



# ITU-Tにおける網同期技術の標準化動向

あらい かおる むらかみ まこと  
新井 薫 / 村上 誠

NTTネットワークサービスシステム研究所

網同期技術は、世界各国の通信事業者のネットワークサービスを支える基盤技術であり、ITU-T SG15を中心として国際標準化が進められています。ここでは、近年世界的に注目を集め、標準化の議論が活発化している時刻・位相同期技術を中心に、その概要、実現技術と国際標準化の取り組みについて紹介します。

## 網同期技術の背景と進展

従来のSONET (Synchronous Optical Network) /SDH (Synchronous Digital Hierarchy) やATM (Asynchronous Transfer Mode) といったTDM (Time Division Multiplexing) 技術を用いた電話や専用線などのネットワークサービスにおいては、データ送受信のためにネットワーク内のクロック周波数を一致させる、すなわち網同期を確立する必要がありました。網同期技術は、ネットワークサービスを支える基盤技術として長年にわたりITU-Tをはじめとした国際機関で標準化が進められ、各国の通信事業者に広く利用されてきました。NTTグループも、これまで高品質なクロック周波数を配信・供給する装置を開発するとともに、網同期に関する国際標準化に積極的に寄与してきました。

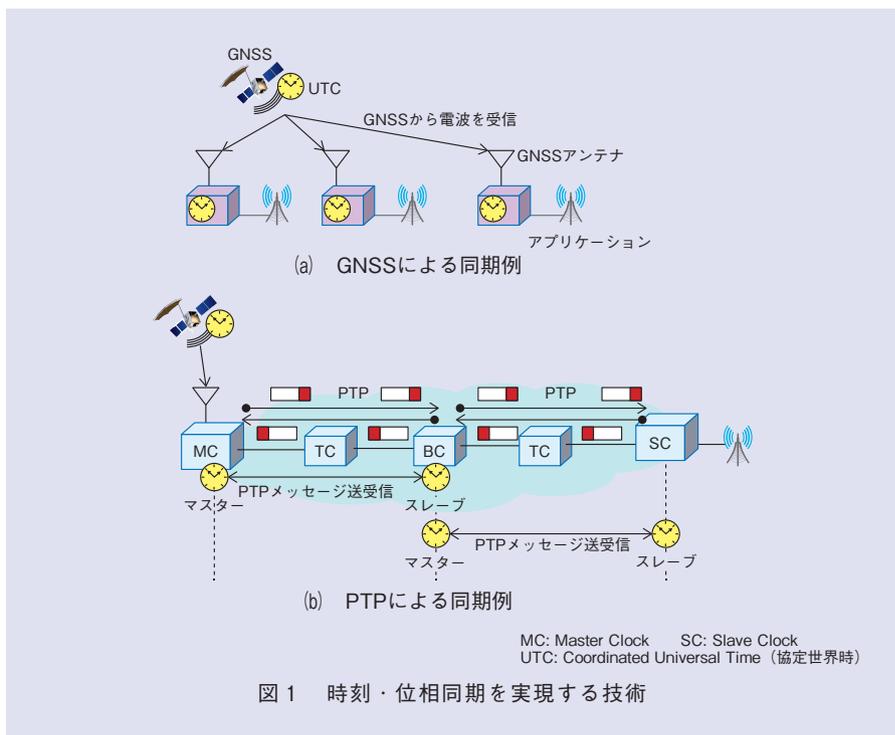
昨今、多くの通信事業者において、従来のTDM技術を用いたネットワークは装置の老朽化やメンテナンスコスト増加などにより維持が困難になっています。一方、TDM技術よりも低コ

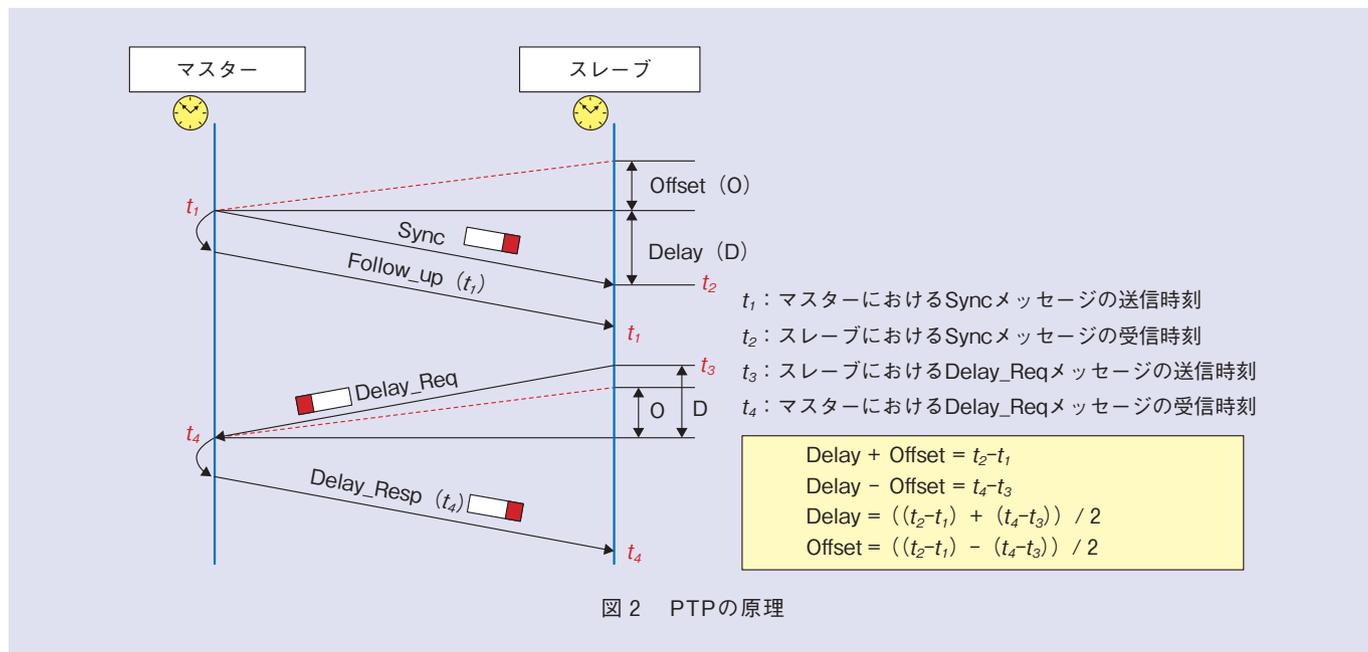
ストで同等の品質を実現するパケットトランスポート技術が開発され、TDMネットワークを置き換える動きが加速しています<sup>(1)</sup>。そこで、パケットネットワーク上でクロック周波数を配信し網同期を確立するシンクロナサイザーネットワーク技術が開発され、2008年にITU-Tで国際標準化されました<sup>(2)</sup>。さらに近年では、装置間の周波数同期に加えて、絶対時刻まで一致させる時刻・位相同期が必要となるアプリケーションが登場してきたことで、網同期技術の適用領域が拡大しています。時刻・位相同期技術は、モバイル分野に加えて、エネルギー分野における蓄給電のタイミング合わせや、金融・証券分野における高頻度取引などにも利用

が見込まれており、これからのネットワークにおける重要技術として注目されています。

## 網同期を実現する技術

時刻・位相同期を実現する技術は、主に2つの方法に分類されます(図1)。1つは、GPS (Global Positioning System) など知られるGNSS (Global Navigation Satellite System) から電波信号を受信し、標準時刻情報を取得する方法です。しかし、GNSSを用いた方法は、都市部の建築物などの障害物によるアンテナ設置場所の制限、電波妨害の影響、太陽嵐や天候不順による受信感度低下等の問題が懸念され





ています。

もう1つは、NTP (Network Time Protocol) やPTP (Precision Time Protocol) と呼ばれるネットワークを介した同期方法です。NTPでは、時刻の基準を保持するNTPサーバに対して、クライアントから時刻同期を要求します。クライアントは、要求から応答までにかかった時間とサーバからクライアント間の時刻ずれを考慮して、時刻・位相同期を行います。

PTPでは、同期を行う装置それぞれがマスター、スレーブとしての役割を持ちます。各装置は、図2に示すように時刻情報 ( $t_1 \sim t_4$ ) の付与されたPTPパケットを互いにやり取りします。スレーブ装置で、PTPパケットの送信および受信時刻を基に装置間の遅延 (Delay) とマスター—スレーブ間の時計のずれ (Offset) を算出し、スレーブの時刻をマスターに合わせています。NTPはアプリケーションレイヤにおけるタイムスタンプ打刻のた

表1 同期技術一覧

方法		機能	
		周波数	時刻・位相
パケット同期	PTP	○	○
物理同期	シンクロサiserサネット	○	×
GNSS (GPS, Galileo, GLONASSなど)		○	○

め、その同期精度は1 ms程度になります。一方、PTPの場合、ハードウェアタイムスタンプ機能に加え、伝送路遅延の補正を実施することで、1  $\mu$ s以下の高精度時刻・位相同期を実現することができます。また、PTPは表1のように時刻・位相同期に加え、PTPパケットのマスターからの送信間隔、およびスレーブにおける受信間隔を算出することで周波数同期もできるという特長を持っています。

このように、同期精度や用途でNTPに対して優位性のあるPTPは高精度時刻・位相同期を必要とするあらゆるビジネス分野から注目されている技術

であり、ITU-Tでは、IEEEで規定されたPTPをテレコム分野で利用するための標準化を行っています。しかし、テレコムネットワークにおいて、PTPによる高精度時刻・位相同期を実現するためには、いくつかの解決しなければならない課題があります。例えば、PTPのOffset算出において、PTP非対応のパケット多重装置やWDM装置が導入されている場合には、上り回線と下り回線の遅延非対称性の補正が必要になります。加えて、網内の輻輳によるパケット遅延揺らぎやPTPパケットのロスが同期精度に大きな影響を及ぼします。ITU-Tで

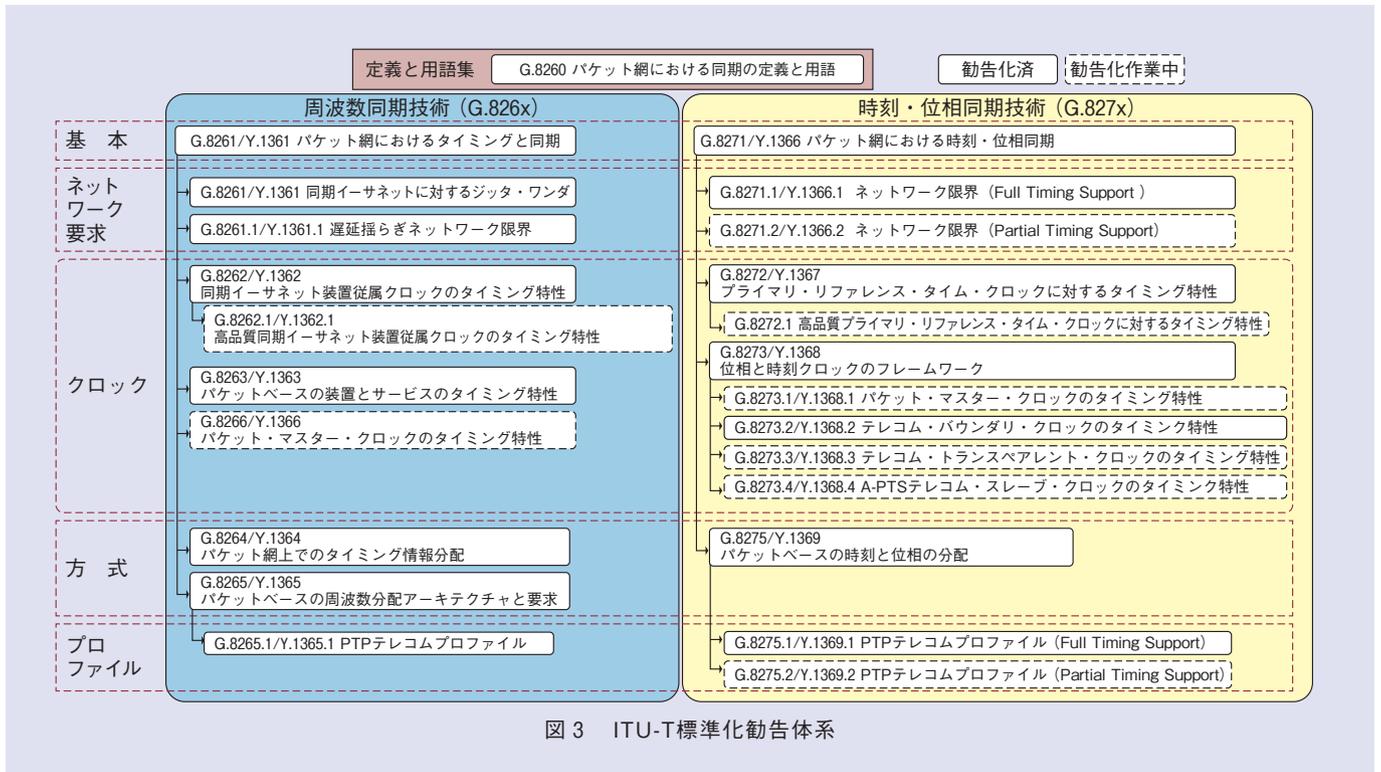


図3 ITU-T標準化勧告体系

も、このようなテレコムネットワークで特に影響の大きい課題に関する議論が活発に行われており、NTTも、遅延非対称性を補正する方式などをITU-Tに提案し、2014年に勧告化された標準文書に記載されました。

### 網同期に関するITU-T勧告体系と標準化動向

ITU-Tは、主にテレコム用途における網同期精度、ネットワーク構築の条件、プロファイル、試験・測定方法等を議論しており、標準化により同期アプリケーションの品質規定、通信事業者間の相互運用と装置間の相互接続性などを実現しています。網同期に関するITU-T標準化勧告体系を図3に示します。網同期に関する標準化勧告は、主にシンクロナスイーサネットやPTPによる周波数同期に関する勧告

G.826xシリーズと、時刻・位相同期に関する勧告G.827xシリーズに大別され、前者についてはおおむね標準化が完了しています。一方、後者については、PTPによる時刻・位相同期を中心に同期ネットワーク構築のための要求条件や限界、装置やネットワークアーキテクチャなどの標準化が完了しています。しかしながら、現在においても、時刻・位相同期を必要とするエンドユーザからの新たな要求に伴い、既存勧告の修正や新規勧告作成の必要性が認識されており、世界中の通信事業者、システム・デバイスベンダの間で議論が活発化しています。

### 同期ネットワーク構成の多様化

ITU-Tでは網同期を実現するネットワークとして複数のプロファイル

対象としています。その1つは、図4(a)に示すようなFTS (Full Timing Support) と呼ばれるもので、G.8275.1としてすでに標準化されています。FTSは、GNSSから時刻情報を供給された1つのマスタクロックを基準に、すべての装置がPTP機能を有するネットワークを介してエンドアプリケーションに時刻を配信するプロファイルです。

これに対して、ネットワーク内の一部の機器のみがPTPをサポートしているPTS (Partial Timing Support) と呼ばれるプロファイルが提案されています。PTSはG.8275.2として2016年の標準勧告化を目指しています。PTSについては、パケットネットワークにおける時刻・位相同期の品質劣化時の切替動作の規定など、課題が山積しており、継続して議論がされていま



す。特に、PTSの中でも図4(b)に示すようにGNSSによる同期を併用するAssisted-PTSが注目されています。

この背景には、通信事業者ごとの同期装置の導入状況とネットワーク構築への考え方の違いがあります。新たにパケット同期網を構築する通信事業者は、FTSによる標準化準拠のネットワークを構築することができますが、すでにPTP非対応のパケット装置を導入している通信事業者がFTSを実現するためには新たな装置の導入・置換や機能追加が必要となってしまいます。そのような通信事業者には、高精度同期が必要な場所のみにGNSSアンテナを設置し、Assisted-PTSとの併用による時刻・位相同期を実現したいという考えがあります。

このように、通信事業者が今後、時刻・位相同期を導入・使用する場合には、ネットワークの構築状況に応じてFTSとPTSプロファイルを適宜選択する必要があります。そのため、新たなPTP装置導入とGNSS同期のためのアンテナ設置のコスト比較や、方式ごとの課題なども含めて、信頼性や運用性等の観点から詳細検討する必要があります。

に示します。現在のITU-T勧告は精度レベル4を前提に標準化がされていますが、最近では、 $1\ \mu\text{s}$ 以下の時刻・位相同期精度が要求されるモバイルアプリケーションも登場しています。例えば、LTE-Advancedにおける基地局間協調技術であるCoMP (Coordinated Multi Point transmission)<sup>\*1</sup>や、基地局によるユーザ端末の位置特定技術においては、数100 nsの時刻・位相同期精度が要求されます。そこで、ITU-Tでは、既存勧告を精度レベル6まで拡張するための新たな勧告化の議論が始

まっています。

時刻・位相同期の精度は、GNSSから時刻情報を供給される網内時刻基準装置であるPRTC (Primary Reference Time Clock) からエンドアプリケーションまでの絶対時刻のずれによって定義されています。これは図5に示すように各区間の誤差の積算で表され、PRTCにおける時刻誤差、伝送区間における時刻誤差、エンドアプリケーションにおける時刻誤差などが代表的な要因となります。現状のITU-T勧告では、各区間の時刻誤差は精度レ

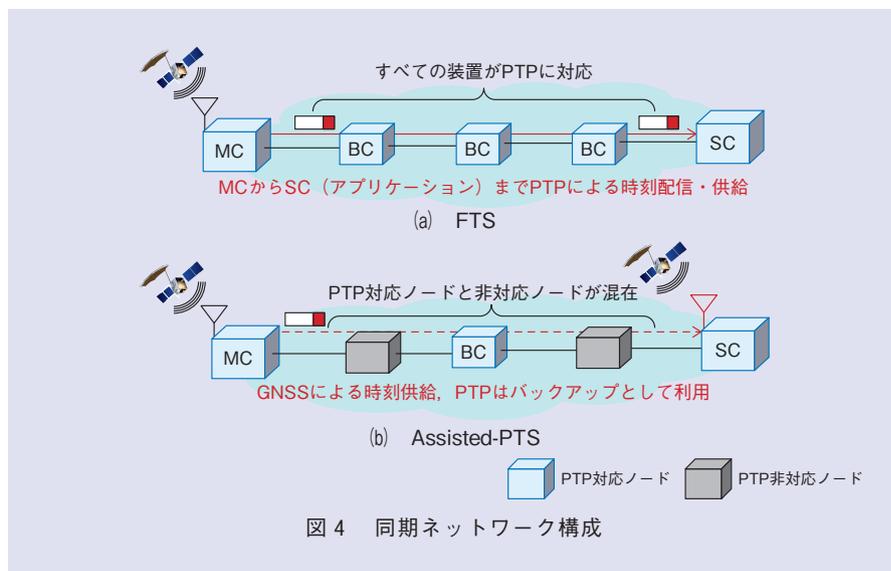


図4 同期ネットワーク構成

## 時刻・位相同期の高精度化

今後のITU-Tにおける標準化のうち1つの課題である同期の高精度化に関して、ITU-Tで定義されている6つの時刻・位相同期精度レベルを表2

表2 時刻・位相同期精度クラス (G.8271より一部抜粋)

精度レベル	時刻精度 (誤差) 要求条件	主なアプリケーション
1	1 ms~500 ms	ビルギン、警報
2	5 $\mu\text{s}$ ~100 $\mu\text{s}$	IP遅延モニタリング
3	1.5 $\mu\text{s}$ ~5 $\mu\text{s}$	LTE TDD (ラージセル)
4	1 $\mu\text{s}$ ~1.5 $\mu\text{s}$	UTRA-TDD, LTE-TDD (スモールセル) Wimax-TDD
5	x ns~1 $\mu\text{s}$	Wimax-TDD (一部の構成) スマートグリッド
6	< x ns	基地局間協調伝送技術 (CoMP) 位置特定技術 高頻度取引 など

\*1 CoMP: モバイルセルのカバーエリア端において他セルからの干渉信号による端末のスループット低下を抑制するためのセル間連携技術です。モバイルセル間で高精度な時刻・位相同期が必要となります。

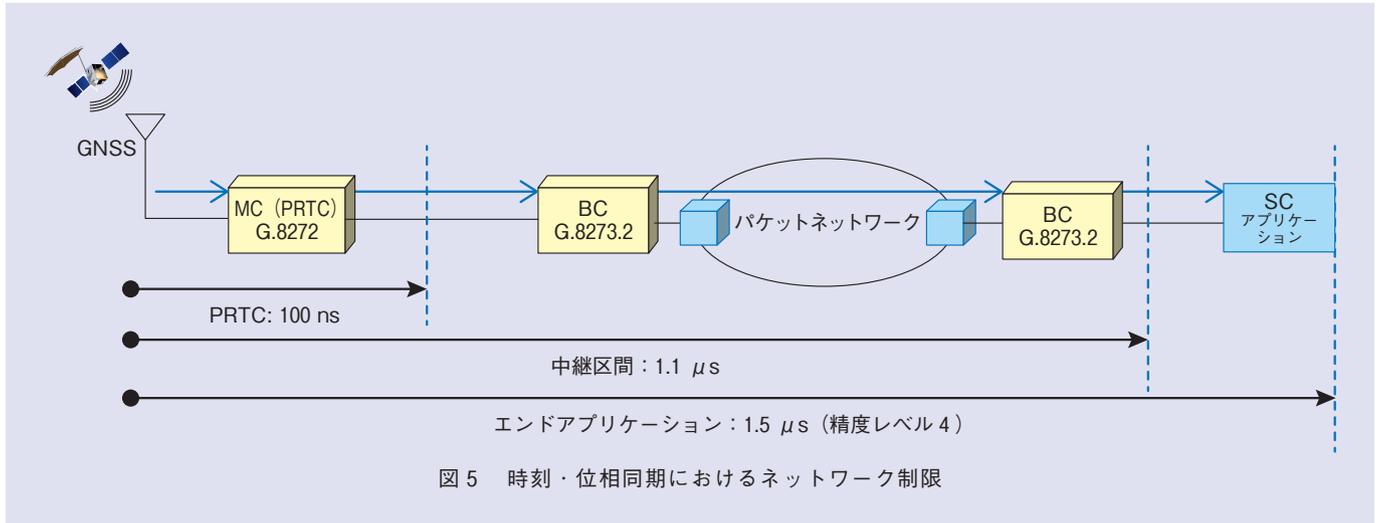


図5 時刻・位相同期におけるネットワーク制限

ベル4 (1.5 μs)を満たすために設計および標準化がされているため、精度レベル5から6 (1 μs以下)を満たすためには、各区間の時刻誤差の許容量を低減する必要があります。そのための方策として、PRTCの時刻誤差を低減するために、時刻誤差が100 nsに定義されている既存PRTCを30 nsまで高精度・高品質化したEnhanced PRTCの標準化が議論されています。このEnhanced PRTCは、新たな勧告G.8272.1として2016年に標準化される予定です。G.8272.1については、規定する標準化の範囲が定義されたばかりであり、今後、詳細の議論が本格化する予定です。

さらに、PRTC以外のネットワーク区間の同期精度についても同様の議論が行われることと想定されます。例え

ば、高精度時刻・位相同期を必要とするモバイル事業者の要望に端を発して、時刻情報を配信する装置であるBC (Boundary Clock) についても高精度化の議論が活発化しています。

このように、NTTグループをはじめとして、世界中の通信事業者は、高品質なネットワークサービスやモバイルアプリケーションを提供するために時刻・位相同期への要求や標準化動向を適時とらえながら、網同期装置の開発や導入を検討していく必要があります。

## 今後の展開

ITU-Tではネットワークの大容量化・低コスト化の流れに伴い、今後、柔軟かつ効率的な同期網の構築を目指してOTN (Optical Transport Network) 上での時刻・位相同期方式や、BCの機能を削減し低コスト化を図るためのTC (Transparent Clock)<sup>\*2</sup>等の標準化を議論する予定です。また、時刻・位相同期技術は、4G-LTEや5Gといった次世代モバイル技術を支

える重要な基盤技術になると期待されるため、通信事業者のネットワーク構築・運用の観点からのさまざまな要求条件を提示していくことが求められています。NTTとしても今後、国内外の時刻・位相同期にかかわるサービス動向を適切に把握し、関連する技術の国際標準化に積極的に寄与していく予定です。

### 参考文献

- (1) M. Murakami and Y. Koike: "Highly Reliable and Large-Capacity Packet Transport Networks: Technologies, Perspectives, and Standardization," IEEE Journal of Lightwave Technology, Vol.32, No.4, pp.805-816, 2014.
- (2) 小池・村上: "ITU-Tにおけるパケットトランスポートの標準化動向," NTT技術ジャーナル, Vol.21, No.5, pp.43-46, 2009.

\*2 TC: BCは受信したPTPパケットをスレーブとして終端し、自装置内で再生したPTPメッセージをマスターとして送信する機能を有します。一方でTCは、自装置内のPTPパケットの滞留時間を補正し、PTPパケットを次段のBCまで透過転送する動きを持ちます。TCはBCよりもPTPパケットの終端・再生機能を削減することで、低コスト化が可能とされています。