

3.2. 位置特定パッケージの基本検討

3.2.1. 精度向上対策

(1) GPS データ遅延に対する同期アルゴリズム

a) GPS 方位の遅延補正処理

■ アルゴリズム

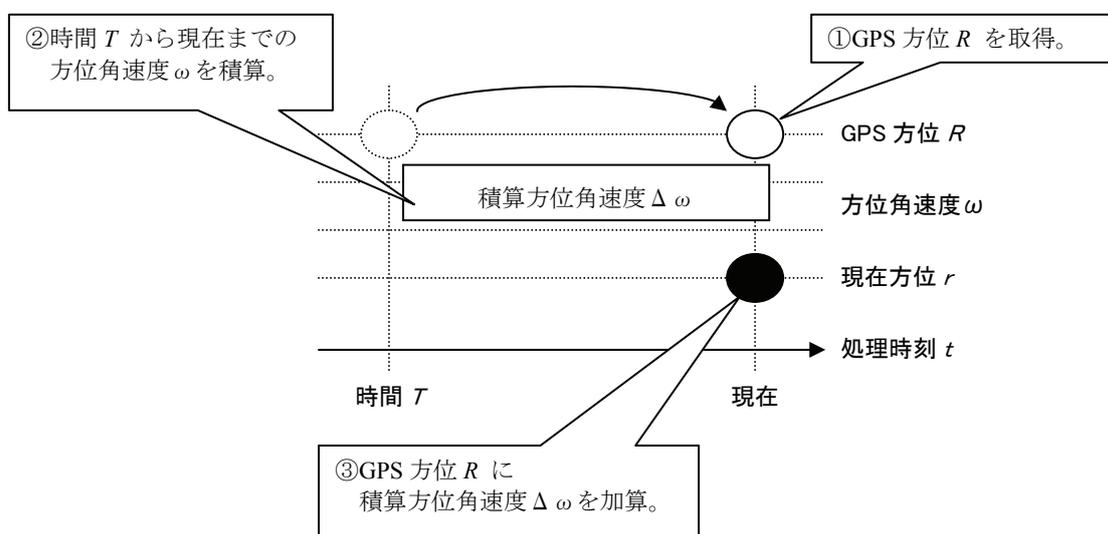


図 3-2 : GPS 方位の遅延処理アルゴリズム

上図に示すように、まず、①GPS 方位 R を取得する。この GPS 方位 R は、現在より時間 T 前の GPS 方位のため、時間 T から現在までの方位変化分を補完する必要がある。

ここで、②時間 T から現在までの方位角速度 ω を積算し、③GPS 方位 R に積算方位角速度 $\Delta\omega$ を加算し、現在方位 r として出力する。

これを数式で表すと、下式のようなになる。

$$r(t) = R(t) + \Delta\omega(t) \quad \therefore \quad \Delta\omega(t) = \int_{t=-T}^0 \omega(t) dt$$

■ 遅延時間算出

- ① H14 年度業務で取得した走行データについて、下記の 2 つのデータを作成する。
方位角速度積分し、積算方位角速度を作成。
GPS 方位について 10[Hz]補完し平滑化処理を行い、平滑 GPS 方位を作成。
- ② 積算方位角速度に対して平滑 GPS 方位を 0.1[sec]間隔で遅延させ、
積算方位角速度と平滑 GPS 方位が最も同期する(=差分が最もばらつかない)ときの遅延時間を GPS 方位の遅延時間とする。

上記枠線内の作業実施した結果、汎用 GPS の GPS 方位の遅延時間は約 1.9 秒となった。

GPS方位(平滑)および方位角速度(積算)
 コース:交差路、GPS:汎用、自律:3軸

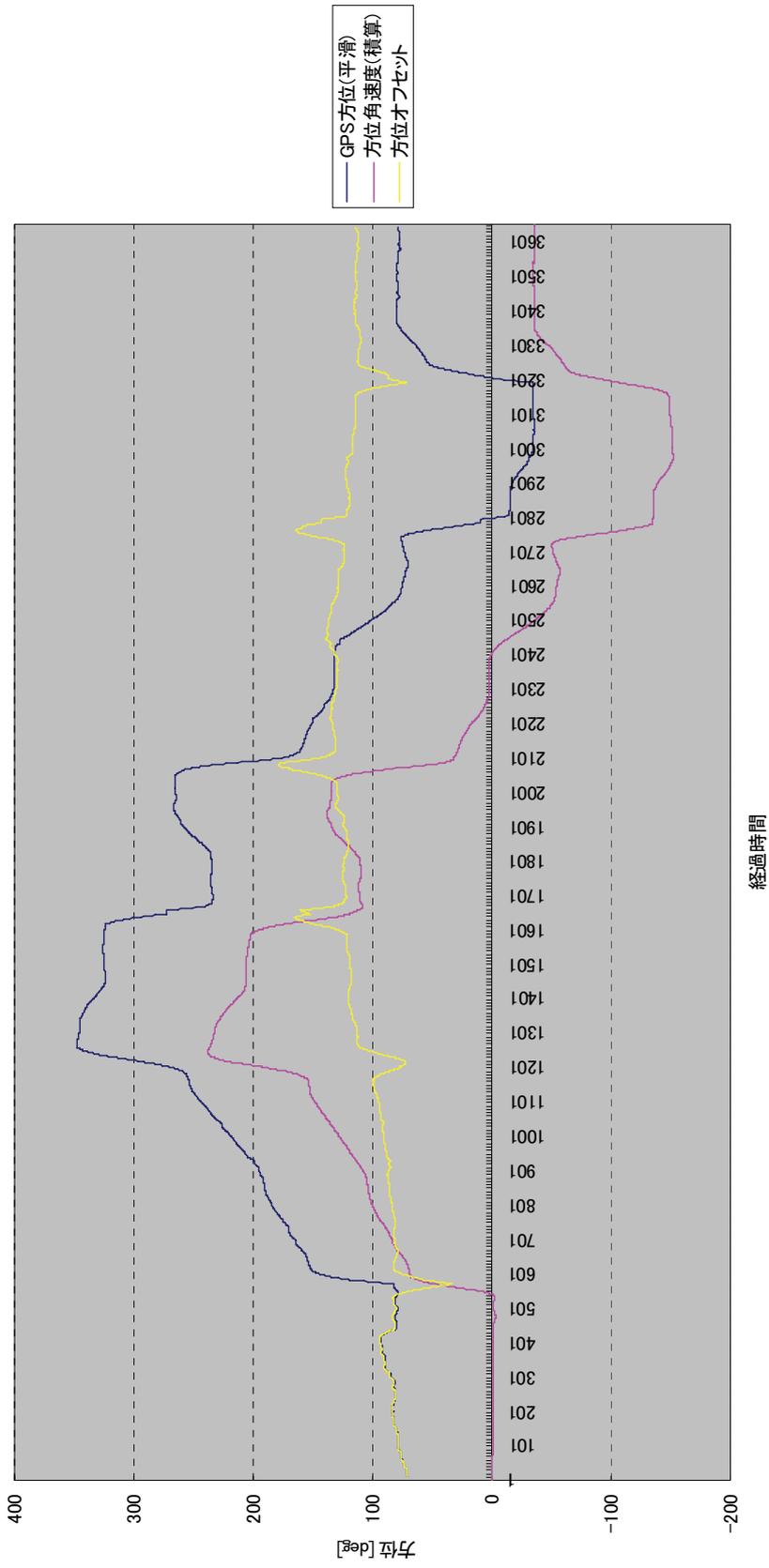


図 3-3 GPS 方位(平滑) および 方位角速度(積算)

GPS方位(平滑) および 方位角速度(積算) 遅延 1.9秒
 コース: 交差路、GPS: 汎用、自律: 3軸

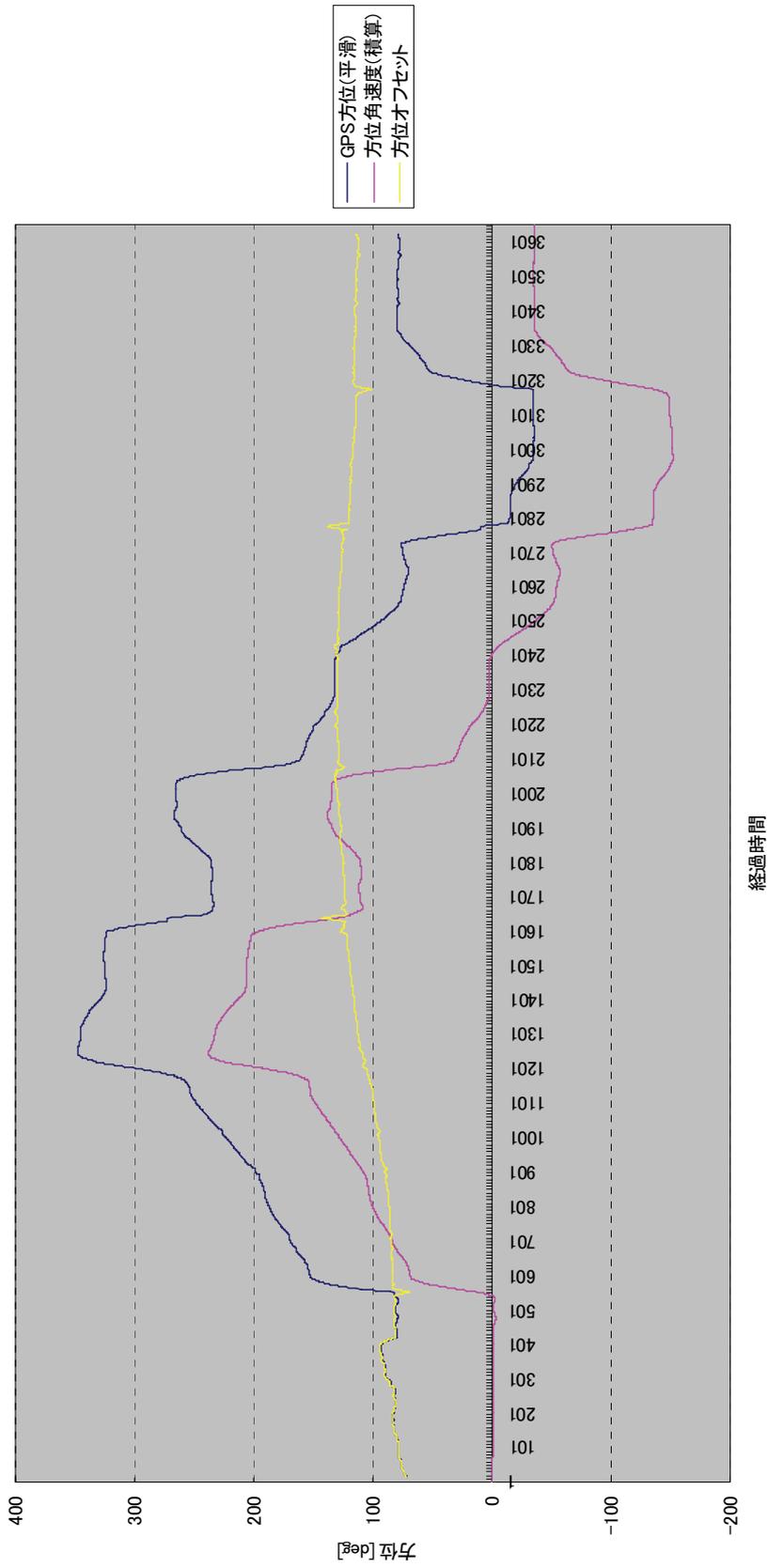


図 3-4 GPS 方位(平滑) および 方位角速度(積算) 遅延 1.9 秒

b) GPS 速度の遅延補正処理

■ アルゴリズム

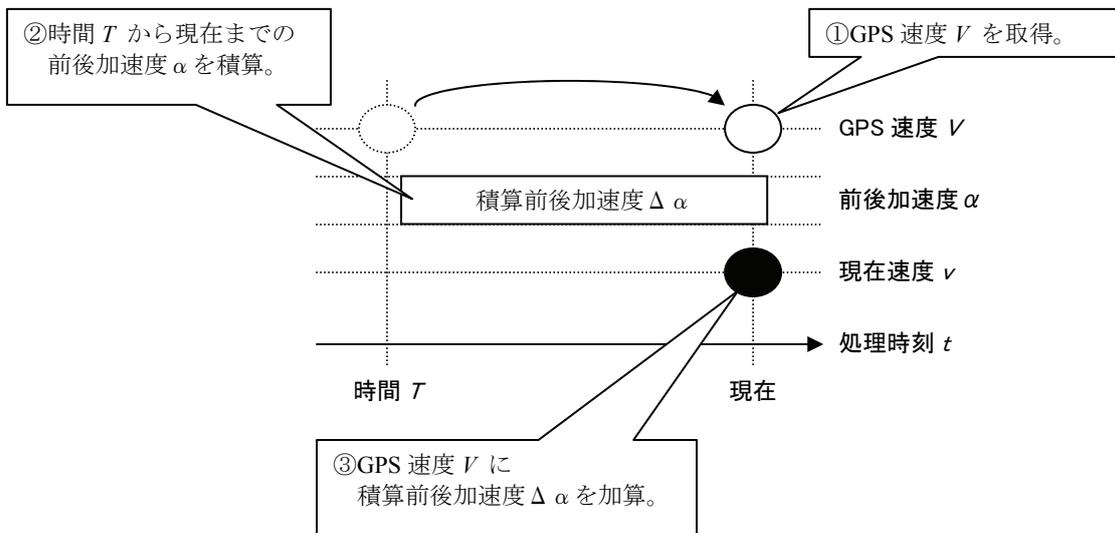


図 3-5 : GPS 速度の遅延処理アルゴリズム

上図に示すように、まず、①GPS 速度 V を取得する。この GPS 速度 V は、現在より時間 T 前の GPS 速度のため、時間 T から現在までの速度増減分を補完する必要がある。

ここで、②時間 T から現在までの前後加速度 α を積算し、③GPS 速度 V に積算前後加速度 $\Delta\alpha$ を加算し、現在速度 v として出力する。

これを数式で表すと、下式のようなになる。

$$v(t) = V(t) + \Delta\alpha(t) \quad \therefore \quad \Delta\alpha(t) = \int_{t=-T}^0 \alpha(t) dt$$

■ 遅延時間算出

- ① H14 年度業務で取得した走行データについて、下記の 2 つのデータを作成する。
前後加速度を積分し、積算前後加速度を作成。
GPS 速度について 10[Hz]補完し平滑化処理を行い、平滑 GPS 速度を作成。
- ② 積算前後加速度に対して平滑 GPS 速度を 0.1[sec]間隔で遅延させ、
積算前後加速度と平滑 GPS 速度が最も同期する(=差分が最もばらつかない)ときの遅延時間を GPS 速度の遅延時間とする。

上記枠線内の作業実施した結果、汎用 GPS の GPS 速度の遅延時間は約 2.2 秒となった。

GPS速度(平滑)および前後加速度(積算)
 コース:交差路、GPS:利用、自律:3軸

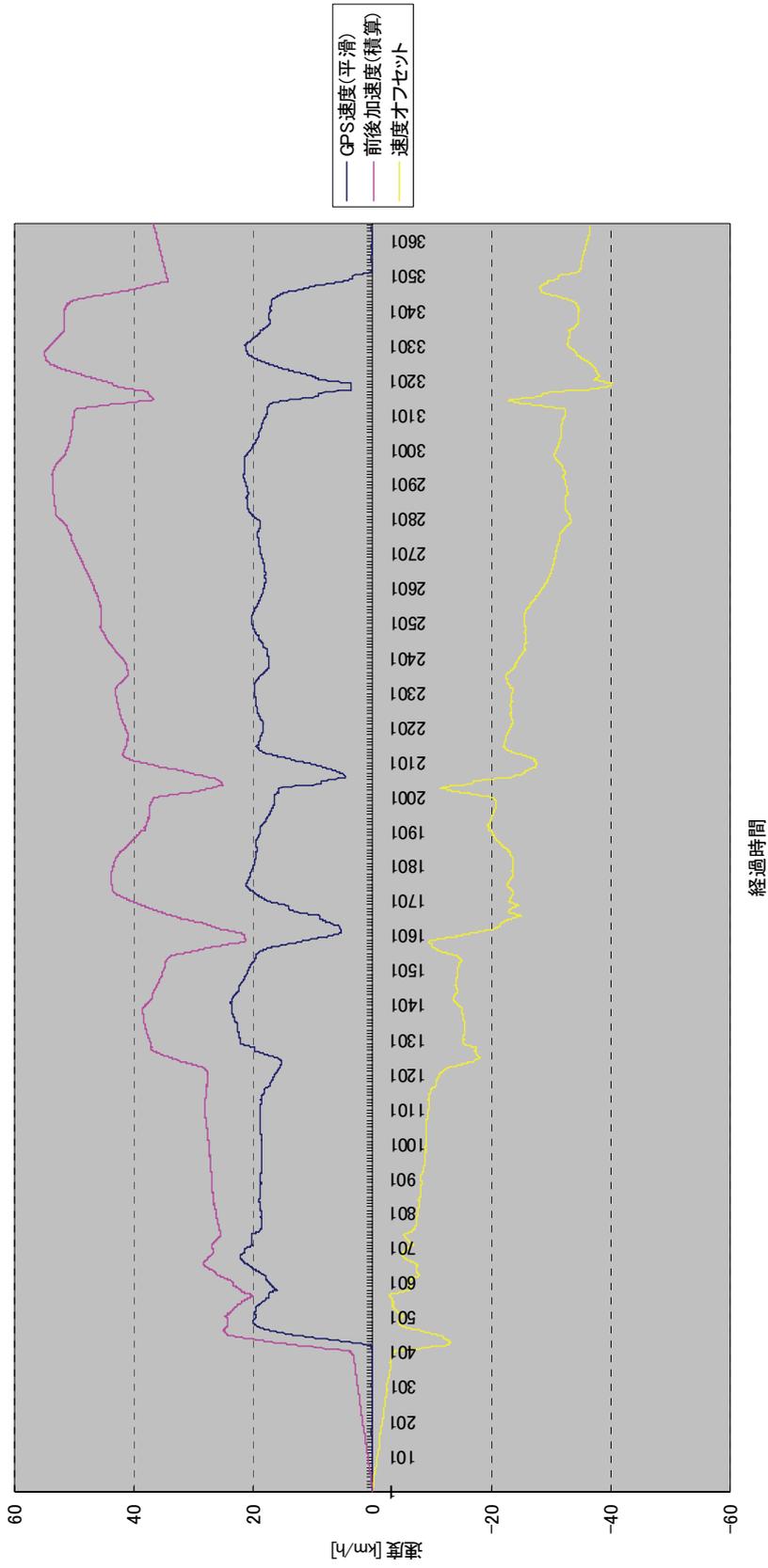


図 3-6 GPS 速度(平滑) および 前後加速度(積算)

GPS速度(平滑)および前後加速度(積算) 遅延2.2秒
 コース: 交差路、GPS: 汎用、自律: 3軸

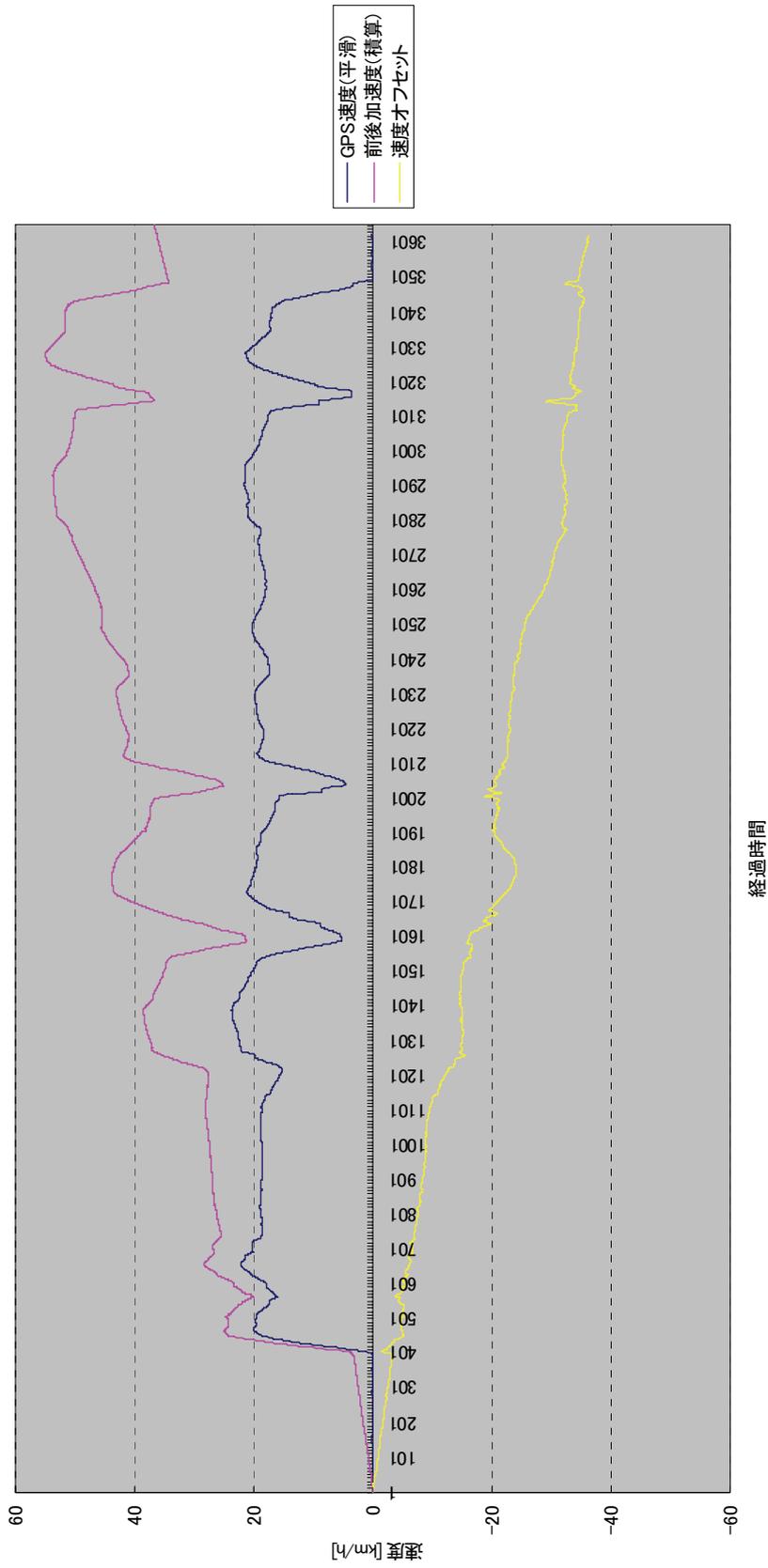


図 3-7 GPS 速度(平滑) および 前後加速度(積算) 遅延 2.2 秒

c) GPS 位置の遅延補正処理アルゴリズム

■ アルゴリズム

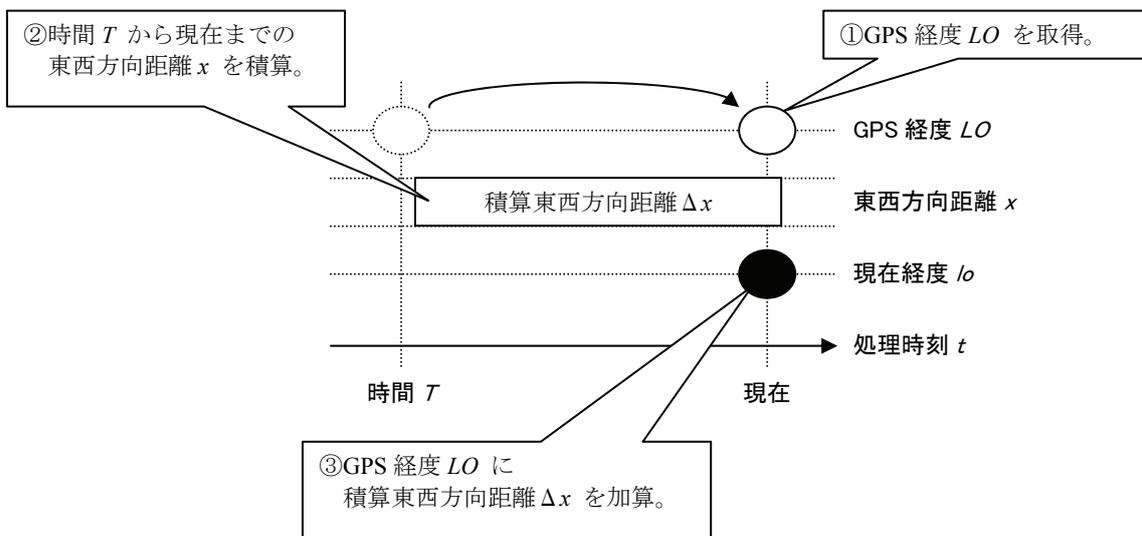


図 3-8 : GPS 経度の遅延処理アルゴリズム

上図に示すように、まず、①GPS 経度 LO を取得する。この GPS 経度 LO は、現在より時間 T 前の GPS 経度のため、時間 T から現在までの東西方向距離増減分を補完する必要がある。

ここで、②時間 T から現在までの東西方向距離 x を積算し、③GPS 経度 LO に積算東西方向距離 Δx を加算し、現在経度 lo として出力する。

これを数式で表すと、下式のようなになる。

$$lo(t) = LO(t) + \Delta x(t) \quad \therefore \quad \Delta x(t) = \int_{t=-T}^0 v(t) \times \sin(r(t)) dt$$

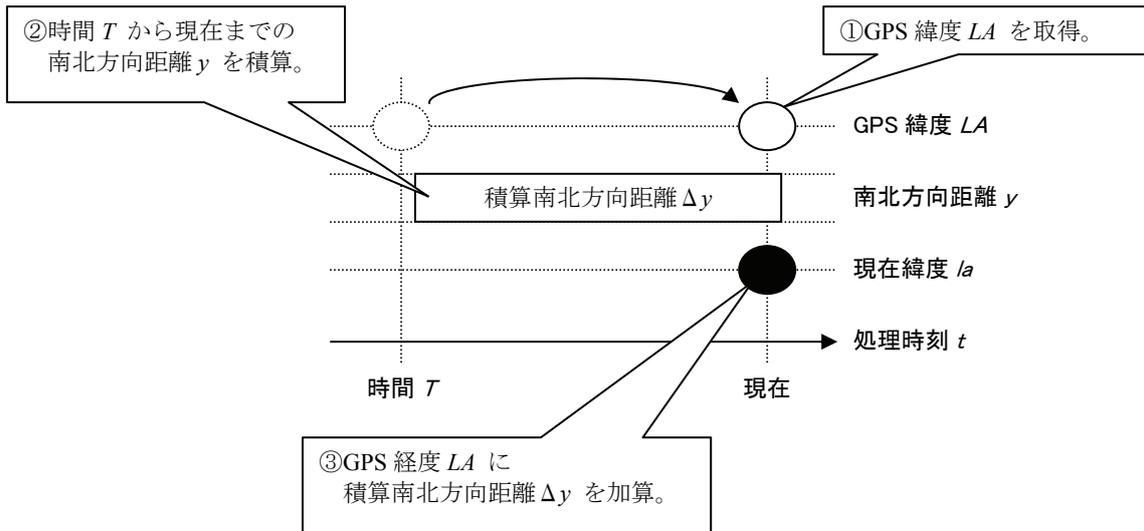


図 3-9 : GPS 緯度の遅延処理アルゴリズム

上図に示すように、まず、①GPS 緯度 LA を取得する。この GPS 緯度 LA は、現在より時間 T 前の GPS 緯度のため、時間 T から現在までの南北方向距離増減分を補完する必要がある。

ここで、②時間 T から現在までの南北方向距離 y を積算し、③GPS 経度 LA に積算南北方向距離 Δy を加算し、現在緯度 la として出力する。

これを数式で表すと、下式のようなになる。

$$la(t) = LA(t) + \Delta y(t) \quad \therefore \Delta y(t) = \int_{t-T}^0 v(t) \times \cos(r(t)) dt$$

- ① 前述の過程で算出した GPS 方位および GPS 速度の遅延時間と、0.1[sec]間隔で遅延させた GPS 位置の遅延時間を位置特定パッケージに設定し、H14 年度業務で取得した走行データを用いたシミュレーションを実行する。
- ② シミュレーションが出力した位置を軌跡グラフ化し、直角に旋回している箇所が最も直角になるときの遅延時間を GPS 位置の遅延時間とする。

上記枠線内の作業を実施した結果、汎用 GPS の GPS 位置(緯度・経度)の遅延時間は約 1.9 秒となった。

GPS位置(緯度・経度)
 コース: 交差路、GPS: 汎用、自律: 3軸

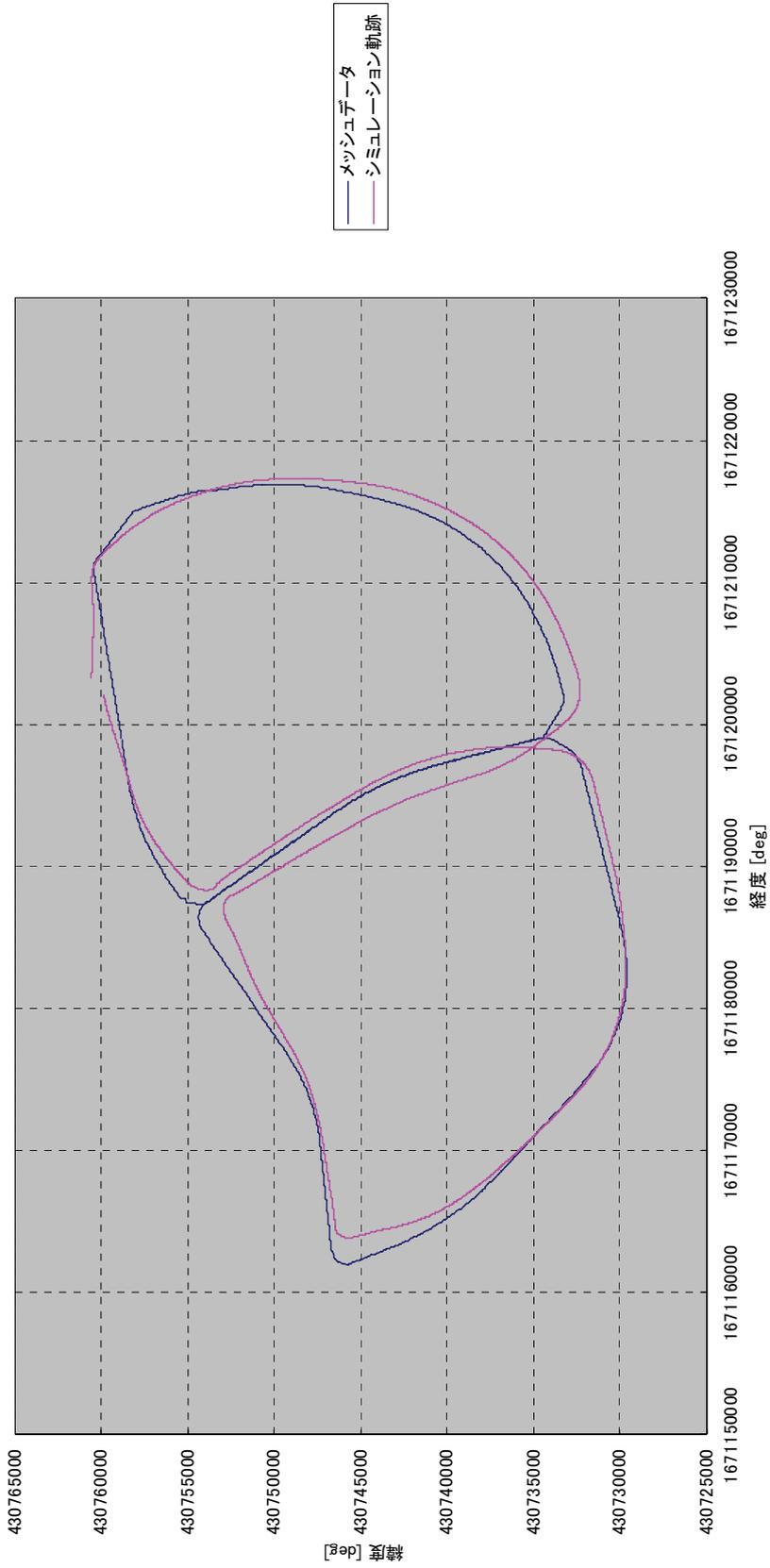


図 3-10 GPS 位置(緯度・経度)

GPS位置(緯度・経度) 遅延1.9秒
 コース: 交差点、GPS: 汎用、自律: 3軸

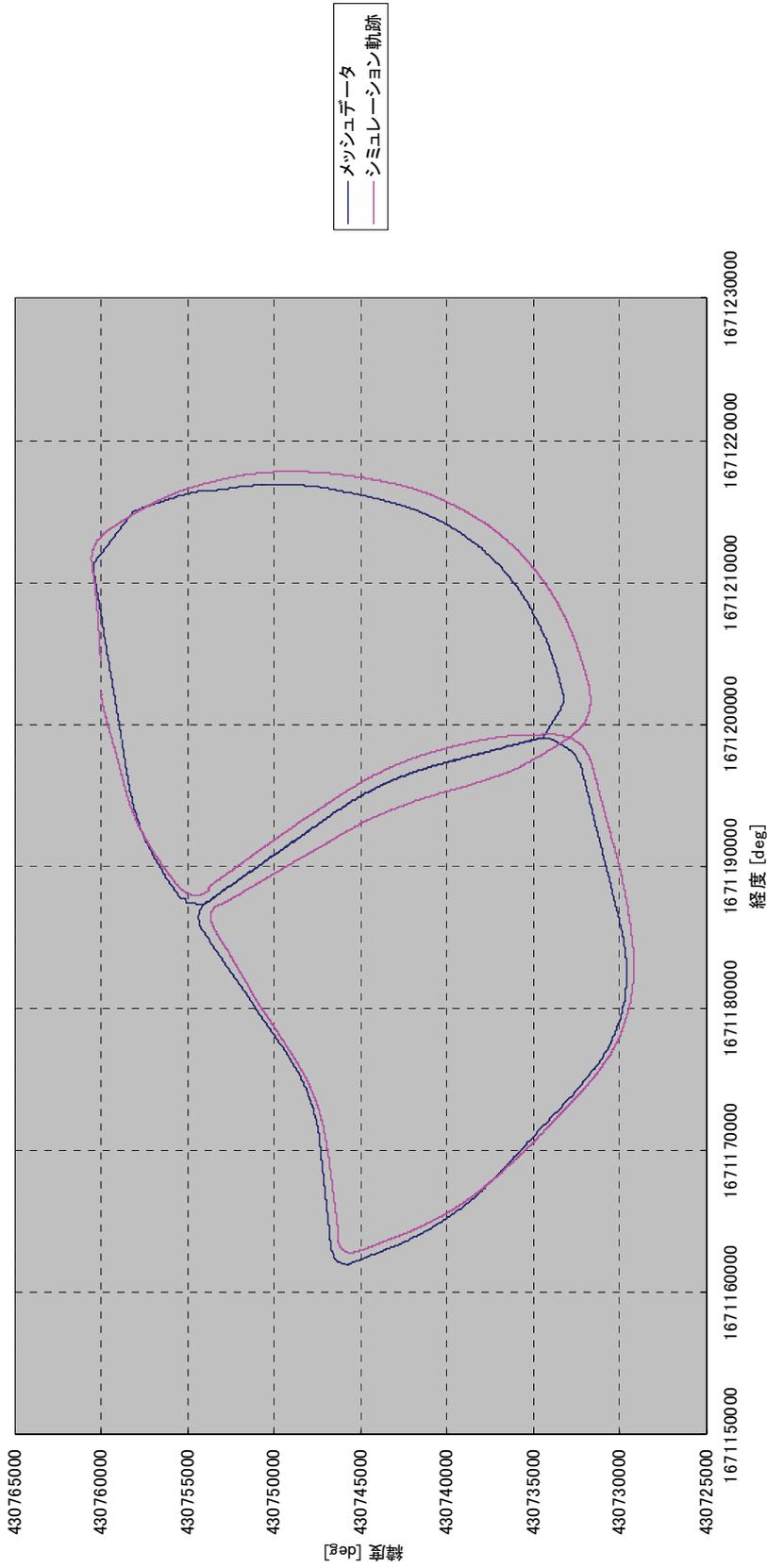


図 3-11 GPS 位置(緯度・経度) 遅延 1.9 秒

(2) マーカ補正アルゴリズムの改良

a) 概要

位置特定パッケージに実装しているレーンマーカ補正ロジックは、「レーンマーカ検出時、①検出マーカ種別と同種で②位置特定パッケージの算出位置に最も近いレーンマーカを道路 GIS から取得し、基準位置として使用する。位置特定パッケージの算出位置とレーンマーカの基準位置の誤差が補正情報となり、この補正情報をパッケージの算出位置に加算して出力する。」というアルゴリズムになっており、マーカセンサの誤検出が考慮されていない。

平成 14 年度業務の国総研テストコースの走行実験結果を解析したところ、埋設したレーンマーカの種別と検出したレーンマーカの種別が一致せず、マーカセンサに誤検出が発生していることを確認した。

従って、実際に通過したレーンマーカとは異なるレーンマーカを検索し、これを基準位置として使用したため、マーカ誤検出が発生した時の誤差量が大きくなるという問題が発生した。本年度業務では、マーカセンサの誤検出を考慮したアルゴリズムを再設計・実装し、得られた効果を検討する。

b) 設計

マーカセンサの誤検出を考慮するため、道路 GIS 検索時に誤検出防止アルゴリズムを追加する。

マーカセンサが誤検出した場合、マーカ種別の異なるマーカを道路 GIS から検索するのが大きな問題であるため、①位置特定パッケージの算出位置と仮定マーカとの距離差が 50[m] 以内、②位置特定パッケージの算出方位と仮定マーカとの方位差が $\pm 90[\text{deg}]$ 以内という二つの検索条件を追加することで、誤検出を防止する。

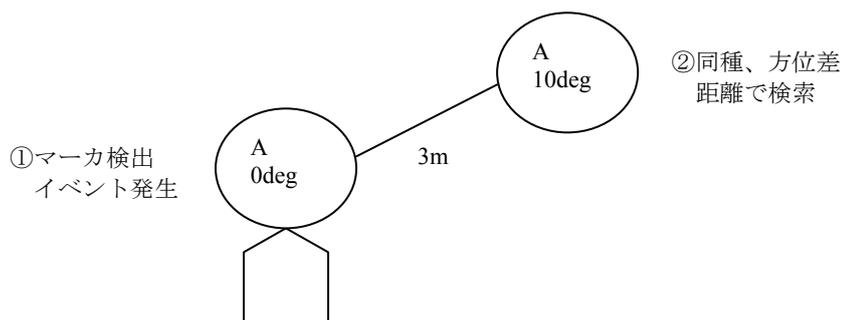


図 3-12 レーンマーカ処理順序

道路 GIS の検索時、上記の条件を満たすレーンマーカが存在しない場合、誤検出が発生している可能性が高いため、次のレーンマーカを検出するまでレーンマーカ補正をキャンセルする。

なお、道路 GIS 検索アルゴリズムのフローチャートを以下に示す通りである。

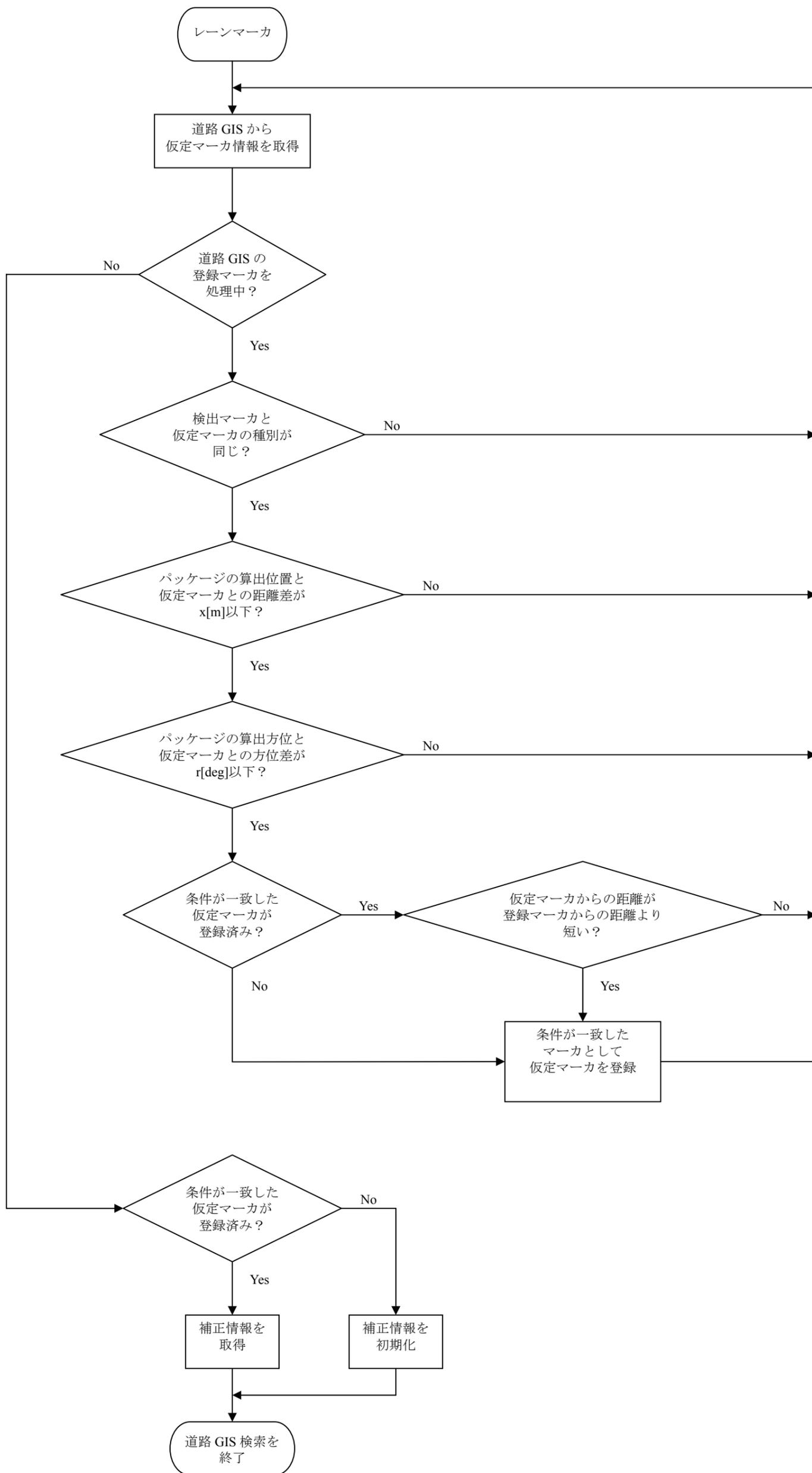


図 3-13 道路 GIS 検索アルゴリズムのフローチャート

(3) マップマッチング機能

a) 概要

マップマッチングのアルゴリズムは、地図(メッシュデータ)を用いた方位補正および車線補正のアルゴリズムを実装する。

以下に、そのアルゴリズムを説明する。

b) メッシュデータの取得

直前の車線番号と同一で、位置特定パッケージの出力位置(緯度・経度)に最も近いメッシュデータを取得する。

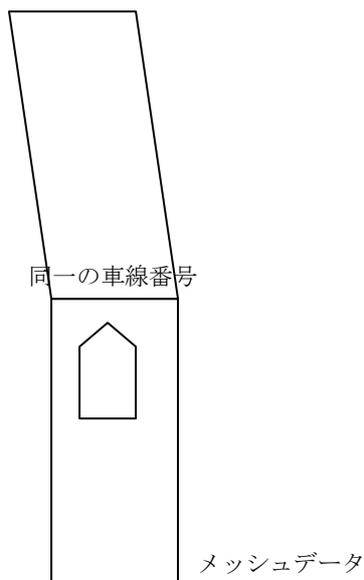


図 3-14 取得するメッシュデータ

c) 処理周期の検討

位置特定パッケージは JAVA 言語で実装され、かつタブレット PC 上で動作している。

試走を行った結果から、現状の実験システムにおいて既にセンサデータの欠損があり、位置特定パッケージの出力精度に重大な影響を及ぼしている。

このメッシュデータの取得周期を 0.1[sec]で実装すると、センサデータがさらに欠損する可能性があるため、メッシュデータの取得周期が 0.5[sec]となるように実装する。

d) 車線補正

位置特定パッケージの出力位置が上記のメッシュデータのエリアから左右方向に逸脱している場合は、位置特定パッケージの出力位置とメッシュデータ中心線までの緯度・経度差を記憶する。

また、その記憶した緯度・経度差を位置特定パッケージの出力位置に加算して出力する。

なお、出力位置が車線内にある場合は、位置特定パッケージの出力位置をそのまま出力する。

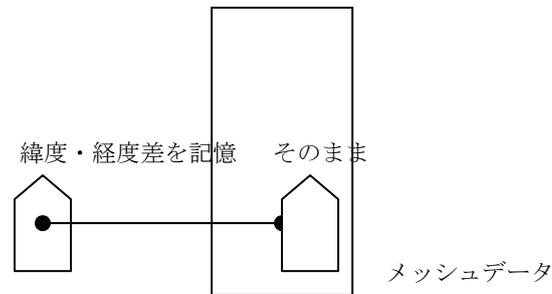


図 3-15 左右方向への補正

e) 車線補正の除外処理の追加

システム起動直後の駐車場や交差点などから進入する場合は、車線補正の影響で車線内へ収めようとする現象が発生する。また、交差点などで右左折する場合、車線補正の影響で交差点を脱出することができない。さらに、複数車線へ分岐する場合は、直前の車線番号を継承してしまう現象が発生する。

上記のような問題を回避するため、メッシュデータに車線補正を行わないというフラグ情報を記録しておき、そのメッシュデータの車線補正フラグが車線補正をしないとなっている場合には車線補正を行わない。

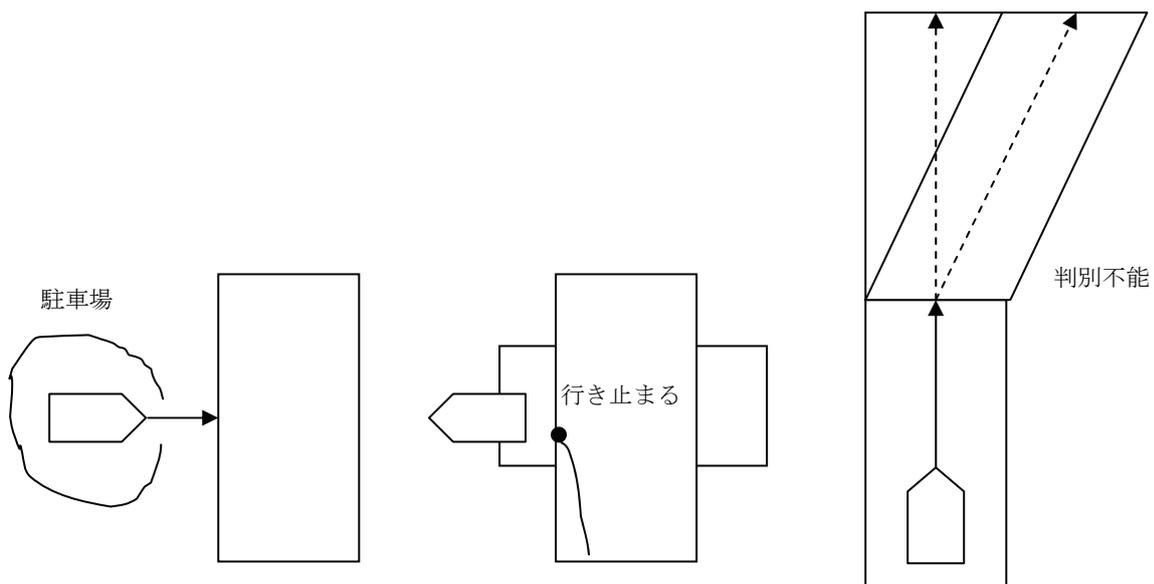


図 3-16 車線補正の悪影響(左から、駐車場、交差点、分岐)

f) 方位補正

位置特定パッケージの出力方位とメッシュデータ方位の方位差を記憶する。

また、その記憶した方位差を位置特定パッケージの出力方位に加算して出力する。

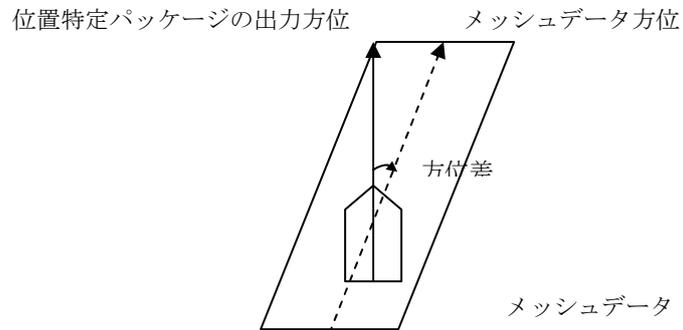


図 3-17 方位補正のイメージ

(4) 車線変更イベントの検出処理の追加

a) 目的

このアルゴリズムは、複数車線の区間がある場合に車線判別を明確にすることを可能とする目的で実装するものである。

b) 設計

1.4deg/sec（閾値で設定可能）を超える方位角速度が発生した瞬間を、車線変更の検出開始トリガとする。更に、20sec（閾値で設定可能）以内に-1.4deg/sec を超える方位角速度が発生した場合に、車線変更検出確定とする。方位角速度の符号が反対の場合も同様である。

なお、1.4deg/sec という閾値は、長岡宮本工区にて動作試験を行い、得られた最適値である。

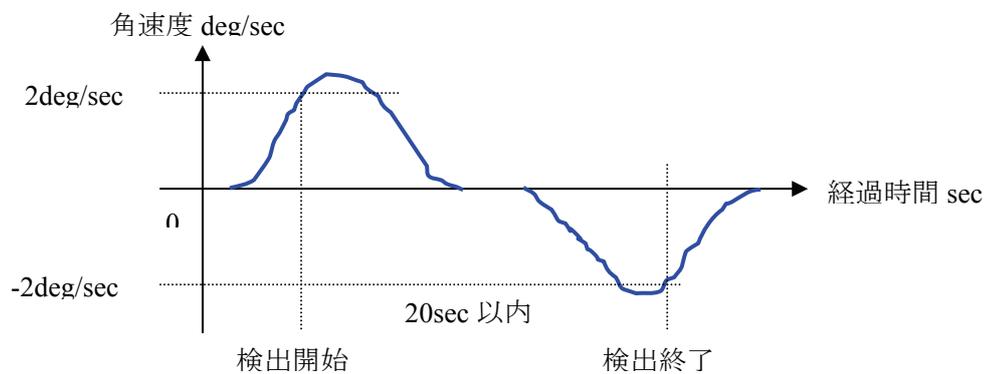


図 3-18 車線変更アルゴリズムの方位角速度の遷移

ここで、車線変更検出確定時に位置するメッシュデータの、車線変更方向にメッシュデータが存在した場合、位置特定パッケージの出力位置とメッシュデータまでの緯度・経度差を記憶し、位置特定パッケージの出力位置に加算して出力する。

3.2.2. レーンマーカの効率的な配置の試算

(1) ハイブリッド式におけるレーンマーカの用途

車両などの移動体で位置計測を行った場合、高性能な GPS を使っても、トンネルや高層ビルによるマルチパスの影響により、正しい位置が計測できなくなってしまう現象が発生する。

この場合、方位ジャイロ、車速パルスや前後加速度による自律航法を組み合わせること（ハイブリッド方式）により、トンネルでも位置が更新されたり、位置飛びが無くなるなど安定して位置を計測することができるようになる。

ただし、長いトンネルを走行した場合、例えば、直線かつ平坦な道路であった場合でも、方位ジャイロのドリフトや前後加速度計のオフセットの変動により、方位や距離の誤差が拡大していく現象が発生する。したがって、自律航法センサによる位置計測を行う場合、適切なタイミング（ジャイロや加速度計の性能と要求される位置精度の関係により定まる）において、絶対的な位置を参照し、ジャイロや加速度計の出力値を補正する必要がある。

レーンマーカの用途については、補正の際の絶対的な位置を把握するために用いるものである。

(2) レーンマーカ配置の基本的な考え方

レーンマーカによる絶対的な位置の抽出方法、上下線および車線判別方法について示す。

a) 絶対位置の抽出方法について

レーンマーカを検出した際、GPS による位置データ取得し、その位置に該当する（一番近い）レーンマーカを GIS データより抽出することにより、絶対的な位置データを取得する。

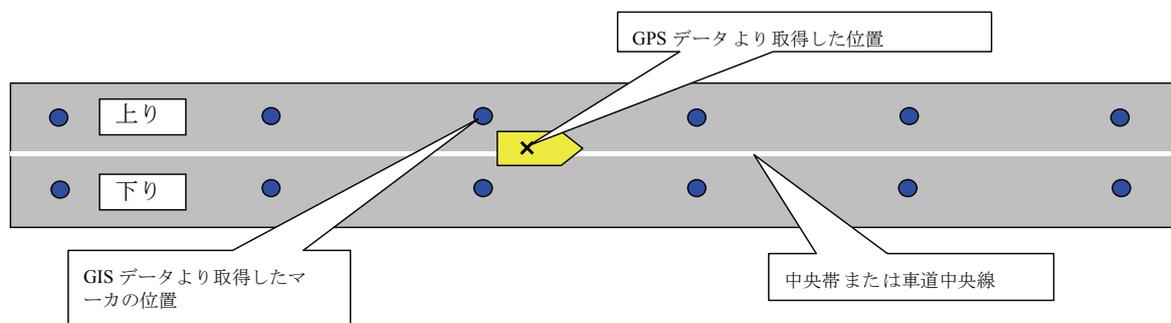


図 3-19 絶対位置の抽出方法

b) 上下線の判別について

GPS の誤差が大きい場合、GPS 非測位で走行した場合、自律での方位変動等が大きい場合等、反対車線のレーンマーカを抽出してしまう恐れがある。

このため、レーンマーカの GIS データとして、道路延長方向（進行方向）のベクトル情報を付与することで対応する。

c) 車線の判別について

複数車線の場合においては、車線を区別できるようなレーンマーカ配置パターンにより車線を判別する。このため、図 3-20 に示すように、2 種類のマーカ（●：Aマーカ、●：Bマーカ）を組み合わせる。

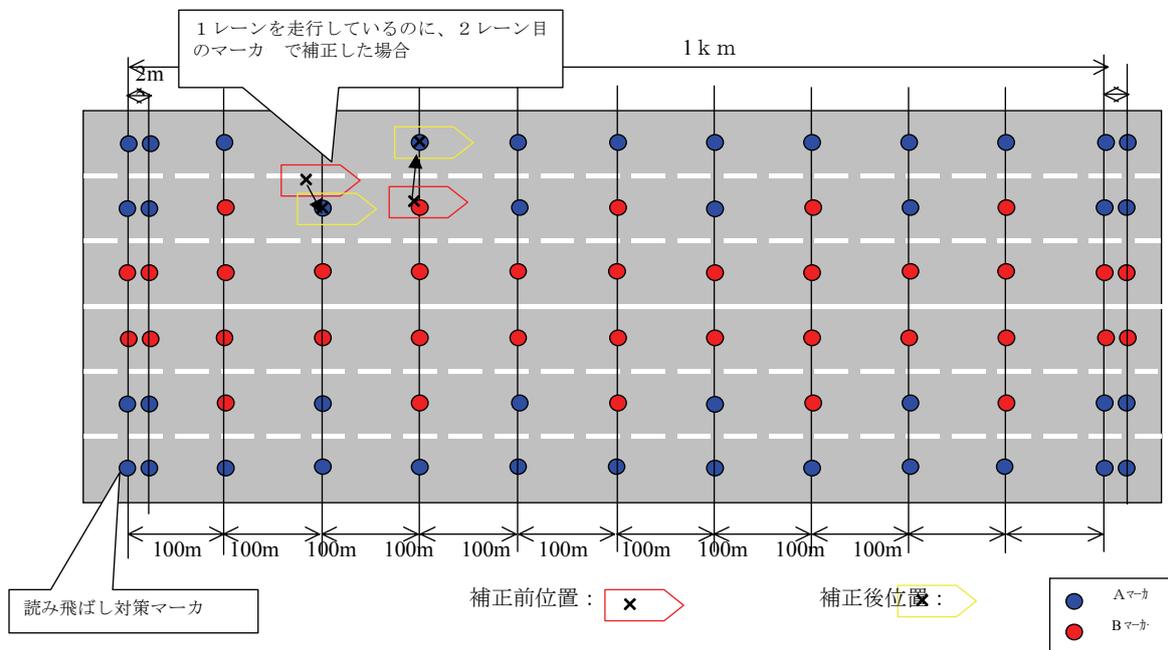


図 3-20 車線判別のためのレーンマーカ配置パターン例

d) 読み飛ばし対策

レーンマーカを読み飛ばした場合の対策として、連続配置（縦 2m 程度の間隔で配置）することが考えられる。しかし、すべてのレーンマーカに対して複数配置することは、コスト的に困難である。このため、図 3-20 に示すように、1km 毎に連続配置させることにより、読み飛ばしによるマッチング不良を回避する。

(3) 電波式レーンマーカの選択

本業務では、「GPS 測位状態調査業務」（以下、別途業務という）でも実績のある「電波式レーンマーカ」を選択した。

a) 電波式レーンマーカ形状

直径：φ 130mm

厚さ：30mm

(図 3-21 参照)



図 3-21 電波式レーンマーカ

b) 設置仕様

埋設深A：90mm（マーカ底面）誤差±10mm

コアリング径：150mm

方向性指定：あり 誤差道路線形に対し±10° 以内

水平度指定：あり（道路線形方向）±10° 以内 管理値 A に対し B,D:±13.0

（道路線形直角方向）±5° 以内 管理値 A に対し C,E:±6.5

調整モルタル厚：CO モルタル 10mm

埋戻材：CO モルタル

（図 3-22 参照）

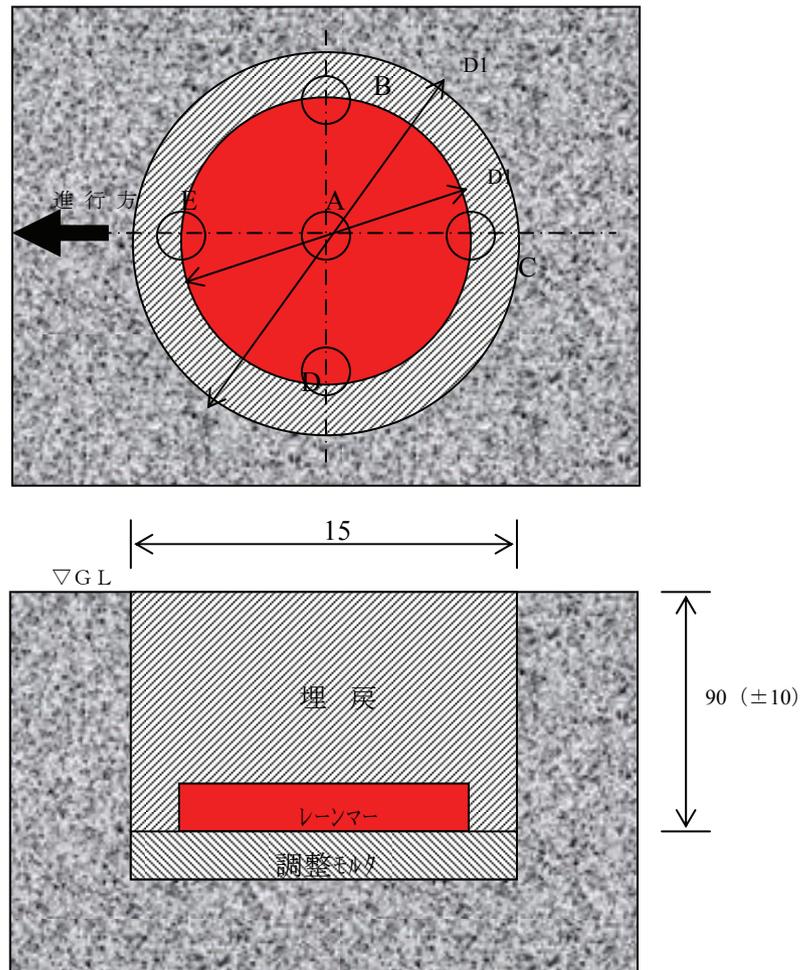


図 3-22 設置仕様

(4) 目標精度

目標とする精度は、前後左右方向に対して±2m以内の誤差とする。

(5) レーンマーカの配置検討

コストを削減するためのマーカ配置を検討する。また、GPS 受信地域は、マーカを極力少なく配置しても精度が出せるように検討した。

a) 誤差試算

誤差については、縦方向と横方向それぞれに次のような誤差が推定される。

■ 縦方向

主に車速パルスの誤差が大きく影響するものと考えられる。今回、ミッションシャフトにパルス発生器が取り付けられているので、1%以内の誤差と推定する。(パルススケールを実測値より設定し、精度を高める。)

■ 横方向

マップマッチング機能により車線離脱を回避すれば、横方向の誤差はある程度おさえられる。

b) 配置検討方針

2m以内の精度を目標とするために、200m間隔での配置をベースとし、下記条件に当てはまる場合、100m間隔で配置する。

c) 試走路でのマーカ配置試算

要求精度を満たすためのマーカ配置間隔とジャイロの性能の組合せを表に示す。国総研試走路におけるレーンマーカ配置間隔については、高精度化のための改善策を取り入れることを前提とし、「100m間隔」でレーンマーカを設置することとした。具体的な配置を別添資料に示す。

表 3-7 要求精度を満たすためのマーカ配置間隔とジャイロの性能の組合せ

	1 k m 当 たり の 変 動 量	誤 差 ± 2 m 以 下 の マ ー カ 配 置 間 隔	誤 差 ± 5 m 以 下 の マ ー カ 配 置 間 隔
1 軸 角 度 セ ン サ	2.86 度	40m 間 隔	100m 間 隔
3 軸 角 度 セ ン サ	1.25 度	91m 間 隔	230m 間 隔

※) 距離はECUからの車速パルスの精度に依存されるが、2%以内と仮定した。