「テープ録音機物語」

その 66　ドルビー ノイズリダクション

阿部 美春（あべ よしはる）

1　はじめに

オーディオノイズリダクション技術について、本物語「その 64 カセット(2)」(540) で簡単に述べた。

本稿では、ノイズリダクション技術に大きな貢献を果たしたドルビー研究所の功績、貢献について詳しく記しておく。

ドルビーの音声ノイズリダクション技術は、1966 年に最初の実用システム A301 が開発されてからこれまで、業務用、民生用に限らず、テープレコーダー、カセットレコーダー、ビデオレコーダー、そして映画の領域にまで、幅広くかつノイズリダクションの主流として用いられてきた。

本物語でも、ドルビーのノイズリダクション技術についてふれておきたい。本稿では、はじめに、ドルビー博士及びドルビー研究所の足跡、功績を示す。その後、ドルビーノイズリダクション技術の動作原理、諸特性例を示す。

本稿は、参考文献 (534), (535), (536), (537), (538) をもとに、抄録としてまとめ直した。

2　ドルビー博士

ドルビー研究所の創設者であるドルビー博士（Dr. Ray M. Dolby）の略歴にふれておく (534)。

ドルビー博士は、1933 年に米国オレゴン州ポートランドで生まれ、カリフォルニアで育った。

技術者としてのスタートは、1949 年、彼がティーンエイジャーのときの Ampex でのオーディオテープレコーダー設計のパートタイムであった。その後、学生時代、Ampex の創設者であるアレクサンダー・ポニアトフ（Alexander M. Poniatoff）氏やビデオテープの開発者であるチャールズ・ギンズバーグ (Charlie Ginsburg) 氏のもとでビデオテープレコーダーの初期の開発に関わっており、1956 年に発表された世界初のビデオテープレコーダー(VRX-1000) 開発にキーメンバーとして携わっている (**写真 66-01**)。

(写真 66-01)　左から 3 人目が若き日のドルビー博士 (1956 年、Ampex のビデオテープレコーダー開発エンジニアと共に)

ドルビー博士は、スタンフォード大学で学位取得後、マーシャル奨学金及び米国公立科学財団の大学院生フェローシップを受け、1961 年ケンブリッジ大学で物理博士号を取得した。同大ペンブルックカレッジのフェロー（1983 年に名誉フェロー）に選ばれた。

ケンブリッジ大学での最後の年には、英国原子力公社のコンサルタントも務めていた。

これらの若き日の経歴から、ドルビー博士は、技術的に幅広いバックグランドをもっていたことがうかがえる。

その後、ドルビー博士は、インドでの国連アドバイザに任命され、2 年の任期を終えた後、1965 年に英国に戻り、ロンドンにドルビー研究所を設立する (**写真 66-02**)。その年、彼は、ドルビーサウンドシステムの米国特許を 1969 年に取得した。その後、1976 年にサンフランシスコに移る (**写真 66-03**) 。

50 を超える米国特許を保有し、ビデオテープ録音、長波長 X 線解析、ノイズリダクションに関する論文を執筆している。

(写真 66-02)　ロンドン時代のドルビー研究所

(写真 66-03) サンフランシスコ時代のドルビー研究所本社

3　ドルビー研究所の足跡 (535)

3.1　Dolby A-Type

ドルビー研究所の開発は、Dolby A-Type ノイズリダクションからはじまる。このシステムは、入力信号レベルが低い場合に適用される。レベルの高い場合は、信号処理されずにそのまま出力する。入力信号レベルが低い場合、20Hz～20kHz を 4 分割して、各帯域で圧縮・伸張を行う。このことにより、約 10～15dB の S/N の改善が得られる。その動作原理詳細は次節で説明する。

ドルビー研究所が開発した最初の製品が、Dolby A-type ノイズリダクション 1 チャンネルをもつ A301 である (**写真 66-04**)。この製品は、業務用として、主としてレコード会社へ売り込んだ。1960 年後半から 1970 年の初頭に登場したマルチトラック録音（**写真 66-05**）は、Dolby A-Type の独壇場であった。この A-type ノイズリダクション技術を使わなければ、狭いトラック幅と繰り返しのミックスダウンにより発生するヒスは許容できるレベルにはなかったからである。

(写真 66-04)　A301

(写真 66-05)　マルチチャンネルレコーダーシステム
16 チャンネルまで拡張可能な M シリーズ

3.2　Dolby B-Type

ドルビー博士は、ヘンリークロス（Henry Kloss）氏の強い勧めでノイズリダクション技術の民生バージョンの開発に着手した。クロス氏は、当時、ホームハイファイ装置のメーカーである KLH Research & Development Corp.の社長であり、米国オーディオのパイオニアであり、今でいう起業家であった。

そして、1968 年、Dolby　B-Type ノイズリダクションが開発された。A-Type 同様、B-Type は低レベルの信号にだけ適用される。信号を固定の複数の帯域に分割するかわりに、B-Type は、帯域スライディング方式を採用した。この方式は、従来の A-Type の特性に加えて、より高周波のヒスノイズのノイズリダクションの効果を高めている。民生用テープの記録速度ではこの領域のノイズが支配的になるからである。

B-Type は、A-Type と同様に、圧縮伸張が対となる対称的なシステムである。つまり、再生時に、録

音時の信号処理（エンコード）と逆な処理（デコード）が必要となる。民生市場では、そのデコード部を家庭用の製品に組み込む必要があった。ドルビー研究所は業務用製品の製造に注力し、民生向けは技術ライセンスを供与する方式をとった。このドルビー博士の決断が、Dolby-B の普及を後押ししたといえる。

最初の民生用製品は、1968 年に発売された KLH 製のオープンリールレコーダであった(**写真 66-06**)。オープンリール方式であったため、民生用には十分普及していかなかった。

(写真 66-06)　KLH　Model40

Dolby 博士達は、カートリッジテープフォーマットの検討に着手した。そして、シャツのポケットに入るだけのサイズの、2 つのリールをカートリッジ内におさめたコンパクトカセットが最もポテンシャルが高いという結論に達した。コンパクトカセットは、Philips がボイスレコーディングシステムとして、当時すでに 2,3 年早く先行していたが、高音質といえるものではなかった。

当時、1/8 インチの狭いテープ幅、1-7/8 インチ/秒の低速な記録速度のために、カセットの音質は、1)速度の安定性、2)周波数応答、3)バックグラウンドヒス、これら 3 つの点が課題であった。

1)と 2)の制約は、テープドライブメカ、ヘッド、テープ方式の改善により、改良の見込みがあり、克服できそうであった。しかし、3)のヒス問題は克服の難しいハードルとして残っていた。しかしながら、Dolby-B ノイズリダクションがこの問題を解決した。

ドルビー研究所は、入手しやすいカセットデッキに Dolby-B システムを組み込み、当時の高音質の LP レコードに匹敵するカセットレコーディングをデモしたのである。ドルビー研究所は、Dolby-B ノイズリダクションを組み込んだ Philips 式カセットのポテンシャルを信じ、世界中のテープレコーダメーカーに Dolby-B をライセンスした。

1970 年夏、Dolby-B ノイズリダクションを搭載した最初のカセットレコーダーが Advent、Fisher、Harman Kardon から発売された（**写真 66-07**）。これらは、独占 OEM メーカーである日本のナカミチによって製造されたものである。

(写真 66-07)　Harman-Kardon CAD-5 (1970)

このライセンシーのコンセプトは受け入れられ、1970 年の終わりまでに、さらに 4 つのメーカーによってライセンスされた。

日本国内においては、TEAC が最初に Dolby-B を搭載したカセットデッキ A-350（図 63-11(d), [539]）を開発した。

写真 66-08 は、当時 TEAC の開発課長であった山本（研）氏（故人）、大間知氏（後にティアックエソテリック社長）が米国でドルビーから入手した試作器である。

この頃、ドルビー博士は TEAC との契約のため来日、筆者が 2 日間お供した。1 日目は、TEAC での打ち合わせと契約、その夜は吉祥寺の料亭でドルビー夫人も一緒に夕食をとった。料亭の畳の間に、感激していたのを記憶している。2 日目は、昼食のあと、NHK 放送会館を案内した。昼食は、原宿でドルビー博士の希望でとんかつを賞味したことを覚えている。

(写真 66-08)　B-Type 試作器

1971 年に、ドルビー研究所とシグネティックス (Signetics) 社が Dolby-B Type の主要回路を含んだ集積回路の開発を進めた（**写真 66-09**）。集積回路技術の発展により、ドルビー技術のインプリメントはよりローコストに簡単になった。結果、ドルビー技術が使われる製品領域は大幅に拡大した。

（写真 66-09）シグネティクスの B タイプ IC（1973 年）

1970 年、ドルビー研究所は、市販の音楽カセットを Dolby B-Type で信号処理を行うことを推進した。英国の Decca 及び米国の Ampex 製のステレオテープを使っていくつかのレコード会社でリスニングテストが行なわれた。結果、Dolby B 信号処理を行ったテープは、ノイズリダクション機能のないプレーヤーで再生されたときでさえ、Dolby B 信号処理されていないテープよりむしろ音質がよいという結果を得た。実際には、B-Type でエンコードされたサウンドをデコードなしに聞くと、高域が強調された、よりブライトなサウンドになる。

1970 年末には、Dolby B 信号処理されたテープが発売された。Dolby B 信号処理されたテープ、されていないテープ両方が同時に発売されることもなかった。数年後には、すべてのテープが Dolby-B 信号処理され、現在に至っている。

3.3　Dolby C-Type , SR, 及び S

Dolby C-Type は、1981 年に市場に導入された。Dolby B-Type は高域のノイズリダクション効果を実現していたが、C-Type は更に中音域のノイズリダクション効果を実現している。また、過大レベルの信号が入力されたときに磁気飽和を防ぐためのアンチサチレーション (Anti-Saturation) を行っており、歪特性の改善がされている。C-Type は、B-Type と互換性がなく、C-Type で記録したテープを B-Type で再生した場合、高域がこもった再生音になってしまう。また、逆に B-Type で録音したテープを C-Type で再生すると、高域が目立つ再生音になってしまう。C-Type は中～高級機への普及にとどまった。

Spectral Recording 方式（次節で詳細を説明）を使った SR-Type は、1986 年に業務用途として導入された。A-Type の帯域固定方式、B-Type の帯域スライディング方式を組合せることで、業務用のアナログレコーダーの性能を高めた。当時は、ディジタルレコーダーは存在していたがコストの壁にぶつかっていたことで、SR-Type は、録音スタジオ、映画サウンドトラックなど市場から歓迎された。

1990 年には、SR-Type を民生用に設計し直した S-Type が導入された。低音域でもノイズリダクション効果あり、原理的にバンピングが発生しない。B-Type と聴感的な互換性があり、S タイプで録音したテープが B-Type でもさほど違和感なく再生できる。S-Type は民生用ディジタル機器の登場により、普及には至らなかった。

3.4　他アプリケーションへの展開

1960 年代以降、Dolby Type-B の開発の進行と並行して、ドルビーのノイズリダクション技術は映画応用 (ドルビーステレオ)、 ホーム AV (ドルビーサラウンド)、そしてディジタル技術へと他アプリケーションへ展開、進化していく。これら展開については、本物語の範囲を超えるものなので割愛する。

4　ドルビーノイズリダクション技術

4.1　基本原理 (536)

ドルビーのノイズリダクションは、Type に共通して、“Least Treatment” と呼ばれる思想のもと開発されてきた。Least Treatment とは、レベルの高い信号は何もしない、レベルの低い信号に信号処理を行うことを意味する。

Least Treatment 思想に基づくドルビーノイズリダクション方式は、2 ステップの処理をもっている（図 66-01）。

<Step-1>　オーディオ信号が記録されるとき、信号がテープに入力される前に前処理 (エンコード) が行われる。エンコードの目的は、レベルの低い信号または高周波信号をテープのノイズレベルに比べ十分に高いレベルに前もって増幅しておくことである。

<Step-2>　テープを再生するとき、そのオーディオ信号は Step-1 のエンコードの逆処理 (デコード) を忠実に行う。すなわち、高いレベルの信号はそのまま何の処理もされず再生される。レベルの低い信号または高周波信号は、源信号のレベルに戻す。

4.2　A-Type (537)

写真 66-04 に示す A301 をベースに、A-Type のより詳細を示す。

図 66-01 にドルビーノイズリダクションシステムの基本原理を示し、図 66-02 (1)及び(2)に基本ブロック図を示す。

図 66-02 (1)の上図はエンコード部(記録)を示しており、下図はデコード部（再生）を示している。

図 66-02 (1)内の差分回路の詳細ブロック構成を示したものが、図 66-02 (2)である。図内の端子 A、端子 B が図 66-02 (1)の A,B に対応する。

エンコード時において、入力される源信号のレベルが低いときは、内部の自動利得制御動作により差分回路の出力レベルは高くなり、加算器によりエンコード出力は高くなる。一方、源信号のレベルが高いときは、差分回路の出力レベルは低くなるため、源信号に比較して十分に小さく、高い入力レベルの信号はほぼ利得 1 で出力される。再生時には逆の処理を行い、源信号を再現する。

差分回路は、図 66-02 (2)に示すように、4 帯域分割フィルタ、コンプレッサー（Linear Limiter に相当する。Non-Linear Limiter については後述する）からなる。

どの帯域においても入力される信号レベルが低い場合、コンプレッサー出力レベルは、相当する帯域成分の入力レベルに比較して大きくなる。信号レベルが高い場合は、コンプレッサー出力レベルは、相当する帯域成分の入力レベルに比較して小さくなる。理想的なノイズリダクション特性のためには、エンコード部とデコード部の差分回路が完全に同一であることが求められる。

図 66-03 a, b にエンコード部 (図では Compression) とデコード部 (Expansion) の入出力伝送特性をそれぞれ示す。入力信号に図 66-03 c の差分回路特性が加算されたとき、図 66-03 a の特性が得られる。低い入力レベルでは入力信号は増幅され、高い入力レベルではほとんど入力レベルに重なっている。図 66-03 b に示すように、再生時には、差分回路の特性が減算されることによりエンコード部の特性と逆の特性が得られる。

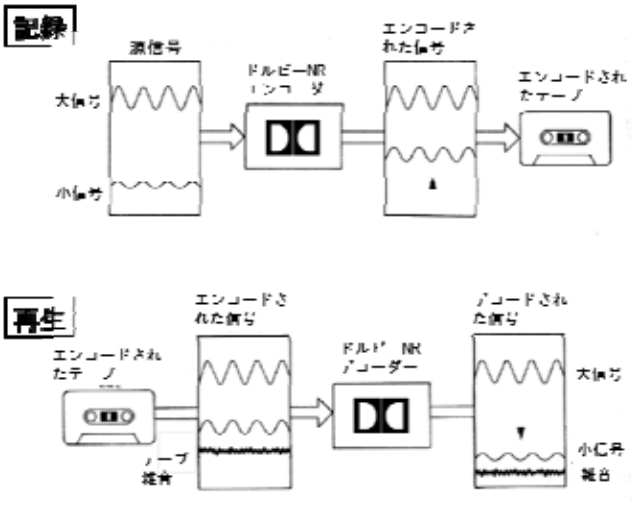
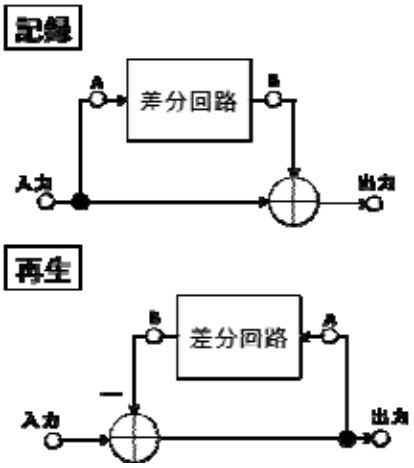
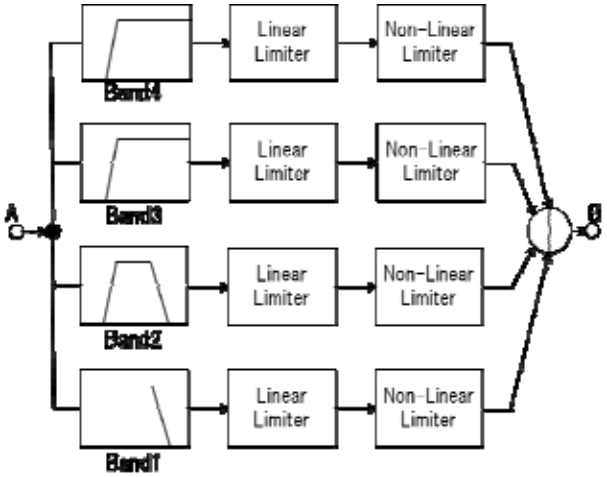


図 66-01 ドルビーノイズリダクションシステムの基本原理（Least Treatment とよぶ）



(1) エンコード部とデコード部の構成



(2) (1)の差分回路)の構成

図 66-02 ドルビーノイズリダクションシステムの基本構成

図 66-02 (2)の 4 つの帯域分割仕様は以下となる。

(Band 番号 カットオフ周波数 フィルタ形式)

Band 1:	80Hz	Low Pass
Band 2:	80Hz-3kHz	Band Pass
Band 3:	3kHz	High Pass
Band 4:	9kHz	High Pass

Band 1,3,4 のフィルタは、12dB/Octave の遮断特性を有しており、Band 2 のフィルタは他のフィルタの応答を補償するように振幅、位相をもつように設計されている。エンコード部では、すべての帯域の出力は、メインパスの信号と合成される。結果、5kHz 以下では 10dB、5kHz 上では、15kHz の 15dB まで次第に増幅度が上昇する。15kHz を超えると増幅度がさがっていく。デコード部では、エンコード部の特性を補償する特性となる。

非常に低い入力レベルでは、すべての帯域でノイズリダクションがフルに動作する。入力レベルが増加すると、Band 2 でのノイズリダクション量で特に減少する。

図 66-02 (2) の Non-Linear Limiter についてふれておく。Non-Limiter は、入力にトーン上のバースト信号が印加されたときに発生するオーバーシュート対策としていれている。オーバーシュート量は 10-15dB 程度を想定している。A301 では対称にバイアスされたシンプルなダイオードクリップ回路が用いられている。

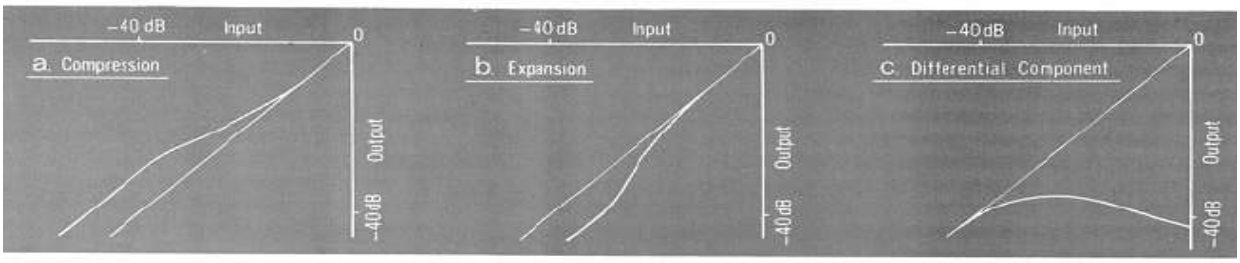


図 66-03 Dolby A-Type の入出力伝送特性
（a:エンコード部の圧縮特性 b:デコード部の伸張特性 c:差分回路の特性）

A301 の詳細の回路ブロック図を**図 66-04** に掲載しておく[537]。

電源部、増幅部、制御部、R チャンネルコンプレッサー部、及び L チャンネルコンプレッサー部の 5 つのモジュールから構成されている。

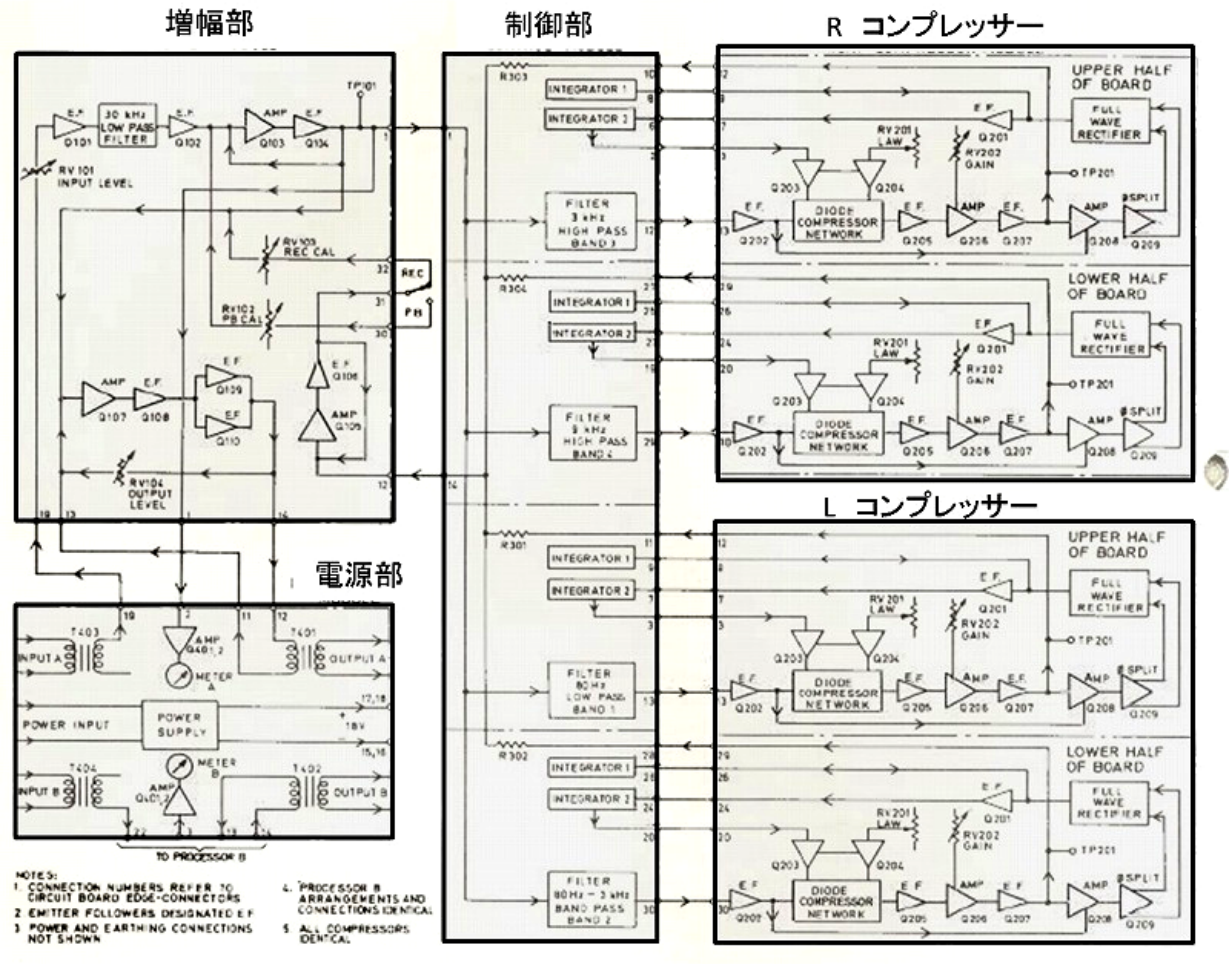


図 66-04　A301 の詳細の回路ブロック図

4.3　B-Type [536]

Dolby B-Type は、低速の民生用テープ記録フォーマットのヒスを低減するために、1968 年に開発された。3-3/4 インチ/秒のオープンリール、コンパクトカセット、後には VHS ビデオカセットテープステレオリニアトラック用に用いられた。

図 66-05 に、B-Type のエンコード時の圧縮特性を示す。信号レベルが高い場合は何もしない、すなわち、Least treatment の思想が引き継がれている。

B-Type は、A-Type の帯域分割方式と異なり、帯域スライディングコンプレッサーによる圧縮伸

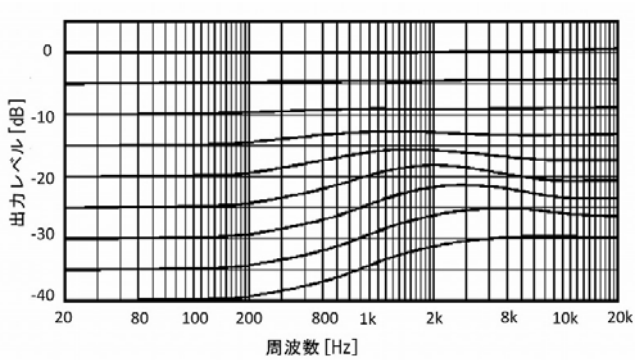


図 66-05　B-Type のエンコード圧縮特性
(入力レベル: -40～0dB, 5dB Step)

長を行っている。つまり周波数切り替え点をシフトする。入力される源信号のレベルが低い、もしくは、高域の周波数成分がないとき、帯域は最も低い周波数にスライドする。例えば、4kHz で 10dB の最大のノイズリダクション効果をもつ（図 66-06 の実線のカーブ）。入力信号レベルが高くなるに従い、帯域が高い周波数へスライドする、つまり、図 66-06 に示すように、カーブが右側にシフトしていくことでノイズリダクションの効果を小さくしている。

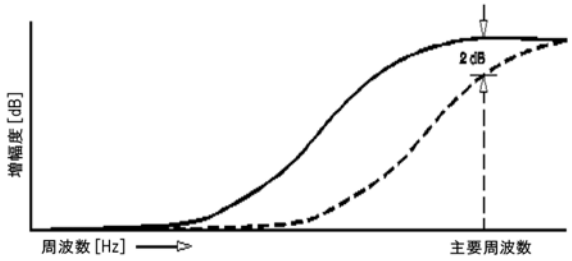


図 66-06　B-Type 帯域スライディングの周波数特性

この帯域シフトは、入力オーディオ信号に追随するだけの速い応答が要求される。また、ドルビーのノイズリダクション技術に共通することであるが、エンコード時に行われた帯域シフトを、デコード時に忠実に再現する必要がある。何かしらの要因で、デコードの前に、記録された信号の振幅レベルや周波数特性が変化したとき、帯域スライディングのミストラックが生じることになる。B-Type は、ノイズリダクションの効果を 10dB までに制限することで、ミストラックを十分無視できるレベルに抑えている。

4.4　C-Type (536)

Dolby C-Type は、低速の民生用テープ記録方式にフォーカスして B-Type を発展させた。

C-Type は、1kHz 以上のノイズリダクション効果を 20dB までにひきあげた。B-Type に比べ 10dB の向上である。

カセットテープのノイズスペクトラムは、高域周波数成分が高い。B-Type から更に高周波数ノイズを低減させるようにすると、より中域のノイズが目立つようになる。そこで C- Type では、図 66-07 に示すように、より低い周波数でノイズリダクション効果を高めた。1 つの帯域スライディングコンプレッサーで 20dB のレンジをカバーする場合、オーディオ信号の急峻な変化、オーバーシュートに追随できない、量産性の問題などのハードルがあった。そこで、C-Type では、2 つの帯域スライディングコンプレッサーを使用した。

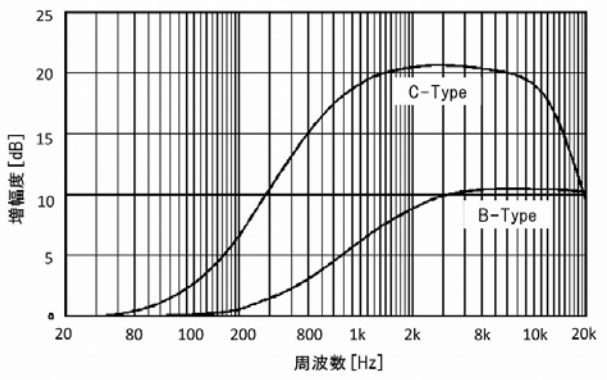


図 66-07　B-Type 及び C-Type の
帯域スライディングコンプレッサー周波数特性

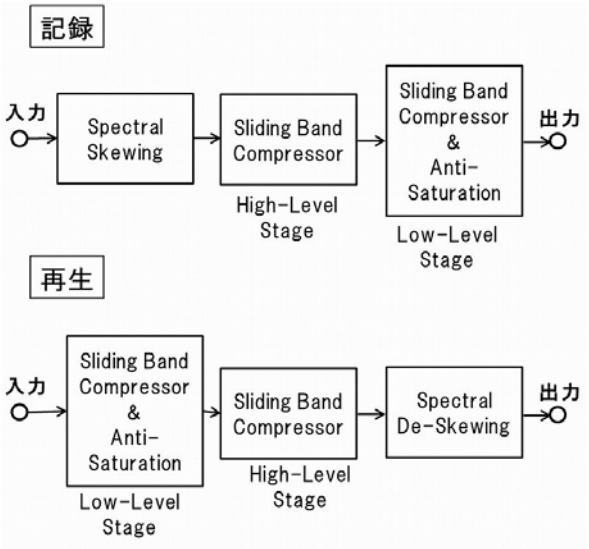


図 66-08　C-Type ブロック図

図 66-08 に Type-C の簡単なブロック図を示す。

その 2 つの帯域スライディングコンプレッサーは同じ周波数レンジをカバーしており、信号感度レベルが異なっている。1 つの帯域スライディングコンプレッサーは、B-Type で使用しているものと同じ

レベル感度をもっている。もう一つのコンプレッサーは、低いレベル感度特性をもつ。1 つのコンプレッサーがそのスライディングレンジの上限に達すると、もう一つのコンプレッサーが徐々にカバーする。その 2 つのコンプレッサーは縦続接続されて、トータル 20dB のノイズリダクションを得ることができる。**図 66-09** に、C-Type の入出力圧縮伸張伝送特性を示す。

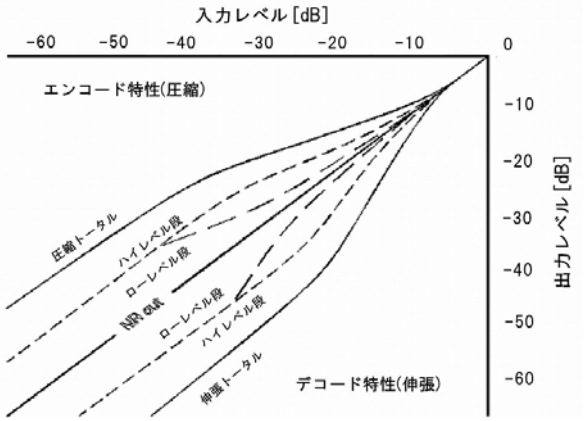


図 66-09　C-Type の入出力圧縮伸張伝送特性

また、C-Type では,エンコード処理とデコード処理の対称性の改善のために、Spectral Skewing（帯域制限）と Anti- Saturation (飽和回避)とよばれる工夫が加えられている。Spectral Skewing 部では、10kHz 以上の高い周波数はフィルタされる。ノイズリダクション回路が、1)エンコード・デコード時のエラーに感度がないようにすること、及び、2)テープに実際に記録される高周波成分のレベルを 10kHz～ 20kHz の間で大きくさげること、この 2 つが Spectral Skewing の目的となる。再生部で、Spectral De-skewing 処理(Skewing の逆処理 ）が行われ、ノイズリダクションシステム全体ではフラットな特性となる。

Anti-Saturation 部では、高周波ロスやテープの磁気飽和によって生じる歪を回避する。Anti-Saturation は Spectral Skewing より低い周波数(約 1.5kHz）で動作が始まる。したがって、高い入力信号レベル時に効果がある。

C-Type のエンコード時のトータル特性を**図 66-10** に示す。Spectral Skewing 及び Anti-Saturation の効果を含んでいる。10kHz 以上のカーブは Spectral Skewing の処理によるものであり、高レベルでの 1.5kHz あたりではじまるゆるやかな下降するカーブは、Anti-Saturation によるものである。

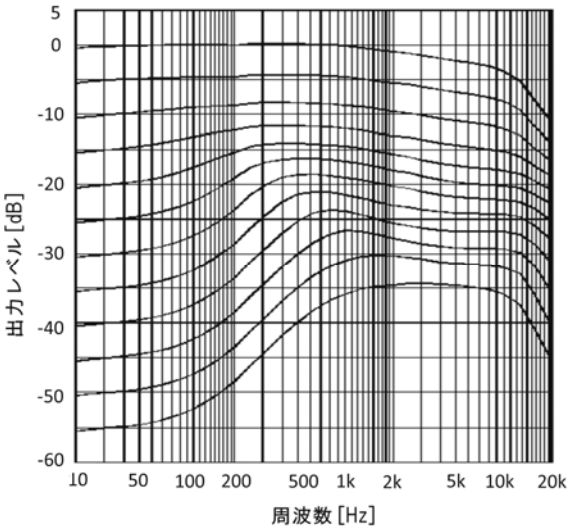


図 66-10　C-Type のエンコード圧縮の周波数特性
(入力レベル: -55～0dB, 5dB Step)

4.5　SR-Type (538)

SR-Type のブロック図を**図 66-11** に示す。SR-Type は、業務用として、C-Type をベースに更に発展させたものである。C-Type では、Low Level 段, High Level 段での縦続構成であったが、SR-Type では、Mid Level が追加されている。また、High Level 段と Mid Level 段では、800Hz 以上の信号は高周波処理ブロック、800Hz 以下の信号は低周波処理ブロックで分割されて処理される。Low Level 段は、高周波処理のみが行われる。各段は 8dB を超える利得をもっており、低周波数では最大 16dB、高周波数では最大 24dB の利得をもつ。

Spectral Skewing については、C-Type では高周波領域のみの処理であったが、SR-Type では 低周波処理も行われる。Anti-Saturation 機能も C-Type から進化しており、高周波数成分と低周波数成分に分けて処理される。

また、SR-Type では、Action Substitution(動作

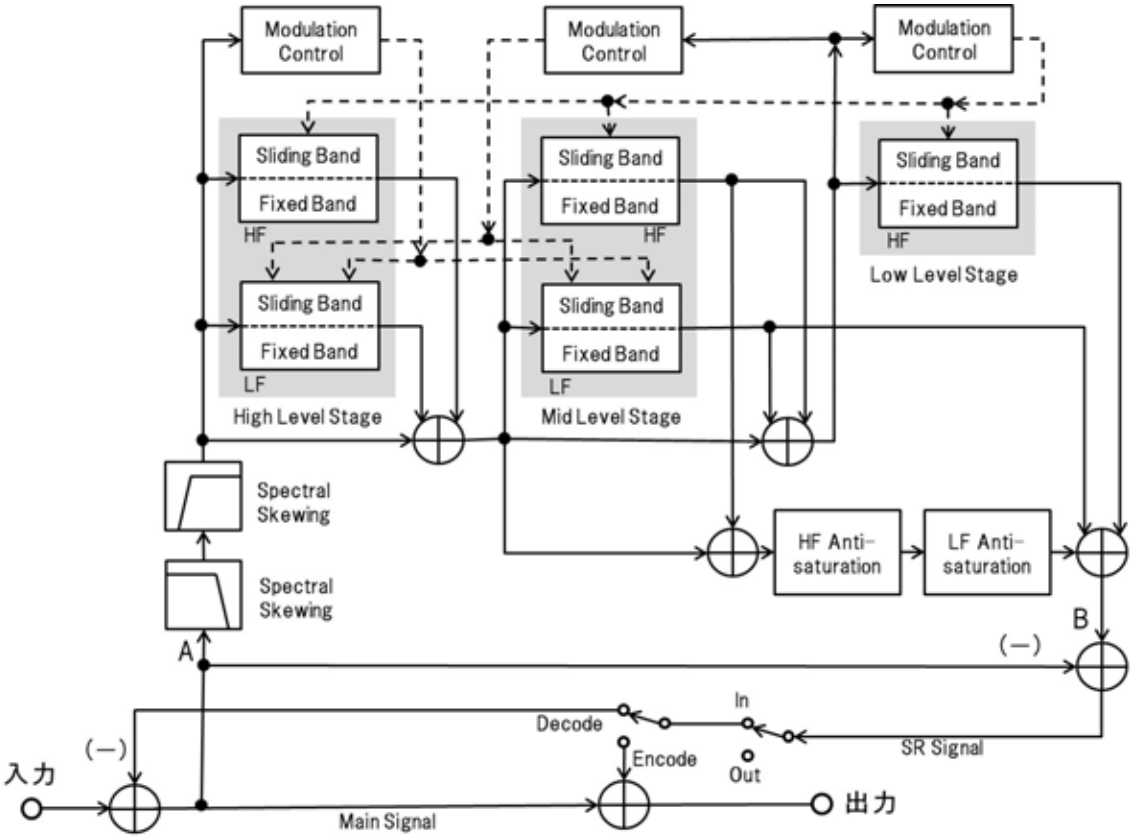


図 66-11　SR-Type のブロック構成

置換)とよばれる帯域固定コンプレッサーと帯域スライディングコンプレッサーを組み合わせた構成をとっている。

図 66-12 に Action Substitution のブロック図を示す。

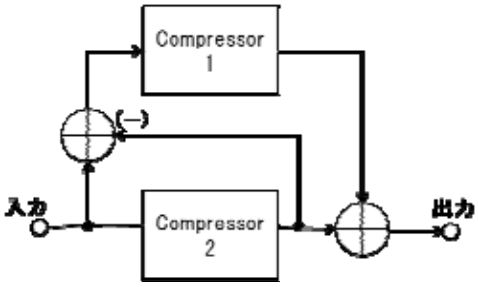


図 66-12　Action Substitution のブロック構成

図 66-13 (a)に、帯域固定コンプレッサー、**図 66-13 (b)**に帯域スライディングコンプレッサー、**図 66-13 (c)**に、2 つのコンプレッサーを組み合わせた Action Substitution の圧縮特性を示す。主要周波数成分以下では固定コンプレッサーとして動作し、主要周波

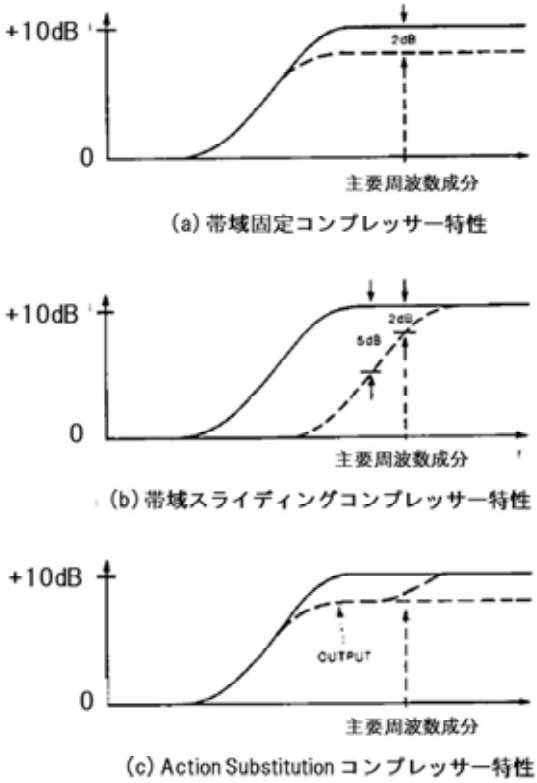


図 66-13　SR-Type のエンコード時の圧縮周波数特性

数成分以上では、帯域スライディングコンプレッサーとして動作する。

さらに、Modulation Control（変調制御）とよばれる技術により、前述した Action Substitution の圧縮伸張特性を向上させている。A-Type, B-Type, 及び C-Type では、低歪特性、オーバーシュート耐性などを確保するため振幅制限を行うスレショルドを低くしている。ある信号条件では、必要以上の歪、オーバーシュート耐性となっている。そこで、SR-Type では、Modulation Control により、信号入力周波数、レベルに応じて、帯域固定コンプレッサー及び帯域スライディングコンプレッサーを適応的に可変させ、より最適な圧縮伸張特性を得る。

図 66-14 に、帯域スライディングコンプレッサーの特性例を示す。

図 66-14 (a) 及び **(b)** は、100Hz 信号入力時の圧縮特性であり、**図 66-14 (c)** 及び **(d)** は、800Hz 信号入力時の圧縮特性である。

図 66-14 (a), (c) は Modulation Control を行わない場合の特性であり、図 66-14(b), (d)は Modulation Control を行った場合の特性となる。

100Hz の信号が入力されたとき、**図 66-14(a)**に示されるように、Modulation Control を行わない場合、帯域外の 100Hz 信号レベルをあげていくと、スライディングコンプレッサーのカットオフ周波数は上方に変化し、不必要に帯域内の成分を減衰させてしまう。一方、**図 66-14 (b)**の Modulation Control を行った場合、100Hz の信号レベルをあげても、帯域スライディングコンプレッサー特性は変化せず、不必要に帯域内の信号を減衰させることはない。800Hz の信号が入力された場合、**図 66-14 (c)**の Modulation Control なしでは、100Hz の信号レベルが-10dB を超えたときは、その帯域スライディングのカットオフ周波数は高すぎであるが、**図 66-14 (d)**のように、Modulation Control を行うことで不必要にカットオフ周波数があがっていない。

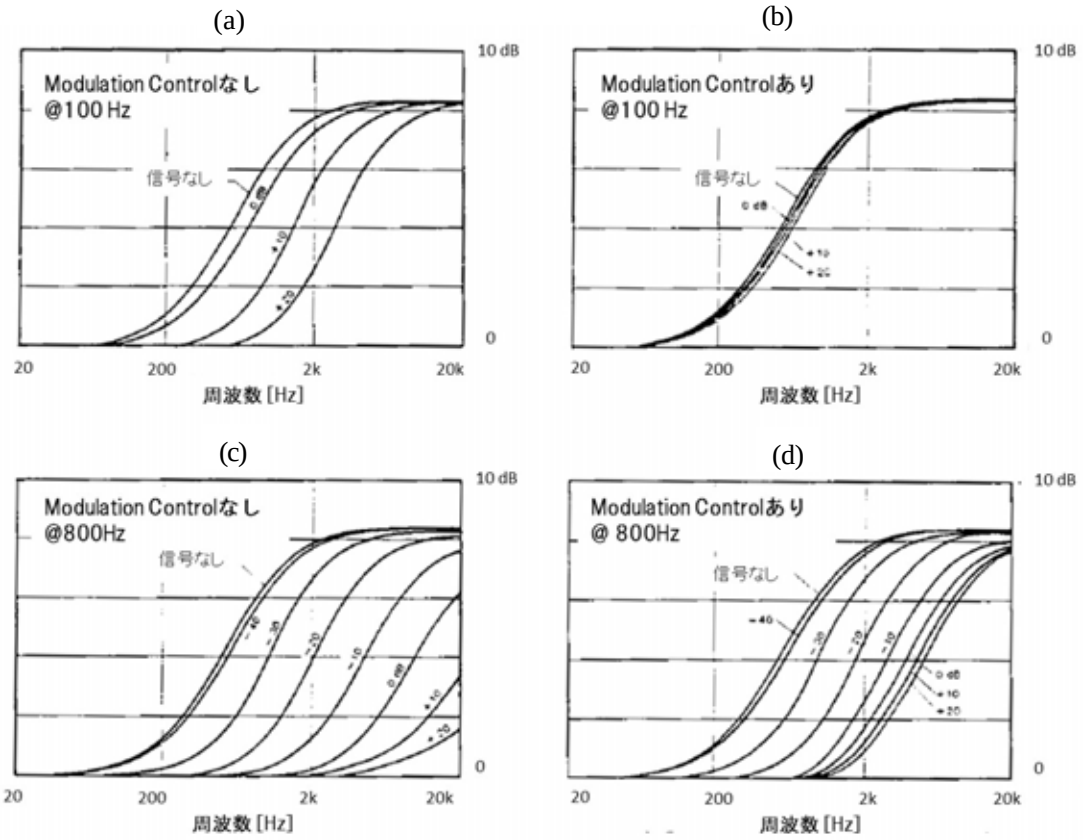


図 66-14　SR-Type Modulation Control の効果

図 66-15 に SR-Type のシングルトーンでのエンコード時の圧縮特性例を示しておく。

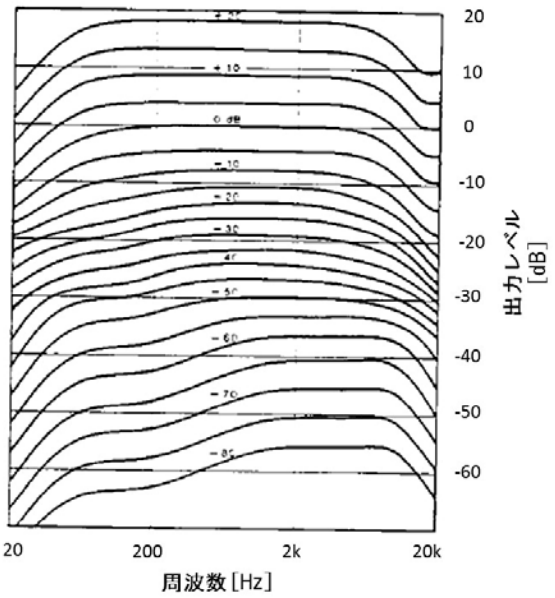


図 66-15　SR-Type のエンコード時 圧縮周波数特性
(入力レベル -80～20dB, 5dB Step)

4.6　S-Type [536]

Dolby S-Type は、業務用として開発された SR-Type を、民生用、特にカセットにあわせて開発したものである。Least Treatment 思想のもと、Action Substitution 、Modulation Control, Spectral Skewing, Anti-saturation など、SR-Type の技術を引き継いでいる。そのエンコード特性例を**図 66-16** に示す。

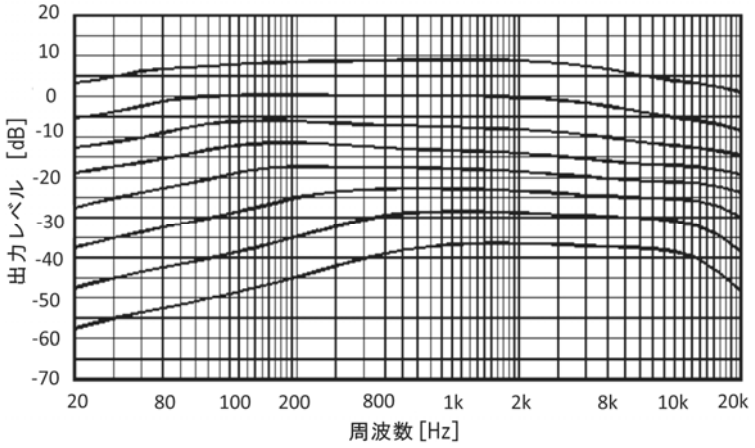


図 66-16　S-Type のエンコード時圧縮周波数特性

【謝 辞】

Dolby Laboratories 社のホームページに掲載されている諸資料、ドルビー博士の論文をもとに、抄録に近い形でまとめさせていただきました。本稿作成にあたり、協力をいただいた阿部雅美氏に感謝します。最後に、永年高音質を追究してきたドルビー研究所及びドルビー博士に対して、敬意と共に謹んで謝意を表します。

【参考文献】

(534)　http://www.dolby.com/jp/ja/about-us/who-we-are/leadership/ray-dolby.html

(535)　http://www.dolby.com/jp/ja/about-us/who-we-are/our-history/history-1.html

(536)　http://www.dolby.com/uploadedFiles/zz-_Shared_Assets/English_PDFs/Professional/212_Dolby_B,_C_and_S_Noise_Reduction_Systems.pdf

(537)　Ray M. Dolby, “Audio Noise Reduction: Some Practical Aspects”, June 1968, AUDIO the authoritative magazine about high fidelity.

(538)　Ray M. Dolby, “The Spectral Recording Process”, March 1987, JAES , Vol.35, No.3

(539) 阿部美春, “テープ録音機物語 その 63 カセット (1) ”, JAS Journal, 2012, Vol.32, No.3 (5 月号)

(540) 阿部美春, “テープ録音機物語その 64 カセット (2) ”, JAS Journal, 2012, Vol.32, No.3 (5 月号)