

走行支援サービスのための道路構造データの整備手法に関する研究

石田大輔^{*1} 今井龍一^{*2} 深田雅之^{*3} 松井晋^{*4} 木村篤史^{*5} 重高浩一^{*1}

国土交通省 国土技術政策総合研究所^{*1}

東京都市大学 工学部 都市工学科^{*2}

株式会社ゼンリン 経営企画室^{*3}

アジア航測株式会社 G 空間 ICT 部^{*4}

株式会社パスコ 研究開発本部^{*5}

走行支援サービスの実現には、道路構造を詳細に表現したデータ（以下、道路構造データ）が必要とされており、その整備に道路基盤地図情報等が有用な資源として注目されている。

本研究では、産官の共同研究体制を設置し、走行支援サービスに必要な道路構造データの整備手法を考案した。具体的には、走行支援サービスにおける道路構造データの要件および製品仕様を定義し、道路基盤地図情報や点群座標データ等を活用した道路構造データの整備手法を考案した。また、定義した要件、製品仕様および整備手法に準じて道路構造データを試作し、走行実験を実施して有用性を検証した。

A study on creating method of road structure data for driving support systems

Daisuke ISHIDA^{*1} Ryuichi IMAI^{*2} Masayuki FUKADA^{*3} Susumu MATSUI^{*4}

Atsushi KIMURA^{*5} Koichi SHIGETAKA^{*1}

National Institute for Land and Infrastructure Management^{*1}

Faculty of Engineering, Tokyo City University^{*2}

ZENRIN CO.,LTD.^{*3}

ASIA AIR SURVEY CO.,LTD.^{*4}

PASCO CORPORATION^{*5}

The realization of the driving support systems, the data representing the road structure in detail (hereinafter, the road structure data) is needed, fundamental geospatial data of road, or the like, has attracted attention as a useful resource.

In this study, public-private joint research system was established, and devised creating methods of the road structure data which was required for driving support systems. Specifically, defining the requirements and product specifications of the road structure data in driving support systems, was devised to create method of road structure data utilizing fundamental geospatial data of road and point cloud data, and the like. Moreover, the defined requirements, according to the product specification and creation methods and prototype road structure data, and to verify the usefulness by carrying out driving experiment.

1. はじめに

世界最先端 IT 国家創造宣言¹⁾では、世界で最も安全で環境にやさしく経済的な道路交通社会の実現が掲げられている。現在、産学官で ITS (Intelligent Transport Systems) 技術の高度化や安全、安心で快適な走行支援サービスの研究が活発化している。

官民 ITS 構想・ロードマップ²⁾や、総合科学技術・イノベーション会議による戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) の自動走行システム推進委員会でも安心・安全・快適な走行支援サービスの実現に向けて、道路空間を詳細に表現した大縮尺道路地図 (以下、「道路構造データ」という.) の活発な議論がなされているところである³⁾。

ここで議論されている道路構造データとは、道路の線形や路面構造を高精度・高鮮度に表現した地図を指している。また、人が認識する従来型の地図ではなく、走行支援サービスに関わる車載器等のソフトウェアが認識しやすい地図である。道路構造データの整備・更新には多大な負荷・コストを要する。この課題解決の有効策として、国土交通省や高速道路各社が整備している大縮尺の道路地図「道路基盤地図情報」の活用が期待されている⁴⁾。

この状況を踏まえ、著者ら (国土交通省国土技術政策総合研究所) は、平成 25 年から 2 カ年にわたり道路基盤地図情報を活用した走行支援サービスの実現に必要な道路構造データの整備・更新手法の確立を目的とした共同研究に取り組んできた^{5), 6)}。

本稿は、本共同研究の成果として、道路基盤地図情報を元に、産官の各機関が保有する電子地図、図面や計測アーカイブ (点群座標データ、航空写真) 等の既存資源を活用し、図-1 に示すような走行支援サービスの実現に必要な道路構造データの整備手法を報告する。

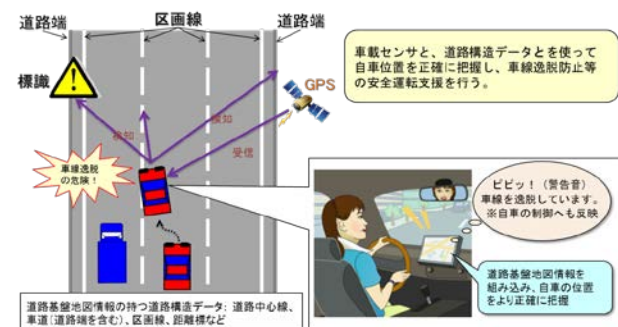


図-1 道路構造データを用いた走行支援のイメージ

2. 研究概要

2.1. 実施概要

前章の目的を達成するため、本研究は、以下の手順で遂行した。

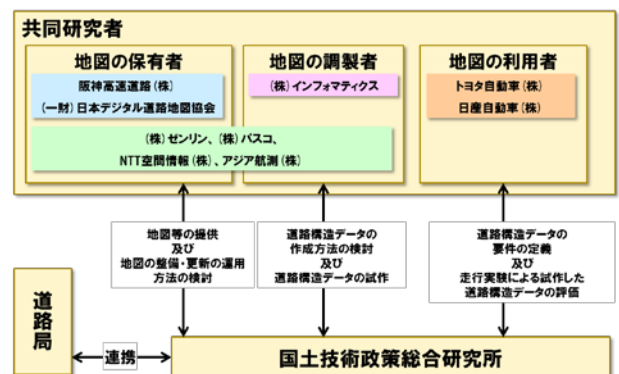
- 1) 高速道路における走行支援サービスに用いる道路構造データの要件を定義する。
- 2) 上記要件を満足する製品仕様書案を作成する。
- 3) 道路基盤地図情報や点群座標データ等を活用した道路構造データの整備手法を考案する。
- 4) 定義した要件、製品仕様書案および整備手法に準じて道路構造データを試作し、効率的な整備手法の適用可能性を検証する。
- 5) 試作した道路構造データを用いた走行実験を実施し、走行支援サービスへの有用性を検証する。

2.2. 実施体制

本研究の遂行にあたっては、図-2 に示すとおり、地図の保有者、地図の調製者および地図の利用者の各分野の専門家である共同研究者と国土技術政策総合研究所による産官連携体制を構築した。

各研究主体の主な役割分担を以下に示す。

- 1) 地図の利用者: 走行支援サービスに用いる道路構造データの要件を定義し、走行実験により試作した道路構造データの有用性を評価する。
- 2) 地図の調製者: 要件に応じた道路構造データの製品仕様および調製手法を考案し、試作を通じて調製の適用可能性を評価する。
- 3) 地図の保有者: 保有している既存資源や仕様等の提供および整備率や更新頻度等の整備状況を整理し、道路構造データの整備・更新の運用方法を研究する。



※図は「走行支援サービスに必要な大縮尺道路地図の整備・更新手法の研究」の実施体制を示す。共同研究には「道路基盤地図情報の整備・更新手法の研究」の項目も含まれており、全体で 12 者の実施体制を構築した。

図-2 共同研究の実施体制

2.3. 実施期間

本研究は、平成 25 年 4 月から平成 27 年 3 月の 2 年間で活動期間として実施した。今回は整備に関する調製手法を確立した。一方、工事による道路構造の変化に伴う道路構造データの更新に関する調製手法の議論までは至らなかった。このため、更新に係わる事項は今後の課題として整理した。

3. 道路構造データの整備手法の考案

3.1. 要件

本研究では、「オートパイロットシステムに関する検討会（国土交通省）」資料⁷⁾および共同研究者の議論を基に、高速道路を対象にした「走行支援サービスに資する道路構造データの要件定義書(案)（以下、「要件定義書」という。）」を作成した。また、この道路構造データは、道路管理での活用も想定できることから、道路管理における道路構造データへの要件を定義し、附属書に収録した。表-1 に道路構造データの要件の一覧を示す。走行支援サービスは 12 の要件、道路管理は 3 の要件が定義された。

図-3 は、定義した要件の一例として、要件①曲率の小さいカーブ区間での車線維持のイメージを示す。曲率半径の小さいカーブ区間で車線を逸脱しないように車両の車線維持を支援する。ここで必要となる道路構造データは、車線中心線、曲率（右曲率、左曲率）、区画線、進路変更禁止、車両通行区分（図-3 には無し）、車線幅、横断勾配（プラス勾配、マイナス勾配）、走行可能方向、側帯や路肩の地物である。

表-1 走行支援サービスに資する道路構造データの要件の一覧

| 分類 | 要件 |
|-------------------|---|
| 車両走行の制御 (左右方向) | ①曲率の小さいカーブ区間での車線維持 ②複雑な形状の道路での車線維持 ③走行車線の維持 |
| 車両走行の制御 (前後方向) | ④道路形状変化に応じた速度制御 ⑤付帯設備に応じた速度制御 ⑥速度規制情報に従った速度制御 |
| 区画線等の認識 | ⑦区画認識率の向上 ⑧トンネル等の出入り口地点の把握 ⑨視界不良となった場合の適切な車線区分線の把握 |
| 自車位置の把握 | ⑩道路上の地物を用いた自車位置の把握 |
| 操舵制御 (車線変更) | ⑪分合流や誘導線等、複数の区画線が存在する場合の適切な車線区分線の把握 ⑫本線もしくはランプ上の複数の区画線 |

| | |
|-------------------|---|
| | が存在する場合の適切な車線区分線の把握 |
| (附属書) 道路管理者の要件 | ⑬車線単位での情報の収集・蓄積・分析・活用 ⑭既存の道路ネットワークとの連携 ⑮車両が物理的に走行可能な範囲の特定 |

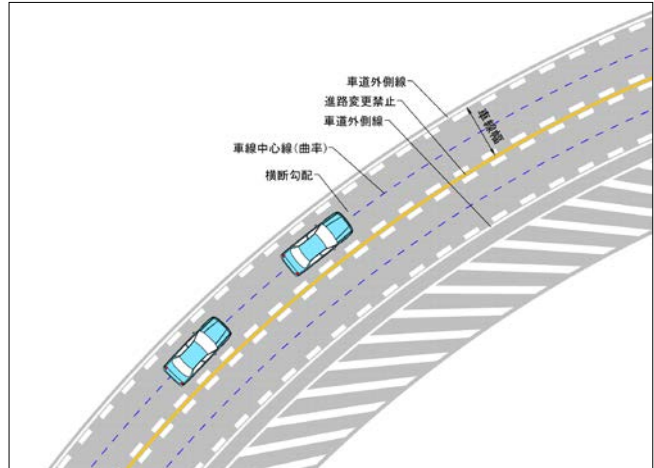


図-3 曲率半径の小さいカーブ区間での車線維持支援イメージ

3.2. 製品仕様

本研究では、前項の要件定義書を満足する道路構造データの仕様として、「走行支援サービスのための道路構造データ製品仕様書(案)（以下、「製品仕様書」という。）」を作成した。具体的には、図-4 に示す道路基盤地図情報を元にした第 1 層：道路基盤地図情報のプロフィール、第 2 層：道路基盤地図情報の拡張、第 3 層：ネットワークおよび第 4 層：制約の 4 層の構成を定義した。第 1 層は、道路基盤地図情報から、走行支援サービスに用いる地物を抽出して収録する。第 2 層は、道路基盤地図情報の地物に属性を追加、あるいは第 1 層の地物を元に調製した地物を収録する。第 3 層は、トポロジで表現した車線単位のネットワークを収録する。第 4 層は、交通規制等の制約条件を収録する。製品仕様書の定義にあたっては、以下の 3 つの観点に留意した。

- 1) 道路構造データの地図調製者および地図利用者の創意工夫の妨げにならないこと（競争領域には踏み込まないこと）。
- 2) 国内外における複数の実装例を許容できること。
- 3) 国際標準化を見据えた規程の構成や文章表現とすること。

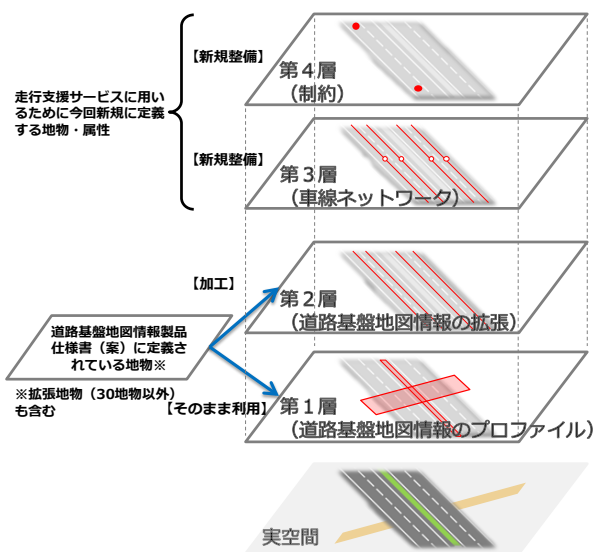


図-4 道路構造データの構成

3.3. 整備手法

本研究では、製品仕様書に則した道路構造データの整備手法（品質評価法含む）として、「走行支援サービスのための道路構造データ整備要領（案）（以下、「整備要領」という。）」を作成した。道路構造データは、道路基盤地図情報を元に、点群座標データや電子地図（航空写真含む）等の様々な既存資源を組み合わせて整備する。道路構造データの各層を整備する概要は以下のとおりである（図-5 参照）。

第1層は、道路基盤地図情報から抽出する（①）。第2層は、道路基盤地図情報を利用して調製し、車線中心線や道路中心線の属性に道路の区間 ID テーブル⁸⁾を付与する（②）。第3層は、第2層の車線中心線、道路中心線および道路の区間 ID テーブルを利用して調製する（③）。第4層は、第1層、第2層を利用して調製し、制約条件の位置は第3層に反映する（④）。また第1層、第2層、第4層の調製には、既存資源を補完的に利用する（⑤）。

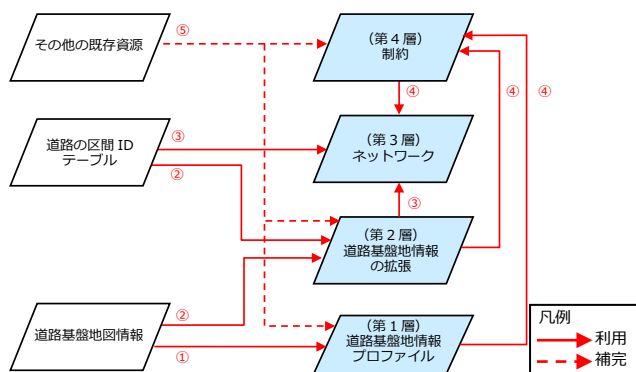


図-5 道路構造データの整備の基本的な作業手順

4. 道路構造データの試作

本研究では、考案した整備手法の有用性の検証と、走行実験の準備を目的として、製品仕様書および整備要領に準じて道路構造データを試作した。具体的には、阪神高速道路、首都高速道路、東名高速道路およびさがみ縦貫道路を対象に延べ440kmにわたる道路構造データを試作した。

道路基盤地図情報に、点群座標データ（図-6 参照）や電子地図等の既存資源を重畳することで相互補完が可能となる。その結果、実測を行わなくても精度を確保した車線中心線や曲率等の道路構造データ（図-7 参照）を整備することができた。また、区画線や道路標識等が持つ標高も実測を伴わずに点群座標データが持つ標高情報から整備できることが確認できた。

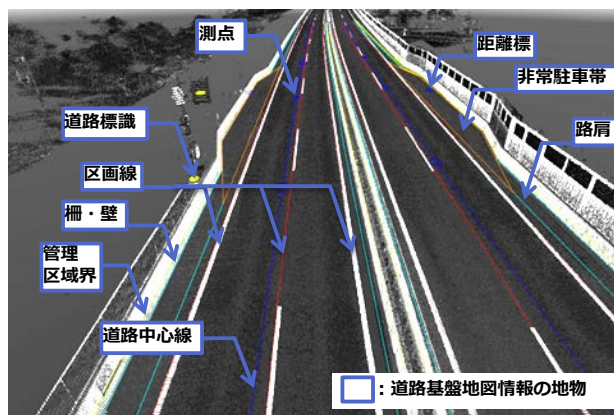


図-6 既存資源（点群座標データ+道路基盤地図情報）のイメージ

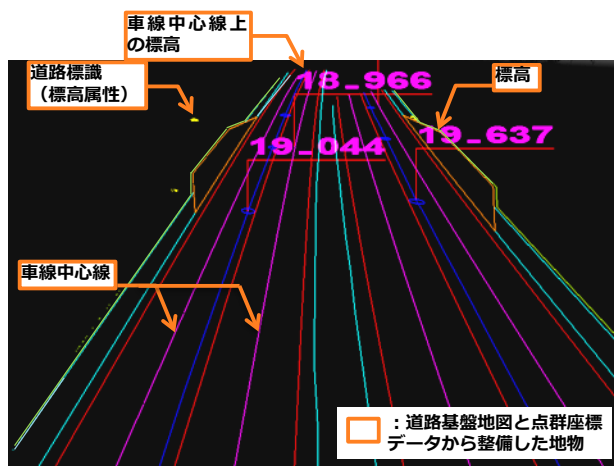


図-7 試作した道路構造データのイメージ

5. 試作した道路構造データによる走行実験

本研究では、前章で試作した道路構造データの走行支援サービスにおける有用性を検証するため、表

-1 に示した道路形状変化に応じた速度制御 (要件④), 道路上の地物を用いた自車位置の把握 (要件⑩), 本線もしくはランプ上の複数の区画線が存在する場合の適切な車線区分線の把握 (要件⑫) の3要件を対象に, 阪神高速道路とさがみ縦貫道路にて走行実験を実施した. その結果, 道路構造データに含まれる曲率や道路標識・区画線等の地物や属性が速度制御や自車位置の把握に有用である結果を得た.

5.1. 走行実験による車線中心線の有用性評価

本走行実験では, 道路形状変化に応じた速度制御「曲率半径の小さいカーブ区間の走行」における試作した道路構造データの有用性を検証した. 図-8 は, 道路構造データの車線中心線に属性として収録されている曲率を用いて, カーブ区間に対して事前に減速し, カーブ区間出口に向かって加速している様子を示している. この結果, 緩やかで滑らかな車速の変化が示しているように, 車線中心線に収録された曲率が安心感のある走行の実現に有用であることがわかった. ただし, 一部のカーブ区間では, 道路構造データがクロソイド区間を含んでおらず, 曲線区間のみとなる場合があった. 図-9 は具体例を示しており, 道路構造データの曲率 (地図曲率) と実際の道路形状と推定される曲率 (推定曲率) との乖離が大きい. すなわち, カーブ区間に対する事前の減速が早すぎたり, カーブ区間出口に対する速度復帰が早すぎたりし, 線形種別にクロソイドを含む方が安心感のある走行の実現に有用であることも分かった.

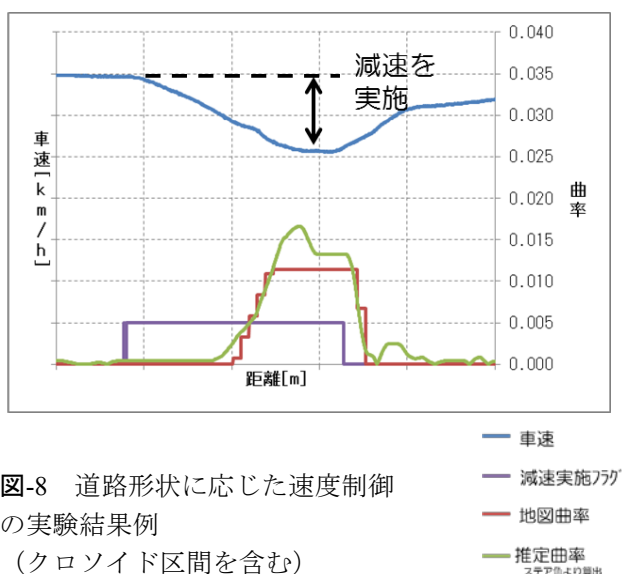


図-8 道路形状に応じた速度制御の実験結果例 (クロソイド区間を含む)

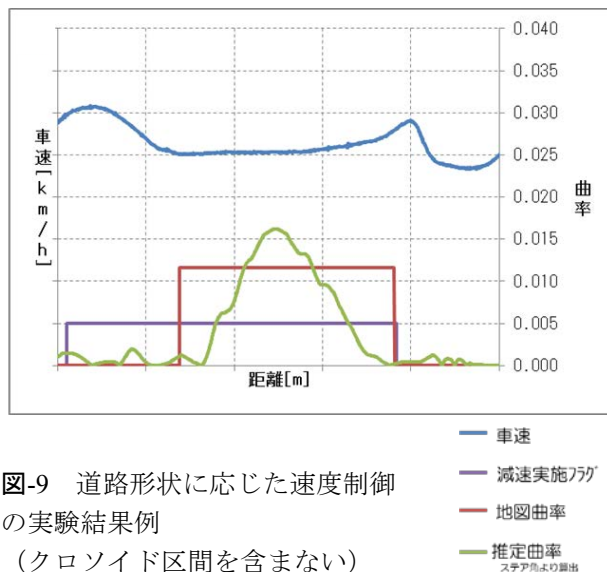


図-9 道路形状に応じた速度制御の実験結果例 (クロソイド区間を含まない)

5.2. 走行実験による道路標識の有用性評価

本走行実験では, 「道路上の地物を用いた自車位置の把握」における試作した道路構造データの有用性を検証した. 図-10 は, 道路構造データ上における自車位置, 実験車両が認識した地物, 認識した区画線および測定データを表示する走行実験システムの画面を示している. 位置補正用地物として道路標識を用いることにより, 最大で数 m の自車位置補正が可能なが確認され, 道路構造データの有用性を確認できた. ただし, 本走行実験では, 道路構造データのうち, 規制標識 (最高速度), 案内標識 (非常電話) を使用したが, 安定した自車位置の特定には道路標識だけでなく他の地物も必要になることも分かった.



図-10 自車位置を把握する実験用画面の表示例

5.3. 道路構造データ第3層と第4層の有用性評価

本走行実験では、「本線もしくはランプ上の複数の区画線が存在する場合の適切な車線区分線の把握」における試作した道路構造データの有用性を検証した。具体的には、道路構造データのうち、第3層：ネットワークと第4層：制約のデータを用いて、車線別に整備された事故多発地点情報を活用し、図-11に示すような車線別ルート探索および誘導の妥当性を検証した。その結果として、車線別誘導ルート探索およびリルート探索機能が正常に作動し誘導できることから、道路構造データの有用性が確認できた。

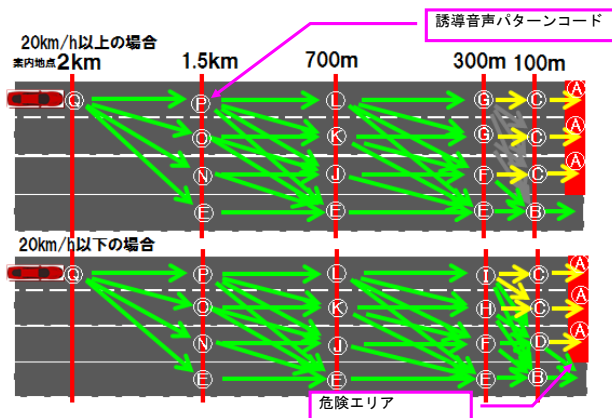


図-11 危険エリア車線別誘導パターン例

6. おわりに

本研究では、高速道路を対象に各機関保有の既存資源を活用した走行支援サービスに必要な道路構造データの整備手法を確立するため、道路構造データの要件定義書、製品仕様書および整備要領を作成した。さらに道路構造データの試作を通じて実際に道路構造データが整備できることや試作した道路構造データによる走行実験で有用性の検証結果を報告した。また、これらの成果を国土技術政策総合研究所資料⁹⁾として広く公表した。

今後の課題としては、道路構造データの更新手法の確立、道路構造データの適用範囲の拡大（一般道への適用）および持続的な整備・更新の運用方法の確立が挙げられる。

昨今、当該テーマの期待は大きく、本共同研究成果の活用によって、走行支援サービスの更なる進展が図られることを期待したい。

謝辞: 本研究の成果は、共同研究に参加した各者（アジア航測株式会社、株式会社インフォマティクス、株式会社ゼンリン、トヨタ自動車株式会社、日産自動車株式会社、一般財団法人日本デジタル道路地図

協会、阪神高速道路株式会社、株式会社パスコ、NTT空間情報株式会社）の多大なる貢献により具体化したものである。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部：世界最先端 IT 国家創造宣言，<<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20150630/siryoul.pdf>>，（入手 2015.10.30）
- 2) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部：官民 ITS 構想・ロードマップ 2015，<<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20150630/siryou7.pdf>>，（入手 2015.10.30）
- 3) 内閣府：SIP（戦略的イノベーションプログラム）自動走行システム研究開発計画，<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidouousoukou.pdf>，（入手 2015.10.30）
- 4) 今井龍一，落合修，重高浩一，佐々木洋一：道路基盤地図情報の試行提供による産学の利用ニーズの調査，地理情報システム学会講演論文集，Vol.22，地理情報システム学会，2013
- 5) 今井龍一，深田雅之，重高浩一：官民連携による大縮尺地図の整備・更新手法の取り組み，地理情報システム学会講演論文集，Vol.22，地理情報システム学会，2013
- 6) 今井龍一，松井晋，深田雅之，木村篤史，重高浩一：官民連携による大縮尺道路地図の整備手法に関する研究，地理情報システム学会講演論文集，Vol.23，地理情報システム学会，2014
- 7) 国土交通省：オートパイロットシステムの実現に向けて（中間とりまとめ），<<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/autopilot/pdf/torimatome/honbun.pdf>>，（入手 2015.10.30）
- 8) 日本デジタル道路地図協会：道路の区間 ID テーブル標準 Ver1.1，<<http://www.drm.jp/etc/roadsection/pdf/roadsection-standar-ver1.1.pdf>>，（入手 2015.10.30）
- 9) 重高浩一，今井龍一，深田雅之，木村篤史，松井晋：大縮尺道路地図の整備・更新手法に関する共同研究，国土技術政策総合研究所資料，第 848 号，<<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0848.htm>>，（入手 2015.10.30）