

## SBAS メッセージの短縮プリアンブルの評価

坂井 丈泰<sup>\* a)</sup>, 麻生 貴広<sup>\*</sup>

Evaluation of the Shortened Preamble for SBAS Messages

Takeyasu SAKAI<sup>\* a)</sup>, Takahiro ASO<sup>\*</sup>

**あらまし** GPS 補強システムの一つ SBAS (静止衛星型衛星航法補強システム) は現状では L1 周波数のみを使用するものとして規格化されているが、これに L5 周波数を加えて二周波数システムとするための新規格が検討されている。L5 周波数に重畳されるメッセージの伝送速度は現行規格と変わらない見込みであるが、メッセージの先頭に付されるプリアンブルについて 8 ビットから 4 ビットに短縮する提案がある。プリアンブルは SBAS 受信機の初期捕捉で用いられるものであり、短縮に当たっては性能面における影響を検討する必要がある。本論文では、プリアンブルの短縮による初期捕捉性能への影響を検討した結果を報告する。

**Abstract** The current SBAS (satellite-based augmentation system), one of GPS augmentation systems, is defined to use L1 single frequency to broadcast augmentation information. The introduction of the second frequency on L5 is being investigated in order to support multi-constellation and multi-frequency GNSS environment. While the data rate of SBAS message on L5 will likely be specified as 250 bps which is identical with L1 signal, the reduction of the length of preamble header from 8 bits to 4 bits is proposed. The preamble header shall be used by SBAS receivers for the initial acquisition, so it is necessary to investigate the effects on the performance of the initial acquisition. This paper reports the effects by reduction of the length of the preamble header.

**キーワード** GPS, SBAS, プリアンブル, 初期捕捉

**Keyword** GPS, SBAS, preamble, initial acquisition

### 1. まえがき

GPS を航空分野で利用するためには補強システムが必要であり、国際民間航空機関 (ICAO: international civil aviation organization) はその一つとして SBAS (satellite-based augmentation system: 静止衛星型衛星航法補強システム) 規格を定めている。補強システムが必要とされる理由は GPS のみでは所要の完全性及び測位精度を確保できないためであり、SBAS はこれらを補強するために必要な情報を補強メッセージとして静止衛星から放送する。SBAS が使用する信号の周波数及び変調方式は GPS と同一であり、近年の GPS 受信機はソフトウェアの変更だけで SBAS に対応することが可能である。

現行の規格では SBAS は L1 周波数を使用するものとして定められており、GPS の L1 C/A 信号あるいは GLONASS の L1 SP 信号を補強対象としている。この構成により一定の性能は期待できるが、特に低磁気緯度地域においては電離圏活動の影響が大きく、必ずしも十分な性能が得られないことがある。この問題の根本的な解決のためには、複数の周波数を使用することが有効である。また、ロバスト性の確保の観点からは、複数のコアシステムに対応する必要性が指摘されている。ところが、複数のコアシステム及び周波数を補強対象とするには、現行規格の SBAS では補強メッセージの伝送容量が十分ではない。

このため、L5 周波数を使用する L5 SBAS の規格化作業が開始されており、現在は補強メッセージの構成について検討が進められているところである。L5 SBAS 信号の周波数及び変調方式は GPS L5 信号と同一、また補強メッセージの伝送速度は L1 SBAS と同じく毎秒 1 メッセージ=250 ビットとされる見込みであるが、メッセージの先頭に付されるプリアンブルについては、伝送容量の向上の観点より、現行規格の 8 ビットから 4 ビットに短縮することが提案されている。プリアンブルは SBAS 受信機が初期捕捉で使用するものであり、これを短縮することにより性能面において影響を受ける可能性がある。

本論文では、SBAS 補強メッセージのプリアンブルを短縮する場合について、受信機における初期捕捉性能への影響を検討した結果を報告する。以下、第 2 章で SBAS メッセージの構成について述べ、第 3 章では L5 SBAS 信号に関する現在の検討状況及びプリアンブルの短縮の提案内容を説明する。さらに、この影響について検討した結果について、第 4 章にて報告する。

### 2. 現行の SBAS 信号

SBAS 規格は、実際には国際民間航空条約の第 10 附属書 (Annex 10) に SARPS (international standards and Recommended practices: 標準及び勧告方式) [1] として定められている。SARPS では民間航空機の航法に求められる機能及び性能を満たす衛星航法システムを GNSS (global navigation satellite system) と称しており、具体的には GPS あるいは GLONASS に適切な補強を施して使用することとされている。この補強を行うのが補強システムであり、SARPS に規定されている補強システ

\*独立行政法人 電子航法研究所

〒182-0012 東京都調布市深大寺東町 7-42-23

Electronic Navigation Research Institute

7-42-23 Jindaiji-Higashi, Chofu-shi, Tokyo, 182-0012

a) sakai@enri.go.jp

表 1 現行 SBAS の RF 特性  
Table 1 RF specifications for SBAS.

Specification	Value	Remark
Frequency	1575.42 MHz	GPS L1
Modulation	BPSK	RHCP
Spreading Code	GPS C/A	PRN 120~138
Chip Rate	1.023 Mcps	
Modulation Rate	500 sps	1/2 FEC
Data Rate	250 bps	
Carrier Frequency Stability	$\leq 5 \times 10^{-11}$	@ 10 s
Bandwidth	$\geq 2.2$ MHz	
Min. Reception Power	-161 dBW	3 dBi @5 deg

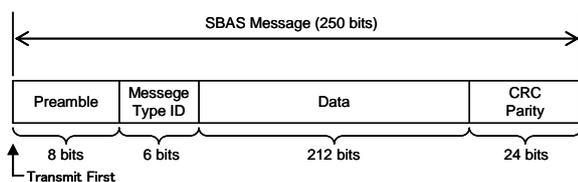


図 1 現行 SBAS のメッセージ構造  
Fig. 1 Structure of the current SBAS message.

ムのうち、補強情報を静止衛星から放送する方式が SBAS である。現実に稼動している SBAS としては、我が国の MSAS のほか、米国による WAAS (wide area augmentation system)、欧州の EGNOS (European geostationary navigation overlay service)、また最近インドが運用を開始した GAGAN (GPS aided geo augmented navigation) がある[2]-[7]。

SBAS に関連する規格としては、RTCA GPS/WAAS MOPS (minimum operational performance standards) [8]も参照されることが多い。これは受信機製造者向けの米国内規格であるが、FAA 基準を介して我が国の受信機認可基準ともなっており、SBAS 対応受信機の実質的な標準規格といえる。MOPS では、SBAS 対応受信機の機能・性能要件が規定されるとともに、付録として WAAS が放送する信号の内容が記載されている。

現行規格による SBAS が放送する信号の周波数は GPS L1 信号と同じ 1575.42MHz のみで、RF 特性は表 1 のように規定されている。周波数及び変調方式は GPS の C/A 信号と同一であるから、GPS と同一のアンテナ及び受信回路を共用できる。すなわち、GPS の信号を受信・処理する受信機であれば、特にハードウェアを追加することなく SBAS 信号を受信できる。

拡散符号には GPS L1 C/A 信号と同じゴールドコードが使用されており、PRN 120~138 が割り当てられている。PRN 番号の割当ては現時点では表 2 の通りとなっており、我が国においては MSAS の PRN 129 と PRN 137 のほか、現在は GAGAN の PRN128 を受信できる。拡散変調の速度は 1.023Mcps (chips per second) で、GPS L1 C/A 信号と同一である。

GPS と大きく異なるのは、航法メッセージの変調速度である。まず、SBAS では 500 sps (symbols per second) の速度でシンボ

表 2 SBAS PRN 番号の割当て  
Table 2 Assignment of SBAS PRN codes.

PRN	System	GEO	Location
120	EGNOS	Inmarsat 3F2 AOR-E	16W
121	—	—	—
122	WAAS	Inmarsat 3F4 AOR-W	54W
123	—	—	—
124	EGNOS	Artemis	22E
125	SDCM	LUCH 5B	16W
126	EGNOS	Inmarsat 4F2 IOR-W	25E
127	GAGAN	GSAT-8	55E
128	GAGAN	GSAT-10	83E
129	MSAS	MTSAT-1R	140E
130	—	—	—
131	—	—	—
132	—	—	—
133	WAAS	Inmarsat 4F3 AMR	98W
134	WAAS	Inmarsat 3F3 POR	178E
135	WAAS	Galaxy 15 CRW	133W
136	EGNOS	SES-5	5E
137	MSAS	MTSAT-2	145E
138	WAAS	Anik F1R CRE	107W

ル変調がなされている。また、データ符号化には符号化率 1/2 の FEC (forward error correction: 前方誤り訂正) 符号が採用されており、2 シンボルで 1 ビットの情報が表現される。これらよりデータ伝送速度は 250 bps (bits per second) であり、GPS と比較すると 5 倍の速度でデータを送信できるよう設計されている。

SBAS の補強情報はメッセージ単位で伝送される。メッセージの伝送フォーマットは図 1 のとおりで、プリアンブルから始まる合計 250 ビットで構成されている。データ伝送速度が 250 bps であるから、1 個のメッセージを伝送するには 1 秒間を要し、毎秒 1 個のメッセージが送信される。

すべてのメッセージは、プリアンブル (8 ビット)、メッセージタイプ ID (6 ビット)、データ領域 (212 ビット) 及び CRC パリティ (24 ビット) から構成されている。プリアンブルは「01010011」「10011010」「11000110」の 3 種類がこの順番で繰り返し使用され、「01010011」の先頭ビット (左側) は GPS 信号の航法メッセージのサブフレーム先頭に同期したタイミングで送出される。メッセージタイプ ID はメッセージの内容を識別するために用いられ、0~63 のメッセージタイプ (MT) が定義されている。データ領域の内容はメッセージタイプに応じて定められており、具体的な補強情報はこの部分に含まれる。CRC パリティは、次の生成多項式

$$G_{SBAS}(x) = x^{24} + x^{23} + x^{18} + x^{17} + x^{14} + x^{11} + x^{10} + x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x + 1 \quad (1)$$

により得られる 24 ビットの CRC (cyclic redundancy check) 符号

であり、メッセージ伝送における完全性の確保のために付加される。すなわち、SBAS 受信機は受信したメッセージについて CRC パリティが一致することを確認してから使用することとされており、CRC パリティが一致しないメッセージは破棄する。

### 3. L5 SBAS の検討状況

L5 SBAS 信号の物理層(信号周波数及び変調方式、データ伝送速度等)については、米国では WAAS の運用開始(2003年7月)より以前から RTCA 等において検討が行われているが[9]-[12]、現在のところ未だ規格化には至っていない。初期には伝送速度を 500 bps に倍増させる案も検討されていたが、現在のところデータ伝送速度については L1 SBAS と同じ 250 bps(メッセージ長も変えずに 250 ビット)、また信号形式は GPS L5[13]と同一とする方向でコンセンサスが得られており、欧州でも規格案が作成されている[14]。

このように L5 SBAS 信号の物理層についてはほぼ固まっており、現在検討が進められているのは L5 SBAS が放送するメッセージのフォーマット及びその内容である。メッセージフォーマットについては基本的に L1 SBAS を踏襲することになる見込みであるが、後述するようにプリアンブルのビット数を短縮する提案がなされている。

日米欧を中心とする SBAS プロバイダ各国は、SBAS 間の相互運用性の確保を主な目的として、1994 年以来、SBAS IWG (interoperability working group) 会合を定期的に開催している。最近の SBAS IWG では L5 SBAS の ICD(interface control document) を検討しており、L5 SBAS は次の機能を備えるべきであることを確認している。

- (i) 4 つ以上のコアシステムを補強対象とする(GPS, GLONASS, Galileo, COMPASS/BeiDou)。
  - (ii) 同時に 90 以上の衛星を補強できる。
  - (iii) L1/L5 二周波数ユーザに対する補強情報を提供する。
  - (iv) SA (selective availability: 選択利用性)には対応しない。
- このうち(iii)は、L5 SBAS が送信する補強情報は、いわゆる電離圏フリー線形結合(ionosphere-free combination)により得られる擬似距離を対象とすることを意味する。L5 信号の利用においては、ロバスト性の向上のために L5 のみの一周波数により測位を行う局面を想定することも考えられるが、現在のところそのようなケースへの L5 SBAS の対応はオプションとなる方向にある。一周波数ユーザが必要とする電離圏補強情報についても、L5 SBAS から送信されるとは限らない。

こうした方針に沿って L5 SBAS ICD 案のドラフトが作成されており[15]、現在は IWG メンバによるレビューを行っている段階である。完成した ICD 案は、RTCA や ICAO における規格化作業のベースとなる予定である。現行の L1 SBAS 規格については、変更することは考えられていない。

なお、SBAS IWG で検討しているのはあくまで SBAS 信号の標準規格であり、現実の SBAS や受信機の機能を保証するものではない。すなわち、L5 SBAS ICD が 4 つのコアシステムを補強対象とするからといって、現実実装される L5 SBAS は必ずしも 4 つのコアシステムをすべて補強対象とするとは限ら

ないし、L5 SBAS 対応受信機についても必ず 4 つのコアシステムのすべてをサポートしなければならないわけではない。

さて、SBAS IWG 会合でレビューを進めている ICD 案においては、メッセージのフォーマットは基本的に L1 SBAS 信号と同様であるが、メッセージの先頭に付されるプリアンブルが 8 ビットから 4 ビットに短縮されている。これは SBAS メッセージによるデータ伝送容量を改善するためであり、各メッセージのデータ領域を 212 ビットから 216 ビットに増加することができる。L1 SBAS ではプリアンブルは「01010011」「10011010」「11000110」の 3 種類がこの順番で繰り返し使用されることとされているが、検討中の L5 SBAS ICD ではプリアンブルは「0101」「0011」「1001」「1010」「1100」「0110」の 6 種類であり、この順番で 6 個のメッセージを一周期として繰り返し使用される。L1 SBAS の場合と同様、パターン最初の「0101」の先頭ビットが GPS 信号の航法メッセージのサブフレーム先頭に同期する。

### 4. プリアンブルの短縮による影響

L5 SBAS では、伝送容量の向上のためにプリアンブルを現行規格の 8 ビットから 4 ビットに短縮することが提案されている。プリアンブルは SBAS 受信機が初期捕捉で使用することから、これによる性能面への影響について検討する。

#### 4.1 初期捕捉の方式

まず、受信機の初期捕捉処理について、次の 3 通りの方式を想定する。この処理の目的は、復調されたデータビット列から SBAS メッセージの先頭ビットを検出することである。

タイプ A: 3 種類ないしは 6 種類のプリアンブルのすべてが 1 秒おきに順番通りに現れたことを検出した場合に、メッセージ先頭を検出したものとする。

タイプ B: 3 種類ないしは 6 種類のプリアンブルのすべてが 1 秒おきに順番通りに現れたことを検出した場合に、それぞれに対応した CRC パリティによるチェックをいずれも通れば、メッセージ先頭を検出したものとする。

タイプ B': 3 種類ないしは 6 種類のプリアンブルの一部が 1 秒おきに順番通りに現れたことを検出した場合に、それぞれに対応した CRC パリティによるチェックをいずれも通れば、メッセージ先頭を検出したものとする。

タイプ B' の受信機は、たとえば 4 ビットプリアンブルの場合に、6 種類のプリアンブルのうち 1~5 個(この数を検査メッセージ数という)が 1 秒おきに順番通りに現れた場合に、それぞれをメッセージの先頭と仮定して CRC 検査を行うこととするものである。このような処理方式とすることにより、初期捕捉に要する時間を短縮することが期待できる。プリアンブルを 4 ビットとした場合、タイプ A 及びタイプ B の受信機はいずれもメッセージ先頭の検出に 6~7 秒を要するが、タイプ B' 方式ではこれを 1~6 秒間に短縮できる。

初期捕捉においては、メッセージの先頭以外の位置を誤ってメッセージ先頭として検出してしまう誤検出の発生頻度が問題となる。こうした事象は、タイプ A の受信機においては、プリアンブルと同じビット列が偶然にメッセージの先頭以外の位置に含まれていた場合に発生する。この確率は、プリアンブルは

表 3 初期捕捉条件と誤検出率

Table 3 False detection rates of initial acquisition.

Preamble Length	Receiver Type	CRC Check	# of Messages for Test	# of Trials	# of False Detection	False Detection Rate
8	Type A	No	3	$1 \times 10^8$	1331	$1.33 \times 10^{-5}$
	Type B	Yes	3	$1 \times 10^8$	0	0
	Type B'	Yes	2	$1 \times 10^8$	0	0
			1	$1 \times 10^8$	17	$1.7 \times 10^{-7}$
4	Type A	No	6	$1 \times 10^8$	1545	$1.55 \times 10^{-5}$
	Type B	Yes	6	$1 \times 10^8$	0	0
	Type B'	Yes	5	$1 \times 10^8$	0	0
			4	$1 \times 10^8$	0	0
			3	$1 \times 10^8$	0	0
			2	$1 \times 10^8$	0	0
			1	$1 \times 10^8$	30211647	$3.02 \times 10^{-1}$

合計で 24 ビットあるから、メッセージ内容をランダムと仮定すると、メッセージ 1 個当たりでは  $250 \times 2^{-24} = 1.49 \times 10^{-5}$  程度と予測できる。なお、SBAS が 1 年間に送信するメッセージ数は  $3.1536 \times 10^7$  である。

タイプ B の受信機では、さらに CRC パリティが一致した場合に誤検出となる。プリアンブルが 8 ビットの場合は CRC パリティを検査するメッセージが 3 個であるから、 $250 \times 2^{-24} \times (2^{-24})^3 = 3.16 \times 10^{-27}$  程度となり、実用上は無視できる。プリアンブルが 4 ビットの場合の誤検出確率は、メッセージ数が 6 となるためさらに低い。

タイプ B' の受信機については、検査メッセージ数により誤検出の特性が大きく変化する。p ビットのプリアンブルが n 種類あり(すなわち  $np=24$ )、検査メッセージ数を  $k=1, \dots, n$  としたとき、誤検出確率は次式により予測できる。

$$P_{FD}(k|n, p) = 250 \times (nC_k \times 2^{-p}) \times (2^{-24})^k \quad (1)$$

もっとも誤検出確率が高くなる検査メッセージ数が 1 個の場合、8 ビットプリアンブルで  $250 \times (3 \times 2^{-8}) \times 2^{-24} = 1.75 \times 10^{-7}$  程度、4 ビットプリアンブルでは  $250 \times (6 \times 2^{-4}) \times 2^{-24} = 5.59 \times 10^{-6}$  程度である。検査メッセージ数が 2 以上の場合は、プリアンブルのビット数をいずれとしてもメッセージ当たりの誤検出確率は  $10^{-12}$  以下となる。

#### 4.2 モンテカルロ法による検証

プリアンブルを短縮した場合の初期捕捉性能に対する影響を確認するために、モンテカルロ法による検討を行った。すなわち、次の条件を満たすメッセージを多数生成して連続したビット列として並べたうえで、開始位置を 1 ビットずつずらしながら初期捕捉処理を行い、誤検出を起こす回数を求める。

- (i) プリアンブルについては規定を満たすものとする。
- (ii) プリアンブル及び CRC パリティを除くメッセージの残り部分は、乱数により生成する。
- (iii) CRC パリティを適切に付加する。

完全な乱数とせずに正常なプリアンブル及び CRC パリティを付与するのは、現実に近い状況を模擬するためである。モン

テカルロ法の実行にあたっては、十分に周期の長い乱数発生ルーチンを使用した。

計算結果を表 3 に示す。試行回数(生成したメッセージの数)は  $1 \times 10^8$  回であり、正しいプリアンブルとは異なる位置を検出した回数を表示してある。タイプ A の受信機ではプリアンブルのビット数によらず  $1.3 \sim 1.6 \times 10^{-5}$  程度の誤検出を生じているが、これはメッセージ内容をランダムと仮定した場合の予測にほぼ一致する。また、タイプ B の受信機については誤検出確率は実用上は無視できるとの予測であったが、検証結果はこれを裏付けるものとなっている。

タイプ B' 方式の受信機では、検査メッセージ数が 2 以上であれば誤検出は生じなかった。検査メッセージ数が 1 の場合については、8 ビットのプリアンブルでは  $1.7 \times 10^{-7}$  程度の確率で誤検出を生じており、これは式(1)による計算結果と符合する。

例外的な結果は、検査メッセージ数が 1 のタイプ B' 方式において、プリアンブルを 4 ビットとした場合に得られている。この条件では、CRC パリティがあるにもかかわらず実に 3 割を超えるメッセージで誤検出を生じており、式(1)による予測が成立していない。これらの誤検出を生じている状況を詳しく調べると、ほとんどが正しいメッセージ先頭位置の 1 ビット前あるいは後の位置となっていることがわかった。プリアンブルを 4 ビットとした場合、6 種類のプリアンブルは「0101」「0011」「1001」「1010」「1100」「0110」であり、これらが互いに似ていることがこうした誤検出の原因である。たとえば、プリアンブル「0110」をもつメッセージで、プリアンブルの直後のビットが 0 であると、正しい位置から 1 ビットずれた位置に「1100」というビット列ができてしまう。CRC パリティはシフト操作を用いて算出されることから、1 ビットだけずれた場合に CRC パリティが一致してしまうことがあり得るのである。

タイプ A の処理方式ではプリアンブルのビット数を短縮しても初期捕捉性能には影響しないが、メッセージ先頭位置の誤検出確率が十分に低いとはいえ、現実の受信機では採用されていないものと思われる。一方、タイプ B/B' 方式については、

プリアンブルが 8 ビットであれば、1 個のメッセージを検査するだけで十分であるものとして実装されている可能性がある。しかしながら、プリアンブルが 4 ビットになると、この方式では 1 個のメッセージを検査しただけでは誤検出確率が極端に大きくなる。プリアンブルを 4 ビットに短縮することは L5 SBAS のプロバイダ側としては大きな問題とはならないが、受信機側においてはタイプ B あるいは検査メッセージ数を 2 以上としたタイプ B' の処理方式を採用する、すなわち複数のメッセージにわたるプリアンブルを用いてメッセージ先頭を検出したうえで、CRC パリティによる検査も行う必要があることがわかった。

## 5. むすび

L5 周波数を使用する L5 SBAS の規格化作業が開始されており、メッセージの先頭に付されるプリアンブルについて、現行規格の 8 ビットから 4 ビットに短縮することが提案されている。プリアンブルは SBAS 受信機が初期捕捉で使用するものであることからその影響について検討したところ、プリアンブルの検出を 1 つのメッセージのみで行う処理方式では 4 ビットのプリアンブルに対応できないことがわかった。4 ビットのプリアンブルで正しくメッセージ先頭を検出するためには、複数のメッセージにわたるプリアンブルを用いてメッセージ先頭を検出し、それぞれについて CRC パリティを検査することが必要である。

(平成 27 年 1 月 16 日受付)

## 文 献

- [1] International Standards and Recommended Practices, Annex 10 to the Convention on Civil Aviation: Aeronautical Telecommunications, Vol. I: Radio Navigation Aids, 6th Ed., July 2006.
- [2] 真鍋英記, “運輸多目的衛星用航法補強システム (MSAS) の供用開始”, 日本航海学会 GPS/GNSS シンポジウム, 東京, Nov. 2007.
- [3] 坂井文泰, “MSAS の状況と利用への期待”, 測位航法学会 GPS/GNSS シンポジウム, 東京, Nov. 2009.
- [4] 関司, 連代宗生, “MSAS の現状”, 測位航法学会 GPS/GNSS シンポジウム, 東京, Oct. 2013.
- [5] D. Bunce, “Wide Area Augmentation System (WAAS) - Program Update,” Proc. 26th Int'l Tech. Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, pp. 2299-2326, Nashville, TN, Sept. 2013.
- [6] D. Thomas, “EGNOS V2 Program Update,” Proc. 26th Int'l Tech. Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, pp. 2327-2342, Nashville, TN, Sept. 2013.
- [7] C. Aguilera, D. Bunce, D. Flament, F. Lecat, G. W. Nam, J.-M. Pieplu, T. Sakai, V. Somasundaram, “SBASs: Striving towards seamless satellite navigation,” Coordinates, Vol. 10, Issue 3, March 2014.
- [8] Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, RTCA, DO-229, Rev. D, Dec. 2006.
- [9] M. Tran, C. Hegarty, A. J. Van Dierendonck, and T. Morrissey, “SBAS L1/L5 Signal Design Options,” Proc. ION 59th Annual Meeting and CIGTF 22nd Guidance Test Symposium, pp.

507-517, Albuquerque, NM, June 2003.

- [10] D. Bobyn, A. J. Van Dierendonck, H. Kroon, M. Clayton, P. Reddan, “A Prototype WAAS (SBAS) L1/L5 Signal Generator,” Proc. 16th Int'l Tech. Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, pp. 2760-2768, Portland, OR, Sept. 2003.
- [11] T. Walter, J. Blanch, and P. Enge, “L1/L5 SBAS MOPS to Support Multiple Constellations,” Proc. 25th Int'l Tech. Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, pp. 1287-1297, Nashville, TN, Sept. 2012.
- [12] A. J. Van Dierendonck, C. Hegarty, R. Niles, T. Morrissey, and P. Reddan, “Next Generation Satellite Based Augmentation System (SBAS) Signal Specification,” Proc. 2005 National Tech. Meeting of the Institute of Navigation, pp. 371-384, San Diego, CA, Jan. 2005.
- [13] Global Positioning System Directorate, Navstar GPS Space Segment/User Segment L5 Interfaces, IS-GPS-705, Sept. 2011.
- [14] Signal Specification for SBAS L1/L5, Eurocae ED-134, Draft V3, May 2008.
- [15] SBAS IWG, Draft IWG SBAS L5 Interface Control Document (SBAS L5 ICD), April 2014.

## 著者紹介

**坂井 文泰** (正員) 平 8 早大院修士課程了。同年電子航法研究所入所。現在、同所航法システム領域上席研究員。衛星航法システムの航空機応用に関する研究に従事。平 14~15 米国スタンフォード大学客員研究員, 平 18~東京海洋大学客員准教授, 平 26~宇宙航空研究開発機構主幹開発員。平 18 IEEE AES 優秀論文賞, 平 19 米国航法学会 ION GNSS 優秀論文賞。博士(工学)。

**麻生 貴広** (非会員) 平 5 運輸省入省。平 7 航空保安大学校卒。平 12~15 宇宙航空研究開発機構開発部員。平 17~24 常陸太田及び神戸航空衛星センター航空衛星運用官として MSAS 運用に従事。平 21 茨城大学大学院修士課程了。平 24~26 国土交通省航空局安全部航空機安全課装備品係長。現在、電子航法研究所航法システム領域主任研究員。衛星航法システムの航空機応用に関する研究に従事。