

特集 ②:連載『ハイレゾ機器解説』第2回

最先端技術を盛り込んだオーディオテクニカのハイレゾ対応製品 2機種

フルデジタル USB ヘッドホン/ATH-DN1000USB

ポータブルヘッドホンアンプ/AT-PHA100

(株)オーディオテクニカ 第一技術部 1課

築比地 健三, 大塚 幸治

1. ハイレゾに対する当社の考え方

デジタルオーディオが一般的となった現在、音質を表現するパラメータとしてハイレゾというキーワードが用いられるようになり、「高音質」の一つの側面を分かり易く表現できるようになりました。これにより、音質に対する要求も確実に大きくなっている事が実感できます。

一方でいわゆる高音質を求めるユーザーはアナログ時代から確実に存在しており、当社もそうしたニーズに応えるべく、一貫して音質向上への取り組みを続けてきました。ハイレゾ対応はそうした取り組みの一環と捉えています。

ハイレゾは一つの機器だけで完結するものではなく、関連機器トータルで語られるべきものです。当社は音響関連の周辺機器を提供するオーディオメーカーとして、この一連のデジタルオーディオ再生環境の中でヘッドホンアンプとヘッドホンの分野において愚直に高音質を追求しています。デジタル機器においては、最新の技術を取り入れる事による物理的なスペックの確保はもとより、部品の選定を始めとする従来から培ってきた音質に関するノウハウを生かした製品づくりを行っています。

2. オーディオ・ヘッドホン・アンプのマーケット状況

世界のオーディオ市場は、スマートフォンやPCの普及により、音楽配信サービスで楽曲を購入する人が増え、CDなどのパッケージの楽曲購入に取って代わろうとしています。

日本国内では、パッケージでの楽曲購入も根強い人気がありますが、ハイレゾ音源の配信サービス数が年々増えており、ハイレゾ音源で購入可能な楽曲も、名盤と呼ばれる古いものから最新のものまで入手できる環境が整いつつあります。

そのような環境の中、様々なメーカーからハイレゾ音源の良さを活かす製品が数多く発売されています。2014年には、ハイレゾオーディオの定義も確立され、ヘッドホン、アンプ、DACなどのオーディオ製品はハイレゾ対応を謳う製品が多く見られるようになりました。特に、ヘッドホン・ヘッドホンアンプのハイレゾ対応製品が多く発売された一年でした。

今後、オーディオファンの方はもちろんの事、初心者の方まで幅広い層の方々にとってもヘッドホン・ヘッドホンアンプを通してオーディオに接する機会が増えてくる事が予想されます。

当社は、より高音質を体験できる製品づくりを通して、音楽を聴く方により深い感動や体験を提供できるメーカーであり続けたいと考えています。

3. 企画開発背景

● フルデジタル USB ヘッドホン「ATH-DN1000USB」



ATH-DN1000USB

オーディオテクニカでは PC ユーザーを対象として、ATC-HA4USB (2002 年発売)、ATC-HA7USB (2003 年発売) と DAC とパワーアンプを内蔵したオールインワン USB ヘッドホンを発売していました。

近年、ハイレゾ市場が広がりを見せる中で、PC をプレーヤーとして USB DAC、アンプ、スピーカーと組み合わせ、自分好みのシステムで音楽を楽しむスタイルが確立されました。その一方で、ハイレゾを楽しみたいが敷居が高く、その世界に足を踏み入れられないという話も耳にしました。そこで、“オールインワン”で手軽にハイレゾの良い音を聴きたいというニーズに応えたいという思いから、2013 年に ATH-D900USB を発売しました。

2014 年頃になるとハイレゾの普及は一気に加速しました。そこで、ハイレゾ音源の持つ豊富な情報を劣化させること無く忠実に耳へ届けるという目標のもと、デジタル信号処理技術“Dnote”と、長年培ってきたアナログの音響技術を高次元で融合させるべく、「ATH-DN1000USB」を開発しました。

● ポータブルヘッドホンアンプ「AT-PHA100」

オーディオテクニカは、2009 年より AT-PHA10/AT-PHA30i をはじめとした手軽に使えるポータブルヘッドホンアンプを発売し、屋外でも高音質を楽しみたいというお客様のニーズに応じて来ました。また、据置型のヘッドホンアンプの分野でも、アナログ・デジタル・USB DAC 機能付きなど様々な使用環境で手軽に使えるヘッドホンアンプや、本格的な高音質のヘッドホンアンプを発売し、ご好評を頂いています。



AT-PHA100

近年、デジタルオーディオプレーヤーの進化やハイレゾ音源の増加に伴い、高音質への需要がさらに高まっており、今までに無いハイスペックを追求したヘッドホンアンプが各社から次々に発売されています。

そこで、当社にとってヘッドホンを作り続けて 40 周年となる節目の年に、これまで培ってきたヘッドホンアンプ技術や DAC 回路を高品質なオーディオパーツと組み合わせ、どこでもハイレゾ環境で音楽を聴く事ができ、屋外に持ち出せるポータブルヘッドホンアンプ『AT-PHA100』を開発しました。

4. 製品解説

● ATH-DN1000USB

1) ATH-DN1000USB のフルデジタル伝送に関して

本製品は”原音忠実なデジタル音源の再生”を実現するために、フルデジタル伝送技術を実現した(株) Trigen Semiconductor のデジタル信号処理技術 “Dnote” を採用し、デジタル信号のままドライバーユニットを直接駆動することを特徴としています。

従来、一般的な PC オーディオの構成では、PC の USB ポートから送り出されたデジタルオーディオデータは DAC によってアナログのオーディオ信号へ変換されます。その後、アンプで増幅されることで、スピーカーから音として出力されます。この際、フィルター等を経由するため、どうしても音質に変化が生じてしまいます。

Dnote を用いたフルデジタル・ヘッドホンの構成を図.1 に示します。

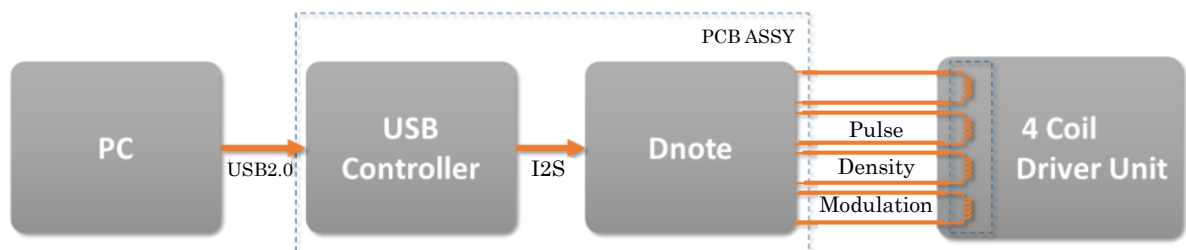


図.1 フルデジタル・ヘッドホンの構成図(PC + ATH-DN1000USB)

PCのUSBポートから送り出されたデジタルオーディオデータはUSBコントローラを経由し、I2S信号でDnoteデバイスへと入力されます。Dnoteデバイス内部ではデジタル変調器によって、“重み付けのないマルチビットのPDM (Pulse Density Modulation) 信号”へ変換されます。その後、DEM (Dynamic Element Matching) と呼ばれる回路を通ることにより、ボイスコイルなどの部品自体がもつ特性のばらつきによって生じるひずみやノイズを低減しています。こうして、DEM回路を通った後、重み付けのないマルチビットのPDM信号がドライバーユニットまで送り出されます。その際、ボイスコイルのインダクタンス成分とドライバーユニットの振動板自体の動作がローパスフィルターの役割を担うことによって、最終的にアナログのオーディオ信号へと変換されます。以上がDnoteを搭載したフルデジタル・ヘッドホンにおいてデジタルオーディオデータを音に変換するしくみです。

2) 開発開始から製品化まで

ATH-DN1000USBでは前述のデジタル信号処理を行うためにヘッドホンの筐体内部に基板を搭載しています。図.2に内蔵基板とDnoteのICの写真を示します。

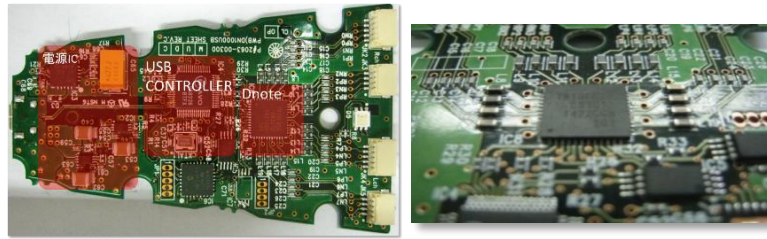


図.2 ATH-DN1000USB 基板と Dnote IC

ATH-DN1000USB では電子部品からドライバーユニットまで、忠実な原音再生を目指して設計しています。Dnote の出力信号は前述の通り、サンプリングレートの 128 倍以上で変調された PDM 信号のため、ドライバー段の電源デバイスとして Texas Instruments 社製の高速応答型リニア・レギュレータの採用に加えて、電源のバイパスコンデンサとしては京セラ社製の大容量タンタルコンデンサ (470 μ F) を搭載することで、その高速信号に可能な限り追従させています。

一般的なダイナミックタイプのヘッドホンのドライバーユニットは1つのボイスコイルを使用していますが、ATH-DN1000USB ではボイスコイルを 4 つ搭載しています。この 4 つのボイスコイルは Dnote の構造上、各コイルが並列接続で振動板と繋がることになります。そのため、ドライバーユニット全体からみればインピーダンスは最大出力時に 1/4 になります。すなわち、電気的な特性では理論上 1 コイル搭載時と比べて、電源電圧もしくは入力信号振幅が同じなら 4 倍の出力電力が得られることになります。

実際に 4 つのボイスコイルを搭載したドライバーユニットの開発を進めていく中で、あることに気が付きました。それは、”Dnote の電気的な性能”を最大限に活かすためにはアナログ領域となるドライバーユニットの仕上がりも大切であるということです。当然のことですが、音が出る段階では最終的にアナログ領域に戻ります。そのため、デジタル領域とアナログ領域の接点となるボイスコイルに関しては、4 本のワイヤーを捩りながら巻くことによって各コイルにおけるインダクタンスや磁束密度、線間容量のばらつきを最小限に抑えることで Dnote のデジタルデータを最適な状態でアナログの領域に渡せる構造とすることに努めました。一方で生産性の観点からは、ボイスコイルが 4 つ使われているということもあり、一般的なドライバーユニットと比べて生産に手間がかかります。そのため、どこまで生産効率を考慮した設計ができるか、工場側との綿密な調整が必要でした。実際に完成したドライバーユニットを図.3 に示します。



図.3 4 コイル・ドライバーユニット(左：表側、中央：裏側、右：ボビン巻ボイスコイル)

それと並行して、ヘッドホン全体の音作りにとりかかりました。当製品の音作りのコンセプトは、「Dnote によるデジタルの特徴」と弊社が長年培ってきた「アナログのノウハウ」の融合です。

このコンセプトを元に量産直前まで最終的な音質のチューニングを繰り返すことにより、納得出来る状態で ATH-DN1000USB を完成させることができました。

音質の印象は個人差もありますが、ATH-DN1000USB には、聴感上での”反応の早さ”、”低域のリニアな伸び”に独自性があると感じます。ここで、人口耳を用いて測定した ATH-DN1000USB と、他ヘッドホン例(前段に USB DAC + ヘッドホンアンプを接続)のインパルス応答を図.4 に示します(入力信号：5Hz~40kHz の成分を含む有限インパルス)。結果から、有限インパルスの第一波のピークからレベルが 0 になるまでの立ち下りの時間が約 10 μ sec であるのに対して、ATH-DN1000USB は入力インパルスとほぼ同等の時間 (約 11 μ sec) で立ち下がっており、インパルス応答のアンダーシュートのレベルも他ヘッドホン例と比べて小さくなっています。また、全体としての収束時間も短くなっていることがわかります。これらは、Dnote の構造上、4 つのボイスコイルが並列接続とみなすことができ、ボイスコイル全体としてのインダクタンスが低くなるため、1 コイルで同じインダクタンスのボイスコイルを持つドライバーユニットと比べて、高域特性が有利なことに加えて、振動板が収束するまでの立ち下り特性に対して有利に働くと考えられます。総じて、ATH-DN1000USB の聴感上での”反応の早さ”のイメージにつながっていると考えられます。

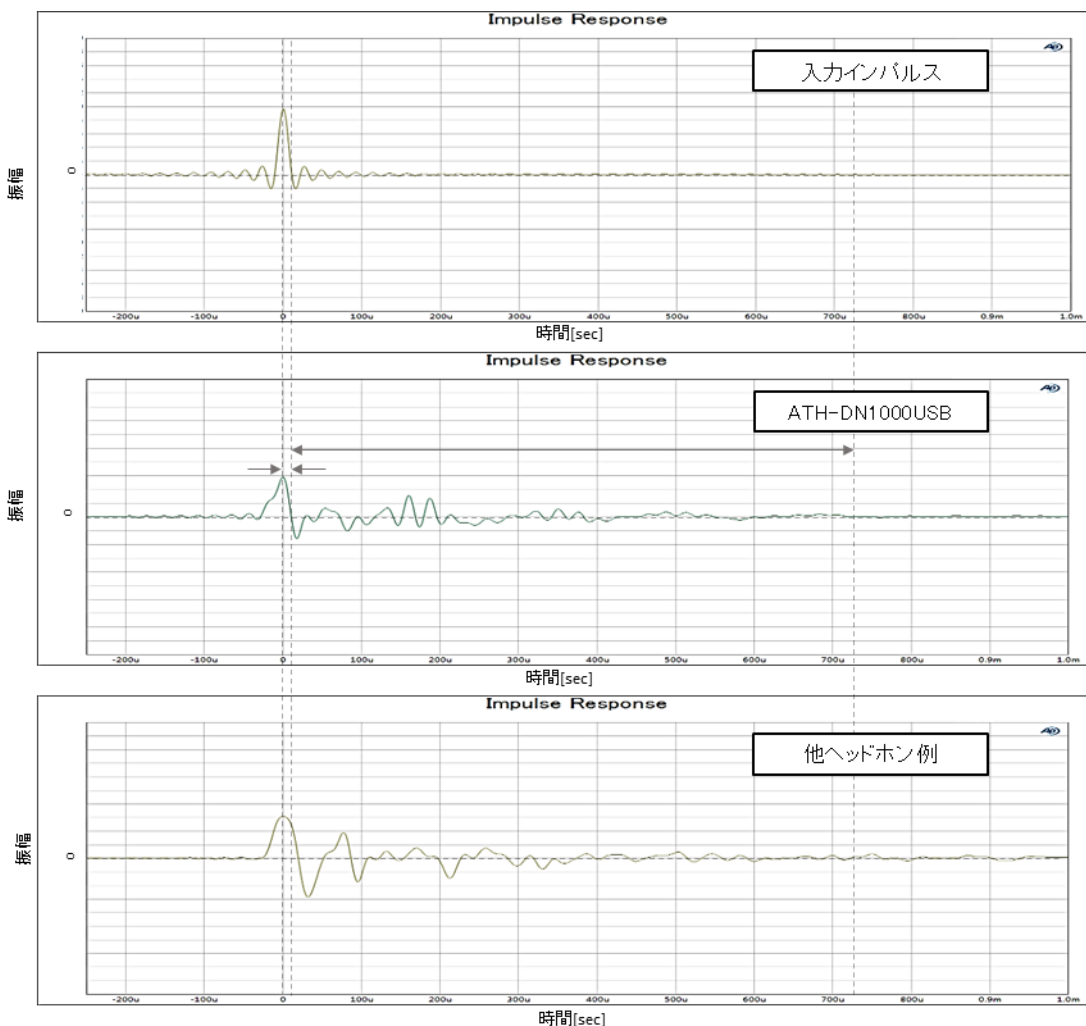


図.4 インパルス応答の比較

Dnote を搭載したフルデジタル・ヘッドホン（スピーカー）の音響特性は、現状では全てが科学的に解明されているわけではありません。ただ、逆にそれがまた Dnote というデバイスの魅力でもあるのかもしれませんが。Dnote の性能を十分に引き出せるか否かはデバイス内における信号処理に加えて適切な音響処理が必要となります。Dnote を始めとする最先端の技術と従来から培ってきた音響技術を活用することによって、新しいアプリケーションの実現へ繋げていきたいと考えています。

● AT-PHA100

AT-PHA100 の開発をスタートする以前から、当社では AT-HA シリーズとして据置型を中心に多くのヘッドホンアンプを展開してきました。それらの音質はお客様からご好評をいただいております。

今回、ハイレゾをキーワードとするポータブルヘッドホンアンプ製品を開発するにあたり、単にこれらの従来製品をポータブル化して対応周波数範囲を広げるといったスペックの観点だけではなく、アナログ的な音質という点により重点を置き、ハイレゾ音源の音の特徴を表現できるような製品の実現を目指してきました。

特に、本製品から対応した DSD フォーマットは、その特徴的な方式により、D/A 変換した後の信号は PCM と比較しても可聴帯域内の高調波歪成分の少ない信号を得ることができます。このようなハイレゾ音源の特徴ともいえる部分を損なわずに表現するためにも、回路全体としての低ノイズ化・低歪み化は特に重要な課題でした。

それらを実現するためのアプローチのひとつとして、電源回路の最適化があります。ポータブル製品の場合、消費電力は動作可能時間に直結する問題です。消費電力は抑えながらも、アンプ性能は据置型アンプと同等以上の性能の実現を目指す本製品としては、電源回路の設計は特に苦労した部分のひとつでした。今回の回路では、各ブロックにおける最良の電気性能を確保するため、各ブロックに供給する電源経路にはそれぞれに専用電源を配置して電源効率の改善を図るとともに、ノイズを抑制しています。加えて、ヘッドホンアンプ回路にはヘッドホンを駆動させるために十分な電流をスムーズに供給できるよう電源経路のインピーダンス低減を図っています。

これらの電源回路の最適化による結果として、製品全体のノイズレベルの低減、歪みの低減につながり、据置型アンプと比較しても遜色のないスペックを実現しています。

また、物理的なスペックを突き詰めることはもちろん、社内での音質評価も多く実施することで、ハイレゾ音源の特徴を生かす音質を模索してきました。

音質は数値で評価できるものではなく、電気性能の数値の大小と音の良し悪しが必ずしも一致しないため、当社では人の耳による音質評価を必ず実施しています。

特に今回の製品では、よりその点に留意しました。

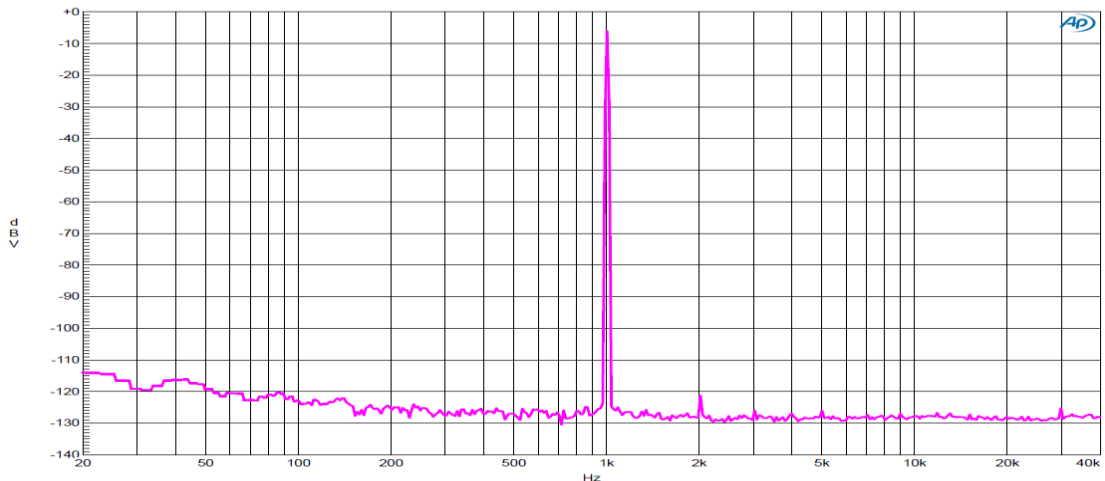


図1 試作品ヘッドホンアンプ回路 FFT スペクトル (1kHz、10mW 出力、32Ω 負荷)

図1は、AT-PHA100の試作段階のヘッドホンアンプ回路のFFT特性です。高調波歪成分は、二次高調波歪として2kHz付近に-120dBV見られますが、その他の高調波歪成分はノイズフロアにマスキングされています。この時のTHD+N(20-20kHz)は、0.0004%程度であり、数値的に見れば据置型ヘッドホンアンプと比較しても遜色ない値となっています。

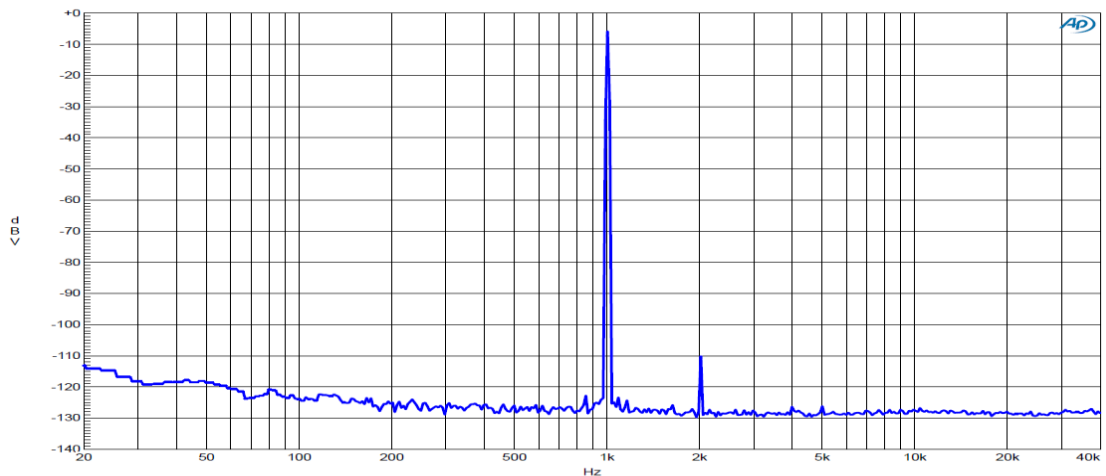


図2 製品ヘッドホンアンプ回路 FFT スペクトル (1kHz、10mW 出力、32Ω 負荷)

図2は、製品のヘッドホンアンプ回路のFFT特性です。これは、先の試作回路からOPAMPの変更やトランジスタの電流量の調整、パターンの引き直しなど、様々な観点から見直しを行った後の最終の回路です。先の試作回路と比べると、二次高調波歪成分は-110dBV程度と約10dB増加し、数値だけで見ればスペックは悪化しています。

数値的には試作回路のほうがTHDの値は良いわけですが、当社内で両者を比較した音質評価では、ほぼすべての評価者が製品に採用した回路を支持する結果となりました。

当然、音質に影響するパラメータは一つではないため、THDの値だけで理由を語ることはできませんが、あえてこのグラフだけで推察するとすれば、二次高調波成分が増えたことにより、

音の厚みや響きの増加といった聴感上にも前向きな変化を生み出したのではないかと読み取れます。

このようにスペックで単純に判断ができないところがオーディオの面白いところでもあります。同じように、ハイレゾは情報量が多いから音が良いという考え方が必ずしも正しいとは言えません。また、ハイレゾ音源と呼ばれる DSD 音源やハイサンプリングの音源にもそれぞれにスペックには現れない音の傾向や特徴があるように思います。

幅広いユーザーの方々にそういったハイレゾ音源の特徴をより楽しんでいただくためにも、ハイレゾ製品であっても数値だけを追い求めるのではなく、アナログ的な音作りが重要であると考えています。

5. おわりに

今回、当社が 2014 年に発売した製品と、ハイレゾをテーマに記事を書かせていただきました。紹介させていただいた製品も、店頭に並ぶまでには、企画、開発、製品設計、そして生産に至るまで多くのスタッフが関わり、それぞれの思いが込められています。お客様には、末永くご愛用頂ければ幸いです。

ヘッドホン・ヘッドホンアンプの高音質化は、技術革新や、市場の変化に伴いまだまだ進化していくものと思われまます。これからも高音質を追求したより良い製品の開発に努めてまいります。

参考文献

- [1] 飯田一博: “音響工学基礎論”, コロナ社, (2012)
- [2] 安田彰, 岡村喜博: “ハイレゾオーディオ技術読本”, オーム社(2014)
- [3] 大賀寿郎: “オーディオトランスデューサ工学 –マイクロホン、スピーカー、イヤホンの基本と現代技術–”, コロナ社(2013)
- [4] 蘆原郁: “超高帯域オーディオの計測”, コロナ社(2011)

筆者プロフィール



大塚 幸治 (おおつか こうじ)
 静岡大学 理学部 物理学科 卒業
 (株)オーディオテクニカ技術本部 第一技術部 一課 AMP/MIX グループ
 ヘッドホンアンプの設計開発を担当



築比地 健三(ついひじ けんぞう)
 法政大学大学院 工学研究科 電気工学専攻
 (株)オーディオテクニカ技術本部 第一技術部 一課 AMP/MIX グループ
 ヘッドホンの設計開発を担当