

本文は AIAA Aerospace America 誌の許可に基づく次の記事の翻訳である。(This article was reprinted with the permission of Aerospace America.) J.R.Wilson: "New Capabilities for GPS II/III", Aerospace America, pp.32-36, Feb. 2010.



全地球測位システム GPS は、今日どこでも使えるようになったと思われるが、軍及び民間の使用のために最初の実験的な GPS 衛星の打ち上げから 1995 年に完全に活動中のシステムとなるまでにおよそ 20 年が経過した。それ以来、GPS 衛星は、より強力でより高精度を提供する新世代へと絶えず進化してきた。システムは 24 機衛星の最小の衛星星座から今日の軌道上 30 機の衛星星座まで成長した。現在の数を維持することが必要である。

いくつかの点で、GPS の進化は、インターネットのそれに似ている。軍用の空軍測位・航行・時刻 (PNT) プログラムとして始まったが、現在軍用より多い民間のアプリケーションが幅広

く拡大した。そして、システムは航行より時刻のために多く使われている。運転方向を変えるということから海上の個々のクジラの正確な追尾まで、銀行の ATM マシンの時刻信号まで GPS アプリケーションは、特にここ 10 年間に著しい変化を遂げた。

「多くの他の衛星星座と違って、GPS は非常に多くのユーザに影響を及ぼす。そこで、なんらかの変化によりユーザに混乱を生じさせないように空軍は絶えず警戒している。」と、ロッキード・マーチン GPS III プログラム部長のデビッド・J・ペド레스ニー氏は言う。「彼らは世界中の全てのエンドユーザの役に立つことを確実にするために大変な努力をしている。」と言う。

J.R.ウィルソン
(寄稿ジャーナリスト)

インターネットのように、GPS は、それが創られたときには考えもしなかった変化を遂げた。軍には以前よりもずっと不可欠なものとなったが、このシステムは軍より多い民間ユーザを有している。不具合や遅延の可能性が無ければ、新しい衛星はより大きな能力さえもすぐに提供できる。

当初、[軍の]航行要求条件から、今日では民間の時刻信号に主に使用されているが、多くの航行ユーザは商用であるというシステムに変わった。当初想定されなかったこの新しいグループは今や GPS ユーザ・コミュニティで最も大きい要素であり、軍は実際には最も小さなユーザである。

しかし、それは、空軍司令部宇宙ミサイルシステムセンター (SMC) GPS 部隊の指揮の下で、その心臓部は軍のシステムのままである。米国政府は世界中の民間及び商用ユーザに対し、このシステムを非軍事ユーザに対して劣化させないこと（当初はそうしたけれども）、及び軍事的理由のために独断的に運用を中止することはないということを繰り返し保証したけれども、このことは完全には受け入れられていない。

安全保障の重要性

混乱することの多い戦場で資産の精密な追跡とか精密誘導兵器の増大の可能性に頼る軍にとって GPS が決定的に重要であるとすると、この衛星群の安全保障が今ほど懸念となることはなかった。民間の世界も益々 GPS によって支配される将来に目を向けるとき、その懸念は広がるだけである。

5月に SMC の開発計画部長に昇進以前は GPS 部隊副司令官であったドナルド・ワスラー大佐によると、「GPS の安全保障措置は、米国及び同盟軍を守り、GPS の正式な運用を守るために進化してきた。それは武器の運搬を強化し、副産物として、2次的な損害を最小とするという特徴を有するものである。」

現在の GPS 安全保障のアーキテクチャは汎用対欺瞞 GPS 受信モジュール (SAASM: Selective-Availability Antispoofing Module) が使えるものである。有効無効選択は 2000 年 5 月に停止されたので、SAASM の主な利点は、機密扱いでない国家安全保障局の「機密の」暗号鍵に基づく対欺瞞のためと

なっている。それは放送で鍵の配布を行うというような柔軟な取扱いを選択することを可能にする。SAASM キーは、各々のユーザグループに 1 対 1 に関係し、各々が別々の暗号ネットワークに属しているとはっきり認識できる。米軍及び世界中の同盟軍が使用中のそのような SAASM の受領者は 10 万以上存在している。

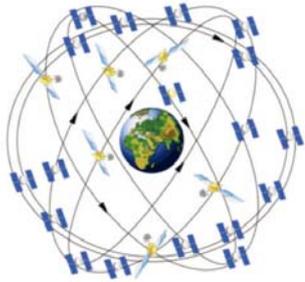
「GPS ブロック II の改良型衛星及び GPS ブロック III 衛星は拡張型暗号ネット (cryptonet)、取得保全、特別連絡及び次世代暗号のような抗湛性を付加した軍符号 [M-Code] を送信する。」と、ワスラー大佐が Aerospace America 誌に語った。さらに、SAASM を越える GPS ブロック III の保全アーキテクチャは PRONAV (protection of navigation: 航行の抗湛性) と呼ばれていると付け加えた。

「PRONAV の保全アーキテクチャは、縦深防御 (defense-in-depth) 情報保証の原則の適用を通して、GPS ミッションの効果を保全する。PRONAV の保全は GPS 信号の完全性を保証するために、暗号技術以上のものに頼って、追加の技術的手段と運用技術を使用する。PRONAV はまた、異なる GPS の応用及び環境、出現する脅威に対して多くの保護処置を適用する上での革新を可能とする。最終的には、米軍と同盟軍及び GPS の運用を保護するような十分に現代化され、確固たる保全アーキテクチャとなる。」

技術の進化

この 8 月、空軍は 8 機の GPS ブロック IIR-M 交替衛星の最後のものを打ち上げ、現在 12 機の GPS ブロック IIF 衛星の最初のを今年打ち上げる準備している。これらの衛星は 3 段階の進化で高度化される改良型ブロック III 世代と 2014 年から統合される。

GPS IIR-M 衛星は、既存の L1 C/A 信号に加えて、L2 チャンネル上に L1 及び L2 チャ



「GPS III 衛星は、改良と近代化に焦点を当てた第3世代システムとして恐らく最良の特性を有している；今日運転中の第2世代の世界的な衛星航法システムは、GPS II と GLONASS の2つしかない。」

ドナルド・ワスラー大佐（空軍宇宙司令部宇宙ミサイルシステムセンター前 GPS 部隊副司令官）

ンネルより強い民用信号（L2C）に新しい M コードを加える。ボーイング製ブロック IIF 衛星は、多数のユーザ用に精度を改善することができるように記憶容量を増やし、プロセッサを高速とし、第3の新しい民用信号（L5）の付加とともに 12 年という延長した設計寿命（最初の衛星は、軌道運用において約 7.5 年と設計されたが）を持つ。

「米国にしる国際にしる民間のユーザは、GPS 保全アーキテクチャの変化に影響を受けない。その代わりに、民間ユーザは、GPS 衛星星座から改良された衛星原子時計によって届けられる前例のない時刻性能を持つより強力なより多くの民用信号—ブロック III 衛星から 4 つの民用信号—を利用できる。その結果、2 つまたはそれ以上の民用信号を処理するユーザ受信機により、電離層誤差を取り除き、はるかに良い確度を達成する。」と、ワスラー大佐は言う。

「平行して、FAA（連邦航空局）は、適切な装備を有するユーザ、特に、民間航空の生命安全アプリケーションのために信頼性と強靱性を改善するための広域補正システムに L5-補正信号を加えることを検討している。」

ボーイング宇宙インテリジェンス・システム・GPS プログラム部長、前オーストラリア・ボーイング・プログラム担当、ジョン・ダディ氏は、L5 信号がどのように、究極的には航空交通管制（ATC）を含む航空サービスに使われるかについて説明している。「ATC は地上システムであるが、いつかは GPS に基礎を置くシステムとなるであろう。現在は、既存シ

テムの補正に使われている。」と彼は Aerospace America 誌に話す。「FAA は、その長期戦略として、種々の将来アプリケーションの試験を開始することができる L5 に期待している。」

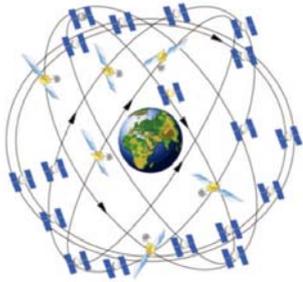
「さらに、精度はやはり空軍用までであるが、信号自身はより正確に読み取ることができ、それにより正確な場所の特定を助ける。高層建物のある都心のような良好な位置特定が難しい若干の地域では、ブロック IIF からの信号強度の強化がそれを助ける。」

GPS IIIA 衛星は、ロッキード・マーチンで製造されているが、新しいもう一つの民用信号（L1C）を送信し、軍の保安と能力を強化するために、新しい M コードの耐妨害能力を有するものである。3 つの能力増強措置が GPS III 用に計画されている。各々は成熟した技術としての新しい能力を提供する。

「GPS IIIB 衛星は、衛星間通信による指令・制御アーキテクチャを可能にする。これにより、衛星が地上局から見える軌道になるのを待たずに、全体の GPS に対して1つの地上局からアップデートすることができる。GPS IIIC 衛星はまた、大電力スポット・ビームを通して敵対的なジャミングへの抵抗を高めるためにより強力な M コードを分配する。」と、

GPS ブロック IIF 後継衛星は信号強度を増大する設計となっている。





「当初の[GPS IIF]スケジュールでは、何年か前に打ち上げられる予定であった。しかし、いくつかの開発上の問題があった；我々は日々問題、どの計画にも典型的な問題、にまだ陥っている。しかし、すべての技術的課題は今や解決に向かっていく。」

ジョン・ダディ（ボーイング・スペース及びインテリジェンス・システム GPSプログラム前部長）

ワスラー氏は言う。

「軍及び民間のすべてのユーザは、精度の確実性の改善及びより確実な保全を享受することができる。GPS III 衛星はまた、新しい民用信号、L1C、を送信する。それはヨーロッパのガリレオ衛星航行[SatNav]システムによって放送される民用の E1 信号と互換性を持つ。L1C は、日本の準天頂衛星システムによって放送が計画されている信号とも互換性がある。」

相互運用性の課題

ロシアの GLONASS 衛星などの他のシステムは、新しい衛星が相互運用性を強化しているということから、GPS の補完となる、とワスラー氏は言う。GPS II と GLONASS が唯一の第2世代の運用中の世界的 SatNav システムと認められる一方、ガリレオと中国の COMPASS は、第1世代の開発システムであった GPS I 衛星にほぼ等しいと思われる。

「ガリレオは[それ自体で]独立しているように見える。しかし、ガリレオ衛星と GPS 両方の衛星星座が完全なものとなったときには、相互運用性は、より良い、より強力な信号を世界に提供する際に重要になる。」と、ダディー氏は言う。「私の理解では、COMPASS は部分的な相互運用性を計画しているが、彼らはそれを重要であるとは考えていないようだ。GLONASS はずっと努力しており、互換性を保証するために協力して取り組んでいる。」



現代の特徴を有する衛星設計のGPS

ワスラー氏は、GPS プログラムは、世界中の民間ユーザに最高の総合的な PNT(測位・航行・報時)サービスを提供するために、他の SatNav システムが次世代に進化する時には、できるだけ多くの互換性と相互運用性を達成し、動作し続けるようにすると言う。

「我々は、GPS III は今日抜群の宇宙ベースの PNT システムであると思う。GPS III 衛星の配備により、宇宙ベースの高レベル PNT サービスが世界で可能となる。他の世界的な SatNav システム、または、地域的/局地的航法補強システムさえも今後何年したら出現するか予測することは難しいが、相互運用性及び互換的な宇宙ベースの PNT サービスによって GPS III 衛星と結びつけられることを望む。」と彼は言う。

「SAASM 及び M コード、PRONAV は GPS の民用信号に影響を及ぼさないで、軍用ユーザのために強化される GPS 保全は、他の SatNav システムの民用の展望に影響を及ぼさない。新しい GPS 民用信号とともに、GPS の精度と確実性を強化することは、GPS が他の SatNav システムと効果的に働く見通しを高めるものである。新しい GPS 信号は、個々にまたは他のシステムと協力して働くように設計されている。」

民間の展望

航空運送協会 (ATA) の運用・安全担当副理事長のバジル・バリモ氏によると、民用ユーザ・コミュニティの展望からは、利用できる複数のシステムを持つことは、大きなプラスである。

「我々は冗長性のある衛星ネットワークを望みたい、つまり、1 つが停止したら、他のものに切り換えて運用を継続できるということである。」と彼は言う。「我々は、航空機がどの衛星信号が正しいか決定して、フライトクルーの相互作用なしに何処からでも、優先順位順に、必要なものを得ていきたい。」

「ATA はこれらのすべてが相互運用性のあるシステムでなければならないと信ずる。航空会社が航空機を購入して、国内用もしくは国際用に運用するためそれを装備するとき、それらは世界の異なる地域で運用するために複数の機材を装備することはできない。一つの航法システムを航空機に付け、世界中どこでも必要なことを行えるような互換性のあるシステムとしたい。」

しかし、将来実際に衛星ベースの ATC のた

めに保有するものは、未解決の問題のままであるとバリモ氏が付け加える。

「今日の代替手段は、米国にとって都合のよい何らかの地上のネットワークを維持することである。我々がこの移行を行うときはその場合である。商用航空業界では、我々は、急に変わるとか危険なことはしない。」と彼は言う。

「そこで、我々はある期間は地上インフラに頼り、両方を使用するシステムを運用し、そして地上システムをバックアップとする。我々が衛星を使ってより快適で信用できるようになり、いくつかの保全の問題の解決に取り組むとき、正しく現実となるものであるが、我々は徐々に地上システムのバックアップからさえも離れる。それは最終的には我々が必要とすることである。しかし、それが近い将来には起こりそうもない。」

警報と反応

この5月、米国会計検査院（GAO）は議会と国際的なGPSユーザ・コミュニティにGPS III衛星打ち上げ遅延可能性の警告と最新のGPS II衛星に宇宙と地上ベースの両問題があると報告し、かなりの物議を引き起こした。この報告は2008年10月の空軍の議会への隔年報告に続いて要請されたもので、現在の衛星星座に関する以前からの懸念と将来の遅延の影響を再び指摘したものである。

「現在軌道上にある31機のGPS衛星のうち、20機は設計寿命を過ぎており、19機は航行ミッション装置、衛星バス、または双方に冗長性がない状態である。」と空軍文書に書かれている。「もしGPS IIF衛星の打ち上げが遅れると、GPS衛星星座の維持が困難になり、[米国政府は]発表された連邦計画と標準で定められる性能基準を満たすことができなくなる。」

空軍とボーイングの両者はGAOの指摘に素速く対応し、実際に、GPS IIFまたはGPS IIIのプログラムのどんな重大な遅延でも故障でもサービスの質を落とす「最悪」シナリオを繰り返さなかった。

「我々はGPS IIF衛星第1号を輸送する前に残りのいくつかの問題を解決し、ミッション成功に的を絞って大きく前進した。」「我々は2010年前半に最初の12機のGPS IIF衛星を打ち上げる予定である。」と、GPS部隊は7月7日の声明で言っている。「SV2（Space Vehicle 2）は衛星星座を維持する

必要に基づいて予定されているが、最初の打ち上げ後、6～9ヵ月より早まることはない。我々は短期的には十分な衛星を持っている；我々は現在軌道上に30機の衛星を運用している。ユーザは今日信頼をもってGPSに頼ることができ、将来もそうすることができる。」

このことは、ボーイングからの同時公式声明において繰り返された：

「ボーイングは、非常に緊密に空軍とそのチームとともに作業を進め、ミッション保証に強く重点を置いたGPS IIF衛星に関する技術的な問題を解決するため積極的な処置を取った。衛星設計寿命期間にわたって性能を保証するために設計の変更が要求され、スケジュール上の遅延を引き起こした。しかし、これらの変更は実施の最終の段階であって、完全に統合した衛星（SV1）は熱真空試験、つまりシステムに最大のストレスをかける試験を成功裏に終了した。SV2はシステム・レベルの互換性試験を実施するため、また今年後半のSV1処理に対するリスク縮小の探索とするために5月6日にケープカナベラルに出荷された。」

一方、ロッキード・マーチン・スペース・システムは、主要なGPS III衛星のマイルストーン、つまり5月の基本設計審査フェーズ、を成功裏に完了し、続く詳細設計審査（CDR）段階に入っている。それは、実際はロッキード・マーチンとその産業パートナーであるITTとゼネラル・ダイナミクスによる重要な衛星サブシステム、アセンブリ及び要素部品のための1年間に及ぶ一連の70回の個々のCDRである。それらは、軍と民の要求条件に対する全体的なGPS III衛星の設計確認のための最終的な衛星CDRを2010年の秋に完結する予定である。

「GPS III衛星の打ち上げ予定は、確かに現在の[軌道上の使用可能な衛星の]数を維持している。しかし、構成する衛星が多いほど、地上のユーザはより良い覆域と精度を持つことになる。」と、7月中旬ペドレスニー氏がAerospace America誌に語った。「我々が開発フェーズに入る前に、選択できる製作割合は年4機である。もっと早期ということはできるけれども、通常1月と7月に、一度に2機を認定することができる。それも、衛星星座の健康度に依存、つまり必要に応じてもっと多く打ち上げる計画もある。」

「それら（GPS III衛星）は既存の衛星星座を支援する；つまり、要求条件の一部は、現

在の衛星星座の全ての信号との上位互換性 (backward compatible) があることであり、また、下位互換性 (forward compatible) も持つことである。GPS III 衛星の契約の独特さは、それが3フェーズのアプローチ、つまり、すぐ前に GPS IIIC 衛星の要求条件があるのではなく、GPS IIIA 衛星と B 衛星で徐々に取るアプローチであることである。そこで、GPS IIIA 衛星は下位互換性を持たせるための取っかかり、つまり、基本的な衛星構造の変更、ハーネスの変更、そうなったときに衛星内での構成要素の移動を必要としないような重量と空間を持つ GPS IIIC 衛星システムを収納する十分大きな構造を必要としている。」

ブロック III への進歩

新しい若干の信号と電力の増加に加えて、ブロック III 衛星は、いつかは民と軍の両能力に重要な進歩をもたらす。

「究極的には、GPS IIIC 衛星は地域的スポットビームを可能にし、問題のある地域への軍用信号電力をかなり増やすことが可能である。そうするために、衛星星座上のより強力な衛星間通信で衛星に命令することができなければならない。それは GPS IIIB 衛星で加えられ、より良い遠隔情報が得られる。」と、ペドレスニー氏が説明し、先進の GPS IIIC 衛星能力が結局 GPS 標準になると付け加える。

「衛星は結局は徐々に劣化するが、ほとんどは設計寿命より長く動作する。しかし、それらは最後に故障し、代替が必要となる。」

現在の計画は 2014 年に始まる 12 機までの GPS IIIA 衛星打ち上げを必要とし、8 機の GPS IIIB 衛星と 16 機の GPS IIIC 衛星が続く。そして、結局全ての以前のモデルを交換し、2030 年までシステムを維持する。

「全体的な展望から、我々が現在持つものは、GPS IIIC 衛星能力を持つ完全な衛星星座に向けた論理的な進展である。しかし、政府の要求で、より新しい能力が好ましいと決めれば、(論理的にその時期に打ち上げることが) 必要だからというのではなく要求のあるときに打ち上げることに決まるかもしれない。」と、ペドレスニー氏は結論付ける。

「政府の計画では、GPS IIIB 衛星に転じる前に、必ずしも 10 機全ての GPS IIIA 衛星という選択肢 (現在契約した 2 機以上に) を検討する必要はない。GPS IIIA 衛星を続けるのに十分なゆとりをもって計画を構築した。政府が望むか、我々が開発を終了すれば、我々は GPS IIIB 衛星をもっと早く実現することができる。すべては資金と性能レベルの問題である。しかし、政府がどう認定するかという点で政府は柔軟にそれ (GPS IIIB 衛星) の構築を行った。」▲

