



# GLONASS, Galileo, BeiDou の信号捕捉と追尾

東京海洋大学  
日本学術振興会特別研究員 (PD)  
鈴木 太郎  
tsuzuk0@kaiyodai.ac.jp



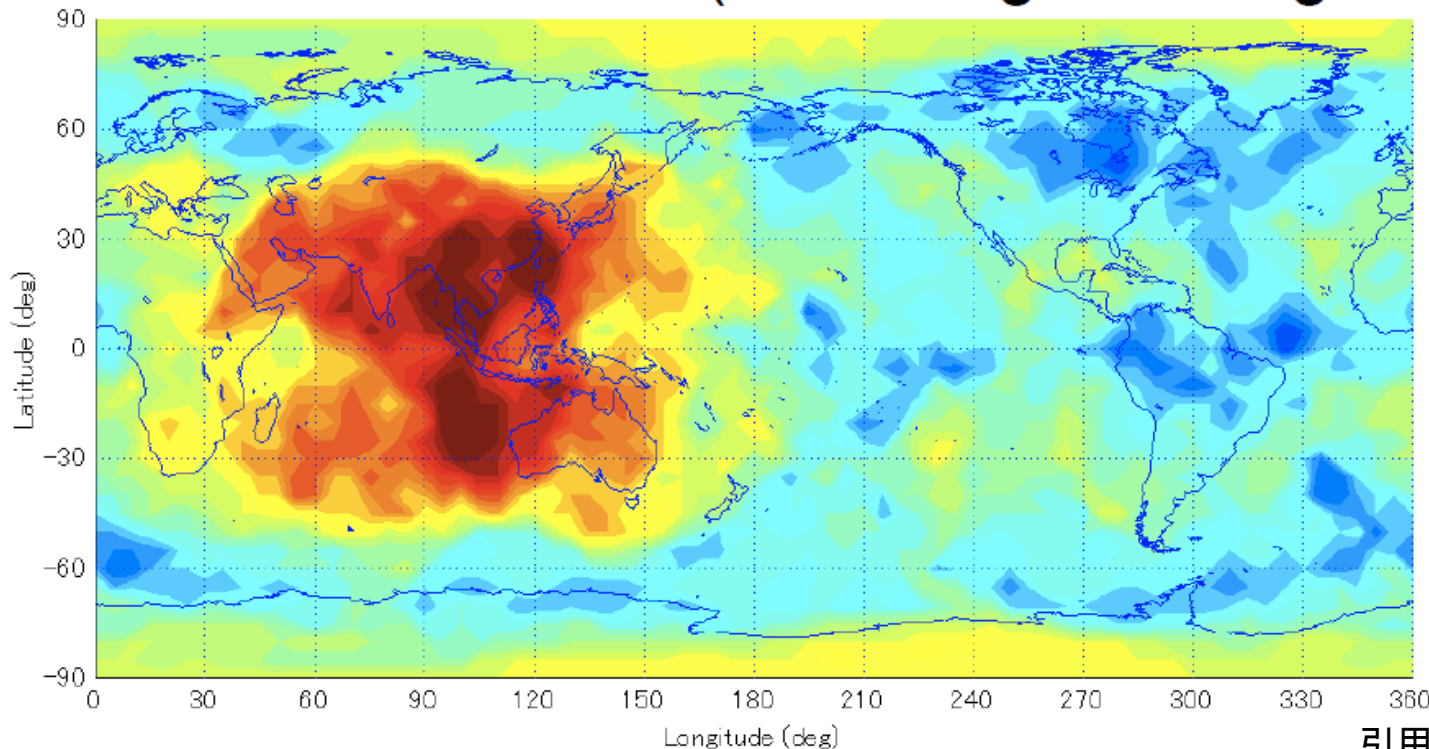
1. マルチGNSSの現状
2. ソフトウェア受信機
3. GLONASS
4. Galileo
5. BeiDou
6. QZSS

- 補足資料1 各衛星信号の詳細
- 補足資料2 各ナビゲーションデータの詳細
- 補足資料3 BOC変調信号のトラッキング
- 補足資料4 RTK PLOTによる可視衛星予測
- 補足資料5 セミナー用ソースコード
- 補足資料6 参考HP・文献

# マルチGNSSの現状(1)



Visible satellite number (mask angle 30 degrees)



引用: JAXA資料

**2020:**

GPS(27)+Glonass(24)+Galileo(30)+COMPASS(35)+IRNSS(7)+QZSS(3)+SBAS(7)



利用可能な衛星の爆発的な増加 ■▶ 衛星測位の利用性・精度の向上

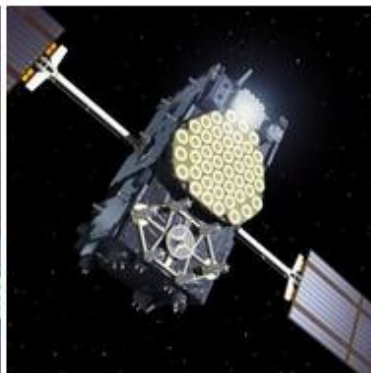
# マルチGNSSの現状(2)



GPS  
(米国)



GLONASS  
(ロシア)



Galileo  
(EU)



BeiDou  
(中国)



QZSS  
(日本)

引用: <http://igs.org/mgex/>

- 測量用GNSS受信機だけでなく低価格帯受信機にもマルチGNSS化の流れ
  - U-blox 7 GPS, GLONASS + QZSS + SBAS + Galileo + BeiDou
- 中国は自国でBeiDouの使用を義務化
- 受信機, アンテナの価格もだんだんと下がりつつある

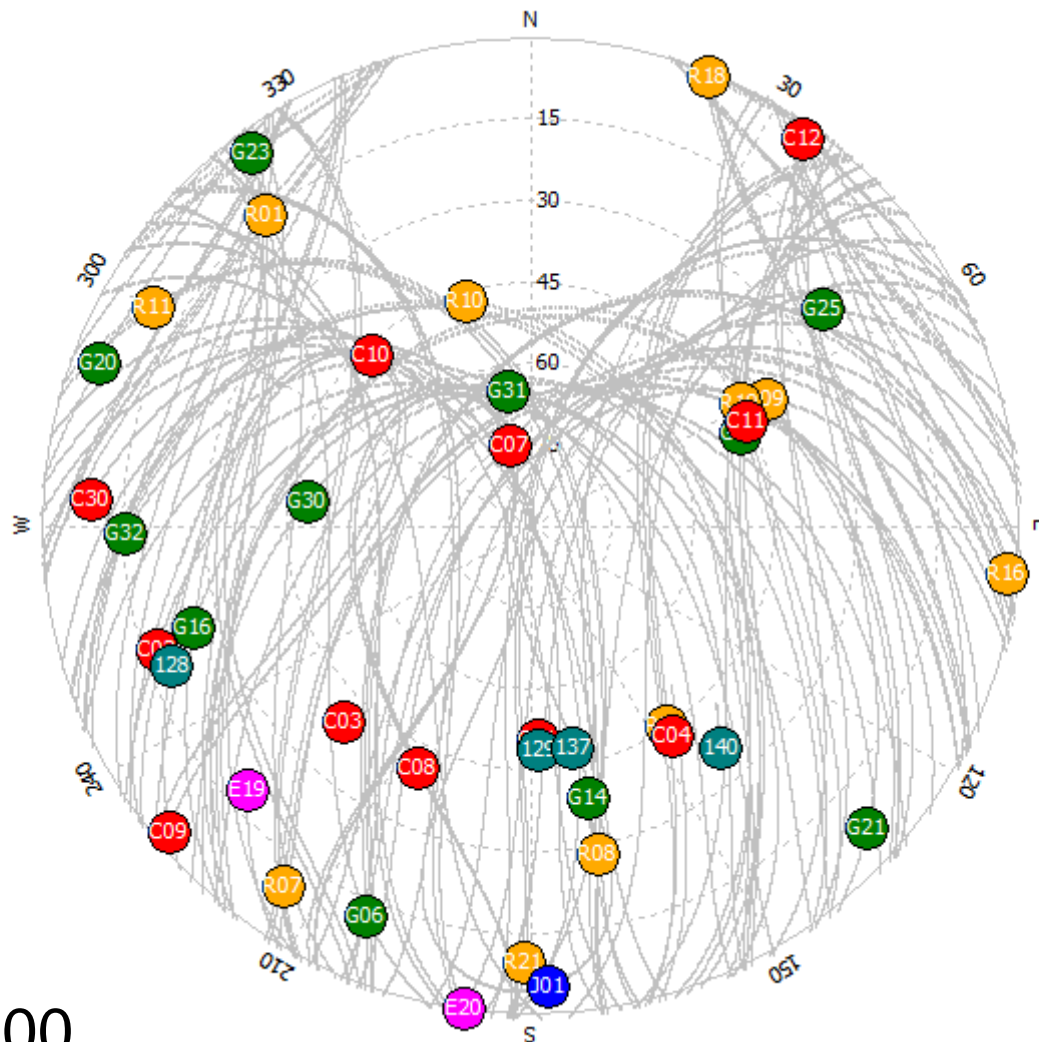


# マルチGNSSの現状(3)



## RTKPLOTでのマルチGNSS可視衛星予測(補足資料4)

- GPS
- GLONASS
- Galileo
- BeiDou
- QZSS
- SBAS



2013/1/30 13:00

Nsat=40, GPS:11, GLO:11, GAL:2, QZS:1, CMP:11, SBS:4

# マルチGNSSの現状(4)



	L1					L2		L5			
中心周波数	1575.42			1561.098	1602+	1227.60	1246+	1176.45		1207.14	
衛星	GPS QZS	GPS QZS	Galileo	BeiDou	GLONASS	GPS QZS	GLONASS	GPS QZS	Galileo	Galileo	BeiDou
信号	L1CA	L1C	E1	B1	G1	L2C	G2	L5	E5a	E5b	B2
変調方式	BPSK	BOC	BOC	QPSK	BPSK	BPSK	BPSK	BPSK	BPSK (AltBOC)	BPSK (AltBOC)	QPSK
衛星数 (2013)	28	1	4	14	24	12	24	4	4	4	14
	32			14	24	12	24	8		18	
衛星数 (2020)	31	31	30	35	24	31	24	31	30	30	35
	61			35	24	31	24	61		65	

▶ 相互運用をしている信号は既存のH/Wで容易に利用可能



# ソフトウェア受信機とは？

- ここ10年ほどで大学などの研究機関でもソフトウェア受信機によるGNSSの研究・開発というコンセプトが一般化
- フロントエンド, ソフトウェアなども既に市販化されている
  - 現在は2-3周波のものまで販売
- ここ数年ソフトウェアGPS/GNSSを利用した大学関係者の研究発表/論文が増加
  - IONGNSS2012では全292件の発表中102件の発表が何らかの形でソフトウェアGNSSを利用

## ソフトウェア受信機のメリット

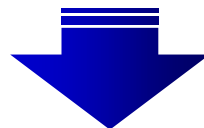
- 新しい衛星システム, 測位信号への対応や評価などが容易
- 信号捕捉や追尾, マルチパスの解析などの研究用途に非常に有用

▶ マルチバンド・マルチGNSSソフトウェア受信機の開発

# ソフトウェア受信機で何ができるか？



- 新しい衛星, 新しい信号の評価
- マルチパスの解析
- コリレータの研究
- 信号の捕捉, 追尾手法の開発
- 高感度受信機の研究
- LEXやL1SAIFなどのデコーダー
- Ultra-Tightly Coupled GNSS/INS



GNSSの研究を行うには今後必要な技術！



ソリューション 'SDRSTEREO' (1 プロジェクト)

- SDRSTEREO
  - 外部依存関係
  - fec.h
  - fftw3.h
  - rinex.c
  - rtcm.c
  - rtcm2.c
  - rtcm3.c
  - rtcm3e.c
  - rtkcmn.c
  - rtklib.h
  - sdr.h
  - sdrcmn.c
  - sdrcode.c
  - sdrfunc.c
  - sdrlex.c
  - sdrmain.c
  - sdrnav.c
  - sdrouc.c
  - sdrplot.c
  - sdrrcv.c

```

(グローバルスコープ)
5
6 #include <stdio.h>
7 #include <stdlib.h>
8 #include <math.h>
9 #include <stdint.h>
10 #include <windows.h>
11 #include <string.h>
12 #include <signal.h>
13 #include <time.h>
14 #include <process.h>
15 #include <stdarg.h>
16 #include <ctype.h>
17 #pragma comment(lib, "winmm.lib")
18 #pragma comment(lib, "ws2_32.lib")
19
20 #define SSE2
21 #define AVX
22
23 #if defined(SSE2)
24 #include <emmintrin.h>
25 #include <tmmmintrin.h>
26 #endif
27
28 #if defined(AVX)
29 #include <immintrin.h>
30 #endif
31
32 /* FEC */
33 #pragma comment(lib, "sdrlib/fec/libfec.a")
34 #include "sdrlib/fec/fec.h"
35

```

出力元の表示(S): ビルド

---

出力

# マルチGNSS対応フロントエンド(1)



SiGe GN3S Sampler v3

<https://www.sparkfun.com/products/10981>

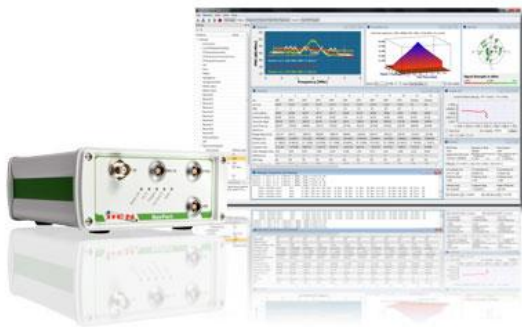
- ・L1のみ
- ・SparkFunで\$450



CRS: Dual-Frequency GPS Front End DC2

<http://www.cfrsi.com/products/gpssystemrf.html>

- ・L1+L2
- ・10MHzサンプリング
- ・価格？



SX-NSR SCIENTIFIC NAVIGATION RECEIVER

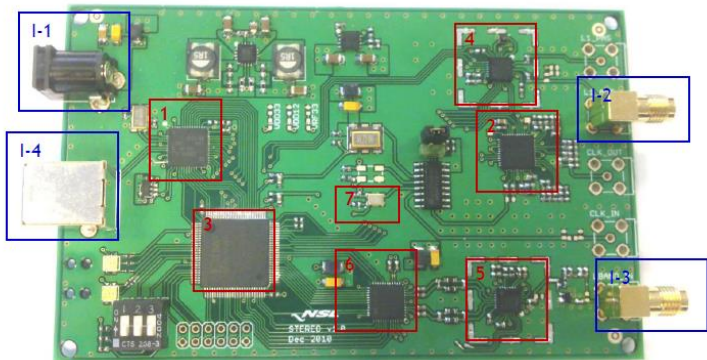
<http://www.ifen.com/>

- ・L1+L2+L5
- ・USB3.0
- ・価格？

# マルチGNSS対応フロントエンド(2)



## NSL Inc. Stereo V1



3. Xilinx Spartan-3A (FPGA)
4. MAXIM/ **MAX2769** (RF front-end)  
→ L1バンドGPS用(1550 - 1610MHz)
5. MAXIM/ **MAX2112** (RF front-end)  
→ L5バンド(925 - 2175MHz)
6. MAXIM/ MAX19505 (ADC)
7. 26MHz VCTCXO



- 2つのフロントエンド(MAX2769,MAX2761)によるIFデータを同時に取得可能(ex. L1(2769)とL5(2112), G1(2769)とG2(2112))
- フロントエンドの設定は自由に変更可能
- サンプルング周期は**26MHz**固定(ただし stereo v2ではサンプルング周期変更可)

- USBでIFデータ取得
- フロントエンドの設定を自由に変更可能
- 価格800ユーロ

# マルチGNSS対応アンテナ



Novatel GPS-703-GGG  
▪L1+L2+L5



JAVAD GrAnt-G3T  
▪L1+L2+L5+BeiDou



Antcom 52GNSSA  
▪L1+L2+L5+BeiDou+LEX

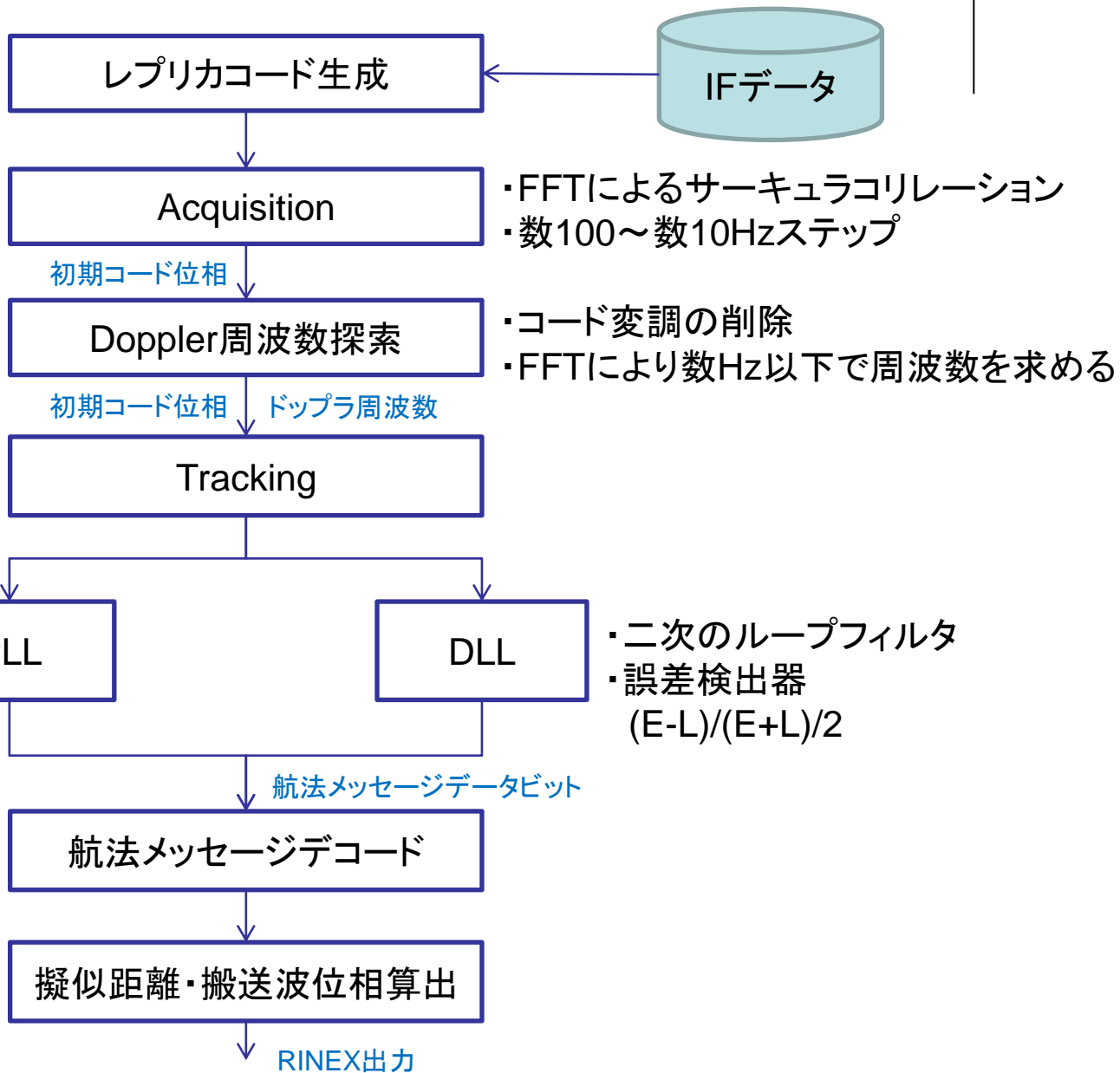


Trimble Zephyr Model 2  
▪L1+L2+L5+BeiDou+LEX

# 信号捕捉・追尾の戦略(1)



## L1CAの 捕捉・追尾



- ・二次のループフィルタ
- ・誤差検出器  $\text{atan}(Q_p/I_p)$

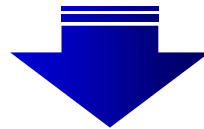
- ・二次のループフィルタ
- ・誤差検出器  $(E-L)/(E+L)/2$

# 信号捕捉・追尾の戦略(2)



## L1帯の信号(G1, E1, B1)

- L1CAと同様に信号捕捉, 追尾を行う
- 異なるのはそれぞれの信号の形式
  - チップレート, チップ数
  - 変調方式
- ナビゲーションデータのデコードは新たに構築
  - ナビゲーションデータのデコードは必須



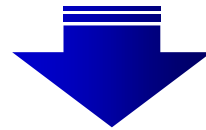
コードが生成ができれば捕捉・追尾はL1CAとほぼ同様

# 信号捕捉・追尾の戦略(3)



L1帯の以外の信号(G2, E5ab, L2C, L5, LEX・・・)

- L1帯の信号を同時にトラッキングすることにより別の周波数のコード位相, ドップラ周波数を推定
  - $D2 = F2 / F1 * D1$
- ナビゲーションデータのデコードは必須ではない
  - ただし擬似距離算出にあると便利
  - Galileoなどは, L1, L5を複合してデコードすることでビットレートが2倍に



L1と複合することで容易にトラッキング可能



---

# GLONASS



# GLONASS信号概要



GNSS	GLONASS	
Service Name	C/A (G1)	C/A (G2)
Center Freq.	1602+ 0.5625K MHz	1246+ 0.4375K MHz
Signal Component	Data	Data
I/Q	I	I
Band Width	1.002 MHz	1.022 MHz
Modulation	BPSK	BPSK
Code Freq.	0.511 MHz	0.511 MHz
Code Chips	511	511
Code Length	1ms	1ms
Nav. Data	NAV	NAV
Min. Received Power	-161.0 dBW	-167.0 dBW

- FDMA (Frequency-division multiple access) 方式
- コードチップレート, チップ数はL1CAの半分

# G1 (GLONASS)の捕捉と追尾



## ■ FDMA方式

- 単純にドップラ探索の周波数に, PRNごとのオフセットを加えるだけでOK

## ■ 信号生成, 捕捉, 追尾は特に大きな変更は必要なし

- コードチップレートもチップ数もC/Aの半分なので計算が楽

## ■ NAVのデコード

- エンコードされていないため, メッセージ構造の差以外はL1CAと同様の手順で問題なし

## ■ コード生成

- 全ての衛星に対して1つのコードを作成すればOK

## ■ G1, G2の違い

- FDAMによる周波数のみ, 同じでOK

# G1/G2コード生成

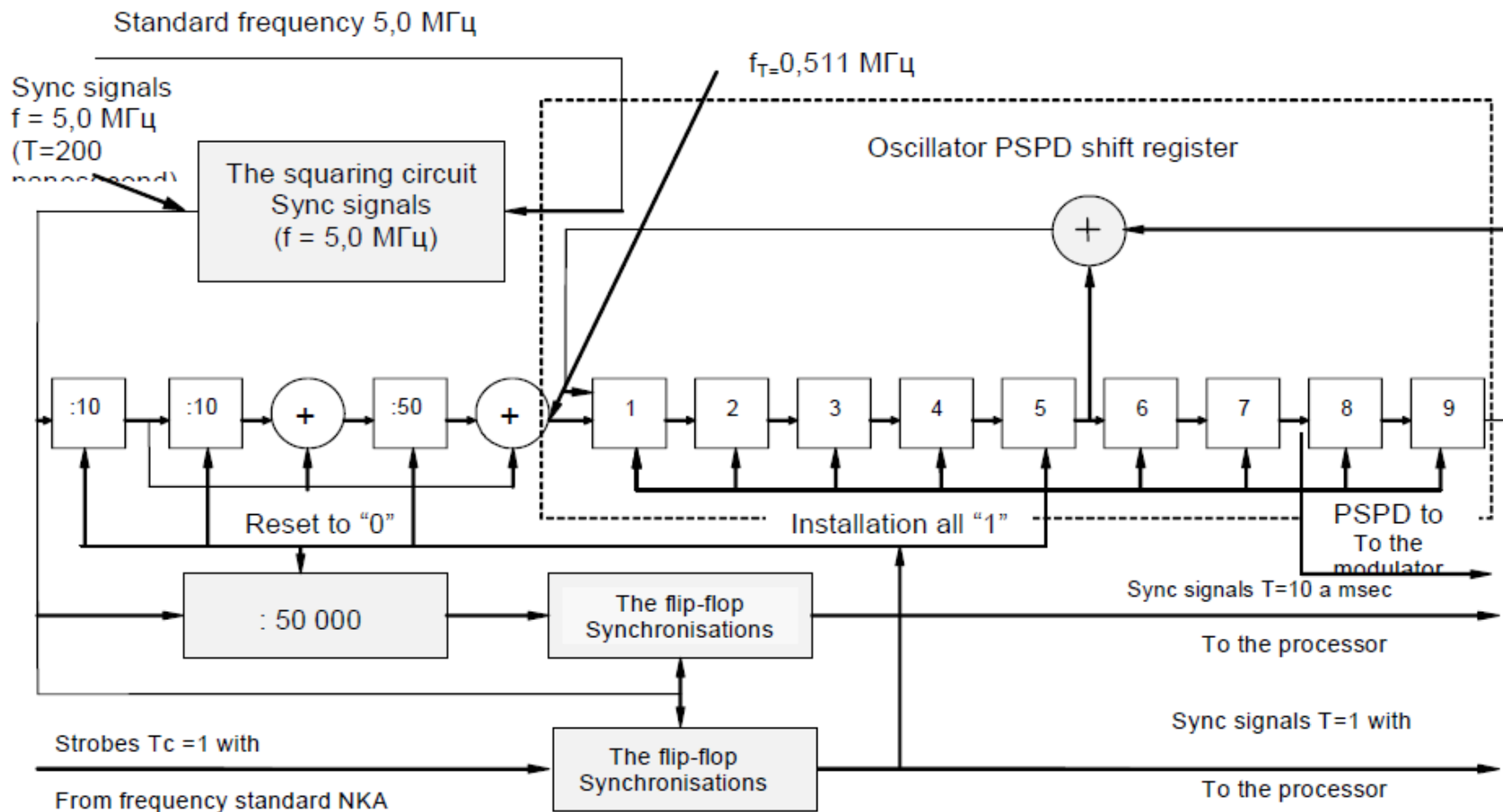


Figure 3.3 GLONASS INTERFACE CONTROL DOCUMENT

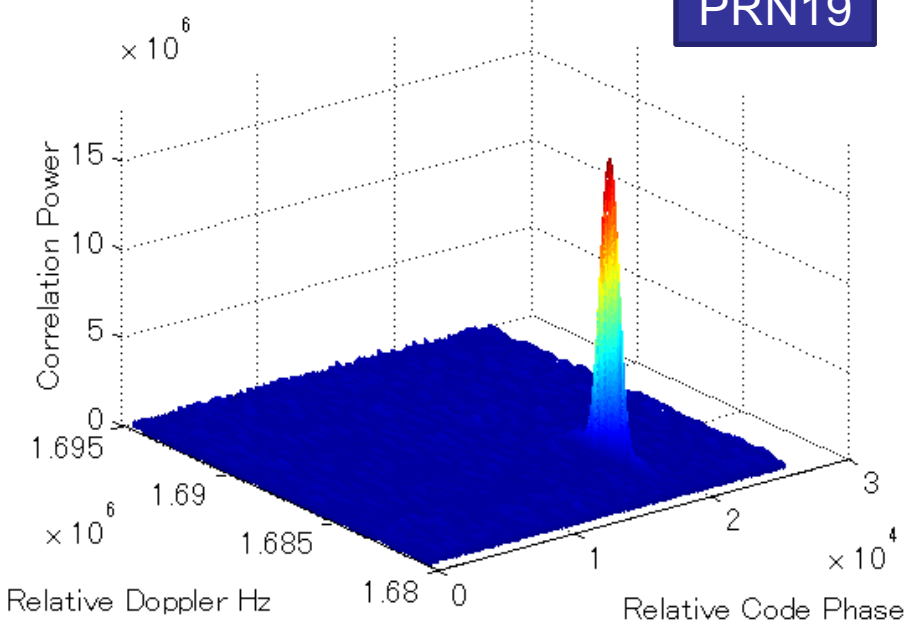
- 511ビットのM系列符号
- 非常にシンプル

# G1 (GLONASS) の捕捉

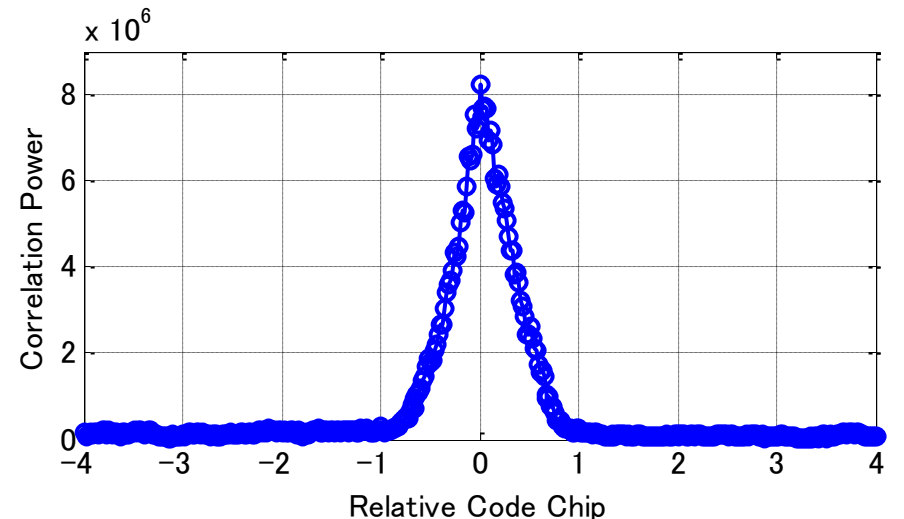
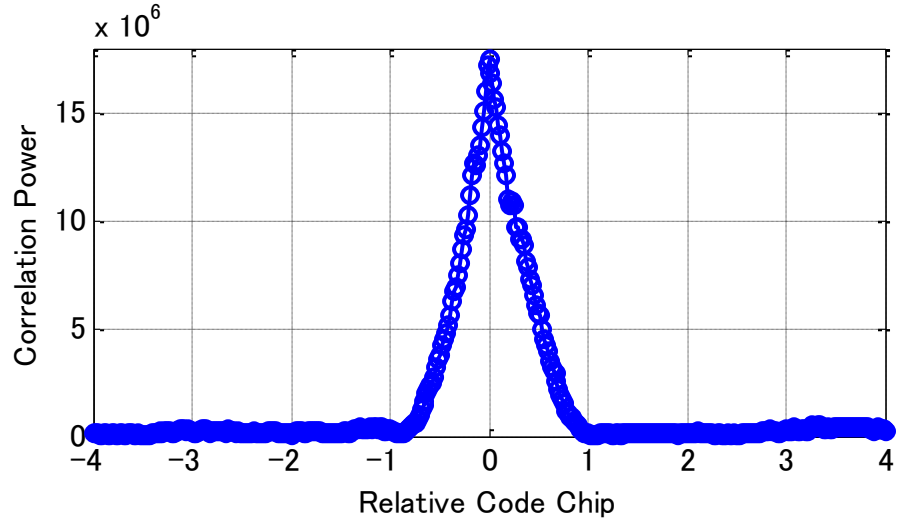
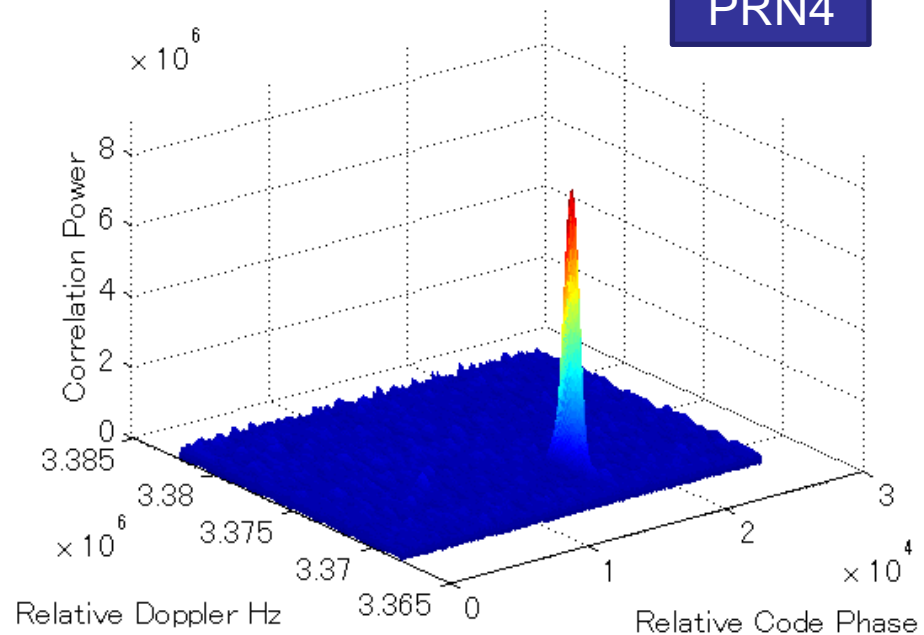


## Acquisitionの結果

PRN19



PRN4

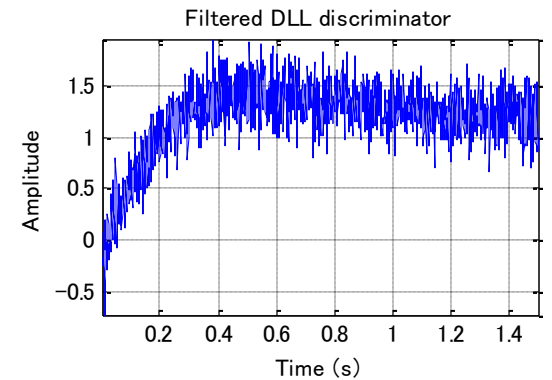
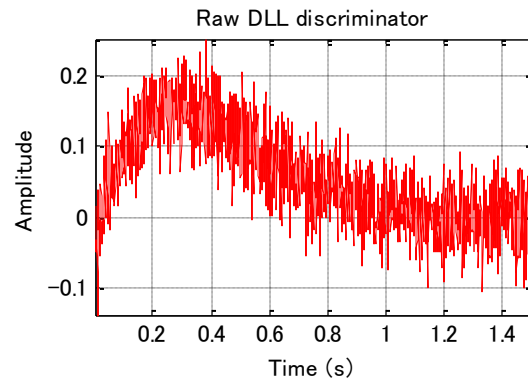
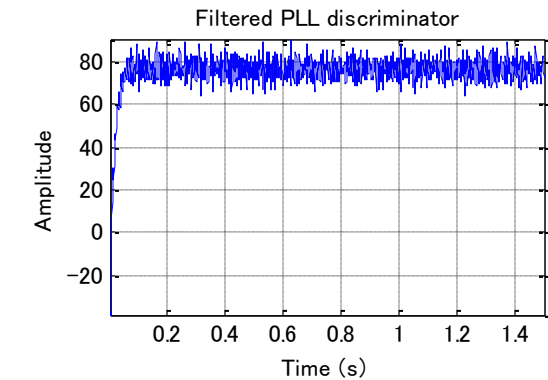
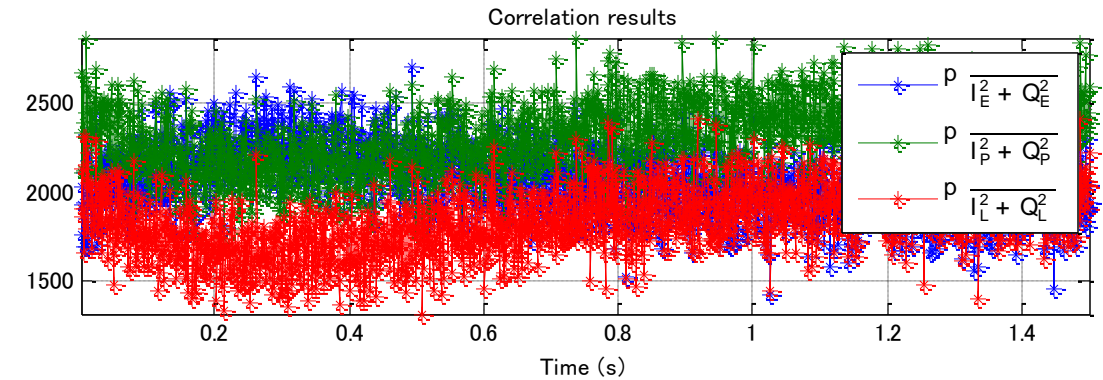
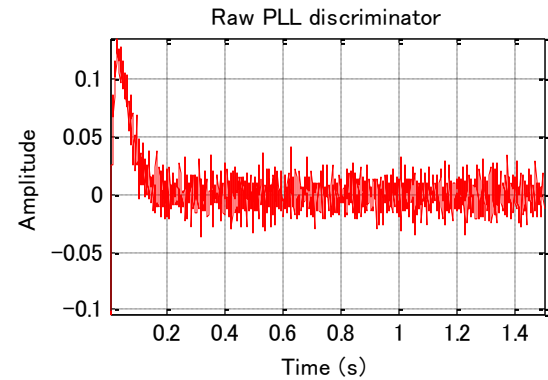
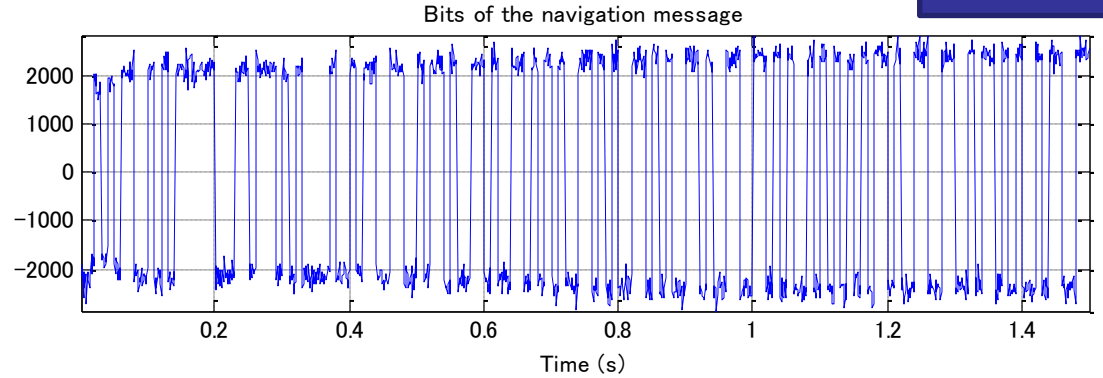
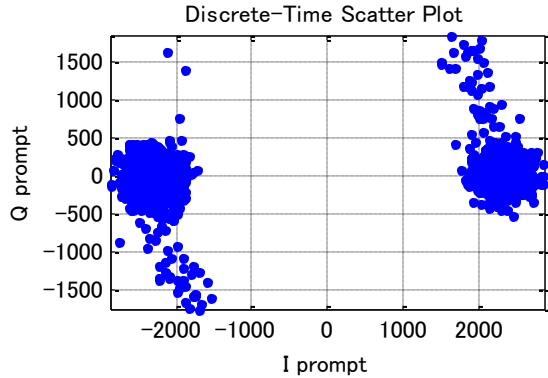


# G1 (GLONASS) の追尾



## Trackingの結果

PRN19

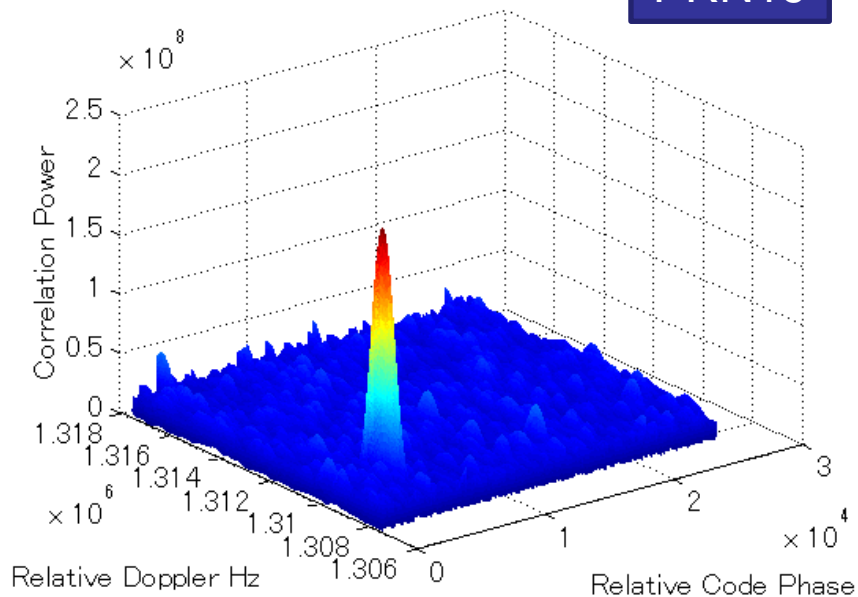


# G2 (GLONASS) の捕捉

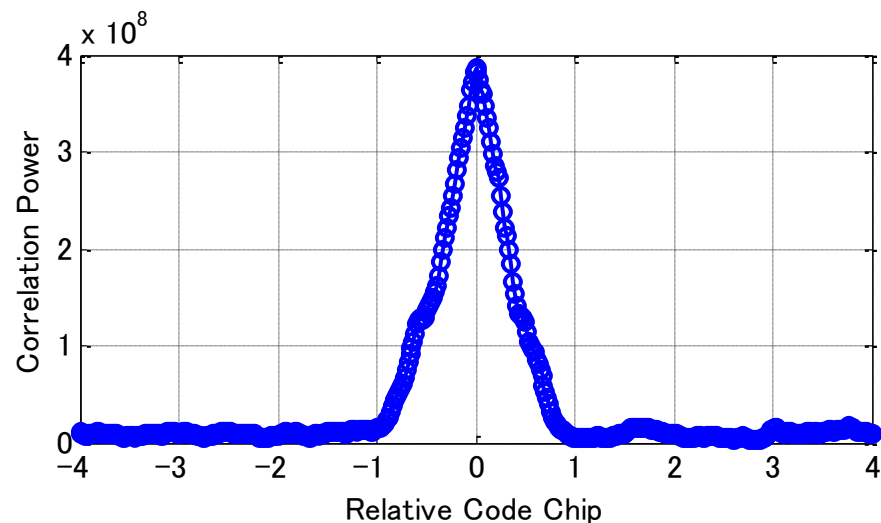
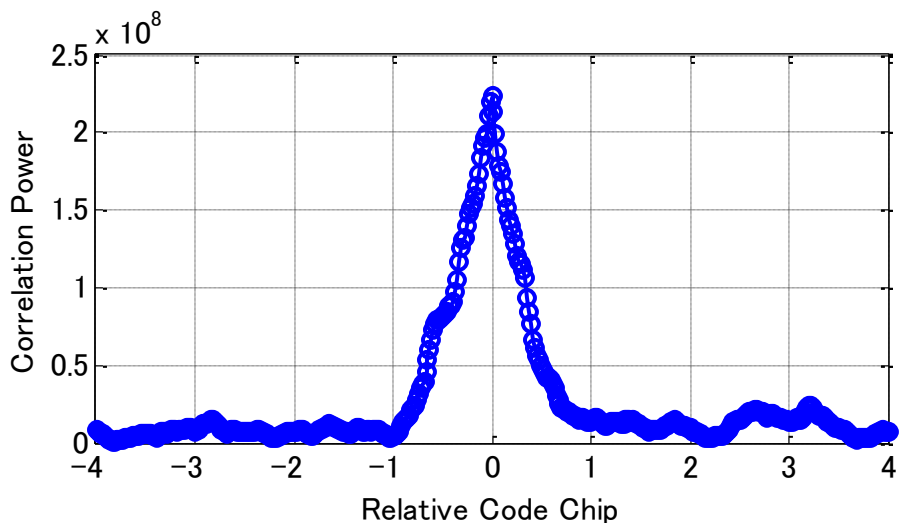
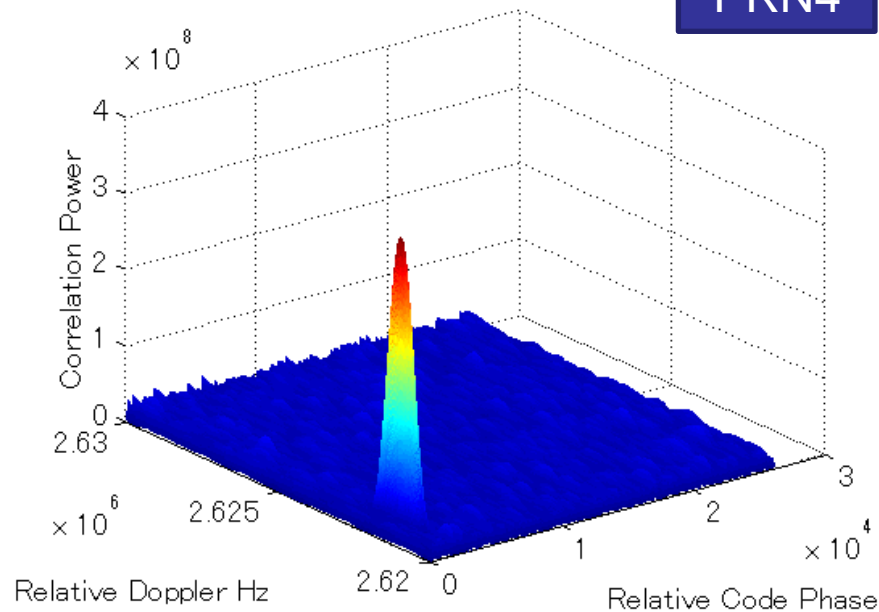


## Acquisitionの結果

PRN19



PRN4

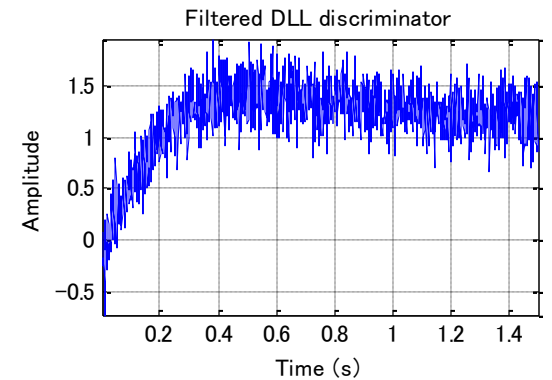
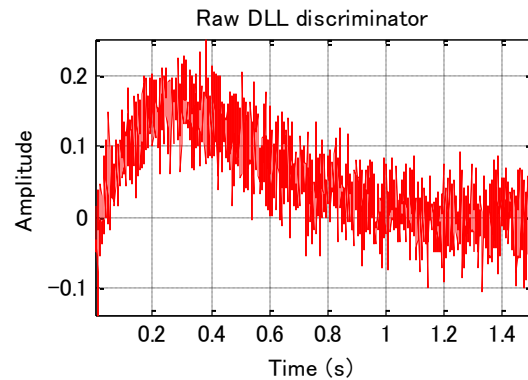
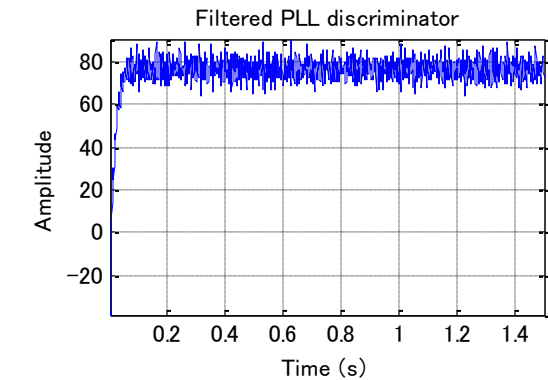
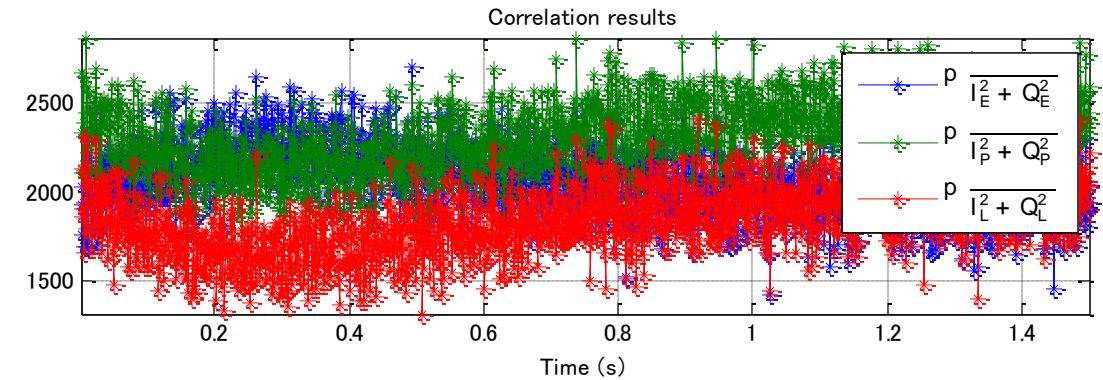
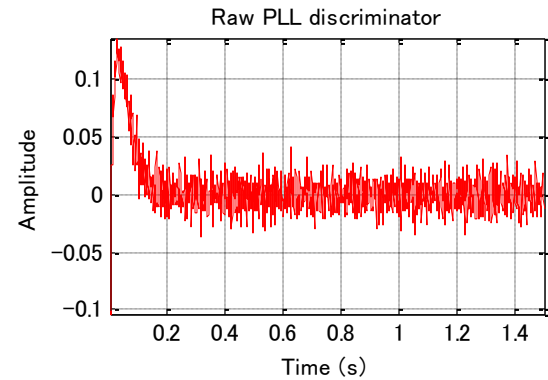
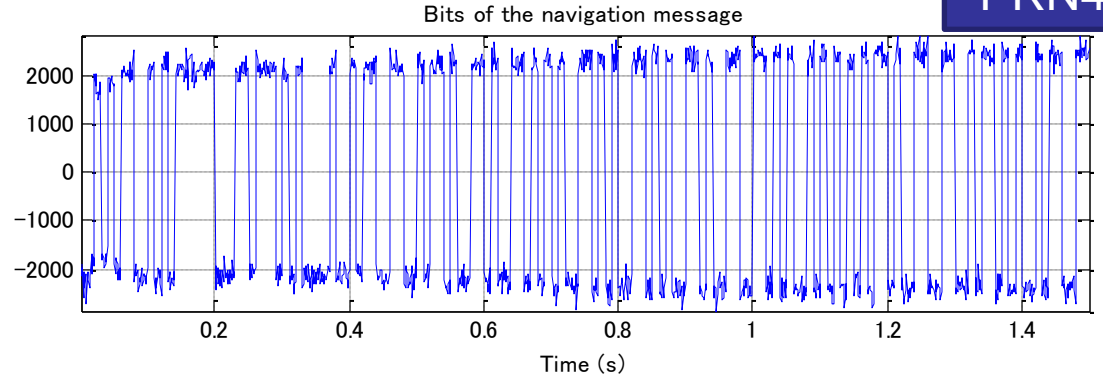
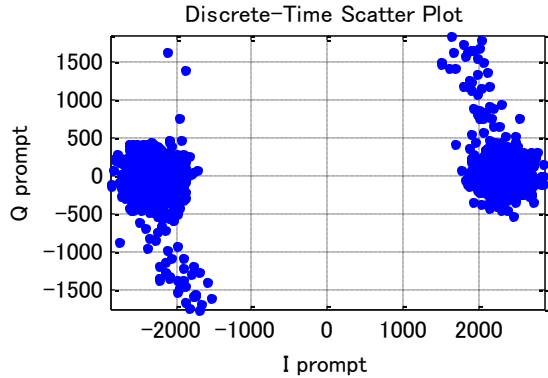


# G2 (GLONASS) の追尾



## Trackingの結果

PRN4





- FDMA (Frequency-division multiple access )  
方式
- コードは全ての衛星で共通
- G1, G2共にGPS L1CAからの大きな変更は必要ない
- 計算が負荷が少ない





---

# Galileo

# Galileo信号概要



	GALILEO					
Service Name	E1		E5a		E5b	
Center Freq.	1575.42MHz		1176.45MHz		1207.14MHz	
Signal Component	E1B Data	E1C Pilot	E5aI Data	E5aQ Pilot	E5bI Data	E5bQ Pilot
I/Q	I	Q	I	Q	I	Q
Band Width	24.552 MHz		20.46 MHz		20.46 MHz	
Modulation	CBOC(6,1,1/11)		BPSK(10)		BPSK(10)	
Code Freq.	1.023 MHz		10.23 MHz		10.23 MHz	
Code Chips	4092		10230		10230	
Code Length	4ms	4(100)ms	1(20)ms	1(100)ms	1(4)ms	1(100)ms
Nav. Data	I/NAV	-	F/NAV	-	I/NAV	-
Min. Received Power	-163.0 dBW	-158.25 dBW	-155.0 dBW	-155.0 dBW	-155.0 dBW	-155.0 dBW

■ BOC (Binary Offset Carrier) 変調への対応が必要

■ I/NAV, F/NAVのデコードへの対応が必要

# E1B/C (GALILEO) の捕捉と追尾



## ■ 現在衛星数は4機

## ■ BOC変調(補足資料3)

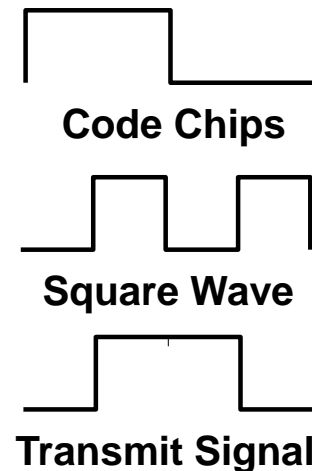
- CBOC (6,1,1/11)をBOC(1,1)で代用
- BOC(1,1)でほぼ問題なし
- コード長とコード周波数が2倍に  
(4092→8184, 1.023→2.046MHz)

## ■ I/NAV, F/NAVのデコード

- 1/2畳込み+インターリーブ, Viterbiデコーダ

## ■ E1コード

- データ信号 (E1B), パイロット信号 (E1C)
- L1CA信号に対してコード長が4倍 (4ms)



# E1B/Cコード生成



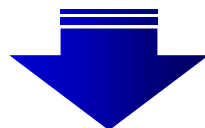
## ■ Galileo ICDより

The E1-B and E1-C primary codes are pseudo-random memory code sequences according to the hexadecimal representation provided in Annex C.

## ■ HEX表記でICDに記載

E1B Code No 1

```
F5D710130573541B9DBD4FD9E9B20A0D59D144C54BC7935539D2E75810FB51E494093A0A19DD7
9C70C5A98E5657AA578097777E86BCC4651CC72F2F974DC766E07AEA3D0B557EF42FF57E6A58E
805358CE9257669133B18F80FDBDFB38C5524C7FB1DE079842482990DF58F72321D9201F8979E
AB159B2679C9E95AA6D53456C0DF75C2B4316D1E2309216882854253A1FA60CA2C94ECE013E2A
8C943341E7D9E5A8464B3AD407E0AE465C3E3DD1BE60A8C3D50F831536401E776BE02A6042FC4
A27AF653F0CFC4D4D013F115310788D68CAEAD3ECCCC5330587EB3C22A1459FC8E6FCCE9CDE84
9A5205E70C6D66D125814D698DD0EEBFEEAE52CC65C5C84EEDF207379000E169D318426516AC5D
1C31F2E18A65E07AE6E33FDD724B13098B3A444688389EFBBB5EEAB588742BB083B679D42FB26
FF77919EAB21DE0389D9997498F967AE05AF0F4C7E177416E18C4D5E6987ED3590690AD127D87
2F14A8F4903A12329732A9768F82F295BEE391879293E3A97D51435A7F03ED7FBE275F102A832
02DC3DE94AF4C712E9D006D182693E9632933E6EB773880CF147B922E74539E4582F79E39723B
4C80E42EDCE4C08A8D02221BAE6D17734817D5B531C0D3C1AE723911F3FFF6AAC02E97FEA69E3
76AF4761E6451CA61FDB2F9187642EFCDD63A09AAB680770C1593EEDD4FF4293BFFD6DD2C3367E
85B14A654C834B6699421A
```



メモリ or ファイルに保存して利用



- I/NAVのデコード
  - 1/2畳込み+インターリーブ
  - オーバレイコード(セカンダリコード)を利用

L1C, CNAV2の航法メッセージ構造

Constrain length = 7

G1 1111001 171(OCTAL)

G2 1011011 133(OCTAL)

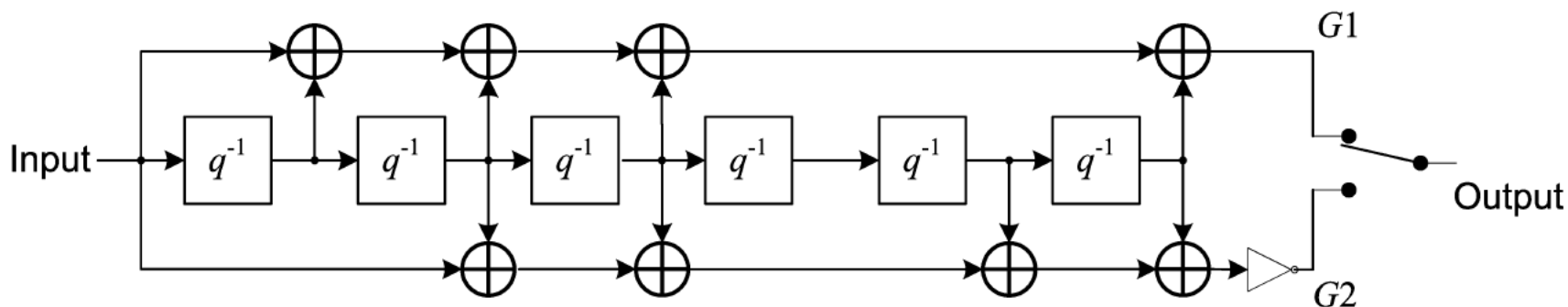


Figure 13. Convolutional Coding Scheme

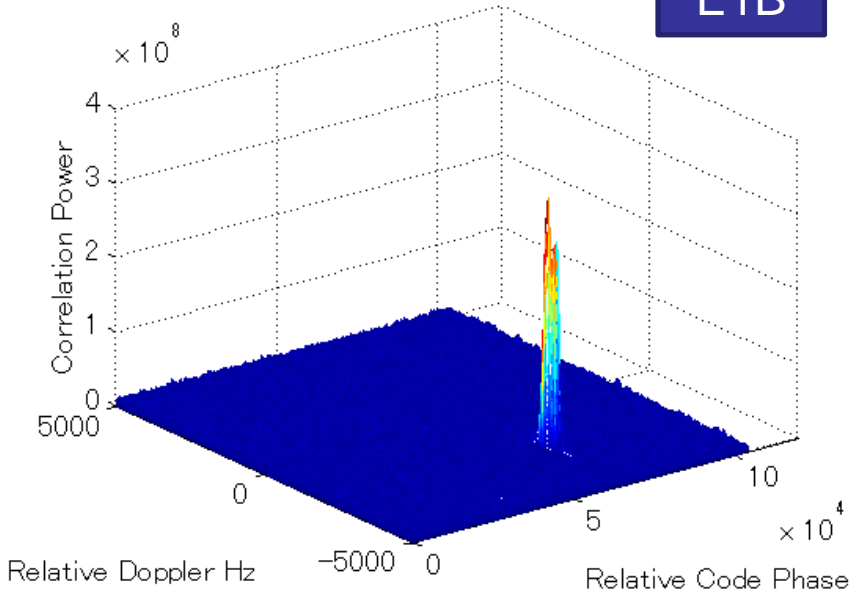
- FECの構成はGPSL2C, L5と同様

# E1B/C (GALILEO) の捕捉

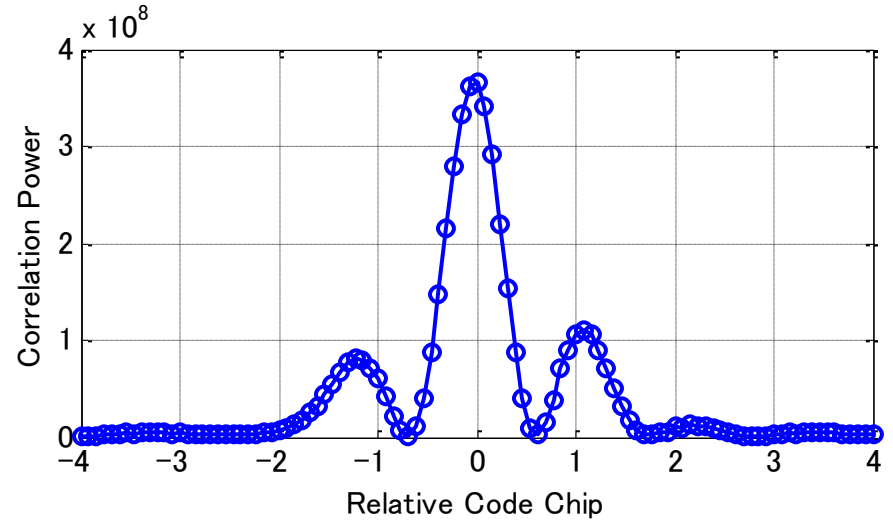
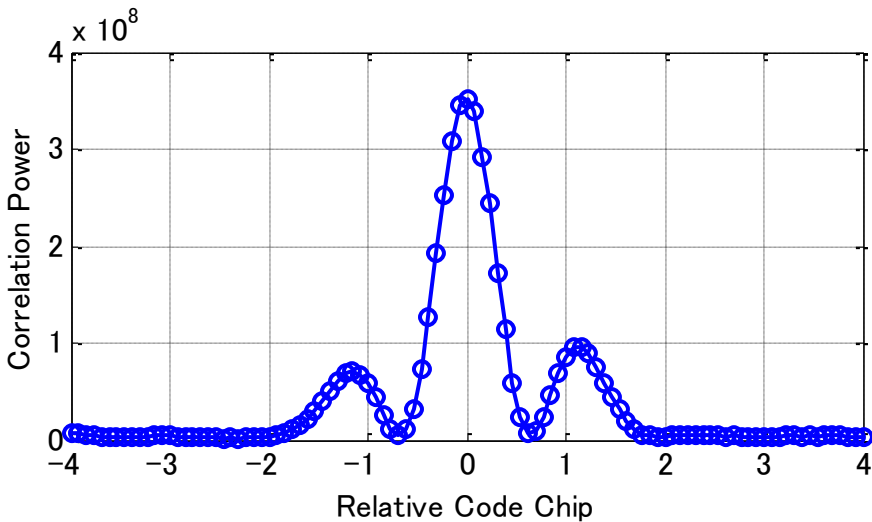
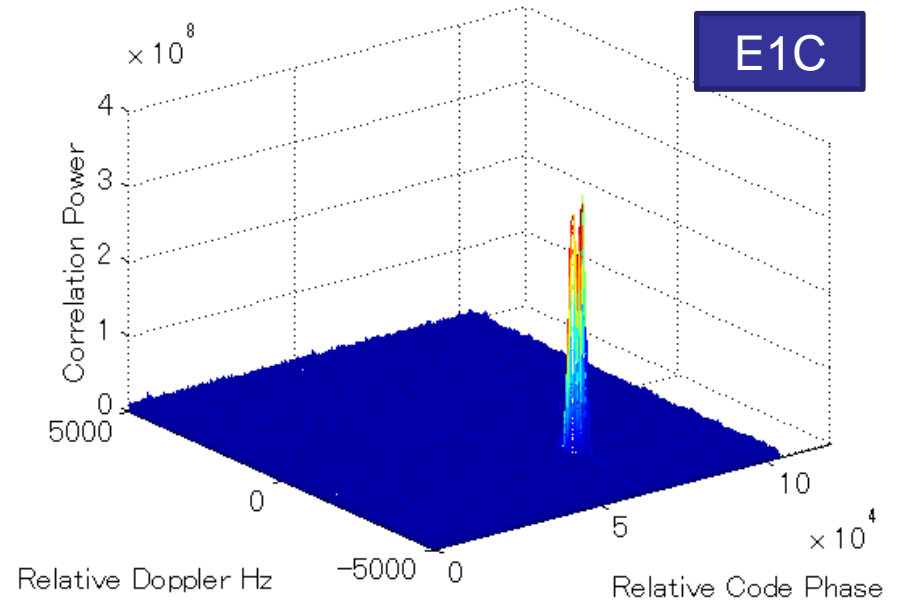


## Acquisitionの結果

E1B



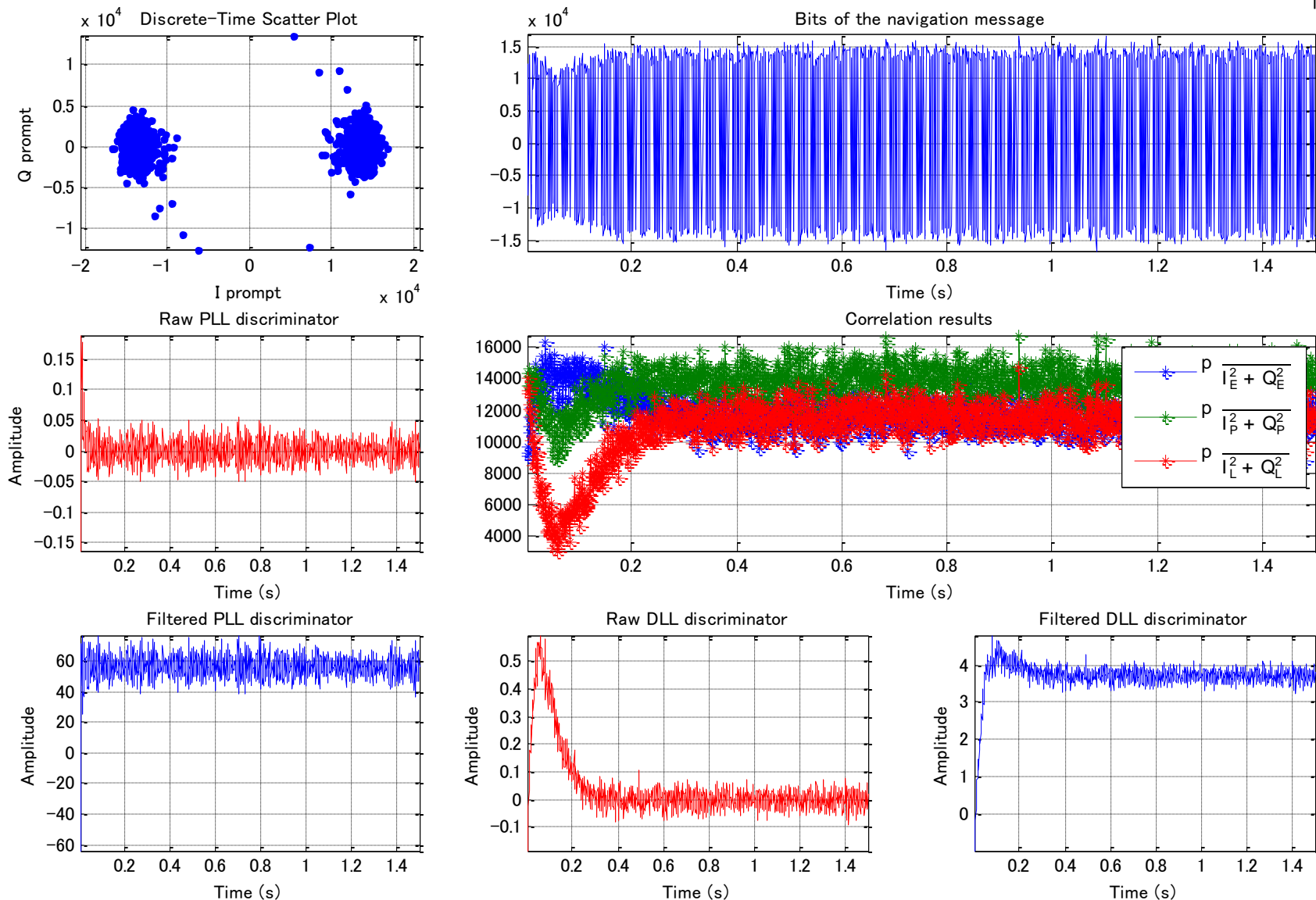
E1C



# E1B/C (GALILEO) の追尾



## Trackingの結果





## ■ BPSK変調

- GPS L5と同じ！

## ■ I/NAV, F/NAVのデコード

- 1/2畳込み+インターリーブ, Viterbiデコーダ
- I/NAVはE1Bと同じ

## ■ E5コード

- 10230チップ, 1ms
- GPS L5と同じ！

## ■ コード生成のみすればGPS L5と全く同じ



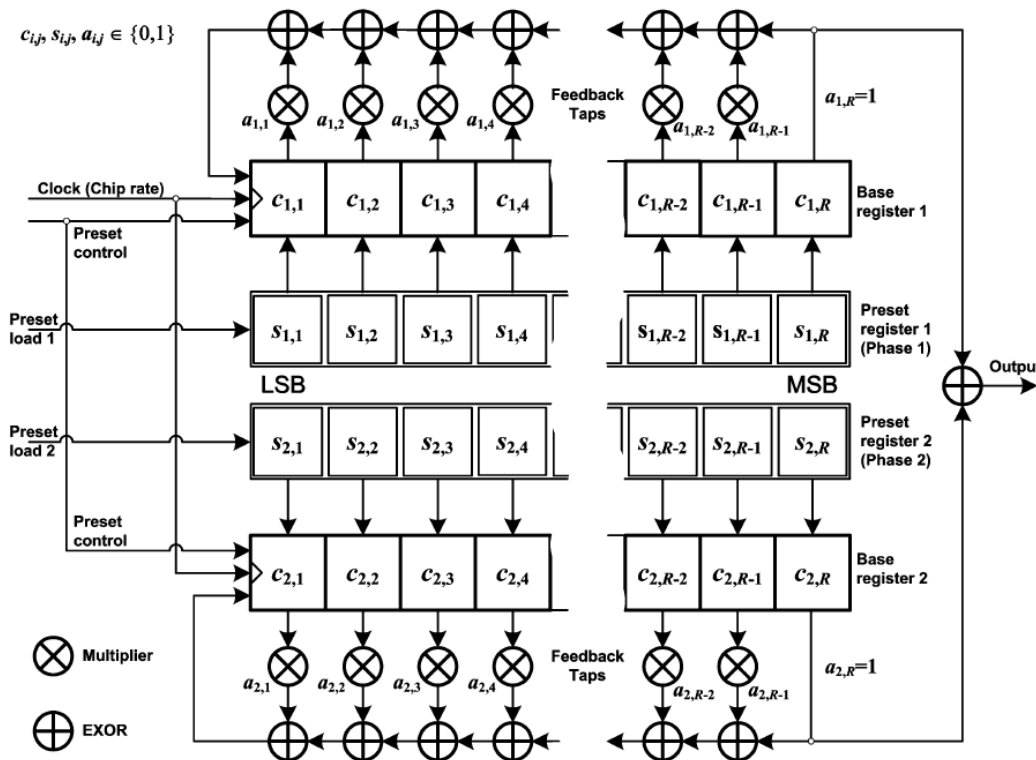
# E5abI/Qコード生成



- 線形帰還シフトレジスタ
- HEXコードでも記載されているが10230チップなのでE1の2.5倍

```

E5aI Code No 1
3CEA9DA7B07B13A6CC0AE53DAD1EE2A0FCC70009338C08AC0EE457F76A1690815C3C940AB7224
87CC8F3D1F4C428828E7FD2A21230E42A38BDF1E792165F6440DE0335F95EBDC93D605C0C6B
00B780E188C494687974319F9816141D89E01011E4F20DA8F188E15A6F618CF599C3FC01A1B27
2651318ED41198CE0AC0332F3D8BF88EC5215A8311C51FF4987DA93B09A438A8ACF08032F6C8
28F43043C54586811D870AD6FA27AA63785345C8BDD3DA26A0134738BC7E08461D5409F0879
1D8574C1797F5E97821055028CBAF92AE1088F8806C055F0E5DFCDBD74E0801B2844A05D79
D1924D41DDC68207085360C86AC4F87FE17420348CC398F508DF78E7DA91542FEA8689457
B3E69E43C75FADC303F31032FD9687DC70A88C3878AC73228285D9CF83A93AC88B90165F2384
8FAD84770BD30DA4AC3CD73A48000B6D134DA2DA708565E90A101AE78864DACC64A78CC6B3
7CD6F31E9AFF10CA4D47630752D253944632DFE6C60AECDD223F29399CA3B74D1DF5A71277
EE6C814464A8C5D3C08B3686AC9FA90CE876ACDF65E3EA3FD61D309EB71ED29A3D510B2FC
08B6D6C587EC9060CFBE4839DCB17C8B2284E7F578565891503B06F49CF3E8534870AE86AD97
07265A9A1E6E2E5E6DF6DA367239A96EF5802C19A4543D537EB4D9D73966C09E985284706F57
B3E0987885E884E26F7823D89562015188E38C04CC6714F797FDB08C713E3208208462F9A6
8E3872A167BF1BF9791AE88B73CF52C0975855C4E5C2F2E958677F833ECC878D1764839608
CC1108A75E9E58FFCFE4C8528847AF15EE0632E0729DA1CF587A272028CFE1E08F88881E1A7
43D52DD278ED33D0E75D0C318496AC1920FAF64F726D73321363A233F81C5723243D2D80A
5A4C44474320847A9C143F378F204185D28571482FE45D68C1A52E6E7223BF66DCE066CF90CE9
114623EA8981EC78982051B4AB711DABF5816FC0970F4378886031384F1F14D384E397687E55
D2FC07E18D98E18872E37C853ADC7E1CC2B70A02881F95878487780E1D1C296415109CF07A8
63D0782A9F451CEB3E8B919917AEDBCA8AE563AD3784639793E0FC25C9CC62240F4A482F141
E71B5C84EAC56431159556888CE077A51469A87737D3D6F06D97DD479FC35129F449919E9F
88DCEA9D494183756CDE1997C3AFCAE62B6D9E23341E11CD05A7FF52F5814011A84D737E1264
109068E5F19E3C6A9C7521B44741A8282755A8F0DC2FA0E1F6CA4FB34D8C05FAA271880886
872589634376137C1B8C46934F83958112D03082DD6148F353BD1DD24B9F8F7AD89C40DA0A9
2A88B6368038CD56FFCAEAC35241D76AC44E1211AAD973D51C81C59BCE05F71C345730D3A
2C670F8F533A950E724B00FE6A3F1354694ABCC6FD9CAE74DDE1F287A04F847A297ECC339A
F029EFCDDDB19932D90689CEDFCBE0D422CE305DD05407340F28EEA86664D60AF293AA505
D6D5C000805F79463DB513E4D88DE78D4EC9EACFE973B23CE4E9539EFCB79456CF5D1EC54
FDCE8803966348891A5C2D2BEC8189846D0A65038E5AECAD28A5E8E81F63084E07510356E
8229F7FC5E45328B729CDB819E066A15379AC6942CD48C5E97C6791E098105C323A3A3DA388D0
5E5562ABBA2BDC9906F4486B51ACF8AA4405E9D7A63D89E3058782DD9AF3995FFB3D34AEF982
3A0B3DC62C339325B60706C068F01988DBFA658396D06931B069155217690C7F88FD230CDB38
E3E48530BD47722FC
    
```



他の衛星と同様に生成

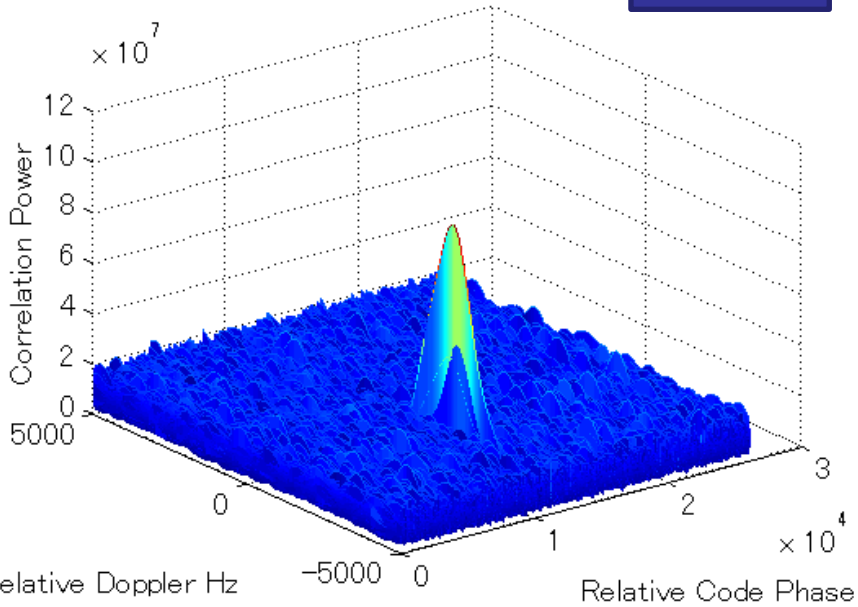
Figure 10. LFSR Based Code Generator for Truncated and Combined M-sequences

# E5aI/Q (GALILEO) の捕捉

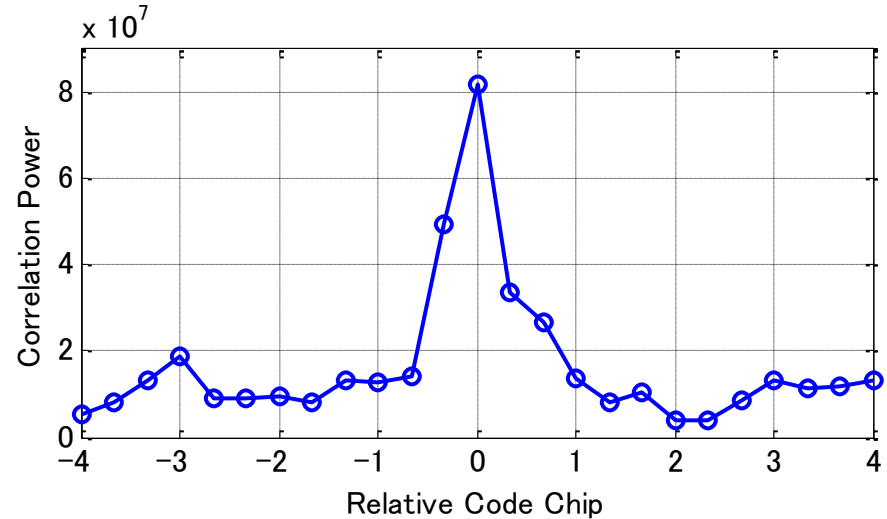
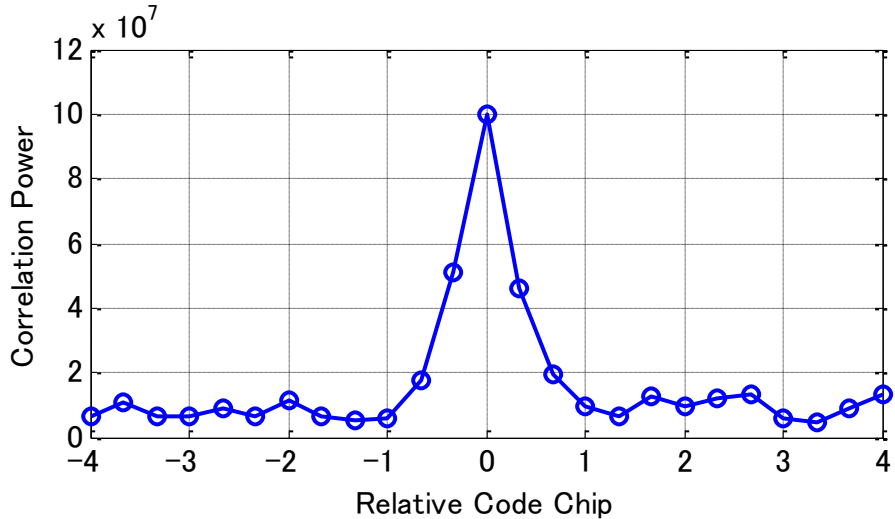
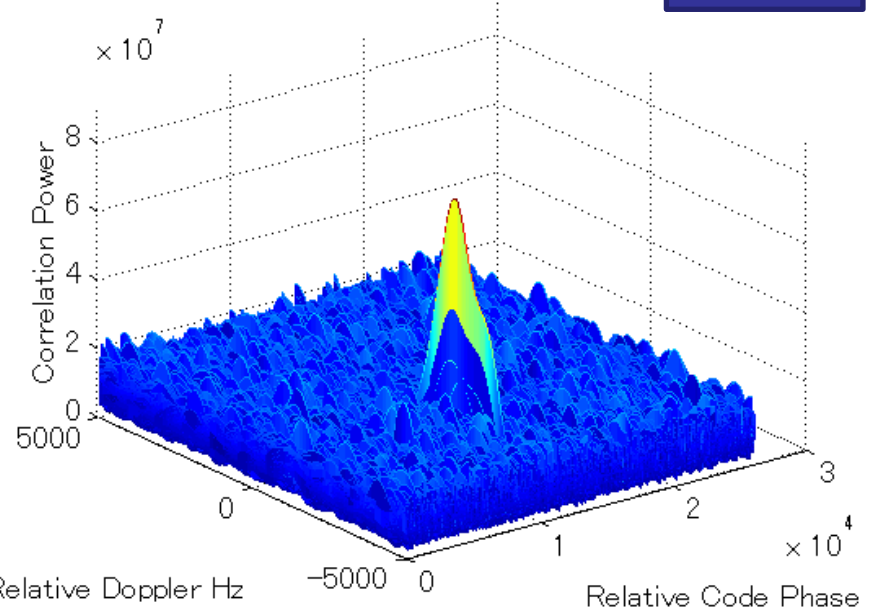


## Acquisitionの結果

E5aI



E5aQ

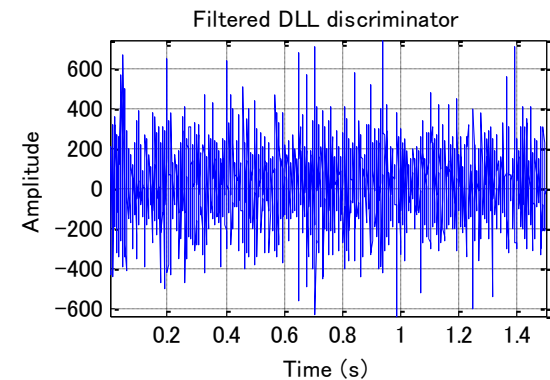
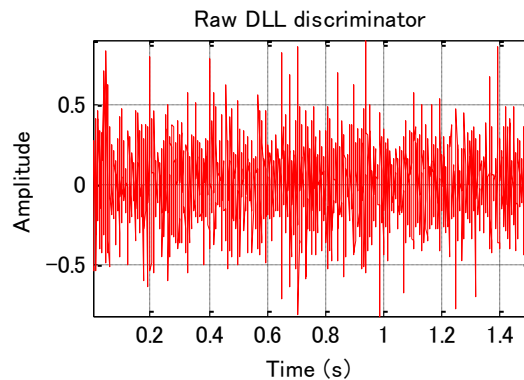
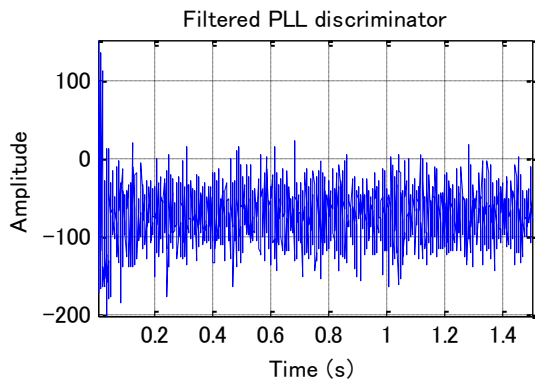
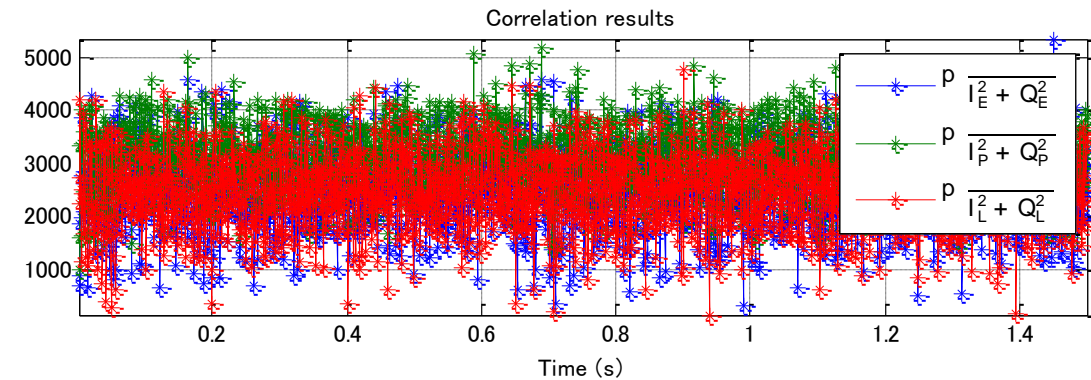
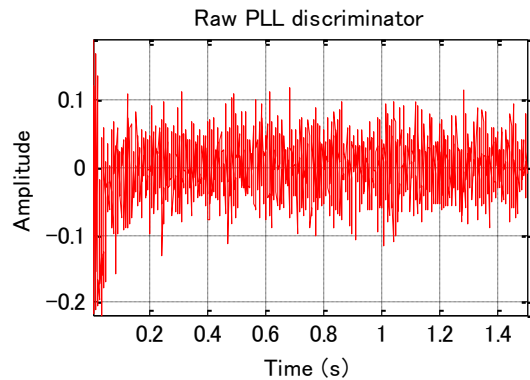
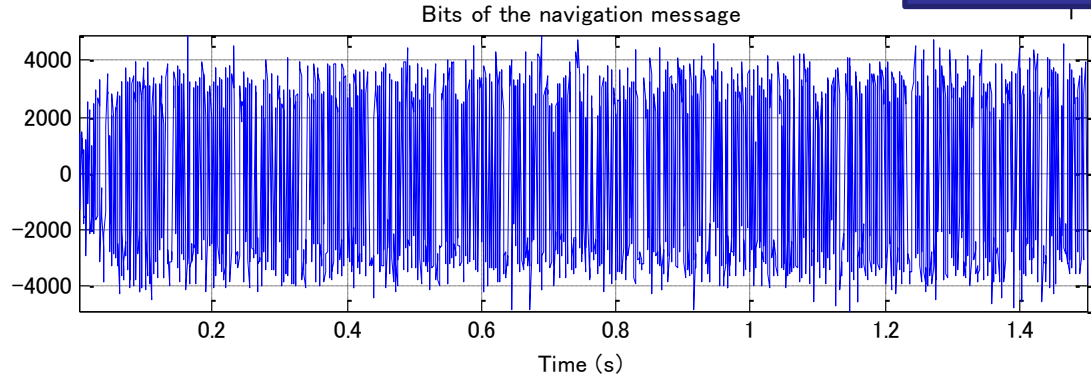
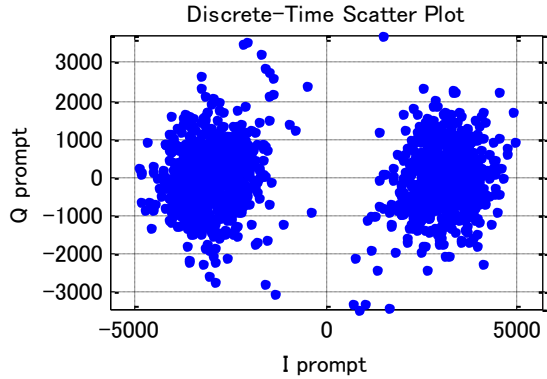


# E5aI/Q (GALILEO) の追尾



## Trackingの結果

E5aQ

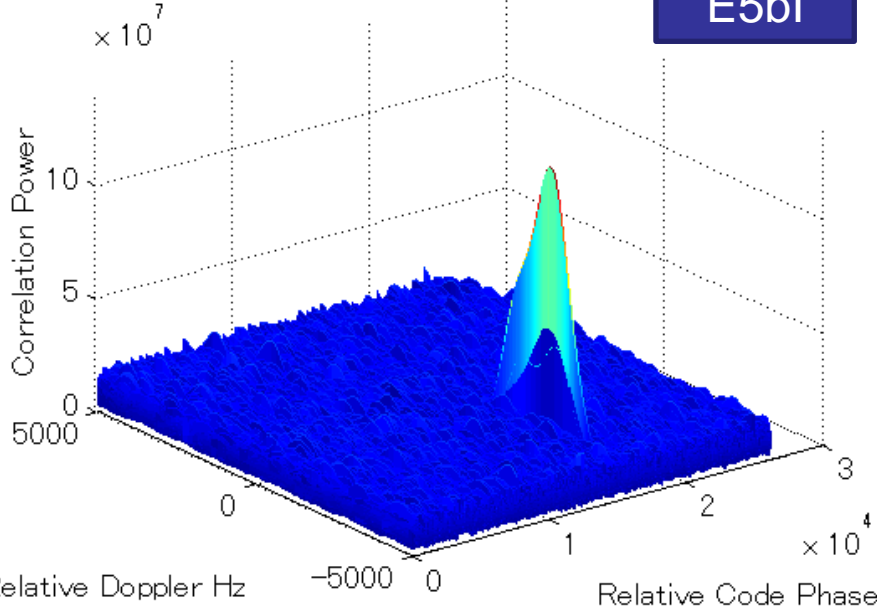


# E5bI/Q (GALILEO) の捕捉

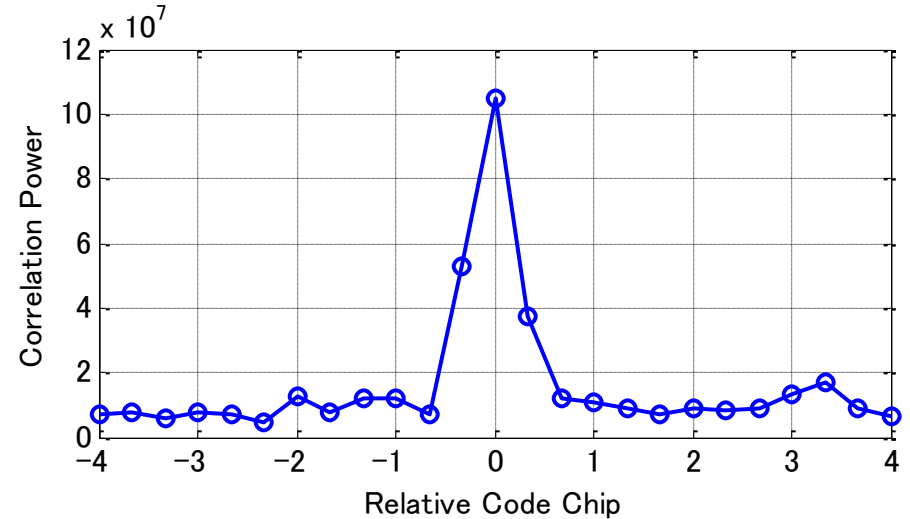
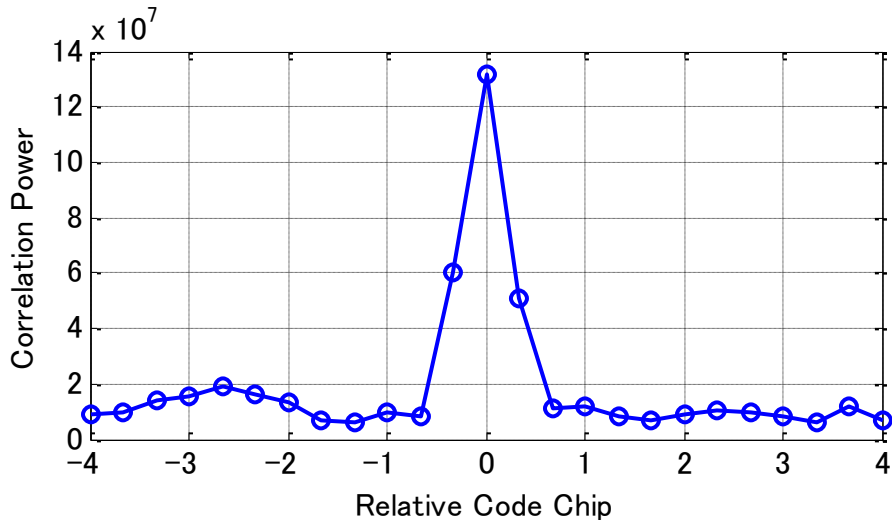
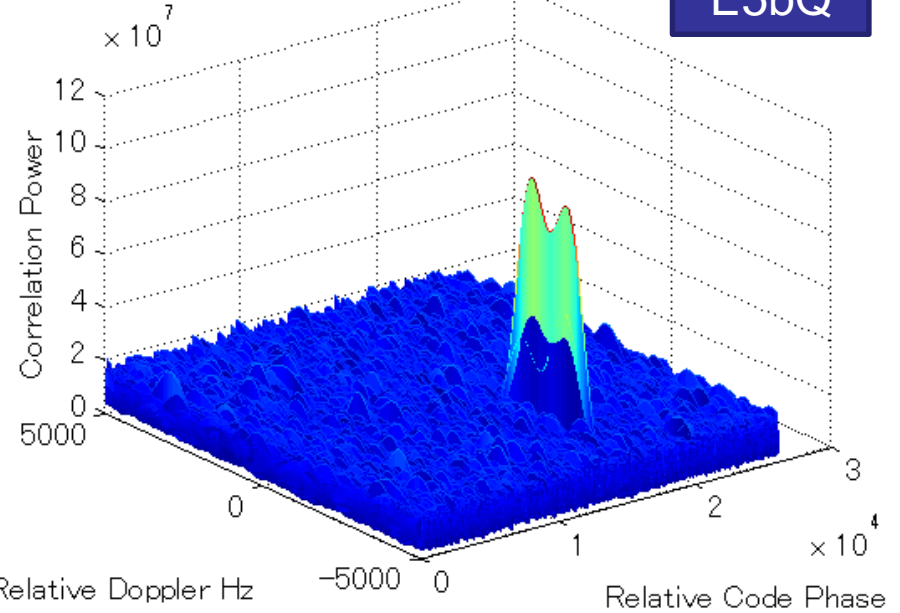


## Acquisitionの結果

E5bI



E5bQ

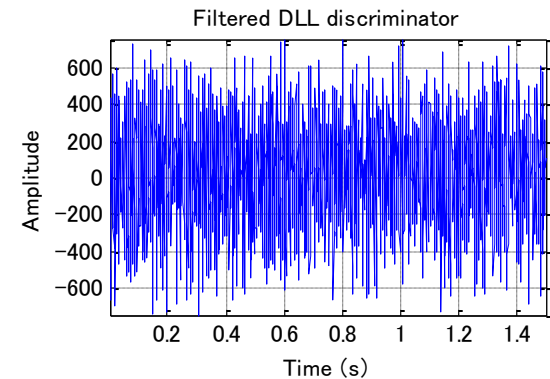
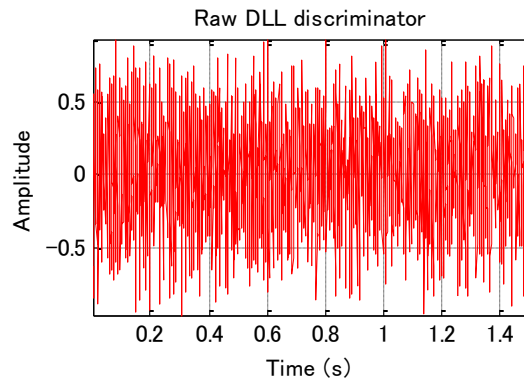
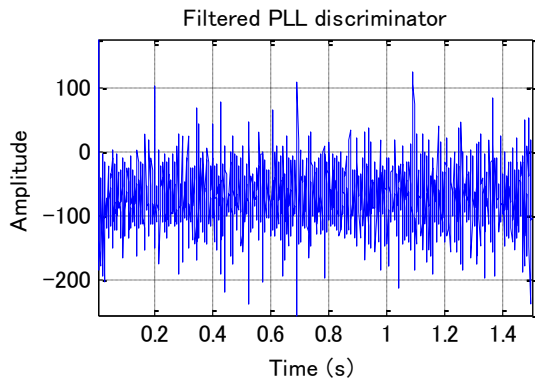
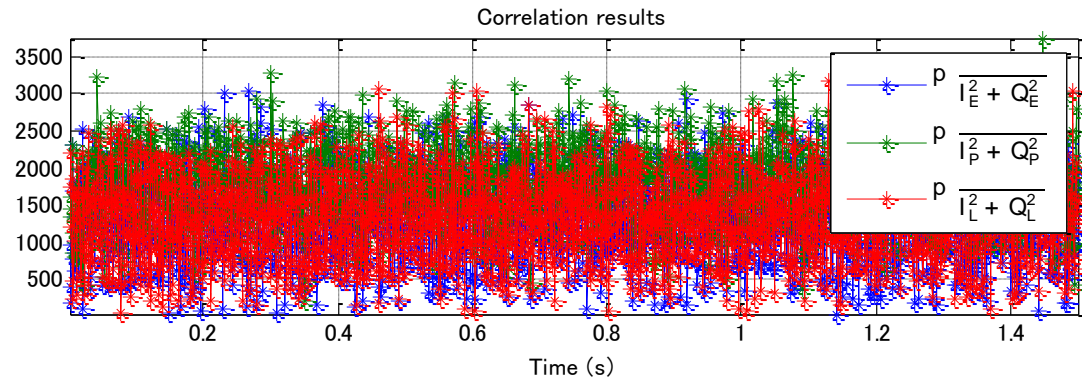
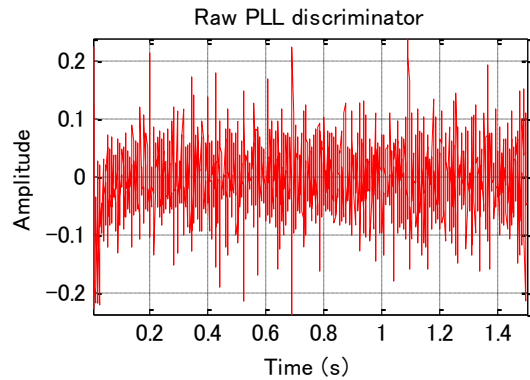
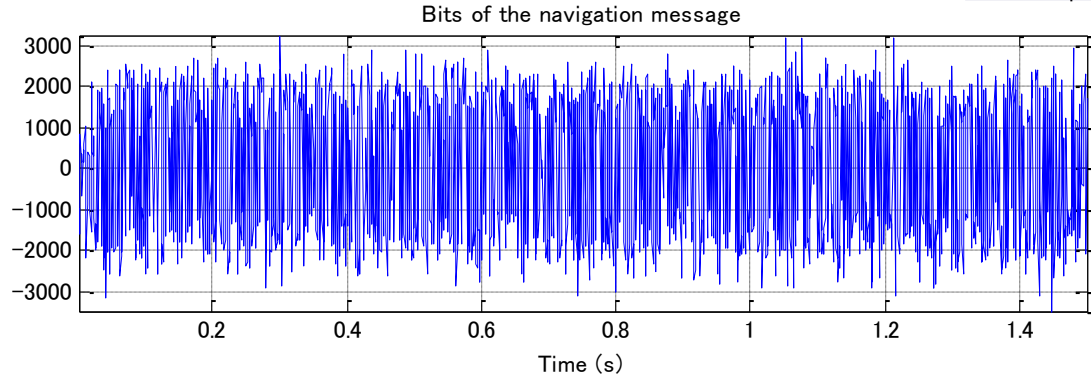
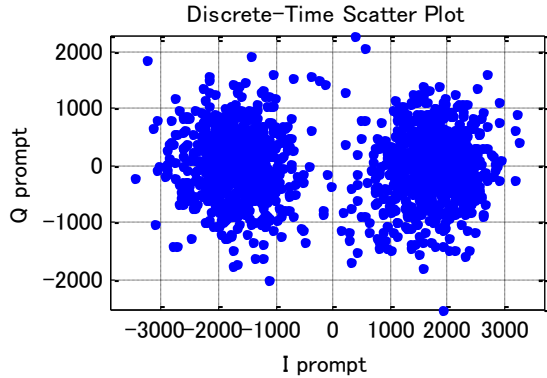


# E5bI/Q (GALILEO) の追尾



E5bQ

## Trackingの結果





- E1コードはBOC変調
- E5コードはGPS L5と同様の処理でOK
- ナビゲーションデータには誤り訂正符号(畳み込み符号)が使用されている
- ナビゲーションデータの複合にはViterbiデコーダなどを利用する必要がある



---

# BeiDou



# BeiDou信号概要



	BeiDou
Service Name	B1
Center Freq.	1561.098 MHz
Signal Component	Data
I/Q	I
Band Width	2.046 MHz
Modulation	QPSK
Code Freq.	2.046 MHz
Code Chips	2046
Code Length	1ms
Nav. Data	D1/D2 NAV
Min. Received Power	-163.0 dBW

- 昨年末ICDが公開された
- 中心周波数がGPS L1CAと少し異なる



# B1 (BeiDou) の捕捉と追尾



- 現在15機 (MEO × 5 + GEO × 5 + IGSO × 5)
- IGSO, GEOが多いため日本からだと多くの衛星が見える
- チップ数, チップレートがGPS L1CAの2倍
  - コード長はL1CAと同じ1ms
- コードにセカンダリコードとしてNH20がのっているため, 信号捕捉には注意が必要
- MEO・IGSO と GEOで異なるナビゲーションデータ (D1/D2 Nav)

# B1コード生成

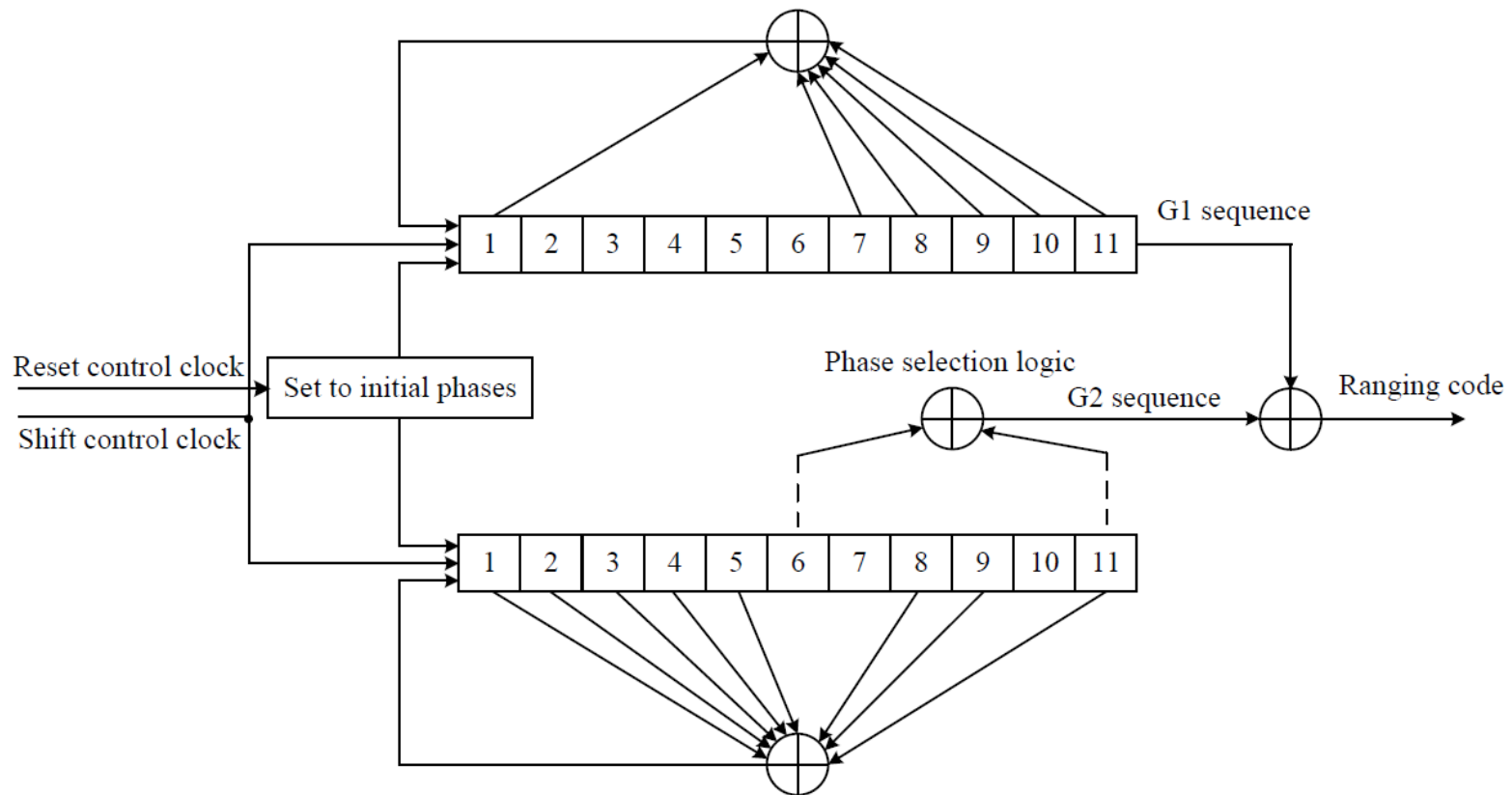


Figure 4-1 The generator of  $C_{B1I}$

- Gold code
- GPS L1CAと作成方法は同じ
- PRN37まで割り振られている

# D1/D2 Navのデコード



- BCHエンコード+インターリーブ
- MEO/IGSO衛星⇒D1 Nav GEO衛星⇒D2 Nav
  - D1 Nav, 50bps
  - D2 Nav, 500bps,

## D1/D2 Navの航法メッセージ構造

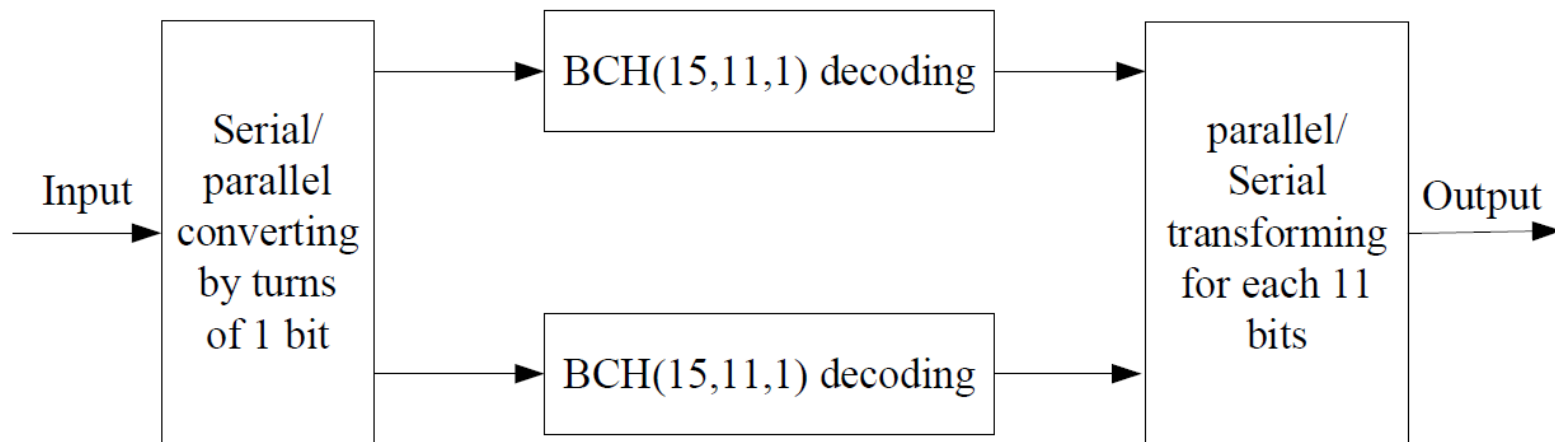


Fig 5-3 Processing of received down-link NAV message

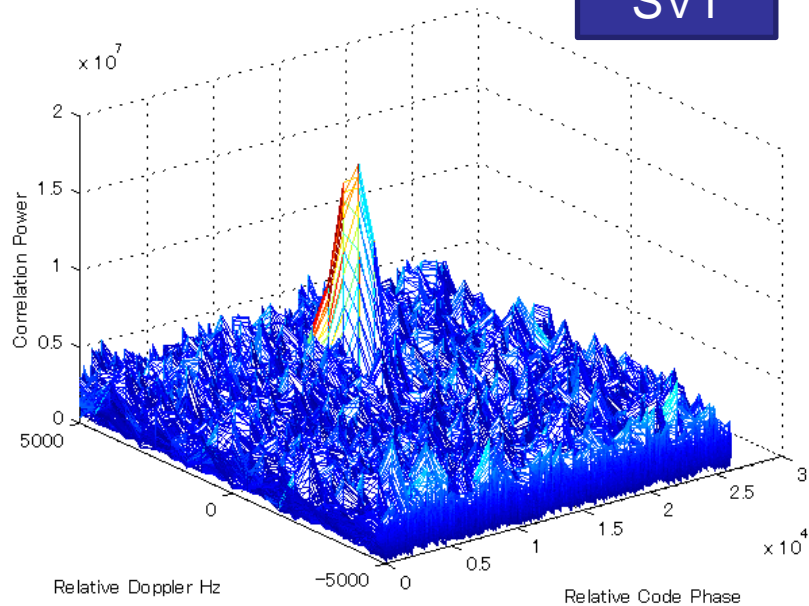
- ICDにBCHデコードのアルゴリズムが公開されている

# B1 (BeiDou) の捕捉

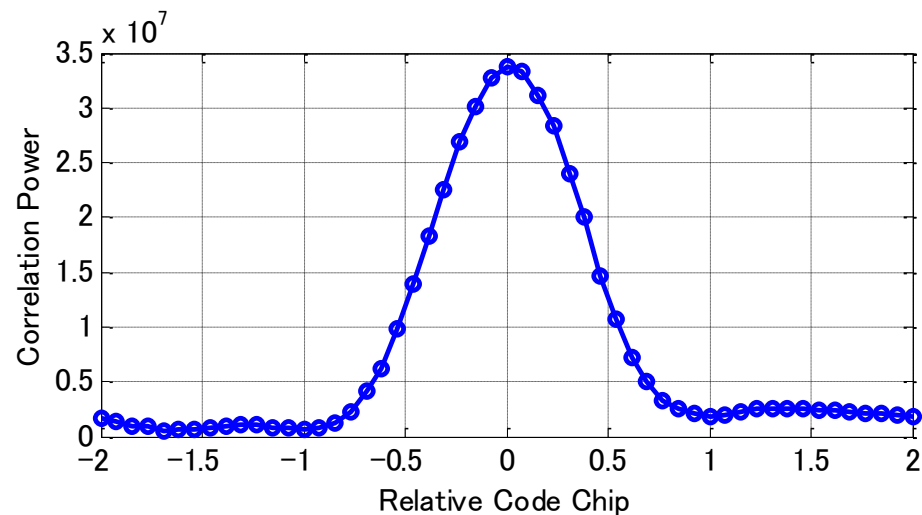
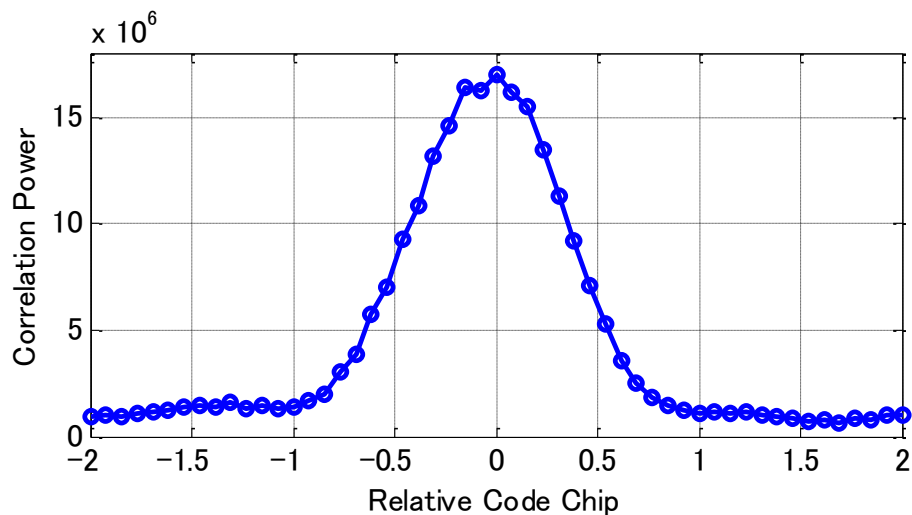
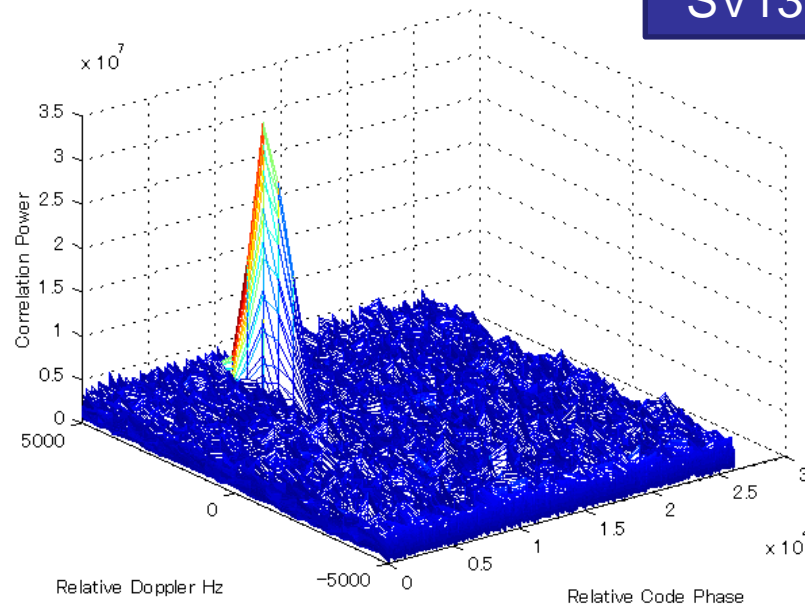


## Acquisitionの結果

SV1



SV13

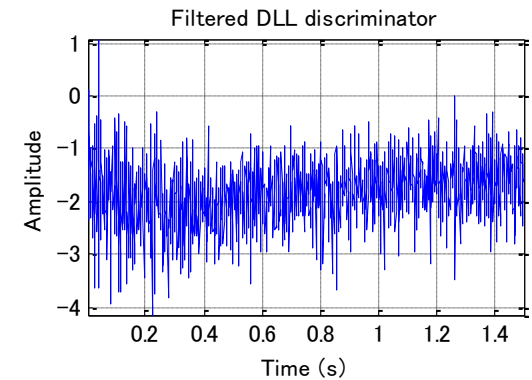
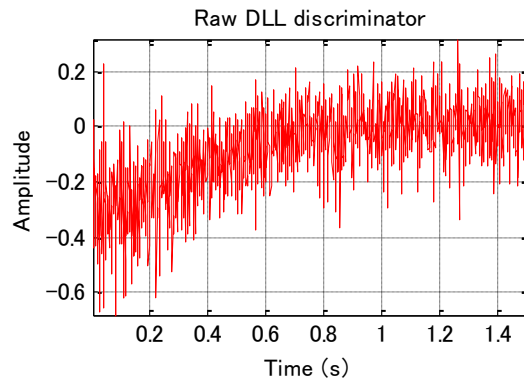
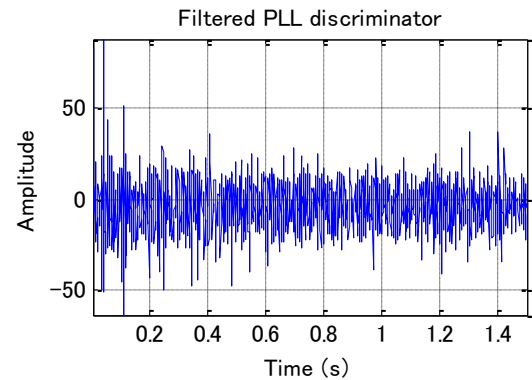
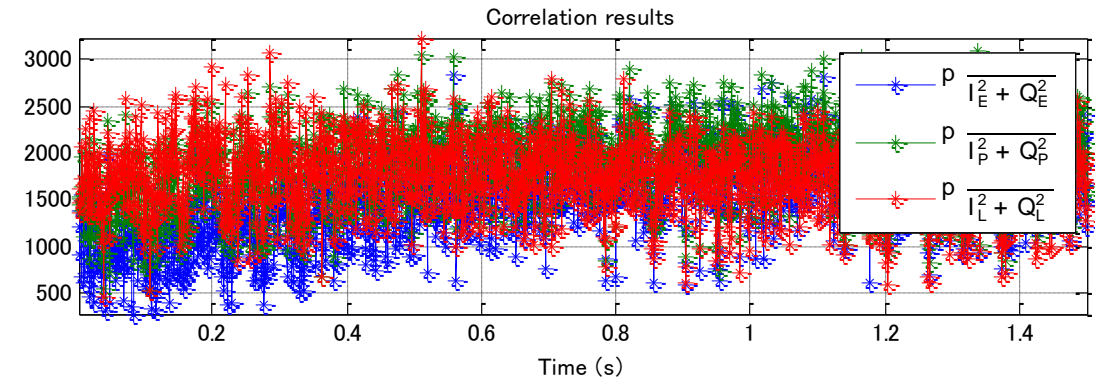
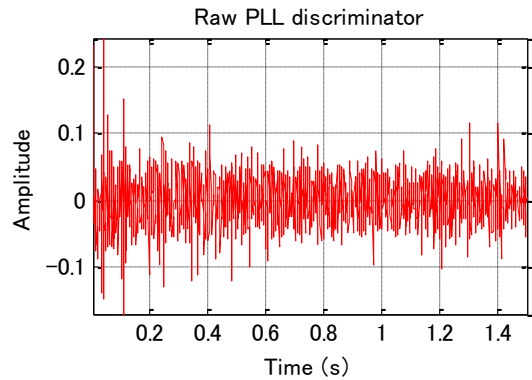
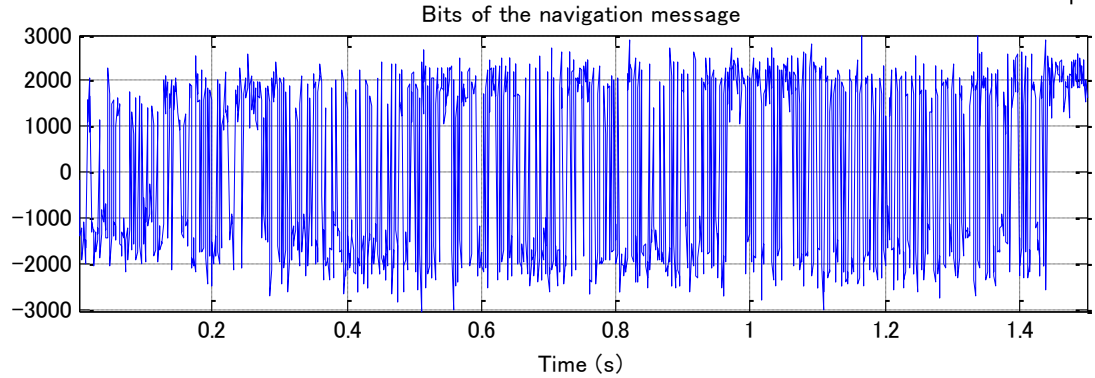
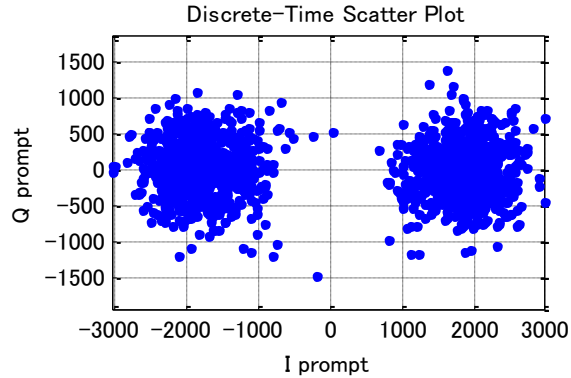


# B1 (BeiDou) の追尾



## Trackingの結果

SV1





- 昨年末にICDが公開され, B1に関してナビゲーションデータの詳細が公開された
- 日本では多くの衛星が可視である
- B1はGPS L1CAと周波数が異なる
- セカンダリコード(NH20)に注意
- 基本的には2倍早いL1CAコード



---

QZSS

# QZSS信号概要



	QZSS							
Service Name	L1C		L2C		L5		LEX	
Center Freq.	1575.42MHz		1227.60MHz		1176.45MHz		1278.75MHz	
Signal Component	L1CD Data	L1CP Pilot	L2CM Data	L2CL Pilot	L5I Data	L5Q Pilot	Short (Data)	Long (Pilot)
I/Q	I	Q	I		I	Q	I	
Band Width	4.096 MHz		2.046 MHz		20.46 MHz		42.0 MHz	
Modulation	BOC(1,1)		BPSK(1)		BPSK(10)		BPSK(5)	
Code Freq.	1.023 MHz		0.5115 MHz		10.23 MHz		0.5115 MHz	
Code Chips	10230		10230	767250	10230		10230	1048575
Code Length	10ms	10ms (1.8s)	20ms	1.5s	1(10) ms	1(20) ms	4ms	410ms
Nav. Data	CNAV-2	-	CNAV	-	CNAV	-	LEX	-
Min. Received Power	-163.0 dBW	-158.25 dBW	-160.0 dBW		-157.9 dBW	-157.9 dBW	-155.7 dBW	

■ L1C, LEXなどの現在QZSSのみ放送している信号



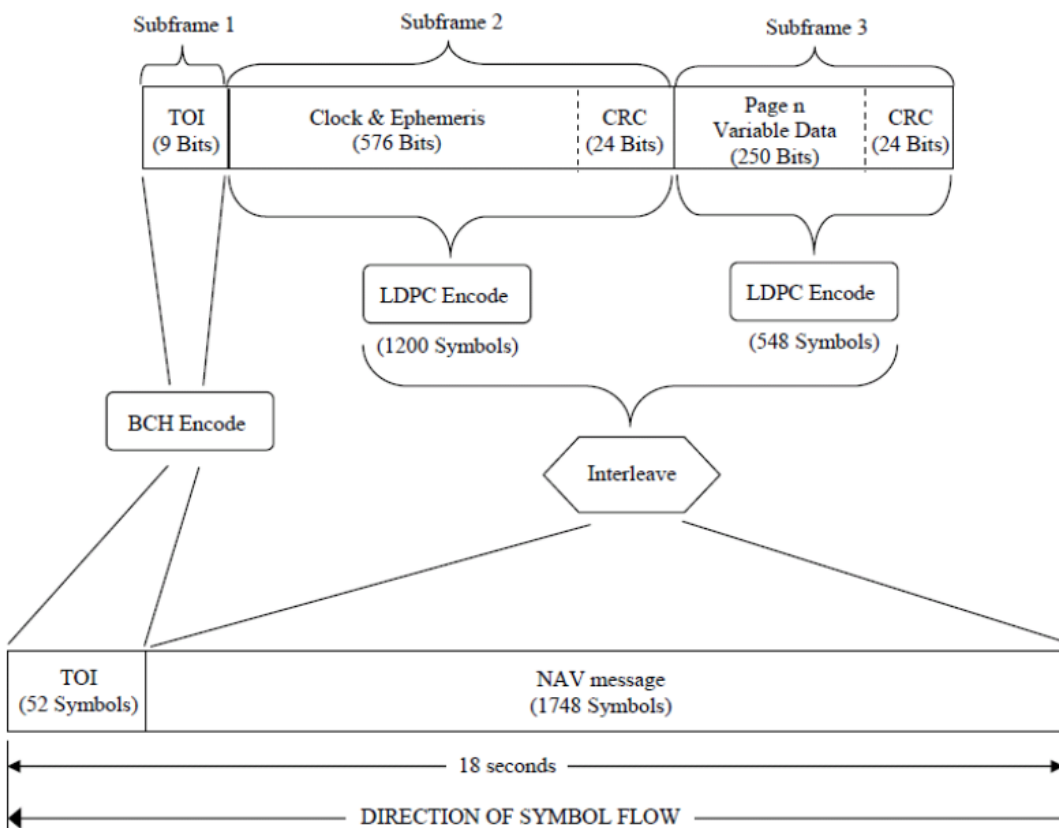
# L1C CNAV-2のデコード(1)



## L1C, CNAV2の航法メッセージ構造

BCH+LDPC+インターリーブ+**プリアンブル無し**

CNAV2: 18秒毎 = コード長の  
1800倍 ⇒ 候補点1800点

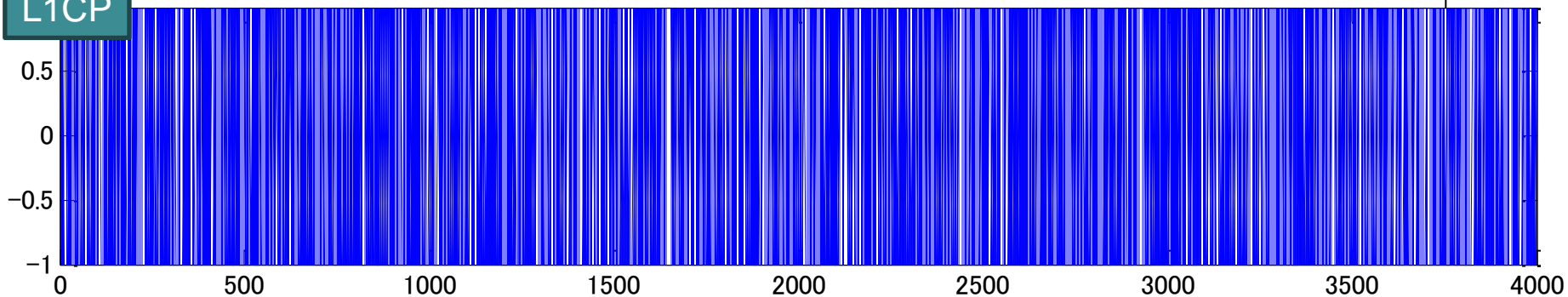


- ① L1CP, L1CDをトラッキング
- ② 1800bitのL1COコードと、L1CP出力のビット列との相互相関をとる
- ③ L1CPのオーバレイコードの先頭位置をL1CDに適用し、BCHデコーダによりサブフレーム1をデコード
- ④ サブフレーム2,3分のビット列をインターリーブした後にLDPCデコードにより復号

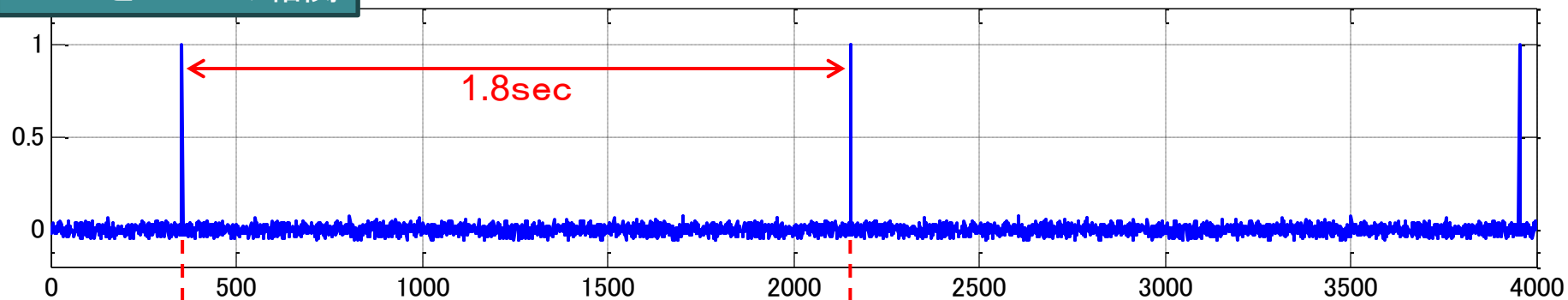
# L1C CNAV-2のデコード(2)



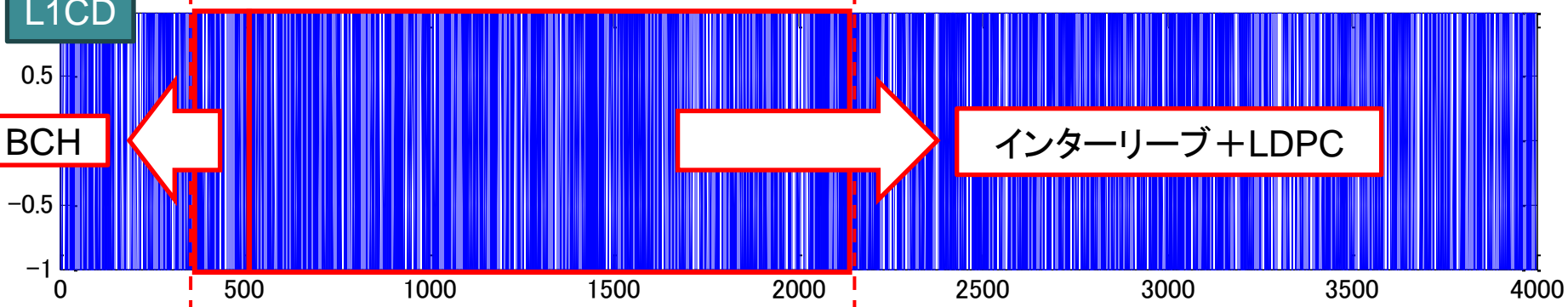
L1CP



L1CPとL1COの相関



L1CD



# L2C, L5I CNAVのデコード



CNAVの航法メッセージ

1/2 fixed convolutional code

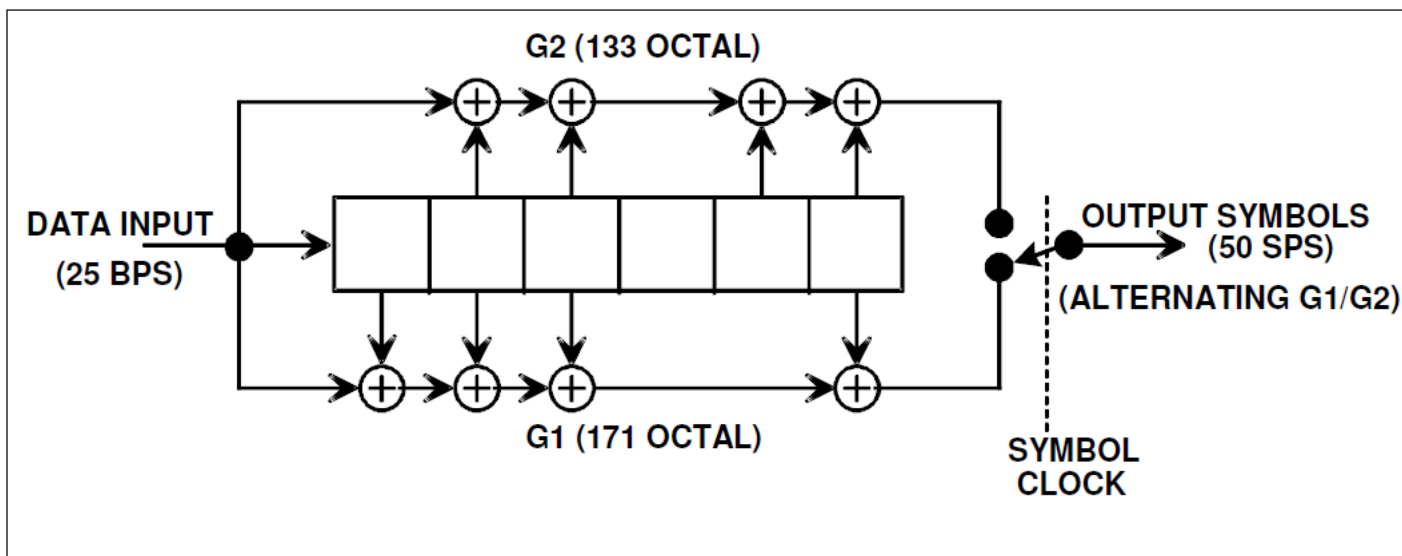


Fig. 3-14 IS-GPS-200F

デコード方法

- Viterbi Decoder
- Fano Convolutional FEC Decoder など...



## ■ 時分割多重, CSK変調

- ShortコードとLongコードが交互に並んだコード. ShortコードがLEXメッセージでCSK変調されているため, L1CAでドップラ, コード先頭を推定し, FFTによりShortコードの位相=LEXメッセージを求める.

### (\*) Definition of Code shift Keying (CSK) Modulation

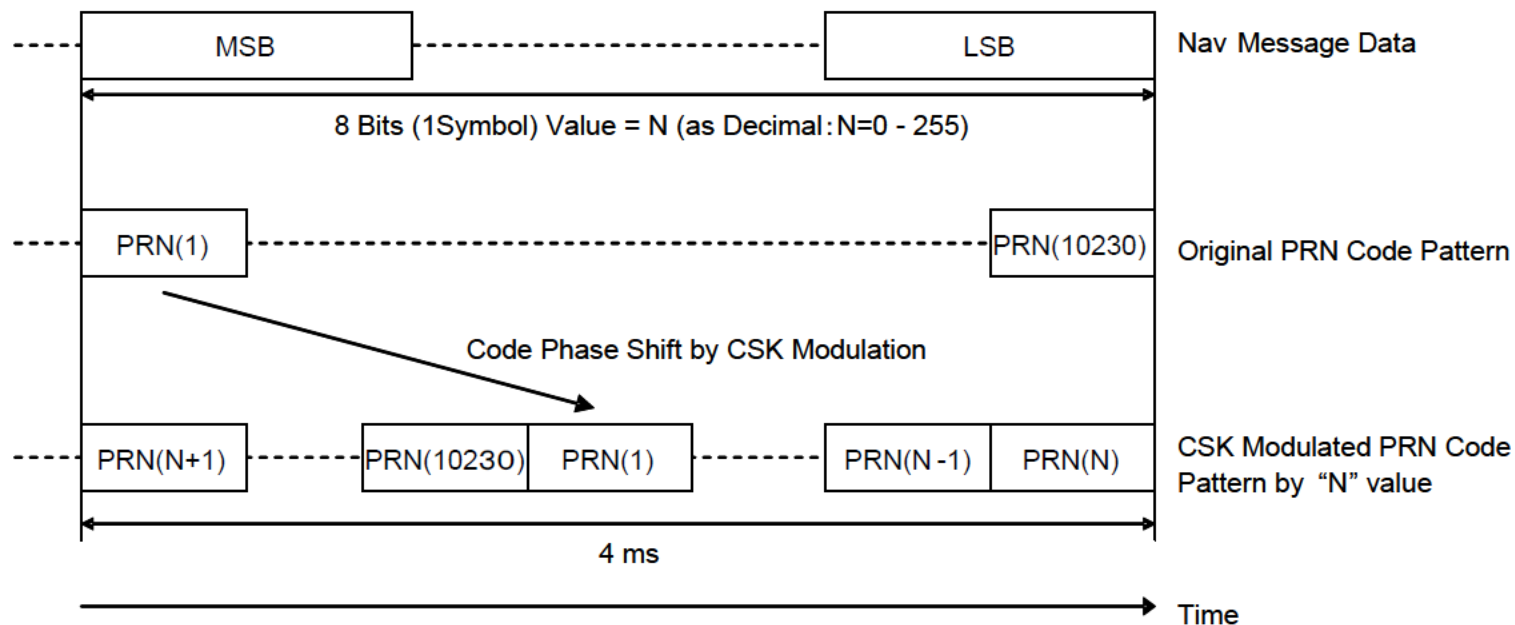
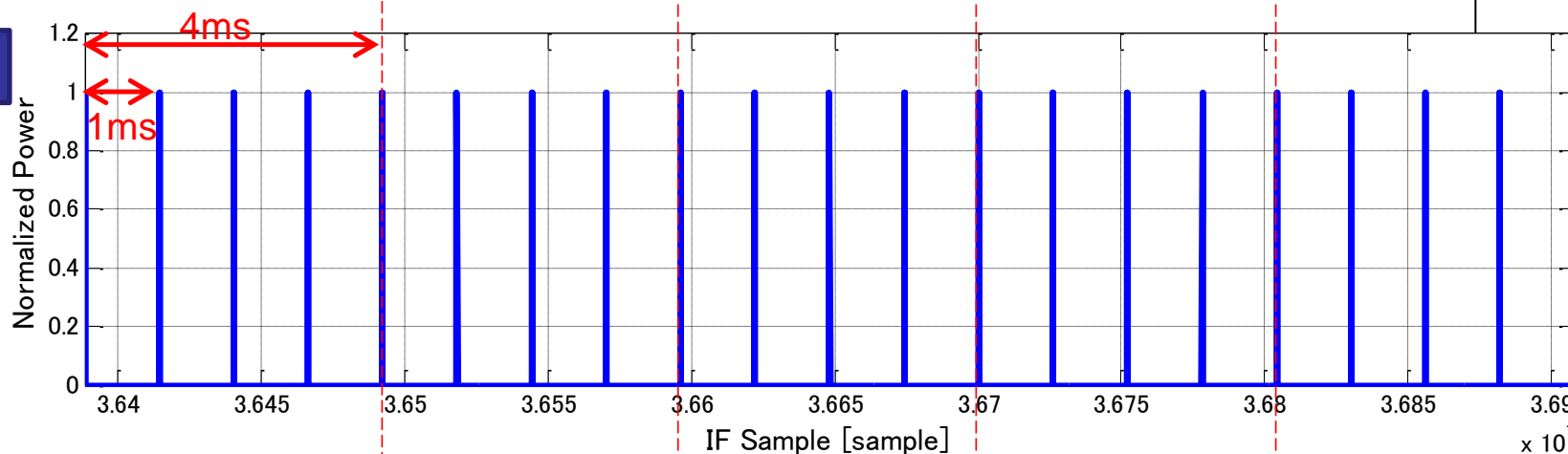


図5.7.1-1 IS-QZSS v.1.5

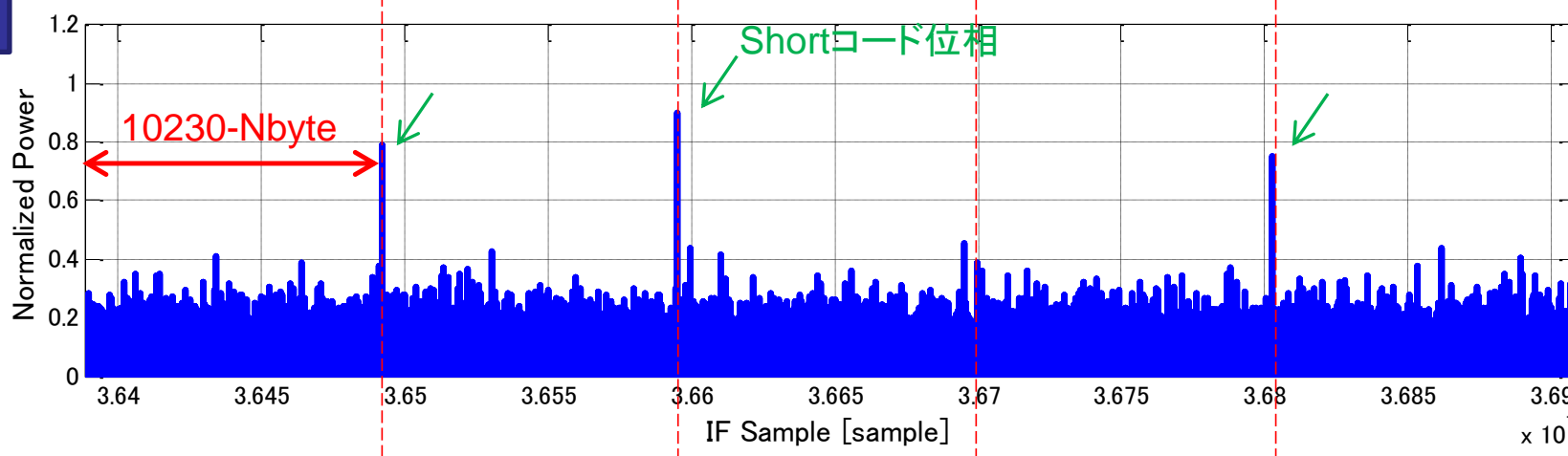
# LEXの捕捉



L1CA



Short



- L1CAとLEX Shortコードの位相差からLEXメッセージがデコード可能なことを確認

GNSS-SDR - Microsoft Visual Studio

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) プロジェクト(P) ビルド(B) デバッグ(D) チーム(M) データ(A) ツール(T) テスト(S) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)

Debug x64 cnt

ソリューション エクスプレンド

ソリューション 'GNSS-SDR' (1)

- lib
  - fec
  - fft
  - rtklib
    - rtnex.c
    - rtcm.c
    - rtcm2.c
    - rtcm3.c
    - rtcm3e.c
    - rtkcmn.c
    - rtklib.h
  - rcv
    - stereo
      - stereo.c
      - stereo.h
    - src
      - sdr.h
      - sdrcmn.c

sdrlx.c | sdrcmn.c | sdrnav.c | stereo.h | sdrrcv.c | sdrfunc.c | sdr.h | sdrmain.c

(グローバルスコープ) lexthread(vo

```

98 memcpy(&lexmsg[0],&lexmsg[1],LENLEXMSG-1); /* shift to left */
99 lexmsg[LENLEXMSG-1]=corri; /* add last */
100
101 /* preamble search */
102 state=0;
103 for (i=0;i<LENLEXPRES;i++) state+=abs(lexmsg[i]-lexpre[i]);
104 //printf("state=%d\n",state);
105 if ((!flag&&state==0)|| (flag&&cnt%250==0)) {
106 /* reed solomon */
107 memset(&rsmg,0,LENLEXRS);
108 memcpy(&rsmg[9],&lexmsg[LENLEXPRES],LENLEXRS-9);
109
110 /* RS decode */
111 nerr=decode_rs_ccsds(&rsmg,errloc,0,0);
112 if (nerr>0&&nerr<=LENLEXERR) printf("RS correct %d errors\n",nerr);
113
114 /* correct lex message */
115 memcpy(&lexmsg[LENLEXPRES],&rsmg[9],LENLEXRSK-9);
116
117 /* send */
118 sendbuf[0]=0xAA; /* sync code1 */
119 sendbuf[1]=0x55; /* sync code2 */
120 setbitu(sendbuf,2*8,4*8,ROUND(sdrch[lexch].trk.tow*1000)); /* tow
121 setbitu(sendbuf,6*8,2*8,1730); //sdrch[lexch].nav.eph.week); /* GP
122 memcpy(&sendbuf[8],lexmsg,LENLEXMSG-LENLEXRSK); /* LEX message */
123 if (soc.fflag)
124 send(soc.c_soc,(char*)sendbuf,LENLEXRCV,0);
125
126 (!flag) {
127 cnt=0;
128 flag=ON;

```

QZ-radar

ファイル(F) 設定(S) ヘルプ(H)

2013年3月9日 18時43分19秒 第706週

緯度 35.695 経度 139.741 高度 100.00(都市名 東京(小金井) サロベツ)

リセット

設定

マスキング なし (海洋)

マスキング角度 0

都市 山間

衛星表示  QZSS  GPS

DOP プロファイル

スライダー 時間幅 ±12.0 時間

【DOP情報】  
GDOP: 1.55, HDOP: 0.76, VDOP: 1.16

【衛星情報】

G[1]:	Azimuth -161.21, Elevation 43.31, Doppler 35.17
G[5]:	Azimuth 139.12, Elevation 14.51, Doppler 3426.17
G[9]:	Azimuth 42.01, Elevation 41.54, Doppler 2726.45
G[12]:	Azimuth 165.92, Elevation 19.40, Doppler -3568.36
G[15]:	Azimuth 46.89, Elevation 59.27, Doppler 934.81
G[18]:	Azimuth -49.23, Elevation 44.89, Doppler -2501.53
G[21]:	Azimuth -104.62, Elevation 32.36, Doppler 1043.60
G[22]:	Azimuth -45.75, Elevation 12.60, Doppler -3328.76
G[24]:	Azimuth -107.60, Elevation 81.43, Doppler -361.02
G[26]:	Azimuth 74.07, Elevation 22.11, Doppler 2767.57

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
timer:997ms
timer:1000ms
timer:1000ms
timer:997ms
*** find preamble! J01 7763 206455835 ***
J01 sfn=5 tow=536520.0 week=0
timer:1000ms
timer:999ms
timer:1000ms
timer:997ms
timer:1000ms
timer:1000ms
J01 sfn=1 tow=536526.0 week=1730
timer:1000ms
timer:996ms
timer:1000ms
timer:999ms
timer:998ms

```

RTKNAVI ver.2.4.2 b10: RTK Monitor

(3) Correction X || LEX Receiver Close

RTKNAVI ver.2.4.2 b10

2013/03/09 04:57:50.0 GPST

Lat/Lon/Height Rover SNR (dBHz)

Solution:

N: 0° 00' 00.0000"

E: 0° 00' 00.0000"

He: 0.000 m

N: 0.000 E: 0.000 U: 0.000 m

Age: 0.0 s Ratio: 0.0 # of Sat: 0

05 09 12 15 18 21 22 24 26

Start Stop Plot... Options... Exit



- 新しい信号L1C, LEXを放送
- L1CのCNAV-2のデコードはかなり大変
  - CNAV-2をデコードする必要性？
- L2C, L5のCNAVのデコードはViterbiデコーダを利用
- LEXはL1CA補助によりメッセージ復調可能
  - RTKLIBを用いてLEXリアルタイムPPPを実現



- 大学での研究目的のために、マルチバンド・マルチGNSSソフトウェア受信機の開発を進めている
- ソフトウェア受信機は、新しい信号の評価や、トラッキングやマルチパスの解析などの研究用途に非常に有用
- GPSからマルチGNSSへの拡張はそんなに難しい
- しかし、ナビゲーションデータのデコードは少し大変







# 補足資料1

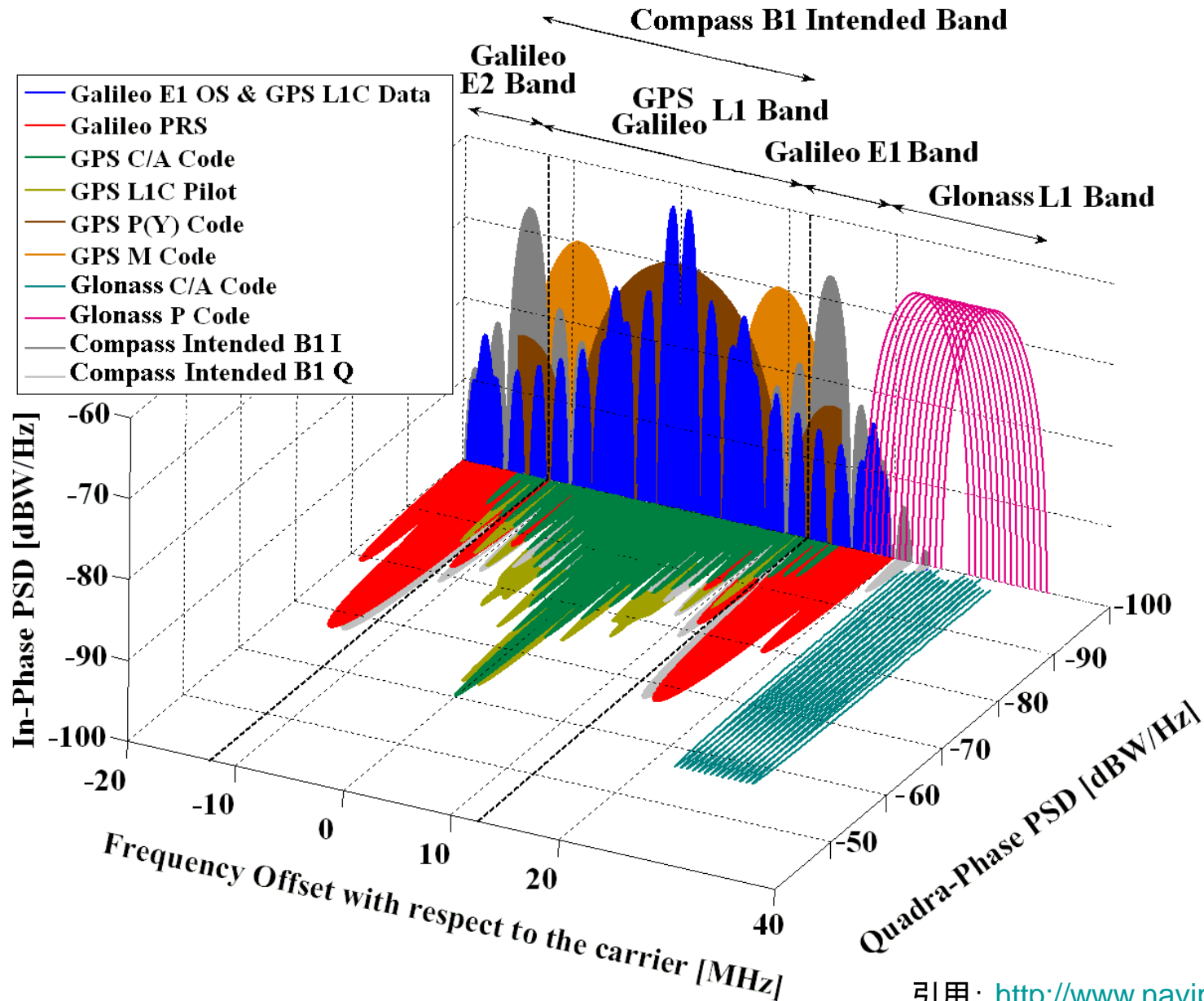
## 各衛星信号の詳細

# L1周辺信号詳細



GNSS	GPS/QZSS	QZSS		GALILEO		GLONASS	BeiDou
Service Name	C/A	L1C		E1		C/A (G1)	B1
Center Freq.	1575.42MHz	1575.42MHz		1575.42MHz		1602+ 0.5625K MHz	1561.098 MHz
Signal Component	Data	L1CD Data	L1CP Pilot	E1B Data	E1C Pilot	Data	Data
I/Q	Q	I	Q	I	Q	I	I
Band Width	2.046 MHz	4.096 MHz		24.552 MHz		1.002 MHz	2.046 MHz
Modulation	BPSK(1)	BOC(1,1)		CBOC(6,1,1/11)		BPSK	QPSK
Code Freq.	1.023 MHz	1.023 MHz		1.023 MHz		0.511 MHz	2.046 MHz
Code Chips	1023	10230		4092		511	2046
Code Length	1ms	10ms	10ms (1.8s)	4ms	4(100) ms	1ms	1ms
Nav. Data	NAV	CNAV-2	-	I/NAV	-	NAV	D1/D2 NAV
Min. Received Power	-158.5 dBW	-163.0 dBW	-158.25 dBW	-163.0 dBW	-158.25 dBW	-161.0 dBW	-163.0 dBW

# L1周边PSD

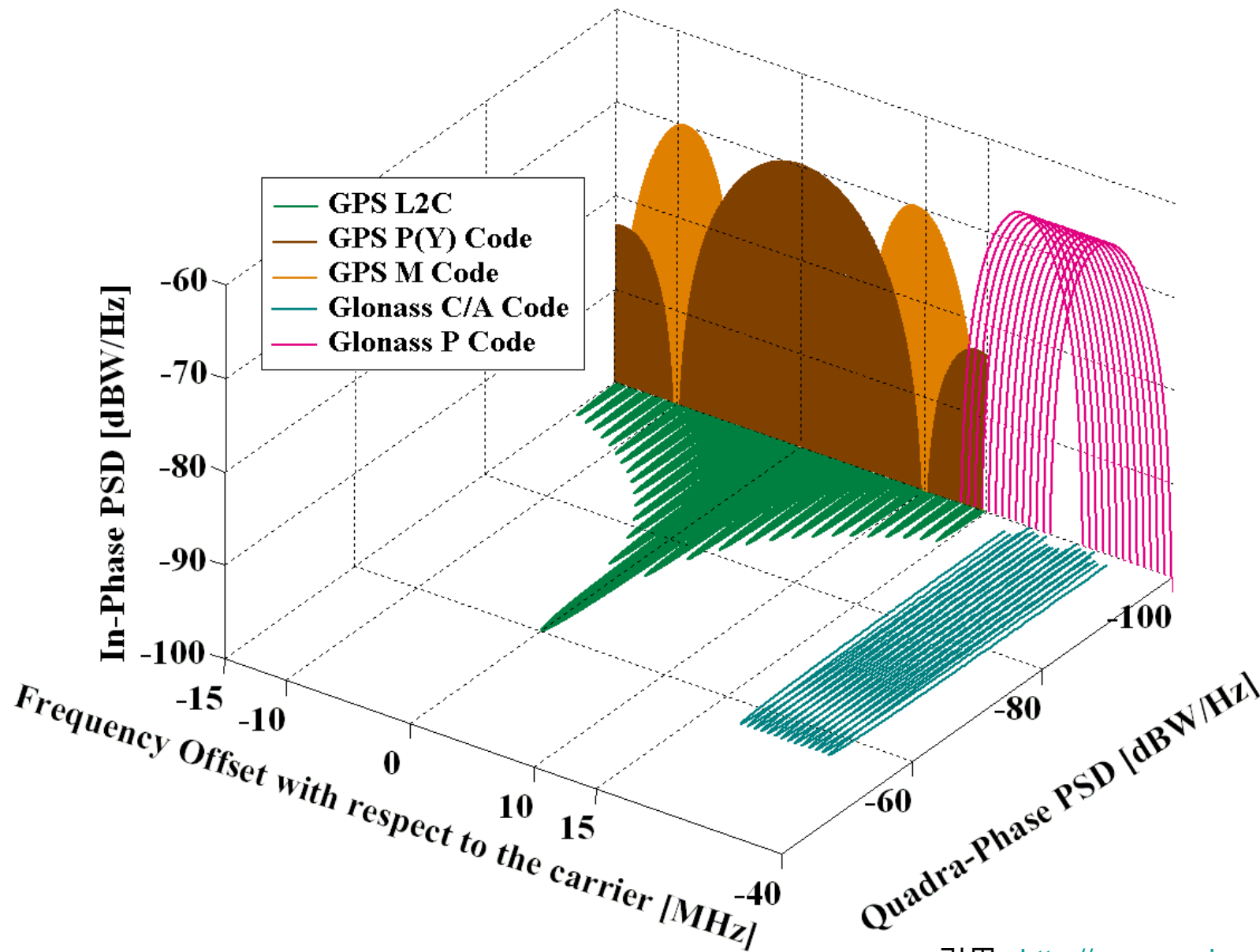


# L2周辺信号詳細



GNSS	GPS/QZSS		GLONASS
Service Name	L2C		C/A (G2)
Center Freq.	1227.60MHz		1246+ 0.4375K MHz
Signal Component	L2CM Data	L2CL Pilot	Data
I/Q	I		I
Band Width	2.046 MHz		1.022 MHz
Modulation	BPSK		BPSK
Code Freq.	0.5115 MHz		0.511 MHz
Code Chips	10230	767250	511
Code Length	20ms	1.5s	1ms
Nav. Data	CNAV	-	NAV
Min. Received Power	-160.0 dBW		-167.0 dBW

# L2周边PSD

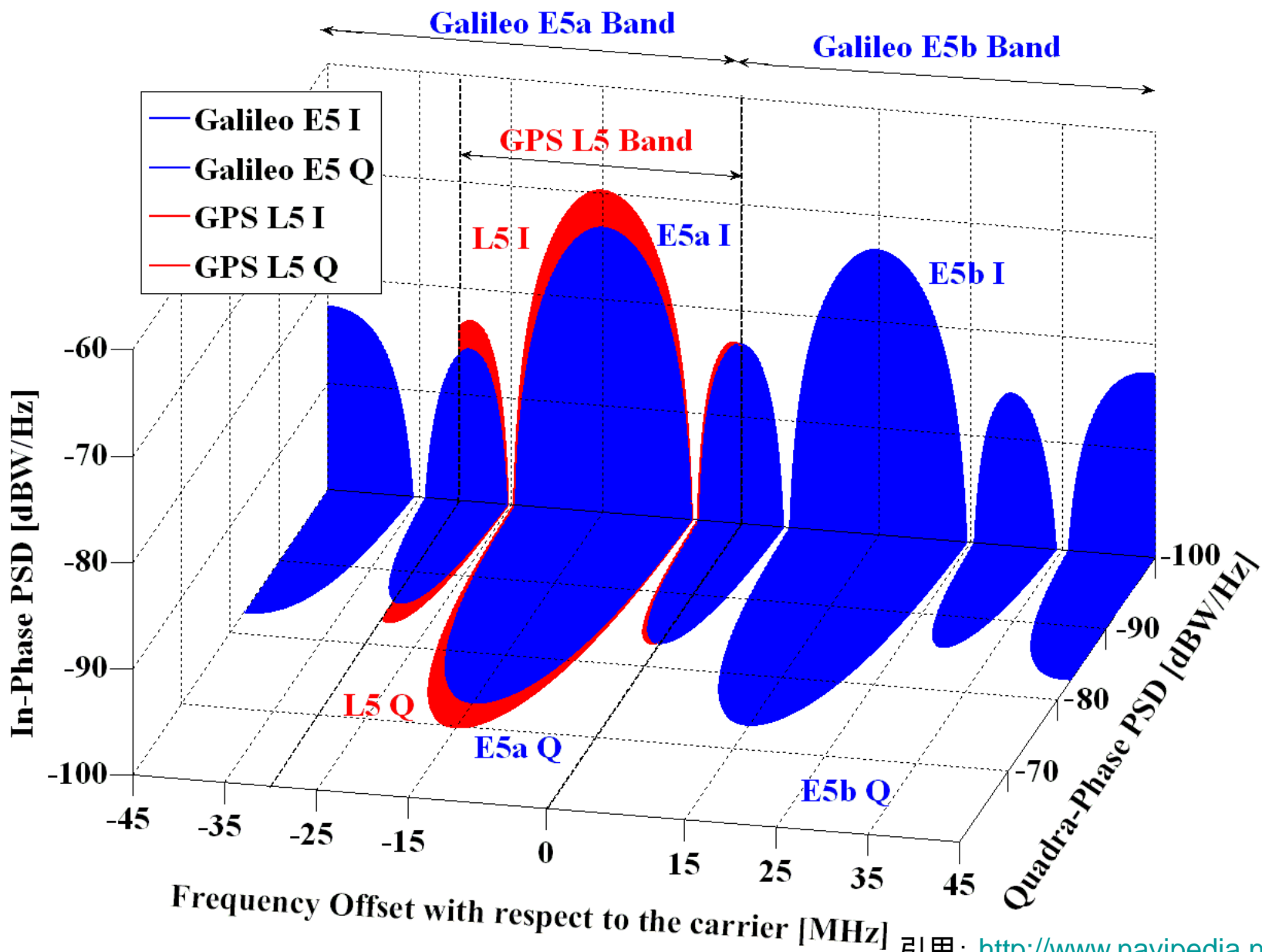


# L5周辺信号詳細



GNSS	GPS/QZSS		GALILEO		GALILEO	
Service Name	L5		E5a		E5b	
Center Freq.	1176.45MHz		1176.45MHz		1207.14MHz	
Signal Component	L5I Data	L5Q Pilot	E5aI Data	E5aQ Pilot	E5bI Data	E5bQ Pilot
I/Q	I	Q	I	Q	I	Q
Band Width	20.46 MHz		20.46 MHz		20.46 MHz	
Modulation	BPSK(10)		BPSK(10)		BPSK(10)	
Code Freq.	10.23 MHz		10.23 MHz		10.23 MHz	
Code Chips	10230		10230		10230	
Code Length	1(10) ms	1(20) ms	1(20) ms	1(100)ms	1(4) ms	1(100) ms
Nav. Data	CNAV	-	F/NAV	-	I/NAV	-
Min. Received Power	-157.9 dBW	-157.9 dBW	-155.0 dBW	-155.0 dBW	-155.0 dBW	-155.0 dBW

# L5周边PSD





# E6周辺信号詳細



GNSS	QZSS	
Service Name	LEX	
Center Freq.	1278.75MHz	
Signal Component	Short (Data)	Long (Pilot)
I/Q	I	
Band Width	42.0 MHz	
Modulation	BPSK(5)	
Code Freq.	0.5115 MHz	
Code Chips	10230	1048575
Code Length	4ms	410ms
Nav. Data	LEX	-
Min. Received Power	-155.7 dBW	



# 捕捉資料2

## 各ナビゲーションデータの の一覧

# 各ナビゲーションデータの詳細



Band	System	Signal	Nav. Type	Rate	Encode	Comment
L1	GPS/QZS	L1CA	NAV	50 bps, 300 bits 6 sec.	なし	
		L1C	CNAV-2	100 bps, 1800 bits 18 sec.	BCH+LDPC+インターリーブ	プリアンブル無し, セカンダリコード有り
	GALILEO	E1	I/NAV	125 bps, 250 bits 2 sec.	½畳込み +インターリーブ	セカンダリコード有り
	GLONASS	G1	NAV	50 bps, 100 bits 2 sec.	なし	
	BeiDou	B1	D1/D2 NAV	50 bps, 300 bits 6 sec.	BCH+インターリーブ	セカンダリコード有り
L2	GPS/QZS	L2C	CNAV	25 bps, 300 bits 12 sec.	½畳込み	
	GLONASS	G2	NAV	50 bps, 100 bits 2 sec.	なし	
L5	GPS/ QZS	L5	CNAV	50 bps, 300 bits 6 sec.	½畳込み	セカンダリコード有り
	GALILEO	E5a	F/NAV	25 bps, 250 bits 10 sec.	½畳込み +インターリーブ	セカンダリコード有り
	GALILEO	E5b	I/NAV	125 bps, 250 bits 2 sec.	½畳込み +インターリーブ	セカンダリコード有り



# 補足資料3

## BOC信号トラッキング

# BOC信号トラッキング(1)



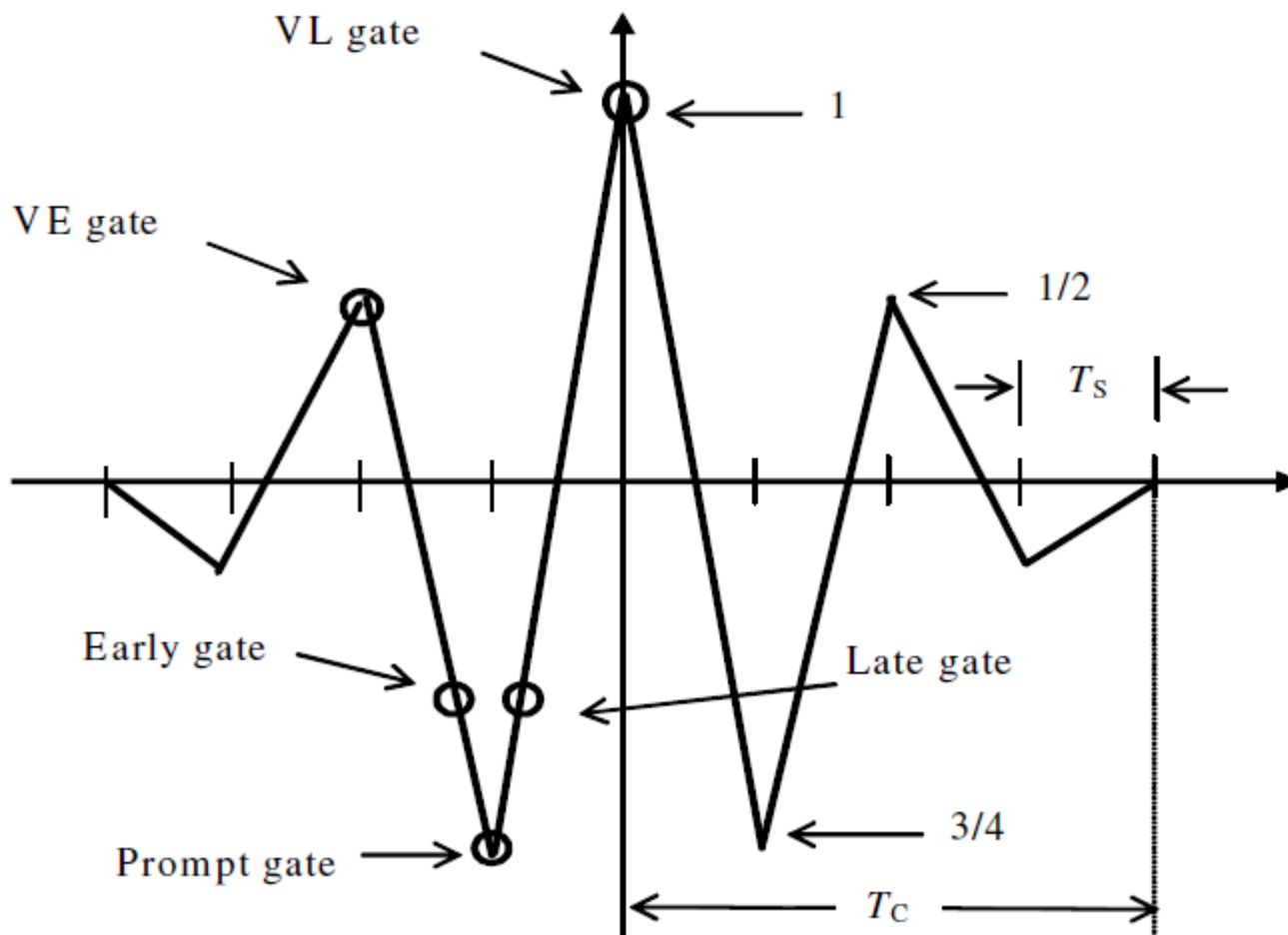
手法	論文	特徴	○	×
Single Sideband (SSB)	The Offset Carrier Modulation for GPS Modernisation, 1999	BOC信号のメインローブだけを通過させるフィルタを用いる手法. 様々な拡張あり.	フィルタ後は通常のDLLでOK.	フィルタ, ADCの追加などが必要. 既存の受信機では難しい. 相関計算が増える.
Bump-Jumping (BJ)	Tracking algorithm for GPS offset carrier signal, 1999	VE, VLの2つの相関器を追加することによりBOCのトラッキング状態を監視.	実装が簡単. Sensibility Lossが少ない.	複数回のジャンプが必要な場合には収束までに時間が掛かる. ノイズ環境で信頼性に課題.
Multiple-Gate Discriminators (MGD)	Unambiguous Tracker for GPS Binary-Offset Carrier Signals, 2003	複数の相関器を組み合わせたDiscriminatorにより相関カーブを調整.	Sensibility Lossが少ない.	収束までに時間が掛かる. 相関計算が非常に増える.
Autocorrelation Side-Peak Cancellation Technique (ASPeCT)	ASPeCT: unambiguous sine-boc(n,n) acquisition/tracking technique for navigation applications, 2007	コードレプリカ, ローカルコードとの2回相関をとりその線形結合によりサイドピークをキャンセル. 様々な拡張あり.	信頼性が高い.	相関計算が増える. ジッタが入る場合も.
Double Estimator (DE)	Double estimator—a new receiver principle for tracking BOC signals, 2008	サブキャリアをトラッキングするSLLを追加することにより, サイドピークを削除した通常のDLLで追尾.	マルチパス耐性が良い. ノイズに強い. DLLへの変更が少ない.	トラッキンググループが増える.

# BOC信号トラッキング(2)



## Bump-Jumping (BJ)

- ① VE, VLの相関器を追加
- ② VE, VLのカウンタによりトラッキング状態を監視し, サイドローブを追尾した場合にはメインローブへジャンプ

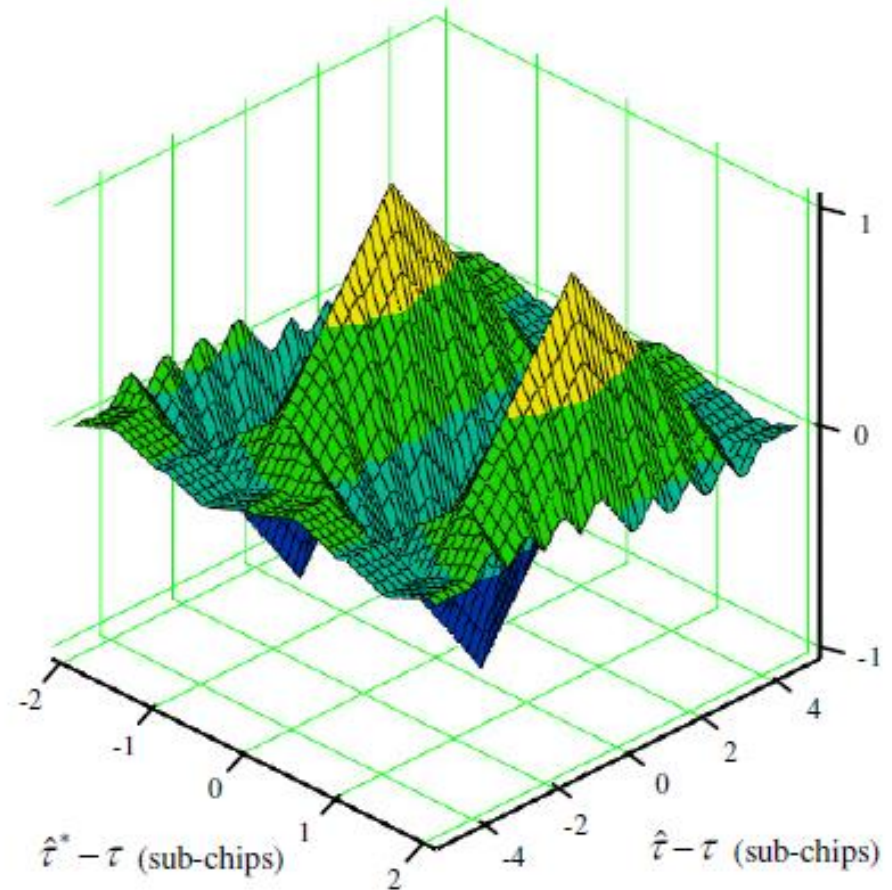
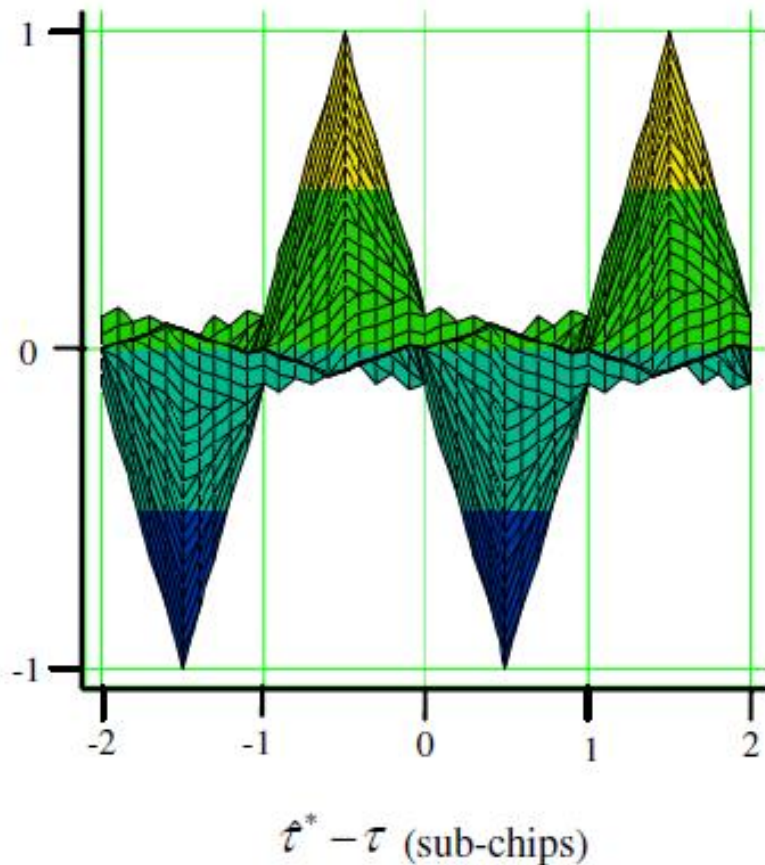


# BOC信号トラッキング(3)



## Double Estimator (DE)

- ① サブキャリアのトラッキンググループ(SLL)を追加
- ② サブキャリアを追尾した後に, サブキャリアのディレイを用いてコードをトラッキング





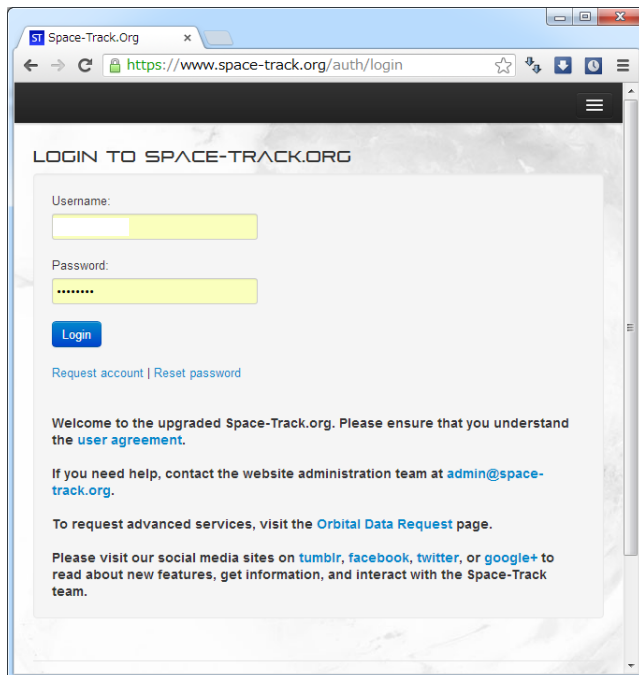
# 補足資料4 RTKPLOTによる 可視衛星予測



# 手順①



- RTKLIBをダウンロード(<http://www.rtklib.com/>)
  - 2.4.2 beta6 以上のバージョン
- 最新のTLE (Two Line Elements)を手に入れる
  - 2行軌道要素形式, アルマナックのようなもの
  - 有効期間数週間～数ヶ月?
  - 古いTLEはRTKLIB (rtklib\data\TLE\_GNSS\_20xxxxxx.txt)にも同梱

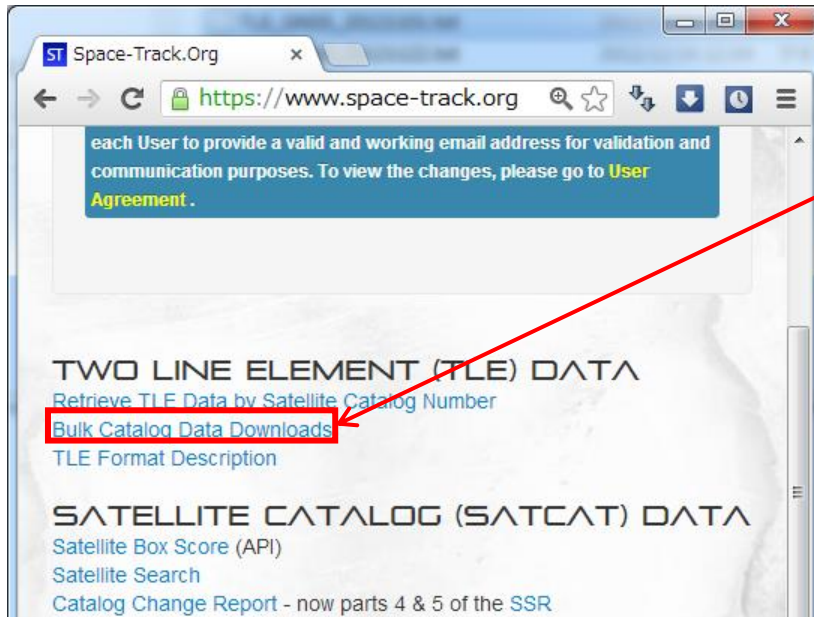


- Space Trackにアクセス (<https://www.space-track.org>)
- 初回はアカウントを作成する必要がある

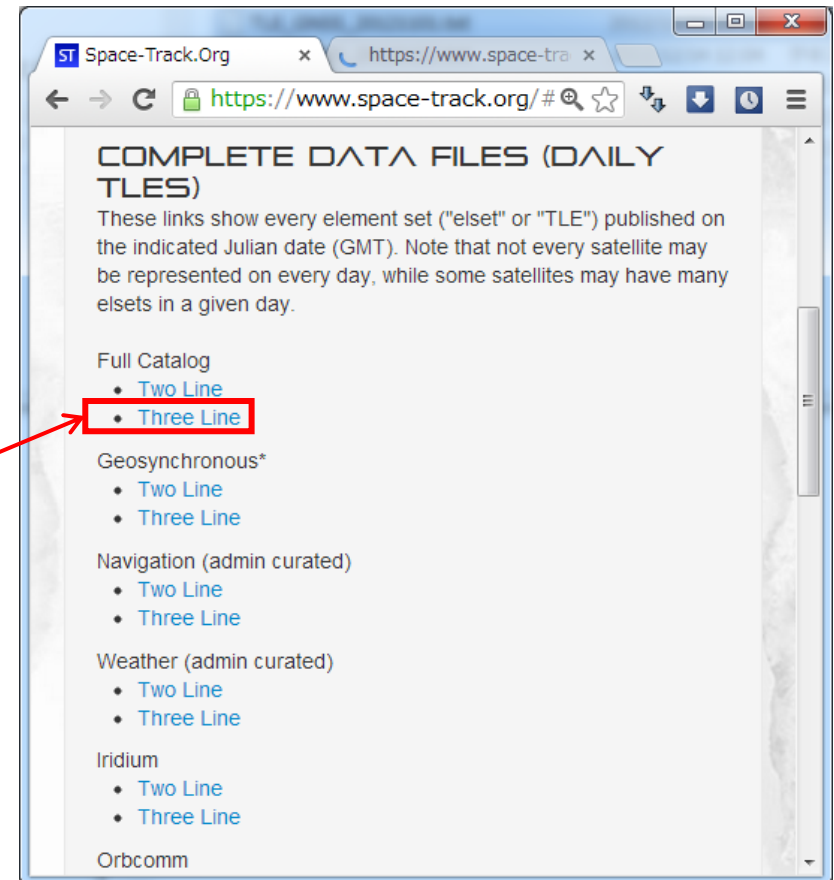
## 手順②



### ■ 最新のTLEを手に入れる(続き)



### ■ ログイン後Bulk Catalog Data Downloadsをクリック



### ■ Full Catalog->Three Lineをクリックしてtxtデータとして保存

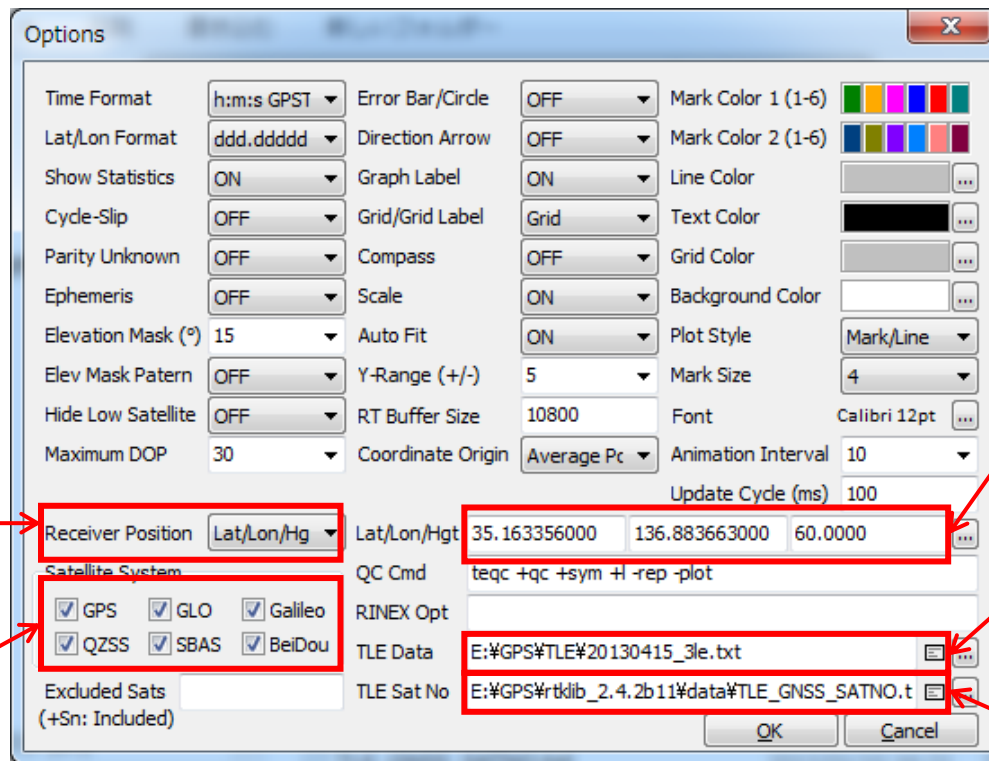
### ■ Three Line(衛星名が1行入っている)とTwo Lineを間違えないこと

# 手順③



## ■ RTKPLOTの設定

### ■ rtkplot.exeを起動, Edit->optionsを表示



Lat/Lon/Hgt  
に変更

全ての衛星に  
チェック

衛星を予測する  
点の概略位置  
を入力

ダウンロードした  
TLEデータを  
指定

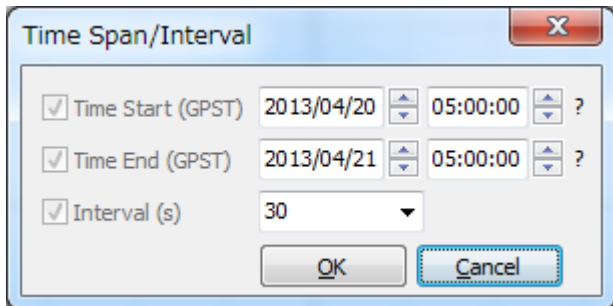
TLEとPRNの  
対応付けが記  
入されたファイル  
を指定

rtklib/data/TLE\_GNSS\_SATNO.txt

# 手順④



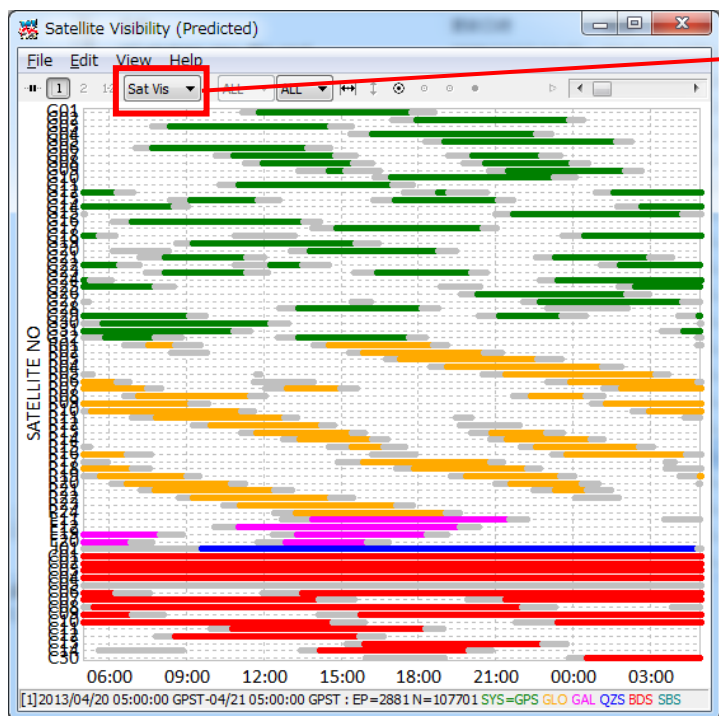
## ■ File->Visibility Analysisを選択



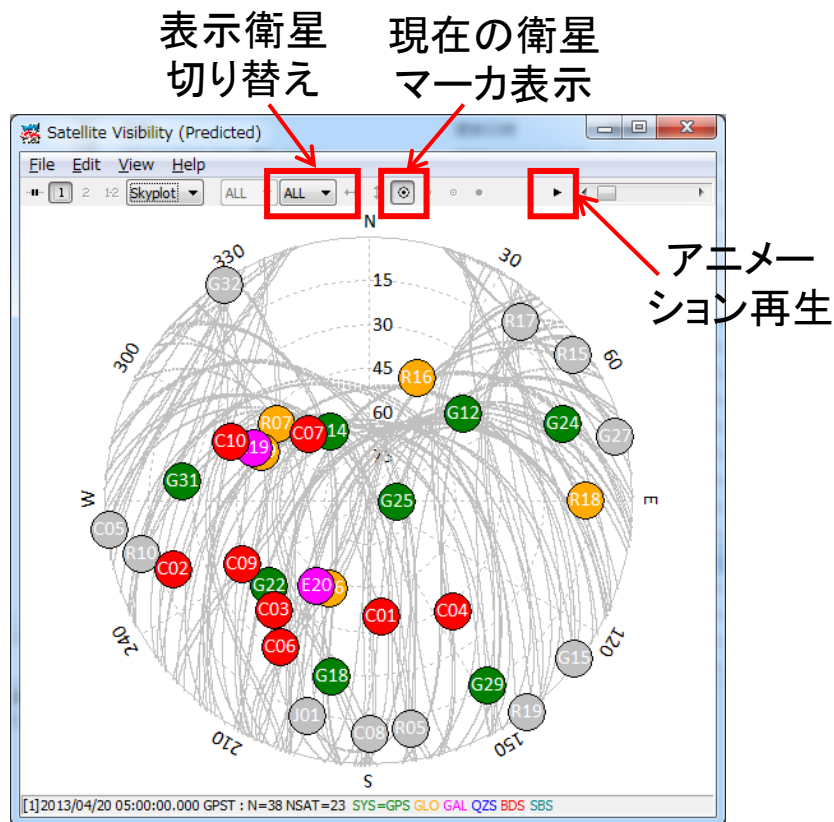
- 予測開始・終了時間を指定(日本時間ではなくGPSTに注意)

- 計算間隔を設定(sec)

## ■ OKで計算開始, 自動描画



Skyplot  
に変更



表示衛星  
切り替え

現在の衛星  
マーカ表示

アニメーション再生



# 補足資料5

## セミナー用ソースコード



## マルチGNSSの信号捕捉のデモ

- sdrseminar.sln, VS2010でプロジェクト生成
- sdrcode.c, 測距コード生成用ソースコード
  - 全衛星全信号対応
- sdrfunc.c, 信号捕捉用の関数
- sdrplot.c, グラフ描画関数 (gnuplot利用)
- sdrmain.c, メイン関数
- sdr.h, 各種設定

# テスト用のIFデータ



## ■ Rawディレクトリ

### ■ フロントエンド, NSL Stereo 100msのIFデータ

【L1帯信号(MAX2769)を利用】

**l1.dat** (1575.45 MHz)

**b1.dat** (1561.098 MHz)

**g1.dat** (1561 MHz)

2ビット**Iサンプリング** サンプリング:26MHz **IF:6.5Mhz**

【L帯信号(MAX2112)を利用】

**l2.dat** (1227.6 MHz)

**g2.dat** (1246 MHz)

**l5.dat** (1176.45 MHz)

**e5b.dat** (1207.14 MHz)

3ビット**IQサンプリング** サンプリング:26MHz **IF:0Mhz**



# 補足資料6

## 参考HP・文献





- <http://taroz.net>
  - 鈴木太郎, SDRの情報を公開中, ソースコードなども公開予定
- <http://gpspp.sakura.ne.jp>
  - 高須, 測位衛星による高精度測位技術の研究開発, RTKLIBの開発
- <http://blog.goo.ne.jp/osqzss>
  - 海老沼, OSQZSS, SDR, FPGA受信機の情報有り
- <http://gnss-sdr.ru/>
  - GLONASS-SDRの開発, GLONASSのトラッキングのソースコードサンプル有.
- <https://github.com/gps-sdr>
  - リアルタイムで動くC++で書かれた, GPS L1CAのプログラム.
- <http://gnss-sdr.org/>
  - リアルタイムで動くC++で書かれたSDR. GNU Radioを利用.
- <http://igs.org/mgex/>
  - マルチGNSSに関する様々な情報有り.
- <http://www.navipedia.net>
  - GNSS版のwikipedia.

# 参考文献



- 平成23年 測位航法学会 全国大会 セミナーソースコード, 久保信明, 2011
- 平成24年 測位航法学会 全国大会 セミナー資料「GNSS受信機の概要」, 荒井修, 2012
- Kai Borre, et. al, A Software-Defined GPS And Galileo Receiver: A Single-Frequency Approach, 2007
  - MATLABによるSDRソースコード
- Scott Gleason, et. al, GNSS applications and methods, 2009
  - C言語によるL1C, L2C, L5のコード作成サンプル有
- Elliott D. Kaplan, Christopher Hegarty , Understanding GPS: Principles And Applications, 2005
  - ループフィルタの設計の情報など
- Tsui , Fundamentals of Global Positioning System Receivers: A Software Approach, 2004
  - ソフトウェア受信機に関する概要, 非常に参考になる