

宇宙開発事業団技術報告

最近の航行衛星システムに関する調査研究



2002年1月

宇宙開発事業団

宇宙開発事業団技術報告
NASDA Technical Memorandum

最近の航行衛星システムに関する調査研究

An Inquiry and a Study on Recent Navigation Satellite Systems

稲宮 健一
Inamiya, Kenichi

技術研究本部 先端ミッション研究センター
招聘研究員

Invited Scientist,
Advanced Mission Research Center,
Office of Research and Development

2002年1月
January 2002

宇宙開発事業団
National Space Development Agency of Japan

和 文 抄 録	<p>この報告書は Global Positioning System (GPS) に代表される航行衛星システムに関する調査、検討した内容を記述したのである。航行衛星システムの現状は GPS を核として、システムの精度の向上と、信頼度の向上を達成するため、新たに多くのシステムが付加されたり、別系統の新しい Galileo が登場するなど、システム全体の構成が複雑になり、拡大して行っている。それと共に、システム全体が大きな社会的な役割を担うようになり、不可欠な社会基盤の一つと考えられて来ている。</p> <p>そこで、まず、GPS、Galileo の現状の確認を行った。次にシステムに対して厳しい精度と、完全性を要求する航空分野からの要求について吟味した。また、システムに内在する課題のうち、特に他のシステムとの競合など問題となる周波数について検討した。</p> <p>これら調査検討に基づき航行衛星システム群の将来展望や、課題について検討した。</p>
和文キーワード	<p>航行衛星システム、全地球的測位システム、GPS、GPS 補完システム、携帯電話網、Galileo、軍事衛星システム、国際民間航空機構、航空交通管制、周波数割り当て、拡大 GPS</p>

<p>Abstract</p>	<p>This report describes the results of an inquiry and a study of navigation satellite systems represented by GPS. At present, GPS is the nucleus of the navigation systems. Many new systems are being added to GPS in order to obtain higher accuracy and more complete integrity. The GPS system will thus be expanded and become more complex. The whole system is taking on an important role in our society and will become an indispensable infrastructure of our society.</p> <p>We review the present status GPS and Galileo. Next, we describe a study on the requirements for the system from the stand point of civil aviation, especially user requirements of strict accuracy and integrity. Frequency allocation, one of the system issues, is also discussed, because of the possibility of interference with other systems.</p> <p>Based on those inquiries and studies, we investigate a prospective view and issues of the navigation satellite systems.</p>
<p>Keywords</p>	<p>GPS, Augmentation GPS, International GPS Service, E911, Galileo, GNSS, GNSS-2, GLONASS, ICAO, FANS, CNS/ ATM, ITU, Frequency Allocation, Expanded GPS</p>

略語のリスト

ATM	Air Traffic Management
ARNS	Aeronautical Radio Navigation Service
CAS	Controlled Access Service
CDMA	Code Division Multiple Access
CEPT	Conference Europeenne des Postes et Telecommunication
CNS	Communication, Navigation and Surveillance
DOD	Department of Defense
DOT	Department of Transportation
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
FAA	Federal Aviation Administration
FANS	Future Air Navigation System
FCC	Federal Communication Commission
GCNSS	Global CNS System
GLONASS	Global Navigation Satellite System (Russia)
GNSS	Global Navigation Satellite System (General)
GPS	Global Positioning System
IALA	International Association of Lighthouse Authorities
ICAO	International Civil Aviation Organization
IGEB	Interagency GPS Executive Board
IGS	International GPS Service
IMO	International Maritime Organization
ITU	International Telecommunication Union
LAAS	Local Area Augmentation System
LORAN	Long Range Navigation
MSAS	MT-SAT Augmentation System
NAS	National Airspace System
NNSS	Navy Navigation Satellite System
OAS	Open Access Service
OEP	Operational Evolution Plan
RIN	Royal Institute of Navigation
RNSS	Radio Navigation Satellite Service
SA	Selective Availability
SNAG	Satellite Network Access Gateway
SPS	Standard Positioning Service
WAAS	Wide Area Augmentation System

目次

1 . はじめに	1
2 . GPS に対する認識	3
3 . Galileo に対する認識	5
4 . 航行衛星システムに対する国際的な要求	6
5 . ICAO 議定書の要求条件	7
6 . 最近の CNS/ATM の動向	9
7 . 航行衛星システムを制する周波数獲得 ARENA	11
8 . GPS の永続性	14
9 . Galileo の存在が世界の航行衛星システムに与える影響	14
10 . 技術確立の考え方	15
11 . GPS、Galileo が積み残したもの	16
12 . まとめ	17
13 . 参考文献	18

1. はじめに

GPS に代表される航行衛星システムは従来の方法では得られなかった測位情報が簡単に得られる便利さから世の中に広まった。カーナビ、測量、地震の観測のための観測点、補完 GPS で補強されたシステムを適用した航空機への航法援助、最近では携帯電話網と接続して、室内でも測位できるなど、応用範囲が益々拡大し、適用例は枚挙に暇がない。利用範囲が拡大しているが、基本原理は次の3点である。

- ・ 地球上の任意な点における測位を通常のエレクトロニクスの手段を通じて、容易に、かつ画期的な高精度で提供
- ・ 全地球にわたって、均一な測位能力の提供ができる（シームレスな運用）
- ・ 携帯電話網と接続し、測位範囲の飛躍的な拡大を実現

衛星技術、携帯電話網と言う最も現代的な技術を適用して、新しい技術分野の開拓が行われ、現在著しい発展が継続している。

一方、航行衛星システムは構成している要素が全地球的に分布していると言う点で、かつての LORAN までの全地球規模の航法システムと共通点を持つが、しかるに、主要要素である衛星は国境の制約を受けずに地球全体を飛翔すると言う点で異なっており、また LORAN の場合の航法設備は一国内で管理され、国々が連携して全地球システムを構成してきたと言う点で異なっている。

実際は全地球範囲のいずれの所で、いずれの人も使える既成事実があり、実用が既に社会の中に浸透している。しかし、法制的な面からこれを眺めると、LORAN までの国際慣習と異なり、システムが一国や、一部の国家群に管理されている点の国際的な合意が確立しているとは言い難く、法制的な面が後追いつる形態に成っている。

このような状況下で今後の航行衛星システムの将来を展望するために必要なことはまず正確な現状認識を持つことが必要である。

そこでこの報告書ではまず、GPS、Galileo に対する現状認識を示した。GLONASS を除き、Galileo が登場するまで、GPS は唯一の航行衛星システムであった。世界の最先端を走っている米国は現在、軍事関係の信号構成を改善する努力を押し進めると同時に、民生用へのサービスの更なる拡大を国として宣言している。ただし、軍事関係の機能の保全についても、検討がされているようである。一方、補完 GPS、International GPS Service、携帯電話網との接続など、システムに関与する組織体が広がり、それにつれて各層にわたり利用者が増大して行き、さらに人命に関わる緊急目的の分野にも適用され、日常生活にも浸透して来て、従って、我々の生活に不可欠な手段へと進化しつつある。今や GPS とその関連のシステムはシステムの劣化や、中断が許されない社会基盤と考えられるように

成って来ている。

新たに登場してくる Galileo は GPS が持っている一国支配と国際管理間の矛盾を公言して、将来的な国際協力あるいは管理を標榜して開発に着手した。プロジェクトの構築に当たっては開発の着手から、プロジェクトの開始までの期間が GPS に比較して短時間であるので、GPS を凌駕する衛星に関する画期的な新技術は採用に成っていない。

二者を総括すると、GPS は宇宙開発の歴史と共に世界的なシステムに成長してきて、今や、世界の最先端を突き進んでいる状態である。Galileo は永く維持されてきた全地球的な航法システムの歴史的意義に立ち返り、将来的には航行衛星システムの世界秩序を敷く可能性を表現しながらシステムの構築に当たっている。米国は GPS に関係した未来技術の出現について、かつて ICAO で寛容な発言したことがあるが、現在 GPS を基礎にした追加機能を付加した GPS III がこの分野の未来技術を反映したシステムであろう。GPS III の改善点は従来の形式に類似した新しい信号の追加や、新しい形式の信号の追加など、主要部分が周波数を活用する分野である。周波数は全世界共有で有限な資源であらうから、今後開発されるシステムの周波数利用に関しては既存信号、あるいは既に使用が宣言されている信号との干渉に関して注意深い配慮が求められる。

Galileo が全面的に宇宙上に展開する 2008 年頃には少なくとも、GPS、GLONASS、Galileo を合わせた航行衛星システムが実現しているであろう。

航行衛星システムの大口の需要家である航空管制の面から見ると、ICAO が掲げている将来展望は CNS の統合的な活用を通じて、航空機の安全と経済性の向上に努めるとしている。

米国航空管制局 FAA は米国の全航空施設設備、人材を含む NAS の近代化を進めている。この案は現在行われていない全飛行経路にわたる安全の向上と、最適飛行を達成しようと言う試みである。このため、現在空港付近でしか達成されていない航空機と管制局間の移動通信によるデータ交換を全飛行期間にわたり、高頻度に行うことが要求されている。このため、航行衛星システムと同様に全地球的な範囲にわたるシームレスな移動通信が必要になる。このための基盤整備が CNS の統合的運用であり、すでに FCC はこの目的の全地球的な衛星計画を検討している。

航法と並んで通信も衛星技術に依存してシステムの構築が提起されている。

最近現れた携帯電話網との接続は個人の利用であるから、航行衛星システムが極めて身近なところに浸透してきたことになる。カーナビで既に個人と結びつきができてきたが、カーナビでは情報が一時的に中断しても、代替手段があり、システムが使用不能になることはない。しかし、E911 では人命に関わる使用であるので、システムの中断は許されず、信頼度の高さは従来と比較にならないくらい高いことが必要条件になる。

GPS に WAAS、LAAS が付加して、さらに IGS が付加して、携帯電話網に接続し、あたかも、GPS の大黒柱に、色々な付加システムが梁として勘合して、GPS システム一家をなしていると例えられる。

一旦居心地の良い家に住んだユーザはさらなる立派な家に住みたいと願うのが通例で、さらなる魅力的な家が提供されるように考えるであろう。これに対して衛星技術で応えることが可能と考える。

2. GPS に対する認識

航行衛星の起源は 1957 年、スプートニクのドップラー観測で、軌道を廻る衛星、地上の受信点で得られる独特のドップラー軌跡をキーポイントにした周回衛星を用いた測位方法の基本構想を得て、具体的には NNSS の衛星システムが実現した。これを經由して、原子時計の開発、Hideyoshi Nakamura 等のチーム（The Aerospace Corp.）の発想による 4 個の衛星からのダウンリンクの信号のみを使用した測位法の開発、J.B. Woodford P. S. Soule（The Aerospace Corp.）の発想による低出力を補う擬似雑音(PN) 符号を使用した CDMA 技術の開発などの基本要素を骨格として、現在の GPS へと発展して行った。(1) GPS は軍用であったが 1983 年 9 月 1 日に発生した大韓航空機の撃墜を機に、再び悲劇が繰り返さないように 1983 年 9 月 16 日付け米大統領令で 1988 年に民間にも解放された。(2) L1 の C/A が民生用で、P コードは軍用のみである。SA が掛けられているが、2000 年の 5 月に外された。

民生利用として日本ではカーナビと結び付て馴染まれているが、米国および EU が最も力を入れている分野は航空管制である。WAAS、MSAS、EGNOS の広域補完システムと、空港近辺の LAAS、地域補完システム等が着々と整備され、GPS 系統のみを信号源に使用した一番精密度が高い CATⅢ（Category Ⅲ、垂直精度 1m、不具合通報は 2 秒以内）の自動着陸を目指して開発が進められている。

また、測量などの相対測位を使用した高精度な測位システムも広く普及している。

最近では 1999 年 1 月、ゴア副大統領が GPS の近代化を進めるとの方針を打ち出し、民生用機能の拡大方向として、2003 年には L2 に新しい民生用信号の追加と、2005 年に L5 の出現が報告されている。L2 の C/A 符号はチップレートが 1.023Mcps であるが、符号長を長くして robustness を強化する予定であり、L5 では 10.23Mcps で 10230chips の新しい符号体系が提案されている。(3)、(4) このように SA 中止以来、高性能化の動きが著しい。Block II R、Block II F、GPSⅢについても、2010 年から 2020 年にわたる長期の構想が発表されている。(5)、(6)、(7) 一方、99 年の時点であるが、DOD は現在の L2 が敵性利用される可能性は排除すると言っている。これは L5 の 10.23Mcps 符号と矛盾するようにも思える。(8) 軍用と民生をはっきり分けて、軍用に関する限り、Anti-jamming を強化する傾向のようだ。(9)、(10)

DOD 中心の GPS 組織とは別に JPL が音頭取りになって、IGS が設立され、ユーザへのサービスを拡充して、大きな組織体の確立を図っている。(11)

DOT、DOD などから成る IGEB はハードウェアに直接手を付けながら、将来の GPS

を検討しているのに対して、IGS は GPS システム内部には関わりを持たず、GPS のシステム外側に該当する世界中の地域に、隈無く観測局、各種データセンター、解析センターを分布させ、世界中の機関と人材を参加させ、GPS の高精度観測に必要なデータをユーザに提供している。

米国は GPS の開発に約\$10B ドル以上の投資をしてきている。その結果として米国の安全が守られ、民生市場が誕生して、急速に成長している。しかし、現在同様な開発を新たに始めようとしたら、衛星の投資は文献 2 の pp143-145 によると、\$1.4B ~ \$770M ドルで済む。Galileo が出現する以前には GPS 以外にも色々な航行システム案が考えられていた。

GPS の開発は DOD 予算で賄ってきたが、GPS は国家安全の任務を持っているので、今後とも予算の源泉は同様である。GPS の信号が常に利用可能であることを望んでいる民生部門を担当する政府機関（含む外国）の中での DOD の役割は複雑になって来ていて、時には DOD と他の間が矛盾するように思われる。GPS を搭載した航空機が戦闘地域に立ち入らないように制限される可能性が考えられるが、しかし、補完システムが破壊されたときはその影響は広い範囲に及ぶであろう。The National Research Council 報告書では軍、民の間で使える信号の改善が進められている。The Aerospace Corp.では新しい信号形式が検討されていると報告されている。

GPS の課金の問題は多面的な検討が文献 2 の pp150-151 に行われ結論が示されている。

課金の問題と対を為す GPS による産業の活性化に関しては文献 2 の p159 によると、U.S. GPS Council の調べでは直接的な GPS 機器（関連機器は除く）の 2000 年の売り上げは\$8.5B ドルに達する。SPS の無料開放はこの民生用の伸びを支えていると考えられている。(2)

今まで、LORAN など航法援助信号は無料と言う社会通念がある。

GLONASS も同様な航行衛星であり、GPS と並んで世界の航行衛星システムの一翼なすものと期待されている。例えば GPS と GLONASS の両方の信号を受信できる端末の開発が進められており、IGS では GPS と同様にデータ取得の対象と成っている。しかし、現在のところ、ロシアの国情の影響か、全体計画に遅れがあるので、安定した航行衛星システムとしての機能は発揮されてない。

事柄を単純化すると、GPS の基本構成は宇宙空間の衛星と地上に居る利用者である。従ってその間に存在する媒体や、地上近辺の物体は測位誤差の発生源になる。前者の誤差の影響を緩和するため、WAAS、LAAS が構築されてきた。そして、後者の誤差に対してこの構成の中に携帯電話網と GPS 受信機能を備えた携帯電話が参入してきた。

WAAS、LAAS は広域の利用者を相手に同じ補正データや、GPS テレメトリ情報を提供し、GPS の高精度化の寄与し、携帯電話網は同種の補正データを送るだけでなく、携帯電話網は利用者と個々に接続されているうえ、さらに、網側が高速、大容量のデータ処理能力を持っているので、個々の利用者に対して、利用者の状況に応じて通常の GPS 受信

端末が受け持たなければならない信号受信処理、測位処理を負担して、携帯端末での GPS 信号処理の軽減する情報を提供し、網は利用者の利便性を飛躍的に高めた。

また、携帯電話網内部に利用者の位置を探索する機能があるが、それと GPS 測位との融合や、携帯電話網の基地局を基点にして、GPS 信号を市街地や、室内にまで延長して測位能力を向上させている。

3. Galileo に対する認識

1994 年 9 月に北京で行われた “The 8th Congress of the International Association of Institute of Navigation” で英国の航法学会の会長である W. F. Blanchard が欧州の立場から見た世界の航行衛星システム (GNSS、ICAO で定義した全地球的航行衛星システムで、GPS を含み、それ以上に完全なシステムとして定義した。)の問題点に対する見解について講演した。(12)

この講演の要点は従来電波航法の担い手は ICAO、IMO、IALA のような各国が参加している国際機関の権限下であり、各国は主権の及ぶ範囲でシステムに責任を持ち、システムに対する発言権を持った。しかるに GPS の現状はこれと異なる。衛星航法システムを管轄する国際機関が必要であるが、現在はそのような国際的な合意は存在しない。

そこで、欧州は 16 カ国から成る Eurocontrol が本件の検討の任に当たった。この組織は 33 カ国から成る the European Civil Aviation Council の賛同を得ている。欧州全体の意見として、現状の航法システムである GPS (GLONASS を含む) および その補完システムを GNSS-1 と呼称して、GNSS に至る中間段階のものであると定義した。その上で、GNSS-1 の欠陥を克服して、国際的な要求を満たすため、GNSS-2 を定義した。しかしながら現在のところ GNSS-2 を管理できる国際的な機関は存在していない。欧州は EU の運営を通じて、国際協調の貴重な経験を持っており、この経験は他の分野への適応も可能と考えている。GNSS-2 を管轄する国際機関を興すべきである。国連下の組織が適当であるが、組織化するのに 10 年近くの歳月を要する。総ての国が参加して、所有して、管轄して、費用負担して、全ユーザの要求に応えられる機関を組織化することは民生部門の課題であり、欧州はこの課題を主導できる良い位置にいると述べている。

現在の GPS (GLONASS を含む) の国際的な位置づけを今までの国際的な慣習、法制面に基づいて批判して、本来あるべき国際的な枠組みを示し、欧州の立場を宣言した。

1998 年以前には複数の GNSS に適した星座の提案が行われていた。(13)(14)

Galileo Project の全貌は Galileo Definition Studies Summary に記述されている。1999 年に統一した欧州案が作成された。Galileo Project 全体の投資は 30 億ユーロで、既に 8 千万ユーロが投入された。2003 年に軌道上実証が開始され、2006 年まで継続し、2008 年には実運用を開始する工程表である。Galileo の関連機器、サービスで最初の 15 年に 80 億ユーロの市場を興し、欧州に 10 万の新しい職種を提供する。(15)、(16)、(17)

既存の GPS、GLONASS では衛星数が不足しているので信頼できるサービスを提供することはできないと主張している。また、GPS にのみ依存するなら、GPS 信号の一時的または永続的な中断があるとするなら、重大な経済的、社会的問題を引き起こすであろう。1 時間の中断は 2015 年の時点で 4 千万ユーロ、32 日間では 10 億ユーロの損失に達すると試算している。

Galileo の提供する航法サービスは無料で一般開放する OAS と受信制限のある CAS があり、CAS は高性能で高い安全性の利用分野向けの CAS-1 と特に公官庁向けの CAS-2 から成る。有料化チャンネルを設けることで Galileo 構想では投入資金を回収する資金環流が図られている。

航法サービスに用いる周波数は 1.5GHz 帯の E1 と E2、1.2GHz 帯の E5 と E6 と、C バンドである。C バンドの周波数は第二世代に活用されるためと考えられている。

Galileo は全地球的に完全性が維持されるように三番目のシステムを公に供して、自己の経済の活性化と世界規模での社会的への貢献を図るとのことである。国際的な協調は Galileo Project の不可欠な要素である。相互運用を達成するため CEPT、ICAO、ITU などの国際会議に積極的に参加している。将来の移動通信を受け入れるための標準化も含まれる。周波数の割り当てに付いては米国、ロシアと協議している。Galileo Project への外国からの参加は ちなみに、Definition 設計の段階でカナダやイスラエルが参加するし、ラテン・アメリカ、オーストラリアと交渉を開始したし、アフリカ、アジアの国も将来的な協力の興味を示している。システムの骨格をあるべき姿に固めて行くには公の機関での立法措置が必要である。そのため、既存の国際機関（ICAO、IMO など）と協調に努力して行くとのことである。

4. 航行衛星システムに対する国際的な要求

軍事衛星システムとして登場した GPS、GLONASS は一部が民間に解放されてから、用途が膨大に広がり、さらに、Galileo の提案が具体化してくると、民生用の用途がさらに拡大するであろう。この用途の中で特に厳しい条件が課せられる人命の安全に直接かわる使用分野について注目してみる。この分野はシステムが高い精度を保った上で、完全に信頼が置けることを必要とする。この条件は民生と軍事の両部門に課せられるが、軍事では、これに加うるに敵対勢力（敵対する意図を持った直接的な敵性妨害と、そのような意図はなくとも、単に GPS の性能を劣化させる間接的な妨害もこの範囲に含める）からの直接的妨害に対して積極的に對抗する措置を講じているのと、間接的な干渉が結局効果として妨害と同等になってしまう妨害の可能性についても非常に神経質に対応していて、そのような可能性のある対象をあらかじめ排除しようとする考えがある。民生面からシステムを眺めるとき、民生の要求と軍事の要求との接点（或いは係争となる）にシステムの根幹に関わる課題がある場合がある。

民生用で人命の安全に直接かかわる用途は航空機の運行の分野と最近 FCC が法制化を進め、2005 年末までに全米の全域で整備されることを目標としている E911 の分野がある。

航空機の運行で特に安全が強調されるのは着陸時の運用である。一番精度の高い CATⅢ (Category Ⅲ) の空港への着陸時には衛星の不具合は発生後 2 秒以内に航空機に通報される必要があり、その時の垂直方向の位置精度は 1m 以内と規定されている。(18)

この厳しい要求に対して、システム側は GPS に補完システムを追加して、測位精度の向上と完全性の向上を達成しようとしている。2008 年以降の Galileo が全部投入された後からは航行衛星の数が倍増するようになり、システムの信頼度がより向上する。

もう一方の携帯電話網との接続では今まで衛星の測位が不可能であった領域でも、携帯電話の電波が到来する室内、市街地の建物の影でも測位が可能になった。さらに、携帯電話網は自分のシステム内部に処理能力の高いサーバと、位置登録の機能を持っているが、この能力を携帯端末の測位に役立てている。

基地局のサーバは GPS の現在の軌道位置など、高精度で把握しており、それを端末に提供するだけでなく、端末の信号受信のプロセスにも関与して、端末の受信処理の軽減化を達成したり、基地局の位置情報を測位処理の中に提供して端末の能力を支援している。(19)、(20)

測位機能が身近になり、容易で高信頼度が期待できるので、この原理を踏まえ FCC は緊急通話の呼びが有った時、通話者の位置が特定できるように立法措置を講じた。E911 のこの活動は 1996 年から開始して、Phase I ではまず通信業者及び携帯電話メーカーに現在のシステムに対してこの能力が可能になるようにシステムの改造に努めさせ、Phase II は 2001 年 8 月から開始して、終了する 2005 年末には米国内総ての地域で E911 が可能になるように通信業者に義務づけている。緊急通話があった時に特定できる測位精度は携帯電話側で 150m、ネットワーク側で 300m を規定している。(21)、(22)

人命に関わるシステム要求と並んで高い経済性の追求も課題になる。航空管制部門では 21 世紀初頭の航空機の飛行需要の増大に対応して全飛行経路にわたる経済飛行が開発目標の一つにある。このため、航空機と管制局間で広域にわたり、高頻度な情報交換が必要であり、航行衛星システムの機能のみならず、全地球範囲でシームレスな移動通信が必要であると主張されている。これを実現するため衛星技術の一層の寄与が期待されている。シームレスと言う点を強調するため CNS をさらに押し進めた、通信、航行、搜索を統合した GCNSS 構想が浮上している。(23)

5. ICAO 議定書の要求条件

航空業界から航行援助の将来像に対する要求の基本は 1991 年の国連の傘下にある ICAO の国際会議で構想として提案された。(24) 将来の航空管制は大幅に衛星技術に依存すると言う基本思想に基づいて構想が構築された。この構想の屋台骨は CNS で、さ

らに、CNS と結び付いて、質の高い情報処理能力を備えた航空管制 ATM を開発して、高い安全性と経済性を達成することを目標とした。当時の段階で ATM によって達成すべき将来目標として次のような項目が挙げられた。

1. 安全性の向上
2. 交通量の増大に見合ったシステム容量の拡張、資源の有効活用
3. ユーザが望む 3 次元、4 次元の動的な飛行経路を広くアクセス可能とする
4. ユーザへの気象現況、飛行状況、空港など施設の混雑度などの伝達が改善されること
5. 航法、着陸、離陸などの方法が改善され進歩すること
6. 航空機と管制局間の通信と計算機能が向上して、この機能がユーザの判断に活用できること
7. 空域の境界線が透明で、あたかも一つの連続した領域に近づくこと
8. ATM の進展に合わせて空域を再編すること

箇条書きにすると大変に抽象的であるが、文献(24)の本文には相当具体的に将来像を描いている。その後この分野は著しく発展した分野もあるが、しかし、多くの開発未着手の部分も存在する。

空港近辺に関しては離着陸の航法支援に衛星技術が着々と整備されてきている。即ち、WAAS、LAAS の構築が進んでいる。パイロットと管制官の間の通信は VHF であるが、音声通信を残した状態で、さらにデジタル通信の普及が進んでいる。しかし、VHF の範囲を越えた En route である洋上や、大陸上では通信手段として INMARSAT も活用されているが、今だ HF が使われている。高緯度地帯の欧州では HF のデジタル通信が活用されている。

En route におけるパイロットからの自分の位置の定時通報は 1 回/1 時間程度であって、航空機は地上の標識などに従って定められた飛行経路を航空機間の分離距離を大きく取って、飛行しているのが現状である。

現在の航空管制は一番危険度の高い空港付近の近代化は進められているが、離陸から着陸までの全空路にわたる安全飛行、経済飛行を逐一追求する高度な航空管制は未着手である。この点を開発するために、まず全航路にわたって、航空機と管制局間で高頻度なデータ交換ができることが前提になる。この手段を通じて、航空機から高頻度な位置通報の通報が可能になり、管制局はこのデータに基づき、高速、大容量のプロセサの処理を通じて、現在の空域の飛行状態や、気象状態を基に高い安全性と経済性を持った飛行状態を算出し、航空機に伝えることができる。航空管制では Navigation である測位機能だけでなく、Communication である移動通信も一緒に備わっていることが必要であり、位置データとそのコンピュータ処理により Surveillance の一部が可能になる。この三つの機能を総称して CNS と強調している。また、Navigation 同様、Communication も衛星技術

に強く依存している。

文献(24)のFANS構想は現在CNS/ATMと呼ばれている。1998年5月にブラジルでICAOの全世界的な国際会議が持たれた。(25) この時点では既に合意されたCNS/ATMを如何に実行に移すかが議題であった。

文献(26)の会議の開会の辞で、全世界の航空業界の規模を年間で12000社の航空会社が1500万回の飛行を行い、150億人を運んでいる、と言う前提を基に将来のCNS/ATMの整備を実施していかなければならないと宣言している。この数値は97年実績であるから、現在は最近の経済の落ち込みを考慮して考えなければいけない。会議ではCNS/ATMの現状認識、開発の展望、開発にかかる経済問題、国際協力、訓練などが協議され、決議されている。この中で衛星関係の主要事項を取り上げる。

GNSSはCNS/ATMの中心となる要素である。CNS/ATMの良く考察された将来展望に基づき、全地球的で、かつ継ぎ目のない(シームレス)ATMの実現が目標として掲げられている。このような高度なATMが実現すると出発、到着時刻を厳守させ、安全の条件を低下させることなく、できるだけ自由度を持った最適飛行が可能になる。この目標に添って具体策を明文化し、標準化して行こうとしている。ICAOは公表されている明確なATMの要求条件に基づいてCNSの実施が確実に実行されていること確認して、CNS/ATMの構想が確実に進展していることを認識している。

他に注目すべき題目は、95年にICAOの中にGNSSに関する法制的な枠組みを作る専門部会が設立されたことである。部会からはGNSSの憲章の原案が提示され、審議結果が付帯され、部会の報告書に含められた。現在、存在する法制的な枠組みはシカゴ会議のとき決議されたものであり、これで十分と言う意見もある。しかし、多くの意見は憲章を採用することが長期間にわたる法制的な制定作業の第一歩の受け止められている。

6. 最近のCNS/ATMの動向

99年1月に米国のFAAはNASの近代化構想構案4.0を公告した。(26) NASは全米の18,300箇所の空港始め、多数の航空施設、48,000人の航空管制関連のFAAの職員を包含する。この近代化構想は21世紀を間近にして、2015年には乗客数が99年の時点より2倍に増大すると言う前提で立案されている。現在の施設についての評価は30年前のコンピュータ、時代遅れのソフト、相互の情報交換ができない多くの情報機器と言う現状認識である。この近代化構想は2015年に完成時期を設定した計画である。近代化構想の目玉は施設の近代化と、その結果得られる成果で説明できる。

近代化の対象となる施設、設備とソフトは通信、航法と着陸、レーダシステム、気象関係、En routeの管制、空港施設、管制官用の航空管制用コンピュータと表示装置、他であり、成果は航空機と管制局間のデジタル通信を活用した混雑緩和、衛星技術を活用した正確な航法と精密着陸、空港並びに空域の搜索範囲の拡張、パイロットへの他機の状況の

提供、離着陸の正確な時刻管理、パイロットへの正確で高頻度な気象現況の提供などである。

Free Flight という概念がある。Free flight は管制官がリアルタイムで航路や飛行速度を自由に選択できる飛行方式である。FAA の考えている NAS の将来の運用構想は Free Flight への発展である。この運用構想に従って、近代化構想は NAS の CNS、自動化設備、航空電子機器を変更して行く。

近代化構想は3段階に分けて進められる。

- ・ 第一段階（1998-2002）で主題は WAAS の進展させて行くこと。
- ・ 第二段階（2003-2007）の主題は次世代 CNS に適合した機器を増設させ、新しい CNS 能力に合わせて自動化を推進すること。
- ・ 第三段階（2008-2015）の主題は新しい CNS に基づいた Free Flight の実現である。

また、2001年5月に FAA から 25~30年の将来を見越した新しい OEP が公告された。(23) OEP は10年で民間航空機の乗客の30%増加を見込み、Free Flight の時代に突入して、空域の設計、飛行方法の進歩に伴って、柔軟性のあるシステムや、容易にアクセスできるように変化させていくと考えている。10年間の FAA の施設設備への投資は \$11.5B ドルに達して、徐々に改善が進んで行く予定である。FAA は同時に Boeing が提案した OEP を支持した。

Boeing の計画は次の通りである。計画は前例のない NAS 全体の統合化計画である。飛行乗務員、管制官など総ての関係者がある課題のため協力、調整、最適化を行うため、同じデータにアクセスできる。例えば、位置や、計画中の飛行経路に関する精密なデータは全関係者がアクセスでき、さらに効率的な運用を可能にする。定型的なあるいは繰り返すような作業は自動化して行く。この計画は25年後の需要に見合うもので、計画の中心は衛星技術であり、現在の GPS を拡張して、さらに移動通信、搜索機能を一纏めにしたもので、GCNSS 構想と称する。

全地球的 GCNSS ネットワークは主管制局から運用され、SNAG を通じて航空管制の関係者がデータにアクセスできる。GCNSS の主要な分野は以下の3分野である。

- ・ 飛行経路の分野：航空機の現在の3次元位置、速度、意図する予定飛行路など種々のデータを合成し統合された情報にする。グラフ機能で、任意の時刻に於ける自分の将来位置が明示できる機能
- ・ 共通データベース：飛行経路、気象、飛行路の現況、管制システムの現況などを含む飛行情報センター
- ・ 空域の登録：簡潔で、オープンな航空機の流れを管理するシステム

革新的な GCNSS は単純に通信、航行、搜索を備えるだけでなく、未来技術を取り込んだ、オープンな構造を持つ、高度に統合された航空管制を実現するものである。この構想は、従来よりさらに安全で、混雑を緩和し、遅延の減少させた、軍民共に使えるシステムである。

Boeing は本件に使用する新しい移動通信衛星システムの免許が FCC から与えられたことを発表している。免許は非静止型の衛星システムで、周波数は 2GHz 帯である。

これに先立ち、Boeing 社は 1997 年に 12 時間の MEO を使用した 16 個の衛星から成る通信衛星システムを FCC に提出している。GEO では困難な緯度 75 度以上の地帯でも困難がなく、ユーザから常時 2 個以上の衛星が可視である。(27)

7. 航行衛星システムを制する周波数獲得 ARENA

航行衛星システムのシステム設計の中で周波数の獲得は最重要課題である。獲得するための必要条件は航行衛星の周波数は媒体伝搬中の屈折の補正に適していること、ITU の周波数割り当ての指定内であること、さらに当事者が割り当てを申請した後、国際的な承認が得られるとのことである。申請に際して既に同じ領域に既存の利用者がいる場合は当事者間で折衝し、使用条件を定めなければならない。通常既存の利用者に優先権があって、条件が重なるときは妥協の条件を見出すことが極めて難しい。筆者が出席した Nashville で開催された ION GPS 98 の大会の主催者挨拶で Prof. B. Parkinson が冒頭に取り上げた当時の GPS の大問題は GPS 周波数と移動通信の競合であった。(28) S. Lazar (Aerospace Corp. 新しい軍用コードの開発者)、文献(29)によると、GPS の L1 が INMARSAT の Mobile Satellite System と、L2 が Window Profile Radar と競合することを示している。文献(29)の Fig.1 に GPS の L バンド近傍の周波数割り当ての様子を示している。競合する割り当てに関しては航行システムと通信のように種類の異なるものや、GPS と GPS 補完、あるいは GLONASS のように同じ性質のものなど、各々個別の問題として対処する必要がある。

相互干渉を厳しく考えるべき例として、GPS の C/A コードが挙げられていて、C/A コードの種類は有限な容量で制限された CDMA の特性を持っていて、同じ C/A コード間の相関は Gaussian 雑音であるので、相互干渉は問題ないと理解されていたが、GPS の信号を研究している側は干渉が最悪に作用した場合、ランダム雑音よりは悪い結果を生むと述べている。別の文献にこの件は詳しく述べられている。(29)

GPS に関して 1996 年の米大統領令(NSTC-6, U.S. Global Positioning System Policy) は SPS を維持することを公にした。これを受け SPS は広く民生用に利用できることになった。同時に GPS に敵対して使われることに関しは対抗措置を講じることにした。DOD は具体的な方針として 3P 方針を打ち出した。

1. Protecting the military use of GPS
2. Preventing hostile use of GPS
3. Preserving civil use of GPS outside an area of conflict

軍用と民生用のスペクトラムの分離を図るため新しく M モードを付加する計画が進められている。M モードは GPS Block III から送信電力が増強される予定である。他に新たに L2、L5 の民生用のバンドの追加が計画されている。将来計画は安全サイドの考え方に基づき現存する信号と新たに加わる信号の間に限界を設けるべきであると述べている。

民生用で特に注目すべきは L5 が今までより長いコード長の信号を使用しているため、相互相関値が低くなり、干渉に強いものになるとのことである。

S. Lazar は文献 (29) の 1 年前に GNSS への新たな参入を予測して、新規参入者が考慮しなければならない測位信号の設計に関するガイドラインを示した。(30)

周波数の割り当てには技術的課題と非技術課題がある。技術課題は新規参入者に新しい割り当てるか、既存のものと共存させるかが基本の選択肢で、その際発生する問題点である。非技術的問題もその際発生する国の主権とか、経済の問題である。

航行衛星システムが使用できる周波数割り当ての名称は RNSS と ARNS で 1GHz と 6GHz の間の周波数割り当てが文献 29 の Fig. 1 に示されている。ITU の 8D ワーキンググループでは将来の RNSS 用の周波数を研究対象にして検討している。

新規参入に際しては既存の周波数と共存するか、新しい周波数を開発するかの二者択一しかないが、両方の利害得失が挙げられている。さらに、測位信号の内容に関して、GPS 及び GPS like の固有な課題として CDMA の問題がある。

通信の分野では受信機のスレッシュホールドとそれに対する信号のマージンがシステムの良さの指標となるが、GPS においては同じコード間の相互干渉が課題としてあげられなければならない。相互干渉に影響を与える要素は信号間の位相とドップラー効果である。

GPS の CDMA 信号方式の評価は上記のようなレベルの問題だけでなく、ある信号と同類の他の信号間の干渉は統計的な事象として取り扱うべきであると主張されている。多数の衛星が視野内にある時、信号相互間のドップラー効果、受信強度などが受信環境を決める。典型的な例として、高い完全性を必要とする場合、6 から 8 個の衛星が視野内にあり、その上良好な DOP を維持するため、仰角の低い衛星も含まれている場合、仰角の高い衛星との干渉が問題となる。生命の安全を担う GNSS はサービスの中断は許されず、このような状況下でのシステムの評価は静的なモデルでは不十分で、幾何学的な配置、そして、実際の信号同様の条件など、実際に近いモデルを用いた解析が必要になる。

一方新規参入となる Galileo 側としては既存の GPS との共存条件を検討した。

上記のように GPS に対する干渉の可能性の解析は実際に起こりうる条件を考慮した多くの変動要素を含むモデルの開発を行い、干渉の可能性を吟味すべきであると言う主張である。

これに対して、新規に参入する Galileo 側も信号の構造について主張している。B. Eissfeller は Galileo の信号の構造について述べている。(31) 要旨は現在、衛星測位に適した Lバンドは既に GPS、GLONASS によって濃い密度で占有されており、新規参入は政治的考慮が必要であり、法制面、技術面から見て難しい問題であるととらえている。Galileo の基本的な方針は Galileo は開かれた全地球的システムで、GPS と全面的な適合性を持つが、しかし、GPS に依存しない、かつロシアとは何らかの連携を持ったシステムと定義している。

独自の航行衛星システムと言う意味は第一に衛星の管制が他の組織に依存しないことであり、次は擬似雑音信号による CDMA を使用したとき別の搬送周波数を選ばなければ成らないかと言う問題がある。システム間で共通点がある場合、予想できる干渉が問題点になるが、例えば周波数は同じでも異なるコードを使用する等の案がある。別の周波数を使用した場合であっても、一般的な干渉の問題はある。この問題は今後さらに深く詰めるべき課題である。

この文献(31)では一般的な干渉の解析手順を示した後、この時点の Galileo の周波数割り当てを2案示している。

J. Godet は実際に干渉の可能性を定量的に示した。(32) Galileo 信号の想定条件はコードは GPS と同じで、搬送波中心周波数が GPS と一致する場合と、中心周波数が 1.023MHz と 2.046MHz ずれた場合である。Galileo 固有なコードに付いては検討中につき、考慮してない。また、ドップラー効果の影響は今後考慮されるべき項目とした。干渉の有無はパワースペクトラムの強度の比較が行われている。以上は回線の条件であるが、実際に GPS、Galileo の星座を模擬して、受信機がうける干渉について計算した。シミュレーション結果は例えば GPS C/A コードが同じ周波数と同じコードの Galileo 信号を想定した場合、C/N₀ の劣化は 0.5dB であり、周波数をずらすと僅かであるが確実に劣化が少なくなることを示している。この解析の結論として、GPS と Galileo は中心周波数をシフトした場合、シフトしなかった場合でも周波数を共用することは技術的には問題ないと主張されている。

しかし、この論文(32)では S. Lazar が文献(29)で要求しているような擬似雑音コードの統計的な現象で受信過程の劣化を招くような最悪条件の模擬や、ドップラ効果によって発生する不規則なコードの重なり合いなどの効果は考慮してない。

最近の Galileo の周波数割り当ては文献(16)の p 15、文献(33)の p 8 に示されている。両者とも衛星プロジェクト毎に分離した周波数である。本件に関して、最近筆者が交換した Prof. B. Forssell (Galileo に関与しているノルウェー科学技術大学の教授)の手紙によるなら、Galileo の周波数の選定は 2000 年 5 月のイスタンブールの WARC に提案して、まだ最終決定に至っていないが、既に周波数を獲得している米国とロシアと重ならない周波数を選ぶようになるだろうと述べている。理由は既存組が干渉の可能性を嫌うからであると言っている。周波数獲得は航行衛星の死命を制する課題と思われる。(34)、(35)

8. GPS の永続性

一般的な感覚として、GPS は米国の軍事衛星であるから、民間に開放されているが、世界の情勢の変化によっては現在受信している信号が劣化する心配があると言われている。EU も Galileo を登場させるため、このような想定を行っている。先程述べた 3P 方針のなかで、紛争地域外では民生用の通常運用を維持すると言っている。K. J. Sandhoo (MITRE) は FAA の民生用の新しいサービス計画について述べている。(9) また、J. J. Spilker (Stanford Telecom) は L5 の提案を行っている。これらを総括して J. Clark (The Aerospace Corp.) は GPS の近代化に付いて将来スコープを述べている。(4)、(5)

以上は衛星システムであるが、補完 GPS、WAAS、LAAS、は米国の主導で衛星本体システムから派生して世界中に実現して行っている。さらに、航空管制のみならず、測量など多くの応用分野に利用が拡大し、新しい利用分野の開発研究も進められていて、社会基盤に成ってきている。Prof. P. Enge (Stanford Univ.) は航空機の航法援助、自動着陸を強力に推進している。日本では MSAS が構築されつつある。着陸の航法援助では高精度な位置情報の要求と共に、短時間であっても中断や劣化が許されない完全性の要求も厳しく求められている。信号の連続が維持されないと補完 GPS システムは崩壊する。

さらに、JPL は GPS の内部には立ち入らないが、GPS が永続的に存在するという前提で、世界中の 100 以上の団体と協力して IGS を設立して、世界中のユーザに今までよりさらに高精度な衛星情報などを提供している。

FCC が掲げている E911 プロジェクトは警察や消防の緊急通話を新しい基本機能として携帯電話に追加するもので、システムの実用化と共に一瞬たりとも、システムの中断は許されなくなる。米国内では GPS が信号を送信することは法制的義務になる。現在の計画では 2005 年末に全米で稼働することになっていて、益々、システムの信頼度の向上が必要となる。

以上を総合すると、国の安全に関する緊急事態が発生したとき民生用は何らかの影響を受ける可能性はあるかも知れないが、それ以外の理由で GPS 信号が中断することはないと考えられる。それは上記のように、DOD 以外の米国の政府機関が GPS の存在を前提に米国が構想の主導者となっている応用システムに深く関与しているためである。

9. Galileo の存在が世界の航行衛星システムに与える影響

EU が域内の産業活性化のために全地球的な航行衛星システムに 3 本目の柱を建てた訳であるが、その設立理由は世界の航行援助システムの伝統を根拠したものであるので、世界の航行衛星システムの将来にわたり大きな影響を与えられよう。

最初に述べた RIN の W. F. Blanchard の宣言によれば GPS、GLONASS などの全地球

的航行衛星システムが一国支配であったのを、Galileo は地域が結束して全地球的航行衛星システムを国際舞台に初登場させた。今の Galileo の母体は EU 加盟国であるが、域外では、すでに、カナダが資金を出して基本設計に参加しており、中央と東ヨーロッパ、ウクライナ、ラテン・アメリカの国々と折衝中、オーストラリアは折衝を開始したし、イスラエル、南アフリカ、ケニア、エジプトなどアフリカ諸国、中国、韓国、インドなどアジアの国が高い関心を示している。

サービスの種類は 3 種類で、General-Purpose Service、 Commercial Service、 Public-Utility Service である。前者は一般に開放しているが、完全性は保証していない。後者の 2 つは受信が制限されていて、代わりに種々の付加価値のある情報が提供され、完全性が考慮されている。最後は公官庁用であるが、軍用も考えているようである。受信が制限されているサービスは有料である。

W. F. Blanchard は国際的な機関の管理を主張し次のように述べている。例として、INTELSAT などを挙げている。この機関は GNSS を運用していく役割を持ち、参入は契約による。このような新しい国際機関の設立が望ましいが、その準備に 10 年近くの歳月を要すると見込まれている。この種の機関では GNSS の費用負担が求められると同時に、機関はユーザの要求に応える義務を有するなどである。

何らかのシステムが実社会に便利に使われれば開発に関わる部門は満足感が得られる。しかし、そのような現実を手中に入れるにはその背景に、過去の不断努力による不動の既成事実の積み上げか、将来に明るい夢が確実に与えられる野心的な構想が必要である。

前者は GPS であり、Galileo は後者であると言える。後者の場合、既存の実績の代わりに骨子が明確な構想があって、公の機関を通じて、その構想を認めさせなければならない。電気通信の分野ではデファクト・スタンダードの確立が一般化している。Galileo が国際標準の地歩を確立できるようになれば、Galileo が定常運用を開始する 2008 年頃になると、さらに参加国を増やし、新しい展開も考えられる。

10. 技術確立の考え方

GPS は 1957 年のスプートニクに端を発し、NNSS を経て、1977 年の NTS-2 で高々度の航行衛星システムがスタートした。現在の安定期まで 20 年近い歳月を要してシステムが構築されて行った。

システムの基本性能が確認されると、GPS に内在する欠陥が探求され、まず衛星本体以外に WAAS、 LAAS などの補完システムが追加され、完全性の向上が目標となり、改善が進んでいる。 GPS の軌道を超精密に推定するためには現存する GPS に属するモニター局の全地球的分布が希薄なため困難を来しているため、IGS では世界の高精度測位を必要としている機関を総動員して、観測点の世界分布密度を飛躍的に増加させ、GPS 単独では不可能な高精度な衛星情報を放送できるようになった。衛星システム単独では GPS が

使用可能なのは野外の衛星の可視が可能な場所であり、室内や、市街地の建物の影では利用できなかったが、携帯電話網と GPS を接続して、野外は言うに及ばず、携帯電話の電波の通じるところまで利用領域を拡大した。領域拡大のみならず、携帯電話網が持つ高速、大容量の処理能力が携帯端末の処理負荷を大幅に軽減させ、端末ユーザが確実、短時間に測位できることを可能にした。

一方、GPS の固有な一国が管理するシステムのため、国際的な合意が入る余地がないと言う点を欠陥と考えて、この点に対抗していく形態で Galileo が登場してきた。

Galileo は世界全体の航行衛星システムのさらなる完全性の向上を目的としてプロジェクトが構築されたので、Galileo が本格稼働する 2008 年以降は世界全体の航行衛星の数が 2 倍以上に増加するので、一層の完全性の向上が期待できる。しかし、Galileo の衛星単体では GPS を凌駕する画期的な改善は含まれてない。

2010 年頃までの衛星単体の改善は GPS では GPS III の時代、Galileo は衛星数を増大する改善、衛星単体に付随するシステム開発は IGS、携帯電話網との接続であろう。

現在まだ、実現してないシステムの要求として、FAA が進める NAS の近代化があり、その主役は衛星技術と宣言されている。上記航行衛星システム以外にも衛星を利用した移動通信が必要であると述べられ、さらに両者間の強い結びつきが構想として挙げられ、GCNSS という新しい概念が提案されている。2010 年以降はこれらのシステムが互いに影響し合い、現実のシステムが構成されていくであろう。

1.1. GPS、Galileo が積み残したもの

GPS はシステムを 1970 年頃から着々と築き上げられてきた。一般の衛星の開発過程に従うなら、設計思想が具体的に軌道上で実現するのは設計開始から少なくとも 5 年以上後であり、さらに、一度設計が固められると、後続機は既存のものに引っ張られて、大幅な改善を図ることは難しいと言う衛星開発に係る制約条件がある。軍事衛星である GPS が今まで民生用として世の中に存在しなかった機能を公開すると、色々な利用者が出現した。利用者は衛星システムの設計変更が困難なことを理解しているので、GPS の機能を高めるため、利用者側が GPS と独立に GPS 機能の拡大のための付加機能を付け加え、利用者の要求の合う航行衛星システムを実現して行った。

GPS から派生した拡張システムは補完 GPS、IGS、携帯電話網との接続である。この拡張システムをここでは拡大 GPS と呼ぶ。

GPS と拡大 GPS の間に差が生じた原因は GPS の初期の設計条件に起因する。補完 GPS が GPS を補完している役割は GPS 単独では満たせない完全性を達成させることである。その原因の一つは衛星は全地球を周回しているが、モニター局は全地球に 5 局しか存在しないに起因する。即ち、個々の衛星はコロラドスプリングスとリアルタイムで回線接続されてない時間帯がかなり長時間存在する。この期間の衛星のヘルスは管制局から直接監視

されてないので保証がない。ただし、Block II F から UHF の衛星間通信が付加されるので改善はされるだろう。

人命を預かるような高信頼度要求の機能を達成するために衛星数が不足であるという指摘がある。特に、欧州のように高緯度に位置しているところはこの現象が著しいと言われている。この現象は Galileo が運用に入ると解消されるだろう。

IGS が補完している対象は GPS と全く独立に分布している世界中のモニター局が取得する観測データが基礎となるデータである。IGS を必要とする原因は GPS のモニター局が少ないことに起因する。

以上を総括すると、全地球的航行衛星システムを設計する際、当時の設計の環境は現在期待されているような GNSS を設計することではなかった。米国は当時の世界事情でシステムが全世界のどこでも使いたかったため、12 時間軌道を選んで、衛星を全地球に周回させたが、衛星を監視するモニター局は 5 局 (Colorado Springs, Hawaii, Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein Island) の情報で、全システムの運用を行った。

システムに対する初期の要求は原子力潜水艦が浮上し、自分の位置を確認できることなどで、その機能は果たしたが、民生用として、測量、航空機の着陸援助とか、カーナビ応用などの使用目的が後から興って来た。そのような状況下で、ICAO の要求する GNSS の要求条件は航空業界から見た航行衛星システムの姿であるから、それ以前に設計された GPS と直接の関係がない。両者の間に隙間があって当然である。

Galileo は衛星時代以前の世界に定着していた航法援助の慣習を手本として、GPS など既存の航行衛星システムが国際的な管理下における GNSS に近づくための条件を明確にした。技術面での改善は GPS と合わせて世界に存在する航行衛星の衛星の数を増やして、両者、或いは三者合わせて、世界の航行衛星システムの完全性を高めることに成るであろう。

従って、Galileo が軌道展開した後の世代の航行衛星システムはユーザの要求に応じた拡大 GPS と CNS が統合した新しい方向のシステムに向かって行く選択肢も存在する。

少し以前であるが、GPS を所管する J. B. Busey (Admiral, DOD) が 1991 年の ICAO の会議で、現システムの代替システムを支援するし、そのようになって行くのではないかと講演している。(2) 技術革新に前向きな発言であり、周波数割り当ての ARENA のような問題はあるが、それを克服して、良いものへの挑戦は必要であり、国際的に受け入れられると考えられる。

12. まとめ

GPS の現在の姿は拡大 GPS に成ってきているとすることができる。さらに、GPS から誘発されて、Galileo が登場してきた。関連システムとしては航空管制の要求として、全地球的にシームレスな移動通信を衛星技術を使用して GPS、GPS like の航行衛星と組み

合わせて使用する案が浮上している。

現在の GPS、Galileo のプロジェクトは GPS III への移行、および Galileo の完成で衛星計画は推移するとおもわれるが、同時に J. B. Busey が宣言したように現在のシステムに新しい技術を取り込むよう思考、検討することも意義のあることと思われる。(2)

そこで、種々の付加システムが投げかけた課題をあげる。

- ・ 補完 GPS からの課題 完全性の監視機能、補正データの高頻度放送
- ・ IGS からの課題 軌道位置の高精度確定
- ・ 携帯電話網の接続からの課題 瞬停の許されないシステム
- ・ Galileo からの課題 航行援助の国際管理、完全性の改善、Cバンドの活用

現在の航行衛星システムの現状と、関連システムから投げかけられたシステム要求を踏まえ、次世代の航行衛星システムを考察することは意義のあることと考える。

1 3 . 参考文献

- (1) I.A. Getting, "The Global Positioning System", pp.36-47, Dec. 1993, IEEE Spectrum
- (2) S. Pace, et. al., "The Global Positioning System, Assessing National Policies", RAND, 1995
- (3) K. J. Sandhoo, et.al., "FAA's Plan for the Future Use of GPS", pp.1763-1768, ION GPS 99, Sept. 1999, Nashville, TN
- (4) J. J. Spilker, et.al. "Proposed New GPS Signal at 1176.45MHz", pp.1717-1725, ION GPS 99, Sept. 1999, Nashville, TN
- (5) J. Clark, "GPS Joint Program Office Modernization Efforts", pp.2151-2174, ION GPS 2000, Sept. 2000, Salt Lake City, UT
- (6) T. Hartman, et.al. "Modernizing the GPS Block II R Spacecraft", pp.2115-2121, ION GPS 2000, Sept. 2000, Salt Lake City, UT
- (7) S. T. Fisher, et.al., "GPS II F- The Next Generation", pp.24-47, Vol.87, No.1, Proceeding of the IEEE, Jan. 1999
- (8) M. Shaw, et.al., "The DOD: Stewards of a Global Information resource, the Navstar Global Positioning System", pp.16-23, Proceedings of the IEEE, Vol.87, No.1, Jan. 1999
- (9) K. Sandhoo, et.al., "Modernization of the Global Positioning System", pp.2175-2183, ION GPS 2000, Sept. 2000, Salt Lake City, UT
- (10) P.A. Dafesh, et.al., "Compatibility of the Interplex Modulation Method with C/A

- and P(Y) code Signals”, pp.2122-2129, ION GPS 2000, Sept. 2000, Salt Lake City, UT
- (11) R. E. Neilan, et.al., “ International GPS Service 2000: Life without SA “, pp.438-446, ION GPS 2000, Sept. 2000, Salt Lake City, UT
- (12) W.F. Blanchard, et.al., “ Institutional Requirements for a Global Navigation Satellite System “, pp. 249-255, 8th Congress of the International Association of Institutes of Navigation “, Sept. 1994, Beijing, China
- (13) Solari, G., et. Al., “ Constellation Options for future GNSS “, ION National Technical Meeting, Jan. 1995
- (14) Skoog, A., et. al., “ PROPANASS a German/Russian Concept to demonstrate a next generation navigation satellite system “, IAA-96-IAA.3.3.05, 47 th International Astroneutical Congress, Oct. 1996, Beijing, China
- (15) L. Tygat, “ Galileo Definition Studies Summary “, pp.1-26, European Commission, Brussels
- (16) “ Commission Communication to the European Parliament and Council on GALILEO “, Nov. 22, 2000, Brussels
- (17) L.Tytgat, “ Galileo: A new GNSS Designed with and for the Benefit of all Kind of Civil Users “, pp.1362-1365, ION GPS 2000, Sept. Salt Lake City, UT
- (18) P. Enge, “ Local Area Augmentation of GPS for the Precision Approach of Aircraft “, pp.111-132, Proceedings of the IEEE, Vol.87, No.1, Jan.1999
- (19) 北條晴正、「情報通信端末 GPS 技術の概要」GPS シンポジウム 2001、pp.143-150、2001 年 11 月、東京
- (20) 日本国特許、特表平 11-513787、「GPS 受信機と GPS 信号処理をする方法」
- (21) FCC FACT SHEET, “ FCC Wireless 911 requirements “, WTB/Policy, Jan. 2001
- (22) Surgue, T., “ Hearing on Wireless 911”, Subcommittee on Communications, CCS&T, US Senate, Oct. 16, 2001, Washington, DC
- (23) FAA and Boeing both air plans for ATC evolution, Aviation International News, July 2001, http://www.ainonline.com/issues/07_01/july_01_faaboeingatcpg.html
- (24) “ Report of the tenth Air Navigation Conference “, Doc 9583, AN-CONF/10, Montreal, 1991
- (25) The Report of the World Wide CNS/ATM Implementation Conference, May 1998, Rio de Janeiro
- (26) Blueprint for NAS Modernization, <http://www.faa.gov/nasarchitecture/blueprnt/nasmod.html>, Jan. 1999
- (27) Boeing reveals satellite-based Air Traffic Management System, <http://www.spaceandtech.com/digest/sd2001-05/sd2001-05-004.shtml>,
- (28) K. Inamiya, “ A study on the Navigation and Communication Satellite System for

- the Next Generation “, pp.1131-1140, ION GPS 98, Sept. 98, Nashville, TN
- (29) S. Lazar, “ Issue in Sharing and Encroachment “, pp.973-980, ION GPS 2000, Sept. 2000, Salt Lake City, UT
- (30) S. Lazar, et.al., “ Signal Design Guidelines for Navigation Satellite System Design “ pp.2079-1762, ION GPS 99, Sept. 1999, Nashville, TN
- (31) B. Eissfeller, “ Requirements on the Galileo Signal Structure “, pp.1772-1781, ION GPS 2000, Salt Lake City, UT
- (32) J. Godet, et. al., “ GPS/GALILEO Radio Frequency Compatibility Analysis “, pp.1782-1790, ION GPS 2000, Sept. 2000, Salt Lake City
- (33) 安田明生、「最近の GNSS に関する話題」、pp3-18、GPS シンポジウム 2001、日本航海学会、2001 年 11 月、東京
- (34) B. Forssell, “ GALILEO the Global Navigation System of Future. Status and Expectations. “, pp.51-58, GPS シンポジウム 2000、日本航海学会、2000 年 11 月、東京
- (35) Private Letter from Prof. B. Fossell to K. Inamiya dated Sept. 28, 2001

宇宙開発事業団技術報告 NASDA-TMR-010020

発行日 2002年1月31日
編集・発行 宇宙開発事業団
〒105-8060
東京都港区浜松町2丁目4番1号
世界貿易センタービル29階
TEL 03-3438-6000 (代表)

©2002 NASDA

無断複写、転載を禁ずる

<本資料に関するお問い合わせ先>

宇宙開発事業団高度情報化推進部成果利用課

TEL 03-3438-6582

