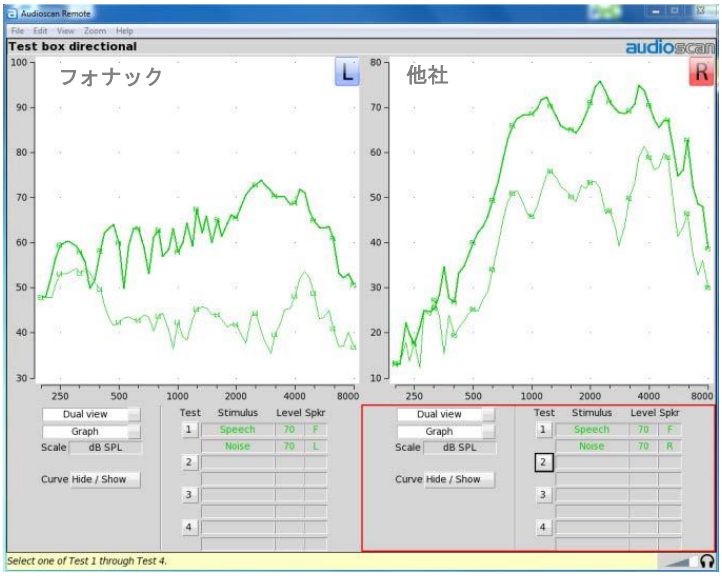


**図 5：CROS モード時の指向性を測定した Verifit II の結果。適応型ステレオズームのフォナック クロス Ⅱ（左）と適応型指向性モードの他社の CROS 機器（右）。いずれも良聴耳の全周波数帯の聴力閾値を 0 dB にした CROS モードに設定。フォナック クロス Ⅱ（左）では、前方と側方から測定した指向性の差が 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz で平均 15 dB SPL。他社の機器では平均 12 dB SPL。**

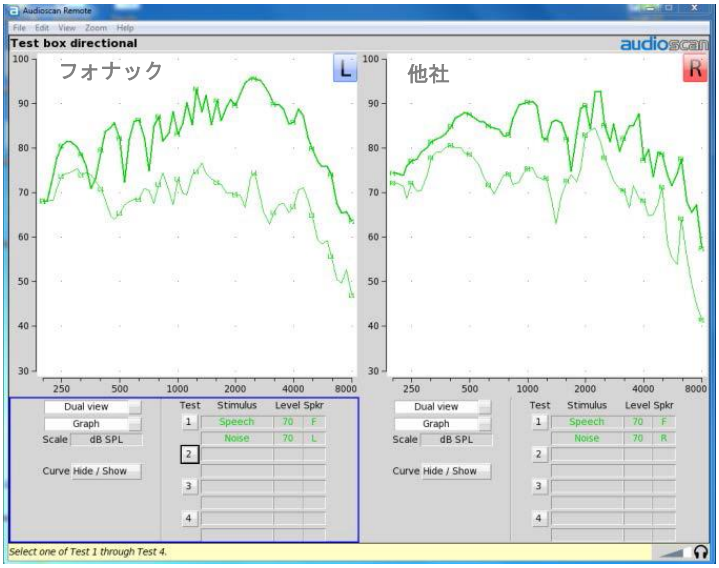


**図 6：良聴耳の全周波数帯の聴力閾値を 60 dB に設定し、BiCROS モード時の指向性を測定した Verifit II の結果。フォナックの BiCROS モードでは、前方と側方から測定した指向性の差が 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz で平均 119.5dB SPL。他社の機器では平均 18.5dB SPL。**

図 5 と図 6 は CROS モード時と BiCROS モード時の指向性を測定した Verifit II の結果です。フォナックの CROS システムは左側で、他社の CROS システムは右側です。CROS モード

[3] 聴覚障害を評価するアンケート調査

[4] 指向性、雑音抑制、反響音などの調整項目の総称

と BiCROS モードの結果、フォナックの CROS システムは 500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz における言葉と雑音の差が平均的に大きく離れたことが分かりました。

特に CROS モードにおいて、言葉と雑音の間が大きく離れたこの結果は、フォナック クロス Ⅱと他社の機器に設定された低音域の利得量の大きな差によるものと考えられます。他社の CROS 機器に設定された低音域の少ない利得は、指向性マイクロホンの性能を制限してしまう可能性があります。フォナックと他社の BiCROS モード時に設定された利得の差を図 7 の Verifit の出力特性から確認することができます。

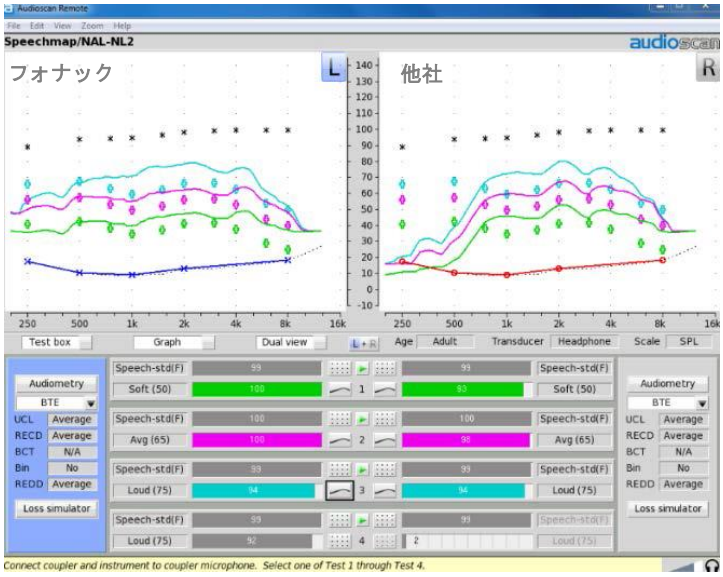


**図 7：小さい入力、普通の入力、大きい入力の Verifit の出力特性。フォナックの CROS システムは左側。他社の CROS システムは右側。他社の CROS システムでは、低音域の出力が大きく低下しているので、指向性マイクロホンなど、利得に依存する機能の利点が制限される可能性がある。**

## ユーザビリティ

Hayes ら(2005)は、Bi(CROS)機器が簡単に使用できるかどうかが不満足さを解消するカギだと述べました。機能を使用するためにプログラムスイッチの操作が必要ならば、その機器は「ユーザーに対して親切ではない」と評価されました。Williams ら(2012)は、CROS ユーザーが抱える 5 つの大きい問題に Bi(CROS)機器の手動調節が含まれているという事を発見しました。フォナック クロス Ⅱは聞こえの環境を音響的に分析し、使用環境に合わせて受信機と補聴器の信号処理を調節してくれる高性能なオートマチック機能を利用しています。他社の CROS 機器は、CROS 送信機が通常電源オフになっており、ユーザー自身が CROS 送信機の電源を入切しなければなりません。

下記にある 2 つの図は、フォナック クロス Ⅱ（左）と送信機の電源をオン・オフに分けた他社の CROS システム（右）を使って、3 つの困難な聞き取り環境下で測定した SN 比の結果です。各環境下で聞こえを最適化させるのに必要なフォナック クロス Ⅱ（緑字）と他社の CROS システム（赤字）の操作についても述べています。

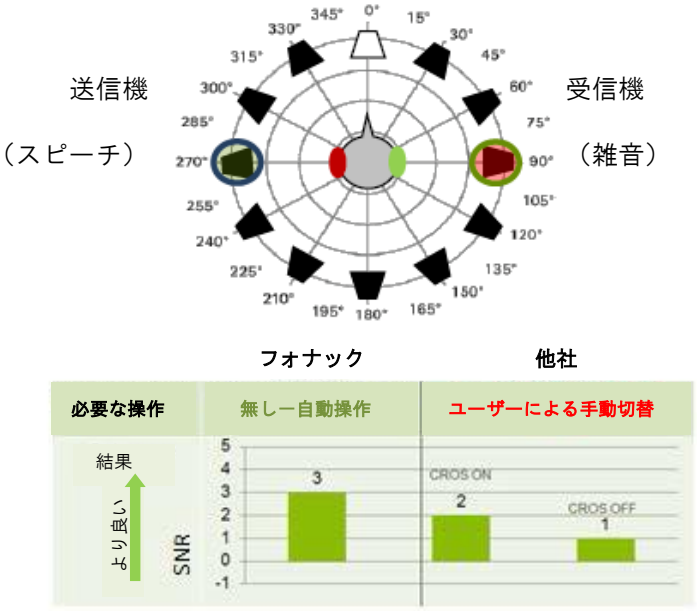


**図 8：送信機にはスピーチを提示し、受信機には雑音を提示した聞こえの環境。フォナックの CROS システム（左）と送信機をオン/オフに分けた他社の CROS システム（右）。**

送信機側（非良聴耳）にスピーチを提示し、受信機側（良聴耳）に雑音を提示した時の SN 比の結果を図 8 から確認することができます。例を述べると、フォナックの自動適応型システムでは、ユーザーは、送信機側はリアルイヤーサウンドで作動し、受信機側はウルトラズームを利用しながらノイズブロックをかけるフォナックの自動適応型システムの効果を得ることができます。一方で他社のシステムでは、CROS 機器を有効にすると（電源オンにすると）、雑音を検知し、両耳が指向性マイクロホンモードになります。信号は非良聴耳側で拾って伝送されるので、結果、当然ながら聞きたい信号の一部分が抑制されます。

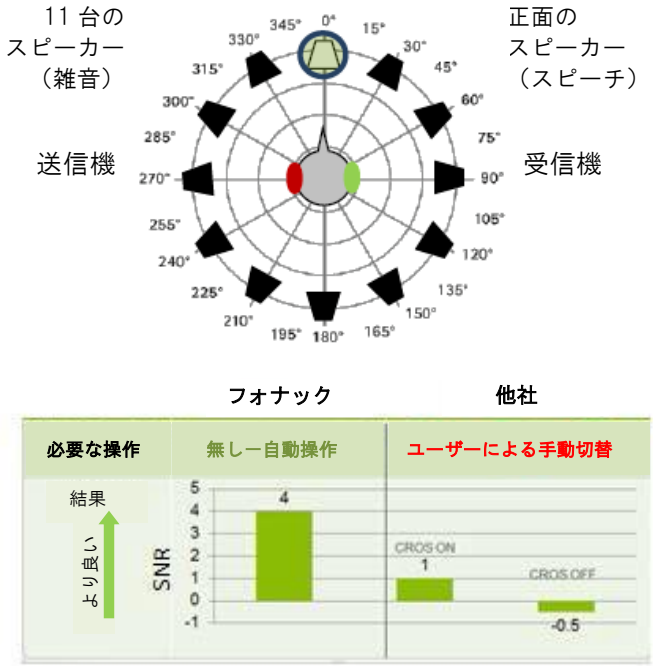


**図 9：正面のスピーカーからはスピーチを提示し、その他 11 個のスピーカーからは複数の話者による拡散雑音を提示。フォナックの CROS システム（左）と送信機をオン/オフに分けた他社の CROS システム（右）。**

拡散雑音下で正面のスピーカーから言葉を提示した時の SN 比の測定を図 9 から確認することができます。このようなケースでは、鋭角な適応型指向性のフォナック ステレオズームが作動します。この機能は、騒音抑制を最大にし、聞きたい正面の音に対してビーム幅を狭めます。フォナックは、この完全オートマチック機能（他社の CROS システムはマニュアル操作）と最も有意的な SN 比の改善を提供しました。

CROS 送信機から入力信号を受ける受信機（補聴器）の出力周波数特性（紫）と CROS 送信機の電源をオフ時の受信機の出力周波数特性（橙）の差を図 10 と図 11 から確認することができます。

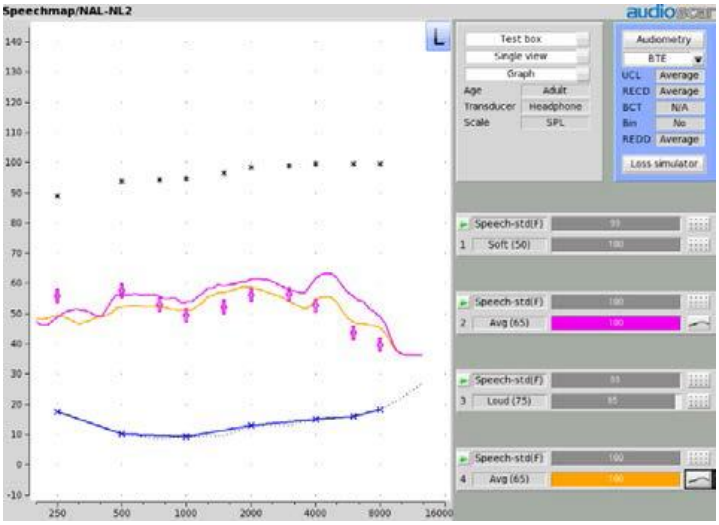


**図 10：送信機フォナック クロス Ⅱから入力信号を受ける受信機フォナック ボレロの出力（紫）と送信機の電源をオフにした、受信機のみの出力（橙）。**

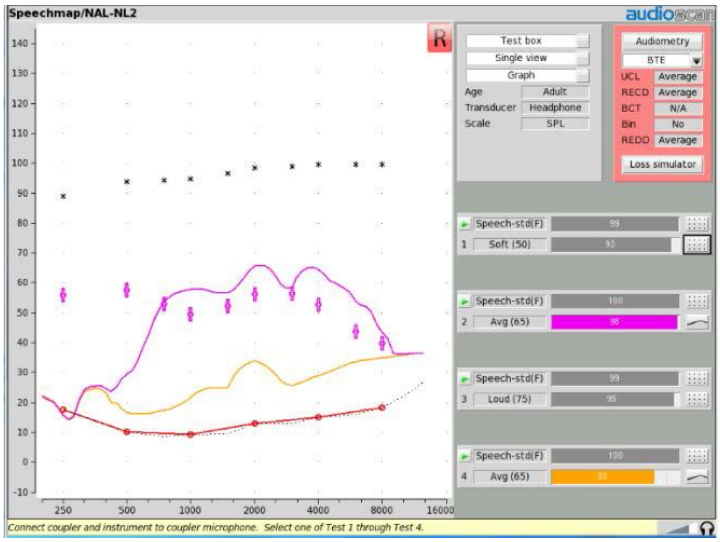


**図 11：他社の CROS 送信機から入力信号を受ける他社 CROS 受信機の出力（紫）と他社 CROS 送信機の電源をオフにした、受信機のみの出力（橙）。**

結果、フォナックの受信機となる補聴器は、CROS 送信機の電源がオンでもオフでも、変わらず機能していることが分かります。しかし、他社の CROS システムは、送信機の電源がオフの場合、受信機の補聴器も電源がオフになります。CROS ユーザーは良聴耳側に増幅を必要としていなくても、無効または“機能していない”補聴器を健聴耳に装用することは、CROS ユーザーにとっては心地悪いかもしれません。

## まとめ

この調査の結果、他社の機器の CROS モードと BiCROS モードで予測される暗騒音の可聴性から、フォナック クロス Ⅱは優れた音質を伝送していることが分かりました。さらに、広帯域指向性と鋭角な指向性のステレオズーム機能により、フォナック クロス Ⅱは背景雑音下でもより良い SN 比を提供することが可能です。フォナック クロス Ⅱでは、CROS ユーザー自身が性能を最適化させる変更をするために、手動で電源の入切やプログラムの変更をする必要はありませんでした。この実験の結果、フォナックの機器は業界きっての音質、騒音管理、聞こえの性能を自動的に提供できることが分かりました。

## 参考文献


Agnew, J. (1997). Audible circuit noise in hearing aid amplifiers. The Journal of the Acoustical Society of America, 102(5), 2793-2799.

Cashman, M., Corbin, H., Riko, K., & Rossman, R. (1984). Effect of recent hearing aid improvements on management of the hearing impaired. The Journal of otolaryngology, 13(4), 227-231.

Chiossoine-Kerdel, J. A., Baguley, D. M., Stoddart, R. L., & Moffat, D. A. (2000). An investigation of the audiologic handicap associated with unilateral sudden sensorineural hearing loss. Otology & Neurotology, 21(5), 645-651.

Ericson, H., Svärd, I., Högset, O., Devert, G., & Ekström, L. (1988). Contralateral Routing of Signals in Unilateral Hearing Impairment A Better Method of Fitting. Scandinavian audiology, 17(2), 111-116.

Hagerman, B., Olofsson, A., & Nästén, A. (2002). Noise reduction measurements in hearing aids. Presented at the International Hearing Aid Research Conference, Tahoe City, CA.

Hayes, D., Pumford, J., & Dorscher, M. (2005). Advantages of DSP instruments for wireless CROS fittings. The Hearing Journal, 58(3), 44-46.

Hol, M. K., Kunst, S. J., Snik, A. F., & Cremers, C. W. (2010). Pilot study on the effectiveness of the conventional CROS, the transcranial CROS and the BAHA transcranial CROS in adults with unilateral inner ear deafness. European archives of oto-rhino-laryngology, 267(6), 889-896.

Nabelek, A. K., Tucker, F. M., & Letowski, T. R. (1991). Toleration of Background NoisesRelationship With Patterns of Hearing Aid Use by Elderly Persons. Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 34(3), 679-685.

Nabelek, A. K., Freyaldenhoven, M. C., Tampas, J. W., Burchfield, S. B., & Muenchen, R. A. (2006). Acceptable noise level as a predictor of hearing aid use. Journal of the American Academy of Audiology, 17(9), 626-639.

Ryu, N., Moon, J., Jin, S., Park, H., Jang, K., Cho, Y. (2013). Clinical effectiveness of wireless CROS (contralateral routing of offside signals) hearing aids. European Archives of Oto-Rhino-Laryngology.

Schafer, E.C., Baldus, N., D'Souza, M., Algier, K., Whiteley, P., Hill, M. (2013). Behavioral and subjective performance with digital CROS/BiCROS hearing instruments. Journal of Rehabilitative Audiology 46:62-93

Valente M, Valente M, Enrietto J, Layton KM. Fitting strategies for patients with unilateral hearing loss. In: Valente M, ed. Strategies for Selecting and Verifying Hearing Aid Fitting. 2nd ed. New York, NY: Thieme; 2002:253–271

Williams, V. A., McArdle, R. A., & Chisolm, T. H. (2012). Subjective and objective outcomes from new BiCROS technology in a veteran sample. Journal of the American Academy of Audiology, 23(10), 789-806.

## 著者と調査員

*Christine Jones は 2001 年からフォナックの一員となる。近年は、外部・内部の臨床研究を管理する Phonak Audiology Research Center (PARC)の責任者として従事している。以前はフォナック US の小児部門を担当しており、PARC で小児の臨床調査を管理。Christine はヴァンダービルト大学の聴覚学科で修士号を取得した後、中央ミシガン大学で聴覚学博士号を取得。*

*Lori Rakita は PARC の調査員も務めるオーディオロジスト。フォナックの一員となってからは、フォナック製品に関わるアプリケーション、エビデンスの論拠、臨床的サポートの改善を目的としたテストに参加する被験者に向けた、広範囲にわたる技術的評価を含む大きな調査プログラムを管理している。ウィスコンシン大学マディソン校の心理学科で理学士号を取得した後、セントルイスにあるワシントン大学で聴覚学博士号を取得。*