

ソフトウェアGPS + SBAS受信 機の開発

電子航法研究所

通信・航法・監視領域

近藤俊一郎

星野尾一明

項目

- 背景 (SBAS、電離層シンチレーション)
- ソフトウェア受信機
- 信号追尾ループ
- シンチレーション影響
- まとめ
- 今後の方針

背景 (SBAS)

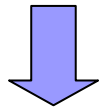
- ICAO(国際民間航空機関)が規格化した広域ディファレンシャルGPS方式による補強システム
 - 大陸規模で有効な補強情報を静止衛星から放送
 - GPSと同一のアンテナ、受信回路で補正情報やインテグリティ情報が得られる

- MSASについて
 - 昨年2月にMTSAT-1R (PRN129) 今年2月18日にMTSAT-2 (PRN137) を打ち上げ、現在試験中

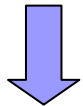
背景 (電離層シンチレーション)

- プラズマバブルによる電離層の局地的な不規則性によって、GPS信号の信号強度、位相が急激に変化する現象

精度の劣化、受信機内でのサイクルスリップ



位置情報が途切れる



GPSおよび補強システムの完全性(インテグリティ)、利用性(アベイラビリティ)、連続性(コンティニュイティ)に影響

背景(目的・アプローチ)

- 電離層シンチレーションに対する受信機のロバスト性の確保
 - シンチレーションが及ぼす搬送波追尾への影響の推定
 - 搬送波追尾ループの最適化
 - 信号解析によるロバスト性の検証

- GPS,SBAS対応のソフトウェア受信機
 - 搬送波追尾ループのフィルタ(雑音帯域幅)の調整
 - アルゴリズムの検討
 - バッチ処理で信号の解析

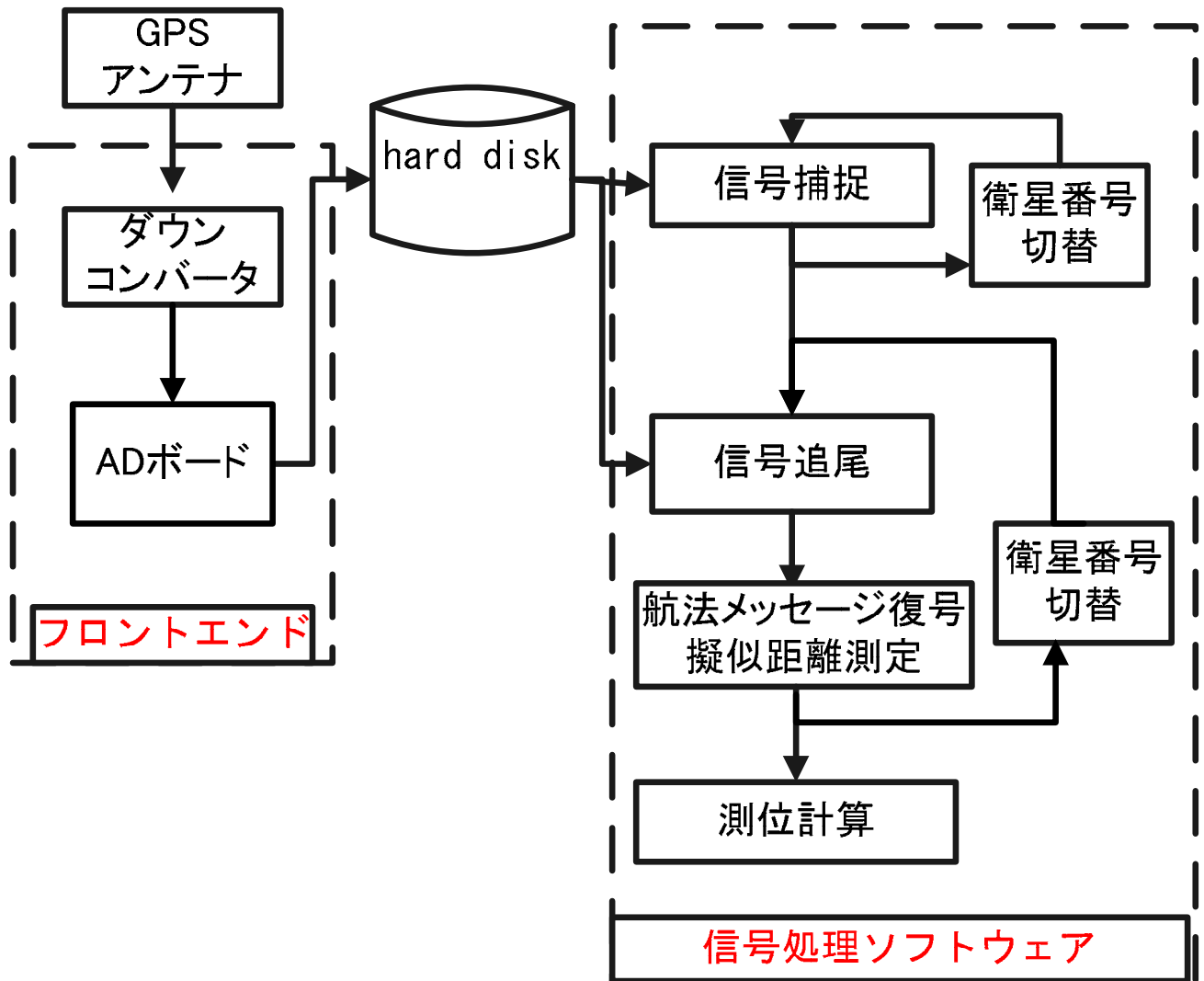
ソフトウェア受信機

■ フロントエンド

- ダウンコンバータ
- ADコンバータ

■ 信号処理ソフトウェア

- 信号捕捉
- 信号追尾
- 擬似距離測定
- 測位計算



フロントエンド

Dual Channel Downconverter (CRS社製)

周波数	1.57542GHz (L1) 1.2276GHz (L2)
IF (中間周波数)	13.991429MHz (L1) 13.60 (L2)
帯域幅	18MHz
ゲイン	65dB
REF 周波数	10MHz



PCDAQ (アイダックス社製)

サンプリング周波数	最大105MHz
分解能	14bit
チャンネル数	4ch
収集容量	最大1.44TB

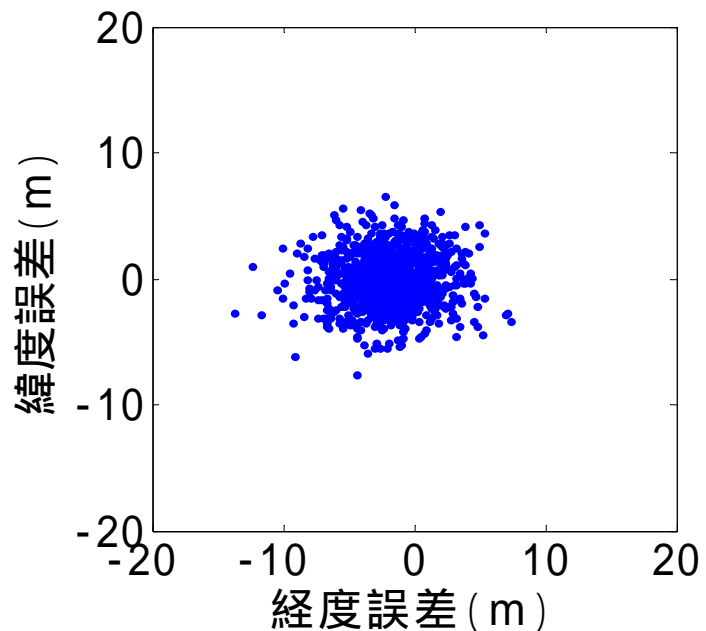
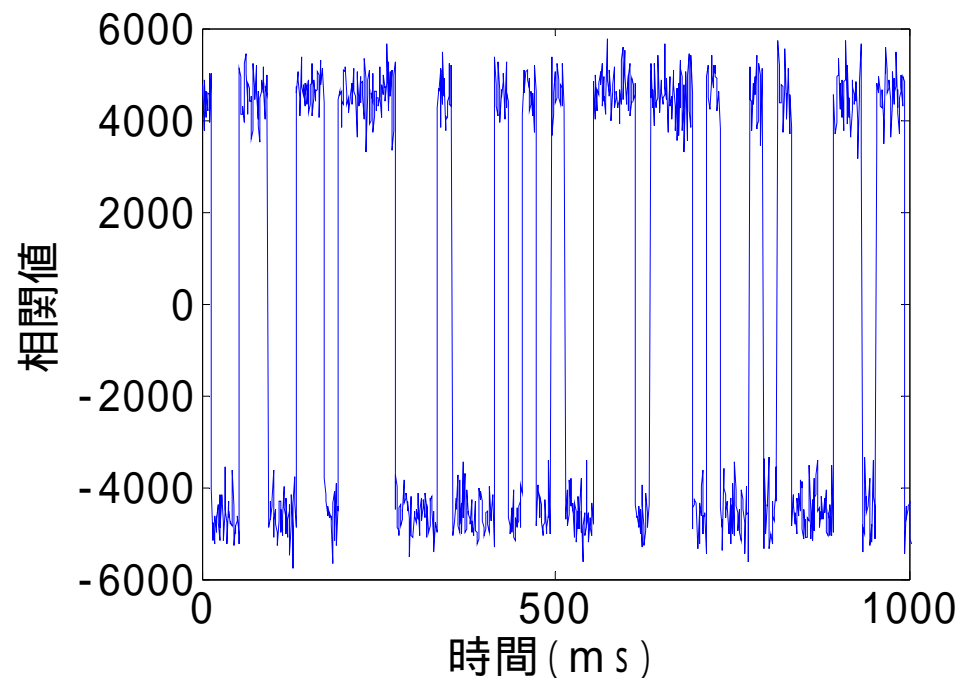
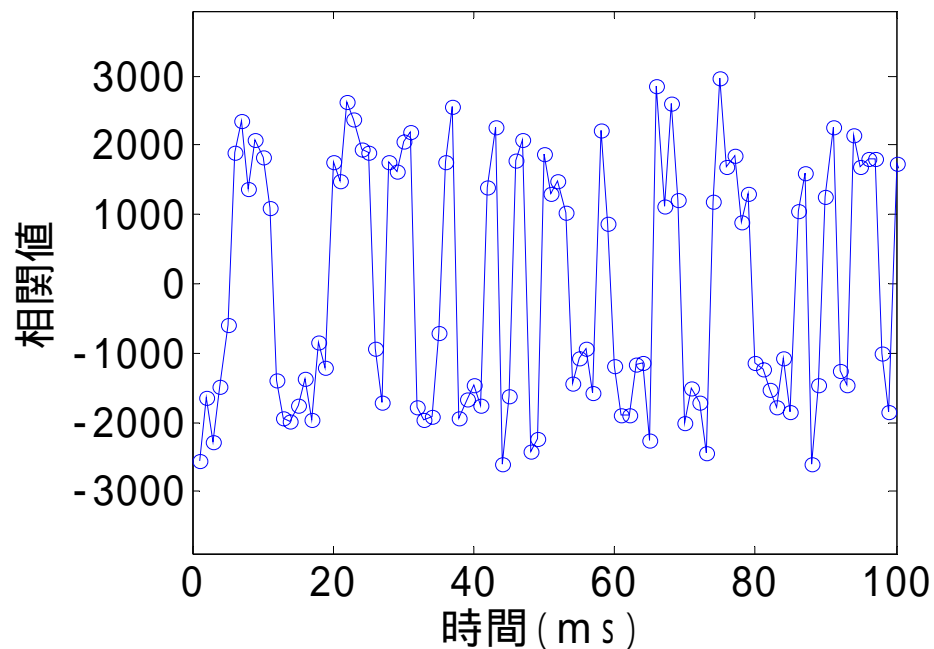


信号処理ソフトウェア(MATLAB)

- 信号捕捉(Acquisition): FFTベース
- 信号追尾(Tracking)
 - コード追尾ループ: DLL
 - 搬送波追尾ループ: PLL FLL
- 測位計算: 単独測位(最小二乗法)

	GPS	SBAS
信号捕捉	L1CAのみ	PRN:129,134,137
信号追尾	L1CAのみ	PRN:129,134,137
Decoding 復号	L1CAのみ	追加予定
擬似距離測定	L1CAのみ	追加予定

Performance



■ 追尾ループ出力

□ PRN14:46dB

□ PRN134:40dB

■ 単独測位結果

□ 2drms:5~10m

信号追尾ループ

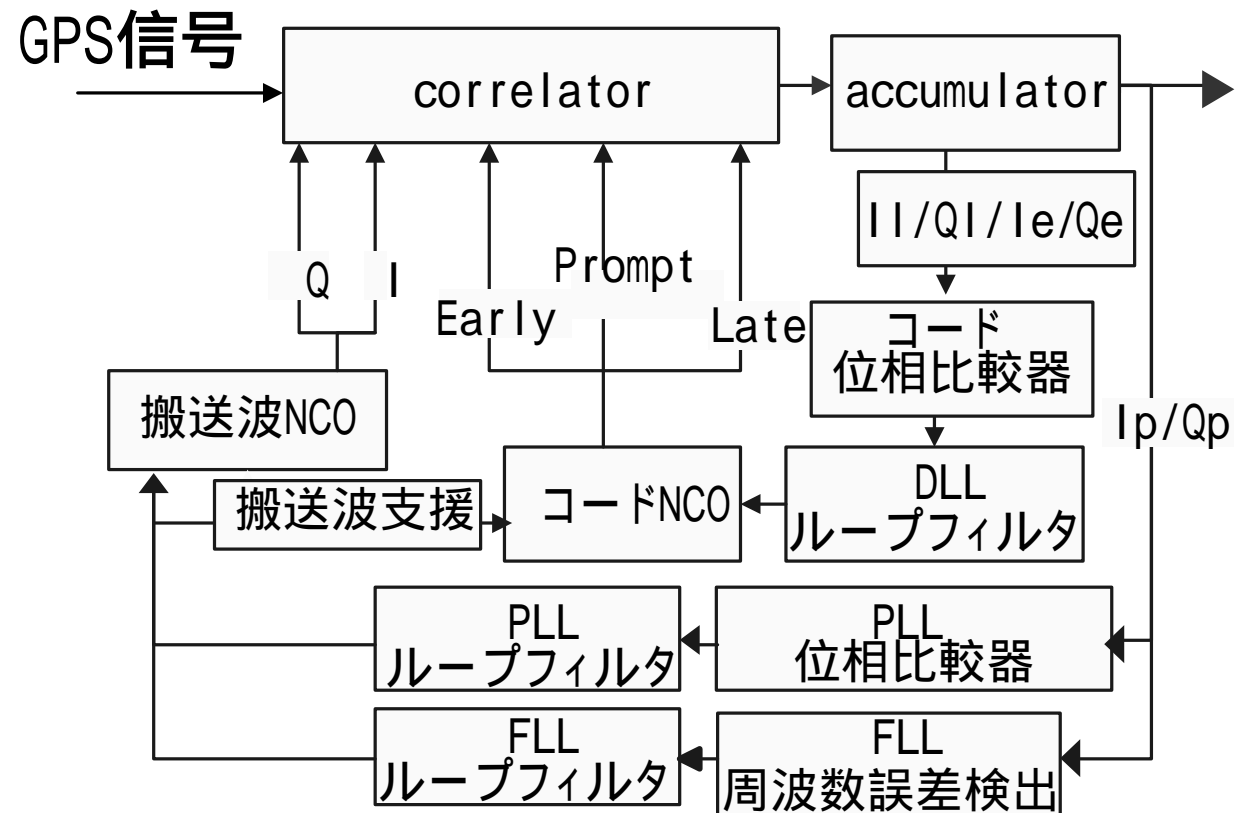
コード追尾ループ

DLL (2nd)

搬送波追尾ループ

PLL (3rd)

FLL (2nd)



PLL loop filter (Kaplan, 1996)

$$F(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 - 2z^{-1} + z^{-2}}$$

$$b_0 = \frac{T_{coh}^2 \omega_0^3}{4} + \frac{a_3^{(0)} \omega_0^2 T_{coh}}{2} + b_3^{(0)} \omega_0$$

$$b_1 = \frac{T_{coh}^2 \omega_0^3}{2} - 2b_3^{(0)} \omega_0$$

$$b_2 = \frac{T_{coh}^2 \omega_0^3}{4} - \frac{a_3^{(0)} \omega_0^2 T_{coh}}{2} + b_3^{(0)} \omega_0$$

$$a_3^{(0)} = 1.1 \quad b_3^{(0)} = 2.4 \quad \omega_0 = B_n / 0.7845$$

ω_0 : 自然周波数 T_{coh} : サンプル間隔

B_n : 雑音帯域幅

```
21 - Bn = 10*pi; %no
22 - W0 = Bn/0.7845;
23 - Tcoh = 1e-3;
24 - b0 = Tcoh*Tcoh*W0*W0*W0/4
25 - b1 = Tcoh*Tcoh*W0*W0*W0/2
26 - b2 = Tcoh*Tcoh*W0*W0*W0/4
```

```
21 - Bn = 18*pi; %nos
22 - W0 = Bn/0.7845;
23 - Tcoh = 1e-3;
24 - b0 = Tcoh*Tcoh*W0*W0*W0/4
25 - b1 = Tcoh*Tcoh*W0*W0*W0/2
26 - b2 = Tcoh*Tcoh*W0*W0*W0/4
```

シンチレーションの影響 (1/2)

- 位相分散
- 信号強度変化の分散

$$\sigma_{\phi} = \sqrt{E\langle\phi^2\rangle}$$

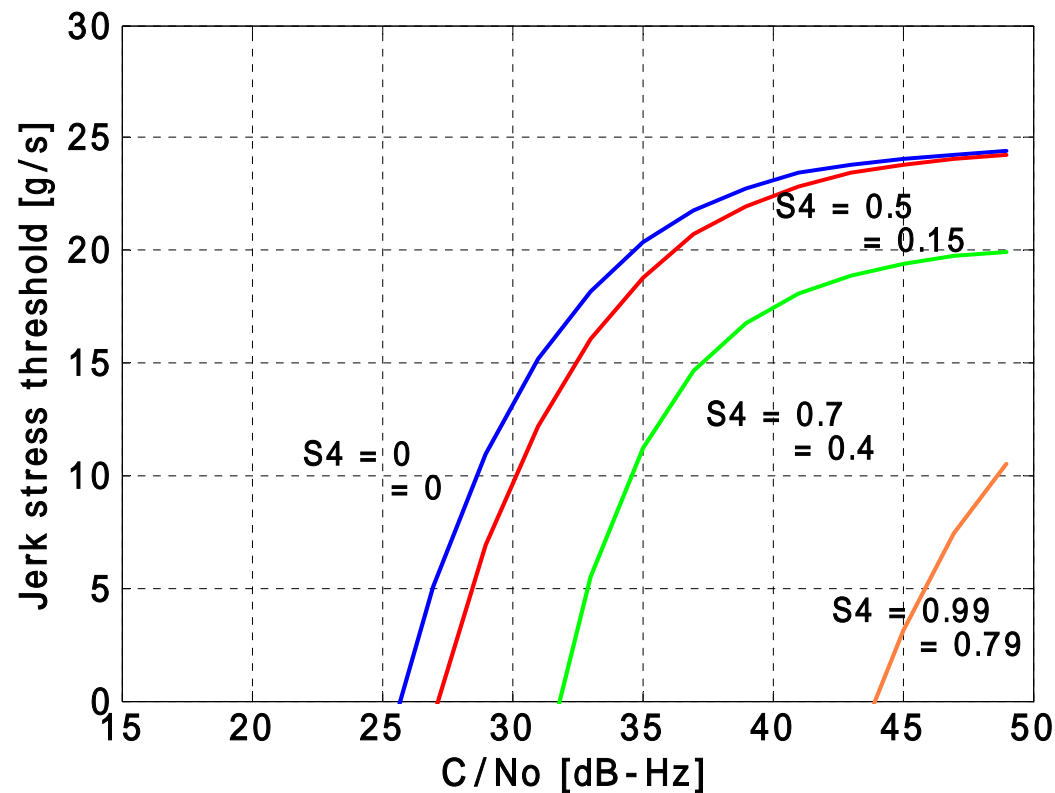
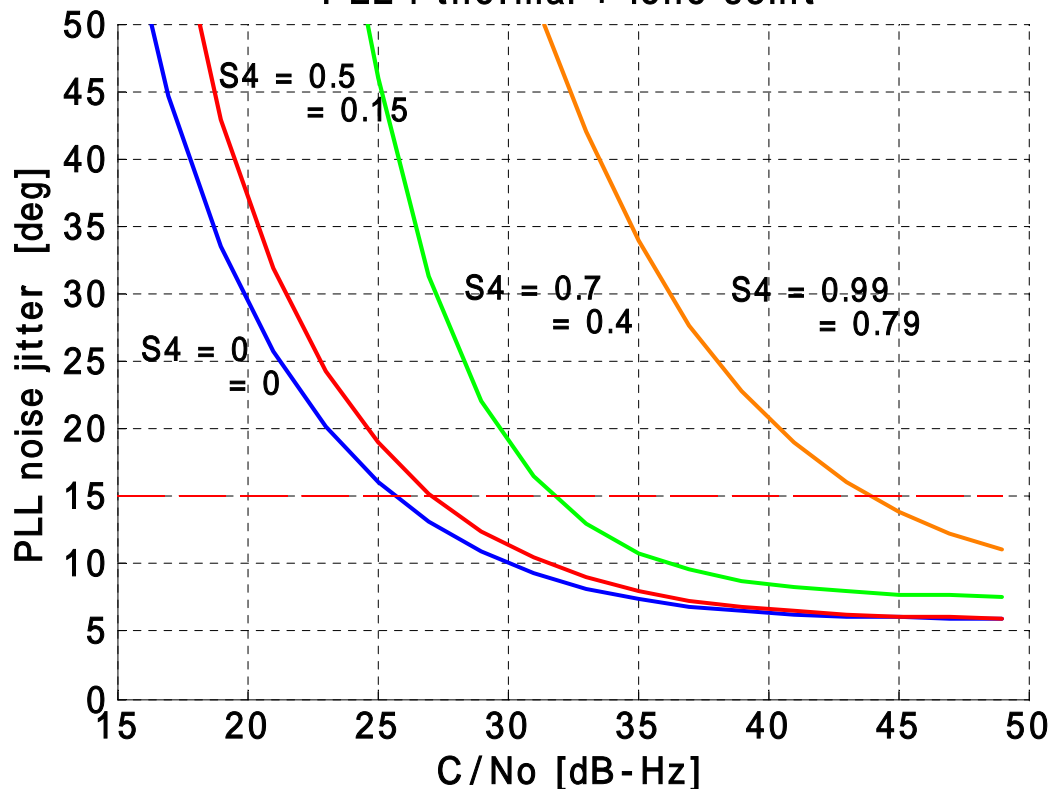
$$S_4 = \sqrt{\frac{E\langle SI^2\rangle - E\langle SI\rangle^2}{E\langle SI\rangle^2}}$$

$E\langle \rangle$: 期待値 ϕ : 搬送波位相 SI : 信号強度

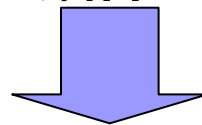
シンチレーション クラス	S4 at L1	(rad) at L1
強	1.0	0.8
中	0.7-0.75	0.4
弱	0.4-0.5	0.15
微弱	0.1	0.05

シンチレーションの影響(2/2)

PLL : thermal + iono scint



雑音帯域幅20Hz



ジッタの軽減には狭帯域
ダイナミックストレスには広帯域

まとめ

- ソフトウェア受信機によるシンチレーションへのロバスト性の検証は可能
- 精度への影響を検証するには残ったSBASモジュールの製作が必要
- ダイナミックストレス(衛星 - 受信機間)、シンチレーション(補強範囲)の最大値を考慮し、最適化な帯域を推定

今後の方針

- 雑音帯域幅の調整
- 雑音帯域幅の可変型アルゴリズム
- 実測もしくはシミュレータによってシンチレーション信号を取得
- 信号解析によりロバスト性の検証