

準天頂衛星の7機体制における 配信信号の変更について



Quasi-Zenith Satellite System

1. 7機体制に向けて
2. 送信信号の仕様変更
3. ユーザセグメントのL1C/B対応

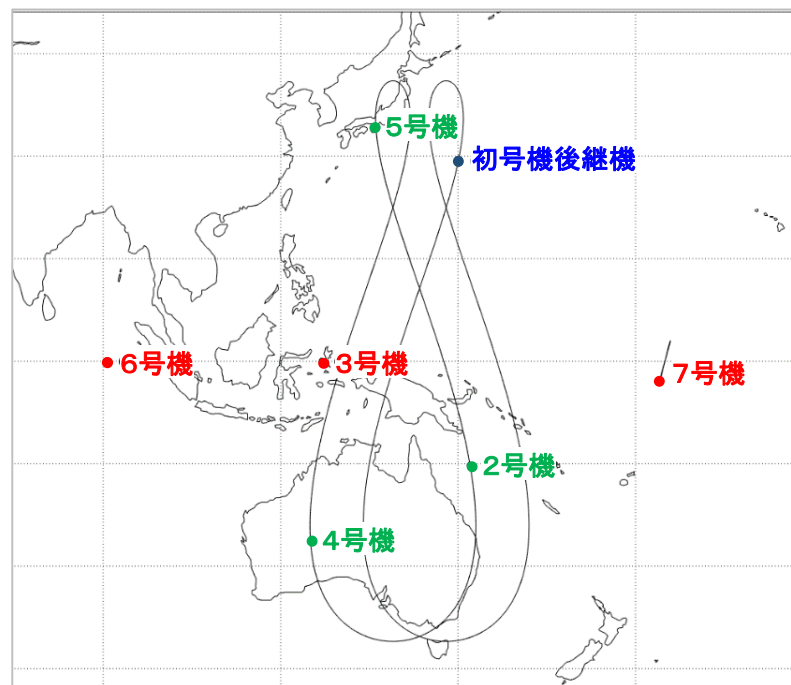
2021年5月

内閣府 宇宙開発戦略推進事務局

1. 7機体制に向けて

7機体制の整備

- GPSに頼らずに持続測位が可能となるためには、最低7機の準天頂衛星が必要。
- 令和2年6月29日の第22回宇宙開発戦略本部会合を経て、準天頂衛星の7機体制の確立や、持続測位能力の維持・向上についての記載を含む「宇宙基本計画」が令和2年6月30日に閣議決定された。
- 2023年度めどの運用開始に向け、追加3機の開発整備を実施中。



日本付近で、常時5機から7機の衛星が利用できるようになるため、GPSを併用せず、持続測位が可能。

【機能性能向上項目】

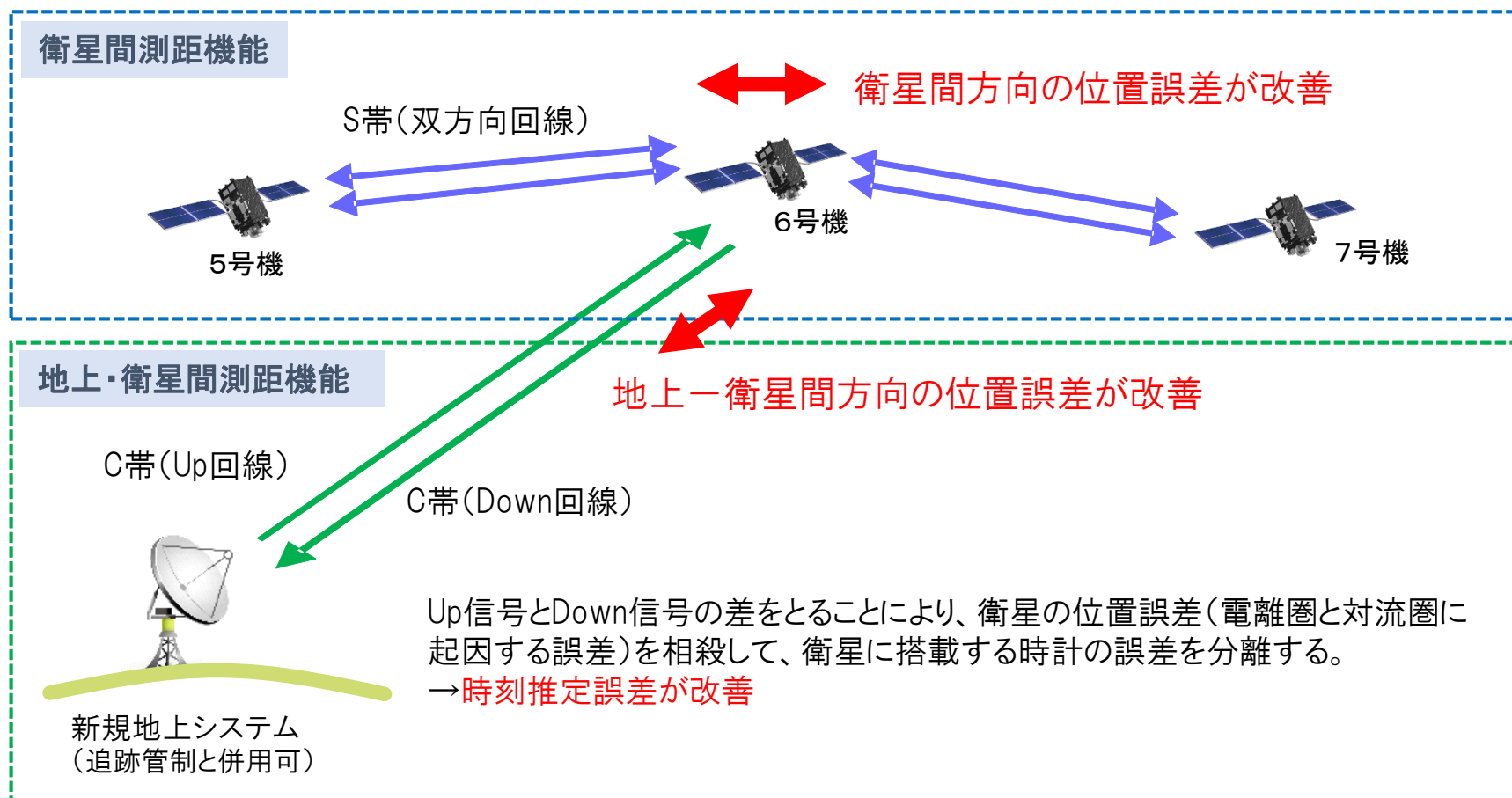
- ✓ 衛星の位置誤差を改善する「衛星間測距機能」等による ユーザー測位精度の向上
- ✓ 信号のなりすまし(スプーフィング)を防ぐ「信号認証機能」による、測位信号の安全・信頼性の向上
- ✓ 衛星安否確認サービスの防災機能拡張による、利活用の促進
- ✓ 高精度測位補強サービス(MADCOA-PPP)の初期収束時間短縮、災害・危機管理通報のアジア・オセアニア地域への提供による、利活用製品・サービスの海外展開の促進

4準天頂軌道 + 2静止軌道 + 1準静止軌道の体制を2023年度をめどに確立

衛星間測距機能等の開発

- ユーザ測位精度の向上 ⇒ 衛星の軌道・時刻をより正確に推定することが必要
 - ・ 地上-衛星間の距離に加えて、衛星-衛星間の距離を計測する(衛星間測距機能の付加)
 - ・ 軌道位置誤差と衛星の時計誤差を正確に分離する(地上/衛星間測距機能の付加)

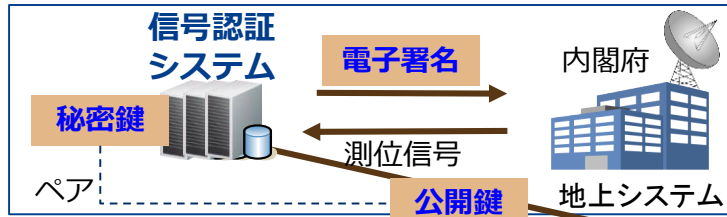
精度向上のための新たな機能



信号認証(航法メッセージ認証)機能の開発

- GPS等の衛星測位システム(GNSS)の利用が普及している一方で、測位信号への妨害技術(ジャミング・スプーフィング等)に対する懸念がより高まってきている。
- スプーフィング(なりすまし)対策として、測位信号に含まれる航法メッセージが本物であることを「電子署名」技術により証明する「信号認証機能」の開発・整備を、2023年度までに実施することを計画。認証対象は、準天頂衛星に加えGPS、Galileo衛星の測位信号を予定。
- 取得できる位置及び時刻情報の“信頼性”が高まるため様々なユースケースでの活用が見込まれる。

信号認証システムのイメージ



- ・ 受信機に公開鍵を予め配布
- ・ 受信機は公開鍵とペアの秘密鍵による**電子署名入り測位信号**を受信
- ・ 受信機は、**本物の信号かスプーフィング信号かを確認(*)**
- ・ **本物と確認された信号で“時刻”、“位置”を計算**

(*)
 ・ 認証完了までに約5分かかります(現時点の設計想定値)
 ・ 航法メッセージの改竄、なりすましを防ぐことができます。ジャミング、疑似距離スプーフィングは受信機側での対応が必要となります。

サービス提供を受けるには**対応受信機が必要**

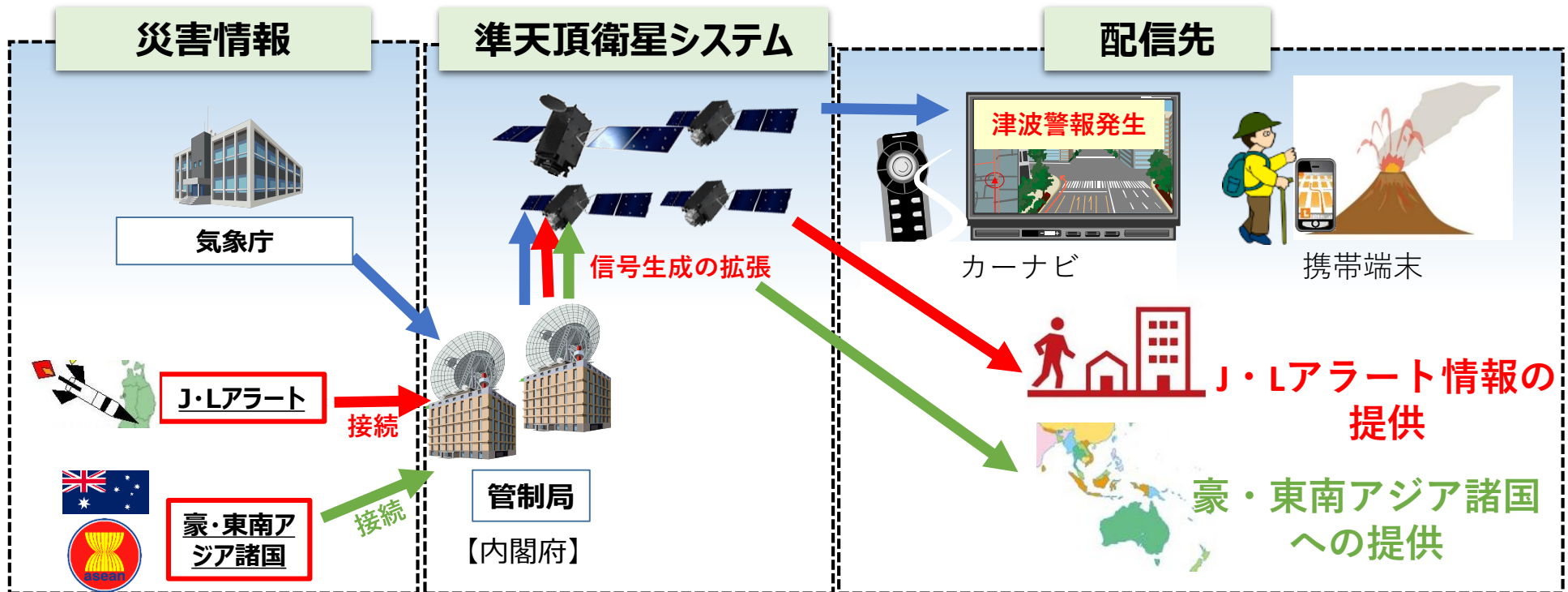
＜想定される製品＞
 中価格帯以上の受信機が信号認証に対応すると想定される、制御・安全支援(自動運転、農機、建機、ドローン等)、移動記録(デジタルタコグラフ、カーナビ、航海情報記録装置等)、タイムサーバ など

自動車・物流	インフラ (金融・エネルギーなどでの時刻同期)	LBS・ コンシューマ向けサービス
ドローン	屋内外シームレス	農業
測量・地理情報		など

本物の信号を利用して計算された時刻と位置

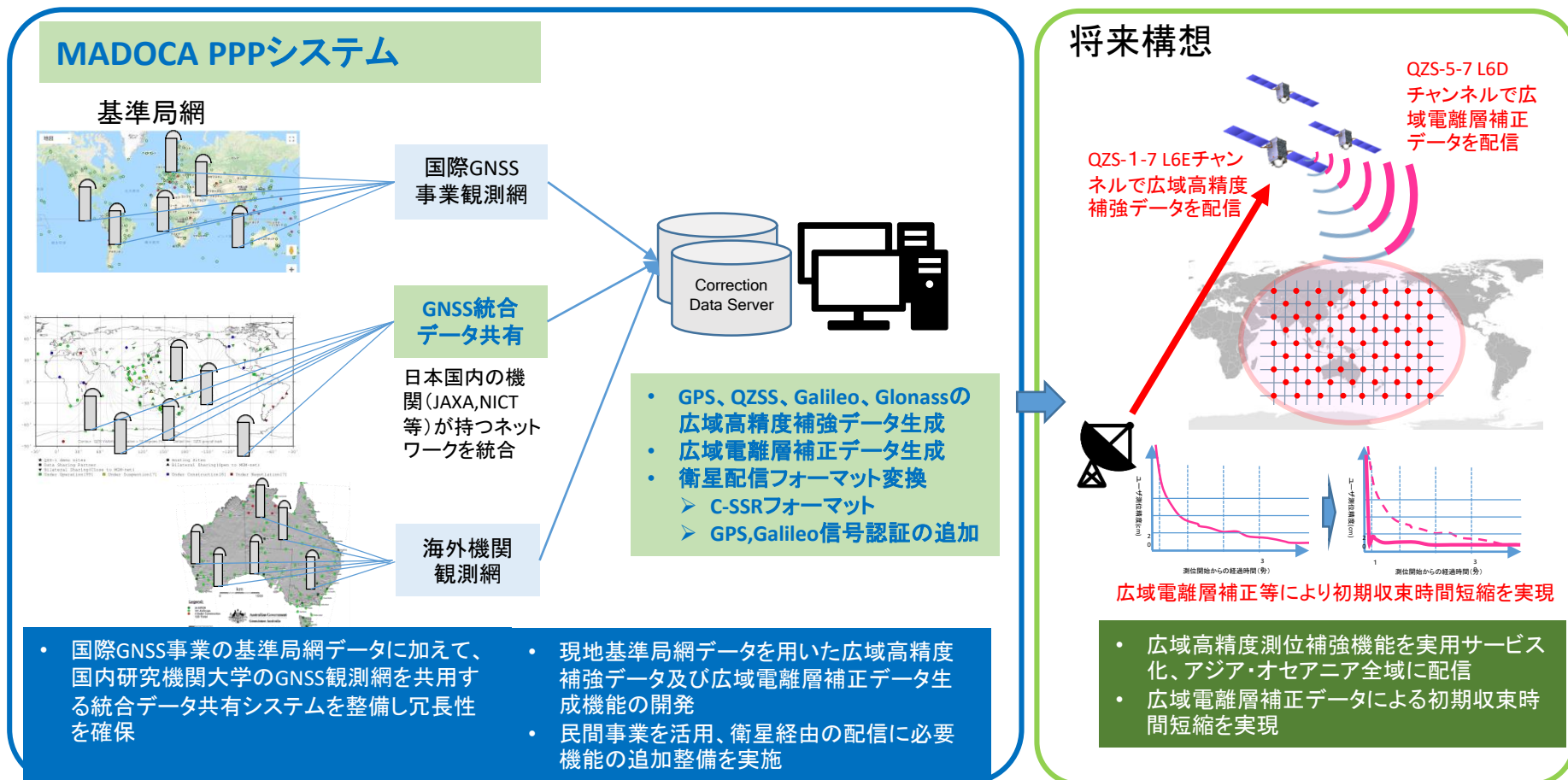
災害危機管理通報の機能拡張

- 準天頂衛星は、2018年より、気象庁が作成した災害関連情報(津波警報、地震速報、洪水警報、火山噴火情報など)をみちびきの測位信号を利用して国内に配信中。
- Jアラート情報(ミサイル発射情報)及びLアラート情報(避難勧告)の災危通報による配信に必要なインターフェースの改修、信号生成機能の拡張等を2023年度まで実施する。
- 豪・東南アジア諸国の災害情報について、災危通報による配信ニーズが高いところ、必要なインターフェースの改修や配信エリア切替設定、および現地実証等を2024年度まで実施し、海外展開を行う。



高精度測位補強サービスの海外におけるサービス拡張

- 現在、センチメートル級補強サービスは国内向けのみ提供されており、海外向けには、実証実験信号としてJAXAが開発した方式によって生成した補強情報を配信している。
- 令和元年から、アジア・オセアニアの6カ国での性能評価を実施、実用サービスとしての性能仕様策定の目途を得たので、実用サービス開始に必要なシステム整備を行う。
- 初期収束時間短縮のための **広域電離層補正生成・配信機能を追加整備する。**



2. 送信信号の仕様変更

初号機後継機(1R)および5~7号機の仕様変更(抜粋)

今後打ちあがる衛星について、性能向上やセキュリティ対策などが図られる一方で、以下の制約により送信信号に関する仕様の一部が変更となった。

1. L1帯の干渉レベルの制約

- 2015年に米国と合意したL1帯の干渉レベルを超えてL1信号を送信することが困難
- L1帯の干渉レベルへの影響の大きい信号はL1C/A信号及びL1S信号

※ L1C信号はBOC(1,1)変調のため干渉は限定的

L1C/A

代替としてL1C/B信号を送信(1R以降)

L1S

国内向けの補強信号のため配信停止(5-7号機)

2. ペイロードの搭載制約

- 5-7号機では、衛星間測距機能等の搭載機器のリソースが増加
- 既存号機の衛星バスの搭載性の制約から、衛星測位サービスに利用する信号の削減が必要となった。

L2C

他国の衛星測位サービスの状況も踏まえ、削減(配信停止)(5-7号機)

L1C/B信号の概要

- L1C/B信号は、L1C/Aにサブキャリアを重畳したBOC(Binary Offset Carrier)方式で変調
- BOC変調後のスペクトルは、L1の中心周波数帯を避けるため、干渉が少ない
- ユーザセグメントにおける前方互換性維持に関する対策が必要
- ユーザセグメントにおけるデータフォーマット整備が必要

3.1.3. Modulation Methods

3.1.3.1. L1C/A and L1C/B

(1) L1C/A

L1C/A signals are modulated by BPSK. The modulation method is shown in Figure 3.1.3-1(a).

LNAV(L1C/A, L1C/B) messages and C/A PRN codes are modulated by exclusive-or (modulo-2 addition) and then multiplied with the L1 carrier waves and BPSK modulated.

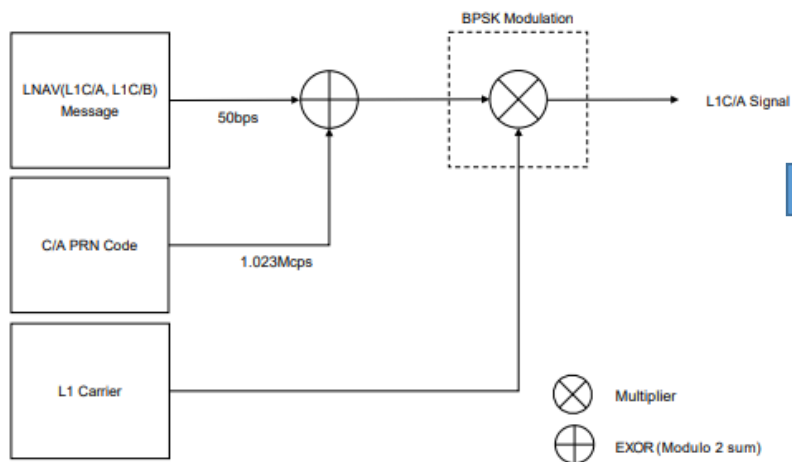


Figure 3.1.3-1(a) L1C/A Modulation

(b) L1C/B

L1C/B signals are modulated by Binary Offset Carrier (BOC) modulation technique. The modulation method is shown in Figure 3.1.3-1(b).

LNAV(L1C/A, L1C/B) messages, C/A PRN codes, and BOC sub-carrier waves are modulated by exclusive-or (modulo-2 addition) and then multiplied with the L1 carrier waves and BPSK modulated. Here, the BOC sub-carrier wave is a 1.023 MHz square wave of "1010...", beginning with a logical value of 1.

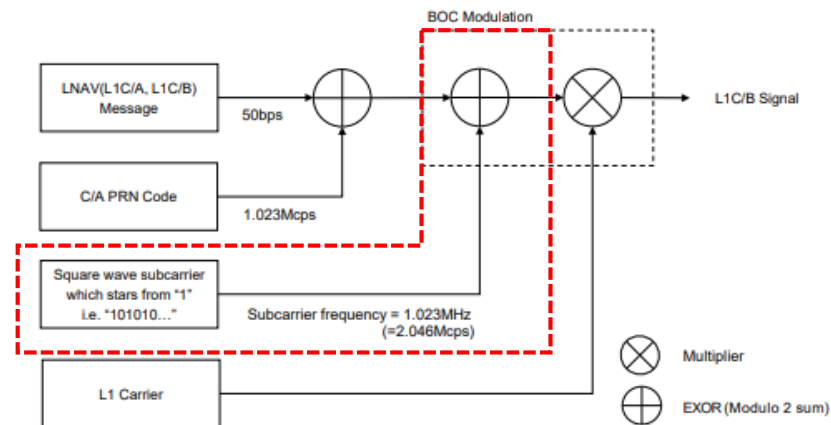
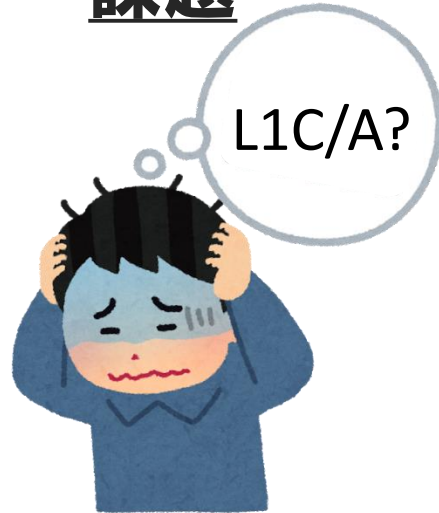


Figure 3.1.3-1(b) L1C/B Modulation

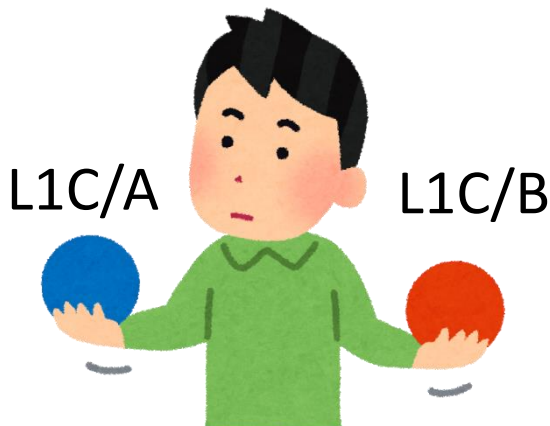
L1C/B信号の課題と対策

課題



既に市場に出回っている受信機がL1C/B信号を(L1C/A信号だと思い込んで)受信をした場合、信号強度の低下(3db)に加えて、誤った測距値を算出(コード0.5chip≒約150m誤差)する可能性がある。

対策



【対策1】 PRNコードのL1C/AとL1C/Bの分離

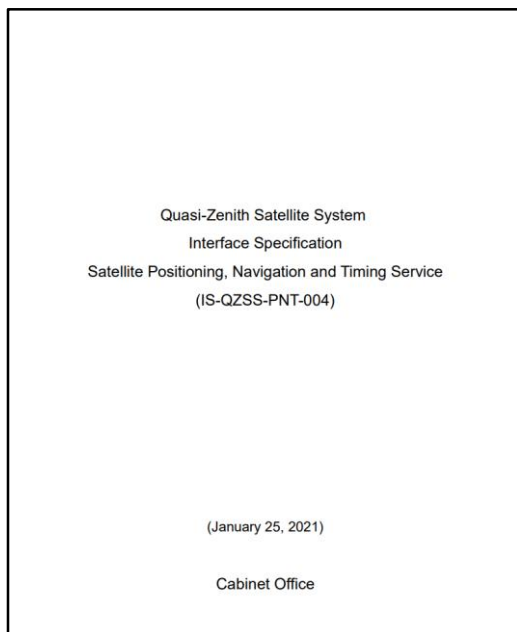
- L1C/B信号のPRNコードとして、現在の衛星測位サービスに割り当てている番号「以外」のコードを利用する。すでに市場に出回っている受信機では、L1C/B信号を捕捉できなくなるため、誤捕捉のリスクはなくなる。

【対策2】 ヘルス情報のL1C/AとL1C/Bの分離

- 航法メッセージに格納されているヘルス情報(5-bit health)をL1C/AとL1C/B毎に個別に定義し、L1C/B信号を送信しているときには、L1C/Aのヘルス情報を常に「1(異常)」に設定する。すでに市場に出回っている受信機が、当該信号を測位演算に利用するリスクを低減可能。

【対策1】PRNコードのL1C/AとL1C/Bの分離

- 従来のPRN番号とは別のコードを、L1C/B信号用のPRNコードとして利用
- L1C/AまたはL1C/Bのいずれかを送信する



3. Signal Specifications

3.2. PRN Codes

3.2.1. PRN Number Assignment

Table 3.2.1-1 Assignment of the PRN Numbers by Satellite Categories

PRN number		Satellite category	Block Assignment	SV Number	SV ID (*2)	Remarks
193	-	QZO	Block I-Q	1	1	QZS01
194	-	QZO	Block II-Q	2	2	QZS02
195	-	QZO	Block II-Q	4	3	QZS04
196	203(*4)	QZO	Block IIA-Q (*3)	5	4	QZS1R
197	204(*4)	QZO	Block III	6	5	QZS05
198	-	QZO/GEO	Undetermined	-	6	Used as a non-standard code (*1)
199	-	GEO	Block II-G	3	7	QZS03
200	205(*4)	GEO	Block III	7	8	QZS06
201	206(*4)	GEO	Block III	8	9	QZS07
202	-	QZO/GEO	Undetermined	-	10	Used as a non-standard code (*1)

*1: There is a possibility that the code is used by users in the future.

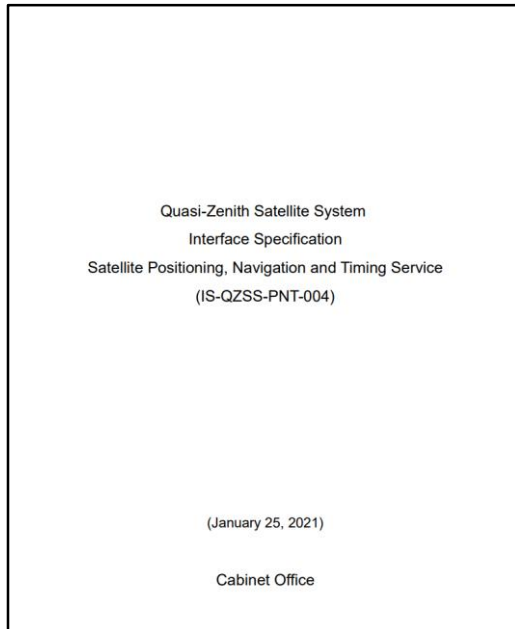
*2: The information to identify PRN number about QZS almanac in the message of subframe 4 and 5 in LNAV(L1C/A, L1C/B) . For details, see Section 4.1.2.7.

*3: The Block of PRN number 196 is assigned “IIA” or “IIA-Q” in order to distinguish it from other Block II satellites. In this IS-QZSS-PNT, Block II basically includes Block IIA unless otherwise indicated.

*4: PRN number from 203 to 206 are assigned for L1C/B signals. The L1C/A and L1C/B signals are exclusively transmitted.

【対策2】ヘルス情報のL1C/AとL1C/Bの分離

航法メッセージに格納されているヘルス情報(5-bit health)をL1C/AとL1C/Bで個別定義



4. Message Specifications

4.1. LNAV (L1C/A)

4.1.2. Message Content

4.1.2.3. Subframe 1 (SV Clock)

(4) SV health

This consists of the 1MSB health and the 5LSBs health. The 1-bit health is the SV health of L1C/A or L1C/B and the 5-bit health is the SV health of all PNT signals including L1C/A, L1C, L2C, L5 and L1C/B. Because the L1C/A and L1C/B signals are exclusively transmitted, the L1C/B Health will be 1 when the L1C/A signal is transmitted. On the contrary, the L1C/A Health will be 1 when the L1C/B signal is transmitted. The 5-bit health parameter is defined differently from GPS and IS-QZSS-JAXA. For details, see Sections 4.1.2.7. and 4.1.2.8.

Table 4.1.2-5 and Table 4.1.2-6 show the definitions of each health. For details, see in Section 5.4.1.

When the SV health is updated, IODE is also incremented in the same as the ephemeris.

Table 4.1.2-5 Definitions of 1-bit Health

Bit Location	Name	Target Signal
1st bit (MSB)	L1 Health	L1C/A or L1C/B

Table 4.1.2-6 Definitions of 5-bit Health

Bit Location	Name	Target Signal
1st bit (MSB)	L1C/A Health	L1C/A
2nd bit	L2 Health	L2C
3rd bit	L5 Health	L5
4th bit	L1C Health	L1C
5th bit (LSB)	L1C/B Health	L1C/B

1-bit Health 1st bit (MSB)	5-bit Health 1st bit(MSB) L1 C/A Health	5-bit Health 5th bit(LSB) L1 C/B Health	意味
1	-	-	L1C/A もL1C/Bも使用不可
0	0	1	L1 C/A 送信中
0	1	0	L1 C/B 送信中

7機体制(第1期)における送信信号一覧

No.	サービス名称	種別	QZS									
			1 (参考)	2	3	4	1R	5	6	7		
1	衛星測位サービス											
1-1	公開測位サービス "with 自信号メッセージ認証機能"	L1C/A	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		L1C/B	×	×	×	×	○	○	○	○	○	
		L1C	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		L2C	○	○	○	○	○	○	×	×	×	
		L5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
1-2	公共専用測位サービス	L6R	×	○	○	○	○	○	○	○	○	
		2周波目	×	×	×	×	×	○	○	○		
2	衛星測位補強サービス											
2-1	サブメータ級測位補強サービス	L1S	○	○	○	○	○	○	×	×	×	
		2-2	センチメータ級測位補強サービス(国内)	○	○	○	○	○	○	(○)	(○)	(○)
			高精度測位補強サービス(広域)(TBD)	×	○	○	○	○	○	○	○	○
3	災害・危機管理通報サービス	L1S	○	○	○	○	○	○	×	×	×	
4	衛星安否確認サービス	S-Band	×	×	○	×	×	×	×	×	○	
5	SBAS配信サービス	L1Sb	×	×	○	×	×	×	×	○	○	
6	測位技術実証サービス	L5S	×	○	○	○	○	○	×	○	○	

L1C/AとL1C/Bの
切替可能

L2Cは配信しない

3. ユーザセグメントにおけるL1C/B対応

ユーザセグメントで想定されるL1C/B対応の例

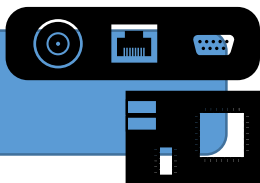
- L1C/Bに対応したGNSSデータフォーマット改訂
- GNSS受信機のL1C/B対応(測位機能及びデータフォーマットなど)
- 各種GNSSソフトウェアのL1C/B対応

参考

データフォーマット改訂

- RTCM
- RINEX(OBS)
- BINEX ※今回範囲外

GNSS受信機



- 測位機能
- 観測データの外部出力機能
- 制御コマンド対応

ソフトウェア・システム



- GNSSデータの入出力機能
- GNSSデータの変換機能
- GNSSデータロギング機能
- GNSS解析機能