

リーダー電子 技術情報シリーズ Vol.04

## 放送の IP 化 1 : 概要編

---

- 01 背景
- 02 IP 伝送を支える技術
- 03 通信の基礎知識

本書の内容は 2020 年 7 月現在のものです。

記載されている会社名および各商品名は、各社の商標または登録商標です。

# 01 背景

IP 伝送の概要について

## 概要

---

これまで放送局では、映像制作から伝送まで、業界独自の規格である SDI(Serial Digital Interface)を中心に運用されてきました。しかしながら近年、解像度(2K→4K/8K)、ビット深度(8bit→10bit/12bit)、フレームレート(60p→120p)の向上、すなわち映像の高画質化が進むにつれて、取り扱うデータ量は増加の一途を辿り、従来の SDI 規格では BNC ケーブルの本数や伝送距離などの面で課題が生じてきました。

そこで注目されたのが IP(Internet Protocol)技術です。BNC ケーブルに比べて軽量で伝送距離が稼げること、技術の進歩が速くコストダウンが見込めること、PTP(Precision Time Protocol)の導入によって外部同期信号(BB)が不要になること、柔軟性の高いシステムが構築できることなどから、放送分野への導入が拡大しています。

## SDI と IP の比較

---

### 伝送速度

SD-SDI(270Mbps)が定義された 1990 年、イーサネットの伝送速度は 10Mbps ほどでした。IP ネットワークの性能が、放送が必要とするものには遠く及ばず、以後、放送局では同軸ケーブルを使用した SDI という独自規格が続くこととなります。しかしながら、映像が 1080i (1.5Gbps)、1080p (3Gbps)、4K/30p (6Gbps)、4K/60p (12Gbps)と進化し、今後も 8K が普及することを考えると、同軸ケーブルでの伝送は限界に達しつつあります。一方、イーサネットは、2000 年には 1Gbps、2010 年には 100Gbps、そして 2019 年の現在では 400Gbps と、SDI に対して急速な成長を見せ、今後も更なる成長が見込まれます。

### コスト

SDI は業界独自の規格であるために専用の機器が必要であったり、新しいフォーマットが開発されるたびに設備の更新が必要であったりしました。しかしながら SDI の市場規模は小さいため、コストが大きくなる傾向がありました。一方、IP ではスイッチングハブなど汎用性の高い機器を使用できるため、劇的なコストダウンが期待できます。

### 多重化

SDI はケーブル 1 本につき 1 つの信号を伝送しますが、IP ではケーブル 1 本で複数の信号を伝送することができます。たとえば 100Gbps のネットワークを使用した場合、ケーブル 1 本で 60 本以上の HD 信号(1.5Gbps)を伝送できます。4K、8K など、フォーマットの拡張にも対応が可能です。

また、映像信号のほかにも制御信号、同期信号、インカムなど、撮影に関するすべてを IP で伝送できるため、ケーブルや機器の削減が可能となります。

## 双方向性

SDI は片方向通信で入力と出力が固定されますが、IP は双方向通信が可能です。このため、各機器をスイッチングハブに接続するだけの、非常に柔軟性の高いシステムを構築することができます。

## 接続イメージ

SDI の場合、各機器は処理の順番にしたがって接続されます。機器間の同期を取るために、外部同期信号が必要です。

片方向通信であるため、基本的に特別な設定をすることなく、機器を接続するだけで画が出ます。

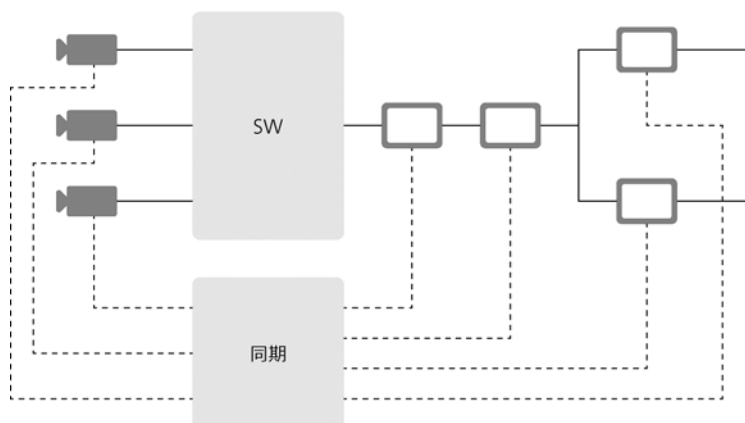


図 | SDI の接続イメージ

これに対して IP の場合、各機器はスイッチングハブに接続するだけのシンプルな構成となります。PTP という同期プロトコルを使用することによって、外部同期信号も不要となります。

双方向通信が可能であるため、画を出すには機器ごとの設定が必要です。

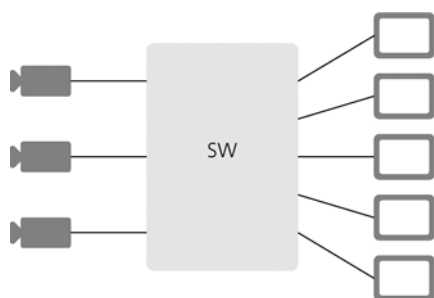


図 | IP の接続イメージ

## 02 IP 伝送を支える技術

IP 伝送に必要な技術や規格について

### 接続

SDI では映像信号の伝送に BNC コネクタおよび BNC ケーブルが使用されていましたが、IP では主に SFP と呼ばれるポートや光ファイバーが使用されます。ここでは、この光ファイバーを使用した接続について説明します。

#### SFP

SFP とは Small Form-factor Pluggable の略称で、通常 SFP トランシーバーを介して、SFP ポートと光ファイバーケーブルとを接続します。SFP トランシーバーは、機器側の電気信号と、ケーブル側の光信号とを相互に変換する機能を持っています。

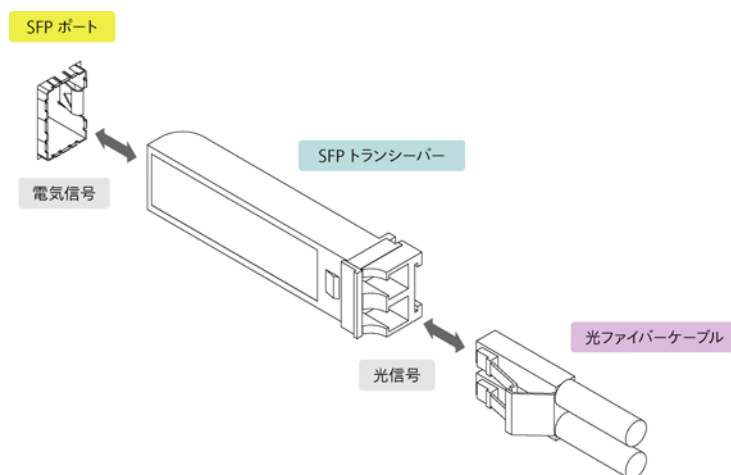


図 | SFP の接続

SFP トランシーバーは、ネットワークの伝送速度によって、次のような種類があります。形状が同じであっても、使用できる SFP トランシーバーは機器によって異なるため、注意が必要です。また、接続元と接続先の SFP トランシーバーについては、伝送速度を合わせる必要があります。

SFP ポート	SFP トランシーバー	伝送速度
SFP	SFP	1Gbps
	SFP+	10Gbps
	SFP28	25Gbps
QSFP	QSFP+	40Gbps
	QSFP28	100Gbps

## 光ファイバー

光通信を行う際、光信号の伝送路となるケーブルを光ファイバーと言います。光ファイバーは信号を通すコア、および信号を閉じ込めるクラッドと呼ばれる部分からなり、光信号はコアとクラッドを全反射することによって伝送されます。光ファイバーを使用することによって、大容量データを高速で長距離伝送することができる反面、コアやクラッドは主にガラスでできているため、取り扱いに注意する必要があります。

光ファイバーは MMF(Multi Mode Fiber)と SMF(Single Mode Fiber)に大別することができます。ここで「モード」とは、光信号の伝わり方のことを言います。

MMF はコア径が  $50\mu\text{m}$  または  $62.5\mu\text{m}$  と大きく、光信号を複数のモードで伝送できる一方、信号が劣化し、データ損失が発生します。SMF と比べて安価ですが長距離の通信には向かず、たとえば 10GBASE-SR 規格(10Gbps、MMF)の場合、伝送距離は $\sim 300\text{m}$  です。

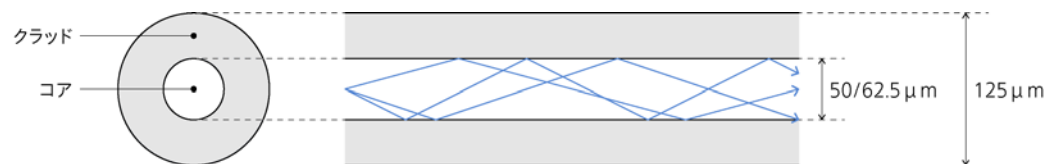


図 | MMF

SMF はコア径が  $9.2\mu\text{m}$  と小さく、光信号を一つのモードで伝送することで、信号の減衰や劣化を抑えています。MMF と比べて高価ですが長距離の通信も可能で、たとえば 10GBASE-LR 規格(10Gbps、SMF)の場合、伝送距離は $\sim 10\text{km}$  です。

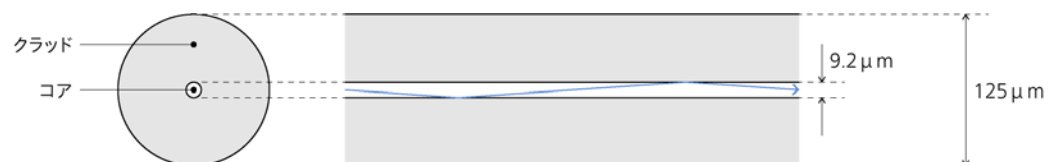


図 | SMF

## SDI 信号のパケット化

ここでは、非圧縮の SDI 信号をパケット化する規格について説明します。詳細は別冊の「コンテンツ編 (作成中)」を参照してください。

### 概要

2012 年、非圧縮の SDI 信号をパケット化する規格として、SMPTE ST 2022-6 が規定されました。SMPTE ST 2022-6 は、SDI 信号を丸ごとパケット化する形式で、3G-SDI まで対応しています。

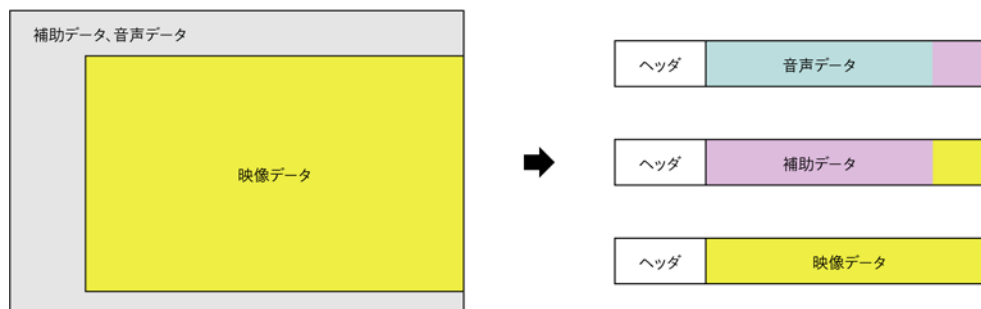


図 | SMPTE ST 2022-6 のイメージ

この規格では一つのパケットに映像データ、音声データ、補助データが混在しているため、個別の信号を受信したい場合に効率的ではありませんでした。そこで 2017 年から 2018 年にかけて、映像データをパケット化する SMPTE ST 2110-20、音声データをパケット化する SMPTE ST 2110-30、補助データをパケット化する SMPTE ST 2110-40 がそれぞれ規格化され、映像データ、音声データ、補助データを別々に扱うことができるようになりました。

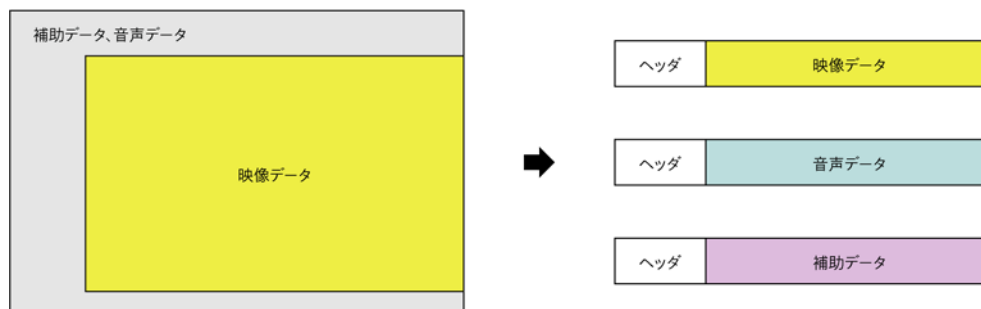


図 | SMPTE ST 2110 のイメージ

また、このほかに SMPTE ST 2110 では、SMPTE ST 2059 で規定されている PTP という同期プロトコルを使用することによって、高精度な同期が可能となります。

## 規格

### SMPTE ST 2022

SMPTE ST 2022 は、2022-1 から 2022-7 まで 7 つの規格から構成されていますが、ここでは非圧縮の SDI 信号を取り扱う 2022-5 から 2022-7 までを取り上げます。

規格名	名称	概要
SMPTE ST 2022-5	Forward Error Correction for Transport of High Bit Rate Media Signals over IP Networks (HBRMT)	2022-6 用の前方誤り訂正
SMPTE ST 2022-6	Transport of High Bit Rate Media Signals over IP Networks (HBRMT)	SDI 信号を丸ごとパケット化
SMPTE ST 2022-7	Seamless Protection Switching of SMPTE ST 2022 IP Datagrams	冗長化された伝送路のシームレスな信号切り換え

### SMPTE ST 2110

SMPTE ST 2110 は、2110-10 から 2110-40 まで 6 つの規格から構成されており、その総称を「Professional Media Over Managed IP Networks」としています。

2110 の中に誤り訂正や信号切り換えの仕様はありませんが、SMPTE ST 2022-7 を使用することができます。

規格名	名称	概要
SMPTE ST 2110-10	System Timing and Definitions	システム全体のタイミングやルール
SMPTE ST 2110-20	Uncompressed Active Video	映像データのパケット化
SMPTE ST 2110-21	Traffic Shaping and Delivery Timing for Video	映像データの送信タイミング
SMPTE ST 2110-30	PCM Digital Audio	AES67 形式の音声データのパケット化
SMPTE ST 2110-31	AES3 Transparent Transport	AES3 形式の音声データのパケット化
SMPTE ST 2110-40	SMPTE ST 291-1 Ancillary Data	補助データのパケット化

## PTP

---

ここでは、IP ネットワーク上で同期を取るためのプロトコルである PTP(Precision Time Protocol)について説明します。詳細は別冊の「同期編 (作成中)」を参照してください。

### 概要

PTP は外部同期信号(BB)の代わりとなるプロトコルで、ネットワーク上の機器の時刻を正確に合わせることによって、ビデオやオーディオの同期を取るものです。放送業界のほかにも、テレコム業界や金融業界など、さまざまな場面で使用されています。

ところで、同じネットワークを使用する時刻同期に NTP(Network Time Protocol)というプロトコルがあります。今まで NTP は広く使用されてきましたが、NTP が 1ms 程度の精度であることに対し、PTP は 1 $\mu$ s 未満の精度であるため、NTP に対してより高精度な同期を得ることができます。なお、放送では 200~300ns 程度の精度が必要とされています。

### 規格

#### IEEE 1588

PTP の基本となる規格で、2002 年に規定された v1 と 2008 年に規定された v2 があります。なお、v1 と v2 との間に互換性はありません。

規格名	名称	概要
IEEE 1588-2002 (v1)	IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems	Dante(ネットワークオーディオ規格)で採用
IEEE 1588-2008 (v2)	IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems	SMPTE ST 2022-6、SMPTE ST 2110、AES67 で採用



## SMPTE ST 2059

放送機器に合わせた PTP の規格です。

規格名	名称	概要
SMPTE ST 2059-1	Generation and Alignment of Interface Signals to the SMPTE Epoch	SMPTE エポックを起点とした、ビデオ、オーディオ位相の計算方法
SMPTE ST 2059-2	SMPTE Profile for Use of IEEE-1588 Precision Time Protocol in Professional Broadcast Applications	放送において、IEEE 1588 を使用する際の SMPTE プロファイル
SMPTE EG 2059-10	Introduction to the New Synchronization System	PTP の紹介と使用例

## 制御

ここでは、ネットワークを制御する規格について説明します。詳細は別冊の「制御編 (作成中)」を参照してください。

### 概要

先に述べた SDI 信号のパケット化や PTP は従来の SDI を IP 化したものであるのに対して、制御とは IP 化特有の要素となります。ここでは AMWA(Advanced Media Workflow Association)が制定した NMOS(Networked Media Open Specifications)の IS-04 と IS-05 を取り上げます。AMWA とは、制御方式の標準化を行う国際団体、NMOS とは、IP 放送で使用する標準制御規格をそれぞれ指しています。

### 規格

#### IS-04 (Discovery and Registration)

ネットワーク上の機器を発見、および登録するための規格です。  
以下の API(Application Programming Interface)が提供されています。

- ・ NodeAPI
- ・ QueryAPI
- ・ RegistrationAPI

#### IS-05 (Device Connection Management)

機器間の接続を制御するための規格です。  
以下の API が提供されています。

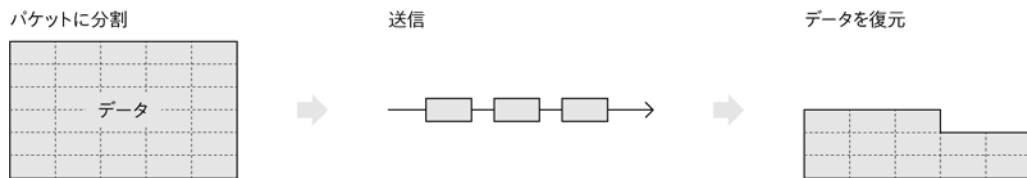
- ・ ConnectionAPI

## 03 通信の基礎知識

IP 伝送に必要な通信の基礎知識について

### IP

IP とは Internet Protocol の略称で、送りたいデータをパケットという一定の大きさに細分化し、ネットワーク上で伝送するしくみのことを言います。パケットに細分化することで、ネットワークを長時間占有しないようにしたり、エラー発生時の再送信を最小限にしたりすることができます。受信側では細分化されたパケットを復元することで、元のデータを確認できます。



ところで、IP は信頼性の低いプロトコルとされています。これは、送信した IP パケットが順番どおりに届かなかったり、パケットが途中で消失したりすることを指します。これらを防ぐために、信頼性の高い TCP(Transmission Control Protocol)というプロトコルと組み合わせて TCP/IP という形式にしたものが広く普及されています。(ただし、放送の分野では TCP の代わりに UDP というプロトコルを使用します)



### プロトコル

プロトコルとは「ルール」を意味します。「IP」の「P」はプロトコルの略称であるため、「IP」の場合、「インターネットを使用する際のルール」という意味となります。プロトコルには IP のほかにもさまざまな種類があり、IETF(Internet Engineering Task Force)などの組織によって定められています。

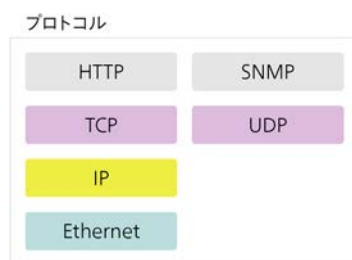


図 | プロトコルの一例

## パケット

主に IP による通信の際、一定の大きさに細分化されたデータのことを言います。パケットはヘッダとデータからなり、ヘッダにはデータに関するさまざまな情報が書き込まれています。

たとえば IP の場合、データに IP ヘッダを付加したものをパケットと言います。IP ヘッダには、IP アドレスなどの情報が書き込まれています。

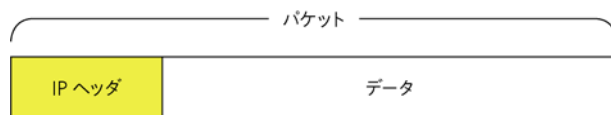


図 | パケット

TCP の場合、データに TCP ヘッダを付加したものをセグメントと言います。ただし、パケットと呼ばれることも多々あり、本書でもパケットと呼んでいます。

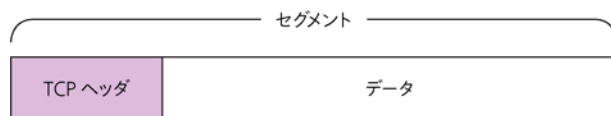


図 | セグメント

UDP の場合、データに UDP ヘッダを付加したものをデータグラムと言います。ただし、パケットと呼ばれることも多々あり、本書でもパケットと呼んでいます。

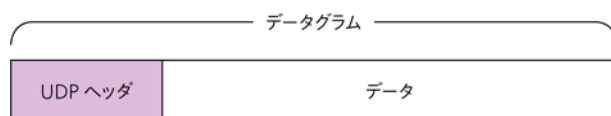


図 | データグラム

補足として Ethernet の場合、データに Ethernet ヘッダと FCS(Frame Check Sequence)を付加したものをフレームと言います。ここで FCS とは、エラー検出のために付加されるデータのことを言います。

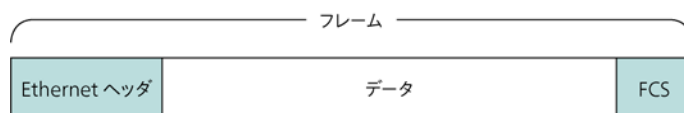


図 | フレーム

### カプセル化

ヘッダとデータからなるパケットを一つのデータとみなし、別のヘッダを付加することを言います。たとえば TCP パケットは TCP ヘッダとデータからなりますが、TCP パケットを一つのデータとみなし、IP ヘッダを付加するようなことを言います。なお、パケットからヘッダを取り外してデータを取り出すことを、非カプセル化と言います。

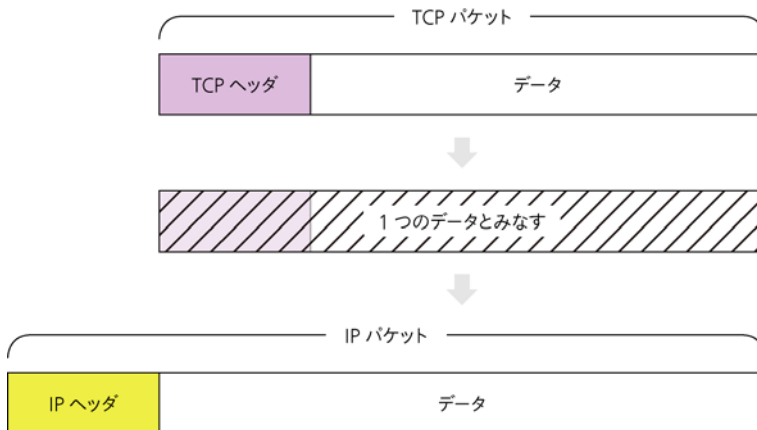


図 | カプセル化

### OSI 参照モデル / TCP/IP モデル

さまざまなネットワーク機器を相互に接続するために、通信のしくみを標準化したものです。OSI 参照モデルは通信に必要な機能を 7 つの階層に分けたもので、通信のしくみを知る上で重要な概念ではありますが、実際にはほとんど使用されていません。一方、4 階層からなる TCP/IP モデルは広く普及されています。

それぞれ内容は異なりますが、どちらのモデルも機能が階層化され、それぞれの層は独立していることが特徴です。送信側は上位層から下位層に向けてデータを送り、受信側は下位層で受け取ったデータを上位層に渡すことで通信が成り立ちます。

OSI 参照モデル	TCP/IP モデル	主なプロトコル
第 7 層 アプリケーション層	第 4 層 アプリケーション層	HTTP、SNMP、FTP、RTP など
第 6 層 プレゼンテーション層		
第 5 層 セッション層		
第 4 層 トランスポート層	第 3 層 トランスポート層	TCP、UDP など
第 3 層 ネットワーク層	第 2 層 インターネット層	IP など
第 2 層 データリンク層	第 1 層 ネットワークインターフェイス層	Ethernet など
第 1 層 物理層		

図 | OSI 参照モデルと TCP/IP モデル

※ OSI 参照モデルと TCP/IP モデルの対応や、各階層に属するプロトコルには諸説あり、ここでは一例を示しています。

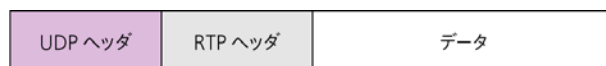
以下、放送で使用するプロトコル RTP(Real-time Transport Protocol)を例として、データ送受信の流れを OSI 参照モデルを使用して説明します。通信プロトコルに UDP、IP、Ethernet を使用するとします。

はじめに、データの送信について説明します。

送信したいデータに RTP ヘッダを付加し、トランスポート層(L4)へ渡します。



トランスポート層(L4)では UDP ヘッダを付加し、ネットワーク層(L3)へ渡します。(カプセル化)



ネットワーク層(L3)では IP ヘッダを付加し、データリンク層(L2)へ渡します。



データリンク層(L2)では Ethernet ヘッダと FCS を付加し、物理層(L1)へ渡して「0」「1」のデータに変換したものを送信します。



次に、データの受信について説明します。

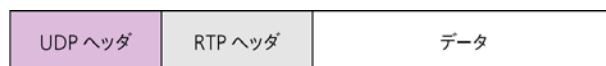
物理層(L1)で受信した「0」「1」のデータは、Ethernet フレームの形式に戻し、データリンク層(L2)へ渡します。



データリンク層(L2)では Ethernet ヘッダと FCS を取り除き、ネットワーク層(L3)へ渡します。(非カプセル化)



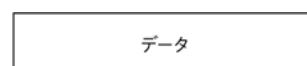
ネットワーク層(L3)では IP ヘッダを取り除き、トランスポート層(L4)へ渡します。



トランスポート層(L4)では UDP ヘッダを取り除き、アプリケーション層へ渡します。



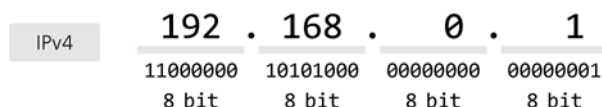
アプリケーション層で RTP ヘッダを取り除くことで、データを確認することができます。



### IP アドレス

IP アドレスとは Internet Protocol Address の略称で、インターネットや LAN に接続する機器に割り当てられる、固有の識別番号です。

計 32 ビットからなり、「0.0.0.0」～「255.255.255.255」の形式で表記されます。この形式は IPv4 と呼ばれ、その総数は約 43 億個ですが、すでに IP アドレスの枯渇が問題となり、IPv6 への移行が進んでいます。



IPv6 は計 128 ビットからなり、「0:0:0:0:0:0:0:0」～「FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF」の形式で表記されます。IPv4 と IPv6 との互換性はなく、移行にはネットワーク機器の IPv6 への対応が必要です。



### MAC アドレス

MAC アドレスとは Media Access Control Address の略称で、ネットワークに接続する機器に割り当てられる、固有の識別番号です。原則、一度割り当てられたら変更されることはありません。

計 48 ビットからなり、「00:00:00:00:00:00」～「FF:FF:FF:FF:FF:FF」の形式で表記されます。前半の 24 ビットは OUI (Organizationally Unique Identifier) と言い、メーカー名を表す固有の番号です。後半の 24 ビットはメーカーが製品ごとに割り当てる番号です。

MAC アドレスの総数は約 70 兆個あり、現時点で枯渇の心配はないとされています。



## L2 スイッチ (スイッチングハブ、イーサネットスイッチ)

L2 スイッチの「L2」とは、OSI 参照モデルの第 2 層、データリンク層のことを指します。L2 スイッチとはこのデータリンク層で動作する機器で、MAC アドレスを元に届け先を判断し、必要な機器のみにデータを送信します。

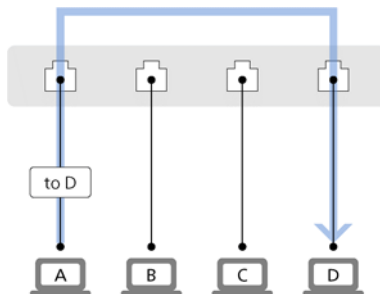


図 | L2 スイッチ

なお、OSI 参照モデルの第 3 層、ネットワーク層で動作するスイッチを L3 スイッチと言い、これは IP アドレスを元に届け先を判断し、データを送信します。

また、OSI 参照モデルの第 1 層、物理層で動作するリピータハブ(ハブ)という機器もあり、これは送られてきたデータをすべての機器に送信します。送られてきたデータが自分宛ではない場合、データは破棄します。現在、リピータハブはあまり使用されていません。

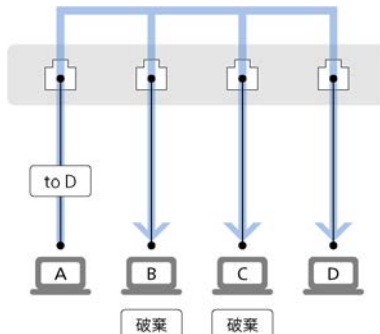


図 | リピータハブ

### 本書の構成について

「Vol.04 放送の IP 化」は計 4 部からなり、本書は第 1 部の「概要編」にあたります。合わせてお読みください。

・放送の IP 化 1	概要編	IP 化の背景、IP 伝送の概要、通信の基礎について	※本書
・放送の IP 化 2	コンテンツ編	SMPTE ST 2110 について	※作成中
・放送の IP 化 3	同期編	PTP について	※作成中
・放送の IP 化 4	制御編	NMOS について	※作成中

## リーダー電子株式会社

住所	〒223-8505 神奈川県横浜市港北区綱島東 2-6-33
電話	045-541-2122
メール	sales@leader.co.jp
URL	www.leader.co.jp
発行	2020 年 7 月 9 日 初版