

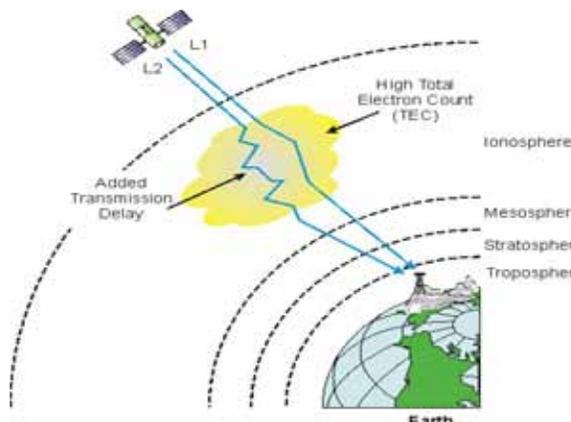
# Real-Time Ionospheric Corrections Option

## 時刻と周波数の標準

Meridian II と Tycho II 精密タイムベースには、時刻と周波数の精度を最適化する Real-Time Ionospheric Corrections (RTIC) オプションを組み込むことができます。RTIC オプションは EndRun の L1 GPS 受信機を持つ独自のアルゴリズムを使い、リアルタイムに電離層遅延を計測補正することで安定性と精度を最適化します。この他に類を見ない機能は、これまででは高価な L1/L2 二周波GPS受信機のみが備えていました。

### 電離層遅延と GPS の時刻伝送への影響

GPS の時刻伝送に誤差を生ずるもっとも大きな要素は衛星からの信号が地上数百kmに存在する電離した大気=電離層=を通過する際に生ずる遅延です。この電離は太陽放射により生じ、現地時間の正午過ぎにもっとも大きくなり、深夜過ぎにもっとも小さくなるように時々刻々変化します。



GPS 信号が電離層を通過する際に生ずる遅延は、総電子量 Total Electron Content (TEC) と呼ばれる電離の度合いに比例します。GPS 衛星からブロードキャストされる電離層モデルデータは、この遅延の補正に使用できる予測値を含んでいます。しかし、このモデルは電離層の昼と夜の変化への大まかな補正を提供しているに過ぎず、いろいろな種類の太陽嵐による電離層の時々刻々の変化とそれに伴う遅延の変動を補正することはできません。ですから、このモデル値は電離層遅延を補正しない場合に比べて 50% 程度以上の改善を目指したことはありません。

### EndRun独自の解決策

GPSコードの変調とキャリア位相の遅延は電離層を通過する際にそれぞれ違った影響を受けます。この現象をその他のいくつかの視点と合わせて検討することにより、EndRunは電離層を通過する際の遅延を直接数値化し、コード位相とキャリア位相のバイアスを解決するアルゴリズムを開発しました。この“バイアス”の情報が EndRun の単一周波数 L1 GPS 受信機がリアルタイム遅延補正を行うことを可能にしています。我々の知る限り、これは EndRun 固有の機能です。

このアルゴリズムは、GPS受信機が固定された地点で、少なくとも一つの衛星を追尾同期している場合に有効です。24時間の初期化期間の後、リアルタイム電離層遅延測定が始まります。数日後には最大精度の測定に達します。電離層が比較的安定した状態では、このオプションはタイミング出力の精度と安定性を3,000から100,000秒の観測間隔において最大3倍改善できます。さらに大規模な電離層嵐が生じた場合には、それ以上の改善が見込めます。他の方法でこの安定性をこの観測間隔において達成するには、GPSのブロードキャストするモデルでは補正しきれないタイミングエラーを除去するフィルターとして高性能セシウム周波数標準器の高い安定度が必要になることから極めて困難といえます。

### 性能は NIST (アメリカ国立標準技術研究所) で検証済み

RTIC オプションによる安定度の改善を検証するため、2016年5月に1台の RTIC を搭載した Meridian II が NIST 送られました。その 1PPS 出力は30日以上の間 NIST の UTC に対して比較観測されました。RTIC オプションにより計算されたリアルタイム補正值と共に、GPSからブロードキャストされる電離層モデルから計算された電離層遅延補正值が記録されました。NIST によるタイミング測定の結果をこれらのログと合わせて処理し、RTIC を使わず、ブロードキャストモデルのみを使った場合の安定度を算出しました。次の表は Meridian II の2つの補正方法の安定度の違いを、HP 5071 セシウム標準の2つの仕様の安定性と共に示しています。

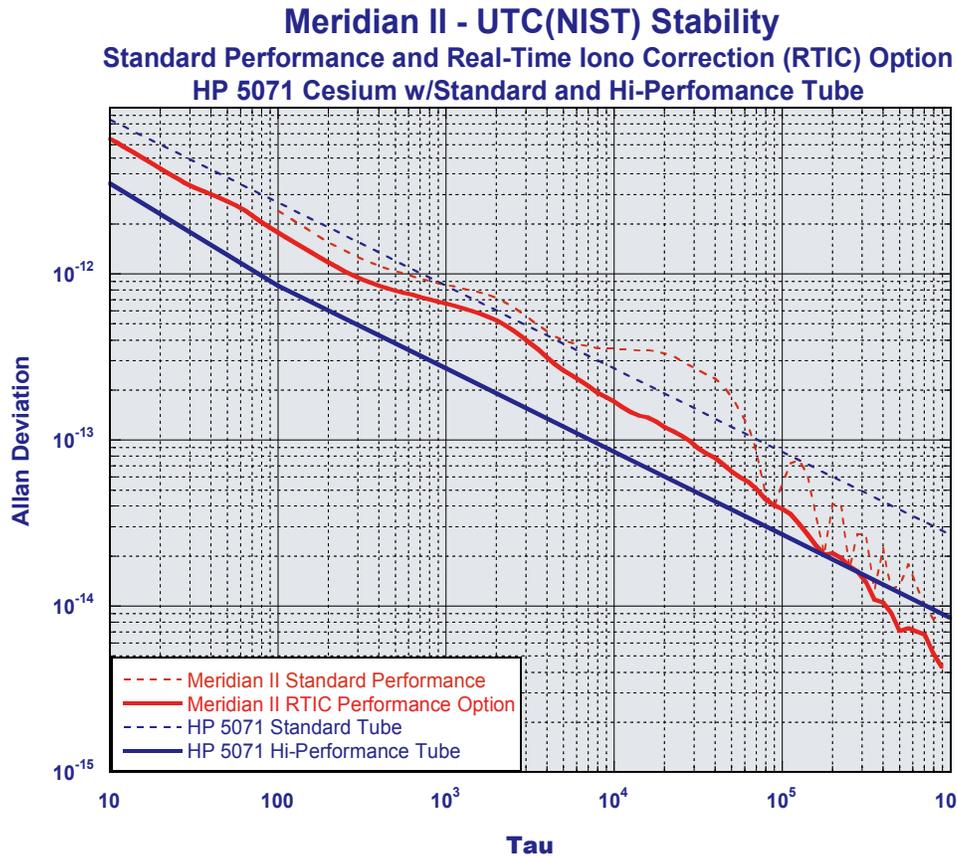
### KEY BENEFITS

- 電離層遅延のリアルタイム計測と補正
- 周波数安定性の改善:  
 $<4 \times 10^{-14}$
- 50%の時刻安定性の改善 (<2.5 ナノ秒 STD).
- 太陽嵐による電離層イベントに対する補正.
- より厳密な絶対校正.
- 標準仕様の 5071 セシウム標準器の安定性を越える.
- 2周波数 L1/L2 受信機よりはるかに安価.

# Real-Time Ionospheric Corrections Option

	Meridian II*	Meridian II RTIC Option*	HP 5071 Std Tube	HP 5071 Hi-Perf Tube
<b>Allan Deviation</b>				
1000 sec	$8.5 \times 10^{-13}$	$7.5 \times 10^{-13}$	$8.5 \times 10^{-13}$	$2.7 \times 10^{-13}$
3000 sec	$7.0 \times 10^{-13}$	$5.0 \times 10^{-13}$	$4.9 \times 10^{-13}$	$1.6 \times 10^{-13}$
10,000 sec	$5.0 \times 10^{-13}$	$1.8 \times 10^{-13}$	$2.7 \times 10^{-13}$	$8.5 \times 10^{-14}$
30,000 sec	$3.5 \times 10^{-13}$	$1.2 \times 10^{-13}$	$1.6 \times 10^{-13}$	$4.9 \times 10^{-14}$
100,000 sec	$6.0 \times 10^{-14}$	$4.0 \times 10^{-14}$	$8.5 \times 10^{-14}$	$2.7 \times 10^{-14}$

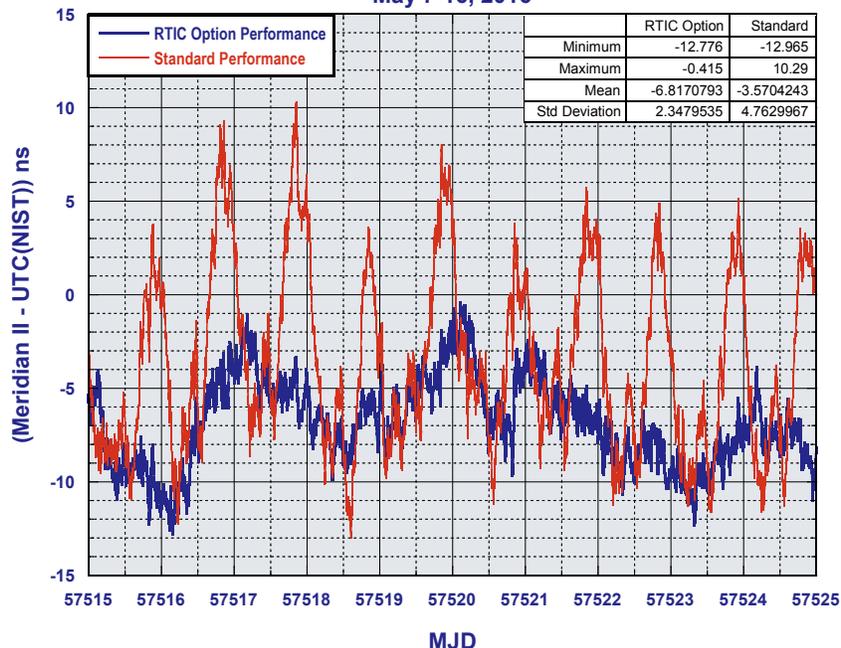
\* US-OCXO, HS-Rb Oscillator Options



上の Allan Deviation のグラフは観測間隔 40,000 秒以上において RTIC オプションによる安定度の向上が最も高くなることを示しています。RTIC オプションにより、Meridian II の安定度は、標準ビーム管を使う HP 5071 の安定度を全ての観測間隔において上回り、250,000秒以上では 高性能ビーム管を持つ HP 5071 の安定度を凌駕します。

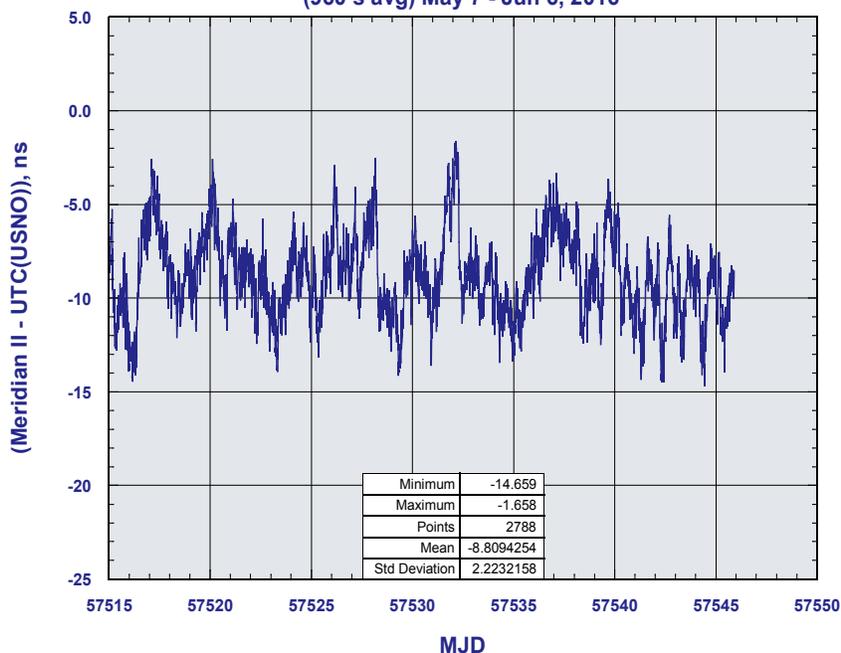
# Real-Time Ionospheric Corrections Option

Meridian II - UTC(NIST)  
Real-Time Iono Correction (RTIC) Option vs Standard Performance  
May 7-16, 2016



RTIC オプションを有効にした Meridian II の位相のグラフ (青)をGPSブロードキャストモデルを使用した標準 Meridian II (赤)と比較しています。NISTのUTCと比較した10日間の間、RTIC オプションはリアルタイム電離層遅延測定とリアルタイム補正により、安定度と精度を大きく改善できることを実証しました。

Meridian II - UTC(USNO)  
(Meridian II - NIST) + (NIST - USNO) via Common View  
(960 s avg) May 7 - Jun 6, 2016



RTIC オプションを持つ Meridian II の UTC(USNO)に対する位相グラフです。30日間の実験期間において、Meridian II の1PPS 出力は他のいかなる単一周波数 GPS 機器において達成できない、とても印象的な標準偏差値 2.22 ナノ秒を示しました。

# Meridian II RTICオプション付き精密時刻標準の仕様

## GPS RECEIVER

- L1 Band - 1575.42 MHz, 12 Channels, C/A Code.
- アンテナ入力において最低利得 15 dB.
- 定点設置運用 (RTIC オプション) およびダイナミック (船舶) 運用モード
- TRAIM (Timing Receiver Autonomous Integrity Monitoring) 搭載.
- メスTNC コネクタ,  $Z_{in} = 50\Omega$ , 5 VDC をアンテナに供給.

## ANTENNA

- 帯域外障害波を排除するバンドパスフィルタ付き, 40 dB 利得 LNA 内蔵
- 運用温度範囲  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$ . 堅牢なケース.
- 15m 低損失 RG-59 系同軸, プリアンプを併用して300mまで延長可.
- アンテナマウントキット: 45cm, 3/4インチ 塩ビ管とクランプ.
- TNC コネクタ (メス),  $Z_{out} = 50\Omega$ , 5 VDC 電源入力.

## 1 PPS 信号

位置固定, 4つ以上の衛星に同期, ほぼ全天を見渡せる場所にアンテナを設置した場合の精度と安定度

- 精度:  $<10$  ナノ秒 RMS 同期時 UTC(USNO) に対して\*  
 $<2.5$  ナノ秒 標準偏差 (SDEV)
- 安定度:  $TDEV < 2\text{ ns}$  @  $\tau < 10^5\text{ secs}$ ,  $\sigma_y(\tau) < 4 \times 10^{-14}$  @  $\tau = 10^5\text{ secs}$ .
- 正極性 TTL パルス  $50\Omega$  負荷 ( $Z_{out} = 50\Omega$ ) または RS-422信号 (オプション).
- パルス幅: 20 us, 1 ms, 100 ms, 500 ms から選択可.
- ユーザー校正:  $\pm 500\text{ us}$ , 1 ns 刻み.

\* 詳細は GPS-UTC Timing Specifications を参照ください.

## 内蔵発振器

1秒間の短期安定性(STS), 1Hzオフセットの位相雑音 dBc/Hz(LPN), 年間エージング率 (AGE RATE),  $0-70^{\circ}\text{C}$ の温度安定性 (TEMP STAB):

OSCILLATOR	STS (1 sec)	LPN 10/5 MHz	AGE RATE	TEMP STAB
- Ultra-Stable OCXO	$5.1 \times 10^{-13}$	-110/-115	$3 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-10}$
- Rubidium	$2 \times 10^{-11}$	-80/na	$1 \times 10^{-9}$	$1 \times 10^{-9}$
- High-Stability Rubidium	$1.2 \times 10^{-11}$	-80/na	$5 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-10}$

## 同期に要する時間

- 通常 10 分以下, (OCXO/Rb 発振器).

## ネットワーク I/O

- 2つの RJ-45 ジャック.
- 10/100/1000Base-T Ethernet.

## ネットワークプロトコル

- IPv4/IPv6.
- SNTP, NTP v2, v3, v4, SHA/MD5 認証, broadcast/multicast mode と autokey.
- SSH クライアントとサーバー, SCP ユティリティ.
- SNMP v1, v2c, v3 と Enterprise MIB.
- HTTPS (ウェブインターフェース).
- TELNET クライアント/サーバー.
- FTP と DHCP クライアント.
- SYSLOG.
- オプション PTP/IEEE-1588-2008 (v2) グランドマスター, ハードウェアタイムスタンプ.

## ネットワーク同期精度

- NTP タイムスタンプ精度: 10 マイクロ秒以下 @ 毎秒7,500 リクエスト.
- PTP タイムスタンプ精度: 内部クロックに対して8 ナノ秒.

## タイムコード

- 信号: 振幅変調(AM), 3:1 比, 1 kHz キャリア, 1 Vrms @  $50\Omega$  負荷.
- フォーマット: IRIG-B120 (IEEE-1344), IRIG-B122, IRIG-B123, NASA-36, ないし L2137.

## シリアル I/O ポート

- RS-232 シリアルポート, DB9M コネクタ, シリアルコンソール.
- 19200 baud, 8 data bits, no parity, 1 stop bit に固定.

## ステータス表示LED

- Sync LED: 橙色 LED 同期状態をパルス表示.
- Alarm LED: 赤 LED 深刻な障害サマリーを表示.

## 前面パネル表示と操作キーパッド

- 表示: 明瞭な 16x280 ドットマトリクス液晶
- キーパッド: Enter, Back, Edit, Right, Left, Up, Down, Help.

## 電源

- 90-264 VAC, 47-63 Hz, 1.0A Max. @ 120 VAC, 0.5A Max. @ 240 VAC.
- リアパネルに 3-Pin IEC 320 を用意. 2m の電源コード付属.

## 寸法と重量

- シャーシ: 53mm H x 412mm W x 273mm D 重量:  $<2.3\text{ kg}$ .
- アンテナ: 高さ 82.5mm x 直径 76mm.

## 環境条件

- 運用時温度湿度:  $0^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$  / 5% ~ 90% RH, 結露なきこと.
- 保存時温度湿度:  $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$  / 5% ~ 95% RH, 結露なきこと.

## 認証

- CE, FCC, RoHS, WEEE.

## GPS アンテナとアクセサリ

アンテナと15mの同軸ケーブル, 取付パイプ, クランプで構成される GPS アンテナキットが付属します. 各種低損失同軸ケーブル, 雷サージアレスタ, インライン増幅器, 分配器, 光ファイバー延長システムも用意しています.



## MERIDIAN II のオプション

Meridian II オプション データシートに詳しく説明があります.

## 関連する時刻周波数標準製品

Tycho II は Meridian II に似た, 同期精度 UTC(USNO) に対して 25 ns の前面パネルの表示と操作キーを持たない機種です.

## 関連する分配器

EndRun では Meridian II の出力を拡張する周波数, パルス, タイムコードの分配器を用意しています:

- FDC3302 高性能周波数信号分配器
- FDC3300 周波数信号分配器
- PDC3301 パルス信号分配器
- TDC3303 IRIG タイムコード分配器

日本総代理店

 株式会社 昌新

情報システム営業部

〒103-0022 東京都中央区日本橋本町1-9-13

TEL 03-3270-5926 FAX 03-3245-1695

大阪支店 TEL 06-6946-7751 名古屋支店 TEL 052-581-7291

IS@shoshin.co.jp <https://www.shoshin.co.jp/c/endrun>

**EndRun**  
**TECHNOLOGIES**

"Smarter Timing Solutions"

Santa Rosa, CA, USA  
1-877-749-3878 or 707-573-8633  
sales@endruntechnologies.com  
www.endruntechnologies.com

170103  
Data subject to change.

