

グローバル測位補強情報 (MADOCA)の利活用に向けて



電子制御ビジネスユニット

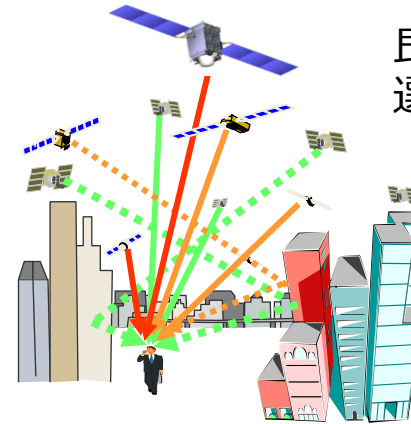
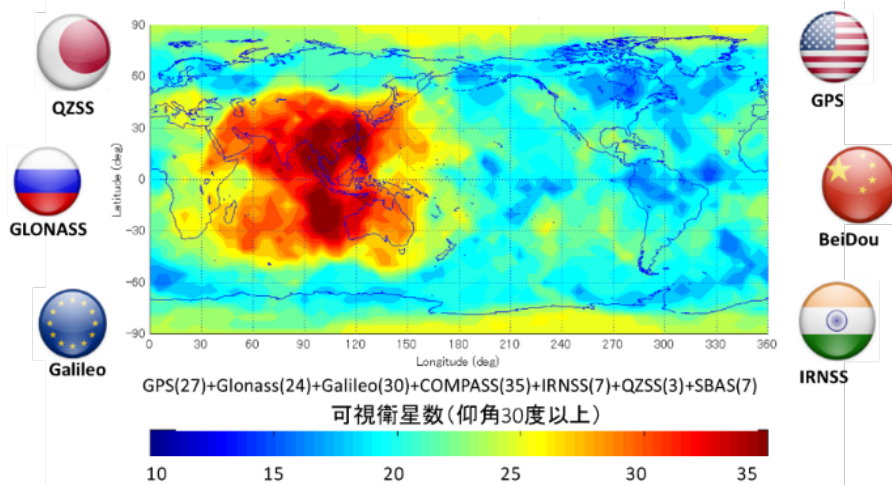
五百竹 義勝

July 21, 2017

- 1. 背景**
- 2. MADOCAとは**
- 3. MADOCA利用検討会**
- 4. MADOCA-PPPの研究開発と高度化**
- 5. PPP利用への期待**
- 6. MADOCA-PPPの実証**

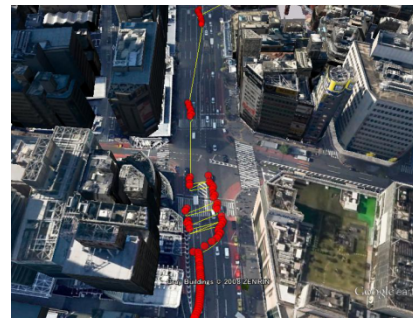
◆ マルチGNSS環境とその効果

アジア・オセアニア地域では
特に多くのGNSSを利用可能

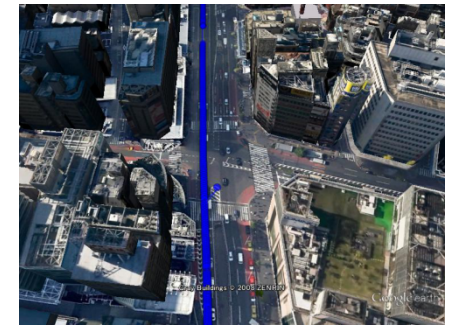


良品質信号のみを
選択して利用可能

実証実験例@新宿



GPSのみ



複数GNSS
(GPS+GLO+QZS)

◆ 衛星測位の精度向上技術

高精度な軌道時刻情報やセンチメートル級高精度測位が求められている

単独測位 等

基準点によらない単独測位

- ・ 誤差：10m程度
- ・ 観測量：擬似距離
- ・ 機材：安価なコンシューマ受信機
- ・ 活用分野：携帯ナビ、カーナビ等

コード測位

DGPS 等

基準点を用いた測位

- ・ 誤差：1m～数m程度
- ・ 観測量：擬似距離
- ・ 機材：小型受信機
- ・ 活用分野：中波ビーコン、SBAS 等

単独測位

相対測位

PPP 等

高精度な軌道時刻情報を用いた
基準点によらない精密測位

- ・ 誤差：数cm-10cm
- ・ 観測量：搬送波位相
- ・ 機材：測量用のハイエンド受信機
- ・ 課題：初期化時間が長い

搬送波位相測位

RTK 等

基準点を用いた精密測位
(近傍基準点、ネットワーク型
(VRS))

- ・ 誤差：数cm
- ・ 観測量：搬送波位相
- ・ 機材：測量用のハイエンド受信機

◆ MADOCA

Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis

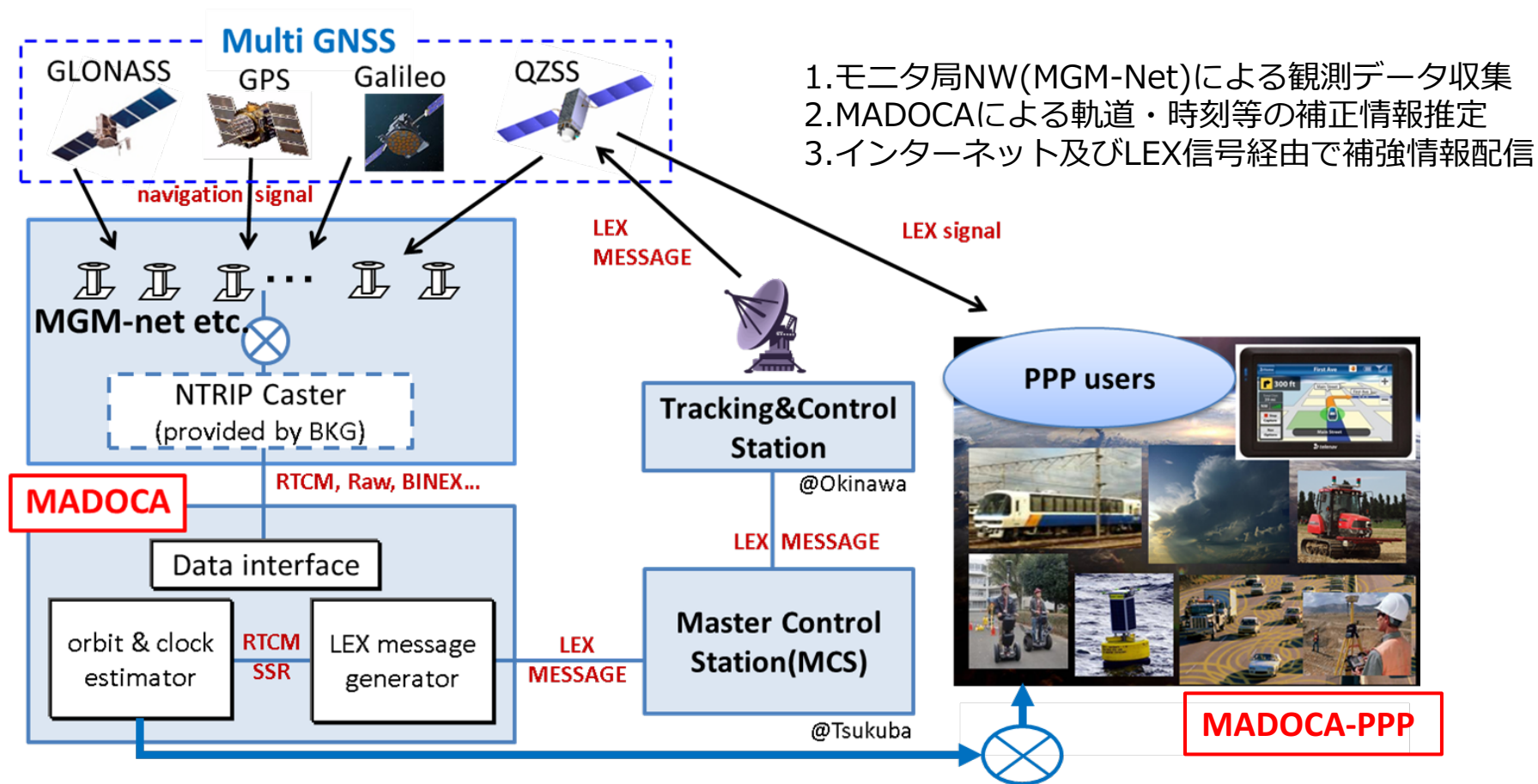
- ・ PPP方式を実現するために不可欠な精密軌道・クロック推定ソフトウェア
- GPS, GLONASS, QZSS, Galileo, BeiDouに対応
- グローバルに展開したモニタ局で収集した観測データから衛星軌道、クロックオフセット、コード/搬送波位相バイアス、電離層遅延、対流圏遅延量等を推定
- 最新の物理モデル実装、太陽輻射圧モデルの改良

◆ MADOCA-PPP (**Precise Point Positioning**)

- ・ MADOCAを用いて生成した精密軌道・クロックを用いた単独搬送波位相測位
- 測位解析ツールRTKLIBを機能拡張、ユーザ測位性能の評価を実施
- GPS, GLONASS, QZSS, Galileo, BeiDouに対応
- 二周波（L1/L2、L1/L5）利用、三周波
 - ・ 一周波利用についてもユーザレベルでの評価実施（移動体利用）
- アンビギュイティ推定機能＝PPP-AR
- 電離層・対流圏遅延量推定機能＝ローカル補正情報生成

 JAXAが開発。グローバルに高精度測位が可能

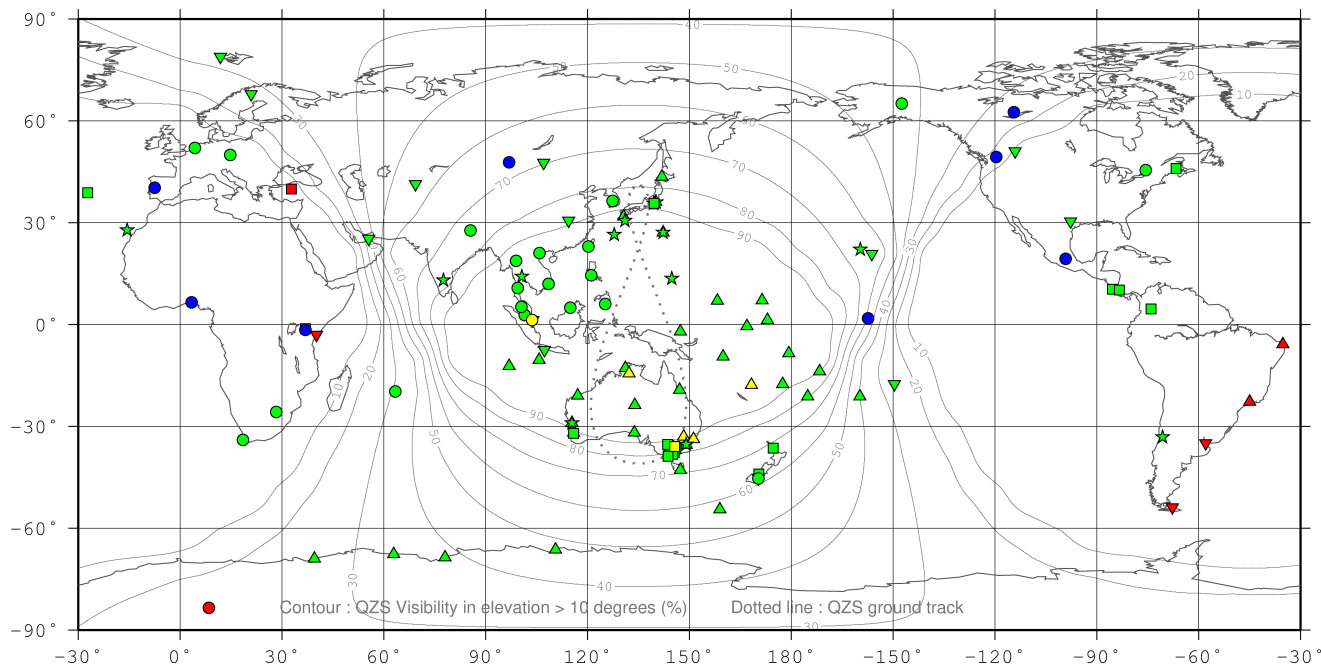
◆ リアルタイムMADOCA-PPPシステム概要



1. モニタ局NW(MGM-Net)による観測データ収集
2. MADOCAによる軌道・時刻等の補正情報推定
3. インターネット及びLEX信号経由で補強情報配信

◆ MGM-Net（複数GNSSモニタ局ネットワーク）の構築状況

MGM-Net: Multi-GNSS Monitoring Network



☆ QZS-1 Monitoring Station	□ Data Sharing Partner
△ Bilateral Sharing (Open to MGM-Net)	▽ Bilateral Sharing (Close to MGM-Net)
○ Hosting Sites	
Green : Under Operatoion	Yellow : Under Suspension
Blue : Under Construction	Red : Under Negotiation

※JAXA様提供資料

◆ 設立

2016年6月

◆ 幹事

代表	東京大学 空間情報科学研究センター	教授	柴崎 亮介
副代表	東京海洋大学 情報通信工学研究室	准教授	久保 信明
幹事	慶応義塾大学 システムデザイン・マネジメント研究科	准教授	神武 直彦
	株式会社デンソー		
	株式会社本田技術研究所		
	古野電気株式会社		
事務局	日立造船株式会社		

◆ 会員

（2017年7月現在）

一般会員	民間企業等	45 社
賛助会員	大学、研究機関等	19 機関・団体
オブザーバ	JAXA、官公庁他	7 機関・団体

◆ 設立趣意、目的

- MADOCAの利活用について産学連携体制で検討する。
- MADOCAに関する最新情報の共有、グローバル高精度測位に求められる性能・想定する使用方法等、実用化に向けた検討を分野横断的に行う。
- MADOCAの利活用に必要な提言を行う。

◆ 活動実績

- 2016年 8月 第1回意見交換会開催
- 2016年 9月 QZSSの海外向けサービスに関する提言書を提出
- 2016年11月 モビリティ1・2WT合同会合
- 2017年 3月 第2回意見交換会開催

◆ ホームページ

<http://www.ic-madoca.org/>

◆ 検討会からの提言

現在、準天頂衛星の「技術実証用」メッセージとして定義されているL6E信号の用途を、海外・海洋向けセンチメートル級測位補強メッセージとしてMADOCA配信を提案。

すでに定義されているL6D（CLAS：日本とその近傍向け補強）と併せて、準天頂衛星の利活用推進にはベストミックスとなる



準天頂衛星 2 号機より、L6E信号から海外向け技術実証用メッセージとしてMADOCAが配信されることが決定

※以下ドキュメントにMADOCAについて記載

センチメートル級測位補強サービス：ユーザインターフェイス仕様書（改訂）

センチメートル級測位補強サービス（技術実証）：サービス・レベル インフォメーション（新規）

◆ 複数GNSS対応高精度軌道時刻推定ツール

- ・ 複数GNSS対応
- ・ 後処理推定機能/リアルタイム推定機能
- ・ 最新モデルを用いた高精度推定
- ・ マルチスレッドによる処理負荷低減
- ・ 高い可搬性(端末にて稼働可能)

軌道時刻推定精度*1

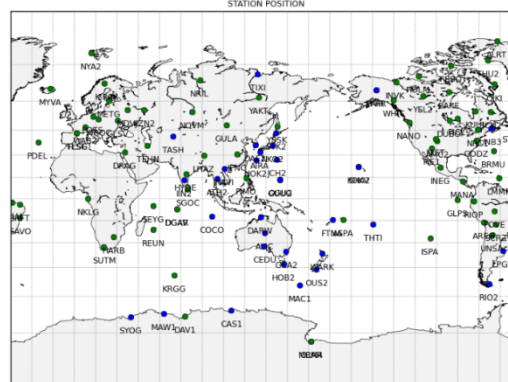
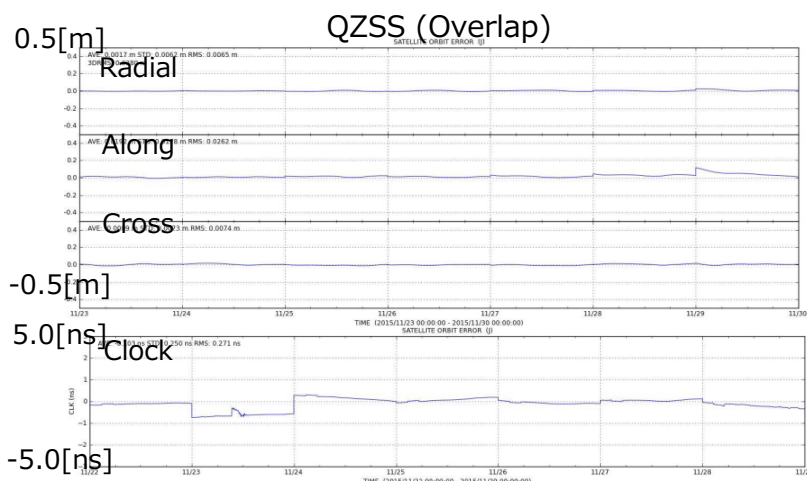
	Sys	Ref	Obt*3	Clk*4
Real-Time	GPS	IGF	5.00	0.10
	GLO*2	IAC	8.82	0.21
	QZSS	MGF	7.61	0.14
Offline (Final)	GPS	IGF	2.54	0.05
	GLO	IAC	6.27	0.20
	QZSS	Overlap	2.80	0.25

*1:2015年11月の1週間 *2:再生機能での結果 *3:3D-RMS(cm) *4:STD(ns)

	Offline	Real-Time
Algorithm	Iterated Weighted LSQ	Dual-Cycle-EKF
Estimated Parameters	Orbit, SRP/Emp-Acc, Clock, Position, ZTD/Grad, Ambiguity, Bias, EOP	
Measurements	ZD Carrier-Phase and Pseudo-range	
Clock Estimation	Parameter Elimination in NEQ	State as White-Noise or Random-Walk
Integer AR	Network AR (Ge., 2005)	Real-Time Network AR

※JAXA様提供資料

GPS (ref:IGF)

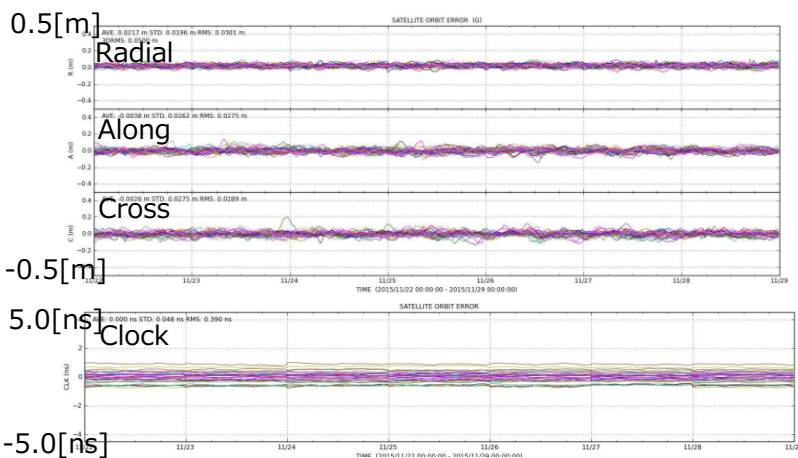


	Sys	Ref	Obt	Clk
Offline (Final)	GPS	IGF	2.54	0.05
	GLO	IAC	6.27	0.20
	QZSS	MGF	2.80	0.25

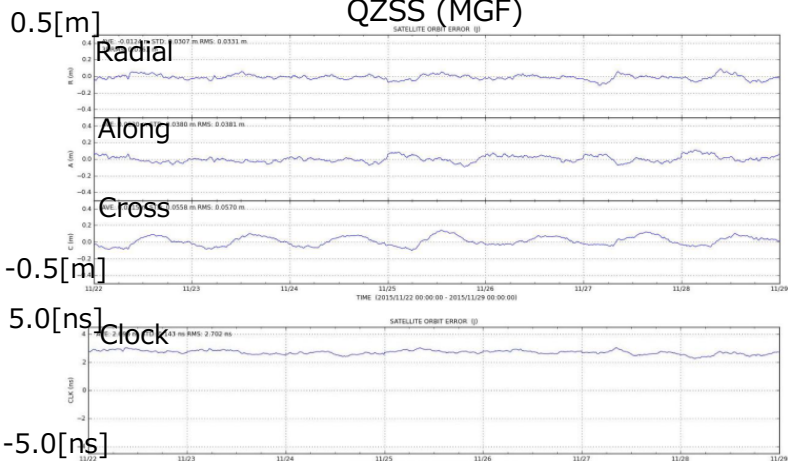
11

◆ MADOCAリアルタイム推定機能

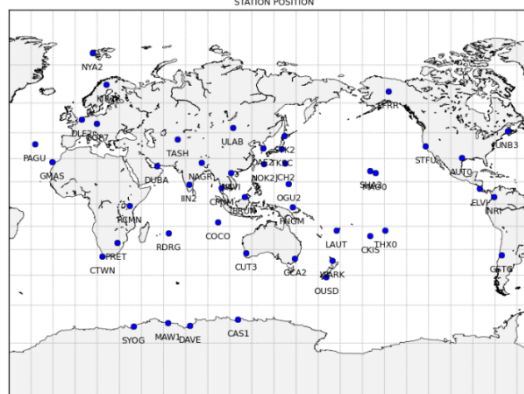
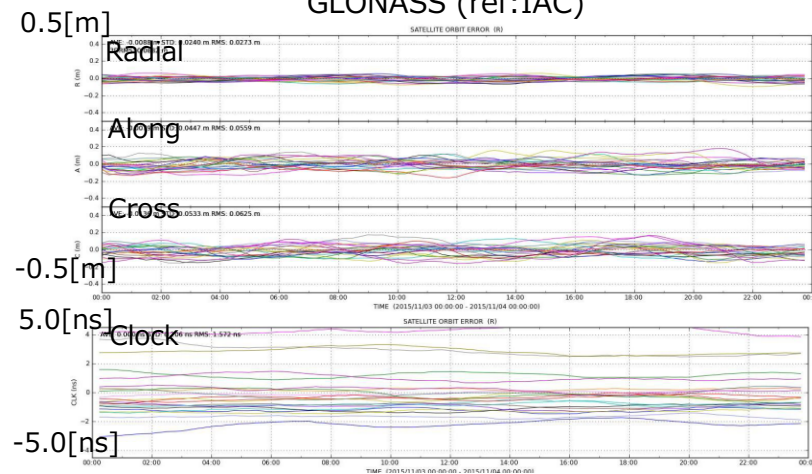
GPS (ref:IGF)



QZSS (MGF)



GLONASS (ref:IAC)



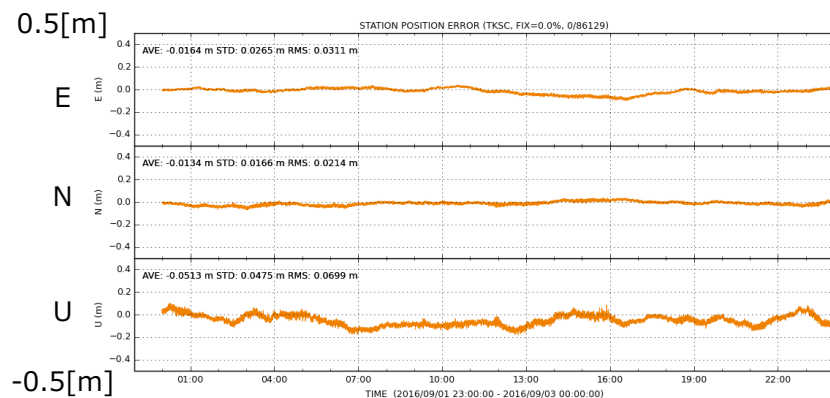
←リアルタイム推定機能の使用局

	Sys	Ref	Obt	Clk
Real-Time	GPS	IGF	5.00	0.10
	GLO	IAC	8.82	0.21
	QZSS	MGF	7.61	0.14

※JAXA様提供資料

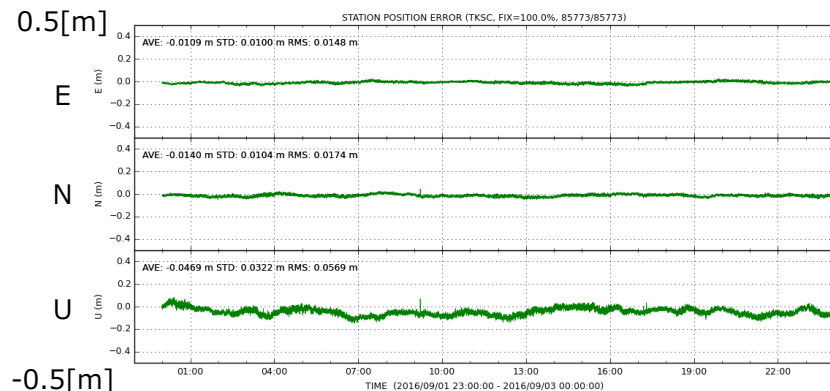
◆ リアルタイムMADOCA-PPP精度評価

PPP@TKSC 2016/09/03 IGF-PPP-Static



PPP	AVE	STD	RMS
E	1.6 cm	2.6 cm	3.1 cm
N	1.3 cm	1.7 cm	2.1 cm
U	5.1 cm	4.8 cm	7.0 cm

PPPAR@TKSC 2016/09/03 IGF-PPP-Static



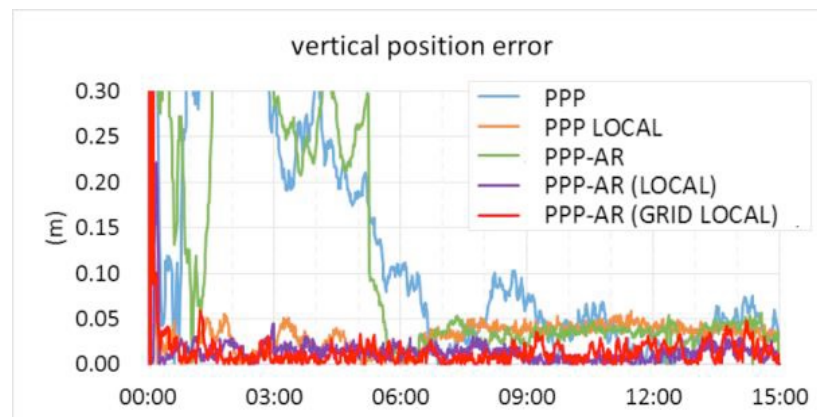
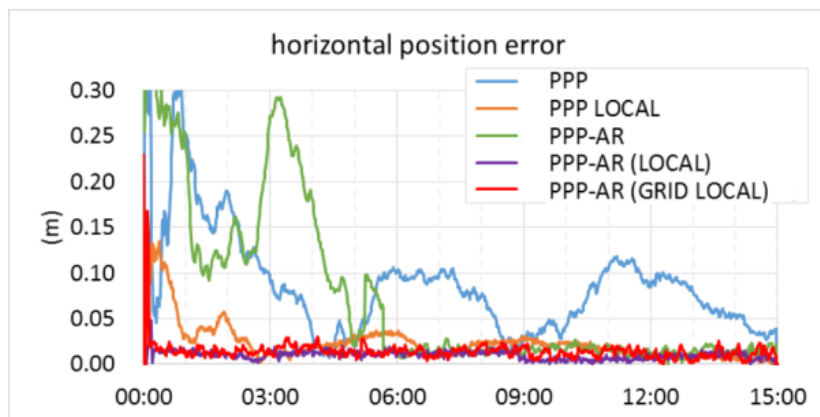
PPPAR	AVE	STD	RMS
E	1.1 cm	1.0 cm	1.5 cm
N	1.4 cm	1.0 cm	1.7 cm
U	4.7 cm	3.2 cm	5.7 cm

- ・ 異常衛星（低品質信号）の除外、残差検定
- ・ ミスFixの低減、防止
- ・ パラメータチューニング

※JAXA様提供資料

◆ 収束時間の短縮化

- PPPの課題点⇒収束時間
- 搬送波位相アンビギュイティと電離層・対流圏遅延量推定の収束に要する時間が支配的
- 電離層・対流圏伝播遅延量は空間的な相関のあるパラメータであり、ローカルな地上観測網の観測データを用いて補強情報を生成可能
- 生成する地域に制約はない
- PPPユーザに対し外部で推定された上記補強情報を提供⇒**収束時間短縮**



オープンスカイ静止点でのローカル補正情報適用有無の例
(左：水平方向 右：垂直方向)

※JAXA様提供資料

- ①単独測位である
- ②高精度である
- ③精度が地域によらない



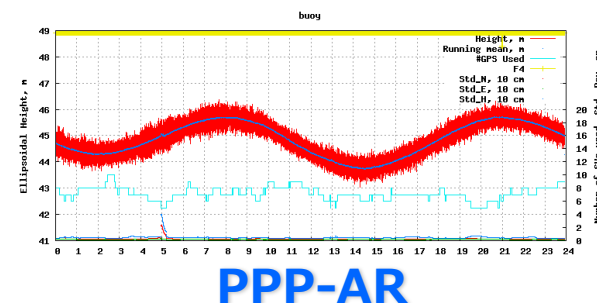
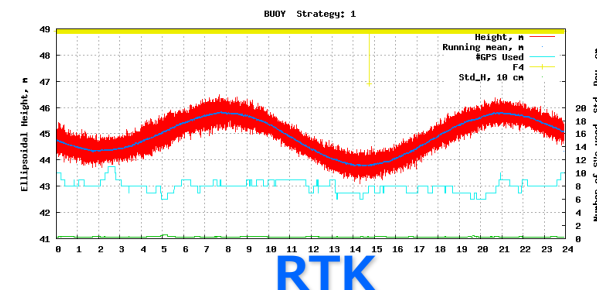
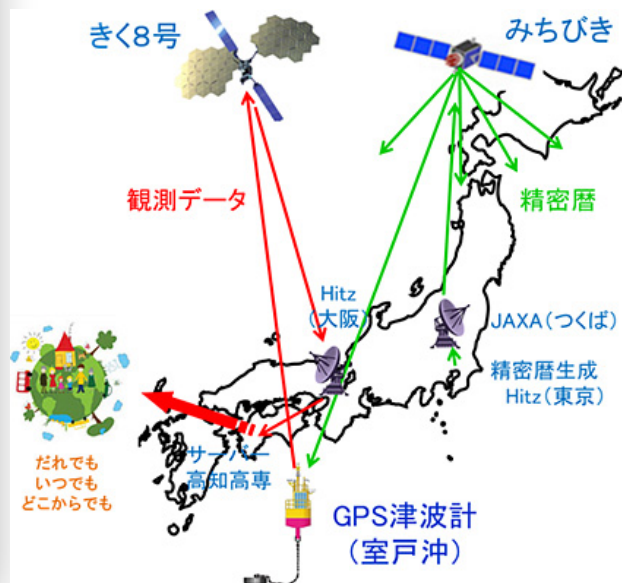
さまざまな分野において
PPP利用の期待が高まっている



※JAXA様提供資料

◆ 日立造船のこれまでの取組み

＜GNSS波浪計・津波計＞



＜PPP-AR測位利用の効果＞

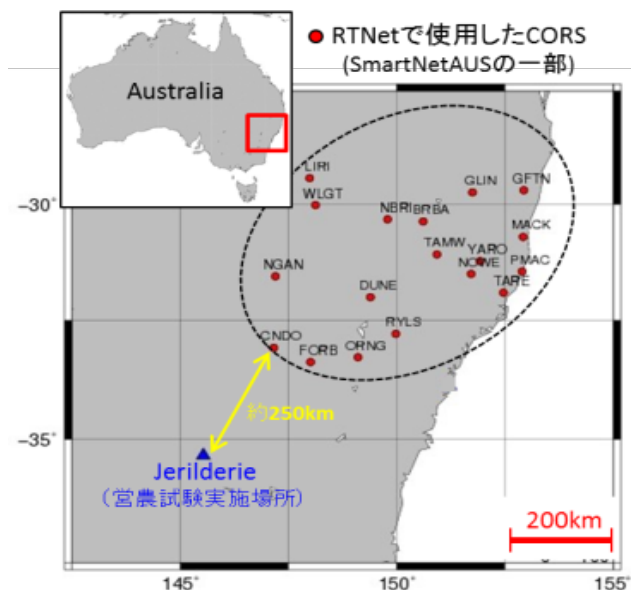
- より遠洋にブイを投入することが可能
- 基準点によらない絶対測位が可能（被災地付近では通信インフラの停止や大規模地殻変動の発生により基準点の利用ができない可能性が高い）
- 従来方式(RTK測位)に比べ補正データのサイズが小さく、無線通信のコストが抑えられる

◆ 日立造船のこれまでの取組み

<農機自動運転（オーストラリア）>

<PPP-AR測位利用の効果>

- ・ 基準点網から離れた場所で高精度測位が可能
- ⇒ 基準点網が十分整備されていない
- 海外での運用を実証
- ⇒ 条間40cmをタイヤ幅30cmが走行



実験で使用した基準点



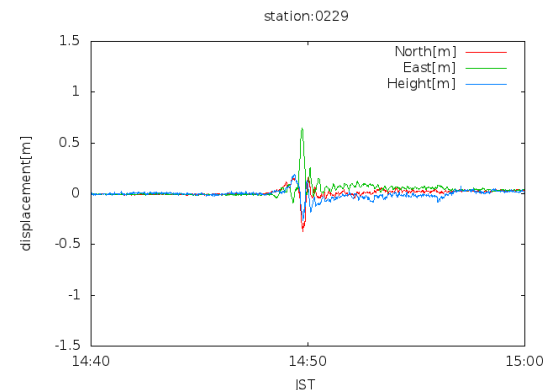
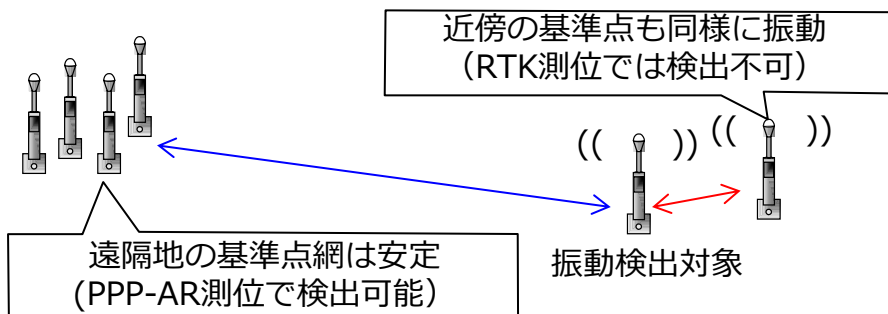
条間走行

◆ 日立造船のこれまでの取組み

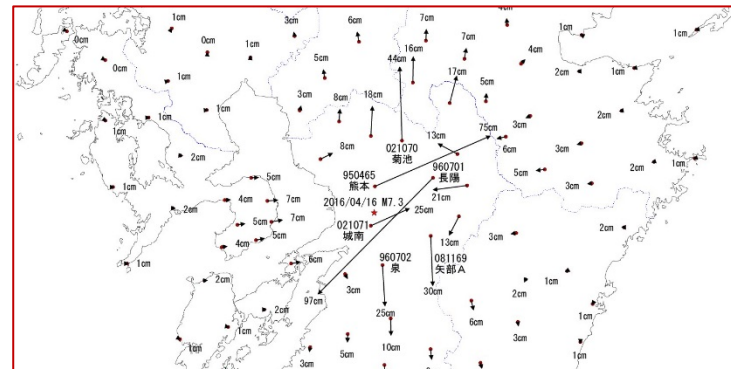
＜地殻変動監視＞

＜PPP-AR測位利用の効果＞

- 地震発生時は同地域内の電子基準点が一斉に振動してしまうため、従来方式(RTK測位)では検出不可
⇒基準点によらない絶対測位での検出が可能



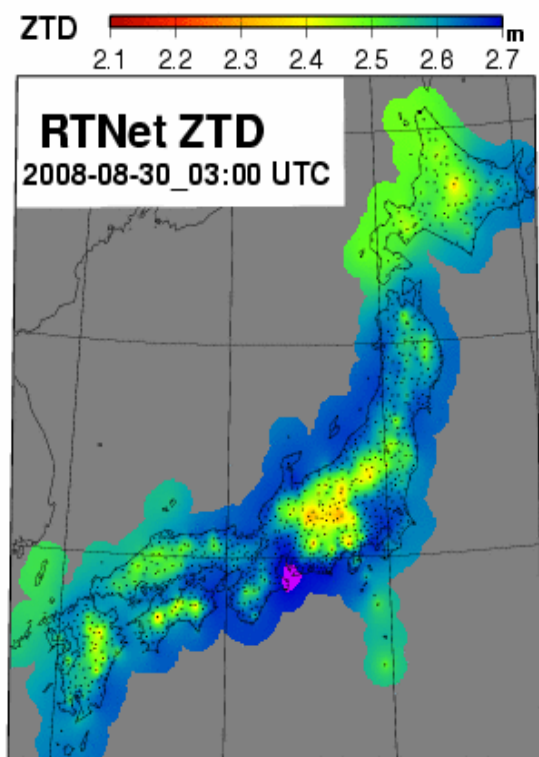
熊本地震発生後の地殻変動（2016.4.14～5.14）



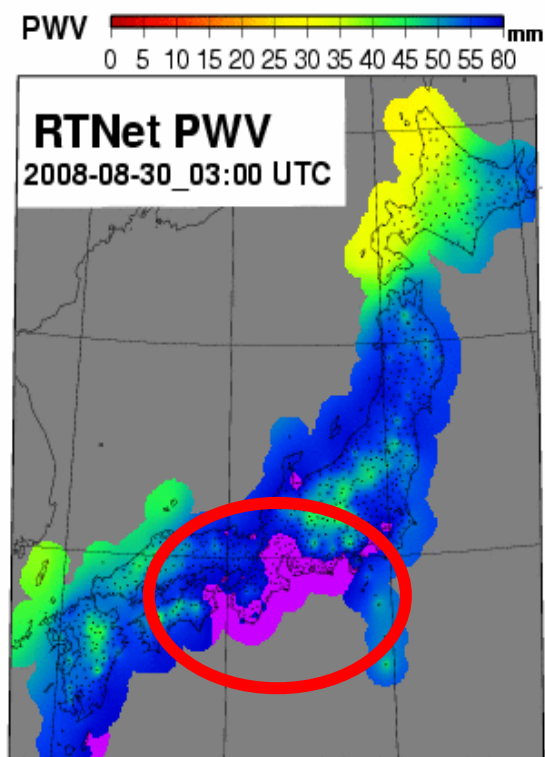
GEONETによる地殻変動監視(4月16日前後)
国土地理院ホームページより抜粋

◆ 日立造船のこれまでの取組み

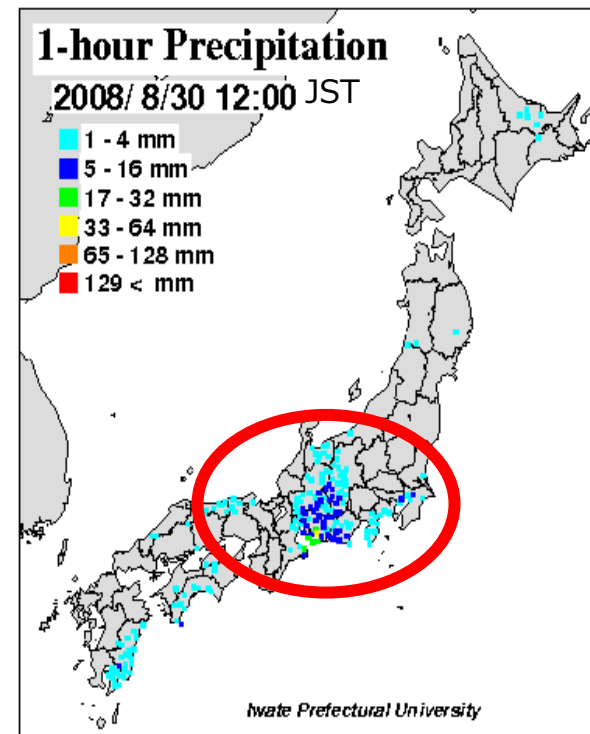
＜可降水量推定＞



True Real-time Product N_Site 1128
天頂遅延量



True Real-time Product N_Site 1128
GNSS可降水量

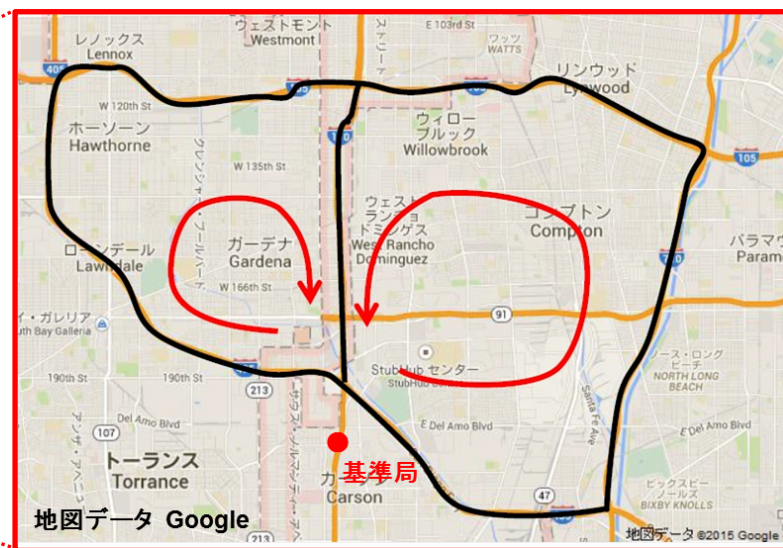


1時間降水量

- GNSSにより天頂方向における対流圏遅延量を計測
- 天頂遅延量から、気温と気圧の影響を考慮することで可降水量に変換
- 2008年8月末の岡崎豪雨の例。実際の降水量と可降水量の分布に相関
- 集中豪雨の実況・予測に効果

◆ 移動体（自動車）走行実験@US

- 測位方式：PPPAR+Local補正情報
- 使用衛星システム：GPS、GLONASS
- ローカル補正情報生成局：自設局1点
- アンテナ/受信機：JAVAD G5T/JAVAD DELTA3
- リファレンス：POSLV
- MADOCA暦はNtrip経由（NW経由）で取得

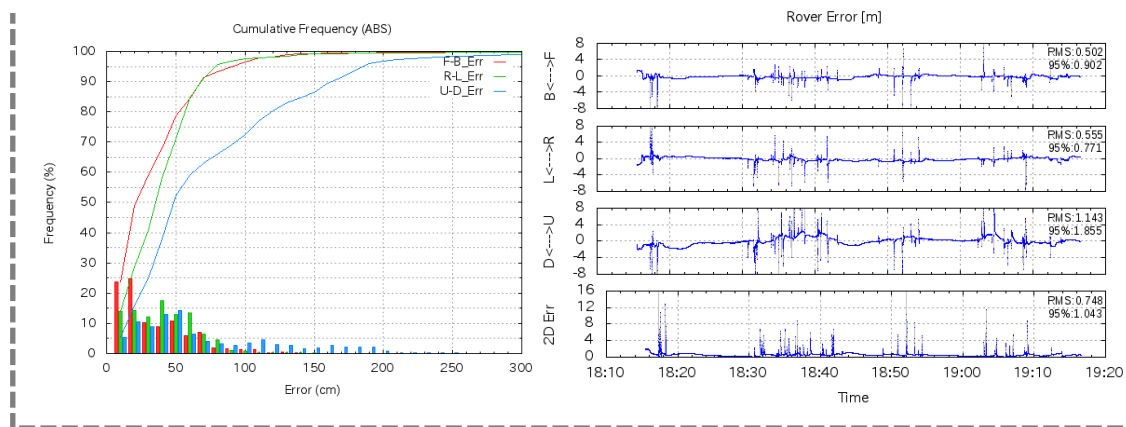


※本田技術研究所様-JAXA間様共同研究において収録・解析 ※JAXA様提供資料

◆ 移動体（自動車）走行実験@US

➤ 後処理解析結果

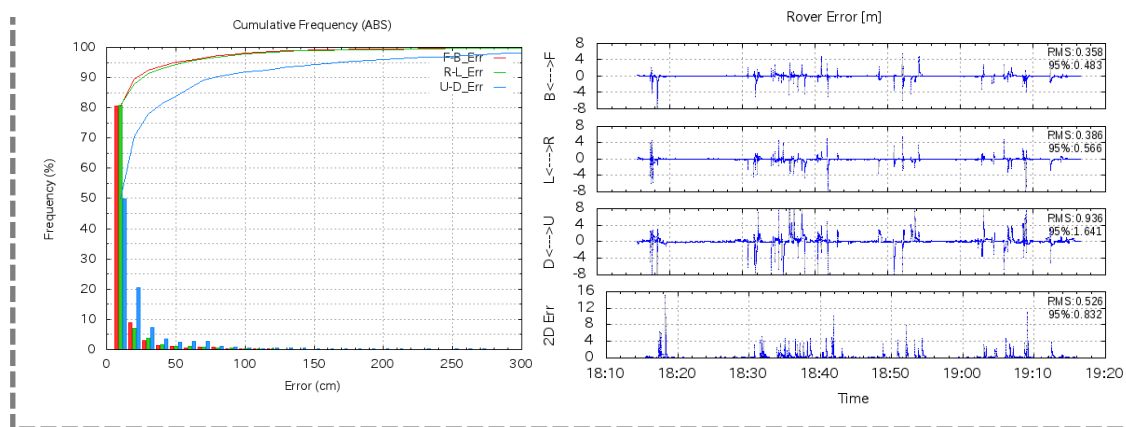
PPPAR



24周回分の統計値

RMS[m]	F-B	R-L	U-D	Hori	Fix
PPPAR	0.42	0.43	1.01	0.60	6 %
+ Local	0.35	0.38	0.99	0.52	74 %

PPPAR +Local



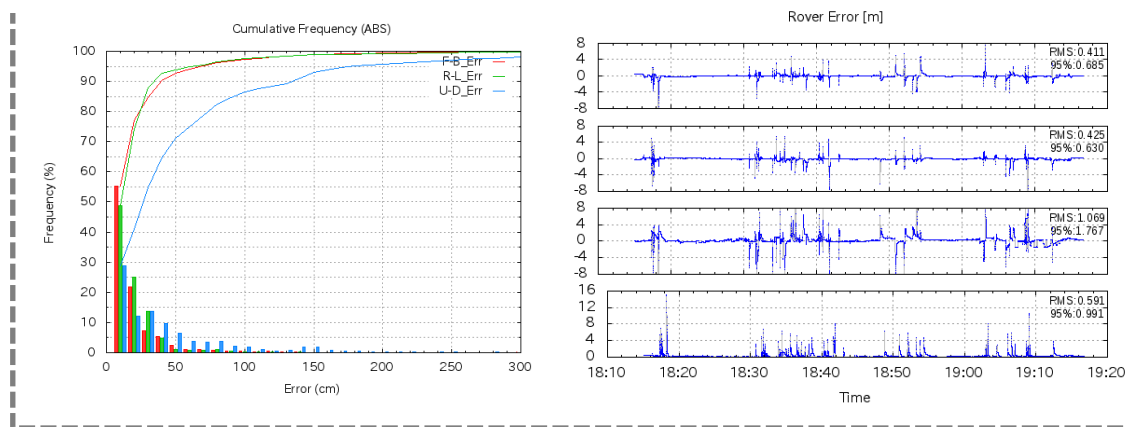
- 日本やアジア域外においてもMADOCAの利用が可能
- PPPARは従来PPPより精度向上
⇒容易に車線判別が可能
- +Localで更に精度・Fix率が向上
⇒再収束過程における収束高速化の効果が確認できる

※本田技術研究所様-JAXA間様共同研究において収録・解析 ※JAXA様提供資料

◆ 移動体（自動車）走行実験@US

➤ リアルタイム解析結果

PPPAR +Local



24周回分の統計値

RMS[m]	F-B	R-L	U-D	Hori	Fix
Real Time	0.39	0.42	1.16	0.57	42 %

・リアルタイムにおいても、車線判別等が十分容易に行える精度を得た

■ 現状の課題

移動体においては時々刻々と変化する周辺環境やマルチパスの影響を受けており、オープンスカイ静止点と同等の結果を得るには至っていない

⇒数多くの衛星の観測値の中から品質の容易の良い観測値のみを選択し劣化信号を除去するアルゴリズム開発等については引き続きの課題である

※本田技術研究所様-JAXA間様共同研究において収録・解析 ※JAXA様提供資料

◆ 移動体（自動車）走行実験@霞ヶ浦湖畔

- 測位方式：PPPAR+Local補正情報
- 使用衛星システム：GPS、GLONASS、QZSS
- ローカル補正情報生成局：電子基準点3点
- リファレンス：後処理RTK
- MADOCA暦はNtrip経由（NW経由）で取得
- リアルタイム解析結果



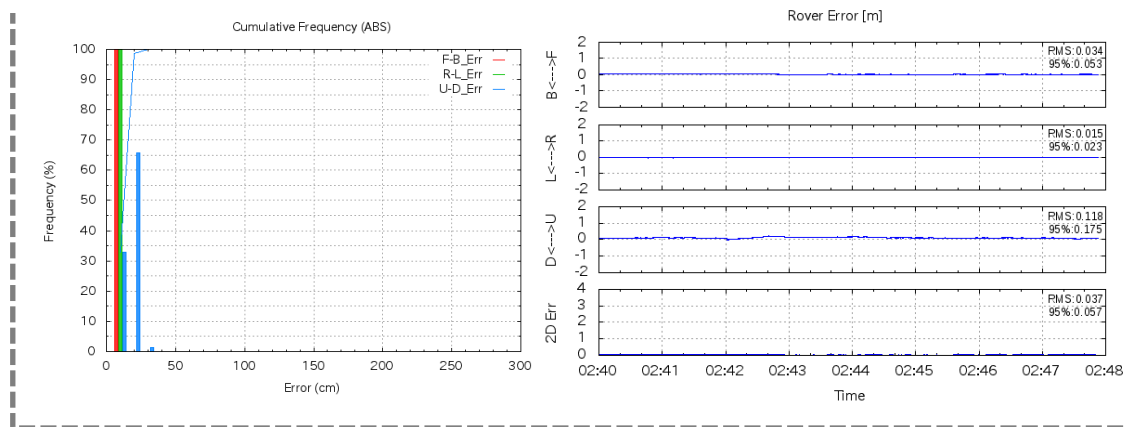
完全なオープンスカイ環境

※JAXA様提供資料

◆ 移動体（自動車）走行実験@霞ヶ浦湖畔

➤ リアルタイム解析結果

PPPAR +Local



RMS[m]	F-B	R-L	U-D	Hori	Fix
Real Time	0.03	0.02	0.12	0.04	100 %

- 移動体においてMADOCA-PPPを利用してセンチメートル級の高精度測位を実現

<会社概要>

- ◆会社名 グローバル測位サービス株式会社
Global Positioning Augmentation Service Corporation
- ◆設立 2017年6月15日
- ◆所在地 東京都中央区銀座8丁目17番5号
- ◆代表取締役 小澤 秀司 （元JAXA理事）
- ◆出資金 92 百万円
- ◆出資会社 日立造船株式会社
株式会社 日本政策投資銀行
株式会社 デンソー
日立オートモティブシステムズ株式会社
日本無線株式会社

グローバル測位サービス株式会社（２）

- グローバルな高精度測位サービスの事業化をめざし、企画会社を設立。
- 将来の事業化に向け、事業性・実用性の評価・検討作業を実施する。

