2. レコード録音現場への PCM 録音技術の導入

日本コロムビア株式会社 穴 澤 健 明

1. ま え が き

PCM 録音技術をレコード録音現場に導入しようとする試みがなされてから、すでに8年余を経過し、記録段階に限ることなく録音時の周辺装置の分野にまで目をひろげれば、遅延装置等のデジタル音響機器が導入されてから、およそ10年を経ている。

レコード録音や放送録音の現場では、この10年前という時期に高忠実度録音の達成という観点から、制作製造過程の見直し作業が積極的に行われ、種々の問題点が洗い出された。なかでも通常の直接記録方式磁気録音機での入出力の音質の差異については、放送録音およびレコード録音双方の現場で注目を集め、NHK 技術研究所で PCM 録音機¹⁾の開発が進められる一方、レコード録音の現場では従来の録音機を省略して調整卓の出力信号からそのままレコード盤上の溝を切削する、ダイレクトカッティング (Direct to disc) 方式の録音等の試みが行われ、その音質改善効果の大きさが広く認識されるに至った。ただし、このダイレクトカッティング方式では、従来の録音機のもつ編集や多トラック録音、再カッティング等の可能性が犠牲にされ、音質改善が認められたものの、プログラム制作上の制約が大きすぎ、一般化されるには至らなかった。

以上の結果から、ダイレクトカッティング方式なみの音質を有し、あわせて編集や多トラック録音、再々生等の機能を有する録音機の実用化が望まれるに至り、ジッターのない再生が可能である PCM 録音機の実用化が強く望まれるようになってきた。

その後、昭和47年になってレコード録音用 PCM 録音装置²⁾が実用化されるに及び、所期の目的はほぼ達成され、以後の LP レコード300枚分にも及ぶ現場作業から PCM 録音の導入によって生じた問題点が明確にされてきている。これらの問題点は、主として記録機の入力信号そのものの精度不足から生じてきているので、記録精度の改善された現在ではそれ以外の段階での精度向

上を目的として多くの開発がなされている。

一方、PCM 録音という記録機そのものの改善と並行して、記録信号の精度向上を目的として各種のデジタル音響効果装置の開発が進められてきているが、双方が一致して成果をあげる兆しが見えてきている。

以下、本文ではレコードの制作製造過程を紹介するとともに、レコードマスター用 PCM 録音装置に必要とされる仕様および性能について言及し、実際に得られている性能、PCM 録音の導入によって生じた問題点、そしてそれらを解決する周辺装置の開発等について述べる。

2. レコードの制作製造過程

レコード録音現場で PCM 録音が何故必要であり、PCM 録音をどのように導入し活用させてゆくかについて考えるにあたっては、まずレコードの制作製造過程を知り、その現況を把握することが必要となる。

スタジオやホール、教会等での音楽演奏の收音から、音声調整卓による調整、録音機による録音、そして再生およびカッティング装置による溝の切削、その後のメッキ工程、プレス工程までのレコードの制作製造過程を図示すると図1のようになる。なお参考のため、放送における送出、ミュージックテープの製造工程についてもあわせて図1に示しておく。

以下、PCM 録音の導入にあたって重要と思われる点について説明を加える。

2.1 收音と調整卓

收音法には大別して、電気吹込み時代から行われてきている少数 (通常2本) のマイクロフォンを用いたワンポイントマイク收音と、LP 時代から行われ出した各楽器に近接してマイクロフォンを配置し、全体として多数のマイクロフォンを使用するマルチマイク收音の2種がある。現在では、前者は主としてクラシック音楽や邦楽等の古典音楽の録音時に使用され、ホールや教会等の録音音場内のある点またはその近傍でプログラムに対して最適の効果が得られている場合に最も有効な方法である。そのため、この方法で收音するにあたっては、物理特性の優れた忠実度の高いマイクロフォンと、演奏者とプログラムに適した録音会場の選択が必要とされる反

¹ "Introducing PCM Recording Technique to the Sound Recording Fields for Disc Records" by Takeaki Anazawa (Recording Dept. of Nippon Columbia Co., Tokyo)

図1 レコードの制作製造過程

面、増幅器だけの単純な調整卓ですみ、録音音場内の空間的情報も比較的正確に収音することが可能である。

一方、大編成オーケストラ曲や協奏曲等のように録音音場内のある点で最適の効果を得ることが難しいプログラムや、ポピュラー音楽や歌謡曲等のように初めから録音音場内での効果を期待せず、調整卓出力において最大の効果を得ようとするプログラムについては、多数のマイクを使用したマルチマイク収音が行われている。この方法では、調整卓での調整を容易にするために各マイクは目的の楽器音のみを収音するよう心がけなくてはならない。また、マイクの本数が10本以上、多いときには30本にもなるために、調整卓の規模も大きくなり、各マイクラインの高質調整や、残響付加、音像定位等の機能をもつ調整卓が必要とされる。

2.2 マルチトラック録音とミックスダウン

前項で述べた収音段階のマルチ化(マルチマイク収音)から、現在では多トラック録音機を用いたマルチトラック録音が一般化している。このマルチトラック録音では、収音時に各楽器群について調整を行ったうえで録音機の各トラックを割り当てて録音を行うが、特定楽器群の録音をまず行い、そのトラックを再生しながら、それに合わせて次の楽器群の演奏を行って、空いているトラックへの録音を行う同期録音も一般化してきている。また、トラック数については、現在16が最も一般化しており、場合によっては8または24も使用されている。

収音の終了後、作曲者、編曲者、制作担当者等が集まって、多数トラックに分けて録音されたプログラムを再生し、調整卓を用いて調整を行ったうえで2トラック等の目的のプログラムを作成する、ミックスダウン(Mix down)作業が行われる。このミックスダウン作業は、十分な時間をかけて繰り返し検討を重ねつつ行われ、複雑

多様な調整の必要とされる現代のポピュラー音楽の録音では、とりわけ重要な意味をもっている。そのため、調整卓もイコライザー、リミッター、遅延装置、残響付加装置、ジェットマシン等、各種の音質調整および効果付加装置を備えた複雑なものとなり、より効果的な調整を可能にするためにコンピューターによる制御機能を備えた調整卓も多数開発されてきている。

2.3 編集

ワンポイント収音によって録音されたり、マルチマイク収音、マルチトラック録音、ミックスダウンを経て録音された2トラック(場合によって4トラック)テープは、必要部分のみを集め、順序通りの配列を行う編集作業を経て、マスターテープとして仕上げられる。

この編集作業については、ポピュラー音楽等のプログラムでは不必要録音分の除去および指定された順序通りの配列という単純な作業しか発生しないが、クラシック音楽等のプログラムでは事情が一変し、曲中での編集箇所がLP1枚分(50分程度)で、30から150カ所以上にものぼり、プログラム作成上の重要な項目となっている。なお、この編集箇所数は内外の一流演奏家を起用した場合である。

2.4 ディスクカッティング

編集作業を経て完成したマスターテープは、ディスクカッティング用再生機によって再生され、ディスクカッティング装置によってラッカー盤上に溝が切削される。

よく知られているように、現在のレコードでは左右のステレオ信号を盤面に対して45°-45°方向に記録し、溝の横および縦方向の振幅の大小に伴って、溝の平均的なピッチおよび深さを変化させる「ヴァリアブルピッチおよびデプス記録」が行われ、ステレオ信号の長時間記録が可能となっている。このヴァリアブルピッチおよびデプス記録を行うためには、記録信号(主信号)のおよそ

2. レコード録音現場への PCM 録音技術の導入

表 1 レコードマスター用 PCM 録音装置に要求される仕様および性能

要求される仕様および性能	実現された性能例
(I)可能な限りの低ひずみと、大きなダイナミックレンジ	ひずみ率 動作レベル時 0.05%以下 ダイナミックレンジ 89dB 以上
(II)可聴帯域を満足する伝送帯域	DC~19 kHz (± 0.2 dB)
(III)伝送チャンネルを可能な限り多くする	8/4/2 チャンネル (選択可能)
(IV)符号誤りを低くおさえ、符号誤りが生じた時にも、異常音を生じないように、対策を充分に行うこと	1 ビット当りの誤り率 5×10^{-9}
(V)編集が可能であること (音の頭出しが可能で ± 10 ms 程度の精度で編集可能であること)	可能 (編集精度 ± 2 ms 以下)
(VI)ディスクカッティング時のヴァリアブルピッチおよびデプス信号が得られること (2 チャンネルの音声信号を主信号の約 1 秒前に必要とする)	可能
(VII)ディスクカッティング時の特性向上のため、ハーフスピード再生が可能であること	可能
(VIII)高品質のコピーが可能であること	可能 (データコピーが可能)
(IX)同期録音が可能であること	可能 (記録機 2 台による)

ピーと同期録音について項を改めて説明を加える。

3.2 コピーと同期録音

PCM 録音されたプログラムのコピーを行う際には、アナログ信号段階でのコピー (音声コピー)、伝送波形段階でのコピー (伝送波形コピー)、ジッターの吸収や波形の整形と、データ誤りを検出し訂正や補間を行ったデータの段階でのコピー (データコピー) の 3 種の方法が考えられる (図 2)。

この 3 種の方法のうち、音声コピーでは、コピーのたびに AD 変換器で生じる量子化雑音はもちろんのこと、録音装置内で生じる雑音が増加してゆくことになる。一方、伝送波形コピーでは、コピーのたびに伝送波形のジッターや波形ひずみが増加し、データ誤りが急激に増大してゆくと考えられる。これに対し、データコピーでは、データ誤りの少ない記録媒体を使用しさえすれば前二者での欠点が生じていないので、最良の方法と考えられる。

伝送波形コピー法とデータコピー法での、コピー回数とデータ誤り率との関係を測定した例があるので、図 3 に示す。

次に、ポピュラー音楽等の録音で必要とされる同期録音については、固定ヘッド式の記録機を用いた PCM 録音機で、各音声チャンネルのデータが、それぞれの音声チャンネル毎に分離して専用のトラックを割当てられたうえで記録される場合には、通常の録音機と同様、あら

半周前 (約 1 秒前) にピッチおよびデプスの制御用信号 “アドヴァンスド信号” を得る必要があり、ディスクカッティング用再生機には、この信号を得るために再生ヘッドが追加されている。

また、プログラムによっては、高域周波数成分でより安定に、しかも速度振幅の高い溝のカッティングを可能にするために、再生機のテープ走行速度とカッティング装置のターンテーブルの回転数を、同時に正規の値の 1/2 にしてカッティング作業を行うハーフスピードカッティングも行われている。

3. PCM 録音の導入

PCM 録音を導入するには、まずレコードの制作製造過程 (図 1) 中、マルチトラック録音時のマルチトラック録音再生機と、ミックスダウン時または通常録音時に使用される録音再生機、そしてカッティング時に使用される再生機が、すべて PCM 録音再生機に置き換えられなければならない。また、PCM 録音再生機自体も、電気的特性がすぐれているというだけでなく、通常録音機との置き換えが可能となるような仕様を満足するものでなければならない。

3.1 要求される仕様および性能

レコードの制作製造過程に導入することのできるレコードマスター用 PCM 録音装置では、前節の内容から当然、表 1 に示すような仕様および性能が満足されていなければならない。なお表 1 には昭和 47 年 4 月よりレコード録音現場に本格的に投入され、その後改善され現在に至っているディスクレコードマスター用 PCM 録音装置⁹⁾ (日本コロムビア DN-034 R) で実現された仕様および性能を参考のため併記しておく。

要求される仕様および性能 (表 1) 中、(I) のダイナミックレンジ、(II) の周波数特性と (IV) の符号誤りの問題は、音質改善を行うにあたって要求される基本的な性能であるが、(VI) のアドヴァンス信号再生と (VII) のハーフスピード再生は、レコードマスター用のみ必要とされる仕様である。また、(V) の編集については、前述のように特にクラシック音楽の録音では制作上不可欠な事柄となっている。一方、(III) のマルチ化と (IX) の同期録音については、マルチトラック録音が一般化しているポピュラー音楽の分野で広く各種のプログラムソースにわたって PCM 録音を導入するには不可欠な仕様および性能である。(VIII) のコピーについては、PCM 録音方式の利点を生かした方式を採用すれば、従来考えられなかったような高品質のコピーが可能となるので重要である。

以下に、重要でありながら論じられることの少ないコ

はじめ録音を行った音声チャンネルを聴きながら演奏を行って他のチャンネルの録音を行う同期録音が可能である。一方、固定ヘッド式でも、上記の条件にあてはまらないものや、回転ヘッド式の記録機を使用している PCM 録音機では、1 台の記録機で同期録音を実現させることは困難である。しかしながら図 4 に示すように、データコピー法を採用すれば、コピーによる音質の劣化がほとんどないため、記録・再生機が 2 台（各 1 台）必要とされるという欠点があるものの、高品質の同期録音を実現することができる。

ただし、いずれの方法でも、PCM 録音機の入出力間の遅延時間が長い場合には、同期録音は実現されないことを付け加えておく。

3.3 レコードマスター用 PCM 録音装置の一例

4 ヘッドローバンド VTR を記録機として使用し、表 1 の仕様および性能を満足させるために開発された PCM 録音装置³⁾（日本コロムビア DN-034 R）を、レコードマスター用 PCM 録音装置の一例として写真 1 に示しておく。また、本装置の系統図を図 5 に、構成と方式を表 2 に示し、仕様および性能については、そのあらましをすでに表 1 に示してある。

本装置では、楽音のスペクトル分布から求めた高域増強のエンファシス特性を記録時に付加しているために、14 ビット直線符号化を行っていないが、音楽信号に対し約 90 dB のダイナミックレンジを得ることができること、手切り編集が可能であること、2 台の記録機を使用することにより、スイッチの選択のみで高品質コピーや同期録音が可能であること等がなかでも特色としてあげられる。

3.4 導入によって生じた問題点

PCM 録音の導入によりジッターや変調雑音のほとんどない、より忠実度の高い録音が可能となり、一般に良い結果が得られているが、問題がないわけではない。

各楽器に近接してマイクロフォンを配置するマルチマイク収音が一般化しているポピュラー音楽の録音では、PCM 録音を導入すると、楽器の近くで収音した音がそのまま再生され、音楽的バランスに欠けるという意見⁴⁾が出されているのも、そのひとつの例といえる。従来の録音機のもつ効果を考えて開発された収音法や調整法では、PCM 録音を導入しても、その効果を発揮するとは限らず、より精度の高い収音法や調整法の確立が望まれている。

また編集についても、編集ができるというだけでなく、編集点での音声波形のつながりを良くする装置の開発が

(i) 音声コピー

(ii) 伝送波形コピー

(iii) データコピー

図 2 各種のコピー法

図 3 コピー方法によるコピー回数と誤り率の関係

図 4 同期録音の実現

写真 1 レコードマスター用 PCM 録音装置の一例
（日本コロムビア DN-034 R の外観）

望まれている。

図5 レコードマスター用 PCM 録音装置 (日本コロムビア DN-034 R) の系統図

表2 レコードマスター用 PCM 録音装置 (日本コロムビア DN-034 R) の構成と方式

構成(I)	PCM 変換器
(II)	磁気テープ装置 (4ヘッドローバンド VTR)
(III)	音声・映像・波形モニター
方式(I)	変調方式: パルス符号変調
(II)	PCM 符号構成: 14ビット折り返し2進符号 (直線符号化)
(III)	伝送クロック周波数: 7.1825 MHz
(IV)	音声標本化周波数: 47.25 kHz
(V)	伝送波形: 標準 TV 信号 (垂直同期信号含まず)
(VI)	音声チャンネル数: 8/4/2 切替え
(VII)	テープ速度: 38.1 cm/sec
(VIII)	使用テープ: 2インチ幅ビデオテープ

4. 周辺装置の導入

PCM 録音の導入により録音機そのものの精度は向上したが、より効果を発揮させるためには、收音や調整、編集等の各段階においても精度が向上されなければならない。そのような観点から、最近になってデジタル技術を生かした周辺装置の開発が行われるようになり、すでにいくつかの成果が示されている。

4.1 編集補正装置

通常のテープ (6 mm 幅) で編集を行う場合には、約 45° の角度でテープを切ったうえで必要箇所をつないでいる。この方法には、テープを切ってつなぐだけでなく、垂直に切った場合に生じる波形の不連続を平坦化するという効果が含まれている。このため、編集点を正確に見つけ出すことさえできれば、この方法でもほとんどのプログラムで良好な結果が得られている。

一方、PCM 録音されたテープの編集では、通常のテープのようにテープの切り方によって波形の不連続を平坦化することは困難であるため、何らかの信号処理を行

図6 編集補正装置の系統図と動作原理

って出力する必要が生じてくる。図6に日本コロムビアで製作した編集補正装置の系統図と動作原理を示しておく。この装置は、スプライス編集されたテープの編集補正を行うもので、まずメモリーでデータを遅延させ、編集点が検出される毎に編集点で生じた誤りのあるデータをすて、編集点後のデータのみの遅延を短くして取り出し、乗算器によって前後のデータのクロスフェードを行い、編集点で生じた波形の不連続を平坦化した出力信号を得ている。

また、再生機を2台以上、記録機を1台そろえたうえ

でこの装置を用いれば、自動編集も可能である。

このような編集補正装置は、ハードウェアが複雑になるという欠点があるが、クロスフェードの傾斜や、ずてるデータの量を自由に選べるだけでなく、チャンネル間遅延のない編集を行うことができるという利点を有している。

4.2 デジタル調整卓

マルチトラック録音されたプログラムから2トラックテープを作製するミックスダウン作業は、ポピュラー音楽の録音において最も重要な作業であるが、現在この作業には通常のアナログ調整卓が使用され、各チャンネルのレベル、左右チャンネルのレベル配分（パンポット）等の調整の他、イコライザー、人工残響付加装置等を用いて目的とするプログラムを制作している。

一方、PCM 録音において、ミックスダウン時に通常の調整卓を使用すれば量子化雑音が増加し、精度や効果も不足するためデジタル調整卓の導入が課題となっている。デジタル乗除算器、加算器、および遅延素子を用いて、現在通常の調整卓で行っている各種調整および効果の付加を行うことのできるデジタル調整卓を実現することができ、特に遅延やたたみ込みを自由に行うことができるという利点を有するため、従来の調整卓では得ることのできなかった前後感等の空間的な効果を付加することが可能である。このようなデジタル調整卓の開発に際して、高速の乗除算器が必要とされるが、最近になって高速フーリエ変換等を目的とした高速乗除算器が開発されてきているので、デジタル調整卓の開発も

容易になってきている。

5. む す び

レコード録音現場に PCM 録音を導入することによって、記録精度そのものを格段に向上させることができたが、演奏までも含めた、収音音場、収音法、マイクロフォン等の収音条件や、調整卓の精度、マルチトラック録音や編集の可能性等、種々の条件が満足されないかぎり、かえって粗が目立つことになり、品質の良いプログラムの制作を行うことができない。これらの条件は、たとえレコードが将来ビデオディスク等の媒体を用いた PCM ディスク（デジタルディスク）となっても、同様に満足されなければならない。

したがって、PCM 録音機の性能向上もさることながら、今後、録音系の他の部分での精度の向上が重要となり、周辺装置も本格的なデジタル調整卓や高性能デジタル残響付加装置等の導入により、いっそう充実させてゆく必要がある。

(昭和53年8月29日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 林 謙二：PCM 磁気録音機，テレビ誌，**25**，2 (1971)
- 2) T. Anazawa, et al: Pulse-Code Modulation Recording System, JAES, **21**，7 (1973)
- 3) T. Anazawa, et al: Improved PCM Recording System, AES 56th Convention-Paris (1977), No.1206 (F-8)
- 4) 穴澤健明：PCM 録音のミキシング，放送技術，**11** (1978)