

石上忠富*
Tadatomi Ishigami
境田裕志*
Hiroshi Sakaida
佐藤友紀†
Yuki Sato

元岡範純†
Norizumi Motooka
上原晃斉‡
Akinari Uehara

CLAS対応車載向け高精度ロケータ

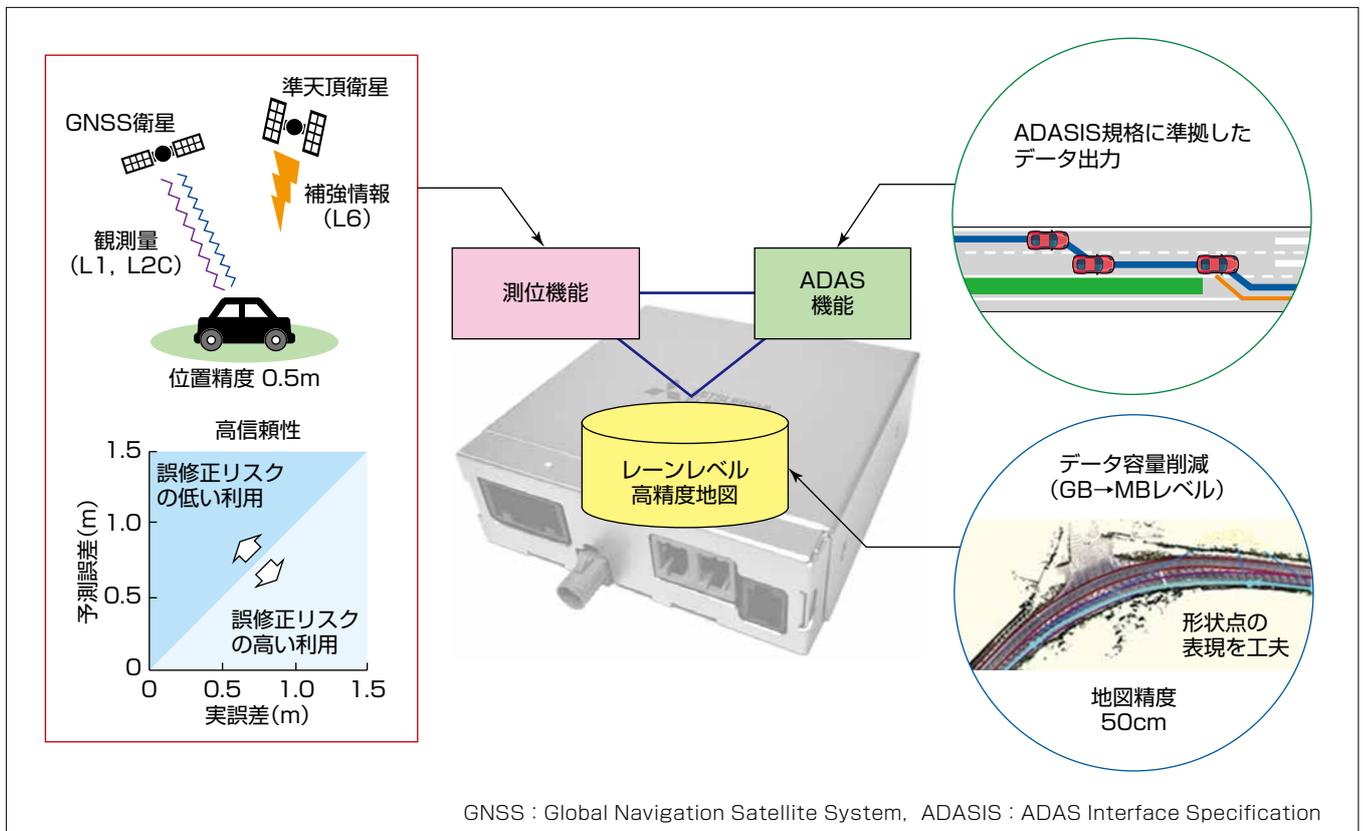
High Accuracy Vehicle Locator Using Centimeter Level Augmentation Service

要旨

安心・安全に車に乗ることができる事故のない社会の実現に向けて、先進運転支援システム(ADAS: Advanced Driver Assistance Systems)と自動運転への期待が高い。事故を起こさず、運転を支援・代行するためには、レーン内の自車位置を高精度に測位する機能が求められる。三菱電機は、このニーズに対して、高精度な地図データと自車位置情報を自動運転ECU(Electronic Control Unit)に提供する高精度ロケータを開発している⁽¹⁾。50cm精度のレーンごとの高精度地図データを備えて、レーン特定に必要な1.5m精度(95%値)で測位する高精度ロケータを国内外に供給できる体制を整えている。さらには、これをベースにして、準天頂衛星による無償のセンチメートル級測位補強サービス(CLAS: Centimeter Level Augmentation Service)⁽²⁾を

用いて、レーン内の自車位置を50cm精度(95%値)で測位するCLAS対応車載向け高精度ロケータを世界に先駆けて^(注1)開発した。CLASの利用については、アプリケーションの開発をサポートするCLASLIB(CLAS test LIBrary)が公開されており、補強情報を扱う処理とオープンスカイ環境下でセンチメートル級精度の衛星測位を行う処理が実装されている。しかし、CLASLIBには、車載利用環境で有効に動作する上で改善の余地があり、また廉価な車載用CPUで処理可能な演算量に制限されていない課題があったため、今回の開発でこれらの課題を解決した。これによって、事故のない社会の実現に向けて大きく前進した。

(注1) 2017年9月19日現在、当社調べ



GNSS: Global Navigation Satellite System, ADASIS: ADAS Interface Specification

準天頂衛星によるCLASを用いた車載向け高精度ロケータ

準天頂衛星から放送されるCLASを用いて衛星測位した位置に対して誤差予測を行い、精度低下箇所を自律航法との複合測位で補完することで全国の高速度路上を50cm精度(95%値)で測位する。また50cm精度で作られたレーンごとの形状等を備えた三次元高精度地図データを用いてレーンマップマッチングを行い、自車位置と高精度地図データからADASデータを生成して自動運転ECU向けに出力する。

1. ま え が き

事故を起こさないADASと自動運転の実現に向けて、自車位置情報に求められるものは、高精度だけでなく、高信頼性とリアルタイム性である。また、これらを廉価なハードウェアで実現することが普及を決める鍵になる。日本では、高精度測位を行う国家インフラとして、電子基準点と準天頂衛星を用いたセンチメートル級測位補強サービス (CLAS) が無償で利用できる。当社は、このCLASに対応した高精度ロケータの開発を世界で初めて行い、センチメートル級精度を達成できない箇所を自律航法との複合測位で補完することで50cm(95%値)の測位精度を達成した。

本稿では、CLAS、CLAS対応車載向け高精度ロケータの主要技術である衛星測位及び複合測位について述べる。

2. CLAS対応車載向け高精度ロケータ

2.1 CLAS

準天頂衛星システムは2018年11月1日に実用サービスが開始された。そのサービスの一つに、従来のカーナビゲーション等で数メートルであった精度をセンチメートル級の極めて高い測位精度を実現する補強サービスとして、CLASがある。CLASでは、衛星測距データに含まれる各種誤差を補正するデータを準天頂衛星のL6信号を用いて配信され、高い測位精度(静止体水平: 6cm以下(95%))を実現する。CLASは、GNSSとしては初になるセンチメートル級の測位を可能にする補強情報を送信するサービスで、日本全国及びその近海に配信される。衛星からの補正情報の送信は、携帯電話やWi-Fi^(注2)等の地上インフラでの送信とは異なり、衛星の可視性が保持できる環境で一律にサービス提供が可能であり、IT農業や全国の高速自動車専用道路での自動走行・次世代安全運転支援システムなど、本格的な高精度位置情報利用時代での利活用が期待されている。CLASが配信する補強情報の内容とセンチメートル級の位置情報を取得するまでのフローを図1に示す。また、CLASのユーザーインターフェースやサービス性能は、準天頂衛星システムサービス(株)(QSS: Quasi-Zenith Satellite System Service Inc.)が運用するウェブサイト⁽³⁾で公開されている。主な仕様を表1に示す。CLAS仕様は2020年11月30日から、補強情報のフォーマットが見直された。具体的には、大気圏の擾乱(じょうらん)に応じて電離層補正量の情報量(ビット数)を動的に最適化(圧縮化)する方式を適用することで、情報圧縮率を最大30%向上させ、誤差を補正する補強対象衛星を従来フォーマットの最

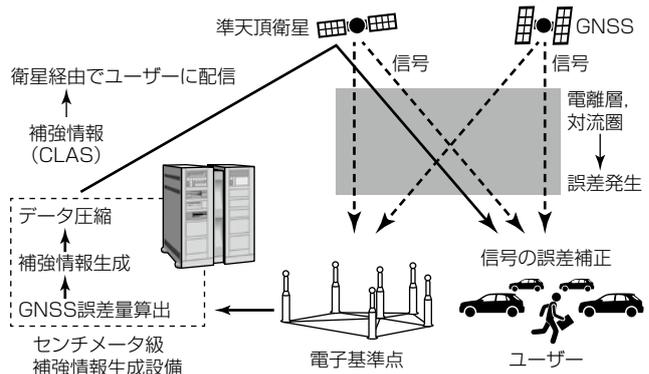


図1. センチメートル級位置情報の取得フロー

表1. CLASの主な仕様

項目	仕様
補強対象信号	GPS : L1C/A, L1C, L2P, L2C, L5 QZS : L1C/A, L1C, L2C, L5 Galileo : E1B, E5a
サービスエリア	日本及び領海(約80万km ²)
位置精度 (オープンスカイ, 95%)	静止 : 水平6cm/垂直12cm 移動 : 水平12cm/垂直24cm
初期化時間(95%)	60秒以下(補強情報取得時間含む)

GPS : Global Positioning System, QZS : Quasi-Zenith Satellite

大11機から、新フォーマットでは最大17機に増加することを可能にした。補強対象衛星が時系列的に一樣に増加することで、CLAS適用範囲を(特に非オープンスカイ環境で)飛躍的に向上させるとともに、電離層擾乱の時間帯でも測位精度を大きく改善するものである。CLASは今後も継続した安定的なサービスの提供に向けて、サービス品質の維持に取り組んでいくとともに、ユーザー利便性向上に向けた施策の検討を進めて、高精度測位社会の実現に貢献する。

(注2) Wi-Fiは、Wi-Fi Allianceの登録商標である。

2.2 CLAS対応車載向け高精度ロケータの構成

CLAS対応車載向け高精度ロケータの構成を図2に示す。衛星測位の観測データと処理結果及び自律航法の処理結果を用いて2種類の複合測位を行う。予測誤差が小さい方の複合測位の処理結果に基づいて、走行レーンを推定してレーン内の自車位置と車の向きを同定するレーンマップマッチングを行う。ADASデータ生成/送信は、先進運

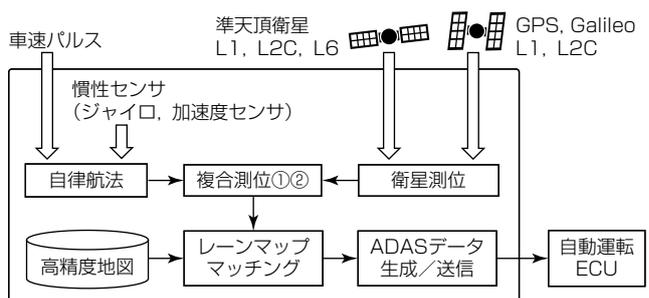


図2. CLAS対応車載向け高精度ロケータの構成

転支援システムインタフェース仕様(ADASIS)規格に基づいて、自車前方のルート沿いの高精度地図データの配信などを行う。

2.3 CLAS対応車載向け高精度ロケータの衛星測位

2.3.1 CLASLIBのカスタマイズ

電波受信環境が多様に変化する車載利用環境下で、目標とする50cm精度(95%値)を高頻度に得られるよう、CLASLIBに対して次の(1)~(4)の改良を行った。

(1) マルチパス影響軽減策(低品質の観測データ棄却)

マルチパス環境下では、擬似距離観測量に大きなバイアス誤差が生じる。そこで、擬似距離観測量について、カルマンフィルタによる予測値と実測値との差分の統計値から、棄却を判定する独自のアルゴリズムを追加した。カルマンフィルタによる予測値の計算には、慣性センサの出力値を利用して求めた自車位置を用いた。図3に示すように、擬似距離観測量の予測値と実測値の差分は信号補足直後に大きく、時間経過とともに減少する傾向にあることが分かる。GNSS受信機が出力するマルチパス・インディケータの値とも整合しており、棄却の判定に有効と考えられる。

(2) マルチパス影響軽減策(観測誤差共分散行列)

棄却されずに採用された観測量に対して、図4に示すカルマンフィルタで、重み(観測誤差共分散行列Rの値)を適応的に調整するために、カルマンフィルタでの観測更新後の観測残差を利用して、観測誤差共分散行列の値を時間の経過とともに更新する独自のアルゴリズムを追加した。

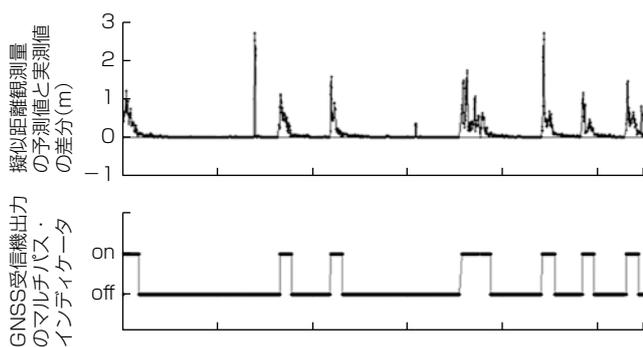


図3. 擬似距離観測量の予測値と実測値の差分の例

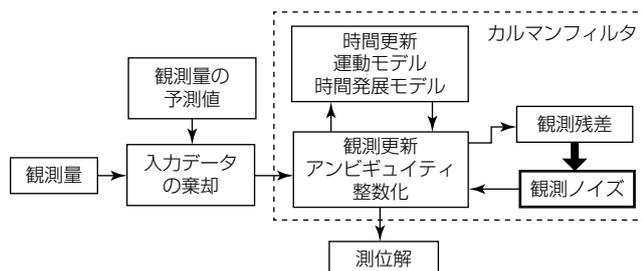


図4. 衛星測位アルゴリズムの主な改良箇所

(3) CPU使用率低減(観測データ数の上限設定)

可視衛星数が多いオープンスカイ環境下では、先に述べた差分値の統計値に基づいた衛星選択によって、測位に利用する観測データ数を削減するロジックを追加した。

(4) 測位結果の信頼性向上

測位誤差と処理内部データの関係を事前に学習することで、リアルタイムにFix解(センチメートル級精度と期待される測位解)、Float解(精度不定と言われている測位解)の誤差予測を行うロジックを追加した。

2.3.2 パラメータチューニング

試験車両で取得した多数のコースの走行データと別に計測したリファレンスデータ(座標値の真値)を用いて、パラメータチューニングを行った。パラメータを変更して測位した結果を、リファレンスと比較して時刻ごとの測位誤差を求め、その統計値を評価指標にした。チューニングには、品質(各コースでの測位精度)のばらつきを抑えるパラメータと、特性(水平方向の測位誤差の95%値)が高感度変化するパラメータの探索に適しているタグチメソッドを用いた。観測データの棄却ロジック、適応フィルタに関するパラメータ、運動モデル、観測モデル、搬送波位相アンビギュイティの整数化に関するもの等、全27のパラメータを調整した。

この調整によって、パラメータとしては、カルマンフィルタでの観測誤差モデルの標準偏差値と搬送波位相アンビギュイティの状態量に対するプロセスノイズ値には大きな値が選択され、搬送波位相アンビギュイティの整数化では危険率(整数値を誤る確率)を下げる値が選択された。この結果、電波受信環境の悪化による測位誤差の増大を抑えられるようになった。

2.4 CLAS対応車載向け高精度ロケータの複合測位

慣性センサ、車速パルス、衛星測位を用いた複合測位では、次を考慮したアルゴリズムを用いた。

(1) Float解の利用

車載利用環境では高いFix率を望めないため、センチメートル級精度目的では使用されないFloat解も複合測位に利用した。

(2) 冗長化

Fix解とFloat解が得られない状況が間欠的に生じることを想定して、特徴の異なる二つの複合測位を実施した。前段の複合測位は測位率と軌跡形状を重視したもので、単独測位解を使用した。後段の複合測位は精度と信頼性を重視したもので、Fix解とFloat解を使用した。また後段の複合測位が前段の複合測位の誤差を管理することで、前段の複合測位に切り替えた際の精度低下・変動を最小化した。

3. 評価

CLAS対応車載向け高精度ロケータの精度を確認するために首都高速湾岸線を走行し、精度評価を行った。評価対象にした道路の総距離は約26kmであり、評価コースを図5に示す。評価コース上には立体交差や防音壁などの遮蔽物もあり、マルチパスの影響が大きい環境も含まれている。

このコースで評価した結果、CLAS測位の各測位解の割合は表2のとおりになった。Fix解の割合は54.6%、Float解も合わせると99.8%になっており、大半の走行区間でCLASの測位解が得られている。また、各測位解の精度(95%値)は表3で示した値になった。複合測位解は42.9cmであり、目標の50cmを達成できている。Fix解の精度は13.5cmになっており、移動体でもCLASがターゲットにしているセンチメートル級の高精度な測位解が得られている。

Float解はFix解ほど高精度ではないため、複合測位ではその精度を予測した上で使用している。その予測した誤差(予測誤差)と実際の誤差(実誤差)の関係を図6に示す。正の相関があり、ある程度誤差を予測できていることが分かる。ただし、実誤差が1mを超える低精度の測位解の中には、予測誤差が50cmを超えているものの実誤差と乖離(かいり)しているものもある。これらの測位解では軌跡の異常検出と組み合わせ、複合測位の精度を維持している。その一例を図7に示す。衛星測位の軌跡の乱れに影響されずに、複合測位の軌跡は正しく直進できていることが分かる。

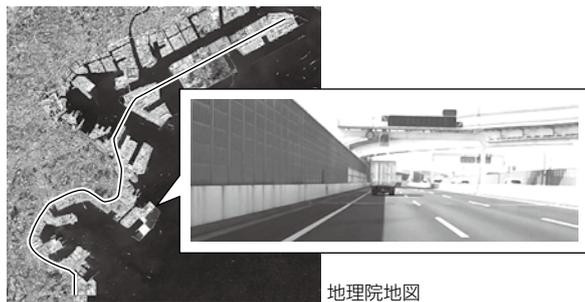


図5. 精度評価コース

表2. CLAS測位解の割合

	Fix	Float	単独測位	非測位
割合(%)	54.6	45.2	0.1	0.0

表3. 測位解別精度

	複合測位(全測位)	衛星測位(Fix)	衛星測位(Float)
95%値(cm)	42.9	13.5	112.9

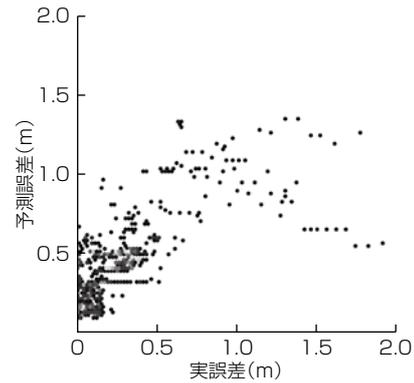


図6. 予測誤差と実誤差の関係



図7. 軌跡による異常検出

4. むすび

準天頂衛星が放送する補強情報を用いて、高速道路上で50cm精度(95%値)を実現するCLAS対応車載向け高精度ロケータを開発した。特に工夫した点は、次の三つである。

- (1) 車載利用環境に合うようCLASLIBを改良したことで、マルチパス影響軽減を図ることができ、Fix解、Float解の精度低下を抑止できた。
- (2) 独自の測位誤差予測によって、Float解が複合測位で使用可能になり、Fix解とFloat解を合わせた割合が90%以上を狙えるまで高精度測位を継続できた。
- (3) 補強情報を使用しない単独測位解を用いた複合測位についても、Fix解、Float解と連携して誤差管理することで、精度低下を抑止できた。

今後は、衛星測位が難しい道路でも高精度測位を行うために、自車周辺対象との相対位置を計測するセンサとの連携を図るほか、海外の測位補強サービス対応も進める。レーン内の自車位置を高精度に測位するだけでなく、高い信頼性をも兼ね備えた高精度ロケータを通じて、当社は事故のないモビリティ社会の実現に貢献する。

参考文献

- (1) 入江崇志, ほか: 車載向け高精度ロケータ, 三菱電機技報, 90, No.3, 187~190 (2016)
- (2) 廣川 類, ほか: 準天頂衛星システムセンチメートル級測位補強サービス, 三菱電機技報, 91, No.2, 101~104 (2017)
- (3) 内閣府 宇宙開発戦略推進事務局: みちびき(準天頂衛星システム)技術情報
<https://qzss.go.jp/technical/download/ps-is-qzss.html>