

## 1 次世代電子基準点に関する研究開発

本項目においては、次世代衛星測位システムに対応した電子基準点に関する開発を行う。その場合、次世代衛星測位システムに関する情報を入手するため、現在開発中の衛星測位システムに関する情報の収集や、2005年9月から打上が開始された近代化GPS衛星（Block II-RM）から発信される新しい信号（L2C）を受信し測位実験を行うことにより、次世代電子基準点のあり方をとりまとめ、仕様（案）の策定を行う。

はじめに、次世代衛星測位システムの技術動向やその電子基準点に対する影響について調査を行う。また、実際にL2C信号の受信実験を行い、信号のS/N比の調査を行い、測位精度への改善効果に関する基礎情報を収集する。

### 1.1 次世代衛星測位システムの技術動向と電子基準点に対する影響に関する調査

#### 1.1.1 次世代衛星測位システムの技術動向と電子基準点に対する影響に関する調査

##### 1.1.1.1 目的

将来の電子基準点のあり方をとりまとめるため、次世代衛星測位システムに関する技術情報や海外各国の衛星測位観測ネットワークの現状を調査し、次世代電子基準点の仕様（案）の検討に必要な情報を収集することを目的とする。

##### 1.1.1.2 調査結果

###### (1) 将来の測位衛星システム

米国のGPSに対抗し、旧ソ連でグロナスが開発され現ロシアに引き継がれている。しかし、必ずしも安定に運用されているわけではない。このような状況の中で、本質的には軍事衛星のGPSだけに依存することを問題視して、欧州EUではガリレオ計画が提案された。ガリレオは予定通りに進行すれば、2008年に完全運用に入ることになる。GPSの主な問題点は、次のとおりである。

- ・L2の受信には必ずL1を経由しなければならない。
- ・測量用をはじめとする高精度利用のとき、L2の感度が非常に低い。
- ・民間航空用としてのインテグリティが不足している。

これらを改善し、軍事衛星としても、より信頼性、利用性の高い測位システムを構成する必要から2001年に「GPS近代化計画」が始動した。

GPS近代化の民生面での利点は、L1、L2、L5の3測位電波を、現在のL1とほぼ同等、ないしはよりよい感度、信号強度で受信できることである。これにより、単独測位の信頼性はもとより、測量、RTKは精度だけでなく、初期化、整数値バイアス決定が大きく改善する。また、GPS信号の無料開放は、近代化後も踏襲される。

ガリレオの正式運用が予定通り2008年に実現し、GPS近代化が、部分的にせよ、利用可能になったとき、それらによる利益は次のとおりである。

- ・GPS、ガリレオ併用によって衛星数が実質的に現在の倍以上になり、衛星可視性

が大きく改善する。

- ・ RTK、ネットワーク RTK での初期化時間が短縮する。
- ・ 測量精度、とくにイオンフリー長距離解析の精度が改善される。
- ・ 単独測位、DGNSS での精度が改善される。

## (2) GPS 近代化計画

### (2) - 1 はじめに

文献によると、Block II R-M は 2003 年ころから打ち上げが始まり、Block II F は 2005 年ころからとなっている（図 1-1-1）。それぞれ新衛星が 10 個くらいに達するのは、前者で 2005 年ころ、後者で 2009 年ころとなる予定である。Block II F では新しい民生用 L5 波(1176.45 MHz)が増設される。全衛星が Block II F になるのは 2013 年ころであろう。図 2-2-1 にある L2C は、民生用新測位符号 Civil Signal の意味で、これには 2 種類あり、それぞれ CM(Moderate Code)、CL(Long Code)である。

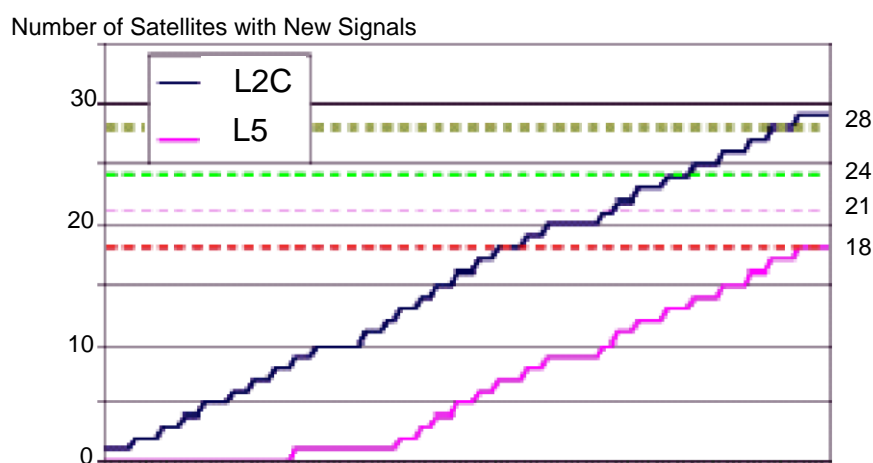


図 1-1-1 L2C、L5 信号の利用可能性予想（文献 1. & 2.）  
L2C は 2007 年前後以降 Block II F による。

### (2) - 2 新衛星群と新測位符号

次期衛星 Block II R-M と Block II F の最大の相違点は、後者で L5 という新しい波が増設されることである。表 1-1-1、表 1-1-2、表 1-1-3 に GPS 測位用電波の規格等を示す。L5 は、表 1-1-1 にもあるように民生専用波となる。

表 1-1-1 測位用電波

衛星	最初の打ち上げ	測位用電波	備考
Block II A, II R	現行	L1, L2	L1 = 1575.42 MHz = 10.23 × 154
Block II R-M	2003 年ころ	L1, L2	L2 = 1227.6 MHz = 10.23 × 120
Block II F	2005 年ころ	L1, L2, L5	L5 = 1176.45 MHz = 10.23 × 11

表 1-1-2 測位符号

衛星	L1	L2	L5
Block II A, II R	C/A, P/Y	P/Y	--
Block II R-M	C/A, P/Y, M	P/Y, CL/CM, M	--
Block II F	C/A, P/Y, M	P/Y, CL/CM, M	CM
CL/CM のビット率	1.023 / 0.5115 Mbps		10.23 Mbps

表 1-1-3 各測位符号の規格

測位符号	ビット率	コード長	航法メッセージの重畳
C/A コード	1.023 Mbps	1023 bit = 1 ms	NAV
P/Y コード	10.23 Mbps	約 $6.19 \cdot 10^{12}$ = 1 週間	--
M コード	?	?	?
L2 CM コード	0.5115 Mbps	10,230 bit = 20 ms	CNAV/NAV
L2 CL コード	0.5115 Mbps	767,250 bit = 1.5 s	--
L5 CM コード	10.23 Mbps	10,230 bit = 1 ms	CNAV
L5 CL コード	--	--	--
NAV(現行航法メッセージ)		1 Frame = 1,500 bit = 30 s	
50 bps		1 Master Frame = 25 × 1,500 bit = 12.5 min.	
CNAV(L5 用新航法メッセージ)		詳細情報未着	
25 bps			

(2) - 2 - 1 新衛星群と新測位符号の意義

新衛星群と新測位符号によって、次のことが期待できる。

- ・衛星数を現在の 28 個よりも大幅に増加（最大 100 程度）させる可能性を賦与する。
- ・空港や市街地周辺における地上の擬似衛星(Pseudolite)設置が容易になる。
- ・宇宙空間での利用範囲を拡大できる。
- ・二周波数利用者の利便性拡大できる。

a) 新衛星の目的

新衛星の目的は、M コードという軍用測位符号の増設である。

b) 新測位符号の意義

当初、L2 に C/A コード増設が検討されていたが、新測位符号 L2C に変わった。

c) 新測位符号の特長

新測位コード L2C は高い相互相関特性(cross correlation)を持つ。相互相関特性とは、衛星識別誤り率と理解してよい。現在の C/A コードの 21 dB から、新符号の 45 dB へ、電力比 251 倍改善される。

d) GPS 衛星の配備可能最大数

現 C/A コードでは、相互相関特性の制約のため、36 衛星までしか配備できない。新 CM、CL コードにより、衛星数を現在より大幅に増やすことができる。

e) L5 の得失

- 1) 電離層の影響は L1 の 1.8 倍に増加する。
- 2) 受信アンテナの理論有効面積の増加により、感度は L1 の 1.8 倍となる。
- 3) 測量では、多様なワイド、ナローレーンを作ることができる。

(2) - 2 - 2 新衛星と新測位符号の測量分野への影響と対応

a) 新衛星群の GPS 測量への影響

- ・ L2 への民生用新測位符号 (CM、CL コード) により、L2 受信感度が大きく改善、長距離測量精度 (SD) も数倍 (3~5 倍) 改善される。
- ・ L5 の新設により、整数値バイアス決定の信頼性、速度改善、L5 の CM コード (10.23 Mbps) による擬似距離精度改善が初期化に有力、実時間測位等の OTF 機能が大きく改善、ただし、L5 全体として測位精度そのものへの寄与は少ない。

b) 学術、測量分野での対応

長距離測量網では、L2 民生用新測位符号利用により、測量精度が 3~5 倍改善する。短距離網では、L1 のみの測量で十分な精度が得られるので、新衛星群の寄与は整数値バイアス決定の効率化にある。L5 の増設は、測量分野では、整数値バイアス決定、初期化改善が重点となる。とくに長距離イオンフリー解析の実数バイアス決定に威力を発揮する。短距離、長距離とも、測量精度そのものの改善はわずかである。

c) 擬似衛星の利用

L2C、L5 によって許容衛星数が増加する。実際の衛星の数とはかく、地上に擬似衛星を置くことが容易になる。測量基準点に擬似衛星を置く可能性を検討することも必要である。

(2) - 3 GPS 近代化の過渡期

(2) - 3 - 1 小数の L2C 衛星が利用できるとき

現在の C/A、P/Y コード衛星と新 L2C 衛星が混在する場合である。旧型衛星ではセミコードレス L2 受信による低 S/N 比のデータを取得し、小数の新衛星によって良質の L2 データを取得できる。このような混合データによる測量では、精度改善はわずかであるが、問題はない。

(2) - 3 - 2 基線両端の受信機的一方だけが、L2C 対応のとき

一方の受信機のデータ品質がこれまでより、よいだけで測量計算に何の問題もない。全体的な精度は、わずかながら改善される。

(2) - 3 - 3 L5 への対応

使用する全衛星、そして全受信機が L5 を発信、受信できなければ用をなさない。

(2) - 3 - 4 単独測位、DGNSS の L5 への移行

憶測であるが、2013 年ころと考えられる L5 つき Block II F 衛星の配備完了を目標に、一般民生用単独測位を全面的に L5 に移行するかもしれない。

参考文献

- 1.R.D.Fontana, W.Cheung and T.A.Stansell : The Modernized L2 Civil Signal : GPS World Sept. 2001 (www.gpsworld.com)
- 2.R.D.Fontana, W.Cheung, P.M.Novak and T.A.Stansell : The New L2 Civil Signal: (<http://www.navcen.uscg.gov/gps/modernization/TheNewL2CCivilSignal.pdf>), これに並んで講演用スライドもある。
- 3.同じ HP に ICD-GPS-705(Interface Control Document)がある。

(3) ガリレオ

(3) - 1 ガリレオシステムの概要

(3) - 1 - 1 ガリレオの機能

ガリレオの測位信号には次の各種がある。

- ・ OS(Open Service) 無料開放測位信号サービス
- ・ CS(Commercial Service) 有料測位信号サービス (暗号化)
- ・ PRS(Public Regulated Service) 警察、税関等の政府専用信号 (暗号化)
- ・ SoL(Safety of Life Service) 運輸事業等の安全性が重要な分野のための信号
- ・ SAR(Search and Rescue Service) 探査と救難

表 1-1-4 にガリレオの測位機能をまとめる。

表 1-1-4 ガリレオの測位機能  
測位精度は単独測位機能による。

	Open Service (OS)	Commercial Service (CS)		Public Regulated Service (PRS)		Safety of Life Service (SoL)
Coverage	Global	Global	Local	Global	Local	Global
Accuracy - horizontal (h) - vertical (v)	h = 4m v = 8m (dual frequency) h = 15 m v = 35 m (mono frequency)	<1m (dual frequency)	< 10cm (locally augmented signals)	h = 6,5m v = 12m	1m (locally augmented signals)	4-6m (dual frequency)
Availability	99.8%	99.8%		99-99.9%		99.8%
Integrity	No	Value-added service		Yes		Yes

(3) - 1 - 2 ガリレオ衛星系

ガリレオ衛星系の主要諸元については、次のとおりに発表されている。

- ・衛星数 27 衛星+ 3 予備衛星 (軌道上で動作のまま)
- ・軌道高度、形状 約 23,600 km (軌道半径 約 30,000 km), 円軌道
- ・周回周期 約 14.4 時間
- ・軌道傾斜角 約 56°
- ・軌道面 3 軌道面、 1 面に 9 衛星 (+ 予備機 1) ずつ配置

注目すべきは、アリアン(Aliane-5 ESC-B型)ロケット 1 機で、同時に 8 ガリレオ衛星を軌道投入できることである。したがって、予定する全 30 機の衛星を打ち上げるのに、原理的には 4 回のロケット発射ですむ。図 1-1-2 の予定通りに進めば、2006 年後半ころから部分運用が始まることになる。

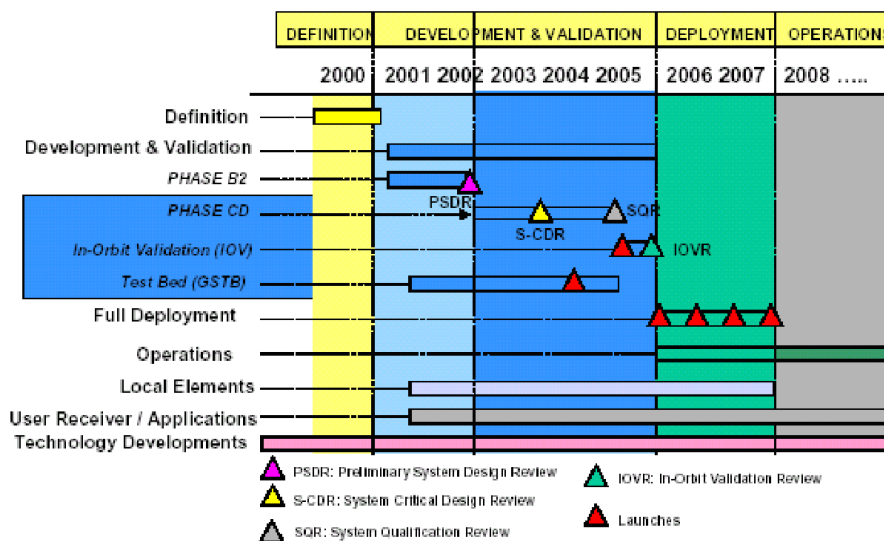


図 1-1-2 ガリレオシステム配備計画

(3) - 1 - 3 ガリレオの信号構造

ガリレオには各種各様の電波周波数と測位符号(SIS, Signal in Space)が準備されている(表 1-1-5)。有料信号(CS)と政府用信号(PRS)は暗号化されている。いずれの信号も、簡単に言えば GPS 同類の擬似雑音符号による拡散スペクトル変調で、CDMA(Code Division Multiple Access)方式である。つまり、全衛星は同一搬送波周波数である。

- 1164 - 1215 MHz に 4(2+2)波 E5a - E5b、 E5a は L5 と同等
- 1260 - 1300 MHz に 3(3+1)波 E6
- 1544 - 1545 MHz に 1 波 SAR のための信号
- 1559 - 1591 MHz に 3(3+1)波 E2 - L1 - E1

「E5a」等とあるのは GPS の「L1」等に類したガリレオ独自の略称である。括弧内の「+2」等は、搬送波のコサイン成分を変調する Quadrature 成分を示す。GPS の L2(1227.6 MHz)に相当する周波数は使われていない。

表 1-1-5 ガリレオの測位信号

(周波数、ビット率の小数点以下を省略して書かれている。)

注 10 Mcps 等とあるのは擬似雑音符号ビット率で、Mega chips par sec.、Data 50 sps 等とは、航法メッセージに相当するもので Symbols par sec.、Symbol とは、メッセージデータの 1 単位を表す術語である。

BOC (Binary Offset Carrier)は搬送波の位相変調方式の一つである。

BPSK(Bi-Phase Shift Keying)も搬送波の位相変調方式の一つである。

Signals id.	Signals	central frequency	modulation	chip rate	code encryption	data rate <sup>25</sup>	data encryption
1	data signal in E5A	1176 MHz	BPSK(10)	10 Mcps	no	50 sps/25 bps	no
2	pilot signal in E5A	1176 MHz	BPSK(10)	10 Mcps	no	no data	no data
3	data signal in E5B	1207 MHz	BPSK(10)	10 Mcps	no	250 sps/125 bps	no <sup>26</sup>
4	pilot signal in E5B	1207 MHz	BPSK(10)	10 Mcps	no	no data	no data
5	split-spectrum signal in E6	1278 MHz	BOC(10,5)	5 Mcps	Yes - governmental approved	250 sps/125 bps	yes
6	commercial data signal in E6	1278 MHz	BPSK(5)	5 Mcps	Yes - commercial <sup>27</sup>	1000 sps/500 bps	yes
7	commercial pilot signal in E6	1278 MHz	BPSK(5)	5 Mcps	Yes - commercial <sup>28</sup>	no data	no data
8	split-spectrum signal in L1	1575 MHz	BOC(n,m) <sup>29</sup>	m Mcps	Yes - governmental approved	250 sps/125 bps	yes
9	data signal in L1	1575 MHz	BOC(2,2)	2 Mcps	no	200 sps/100 bps	no <sup>30</sup>
10	pilot signal in L1	1575 MHz	BOC(2,2)	2 Mcps	no	no data	no data

測位信号に関してもっとも重要なことは、

- E5a は GPS の L5 と同一の中心周波数 (1176.45 MHz) をもつ。
- L1 は GPS と同じ呼称である通り、同一の中心周波数 (1575.42 MHz) をもつ。
- E5a(L5)と L1 双方に無料の測位信号 (OS) が入っている。

これにより、

- E5a(L5)、 L1 による電離層補正が機能する。1 波利用に問題はない。
- アンテナ位相、受信機内部遅延等は GPS の L1、 L5 と同一になる。

E5b にも OS 信号があるが、これは GPS の L2 と違う周波数をもつ。E5b-E5a の周波数差が小さいので、この 2 波を電離層補正に使っても十分な補正精度を期待できない。

しかし、ワイドレーンは、バイアス決定、とくに OTF に有効であろう。

### (3) - 1 - 4 ガリレオの測位符号 (コード、ranging code)

ガリレオの測位符号は多種多様にわたっている。これらのビット率 (チップ率) は信号受信強度とともに擬似距離測定精度に関与し、コード長、コード形式は相互相関確率 (衛星識別の誤り確率、許容最大衛星数等) に直結するが、OS に関しては現 GPS と同等以上の能力がある。CS (有料サービス) と PRS (政府用信号) のコードは、GPS の P コード (Y コード) のように暗号化・秘匿されている。

### (3) - 2 GPS・ガリレオ併用受信機

GPS とガリレオ (無料測位信号 OS チャンネル) を併用する測量、RTK 用受信機では受信・ディジタル化までのマイクロ波アナログ回路が GPS の L1、L5 と共通であることが、測量精度確保に重要な鍵となる。GPS の L2 とガリレオの E5b は、それぞれの衛星系データなので、使うかどうかは場合による。実際的には、少なくとも GPS の L2 は使った方がよいであろう。

### (3) - 3 今後の問題

ガリレオ、GPS 近代化での L1、L5 の周波数共用が実現することになった結果、ガリレオの無料測位信号 OS は GPS との併用によって、単独測位、DGNSS のみならず RTK、測地・測量分野に大きく寄与する。

- ・ RTK の一つの問題点である、初期化時間の短縮が可能になる。
- ・ ネットワーク型 RTK 方式の安定性も、大きく改善する。

#### (3) - 3 - 1 異系列符号、変調方式の問題

L1、L5 の周波数が同一でも、異種系列の測位符号、変調方式 (GPS は M 系列符号、PSK 変調) の結果、周波数スペクトルの中心がずれるようなことはないか。もし、このようなことがあると、同一周波数の利益は大きく損なわれる。

#### (3) - 3 - 2 GPS 近代化との関連

とくに L1、C/A コードの将来について注意する必要がある。C/A コードの許容数が少なく、新 CM、CL コードではそれが圧倒的に大きい。将来の GPS L1 に新しい民生コードが入るかどうかは、ガリレオ併用の際の重要な判断材料である。

#### 参考文献

1. Galileo Design Consolidation : The Galilei Project (2003)

[http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/galileo/doc/galilei\\_brochure.pdf](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/doc/galilei_brochure.pdf) 若干日付の古い -----/galileo\_brochure\_march2003.pdf もある。



2. EC., ESA. : Mission High Level Definition(2002),  
[http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/galileo/doc/galileo\\_hld\\_v3\\_23\\_09\\_02.pdf](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/doc/galileo_hld_v3_23_09_02.pdf)
3. G.W.Hein, et al : Status of Galileo Frequency and Signal Design(2002),  
[http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/galileo/doc/galileo\\_stf\\_ion2002.pdf](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/doc/galileo_stf_ion2002.pdf)
4. 日本経済新聞 平成 15 年 11 月 17 日, および 18 日朝刊  
[http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/galileo/doc/](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/doc/)の中のプレスリリース
5. FAQ:[http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/galileo/faq/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/faq/index_en.htm) 他  
 の関連 web サイト <http://www.esa.int/export/esaSA/navigation.html>
6. T.Weber et al, Das Europaeische Satellitennavigationsystem Galileo - Status und Systemdefinition; Proc of 5th sapos symp.(Frankfurt)

#### (4) グロナス(GLONASS, Global Navigation Satellite System)

##### (4) - 1 グロナスの現況

平成 16 年 1 月 16 日現在、8 機のグロナス衛星が運用中である。2003 年 12 月 1 日に 3 機が打ち上げられている。これらは、現在調整中と思われ、運用に入ると 11 機が使用可能となる。

グロナスは、昇交点経度が 120°離れた 3 つの軌道面それぞれに 8 衛星を配置する。軌道番号 (slot) は 1~8、 9~16、 17~24 のそれぞれの群を 3 軌道面に対応させている。主要軌道特性等は、次のとおりである。

- ・ 軌道傾斜角            64.8°
  - ・ 軌道長半径            25,440 km、 軌道高度は約 19,100 km
  - ・ 周回周期              11h 15m 44s
  - ・ 準拠座標系            PZ-90(旧ソ連の座標系)
  - ・ 時系                    ロシアの UTC (閏秒を含む)
  - ・ L1 周波数              1602 + k×(9/16) MHz
  - ・ L2 周波数              1246 + k×(7/16) MHz
- k は周波数チャンネル番号

##### (4) - 2 グロナスの測地観測局

欧州を中心として、かなりの数の測地観測局がグロナスの連続観測を行っている。これらの中にチリーやチベットの局もあることが注目される。

ただ、これらの多くは IGS 内に時限的(2000~2003 年)に設置されたパイロットプロジェクト IGLOS(International GLONASS Service)に参加した局もあり、2004 年現在での実際の稼働状況は不明である。

#### (4) - 3 IGLOS-PP(International GLONASS Service, IGS Pilot Project)

グロナスの追跡とデータ解析を行うための試験的サービス計画が IGS の中に設立された。このサービスは、原則として 2000 年から 2003 年までの時限つきなので、現在停止したと思われる。

#### 参考文献

GLONASS 衛星関係 <http://gibs.leipzig.ifag.de>

IGLOS-PP 関係 IGS web ページ <http://igsb.jpl.nasa.gov/projects/iglos/>

#### (5) 電子基準点の次世代衛星測位システムへの対応についての検討

GPS 近代化により、長距離測定の精度改善 (L2C) および整数値バイアス決定の信頼性向上と高速化 (L5) の効用がある。また、GPS とガリレオの併用により、衛星数が現在の倍以上となり衛星可視性が大きく改善する効用がある。しかし、電子基準点におけるこれらの次世代衛星測位システムへの対応は、このような効用について実際に測位精度等を調査しその評価結果を踏まえ、また、測位衛星利用の社会的な動向等も勘案しながら決定されることが妥当と思われる。

以下、GPS 近代化とガリレオに対応するために電子基準点を改造する場合において、注意すべき点について述べる。なお、ここでは原則として測量、RTK 利用の問題を議論し、単独測位、DGNSS は扱わない。単独測位、DGNSS の精度水準では、ここで論ずる問題のほとんどは無視してよい。

#### (5) - 1 前提条件：対応させるガリレオ測位信号の種類

##### (5) - 1 - 1 ガリレオの測位信号

ガリレオの一般開放無料信号 OS (Open Service) の 3 波を用いることを前提とする。暫定的に本文書で扱うガリレオの OS は、次の信号形式、周波数と仮定する。

- L1                    1575.42 MHz    GPS L1 と共通
- E5b                   1207.?? MHz    ガリレオ独自の周波数
- E5a (L5)            1176.45 MHz    GPS 近代化 L5 と共通
- 測位符号 (コード) はガリレオ独自のものとする。
- 受信信号強度は GPS とほぼ同等であるとする。
- 航法メッセージ、軌道情報の形式はガリレオ独自のものとする。
- 軌道情報精度は GPS と同等、または若干上回る。

##### (5) - 1 - 2 衛星系の周波数

アンテナと受信機マイクロ波回路の遅延 (位相特性と同義) は周波数に鋭く依存する。

ガリレオの E5b は他の周波数データとは別扱いとなる。このデータは、原則としてガリレオ衛星だけのデータと一緒に処理・解析し、整数値バイアス決定などに利用する。これによる測位解計算は、やはりガリレオ衛星系のデータのみで行うことになる。

したがって、ガリレオと GPS が L1 と L5 周波数を共用することは大きな意味がある。各衛星系の周波数が違ったときには、GPS とグロナス併用のときのように、それぞれの衛星系内部で二重位相差を作らなければならない。それでも、アンテナ位相の周波数依存性のため、十分な測量精度は期待できない。

#### (5) - 2 改造に際しての技術的な留意事項

##### (5) - 2 - 1 アンテナ

GPS 近代化およびガリレオの OS 信号すべてに対応するためには、電子基準点のアンテナは、L1、L2、E5b、L5(E5a)共用型とすることが望ましい。

また、電気仕様について、L1、L2、L5(E5a)共用だけでなく、E5b にも整合していることの確認も必要である。

##### (5) - 2 - 2 アンテナ・受信機の交換作業

アンテナ交換作業は全電子基準点で同時に行われるのが理想だが、実際問題として困難であり、順次交換となると思われる。交換に際しては、以下の点に留意すべきである。

- ・ある期間、電子基準点ごとに新旧アンテナが混在する場合、新旧アンテナの相互の位相特性の違いを把握する
- ・新アンテナの位相特性を事前に精密に測定しておく

なお、アンテナだけが新機に交換され、受信機は現在の GPS、L1、L2 型がそのまま使われる期間があっても差し支えない。

##### (5) - 2 - 3 データ通信回線と解析処理系

GPS 近代化およびガリレオの 2 衛星システムに対応する電子基準点からのデータ量は、現 GEONET における取得データ間隔を同一とし、衛星数を両衛星系間同一とすると、単純計算で現二周波数データの 3 倍である。すなわち、次の各周波数の搬送波位相と擬似距離である。

- ・GPS 近代化      L1、L2、L5
- ・ガリレオ        L1、E5b、L5(E5a)

GPS 近代化およびガリレオの両方に対応するためには、通信回線と国土地理院本院内の処理系統が、このデータ量に対応できる必要がある。解析処理計算については、基本的に現在と同じであるが、次の点を考慮する必要がある。

- ・ガリレオの座標系が ITRF であること
- ・時系が UTC であること

・衛星軌道情報（放送暦、精密暦とも）形式が違うこと  
ある期間は GPS とガリレオの統合、一体化解析は避け、各衛星系の結果の一致度を確認することが必要である。

(6) 各国の GPS 連続観測網

(6) - 1 各国の GPS 連続観測点密度

各国の GPS 連続観測点密度について、大きく 3 つに分類すると、表 1-1-6 のようになる。

表 1-1-6 各国の GPS 連続観測点密度

	平均点間距離	該当国
高密度国	数 10km 以下	日本 ドイツ スイス ベルギー
中密度国	100km 前後	英国 オランダ フランス
低密度国	200km 程度以上	米国、カナダ、北欧諸国を含む上記以外の調査国

米国は低密度国だがカリフォルニア州南部のように部分的には高密度地域がある。

(6) - 2 GPS 連続観測点の運営形態

各国での GPS 連続観測点の所有や運営形態について、以下のようにまとめる。

- ・連続観測点すべてを所有・運営 日本、スイス、ニュージーランド等
- ・同上（小数の点） オランダ、デンマーク本国
- ・州が所有・運営 ドイツ（※1）
- ・複数機関の連続観測点から構成 米国、その他の国々

※1 ドイツは実質的に衛星測位サービス/測量行政作業グループによる単一組織運営

(6) - 3 アンテナピラー構造とアンテナ

各国で採用されているピラー構造を大別すると、次の 3 種類になる。

- ・鉄筋コンクリートピラー
- ・金属パイプ、アングルによる枠組み構造の塔
- ・金属パイプ型

そのうち、鉄筋コンクリートピラーが約 50% を占める。

わが国の電子基準点ピラー形状は、世界にはあまり例のない構造である。全点が同一形態・構造をとっている国も、他に例を見ない。わが国の状況にある程度似ているのは、ベルギー南部の WALCORS である。

アンテナはチョークリング型が多く使われている。なお、ほとんどの観測点において特別なレドームは用いていない。図 1-1-3 に各国のアンテナピラーの例を示す。



図 1-1-3 各国のアンテナピラー

(6) - 4 電子装置（受信機、通信装置、電源等）設置場所

電子装置は殆ど別棟の建物内やピラー脇の観測棟に設置されている。

(6) - 5 時計

多くの観測点では、受信機内蔵時計を使用している。一部、水素メーザー、セシウム、ルビジウム等の高安定時計を使用している観測点もある（VLBI、SLR、時刻管理の研究所等）。

(6) - 6 気象測器

気象測器の併設は、全世界的に 10 %程度である。

(6) - 7 観測点からセンターまでの通信回線

観測点からデータセンターまでの通信回線として使用されているものは、以下のようである。

- ・通常のダイヤルアップ電話回線
- ・ISDN、または ADSL 回線
- ・公衆インターネット
- ・IP-VPN(Internet Protocol, Virtual Private Network)

スイスの GPS 連続観測網 AGNES は、スイス連邦政府専用の KOMBV というイントラネットワーク網を利用している。

ドイツ SAPOS は、一部の観測局では専用無線を利用しているが、特殊な局に限られている。

オランダ AGRS は、推測するとダイヤルアップ回線を利用している。同国の連続観測点は 5 箇所なので、通常の電話回線でも通信料負担は大きくないのだろう。

(6) - 8 利用者へのデータ配信

実時間での利用者へのデータ配信は、大別すると以下の 2 系統に分けられる。

- ・ DGPS の補正データ配信

- ・RTK、ネットワーク型 RTK のデータ配信

(6) - 8 - 1 DGPS サービス

DGPS サービスが行われているのは以下の国である。

- ・米国 (非常に大規模な DGPS 網がある)
- ・カナダ
- ・オーストリア
- ・スイス (RTK 等も行われている)
- ・スウェーデン
- ・デンマーク
- ・ドイツ (RTK 等も行われている)
- ・ベルギー (RTK 等も行われている)
- ・オーストラリア

(6) - 8 - 2 DGPS の補正データ配信方式

DGPS の補正データ配信には、以下が使用されている。

- ・衛星経由
- ・FM 放送サブチャンネル方式
- ・携帯電話
- ・専用無線 (欧州では 160 MHz 帯が使用される例がいくつかある)

データ形式は RTCM である。サービスの運用主体は民間企業が多いが、スイスのように政府が実行している例もある。有料の国が多いが、中には無料として受信機などの機材、あるいは電話料に含めている例もある (デンマーク)。

(6) - 8 - 3 RTK、ネットワーク RTK サービス

ネットワーク型 RTK サービスが行われているのは以下の国である。

FKP 方式

・日本	三菱プレジジョン社	
・オランダ	06-GPS	23 局
・オーストリア	SATV (ブルゲンラント地方)	4 局
・ 〃	WIENSTROM (ウイーン)	4 局
・ドイツ	ASCOS、 SAPOS	
・米国フロリダ	RTK-Link Corp.	10 局
・アイルランド (※2)	Ordnance Survey of Ireland	15 局
・アラブ首長国連合 (※2)	ドバイ市	

※2 正確な情報が取得できない国

#### VRS 方式

・日本	ジェノバ社、NGS 社	
・スイス	SWIPOS	29 局
・ドイツ	ASCOS、 SAPOS	
・ベルギー	FLEPOS	40 局弱

#### VRS 導入が決定された地域

・米国ソルトレーク市	2000 年 9 月
・米国ワシントン DC	2002 年 4 月
・デンマーク	2001 年 10 月
・オーストラリア	2002 年 2 月 (クイーンズランド)
・中国 Sichuan	2003 年 5 月

#### (6) - 8 - 4 ネットワーク RTK 補正データ配信方法

ネットワーク型 RTK 補正データの配信には、以下が主に用いられている。

- ・携帯電話
- ・専用無線 (ドイツ)

ドイツは官民(SAPOS と ASCOS)別個にサービスを行っている。スイスは連邦政府直轄である。ベルギーは州、あるいは県組織と思われる。オランダ、米国フロリダ等は民間会社である。同一地域で複数組織が類似サービスを行っているのはドイツと日本だけである。このサービスはすべて有料である。

#### (6) - 9 基線解析計算サービス (無料、有料)

以下に示す国で基線解析計算サービスを行っている。

- ・米国
- ・オーストリア
- ・スウェーデン
- ・オーストラリア

## 1.2 近代化GPS信号 (L2C) の受信実験

### 1.2.1 近代化GPS信号 (L2C) の受信実験

#### 1.2.1.1 目的

次世代衛星測位システムに対応した電子基準点の仕様書 (案) の検討にあたって、近代化GPSの第一段であるL2C信号について受信実験を行い、信号対雑音 (S/N) 比の調査を行う。

#### 1.2.1.2 実験概要

平成 17 年 9 月に L2C を搭載した Block II R-M 衛星 (PRN-17) が打ち上げられ、平成 18 年 1 月には試験中ではあるが L2C 信号が発信されている。

実験では、この L2C コードを解読できる Trimble R7 受信機を用いる。また、アンテナは Trimble Zephyr Geodetic 型を用いる。同受信機は L2C コードを解読できるだけでなく、これまでの L2 の P/Y コードのためのコードレス受信機能も備えている。L2C を受信するためには、あらかじめ受信機の設定を行う必要があるため、事前に、Trimble 社の日本代理店であるニコン・トリンブル社による設定作業を行い、動作を確認する。

実験は、つくばにおいて、平成 18 年 1 月 18 日から 20 日までの 3 日間、連続して行う。PRN-17 衛星がつくばから見て最高高度角になるのは世界協定時で 7 時 (日本時間で 16 時) 前後であるため、調査はその時間帯について行う。

受信した RINEX データのうち、該当する部分を図 1-2-1 に示す。L2 コード擬似距離が他衛星とは違う場所に記録されており、L2C が測定されていることを示している。

L1 Carrier	L1 C/A Range	L2 Carrier	L2C Range	L2 P/Y Range	
-38411054.46508	16011304.32008	-29910471.29347	0.00000	16011298.42247	
-27495509.41808	16184737.69508	-25989050.26247	0.00000	16184733.62947	
-38310286.97307	16802114.84407	-29836975.29746	0.00000	16802109.88346	
05 12 26 7 28 21.9840000	0 7 4 7 11 17 20 24 28				
-9073410.18006	18239081.53106	-7041601.28946	0.00000	18239076.86746	PRN-04
-23281880.83607	17131500.68807	-18125030.96947	0.00000	17131496.64147	PRN-07
-15060229.27306	17941105.55506	-11722067.80946	0.00000	17941100.03146	PRN-11
-30961149.02008	16186581.75008	-24107458.34008	16186576.70708	0.00000	PRN-17
-38411713.88708	16011178.56308	-29910985.13347	0.00000	16011173.10247	PRN-20
-27497743.60508	16184312.38308	-25990791.18047	0.00000	16184308.67247	PRN-24
-38310175.07407	16802136.02407	-29836888.11346	0.00000	16802130.90646	PRN-28
05 12 26 7 28 22.9840000	0 7 4 7 11 17 20 24 28				
-9077596.58206	18238285.09406	-7044863.42646	0.00000	18238280.51646	
-23286183.80507	17130682.10207	-18128383.92647	0.00000	17130677.81747	
-15059847.42606	17941178.68006	-11721770.25446	0.00000	17941172.93046	
-30964896.73008	16185868.43808	-24110378.63308	16185863.47308	0.00000	
-38412372.69908	16011053.28908	-29911498.49647	0.00000	16011047.61047	
-27499977.51608	16183887.49208	-25992531.89147	0.00000	16183883.32047	

図1-2-1 Block II R-M (PRN-17) を含むRINEXデータの例



### 1.2.1.3 結果

受信データの S/N 比を詳細に調査するため、GDD (Range Residual) を用いて分析する。GDD の定義式は次のとおりである。

$$GDD = \Phi_1 \frac{c}{f_1} - \Phi_2 \frac{c}{f_2} = -(1.35 \times 10^{-7}) \cdot N_e \cdot c \left( \frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2} \right) + \text{バイアス項} + (\text{衛星、受信機時計項})$$

GDD は電離層のゆらぎだけでなく、マルチパスや受信信号の S/N 比に非常に敏感である。なお、これは L1 と L2 搬送波位相の線形結合であるので、両者の S/N 比を反映している。

図 1-2-2、図 1-2-3 に平成 18 年 1 月 18 日の受信信号データから求められた GDD の時系列を示す。また、比較のために、PRN-17 衛星だけでなく、他の衛星についても表示する。なお、GDD は定バイアスがあるため、1つの画面に収まるように各衛星の GDD 値をシフトして表示してある。

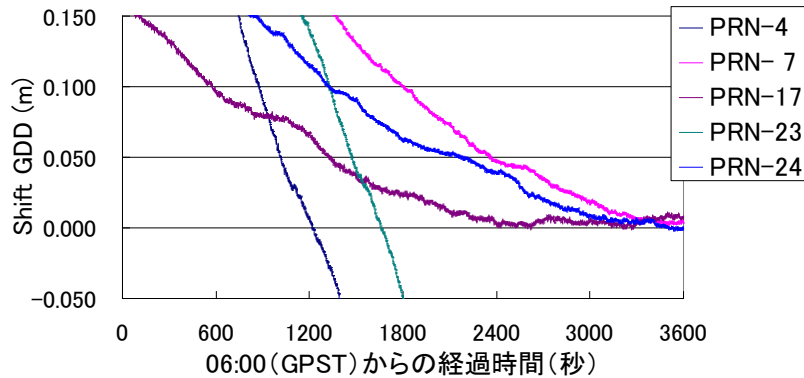


図 1-2-2 平成 18 年 1 月 18 日 06:00~07:00 (GPST) に受信信号から求められた GDD の時間変化

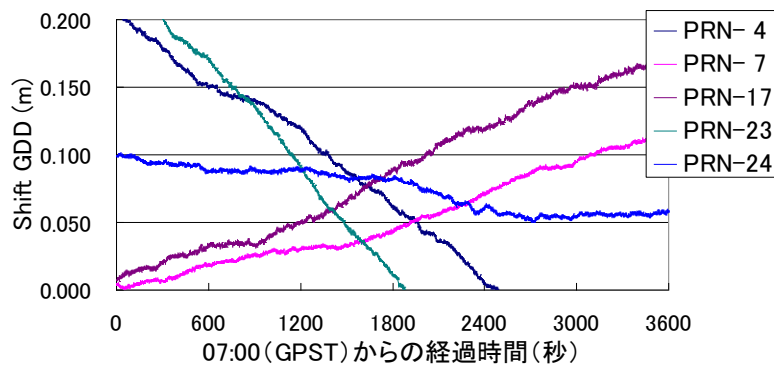


図 1-2-3 平成 18 年 1 月 18 日の 07:00~08:00 (GPST) に受信信号から求められた GDD の時間変化

各グラフの細かな時間変動(雑音)が各信号の S/N 比を反映している。S/N 比が高いほど、この変動の振幅が小さい。両図において変動の振幅を比較すると、PRN-17 衛星は他の衛星

と同等かむしろ大きく、現状ではS/N比の改善は認められない。改善がみられない理由の詳細は不明であるが、衛星がまだ試験中であるため本来の信号品質ではないのかもしれない。あるいは、Block II R-M型衛星の送信電力の問題が影響していることも考えられる。これについては、次節で考察する。

#### 1.2.1.4 Block II R-M 衛星の送信電力と L2C 信号の S/N 比における関連について

PRN-17衛星のL2C信号のS/N比が従来衛星と比較して改善していない理由について、送信電力に関する情報から考察する。

表1-2-1に各型の衛星仕様を示す。重要なことは、Block II RとBlock II R-Mとで、太陽電池出力や重量、サイズが全く同じことである。

表1-2-1 各型のGPS衛星の規格

	Block II / II A	Block II R	Block II R-M	Block II F
測位信号	L1 C/A, L1 L2 P/Y	←	←	←
新信号			L1 L2 M, L2C	L1 L2 M, L2C, L5
重量 (lbs)	2175	2370	2370	3439
太陽電池 (W)	700	1136	1136	2400-2900
サイズ (ft)	5w, 17.5l	5w, 6.33d, 6.25h	5w, 6.33d, 6.25h	9.6×6.47×12.9

W : 幅、l : 長さ、d : 径、h : 高さ

L1およびL2に Mコードおよび L2Cを追加するときは、それらにいくらかのマイクロ波電力が必要である。そのためには、元々の送信電力を増強しなければならないので、多少の電源容量および重量の増加が必要である。しかし、それらがBlock II R-M衛星にはないということは、従来のBlock II R衛星の送信機に、そのままMコードおよび L2Cを付け加えただけである可能性が考えられる。もしそうならば、これまでのL1のC/AコードやL1、L2のP/Yコード送信電力を削り、その分を新しいMコードおよび L2Cに割り当てていると思われる。そのために、L2Cの送信電力は本来あるべきものよりも少なく割り当てられており、L2C信号のS/N比が改善していないとも考えられる。上表のBlock II Fでは太陽電池や重量の増加が計画されているため、その比較からも、Block II R-M 衛星のL2Cの送信電力が従来衛星よりも低く割り当てられている可能性は否定できない。

#### 1.2.1.5 まとめ

平成17年9月に打ち上げられたBlock II R-M衛星から発信されたL2C信号について受信実験を行い、信号のS/N比を調査した。その結果、従来のL2に対しL2CにおいてS/N比の改善はみられなかった。

PRN-17衛星は、平成18年3月現在試験中であり、本運用における状況を調査する必要がある。

ある。また、今後、複数のGPS衛星からL2Cの発信が開始された場合には、干渉測位実験を行い、測位精度に与える効果を調査する計画である。