

“超”広帯域ネットワークを活用した ライブTV番組制作システムへの挑戦

JANOG45



株式会社インターネットイニシアティブ
高田 壮吉



NHK放送技術研究所
河原木 政宏

ライブ制作システムの IP 規格

SMPTE とは

Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE) は米国映画テレビ技術者協会のこと、映像技術の標準規格の策定を行っている

日本においては一般社団法人電波産業会 (Association of Radio Industries and Businesses, ARIB) が標準規格の策定を行っており、番組制作用 IP インターフェイス規格については SMPTE と連動している

SMPTE ST 2022-6, 2059-1/2, 2110 Suite

- ST 2022-6: 2012 Transport of High Bit Rate Media Signals over IP Networks (HBRMT)
 - ST 2022-7: 2013 Seamless Protection Switching of SMPTE ST 2022 IP Datagrams
 - ST 2059-1: 2015 Generation and Alignment of Interface Signals to the SMPTE Epoch
 - ST 2059-2: 2015 SMPTE Profile for Use of IEEE-1588 Precision Time Protocol in Professional Broadcast Applications
 - ST 2110 Suite : 2017- Professional Media Over Managed IP Networks
- ※ Sony NMI (Networked Media Interface), 2014-

AMWA NMOS

AMWA (Advanced Media Workflow Association) は IP Based 番組制作システムで用いる制御方式の標準化を行う国際団体で、NMOS (Networked Media Open Specifications) として各種制御系動作の API を規定している

SMPTE とは

Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE) は米国映画
テレ

【主な関連 RFC】

RFC3550: RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications

RFC3551: RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control

RFC3376: Internet Group Management Protocol

RFC4175: RTP Payload Format for Uncompressed Video

• RFC4566: SDP: Session Description Protocol

• RFC7104: Duplication Grouping Semantics in the Session Description Protocol

• RFC7273: RTP Clock Source Signalling

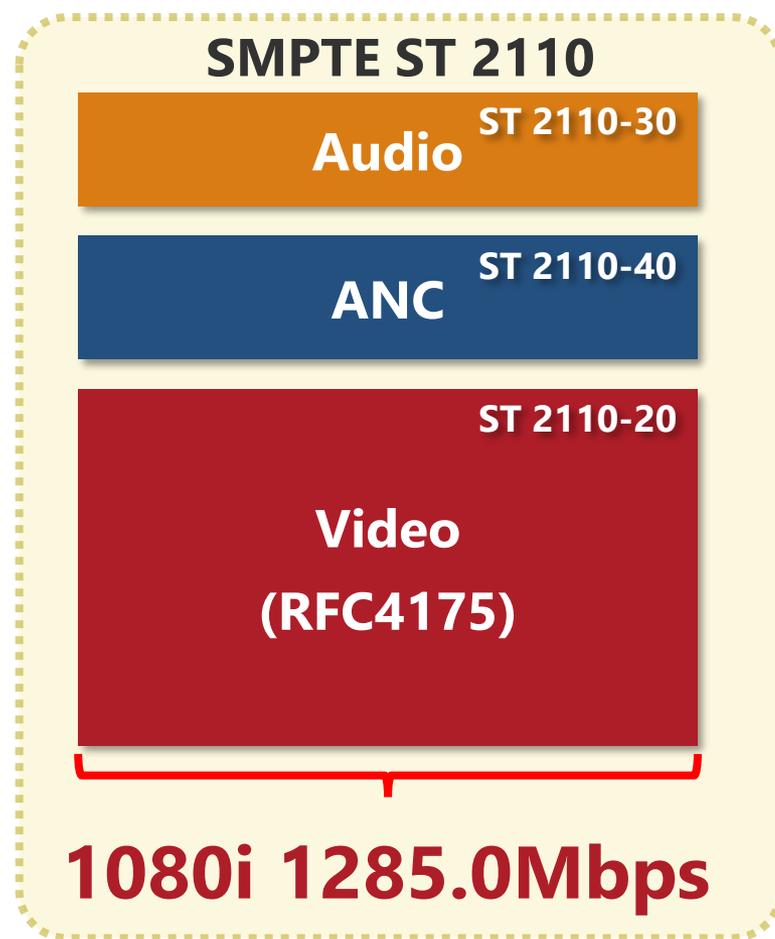
※ RTP や SDP など既存資産を活用して規格を策定!!

AMWA

AMWA (Advanced Media Workflow Association) は IP Based 番組制作システム
ムで用いる制御方式の標準化を行う国際団体で、NMOS (Networked Media
Open Specifications) として各種制御系動作の API を規定している

ST 2022-6 と ST 2110 の違い

ST 2022-6 はベースバンド信号を丸ごと RTP で包んでいたが、ライブ番組制作システムをターゲットとして策定された ST 2110 では要素 (Essence) 毎に独立して扱えるようになっている



ST 2110 パケットイメージ

Video	Audio	Ancillary
ST 2110-20	ST 2110-30	ST 2110-40
非圧縮ビデオ	PCM音声	ST 291
RFC4175	AES67	RFC8331

SMPTE

L5: RTP (RFC3550)

L4: UDP (RFC768)

L3: IPv4 (RFC791), IPv6 (RFC8200)

L2: Ethernet

L1: 物理層

映像・音声のデータ量

解像度	帯域幅	ENC/DEC 遅延
8K 120p 非圧縮	約 144Gbps	None
8K 60p 非圧縮	約 48Gbps	None
8K 60p 軽圧縮	約 9Gbps	数十マイクロ秒
8K 60p H.265	約 100Mbps	数十ミリ秒～数秒
4K 60p 非圧縮	約 12Gbps	None
4K 60p 軽圧縮	約 3Gbps	数十マイクロ秒
4K 60p H.265	約 20Mbps	数十ミリ秒～数秒
2K 60p 非圧縮	約 3Gbps	None
2K 60i 非圧縮	約 1.5Gbps	None

映像・音声のデータ量

解像度	帯域幅	ENC/DEC 遅延
8K 120p 非圧縮	約 144Gbps	None
8K 60p 非圧縮	約 48Gbps	BS 4K はこれ (厳密には 59.94p)
8K 60p 軽圧縮	約 9Gbps	
8K 60p H.265	約 100Mbps	数十ミリ秒～数秒
4K 60p 非圧縮	約 12Gbps	None
4K 60p 軽圧縮	約 3Gbps	地デジはこれ (厳密には 59.94i)
4K 60p H.265	約 20Mbps	
2K 60p 非圧縮	約 3Gbps	None
2K 60i 非圧縮	約 1.5Gbps	None

音声のデータ量: ST 2110-30 (PCM Digital Audio)

2-channel stream:

2 channels x 24 bits x 48k samples x 1.08 RTP = **2.5Mbps**

8-channel stream:

8 channels x 24 bits x 48k samples x 1.05 RTP = **9.7Mbps**

技術的な特徴

技術的な特徴

- 1) **PTP** 対応のスイッチが不可欠
- 2) 4K UHD カメラ映像 1 本が **12Gbps 1 Flow**
- 3) メディア向けネットワーク構成
- 4) **PIM/IGMP vs SDN Control**

PTP 概要

PTP (Precision Time Protocol) IEEE 1588v2 は高精度時刻同期を行うためのプロトコルで、金融取引システム、携帯電話の基地局、電力網の制御、産業用ロボットの制御などで利用されている

NTP のミリ秒オーダーよりも高精度に**ナノ秒オーダー**で時刻同期が可能

SMPTE ST 2059-1

放送機器間で映像のタイミングを取るのに使用されているブラックバースト信号 (B.B) に代わり、IP ネットワーク上で映像のタイミングを取るのに PTP を用いるための仕様を定義

TAI 1970/01/01 00:00:00 を SMPTE Epoch とし、時刻情報から映像信号の先頭のタイミングを導出することで映像信号の位相を決定する

SMPTE ST 2059-2

PTP のプロファイルを定義

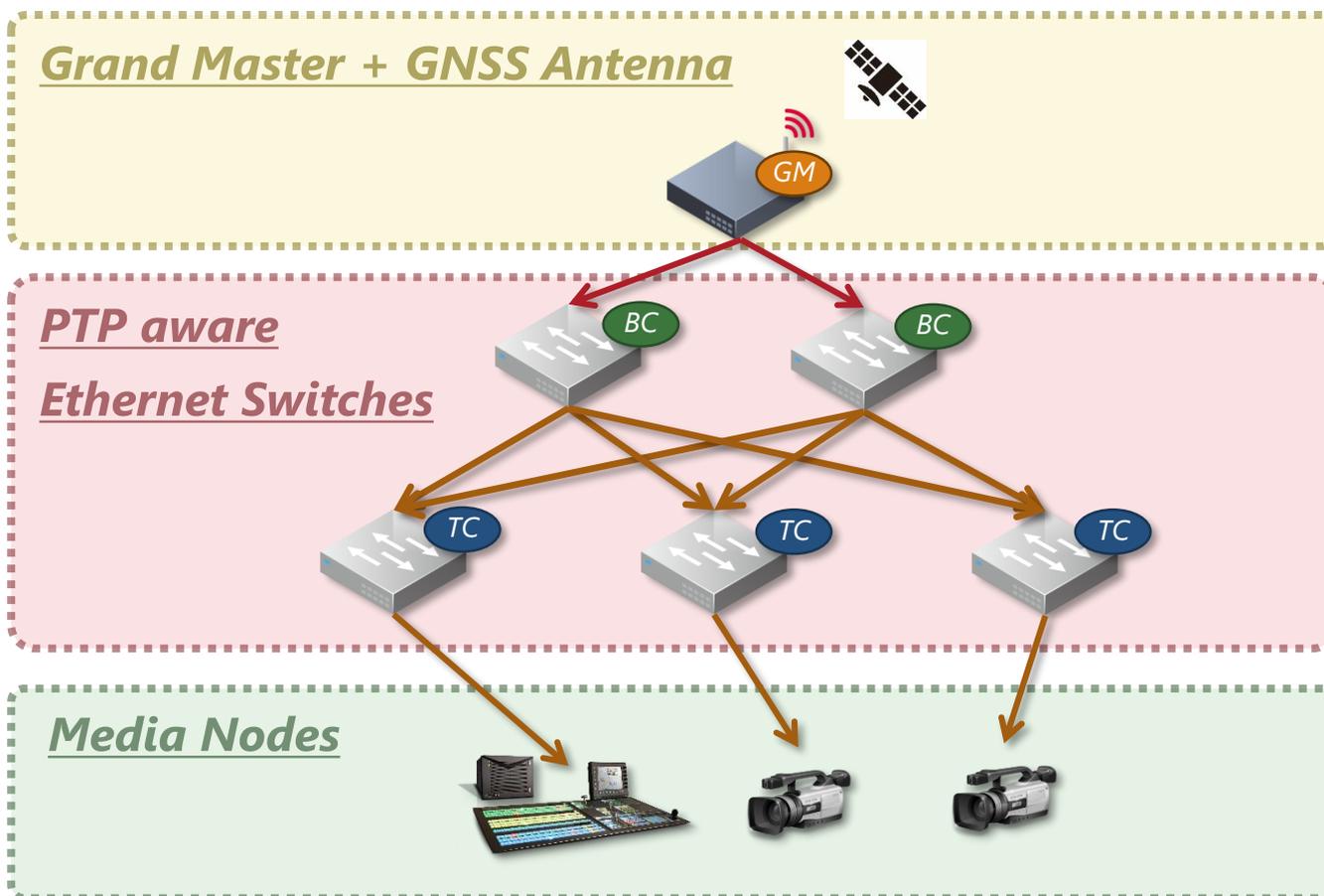
Sync と Delay Request を **8 Packet/sec** の頻度でやり取りし、**1 μ s** 以内の精度でマスタークロックと同期することを規定

実際の環境では概ね 2 桁ナノから 3 桁ナノ秒前半で同期できている

PTP aware ネットワーク

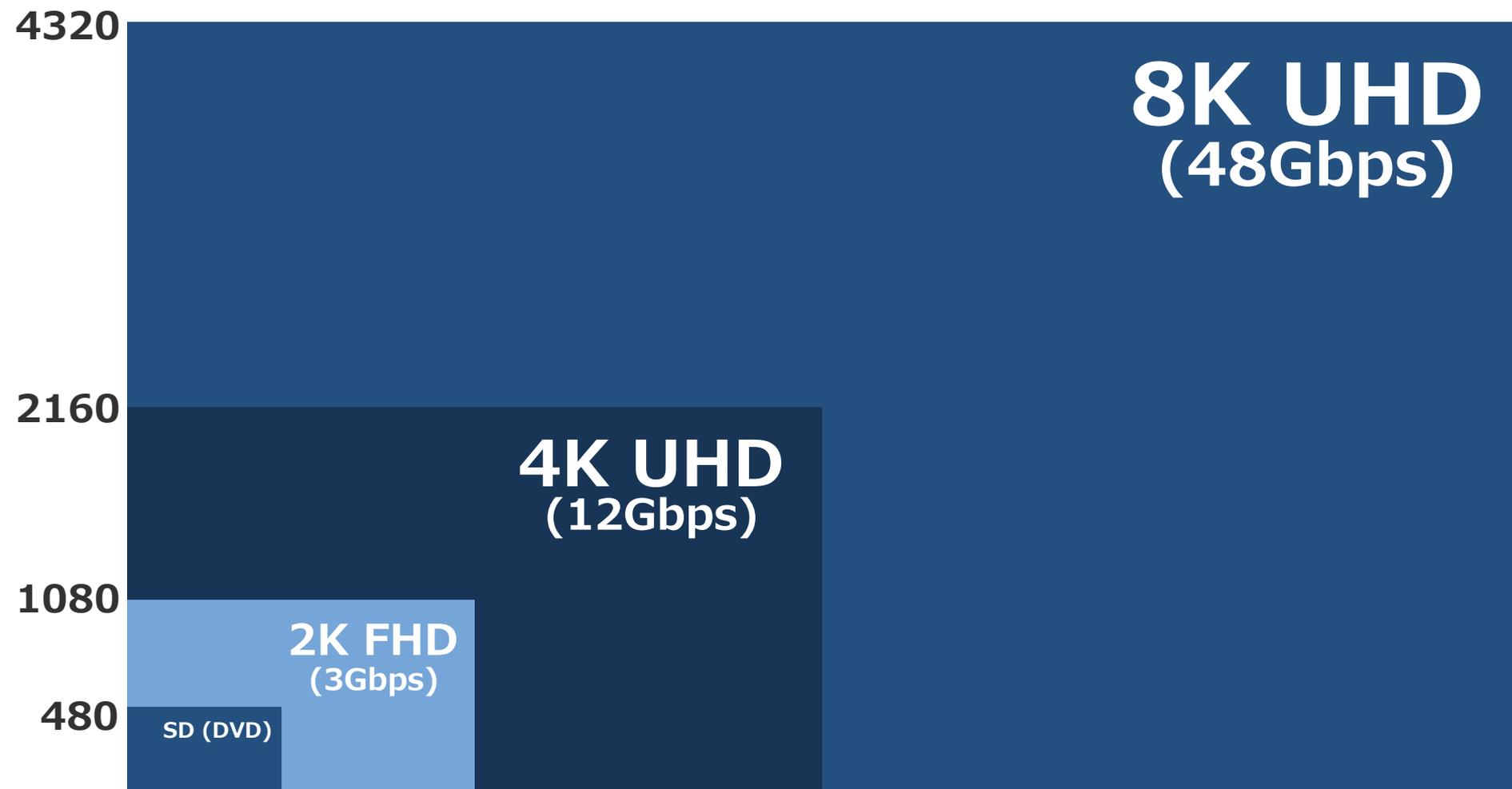
GNSS と同期し正確な時刻情報を発信する **Grand Master Clock (GM)** と、**Boundary Clock (BC)**, もしくは **Transparent Clock (TC)** の機能を持ったイーサネットスイッチで構成

PTP で高精度な時刻同期を実現するには BC/TC に対応したスイッチが**不可欠**



技術的な特徴: 2) 4K UHD カメラ映像 1 本が 12Gbps 1 Flow

映像・音声のデータ量



技術的な特徴: 2) 4K UHD カメラ映像 1 本が 12Gbps 1 Flow

映像・音声のデータ量

- ❑ 1 スタジオに 4 台前後のカメラがあり、収録を 4K で行った場合
カメラ映像 だけで **48Gbps** 程のマルチキャストストリームが発生
- ❑ サッカーの試合で 14 台のカメラを使用した場合、カメラ映像だけで
168Gbps 程のマルチキャストストリームが発生する

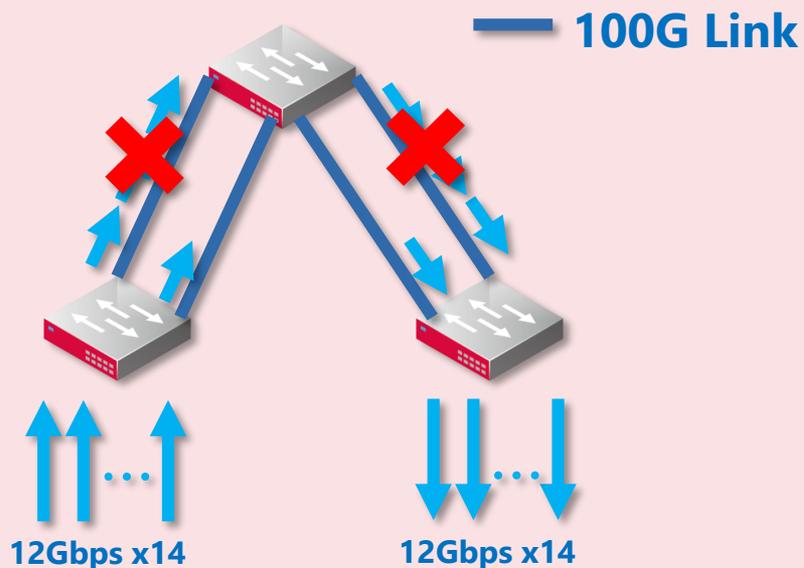
**4K 12Gbps といった大きなトラフィックが 1 Flow で
流れるため ECMP の分散を期待した帯域設計が難しい**

サッカー場



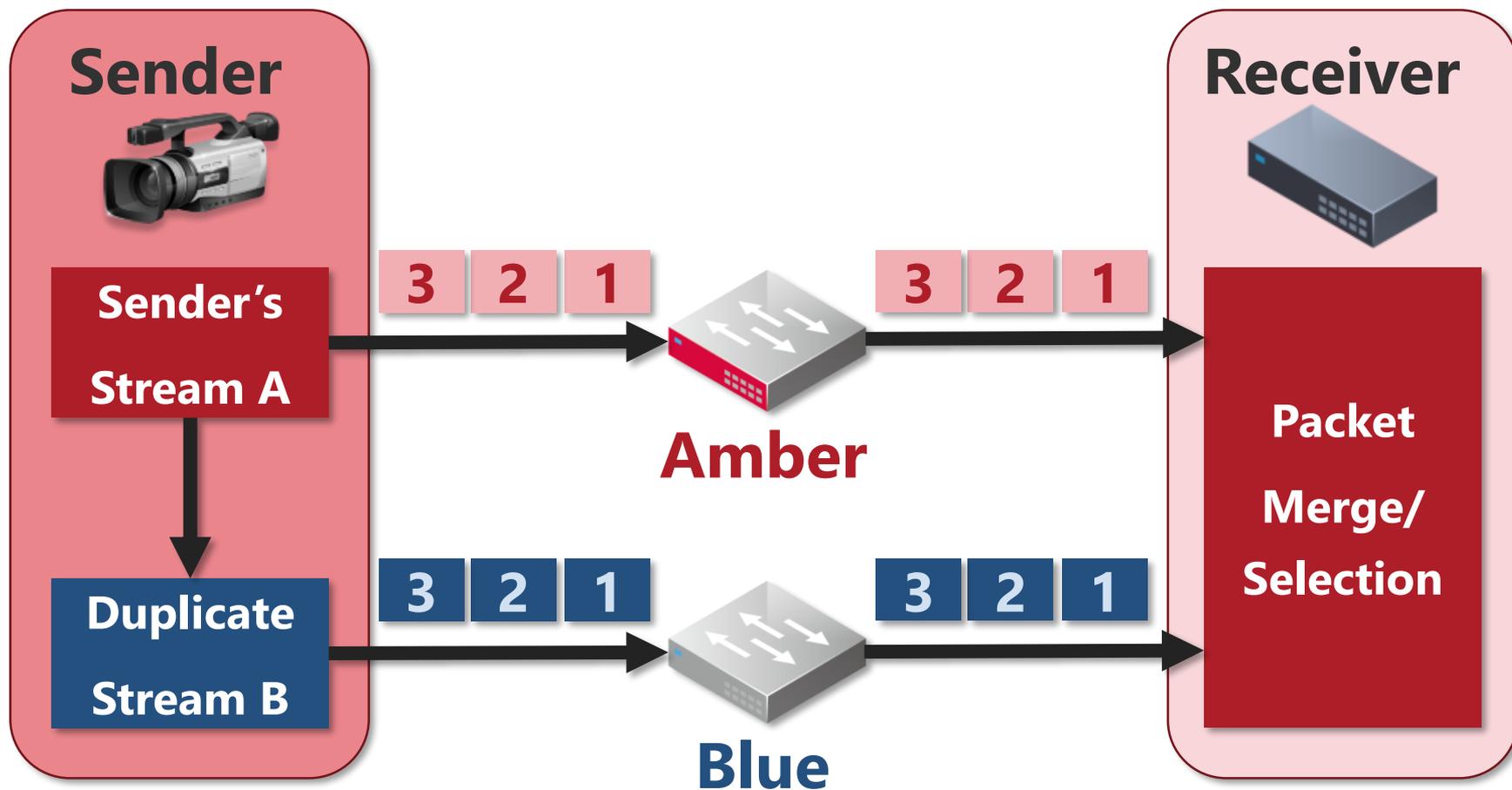
4K カメラ 14 台

12Gbps x 14 = **168Gbps**



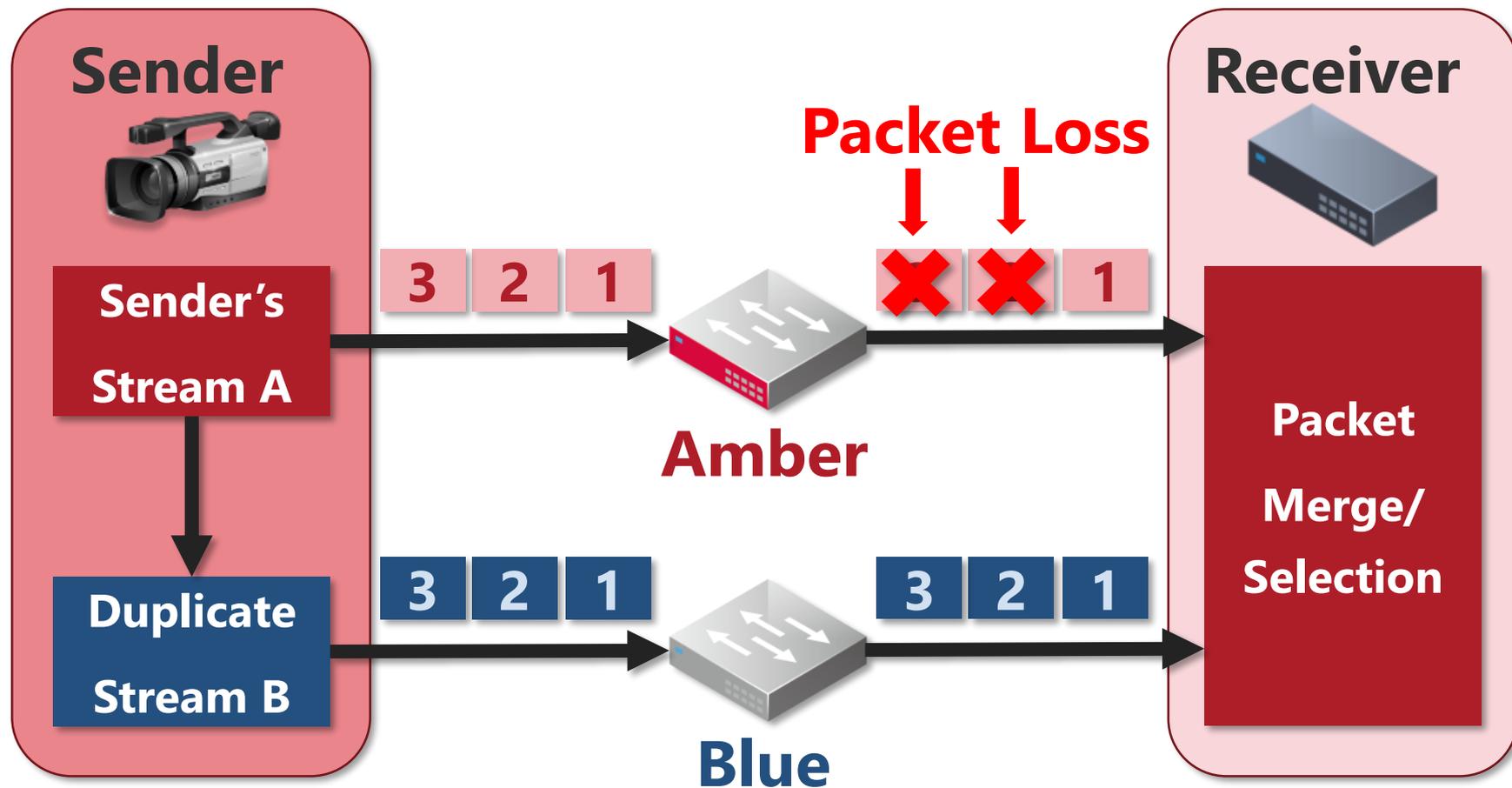
Seamless Protection Switching

Sender が同じ映像・音声データを A / B 両面から出力、Receiver は通常 A のパケットを選択するが、パケットが欠けていた場合 B のパケットを選択することで片系ネットワーク障害に耐えることができる



Seamless Protection Switching

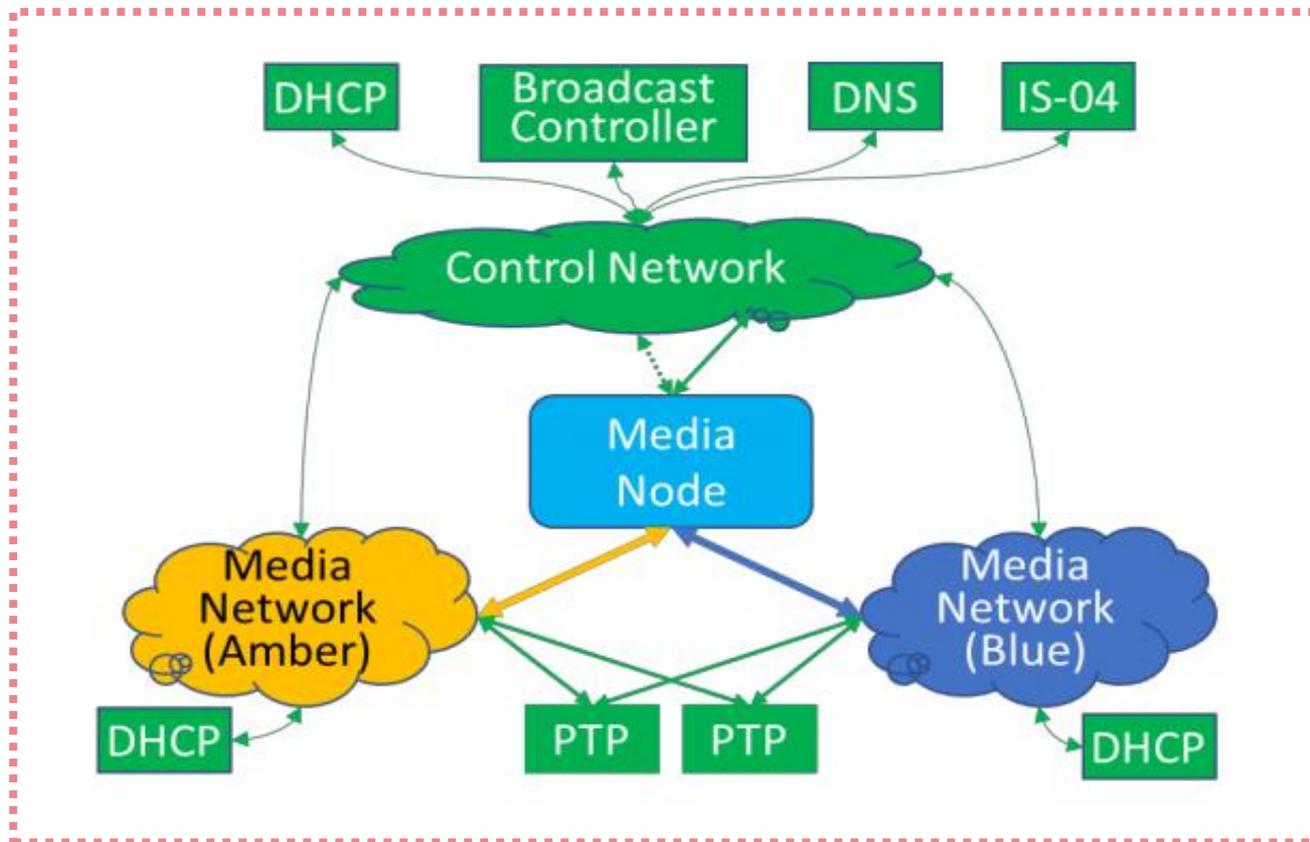
Sender が同じ映像・音声データを A / B 両面から出力、Receiver は通常 A のパケットを選択するが、パケットが欠けていた場合 B のパケットを選択することで片系ネットワーク障害に耐えることができる



Live System 向けネットワークの構成

メディア向けを冗長で 2 系統、コントロール用に 1 系統、計 3 系統のネットワーク構成がベストプラクティスとして提示されている。

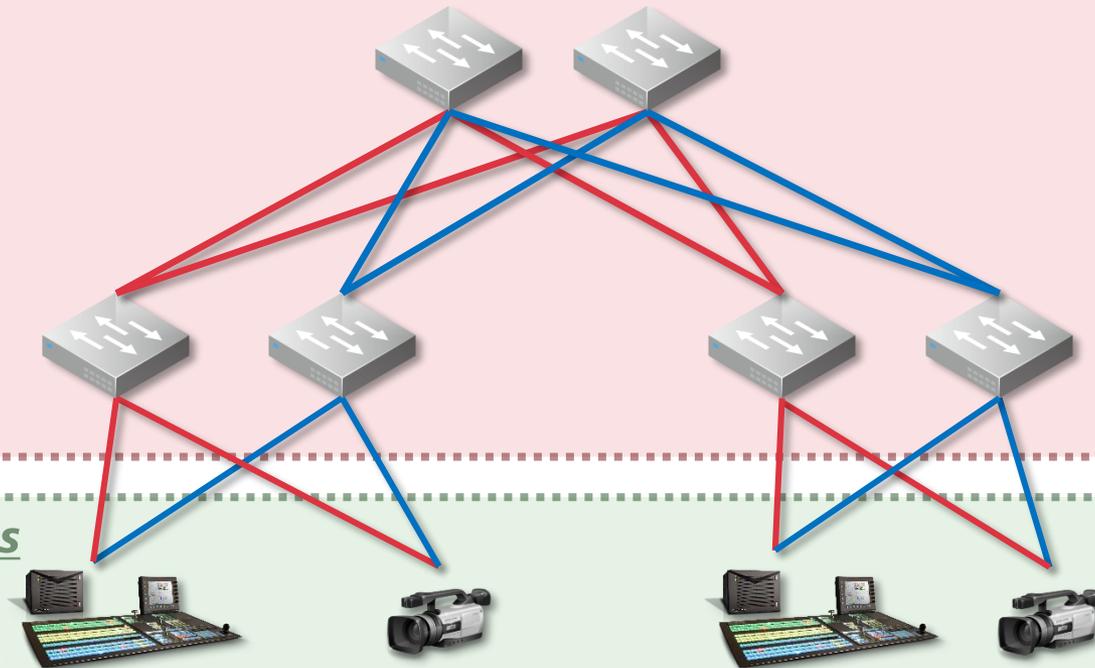
- **Amber/Blue** の独立した Media (Video/Audio) 用 NW **x2** 系統 (PTP 必要)
- コントローラや各機器の Mgmt 用 NW **x1** 系統 (PTP 不要)



パターン1: One Spine-Leaf Fabric

- センターに Spine のセットを置き、スタジオごとに Leaf のセットを配置
- Spine スイッチ故障時も自動迂回可能

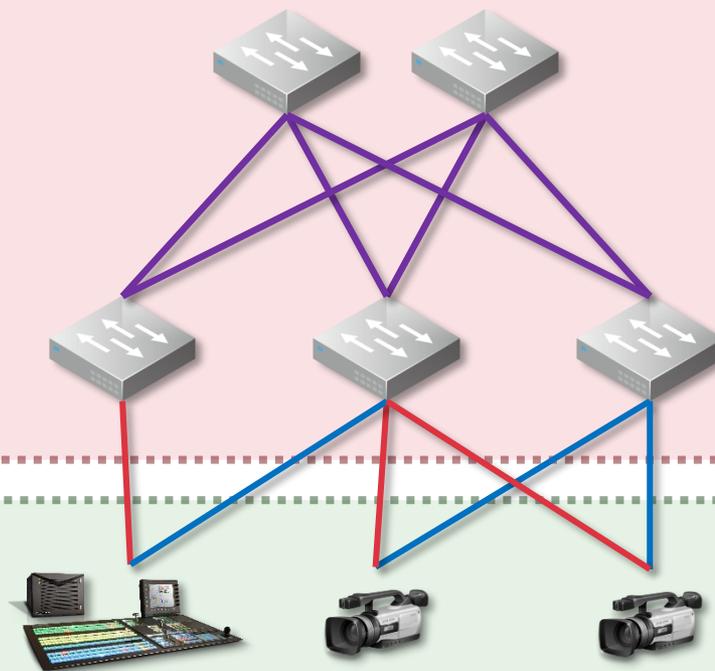
Spine-Leaf Network



パターン1': One Spine-Leaf with Logical Redundancy

- Spine-Leaf Fabric 1 面で構成し Amber/Blue を Leaf Port の VLAN で分離
- Spine スイッチ故障時も自動迂回可能
- Leaf スイッチ 1 台で Amber/Blue 兼用可能なため台数の節約可能

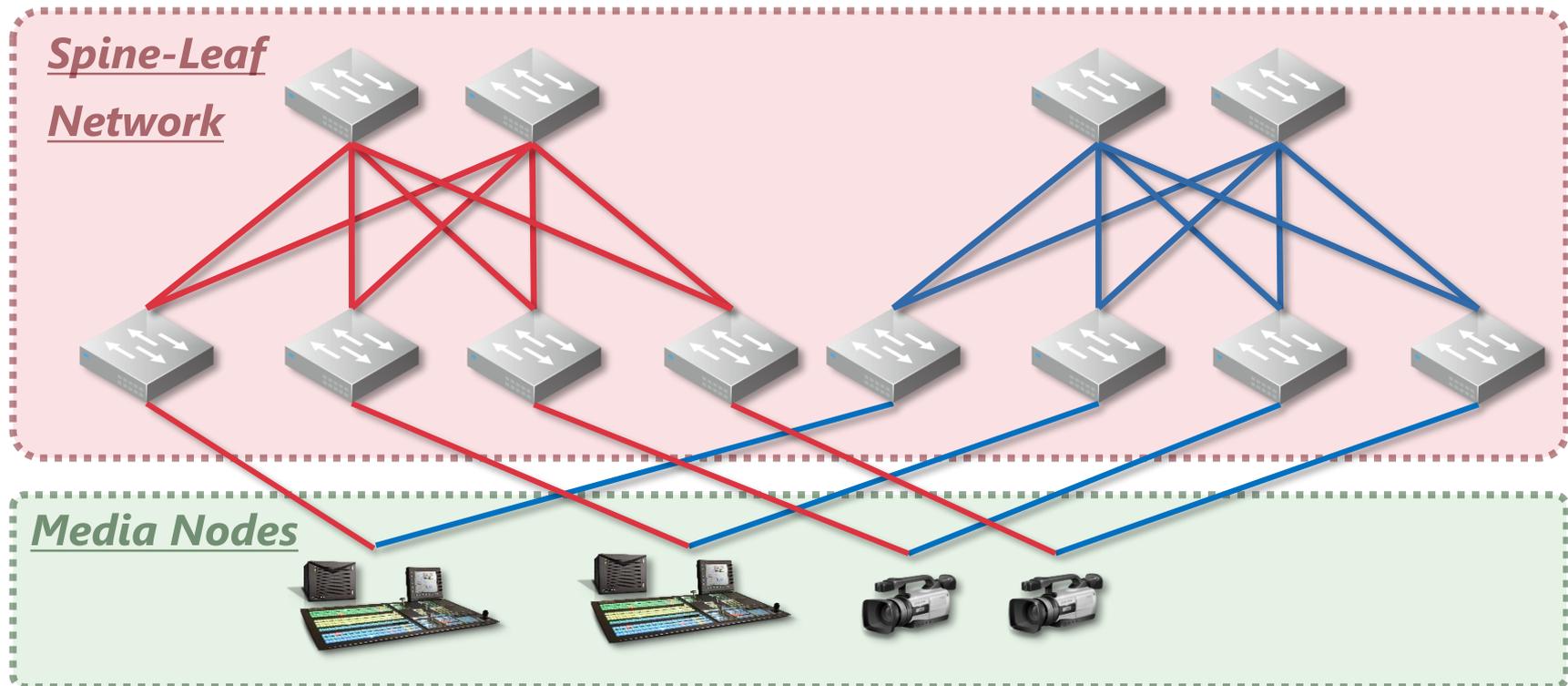
Spine-Leaf Network



Media Nodes

パターン2: Two Spine-Leaf Fabric

- Spine-Leaf Fabric を Amber/Blue で 2 面用意
- Routing/Multicast Routing 等も物理的に分離されるため信頼性が高い
- 非常に高コスト

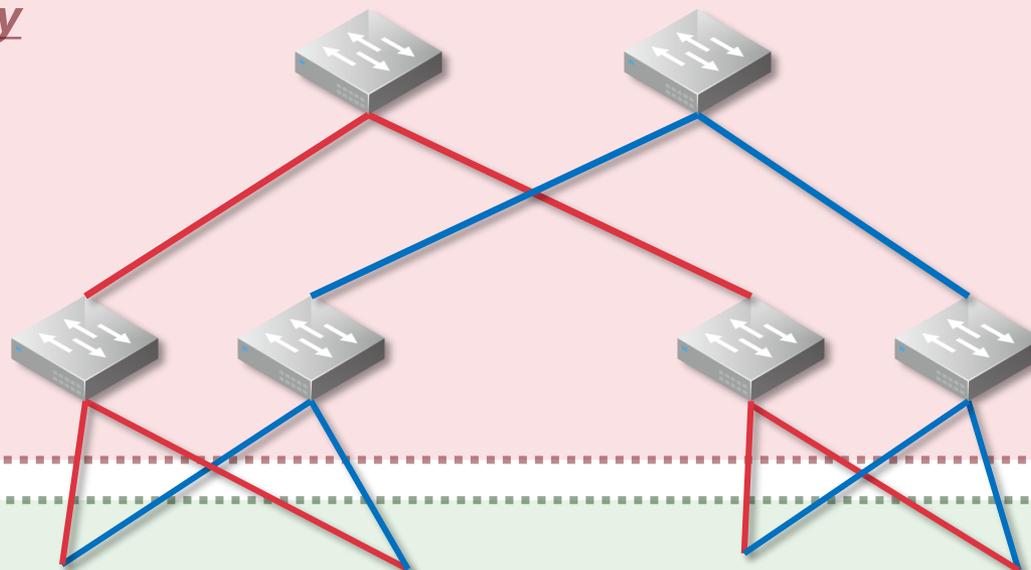


パターン3: Two Simple Star

個人的にはこれが好き

- スタートポロジを Amber/Blue で 2 面用意
- Spine スイッチ故障時は当該系統が通信断となる
- Routing/Multicast Routing 等も物理的に分離されるため信頼性が高い
- 低コスト構成

Star Topology



Media Nodes

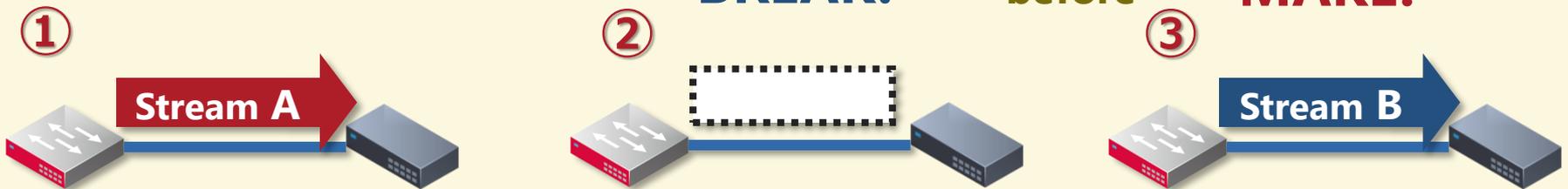


Seamless (Clean) Switching

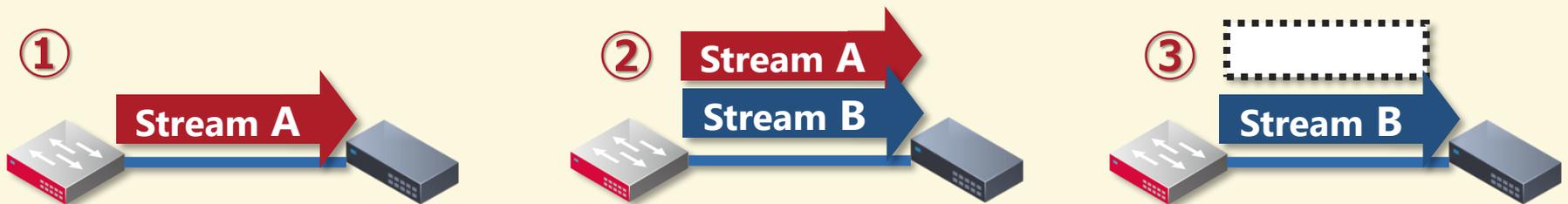
受信器が受け取る映像を Stream A から Stream B に切り替える際、映像にショックを与えずに切り替えるための手法

一時的に倍のトラフィックを受け取るため、4K 12Gbps に対応するのは 25GbE 以上が受信機側に必要になる

Break-before-Make (BBM)



Make-before-Break (MBB)

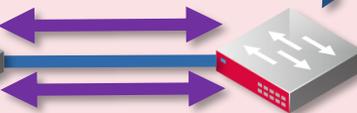


多様なマルチキャストストリームの PIM/IGMP による制御

- ❑ カメラ映像、マイク音声は送信元が 1 つの **One to Many**
- ❑ インカムは子機が相互にやりとりするので **Many to Many**
- ❑ 随時 Sender/Receiver が増減、頻繁に IGMP Join/Leave が行われる
- ❑ データが大きいため、不用意に機器を繋ぐと簡単にアップリンクが輻輳

ネットワークの規模が大きくなるほどマルチキャストの管理が複雑で難しい

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%89%AF%E8%AA%BF%E6%95%B4%E5%AE%A4>

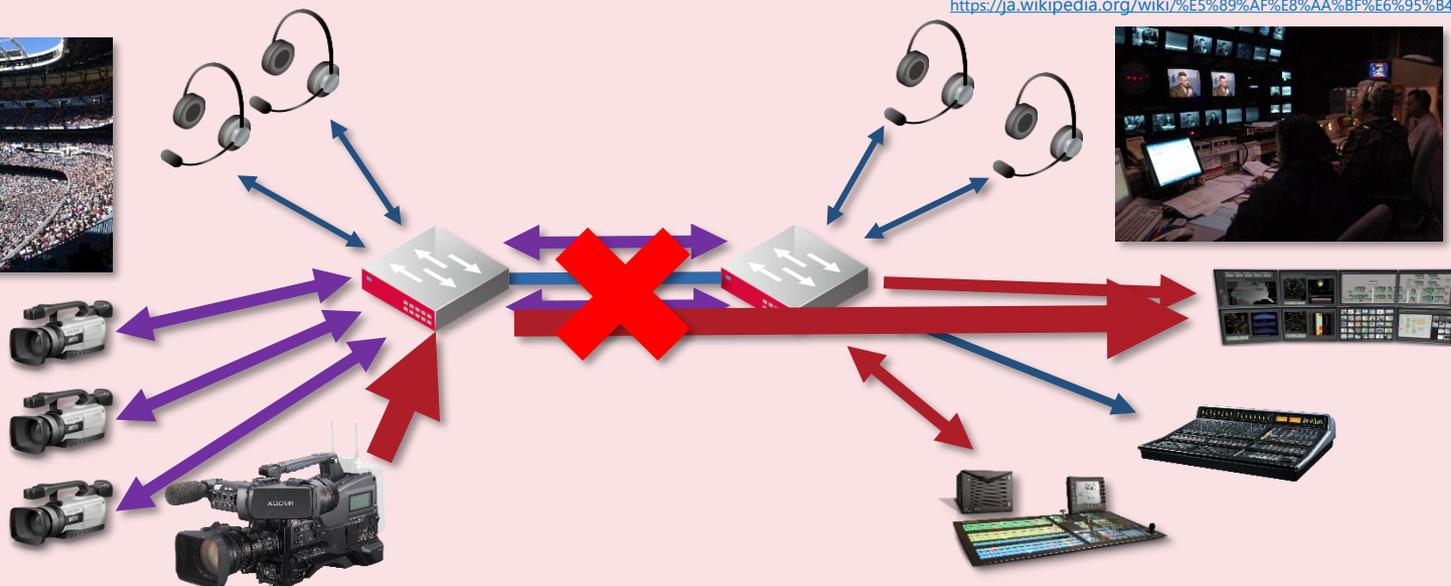


多様なマルチキャストストリームの PIM/IGMP による制御

- ❑ カメラ映像、マイク音声は送信元が 1 つの **One to Many**
- ❑ インカムは子機が相互にやりとりするので **Many to Many**
- ❑ 随時 Sender/Receiver が増減、頻繁に IGMP Join/Leave が行われる
- ❑ データが大きいため、不用意に機器を繋ぐと簡単にアップリンクが輻輳

ネットワークの規模が大きくなるほどマルチキャストの管理が複雑で難しい

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%89%AF%E8%AA%BF%E6%95%B4%E5%AE%A4>



そこで SDN Controller

- ❑ PIM/IGMP を使わず、OpenConfig/Netconf/OpenFlow/独自APIを使用してスイッチを操作、マルチキャストストリームを管理する製品が存在
- ❑ 映像・音声機器の管理も可能な SDN Controller 製品も
- ❑ パスの帯域管理が可能なため、意図しない輻輳を防ぐことができる
- ❑ OpenFlow や P4 を用いたソリューションも

とはいえ別の懸念は残る

- ✓ SDN Controller 製品が対応したメーカーのスイッチしか使えなくなる
- ✓ SDN Controller 配下のネットワーク同士の相互接続が難しい
- ✓ 全体の管理を行うブロードキャストコントローラとの住み分け



PIM/IGMP による制御であれば標準規格なのでスイッチを選ばない、ネットワーク間の相互接続も可能といった利点もあり、ネットワーク管理について議論が続いている状態

実際の所どうなのよ

VidMeet9 のご案内

- VidMeetとは？
 - IP化が進む中での放送技術者とIP技術者をつなぐBoF
 - IJが主催
- VidMeet9
 - 2020/02/10（月） 13:30-17:40
 - 「いま、あらためてIPを考える」
 - スピーカー：NEC/SMPTE, MediaLinks, Sony, Yamaha
+ パネルディスカッション
 - 事前登録制・参加無料
 - <https://biz.ij.jp/public/seminar/view/981>