

日 ASEAN 新産業創出実証事業
「高精度測位技術を活用した
高精度ルートガイダンスシステムの検討」

実証事業報告書

2018年4月

豊田通商株式会社

目次

第1章 実証事業の背景	1
第2章 実証事業の目的	2
2.1 既存ナビゲーションシステムの課題	2
2.2 高精度測位技術の活用	2
2.2.1 準天頂衛星システム(Quasi-Zenith Satellite System)	3
2.2.2 MADOCA	7
第3章 事業実施体制	8
3.1 実施体制	8
第4章 実施スケジュール	14
4.1 実施スケジュール	14
4.2 業務フローチャート	15
第5章 実証実験	16
5.1 実証実験の概要	16
5.1.1 実証実験の目的	16
5.1.2 実証システムの概要	16
5.1.3 実証コースの選定	19
5.2 実証実験の実施	25
5.2.1 実施体制	25
5.2.2 実証実験方法	27
5.2.3 評価	37
5.2.4 課題の抽出と対策	51
第6章 今後の具体的戦略と活動	56
6.1 事業化に向けた活動	56
6.1.1 GNSS イノベーションセンター開所式	56
6.2 ビジネスモデルの検討	58
6.2.1 渋滞情報を活用した既存のビジネスモデル	58
6.2.2 本実証事業を活用したビジネスモデル	60
第7章 まとめ	73
添付資料（開発内容及び実験内容）	74
第8章 システム開発・整備及び性能評価	75
8.1 高精度測位技術	75
8.1.1 マルチ GNSS 受信機	75
8.1.2 ローカル補正情報	110
8.2 高精度ルートガイダンスシステム	124
8.2.1 高精度ルートガイダンスシステム構成及び仕様	124
8.2.2 高精度交通情報を活用したルート探索	125
8.2.3 高精度ルートガイダンス（UI、音声）	131
8.2.4 自転車走行レーンを考慮した案内	138
8.3 交通情報生成システム	147
8.3.1 交通情報生成システム	147
8.3.2 レーン別渋滞情報生成機能	154
用語集	161

第1章 実証事業の背景

未来投資戦略 2017（2017年6月閣議決定）にて、「我が国の産業が目指すべき姿は、「Connected Industries」、すなわち、高い技術力や現場の知見に裏付けられた臨機応変な課題解決力といった我が国の強みを最大限活かしながら、IoT などによって様々なものをネットワーク化し、顧客や社会の課題解決に資する新たな付加価値を生み出す産業社会である。」とされており、モノの位置情報や時刻情報が益々重要なものとなる。そのなかで、内閣府が我が国のインフラとして、開発・運用する準天頂衛星システムは、「Connected Industries」の中核的基盤として期待されている。準天頂衛星システムは宇宙基本計画（2016年4月1日閣議決定）において2018年度に衛星4機体制を確立し、高精度測位サービスなどの実現を通じた、農業機械の自動走行、防災システムの高度化などを図ることが掲げられていることに加えて、2023年を目途に準天頂衛星7機体制を通じた持続測位の実現及び衛星測位技術や地理空間情報技術に関する研究開発基盤の維持・強化をもって、国内のみならず、アジア・太平洋における高精度測位情報の配信サービスの事業化支援や、欧州のGalileo衛星の信号との相互運用性の確保を通じた欧州などへの国際展開を図るものとされている。

また、タイにおいては、タイが今後20年間にわたって、長期的に目指すビジョンとして「タイランド4.0」が示されている。「タイランド4.0」は先進国入りに向けた国家戦略に沿ったビジョンであり、イノベーションや生産性の向上、貿易の多角化などを通じた持続的な付加価値を創造できる経済社会がビジョンとして定義されている。「タイランド4.0」の実現にはデジタル技術の活用がカギを握るとされており、「タイ・デジタル経済社会開発20ヵ年計画」を合わせて採択し、デジタル国家への全面的な転換を目指すものとされている。

本実証事業は、準天頂衛星システムという我が国のインフラ、(国)宇宙航空研究開発機構(JAXA)が開発した測位信号補正データ生成システム「MADOCA(Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis)」などを活用することで、自車走行レーンに対応したナビゲーションを行う高精度ルートガイダンスを実現し、当該ルートガイダンスシステムを現地の物流業者が活用することにより、配送時間短縮などの効率化が実現されることによる、タイにおける次世代高付加価値サプライチェーンの構築への貢献を目指している。

また、本実証事業を通じて、ASEAN地域のリーダーであるタイがASEAN地域他国に先駆けて、高付加価値物流を実現の上、社会課題を解決することに貢献することで、ASEAN地域他国への我が国の準天頂衛星システムによるサービスや受信機などのインフラ輸出を促進するなど、日タイ双方にとって有益な実証となることを期待するものである。

第2章 実証事業の目的

2.1 既存ナビゲーションシステムの課題

現在のナビゲーションシステムは一般的に GPS 衛星から送信される測位信号のみを利用して位置測定を行っている。しかしながら GPS 衛星のみの測位の場合、位置測位精度誤差が5～10mとなるため、車が現在走行しているレーンを正しく認識することは困難である。そのため、現在のナビゲーションシステムで生成される渋滞情報は複数のレーンの混雑情報を統合的に計算したものであり、レーン毎の渋滞情報は生成できていない。従って、たとえ自車が走行しているレーンが渋滞していない場合でも、自車を含む複数レーンが渋滞であると情報が生成された場合には、本来不必要な迂回などのガイダンスが発生するなど、車を効率的に誘導できないという事態が発生する状況である。そこで本実証事業では、高精度測位技術を活用することで自車走行レーンを考慮可能な高精度ルートガイダンスシステムを開発し、現在のナビゲーションシステムとタイ現地での走行試験をもとに比較検証を行い、高精度ルートガイダンスの実用性の検討と事業化に向けた課題の抽出を行うことを目的とする。

2.2 高精度測位技術の活用

本実証事業が目指すレーン毎の渋滞情報に基づいて車を効率的に誘導する高精度ルートガイダンスシステムを構築するためには、高精度測位技術を活用して自車走行レーンを認識しドライバに通知することを可能とするよう、以下の開発を行う必要がある。

- ・タクシーなどの市中を走行する車に高精度プローブ情報発信機を取り付け、そこから取得した高精度プローブ情報に基づき、特定交差点の進行経路や旅行時間のような高度交通情報を配信する交通情報配信サーバ
- ・交通情報配信サーバから取得した高精度交通情報に基づき、ルートを探索しルートガイダンスを生成するルート探索及びルート案内システム

これにより、異なるレーン毎にタクシー車両をプローブカーとして同時に走行させることで収集するレーン単位の高精度プローブ情報を基にレーン毎の渋滞情報を生成し、その情報を高精度ルートガイダンスへ反映させることで効率的な案内を行うことが可能となる。本実証事業では、高精度ルートガイダンスシステムを実現するための高精度測位技術として準天頂衛星システム及びMADOCAを利用することとした。

2.2.1 準天頂衛星システム(Quasi-Zenith Satellite System)

準天頂衛星は、GPS 衛星の補完・補強を目的として、我が国が独自に開発した測位衛星である。衛星測位を実施するには4機以上の衛星が必要であるが、位置誤差を改善し、安定した位置情報を得るためには8機以上が見えることが好ましいとされている。GPS 衛星は31機が地表全体をカバーするように周回しているものの、各地点で見える衛星数は6基程度にとどまることに加えて、都市部や山間部においてはビルや樹木などに電波が遮られて可視衛星数が4機よりも減り、位置情報が安定的に得られないことが多く、GPS 衛星のみで高精度測位を行うには衛星数が不足している状況である。

準天頂衛星システムは準天頂衛星と静止衛星で構成されており、日本を含む特定の一地域の上空に長時間とどまる軌道をとる衛星であるため、GPS 衛星のみの測位で問題となる、ビルや樹木などによる可視衛星数の減少を補うことができる。このように準天頂衛星と3機以上のGPS 衛星と組合せて活用することによって安定した測位が可能となる場所が拡大することが期待されている。加えてGPS 互換である準天頂衛星信号を受信できる受信機を安価に調達することができるようになれば、地理空間情報を高度に活用した位置情報ビジネスの発展が期待できる。

また、準天頂衛星からは種々の補強情報が配信されており、その補強情報を活用することでセンチメートル級まで測位精度を大幅に向上させることが可能となる。この機能により交通ナビゲーションなどの分野をはじめ、様々な分野への利活用が見込まれている。

(1) 準天頂軌道

GPS を補うことを目的とした場合、常に日本上空（日本国内の地上から見た天頂付近）に衛星を静止させることができれば理想的であるが、地球の引力と遠心力の方向が異なるため、衛星を日本上空に静止させることは不可能である。そもそも静止衛星とは、地表から常に見えるようにするため、経度を固定したまま赤道上空に静止させたものである。この静止衛星を南北方向に振動させたものを傾斜静止軌道衛星といい、その軌道は南北対称の「8の字軌道」となる。この傾斜静止軌道衛星のうち、北半球では地球から遠ざけることで速度を遅くし、南半球では地球に近づけることで速度を速くしたものが準天頂軌道の衛星となる。日本付近に長くとどまるようにするため、準天頂衛星の準天頂軌道は、南北非対称の「8の字軌道」になり、北半球に約13時間、南半球に約11時間留まるように設計されている。結果として準天頂衛星システムは日本だけでなくアジア・オセアニア地域での利用にも特化したシステムとなっている。この準天頂軌道の特徴により、準天頂衛星システムのアジア・オセアニア地域へのインフラ輸出などが検討されており、将来的にはこれらの地域でも準天頂衛星システムが活用されることが予想される。本実証事業はこの準天頂軌道の特徴を利用してタイでの走行試験を行うものである。図 2.2.1-1 に準天頂軌道を示す。

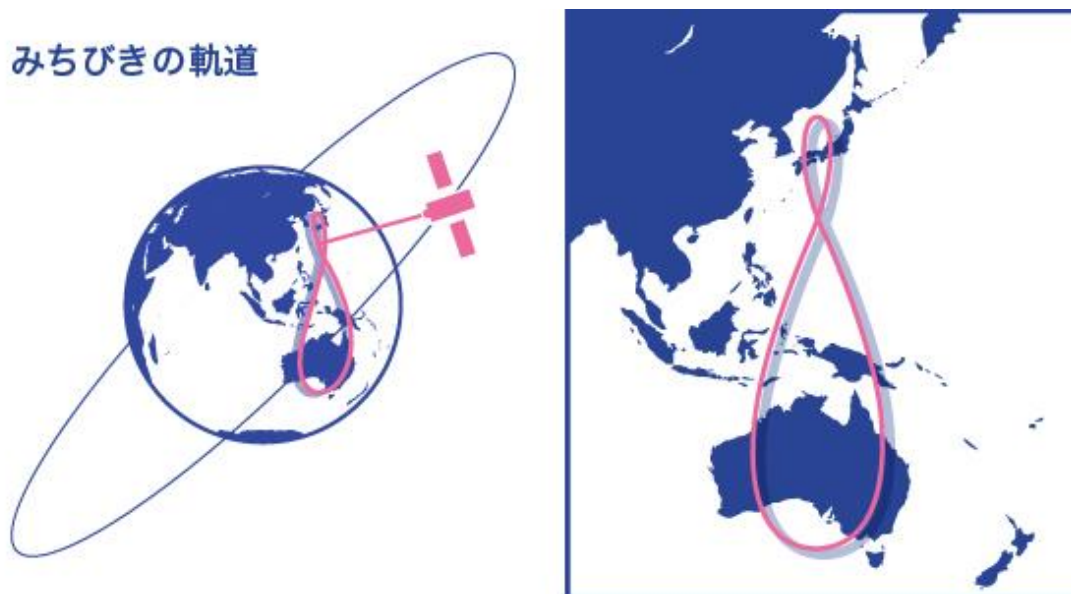


図 2.2.1-1 準天頂軌道

(出典: http://qzss.go.jp/technical/technology/tech01_orbit.html)

(2) 準天頂衛星システムのサービス

準天頂衛星システムでは、衛星測位サービスに加えて測位補強サービスや災害危機管理通報サービスなど複数のサービスが提供される。ASEAN 諸国へのインフラ輸出の際にはこれらのサービスも展開されることが予想される。表 2.2.1-1 に準天頂衛星システムを活用したサービスの一覧を示す。

(a) 衛星測位サービス

準天頂衛星から GPS と同一周波数・同一時刻の測位信号を送信することで、GPS と一体となって使用することが可能となり、障害物により減少していた可視衛星数減少を補うことで、高精度な測位を可能とするサービス。

(b) サブメータ級測位補強サービス

電離層に起因する誤差 10m の軽減のため電離層情報を配信するサービス。サブメータ級測位補強により誤差 1 m 以下で測位を行うことが可能となる。

(c) センチメータ級測位補強サービス

高精度な衛星測位を行うため、位置情報が既知である国土地理院の電子基準点を用いて補正情報を管制局で計算し、現在位置を正確に求めるための情報（センチメータ級測位補強情報）を準天頂衛星から送信するサービス。

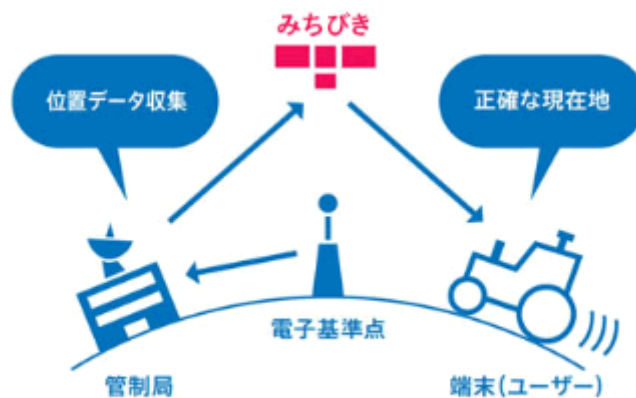


図 2.2.1-2 センチメートル級測位補強サービスのイメージ図
 (出典：http://qzss.go.jp/overview/services/sv06_clas.html)

(d) 測位技術実証サービス

新たな高精度測位技術を開発した際に、準天頂衛星を活用して測位技術の実証を行うサービス。

(e) 災害・危機管理通報サービス「災危通報」

防災・危機管理の政府機関から、地震、津波などの災害情報、テロなどの危機管理情報、避難勧告などの発令状況について、準天頂衛星から送信するサービス。

(f) 衛星安否確認サービス「Q-ANPI」

災害時における、避難所の情報を準天頂衛星経由で管制局に送信し、収集するサービス。準天頂衛星のうち、静止軌道に配置している衛星で利用することができる。

(g) 公共専用サービス

測位信号への妨害電波、偽測位信号の送信など悪意のある干渉を回避することを目的として、政府が認めた利用者だけが使用できる信号を配信するサービス。

(h) SBAS 配信サービス

準天頂衛星の静止軌道衛星を用い、航空機などに対して測位衛星の誤差補正情報や不具合情報を提供する SBAS (衛星航法補強システム) 信号を配信するサービス。

高精度測位情報を生成するサービスとしてはセンチメートル級測位補強サービスが挙げられるが、本サービスが提供されるサービスエリアは日本国内に限られており (出典：パフォーマンススタンダード (PS-QZSS) 及びユーザインタフェース仕様書 (IS-QZSS) <http://qzss.go.jp/technical/system/l6.html#section01>)、タイでの利用ができない状況であ

る。そのため、本実証事業においてはセンチメートル級測位補強サービスと同等の高精度測位が可能であり、準天頂衛星の L6E 信号より配信される MADOCA で生成されたグローバル補強情報を利用することとした。

表 2.2.1-1 準天頂衛星システムサービス

信号名称		初号機			配信サービス
		2～4号機			
		準天頂軌道	準天頂軌道	静止軌道	
		1機	2機	1機	
L1C/A		○	○	○	衛星測位サービス
L1C		○	○	○	衛星測位サービス
L1S		○	○	○	サブメートル級測位補強サービス 災害・危機管理通報サービス
L1Sb		-	-	○ 2020年頃か ら	SBAS 配信サービス
L2C		○	○	○	衛星測位サービス
L5		○	○	○	衛星測位サービス
L5S		-	○	○	測位技術実証サービス
L6	D	○	○	○	センチメートル級測位補強サービス
	E	-	○	-	MADOCA グローバル補強情報配信
Sバンド		-	-	○	衛星安否確認サービス

(出典 : http://qzss.go.jp/overview/services/sv03_signals.html を基に

豊田通商株式会社作成)

2.2.2 MADOCA

MADOCA (Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis) は(国)宇宙航空研究開発機構(JAXA)が開発した測位信号補正データ生成システムである。全世界で98局運用(2016年3月25日時点)されているグローバルGNSS観測点網(MGM-Net)より取得した測位情報を基に、MADOCAにより精密に推定した測位衛星の軌道・クロック推定結果などに基づき、センチメートル級の高精度測位に必要な補正情報の生成を行う。この補正情報をグローバル補正情報という。同技術の活用によって、海外や海洋も含めたグローバルな環境での高精度測位の利用が期待されている。本実証事業ではMADOCAを使用してJAXAよりセンチメートル級の測位を可能とするグローバル補正情報を取得する。グローバル補正情報は準天頂衛星2号機より発信される実証用信号であるL6E信号によって衛星経由での配信と併せてインターネット経由で配信もされている。本実証事業ではこの2種類の配信方法を利用してグローバル補正情報を取得するものとする。

グローバル補正情報は全世界に高精度測位情報を配信が可能であるものの、高精度測位が可能となるまでの収束時間が30分程度かかるため、利活用には課題がある状況である。しかしながら、ローカル補正用基準局より生成されるローカル補正情報を活用することにより収束時間を1分以下まで短縮することが可能となる。本実証事業ではグローバル補正情報による高精度測位を行うとともに、タイのChulalongkorn大学に設置されたローカル補正用基準局を用いることによりローカル補正情報を活用した検証を行うこととした。本実証事業におけるグローバル補正情報とローカル補正情報の活用イメージを図2.2.2-1に示す。

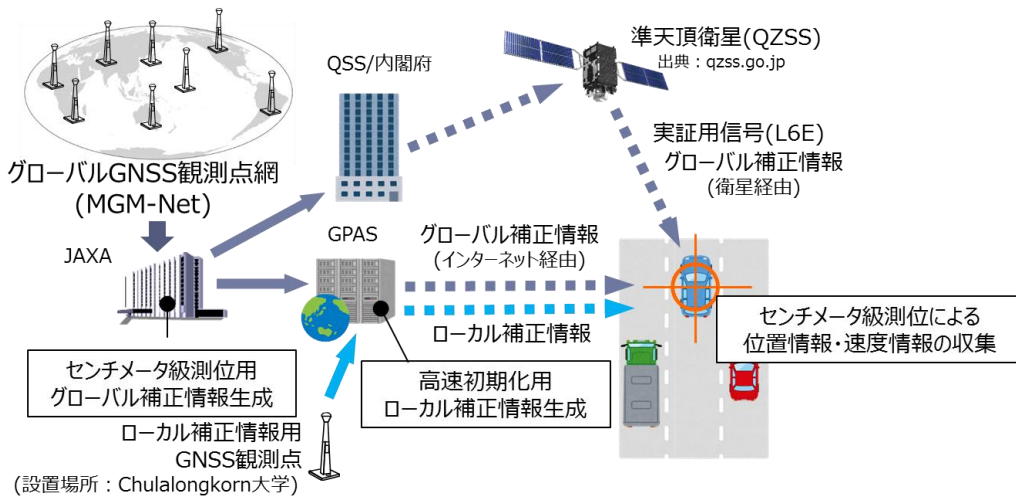


図 2.2.2-1 グローバル補正情報とローカル補正情報活用のイメージ図

第3章 事業実施体制

3.1 実施体制

図 3.1-1 の実施体制図に示すように日本企業 6 社、タイ企業 4 社の計 10 社で本実証事業を実施している。本実証事業のプロジェクトは、本実証事業参画企業により構成される以下の 4 つのグループにより推進した。

- ・プロジェクト管理
- ・ナビソフト WG
- ・高精度測位 WG
- ・実証実験 WG

(1) プロジェクト管理

本グループは本実証事業のプロジェクト全体の管理を行うことを目的としている。図 3.1-2 に示すように本プロジェクトの管理・実施責任者は豊田通商株式会社が担当している。また、本プロジェクトの準天頂衛星に係る支援業務や成果物管理支援を株式会社日本総合研究所が実施している。

(2) ナビソフト WG

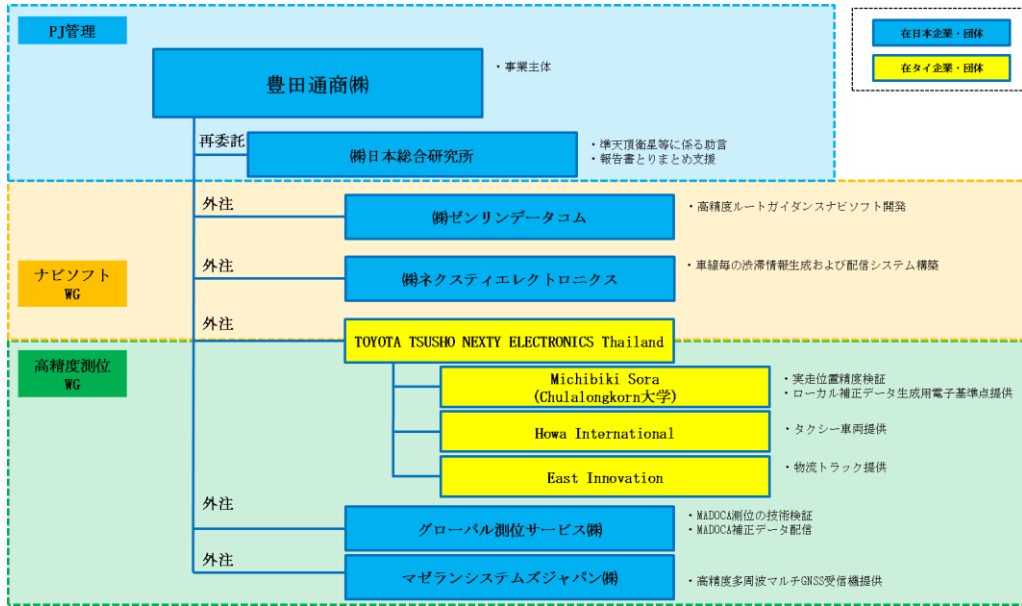
本グループは本実証事業に使用する高精度ルートガイダンスナビゲーションシステム及びそのシステムに用いるレーン毎の渋滞情報の生成プロセスの開発を目的としている。高精度ルートガイダンスナビソフトの開発は株式会社ゼンリンデータコムが、レーン毎の渋滞情報生成及び配信、走行車から得られるプローブデータの解析は株式会社ネクスティエレクトロニクスが実施している。

(3) 高精度測位 WG

本グループはMADOCA 補正データを活用したグローバル補正及びローカル補正情報の生成・適用、高精度測位を行う受信機として使用するマルチ GNSS 受信機の準備を目的としている。MADOCA 補正データの配信用サーバ構築、運用及び技術検証をグローバル測位サービスが、マルチ GNSS 受信機の提供及び位置精度検証をマゼランシステムズジャパンが、またローカル補正用基準局の提供及び現地実走位置精度検証を Michibiki Sora が実施している。

(4) 実証実験 WG

本グループはタイ現地で行う実証実験の準備及び実施を目的としている。実証実験の主体は豊田通商株式会社が務め、在タイ企業・団体と共に実施している。



実証実験 WG：豊田通商、在タイ企業・団体

図 3.1-1 実施体制図

以下、TTC：豊田通商株式会社、NXT：株式会社ネクスティエレクトロニクス、NETH：Toyota Tsusho Nexty Electronics Thailand Co., Ltd.、MSJ：マゼランシステムズジャパン株式会社、GPAS：グローバル測位サービス株式会社、ZDC：株式会社ゼンリンデータコム、JRI：株式会社日本総合研究所、Michibiki： Michibiki Sora, Co., Ltd.と略す場合がある。

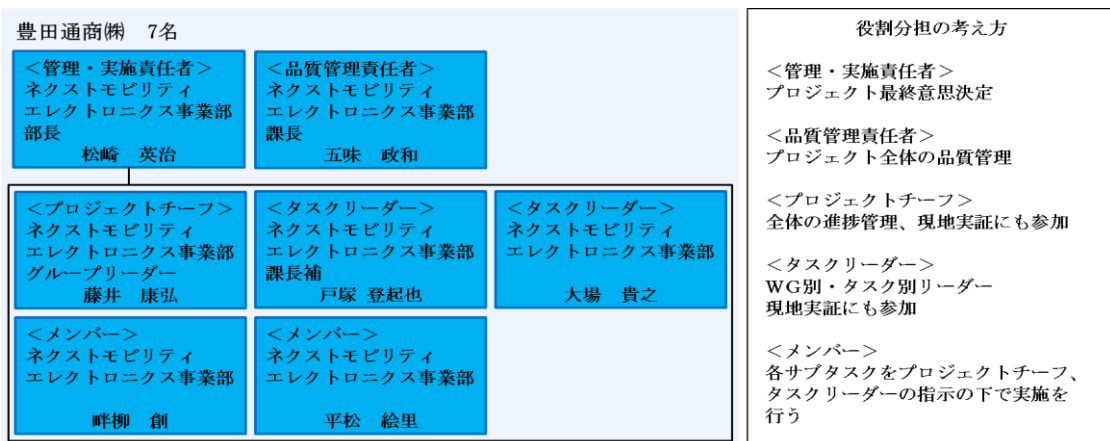


図 3.1-2 TTC の役割

参加企業のうち日本企業を表 3.1-1 にタイ国企業を表 3.1-2 に示す

表 3.1-1 日本企業の概要

名称	豊田通商株式会社	
代表者	役職	代表取締役社長
	氏名	加留部 淳
ホームページ	http://www.toyota-tsusho.com/	
住所	(東京本社) 〒108-8208 東京都港区港南二丁目 3 番 13 号品川フロントビル	
設立年月	1948 年	
資本金 (出資金)	649 億 3 千 6 百万円	
本事業における業務内容	<ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクト管理 ・課題管理 ・成果物管理 	

名称	(株)日本総合研究所	
代表者	役職	代表取締役社長
	氏名	淵崎 正弘
ホームページ	https://www.jri.co.jp/	
住所	(本社) 東京都品川区東五反田 2 丁目 18 番 1 号 大崎フォレストビルディング	
設立年月	1969 年	
資本金	10,000 千円	
本事業における業務内容	<ul style="list-style-type: none"> ・準天頂衛星などに係る助言 ・報告書とりまとめ支援 	

名称	株式会社ゼンリンデータコム	
代表者	役職	代表取締役社長
	氏名	清水 辰彦
ホームページ	https://www.zenrin-datacom.net/	
住所	(品川オフィス) 東京都港区港南二丁目 15 番 3 号 品川 インターシティ C 棟 6 階	
設立年月	1999 年	
資本金 (出資金)	2,283,010 千円	
本事業における業務内容	<ul style="list-style-type: none"> ・高精度ルートガイダンスナビソフト開発 	

名称	株式会社ネクスティエレクトロニクス	
代表者	役職	代表取締役社長
	氏名	青木 厚
ホームページ	http://www.nexty-ele.com/	
住所	(東京本社) 東京都港区港南二丁目 3 番 13 号 品川フロントビル	
設立年月	2017 年 4 月	
資本金 (出資金)	52 億 8,456 万円	
本事業における業務内容	・ レーン毎の渋滞情報生成及び配信システム構築	

名称	グローバル測位サービス株式会社	
代表者	役職	代表者
	氏名	小澤 秀司
ホームページ	https://www.gpas.co.jp/	
住所	東京都中央区銀座八丁目 17 番 5 号 アイオス銀座 504 号	
設立年月	2017 年 6 月	
資本金 (出資金)	107 百万円	
本事業における業務内容	<ul style="list-style-type: none"> ・ MADOCA 補正データ及びローカル補正情報のインターネット配信用サーバの構築、運用 ・ MADOCA 技術検証 ・ ローカル補正情報の生成 	

名称	マゼランシステムズジャパン株式会社	
代表者	役職	代表取締役
	氏名	岸本 信弘
ホームページ	http://www.magellan.jp/index.html	
住所	兵庫県尼崎市道意町七丁目 1 番 3 号 尼崎リサーチ・インキュベーションセンター315号	
設立年月	1993 年 7 月	
資本金 (出資金)	8 億 6,365 万円	
本事業における業務内容	・ マルチ GNSS 受信機評価環境提供	

表 3.1-2 タイ企業の概要

名称	TOYOTA TSUSHO NETY ELECTRONICS Thailand	
代表者	役職	President & Chief Executive Officer
	氏名	Hideya Ito
ホームページ	https://www.th.nexty-ele.com/home.php	
住所	540, Mercury Tower 15-16 Floor, Ploenchit Road, Lumpini, Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand	
設立年月	29th April 2005	
資本金（出資金）	32,000,000 THB（約 106,880 千円）	
本事業における業務内容	・タイ企業の窓口	

名称	Michibiki Sora Co., Ltd	
代表者	役職	Director
	氏名	Mr. Raksit Thitipattanapong
ホームページ	<u>Na</u>	
住所	52/588 moo7 Meung-aek, Lakhok, Meung, Patumthani 12000	
設立年月	2017 年	
資本金（出資金）	500,000 THB（約 1,670 千円）	
業務・業務内容	Data collection consulting & research on automotive engineering technology	
本事業における業務内容	<ul style="list-style-type: none"> ・ローカル補正用基準局提供 ・現地実走位置精度検証 	

名称	Howa International Co., Ltd	
代表者	役職	Director
	氏名	Mr. Hassadin Eiamcheerangoon
ホームページ	<u>Na</u>	
住所	679/4 Charunsanitwong Rd., Arunamarin, Bangkoknoi, Bangkok 10700	
設立年月	1990 年	
資本金（出資金）	60,000,000 THB（約 200,400 千円）	
業務・業務内容	Taxi dispatching service, rental car service, taxi leasing, taxi radio service	
本事業における業務内容	・ タクシー車両提供	

名称	East Innovation	
代表者	役職	Director
	氏名	Oran Klongchit
住所	6 Onnut 74/1 Yak 1, Prawet, Prawet, Bangkok 10250	
設立年月	2008 年	
資本金（出資金）	3,000,000 THB（約 10,020 千円）	
業務・業務内容	Logistics software solution & logistics service	
本事業における業務内容	・トラック提供	

第4章 実施スケジュール

4.1 実施スケジュール

事業実施スケジュールを図 4.1-1 に示す。2018年2月下旬まで、実証実験にかかる検討、準備などを行い、2018年3月から実証実験を実施し、その後、実証実験の結果を踏まえたビジネスモデルの検討や報告書作成を2018年4月末まで実施した。

No.	作業項目	2017年			2018年															
		12月			1月			2月			3月			4月						
		上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬				
マスター スケジュール	● 月次事業報告書 ■ 中間報告書 ▲ 収支報告書、経費内訳書 ★ 最終報告書				●			■			▲			●			▲			★
1	高精度測位技術を活用した高精度ルートガイダンスシステム 構成要件の検討																			
	1.1. 共通仕様の検討																			
	1.2. 高精度測位技術の適用																			
	1.3. ルートガイダンスシステムの高精度化																			
	1.4. 実証実験システム構成の検討																			
2	実証実験内容の検討																			
3	高精度測位システム																			
	3.1. マルチGNSS受信機																			
	3.1.1. ローカル補正情報の適用																			
	3.1.2. ローカル補正情報の効果検証																			
	3.2. 補正情報の生成および配信																			
	3.2.1. ローカル補正情報の生成																			
	3.2.2. 補正情報の配信準備																			
	3.3. 高精度測位システムの測位検証																			
4	高精度ルートガイダンスシステム																			
	4.1. 高精度ルートガイダンスシステムの開発																			
	4.1.1. 高精度ルートガイダンスシステム仕様の検討																			
	4.1.2. ルート探索機能の開発																			
	4.1.3. ルート案内機能の開発																			
	4.1.4. フィールドテスト																			
	4.2. 交通情報生成システムの開発																			
	4.2.1. 交通情報生成システム仕様の検討																			
	4.2.2. 車線別渋滞情報生成機能の開発																			
5	実証実験																			
	5.1. 準備																			
	5.2. 実走																			
	5.3. 評価・課題の整理																			
6	事業化に向けたビジネスモデルの検討																			
7	個別検討WG																			
8	実証実験成果の文書化																			

図 4.1-1 事業実施スケジュール

4.2 業務フローチャート

本実証事業の業務フローチャートを図 4.2-1 に示す。本実証事業は高精度測位技術を活用するに当たり、2.2 節に挙げたような開発を行う必要があるため、本実証事業の業務は大きく開発フェーズと実証実験のフェーズの2フェーズに大別される。開発フェーズとして、1.高精度測位技術を活用した高精度ルートガイダンスシステムの構成要件の検討を実施した後、2.実証実験内容の検討を実施している。さらに、3.高精度測位システムの検討（高精度測位 WG）及び4.高精度ルートガイダンスシステムの検討（ナビソフト WG）を実施し、実証実験フェーズとして、5.実証実験の実施（実証実験 WG）とそれらの結果を整理、評価し6.事業化に向けたビジネスモデルの検討を実施した。また、各業務を円滑に遂行するために定期的に特定の参画企業参加のもと行われる7.個別検討WGを実施した。最後に1.～7.で得られた本実証事業の成果について報告書として8.文書化を実施した。

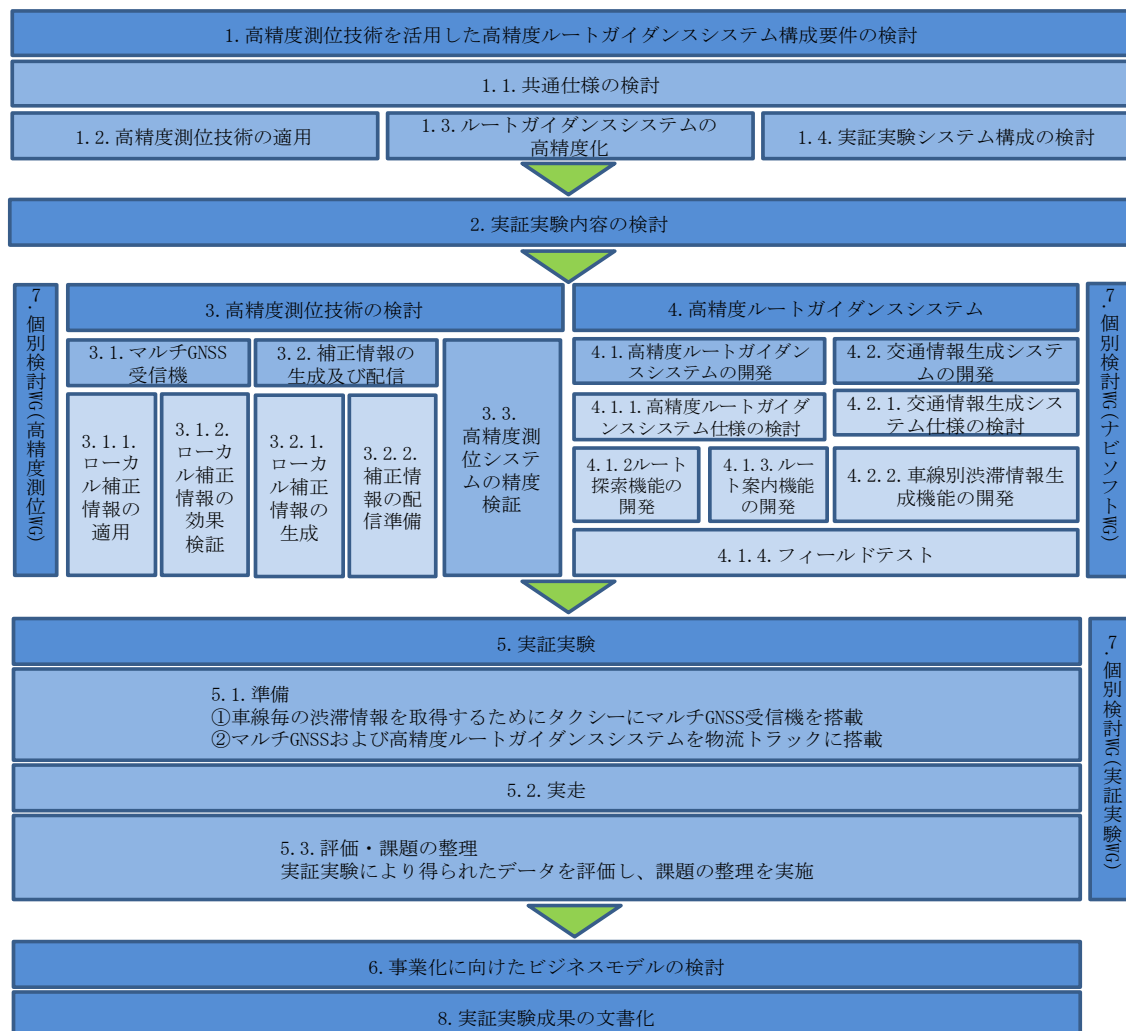


図 4.2-1 業務フローチャート

第5章 実証実験

5.1 実証実験の概要

5.1.1 実証実験の目的

現行のナビゲーションシステムは現状の GPS 受信機及び測位方式 (単独測位) のため、位置測位精度が 5～10m であり、自車位置を正確に把握することが困難な状況にある。そのため、現行のナビゲーションシステムで生成される渋滞情報は同一道路における複数レーンの混雑状況を統合して算出することで生成しており、レーン毎の渋滞情報の生成はされていない。

本実証事業では、既存技術の準天頂衛星システム(QZSS)、MADCOCAなどを導入することで、高精度位置情報に基づいたレーン毎の渋滞情報を生成し、さらにこのレーン毎の渋滞情報に基づいた高精度なルートガイダンスを可能とするナビゲーションシステムを新規に開発することを目的としており、この開発した新たなナビゲーションシステムの効果を評価・検証するために実証実験を実施した。

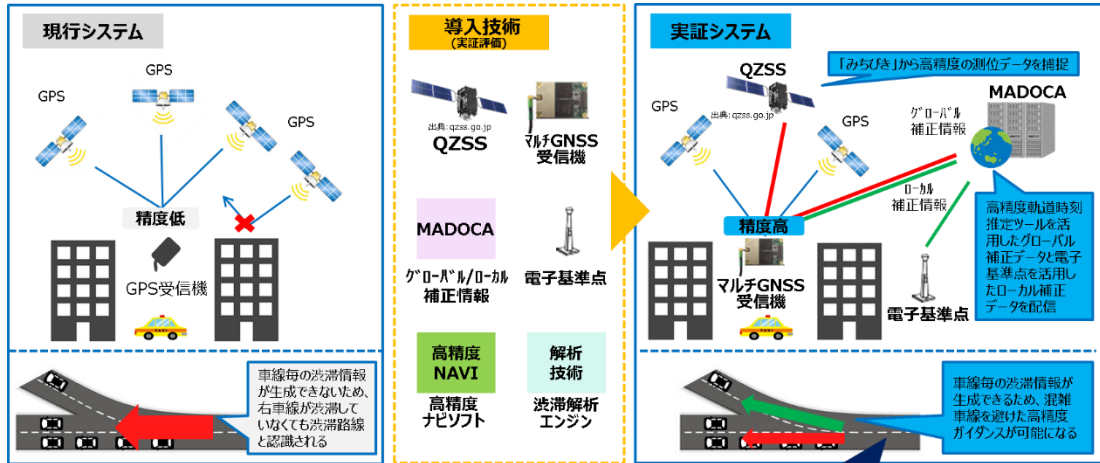
5.1.2 実証システムの概要

現行のシステムと本実証事業で開発を行ったシステムの概要について図 5.1.2-1 に示す。

図 5.1.2-1 に示すように、QZSS を導入することで、より高精度な測位情報を取得できるようになり、また MADCOCA を導入することでその測位情報を補正しより確実なものとしている。さらに、その高精度な位置情報に基づいた、レーン毎の渋滞情報を生成可能な渋滞解析エンジンと、そのレーン毎の渋滞情報に基づいた高精度なルートガイダンスを可能とするナビゲーションシステムを開発した。

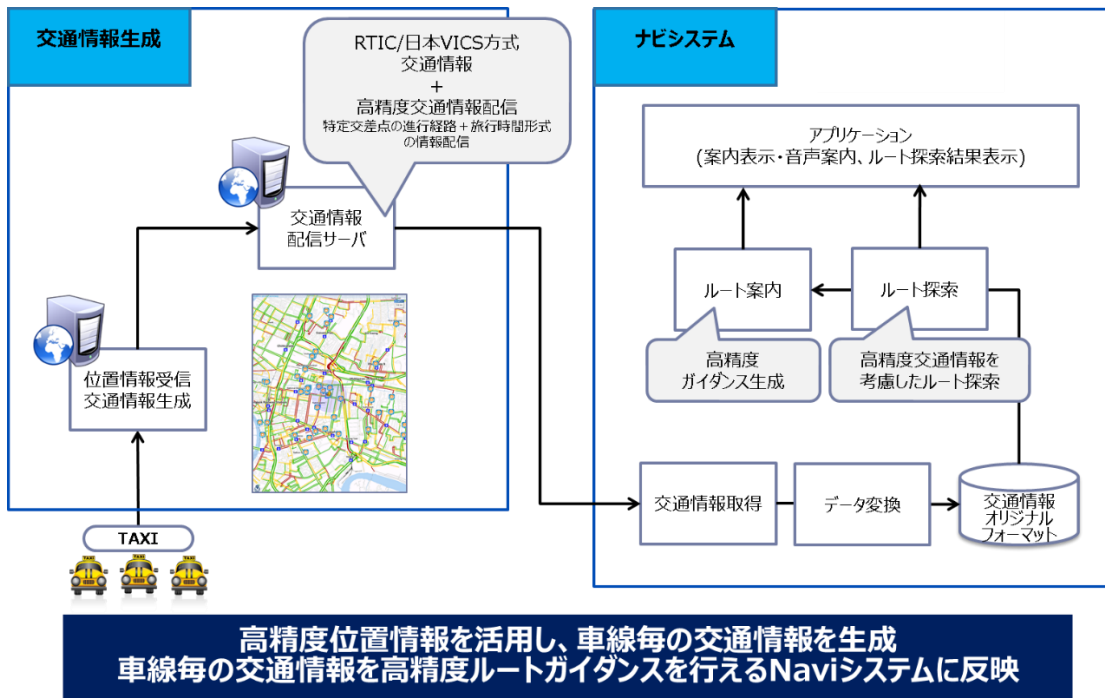
この渋滞解析エンジンを含む渋滞情報生成システムと高精度ナビゲーションシステムのシステム間連携の概要を図 5.1.2-2 に示す。図 5.1.2-2 に示すように、渋滞情報生成システムでは高精度測位情報に基づいた交通情報を RTIC 形式で生成し、高精度ナビゲーションシステムに対して配信を行っている。高精度ナビゲーションシステムでは、配信された交通情報をオリジナルフォーマットに変換し、高精度なルートガイダンスを生成するための処理を行い、ユーザインタフェースアプリケーションを通じてユーザ（ドライバ）に提示している。

高精度ルート探索の概要及びそのユーザインタフェース (UI) のイメージを図 5.1.2-3 に示す。同図左に示すように、交差点経路と旅行時間情報をサーバより受信し最適ルートを探し、同図右に示すように、その結果のユーザへのポップアップ表示や音声案内による通知を実現している。また、図 5.1.2-4 に示すように、一定区間の自車走行レーンに対する相対レーン情報を任意の条件で受信し、次の走行レーンの案を提示し (同図左)、また、高精度位置情報を自車位置の測位に活用し、より適切なタイミングでの案内を実現している (同図右)。



QZSSおよびMADOCAから高精度位置情報が取得できるようになることで、車線毎の渋滞情報を生成し、高精度ルートガイダンスを配信することが可能となる

図 5.1.2-1 現行システムと開発システム



**高精度位置情報を活用し、車線毎の交通情報を生成
車線毎の交通情報を高精度ルートガイダンスを行えるNaviシステムに反映**

図 5.1.2.2 高精度ルートガイダンスシステム

高精度交通情報を活用したルート探索

交差点経路+ 旅行時間情報をサーバより受信し、
最速ルートを再探索

リンク5を通過するのにかかる時間	
右折レーン (リンク7へ接続)	120 秒
中央レーン (リンク10へ接続)	30 秒
左折レーン (リンク15へ接続)	10 秒

左折が一番空いている...

下図は高精度交通情報を取得した結果、
直進から左折にリルートした時のイメージ

高精度ガイダンス(UI、音声)

高精度交通情報トリガーでルート再探索する際に
ユーザへポップアップ表示、音声案内で通知

UI、音声のイメージ

ボ〜ン♪
高精度交通情報を
取得しました。
新しいルートでご案内
します。

交通規制を考慮した案内イメージ

ボ〜ン♪
高精度交通情報を
取得しました。この先
左レーンが規制のため
中央レーンで進行
してください。

各レーンの渋滞度の色分け表示(イメージ)

UI(ボタン等)および音声発話内容はタイ語対応予定

車線毎の渋滞情報の表示および 最適かつ詳細なルートガイダンスを物流トラックに提供

図 5.1.2-3 高精度ルート探索・UI イメージ

自転車走行レーンを考慮した案内

一定区間の自転車走行レーンに対する相対レーン情報を
任意の条件で受信し、案内に活用。

<一定区間の相対レーン情報>
例：自車位置前方1,000メートル

<配信条件>
例：100メートル進行ごと、
情報変化ごと、等

※案内は1レーン単位の案内

QZSSで取得した高精度位置情報の活用

高精度位置情報を自車位置の測位に活用し、
より適切なタイミングでの案内を実現。

<ジャスト案内での活用イメージ>
QZSSの高精度位置情報を元に毎秒マップマッチングを行い、自車位置を測位。
この情報を元に適切なタイミングでジャスト案内を実現

←従来ジャスト案内のタイミング
(GPS誤差を考慮し
事前に案内)

←高精度位置情報を利用した場合の
ジャスト案内タイミング

図 5.1.2-4 レーン案内・高精度位置情報活用

5.1.3 実証コースの選定

(1) タイ・バンコクの道路状況

タイ・バンコクは世界で第2位の交通渋滞の激しい都市であり（TOMTOM TRAFFIC INDEX https://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/city/bangkok より）、実証場所として非常に適していると考えられる。また、第1章で述べた通り、「タイランド4.0」という長期的なビジョンを掲げ、デジタル技術の導入による持続的な付加価値を創造できる経済社会の実現を目指しており、本実証事業の成果を実社会に展開するための土壌が整っていると期待できる。

バンコクにおける渋滞状況の一例を図5.1.3-1に示す。

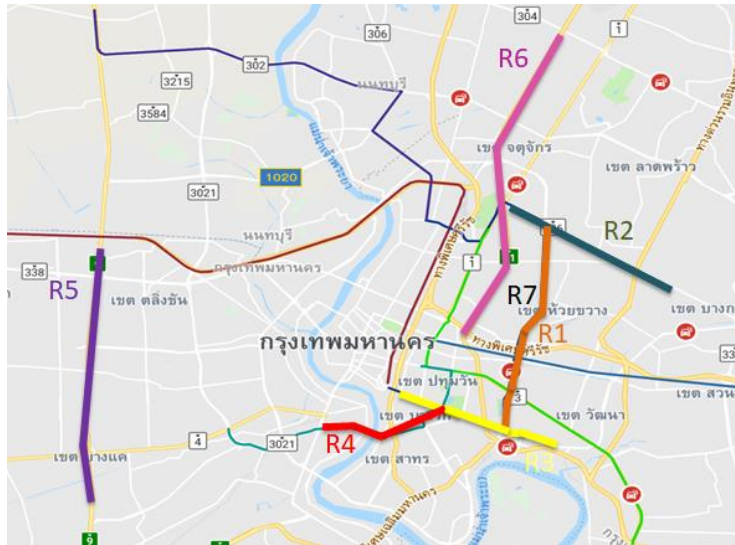


図 5.1.3-1 バンコクにおける渋滞状況

(2) 実証実験における走行ルート選定

今回の実証実験では、バンコク市内において、比較的渋滞の少ない道路、渋滞の激しい道路、高速道路や鉄道が頭上を通過しており空が見通しにくい道路など、道路状況が異なるルートを6つ選定した。さらに、長距離走行時の分析を実施するため、7番目のルートとして、6つのルートから3つのルートを抽出しこれらを結合した長距離ルートも設定した。また、各ルートに対し、走行方向を変えるなどした複数のコースを設定し、一つのルート毎に複数のコースを順番に走行し、実証を行った。

今回設定した7つのルートと各ルートの特徴、及びルート毎のコースの情報を図5.1.3-2～図5.1.3-9及び表5.1.3-1に示す。



- Route1 Ratchadapisek
 - Route2 Lat Phrao
 - Route3 Rama 4
 - Route4 Sathorn
 - Route5 Kanchanapisek
 - Route6 Don Muang Tollway
 - Route7 Long Route
- (R1,R2,R3を組み合わせた
複合長距離ルート)

図 5.1.3-2 実証実験における走行ルート（全体図）
（出典：Google）

表 5.1.3-1 各ルートのコース数及び特徴

Route		コース数	特徴
1	Ratchadapisek	2	バンコク中心部を通る渋滞の激しいルート
2	Lat Phrao	5	街中を通る平均的なルート
3	Rama 4	5	街中を通る平均的なルート。比較的短距離のコースを含む
4	Sathorn	4	一部に道路と並行して、頭上に高架鉄道が走っているルート
5	Kanchanapisek	2	オープンスカイで比較的スムーズな郊外道路
6	Don Muang Tollway	2	オープンスカイで高速走行可能な有料道路
7	Long Route	4	様々な状況の道路を含む長距離ルート



図 5.1-3-3 Route1 のコース情報
(出典 : Google)

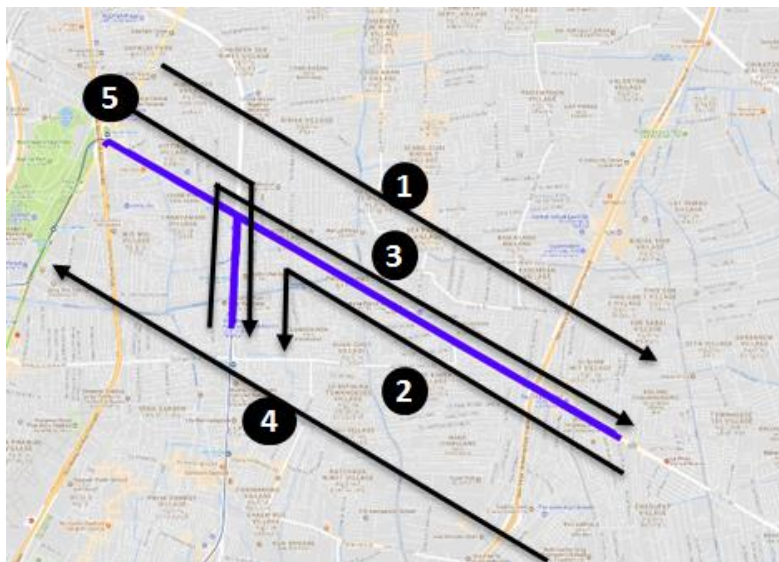


図 5.1-3-4 Route2 のコース情報
(出典 : Google)

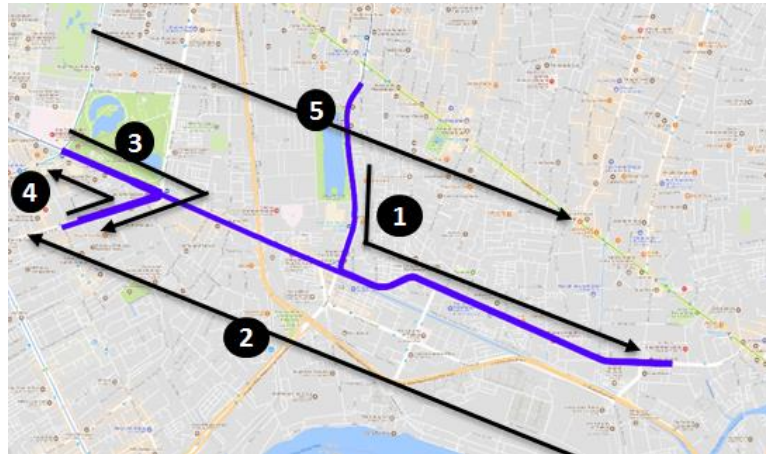


図 5.1.3-5 Route3 のコース情報
(出典 : Google)

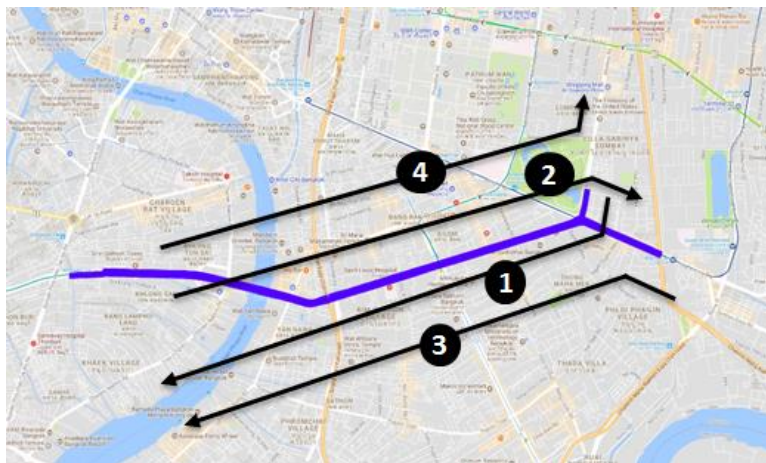


図 5.1.3-6 Route4 のコース情報
(出典 : Google)

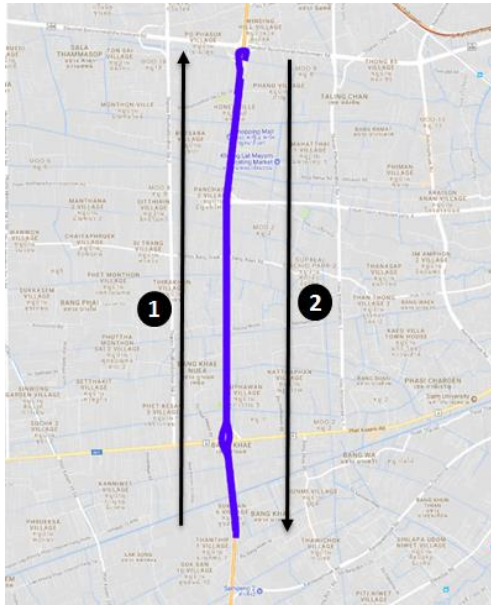


図 5.1-3-7 Route5 のコース情報

(出典 : Google)

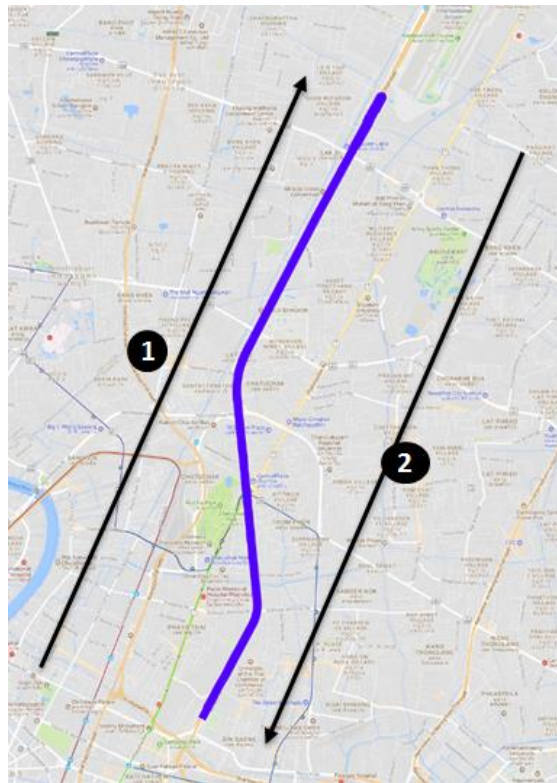


図 5.1.3-8 Route6 のコース情報

(出典 : Google)

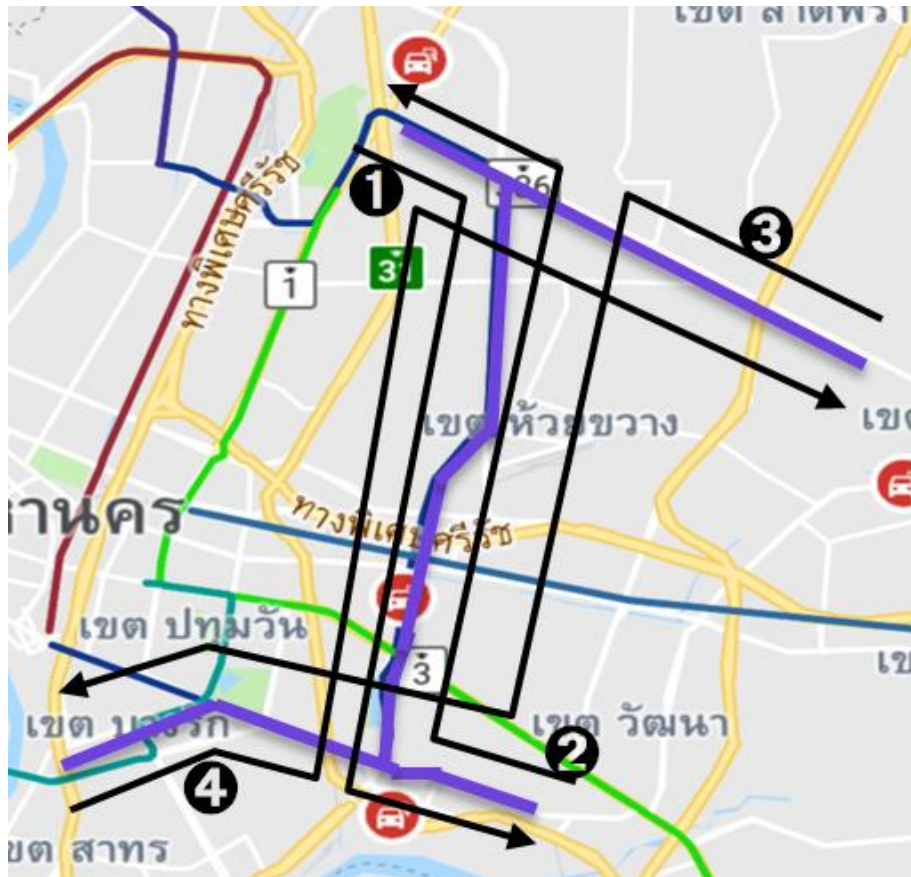


図 5.1.3-9 Route7 のコース情報
(出典 : Google)

5.2 実証実験の実施

5.2.1 実施体制

実証実験は、3.1 で説明したように、豊田通商を主体とする実証実験 WG において実施した。実施体制図を図 5.2.1-1 に示す。

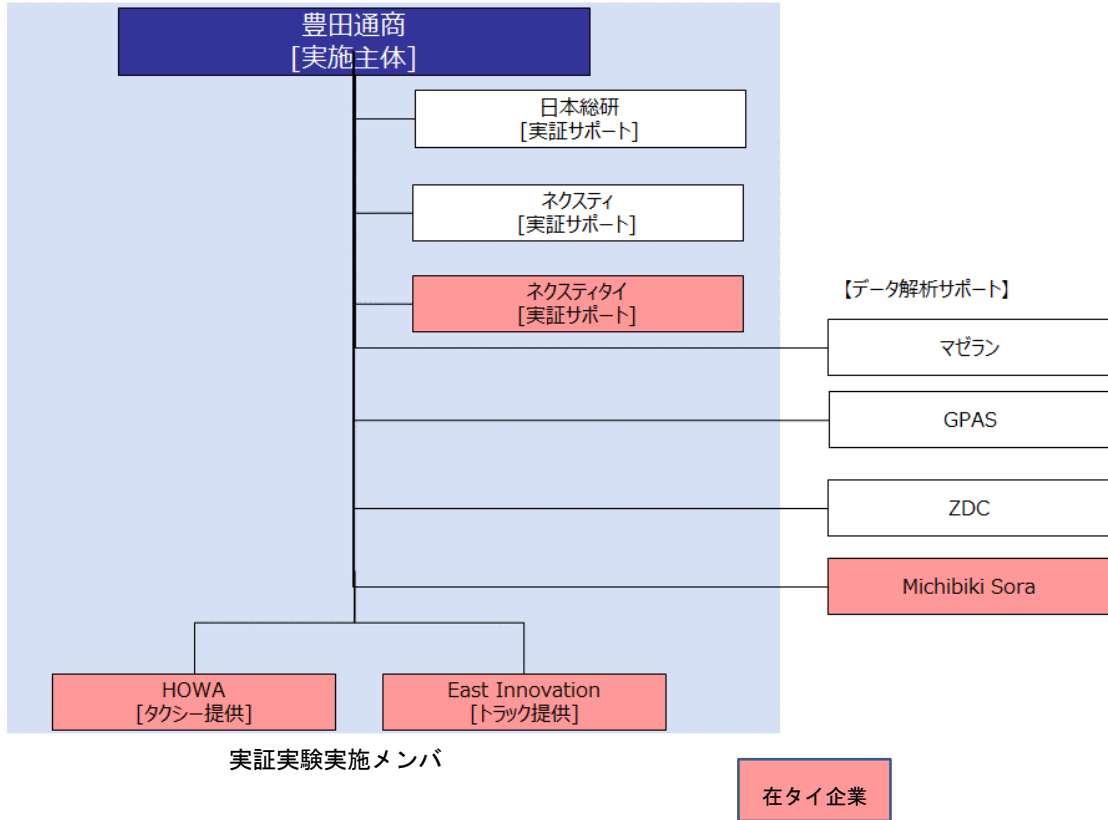


図 5.2.1-1 実証実験実施体制

豊田通商が実施主体として実証実験全体の管理を行い、NETH が車両及びドライバーの手配や走行ルート、スケジュールなどの検討や実証実験走行時の指揮及び各種実験データ取得などを実施した。データ解析サポートメンバは実証実験には直接は参加せず、適宜必要に応じ技術的な問題点の解決などについて遠隔からサポートを実施した。

実証実験実施メンバの集合写真を図 5.2.1-2 に示す。



図 5.2.1-2 実証実験メンバ集合写真

5.2.2 実証実験方法

(1) 実験システムの構成

本実証実験においては、レーン毎の渋滞情報を生成するため、タクシーにマルチ GNSS 受信機を搭載し、実証ルートを走行することで、プローブデータを取得した。MADOCA より配信されるグローバル補正情報の使用に際しては、測位精度が収束するまで 30 分間のウォームアップを行った。また、実際の運送業務での適用を想定し、トラックにナビゲーションシステムを搭載し、実証ルートナビゲーションシステムのルートガイダンスに従い走行した。本実証実験における実験システムの全体構成の概要を図 5.2.2-1 に示す。なお、補正情報については、NET 経由で配信されるものと、衛星からの L6E 信号を利用するものとの両パターンで実証を行った。

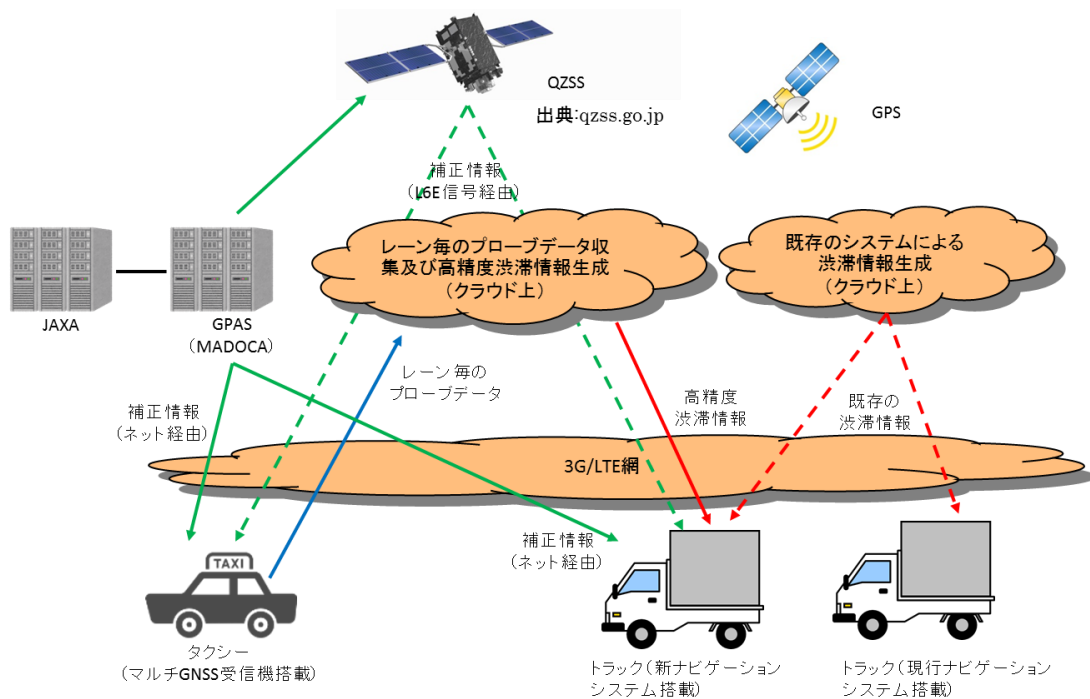


図 5.2.2-1 実証実験システム全体構成概要

実験に使用する車両の種類、台数及び各車両に搭載する機材を表 5.2.2-1～2 に示す。トラックには、実験走行後の分析において、実験走行時の実際の道路状況やどのような運転を行ったかを確認できるようにドライブレコーダも搭載している。

表 5.2.2-1 実験に使用する車両の種類、台数、役割及び搭載機材

実験車	台数	役割	搭載機材
タクシー	8	マルチ GNSS 受信機を搭載して実証ルートを実走することで、渋滞情報を生成するためのプローブデータを取得する。	<ul style="list-style-type: none"> • マルチ GNSS 受信機及びアンテナ • ノート PC • SIM カード
トラック (新ナビゲーションシステム搭載)	2	新ナビゲーションシステムを搭載して実証ルートを実走し、出発地から目的地までの走行時間・距離を測定する。	<ul style="list-style-type: none"> • マルチ GNSS 受信機及びアンテナ • ノート PC • SIM カード • タブレット (新ナビゲーションシステムを実行) • ドライブレコーダ • 地図データ (ナビゲーションシステム搭載)
トラック (現行ナビゲーションシステム搭載)	2	現行ナビゲーションシステムを搭載し実証ルートを実走し、同じく出発地から目的地までの走行時間・距離を測定し、新ナビゲーションシステムを搭載したトラックとの比較を行う。	<ul style="list-style-type: none"> • SIM カード • タブレット (現行ナビゲーションシステムを実行) • ドライブレコーダ • 地図データ (ナビゲーションシステム搭載)

表 5.2.2-2 搭載機材一覧

No.	機材名	品番/仕様	提供会社
1	マルチ GNSS 受信機	MJ-3008-GM4-QZS	MSJ
2	アンテナ	MJ-3009-GM4-ANT	MSJ
3	ノート PC	HP Intel Core i5-8250U - Intel Core i5-8250U (1.60 GHz) - AMD Radeon 530 (2GB GDDR3) - 4 GB DDR4 - 256 GB SSD - 14 inch (1366x768) HD - DOS Operating System	Hewlett Pakard
4	SIM カード	3G/4G(LTE)	AIS
5	タブレット	MediaPad T3 10 - Android 7 - Qualcomm Snapdragon 425 8917 - 16GB ROM - 2GB RAM - 1280 x 800 IPS LCD (9.6inch)	Huawei
6	ドライブレコーダ	4K Ultra HD DV 12MP 1080p 60fps Sports Action Camera	PHOTO4LESS
7	地図データ	NOSTRA MAP Version201710	GlobeTec

なお、表 5.2.2-1 に記載している機材の他に、シガーソケットからの電力供給だけでは不十分なためこれを補うための電源確保用のバッテリーや配線接続機器を搭載している。各車両における機材の搭載状況の写真を図 5.2.2-2～5.2.2-7 に示す。



図 5.2.2-2 タクシーにおけるマルチ GNSS 受信機用アンテナ設置の様子



図 5.2.2-3 トラックにおけるマルチ GNSS 受信機用アンテナ設置の様子



図 5.2.2-4 タクシーにおけるマルチ GNSS 受信機設置の様子
(フロアマット上に設置)

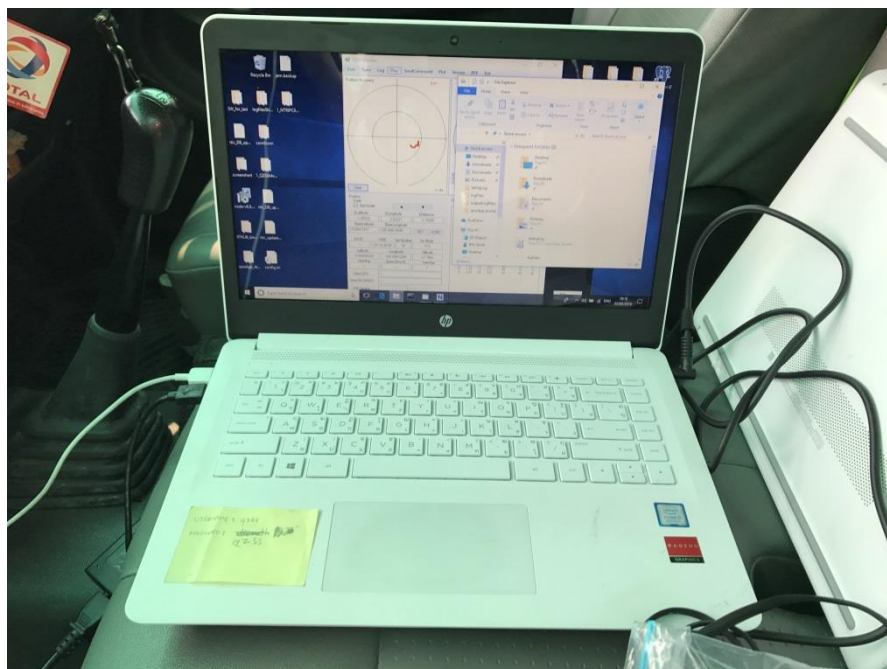


図 5.2.2-5 トラックにおけるノート PC 設置の様子



図 5.2.2-6 トラックにおけるタブレット及びドライブレコーダ設置の様子



図 5.2.2-7 トラックにおけるバッテリーの設置及び配線状況の様子

(2) タクシー（プローブカー）に関する実証実験取得データ及び取得方法

前項で説明したように、本実証実験走行においては渋滞情報生成のためのプローブデータ収集用として8台のタクシーを走行させた。このときの、8台のタクシーの走行方針について、図 5.2.2-8 に示す。

走行方針：

- (1)8台のタクシーを4台ずつ、A,Bの2グループに分ける。
- (2)各タクシーはあらかじめ決められたレーンを、右左折などでレーン変更が必要な場合を謎器、キープして走行する。各社に対する走行レーンの割り当て方針は下図の通り。
- (3)グループAが出発後、渋滞情報が生成されたことを確認したのちにグループBが出発する。

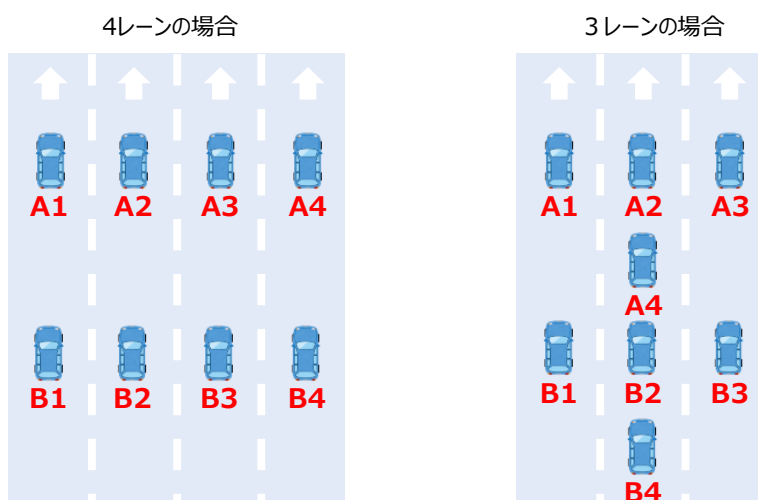


図 5.2.2-8 タクシー（プローブカー）の走行方針

タクシーの走行において、主に A2 のタクシーのマルチ GNSS 受信機の実出力ログを取得した位置情報の精度の評価に利用した。また、このとき、当該タクシーに同乗した実証実験メンバーが、走行開始、終了の時刻やタクシーがレーンチェンジを行った時刻などについて本実証実験用に開発したスマートフォンアプリを参照してメモを取り、適宜出力ログと突き合わせ、解析に利用した。本スマートフォンアプリの画面例を図 5.2.2-9 に示す。

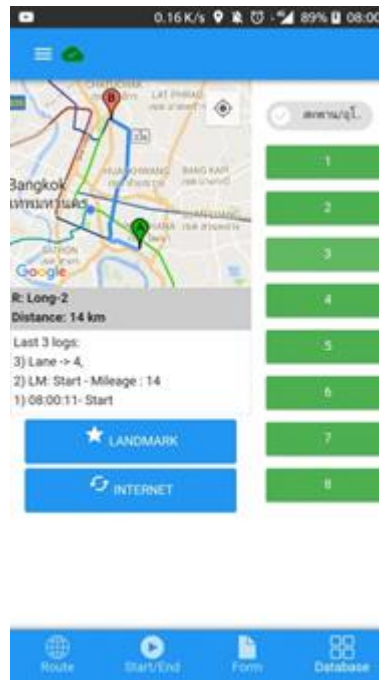


図 5.2.2-9 実験車両同乗者による走行状況記録用アプリ画面例

(3)トラックにおける取得データ及び取得方法

新ナビゲーションシステム、現行ナビゲーションシステムを搭載したトラックは、タクシーのグループ B が出発後、約 5 分程度経ち渋滞情報が配信され始めたのちに、各車適宜走行を開始する。新ナビゲーションシステムを搭載したトラックを N1、N2、現ナビゲーションシステムを搭載したトラックを N3、N4 としてそれぞれのデータを取得した。N1～N4 の各車はそれぞれのナビのルートガイダンスに従い走行し、あらかじめ設定された実証実験コースの走行に要した時間と走行距離を取得した。走行時間については、図 5.2.11 で示したタクシーの走行記録に用いたスマホアプリと同じアプリを使用し、トラックに同乗した実証実験メンバがスタート地点の通過時刻及びゴール地点の通過時刻を記録し、走行に要した時間を算出した。また走行距離については、スタート地点、ゴール地点それぞれの通過時のトラックのトリップメータの値を記録し算出した。

また、走行時の実際のナビゲーションシステムの動作状況を確認するため、ナビゲーションシステムが動作しているタブレットの画面遷移などの状況を動画として記録できるアプリをタブレット上で動作させ、適宜解析に利用した。さらに(1) 実験システムの構成で述べたように、走行時の実際の道路状況を確認するため、ドライブレコーダを設置し、道路状況などの動画を取得し、適宜解析に利用した。

(4) 評価項目

実証実験では、現行ナビゲーションシステムと開発した新ナビゲーションシステムとの走行時間の比較を行うことにより、新ナビゲーションシステムの効果の検証を行った。比較検証における評価項目・評価指標を表 5.2.2-3 に示す。

表 5.2.2-3 実証項目・評価指標

想定実証項目	評価指標	可否判断
車両のレーン毎の位置情報取得	PPP 測位時間率	走行中に PPP 測位が持続されていること。
レーン毎の渋滞情報の生成	渋滞情報正答率	車両のレーン毎の位置情報を利用して、レーン毎に異なる渋滞情報が取得出来ていること。
レーン毎のルート探索及び案内	走行時間 (分)	開発したナビゲーションシステム上でレーン毎のルート探索及び案内が確認出来ていること。 また新ナビゲーションシステムの方が目的地に早く到着できること。

また、新ナビゲーションシステムを搭載したトラックのドライバに、新ナビゲーションシステムのユーザインタフェースやルートガイダンスについてアンケートを実施し、ナビゲーションシステムとしての課題の抽出を試みた。

(5) 走行スケジュール

実証実験走行は、2018年3月15日から28日の間で実施した。5.1.2で示した走行ルートに対応する詳細な走行スケジュールを表5.2.2-4に示す。

表 5.2.2-4 実証実験走行スケジュール

走行日	時間帯	走行ルート	補正情報 取得方法	備考
2018年 3月15日 (木)	午前	Route6 Don Muang Tollway	NET	コース名の明記がないルートについては、午前、午後それぞれで全コースを走行。 車両1台当たりの全期間を通した総走行距離は約402km（トリップメータによる集計）
	午後	Route3 Rama4	NET	
16日(金)	午前	Route2 Lat Phrao	NET	
	午後	Route2 Lat Phrao	L6E	
19日(月)	午前	Route1 Ratchadapisek	NET	
	午後	Route1 Ratchadapisek	L6E	
20日(火)	午前	Route3 Rama 4	NET	
	午後	Route3 Rama 4	L6E	
21日(水)	午前	Route4 Sathorn	NET	
	午後	Route4 Sathorn	L6E	
22日(木)	午前	Route7 Long Route	NET	
	午後			
23日(金)	午前	Route5 Kanchanapisek	NET	
	午後	Route5 Kanchanapisek	L6E	
26日(月)	午前	Route7 Long Route コース4	NET	
	午後	Route7 Long Route コース3	NET	
27日(火)	午前	Route7 Long Route コース1	NET	
	午後	Route7 Long Route コース2,3	NET	
28日(水)	午前	Route6 Don Muang Tollway	L6E	
		Route7 Long Route コース1,2	NET	

5.2.3 評価

(1) 車両のレーン毎の位置情報取得

(a) 評価方法

タクシープローブカーに設置されたマルチ GNSS 受信機は取得した位置情報を一定間隔でパソコンに送信し、パソコンはこれをログとして記録する。このパソコンに記録された個々の位置情報をプロットと呼び、取得した全プロットに対して PPP 測位が行われていたプロット数の占める割合を、PPP 測位が行われていた時間率 (PPP 測位時間率) として算出した。全走行ルートについて PPP 測位時間率を算出し評価を行った。

(b) 結果

PPP (NET) で測定した際の走行ルート別 PPP 測位時間率を図 5.2.3-1 に、PPP (L6E) で測定した際の走行ルート別 PPP 測位時間率を図 5.2.3-2 に示す。

PPP (NET) で測定した際の PPP 測位時間率は Route6 (Don Muang Tollway) における走行試験の結果が 77.9%で最低値を、Route5 (Kanchanapisek) における走行試験での結果が 96.0%で最高値を示した。衛星を捕捉しやすく安定した測位が期待されるオープンスカイ環境下にある Route5 (Kanchanapisek) での走行試験における PPP 測位時間率が PPP (NET) で測定した走行試験における結果中で最高値を示す一方で、同様にオープンスカイ環境下である Route6 (Don Muang Tollway) における PPP 測位時間率は都市部を走行する Route1~4 よりも低く、最低値を示す結果となった。

PPP (L6E) で測定した際の PPP 測位時間率は Route1 (Ratchadapisek) における走行試験の結果が 28.8%で最低値を、Route5 (Kanchanapisek) における走行試験での結果が 97.4%で最高値を示した。オープンスカイ環境下にある Route5 (Kanchanapisek) 及び Route6 (Don Muang Tollway) では PPP 測位時間率が 90%以上を維持している一方で、都市部を走行する Route1~4 での PPP 時間測位率はそれぞれ 28.8%、63.3%、71%、49.9%とオープンスカイの結果と比較して低い値を示した。

また、PPP (NET) と PPP (L6E) の結果を比較すると、都市部を走行する Route1~4 における PPP 測位時間率は、PPP (NET) で測定したものと比較して PPP (L6E) で測定したもののの方が低い値を示した。また、Route1 (Ratchadapisek)、Route4 (Sathorn) においては、捕捉衛星数が 4 機未満となり、測位が行えていない状況の時間率を示す No fix 時間率の PPP (NET) と PPP (L6E) での差はそれぞれ、22.3%、14.9%であり、1.0~7.4%程度である他走行ルートと比較して大きい値を示した。

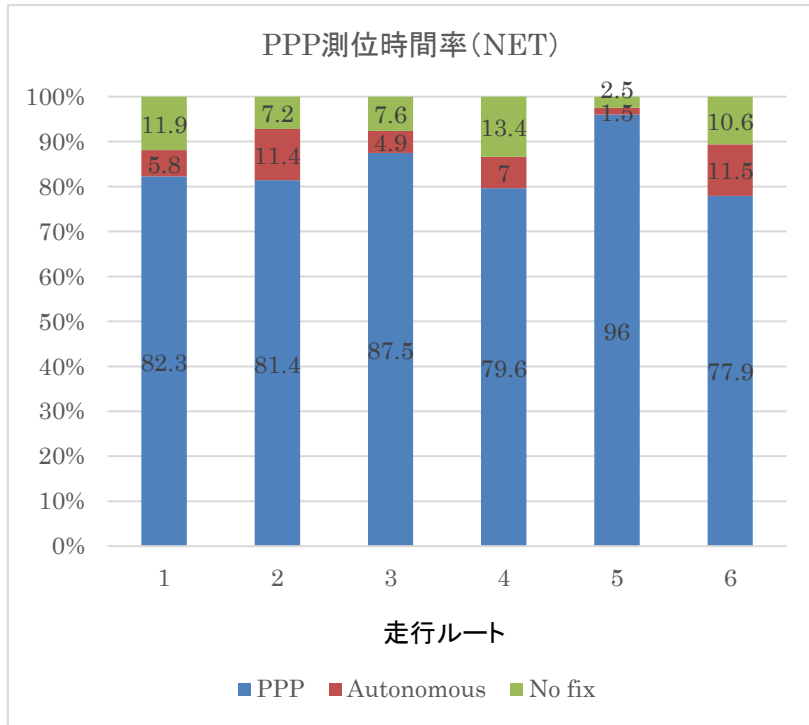


図 5.2.3-1 PPP (NET) で補正信号を受信した場合の PPP 測位時間率

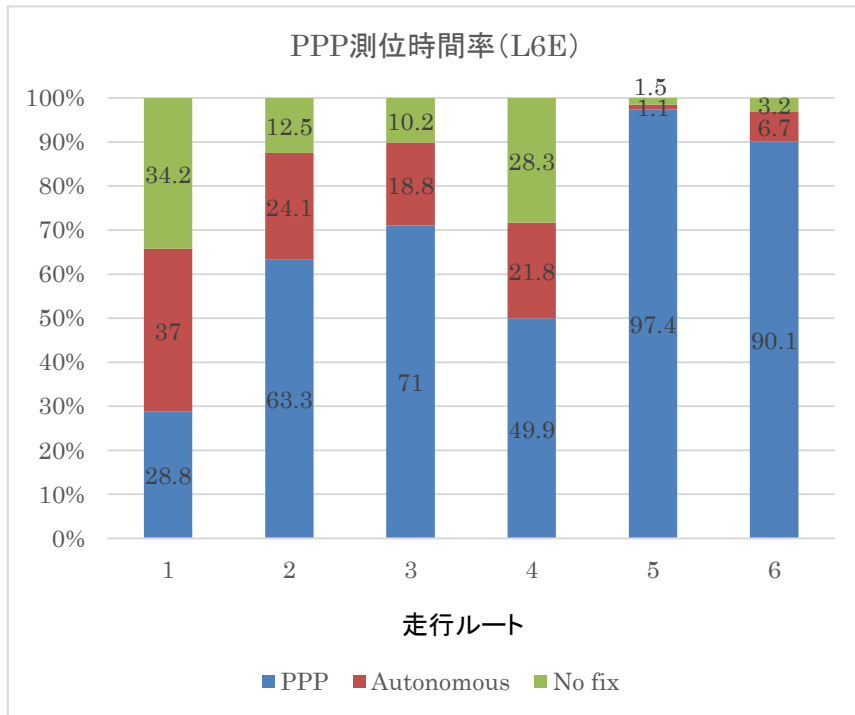


図 5.2.3-2 L6E 信号で補正信号を受信した場合の PPP 測位時間率

(c) 考察

オープンスカイ環境下の走行ルートにおける走行試験では No fix 時間率が低い値を示す一方、PPP 測位時間率が高い値を示した。このことから、オープンスカイ環境下では、衛星測位が維持されており、グローバル補正情報の適用が安定的に行われていることがわかった。そのため、オープンスカイ環境下ではグローバル補正情報適用の実現可能性が高いものと考えられる。

一方で、都市部の走行ルートではオープンスカイ環境下の走行ルートと比較して、PPP 測位時間率が低く、また Autonomous 時間率が高い結果を示した。PPP 測位を行うことができる条件は、グローバル補正情報が受信できていることに加えて、測位が安定的に行われていることである。都市部では捕捉衛星数が4機である場合においても、マルチパスなどの影響により測位が安定的に行えない事象が発生する場合がある。今回の実証実験では、都市部の走行ルートでの走行試験においては高架線や陸橋の下を通る際に捕捉衛星数が減少することで、測位の安定性が損なわれた結果として PPP 測位が途絶する事象が発生した。そのため、オープンスカイ環境下と比較して都市部の走行ルートでは PPP 測位時間率が低くなったと考えられる。また、PPP (L6E) の場合、グローバル補正情報を準天頂衛星 2 号機より受信しているため、準天頂衛星 2 号機からの信号が障害物によってさえぎられた場合においても PPP 測位が途絶することとなる。そのため、オープンスカイ環境下と比較して PPP 測位時間率が低くなる傾向がより顕著に確認されたと考えられる。また今回の実証実験では、ひとたび PPP 測位時間率が途絶して Autonomous となった場合、PPP 測位が復帰するまでに時間が非常にかかることが確認された。この事象のため、Autonomous 時間率が高い値を示したと考えられる。

Route1 (Ratchadapisek)、Route4 (Sathorn) において、PPP (NET) での測定時と PPP (L6E) での測定時における No fix 時間率の差が他走行ルートと比較して大きい値を示した事象については、要因として、走行試験時の衛星配置の違いに起因するものであると考えられる。今回の実証実験では、Route1 (Ratchadapisek)、Route4 (Sathorn) における走行試験について、PPP (NET) での測定を午前中、PPP (L6E) での測定を午後に行った。Route1 (Ratchadapisek) 中の同コース・同地点における走行試験時の衛星配置を図 5.2.3-3 に示す。左が PPP (NET) で測定を行った際の衛星配置を、右が PPP (L6E) で測定を行った際の衛星配置を示している。PPP(NET)での測定時と比較して PPP(L6E)での測定時衛星は低仰角に多くの機数が配置していることが分かる。低仰角に衛星がある場合、測位の際に衛星が捕捉できない可能性がある。本事象は、衛星が低仰角に集中する衛星配置時に測定を行ったため、捕捉可能衛星数が減少した結果として、No Fix 時間率が高くなったものと考えられる。Route6 (Don Muang Tollway) に着目すると PPP (NET) の方が No Fix 時間率が PPP (L6E) と比較して高い値となっているが、衛星配置の違いによるものと考えられる。PPP (NET) で測定した際の衛星配置により No fix 時間率が高くなったことに起因して、オープンスカイ環境下に係らず PPP 測位時間率が低い値を示

したものと考えられる。

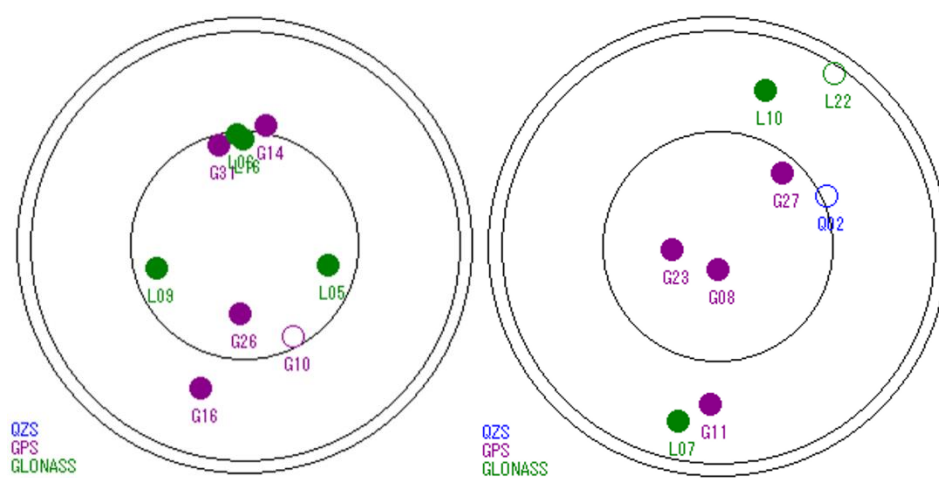


図 5.2.3-3 同地点走行時の衛星配置例（左：午前、右：午後）

(2) レーン毎の渋滞情報生成

(a) 評価方法

走行試験中にタクシープローブカーより生成された高精度渋滞情報のレーン毎の渋滞度について、人の感性による渋滞度（Human Perception 比較）その精度の評価を行った。8台のプローブカーとは別のタクシーに実証実験メンバが乗車し、目視により、30秒毎に渋滞情報を、本目的のために開発したスマートフォンアプリにより、Smooth, Slow, Jamの3段階で評価し記録した。本アプリの画面例を図 5.2.3-4 に示す。その評価結果と本プロジェクトで開発した交通情報生成システムの出力ログとを比較し、精度の評価を実施した。レーン毎の渋滞度の精度は生成された高精度渋滞情報が示すレーン毎の渋滞度のサンプル数を母数として、人の感性で評価した渋滞度を正とし、人の感性で評価した渋滞度と合致したサンプル数の割合を、高精度渋滞情報の正答率として評価した。なお、評価者が同乗するタクシーは、ナビゲーションシステムを搭載したトラックが受信する渋滞情報が実際の渋滞状況と合致しているかを評価するため、ナビゲーションシステムを搭載したトラックと同じタイミングで走行をスタートし、トラックを追い越すことがない速度で走行した。



図 5.2.3-4 渋滞情報評価用アプリ画面例

(b) 結果

高精度渋滞情報の正答率について PPP (NET) 測定時と PPP (L6E) 測定時で比較したグラフを図 5.2.3-5 に示す。PPP (NET) で測定した際の高精度渋滞情報の正答率は Route6 (Don Muang Tollway) における走行試験の結果が 100%で最高値を、Route3 (Rama 4) における走行試験の結果が 70.7%で最低値を示した。PPP (L6E) で測定した際の高精度渋滞情報の正答率は Route6 (Don Muang Tollway) における走行試験の結果が 99.2%で最高値を、Route3 (Rama 4) における走行試験の結果が 59.5%で最低値を示した。高精度渋滞情報の正答率を PPP (NET) と PPP (L6E) で比較すると Route4 (Sathorn) を除いて、PPP (NET) で測定した際のほうが PPP (L6E) と比較して高い傾向にあった。

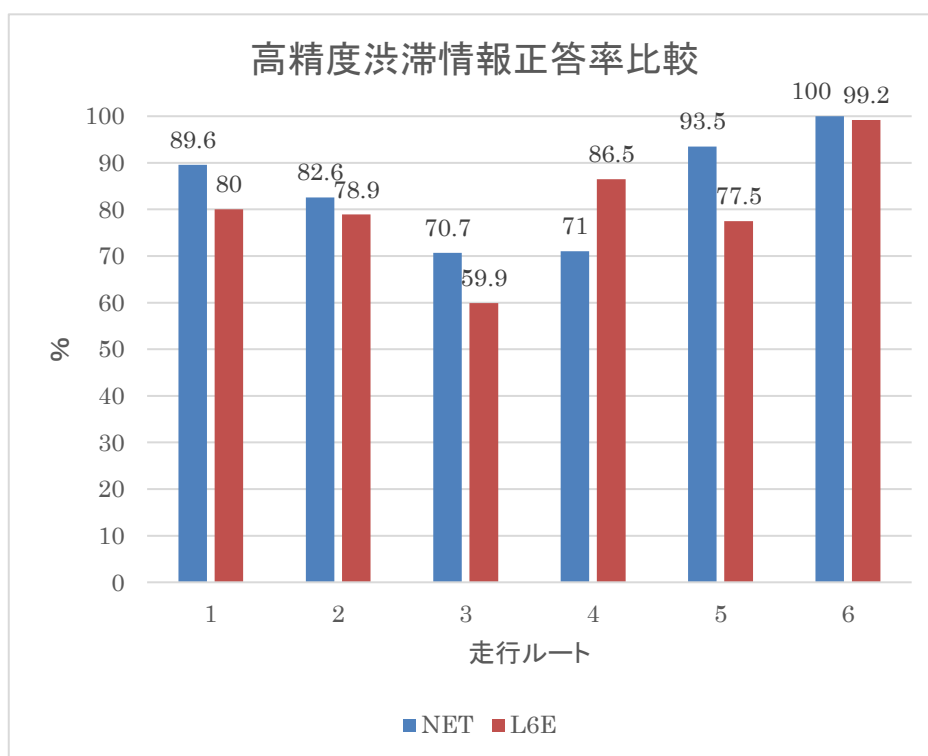


図 5.2.3-5 高精度渋滞情報正答率

(c) 考察

高精度渋滞情報の正答率は、高精度渋滞情報を生成するのに用いられるタクシードロブカーの位置精度と、人の感性による定性的な判断基準の評価者毎の差が影響を及ぼすものと考えられる。

高精度渋滞情報の正答率が PPP (NET) で測定したものより、PPP (L6E) で測定したものの方が低くなった要因は、両者の PPP 測位時間率の差によるものと考えられる。渋滞情報はタクシードロブカーの位置情報を基に算出され、一定区間を走行するのに要した走行時間から生成される。本実証実験においては高精度測位技術を活用することでレーン別の渋滞情報を生成するため、PPP 測位の可否が生成された渋滞情報の精度に影響

響を及ぼすものと考えられる。車両のレーン毎の位置情報取得の評価では、都市部の走行試験において PPP (L6E) の場合に PPP 測位時間率が低くなるという結果が確認されたことを鑑みると、PPP (L6E) で測定した際の高精度渋滞情報の正答率が PPP (NET) で測定したものと比較して低い要因は、PPP 測位時間率の差によるものであると考えられる。

一方、前述のとおり、Route4 (Sathorn) の走行試験において、午前の走行試験では PPP(NET)を利用してまた、午後の走行試験では PPP(L6E)を利用して試験を実施したが、PPP(NET)の場合の PPP 測位時間率が PPP(L6E)よりも高いにもかかわらず PPP (NET) で測定した正答率よりも PPP (L6E) で測定した正答率の方が高くなるという事象が確認された。この事象は人の感性による定性的な判断基準は評価者によって異なることが考えられる。Route4 (Sathorn) を走行した試験日は午前と午後で渋滞度の評価を行う評価者が交代しており、評価者のもつ定性的な判断基準の差により結果が他走行ルートと異なる傾向を示したものと推測される。

(3) レーン毎のルート探索及び案内

(a) 評価方法

レーン毎のルート探索及び案内の機能を評価するために、5.2.2 実証実験方法で述べたように、既存のナビゲーションシステムを搭載したトラック 2 台と、今回開発したナビゲーションシステムを搭載したトラック 2 台を同タイミングでスタートさせ、それぞれのナビのルート案内に従って走行した結果から目的地に到着するまでの走行時間を計測し、既存のナビゲーションシステムを搭載したトラックと本実証事業で開発したナビゲーションシステムを搭載したトラックの走行時間差を算出した。

(b) 結果

実証実験の全走行における走行時間を取りまとめた結果を表 5.2.3-1 に示す。表 5.2.3-1 より、現行ナビゲーションシステムを搭載したトラックの走行時間 54 時間 54 分 36 秒に対し、新ナビゲーションシステムを搭載したトラックの走行時間は 53 時間 00 分 43 秒となっており、全走行時間として 1 時間 53 分 53 秒短縮されている。これは、改善率にすると、3.46%となる。

当該結果は全走行に対する集計である一方で、実験開始当初においては、トラックに同乗する記録者間でのスタート、ゴール地点の通過判断基準の差により、正しく走行時間差が評価できない事象が発生しており、誤差を含んでいるものと考えられる。このため、実証実験スケジュールの後半では、各記録者で実験データを統一かつ安定的に取得できるようになったことから、実証実験期間の後半に実施し、かつ実際のナビゲーションシステムの利用状況に近いと考えられる Route7 Long Route だけのデータを集計した結果を表 5.2.3-2 に示す。表 5.2.3-2 に示すように Route7 での改善率は 7.04%である。

表 5.2.3-1 全走行における走行時間

日付	Route	補正信号 受信モード	走行時間（各車の合計）	
			QZSS (N1,N2)	GPS (N3,N4)
2018/3/15	6	NET	0:39:46	0:40:01
	3	NET	2:43:23	2:37:22
2018/3/16	2	NET	3:18:24	3:30:38
	2	L6E	3:59:10	4:04:17
2018/3/19	1	NET	2:31:51	2:25:55
	1	L6E	2:33:28	2:22:24
2018/3/20	3	NET	1:53:35	1:58:08
	3	L6E	2:36:51	2:35:44
2018/3/21	4	NET	3:07:24	3:12:29
	4	L6E	2:44:10	2:46:17
2018/3/22	7	NET	10:45:21	11:34:49
2018/3/23	5	NET	1:04:42	1:05:08
	5	L6E	1:22:15	1:23:14
2018/3/26	7	NET	3:32:35	3:36:31
2018/3/27	7	NET	5:33:11	5:58:55
2018/3/28	6	L6E	0:52:16	0:52:29
	7	NET	3:42:21	4:10:15
合計			53:00:43	54:54:36
差分			1:53:53	
改善率			3.46%	

表 5.2.3-2 ルート 7 における走行時間

日付	Route	補正信号 受信モード	走行時間（各車の合計）	
			QZSS (N1,N2)	GPS (N3,N4)
2018/3/22	7	NET	10:45:21	11:34:49
2018/3/26	7	NET	3:32:35	3:36:31
2018/3/27	7	NET	5:33:11	5:58:55
2018/3/28	7	NET	3:42:21	4:10:15
合計			23:33:28	25:20:30
差分			1:47:02	
改善率			7.04%	

(c) 考察

現行ナビゲーションシステムと本実証事業で開発した高精度ルートガイダンスシステムの走行時間差をもたらす要因として以下の4つの事象が実証実験中に確認された。

- ① 高精度交通情報に基づくルートガイダンス
- ② 高精度交通情報に基づくレーンガイダンス
- ③ 現渋滞情報に基づくルートガイダンス
- ④ 渋滞・信号による拘束

新ナビゲーションシステムの機能が走行時間の短縮に寄与する事象は、上記の①及び②である。本実証実験中に確認された①及び②の事象の例として、3月20日に実施したRoute3 Rama4 コース2におけるN2の走行を取り上げて考察を行う。なお、当該走行試験では①及び②により現行ナビゲーションシステムを搭載するトラックと比較して走行時間が4分短縮された。詳細については8章の性能評価に記載する。

(i) 高精度交通情報に基づくルートガイダンスによる時間差

走行前の時点ですでに高精度交通情報(脱出方向別旅行時間)を考慮してルート探索された結果、当初想定していたルートではなく、新たなルートが提示されるケースが確認された。

走行試験開始時にナビゲーションシステムが提示したルートを図 5.2.3-8 に示す。N2 に搭載された高精度ルートガイダンスシステムは走行試験開始直後に取得した高精度渋滞情報に含まれる脱出方向別旅行時間に基づき、ルートの再探索が行われ、想定ルートと異なるルートを新たに提示した。再提示されたルートを図 5.2.3-9 に示す。再提示されたルートでは交差点において左折し、脇道を走行した後に元のルートに合流するように走行す

るものであった。再提示されたルートにおける左折直前の実際の道路の状況をドライブレコーダより取得した動画のキャプチャを図 5.2.3-10 に示す。ルートガイダンスが提示したとおり、直進のレーンと比較して左折のレーンが空いていることがわかる。以上の状況から、直進レーンと比較して左折レーンのほうが空いているという高精度渋滞情報に基づいて、ルートの再提示が行われたものと考えられる。

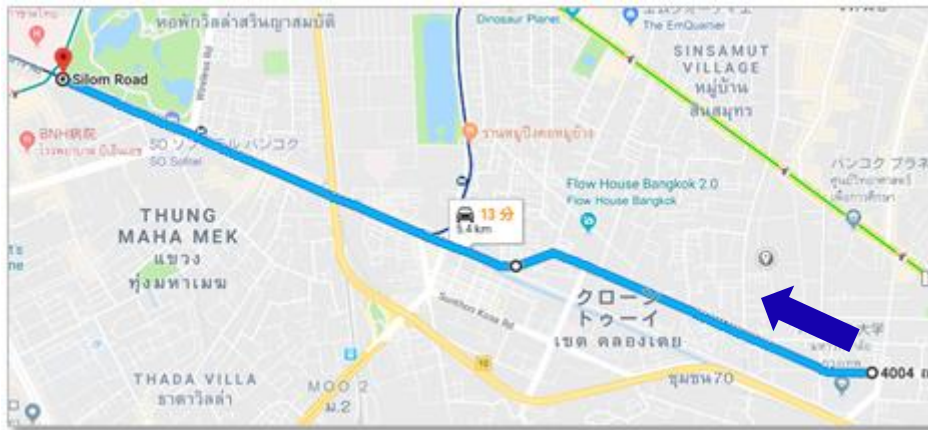


図 5.2.3-8 当初想定していたルート
(出典：Google)

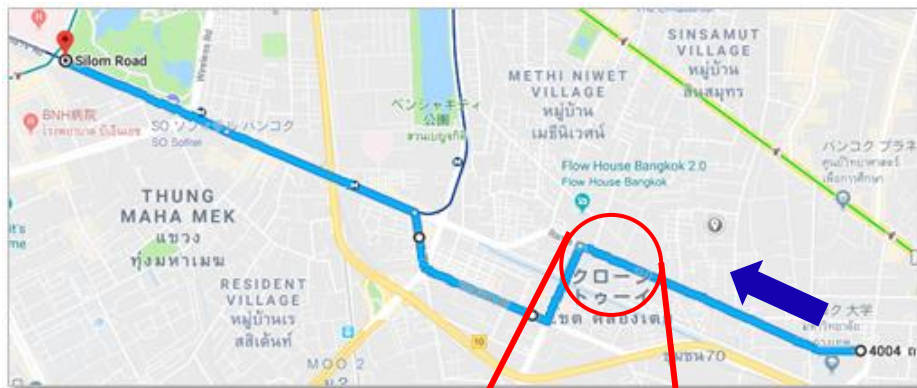


図 5.2.3-9 新ナビゲーションシステムにより新たに提示されたルート
(出典：Google)

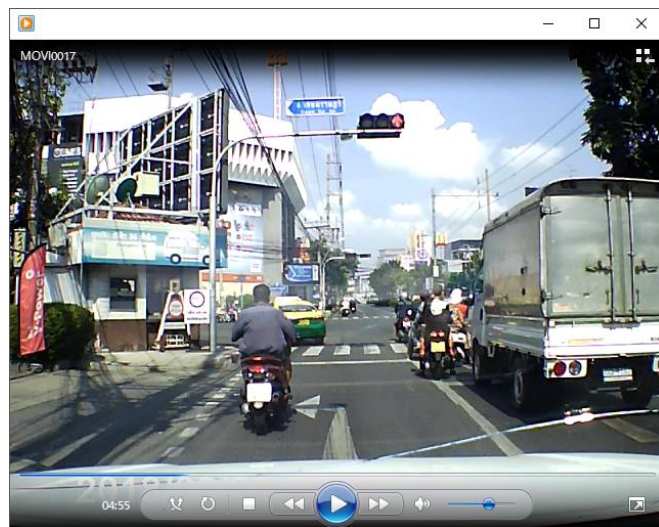
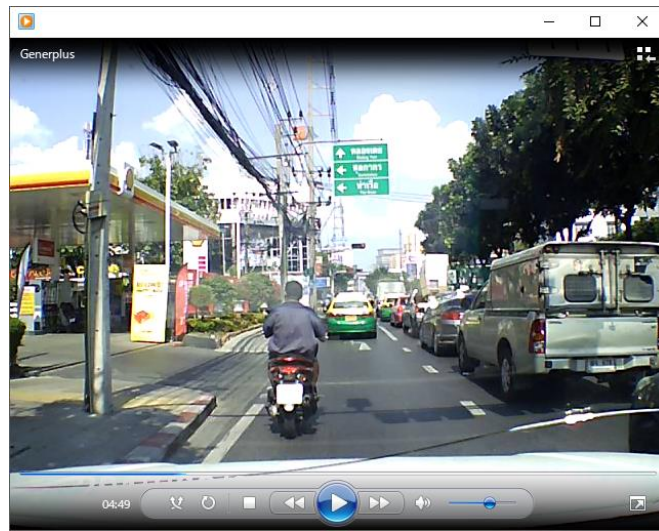
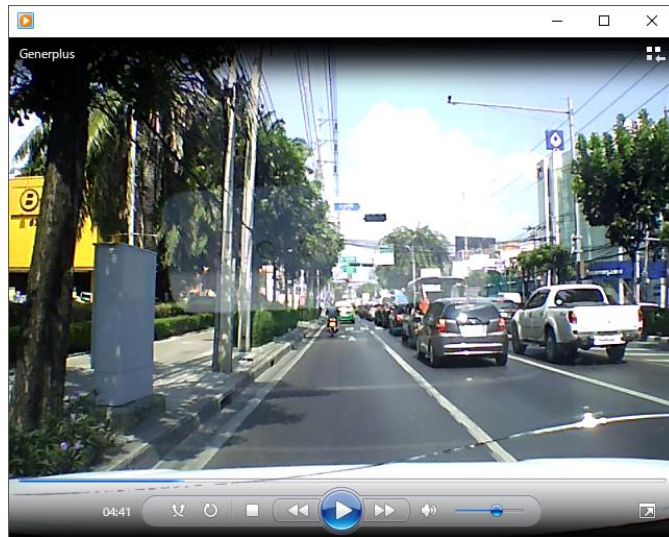


図 5.2.3-10 走行時の実際の道路状況

(ii) 高精度交通情報に基づくレーンガイダンスによる時間差

レーン毎の渋滞情報に基づき、高精度レーンガイダンスが行われたケースについて説明する。

高精度レーンガイダンスが行われた走行箇所を図 5.2.3-11 に示す。当該箇所を走行時における高精度ルートガイダンスシステムのナビ画面の様子を図 5.2.3-12 に示す。当該箇所を走行時、ナビの画面は1～4レーン目が **Jam** (赤) を示しているのに対して、5レーン目が **Slow** (黄) を示しており、他レーンと比較して5レーン目の渋滞度が低いことを示していることがわかる。実際レーンガイダンスにしたがって走行した際の道路の状況をドライブレコーダより取得した動画のキャプチャで図 5.2.3-13 に示す。3レーンから4レーンにレーンチェンジする際の様子と4レーンから5レーンにレーンチェンジする際の様子を比較すると、実際に5レーンが空いていることが確認できた。

以上のことから高精度渋滞情報を基にしたレーンガイダンスにより、最適なレーン走行が実現できたと考えられる。

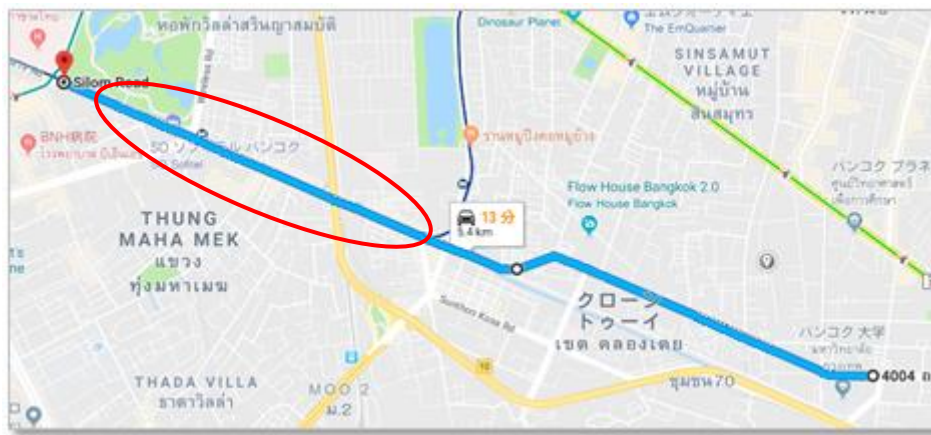


図 5.2.3-11 レーンガイダンスが発動した箇所
(出典：Google)

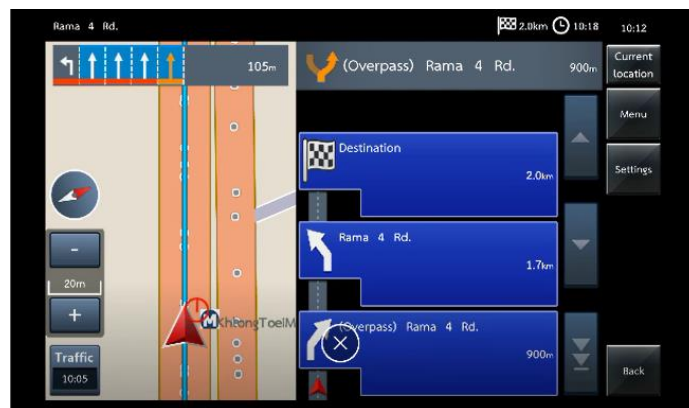


図 5.2.3-12 5レーンが他レーンよりも渋滞度が低いことを示す新ナビゲーションシステムの画面 (左が第1レーン)



図 5.2.3-13 実際の道路状況

5.2.4 課題の抽出と対策

本実証事業における事前のシステム開発や実証実験を通じて、高精度ルートガイダンスシステムの実用化に向けた課題として以下の事項が確認された。

それぞれの課題への解決方法としては高精度ルートガイダンスシステム自体に対する改善に加えて周辺環境の改善が必要となると考えられる。

表 5.2.4-1 高精度ルートガイダンスの実用化に向けた課題

LN	実用化に向けた課題	システムの改善	周辺環境の改善 周辺技術の適用
1	測位精度収束時間の短縮	○	○
2	サブメートル級測位精度の活用	○	
3	PPP 測位維持時間の改善		○
4	渋滞情報の精度の改善	○	
5	レーンマッチング率の改善	○	
6	ガイダンスシステムの UI の改善	○	

本実証事業で開発を行った高精度ルートガイダンスシステムは高精度測位技術、高精度レーン別渋滞情報、高精度ナビゲーションシステム（自車走行レーンを考慮したガイダンスを行うシステム）の3種類の技術要素によって構成される。これらの技術は互いに独立したものではなく、お互いの要素技術を活用する関係性にある。その関係性を図 5.2.4-1 に示す。

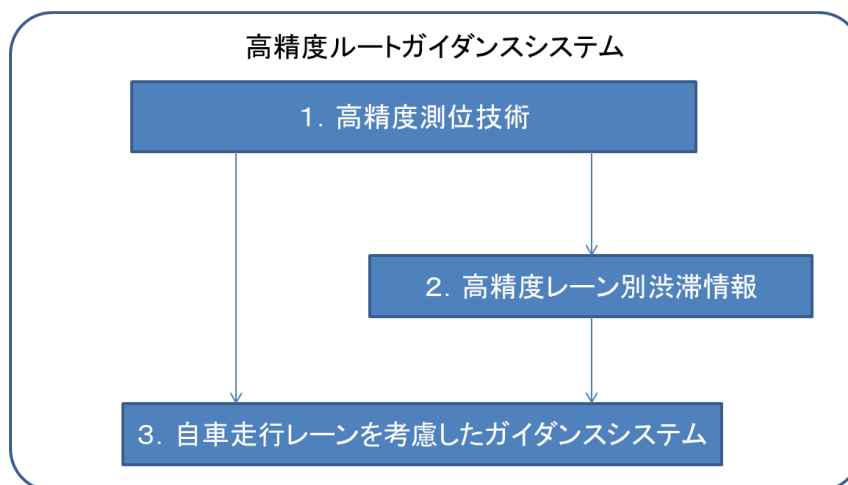


図 5.2.4-1 高精度ルートガイダンスシステムを構成する技術

(1) 測位精度収束時間の短縮

本実証実験ではグローバル補正情報を活用した PPP 測位を適用させることにより、高精度測位技術を活用した。グローバル補正情報で補正される誤差は GNSS 衛星に起因する誤差であり、電離層や対流圏に起因する誤差は測定を行う当該地域の上空の状況に依存するためこれらの誤差量については、複数周波数の GNSS 信号を連続的に受信したデータを解析することで推定されるため、これらの誤差量の推定に要する時間だけ、測位精度の収束時間を設ける必要がある。本実証実験に際しては走行試験前に駐車場において 30 分間の時間を設けて、電離層や対流圏に起因する誤差量の推定を行って測位精度の収束を行った。しかしながら実用化においては誤差量推定に要する時間を短縮させる必要がある。また、自動車で測位を行う場合に初期化が必要となるのは自動車の走行開始直後の他に、長いトンネルなどで長時間衛星信号が受信不可となった状況から復帰した直後にも「再初期化」が必要となることがある。この初期化及び再初期化の間にも高精度位置情報を担保するためにはシステムの改善と周辺環境の改善の 2 つのアプローチが考えられる。

(a) システム改善による対策

MADOCA において、収束時間短縮のための手段としては、電離層や対流圏の補正情報を持ったローカル補正を適用することが考えられる。そのためにはローカル測位補強サービスの適用に向けた、マルチ GNSS 受信機のローカル補正情報に対応するためのファームウェアの開発を行う必要がある。

また、一度位置が収束してから PPP 測位が途絶した状況からの再初期化については、現在の処理では、ある時間以上 PPP 測位が中断されると収束の計算を初期状態からやりなおすこととしているが、受信機で推定した電離層遅延や対流圏遅延の推定値はある程度の範囲内では有効であるため、PPP 測位が中断された場合でも推定値を保持して適用するように処理を変更することで、再初期化に伴う収束時間を短縮できることが期待される。

(b) 周辺環境を考慮した対策

高精度な衛星測位を行うには上空視界が確保されていることが条件であり、仮にシステムの改善で初期化時間が短縮されたとしても、屋内駐車場やトンネル内、高架下道路などでは衛星測位自体が行えず位置情報を得ることができないことが考えられる。したがって、特にバンコクのような都市部では衛星測位以外の別のセンサを併用して位置情報を収集することが必要であると考えられる。

現時点においては、測位精度の収束計算を行っている最中の自動車の位置を衛星測位以外のセンサ等で計測し、収束計算の初期位値として適用する方法が検討されている。初期位置が正確に得られれば初期収束時間が短縮可能であることは既に実証されている (http://qzss.go.jp/news/archive/agri-innovation_170331.html)。また屋内・トンネル・高架下道路走行時などの衛星測位自体が行えない状況下においては、センサと併せて受信機

に IMU を搭載することで、再初期化の時間中も自動車の位置情報が補完され、再初期化における電離層・対流圏誤差推定の収束計算も高速化できる可能性がある。このような衛星測位以外に自動車の位置情報を補完するものとしては車載カメラや高精度地図など、自動運転化を見据えて普及が見込まれるものが考えられる。実用化にあたってはこれらのコストなどの観点から実用的な手段の検討が必要となる。

(2) サブメートル級測位精度の活用

(1)ではセンチメートル級精度を得るための初期収束時間 30 分を短縮する可能性について検討したが、レーン判別に許容される最低限の位置精度は後述の図 8.1.1.-30 に示すとおり水平方向で $\pm 0.85\text{m}$ である。これに対し、本実証の測位結果では図 8.1.1-9 及び図 8.1.1-11 に示すように測位開始から少なくとも 360 秒 (6 分) 後には水平誤差 (2DRMS) で 0.85m 以下が得られていることから、レーン判別に必要な初期収束時間はローカル補正無しの場合でも 6 分以下であると考えられる。したがって走行開始後 6 分経過以降でレーン判別に効果的となる技術はローカル補正の適用よりも(1)(b)で検討した IMU 併用による再初期化時間の短縮であると言える。

(3) PPP 測位維持時間の改善

本実証実験ではグローバル補正情報を活用した PPP 測位を行うことにより高精度測位を行ったが、都市部では上空視界が制限される環境で衛星測位自体が行えない場所が多く、衛星測位だけでは有効な位置情報の取得時間率が悪化することから PPP 測位が維持されない事象が発生した。この課題に対する対策としては前述と同様に IMU を搭載した受信機の使用やセンサ類を自動車へ搭載することにより、衛星測位が行えない場合もデッドレコニングにより継続して位置を出力することで継続時間の改善を行うことが考えられる。

なお、近年は GPS や QZSS 以外にも使用可能な測位衛星が増加しており (欧州の Galileo や中国の BeiDou など)、衛星測位のアベイラビリティは拡大傾向にある。測位衛星の増加は特にアジア・オセアニア地域で著しく、2020 年にはタイにおける可視衛星数が 30 を超えるとの試算もある (Satoshi Kogure, "Report on a Multi-GNSS Demonstration Project in the Asia/Oceania Region", 15th meeting of ICG:Providers' Forum, 1 and 5 November 2015, Boulder, USA)。

また現時点においては、MADOCA の補正対象として利用できる衛星は GPS と GLONASS に限定されているため (準天頂衛星 1 号機の補正情報は NET 配信のグローバル補正情報に含まれている)、今後 MADOCA の対象となる衛星が増える場合は PPP 測位の継続性が改善されることが期待される。MADOCA の対象となる衛星として、準天頂衛星、Galileo、Beidou が順次追加される予定である。

(https://ssl.tksc.jaxa.jp/madoca/public/public_index_en.html)

(4) 渋滞情報の精度の改善

今回の実証実験ではプローブカーが8台のみであったため、レーンあたりの高精度交通情報の密度が低くなってしまふことにより、渋滞情報の精度が低くなってしまったものと考えられる。高精度測位を行う高精度受信機のレーンあたりの密度を高めるための対策としてはプローブカーの台数を増やすことや適切なレーンリンクの距離を設計することが有効であると考えられる。また、受け取る車両にとって適切な渋滞情報が受信できるように、渋滞情報の更新頻度の調整を行うことも有効な対策であると考えられる。また、今後も高精度交通情報の取得を継続させることで、データベースに取得データを大量に蓄積させ、そのビッグデータを用いて渋滞情報解析アルゴリズムの改修を行うことも対策の一つとして考えられる。

(5) レーンマッチング率の改善

今回の実証実験ではプローブカーより取得した位置情報と、走行ルートのレーン上に作成されたリンク情報をもとに、プローブカーがどのレーンを走行しているかを判定するレーンマッチングを行った。このレーンマッチングの正答率であるレーンマッチング率は渋滞情報の精度に係るため、実用化にむけては改善を行う必要があると考えられる。

今回使用したレーン毎のリンク情報は地図データをリファレンスとして作成を行った。しかしながら、タイの地図データの更新は頻度が少なく、エリアによっては精度にブレが生じている。また、今回はマッチングを行う幅を一定に設定したが、領域ごとにマッチング幅を適切に定義することによりマッチング率の改善が期待される。

(6) ガイダンスシステムの UI の改善

今回開発したガイダンスシステムの UI に関する課題を明確にするために、走行試験に参加したドライバーに対してアンケート調査を行った。アンケート調査により抽出された課題について考察を行う。

課題の1点目として、ナビが最初に選定したルートに対するドライバーの評価は高いが、高精度交通情報を基にしたリルート後のルートに対する評価が相対的に低いことが分かった。高精度渋滞情報に基づいたリルートにより当初のルートよりも遠回りするルートが選定された場合、直感的に最適なルートであるとドライバーが捉えづらいということが考えられる。ナビ画面で表示している縮尺によっては、リルート前後のルートをナビ画面上で確認できないため、どこが新しいルートになったのかわからず、低い評価になったものと考えられる。実用化にむけてはリルートしたルートの箇所をナビ画面で明示的に表現する(色を変えるなど)、今回は強制的にリルートをしたが、高精度交通情報を受信した際に、リルートするかどうかをユーザー側に選択させるような、任意リルート機能の追加が有効であると考えられる。

課題の2点目として、レーンガイドへの渋滞情報表示頻度に対する評価が低いことが分かった。レーンガイドが表示される交差点の一定距離手前のみでレーンガイド上に渋滞情

報が表示されるため、直進が長く続く道路内では一部の場所でのみ表示される。そのため、表示頻度が少ないということが評価が低い一因と考えられる。実用化にむけてはレーンガイド情報がない道路においても、直線が長く続くなどの条件に応じて、ナビ画面上にレーンごとの案内を表示させ、より広範囲で相対レーン情報を活用できるようにすることが有効であると考えられる。

課題の3点目として走行レーンの案内頻度、タイミングに対する評価が低いことがわかった。ナビからレーン変更を案内されてもすぐに変更できないケースが多くあったため、評価が低いと考えられる。基本的に交通量が多い、というタイならではの環境に依存する要素が大きいと思われるが、実用化にむけては例えば現在の3分類ではなく、細分化した渋滞度の情報を生成／整備し、一定以上空いている場合に案内を行う、といった機能改善を行うことが有効であると考えられる。

第6章 今後の具体的戦略と活動

6.1 事業化に向けた活動

本節では事業化に向けた活動について報告する。

6.1.1 GNSS イノベーションセンター開所式

(1) 実施概要

GNSS に係る企業への本実証事業の周知を目的とし、タイで開催された GNSS イノベーションセンター開所式に出席し、Japan パビリオンへの本実証案件の展示及び概要説明を行った。また、同イベントで開催されたラウンドテーブルディスカッションにおいて、タイ政府関連機関に対して本実証事業の説明を行った。

(a) 開催日

2018年1月10日

(b) 場所

タイ地理情報宇宙技術開発機関施設（タイ、チョンブリー県）

(c) 主な出席者

タイ：アチャカ科学技術省大臣、アンド GSTDA 役員、チャレムチョン Chula 大教授 他
日本：佐渡島在タイ大使、佐伯内閣府審議官、辻 JAXA タイ所長、柴崎東京大教授 他

(2) Japan パビリオン

TTC として「JETRO 実証事業：高精度測位技術を活用した高精度ルートガイダンスシステム」のパネルを出展し、タイ政府及び日本政府機関などに対して本実証事業の概要を説明した。

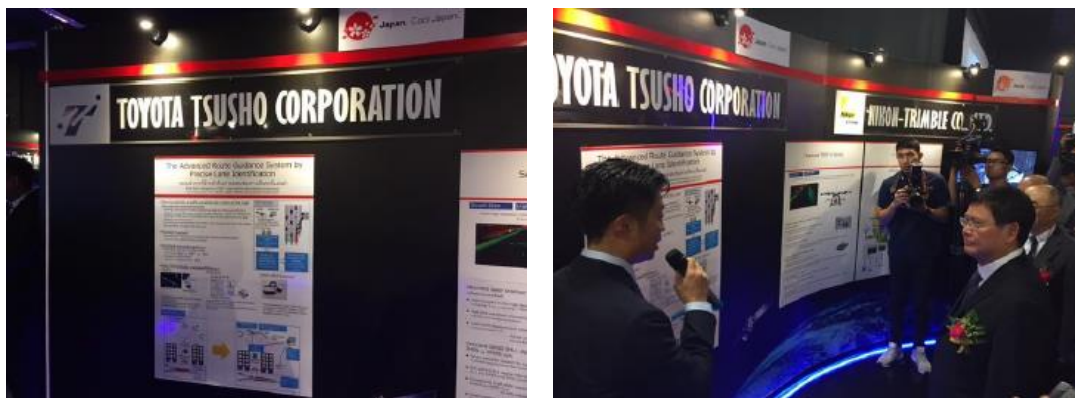


図 6.1.1-1 Japan パビリオンでの展示の様子
(左：展示パネル、右：アチャカ大臣への説明の様子)

(3) ラウンドテーブルディスカッション

東京大学の柴崎教授がモデレーターを務めるラウンドテーブルディスカッションにて、本実証事業の概要説明を行った。ディスカッションを通じてタイ政府関連機関などと本実証事業の将来的な取り組み内容に関する議論を行った。



図 6.1.1-2 ラウンドテーブルディスカッションの様子

(4) 成果

本イベントを通じてタイ政府機関ならびに日本政府機関との関係を構築するとともに、本実証事業の内容の周知や広報活動を行うことができた。また、ディスカッションにおいてはタイ政府機関より本実証事業の成果が渋滞緩和のみならずスマートシティの発展に貢献する可能性があるとの意見を得た。

6.2 ビジネスモデルの検討

本節では、本実証事業を活用したビジネスモデルについて、既存のビジネスモデルを起点として検討を行う。

6.2.1 渋滞情報を活用した既存のビジネスモデル

タイにおいて、GPS 受信機が設置されたタクシープロブカーから取得した位置情報をもとに渋滞情報を生成・配信するサービスが 2012 年より行われている。

コンテンツプロバイダとなる企業がタクシープロブカーに搭載された GPS 受信機より 3～5 秒ごとに収集した位置情報から、交通情報生成エンジンにより交通渋滞情報を生成する。この交通渋滞情報生成は日本の方式を採用している。1 日に受信される 50 万以上の膨大な位置情報及び交通渋滞情報のデータは交通情報データベースに過去のデータとして蓄積され、生成された渋滞情報の精度向上に向けたアルゴリズム解析にも用いられている。交通情報生成エンジンにより生成されたバンコク市内における住宅街の主要道路、二次道路、狭い通りを含む 25,000 以上の道路の交通情報は、インターネット、携帯電話網、FM 多重放送を経由してユーザ端末へと配信され、ユーザの渋滞情報を考慮したルート検討に貢献している。交通情報配信のフローを図 6.2.1-1 に示す。

本サービスの沿革としては、2010 年に実証実験を実施し、2012 年よりスマートフォン向けに交通渋滞情報を Web 経由で配信を開始した。また、2013 年からは自動車メーカー純正 Navi 向けに交通渋滞情報を配信開始し、2016 年には物流会社用デジタルタコグラフ向けに交通渋滞情報配信を開始しており、5 万台に対して渋滞情報を配信する規模まで事業が拡大している。交通情報配信サービスの沿革を図 6.2.1-2 に、スマートフォン向け配信サービスのユーザインタフェースを図 6.2.1-3 に示す。

さらに本ビジネスをタイで事業化することにより日本方式の渋滞情報生成のユースケース拡大に寄与することに加え、現地雇用の創出とハイテク人材育成にも貢献するなどの日本及びタイ双方に効果をもたらしている。

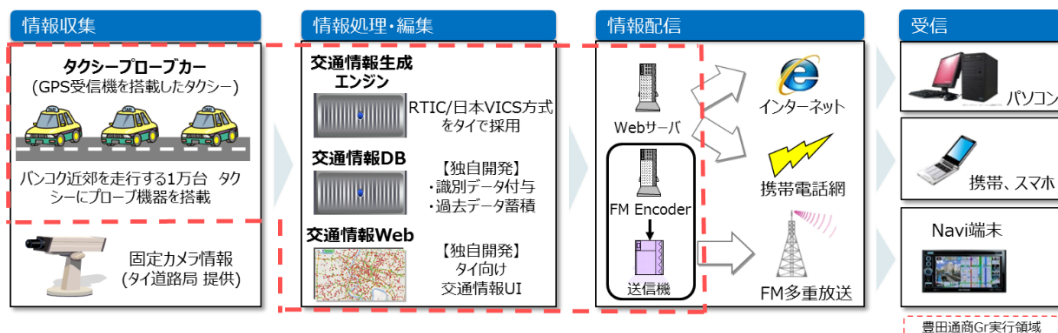


図 6.2.1-1 GPS 情報を活用した交通情報配信フロー

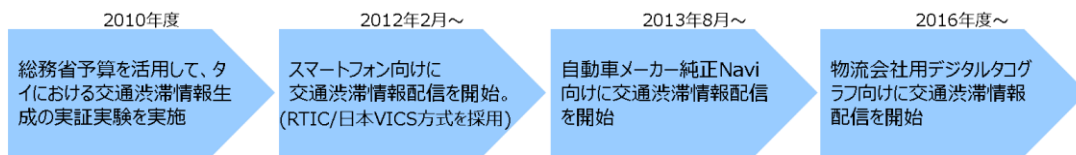


図 6.2.1-2 交通情報配信サービスの沿革



図 6.2.1-3 スマートフォン向け配信サービスのユーザインタフェース
(道路上の赤が Jam、黄が Slow、緑が Smooth)

6.2.2 本実証事業を活用したビジネスモデル

既存の渋滞情報生成・配信サービスは GPS 単独測位によって得られる測位情報に基づいたサービスとなっている。既存のサービスにおけるビジネスモデルについて図 6.2.2-1 に示す。基本的な構造としてはコンテンツプロバイダとなる企業が約 13 万台のタクシー及びトラックに設置された GPS 受信機から取得したプローブデータをもとに渋滞情報を生成し、自動車メーカーやフリートマネジメント会社及びスマホアプリケーションに渋滞情報を配信するものとなっている。なお、そのうち1万台分はコンテンツプロバイダが自社保有する GPS 受信機をタクシーに搭載したものである。

本実証事業では、マルチ GNSS 測位に加えてグローバル補正情報などの補正情報を適用した高精度な測位情報を活用できるようにするために、既存のシステムを高度化した高精度渋滞情報生成システム及び高精度ルートガイダンスシステムの開発を行った。結果として、高精度渋滞情報生成・配信サービスや高精度ルートガイダンスサービスのような、既存のサービスを高度化したサービスの提供が可能となるものと考えられる。また本実証事業で開発した技術や、生成が可能となった高精度渋滞情報は道路交通分野における他のビジネス領域、更には他分野におけるビジネス領域へ展開されることが期待されると考えられる。そのため、本実証事業で開発したシステムを活用する場合、道路交通分野における既存サービスの高度化によるビジネス領域の拡大、続いて本実証事業で開発した技術及び高精度交通情報を活用した道路交通分野及び他分野へのビジネス領域の拡大が考えられる。ビジネス領域拡大のイメージを図 6.2.2-2 に示す。

詳細なビジネスモデルの検討については(1)道路交通分野における既存サービスの高度化により生成されるビジネス、(2)本実証事業で開発した技術及び高精度交通情報を活用することにより展開されるビジネスに分けて行う。

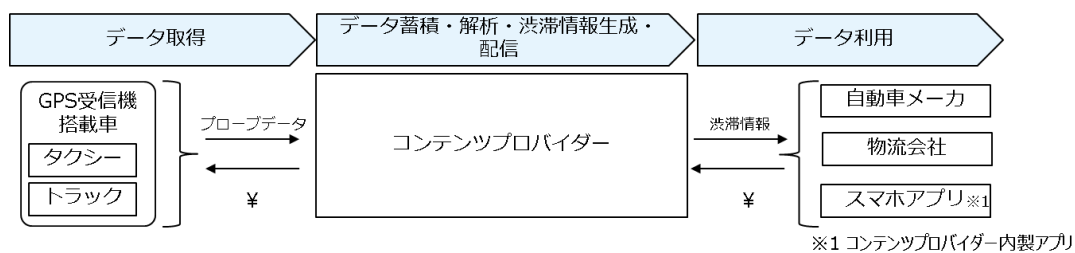


図 6.2.2-1 既存サービスにおけるビジネスモデル

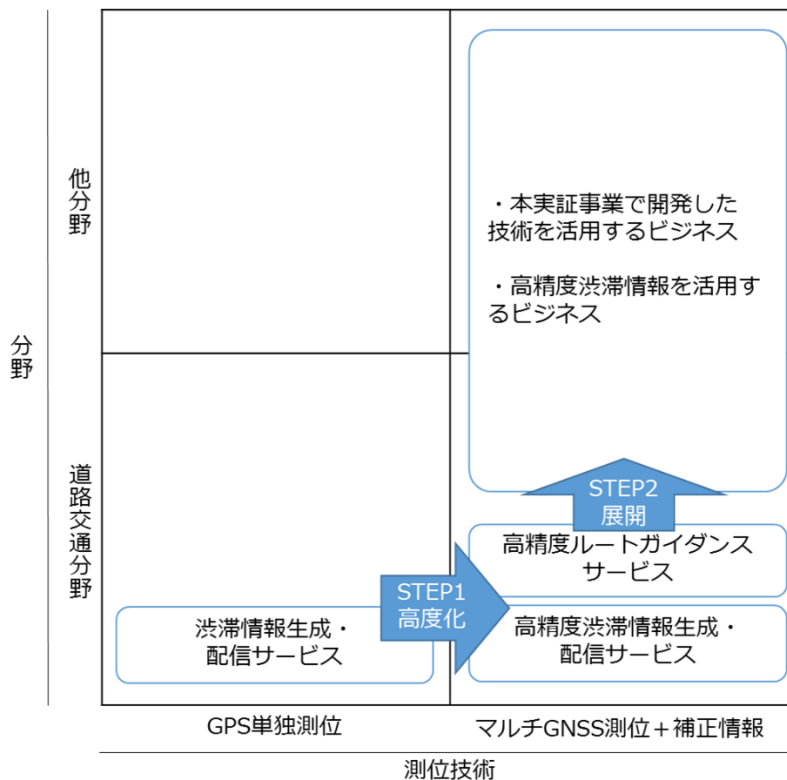


図 6.2.2-2 ビジネス領域拡大のイメージ

(1) 道路交通分野における既存サービスの高度化により生成されるビジネスモデルの検討
 既存サービスの高度化として本実証事業において開発した高精度渋滞情報生成システム及び高精度ルートガイダンスシステムを活用したビジネスモデルについて検討を行う。

(a) ビジネスモデル概要

既存サービスの高度化による変化点は、車両の位置情報がレーン毎に取得できるようになることで、既存サービスでは不可能だったレーン毎の渋滞情報が生成できるようになることである。ビジネスモデルの概観を図 6.2.2-3 に示す。基本的な構造は既存サービスのビジネスモデルと同様に、コンテンツプロバイダとなる企業が高精度プローブデータを取得し、取得したデータから高精度渋滞情報を生成しユーザへ配信するものとなる。また今回、ナビソフト会社と協業でレーン毎のルートガイダンスが可能なソフトウェアの開発を行ったことで、レーン毎の渋滞情報を反映した高精度ルートガイダンスシステムが構築できるようになる。高精度ルートガイダンスシステムを利用すると、現状のルートガイダンスと比較して目的地までの到着時間の短縮が期待できるため、配送効率が課題の一つである物流企業にとっては導入メリットがあると考えられ、既存サービスを利用しなかった物流企業やフリートマネジメント会社などへのビジネス拡大が期待できる。本サービスは、2年後を目途にバンコク市内、引き続いてタイ全土、並行して隣国へ展開することを目指す。

既存サービスを高度化するにあたっては、高精度受信機及び補正情報が必要要件となるため、高精度受信機メーカならびに補正情報の配信事業者においても新たなビジネス機会が創出されることになる。補正情報の配信事業者の行うビジネスモデルとしては高精度受信機を搭載するユーザに対して補正情報の配信を行い、ユーザより対価を得るものが想定される。ビジネスモデルの概観について図 6.2.2-4 に示す。補正情報の配信方法は NET を経由した配信と、準天頂衛星を経由して L6E 信号から配信される 2 種類となるが、それぞれの配信方法についてユーザが支払う対価は NET を経由した場合は補正情報の配信会社の設定した金額となることが想定される一方で、国のインフラである準天頂衛星を経由した場合は無料となることが考えられる。本実証実験では、補正情報の配信は NET 経由の方が安定であると確認されたが、オープンスカイである環境下においては衛星経由でも NET 経由と同様に安定した補正情報の取得が行えた。そのため、補正情報の配信は NET 経由で基本的に行うものの、オープンスカイ環境下で衛星経由での補正情報の取得が安定的に行える状況下では補正情報の取得方法を衛星経由に切り替えを行うことで、衛星経由で補正情報を取得した分だけサービスの利用料金の割引を行うなどのサービスが考えられる。このような補正情報の取得方法の切り替えにより料金の割引が発生してユーザにメリットをもたらすビジネスモデルは準天頂衛星をインフラとして活用することで享受されるものである。そのため、既存サービスの高度化に付随して創出される補正情報生成・配信に係るビジネスモデルの展開にあたっては準天頂衛星のインフラとしての利活用が促進されることが期待される。

また、ナビゲーションソフトウェアメーカにおいては、高精度ルートナビという新たな商品の提供機会が生まれ、コンテンツプロバイダにおいては、高精度渋滞情報というコンテンツの高度化となる。これら各社が有機的に連携して高精度測位技術を活用した高精度ルートガイダンスシステムを構築することで、ハード・ソフトを越えた新たな市場の創造と産業全体への波及効果も期待される。

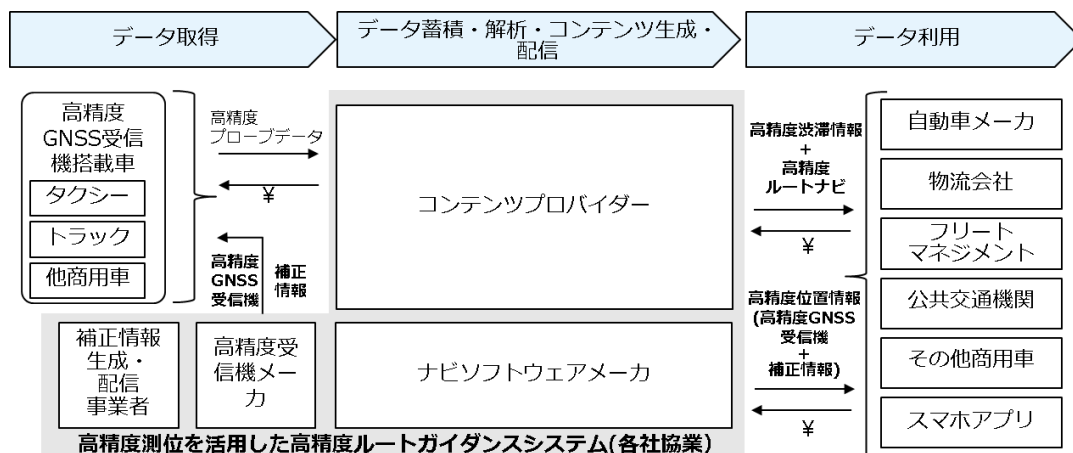


図 6.2.2-3 既存サービスの高度化により生成されるビジネスモデル

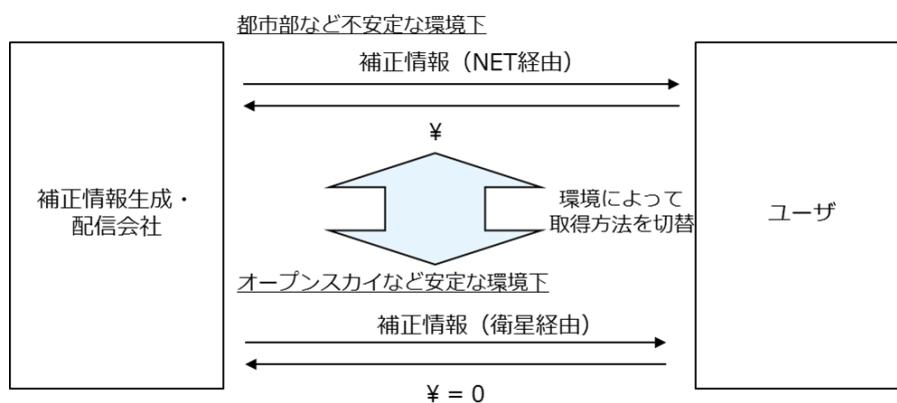


図 6.2.2-4 補正情報生成・配信会社におけるビジネスモデル

(b) タイへの貢献

既存サービスの高度化により生成されるビジネスモデルがもたらすタイ経済への貢献として、業務提携先やユーザとなる事業者に対する貢献とタイ政府に対する貢献に整理して考察する。

(i) 事業者に対する貢献

レーン別の渋滞情報を考慮する高精度ルートナビゲーションシステムが導入されることにより、渋滞を回避した最適なルート及びレーンガイダンスがユーザに提供されることとなる。

ユーザの一つである物流業界においては、高精度ルートガイダンスシステムを活用することにより、渋滞回避に最適なルートで走行できるため、トラックの配送時間が短縮されることが期待される。配送時間が短縮された場合、一日の配送量を増加させることが可能となるため、事業者における経済的なメリットをもたらすものと考えられる。また、高精度渋滞情報の適用範囲が隣国まで拡大できれば、クロスボーダ物流においても効率的な走行が期待される。

また、タイの物流業界においては人材流動が激しく、質の高いドライバの確保や新人ドライバの教育が困難であるという問題が発生しているが（経済産業省平成 28 年度調査 「アジア産業基盤強化等事業 物流コストが企業の国際競争力に与える影響調査」 報告書、株式会社日本総合研究所）、高精度ルートガイダンスシステムに従って走行することで従来のナビゲーションシステムと比較して短い時間での配送が可能となるため、高精度ルートガイダンスシステムの活用により、新人を含むドライバの走行効率が担保されることが期待される。

本実証実験においてコース全体が直進でルートガイダンスが発動せず、レーンガイダンスのみが発動することが予想される走行ルートでの走行試験を抽出し、新ナビゲーション

ョンシステムを搭載したトラックと現行ナビゲーションシステムを搭載したトラックのレーンチェンジ回数を比較した結果、走行時間に大きな差は見られなかった一方で、現行ナビゲーションシステムを搭載したトラックと比較して新ナビゲーションシステムを搭載したトラックの方がレーンチェンジの回数が少ないことが分かった。レーンチェンジの回数比較を表 6.2.2-1 に示す。現行ナビゲーションシステムを搭載したトラックのレーンチェンジはドライバーの判断に一任しており、経験やノウハウに基づいたレーンチェンジを行っているものと推測される。一方で、新ナビゲーションシステム搭載トラックの行うレーンチェンジはレーン毎の渋滞度を含む高精度渋滞情報に基づくものであるため、渋滞回避に最適なものであると考えられる。そのため、レーンチェンジの回数が現行ナビゲーションシステムと比較して少ないということから、高精度ルートガイダンスシステムによるレーンチェンジの一回当たりの渋滞回避に対する貢献度は従来のドライバーの判断に基づくレーンチェンジと比較して高いものと考えられる。また、レーンチェンジを行う際は減速・加速を行うため燃費悪化や場合によっては交通事故を引き起こす原因となることも考えられる。そのため、高精度ルートガイダンスに従って走行することで、不必要なレーンチェンジを防ぎ、効率的で安全な運転に寄与するものと考えられる。

高精度ルートガイダンスシステムがもたらすこれらの効果は、物流業界のみならず、タクシー業界、バス業界、ひいては一般ドライバーに対しても貢献すると考えられる。

表 6.2.2-1 レーンチェンジ回数比較

Route	Course	レーンチェンジ回数		走行時間	
		QZSS	GPS	QZSS	GPS
5	1	17	37	0:17:26	0:17:36
	2	7	20	0:14:51	0:15:28
6	1	14	23	0:14:36	0:15:09
	2	20	27	0:37:43	0:37:20

(ii) タイ政府に対する貢献

前述の通り、バンコクは世界で第2位の交通渋滞の激しい都市であり、渋滞による経済損失の解消に向けた対策は取り組むべき施策の一つであると考えられる。本実証事業では高精度ルートガイダンスシステムによる渋滞を回避した効率的な走行が可能となるものとしており、バンコクにおける渋滞による経済損失の解消に寄与することが期待できる。今回の実証実験では新ナビゲーションシステムによる走行時間の短縮率は7.04%であった。この数値を用いて、高精度ルートガイダンスシステムがタイ全土で適用され

た場合の経済損失解消額を算出すると、一年で2,666億円の経済損失解消効果が見込まれた。今回算出に使用した短縮率は実証実験結果に基づくものであるため、実用化に向けたシステムの改善の中でより短縮率が向上し、結果としてより大きな経済損失解消効果が期待される。

【経済損失解消効果算出方法】

国土交通省 (<http://www.qsr.mlit.go.jp/oita/douro-ir/index.html>) で提示されている渋滞における経済損失算出方法を用いて経済損失解消効果の算出をおこなった。

算出に使用した計算式は下記の通りである。

$(\text{ドライバの時間給}) \times (\text{労働時間}) \times (\text{高精度ルートガイダンスシステムによる走行時間短縮率}) \times (\text{タイにおける商用車の台数}) \times (365 \text{ 日}) = (\text{経済損失解消効果})$

【計算に使用した指標】

ドライバの時間給：52.375 パーツ（JETRO 投資コスト比較におけるワーカーの平均月収額を用いて、タイ労働法における時間給の考え方に基づいて算出）

労働時間：8時間（タイ労働法より）

交通量：7,319,174 台（日本自動車工業会、タイのバス・トラック保有台数より）

レート：1 パーツ=3.43 円

本ビジネスモデルにおいて、高精度なプローブデータはレーンの数だけ倍増する事に加えて、データの取得源が高精度受信機を取り付けたプローブカーのみならず、高精度ルートガイダンスシステムが導入された車両も含まれることとなるため、同時に多量のプローブデータを解析して渋滞情報を生成することとなることに加えて、アルゴリズムの改修にはデータベースに蓄積された大量のプローブデータの解析が必要となるため、ITに卓越した人材がより必要となることが考えられる。高精度渋滞情報の適用にあたってはタイにおけるハイテク IT 人材の教育に寄与することが期待される。

(2) 本実証事業で開発した技術及び高精度交通情報を活用することにより展開されるビジネス

本実証事業で開発した技術や高精度渋滞情報を活用したビジネスについて、道路交通分野においては高精度渋滞情報の配信や高精度ルートガイダンスを除くサービスと、他分野で展開されることが考えられるサービスについて検討を行う。

本実証事業で開発した技術や高精度交通情報を活用することで拡大される道路交通分野及び他分野におけるビジネス領域は、測位技術が活用される分野をベースに検討を行う。測位技術が活用される分野としてロケーションベースサービス (LBS)、道路交通、鉄道、航空、海洋、建築・測量、農業、時刻同期の8分野が挙げられる (GNSS MARKET REPORT ISSUE 5, 2017)。測位技術が高精度化する事により、既存サービス及び①のサービス領域である道路交通分野以外の分野でのサービスが期待される。また、高精度渋滞情報をデータベースに蓄積させ、そのビッグデータの解析・利活用を行うスマートシティに関するサービス、とりわけ道路交通、鉄道、航空、海洋の分野を横断的に行うマルチ物流に関するサービスの展開が期待される。これらの分野及びサービスに発展することが期待されるアプリケーションについて、図 6.2.2-5 に示す。また、これらのサービスが展開された際のビジネスモデルの概観について図 6.2.2-6 に示す。

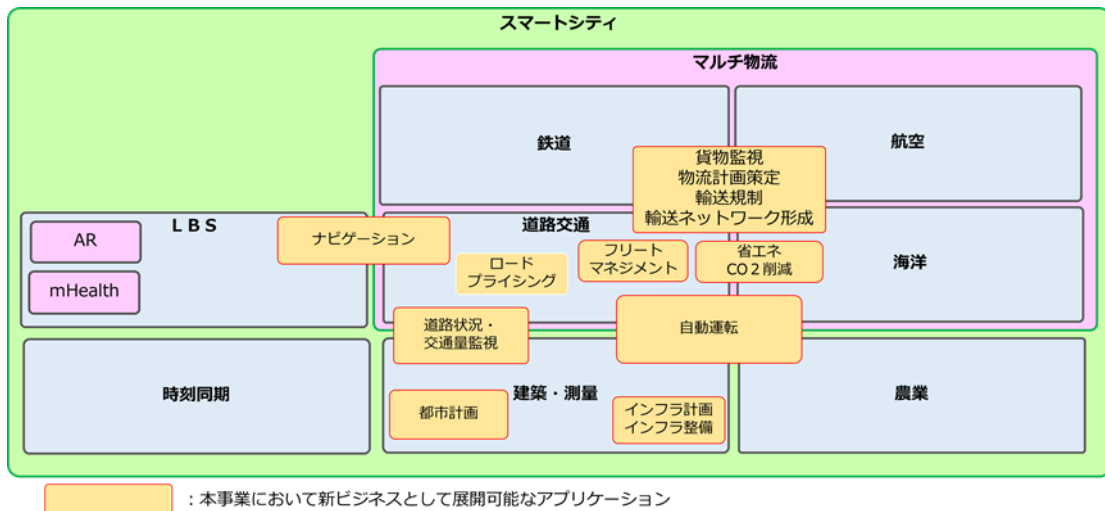


図 6.2.2-5 本実証事業において新ビジネスとして展開可能なアプリケーション

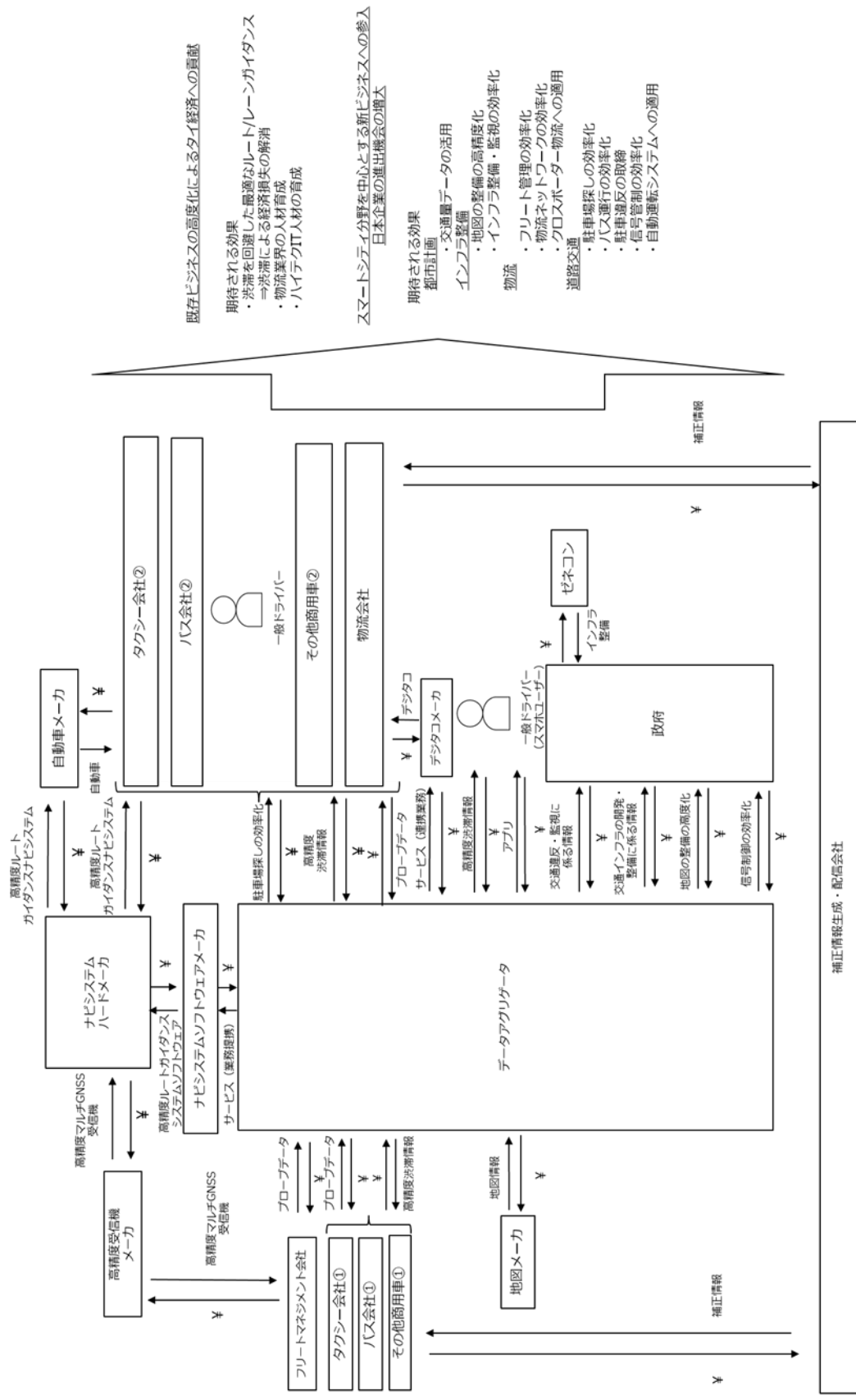


図 6.2.2-6 新ビジネスモデルの概観

(a) ビジネスモデル概要

(i) 道路交通分野

道路交通分野において、高精度渋滞情報の配信や高精度ルートガイダンスを除くサービスについても検討を行った。ビジネスモデルの概観を図 6.2.2-7 に示す。コンテンツプロバイダとなる企業が取得したプローブデータをもとに高精度渋滞情報及び高精度プローブ情報より生成される種々の情報の取引をドライバや政府に対して行うものである。取り扱われることが予想される情報としては駐車場探しの効率化に資する情報、交通違反・監視に係る情報、信号制御の効率化に資する情報などが考えられる。

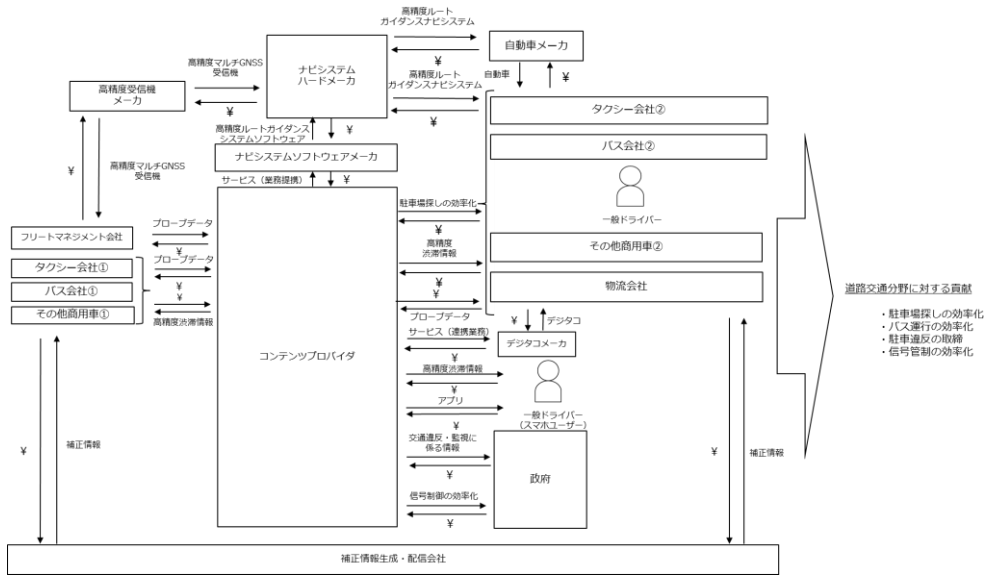


図 6.2.2-7 道路交通分野で展開されるビジネスモデル概観

道路交通分野における物流では取得する情報が高精度化する事によりフリートマネジメントが高度化する事に加えて、鉄道、航空、海洋における物流との連携を図るマルチ物流の効率化が課題となることが予想される。マルチ物流において貨物の載せ替えなどを効率化するためにはトラックによる物流に関する情報のみならず、鉄道、航空、海洋における物流の情報を活用したサービスが必要となるものと考えられる。マルチ物流分野におけるビジネスモデルの概観について図 6.2.2-8 に示す。鉄道、航空及び海洋における物流に関する情報をコンテンツプロバイダが取得し、トラック物流に関する情報と組み合わせることでマルチ物流に関する情報を各物流会社に対して取引を行う。

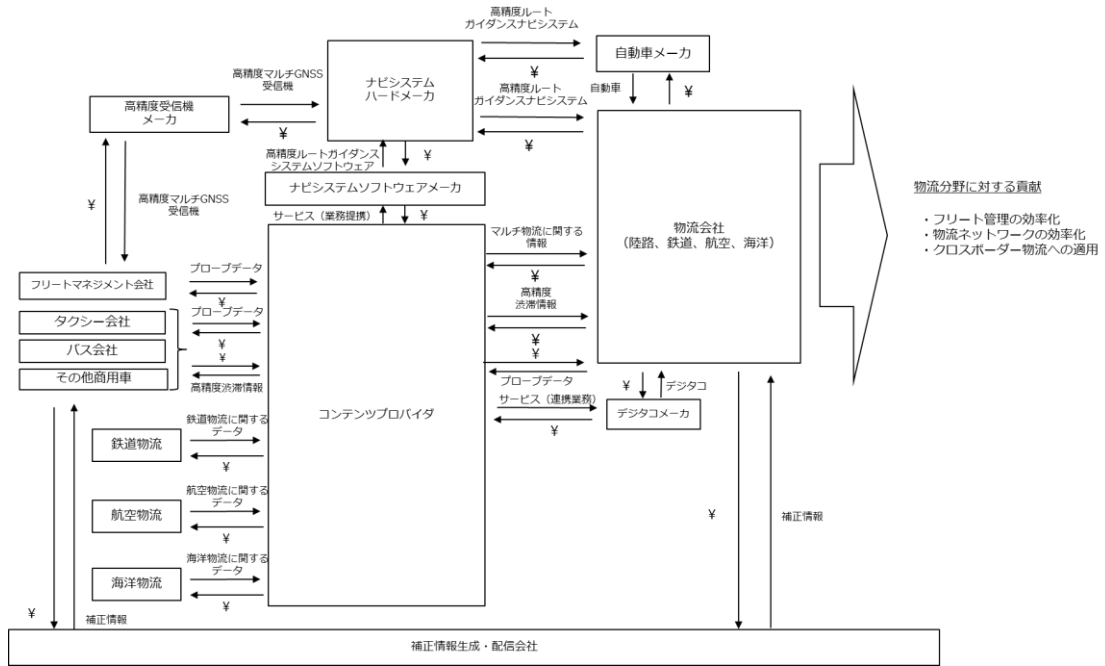


図 6.2.2-8 物流分野で展開されるビジネスモデルの概観

また、高精度ルートガイダンスシステムはレーン毎の渋滞情報に基づいた渋滞回避に最適なルート選定が可能である事に加えて、実際の渋滞情報の変化に際して、最適なルートの再選定を行うことが可能である。この技術は将来的に自動運転車の走行ルート決定プロセスに資することが期待される。高精度ルートガイダンスシステムを自動運転車に適用させた際のビジネスモデルの概観について図 6.2.2-9 に示す。

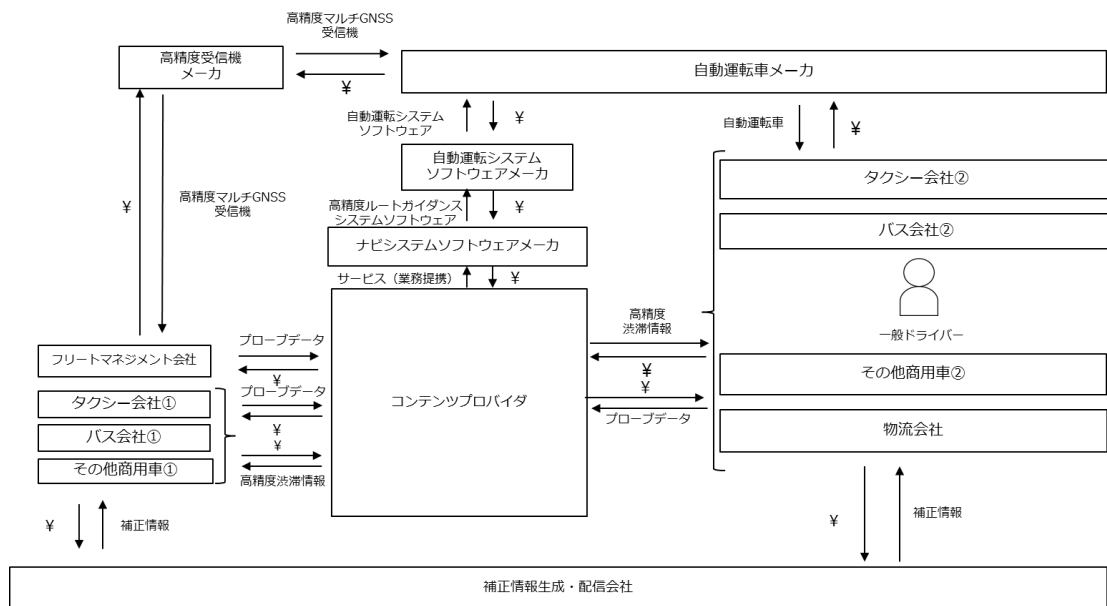


図 6.2.2-9 自動運転に適用させた際のビジネスモデルの概観

情報の適用によりタイの交通事故減少に寄与することが期待される。

マルチ物流分野への適用は、陸路、鉄道、航空、海洋を跨る効率的な物流ネットワークの形成に寄与するものと考えられる。異なる物流の情報を適用させた効率的な物流ネットワークの形成は次世代のサプライチェーンの構築に資するものであると考えられる。

また、前述の通り、交通情報の縦断的な解析によって生成される情報は効率的なインフラ整備に加えて都市計画に寄与することが期待される。交通情報はコンテンツプロバイダの有するデータベースに蓄積されることにより、ビッグデータとして取り扱われるようになることが予想される。このような多量のデータに基づく効率的な都市計画はスマートシティの分野においても適用されることが期待される。

タイではタイランド 4.0 に向けた育成業種の一つとして次世代自動車が定められている。前述の通り、高精度ルートガイダンスシステムは将来的に自動運転車のルート決定に活用されることが期待されることから、高精度ルートガイダンスシステムの自動運転車への適用はタイランド 4.0 との親和性が高いものであると考えられる。

6.2.3 ビジネスモデル構築に向けた課題

本実証事業で開発した高精度ルートガイダンスシステムを活用したビジネスとして 6.2.2 に提示したビジネスモデルを構築する際に課題となる点について考察する。

(1) マルチ GNSS 受信機への転換コスト

渋滞情報生成・配信サービスはプローブカーより取得する情報量の多さがサービスの質に直結するように、規模のメリットが発揮されるサービスである。高精度ルートガイダンスシステムを活用したサービスにおいては、高精度渋滞情報はレーン別の渋滞情報を含んでいるため、レーン別の渋滞情報を作成するために全てのレーンにおいてプローブカーが走行していることが好ましく、既存サービスの渋滞情報の精度を保つためにはレーンの数倍だけプローブカーの台数を増やす必要があると考えられる。そのため、高精度ルートガイダンスシステムを活用したサービスは既存サービスと比較して、より規模のメリットを享受するサービスであると考えられる。よって、高精度ルートガイダンスシステムを活用したビジネスモデルの構築に際しては、既存サービスのプローブデータを取得するプローブカーが使用する GPS 受信機を高精度測位が可能である高精度受信機としてマルチ GNSS 受信機へ転換させることが必要であることに加えて、受信機を未搭載である車両に対してもマルチ GNSS 受信機の搭載を進めることが好ましいと考えられる。

しかしながら、現状ではマルチ GNSS 受信機は GPS 受信機と比較して高価であるため、導入に際しては金銭的な課題が発生するものと考えられる。プローブデータの取引対象となると考えられる、フリートマネジメント会社やタクシー会社がマルチ GNSS 受信機を導入する際には補助金などの対応が必要となるものと考えられる。また、マルチ GNSS 受信機は量産化が可能となれば導入コストの削減につながるため、高精度ルート

ガイダンスシステムを活用したサービスが規模のメリットを享受することを訴えかけ、タイ国内のプロブカーへのマルチ GNSS 受信機の導入を確約する施策等があることが好ましいものと考えられる。またマルチ GNSS 受信機の導入に際しては日本からのマルチ GNSS 受信機輸入に係る関税の減額や、タイ国内においてマルチ GNSS 受信機の生産を行うなどの対応が必要となると考えられる。

(2) 高精度渋滞情報適用範囲の拡大

高精度渋滞情報は高精度受信機より取得した位置情報とレーン別のリンク情報に基づいて生成される。今回の実証実験では走行試験を行う走行ルートのレーン別のリンク情報のみを作成して、高精度渋滞情報の生成を行った。高精度ルートガイダンスシステムを活用したビジネスモデルを構築する際には走行試験を行った走行ルート以外に対してもレーン別リンク情報の生成を行う必要があり、バンコク市内だけでも網羅的に作成するには多大な時間とコストを要することが予想される。また、タイでは地図の更新作業が頻繁に行われないため、地図情報の精度が低いエリアがあるものと考えられる。レーン別のリンク情報は地図情報に基づいて作成されるため、レーン別リンク情報の作成にあたっては高精度な地図の整備が必要になるものと考えられる。

(3) 補正情報取得方法のシームレス化

補正情報の配信に係るビジネスモデルとして、補正情報の取得方法を NET 経由と衛星経由間で切り替えることで、料金の割引などのメリットをユーザにもたらすサービスを提案した。このビジネスモデルの構築にあたっては、PPP 測位が断絶しないように補正情報の取得方法を NET 経由と衛星経由間でシームレスに切り替えを行うことが必要となる。今回の実証実験では補正情報の取得方法はマニュアルで切り替えを行っており、取得方法を自動で切り替えを行う場合には、受信機において更なる開発を行うことと、衛星経由に取得方法の切り替えを行う際の衛星からの信号受信の安定度に係る閾値について検討が必要となると考えられる。

第7章 まとめ

本事業では、「高精度測位技術を活用した高精度ルートガイダンスシステムの検討」として、バンコクを対象に渋滞を回避した効率的な物流トラックの走行の実現に向けたシステムの検討・開発及びシステムの実証実験を行った。高精度ルートガイダンスシステムの開発に際しては、高精度ルートガイダンスシステムに活用する、自車走行レーンの識別が可能な高精度測位技術の検討、レーン別の渋滞情報を生成する高精度渋滞情報生成システムの開発を行った。開発した高精度ルートガイダンスシステムの性能を評価するためにバンコク市内にて実証実験を行った。

実証実験の結果、実用化に向けては高精度測位技術の精度向上及び補正情報の安定性向上、高精度渋滞情報の精度向上などの課題が明らかとなったものの、既存のナビゲーションシステムと比較して走行時間の短縮効果が確認でき、渋滞による経済損失の解消に資するものと期待される。

このことから本報告書で提案・実証した高精度ルートガイダンスシステムは、タイの更なる経済発展に寄与することができる有益なシステムであるといえる。

添付資料（開発内容及び実験内容）

第8章 システム開発・整備及び性能評価

8.1 高精度測位技術

8.1.1 マルチ GNSS 受信機

(1) マルチ GNSS 受信機の概要

(a) マルチ GNSS 受信機

MSJ の多周波を受信可能なマルチ GNSS 受信機の概要を以下に示す。

表 8.1.1-1 マルチ GNSS 受信機概要

メーカー	MSJ
機種名	MJ-3008-GM4-QZS
外観	
対応する測位信号	
GPS	L1 C/A
	L1C
	L2C
	L2P
	L5
GLONASS	G1
	G2
準天頂衛星システム（準天頂衛星システム）	L1 C/A
	L1C
	L2C
	L5
	L6
最大出力周期	100Hz

MSJ 製マルチ GNSS 受信機（MJ-3008-GM4-QZS）は、単独搬送波位相測位（PPP 方式）に対応しており、L1、L2、L5 など複数の測位信号と共に、L6 帯の L6E 測位信号を使用することで、MADOCA PPP によるセンチメートル級の測位精度を実現することができる。さらに、固定の電子基準局からの情報を使用することで、RTK 測位を行うことができる。

(b) アンテナ

マルチ GNSS 受信機に接続するアンテナの概要を以下に示す。

表 8.1.1-2 アンテナ概要

メーカー	MSJ
機種名	MJ-3009-GM4-ANT
アンテナ種類	アクティブパッチアンテナ
外観	
対応する測位信号	
GPS	L1
	L2
	L5
GLONASS	G1
	G2
準天頂衛星システム（準天頂衛星システム）	L1
	L2
	L5
	L6
Galileo	E1
	E5
	E6
Beidou	B1
	B2
	B3
SBAS	L1

(c) ローカル補正対応のファームウェアカスタマイズ

ローカル補正情報を使う目的は、MADOCA PPP 測位処理において、搬送波位相アンビギュイティを解くことでセンチメートル級の精度を得るまでの初期収束にかかる時間を 20~30 分程度から 1~2 分程度に短縮することにある。

ローカル補正用基準局の観測データで生成されるローカル補正情報には、ローカル補正用基準局受信機位置（ECEF）、電離層遅延パラメータ、対流圏遅延パラメータ、受信機クロックバイアスを補正するためのデータなどが含まれている。これらの補正情報と準天頂衛星から配信される MADOCA のグローバル補正情報（軌道補正情報、時刻補正情報、衛星コードバイアス情報など）を使用することで、初期収束時間の短縮を行うことが可能に

なる。

ファームウェア（FW）のカスタマイズとしては、現在の MADOCA グローバル補正に対応したソフトウェアに対し、上記ローカル補正情報を適用する作業を実施した。図 8.1.1-1 にマルチ GNSS 受信機の測位エンジンの構成を示す。作業は図 8.1.1-1 中の Reference data processing へのローカル補正機能の追加にあたる。

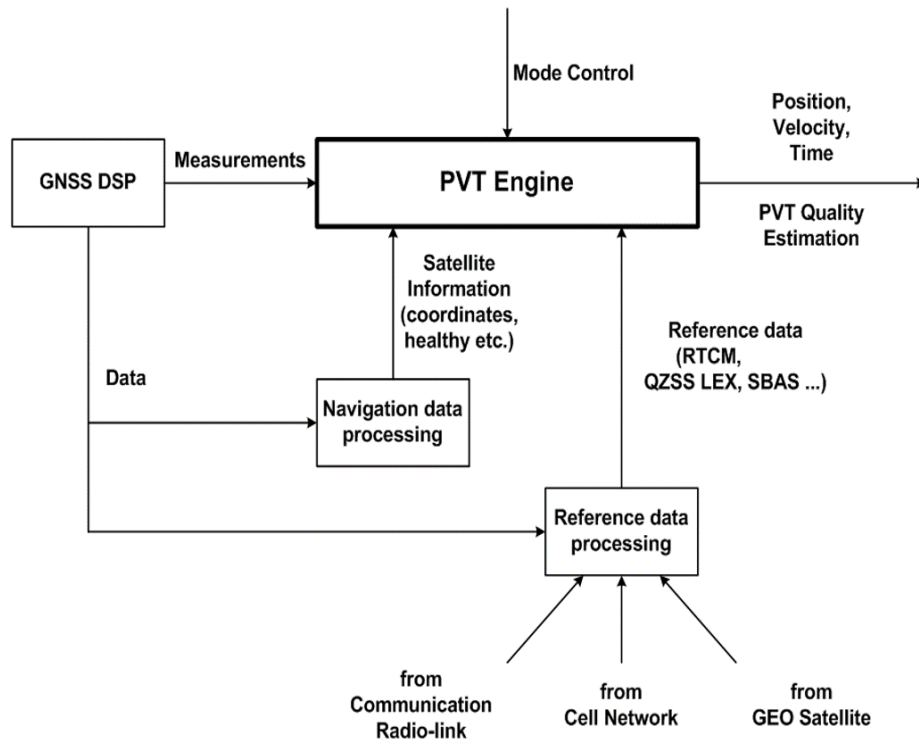


図 8.1.1-1 マルチ GNSS 受信機の測位エンジンの構成

ローカル補正情報を適用して収束時間の改善確認を行ったところ、時間短縮の効果が見られない状況が続いた。このため、各補正データの確認や補正プロセスの確認、補正演算方法、拡張カルマンフィルタなど、全てのプロセスを再確認し、パラメータの調整などを実施したが、収束時間の短縮には至らなかった。具体的には、以下の①～⑤の順序でファームウェアのカスタマイズ作業を行った。

- ①ローカル補正情報の **Reference data processing** アルゴリズムへの適用／実装
- ②PC 上で実行
- ③収束時間改善の確認
- ④デバッグ
- ⑤準天頂衛星システムボード上へ実装

時間短縮の効果が見られないことに対する原因究明を行ったが、原因の特定に時間を要

し実証実験までには解決しないと判断し、代替案として JAXA の MALIB ソフトウェアを使用したローカル補正適用の検討を実施した。

この MALIB ソフトウェアでは、マルチ GNSS 受信機で生成される観測データと、MADOCA グローバル補正情報及び、ローカル補正用基準局の観測データで生成されるローカル補正情報を使い、測位演算を行うことが可能である。マルチ GNSS 受信機がローカル補正に対応した場合の構成を図 8.1.1-2 に、MALIB ソフトウェアを使用する場合の構成を図 8.1.1-3 に示す。

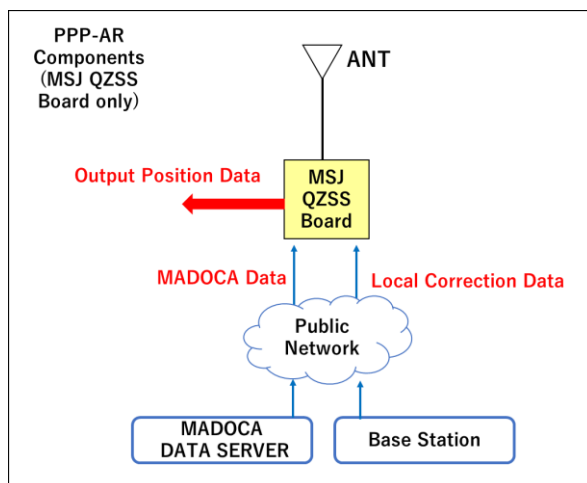


図 8.1.1-2 マルチ GNSS 受信機で PPP-AR を行う際の構成

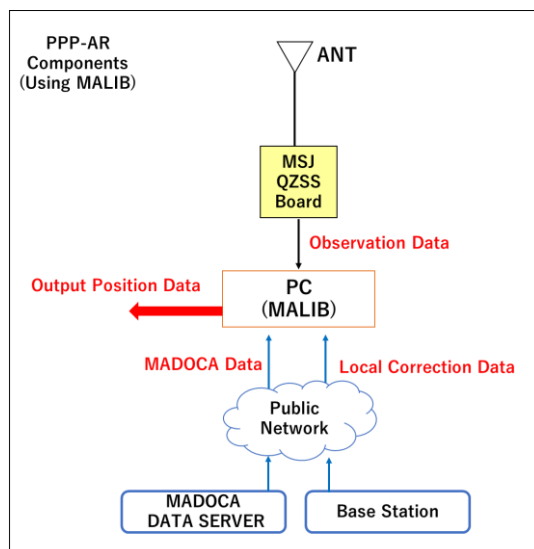


図 8.1.1-3 MALIB ソフトウェアを使用して PPP-AR を行う際の構成

(2) マルチ GNSS 受信機の性能評価（静止状態）

マルチ GNSS 受信機の測位精度及び測位精度が安定するまでの収束時間について測定・評価を行った。

(a) 性能評価方法

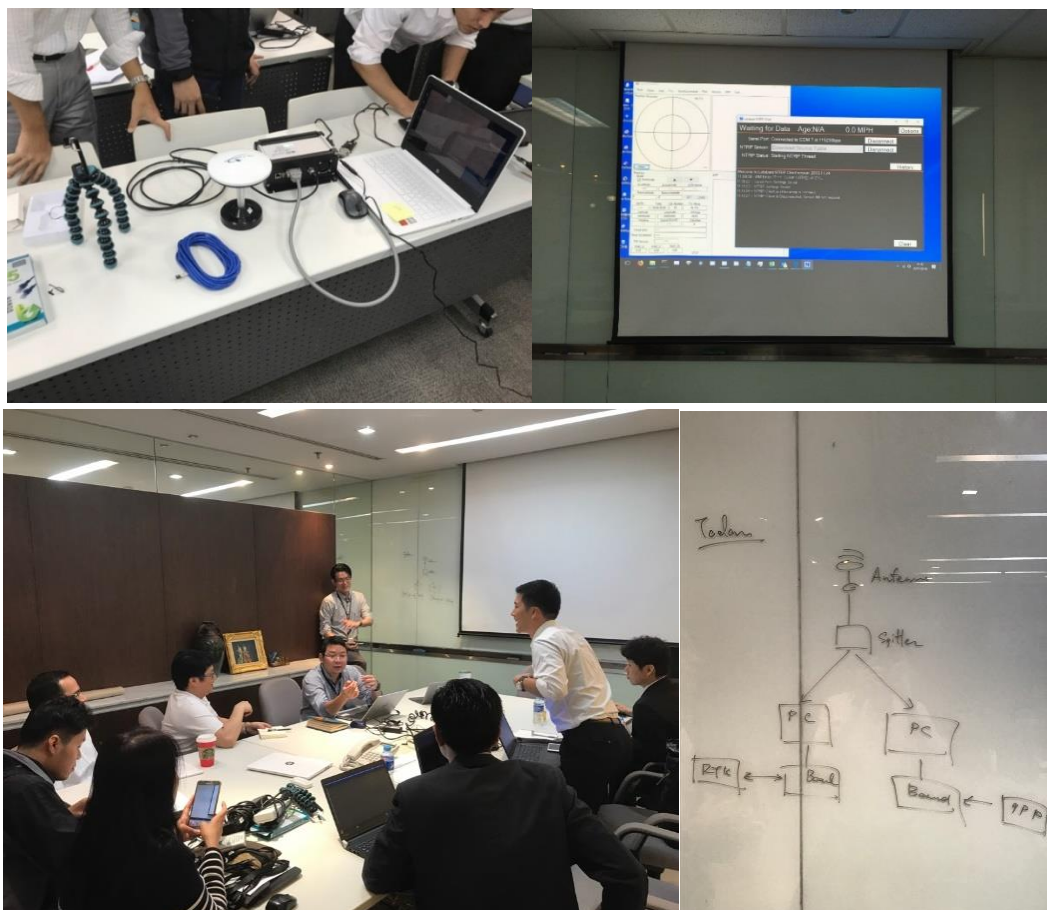
(i) 性能評価系の構成

図 8.1.1-4 に本性能評価以降に使用するマルチ GNSS 受信機及びアンテナを示す。



図 8.1.1-4 マルチ GNSS 受信機及びアンテナ

NETH 内にて受信機系の動作に関して机上確認を実施した。データの取得状況をもとに、車に搭載する構成の検討を行った。



(左上：受信機系のセッティング、右上 PC 上でのデータ取得状況確認
 左下：取得したデータの解析の様子、右下：車載構成検討の様子)

図 8.1.1-5 検討会の模様

マルチ GNSS 受信機の静止状態での精度評価を行った際の受信機系の構成を図 8.1.1-6 に示す。マルチ GNSS 受信機 3 台とタイのタクシーに既に搭載されている GPS 受信機 1 台を 1 台の車に搭載した。マルチ GNSS 受信機はそれぞれ、準天頂衛星からの L6E 信号を利用した PPP 測位（以下、PPP (L6E) と呼ぶ）、インターネット配信の MADOCA を利用した PPP 測位（以下、PPP (NET) と呼ぶ）、RTK 測位（以下、RTK (MSJ) と呼ぶ）を行った。PPP 測位を行う 2 台は、1 台の MSJ 製のアンテナから分岐させた信号を利用した。実際に自動車へ受信機を搭載した様子を図 8.1.1-7 で示す。

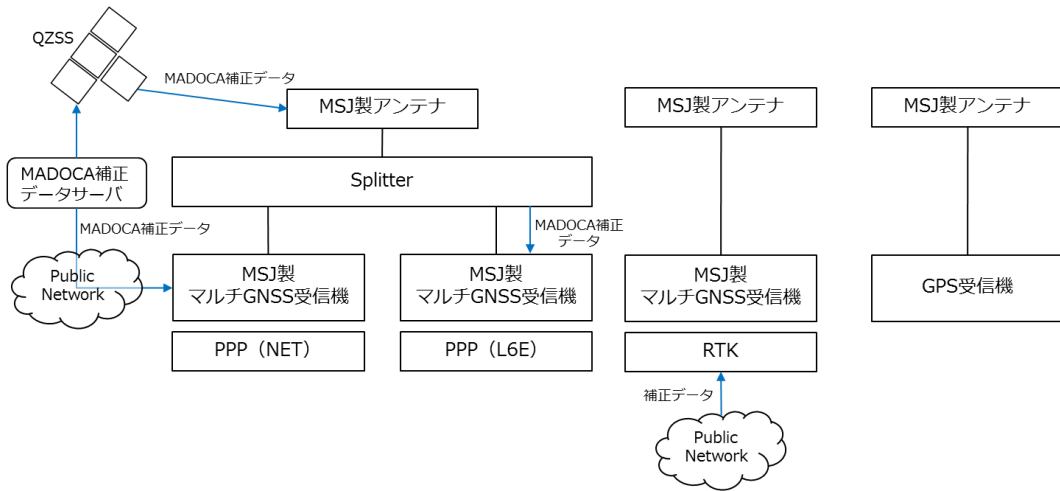


図 8.1.1-6 静止状態の性能評価における受信機系の構成



(左上、右上：アンテナの取付、左下：車内受信機系取付、右下：停止時の受信機系動作確認)

図 8.1.1-7 受信機系取付の様子

(ii) データ取得

停止状態の性能評価は障害物の少ない駐車場で 20～30 分ほど受信機を搭載したタクシーを停車させ、受信機測位による位置情報の取得を行った。

測位は GPS 受信機とマルチ GNSS 受信機で行い、マルチ GNSS 受信機については PPP (L6E)、PPP (NET)、RTK による測位を行った。同条件による測定を 2 回行った。

(iii) 評価項目

受信機による測位によって取得した位置情報をもとに、静止状態での位置精度をばらつき指標である 2DRMS を用いて評価した。評価の際には RTK 測位によって取得した位置情報をリファレンスとして用いた。また、位置誤差が 1.5m 未満及び 30cm 未満になるまでの収束時間を測定した。

(b) 性能評価試験結果

マルチ GNSS 受信機による PPP (L6E)、PPP (NET) について性能評価の結果をそれぞれ表 8.1.1-3～表 8.1.1-4 に示す。Position Accuracy は RTK (MSJ) により取得した位置情報をリファレンスとして算出した測位精度を示している。2DRMS < 1.5m (Static) 及び 2DRMS < 30cm (Static) は測位精度が 1.5m 以下、30cm 以下に収束するまでの時間を示している。なお、参考情報として従来の受信機との比較として GPS 受信機による測位を一回目の性能評価の際に併せて行った。精度に関する項目の詳細は 8.1.1 項(2)(b)(i) 及び(ii)において説明を行う。

表 8.1.1-3 一回目の静止状態の性能評結果

	PPP (L6E)	PPP (NET)	Conventional Receiver
Position Accuracy (Static)	0.08m * 1	0.06m *1	-
2DRMS < 1.5 m (Static)	21sec	154sec	accuracy >1.7m
2DRMS < 30cm (Static)	401sec	326sec	accuracy >1.7m

*1 Calculated from 600~900sec 2DRMS

表 8.1.1-4 2回目の静止状態での性能評価結果

	PPP (L6E)	PPP (NET)
Position Accuracy (Static)	0.13m *1	0.09m *1
2DRMS < 1.5 m (Static)	202sec	238sec
2DRMS < 30cm (Static)	347sec	326sec

*1 Calculated from 600~900sec 2DRMS

(i) 位置誤差

PPP 測位は、電離層遅延及び対流圏遅延の補正の計算に数 10 分程度必要なため、PPP 測位を開始した直後は誤差が大きく、時間の経過とともに誤差が小さくなり、数 10 分後には誤差がほぼ最小となる値まで収束する。PPP の精度は以上の理由により PPP 測位開始からの経過時間によって異なるため、ここでは受信機系の OS 立ち上がりから 600 秒後～900 秒後のデータから 2DRMS を計算し、この値を RTK 測位の値をリファレンスとして PPP 測位での静止状態の精度として評価を行った。

位置精度の指標となる 2DRMS は複数点のデータが必要となるため、ある時間での 2DRMS は、直前 150 秒間のデータと、直後 150 秒間のデータの計 300 秒間のデータから算出し評価を行った。PPP (NET) での測定による位置精度は、1 回目は 8cm、2 回目は 13cm であった。PPP (L6E) での測定による位置精度は、1 回目は 6cm、2 回目は 9cm 程度となった。GPS 受信機は、PPP 測位のような測位状態の変化がないため、静止状態の間の全データから 2DRMS を計算し、この値を静止状態の精度とした。精度は 2.4m 程度となった。

(ii) 収束時間

位置精度がある値以下に収束するまでにかかった時間を評価した。距離及び 2DRMS の時間変化におけるグラフを図 8.1.1-8～図 8.1.1-11 に示す。グラフの縦軸は RTK 測位で得られた Fix 解の座標の平均値からの距離を表し、横軸は受信機系の OS 立ち上がりからの経過時間を表している。(図 8.1.1-9、図 8.1.1-11 参照)。PPP (L6E) では最短で 21 秒後 (12 月 14 日)、PPP (NET) では最短で 74 秒後 (12 月 15 日 2 回目) には 1.5m 以下の精度となった。PPP 測位では、最長でも 4 分以内には 1.5m の精度になり、7 分以内には 30cm 以下の精度となった。一方、GPS 受信機では、2DRMS が 1.5m 以下にならなかった。

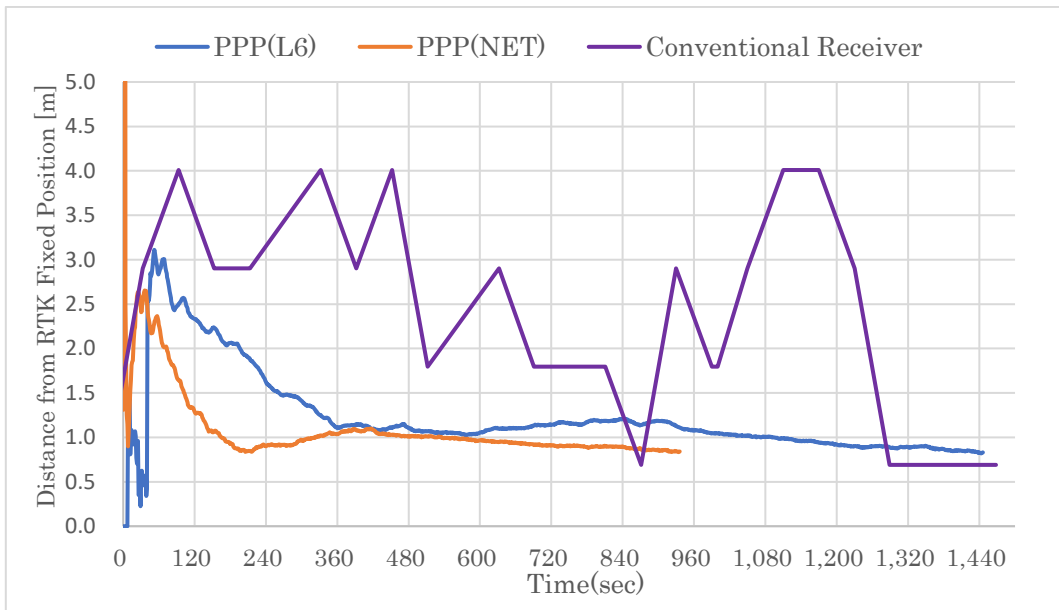


図 8.1.1-8 静止状態での測位位置の時間変化（1回目）

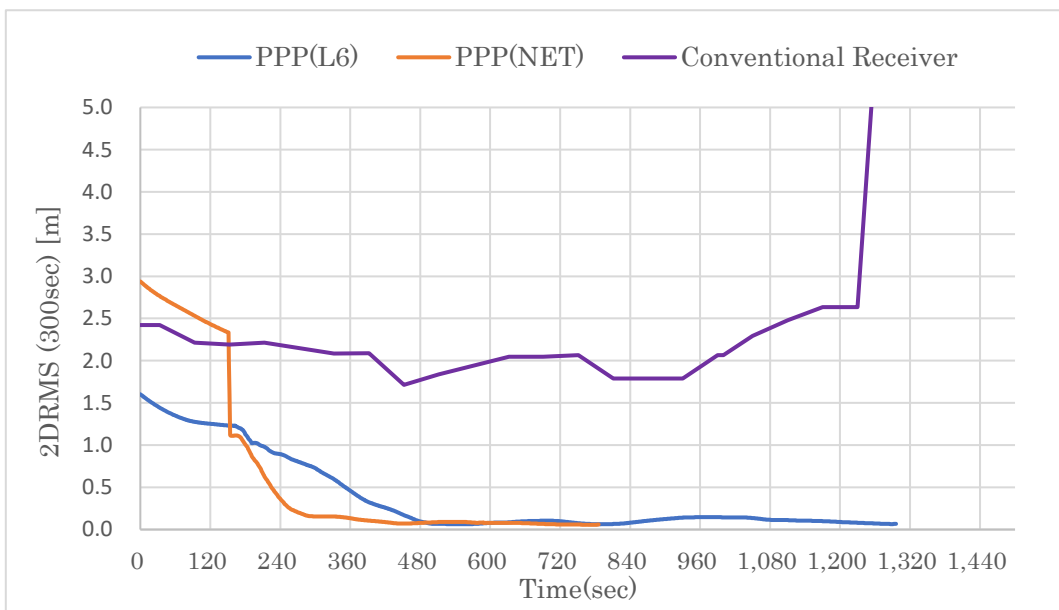


図 8.1.1-9 静止状態での測位位置の 2DRMS の時間変化（1回目）

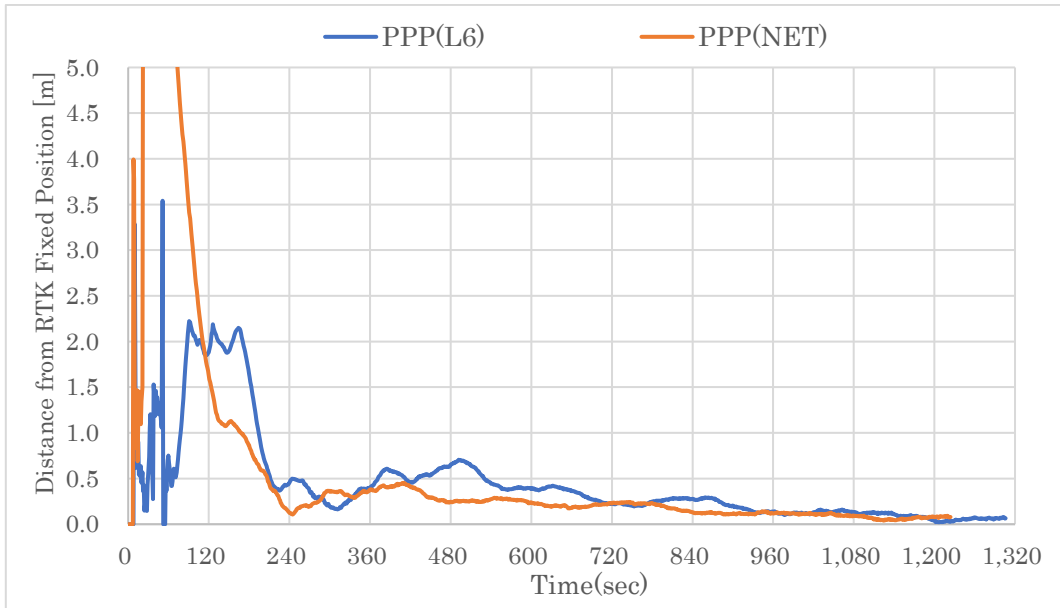


図 8.1.1-10 静止状態での測位位置の時間変化（2回目）

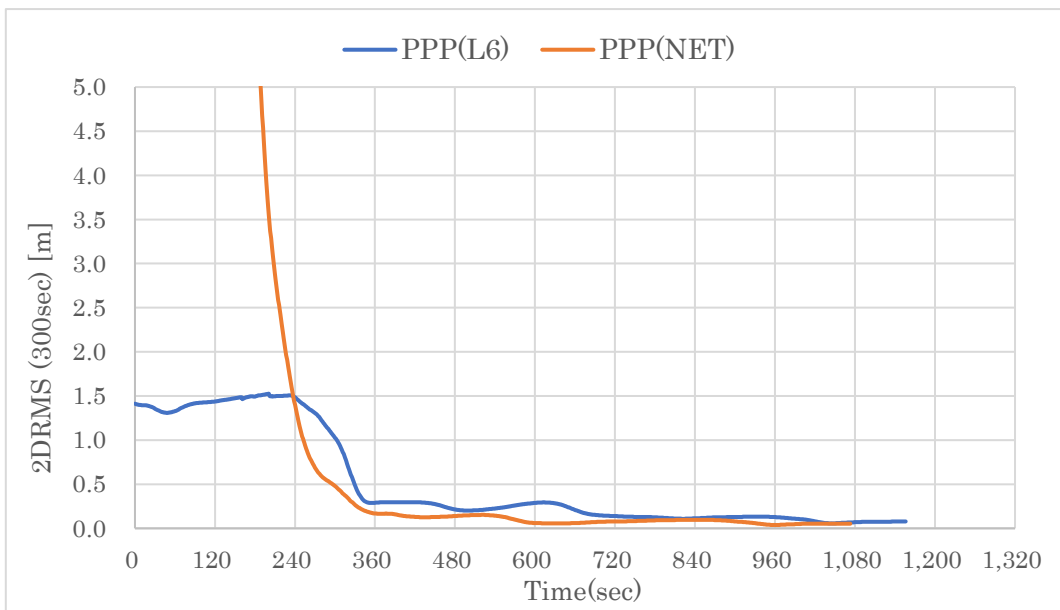


図 8.1.1-11 静止状態での測位位置の 2DRMS の時間変化（2回目）

(3) 走行状態におけるマルチ GNSS 受信機の動作確認

本実証実験ではマルチ GNSS 受信機を搭載した自動車が複数の条件化の道路を走行した。その際のマルチ GNSS 受信機の PPP (NET) 及び PPP (L6E) の測位情報の取得性能に関する共通点、相違点を把握するために、複数の条件下で走行試験を行い、走行状態におけるマルチ GNSS 受信機の測位情報取得に関する動作確認を行った。

(a) 性能評価方法

(i) 性能評価系の構成

走行試験における受信機系の構成を図 8.1.1-12 に示す。マルチ GNSS 受信機 2 台を同じ車に搭載した。マルチ GNSS 受信機 2 台は PPP (L6E)、PPP (NET) に設定した。これら 2 台は、1 台の MSJ 製のアンテナから分岐した信号を利用した。

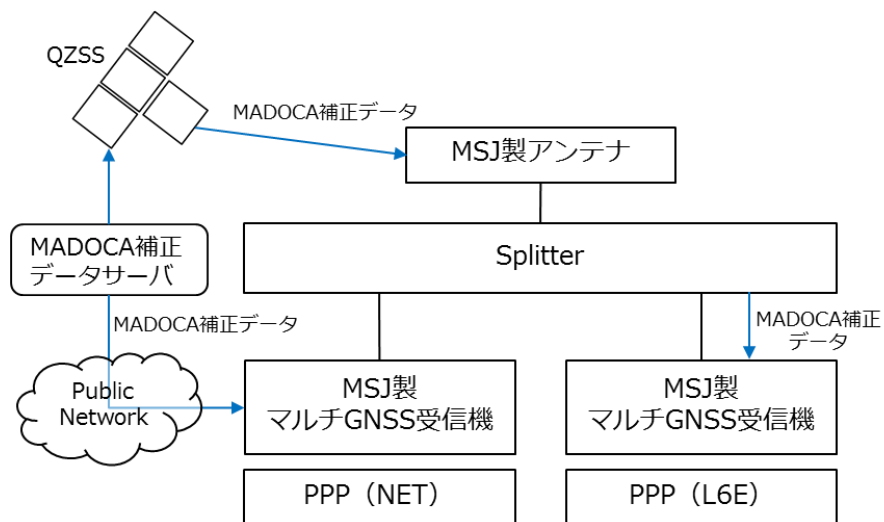


図 8.1.1-12 走行試験における受信機系の構成



図 8.1.1-13 車に設置されたアンテナ (MSJ 社製)

(ii) 取得データ

タイ・バンコク市内の街路にて走行試験を行いデータの取得を行った。走行試験は合計で3回行い、それぞれ異なるコースを走行した。それぞれの走行コースの概要については表 8.1.1-5、走行軌跡については図 8.1.1-14～8.1.1-16 に示す。

表 8.1.1-5 走行試験経路概要

走行試験	距離	備考
1回目	4.2 km	市街地・悪環境
2回目	28.2 km	ハイウェイ・良環境
3回目	15.7 km	市街地・悪環境

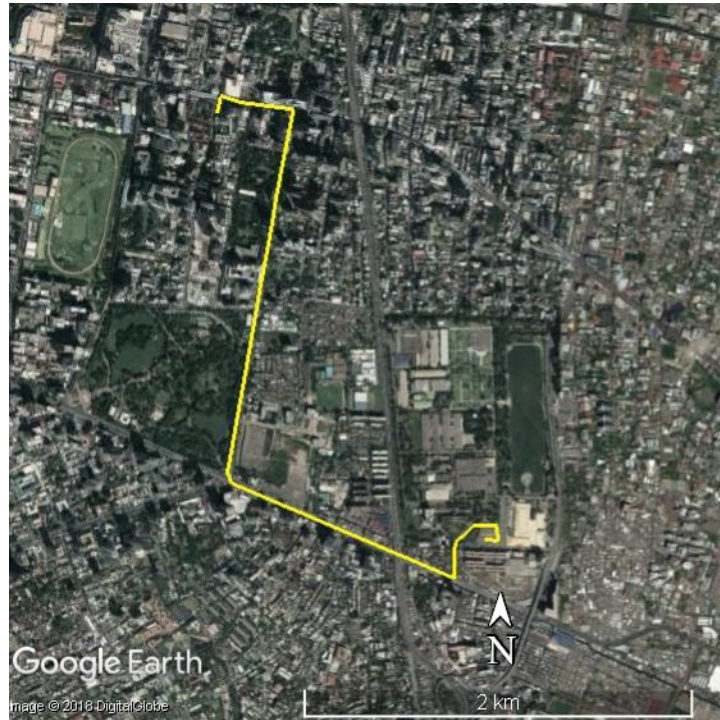
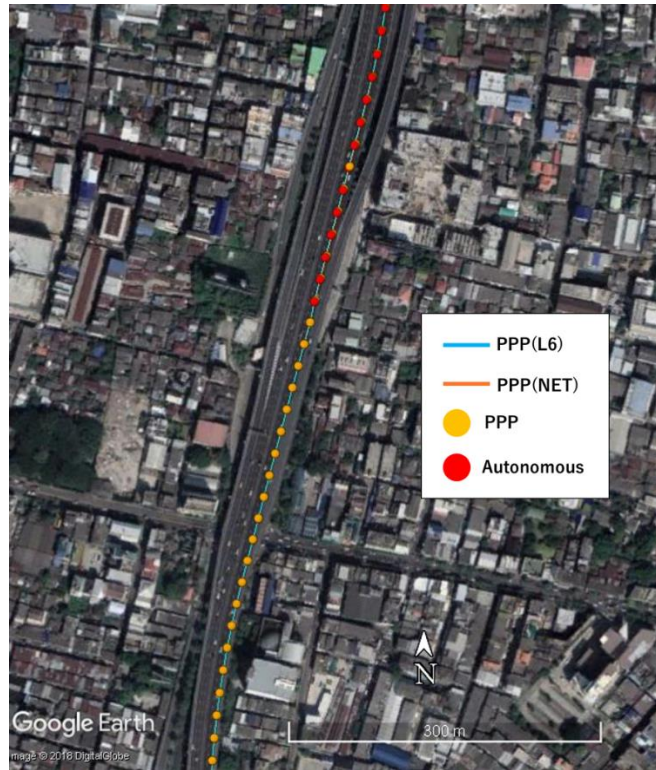


図 8.1.1-14 走行軌跡（1回目）
（出典：Google, Digital Globe）



図 8.1.1-15 走行軌跡（2回目）
（出典：Google, Digital Globe）



(上：高速道路での走行軌跡、下：高速道路走行時の様子)

図 8.1.1-17 高速道路での走行の様子

(出典：Google CNES/Airbus)

一方で、図 8.1.1-18 のような高架の真下を通る場所では衛星の信号が遮られるため、衛星測位自体を行うことができなかった。



(上：高架下での走行軌跡、下：高架下走行時の様子)

図 8.1.1-18 高架下での走行の様子

(出典：Google, CNES/Airbus)

また、図 8.1.1-19 のようにまわりを高層ビルに囲まれる場所や BTS の高架下の道路では、衛星を4機以上捕捉できる十分な視野を確保できないため、衛星測位をほとんど行えなかった。



(上：高層ビル付近の及び BTS 付近での走行軌跡、下：BTS 高架下走行時の様子)

図 8.1.1-19 高層ビル付近及び BTS 付近での走行の様子
(出典：Google, CNES/Airbus)

(ii) PPP (L6E) の状況

PPP (L6E) は走行時間のうち、約 50%程度で PPP 測位を維持できた。

本評価においては準天頂衛星 2 号機からの MADOCA の配信を利用したため、PPP 測位の安定性は準天頂衛星 2 号機の仰角に依存した。参考として、走行試験時における現地での準天頂衛星 2 号機の仰角・方位角の変化を図 8.1.1-20、図 8.1.1-21 に示す。なお、1 日あたり約 4 分仰角・方位角と時刻の関係が変化するが、差が小さいため、他の走行試験においてもほぼ同じ状態であるとして一回分のみを掲載する。

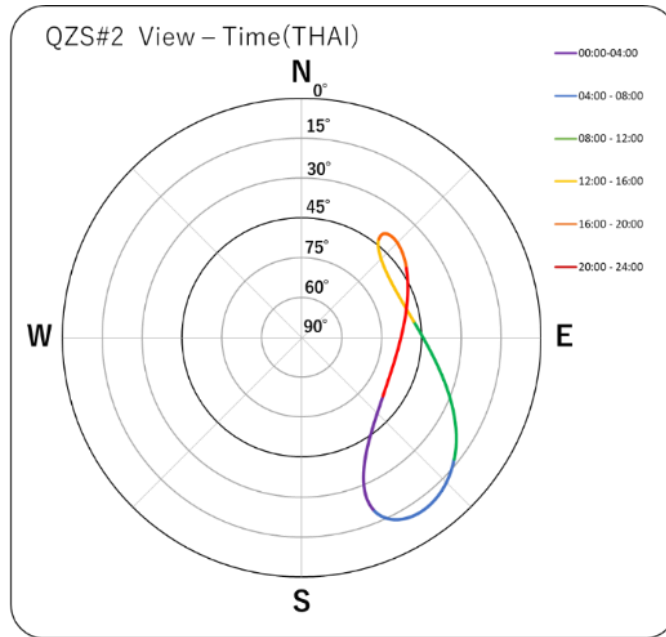


図 8.1.1-20 第 1 回走行試験時のバンコクにおける準天頂衛星 2 号機の方角の時間変化

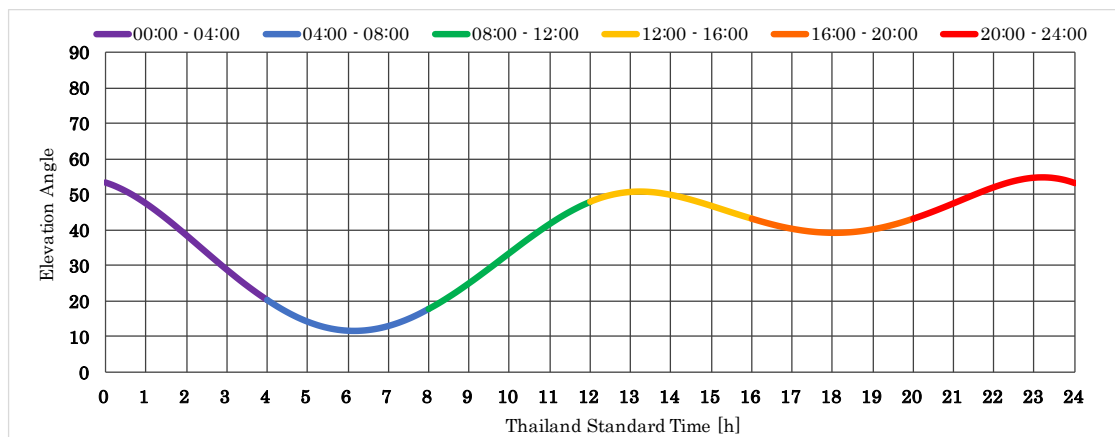
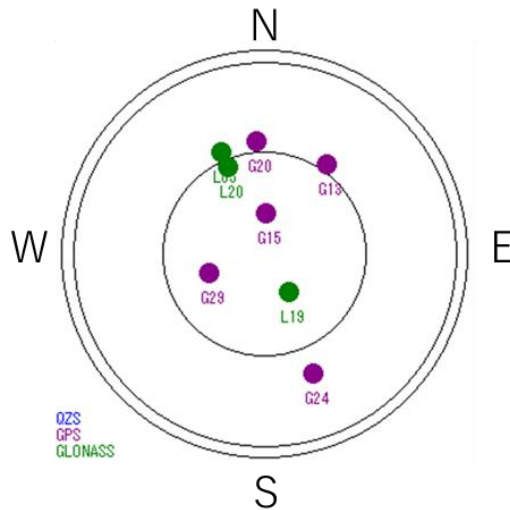
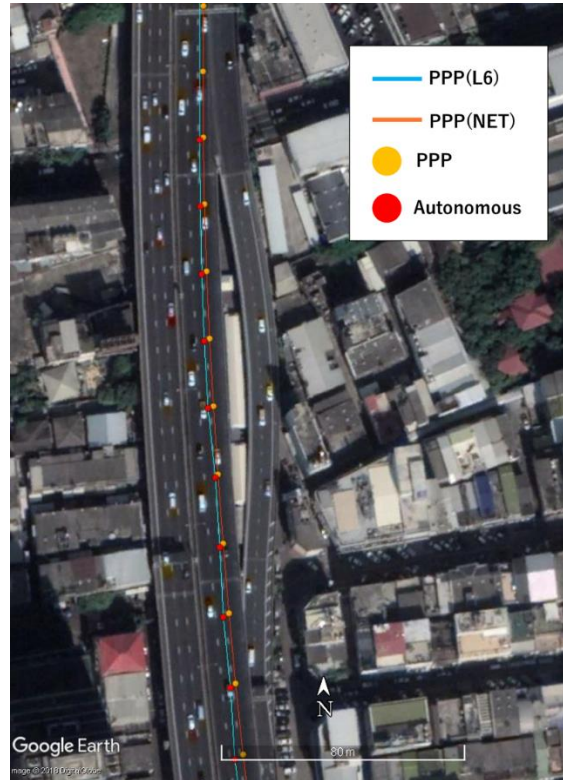


図 8.1.1-21 第 1 回走行試験時の準天頂衛星 2 号機の仰角の時間変化 (バンコク)

準天頂衛星 2 号機の仰角が 30°前後となる時間帯 (図 8.1.1-21) での走行試験の場合、

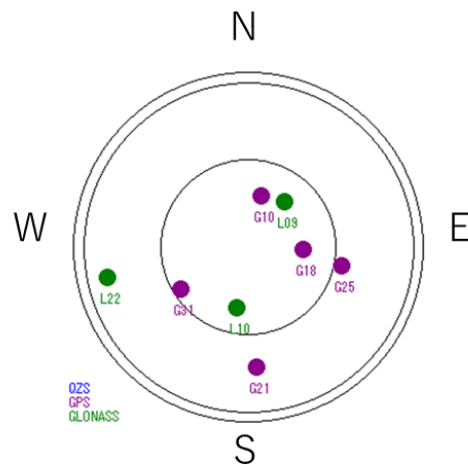
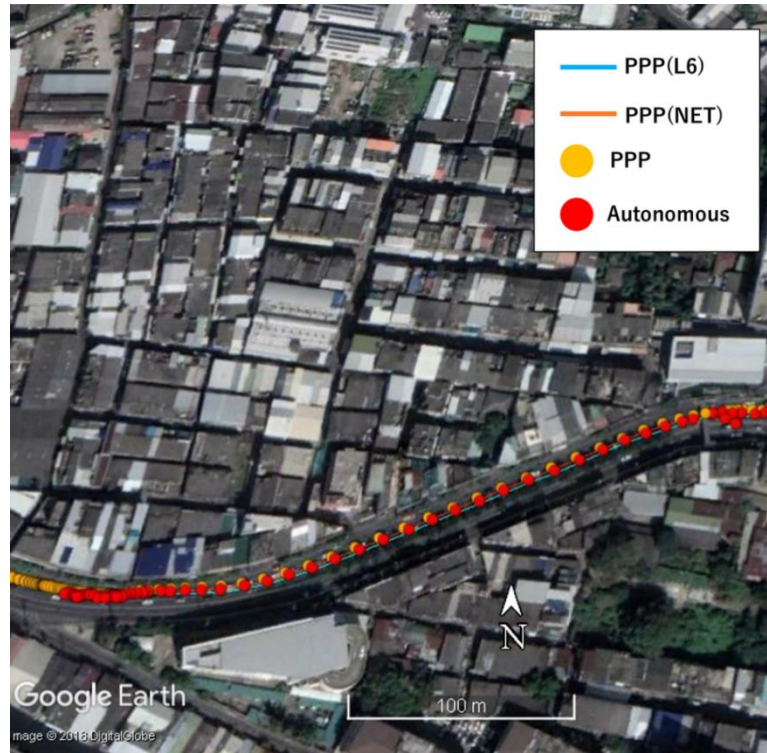
背の高い建物付近を通過した際に MADOCA の補正信号が途切れ、PPP 測位を維持できない状態となった。走行試験中の PPP (NET) 及び PPP (L6E) の測位状況をプロットしたものを図 8.1.1-22 に示す。PPP (NET) のライン上のプロットは PPP 測位を示しているのに対して、PPP (L6E) のライン上のプロットが Autonomous になっており、PPP 測位を維持できていない状態となっていたことが分かる。



(上：走行軌跡、下：衛星の捕捉状況)

図 8.1.1-22 L6E 信号を受信できなかった地点での走行状況その 1
(出典：Google, CNES/Airbus)

準天頂衛星 2 号機の仰角が 50°前後となる時間帯における走行試験の場合、障害物によって MADOCA の受信を遮られずに PPP 測位を維持できるタイミングは仰角が低い時間帯における走行実験と比較して長かった。一方で、図 8.1.1-23 のように東側に障害物の多い場所では L6E 信号を受信できず、PPP 測位を維持できなかった（図 8.1.1-23 の場合は北東方向に障害物が存在した）。タイでは準天頂衛星の見える方角が東側に偏るため、仰角が高い時間帯も含め、東側に障害物のある場所での PPP 測位は難しいと考える。



(上：走行軌跡、下：衛星の捕捉状況)

図 8.1.1-23 L6E 信号を受信できなかった地点での走行状況その 2
(出典：Google, Digital Globe)

(c) 考察

BTS の高架下や、周囲を高層ビルが囲む道では、4機以上の衛星が確保できず、衛星測位が途切れる、またはできない様子が見られた。一方で、上空視界の開けた高速道路などでは安定して衛星測位を行っていた。PPP (L6E) の場合、東側に障害物の多い道では、準天頂衛星からの L6E 信号が遮られ、PPP 測位を維持しづらい様子がみられた。これは、タイの地上から準天頂衛星が見える方角が東側に偏るためである。

PPP (NET) 及び PPP (L6E) の走行時間に占める PPP 測位の割合を表 8.1.1-6 に示す。走行試験 3 回いずれも PPP (NET) のほうが PPP (L6E) と比較して高い PPP 測位時間率となっている。これは準天頂衛星の仰角、準天頂衛星の位置と周囲の障害物の状況によって L6E 信号が遮断され PPP 測位の維持ができなくなる一方で、PPP (NET) では捕捉できる衛星数が極端に少なくなる限り PPP 測位が維持されることにより、PPP (NET) は PPP (L6E) に比べ長時間継続して PPP 測位が行えたものとする。

表 8.1.1-6 PPP (NET) と PPP(L6E)PPP 測位時間率

走行試験	PPP (NET)	PPP (L6E)
1 回目	75%	43%
2 回目	83%	51%
3 回目	84%	62%

(4) 走行状態におけるマルチ GNSS 受信機の性能評価 (測位精度)

走行状態におけるマルチ GNSS 受信機のグローバル補正情報を用いた測位の精度を PPP (NET) の測位結果を基に評価した。リファレンスとして NovAtel 製マルチ GNSS 受信機を利用した。NovAtel 製マルチ GNSS 受信機は IMU を搭載しており、後処理にて補正、デッドレコニングが行えるため、衛星測位が途絶えた地点においても高精度の位置情報を算出することが可能となっている。

(a) 性能評価方法

(i) 性能評価系の構成

本性能評価の評価系の構成を図 8.1.1-24 に示す。MSJ 製マルチ GNSS 受信機と NovAtel 製マルチ GNSS 受信機を同じ自動車に搭載した。それぞれ受信機はマルチ GNSS 社製のアンテナ、NovAtel 製のアンテナに接続した。マルチ GNSS 受信機は測位モードを PPP (NET) に設定した。IMU を搭載している NovAtel 製マルチ GNSS 受信機をリファレンスとして使用し、RTK で測位を行った。

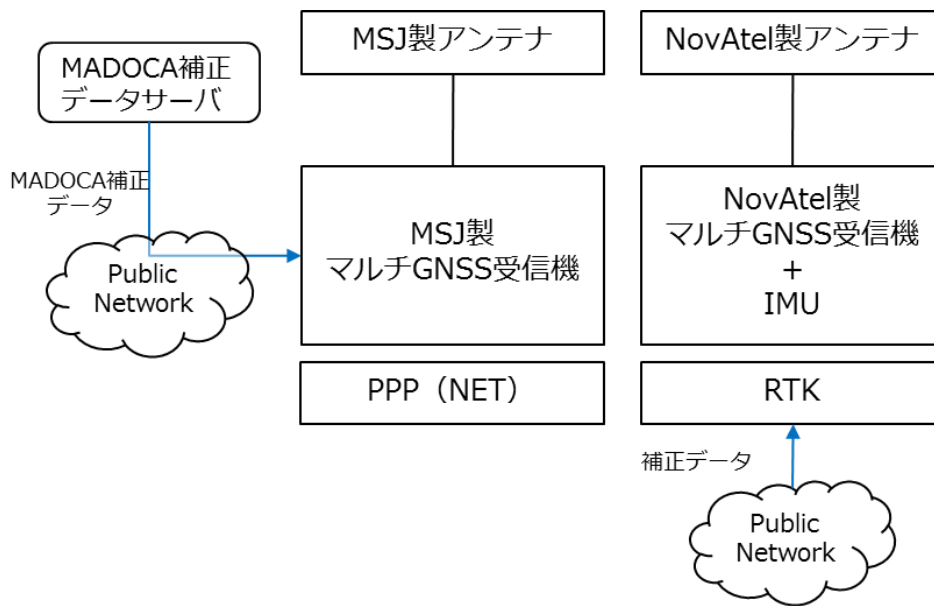


図 8.1.1-24 走行状態におけるマルチ GNSS 受信機の性能評価における評価系の構成

リファレンスとして使用する NovAtel 製マルチ GNSS 受信機の概要を以下に示す。

表 8.1.1-7 リファレンス受信機概要

メーカー	NovAtel
機種名	SPAN-CPT
外観	
対応する測位信号	
GPS	L1 C/A
	L1C
	L2C
	L2P
GLONASS	G1
	G2
最大出力周期	100Hz

NovAtel 製マルチ GNSS 受信機 (SPAN-CPT) は、FOG (Fiber Optic Gyros) 及び MEMS (Micro Electromechanical System) 加速度計で構成される IMU コンポーネントを搭載しており、センチメートル級の精度を実現することが可能となっている。FOG は他の同様のジャイロ技術に比べて長寿命で安定した性能を有している。

NovAtel 製マルチ GNSS 受信機に接続する NovAtel 製アンテナの概要を以下に示す。

表 8.1.1-8 リファレンスアンテナ概要

メーカー	NovAtel
機種名	VEXXIS GNSS-800
外観	
対応する測位信号	
GPS	L1
	L2
	L5
GLONASS	L1
	L2
	L3
Galileo	E1
	E5
	E6
Beidou	B1
	B2
	B3

(ii) 取得データ

性能評価に使用する位置情報を走行試験にて取得した。位置情報は5回/秒のペースで記録した。走行コースはオープンスカイ、郊外地域、都市部の特徴を有するコースを下記のように選定した。走行経路については図 8.1.1-25～8.1.1-29 に示す。

表 8.1.1-9 走行試験のルート

LN	ルート	走行距離(km)	特徴
1	Don Muang Tollway	12	オープンスカイ
2	Kanchanapisek	25	オープンスカイ
3	Ratchadapisek	5.5	郊外地域
4	Lat Phrao	9	郊外地域
5	Sathorn	10	都市部

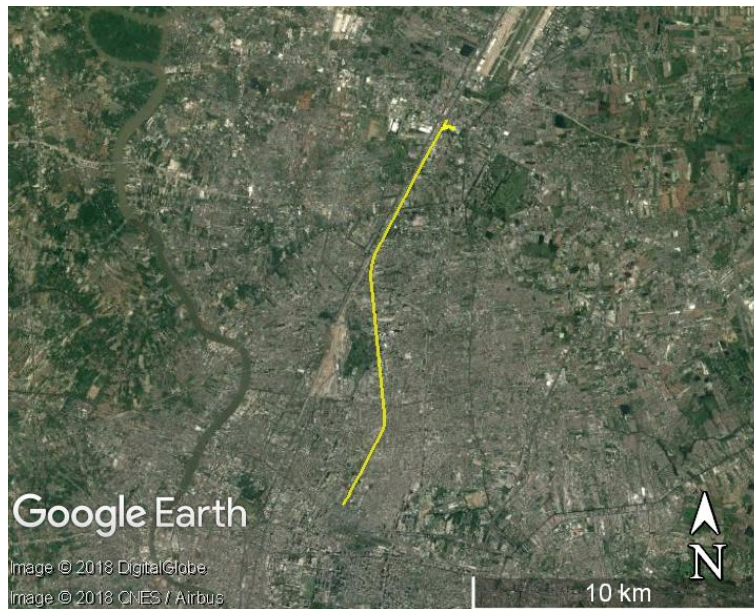


図 8.1.1-25 走行ルート1
(出典：Google, CNES/Airbus)



図 8.1.1-26 走行ルート 2
(出典 : Google, CNES/Airbus)

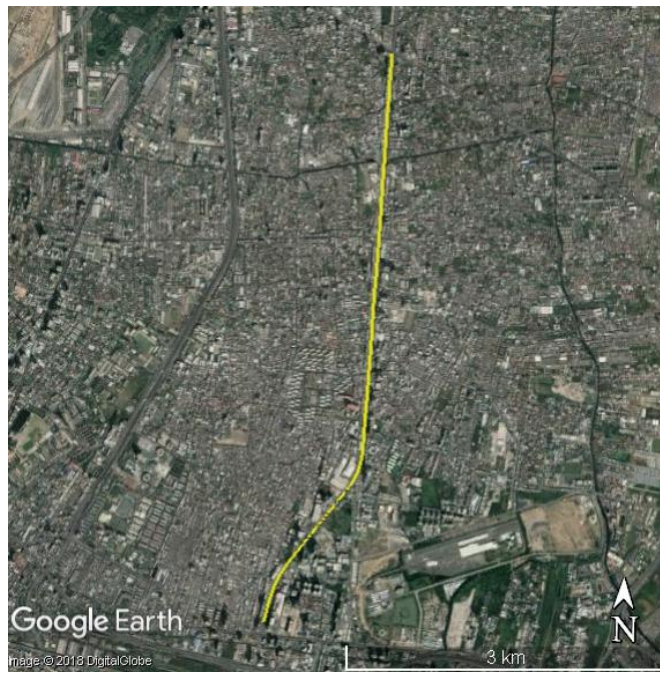


図 8.1.1-27 走行ルート 3
(出典 : Google, DigitalGlobe)



図 8.1.1-28 走行ルート4
(出典 : Google, DigitalGlobe)



図 9.1.1-29 走行ルート5
(出典 : Google, DigitalGlobe)

(iii) 評価項目

走行試験中の位置情報を記録した位置情報を基に PPP 測位の行われた時間率及び、位置精度を 2DRMS 及び 75% error within で評価した。

タイの道路の多くはレーンの幅が 3.4m であり、この広さは車幅のおおよそ 2 倍となっている。実際の走行においては、自動車はレーンの中央線上（図 8.1.1-30 中の赤点線上）のみならずレーンの脇を走行することが想定される。その際に自車位置が走行中のレーン上であると判別するためには、マルチ GNSS 受信機の測位情報と実際の自車位置の誤差がレーン幅の半分となる 1.7m から車幅 (1.7m) の半分を引いた 0.85m 以内に収まることが求められる。本走行試験では上記の検討に基づき、0.85m を評価基準とした。

同時刻にパソコンに記録された MSJ 製マルチ GNSS 受信機及びリファレンスとなる NovAtel 製マルチ GNSS 受信機のプロットが示す位置情報をもとに、MSJ 製マルチ GNSS 受信機の位置情報の位置誤差の算出を行った。算出された位置誤差情報一つ一つを位置誤差プロットと呼ぶ。算出された位置誤差プロット数のうち 0.85m 以内に収まっている位置誤差プロット数の割合を測位精度として評価を行うこととした。

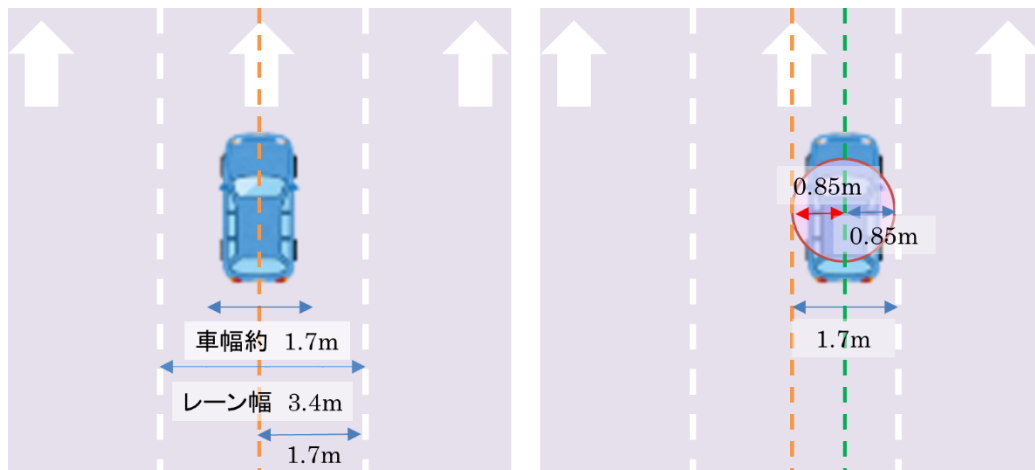


図 8.1.1.-30 (左) レーン幅と車幅、(右) 測位誤差許容範囲の考え方

(b) 性能評価

(i) PPP 測位時間率

走行試験によって取得した位置情報を基に、走行時間中の全プロットのうち PPP 測位が行われたプロットの割合を PPP 測位時間率、Autonomous となったプロットの割合を Autonomous 時間率、No fix となったプロットの割合を No fix 時間率として算出した。算出結果を表 8.1.1-10 に示す。

表 8.1.1-10 各ルートにおける PPP 測位時間率

LN	ルート	PPP 測位時間率	Autonomous 時間率	No fix 時間率
1	Don Muang Tollway	98.8%	1.0%	0.1%
2	Kanchanapisek	90.2%	1.9%	7.9%
3	Ratchadapisek	88.2%	0.8%	11.0%
4	Lat Phrao	69.0%	18.1%	12.9%
5	Sathorn	49.0%	12.9%	38.2%

オープンスカイである Don Muang Tollway を走行した試験では PPP 測位時間率が 98.8%を示す一方で、同様にオープンスカイである Kanchanapisek を走行した試験では PPP 測位時間率が 90.2%を示しており、郊外地域である Ratchadapisek を走行した試験における PPP 測位時間率に近い値となった。これは Kanchanapisek 走行時に MADOCA からのグローバル補正情報の配信が途絶したため、PPP 測位が行えない状況に陥ったことものと考えられる。Don Muang Tollway を走行時の PPP 測位を行った点をプロットした走行軌跡（一部）と走行中の車外の様子を図 8.1.1-31 に示す。自転車上空が開けていることにより安定的に測位を行うことが可能となっていた。そのため PPP 測位が走行中の大部分で持続されているため、PPP 測位を行った点が等間隔にプロットされている。

都市部である Sathorn を走行した場合、PPP 測位時間率は 49.0%、Autonomous 時間率は 12.9%、No fix 時間率が 38.2%となり、オープンスカイを走行した場合と比較して No fix 時間率が高い数値を示した。No Fix は仰角が低すぎるものやマルチパスの疑いあるものを除く、利用可能である衛星の数が 4 機未満となる状況を示している。都市部である Sathorn では BTS（高架鉄道）が併走するルートがあり、BTS の線路や駅周辺では衛星捕捉が困難となるため、No fix 時間率が高くなり、PPP 測位時間率が低くなっているものと考えられる。Sathorn 走行時の Autonomous となった点をプロットした走行軌跡（一部）と走行中の車外の様子を図 8.1.1-32 に示す。PPP (NET) による測位では測位衛星数が 4～5 機に陥っている際に Autonomous となる。BTS の線路側を通過している際は測位衛星数が減少するため Autonomous となっていることがわかる。また、BTS の駅の下を通過した際に No fix となったため、衛星の捕捉が復旧する時点までプロットが飛んでいる。



図 8.1.1-31 Don Muang Tollway の走行軌跡（一部）と車外の状況
（出典：Google, DigitalGlobe）



図 8.1.1-32 Sathorn の走行軌跡（一部）と車外の状況
(出典 : Google, DigitalGlobe)

(ii) 位置精度

各ルート走行状態における位置精度について表 8.1.1-11 に示す。75% of Points have error within は中央値を起点として全プロット数のうち 75%が含まれる範囲を示す数値であり、2DRMS は位置精度の誤差の目安として用いられる数値である。測位精度は取得した位置情報より算出した全位置誤差プロットのうち 0.85m 以内に収まっている位置誤差プロット数の割合を示す数値である。

表 8.1.1-11 各ルート走行状態における位置精度

LN	ルート	75% of Points have error within (m)	2DRMS (m)	測位精度 (%)
1	Don Muang Tollway	0.031	0.10	99.2
2	Kanchanapisek	1.25	0.86	82.9
3	Ratchadapisek	0.81	0.08	93.4
4	Lat Phrao	1.74	1.80	69.9
5	Sathorn	2.81	2.32	71.3

オープンスカイである Don Muang Tollway を走行した試験では、位置誤差が 0.85m 以内に収まる測位精度は 99.2%を示した。一方で、郊外地域や都市部である Lat Phrao や Sathorn を走行した試験では、測位精度は 69.9%、70.2%を示しており、オープンスカイ環境下のものより低い値となった。本走行試験で取得した MSJ 製マルチ GNSS 受信機とリファレンスである NovAtel 製マルチ GNSS 受信機との位置誤差の分布を図 8.1.1-33～図 8.1.1-37 に示す。

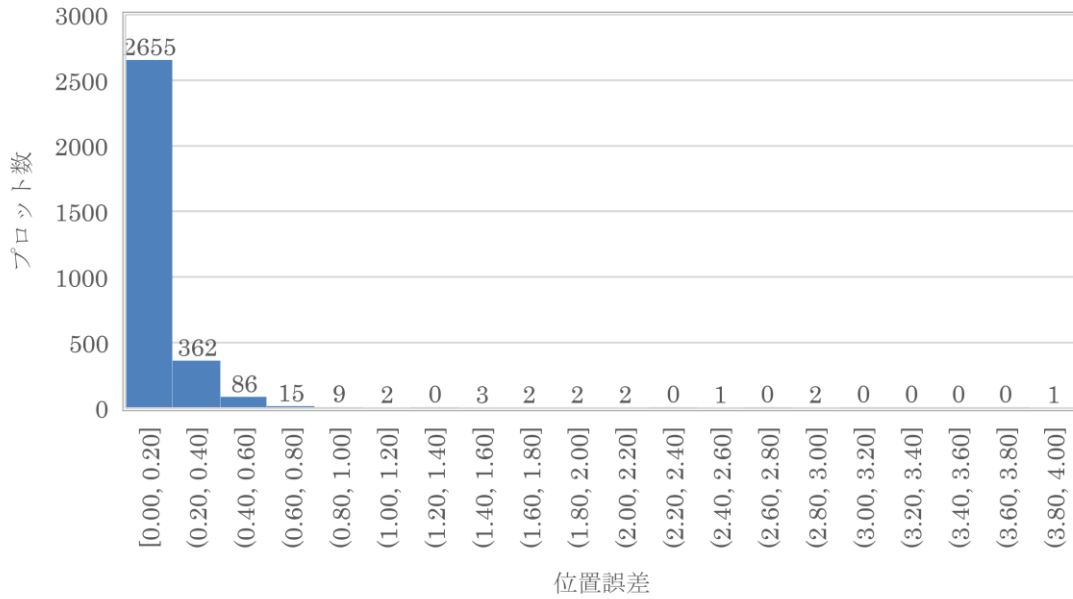


図 8.1.1-33 Don Muang Tollway 走行時の位置誤差プロット分布図

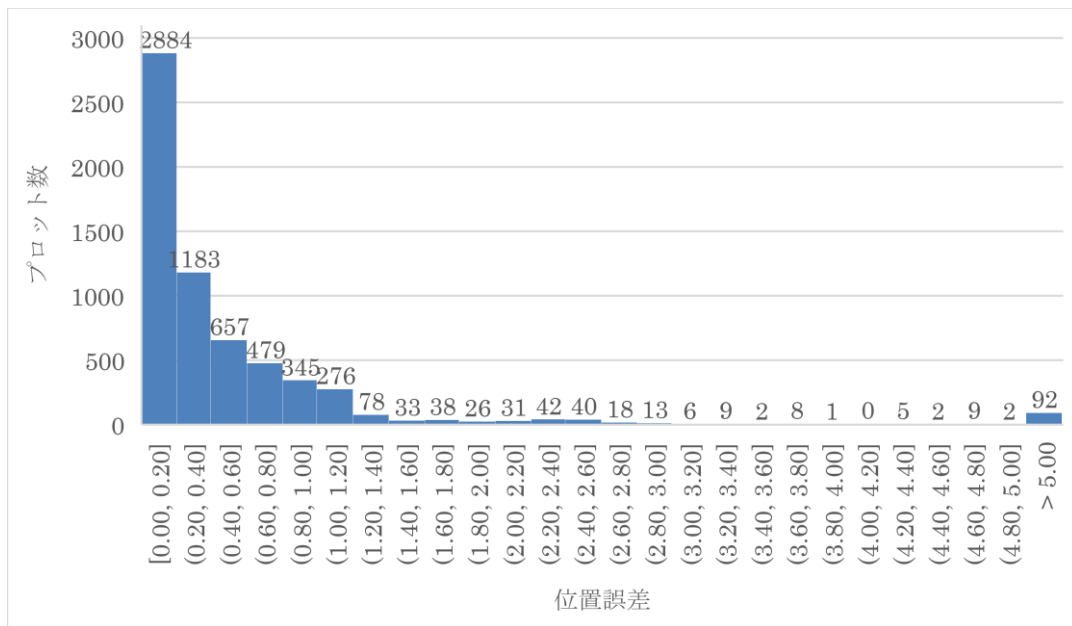


図 8.1.1-34 Kanchanapisek 走行時の位置誤差プロット分布図

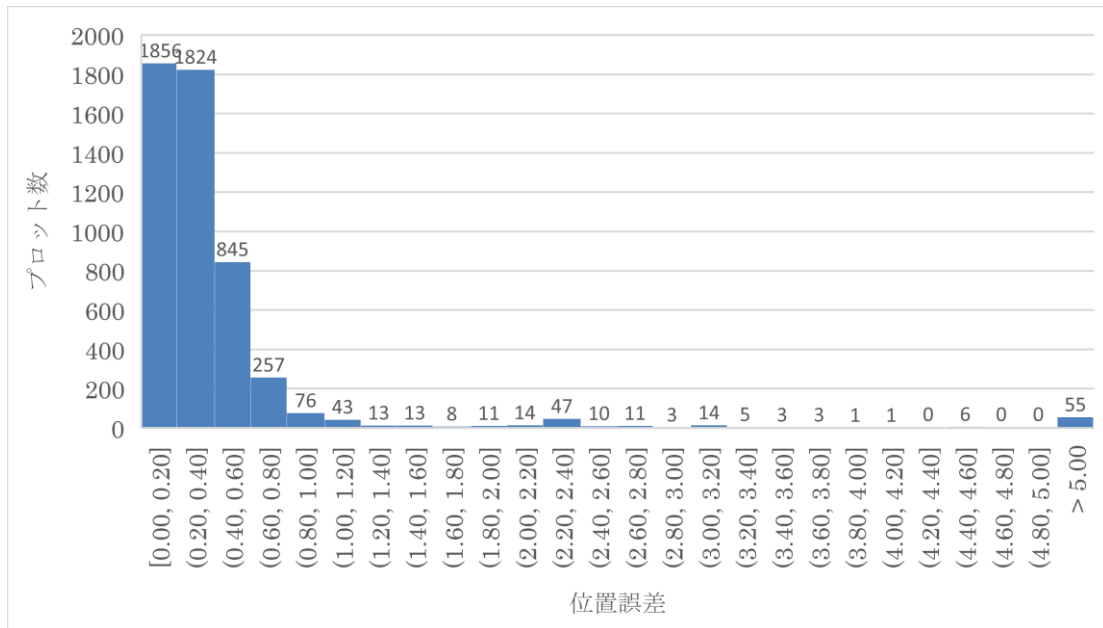


図 8.1.1-35 Ratchadapisek 走行時の位置誤差プロット分布図

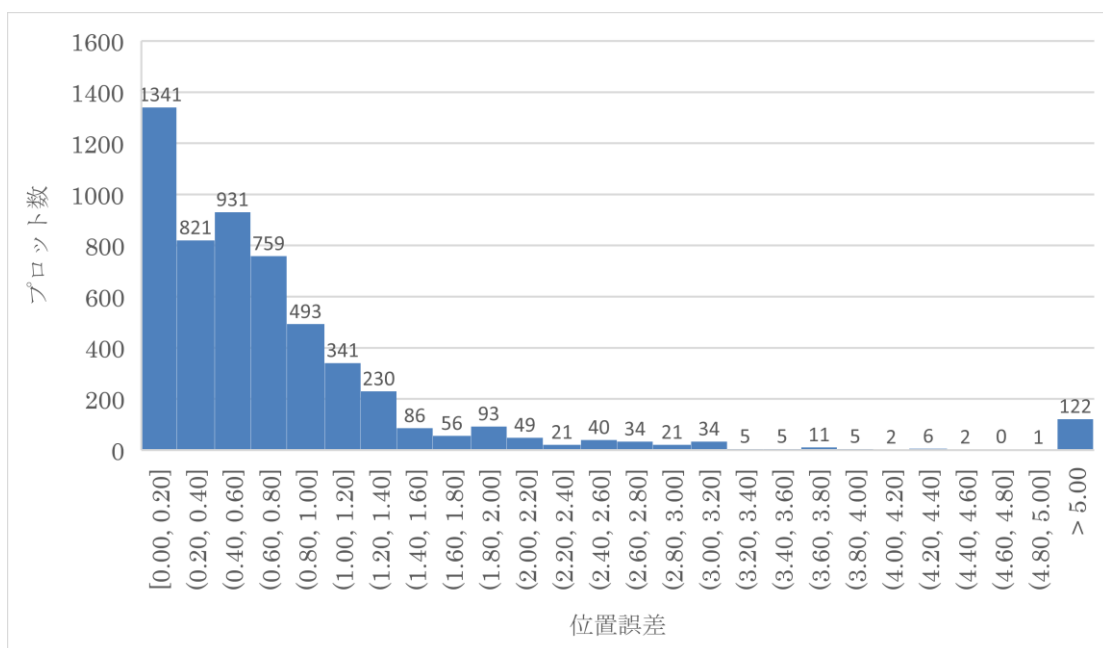


図 8.1.1-36 Lat Phrao 走行時の位置誤差プロット分布図

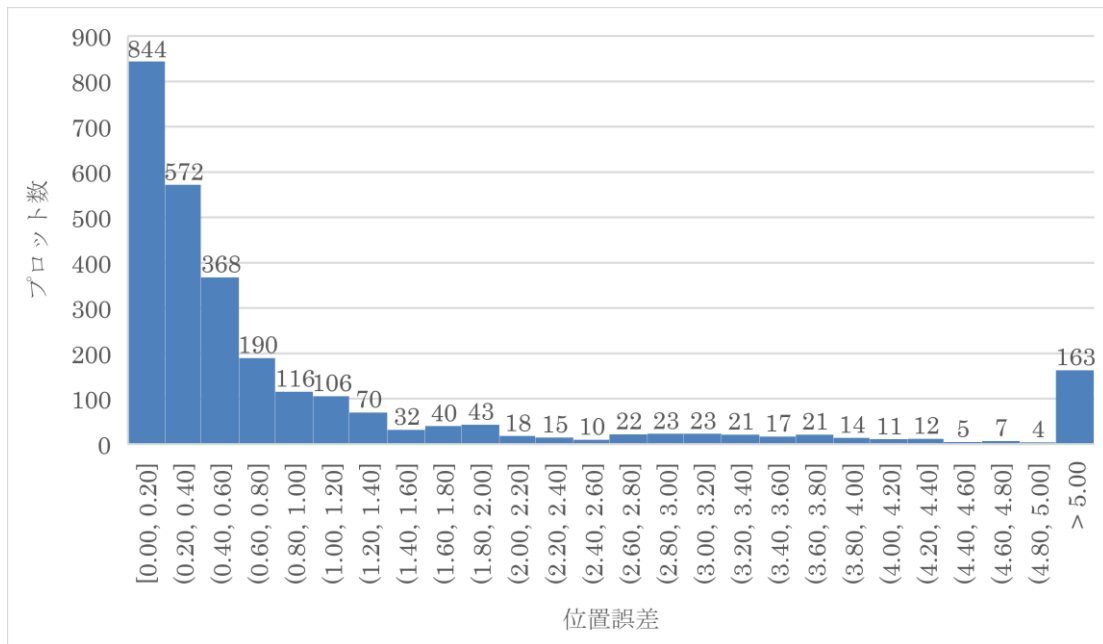


図 8.1.1-37 Sathorn 走行時の位置誤差プロット分布図

(c) 考察

PPP 測位時間率とともに測位精度はオープンスカイである Don Muang Tollway での走行試験の結果が高く、都市部である Sathorn における走行試験の結果が低くなった。PPP 測位が行われることによって高精度測位が可能となるため、PPP 測位時間率が高くなるオープンスカイ環境下は測位精度も高い結果を示したものと考えられる。

オープンスカイである Don Muang Tollway を走行した試験では、リファレンスとなる NovAtel 製マルチ GNSS 受信機との位置誤差が 0.85m 以内に収まる時間率として算出した測位精度が 99.2%と高い数値を示しているため、MSJ 製マルチ GNSS 受信機による PPP 測位を行えば、オープンスカイの環境下では自転車走行レーンを判別することが可能であると考えられる。

一方で、都市部である Sathorn においては BTS の高架線等の影響により、PPP 測位が途絶する事象が発生したため、その影響で高精度測位が行えず、測位精度が低くなったものと考えられる。

8.1.2 ローカル補正情報

(1) ローカル補正情報の適用

(a) グローバル補正情報とローカル補正情報

衛星測位では GNSS 衛星から送信される信号を測位側のマルチ GNSS 受信機で受信し、その受信信号の情報から伝送距離を測定することによってマルチ GNSS 受信機（アンテナ）の位置情報を推定している。このときの受信信号には複数の要因による誤差が含まれているが、いくつかの要因による誤差は外部情報から補正することが可能であり、様々な方式で誤差補正を行うことによって衛星測位の高精度化が実現されている。

図 8.1.2-1 は衛星測位の主な誤差要因を模式的に示したものである。これらの誤差要因のうち、GNSS 衛星に起因する誤差、つまり「①衛星軌道」「②衛星時計」「③衛星 DCB」の誤差量は、測位場所に関らずあらゆる場所で同じ値となって含まれるため、この誤差量を正確に測定することができれば、その誤差量を使った補正情報は測位場所にかかわらずグローバルに適用できることとなる。この誤差量はグローバル補正情報として既に準天頂衛星システムの L6E 信号から配信されている。本実証では、同様のグローバル補正情報をインターネットからも配信し利用した。

一方、他の誤差要因に関して、「④電離層」と「⑤対流圏」は上空の各層を電波が通過する際の伝送遅延による誤差である。電離層の伝送遅延は周波数依存性があるため、複数周波数の GNSS 信号を受信しデータ解析することで誤差量を推定することができる。また、対流圏の誤差量は GNSS 信号を連続的に受信しデータ解析することで推定可能である。これらの誤差量推定を行うために GNSS 信号を受信するローカル補正用基準局を設置し、そのデータ解析によって推定された電離層遅延量と対流圏遅延量は、ローカル補正用基準局からおおむね半径 50km 程度の範囲内において同じと見なしてローカル補正情報として適用することができ、高精度位置情報を得ることができる。ローカル補正用基準局から 50km を超えるような場所では電離層や対流圏の状態の違いが大きくなり、誤差量を同じと見なせずに補正後も誤差が残るため、ローカル補正情報を適用できる範囲は限定的となる。本実証では、ローカル補正用基準局を Chulalongkorn 大学に設置し、解析された誤差量（「④電離層」と「⑤対流圏」）をローカル補正情報としてインターネット経由で配信し利用した。

なお、「④電離層」と「⑤対流圏」による誤差は、ローカル補正用基準局の代わりに車両に搭載したマルチ GNSS 受信機の観測データからも推定できるため、ローカル補正情報を使用せずに補正することも可能である。ただし、特に「⑤対流圏」の遅延量は連続観測による時系列データから収束計算で推定する必要があるため、遅延量を精度よく推定できるまでおおむね 30 分程度を要する。つまり、ローカル補正情報を使わない場合は測位開始直後の測位誤差が大きく、その後 30 分間程度で誤差が収束し高精度化するという挙動を示す。ローカル補正情報を使う場合は、この 30 分間の収束計算がローカル補正用基準局であらかじめ行われているため、測位開始直後から高精度位置情報を得ることができることになる。

以上のとおり、図 8.1.2-1 に示した主な誤差要因のうち①～⑤は補正が可能である一方、「⑥マルチパス・ノイズ」は測位地点の周囲環境からの電波反射やマルチ GNSS 受信機内部のノイズなどによるものであり測位地点固有の誤差量となるため、外部情報などから補

正することはできずに測位結果に残される。しかし、①～⑤の補正を行うことによって水平精度 10cm 以下まで位置情報を高精度化できることが分かっている。(山田・三好・五十嵐・佐藤・村上・遠藤,「複数 GNSS 対応単独搬送波位相測位技術の利用実証」,第 61 回宇宙科学技術連合講演会, 2017)

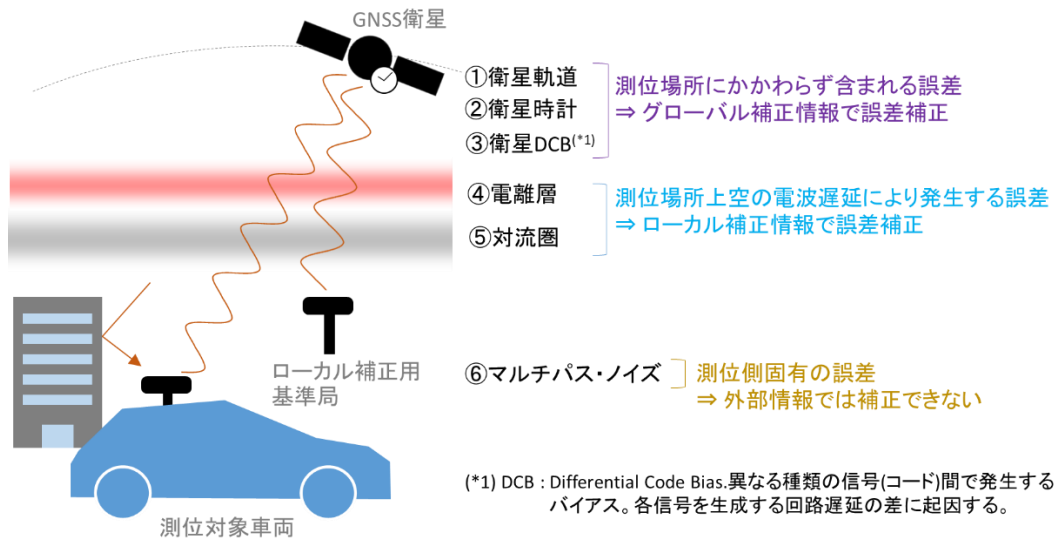


図 8.1.2-1 衛星測位の主な誤差要因

(b) ローカル補正用基準局

(i) ローカル補正用基準局の構成

本実証実験では Chulalongkorn 大学に設置されたローカル補正用基準局を使用した。ローカル補正用基準局は Trimble 製マルチ GNSS 受信機 Net R9 と Trimble 製アンテナ TRMS 5791.00 で構成されている。ローカル補正用基準局受信機及びアンテナの概要を表 8.1.2-1,2 に示す。これらの受信機とアンテナで構成される本ローカル補正用基準局は水平方向 8.7mm、垂直方向 8.2mm の測位精度をしめす。



図 8.1.2-2 Chulalongkorn 大学に設置されているローカル補正用基準局

表 8.1.2-1 ローカル補正用基準局受信機概要

メーカー	Trimble
機種名	Net R9
外観	
対応する測位信号	
GPS	L1 C/A
	L1C
	L2C
	L2E
	L5
GLONASS	G1
	G2
準天頂衛星システム（準天頂衛星システム）	L1 C/A
	L1C
	L5
最大出力周期	20Hz

表 8.1.2-2 アンテナ概要

メーカー	Trimble
機種名	Trimble TRM57971.00
アンテナ種類	アクティブパッチアンテナ
外観	
対応する測位信号	
GPS	L1
	L2
	L5
GLONASS	G1
	G2
準天頂衛星システム（準天頂衛星システム）	L1
	L2
	L5
Galileo	E1
	E5
	E6
Beidou	B1
	B2
	B3

(ii) ローカル補正用基準局の性能

Chulalongkorn 大学に設置されているローカル補正用基準局によって生成されるローカル補正情報の精度は、ローカル補正用基準局付近が最も高く、距離が離れるにつれて低くなる。本実証実験で走行するルートが含まれる半径 20km の円内の範囲における測位精度は静止状態で約 50cm であり、本実証実験における評価基準である 85cm を満たす性能である。ローカル補正用基準局を中心とした半径 20km の範囲を図 8.1.2-3 に示す。

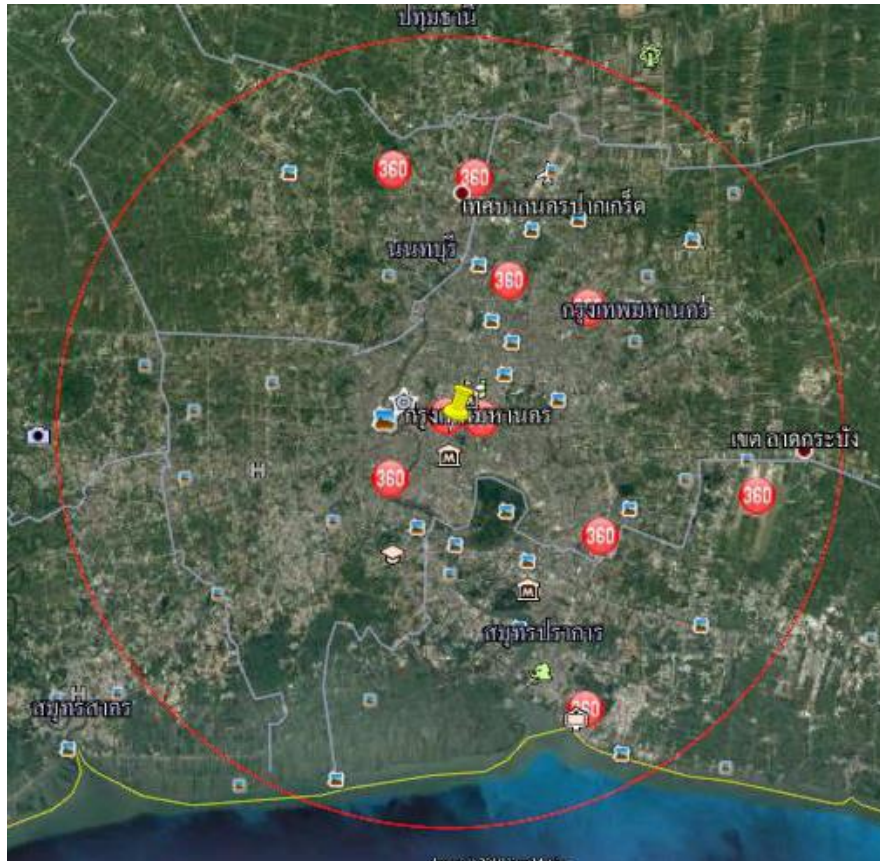


図 8.1.2-3 ローカル補正用基準局を中心とした半径 20km の範囲

(c) ローカル補正情報の生成・配信

Chulalongkorn 大学に設置されたローカル補正用基準局の GNSS 観測データ（測位信号コード及び搬送波位相の測定値）を使って電離層と対流圏による誤差量（図 8.1.2-1 の④及び⑤）を推定し、インターネット経由でタイの実証車両へローカル補正情報として配信するシステムを図 8.1.2-4 のとおり構築した。本実証のローカル補正情報で補正対象とした衛星は GPS 衛星（32 機）、GLONASS 衛星（24 機）、準天頂衛星（1 機）の 3 種類である。誤差量の推定計算は日本国内のクラウドサーバ上で行い、測位対象の各車両の機器からモバイル回線(3G/4G/LTE)・インターネットを経由してクラウドサーバへ接続してローカル補正情報をそれぞれの測位に適用した。GNSS 観測データやローカル補正情報の送受信は、GNSS データの送受信で広く利用されている NTRIP(Networked Transport of RTCM via Internet Protocol)プロトコルに基づき行った。

なお、ローカル補正情報のための誤差量推定計算には、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が開発したソフトウェア「MALIB」を使用した。

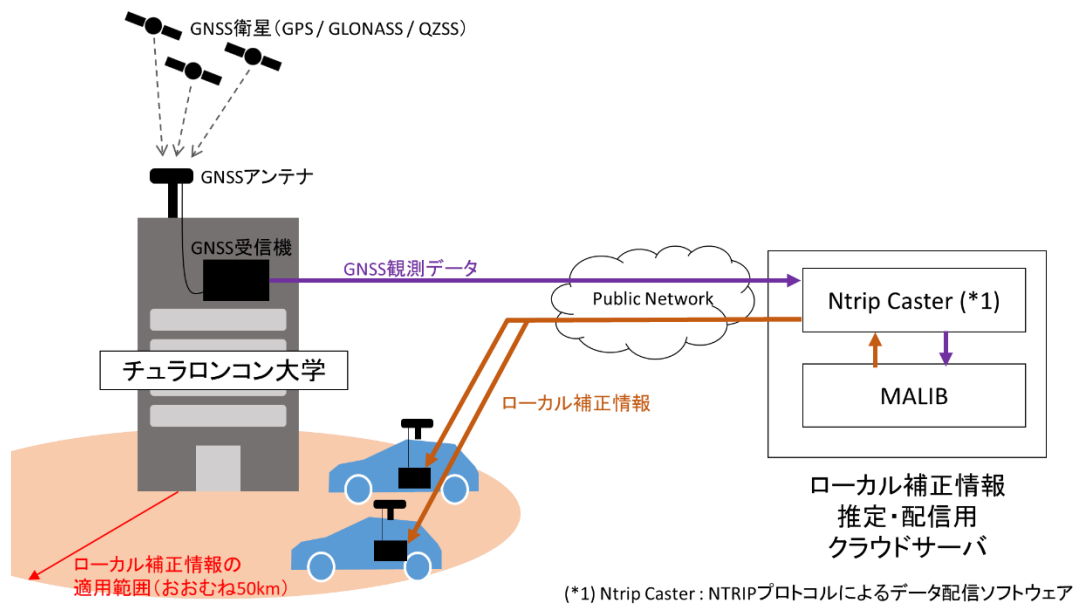


図 8.1.2-4 ローカル補正情報の生成・配信構成

(2) ローカル補正情報の性能評価（静止状態）

図 8.1.2-4 の構成で算出したローカル補正情報を測位に適用した際の、静止状態における測位収束時間と精度の評価を行った。実施場所は Chulalongkorn 大学から約 3.2km の位置にあるオープンスカイ環境の駐車場（所在地：Khwaeng Khlong Toei, Bangkok）である。

(a) 性能評価方法

(i) 性能評価系の構成

性能評価系の機材構成を図 8.1.2-5 に示す。ローカル補正情報の性能を確認するため、ローカル補正情報を適用した測位演算に対応した「MALIB」ソフトウェアを用いて測位を行った。このソフトウェアはローカル補正情報生成用の「MALIB」と同じものであるが、設定をローカル補正生成モードから測位モードに切り替えることで測位にも使用することができるようになっている。ここではローカル補正情報の効果を明らかにするため、同時に 2 つの MALIB で測位演算を行い、一方にのみローカル補正情報を適用して測位結果の違いを比較した。なお、測位演算に必要な GNSS 衛星の信号受信には MSJ 製マルチ GNSS 受信機を用い、受信機では測位演算を行わずに観測生データのみを出力して 2 つの MALIB へ同時にデータを転送した。

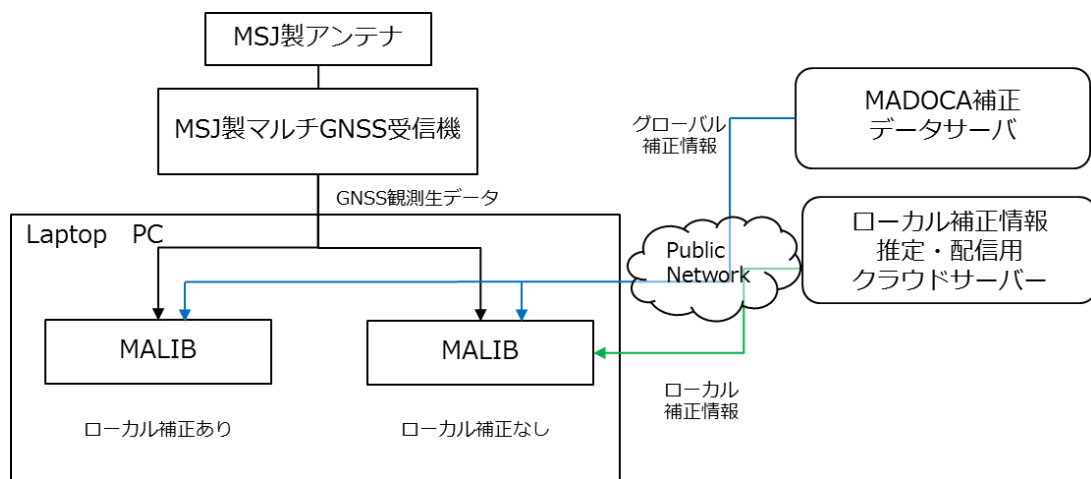


図 8.1.2-5 ローカル補正情報の性能評価（静止状態） 実施構成

(ii) データ取得

図 8.1.2-5 に示す機器を搭載した車両を駐車場に停止して測位を開始し、そのまま静止状態で約 30 分間測位を継続してローカル補正あり／無しの 2 つの測位結果を取得した。

(iii) 評価項目

ローカル補正あり／無しの 2 つの測位結果に対し、それぞれの収束時間と収束後の位置精度を評価した。評価における座標真値には 2 つの測位結果の収束後（最終 1 分間）の座標の平均値を用いた。

(b) 性能評価結果

図 8.1.2-6 は測位結果の座標成分（東方向、北方向、高さ方向）を時系列で示したものである。これは静止状態の測位結果であるため、各成分（縦軸）の変動が測位誤差を示す。測位開始直後の約 10 分間では明らかに「ローカル補正あり」の精度が良く、ローカル補正によって収束時間が改善されていることが分かる。同じ測位結果を用いて、図 8.1.2-7 では座標真値からの水平方向の距離を縦軸として示している。更に図 8.1.2-8 は距離の 2DRMS（300 秒間）を計算したものである。

表 8.1.2-3 には収束時間（2DRMS が 20cm 以下になるまでの時間）と測位精度（最終 300 秒間の 2DRMS）を数値で整理した。「ローカル補正あり」の収束時間に関しては、300 秒間 2DRMS 値が計算開始当初（PPP 解取得後 150 秒後）に既に 30cm 以下であり本定義では収束時間が判定できなかったため、座標真値までの距離が最初に 30cm 以下となるまでの時間 28 秒を括弧書きで記載した。

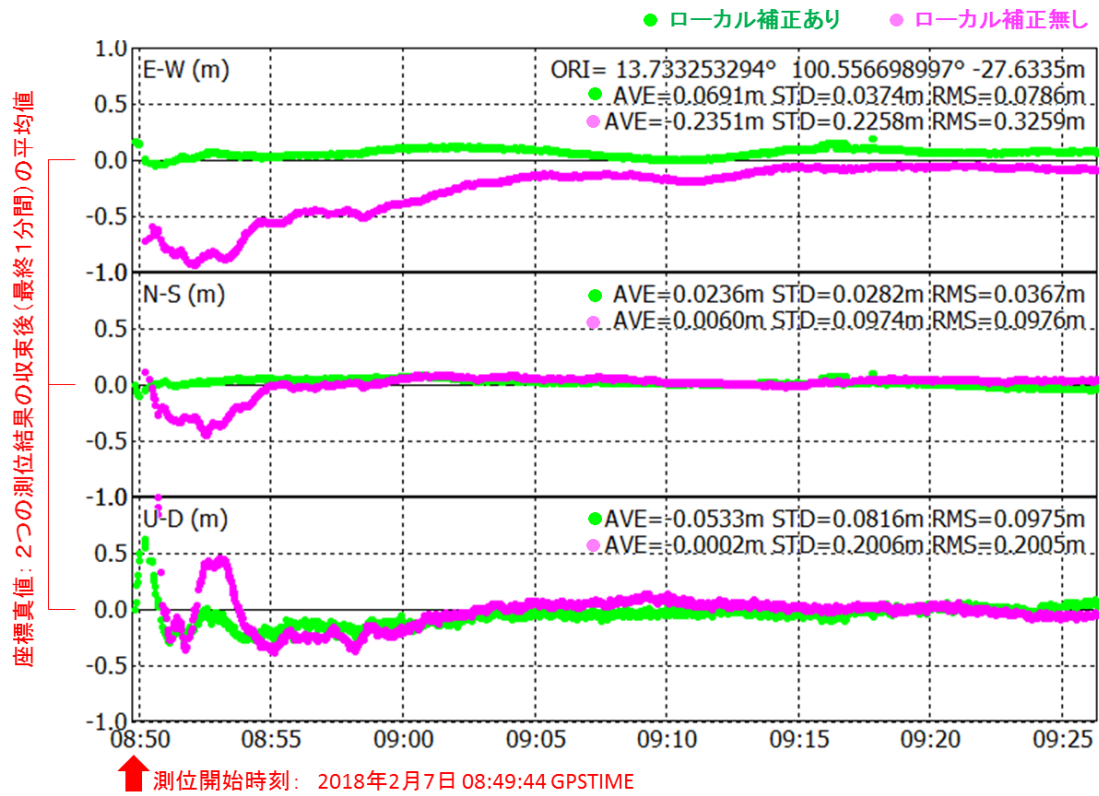


図 8.1.2-6 ローカル補正情報あり/無しの測位結果

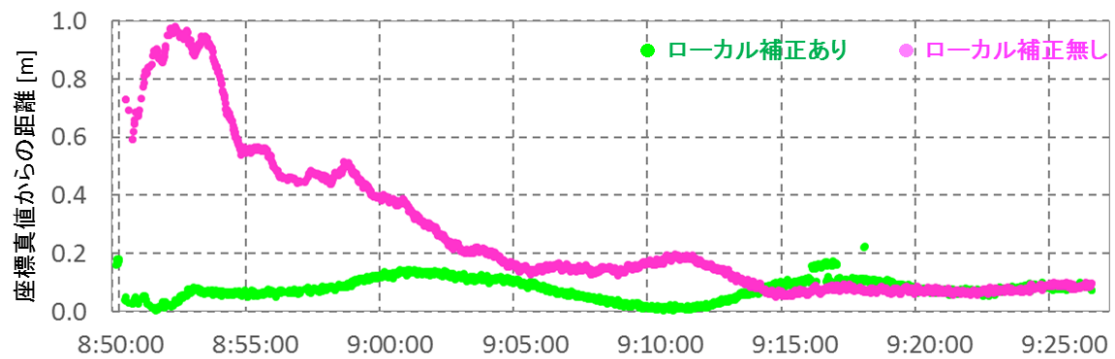


図 8.1.2-7 座標真値からの距離

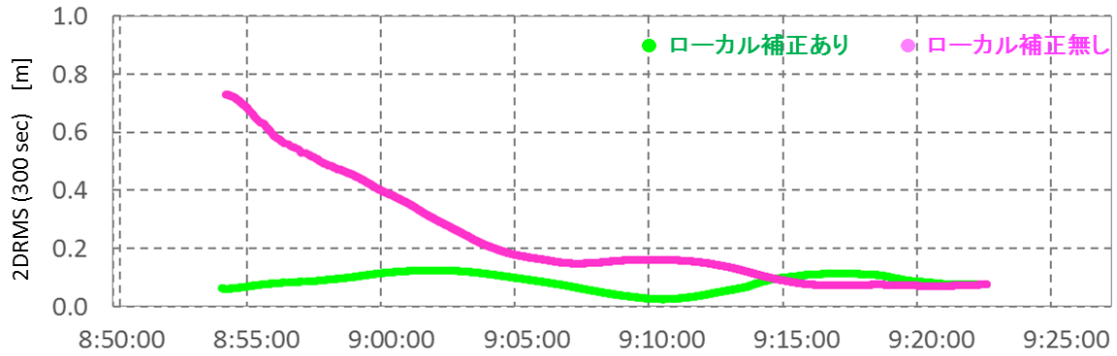


図 8.1.2-8 2DRMS (300sec)

表 8.1.2-3 静止状態の収束時間と測位精度

	ローカル補正あり	ローカル補正無し
収束時間 (2DRMS < 30cm)	(28 sec)	855 sec
測位精度 (2DRMS の最終値)	7.6 cm	7.6 cm

(c) 考察

(b) 性能評価結果に示したとおり、ローカル補正の適用によって収束時間が明らかに改善することが確認できた。ローカル補正情報は対流圏と電離層の補正值であるため、逆に言えばローカル補正なしの場合の収束時間は対流圏や電離層誤差の収束計算に要する時間が大半を占めていると言える。ローカル補正情報を使用しない場合、対流圏と電離層の誤差推定に通常は数十分程度の収束計算を要するところ、この評価ではローカル補正の適用によって 30 秒以下の短時間に水平方向 30cm 以下の測位精度を得ることができた。

一方、収束完了後の測位精度に関してはローカル補正の有無で違いは見られない。ローカル補正の効果は収束計算の時間短縮に効果的であるが収束後の精度には影響せず、これは想定どおりの結果である。

ここではオープンスカイ環境下での静止状態の性能評価を行ったが、車両が移動状態であっても測位演算過程に違いはないため同様にオープンスカイ環境下であれば移動状態でも同等の性能が得られるはずである。従って、車両の走行開始直後やトンネル通過直後などで収束（再収束）計算が行われる場合もローカル補正情報の適用で性能向上が期待できる。しかし実際は車両が移動すると周辺環境変化に伴うマルチパスの増加や信号遮断などに起因する精度劣化が支配的となる場合があり、一般的には移動時の性能は低下する。このため移動時の測位性能は実際の使用環境で事前評価することが重要である。

(3) ローカル補正情報の性能評価（走行状態）

図 8.1.2-4 の構成で算出したローカル補正情報を測位に適用した際の、走行状態における測位精度の評価を行った。

(a) 性能評価方法

(i) 性能評価系の構成

本性能評価の評価系の構成を図 8.1.2-9 に示す。MSJ 製マルチ GNSS 受信機を自動車に搭載し MSJ 製アンテナに接続した。静止状態と同様にローカル補正情報の性能を確認するため、ローカル補正情報を適用した測位演算に対応した「MALIB」ソフトウェアを用いて測位を行った。受信機では測位演算を行わずに観測生データのみを出力して 2 つの MALIB へ同時にデータを転送した。IMU を搭載している NovAtel 製マルチ GNSS 受信機をリファレンスとして使用し、RTK で測位を行った。

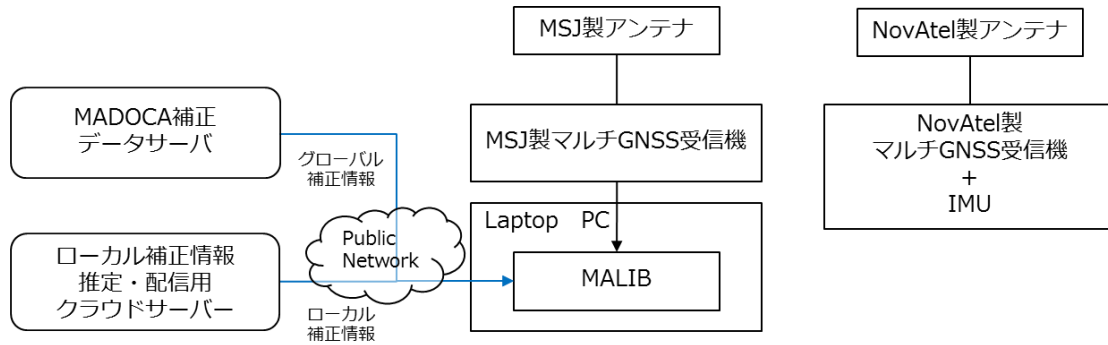


図 8.1.2-9 性能評価系の構成

(ii) データ取得

走行試験において性能評価に使用する位置情報を 1 回 / 1 秒のペースで記録した。走行コースはオープンスカイ及び郊外地域の特徴を有するコースを表 8.1.1-4 のように選定した。走行経路については図 8.1.2-10～11 に示す。

表 8.1.1-4 走行試験のルート

LN	ルート	走行距離(km)	特徴
1	Don Muang Tollway	12	オープンスカイ
2	Ratchadapisek	5.5	郊外地域



図 8.1.2-10 走行コース 1 の軌跡
(出典 : Google CNES/Airbus)

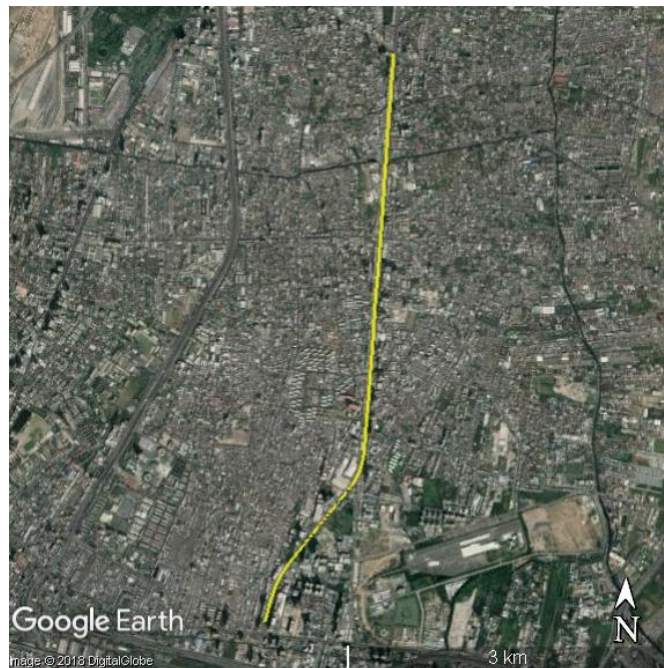


図 8.1.2-11 走行コース 2 の軌跡
(出典 : Google, Digital Globe)

(iii) 評価項目

走行試験中の位置情報を記録した位置情報を基に PPP 測位の行われた時間率及び、位置精度を 2DRMS 及び 75% error within で評価した。

(b) 性能評価結果

(i) PPP 測位時間率

走行試験中に PPP 測位が行われていたプロット数より PPP 測位時間率を算出した。各走行コースにおける走行試験中の PPP 測位時間率を表 8.1.2-に示す。Don Muang Tollway で PPP 測位時間率 68%、Ratchadapisek では PPP 測位時間率 11%という結果となった。

PPP 測位時間率時間率は周辺環境に依存するため定量的な評価が難しいものの、同じ環境を走行したグローバル補正情報適用時の PPP 測位と比較して、ローカル補正情報適用時の PPP 測位は PPP 測位時間率が低くなった。

表 8.1.2-ローカル補正情報適用時の PPP 時間測位率

LN	ルート	PPP 測位 時間率
1	Don Muang Tollway	68.7%
2	Ratchadapisek	12.6%

表 8.1.2-グローバル補正情報適用時の PPP 時間測位率

LN	ルート	PPP 測位 時間率
1	Don Muang Tollway	98.8%
2	Ratchadapisek	88.2%

(ii) 位置精度

走行試験中の位置誤差について 20cm 刻みでプロットした分布図を図 8.1.2-12~13 に示す。8.1.1 マルチ GNSS 受信機の性能評価における走行試験の結果と比較して、位置誤差が全体にばらついており、5m 以上の誤差が走行時間中の約 1/4~1/3 で確認された。

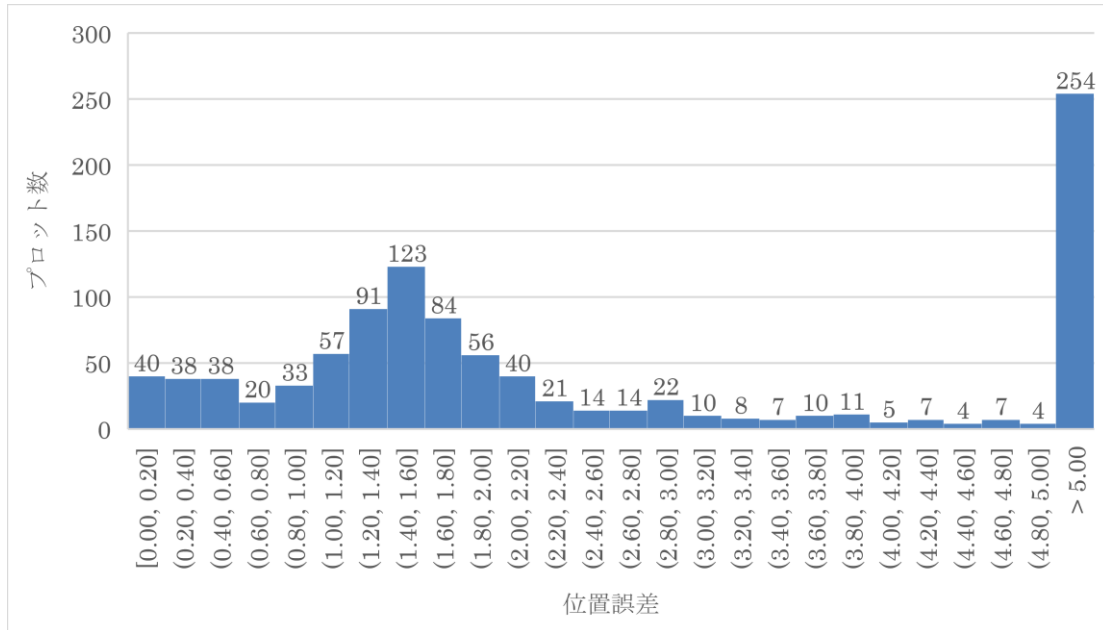


図 8.1.2-12 Don Muang Tollway 走行時の位置誤差プロット分布図

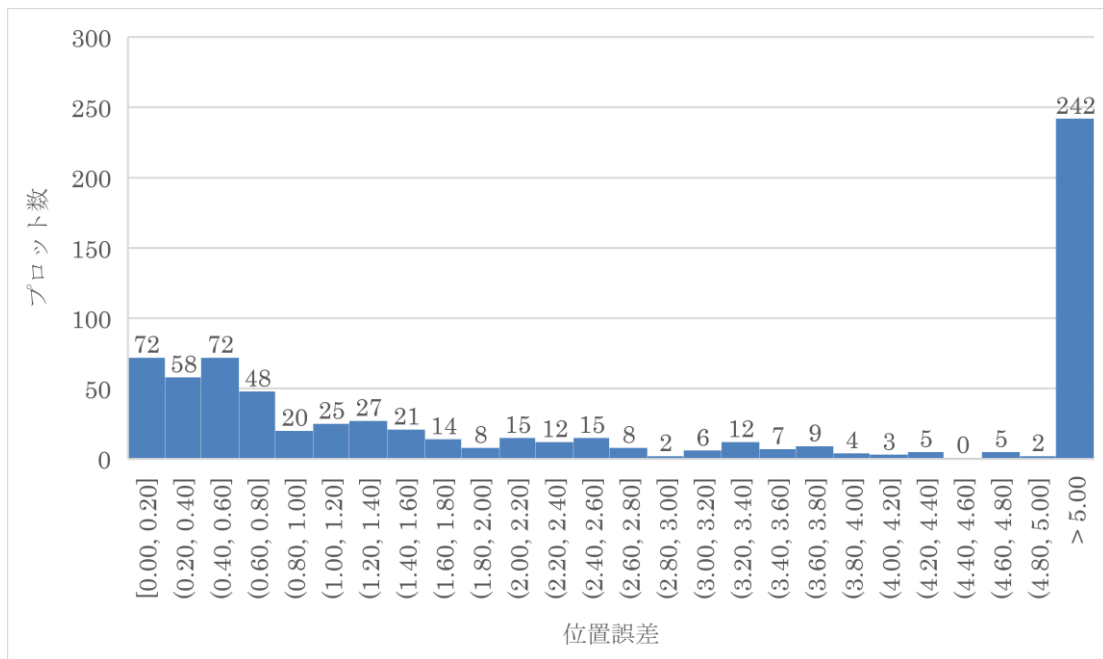


図 8.12-13 Ratchadapisek 走行時の位置誤差プロット分布図

(c) 考察

比較的上空視界の良い Don Muang Tollway で PPP 測位時間率 68.2%、Ratchadapisek では PPP 測位時間率 12.6%という結果となった。

PPP 測位時間率は周辺環境に依存するため定量的な評価が難しいものの、同じ環境を走行した MSJ 製マルチ GNSS 受信機の PPP 測位と比較して Fix 率が低くなったことの原因としては以下が考えられる。

1) MALIB における MSJ 製 GNSS アンテナの位相補正データの不適用

一般に PPP 測位を行う場合はアンテナの位相特性を考慮する必要があるが、MALIB ではアンテナ位相特性の情報を外部ファイルから与える仕様となっている。しかし、MSJ 製 GNSS アンテナの位相特性情報は検定機関で計測中のため 2018 年 4 月の時点で公開されていない。したがって、本実証における MALIB の測位では MSJ 製 GNSS アンテナの位相特性を正しく補正できていない。このことが Fix 率低下に影響したと考えられる。

2) MALIB の PPP 測位における最低衛星数（6 衛星）の制限

PPP 測位は一般に 5 衛星以上の同時捕捉で測位可能であり、MSJ 製マルチ GNSS 受信機も 5 衛星以上の捕捉時に PPP 測位を試みる仕様となっている。一方、MALIB では精度確保の観点から PPP 測位の最低衛星数が 6 衛星と設定されており、5 衛星以下の場合は PPP 測位と判定しない仕様となっている。本実証は捕捉衛星数が 5 衛星以下となる状況が多発する都市部での環境であったため、MSJ 製マルチ GNSS 受信機に比べて MALIB の Fix 率が大幅に低下したと考えられる。

前項 2 つの理由で PPP 測位時間率が低下したことに伴い、位置精度も低下したことが実証結果からもうかがえる。

それに加えて、MALIB では Autonomous の状態において各測定点における測位が独立して行われているため、マルチパスなどの影響で発生する異常値が多く含まれる結果となっている。マルチ GNSS 受信機の中には、測位対象物が自動車であるという条件の下で測位結果をフィルタリングし異常値の制御を行っているものもあるが、MALIB ではそのような処理は行われていない。

MALIB は、MADOCA によるグローバル補正情報を使った PPP 測位を評価するために開発された基盤ツールであり、特定のアプリケーションへ向けた作り込みはされていない。一方、本実証の測位環境は安定した衛星信号が得られにくい都市部であり、このような環境下で衛星測位を行うためには利用条件を前提とした作り込み、チューニングが必要である。具体的には、衛星数制限の撤廃、及び自動車の測位を前提としたフィルタリングなどのチューニングである。これらの作り込みによって都市部の環境下での測位性能は大きく変わると考えられ、実用化に向けて開発を行うことが望ましい。

準天頂衛星システムを利用した高精度測位サービスを、タイをはじめとする東南アジア等において広く普及させるためには、MADOCA を利用することが必須である。このため、MALIB 機能を充実させて受信機に搭載するとともに、今後、利用環境に応じたチューニング方法を広く公開するなど、受信機でのローカル処理機能の開発を進めることが重要であると考えられる。

8.2 高精度ルートガイダンスシステム

本実証実験に用いる高精度ルートガイダンスシステムは、新たな機能を有するナビゲーションシステムとして開発を行った。本ルートガイダンスシステムは、従来の GPS の測位情報より生成される交通情報ではなく、準天頂衛星システムから発信される高精度測位信号及びMADOC A 補正データより取得した高精度測位情報をもとに生成したレーン毎の交通情報を使用することにより、レーン毎のルートの探索及びガイダンスを行う。その結果、より効率的な車の誘導が実現されることが期待される。

8.2.1 高精度ルートガイダンスシステム構成及び仕様

高精度ルートガイダンスシステムは、図 8.2.1-1 に示すようにマルチ GNSS 受信機、PC、タブレット、交通情報配信サーバで構成される。高精度ルートガイダンスに使用する本ナビゲーションシステムを AndroidOS が動作するタブレット上にインストールして使用する。測位信号を受信するマルチ GNSS 受信機とタブレットを PC で仲介するように USB で接続する。また PC とタブレットはインターネットを介して交通情報配信サーバより交通情報の取得が行える状態としている。本システムで使用する交通情報は脱出方向別旅行時間の情報を格納できるように、通常のナビソフトウェアが取得する交通情報より拡張されている。

マルチ GNSS 受信機は、測位衛星から発信される測位信号と MADOC A 補正データをもとに生成した高精度測位情報を USB 経由で PC へ 1Hz の更新頻度で発信する。PC は専用アプリケーションによって、マルチ GNSS 受信機から得た高精度測位情報とインターネット経由で交通情報配信サーバより取得したレーン毎の交通情報をもとに自車走行レーンに応じて変化する「相対レーン情報」を生成する。

「相対レーン情報」とは、現在走行中の道路の道なり前方の一定距離分（一般道で 1,200m 以上、高速道で 2,000m 以上）のレーン数、及びそれぞれのレーンの混雑度と旅行時間と現在走行しているレーンを特定しうる情報で構成される情報であり、自車前方のレーン毎の混雑度とより走行しやすいレーンをユーザに示すために用いられる。

PC 内の「専用アプリケーション」は USB 経由でタブレットにインストールされている Splitter Library に対して「測位情報」と「相対レーン情報」を送信する。タブレット内の Splitter Library は受信したこれらの情報が更新されるたびにタブレット内のナビゲーションシステムに対して更新通知と共に情報を送信する。

「測位情報」の更新通知を受けたナビゲーションシステムは、測位情報、相対レーン情報、高精度交通情報をもとに、地図の描画やルート案内などのナビゲーションシステムの各種基本機能を実行する。従来の GPS より得られる位置情報と比較して、本実証実験で使用する測位情報は高精度であるため、低測位精度の状況において本来走行している道路ではない道路を走行しているものとナビゲーションシステムが誤認する誤マッチの減少や、より正確なタイミングでのルート案内を実現することができる。

レーン毎のガイダンスを行うことに伴い、通常のナビゲーションシステムのガイダンスに対して以下の機能を追加している。運転中のドライバが直感的に各レーンの混雑度を把握できるように、「8.2.3 項 高精度ルートガイダンス (UI、音声)」で説明する高精度ルー

トガイダンスの一機能として、相対レーン情報の更新通知をナビゲーションシステムが検知した際に、タブレット上に表示されているレーンガイダンスの下部に各レーンの混雑度を色分けにより示すこととした。

また、従来のナビゲーションシステムはガイダンスとして、右左折と直進の案内しか行わないのに対して、ルート案内中に、どのレーンを走行するとスムーズに前方へ進行できるかを計算し、「右（または左）レーンに移動してください」という旨の音声発話により「8.2.4 項 自転車走行レーンを考慮した案内」で説明する案内機能を追加している。

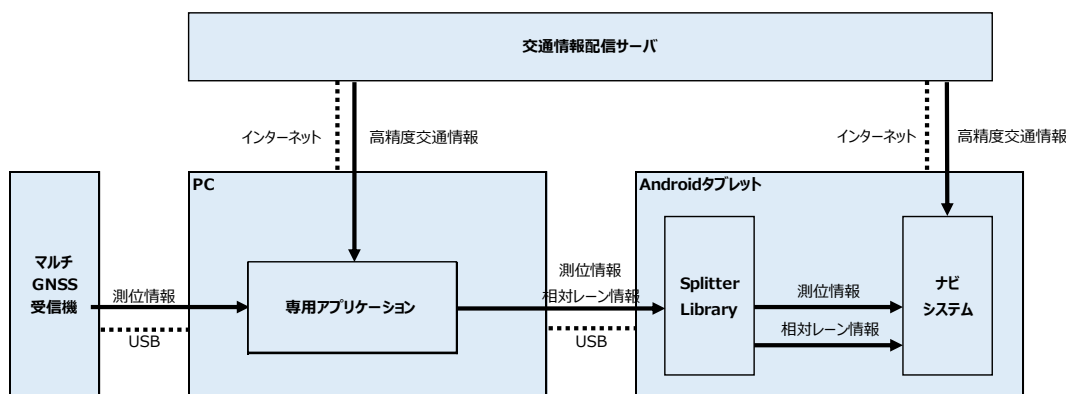


図 8.2.1-1 ルートガイダンスシステム構成と情報の流れのイメージ

8.2.2 高精度交通情報を活用したルート探索

(1) ルート探索の構成及び仕様

本高精度ルートガイダンス向けに拡張された交通情報では、リンク旅行時間に加えて脱出方向別の旅行時間を格納している。

リンクとは、事前に設定された道路のある一点からある一点までの区間のことをいう。リンク旅行時間とは当該リンクを走行する車両の通過時間を指し、そのリンクからの脱出方向に分類することなく、当該リンクを走行する全サンプル車両の通過時間を基に統計処理して算出する。

そのため、ある脱出方向の（例えば直進の）旅行時間は小さい（高速度で移動できる）が、別の脱出方向の（例えば右折の）旅行時間は大きい（低速度でしか移動できない）といった脱出方向による速度の差を表現できなかった。

本実証実験において導入する高精度交通情報に追加される脱出方向別旅行時間として、当該リンクに加えて脱出先のリンクの旅行時間をペアにして格納している。なお、本実証実験は旅行時間を8台のプロブカーに由来するリアルタイム情報で生成するため、脱出方向旅行時間の一部は生成できずに配信できないという事態も考えられるが、その場合においては脱出方向別旅行時間でなく、従来のナビゲーションシステムと同様にリンク旅行時間を用いるものとしている。

ルート探索の処理は通常のナビゲーションシステムと同様にダイクストラ法と呼ばれる

最低コストを探索するアルゴリズムによって行うこととした。このアルゴリズムはコストが単調増加する性質を前提としており、算出にはリンク旅行時間を使用している。本実証実験においてはリンク旅行時間のみならず、脱出方向別旅行時間を使用するため、下記のような工夫を行うことで、脱出方向別の旅行時間を加味したルート探索でもアルゴリズムにおけるコスト単調増加の性質を担保した。

【脱出方向別旅行時間を加味したルート探索に向けたアルゴリズムの修正】

N_p ：着目交差点の1つ前のノード（当該リンクの始点ノード）

N_c ：着目交差点のノード（当該リンクの終点ノード）

N_1, \dots, N_n ：着目交差点から脱出するリンクの終端ノード

$T(L)$ ：リンク旅行時間

$T(1, \dots, n)$ ：脱出方向別旅行時間

ダイクストラ法により N_p までのコストが計算されているものとし、そのコストを $C(N_p)$ と表す。

次のステップで N_c のコストを決定するが、この際は $T(L)$ と $T(1, \dots, n)$ のうち最も小さな旅行時間 T_m を算出し、仮の値としてこの値を累加する。

$$T_m = \min(T(L), T(1, \dots, n))$$

$$C(N_c) = C(N_p) + T_m$$

次に着目交差点から脱出方向別のリンク終端のコストを計算する。この時、先に累加した T_m を各旅行時間から減じた、残旅行時間を累加する。

$$C(N_n) = C(N_c) + T(n) - T_m$$

このようにすることでコストの単調増加を保証することができ、ダイクストラ法に基づくアルゴリズムを成立させる。

脱出方向別旅行時間の適用により、図 8.2.2-1～2 のように異なった脱出方向を通過するようなルート探索が可能となる。

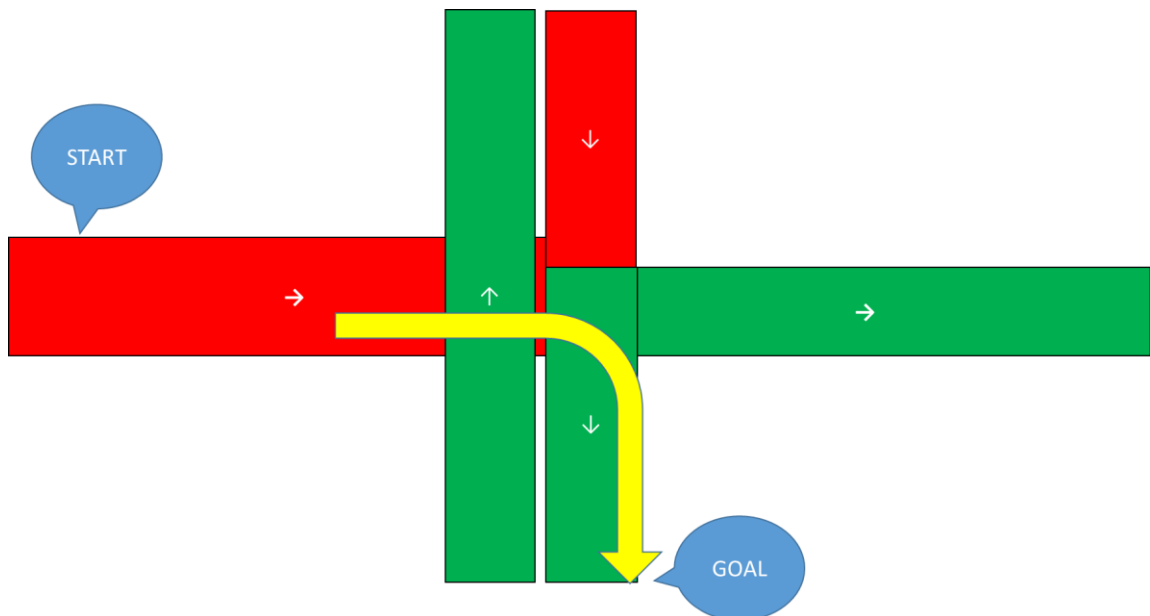


図 8.2.2-1 現状のルート探索結果のイメージ

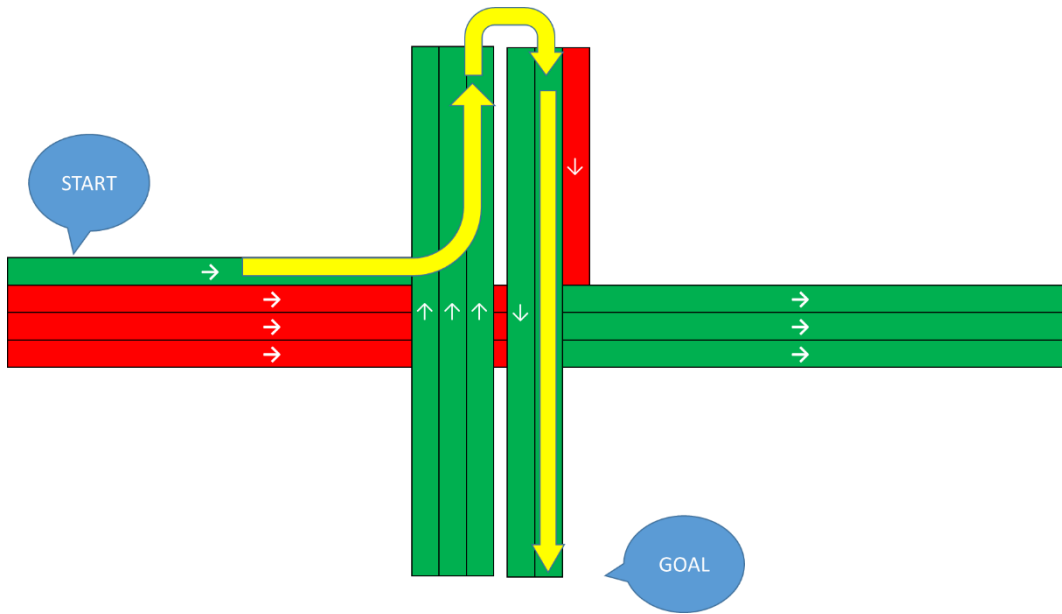


図 8.2.2-2 改善後のルート探索結果のイメージ

(2) ルート探索の性能評価

(a) 性能評価方法

2台の検証用タブレット PC に、交通情報配信サーバから脱出方向別旅行時間を受信し活用することができるナビゲーションシステム、そして交通情報配信サーバから脱出方向別旅行時間を受信しても活用できないナビゲーションシステムをインストールし、目的地までのルートを探させた場合にそれぞれの導き出すルートにどのような違いが出るか、という観点で性能比較を実施した。

(i) 性能評価系の構成

ルート探索に関する性能評価系の構成を図 8.2.2-3、図 8.2.2-4 に示す。当評価系における両者の一番の相違は脱出方向別旅行時間の概念の有無であり、その差により両者の探索ルートに違いが出るのが期待される。

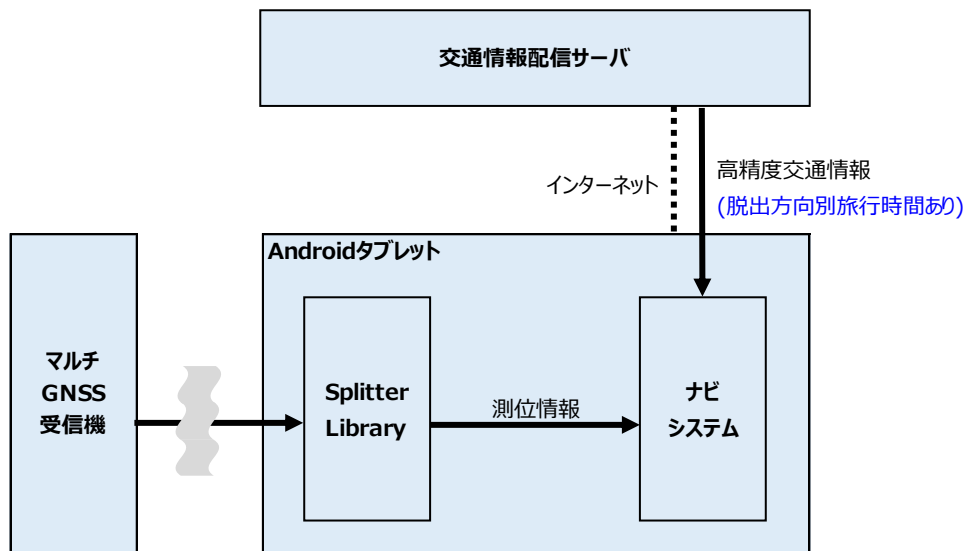


図 8.2.2-3 新ナビゲーションシステムのルート探索に関する評価系構成イメージ

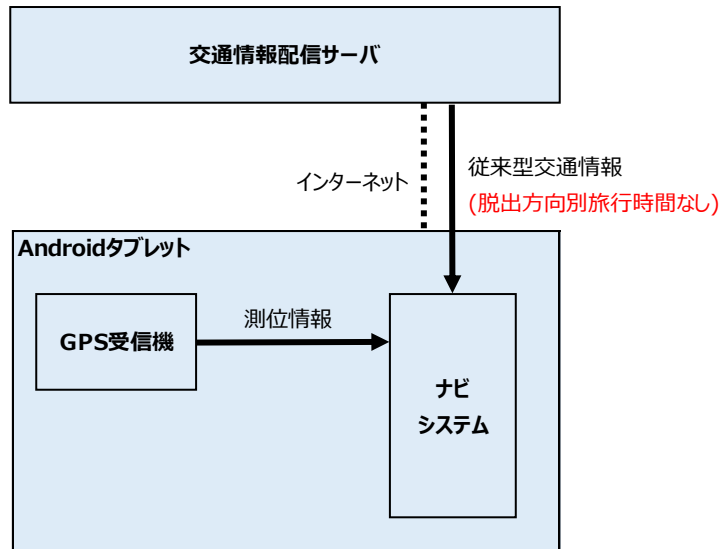


図 8.2.2-4 現行ナビゲーションシステムのルート探索に関する評価系構成イメージ

(ii) データ取得

新ナビゲーションシステムと現行ナビゲーションシステムそれぞれに同じ目的地へのルートを探させ、両者に有意な差が生じた際の画面キャプチャイメージを取得する。

※ 評価実施時の交通状況によっては両者に有意な差が生じないこともありうるため、有意な差が出た時の画面キャプチャイメージをもってデータ取得完了とする。

(iii) 評価項目

取得したサンプルに関する有意な差が高精度交通情報（脱出方向別旅行時間）により生じたものであるかどうかを評価するために、別途取得したナビゲーションシステムのログファイルや配信された渋滞情報のログなどを解析する。

(b) 性能評価結果

今回実施したフィールドテストにおいて、新ナビゲーションシステムと現行ナビゲーションシステムの間以下のような差異（赤枠内）が見受けられた。なお、両者ともに右端が出発地、左端が目的地であった。

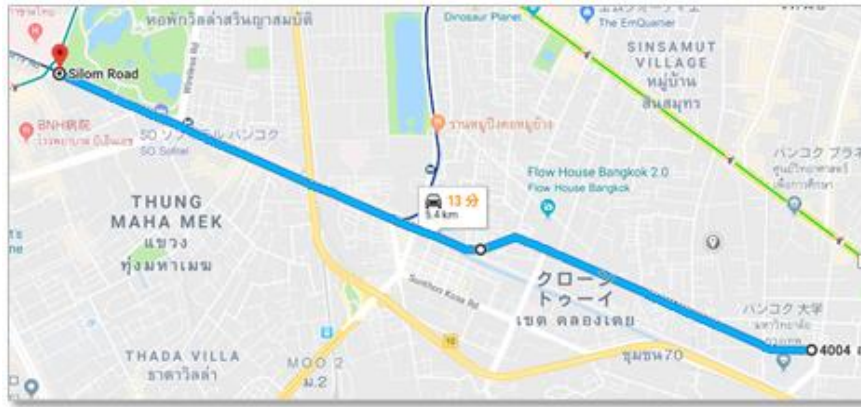


図 8.2.2-5 現行ナビゲーションシステムのルート探索結果
(出典：Google)

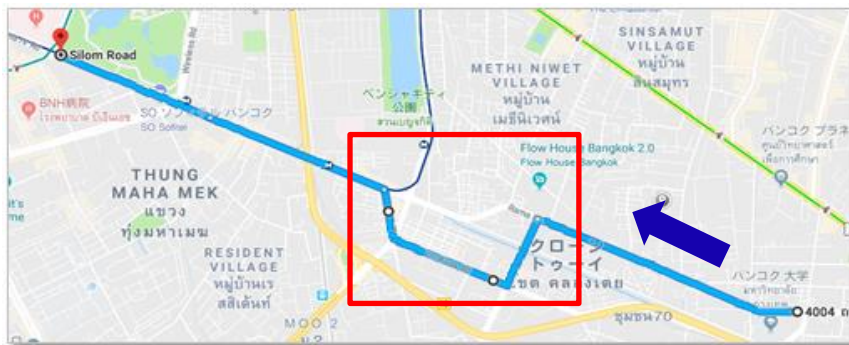


図 8.2.2-6 新ナビゲーションシステムのルート探索結果
(出典：Google)

この差異については、新ナビゲーションシステムが高精度交通情報（脱出方向別旅行時間）を考慮し、直進するよりも左折した方が目的地により早く到着することができると判断した結果、発生したものと推察される。

実際にドライブレコーダの動画を確認すると、左折する直前の道路においては直進方向が渋滞している反面、左折専用レーンがスムーズに走行できる状態であるため、新ナビゲーションシステムは脱出方向別旅行時間を考慮して左折するルートを案内した、と考えるのが妥当である。



図 8.2.2-7 Rama 4 通りからの離脱（左折）直前までの交通状況

(c) 考察

高精度交通情報（脱出方向別旅行時間）を受信することにより、新ナビゲーションシステムと現行ナビゲーションシステムそれぞれが探索するルート形状に有意な差が現れることが確認できた。よって、(1)に記載したナビゲーションシステムの仕様を実現できたと言ってよいのではないかと考える。さらに検証を続けていくことでより興味深い結果も得られるものと期待される。

今後、高精度なプローブ情報を収集できるタクシーの台数が増加するに従い高精度交通情報の信頼性も向上し、ドライバーをより適切なルートに導くことができるようになることが予想されるが、そのためにはプローブタクシーも含めた全車両の高精度測位の安定性（多少の遮蔽物であれば高精度測位状態を維持できる、といった程度の安定度）をどのように確保するのか、という点を継続して検討する必要があると考える。

8.2.3 高精度ルートガイダンス（UI、音声）

(1) UI、音声案内の構成及び仕様

マルチ GNSS 受信機を搭載したプローブカーより取得した位置情報の解析により生成した交通情報は、従来の交通情報と比較して脱出方向別旅行時間が格納可能となるため高

精度化することができる。この高精度交通情報をもとに 8.2.2 項で説明したルート探索の結果、より良いルートが発見された場合は新しいルートの発見通知を短縮時間とともにナビの画面上にダイアログとして表示し、音声でもユーザに対して通知を行う。

またマルチ GNSS 受信機を搭載したプローブカーの解析により、自転車走行中の道路の一定距離（一般道で 1,200m 以上、高速道で 2,000m 以上）前方区間分のレーン毎の渋滞度を観測することで相対レーン情報の取得が可能となった。このレーン毎の渋滞度の情報と、主要交差点毎に道路上の各レーンの脱出方向を示すレーンペイントを模した表示物をユーザに提供するレーンガイダンスと呼ばれるナビソフトウェアの機能を組み合わせることにより、自転車が交差点に進入するリンクを走行している際に、レーンガイダンスの各レーンの渋滞度を示す色分け（渋滞：赤、混雑：黄色、順調：緑、不明：表示なし）表示を行うこととした。

また交通情報として渋滞度に加えて規制情報が配信されることから、この規制情報に基づき地図上にアイコンを表示するとともに、ルート上に規制が発生した場合はその存在を音声にてユーザに通知することとした。

これらのイメージを図 8.2.3-1 に示す。

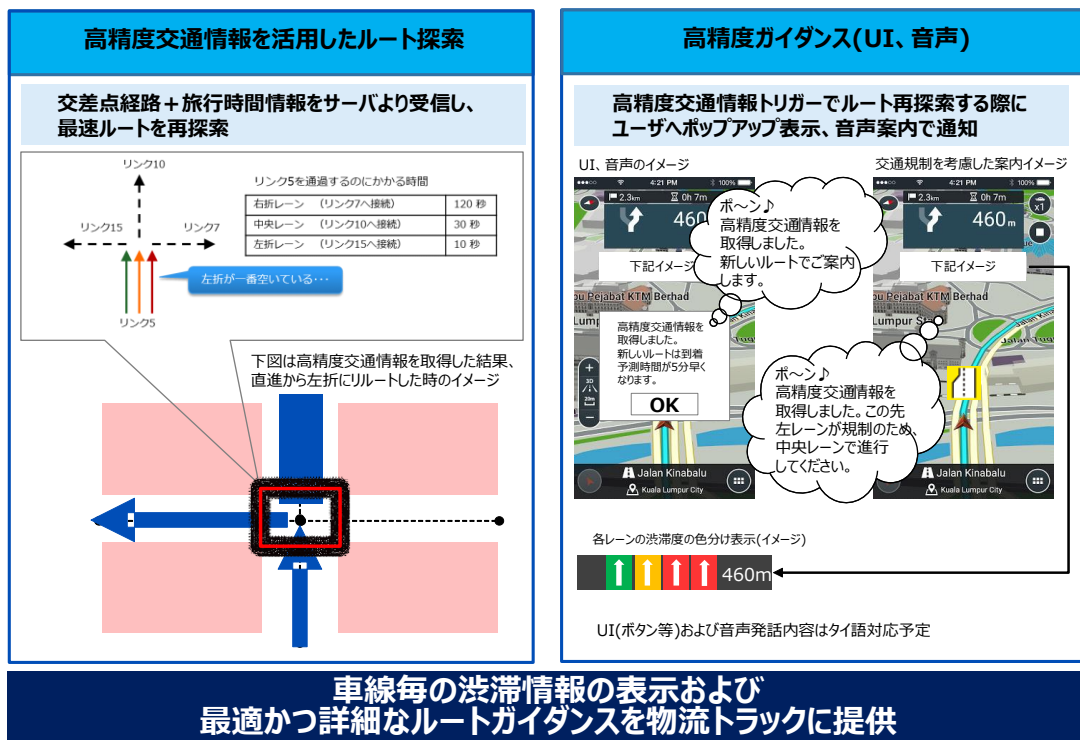


図 8.2.3-1 高精度ルートガイダンス (UI、音声) のイメージ (再掲)

(2) UI、音声案内の性能評価

(a) 性能評価方法

UI、音声案内の性能評価については、確認すべき観点を大きく以下の3つに分類するこ

とができ、それぞれ評価方法が異なる。

- ① 高精度交通情報受信を契機としたルート再探索実行時、より早く目的地に到着できるルートを発見した場合のポップアップ画面表示及び音声による通知
高精度交通情報により異なるルートを探検しやすい Rama 4 通りにて評価
(図 8.2.3-3 を参照)
- ② 配信された相対レーン情報に応じた、レーンガイドへの渋滞色わけ表示
ダミー渋滞情報 (8.2.4 (2)にて後述) が設定された Lat Phrao 通りにて評価
(図 8.2.3-4 を参照)
- ③ 配信された規制情報の地図上へのアイコン表示
規制情報が配信されている箇所を机上で評価

(i) 性能評価系の構成

UI、音声案内に関する性能評価系の構成を図 8.2.3-2 に示す。

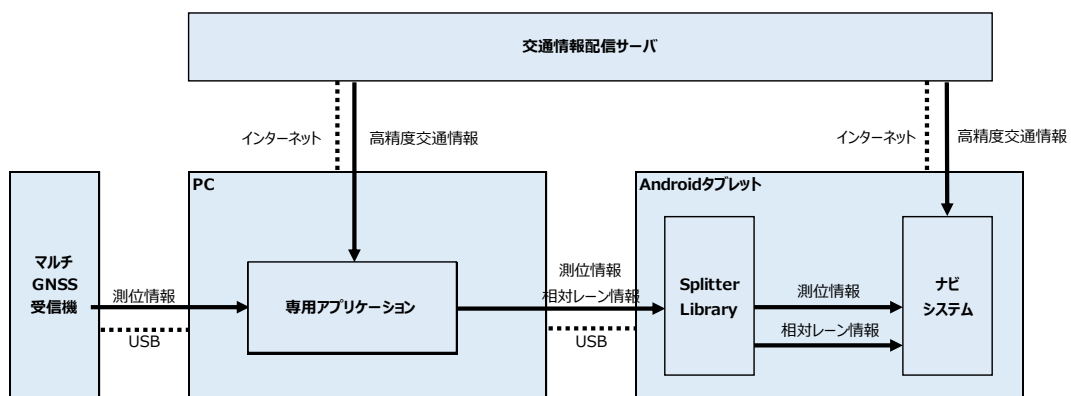


図 8.2.3-2 UI および音声案内に関する評価系構成イメージ

(ii) データ取得

新ナビゲーションシステムを搭載した車両にて Rama 4 通り (図 8.2.3-3) と Lat Phrao 通り (図 8.2.3-4) を走行し、ナビゲーションシステムの挙動を確認する。期待する結果が生じた場合は画面キャプチャイメージを取得する。

※ 評価実施時の交通状況によっては期待する結果が生じないこともありうるため、期待する結果が生じた時点の画面キャプチャイメージをもってデータ取得完了とする。

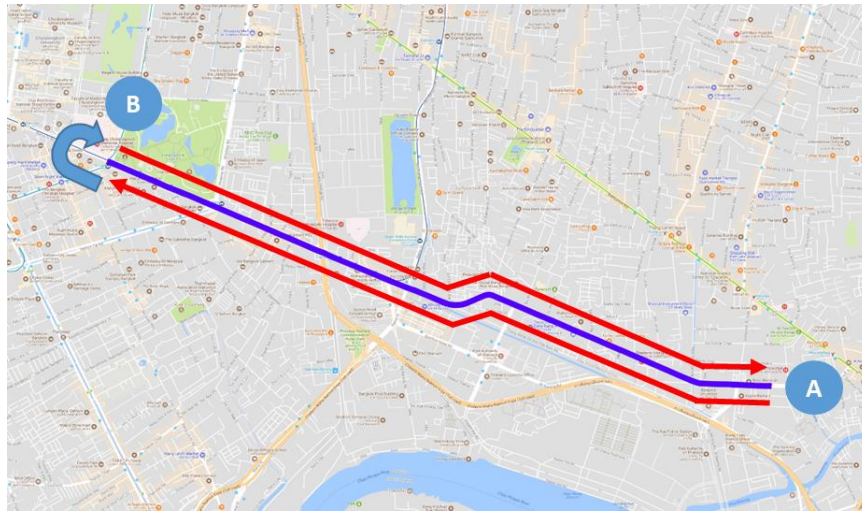


図 8.2.3-3 高精度交通情報受信ポップアップ画面評価コース（Rama 4 通り）
（出典：Google）



図 8.2.3-4 レーンガイドへの渋滞情報色分け表示評価コース（Lat Phrao 通り）
（出典：Google）

(iii) 評価項目

以下の3つの観点について、実際にコースを走行し、もしくは机上にて評価を実施した。

- ① 高精度交通情報受信を契機としたルート再探索実行時、より早く目的地に到着できるルートを発見した場合にポップアップ画面及び音声にて運転手にその旨通知することができるか。

- ② PC 上の専用アプリケーションから配信された相対レーン情報に含まれているレーン毎の渋滞情報をレーンガイドに色わけ表示することができるか。
- ③ 交通情報配信サーバから配信された規制情報を地図上に表示することができるか。

(b) 性能評価結果

- ① 高精度交通情報受信を契機としたルート再探索実行時、より早く目的地に到着できるルートを発見した場合にポップアップ画面及び音声にて運転手にその旨通知することができるか。

今回実施した Rama 4 通りにおける実証実験において、新ナビゲーションシステムに以下のような挙動が見受けられた。なお、図 8.2.3-5 のコースは右端が出発地、左端が目的地であった。



図 8.2.3-5 Rama 4 通りのポップアップ画面表示箇所
(出典 : Google)

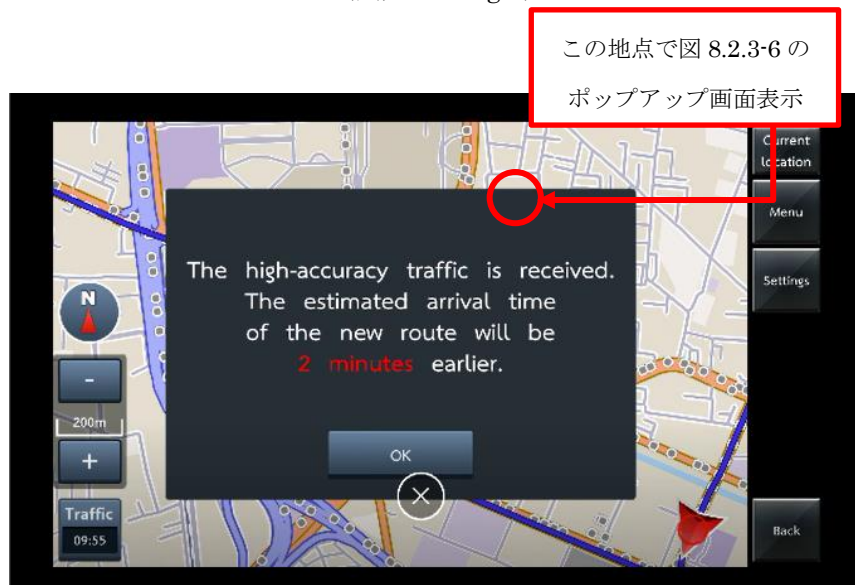


図 8.2.3-6 新ナビゲーションシステムで表示されたポップアップ画面

その後の調査の結果、図 8.2.3-5 の地図の青枠部分で以下のようなルート再設定が行われていることが判明した。

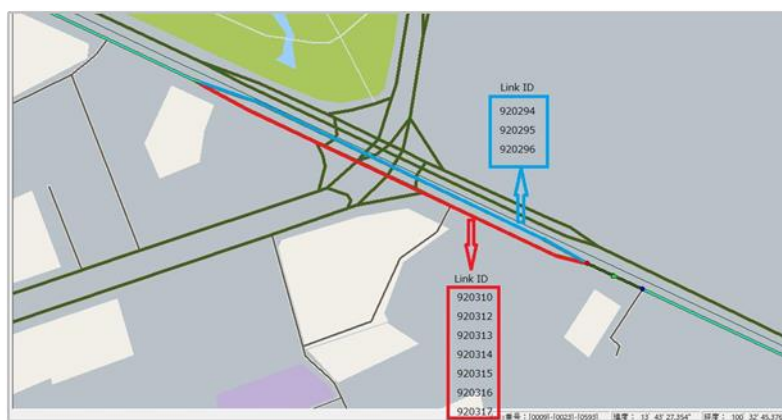


図 8.2.3-7 ルート再設定前（赤）とルート再設定後（青）

オーバースパス（高架道路）を走行させることにより、予想到着時刻が2分早くなる、という判断の下、ルート再設定が行われたことが分かったため、ポップアップ画面が表示された事実及びその理由も含め確認することができた。

- ② PC 上の専用アプリケーションから配信された相対レーン情報に含まれているレーン毎の渋滞情報をレーンガイドに色わけ表示することができるか。

今回実施した Lat Phrao 通りにおけるフィールドテストにおいて、新ナビゲーションシステムのレーンガイド部に渋滞情報を示す色が表示されていることを確認した。また、表示されている色はあらかじめ設定済みであったダミー渋滞情報の内容に即したものであることを確認できた。

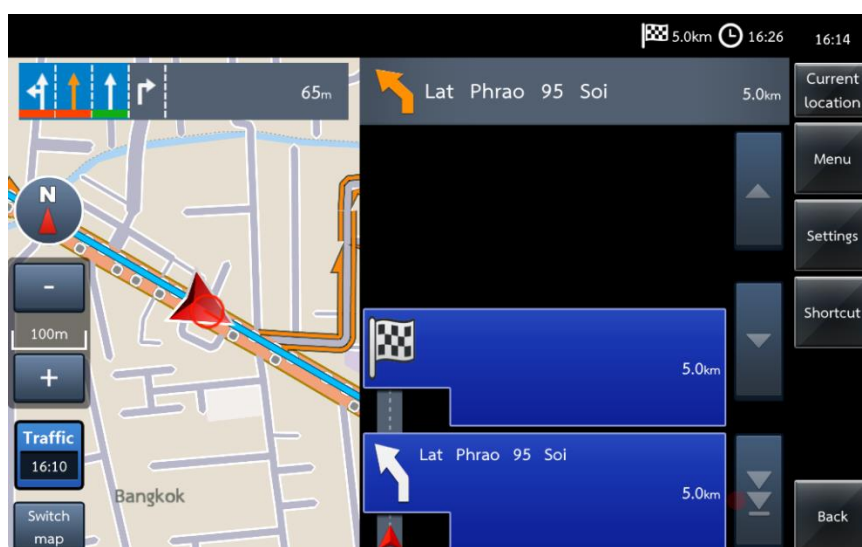


図 8.2.3-8 レーンガイド部に表示された渋滞情報

③ 交通情報配信サーバから配信された規制情報を地図上に表示することができるか。

交通情報配信サーバから受信したイベント情報に従い、地図上に規制を示すアイコンが表示されていることを確認できた。

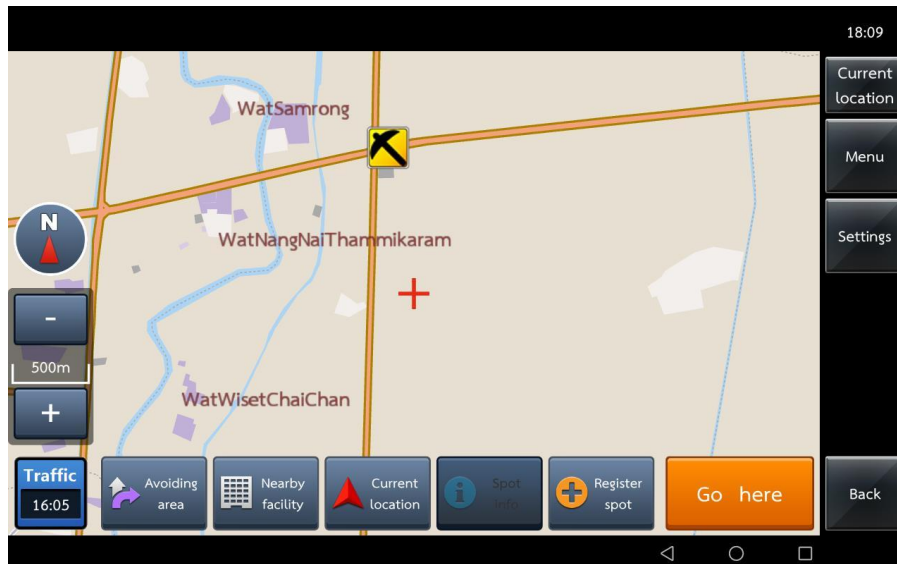


図 8.2.3-9 規制アイコン表示

(c) 考察

高精度交通情報（脱出方向別旅行時間もしくは規制情報）、相対レーン情報が正しく配信されることにより、新ナビゲーションシステムは想定された動作をすることが確認できた。よって(1)に記載した新ナビゲーションシステムの仕様を実現できたものと考えている。

8.2.4 自転車走行レーンを考慮した案内

(1) 自転車走行レーンを考慮した案内の構成及び仕様

本実証実験において新たに生成する相対レーン情報には、自転車走行レーンを基準とした、左右及び道なり前方のレーンの距離、旅行時間及び混雑度を格納する。

これらの情報を基に図 8.2.4-1 に示すように現在走行中のレーンを継続して直進すればよいのか、あるいは左右いずれかのレーンに移動するとよいのかを判断し、左右いずれかのレーンに移動すべき場合にはその旨を音声にてユーザに通知を行う。

この通知内容は、各レーンについて自転車位置から前方方向一定距離（この距離を検査距離：Test distance と呼び、現在の設計では一般道 700m、高速道 2,000m）に到達するまでに要する旅行時間と時間に、相対レーン情報に含まれる旅行時間を累加して算出する予想旅行時間をもって決定する。検査距離区間内にリンクの一部が含まれる場合は、距離を用いて旅行時間を按分しこれを累加する。

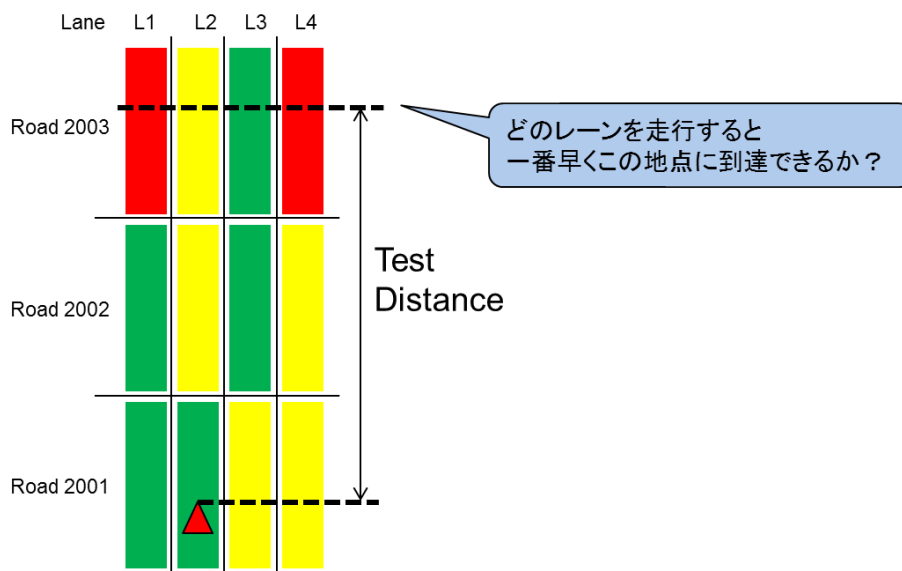
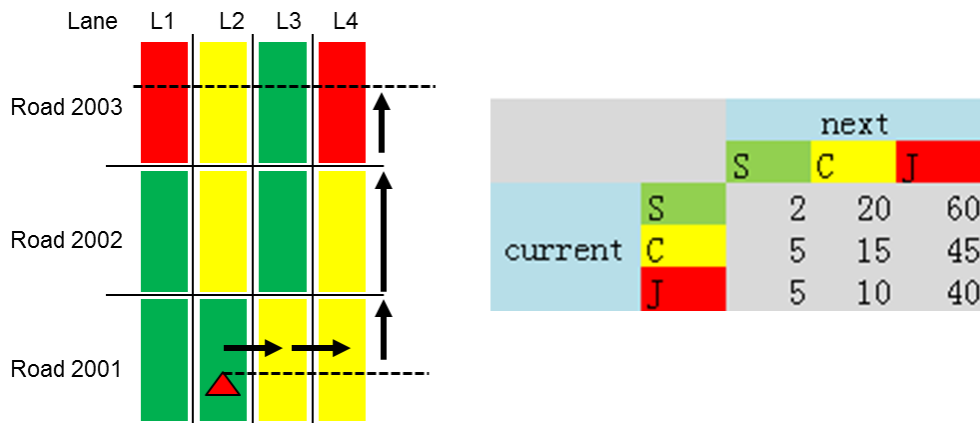


図 8.2.4-1 推奨走行レーンの決定のイメージ

また、相対レーン情報を基に算出する旅行時間は、図 8.2.4-2 に示すように移動元の渋滞度と移動先の渋滞度を用いて、レーンからレーンに移動する困難性と相関を持つコストを秒単位のレーンチェンジコストとして予め定義し、このレーンチェンジコストを検査距離の予想旅行時間に累加することにより、予想旅行距離を算出する。



$$\begin{aligned}
 \text{TotalCost (to L4)} &= \text{L2(Smooth)} \rightarrow \text{L3(Congestion)} + \text{L3(Congestion)} \rightarrow \text{L4(Congestion)} \\
 &+ \\
 &\quad \text{TravelTime of Road2001-L4 (partial)} \\
 &+ \\
 &\quad \text{TravelTime of Road2002-L4 (whole)} \\
 &+ \\
 &\quad \text{TravelTime of Road2003-L4 (partial)}
 \end{aligned}$$

図 8.2.4-2 レーンチェンジコスト算出イメージ

レーンチェンジコストの考え方は、例えばスムーズに流れる2つのレーンを移動するようなケースでは、時間的なコストと心理的なコストがともに低いため、レーンチェンジが容易である。一方、スムーズに流れるレーンから渋滞しているレーン移動するようなケースでは、移動に時間を要する事に加えて、スムーズに走行しているレーンの流れを妨げることや安全性の観点からも負担を感じ、また、交通状況が悪化するレーンに進入する事による心理的なコストが発生する、これらのコストをトータル的に考慮してレーンチェンジの困難性と定義しこれを秒数に仮想的に換算している。

このようにして計算した予想旅行時間が、現在走行中のレーンを走行するよりも別のレーンを走行する方が一定秒数以上（現在の設計値は 30 秒）短縮できる場合には、別のレーンへの移動を促すガイダンスを実施するものとした。

高精度測位情報を使用するもののレーン移動中には計測上の誤差として移動元レーンと移動先レーンのいずれを自車が走行しているかの判定に揺らぎが生じる事が予想される。この揺らぎにより高頻度な案内が発生しないように、一定時間以上同一レーンを走行するまでは本案内が実施されないように抑制を行うこととした。

また、本機能はルート案内中に実施されるが、ルート上の案内ポイント（例えば右折や左折、経由地や目的地など、案内の対象となる地点）の付近でレーン変更を促す案内を行うと、ドライバーに対して混乱を与える恐れがあるため、案内ポイントまでの距離が一定距離以下となった場合には本案内を抑制するものとした。

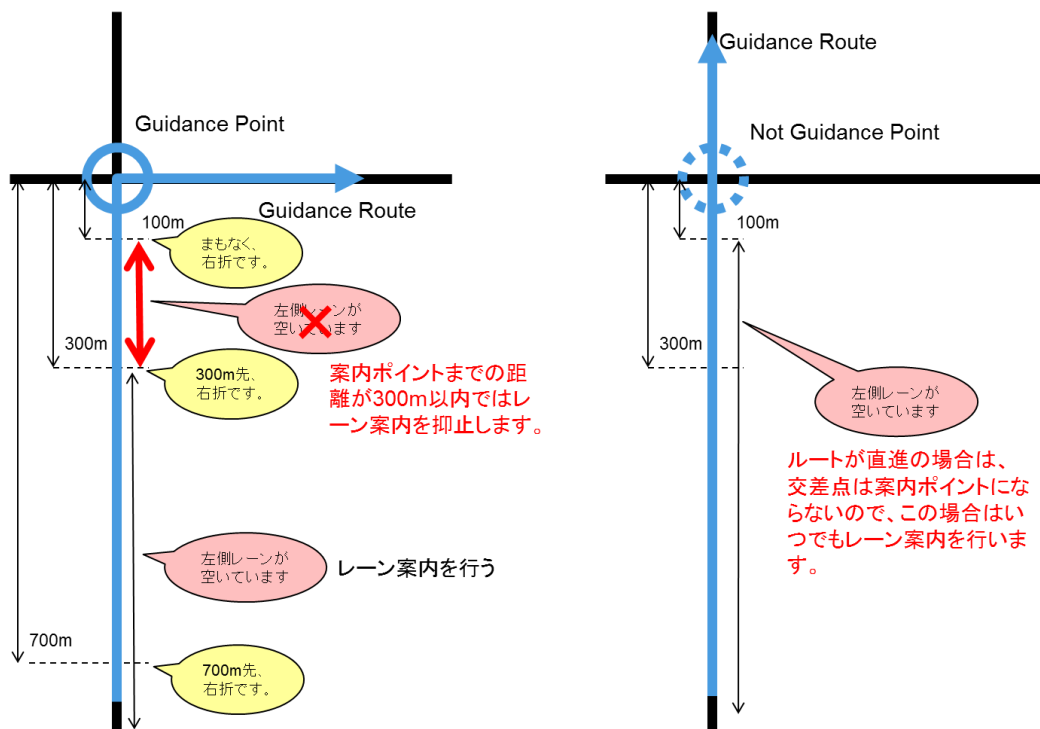


図 8.2.4-3 ルート案内ポイント直前における音声案内抑制のイメージ

また、ドライバーが本案内に従わずレーンをキープして走行した場合には、頻繁に同一の案内を繰り返すことによってドライバーの運転に支障をきたす恐れがあるため、一定時間内に同一目的の本案内を実施しないように抑制するものとした。

テムに配信される仕組みとなっている。

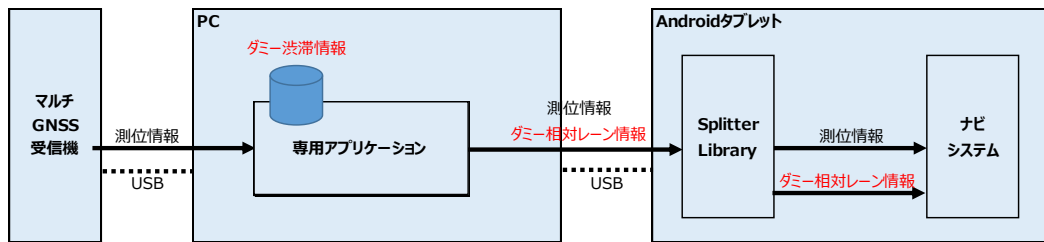


図 8.2.4-5 自転車走行レーンを考慮した案内の性能評価系構成イメージ

(ii) データ取得

今回は特に以下の3ルートにダミー渋滞情報を設定し、それぞれのルートを走行した際の発話内容及びタイミングを性能評価のためのサンプルデータとして採取する。

- ・ Sathorn 通り (図 8.2.4-6 参照)
- ・ Don Muang Tollway 通り (図 8.2.4-7 参照)
- ・ Lat Phrao 通り (図 8.2.4-8 参照)

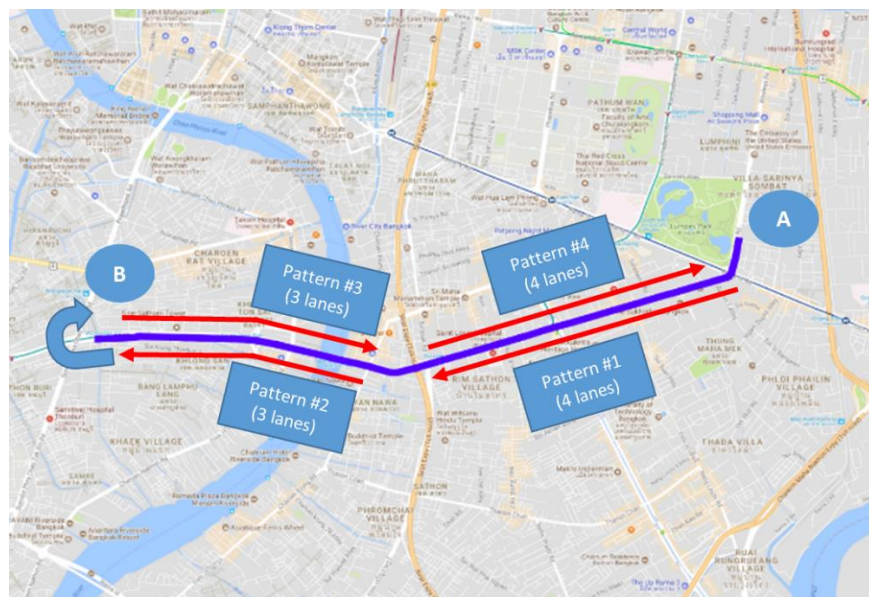


図 8.2.4-6 Sathorn 通りのダミー渋滞情報設定箇所
(出典：Google)

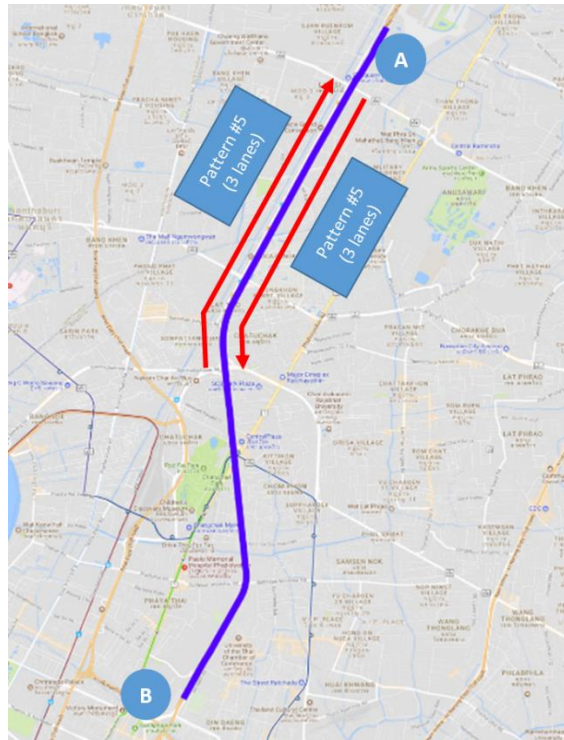


図 8.2.4-7 Don Muang Tollway 通りのダミー渋滞情報設定箇所
(出典 : Google)



図 8.2.4-8 Lat Phrao 通りのダミー渋滞情報設定箇所
(出典 : Google)

具体的には下の図 8.2.4-9 が示すように、各ルートのレーン毎（道路リンク単位）にあらかじめダミー渋滞情報を設定したものである。Lat Phrao 通りの下図の区間は全線 3 レーンであり、上り／下りそれぞれに順調（緑）、混雑（橙）、渋滞（赤）、不明（灰）の 4 種類の渋滞情報を設定した。

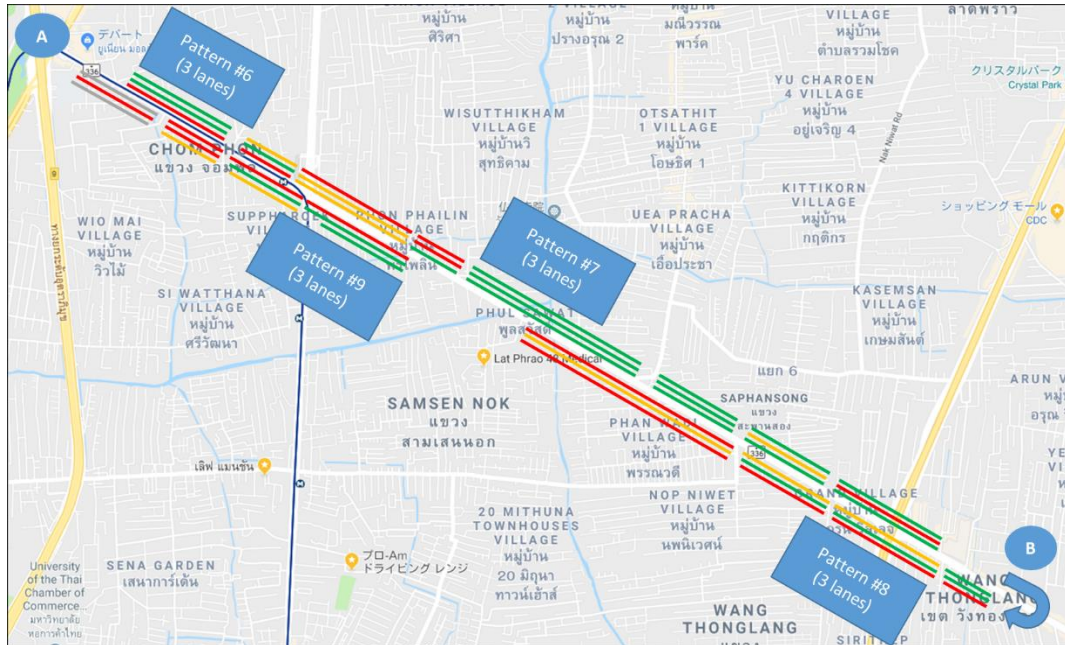


図 8.2.4-9 Lat Phrao 通りに設定したダミー渋滞情報詳細図
(出典：Google)

このような検証環境を構築することにより、あらかじめどの地点でどのような案内がなされるべきか想定したうえで実証試験に臨むことが可能となる。

(iii) 評価項目

ダミー渋滞情報があらかじめ設定されたルートを実際に走行し、新ナビゲーションシステムのレーン移動案内発話の妥当性を以下のような観点で評価する。

- ① より空いているレーンへの移動を案内できているか。
- ② レーン移動案内の発話タイミングは想定どおりか。
- ③ 同一内容案内発話の抑制機能が働いているか。

(b) 性能評価結果

- ① より空いているレーンへの移動を案内できているか。

自転車走行レーンを考慮した案内機能の性能を評価するため、数回にわたりタイ現地を走行して新ナビゲーションシステムの動作検証を行ったが、自転車が走行しているレーンを正

しく認識しているかぎり、新ナビゲーションシステムはよりスムーズに走行することができるレーンへの移動を運転手に促していることを確認できた。

以下で掲載している各図は、自車が当初中央のレーン（左から数えて 3 番目のレーン）を走行していた際に、新ナビゲーションシステムが右 2 レーン分の移動を案内した際のものである。

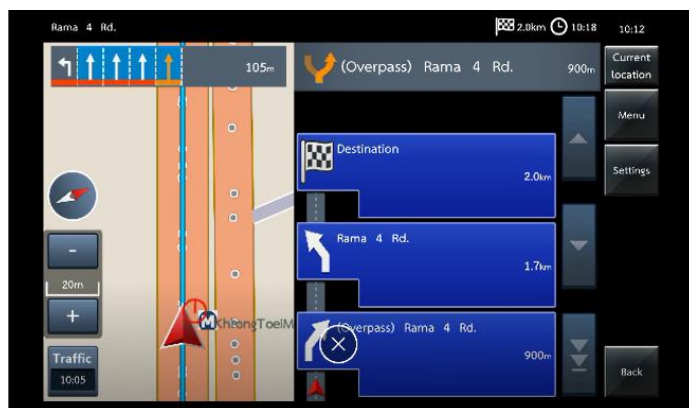


図 8.2.4-10 レーン毎の渋滞状況（右端のレーン以外渋滞）



図 8.2.4-11 5 レーン目に移動する瞬間（右側レーンが比較的すいている）

すべてのレーンが混雑している状況においても、その中で一番旅行時間が短くて済むレーンへの移動を案内できていることが分かる。

② レーン移動案内の発話タイミングは想定どおりか。

レーン移動案内の発話についても一般道の検査距離である 700m 程度手前で行われており、発話タイミングとして問題がないことを確認済みである。また、ルート案内の案内ポイント手前 300m 以内（右左折するポイントの手前 300m 以内）に進入したあとはレーン移動を案内せず、ルート案内を優先する動作についても確認済みである。

③ 同一内容案内発話の抑制機能が働いているか。

あるレーンを走行している際にレーン移動発話があっても無視し続けることで同内容のレーン移動案内が繰り返されることになるが、あらかじめ定めた間隔（10秒）を空けて案内を繰り返すことを確認済みである。

(c) 考察

自車が走行しているレーンをシステムが正しく認識できており、かつ、レーン毎の渋滞情報が正しく生成されていれば、新ナビゲーションシステムはよりスムーズに走行できるよう、運転手にレーン移動を促すことを確認できた。その意味で(1)に記載した新ナビゲーションシステムの仕様を実現できたものと考えている。

ただ、現地での実証実験の中で課題も見つかっている。自車が走行しているレーンとは異なるレーンを走行中であるとシステムが判断してしまうケースがある、というものである。異なるレーンを走行していると判断されてしまうと、レーン移動案内はすべてずれてしまい、例えば一番左のレーンを走行しているにも関わらず、さらに左のレーンに移動するよう案内されるといった問題が発生してしまう。

ナビゲーションシステムとしての動作自体には特に問題がみられないことから、測位精度の改善とあわせて、今後の検討課題とすべきものとする。

8.3 交通情報生成システム

8.3.1 交通情報生成システム

交通情報生成システムは、GPS トラッカーを搭載したプローブカー及びフリートマネジメント会社より取得したトラックの GPS 位置情報を基に交通情報を生成するシステムである。交通情報生成システムの概略を図 8.3.1-1 に示す。

今回、従来の GPS の L1 単独測位方式による位置情報及びマルチ GNSS 受信機により受信可能な高精度測位情報（GPS/GLONASS の L1、L2、L5 測位信号による位置情報、準天頂衛星システムの L6E 測位信号によるグローバル補正情報、MADOC PPP によるローカル補正情報）をナビゲーションシステムに配信するために必要な機能を追加した。

また、高精度測位情報による高精度ルートガイダンス及び高精度レーンガイダンスを実現するために、レーン毎の交通渋滞情報を生成できるレーン別渋滞情報生成機能を新たに追加した。

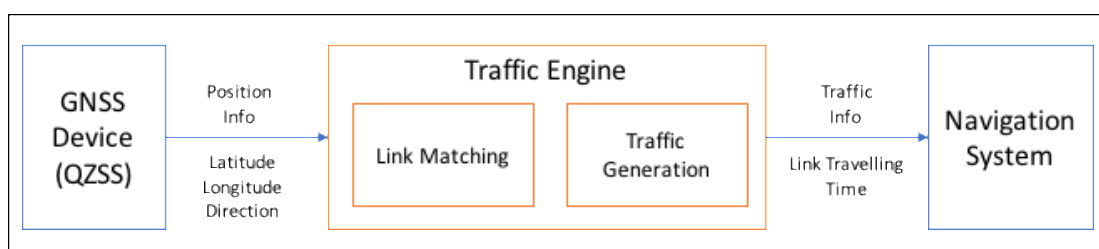


図 8.3.1-1 交通情報生成システム概略

(1) 交通情報生成システムの構成及び仕様

交通情報生成システムでは、位置情報に基づいて車がどの道路（ここでは“リンク”として定義する）に属するかを計算し処理する。車をリンクに割り当てた後に、該当する車の位置情報、進行方向、速度などからそれぞれのリンクの交通渋滞情報を生成する。

交通情報生成システムで生成された交通渋滞情報は、インターネットを経由して RTIC フォーマットで外部に提供する。従来の RTIC フォーマットでは道路に対応した交通渋滞情報しか配信できず、レーン毎の交通情報を配信可能とするために表 8.3.1-1 に示すように RTIC フォーマットにレーンの属性を定義して追加した。

表 8.3.1-1 RTIC 交通渋滞情報のフォーマット

ID	Attribute	Attribute Name	Format	Value	Description
1	Mesh ID	mapid	Char(8)	-	Mesh Number
2	Link ID	linkid	Char(13)	-	Internal Link ID
3	Network ID	nwid	Char(15)	-	Road ID from map source
4	RTIC link level of Up	kind_u	Char(2)	0	Null
				1	Inter city highway/expressway
				2	Inner city highway/expressway
				3	Main Road
				4	Other Road
5	RTIC link level of down	kind_d	Char(2)	0	Null
				1	Inter city highway/expressway
				2	Inner city highway/expressway
				3	Main Road
				4	Other Road
6	Flag of RTIC link up side	flag_u	Char(2)	0	Null
				1	Has
7	Flag of RTIC link down side	flag_d	Char(2)	0	Null
				1	Has
8	RTIC link direction of up side	dir_u	Char(2)	0	No
				1	Traffic flow direction is same as road direction
				2	Traffic flow direction is opposite to road direction
9	RTIC link direction of down side	dir_d	Char(2)	0	No
				1	Traffic flow direction is same as road direction
				2	Traffic flow direction is opposite to road direction
10	RTIC link number of up side	middle_u	Char(5)	1-4095	RTIC link number of upside. It's a unique number in same mesh and same road level
11	RTIC link number of down side	middle_d	Char(5)	1-4095	RTIC link number of down side. (Only two-way link) It's a unique number in same mesh and same road level
12	Lane number	lane_id	Char(2)	0-7	Lane number of upside. It will be 0 in case no lane info. (no this info for down side)
13	Lane direction	lane_dir	Char(2)	-	Lane direction. Please refer definition value on 2.3

ナビゲーションシステムで交通渋滞情報を表示するために必要な地図が持つ内部 ID と RTIC リンクの参照情報を格納する交通情報生成システム内のデータベースを表 8.3.1-2 に示す。従来の参照情報はレーン情報が定義されていないため、既存の参照情報にレーン ID 及び各レーンの方向情報を追加した。

表 8.3.1-2 RTIC リンクのデータベース

												Green = One-way link	
												Yellow = Two-way link	
mapid	linkid	nwid	kind_u	kind_d	flag_u	flag_d	dir_u	dir_d	middle_u	middle_d	lane_id	lane_dir	
204044	20404401732	176400001	2	0	1	0	1	0	2	0	0	0	
204044	20404401919	176400002	2	0	1	0	2	0	2	0	0	0	
204044	20404400474	176400003	2	0	1	0	1	0	20	0	1	4	
204044	20404400475	176400003	2	0	1	0	1	0	20	0	2	4	
204044	20404400476	176400004	2	0	1	0	1	0	20	0	1	4	
204044	20404400477	176400004	2	0	1	0	1	0	20	0	2	4	
204044	20404400478	176400005	2	0	1	0	1	0	20	0	1	5	
204044	20404400479	176400005	2	0	1	0	1	0	20	0	2	5	
204044	20404400719	176400006	3	3	1	1	1	2	20	21	0	0	
204044	20404405394	176400007	3	3	1	1	2	1	20	21	0	0	
204044	20404420965	176400008	4	4	1	1	2	1	2	3	0	0	

RTIC フォーマットで配信される交通渋滞情報には、メッシュ ID、RTIC リンク ID、渋滞度及びそのリンクの旅行時間（走行時間）が含まれており、これらをナビゲーションシステムが受信し、RTIC リンクデータベースを参照することでナビゲーションシステム内の地図上に受信した交通渋滞情報が表示される。

RTIC フォーマットで配信される交通渋滞情報のデコードイメージを図 8.3.1-2 に示す。

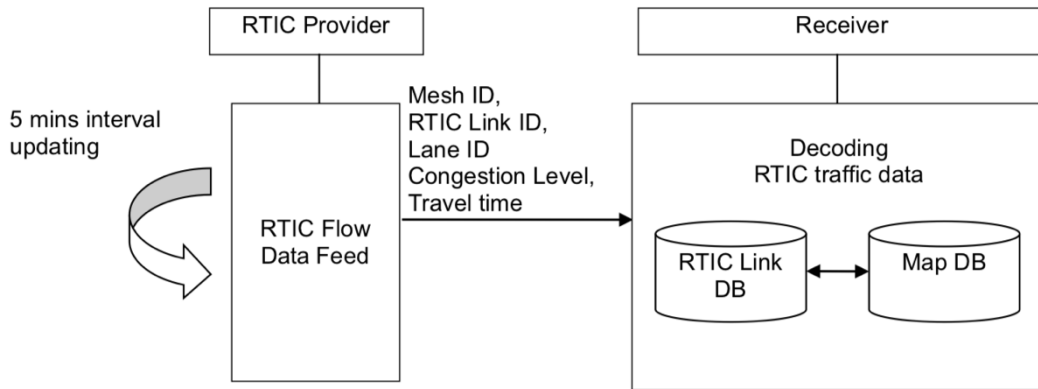


図 8.3.1-2 RTIC フォーマットで配信される交通渋滞情報のデコードイメージ

サーバシステムで生成された RTIC フォーマットによる交通渋滞情報の配信フローを図 8.3.1-3 に示す。

Traffic Information:

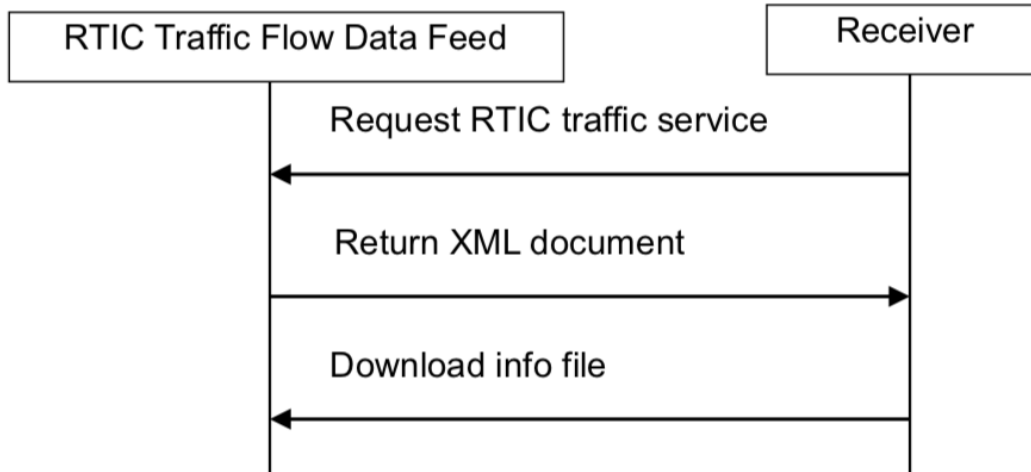


図 8.3.1-3 RTIC 交通渋滞情報の配信フロー

RTIC 渋滞情報要求方法を表 8.3.1-3 に、また渋滞情報要求のパラメータを表 8.3.1-4 示す。

表 8.3.1-3 RTIC 渋滞情報要求方法

Action	HTTP	Condition
Access traffic info	HTTP/HTTPS GET https://<hostname>/PCTXML-lane/GetRealtimeTrafficServlet	Available
Access event info	HTTP/HTTPS GET https://<hostname>/ PCTXML/GetRealtimeEventData	Available
Access parking info	HTTP/HTTPS GET https://<hostname>/ PCTXML/GetRealtimeParkingData	N/A

表 8.3.1-4 RTIC の渋滞情報要求のパラメータ

No.	Name	Parameter Name	Condition	Assignment	Detail
1	User Name	Username	Required	HTTP Head	Have to set under httphead on every request. UserName=usernamevalue
2	Password	Password	Required	HTTP Head	Have to set under httphead on every request. Password=pwdvalue
3	Service Region	Top_lat	Required	HTTP GET param	Range of top latitude in the area where traffic information can be output. Latitude is integer value of 1/256 sec. (WGS02)
		Bottom_lat		HTTP GET param	Range of bottom latitude in the area where traffic information can be output. Latitude is integer value of 1/256 sec. (WGS02)
		Left_lon		HTTP GET param	Range of left longitude in the area where traffic information can be output. Longitude is integer value of 1/256 sec. (WGS02)
		Right_lon		HTTP GET param	Range of right longitude in the area where traffic information can be output. Longitude is integer value of 1/256 sec. (WGS02)

(2) 交通情報生成システムの性能評価

生成された交通情報の正確さを評価するために、高精度位置測位基盤を搭載した車で走行試験を行い、生成された交通情報と実際の移動量（Ground Truth 比較）と人の感性による渋滞度（Human Perception 比較）で交通情報の精度を評価した。

(a) 性能評価方法

(i) 性能評価系の構成

評価システムの全体構成を図 8.3.1-4 に示す。

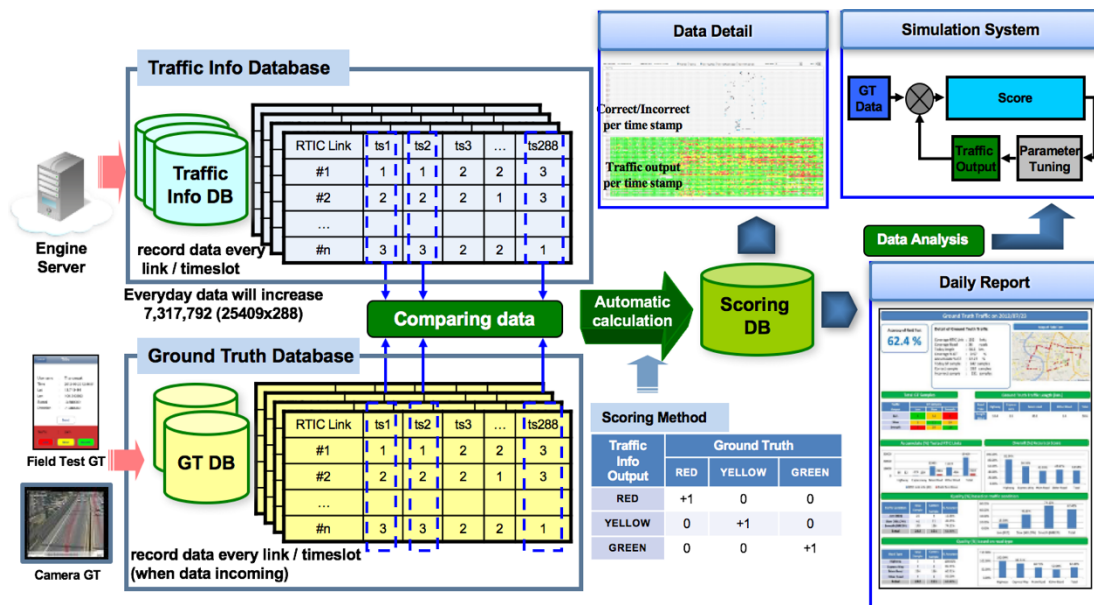


図 8.3.1-4 評価システムの構成

生成された交通情報が評価用の交通情報データベースに格納される。一方、人により評価された交通渋滞度（Human Perception）及び実際の移動量（Ground Truth）が比較対象のデータベースに格納され、生成された交通情報が比較対象の交通渋滞度と一致した場合、+1 スコアを与える。それぞれのルート of 全レーンのリンクについて前述のスコア評価を行い、交通情報の正確さをパーセンテージで導き出した。

(ii) データ取得

Ground Truth 比較では、走行中に収集した位置情報を評価サーバで移動速度に変換し、本システムで生成される交通情報と比較する。Ground Truth 比較の概要を図 8.3.1-5 に示す。Human Perception 比較では、人が交通渋滞度を「Smooth」、「Slow」、「Jam」の3段階で30秒毎に評価する。Human Perception 比較の概要を図 8.3.1-6 に示す。

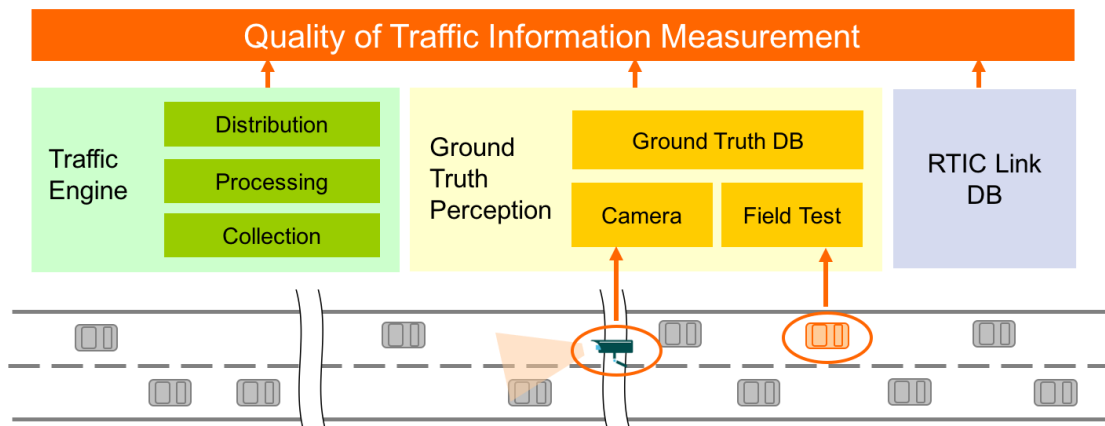


図 8.3.1-5 Ground Truth 比較評価の概要

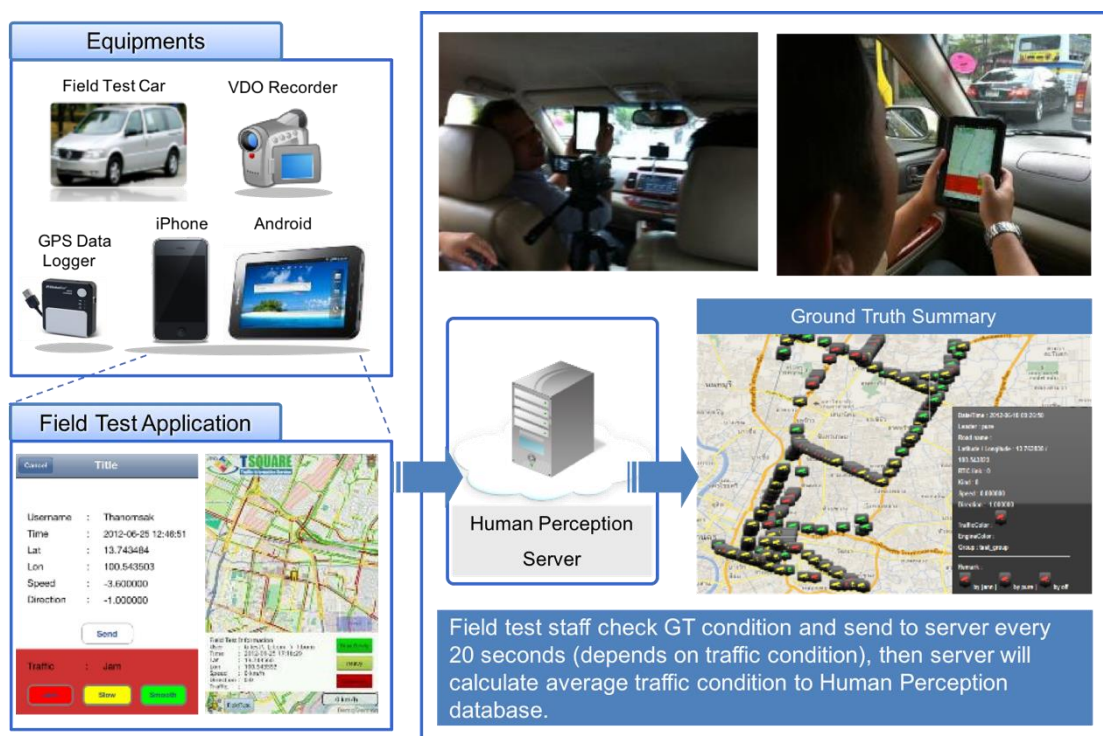


図 8.3.1-6 Human Perception 比較評価の概要

生成された交通情報と比較対象になる正解データが実際の実走している間に収集される。実走している際に評価者が評価アプリケーション（Android アプリケーション）を用いて周辺の交通状況を観察し、交通渋滞度をアプリケーション内に記録する。それと同時に評価用のスマートデバイスから GPS データが記録され、正解データとして評価システムのデータベースに格納される。

(iii) 評価項目

評価サーバにおいて Ground Truth と Human Perception の評価結果を参照することで以下の評価項目で交通情報の評価を行う。

1) 各レーンの交通情報の正確さ

1) 従来の道全体の交通情報との比較

上記の 1) の評価スコアとして、交通渋滞度の確からしさをパーセンテージで表す。その他、従来の交通情報と比較してレーン毎の交通情報がいかに有用で、適切なレーンで渋滞回避が可能な場合にどれだけ効果があるか考察する。

(b) 性能評価結果

性能評価結果を表 8.3.1-5 に示す。

表 8.3.1-5 交通情報生成システムの評価結果

Date	Route (上段:AM 下段:PM)	Human Perception				GPS GT (Only lane 3)			
		Overall	Jam	Slow	Smooth	Overall	Jam	Slow	Smooth
2018-03-15	Don Muang Tollway	100.0%	-	-	100.0%	75.4%	77.8%	55.6%	86.7%
	Rama4	91.3%	94.1%	80.3%	93.8%				
2018-03-16	Lat Phrao	82.6%	87.4%	70.0%	83.2%	76.3%	86.7%	20.0%	87.3%
		78.9%	82.4%	70.2%	80.9%				
2018-03-19	Ratchadapisek	89.6%	92.8%	70.3%	97.8%	75.3%	85.7%	35.3%	83.3%
		80.0%	75.9%	72.5%	85.7%				
2018-03-20	Rama4	70.7%	50.0%	59.0%	88.5%	57.5%	87.5%	28.6%	65.9%
		59.9%	49.6%	64.4%	66.7%				
2018-03-21	Sathorn	71.0%	78.4%	51.5%	84.3%	57.8%	64.3%	40.5%	68.3%
		86.5%	82.0%	80.4%	94.9%				
2018-03-22	Long Route	70.5%	65.2%	78.3%	69.9%	64.1%	70.5%	43.5%	74.6%
		72.4%	88.5%	51.8%	51.9%				
2018-03-23	Kanchanaphisek	93.5%	33.3%	-	94.7%	96.8%	-	50.0%	98.3%
		77.5%	-	83.3%	76.6%				
2018-03-26	Long Route	86.1%	30.8%	77.0%	98.1%	72.4%	50.0%	45.0%	83.3%
		89.1%	88.9%	88.5%	89.5%				
2018-03-27	Long Route	92.2%	88.7%	96.0%	94.5%	69.4%	68.8%	22.2%	86.3%
		94.2%	93.7%	85.3%	99.0%				
2018-03-28	Long Route	99.2%	92.3%	100.0%	100.0%	70.8%	92.9%	33.3%	77.2%
		91.8%	96.9%	81.6%	92.6%				

(c) 考察

1) 全レーンに対して生成された交通情報の精度は **Human Perception** 比較では約 83.9% となり、**Ground Truth** 比較で 70%以上の精度が配信できた。さらに走行する距離が長くなると、短距離の場合と比較し、**Human Perception** 比較で約 10%向上した。生成された渋滞情報の配信間隔が 5 分ごとのため、短距離走行において、交通状態に頻繁に変化があった場合に精度が低くなることが考えられる。

2) 生成された渋滞情報の状態毎の精度について、精度の高さは「Smooth」、「Jam」、「Slow」の順であった。「Slow」という状態に対して、**Human Perception** 比較で判断する尺度の定義が人により曖昧なところがあったためと考えられる。ルート案内する際に「Slow」状態が多い道に対する適用方法の検討が今後の課題になると考えられる。

3) 評価結果に対して、実証実験を行った時間帯（午前/午後）で比較したところ、午前に生成した渋滞情報の精度は 78.2%となり、それに対し午後は 80.7%となった。午後を実施する時間帯は 13 時～17 時までで混み合った交通状態に実施していないため、精度が多少高く評価されたと考えられる。ただし、混み合った午前のラッシュ時間でも生成された交通渋滞の精度は 70%以上を達成していた。

8.3.2 レーン別渋滞情報生成機能

(1) レーン別渋滞情報生成機能の構成及び仕様

従来のリンクでは道を単位として測位を行っていたが、高精度位置測位を行うことで、レーン別の単位に分解能が向上し、リンクの情報もレーン別に取得することが可能となることから、レーン別渋滞情報生成機能を新たに追加した。現在の **RTIC** リンクと高精度測位における新たに定義した **RTIC** リンクを図 8.3.2-1 に示す。

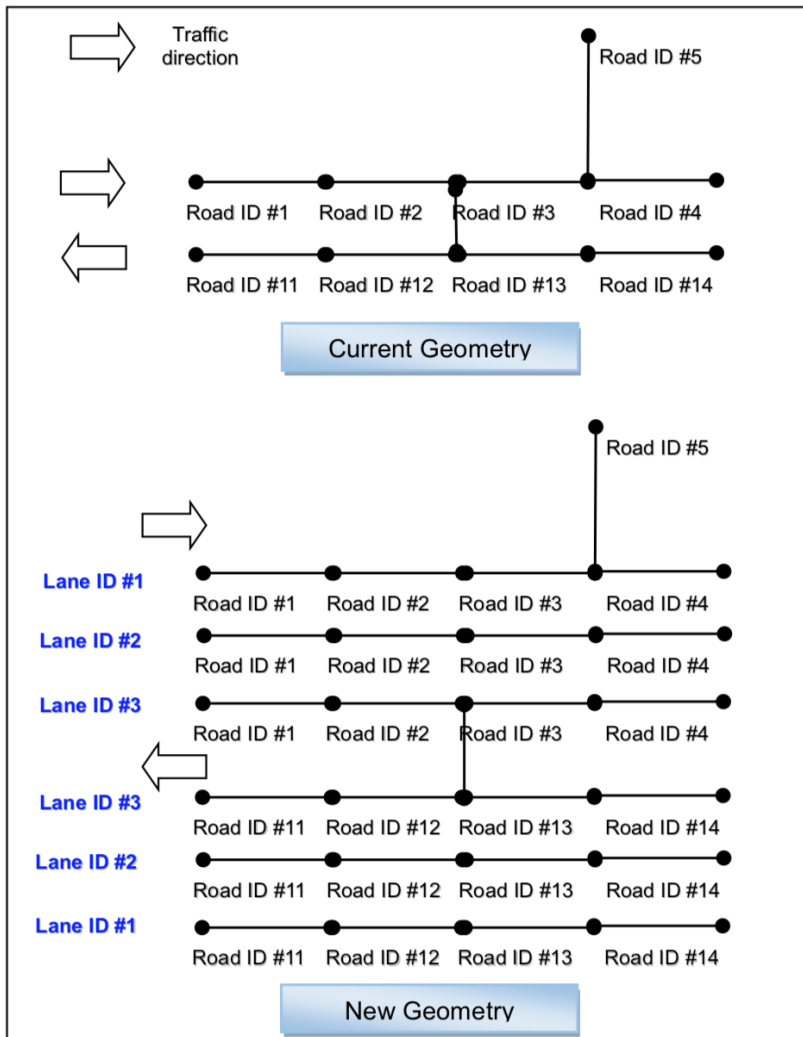












図 8.3.2-1 高精度測位における RTIC リンクの定義

レーン別の方向情報と表現方法を表 8.3.2-1 に示す。レーン別の渋滞情報を生成するために必要な高精度位置情報をレーンにマッピング処理する機能の改修を行った。

表 8.3.2-1 レーン別の方向情報と表現方法

Code	Description	Picture
0100 (4)	Straight	
0010 (2)	Turn Right	
1000 (8)	Turn Left	
0001 (1)	U-Turn	
0110 (6)	Straight and Turn Right	
1100 (12)	Straight and Turn Left	
0101 (5)	Straight and U-Turn	
0011 (3)	Turn Right and U-Turn	
1010 (10)	Turn Left and Turn Right	
1110 (14)	Straight, Turn Left and Turn Right	

各レーンと隣接のレーン情報との関係を図 8.3.2-2 に示す。

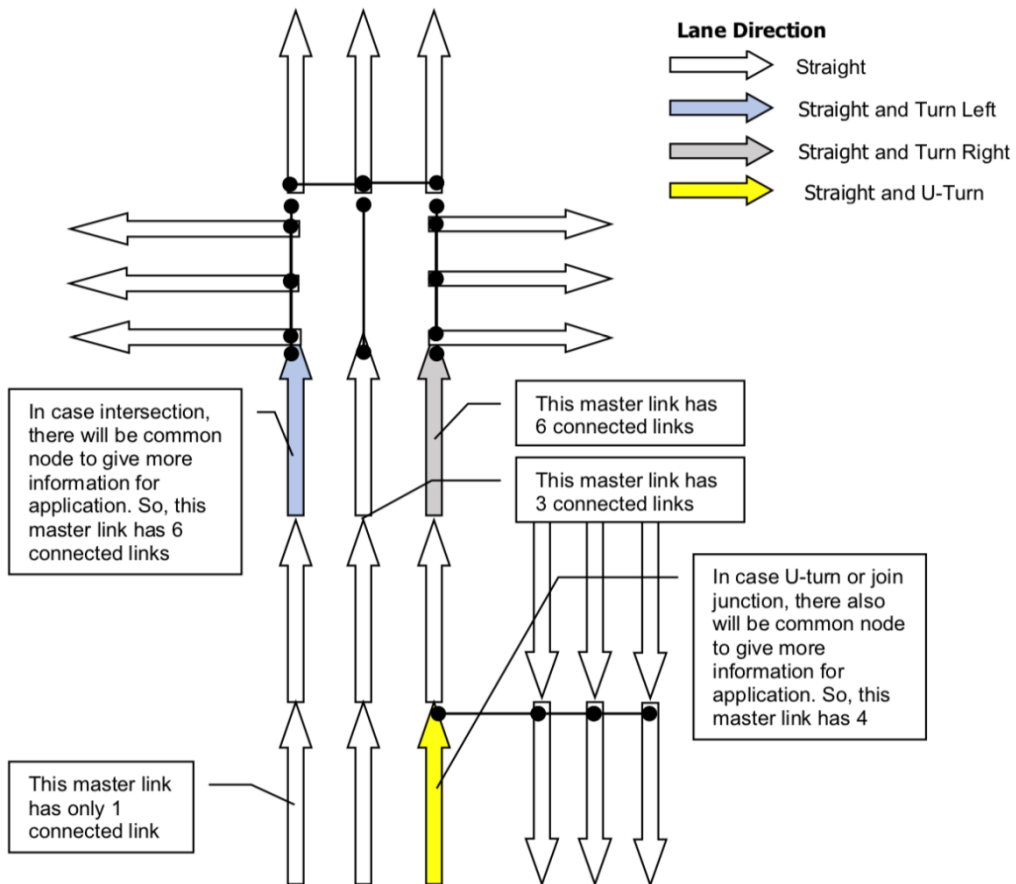


図 8.3.2-2 各レーンと隣接のレーン情報との関係

適切なルート案内及びレーン案内を可能とするためのレーン別渋滞情報は、現在位置のレーンに関する情報のみでは不十分のため、隣接のリンク情報（各脱出方向のレーン別情報）を付加した。

(2) レーン別渋滞情報生成機能の性能評価

レーン別渋滞情報の生成機能を評価するために、高精度位置情報がいかに精度良くレーンにマッチングされるかをレーンマッチングで評価した。レーンマッチングの性能評価は、8.3.1 項(2)に述べた評価システムと同様に高精度位置測位基盤を設置した車で走行試験を行い、高精度位置情報を収集し、収集した位置情報から正解データを生成し、システムから得られたデータと比較してマッチングの精度を評価した。

(a) 性能評価方法

得られた位置情報を各レーンに位置を合わせ、それぞれの速度から平均リンク旅行時間を算出する。その後、各レーンの渋滞度に変換する。ここでレーン別渋滞情報を生成するために最も重要なことは“位置情報からどのレーンに属しているのか? ”、いわゆるレーンマッチングである。本節はレーンマッチングの性能評価を説明する。

レーンマッチングの評価式は以下のとおりである。

$$\text{レーンマッチング率} = \frac{\text{1.7m 以下プロット数}}{\text{全プロット数}}$$

(i) 取得データの評価の考え方

Novatel 製マルチ GNSS 受信機により、各道路のレーン別リンクを生成したリンクの位置をレーンマッチングの基準情報とした。MSJ 製マルチ GNSS 受信機からの位置情報が属すべきレーンに処理されるかどうかを評価するため、実際の位置データとレーンマッチング後のデータがあっているかどうかをパーセンテージで表した。本来、位置情報がレーンの位置を中心にして左右 0.85m の幅（合計：1.7m）以下の精度があれば、正しくレーンマッチングされていると判断し、横幅の 1.7m 以上の位置情報は対象外とした。

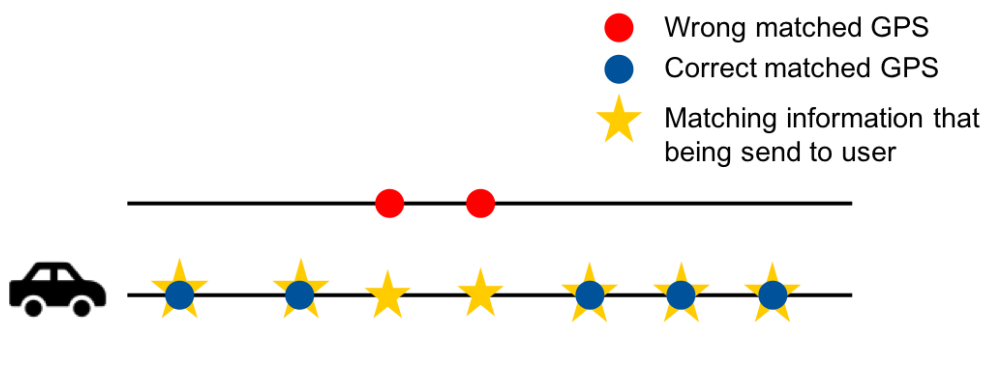


図 8.3.2-3 取得データの評価方法の概要

(ii) データ取得

レーンマッチングを評価するために取得するデータとして、高精度測位ボードから位置情報が1秒間隔で取得され、その後オフラインで生データとレーンマッチング後のデータとの比較を行った。

(iii) 評価項目

レーン渋滞情報を評価するために「レーンマッチングの精度」を評価対象とした。

(b) 性能評価結果

1) Lat Phrao

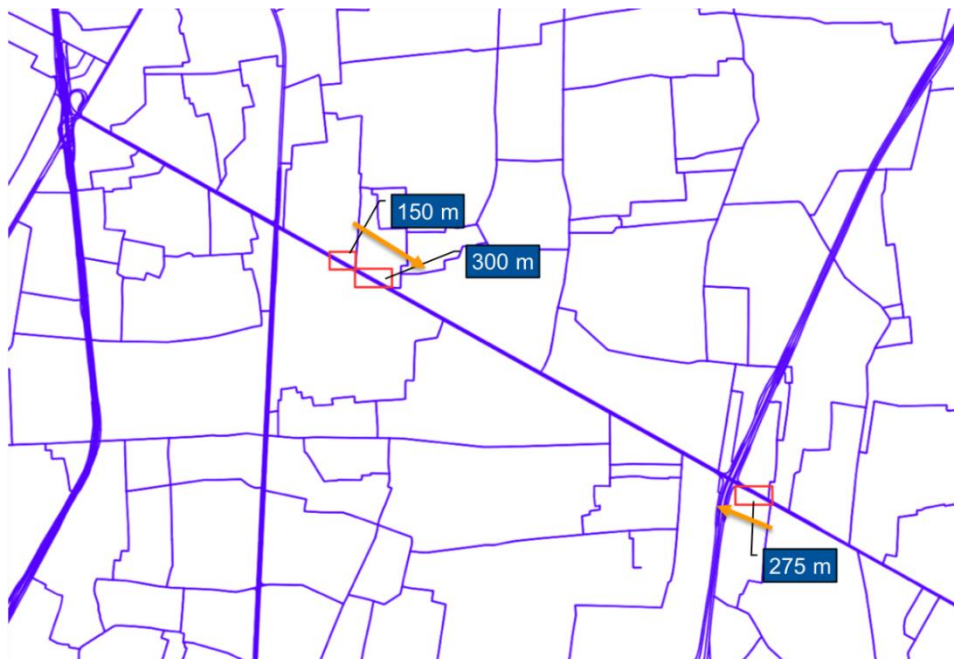


図 8.3.2-4 Lat Phrao における性能評価対象領域

Lat Phrao における性能評価対象領域を図 8.3.2-4 に示す。このときのレーンマッチング精度は 73.5%となった。

2) Rama4

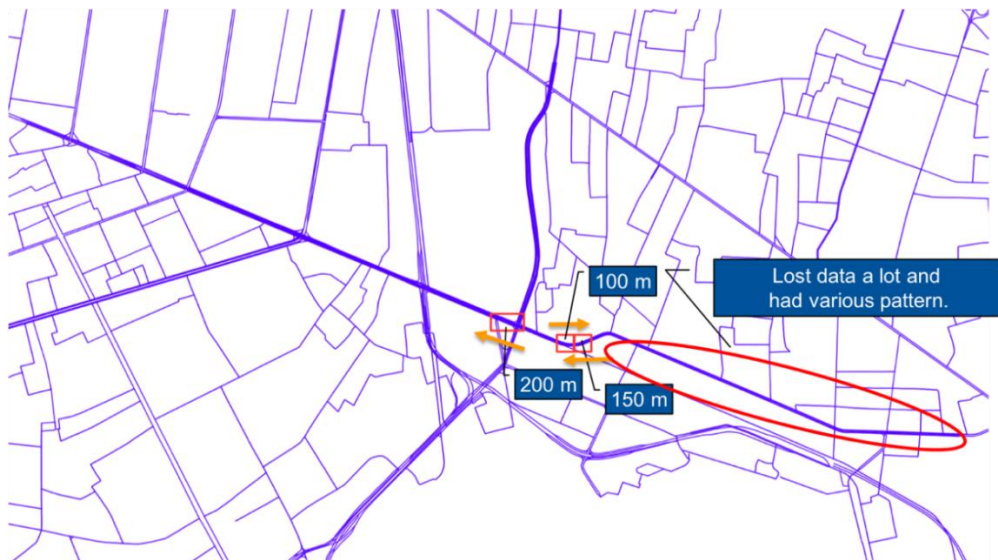


図 8.3.2-5 Rama 4 における性能評価対象領域

Rama 4 における性能評価対象領域を図 8.3.2-5 に示す。このときのレーンマッチング精度は 68.6%となった。

(c) 考察

- 1) 高精度位置情報測位ボードによる位置情報のマッチング精度は平均 70%以上であった。約 30%のマッチング精度の低下は、衛星が見通せずに位置測位ができないようなケースと考えられる。
- 2) 高層ビルなど、障害物がある道路において位置測位した場合、位置情報のぶれ幅が大きくなるが、本手法はぶれ幅の大きい領域に対して、マッチング対象の領域を従来手法の同一かつ一定の領域とするのではなく、領域幅の拡大や領域位置のリンク軸からの左右への移動といった修正を施し、複数リンク間で不均等な設定をすることにより、約 70%以上のレーンマッチング精度を確保することができた。

これを Sathorn 通りに適用した場合、図 8.3.2-6 に示すように 36%の道路が不均等な領域となった。



図 8.3.2-6 設定を行った Sathorn における性能評価対象領域

用語集

略号・用語	意味
2DRMS	Twice the distance root mean square の略。座標を距離に換算して求めた誤差の標準偏差 (RMS) の 2 倍の値。真の測位点から数値で示された半径の中に 95% の確率で存在していることを表す。
Autonomous	外部からの補正情報を用いずに単独測位を行っている状態。
Beidou	中華人民共和国が独自に開発・構築を行なっている衛星測位システム。
BTS	Bangkok Mass Transit System の略。バンコク都内を走る高架鉄道。
DCB	Differential Code Bias の略。GNSS 衛星からは複数の異なる信号(コード)が送信されており、それらのコード間で発生するバイアス。各信号を生成する回路遅延の差に起因する。
Fix	RTK 測位において、搬送波の波数の決定が行われている測位状態。Fix 解は Fix 状態で得られている座標の値を表す。
FixRate	Fix 率。全測位解に占める Fix 解の割合。
Float	RTK 測位において、搬送波の波数の決定が行われていない測位状態。Float 解は Float 状態で得られている座標の値を表す。
Galileo	EU (欧州連合) が構築を進める衛星測位システム。
GLONASS	ロシアが運用している衛星測位システム。
GNSS	Global Navigation Satellite System の略。GPS や QZSS の他、ロシアの GLONASS、欧州の Galileo などの衛星測位システムが総称で GNSS と呼ばれている。
Ground Truth 比較	正解データと比較すること。
Human Perception 比較	人体感覚による比較のこと。
IMU	Inertial Measurement Unit の略。慣性計測装置。ジャイロセンサと加速度センサによって姿勢角を計測する装置。

略号・用語	意味
json 形式	JavaScript Object Notation 。ファイルフォーマットのひとつであり、テキストで構造データを記述する形式。値の名称("key")と値("value")の組で1つのデータを表し、複数の値の集合をさらに1つの値（構造体という）として扱え、さらに値の配列も1つの値として扱えることを特徴としている。
L6E 信号	準天頂衛星から送信される信号。L6 帯（中心周波数 1278.75MHz）の周波数で送信される。この信号に MADOCA の補正情報が含まれる。
MADOCA	Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis。JAXA が開発した PPP 方式を実現するために必要な精密軌道クロック推定ソフトウェア。
NOSTRA MAP	GlobeTech 社が提供する地図。
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol の略。測位衛星の観測データや補正データの送受信をインターネット経由で実現するための方法。
NTRIP Caster	NTRIP プロトコルを使ったデータ配信ソフトウェア。
Position Accuracy (Static)	静止状態における測位精度。
PPP-AR	Precise Point Positioning-Ambiguity Resolution の略。PPP 測位において、搬送波位相アンビギュイティを解いて行う測位方式。
PPP 測位	Precise Point Positioning の略。単独搬送波位相測位。基準局が不要で、衛星から補正情報を取得して高精度測位を行う方式。MADOCA を利用した PPP 測位は MADOCA PPP とも呼ぶ。
PVT engine	Position Velocity Time（位置、速度、時間）エンジンのこと。測位を実現する機能を有する。
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System（準天頂衛星システム）。GPS 衛星の補完と測位精度の高精度化を目的とした補強信号の配信を行うために日本が独自に開発した準天頂衛星を用いる測位衛星システム。
QZSS プローブ	マルチ GNSS 受信機を備えた車両から時々刻々収集される高精度の経緯度点列のこと。
RTIC	Realtime Information in the Cockpit の略。FM 放送から受信した交通情報をリアルタイムにナビゲーション画面の地図上に表示し、ドライバが交通情報を即座に確認できるナビゲーションシステム。

略号・用語	意味
RTK 測位	Real Time Kinematic の略。固定点観測を行う基準局の受信機から補正情報を取得し、リアルタイムで高精度測位を行う測位方式。
SBAS	Satellite-Based Augmentation System の略。航空機などに対して測位衛星の誤差補正情報や不具合情報を提供する衛星航法補強システム。
Splitter Library	マルチ GNSS 受信機で受信した自車位置情報を PC 経由でタブレット端末に送信する際に、自車位置情報をタブレット内の OS 層とアプリケーション層に分けて送信するための分岐ソフトウェア。
アクティブパッチアンテナ	平面型のマイクロストリップパッチに負性抵抗素子を装荷した発振器一体型アンテナのこと。
エースター	A*と表記し、エースターと読む。ダイクストラ法を改良し、より最低コスト経路を探索しているアルゴリズム。やはりナビゲーションシステムにおいてルート探索などに用いられる。
衛星コードバイアス情報	測位衛星の送信遅延量のこと。
オープンスカイ状態	上空に測位衛星が見通せる状態を指す。
軌道補正情報	一定の間隔で測位衛星の座標値情報を配信する。
高精度交通情報	ここではリンク毎の脱出方向別の旅行時間、相対レーン情報、規制情報の総称として使用している。
コンパイル	高水準言語によるソースコードから機械語などに変換すること。
時刻補正情報	衛星の時刻誤差を推定し配信する。
相対レーン情報	現在走行中の道路の道なり前方の一定距離分の道路における、各レーンの距離、混雑度及び旅行時間からなり、かつ現在どのレーンを走行しているかを特定しうる情報も持つデータのこと。
ダイアログ	画面を有したシステムにおいて、主に文章によって利用者にシステムからのメッセージを通知する手段。通常、画面上に一部矩形範囲を単色など文字が判別しやすい背景で初期化し、その上にメッセージを文字列で表示し、またこのメッセージを消去する手段を持つ。

略号・用語	意味
ダイクストラ法	ノードとリンクから構成されるネットワークの任意の2点の最低コスト経路を探索するアルゴリズム。ナビゲーションシステムのルート探索などで用いられる。
デッドレコニング	高層ビル街や地下・トンネルなどを走行する場合は衛星からの信号が途切れ、測位が不安定になったり、不可能になったりするため、ジャイロセンサや加速度センサなどのセンサからの情報と合わせて演算処理することにより、GNSS 単独では測位を続けることが難しい環境下でも、高い精度で測位できる技術。
電離層遅延	測位衛星からの信号が電離層を通過する際に生じる速度変化のこと。これにより、衛星-受信機間の疑似距離計算に誤差が生じる。
ノード	グラフ理論において、n次元にちらばった実体、点。地図データにおいてはしばしば交差点がノードとして考えられる。
搬送波位相アンビギュイティ	搬送波測位において、搬送波の整数波長分の不定性（アンビギュイティ）のこと。このアンビギュイティを解くことで Fix 解が得られる。
搬送波測位	搬送波の波数を計測することにより位置を決定する測位方式。搬送波位相を利用しないコード測位に比べ、高精度に測位を行うことができる。
マルチパス	同一発信源からの電波が反射物によって反射し、アンテナに入射してしまう現象。反射することにより信号の伝達経路が伸びるため、誤差の原因となる。
旅行時間	Travel Time 。道路上の特定の区間、通常リンク1つを車両が走りきるのに所要する時間のこと。
リンク	グラフ理論において、ノードとノードの間が接続されていることを示すために論理的に発生する連結線のこと。地図データにおいては、ノードは交差点と捉えられることが多く、リンクはこの交差点と交差点との間に存在する道路自体を表すことが多い。
レーンネットワーク	道路一本を1リンクとして整備されてきた旧来の地図に対比して、道路を構成するレーン1つ1つを1リンクとして整備した地図データのこと。
ローカル補正情報	基準局受信機位置（ECEF）、電離層遅延パラメータ、対流圏遅延パラメータ、受信機クロックバイアスを補正するためのデータなどが含まれた補正情報。MADOCA の補正情報と併用することで、短い初期収束時間で PPP 測位を行うことができる。