

Galileo/GPS共用受信方式の開発

Development of Galileo/GPS Receiving Method

鷲頭 浩一 源田 正弘 喬 耘
Koichi Washizu Masahiro Genda Yun Qiao

特
集

システム・ソリューション

要 旨

米国のGPSは、現在カーナビゲーション等、市場で広く利用されているが、近年欧州でも独自の衛星航法システムであるGalileo（ガリレオ）の開発に着手している。GPSは米国政府予算で運用されている一方、Galileoは欧州の政府/民間両者による運用が前提とされているシステムである。従って、米国の国益が最優先されるGPSのみに依存している現状と比較して、より公共性、完全性が増すことからGalileoの完成への期待は大きい。本稿ではJRCが従来から販売しているGPS受信機に加え、新たに開発したGalileo/GPS共用受信方式について紹介する。

Abstract

Recently, it starts the development of Galileo that is an original satellite navigation system also in Europe though GPS of the United States is being widely used in the market such as the car navigations now. Galileo is a system to which operation by both government and the private organization in Europe is required though GPS is operated by the United States Government budget. Therefore, because more public and integrity increase compared with the current state shown only in GPS that the national interest of the United States is prioritized, the expectation of Galileo for completion is great. In this paper, JRC introduce Galileo/GPS receiving method that develops newly in addition to the GPS receiver.

1. まえがき

欧州では2013年からの完全運営を目指してGalileoシステムの開発を行っている。本稿ではGalileoシステムの紹介、信号構造の特徴について述べ、次にJRCが新たに開発したGalileo/GPS共用受信方式について紹介する。

：離着陸など高い安全性が要求されるサービス

OS./CS/PRS/SoL各サービスのうちOS以外のサービスは信号情報の公開は限定される等の制約がある。

<送信周波数>

Galileoの送信周波数をGPSと対比させたものを図1に示す。Galileoでは3つの搬送波を用いて、6つの信号を送信する。ユーザは上記に述べた所望のサービスに応じて受信信号を選択する事になる。

2. Galileoシステムの紹介

Galileoの詳細仕様はまだ確定していないが、現在公表されている主な仕様は以下の通りである。(1)

(2008年4月時点)

<衛星仕様>

- ・総衛星数27基 + 予備3基の30基
- ・軌道：傾斜角56度、高度約24000km、3軌道
- ・周期：14時間4分

<ユーザーサービスの分類>

Galileoでは以下の4種類のユーザーサービスのカテゴリーを設定している。GPSのユーザーサービスが軍用と民間用の2つのカテゴリーだけなのに対し、Galileoは利用者の様々な用途によりきめ細かく対応できる。

- ・OS (Open Service)
：民間用GPSに相当する開放サービス
- ・CS (Commercial Service)
：高精度測定ユーザ向けの有償サービス
- ・PRS (Public Regulated Service)
：警察等が使用する公的サービス
- ・SoL (Safety of Life Service)

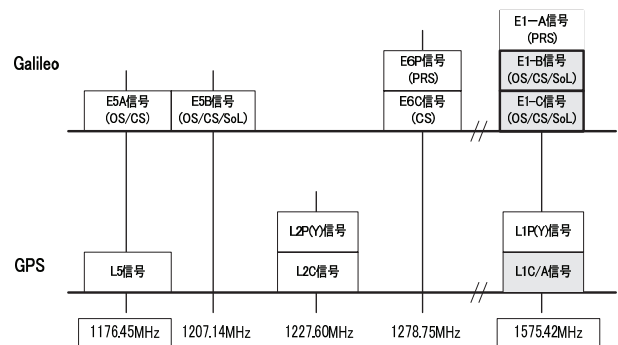


図1 Galileoの周波数プラン

Fig.1 Frequency Plan of Galileo

特にGalileo-E1信号は中心周波数が現在送信されているGPS-L1C/A信号と同一であることから、GPSとの共用が可能である。将来、GPSのL5信号の送信が始まるとGalileo-E5a信号も同様に共用が可能となり、更にGPSとの親和性の向上が見込まれる。

3. Galileo信号構造

先に説明した6種類の信号の中からE1-B信号、E1-C信号についてその信号構造の詳細を説明する。図2にBOC変調信号の生成構造を示す。

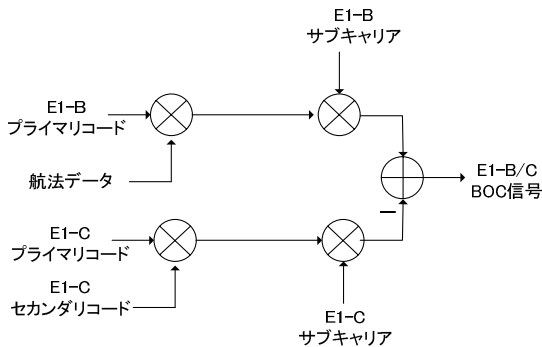


図2 E1-B/C BOC信号生成構造

Fig.2 Modulation Scheme for the E1-B/C BOC Signal

Galileo変調信号の特徴は、以下の通りである。

- 1) サブキャリアを用いたBOC (Binary Offset Carrier) 変調を用いている。
- 2) E1-B信号にのみ航法データが重畳されている。
- 3) E1-C信号には航法データは重畳されておらず、パイロット信号として用いることができる。

その他の信号構造について、GPSとの比較を表1に示す。

表1 GalileoとGPSの信号構造比較
Table1 Comparison of Signal Structure

	Galileo E1-B/C信号	GPS L1-C/A信号
中心周波数[MHz]	1575.42	1575.42
変調方式	BOC	BPSK
拡散コード	E1-B/C プライマリコード	C/Aコード
拡散コード周波数 [MHz]	1.023	1.023
拡散コード長[chip]	4092	1023
サブキャリア[MHz]	1.023	-
航法データ 転送速度	250 [sps] (但しE1-Bのみ)	50 [bps]
航法データ 符号化方式	畳み込み+CRC +インターリーブ (但しE1-Bのみ)	ハミング

4. Galileo送信スペクトラム

GalileoはBOC変調を採用しているため、送信スペクトラムはGPSと異なる。図3にGalileoとGPSの送信スペクトラムの違いを示す。顕著な相違は、Galileo送信信号はメインローブをサブキャリアにより左右に分割し中心周波数 f_0 付近の電力を下げている点である。その理由は既存のGPSへ与える

影響を軽減するためであり、GPSを運営する米国からの強い要望によるものである。

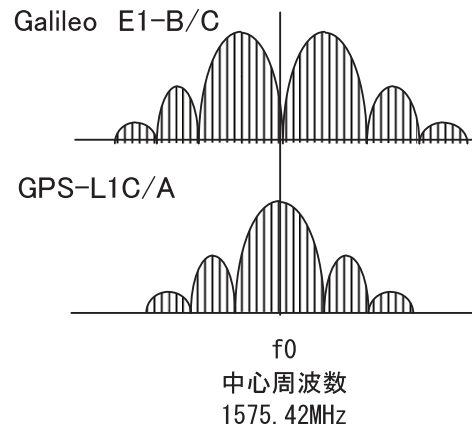


図3 Galileoの送信スペクトラム

Fig.3. Radio Frequency Spectrum of Galileo

5. Galileo受信機の開発

以上に述べてきたGalileo信号構造の特徴を考慮してGalileo/GPS共用受信機の開発を行った。図4にそのブロック図を示す。アンテナ、ダウンコンバータはGPSL1C/A専用回路に対し、第4章で述べた送信帯域の拡張への対応が必要となる。

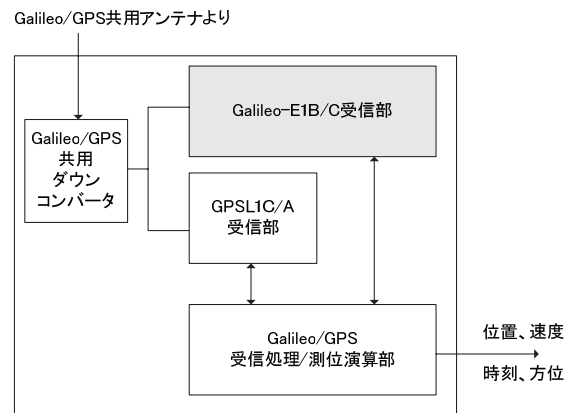


図4 Galileo/GPS共用受信機のブロック図

Fig.4 Block Diagram of Galileo/GPS Receiver

6. Galileo/GPS共用受信機における課題

Galileo変調信号の特徴から、Galileo受信機の開発において、従来のGPS受信機と異なった新たな課題が生じる。特に誤追尾問題と航法データ復調に関する問題はGalileo/GPS受信機にとって重要となる。

6.1 誤追尾対策

Galileo/GPS受信機では、GPS受信機と同様に受信した信号とレプリカ信号の相関を行い、相関波形のピークを追尾することにより、コード擬似距離を算出する。しかし、図5に示す自己相関特性から分かるように、BOC信号では自己

相関波形のメインピークの左右にそれぞれサイドピークが存在するので、サイドピークを追尾してしまう、いわゆる誤追尾の発生する可能性がある。誤追尾が発生すると、得られたコード位相は真値より $\pm 0.5\text{chip}$ 、コード擬似距離に換算して150メートルの大きな誤差を生じ、異常測位を引き起こしてしまう。今回開発した受信方式では誤追尾検出機能を組み込んでいる。誤追尾検出機能により、常に受信信号の追尾状態が監視され、誤追尾が発生した時に直ちに測位演算から該当衛星が排除され、位相を修正することにより、誤追尾による異常測位を防いでいる。

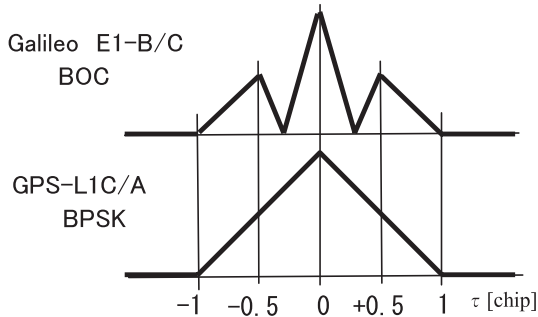


図5 BOC信号の自己相関特性
Fig.5 Autocorrelation Function of BOC Signal

6.2 航法データ復調対策

第3章で述べた通りGalileo E1信号はE1-B、E1-Cという2つの信号成分を有している。E1-B信号には航法データが重畳されており、測位するために利用できる。一方、E1-C信号には航法データは重畳されておらず、パイロット信号として用いることができる。また、送信パワーがE1-BとE1-Cに振り分けられるため、航法データの存在するE1-B信号のパワーが半減し、受信信号強度の弱い環境では航法データの先頭の探索(これをフレーム同期という)や復調を誤る可能性が高くなる欠点がある。

今回開発した共用受信機にはこのフレーム同期の誤りを低減する信号処理アルゴリズムを実装している。

E1-BとE1-Cの受信信号を加算し、E1-Bのフレーム同期用ビットパターンとE1-Cのセカンダリーコードを加算したビットパターンと比較することによってフレーム同期のS/Nを改善できる。さらに、セカンダリーコードの位相によってフレーム同期用ビットパターンのサーチ範囲を限定することにより、全域において航法データの先頭をサーチする場合よりもフレーム同期の誤りを低減させることも可能である。また、サーチ範囲を限定することにより、サーチ処理時間を短縮する効果も得られる。

7. Galileo/GPS共用の利点

GPS衛星にGalileo衛星が加わることにより可視衛星数が倍増し、測位時間率・測位精度が向上する。特に市街地では衛星が建物に遮蔽され、受信できる衛星が少ないので、可視衛星数が増えることによる効果は大きい。

この効果を検証するため、高層ビル街での遮蔽状況をモデル化し、Galileo/GPS共用の効果を計算機シミュレーション

した。遮蔽モデルを図6に示す。これは天頂を円の中心、地平線を円の外周に取った天空図であり、薄墨の部分为建设物、白抜きの部分が見通せる天空を表す。

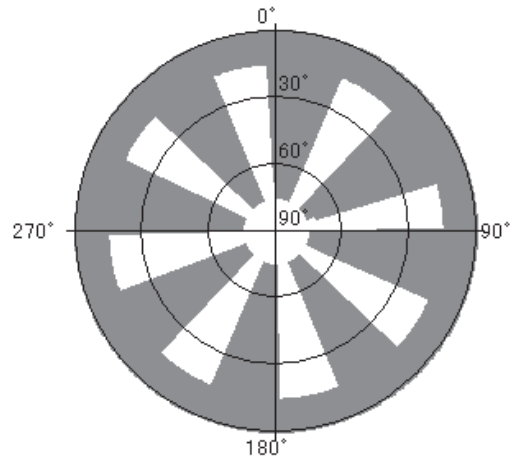


図6 高層ビル街の遮蔽モデル
Fig.6 Shading Model in Urban Canyon

このモデルの条件にてビルの間から見える可視衛星数の日変化を図7に示す。細い線がGPSのみ、太い線がGalileo/GPS共用の場合である。3次元測位が可能な最低衛星数は4個であるが、GPSだけでは4個以上を満足する時間が少なくGalileo/GPS共用ならばほとんどの時間満足できることがわかる。このように市街地ではGalileo/GPS共用により測位時間率を大きく改善できる。

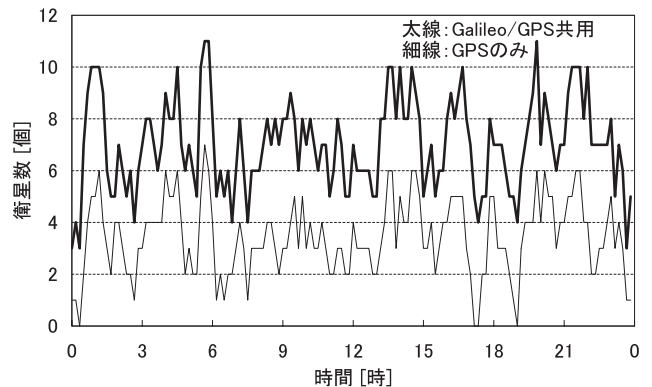


図7 高層ビル街での可視衛星数
Fig.7 Visible Satellite Number in Urban Canyon

また、可視衛星数が増えると測位計算における幾何学的条件が改善するので測位精度が向上する。これら測位時間率・測位精度の向上を図6の遮蔽モデルの条件にて計算機シミュレーションで確認した結果を表2に示す。

表2 高層ビル街でのGalileo/GPS共用による性能向上
Table2 Improvement by Galileo and GPS in Urban Canyon

	GPSのみ	Galileo/GPS共用
3次元測位時間率 [%]	43	91
測位精度 [m] 注1 (95%確率)	16	10

注1 マルチパスは十分抑圧されているとする。

8. 評価結果

試作したGalileo/GPS共用受信機の測位性能を評価した。Galileoの正式衛星はまだ打ち上がっていないので、Galileo/GPS信号シミュレータからの信号を受信して評価を実施した。結果を図8、図9に示す。図8はGPSのみ、図9はGalileo/GPS共用の場合である。受信環境としてはいずれも図6の遮蔽モデルを用いている。

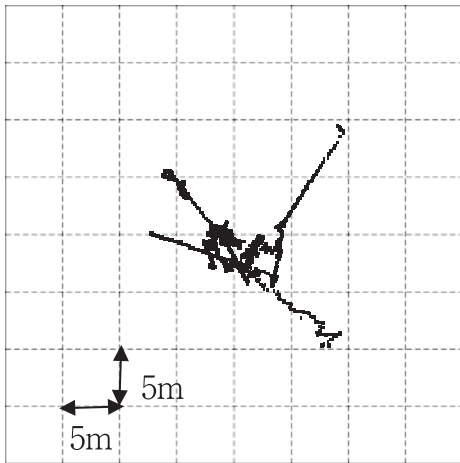


図8 高層ビル街での測位結果 (GPSのみ)

Fig.8 Positioning Accuracy by GPS in Urban Canyon

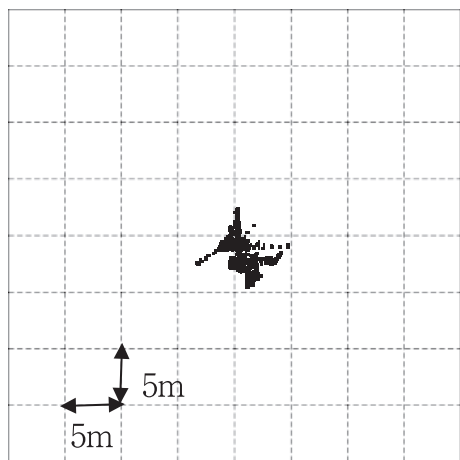


図9 高層ビル街での測位結果 (Galileo/GPS共用)

Fig.9 Positioning Accuracy by Galileo and GPS in Urban Canyon

一般に測位計算においては、ビルに遮蔽される衛星が変わると計算に使用される衛星の組み合わせが変わり、測定位置が違う場所にオフセットする。このオフセット量は、衛星の幾何学的条件が悪いほど大きくなるので、図8のGPSのみの結果はオフセット量が大きいのに比べ、図9のGalileo/GPS共用の結果はオフセット量が小さく抑えられている。

表3に図8、図9の測位時間率と測位精度を示す。GPSのみよりもGalileo/GPS共用の実験結果が測位時間率・測位精度ともに向上することが確認された。なお、シミュレータの信号には電離層遅延の誤差やマルチパスがないため、これらの誤差が存在する現実の環境での測位精度は、ここの結果より劣化する可能性がある。

表3 高層ビル街でのGalileo/GPS共用の評価結果
Table3 Performance Confirmation of Galileo and GPS in Urban Canyon

	GPSのみ	Galileo/GPS共用
3次元測位時間率 [%]	34	99
測位精度 [m] (95%確率)	5.9	3.1

9. あとがき

本稿で説明した高精度Galileo/GPS共用受信機は、現在のGPS受信機に置き換わる需要が見込まれる。又、欧州Galileoだけではなく、米国によるGPSの民生信号の追加 (L2C, L5)、およびロシアによるGLONASS、日本の準天頂衛星QZSS等の新システムが現在開発中であり、GNSS (Global Navigation Satellite System) のより安定した利用が期待される。

参考文献

- (1) European Space Agency, European GNSS Supervisory Authority, "Galileo Open Service, Signal in Space Interface Control Document (OS SIS ICD)". Draft 1, February 2008

用語一覧

拡散コード:	GPSやGalileoで用いられているスペクトラム拡散変調の変調コード
航法データ:	衛星軌道要素や時刻など測位計算に必要な情報
畳み込み:	誤り訂正符号の一つである畳み込み符号
CRC:	誤り訂正方式の一つであるCyclic Redundancy Check
インターリーブ:	データブロックの順序を入れ替えて送信する方式。バースト誤りに強い。
ハミング:	誤り訂正符号の一つであるHamming符号
コード擬似距離:	拡散コードの測定値から求められる衛星・受信機間距離。測位計算に使用する。
マルチパス:	直接波以外の、建物などからの反射波
電離層遅延:	電離層を通過する際の衛星信号の遅延
GLONASS:	ロシアが構築中のGPSに類似した衛星航法システム
QZSS:	日本が計画中のGPSの補強システム
GNSS:	GPSやGalileoなど各国の衛星航法システムの総称