

入江崇志* 小高康志*
大木秀彦*
石上忠富*

車載向け高精度ロケータ

High Precision Vehicle Locator

Takashi Irie, Hidehiko Oki, Tadatomi Ishigami, Yasushi Kodaka

要旨

近年、究極の安全運転技術として自動運転に注目が集まっており、産学官で自動運転技術の検討、開発が盛んに行われている。三菱電機でも、自動運転の実現に向けた様々な取り組みを行っており、その1つとして、高精度な地図データと自車位置の情報を自動運転ECU(Electronic Control Unit)に提供する車載向け高精度ロケータの開発を行っている。

高精度地図データは、50cm未満の絶対精度を持つレーン単位の三次元形状情報を備えてレーンレベルでの自車位置同定や走行レーンパスを生成するために利用する。

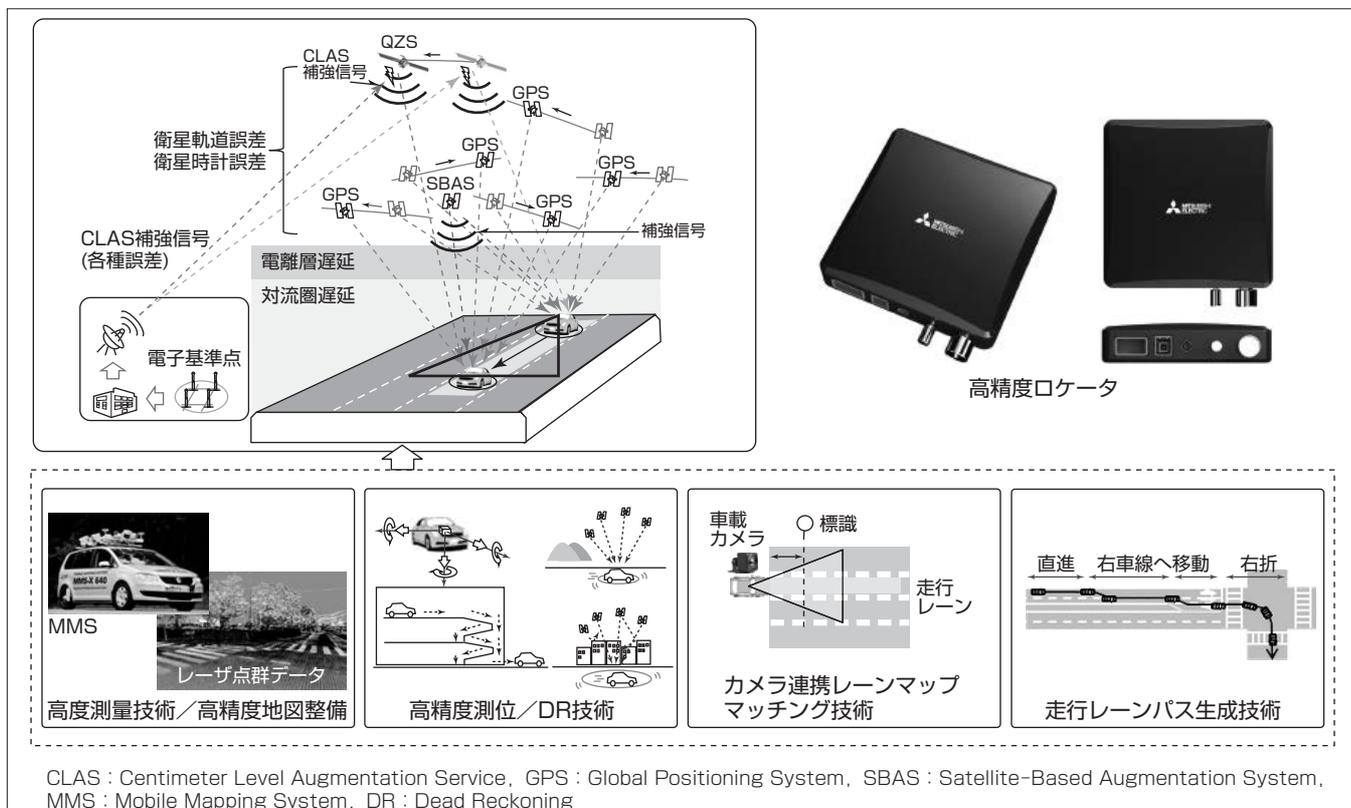
また、自車位置同定はカーナビゲーションで培った技術をベースに測量技術を適用して高精度化を図っており、準天頂衛星(Quasi-Zenith Satellite: QZS)の測位補強信号⁽¹⁾と搬送波位相を用いた精密単独測位とカメラを用いたレーンマップマッチングを行う。

ンマップマッチングを行う。

車載向け高精度ロケータを実現するに当たり、次の2つの課題を解決する必要がある。

- (1) 地図データのサイズ削減
- (2) 時計精度が低いGNSS(Global Navigation Satellite Systems)受信機の使用と移動体の考慮

今回、これらの課題に対して、高精度地図データの圧縮と更新技術、また車載用GNSS受信機内蔵時計の誤差と電波遮断時の搬送波位相の補正技術を開発した。開発した補正技術を評価するために、実際的高速道路で高精度地図データを作成して補正技術を組み込んだ精密単独測位の精度を評価した。これによって、高精度化に向けたこの技術が有効であることを確認した。



準天頂衛星によるcm級測位補強信号を用いた高精度ロケータ

衛星測位だけで走行レーン特定するため、2018年4月にサービスが開始される4機体制の準天頂衛星(QZS)からのcm級測位補強信号(CLAS)を用いて高精度測位を実施する。また、カメラと高精度地図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情報からADAS(Advanced Driving Assistance System)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

近年、自動ブレーキやレーンキーピングアシストなどの運転支援、予防安全システムの普及が進み、更なる安全な車社会を目指して自動運転の実現に注目が集まっている。国内では、2020年頃の自動運転システムの実用化に向けて、法整備の検討や技術開発が進められている。

自動運転では、通常ドライバーが行っている“認知”“判断”“操作”を車載システムで実行することが求められる。高精度ロケータは“認知”を行うセンサの1つと位置付けられ、正確な自車位置を求めて位置情報と関連付けられた地図情報を自動運転ECUに提供するシステムである。

本稿では、高精度ロケータの主要技術である高精度地図と高精度測位の最近の開発内容について述べる。

2. 車載向け高精度ロケータ

2.1 構成

高精度ロケータの構成を図1に示す。高精度ロケータは、準天頂衛星から放射されるcm級測位補強信号を用いて高精度測位して、カメラを用いて走行レーン及びレーン上の自車位置を同定する。また自車位置に関連する高精度地図を用いてADASデータを作成して出力する。

2.2 特徴

高精度ロケータの特徴は次のとおりである。

(1) 高精度地図データ

- ①三次元のレーン形状や信号機・標識の位置座標
- ②サブm級の座標精度
- ③車載機向けのコンパクトなデータ
- ④通信によるデータ配信が容易な更新方式

(2) 高精度自車位置演算(精度：50cm, 95%)

- ①準天頂衛星／SBAS衛星の測位補強信号と搬送波位相を用いた測位
- ②カメラを用いたレーンマップマッチング
- ③GNSSのRawデータを用いた精度評価及び精度指標の出力

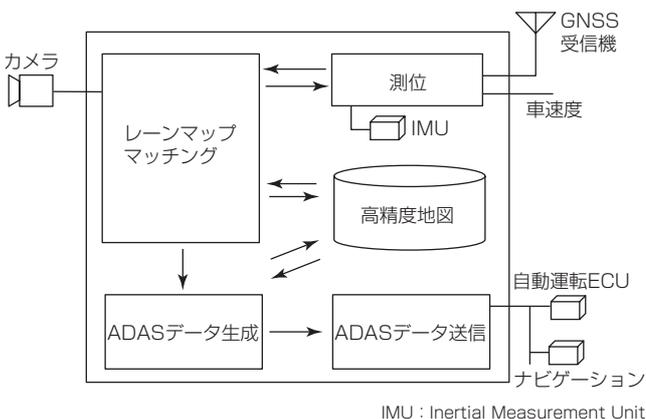


図1. 高精度ロケータの構成

(3) ADASデータの出力

- ①ADASIS(Advanced Driver Assistance Systems Interface Specification)v2に準拠した予防安全向けデータの出力
- ②自動運転向けレーンレベル走行パスの出力
- ③高精度地図データコンテンツの出力

3. 高精度地図データ

現在カーナビゲーションで使用している地図データでは、誤差が大きいところでは市街地では数m、それ以外の場所では十数mに及ぶこともある。また、レーンごとの形状や路肩などの情報は保持しておらず、縦横断勾配や道路標識などの情報も十分にデータ化されていない。そこで、ADASや自動運転の要求に応えるため、50cm未満の絶対精度を持ってレーンごとの形状、縦横断勾配や信号機・道路標識の位置等を備えた高精度な三次元高精度地図データの開発を行う。

3.1 高精度地図データの制作

50cm未満の絶対精度で地図データを制作するには、高度な測量技術が必要である。また、地図データの更新に鑑みると測量効率の良さも必要である。これらの条件を満たす測量システムとして、業界で優れた実績のあるモービルマッピングシステム(MMS)⁽²⁾を採用することにした。MMSは、走行しながらカメラ画像及び高精度な三次元レーザ点群データを取得して、これらを基に自動運転向けに必要な区画線の形状や道路標識の位置などを正確に取得する。現在、高速道路での自動運転の実現に向けて、地図会社及び測量会社と協力して高速道路の高精度地図のデータ整備を進めている。

3.2 車載向け高精度地図データの開発

高精度地図データでは、例えばレーンごとの詳細な三次元形状情報を保持するため、従来のカーナビゲーション向け地図データと比較してデータサイズが増加する。一方、自動運転で地図データを使用するためにはデータの鮮度を保つことが重要である。このため、通信を用いてサーバから更新データを直接車載機に配信する。そこで、更新データの配信が容易なコンパクトな車載向け高精度地図データの開発を行った。

まず、データサイズに最も影響が大きい区画線等の形状データには曲線表現を用いるなど、独自のデータ圧縮技術で大幅にデータサイズを削減した。この結果、日本全国の高速道路の高精度地図データのサイズを200MB程度に抑えることができた。次に、地図更新の際には現実世界で変化があった道路のデータだけを差分データとして提供する技術を開発した。

これらによって、例えば新規に高速道路の路線が開通した場合でも、数百KB程度のデータサイズで地図データの更新が可能であり、通信を用いたデータ配信が容易になる。

4. 高精度測位技術

一般的に車載向けに使用されるGNSS受信機では衛星が放射した電波の伝播(でんぱ)時間から算出した擬似距離を用いたコード測位方式を採用しているが、様々な誤差要因(図2)によって精度は10m程度である。近年は、SBAS衛星によるDGPS(Differential GPS)に対応したマルチGNSS受信機の利用が進んでおり、オープンスカイ環境の精度は2~3mが期待されている。

一方、自動運転では1m以下の精度が要求されており、現行の車載用GNSS受信機から更なる高精度化が必要になっている。そこで、カーナビゲーション開発で培った技術をベースに、次の測位技術を適用した高精度ロケータの開発を進めている。

- (1) QZS/SBASの測位補強信号と2周波の搬送波位相を用いた精密単独測位(Precise Point Positioning: PPP)
- (2) 精密単独測位と自律航法(DR)との複合測位

今回、PPPを車載向け高精度ロケータに適用する際の課題について解決を図った。

4.1 PPPの車載適用での課題

PPPの車載適用に当たって、移動体での測位、自車周辺の環境変化、安価な受信機とセンサの使用を考慮する必要

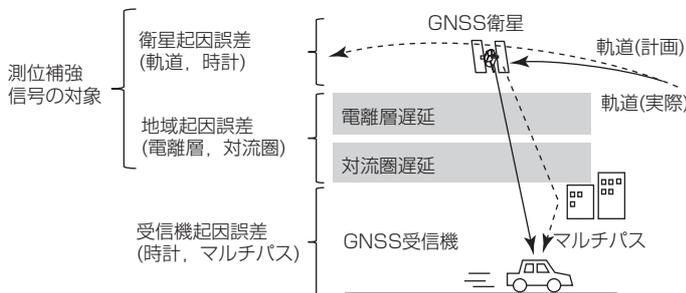


図2. GNSS測位の誤差要因

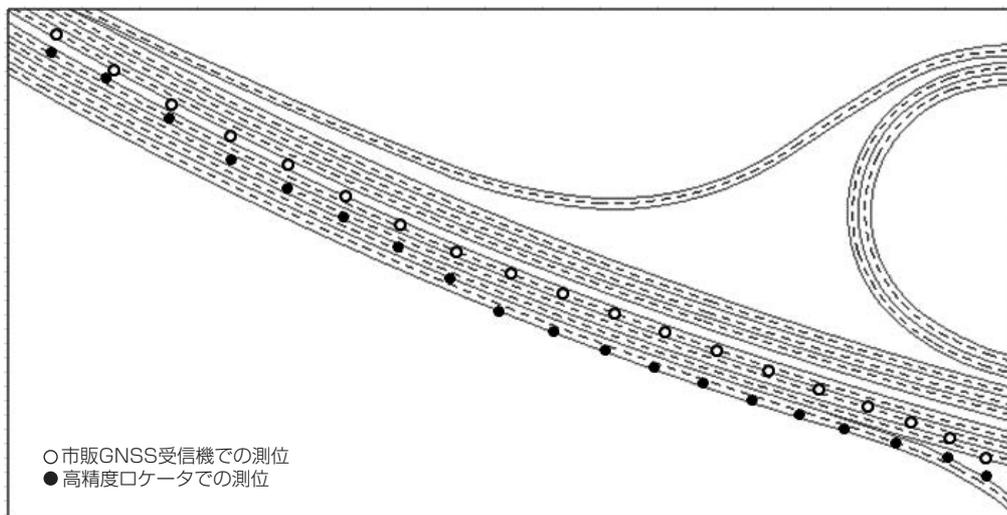


図3. 市販GNSS受信機での測位と高精度ロケータでの測位の比較

がある。特に、次の2つが課題である。

- (1) 受信機内蔵時計誤差の補正

測量用GNSS受信機と比べて車載用GNSS受信機は安価な時計を使用しており、温度補償がない水晶発振器を使用するGNSS受信機もある。このため、時刻を刻む基準タイミング信号の精度不足が懸念される。この精度不足に応じて、車載用GNSS受信機が観測したRawデータ(擬似距離, ドップラー, 搬送波位相)全てに観測誤差が生じる。高精度化を図るためには、時計誤差の補正が必要である。

- (2) 搬送波位相の補正

測量分野では、擬似距離の雑音低減のために、搬送波位相を用いて擬似距離を平滑化するキャリアスムージングが行われている。一方、移動体では、電波遮断時に搬送波位相が不連続になる問題(サイクルスリップ)と周辺建築物への電波反射で擬似距離に大きな誤差を生じる問題(マルチパス)があるため、車載に適したキャリアスムージングが必要である。

4.2 課題解決策

これら課題について、高精度ロケータでは、車載用GNSS受信機から出力されるRawデータを用いた補正ロジックを導入することで課題の解決を図った。

5. 実験評価

高精度地図データを用いて、4章で述べた補正ロジックを適用したPPPの実車走行による実験評価を行った。

5.1 実験評価方法

中国自動車道の西宮北IC~神戸三田ICの区間で高精度地図データを作成して、高精度ロケータを用いて2015年10月30日に走行評価を実施した。西宮北ICから本線に合流後、右端の追越しレーンへ車線変更を行い、その間の測位結果を記録して精度評価を行う。

今回開発した補正ロジックは、SBAS補強1周波PPP方

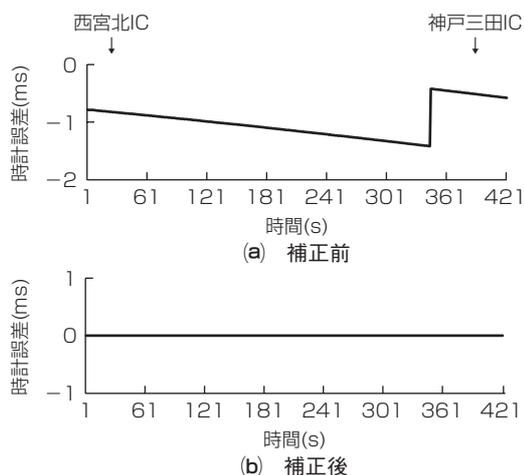


図4. GNSS受信機内蔵時計誤差

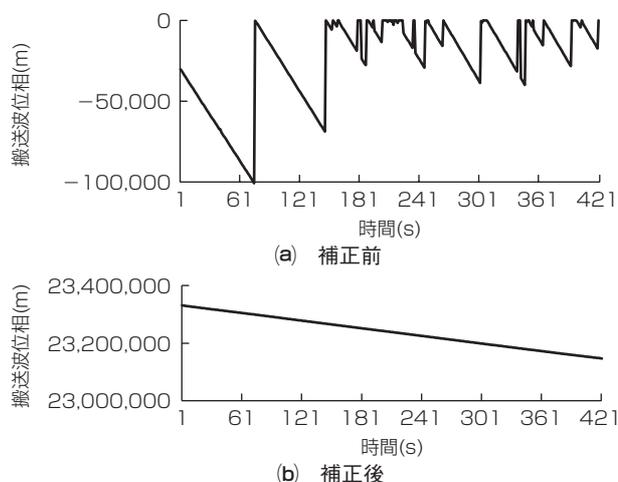


図5. 搬送波位相

式として高精度ロケータに組み込んでおり、比較のために同じ測位方式に対応した市販GNSS受信機での測位も同時に行った。

5.2 実験評価結果

市販GNSS受信機と高精度ロケータが測位した自車位置の軌跡を図3に示す。市販GNSS受信機での測位ではスムーズな軌跡が得られて精度のばらつきは抑えられているが、自車位置にバイアス誤差が生じて走行レーンから一定方向に外れる結果となった。一方、高精度ロケータでは走行レーンを比較的正しくトレースしており、精度のばらつきはなく、バイアス誤差が抑えられることが確認できる。また、車線変更時の軌跡形状が良好に計測できていることから、

精度自体も高いことが確認できた。

次に、今回開発した補正ロジックの有効性確認を行った。

課題の1つである受信機内蔵時計誤差の補正前、補正後の結果を図4に示す。グラフの縦軸は時計誤差を表しており、補正前は時間経過とともに $-1 \pm 0.5\text{ms}$ の範囲内に時計誤差が収まるようにステップ変化している。補正後は、この時計誤差が0ms近くまで(30ns以下)低減されている結果が得られた。測量用GNSS受信機と同じnsオーダーの誤差であるため、高精度に補正できたものと考えられる。

もう1つの課題である搬送波位相の補正前、補正後の結果を図5に示す。補正前はサイクルスリップが発生して波形が不連続になっているが、補正後は連続波形になって搬送波位相の復元が正しく行われることが確認できた。

これらのことから、今回開発した補正ロジックは正しく機能しており、市販GNSS受信機と比べて高精度の測位結果が得られたと言える。

6. む す び

車載向け高精度ロケータ用に、コンパクトかつ通信による更新データ配信が容易な高精度地図データの開発を行った。また、PPPの車載適用に向けて、使用上の課題である受信機内蔵時計誤差と搬送波位相の補正を行うロジックを開発して、高精度ロケータへ組み込んだ。

高精度地図データを作成した高速道路で走行実験を行い、補正ロジックが有効に機能して走行レーンを同定できる位置精度が出ていることを確認した。

今後、更なる高精度化に向けて、2周波PPP、CLAS方式のPPP(RTK(Real Time Kinematic)-PPP)にも対応して、それぞれDRとの複合測位化を図る。また、高速道路以外での自動運転の実現に向けて、高精度地図データの一般道路への適用についても検討を行う。

参 考 文 献

- (1) 瀧口純一, ほか: 準天頂衛星システムによる都市部での衛星測位の可用性の拡大, 三菱電機技報, 89, No.3, 162~165 (2015)
- (2) 石川貴一郎, ほか: モービルマッピングシステムによる都市空間モデリング, 計測自動制御学会産業論文集, 8, No.17, 132~139 (2009)