

[自動運転元年]



3 自動運転を支える 高精度測位と高精度地図



五十嵐雄治 元岡範純 佐藤友紀 濱田悠司

三菱電機 (株)

自動運転に必要な測位・地図

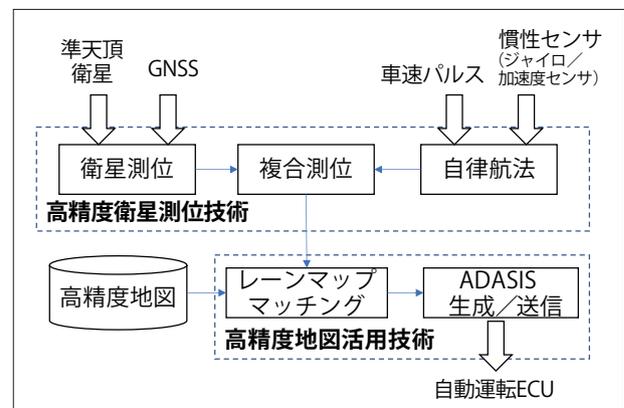
自動運転技術は、レベル1～5の5段階で区分され¹⁾、高速道路の渋滞時に限定されるレベル3の実用化は始まっているが、現在広く実用化されているのはACC (Adaptive Cruise Control) やLKAS (Lane Keep Assist System) などレベル2である。

自動運転の実現に向けては、停車位置や自車と他車の車両間の相対距離をセンチメートルレベルの精度で認識する必要がある。車両の位置の測位方式にはLiDAR (Light Detection And Ranging) やミリ波など自動運転車に搭載したセンサを用いることも可能であるが、曲がり角の先にいる車両や歩行者などセンサの死角にいる位置の障害物や停車すべき停止線の位置などを自動運転車が事前に検知するためには、道路地図上における自車と障害物および停止線までの相対位置を認識できる必要がある。

また、自動運転レベル3～4は「特定条件下における自動運転/完全自動運転」、レベル5は「完全自動運転」とそれぞれ定義されており、レベ

ル3～4においては運行設計領域 (ODD : Operational Design Domain) と呼ばれ、時間・天候などの環境条件および走行コース・運行速度・通信環境・歩者分離状況・交通量などの道路・地理条件などあらかじめ満たす領域で走行が限定されている。

レベル3, 4の自動運転においては、自動運転車両が出発地から目的地まで走行するためには地図上のどこを走行しているか、車両がODD範囲内か否かを認識する必要がある。そのため、自動運転システムには図-1に示すように衛星測位、自律航法を



■図-1 自動運転に必要な測位・地図²⁾

特集
Special Feature

用いた複合測位を行う高精度衛星測位技術と、あらかじめ作成した高精度地図とのレーンレベルのマッピングを行い、走行車線を推定する高精度地図活用技術が必要である。また、自動運転に必要な車線レベルの道路地図、道路地図上の障害物、自転車位置等の情報を通知する仕組みとして先進運転支援システムインタフェース仕様（ADASIS：Advanced Driver Assistance Systems Interface Specification）規格が策定されている。

本稿では衛星測位および自律航法を用いた高精度衛星測位技術、および自動運転システム向けの高精度地図活用技術について述べる。

高精度衛星測位技術

衛星測位

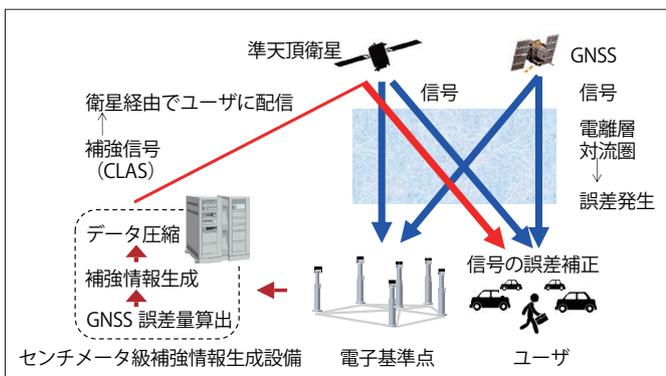
擬似距離観測量を用いた従来のGPS測位では誤差が数メートルであったが、近年は、RTK（Real Time Kinematic）を始めとした搬送波位相観測量を用いた精密測位により、良好な測位環境においては衛星測位単独でセンチメートル級の位置精度が得られている。また、MADOCA（Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis）やCLAS（Centimeter Level Augmentation Service）など、測位補強情報をユーザに提供するサービスが普及してきており、基準局がなくてもセンチメートル級の精密単独測位が可能となっ

ている。

本章では、CLASの補強情報を用いた高精度衛星測位技術²⁾について述べる。

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-2に、主な仕様を表-1に示す。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（Global Navigation Satellite System）としては初となるセンチメートル級の測位を可能とする補強情報を送信するサービスで、日本全国およびその近海に配信される。衛星からの補正情報の送信とは異なり、衛星の可視性が保持できる環境にて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道における自動走行・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への利活用が期待されている。

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。CLASLIBの測位処理では、補強情報によって誤差が補正された擬似距離観測量および搬送波位相観測量を用いて、カルマンフィルタによって、位置/速度/加速度、電離層遅延残差、および搬送波位相に含まれる整数値バイアスを推定する。カルマンフィルタでは、整数値バイアスは実



■図-2 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	日本国および領海（約80万km ² ）
位置精度 （オープンスカイ、95%）	静止：水平6cm／垂直12m 移動：水平12cm／垂直24m
初期化時間（95%）	60秒以下（補強情報取得時間含む）

特集
Special Feature

数値として推定され、その後、LAMBDA(Least-squares AMBIGUITY Decorrelation Adjustment) 法等の整数探索手法を用いて整数値バイアスの整数化を行う。

電波受信環境が多様に変化する車載利用環境下では、建物等で反射した測位信号（マルチパス）によって、擬似距離観測量に大きなバイアス誤差が生じる。したがって、高精度な測位解を得るためには、マルチパスの影響を抑制する必要がある。マルチパス影響軽減策としては、観測量の重み（観測誤差行列の値）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、観測誤差行列の値を時間の経過とともに更新する手法がある（図-3）。

INS 複合測位

IMU（ジャイロ、加速度センサ）や気圧計、車速パルスなどのセンサ情報を補完的に利用するこ

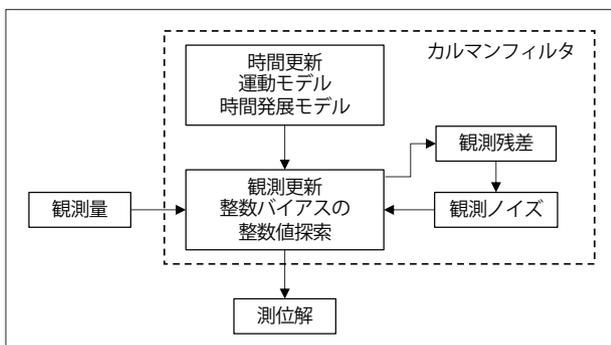


図-3 CLAS 測位の構成図

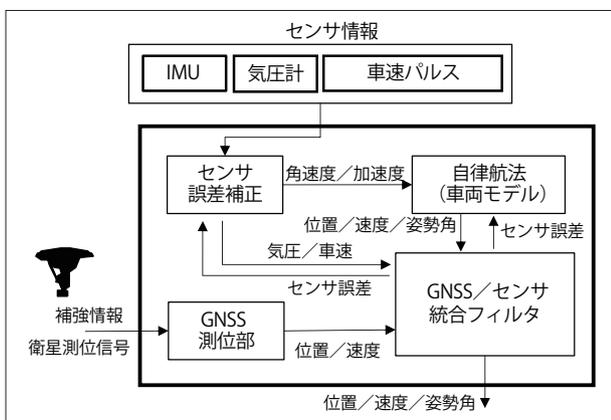


図-4 複合測位構成図(疎結合)

とで、都市部やトンネル通過等の測位信号が一時的に遮断される環境下においても、位置推定を継続できる。

GNSS 測位と INS (Inertial Measurement Unit) 等のセンサ情報を複合させる測位方式の例を図-4に示す。GNSS / センサ統合フィルタにて、GNSS 測位部で計算した位置 / 速度からスケールファクタやバイアス等のセンサ誤差を推定する。これにより、衛星不可視の時間帯においても、誤差補正されたセンサ情報と車両モデルを用いた自律航法（時間伝搬）によって、車両の位置 / 速度 / 姿勢角を取得できる。車両モデルとしては、幾何学モデル (Geometric Model)、運動学モデル (Kinematic Model)、動力学モデル (Dynamic Model) 等があり、取得可能なセンサ情報や計算コスト等を考慮してモデルを選択する。

図-4 では、GNSS 測位部で求めた位置 / 速度を GNSS / センサ統合フィルタに入力しているが、擬似距離観測量、搬送波位相観測量、およびドップラー観測量を入力として、センサ情報と統合する方式もあり、前者を疎結合（ルースカップリング）、後者を密結合（タイトカップリング）と一般に呼ばれている。

車両が旋回する際には横滑りが発生し、車両姿勢（前方方向）と速度ベクトルとの間の角度が生じる（図-5）。自律航法時は速度ベクトルを積分して位置を求めるため、速度ベクトルを精度良く推定できている必要がある。衛星測位可視時は、

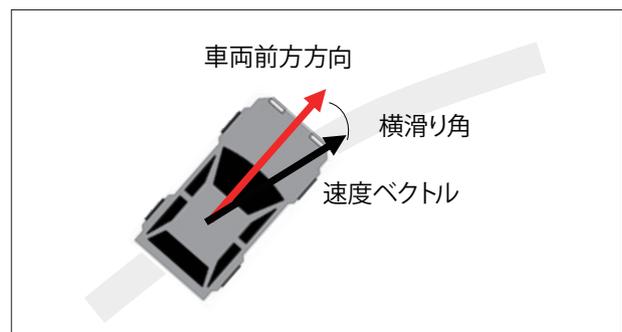


図-5 車両の横滑り

ドップラー観測量から速度ベクトルを直接推定することが可能であるが、衛星不可視時は、車両の姿勢（向き）と横滑り角から速度ベクトルを推定する必要がある。横滑り角は角速度と速度の積に比例する関係性から、事前に比例係数を求めておくことで横滑り角を簡易的に求める手法がある³⁾。

高精度地図活用技術

高精度三次元地図

カーナビゲーションで使用しているデータでは誤差が大きいところでは市街地で数メートル、それ以外の場所では10数メートルに及ぶこともある。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、50センチメートル未満の絶対精度を持ち、レーンごとの中心線や区画線の形状、縦横断勾配や信号機・道路標識の位置などさまざまな情報を備えた高精度三次元地図データの整備が進められている（図-6）。

GPS、カメラ、レーザスキャナ、IMU（Inertial Measurement Unit）などを搭載した車両MMS（Mobile Mapping System）を用いて、3次元点群データと道路画像を取得し、これらのデータをも

とに「センチメートル級」の高精度三次元地図データは生成される。

高精度な三次元地図と測位を組み合わせることにより、ミリ波レーダや光学式カメラなどの車載センサでは判別できない遠くの道路状況を先読みすることもでき、高精度地図を高度な自動運転において使用する判断材料の1つとして活用できる。その結果、自動車専用道路ではカーブや料金所に近づくとき速度をコントロールしたり、走行車線と区画線の情報を基に車線移動のアシストも可能となる。

レーンマップマッチング

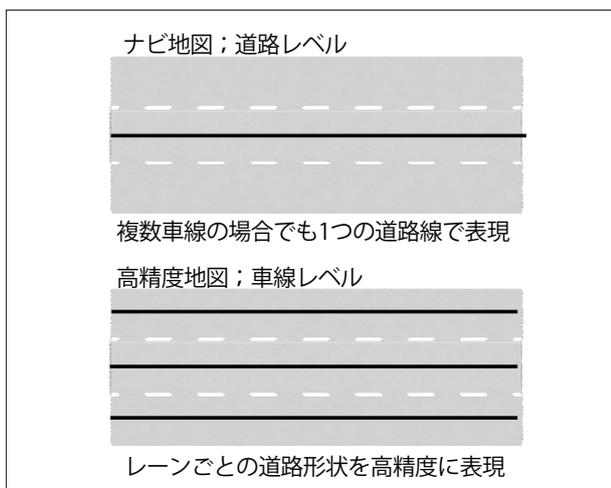
自動運転システムでは走行ルート上のどの車線を走るか、どこで車線変更をするか等のパスプランニングを行う必要があるため、走行車線を特定することが不可欠である。

マップマッチングとは、衛星測位やINS複合測位により得られた位置情報を、地図の道路ネットワーク情報とを紐づけし、道路地図上の位置を特定する技術である。特に、高精度測位情報と高精度三次元地図の車線データを用いるレーンレベルのマップマッチングでは、走行レーンを推定してレーン内の自車位置と車両の向きを同定することができる。これにより、INS複合測位に誤差が累積するような場合や衛星不可視の場合にも測位誤差を補正することができ、自動運転への適用が可能となる。

ADASIS

自動運転においては、センサや高精度地図に基づいて周辺の走行環境を高精度に認知し、自動運転ECUに提供することが求められている。

代表的な方式として、ADAS向けの業界標準となっている先進運転支援システムインタフェース仕様（ADASIS）規格がある⁴⁾。この規格では、自車の走行予定の道路（走行経路）に沿って、地図デー



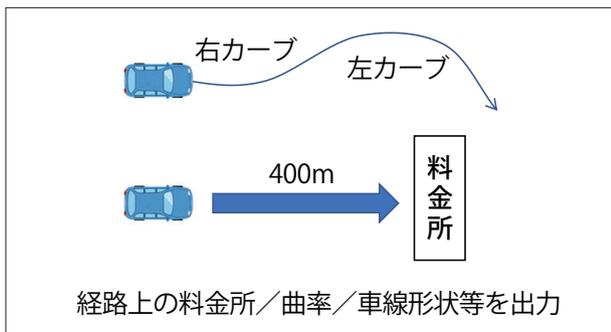
■図-6 ナビ地図と高精度地図の比較

タの相対位置を配信することができる (図-7)。

ADASISv2 では道路レベルの形状、接続関係等が配信される仕様に対して、ADASISv3 では自動運転をサポートするために車線レベルの形状、接続関係等の情報を配信できるように拡張されている。

今後の展望

トンネルや高架下等の非オープンスカイ環境、都市部のマルチパス環境においては、高精度な測位が難しい状況が発生する。そのため、前方カメラやLiDARなどのセンサによるランドマーク認識結果と、高精度地図にあらかじめ収録されているランドマーク位置情報を照合する等、センサや高



■図-7 ADASIS 出力例

精度地図を活用して高精度測位の信頼性向上、ロバスト化を行うことが今後、期待される。

参考文献

- 1) 自動車用運転自動化システムのレベル分類および定義, JASO TP 18004:2018.
- 2) 三菱電機技報, Vol.95, No.7 (2021).
- 3) 高野瀬 他: 都市部環境下で適用可能な GNSS/INS に関する研究, 自動車技術会論文集, Vol.51, No.4 (July 2020).
- 4) Adasis Website, <https://adasis.org/>
(2021年10月5日受付)

■五十嵐雄治 Igarashi.Yuji@ab.MitsubishiElectric.co.jp

2003年東北大学大学院工学研究科修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。ETC2.0の標準化とシステム開発に従事。現在、同社、先端技術総合研究所に所属。電気学会会員。

■元岡範純 Motooka.Norizumi@cw.MitsubishiElectric.co.jp

2013年東京大学大学院工学系研究科博士後期課程修了。同年三菱電機(株)入社。先端技術総合研究所にて、センチメートル級測位補強サービス(CLAS)を利用した精密単独測位技術や、GNSS/INS複合測位技術の開発に従事。博士(工学)。日本航空宇宙学会会員。

■佐藤友紀 Yuki.Sato@dn.MitsubishiElectric.co.jp

2009年東京大学大学院工学系研究科修士過程修了。同年三菱電機(株)入社。準天頂衛星システムを用いたセンチメートル級測位技術の開発に従事。現在、同社、先端技術総合研究所に所属。測位航法学会会員。

■濱田悠司 Hamada.Yuji@da.MitsubishiElectric.co.jp

2005年大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年三菱電機(株)入社。先端技術総合研究所にて、無線通信を用いた運転支援システム、自動運転システムの開発に従事。