

InternetWeek2025

PTP入門と実運用のポイント ～NTPとの関わりとNICTの時刻同期サービス～



【PTP編】

2025.11.26

セイコーソリューションズ株式会社
戦略ネットワーク本部
タイミングソリューション営業部
鈴木康平

自己紹介



鈴木 康平(すずき こうへい)

セイコーソリューションズ株式会社 STN本部タイミングソリューション営業部
2001年～セイコーインスツルメンツ入社 NW製品の営業 ISP向け終端装置など
ITSF,WSTS,ISPCS,EANTC(MPLS SDN)等の時刻同期関連イベントに参加
APRICOT,APNIC,PeeringAsia,HKNOG,SGNOG,MYNOG,PHNOG,MNNOG等に参加
JAIPAや各NOGなどで登壇 最近ではGNSS Time Sync2025
2025年11月現在 国内外のテレコム & 高精度時刻同期関連事業に従事
趣味：サウナ,マグネット収集、麻雀 好きなスポーツ：ラグビー、サッカー、野球(たまにゴルフ)
好きな漫画：アオアシ、ONE PIECE、鬼滅の刃、こち亀、太陽の黙示録、天牌
尊敬する人：益子俊志先生、煉獄杏寿郎、野中郁次郎



NTPとPTP

NTP (Network Time Protocol)

- ネットワークに接続される機器において機器が持つ時計を正しい時刻に合わせるための通信プロトコル
- OSI基本参照モデルの第7層（アプリケーション層）
- UDPポートの123番を使用
- NTPv3 (RFC1305) , NTPv4 (RFC5905) , NTPv5(draft-ietf-ntp-ntp5-07)※2025年10月
- Chrony ntpdに代わって近年多くのLinuxディストリビューションなどで使用



協定世界時 (UTC) を配信する



PTP(Precision Time Protocol)

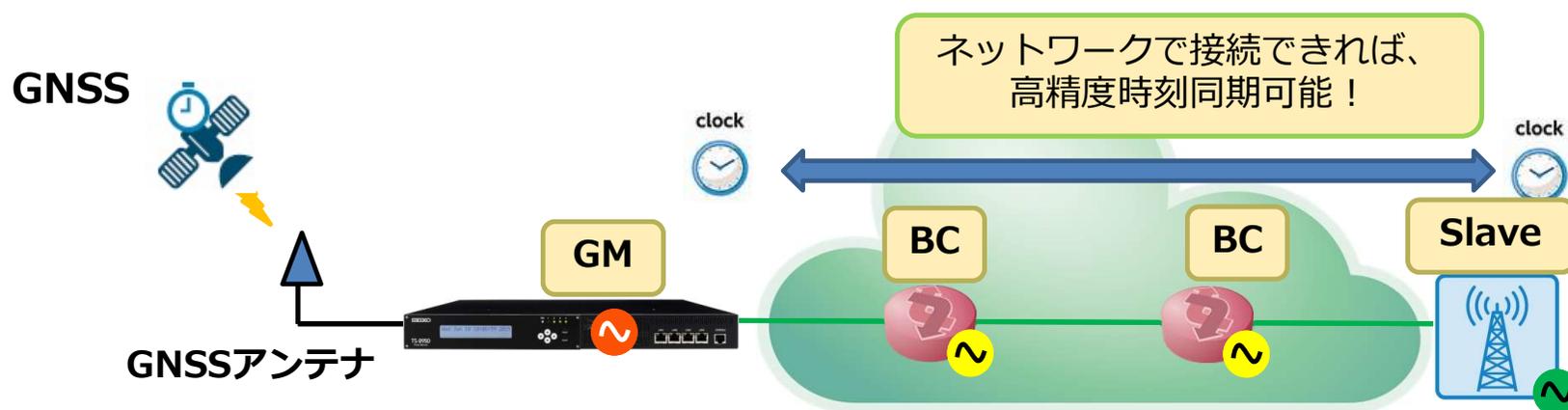
- **IEEE 1588-2002 (PTP v1)** ローカルな計測・制御ネットワークでサブマイクロ秒級の同期をターゲット
- **IEEE 1588-2008 (PTP v2)**
プロファイルという概念を取り入れ、**用途別**に運用パラメータを最適化できるようにした点が最大の特徴。
Boundary Clock (BC) /Transparent Clock (TC) の導入でネットワーク機器内滞留の補償手段が整備され
広域・大規模ネットワークへ適用範囲が広がる(これに伴いPTP対応NW機器が増加、相互接続も進む)
- **2019 : IEEE 1588-2019 (通称 “PTP v2.1”)**
2008版の後方互換を保ち各機能の拡充を実施。

Profile	標準化団体	Profile名	Status	Application	Network	Domain#	Syncインターバル	Multicast / Unicast	Transport
Default	IEEE	Default 2008	2008	金融等	Undefined	0	1pps	Multicast	L2/L3
Telecom	ITU-T	G.8265.1	2010	テレコム	Non	4(4-23)	16pps-128pps	Unicast	L3
Telecom	ITU-T	G.8275.1	2014-	テレコム	Full aware	24(24-43)	16pps	Multicast	L2
Telecom	ITU-T	G.8275.2	2016-	テレコム	Partial	44-63	1pps-128pps	Unicast	L3
Power	IEEE/IEC	Power	2012-	電力	Non/Partial	0(0-127)	1pps	Multicast	L2
Industrial	IEEE	802.1AS gPTP	2011-	産業	Non/aware	0	1pps	Multicast	L2
Video	SMPTE	ST 2059-2	2015-	放送	Non/aware	127(0-127)	8pps	Multicast / Unicast	L3

- ✓ IETF “Enterprise Profile for PTP” として RFC 9760 が 2025年5月に策定
- ✓ OCA-TAPでは「DC PTP Profile」を策定に向けて活動中

高精度の時刻同期プロトコル

- ✓ 時刻源は**GNSS**:GPSやQZSS（準天頂衛星みちびき）などの衛星からの電波を
グランドマスタークロック(GM)が受信・同期
- ✓ IP/イーサネットのネットワーク経由で時刻同期
- ✓ 時刻同期精度：<1マイクロ秒



(ちょっと補足)PTPに重要なGNSSとPNT

GPS = 衛星システム全般ではない

GNSS: Global Navigation Satellite System

GPS(米)、QZSS(日)、Galileo(欧)、Glonass(露)など衛星測位システムの総称



PNTとはGNSSが提供する3つの機能

Positioning (測位) : 自分 (物体) の位置を特定する機能 (緯度・経度・高度、屋内外)

Navigation (航法) : 位置と地図・経路情報を用いて、目的地まで“どう動くか”を導く機能

Timing (時刻) : 高精度な“共通の時間基準(UTC)”を生成・配布する機能

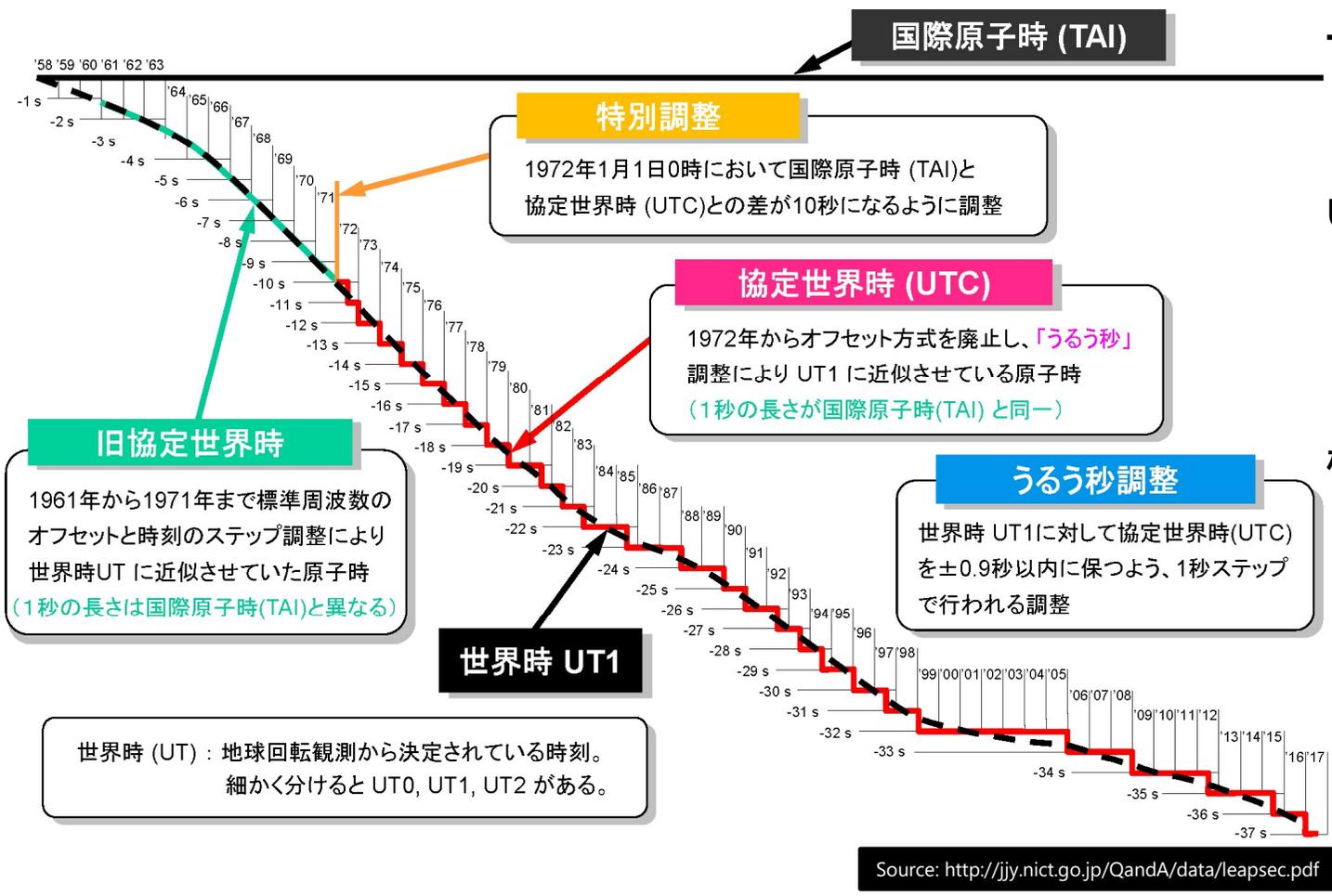
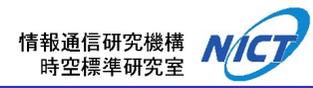


現在の社会インフラシステムでは、
全体の正確な動作、セキュリティの確保、信頼性確保のために
時刻同期が非常に重要な役割を果たしています。



(ちょっと補足)UTCとTAIとうるう秒①

原子時と「うるう秒」



TAI (国際原子時)

- ✓ SI秒を積算したうるう秒がない時刻系

UTC (協定世界時)

- ✓ 世界時：地球の自転に基づく時刻
- ✓ 地球の自転周期に追従する、うるう秒がある時刻系

標準時 (地方時)

- ✓ ある国、または広い地域で共通で使う地方時
- UTCとの差が1時間もしくは30分単位になる経度の地点の時刻を用いることが多い
- ✓ 夏時間：標準時を1時間進める制度またはその進められた時刻
- サマータイム
- デイライト・セービング・タイム (DST)

(ちょっと補足)UTCとTAIとうるう秒②

うるう秒

地球の自転に基づくUTCと、
原子時計が刻むTAIの間に発生する時刻のずれを修正
うるう秒挿入を決めているIERSは、傾向的にUT1から
±0.5秒程度で、うるう秒を挿入していると推測される
- Earth orientation data",

<https://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/EarthOrientationData/eop.html>

IERS : International Earth Rotation and Reference Systems Service

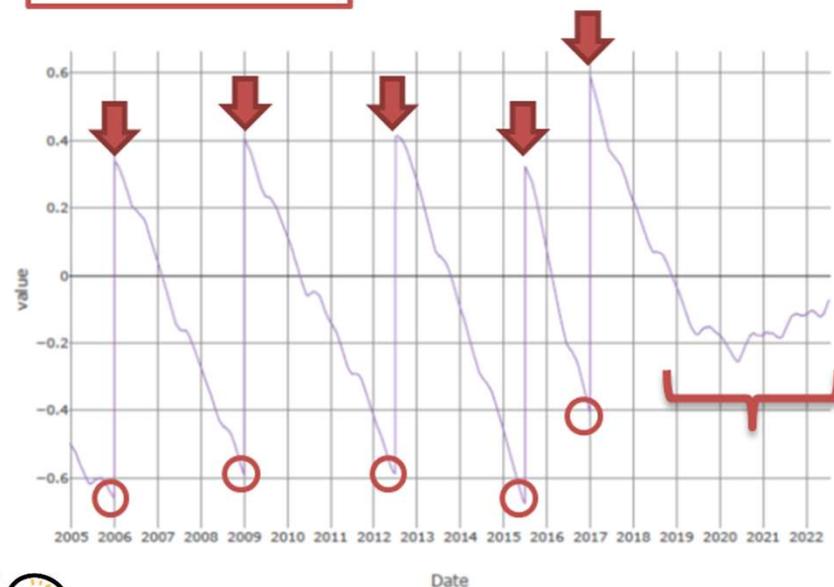
PTP (TAI時系)

うるう秒処理はないが、UTCとの時差情報を
PTPパケットにて配信することでPTPの最終装置
(クライアント装置)にカレンダー情報を提供可能

NTP (UTC時系)

うるう秒処理がプロトコル上必要

うるう秒挿入実績



2019年から自転速度が早まっている

2016/7/1 : 最後のうるう秒実施
移行実施なし

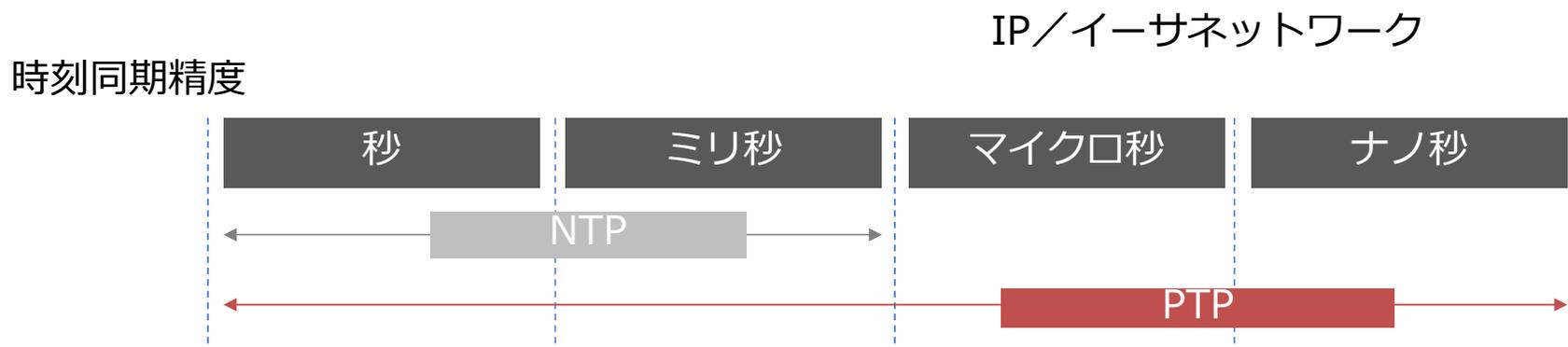
2026/7/1が次回予測も自転速度の変
化のため不透明

PTPとNTPでは、実現できる時刻同期精度に大きな違いがある

✓ PTPが高精度な理由

- ✓ **ハードウェアタイムスタンプ**処理により、ソフトウェア処理遅延を排除
- ✓ **パケット伝送遅延を補正**するネットワーク装置を使用（PTP aware）

➡ つまりPTP対応ネットワーク装置を使用しなければ、
基本的には精度の高い時刻同期は実現できない



PTPの目的はPTP Grandmaster Clock(GM)に
PTP Slaveの**周波数**(Frequency)と**時刻 & 位相**(Time & Phase)を合わせる



PTP master



PTP slave

周波数=針の進む速度(歩度)

MasterとSlave時計の進む速度が同じになりました
(まだ時刻はずれてます)



PTP master

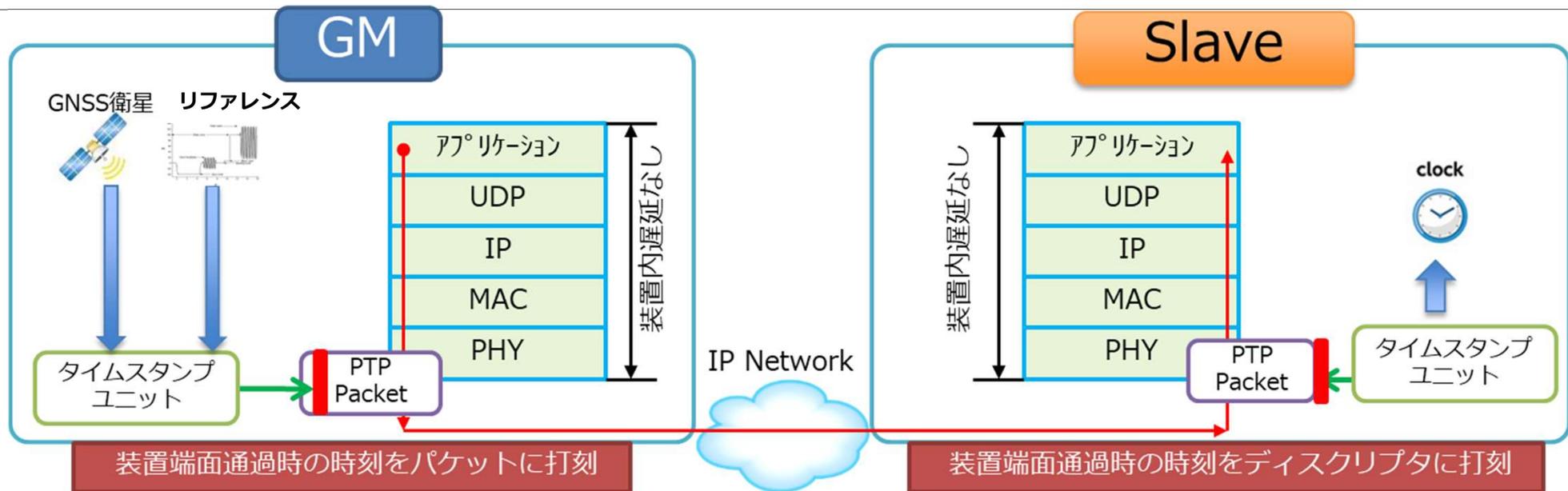


PTP slave

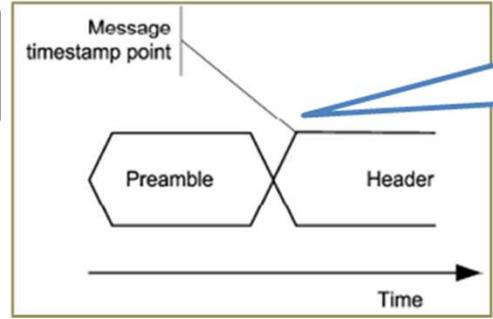
位相=針の位置

MasterとSlave時計が合いました

PTPが高精度な理由①=H/Wタイムスタンプ

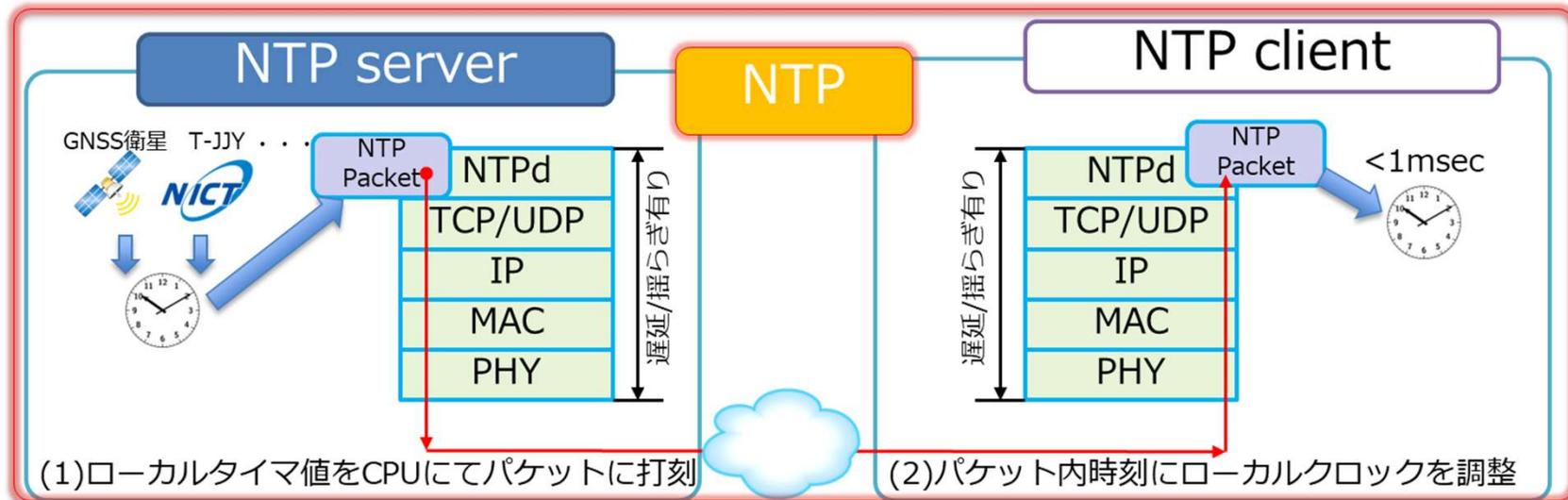
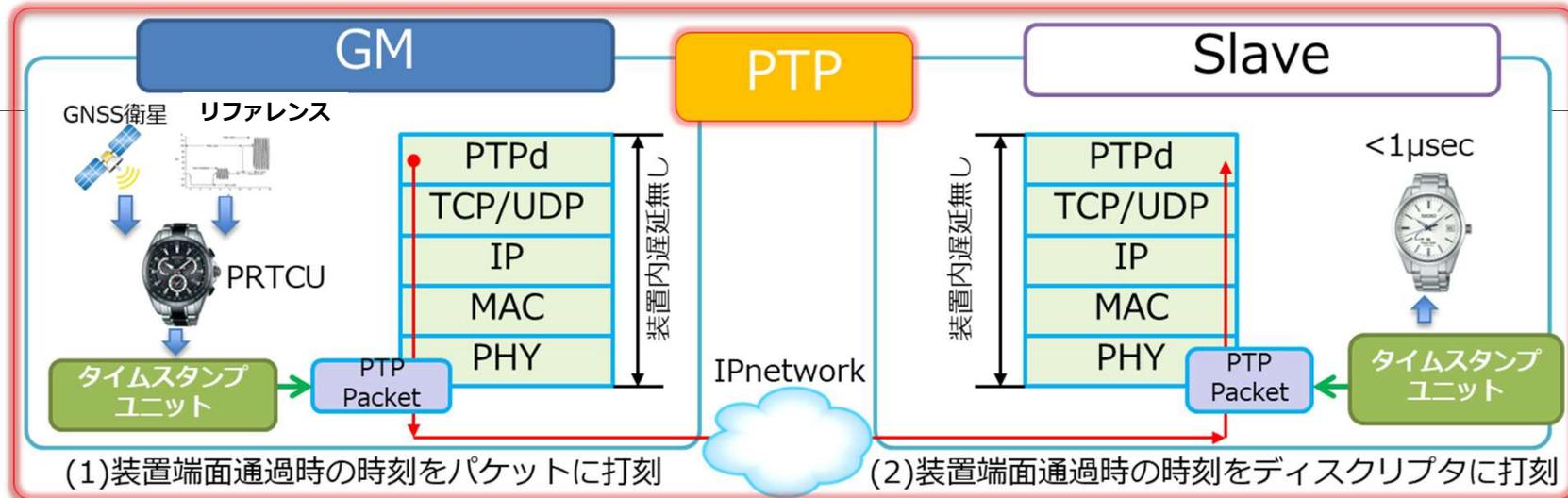


IEEE1588 standard page.36



タイムスタンプを打刻するタイミングは、Preambleの次のOctetの1bit目

PTPが高精度な理由①～PTPとNTPの処理比較～



PTPが高精度な理由② = PTP対応ネットワーク

PTP unaware Network

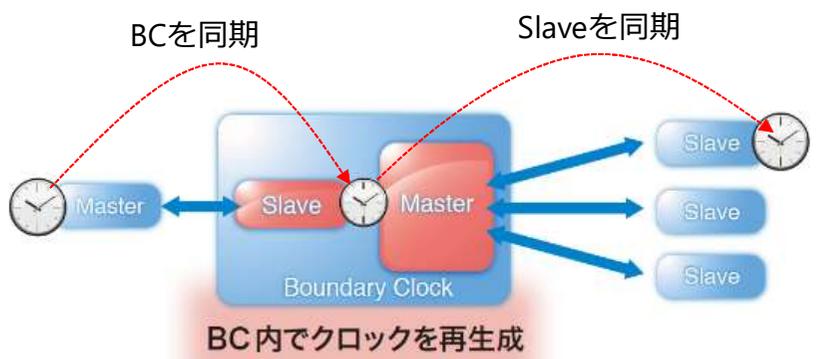
L2 Switch(L2)



PTP aware Network

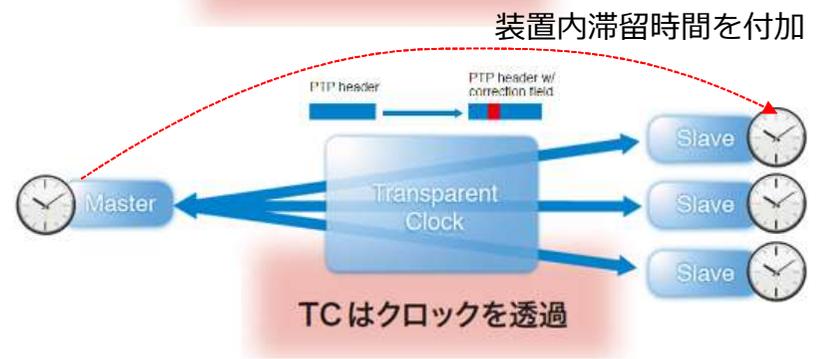
Boundary Clock(BC)

- 上位MasterにPTP同期後、BC内でクロックを再生成。配下Slaveに再配信
- PTPネットワーク内の収容Slave数をスケールアップさせることが可能
- 上位Masterに高精度にPTP同期できる必要がある (実装依存)



Transparent Clock(TC)

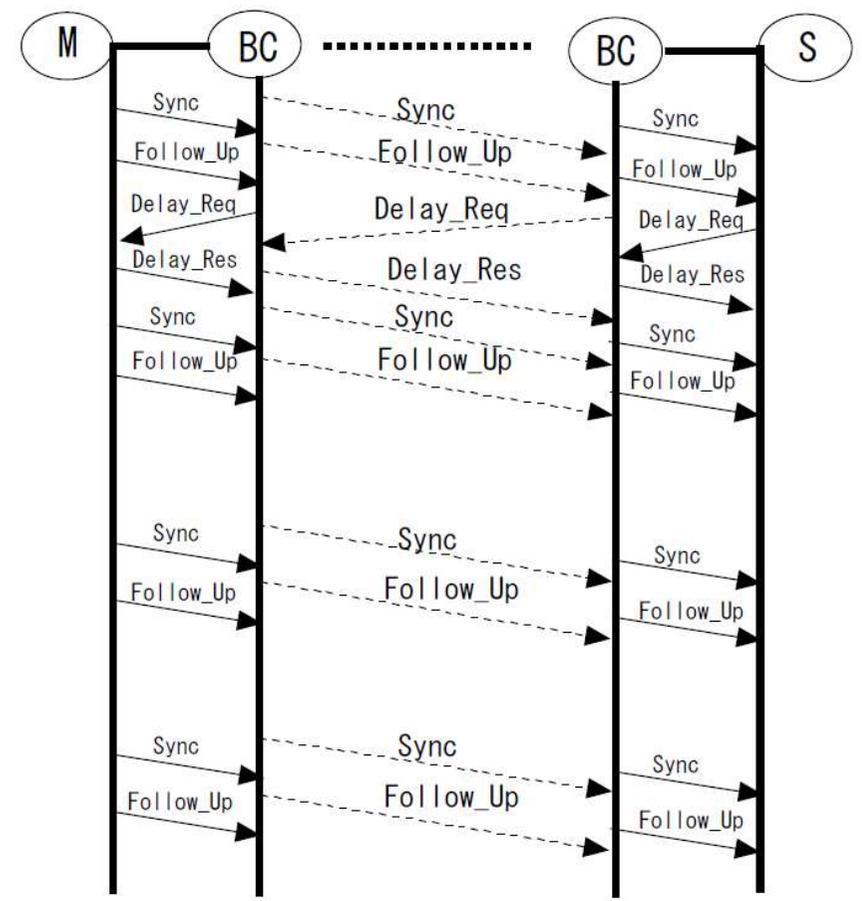
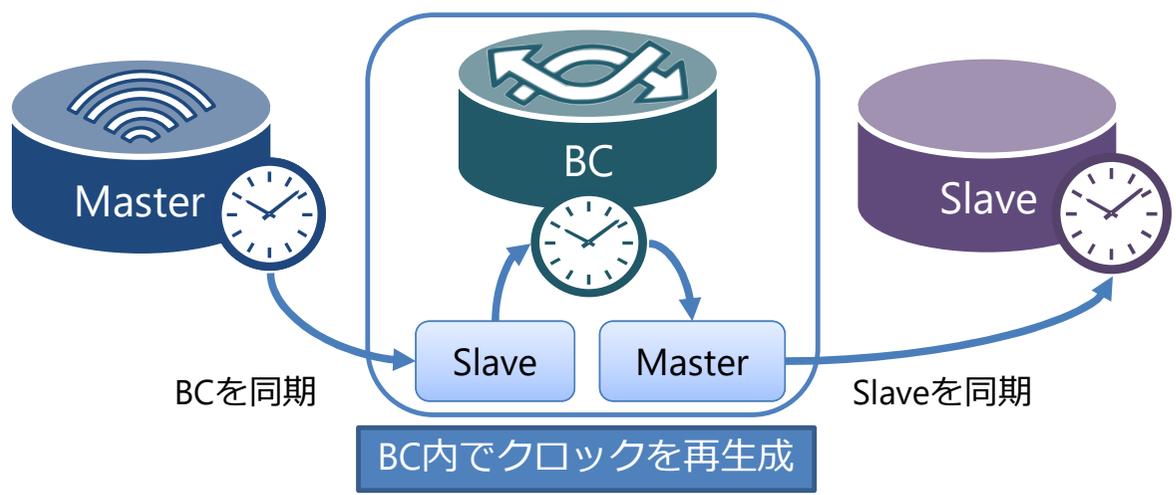
- 装置内滞留時間をPTPヘッダに書き込みSlaveに配信する
- PTPネットワーク内の収容Slave数 = GMの最大収容Slave数



BC (Boundary Clock) 機能

機能概要

BCスイッチ上位のPTP Masterから受信する
PTPパッケージを元に、BC自身の内部クロックを
再生成
BC配下のPTP Slaveにその時刻を再配信する

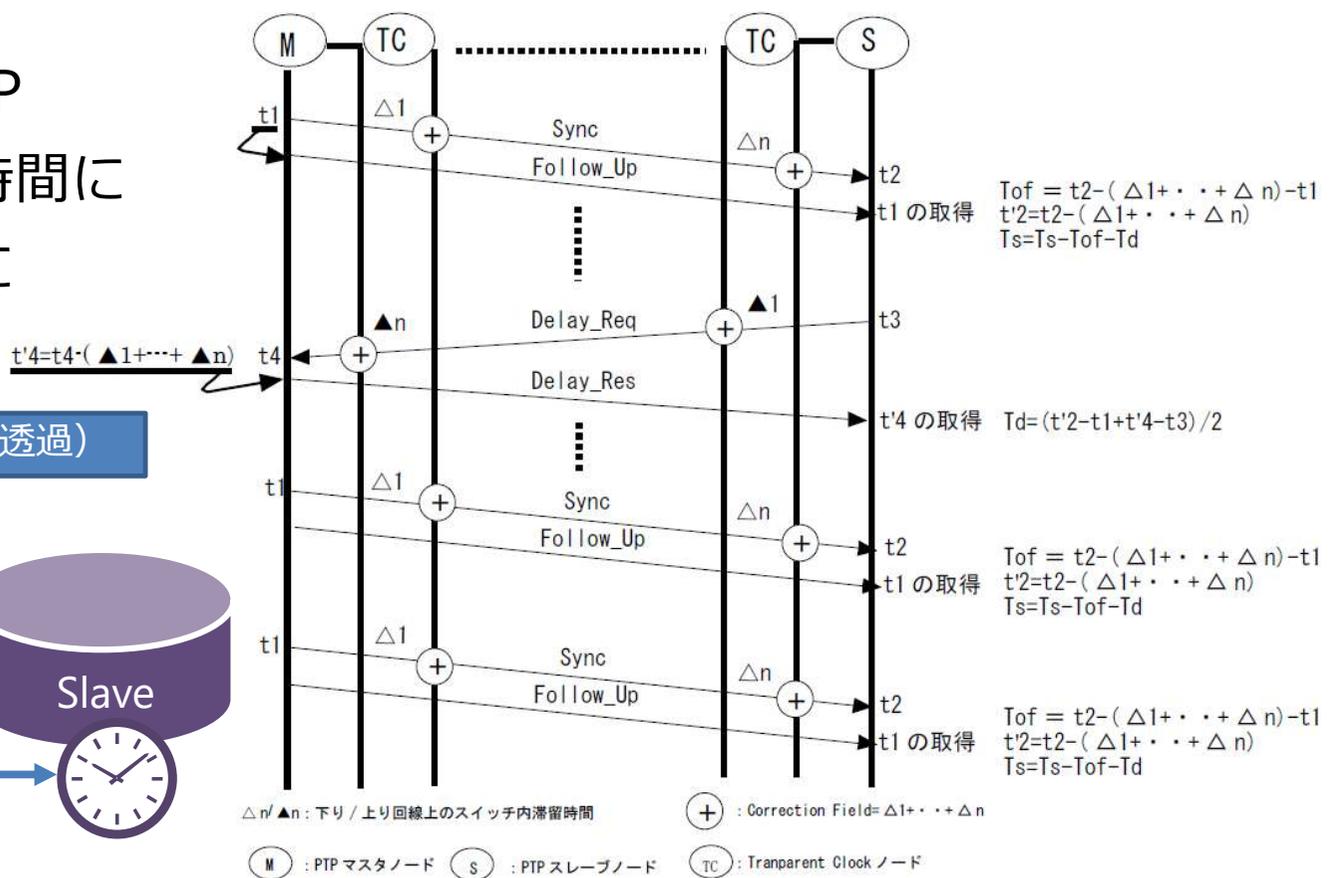
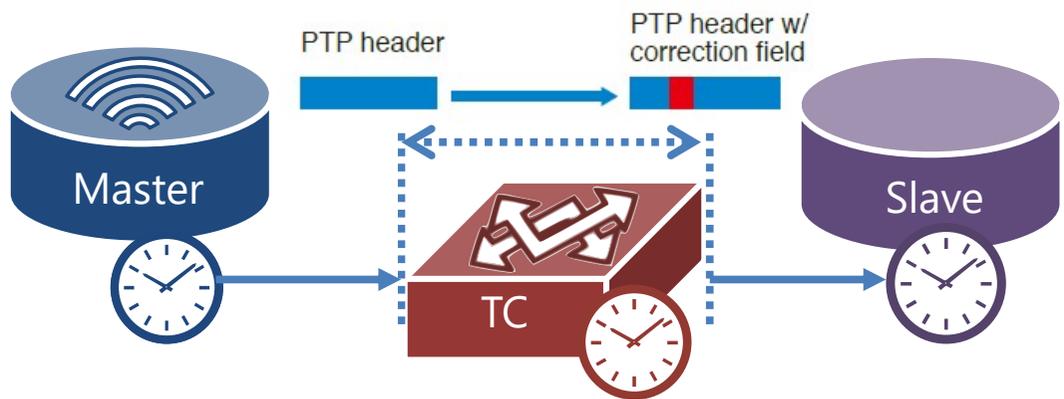


(M) : PTP マスタノード (S) : PTP スレーブノード (BC) : Boundary Clock ノード

機能概要

TCスイッチが転送処理するPTP
 パケットのスイッチ内の滞留時間に
 そのパケットに書き込んだ後に
 PTP Slaveに転送する

装置内の滞留時間を付加 (クロック情報は透過)



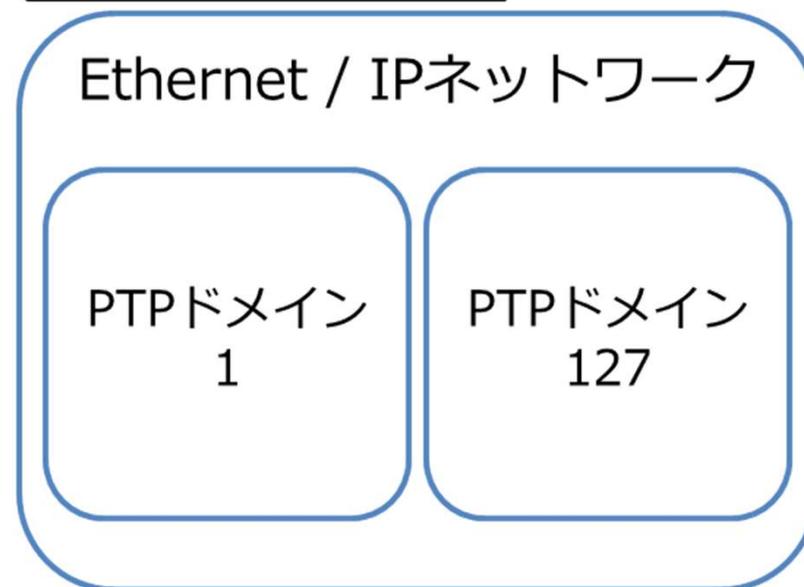
PTPそのものの解説①～ドメイン～

- PTPメッセージをやり取りする論理グループ
 - ◆ ドメインごとにPTP GMが存在
 - ◆ 異なるドメインのPTPメッセージは無視する

- ドメイン番号：0～255（以下、IEEE1588定義）
 - ◆ 0：Default domain
 - ◆ 1：Alternate domain 1
 - ◆ 2：Alternate domain 2
 - ◆ 3：Alternate domain 3
 - ◆ 4～127：User-defined domains
 - ◆ **SMPTE Default：127**
 - ◆ 128～255：Reserved

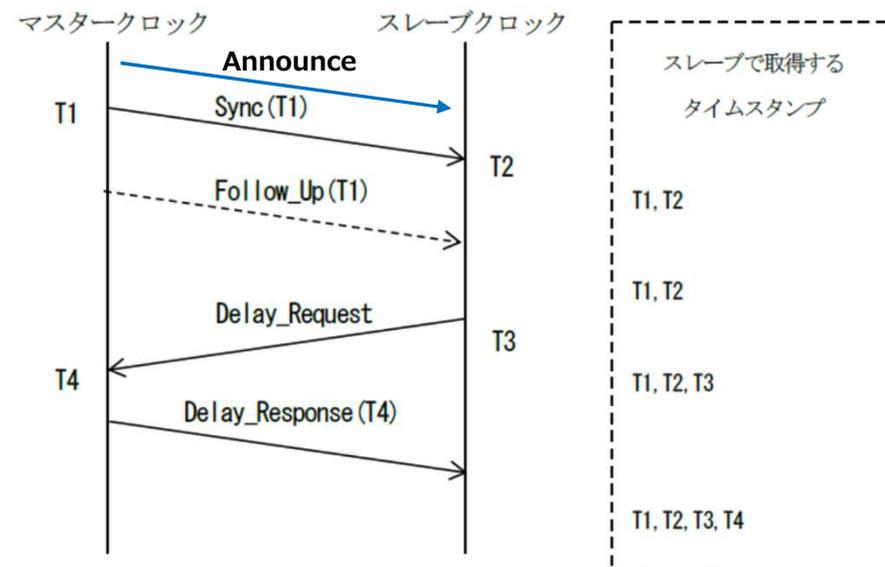


PTPドメイン構成例



PTPそのものの解説②～メッセージクラス～

メッセージクラス	用途	概要	通信方式		備考
			Multicast	Hybrid	
Sync	時刻同期	MasterからSlaveにT1を通知	Multicast	Multicast	1stepモード
Follow_Up	"	MasterからSlaveにT1を通知	Multicast	Multicast	2stepモード
Delay_Req	"	SlaveからMasterにMasterがDelay_Reqを受信した時刻を、SlaveにDelay_Respで応答することを要求	Multicast	Unicast	SlaveがT3を生成
Delay_Resp	"	MasterからSlaveに通知	Multicast	Unicast	MasterがT4を通知
Announce	状態伝達	送信ノードのステータスと特性情報を通知			
Management	"	管理クロックに使用される情報、コマンドを通知			



PTP GMのSync (Follow_Up) メッセージ (IP Multicast) に対し、PTP Slave装置 (BC含む) がDelay_ReqメッセージをIP Unicastで返す場合、GMは自動判別し、IP UnicastでDelay_Respメッセージを返す

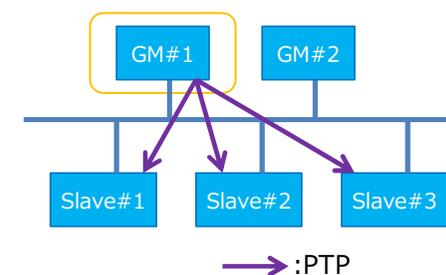
メッセージクラス	portDS.	レート	2のべき乗		
			min	max	(参考) TS-295x 初期値
Announce送信間隔	logAnnounceInterval	8pps～16秒間隔	-3	4	-2 (4pps)
Sync送信間隔	logSyncInterval	128pps～2秒間隔	-7	1	-3 (8pps)
Delay_Req許容送信間隔	logMinDelayReqInterval	128pps～32秒間隔	-7	5	-3 (8pps)
Announce受信タイムアウト (回数)	announceReceiptTimeout	2～10回	2	10	3回



BMCA (ベスト・マスター・クロック・アルゴリズム)

- ① GMがクロック品質、安定性、優先度等をアナウンス
- ② 各GMは、自身の特性と他GMの特性を比較
- ③ 最良のGMがドメイン内の代表マスターとなる
- ④ 他のGMはパッシブ状態となり待機

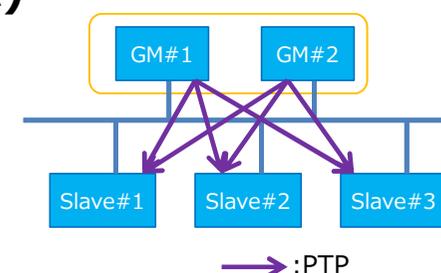
代表的な実装プロファイル : default profile



A-BMCA(オルタネート・ベスト・マスター・クロック・アルゴリズム)

- ① GMがクロック品質、安定性、優先度等をアナウンス
- ② 各GMは、他GMの状態に依存せずPTPメッセージを送信
- ③ 各Slaveは、GMの特性を比較し最良のGMのPTPメッセージを受信

代表的な実装プロファイル : telecom profile





- **Q.PTPを導入しようとする場合に最初に考えるべきことって何ですか？**
- **A.最終的な時刻同期の用途・要件を確認してどのプロファイルにするのかあるいはどのプロファイルが求められているのかを確認します。
次に最終アプリケーションが要求するターゲットとなる精度に収まるよう、冗長化やNWの非対称性も考慮して選定・設計します。**
- **Q.間に入るNW装置はPTP対応じゃなくても問題ないんですか？**
- **A.Ethernetフレーム・IPパケットとして間の装置は転送できますがどんなに内部遅延が小さい装置でQoSをかけても大体要件に収まらず安定した時刻同期環境になりません。**



- **Q.PTPの時刻同期にはGNSSのアンテナを含めた受信環境が必要ですか？**
- **A.基本的には必要です。一部の限られた用途でGNSSをリファレンスクロックにしないものもありますが、かなり例外的です。**
- **Q.PTPのプロトコルで相互接続する場合に気を付けるべきことは？**
- **A.規格化されている通りに相互の装置が動作しているかを確認することが必要です。かつてのPPPやEthernetOAMなども装置毎に癖や特徴がありましたがPTPもまた同様です。詳細な解析にはお互いのシーケンスをキャプチャする手法などが考えられます。**

重要な社会インフラの殆どで高精度時刻同期が使用され始めている

<p>モバイル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ “真の5G”時代ではTDD方式となり高精度時刻同期が必須 ・ ITU-T G.8275.1/8275.2が主流 	<p>放送</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 北米を中心としたIP化の潮流とPTPの活用領域が徐々に世界で拡大 ・ SMPTE ST-2059など 	<p>金融証券</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ MiFID II/RTS-25(ESMA)で規定 ・ UTCのトレーサビリティを重視 ・ 時刻同期が非常にクリティカル
<p>AI×データセンター</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ OCP TAPで標準化などが進む ・ GPU間同期、分散ストレージ、マルチテナンシーでの性能向上 	<p>FA</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 工場内のIT化やセンサー同期による広範囲のシステム連携・可視化 ・ IEEE802.1AS(gPTP) 	<p>電力</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 各国でPTP化が進む ・ IEEE C37.238 ・ IEC61850 9-3



高精度時刻同期業界の国際トレンド①

国際会議などによる最新技術動向、標準化動向、最新ユーザーアプリケーションの紹介がされている



IEEE ISPCS 2024

IEEEが主催する時刻同期関連学会・相互接続のPlugFestがあるのが特徴
※昨年は日本開催でした 今年はカナダ 来年はイタリア



毎年欧州で開催される時刻同期の最大イベント
来年はスイス・ジュネーブで開催予定



北米のタイミングイベント来年はワシントン州ベルビュー

- 国際情勢の影響を非常に色濃く受けている。
→ その結果として原子時計などの価格・納期に課題



- 紛争地域や付近の国境地域ではGNSSの受信が困難に
→ その対策を各国・各機関・各社が進めている
- 米国や諸外国ではGNSS/GPSに依存しないよう法制化などが
進んでいるところも・・・
※現在は使えているが将来的に継続使用できるかどうかの保証はなし

地上系NWでの補完

GNSSが使用不能になになった場合、社会全体で1日10億ドルの損失が試算されている
→それを受けて諸外国では超高性能原子時計とネットワークを活用する動きが

英NPL, Resilient time for the future

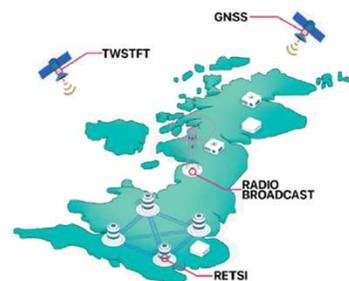
National PNT resilience



A system of systems approach

No single solution can provide a fully resilient assured capability

- Space assets – LEO/MEO
- Terrestrial broadcasts
- Network deliveries
- Local holdover clocks
- Quantum sensors
- Monitoring and alerting systems



Time underpins several key PNT solutions (eg. GNSS)

NTC as the source for UK time, feeding other PNT solutions

PNT resilience recognised as globally significant

NB: All locations indicative for illustrative purposes

Resilient Time for the Future The future of time

Swedish distributed time service

- 6 time nodes placed in secure bunkers throughout Sweden (Stratum-1 time servers)
- Time traceable to UTC
- Free and commercial service with SLA
- Operated by Netnod, monitored by RISE and financed by PTS



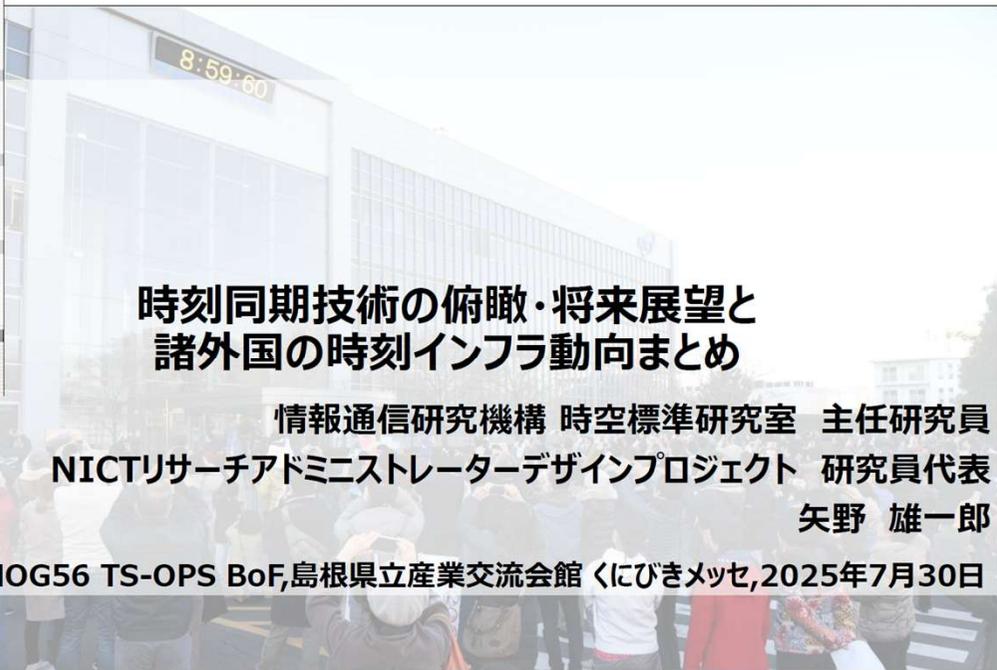
JANOG(Japan Network Operators Group)のBoF(TS-Ops)でも継続議論



UTC(NICT)の高精度時刻配信に向けた NICTの活動と今後の方向

井戸 哲也, 矢野 雄一郎, 野村 英司
情報通信研究機構

JANOG55 TS-OPS BoF, 京都市勧業館みやこめっせ, 2025年1月24日



時刻同期技術の俯瞰・将来展望と 諸外国の時刻インフラ動向まとめ

情報通信研究機構 時空標準研究室 主任研究員
NICTリサーチアドミニストレーターデザインプロジェクト 研究員代表
矢野 雄一郎

JANOG56 TS-OPS BoF, 島根県立産業交流会館 くにびきメッセ, 2025年7月30日

SEIKO

セイコーソリューションズ株式会社

