

RPTP ALLIANCE

RPTP (PTP over WAN) による 遠隔同期の幕開け

2020年12月2日

VidMeet Online Webinar Series

株式会社メディアリンクス 中村 和則
ネットワークアディショナルズ株式会社 浅野 篤哉
セイコーソリューションズ株式会社 長谷川 幹人
株式会社インターネットイニシアティブ 山本 文治

RPTP ALLIANCE

1. RPTP アライアンスの活動について

株式会社インターネットイニシアティブ
山本 文治

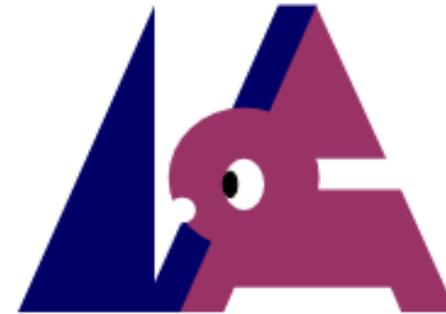
RPTP Allianceとは

- Next Generation PTP technology

MEDIA LINKS[®]
Media Defined Networking[®]

IIJ

Internet Initiative Japan



ネットワークアディションズ株式会社

SEIKO

セイコーソリューションズ株式会社

=====*RPTP ALLIANCE*

RPTP Allianceとは

- 技術および新領域ビジネス開拓を目的としたコミュニティ
 - メディアリンクス、ネットワークアディションズ、セイコーソリューションズ、III
- 実験を通じた知見の共有
 - 実際のIIIバックボーンやフレッツ回線を用いた実験と解析
- 新領域ビジネス開拓
 - これまでPTPが届かなかったところ
 - NTPよりも高精度で、PTPよりも伝送コストが安く簡便なもの

RPTP Allianceの活動内容

- WAN（PTP非対応のIPネットワーク）上でPTPで安定同期する技術を確立
- 同期の確立、精度の測定を各種の実証実験で確認
- 放送、その他の分野での適用可能なアプリケーションの検討
 - 現状はビジネス展開のスターター待ち

RPTP ALLIANCE

2. RPTPの生い立ちと 基本技術

(株) メディアリンクス 中村和則

RPTPの生い立ち

トリガーとなった市場要求

- IPネットワーク上でSFNを構築したい(海外顧客)
 - ✓ SDH用の機器（欧州メーカー）で現在構築している
 - ✓ IPネットワークはPTP非対応(unaware)
- スポーツイベントでのPTPサポートの要求
 - ✓ まずはオーディオ機器用に
 - ✓ 将来的にはST2110を考えて

存在したジレンマ

- PTPはPTP対応 (aware)のネットワークでしか安定して同期しない
 - ✓ 長距離のビデオ伝送はダークファイバーかDWDM
 - VPN、無線ネットワークを通しての同期ができない
- ➡
- 高価な専用ネットワーク
 - IPであって、IPの利点を活かさない

何が欲しいのか？

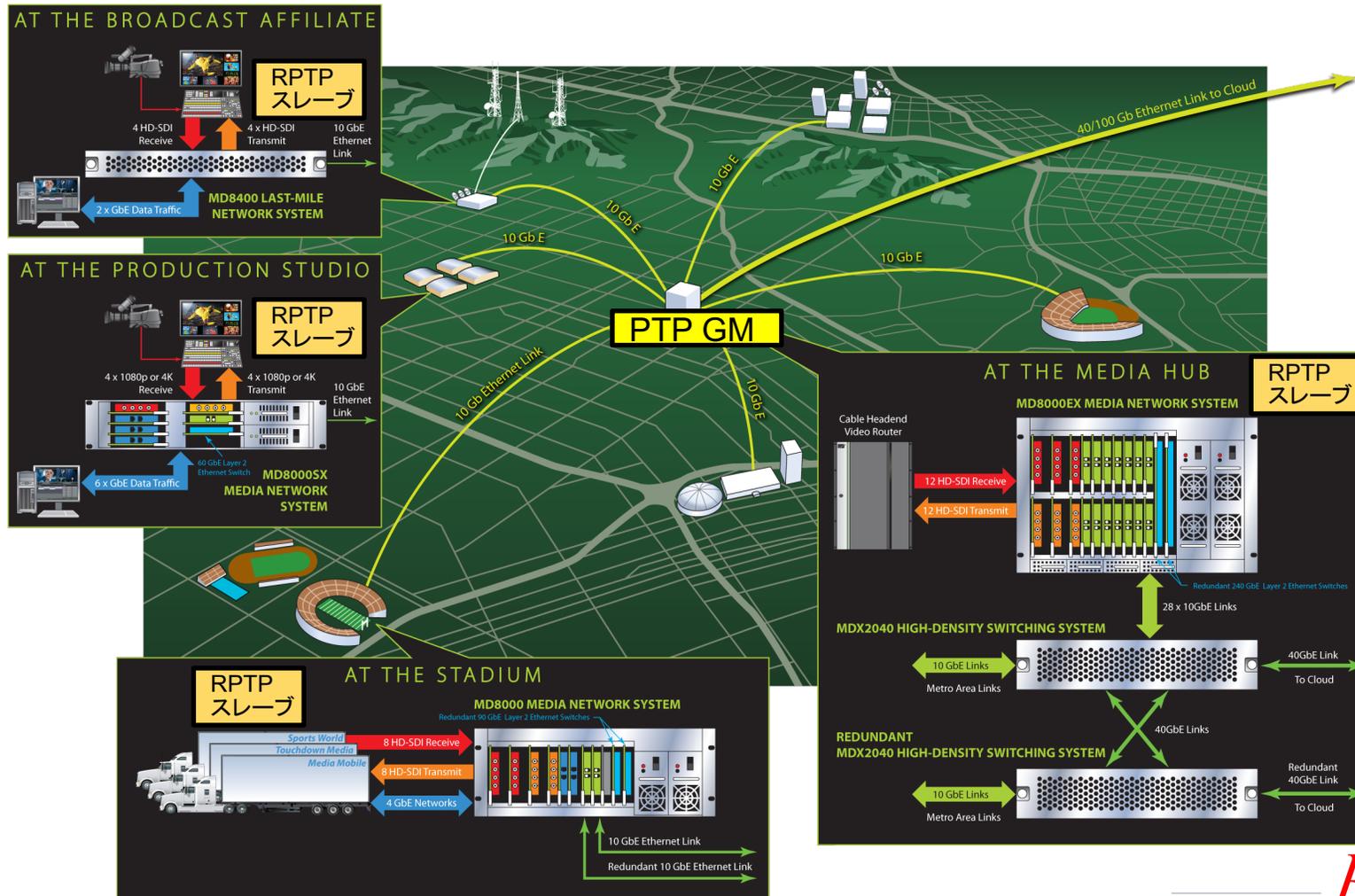
- 長距離での高精度の同期 ($\pm 1\mu\text{s}$ 、 $2\mu\text{s}$ 以下程度)
- PTPと互換 (既存のPTP機器と接続運用可能)
 - ✓ PTPのプロトコルは厳守
- PTP非対応 (unaware)ネットワークでも安定して同期
 - ✓ 従来のIP網 (PTP未対応の機器で構築)
 - ✓ VPN
 - ✓ 5G RAN
- 安全な時間同期 (不当GMの影響に強い)



RPTP (Resilient PTP)

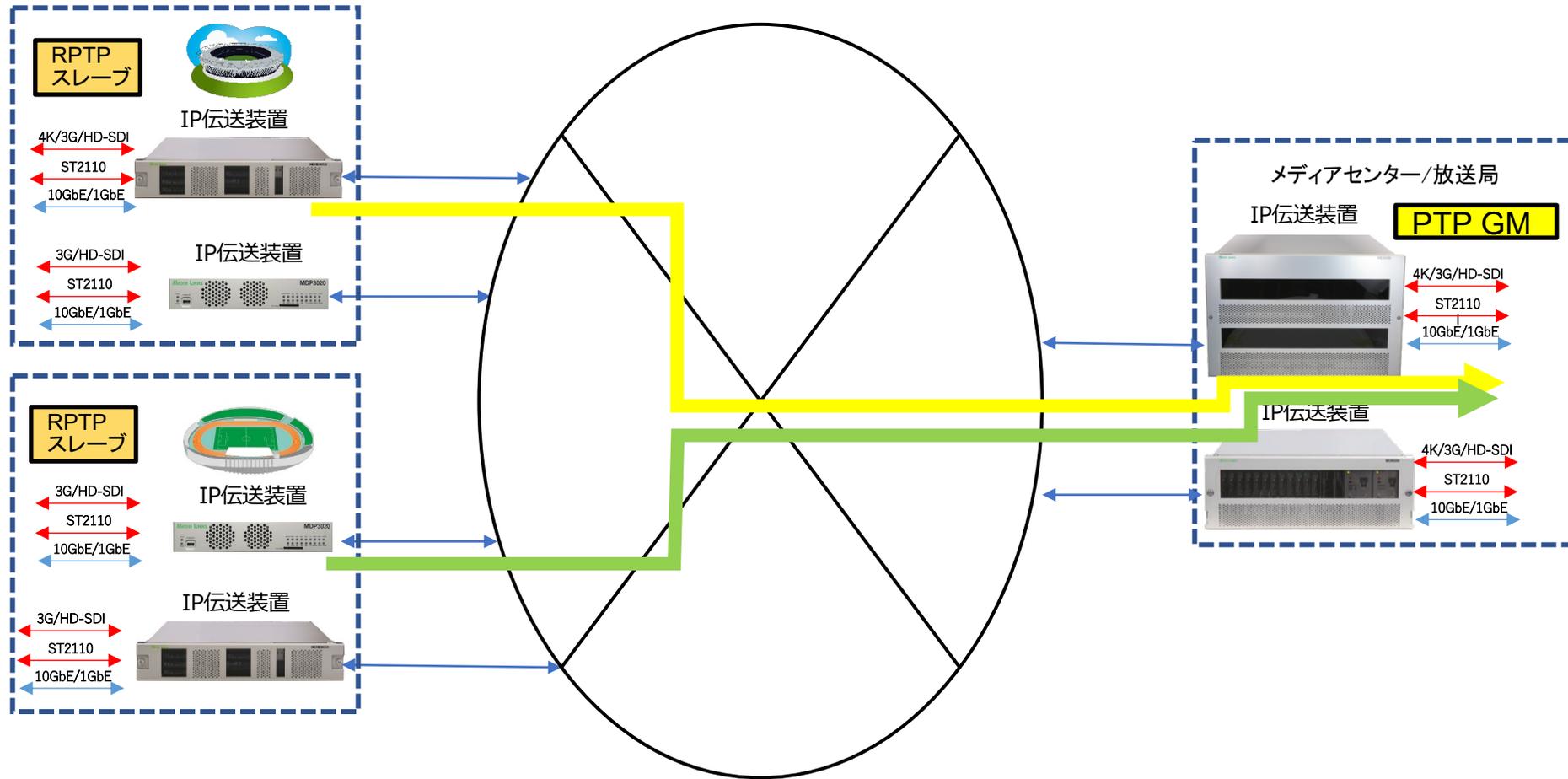
想定した放送でのアプリケーション②

イベントネットワーク



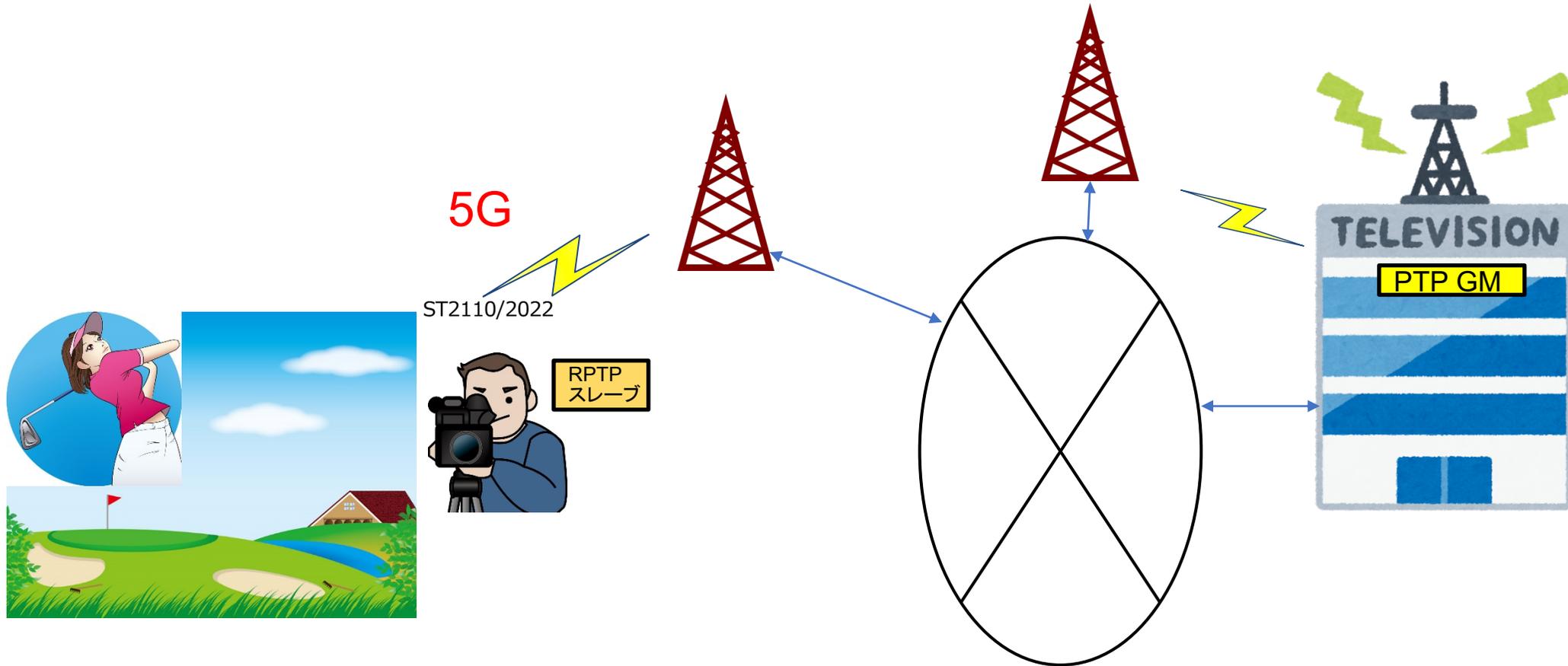
想定した放送でのアプリケーション③

リモートプロダクション



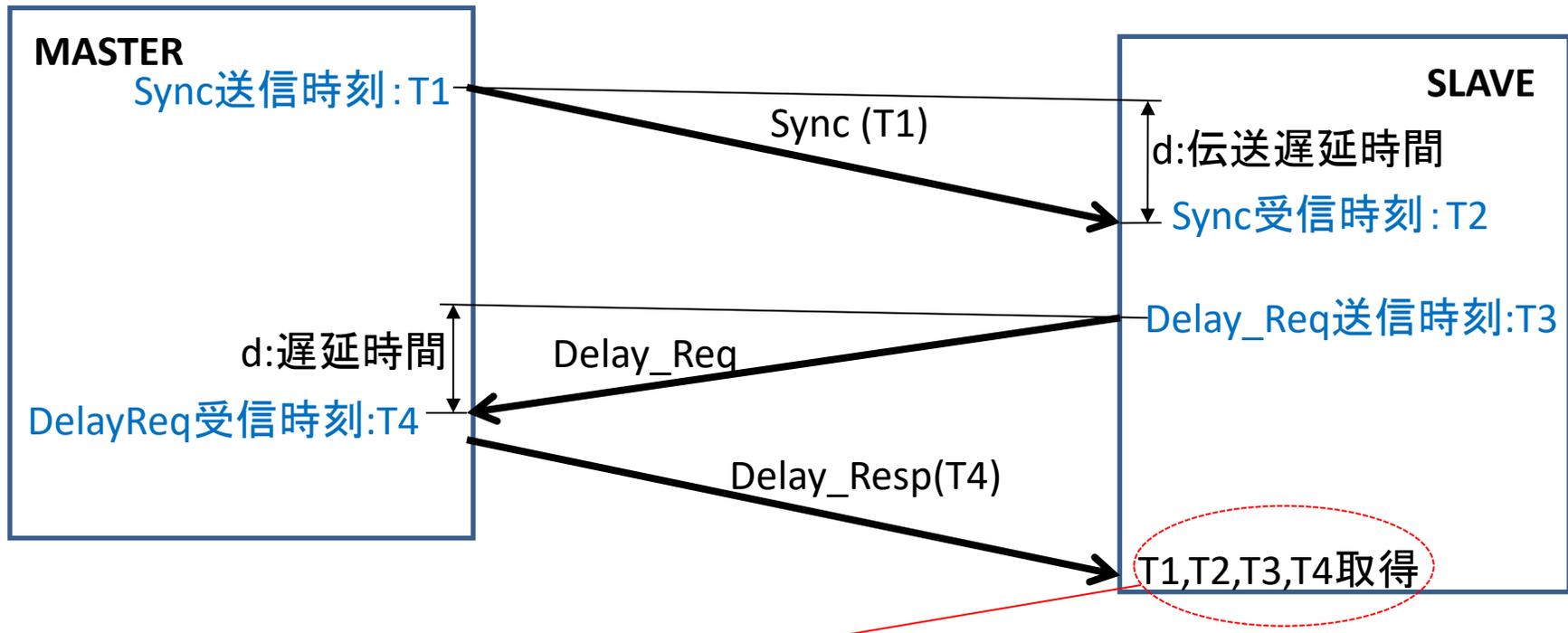
想定した放送でのアプリケーション④

Video over RAN (Radio Access Network)



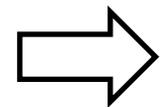
基本技術

PTP 同期メッセージ交換



$$\begin{aligned} T2 - T1 &= \Delta t + d \\ T4 - T3 &= -\Delta t + d \\ (T2 - T1) + (T4 - T3) &= 2d \end{aligned}$$

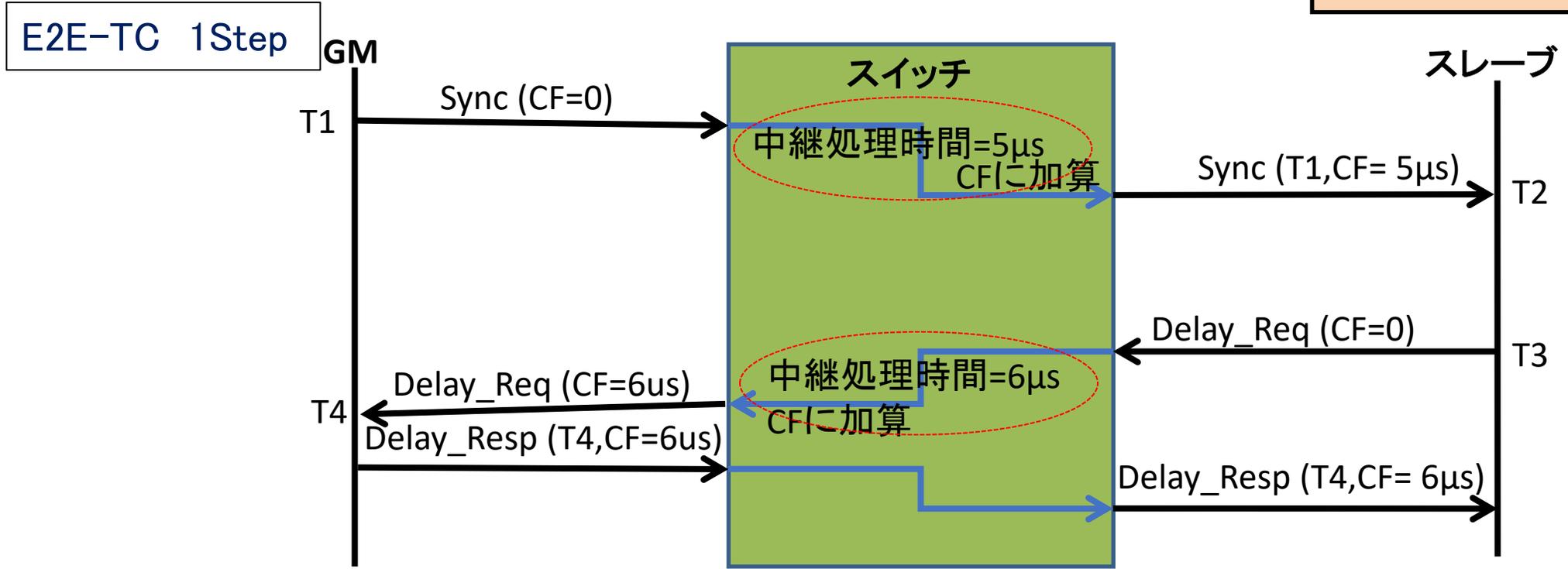
d: 遅延時間
 Δt : GMとスレーブの時間差



$$\Delta t = (T2 - T1) - d$$

PTP 対応ネットワークの同期

CF (Correction Field) : 補正值

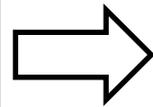


$$T2-T1 = \Delta t + d + CF.Sync$$

$$T4-T3 = -\Delta t + d + CF.delay_resp$$

$$\{(T2-T1) + (T4-T3) - CF.Sync - CF.delay_resp\} / 2 = d$$

d: 遅延時間
 Δt : GMとスレーブの時間差

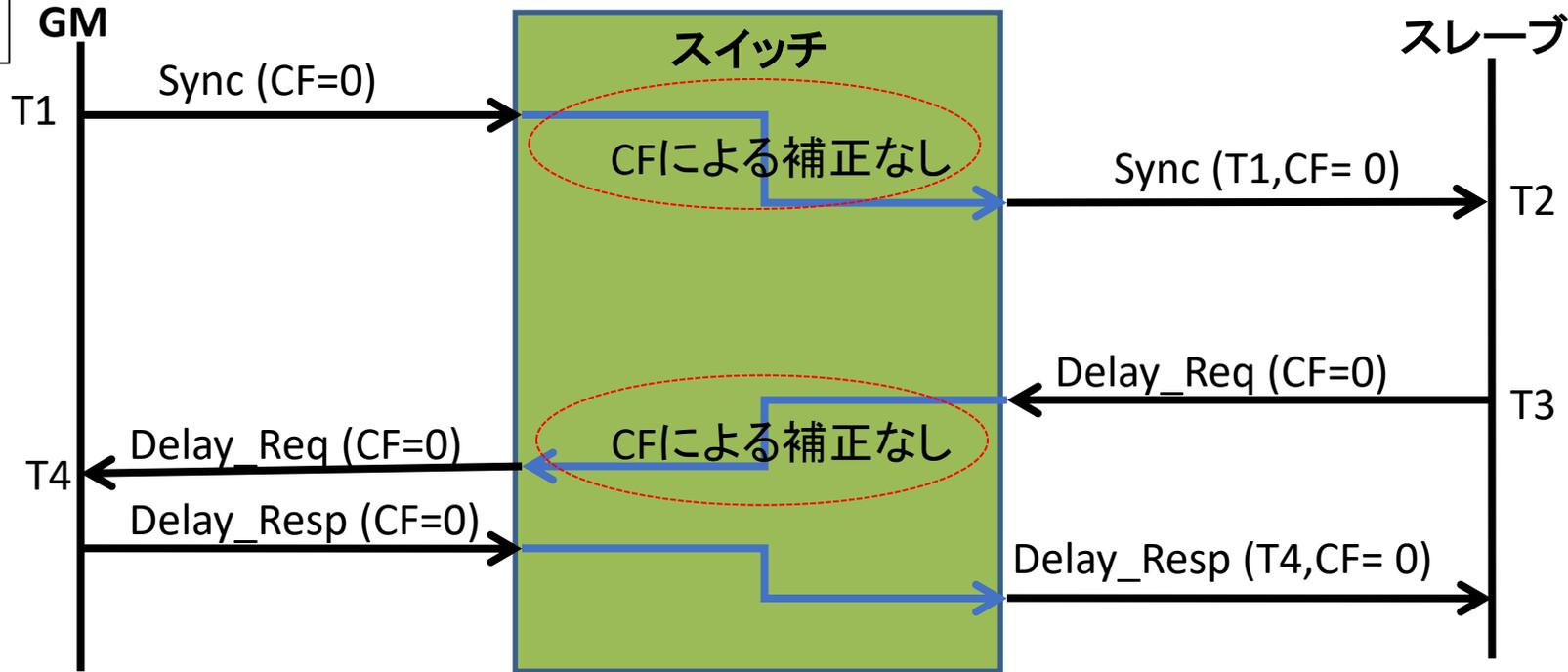


$$\Delta t = (T2-T1) - d - CF.Sync$$

PTP 非対応ネットワークの同期

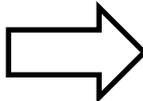
CF (Correction Field) : 補正值

E2E-TC 1Step



$$\begin{aligned}
 T2 - T1 &= \Delta t + d \\
 T4 - T3 &= -\Delta t + d \\
 (T2 - T1) + (T4 - T3) &= 2d \\
 \therefore d &= \frac{(T2 - T1) + (T4 - T3)}{2}
 \end{aligned}$$

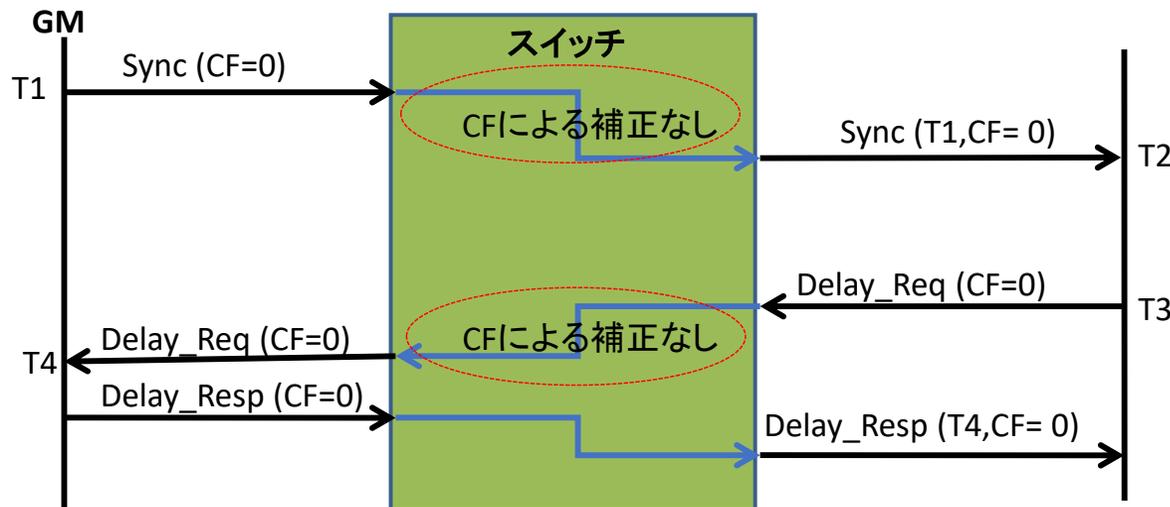
d: 遅延時間
 Δt : GMとスレーブの時間差



$$\Delta t = (T2 - T1) - d$$

スイッチ無しの場合と同じ計算

何が問題か？



$$T2 - T1 = \Delta t + d$$

$$T4 - T3 = -\Delta t + d$$

$$(T2 - T1) + (T4 - T3) / 2 = d$$

d: 遅延時間
 Δt : GMとスレーブの時間差

$$\Delta t = (T2 - T1) - d$$

- ✓ 遅延時間はスイッチ内の遅延により変動
- ✓ 往復 (GM・スレーブ間) の遅延は異なる

時間差 (Δt) に誤差

誤差のある Δt でスレーブの時間を補正

誤補正したスレーブの時間で次のシーケンス

✓ 同期確立 (ロック) できるか不明

✓ ロックしても継続できる保証無し

RPTP 二つの技術

課題

- 誤補正したスレーブの時間による、更なる同期精度の悪化の防止
- 遅延時間の変動を考慮した統計的補正が必要だが、**通常の統計処理では収束の保証ができない。**



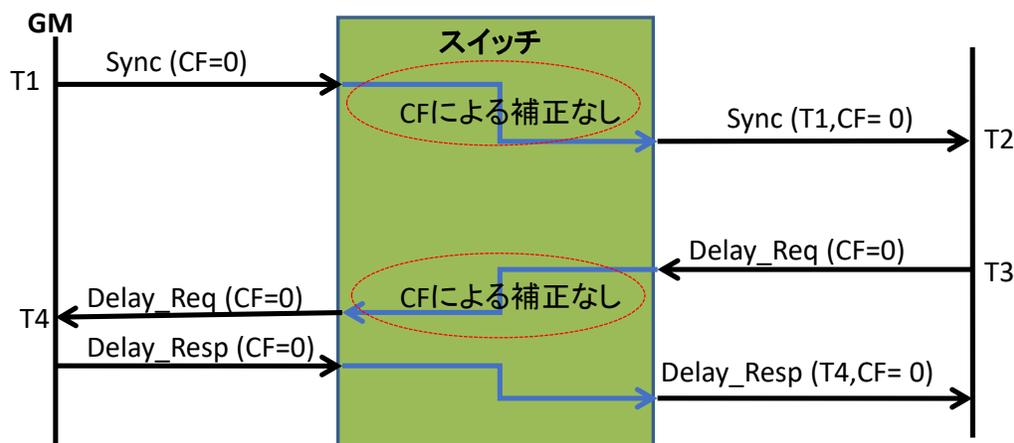
MTIS (Multi Time in the Slave)

- ✓ スレーブでのベース時間の変動抑止



ADAM (Asymptote Delay Analysis Method)

- ✓ 時間が経過するにつれてオフセットを収束させ、同期精度を向上させるアルゴリズム
- ✓ ベストな測定数値の選択

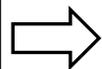


$$T2 - T1 = \Delta t + d$$

$$T4 - T3 = -\Delta t + d$$

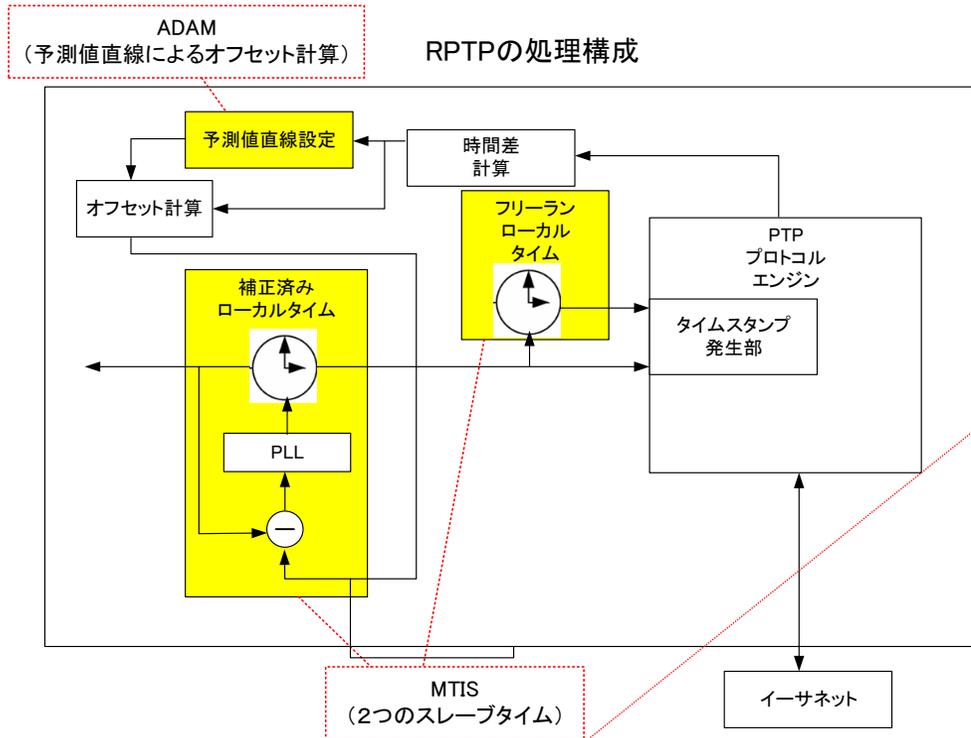
$$(T2 - T1) + (T4 - T3) / 2 = d$$

d: 遅延時間
 Δt : GMとスレーブの時間差



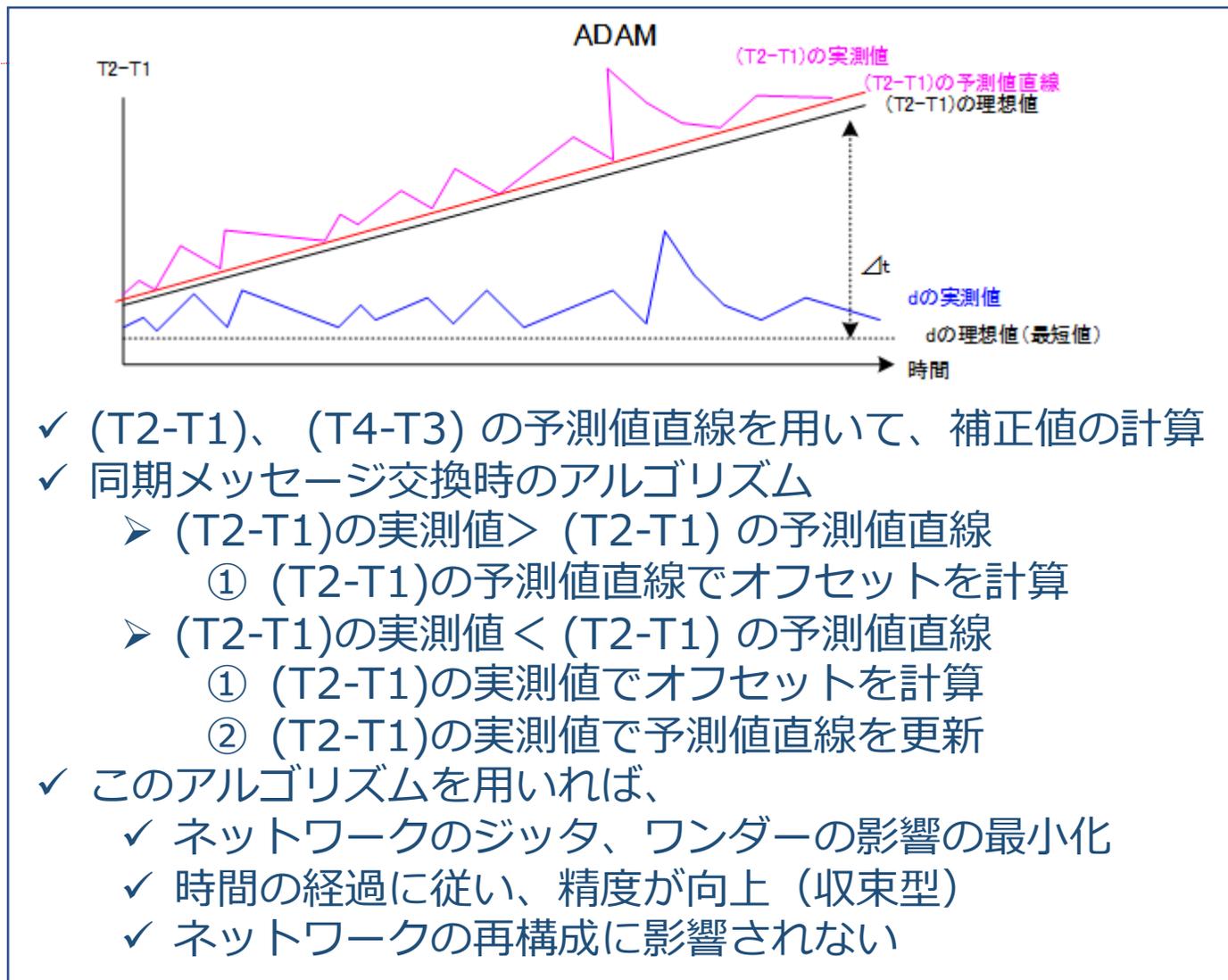
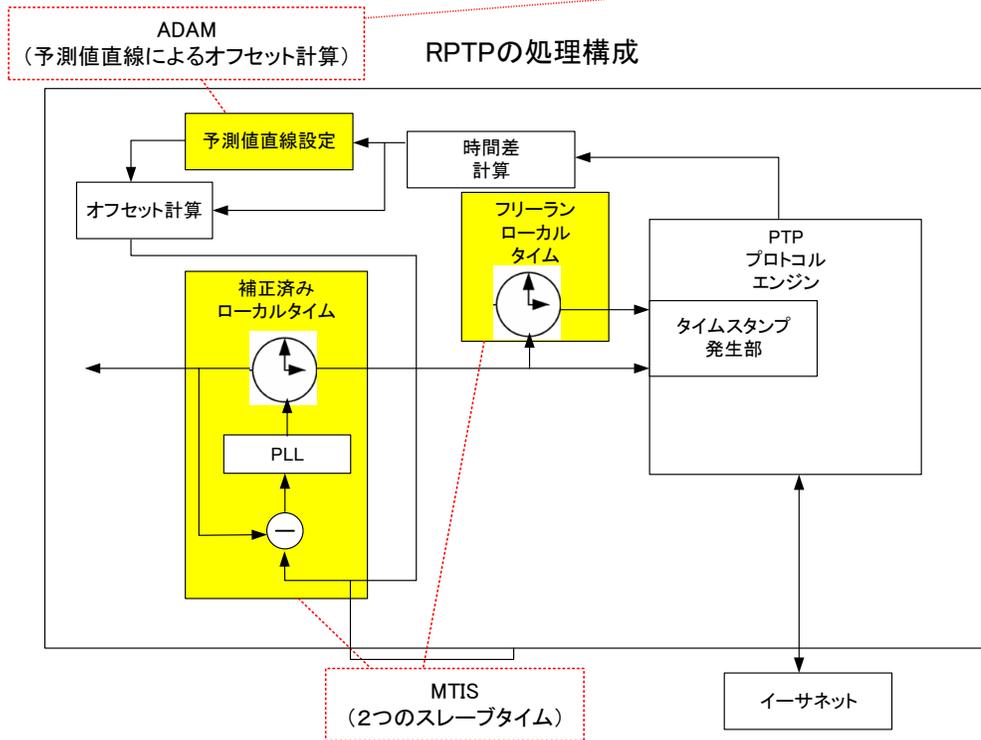
$$\Delta t = (T2 - T1) - d$$

MTIS (Multi Time in the Slave)



- ✓ スレーブの時計は、フリーランの時計と補正用の時計の2つ
- ✓ 同期メッセージ交換にはフリーランの時計
- ✓ スレーブでの時間は補正用の時計で管理

ADAM (Asymptote Delay Analysis Method)





3. RPTPの実装と検証

ネットワークアディショナルズ(株) 浅野篤哉

RPTP実装装置 dadBerry-1100

2ポートBC (Boundary Clock)

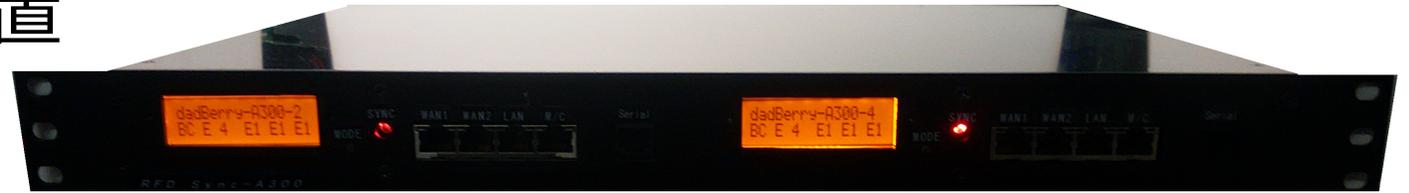
- ポータブル拠点間同期中継装置
幅170mm、奥行：120mm、高さ:43mm
- PTP Profile
 - Default Profile, SMPTE 2059-2, Media Profile, IEC61850-9-3
- RPTP：マルチキャストPTP
- 通信ポート：イーサネット（100Mbps, 1000Mbps）
 - 通信速度切替可能：2つのポートは同じ通信速度
- 同期信号出力：4本（SMA：3.3V/5.0V切替）
 - 信号仕様はカスタマイズ可能（例：1PPS, 10MHz, 48KHz…）
- PTP以外のパケットは2ポート間で透過的に中継



RPTP実装装置 dadBerry- 1 U版

BC (Boundary Clock)

- 設置型拠点間同期中継装置
19インチ 1 Uサイズ
- PTP Profile
 - Default Profile, SMPTE 2059-2, Media Profile
 - 計画中 : IEC61950-9-3、IEEE802.1AS-REV
- RPTP : マルチキャストPTP、ユニキャストPTP
- 通信ポート : イーサネット4ポート (100Mbps, 1000Mbps)
 - 拠点内通信(LAN):1ポート、広域通信(WAN) : 2ポート、保守ポート : 1ポート
- 同期信号出力 : 2本 (SMA : 3.3V)
 - 信号仕様はカスタマイズ可能 (例 : 1PPS, 10MHz, 48KHz…)
- PTP以外のパケットはLAN-WANポート間で中継



広域通信の中継で付加機能が必要

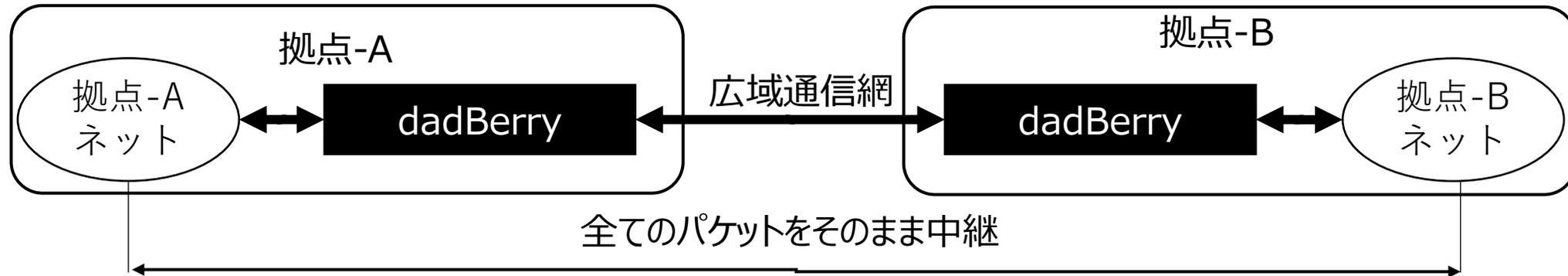
RPTP ALLIANCE

中継機能-1

拠点内通信(LAN)ポートと広域通信(WAN)ポートの packets 中継機能

■ 透過的中継機能

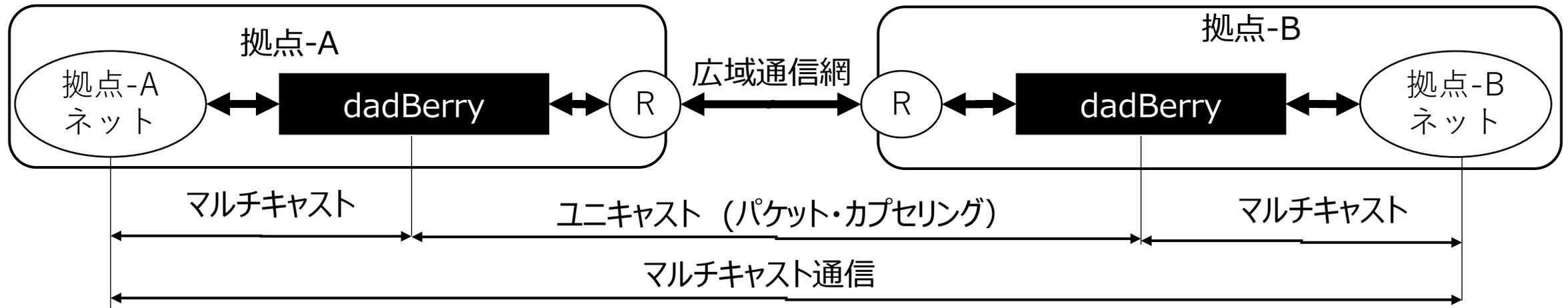
- 全ての packets を中継 (PTP以外) : 中継する packets の選択はしない
- 非編集 : 全ての中継 packets を加工しない



中継機能- 2

■ ユニキャストカプセル化機能

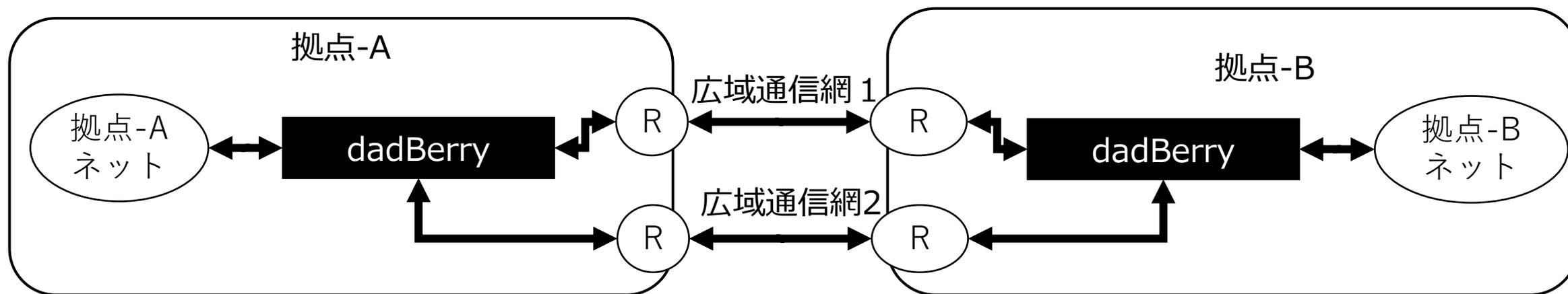
- マルチキャスト通信が出来ない広域通信網対応
- カプセル化：設定したマルチキャストパケットをユニキャストカプセル
 - GRE：RFC2784 (**G**eneric **R**outing **E**ncapsulation)
 - 設定【最大4個】以外のマルチキャストパケットは中継しない
 - ユニキャスト、ブロードキャストは中継（拠点ルータの処理で対応）
- 広域通信網の装置間はユニキャスト通信：拠点間にはマルチキャスト通信



中継機能- 3

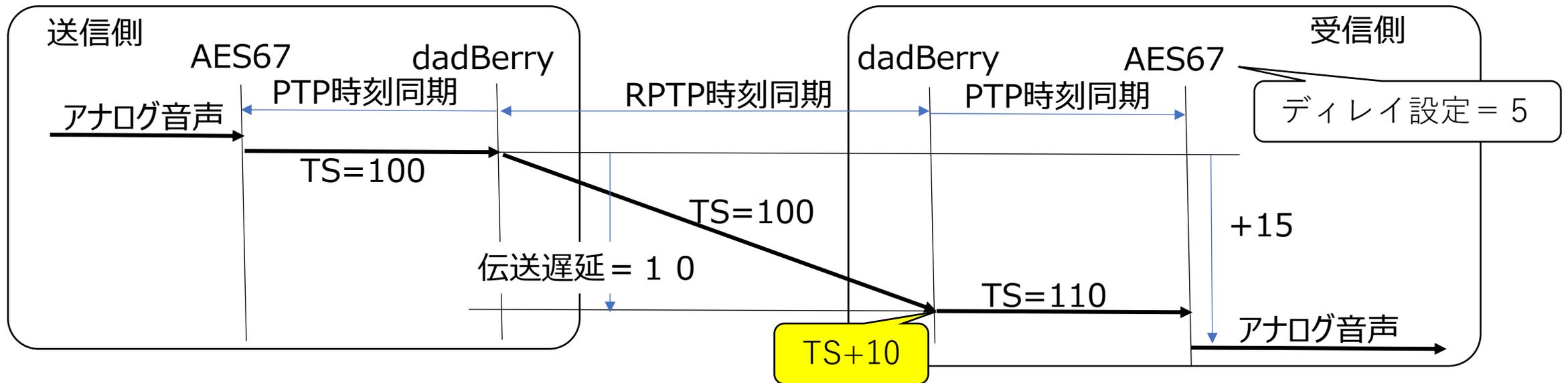
■ 冗長通信機能

- 2つの広域通信網で冗長通信
- 独自方式： IEC62439-3ベース（スマートグリッド規格の拡張版）
- 送信側： TAG付加（ルート番号<1or2>とシーケンス番号）
 - ルート番号だけが異なるパケットを2つのポートから送信
- 受信側： 先に到着したパケットを中継（後に到着したパケットは廃棄）
 - シーケンス番号で管理
 - 中継時にTAGを削除



中継機能-4

- AES67パケットのタイムスタンプ (TS) 加算機能
 - 広域通信網の遅延時間対策：音声再生タイミングを変える
 - 受信側装置でRTPヘッダのタイムスタンプ (デバイスクロック値) を加算
 - 加算値は広域通信網の受信側装置の設定値
 - 設定したSSRC番号が対象
 - UDPヘッダチェックサム値：0 値に編集 (イーサネット・パケットのCRC値も再計算)



RPTP製品形態

■ 装置販売

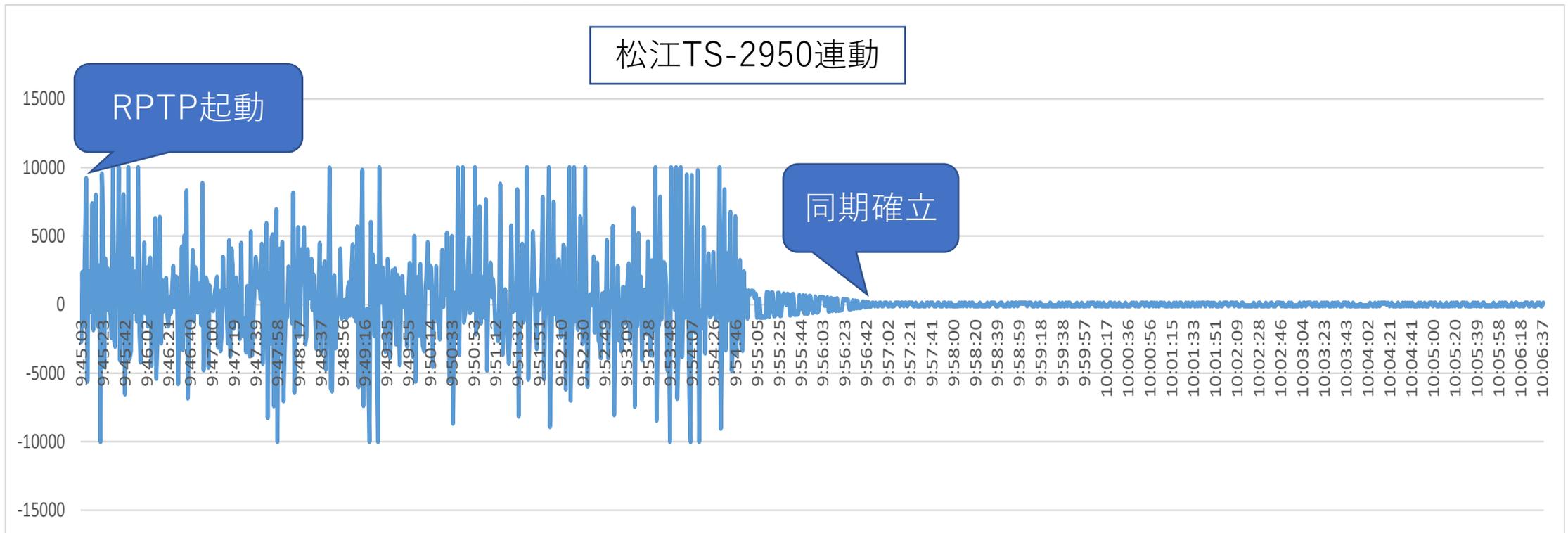
- dadBerry-1100 : 販売中
- dadBerry-1U版 : 試作機評価中 (2021年1Q販売開始予定)

■ IP製品 (発売準備中) : ハードウェアおよびソフトウェア論理

項番	項目	2ポート版	4ポート版
1	ハードウェア論理	Xilinx (約100KFF)	Xilinx (約500KFF)
2	ソフトウェア論理	C言語 (RX63M) ROM : 150KB RAM : 100KB	C言語 (RX63M) ROM : 300KB RAM : 120KB
3	RPTP機能	あり	
4	透過中継機能	あり	
5	ユニキャストカプセリング機能	なし	あり
6	冗長通信機能	なし	あり
7	AES67タイムスタンプ加算機能	なし	あり

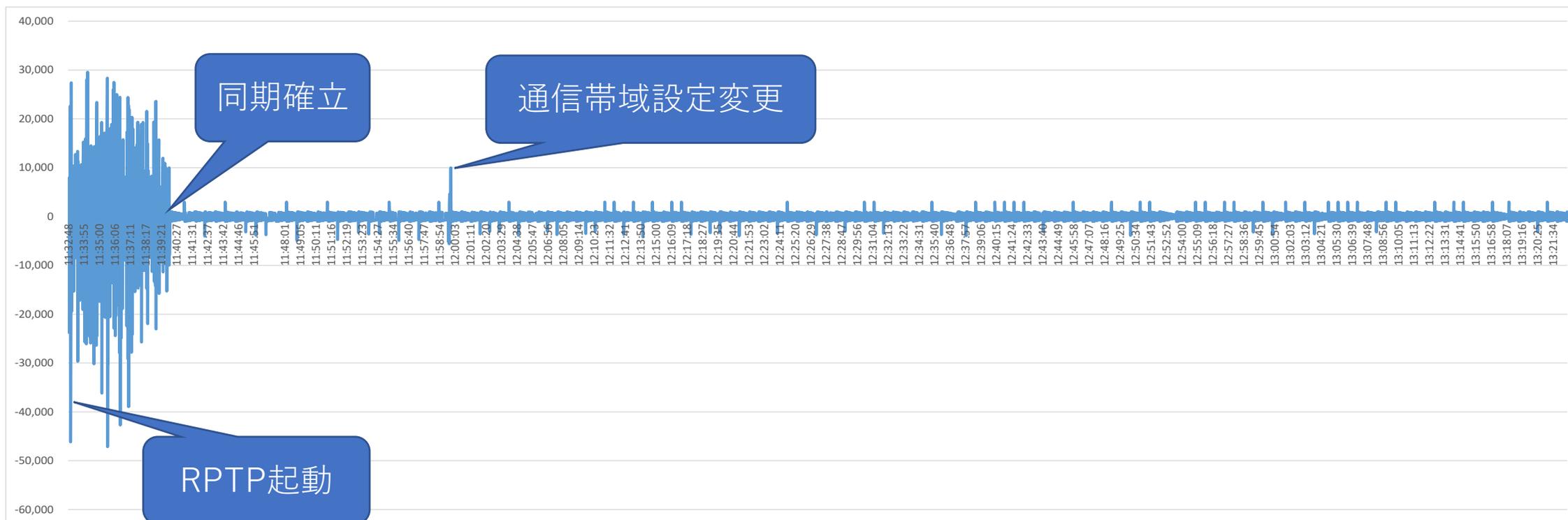
IIJ実証検証

- 松江センタ（TS-2950）-飯田橋本社（dadBerry-1100）
 - PTP通信で回線占有：PTP以外の通信無し
 - 同期確立時間：約12分程度（起動毎に数分変わる）
 - 同期確立後精度： $\pm 1 \mu$ 秒（回線品質に影響される）



商用イーサネット回線での検証

- 画像&音声ストリームとPTPを10Mbps回線で多重通信
- 同期確立時間：約17分程度（起動毎に数分変わる）
- 同期確立後精度： $\pm 4 \mu$ 秒以下（殆どは $\pm 1 \mu$ 秒）
（全てデジタル処理：アナログPLLは使用していない）



RPTPの利用分野

1. ラジオ放送局の局間や拠点間の音声伝送中継装置
2. TV放送局の中継局や拠点間通信の同期通信
 - 画像・音声中継装置と併用：RPTP装置は拠点間同期
 - 1000Mbps帯域の画像+音声であれば中継機として使用
3. 計測装置の拠点間同期
 - 河川、火山等：設置した監視用センサの時刻同期
 - 車載振動試験等：物理的に離れた計測対象物と計測センタ間の同期
 - ビル、橋梁等建造物：建築検証時や保守時のセンサ同期
4. 電力制御装置間の同期（スマートグリッド規格：PTP）
 - バックアップ回線を広域通信網で構築
5. FA（生産設備）の次期ネットワーク対応
 - TSN（Time-Sensitive Networking）でPTP（gPTP）同期が必須
 - 拠点間を広域通信網で時刻同期

RPTP ALLIANCE

4. GMベンダーから見た RPTPの活用

セイコーソリューションズ（株） 長谷川幹人

GMベンダーから見たRPTPのポイント

*が本セッションのメインテーマです

IPネットワーク(PTP unaware)のPTP利用

- GM適用領域を広げられる可能性あり

RPTP Slaveのポイント

- PTPパケットの揺らぎを補正すること

PTPパケットの揺らぎの発生源は中継網 (*)

VenueのSDI機器とIP対応機器を同期した構成で運用する手法 (*)

PTPパケットの揺らぎの発生源は中継網

- 中継網の揺らぎ（一般論）
 - 平常時：「**数マイクロ秒～数10マイクロ秒**」
 - 輻輳時：「**数ミリ秒～数10ミリ秒**」
- PTP GMの揺らぎ（SEIKO TS-295xの場合）
 - 1次時刻源（GNSS）に対し「**100ナノ秒未満**」のスペック

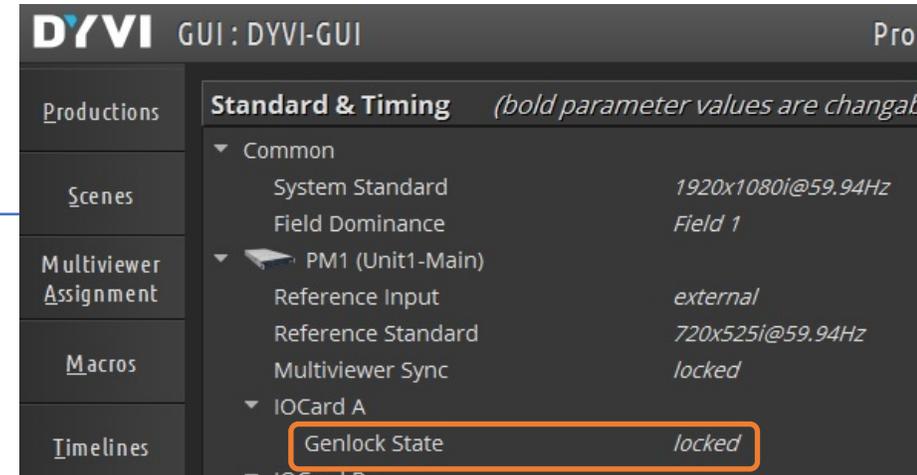
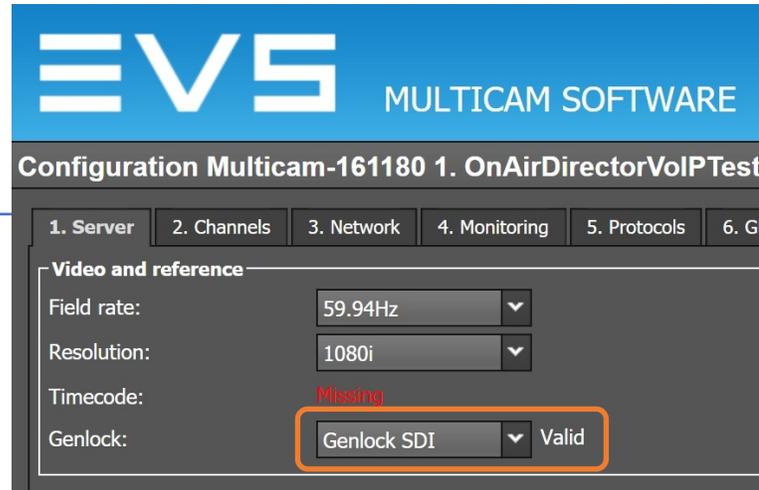
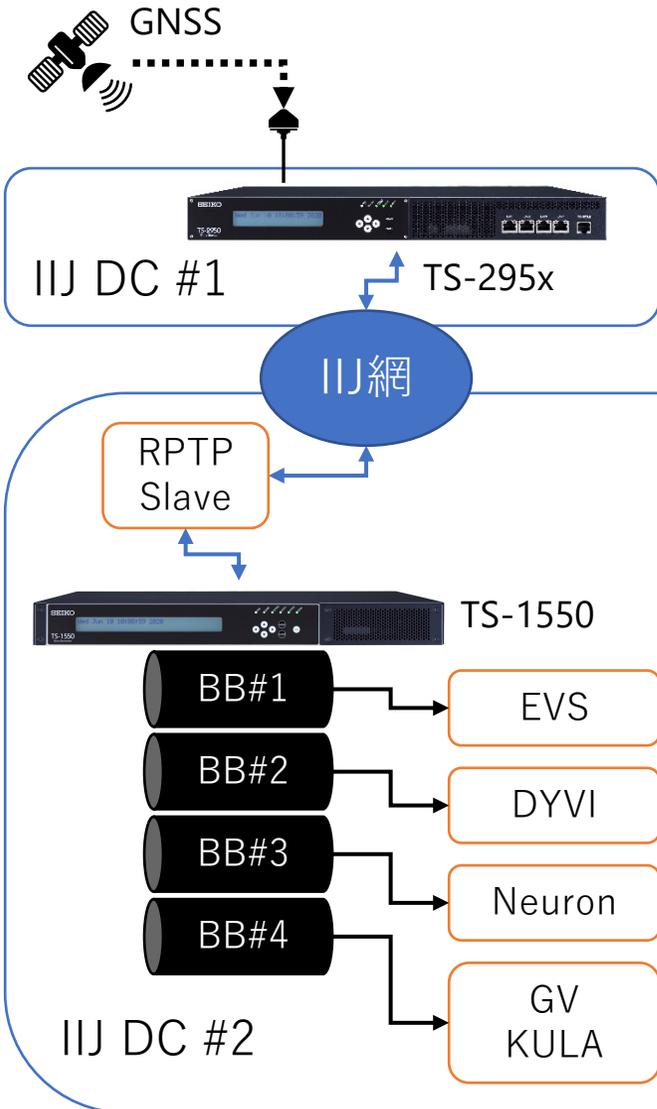
VenueのSDI機器とIP対応機器を同期した構成
で運用する手法

- **SDI機器はBlack Burst信号の揺らぎに敏感**
 - 「**安定した**」 Black Burst信号の入力が必須
- SEIKO TS-1550 :
 - PTPが揺らぐ場合も **安定した** Black Burst信号などの同期信号の送出が可能

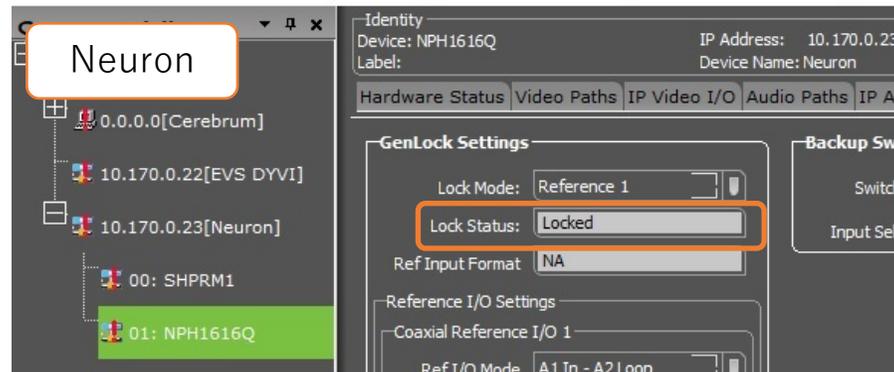
VidMeet Online構成

PTP/BB関連機器のみピックアップしています

RPTP経由でBB同期している機器です



Cerebrum Server - Primary - Admin - [Device View]



SEIKO PTP GM TS-295xシリーズ

Time Server
Pro.
TS-2950

LAN1 - 4 : Copperポート



Time Server
Pro.
TS-2952

LAN1 - 2 : SFPポート
LAN3 - 4 : Copperポート



- TS-295x-x0 : セシウムオシレーター (CSAC) を搭載
- TS-295x-x1 : 高精度なOCXOを搭載。マルチGNSS対応

• TS-295xの特徴

- 特徴① : 優れたホールドオーバー性能 (時刻源障害 (例えばGNSS電波障害) の対策)
- 特徴② : GNSS信号妨害時の対策
- 特徴③ : VR冗長機能 (BB in, 時刻源なしの環境においても、GM冗長構成での運用が可能)
- 特徴④ : フェイルセーフ機能 (本装置の時刻制御異常時の対策)

SEIKO PTP SG TS-1550

- SMPTE ST 2059 PTP-Slave対応, PTPポート冗長可能
- Black Burst, LTC, Word Clock, シリアル信号出力機能搭載
- 上位PTP Masterとの時刻同期状況をグラフィカルに確認可能

(装置正面)



(装置背面)



RPTP ALLIANCE

RPTP ALLIANCE

5. IIJにおけるRPTP実験

株式会社インターネットイニシアティブ
山本 文治

IIIにおける状況

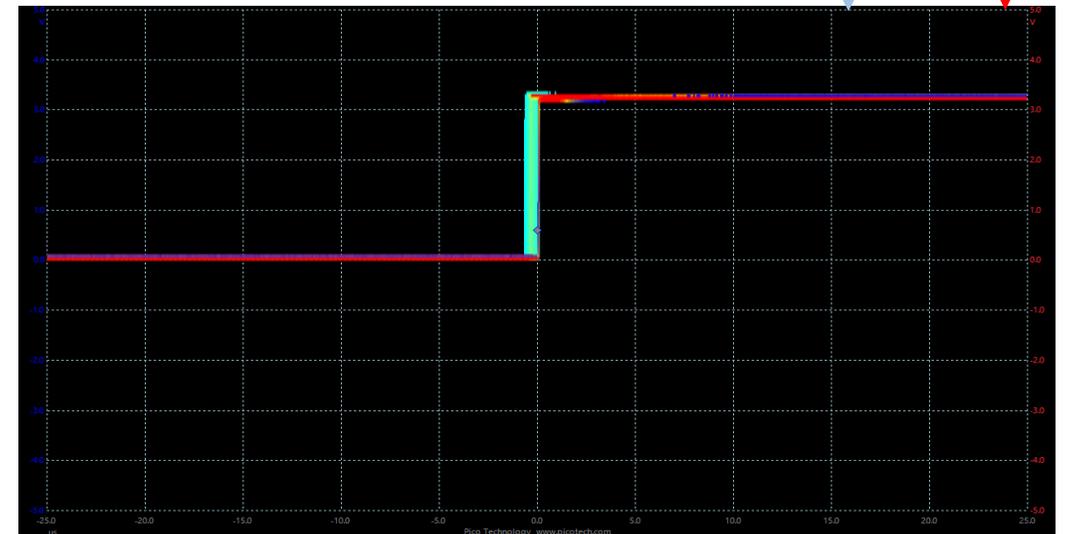
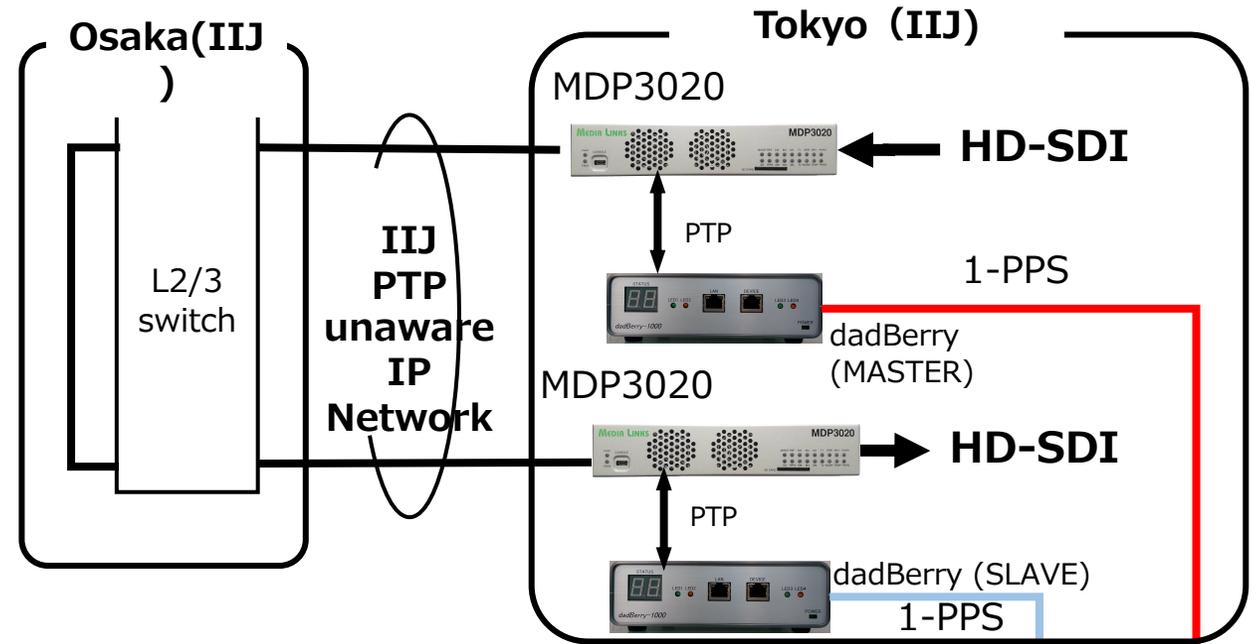
- これまで高精度のクロックを必要としてこなかった
 - ルータ、スイッチ、サーバはすべて非同期
 - NTPサーバくらい
- GNSS受信可能な拠点が少ない
 - 飯田橋オフィスの窓ガラスはRFを通してくれなかった。。
 - 松江データセンターパークに上がっていた！
 - →期せずしてPTP over WANの実験をすることに

IIIとしてのモチベーション

- データセンターでのPTP供給
 - 放送機材のDC設備化やクラウド化を促進したい
 - DCに放送機材を設置→様々な課題が存在
 - PTP供給はその一つ
- ネットワークを用いたPTP供給
 - GNSS受信が不可能/不便なVenueへネットワークを通じて供給
 - PTPに限らず高精度クロックを伝搬することができたら面白いのでは？
- 2017年から考察と実験を開始

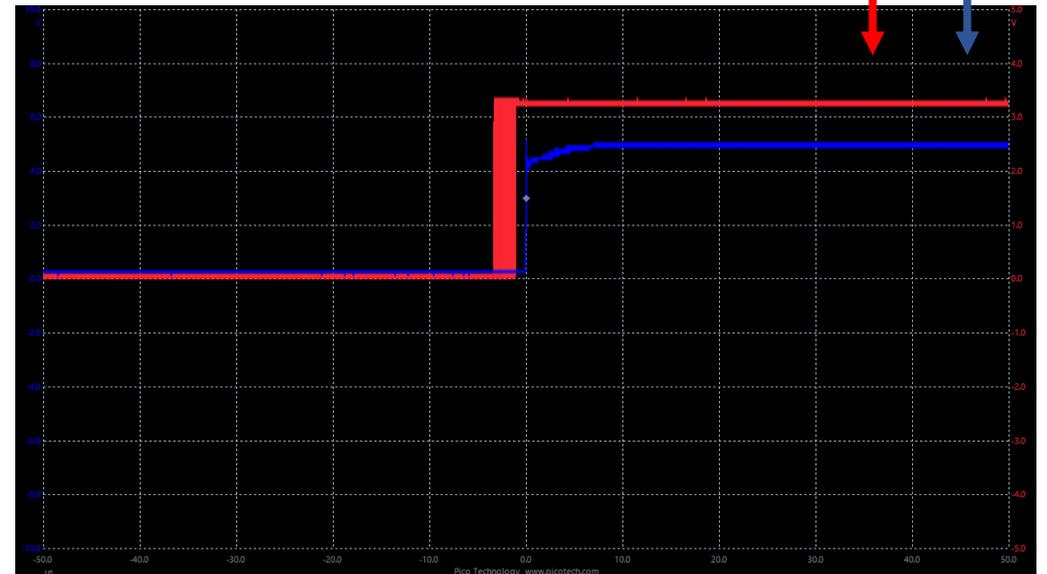
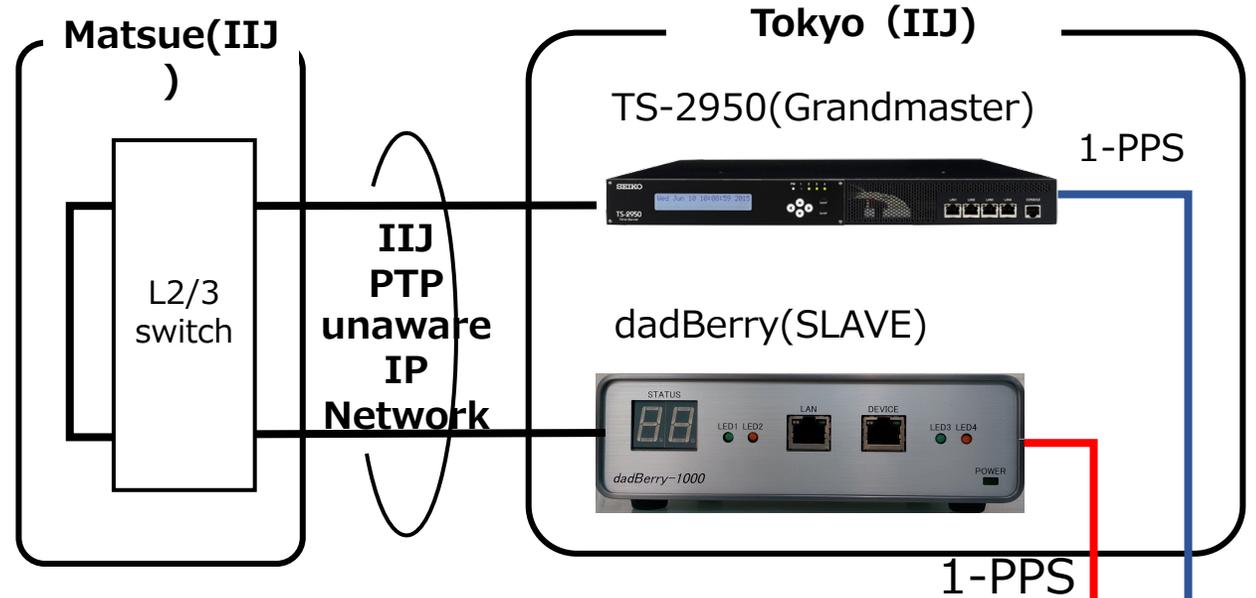
Verification Test -1 (Tokyo-Osaka Loopback)

- Tokyo : Iidabashi IIJ HQ
 - Two dadBerrys with RPTP running
 - Phase comparison between MASTER and SLAVE(RPTP)
 - 200Mbps J2K CBR video traffic between MDP3020 IP GWs
- Osaka : IIJ Osaka NOC
 - Loop back by cable connection
- Test for the phase synchronization
 - Compare 1-PPS signals from MASTER and SLAVE by the oscilloscope
- Test result
 - Test period : 1week
 - Phase shift : Less than $\pm 2\mu\text{s}$ (95%) (*1)
 - Video transmission : No outage
 - (*1) No PLL/DLL, only with RPTP technology

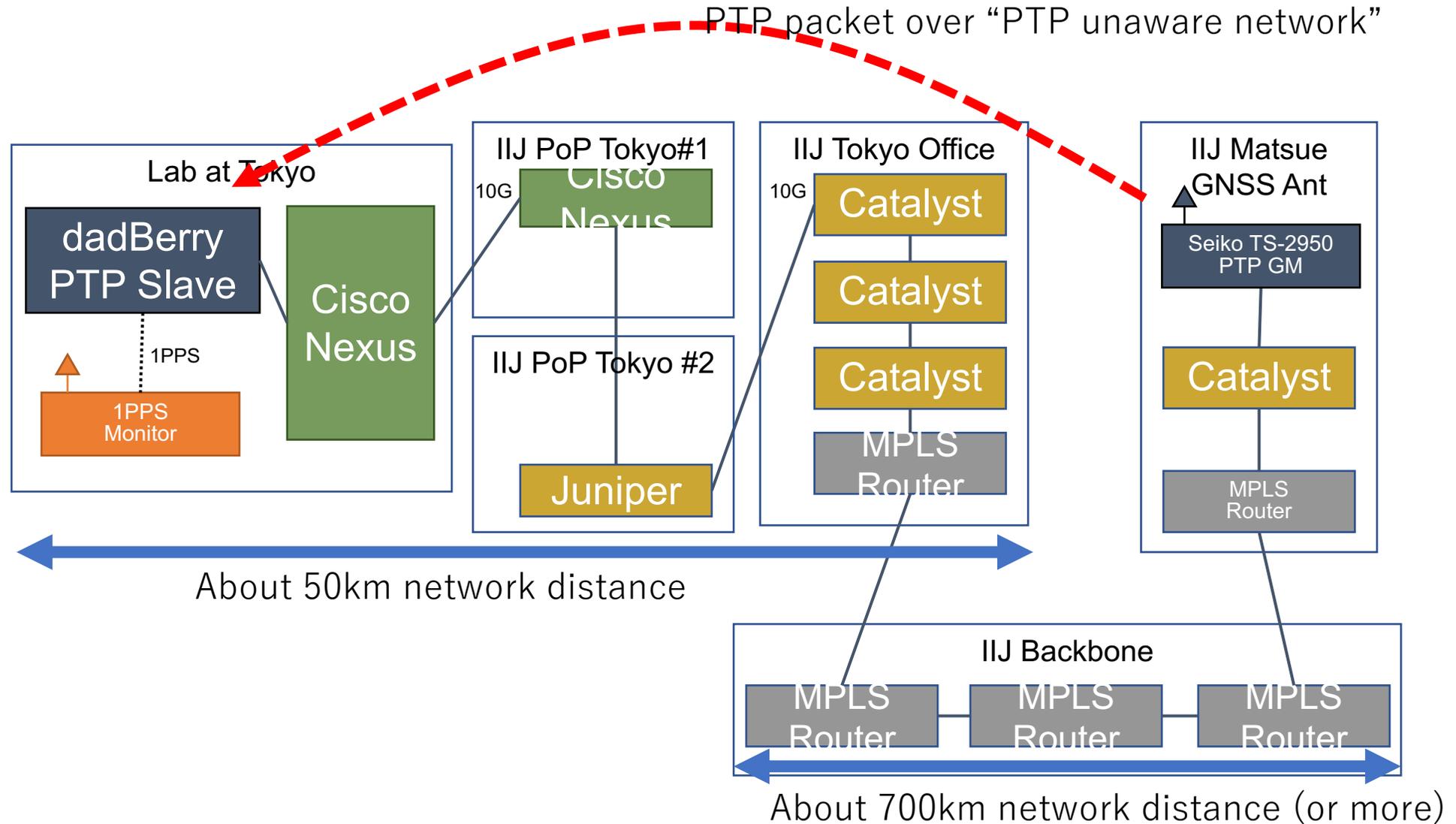


Verification Test -2 (Tokyo-Matsue Loopback)

- Tokyo : Iidabashi IIJ HQ
 - TS-2950(Grandmaster)
 - Phase comparison between TS-2950 and SLAVE(RPTP)
 - Matsue : IIJ Datacenter Park
 - Loop back by cable connection
 - Test for the phase synchronization
 - Compare 1-PPS signals from TS2950 and SLAVE by the oscilloscope
 - Test result
 - Test period : 3days
 - Phase shift : Less than $\pm 3\mu\text{s}$ (95%)(*1)
 - Video transmission : No outage
- (*1) No PLL/DLL, only with RPTP technology



Verification Test -3 (Tokyo-Matsue one-way)



Verification Test -3 (Tokyo-Matsue one-way)

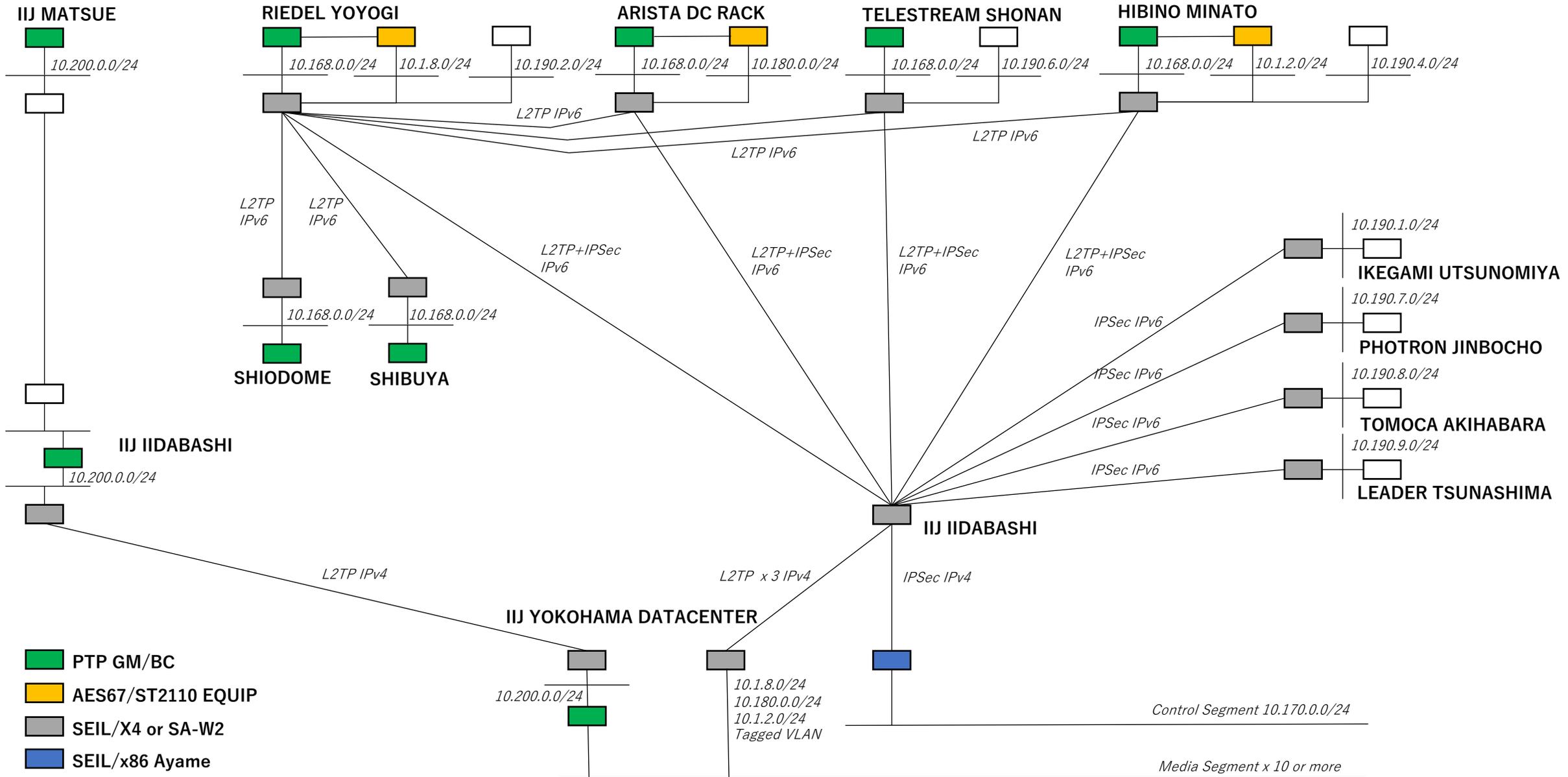
- PTP packet transmission from IJ Matsue to Tokyo Broadcaster, about 800km away
- GNSS Antenna and PTP GM were placed at Matsue
- PTP packets were carried through "PTP unaware network" on IJ MPLS backbone which is already built
- The PTP backbone is isolated logically by MPLS path, however, the circuit itself is shared with another IJ's service, e.g. Internet traffic
- There's definitely no PTP BC and TC in between TS-2950 PTP GM and Network Additions PTP slave
- 1PPS measurement at Tokyo Broadcaster, comparing Network Additions (PTP signal from Matsue) and GNSS clock receiving at Tokyo Broadcaster
- The test result showed the stable and almost fixed(around 2-3ms) phase shifting of 1PPS signal without PLL. It's anticipated that the phase shifting can be reduced to less than 1ms with adaption of PLL technology.

VidMeet Online実験

- IJ松江データセンターパークより、IJバックボーンを通じてIJ横浜第一データセンターへPTP供給

設置場所	機材名称	役割
IJ松江DCP	Seiko TS-2950	PTP GM
IJ飯田橋オフィス	Network Additions dadBerry-1000	PTP BC (中継)
IJ横浜第一DC	Network Additions dadBerry-1000	PTP BC (中継)
	Seiko TS-1550	PTP Slave→BB
	Mellanox SN2410	PTP BC

- IJ松江-IJ飯田橋：L2 (over IJ MPLS)
- IJ飯田橋-IJ横浜第一DC：L2VPN (over IJ backbone)



HOT TOPICS 2) PTP

- 異なるPTPネットワークにて同期させた信号が問題なく再生！
- ヒビノでの例



Calrec COMBO
東京都港区
ヒビノオフィス



東京都港区～
神奈川県横浜市



Calrec Type-R
IJJ横浜第一DC



↑
オフィスに設置したPTP GMにより同期

↑
遠隔地（島根県松江市）に設置した
PTP GMにより同期

Devices

Network

GPIO

calrec-system

IOBOX_Combo

Search...

View favorites

Expand All +

Transmitting

calrec-system

GROUP: Device Group, DEVICE INFO: Type-R Core, Calrec Audio, Version 1.4.0

Interfaces

AoIP 1

Grandmaster ID: 00-80-15-ff-fe-d2-07-f7

Status

Interface	Status	Delay
AoIP 1: Pri	Slave	30ns
AoIP 1: Sec	Faulty	686ns

IIJ横浜第一DCで稼働しているCalrec CoreのWeb U/I
 IIJ松江に設置したPTP GMのGrandmaster IDが表示され、ローカルのMellanox SN2410から供給されたPTPにロックしている
 左下、ヒビノオフィスの機材のGrandmaster IDと異なっていることがわかる

AoIP 1

Grandmaster ID: 08-00-11-ff-fe-21-cf-6c

Status

Interface	Status
AoIP 1: Pri	Slave
AoIP 1: Sec	Faulty

```

SN2410 [standalone: master] # sh ptp interface ethernet 1/48
Interface name: Eth1/48 (VLAN 1001)
Channel group ID: N/A
VRF: default
IP Address: 192.168.1.10/24
Port Clock identity: 7C:FE:90:FF:FE:F3:4A:08
PTP Port number: 10
PTP interface state: SLAVE
PTP operational state: UP
Forced Master:
Delay request interval(log mean):
Announce receipt time out:
Announce interval(log mean):
Sync interval(log mean):
Delay Mechanism:
Transport protocol:
IPv6 Multicast scope ID:
  
```

IIJ横浜第一DCのSN2410
 上流に設置したdadBerry-1000から受けたPTPに同期している

IIIからみた今回の成果

- 「PTP over WAN」の技術的な可能性
 - 遠隔地からのPTPで放送機器を駆動できた
- 更なる実験の必要性
 - 「PTP over WAN」技術が活用できるフィールドの調査
 - IIIバックボーン
 - フレッツなどのアクセス回線
 - 専用線（?）
- 放送系特有の問題解決
 - PTPと同時にBBが必要となる
 - 立ち上げからのエージング時間が短いことが求められる

課題

- サービスとしての建て付けの難しさ
 - Domain numberとか、PTPの各パラメタなど個別要因が多い
 - 共有部分と占有部分の区分け
 - 「1台のサーバ」「n個のクライアント」
- 放送系以外へのPTPや、NTP-PTP中間レベルのクロック供給
 - 放送系PTPだけでは用途が狭すぎて、ビジネス展開が難しい
 - 今後ともPTP unaware networkは主流だと考えられるので、over WAN技術で追求できるビジネスを創出する必要がある
 - フレッツ等の安価な回線で可能になるものが好ましい
 - 5G?

RPTPアライアンスのサマリー

- WAN（PTP非対応のIPネットワーク）上でPTPで安定同期する技術を確立
- 同期の確立、精度の測定を各種の実証実験で確認
- 放送、その他の分野での適用可能なアプリケーションの検討
- 現状はビジネス展開のスターター待ち