

## デジタルコードレスサラウンドヘッドホンの開発

Development of DIGITAL CORDLESS SURROUND HEADPHONE

佐藤 光一

Koichi Sato

**要旨** 当社はデジタルコードレスサラウンドヘッドホン「SE-DIR1000C」を商品化し、2002年7月国内市場導入した。さらに、低価格化、軽量化を行った「SE-DIR800C」を商品化し、2003年10月国内市場導入し、2004年5月に北米市場導入、2004年6月に欧州市場導入した。

デジタルコードレスサラウンドヘッドホンは、マルチチャンネルサラウンド音声をヘッドホンバーチャル技術によってヘッドホン用に2ch化し、さらにデジタル赤外線伝送技術によってHi-Fi音声伝送を可能にした。

**Summary** We developed and introduced the DIGITAL CORDLESS SURROUND HEADPHONE "SE-DIR1000C" to the domestic market in July 2002. Furthermore, the inexpensive and lightweight "SE-DIR800C" was introduced to the domestic market in October 2003, to North America in May 2004, and to Europe in June 2004.

Using only 2 channels, this DIGITAL CORDLESS SURROUND HEADPHONE reproduces a multi-channel surround sound, as well as using digital infrared audio transmission technology.

**キーワード** : デジタル赤外線オーディオ伝送, ドルビーヘッドホン, サラウンドヘッドホン, バーチャルテクノロジー

### 1. まえがき

最近、複数のスピーカーを設置することなく、容易に5.1chサラウンド再生を望むユーザーが増えてきている。当社はこの要望に応えるため、耳にかけるだけで、映画館さながらの臨場感を実現し、さらに、コードを気にすることなく、聞きたい場所でサラウンド再生が可能な「デジタルコードレスサラウンドヘッドホン」を開発し、商品化した。

2002年7月に、広がりのあるサウンドの再生

を実現したオープンエア型の「SE-DIR1000C」を国内市場へ導入した。また、低価格化・軽量化した密閉型の「SE-DIR800C」を2003年10月に国内市場へ導入し、2004年5月に北米地域、同年6月に欧州市場にも導入を果たした。

本稿では、このデジタルコードレスサラウンドヘッドホンの概要と、デジタルコードレスサラウンドヘッドホンが実現するマルチチャンネル音声のヘッドホンバーチャル音場再生について述べる。

## 2. SE-DIR1000C/SE-DIR800C の概要

デジタルコードレスサラウンドヘッドホン「SE-DIR1000C」は、マルチチャンネルサラウンド音声をヘッドホンバーチャル技術によってヘッドホン用に2ch化し、さらにデジタル赤外線伝送技術によってHi-Fi音声伝送を可能にしたデジタルコードレスヘッドホンシステムである。

ヘッドホンバーチャル技術に、ヘッドホンシステムとしては世界で最初に「ドルビーヘッドホン」を採用し、デジタル赤外線伝送技術としては、IEC 61603-8-1(2003年規格化)のハーフバンドモードを世界で最初に採用している。

ヘッドホンは、自然な音場を追求するためにオープンエア型を採用し、臨場感あふれる重低音迫力サウンドを実現するために 50 大口径



図 1 SE-DIR1000C の外観



図 2 SE-DIR800C の外観

振動板ユニットスピーカーを採用した。

一方、SE-DIR800Cは、SE-DIR1000Cの基本性能を引き継ぎながらも低価格化、軽量化を行わない、密閉型のヘッドホン構造を採用したことにより、高いフィット感と余裕の重低音再生を実現した。

図 1 に SE-DIR1000C の外観を、図 2 に SE-DIR800C の外観を示した。

## 3. コンセプトと主な特長

### 3.1 Hi-performance & Hi-Quality

Hi-performance & Hi-Qualityを実現するために、

- ・ 全てのソースで高品位なヘッドホンサラウンドを実現するドルビーヘッドホンを搭載した。
- ・ 「ノイズレス」「広帯域」「高音質」非圧縮デジタル赤外線オーディオ伝送方式を採用した。
- ・ 2ch 音声を 5.1ch に拡張再生するドルビープロロジック を搭載し、音楽 CD や TV 番組、ゲームソフトなどのステレオ音声でも立体感あふれるサラウンドを実現した。
- ・ 完全無調整設計により通信品質のパラツキを抑えた。

を導入した。

### 3.2 User-Friendly

User-Friendlyでは、

- ・ ドルビープロロジック II には、「ムービー」と「ミュージック」の 2 つのサラウンドモードが有るが、再生するソースに応じて最適なモードを自動で選択する「オートモード」を考案し、搭載した。
- ・ 専用コードレスヘッドホンを増設することで、多人数でサラウンドサウンドを楽しむようにした。
- ・ 自分の好きなコード付きヘッドホンも使用できるヘッドホン端子とボリュームを装備した。

を導入した。

## 4. 主な要素技術

### 4.1 デジタル赤外線オーディオ伝送

赤外線通信機器の普及に伴い、お互いの干渉を防ぐため、民生機器においては用途ごとにサブキャリア周波数がIEC(国際電気標準会議)において決められている。

サブキャリアの割り当てを図3に示す。

このサブキャリア周波数の中で、2MHz～6MHzがHi-Fiオーディオ伝送帯域として割り当てられており、この中の3MHz～6MHzの伝送帯域を使ってデジタルオーディオ伝送を行う方式がIEC 61603-8-1として2003年に規格化された。

このデジタル赤外線オーディオ伝送方式には、3MHz～4.5MHzの帯域を使うハーフバンドモード、4.5MHz～6MHzの帯域を使うハーフバンドモード、3MHz～6MHzの帯域を使うフルバンドモードの3つのモードがある。3つのモードを表1に示す。

2つのハーフバンドモードでは、16bitのデジタルオーディオデータ伝送が可能で、同時に2つの伝送帯域を使って双方向通信も可能である。フルバンドモードでは、デジタルオーディオインターフェースで扱われる最大24bitのデジタルオーディオデータと、サブデータを全て

送ることができる。

当社では、ハーフバンドモードIをコードレスヘッドホン用途に、ハーフバンドモードIIコードレススピーカー用途に、フルバンドモードをマルチチャンネル伝送機器用および24bitオーディオ伝送機器用として展開していく。なお、デジタル変調方式はDQPSKを使っている。

### 4.2 ドルビーヘッドホン

ドルビーヘッドホン(DH)は、ひとつの音響空間内に置かれて動作するスピーカーの音響的特性をシミュレートする独創的な「フィルター」処理を、各オーディオチャンネルそれぞれに行う。ヘッドホンを通して各々の耳に、ある空間で実際のスピーカーシステムを再生した状態と同じ波形を作り出すことにより、スピーカーで再生する現実の音場に近い感覚を得ることができる。なお、メイン5chは全て等価という考え方に基いており、マルチチャンネルオーディオの再生に良く用いられるITU(国際通信連合)の定めたITU-R BS.775-1の推奨配置例を基にシミュレーションしている。そして、各耳それぞれに5方向のスピーカーからの直接・間接音パターンの和信号を送る(図4)。また、特定の部屋でのスピーカー実測と同じになるよう数学的に処理している。

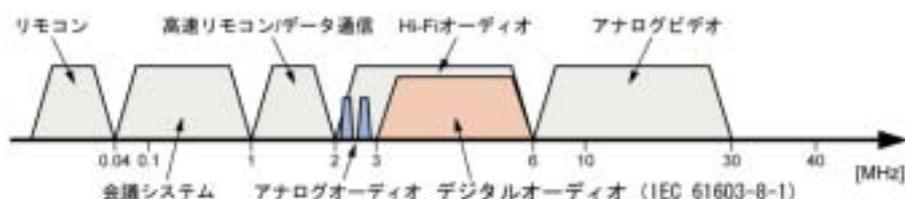


図3 サブキャリア周波数の割り当て

表1 ハーフバンドモードとフルバンド

(サンプリング周波数48kHzの時)

	ハーフバンドモードI	ハーフバンドモードII	フルバンドモード
メインデータレート	1.536Mbit/s	1.536Mbit/s	3.072Mbit/s
サブデータレート	40Kbit/s	40Kbit/s	80Kbit/s
占有帯域幅	1.25MHz	1.25MHz	2.5MHz
サブキャリア周波数	3.75MHz	5.25MHz	4.5MHz

なお、LFE チャンネルは、扱う周波数が低く音の方向性が無いので、フロントスピーカーの Lch と Rch にミックス処理してから 5 チャンネルをフィルター処理している。

ドルビーヘッドホン(DH)ルームフィルターは DH1, DH2, DH3 の 3 種類が用意されており、どんなプログラムソースにも使用することができる。

DH1 は残響音を抑えたデットな部屋(ミキシングルーム)をイメージした空間で、残響音が少ないため直接音の定位(仮想スピーカーの音源の定位)がしっかりシミュレートされる。

DH2 は DH1 と同等サイズの部屋で残響音を加味し、一般的なリスニングルームをイメージした空間で、通常の実家の部屋でスピーカーを再生して聞く場合に近く、最も自然なホームシアター環境がシミュレートされる。

DH3 は DH1 より広い部屋で、音源が遠くなると同時に残響音も増え、小規模の映画館をイメージした空間である。このモードでは、音の定位が甘くなる(特にサラウンドチャンネル)が、広がりのある空間が得られる。ただし実際の映画館でもサラウンドチャンネルは複数のスピーカーを使用しており、サラウンドチャンネルの定位がフロントチャンネルほど定まるものではなく、このモードが映画館で映画を鑑賞する感覚に最も近くシミュレートされる。

ドルビーヘッドホンを経験する初期の段階に

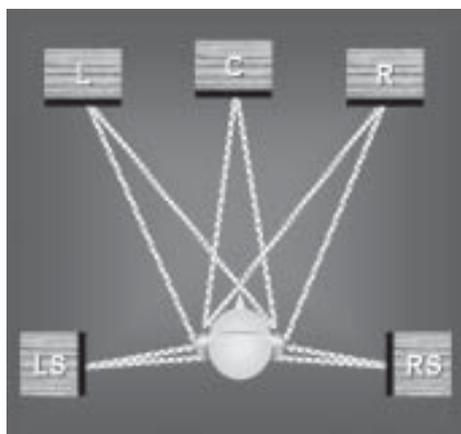


図 4 DH の仮想スピーカー

においては、視覚が影響するフロントチャンネル(Lch, Cch, Rch)は音の定位が前方というよりは、頭部(額)の斜め上方に位置するように聞こえる場合がある。これは HRTF(頭部伝達関数)の個人差、およびシミュレーションした部屋と、実際に聞いている部屋との違い(ディスプレイとの距離含む)から脳が矛盾を生じて、正しく前方定位できないためである。ただし、経験時間が増えるにつれ、脳の学習効果により、矛盾が解消されていく。また、ダミースピーカーを置くなどの視覚的刺激を与えると早い段階から前方定位を感じることができる。

それに対し、リアチャンネル(LSch, RSch)は普段から視野外にあるために、視覚の影響を受けなく聴覚のみで定位を感じているため、初期の段階から経験が少なくても正確な方向に定位を感じることができる。

## 5. システム概要

デジタルコードレスヘッドホンの一例として、SE-DIR800C のシステムブロックを図 5 に示す。

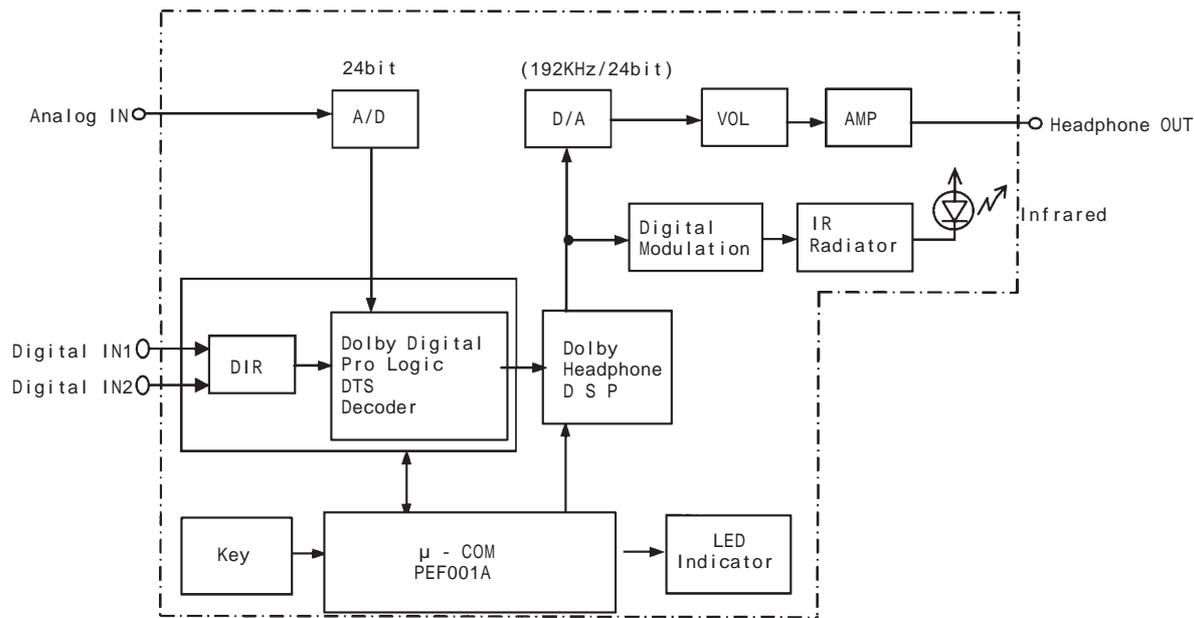
### 5.1 トランスミッター部

デジタルオーディオデータは、Digital IN1(光入力)または Digital IN2(同軸入力)から入力され、デジタルインターフェースレシーバー(DIR)を通じて、マルチチャンネルデコーダーに送られる。

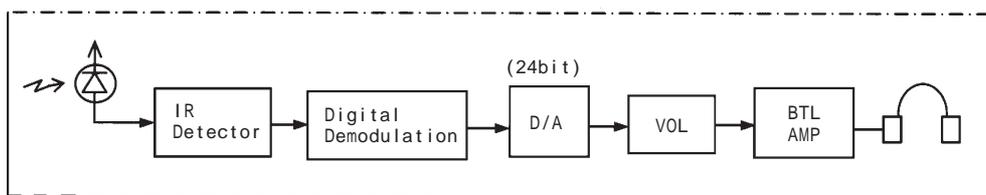
アナログオーディオ信号は、Analog IN から入力され、24bit A/D コンバーターによってデジタルデータに変換され、マルチチャンネルデコーダーに送られる。

マルチチャンネルデコーダーにおいて 5.1ch のオーディオデータに変換された後、ドルビーヘッドホン処理用の DSP によって 2ch のヘッドホンバーチャルオーディオデータに変換される。

2ch のオーディオデータは、デジタル変調(DQPSK 変調)された後、赤外線 LED から送信される。



(a) Transmitter



(b) headphone

図 5 SE-DIR800C ブロック

また、同時に 2ch のオーディオデータは、192KHz / 24bit D/A コンバーターによってアナログ信号に変換されたあと、ヘッドホンアンプを経てヘッドホン端子から出力される。

## 5.2 ヘッドホン部

フォトダイオードで赤外線を受信し、信号増幅された後デジタル復調処理を行う。

デジタル復調処理により、デジタルオーディオデータが生成され、24bit D/A コンバーターによりアナログ信号に変換されたあと、BTL ヘッドホンアンプを経てヘッドホンから再生される。

## 6. ヘッドホンバーチャル音場再生

### 6.1 音響心理的要因

今から 20 年程前になるが、ある地方のコン

サート会場において、著名なホルン奏者のリサイタルを聴いたときのことである。

そのとき、奏者の奏でる音があまりにも指向性のない音のため、目を瞑ってしまうと、ステージ上の音源(演奏者の位置)を見失ってしまう経験をした。

その経験から、音の定位感とか距離感について、意外と視覚が深く作用しているものだと感じたことがある。

ヘッドホンでマルチチャンネル音声再生時、自然な音場を再現するために、ヘッドホンバーチャル技術を用いて仮想的な音源(スピーカー)を創り出している。このとき、仮想的な音源をより強く錯覚させるためにダミーのスピーカー(音を出さないスピーカー)を置いて、視覚的情報を与えると、音の定位感が安定す

る。(特にヘッドホンバーチャルを経験した時間が少ない場合に有効) また、映画などの画像が伴う場合は、ディスプレイ(画面)のサイズ、距離が視覚的要素として大きく作用するために、再生音場の感じ方に深く作用する。

ヘッドホンバーチャル技術を用いたヘッドホンでのマルチチャンネル再生は、聴覚、視覚、錯覚が複雑に作用し、音響心理的要因と密接な関係にある。

## 6.2 ヘッドホン再生の優劣と問題点解決手段

ヘッドホン再生が通常のスピーカー再生に比べて優れているところは、

### 1. どこにいてもスイートスポット

スイートスポットとは最高のサウンドを堪能できる範囲のことで、通常の空間では人間ひとりに対しては十分な大きさはあるが、狭い範囲を指す。

スピーカー再生においては、リスナーが正確にセンター位置に座らない限り得られないが、ヘッドホン再生では部屋のどこで聞いても(コードが届く範囲において)両耳と両チャンネルのユニットスピーカーの位置が変わらないので、常にスイートスポット状態にある。さらにデジタルコードレスサラウンドヘッドホンではデジタル赤外線伝送方式であるため、コードの長さにエリアが限定されることはなく、広い空間でスイートスポットを実現できる。

### 2. 繊細で微妙な音が聞ける

音源である、ユニットスピーカーが耳元にあるために、スピーカー再生では気づけなかったサウンドエンジニアの意図した微妙な音のニュアンスを感じることができる。

### 3. 音に対する集中力が増す。

周囲と耳の間にヘッドホンが存在することによって、閉塞感が発生するのも確かであるが、音に集中しやすくなる。ま

た、ゲームなどに用いたときに、ゲームの世界にのめり込みやすくなり、没頭感が増す。

一方、ヘッドホン再生が通常のスピーカー再生に比べて劣るところは、

### 1. 頭に装着する煩わしさ

物理的に重量が発生し、装着の感触などスピーカー再生ではありえない感覚が発生するのは、マイナス要因にしかかり得ない。

### 2. 頭内定位

ヘッドホン再生においては、音像が頭の中に定位する、いわゆる頭内定位のため音場が狭く、不自然さは否めない。

### 3. 聞き疲れしやすい

音源が耳元にあることから、ダイレクトに音が届き、集中力が増す分、長時間の視聴は疲れる。上述の頭内定位も疲労の要因のひとつである。

デジタルコードレスサラウンドヘッドホンにおいてこれらの問題を解決するために下記の方策をとっている。

ヘッドホンの装着感向上のために、

1. ムレやベタ付きを防止するジャージ素材の快適イヤープッドを採用
2. 耳に優しく柔軟なフィット感、新開発デュアルスタビライズドハンガーを採用(SE-DIR1000C)
3. 軽量化を図り快適なフィット感を達成(SE-DIR800C)

頭内定位を解消し、聞き疲れしない自然な再生音場を実現するために、

1. ヘッドホンバーチャル技術としてドルビーヘッドホンを採用
2. ヘッドホンはオープンエア型を採用(SE-DIR1000C)

## 6.3 仮想と現実

デジタルコードレスサラウンドヘッドホンは、ドルビーヘッドホンによって自然な音場が得られる理想的スピーカー設置状態をシミュ

レーションし、音源が耳元から離れた仮想空間を演出している。しかしながら、現実としてヘッドホンである以上耳元に音源のユニットスピーカーがあり、そのため繊細な音、微妙な音を逃さず聞くことができるのも事実である。また、ヘッドホン再生において耳元で鳴っているヘッドホン自体の音質が最も再生音の品質に重要であることは、言うまでも無い。

ヘッドホンバーチャルで得られる音の定位は、HRTFの個人差やシミュレーションした部屋の条件と実際に聞いている部屋との違い(ディスプレイとの距離も含む)があり、音源の正確な定位はスピーカー再生ほど明確になることは決してない。

しかしながら、実際の家庭において理想的な空間(左右の反射条件が同じ、全チャンネル同じ特性のスピーカー、全チャンネル同じ高さのスピーカーセッティング、e t c .)でホームシアターを楽しむ環境は稀であり、むしろヘッドホンバーチャルの方がサウンドディレクターの意図した定位に近い音響効果が得られる場合もある。しかも、日本の住宅事情を鑑みると、近所迷惑になるので大きな音が出せない、部屋が狭くてマルチチャンネル再生装置の最適設定が難しいなどの事情があり、これはマルチチャンネル再生を楽しむ上でひとつの有効な選択肢になりうるものである。

なお、ドルビーデジタルEX作品やDTS-ES作品を5.1ホームシアターシステムで再生した場合、センターバックチャンネル(ファントムによるセンターバック再生)が正しく定位できるのはLSchおよびRSchの両サラウンドチャンネルからの距離が等しいスイートスポットのみであるが、デジタルコードレスサラウンドヘッドホンの再生においては、常にスイートスポットで聞けるために、センターバックチャンネルの音像は、後方にイメージさせられる

ヘッドホンにおけるマルチチャンネルバーチャル再生は、仮想と現実の技術が旨く融合されて、その真価を発揮している。

## 7. まとめと今後

ヘッドホンで5.1chを高音質、高臨場感で視聴可能にし、かつユーザーフレンドリーに優れたデジタルコードレスサラウンドヘッドホンを開発し、商品化した。これを実現するためにドルビーヘッドホンおよび2ch音声を5.1chに拡張再生するドルビープロロジックIIを搭載し、また非圧縮デジタル赤外線オーディオ伝送方式を採用した。

デジタル伝送方式のコードレスヘッドホンとしては、世界No.1およびNo.2の市場導入実績があり、ドルビーヘッドホン搭載のヘッドホンシステムとしても同じく世界No.1およびNo.2の市場導入実績(2004年6月現在)を得るなど、市場から高い評価を得ている。

SE-DIR800Cにおいては、軽量化を図るためにヘッドホンの小型化を行ない、重低音の確保のため、密閉式を採用したが、それによりオープン型とは違った(音像がやや遠く、狭く、低く感じられる)雰囲気を持つことになった。そのためミュージックソースにおいてはコンサートホールでのステージを見下ろす感覚で楽しめるものもあるし、また、家庭における小型から中型ディスプレイと一緒に使う場合、音の移動感覚と画像の移動感覚の違和感が少ないなどの効果も得られた。

デジタル通信方式には、赤外線を使う方法と電波を使う方法があるが、大きな違いは、壁などの障害物を通り抜けられないのが赤外線、通り抜けるのが電波である。

これは、赤外線では室内において他からの干渉を受けないというメリットになるが、移動範囲が閉ざされた空間(室内)に限られるというデメリットとなる。反対に電波では移動範囲が広く屋外でも使えるというメリットがあるが、電波干渉を受けて使えない場合があるというデメリットもある。

お互いのメリットを生かした製品の棲み分けが進むと思われるが、赤外線デジタルオーディオ伝送技術は、まだ規格化されてまもなく、今

後世界中に広めたいと考えている。

## 8. 謝辞

本商品開発に当たり、ドルビーラボラトリーズ社、ソニー(株)並びに三洋電機(株)の関係各位に多大なるご協力をいただきました。この紙面をお借りして厚くお礼申し上げます。

また、製品化に当り、8年前にAV開発センター応用システム開発部とのデジタル赤外線伝送に関する共同研究が非常に役立ちました。当時の関係者に感謝すると共に、助言やテストを行って頂いた所沢工場AV開発部に感謝します。

## 参 考 文 献

- (1) 佐藤：～仮想と現実～ SE-DIR1000Cの音場再生について、JASJournal, Vol.42, No.8, 2002年

## 筆 者

佐藤 光一(さとう こういち)

所属：東北パイオニア(株) スピーカー事業部 統轄技術部 第二設計部

入社年月：1985年4月

主な経歴：カーステレオ，ソーラーラジオ，情報通信機器などの設計を経て，ワイヤレスレシーバー，赤外線コードレスマイクロフォンシステム，音声認識マイクロフォンなどAVアクセサリ商品開発に従事