

6. 屋外実験計画及び評価方法の検討

6.1 シミュレーション実験結果からの屋外実験方法の検討

6.1.1 屋外実験の概要

H18 年度に開発されたシミュレーション実験用の高精度測位ソフトウェアを作業用車両用にソフトウェアの改良を行い、実運用を想定した屋外実験の計画を立てる。屋外実験では建設機械を使用して実際の作業中の動作を模擬し、作業中の測位技術の性能を評価する。以下に実験方法・実験日程・場所等、基本的な実験計画について述べる。

6.1.2 屋外実験の目的

従来の RTK-GPS を用いたシステムでは、上空視界が良い場所では高い稼働率での使用が可能となり、建設現場等で工期短縮の恩恵が得られる。しかし、山間部や建設機械等で上空視界が悪くなると、衛星からの電波受信に制約を受けて利用可能なエリアが限定される。衛星数が揃う時間帯しか作業ができなくなる。上空視界の障害物で作業が中断される。このような現状に対して、準天頂衛星や RTK-GPS 高速初期化・慣性航法複合技術・劣化信号除去技術を適用し、利用シーンの拡大を図る。

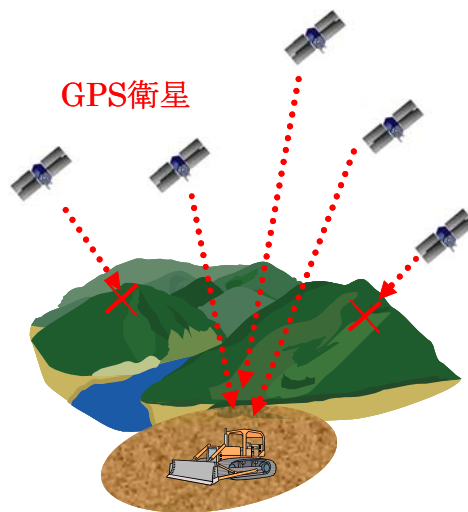


図 6.1.2-1 測位環境のイメージ図

6.2 評価項目、評価手法の検討

屋外実験の評価項目と評価方法について説明する。

6.2.1 評価対象

屋外実験の評価を行う対象は表 6.2.1-1 における本研究の開発ソフトと既存製品、市販ソフトを対象ソフトとする。(図 6.2.1-1 を参照)

表 6.2.1-1 評価対象について

評価対象	内容
開発ソフト	本年度開発した RTK-GPS ソフトウェアの演算結果
既存製品	NovAtel 社の 2 周波 GPS 受信機に組み込まれたソフトウェアの結果
市販ソフト	Waypoint 社の GrafNav Ver.7 で演算した結果

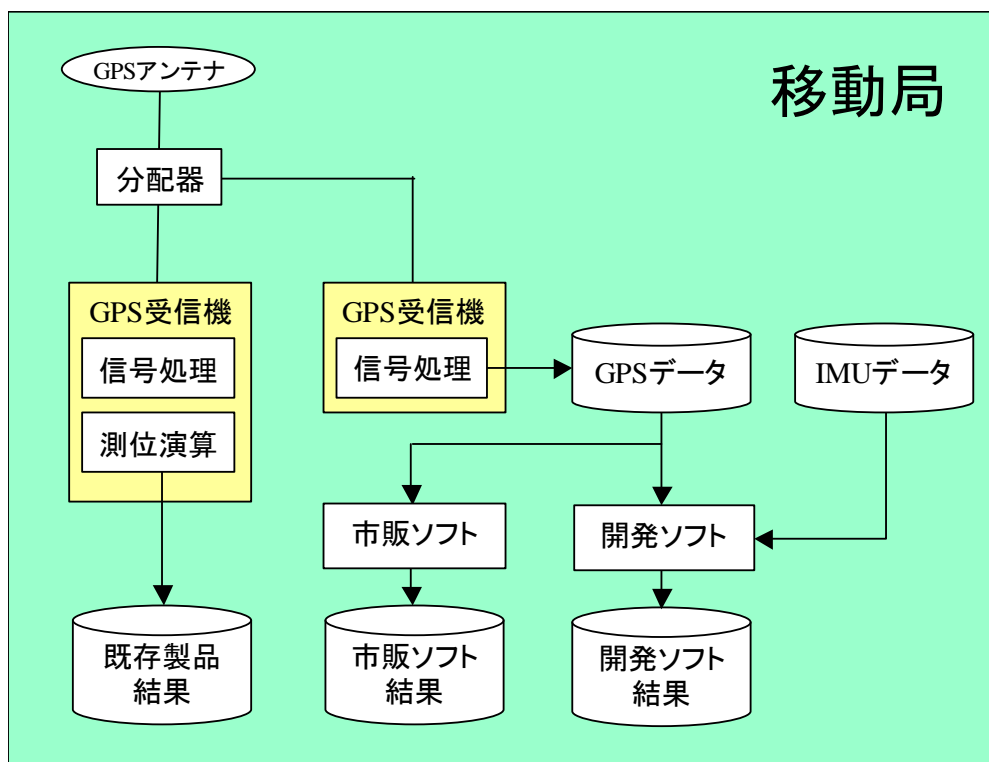


図 6.2.1-1 評価対象構成図

既存製品は、NovAtel 社の GPS 受信機 OEM4 に組み込まれたソフトウェアで演算した結果である。精度のスペックに関して、位置精度は $20[\text{mm}] + 0.5\text{ppm}$ であり、初期化時間は $15[\text{sec}]$ (基線長 $100[\text{m}]$) である。2 周波 GPS 受信機は、どのメーカーも同様な精度であり、今回の屋外実験では NovAtel 社の GPS 受信機で比較を行った。

6.2.2 評価場所

浦幌（北海道）で評価を行う際、実験場所において遮蔽による GPS 電波の影響が変化するように作業領域の範囲を分けて評価を行う。

屋外実験場所における電波遮蔽を考慮した作業範囲の分け方は、図 6.2.2-1 のように 20m × 50m の実験場所における林側、建機側、全面の 3 つの範囲に分けて評価を行う。それぞれの実験場所の詳細を表 6.2.2-1 に示す。

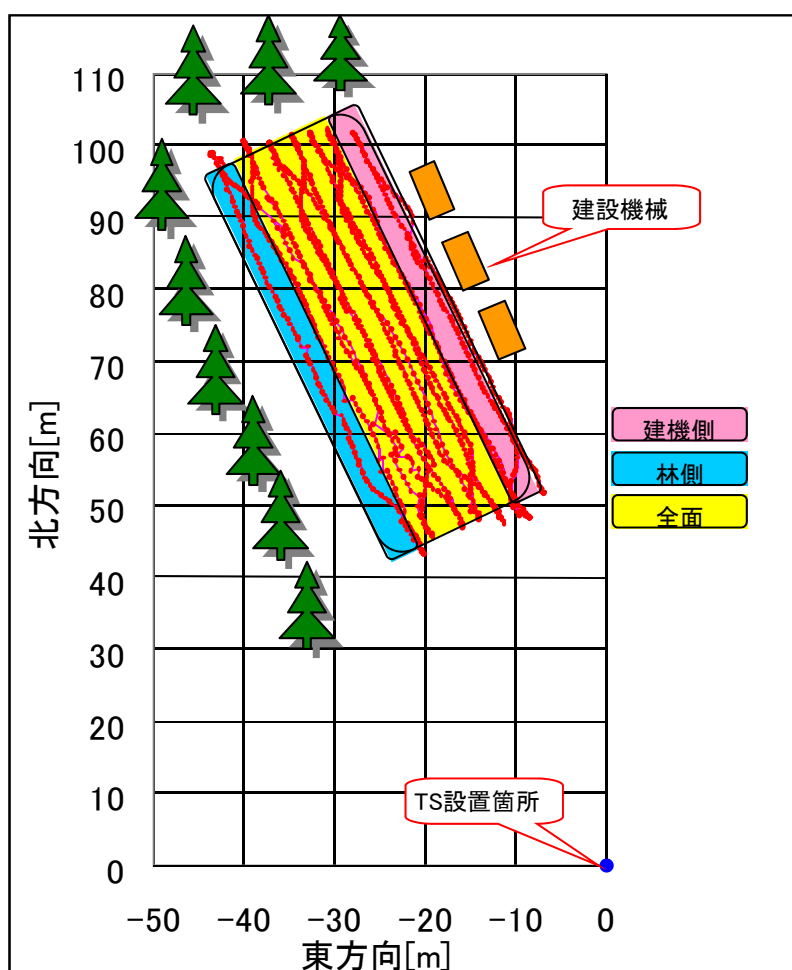


図 6.2.2-1 評価場所の分け方

表 6.2.2-1 評価場所

実験場所	建機の動き
林側	北から南西まで樹木に囲まれた場所で往復動作
建機側	東側にショベルを 3 台設置させた場所での往復動作
全面	20m × 50m の範囲において転圧ローラの動作

それぞれの実験場所における走行方法について説明する。全面範囲での走行方帆は、長さ 50m×幅 20m 程度の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 6.2.2-2）。また、林側と建機側の走行方法は、長辺方向の往復動作を行う。

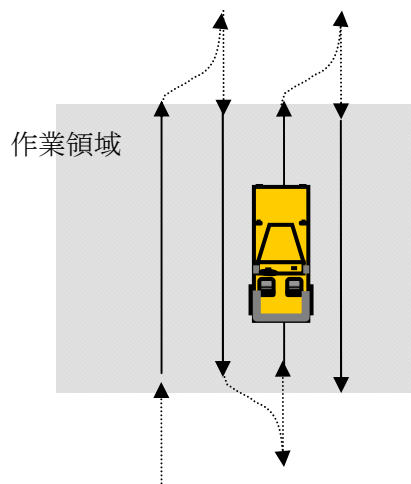


図 6.2.2-2 転圧ローラの動作

6.2.3 評価時間

評価を行う時間は、屋外実験における GPS 衛星の配置と機械の動作速度を考慮して 1 回の実験に対して約 20 分間とし、それぞれの評価場所で実験を行う。ただし、評価データの周期は 1 秒とする。

実験を 10 回以上行い、すべての実験における結果を用いて評価を行う。

6.2.4 評価項目

評価を行う項目は昨年度シミュレーションで評価を行った初期化時間、位置誤差、アンビギュイティ決定率、利用率とする。表 6.2.4-1 に評価項目の方法を示す。

表 6.2.4-1 評価項目

評価項目	内容
初期化時間	GPS で測位できない状況から測位できるまでの時間の評価 (秒) (図 6.2.4-1)
位置誤差	開発ソフトと既存製品のアンビギュイティが決定している同時刻における位置の差分を評価(m) 水平面誤差と高さ誤差のグラフ化を行う
アンビギュイティ決定率	全時間におけるソフトウェアで計算されたアンビギュイティの決定率 (時間割合) の評価 (%)
利用率	自動追尾 TS (トータルステーション) で測定した建機の位置と GPS データを用いて演算した位置との差異を計算し、その範囲が 20cm 以下である時間の割合の評価 (図 6.2.4-2)

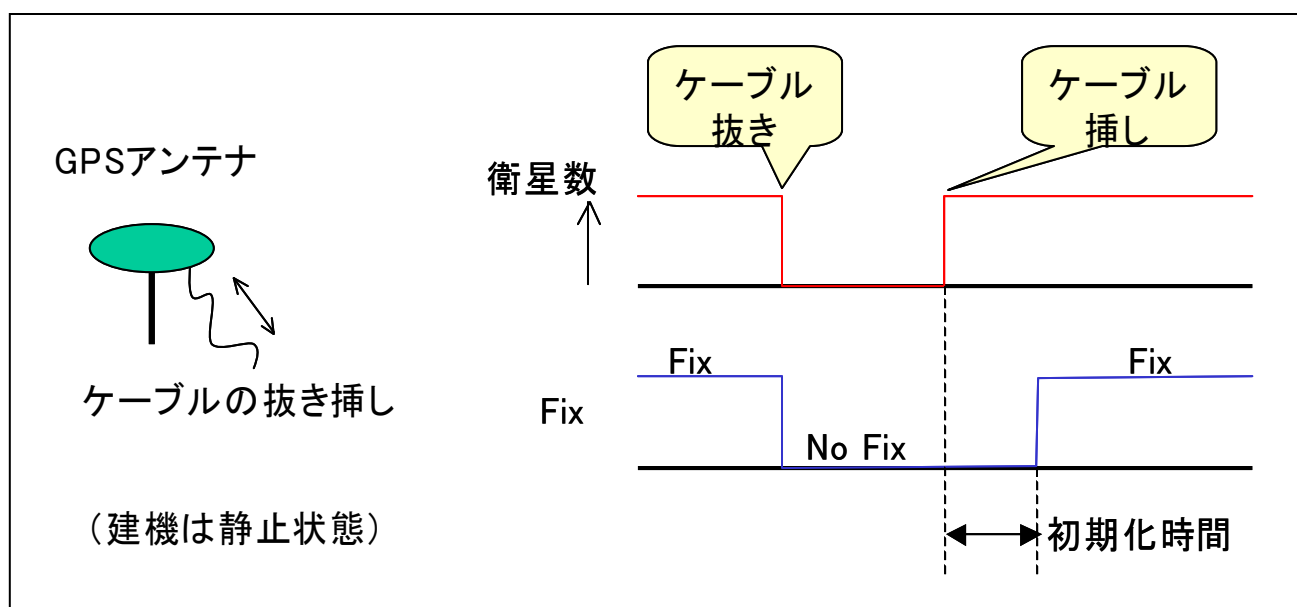


図 6.2.4-1 初期化時間計測方法

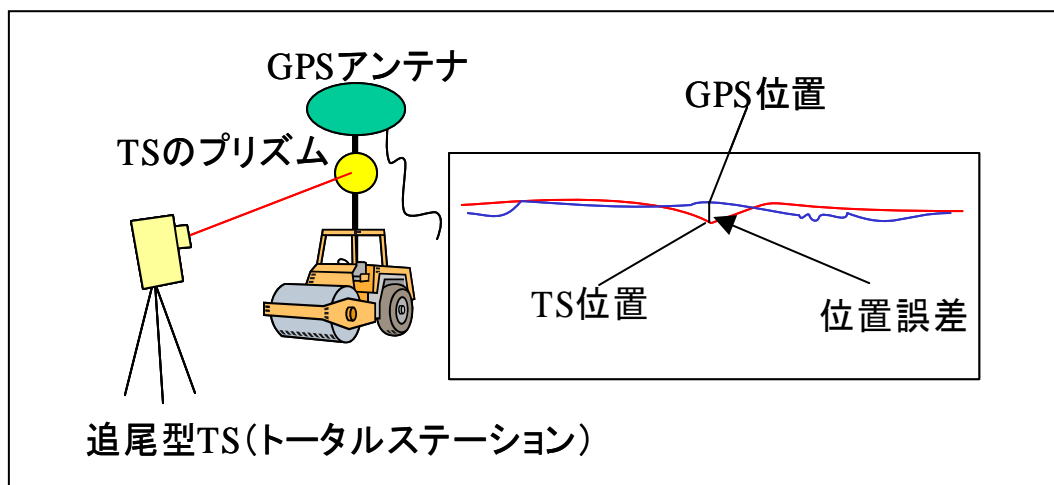


図 6.2.4-2 利用率計測方法

6.2.5 自動追尾型トータルステーション(TS)

屋外実験における位置誤差と利用率の評価を行う際、真の走行軌跡（真値）が必要となる。本研究は、真値として自動追尾型トータルステーションを用いて評価を行う（図 6.2.4-2 参照）。ただし、TS での計測は追尾が外れたり、計測における誤差をもつ欠点がある。そのため、GPS を用いた測位結果の利用率における許容範囲は、TS との誤差 20cm 以内と設定した。次に自動追尾型トータルステーションの基本原理と誤差要因について説明する。

6.3 実験場所の検討

6.3.1 屋外実験場所

(1) 実験場所

実験場所は日立建機(株) 浦幌試験場（北海道十勝郡浦幌町）とする。
浦幌試験場は、実験のための環境整備の自由度や建設機械等の機材調達の点で、実際の工事中の現場に比べて制約が少なく、実験場所として適している。

(2) 作業領域

実証実験で建設機械が走行する領域は高速道路建設現場を想定し、長さ 50m×幅 20m 程度の平面とする。また、GPS 衛星の可視状態を困難な状況下に模擬するために、走行領域の長辺の片側に建設機械を設置する。図 6.3.1-1 に作業領域候補、図 6.3.1-2 に遮蔽状況のイメージを示す。

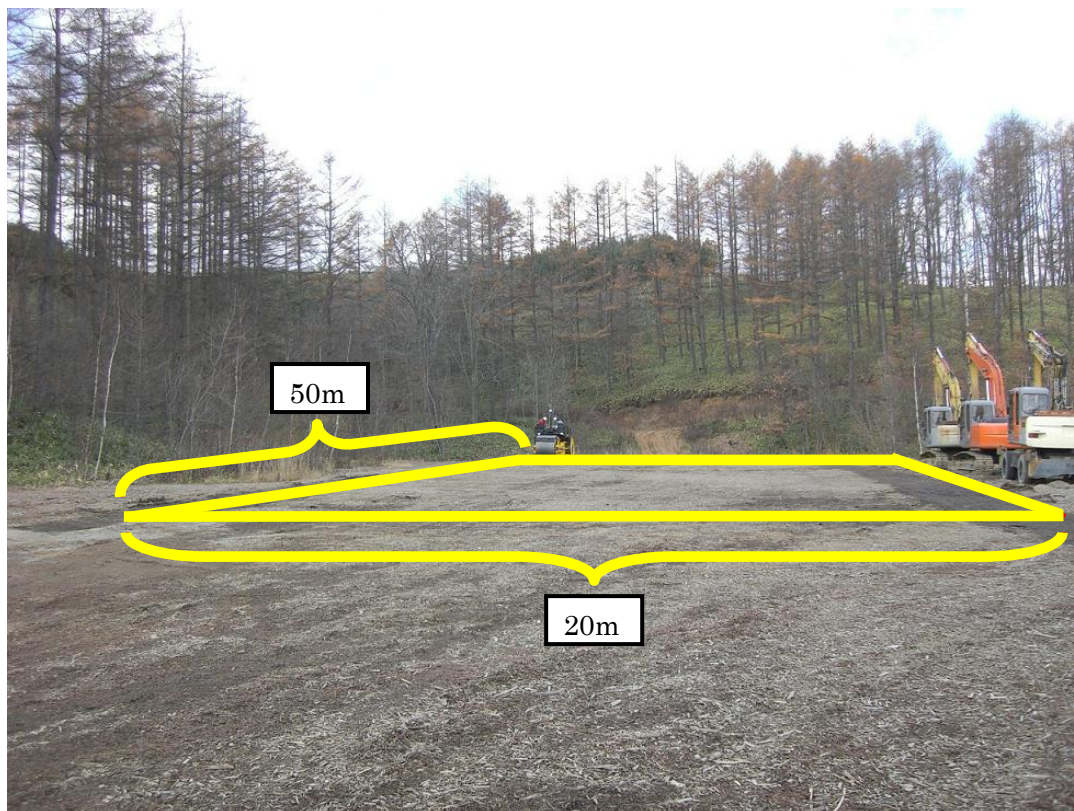


図 6.3.1-1 屋外実験作業領域



図 6.3.1-2 模擬遮蔽状況

(3) 実験場所の調査

屋外実験場所における作業範囲場所の測量を行い、GPS 電波が遮蔽される状況（仰角）の確認を行った。作業範囲の測量結果を図 6.3.1-3、表 6.3.1-1 に示す。

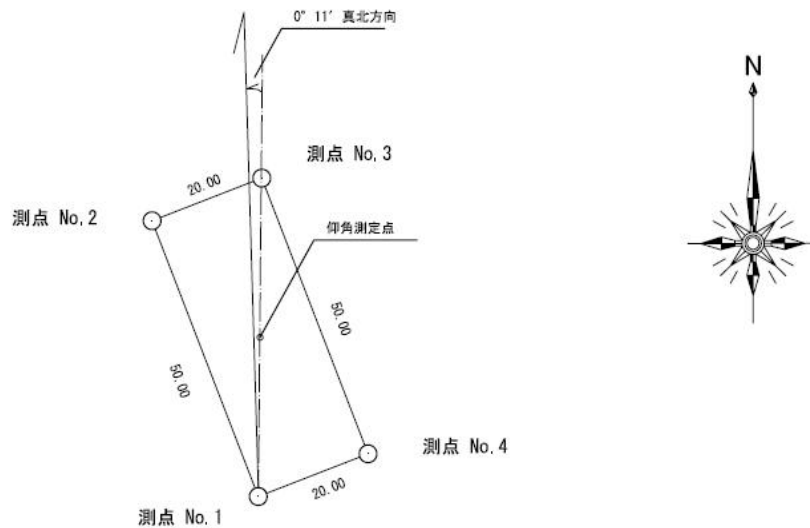


図 6.3.1-3 測量地点

表 6.3.1-1 測量結果

	緯度[deg]	経度[deg]	楕円体高[m]
測点 No.1	42.99516601	143.5949709	221.117
測点 No.2	42.99558446	143.5947451	221.604
測点 No.3	42.99565071	143.5949731	221.194
測点 No.4	42.995232	143.595199	220.699

図 6.3.1-3 における作業領域中心から計測した仰角を図 6.3.1-4 に示す。

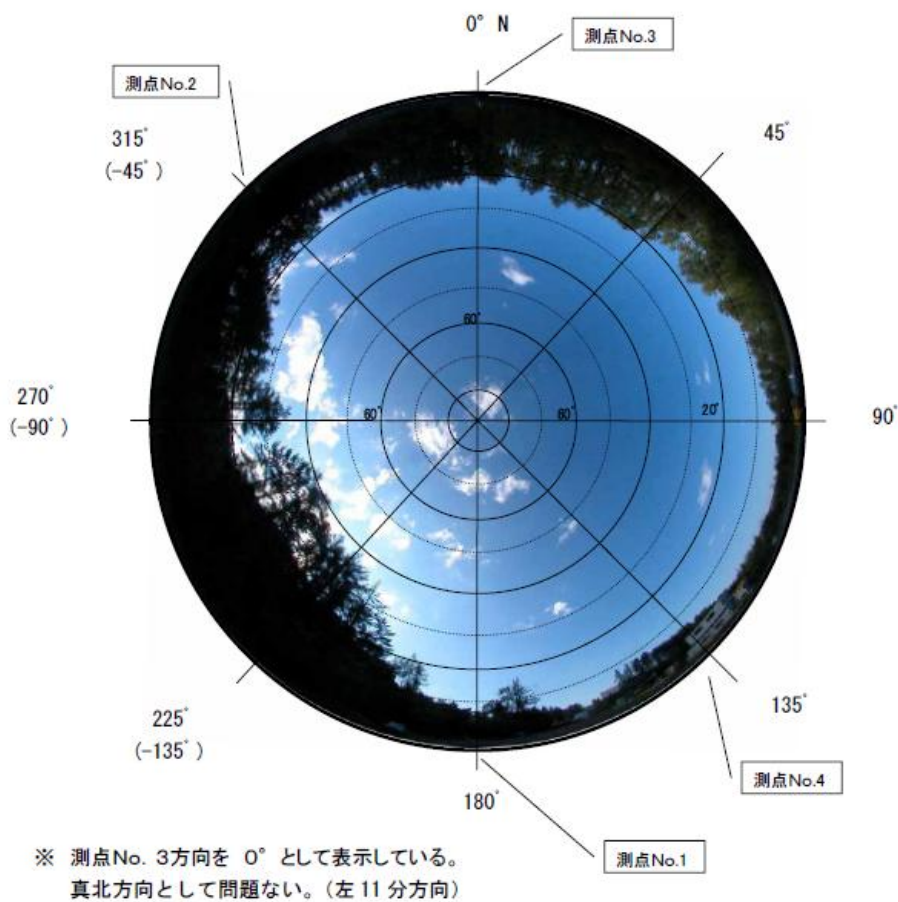


図 6.3.1-4 実験場所の仰角

6.3.2 実験の日程

屋外実験の日程は、リアルタイムソフトウェアの設計・開発期間と実験に用いる機材の調達を考慮し、2007年11月13日(火)～2007年11月16日(金)とした。この日程におけるGPS衛星の配置状況を図6.3.2-1～図6.3.2-2に示す。

【2007年11月13日 8:00~16:00】

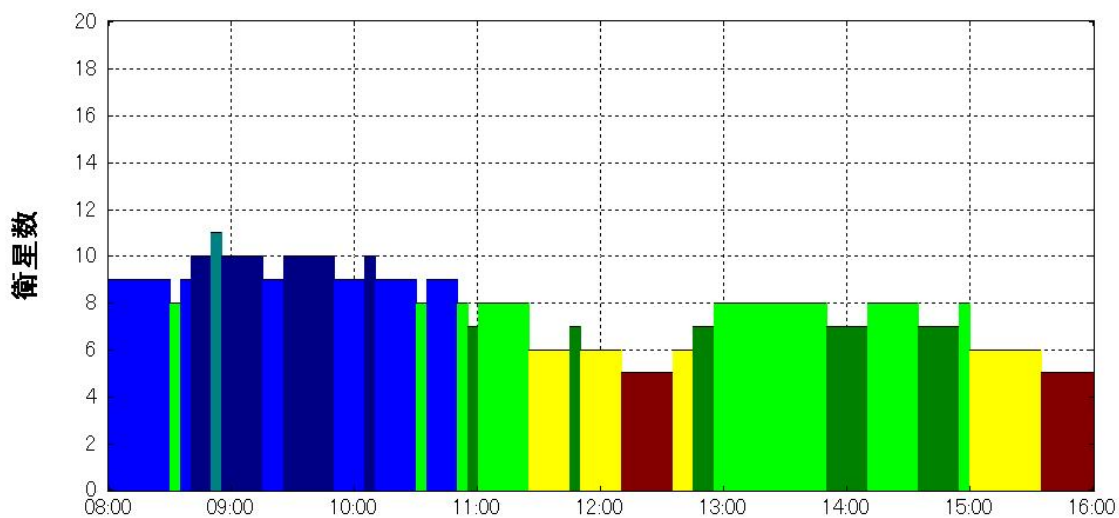


図 6.3.2-1 2007年11月13日のGPS衛星の可視衛星数

スカイプロット

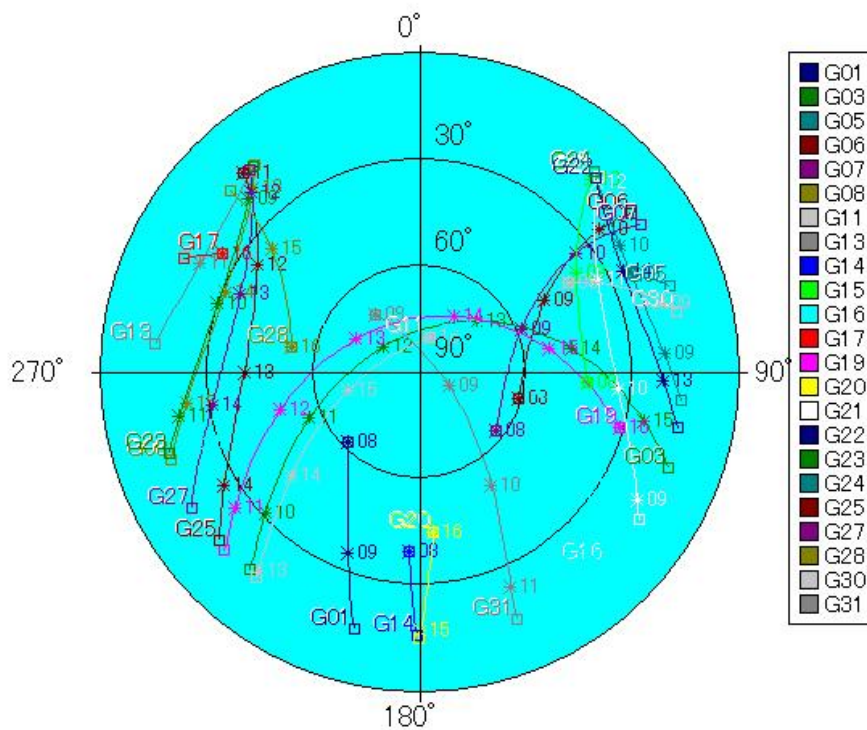


図 6.3.2-2 2007年11月13日のGPS衛星の配置図

6.4 屋外実験用の高精度測位ソフトウェアの設計・製作

6.4.1 ソフトウェアの概要

高精度測位ソフトウェアは IMU センサ、基準局 GPS 受信機、移動局 GPS 受信機からリアルタイムに受信した観測データを使用して高精度測位演算を実行するアプリケーションプログラムである。高精度測位ソフトウェアの構成を図 6.4.1-1 に示す。

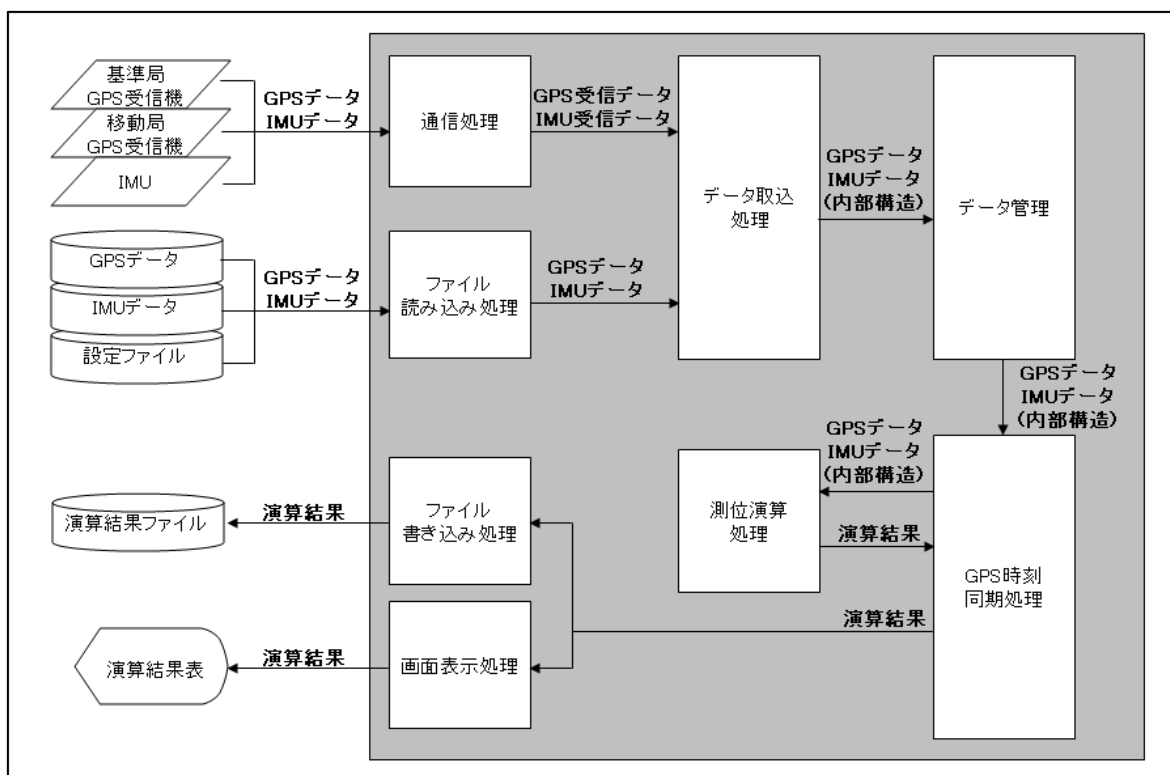


図 6.4.1-1 ソフトウェア機能の構成図

(1)機能概要

a)通信処理

・シリアル通信により送信される IMU センサデータ、基準局 GPS データ、移動局 GPS データをリアルタイムに受信する。

b)ファイル書き込み処理

・測位演算に使用した各受信データ、測位演算結果データをファイルとして出力する。

c)測位演算処理

・RTK-GPS 高速初期化处理、慣性航法複合処理、従来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)画面表示処理

・測位演算の起動/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)ファイル読み込み処理

・図 6.4.1-1 に示すように本ソフトウェアは観測データをファイルから入力することができ

る。

f)データ取込処理

- ・受信データを解析し、内部処理可能なデータ構造に変換する。

g) データ管理

- ・すべての受信データにおける GPS 時刻のチェックを行い、一致している場合は測位演算機能を起動する。また、測位演算機能から演算結果データを受け取り、画面表示機能、ファイル書き込み機能に受け渡す。

h) プロジェクトファイル

- ・測位演算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。測位演算はプロジェクト単位で実行され、演算結果データ、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。

i) 測位の選択

- ・RTK-GPS と慣性航法複合演算、従来技術の測位方法の選択ができる。

j) 後処理機能

- ・リアルタイム測位演算を実行しデータ出力機能により出力された各受信データとパラメータファイルを読み込み、後処理にて測位演算を実行する。

(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++)

6.4.2 外部インターフェース

(1)データ受信

リアルタイム測位演算実行時、以下のデータを受信する。

表 6.4.2-1 受信データ

No.	項目	送信元	内容
1	IMU センサデータ	IMU センサ	IMU センサで計測された移動局の角速度、加速度等が格納されたデータ
2	基準局 GPS データ	基準局 GPS 受信機	各衛星の状態を表す数値が格納された基準局受信機が受信したデータ
3	エフェメリスデータ	移動局 GPS 受信機	個々の衛星の位置を求めるためのパラメータが格納されたデータ
4	アルマナックデータ	移動局 GPS 受信機	全衛星に関する位置パラメータが格納されたデータ
5	移動局 GPS データ	移動局 GPS 受信機	各衛星の状態を表す数値が格納された移動局受信機が受信したデータ

(2) 測位技術：RTK-GPS におけるリアルモード実行画面

図 6.4.2-2 に測位技術：RTK-GPS におけるリアルモード実行画面を示す。

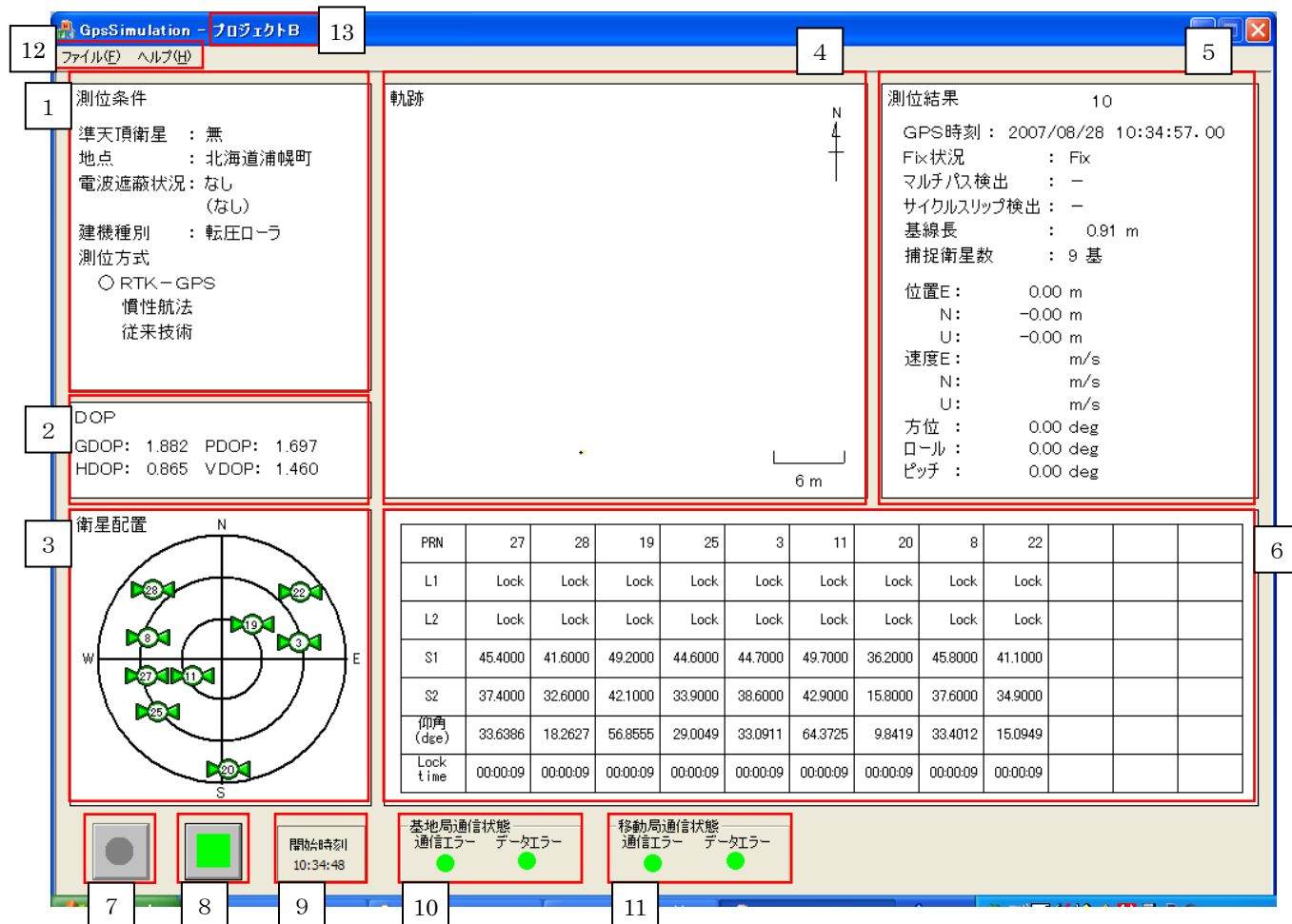


図 6.4.2-2 測位技術：RTK-GPS におけるリアルモード実行画面

6.5 屋外実験環境の構築

6.5.1 建設機械への搭載環境の設定

(1) 実験システム

建設機械へ搭載する屋外実験用のシステム構成を説明する。そこで、高精度測位技術と既存製品の比較を行うためのシステムを図 6.5.1-1 のように構築する。

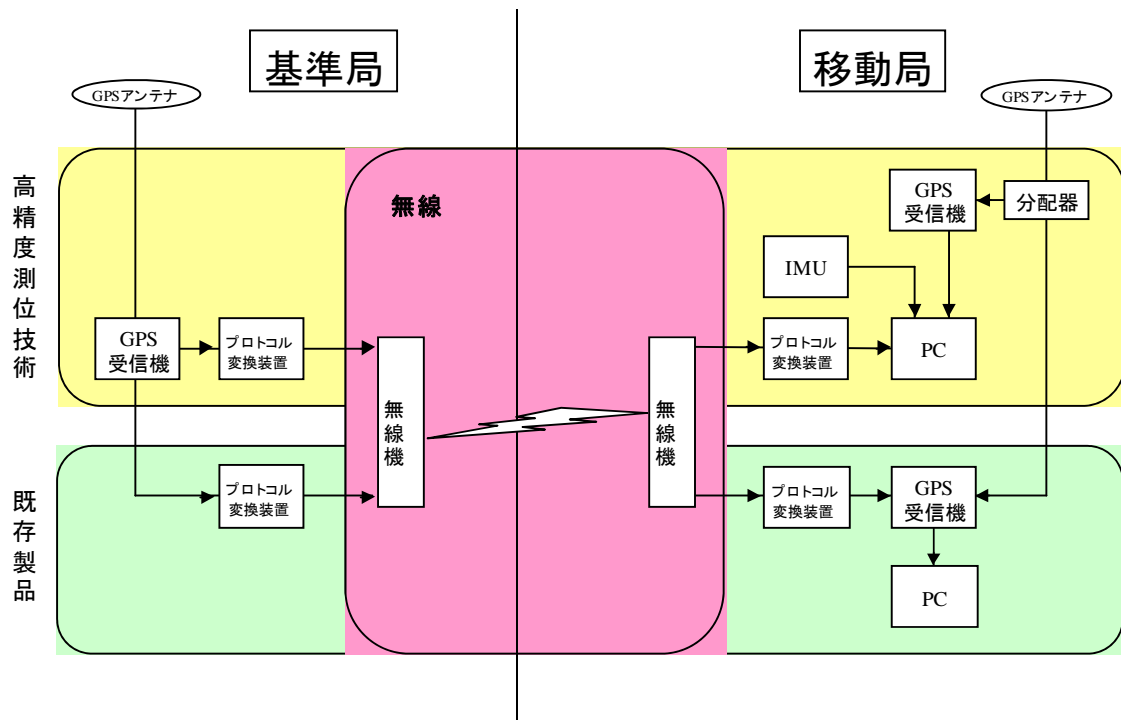


図 6.5.1-1 システム構成図

高精度測位技術と既存製品の測位条件を同じにするため、GPS アンテナと GPS 受信機は同じ型式のものを用いる。既存製品は、基準局からの補正情報を移動局の受信機で読み込み、受信機内で計算された測位結果を PC で記録する。高精度測位技術は基準局からの GPS データと移動局の GPS データ、IMU データを測位用の PC で受け取り、測位演算を行う。

(2)機器構成

図 6.5.1-1 のシステム構成図に用いる機器の説明を表 6.5.1-1 に示す。

表 6.5.1-1 機器の説明

	説明
GPS アンテナ	GPS 電波を受信するアンテナ
GPS 受信機	GPS の電波を信号処理および測位演算を行う
分配器	GPS アンテナからの信号を分配させる
プロトコル変換機	シリアル通信とイーサネットの変換を行う機器
IMU	慣性装置（加速度センサ、ジャイロ（FOG））
無線機	基準局からの補正情報を送信する無線端末
PC	測位演算およびデータ取得用の PC

屋外実験システムで使用する GPS 受信機と IMU の仕様を以下に示す。



図 6.5.1-2 GPS 受信機の外観図

表 6.5.1-2 GPS 受信機の仕様

	GPS 受信機
メーカー	NovAtel
型式	OEM4
性能	2 周波 GPS 受信機
RTK メッセージ	RTCM18



図 6.5.1-3 IMU の外観図

表 6.5.1-3 IMU の仕様

		IMU
電源		DC12V
作動温度		-20 ~ 50°C
振動		5 ~ 14Hz
角速度	検出範囲	$\pm 200^\circ /s$
	バイアス	$20^\circ /hrms$
	スケールファクタ	$\pm 0.2\%$
加速度	検出範囲	$\pm 29.4m/s^2$
	バイアス	$0.098 m/s^2_{rms}$
	スケールファクタ	$\pm 0.2\%$

(3)無線装置

屋外実験に使用する無線装置の検討を行う。

表 6.5.1-4 伝送方法

伝送方法	伝送距離	伝送速度	利便性	コスト
無線 LAN	△	◎	◎	◎
公衆回線	◎	○	○	△
特定小電力無線	△	○	○	◎

表 6.5.1-4 より、無線機器に公衆回線を用いると、伝送距離は広範囲であるが建設現場等の電波環境によっては、利用できない場合がある。また、長時間使用する IT 施工において、公衆回線を長時間使用すると通信費用が発生するためコスト面で不向きである。また、通信の遅れが生じるため、本実験においてはリアルタイム測位の影響を考慮すると公衆回線は適さない。特定小電力無線は1対1に通信を行うため図 6.5.1-4 のような構成ができない。また、既存製品と開発ソフトを比較する際、通信速度が無線 LAN に比べて遅いため、どちらか一方にデータ欠落が生じる恐れがある。したがって、IP 通信を用いて既存製品と開発ソフトの通信環境を同じにし、評価を行うことが可能な無線 LAN を使用する。無線 LAN を用いた実験システムの構成を図 6.5.1-4 に示す。IP アドレスとシリアル通信の設定は実際に屋外実験時に使用した設定値である。

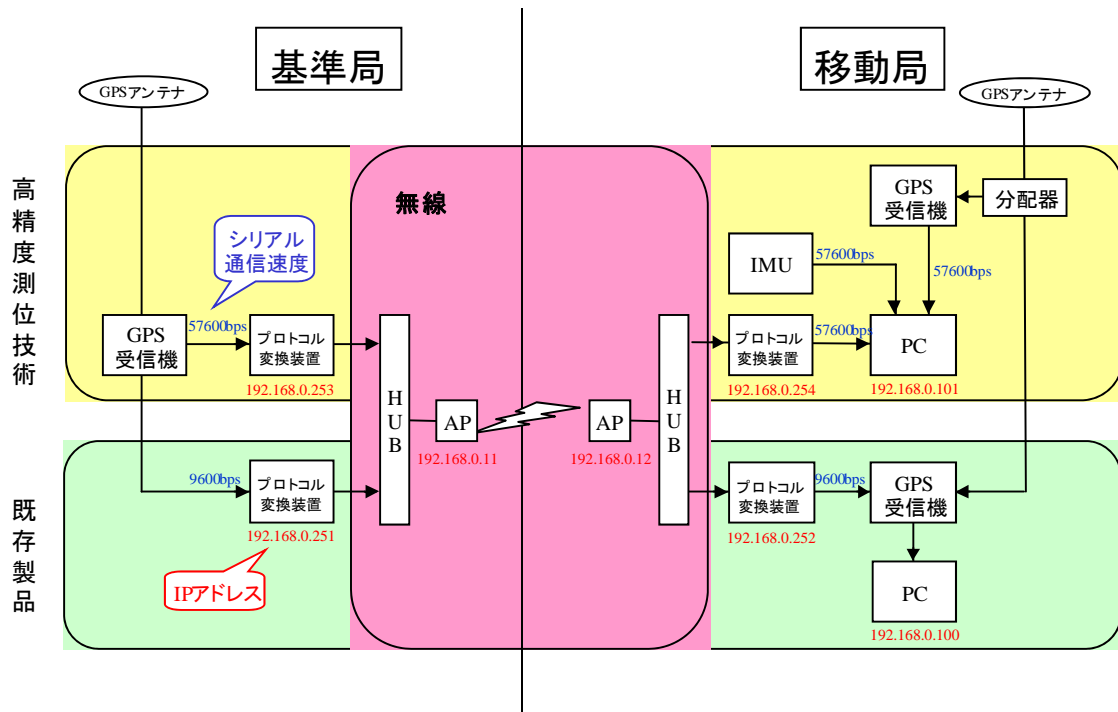


図 6.5.1-4 屋外実験に用いたシステム構成図

(4)設置治具の製作

屋外実験で使用する建機（CS125）に実験機材を設置する際、建設機械によって GPS 電波が遮断されないように GPS のアンテナを建設機械の一番高い地点に設置することを考える。そこで、GPS と IMU の位置関係を表す物理オフセット量の計算を行う際、計算に用いるパラメータ誤差の影響を小さくするために GPS アンテナと IMU の位置関係を短くなるよう治具の製作を行った。図 6.5.1-5 に GPS アンテナと IMU の位置関係図を示す。

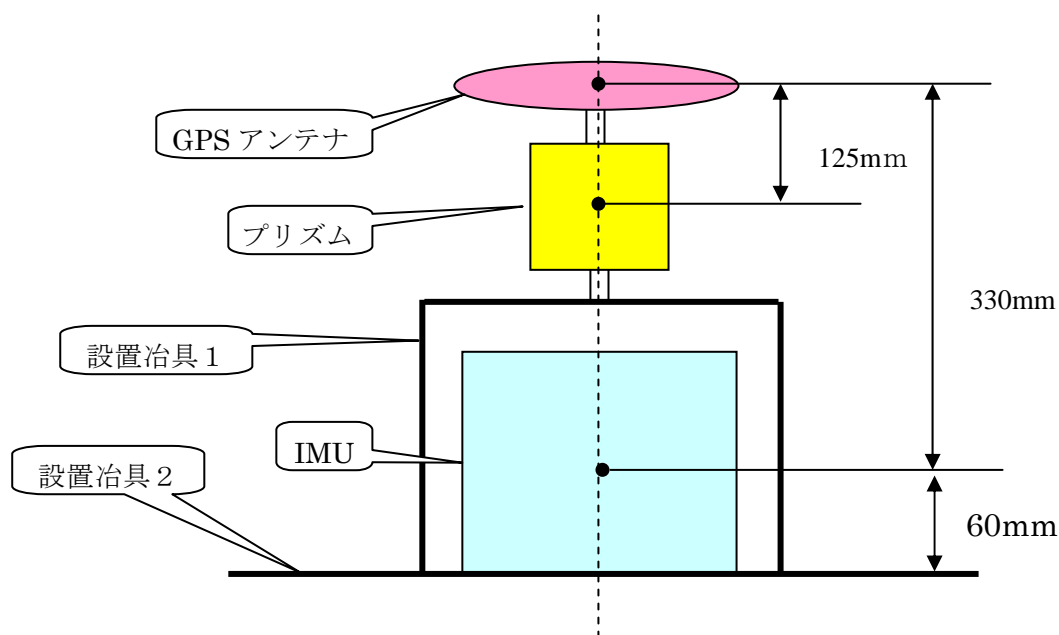


図 6.5.1-5 GPS アンテナと IMU の位置関係図

(5)GPS と IMU のオフセットの検討

平成 18 年度に、物理オフセットを考慮した IMU の位置は下記の式での算出した。

$$\begin{bmatrix} X_I \\ Y_I \\ Z_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} L_x \\ L_y \\ L_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} T_B^L \begin{bmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{bmatrix}$$

計測したい場所の座標 (X_I, Y_I, Z_I) を GPS の座標 (X_G, Y_G, Z_G) とオフセットパラメータ

(B_x, B_y, B_z) 、INS の姿勢・方位から算出した座標変換行列 (T_B^L) を用いて表現できる。そこ

で、今回の実験においてオフセットパラメータは図 6.5.1-5 より $[0,0,0.33]$ であるため、GPS の座標から IMU の座標を算出することが可能となる。

6.5.2 建設機械への事前設定

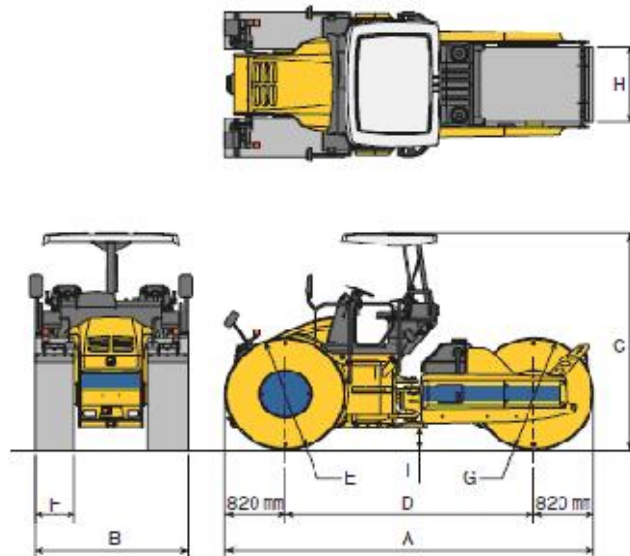
(1)建設機械

屋外実験で使用する建設機械は転圧ローラとする。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り、空港工事等の大規模土木工事において、情報化施工を利用した締固め管理システムが利用されている。今回、屋外実験で使用した転圧ローラは日立建機株式会社製の転圧ローラ（型式：CS125）とする。



	CS125
質量	10,040 [kg]
全長	5,040 [mm]
走行速度	0~16.0 [km/h]

図 6.5.2-1 屋外実験で使用した転圧ローラ（日立建機株式会社 型式 CS125）



■寸法		単位：mm	
	標準仕様	14t仕様	
A 全長	5,040		
B 全幅	2,100		
C 全高(輸送時)	3,150(2,610)		
D 軸距	3,400		
E 前輪径	1,640		
F 前輪幅	550		
G 後輪径	1,640		
H 後輪幅	1,100		
I 最低地上高	340	245	

図 6.5.2-2 屋外実験で使用した転圧ローラの寸法

(2)事前検証

屋外実験に用いる転圧ローラに製作した治具を設置させる場所は、GPS アンテナが遮蔽されない場所を考慮して図 6.5.2-3 のように高さ 3150[mm]の屋根の上部に設置することが可能であった。また、その他機器の設置スペースが十分に確保できた。

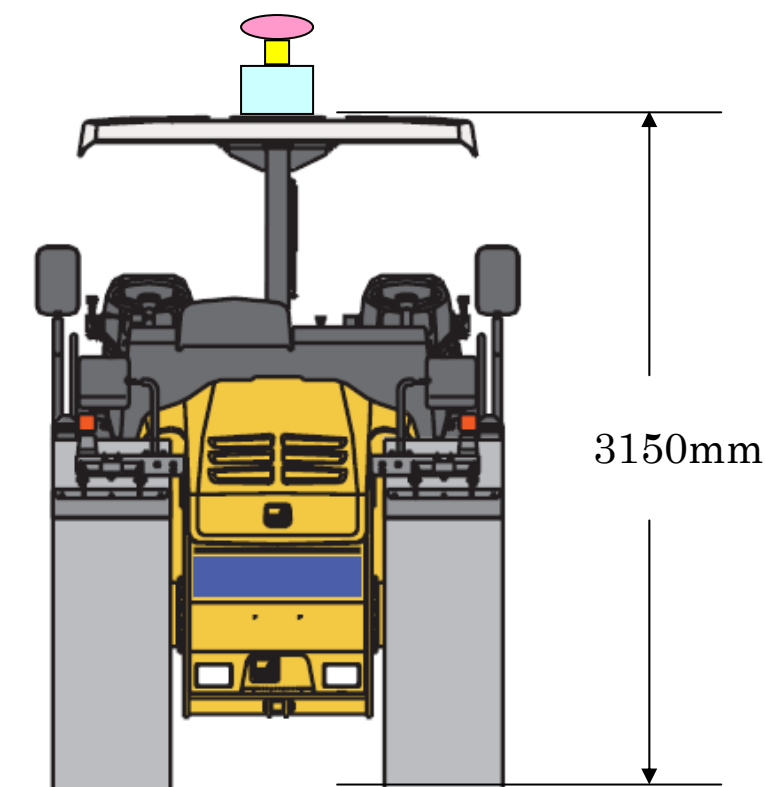


図 6.5.2-3 転圧ローラの GPS アンテナ設置場所

屋外実験で使用する建設機械（CS125）に製作した治具を設置し、屋外実験のシステムの動作確認を行った。図 6.5.2-4 に機材の設置状況を示す。



図 6.5.2-4 実験機材の設置

6.6 屋外実験の実施及び実験結果の評価分析

6.6.1 屋外実験の準備

(1) 屋外実験の詳細

屋外実験におけるシステム構成図を図 6.6.1-1 に示す。

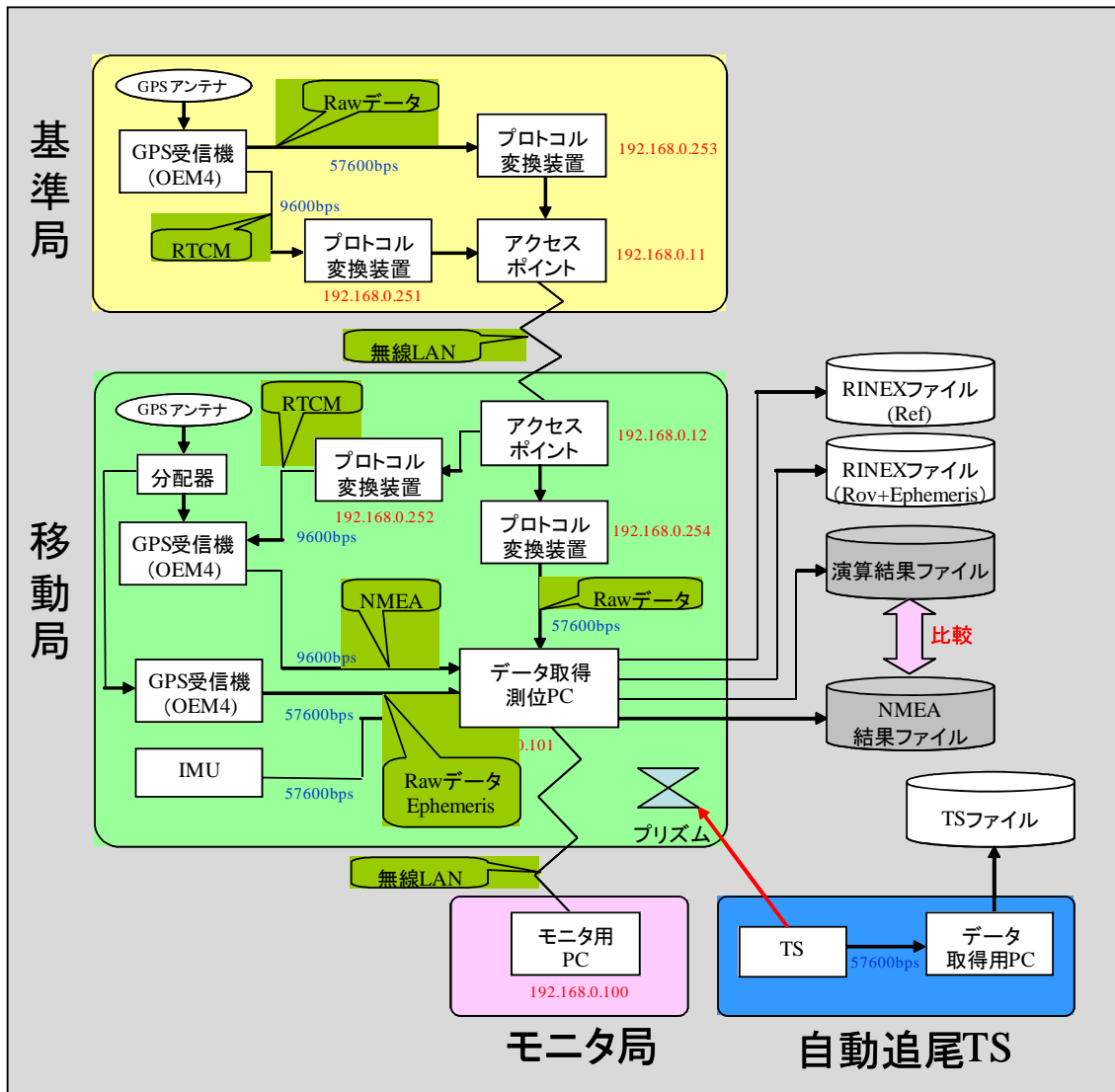


図 6.6.1-1 屋外実験システム

実験場所の全体図は図 6.6.1-2 のような配置である。移動局と基準局は約 150m の距離に設置し、自動追尾トータルステーションは移動体に設置したプリズムが近いと追尾ができないため、50m 離れた場所に設置した。また、移動局の作業範囲と基準局座標、トータル

ステーション設置場所の測量を行った。その測量結果を表 6.6.1-1 に示す。

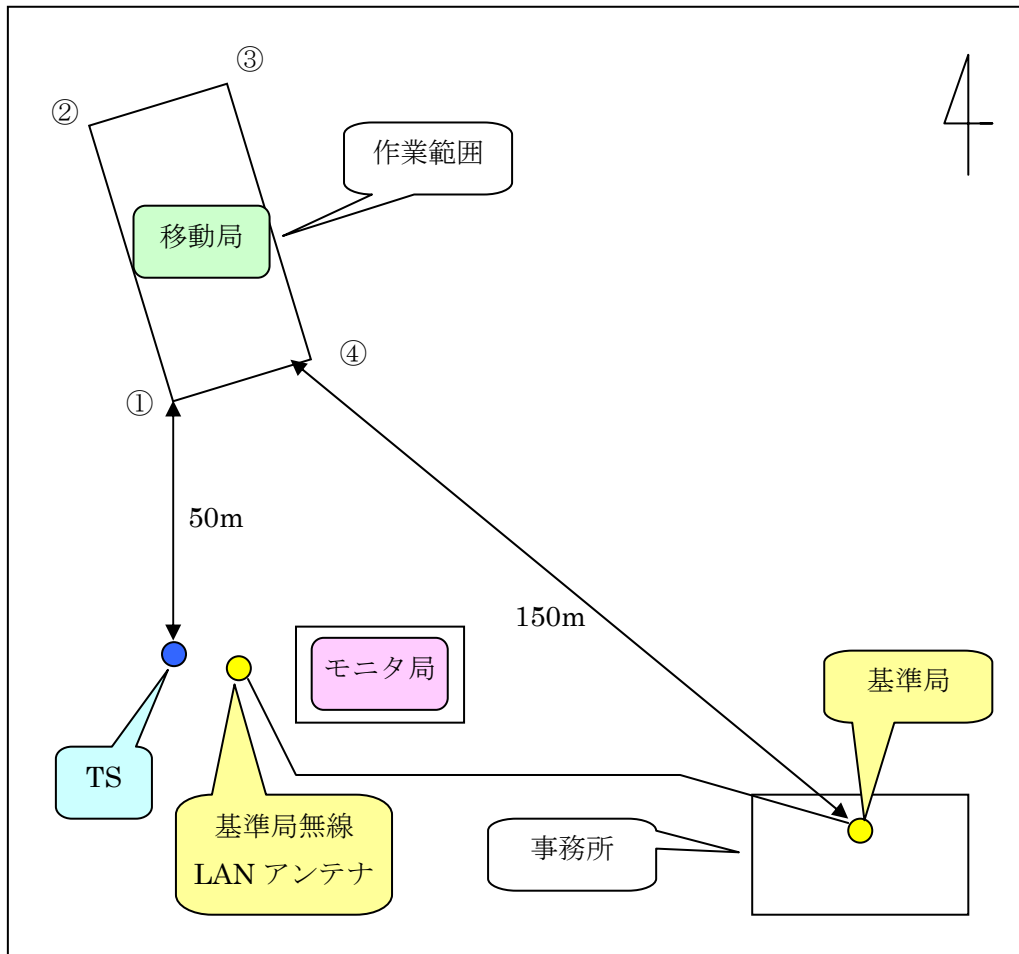


図 6.6.1-2 屋外実験の全体図

表 6.6.1-1 座標一覧

座標地点	緯度[deg]	経度[deg]	楕円体高[m]
基準局	42.9938719	143.596341	236.783
作業範囲①	42.99516601	143.5949709	221.117
作業範囲②	42.99558446	143.5947451	221.604
作業範囲③	42.99565071	143.5949731	221.194
作業範囲④	42.995232	143.595199	220.699
トータルステーション	42.99472942	143.5952896	220.438

- ・基準局

基準局は浦幌試験場の事務所の屋上に設置した。(基線長約 150[m])

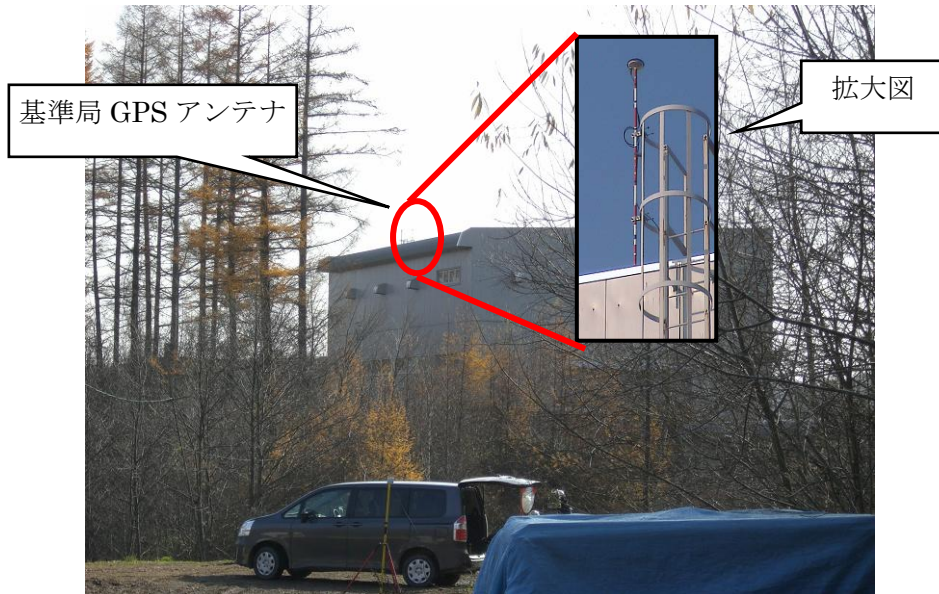


図 6.6.1-3 基準局の設置場所

- ・通信設備

無線アクセスポイントのアンテナの設置状況を図 6.6.1-4、図 6.6.1-5 に示す。



図 6.6.1-4 基準局データ送信用の無線アンテナ



図 6.6.1-5 移動局におけるアクセスポイントの無線アンテナ

- ・ 遮蔽

移動局の模擬遮蔽状況を図 6.6.1-6 に示す。



図 6.6.1-6 移動局の遮蔽状況

- ・ トータルステーション

自動追尾トータルステーションは約 50m~100m の測距範囲で測定を行う。トータルステーションの設置状況を図 6.6.1-7 に示す。

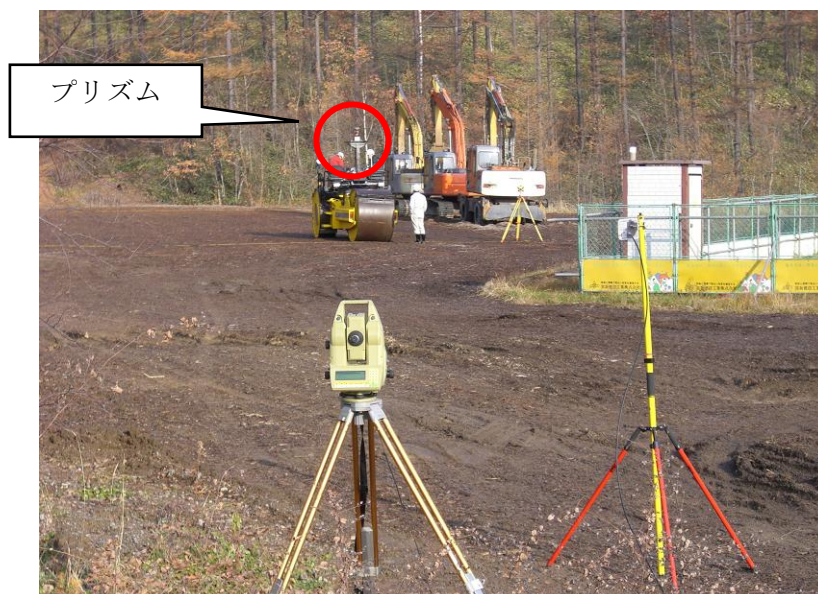


図 6.6.1-7 トータルステーションの設置場所

(2)実験に用いる機材

屋外実験に用いた機材を表 6.6.1-2 に示す。

表 6.6.1-2 屋外実験に用いた機材

No.	準備物	メーカー・型式	備考
1	GPS 受信機 1	NovAtel (OEM4)	基準局用
2	GPS 受信機 2	NovAtel (OEM4)	移動局開発ソフト用
3	GPS 受信機 3	NovAtel (OEM4)	移動局既存製品用
4	GPS アンテナ 1	NovAtel (600 アンテナ)	基準局用
5	GPS アンテナ 2	NovAtel (702 アンテナ)	移動局用
6	分配器	GPS Source(S14)	基準局用
7	分配器	GPS Source(S14)	移動局用
8	PC 1	Panasonic(TOUGHBOOK)	移動局測位用
9	PC 2	Panasonic(TOUGHBOOK)	TS 用
10	PC 3	Panasonic(TOUGHBOOK)	モニタ局用
11	メディアコンバータ 1	シスメックス RA(TA-302X)	基準局開発ソフト用
12	メディアコンバータ 2	シスメックス RA(TA-302X)	基準局既存製品用
13	メディアコンバータ 3	シスメックス RA(TA-302X)	移動局開発ソフト用
14	メディアコンバータ 4	シスメックス RA(TA-302X)	移動局既存製品用
15	アクセスポイント 1	BUFFALO(WLAH-AM54G54)	基準局用
16	アクセスポイント 2	BUFFALO(WLAH-AM54G54)	移動局用

No.	準備物	メーカー・型式	備考
17	無線 LAN アンテナ 1	BUFFALO(WLE-HG-DA)	基準局用
18	無線 LAN アンテナ 2	BUFFALO(WLE-HG-NDC)	移動局用
19	トータルステーション	Leica(TCA1800)	
20	IMU	TA7554	慣性航法装置
21	転圧ローラ	日立建機(CS125)	

6.6.2 屋外実験の実施

(1)屋外実験の実実施計画

屋外実験の時間帯は、当日の衛星配置を考慮し、約 20 分間のデータを数回に分けて実施した。実験を行なうにあたり、実験エリアと衛星数による区分けを以下のように設定した。

・実験エリア

- (1) 林側 林側において 50m の距離を往復走行する
- (2) 建機側 建機側において 50m の距離を往復走行する
- (3) 全面 20m×50m の作業範囲の全面を走行

・衛星数

- (1) 多い 約 20 分間のデータにおける平均衛星数が 6 基以上のデータ
- (2) 少ない 約 20 分間のデータにおける平均衛星数が 6 基未満のデータ
- (3) 遮蔽 東方向に擬似的な遮蔽物を数秒間配置させたデータ

表 6.6.2-1 データ取得時間と実験時間

No	日付	実験時間	実験エリア	平均衛星数	衛星状況
1	2007/11/13	12 時 10 分 43 秒	林側	5.0	少
2		15 時 33 分 50 秒	全面	4.5	少
3	2007/11/14	09 時 09 分 23 秒	林側	7.8	多
4		12 時 02 分 49 秒	林側	5.0	少
5		12 時 26 分 39 秒	建機側	5.0	少
6		13 時 46 分 27 秒	全面	6.7	多
7	2007/11/15	10 時 40 分 53 秒	建機側	7.0	遮蔽
8		11 時 57 分 08 秒	全面	5.0	少
9		12 時 25 分 16 秒	林側	5.0	少
10		13 時 29 分 45 秒	建機側	7.0	多
11		13 時 58 分 31 秒	建機側	7.1	多
12		15 時 06 分 29 秒	全面	4.0	少
13		15 時 45 分 02 秒	林側	4.9	少

No	日付	実験時間	実験エリア	平均衛星数	衛星状況
14	2007/11/16	10時28分34秒	建機側	6.3	遮蔽
15		11時50分13秒	全面	5.0	少
16		12時13分32秒	林側	5.0	少

●取得データ： GPS、IMU、自動追尾トータルステーション (TS)

表 6.6.2-2 取得データの詳細

取得データ	データ周期	データ内容
GPS	1 [Hz]	RINEX2.1 (Observation data, Navigation data) 基準局と移動局でデータを取得
IMU	50 [Hz]	加速度センサとジャイロデータ (FOG)
自動追尾 TS	約3 [Hz]	ローカル座標系における3軸の位置データ 位置精度 2mm/200m

(2)屋外実験の実施風景



図 6.6.2-1 林側走行時の実験風景



図 6.6.2-2 全面走行時の実験風景



図 6.6.2-3 建機側走行時の実験風景

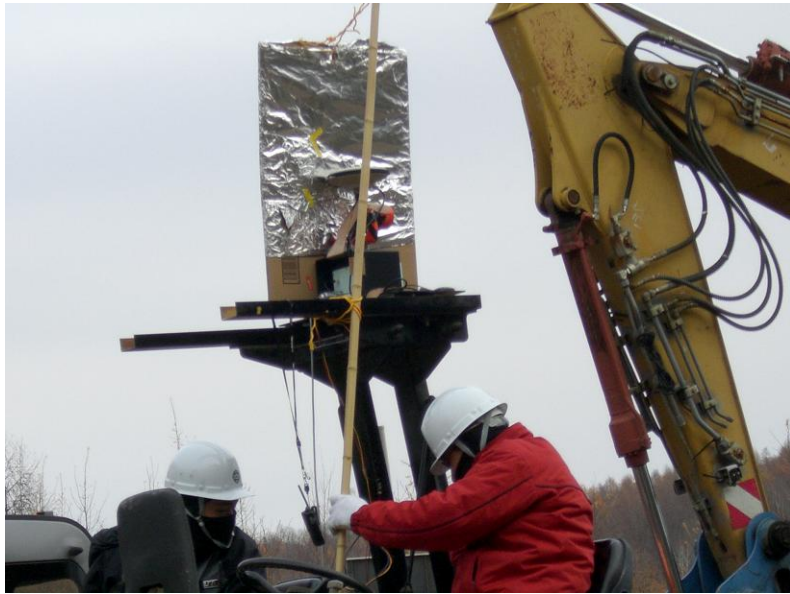


図 6.6.2-4 擬似遮蔽物を用いた実験の風景



図 6.6.2-5 移動局の実験機材



図 6.6.2-6 屋外実験時の開発ソフトの PC 画面

(3)屋外実験の結果（開発ソフト）

屋外実験を行った際の GPS の観測結果を表 6.6.2-3 に示す。

表 6.6.2-3 屋外実験結果

No.	平均 衛星数	平均 HDOP	実験時間 [sec]	実験エリア	アンビギュイテ ィ決定率[%]
1	5.00	2.92	932	林側	97.85
2	4.50	1.78	1292	全面	97.83
3	7.82	1.11	1203	林側	99.50
4	4.98	2.89	1219	林側	98.44
5	5.00	2.84	1240	建機側	99.92
6	6.67	1.63	1212	全面	97.23
7	6.96	1.08	826	建機側 (擬似遮 蔽)	98.05
8	5.00	2.88	1207	全面	99.92

No.	平均 衛星数	平均 HDOP	実験時間 [sec]	実験エリア	アンビギュイテ ィ決定率[%]
9	4.99	2.83	1215	林側	99.26
10	6.99	1.43	1167	建機側	99.59
11	6.62	1.69	873	建機側	96.18
12	4.02	1.79	1075	全面	98.32
13	4.98	1.76	1214	林側	94.25
14	6.31	1.24	1210	建機側 (擬似遮 蔽)	81.33
15	4.99	2.85	1208	全面	97.76
16	5.00	2.88	1227	林側	99.43

衛星が多い時間帯と少ない時間帯において約 20 分間の評価用データを取得した。実験を行った際、アンビギュイティはすべてのデータにおいてほとんど決定しており、測位を行う環境としては良い環境での実験となった。しかし、擬似遮蔽物を用いた No.14 のデータのみ、東側の衛星が遮蔽されることによってアンビギュイティの決定率が減少した。

6.6.3 屋外実験の評価・分析

(1)初期化時間の評価

初期化時間の実験結果を表 6.6.3-1 に示す。初期化時間は静止時と移動時において同じ条件で実験を行った結果である。静止時の初期化時間の結果は、衛星数が多い時間帯と少ない時間帯に分けて実験を行い、移動時の初期化時間の結果は衛星数が少ない時の結果である。

表 6.6.3-1 初期化時間結果

		初期化時間[sec]				
		回数	開発ソフト	既存製品	市販ソフト	
静止	【多い】 平均衛星 数 5基以上	1	4	45	3	
		2	4	15	50以上	
		3	7	31	43以上	
		4	9	19	22以上	
		5	4	26	47以上	
	【少ない】 平均衛星 数 5基未満	1	10	63	66以上	
		2	13	49	57以上	
		3	10	99	117以上	
	移動	【少ない】	1	12	23	—

開発ソフトは RTK-GPS の高速初期化技術により、衛星が多い場合と少ない場合においても高速にアンビギュイティが決定していることが分かる。一方、既存製品は初期化するまでに数十秒時間がかかる結果となった。また、市販ソフトは静止時の1回目の実験以外で、初期化時間計測用に取得したデータ時間内で初期化が行えない結果となった。表 6.6.3-2 は、開発ソフトと既存製品の初期化にかかった平均時間を表した結果である。

表 6.6.3-2 平均初期化時間結果

	平均初期化時間 [sec]	
	開発ソフト	既存製品
静止時	5.6	41.4
移動時	10	21

静止時における開発ソフトの平均初期化時間は既存製品の 41.4 秒に比べて、5.6 秒の高速な初期化時間の結果となった。また、移動時においても開発ソフトは既存製品の半分の時間で初期化が行われている。以上より、開発ソフトにおける高速初期化技術の位置探索手法と運動モデル、アンビギュイティ検定の技術によってアンビギュイティの高速化が実証された。

(2)位置誤差の評価

位置誤差の評価は、屋外実験の真値（真の位置）が不明であるため、既存製品と開発ソフトにおいて屋外実験結果のアンビギュイティが決定している演算位置の差分で評価を行う。位置誤差は、開発ソフトの位置から既存製品の位置を引いた値をグラフ化する。なお、既存製品の位置精度は 0.02m(RMS)である。

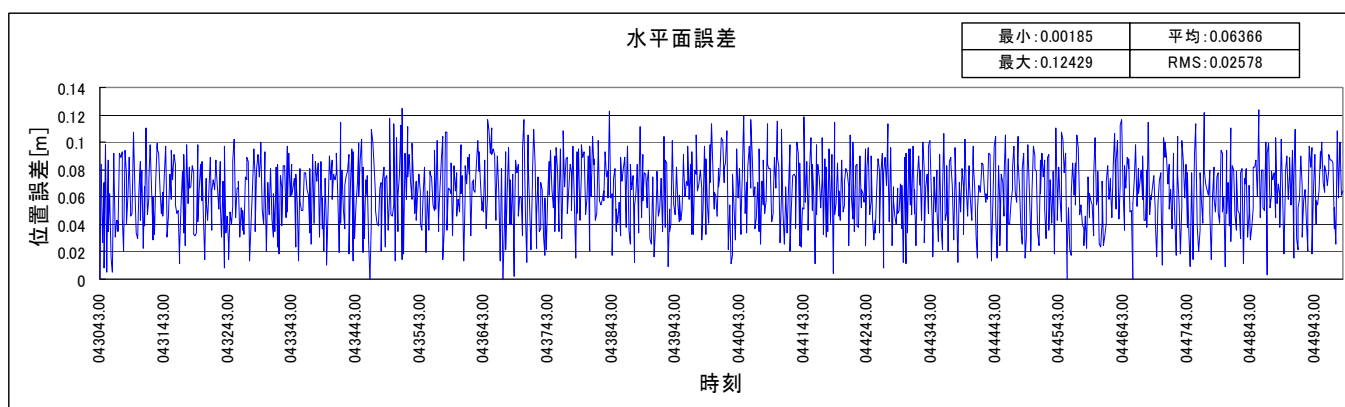


図 6.6.3-1 水平面位置誤差結果 (データ No.10)

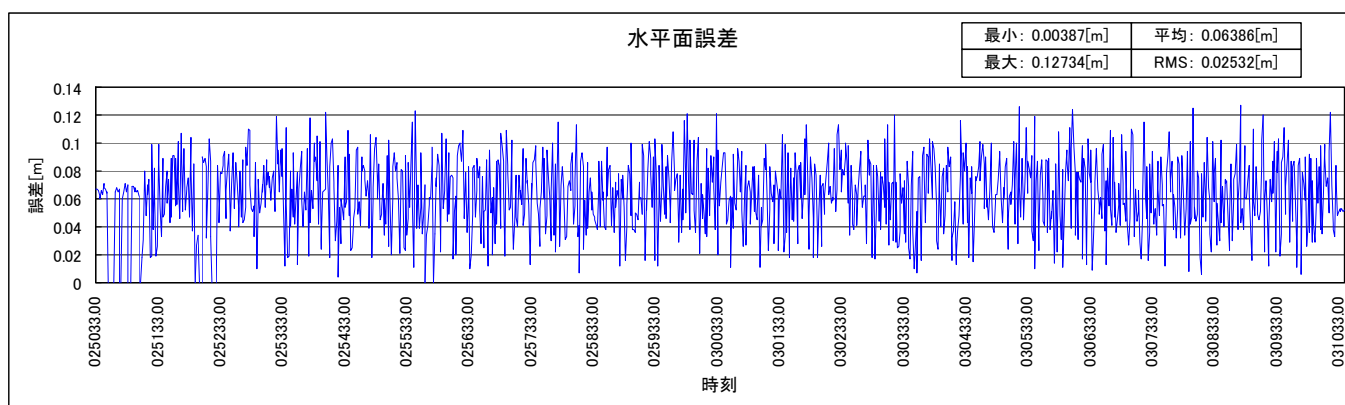


図 6.6.3-2 水平面位置誤差結果 (データ No.15)

図 6.6.3-1 と図 6.6.3-2 に水平面位置誤差の結果を示す。ほぼアンビギュイティが決定しているデータにおいて、既存製品の位置精度の RMS が 2cm であるのに対し、No.10 と No.15 のデータにおける既存製品と開発ソフトの位置差分の RMS が 2.5cm の結果が得られた。したがって、開発ソフトの演算位置は、既存製品と同等な位置精度である。

次に、高さ誤差の結果を図 6.6.3-3 と図 6.6.3-4 に示す。

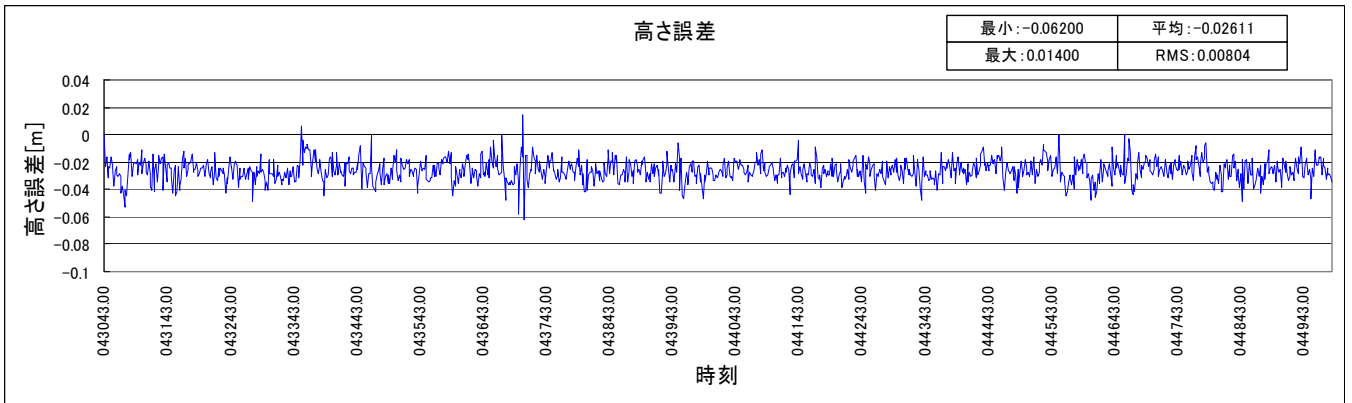


図 6.6.3-3 高さ誤差結果 (データ No.10)

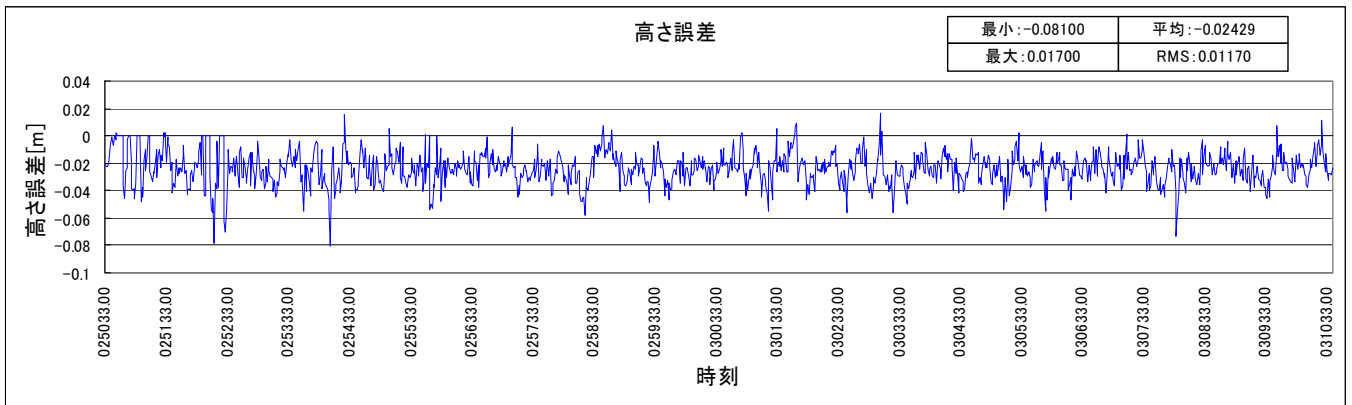


図 6.6.3-4 高さ誤差結果(データ No.15)

高さ誤差においても既存製品と開発ソフトの高度差分の RMS が No.10 のデータで 0.8cm、No.15 のデータで 1.2cm の結果が得られた。したがって、開発ソフトの演算高度も既存製品と同等な高さ精度を持つことが分かる。

(3)アンビギュイティ決定率・利用率の評価

開発ソフトと既存製品、市販ソフトのアンビギュイティ決定率と利用率の実験結果を表 6.6.3-3 に示す。

表 6.6.3-3 屋外実験結果

No.	平均 衛星数	平均 HDOP	実験時間	評価対象	アンビギュイ ティ決定率 [%]	利用率[%] (RTK)	利用率[%] (複合航法)
1	5.00	2.92	932 秒	開発ソフト	97.85	97.83	98.43
				既存製品	0.00	6.88	-
				市販ソフト	48.49	55.07	-
2	4.50	1.78	1292 秒	開発ソフト	97.83	95.39	95.39
				既存製品	99.85	95.89	-
				市販ソフト	26.95	30.59	-
3	7.82	1.11	1203 秒	開発ソフト	99.50	99.24	98.86
				既存製品	100.00	97.44	-
				市販ソフト	100.00	99.53	-
4	4.98	2.89	1219 秒	開発ソフト	98.44	96.18	96.18
				既存製品	97.87	96.35	-
				市販ソフト	30.27	33.31	-
5	5.00	2.84	1240 秒	開発ソフト	99.92	97.29	97.13
				既存製品	96.21	94.59	-
				市販ソフト	97.74	95.32	-
6	6.67	1.63	1212 秒	開発ソフト	97.23	97.20	97.20
				既存製品	100.00	96.42	-
				市販ソフト	94.69	92.32	-
7	6.96	1.08	826 秒	開発ソフト	98.05	94.66	94.79
				既存製品	47.15	0.00	-
				市販ソフト	100.00	97.12	-
8	5.00	2.88	1207 秒	開発ソフト	99.92	97.74	97.58
				既存製品	100.00	94.06	-
				市販ソフト	44.07	55.98	-
9	4.99	2.83	1215 秒	開発ソフト	99.26	97.76	97.66
				既存製品	93.73	94.56	-
				市販ソフト	74.86	86.77	-
10	6.99	1.43	1167 秒	開発ソフト	99.59	96.22	96.11

No.	平均衛星数	平均HDOP	実験時間	評価対象	アンビギュイティ決定率 [%]	利用率[%] (RTK)	利用率[%] (複合航法)
				既存製品	100.00	92.42	-
				市販ソフト	99.92	95.83	-
11	6.62	1.69	873 秒	開発ソフト	96.18	93.33	93.10
				既存製品	88.05	84.48	-
				市販ソフト	93.56	91.65	-
12	4.02	1.79	1075 秒	開発ソフト	98.32	97.41	97.32
				既存製品	100.00	94.29	-
				市販ソフト	18.43	21.88	-
13	4.98	1.76	1214 秒	開発ソフト	94.25	93.55	93.93
				既存製品	100.00	96.83	-
				市販ソフト	20.70	27.97	-
14	6.31	1.24	1210 秒	開発ソフト	81.33	76.04	75.96
				既存製品	64.23	63.06	-
				市販ソフト	11.18	23.74	-
15	4.99	2.85	1208 秒	開発ソフト	97.76	95.73	96.36
				既存製品	100.00	93.78	-
				市販ソフト	0.00	2.77	-
16	5.00	2.88	1227 秒	開発ソフト	99.43	98.21	98.21
				既存製品	95.11	92.10	-
				市販ソフト	99.92	98.59	-

ほとんどの条件で従来技術と市販ソフトより開発ソフトの方がアンビギュイティ決定率の向上が確認できた。一方、利用率においても開発ソフトが一番良い結果が得られた。

次に、屋外実験の全データにおけるアンビギュイティ決定率と利用率の評価を行う。表 6.6.3-4 にシミュレーション実験の全条件での観測状況を示す。

表 6.6.3-4 屋外実験の観測状況

平均 HDOP	平均衛星数	データ数
2.12	5.58	18284

全ての条件のデータにおけるシミュレーション実験の評価結果を図 6.6.3-5 に示す。ここで、図における RTK-GPS と複合航法の結果が開発ソフトの評価結果である。

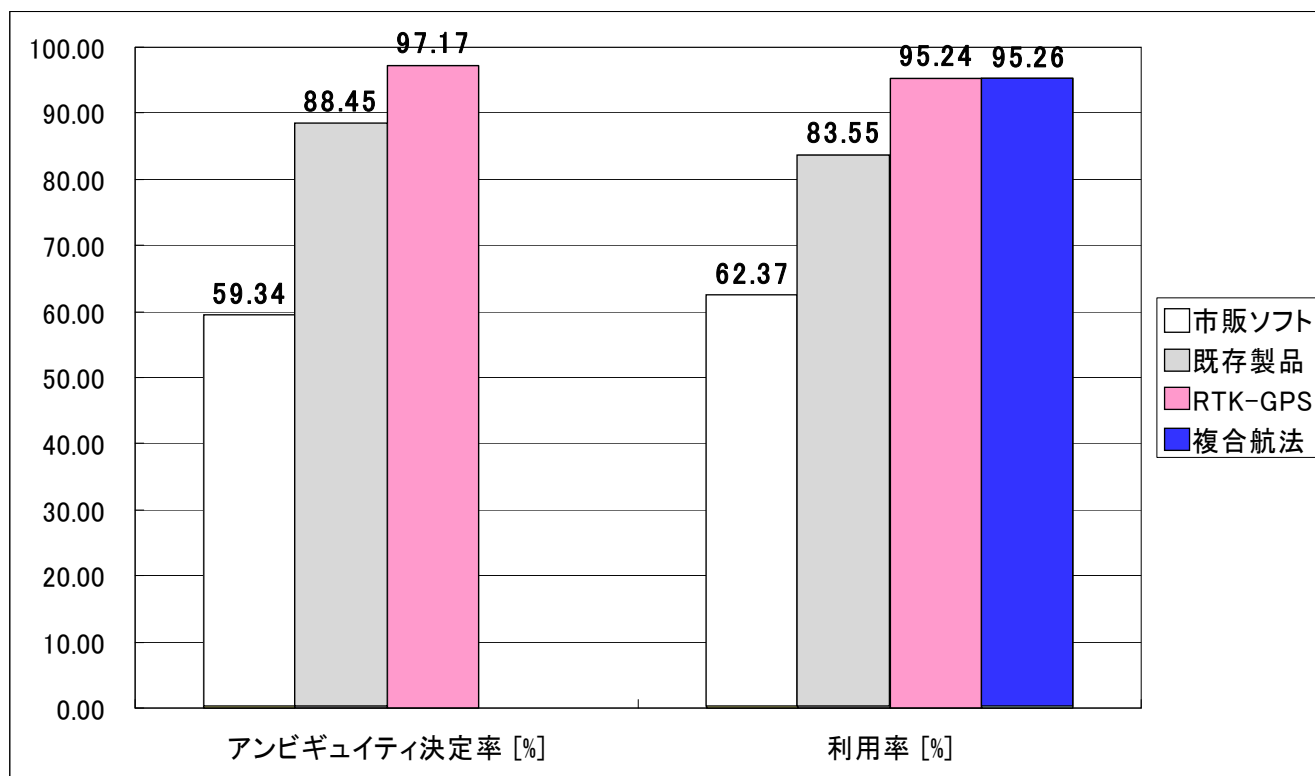


図 6.6.3-5 屋外実験の評価結果

開発ソフト(RTK-GPS)は屋外実験の環境下において、高速なアンビギュイティの初期化が行われているため、既存製品よりアンビギュイティ決定率と利用率が 10%程向上した。利用率がアンビギュイティ決定率よりも数%減少した原因は、アンビギュイティの誤決定による測位精度の低下と利用率の評価に用いるトータルステーションの測位結果に誤差を含んでおり、真値として扱うことが困難になったためである。

また、市販ソフトは今回の衛星の増減が多い屋外実験の環境下では、測位が途切れるため、アンビギュイティの再決定が必要になり、アンビギュイティの決定率が低下した。そのため、利用率も減少する結果となった。

複合航法の結果は、RTK-GPS が 97.17%のアンビギュイティで決定しているため、利用率に大きな効果が得られなかった。

屋外実験によって、高精度測位技術を組み込んだ開発ソフトは既存製品より有用的な結果が得られた。

6.7 準天頂衛星の効果

6.7.1 シミュレーション実験方法

高精度測位技術の屋外実験と準天頂衛星による測位の効果を確認するため、屋外実験と同等な測位環境を模擬して、同時刻で同じ場所における準天頂衛星による測位の効果を確認する。平成18年度に開発したシミュレーションソフトを用いてデータ生成を行うための設定を以下に示す。

(1)シミュレーションの設定

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。

a)シミュレーション地点

シミュレーション実験の場所は、屋外実験と同じ場所（北海道浦幌町）とする。

b)対象建設機械

シミュレーションの対象となる建設機械は屋外実験と同様の転圧ローラとする。

c)シミュレーション時間

シミュレーションを行う時間は、屋外実験と同様な時間帯で実験を行う。

d) シミュレーションデータ観測環境 (図 6.7.1-1 参照)

作業領域 : 50m (長辺) × 20m (短辺)

作業領域配置 : 作業領域の長辺が南北方向に対して左回りに 20 度回転した形で配置

遮蔽配置 : 作業領域 (50m × 20m) の長辺と短辺の 2 辺に沿う形の高さ 10m の遮蔽を配置

右側の短辺に高さ 10m, 幅 6m の遮蔽を 3 箇所配置

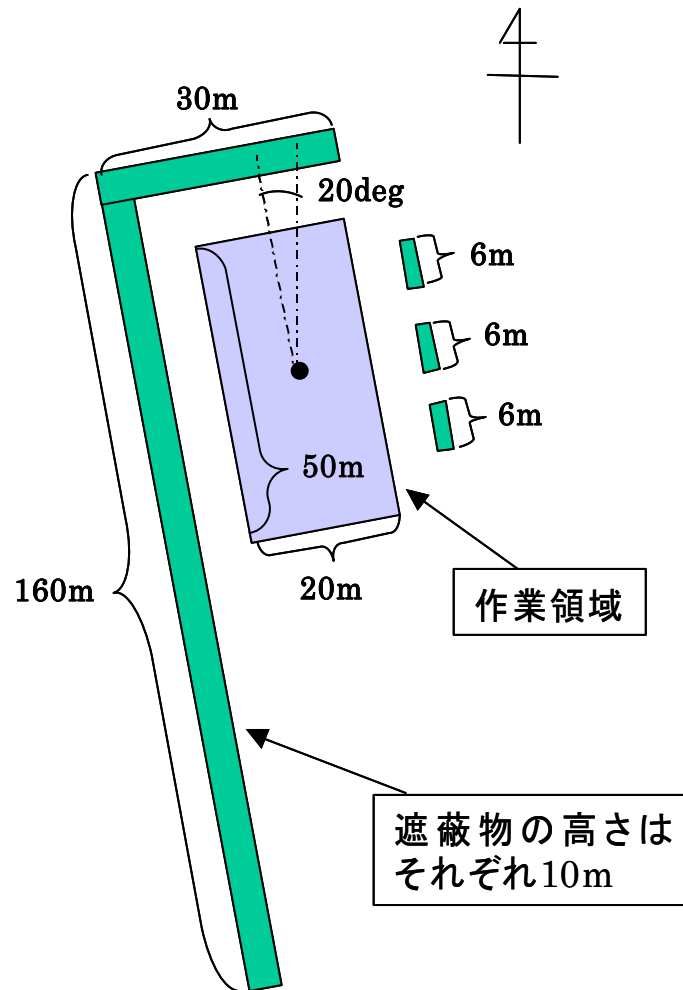


図 6.7.1-1 データ観測環境のイメージ図

e) 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。

・作業領域に対して全面を走行する動作

作業領域の長辺方向に直線的に前進 (時速 4Km/h) し、建機的車幅 (1m) 程度横に移動した後、直線的に後退 (時速 4Km/h) する。本動作を繰り返し行い、作業領域の短辺方向の端まで到達したら折り返すものとする。(図 6.7.1-2 参照)

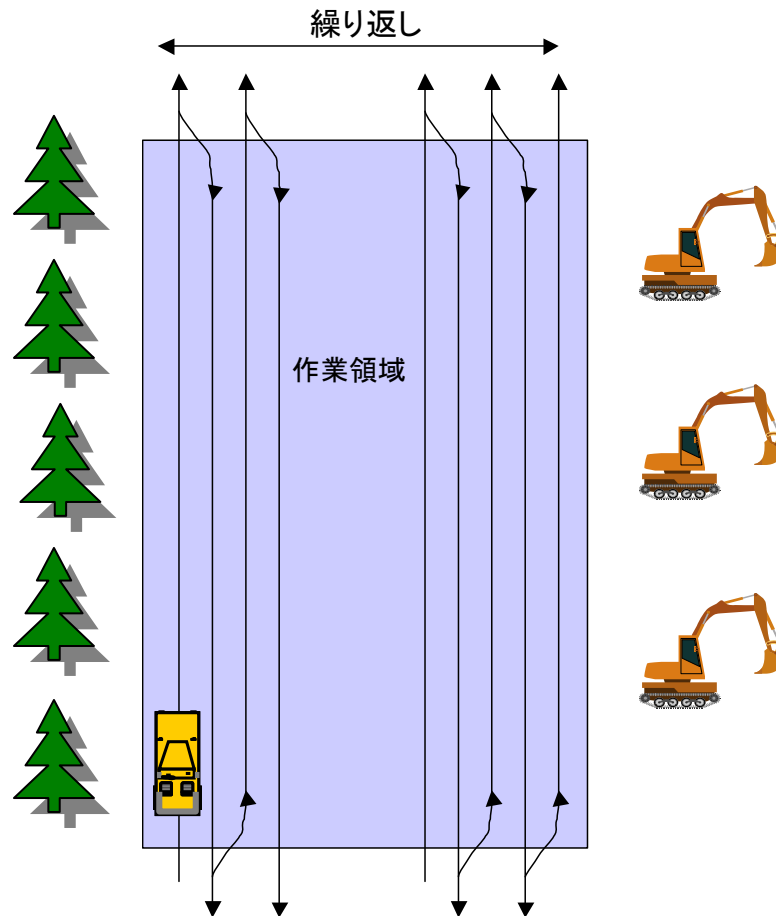


図 6.7.1-2 転圧ローラの動作

- ・ 作業領域に対して林側を走行する動き
作業領域の左辺に対して前進（時速 4Km/h）と後退（時速 4Km/h）の往復動作を行う。
- ・ 作業領域に対して建機側を走行する動き
作業領域の右辺に対して前進（時速 4Km/h）と後退（時速 4Km/h）の往復動作を行う。

f) 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の影響を意図的に付加する。サイクルスリップの発生方法は、一定の周期で搬送波位相積算値にとびを与えることとする。

g) 準天頂衛星の有無

準天頂衛星の有無による効果を検証するために準天頂衛星の軌道情報を入力する。模擬観測データの作成時には、必ず準天頂衛星の情報を含めるものとし、シミュレーション時に、準天頂衛星の有無を選択するものとする。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。

h) センサ情報

模擬観測データ作成時に適用する IMU（ジャイロ、加速度計）の精度は低価格な IMU を想定して、表 6.7.1-1 に示す通りとする。

表 6.7.1-1 慣性センサ情報

No.	項目	スペック
1	ジャイロバイアス	20[deg/hr]
2	ジャイロスケールファクタ	500[ppm]
3	ジャイロランダムノイズ	0.6[deg/sec]
4	加速度計バイアス	2000[μ G]
5	加速度計スケールファクタ	100[ppm]
6	加速度計ランダムノイズ	0.0003[deg/sec ²]

i) 誤差情報

模擬観測データ（GPS）作成のために、GPS 観測誤差を付加する。
誤差項目は以下の通りである。

表 6.7.1-2 誤差情報

No.	項目	設定値
1	GPS 衛星軌道誤差	衛星（準天頂含む）毎にランダムに設定
2	衛星クロック誤差	全衛星（準天頂含む）ともに標準偏差 1m
3	整数値バイアス	衛星（準天頂含む）毎にランダムに設定
4	電離層遅延誤差	TEC 最大値：4.40E+17[TECU] TEC 最小値：1.30E+17[TECU] 周期：28[hr] ピーク時刻：14[時] 定数：5[ppm]
5	対流圏遅延誤差	気温：16.2[°C] 気圧：1003.1[hPa] 水蒸気分圧：13.901[hPa]
6	受信機クロック誤差 (※使用しない)	初期年月日：－ 初期時刻：－

No.	項目	設定値
		バイアス：－ ドリフト：－ ノイズ：－
7	受信機ノイズ	擬似距離ノイズ：0.5[m] 位相擬似距離ノイズ：0.002[m]
8	サイクルスリップ誤差	サイクルスリップ有無：任意 サイクルスリップ誤差量：20[cycle] 発生間隔：299[epoch] 継続期間：1[epoch] 衛星選択仰角マスク：20[deg]
9	マルチパス誤差	マルチパス有無：任意 擬似距離誤差量：5[m] 搬送波位相誤差量：0.1[cycle] 発生間隔：59[epoch] 継続期間：1[epoch] 衛星選択仰角マスク：20[deg]
10	電波強度作成傾きパラメータ	電波強度作成における一次関数の傾き ①(0<仰角<=30)：0.333 ②(30<仰角<=45)：0.2 ③(45<仰角<=60)：0.133 ④(60<仰角)：0
11	電波強度作成切片パラメータ	電波強度作成における一次関数の切片 ①(0<仰角<=30)：34 ②(30<仰角<=45)：38 ③(45<仰角<=60)：41 ④(60<仰角)：49
12	GPS 座標オフセット量	X 軸：0[m] Y 軸：0[m] Z 軸：0[m]
13	衛星仰角マスク	0[deg]

j) 観測データ作成

以上の条件を基に、表 6.7.1-3 に示す組み合わせで模擬観測データを作成する。
基準局の観測データにおける基線長は、屋外実験と同様に 200[m]とする。

表 6.7.1-3 模擬観測データ作成の条件組み合わせ

条件 No.	日付	開始時刻	実験時間	実験エリア	平均衛星数 (QZS 無)	平均衛星数 (QZS 有)
1	2007/11/13	12 時 13 分 41 秒	1202 秒	林側	4.58	5.58
2		15 時 34 分 13 秒	1202 秒	全面	4.09	5.09
3	2007/11/14	09 時 09 分 31 秒	1202 秒	林側	6.24	7.24
4		12 時 02 分 56 秒	1202 秒	林側	4.64	5.64
5		12 時 26 分 51 秒	1202 秒	建機側	4.95	5.95
6		13 時 47 分 25 秒	1202 秒	全面	5.10	6.10
7	2007/11/15	10 時 40 分 58 秒	1202 秒	建機側	6.30	7.30
8		11 時 57 分 47 秒	1202 秒	全面	4.48	5.48
9		12 時 25 分 20 秒	1202 秒	林側	5.10	6.10
10		13 時 29 分 54 秒	1202 秒	建機側	6.19	7.19
11		13 時 58 分 33 秒	1202 秒	建機側	6.23	7.23
12		15 時 06 分 48 秒	1202 秒	全面	4.03	5.03
13		15 時 45 分 06 秒	1202 秒	林側	4.40	5.40
14	2007/11/16	10 時 28 分 42 秒	1202 秒	建機側	6.48	7.48
15		11 時 50 分 23 秒	1202 秒	全面	4.56	5.56
16		12 時 13 分 55 秒	1202 秒	林側	4.68	5.68

(2)シミュレーション実験の評価方法

a) シミュレーションの評価方法

シミュレーションでは、屋外実験と同様な環境下において、従来技術と開発ソフトの評価結果を示す。また、同じシミュレーション実験の環境下で、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。以下に評価方法を示す。

① 従来技術と開発ソフトの比較

開発ソフトの有効性を示すためにシミュレーション実験において、屋外実験と同等な測位結果の傾向が実現するかを確認する。開発ソフトは RTK-GPS の演算結果と複合航法の演算結果に分けて評価を行う。

② 準天頂衛星の有無による評価

準天頂衛星の有効性を確認するために、場所(林側、建機側、全面)による利用率の評価を行い、衛星が1基増えた時の効果を示す。

表 6.7.1-4 評価対象の設定内容

設定項目	従来技術	RTK-GPS	複合航法
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	—	—	あり

設定項目	従来技術	RTK-GPS	複合航法
の統合			
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

b) 評価項目

シミュレーション実験における評価項目はアンビギュイティ決定率と利用率とする。以下に評価方法を説明する。

① アンビギュイティ決定率

アンビギュイティ決定率は、各エポックにおいて RTK-GPS のアンビギュイティが決定したかを時間の割合で表す。

② 利用率

利用率は、建設機械の位置が真の位置と演算結果の水平位置誤差が 10cm 以下である時間の割合を表す。

6.7.2 シミュレーション実験結果及び評価

(1)従来技術と開発ソフトのシミュレーション結果

前章の条件において、従来技術と開発ソフトのシミュレーション実験を実施した。開発ソフトは RTK-GPS と複合航法それぞれで実験を行った。表 6.7.2-1 に示すアンビギュイティ決定率と利用率のシミュレーション結果を示す。

表 6.7.2-1 開発ソフトと従来技術のシミュレーション実験結果

条件 No.	日付	評価対象	アンビギュイティ決定率[%]	利用率[%] (RTK-GPS)	利用率[%] (複合航法)
1	2007/11/13	開発ソフト	82.28	78.95	80.45
		従来技術	59.23	55.82	—
2	2007/11/13	開発ソフト	78.79	78.29	79.03
		従来技術	51.50	14.23	—
3	2007/11/14	開発ソフト	99.17	99.17	99.42
		従来技術	72.13	72.38	—
4	2007/11/14	開発ソフト	86.27	85.69	87.44
		従来技術	64.31	54.74	—
5	2007/11/14	開発ソフト	74.21	69.80	70.80
		従来技術	64.14	61.56	—
6	2007/11/14	開発ソフト	77.37	76.71	78.29
		従来技術	55.07	51.25	—
7	2007/11/15	開発ソフト	99.33	99.33	99.67
		従来技術	86.44	87.27	—
8	2007/11/15	開発ソフト	80.03	78.95	81.36
		従来技術	48.67	42.26	—
9	2007/11/15	開発ソフト	88.85	88.10	89.18
		従来技術	70.13	69.47	—
10	2007/11/15	開発ソフト	99.33	99.33	99.50
		従来技術	82.95	83.19	—
11	2007/11/15	開発ソフト	99.08	99.08	99.25
		従来技術	76.71	76.79	—
12	2007/11/15	開発ソフト	81.11	80.70	82.53
		従来技術	32.28	30.70	—
13	2007/11/15	開発ソフト	73.54	72.38	76.87
		従来技術	55.24	53.91	—

条件 No.	日付	評価対象	アンビギュイティ決定率[%]	利用率[%] (RTK-GPS)	利用率[%] (複合航法)
14	2007/11/16	開発ソフト	99.25	99.25	99.67
		従来技術	85.61	85.69	—
15		開発ソフト	81.45	81.20	82.86
		従来技術	61.81	60.73	—
16		開発ソフト	53.41	51.83	52.25
		従来技術	65.47	62.90	—

屋外実験と同等な測位条件において、ほとんどの条件で従来技術より開発ソフトの方がアンビギュイティ決定率の向上が確認できた。一方、利用率においても従来技術より開発ソフトの方が良い結果が得られた。また、複合航法は衛星が少ない状況でも測位が可能ため、数%の利用率が向上した。

次に、シミュレーション実験の全データにおけるアンビギュイティ決定率と利用率の評価を行う。表 6.7.2-2 にシミュレーション実験の全条件での観測状況を示す。平均 HDOP 値が通常の数値より増大した原因は、あるエポックにおいて遮蔽物により可視衛星数が 4 基に減少し、衛星配置が一箇所に集まったためである。

表 6.7.2-2 シミュレーション実験の観測状況

平均 HDOP	平均衛星数	データ数
7.24	5.13	19232

全ての条件におけるシミュレーション実験の評価結果を図 6.7.2-1 に示す。従来技術より開発ソフトはアンビギュイティ決定率と利用率が 20%以上向上した結果が得られた。

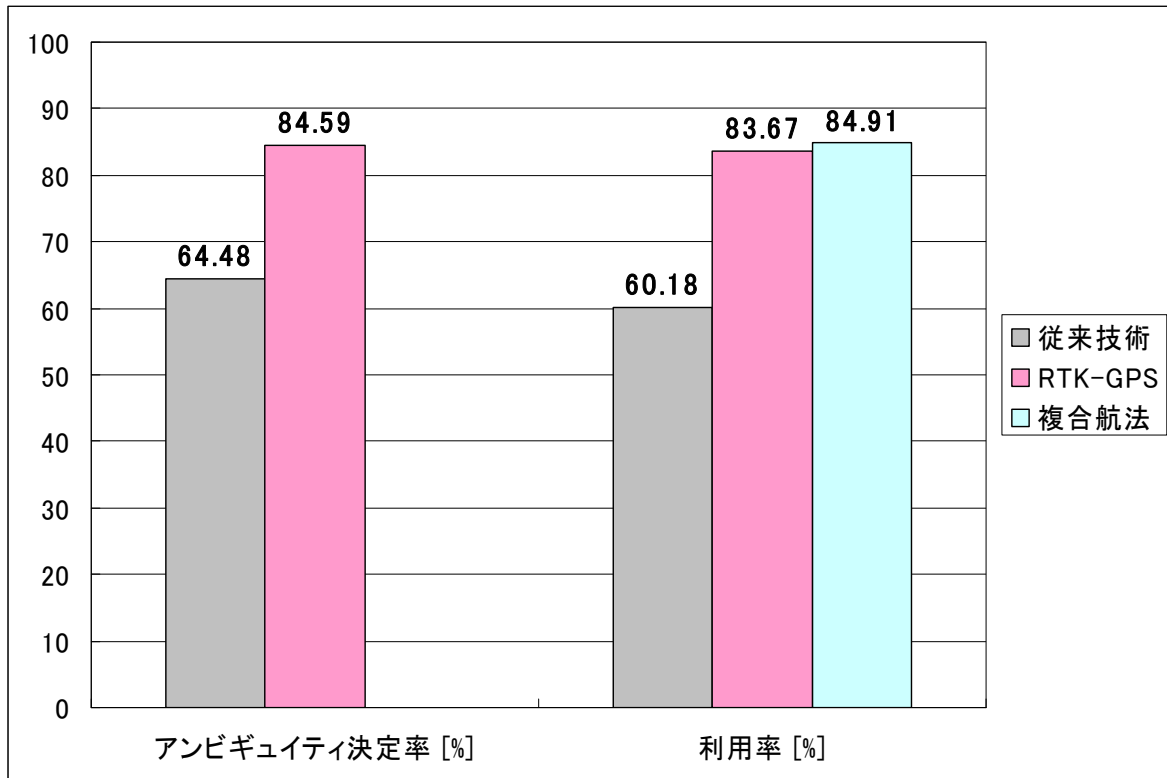


図 6.7.2-1 シミュレーション実験の評価結果

(2) 準天頂衛星の有無によるシミュレーション結果

前(1)項と同じ条件のデータで準天頂衛星が有る場合と無い場合の開発ソフトのシミュレーション実験を実施した。表 6.7.2-3 に準天頂衛星の有無によるアンビギュイティ決定率と利用率のシミュレーション結果を示す。

表 6.7.2-3 準天頂衛星の有無によるシミュレーション結果

条件 No.	日付	準天頂衛星の有無	アンビギュイティ決定率 [%]	利用率[%] (RTK-GPS)	利用率[%] (複合航法)
1	2007/11/13	無	82.28	78.95	80.45
		有	98.92	98.92	99.17
2	2007/11/13	無	78.79	78.29	79.03
		有	98.92	97.84	98.09
3	2007/11/14	無	99.17	99.17	99.42
		有	99.25	99.25	99.50
4		無	86.27	85.69	87.44

条件 No.	日付	準天頂衛星の有無	アンビギュイティ決定率 [%]	利用率[%] (RTK-GPS)	利用率[%] (複合航法)
5	2007/11/15	有	98.84	98.92	98.92
		無	74.21	69.80	70.80
有		99.17	99.17	99.33	
6		無	77.37	76.71	78.29
		有	99.25	99.25	99.58
7		無	99.33	99.33	99.67
		有	99.25	99.25	99.50
8		無	80.03	78.95	81.36
		有	94.09	93.84	94.01
9		無	88.85	88.10	89.18
		有	97.67	97.67	97.84
10		無	99.33	99.33	99.50
		有	99.25	99.25	99.58
11		無	99.08	99.08	99.25
	有	99.25	99.25	99.58	
12	無	81.11	80.70	82.53	
	有	96.84	94.34	94.51	
13	無	73.54	72.38	76.87	
	有	98.92	99.00	99.08	
14	2007/11/16	無	99.25	99.25	99.67
		有	99.25	99.25	99.67
15		無	81.45	81.20	82.86
		有	94.93	94.93	95.09
16		無	53.41	51.83	52.25
		有	98.42	98.34	98.50

ほとんどの条件において準天頂衛星が1基存在することにより、アンビギュイティ決定率と利用率の向上が確認できた。測位環境が悪い（平均衛星数が低い）場合においては、1基衛星が増加することによって20～40%の利用可能時間が増大する結果が得られた。

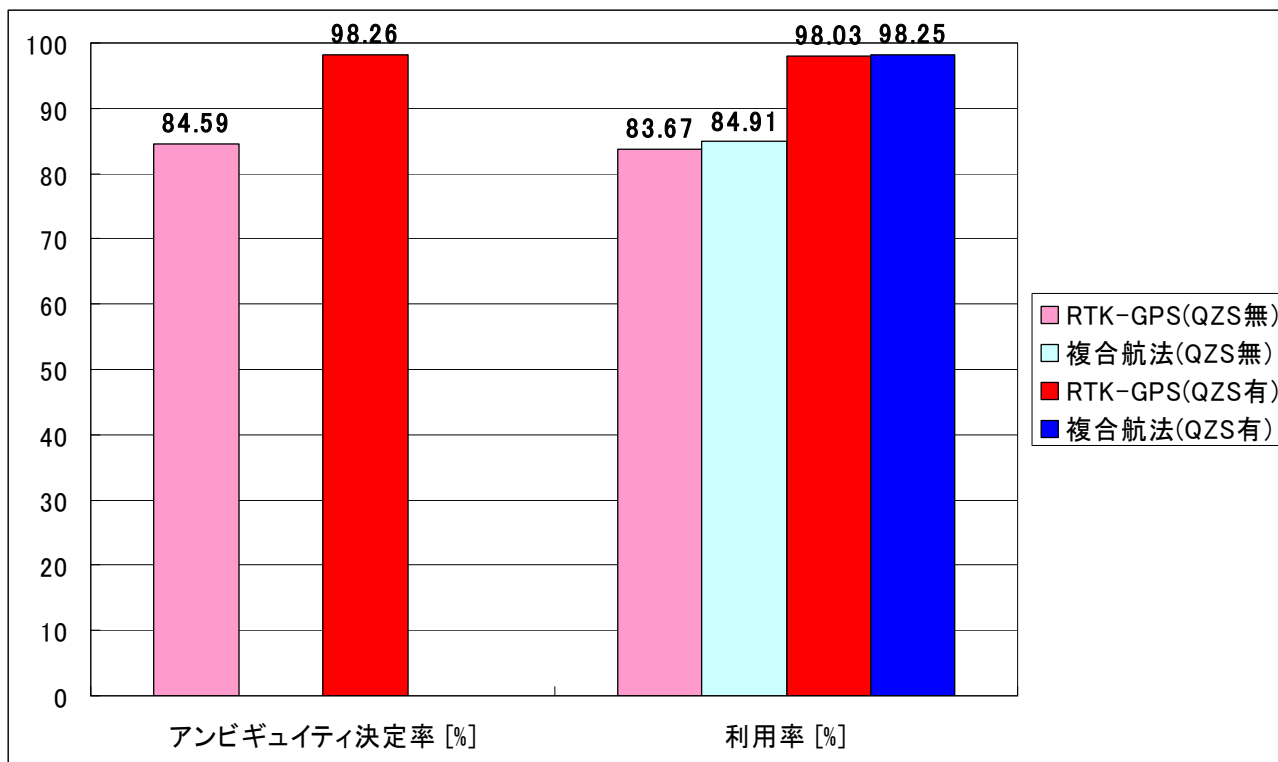


図 6.7.2-2 準天頂衛星の有無によるシミュレーション実験結果

図 6.7.2-2 に全データ(320 分間)におけるシミュレーション結果を示す。シミュレーション実験においては、準天頂衛星が 1 基存在することでアンビギュイティ決定率と利用率は約 15%向上した。

なお、図 6.7.2-1 及び図 6.7.2-2 について、遮蔽物など実際の環境を完全には模擬できておらず、傾向として評価している。

次に、測位環境が異なる実験エリアにおいて、準天頂衛星の有無による測位結果の評価を行う。測位場所は屋外実験と同様に林側、全面、建機側の場合に分けて準天頂衛星が無い場合とある場合の測位状況の変化を求めて可視化を行う。表 6.7.2-4 に異なる場所における測位環境を示す。

表 6.7.2-4 異なる場所における測位環境

	林側	全面	建機側
データ数	7212	6010	6010
平均衛星数	4.94	4.45	6.03

アンビギュイティ決定率

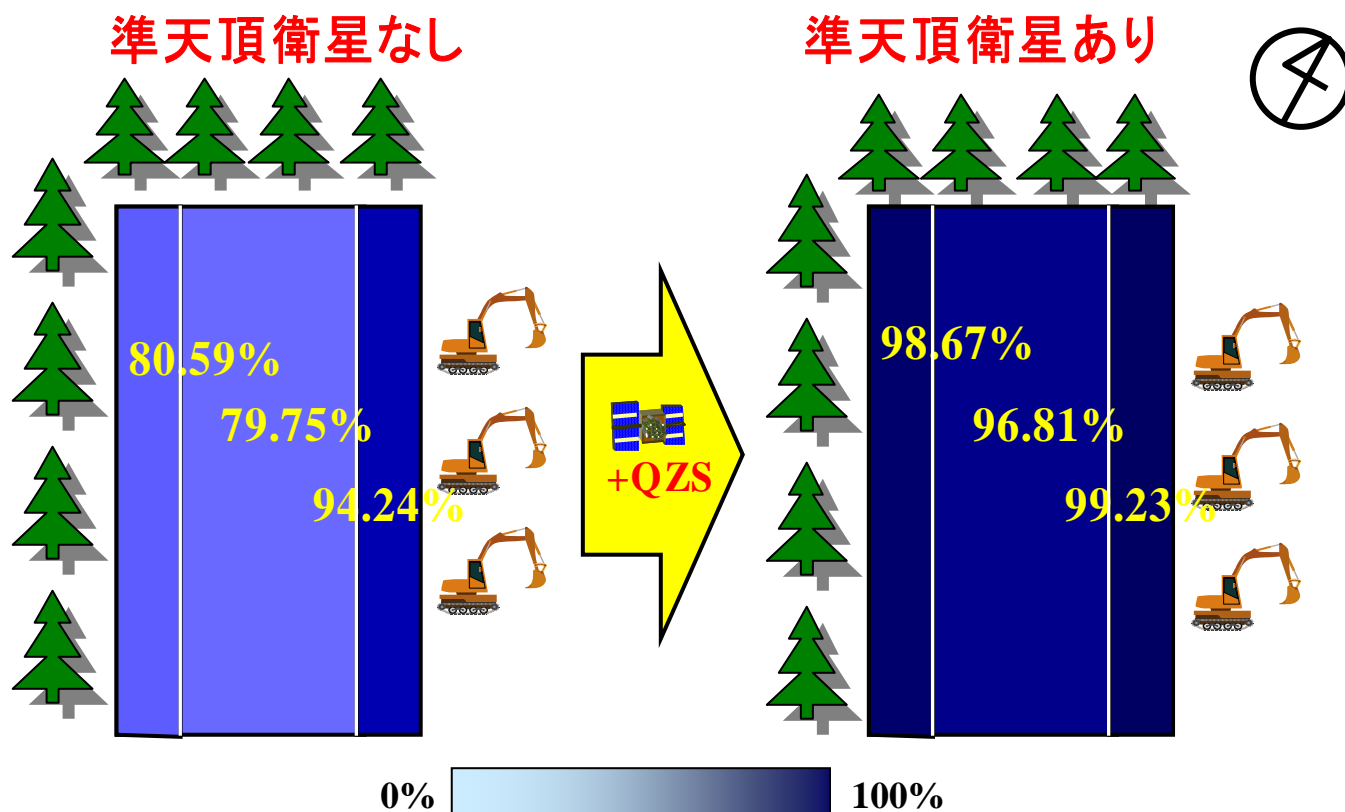


図 6.7.2-3 準天頂衛星の有無によるアンビギュイティ決定率の変化状況

図 6.7.2-3 は、衛星数が準天頂衛星により 1 基増加した場合におけるアンビギュイティ決定率の変化の結果である。林側、全面、建機側のそれぞれの場所においてアンビギュイティ決定率が大幅に向上していることが分かる。また、準天頂衛星によって平均約 80%の測位環境から 96%以上の測位環境が得られた。

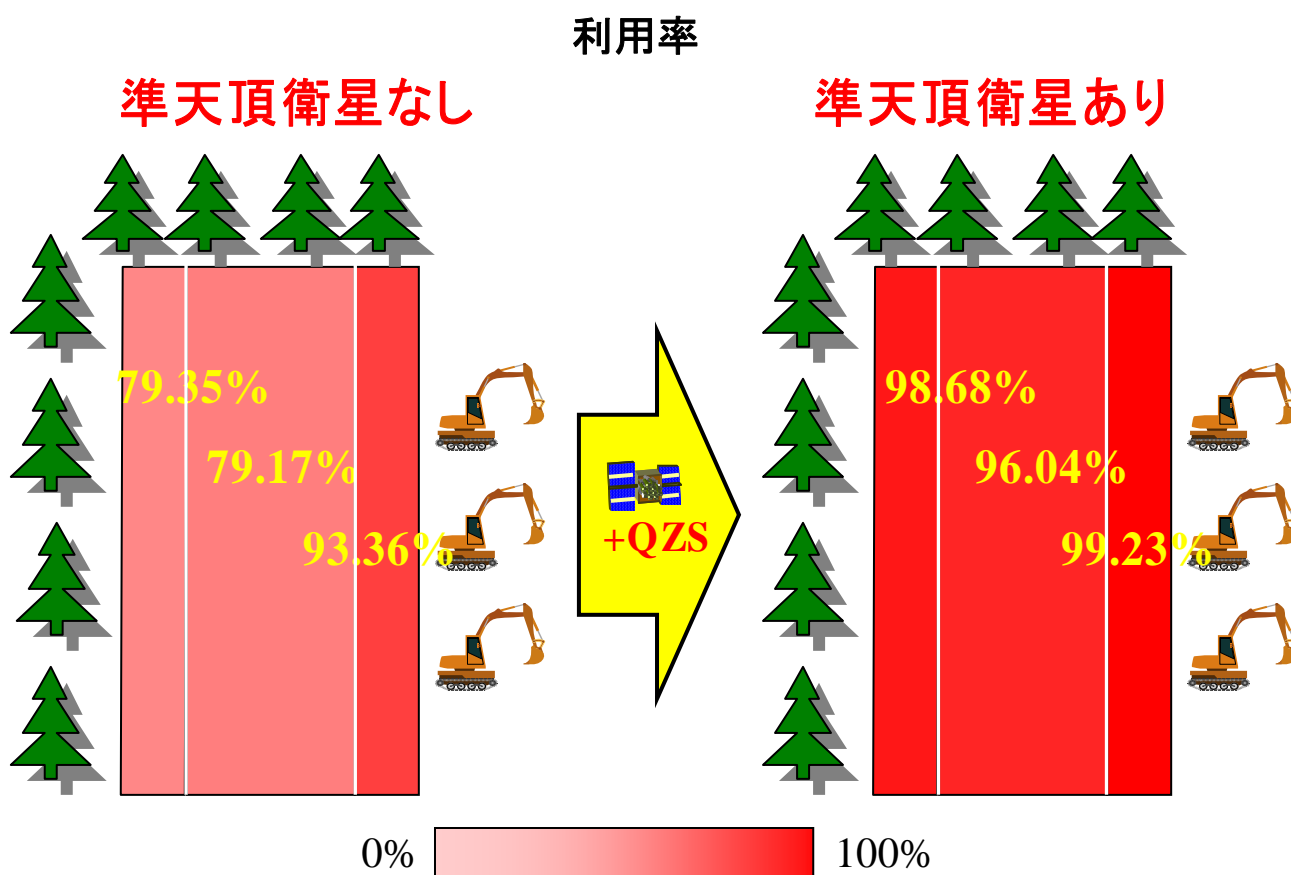


図 6.7.2-4 準天頂衛星の有無による利用率の変化状況

図 6.7.2-4 は、図 6.7.2-3 と同様な準天頂衛星による利用率の変化の結果である。利用率においても大幅に向上していることが分かる。

なお、図 6.7.2-3 及び図 6.7.2-4 について、測位場所による違いは、同時刻に測定していないことによる衛星配置、電離層の状況など誤差要因の違いが影響していると考えられるため、QZS の有無による違いを評価している。

6.8 評価業務のまとめ

この屋外実験において、遮蔽物が存在する条件下で、今回開発した高精度測位ソフトウェア（開発ソフト）が、従来製品と比較し効果を確認できた。

①初期化時間（搬送波の波数を再び確定させるまでの時間）の短縮効果を見込める事が確認できた。

実際の情報化施工において、作業時間の短縮や作業の効率化が期待できる。

② アンビギュイティ決定率の向上が見込める事が確認できた。

実際の情報化施工において、作業エリアの拡大、GPS 測位ができず作業を中断する回数、時間の削減が期待できる。

③ 準天頂衛星が存在する場合、さらなる初期化時間短縮とアンビギュイティ決定率の向上が見込める事が確認できた。