

GPS/GNSS 試験の作成

GPS / GNSS機能を新規デバイスへ組込む技術者へのガイド



イントロダクション

GPS/GNSS 対応デバイスにとって、徹底した試験は不可欠です。しかし、実行する試験や適用する規格は開発内容、使用目的、ユーザーが求める性能レベルに依存します。

その結果、試験計画を設計するための単純で固定されたルールは存在しません。

その代わりに、以降のページでは次の内容を解説します。

- 考慮すべき主要な変動要素の概要
- 標準的な試験設定とテクニックの紹介
- 基本試験の実践ガイド
- どの試験がいつ、なぜ適切であるかの洞察
- テストケースと手法の実例

担当されるプロジェクトの目的に合致した詳細な試験計画の構築を開始するために必要な全てを提供できるよう願っています。しかし、ご不明な点や、他にヘルプが必要な場合は、是非当社チームへお問い合わせください

GPS とGNSS のどちらを選ぶべきか

グローバル衛星ナビゲーションシステム（GNSS）は世界中のユーザーへナビゲーションやその他のサービスを提供する衛星システムの一般的呼称です。

米国が主導するGPS システムは一番よく知られたGNSS コンステレーションで、衛星ナビゲーション全体を示す用語としても用いられることがありますが、新たなGNSS サービスが可能な開発も進行中です。（以下の全てが、現時点で進行しています）

- **GLONASS**はロシアのシステムです。全面的に稼働しており、世界中をカバーしています。
- **BeiDou/Compass** は現在進行形の中国の衛星コンステレーションです。BeiDou-2 は、第二世代のコンステレーションで、アジア太平洋をカバーし現在既に稼働中です。2020 年までには世界中をカバーする予定です
- **Galileo**は欧州連合が予定しているシステムであり、全面稼働にまもなく達する計画です。
- こうしたグローバルネットワークは、日本の**QZSS**やインドの**IRNSS/NAVIC**といった地域限定の拡張システムの一環で補強されています。

今日、多くの位置認識機能を備えた機器、特に国際間での利用向けに設計されたものは、GPS のみならず複数の衛星システムから送信される信号を処理できる受信器を内蔵します。2023 年までに、2003 年と比較して4 倍のGNSS 信号が存在するでしょう。

全てを満足できる試験は存在しません

GNSS 試験を作成する上で最も根幹を成すのは、デバイスが実際に動作する上でどのパラメーターが最も大きな影響を及ぼすかを知ることです。

敏速な位置の確定や低信号レベルでの動作を必要とするアプリケーションもあれば、絶対的な測位精度を優先的に必要とする場合もあります。レシーバーの選定、製品設計、適用する試験は、こういったことを考慮する必要があります。例えば：

フィットネストラッカー/ウェアラブルは、木々やビルに囲まれた状態で信号を受信し、運動する人々へ経過と速度を伝えるに値する精度が必要です。しかし、自転車より速い速度で移動することはないでしょう。

車載ナビゲーションは、トンネルを通過した後の位置の正確さと信号を再取得する迅速さが重要です。しかし、通常は連続的な場所で使用されるはずで

精密農業システムは素早く起動する必要はありませんが、使用時はcm 単位で絶対的な精度を確保しなければなりません。

後日発生する苦情、ファームウェアやソフトウェアのパッチ、保証の問題を防ぐため、試験は、消費者がデバイスを無理なく使用できるよう、あらゆるシナリオを予測し、余裕を持った内容でなければなりません。

試験時期

製品が仕様通りに動作することを保証し、市場投入を遅らせることなく、ユーザーを満足させるため、開発から生産に至る数々の段階にてデバイスの測位性能を試験しなければなりません。

研究開発試験は、試作品における設計と開発が妥当であるかを確認する上で不可欠です。また、予算と性能にマッチするレシーバーの部品の選定を助けます。

組合せ試験は開発の進捗に合わせて行われ、全体の設計の中で個々のモジュールが適切な働きをすることを確認する上で役立ちます。これはアプリケーションの要件に応じて簡単にも、複雑にも行えます。

製品の検証試験はデバイスが実世界の条件で動作することを確認し、該当の規格（独自規格またはサプライチェーンの場合メーカーが設定した規格）に準拠するかを検証します。

フィールド試験と生産ライン検査は、各デバイスが出荷前に期待通りに動作するかを確認する上で重要となります。ここで発生した不良は、苦情、リコール、保証の問題や、逆に製品が不要に無駄になることにつながります。

レシーバーとチップセット：同等製品の比較

レシーバーのチップセットベンダーを比較する際の課題の一つは、製品仕様の記載方法が異なることです。例としては以下となります。：

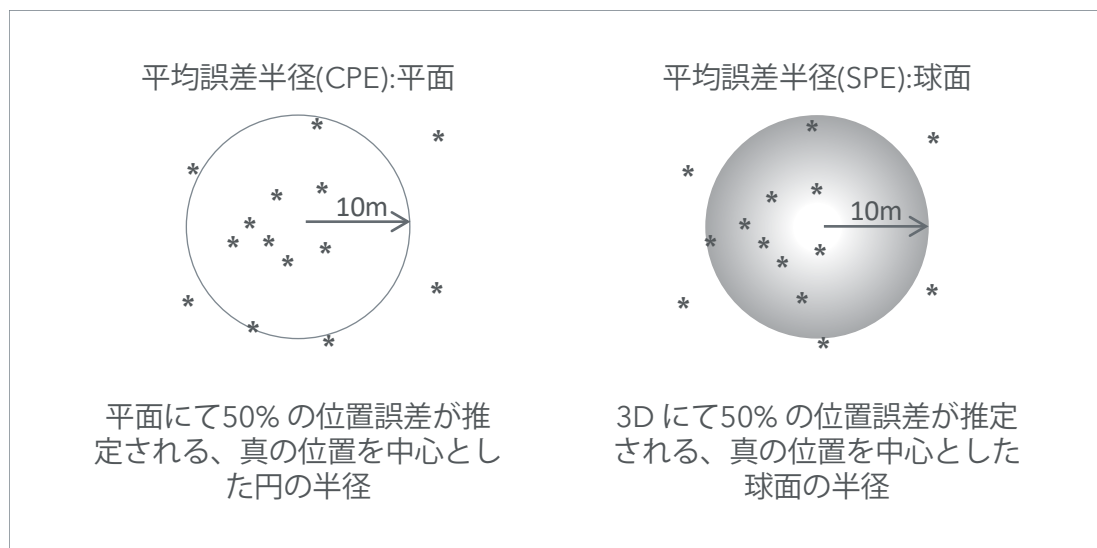
精度測定

衛星の位置データは確率的であるため、真の位置の範囲に測定が収まる確率を同時に測定しない限り、「…以内の精度」を単純に提供することはできません。多くの測位精度測定方法が存在します（以下の表をご覧ください）。

次元	精度測定	確率 (%)	一般的な用法	定義
2	CEP	50	水平	真の位置(位置推定を含む)を中心とする円の半径
2	RMS	63-68	水平	二乗平均平方根
2	R95	95	水平	真の位置(位置推定を含む)を中心とする円の半径
3	2DRMS	95-98	水平	DRMS (RMS) の2 倍。
3	RMS	61-68	3-D	二乗平均平方根

計画 vs 球面エラー

製品仕様によっては平坦な2次元の精度を示すものもありますが、球面内の誤差確率を含む3D値を示すものもあります。これは垂直位置が重要となるアプリケーションに影響します。



衛星数

起動と測位時間を規定する場合、使用する衛星信号やチャンネルの数について合意された基準は存在しません。それらには幅があり、あるアプリケーションには不向きであったり、消費電力といった特定の特性に影響を与える可能性があります。

各々の場合において、お客様が知りたい内容よりも、メーカーは自社製品を良く見せるための数値を強調することが予想されます。このため、お客様自身の基準を作成し、製品比較することが重要となります。

お客様の試験設定：考慮すべき5つの要素

使用部品とシステム設計確認、性能の調整と改善、バグの追跡と改善を実施できるだけの十分に堅牢な試験計画は、5つの主要な要素に依存します。

設定

信号特性を精密かつ正確に設定することは重要です。例えば、減衰率を徐々に増加させることで、デバイスの動作に必要な信号強度を正確に特定できます。

再現性

レーザーのチップセット選定作業やバグの解決を確認作業のいずれの場合も、比較作業を実施します。これはつまり、全体的な信号環境を同一に揃える必要があることを意味します。衛星の位置のみならず、干渉や大気条件も含まれます。これは衛星の実信号では不可能なことです。

柔軟性

レーザーの性能を限界まで試し、確認されたバグの状態を再現し、あらゆるユースケースにてデバイスが応答する様子を全て把握できるようシナリオを作成できなければなりません。

試験範囲

試験環境が実際の環境に近いほど、製品が期待される内容に従って各種の条件で仕様通りに機能する確率が高まります。稀な場合や、フィールド試験が高価か困難な場合、室内試験を実施する場合にせよ、デバイスを実信号に晒すことが重要です。

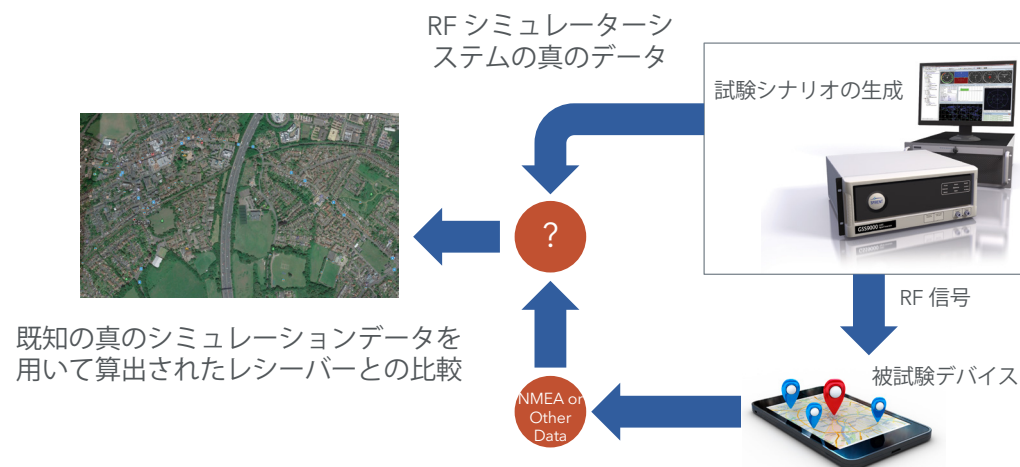
効率

シンプルなデバイスですら、必要なテストケースの数は急速に増えます。それらを素早く、理想的には自動的に実行できるかが、差別化を図り試験の貴重な時間とコストを節約できるかの分かれ目になります。

標準的なGNSS 試験設定

大まかに、GNSS 試験には3 種類の標準的な手法が存在します（以下の表をご覧ください）。基本的なGNSS 試験機器は、被試験デバイスへ、既知の設定されたRF 信号を再生し、出力を真のデータと比較します。

試験手法	実衛星信号	シミュレーション	記録・再生システム
			
繰返し可能	×	✓	✓
設定可能	×	✓	部分的
真値の抽出	×	✓	×
現実的	✓	最小限	✓
試験範囲	最小限	✓	部分的



研究開発、部品選定とシステム統合の目的に対しては、必要とされる試験範囲、柔軟性、設定範囲を満足するために通常は高品質のシミュレーターが要求されます。以下に標準的な設定を示します。シミュレートされた「真の」データは、レーダーや被試験デバイスから通常はNMEA 0183 フォーマットで得られる位置、速度、時間のデータと比較されます。主要なデータを含むNMEA メッセージの例です。



検証用には、信号ソースは記録と再生システムを利用する場合があります。細部に至るまで完全に再現された同一の実環境での試験を繰り返し実行することで、現実性と反復性を提供します。

どんな疑問がありますか？

大まかに、GNSS のどの試験パラメーターや優先事項を選択するかは、試験するデバイスとその一般的な利用方法について、7つの主要な疑問に応えることとなります。

- どれほど素早く動作を開始できるか。
衛星を補足するまでに時間がかかることは、どの程度問題になるのか。
- 最後に使用されたのはどこで、いつか。
長時間電源をオフにされていたのか、使用間に長い距離を移動したのか。
- 初めて電源を入れる際、衛星信号の強度はどの程度か。
デバイスが初めて測位する際、オープンスカイか。
- 信号をどの程度正確に保持する必要があるのか。
例えば、屋内、高層ビルの付近、密集した木々の下で利用されるのか。
- 位置はどの程度正確でなければならないのか。
所望のアプリケーションに適切な半径を特定してみてください。どの程度であれば十分といえるのか。
- 信号を失った際、どれほど素早く再捕捉できるのか。
例えば、トンネルを通過したり、無線電波の干渉を受けた場合はどうなるのか。
- 実環境の脅威や干渉に直面した場合、PNT ソリューションはどの程度確実に動作するのか。ジャミング、なりすまし、宇宙天気、グメントエラーなど、実環境の脅威に晒された際、レシーバーはどの程度堅牢性を保てるのか。

こうした疑問に答えることで、基本的なGNSS 試験のどれが試験するデバイスにとって重要であり、合格基準はどれかを理解するのに役立ちます。また、部品の選定や製品の設計工程を考えるのに役立ちます。

どれほど素早く動作を開始できるか。

試験1 : Time To First Fix (TTFF)

起動時、レシーバーはどの程度素早く衛星の追跡と利用可能な情報の出力を行えますか。

最も基本的なレベルでは、試験はレシーバーが衛星を捕捉し、位置情報および/ または時刻の計算結果を報告できるまでにかかる時間を算出することです。

しかし、この試験はまた、チップセットが動作時に、位置と時刻の予測データをどの程度所有しているかを考慮する必要もあります。既存のアルマナック、エフェメリス、おおよその位置データはTTFFに大きな影響を与えます。

そのため、試験はコールド、ウォーム、ホットスタートを考慮し、デバイスが通常使用される最も近い状態に重点を置かなければなりません。

コールドスタート : レシーバーは時刻、アルマナック、エフェメリス、位置データを一切持ちません。

試験方法 : 試験の開始前にレシーバーの不揮発性RAM (NVRAM) をリセットします。

ウォームスタート : レシーバーは時刻、アルマナック、大まかな位置を把握していますが、エフェメリスは持ちません。

試験方法 : レシーバーに完全なアルマナックを取得させますが、再起動前にエフェメリスを削除します。

ホットスタート : レシーバーは時刻、アルマナック、エフェメリスを使用でき、さらにおおまかな位置も把握しています。

TTFF 起動時の詳細については、以下の表を参照してください。

	コールドスタート	ウォームスタート	ホットスタート
時刻	不明	既知	既知
アルマナック	不明	既知	既知
エフェメリス	不明	不明または期限切れ (>4 時間)	既知
位置	不明	前回の測位から100km 以内	前回の測位から100km 以内

コールドスタートを素早くシミュレートするために、GNSS シミュレーターを使用する技術者はレシーバーを実質的に世界の両極端に配置する試験シナリオをしばしば作成し、それらを交互に切り替えます。これで、被試験レシーバーに保存されたデータを毎回削除することなく、位置を不明とさせることができます。

電源入力した際の衛星信号の強度はどの程度か。

試験2：受信感度

屋内など、衛星信号が微弱な場合にデバイスは測位が要求されるでしょうか？もしそうであれば、受信感度は重要です。

これはPTV（位置、速度、時刻）ソリューションを得るために必要な最小信号レベルとして定義されます。GNSS 信号レベルが低い場合、信号の取得はその維持よりも困難です。そのため、低い信号レベルにて正確な信号減衰を実現する、被試験デバイスよりも数段上の精度を持つシミュレーターが必要となります。

受信感度の試験：

シミュレーターを既知の固定された場所へ設置し、信号を所望のコンステレーションの基準レベルよりも30 dB 減衰させます（GPS の場合、基準レベルは-130 dBm です）。続いて信号強度を30 秒毎に0.5 dB ずつ増加させます（Spirent のシミュレーターはプリセットされたユーザー定義のアクションファイルを使用して、このプロセスを自動化できます）。

40 分後、信号強度は基準レベルよりも10 dB 高くなるため、その時点では取得が完了しているはずですが、NMEA メッセージを検査し、レシーバーが正確な位置をどの時点で取得できたかを確認します。

繰り返しますが、この試験は数回繰返し、コールドスタート、ウォームスタート、ホットスタートの性能を検討してください。

AGNSS サーバーを試験する場合、開始時にさらに減衰させる必要があります。多くの場合、- 150 dBm よりも大幅に微弱な信号を安定して取得できます。念のために、高品質のシミュレーターが必要です。全てのシステムがこれほど低い信号レベルで正確に減衰させられると保証しているわけではありません。

信号をどの程度保持する必要があるのか？

試験3：追跡感度

デバイスが障害物に遭遇した際に信号を捕捉し続けることは重要ですか？例えば、高層ビルや木々の近くを走れないなら使えません。

追跡感度は、レシーバーがコードとキャリア位相の追跡を継続し、位置の捕捉を維持できる最低限の衛星出力レベルです。一旦衛星を捕捉すれば、通常は初回の取得感度よりも大幅に低いレベルで維持できます。

この試験は、移動中に動作を維持しなければならない全てのデバイスにとって重要です。

受信感度の試験：

実質的に、これは受信感度試験を逆に行う状況に酷似しています。通常の基準レベルより10 dB 高い信号強度を持つ現実的な静的または動的シナリオをシミュレートし、続いて位置情報を失うまで信号を減衰させます。Spirent のシミュレーターは特別に作成されたユーザーのアクションファイルを内蔵しており、信号を初めは5 dB ずつ自動的に減衰させ、受信感度付近に近づくにつれて0.5 dB ずつ減衰させます。

位置はどの程度正確でなければならないのか。

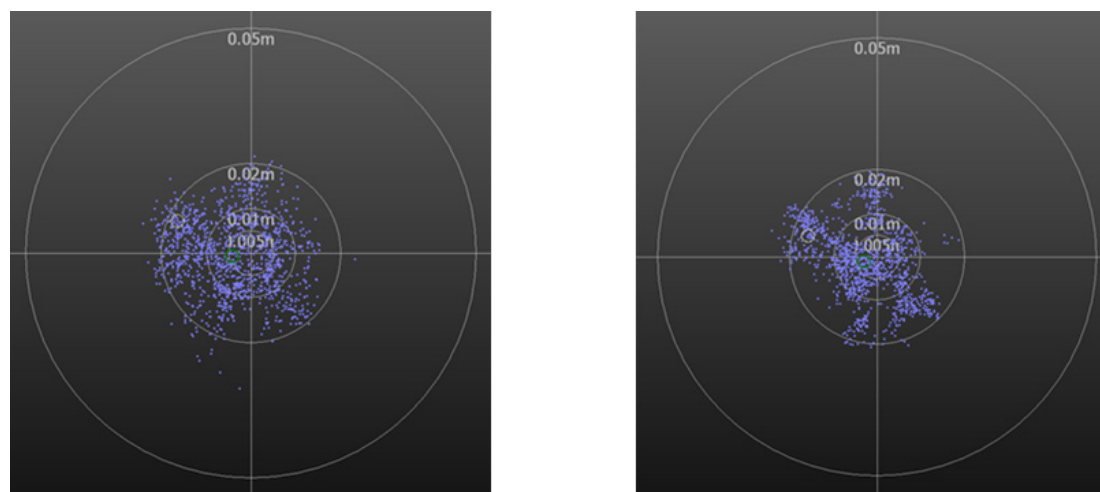
試験4：位置精度

結局、デバイスはどの程度正確に真の位置を判定できるのでしょうか？一部のアプリケーションにおいては、数メートルで充分であったり、センチメートル級が最小条件であったりします。

GNSS 測位は本質的に確率的であるため、試験は数回繰り返し、誤差の半径を判定するために全体的な確率計算を行う必要があります。

以下の数値は、2 つのレーザーを比較した際の標準的な試験結果を示します。一部のアプリケーションでは、水平面の精度で十分です。

それ以外では、3次元で球面のエラーを許容する必要があります。



ほとんどのアプリケーションにおいて、試験時はレーザーが静止している場合と移動する場合の両方にて満足する性能を発揮しなければなりません。繰り返しになりますが、移動の条件はデバイスの利用方法に依存します。

信号を失った際、どれほど素早く再捕捉できるのか。

試験5：再取得までの時間

次の状況を思い浮かべてください。空港で友人を見送った後、地下の駐車場から出る場合です。左右どちらに曲がるかわからず、後ろについている他の車が苛立ち始めます。衛星ナビゲーションが信号を再取得するまでに、どれだけ待てますか？

再取得までの時間はユーザーの満足度において非常に重要であり、信号の一時的な損失をシミュレートすることで簡単に試験できます。

ラボ条件における試験では一時的な信号損失をシミュレートするためにシミュレーターのオン/ オフコマンドを使用し、続いてレシーバーの出力を観測して信号を再導入しレシーバーが適切な測位情報を確立するまでの間隔を記録します。

重要なことに、再取得の性能には衛星の地理的位置が鍵を握ります。そのため、部品性能や設計を比較するためには、シミュレーター又は記録と再生システムを使用する場合のいずれも、このパラメーターを各試験にて完全に一致させることが必須です。

実環境の脅威や干渉に直面した場合、レシーバーはどう挙動するのか？

試験6：PNT の復元力

ユーザーが正確な測位、ナビゲーション、タイミング (PNT) への依存を深めるにつれ、ジャミング、なりすまし、宇宙天気、セグメントエラーなど、実世界の脅威に晒された場合のレシーバーの復元力を測定することは、他のあらゆるGNSS 測定試験と同程度に必須となります。

技術者は不慮の信号中断（電離層シンチレーションや付近のRF 機器からの干渉など）や故意のジャミングやなりすましを通じた信号中断の影響を評価することがますます要求されています。試験は干渉が強まる際のレシーバーの挙動と、どの段階でユーザーに警告を通知するかを決定できます。

復元力試験における最初の一步は、システムや機器が日常動作において特定されたGNSSの脅威要素に直面する確率と、その場合に脅威や脆弱性の内容を決定することです。市販の試験ツールを使用してまずRF 干渉環境を特性付けることが奨励されます。続いて、リスク評価にて特定されたシステムの脅威や脆弱性に対する反応を、ラボ条件にて測定できます。

今日では、主要なシステムパラメーターを継続的に監視しながら、ジャマーから取得された実際の干渉波形を用いて様々なGPS ジャミングシナリオをシミュレートしたり、各種のなりすまし攻撃をシミュレートできます。このシステムの脆弱性監査を通じて、試験技術者は段階的かつ低コストな軽減テクニックとインテグリティフラグ機構について、十分に情報を得た状態で判断を下せるようになります。

反復と自動化

特定のGNSS 性能特性がデバイスにおいて重要性を増すにつれ、サンプル数を上げて結果の信頼性を引き上げるのが重要になります。

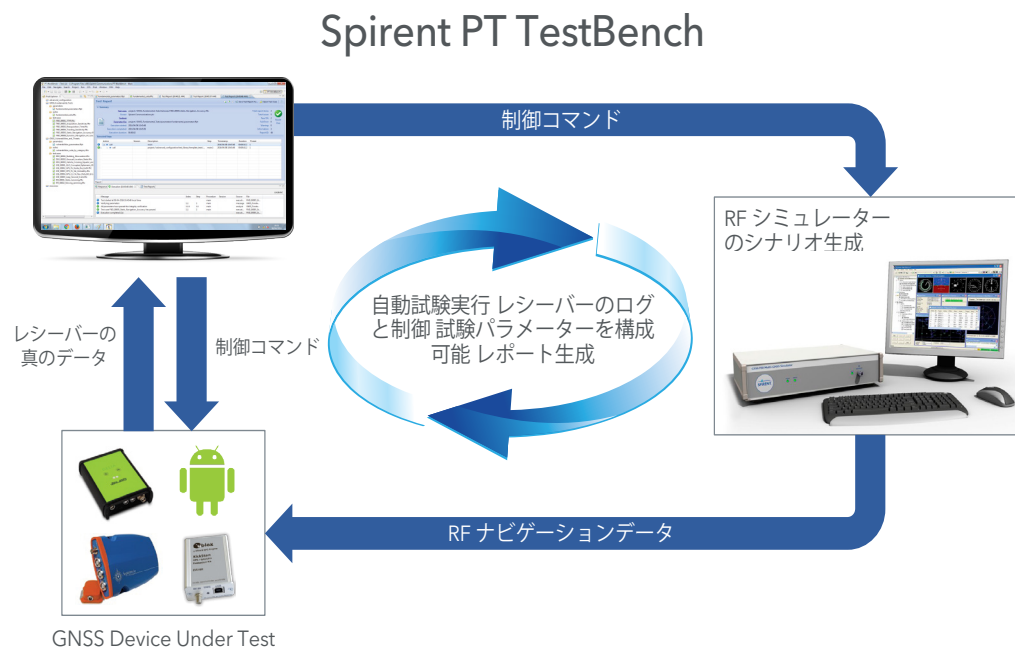
例えば位置精度の結果を分析する場合、少なくとも各シナリオで100 の読み取りを含めることが一般的です。特に、異なるレシーバーを比較してアプリケーションに最適なものを見つける場合です。

明らかに、また特に受信感度といった時間のかかる試験では、同一の試験を数十回繰り返すことは時間と労力が無駄にかかります。

このため（また、人的ミスの可能性を減らすため）、ほとんどのGNSS 試験計画では自動化が取り入れられます。以下の図は、Spirent の新しいPT TestBench 自動化とレポート生成ツールが以下の項目に柔軟性を持って対応します。

- スクリプトを必要とせずに基本の標準テストケースを作成、編集、または単に再生
- 最も一般的で繰り返されるタスクに合わせて試験を一元化
- 必要に応じてワンクリックで一連の試験を実行
- レシーバーの真のデータにおける主要な要素を特定し、合否レベルに対して分析することで自動的にレポートを生成

ラボにてスクリプト生成に数週間かけ、テストケースを何度も繰り返し実行することなく、デバイスのGNSS 機能における主な課題に対する回答を得たい設計技術者にとって理想的です。



Spirent Communicationsについて

Spirent Communications (LSE: SPT)は、試験、保証、解析、セキュリティにて数十年の経験と豊富な専門知識を有するグローバルリーダーであり、開発者、サービスプロバイダー、企業ネットワークを支援します。

当社はますます複雑さを増す技術面および業務面の課題を明確にします。

Spirentの顧客は、ユーザーに対して優れた性能を提供する約束を行っています。Spirentは、こうした約束が果たされるよう保証します。

詳細は次を参照してください:

www.spirent.com

spirent.com

南北アメリカ 1-800-SPIRENT

+1-800-774-7368 | sales@spirent.com

米国政府および国防


info@spirentfederal.com | spirentfederal.com

欧州および中東

+44 (0) 1293 767979 | emeainfo@spirent.com

アジアおよび太平洋

+86-10-8518-2539 | salesasia@spirent.com



当社がお手伝いします

経験豊富な開発技術者にとってすら、GNSS 対応機器の設計、仕様作成、試験は困難です。専門家にアイデアを確認してもらうか、単に作業内容を確認してもらうだけでも、役に立ちます。

GNSS 試験プログラムを設計したり、最近新たな課題に直面されている場合は、当社のGNSS 試験技術者のチームが積極的に、素早く支援いたします。ご用件について話し合いたい場合は、是非ご連絡ください。

© 2019 Spirent. 無断複製・転載を禁じます。

本文書において参照される全ての企業名および/ または製品名、特に「Spirent」およびそのロゴを冠したデバイスは、Spirent plc とその子会社の、登録済み、あるいは該当する国内法に基づき登録申請中の商標です。その他全ての登録商標または商標はそれぞれの所有者の財産です。

本文書に記載された情報は予告なく変更される場合があります、またSpirent の約束を意味するものではありません。本文書に記載された情報は正確で信頼できる内容です。ただし、Spirent は文書内における誤りや不正確さに関していかなる責任や義務も負うことはありません。

MCD00391JP | Issue 1-01 | 08/19