

5. シミュレーション実験

本検討業務で開発した技術を利用して高精度測位ソフトウェアを設計及び試作し、シミュレーション実験を行った。本ソフトウェアは模擬観測データ生成ソフトウェア、高精度測位ソフトウェア、シミュレーションソフトウェアから構成される。

5.1 高精度測位ソフトウェアの概要

5.1.1 模擬観測データ生成ソフトウェア

(1)機能概要

本ソフトウェアは GPS 受信機及び慣性航法装置が出力するデータを生成する機能、及びシミュレーション環境と建設機械の動作を模擬する機能から構成される。

- a) シミュレーション環境模擬（地形による電波の遮蔽）
 - ・ 国土地理院 50m メッシュ（標高）及び法面（勾配段数、配置方向）を設置することで電波の遮蔽を模擬する。
- b) 建設機械の動作
 - ・ 転圧ローラ、油圧ショベル等の動作を模擬する。
- c) 観測データの生成
 - ・ GPS 衛星及び準天頂衛星の軌道情報を生成
 - ・ GPS の観測データ：擬似距離、搬送波位相、ドップラー周波数、受信電波強度
 - ・ IMU の観測データ：角速度、加速度
 - ・ 観測データに軌道、サイクルスリップ、マルチパス等誤差要因を付加する
- d) 真値データの生成
 - ・ 評価に使用する真値データ（位置、速度、加速度）を生成する。
- e) プロジェクトファイル
 - ・ データ生成を実行する管理単位としてプロジェクトという機能を使用する。データの生成はプロジェクト単位で実行され、格納媒体にフォルダを生成し、そのフォルダ内でデータファイルが管理される。

(2)動作及び開発環境

本ソフトウェアは Windows のアプリケーションとして構築した。以下にその動作環境及び開発環境を示す。

- a) OS : WindowsXP
- b) HDD : 20Gbyte 以上の空き メモリ : 512Mbyte 以上
- c) ディスプレイ : XGA 以上
- d) 開発環境 : VisualStudio2005 (C++)

(3)処理概要

図 5.1.1-1 にシステム構成を示す。図のようにデータを生成する条件、環境は全てファイルから入力する（図中左側が入力データファイル）。このデータが模擬観測データ生成ソフ

トウェアで処理され、真値データおよび GPS/IMU 用の模擬観測データが出力される（図中右側が出力データファイル）。

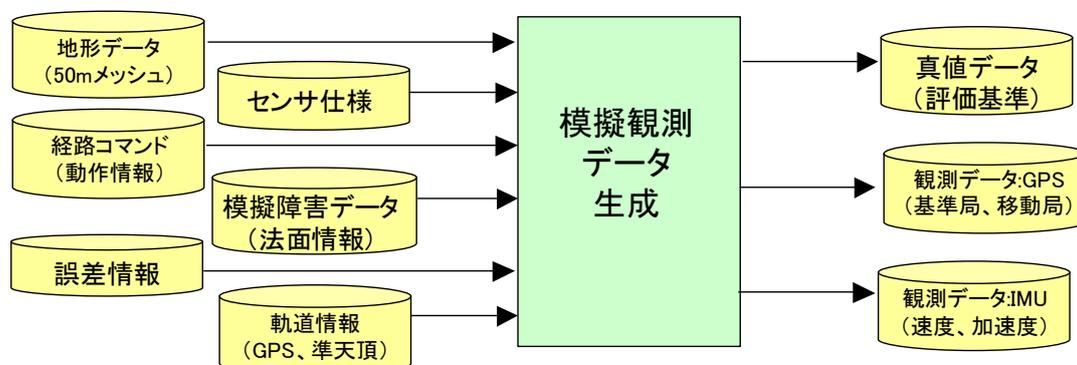


図 5.1.1-1 システム構成

図 5.1.1-2 に模擬観測データ生成処理のフローを表 5.1.1-1 に処理の詳細を示す。

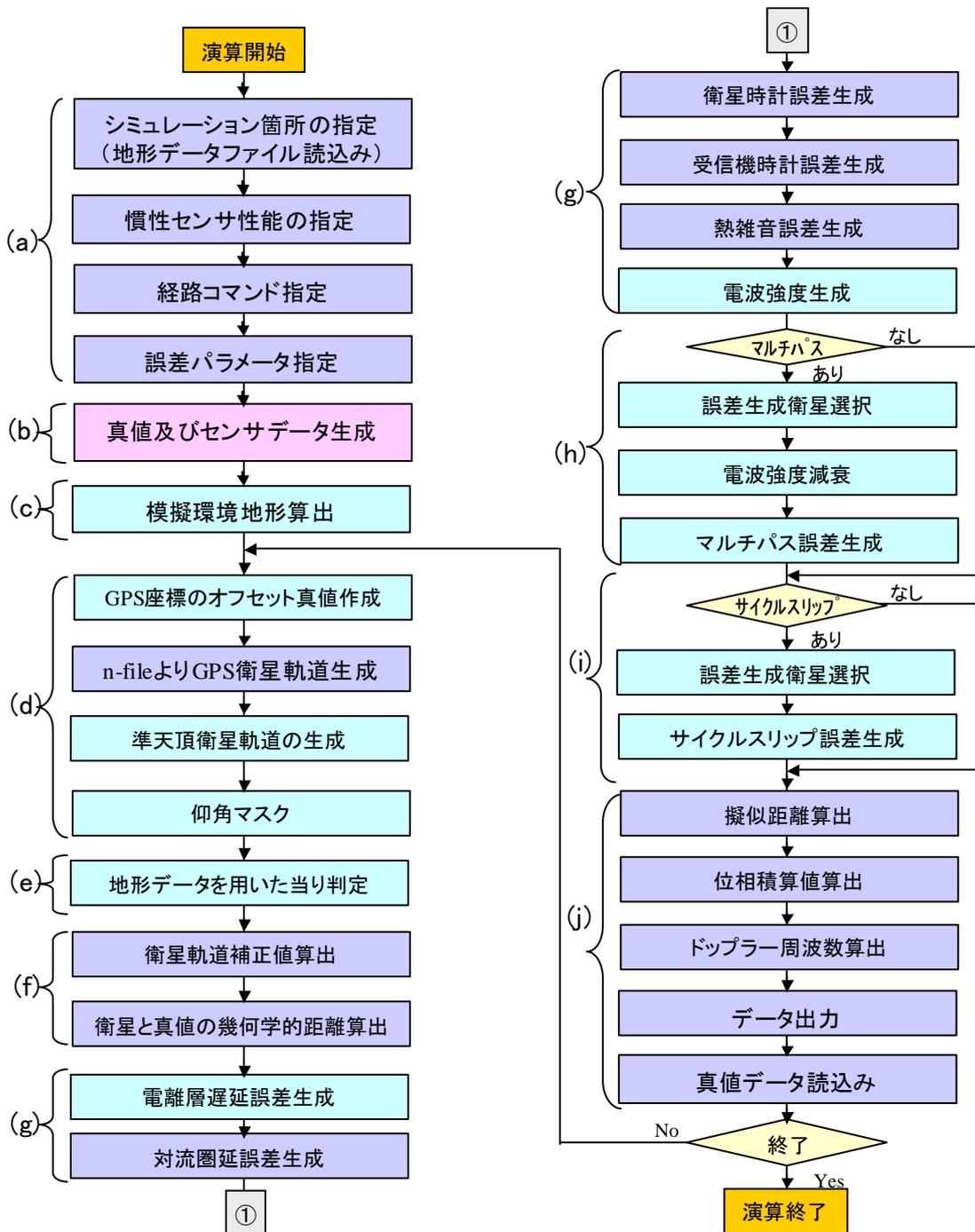


図 5.1.1-2 処理詳細

表 5.1.1-1 処理内容

NO.	処理	内容
(a)	入力ファイル読み込み	地形データファイル読み込み ・地形データ(国土地理院 50m メッシュ標高データ)の読み込み ・法面データの読み込み 慣性センサ性能の指定 ・慣性センサの性能データ(IMU 誤差)を読み込む 経路コマンド指定 ・建設機械の動作を指定するコマンドデータを読み込む 誤差パラメータ指定 ・観測データに付加する誤差パラメータ(GPS 誤差)を読み込む
(b)	真値及びセンサデータ生成	建設機械の真値(位置)及びセンサデータを生成する。 センサデータには(a)で読み込んだ誤差パラメータを使用して誤差を付加する。
(c)	模擬環境地形算出	(a)項で読み込んだ地形及び法面データを座標変換する
(d)	衛星軌道の生成	GPS 及び準天頂衛星の軌道パラメータを読み込み、衛星の位置を算出する。仰角マスクが指定されている場合はマスク角以下の衛星を除去するフラグをセットする。
(e)	地形による当り判定	建設機械の真値(位置)と衛星の位置及び地形データを用いて電波の遮蔽判定を実施する。
(f)	衛星と真値の距離算出	衛星位置と建設機械の真値(位置)から距離を算出する。
(g)	誤差生成	電離層遅延量算出 Klobuchar モデルによる遅延量を算出する。 対流圏遅延量算出 Hopfield モデルによる遅延量を算出する。 衛星クロック誤差算出 ホワイトノイズによる誤差を付加する 受信機ノイズ誤差算出 ホワイトノイズによる誤差を付加する
(h)	マルチパス誤差生成	マルチパスによる誤差量を生成する。受信電波強度を指定量減少させる。
(i)	サイクルスリップ誤差生成	サイクルスリップによる誤差量を生成する。

NO.	処理	内容
(j)	出力データ生成	上記で生成した、衛星と真値の距離及び誤差量から、擬似距離/位相積算値/ドップラー周波数/受信電波強度を生成する。 生成した GPS に関する観測データは RINEX(Receiver INdependent EXchange)フォーマットでファイルとして出力する

5.1.2 高精度測位ソフトウェア

本ソフトウェアは初期化処理、測位演算処理、結果データ評価処理から構成される。さらに、測位演算処理は RTK-GPS 高速初期化技術プログラム及び慣性航法複合技術プログラムから構成され、両プログラムを切替えながら実行する。

(1)初期化処理

測位演算で使用する変数の初期化を行う。

(2)測位演算処理

RTK-GPS 高速初期化技術プログラム及び慣性航法複合技術プログラムを切替えながら実行する。

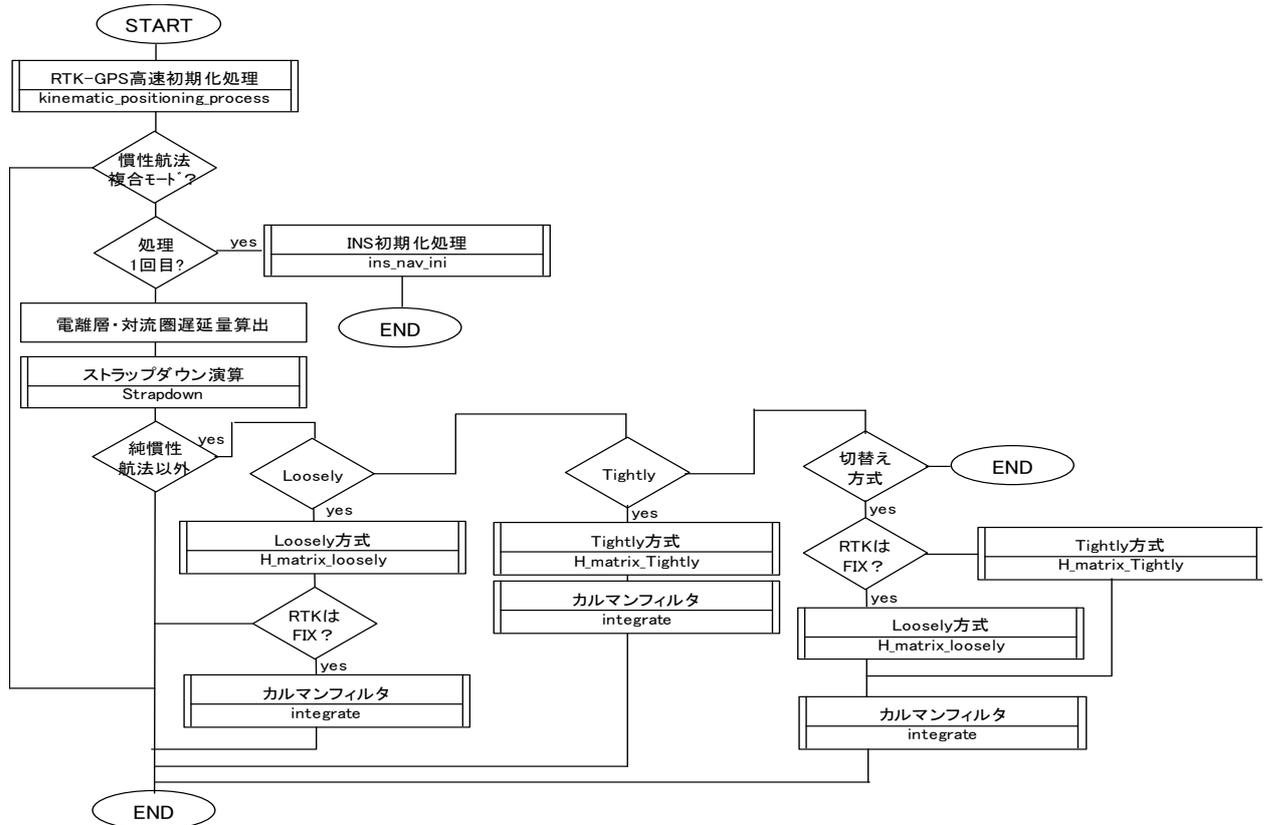


図 5.2.1-1 測位演算処理

(3)結果データ評価処理

測位演算処理から出力される結果データを蓄積/加工し、評価パラメータである統計的デ

ータや位置、Fix 状態等のデータを生成する。

5.1.3 シミュレーションソフトウェアの設計・製作

(1)機能概要

シミュレーションソフトウェアは 0 項で説明した、データ生成ソフトウェアで作成した模擬観測データを使用し、0 項の高精度測位ソフトウェアを動作させるアプリケーションプログラムである。

a)データ入力

- ・データ生成ソフトウェアで作成した模擬観測データや測位演算で使用するパラメータファイルを読み込む。

b)データ出力

- ・測位演算結果データをファイルとして出力する。

c)測位演算の実行

- ・従来技術、RTK-GPS 高速初期化技術、慣性航法複合技術を切替えて実行する。一度に実行できるのは上記の内一つだけである。

d)画面制御

- ・シミュレーションの起動/停止、測位演算中の状態表示、測位結果の再生表示を行う。

e)プロジェクトファイル

- ・シミュレーションを実行する管理単位としてプロジェクトという機能を使用する。シミュレーションはプロジェクト単位で実行され、模擬観測データ、パラメータファイル等は、そのプロジェクトフォルダ内でデータファイルが管理される。

(2)動作及び開発環境

本ソフトウェアは Windows のアプリケーションとして構築した。以下にその動作環境及び開発環境を示す。

a)OS : WindowsXP

b)HDD : 20Gbyte 以上の空き メモリ : 512Mbyte 以上

c)ディスプレイ : XGA 以上

d)開発環境 : VisualStudio2005 (C++)

(3)データ入力

シミュレーション実行時に必要な以下のデータファイルを読み込む。

表 5.1.3-1 入力データファイル

No.	ファイル名	内容
1	SimDataMake.ini	シミュレーション初期ファイル ファイル読み込み先フォルダの指定、シミュレーションスピードパラメータ等
2	Project.txt	プロジェクトファイル シミュレーション条件パラメータ
3	Profile.ini	各入出力データファイル名称の指定
4	GPS 誤差ファイル.csv	GPS の誤差パラメータ指定
5	RTK-GPS 初期設定ファイル.csv	RTK-GPS 高速初期化技術が使用するパラメータを指定する
6	複合航法初期設定ファイル.csv	慣性航法複合技術が使用するパラメータを指定する
7	センサデータファイル.csv	模擬観測データ生成ソフトで作成するセンサデータファイル
8	Base.06n	GPS 衛星用エフェメリスデータ
9	Qzs.06n	準天頂衛星用エフェメリスデータ
10	Base.06o	基準局用模擬観測データ
11	Rover.06o	移動局用模擬観測データ
12	GPS 経路真値ファイル.csv	経路真値データ

(4)データ出力

シミュレーション実行後に以下のデータファイルが出力される。

表 5.1.3-2 出力データファイル

No.	ファイル名	内容
1	演算結果ファイル.csv	演算結果を格納するファイル

(5)画面制御

本ソフトウェアは3つの画面から構成される。

a)メイン画面

模擬観測データの生成あるいはシミュレーションを実行するかを選択する。

b)シミュレーション条件選択画面

シミュレーション条件を表示する。「準天頂衛星の有無」「シミュレーション地点」「電波遮蔽状況」「建機種別」「使用測位技術」を選択する。

c)シミュレーションモニタ画面

シミュレーション時のモニタ画面。

d)画面遷移

上記3画面の遷移について以下に示す。

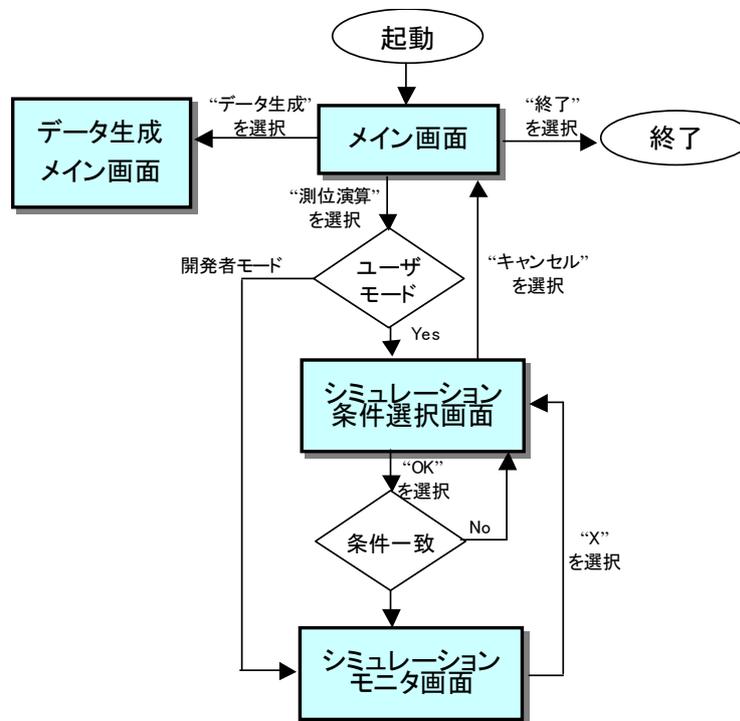


図 5.1.3-1 画面遷移

上図中のユーザモード/開発者モードの選択については SimDataMake.ini ファイル中のパラメータで切替える。

(6)画面仕様

a)シミュレーション条件選択画面

図 5.1.3-2 にシミュレーション条件選択画面を示す。また、表 5.1.3-3 に詳細を示す。



図 5.1.3-2 シミュレーション条件選択画面

表 5.1.3-3 シミュレーション条件選択画面

画面 No.	項目	処理	備考
①	準天頂衛星の有無	準天頂衛星の有無を選択する	ラジオボタンとする
②	シミュレーション地点	「浦幌試験場」「第二東名」の2箇所とする	ラジオボタンとする
③	電波遮蔽状況	段数、遮蔽仰角を選択する	ラジオボタンとする
④	建機種別	「油圧ショベル」「転圧ローラー」の2種類とする	ラジオボタンとする
⑤	使用測位技術	「RTK 高速初期化」「慣性航法複合技術」「マルチパス誤差除去」の3種類とする	ラジオボタンとする

b) シミュレーションモニタ画面

図 5.1.3-3 にシミュレーションモニタ画面を示す。また、表 5.1.3-4 に詳細を示す。

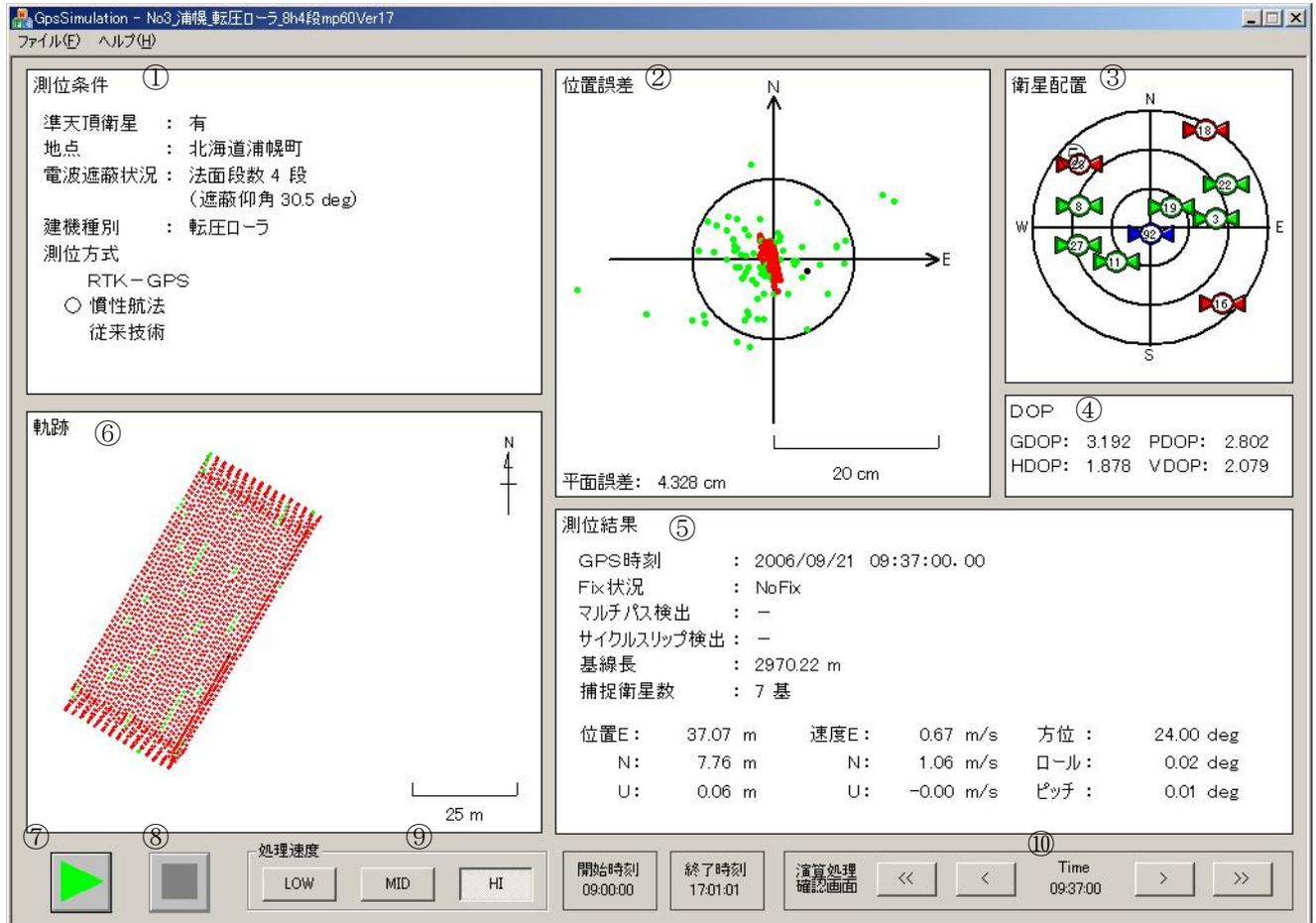


図 5.1.3-3 シミュレーション画面

表 5.1.3-4 画面機能

画面番号	項目	処理
①	シミュレーション条件	シミュレーション条件を表示する。「準天頂衛星の有無」「シミュレーション地点」「電波遮蔽状況」「建機種別」「使用測位技術」が表示される。
②	位置誤差	演算の誤差を表示する。(画面中心が真値) 赤: RTK-GPS が FIX 時の位置 黄: RTK-GPS が No-FIX 時の位置 緑: 慣性航法複合技術が出力する位置
③	衛星配置	衛星の状態を表示する 青: 準天頂衛星 緑: GPS 衛星 赤: 電波が遮蔽された衛星

画面番号	項目	処理
④	DOP	4種類のDOPを数値で表示する
⑤	測位結果	<p>測位結果を表示する</p> <p>GPS時刻：測位の時刻</p> <p>Fix状況：Fix/No-Fix</p> <p>マルチパス検出：検出した場合は○を表示する</p> <p>サイクルスリップ検出：検出した場合は○を表示する</p> <p>基線長：基準局との距離（m）を表示する</p> <p>位置、速度：現在の位置/速度をENU座標系で表示する</p> <p>方位・ロール・ピッチ：現在の姿勢角を表示する。</p>
⑥	軌跡	時間単位の軌跡を表示する。真値データより経路の表示エリアは固定する。Fix解(赤)、Float解(黄)、慣性航法のみ(緑)で色を変える。
⑦	シミュレーション開始ボタン	シミュレーションを開始する
⑧	シミュレーション停止ボタン	シミュレーションを停止する
⑨	シミュレーション速度	「LOW」「MID」「HI」の3つの速度を指定可能とする。各速度レベルはSimDataMake.iniファイルで指定した速度とする。MIDを1倍とした相対速度(倍率)
⑩	演算処理確認	<p>シミュレーション結果を再生する場合に使用する。</p> <p>(1)<、>：一秒単位で時刻を変更する</p> <p>(2)<<、>>：1分単位で時刻を変更する</p> <p>Shiftキーと同時に押すと20分単位となる</p>

5.1.4 演算結果評価プログラム

(1)プログラムの概要

シミュレーションプログラムの出力結果（演算結果ファイル）をグラフ化し、統計データを表示するプログラムである。

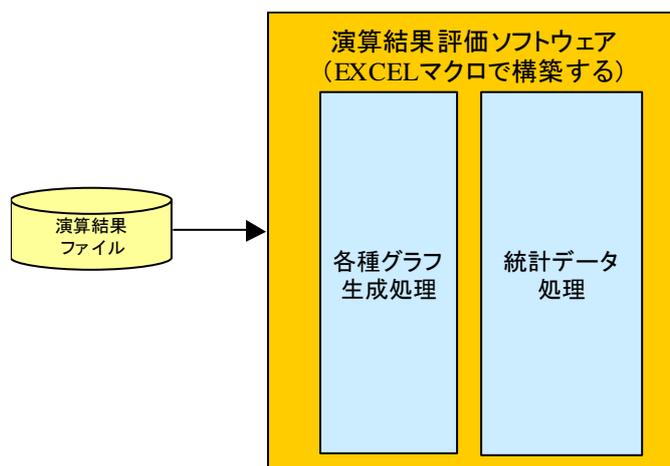


図 5.1.4-1 演算結果プログラム

(2)動作環境

本ソフトウェアは EXCEL のマクロで構築した。以下にその動作環境及び開発環境を示す。

- a)OS : WindowsXP
- b)HDD : 1Gbyte 以上の空き メモリ : 256Mbyte 以上
- c)ディスプレイ : XGA 以上
- d)EXCEL2000 以上

(3)機能

a)演算結果データ読み込み

演算結果データファイル読み込む。このデータを読み込むためにはプロジェクトファイルが必要となる。プロジェクトファイルに記載されている測位条件を読み、同一フォルダにある演算結果データファイル.csv を読み込む必要があるためである。

b)グラフ表示

横軸を経過時間(s)として以下の項目をグラフに表示する。

- ・グラフ 1 : 捕捉衛星数、HDOP(Horizontal DOP)
- ・グラフ 2 : RTK-GPS のアンビギュイティ決定状況 (Fix/No-FIX)
- ・グラフ 3 : 位置誤差

グラフ縦横軸のスケールは画面から変更可能とする。

c)測位条件及び統計データの表示

以下のパラメータを表示する。

- ・ 準天頂衛星：有/無
- ・ シミュレーション地点
- ・ 衛星遮蔽状況
- ・ 建機種別
- ・ 使用技術種別
- ・ 位置誤差 RMS(Root Mean Square)(m)
- ・ 位置誤差平均(m)
- ・ No-Fix 回数
- ・ 利用率(%)

(4)画面仕様

図 5.1.4-2 に画面を示す。

グラフ 1~3 を左側に縦に表示し、測位条件及び統計データを右側に配置する。

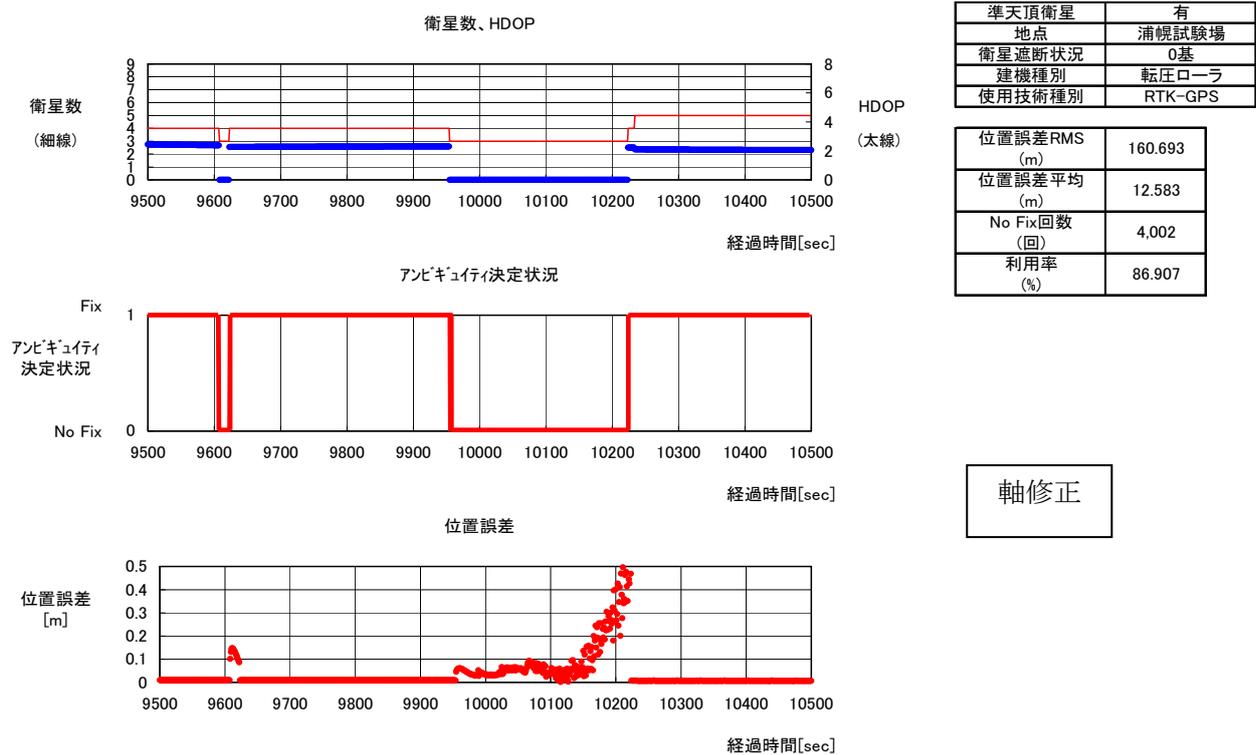


図 5.1.4-2 演算評価プログラム画面

(5)操作

a)起動

演算結果評価.xls を起動する。マクロが含まれるため、有効/無効設定の確認画面が表示されるが、有効を選択する。

b)メイン画面

起動後、図 5.1.4-3 に示すようにメイン画面が表示される。表示ボタンを押下する。

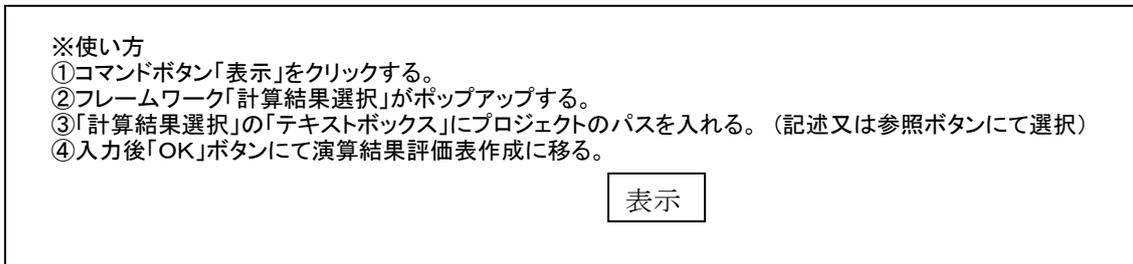


図 5.1.4-3 メイン画面

c)プロジェクトファイル選択

b)項で表示ボタンを押下すると、プロジェクトファイル選択画面が表示される。

(図 5.1.4-4)



図 5.1.4-4 プロジェクトファイル選択

図中②の参照ボタンを押下すると、ファイル選択ダイアログが表示される。

(図 5.1.4-5)

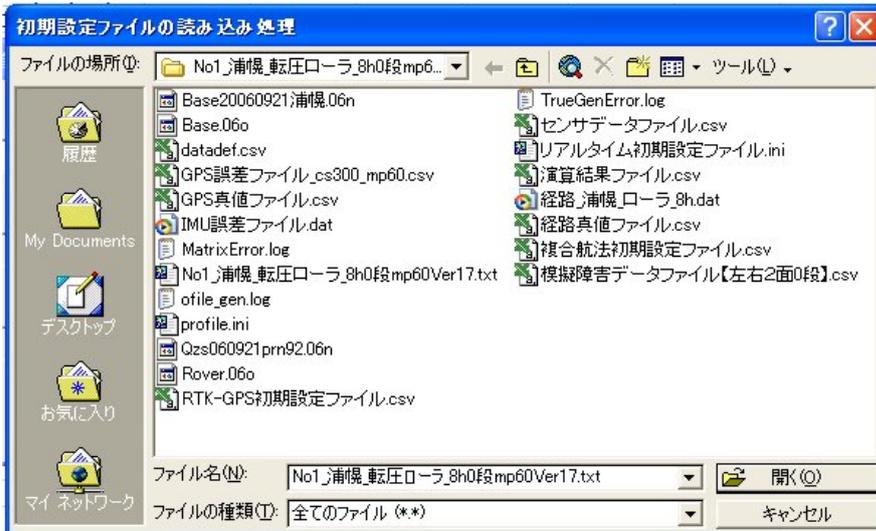


図 5.1.4-5 ファイル選択ダイアログ

プロジェクトファイルを選択すると、図 5.1.4-2 が表示される。

d) グラフスケール変更

図 5.1.4-6 の軸修正ボタンを押下すると、各グラフ縦横軸のスケールを変更することができる。



図 5.1.4-6 軸スケール変更

各グラフの X、Y 軸の数値を変更し、OK ボタンを押下すると、グラフのスケールが変更される。変更を終了する時は、終了ボタンを押下する。

5.2 評価項目、評価手法の検討

5.2.1 概要

本研究開発では、作業用車両に適用可能な高精度測位技術を開発することを目的としている。そのため、開発した高精度測位技術を作業用車両の測位に適用した場合のアルゴリズムの有効性と性能を検証するためにヒアリングを行い、シミュレーション実験の実施内容の検討について述べる。

5.2.2 シミュレーション設定（シミュレーションシナリオ）

シミュレーション実験では実際の建設機械を使用した作業を模擬し、作業中の測位技術の性能を評価する。以下に基本的なシミュレーション設定（シミュレーションシナリオ）について述べる。

(1) シミュレーション地点

シミュレーション実験の想定地点は、以下の国内 2 地点とする。

- ・ 日立建機 浦幌試験場（北海道）
- ・ 第 2 東名高速建設現場（中部地方）

(2) 対象建設機械

本シミュレーションの対象となる建設機械は以下の 2 種とする。

- ・ 転圧ローラ
- ・ 油圧ショベル

転圧ローラは、造成・道路工事の際の締固めに使用される建設機械である。転圧ローラを使用する作業では、空港等の大規模土木工事における転圧回数の管理等に情報化施工が多く使用されている。

油圧ショベルは積み込み・掘削・法面整形等に使用される。油圧ショベルを使用する作業では、ダム建設現場等の法面整形作業において情報化施工が使用されることがある。

(3) シミュレーション時間

シミュレーションを行う時間は、実際の建設現場での作業時間を想定して最大 12 時間とする。

(4) シミュレーション領域

シミュレーション中に建設機械が動く領域は高速道路建設現場を想定し、長さ 60m×幅 30m の大きさとする。

(5) 建設機械の動き

シミュレーション中の建設機械の動きを以下に示す。

1) 転圧ローラ

作業領域の長辺方向に直線的に前進して転圧後、作業領域外で車幅程度短辺方向に移動する。その後、後進して転圧を行い、再度、作業領域外で車幅程度短辺方向に移動する。この動作を繰り返し、作業領域内をくまなく移動し転圧を行う（図 5.2.2-1）。

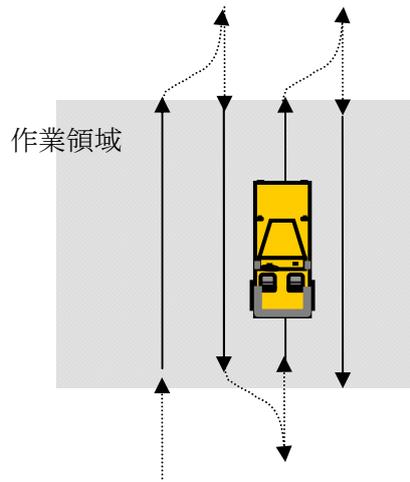


図 5.2.2-1 転圧ローラの動作

2) 油圧ショベル

油圧ショベルでは、バケット操作による法面整形作業を想定した動作を行う。動作内容は以下の通りとする（図 5.2.2-2）。

1. 油圧ショベルはブームを作業領域の外周に直交させた状態で、作業領域の法面のある外周に沿って移動する。
2. ブームを作業領域の外周に直交させた状態で掘削作業を行った後、作業領域外周に沿って若干移動する。
3. 2.の動作を繰り返して、外周の法面の掘削を行う。

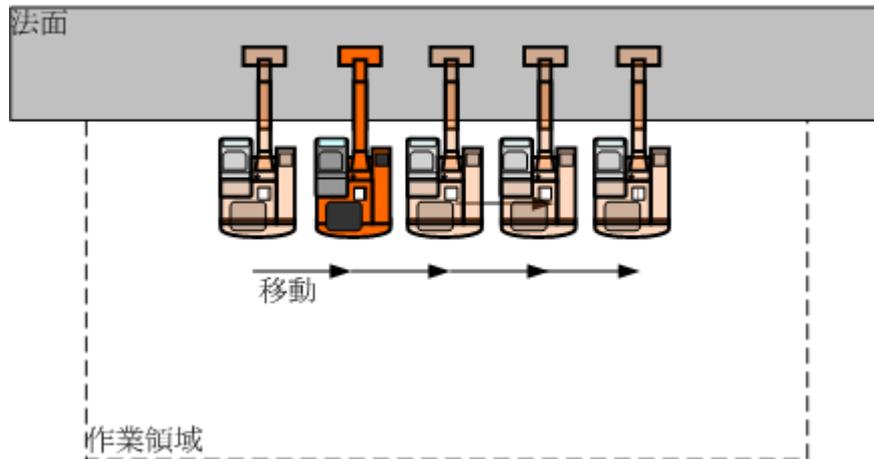


図 5.2.2-2 油圧ショベルの動作

(6) 建設機械上の GPS アンテナ・IMU 設置位置

建設機械上に設置する GPS アンテナは、転圧ローラ・油圧ショベルそれぞれ以下の場所に設置していると想定する。

- ・ 転圧ローラ・・・本体中心
- ・ 油圧ショベル・・・本体の旋回軸上

また、IMU は GPS アンテナの直下に設置していると想定する。

(7) 擬似的な測位誤差要因の生成

シミュレーションで生成する測距情報にサイクルスリップやマルチパスの影響を意図的に付加する。サイクルスリップ及びマルチパスの発生方法は以下の通りである。

1) サイクルスリップ

一定の周期で搬送波位相積算値にとびを加える。

2) マルチパス

一定の周期で擬似距離にとびを加えた上で、信号強度 (SN 比) を減少させる。

5.2.3 評価条件

(1) 個々の条件

シミュレーションでは以下の条件の組み合わせを変えたときのシミュレーション結果を比較することで、今回開発した技術の評価を行う。

- ・ 準天頂衛星の有無
- ・ 電波遮蔽状況
- ・ 使用技術

1) 準天頂衛星の有無

将来準天頂衛星が利用可能となった時の、準天頂衛星の有効性を評価する。

準天頂衛星無しの場合は、現状の GPS 衛星軌道情報を基に GPS 衛星からの測距情報を生成する。準天頂衛星有りの場合は、GPS 衛星に加えて準天頂衛星に関する公開情報を基に準天頂衛星からの測距情報を独自に生成することで、GPS 衛星と準天頂衛星の両方が利用可能な状態をシミュレートする。

2) 電波遮蔽状況

作業領域周辺の地形による電波の遮蔽状況を変化させた時の、開発技術の有効性を評価する。

電波遮蔽状況は、シミュレーション実行中の可視 GPS 衛星数の数で以下のよう
に分類する。

- ・ 衛星数 4機以下
- ・ 4～5機
- ・ 5～6機
- ・ 6～7機
- ・ 7機以上

上記の可視衛星数の変化は、シミュレーション領域の周囲に 1 割勾配の多段法面を配置することで作り出す。法面の勾配の値 1 割については、日本道路協会出版「道路土工のり面工・斜面安定工指針」に標準的な法面勾配の値として記載のある値を採用した。

段数の設定については法面無し、1 段～6 段の 6 パターンとする。図 5.2.3-1 に法面を設定した場合の法面段数と遮蔽仰角の関係を示す。

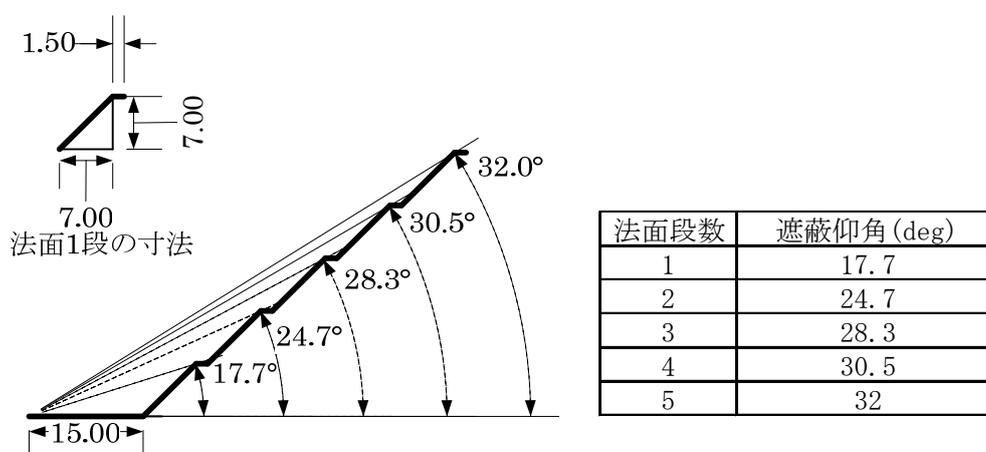


図 5.2.3-1 法面段数と遮蔽仰角の関係

3) 使用技術

今回開発した RTK-GPS 高速初期化・慣性航法複合と既存技術の比較を行う。
既存技術については、以下の条件で

5.2.4 評価項目

実験結果は以下の項目について評価する。

- ・ 位置誤差
- ・ 利用率及び測位状況
- ・ 初期化時間

(1) 利用率

利用率は、建設機械の位置が算出でき、かつ、水平位置誤差が 10cm 以下である時間の割合を表す。

(2) 位置誤差

位置誤差は、建設機械の真の位置と計算結果の差を表す。

(3) 初期化時間

初期化時間は RTK-GPS においてアンビギュイティを決定するまでの時間を表す。

この項目は RTK-GPS 高速初期化のみの評価項目となる。

5.3 高精度測位ソフトウェアを用いたシミュレーション実験

5.3.1 シミュレーション環境

(1) 模擬観測データ生成の処理システム

図 5.3.1-1 に示す処理システムを用いて、模擬観測データを生成した。処理システムのパソコン性能を表 5.3.1-1 に示す。ここで、処理には複数台のパソコンを用いたため、CPU、RAM 及び HDD の項目は共通しておらず、共通項目を表 5.3.1-1 に記載した。処理システムでは、模擬観測データ生成ソフトウェアを用いて、衛星軌道情報、地形データ、模擬障害データ、誤差情報、センサ仕様及び経路コマンドをもとに、経路の真値データ、基準局と移動局の GPS 観測データ及び IMU 観測データを出力する。衛星軌道情報及び GPS 観測データは RINEX フォーマットで記載されたファイルに格納されている。

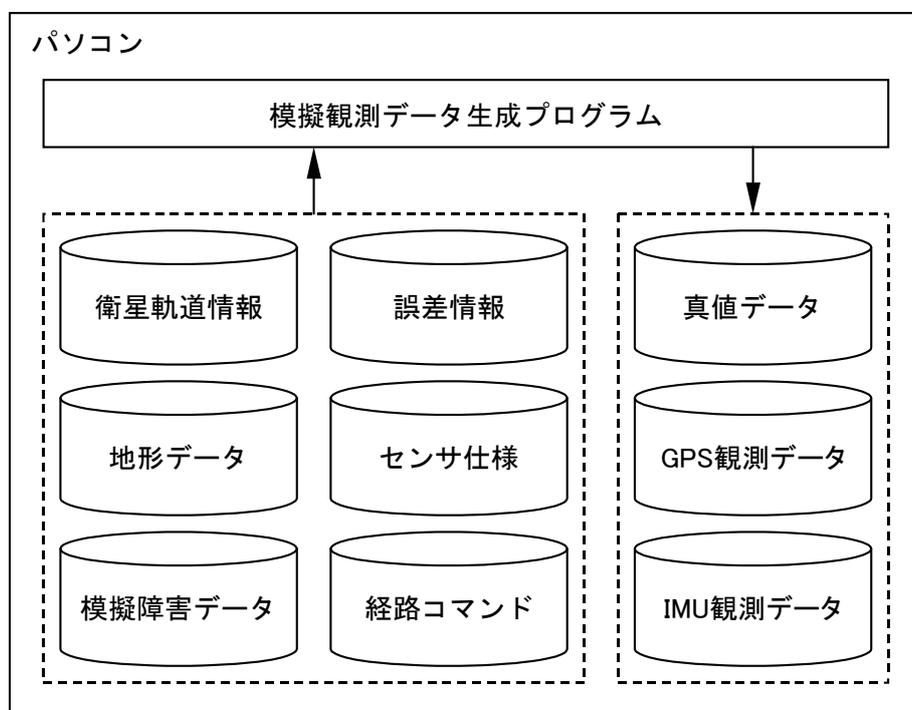


図 5.3.1-1 模擬観測データ生成の処理システム

表 5.3.1-1 処理システムのパソコン性能

項目	内容
OS	Windows® XP Professional SP2
開発環境	Visual C++ .NET 2005

(2) 高精度測位の処理システム

図 5.3.1-2 に示す処理システムを用いて、従来技術、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術を実施した。処理システムのパソコン性能を表 5.3.1-2 に示す。ここで、処理には複数台のパソコンを用いたため、CPU、RAM 及び HDD の項目は共通しておらず、共通項目を表 5.3.1-2 に記載した。処理システムでは、高精度測位ソフトウェアを用いて、シミュレーション初期データ、シミュレーション条件データ、ファイル名データ、RTK-GPS 初期設定データ、複合航法初期設定データ、衛星軌道情報、基準局と移動局の GPS 観測データ、IMU 観測データ及び経路の真値データをもとに測位結果データを出力する。衛星軌道情報及び GPS 観測データは RINEX フォーマットで記載されたファイルに格納されている。

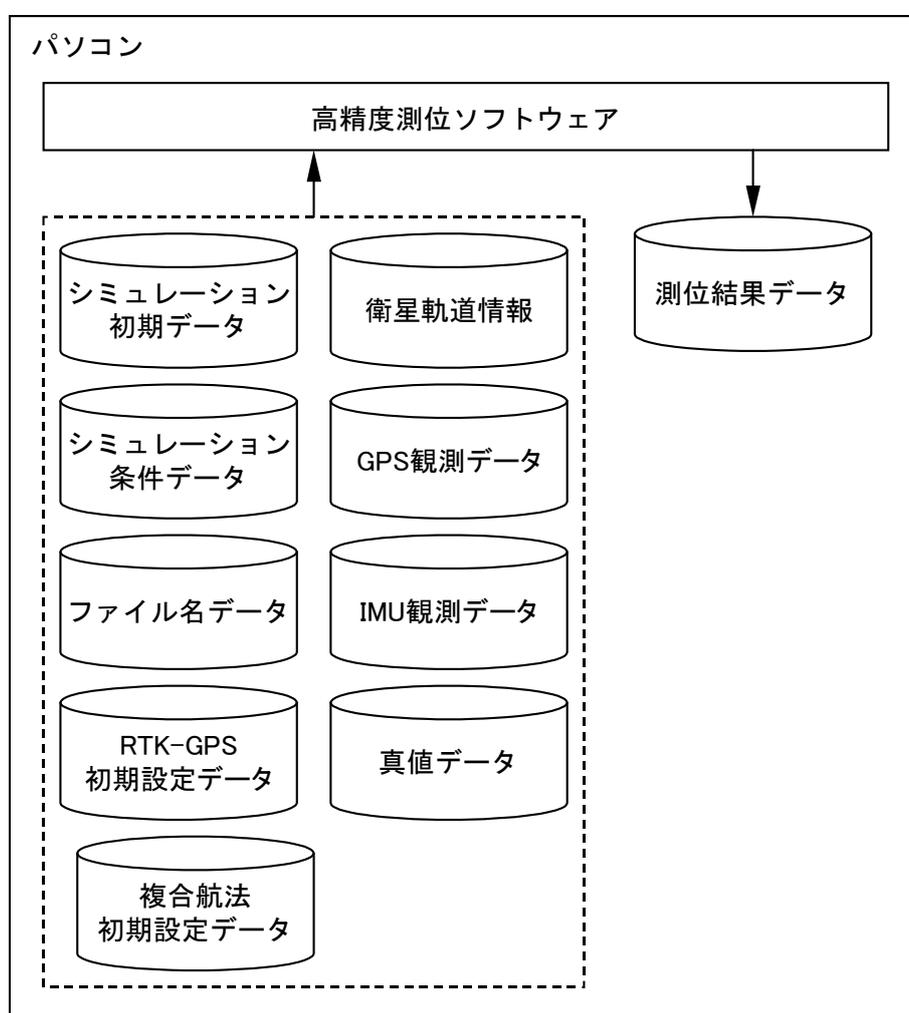


図 5.3.1-2 高精度測位の処理システム

表 5.3.1-2 処理システムのパソコン性能

項目	内容
OS	Windows® XP Professional SP2
開発環境	Visual C++ .NET 2005

5.3.2 シミュレーション条件

(1) 評価対象

図 5.3.2-1 および図 5.3.2-2 に示す従来技術、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術を評価対象として、利用率などの測位性能を評価した。図 5.3.2-1 に示す従来技術の処理フローは、図 5.3.2-2 に示す RTK-GPS 高速初期化技術の処理フローにおいてステップ 6 の電離層モデルを Klobuchar モデルに、ステップ 8 の躍度モデルを加速度モデルに変更し、ステップ 13 のアンビギュイティ決定可能な位置の探索を削除したものである。図 5.3.2-3 には慣性航法複合技術の処理フローを示す。

従来技術、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術の設定内容を表 5.3.2-1 に示す。従来技術と RTK-GPS 高速初期化技術の設定内容では、本年度開発した運動モデル、電離層モデル及びアンビギュイティ決定のための位置探索手法が異なる。また、慣性航法複合技術の設定内容では、本年度開発したアライメントと航法の統合、複合航法における非線形フィルタ及び複合方式の切換え手法が異なる。

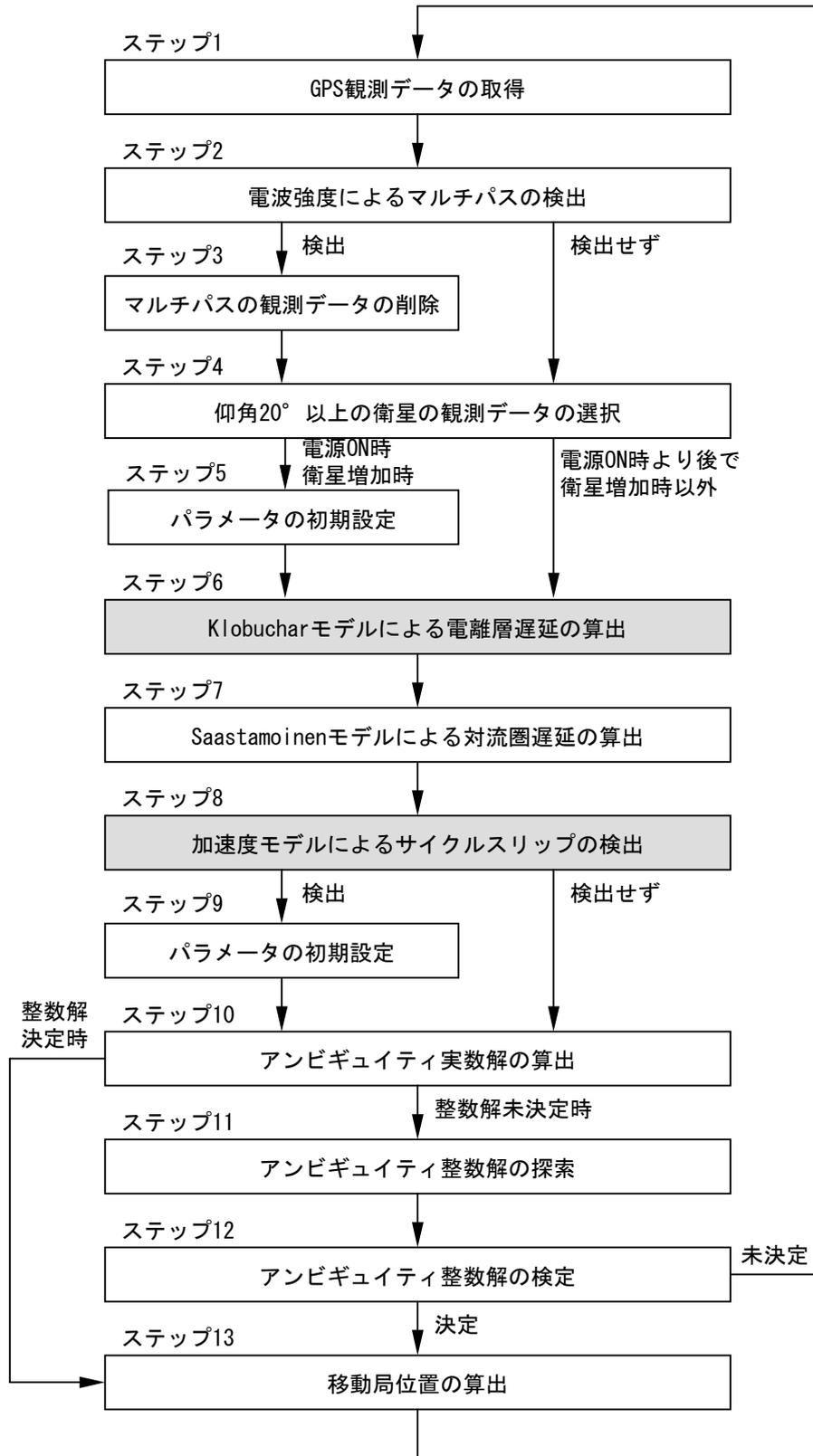


図 5.3.2-1 従来技術の処理フロー

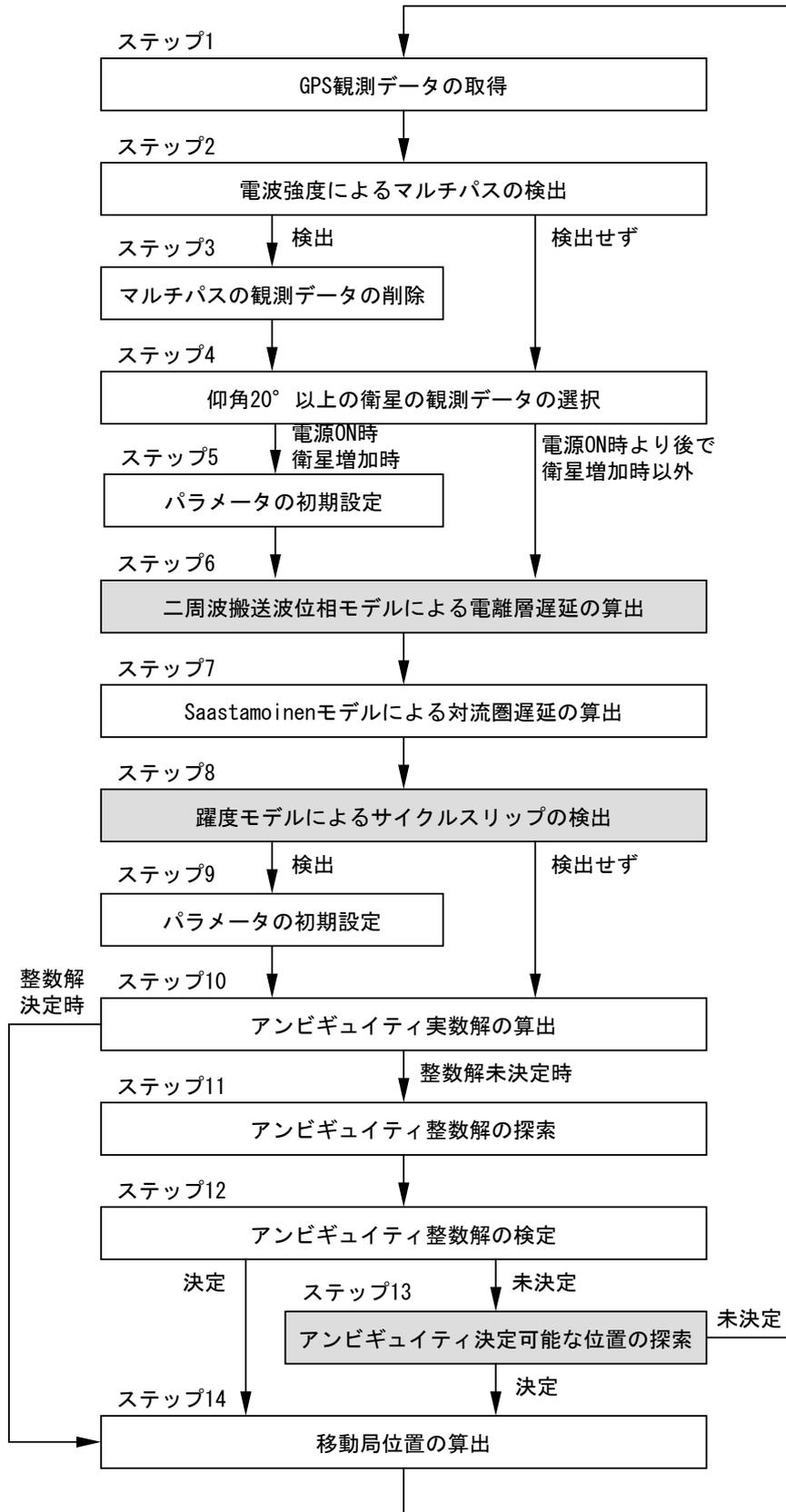


図 5.3.2-2 RTK-GPS 高速初期化技術の処理フロー

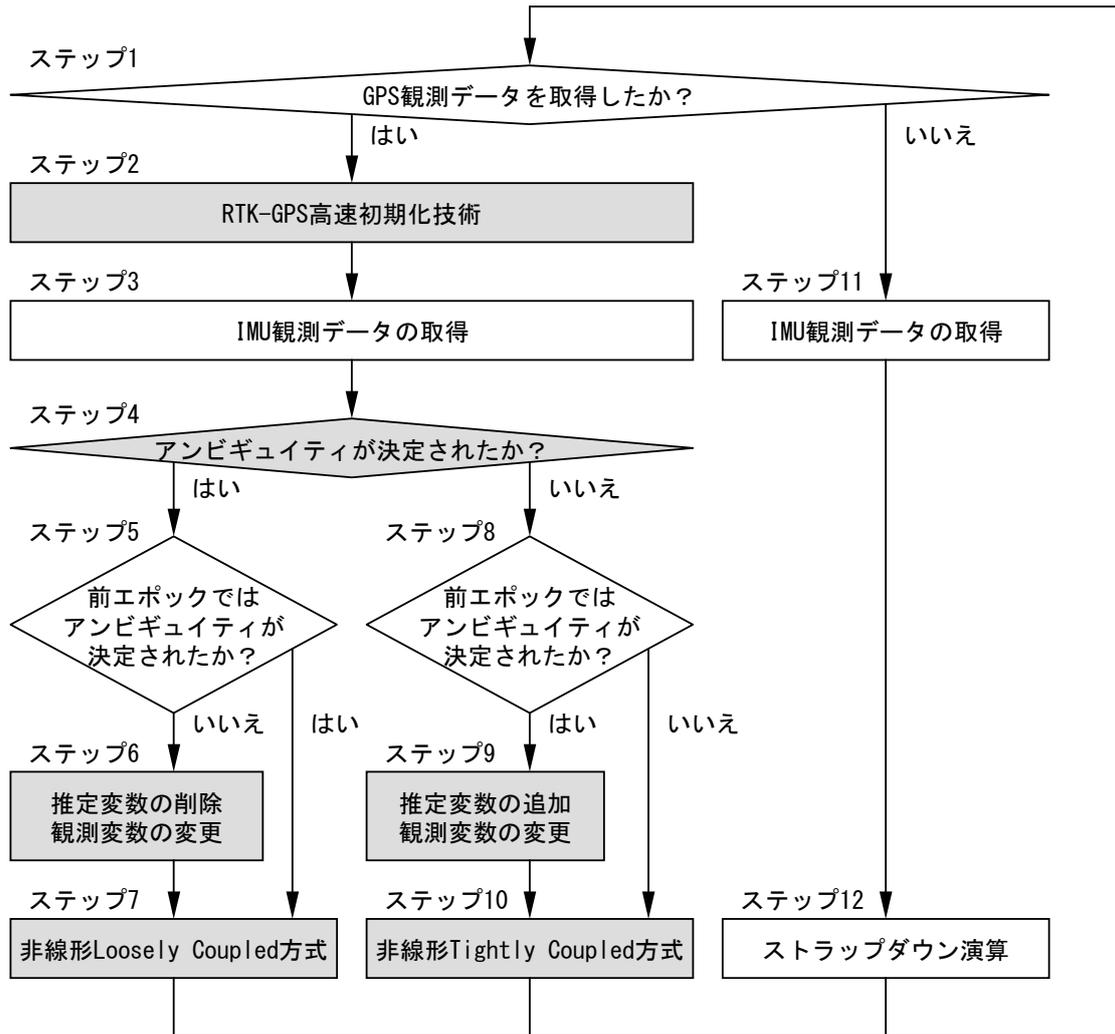


図 5.3.2-3 慣性航法複合技術の処理フロー

表 5.3.2-1 評価対象の設定内容

設定項目	従来技術	RTK-GPS 高速初期化技術	慣性航法複合技術
信号強度による マルチパス検出手法	あり	あり	同左
運動モデル	加速度モデル	躍度モデル	同左
電離層モデル	Klobuchar モデル	搬送波位相モデル	同左
対流圏モデル	Saastamoinen モデル	Saastamoinen モデル	同左
状態量	位置、速度、加速度、 アンビギュイティ、 電離層遅延二重差、 対流圏遅延二重差	位置、速度、加速度、 躍度、 アンビギュイティ、 電離層遅延二重差、 対流圏遅延二重差	同左
観測量	搬送波位相、 擬似距離、 電離層遅延二重差、 対流圏遅延二重差	搬送波位相、 擬似距離、 電離層遅延二重差、 対流圏遅延二重差	同左
アンビギュイティ決 定のための位置探索 手法	なし	あり	同左
アライメントと航法 の統合	—	—	あり
複合航法における 非線形フィルタ	—	—	あり
複合航法方式の 切り換え手法	—	—	あり

(2) 観測データ

準天頂衛星の有無、場所、建機種別及び法面段数の条件を変え、表 5.3.2-2 に示す 14 つの条件の観測データを用いて、従来技術、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術を実施した。

表 5.3.2-2 評価条件

No.	条件									
	準天頂衛星		場所		建機種別		法面段数			
	あり	なし	浦幌	東名	転圧 ローラ	油圧 ショベル	0	3	4	5
1	○	—	○	—	○	—	○	—	—	—
2	○	—	○	—	○	—	—	○	—	—
3	○	—	○	—	○	—	—	—	○	—
4	○	—	○	—	○	—	—	—	—	○
5	○	—	○	—	—	○	○	—	—	—
6	○	—	○	—	—	○	—	—	○	—
7	○	—	—	○	○	—	—	—	○	—
8	—	○	○	—	○	—	○	—	—	—
9	—	○	○	—	○	—	—	○	—	—
10	—	○	○	—	○	—	—	—	○	—
11	—	○	○	—	○	—	—	—	—	○
12	—	○	○	—	—	○	○	—	—	—
13	—	○	○	—	—	○	—	—	○	—
14	—	○	—	○	○	—	—	—	○	—

(3) 評価項目

シミュレーション実験では表 5.3.2-3 に示す 3 つの項目、すなわち、利用率、位置誤差及び平均初期化時間で 3 つの技術の評価した。ここで、慣性航法複合技術の評価項目は利用率及び位置誤差のみである。

解析では、マルチパスを 60 秒おきに発生させている。マルチパスが起こったときに衛星 1 基の観測データが減り、次のエポックで衛星 1 基の観測データが増加する。この増加時にキネマティック測位で初期化が始まる。このように 60 秒おきに初期化が行われる。

表 5.3.2-3 評価項目

評価項目	内容
利用率	全時間における、アンビギュイティを決定し、かつ、位置誤差が 10cm 以下である時間の割合
位置誤差	アンビギュイティを決定した状態における真の位置と計算位置の水平面上の差の平均値
平均初期化時間	アンビギュイティを決定するまでの平均時間。サイクルスリップ及びマルチパスの発生後から初期化が始まる。初期化できなかった場合、マルチパスを 60 秒おきに発生させるため、初期化時間を 59 秒とする。また、初期化途中で衛星数の増減があった場合を計算から除く。

5.3.3 シミュレーション結果

(1) GPS 観測状況

GPS の観測状況として、各評価条件における平均可視衛星数、平均 PDOP、平均 HCOP 及び平均 VDOP(Vertical DOP)を表 5.3.3-1 に示す。

表 5.3.3-1 GPS の観測状況

評価条件 No.	平均可視衛星数	平均 PDOP	平均 HDOP	平均 VDOP
1	6.7	2.53	1.39	2.11
2	5.8	3.46	1.76	2.95
3	5.6	3.49	1.77	2.98
4	5.5	4.20	1.92	3.66
5	6.7	2.53	1.39	2.11
6	5.4	3.58	1.83	4.32
7	5.9	6.48	2.66	5.89
8	7.7	2.26	1.36	1.80
9	6.8	3.16	1.81	2.54
10	6.6	3.25	1.79	2.69
11	6.5	3.46	1.87	2.85
12	7.7	2.26	1.36	1.80
13	6.4	3.91	2.14	3.21
14	6.9	3.27	1.69	2.79

(2) 解析結果

表 5.3.2-2 に示す 14 つの評価条件において、従来技術、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術を実施した。その結果、表 5.3.3-2～表 5.3.3-4 に示す利用率、位置誤差及び平均初期化時間を得た。

表 5.3.3-2 利用率

評価条件 No.	利用率 (%)		
	従来技術	RTK-GPS 高速初期化技術	慣性航法複合技術
1	91.6	93.0	93.5
2	55.0	87.4	70.0
3	53.3	85.6	92.2
4	44.7	82.8	89.0
5	91.2	92.7	96.4
6	43.9	79.7	86.9
7	59.8	82.5	84.7
8	93.4	94.4	97.8
9	70.0	92.4	97.2
10	70.5	91.6	97.1
11	66.9	91.4	96.8
12	93.4	94.8	98.8
13	66.9	87.7	94.5
14	72.3	91.7	97.1

表 5.3.3-3 位置誤差

評価条件 No.	位置誤差 (m)		
	従来技術	RTK-GPS 高速初期化技術	慣性航法複合技術
1	0.006	0.018	0.018
2	0.105	0.034	0.034
3	0.102	0.047	0.047
4	0.142	0.044	0.019
5	0.006	0.033	0.033
6	0.033	0.056	0.056
7	0.222	0.277	0.277
8	0.007	0.025	0.025
9	0.010	0.026	0.026
10	0.012	0.023	0.023
11	0.026	0.019	0.019
12	0.007	0.017	0.017
13	0.038	0.082	0.082
14	0.059	0.026	0.026

表 5.3.3-4 平均初期化時間

評価条件 No.	平均初期化時間 (秒)	
	従来技術	RTK-GPS 高速初期化技術
1	15.6	4.5
2	23.6	6.5
3	24.2	7.0
4	29.1	7.5
5	7.1	4.1
6	24.2	6.9
7	18.4	6.6
8	12.0	3.3
9	18.5	4.7
10	17.6	5.2
11	19.7	5.4
12	1.4	3.7
13	18.1	6.3
14	15.9	5.2

5.4 ソフトウェアの技術的評価検証

5.4.1 法面段数による評価

(1) 解析結果

準天頂衛星がない場合における法面段数と評価項目の関係を図 5.4.1-1～図 5.4.1-3 に示す。

図 5.4.1-1 に示すように、準天頂衛星がない場合、慣性航法複合技術を用いることにより、法面 4 段以下で 90%以上の利用率を確保できた。

図 5.4.1-1 に示すように、法面が 4 段である場合、利用率が従来技術 53%から RTK-GPS 高速初期化技術 85%に、約 30%向上した。また、慣性航法複合技術の利用率が 92%であり、従来技術に比べて、利用率が約 40%向上した。

図 5.4.1-2 に示すように、法面が 4 段である場合、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術の位置誤差は数 cm 程度であり、10cm 以下となった。

図 5.4.1-3 に示すように、法面が 4 段である場合、平均初期化時間は従来技術 24 秒から RTK-GPS 高速初期化技術 7 秒に、3 分の 1 以下に短縮された。

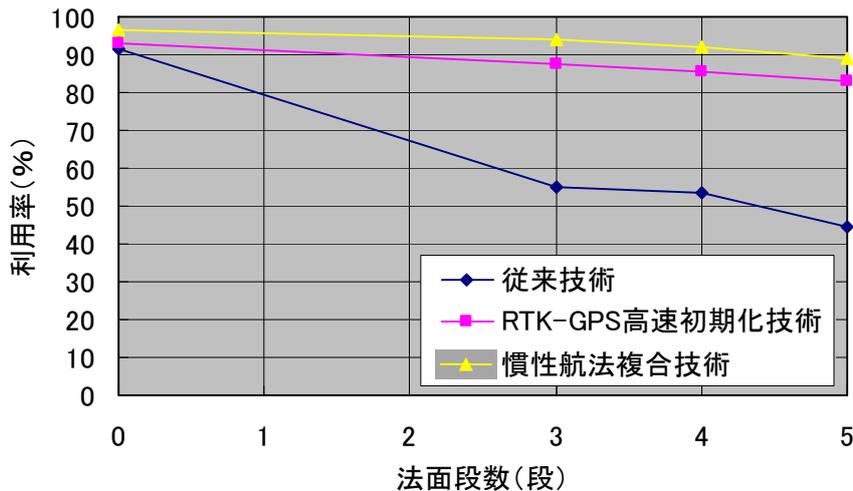


図 5.4.1-1 法面段数と利用率の関係 (準天頂衛星なし、浦幌、転圧ローラ)

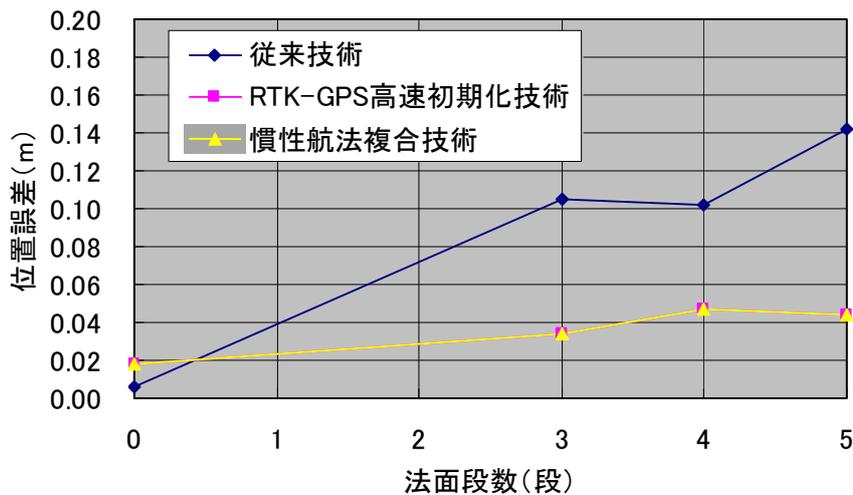


図 5.4.1-2 法面段数と位置誤差の関係（準天頂衛星なし、浦幌、転圧ローラ）

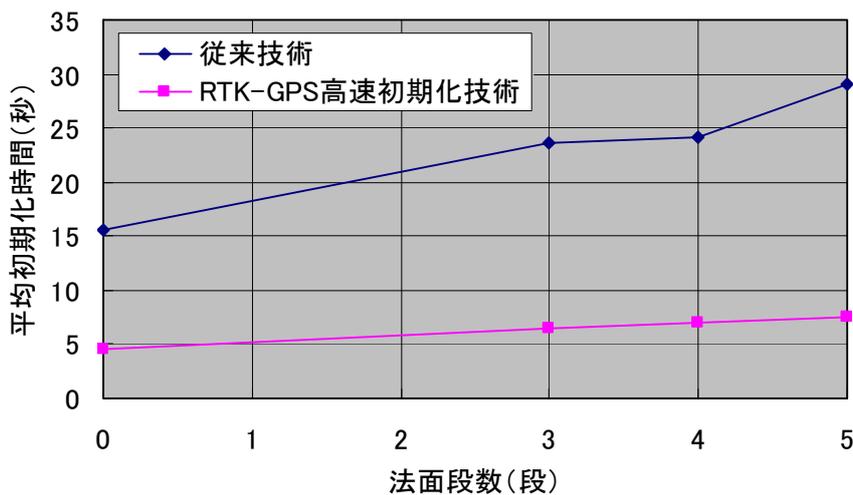


図 5.4.1-3 法面段数と平均初期化時間の関係（準天頂衛星なし、浦幌、転圧ローラ）

(2) 考察

RTK-GPS 高速初期化技術の平均初期化時間が従来技術に比べて短縮された原因について検討していく。解析では、基線長に比例した値を電離層遅延に付加しており、その値は天頂方向で約 15mm である。従来技術では、Klobuchar モデルで電離層遅延を算出するため、基線長に起因した電離層遅延を十分推定できない。一方、RTK-GPS 高速初期化技術では、搬送波位相の観測量をもとに電離層遅延を算出するため、基線長に起因した電離層遅延も推定できる。また、従来技術では推定位置の誤差が約 50cm よりも大きい場合、アンビギュイティが決定されないが、RTK-GPS 高速初期化技術ではアンビギュイティ決定のための位置探索手法が組み込まれているため、推定位置の誤差が約 50cm よりも大きくてもアンビギュイティを決定できることがある。以上のこ

とから、RTK-GPS 高速初期化技術の平均初期化時間が従来技術に比べて短縮されたと考えられる。

上記のように、RTK-GPS 高速初期化技術の平均初期化時間が従来技術のそれよりも短縮されたことにより、RTK-GPS 高速初期化技術の利用率も従来技術に比べて向上した。

平均可視衛星数及び DOP を図 5.4.1-4 及び図 5.4.1-5 に示す。図 5.4.1-4 及び図 5.4.1-5 に示すように、法面段数が増えると、平均可視衛星数が減り、DOPが増加する。これにより、法面段数が増えると、利用率が低減し、平均初期化時間が長くなった。

RTK-GPS 高速初期化技術と慣性航法複合技術の位置誤差が同じになる理由は、アンビギュイティが決定している場合、慣性航法複合技術でキネマティック測位の位置出力を採用するためである。

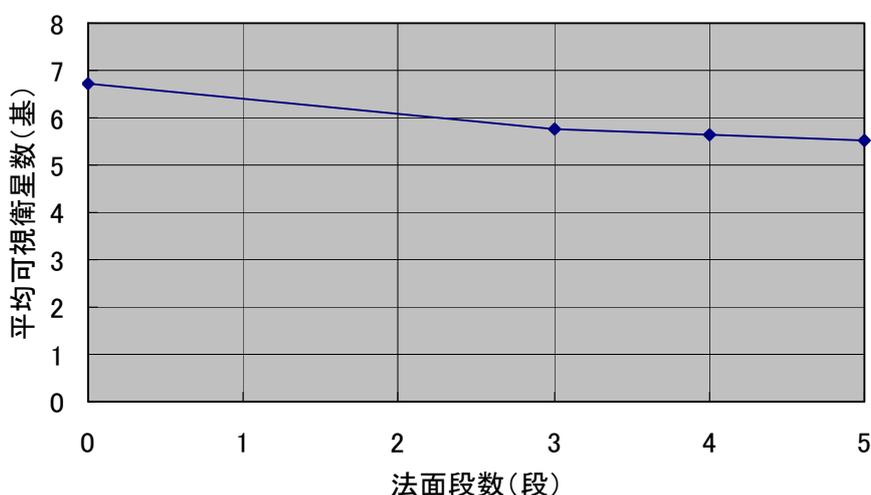


図 5.4.1-4 法面段数と平均可視衛星数の関係（準天頂衛星なし、浦幌、転圧ローラ）

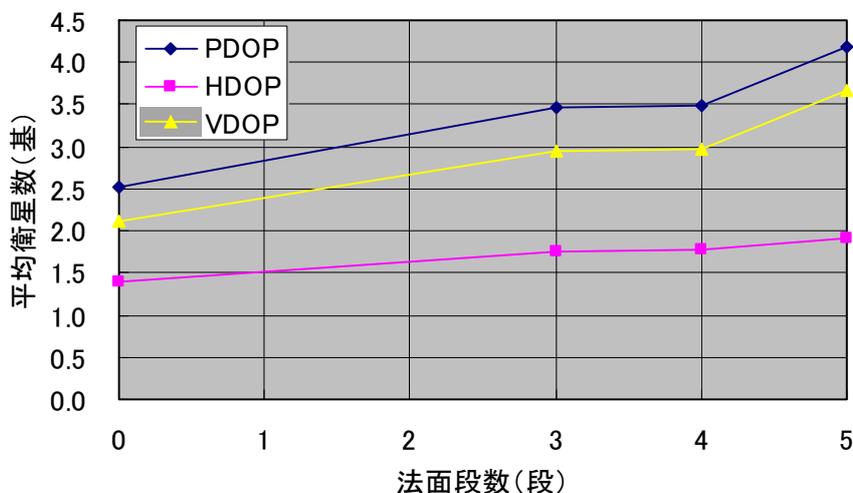


図 5.4.1-5 法面段数と DOP の関係（準天頂衛星なし、浦幌、転圧ローラ）

5.4.2 準天頂衛星の効果

(1) 解析結果

準天頂衛星がない場合とある場合における法面段数と評価項目の関係を表 5.4.2-1～表 5.4.2-3 に示す。

表 5.4.2-1 に示すように、法面が 4 段である場合、準天頂衛星が 1 基増えることにより、従来技術の利用率が 53%から 71%に、約 20%向上した。RTK-GPS 高速初期化の利用率は 86%から 92%に、約 5%向上し、慣性航法複合技術の利用率は 92%から 97%に、約 5%向上した。

位置誤差に関しては、表 5.4.2-2 に示すように、準天頂衛星が 1 基増えることにより、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術において位置誤差が約 2 分の 1 に低減した。

表 5.4.2-3 に示すように、法面が 4 段である場合、準天頂衛星が 1 基増えることにより、従来技術の平均初期化時間は 24 秒から 18 秒に短縮した。また、RTK-GPS 高速初期化技術の平均初期化時間は 7 秒から 5 秒に短縮した。

表 5.4.2-1 準天頂衛星がない場合とある場合における法面段数と利用率の関係

評価項目		利用率 (%)					
評価対象		従来技術		RTK-GPS 高速初期化技術		慣性航法複合技術	
準天頂衛星		なし	あり	なし	あり	なし	あり
法面段数 (段)	0	91.6	93.4	93.0	94.4	96.6	97.8
	3	55.0	70.0	87.4	92.4	94.1	97.2
	4	53.3	70.5	85.6	91.6	92.2	97.1
	5	44.7	66.9	82.8	91.4	89.0	96.8

表 5.4.2-2 準天頂衛星がない場合とある場合における法面段数と位置誤差の関係

評価項目		位置誤差 (m)					
評価対象		従来技術		RTK-GPS 高速初期化技術		慣性航法複合技術	
準天頂衛星		なし	あり	なし	あり	なし	あり
法面段数 (段)	0	0.006	0.007	0.018	0.025	0.018	0.025
	3	0.105	0.010	0.034	0.026	0.034	0.026
	4	0.102	0.012	0.047	0.023	0.047	0.023
	5	0.142	0.026	0.044	0.019	0.044	0.019

表 5.4.2-3 準天頂衛星がない場合とある場合における法面段数と平均初期化時間の関係

評価項目		平均初期化時間 (秒)			
評価対象		従来技術		RTK-GPS 高速初期化技術	
準天頂衛星		なし	あり	なし	あり
法面段数 (段)	0	15.6	12.0	4.5	3.3
	3	23.6	18.5	6.5	4.7
	4	24.2	17.6	7.0	5.2
	5	29.1	19.7	7.5	5.4

準天頂衛星がある場合における法面段数と評価項目の関係を図 5.3.2-1～図 5.3.2-3 に示す。

図 5.4.2-1 に示すように、準天頂衛星がある場合、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術を用いることにより、法面 5 段以上で 90%以上の利用率を確保できた。

図 5.4.2-1 に示すように、法面が 4 段である場合、準天頂衛星がある状態でも、利用率が従来技術 70%から RTK-GPS 高速初期化技術 92%に、約 30%向上した。また、慣性航法複合技術の利用率が 97%であり、従来技術に比べて、利用率が約 35%向上した。

図 5.4.2-2 に示すように、法面が 4 段である場合、3 つの技術の位置誤差は数 cm 程度であり、10cm 以下となった。

図 5.4.2-3 に示すように、法面が 4 段である場合、平均初期化時間は従来技術 18 秒から RTK-GPS 高速初期化技術 5 秒に、3 分の 1 以下に短縮された。

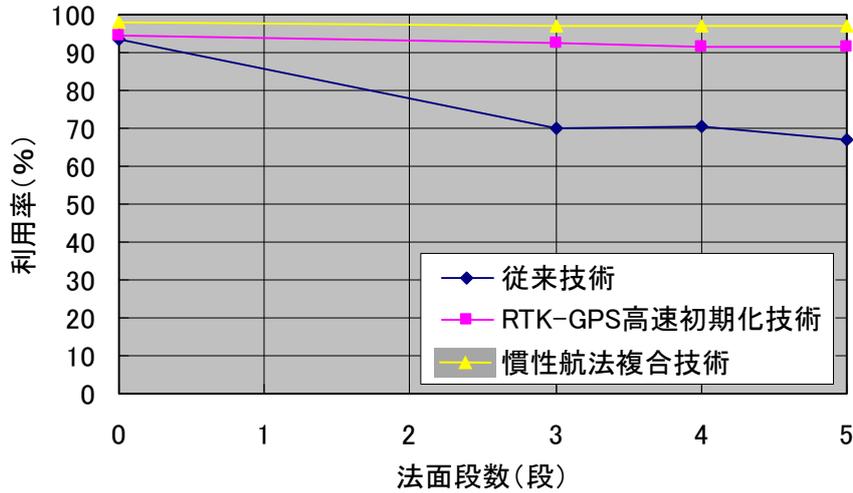


図 5.4.2-1 法面段数と利用率の関係 (準天頂衛星あり、浦幌、転圧ローラ)

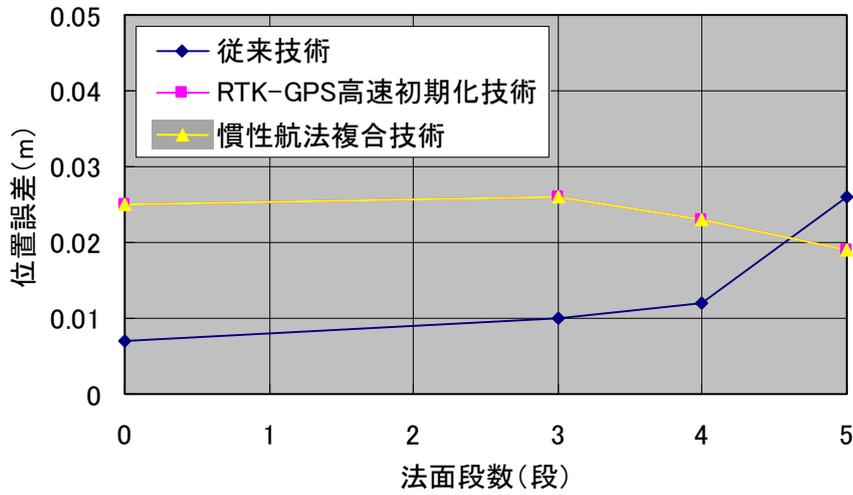


図 5.4.2-2 法面段数と位置誤差の関係 (準天頂衛星あり、浦幌、転圧ローラ)

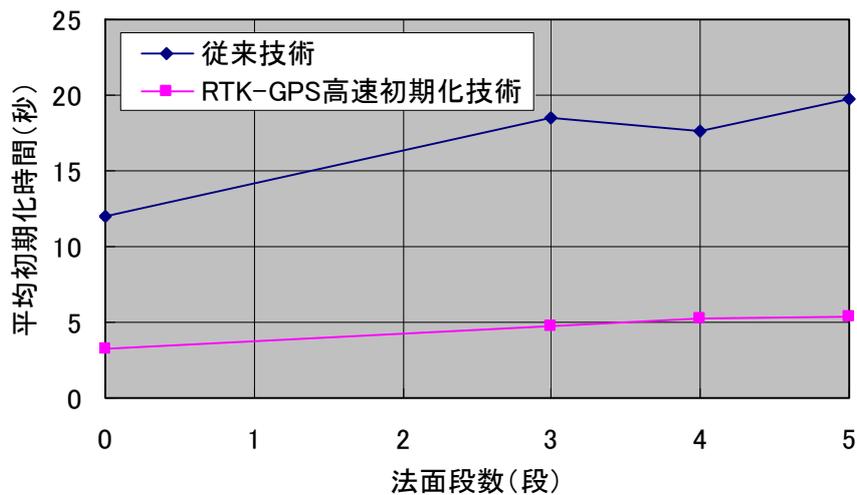


図 5.4.2-3 法面段数と平均初期化時間の関係（準天頂衛星あり、浦幌、転圧ローラ）

(2) 考察

準天頂衛星が 1 基増えると、平均可視衛星数が 1 基増え、準天頂衛星がある場合の平均初期化時間が、ない場合に比べて短縮された。それにより、準天頂衛星がある場合の利用率が、ない場合に比べて向上した。

5.4.3 実験場所による評価

(1) 解析結果

実験場所が浦幌（北海道）及び第 2 東名（静岡）である場合の利用率、位置誤差及び平均初期化時間を表 5.4.3-1～表 5.4.3-6 に示す。

表 5.4.3-1 及び表 5.4.3-2 に示すように、実験場所が第 2 東名であったとしても、RTK-GPS 高速初期化技術の利用率が従来技術に比べて約 25～30%向上した。同様に、実験場所が第 2 東名であったとしても、慣性航法複合技術の利用率が従来技術に比べて約 25～35%向上した。

表 5.4.3-5 及び表 5.4.3-6 に示すように、実験場所が第 2 東名であったとしても、RTK-GPS 高速初期化技術の平均初期化時間が従来技術に比べて、約 3 分の 1 短縮された。

以上のことから、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術により、場所に関係なく、利用率が向上する。

表 5.4.3-1 各実験場所における利用率（準天頂衛星なし、転圧ローラ、法面 4 段）

評価項目		利用率 (%)		
評価対象		従来技術	RTK-GPS 高速初期化技術	慣性航法複合技術
実験場所	浦幌（北海道）	53.3	85.6	92.2
	第 2 東名（静岡）	59.8	82.5	84.7

表 5.4.3-2 各実験場所における利用率（準天頂衛星あり、転圧ローラ、法面 4 段）

評価項目		利用率 (%)		
評価対象		従来技術	RTK-GPS 高速初期化技術	慣性航法複合技術
実験場所	浦幌（北海道）	70.5	91.6	97.1
	第 2 東名（静岡）	72.3	91.7	97.1

表 5.4.3-3 各実験場所における位置誤差（準天頂衛星なし、転圧ローラ、法面 4 段）

評価項目		位置誤差 (m)		
評価対象		従来技術	RTK-GPS 高速初期化技術	慣性航法複合技術
実験場所	浦幌（北海道）	0.102	0.047	0.047
	第 2 東名（静岡）	0.222	0.277	0.277

表 5.4.3-4 各実験場所における位置誤差（準天頂衛星あり、転圧ローラ、法面 4 段）

評価項目		位置誤差 (m)		
評価対象		従来技術	RTK-GPS 高速初期化技術	慣性航法複合技術
実験場所	浦幌（北海道）	0.012	0.023	0.023
	第 2 東名（静岡）	0.059	0.026	0.026

表 5.4.3-5 各実験場所における平均初期化時間（準天頂衛星なし、転圧ローラ、法面 4 段）

評価項目		平均初期化時間 (秒)	
評価対象		従来技術	RTK-GPS 高速初期化技術
実験場所	浦幌（北海道）	24.2	7.0
	第 2 東名（静岡）	18.1	6.6

表 5.4.3-6 各実験場所における平均初期化時間（準天頂衛星あり、転圧ローラ、法面 4 段）

評価項目		平均初期化時間（秒）	
		従来技術	RTK-GPS 高速初期化技術
実験場所	浦幌（北海道）	17.6	5.2
	第 2 東名（静岡）	18.4	5.2

(2) 考察

RTK-GPS 高速初期化技術は従来技術に比べて、二周波搬送波位相モデルにより電離層遅延二重差の推定精度が向上し、アンビギュイティ決定のための位置探索手法により初期化時間が短縮される。このことから、実験場所が変わったとしても RTK-GPS 高速初期化の優位性は変わらない。

慣性航法複合技術は従来技術に比べて、非線形 **Tightly Coupled** 方式により位置出力の継続性が向上する。また、RTK-GPS 高速初期化技術の優位性も加わり、実験場所が変わったとしても慣性航法複合技術の優位性は変わらない。

5.4.4 建機の種別と動きによる評価

(1) 解析結果

建機の種別が転圧ローラ及び油圧ショベルである場合の利用率、位置誤差及び平均初期化時間を表 5.4.4-1～表 5.4.4-6 に示す。

表 5.4.4-1 及び表 5.4.4-2 に示すように、法面が 4 段である場合、建機種別が油圧ショベルであったとしても、RTK-GPS 高速初期化技術の利用率が従来技術に比べて約 30～35% 向上した。同様に、建機種別が油圧ショベルであったとしても、慣性航法複合技術の利用率が従来技術に比べて約 30% 向上した。

表 5.4.4-5 及び表 5.4.4-6 に示すように、法面が 4 段である場合、建機種別が油圧ショベルであったとしても、RTK-GPS 高速初期化技術の平均初期化時間が従来技術に比べて、3 分の 1 以下に短縮された。

表 5.4.4-1 及び表 5.4.4-2 に示すように、法面が 4 段である場合、油圧ショベルの利用率が転圧ローラに比べて 3～10% 低下した。

表 5.4.4-5 及び表 5.4.4-6 に示すように、法面が 4 段である場合、油圧ショベルの平均初期化時間が転圧ローラに比べて 1 秒程度長くなった。

表 5.4.4-1 建機種別における利用率（準天頂衛星なし、浦幌）

評価項目		利用率（%）					
評価対象		従来技術		RTK-GPS 高速初期化技術		慣性航法複合技術	
法面段数（段）		0	4	0	4	0	4
建機種別	転圧ローラ	91.6	53.3	93.0	85.6	96.6	92.2
	油圧ショベル	91.2	43.9	92.7	79.7	96.4	86.9

表 5.4.4-2 建機種別における利用率（準天頂衛星あり、浦幌）

評価項目		利用率（%）					
評価対象		従来技術		RTK-GPS 高速初期化技術		慣性航法複合技術	
法面段数（段）		0	4	0	4	0	4
建機種別	転圧ローラ	93.4	70.5	94.4	91.6	97.8	97.1
	油圧ショベル	93.5	66.9	94.8	87.7	98.8	94.5

表 5.4.4-3 建機種別における位置誤差（準天頂衛星なし、浦幌）

評価項目		位置誤差（m）					
評価対象		従来技術		RTK-GPS 高速初期化技術		慣性航法複合技術	
法面段数（段）		0	4	0	4	0	4
建機種別	転圧ローラ	0.006	0.102	0.018	0.047	0.018	0.047
	油圧ショベル	0.007	0.033	0.033	0.056	0.033	0.056

表 5.4.4-4 建機種別における位置誤差（準天頂衛星あり、浦幌）

評価項目		位置誤差（m）					
評価対象		従来技術		RTK-GPS 高速初期化技術		慣性航法複合技術	
法面段数（段）		0	4	0	4	0	4
建機種別	転圧ローラ	0.007	0.012	0.025	0.023	0.025	0.023
	油圧ショベル	0.007	0.038	0.017	0.082	0.017	0.082

表 5.4.4-5 建機種別における平均初期化時間（準天頂衛星なし、浦幌）

評価項目		平均初期化時間（秒）			
評価対象		従来技術		RTK-GPS 高速初期化技術	
法面段数（段）		0	4	0	4
建機種別	転圧ローラ	15.6	24.2	4.5	7.0
	油圧ショベル	7.1	28.5	4.1	6.9

表 5.4.4-6 建機種別における平均初期化時間（準天頂衛星あり、浦幌）

評価項目		平均初期化時間（秒）			
評価対象		従来技術		RTK-GPS 高速初期化技術	
法面段数（段）		0	4	0	4
建機種別	転圧ローラ	12.0	17.6	3.3	5.2
	油圧ショベル	1.4	18.1	3.7	6.3

(2) 考察

法面が 4 段である場合、油圧ショベルが転圧ローラに比べて、利用率が低下し、平均初期化時間が長くなる理由は以下の通りである。転圧ローラは 5.2.2-1 に示すように作業領域を均等に移動する。一方、油圧ショベルは 5.2.2-2 に示すように法面に沿って移動する。このため、油圧ショベルは転圧ローラに比べて、法面による遮蔽の影響を受け、表 5.4.4-7 に示すように平均可視衛星数が低下した。このため、油圧ショベルは転圧ローラに比べて、利用率が低下し、平均初期化時間が長くなった。

表 5.4.4-7 建機種別による平均可視衛星数（浦幌、法面 4 段）

		平均可視衛星数（基）	
準天頂衛星の有無		なし	あり
建機種別	転圧ローラ	5.6	6.6
	油圧ショベル	5.4	6.4

5.5 まとめ

法面段数、準天頂衛星の有無、実験場所及び建機種別の条件を変えて、模擬観測データを生成した。この模擬観測データをもとに、従来技術、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術の性能を利用率、位置誤差及び平均初期化時間で評価した。

(1) 法面段数による評価

準天頂衛星がなく、浦幌（北海道）で転圧ローラを走行させたシミュレーション実験を行った。図 5.5-1～図 5.5-3 に示す解析結果を得て、以下の結論を得た。

- ・ 図 5.5-1 に示すように、準天頂衛星がない場合、慣性航法複合技術を用いることにより、法面 4 段以下で 90%以上の利用率を確保できた。
- ・ 図 5.5-1 に示すように、法面が 4 段である場合、RTK-GPS 高速初期化技術の利用率が従来技術に比べて約 30%向上した。
- ・ 同様に、慣性航法複合技術の利用率が従来技術に比べて約 40%向上した。
- ・ 図 5.5-2 に示すように、法面が 4 段である場合、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術の位置誤差は数 cm 程度であり、10cm 以下となった。
- ・ 図 5.5-3 に示すように、法面が 4 段である場合、RTK-GPS 高速初期化技術の平均初期化時間は従来技術に比べて 3 分の 1 以下に短縮された。

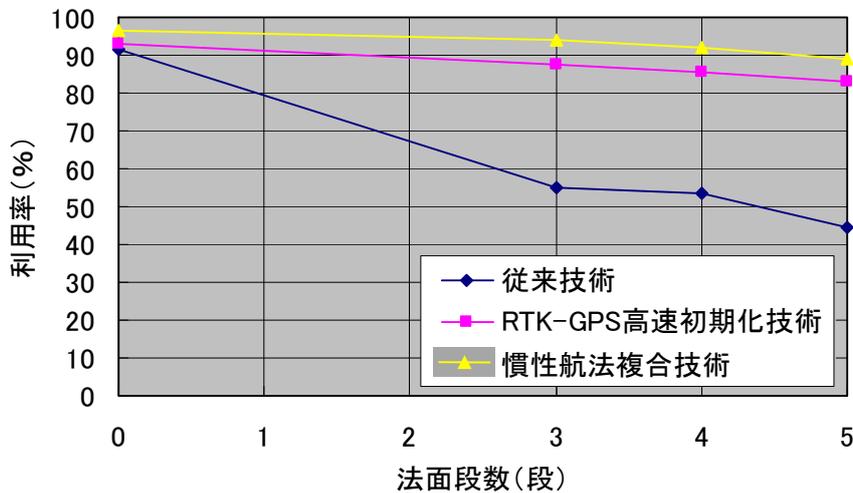


図 5.5-1 法面段数と利用率の関係（準天頂衛星なし、浦幌、転圧ローラ）

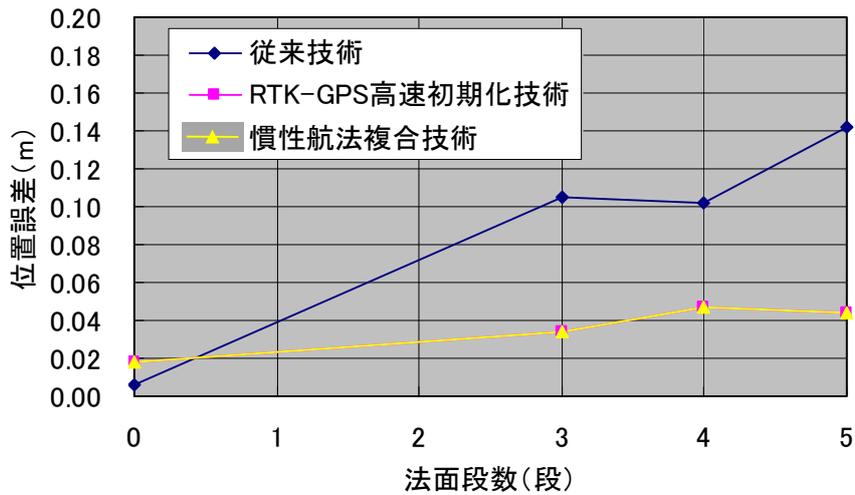


図 5.5-2 法面段数と位置誤差の関係（準天頂衛星なし、浦幌、転圧ローラ）

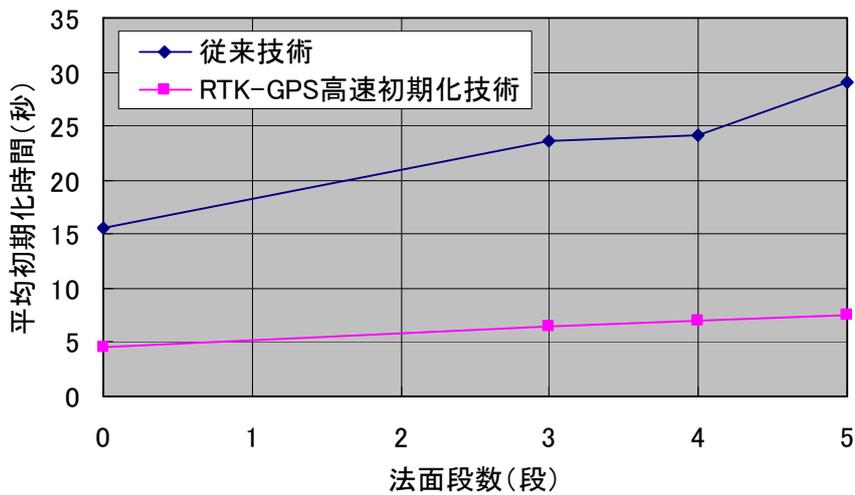


図 5.5-3 法面段数と平均初期化時間の関係（準天頂衛星なし、浦幌、転圧ローラ）

(2) 準天頂衛星の効果

準天頂衛星があり、浦幌で転圧ローラを走行させたシミュレーション実験を行った。

図 5.5-4 に示す解析結果を得て、以下の結論を得た。

- ・ 図 5.5-4 に示すように、準天頂衛星がある場合、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術を用いることにより、法面 5 段以上で 90%以上の利用率を確保できた。
- ・ 図 5.5-1 及び図 5.5-4 に示すように、法面が 4 段である場合、準天頂衛星が 1 基増えることにより、従来技術の利用率が約 20%向上した。
- ・ 図 5.5-4 に示すように、法面が 4 段である場合、準天頂衛星がある状態でも、

RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術の利用率が従来技術に比べて約 20～25%向上した。

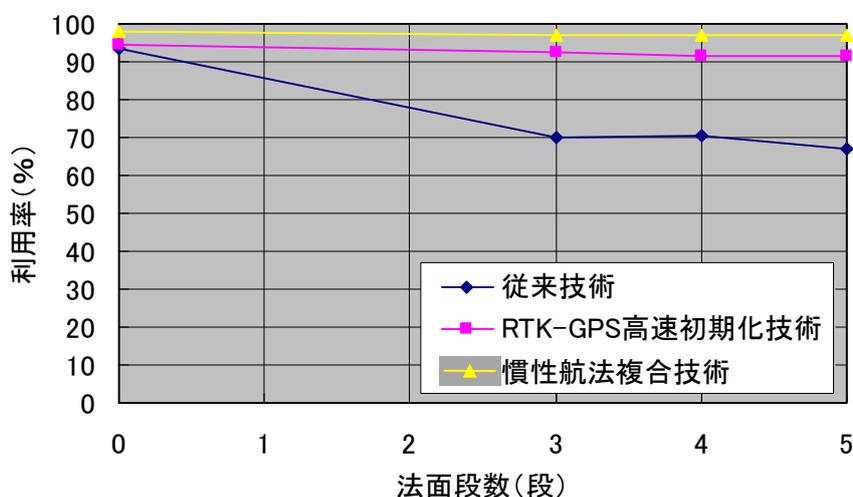


図 5.5-4 法面段数と利用率の関係（準天頂衛星あり、浦幌、転圧ローラ）

(3) 実験場所による評価

第 2 東名（静岡）で転圧ローラを走行させたシミュレーション実験を行った。表 5.5-1 及び表 5.5-2 に示す解析結果を得て、以下の結論を得た。

- 表 5.5-1 及び表 5.5-2 に示すように、浦幌及び第 2 東名ともに、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術の利用率が従来技術に比べて約 25～35%向上した。

表 5.5-1 各実験場所における利用率（準天頂衛星なし、転圧ローラ、法面 4 段）

評価項目		利用率 (%)		
		従来技術	RTK-GPS 高速初期化技術	慣性航法複合技術
実験場所	浦幌（北海道）	53.3	85.6	92.2
	第 2 東名（静岡）	59.8	82.5	84.7

表 5.5-2 各実験場所における利用率（準天頂衛星あり、転圧ローラ、法面 4 段）

評価項目		利用率 (%)		
評価対象		従来技術	RTK-GPS 高速初期化技術	慣性航法複合技術
実験場所	浦幌（北海道）	70.5	91.6	97.1
	第 2 東名（静岡）	72.3	91.7	97.1

(4) 建機の種別と動きによる評価

浦幌（北海道）で油圧ショベルを走行させたシミュレーション実験を行った。表 5.5-3 及び表 5.5-4 に示す解析結果を得て、以下の結論を得た。

- ・ 表 5.5-3 及び表 5.5-4 に示すように、建機種別が油圧ショベルであったとしても、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術の利用率が従来技術に比べて約 30～35% 向上した。
- ・ 油圧ショベルは法面近くで動作するため、表 5.5-3 及び表 5.5-4 に示すように、油圧ショベルの利用率が転圧ローラに比べて 3～10% 低下した。

表 5.5-3 建機種別における利用率（準天頂衛星なし、浦幌、法面 4 段）

評価項目		利用率 (%)		
評価対象		従来技術	RTK-GPS 高速初期化技術	慣性航法複合技術
建機種別	転圧ローラ	53.3	85.6	92.2
	油圧ショベル	43.9	79.7	86.9

表 5.5-4 建機種別における利用率（準天頂衛星あり、浦幌、法面 4 段）

評価項目		利用率 (%)		
評価対象		従来技術	RTK-GPS 高速初期化技術	慣性航法複合技術
建機種別	転圧ローラ	70.5	91.6	97.1
	油圧ショベル	66.9	87.7	94.5