

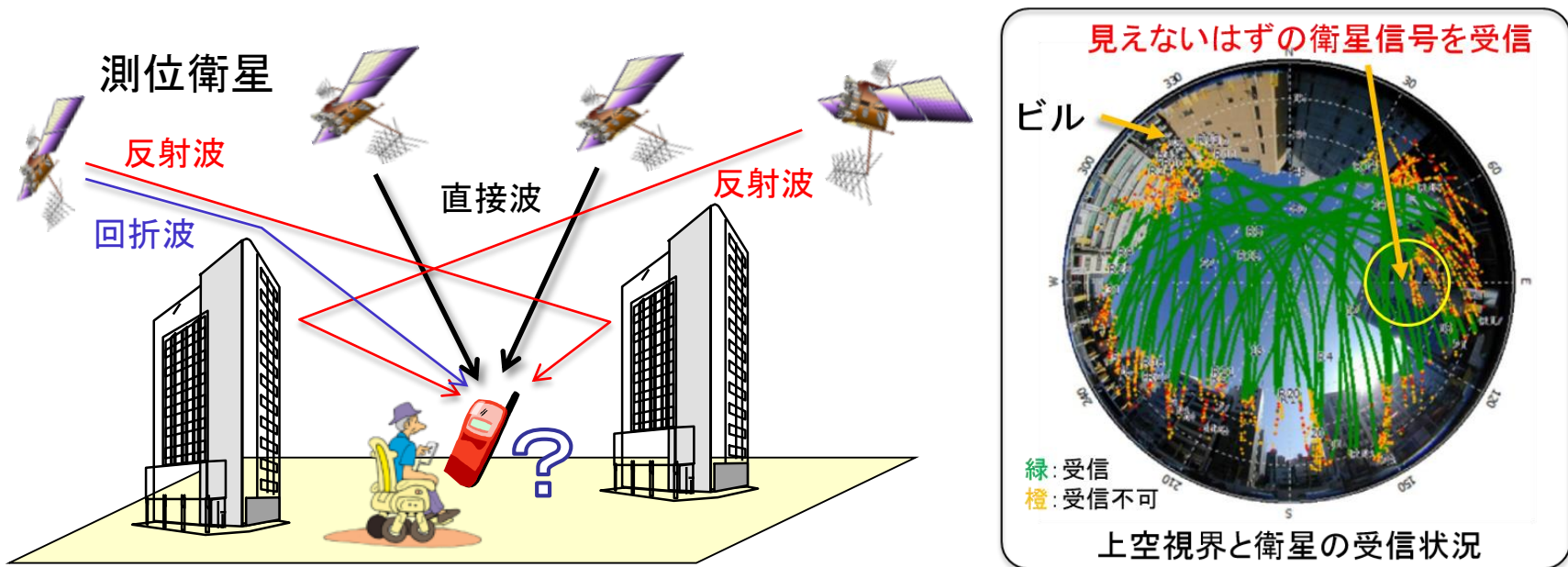
国土交通省総合技術開発プロジェクト H27～29年度
3次元地理空間情報を活用した安心・安全・快適な
社会の実現のための技術開発

都市空間の屋内外シームレス測位の実現に関する 技術開発

屋外3次元空間における高精度衛星測位の適 用範囲拡大のための技術開発

国土地理院 測地観測センター・応用地理部
平成28年3月

ビル街での測位の現状



ビル等による**反射波**や**回折波**(マルチパス)があると、測位精度が低下

様々な利用者がビル街で高精度な測位を行うには、
マルチパスの影響を軽減する手法が必要

目的

上空視界情報等を利用したソフトウェア的な対策によりマルチパスの影響を軽減し、高精度衛星測位の適用範囲の拡大を図る

ビル街等の衛星測位が困難な環境で、観測される衛星の中から品質が良好な信号を自動で選択する等の方法により、より高精度な測位を行うための手法の調査、開発及び検証を行う。

実施する作業

1. マルチパスの影響軽減手法の調査

➤ 先行研究の網羅的な調査を行い、概要、効果、課題を取りまとめる。

- ① 上空写真による衛星選択(別添2)
- ② 信号強度観測値を用いた品質検定
- ③ 擬似距離残差を用いた品質検定
- ④ 搬送波位相変化量の差を用いた品質検定(別添3)
- ⑤ 3次元建物情報から生成したスカイプロットによる衛星選択(別添4、手法については別添6～9)
- ⑥ ドップラー観測量に基づく速度を用いたGNSS測位精度の改善手法(別添5)
- ⑦ アンビギュイティの解き直しによるGNSS測位精度の改善手法

2. 検証用プログラムの開発

➤ 有効な手法を実装した検証用プログラムを開発する。

(例) 観測データを読み込み、影響を軽減したデータを出力

3. 効果の検証

➤ 開発した検証用プログラムと国土地理院構内におけるGNSS観測データを用いて開発手法の効果を検証する。

評価対象としたマルチパスの影響軽減手法

先行研究の網羅的な調査を行い、概要、効果、課題を整理し(詳細:別添1)、評価対象となる手法を4つ選定した。

評価対象となる手法の選定

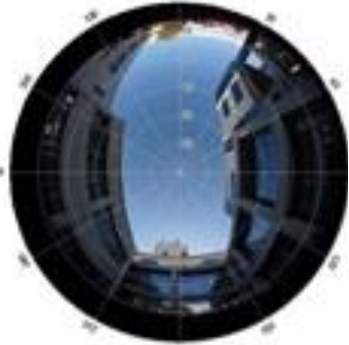
#	項目	選定結果	判定理由
①	上空写真による衛星選択(別添2)	○	明確な効果があると期待されるため選定した
②	信号強度観測値を用いた品質検定(不良データの除外)		明確な効果はあるが、既に特許化されており、オープンソースとしての公開について調整に時間を要するため選定しなかった
③	擬似距離残差を用いた品質検定(不良データの除外)		効果はあるが、他の手法と比較してデメリットが多いため選定しなかった
④	搬送波位相変化量の差を用いた品質検定(不良データの除外) (改良:ドップラー位相差を使用)(別添3)	○	搬送波位相相当のマルチパスを直接検定できるため。またスリップの影響を受けにくいいため選定した
⑤	3次元建物情報から生成したスカイプロットによる衛星選択(別添4)	○	不可視衛星の検出の点で上空写真と同等の効果が期待できるため選定した
⑥	ドップラーを用いたGNSS測位精度の改善手法(別添5)	○	解析ソフト、文献で既に明確な効果が確認されていたため、またスリップの影響を受けにくいいため選定した
⑦	アンビギュイティの解き直しによるGNSS測位精度の改善手法		効果はあるが、既に特許化されており、オープンソースとしての公開について調整に時間を要するため選定しなかった

各マルチパス低減手法の比較(概要)

	① 上空写真による衛星選択		② 信号強度観測値を用いた品質検定		③ 擬似距離残差を用いた品質検定		④ ドップラー観測量に基づく位相差を用いた品質検定		⑤ 3次元建物情報から生成したスカイプロットによる衛星選択		⑥ ドップラー観測量に基づく速度を用いた精度改善手法		⑦ アンビギュエティの解き直しによる精度改善手法	
概要	障害物(建物、木等)マスク		信号強度の理論式と比較		擬似距離の位相差で検定		ドップラーの位相差で検定		障害物(建物)マスク		擬似距離のスムージング		信号強度・仰角マスク可変	
効果	効果有り	○	明確な効果有り	◎	効果有り	○	効果有り	○	効果有り	○	明確な効果有り	◎	効果有り	○
特許権取得の有無	無	○	有	△	無	○	無	○	無	○	無	○	有	△
利点	不可視衛星の判定	◎	実装が容易	○	複数衛星の擬似距離マルチパスを検定	○	複数衛星の搬送波位相マルチパス相当を検定	◎	不可視衛星の判定(上空写真不要)	◎	サイクルスリップの影響を受けない	◎	最適解を決定	◎
欠点	写真の現地撮影・校正が必要	△	事前にしきい値を決定が必要	△	異機種間バイアスの校正が必要	△	ドップラー観測値が必要	△	衛星選択の性能が測位座標の精度に依存	△	ミスフィックス対策が必要	△	ミスフィックス対策が必要	△

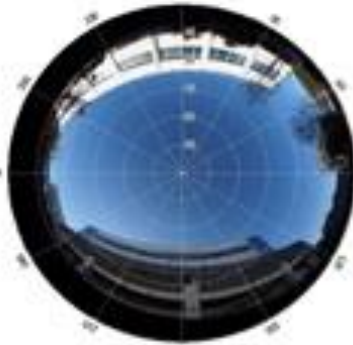
観測データの取得環境

A地点



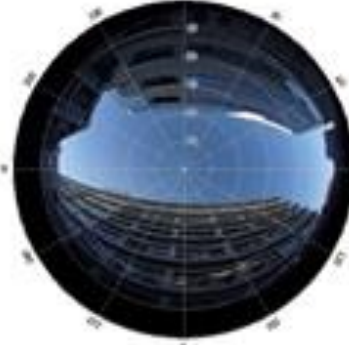
8.8機*

B地点



12.4機*

C地点



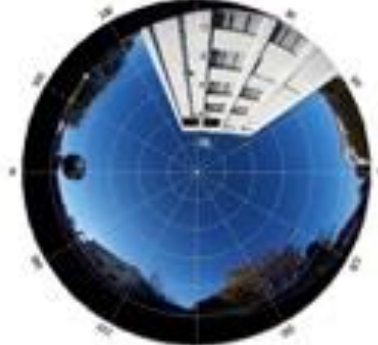
10.2機*

D地点

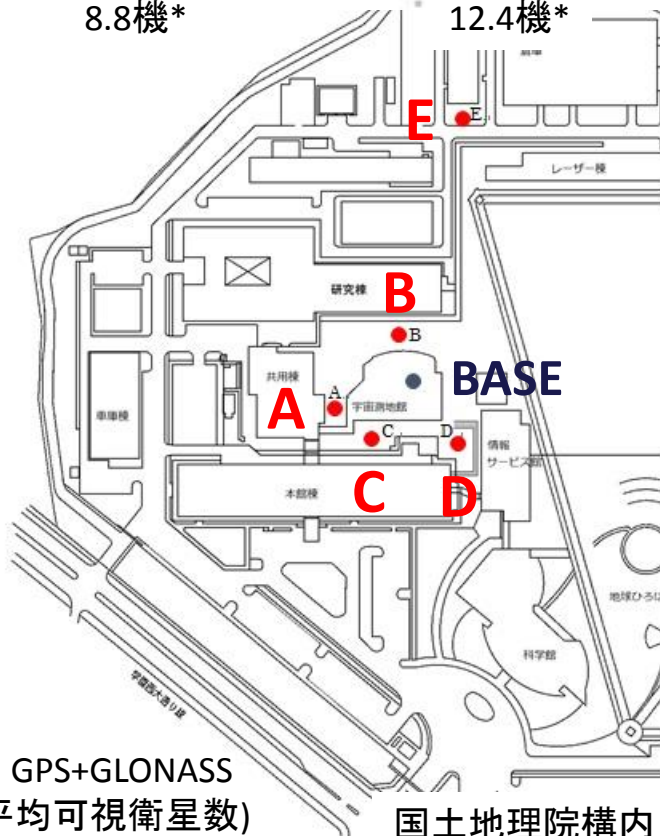


11.6機*

E地点



12.5機*

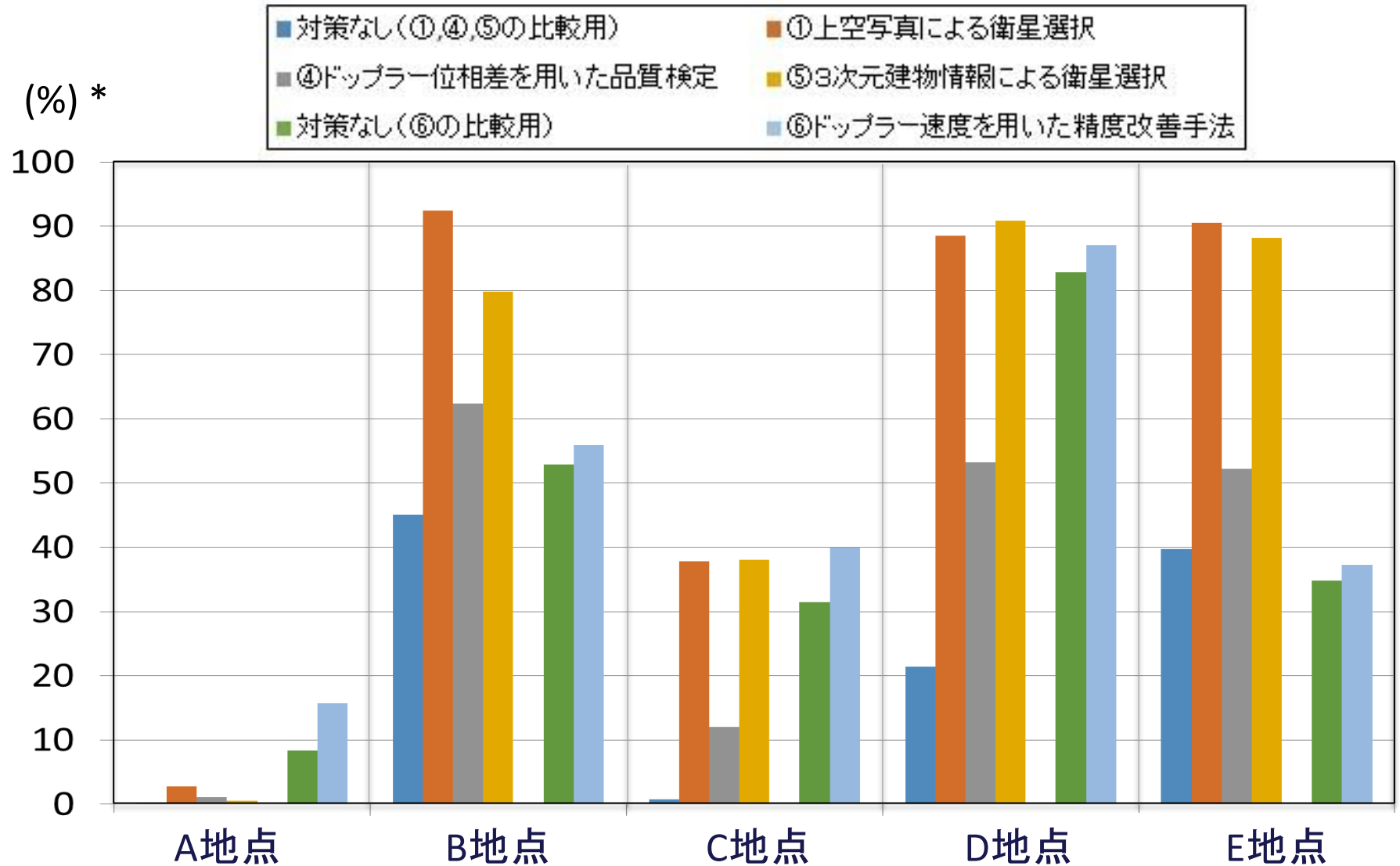


* GPS+GLONASS
(平均可視衛星数)

国土地理院構内

取得期間 (各1日)	A地点 2015-12-09 ~ 10		
	B地点 2015-12-22 ~ 23		
	C地点 2015-12-09 ~ 10		
	D地点 2015-12-21 ~ 22		
	E地点 2015-12-21 ~ 22		
受信機/ アンテナ	JAVAD DELTA + JAVAD GrAnt-G3T		
解析 ソフト	GSILIB v2.0.0 (①④⑤)	GPS+GLONASS+ QZSS	<ul style="list-style-type: none"> Instantaneous AR Ratio > 3 L1+ L2 仰角マスク15度
	東京海洋大学の測位プログラム(⑥)	GPS+QZSS+ BeiDou	

解析結果(フィックス率)



* ミスフィックス解を除く

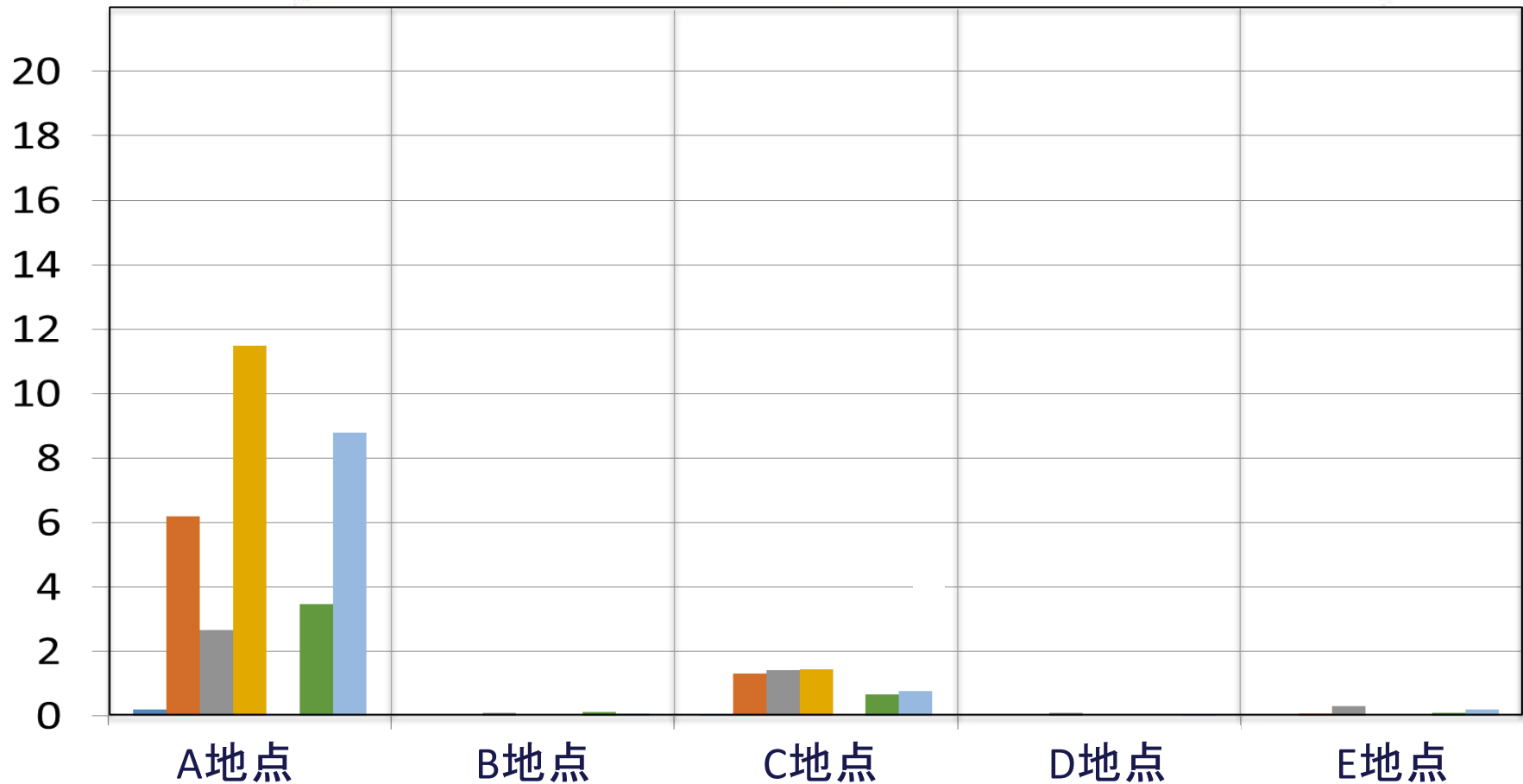
どの手法(①, ④, ⑤, ⑥)においても、フィックス率の改善を確認。
特に、①, ⑤の手法ではフィックス率の改善が顕著

解析結果(ミスフィックス率)

(ミスFIX解の数/ FIX解の数)
でミスフィックス率を定義



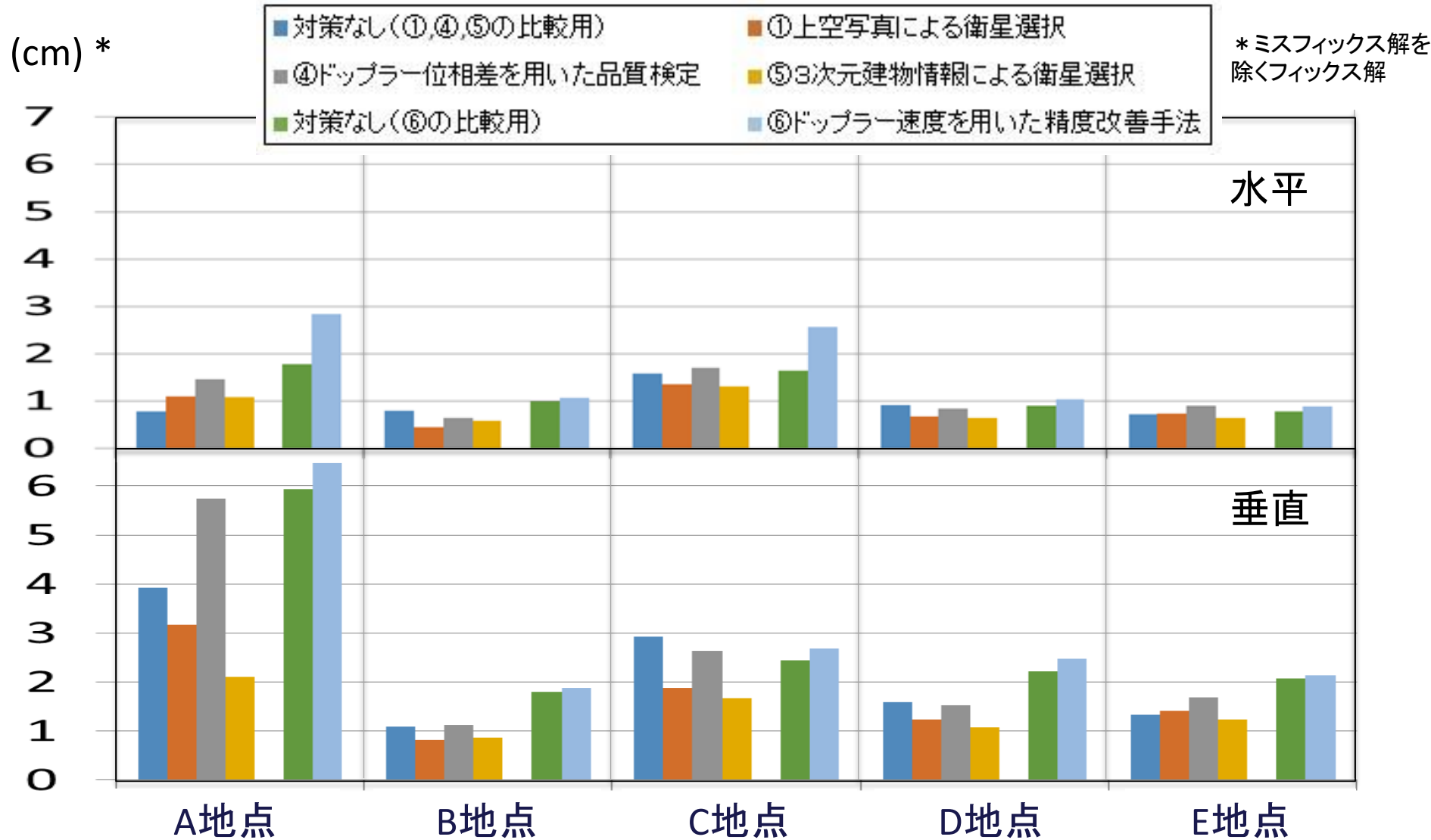
(%) *



* 水平誤差±10
cm,垂直誤差
±20cm以上

上空視界の悪い環境(A,C地点)で、特にミスフィックス解が増加

解析結果(標準偏差)



上空視界の悪い環境(A,C地点)で、特に①, ⑤の手法では測位精度の改善が顕著
 ⑥の手法は30秒間隔の観測データを使用したため、精度は改善しなかった

① 上空写真による衛星選択

- 効果: ④の手法と比較し、フィックス率、精度の改善効果は大、⑤と同程度
- 課題: 写真撮影、歪曲補正等の事前準備が必要。事前処理の簡便化が課題

④ ドップラー観測量に基づく位相差を用いた品質検定

- 効果: 通常のマスク(仰角マスク15度のみ)と比較し、比較的明確な改善効果を確認
- 課題: 各地点で不可視衛星を排除できないケースがある。手法の改良が課題

⑤ 3次元建物情報から生成したスカイプロットによる衛星選択

- 効果: ①の手法と比較し、大部分の観測点で同程度の改善効果を確認、現地での事前準備が不要である点は優位
- 課題: 効果が入力位置座標の精度に依存。GNSS単体の測位精度向上が課題

⑥ ドップラー観測量に基づく速度を用いた精度改善手法

- 効果: ドップラー観測量を併用することでフィックス率の改善を確認
- 課題: 速度の積算に使用するフィックス解の信頼性評価の検討の余地がある

	① 上空写真による衛星選択	④ ドップラーの位相差を用いた品質検定	⑤ 3次元建物情報から生成したスカイプロットによる衛星選択	⑥ ドップラー観測量に基づく速度を用いた精度改善手法
フィックス率	○	△	○	△
測位精度	○	△	○	△
事前準備作業	△ (上空写真の準備が必要)	○	△ (3次元建物情報の準備が必要)	○
不可視衛星の判定	○	△	○	—

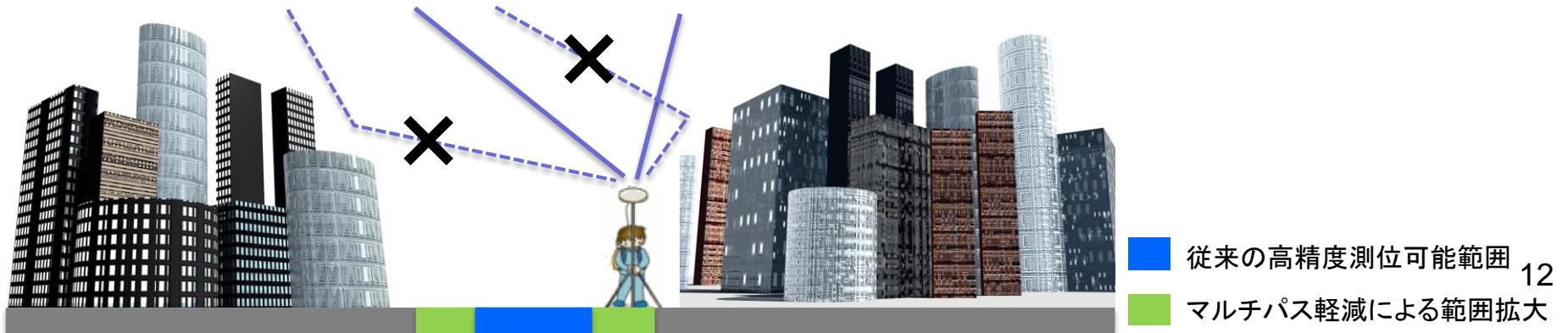
○: 効果大きい
△: 目立った効果がない

今後のスケジュール

平成27年度	平成28年度	平成29年度
<ul style="list-style-type: none"> 有効な手法の特定 検証プログラムの開発・評価 	<ul style="list-style-type: none"> 大都市における実証実験 	<ul style="list-style-type: none"> プログラムの改良 マルチパス軽減アルゴリズム及びマルチパス軽減測位プログラムの完成

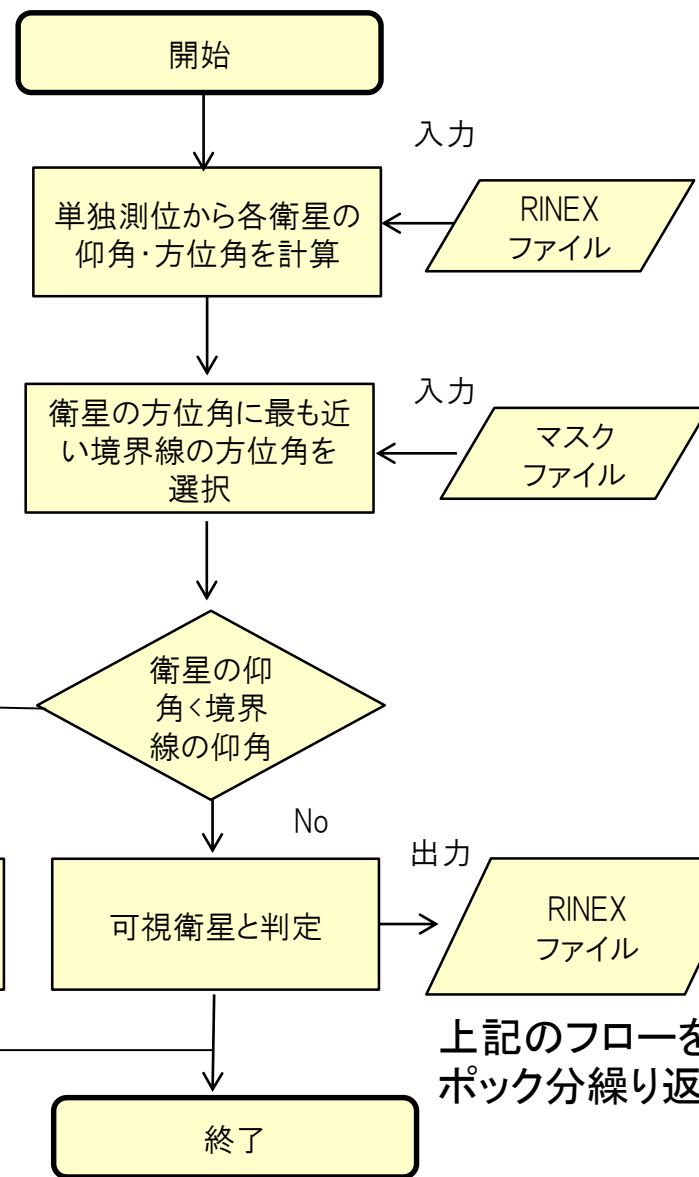
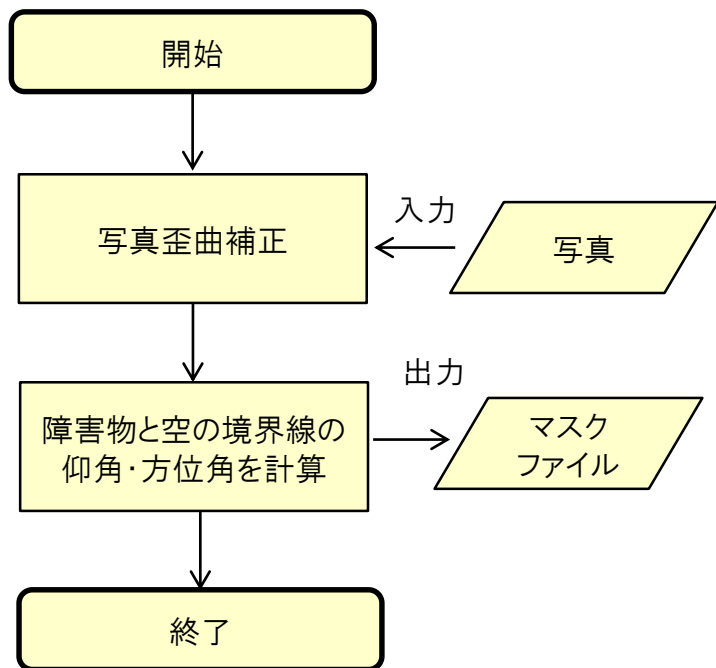
期待される効果

- ビル街における高精度測位適用範囲が拡大
- 位置情報基盤の整備の推進
- 屋内外測位の相互連携により、歩行者の移動支援等に貢献

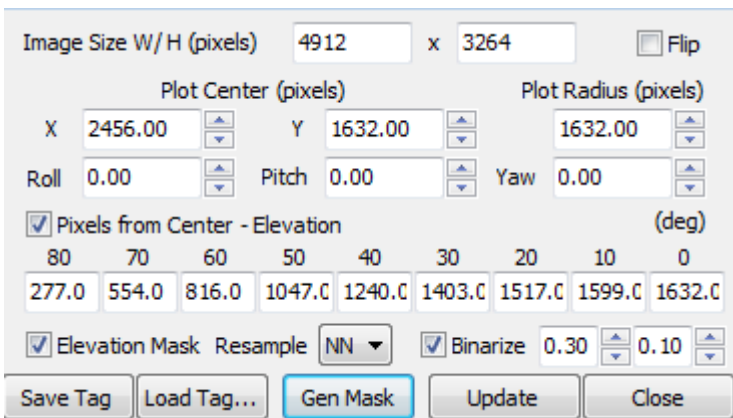


(別添1) 各マルチパス低減手法の比較(詳細)

	① 上空写真による衛星選択		② 信号強度観測値を用いた品質検定		③ 擬似距離残差を用いた品質検定		④ ドップラー観測に基づく位相差を用いた品質検定		⑤ 3次元建物情報から生成したスカイプロットによる衛星選択		⑥ ドップラー観測に基づく速度を用いた精度改善手法		⑦ アンビギュエティの解き直しによる精度改善手法	
必要な観測時間	1エポック	○	1エポック	○	1エポック	○	1エポック	○	1エポック	○	連続2エポック	△	1エポック	○
信号の選択方法	障害物(建物、木等)マスク	○	基準局信号強度の理論式	○	擬似距離の位相差	○	ドップラーの位相差	○	障害物(建物)マスク	○	無	△	信号強度マスク、仰角マスク	○
信号のしきい値設定基準	上空写真とスカイプロットを重ねて、半自動で建物境界の仰角・方位角を求めて、マスク値を設定。ただし、晴天時の画像のマスク生成に限る	○	各信号(衛星系、衛星の種類等)ごとに信号強度と仰角における理論式を決め、経験的にしきい値を設定	○	実データから経験的にしきい値を設定	○	実データから経験的にしきい値を設定	○	3次元建物情報によるスカイプロットから、自動で建物境界の仰角・方位角マスク値を設定	○	無	△	しきい値を可変に設定	○
適用範囲	すべての測位方式+不可視衛星を識別	○	すべての測位方式+個々の衛星を識別	○	二周波擬似距離測位+個々の衛星を識別	○	二周波基線解析+個々の衛星を識別	○	すべての測位方式+不可視衛星を識別	○	基線解析、衛星を選択できない	△	基線解析+衛星の組合せを選択	△
特許権取得の有無	無	○	有	△	無	○	無	○	無	○	無	○	有	△
ソフト等での事前評価結果による効果の程度	効果有り	○	明確な効果有り	◎	効果有り	○	効果有り	○	効果有り	○	明確な効果有り	◎	効果有り	○
不可視衛星判定の可否	可	◎	画像写真との併用で可能性有	○	画像写真との併用で可能性有	○	画像写真との併用で可能性有	○	可(ただし、測位座標の精度に依存)	◎	否	△	否	△
外部データの有無	画像データファイル	△	無	○	無	○	無	○	3次元建物情報情報	△	無	○	無	○
リアルタイム解析の可否	可(事前準備は必要)	○	可	○	可	○	可	○	可	○	可	○	可	○
利点	<ul style="list-style-type: none"> 不可視衛星の判定可能 マスクを半自動的に設計できる 	◎	実装が容易	○	<ul style="list-style-type: none"> 擬似距離マルチパス誤差量を把握できる 計算負荷がからない 	○	<ul style="list-style-type: none"> 搬送波位相マルチパス相当の誤差量を把握できる ドップラー観測値はサイクルスリップの影響を受けにくい ため、搬送波位相による衛星選択のデメリットを解消できる 	◎	上空写真を現地で撮影しなくても不可視衛星の判定ができる	◎	サイクルスリップが生じた場合でも、フィックス解を決めることができる	◎	測位解の品質結果より、衛星の組合せを自動で変更してフィックス解を決めることができる	◎
欠点	上空写真の撮影状況の把握や校正等の事前準備が必要	△	オープンスカイのデータで受信機・アンテナ毎にしきい値を事前に決める必要がある	△	異機種間基線解析の際に、バイアスの校正が必要になる	△	ドップラー観測値が含まれたRINEXデータを用意する必要がある	△	<ul style="list-style-type: none"> 3次元建物情報を用意する必要がある 効果が地図や設定した測位座標の精度に依存だが、建物形状を反映できない。樹木の影響を考慮できない 	△	前エポックのミスフィックス解を固定して、現在の位置を計算する場合がある	△	ミスフィックス解の検定は別途必要となる	△
計算負荷(基線解析時間/回)	10 msec(推定値)	○	10 msec(推定値)	○	10 msec(推定値)	○	10 msec(推定値)	○	10 msec(推定値)	○	10 msec(推定値)	○	20 msec(推定値)	○
計算負荷相対値	1		1		1		1		1		1		2	



歪曲補正、境界線の設定画面 (RTKLIBv2.4.3b5)



上記のフローを全エポック分繰り返す

(別添3) ④ドップラー観測量に基づく位相差を用いた品質検定

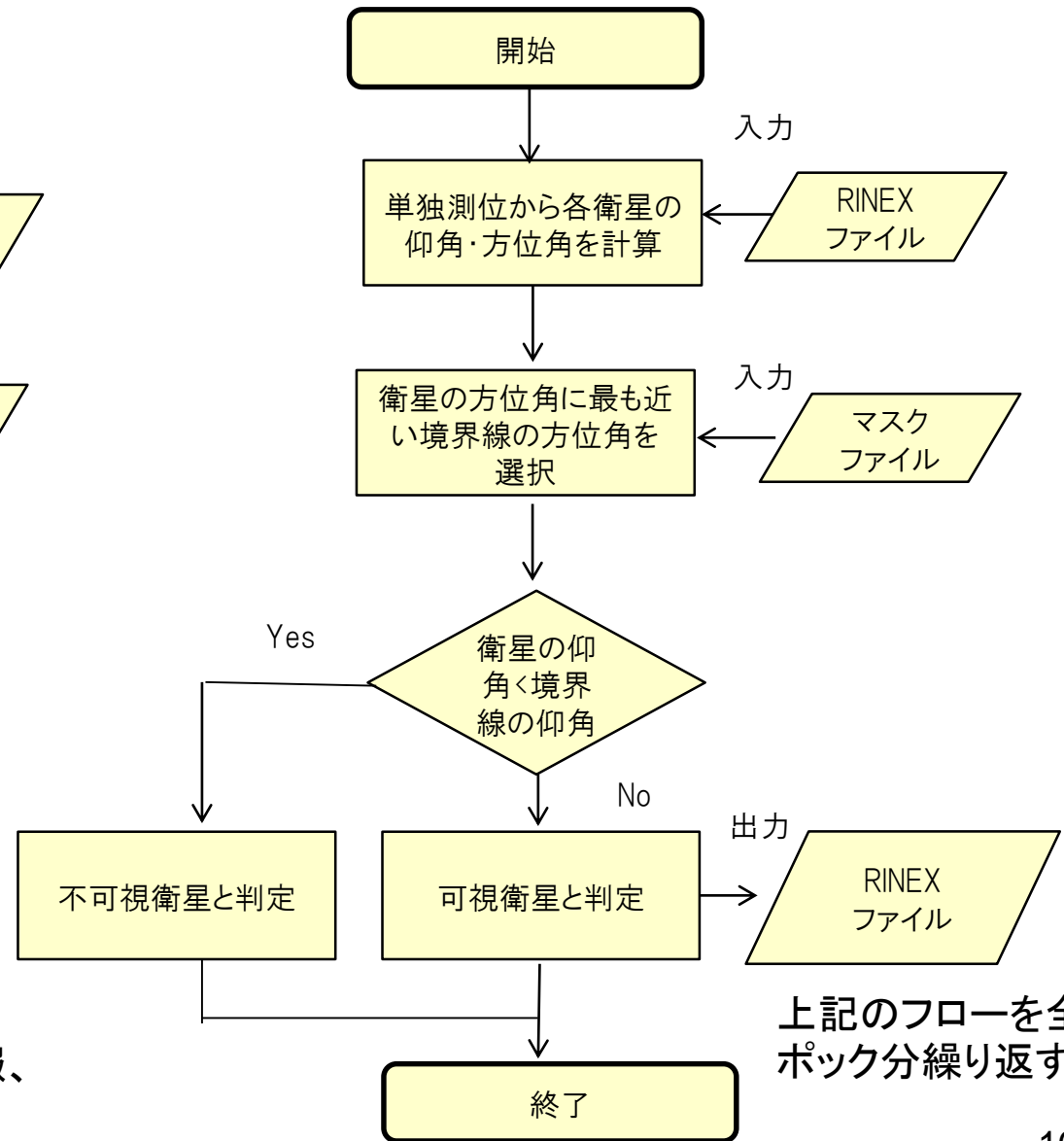
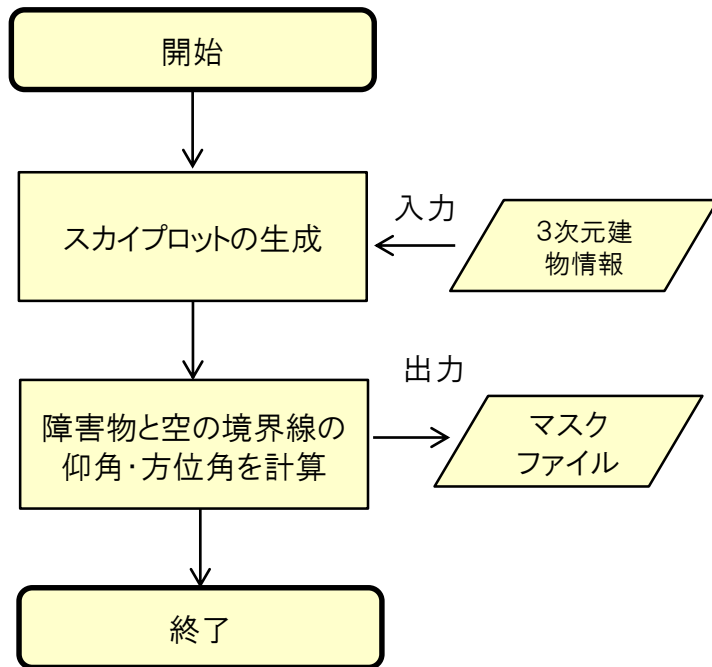
ドップラー観測値の位相差を用いて、搬送波位相相当のマルチパス誤差変化量を把握
(特許の申請を検討中)

利点:

1. 搬送波位相レベルに近いマルチパス誤差量を把握可能
2. ドップラーを使用するので、サイクルスリップが発生しにくい

	④搬送波位相変化量の差を用いた品質検定		④ドップラーの位相差を用いた品質検定	
必要な観測時間	連続2エポック	△	1エポック	○
信号の選択方法	異なる周波数間の搬送波位相(一重差)の較差の時間変化量	○	ドップラーの位相差	○
信号のしきい値設定基準	実データから経験的にしきい値を設定	○	実データから経験的にしきい値を設定	○
適用範囲	二周波基線解析+個々の衛星を識別	○	二周波基線解析+個々の衛星を識別	○
特許権取得の有無	無	○	無	○
(文献、ソフト等の)事前評価結果による効果の程度	効果有り	○	効果有り	○
不可視衛星判定の可否	画像写真との併用で可能性有	○	画像写真との併用で可能性有	○
外部データの有無	無	○	無	○
リアルタイム解析の可否	可	○	可	○
利点	エポック間の搬送波位相マルチパス誤差量を把握できる	○	・搬送波位相マルチパス相当の誤差量を把握できる ・ドップラー観測値はサイクルスリップの影響を受けにくい ため、搬送波位相による衛星選択のデメリットを解消できる	◎
欠点	観測エポック間でサイクルスリップが生じた場合、マルチパスによる影響の判定ができなくなる	△	ドップラー観測値が含まれた観測データを用意する必要がある	△

(別添4) ⑤3次元建物情報から生成したスカイプロットによる衛星選択



上記のフローを全エポック分繰り返す

スカイプロットの作成ソフト

- 作者：
早稲田大学 鈴木太郎 助教
- 入力：
位置座標(緯度、経度、アンテナ高)、
kmlファイル
- 読み込み可能な地図データ：
Google、国土地理院の3次元建物情報、
- 出力：
入力位置におけるスカイプロット画像ファイル

1. ドップラーから求めた速度成分 (ECEF座標) を前の時刻のフィックス解に積算して、現時刻のフロート解を計算

$$\delta\hat{\mathbf{x}}(t) = \delta\mathbf{x}(t - N) + \sum_{n=1}^N (\mathbf{v}(t - n + 1) + \mathbf{v}(t - n))T/2$$

2. そのフロート解を使用して、フロートアンビギュイティの初期値を計算
3. 以上ドップラーを用いて計算したフロート解とアンビギュイティ等をlambda法の入力値として、フィックス解を推定する

大学構内75分(2Hz)RTK-GPS解析

	LAMBDA (%)	Proposed1 (%)	Proposed2 (%)
Ratio > 3	33.9	73.2	86.0
Ratio > 2	54.8	78.0	88.1
Potential fix	100	100	100

Proposed1, LAMBDA with user velocity (constant STD); Proposed2, LAMBDA with user velocity (proposed STD)

表は論文から引用

本手法は、信号の品質検定ではないが、基線解析における擬似距離マルチパス誤差の影響を低減可能

■ 開発の背景・目的

- 高層ビル街での衛星による高精度測位には上空視界情報が必要
- 3次元建物情報は、直接受信可能な衛星の選別に有効
- しかし、3次元建物情報を取得する技術基準は明確ではなく
- 公共機関による3次元建物情報の整備が進んでいない



- 既存データを活用して3次元建物情報を簡便に作成する技術の開発、マニュアルを作成を行う



ビル街で直接受信可能な衛星の選別に利用



■ 作成手法の概要

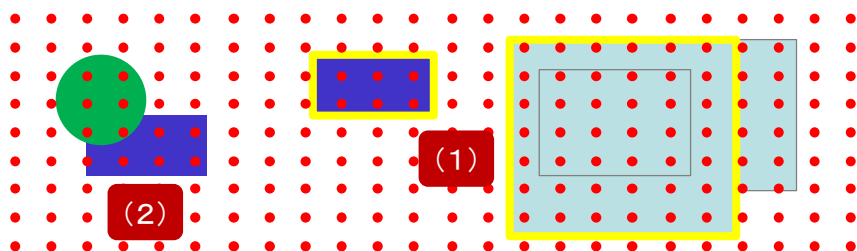
- 既存の航空レーザデータ、基盤地図情報(建物)データを活用して**効率的かつ適切**に作成する手法を採用

■ マニュアル作成

- データの試作及び精度検証を実施して、マニュアルを作成

航空レーザ取得点群データと建物の外周線データを活用

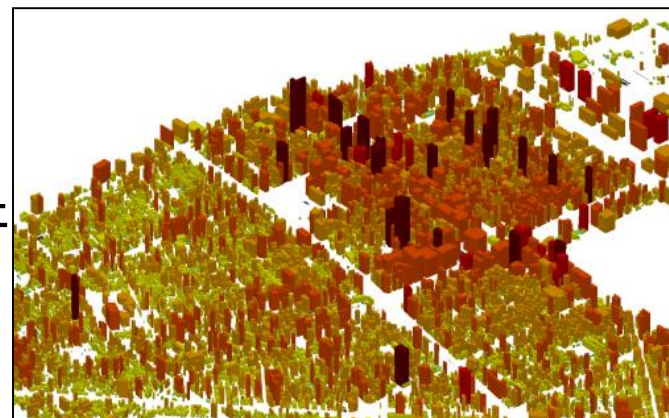
航空レーザデータを活用した3次元建物データの作成手法



● 航空レーザ取得点群
(実際にはランダム)

□ 基盤地図情報等の
建物形状(2次元)データ

建物データに
高さを付与

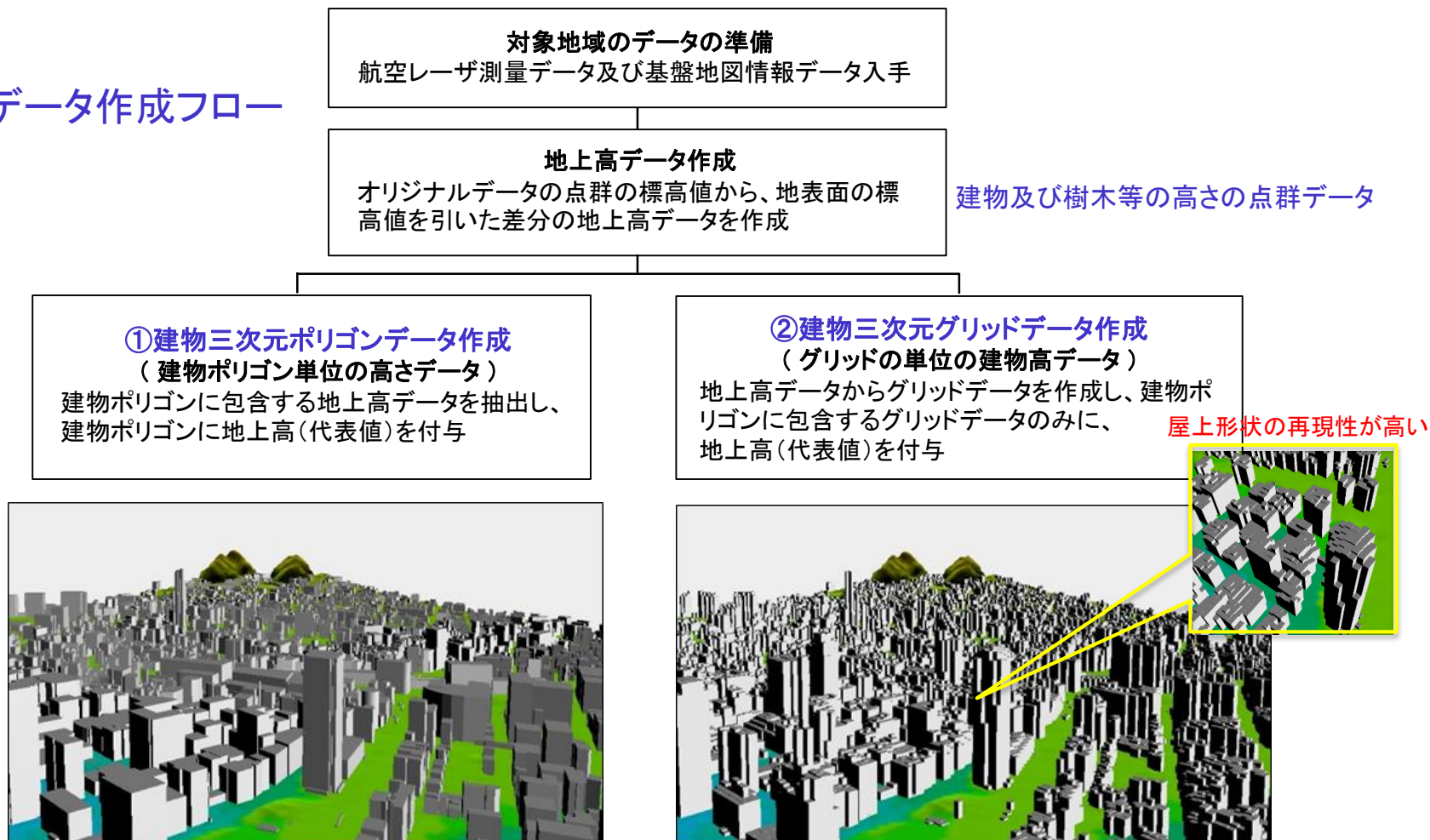


マニュアルに基づきデータを試作・精度検証を実施

■ マニュアルの概要

成果は、①建物三次元ポリゴンデータ、②建物三次元グリッドデータ

データ作成フロー



それぞれ、建物ポリゴンまたはグリッド単位に包含される地上高データの「平均値、中央値、最頻値」等を、建物の高さの代表値として求める手法を提案

■ 精度検証

本マニュアルに基づき試験データを作成し、精度検証を実施

➤ 建物三次元(5m)グリッドデータの地上高と現地計測による地上高を比較(計測数217点)

- 建物三次元(5m)グリッドデータの地上高は、点群データから中央値を取得
- 現地計測はTSを使用し、地上から建物屋上までの高さ(地上高)を計測

比較の結果、全体の約6割が50cm以内、約9割が90cm以内

(差が生じた主な要因は、神戸市での検証のため、斜面立地の建物が多く、屋上直下となる地表面の計測ができていないものによる。)

