

アキュフェーズ40年の歩み(5)

デジタルオーディオ回路技術の変遷

柴崎 功 SHIBAZAKI Isao

創業40周年を記念してスタートした「アキュフェーズ編」は今回が最終回だ。そこでCDおよびSACDプレーヤーを中心に、デジタルチャンネルデバイダー、音場イコライザー、デジタル処理FMチューナーを採り上げ、同社のデジタルオーディオ技術の変遷を振り返ってみよう。



セパレート型SACD/CDプレーヤーの創業40周年記念モデル、トランスポートDP-900(上)とデジタルプロセッサー DC-901

CDプレーヤー編

デビュー作 DP-80/DC-81

1982年10月に発売開始されたCDプレーヤーには、当初アナログ出力しか付いていなかった。デジタル出力付きCDプレーヤーが登場したのは1984年で、日立製作所が発売したセパレート型CDプレーヤー DAD-001が草分けである。1984年12月には、ソニーがデジタル出力付きCDプレーヤー CDP-552ESDとデジタルプロセッサー DAS-702ESを発売したが、当時のデジタル出力はRCA端子の同

軸出力のみであった。

このような時代に同軸出力以外に「光デジタル出力」も搭載したセパレート型CDプレーヤーをいち早く開発し、デジタルオーディオ分野に突如参入したのが、それまでアナログ機器専門メーカーであったアキュフェーズだ。そのデジタルオーディオ界デビュー作品が1986年7月に発売されたセパレート型CDプレーヤー DP-80とDC-81である(写真1)。

アキュフェーズの歴史に大きな変革をもたらしたのは、デジタル回路/アナログ回路/高周波回路に造詣の深いオールラウンドエンジニア、鈴木雅臣氏(写真2右)

の参入だろう。彼は日立マイクロコンピューターエンジニアリング(現日立超LSIシステムズ)で生産技術や設計の業務を担当し、1981年12月に同社を辞めて同月21日にケンソニックに入社した。シドニー・スミス(Sidney Stockton Smith)氏の参入でマランツのパワーアンプが一躍脚光を浴びる存在になったように、鈴木雅臣氏の参入によりアキュフェーズはデジタルオーディオ分野への進出を果たし、その製品群はオーディオ界で注目される存在になったのである。

送信側と受信側を電気を通さない光ケーブルで接続し、光の点滅または強弱という形でデジタル信

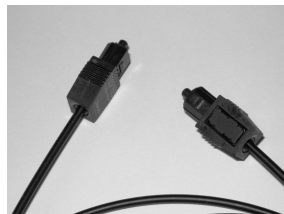


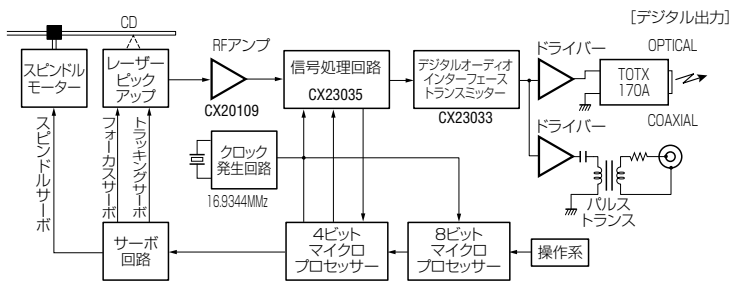
[写真1] 1986年7月に発売され、トスリンク光伝送方式の採用と抜さん出た音質で話題を呼んだ、セパレート型CDプレーヤーのデビュー作。上がCDトランスポートDP-80(税別24万円)で、下がデジタルプロセッサー DC-81(税別40万円)



[写真2] 取材時に数々の未公開エピソードを披露してくださった、齋藤重正代表取締役社長(中央)、伊藤英晴代表取締役副社長(左)、鈴木雅臣専務取締役(右端)の3氏。取材日は2012年7月12日

[写真3] DP-80に付属していた東芝製トスリンク光ケーブル。外径2mmという細いケーブルでDC-81と接続した光景は、デジタル伝送が同軸ケーブル一辺倒だった時代に非常に新鮮だった。本機にはRCAの同軸デジタル出力も付いている





[図1] DP-80の信号系ブロック図

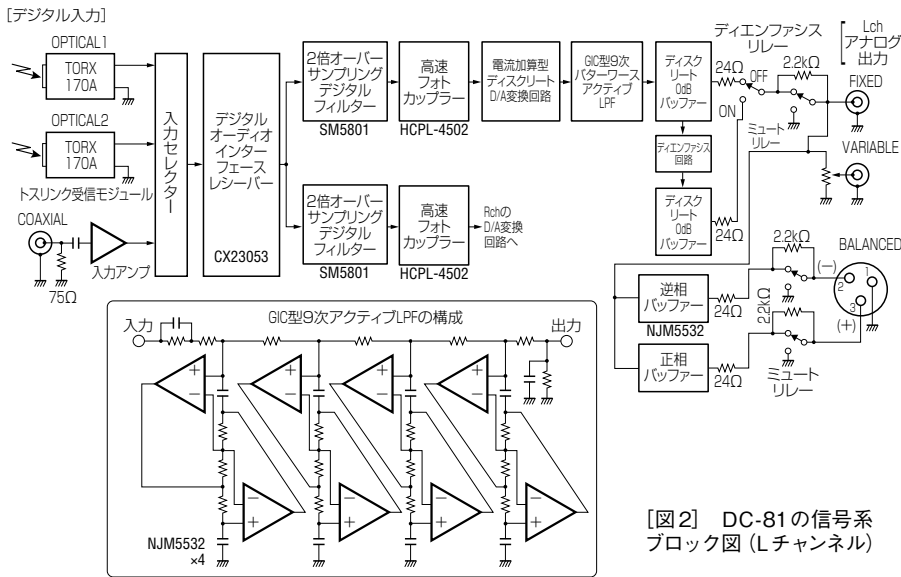
号を送る光伝送方式は、機器間が電気的に絶縁されるのでケーブルを介した共通モードノイズの侵

入がなく、ケーブルからのノイズ放射もないというメリットがある。DP-80とDC-81間の光伝送には東

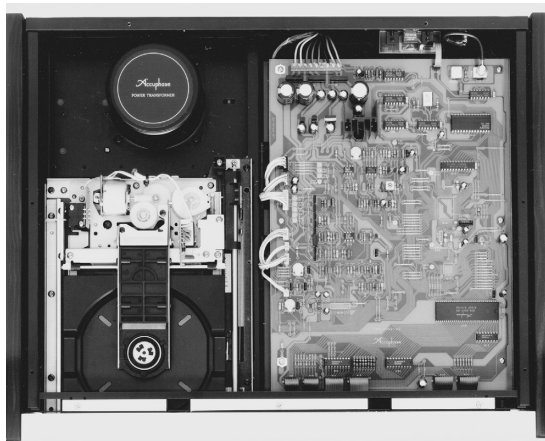
芝の「トスリンク」と称するモジュールの選別品、送信モジュールにはTOTX-170A、受信モジュールにはTORX-170Aが採用され、写真3のケーブルがDP-80に添付されていた。

図1はCDトランスポートDP-80の信号系で、CDから読み取った信号を増幅成形して、各種の信号処理をしてPCM信号に復調し、それをS/P DIF信号にエンコードする。

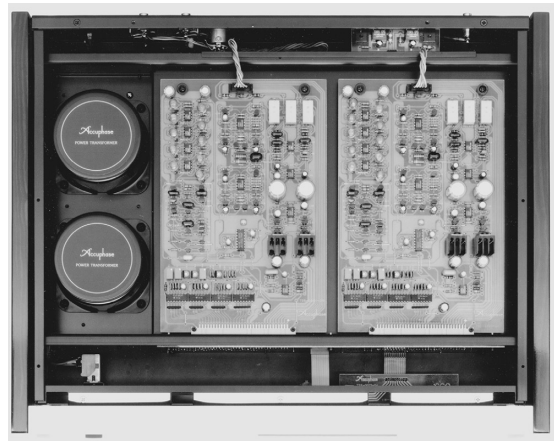
図2はデジタルプロセッサー



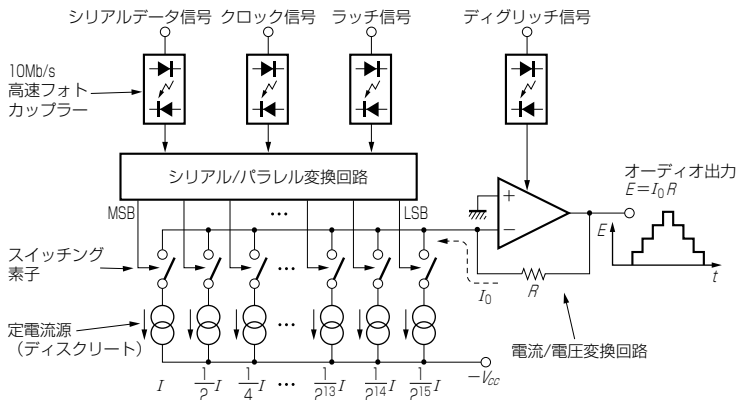
[図2] DC-81の信号系ブロック図 (Lチャンネル)



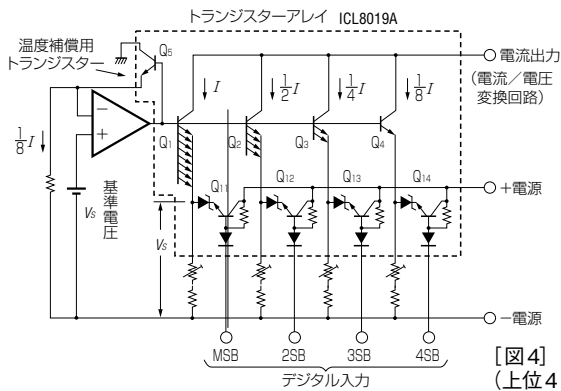
[写真4] DP-80の内部構造。左側にソニー製CDメカと電源トランス、右側に信号処理基板を配置。同軸デジタル出力の内部配線には高周波用コネクターと1C2V型75Ω同軸ケーブルが用いられ、トスリンク光出力回路は別基板になっている



[写真5] DC-81の内部。電源トランスも回路基板もLRが独立構造。基板の左手前がDAC部で、4つ並んだDIP14ピンのIC群が電流源を構築するインターシルのトランジスタアレイICL8019A。こちらもトスリンクの光入力回路は別基板だ



【図3】 DC-81の16ビット重み付け電流加算型DAC



【図4】 DC-81の定電流源 (上位4ビット分)

DC-81の信号系で、デジタル入力
はトスリンク型光入力2系統と、同
軸入力の3系統を装備。デジタル
フィルタにはセイコー NPCの第
2世代デジタルフィルタ SM5801

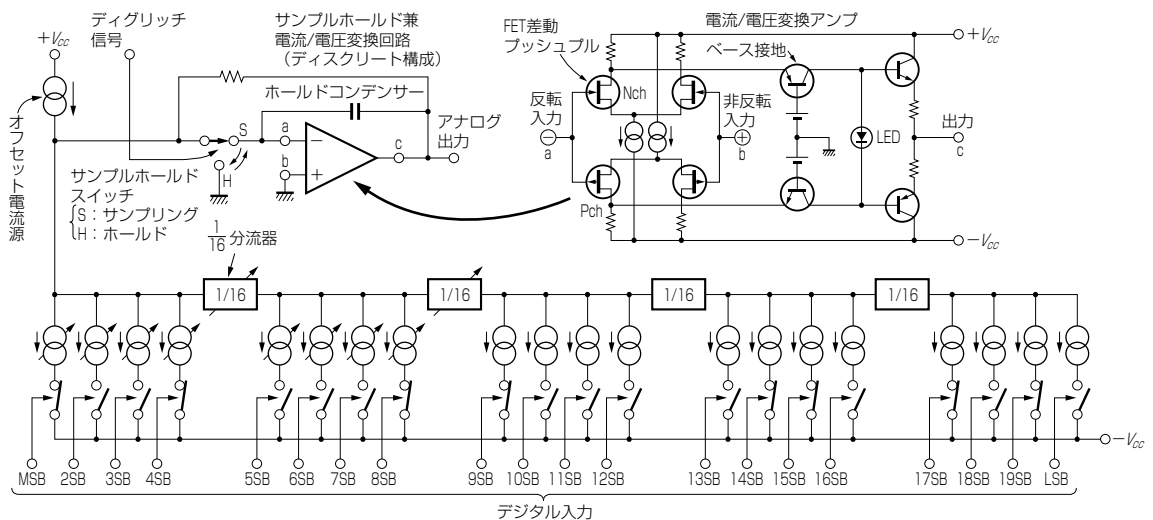
(2倍オーバーサンプリング121次
FIR)を採用し、デジタルフィル
タの後にはHPの高速フォトカッ
プラーを挿入して、デジタル部と
D/A変換回路以降が電氣的に絶縁

されている。

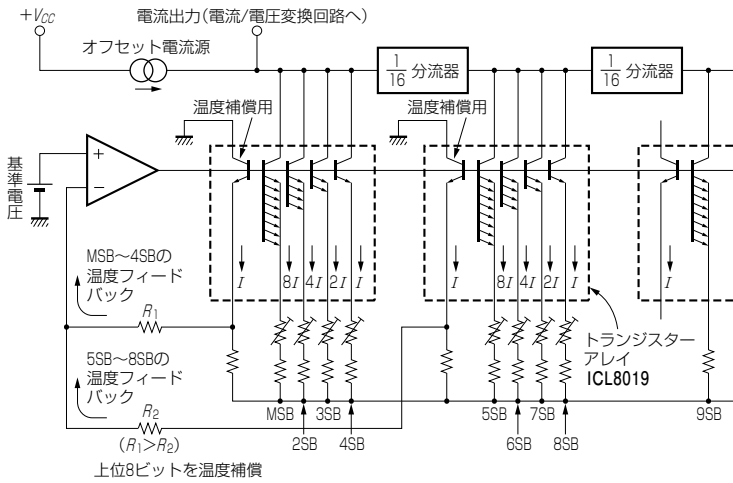
D/A変換回路にはICのDAC
を用いず、後述の個別部品で組
み上げた電流加算型D/A変換回
路を採用しているのが特徴だ。9
次アナログLPFには通過帯域の信
号がアクティブ素子を通らない
GIC (Generalized Immittance
Converter) 型が用いられ、上下
対称プッシュプル構成のディス
クリートバッファを介してアンバ
ランス出力に信号が送られる。バ
ランス出力は、アンバランス出力
の信号をNJM5532を用いた逆相
バッファと正相バッファでバ
ランス信号に変換し、3番ホット
の極性でXLR端子に送られる。こ
れらのバッファにはDCサーボが
かけられているので、どのアナ
ログ出力もカップリングコンデン
サーを追放した直結方式である。
DP-80とDC-81の内部を写真4、5
に示す。

電流加算型 ディスクリートDACの変遷

DC-81に搭載されている16ビッ
トの重み付け電流加算型ディス
クリートDACの基本構成は図3のよ



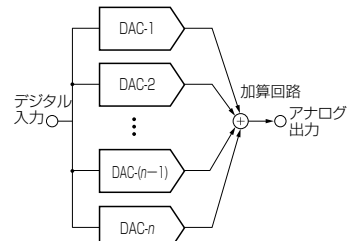
【図5】 DC-81Lの20ビット重み付け電流加算型DAC



[図6] DP-70Vの定電流源温度補償回路

うになっている。電流源は4ビット分が一つのブロックになっていて、このブロックが1/16分流器を挟んで4組合わさって、16ビットの重

み電流加算型DACを形成する。上位4ビットは図4の構成で、定電流源をON/OFFするスイッチング素子にはトランジスターを用い、



[図7] MMB方式D/A変換回路の原理

デジタル入力端子がハイレベルになるとスイッチングトランジスターがONになり、定電流トランジスターのエミッターを逆バイアスにして定電流源をOFFにする。定電流源の電流値を決めるエミッター抵抗には温度安定度の高い金属箔抵抗器が投入され、電流値が多い上位4ビットは、MSBには10kΩ抵抗と20Ωトリマー、2SBには



[写真6] 1992年12月に発売されたDP-80L/DC-81Lに続く第3世代のセパレート型CDプレーヤー。上がCDトランスポートDP-90(税別45万円)、下がデジタルプロセッサDC-91(80万円)。CDメカはソニー製だが大幅にチューンされている



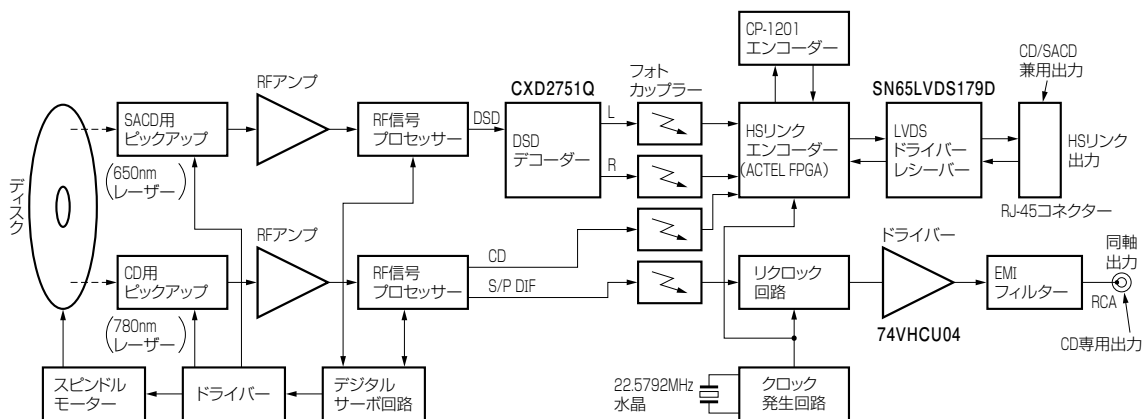
[写真8] 2000年10月の東京国際オーディオショウで注目された世界初のセパレート型SACD/CDプレーヤー。上がトランスポートDP-100(税別70万円)で、下がデジタルプロセッサDC-101(税別80万円、2000年7月発売)



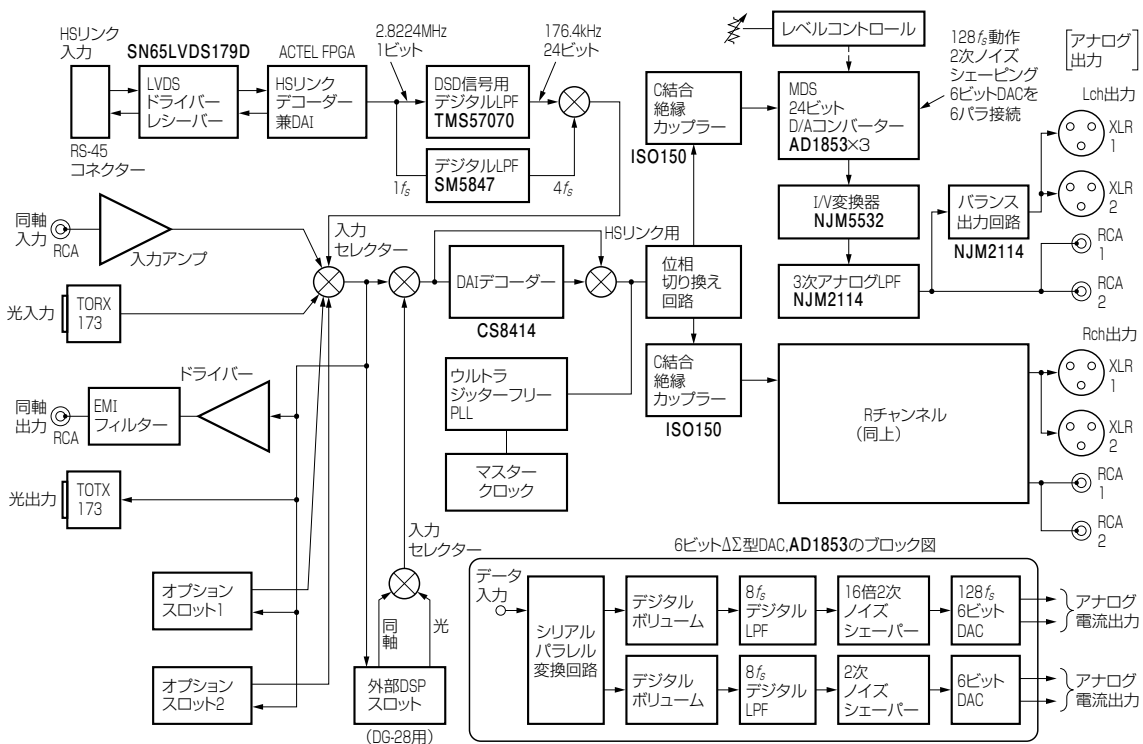
[写真7] DC-91のリアパネル。トスリンク、STリンク、同軸、AES/EBUという4種類8系統のデジタル入力端子と、3種類3系統のデジタル録音機用デジタル入出力端子を装備。アナログ出力はバランス1系統とアンバランス2系統を装備



[写真9] CDのPCM信号だけでなくSACDのDSD信号もデジタル伝送可能なプライベートリンク「HSリンク」で接続されたDP-100とDC-101のリアパネル。LAN用のRJ45端子を採用しているので、市販のLANケーブルも使用可能



[図8] DP-100のブロック図(筆者推定)



[図9] DC-101のブロック図(筆者推定)

20kΩと50Ωトリマーというように電流微調整用トリマーが付き、製造時に0dB/ - 60dB/ - 90dBの3点で歪みが最小となるよう調整される。

1988年11月になると、ビット数を20ビットに拡張した後継機DC-81L(物品税込47万円)が発売されたが、この20ビットDACは図5の構成になっている。16ビ

ットのDC-81では上位4ビットと1段目の1/16分流器に電流微調整トリマーがついているが、20ビットのDC-81Lでは、上位8ビットと1段目と2段目の分流器に電流微調整トリマーが付き、より低歪率化されている。また、DC-81Lでは上位4ビットの電流源しか温度補償されていないが、1990年11月に登場した一体型CDプレーヤーDP-

70V(税別48万円)では、図6のように温度補償範囲が上位8ビットに拡張され、温度安定度がさらに改善された。ディスクリットDACを搭載したのはDP-70Vが最後で、次に登場したDC-91以降の製品では、DACにICが使われている。

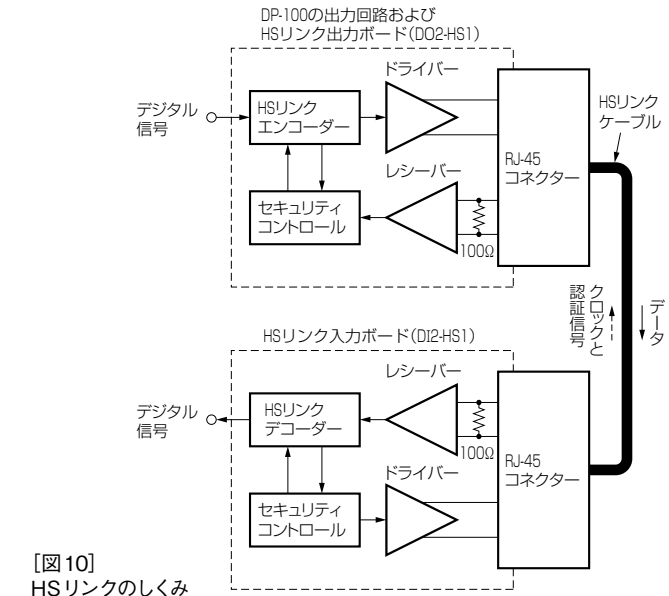
DP-90/DC-91の登場

写真6は1992年に登場したDP-90/DC-91で、デジタル入出力端子にはトスリンクと同軸以外にAES/EBUとST型光端子が装備された。DC-91(写真7)はデジタルプロセッサーとしての機能が充実し、通常のデジタル入力以外に、DAT/DCC/MDなどのデジタル録音機用デジタル入出力端子が3系統装備された。

D/A変換はIC化され、ゼロクロス歪みが発生しないサインマグニチュード型20ビットDAC、バー・ブラウンPCM63P-Kを起用し、これを16パラで用いたMMB(Multiple Multi-Bit)方式D/A変換回路(図7)が採用されている。MMBは、複数のDACを用いてその出力電流を加算し、ランダムなノイズや変換誤差成分を相殺させて、S/Nやリニアリティを改善する手法である。

SACD対応機の登場

SACDのソフトとハードは1999年5月に発売された。先陣を切ったのはソニーの一体型SACD/CD



[図10] HSリンクのしくみ

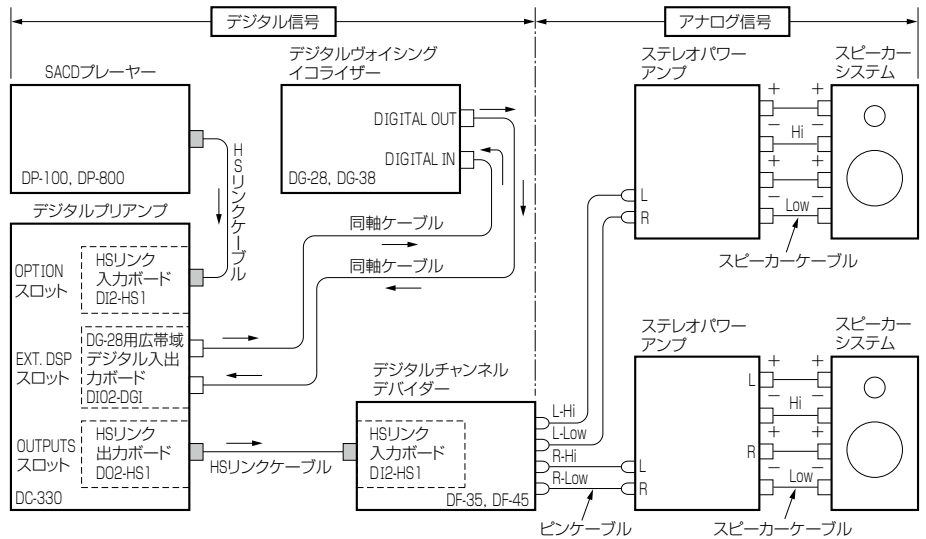
プレーヤー SCD-1であるが、セパレート型のSACD/CDプレーヤーの発売はアキュフェーズが世界初で、2000年7月にDP-100/DC-101(写真8、9)が発売された。信号系は図8、9の構成で、詳細は2000年10月号46ページを参照していただきたい。

DSD信号も転送できるHSリンク

SACDはDSDのデジタル出力

が禁止されているので、SACD/CDプレーヤーのデジタル出力からはCDのデジタル信号しか出せないが、SACDのDSD信号をデジタルのまま取り出せなければセパレート化した意味がない。そこでアキュフェーズは、図10のHS(High Speed)リンクというプライベートリンクを開発した。そしてDSDの2.8224MHz/1ビット信号は16個ずつまとめてパケット化し、176.4kHz/16ビットのPCM

[図11] HSリンクを活用したシステム例

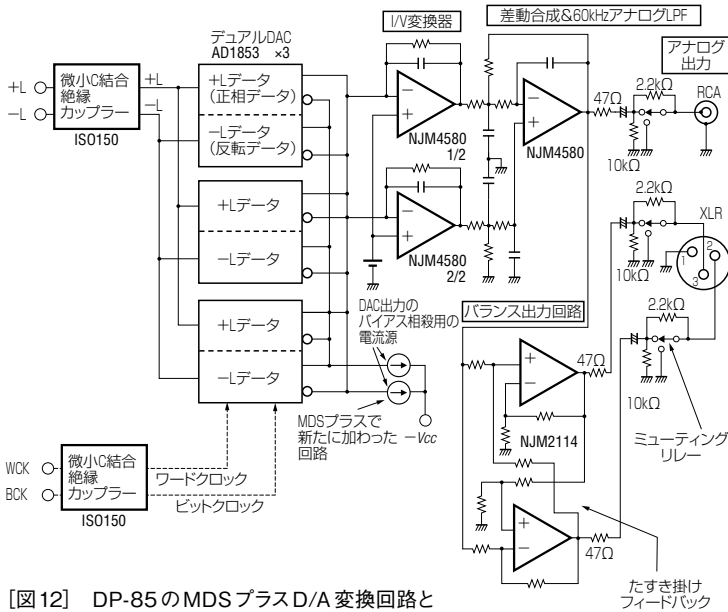




[写真10] 2006年12月に発売されたセパレート型 SACD/CDプレーヤーの第2弾。上がトランスポート DP-800 (税別95万円) で、下がデジタルプロセッサー DC-801 (税別85万円)。物量と新技術の投入でメカも信号系も大幅にアップグレード



[写真11] DP-800に搭載された、物量をふんだんに投入した自社開発の SACD/CDメカ。1レンズツインレーザーの SACD/CD兼用ピックアップを搭載し、アルミ合金ブロックから削り出した精密加工の高剛性部材を用いたメカで総重量は8.2kg



[図12] DP-85のMDS Plus D/A変換回路とアナログ回路 (Lチャンネル)

信号として送り出している。

この場合、受け側がPCM信号のつもりで再生すると大きなノイ

ズを出すので、この仮想PCM信号には「非PCM」のフラッグを立てる。受信側のHSデコーダーは、

サンプリング周波数が176.4kHzで非PCMフラッグの信号が来たらDSD信号だと解釈して、16個ずつパケット化されたデータをビットストリームに分解し、2.8224MHzの1ビット信号に戻すというしくみだ。この手法をUSBのDSD転送に転用したのが、米国プレイバックデザインが開発したとされる「DoP」(DSD Audio over PCM Frames)である。

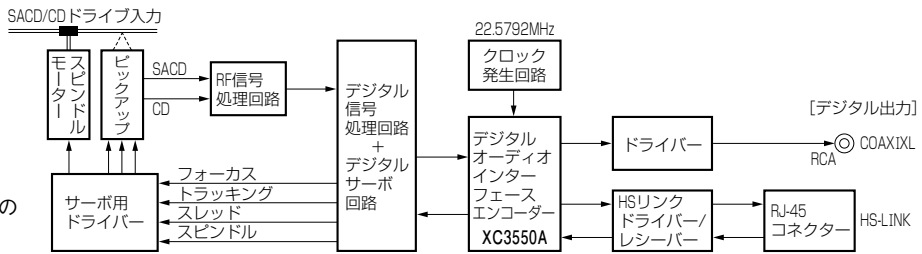
HSリンクはオプションボードも用意されているので、これを増設スロット搭載機に組み込めば、さまざまなデジタルオーディオ機器でHSリンクが活用でき、図11のようにデジタルのメリットをフルに活かした再生システムが構築できる。



[写真12] 2011年7月に発売されたセパレート型 SACD/CDプレーヤー第3弾、トランスポート DP-900の内部 (税別110万円)。創業40周年記念モデルなので一切妥協せずに理想を追求し、DP-800より機構関係や電源部が強化されている



[写真13] DP-900とペアになるデジタルプロセッサー DC-901の内部 (税別110万円)。USB オーディオクラス2.0に対応したUSB入力を装備してPCオーディオにも対応。DACにはESSの32ビット入力超高性能8チャンネルDACをLRに2個ずつ投入

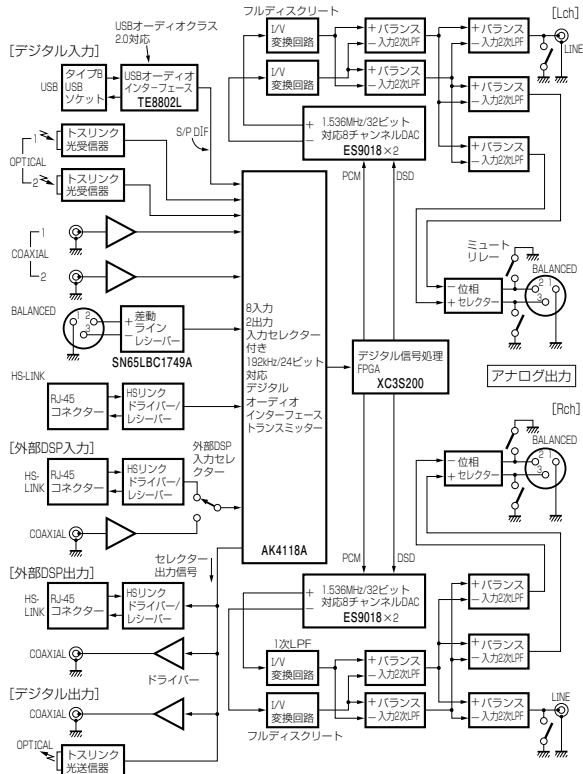


【図13】 DP-900の信号系ブロック図

第2世代以降のセパレート型SACD/CDプレーヤー

写真10は、2006年に発売された第2世代のセパレート型SACD/CDプレーヤー、DP-800/DC-801である。第1世代機はCD用とSACD用が別になったツインピックアップであったが、このころには1個で両方に対応した1レンズ2レーザーピックアップが普及した。SACDはディスク回転数が速くてメカ振動エネルギーが大きいため、高い読み取り精度を確保するためには高剛性で高質量のメカが必要だ。そこでDP-800には、物量を投入した写真11の自社製メカが搭載されている。

D/A変換回路は、DC-101では $\Delta\Sigma$ 方式DACを複数並列接続してアナログ出力電流を加算し、変換誤差低減とS/N改善を図ったMDS (Multiple Delta Sigma)方式が採用されている。これの改良型が、図12のように電流出力型DACのバイアス電流を相殺する電流源を追加し、I/V変換器のリニアリティを改善したMDS+である。そしてこの改良版で、I/V変換器を2個設けて電流/電圧変換用オペアンプの負担を軽くし、両I/V変換器出力を電圧加算して、リニアリティとS/Nをさらに改善したのがMDS++方式だ。DC-801にはMDS++方式が採用されている。



【図14】 DC-901の信号系ブロック図

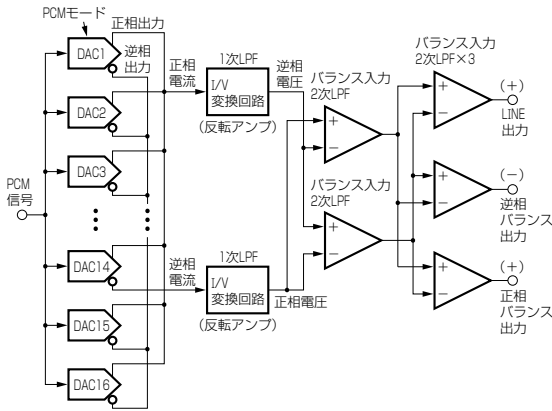
セパレート型最新モデルDP-900/DC-901は写真12、13に示す内部構造で、創業40周年を記念して物量と最新ノウハウが惜しみなく投入されている。回路は図13～16に示す構成で、詳細は2011年10月号6ページを参照していただきたい。

チャンネルデバイダー編

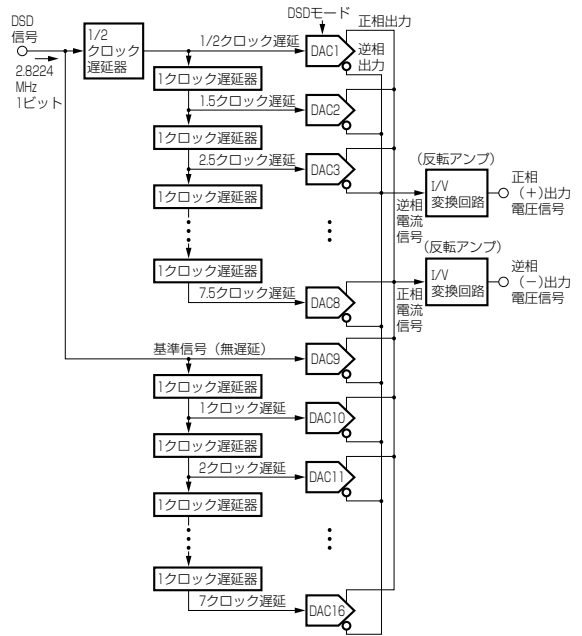
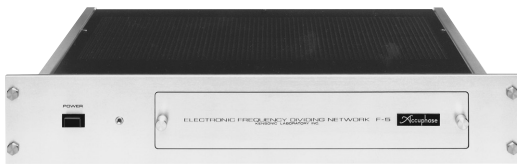
アナログ式チャンネルデバイダーは、1976年に発売された写真14のF-5からスタートした。これはクロスオーバーボードを差し替えて周波数を変える方式で、このボー

ドは1981年に発売された後継機F-15 (物品税込20万円) や、これにバランス出力を追加したF-15L (1987年発売、物品税込23万円) にも受け継がれた。減衰特性は12dB/octと18dB/octの2種類である。

1992年になると回路が一新されて24dB/octの減衰特性が加わり、ラインアンプ部と周波数ボードを組み込んだフィルターアンプ部を別にし、2ウエイから4ウエイまで対応できる写真15のF-25が発売された。図17はフィルター次数と遮断特性の比較図で、アナログフ



[図15] DC-901のPCM信号用MDS方式D/A変換回路

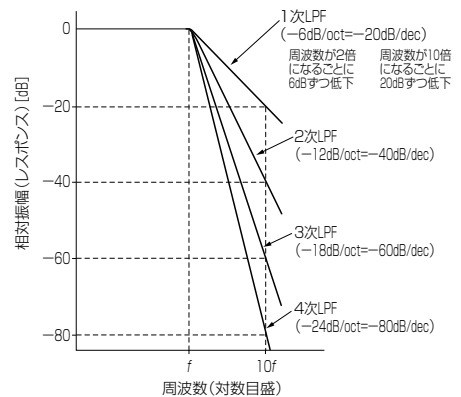


[図16] DC-901のDSD信号用MDS方式D/A変換回路

[写真14] 1976年8月に発売された、アナログ式2〜3ウエイチャンネルデバイダーのデビュー作F-5 (物品税込15万円)。クロスオーバーボード差し替え方式で、別売のクロスオーバーボードを装填する。減衰特性は12dB/octと18dB/oct



[写真15] 1992年12月に発売されたアナログ式第4世代チャンネルデバイダーF-25 (税別36万円)。基本構成は2ウエイで、別売の周波数ボード/ラインアンプ/フィルターアンプを増設すれば4ウエイまで可能。減衰特性は12/18/24dB/oct



[図17] フィルター次数と遮断特性

ィルターは次数の6倍が減衰特性のdB/oct値となる。アナログフィルターの急峻な遮断特性にするほどフィルター段数が増えてノイズや歪みが増加するので、24dB/octあたりが実用限界だろう。

そこで登場したのがデジタル式チャンネルデバイダーで、写真16のDF-35は96dB/octという超急峻な特性まで可能であり、デジタルソースはアナログ信号に戻さずにデジタルのまま処理できる。またデジタルだと信号遅延が容易なので、スピーカーユニットの前後

位置をずらすのと同じ効果の信号遅延機能も付いた。DF-35はDF-25と同様に、ユニットを増設してチャンネル数を増やしたが、写真17のDF-45では本体内に4ウエイのデバイダーを組み込んで増設スロットが廃止され、デザインが一新された。最新モデルDF-55 (写真18) は演算精度が上がって5mm単位の遅延ができ、モノラルモードも加わった。

音場イコライザー編

再生音場の周波数特性を補正す

る音場イコライザーは、1985年に発売されたアナログ式33バンドグラフィックイコライザーG-18 (物品税込33万円) からスタートした。

1997年には、自動音場補正機能付き64バンドデジタルグラフィックイコライザーDG-28 (写真19) が登場した。これは同軸とトスリンクのデジタル入出力端子と4つのオプションスロットを装備し、オプションボードを増設すればアナログ信号の入出力も可能になる。フロントパネル右側の蓋を外すとマイク端子があり、音場測定の際



[写真16] 1999年12月に発売された初のデジタルチャンネル Divider DF-35 (税別70万円)。192kHz/24ビットPCMとDSDに対応。最大96dB/octの減衰特性で、1cm単位の信号遅延機能を装備。Dividerユニットの増設で4ウエイまで可能だ



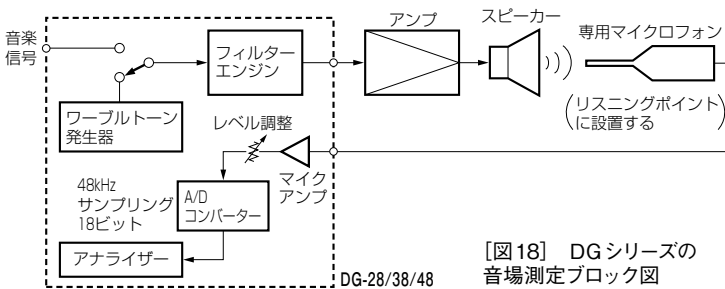
[写真18] 2011年1月に発売された第3世代機DF-55の内部 (税別75万円)。DF-45と同様に複数台使用して5ウエイ以上にも対応でき、演算精度の向上で5mm単位の信号遅延が可能だ。モノラルモードが加わってLR独立使用も可能になった



[写真17] 2005年8月に発売された第2世代機DF-45 (税別70万円)。カットオフ周波数を59ポイント内蔵し、4ウエイのDividerユニットを標準装備して増設スロットを廃止。最大96dB/octの減衰特性で、1cm単位の信号遅延機能を装備

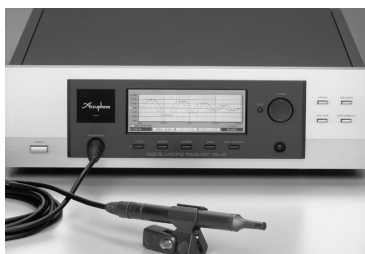


[写真19] 1996年10月の全日本オーディオフェアで注目された、自動音場補正機能付きデジタルグラフィックイコライザーDG-28の内部。(1997年5月発売、税別53万円)。ディスプレイはモノクロ液晶でリアに4つの拡張スロットを装備



[図18] DGシリーズの音場測定ブロック図

その大きな特徴は、A/DとD/A変換回路を標準搭載してアナログ入出力端子を装備し、オプションスロットを廃止した点である。ディスプレイには応答の速いTFTカラー液晶と、タッチ感触の良いガラスタッチパネルが採用され、アナライザーのLR同時表示、画面拡大機能の新設など使い勝手の面でもさらに進化した。詳細は2011年11月号84ページを参照していただきたい。



[写真20] DG-38の後継となる第3世代機DG-48 (2007年12月発売、税別75万円)。ディスプレイは高速応答のTFTカラー液晶。A/D変換とD/A変換回路が標準搭載されてアナログ入出力端子が付き、リアパネルから拡張スロットが省かれた

ここに付属の計測用マイクを接続する。図18は音場測定のプロックダイアグラムで、ワーブルトーンを発生してスピーカーから出し、それを聴取位置に置いたマイクで

拾い、増幅してからA/D変換して、アナライザーで周波数分析を行う。

2002年には74バンドの第2世代機DG-38 (税別65万円)が登場した。5年の間にデバイスもハードやソフト技術も進歩したため回路が一新され、機能も性能も大進化した。ディスプレイはモノクロ液晶からタッチパネル式カラー液晶になって、付属のスタイラスペンで画面に目標カーブを描いたり、画面にキーボードを表示してスタイラスペンで文字入力することが可能になった。またデータメモリーも、4パターンから20パターンに増えた。

2007年には80バンドの第3世代機DG-48 (写真20)が登場した。

FMチューナー編

1973年に登場したAM/FMチューナーT-100と、翌年のFM専用機T-101はバリコン同調式であるが、写真21のT-104以降は、すべてデジタルシンセサイザー方式と呼ばれるバラクターダイオード同

調方式になった。同調回路の制御方式がデジタル化されたのである。

2005年になると、ステレオ復調回路と局部発振回路にデジタル信号処理を導入した、デジタル出力付きFMチューナー T-1000 (写真22) が登場して受信性能や音質が

飛躍的に改善されたが、2010年になると図19のように、RF回路のみアナログで、IF回路以降をすべてデジタル化して新機能を装備し、受信性能や音質をさらに高めた T-1100 (写真23) が発売された。その受信性能と音質は画期的で、

取材時にCDプレーヤーのアナログ出力信号をFM送信機で飛ばし、それをT-1100で受信した再生信号と、CDプレーヤーの直接出力を比較したが、その音質は僅差で、チューナーの存在を感じさせないレベルまで音質完成度が高まっている点に驚いた。詳細は2011年1月号129ページを参照していただきたい。



[写真21] アキュフェーズ初のデジタルシンセサイザー式アナログFMチューナー T-104 (1978年10月発売、物品税込25万円)。回転つまみ式手動チューニングとワンタッチメモリーチューニングを装備。ニッカド電池でSRAMをバックアップ



[写真22] 局部発振回路とステレオ復調回路にデジタル信号処理方式を導入し、アナログ出力以外にデジタル出力も装備したFMチューナー T-1000の内部 (2005年7月発売、税別28万円)。IF回路がアナログ信号処理なので部品点数が多い



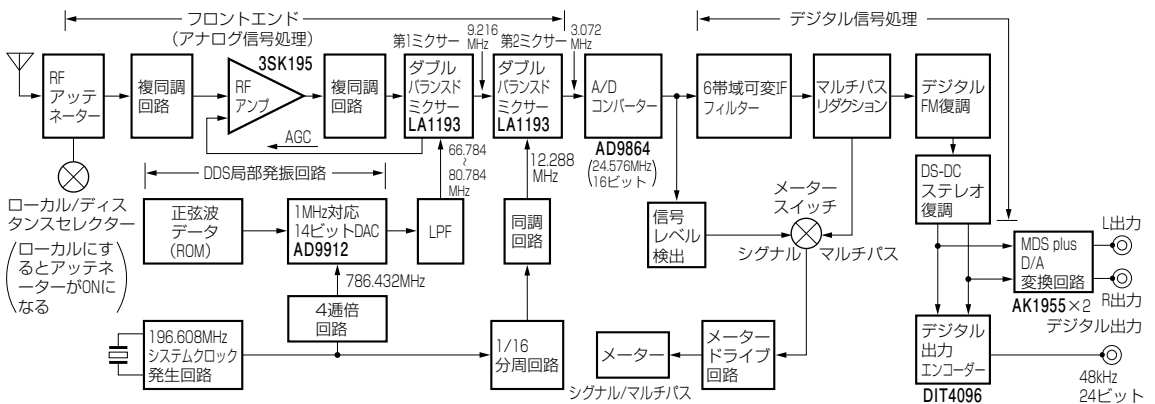
[写真23] 局部発振回路とIF回路以降の信号系をすべてデジタル化し、ソフトウェア処理で受信性能と音質を飛躍的に改善したFMチューナー T-1100の内部 (2010年9月発売、税別33万円)。IF回路のデジタル化により部品点数が激減した

【取材協力】

アキュフェーズ株式会社
 社長：齋藤重正氏、副社長：伊藤英晴氏
 専務取締役：鈴木雅臣氏

【資料提供】

●アキュフェーズ提供資料群
 ※写真2はMJ編集部、タイトル写真と写真1、4～7、9～18、20～23はアキュフェーズ提供



[図19] T-1100の信号系ブロック図