

「ヤマハシステムソリューション」

ES100™ネットワークオーディオシステムの設計

本書は ES100 ™を使ったネットワークオーディオシステムの設計について説明します。

これから説明する設計コンセプトは、小規模のライブツアー向けセットアップから中規模の設備音響設計にいたるまで、さまざまなオーディオシステムへの対応を想定しています。この設計コンセプトは、どんなシステム仕様に対しても最適であるとは限りません。他のネットワークプロトコルやオーディオプロトコルも設計の初期段階で考慮するよう心掛けておく必要があります。本書における設計コンセプトの利点は、オープンプロトコルである (広く市販されているコンピュータネットワーク用コンポーネントが利用できる)、Ethernet と ES100 ™を採用していることです。つまり、他社のネットワークやオーディオ機器も設計コンセプトに含めることができるため、システム設計者にとって、融通性があり効率の良いプロジェクトとなります。また、設計コンセプトは単なる机上の理論ではありません。ヤマハはこれまでに、この設計コンセプトに基づいてシステムを構築、試験、設置してきました。実践的にもこの設計コンセプトが役に立つはずです。

本書で想定している読者は、アナログ／デジタルオーディオの高度な知識と、「ヤマハシステムソリューション：ネットワークオーディオ入門」に記載されているネットワーク技術についての基本知識を持っているシステム設計者です。



The complete package

ES100 ™ネットワークオーディオシステム

1. システム設計
2. EtherSound
3. ES100
4. ES100 オーディオルーティング
5. リダンダンシーの問題
6. ケーブル、コネクタなどの問題
7. ES100 リダンダンシーリングのシステム
8. ES100 を統合したリダンダンシーリング
9. ヤマハの ES100 機器
10. ES100 機器のプログラミング
11. ドキュメンテーション
12. トラブルシューティング
13. システム例 1：48 チャンネル FOH ～モニター～ステージラック
14. システム例 2：32 チャンネル FOH ～モニター～デュアルステージラック～アンブラック

1. システム設計

お客様の要望

どんな設計でも最初の一步は、お客様の要望をリストアップすることです。設計の初期段階からコンサルタントがシステム仕様書の作成に関わっている場合、お客様の要望が正規の注文書に記載されていることがあります。多くの場合、コンサルタントやシステム設計者はお客様の要望やシステム要件についてじっくり話し合い、最適なシステム仕様を検討して、市場で利用可能な新技術の導入についても選択肢として提案する必要があります。

システムの仕様

次に、お客様の要望に従ってシステム仕様書を作成します。システム仕様書には、構築システムによって達成すべき要件が最大ケーブル長や必要なバンド幅等、具体的な数値として記載されています。このシステム仕様書には、具体的なソリューションや対策案などは記載せず、純粋に達成すべき仕様だけを記載します。設計に方向性が入ると、仕様に盛り込む内容の選択肢を狭めてしまうからです。システム仕様と設計ソリューションの選択肢をしっかりと区別しておく、設計者が幅広い選択肢を考慮できるようになります。そして、これが設計段階における融通性、品質、クリエイティビティにつながるのです。

設計オプション

システム仕様書に基づいて基本的な設計案を打ち出します。軸となるのは、どんな技術を採用するかを選択することです。アナログかデジタルか、ポイント・トゥ・ポイントかネットワークか、クローズドプラットフォーム（1つのメーカーに絞る）かオープンプラットフォーム（メーカーにとらわれない）か、等々です。これらは以降の設計段階での自由度に影響する非常に重要な項目です。

ネットワーク機器とオーディオ機器の選択

採用する技術を決定した後、システムに使用するネットワーク／オーディオ機器を選択します。選択時に考慮すべき要素は、各機器の特長、オーディオ品質、技術的な信頼性、サプライヤーの信頼性、機能性、コストです。どの要素もすべて満点の製品などありません。品質が良ければコストも高くなり、機能性に富めばユーザーインターフェースも複雑になります。設計者は各システムコンポーネントの特長をじっくり検討して、それがシステム仕様書に合っているかどうかを判断し、適切な製品がない場合は、何らかの解決策を検討しなければなりません。

設計ツール

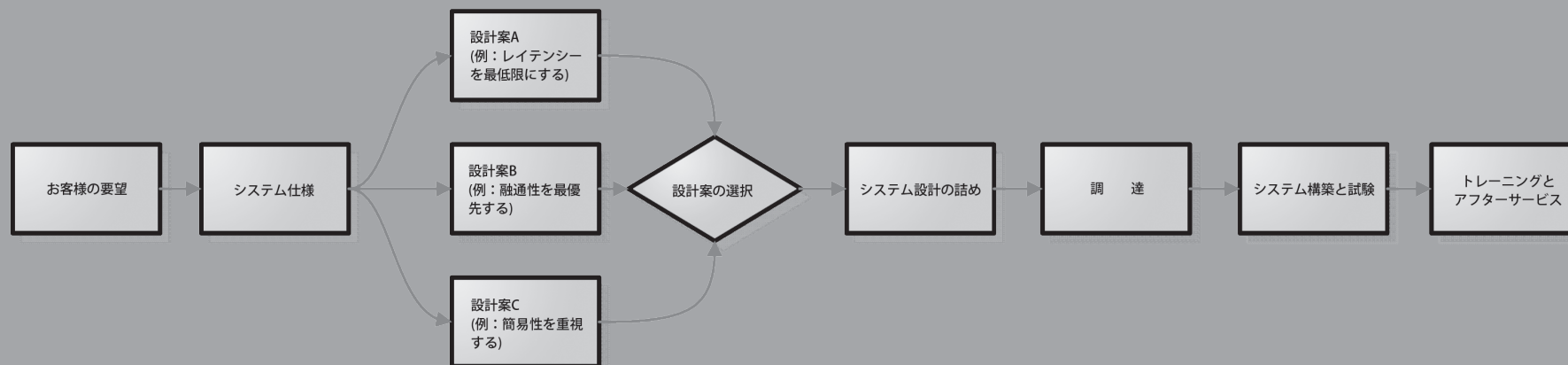
システムが複雑になればなるほど、デザインツールの重要性も増します。小規模のシステムなら、文章で説明したり、エクセルシートに記述しても問題ありませんが、大規模・複雑なシステムは、プロジェクトに関わるすべての人に内容を適確に伝えるために、システムプランを作成する必要があります。現在こうしたシステムプランを作成するツールとしてソフトウェアを使用します。たとえば施工業者などでは AutoCAD など、オーディオ市場では StarDraw などが使われています。

システムの試験

ネットワークの設計過程では、システムとサブシステムの試験を行うことが重要です。特に、管理型スイッチを使ったネットワークシステムは非常に高度な機能を持つので、システム試験を行って各動作パラメーターがすべて正しく設定されているか検証する必要があります。

トレーニングとアフターサービス

ネットワークオーディオシステムはアナログシステムと異なる機能を持っています。このため、これからシステムを使用するユーザーのために、適切なアフターサービスとトレーニングを企画しておくことが重要です。



2. EtherSound

幕開け

21 世紀に入っすぐ、Digigram 社の研究開発エンジニア 3 人が、CobraNet を標準規格とした、Ethernet に対応したオーディオ転送技術に取り組みました。CobraNet は大規模かつ複雑なオーディオネットワークシステムで機能するよう開発されましたが、この 3 人はそのような用途より、むしろ、もっとシンプルなたポロジーとプロトコルを必要とするライブ向け PA システムの開発に取り組んでいました。3 人は EtherSound Ver. 1.0 を完成させ、これを 2001 年、アムステルダムでの IBC コンベンション、続いて 2002 年、ラスベガスでの NAB コンベンションで発表しました。Ver. 1.0 は、ミキシングコンソールからスピーカーのコントローラ／アンプまでを廉価な CAT5 ケーブルだけで接続する片方向のシステムでした。この新しい EtherSound のオーディオ転送技術が初めて大規模なシステムで採用されたのは、2003 年 9 月、ラジオ・フランスの PA 部門による、オペラ「カルメン」の上演ライブでした。8 万席を収容するパリの「スタード・ド・フランス」アリーナで 16 基のラウドスピーカーを見事にドライブした時でした。Digigram 社としては当然のパフォーマンスにすぎませんでしたが、このようにパーフェクトに動作するオーディオ・システムが驚くほどシンプルな方法で構築されていたことに関係者は驚かされました。

プロトコル

Ethernet のレイテンシーが原因で生じる CobraNet プロトコルのタイミングと同期の問題を、Peak Audio 社のエンジニアが、どうやって解決したのでしょうか。まず、ネットワーク上で転送がない瞬間に 1 台の CobraNet 機器からビートパケットを送り出し、パケットはかなり低レベルの遅延でネットワーク上のすべての機器まで到達します。

つぎに、各オーディオ機器がビートパケットを実質上同時に受信した後、オーディオ信号を送り出しますが、どの機器も、受信したオーディオを出力するまで一定時間待機します。これによって、ネットワーク内のデータ保存／転送およびキューによる遅延に対処するためのタイムバッファが作られます。手短かに言えばこれが CobraNet の方法です。

Digigram 社のエンジニア達が EtherSound で行ったのは、これを驚異的に簡易化させることでした。つまり、ネットワークはデジチェーンかツリートポロジーを採用すべきだという結論に達したことです。デジチェーンでは、各機器にとってネットワーク上にはデータ送信元となるソース機器が 1 台、データを受け取る機器も 1 台だけなので、各機器は Ethernet パケットの MAC アドレスをチェックしてそのパケットの送信先を決定する時間が必要がありません。つまり、EtherSound システムではデータ保存／転送およびキューによる遅延が絶対に生じないということです。Digigram 社の EtherSound チップは Ethernet パケットをわずか 1.4 マイクロ秒で転送できます。

EtherSound Ver.1

EtherSound Ver.1 は 24 ビットサンプル、64 のオーディオチャンネルを 1 つのパケットに包んで、毎秒 48,000 パケットでデジチェーンに伝送します。

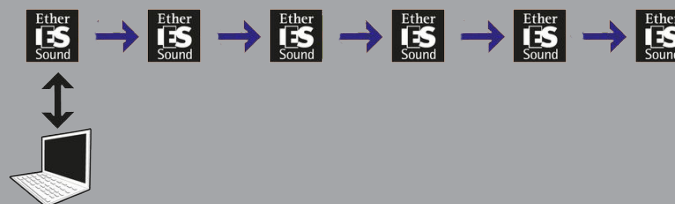
パケット数はサンプリングレート 48kHz に等しいので、受信機器はパケットストリームをソース信号とした、安定したワードクロックが得られます。デジチェーン内のすべての機器が次々とパケットを受信し、パケット内の個々のサンプルを迅速に書き換えたり送り出してから、これを更に次の機器へ伝送していきます。このすべての流れを 1.4 マイクロ秒で行います。パケットストリームにオーディオを送り出す機器を「マスター」機器と呼び、パケットストリームからチャンネルを受け取る機器を「スレーブ」機器と呼びます。

ネットワーク上の先頭の EtherSound 機器は、他のすべての機器を制御するコントロールデータもパケットで送信します。この先頭の機器は常に「マスター」機器となります。つまり、パケットストリームにオーディオチャンネルを送り出す最初の機器です。

すべてのオーディオ信号は機器の IN 端子から OUT 端子へ流れていきます。この方向を「ダウンストリーム」と呼びます。Ethernet 接続には、末端の機器から先頭の EtherSound 機器へ流れる「アップストリーム」と呼ばれる接続もあり、ステータス情報を先頭の機器に送り戻す時に使用されます。先頭の EtherSound 機器に接続したコンピュータでは、ソフトウェア「ES Monitor」を使用して、デジチェーン内の他のすべての機器をコントロール／モニターすることができます。



パリ、スタード・ド・フランスでのカルメン上演



EtherSound 1.0: ダウンストリームのデジチェーン

3. ES100

EtherSound Ver. 2

最初の EtherSound ライセンスが配布され、Digigram 社、Fostex/Netcira 社、Auvitran 社などによって製品が開発された後、Digigram 社のエンジニアたちは、アップストリームでのオーディオ伝送も可能にしました。つまり、オーディオをネットワーク上の先頭の機器から末端の機器まで伝送するだけでなく、末端の機器から先頭の機器にも伝送しようというものです。EtherSound Ver. 2 以降では、「バイディレクショナル（双方向）モード」をサポートする機器を使用すれば、これが可能となりました。このバイディレクショナルモードでは、デジチェーンの末端の機器がパケットストリームをループバックすることで、ダウンストリーム 64 チャンネル、アップストリーム 64 チャンネルの、合計 128 チャンネルを同時に伝送可能です。

バイディレクショナルモードが機能するためには、末端の機器がダウンストリームからアップストリームにオーディオをループバックするようプログラムすることが必要です。アップストリームされたデータはデジチェーンの先頭の機器に戻り、終端となります。IN 端子へは送られません。さもないと、システムのコントロール/モニター用に接続したコンピュータのネットワークインターフェースカードが過負荷状態になってしまうからです。バイディレクショナルモードに対応して、EtherSound の用語に「ループバック機器」と「プライマリマスター」が加わりました。

EtherSound プロトコルのその後のアップデートとして、「スタートオブループ」と「エンドオブループ」モード設定も加わり、デジチェーン内で複数のループが可能になりました。

ES100

EtherSound はデジチェーントポロジを使用して、非常にシンプルなセットアップ、低レイテンシー、大きなチャンネル容量を実現します。しかし、欠点もあります。デジチェーンはリスクが高いということです。1 本のケーブルまたは 1 台の機器が故障すると、ネットワークシステムが動作エリアと非動作エリアに二分割されてしまいます。管理スイッチ、または Auvitran AV-RED などの専用ユニットで Ethernet トランッキングプロトコルを使用して、デジチェーン内の特定ケーブルを保護することはできません。ただし、次の対策を取れば話は別です。

ES100 は EtherSound の最新バージョンで、Ethernet のスパニングツリーに似たリダンダンシープロトコルを採用しています。このプロトコルでは、デジチェーンの先頭機器と末端機器をつなぐことで、リダンダンシー機能を持ったリングを形成し、ネットワーク内のどんなトラブルからも迅速に回復することができます。

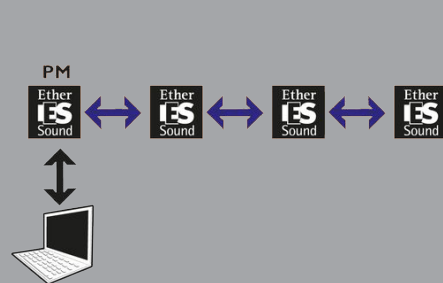
このため、EtherSound の用語に、リング内のバックアップリンクを管理する機器として、「プリファード（優先）プライマリマスター」という呼び名が加わりました。リダンダンシー機能でネットワーク内のすべての接続を回復させるには、機器の順番には影響を受けない特殊なルーティングを使うことが必要です。これについては後述の章で説明します。

全機器でエマージェンシークロックをオンにした ES100 リングのトラブル回復時間は、実質的にシームレスです。エマージェンシークロックの設定がない場合でも、3 秒以内に回復します。

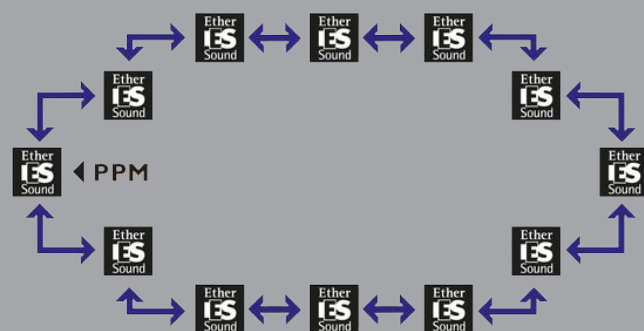
ES100 の統合

ES100 対応機器は、オーディオを標準の Ethernet パケット、つまりダウンストリームはブロードキャスト、アップストリームはユニキャストとして送り出すので、ES100 のパケットストリームを VLAN 使用ネットワークで伝送できます。スタートポロジネットワークでは、リダンダンシー機能のないシステムになってしまいますが、これをリングトポロジで行うと、システムはリダンダンシー機能を持ち、ES100 オーディオストリームとともに、IP ビデオ、スピーカー制御用コントロールデータ、StudioManager、DME Designer、DMX 照明コントロールのデータなど、他の VLAN 伝送も可能となります。ギガビットのバックボーンリングがスパニングツリープロトコルで固定されていると、ES100 の回復時間はスパニングツリープロトコルの回復時間まで落ちます。ES100 のみをリングトポロジとし、ネットワークの残りの機器はリダンダンシー機能のないデジチェーンとすることで、エマージェンシークロックがオンのときの ES100 の回復が実質上シームレスとなります。

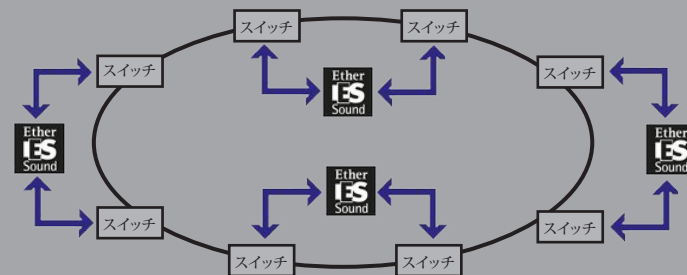
デジチェーン型のブランチを ES100 リングに接続するには、Auvitran AVM500-ES などのルーターが必要です。リングからのブレイクアウトも、Barix Extreamer などの特殊な ES100SPKR バージョンの機器を使って行えます。ES100SPKR バージョンは、ダウンストリームのブロードキャストオーディオを受信するのみで、アップストリーム情報を送出しません。このため、リングのオーディオタイミングには影響が及びません。ES100SPKR のブランチは、デジチェーンにすることも、その接続にリダンダンシー機能を持たせることもできません。



双方向のデジチェーン



リダンダンシー機能を持つリング



リダンダンシー機能を持つリングの統合

4. ES100 オーディオルーティング

ES100 のルーティング

ES100 パケットストリームは毎秒 48,000 パケット、各パケットごとに 64 サンプルを伝送し、約 86 メガビットの Ethernet バンド幅を使用します。

ES100 リング内の機器は、「ダウンストリーム」と「アップストリーム」の 2 つの双方向のパケットストリームに対応します。ダウンストリームのパケットはブロードキャストパケットで、100 メガビット IN 端子の RX ペアで受信し、100 メガビット OUT 端子の TX ペアから送信します。アップストリームパケットはユニキャストパケットで、OUT 端子の RX ペアに接続したダウンストリームの機器から受信し、その機器の MAC アドレスに送信されます。チャンネルの送り出し／読み出し後、これらのパケットは 100 メガビット IN コネクタの TX ペアに接続されたアップストリームの機器の MAC アドレスへ送信されます。

上記の説明は一見複雑そうですが、実はとても簡単に使えます。機器は、パケット内の 64 チャンネルのうちの 1 つを選んで、外部からチャンネルをダウンストリームまたはアップストリームのパケットストリームへ送り出します。「ES Monitor」ソフトウェアではこれが、入力を縦軸に、ES100 のチャンネルを横軸に配したルーティンググリッドで表示されます。グリッドのマスを左クリックすると入力チャンネルがダウンストリームチャンネルに送り出され、右クリックするとアップストリームチャンネルに送り出されます。出力機器も同じグリッド表示を使用します。左クリックすると、ダウンストリームの ES100 チャンネルがその機器の物理的な出力に、右クリックするとアップストリームの ES100 チャンネルが出力に送られます。

接続順に影響を受けないルーティング

ダウンストリームとアップストリームの両方のチャンネルを送信できるということは、各機器が、64 チャンネルのダウンストリーム、64 チャンネルのアップストリームで合計 128 の送信先にチャンネルを送信できるということです。しかし、これにはちょっとしたウラがあります。チャンネルルーティングは、リング内の機器の接続順序が固定されていることを想定しているのです。ES100 のデジタイズチェーンで 1 台の機器がダウンストリームパケットのストリームを使って、オーディオをダウンストリームの機器に送信している図を思い浮かべてください。パケットストリームを受信した機器は、このストリームからチャンネルを読み出し、それをアナログの世界に出力します（図 1 参照）。その後、何らかの理由で、この受信機器がアップストリームの位置に移動すると、ダウンストリームを受信することになります（図 2 参照）。

これはつまり、128 チャンネルのルーティングは機器が接続されている順番に依存しているということです。機器の順番が変わると、正しいルーティングではなくなってしまいます。コンサートツアー会社などが使用するシステムでは機器が絶えず変わったりするので、この順番が問題となります。

この問題に対するソリューションは、接続順に影響を受けないルーティングを構築することです。これは、チャンネルの送り出しをダウンストリームのみで、また読み出しをアップストリームのみで行うことにより、簡単に解決できます。

このようにすれば、デジタイズチェーン内の機器の順番に関係なく、ルーティングが常に有効となります（図 3 と 4 を参照）。これは、チャンネル合計が 64 までに制約されます。

ES100 リングの設定

ES100 プロトコルの主な特長の一つは、1 台の機器を「プリファード（優先）プライマリマスター」（PPM）として指定する、リダンダンシー機能を持つリングトポロジーです。PPM では、通常その入力ブロックされていますが、リングにトラブルが発生するとすぐにブロックを解除します。リダンダンシー状態では、リングがデジタイズチェーン状で機能するので、ダウンストリームのオーディオは PPM が出発点となり、PPM よりアップストリームのロケーションにある機器はループバック機器として機能します。リングにトラブルが発生するとすぐに、PPM は入力のブロックを解除し、接続の切れたダウンストリームの機器がプライマリマスター機能を持つようになります。こうして、機器の順番が変更になり、リダンダンシー状態の時とは異なるプライマリマスター、ループバック機器を持つ新しいデジタイズチェーンが形成されます。

リダンダンシー機能を持つリングシステムで、接続だけでなくオーディオのルーティングも回復させるようにするには、機器の接続順序に依存しないルーティング方式を作ることが必須です。実際、（PPM を指定することで）ES100 システムのリングモードが有効になるとすぐに、「ES Monitor」ソフトウェアのルーティングページでは、ダウンストリームチャンネルでは送り出しのみ、アップストリームチャンネルでは読み出しのみが可能で、その他のルーティングはできません。

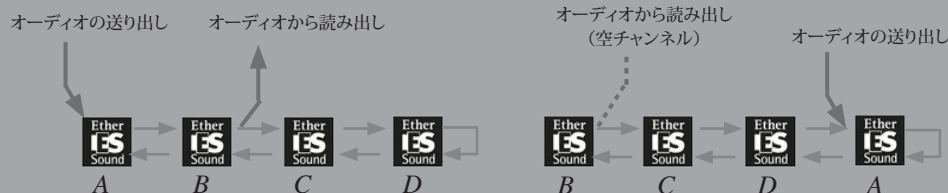


図 1：双方向ルーティング
A でダウンストリームに送り出し
B でダウンストリームから読み出し

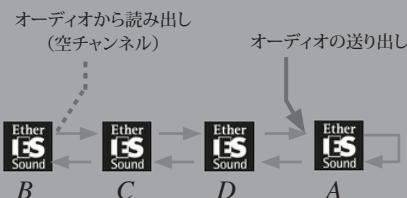


図 2：機器の接続順が変更
A でダウンストリームに送り出し
B でダウンストリームから読み出し
(B で空チャンネルを読み出し)

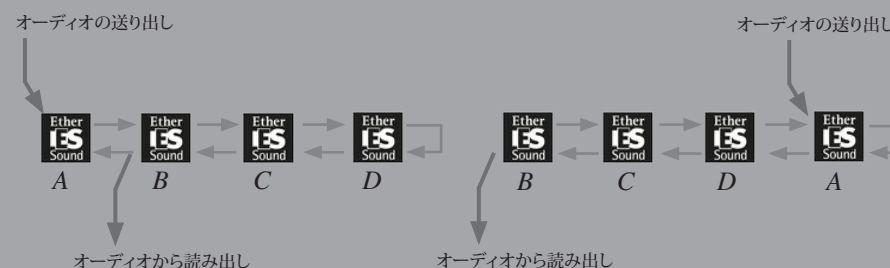


図 3：機器の接続順に影響を受けないルーティング
A でダウンストリームに送り出し

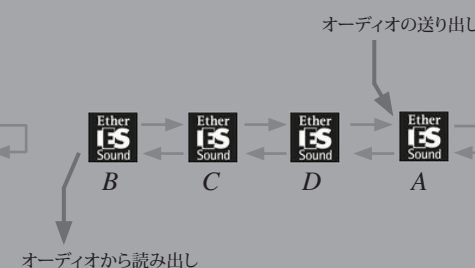


図 4：機器の接続順が変わっても動作継続

5. リダンダンシーの問題

リダンダンシーレート

ネットワークオーディオシステムは、オーディオ機器とネットワーク機器とを組み合わせることで構築します。アナログのオーディオシステムと比べるとネットワークシステムでは未知数な要素が遥かに多くなります。ケーブルの損傷や機器の電源トラブルなどの緊急トラブルはネットワークシステムのパフォーマンスに重大な影響を与えます。この問題に対処するため、ネットワークには通常、リダンダンシー機能が組み込まれており、万一緊急トラブルが発生してもシステムは自動的に回復するようになっています。

システムトラブルから自動回復する確率を、リダンダンシーレーティングと呼びます。これは、ネットワークが1件のシステムトラブル、または連続した複数のシステムトラブルからの回復率を表したものです。トポロジーやリダンダンシープロトコルによって、リダンダンシーレーティングも変化します。

リダンダンシー機能を持ったシングルリングトポロジーでは、リダンダンシーレーティングは常に100%です。つまり、ネットワークはどんなシステムトラブルからも回復します。

ダブルスターネットワークまたはダブルリングネットワークではリダンダンシーレーティングは高い回復率を示しますが、トランクタイプのダイジェンチェーンでは低い回復率となっています。

セーフティレーティング

リダンダンシーレーティングはネットワークの緊急トラブルからの回復率を示すものですが、システムトラブルが生じる確率は、ネットワーク内のトラブル発生元の数（トラブルを発生可能な箇所の数）によって決まります。ケーブルの本数やネットワークインターフェースカードの数が多いほど、トラブル発生率は高くなります。

セーフティレーティングは、リダンダンシーレーティングの値を、ネットワーク内のトラブル発生元の数で割り算して求めます。

さまざまなオーディオネットワークシステムの中でも、ES100 オーディオシステムのリダンダンシーリングではトラブル発生元の数が非常に少ないため、小/中規模のネットワークとしてはセーフティレーティングが最も高く、ダブルスター、ダブルリングに比べてもレーティング、つまり安全率は高くなっています。

リダンダンシー機能

スパニングツリープロトコル、トランピングなどのEthernetリダンダンシープロトコルを使用すると、ケーブルの損傷、機器の電源トラブルなど致命的なトラブルからネットワークを守ることができます。ただし、このプロトコルはコネクタ接続不良などのトラブルからシステムを保護するものではありません。その場合はケーブル引き直し方法や接続端子など、ハード的な対策が必要です。

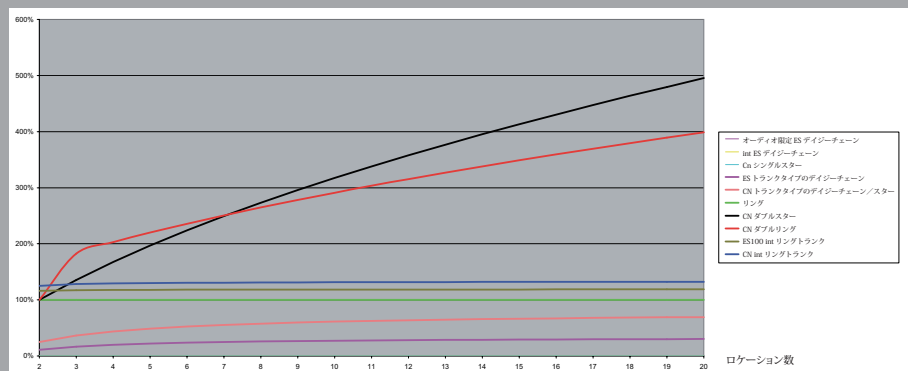
リダンダンシー機能のモニター

リダンダンシー機能を有するネットワークであっても、その機能が実際に機能しているかどうかをチェックするには、リダンダンシー機能チェック用の特別なモニターシステムが必要になります。つまり、ネットワークがリダンダンシー機能を有していないのに、ユーザーが、リダンダンシー機能が有効であると考えることもありえます。

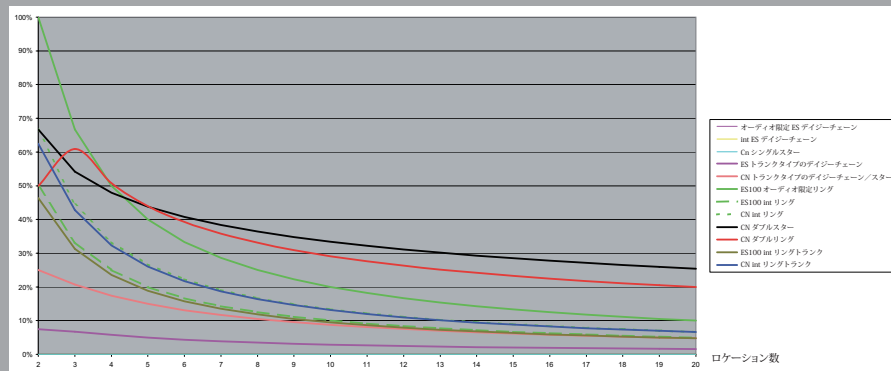
「HP-Openview」、「3COM ネットワークモニター」、「ES Monitor」などのモニターソフトウェアを使用するのは面倒です。ほとんどの場合、パケット検出またはオーディオを利用して簡易なシステムモニターを行ないます。パケット検出の場合、複数のVLANを使用して、ロジカルセグメントをネットワーク内すべてのケーブル、スイッチに強制的に伝送します。戻った信号をモニターして、ネットワークがリダンダンシー機能を有しているかを調べることができます。

コントロール系を除くオーディオのみに限定したES100 リングでは、オーディオ信号がプリファードプライマリマスター（PPM）から未使用のES100 チャンネルでネットワーク上へ伝送され、ES100 機器によりダウンストリームへのオーディオ信号が取りだされ、信号はPPM入力に戻ります。この信号は、機器の接続順序に依存したルーティングであるダウンストリームから取られるので、緊急トラブル発生時には接続が途切れれますが、残りのオーディオ信号は回復します（システムの状態が表示されます）。

2～20カ所のロケーションを有するネットワークリダンダンシーレーティングの結果
リダンダンシーレーティング（リングリダンダンシーに正規化）



2～20カ所のロケーションを有するネットワークセーフティレーティングの結果
セーフティレーティング（2カ所のオーディオ限定 ES100 に正規化）



6. ケーブル、コネクタなどの問題

ケーブル

ES100 システムは CAT5e 以上のケーブルを使用します。OUT ポートから直接 IN ポートまで接続する理想的なシステムでは、最長 100 メートルまでのケーブルを使用できます。

しかし、現実には理想的なシステムというものはそう多くはありません。また、ES100 機器をライブツアー PA システムで使用する場合、だんだん RJ45 コネクタの耐久性が問題となります。大規模なポップミュージックのコンサートの真っ最中にこんな問題が生じないよう、EtherCon コネクタなどのパッチベイを使用し、またケーブルやコネクタを定期的に新しいものに取り替えることが重要です。

ケーブルは少なくとも前もって使用し、確認しておきます。Ethercon パッチベイを介して接続されており、すぐ近くにはディマーマックや高出力のアンプラックがあるような接続環境となります。このような場合、銅線ケーブルの使用をステージ上で必要な長さまでとし、FOH とステージラック間の接続などの長距離の接続は光ファイバーケーブルを使用することをお勧めします。

コネクタ

ほとんどの ES100 機器は、ダイレクト接続用に耐久性のある EtherCon コネクタを備えています。パッチベイでも、EtherCon コネクタとケーブルが使えます。

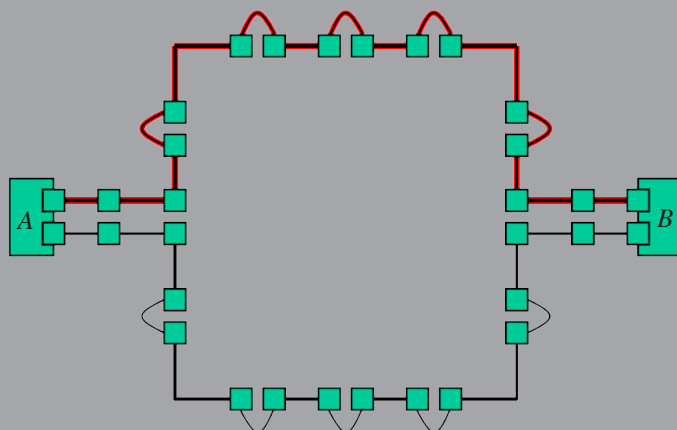
メディアコンバータを使用すれば、接続をマルチモードまたはシングルモードの光ファイバーに変換できます。オーディオ市場で最も広範囲に使用されている接続システムには「Neutrik OpticalCon」や「Connex-Fiberfox」があります。

コネクタとケーブルの状態は頻繁に検査し、定期的に新しいものと交換して、リダンダンシー機能ではカバーできないようなコネクタの偶発的トラブル発生を防いでください。

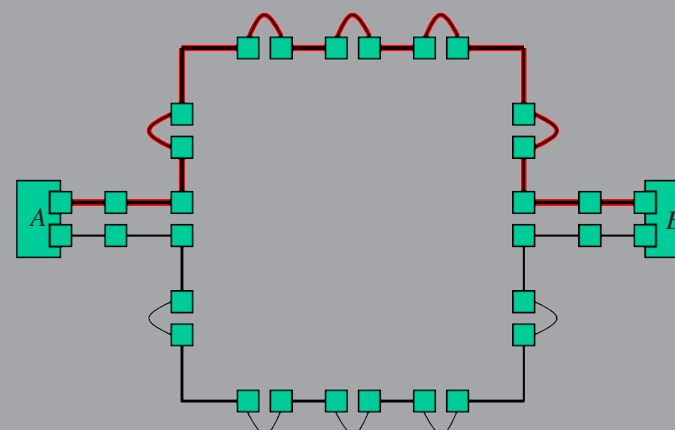
アナログオーディオケーブル接続では、コネクタのオス／メス端子に規則があります。オス端子は出力用、メス端子は入力用です。Ethernet は双方向なので、規則が異なります。オス端子はケーブル上のコネクタ、メス端子は本体上のコネクタです。従って、ケーブル端子と本体上の端子にラベルを貼っていつでも容易に認識できるようにしておくことが重要となります。同様に、システム内の各ロケーションを接続するときに、システム担当者がラベル表示を理解するよう研修しておくことも重要です。

複数のアクセスポイントと大型システム

ES100 は、リダンダンシー機能を持った小／中規模のリングトポロジーを使用するライブ PA システムのために設計されています。たとえば劇場や文化施設、コンサートホールのライブ PA システムなど、接続ポイントの多い音響設備では、リングトポロジーは適しません。というのは、未使用の接続ポイントをパッシブリンクとする必要があるため、パッシブリンクの多いリングセグメントが形成されてしまうからです。このため、トラブル発生元の数（各ケーブル、コネクタ）が多くなるだけでなく、実際リングセグメントに多数のコネクタがあるため Ethernet 信号の品質が劣化してしまいます。複数のアクセスポイントのあるシステムと、5 カ所以上のアクティブなロケーションおよび／または 64 チャンネル以上を持つ設備では、CobraNet を使用したダブルスタートポロジーを代替手段として考慮します。



12 カ所のアクセスポイントを有するリングトポロジー
A から B まで 5 カ所のパッシブリンクを通過



12 カ所のアクセスポイントを有するスタートポロジー
A から B までアクティブリンクのみを通過

7. ES100 リダンダンシーリングのシステム

IT 機器のないシステム

ES100 をリダンダンシーリングで使用するシステムでは、オーディオチャンネル 64 系統とヘッドアンプコントロール用シリアル接続に対応しています。Ethernet 上の IP を追加して組み込むことはできません。このシステムの大きな利点は、IT 機器が含まれていないことです。ネットワークを構築しているのは、多数の ES100 対応機器と、それと同数のケーブルのみで、それ以外はありません。

このシステムでは、ES100 対応機器をアナログオーディオのケーブル接続と同じように、OUT コネクタと IN コネクタを接続さえすれば、各機器はどんな順序でも接続できます。

ロケーション

ユーザー側から見ると、ES100 リダンダンシーリングシステムには各ロケーションとそれを接続する長距離ケーブルがあることになります。

ロケーションには、1 台の ES100 機器、またはパッチケーブルでデジチェーン接続した複数台の ES100 機器があります。偶発的な接続トラブルの問題が生じないよう、ラック内の入出力端子をパッチケーブルで確実に固定させることが望ましいでしょう。パッチケーブルは毎回使用するたびに取り外す必要がないので、使用時間などの問題もありません。

ワードクロック

ES100 リングでは、どの機器でもプライマリマスター機器になれる設定をします。プライマリマスターはワードクロックソースでもあり、ES100 システムを外部同期させることはできません。というのは、同期してしまうと、ワードクロック機器を固定してしまうからです。緊急トラブルが発生してプライマリマスター機器が変わった場合、外部同期していた機器は ES100 リングに同期しなくなります。複数のリングを一緒に同期させることができないので、これは特に放送分野や 64 チャンネル以上を必要とするシステムで問題となります。

切り替え

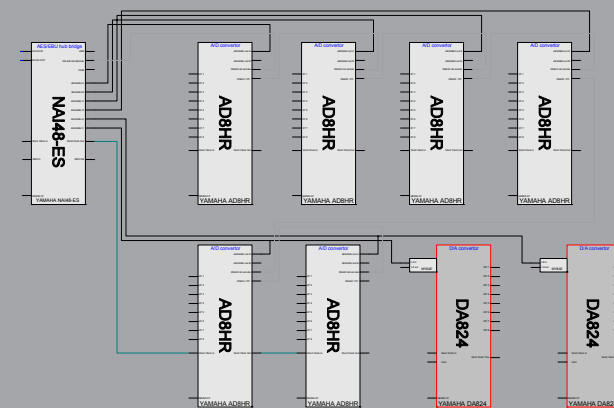
ES100 リダンダンシープロトコルは高速で、リダンダンシーリングはトラブルが生じてでも即刻回復します。ES100 機器の同期は、オーディオ接続が回復する前に 2 ～ 3 秒で再同期します。リング内のすべての機器が ES100 の「非常クロック」機能に対応している場合、リダンダンシー機能による再同期への切り替えは実質上シームレスでシステムが即時回復します。

HA リモート機能

ES100 プロトコルには RS422 接続に対応した低バンド幅のシリアルトンネルがあります。これを使用して接続したヤマハのミキシングコンソールから、DME や AD8HR マイクプリアンプをリモートコントロール（HA リモート機能）できます。



ロケーションコンポーネント



ロケーションの機能図

8. ES100 を統合したリダンダンシーリング

システム統合する理由は？

ES100 のアプリケーションを他の Ethernet 機器と共有して効率良くシステムを運用できます。DMX、ビデオ、VoIP など、Ethernet で得られる利点を数々の IP を、同じケーブルでシステムに導入できます。また、DME Designer、Studio Manager、AMX や Crestron などを使用してシステムを一括してコントロールできます。

更に複雑なシステムでは、ES100 デイジーチェーンのブランチや ES-100SPKR 機器を加えることもできます。ただし、このネットワークセグメントはリダンダンシー機能を持ちません。リダンダンシー機能を持つ「ハイブリッド」設計としては、DME やミキシングコンソールなどのハードウェアのルーターを使って、CobraNet のブランチを追加する方法があります。

VLAN

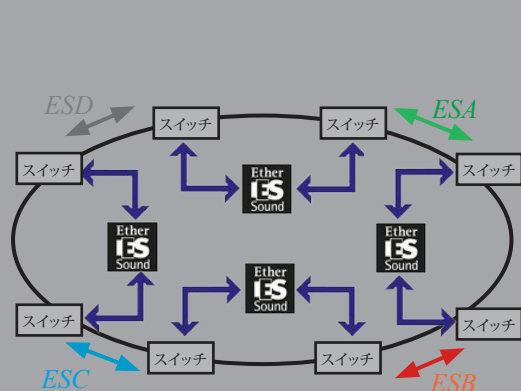
ES100 をギガビットネットワークに統合するには 2 つの方法があります。1 つの方法は、ES100 の各セグメントを個々に接続し、接続機器間でのセグメントだけでバンド幅を使用する VLAN 構造を設計することです。以下の図では、VLAN の ESA、ESB、ESC、ESD がリングのすべてのセグメントを接続しており、安価で小さな容量のスイッチが使用できます。ただし欠点は、機器の接続順序に影響を受けてしまうことです。各ロケーションは、あらかじめ決めた方法で接続する必要があります。システムはハード的には機器の接続順序に縛られますが、ES100 機器の機能上の接続は機器の順序に影響されないで、ES100 のリダンダンシー機能は保持されます。

もう 1 つの方法は、そのセグメントの VLAN がすべてのロケーションをカバーするよう設計することです。これによって、ロケーションのハード的接続は機器の接続順序には影響を受けなくなります。欠点として、どのロケーションにも、すべてのセグメントのプロードキャストパケットストリーム（パケットストリームごとに約 85 メガビット、以下の図ではケーブルごとに 4 ストリーム／スイッチごとに 8 ストリーム）が存在するため、大きな容量のスイッチが必須となります。

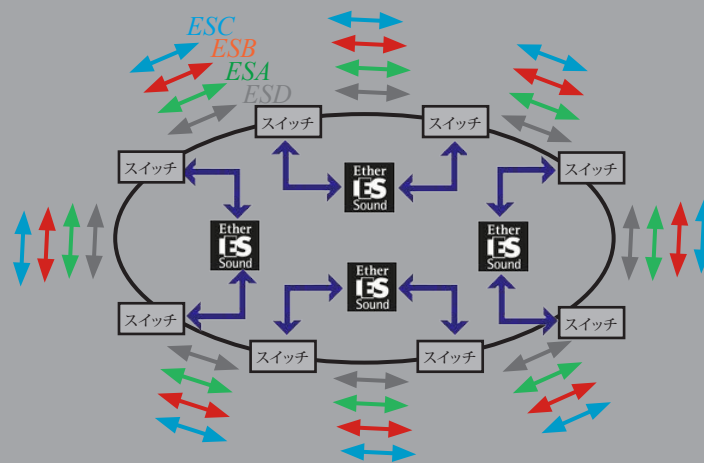
リダンダンシー機能

統合された ES100 リングトポロジシステムは、ES100 リダンダンシーと Ethernet ネットワークのリダンダンシーを組み合わせたものです。ES100 リダンダンシーは非常に高速で、すべての接続機器上で非常クロックをオンにすると、切り替えが実質上シームレスとなります。残念なことに、(VLAN 構造を介して ES100 リングに対応している) Ethernet リング、スパニングツリープロトコルは緊急トラブルに反応し始めるとすぐに短期間だけネットワーク内のすべてのポートをブロックするので、ES100 リダンダンシーがシームレスに切り替わりません。

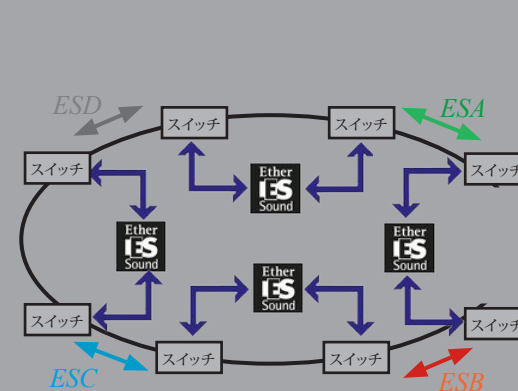
2 つのリダンダンシープロトコルを使うには、やはり 2 つの方法があります。1 つは両方のプロトコルを使うことです。この場合、オーディオの切り替え時間は遅く、少なくとも数秒かかります。もう 1 つの方法は、Ethernet システムをデジーチェーンのままにしておき、2 台の ES100 機器間でのみリングを閉鎖します。この場合スパニングツリープロトコルは不要で、ハード的なネットワークはリダンダンシー機能のないデジーチェーンになりますが、ES100 の接続によって、切り替えタイミングの迅速なリダンダンシーリングを形成します。



ES100 を統合したシステム
(機器の接続順序に影響を受ける)



ES100 を統合したシステム
(機器の接続順序に影響を受けない)



統合されたデジーチェーン上の ES100 リング

9. ヤマハの ES100 機器

MY16-ES64 & MY16-EX

MY16-ES64 カードは ES100 ネットワークに 64 チャンネルを提供します。ただし、カードでホスト機器 (コンソールまたは DME エンジン) にルーティングできるのは、これらのチャンネルのうち 16 系統のみです。残りの 48 チャンネルは、最大 3 枚の MY16EX カードをデジタイズチェーンすることでホストに接続できます。

NAI48-ES

NAI48-ES は ES100 ネットワークへの双方向の AES/EBU ブリッジです。48kHz で 48 チャンネル、96kHz で 32 チャンネルの取り扱いが可能です。AD8HR および MY8-AE のピン配線と互換性のある 6 つの AES/EBU 端子 (D-sub 25 ピン) を備えています。

SB168-ES

SB168-ES は、48kHz で高品位マイク/ライン入力 16 系統とライン出力 8 系統を提供します。マイク/ライン入力は、ヤマハデジタルミキシングコンソールと DME でリモートコントロールできます。入出力は、ES100 システムの 64 チャンネルのいずれのチャンネルにも割り当てることができます。

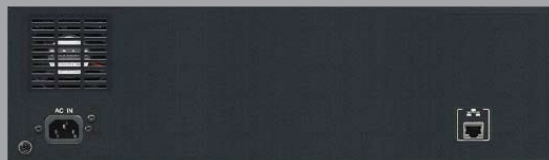
3 台の SB168-ES を使用したシステムでは、マイク/ライン入力 48 系統、ライン出力 24 系統の合計 72 チャンネルが利用できます。ES100 リダンダンシーリングが対応するのは 64 チャンネルまでなので、たとえば残りの 8 チャンネルをダブル出力 (同一の ES100 チャンネルからフィード) できます。

DME satellite-ES

DME satellite には製品によって 3 種類があります。リモートコントロール可能なマイク/ライン入力 8 系統、ライン出力 8 系統、および入力 4 系統 + 出力 4 系統です。どれも同等の処理能力 (上位機 DME24N の約 80%) を持ちますが、SPX コンポーネントはありません。

DME satellite の ES100 機能では、ES100 ネットワークに入力 16 系統、出力 16 系統を提供します。これはアナログ I/O より多くなっています。DME satellite は DSP を分散配置したシステムで使用するのが理想的です。このシステムでは DSP 処理が 1 台に集中せず、低レイテンシーの ES100 プロトコルでリンクされた複数の機器に分散されます。DME satellite の DSP はグラフィック EQ およびダイナミック EQ、ダイナミクス、ミキシング機能、及び高出力、高品位のスピーカープロセッシングに対応しています。

SB168-ES



NAI48-ES



DME Satellite-ES



MY16-ES64



MY16-EX



10. ES100 機器のプログラミング

設定しっぱなし...

ES100 プロトコルにはオーディオタイミングが含まれているため、リング上に他の Ethernet トラフィックを送信することはできません。他のトラフィックがあるとキューが待機して同期が崩れてしまうからです。このため、閉鎖されている ES100 リングにコンピュータを接続してプログラミングやモニタリングを行うことはできません。ただし、「第 3 のポート」を搭載した他社メーカーの機器を使えばこれが可能です。

ES100 に最も適した用途は、「設定しっぱなし」の環境です。つまり、一旦ルーティングをプログラムしシステムの機器内に保存した後は、システムを接続／立ち上げるごとに、設定された機能が常に使用できることです。

プログラミング中はリダンダンシー機能が不要なので、任意のロケーションでリングの閉鎖を解除して、PC を手近の機器の IN コネクタに接続します。「ES Monitor」ソフトウェアでリング内のすべての機器をコントロールできます。設定をプログラムし全機器に保存したら、PC の接続を外し、リングをもう一度閉鎖して試験を行います。

リダンダンシーリングの作動中に、「ES Monitor」ソフトウェアをオンラインで使用するには、Auvitrans AVM-500ES、または Auvitrans AVY16-ES100 などの第 3 のコネクタを装備した ES100 機器が必要です。

設定手順

手順 1.

1 台の機器を PPM に設定してシステムをリングモードに設定します。システムは自動的にリングモードに入り、PPM にはリングが閉鎖されていないことを示すアイコンを表示します。

手順 2.

全機器上で非常クロックをオンにします。

手順 3.

各機器のルーティングをプログラムします。機器はリングモードなので、ソフトウェア上では機器の接続順序に影響されない設定（ダウンストリームへ入力、アップストリームから出力）のみを選べます。

手順 4.

各機器の HA コントロールモード（ボーレート、ユニキャストのターゲット、シリアルトンネルのオン）を設定します。

手順 5.

設定を各機器ごとにメモリに保存します。これで、システムは指定した設定で毎回立ち上がります。

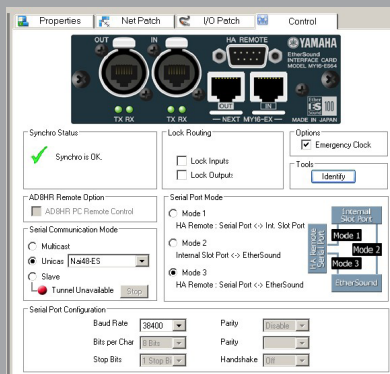
手順 6.

PC を機器から外し、リングを閉鎖します。ケーブルを試験的に外してみて、リダンダンシー機能が働くことを確認します。

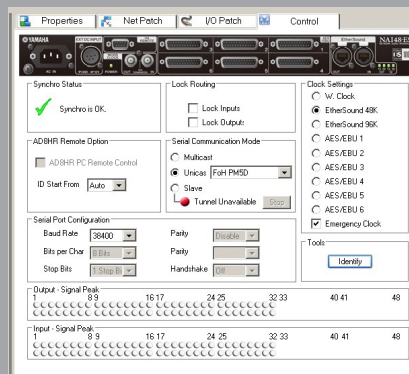
HA コントロール

ヤマハヘッドアンプ (HA) コントロール機能を使用して、ミキサーや DME から、外部入力ユニットのヘッドアンプをコントロールします。このコントロールは RS422 接続を使用し、DME satellite や LS9 などのヤマハ機器で直接 ES100 ネットワークをトンネルさせるか、PM5D、M7CL、DM2000、DME24N、DME64N などのホスト内の MY16-ES64 カードの RS422 接続をトンネルさせます。

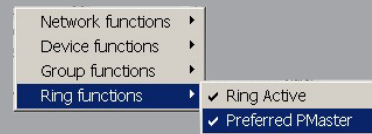
HA コントロールはミキサーと入出力ラックをつなぐ単一接続の場合、あるいは複数の入出力ラックをつなぐ一連の接続の場合もあります。各 ES100 機器ごとに、コントロールする HA ID を個別にプログラムできます。



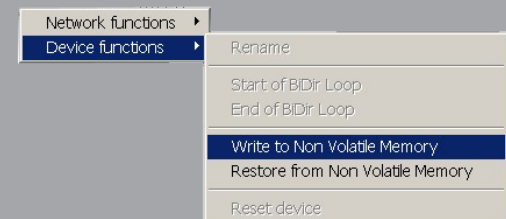
HA コントロール MY16-ES64 (PM5D 内)



HA コントロール NAI48-ES



PPM に指定



不揮発性メモリ内に保存

11. ドキュメンテーション

ドキュメンテーションの重要性

アナログシステムのトラブルシューティングにはそれなりのテクニックが必要ですが、ネットワークのトラブルシューティングのことを思えば比較的簡単です。アナログシステムでは、どの接続もケーブルという物理的に目に見えるものがありますが、ネットワークシステムでは、機能上の接続と、目に見える物理的なケーブル接続とがそれぞれ完全に独立しています。接続状態を記した正しいドキュメンテーションがないと、システムのトラブルシューティングが極度に困難になります。適切なドキュメンテーションが現場にあれば、システム上で生じた問題の原因追求時間がかなり短縮できます。システムのドキュメンテーションを印刷版の文書にして、システムと一緒に保管することをお勧めします。また、電子形式の文書は、専用のソフトウェアをインストールせずに誰でも読めるよう PDF 形式にします。

ドキュメンテーションには少なくともレイヤー 1 ダイアグラムと VIMP リストを掲載し、システムに変更やアップグレードがあるたびに必ず更新します。その他の情報として、ファームウェアとソフトウェアのバージョン、システムのユーザーマニュアル、メンテナンスプロトコルも必要です。

レイヤー 1 ダイアグラム

ネットワークの階層は OSI モデルによると、7 つのレイヤーに分かれます。レイヤー 7 は、たとえばコンピュータ画面上などで、実際に人が操作するユーザーインターフェースを表します。レイヤー 1 はシステムハードウェアのエレクトロニクスを表します。

IT 分野の人々は一般的に、レイヤー 2 ~ 7 に関わります。オーディオ分野の人々はコネクタ/ケーブルが含まれるレイヤー 1 に関わります。どちらの場合も、ネットワークオーディオシステムのドキュメンテーションは、レイヤー 1 ダイアグラムが発点となります。これは、IT 分野の人もオーディオ分野の人も理解できるものです。ただし、IT 分野の人の中には、レイヤー 1 など存在しない、と言う人もいますが。

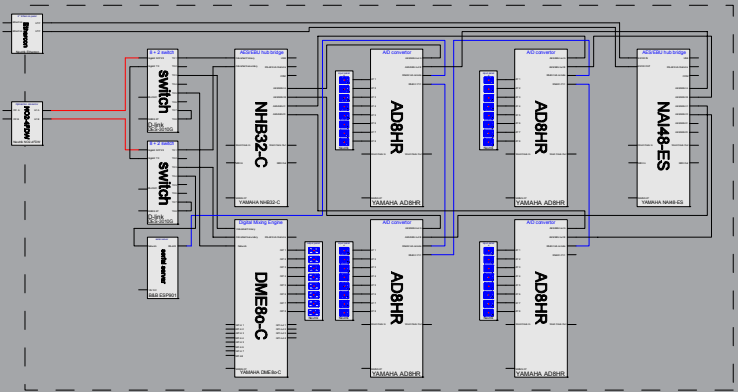
レイヤー 1 ダイアグラムにはネットワーク内のすべてのハードウェア、オーディオハードウェア、主な接続が記載されています。大型のシステムでは、2 つのダイアグラムが記載されていることもよくあります。1 つはネットワーク用でネットワークのハードウェアと接続のみを掲載し、もう 1 つはオーディオでネットワークとオーディオのハードウェア、接続を掲載したものです。

VIMP リスト

ネットワーク内の機器は MAC アドレスと IP アドレスで識別されます。ネットワークの分析や問題の原因究明のために、IP スキャナー、「ES Monitor」、「CobraNet Discovery」などのソフトウェアを使用してネットワークを監視します。MAC アドレス、IP アドレスを持つシステムのハードウェアを接続する際には、必ずシステムのドキュメンテーションに記録します。記録されていないと、MAC アドレスを一つ一つ目視確認していかなければなりません。これは非常に時間のかかることです。

MAC アドレスと IP アドレスに加え、システム内のスイッチの VLAN ポートの割当て、オーディオプロトコルの設定も、わかりやすく表に記録することが必要です。

これらの情報をすべてまとめたものを、頭文字を取って VIMP リストと呼びます (VLAN ポート割当て + IP テーブル + MAC テーブル + Protocol 設定)。



レイヤー 1 ダイアグラム

Input rack TS1															
Port	192.168.0.31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Sec	192.168.0.23	CN	CN	DEF	DEF	DEF	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
		2	2	1	1	1	1	1	1	1	1				
Mix rack TS2															
Port	192.168.0.25	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Sec	192.168.0.30	CN	CN	DEF	DEF	DEF	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
		2	2	1	1	1	1	1	1	1	1				
Amprack TS3															
Port	192.168.0.30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Sec	192.168.0.24	CN	CN	DEF	DEF	DEF	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
		2	2	1	1	1	1	1	1	1	1				
Amprack TS4															
Port	192.168.0.27	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Sec	192.168.0.22	CN	CN	DEF	DEF	DEF	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A	ES A
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
		2	2	1	1	1	1	1	1	1	1				
VLAN															
Port	Device	IP	MAC	DESCRIPTION	Notes										
V1	YAMAHA NH832-C	192.168.0.31	00:00:00:00:00:00	for NH832-C only, definition											
V2	YAMAHA DME80-C	192.168.0.30	00:00:00:00:00:00	for DME80-C only, definition											
V3	YAMAHA AD8HR	192.168.0.23	00:00:00:00:00:00	should be YAMAHA-C											
V4	YAMAHA MA8-ES	192.168.0.25	00:00:00:00:00:00	should be YAMAHA-C											
V5	YAMAHA AD8HR	192.168.0.30	00:00:00:00:00:00	should be YAMAHA-C											
V6	YAMAHA AD8HR	192.168.0.24	00:00:00:00:00:00	should be YAMAHA-C											
V7	YAMAHA AD8HR	192.168.0.27	00:00:00:00:00:00	should be YAMAHA-C											
V8	YAMAHA AD8HR	192.168.0.22	00:00:00:00:00:00	should be YAMAHA-C											

VIMP リスト

12. トラブルシューティング

1. 情報の用意

第一ステップとして、システムのドキュメンテーションを手元に用意します。ドキュメンテーションがないと、トラブルシューティング作業の時間が10倍もかかってしまいます。トラブルシューティングについての情報は通常、印刷物、または CD、USB メモリースティック、ウェブサイト上の PDF ファイルに掲載されています。

情報が手元に何も無い場合は、まずシステムの点検から始めます。レイヤー 1 ダイアグラムを作成し、わかる範囲で MAC アドレス、IP アドレスの表を作成します。システムに管理型スイッチが含まれている場合は、VLAN の構造も図式化することが必要です。これがないと、何がどこに接続されているのか五里霧中です。ネットワークプログラマーの電話番号を訊くために手当たり次第いろんな人に電話をかけるハメになります。

2. デフォルトの VLAN に対する ping の実行

スイッチを含むシステムでは、第二段階として、IP スキャナーでデフォルトの VLAN に対し ping を発行し、「生きて」いる IP をドキュメンテーションと比較します。これは、デフォルトの VLAN がネットワークの管理とコントロールに使用されていることを想定しています。IP が 1 つ欠けている場合は、そこに問題の根源があります。

スイッチを含まないシステムでは、この第二段階をスキップします。

3. 「ES Monitor」の起動

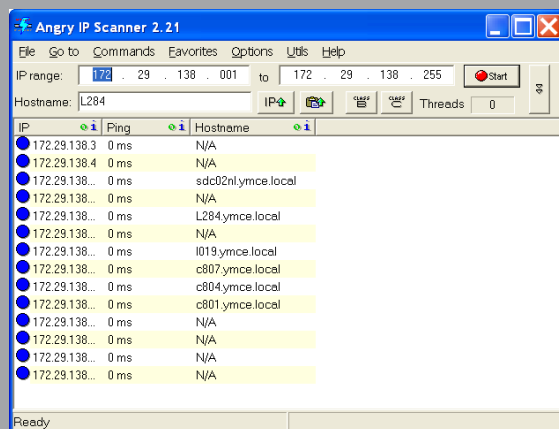
任意の ES100 機器の OUT ポートからケーブルを取り外し、コンピュータに接続して ES Monitor を起動します。

ES Monitor にはリング内のすべての ES100 機器が表示されます。1 台欠けている場合は、そこに問題の根源があります。

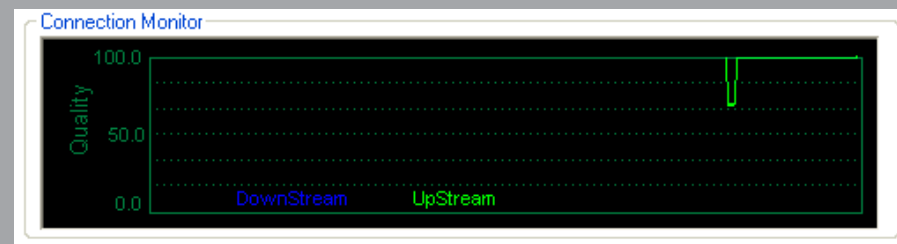
すべての機器が「生きて」いる場合は、「properties」タブの一番下にある、「Connection Monitor」（接続モニター）をチェックします。「ES Monitor」のプリファレンスでモニターを有効にします。「Connection Monitor」（接続モニター）のグラフに、ネットワークのダウンストリームとアップストリーム接続の安定状態の履歴がわかります。落ち込んだ部分がある場合は、そこに問題の根源があります。

4. 問題の三大原因をチェック

- 1) MY カードのホスト機器上でのワードクロック設定
- 2) パッチケーブルのゆるみ
- 3) 長距離ケーブル／コネクタの不具合



Angry IP Scanner



ES Monitor
Connection Monitor（接続モニター）

13. システム例 1：48 チャンネル FOH ～モニター～ステージラック

ミキシングコンソール

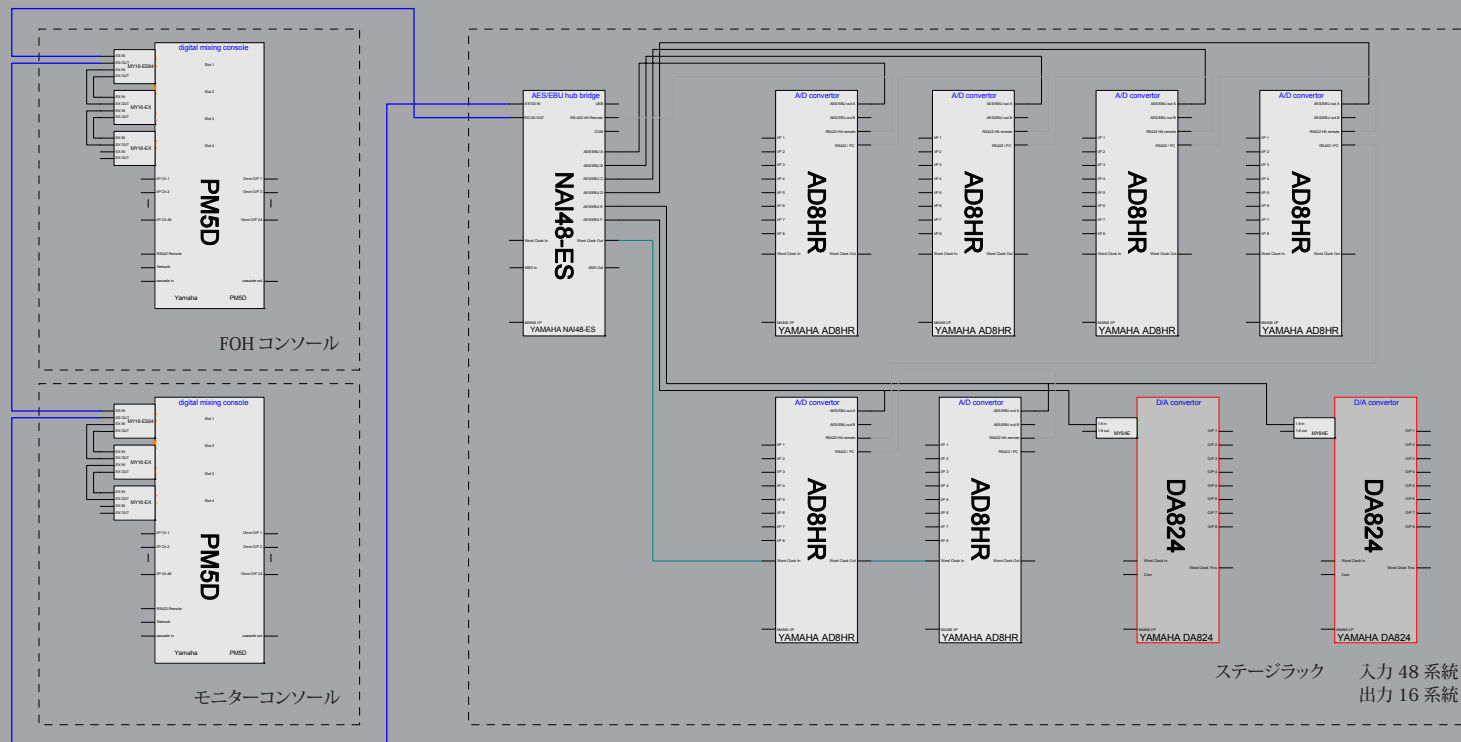
このシステムは、FOHとモニターローケーションに2台のPM5Dを使用しています。両コンソールとも、ステージラックの計48チャンネル用にMY16-ES64カード1枚、MY16-EXカード2枚を搭載しています。ES100リングの64チャンネルのうち残りの16チャンネルは、FOHコンソールおよびモニターコンソールの出力を任意に組み合わせて、ステージラックの出力に接続できます。

ステージラック

ステージラックには6台のAD8HRがあり、PM5D-RHおよびPM5000と同等のヘッドアンプ、ADコンバータを提供します。ヘッドアンプは、FOHコンソールからES100ネットワークを介したシリアルトンネルでコントロールします。このステージラックには16系統の出力があり、FOHコンソールおよびモニターコンソールの任意の信号の組み合わせを受け付けます。

ネットワーク

ネットワークポロジは、オーディオ限定リダンダンシーリングで、長距離ケーブルが直接FOHコンソールおよびモニターコンソールのMY16-ES64カードと、ステージラックのNAI48-ESに接続されています。コンソールとステージラックは、任意の順序で接続し電源を入れることができます。



14. システム例 2：32 チャンネル FOH ～モニター～デュアルステージラック～アンプラック

ミキシングコンソール

このシステムでは、FOH 用に M7CL-32、モニター用に LS9-32 を使用しています。両コンソールとも、ステージラックの計 32 チャンネル用に MY16-ES64 カード 1 枚、MY16-EX カード 1 枚を搭載しています。ES100 リング 64 チャンネルのうち残りの 32 チャンネルは、FOH コンソールおよびモニターコンソールの出力を任意に組み合わせて、ステージラックとアンプラックの出力に接続できます。

ステージラックとアンプラック

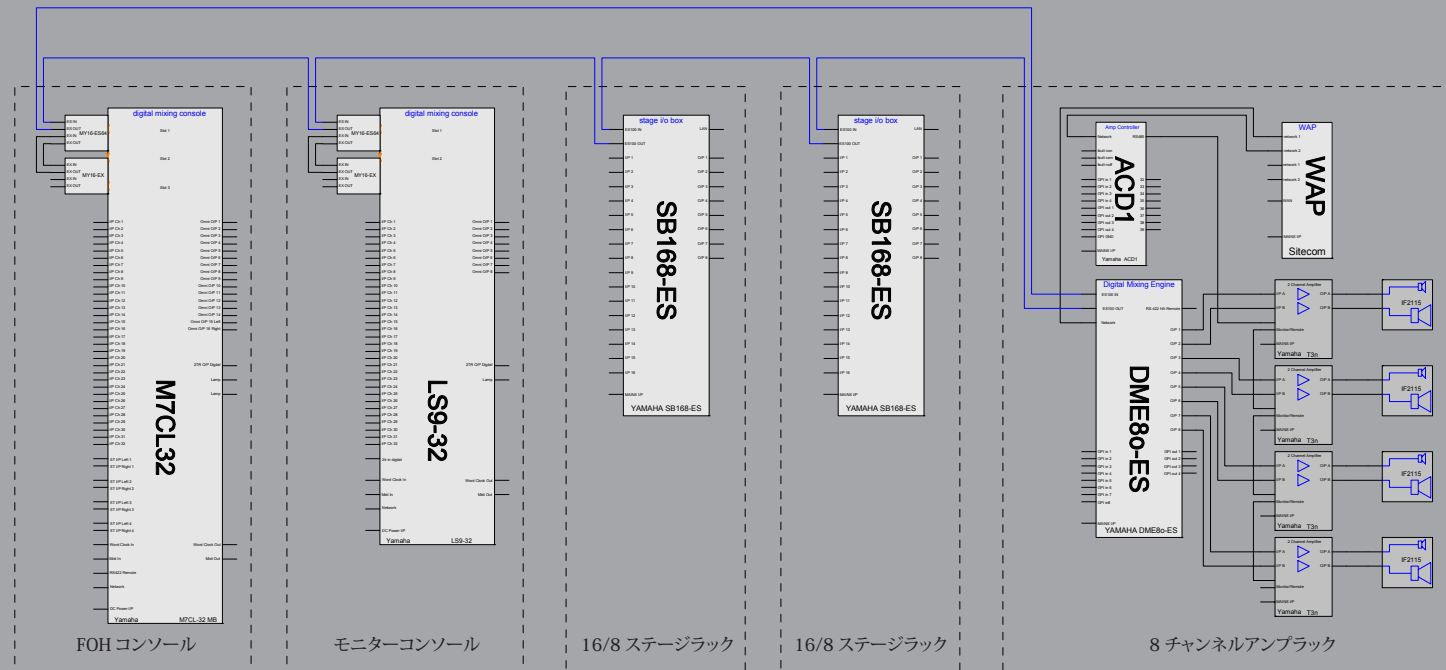
ステージラックでは 16 チャンネルの高品位ヘッドアンプと AD コンバータを使用し、FOH からネットワークを介したシリアルトンネルでコントロールします。ステージラックには、ステージモニター用にそれぞれ 8 系統の出力も含まれています。

アンプラックには、スピーカープロセッサとしての DME8o-ES があり、メイン PA のラウドスピーカー IS シリーズを駆動する 4 台の T3n アンプに接続しています。

ネットワーク

ネットワークポロジは、リダンダンシーリングで、長距離ケーブルが直接 FOH コンソールおよび MON コンソールの MY16-ES64 カード、ステージラックの SB168-ES、アンプラックの DME8o-ES に接続されています。コンソールとラックは、任意の順序で接続し電源を入れることができます。

DME8o-ES と ACD1 はワイヤレスアクセスポイント（WAP）に接続しているので、スピーカーシステムのワイヤレスコントロールとモニターができます。





The complete package

すべてを包括するパッケージ

ヤマハのコマーシャルオーディオ製品のラインナップは多様で幅広く、設備音響システムやライブツアー PA 用システムにおける複雑な課題を、1 社の製品群で解決できます。デジタルミキサー、デジタルプロセッサーに加えて、オーディオネットワーク、アンプコントロール・モニター等、広範囲かつ高度な出力機器を用意しています。また、ヤマハシステムソリューション認定のシステムインテグレータが、お使いのシステム要件に合ったカスタムシステムの設計、試験を行います。

ヤマハのシステムソリューション

ヤマハでは優れた製品品質を誇りにしています。しかし、システムソリューションでは単に製品の品質だけでなく、それ以上の要素が関わってきます。この要素とは、たとえばケーブル接続、ネットワーク技術、デザインツール、品質管理ツールなどです。このため、認定のシステムインテグレータのネットワークと密接に協力して、設備音響システムからライブツアー用 PA システムまですべてを包括するパッケージをお届けします。

「ES100™ネットワークオーディオシステムの設計」

Yamaha Commercial Audio, 2006 - Ron Bakker, Andy Cooper, Tree Tordoff

AMX™は AMX Corporation の商標です。Crestron® は Crestron Electronics, Inc. の商標です。CobraNet™は Cirrus Logic の一部門である Peak Audio の商標です。EtherSound® および ES100™ は Digigram SA の商標です。EtherCon® および OpticalCon® は Neutrik Vertrieb GmbH の商標です。Fiberfox® は Connex Elektrotechnische Stecksysteme GmbH の商標です。