

Automatic Microphone Mixer

White Paper

April 2013



はじめに

オートマチックマイクロホンミキサーは、複数のマイクロホンを使用する場合に有用で、特に台本のない演目において、ミキシングエンジニアの煩雑なフェーダー操作を軽減します。

このドキュメントでは、オートマチックミキサーの

基本的な利点、音響ゲインの仕組み、ゲートタイプとゲインシェアリングタイプの違い、最後に製品例として **Dugan-MY16** カードを紹介します。

1. オートマチックミキサーとは？

オートマチックミキサーは、会議やパネルディスカッション、株主総会、トーク番組の収録など、複数のマイクロホンを使用する場合に有用なものです。特に台本のない演目において、ミキシングエンジニアの煩雑なフェーダー操作を軽減することができます。

オートマチックミキサーは、複数のマイクロホンを使用する際に発生する以下の3つの問題を解決します。

▶ ハウリングマージンの低下

複数のマイクロホンが同時にオープンになることで、ハウリングマージンが低下します。オープンになるマイクロホンが増えるごとに、ハウリングマージンは3dB下がります。オープンマイクロホンが1本の時に比べて、2本になると3dB、4本になると6dB、8本になると9dBハウリングマージンが下がります。

▶ 拡声される周囲雑音の増加

8人の会議参加者に対してそれぞれマイクロホンを設置した場合を考えてみましょう。話者は一人だけなのに8本のマイクロホンがオープンになっていた場合、8本のマイクロホンが周囲雑音を拾って拡声してしまい、目的とする話者の拡声音(S)と周囲雑音(N)のSN比が低下します。

8本のマイクロホンがオープンになっていた場合、マイクロホンが1本だけオープンの際に比べて、拡声される周囲雑音(N)は9dB高くなります。つまり、SN比が9dBも低下し、音声明瞭度も低下してしまいます。

▶ コムフィルターの発生

コムフィルターはマイクロホンの「かぶり」によって生じます。例えば、ひとつの音源を2本のマイクロホンで収録した場合、音源とそれぞれのマイクロホンとの距離差による時間差が生じ、時間差により位相差が生じます。この2本のマイクロホンをミキサーでミックスすると、髪をとかす「くし(Comb)」に似たフィルターが発生し、音質が悪化します。1kHz以上の周波数で発生するコムフィルターは音声明瞭

度に大きな影響を与えます。

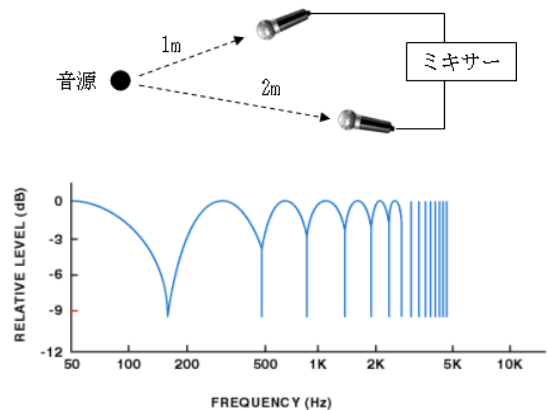


図1

オートマチックミキサーでは、入力のないマイクロホンのゲインを下げて(あるいはオフにして)、入力のあるマイクロホンだけを生かす動作を自動的に行います。また、1本のマイクロホンでハウリングが起きないシステムであれば、複数のマイクロホンが同時にオープンになってもハウリングが起きないように音響システムのゲインを自動的に調整できます。これらの動作によって、上記の3つの問題を解決します。

2. 音響ゲイン (Acoustic Gain)

オートマチックミキサーを正確に理解するためには、音響ゲインについて理解しておく必要があります。拡声を行うには音響ゲインが必要です。音響ゲインとは、音響システムが作動していない時に聴き手が受ける音圧レベルに対して、音響システムが作動中に受ける音圧レベルの増加分(=ゲイン)として定義されます。

静かな室での通常の会話レベルは1mの距離で65dB SPLです。最も遠い聴取者が10m離れていたとすると、そこでの音圧レベルは $65 - 20 \log(10) = 45 \text{ dB SPL}$ となり、1mの距離に比べて20dB SPL低下します。

音響システムの目的は、マイクロホンの音声を増幅することで、話者が聴取者の方に近づいてくる効果を得ることです。話者から最も遠い10m位置の聴取

者に対して、まるで 1m 離れたところに話者がいるかのように聴こえさせる（=10m 位置で 65dB SPL の音圧レベルを得る）には、音響システムは少なくとも 20dB のゲインを持っていなければなりません。

これを「音響ゲイン (Acoustic Gain)」、あるいは「必要音響ゲイン (NAG=Needed Acoustic Gain)」と呼びます。必要音響ゲインは、話者、マイクロホン、スピーカー、聴き手との距離によって変化します*1。下図で説明します。

- D₁ : マイクとスピーカーの距離
- D₀ : 話者と最も遠い聴取者の距離
- D₂ : スピーカーと最も遠い聴取者の距離
- D_S : 話者とマイクの距離

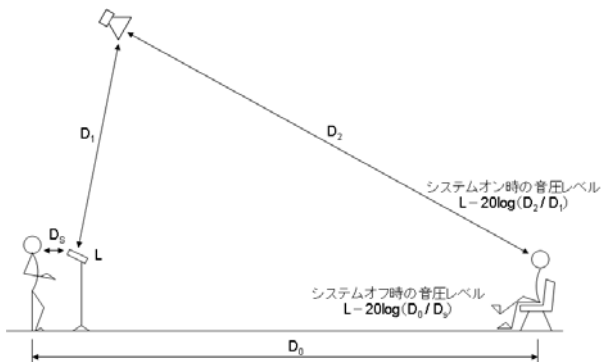


図 2

▶ システムが動作していない場合

話者がマイクロホンに生じさせる音圧レベルを L とした場合、話者から最も遠い聴取者位置での音圧レベルは、逆 2 乗則により次のようになります。

話者から最も遠い聴取者位置での音圧レベル

$$= L - 20\log (D_0 / D_S) \cdots (式 1)$$

▶ システムが動作している場合

マイクロホンとスピーカーが無指向性の時、システムのゲインを上げてハウリングの寸前で止めます。この時のマイクロホンとスピーカー間はユニティーゲイン (0dB) です (ハウリングが起こればゲインは +、起こっていないければ -)。この状態は話者とスピーカーからマイクロホンに到達するそれぞれの音

圧レベルが等しいことを示しています。これより、最も遠い聴取者位置におけるスピーカーからの音圧レベルが計算できます。

話者から最も遠い聴取者位置での音圧レベル

$$= L - 20\log (D_2 / D_1) \cdots (式 2)$$

必要音響ゲインは、式 1 と式 2 の差として定義されるので、以下の式で表されます。

必要音響ゲイン (NAG)

$$= (L - 20\log (D_2 / D_1)) - (L - 20\log (D_0 / D_S))$$

$$= 20\log (D_0 / D_S) - 20\log (D_2 / D_1)$$

$$= 20\log (D_0 / D_S) + 20\log (D_1 / D_2)$$

$$= 20\log D_1 + 20\log D_0 - 20\log D_2 - 20\log D_S \cdots (式 3)$$

式 3 における必要音響ゲインは、ハウリングのスレッシュホールド (発生境界) レベルにおける音響ゲインです。この状態では音響システムを動作させることはできないので、安全係数 (ハウリングマージン) を加味します。通常、安全係数は少なくとも 6dB とします。安全係数を加味して音響システムが持つことができる最大音響ゲインを、「潜在音響ゲイン (PAG=Potential Acoustic Gain)」と言います。

潜在音響ゲイン (PAG)

$$= 20\log D_1 + 20\log D_0 - 20\log D_2 - 20\log D_S - 6$$

$$\cdots (式 4)$$

例として、D₁=5m、D₀=16m、D₂=13m、D_S=0.5m として式 4 にあてはめてみます。

潜在音響ゲイン (PAG)

$$= 20\log 5 + 20\log 16 - 20\log 13 - 20\log 0.5 - 6$$

$$= 15.8\text{dB}$$

ここでは、マイクロホンとスピーカーを無指向性と仮定しています。実際のシステムでは指向性を持つマイクロホンとスピーカーを使用するので、潜在音響ゲインを高めることができます。ここでのポイントは、オートマチックミキサーは、潜在音響ゲインを常に一定に保つように動作するという事です。

3. 複数のオープンマイクロホンの影響

これまで1本のマイクロホンを使ったシステムにおける音響ゲインについて考えてきましたが、ここでは複数のマイクロホンを使用した場合について考えてみます。

同じ特性を持つマイクロホンが2本ある場合、マイクロホンを同じゲインに設定するとシステム全体のゲインは3dB上がります。ハウリングの発生を抑えるためにはシステム全体のゲインを3dB落とさなければなりません。

動作するマイクロホン（オープンマイクロホン）の数（NOM=Number of Open Microphones）が倍になると、システムのゲインは3dBずつ上がり、マイクロホンが4本の場合は6dB、8本の場合は9dB上がります。これを式で表すと式5になります。

NOM (dB)

$$=10\log\text{NOM (オープンマイクロホンの本数)} \quad \dots \text{(式5)}$$

NOM変数を考慮して、潜在音響ゲインの式を修正すると下記のようにになります。

潜在音響ゲイン (PAG)

$$=20\log D_1 - 20\log D_2 + 20\log D_0 - 20\log D_s - 6 - 10\log\text{NOM} \dots \text{(式6)}$$

オートマチックミキサーは、式6に示される潜在音響ゲインを常に一定に保つ動作をします。言い換えると、複数のマイクロホンが同時にオープンになった時のシステム全体のゲインとマイクロホン1本の時の潜在音響ゲインが等しくなるように、 $10\log\text{NOM}$ に等しいアッテネーターを自動的に入れて調整します。したがって、1本のマイクロホンでハウリングが起きないシステムであれば、複数のマイクロホンが同時にオープンになったとしてもハウリングは起きません。

オートマチックミキサーには、「ゲートタイプ」と「ゲ

インシュアリングタイプ」の2種類があります。

4. ゲートタイプ・オートマチックミキサー

オートマチックミキサーで重要な要素は、どのマイクロホンに有効な音声入力があるかを識別する仕組みです。各マイクロホン入力にノイズゲートを実装し、ノイズゲートを有効な音声入力の検出手段として使用するものが「ゲートタイプ」のオートマチックミキサーです。

このタイプでは、ゲートスレッシュホールドレベルを超えたマイクロホンをオープンマイクロホンと定義します。

ゲートによって単純にマイクロホンをオンにすると、低域においてポップノイズが発生してしまいます。また、スピーチが終わった直後にオフにすると残響感が断ち切られてしまいます。適切に設計されたオートマチックミキサーでは、ポップノイズの発生を防ぐのに十分なくらいにアタックタイムを遅くしてあり、スピーチが続いている間はゲートを保持するようにホールドタイムが設定されていて、音声が完全になくなった後でフェードアウトさせるようになっています。

ゲートタイプは、スレッシュホールドレベルが固定されている場合、うまく動作しません。たとえばスレッシュホールドレベルの設定が低すぎると、周囲雑音でゲートが開いて複数のマイクロホンが同時にオープンとなってしまいます。スレッシュホールドが高すぎると、音節によってはゲートがオープンになりません。部屋が静かなときにスピーチ用のスレッシュホールドを正しく設定しても、観客が拍手したり音楽演奏したりしている時にはうまく動作しません。

この問題を解決するために、周囲雑音に応じて動的にノイズゲートのスレッシュホールドレベルを可変させる機能を搭載したモデルがあります。スレッシュホールドレベル設定の精度を高めるため、空調雑音などの定常的な周囲雑音と拡声音が混ざった周囲雑音とを常に比較する適応型など、さまざまな方式が開発されています。

たとえば、周囲雑音レベルを測定するために別のマイクロホンを設置して、周囲雑音よりも話者のマイクロホンの入力が大きくなった時に当該マイクロホンをオープンにするというものです。

ゲートタイプのオートマチックミキサーの特徴的な機能として、ラスト・マイクロホン・ホールド機能があります。次のマイクロホンが立ち上がるまで、最後に使われたマイクロホンが動作しつづけて、語尾が不自然に消えてしまうのを防ぐと同時に、周囲雑音が消えて残響感が断ち切られてしまうことも防ぎます。新たな話者が話を始める時に、周囲雑音の質が変化することがありますが、常に周囲雑音が無くなってしまふより自然に聴こえます。

一般的な「ゲートタイプ」のオートマチックミキサーでは、潜在音響ゲインを一定に保つため、下図に示すように NOM アッテネーションをミックス後の出力段に挿入しています。既述のように NOM アッテネーションは、オープンマイクロホンが 2 本の時に 3dB、4 本の時に 6dB、8 本の時に 9dB となります。

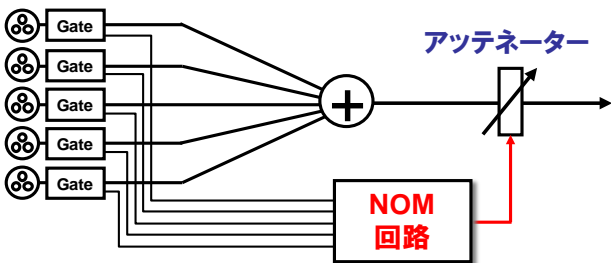


図 3

また、ひとつの音源に対してひとつのマイクロホンだけをオンにする機能を搭載しているモデルがあります。これにより、ゲインエラーだけでなく、マイクロホンのかぶりを防ぐことができます。

5. ゲインシェアリングタイプ・

オートマチックミキサー

ゲインシェアリングは Dan Dugan 氏によって開発されたアルゴリズムで、各入力と全ての入力の和を比較し、マイクロホン 1 本の時の潜在音響ゲインと、

複数のマイクロホンの総和の潜在音響ゲインが常に等しくなるように各マイクロホンのゲインを調整します。一定のゲインを分け合うことから、「ゲインシェアリング」と呼ばれます。ノイズゲートを使用しないため頭欠けがなく、スレッシュホールドレベルやアタックタイム、ホールドタイム等の複雑な設定も不要となります。

ゲインシェアリングタイプのオートマチックミキサーに入力された信号は、メインの音声バスと制御バスの 2 つに分配され、音声バスは音声を出力へと導きます。制御バスでは各入力と全ての入力の和を比較するためのプリミックスを作ります。この比がチャンネルのゲイン (Dan Dugan 氏はこれをオートミックスゲインと呼ぶ) となります。結果的に、この計算によりトータルのゲインが常に一定となります。概念図を図 4 に示します。

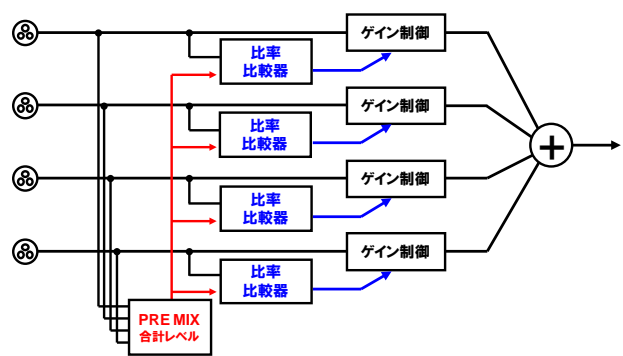


図 4

各入力のオートミックスゲインは、以下の非常にシンプルな式に基づいて算出できます。

チャンネルのオートミックスゲイン

$$= \frac{\text{チャンネルの入力レベル}}{\text{全チャンネルの入力レベルの和}} \dots\dots \text{(式 7a)}$$

レベルを dB で表現すると、割り算が対数の引き算となるので、以下のように算出できます。

チャンネルのオートミックスゲイン(dB)

$$= \text{チャンネルの入力レベル} - \text{全チャンネルの入力レベルの和} \dots\dots\dots \text{(式 7b)}$$

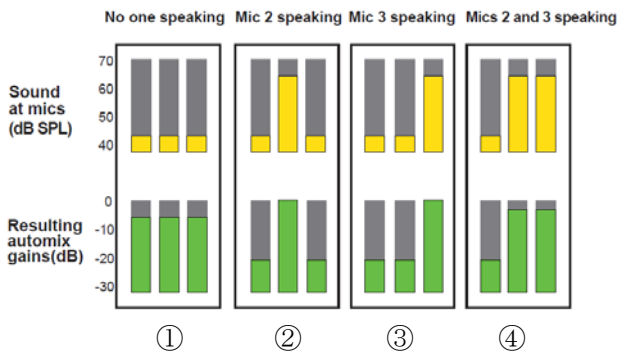


図 5

複数マイクロホン接続時のこのアルゴリズムの動作を、図 5 を使って説明します。ゲインシェアリングタイプでは、ゲートタイプのようにマイクロホンをオン/オフさせるのではなく、シームレスに適正なゲインを各入力に配分します。この動作は、ミキシングエンジニアがミキサーの複数のインプットフェーダーを正確かつ迅速に操作している状況にとっても似ています。

- ① 誰も話していない状況を示しています。各マイクロホンに配分されたオートミックスゲインは等しく、これらの総和は 0dB、つまりマイクロホンが 1 本だけの時のオートミックスゲインと等しくなっています。
- ② マイクロホン 2 を使って一人の話者が話している状況を示しています。音声が入力されたマイクロホンのオートミックスゲインは自動的にフルになり、使用していないマイクロホンのオートミックスゲインは自動的に絞られます。
- ③ 他の話者がマイクロホン 3 を使って話し始めた場合を示しています。オートミックスゲインは自動的に音声が入力されたマイクロホンにシフトし、使用していないマイクロホンのオートミックスゲインを絞ります。瞬時かつシームレスにゲインを配分するため、話し始めの頭欠けもありません。
- ④ 話者が二人になった場合を示しています。使用していないマイクロホンを絞り、音声が入力された 2 本のマイクロホンにゲインを配分します。トータルのオートミックスゲインはマイクロホンが 1 本の時

と変わらないので、マイクロホンが 2 本同時にオープンになってもハウリングは発生しません。

図 5 の②のケースを、式 7b を使って、実際に数値を入れて確認してみます。

周囲雑音レベル (= マイクロホン 1 と 3 への入力音圧レベル) を 45dB SPL、マイクロホン 2 への入力音圧レベルを 65dB SPL とします。まず、この 3 つの信号の和は、 $10\log(10^{45/10} + 10^{65/10} + 10^{45/10}) = 65\text{dB SPL}$ です。これらの値を式 7b に代入してみます。

$$\begin{aligned} \text{マイクロホン 1 と 3 のオートミックスゲイン} \\ = 45 - 65 = -20 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{マイクロホン 2 のオートミックスゲイン} \\ = 65 - 65 = 0 \text{ dB} \end{aligned}$$

全てのマイクロホンのオートミックス後の和は以下のようになります。マイクロホン 1 本 (マイクロホン 2) のレベルと等しくなっています。

$$\begin{aligned} \text{全マイクロホンのオートミックス後の和} \\ = 10\log(10^{(45-20)/10} + 10^{(65-0)/10} + 10^{(45-20)/10}) = 65\text{dB SPL} \end{aligned}$$

図 5 の④のケースも同様に確認してみます。周囲雑音レベル、マイクロホンへの入力音圧レベルは前のケースと同じとします。

$$\begin{aligned} \text{マイクロホン 1 のオートミックスゲイン} \\ = 45 - 68 = -23 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{マイクロホン 2 と 3 のオートミックスゲイン} \\ = 65 - 68 = -3 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{全マイクロホンのオートミックス後の和} \\ = 10\log(10^{(45-23)/10} + 10^{(65-3)/10} + 10^{(65-3)/10}) = 65\text{dB SPL} \end{aligned}$$

この結果より、スピーチが入力されたマイクロホンには、NOM に等しいアッテネーション (②のケースでは $\text{NOM} = 10\log 1 = 0\text{dB}$ 、④のケースでは $10\log 2 = 3\text{dB}$) が、入力段に挿入されていることがわかります。適切に設計されたゲインシェアリングタイプは、相関性のある入力信号でもうまく扱います。例として、入力音圧レベルが 65dB SPL の 2 つの信号の場合を検証してみます。これを式 7b に代入します。2 つの無

関連の信号の和は元のレベル+3dB、関連がある場合は元のレベル+6dB となります。

▶ 無関連の場合

オートミックスゲインが $65-68=-3\text{dB}$ となり、入力信号はそれぞれ 3dB アッテネートされます。 $65-3=62\text{dB SPL}$ に調整された 2 つの互いに無関連な信号の和は 65dB SPL で、これは 1 本のマイクロホンのレベルと同じ値です。

▶ 関連がある場合

$65-71=-6\text{dB}$ となり、入力信号はそれぞれ 6dB アッテネートされます。 $65-6=59\text{dB SPL}$ に調整された関連のある 2 つの信号の和は 65dB SPL となります。

したがってゲインシェアリングタイプは、近接する 2 つのマイクロホンが同じ信号を收音する場合に発生するレベル増加を抑制します。この効果により、演台によく見られる典型的な X-Y グースネックマイクの配置にも適していると言えます。話者が左右に動くような場合でも、レベルを一定に保ちます。

ゲートタイプでは、有効な入力信号がないマイクロホンは自動的に下げられます（典型的には -15dB ）。ゲインシェアリングタイプの場合は、オートミックスゲインを正確に減衰させ、システム内のトータルゲインを一定に保つように計算されます。

既述のようにゲートタイプでは、ラスト・マイクロホン・ホールド機能により、スピーチ終了後に残響感が断ち切れてしまう違和感を防ぐために、スピーチ終了後も周囲雑音を能動的に拡声しています。

ゲインシェアリングタイプでは、ラスト・マイクロホン・ホールド機能は必要ありません。その理由は、マイクロホンの動作本数によらず、拡声される周囲雑音のレベルは、1 本のマイクロホンが拾う周囲雑音レベルと同じになるように調整されるからです。

図 5 の①のケースで全マイクロホンのオートミックス後のレベルの和を計算してみると、下に示すように 1 本のマイクロホンのレベルと等しくなることが確認できます。

周囲雑音レベルを 45dB SPL (=各マイクロホンへの

入力音圧レベル) と仮定して計算します。

マイクロホン 1、2、3 のオートミックスゲイン

$$= 45-50 = -5 \text{ dB}$$

全マイクロホンのオートミックス後の和

$$= 10\log(10^{(45-5)/10} + 10^{(45-5)/10} + 10^{(45-5)/10}) = 45\text{dB SPL}$$

つまり、ゲインシェアリングのアルゴリズム自身が、ゲートタイプのラスト・マイクロホン・ホールド機能と同等の機能を有しているわけです。

レコーディングや放送において、自然なアンビエントは重要で、オートマチックミキサーは自動的に自然なアンビエントの收音を維持します。そのため、ゲインシェアリングタイプにおいては、有効な入力がない時でも、マイクロホンがいつでもすぐに使えるようにオンにしたままにしておくことができます。

マイクロホンのかぶりに対する解決方法も、ゲートタイプとは異なります。

図 1 において、話者から 1m の距離にあるマイクロホンへの入力音圧レベルが 65dB SPL とすると、2m の距離にあるマイクロホンへの入力音圧レベルは、逆 2 乗則の距離減衰によって $65-6=59\text{dB SPL}$ となります。この 2 つの信号の和は、 $10\log(10^{65/10} + 10^{59/10}) = 66\text{dB SPL}$ です。

これらを式 7 に代入して、2 本のマイクロホンのオートミックスゲインを求めてみます。

1m 点のマイクロホンのオートミックスゲイン

$$= 65-66 = -1 \text{ dB}$$

2m 点のマイクロホンのオートミックスゲイン

$$= 59-66 = -7 \text{ dB}$$

元は 6dB の差でしたが、オートマチックミキサーを通した後は 12dB の差となり、マイクロホン間のセパレーションが増加することが確認できます。元が 3dB の差だった場合、オートマチックミキサーを通した後は 6dB の差、元が 9dB の差だった場合はオートマチックミキサーを通した後は 18dB の差となり、2 倍のセパレーションが得られます。

これにより会議だけでなく、演台に2本のマイクロホンを立てた講演会でも、コムフィルターによる音質劣化を抑えてクリアな拡声が行えます。

ゲインシェアリングタイプに固有の設定として、チャンネルごとにウェイトイング（重み付け）パラメーターがあります。これを調整してマイクロホンごとの音響ゲイン差を吸収することで、チャンネル間で平等にオートミックスゲインを配分することができます。また、この設定を優先マイクロホンに活用することもできます。つまり、優先マイクロホンのウェイトイングを上げればより多くのゲインを配分するので、優先マイクロホンのレベルを他のマイクロホンより大きくすることができます。

6. Dan Dugan Sound Design

Dan Dugan 氏が代表を務めるゲインシェアリングタイプのオートマチックミキサーで有名な会社です。同社のオートマチックミキサーは、北米を中心に放送局や会議用途で高い認知度を誇っています。かつてはアナログのオートマチックミキサーを開発・製造していましたが、近年は DSP オートマチックミキサーを開発していて、ミキシングコンソールの入力段にインサートして使われています。

Dan Dugan 氏は6年間に及ぶ研究の末、1971年に特許技術となるゲインシェアリングタイプのアルゴリズムを開発しました。このアルゴリズムは、Altec Lansing 社のオートマチックミキサーに採用されていました。その後、幾度となく改良され、今では北米において同社のオートマチックミキサーは、複数のマイクロホンを使う演目では定番となっています。

7. Dugan-MY16

Dugan-MY16 カードは、Dan Dugan Sound Design により、ヤマハのデジタルミキシングコンソール向けに作られたもので、同社の最新のゲインシェアリング・アルゴリズムを搭載しています。ヤマハのデジタルミキシングコンソールの

Mini-YGDAI カードスロットに実装し、インプットチャンネルに対してポストフェーダーでインサートして使用します。1枚で16ch（48kHz時）、最大8枚の同時使用で128ch（48kHz時）のオートミックスに対応します。

各入力には a、b、c の3グループのいずれかにアサイン可能で、各グループは個別のオートマチックミキサーとして機能します。ウェイトイングやミュート、バイパス、オーバーライド等の機能を実装し、PC や Mac、iPad からコントロール、モニタリングできます。

8. まとめ

これまで見てきたように、オートマチックミキサーはオートゲインコントロールやコンプレッサー、単なるノイズゲートとは異なります。ゲインシェアリングタイプのオートマチックミキサーにより、ミキシングエンジニアはマイクロホンごとのキューイン/キューアウトは心配せずにミキシングコンソールで各マイクロホンのレベルバランスを能動的に調整することができます。オートマチックミキサーの動作に阻害されることなく、むしろ支援されることで安全かつ高音質を維持しながら所望するミキシングが行えます。

※ ゲインシェアリングオートマチックミキサーを音楽 SR 用途に使うことはお勧めしません。音楽のミキシングは芸術的なバランスが要求されますが、ゲインシェアリングオートマチックミキサーは既述のような考え方で設計されているため、必ずしも音楽的なバランスを自動的に実現するものではないからです。

参考文献

(2. 音響ゲイン、3. 複数のオープンマイクロホンの影響)

*1 「サウンドシステムエンジニアリング」

Don Davis & Carolyn Davis 著 / 進藤 武男 訳

誠文堂新光社（1992年）

ヤマハ株式会社

PA 事業部

静岡県浜松市中区中沢町10-1

<http://www.yamahaproaudio.com/japan/>