

# TR-G8273

## 「位相と時刻クロックに関するフレームワーク」 の技術レポート

Technical Report on Framework of phase and time clocks

第1版

2016年12月06日制定

一般社団法人  
**情報通信技術委員会**

THE TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY COMMITTEE



本書は、一般社団法人情報通信技術委員会が著作権を保有しています。  
内容の一部又は全部を一般社団法人情報通信技術委員会の許諾を得ることなく複製、転載、改変、転用及びネットワーク上での送信、配布を行うことを禁止します。

## 目 次

I. 位相と時刻クロックに関するフレームワークの技術レポート .....	- 4 -
1. はじめに .....	- 4 -
2. 調査報告概要 .....	- 4 -
3. 今後の進め方 .....	- 4 -
<参考> .....	- 5 -
II. 概要説明 .....	- 6 -
III. 調査対象勧告和訳 .....	- 19 -

## I. 位相と時刻クロックに関するフレームワークの技術レポート

### 1. はじめに

ITU-Tにおいては、パケットネットワークにおけるネットワーク同期に関連する複数の勧告を発行している。モバイル通信網のバックボーン向けの技術としてパケットネットワークにおける同期技術が注目され、国際標準化や市場へのシステム導入が活発化している。TTCでは、このような背景を考慮し、関連するITU-T勧告の技術概要と翻訳を日本国内に広めることにより、本分野での産業界への貢献を目指している。本技術レポートではITU-T G.8273/Y.1368 勧告「位相と時刻クロックに関するフレームワーク” Framework of phase and time clocks”」の調査結果を報告する。

### 2. 調査報告概要

ITU-T G.8273/Y.1368 (08/2013) 勧告に相当する本技術レポート TR-G8273 では、ITU-T G.8271、G.8275 および G.8271.x シリーズの勧告群で定義されるネットワークアーキテクチャで動作する同期ネットワーク機器で用いるデバイスの位相と時刻クロックに関するフレームワークを本文中で規定している。また、付属書では、位相と時刻クロックに関する試験方法および測定方法を説明している。

本文の第6章では、位相と時刻クロックに関する概要を説明しており、グラント・マスタ・クロック、バウンダリ・クロック、トランスペアレント・クロック、および、スレーブ・クロックの定義およびその仕様が規定される勧告の情報が開示されている。付属書Aでは、パケットベース方式による時刻と位相の転送のための、時刻/位相クロックの試験および測定法が説明されている。本付属書ではグラント・マスタ・クロック、バウンダリ・クロック、トランスペアレント・クロック、スレーブ・クロックおよびメディアコンバータを含むクロックに対する、タイムスタンプ誤差および時刻伝搬誤差の試験および測定法を説明している。付属書Bでは、パケットベースの位相/時刻クロック装置に対する性能測定方法について説明されている。測定方法として、タイミングパケットの送受信と同時に測定も行なうアクティブな測定方法、および、通信リンク上のパケット交換を監視するパッシブな測定方法の二つの手法があり、これら手法を用いた一般的な測定方法、グラント・マスタ・クロック、テレコム・バウンダリ・クロック、トランスペアレント・クロック、および、テレコム・タイム・スレーブ・クロックに対する測定方法が説明されている。

### 3. 今後の進め方

モバイル通信網のバックボーンアプリケーションとしてパケットネットワークでの同期技術が注目され、市場へのシステム導入や活発な国際標準化活動の背景から本勧告の調査を行った。今回調査を行ったITU-T G.8273/Y.1368 勧告は同期ネットワーク機器で用いるデバイスの位相と時刻クロックに関するフレームワークおよび位相と時刻クロックに関する試験方法を説明している。しかし、技術的に発展途上であり、今後の5Gの導入、アプリケーションの進展などにより仕様変更の可能性があるため、今回は技術レポート化することにした。

## <参考>

(1) 国際勧告等との関連

本技術レポートは ITU-T G.8273/Y.1368 (08/2013) 、ITU-T G.8273/Y.1368 Amendment 1 (01/2015) および ITU-T G.8273/Y.1368 Amendment 2 (08/2015) を調査したものである。但し、Appendix I, II, III は含んでいない。

(2) 上記国際勧告等に対する追加項目等

なし。

(3) 上記国際勧告等に対する変更事項

なし。

(4) 参照した国際勧告との章立て構成の相違

なし。

(5) 改版の履歴

版数	発行日	改版内容
第1版	2016年12月06日	初版発行

(6) 工業所有権

本技術レポートに関わる「工業所有権等の実施の権利に係る確認書」の提出状況は、TTC ホームページでご覧になれます。

(7) その他、利用者に有益な事項


なし。

(8) 標準作成部門

情報転送専門委員会

## II. 概要説明

説明資料

TTC  
Telecommunication  
Technology  
Committee

TTC技術レポート概要報告

---

TR-G8273


「位相と時刻クロックに関するフレームワーク」  
の技術レポート

(Technical Report on Framework of phase and time clocks)

一般社団法人情報通信技術委員会 (TTC)  
情報転送専門委員会 (WG1300)  
2016/12/06

1

はじめに

TTC  
Telecommunication  
Technology  
Committee

---

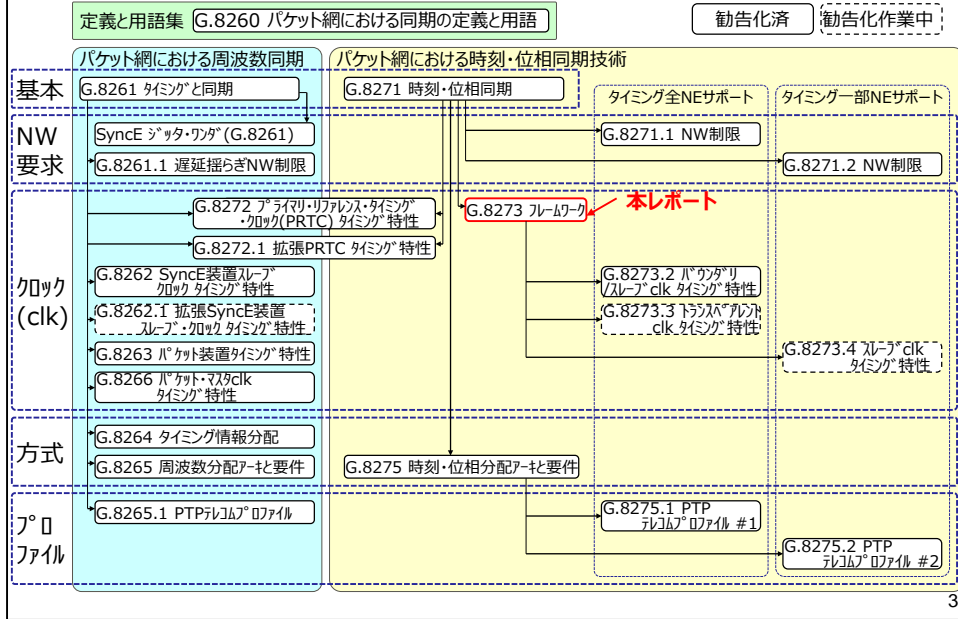
- ITU-Tにおいては、パケットネットワークにおけるネットワーク同期に関する複数の勧告<sup>(1)</sup>を発行している。これらの勧告で標準化される同期技術はモバイル通信網のバックボーンのアプリケーションとして注目されている
- TTCにおいては、これらの勧告による技術の概要と翻訳を国内に広め、本分野での産業界への貢献を目指している
- これまでにITU-T G.8260、G.8261、G.8262、G.8271、G.8272、G.8275勧告のTTC技術レポートを発行しているが、**新規に同期ネットワーク機器で用いるデバイスの位相と時刻クロックに関するフレームワークの勧告であるITU-T G.8273/Y.1368勧告<sup>(2)</sup>「位相と時刻クロックに関するフレームワーク (Framework of phase and time clocks)」の調査結果を報告するものである**

<sup>(1)</sup> 2016年11月時点での勧告はITU-T G.8260、G.8261/Y.1361、G.8261.1/Y.1361.1、G.8262/Y.1362、G.8263/Y.1363、G.8264/Y.1364、G.8265、G.8265.1、G.8271/Y.1366、G.8271.1/Y.1366.1、G.8272/Y.1367、G.8273/Y.1368、G.8273.2/Y.1368.2、G.8275/Y.1369、G.8275.1/Y.1369.1、G.8275.2/Y.1369.2。詳細は本資料の3頁を参照。

<sup>(2)</sup> 調査対象とした勧告はITU-T G.8273/Y.1368 (08/2013)、G.8273/Y.1368 Amendment 1(01/2015)、G.8273/Y.1368 Amendment 2(08/2015)

2

# パケットネットワークでの同期技術関連勧告一覧



## TR-G8273 目次構成

TR-G8273目次構成		(参考) ITU-T G.8273/Y.1368 Table of contents	
章	タイトル	Clause	Title
1	範囲	1	Scope
2	参照	2	References
3	定義	3	Definitions
4	略語と頭字語	4	Abbreviations and acronyms
5	慣例	5	Conventions
6	位相と時刻クロックの概略紹介	6	General introduction of phase and time clocks
付属資料A	時刻/位相クロックの試験と測定 A.1 導入 A.2 グランド・マスタ・クロック A.3 バウンダリ・クロック A.4 トランスパレント・クロック A.5 スレーブ・クロック	Annex A	Testing and measurement of time/phase clocks A.1 Introduction A.2 Grandmaster clocks A.3 Boundary clocks A.4 Transparent clocks A.5 Slave clocks
付属資料B	位相/時刻クロック装置規格に関連した測定方法 B.1 概要 B.2 テレコム・グラント・マスタ試験 B.3 テレコム・バウンダリ・クロック試験 B.4トランスパレント・クロックを持つシステムに対する測定系 B.5 テレコム・タイム・スレーブ・クロックを持つシステムの測定セットアップ	Annex B	Phase/time clock equipment specification related measurement methods B.1 Overview B.2 Telecom grandmaster test B.3 Telecom boundary clock test B.4 Measurement set-up for systems with transparent clocks B.5 Measurement set-up for systems with telecom time slave clock
注)	ITU-T G.8273/Y.1368勧告のAppendixは参考情報であり強制力のある勧告とはみなされないため本TRでの報告の対象外とした	Appendix I Appendix II Appendix III	Variable temperature testing methodology Variable temperature holdover testing methodology Synchronous Ethernet transient testing methodology

4

## 第1章 Scope - 本勧告が対象とする領域

### ITU-T G.8273.x勧告シリーズで定義される位相と時刻クロックに対するフレームワークを提供

- 同期ネットワーク機器で用いるデバイスの位相と時刻クロックに関するフレームワークを提供
- 対象とするネットワークはITU-T G.8271, G.8275およびG.8271.x勧告シリーズで定義するネットワークアーキテクチャに準拠
  
- 本勧告では下記の情報を提供
  - ✓ 本文中: ITU-T G.8273.x勧告シリーズで定義される位相と時刻クロックに関するフレームワーク
  - ✓ 付属書: 位相と時刻クロックに関する試験および測定方法

5

## 第6章 位相と時刻クロックの概略紹介(1)

### 本勧告で対象とするクロックタイプ、および、本勧告で定義するクロック特性について概説

- 本勧告では、IEEE 1588-2008 高精度タイム・プロトコルを用いた、パケットベース方式による時刻/位相転送を対象
- 下記の3つのクロックタイプおよび1つのデバイスがPTPに関連

No	クロックタイプ	説明
1	グランド・マスタ・クロック	クロックが“マスタ”クロックであり、パケットベース方式とは異なる方式でタイミング基準(周波数、位相/時刻)を受信するクロック。
2	バウンダリ・クロック	クロックがマスタ・クロック側と名付けられた“出力”を持ち、かつ、上流のマスタ・クロック(グランド・マスタまたは別のバウンダリ・クロックのいずれか一方)からPTPを介してタイミング基準を受信するクロック。即ち、クロックがスレーブ・クロック側と名付けられた“入力”を持ち、時刻/位相をマスタ側へ内部的に転送する。 バウンダリ・クロックは一つの予備の1PPSインタフェース出力を提供し、スレーブ側の性能を反映する。バウンダリ・クロックは同期イーサネットなどの周波数基準を抽出するための一つの予備入力を持つ場合もある。
3	トランスペアレント・クロック	PTPの“送信元”とPTPの“宛先”で許容しているPTPパケットの内容を変更するネットワーク装置であり、デバイスで生じた遅延を取り除くためのもの。 “トランスペアレント・クロック”はクロックばかりでなく、PTPに基づくパケットベースのタイミングに対してバス上のサポートを提供することになる。
4	スレーブ・クロック	時刻/位相タイミング基準を抽出する場所ではパケットベース方式に対応した“入力”を持ち、出力は様々なフォーマット(例えば 1PPS)であるクロック。 スレーブ・クロックは周波数基準(例えば同期イーサネット)を抽出するための1つの補助入力を持つ場合もある。

6



## 第6章 位相と時刻クロックの概略紹介(2)

- 本勧告では、定義する特性は下記の5項目

No	クロックタイプ	説明
1	テレコム・グランド・マスタ仕様	テレコム・グランド・マスタ(T-GM)は追加の性能特性を持つIEEE 1588-2008で定義されたグランド・マスタからなるデバイス。フルタイミングサポート(FTS)のT-GMの仕様はITU-T G.8272 付録1で規定、その他のパルシャルタイミングサポート(PTS)のT-GMの仕様はITU-T G.8272.1で規定。
2	テレコム・バウンダリ・クロック仕様	テレコム・バウンダリ・クロック(T-BC)は雑音生成、雑音耐力、雑音伝搬、過渡応答、ホールド・オーバなどの追加の性能特性を持つIEEE 1588-2008に定義されたバウンダリ・クロックからなるデバイス。T-BCの仕様はITU-T G.8273.2で規定。
3	テレコム・トランスペアレント・クロック仕様	テレコム・トランスペアレント・クロック(T-TC)は追加の性能特性を持つIEEE 1588-2008で定義されるトランスペアレント・クロックから構成されるデバイス。T-TCの仕様は今後の検討課題であり、将来ITU-T G.8273.3勧告で規定される予定。
4	テレコム・タイム・スレープ・クロック仕様	テレコム・タイム・スレープ・クロック(T-TSC) は追加の性能特性を持つIEEE 1588-2008で定義されるスレープ・クロックから構成されるデバイス。T-TSCの仕様はITU-T G.8273.2で規定。
5	アシステッド部分タイミングサポート・スレープ・クロック(APTSC)	APTSCの詳細は今後の検討課題であり、将来ITU-T G.8273.4勧告で規定される予定。

7

## 付属A.1 - 導入

### 時刻／位相クロックの試験と測定に関する概念を定義

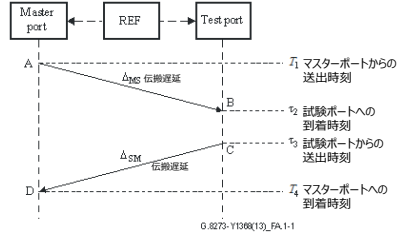
- 周波数測定法は、クロックの時刻／位相動作測定に適切ではない
- ✓ 周波数測定法であるMTIEとTDEVは、揺らぎの周期が長い成分を測定する際には有効だが、時刻誤差の特性把握には有効ではない
  - ✓ 時刻誤差の測定法の一つとして、コンスタントタイムエラーがあるが、ダイナミック及び周波数測定法の仕様は今後の検討課題
- 時刻誤差の測定法としてIEEE1588-2008で考案されたパケットベースによる方法がある
- ✓ パケットベースの測定は、グランドマスターとバウンダリー、トランスペアレントクロックに重点を置かれており、スレープクロックは今後の検討課題である

8

PTPパケットに含まれるタイムスタンプエラーに関する定義

□ PTPパケットに含まれる4種類のタイムスタンプ

- ✓ Syncメッセージ関連
  - $T_1$ : マスターポートからの送出時刻
  - $\tau_2$ : スレーブ(試験)ポートへの到着時刻
- ✓ Delay requestメッセージ関連
  - $\tau_3$ : スレーブ(試験)ポートからの送出時刻
  - $T_4$ : マスターポートへの到着時刻



図A1-1\_測定装置と結合した測定対象装置とPTPメッセージの交換状況

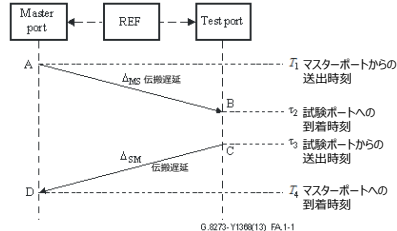
□  $T_1$ 、 $T_4$ とタイムエラーの関係性は以下のとおりである

- ✓ SYNCメッセージ $T_1$ とDelay requestメッセージ $T_4$ 、およびマスターポート及び測定ポートから校正された距離にあるリファレンス時刻 $T_{1REF}$ 、 $T_{4REF}$ により算出されるタイムエラー $TE_1$ 、 $TE_4$ は以下のように表すことができる
  - $TE_1 = T_1 - T_{1REF}$
  - $TE_4 = T_4 - T_{4REF}$
- ✓ それぞれのポートのタイムスタンプスタンプの許容限界値 $Y_1$ 、 $Y_4$ は以下の式で表すことができる
  - $|TE_1| \leq Y_1$
  - $|TE_4| \leq Y_4$

伝搬遅延と許容限界値（精度）に関する定義

□ タイムスタンプの許容限界値（精度）の算出

- ✓ マスターポートからの送信伝搬遅延 $\Delta_F$ と逆方向の伝搬遅延 $\Delta_R$ は次式で表す
  - マスターポートからの送信伝搬遅延:  $\Delta_F = \tau_2 - T_1$
  - 試験ポートからの伝搬遅延:  $\Delta_R = T_4 - \tau_3$
- ✓ タイムスタンプの許容限界値は、接続媒体におけるケーブル長は校正され、妥当なレベルの精度を保つため、マスターポートと試験ポート間の相互の伝搬遅延 $\Delta_{MS}$ と $\Delta_{SM}$ を用いて、次式で表す
  - $|\Delta_F - \Delta_{MS}| < Y_1$
  - $|\Delta_R - \Delta_{SM}| < Y_4$
- ✓ タイムスタンプ精度として、限界値 $Y_1$ と $Y_4$ が規定されるが、コンスタントタイムエラーとダイナミックタイムエラー（時刻雑音）、そしてシステム誤差の配分は今後の検討課題



図A1-1\_測定装置と結合した測定対象装置とPTPメッセージの交換状況

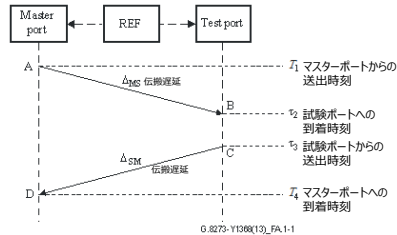
時刻伝搬エラーに関する定義

□ 時刻伝搬エラーの算出

- ✓ ケーブル遅延を対称的と仮定すると、タイムエラー $T_{err}(t)$ は次式で表される
  - $T_{err}(t) = \frac{(T_4(t)+T_1(t)) - (\tau_3(t)+\tau_2(t))}{2}$
- ✓ 双方向の packets 速度は異なる可能性はあるが、位相の相関は決定していない。結果として対照的なケーブル遅延を $\Delta$ とするとタイムエラー要素の $TE_1$ と $TE_4$ は以下の式で表される

- $TE_1(n) = T_1(n) + \Delta - \tau_2(n)$
- $TE_4(m) = T_4(m) - \Delta - \tau_3(m)$

- ✓ 時刻伝搬エラーは、2つの個別の時刻順序 $\{TE_1(n)\}$ と $\{TE_4(m)\}$ の組み合わせにより決定される。IEEE 1588-2008で設定されたパラメータに基づくと、2つのシーケンスは異なるサンプリング速度を持つ事ができ、サンプリング箇所が一致する事はない。各シーケンスの結合の方法は、今後の検討課題。



図A1-1\_測定装置と結合した測定対象装置とPTPメッセージの交換状況

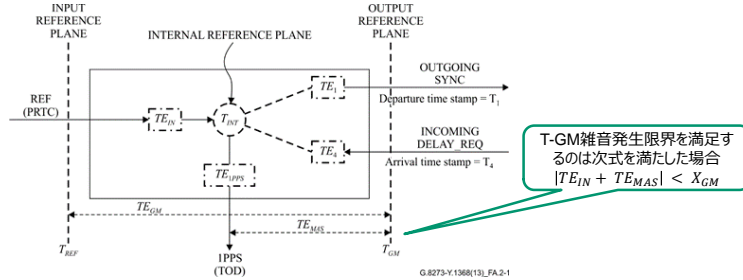
コンスタントタイムエラーに関する定義

□ マスターポートにおけるコンスタントタイムエラーの限界値

- ✓ タイムエラーは2つの部分に分けられる
  - コンスタントタイムエラー
  - ダイナミックタイムエラーまたは時刻雑音
  - 時刻雑音の発生要件は今後の検討課題
- ✓ コンスタントタイムエラーの要素は、個別に計算された各時刻順序のコンスタントタイムエラーの結合により算出でき、マスターポートにおけるコンスタントタイムエラー転送要件は以下の式を満たす
  - $\frac{|(TE_1(n)) + (TE_4(m))|}{2} < X_{CONSTANT}$
- ✓ 上記の式はマスターポートのコンスタントタイムエラー発生に対して規定された限界値であり、マスターポートの内在するタイムクロックの $X_{CONSTANT}$ の値以内の時刻を下流のスレーブへ配信できることを示している

グランドマスタークロックに対するタイムエラーに関する概念を定義

- グランドマスタークロックに対するタイムエラー発生の要求は $X_{GM}$ で次式で表すことができる
    - $|T_{GM}(t) - T_{REF}(t)| < X_{GM}$
  - 全てのT-GM雑音発生限界を満足するのは、次式を満たした場合である
    - $|TE_{IN} + TE_{MAS}| < X_{GM}$
- ここで、 $TE_{IN}$ は、その基準( $T_{REF}$ )から内部時刻クロックを導出したT-GMに関連するあらゆる時刻誤差を示す。信号処理やローカル発振器に起因するあらゆる雑音も $TE_{IN}$ に含まれている。 $TE_{MAS}$ はクロックのマスター側の雑音発生であり、 $TE_1$ と $TE_4$ の組み合わせの関数である



- ケーブル遅延が $\Delta$ で示されたとして、時刻誤差成分の $TE_1$ と $TE_4$ は、次式で計算
 
$$TE_1(n) = T_1(n) + \Delta - \tau_2(n)$$

$$TE_4(m) = T_4(m) - \Delta - \tau_3(m)$$
- 時間誤差は、次の2つの要素で構成される
  - 一定時刻誤差
  - 時刻誤差
- 時刻誤差（動的時刻誤差）の発生要件は、今後の検討課題である
- 一定時刻誤差の発生要件を満足するのは、次式を満たしている場合である
  - $\frac{|TE_1(n) + TE_4(m)|}{2} < X_{GM-CONSTANT}$

## 付属A.3- バウンダリ・クロック

### バウンダリ・クロックとその試験に関する定義

- バウンダリ・クロック(T-BC)は、上流のマスターと交換するPTP packetsを使ってT-BCのスレーブからタイミング基準を抽出するマスタクロックとみなすことができる。  
T-BCのマスタポートと参照点D間の相互接続媒体(ファイバなど)は対称となるように校正されることが最低限要求されている。  
参照点Uが、BCスレーブポートとの間で対称性または校正された遅延を持つと仮定すると、試験系は正確な時刻入力を供給することができる。
- T-BCのスレーブポートは、SYNC packet( $T_2$ )の到着時刻とDELAY\_REQUEST packet( $T_3$ )の送信時刻に基づくタイムスタンプを生成する。
- T-BCのマスタポートは、SYNC packet( $T_1$ )の送信時刻とDELAY\_REQUEST( $T_4$ )の受信時刻に関するタイムスタンプを提供する。

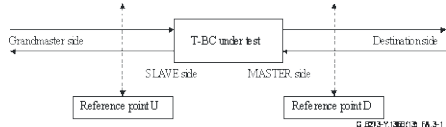


図 バウンダリ・クロック性能試験に対する、測定の境界ポイント

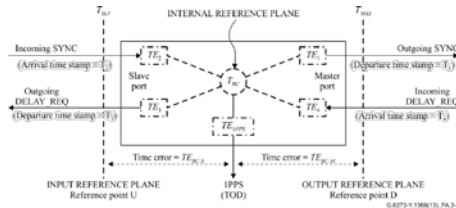


図 バウンダリ・クロックの時刻誤差発生要因

15

## 付属A.3- バウンダリ・クロック

- T-BCの雑音発生限界を満足するのは、次式を満たしている場合である  

$$|TE_{BC-S} + TE_{BC-M}| < X_{BC}$$
 ここで、 $TE_{BC-S}$ はスレーブ側の時刻誤差、 $TE_{BC-M}$ はT-BCより下流の装置へ供給されるタイミング信号の時刻誤差  
 T-BCの雑音発生挙動は、参照点U( $T_{SLV}$ )における正確な時刻を提供することによって測定できる。または参照点D( $T_{MAS}$ )でT-BCによって伝達される時刻を再生するだけでなく、参照点U( $T_{SLV}$ )に伝達される時刻を再生させるための監視機器を使うことによって測定される。
- 対照的なケーブル遅延を $\Delta$ とすると時刻誤差要素の $TE_1$ と $TE_4$ は次式で表される  

$$TE_1(n) = T_1(n) + \Delta - \tau_2(n)$$

$$TE_4(m) = T_4(m) - \Delta - \tau_3(m)$$
- T-BCに対して、一定の時刻誤差発生要件を満足するのは次式を満たす場合  

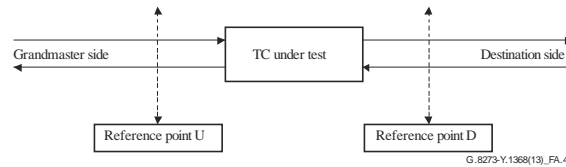
$$\frac{|TE_1(n) + TE_4(m)|}{2} < X_{BC-CONSTANT}$$
 なお、 $X_{BC-CONSTANT}$ は今後の検討課題

16

## 付属A.4-トランスペアレント・クロック

### トランスペアレント・クロックの目的とその性能測定法

- トランスペアレント・クロック(TC)の主な目的は、PTP[IEEE 1588]に基づいたパケットベースのタイミング転送のために、パス上でのサポートを与えることである。
- 図はTCパフォーマンスを試すための測定点の境界を表す。



U点におけるスレーブクロックは、 $T_U$ のマスタクロック（グランド・マスタ側）からの時間オフセットを示す。同様に、D点におけるスレーブクロックは、同じ $T_D$ のマスタクロックからの時間オフセットを示す。

- TCの十分な動作のためには、以下の条件が要求される。

$$|T_U(t) - T_D(t)| < X_{TC} \text{ (ns)}$$

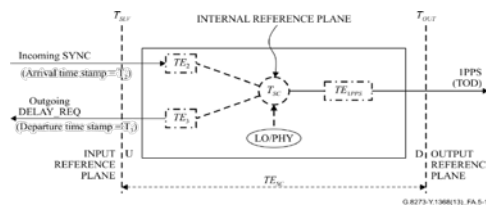
( $X_{TC}$  は、T-TCにより生ずる、許容時刻誤差を表す)

17

## 付属A.5-スレーブクロック

### スレーブクロックで生ずる時刻誤差

- 図はテレコム・スレーブクロックにおいて生ずる時刻誤差を表す。



$T_{SLV}$ は上流のマスタが参照点Uに供給到達する時刻、 $T_{OUT}$ はT-TSCがアプリケーションに供給到達する時刻を表す。

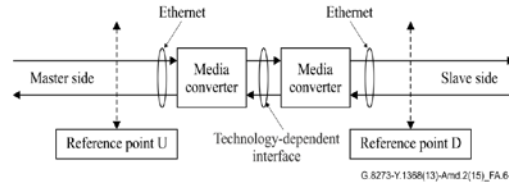
- テレコム・スレーブクロックは、上流のマスタ・クロックから参照クロックを得る。T-TSCの内部システム時刻、すなわち $T_{SC}$ は、1PPS (また ToD)インターフェース、或いは同等のインターフェースを通して、外部アプリケーションで一般的に利用可能である。
- スレーブクロックの性能は、スレーブポートからの(時間)距離が校正されている入力基準プレーンUにおける $T_3$ を測定することにより正確さが検証される。
- スレーブクロックの時刻誤差生起に対する許容限度は、アプリケーションに依存し、今後の検討課題である。

18

## 付属A.6-メディアコンバータを含むクロック

### メディアコンバータを含むクロックの性能測定

- 図はメディア・コンバータ・ノードを試験テストするための測定点の境界を表す。



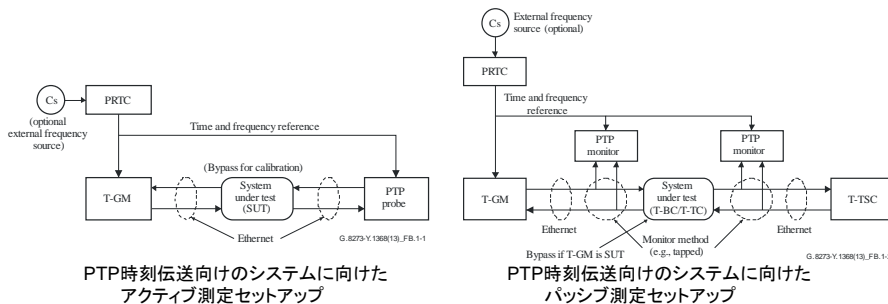
測定参照点が最初のメディアコンバータのイーサネット・インターフェースと第二のデバイス（図で示すように）のイーサネット出力ポートであるように、パフォーマンスを隣接した組として測定することが可能である。

- 隣接した組、または、そのような縦続的に鎖状に相互接続されたデバイスに対する適切なバジェット配分については今後の検討課題であり、関連したクロック仕様書に示される。

19

## 付属B.1- 測定方法の概要

- パケットベースの位相/時刻装置の性能測定方法は、アクティブまたはパッシブな技術のいずれかを用いることができる。
  - アクティブな技術では、パケットベースの試験装置は、積極的にパケット交換に関与し、タイミングパケットの送信及び受信と同時に測定を行う。この方法において、試験装置はタイミング情報のソース（送信側）またはシンク（受信側）として機能する。
  - パッシブな技術では、パケットベースの試験装置は通信リンク上で行われるパケット交換を監視する。この方法において、試験装置は観測者として機能し、パケットタイミングプロトコルに直接関与する事はない。



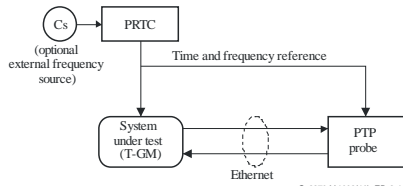
PTP時刻伝送向けのシステムに向けた  
アクティブ測定セットアップ

PTP時刻伝送向けのシステムに向けた  
パッシブ測定セットアップ

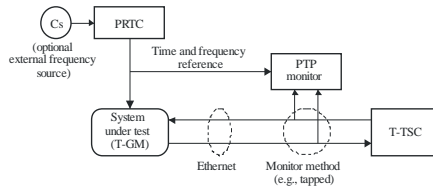
20

## 付属B.2- テレコム・グランドマスタ・クロック試験

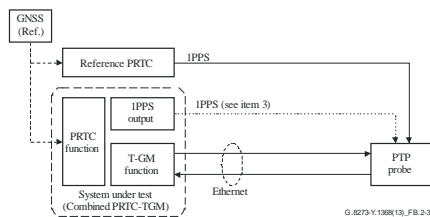
- アクティブまたはパッシブなアプローチを使用した、テレコム・グランドマスタ・クロック (T-GM) 測定時およびPRTC+T-GMの組合せ測定時のセットアップを示す。



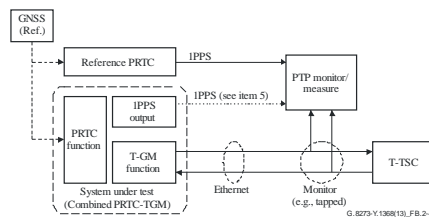
(PTP) テレコム・グランド・マスタに向けたアクティブ測定セットアップ



(PTP) テレコム・グランド・マスタに向けたパッシブ測定セットアップ



"PRTC + T-GM"組合せ構成に向けたアクティブ測定セットアップ

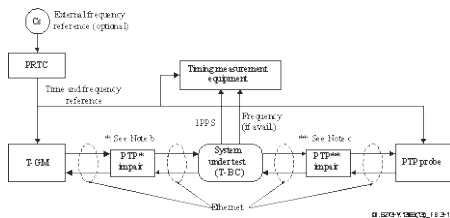


"PRTC + T-GM"組合せ構成に向けたパッシブ測定セットアップ

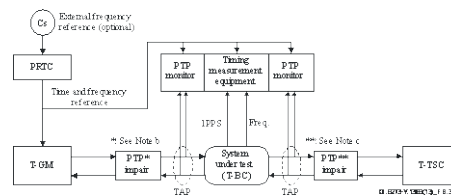
## 付属B.3 - テレコム・バウンダリ・クロック試験

T-BCの性能を測定するためのアクティブおよびパッシブ試験系が規定

- アクティブ測定系  
1PPS時刻誤差測定とアクティブPTPプローブ測定を同時に行うことが推奨



- パッシブ測定系  
パケットレイヤのSUTの転送能力を測定するため、上りのPTPソースと下りPTP終端デバイス間のパケットは同時にモニタ

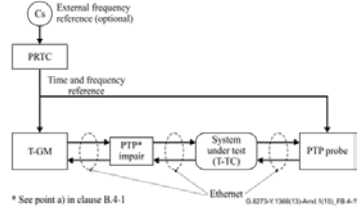




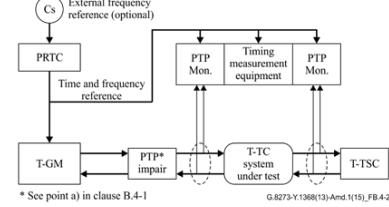
## 付属B.4 - トランスペアレント・クロックを持つシステムに 対する測定系

T-TCの性能を測定するためのアクティブおよびパッシブ試験系が規定

### □ アクティブ測定系



### □ パッシブ測定系

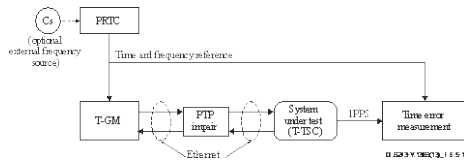


23

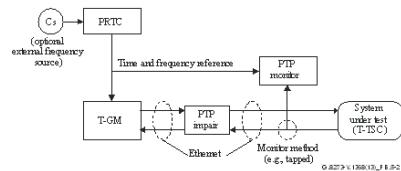
## 付属B.5 - テレコム・タイム・スレーブ・クロックを持つ システムの測定セットアップ

T-TSCの性能を測定するための試験系が規定

### □ 1PPSに基づくT-TSCを持つシステムの測定系



### □ パケットタイミング信号に基づくT-TSCを持つシステムの測定系 (optional)



通常はサポートしない、スレーブが正確なT3タイムスタンプを提供する場合の測定系。DELAY\_REQUESTメッセージの送出時刻を測定し、スレーブ・クロックの性能を評価。

24

- ITU-T G.8273/Y.1368勧告に示す位相と時刻クロックに関するフレームワークを説明
  - ✓ 本文では、ITU-T G.8273.x勧告シリーズで定義される同期ネットワーク機器で用いるデバイスの位相と時刻クロックに対するフレームワークを提供
  - ✓ 付属資料では、位相と時刻クロックに関する試験および測定方法を提供
  
- 本報告で調査を行った技術はパケットネットワークにおいて、IEEE 1588-2008を用いた時刻および位相の分配をテレコム領域が要求する精度を満足するために装置に必用となるフレームワークおよび試験手法を規定している。これらは、装置の実装のために重要な技術である。  
しかし、技術的に発展途上であり、今後の5Gの導入、アプリケーションの進展などにより仕様変更の可能性があるので、今回は技術レポート化することにした。

### Ⅲ. 調査対象勧告和訳

#### ITU-T G.8273/Y.1368勧告

## 位相と時刻クロックに関するフレームワーク

### 概要

ITU-T G.8273/Y.1368 勧告は ITU-T G.8271、G.8275 および G.8271.x シリーズの勧告群で定義されるネットワークアーキテクチャで動作する同期ネットワーク機器で用いるデバイスの位相と時刻クロックに関するフレームワークの勧告である。

ITU-T G.8273/Y.1368(2013)勧告の改正 1 では、第 B.4 章の文章を追加と下記の付録を追加している。

- 付録 I – 可変温度試験法
- 付録 II – 可変温度ホールド・オーバ試験法

ITU-T G.8273/Y.1368(2013)の改正 2 では、下記を追加している。

- 第 A.6 章 "メディアコンバータを含むクロック"
- 付録 III "同期 Ethernet 過渡応答試験法"

### 改版履歴

Edition	Recommendation	Approval	Study Group	Unique ID*
1.0	ITU-T G.8273/Y.1368	2013-08-29	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/12012">11.1002/1000/12012</a>
1.1	ITU-T G.8273/Y.1368 (2013) Cor. 1	2014-05-14	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/12195">11.1002/1000/12195</a>
1.2	ITU-T G.8273/Y.1368 (2013) Amd. 1	2015-01-13	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/12394">11.1002/1000/12394</a>
1.3	ITU-T G.8273/Y.1368 (2013) Amd. 2	2015-08-13	15	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/12544">11.1002/1000/12544</a>

---

\* To access the Recommendation, type the URL <http://handle.itu.int/> in the address field of your web browser, followed by the Recommendation's unique ID. For example, <http://handle.itu.int/11.1002/1000/1830-en>.

## 目 次

1 範囲 .....	- 21 -
2 参照 .....	- 21 -
3 定義 .....	- 21 -
4 略語および頭字語 .....	- 21 -
5 慣例 .....	- 22 -
6 位相と時刻クロックの概略紹介 .....	- 23 -
付属資料 A .....	- 24 -
A.1 導入 .....	- 24 -
A.1.1 マスターポート タイムスタンプエラー .....	- 24 -
A.1.2 マスタ・ポート 時刻伝搬エラー .....	- 26 -
A.2 グランド・マスタ・クロック .....	- 27 -
A.2.1 グランドマスタタイムスタンプ誤差 .....	- 30 -
A.3 バウンダリ・クロック .....	- 30 -
A.4 トランスペアレント・クロック .....	- 32 -
A.5 スレーブ・クロック .....	- 32 -
A.6 メディアコンバータを含むクロック .....	- 33 -
付属資料 B .....	- 35 -
B.1 測定方法の概要 .....	- 35 -
B.1.1 一般的なアクティブな測定方法 .....	- 35 -
B.1.2 一般的なパッシブな測定方法 .....	- 36 -
B.2 テレコム・グランド・マスタ試験 .....	- 36 -
B.2.1 グランド・マスタ機能テストに向けたアクティブ測定セットアップ .....	- 36 -
B.2.2 グランド・マスタ機能テストに向けたパッシブ測定セットアップ .....	- 37 -
B.2.3 "PRTC + T·GM"組合せ構成テストに向けたアクティブ測定セットアップ .....	- 37 -
B.2.4 "PRTC + T·GM"組合せ構成テストに向けたパッシブ測定セットアップ .....	- 38 -
B.3 テレコム・バウンダリ・クロック試験 .....	- 39 -
B.3.1 テレコム・バウンダリ・クロックを有するシステムに対するアクティブ測定系 .....	- 39 -
B.3.2 テレコム・バウンダリ・クロックを有するシステムに対するパッシブ測定セットアップ系 .....	- 39 -
B.4 トランスペアレント・クロックを持つシステムに対する測定系 .....	- 40 -
B.4.1 トランスペアレント・クロックを持つシステムに対するアクティブ測定セットアップ .....	- 40 -
B.4.2 トランスペアレント・クロックを持つシステムに対するパッシブ測定セットアップ .....	- 40 -
B.5 テレコム・タイム・スレーブ・クロックを持つシステムの測定セットアップ .....	- 41 -
BIBLIOGRAPHY .....	- 43 -

## 位相と時刻クロックに関するフレームワーク

### 1 範囲

ITU-T G.8273/Y.1368 勧告は ITU-T G.8271、G.8275 および G.8271.x シリーズの勧告群で定義されるネットワークアーキテクチャで動作する同期ネットワーク機器で用いるデバイスの位相と時刻クロックに関するフレームワークの勧告である。本勧告は ITU-T G.8273.x シリーズで定義される位相と時刻クロックに対するフレームワークを提供する。位相と時刻クロックの詳細な試験と測定方法が付属書に含まれる。

### 2 参照

以下の ITU-T 勧告と参考文献は本文中での参照を通して、本勧告の規定を構成する規定を含む。出版時においては、以下に示された版が有効である。全勧告と他の参考文献は改訂される。従って、本勧告の読者は以下の勧告と参考文献の最新版の適用の可能性を調査することを推奨する。現在有効な ITU-T 勧告の一覧は正規に発行されている。本勧告内の文章での参照は独立した文章としてその勧告に地位を与えるものではない。

- [ITU-T G.810] Recommendation ITU-T G.810 (1996), *Definitions and terminology for synchronization networks.*
- [ITU-T G.8260] Recommendation ITU-T G.8260 (2012), *Definitions and terminology for synchronization in packet networks.*
- [ITU-T G.8271] Recommendation ITU-T G.8271/Y.1366 (2012), *Time and phase synchronization aspects of packet networks.*
- [ITU-T G.8271.1] Recommendation ITU-T G.8271.1/Y.1366.1 (2013), *Network limits for time synchronization in packet networks.*
- [ITU-T G.8272] Recommendation ITU-T G.8272/Y.1367 (2012), *Timing characteristics of primary reference time clocks.*
- [ITU-T G.8273.2] Recommendation ITU-T G.8273.2/Y.1368.2 (2014), *Timing characteristics of telecom boundary clocks and telecom time slave clocks.*
- [ITU-T G.8275] Recommendation ITU-T G.8275/Y.1369 (2013), *Architecture and requirements for packet-based time and phase distribution.*
- [IEEE 1588-2008] IEEE 1588-2008, *Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems.*

### 3 定義

同期に関連する定義は[ITU-T G.810]および[ITU-T G.8260]勧告に含まれる。

### 4 略語および頭字語

本勧告は下記の略語および頭字語を用いる。

1PPS	One Pulse Per Second 1パルス/秒
APTSC	Assisted Partial Timing Support Slave Clock アシステッド部分タイミングサポート・スレーブ・クロック
Cs	Caesium セシウム
cTE	constant Time Error

	継続的な時間誤差
DUT	Device Under Test テスト対象デバイス
FFO	Fractional Frequency Offset 比周波数オフセット
GM	Grandmaster グランド・マスタ
MTIE	Maximum Time Interval Error 最大時間間隔誤差
PPS	Pulse Per Second パルス/秒
PRTC	Primary Reference Time Clock プライマリ・リファレンス・タイム・クロック
PTP	Precision Time Protocol 高精度タイム・プロトコル
SUT	System Under Test テスト対象システム
SyncE	Synchronous Ethernet 同期イーサネット
T-BC	Telecom Boundary Clock テレコム・バウンダリ・クロック
TDEV	Time Deviation 時間偏差
T-GM	Telecom Grandmaster テレコム・グランド・マスタ
ToD	Time of Day 時刻情報
T-TC	Telecom Transparent Clock テレコム・トランスペアレント・クロック
T-TSC	Telecom Time Slave Clock テレコム・タイム・スレーブ・クロック

## 5 慣例

本勧告中で、次の慣例が用いられる。用語” PTP” は[IEEE 1588-2008]で定義される PTP プロトコルを指す。

用語” 動的時間誤差” と” 時間ノイズ” は本勧告中でタイミング信号のジッタとワンド成分を示すために交互に用いられる。

本勧告は ITU-T G.8273.x 勧告シリーズを参照する。本文章の発行時点では、本勧告シリーズの全ての文章が承認されておらず、一部は議論中である。これは、議論中の文章は変更の影響を受けることを意味する。以下に、現在議論中の ITU-T G.8273.x 勧告シリーズのタイトルの一覧を示す。

Recommendation ITU-T G.8273/Y.1368 (2013), *Framework of phase and time clocks.*

Recommendation ITU-T G.8273.1/Y.1368.1 (under study), *Timing characteristics of telecom grandmaster clocks.*

Recommendation ITU-T G.8273.2/Y.1368.2 (2014), *Timing characteristics of telecom boundary clocks and telecom time slave clocks.*

Recommendation ITU-T G.8273.3/Y.1368.3 (under study), *Timing characteristics of telecom transparent clocks.*

## 6 位相と時刻クロックの概略紹介

本勧告はITU-T G.8273.xシリーズで定義されている、または、これから定義される位相と時刻クロックに対するフレームワークを提供する。

本勧告の焦点は時刻/位相転送に関するパケットベースの方式に関するものである。高精度タイム・プロトコル(PTP)[IEEE 1588-2008]に基づく具体的な方式が検討される。

3つのクロックタイプおよび1つの関連するデバイスがPTPに関連する。

- 1) グランド・マスタ・クロック。ここでの意味は、クロックが”マスタ”クロックであり、それがパケットベース方式とは異なる別方式でタイミング基準（周波数と同様に位相/時刻）を受信するものである。
- 2) バウンダリ・クロック。ここでの意味は、クロックがマスタ・クロック側と名付けられた”出力”を持ち、かつ、上流のマスタ・クロック（グランド・マスタまたは別のバウンダリ・クロックのいずれか一方）からPTPを介してタイミング基準を受信するものである。即ち、そのバウンダリ・クロックがスレーブ・クロック側と名付けられた”入力”を持ち、時刻/位相をマスタ側へ内部的に転送する。バウンダリ・クロックは一つの予備出力（すなわちIPPS）を提供し、スレーブ側の性能を反映する。バウンダリ・クロックは周波数基準（例えば同期イーサネット）を抽出する一つの予備入力を持つかもしれない。
- 3) トランスペアレント・クロック。トランスペアレント・クロックはPTPの”送信元”とPTPの”宛先”で許容しているPTPパケットの内容を変更するデバイス（ネットワーク装置）であり、デバイスで生じた遅延を取り除くためのものである。厳密に言うと、”トランスペアレント・クロック”はクロックばかりでなく、PTPに基づくパケットベースのタイミングに対してパス上のサポートを提供する意味である。
- 4) スレーブ・クロック。その意味はクロックが（時刻/位相）タイミング基準を抽出する場所からパケットベースである”入力”を持っている。出力は様々なフォーマット（例えばIPPS）であり、一般的にはパケットベースではない。スレーブ・クロックは周波数基準（例えば同期イーサネット）を抽出するための1つの補助入力を持つかもしれない。

注—ここでの重点はグランド・マスタ、バウンダリ・クロックとトランスペアレント・クロックである。スレーブ・クロックは今後の検討課題として残っている。

ITU-T G.8273.x勧告シリーズは以下を定義することを期待されている。しかし、発行日の注意が必要であり、説明されている文章の全てがまだ承認されているわけではない。それらは検討中となっており、結果として変更の影響を受ける可能性がある。

- テレコム・グランド・マスタ仕様。テレコム・グランド・マスタ(T-GM)は追加の性能特性を持つ[IEEE 1588-2008]で定義されたグランド・マスタからなるデバイスである。T-GMの詳細は[ITU-T G.8272]付録1で規定されている。他のT-GMは今後の検討課題であり、ITU-T G.8273.1/Y.1368.1勧告（現在議論中）で規定される予定である。
- テレコム・バウンダリ・クロック仕様。テレコム・バウンダリ・クロック(T-BC)は雑音生成、雑音耐力、雑音伝搬、過渡応答、ホールド・オーバなどの追加の性能特性を持つ[IEEE 1588-2008]に定義されたバウンダリ・クロックからなるデバイスである。[ITU-T G.8273.2]がT-BCを規定している。
- テレコム・トランスペアレント・クロック仕様。テレコム・トランスペアレント・クロック(T-TC)は追加の性能特性を持つ[IEEE 1588-2008]で定義されるトランスペアレント・クロックから構成されるデバイスである。T-TCの詳細は今後の検討課題であり、ITU-T G.8273.3/Y.1368.3勧告（現在検討中）において規定される予定である。
- テレコム・タイム・スレーブ・クロック仕様。テレコム・タイム・スレーブ・クロック(T-TSC)は追加の性能特性を持つ[IEEE 1588-2008]で定義されるスレーブ・クロックから構成されるデバイスである。[ITU-T G.8273.2]がT-TSCを規定する。
- アシステッド部分タイミングサポート・スレーブ・クロック(APTSC)。APTSCの詳細は今後の検討課題であり、ITU-T G.8273.4/Y.1368.4勧告（現在検討中）で規定される予定である。

## 付属資料 A

### 時刻/位相クロックの試験と測定

(本付属資料は、本勧告の不可欠なパートを形成する)

#### A.1 導入

クロックの時刻/位相動作の測定は、クロックの周波数動作の測定と本質的に異なる。両方のケースにおける測定の基本は時間誤差だが、周波数成分測定のためには、タイムインターバルエラー情報が取り除かれ、代表的な測定法として MTIE (最大時間間隔誤差) と TDEV (時刻偏差) が使われる。これらの測定法は、時刻誤差の絶対値が周波数を決定するものではない為、適切である。実際、MTIE は最大振幅の時間間隔誤差 (測定間隔以上) に基づいた安定性の試験としてみなされる。そして”平均”の値は重要ではない。TDEV の場合は、目的は雑音発生を特徴づけることで、結果として (平均) 周波数補正だけでなく時刻誤差平均を抑制することが有利となる。

MTIE や TDEV、FFO のような周波数測定法は、時刻/位相クロックに適用可能で、そのような測定方法は時間クロックの安定性を評価する際の値を持つ。そのような測定法は時刻/位相クロックの時刻誤差を特徴づけるのに有効ではない。周波数測定法とは異なる一つの測定法は、連続時間誤差である。時刻/位相クロックの安定性を特徴づける連続、動的、そして周波数測定法の使用は今後の検討課題である。

この勧告における要点は時刻/位相伝搬のためのバケットベースによる方法である。特定の手法として、PTP[IEEE1588-2008]における方法が考案されている。

注：ここでの重点は、グラウンド・マスタとバウンダリ・クロック、トランスペアレント・クロックに置かれおり、スレーブ・クロックは今後の検討課題。

##### A.1.1 マスターポート タイムスタンプエラー

PTP に関連する、4つのタイムスタンプがある。それらは、

- a) Sync メッセージに関連する
  - 1) T1: マスタ・ポートからの送出時刻
  - 2) T2: スレーブポートへの到着時刻
- b) Delay\_request メッセージに関連する
  - 3) T3: スレーブポートからの送出時刻
  - 4) T4: マスタ・ポートへの到着時刻

これらのタイムスタンプで、T2 と T3 はスレーブポートで打刻され、外部から確認することが出来ない。(T3 は、ある装置からは確認可能かもしれない)

T1 と T4 タイムスタンプは外部から確認可能である。T1 は SYNC (もしくは FOLLOW\_UP) メッセージにおいて取得できる。そして T4 は DELAY\_RESPONSE メッセージにおいて取得できる。

これらのタイムスタンプの正確さは、打刻したタイムスタンプの値と、測定対象装置時刻 CLK の実際の SYNC と DELAY\_REQUEST パケットそれぞれの送出時刻もしくは到着時刻の差分から定量化される。Annex B において記述されるグラウンド・マスタに供給する同じ基準を測定装置は測定のための時刻基準として使用できる。

T1 と T4 は単一のタイムスタンプ値でない事は注意すべきである。T1 はマスタ・ポートから提供され、SYNC メッセージの送出時刻の最良の推定値である。

originTimestamp+correctionField の SYNC メッセージ(one-step クロックにおける)、もしくは preciseOriginTimestamp+correctionField の FOLLOW\_UP メッセージ(two-step クロックにおける)が提供されるべきである。

T4 はマスタ・ポートから提供され、DELAY\_REQUEST メッセージの到着時刻の最良の推定値である。これは DELAY\_RESPONSE メッセージの receiveTimestamp において、DELAY\_REQUEST メッセージの correctionField と、DELAY\_RESPONSE メッセージの correctionField の間の差分を加えて提供すべきである。

T1 と T4 値を表記するために複数のタイムスタンプが使用されるため、単純な単一のタイムスタンプの粒度以外の追加



の誤差バジェットが要求されるかもしれない点に注意すること。

マスタ・ポートから校正された距離に設置された測定装置は、Sync メッセージが通過した時のタイムスタンプより、マスタ・ポートからの SYNC メッセージの送出時刻を推定する事ができる。この測定値は  $T_{1REF}$  により示される。SYNC メッセージ（もしくは FOLLOW\_UP）を解析する事により、マスタ・ポートより生成された SYNC メッセージの送出時刻  $T_1$  は確立される。タイムスタンプの正確性は、次式で与えられるタイムエラー  $TE_1$  により定量化される。

$$TE_1 = T_1 - T_{1REF} \quad (A.1.1)$$

観測されたタイムエラーは、規格の限界値  $Y_1$  に対して比較される。許容基準は次式で与えられる。

$$|TE_1| \leq Y_1 \quad (A.1.2)$$

限界値  $Y_1$  は、アプリケーションに依存し、関連したクロック仕様で定義される。[IEEE1588-2008]にて推奨されているように、 $Y_1$  はアプリケーションの要求精度と同等である。コンスタントタイムエラーとダイナミックタイムエラー（時刻雑音）そしてシステムティックエラーのさらなる配分は今後の検討課題である。

マスタ・ポートから校正された距離に設置された測定装置は、DELAY\_REQUEST メッセージの通過した時のタイムスタンプより、マスタ・ポートからの DELAY\_REQUEST メッセージの到着時刻を推定する事ができる。この測定値は  $T_{4REF}$  により示される。DELAY\_REQUEST メッセージを解析する事により、マスタ・ポートより生成された DELAY\_REQUEST メッセージの到着時刻  $T_4$  は確立される。タイムスタンプの正確性は、次式で与えられるタイムエラー  $TE_4$  により定量化される。

$$TE_4 = T_4 - T_{4REF} \quad (A.1.3)$$

観測されたタイムエラーは、規定された限界値  $Y_4$  に対して比較される。許容基準は次式である。

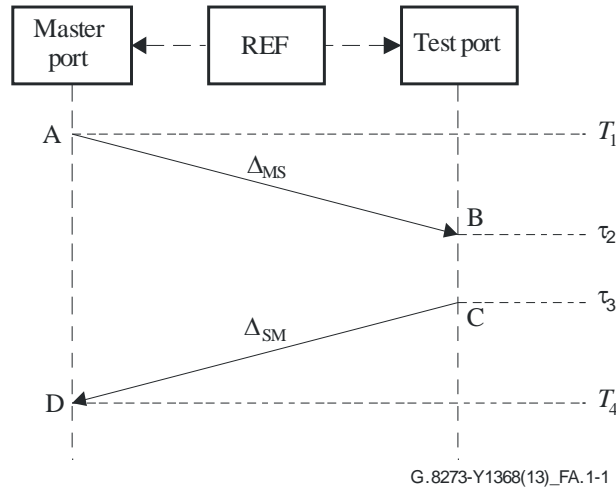
$$|TE_4| \leq Y_4 \quad (A.1.4)$$

限界値  $Y_4$  は、アプリケーションに依存し、関連するクロック仕様で定義される。[IEEE1588-2008]にて推奨されているように、 $Y_4$  はアプリケーションの要求精度と同等である。コンスタントタイムエラーとダイナミックタイムエラー（時刻雑音）そしてシステムティックエラーのさらなる配分は今後の検討課題である。

タイムエラー  $TE_1$  の測定はマスタ・ポートから校正された距離における SYNC メッセージが通過した時のタイムスタンプより取得できる。同様に  $TE_4$  はマスタ・ポートからの校正された距離で、DELAY\_REQUEST メッセージ文が通過した時のタイムスタンプより取得できる。もし試験装置が PTP の測定機であれば、その測定機において発生した、関連するタイムスタンプはマスタ・ポートからの SYNC メッセージの到着時刻、そしてマスタ・ポートへの DELAY\_REQUEST への到着時刻になりうる。これは A1-1 に図示される。

測定のためのガイドラインは以下の項目を含む。

- a) マスタ装置と測定装置に共通の基準時刻/位相が供給され、この基準に同期することに関連したあらゆる同期エラーは無視できるものとして仮定される。そのような同期エラーは、タイムエラーの限界値の検証を容易にするためのレベルに維持されるべきである。同期に関連したいかなるシステムティックエラーと 1PPS インタフェースは明確にされるべきである。
- b) 測定装置は必ず校正され、タイムスタンプの正確性と、測定装置から発生するタイムスタンプ粒度はタイムエラーの限界値の検証を容易にする為のレベルに維持されなければならない。
- c) AnnexB には関連した様々な機器により提供される外部の基準時刻/位相を用いた方法に対する試験構成を提供している。



図A.1-1-測定装置と結合した測定対象システム（SUT）が測定装置に接続されている状況およびPTPメッセージの交換状況の図

時刻” A” は、タイムスタンプ  $T_1$  を含んだ SYNC メッセージをマスタが送信した時刻。測定装置にパケットが到着した時刻が” B” で、到着時刻  $\tau_2$  として記述される。正方向の伝送遅延の推定値は、 $\Delta_F$  として以下の式で与えられる。

$$\Delta_F = \tau_2 - T_1 \quad (\text{A.1.5})$$

測定装置は、” C” で DELAY\_REQUEST パケットを送信し、送出時刻  $\tau_3$  として記述される。” D” でのマスタへの到着時刻は、 $T_4$  として記述され、この値は DELAY\_RESPONSE メッセージにおいて回答される。逆方向の伝搬遅延  $\Delta_R$  の推定値は、以下の式で与えられる。

$$\Delta_R = T_4 - \tau_3 \quad (\text{A.1.6})$$

タイムスタンプ  $T_1$  と  $T_4$  の精度を検証するために、接続媒体（例：ファイバー）における伝送遅延はコントロールされなければならない。特に、ケーブル長は校正され、遅延の  $\Delta_{MS}$  と  $\Delta_{SM}$  は妥当なレベルの精度で把握される。式 A.1.5 と A.1.6 はマスタから発生したタイムスタンプに基づいた、伝送遅延の推定値を与える。したがって、タイムスタンプの精度は、以下の式で確定される。

$$\begin{aligned} |\Delta_F - \Delta_{MS}| &< Y_1 \\ |\Delta_R - \Delta_{SM}| &< Y_4 \end{aligned} \quad (\text{A.1.7})$$

ここで、 $Y_1$  と  $Y_4$  はタイムスタンプ精度に対する所定の限界値である。コンスタントタイムエラーとダイナミックタイムエラー（時刻雑音）そしてシステムティックエラーのさらなる配分は今後の検討課題である。

### A.1.2 マスタ・ポート 時刻伝搬エラー

マスタ・ポートからダウンストリームのスレーブデバイスを考慮すると、時刻伝搬のタイムエラーは  $T_1$  と  $T_4$  のタイムスタンプの精度に間接的に依存し、これらの組合せには直接的に依存する。時刻伝搬タイムエラーは図 A1-1 に示されている通り、共通の基準時刻が測定装置（テストポート）とマスタ・ポートへ提供される時に測定可能である。

ケーブル遅延は対称的（例： $\Delta_{MS} = \Delta_{SM} = \Delta$ ）と仮定すれば、タイムエラー信号  $T_{err}(t)$  は次の式であらわされる。

$$T_{err}(t) = \frac{(T_4(t) + T_1(t)) - (\tau_3(t) + \tau_2(t))}{2} \quad (\text{A.1.8})$$

$T_4(t)$ 、 $T_1(t)$ 、 $\tau_3(t)$  として  $\tau_2(t)$  は、タイムスタンプ処理に関係する暗黙の信号を表す。ワンダ測定の計算は、従来通り  $T_{err}(t)$  すなわち  $\{T_{err}(k\tau_0)\}$  のサンプルで実行され、サンプルはサンプリング間隔  $\tau_0 < (1/30)$  の等間隔な時刻グリッドから得られる。

しかしながら、二方向のパケット速度は異なりうる。そして双方向の位相の相関は決定的ではない。その結果、対照的なケーブル遅延は  $\Delta$  で表示すると、タイムエラー要素の  $TE_1$  と  $TE_4$  は以下の式で計算される。

$$\begin{aligned} TE_1(n) &= T_1(n) + \Delta - \tau_2(n) \\ TE_4(m) &= T_4(m) - \Delta - \tau_3(m) \end{aligned} \quad (\text{A.1.9})$$

インデックス  $n$  と  $m$  はパケットの順番を示しており、異なる時刻の信号に対するサンプリングインデックスとしても使用される。時刻伝搬エラーは、2つの個別の  $\{TE_1(n)\}$  と  $\{TE_4(m)\}$  のシーケンスの組み合わせにより決定される。1588v2 で設定されたパラメータに基づくと、2つのシーケンスは異なるサンプリング速度を持つ事ができ、サンプリング箇所が一致する事はない。シーケンスの結合のための方法論は、今後の検討課題である。

タイムエラーは2つの箇所における事ができ、一つは constant time error で、もう片方は dynamic time error もしくは time noise である。時刻雑音発生の必要条件は、今後の検討課題である。タイムエラーの、コンスタントタイムエラー要素は、個別に計算された各時刻順序のコンスタントタイムエラーの結合に由来する。

マスタ・ポートにて、constant time error transfer の必要条件は、以下の条件を満たす事である。

$$\frac{|(TE_1(n))+(TE_4(m))|}{2} < X_{CONSTANT} \quad (\text{A.1.10})$$

ここで、 $\langle \rangle$  の表記は、コンスタントタイムエラーの見積もり値に使用され、 $X_{CONSTANT}$  はマスタ・ポートに対するコンスタントタイムエラー発生に関する規定された制限であり、これらは ITU-T G.8273.X 系の適切な勧告において提供される。

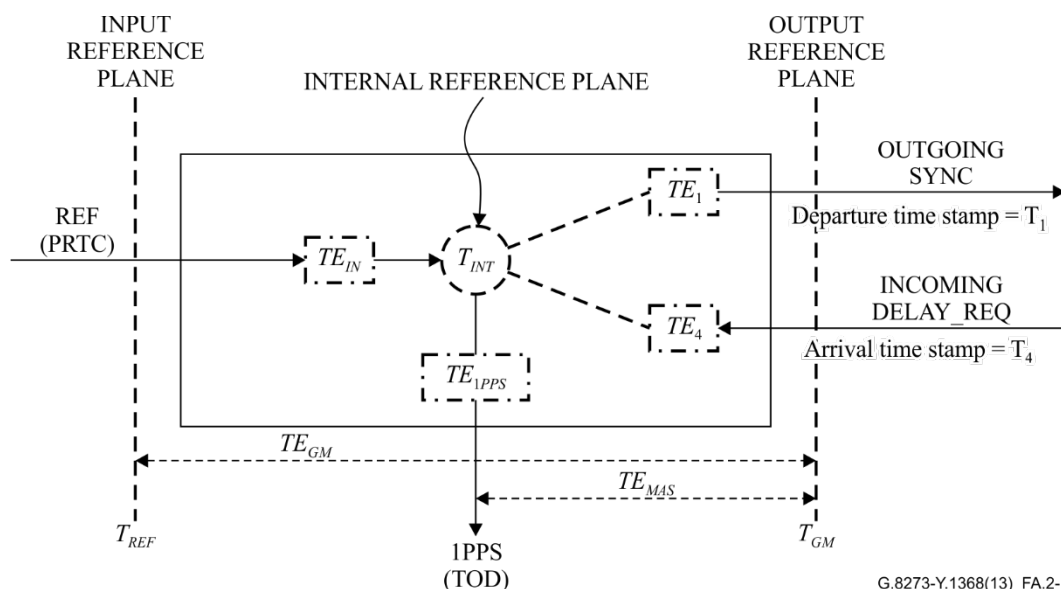
式 A.1.10 を満たす事は、コンスタントタイムエラーに関して、マスタ・ポートが持つタイムクロックエラー  $X_{CONSTANT}$  の値以内の時刻を下流のスレーブへ分配する事ができる、という事を意味している。

## A.2 グランド・マスタ・クロック

グランド・マスタ・クロックに対するタイムエラー発生の要求は  $X_{GM}$  ns です。つまり、

$$|T_{GM}(t) - T_{REF}(t)| < X_{GM} \quad (\text{A.2.1})$$

ここで "t" は非常に正確に進む独立変数の時間であり、 $T_{REF}$  は、グランド・マスタに供給される基準の時刻であり、 $T_{GM}$  はグランド・マスタの時刻です。 $X_{GM}$  の値は、グランド・マスタ・クロックに対する勧告で定義される。



G.8273-Y.1368(13)\_FA.2-1

図 A.2-1—グランド・マスタ・クロックの雑音発生モデル

グランド・マスタ・クロックは、PRTC から基準を受信するか、T-GM と PRTC が組み合わせられた場合には、基準は、GNSS 受信機のような他のソースから来るかもしれません。T-GM の内部マスタ時間 TGM は、1PPS (と ToD) インタフェースを介して利用可能であり、T-GM 内部時間 TINT のパフォーマンスを監視するために使用することができます。TE1PPS に起因して、この出力には不確実性があるかもしれません。アイテム TEIN は、その基準(TREF)から内部時刻クロックを導出した T-GM に関連するあらゆる時刻誤差を示しています。信号処理および/またはローカル発振器に起因する

あらゆる雑音も  $TE_{IN}$  に含まれています。T-GM のマスタ・ポートは、SYNC パケットの送出時刻 ( $T_1$ ) と DELAY\_REQUEST パケットの到着時刻 ( $T_4$ ) に関連するタイムスタンプを提供し、 $TE_1$  と  $TE_4$  それぞれのタイムスタンプに関連した雑音発生があるかもしれません。

グラウンド・マスタの実際の時間誤差の発生  $TE_{GM}$  は、これらの個々の時刻誤差発生要素の組み合わせです。クロックのマスタ側の雑音発生  $TE_{MAS}$  は、 $TE_1$  と  $TE_4$  の組み合わせの関数です。それらの組み合わせについての方法論は、今後の検討課題です。基準の誤差に起因するクロックノイズに加えて、追加の時刻誤差は、ローカルクロック動作によって生じ、例えば、ローカル発振器あるいは物理層の基準 (例えば、SyncE) によって生じたクロックノイズであり、これらは一般的に、内部クロック時刻誤差  $TE_{IN}$  で表されます。

全ての T-GM 雑音発生限界を満足するのは、次式を満たした場合である。

$$|TE_{IN} + TE_{MAS}| < X_{GM} \quad (A.2.2)$$

ここで、 $X_{GM}$  は、T-GM によって生成された許容される時刻誤差 (例えば、一定または動的など) を示し、決められたパラメータに応じた数値またはマスクのいずれかで指定されるかもしれません。  $X_{GM}$  のための具体的な値は、今後の検討課題です。

グラウンド・マスタの雑音発生現象は、input reference plane ( $T_{REF}$ ) での正確な時間を提供したり、または input reference plane ( $T_{REF}$ ) から抽出した時間を再生する監視装置を用いて、T-GM での output reference plane ( $T_{GM}$ ) から抽出した時間をこれらと比較することによって測定することができます。

正確に  $T_{REF}$  を確立するための仕組みが提供される場合、その仕組みは試験中の T-GM のマスタ側を監視する試験装置の基準時刻を提供します。つまり、時間基準として  $T_{REF}$  を使用して、試験装置の output reference plane において  $\tau_2$  と  $\tau_3$  を明らかにし、 $T_1$  と  $T_4$  を観測します ( $\tau_2$  と  $\tau_3$  の定義については、図 A.2-2 を参照)。(対称な) ケーブル遅延が  $\Delta$  で示されたとして、時刻誤差成分の  $TE_1$  と  $TE_4$  は、次のように計算されます

$$\begin{aligned} TE_1(n) &= T_1(n) + \Delta - \tau_2(n) \\ TE_4(m) &= T_4(m) - \Delta - \tau_3(m) \end{aligned} \quad (A.2.3)$$

指数  $n$  および  $m$  は、パケットのシーケンス番号を示します。T-GM の時刻誤差は、2 つの別々の時刻シーケンス  $\{TE_1(n)\}$  と  $\{TE_4(m)\}$  の組み合わせにより決定されます。1588v2 フローでは設定されたパラメータに応じて、2 つのシーケンスは異なるサンプリングレートや重複しないサンプリング点を有することができるが、これら独立した時刻誤差シーケンスの組み合わせによる T-GM の時刻誤差関数の生成に対する方法論は、今後の検討課題です。

時刻誤差は、次の 2 つの要素で構成されます。

- 一定時刻誤差と
- 時刻誤差ノイズ

時刻誤差 (動的時刻誤差) の発生要件は、今後の検討課題です。時刻誤差は、MTIE と TDEV などの評価指標を用いて評価することができます。これらの使い方は、今後の検討課題です。

合成された時刻誤差の一定の時刻誤差成分は、[ITU-T G.8260]の節 3.1.20 に記載されている手順に従って、それぞれのシーケンスを一定の時刻誤差として別々に計算されます。一定の時刻誤差の発生要件を満足するのは、次式を満たしている場合である。

$$\frac{|(TE_1(n))+(TE_4(m))|}{2} < X_{GM-CONSTANT} \quad (A.2.4)$$

◇の符号は、一定の時刻誤差推定に使用され、 $X_{GM-CONSTANT}$  は T-GM から生成される一定の時刻誤差の限界を定めている;  $X_{GM-CONSTANT}$  は、今後の検討課題です。

(式  $\frac{|(TE_1(n))+(TE_4(m))|}{2}$  は順方向と逆方向の一定の時刻誤差の非対称性の半分を表し、一定の時刻誤差の合計がこの

の式より導き出される。)

数式 A.2.4 を満足するという事は、一定の時刻誤差の観点から、T-GM への基準入力の  $X_{GM-CONSTANT}$  の範囲内の精度で、T-GM は下流のスレーブに時間を送信することが可能である。

GM の内部タイムクロックを直接測定できない場合があり、GM の時刻は、GM のポートに測定できる方法を用いて確認

する必要があります。つまり、GM の時刻は、GM で打刻され、そして、メッセージで提供されるタイムスタンプを評価することにより推定されます。これらは：

- SYNC メッセージ：タイムスタンプ  $T_1$  は、SYNC メッセージの出力時刻（送出時刻）を GM によって打刻されたタイムスタンプを表し、SYNC メッセージ自体（1-step クロック）または FOLLOW\_UP メッセージ（2-step クロック）のいずれかで外部から観察可能です。
- DELAY\_REQUEST：タイムスタンプ  $T_4$  は、DELAY\_REQUEST メッセージの入力時刻（到着時刻）を GM によって打刻されたタイムスタンプを表し、DELAY\_RESPONSE メッセージにより外部から観察可能です。

この見積もりを達成するための一つのアプローチは、以下に基づいています。図 A.2-2 を参照すると、同一の参照が、被試験ユニット（GM）と同様に測定に使用する機器の両方に提供されます。試験装置と GM は適切な媒体（例えば、光ファイバ）接続され、マスタからテストポイントまでの媒体の長さ（遅延の観点）を  $\Delta_{MS}$ 、逆方向を  $\Delta_{SM}$  と示しています。量  $\varepsilon$  は、SUT（GM）と試験装置との間の時間オフセットを表します。

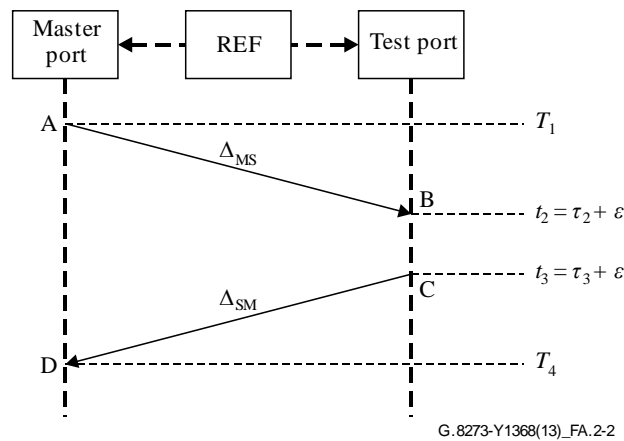


図 A.2-2 - SUT が試験装置に接続され、PTP メッセージが交換されている状況を示す図

ある時刻” A”において、マスタは、タイムスタンプ  $T_1$  をもつ SYNC メッセージを送信します。パケットは、時刻” B”において  $\tau_2$  と表される到着時間で試験装置に到着します。マスタでの等価時間は  $t_2$  であり、よって以下により与えらるるとなります。

$$t_2 = \tau_2 + \varepsilon \quad (\text{A.2.5})$$

試験装置は、” C”において出発時間を  $\tau_3$  として記録した DELAY\_REQUEST パケット送信します、この時、マスタにおける等価時間  $t_3$  とすると以下により与えられます。

$$t_3 = \tau_3 + \varepsilon \quad (\text{A.2.6})$$

” D”において、マスタの到着時間は  $t_4$  表され、この値は DELAY\_RESPONSE メッセージで返されます。

GM の動作を確認するために、相互接続媒体（例えば光ファイバー）における伝送遅延を制御する必要があります。二つの場合が考えられます。

ケース 1 では、ケーブルの長さを較正して、遅延  $\Delta_{MS}$  と  $\Delta_{SM}$  は妥当な精度のレベルでわかっている。この場合、ケース 1 では、次式を満足するときに、GM の性能は確認されます。

$$\begin{aligned} |T_1 - \tau_2 + \Delta_{MS}| &< Y_1 \\ |T_4 - \tau_3 - \Delta_{SM}| &< Y_4 \end{aligned} \quad (\text{A.2.7})$$

ケース 2 では、相互接続ケーブルは、二つの方向が対称になるように較正され、その絶対遅延は大凡の値である。この場合、GM が正常に動作していると考えられる十分ではないが必要な条件は、次式で表される。

$$\frac{|(T_1 + T_4) - (\tau_2 + \tau_3)|}{2} < X_{GM} \quad (\text{A.2.8})$$

$X_{GM}$ は、実際の要件を表し、それは、今後の検討課題です。

「十分でない」条件となる理由は、GMは、重大な誤差を含むタイムスタンプ  $T_1$  と  $T_4$  を打刻するとき、その値が等しく符号が反転しえるからである。サンプリングレートとサンプリンググリッドでのパケットのタイムスタンプのサンプルの位置合わせは、今後の検討課題です。

### A.2.1 グランドマスタタイムスタンプ誤差

生成されたタイムスタンプは、以下の制限を満たす必要があります。

$$\begin{aligned} |T_1[n] - T_{1REF}[n]| &< Y_1 \\ |T_4[m] - T_{4REF}[m]| &< Y_4 \end{aligned} \quad (\text{A.2.9})$$

ここで、添字の”REF”は、ネットワークの基準点 A における GM に入力される PRTC 基準信号に基づいたタイムスタンプに対する理想的な値を示すために使用されます。

$Y_1$  及び  $Y_4$  の適切な値、および、一定の時刻誤差と変動する時刻誤差（時間ノイズ）の配分は、今後の検討課題です。添字”n”および”m”は観察される個々のパケット（メッセージ）を識別しています。SYNC メッセージ及び DELAY\_REQUEST/DELAY\_RESPONSE メッセージの速度は異なってもよいです。

### A.3 バウンダリ・クロック

バウンダリ・クロック(T-BC)は、上流のマスタと交換する PTP パケットを使って T-BC のスレーブからタイミング基準を抽出するマスタ・クロックとみなすことができる。試験機器が測定中の T-BC と完全に同じパケットタイミング信号からタイミング基準を得られるならば、上記の GM に使われる同様の数学的アプローチが適用できる。そのシナリオは、Figure A.3-1 に描かれている。参照点 D(下流方向)では、試験装置は T-BC のマスタ側で供給された時刻を確立する。これは T<sub>MAS</sub> として示している。T-BC のマスタ・ポートと参照点 D 間の相互接続媒体(例えば、ファイバ)は対称となるように校正されることが最低限要求されている。

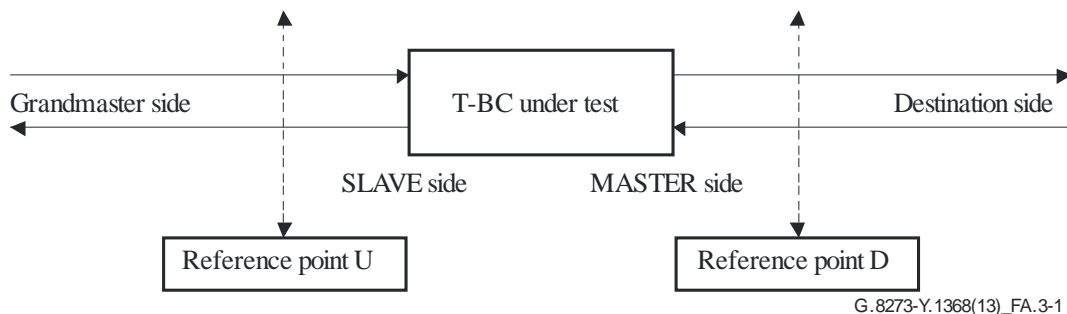


図 A.3-1 - BC 性能試験に対する、測定の境界ポイント

参照点 U(上流方向)において、上流のマスタによって提供されよう、U で時刻を測定するための仕組みが具備されなければならない。T-BC スレーブポートと参照点 U 間の相互接続媒体(例えば、ファイバ)は、対称に校正されることが最低限要求され、上流のマスタからスレーブへ運ばれる時間 T<sub>SLV</sub> が成立する。

T-BC の動作を満たすため、(A.3.1)の要求条件があり、

$$|T_{MAS}(t) - T_{SLV}(t)| < X_{BC} \text{ (ns)} \quad (\text{A.3.1})$$

そこで  $X_{BC}$  は、T-BC によって発生する許容時刻誤差(一定または動的のような)を示しており、規定されているパラメータに依存する値、またはマスクのどちらかが規定されるかもしれない。その  $X_{BC}$  のための規定値は今後の検討課題である。

バウンダリ・クロックの時刻エラー発生の一時的な表記は、図 A.3-2 に示される。TSLV は、上流のマスタによって参照点 U へ運ばれる時刻を示し、T<sub>MAS</sub> は、T-BC によって参照点 D へ運ばれる時刻を示す。

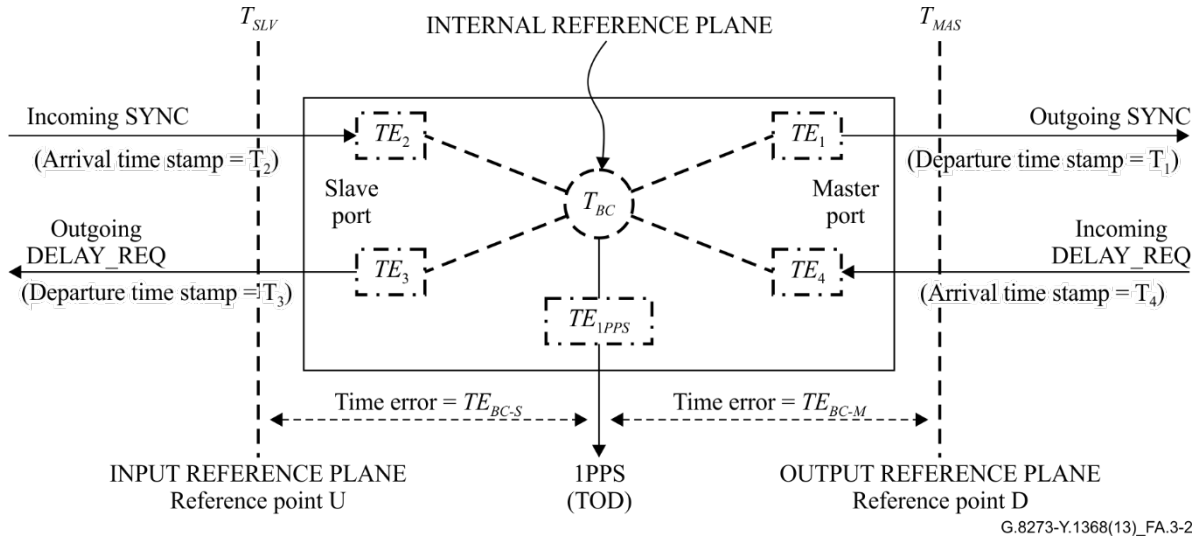


図 A.3-2 - バウンダリ・クロックにおける時刻誤差発生要因

バウンダリ・クロックは、上流のマスタ・クロックからその基準を受信する。T-BC の内部システム時刻である T<sub>BC</sub> は、一般的に 1PPS(と ToD)インタフェースを介して入手でき、T-BC の内部時刻 T<sub>BC</sub> の性能監視のために利用される可能性がある。TE<sub>1PPS</sub> に起因したこの出力の中には不確かさがあるかもしれない。T-BC のスレーブポートは、SYNC パケット(T<sub>2</sub>) の到着時刻と DELAY\_REQUEST パケット(T<sub>3</sub>)の送信時刻に基づくタイムスタンプを生成する。TE<sub>2</sub> と TE<sub>3</sub> それぞれのタイムスタンプに関係した雑音が発生しうるが、これらのタイムスタンプは外部では入手できない。INPUT REFERENCE PLANE を基準としたスレーブ・クロックの時刻誤差は、TE<sub>BC-S</sub>によって示されている。

INPUT REFERENCE PLANE (参照点 U)が、その PLANE と BC スレーブポート間の対称性または校正された遅延を持つと仮定すると、試験系は正確な時刻入力を供給することができる、または、そこに配置された監視機器は、T<sub>SLV</sub> のための正しい値を確立することができ、T-BC のスレーブ・クロック部分において発生する実効的な時刻誤差は、T<sub>SLV</sub> と T-BC の 1PPS 出力を比較することによって測定することができる。

T-BC のマスタ・ポートは、SYNC パケット(T<sub>1</sub>)の送信時刻と DELAY\_REQUEST(T<sub>4</sub>)の受信時刻に関するタイムスタンプを提供し、それらは、TE<sub>1</sub> と TE<sub>4</sub> それぞれのタイムスタンプに関連する雑音を発生させる。もしも、それらの誤差が等しいかつ符号が反対であれば、それらは、T<sub>BC</sub>に関連する時刻伝搬誤差に必ずしも寄与しない。それらの誤差は、T-BC によって下流の装置へ供給されるタイミング信号である TE<sub>BC-M</sub>によって表記される。TE<sub>1</sub> と TE<sub>4</sub> におけるあらゆる非対称性かつ/または時間的変化の構成要素は、TE<sub>BC-M</sub>の一定の時刻誤差と変動する時刻誤差要因になりうる。

実効的な T-BC の時刻誤差発生である TE<sub>BC</sub>は、マスタ・ポートに加えてスレーブポートに関する個々の時刻誤差発生要素の組み合わせである。タイミング信号誤差から生じるクロック雑音に加えて、付加的な時刻誤差は、ローカル発振器または物理層参照(例えば、SyncE)によって組み込まれるローカルクロック動作によって引き起こされる可能性があり、それらは一般的にスレーブ側の時刻誤差 TE<sub>BC-S</sub>として現れる。全体の T-BC 雑音発生限界は、(A.3.2)の条件を満たすことである。

$$|TE_{BC-S} + TE_{BC-M}| < X_{BC} \quad (A.3.2)$$

T-BC のその雑音発生挙動は、参照点 U(T<sub>SLV</sub>)における正確な時刻を提供することによって測定でき、または参照点 D(T<sub>MAS</sub>)で T-BC によって伝達される時刻を再生するだけでなく、参照点 U(T<sub>SLV</sub>)に伝達される時刻を再生させるための監視機器を使うことによって測定される。

もし、正確な T<sub>SLV</sub>を確立するための機構が提供されるならば、これは測定中の T-BC のマスタ側を監視する測定機器に

参照時刻を提供し、GMを試験するために確立された手段は再度適用される。それは、時刻リファレンスとして T<sub>SLV</sub> を使い、その参照点 D における測定機器は T<sub>1</sub> と T<sub>4</sub> を観測し、τ<sub>2</sub> と τ<sub>3</sub> 明らかにする (A.2 項の図 A.2-2 参照)。(対称な) ケーブル遅延を Δ で表すと、その時刻誤差要素 TE<sub>1</sub> と TE<sub>4</sub> は、(A.3.3)式として計算される。

$$\begin{aligned} TE_1(n) &= T_1(n) + \Delta - \tau_2(n) \\ TE_4(m) &= T_4(m) - \Delta - \tau_3(m) \end{aligned} \quad (A.3.3)$$

その添え字 n と m は、そのパケットのシーケンス番号を示す。T-BC の時刻誤差は 2 つの離散時刻列 {TE<sub>1</sub>(n)} と {TE<sub>4</sub>(m)} の組み合わせによって決定される。1588v2 フローの設定されるパラメータに依存して、その 2 つの数値は異なるサンプリングレートと、サンプルポイントが重ならないグリッドを持ったときの、T-BC 時刻誤差発生における別々の時刻誤差列を組み合わせる方法は今後の検討課題である。

時刻雑音(変動する時刻誤差)の発生要件は今後の検討課題である。

時刻誤差の一定の時刻誤差要素は各々計算された各数列の一定の時刻誤差の組み合わせによって導出される。

T-BC に対して、一定の時刻誤差発生要件は(A.3.4)式の条件を満たすことであり、

$$\frac{|(TE_1(n))+(TE_4(m))|}{2} < X_{BC-CONSTANT} \quad (A.3.4)$$

その表記<>は、一定の時刻誤差概算として使用され、X<sub>BC-CONSTANT</sub>である T-BC の一定の時刻誤差規定限界は、今後の検討課題である。

(A.3.4)式を満たす意味は、上流のマスタ・クロックにより T-BC に伝達される時刻の一定の時刻誤差を X<sub>BC-CONSTANT</sub> 以内の精度で下流のスレーブに時刻を伝達することができるということである。

#### A.4 トランスペアレント・クロック

トランスペアレント・クロック (TC) の主な目的は、PTP [IEEE 1588] に基づいたパケットベースのタイミング転送のために、パス上でのサポートを与えることである。これは、滞在時間と同じ時間だけ correction\_field を調節することによって達成される。

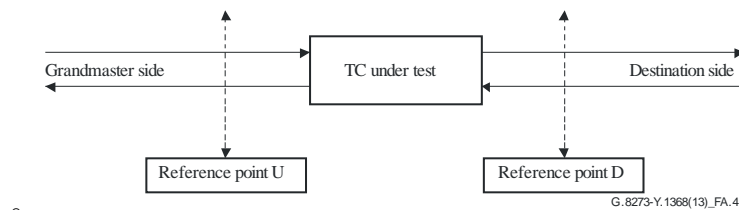


図 A.4- TC パフォーマンスを試すための測定点の境界

参照点 U と試験対象の TC との間のケーブル長は対称であり、同様に参照点 D と試験対象の TC との間のケーブル長も対称であると想定すると、U 点におけるスレーブ・クロックは、TU のマスタクロック (グランド・マスタ側) からの時間オフセットを示す。同様に、D 点におけるスレーブ・クロックは、同じ TD のマスタ・クロックからの時間オフセットを示す。

TC の十分な動作のためには、以下の条件が要求される。

$$|T_U(t) - T_D(t)| < X_{TC} \text{ (ns)} \quad (A.4.1)$$

X<sub>TC</sub> は、T-TC により生ずる、許容時刻誤差(一定、或いは時間的に変動する)を表し、特定のパラメータに依存する値、或いはマスクとして既定される。X<sub>TC</sub> の規定値は今後の検討課題である。

注-TC の詳細は、今後の検討課題である。

#### A.5 スレーブ・クロック

テレコム・スレーブクロックにおいて生ずる時刻誤差を表す略図は、下の図 A.5-1 に記載される。T<sub>SLV</sub> は上流のマスタ



が参照点 U に供給する時刻、そして、 $T_{OUT}$  は T-TSC がアプリケーションに供給する時刻を表す。

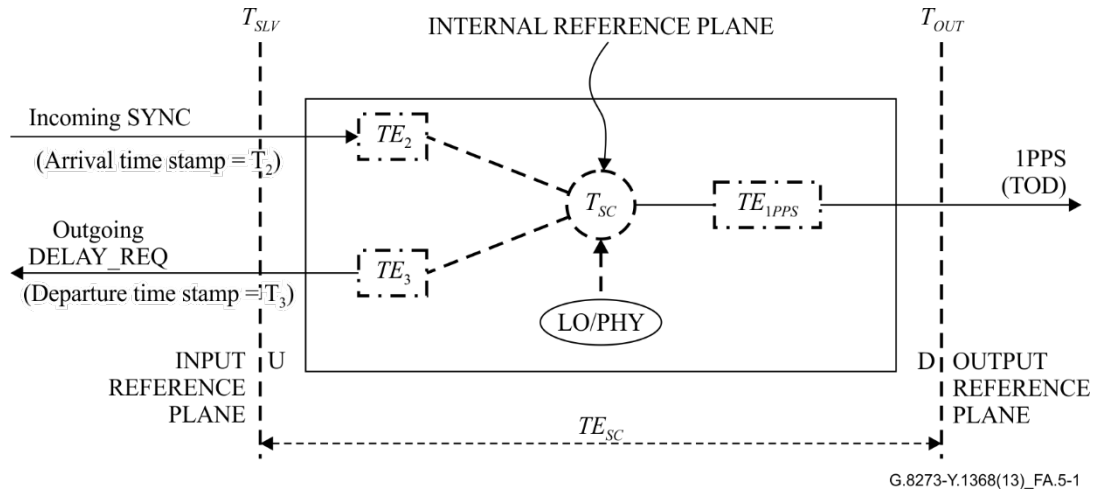


図 A.5-1-スレーブ・クロックにおいて生ずる時刻誤差の構成要素

テレコム・スレーブクロックは、上流のマスタ・クロックから参照クロックを得る。T-TSC の内部システム時刻、すなわち  $T_{sc}$  は、1PPS (また ToD) インタフェース、或いは同等のインタフェースを通して、外部アプリケーションで一般的に利用可能である。出力において時間間隔  $TE_{1PPS}$  に起因して、不確実性が生ずる可能性がある。T-TSC のインタフェースポートは、SYNC パケット ( $T_2$ ) の到達時刻、及び DELAY\_REQUEST パケット ( $T_3$ ) の送出時刻に関係付けられた時刻スタンプを生起する。これらの時刻スタンプは、外部で使用できず、それぞれの時刻スタンプ、 $TE_2$  及び  $TE_3$  に付随した雑音を発生する。入力インタフェースプレーンに関するスレーブ・クロックの時刻誤差を  $TE_{sc}$  と記す。この合成時刻誤差は、例えば、参照入力に存在する局部発振器 (LO) と濾過されてない PDV (時間的変動する時刻誤差) から生じている誤差構成要素、ならびにタイムスタンプ誤差から構成されることに注意されたい。局部発振器の機能は、物理層アシスト (例えば、SyncE) を含むうる。

図は、時刻誤差だけを考慮する。T-TSC も周波数出力を提供するならば、その出力はグランド・マスタに提供される参照クロックと比較可能である。その周波数出力での測定では 1 秒以下の監視間隔でのスレーブ・クロックのワンダ、及びスレーブ・クロックのジッタの情報を提供可能であるが、しかし両方の情報共に 1PPS を経由しては利用出来ない。このための構成は、付属書 B で示される。

入力基準プレーン (参照点 U) にはプレーンと T-TSC 入力ポートの間で対称、或いは調整された遅延があると仮定すると、テストシステムは、正確な時刻入力を提供可能であるか、そこに位置するモニタリングデバイスは、 $T_{SLV}$  の値を正確にすることが可能である。スレーブ・クロック  $TE_{sc}$  における実効時刻誤差の発生は、 $T_{SLV}$  と T-TSC の 1PPS 出力を比較することで測定可能である。スレーブ・クロックの時刻誤差生起に対する許容限度は、アプリケーションに依存し、今後の検討課題である。

スレーブ・クロックの性能は、スレーブポートからの (時間) 距離が校正されている入力基準プレーン U における  $T_3$  を測定することにより正確さが検証される。これは、DELAY\_REQUEST メッセージのスレーブ・クロックに関して、送出時刻に対する正確なタイムスタンプを持った  $T_3$  タイムスタンプフィールドを打刻するスレーブ・クロックを必要とする。その次のメッセージにおいて、 $T_3$  に対して正確な値を与えることは今後の検討課題である。

## A.6 メディアコンバータを含むクロック

あるクロックでは、隣接クロックに対して別の物理レイヤ技術を用いて縦続的に相互接続されていることもあり得る。例えば、入力がイーサネットであり、出力は無線機器である場合がある。これらの装置の測定を単純化するために、測定参照点が最初のメディアコンバータのイーサネット・インターフェースと第二のデバイス (図 A.6-1 で示すように)

のイーサネット出力ポートであるように、パフォーマンスを隣接した組として測定することが可能である。同様に、縦続的に相互接続されたデバイスを測定することが可能な場合もあり得る。

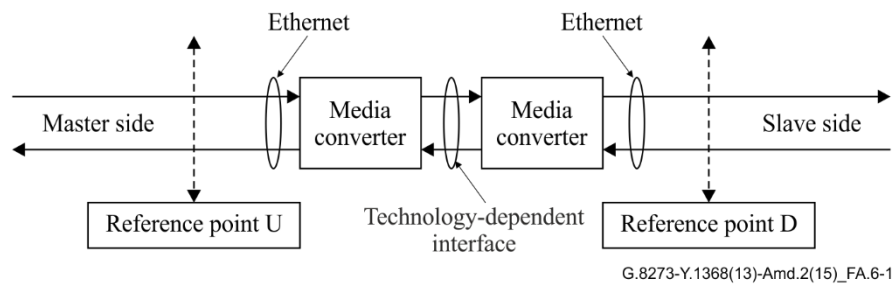


図 A.6-1-メディア・コンバータ・ノードを試験するための測定点の境界

隣接した組、または、そのような縦続的に相互接続されたデバイスに対する適切なバジェット配分については今後の検討課題であり、関連したクロック仕様書に示される。

## 付属資料 B

### 位相/時間クロック装置規格に関連した測定方法

(本付属資料は、本勧告の不可欠なパートを形成する)

#### B.1 測定方法の概要

パケットベースの位相/時刻装置の性能は、アクティブまたはパッシブな技術のいずれかによって測定することができる。アクティブな技術では、パケットベースの試験装置は、積極的にパケット交換に関与し、タイミングパケットの送信及び受信と同時に測定を行う。この方法において、試験装置はタイミング情報のソース（送信側）またはシンク（受信側）として機能する。パッシブな技術では、パケットベースの試験装置は通信リンク上で行われるパケット交換を監視する。この方法において、試験装置は観測者として機能し、パケットタイミングプロトコルに直接関与する事はない。付属書 A では、試験実施方法の基礎を示し、どのように測定を行うか、また測定値を解釈するかを説明する。

試験システムのための一般的な推奨事項：

- a) 共通の時刻/位相基準（例えば、1PPS）がテストシステムのすべての要素で使用される必要がある。ARB（任意）時間スケールで十分であるが、外部周波数源によって動作する PRTC を用いて生成することもできる。これは GNSS 受信機のノイズとしての余分な影響を回避できる。
- b) タイミング源は、非常に安定していなければならない。これは非常に正確で安定したタイミング（周波数）を提供する外部周波数源（例えば、セシウムまたは他の PRC 相当）を使用することで実現できる。
- c) 被測定システムをバイパスすることで、キャリブレーションのための基礎測定が行える。
- d) ユニット間のケーブル接続は、遅延対称性に留意して慎重に行わなければならない。（訳注：双方向それぞれの伝送遅延が異なると適切な測定が行えない）
- e) SUT（被測定システム）が Synchronous Ethernet 物理層のクロックを使用する場合、テストシステムは、Synchronous Ethernet の基準を SUT（被測定システム）に提供する必要がある。
- f) SUT が周波数アシスト機構として Synchronous Ethernet（すなわち物理層）を利用する際には、PTP への与干渉機能を提供する機器は Synchronous Ethernet をサポートし、物理層干渉を導入する能力を持つ。（例えばワンダや周波数オフセット）
- g) SUT は周波数伝達のために物理層を使用しない時、テストが物理層から独立して SUT の周波数抽出できることを証明するものとしてもよい。（例えば、ワンダか周波数オフセットを物理層に適用し独立性を検証する）
- h) 外部トラフィック生成は SUT ポートを含み適切な負荷を導入する必要があるが、タイミングパケットを運ぶポートは限定されない。
- i) ITU-T G.8273.x シリーズの規格に含まれる測定タイプとして cTE の測定を行う際には常に安定した一貫性のある観測区間とすることが期待される。一般的には（訳注:測定時間として）1000 秒以上の値を推奨する。

示されるテスト構成は、SUT（被測定システム）のタイミング性能のベースラインのためのものであり、PTP プロトコルに関連する項目は含まれない。

##### B.1.1 一般的なアクティブな測定方法

第一の方法としては、ITU-T G.8273.x シリーズ勧告によるパケットクロックの出力品質を確認するための [ITU-T G.8260] の 3.1 章で定義されたアクティブ PTP 試験が含まれる。

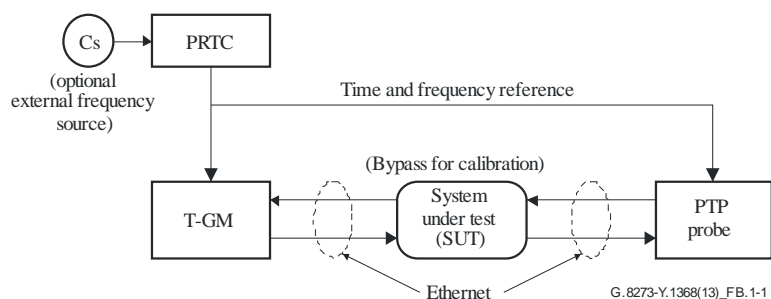


図 B.1-1 - PTP 時刻伝送向けのシステムに向けたアクティブ測定セットアップ

### B.1.2 一般的なパッシブな測定方法

第二の方法は、ITU-T G.8273.x シリーズ勧告のパッシブ PTP モニターを利用する事によるパケットクロックの出力品質の確認がある。図 B.1-2 は、T-BC または T-TC 用に向けたテスト伝達特性測定に対応する。T-GM をテストするためには、T-BC をバイパスし、単一の PTP モニタブロックが必要とされる。

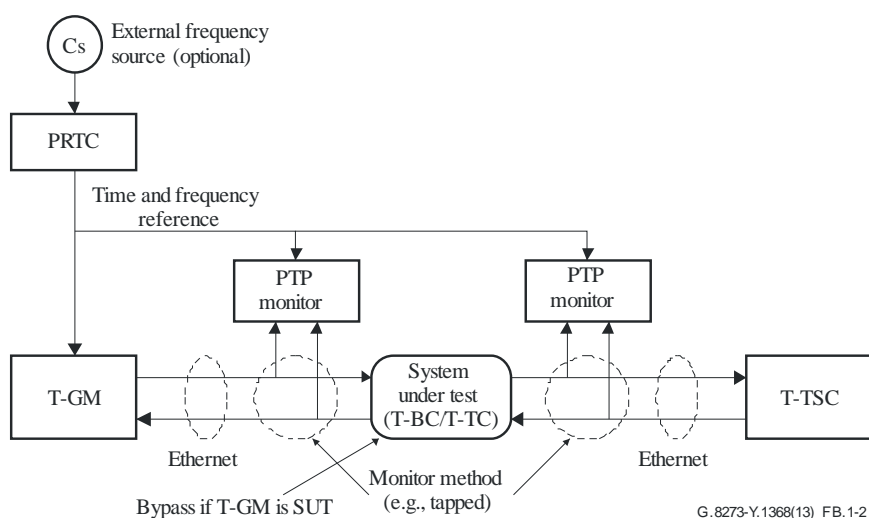


図 B.1-2 - PTP 時刻伝送向けのシステムに向けたパッシブ測定セットアップ

## B.2 テレコム・グラント・マスタ試験

### B.2.1 グラント・マスタ機能テストに向けたアクティブ測定セットアップ

図 B.2-1 は、アクティブなアプローチを使用したテレコム・グラント・マスタ (T-GM) クロックの測定のセットアップを示す。

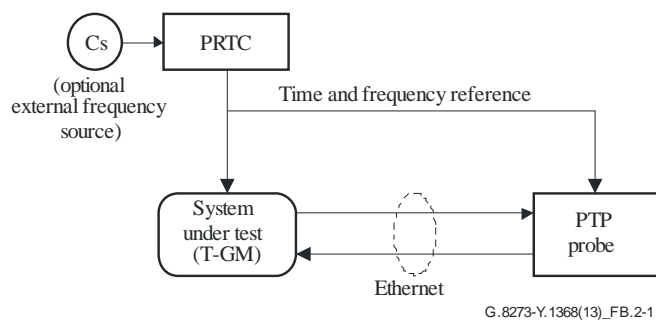


図 B.2-1 - (PTP) テレコム・グラント・マスタに向けたアクティブ測定セットアップ

### B.2.2 グラント・マスタ機能テストに向けたパッシブ測定セットアップ

図 B.2-2 は、パッシブなアプローチを使用したテレコム・グラント・マスタ (T-GM) クロックの測定のセットアップを示す。

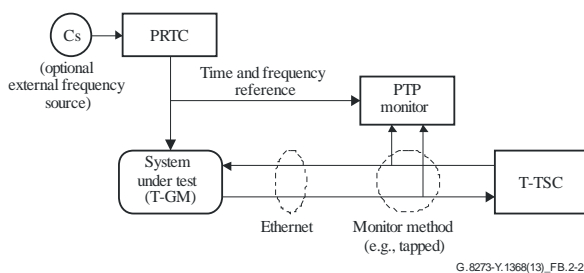


図 B.2-2 - (PTP) テレコム・グラント・マスタに向けたパッシブ測定セットアップ

T-TSC は、GM と通信する複数スレーブの状態を模擬するために、スレーブ・クロックは物理的または論理的に集合で置き換えてもよい。

### B.2.3 "PRTC + T-GM" 組合せ構成テストに向けたアクティブ測定セットアップ

図 B.2-3 は、アクティブなアプローチを使用した、一つの物理装置に” PRTC+T-GM” 組合せた構成の測定のセットアップを示す。

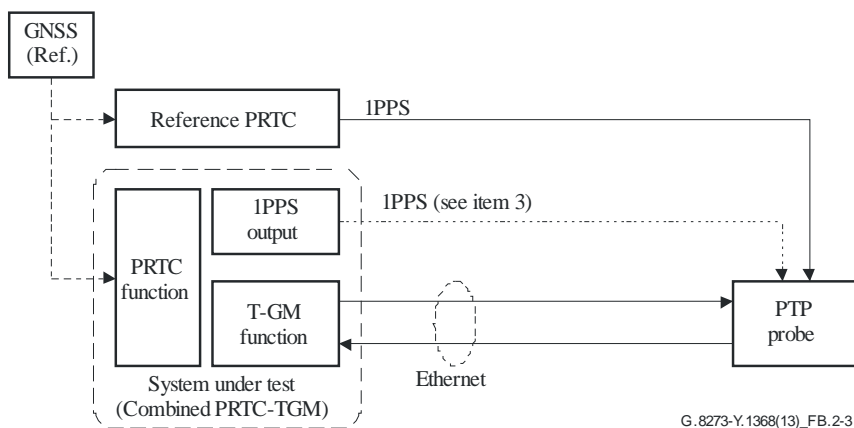


図 B.2-3 - "PRTC + T-GM" 組合せ構成に向けたアクティブ測定セットアップ

示された構成について：

- 1) テスト対象のシステムが PRTC 機能と T-GM 機能の両方が含まれている際に装置内部のインターフェースはベンダ固有となる。1PPS 出力の提供により、機器のテストと検証を可能にする。
- 2) 被システム試験の PRTC、ならびにリファレンス PRTC には同一のリファレンス源を入力する。この図では、GNSS (例えば、GPS) アンテナは校正されたケーブルで両方の PRTC へ供給することを想定する。
- 3) リファレンス PRTC は時刻誤差を測定するために使用する。ワンダ測定は、PRC またはそれと同等のものを使用する。PTP プロブで 1PPS 時刻誤差を測定できない場合の代替的な構成については [ITU-T G.8272] の付録 I を参照すること。
- 4) [ITU-T G.8272] の付録 I は、被試験装置のタイミング出力のワンダを測定するための方法を提供する。

注— リファレンス PRTC 機能に適した構成の場合は、[ITU-T G.8272] の付録 I に応じたオプションに従ってください。

### B.2.4 "PRTC + T-GM" 組合せ構成テストに向けたパッシブ測定セットアップ

図 B.2-4 は、パッシブなアプローチを使用した、一つの物理装置に” PRTC+T-GM” 組合せた構成の測定のセットアップを示す。

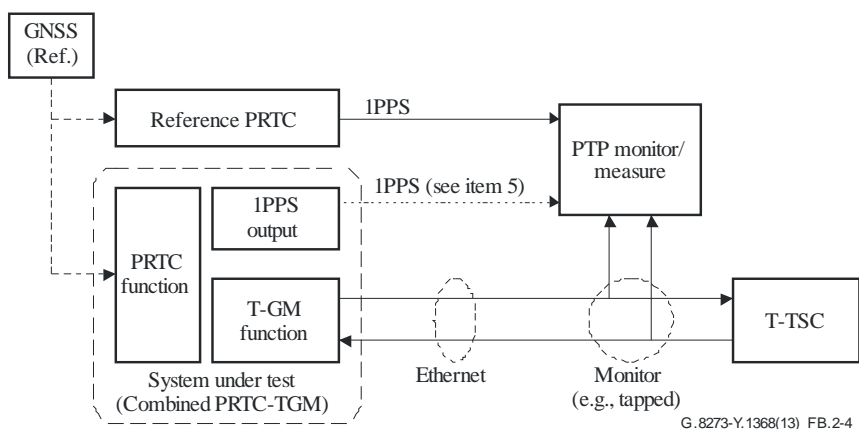


図 B.2-4 - "PRTC + T-GM" 組合せ構成に向けたパッシブ測定セットアップ

示された構成について：

- 1) テスト対象のシステムが PRTC 機能と T-GM 機能の両方が含まれている際に装置内部のインターフェースはベンダ固有となる。1PPS 出力の提供により、機器のテストと検証を可能にする。
- 2) タップモニタの方法において、テレコム・スレーブはネットワークを介して接続することができる。モニターするポイントは、テスト対象システムのマスタ・ポートからの距離を校正した状態で行うこと。
- 3) 被システム試験の PRTC、ならびにリファレンス PRTC には同一のリファレンス源を入力する。この図では、GNSS (例えば、GPS) アンテナは校正されたケーブルで両方の PRTC へ供給することを想定する。
- 4) T-TSC は、GM と通信する複数スレーブの状態を模擬するために、スレーブ・クロックは物理的または論理的な集合で置き換えてもよい。
- 5) リファレンス PRTC は時刻誤差を測定するために使用する。ワンダ測定は、PRC またはそれと同等のものを使用する。PTP モニター/測定システムで 1PPS 時刻誤差を測定できない場合の代替的な構成については [ITU-T G.8272] の付録 I を参照すること。
- 6) [ITU-T G.8272] の付録 I は、被試験装置のタイミング出力のワンダを測定するための方法を提供します。

注一” リファレンス PRTC” 機能に適した構成の場合は、[ITU-T G.8272]の付録 I に応じたオプションに従ってください。

### B.3 テレコム・バウンダリ・クロック試験

#### B.3.1 テレコム・バウンダリ・クロックを有するシステムに対するアクティブ測定系

図 B.3-1 に T-BC に対するアクティブ測定の設定アップを示す。1PPS 時刻誤差測定と同様にアクティブ PTP プロブ測定が同時に行なわれることが推奨される。

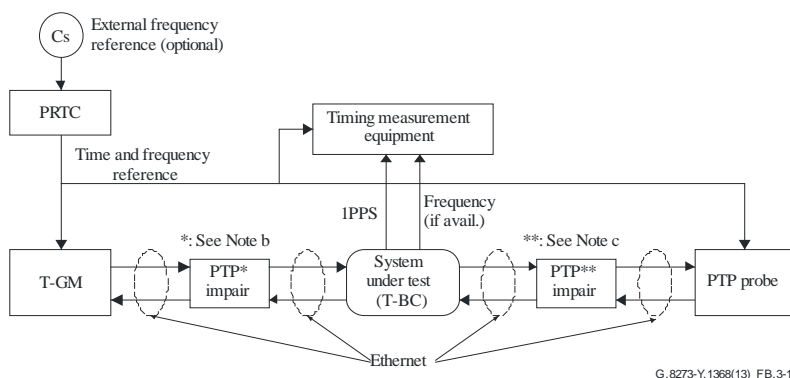


図 B.3-1 - T-BC を有するシステムのアクティブ測定セットアップ

示された構成について:

- Time Reference'の 1PPS 出力が T-BC の 1PPS 出力の時刻誤差を測定するための基準として用いられる。
- T-BC のスレーブ側のストレステストを行なうために、必要に応じて、片方の PTP インペアメント・ファンクションが SUT と GM 間のネットワーク障害をエミュレートするために用いられる。(注: PTP インペアメント・ファンクションは PTP の PDV を発生させる機能)
- T-BC のマスタ側のストレステストを行なうために、必要に応じて、もう一方の PTP と同期 Ethernet のインペアメント・ファンクションが SUT と下流方向のスレーブとの間のネットワーク障害をエミュレートするために用いられる。
- ネットワーク負荷状況を模擬するために干渉トラフィックを注入する適切な手段が提供される。T-BC のマスタとスレーブポートの両方の PTP パケットを運ぶポート上に非 PTP トラフィックも含む。
- 周波数出力を提供する SUT に対して、これらは基準に対して測定される。

#### B.3.2 テレコム・バウンダリ・クロックを有するシステムに対するパッシブ測定セットアップ系

図 B.3-2 は T-BC の性能を測定するためのパッシブセットアップを示す。この場合、パケットレイヤの SUT の転送能力を測定するために、上り側の PTP ソースと下り側の PTP 終端デバイス間のパケットは同時にモニタされる。

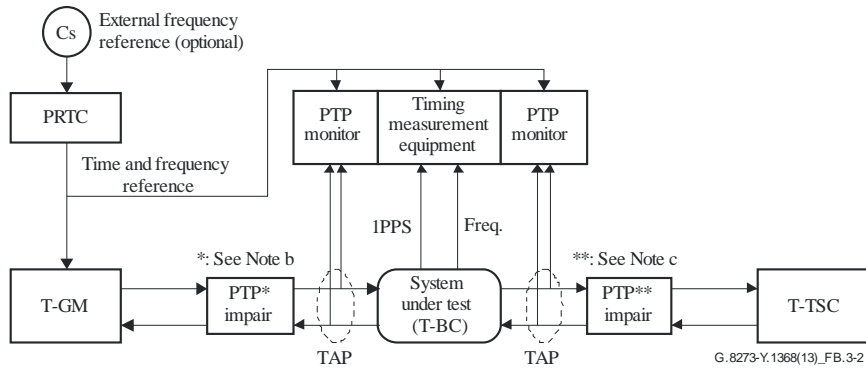


図 B.3-2 - T-BC を持つシステムに対するパッシブ測定セットアップ

第 B.3.1 節に示すアクティブ測定セットアップに対して提供された試験配置に関する記載は、図 B.3-2 に示したパッシブ測定セットアップに適用される。

## B.4 透明・クロックを持つシステムに対する測定系

### B.4.1 透明・クロックを持つシステムに対するアクティブ測定セットアップ

図 B.4-1 に T-TC に対するアクティブ測定セットアップを示す。

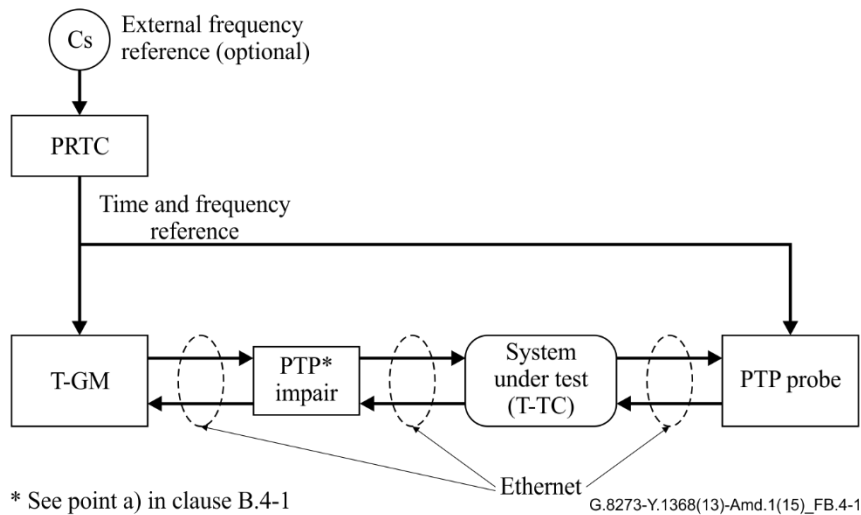


図 B.4-1 - T-TC を持つシステムに対するアクティブ測定セットアップ

示された構成について:

- T-TC の PEC 機能のストレステストを行なうために、必要に応じて、片方の PTP インペアメント・ファンクションが SUT と GM 間のネットワーク障害をエミュレートするために用いられる。
- ネットワーク負荷状況を模擬するために干渉トラフィックを注入する適切な手段が提供される。非 PTP トラフィック負荷が PTP トラフィックを運ぶポートにおいても含まれる。
- 上記のセットアップを用いた T-TC 雑音発生と雑音伝搬を計算する時、PTP インペアメントは既知であり、かつ、PTP プロブ測定と比較されなければならない。

### B.4.2 透明・クロックを持つシステムに対するパッシブ測定セットアップ

図 B.4-2 は T-TC に対するパッシブ測定セットアップを示す。



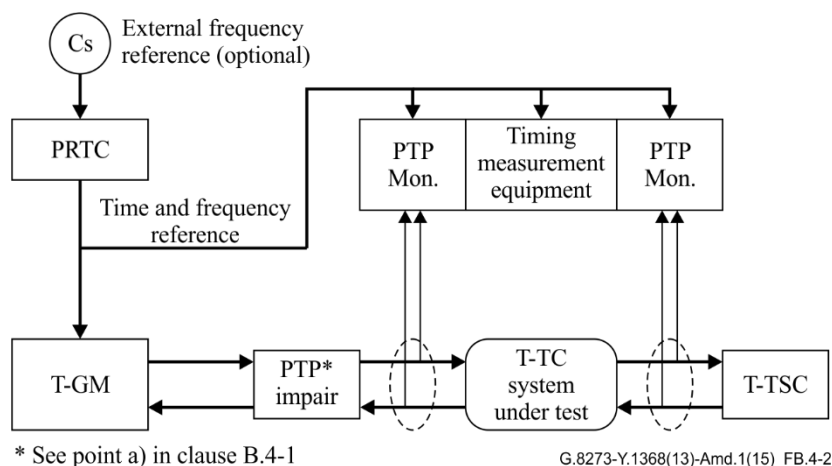


図 B.4-2 - T-TC を持つシステムに対する測定セットアップ

第 B.4.1 節に示すアクティブ測定セットアップに対して提供された試験配置に関する記載は、図 B.4-2 に示したパッシブ測定セットアップにも適用される。

## B.5 テレコム・タイム・スレーブ・クロックを持つシステムの測定セットアップ

図 B.5-1 は T-TSC に対する適切な測定セットアップを示す。

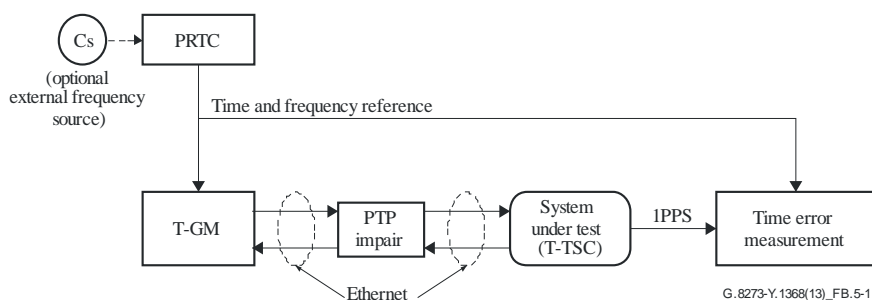


図 B.5-1 - T-TSC を持つシステムの測定セットアップ

示された構成について：

- ストレステストを行なうために、必要に応じて、PTP インペアメント・ファンクションがネットワーク障害をエミュレートするために用いられる。或いは、干渉トラフィックをもたらすために、(実際に背景負荷を掛ける様な)他の構成も取り得る。
- PTP インペアメント・ファンクションを提供する機器は同期イーサネットをサポートし、その場合において、T-TSC は周波数アシストメカニズムとして同期イーサネット (いわゆる物理層) を利用し、物理層の障害 (例えば、ワンダや周波数オフセット) をもたらす能力を持つ。

[IEEE 1588-2008] は正確な T3 タイムスタンプを送ることをスレーブに要求しない。しかしながら、もし、スレーブが正確な T3 タイムスタンプを提供するならば、スレーブ・クロックの性能は、スレーブ・クロックに関して、DELAY\_REQUEST メッセージの送出時刻を埋め込まれたタイムスタンプ T3 を測定することにより評価できる。適切な構成は図 B.5-2 に図示される。例えば、T-TSC がネットワーク機器に統合されており、T-TSC が物理層の 1PPS 出力信号を提供できない時でさえ、この様な手法は T-TSC のテストを可能にする。

本測定の精度は DELAY\_REQUEST メッセージに埋め込まれたタイムスタンプ(T3)の精度およびタップとスレーブポート間の遅延の補正に依存する。

図 B.5-2 はパケットタイミング信号を用いた T-TSC 性能評価に対する測定セットアップを示す。

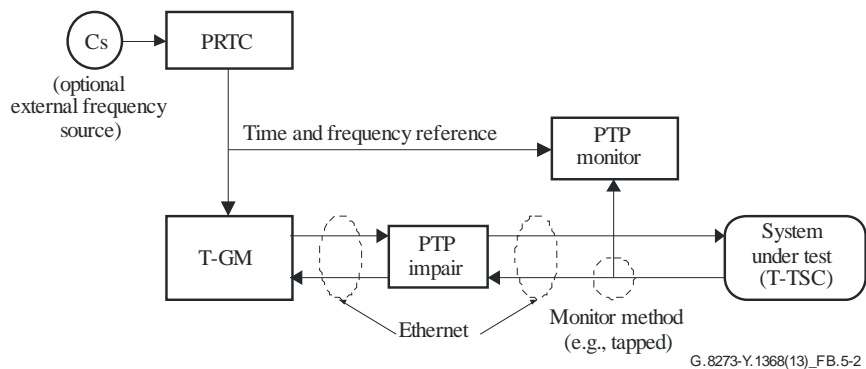


図 B.5-2 - パケットタイミング信号に基づく T-TSC を持つシステムの測定セットアップ

## Bibliography

[b-ITU-T G.781] Recommendation ITU-T G.781 (2008), Synchronization layer functions.