

10. 次世代衛星航法システム性能要件

衛星航法部 ※伊藤 憲 新美 賢治 坂井 丈泰

1. はじめに

現在、衛星航法システムを民間航空の航法装置として利用するための検討が進められている。この衛星航法システムとして、米国の GPS やロシアの GLONASS の利用が考えられている。これらのシステムを民間航空で利用する場合、測位精度や完全性などの性能要件の面において不十分な点がある。このため、飛行局面ごとに異なった GPS 補強システムの開発が日本、米国および欧州等で進められている。また、米国では、測位精度改善を目的として、民間用周波数追加などの GPS 近代化のための検討が進められている。一方、国際民間航空機関 ICAO では、衛星航法システムを民間航空で利用する場合に要求される性能要件を検討し、民間用次世代衛星航法システム導入のための指針の作成を開始している。さらに、欧州では、Galileo と呼ばれる次世代衛星航法システムの検討が進められている。

次世代衛星航法システムは、民間の手により開発・運用され、世界中のすべての利用者による利用が可能な大規模システムである。図1に利用者として航空機を考えた場合の、次世代衛星航法システム概念図を示す。このシステムは、いつでもどこでも必要な精度での測位機能

を提供することにより、航空機の安全運航などに寄与することができる。当研究所は次世代衛星航法システムに関する検討を平成12年度より開始した。ここでは、次世代衛星航法システムの動向および性能要件について報告する。

2. 次世代衛星航法システムに関する動向

2.1 米国[1]

現行の GPS を改良するための検討が進められている。これは GPS の近代化と呼ばれるもので、2010年までに第2、第3の民間用周波数が追加される計画であり、これにより測位精度が改善される。さらに、将来的には衛星の数も増加されると言われている。

2.2 欧州[2]

欧州連合および欧州宇宙機関は、欧州独自の全地球的衛星航法システム Galileo の検討を進めている。Galileo の特徴は、(1)利用者に数 m の測位精度を提供する、(2)測位機能だけでなく通信機能も持つ、(3)完全性情報を利用者に提供できる、(4)GPS との互換性と相互運用性を持つ、などである。

Galileo は現在、仕様ならびに構成を検討するシステム決定段階が終了している。本年以降、開発段階に入り、詳細設計や具体的な開発作業が進められる見込みである。2003年に開始予定の実証・試験段階で数個の試験衛星を打ち上げ、軌道上試験により最終的にシステムの確認を行う。実用衛星は2005～2008年にかけて製造・配備され、2006年に初期運用開始、2008年に完全運用となる計画である。

2.3 ICAO[3]

ICAO は、民間航空機の航法に利用できる全地球的衛星航法システム GNSS に関する国際標準の制定作業を進めていて、現在、ほぼ最終段階にある。また、ICAO は GNSS の開発を2段階に分けることとした。第一段階で、既存衛星航法システム GPS および GLONASS を中核システムとして、これに補強システムを追加する

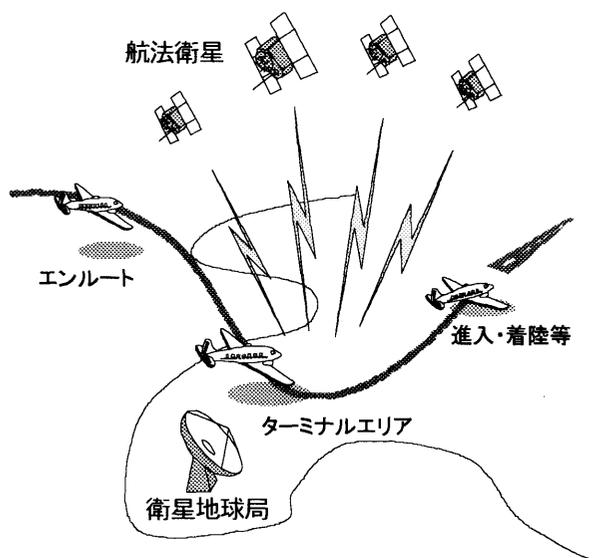


図1 次世代衛星航法システム概念図

ことで、GNSS として必要な性能を達成することとした。第二段階では、完全に民間により運用される GNSS の実現を目指している。これは長期的 GNSS と呼ばれ、現在、その性能要件が、性能面および制度面から検討されている。

3. 電子航法研究所における検討状況

電子航法研究所は、平成 12 年度に 4 年計画で次世代衛星航法システムの検討を開始した。平成 12 年度には既存衛星航法システムの調査を実施した。その調査に基づいて、次世代衛星航法システムの性能要件検討を開始した。平成 13 年度からは、次世代衛星航法システムの概念設計を実施する予定である。この概念設計においては、測位および通信機能を有するシステムを前提として、衛星軌道配置、回線設計、通信プロトコルなどを検討する予定である。平成 14 から 15 年度にかけては、次世代衛星航法システムの要素技術のうち特定のものについて、詳細な検討を実施する計画である。

これらの検討と並行して、次世代衛星航法システムの性能要件を評価するためのソフトウェアを開発している。ソフトウェアの機能確認のために、Galileo に対して予想される衛星配置を用いて、測位精度評価の尺度である DOP を計算した例を図 2 に示す[1]。この図は、緯度を変えて、Galileo および GPS の DOP を計算した結果である。Galileo に対する DOP が GPS に対するものより小さな値となっていることが分

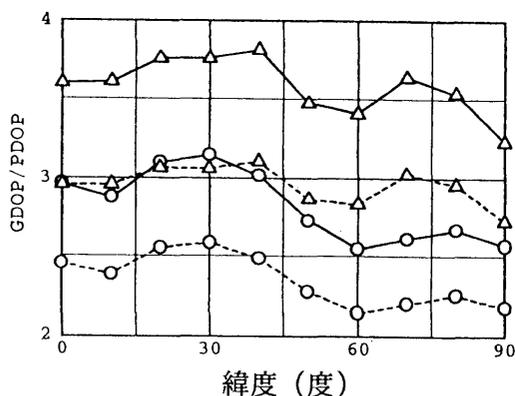


図2 緯度による DOP の変化

○ : Galileo、△ : GPS
 実線 : GDOP、破線 : PDOP

かる。(DOP が小さいということは測位誤差が小さいことに相当する。)また、緯度による DOP の変化はそれほど大きくないが、高緯度地方のほうが小さな DOP が得られることがわかる。

4. 性能要件

衛星航法システムの性能要件とは、そのシステムの性能に対する要求条件であり、利用者ごとに記述されるものである。測位機能に関する性能要件としては下記のものを用いられる[4]、[5]。

(1) 利用率 availability

ある時点で所要の航法サービスを受けることのできる確率

(2) 連続性 continuity

所要の航法サービスが規定の時間にわたって継続して受けられる確率

(3) 完全性 integrity

システムが供給する情報が間違っていないという信頼性に関する尺度のことである。完全性には、そのシステムが利用できないときに、利用者に正しい警報を遅滞なく発する能力も含まれる。

(4) 精度 accuracy

航法装置の出力する位置情報の正確さ。ただし、操縦誤差は除外されている。95 % 信頼区間で表現される。

これらの衛星航法システムの性能要件に関する検討状況は次のとおりである。

4.1 航空応用

ICAO で検討されている民間航空の場合の次世代衛星航法システム性能要件を表 1 に示す[6]。この表で警報時間とは、故障が起こってから警報が出されるまでの時間として許容される値の最大値のことである。

なお、これらの値は、現用の衛星航法システムである GPS を補強して実現する GNSS、すなわち静止衛星型衛星航法補強システム(SBAS)や地上型衛星航法補強システム(GBAS)の仕様を検討する際に基準として用いられている。

4.2 陸上応用

Galileo の検討に関連して、精度及び利用率

表1 民間航空の場合の性能要件[6]

運用局面	横方向 精度 95%	垂直方向 精度 95%	完全性	警報 時間	連続性	利用率
航空路	2.0 NM	N/A	1-10 ⁻⁷ /h	5 分	1-10 ⁻⁴ /h ~ 1-10 ⁻⁸ /h	0.99 ~ 0.99999
航空路、 ターミナル	0.4 NM	N/A	1-10 ⁻⁷ /h	1 5 秒	1-10 ⁻⁴ /h ~ 1-10 ⁻⁸ /h	0.999 ~ 0.99999
初期進入、 非精密進 入、出発	220 m (720 ft)	N/A	1-10 ⁻⁷ /h	1 0 秒	1-10 ⁻⁴ /h ~ 1-10 ⁻⁸ /h	0.99 ~ 0.99999
CAT I 精密進入	16.0 m (52 ft)	4.0 m ~ 6.0 m	1-2*10 ⁻⁷ / approach	6 秒	1-8*10 ⁻⁶ / 任意の 15 秒間	0.99 ~ 0.99999

・ 1NM=1852m

について、緊急の場合、50m および 99%、運行管理で 100m ~ 500m および 95%、料金徴収（高速道路、橋、トンネル）の時 25m ~ 100m および 99.9% という要件が提案されている[7]。

4.3 海上応用

海上応用については、Galileo に関する検討[7]において、捜索救難の場合、精度が 0.1m ~ 1m、利用率が 99.9%、海上交通の場合で、精度が 3m から 10m、利用率が 99.7% という値が提案されている。

また、国際海事機関は、船位の精度基準について 1982 年から検討を開始した[8]。船位の精度要件に関係する要素としては、

- ・ 船舶の速力
- ・ 船舶が航行している水域において、航行に危険を及ぼす物からの距離

がある。このうち後者については、下記のように、水域を航行の局面により分類し、各局面で必要な精度要件を定めている。

オープン水域：陸岸から十分離れ、航行上、制限がない水域

沿岸水域：沿岸など陸岸が近く、航行上ある程度の制限のある水域

アプローチ水域：港口やその進入路など、多くの制限がある水域

さらに、離着岸時も検討の対象となるとされている。

具体的には、オープン水域と沿岸水域では、船舶の速力として 30 ノットを基準とし、船位誤差の許容量を、95 % 確率値で、危険物からの最小距離の 4 % としている。また、アプローチ水域では、船位誤差の許容量が 95% 確率で

表2 利用者の測位システムに対する要求：海上応用の場合[8]

	精度（許容誤差）	更新レート	利用不可時間	信頼性(年間)
オープン水域	1 NM 以下	1 時間以内	1 時間以内	99.73% 以上
沿岸水域	100 ~ 300 m 100 m 以下 (高速/漁船)	5 分以内	1 分以内	99.86% 以上
アプローチ水域	10 ~ 30 m 10 m 以下(漁船等)	10 ~ 30 秒 10 秒以下 (高速/漁船)	10 秒以下	99.989% 以上

10m 以内であること、信号は 30 日を単位として 99.8%以上の確率で利用できること、1年を通して 99.97%以上の信頼性があること等の基準が作成されている。なおこの基準は速力が 30 ノット以下の場合であり、船の速力が 30 ノットを超える場合にはこれ以上の精度や信頼性が必要であるとされている。

さらに、英国では、利用者に対してアンケート調査を行い、測位システムに対する要求として表 2 に示すような結果が得られている。

5. 次世代衛星航法システム性能要件

次世代衛星航法システムの特徴を簡単にいうなら、「いつでも、どこでも、すぐに正確に位置が求められる」ということになるであろう。この特徴を具体的かつ定性的に述べるとしたら、たとえば次のようになる[2]。

- (1) 24 時間、一定高度以下の宇宙を含む全世界をカバーし、切れ目のないサービスを提供できる。
- (2) 全天候型である。
- (3) 静止/移動に関わらず、利用者の 3 次元位置を即時に高精度で求められる。
- (4) 時刻と速度を正確に測定できる。
- (5) 通信機能も有する。
- (6) 測位精度は利用要求条件に柔軟に対応できる。
- (7) GPS や GLONASS と互換性および相互運用性がある。

これらの要件は、どのような利用者を想定するか、そして、それらの利用者にとってどのようなサービスを提供するかを検討することで、さらに具体的かつ定量的に記述できる。

航空应用の場合、ICAO における検討結果が基礎になるものと思われる。陸上应用および海上应用については、航空应用に対する検討結果を基礎にして、同じ性能要件の項目を規定することが考えられる。ただし、このとき、陸上应用、海上应用それぞれに固有の条件(陸上应用;都市部でマスク角が高い、海上应用;垂直方向の測位精度が重要でないなど)を考慮に入れる必要がある。

また、陸上应用、海上应用のいずれの場合に

も、航空应用の場合に比べて利用者の移動速度が遅いことを考慮するべきである。速度の違いは、主に警報時間に反映されると考えられる。

6. おわりに

ここでは、次世代衛星航法システムの動向およびその性能要件について述べた。今後、次世代衛星航法システムの検討を進めるにあたり、関係各位のご協力をお願いする次第である。

参考文献

- [1] 坂井丈泰：「欧州における次世代衛星航法システム」、電子情報通信学会、信学技法、SANE2000-122、pp17-24(平 12.12)
- [2] 伊藤憲：「GNSS'99 と GALILEO の動向」、GPS シンポジウム'99、日本航海学会 GPS 研究会、pp19-28(平 11.11)
- [3] 坂井丈泰：「ICAO GNSS パネルの動向」、GPS シンポジウム'99、日本航海学会 GPS 研究会、pp41-54(平 11.11)
- [4] 坂井丈泰、惟村和宣：「GPS による航空機進入・着陸における信頼性の計算」、電子情報通信学会論文誌 B、Vol.J82-B、No.7、pp1401-1410 (1999.7)
- [5] 惟村和宣：「航空利用の動向」、GPS シンポジウム'97、日本航海学会 GPS 研究会、pp81-90 (平 9.11)
- [6] 藤井直樹：「GBAS の現状」、GPS シンポジウム 2000、日本航海学会 GPS 研究会、pp105-136 (平 12.11)
- [7] Vincent, N., J P Vincent, P Campagne, P Kompfner, F Piccolo, "TESSYN : the combination of navigation and localisation data transmission link services", Proceedings of GNSS'99, pp104-110, Genoa, Italy (1999.10)
- [8] 今津隼馬：「船舶航行における利用」、シンポジウム GPS/DGPS 利用技術の展望、日本航海学会、pp85-94(平 8.11)