

第47回補聴研究会資料

2025年10月16日（木）

成田国際文化会館

日本聴覚医学会
第47回補聴研究会プログラム

2025年10月16日(木)

成田国際文化会館 〒286-0021 千葉県成田市土屋 303 TEL 0476-23-1331

演題

座長：鈴木恵子

1. 聴性定常反応 (ASSR) の基本的特徴および次世代型 ASSR の結果の解釈と乳幼児の補聴器フィッティングへの活用

千葉寛之¹⁾、伊藤 吏²⁾

1) 新潟医療福祉大学リハビリテーション学部言語聴覚学科

2) 山形大学医学部耳鼻咽喉・頭頸部外科学講座

座長：西村忠己

2. RIC タイプ耳かけ型補聴器の普及とそれを支える技術の最新動向
～AI、ワイヤレス、充電式～

松崎史也、上野 正

一般社団法人 日本補聴器工業会

講演

座長：伊藤 健

国際音声試験信号を用いた実耳測定による補聴器フィッティング

佐野 肇

北里大学医療衛生学部リハビリテーション学科言語聴覚療法学専攻

演題 1

聴性定常反応 (ASSR) の基本的特徴および次世代型 ASSR の結果の解釈と乳幼児の補聴器フィッティングへの活用

千葉寛之¹⁾ 伊藤吏²⁾

- 1) 新潟医療福祉大学 リハビリテーション部 言語聴覚学科
- 2) 山形大学 医学部 耳鼻咽喉・頭頸部外科学講座

1. はじめに

聴性定常反応(Auditory steady-state response : ASSR)は左右別のオーディオグラムを推定することが可能な周波数特異性が高い他覚的聴力検査である。日常診療における ASSR は新生児聴覚スクリーニング後などの乳幼児に対する精密聴力検査として用いることが多く、BOA、COR、VRA といった音への反応を見る乳幼児聴力検査と並行して実施され、クロスチェックをすることで可及的に正確な聴力評価を目指す。特に生後 3 カ月頃までは聴力評価や補聴器のフィッティングにおいて ASSR の役割は大きい。ASSR の市販器は 2000 年代から登場したが、近年 chirp と呼ばれる周波数掃引音を用いた次世代型 ASSR 測定器が登場し、検査精度の向上と検査時間の短縮が期待されている。しかしながら、報告が蓄積されておらず得られた反応閾値から聴力を推定する際に一定の見解がないのが現状である。本発表では ASSR の基本的特徴および次世代型 ASSR の結果の解釈さらには乳幼児の補聴器フィッティングへの活用について報告をする。

2. 従来型 ASSR

2-1 : 従来型 ASSR の特徴

従来型 ASSR は、国内においては 2000 年頃に市販化されており、Navigator Pro (Bio-logic 社) と Audera (GSI 社) がそれに該当する。刺激音は主に振幅変調音 (Amplitude Modulated Tone : AM 音) や AM² 音が用いられており、Lins ら考案した multiple simultaneous stimulation という手法を用いることで 500、1000、2000、4000Hz の 4 つの周波数を左右別に、かつ同時に測定可能となった¹⁾。従来型 ASSR の ASSR 閾値と聴力レベル (PTA 閾値) の閾値差 (Difference Score : DS) は一般的には ASSR 閾値は PTA 閾値より 10dB 程度閾値が上昇するとの報告が多く、特に 500Hz においては DS が大きくなるという特徴があった²⁾。また、聴力正常群と難聴群を比較すると難聴群の DS が小さい傾向であることが分かる。

2-2 : 乳幼児における従来型 ASSR 閾値

乳児の ASSR 閾値は成人や 1 歳以上の幼児より 10~20dB ほど反応閾値が上昇し、1 歳以降徐々に成人の閾値に近づくとされている³⁾。聴力正常幼児においては年齢が小さいほど反応閾値が上昇し、1 歳頃に徐々に幼児の閾値に近づくと報告もある。また、千葉らは ASSR 閾値が経時的に改善、変化することを報告しており、初回検査が 1 歳未満であった 27 例では 12 例 (44.4%) うち、後の ASSR にて改善 10 例

(83.3%)、悪化 1 例 (8.3%)、改善・悪化 1 例 (8.3%) の症例で閾値の変動がみられたと報告している⁴⁾。以上のことから、乳児においては、PTA 閾値よりも 10~20dB 閾値が上昇する可能性があり、特に 500Hz においてはその傾向が顕著であることを考慮した聴力評価と補聴器フィッティングへの応用が必要であると

思われる。

3. 次世代型 ASSR の特徴と結果の解釈

3-1 : 次世代型 ASSR の特徴

次世代型 ASSR という名称は 2018 年に Sininger らが報告した論文に由来するが⁵⁾、従来型 ASSR との大きな違いは刺激音として chirp 音を用いている点である。Chirp 音は cochlear wave traveling delay を補正するために工夫された刺激音であり、頂回転を刺激する低周波成分の位相を早く提示し、基底回転を刺激する高周波成分の位相を遅く提示することで蝸牛神経の興奮の同期性を高め、より大きな反応を得ようするものである⁶⁾。

3-2 : 次世代型 ASSR の結果の解釈

表 1 は小児例を対象とした次世代型 ASSR の DS と標準偏差に関する報告を示す。小児単独群において PTA 閾値と比較した報告は Chiba らの報告のみであるが、従来型 ASSR と比べると DS がすべての周波数において低値であり、さらには 4000Hz においては DS がマイナスを示す症例も認める。AM² 変調音を用いた従来型 ASSR との比較においては、2000Hz において優位に DS が小さく 4 周波数全体としてもやや低地の傾向があった。難聴の程度による反応閾値の違いに関しては、木下ら (2021) は高・重度聴力の場合、DS が PTA 閾値より 10dB ほど小さくなる傾向があることを報告している。一方で 500Hz において反応が検出しにくいという報告は見られていない。以上より、次世代型 ASSR の反応閾値の特徴としては、従来型 ASSR と比べて反応が検出しやすい傾向が示唆され、難聴が高・度重度の場合は DS が小さくなる可能性が示唆されるが、まだ報告が少ないのが現状である。乳幼児聴力検査や ABR 閾値などと総合した聴力評価が必要と考える。

表 1 chirp-ASSR 閾値と PTA 閾値の DS の平均値と標準偏差に関する報告

	年	症例数	対象	NH/HL	比較対象	DS (平均値±標準偏差)			
						500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Venail et al.	2015	32	小児	NH/HL	VRA	4.1±11.3	1.8±9.2	3.8±8.3	0.5±12.4
François et al.	2016	69	小児	NH/HL	VRA	8.8±17.3	12.4±14.6	10.4±12.4	14.8±15.4
Chiba et al.	2025	30	小児	NH/HL	PTA	8.7±11.3	8.6±9.6	0.7±7.1	-2.4±9.3

NH: Normal Hearing HL: Hearing Loss

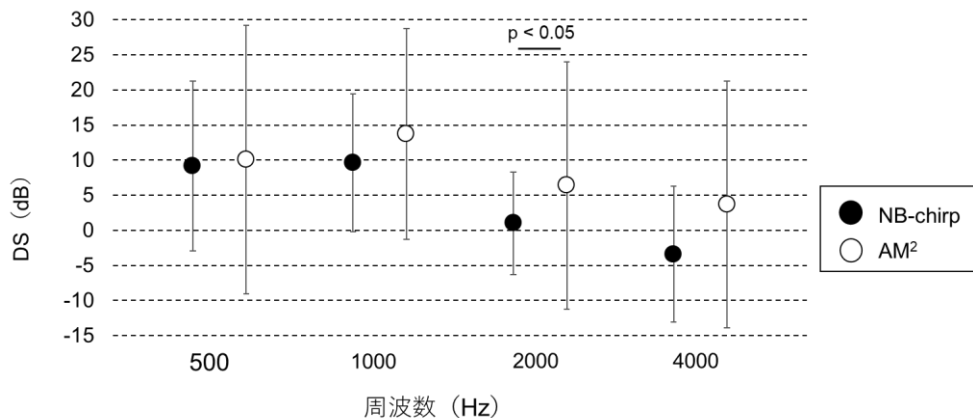


図 1. 次世代型 ASSR と従来型 ASSR の周波数ごとの DS の比較

4. 乳幼児の補聴器フィッティングへの活用

Savio らは正常乳幼児を生後 0~29 日 (A 群)、1~6 カ月 (B 群)、7~12 カ月 (C 群) の 3 群に分けて ASSR 閾値などを検討し、周波数ごとの平均閾値±SD が、新生児期では閾値も大きく、児ごとのばらつきも大きい、1 歳までに徐々に幼児の閾値に近づくと報告しており⁸⁾、脳幹中枢聴覚路の発育、成熟と関連した現象であろうと考えられる。次世代型 ASSR の特徴も踏まえ、1 歳未満の乳幼児の ASSR は BOA、COR、VRA などの乳幼児聴力検査の結果も踏まえて複数回の検査による慎重な判定が必要であると考えられる。

(次世代型 ASSR の反応閾値から推定される PTA 閾値と乳幼児の補聴器フィッティング) 図 2

- ・乳幼児 (1 歳未満) は反応が出にくい可能性があるが、次世代型 ASSR においては不明である
- ・従来型 ASSR に比べ DS が小さくなる傾向がある
- ・高音域 (4,000Hz) は DS が小さい可能性がある
- ・高度重度の場合は ASSR 閾値が PTA 閾値よりも低下する可能性がある

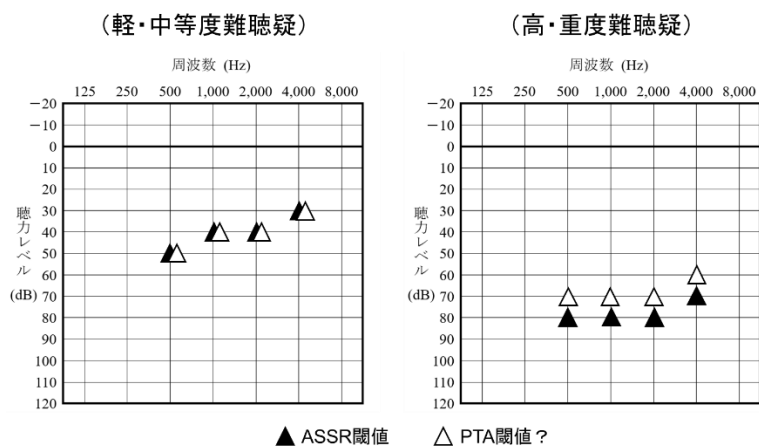


図:2 ASSR 閾値から推定される PTA 閾値の参考例

【引用文献】

- 1) Lins OG, Picton, TW, Champagne SC, Durieuxsmith A: Auditory steady-state response to tones amplitude modulated at 80-110 Hz. J Acoust Soc Am 1995; 597: 3051-3063
- 2) Ocdek A, et al: Comparison of pure tone audiometry and auditory steady-state responses in subjects with normal hearing and hearing loss. Eur Arch Otorhinolaryngol. 2010; 267(1): 43-49
- 3) Picton TW, John MS, Dimitrijevic A, et al : Human auditory steady—state responses. Int J Audiol 2003 ; 42 : 177—219.
- 4) 千葉寛之, 渡辺知緒, 伊藤吏, 他: 乳幼児の他覚的聴力検査における閾値変化の検討. Audiol Jpn 2007 ; 50 : 174—179.
- 5) Sininger YS, Hunter LL, Hayes D, Roush PA, Uhler KM: Evaluation of Speed and Accuracy of Next-Generation Auditory Steady State Response and Auditory Brainstem Response Audiometry in Children With Normal Hearing and Hearing Loss. Ear Hear 2018; 39: 1207-1223
- 6) Elberling C, Don, M Cebulla M, Sturzebecher E: Auditory steady-state responses to chirp stimuli based on cochlear traveling wave delay. J Acoust Soc Am 2007; 122: 2772-2785
- 7) Chiba H, Ito T, Kubota T, Matsui H, Shinkawa C, Kakehata S: Estimation of Hearing Thresholds with Auditory Steady-State Responses to Narrow-Band Chirps in Children. Audiol Neurotol (2025) 30 (1): 89-99.
- 8) Savio G, Cardenas J, Perez—Abalo M, et al : The low and high frequency auditory steady state response mature at

different rates. *Audiol Neurotol* 2001 ; 6 : 279—287.

9) 千葉寛之, 渡辺知緒, 伊藤 吏, 他: 乳幼児の他覚的聴力検査における閾値変化の検討. *Audiol Jpn* 2007; 50: 174—179.

演題 2

RIC タイプ耳かけ型補聴器の普及とそれを支える技術の最新動向 ～AI, ワイヤレス, 充電式～

松崎 史也, 上野 正

一般社団法人 日本補聴器工業会

1. はじめに

近年、RIC 型補聴器の普及が大きく伸展している。これは日本補聴器工業会の会員会社における補聴器タイプ別出荷数の近年の動向（図 1）から明らかである。また、JapanTrak 2022 の調査結果（図 2）からも、現在所有されている補聴器の中で最も多いタイプが RIC (Receiver-in-Canal) であり、特に 2019 年以降に購入された補聴器においてその割合が顕著に増加している。補聴器所有者の 67% が 2019 年以降に補聴器を購入しており、その中で RIC が最多を占めている。

RIC は耳かけ型としての特徴を備えながらも同時に耳あな型のようにスピーカーが耳穴に配置される構造を有しており、音質や装用感に優れており満足度が高いとされている。また技術の進展に伴い、RIC の選択率が高まっている傾向が確認されている。これらの傾向は、JapanTrak 調査によって裏付けられており、今後も RIC の普及が進展することが予測される。

本発表では、こうした傾向を踏まえ、日本補聴器工業会の会員会社が国内において出荷している補聴器（11 社 13 ブランド）の 2025 年 7 月時点における現状について調査を実施し、その分析結果を報告する。

なお、耳あな型については、今回の調査においてレディメイドとオーダーメイドの区別は行っていない。耳かけ型の RIC には RITE を含め、以後「RIC」と記載する。耳かけ型の従来型 BTE については、「BTE」と記載する。

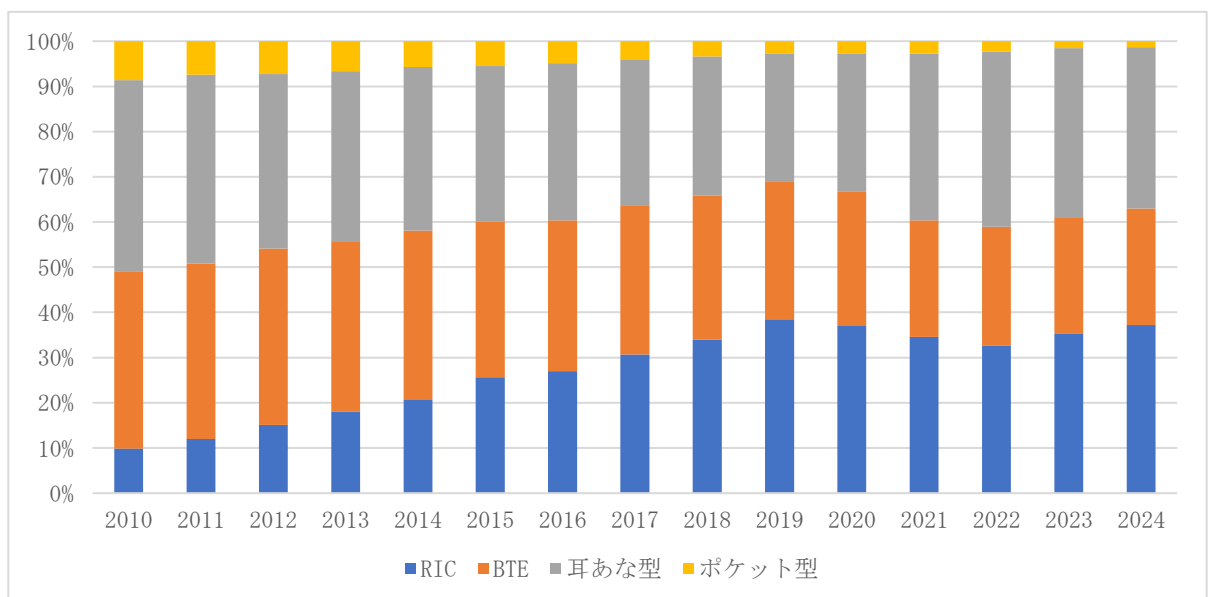


図 1: 出荷数のタイプ別比率の動向

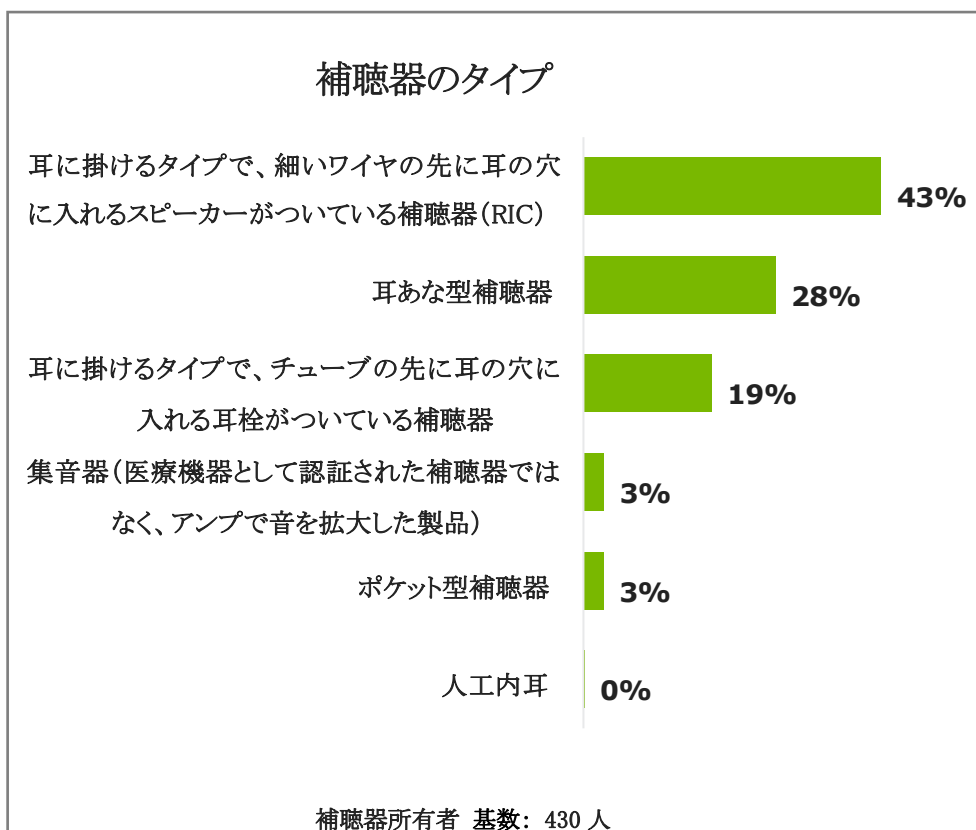


図 2 : JapanTrak2022 より

2. RIC の特徴

最初に補聴タイプごとの一般的な特徴を RIC 型の利点を中心に表 1 にまとめた。

表 1

タイプ 項目	RIC	BTE	耳あな型
適応聴力	軽度～重度	(軽度) ～中等度～重度	軽度～高度～(重度)
音響特性	オープンフィッティングを実現しやすい。レシーバーが外耳道内にあり音響特性は耳あな型に近い。	高い出力・利得が実現しやすい。 チューブやフックのために音響特性に不要なピークが発生する場合がある。	レシーバーやマイクが耳の中に納まるので自然な音響特性を得やすい。 ハウリングを防ぐために密閉感が出やすい。 大きさに制限があるため最大出力や利得に制限が出やすい。

搭載技術	最新技術が最も早く搭載される傾向にある(本発表で説明; 充電機能・無線通信・AI・アプリ連携など)	高出力・テレコイルを備えるなど重度難聴に対応しやすい。 筐体の大きさを確保しやすく機能を搭載しやすい。	筐体の大きさに制限があるため搭載可能な機能の制限につながりやすい。
見た目	一般的に本体が小型で、細いワイヤーで耳にフィットさせるため外観が目立ちにくい。 様々なカラー選択が可能な場合が多い。	一般的に筐体が大きくなりがちでやや目立つ可能性がある。 様々なカラー選択が可能な場合が多い。	CICのように目立ちにくいものからフルシェルタイプで出力の大きいものまで様々な対応が可能。 特にオーダーメイド型は耳の形に合わせて作れる(ただし耳の形により個人差あり)。
使い勝手	軽量・快適・着け心地が良い傾向にある。 ただしレシーバーが耳垢の影響を受けやすい。	耳垢や湿気に強くレシーバー故障が少ない。 本体が大きく扱いやすく操作も簡単である。	マスクや眼鏡と干渉しにくい。 耳垢の影響を受けやすい。 小型で扱いにくい場合あり、着脱や電池交換が難しい場合がある。

BTEは比較的筐体を大きくすることができるため、ユーザーの取り扱いがしやすく、部品や電池の収納性の余裕から様々な機能を搭載でき、また高度・重度難聴にも対応しやすいといえる。耳あな型は補聴器全体が耳の中に収まるため、見た目が自然でありレシーバーやマイクが耳の中に配置されるので音響的に自然であるといえる。RICはBTEと耳あな型それぞれの良い点がバランス良くまとめられており、近年最も普及が進んでいると思われる。

3. 補聴器の進化を支える技術の最新動向

3-1 充電式

(1) 補聴器のタイプ別の充電機能の採用傾向

充電機能を採用するブランド数の多さでタイプ別の導入の傾向を確認した。

- BTE：一部製品で採用のブランドは10で、未採用のブランドは2であった。充電式機能の導入が多い。
- RIC：全13ブランドが全器種/一部の器種で採用と最多である。
- 耳あな型：全器種/一部の器種で採用が7ブランドで、未採用のブランドが6であった。充電機能の採用が最も少ない。

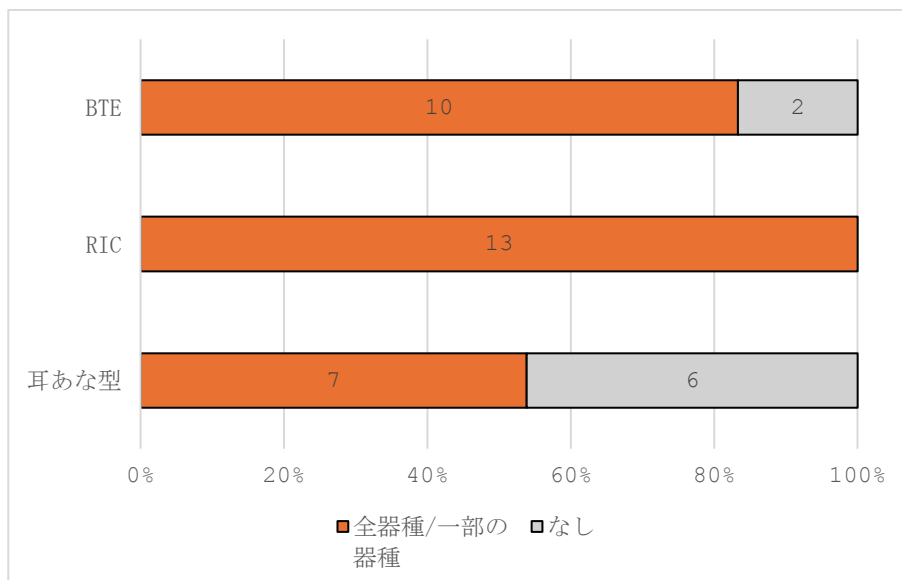


図 3：各ブランドごとの充電式補聴器の採用状況

RICでの採用が最も進んでおり、耳あな型での未採用が目立つ。これは筐体のスペースや構造上の制約、技術的課題が影響していると推測される。

(2) 付加的な機能について

次に充電機能に付随する2つの機能についての採用状況を確認した。

携帯型充電器の採用

- BTE：全器種/一部の器種で採用が7ブランドで、未採用の5ブランド
- RIC：全器種/一部の器種で採用が11ブランドで、未採用の2ブランド
- 耳あな型：全器種/一部の器種で採用が4ブランドで、未採用の9ブランド

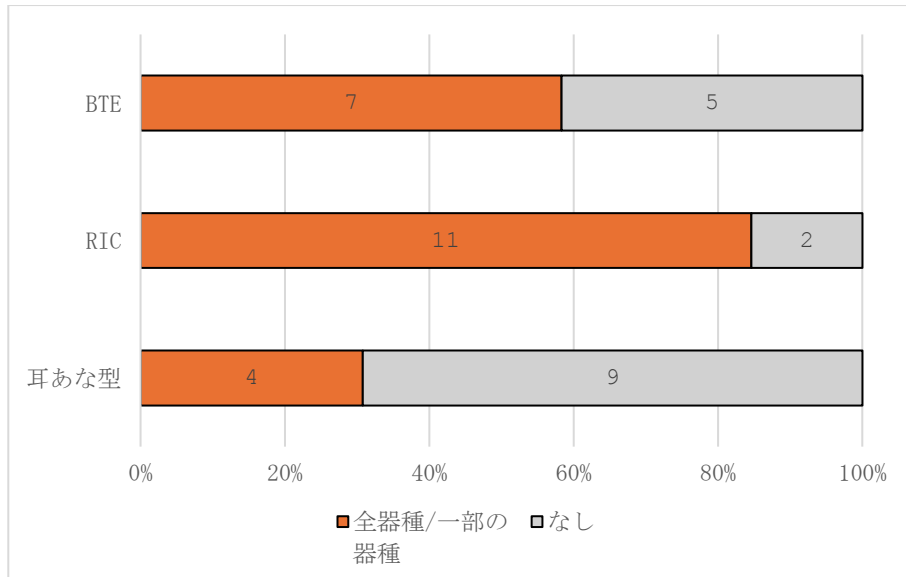


図 4：携帯型充電器を採用するブランド数

急速充電機能

- BTE：全器種/一部の器種で採用が7ブランドで、未採用の5ブランド
- RIC：全器種/一部の器種で採用が8ブランドで、未採用の5ブランド
- 耳あな型：全器種/一部の器種で採用が4ブランドで、未採用の9ブランド

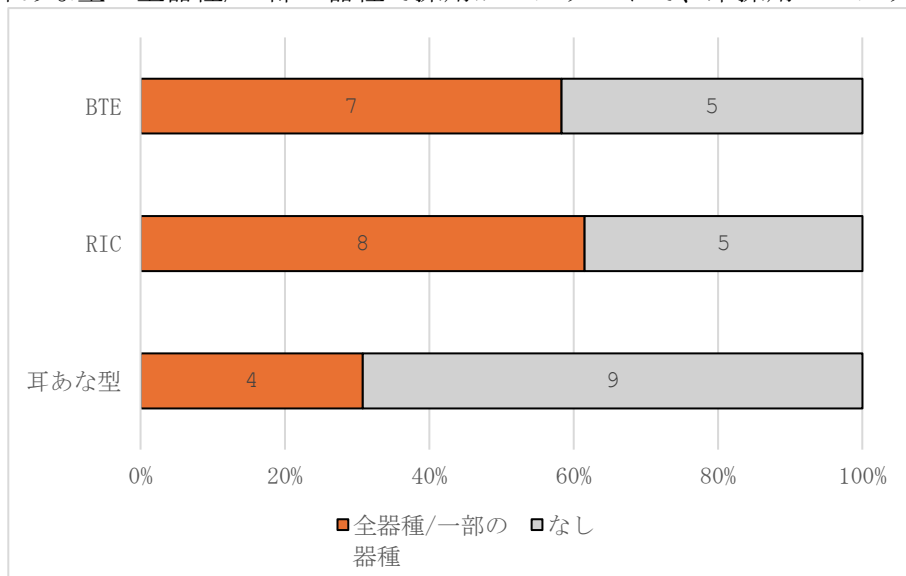


図 5：急速充電機能を採用するブランド数

単なる充電式機能の採用にとどまらず携帯型充電器や急速充電機能といった付加価値のある機能の採用についても RIC が最も進んでいることが認められた。

(3) 満充電までの時間と使用可能時間

ブランドごとの満充電までの時間及び満充電後における使用可能時間について調査し、その平均値をタイプ別にまとめた。

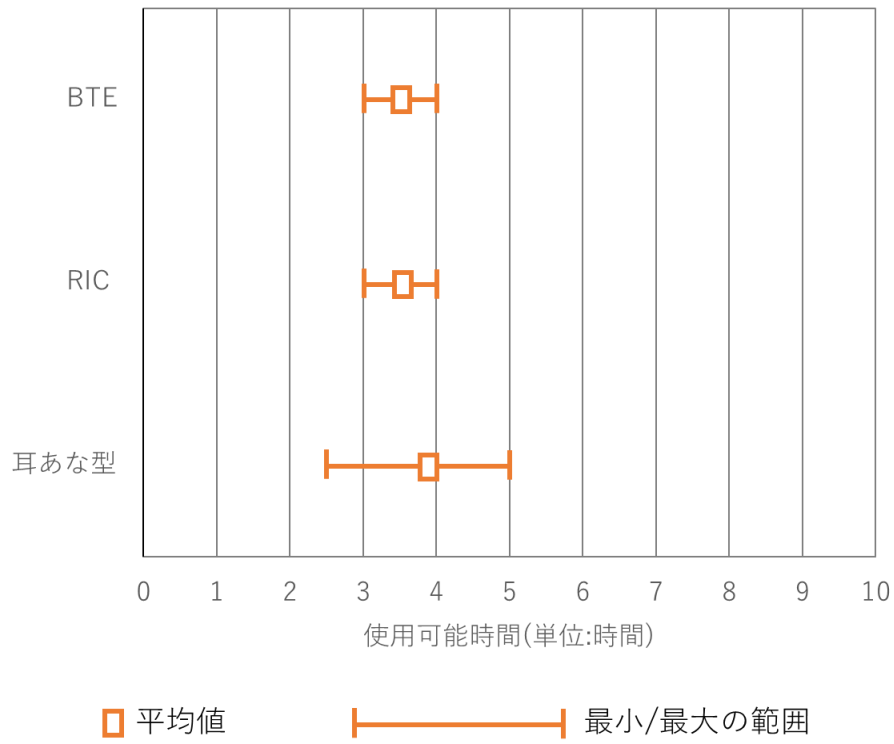


図 6 : 満充電までの時間の分布と平均値

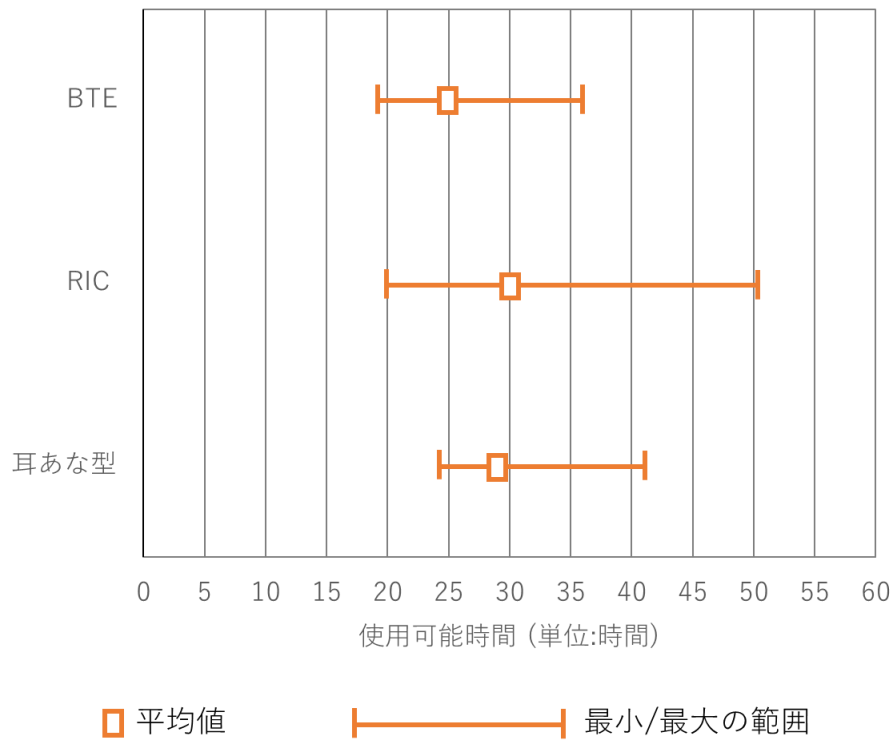


図 7 : 満充電後の使用可能時間の分布と平均値

満充電までの時間及び満充電後における使用可能時間の各社回答の平均値は、各タイプとも満充電までの時間が3.5～4時間の範囲であり、満充電後の使用可能時間は25～30時間程度であった。ワイヤレスイヤホンのような一般的な携帯型音響機器に比べても要求される使用時間が長い補聴器は連続して1日中使用可能な性能を有していることが確認できる。

若干、BTEの使用時間が短い傾向がある。この理由としてパワータイプの製品が多いことが考えられる。

(4) 急速充電及び急速充電後の使用可能時間

空気電池式補聴器では使用中に電池の残量が無くなった場合に電池を交換することにより直ちに使用を再開できるが、充電式補聴器では充電の時間を待たなければならない不便さがある。充電器に急速充電機能が搭載されている場合は短時間の充電で一定の使用可能時間を確保することができ不便を緩和できる。

各ブランドの急速充電に必要な時間と急速充電後の使用可能時間についてタイプ別に平均を計算した。

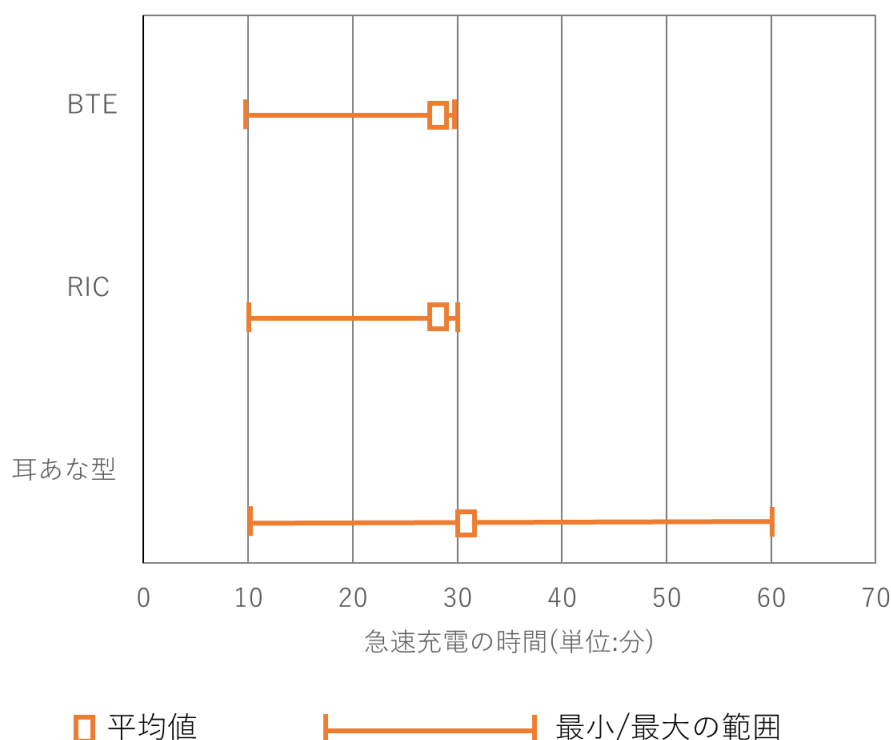


図 8 : 急速充電の時間の分布と平均値

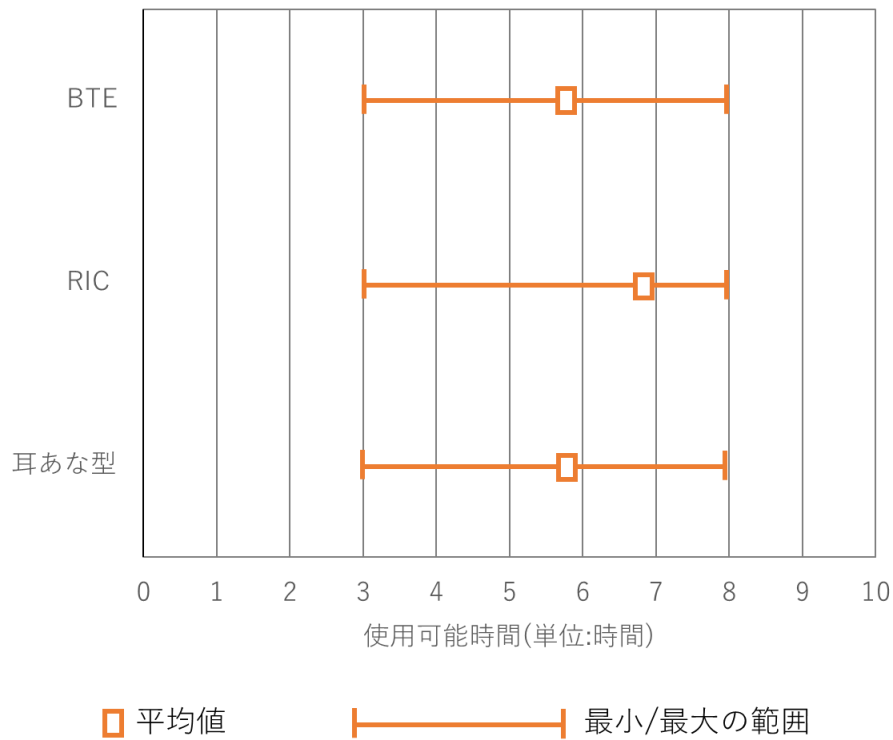


図 9：急速充電後の使用可能時間の分布と平均値

平均的には概ね急速充電 30 分程度で 6 時間程度使用可能なことが分かる。若干耳あな型の使用可能時間が短いことが認められる。これは耳あな型の筐体サイズの制限に起因することが考えられる。

(5) 充電方式の種類

充電器から補聴器に内蔵した充電電池に給電を行う際に接点を介して電流を送る接触式と、電磁誘導などの原理を利用し非接触で電力を供給する非接触式の 2 つのタイプがある。どちらの方式を採用しているか状況を調査した。

	非接触式のみ	接触式のみ	両方
BTE	6	2	2
RIC	3	3	7
耳あな型	2	3	2

タイプ別の採用の違いについては明確な傾向はみられなかった。

(6) 充電電池の寿命および推奨される交換時期

充電式の場合バッテリーは部品として組み込まれており繰り返し使用可能だが、充電電池の寿

命・交換時期について各ブランドの考えを下表にまとめた。

寿命の定義	定めているブランド数	備考（複数条件含む）
2年	4	この内3ブランドはフィッティングソフトでバッテリーの状態を判断する機能も持つ
2.5年	1	
3～5年（幅あり）	1	
約5年	1	
使用状況により変動又は定め無し	4	
非公開	2	

- 充電電池の寿命を2年とするブランド数が4と最も多かったが、各ブランドによって寿命に対する考え方が異なることが分かった。
- 使用期間ではなくフィッティングソフトでバッテリーの状況を判断するブランドも存在する。

(7) 充電器の価格分布（補聴器タイプ別）

タイプごとに全ブランドの充電器の価格帯を以下の表にまとめた。

タイプ	ブランド数	価格帯の主な分布
BTE	10	10,000円～48,510円
RIC	13	10,000円～48,510円：BTEと同等
耳あな型	6	17,600円～44,000円：（採用ブランドが少ない）

充電器の価格の全体的な傾向としては1万円～4万円後半までの幅が認められる。一方でタイプ別の際立った違いは認められなかった。

(8) 同一クラスの製品間での空気電池式との価格差の分析

同時に空気電池式の補聴器も取り扱っている場合に、充電式と空気電池式との価格差をブランドごとに調査した。

価格差構成の傾向	ブランド数	備考・判断基準
充電器単体の価格差と思われるブランド数	9	価格差 ≒ 充電器の価格帯に完全又はほぼ一致している
補聴器本体＋充電器価格差と思われるブランド数	1	価格差が充電器価格を大きく超過（例：50,000～150,000円など）
空気電池式との価格差が	1	

ない		
比較する空気電池式製品が無い又は無回答	2	

結果として9ブランドが空気電池式との価格差と上記の充電器の価格差が一致しており、補聴器本体の価格は変わらず充電器による価格差であることが分かる。一部に空気電池式と充電式で全く価格差を付けていないブランドや、反対に大きく価格差を付けているブランドがあることが確認された。全般的には充電式の製品への採用数の増加に加え、価格面からも一般化が進んでいることが確認できた。

(9) 採用されている電池のタイプ

今回の調査対象のブランドで採用されている充電電池は、すべてリチウムイオン電池であった。過去にはニッケル水素電池や銀亜鉛電池が採用された事例もあったが、現行の製品では使用されていない。これはリチウムイオン電池が補聴器に求められる性能要件を最適に満たしているためだと考えられる。

具体的には、必要な電池容量およびエネルギー密度を備え、充放電特性の安定性にも優れる。またメモリー効果と呼ばれる浅い充放電の繰返しにより実質的な電池容量が低下していく現象がないので、継ぎ足し充電で使用を継続する日常的な使用方法に適している。これらの利点により、リチウムイオン電池は補聴器にとって最適な選択肢になっていると思われる。

3-2. ワイヤレス技術の進歩

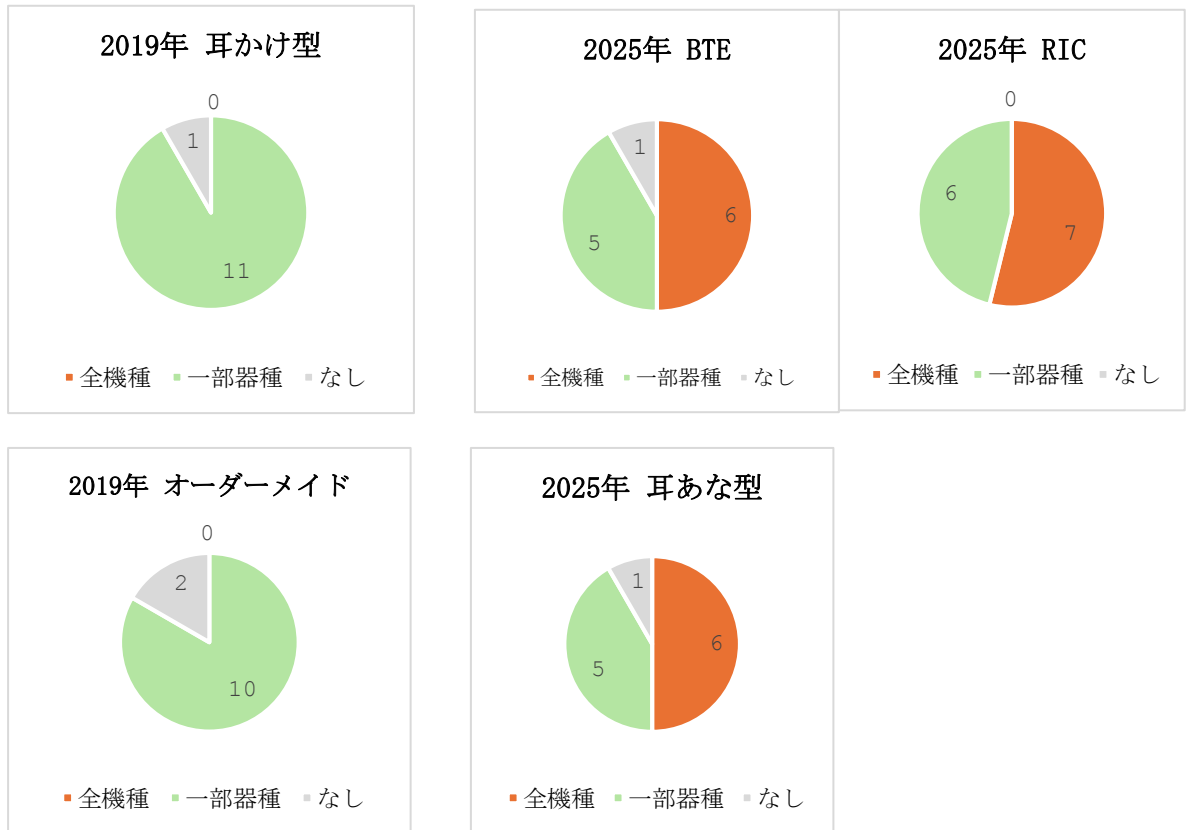
2019年の演題でワイヤレス技術の使用状況について工業会会員会社の調査結果を報告した。その後約5年を経過しており変化を確認したので報告する。

補聴器に使用するワイヤレス技術は、2.4GHz帯とNFMI(Near Field Magnetic Induction : 近距離磁気誘導技術)に大別される。

(1) 2.4GHz帯 無線機能

スマホアプリ対応については耳かけ型、耳あな型とも全器種への搭載が大幅に増加している。2019年は耳かけ型、耳あな型とも全器種への搭載が1ブランドもなかったが、今回の調査では耳かけ型はBTEで6ブランド、RICで7ブランド、耳あな型で6ブランドが全器種に搭載している。

2. 4GHz スマホアプリ対応

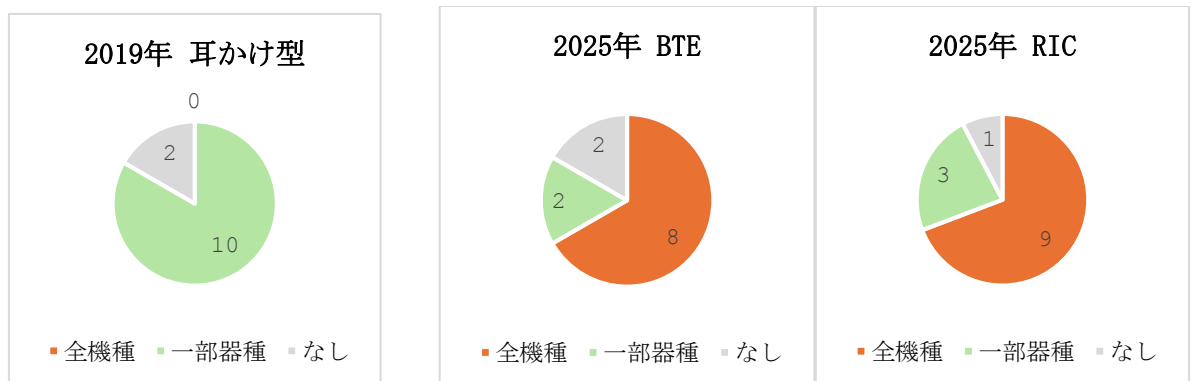


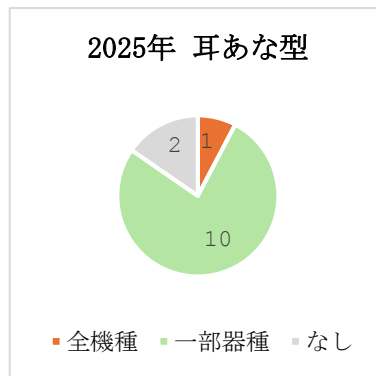
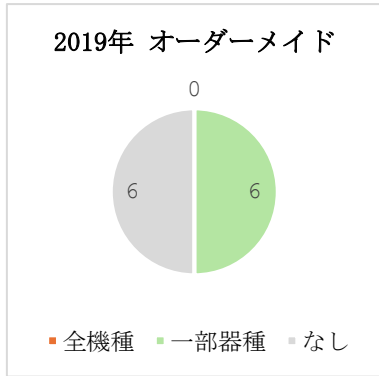
Bluetooth (Noahlink Wireless、スマホ等) 経由のフィッティング調整についても耳かけ型で全器種への搭載が大幅に増加している。2019 年は全器種への搭載が 1 ブランドもなかったが、今回の調査では耳かけ型は BTE で 8 ブランド、RIC で 9 ブランドが全器種に搭載している。

耳あな型においても搭載が増加しており、2019 年は一部の器種への搭載が 6 ブランドであったのが今回は全器種および一部器種への搭載が 11 ブランドに増加している。

2. 4GHz Bluetooth (Noahlink Wireless、スマホ等)

経由のフィッティング調整



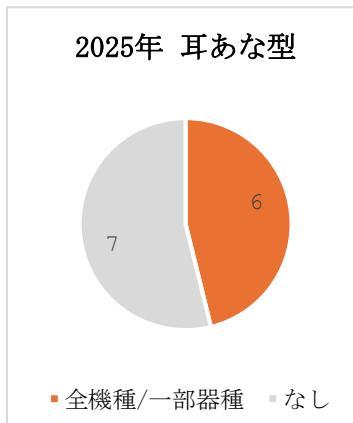
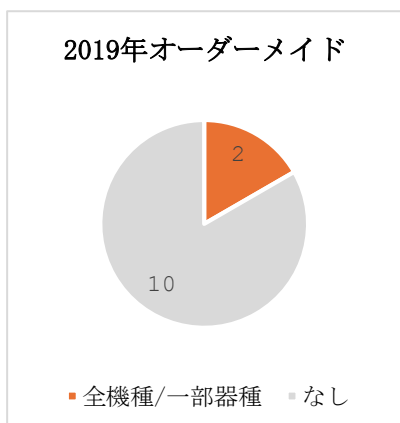
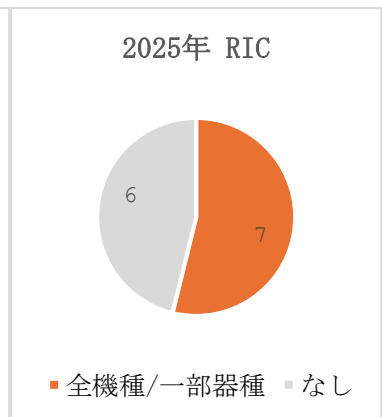
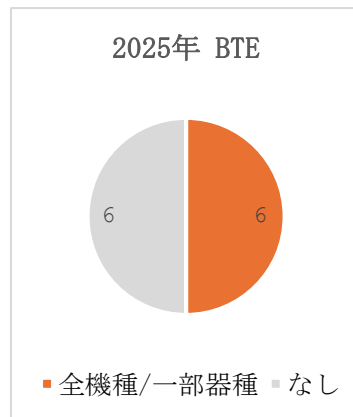
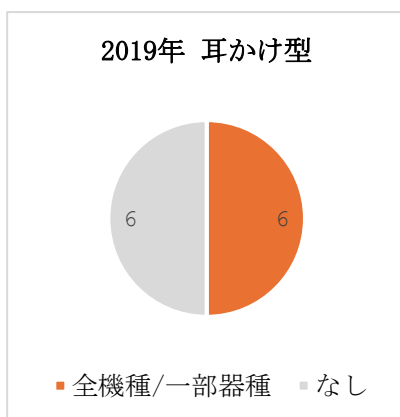


専用リモコンについても同様の傾向である。

一方、**両耳間通信 (e2e)** は耳かけ型で一部器種搭載と全器種搭載をあわせると BTE で 6 ブランド、RIC で 7 ブランドと、2019 年の 6 ブランドと変わらず、非搭載も搭載と同数の 6 ブランドで変化がなかった。

耳あな型では搭載が 2 ブランドから 6 ブランドに増加しているが非搭載も同等ブランド数ある。

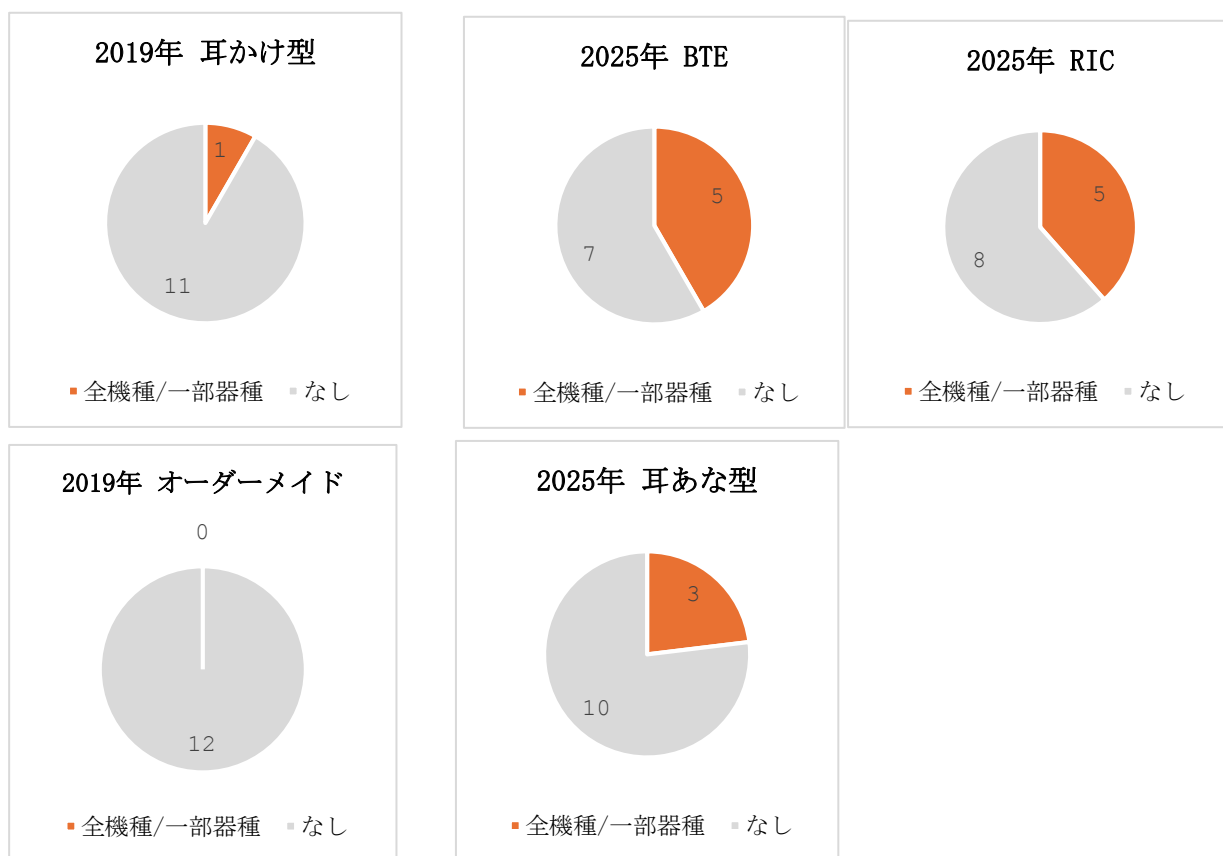
2. 4GHz 両耳間通信 (e2e)



また **2.4GHz 無線 CROS** については、耳かけ型で一部器種搭載と全器種搭載をあわせると 2019 年の 1 ブランドが、2025 年は BTE、RIC とも 5 ブランドと増加している。

耳あな型では搭載が 3 ブランドに増加しているが非搭載も多い。

2. 4GHz 無線 CROS

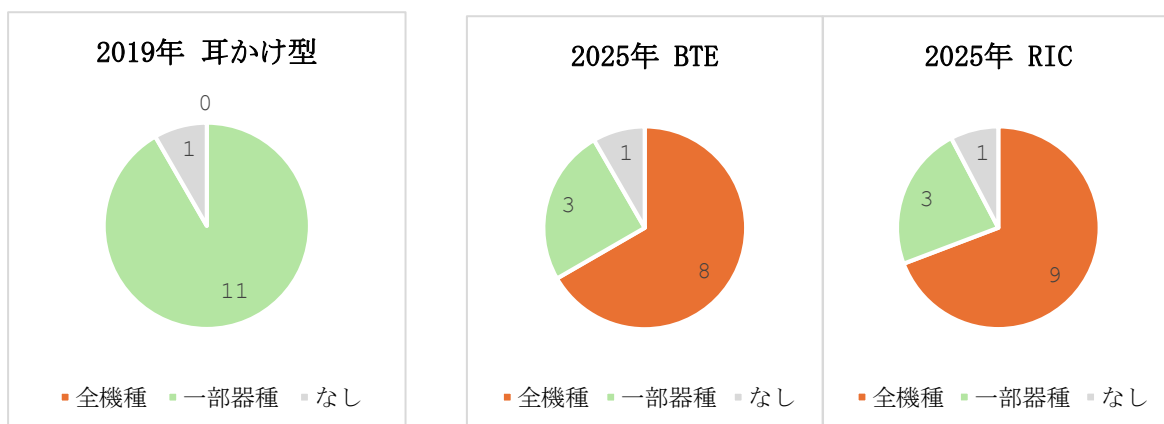


音声ストリーミング（テレビ音声、電話音声、ワイヤレスマイク）は、耳かけ型は全器種への搭載が大幅に増加している。

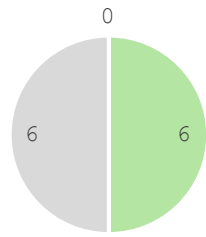
2019年は全器種搭載が1ブランドもなかったが、今回の調査では耳かけ型はBTEで8ブランド、RICで9ブランドが全器種に搭載している。

耳あな型も増加している。

2. 4GHz 音声ストリーミング（テレビ音声）

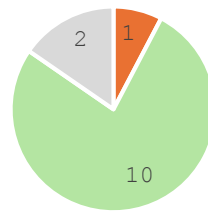


2019年 オーダーメイド



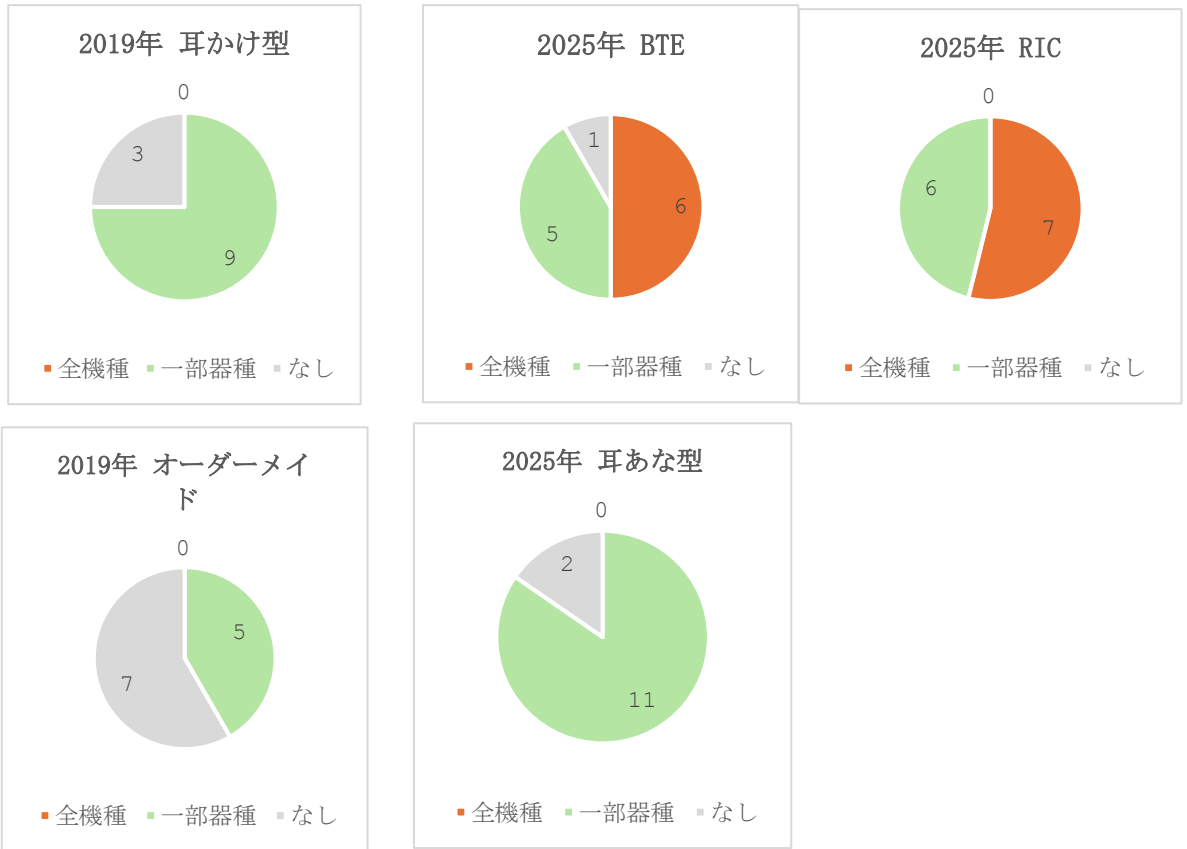
■ 全機種 ■ 一部器種 ■ なし

2025年 耳あな型

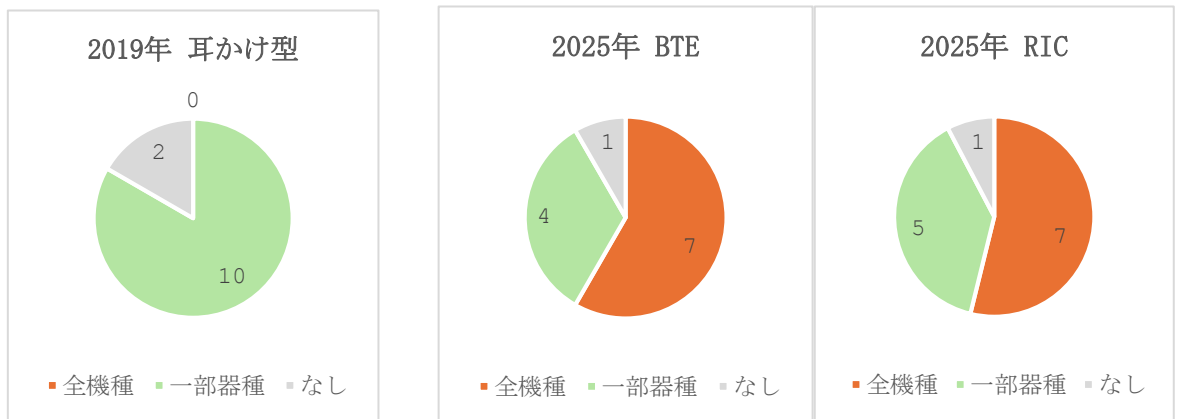


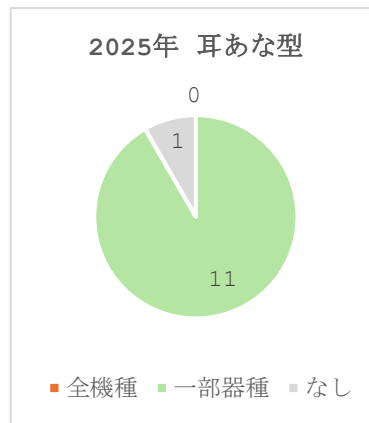
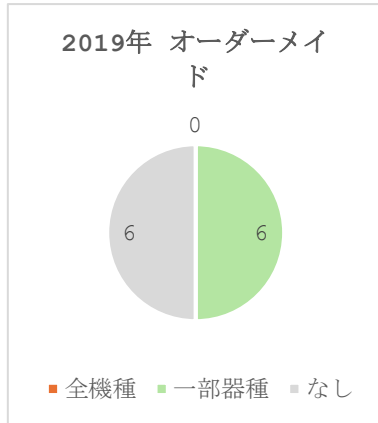
■ 全機種 ■ 一部器種 ■ なし

2. 4GHz 音声ストリーミング（電話音声）



2. 4GHz 音声ストリーミング（ワイヤレスマイク）

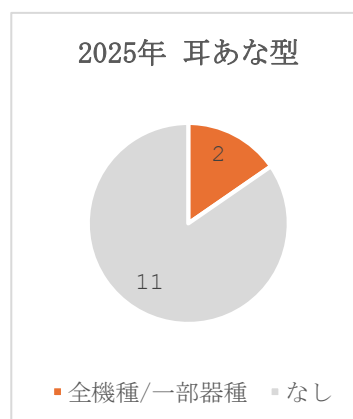
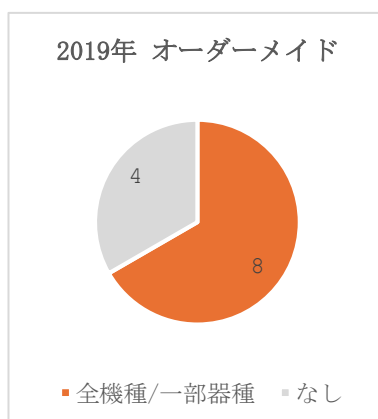
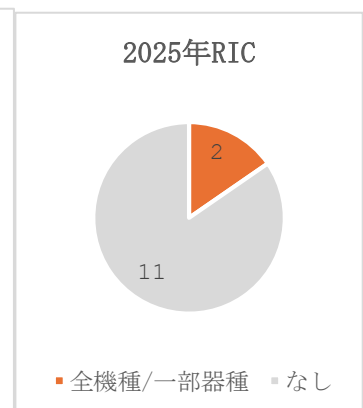
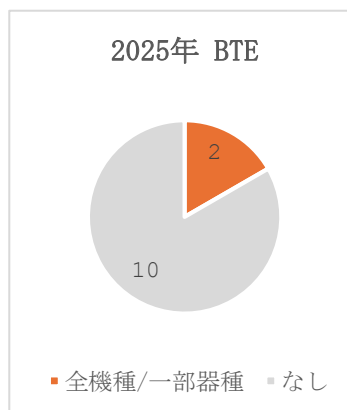
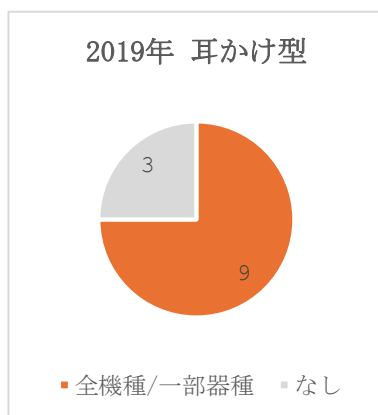




(2) NFMI 無線機能

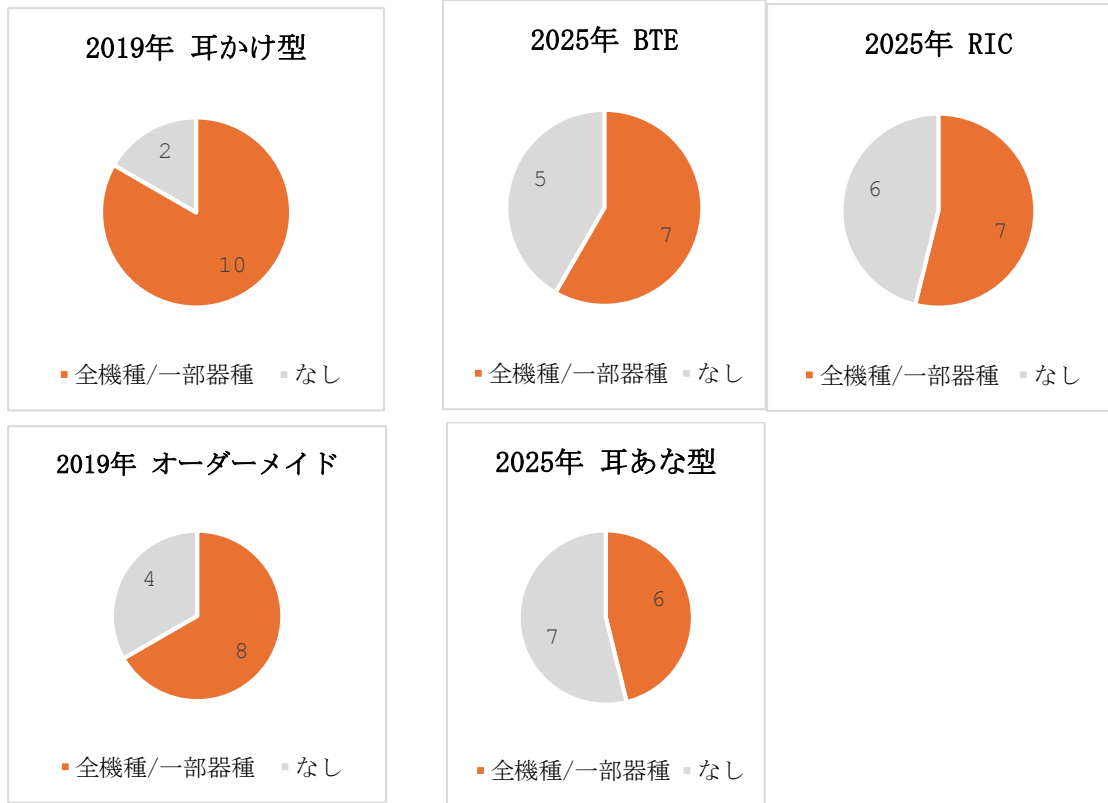
専用リモコンについては、耳かけ型は全器種搭載と一部器種搭載をあわせると、9 ブランドから2ブランドに減少している。耳あな型も8ブランドから2ブランドに搭載が減少している。これは2.4GHz BLE への移行や、直接補聴器とワイヤレス接続できるようになったことによるものと考える。

NFMI 専用リモコン



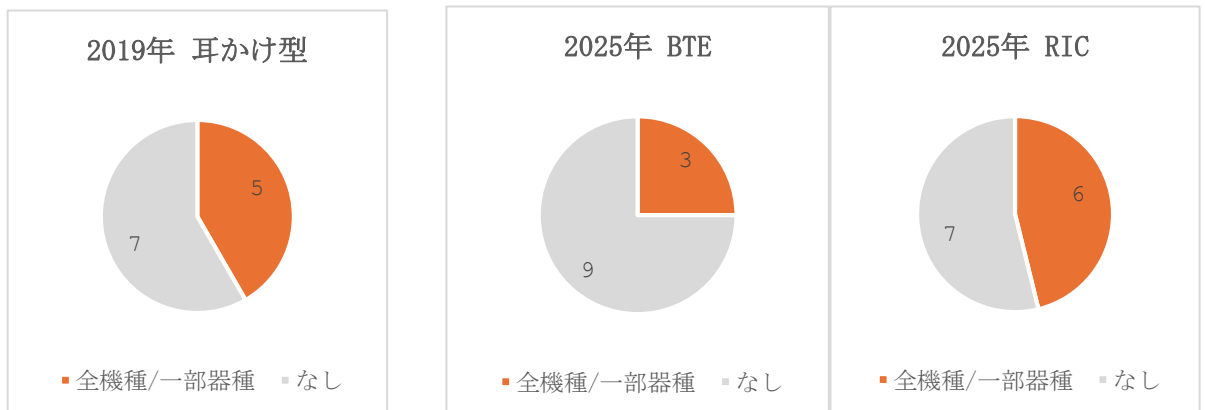
両耳間通信 (e2e) では、耳かけ型は全器種搭載と一部器種搭載をあわせると、10 ブランドから7ブランドに減少し非搭載が2ブランドから5ないし6ブランドに増加している。耳あな型も非搭載がやや増加している。

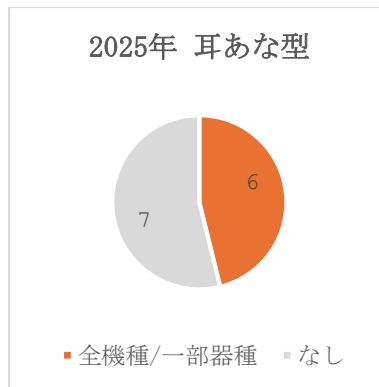
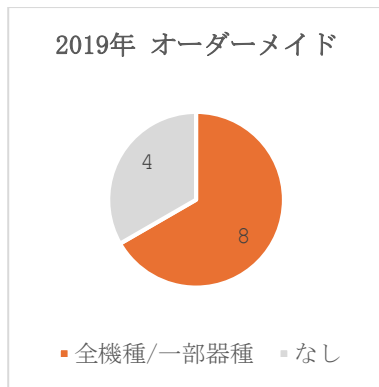
NFMI 両耳間通信 (e2e)



無線 CROS については、耳かけ型は BTE より RIC の方が搭載が多い。耳あな型は搭載が減少している。

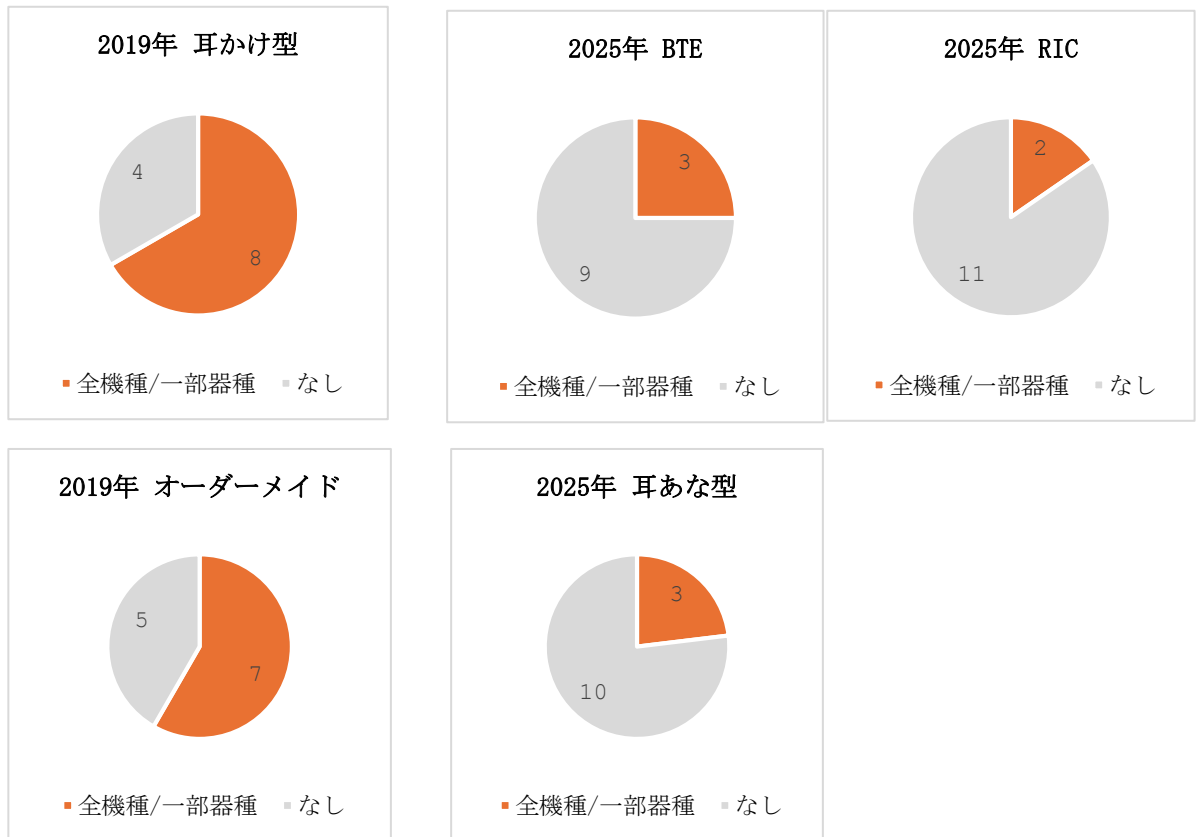
NFMI 無線 CROS





音声ストリーミング(テレビ音声)では耳かけ型、耳あな型ともに非搭載が増加している。電話音声、ワイヤレスマイクについても同様の傾向である。

NFMI 音声ストリーミング（テレビ音声）



全体的な傾向として、2.4GHz 帯の使用が増加しているが、耳かけ型、耳あな型とも両耳間通信や無線 CROS は NFMI の使用も多い。

これは、人体が間に入った通信となる両耳間通信や無線 CROS は、伝搬特性上人体に近くても通信品質が安定する NFMI の方に優位性があることから、電波特性に応じてすみ分けが進み、2.4GHz Bluetooth（外部機器との直接接続）と NFMI（両耳間通信/無線 CROS）を併用するモデルの導入が増加している。

耳かけ型で特に RIC は、スマホアプリ対応、音声ストリーミングの搭載が最も進んでいる。

(3) Bluetooth 無線機能の採用規格

前述のとおり 2.4GHz 帯の搭載が進んでいるが、消費電力が少なく長時間使用でき、近距離にあるもう 1 つの対応機器につなげるのが得意な Bluetooth 無線が補聴器において主流となっており、補聴器における Bluetooth 無線の規格はここ 10 年で大きく進化している。

以下に主要な流れと現在の動向をまとめる。

<初期段階：Bluetooth Classic からの制約>

初期からある Bluetooth Classic は高い汎用性を特徴とし、どのスマホともつながるメリットがある。継続的なストリーミングに向き比較的スループットが高いが、ペアリング後に常時接続を維持するタイプが多く消費電力が高いため、小型でバッテリー容量の限られた

補聴器には不向きであった。遅延やサイズ制約の問題もあり、初期はスマホとの直接接続は困難であった。対策として中継器を介してスマホやテレビと接続する方法が主流であった。

<BLE (Bluetooth Low Energy) の採用>

Bluetooth 4.0 で導入された省電力指向の通信方式である **BLE** は、バッテリー寿命を大幅に延ばす設計となっている。これにより常時接続が可能になり補聴器への直接接続が現実的になった。

スマホ対応として、Apple が **MFi** (Made for iPhone) 補聴器として BLE ベースで早期に対応し、Android は Google の **ASHA** (Audio Streaming for Hearing Aid) で対応開始した (Android 10 以降)。

ただし BLE は音楽ストリーミングに十分な帯域がなく音質が制限されること、また両 OS で互換性が分断されるという課題がある。

<LE Audio、LC3 コーデック、Auracast の登場>

Bluetooth SIG (Special Interest Group) が策定した次世代オーディオアーキテクチャである **LE Audio** は、Bluetooth 5.2 以降で利用可能で **LC3 コーデック** により低ビットレートでも高音質・低遅延、また消費電力がさらに低減しバッテリー寿命が向上した。

また、Bluetooth SIG が提唱する、LE Audio 技術を利用した「ブロードキャスト型 (1 対多) 音声共有」である **Auracast** は、公共空間・集合環境での音声配信を身近にするものである。Auracast 対応で「パブリックブロードキャスト」も可能となった (空港や劇場などで補聴器に直接音声を送信)。

マルチストリーム対応で左右補聴器への同時転送が安定するというメリットもある。

2023 年以降、数社が LE Audio 対応モデルを発表しており、対応スマホ・テレビ・会議機器の普及はこれから加速すると考える。

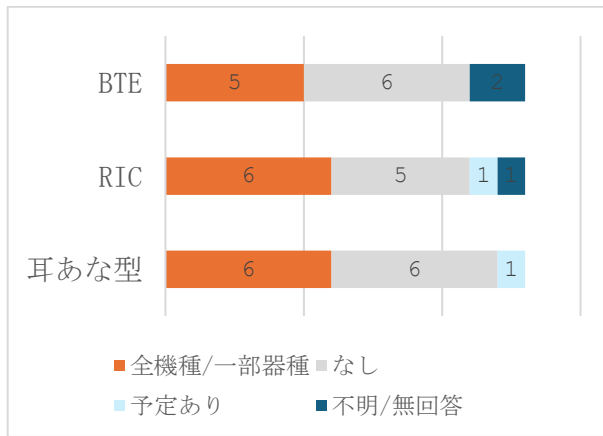
スマホ、イヤホン、補聴器などが「周囲のブロードキャスト音声」をスキャンして選択・参加できる新しい使用体験を提供し難聴者支援として補聴システムの簡素化を狙うが、前提として Auracast は LE Audio Broadcast 機能に依存するため、受信側デバイス (イヤホン・補聴器) が Auracast 対応であること、および Auracast アシスタント (サポートツールアプリ) が必要である。

Bluetooth 通信規格採用の傾向について各社への調査結果をまとめる。

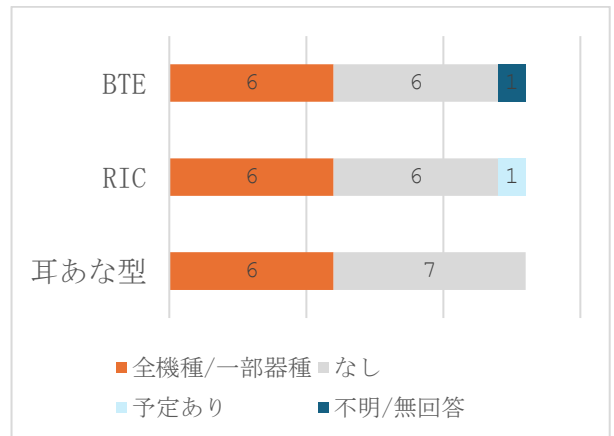
全体的な傾向として、価格帯による通信規格採用の差は少ない。

Bluetooth Classic は、価格帯に関わらず採用/非採用が半々で、後継規格である BLE や LE Audio に移行中にあると思われる。

Bluetooth Classic



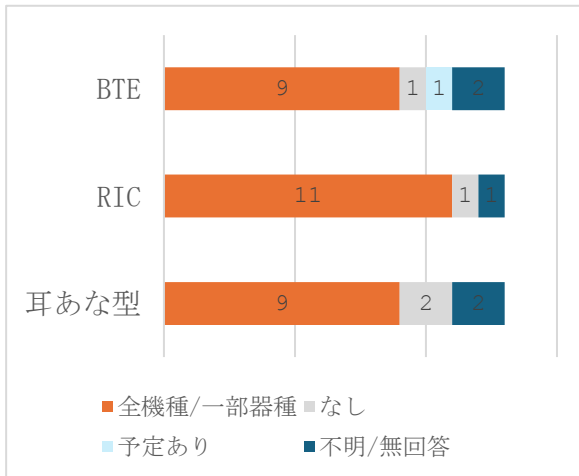
(20万円以上の器種)



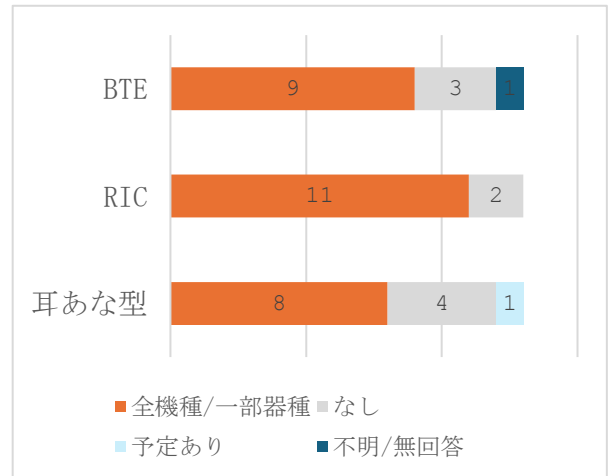
(20万円未満の器種)

BLE は価格帯にかかわらず採用が多い。

Bluetooth Low Energy (BLE)



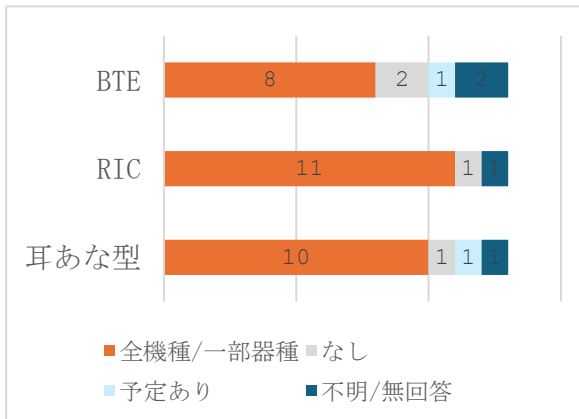
(20 万円以上の器種)



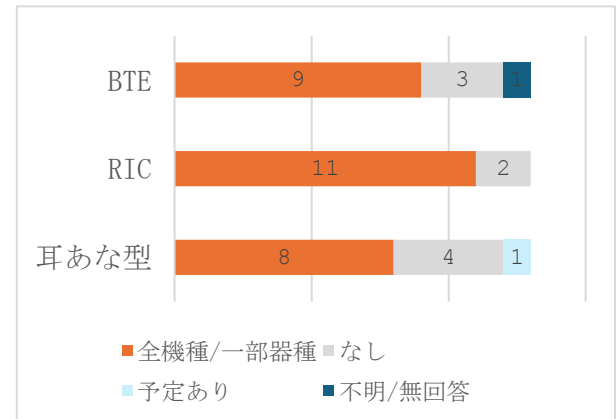
(20 万円未満の器種)

MFi と ASHA は採用が多いが、ASHA は後発であるからか MFi の方が採用がやや多い。

Mfi (Made for iPhone)

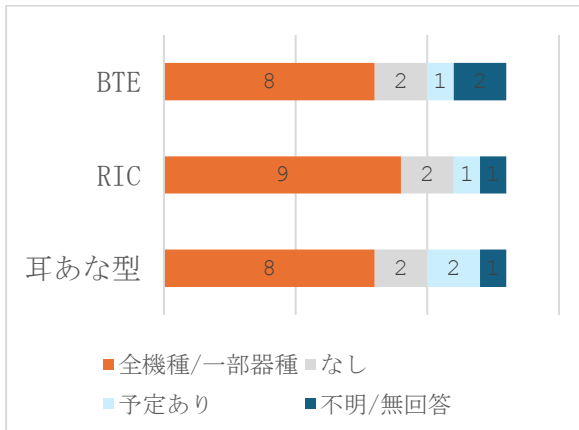


(20 万円以上の器種)

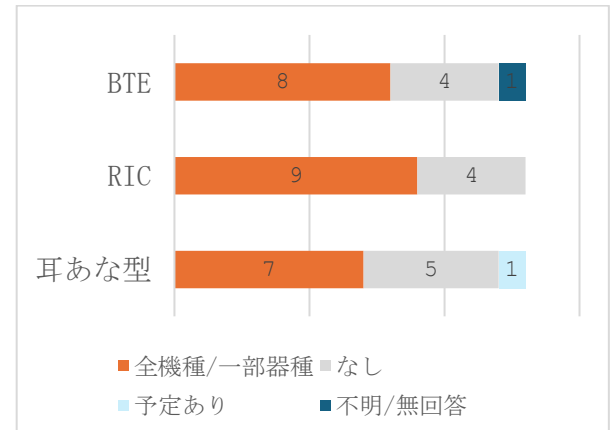


(20 万円未満の器種)

ASHA (Audio Streaming for Hearing Aid)



(20 万円以上の器種)

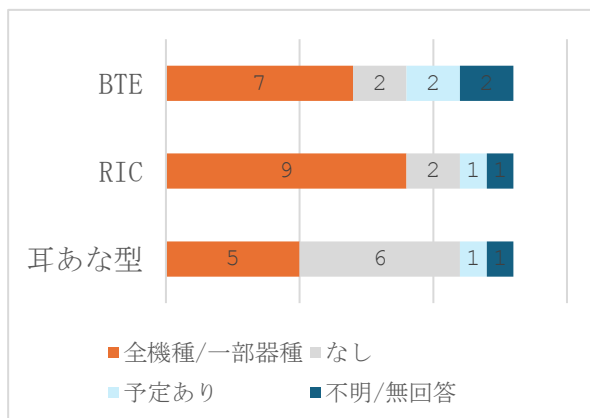


(20 万円未満の器種)

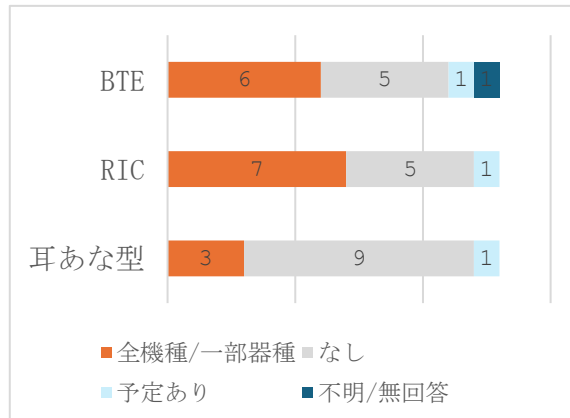
新しい規格である **LE Audio(LC3)** と **Auracast** は耳かけ型での採用が先行しており、耳あな型は非採用または耳かけ型に遅れて今後採用予定の傾向がみられる。

特に Auracast は、RIC での採用が最も進んでいる。

LE Audio (LC3)

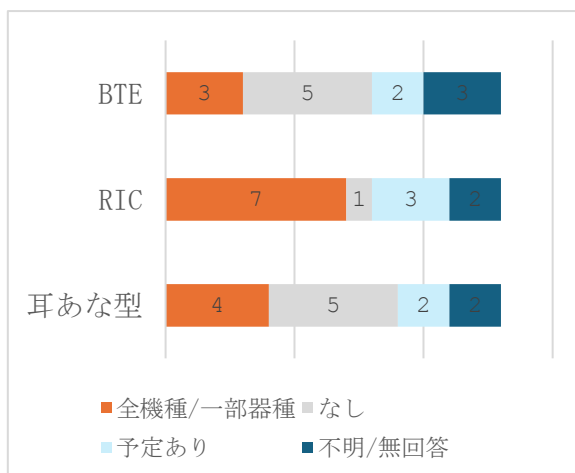


(20万円以上の器種)

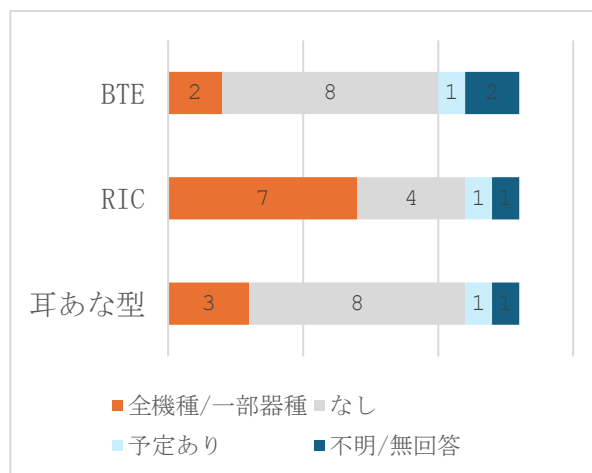


(20万円未満の器種)

Auracast



(20万円以上の器種)



(20万円未満の器種)

3-3. AI 技術の補聴器への利用

最近あらゆる分野で利用が進みつつある AI（人工知能, Artificial Intelligence）技術であるが、補聴器への AI 技術の利用についても大きく進んでいる。

補聴器における AI 利用の進展は、大きな流れとして、AI を実現するための方法の一つである従来型の「**機械学習**」から、機械学習の中でもニューラルネットワークを多層にしたモデルである **DNN**（Deep Neural Network, 深層ニューラルネットワーク）へと進化してきていると言える。

補聴器に AI 技術を利用することで得られる主なメリットは以下の通りである。

① 雑音抑制

補聴器における雑音抑制（ノイズリダクション）技術は、AI技術の導入によって大きく進化している。従来は単純なフィルタリングやレベル調整に依存していたものが、AIによって音環境をリアルタイムに処理し、より自然な聞き取りを可能にする。

従来型の雑音抑制の課題

- ・単純な周波数フィルタリング：騒音を周波数ごとに抑制すると、音声まで削られてしまうことがある。
- ・定常雑音のみに有効：エアコン音やファン音には有効だが、会話中のガヤガヤ音（カフェなど）のような変動騒音には弱い。
- ・環境変化への追従が遅い：急な騒音や多人数の会話が混ざる環境ではうまく働かないことが多かった。

AIによる雑音抑制の特徴

AIを用いた補聴器では、「音声」と「雑音」を学習済みのデータに基づいて区別する技術が活用されている。

ディープニューラルネットワーク（DNN）ベースの音声分離

DNNは大量の音声・雑音データを学習し、音声パターン（声の特徴）と雑音パターン（環境音）を区別できる。

単なる音量低減ではなく、音声の品質を保ちながら雑音を低減できる。

② 環境に応じた自動調整

AIが周囲の音環境（静かな室内、騒がしい街中、会議室など）をリアルタイムに認識・分類し、ユーザーが操作しなくても適切な音量・指向性・雑音抑制を自動調整することでユーザーの負担を大幅に軽減し、快適な聞こえを実現する。

③ 会話音声の識別・強調

補聴器におけるAI技術の利用は、特に「会話音声の識別・強調」において大きな進歩をもたらしている。従来の補聴器では、周囲の音を一律に増幅するため、雑音下での会話理解が難しいことが課題であった。AI技術を活用することで、補聴器は人間の聴覚処理に近い「音声選択能力」を持ち始めている。

1) AIによる会話音声の識別

機械学習モデルの活用

AIは大量の音声データを学習し、「人の声」と「環境雑音」を特徴量（周波数、スペクトル、位相、音の立ち上がりなど）で区別する。

ディープニューラルネットワーク（DNN）や畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を使い、リアルタイムで音源の種類を判定する。

マイクロホンアレイ（複数マイク）と組み合わせ、音源定位（どこから声が来ているか）を認識して会話音声を優先的に処理する。

スピーチ・ビームフォーミング

特定方向（話者の方向）からの音だけを拾う指向性マイク機能をAIが最適化する。周囲騒音を学習して自動でビームの幅・方向を調整する。

2) 会話音声の強調

雑音抑制アルゴリズムの高度化

従来のノイズリダクション技術に代わり、AIが音声と雑音を分離するマルチチャンネルDNNを使用する。

これにより雑音部分をより精密に減衰させ、人の声の音質は自然に保つ。

3) 音声強調 (Speech Enhancement)

音声再構成技術で、雑音に埋もれた音声の波形を補完し、よりクリアに再構成する。

実際には、ヒトの声の周波数帯 (約 300Hz~3kHz) を重点的に補強するほか、声のフォルマント特性を活かして聞き取りやすい音質に変換する。

4) 会話シーンへの適応

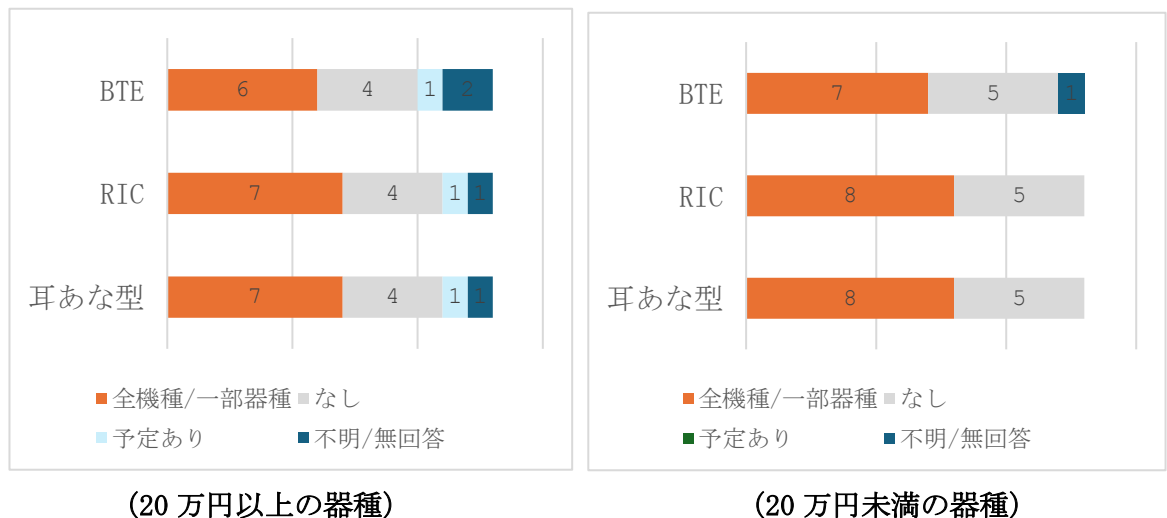
AIが「レストラン」「車内」「会議室」などの環境音の特徴を学習し、自動的に最適な音声処理モードへ切り替える。

自動でのシーン解析により、ユーザーが手動でプログラム変更をする必要が減少する。

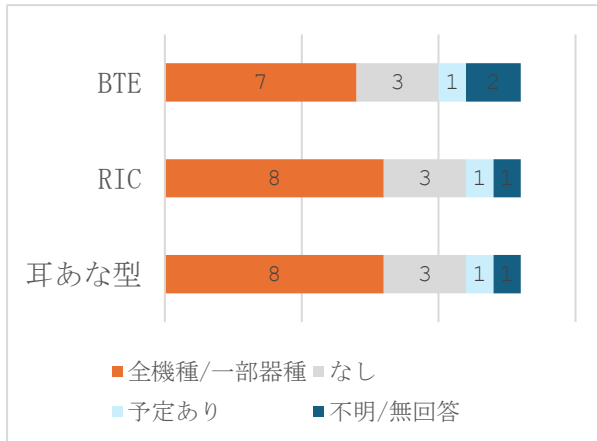
複数のメーカーはAI機械学習を導入しており、ユーザーの生活環境データを活用して補聴器が個人の聞き取りやすさに合わせて学習する仕組みが、DNNの導入によりさらに進化している。

AI技術の利用について各社への調査結果をまとめると、従来型の機械学習による「雑音抑制」、「環境音の分類に応じた調整」、「会話音声識別」への利用は価格に関わらず利用が多くなっている。

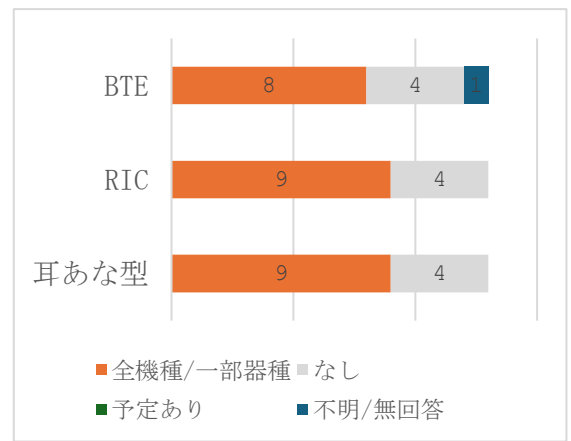
「雑音抑制」にAI (DNN以外の従来技術) を利用



「環境音の分類による調整」に AI (DNN 以外の従来技術) を利用

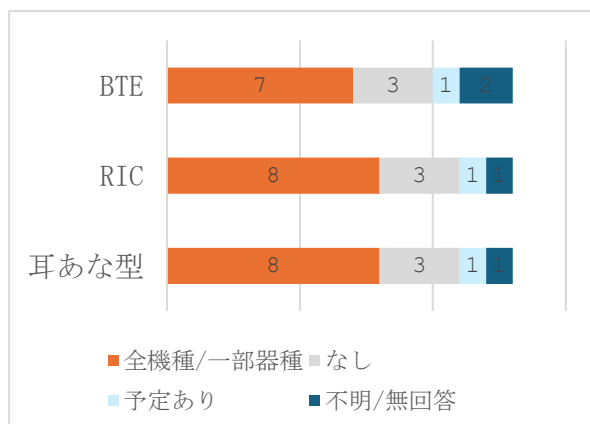


(20 万円以上の器種)

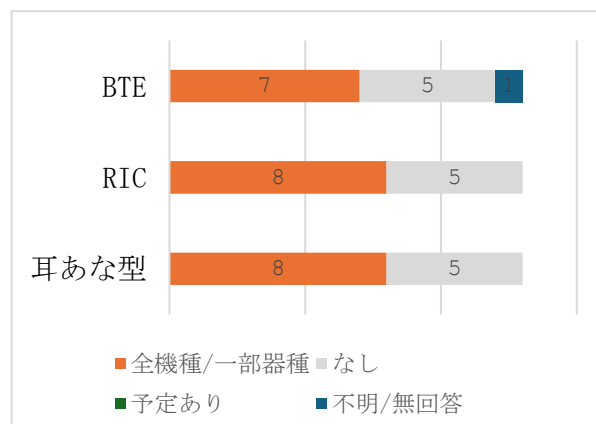


(20 万円未満の器種)

「会話音声識別・強調」に AI (DNN 以外の従来技術) を利用



(20 万円以上の器種)

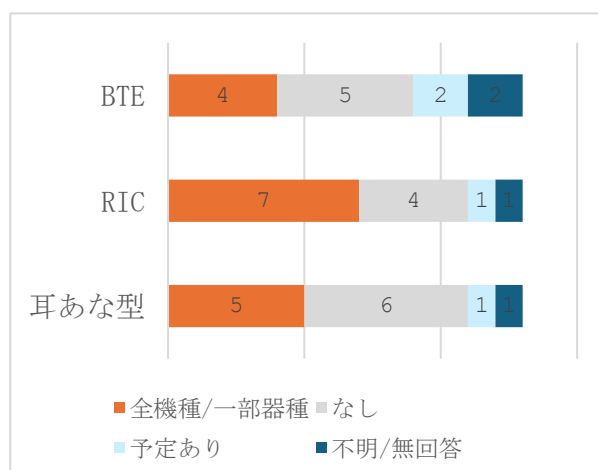


(20 万円未満の器種)

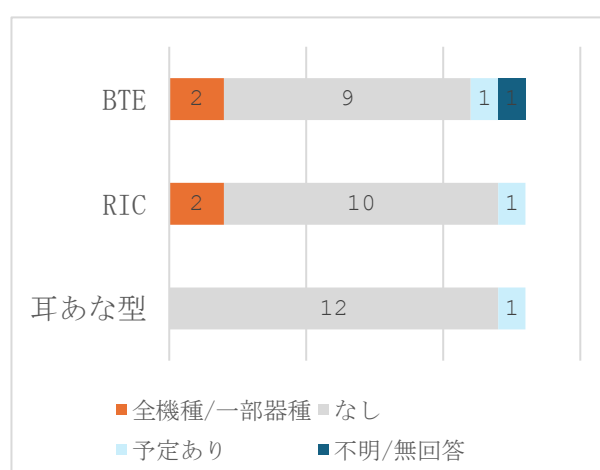
そして現在これらの機能に対するDNN利用が進んでいる。

20 万円以上の器種で特に RIC での利用が BTE や耳あな型より進んでいる傾向にある。20 万円未満の器種では DNN 利用が少なく、耳あな型については DNN 利用はなく今後予定のみとなっている。

① 雑音抑制に DNN を利用

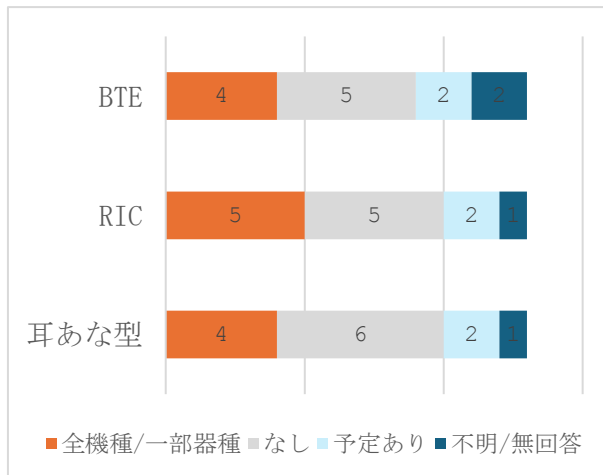


(20 万円以上の器種)

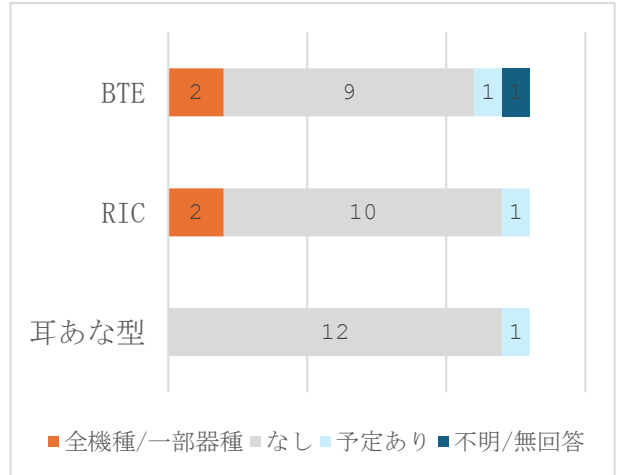


(20 万円未満の器種)

② 環境音の分類による調整に DNN を利用

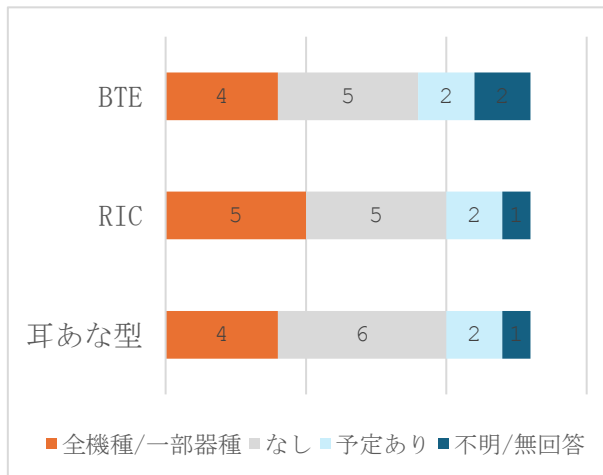


(20 万円以上の器種)

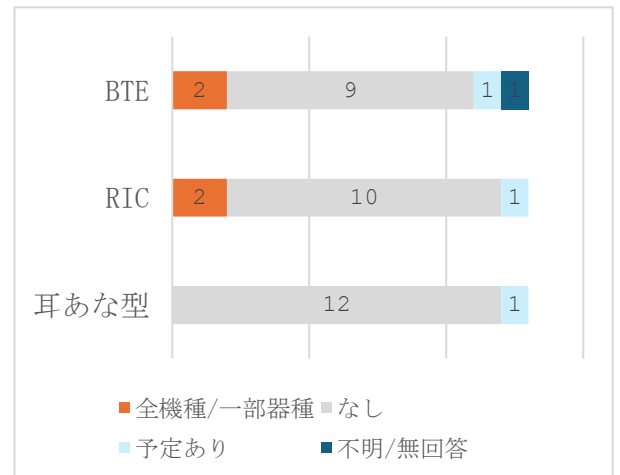


(20 万円未満の器種)

③ 会話音声識別・強調に DNN 利用



(20 万円以上の器種)



(20 万円未満の器種)

一般的に消費電力の多い DNN 処理をできるだけ常時行うため高電圧で大容量の充電式電池が欠かせないため、形状面で充電電池容量拡張の柔軟性の高いことが RIC を有利にしていると考えられる。

3-4. 生成AIの利用

補聴器への生成AIの利用は、現在の補聴器のAI活用が「雑音抑制・環境認識・音声識別」といった識別系AI中心であるのに対して、より高度な音声生成・補完・強調を可能にする方向で研究が進んでいるものと思われる。

補聴器のフィッティング（利用者の聴力特性や好みに合わせた調整）に生成AIを活用する可能性は十分に考えられる。現状ではAI（特に機械学習）を用いた自動調整技術は一部のメーカーで実用化が進んでいるが、生成AIを直接フィッティングに利用することはこれからの研究テーマと言える。

会員各社への調査結果においても、生成AIを利用しているのは1ブランドまたは2ブランド、予定があるのは1ブランドで不明/無回答も多く（4ブランド）、補聴器への生成AI利用に

については今後進んでいくことを期待する。

4. まとめ

充電式の普及と性能進化が著しく、成熟期に至っていると言える。

次世代のワイヤレス技術である Auracast は RIC タイプへの搭載が進んでいる。

DNNを含む最新のAI処理は電力消費が大きいため、電池寿命との兼ね合いで利用可能時間に制限がある。充電式電池（3.6～3.8V）のパワーはAI処理を常時利用できるように重要で不可欠な要素であり、特にRICタイプは大きさ・形状面で充電電池搭載への対応に有利と言える。

これらの状況が最近のRICの伸長が大きいことを裏付けているものとする。

国際音声試験信号を用いた実耳測定による補聴器フィッティング

佐野 肇

北里大学医療衛生学部リハビリテーション学科言語聴覚療法学専攻

1. はじめに

現在販売されている補聴器では、雑音抑制、指向性、フィードバック抑制はごく基本的な機能になっており、かつそれらは自動的に制御されているがほとんどである。こうした機能を備えた補聴器の増幅特性を適切に評価するために、音声信号を用いた測定が広く用いられるようになってきている。この発表ではまず音声信号を用いた増幅特性の測定について、JIS の規格書¹⁾に沿って基本的な説明を行う。その後、音声信号を用いた実耳測定による補聴器フィッティングの実際について、我々の施設での経験を紹介する。

2. 音声に近い試験信号による補聴器の信号処理特性の測定方法 (JIS C 5516:2015)

補聴器特性を測定する場合に雑音抑制やフィードバック抑制などの機能を有効にしたまま測定すると、試験音（純音の掃引、雑音、複合音など）を雑音と判断する、あるいはフィードバック音と判断して出力を抑制する処理が働く可能性がある。そうした信号処理を生じさせないよう断続的に信号を出力するなどの工夫がなされている信号音も作成されているが、適切な増幅特性を評価することが困難な場合が少なくない。したがって一般には雑音抑制機能、フィードバック抑制機能などをオフにした状態にして特性を測定している。しかしそうした機能をオフにすることは日常の装用状態とは異なる設定での評価になること、機能をオフにすることで周波数特性自体にも変化が起こってしまう場合もあること、などの問題があった。そこで実際の音声信号として用いることにより、そうした問題を解消し日常で装用している状態により近い補聴器増幅特性を評価しようという目的で IEC 60118-15:2012 が発行され、それに基づいて JIS C 5516:2015 が作成された。この測定では試験音として、音声から作成された国際音声試験信号 (International Speech Test Signal: ISTS) を用いることが最大の特徴である。音声信号が試験信号になっているので日常の装用の条件そのまま音声信号がどのように増幅されているかを評価することができる。

ISTS の主な特徴は以下の通りである。

- ・音声であるが意味は理解できない。
- ・アラビア語、英語、中国語、スペイン語で構成されフランス語とドイツ語で補完されている。
- ・女性の声（男性と小児の間の特徴）が用いられている。
- ・連続した語音に生ずる音のない間が存在する。

ISTS は <www.EHIMA.com> から自由に入手することができる。

ISTS を用いて推定挿入利得 (estimated insertion gain of a hearing aid, EIG) を得ることがこの規格の目的である。ISTS を 60 秒間呈示し、最初の 15 秒を安定化時間とし後の 45 秒間を測定記録す

る。通常は 65dB SPL で表示するが、大きな声の代表値としては 80dB SPL、小さな声の代表値としては 55dB SPL を用いてもよい。

以下の 2 種類の利得計算法が示されている。

1) 長時間平均音声スペクトル (long term average speech spectrum; LTASS) に対する利得の計算

それぞれの 1/3 オクターブバンドについて 45 秒間の平均の入力信号レベルと補聴器からの出力信号レベルを録音し両者の差を計算する。補聴器のマイクロホン位置効果、疑似耳と 2cm³ カプラとの差、疑似耳裸耳利得を補正し推定挿入利得 (LTASS EIG) を決定する。

2) パーセンタイル利得

それぞれの 1/3 オクターブバンドについて 125ms 毎の時間区分で音圧を測定する。まず ISTS の入力音を 45 秒間録音し、全体の各時間区分の音圧の分布より 30、65、99 パーセンタイル音圧レベルを求める。例えば 30 パーセンタイル音圧レベルとは、測定した音圧レベルの 30%がその音圧を下回る (70%は上回る) 音圧である。

以下例として 30 パーセンタイル利得の計算方法について説明する。各 1/3 オクターブバンドにおいて 30 パーセンタイル音圧レベル±3dB 以内であった時間区分を抽出する。それぞれの時間区分に対応する出力音との差から利得を計算し、抽出した時間区分全体で平均する。この際に補聴器の信号処理の時間遅れが 10ms 以上あるときには出力信号を計算する時間区分のずれを調整する。

各パーセンタイル利得の意義は以下のように説明されている。

30 パーセンタイル利得：最も小さな音声成分に対する利得

65 パーセンタイル利得：音声成分の中央値のレベルに対する利得

99 パーセンタイル利得：音声のピークのレベルに対する利得

各パーセンタイル利得から LTASS EIG の計算の際と同様の補正をおこなって各パーセンタイル値に対する推定挿入利得を計算する。パーセンタイル利得の結果は、音声の内部構造に対する増幅度を示している。例えば速いリリースタイムを用いている圧縮増幅補聴器では各パーセンタイル利得の差が生じ、それは音声内部での時間波形の振幅構造に変化をもたらせていることを示している。

ISTS を用いた測定は現在の補聴器の特性を評価する上できわめて有効であると期待されるが、測定を分析するための専用プログラムが必要になる。特性測定装置あるいは実耳測定システムに解析プログラムを組み込んだ機器の普及が必要である。

3. ISTS を用いた実耳測定による補聴器フィッティング

JIS で規定されている測定は補聴器特性測定装置での 2cm³ カプラによる音響利得から挿入利得を推定するものであるが、実耳測定の試験信号に ISTS を用いることも可能である。音声が入力された際の各難聴者の外耳道内での挿入利得、あるいは装用利得を測定し、それを選択した処方式の目標値に合致させる。この方法は補聴器フィッティング法における画期的と言っても良い程の大きな進歩であると考えられる。以下、我々がこの方法を用いて補聴器フィッティングを行った臨床研究の結果を紹介する²⁾³⁾。

研究目的：世界中で広く用いられている処方式である The national acoustic laboratory prescription for non-linear 2 (以下 NAL-NL2 法) と The desired sensation level prescription

version 5 (以下 DSLv5 法)について、日本語話者を対象として補聴器フィッティングを行い両者の装用効果を比較検討することを目的とした。

方法：補聴器装用経験のない両側中等度感音難聴患者を対象としてクロスオーバー比較試験を行った。65 dB SPL の ISTS を試験信号とした実耳挿入利得をそれぞれの処方式のターゲットに可能な限り合わせた補聴器を4週間ずつ装用させた。補聴器装用効果は、語音明瞭度検査、The Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit (APHAB) を用いて評価した。それらの検査に加えて、それぞれの処方式での装用が終了した後に、対象者に対して総合的に判断してどちらの処方式が好ましかったか選択してもらった。さらに対象者に対して「会話の聞き取り」、「うるささ」に分けた場合にどちらが優れていたかアンケートを行った。

結果：18人が参加し、対象の平均年齢は65.7歳（中央値68.5歳、30歳～90歳）であった。NAL-NL2の明瞭度の平均は78±14%(Input level 65dB SPL)、75±17%(Input level 80dB SPL)、DSLv5では79±11%(Input level 65dB SPL)、77±17%(Input level 80dB SPL)であった。2つの処方式の間で有意差は認められなかった。明瞭度検査の結果を元に、対象耳を適合十分耳と不適合十分耳に分類すると、NAL-NL2では32耳/36耳(89%)が適合十分耳、DSLv5では33耳/36耳(92%)が適合十分耳であり有意な差は認めなかった。APHABにおいても、いずれのサブスケールでもNAL-NL2とDSLv5で有意差は認めなかった。最終的に11人/18人(61%)がNAL-NL2を選択し、7人/18人(39%)がDSLv5を選択した。有意な偏りは認められなかった。「うるささ」についても有意差は認められなかったが、NAL-NL2の方が好ましいとする傾向を認めた。

以上に加えて、装用状況について年齢群別に検討した結果を以下に示す。

装用時間：高齢群（75歳以上7名）と若年群（60歳未満6名）で比較すると、高齢群11.6時間/日、若年群7.8時間/日で高齢群において有意に長かった。

ボリューム調整：高齢群では全くしなかったが1名、時に-1.5~-3dBが4名、DSLのみいつも-3dBが1名、両処方共に常に-6dBが1名であった。若年群では全くしなかったが4名、時に-1.5~-3dBが2名であった。

研究結果のまとめ

ISTSを使用した実耳測定によって補聴器をフィッティングすることの有用性が示された。日本人話者に対してもNAL-NL2、DSLv5はいずれも有用であり、両者の装用効果に差は見られなかった。さらに、補聴器を初めて装用する難聴者に対してそれぞれの処方式のターゲットに最初から合わせても、必要に応じてボリューム調整を行うことで装用継続が可能であることが確認された。

参考文献

- 1) 日本規格協会. JIS C 5516:2015 音声に近い試験信号による補聴器の信号処理特性の測定方法
- 2) Shogo Furuki, Hajime Sano, Takaomi Kurioka, Yoshihiro Nitta, Sachie Umehara, Yuki Hara, Taku Yamashita. *Investigation of hearing aid fitting according to the National Acoustic Laboratories' prescription for non-linear hearing aids and the Desired Sensation Level methods in Japanese speakers: a crossover-controlled trial.* *Auris Nasus Larynx* 50:708-713, 2023 doi: 10.1016/j.anl.2023.01.004.
- 3) 古木省吾、佐野 肇、新田義洋、梅原幸恵、原 由紀、山下 拓. 日本語におけるNAL-NL法お

よびDSL法による補聴器フィッティングの検討。Audiology Japan 64:484, 2021