

TR-G8272

「プライマリ・リファレンス・タイム・ クロックのタイミング特性」の技術レポート

Technical Report on Timing characteristics of
primary reference time clocks

第1版

2015年11月30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. プライマリ・リファレンス・タイム・クロックのタイミング特性	- 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	- 14 -

1. プライマリ・リファレンス・タイム・クロックのタイミング特性

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.8272/Y.1367勧告「プライマリ・リファレンス・タイム・クロックのタイミング特性」"Timing characteristics of primary reference time clocks"」の調査結果を報告する。

2. 調査報告概要

ITU-T G.8272/Y.1367 (10/2012) 勧告に相当する本技術レポートTR-G8272では、パケットネットワークにおける時刻同期および位相同期に適するプライマリ・リファレンス・タイム・クロック (PRTC) に対する要求項目およびPRTCの時刻出力における許容される誤差、ジッタおよびワンド要求を規定している。また、PRTCが参照する入力時刻および入力位相を損失した場合のホールドオーバーについて概説している。更にPRTCの時刻・位相インタフェースおよび周波数インタフェースを定義している。

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.8272/Y.1367勧告はパケットネットワークにおける時刻同期および位相同期に適するプライマリ・リファレンス・タイム・クロック (PRTC) に対する要求項目およびPRTCの時刻出力における許容される誤差の規定を説明しているが、本勧告に含まれていない本国特有の技術の展開などが計画されていないので、現時点でのTTC標準化は見送ることにした。

今後は、国内の市場からの要求を鑑みながらパケットネットワークにおける同期技術に関する他勧告 (ITU-T G.826x勧告およびG.827x勧告) の調査を継続して行う予定である。

<参考>

(1) 国際勧告等との関連

本技術レポートはITU-T G.8272/Y.1367 (10/2012) の1版を調査したものである。ITU-T G.8272/Y.1367 (01/2015)が出版済みであるが、本TRでは未反映である。

(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	2015年11月30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、利用者には有益な事項

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技術レポート概要報告

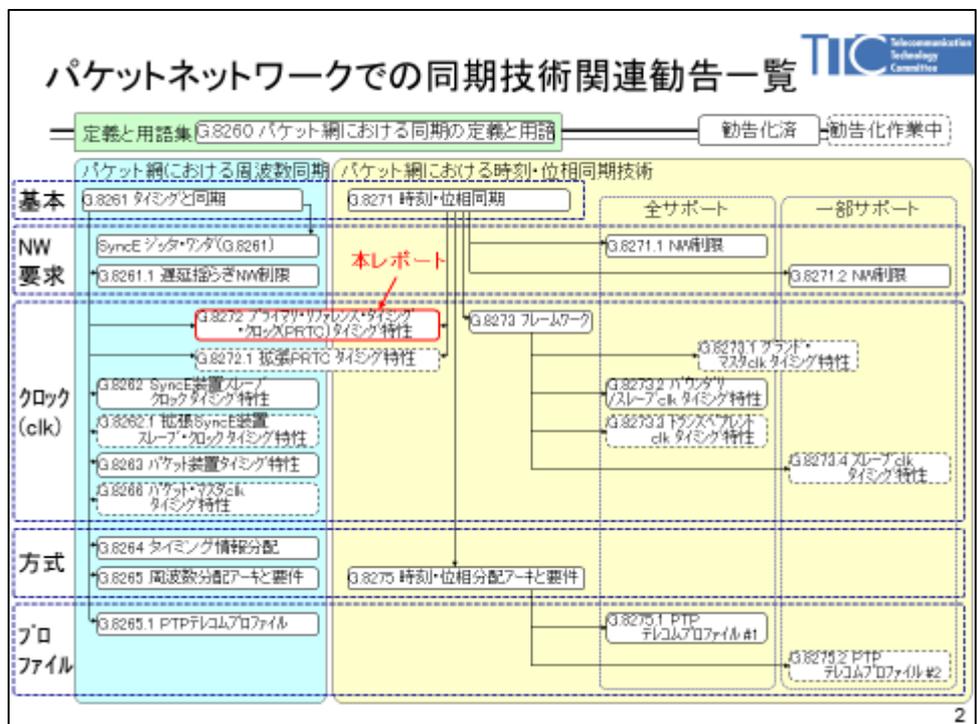
TR-G8272

「プライマリ・リファレンス・タイム・クロック のタイミング特性」の技術レポート

(Technical Report on Timing characteristics
of primary reference 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)
2015/11/30

1



TR-G8272 目次構成

TR-G8272 目次構成		(参考)ITU-T G.8272/Y.1367 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	ロックモードにおける時刻誤差、ワンダとジッタ	6	Time error, wander and jitter in locked mode
7	位相時刻ホールドオーバー	7	Phase/Time holdover
8	位相不連続性	8	Phase discontinuity
9	インタフェース	9	Interfaces
付録 I	PRTCの性能測定	Appendix I	Measuring the performance of a PRTC
付録 II	PRTCの機能モデル	Appendix II	PRTC functional model
付録 III	時刻インタフェース上の情報交換	Appendix III	Information exchanged over the time interface
付録 IV	PRTCの位置	Appendix IV	PRTC locations

1. Scope – 本勧告が対象とする領域

プライマリ・リファレンス・タイム・クロックの出力に関する要求を定義

- PRTC (Primary Reference Time Clock)の役割
 - ネットワークまたはネットワークの一部の区画の他のクロックに対して、時刻同期・位相同期向けの参照信号を提供
 - 特にテレコム・グランド・マスターに対して参照時刻信号を提供
- 本勧告ではPRTCの出力(下図A点)に関する要求を定義

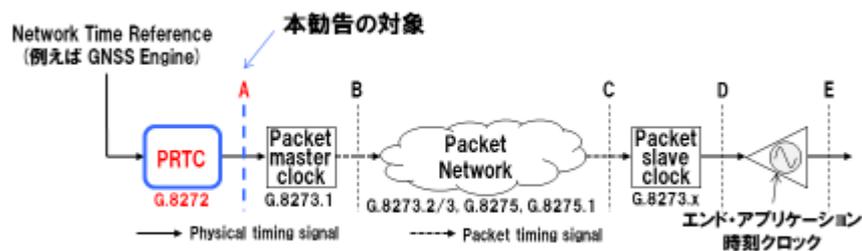


図 G.8271/Y.1366勧告 ネットワーク参照モデル

6. ロックモードにおける時刻誤差、ワンダとジッタ

第6章ではPRTCクロックのロックモード時のノイズ発生を特性化

- PRTCクロックのノイズ発生に関して以下の2種類を特性化
 - 一定の時刻誤差: 適用可能なプライマリ・タイム・リファレンス(たとえばUTC)と比較したその出力における一定の時刻誤差
 - 位相誤差量: PRTCクロックの出力において発生する位相誤差量(ワンダとジッタ)

- 第6.1~6.3節では下記の要求を定義
 - 第6.1章 時刻誤差に対する要求定義
上記の一定の時刻誤差と位相誤差量の両方を考慮して、ロックモード時のPRTC出力での時刻誤差に対する要求を定義
(位相誤差のみが発生する場合に対して、一定の時刻誤差に対する要求は定義しない)
 - 第6.2章 位相誤差(ワンダ)に対する要求定義
MTIEとTDEVを用いてPRTC出力でのワンダに対する要求を定義
 - 第6.3章 位相誤差(ジッタ)に対する要求定義
PRTC出力でのジッタに対する要求を定義

5

参考「クロックがロックモード」の定義

ロックモード状態の定義は下記のとおり

- PRTCは入力参照時刻信号に対して完全にロックされ、かつ、ウォームアップ状態でない
- アンテナ障害を含むがそれに限らない参照パスの障害、又は、設備故障が無い
- 環境状況は機器に対して規定された動作制限内である
- 機器は適切に動作し、かつ、アンテナケーブル長、ケーブル増幅と受信遅延のような固定のオフセットに対して調整されている
- 参照時刻信号(例 GNSS信号)は適切な運用機関により決定された制限内で動作している
- 参照時刻信号がGNSSの様な無線システム上で動作している場合、マルチパス反射や他のローカル送信機からのジャミングの様な干渉は許容可能なレベルまで最小化されている
- 深刻な雷雨の様な極度の伝搬異常がないこと

6

6.1 ロックモードにおける時刻誤差

UTCなどの時刻標準との誤差が100ns以下より良い精度を要求

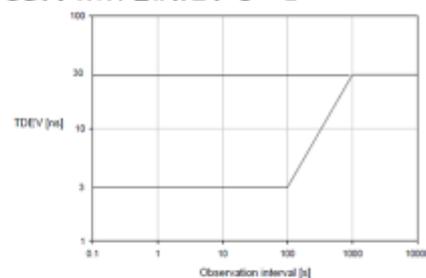
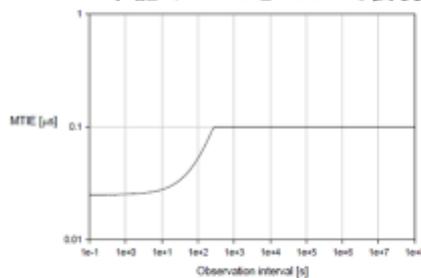
- クロックがロックモード時のPRTCの時刻誤差に対する要求定義
 - 適用可能であるプライマリ・タイム・リファレンス(例えばUTC)の出力と比較して、その誤差が100ns以下、又は、それよりも良い精度
 - 注: この値は、例えばPRTCの一定の時刻誤差(時刻オフセット)と位相誤差(ワンダとジッタ)の全ノイズ成分を含む

7

6.2 ロックモードにおけるワンダ

MTIEとTDEVの表現によりワンダに対する要求を定義

- クロックがロックモード時のPRTCのワンダに対する要求定義
 - 下記のMTIEとTDEVで表現される要求条件を満足すること



□ 測定条件

- G.810勧告の図1a(Frequency StandardをTime Standardに読み替えて)において定義される同期クロック構成と類似の構成を用いて測定
- 1PPS出力インタフェースに対する測定: 1秒当たり1サンプル、かつ、あらゆるローパスフィルタ無しで取得された1PPS信号の時刻インターバル誤差を測定
- 2048 kHz, 2048 kbit/sおよび1544 kbit/s出力インタフェースに対する測定: 1/30秒の最大サンプリング時間で10Hzに等価な一次ローパスフィルタを通して測定

8

6.3 ロックモードにおけるジッタ

ジッタ発生仕様はインタフェース速度毎に個別に規定

- ジッタ発生仕様は異なるインタフェース速度に対して個別に規定
(本勧告におけるその他の大部分の仕様は出力インタフェース種に対して無依存で規定)
- 以下のインタフェース速度に対するジッタ仕様はITU-T G.811勧告を参照
 - 2048 kHz
 - 2048 kbit/s
 - 1544 kbit/s
- 上記以外のインタフェースに対する仕様は今後の検討課題

9

7. 位相/時刻ホールドオーバー

8. 位相不連続性

位相/時刻ホールドオーバーと位相不連続性に対する要求はFFS

- 位相/時刻ホールドオーバー
 - PRTCクロックが全ての入力位相と入力時刻の参照を損失した場合、位相/時刻ホールドオーバー状態
 - この時、PRTCクロックはローカルオシレータのホールドオーバーか、もしくは、PRCへ遷ることができるオプションの外部入力周波数参照か、もしくは両方の組み合わせを参照
 - この要求条件は出力タイミング信号の最大変動幅を制限する。加えて、入力信号の障害や内部の擾乱による位相変動の累積に制約を与える。
 - 位相/時刻ホールドオーバーに対する要求は今後の検討課題
- 位相不連続性
 - 位相不連続性に対する要求は今後の検討課題

FFS: For Further Study

10

9. インタフェース

位相と時刻インタフェースと周波数インタフェースの定義

- PRTCクロックを含む機器の出力位相と時刻インタフェース
 - ITU-T G.8271勧告 Annex Aで測定用インタフェースとして定義される1PPSインタフェース
 - その他のインタフェースは今後の検討課題

- PRTCクロックを含む機器の出力周波数インタフェース
 - ITU-T G.703勧告に規定される1544 kbit/sインタフェース
 - ITU-T G.703勧告に規定される2048 kbit/sインタフェース
 - ITU-T G.703勧告に規定される2048 kHzインタフェース
 - その他のインタフェースは今後の検討課題

- PRTCクロックを含む機器の入力周波数インタフェース
 - 今後の検討課題

11

付録 I PRTCの性能測定

PRTCの性能に関するその要因、測定方法、較正について説明

概説

時刻は相対的な量であるので、常にUTCの様な標準との比較によりPRTCの性能測定を行う。しかし、比較対象であるUTC自体も国内時刻標準の出力をある時間に渡って比較することにより後から求めているにすぎない事に注意。

1.1 GNSSベースのPRTCの性能に影響する要因

PRTCの性能を決定する要因について、第一と第二の要因に分けて説明

1.2 位相ワンダ測定

PRC品質の周波数参照(例、セシウム原子時計)との比較による測定方法の説明

1.3 時刻誤差の計測

1.3.1 参照受信器に対する比較

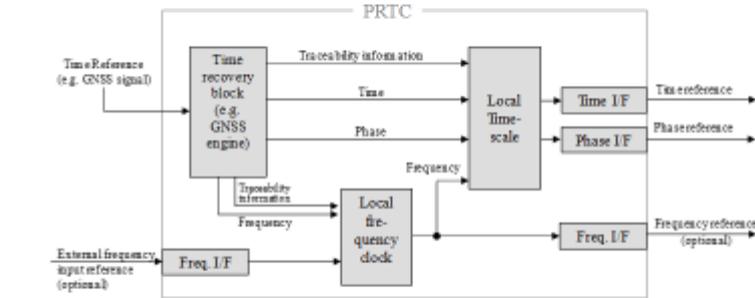
正確な時刻源(例、既知の不確実性を持つ他のGNSS受信器、または、参照受信器)との比較による時刻誤差の測定方法の説明

1.3.2 国家標準時刻に対する較正

PRTCの時刻誤差がある時刻標準に対して許容限界以内であることを示すために、PRTCと更に高精度な時刻源との比較について説明

12

PRTCの機能とインタフェースを説明するためのモデルを定義

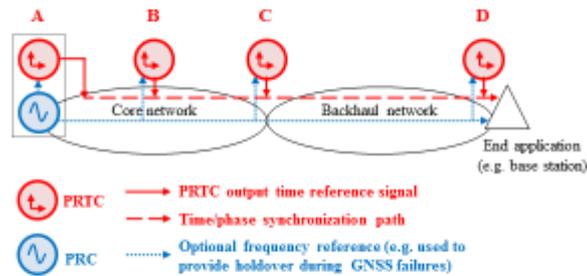


時刻再生 (Time recovery block)	外部時刻インタフェースからの信号を受信し、周波数、位相、時刻を生成するための出力信号を提供。
ローカル周波数クロック (Local frequency clock)	PRTC内部で用いる周波数の時刻信号を生成。時刻再生部から信号が失われた場合、本クロックに切替えて利用。
ローカル・タイムスケール (Local Time scale)	時刻と位相基準の出力信号の生成。ローカル周波数クロックより生成された周波数に基づいてローカルのプライマリ・タイムスケールを維持。
I/F	物理信号を生成するためのインタフェース

時刻インタフェース上で転送される情報の例を示す

名称	説明
時刻 (Time)	国際原子時, TAI (秒)
閏秒数 (Leap seconds)	閏秒数(TAIとUTC間のオフセット)
閏秒追加削除フラグ (Leap second addition/subtraction flags)	閏秒発生の事前通知の提供
状態 (Status)	信号がロックされたか、ホールドオーバーか、使用されるべきでないかの表示を提供

PRTCの配置位置の例を下記の4箇所(A~D)に一般化



- ケースA: PRCと同じ場所に配置された一元型PRTC
- ケースB: PRCと同じ場所に配置されていない一元型PRTC
- ケースC: アグリゲーションサイトにおけるPRTC
- ケースD: ネットワーク端におけるPRTC

TR-G8272 まとめ

- 本技術レポートが対象とするITU-T G.8272勧告は、パケットネットワークにおける時刻同期・位相同期において重要な役割を果たすPRTCの出力に関する要求を定義
 - PRTCに対する時刻同期、位相同期の要求、および、インタフェースの一部を勧告化した文章。
 - 本文中に詳細な仕様ではなく、ガイドライン程度の情報が記載
 - 強制力の無い付録に具体的な測定方法、インタフェース等の例が示されている
- 国内において、本勧告に準拠した技術の利用実績がある。そこで、本勧告に関する情報が国内で広く活用される可能性があるので技術レポートとして報告する。

Ⅲ. 調査対象勧告和訳

Recommendation ITU-T G.8272/Y.1367

プライマリ・リファレンス・タイム・クロックのタイミング特性

要約

ITU-T G.8272/Y.1367勧告は、パケットネットワークにおける時刻同期および位相同期に適するプライマリ・リファレンス・タイム・クロック (PRTC) に対する要求を規定する。PRTCの時刻出力における許容される誤差を定義する。これらの要求は装置の定義する定常的な環境条件下において適用される。

改版履歴

版数	勧告	承認日	Study Group
1.0	ITU-T G.8272/Y.1367	2012-10-29	15

目次

1.	範囲	- 16 -
2.	参照	- 16 -
3.	定義	- 16 -
4.	略語および頭字語	- 16 -
5.	慣例	- 17 -
6.	ロック・モードにおける時刻誤差、ワンダとジッタ	- 17 -
6.1	ロック・モードにおける時刻誤差	- 17 -
6.2	ロック・モードにおけるワンダ	- 18 -
6.3	ジッタ	- 19 -
7.	位相/時刻ホールドオーバー	- 19 -
8.	位相不連続性	- 20 -
9.	インタフェース	- 20 -
9.1	位相と時刻インタフェース	- 20 -
9.2	周波数インタフェース	- 20 -
付録 I		- 21 -
I.1	GNSSベースのPRTCの性能に影響する要因	- 21 -
I.2	位相ワンダ測定	- 21 -
I.3	時刻誤差の計測	- 22 -
I.3.1	参照受信器に対する比較	- 22 -
I.3.2	国家標準時刻に対する較正	- 24 -
付録 II	PRTC機能モデル	- 26 -
付録 III	時刻インタフェース上で交換される情報	- 28 -
付録 IV	PRTCの位置	- 29 -

Recommendation ITU-T G.8272/Y.1367

プライマリ・リファレンス・タイム・クロックのタイミング特性

1. 範囲

本勧告は、パケットネットワークにおける時刻同期と位相同期に適するプライマリ・リファレンス・タイム・クロック (PRTC) に対する要求を規定する。これらの要求は装置に対して正常環境状況下に対して適用される。

典型的なPRTCはネットワークまたはネットワークの区画の他のクロックに対する時刻同期そして/または位相同期向けの参照信号を提供する。特に、PRTCが配置されたネットワークノード内のテレコム・グランド・マスターに対してPRTCは参照信号の提供もできる。PRTCは承認された時間標準(例えばUTC)まで遡れる参照時刻信号を提供する。

本勧告はPRTCの出力に関する要求を定義する。PRTCの精度は本勧告の規定どおりに維持されるべきである。

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.8271]	Recommendation ITU-T G.8271 (2012), <i>Time and phase synchronization aspects of packet networks.</i>
[ITU-T G.8260]	Recommendation ITU-T G.8260 (2012), <i>Definitions and terminology for synchronization in packet networks.</i>
[ITU-T G.810]	Recommendation ITU-T G.810 (1996), <i>Definitions and terminology for synchronization networks.</i>
[ITU-T G.811]	Recommendation ITU-T G.811 (1997), <i>Timing characteristics of primary reference clocks.</i>
[ITU-T G.703]	Recommendation ITU-T G.703 (2001), <i>Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces.</i>

3. 定義

同期に関連する定義は[ITU-T G.810]および[ITU-T G.8260]において包含される。

4. 略語および頭字語

本勧告は下記の略語と頭字語を用いる

GNSS	Global Navigation Satellite System 全地球的航法衛星システム
GPS	Global Positioning System 全地球測位システム
MTIE	Maximum Time Interval Error 最大時刻間隔誤差
PRC	Primary Reference Clock プライマリ・リファレンス・クロック
PRTC	Primary Reference Time Clock プライマリ・リファレンス・タイム・クロック

SSU	Synchronization Supply Unit 同期供給装置
TDEV	Time Deviation 時刻偏差
UTC	Coordinated Universal Time 協定世界時

5. 慣例

本章は意図的に空白のままにしている。

6. ロック・モードにおける時刻誤差、ワンダとジッタ

PRTCクロックのノイズ発生は主に2つの視点より特性化される

- 適用可能なプライマリ・タイム基準（例えばUTC）と比較して、その出力における一定の時刻誤差（時刻オフセット）
- その出力において発生する位相誤差量（ワンダとジッタ）

上記で述べた二番目の視点（位相誤差）の特性化に対しては、MTIEとTDEVの計算が有効である。

第6.1章において、上記で述べた2つの視点（一定の時刻誤差と位相誤差）の組み合わせに対応するPRTC出力における適用可能な時刻誤差の要求を定義する。位相誤差のみが発生する場合、一定の時刻誤差成分に対しては要求を定義しない。

第6.2章と第6.3章では、上記で述べた2番目の視点（位相誤差）に対応する、PRTCの出力で適用可能なワンダとジッタの要求を定義する。

6.1 ロック・モードにおける時刻誤差

通常のロック状態で動作している状況下において、PRTCの時刻出力は適用可能である主要な時刻標準（例えばUTC）に対して100ns以下、又は、それよりも良い精度であるべきである。この値は、例えばPRTCの一定の時刻誤差（時刻オフセット）と位相誤差（ワンダとジッタ）の全ノイズ成分を含む。

通常のロックされた動作状況は下記を意味する

- PRTCは入力参照時刻信号に対して完全にロックされ、かつ、ウォームアップ状態でない
- アンテナ障害を含むがそれに限らない参照パスの障害、又は、設備故障が無い
- 環境状況は機器に対して規定された動作制限内である
- 機器は適切に動作し、かつ、アンテナケーブル長、ケーブル増幅と受信遅延のような固定のオフセットに対して調整されている
- 参照時刻信号（例 GNSS 信号）は適切な運用機関により決定された制限内で動作している
- もし、参照時刻信号が GNSS の様な無線システム上で動作している場合、マルチパス反射や他のローカル送信機からのジャミングの様な干渉は許容可能なレベルまで最小化されるべきである
- 深刻な雷雨の様な極度の伝搬異常がないこと

6.2 ロック・モードにおけるワンダ

PRTCクロックがノーマル状態のロック・モード動作である時、MTIEで表現されるワンダは下記制限を持つべきである。この時、図1a/G.810（Frequency StandardをTime Standardに読み替えて）において定義される同期クロック構成と類似の構成を用いて測定すること。

表1－ワンダ発生 (MTIE)

MTIE制限[μs]	測定間隔τ [s]
$0.275 \times 10^{-3}\tau + 0.025$	$0.1 < \tau \leq 273$
0.10	$\tau > 273$

結果として得られる要求条件は図1に示される。

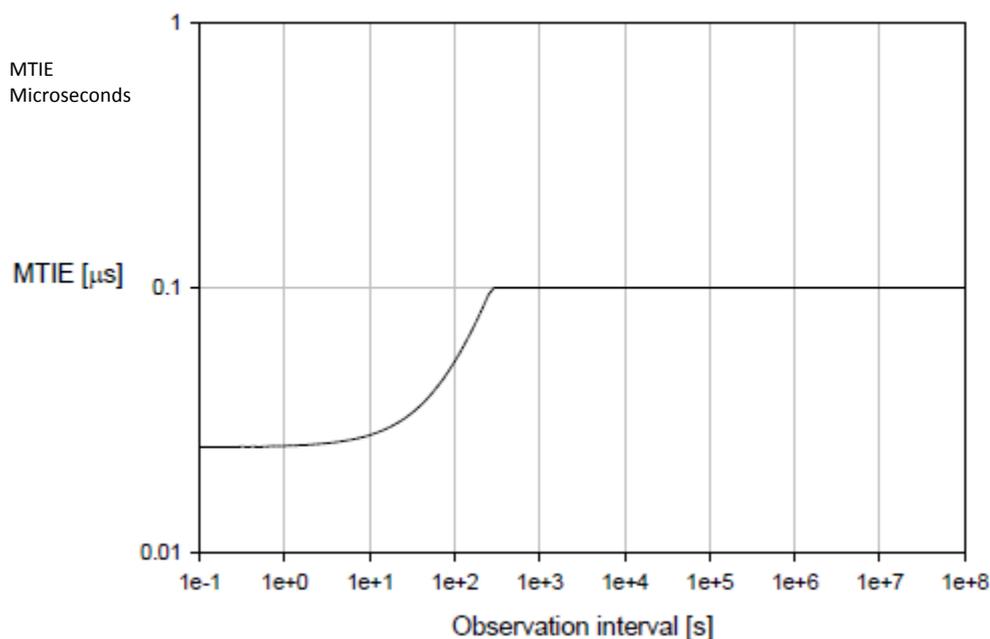


図1－測定周期τ (累積)に応じたMTIE

注: 1PPS出力インタフェースに対しては、MTIEは1秒測定周期以上が適用できる。

PRTCクロックがノーマル状態のロック・モード動作である時、TDEVで表現されるワンダは下記制限を持つべきである。この時、図1a/G.810（Frequency StandardをTime Standardに読み替えて）において定義される同期クロック構成と類似の構成を用いて測定すること。

表2－ワンダ発生 (TDEV)

TDEV制限 [ns]	測定間隔 τ [s]
3	$0.1 < \tau \leq 100$
0.03τ	$100 < \tau \leq 1000$
30	$1000 < \tau < 10\,000$

結果として得られる要求条件は図2に示される。

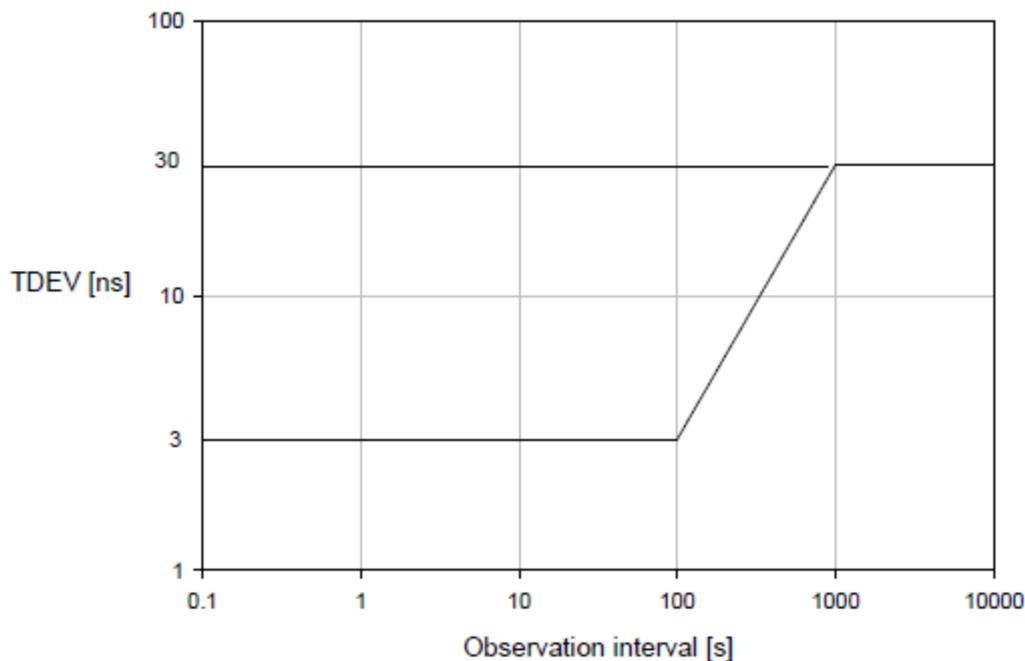


図2 – 測定周期 τ （累積）に応じたTDEV

注: 1PPS出力インタフェースに対しては、TDEVは1秒測定周期以上が適用できる。

1PPS出力インタフェースに対して適用可能なMTIEとTDEVの要求は、1秒当たり1サンプル、かつ、あらゆるローパスフィルタ無しで取得された1PPS信号の時刻インターバル誤差に基づいている。

2048 kHz、2048 kbit/sおよび1544 kbit/s出力インタフェースに対して適用可能なMTIEとTDEVの要求は、1/30秒の最大サンプリング時間 τ_0 で10Hzに等価な一次ローパス測定フィルタを通して測定される。

6.3 ジッタ

本勧告における大部分の仕様は、それらが測定される点での出力インタフェースと無関係であるが、ジッタ発生に対する場合は当てはまらない。すなわち、ジッタ発生仕様は異なるインタフェース速度に対して現在個別規定される既存の仕様を利用すべきである。これらの仕様は第9章において示されている一部のインタフェースに対して独立に記載される。2048 kHz、2048 kbit/sおよび1544 kbit/s出力インタフェースに対して適用可能なジッタ仕様はITU-T G.811勧告において定義されている。

第9章に記載される他のインタフェースに対する固有のジッタは今後の検討課題である。

7. 位相/時刻ホールドオーバ

PRTCクロックがすべての入力位相と時刻参照を損失した場合、位相/時刻ホールドオーバ状態となる。この状況下では、PRTCクロックはローカルオシレータのホールドオーバか、もしくは、PRCへ遡ることができるオプションの外部入力周波数参照か、もしくは両方の組み合わせを参照する。

この要求条件は出力タイミング信号の最大変動幅に制限される。加えて、入力信号の障害や内部で発生する擾乱の間に発生する位相変動の累積に制約を与える。

PRTCに適用できる位相／時刻ホールドオーバ要求については、今後の検討課題である。

8. 位相不連続性

PRTCに対する位相不連続性については今後の検討課題である。

9. インタフェース

この勧告での要求条件は、PRTCが組み込まれている機器やNEの内部の参照点に関する、それゆえ、ユーザによる測定や解析を可能とすることを必要としない。その結果、PRTCの性能はこれらの内部の参照点ではなく、むしろ機器の外部インタフェースにおいて定義される。

下記のインタフェースのすべてが全ての機器で実装される必要があるわけではないことに注意する。

9.1 位相と時刻インタフェース

PRTCクロックを含むことができる機器に対して規定される出力位相と時刻インタフェースは

- G.8271のAnnex Aで測定用インタフェースとして定義される1PPSインタフェース
- そのほかのインタフェースについては今後の検討課題

である。

9.2 周波数インタフェース

位相と時刻インタフェースに加えて、周波数インタフェースが使用される。PRTCクロックを含むことができる機器について規定される出力周波数インタフェースは、

- ここで規定される追加のジッタとワンド要求を含むITU-T G.703に従う2048kHzインタフェース
- ここで規定される追加のジッタとワンド要求を含むITU-T G.703に従う1544kbit/sインタフェース
- ここで規定される追加のジッタとワンド要求を含むITU-T G.703に従う2048kbit/sインタフェース
- そのほかのインタフェースについては今後の検討課題

である。

PRTCクロックを含むことができる機器のオプションの入力周波数インタフェースは今後の検討課題である。

付録 I

PRTCの性能測定

(この付録はこの勧告の主要な部分ではありません)

時刻が相対的な量であるため、PRTC出力の時刻誤差は測定するのが難しい。周波数と異なり「時刻発生器」などというものは無く、常にUTCのような標準と比較しなければならない。UTCそれ自体、多くの国内時刻標準の出力をある時間にわたって比較することによって後から求められているにすぎない。

注：PRTC性能試験の精度は今後の検討課題である。

I.1 GNSSベースのPRTCの性能に影響する要因

PRTCで最も一般的なタイプはGNSSシステムから無線信号を使って時刻を分配するものである。しかし、GNSSシステムの性能は装置ベンダーの管理外の範囲の問題に依存している。したがって、いかなるベンダー仕様も、その装置があるあらゆる実装において、どのような性能を実際に発揮するか、というより、装置の能力を示すことができるだけである。

GNSSベースのPRTCの性能を測定する際、以下の状況が可能な限り確認されるべきである：

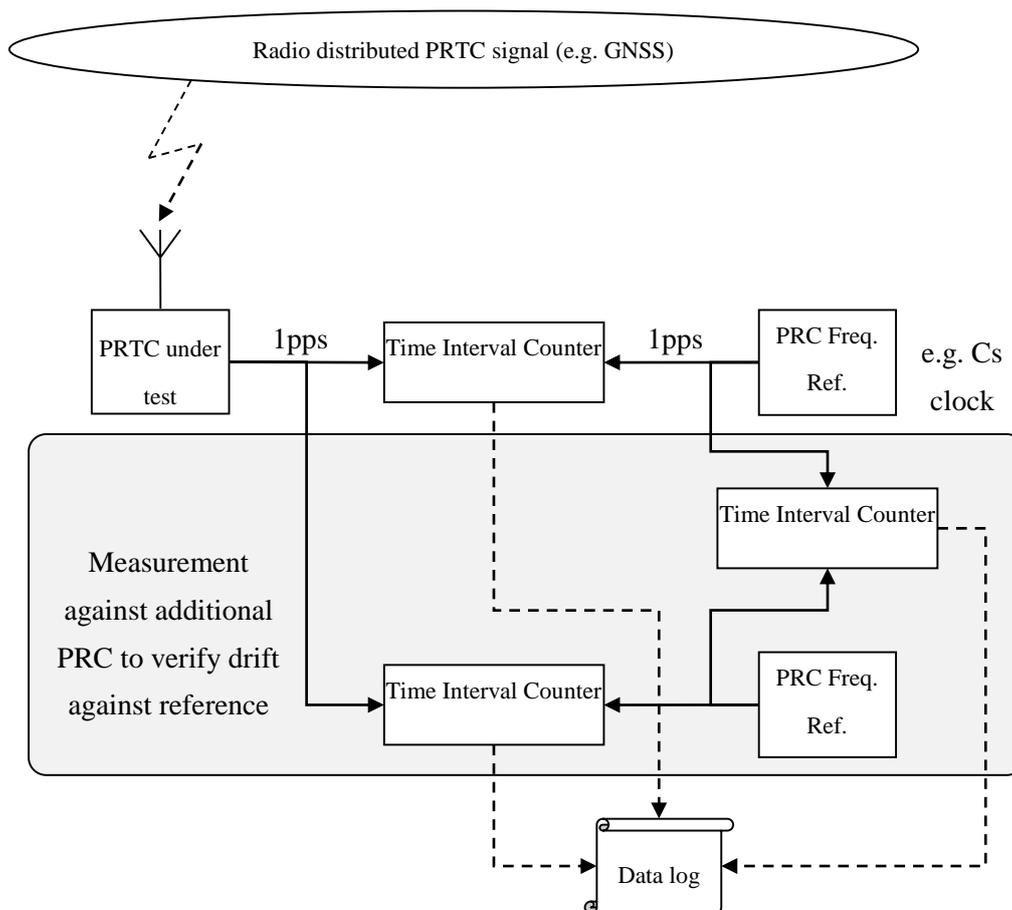
- 装置は適切に作動され、アンテナケーブル長やケーブル増幅器のような固定のオフセットについて補正されている。例えば、ケーブル・タイプにもよるが、アンテナケーブルはおよそ4ns/mの遅延をもたらす。
- PRTC内部に含まれる全ての1PPS出力信号非対称補償（G.8271 付録A、Section A.1.2で記述されるような）も安定している。
- アンテナは、最小のマルチパス歪で天空の明瞭な視界を有する。これは、測定の間見えている衛星の個数を記録することによって確認できる。
- GNSSや無線分配システムは、関連当局によって適切に維持され運用されている。これは、関連する運用当局が発行する運用状況公報を確かめることによって確認できる。

これらの主要な要因に加え、GNSSシステムで測定される時刻において誤差を引き起こす若干の第二の条件がある。これらの要因は、定量化や軽減するのがより難しい。第二の要因は、以下を含む：

- 地上伝送からの干渉。フィルタは、いくらかの地上干渉を取り除くために用いることができる一方、ローカルジャミングからは保護しない。ジャミングの存在は、干渉検出装置を用いて実証できる。
- 雷雨や豪雨または霧のような大気の状態
- 電離層の遅延に影響を及ぼす太陽黒点及びフレアのような太陽の干渉
-

I.2 位相ワンダ測定

PRTCの位相ワンダは、PRC品質の周波数参照（例えばセシウム原子時計）と比較することで測定可能である。PRTCからの1パルス/秒（1pps）出力信号の位相をPRCのそれに対して比較するためにタイム・インターバル・カウンタが用いられる。試験構成を図I.1に示す：



図I.1 : PRTCの位相ワンダ測定

セシウム原子参照クロックのワンダは、UTC周波数にわずかな偏差を持つものの極めて低い。PRCについては $1/10^{11}$ 以下であると保証されるが、典型的なセシウム原子参照は、より非常に良い性能を有する。この周波数偏差は、PRCのワンダ性能を明らかにするためには取り除かれなければならない位相プロットにおける傾斜の原因となる。

PRCのワンダとPRCのそれとを区別する目的で3方向比較をなすために第二PRCを用いることができる。これは、図I.1で影付き枠内の構成要素によって示される。この追加のチェックは必要ない場合省略できる。

セシウム原子参照は時刻ではなく周波数の情報源であるにすぎないため、この試験は位相ワンダを示すのみで、GNSSシステム時刻からの時刻誤差を測定することはできない。しかしこの試験は、静的誤差が測定でき、かつ調整しきれる場合、そのPRCが時刻を特定の限度以内で維持できることを示す。

1.3 時刻誤差の計測

PRCの最大時刻誤差を決定するために、PRCと正確な時刻源との比較が必要である。

1.3.1 参照受信器に対する比較

実験室環境下では、正確な時刻源は、既知の不確か性を持った別のGNSS受信器、或いは参照受信器となりうる。実験系は、ワンダの測定系と極めて類似しているが、参照受信器がセシウムPRCの代わりに使われている。時刻間隔カウン

タは、PRTCからの1ppsの出力信号の時刻の違いと、参照受信器からの1ppsの出力信号の時刻の違いを比較するために用いられる。その実験系は、図I.2に示される。

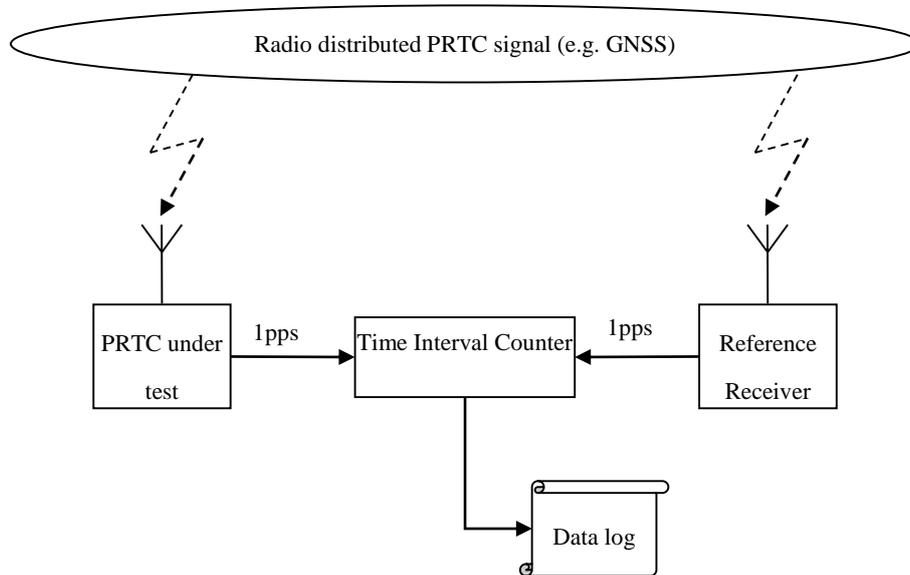
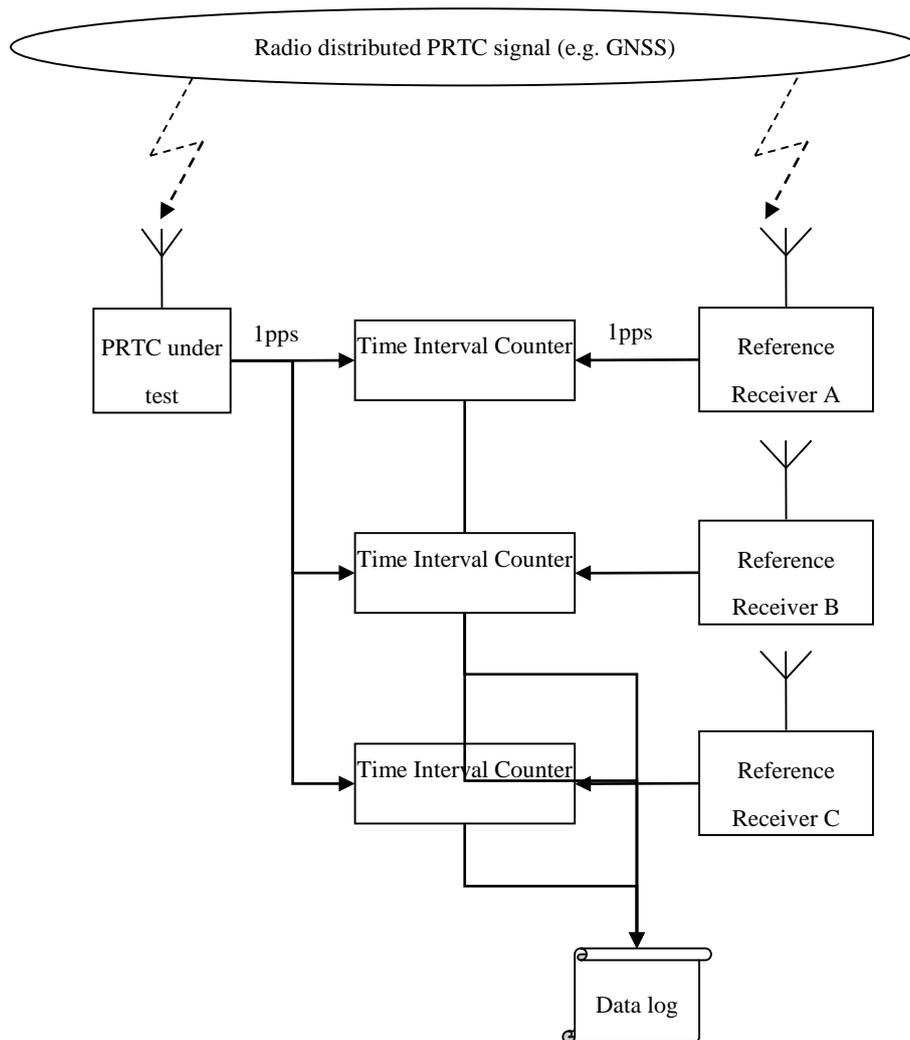


図 I.2:参照受信器に対する時刻精度の比較

本系において、比較結果が妥当であるためには、参照受信器は、理想的にはPRTCよりも極めて高性能であるべきである。PRTC時刻誤差の仕様は、GNSSシステムを用いて可能となる限界値に近づくので、この種の計測は、精度に対する仕様が満たされていることを示すよりむしろ、時刻精度が適切な範囲にあることが示される。

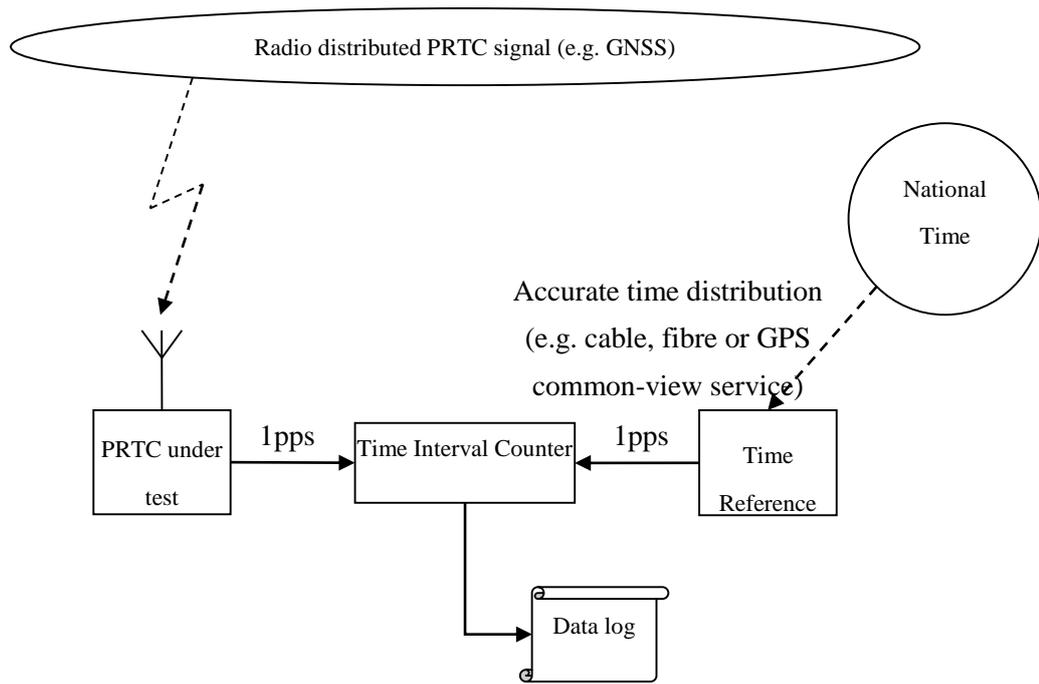
参照受信器によるアプローチは、参照受信器の集合を用いることにより改善されうる。例えば、3台以上の受信器が用いられている場合、対象となるPRTCの性能を決定するために"多数決投票"システムを用いることが可能である。その実験系は、図I.3に示される。



図I.3:複数の参照受信器に対する時刻精度の比較

1.3.2 国家標準時刻に対する較正

ある時刻標準に相対する時刻誤差が許容限界以内であることを示すために、PRTCとさらに高精度な時刻源との比較が必要である。測定は、実験室自体でなされる、あるいは、精密な時間分配システム（例えば専用のケーブル、ファイバまたはGNSS common-view タイムサービス）が使われる必要がある。この種の計測は、参照受信機の性能を特定するために用いられ得る。その実験計は図I.4に示される。



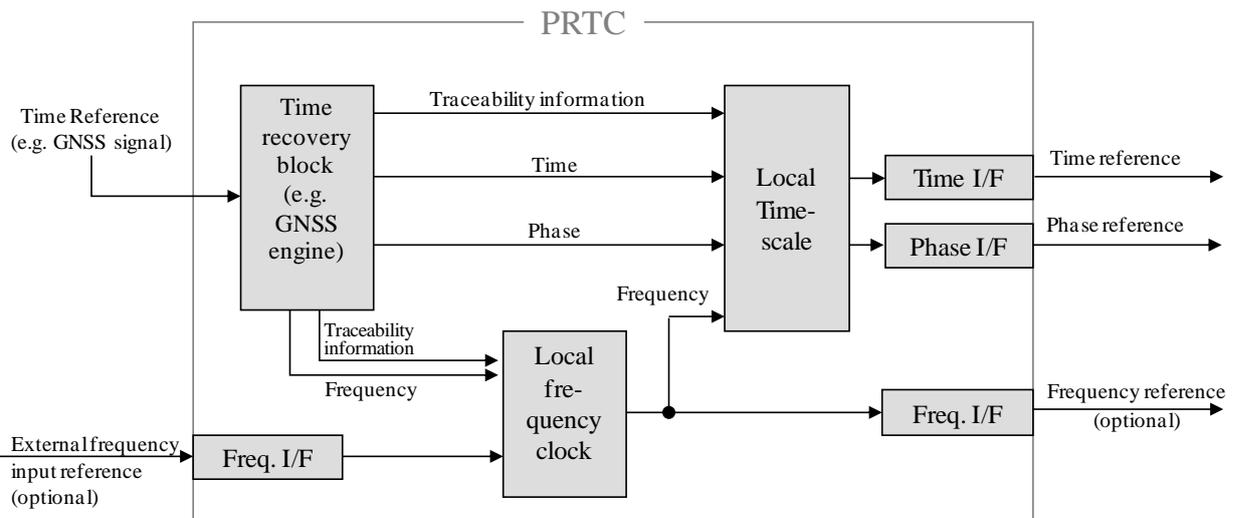
図I.4:国際標準時刻に対する時刻精度の測定

付録Ⅱ PRTC機能モデル

(この付録はこの勧告の主要部分ではありません)

PRTCの機能性を説明し、そして様々なインタフェースと機能を定義するため、この付録ではPRTCの単純化されたモデルを示す。それら様々なインタフェースと機能が一体となって（連携して？）PRTCを定義する。

図II.1は機能的なモデルを表しているが、この図によっていかなる特定の実装をも規定する意図はない。



図II.1:PRTC 機能モデル

注-図II.1に示されている出力インタフェースは論理インタフェースと対応する。あるPRTCの実装において、時刻の論理インタフェースと位相の論理インタフェースは、同じ位相/時間の物理インタフェースに統合されるかもしれない。

PRTCの主な機能は、プライマリ・タイム・リファレンスを分配することである。そのプライマリ・タイム・リファレンスは、ネットワークの他のクロックの時刻と位相の両方またはいずれか一方の同期に使われる。

PRTCクロックは、認知されているプライマリ・タイム・リファレンスへ接続を持つシステム（例えば全地球的航法衛星システム、あるいは時刻標準の生成に携わっている国立の研究機関）から時刻基準を受信する。そしてPRTCクロックは、ネットワーク全体或いはネットワークの一部の範囲内で、この基準信号を他のクロックへ分配する。

くわえて、PRTCクロックは任意で入力と出力周波数のインタフェースを実装することができる。PRTCクロックがあるPRCに準拠した周波数標準に接続されているとき、オプションの入力周波数インタフェースは、入力時刻基準が供給されない間、タイムスケールのローカルな表現を維持する（すなわち、クロックの位相/時刻のホールドオーバー時間を延ばす）ために用いられるかもしれない。

最後に、PRTCクロックは、クロックの状態（すなわちPRTCクロックの入力基準信号にロックしている状態、ホールドオーバーの状態など）を反映した、追跡可能な情報を分配することもできる。この追跡可能な情報の詳細は今後の検討課題である。

PRTCの機能性は図II.1の個々のブロックに基づいて定義される。表II.1は機能の説明を示す。注意すべきことは、機能の特定の分類を示したにすぎず、この分類によってPRTCをどのように実装できるかを明確化しようとしているわけではない。

表 II.1: PRTC機能

時刻再生	外部時刻インターフェース（例えばGNSSアンテナから）の受信および処理。 周波数と位相、時刻を生成するための出力信号の提供。 追跡可能な情報の提供。
ローカル周波数クロック	周波数クロックは、内部で用いる周波数の時刻信号を生成する。 時刻再生部からの信号が失われた場合、クロックはホールドオーバーに入るか、或いは（もし存在すれば）選択可能な入力される周波数基準にスイッチする。 このクロックの詳細は今後の検討課題であるが、PRTCの出力仕様で定められる帯域幅はかなり小さいだろうと予想される。
ローカル・タイムスケール	ローカル周波数クロックによって生成された周波数に基づいた、プライマリ・タイムスケールのローカル表現の維持。 このブロックは時刻と位相基準の出力信号も生成する。
I/F	物理信号を生成するために必要なインタフェース機能

付録Ⅲ

時刻インタフェース上で交換される情報

(この付録はこの勧告の主要部分ではありません)

PRTCは周波数、位相、時刻を運ぶための3つの出力インタフェースを含む。

注：これらのインタフェースは論理インタフェースに対応する。あるPRTC実装では時刻論理インタフェースと位相論理インタフェースは統合されて同じ位相／時刻物理インタフェースになるかもしれない。

時刻インタフェースはPRTCからの時刻および状態情報の出力をサポートする。時刻および状態情報はメッセージで運ばれる。メッセージのフォーマットは今後の検討課題である。時刻インタフェース上で転送される情報の例は表Ⅲ.1に示される。

表 Ⅲ.1 時刻および状態情報の例

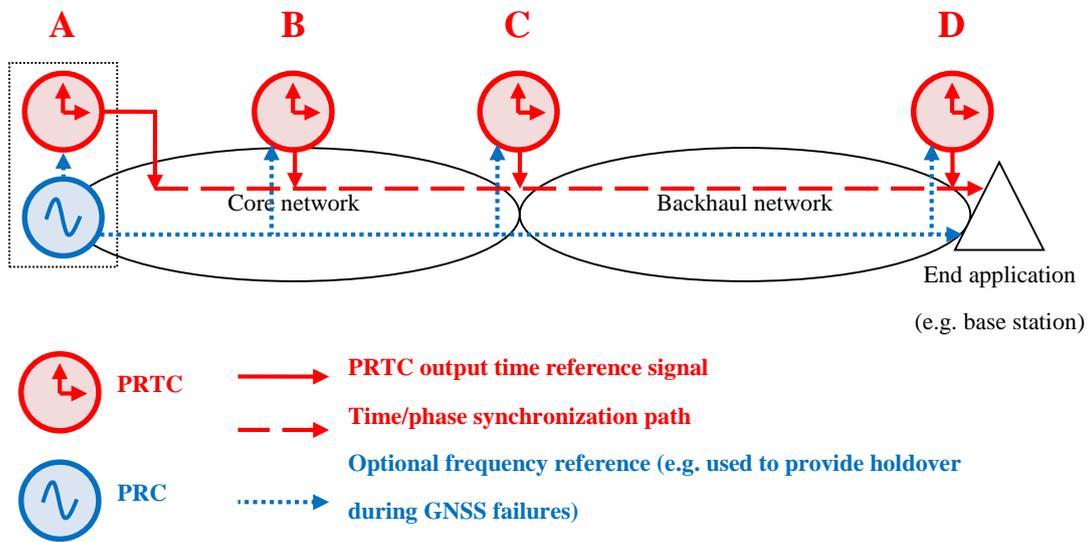
名称	記述
時刻	国際原子時, TAI (秒)
閏秒数	閏秒数(TAIとUTC間のオフセット)
閏秒追加削除フラグ	閏秒発生の事前通知の提供
状態	信号がロックされたか、ホールドオーバか、使用されるべきでないかの表示を提供

付録IV PRTCの位置

(この付録はこの勧告の主要部分ではありません)

位相／時刻配信を考慮する際、PRTC機能は、ネットワーク事業者が従事したいと望む全体構成次第で、異なる地点に設置することが可能である。一般に、本節記載および下記の図IV.1に示されるように、これらは4つの一般化された場所A、B、CおよびDに要約することができる。

注：パケットマスタ/T-GM（図には不記載）は、一般に、PRTCと一緒に配置されている。例えば、PRTCが遠隔地に時刻同期を配信しているケースである。



図IV.1－PRTC機能の一般的な配置

エンドアプリケーション近くにPRTC機能を配備することは、一元的な場所（にPRTCを配置すること）に比べ、PRTC機能の配備が大規模となることを意味することに注意されたいが、長所もある。例えば、それはPRTCからエンドアプリケーションまでのリンクの非対称性の適切に校正する作業を簡略化する。この場合、過度の時間誤差の蓄積を排除するためには、少数のリンクで、校正が行われる必要がある。

- ケースA：PRCと同じ場所に配置された一元型PRTC

ケースAでは、PRTCはPRCと共にコアネットワークに配置されている。一般に、（2つの機能は同一の機器に統合されているかもしれない。）時刻同期基準は、その際、PRTCからパケットマスタを経由し、コアネットワークならびにバックホールネットワーク伝いにエンドアプリケーション（例、基地局）まで、例えばPTPv2のようなタイムプロトコルを用い、配信される。

- ケースB：PRCと同じ場所に配置されていない一元型PRTC

ケースBでは、PRTCはコアネットワークに配置されているが、PRCと同じ場所に配置されていない。一般に、この場合には、PRTCはSSUと同じ場所に配置されており（2つの機能は同一の機器に統合されているかもしれず、典型的には、GNSS受信器がSSUに付加されている。）、このSSUより周波数基準を受信するかもしれない。時刻同期基準は、そ

の際、PRTCからパケットマスタ(T-GM)を経由し、コアネットワークならびにバックホールネットワーク伝いにエンドアプリケーション（例、基地局）まで、例えばPTPv2のようなタイムプロトコルを用い、配信される。

- **ケースC：アグリゲーションサイトにおけるPRTC**

ケースCでは、PRTCはアグリゲーションサイトに配置されている。典型的には、GNSS受信器が物理レイヤの周波数チェーンの最後のSSUに付加されている。時刻同期基準は、その際、PRTCからパケットマスタ(T-GM)を経由し、バックホールネットワーク伝いにエンドアプリケーション（例、基地局）まで、例えばPTPv2のようなタイムプロトコルを用い、配信される。

- **ケースD：ネットワーク端におけるPRTC**

ケースDでは、PRTC機能はネットワーク端（例、セルサイト）に直接配置されている。典型的には、GNSS受信器が直接、エンドアプリケーション（例、基地局）に接続されている。このケースでは、時刻同期基準は、直接、PRTCからエンドアプリケーション（例、基地局）まで配信される。
