

## 全地球測位衛星システム(GNSS)の標準、最適実施、検定及びキャリブレーションに関するレビュー<sup>1)</sup>

Mr. David MARTIN, France



<sup>1)</sup> この論文は 2008 年 10 月 21 日 6 月 14-19 日までスウェーデン、ストックホルム市で開催された FIG 作業週間で発表されたものである。

キーワード: GNSS, standards, best practice, calibration.

### 要約

職業人としての測量士は、顧客の法律上、規定上、及び(又は)精度上の要求を満たすことが求められる。通常、彼らは最大の費用効果を生み出す方法で、かつ、その仕事に最適な器材を用いて業務を行うように努める。当然のこととして、それには使用される機器についての理解と保証が必要である。依頼人は対価の中で最高のものを望んでいる。民間企業や公的企業と同様に立法当局も、そのサービスが世界的に受け入れられた最適実施のルールに従ってなされているという確証を求めている。これは国際的に認められた標準を適用することを含んでいる。

測量の分野では、検定に関してこれまで数多くのことがなされてきた。特に、レベル、経緯儀、EDM、トータルステーション、そして最近ではリアルタイムキネマティック(RTK)による GNSS フィールド観測システムに関して ISO 標準 17123 が 1 部から 8 部まで発行されてきた。機器メーカーは彼らの機器精度に言及するとき、しばしばこれらの標準を引合いに出す。各 ISO 17123 標準は、機器が正しく機能し、精度とパフォーマンスが適正であるかどうかの決定するための検定手順を定めている。

本論文では、GNSS に関連した標準類、最適実施、検定及びキャリブレーションについての概要を述べる。

### 1. はじめに

職業人としての測量士は、顧客の法律上、規定上、及び(又は)精度上の要求を満たすことが求められる。通常、彼らは最大の費用効果を生み出す方法で、かつ、その仕事に最適な器材を用いて業務を行うように努める。当然のこととして、それには使用される機器についての理解と保証が必要である。依頼人は対価の中で最高のものを望んでいる。民間企業や公的企業と同様に立法当局も、そのサービスが世界的に受け入れられた最適実施のルールに従ってなされているという確証を求めている。これは国際的に認められた標準を適用することを含んでいる。

最適実施とは、ある特定の成果を納品する上で、他のものに比べてより効果的で効率的な技術あるいは方法があると主張する事業管理法である。それは、適当な工程、点検と検定によって、望まれる成果が、問題や予期しない事態がより少ない状態で納品できると主張する。最適実施は、通常、何回も時間をかけて多くの人に対して証明された反復可能な手順をベースとしている。最適実施の考え方は、人間または企業をたった1つの柔軟性がなく変更のきかない実施法にゆだねることをしない。むしろ、それは連続的な学習と改善を促すアプローチである。フィールドでの最適実施は新たな情報、機器及び方法論が利用可能になればそれにつれて進化していくことが期待されているものである。

測量、特にGNSSにおける最適実施には、それに関連した、まさしくその仕事に特異な側面を持っているようである。法律上及び(または)規程上の義務は、計測プロセスには直接的な影響が無いので、そのためにその仕事への最適実施アプローチであると間違っで見なされているものに大きな影響を与えていることがあるかもしれない。それにも関わらず、また仕事の特異性などを考えなくても、測量の重要な目的は可能な最高の成果を得ることである。これは最大達成できる精度ということとほぼ同義である。最高の精度を得るには、通常、エラーを最小にすることが要求される。エラーを最小にするためには、全体の装置を適切に作動できる状態にしておくことが欠かせない。機器が完全に機能することを確実にするためには、それを検定し、(または)キャリブレーションすることが不可欠である。

これまで、測量機器の検定に関しては多くの努力が行われてきた。特に、ISO 標準 17123 の1部から8部が発行されてきた。機器メーカーは彼らの機器精度に言及するとき、しばしばこれらの標準を引合いに出す。各ISO 17123 標準は、次のことを決定するための検定手順を定めている: すなわち、第一に、機器が正しく機能しているか、次に、機器の精度とパフォーマンス(性能)の適正であるか。これらの検定は定期的に行われるべきものである。

## 2. 標準

ほとんど人々は彼らの銀行カードが世界中のすべての出し入れ機で通用すると疑わない。しかし、この信頼も標準なしでは不可能である。自動車を運転している間は、我々は六角形か、円形か、正方形かの停止信号を見て止まる。これらは、我々の日常生活に影響を与えている何千もの標準のうちの2つである。

標準は、それを使用するユーザーのコンセンサスで決められ、製品、工程、検定または手順に対して(理論的に)最高の基準であると定めるルールまたは要件である。標準の一般的に言われている便益は、安全性、品質、部品またはシステムの互換性や国境を超えて一貫性を有していることである。

ISO(国際標準化機構)は、どのような国際標準がビジネス、政府及び社会で必要かを見極め、それらを使用する機関と協力して標準を開発し、国家の投票に基づく透明性の高い手順によって標準を採用し、世界中で使用されるように公開する全世界的なネットワークである。

GIS/Geomatics 業界は、いくつかの ISO 標準に関係している。ISO 12858 シリーズが測地観測機器の補助部品に関連しており、ISO 17123 シリーズが測地観測機器及び測量機器のフィールド作業に、そして ISO 191XX(6709, 19104, 19111, 19116, 19127, 19132, 19133, 19134, 19145)ファミリーがデジタル地理情報の分野の標準化に関係しており、それらは、地球に対する位置と直接あるいは間接的に関係している地物や現象に関する情報についての体系化された標準セットを構築することを目指して。特に関心のあるのが ISO 19111 – 座標による空間参照(すなわち測地学)である。

FIG は標準化に活発に関与している。測量分野の標準化のメリットに関するレビューが本件に特化した FIG のウェブページ([http://www.fig.net/standards\\_network/index.htm](http://www.fig.net/standards_network/index.htm))で見ることが出来る。[3]

GIS/Geomatics 業界に関わるもう一つの重要な標準は ISO 9000 ファミリーである。ISO 9000 標準は、適切なマネジメント行為に関する国際的なコンセンサスを示しており、ビジネスまたは組織が、顧客の品質要求や規定要件を満たす製品やサービスをその一方では顧客満足度を上げながら、確実に納品することを確実にし、継続的にパフォーマンスを改善することが目的である。これらの最適実施は、品質マネジメントシステムについての一連の標準化要件(ISO 9001:2000)の中に凝縮されている[4]。それらは、組織体のサイズ、あるいは、会社か、公的な機関かに関係なく適用可能である。

### 3. 最適実施

GNSS の最適実施はさまざまな分野に跨っている。それにも関わらず、最高の観測成果を得るための最適実施であると見なすことのできる一般に認められた汎用ガイドラインがいくつかある。これらのガイドラインは、一般的には GNSS 観測値に関連するエラーを最小にしようとするものである。

次のリストは、測量作業から得られる座標値の精度を低下させる、よく知られた一般的な GNSS エラーである。

- マルチパス及び電磁気的な干渉、
- 受信障害
- 電離層及び対流圏の影響
- 整数値バイアスの間違い

- DOP 及 SA
- 不適當なベースライン長
- ネットワーク冗長性の欠如
- 精度に問題のある劣等な基準点及び(あるいは)測地原点の使用
- 機器の不調
- 測量作業への無知と不適切な行為による不手際及び人為ミス

RTK 測量では、比較的短い観測時間が採用されているためにしばしばエラーが発生するか、観測が悪くなることに留意する必要がある。

GNSS の最適実施では、正しく記録された観測データを与える中で、いかにエラーを無くすか、あるいは最小にするかで行われる。これは、国内で(あるいは国際的に)認証された基準ネットワークを用いた検証可能な観測データを与えることで実現される。また、装置は正しく機能していて、フィールド検定(ISO 17123 第 8 部)がなされていなければならない。最後に、現地の状況の多様性に対応できるように訓練された人間が、測量の良し悪しを決めることになる。

一般に、測量では基準ネットワークの複数(少なくとも 3 つ)の局(基準点)に結合していなければならない。それらは測量の一部として、測量を拘束するために使用されなければならない。観測値と基準値との符合の度合いは、測量、採用した GNSS 技術、及び顧客の品質仕様で求められる精度を満足するようにしなければならない。たとえば、ディファレンシャル GNSS を用いて 1m の精度が求められた場合、観測値と基準値は 1m 以内で符合していなければならない。

基準点(局)との結合状況が、GNSS 技術、データ処理工程、最小二乗法による調整計算及び結果の比較/分析の要約とともに記録されなければならない。生の観測データと結果ファイルを共に保存することが推薦される。

#### 4. 機器の検定とキャリブレーション

ISO 9001:2000 標準の(第 7.6 章)の中にある共通認識ルールが装置の測定やモニターの管理に関連している。特に、そのルールは、有効な結果であることを確実に示す必要がある時はいつでも、国際的あるいは国家の計測標準にさかのぼることが可能な計測標準に対して、計測機器が一定の間隔で、または使用する前にキャリブレートされているかまたは認証されているということを義務づけている。そのような標準が存在しない所では、キャリブレーションあるいは認証で用いられた基準を記録することになっている[4]。

測量士は伝統的に計測機器とその機能、性能に関心を示してきた。かつては、機器の検定は二義的なものであった。今日、最新の測量機器となってそれに関連した複雑さがあるとしても、計

測プロセスがとりわけて単純で瞬時に行われるために、計測にはエラーがないと見なすような傾向がある[6]。これはもちろん真実ではない。

ISO 17123 標準の各部分は、機器の精度と性能を適正にするための観測手順を定めている。それらはまた、機器が正しい動作状態にあるかどうか確かめるのにも役立つ。これらの検定は、定期的になされなければならない。たとえば、フィールド検定は次のようにして行うことが可能である、すなわち、6 ヶ月毎の定期的な間隔で、一連の精密観測の前後で、長い休止期間の後で、輸送の後で[6]。

機器検定 (ISO 17123) は機器のキャリブレーションと混同されてはいけない。キャリブレーションは、機器と国際標準 (図 1 を参照) を直接的に関連づけるものである。キャリブレーションは、標準あるいは基準と比較することによって、計測機器の正確さを点検し、調節する行為である。ここで標準や基準というのは、計測機器よりもさらに正確かつ精密に量を計る機器あるいは方法である。たとえば、レーザー干渉計は、トータルステーション電磁波測距儀 (EDM) より正確な距離 (相対的な変位量) を計測する。

機器のキャリブレーションの柱の 1 つはトレーサビリティである。実にトレーサビリティはすべての適法な度量衡及び計測の根底にあるもので、ある計測値が (たとえ不確定部分を持っているにせよ) それを測ろうとしているものの正確な表現であることを保証する方法である。トレーサビリティで、国家度量衡機関 (NMI) に繋がっている比較の連鎖を示すことが可能である。図 1 は、CGPM、CIPM 及び BIPM を通して各国の NMI 及び認定団体、さらにユーザー及びその機器に繋がるリンクを図示している。トレーサビリティは、機器が認定試験所を通して国家標準に繋がっていないかについては保証していないことに注意すべきである。

現在は GNSS のキャリブレーションについてのコンセンサスがなない。これは、そのことが複雑な分野であり、何がキャリブレーションされるべきか、どのようにして行うべきかについてさまざま異なった、かつ正当な見解が複数存在することが理由にある。さまざまな方法論の例としては、電波吸収室、ベースライン、フィールド検定施設、ロボットがある ([5] の事例を参照)。

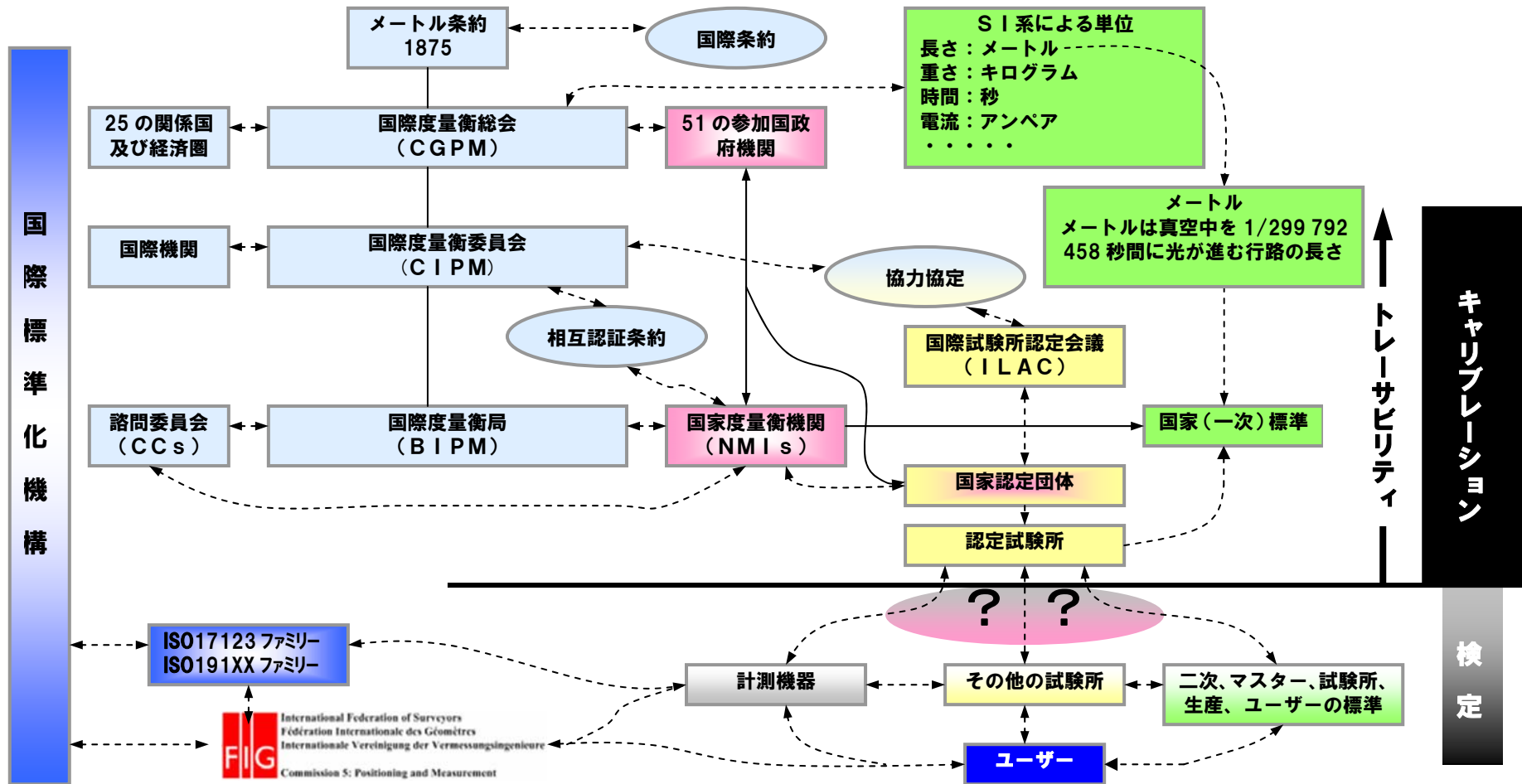


図1. 測量機器のトレーサビリティ、キャリブレーション及び検定の概念についての構図

## 5. ISO 17123 第 8 部:リアルタイムキネマティック(RTK)による GNSS 野外观測システム

本標準は、リアルタイムキネマティックによる全地球測位衛星システム(GNSS)フィールド観測システム(GPS、GLONASS のほか GALILEO のような将来システムを含む)及び付属装置の建築、測量、工業計測で使用する際の精度(反復精度)決定及び評価に使用されるフィールド手順を示している。本来、これらの検定は、機器が現に求められている応用に対して適合しているかどうかのフィールド検証を行うこと、そして他の標準の要求を満たすことを目的としており、納入検査あるいはより包括的な性能評価を行うものとしては作られていない。

検定の結果は、その地点で見える衛星の構成、電離層や対流圏の状態、点の周りのマルチパス環境、装置の精度、ローバー装置あるいは基準点から送信されるデータを作成しているシステムの中で動かしているソフトウェアの品質などによって影響される。

検定フィールドは基準点と2つのローバー点から成っている。ローバー点の位置は、関わっている仕事の場所に近く、またその仕事に合わせなければならない。2つのローバー点の間隔は2m から20m の間である。2つのローバー点の水平距離と高さの差は、3mm 以上の高い精度をもったRTK以外の方法で決定される。これらの値は仮の値として取り扱われ、単にGNSS 観測値には孤立値(はずれ値)がないことを確認するだけのために用いられる。

標準は2つの検定(簡易な検定手順と完全な検定手順)を提案している。簡易な検定手順は1シリーズの観測から成っていて、機器の精度が指定された許容範囲内にあるかどうかの推定を与えるものである。簡易な検定手順は限定された数の観測値を基にしているため、意味のある標準偏差が得られないし統計的検定法は適用されない。

完全な検定手順は、機器が最大で達成できる精度の程度を決定するためのものである。それは3シリーズの観測から成っていて、位置及び高さの1観測に対する経験的な標準偏差を決めることを意図している。それは、以下のものを決定するために用いることができる。

与えられた条件下(短期及び長期の影響を含む)での機器精度の度合い

異なる時間帯、あるいは異なる条件(複数サンプル)の下で使用された機器精度の度合い

類似した状態の下で達成できる異なった機器精度間の比較可能性の度合い

完全な検定手順では検定結果に統計的な検定法を適用することができる。

## 6. まとめ

本論文では、GNSSにおける標準、キャリブレーション、検定及び最適実施について概説することを旨とした。それは必然的に簡潔なものである。にもかかわらず、近代社会において、誰も標準や最適実施の重要性を疑うことができない。測量士は、標準化プロセスにますます関与するよう

になっている。このことは、今日、ジオマティック業界及び FIG で話題になりだした標準の重要性を明らかに支持している。

標準の 1 つの重要な側面は、測量機器の定期的な検定とキャリブレーションである。ISO 標準 17123 光学及び光学機器- 測地及び測量機器のフィールド検定手順は、測量機器検定を取り扱ったものである。本標準第 8 部では、リアルタイムキネマティックによる全地球測位衛星システム (GNSS) フィールド観測システム (GPS、GLONASS のほか GALILEO のような将来システムを含む) 及び付属装置の建築、測量、工業計測で使用する際の精度 (反復精度) 決定及び評価に使用される一般に認められた方法について述べている。

## 参考文献

ISO, ISO 17123 Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments Parts 1 to 8. 2001-2007, ISO: Geneva Switzerland.

ISO, ISO in brief International Standards for a sustainable world, I.O.f. Standardization, Editor. 2005, International Organization for Standardization.

Greenway, I., FIG Guide on Standardisation. 2006, FIG Task Force on Standards.

ISO, Quality management systems — Requirements. 2000: International Organization for Standardization.

Wübbena G., S.M., Mader G., Czopek F. GPS Block II/IIA Satellite Antenna Testing using the Automated Absolute Field Calibration with Robot. in ION GNSS 2007. 2007. Fort Worth, Texas, USA.

Staiger, R., Le Contrôle des Instruments Géodésiques. XYZ Revue de l'Association Française de Topographie, 2004. 99(2): p. 39-46.

## 著者

**David Martin** は、ESRF アライメントと測地学グループのリーダーである。彼は、カレッジロンドン大学 Geomatic Engineering 学部から測量学の MSc を得ており、FIG 作業グループ 5.1 (標準、品質保証及びキャリブレーション) の座長である。彼は、加速器アライメント、測量機器キャリブレーション、静水レベリングシステムに関する本をいくつか出版している。

## コンタクト

David Martin

European Synchrotron Radiation Facility (ESRF)

6, rue Jules Horowitz



BP 220  
F-38043 Grenoble Cedex 09  
FRANCE  
Tel. +33 (0)4 76 88 22 45  
Fax +33 (0)4 76 88 23 13  
Email: [martin@esrf.fr](mailto:martin@esrf.fr)  
Web site: <http://www.esrf.eu>

## 訳者コメント

本論文は 2008 年 10 月 21 日 6 月 14-19 日までスウェーデン、ストックホルム市で開催された FIG 作業週間で発表されたものであり、FIG のホームページの「Article of the Month」にも掲載されたものである。

論文にあるようにリアルタイムキネマティックによる GNSS の検定手順に関して国際標準 (ISO 17123-8 GNSS field measurement in real time kinematic (RTK) ) が定められており、我が国では現在、これに準拠した国内標準作成、JIS 化の作業が開始されている。折りしも、公共測量作業規程準則が改定され、その中では、機器の検定について、測量計画機関が測量作業機関の機器の校正のための体制を確認し承認した場合には、測量作業機関は、国内規格の方式等に基づき自ら行う検査を第三者機関が行う検定に代えることができることが規定された。この国内規格すなわち国内標準が決まっているのは、現在のところレベル、セオドライト、光波測距儀であるが、今後、リアルタイムキネマティックによる GNSS の検定手順が JIS 化されることになればこれらに加えて、測量作業機関が機器の検定を実施する際の基準として使用されることが期待されている。

いずれにしても、測量作業者にとってそこで使用する機器が正しく検定されていることは基本中の基本であって、筆者がこの論文で意図したように、測量士は適切に検定された機器を用いて当該業務についての最適実施を念頭において常に作業に当たらなければならないということは言うまでもない。

(訳: JFS 第 5 分科会委員長 塚原 弘一)