

「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

本書のテーマは「ネットワークオーディオ」です。

この10年間で、プロオーディオ業界ではオーディオ機器のネットワーク化により、オーディオシステムの設計、構築、使用方法が大きく変化してきました。前世代の“ポイント・ツー・ポイント”分散システムと比べ、新しく強力なネットワーク技術が市場におけるスタンダードとなってきています。ネットワーク化を進めつつオーディオシステムへ投資を行う場合、新たに現実的かつ戦略的な課題を考慮することが非常に重要です。

本書では、オーディオネットワークの基本について、わかりやすく、総括的に説明しています。本書で想定している読者は、アナログオーディオシステムについての高度な知識とデジタルオーディオシステムについての基本的な知識を持っているが、コンピュータネットワークの知識は持っていないという人です。本書はネットワークオーディオについての入門編です。更に詳しい情報は、世界各国のIT機器メーカーによってインターネット上で掲載されているドキュメントをご参照ください。

ヤマハ・コマーシャルオーディオ・チーム

ネットワークオーディオ入門

1. ネットワークオーディオとは？
2. ネットワークオーディオについて知っておきたい3ヶ条
3. ネットワークオーディオで考慮したい3ヶ条
4. Ethernet ネットワークとは？
5. ネットワークトポロジー・・・ネットワークの構成形態
6. リダンダンシー
7. ケーブル接続
8. Dante ™についての詳細
9. EtherSound ™についての詳細
10. CobraNet ™についての詳細
11. 他のオーディオネットワークプロトコル
12. システムエンジニアリング
13. ネットワークオーディオシステムへの投資
14. ネットワークオーディオ用語集

1. ネットワークオーディオとは？

デジタル技術の導入によって、1本のケーブルで転送できる情報量が60年代の数キロバイトから2014年現在では数ギガバイトまで飛躍しました。一般的な情報システムのケーブル接続では、数キロメートルにわたる光ファイバーケーブル1本で毎秒1ギガビット以上の情報を転送できます。こういった情報システムの仕組みを利用すると、数百チャンネルもの高品位なオーディオデータを送信できるため、従来のアナログシステムで必要とした総重量にして数百キロの多数のケーブルが、たった1本で済んでしまいます。より重要なことに、ネットワークオーディオにおける機能面での接続が、ネットワークの物理的なケーブル接続とは別に設計することができるのです。このことによって、オーディオ業界では様々な可能性が開けてきました。かさばるケーブルに制約されずに、システム内の何ヶ所でも任意の入出力ポイントからネットワークに接続でき、実際のオーディオ入出力は使いやすいソフトウェアを使って管理します。ネットワークオーディオシステムはデジタルなので、オーディオ接続はすべてデジタル領域内で行われ、アナログオーディオの音質劣化の原因となる電磁干渉やケーブルの静電容量と無縁です。コントロール信号のために別のケーブルを追加しなくても、オーディオデータと同じケーブルで転送できます。またコンピュータを使って、ネットワーク経由でデジタルミキサーやDSPエンジンなどのオーディオ機器をコントロール/モニターできます。安価なIPカメラなどを使ってビデオ接続も可能です。

デジタル音声信号の分散

AES10 (MADI, 64チャンネル) や AES50 (SuperMac, 48チャンネル) など、市販されている多くのシステムが「P2P」(ポイント・ツー・ポイント接続) に対応する一本の銅線または光ファイバーケーブルで、ステージボックスとミキサーまたは DSP エンジン間のオーディオデータを伝送しています。とはいえ、実際に P2P 接続で構築する際には、マルチケーブルを使用して2つ以上のロケーションを接続しなければならないシステムがほとんどです。オーディオネットワークの導入により、接続するロケーションの数がいくつであっても、シンプルに配線を施すだけというシステムは、冗長性とデータやビデオのコントロールといった非オーディオ接続に対応する能力も含め、今まで以上にコスト効果に優れています。

Dante™

Audinate® 社が開発したオーディオネットワークプロトコル、Dante™は1ギガビットのEthernetネットワークを使って数百チャンネルものオーディオデータを各ケーブルを通じて転送することができます。極めて低いレイテンシーで高精度な同期を実現するために、QoS (クオリティ・オブ・サービス) や PTP (プレジジョン・タイム・プロトコル) といった規格に準拠した Ethernet サービスが利用されています。Dante™はスタートポロジーを使用し、また多くの製品がデジジチェーンポロジーに対応しています。

EtherSound™とCobraNet™

EtherSound™とCobraNet™オーディオネットワークプロトコルは、それぞれ Digigram 社と、Cirrus Logic 社の一部門である PeakAudio によって開発され、Ethernet ケーブルを通じた双方向モードで64チャンネルのオーディオを極めて低いレイテンシーで伝送することができます。EtherSound™システムはデジジチェーンやリングトポロジーを使用して、オーディオチャンネルのルーティングを双方向バスに設計することができます。CobraNet™システムはスタートポロジーを使用して、オーディオ信号を任意の機器から任意の機器へバンドルと呼ばれる単位で伝送します。

オープンとクローズドシステム

Dante™、EtherSound™、CobraNet™は規格に準拠した Ethernet ネットワークアーキテクチャを使用するオープンシステムです。これらのプロトコルを使用すると、市販のIT機器を使ってネットワークを構築できるため、コスト面はもちろん、機能面や信頼性でもIT業界の技術進歩を享受できます。これら3種類すべてのプロトコルが世界で最先端の多くのプロオーディオメーカー各社の認可を受けているため、同じプロトコルを使用した他社製品をひとつのシステムの中で混在させることができます。市場には自社製品のみに対応するクローズドタイプのオーディオシステムもいくつか出回っています。Nexus、Rocknet、Optocore がその例です。

ヤマハのアプローチは？

ヤマハはオープンかつ包括的なアプローチを採用しており、システム要件に適したネットワークプラットフォームが選択できることを提唱しています。ヤマハのオーディオ製品のラインナップには、Dante™、EtherSound™、そしてCobraNet™製品が含まれています。加えて、インターフェースカードを利用することでクローズドタイプのネットワークプロトコル及びポイント・ツー・ポイント接続にも対応しています。

ライブネットワークオーディオシステム例



入力16系統/出力8系統のステージラック



CAT5Eケーブル



ネットワーク対応のミキサー



CAT5Eケーブル



入力32系統/出力24系統のステージラック



CAT5Eケーブル



ネットワーク対応のミキサー

2. ネットワークオーディオについて知っておきたい3ヶ条

第1条ケーブルの重量と柔軟性

従来のアナログオーディオシステムでは、接続にアナログマルチケーブルを使用しています。チャンネル数が多かったり、ケーブルが長かったりすると、ケーブルの重量も100キログラムを超えてしまいます。プロオーディオ業界ではデジタルミキサーの評価が高まるにつれて、AES/EBU用などのデジタルケーブル接続がアナログケーブルに取って代わり、ケーブル重量が軽くなりました。また、デジタルケーブル接続により、電磁干渉や静電容量の問題が大幅に減るため、音質も向上します。AES10 (MADI) や AES50 (SuperMac) などのポイント・ツー・ポイントオーディオフォーマット、または Dante™、CobraNet™、EtherSound™、Rocknet™、OPTOCORE® などのネットワークプロトコルが近年スタジオやライブでよく使われ、個々の銅ケーブルの代わりに軽量の STP (シールドツイストペア) ケーブルや光ファイバーケーブルが使われるようになりました。STP ケーブルや光ファイバーケーブルはアナログマルチケーブルや銅のデジタルケーブルに比べて遥かに軽量です。加えて、光ファイバーケーブルではグラウンド電位差の問題もありません。アナログマルチケーブルや、個々のケーブルを束ねたものは太くなり柔軟性がなくなります。ライブツアーでは、ドラム状に巻かれているケーブルを引き出すだけでもその重さゆえ作業スタッフが必要で、配線経路も限られてしまいます。設備音響システムでは、かさばるケーブルを使うと更にかさばる配管が必要になり、これを会場内に設置しなければなりません。そうすると、歴史的に重要視されている会場に配線する場合、特に問題になります。一方、STP ケーブル、光ファイバーケーブルは細く柔軟性があるため、150メートルのケーブルを巻いた状態での重量はほんの数キログラムです。エッフェル塔の上にあるレストラン、58 tour Eiffel までケーブルを一人で配線することさえできます。また、ネットワークケーブルは場所をとらないので、すでに設置されている配管内に収納できます。

第2条：物理面と機能面の分離

Dante™などのオーディオネットワーク製品間の機能的な接続は、物理的なケーブル接続とは独立しています。つまり、十分な帯域幅のあるネットワークケーブルを配線したら、物理的なケーブル接続を変更せずに機器同士の機能的な接続を変更することができるのです。ライブツアーで「誰でも」簡単なセットアップが可能になります。I/O 機器はシステム内の任意のポイントに接続し、電源ボタンを押すだけです。設備音響システムでは、たとえばイベントのオープニングセレモニーの後にシステム変更が必要な場合でも、短時間のプログラミングだけでネットワーク設定を変更できるため、ケーブル配線にかかる時間と手間が省けます。STP ケーブル、光ファイバーケーブルが配線されていれば、信号はネットワーク上最も離れたロケーションであっても送信されます。オーディオネットワークに接続している I/O 機器がどこにあると、STP ケーブルや光ファイバーケーブル用の端子があればいいのです。ライブツアーでは、大きな中央集中型の接続ボックスを使わずに、I/O 機器の小グループをいくつかステージ上のあちこちに配置します。

第3条：コントロール！

ネットワーク情報技術を駆使したオーディオデータの配送では、情報技術の利点を最大限に利用できます。コントロール信号は同じ STP ケーブルまたは光ファイバーケーブルで伝送できるため、GPI/RS232/RS422/RS485 などのケーブル配線の追加は必要ありません。たとえば、IP ビデオの接続や Ethernet 経由でのソフトウェアからのコントロール、RS422 シリアル端子を介したマシンコントロール、さらにはインターネットへのアクセスも可能です。ワイヤレスアクセスポイントに接続すれば、タブレットでシステムコンポーネントを操作することもできます。

ライブにおけるアナログ分配システム



アナログケーブル



アナログミキサーリアパネル (PM5000)

ライブにおけるネットワーク分配システム



ネットワーク対応のI/Oラック



CAT5Eケーブル



ネットワーク対応のミキサーリアパネル (CL1)

3. ネットワークオーディオで考慮したい3ヶ条

第1条:レイテンシー

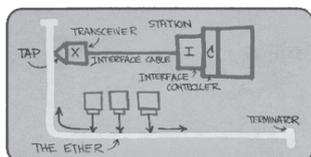
Ethernet ネットワークはケーブルとスイッチで構築されます。ネットワーク上で情報をやり取りするには、スイッチが情報を受信し、宛先アドレスをチェックして、その情報が正しく転送されるように適切なケーブルに送り出します。この処理に数マイクロ秒かかる場合もあります。ネットワークが大きくなるほど、信号が経由するスイッチの数も増え、スイッチを経由するたびに遅延時間が延びていきます。中規模のライブ用オーディオシステムでは、ネットワーク、AD/DA 変換、DSP のそれぞれによって、システムレイテンシー全体の約 3 分の 1 を生じます。ベストな音質を出すには、このシステムレイテンシーの合計を慎重に考慮、管理することが必要です。インイヤーモニター (IEM) を使用する場合は条件が最も厳しく、わずかなレイテンシーも許されません。レイテンシーが 5 ミリ秒から 10 ミリ秒の間で知覚でき、10 ミリ秒以上のレイテンシーではディレイが顕著に現れます。PA の FOH/ モニタースピーカーのシステムでは、レイテンシーはさほど問題にならず、レイテンシーが 1 ミリ秒増加するのは、スピーカーの位置を 30 センチ遠ざけると同等になります。Dante ™ のようなギガビットネットワークで動作するオーディオネットワークプロトコルのレイテンシーは、1 ミリ秒を遥かに下回る性能のため、インイヤーモニターを使用するシステムであっても何の問題もありません。

第2条:リダンダンシー (冗長性)

アナログシステムではオーディオ信号が個々のケーブルで送信されるため、ケーブルに障害があると、そのケーブルに接続した機器だけが影響を受けます。多くの場合、マルチケーブルでは何本かのスペアケーブル接続が用意されているため、問題が生じても機能的に重大な影響を受けることは少なく、修復も簡単です。1 本の長距離ケーブルに障害があると、システム全体がダウンすることがあり、これを修復するのはエンジニアにとって大変な作業です。リダンダンシー機能を組み込んだネットワークシステムを設計することが必要です。つまり、障害が起きた時点でシステムの機能を自動的に引き継ぐリダンダンシー (冗長) 接続機能をシステムに導入すべきです。オーディオ業界のみならず、銀行や原子力発電所、宇宙開発機関などでもネットワークシステムにリダンダンシーが必要なため、過去数年にわたり、IT 業界では様々な優れたリダンダンシー機能が開発されてきました。命綱となるような長距離配線ではケーブルを二重接続することで、片方のケーブルに障害が生じて、もう片方で対応できるようになっています。特に、ライブツアーでは、ネットワーク機器そのものにもリダンダンシーを組み込むことが望まれます。何故なら、IT 機器は通常、エアコンの効いたコンピュータ室などでの使用を想定して設計されており、ライブツアー先での厳しい環境条件で使用した場合には、故障の可能性が大きくなるからです。デリケートなアプリケーションについては、厳しい環境であっても対応できるスイッチも利用可能です。

第3条:新しい役割

アナログシステムでは、その接続について、通常は XLR ケーブルの物理的な接続状態を見ればすぐにわかります。実際に何本ものケーブルをミキサーのリアパネルからスパゲッティのように接続した経験がある人なら誰でも、何がどこにつながっているかが一目でわかります。ネットワークオーディオシステムでは、機能的な接続は物理的なケーブル接続とは別なので、状況が異なります。メンテナンス担当者がネットワークシステムの外観を見ても、数本の STP ケーブルまたは光ファイバーケーブルで機器同士を接続していることがわかるだけです。1 本のケーブルで 2 系統のオーディオ信号を伝送しているのか、あるいは 368 系統のオーディオ信号を伝送しているのか、わかりません。アナログシステムでは、未経験のユーザーでもあれこれ試行錯誤で自分なりにシステム設計から構築まで可能ですが、ネットワークオーディオシステムの設計では、最新のネットワーク技術を持つ経験豊かなシステムエンジニアが必要となります。このため、オーディオシステムを購入、設計、構築、保守、操作する際のシステム設計者、システム所有者、システムユーザーの役割がガラッと変わってきます。その新しい役割に各人がこれから慣れていかなければなりません。



Robert Metcalfeの最初のEthernet図面



スイッチ



ネットワーク構図

4. Ethernetネットワークとは？

Ethernet

1970年代、アメリカ、カリフォルニア州にある Palo Alto Research Center (www.parc.com) が、コンピュータのマウス、レーザープリンター、ネットワークなど、便利なコンピュータ技術を開発しました。そして、Aloha-Net や ARPA-Net など、初期のネットワークがインターネットに進化しました。当初 PARC に勤め、のちに 3COM の設立者となった Robert Metcalfe 氏はオフィス内で使用する Ethernet と呼ばれる実用的なネットワークスタンダードを開発しました。それから 30 年以上を経た後、全世界がこの規格を採用して情報システムを構築し、今日販売されているほぼすべてのパソコン、スマートフォンやタブレットに Ethernet ポートが搭載されています。Ethernet プロトコルは IEEE（電気電子学会）が 802.3 規格として標準化しています。

ネットワークの構成

Ethernet ネットワークは、ネットワークインターフェースカード（Network Interface Card、略して NIC/ コンピュータやデジタルミキサーなどの機器に内蔵されています）、ケーブル（NIC をネットワークに接続します）、スイッチから構成されています。スイッチはネットワーク内のすべてのケーブルを互いに接続し、ネットワーク上で情報が正しく転送されるようにする機器です。これらの動作スピードによってネットワークが扱える情報量が決まります。このスピードは 1972 年には毎秒 10 メガビットだったのが、2014 年現在には 1 ギガビット以上に向上しました。

アドレス指定

Ethernet の仕組みは、一連の情報を小さなパケットに分割し、これを送信側が指定した受信側のアドレスにネットワークを介して送信するというものです。個々のネットワークインターフェースカード（NIC）はアドレスを持ち、スイッチのメモリーには、ネットワークへ接続されている機器のアドレスリストが保存されていて、送信先によってスイッチがパケットを振り分けます。世界中の NIC ひとつひとつに固有の MAC（メディアアクセスコントロール）アドレスがメーカーによってプログラムされています。280 兆もの固有の MAC アドレスが存在し、これらのアドレスをメーカーに割り当てるのが、IEEE（電気電子学会）という非営利団体です。このため、世界中のすべての NIC の MAC アドレスは重複のない固有のアドレスとなります。MAC アドレスに加え、「ユーザーが定義できる」もう 1 種類のアドレス階層を使って、ローカルネットワークの管理をやすくしています。このユーザーアドレスは「インターネットプロトコルアドレス（Internet Protocol: IP アドレス）」と呼ばれています。IP アドレスは通常 4 バイトの長さで（IPv4）、ネットワークアドレスとホストアドレスに分かれています。どの部分がネットワークアドレスで、どの部分がホストアドレスかは、「サブネットマスク」と呼ばれる、やはり 4 バイトの長さのコードによって決定されます。サブネットマスクで「1」の位置に対応する IP アドレスの各ビットはネットワークアドレス、「0（ゼロ）」の位置に対応するビットはホストアドレスになります。同じネットワークアドレスを持つ NIC 同士が、情報を交換できる仕組みになっています。通常、小規模のオフィスでのネットワークのネットワークアドレスは 3 バイトの長さで、ホストアドレスは 1 バイトです。1 バイト（8 ビット）には 0～255 までの値が入ります。パソコンのネットワーク設定画面で IP アドレス / サブネットの値を入力します、このとき、IP アドレス / サブネットの 4 バイトに対応する 4 つの十進数（0～255）を入力します。小規模のオフィスでのネットワークでは、多くの場合、サブネットマスクのデフォルト値が 255.255.255.0 なので、ネットワーク管理者は 255 個のホストアドレスを使用できることになります。つまり、最後のバイトだけを変更してネットワーク上の機器に割り当てられるわけです。最初の 3 つのバイトは変化せず、これがネットワークアドレスとなります。大規模のネットワークではサブネットマスクを変更して、ホストアドレスの数を増やすことができます。ネットワークを機能させるためには、ユーザーが NIC の IP アドレスをマニュアルで設定しないといけません。しかし、ほとんどの場合は、ダイナミックホストコンフィグレーションプロトコル（DHCP）を使って NIC を接続したときに自動でアドレスが設定されるよう、ネットワークの中心となる機器（スイッチ、ルーター、またはコンピュータ）をプログラムすることができます。インターネット上でアクティブな機器の量が大幅に増え、4 バイトのアドレス帯域では処理しきれなくなったため、16 バイトの IP アドレス（IPv6）が 2008 年に導入されました。しかし、産業ネットワークについては、オーディオネットワークを含む 4 バイトのアドレスが今でも使用されています。

VLAN

Ethernet 802.1q 規格によって、ひとつの高速ネットワーク内にバーチャルローカルエリアネットワーク（略して VLAN）を作成することができます。VLAN を使うと、同一のハードウェアを使用した複数の論理ネットワークを共存させることができます。たとえば、複数の論理ネットワークを作成して、オーディオ、ビデオ、コントロールデータをそれぞれ別の論理ネットワークとして運用することができます。ほとんどの管理型スイッチは VLAN 規格に対応しています。

ネットワークオーディオ

Dante™機器や CobraNet™機器、EtherSound™機器など、Ethernet に対応するネットワークオーディオ機器には NIC が内蔵されていて、Ethernet ネットワーク上で情報を送受信できます。このようなオーディオプロトコルは MAC アドレスを使用してデータを送受信します。MAC アドレスは固有なので、世界中の任意の Ethernet ネットワークで機能します。

5. ネットワークトポロジー(接続形態)

P2P

ネットワークを使用してポイント・ツー・ポイント (P2P) トポロジーを使用したシステムを構築できますが、この P2P トポロジーは厳密に言えばネットワークではありません。P2P システムは決め打ちでマルチチャンネル接続された 2 つだけの機器から構成されます。P2P システムに対応するデジタルオーディオで例を挙げると、AES3 (AES/EBU、2 チャンネル)、AES10 (MADI、64 チャンネル) や AES50 (SuperMac、48 チャンネル) です。スプリッターやマトリックスルーターなどの分配機器を使えば接続機器を 2 つから増やすことができます。

デジチェーン

デジチェーンは機器を直列につないでゆく、シンプルな接続です。代表的な例である EtherSound™ では、帯域幅固定、64 チャンネルで双方向のオーディオデータを送受信する機器をデジチェーンで接続できます。このデジチェーントポロジーの利点は、ネットワーク情報のルーティングがシンプルなのでデータ伝送が速いことです。EtherSound™ 機器を 1 台ネットワークに接続することに加わるレイテンシーは、わずか 1.4 マイクロ秒です。一方、欠点としては、チェーン内のひとつの機器が故障したときシステム全体の動作に影響を与えることです。ひとつの機器が故障すると、システムは 2 分割され、この 2 つの部分同士の接続が切れてしまいます。EtherSound™ デジチェーンはスイッチを使用してスタートポロジーの様に分岐できますが、その場合、オーディオデータはシステムのスイッチを介して単一方向だけに伝送されます。Dante™ 機器の中にはデジチェーントポロジーに対応するためのスイッチが内蔵されているものもあります。

リング

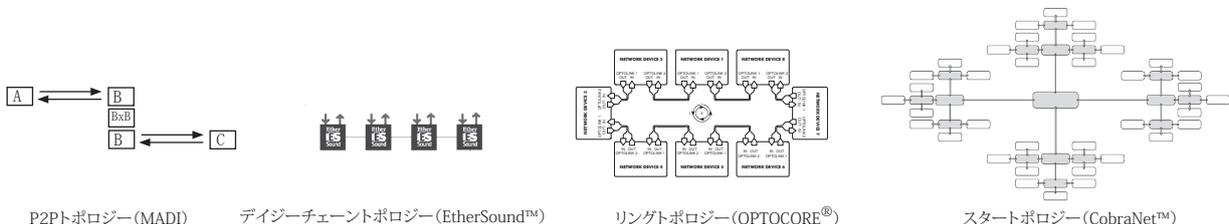
リングトポロジーは、最後の機器が最初の機器に接続して環状になっているデジチェーンです。このリングトポロジーに接続されているすべての機器がどちら回りの回線を使っても互いに通信できるため、リダンダンシー機能を持ちます。ひとつの機器が故障すると、その機器のみが無効となります。さらにリダンダンシーを追加するには、リングを二重にします。OPTOCORE® は、最高 500 系統のオーディオチャンネル、ビデオ、シリアル接続が可能な高バンド幅のリングトポロジーを使用した、独自のシステムを提供しています。Rocknet は、80 または 160 のチャンネル容量を備えた独自のリダンダンシーリングトポロジーを提供しています。EtherSound™ ES100 規格は、リダンダンシーリングトポロジーに対応し、64 チャンネルオーディオを伝送します。

スター

スタートポロジーはネットワークの帯域幅を最も効率よく使用するため、ほとんどの情報ネットワークはスタートポロジーを採用しています。ネットワーク情報のトラフィック量が最も多いスターの中心では、処理性能やリダンダンシーを強化し、一番遠い末端のロケーションでは処理性能を抑えた設計が可能です。スタートポロジーは拡張するのも容易で、ネットワーク内の任意の位置に新しいネットワーク機器を接続できます。しかし、接続した機器間でやりとりされるネットワーク情報がすべてスターの中心部を通過するため、この中心が非常に重要な役割を占めるとするのが欠点です。つまり、スターの中心に故障があると、ネットワークの大部分に影響が及ぶわけです。スタートポロジーを使用したネットワークは、Ethernet Spanning Tree プロトコルを使用することでリダンダンシー機能を持つことができます。Dante™ と CobraNet™ はスタートポロジーを使用し、ネットワークを二重接続することで完全なリダンダンシー機能に対応しています。

トポロジーの選択

どんな環境でも、前述の 4 種類のトポロジーのうちのひとつ、または複数を組み合わせたものが選択できます。選択の目安は、設置場所の数、チャンネル数、レイテンシー、望ましいシステムコスト、信頼性、拡張性、オープンまたはクローズドアーキテクチャ、などです。トポロジーを選択するには、ネットワーク技術についての専門知識が必要でネットワークオーディオシステムの設計における経験が豊富なコンサルタントやシステム設計者などがその適任者となります。



6. リダンダンシー

トランキング/リンクアグリゲーション

Ethernet IEEE 802.1.ad Link Aggregation/Trunking 規格によって、管理型スイッチに複数のケーブルを接続し、これらのケーブルを介して情報トラフィックを分配できます。1本のケーブルが故障しても、もう片方のバックアップ用のケーブルが自動的に機能を引き継ぎます。1本のケーブルリンクが切れると、バックアップ用のリンクだけでは転送速度が不足することが考えられます。このため、バックアップ用のアグリゲーションリンクはゆとりを持って設計する必要があります。トランキングはケーブル接続でのリダンダンシーを構築するだけなので、スイッチ自体が故障すれば、そのスイッチに接続している各機器も接続が切れてしまいます。

リング

リングとは基本的に、最初と最後の機器同士が接続された環状のデジチェーンです。各機器は2本のケーブルでネットワークに接続されており、システム内の1本のケーブルが故障しても、接続は維持されます。もう1本のケーブルが故障するとネットワークは2つに分断されます。リングトポロジーは、スタートポロジータン比べて少ない本数のケーブルでリダンダンシーが実現されます。Dante™とCobraNet™のようなパケットを使用したスイッチングネットワークでリングトポロジーを採用することも可能ですが、使用するスイッチを追加することが必須となるため、推奨しません。

スパンニングツリー

スタートポロジータンネットワークでは、情報パケットはIPアドレスとMACアドレスに従って伝送されます。ネットワークが論理アーキテクチャを持っていることは非常に重要なことです。つまり、データの送信元と宛先の組み合わせそれぞれに対して、データの伝送経路がスイッチとケーブルを介してひとつの経路（一通り）しかないということです。複数の経路があるとループが生じて情報パケットがそのループに入ったまま永久に出られずに、ネットワークに問題を生じさせたり、ネットワーク自体の機能を止めてしまったりする危険もあります。このため、スタートポロジータンネットワークでループは通常あってはならないものです。ただし、IEEE 802.1w Spanning Tree プロトコル（略して STP）に対応する管理型スイッチを使用したネットワークは例外です。STP に対応したスイッチはループを生じるようなポートをブロックでき、ループ内のアクティブなポートが故障すると、このブロックを解除し、別の経路を使います。ネットワークの各エリアを保護するために、STP を使ってネットワーク内にループを作成することができます。完全なリダンダンシー機能を実現するために、二重のネットワークを構築する、つまり接続されているすべてのロケーションでダブルスイッチを使用します。この利点は、どんな故障が生じてもシステムを修復できること。欠点は、修復に時間がかかることです。大規模なネットワークでは数秒かかります。管理型スイッチのほとんどが、RSTP (Rapid STP) または MSTP (Multiple STP) といった何らかの STP に対応しています。

Dante™とCobraNet™の二重ネットワーク

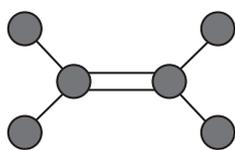
Dante™とCobraNet™機器には2系統のEthernet端子が搭載されており、それぞれ「プライマリ」と「セカンダリ」という名称がついています。通常使用するのはプライマリ端子ですが、その接続に故障が生じると、セカンダリ端子に自動的に切り替わります。Dante™については、二重ネットワークを使用して完璧なリダンダンシーを得ることができますが、CobraNet™ではSTPプロトコルをネットワークに追加する必要があります。

EtherSound™ ES-100 PPM

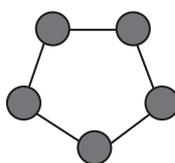
EtherSound™ ES-100 規格では、リングトポロジーで機器を接続し、そのうちの1台を優先（プリファード）プライマリマスター（略して PPM）として指定します。この PPM 機器は通常動作ではリングをブロックし、どこかでリング接続が切れると、ブロックを解除するスパンニングツリーのような機能を持ちます。

リダンダンシーの実現方法

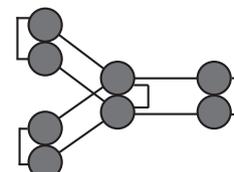
どんな環境でも、前述したリダンダンシーのひとつまたは複数の組み合わせを選択できます。選択の決め手となる要因のひとつは、リダンダンシーの要求されるレベルです。ライブツアーではリダンダンシー用のスイッチを使って厳しい使用環境に備えます。この点設備音響システムではスイッチをシングルで使用すれば十分と考えられます。通常は、最低限、長距離ケーブルをリダンダンシー機能に対応し、ケーブルを物理的にできる限り独立させて配線します。もうひとつの選択要因は回復時間、つまり断線やスイッチの故障からシステムが回復するのに必要な時間です。たとえば OPTOCORE®、Rocknet™ のようなクローズドシステムを使用する場合、リダンダンシー実現方法はそのメーカーが選択します。スタンダードな Ethernet 機器を使用する場合、リダンダンシー実現方法の選択や、ネットワークオーディオシステム内の全スイッチのプログラムには、高度な知識が必要となります。



トランキング



リング



ダブルスイッチを使用したスパンニングツリー

7. ケーブル接続

UTPとSTPケーブル

ネットワークは、通常 8 本の銅線をペアにしてねじったケーブルを使って接続します。シールドケーブルは、シールドツイストペアと呼ばれ STP という略称を持っています。さらに一般的に使われる非シールドケーブルは非シールドツイストペアと呼ばれ UTP と略されます。これらのケーブルとそのコネクタには、用途によって様々な品質の違いがあり、Telecommunications Industry Association (www.tiaonline.org) によって、カテゴリ 1～7 に規格化されています。このカテゴリの違いは使用されている材質と、1メートルごとの銅線ペアのツイスト（ねじれ）の程度です。CAT3 は低速（10 メガビット）の Ethernet ネットワークに使用される低速回線用のケーブルです。100 メガビットの Ethernet ネットワークでは、CAT5 以上のグレードのケーブルを使うことが必要です。CAT3 ケーブルは外観が CAT5 ケーブルと類似しているのでご注意ください。使用の際には、必ずケーブルのスリーブに表示されているカテゴリを確認してください。ギガビットシステムでは、CAT5 よりも高グレードのケーブル、CAT5E を使用します。近年導入された CAT6 および CAT7 ケーブルは性能がさらに向上しています。TIA のカテゴリは、高グレードのケーブルを低速のネットワークでも使用できます。各ケーブルカテゴリの中でも異なるタイプのケーブルが入手できます。例えば設備音響システム用には芯の堅いケーブル、パッチには芯の柔軟なケーブル、ライブツアー向けに耐久性、耐ノイズ性を高めた保護ジャケット付ケーブルやシールドドホイルド (S/FTP) ケーブルなどがあります。

UTPとSTPコネクタ

Ethernet ネットワークの銅線ケーブルには RJ45 端子を使用します。業界ではケーブルとコネクタを別々に販売していることが多いため、システム設計者や工事者は、簡単なケーブルツールを使ってケーブルを作ることができます。設備音響システム用ケーブル（単線）や柔軟性のあるケーブル（より線）では、STP または UTP によって異なる仕様の RJ45 コネクタが必要です。スイッチメーカーは通常、CAT5 銅線ネットワークコネクタを「TX」、たとえば「1000BASE TX」と呼んでいます。オーディオ業界では、耐久性のあるライブツアー用 RJ45 コネクタシステムに、Neutrik の EtherCon® がよく使われています。

光ファイバーケーブル

光ファイバーケーブルは UTP ケーブルに比べてかなり高い周波数領域に対応し、なおかつ 10km 以上の長さでも使用可能です。業界では 2 種類の光ファイバーシステム、「マルチモード」と「シングルモード」があります。マルチモードの光ファイバーは最長 2km のギガビット接続に対応します。シングルモードの光ファイバーには高価なレーザーダイオードが必要ですが、80km まで対応しています。いずれも設備音響システム用光ファイバーとして、IT 関連の店で入手できます。Fiberfox® などはライブツアー耐久用としてミリタリー仕様の光ファイバーケーブルを提供しています。

光ファイバーコネクタ

光ファイバーケーブルのコネクタには、SC, ST, LC など様々な種類があります。光ファイバーコネクタを製作するのは非常に難しいため、ケーブルにはほとんどの場合、あらかじめコネクタが付いています。スイッチによっては、光ファイバー接続のモジュールに対応しているものもあります。これらのモジュールの業界規格は Gigabit Interface Converter（ギガビットインターフェースコンバータ:GBIC）で、このミニ版が Small Formfactor Pluggable（スモールフォームファクタプラグラブル:SFP）と呼ばれています。スイッチメーカーは光ファイバーネットワークの接続を「FX」、「LX」、「SX」と呼び、たとえば「1000BASE FX」などと呼んでいます。ライブツアー耐久接続用に、Neutrik が開発した OpticalCon® は、脆弱な光ファイバーコネクタを保護する機構を持っています。Connex は、Fiberfox® という接続システムを提供しています。このシステムでは、レンズを使用して光ファイバー信号を分散させることにより、傷やホコリなどに対する耐性を高めています。

メディアコンバーター

光ファイバーモジュールのないスイッチでも、メディアコンバーターを使用すれば、光ファイバー接続が可能になります。メディアコンバーターは、高周波帯域の接続にも広く使われています。とはいえ、ネットワークレイテンシーを最小に保つためにも内蔵型ファイバーモジュールに対応したスイッチを使用することを推奨します。



RJ45コネクタ



Neutrik EtherCon®



SC光ファイバーコネクタ



Fiberfox® EBC52



Neutrik OpticalCon



GBIC

8. Dante™についての詳細

オーストラリアの Audinate® 社が 2006 年に考案した Dante™は、100Mb をベースとした CobraNet™と Ethersound よりもさらに強力な代替えとして、ギガビットの Ethernet ネットワークを使用しています。Dante™はライセンス契約プロトコルであり、2014 年現在においては 100 社以上のメーカーによって採用されています。Dante™は、EEE (Energy Efficient Ethernet) モードを無効にでき、QoS に対応した適切な市販のスイッチを用いたネットワークで動作させることができます。より大規模なネットワークについては、IGMP Snooping プロトコルに対応するスイッチも必要です。

コンセプト

Dante™は、同じ送信機から同じ受信機までの「フロー」の中で伝送するチャンネルをグループ化することでオーディオデータを管理します。各フローは最大 8 つのチャンネルで構成され、通常ユーザーが管理する必要なく作成されます。Dante™機器もまた、デバイス名とチャンネル名を基にオーディオルーティングを行なう自動検出メカニズムを備えています。これには Ethernet OSI レイヤー 3 (IP アドレス) が用いられます。大部分の Dante™機器はギガビット Ethernet スwitch の使用が必要となります。つまり、ストア & フォワードおよびキューによる遅延が 100Mb ネットワークよりも遥かに小さいことを意味します。実際に、全ての Dante™スレーブ機器が Dante™マスター機器とディレイタイミングを決定するための通信を定期的に行なうようになっています。それに応じて機器自らがオーディオのタイミングの調節を行ないます。この機能には規格に準拠した Ethernet Precision Time Protocol (PTP) が使用され、同期精度 1 マイクロ秒以内を確実にのとしています。さらに Dante™は、確実に Dante™の同期とオーディオデータがスイッチの他のデータよりも速く処理されるように標準の Quality of Service (QoS) 機能を使用しています。これにより、通常のオフィス機器やその他の IT 機器とネットワークを共有することができます。

ルーティング

Dante™は、チャンネルルーティングを視覚的にパッチするためのユーザーインターフェースを用意し、市販されている全ての Dante™機器に対応する Dante™ Controller ソフトウェアを提供しています。一部のメーカーはこの Dante™のルーティング制御に代わる機能を備えた機器を提供しています。その一つの例として、Dante™ルーティングユーザーインターフェースが採用されているヤマハ CL と QL ミキサーが挙げられます。Dante Controller は、レイテンシーと同期設定をコントロールすることもできます。Audinate® は、パソコンの Ethernet ポートを使用して Dante™ネットワークの最大 64 チャンネルを送受信することができる Dante™ Virtual Soundcard (DVS) もリリースしています。この機能により、コンピューターが追加ハードウェアなしでネットワーク上で I/O 機器として振る舞うようになります。

リダンダンシー

CobraNet™機器と同様に、ネットワークへ接続するためのプライマリとセカンダリポートを提供します。両ポート共、シームレスなりダンダンシーを提供するスタートポロジのギガビットネットワークへ接続することができます。必要に応じて、例えば他の制御信号やビデオ信号などのリダンダンシーを確保するために、トランキングやスパンニングツリーといった追加のリダンダンシー機能を使用することもできます。

デジチェーン

一部の Dante™製品には、プライマリとセカンダリポートをネットワークへ接続するための管理型スイッチが内蔵されています。このスイッチでセカンダリポートを第 2 のプライマリポートとして使えるようにプログラムすることができます。それにより、デジチェーンを使ってシンプルなライブシステムの設定ができるようになります。この機能はヤマハ QL、CL、R、MTX5D 及び XMV-D 製品に搭載されています。この方法はリダンダントリングトポロジには対応していない点にご注意ください。ケーブルリダンダンシーを確保するために、複数のスイッチを使用してトランキングすることはできません。



Dante™ Controller



DVS Dante™
Virtual Soundcard



MY16-AUD Dante™インターフェース

9. CobraNet™についての詳細

CobraNet™は、アメリカ合衆国に拠点を置く Peak Audio 社によって、当時一般的だった 100Mb の Ethernet を使って 1996 年に発明されました。発案以来、そのプロトコルは広く一般に知られ、信頼のおける世界規格と呼ばれる程に発展し、2014 年現在では多くの設備プロジェクトで使用されています。

コンセプト

オーディオデータは時系列に細かく刻んで、1 つ、2 つ、4 つまたは 8 つのチャンネルのオーディオサンプルを含む「バンドル」として Ethernet パケットに組み込まれます。これらのバンドルは Ethernet レイヤー 2 (MAC アドレス指定) を使用して送信先が指定可能なので、CobraNet™は真のネットワーク機器と呼ばれます。利用可能な帯域幅の範囲内であれば、ルーティングはケーブル配線から完全に独立します。Ethernet のオーディオ送信で重要な課題は、同期のタイミングを完璧にすることです。オーディオ信号はネットワーク上の全てのロケーションに同時に到着しなければなりません。ネットワークスイッチにおける転送レイテンシーに起因する遅れを克服するために、Peak Audio は素晴らしいクロック方式を思いつきました。ネットワーク上の 1 台の CobraNet™機器を、自動的にまたはユーザーの任意でマスタークロックと指定し、「コンダクタ」と名付け、毎秒数百の非常に小さいビートパケットとして送信します。1 つのビートパケットが送信されるとき、ネットワークはアイドル状態ですがビートパケットをその他全ての機器が受け取った直後、全ての機器が一斉に全てのオーディオパケット (バンドル) を送り始め、ネットワークは混雑します。ネットワークスイッチの出力ポートで形成されるパケットと待ち行列の量にも左右されますが、これが収束するまでにはかなりの時間がかかります。全ての CobraNet™機器においてオーディオパケットを受け取る際、ある一定の時間を待ってからそのオーディオデータを送出しはじめます。ネットワークのサイズにもよりますが、そのレイテンシーは 5.3、2.6、1.3 ミリ秒のいずれかを選択することができます。この遅れにより、ネットワークスイッチが全ての混雑を整理して、全てのオーディオパケットを受信機器に届けるのに十分な時間が持てるようになります。ビートパケットはネットワークがアイドル状態 (オーディオデータのやり取りがない) の時に送られ、非常に短い時間でビートパケットはその他の機器へたどり着き、全ての出力が僅か数マイクロ秒の精度まで全ての出力が同期することになります。待ち時間の後、ネットワークはアイドル状態に戻り、コンダクタは新しいビートパケットを送出してそのプロセスを始めから開始します。CobraNet™は、合計の帯域幅が 100Mb を超えない限り、ビデオ信号や制御信号のような他の Ethernet 機能をネットワーク上に組み込むことができます。

ルーティング

ルーティングはバンドル番号を指定することで行ないます。バンドル番号にはマルチキャストとユニキャストのどちらかを選択できます。マルチキャストはネットワーク上の全ての CobraNet™機器に送信し、ユニキャストは 1 台の機器のみに送信します。マルチキャストのバンドルは他全ての機器に送信されるため、全てのケーブルの帯域幅を利用します。100Mb の接続あたり最大数 64 チャンネルが、CobraNet™のマルチキャストネットワークの限界です。1 つのオーディオ信号を、1 つの宛先だけへ送るのであればユニキャストを使用することができます。ユニキャストバンドルは、バンドルが送信機器から受信機器へ伝送されるときに経路するスイッチおよびケーブルの帯域幅だけを使用し、その他の機器の帯域幅には影響を与えません。この方法であればネットワーク上でより多くのチャンネルを使用することができます。バンドル番号、サイズ、レイテンシーモード、コンダクタの優先付け等の設定は、ソフトウェアで行ないます。現在 CobraNet™のライセンスを所有する Cirrus Logic 社は CobraNet Discovery というソフトウェアパッケージを提供しています。そして個々の CobraNet™機器の製造会社もまた自社独自のソフトウェアを提供しています。ヤマハの CobraNet Manager lite がその一例です。CobraNet™が完全に Ethernet に対応しているにも関わらず、Cirrus Logic 社からパソコンでダイレクトな送受信を可能にするコンピュータドライバは発売されていません。

リダンダンシー

CobraNet™機器については、プライマリとセカンダリの 2 つのポートでリダンダンシーを提供しています。プライマリポートの接続が落ちた場合、セカンダリポートが代わって接続を維持することができます。このデュアルリンク方式は、リダンダントシステムを構成する際にスパンニングツリーとトランッキングと共に利用することができます。

フェーズアウト

当初、CobraNet™のスイッチにおける転送には大きな遅延があり、小規模のネットワークでさえ、5.3 ミリ秒のレイテンシーモードを選択する必要がありました。このレイテンシーはライブシステムにおいては問題となるため、CobraNet™は主に固定設備で適用されています。速くて強力なギガビットスイッチが 2000 年頃から利用可能となったとき、中規模のライブシステムでは 1.3 ミリ秒のモードが使用できるようになりました。CobraNet™がその現所有会社 Cirrus Logic によってはや維持されなくなっているため、より強力な選択肢として Dante™が使用されるようになり、CobraNet™は次第に姿を消しつつあります。

CobraNet®



CobraNet™ LSI



CobraNet™ルーティング (DME Designer)



CobraNet™インターフェースカード

10. Ethersound™についての詳細

2001年にフランスのDigigram社によって発案されたEtherSound™は、CobraNet™よりも簡単で速く、またシンプルなデジチェーンでも十分にライブサウンドの機能を成し遂げると主張し、ライブシステムにおける選択肢として使用されるようになりました。デジチェーントポロジを用いることで、各機器はそれぞれ1台の機器にのみ送受信を行なうため、アドレス指定はもはや必要ではありません。つまり、スイッチは不要となるため、ネットワークにおけるスイッチ転送の遅れが生じることはありません。また、ケーブルを通過するオーディオパケットは、常にただ1つのストリームとなるため、待ち行列が生じることは決してありません。簡素化したこのEthernetの使用法により、EtherSound™機器のレイテンシーはわずか1.4マイクロ秒になります。このレイテンシーはかなり低いので、システムは同期するためにオーディオパケットを使用し、クロック方式は不要となります。EtherSound™はEthernetパケットのアドレス指定に依存することはありませんが、それでも本物のネットワークであり、利用可能とする64チャンネルの帯域幅の範囲内で、ケーブル配線とは関係なくオーディオルーターティングを構成することができます。

コンセプト

EtherSound™機器はCobraNet™やDanteのようなプライマリ、セカンダリポートを持たない代わりにINとOUTポートを備えています。ポートは100MbのEthernetに対応し、毎秒48,000パケットのストリームを処理します。それぞれが48kHz、64チャンネルのオーディオサンプルを含んでいます。EtherSound™は完全にEthernetに対応してはいますが、他に何も入れる余地が無いので、ギガビットネットワークを使用したVLANを介しての隔離したルーティングを行なわない限り、EtherSound™ネットワークをビデオやコントロールといった他のEthernet機能を使用することはできません。

ルーティング

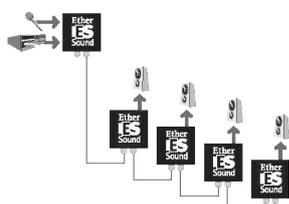
INポートに接続した機器から送られ、OUTポートに接続した機器へ送り出されるデータストリームはダウンストリームと呼ばれ、最初の機器から最後の機器、またその間に接続されている全ての機器にチャンネルを送ることができます。OUTポートに接続した機器で受け取られ、INポートに接続した機器へ送り返されるデータストリームはアップストリームと呼ばれ、最後の機器から最初の機器、またその間に接続されている全ての機器にチャンネルを送り返すことができます。チャンネルのルーティングは、Auvitran社のAVS-Monitorソフトウェアを使用して行ないます。アップ/ダウンストリームから取り込んで機器の出力に送り出すチャンネル、および機器の入力から取り出してアップ/ダウンストリームに送出するチャンネルを選ぶことができます。ASIOドライバーもまたAuvitran社から入手することができます。一般的なEthernetポートを通じて最大64チャンネルまでをパソコンで送受信することができます。

リダンダンシー

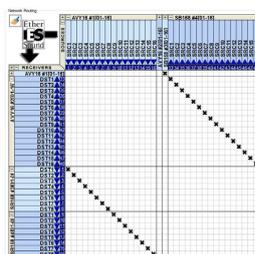
EtherSound™の最新版はES100と呼ばれ、デジチェーンを閉じ、全ての機器がスパニングツリーに類似したリダンダンシープロトコルを実行し、リダンダントリングを形成することができます。切り替えに要する時間はわずか2,3サンプルです。加えて、ギガビットスイッチを使用すれば、大規模なシステムにおいてもトランキングとスパニングツリーを利用することができます。

フェーズアウト

EtherSound™の帯域幅は限られてはいますが、セットアップが非常に簡単で、スイッチなしで十分な低レイテンシーが得られるため、ライブシステムで使用することができます。CobraNet™と同様に、EtherSound™も次第に代替手段としてDante™に置き換えられつつあります。



デジチェーントポロジー



Auvitran AVS-Monitor



MY16-ES64インターフェースカード

11. 他オーディオネットワークプロトコル

現在、他の Ethernet 対応オーディオネットワークプロトコルや規格化されたプロトコルがプロフェッショナルオーディオ市場に導入されつつあります。これらは、Dante ™のように OSI レイヤー 3 に基づいていますが、それ程市場における幅広い支持を得てはいません。それぞれがわずかに異なる利点を持ち合わせています。

AVB

Audio Video Bridging (AVB) は、IEEE 802.1 規格委員会によって概説されるプロトコルを実行するネットワークに与えられた名称です。これらにはネットワーク上の全ての機器間における精確な同期を保証する機能、オーディオとビデオデータの利用に必要なネットワークの帯域幅を保証し、さらにはネットワーク内での突然の寸断や休止を生じさせないように安定したデータの流れを保証する機能が含まれています。一連の AV/IT 機器メーカーは、彼らが生産する全ての AVB 対応機器の間で確実な互換性を持たせるためのガイドラインを立案するために AVnu Alliance を作り上げました。2014 年には、最初の AVnu 認定の AVB 機器が市販されています。しかし、AVB ネットワークの構築には特別なスイッチハードウェアの使用が必要であり、値段も高く簡単に利用できないのが実情です。さらに、書き込む際のリダンダンシーについては、共通のメカニズムがありません。ヤマハと Audinate® の両社は共に AVnu Alliance に加入しています。

AES67

2013 年 9 月、IP ネットワークにおける高性能オーディオのための AES67 規格が発表されました。ネットワークレイヤー 3 を使用して動作し、同期、メディアクロックの識別、ネットワーク伝送を含むいくつかの要素において推奨が提供されています。2014 年 2 月、Audinate® 社は Dante ™に AES67 規格を取り込むことを発表し、Dante ™機器が他の AES67 機器とオーディオデータを共有することが可能となります。

Ravenna

Ravenna は「神曲」の作者 Dante Alighieri が埋葬されているイタリアの町の名称です。そのため、Ravenna ネットワークは、2010 年にプロ用オーディオメーカーのグループにより、放送市場に特化して導入されました。Dante 同様に、Ravenna は IP に基づくレイヤー 3 方式、クロック同期のための PTP、そしてデータ伝送管理のための QoS といった IEEE 規格を使用しています。Ravenna は既に AES67 規格との互換性があるため、Lawo、Genelec、Merging Technologies といったプロ用オーディオメーカーにより採用されています。

OCA

Open Control Architecture (OCA) はオーディオネットワークプロトコルではなく、OCA Alliance（ヤマハを含むプロフェッショナルオーディオ機器メーカー数社で構成）によって同意された一連の仕様です。その目的は、将来利用が考えられるオーディオネットワーク機器に必要となり得る無料で使えるネットワークコントロールとモニタリングコミュニケーションの規格を構築し、リリースすることです。これが異なるメーカーのソフトウェアと機器の間の互換性を強化することを約束しています。



AVBロゴ



RAVENNAロゴ

12. システムエンジニアリング

ユーザー

ユーザーの立場から見て、適切に設計されたネットワークオーディオシステムというのは、手間や面倒のかからないシステムです。つまり接続が簡単で配置やセットアップのオプションも融通性があること。劇場やコンサート会場、娯楽施設、コミュニティーセンター、学校での設置等、非常に複雑で条件の厳しい環境に対応していることです。

システムエンジニアリング

システムエンジニアリングの段階では、通常、その過程の一部はシステム所有者の技術スタッフが担当し、他の部分は外部のコンサルタントやシステム設計者が行います。ネットワークシステムエンジニアリングは、ネットワーク技術についての深い専門知識を必要とします。オーディオエンジニアは、このような知識をあまり持っていないのが通常です。そこで、認定を受けたコンサルタントやシステム設計者の役割が大きくなり、ネットワークオーディオシステムの仕様 / 設計 / プログラミング、ユーザーのための簡単な操作とセットアップ手順の提供までを担当するようになります。

システム設計

最初に、オーディオシステムの仕様を決定します。オーディオのネットワークを構築すると、新たな可能性が大きく開けます。しかし、ネットワークを構築するための技術を深く理解しなければ、システム仕様が実際に使えるものか否かを判断するのは非常に難しいことです。システム仕様には、オーディオチャンネル数、ロケーション数、ロケーション間の距離、要求される音質の設定、リダンダンシー機能のレベル、コントロール機能などが含まれます。施設などの設備音響システムに既存の IT インフラストラクチャーを使用するのであれば、IT システムの管理者も仕様決定時のプロセスに参加すべきです。ライブツアー用のシステムには、ケーブルやコネクタの品質、接続タイプの規格化なども仕様として含める必要があります。システム仕様に最も適したネットワークのフォーマット、オーディオフォーマット、トポロジー、リダンダンシー、接続タイプを選択します。

オーディオ器材

クローズドシステムでは、メーカーが指定したオーディオ機器の選択肢から選びます。オープンシステムでは、使用するオーディオネットワーク規格と互換性のあるオーディオ機器であれば、どのメーカーの製品でも使えます。オープンネットワークのオーディオシステムの例としては、現在、Dante™、CobraNet™ と EtherSound™ があります。

ネットワーク機器

クローズドシステムでは、そのメーカーがネットワークのハードウェアを提供します。オープンシステムでは、ネットワーク機器の選択肢は数限りなくあります。品数豊富な IT 市場には、様々なメーカーが供給する、品質や機能レベルが違う多くの製品が出回っています。Dante™ システムにおいては、スイッチに基本的な機能条件が備わっていることが必要です。多くのメーカーが動作の証明されているスイッチを使用することを推奨しています。

システム拡張

クローズドシステムでは、使用メーカーが提供するハードウェアを使用して拡張するため、選択肢は限られます。一方、標準的なネットワーク技術を使用したオープンシステムでは、ユーザーがネットワークの規模を決定できます。つまり、システムを購入した後でネットワーク機器やオーディオ機器を自由に追加できるため、元のシステムで使用したメーカー製品に限られることはありません。

システム設計者

どんなネットワークオーディオシステム設計でも、認定を受けたコンサルタントやシステム設計者が膨大な量のシステムエンジニアリングを担うことになります。この資格認定にはこれといって基準はありませんが、ネットワークオーディオエンジニアリングにおいて深い知識と豊かな経験を持っていて、市場で実際に使われている施設のシステム設計を行った経歴があることが必須です。

13. ネットワークオーディオシステムへの投資

システムのコスト

システム全体のコストは、機材のコストと、設計 / 構築 / メンテナンスに必要な人件費を加算した合計です。基本的に、ネットワークオーディオシステムでは機材のコストは上昇しても、人件費は減少します。ネットワークオーディオシステムへの投資により、システムが導入された後でこれを使用し維持する費用も変わってきます。ライブツアーでネットワークオーディオシステムを使用すると、システムの配置やセットアップ時間をかなり節約ができます。設備音響システムでは、その場で簡単にシステムが変更できるため、たとえ変更工事が必要な場合でも低コストで済むという利点があります。

器材のコスト

P2P とネットワークオーディオでは基本的に、アナログの長距離ケーブル接続の代わりに、デジタルネットワークを使用します。コスト面で見ると、ケーブルのコストに代わって、インターフェースにかかるコストとなります。P2P に基づくシステム（例えば AES10-MADI、AES50-SuperMAC）には各接続ポイントにおいて専用のハードウェアルーターが必要ですが、ネットワーク化したシステムには比較的安い標準的なネットワークスイッチを利用することができます。例えば、1 台のミキサーと 1 台のステージボックスの 2 台の機器のみを接続する場合、コスト面におけるその差に大きな違いはありません。しかし、システムがより複雑になると、たちまちオーディオネットワークの方がコスト面で効率的であることがわかります。

人件費

P2P に基づくシステムでは、ケーブルに関する必要条件はシステムの機能に関する必要条件に直接関連するため、経験豊かなスタッフがその作業を担当することが大事です。ネットワークオーディオシステムについては、帯域幅が範囲内であれば、ケーブルに関する条件は、機能面における必要条件から完全に外すことができるため、比較的経験の浅いスタッフに担当させることができます。設備音響システムでは、委任した後のどんな機能的な変更でも、ケーブルに影響を及ぼすことがないため、人件費をかなり低減できます。

優れた機能

ネットワークオーディオシステムは、P2P システムに比べて、遥かに高品質で高度な機能性を有しています。プロジェクトは年々複雑化していて、ネットワークオーディオシステムを使用しなければ、増え続ける作業量をこなせません。そこで、このようなシステムに投資した場合、P2P システムよりも明らかに優れた利点があります。この利点も、コストを計算する際には考慮すべきポイントです。

結論

どのシステムにもそれぞれ経済的な利点があり、あまりにも多くの変数を考慮しなければコストを比較する際の賢明な基本的規則にはなりません。一般的に、ある程度の規模の P2P 設計のシステムをデジタルミキサーを使ったネットワークオーディオ設計に変更すると、機材のコストはほぼ同額になると言えますが、人件費は明らかに減り、機能的な利点も増えます。そして、システムの規模が大きく複雑になるほど、そのコスト低減の効果が大きくなります。

ネットワークオーディオシステムのコスト
(アナログ配線との比較)



アナログマルチケーブルは不要

ネットワーク化したシステムのコスト



ネットワーク機器とケーブル接続への投資

人件費低減



ライブツアー向け：輸送、配線で低減

優れた利点



機能性の充実—融通性に富む



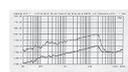
ブレイクアウト、ステージスネーク、スプリッターは不要



I/O機器への投資



設備音響システム向け：
ケーブル接続で低減



音質の向上

14. ネットワークオーディオ用語集

<u>AES/EBU</u>	Audio Engineering Society および European Broadcasting Union が標準化したデジタルオーディオフォーマット、AES3 規格。バランス型銅線ケーブルで接続ごとに 2 チャンネルのオーディオデータを伝送します。
<u>AES67</u>	IP ネットワークで高性能オーディオを伝送するための Audio Engineering Society からの推奨リストであり、オーディオ伝送プロトコルそのものではありません。
<u>AVB Audio Video Bridging</u>	専用のスイッチと AVB プロトコル式を採用している他の機器を使用するネットワークの一種。同期、帯域幅と一貫性を保証します。
<u>AVnu Alliance</u>	AVB の使用とその加盟メーカーにより製造された機器間の互換性促進を目的とするフォーラム
<u>CAT5</u>	カテゴリ 5 のケーブルで 100 メガビットのネットワーク信号を最長 100 メートルの距離で転送します。
<u>CAT5E</u>	CAT5 の仕様を拡張したケーブルで、更に広域の高周波数に対応しています。CAT5E ケーブルはギガビット Ethernet 接続にも対応可能です。
<u>CobraNet™</u>	Ethernet を使用して、ネットワーク上でオーディオデータ / コントロール / モニターデータを転送するネットワークプロトコルです。1 つのリンク毎に最大 64 チャンネルの容量を有し、100Mb 以上のネットワークに対応しています。
<u>Dante</u>	IT 業界の標準規格に基づくマルチチャンネル・デジタルメディアネットワーク技術で、極めて低いレイテンシーと高精度な同期が得られます。Dante™にはリンク毎に 500 チャンネル以上のチャンネル容量が備わっています。
<u>EEE Energy Efficient Ethernet</u>	Green Ethernet とも呼ばれ、IEEE 802.3az として規格化されています。スイッチの電力消費量を約 50% 削減することを目的としています。とはいえ、完全に Dante のようなオーディオネットワーク機器との互換性があるわけではないため、使用を避けるか、機能を停止させることを推奨します。
<u>End of Loop device</u>	ループの終端となる機器。ES-100 を含む EtherSound™バージョン 2.09 以降では、複数の双方向セグメントをデジジーチェーン内に作ることができます。プライマリマスターに加え、任意の機器を End of Loop (エンドオブループ) モードに設定してアップストリームデータをブロックすることができます。
<u>ES-100</u>	新機能を搭載した EtherSound™の最新バージョンです。リダンダンシーリングトポロジーを使用することができます。
<u>EtherCon®</u>	ライブツアー用に耐久性のある XLR 端子のようなハウジングを組み合わせた RJ45 コネクタで Neutrik 社が製作しています。
<u>Ethernet</u>	世界中で最も広く使用されているネットワークプロトコルで、Institute of Electrical and Electronics Engineers (電気電子学会) が IEEE802.3 規格として標準化しています。
<u>EtherSound™</u>	Ethernet を介し、100Mb 以上のネットワークでオーディオデータ / コントロール / モニターデータをネットワーク上で転送するときに使用するネットワークプロトコルです。EtherSound™は、固定された帯域幅での 64 チャンネル転送が可能なデジジーチェーントポロジー、および極めて低いレイテンシーを特長としています。2006 年にリリースされた EtherSound™の最新バージョンは、ES-100 として、追加機能が含まれています。
<u>Fiber</u>	光を使って情報を伝送する媒体です。シングルモードとマルチモードファイバーがあります。ファイバーは広い帯域の情報ストリームを扱うことができます。距離も数千メートル離れていても伝送することができます。
<u>Fiberfox®</u>	光ファイバーケーブルを接続するための耐久性のあるライブツアー用システムで、レンズを使って光信号を分散させることにより、コネクタの接触面積を拡大します。この接触面積が大きい程、傷やホコリに強くなります。
<u>GBIC ギガビットインターフェースコンバータ</u>	ホットスワップ可能なモジュラー型。ギガビットの銅線または光ファイバーなどの光学ケーブルをスイッチに接続できるようにします。
<u>Gigabit</u>	10 億ビット (1,000,000,000 ビット ; Gb)。1 つのギガビットリンクは毎秒 1 ギガビット相当の情報を運ぶことができます。100Mb リンク (Ethernet の 100 メガビット / 秒) と比較して、そのデータ量は十倍です。
<u>IGMP スヌーピング</u>	スイッチの機能の一つで、スイッチが IGMP (Internet Group Management Protocol) メッセージを読み取ります。これにより、マルチキャストの伝送を必要としない場所に伝送されるのをスイッチでブロックし、ネットワーク帯域を不必要に使うことを防ぎます。
<u>IP アドレス</u>	Internet Protocol (インターネットプロトコル) アドレスの略で、パケットをネットワーク上で管理するためのユーザー定義可能なアドレスです。IP アドレスには、ネットワークアドレス、ホストアドレスが含まれます。IP アドレスを使って情報を含むパケットをローカルエリアネットワーク (通常、4 バイトアドレス指定での IPv4 を使用するオフィスネットワーク) やワイドエリアネットワーク (通常、16 バイトのドレス指定での IPv6 を使用するインターネット) 上でやりとりすることができます。
<u>MAC アドレス</u>	Media Access Control (メディアアクセスコントロール) の略で IEEE 規格 (電気電子学会) が割り当てた 48 ビット (6 バイト) のアドレスシステムです。48 ビットで 280 兆もの重複のない固有のアドレスがネットワークインターフェースひとつひとつに対して割り当てられます。
<u>MADI</u>	Multichannel Audio Digital Interface (マルチチャンネルオーディオデジタルインターフェース) の略で、AES が標準化した AES10 規格です。1 本のケーブル接続で、24 ビット、64 チャンネルの MADI オーディオ信号を伝送します。
<u>OCA オープンコントロールアーキテクチャ</u>	システム制御やモニター信号の互換性を図るアーキテクチャで、プロ用メディアネットワークの設計と統合をシンプルに実現することを目指しています。
<u>OpticalCon®</u>	Neutrik 社が提供する、LC タイプの光ファイバーコネクタ用の XLR 端子のようなハウジングで、傷付きやすい光ファイバーの端を傷やホコリから保護する機構を持っています。
<u>OPTOCORE®</u>	リングトポロジーのオーディオネットワークの代表的なシステムです。500 チャンネル以上のオーディオ、ビデオ、シリアル接続を低レイテンシーで実現できます。
<u>OSI モデル</u>	International Organization for Standardization (ISO: www.iso.org) から出版されている、ネットワークプロトコル用の標準化されたモデルです。OSI モデルは 7 つのレイヤーを定義し、物理層 (レイヤー 1) から、ネットワークを使用するネットワークサービスアプリケーションの層 (レイヤー 7) まで分かれています。MAC アドレスはレイヤー 2 に、IP アドレスはレイヤー 3 に定義されています。
<u>PTP プレシジョンタイムプロトコル</u>	クロック同期規格 IEEE 1588 です。マスター / スレーブ構造をマイクロ秒以下の精度で構築し、オーディオネットワーク機器での使用に適しています。

<u>QoS Quality Of Service</u>	クオリティ・オブ・サービス。Ethernet の機能の一つで、スイッチを通じて特定のデータタイプを優先し、より速い伝送に対応することができます。Dante ™はこの機能を使用して、低レイテンシーを確立しています。
<u>Ravenna</u>	IP ベースのメディアネットワーク。標準的な IT プロトコルと機器を使用します。主に放送業界で導入され始め、メーカー数社が継続中の開発に参加できるようになっています。
<u>RJ11</u>	電話回線に使用する銅線ケーブルのコネクタです。
<u>RJ45</u>	ネットワークで銅線ケーブル（例 :CAT5）の接続に使用するコネクタです。
<u>RS232</u>	電気特性と機構特性を定義する Electronics Industry Alliance (EIA) が標準化したシリアル接続です。低ビットレートの P2P 接続に対応します。1991 年にアップグレードされた RS232C 規格が市場に出ました。
<u>RS422</u>	電気特性と機構特性を定義する Electronics Industry Alliance (EIA) が標準化したシリアル接続です。
<u>RSTP</u>	IEEE802.1w Rapid Spanning Tree プロトコル。IEEE802.1d Spanning Tree プロトコルの高速版です。
<u>SFP</u>	Small Formfactor Pluggable（スモールフォームファクタプラグابل）の略で、GBIC の小型版です。
<u>SNMP</u>	Simple Network Management Protocol（シンプルネットワークマネジメントプロトコル）の略。ネットワーク内で機器をコントロール / モニターするために用いられます。
<u>STP</u>	Spanning Tree Protocol（スパニングツリープロトコル）または Shielded Twisted Pair（シールドツイストペア）の略です。
<u>SuperMAC</u>	Oxford Technologies が開発したオーディオネットワークで、AES により AES50 規格として標準化されています。24 ビット、48kHz のオーディオ 48 チャンネルを CAT5 ケーブルで転送します。
<u>UTP</u>	Unshielded Twisted Pair（非シールドツイストペア）の略です。最も一般的に使用されるカテゴリ 5（CAT5）ケーブルがこのタイプです。
<u>VLAN</u>	Virtual Local Area Network（バーチャルローカルエリアネットワーク）の略です。管理型スイッチは同一ハードウェアを使用して、ネットワークトラフィックを複数の「バーチャル」ネットワークに分割します。
<u>Wi-Fi</u>	ワイヤレスのネットワークスタンダード、IEEE802.11 規格です。 最もよく使用されるのは、802.11.b (11Mb/s)、802.11.g (54Mb/s)、802.11.N (150Mb/s まで) です。
<u>管理型スイッチ</u>	VLAN 対応、トランッキング、スパニングツリー、QoS（クオリティ・オブ・サービス）、統計収集、エラーレポートなど高度な機能を持つスイッチです。
<u>グローバルアドレス</u>	インターネットに接続できる IP アドレス。グローバルアドレスは、それぞれのアドレスが重複しないように、InterNIC (www.internic.org) によって割り当てられています。
<u>サブネットマスク</u>	IP アドレスのどの部分がネットワークアドレスで、どの部分がホストアドレスに該当するかを指定します。
<u>シリアルサーバー</u>	シリアル信号をネットワークで使用できるようにするために RS232 または RS422 と Ethernet との間で変換を行う機器です。
<u>シリアルブリッジ</u>	CobraNet ™ ネットワーク内のシリアル接続で、ネットワークを介して RS232 機器との送受信ができる機能を提供しています。
<u>シングルモードの光ファイバー</u>	ネットワークの規格に依存しますが、最長 80km までの大量のデータストリームを転送できる接続方法です。ハイパワーのレーザータイプを使用する高価な接続方式です。
<u>スイッチ</u>	ネットワーク内の機器同士を接続します。スイッチはインテリジェントハブで、入力されたパケットを、パケットの宛先アドレスに接続されたポートにのみ転送します。
<u>スター</u>	最も一般的に使用されるネットワークトポロジーです。一般的にスターの中心は高処理/パワーのスイッチを使用して設計し、スターの各末端では低処理/パワーで設計します。「スター・オブ・スター」や「ツリー」構造もこのトポロジーの変形です。
<u>スパニングツリープロトコル</u>	Ethernet IEEE802.1d 規格。Ethernet スイッチ用プロトコルで、ネットワーク内でのループをブロックし、ループ内のアクティブなリンクに故障が生じたときブロックを解除し新たな経路を作ります。
<u>デジチェーン</u>	機器を接続する方法のひとつです。1 台の機器が故障すると、システムが 2 つに分断される欠点があります。
<u>デュアルリンク</u>	CobraNet ™ のリダンダンシー方式で、1 台の機器を 2 系統のリンクでネットワークに接続します。片方のリンクが故障すれば、もう片方のリンクが引き継ぎます。
<u>トポロジー</u>	ネットワーク内でネットワーク機器が接続されている形態です。基本的な構造には、リング、デジチェーン、スター、ツリーがあります。
<u>トランッキング</u>	IEEE802.3ad Link Aggregation 機能に対応するスイッチ同士を 2 本以上のケーブルを使って接続します。複数の接続により、伝送能力が増えた接続システムとして、あるいはリダンダンシー機能を持つ接続システムとしても使えます。
<u>ネットワーククラス</u>	ネットワークのサブネットマスクの適用範囲で、IP アドレスのどの部分がネットワークアドレスで、どの部分がホストアドレスかを決定します。 Class A: 1 バイト（8 ビット）のネットワークアドレス、3 バイト（24 ビット）のホストアドレス Class B: 2 バイト（16 ビット）のネットワークアドレス、2 バイト（16 ビット）のホストアドレス Class C: 3 バイト（24 ビット）のネットワークアドレス、1 バイト（8 ビット）のホストアドレス 小規模オフィスのネットワークでは通常クラス C を使用します。
<u>バンドル</u>	CobraNet ™ の情報パケットの単位で、48kHz、最大 8 つのオーディオチャンネルが含まれています。1 つのバンドルは 20 ビットまたは 24 ビットのどちらかで 1.33、2.66 または 5.33 ミリ秒のレイテンシーを持っています。
<u>プライベートアドレス</u>	InterNIC の承認を受けなくても、プライベートなネットワーク内で使用できる IP アドレスです。 Class A: 10.0.0.0-10.255.255.255 Class B: 172.16.0.0-172.31.255.255 Class C: 192.168.0.0-192.168.255.255 これらのアドレスはそのまま外部にルーティングすることはできないので、使用はローカルサブネット内に限られます。

プライマリマスター

EtherSound™ チェーンの 1 台目をプライマリマスターと呼び、64 チャンネルのダウンストリームデータをデジチェーンに送出します。双方向モードでは、アップストリームデータを受信する最後の機器が、このプライマリマスターです。AVS-Monitor ソフトウェアを起動しているコンピュータをプライマリマスターの IN コネクタに接続して、ネットワーク内のすべての EtherSound™ 機器を監視 / 管理します。

ブリッジ

複数のネットワークを接続するために使用するネットワーク機器。ブリッジは MAC アドレス指定で実行され、IP アドレス指定を無視します。IP アドレス指定でネットワークに接続する場合はルーターを使用する必要があります。

ブロードキャスト

802.3 Ethernet 規格では、ネットワーク内の全ての機器に情報データをブロードキャストパケットとして送信することができます。EtherSound™ はこの方法を使用してデジチェーンのオーディオチャンネルを送信します。

マルチキャスト

Ethernet 802.3 規格によって、ネットワーク内の複数の機器に情報をマルチキャストパケットとして送信できます。マルチキャストパケットはネットワークのどのポイントでも受信できます。

マルチモードの光ファイバー

ネットワークの規格に依存しますが、大量のデータストリームを最長 2km まで送信できる接続方法です。マルチモード接続は、比較的安価なレーザー素子を使用した接続方式です。

マルチユニキャスト

一部のオーディオ機器は、「マルチユニキャスト」として限られた数の宛先へ情報を送信することができます。数多くの宛先へバンドルを送信する場合は、マルチキャストを使用します。

メガビット

100 万ビット (1,000,000 ビット ;Mb)。Fast Ethernet リンクは毎秒 100 メガビット相当の情報を転送します。ギガビットリンクは 1000Mb で送ります。本書では、毎秒 100 メガビットの接続速度または帯域幅を「100Mb」と略して使用します。

メディアコンバーター

光ファイバー接続と銅線による RJ45 接続との間で変換を行う機器です。メディアコンバーターは、ほとんどの光ファイバーコネクタ、速度に対応します。

優先 (プリファード) プライマリマスター

EtherSound™ ES-100 機器をリダンダンシーリングトポロジーで使用し、1 台を優先プライマリマスターとして設定できます。この機器は通常リングをブロックしてデジチェーン接続を形成しますが、リングのどこかで接続が切れるとブロックを解除し、新しいデジチェーンが形成されます。

ユニキャスト

Ethernet 802.3 規格では、情報をユニキャストパケットとして、MAC アドレスを使用してネットワーク上の特定の 1 台の機器に送信することができます。送信するパケットは、送信機器から宛先までのルート上にあるポートとケーブルの帯域幅だけを使用するため、マルチキャストと比較してより多くの送信が可能になるとも言えます。

リダンダンシー

システム内で生じた故障から自動回復するための機能のことを言います。

リピーターハブ

受信したパケットを、アドレスをチェックせずにすべてのポートにそのまま転送する単純なネットワーク機器です。リピーターハブは個々のネットワークセグメントを接続してひとつの大きなネットワークを構築するために使用します。リピーターハブは現在ではほとんど廃れていて、新しいシステムで使われることはありません。

リング

デジチェーンで最初と最後の機器が互いに接続された環状のネットワークです。通常のデジチェーンと異なり、どちら回りでもデータ転送できるため、リダンダンシー機構が内包されたトポロジーです。1ヶ所で故障が生じてネットワーク上の機器は接続を維持することができます。

ルーター

複数のネットワーク同士を接続するためのネットワーク機器です。IP アドレスを使用して、異なるネットワークアドレスを持つネットワーク間でデータをやりとりすることが可能になります。ネットワークオーディオシステムにおいて、ルーターはほとんど使用しません。

ループバック機器

EtherSound™ Loop Back (ループバック) 機器はブロードキャストパケットとしてデータを次の機器にダウンストリームで送出するだけでなく、ユニキャストパケットとしてプライマリマスター機器または V2.09 以降の End of Loop 機器へアップストリームで送るので、この 2 台間で双方向のデジチェーンセグメントが構築できます。

レイテンシー

ネットワークレイテンシー、伝送遅延時間。情報パケットが送信機器から受信機器に伝送されるのにかかる時間です。

参考となるウェブサイト

www.aes.org
www.audinate.com
www.aviom.com
www.avnu.org
www.cisco.com
www.cobranet.info
www.dlink.com
www.ethersound.com
www.hp.com
www.ieee.org
www.iso.org
www.internic.org
www.lightviper.com
www.ravenna.alcnetworx.com
www.riedel.com
www.oqa-alliance.com
www.optocore.com
www.parc.com
www.sonyoxford.com
www.tiaonline.org
www.yamahaproaudio.com

Audio Engineering Society, AES3, MADI/AES10, AES50, AES67
Dante
A-net™
AVnu alliance
Cisco
CobraNet™
Dlink
EtherSound™
Hewlett Packard
Institute of Electrical and Electronics Engineers
International Organization for Standardization
ICANN Internet Corporation for Assigning Names and Numbers
Lightviper™
Ravenna
RockNet™
OCA alliance
OPTOCORE®
Palo Alto Research Center
SuperMAC/AES50
Telecommunications Industry Association
Yamaha