

## 「ダイナミックマップによる社会IoTの実現とその活用」特集号

## 総 説

## ダイナミックマップ

## —自動走行／協調運転支援のための情報プラットフォーム

高田 広章\*・佐藤 健哉†

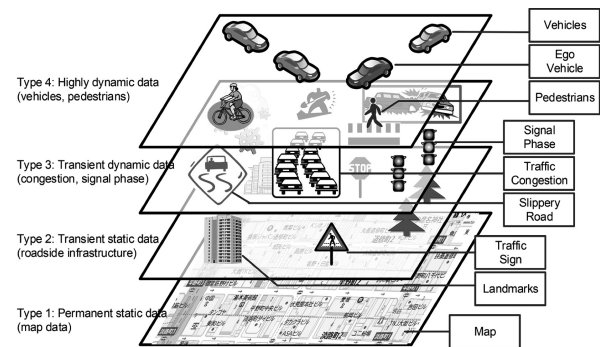
## 1. はじめに

いわゆる地図（静的な地図）のうえに、動的な情報を重畳させた概念的なデータの集合体（ないしは、仮想的なデータベース）をダイナミックマップとよぶ。自動走行システムや協調運転支援システムのためのダイナミックマップは、道路交通に関するデータを扱えばよい。ため、扱う地図は道路地図、そこに重畳させる動的な情報は、道路上にある動的なオブジェクトに関するものが中心になる。具体的には、車両や歩行者の現在位置や移動状況、信号の現示や渋滞・事故といった交通状況などのデータをリアルタイムに管理する。

ダイナミックマップで管理する動的な情報は、さまざまな情報源から集約することを想定している。たとえば、なんらかの通信機能をもった車両は、自車の現在位置や移動状況をダイナミックマップに提供することができる。また、車両上や路側に設置されたセンサが、検知した情報をダイナミックマップに提供する場合もある。さらに、歩行者がもつ情報端末が、歩行者に関する方法を提供する場合も考えられる。

動的な情報を扱うことに加えて、自動走行システムのためのダイナミックマップには、静的な道路地図が高精度な三次元地図であること、道路の変更に対して迅速に更新されることが求められる。具体的には、現在のカーナビゲーションシステムの地図と比較して、地図の位置精度が高いこと、走行車線（レーン）に関する情報とその接続関係を含んでいること、自己位置推定のための地物の情報を含んでいること、地図の信頼性が高い（最新の状態に更新されていることも含む）ことが要求される。これらの特徴は、自動走行だけでなく、協調運転支援のためにも有益なものである。

本稿では、ダイナミックとそのベースとなった Local Dynamic Map(LDM) の概念について説明した後、自動走行／協調運転支援におけるダイナミックマップの役割、SIP 自動走行システム (SIP-adus) におけるダイナミックマップの検討状況、海外における開発状況について紹介する。さらに、ダイナミックマップのその先の方向性と



第1図 LDMにおける四つのデータ階層

して、ダイナミックマップの進んだ使い方と、IoTにおける情報プラットフォームとしてのダイナミックマップの位置づけについて述べる。

## 2. Local Dynamic Map(LDM)

ダイナミックマップは、国際的に標準化されている Local Dynamic Map(LDM) の概念をベースにしている。LDM は、もともと、欧州の SAFESPOT プロジェクト [1] において、センサや通信経由で取得した動的データを地図上に融合するデータベースの基盤 [2] として検討され、欧州電気通信標準化機構 (ETSI) や国際標準化機構 (ISO) において仕様化 [3–5] されている仕組みである。

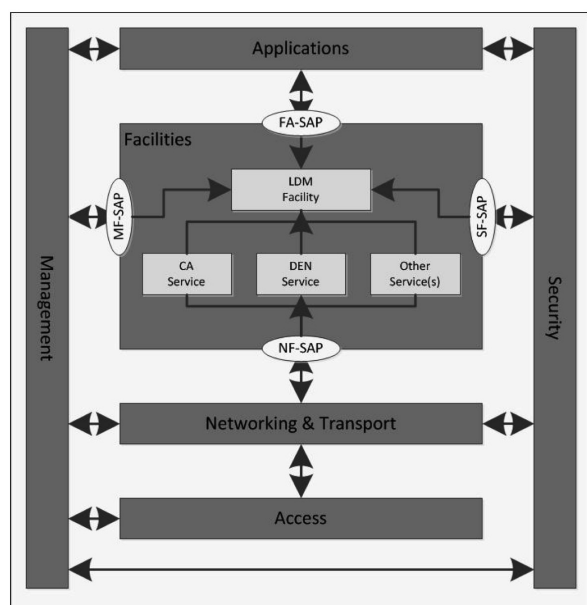
LDM においては、扱うデータを、変化の速さに応じて、静的データ（タイプ1）、準静的データ（タイプ2）、準動的データ（タイプ3）、動的データ（タイプ4）の四つの階層からなるものとしている（第1図）。ただし、この階層は概念的なものであり、四つのタイプをどのように扱い分けるかや、どのデータがどのタイプに分類されるかについて、仕様として明確に決まっているわけではない。

LDM は、自動車に搭載する ITS ユニットや路側機（これらを、ITS ステーションと総称する）に配置される概念的なデータストアである [5]。ITS ステーションの参照アーキテクチャにおいては、LDM はファシリティ層の一部であると位置付けられており、アプリケーション支援と情報提供を行うものとされている（第2図）。LDM は、アプリケーション層、ネットワーク機能、セキュリティ機能、管理機能とインタフェースをもつものとされているが、その具体的な API までは規定されていない。

\* 名古屋大学 未来社会創造機構／大学院情報科学研究科

† 同志社大学 理工学部／モビリティ研究センター

Key Words: dynamic map, automated driving, cooperative ITS.



第2図 LDMの位置付けとインタフェース ([5]より)

LDMは自車両あるいは路側機の周辺のローカルな情報を集約して扱うことを前提としているが、ここでは、より広域（たとえば、都市全体）の情報を扱うものという意味で、単にダイナミックマップという用語を用いている。ただし、LDMに対しても、複数のLDMのデータを相互に利用可能とする概念であるLDMグローバルコンセプト[6,7]が検討されており、本質的な違いがあるわけではない。

### 3. 自動走行／協調運転支援におけるダイナミックマップの役割

自動走行／協調運転支援において、ダイナミックマップは、(1) 自己位置推定、(2) 自車の動きを決める（運転支援の場合は、ドライバーへのガイダンス方法を決める）、(3) 他車の動きを予測するために使用される。これらの機能は、ダイナミックマップからの情報だけで実現するものではなく、ほかの情報（たとえば、車両に積んだ自律センサからの情報）も併用して実現される。

たとえば、自己位置推定を実現するための技術として、衛星測位（GNSS）、慣性航法装置（ジャイロなど）、地図との照合（マップマッチング）などがある。測位衛星からの電波状況のよい場所・環境であれば、準天頂衛星などを用いた衛星測位により十分な位置精度が得られる一方で、高架道路の下やトンネルの中、ビルの谷間、森の中などでは、衛星測位だけでは十分な精度が得られず、地図との照合など他の技術の併用が必要である。地図との照合による自己位置推定として、三次元の点群のマッチングによる方法が広く知られているが、より小さい地図データ量・照合計算量で十分な精度の自己位置推定を可能にする技術は、競争領域として研究開発が進められている分野で、定番となる方式が決まっているわけでは

ない。

自動走行システムにおける自車の動きの決定は、(a) 出発地から目的地までの走行経路を決める（ルート探索）、(b) 一つの道路の中でどの車線（レーン）を走るかを決める、(c) 車線内での走行軌跡を決める（パスプランニング）の三つのステップで考えることができる。

(a) のルート探索は、現在のカーナビゲーションシステムではほぼ実現されているが、よりよいルート探索のためには、静的な道路地図に加えて、道路の渋滞予測や工事等による通行規制箇所といった準動的な情報が有益であり、ダイナミックマップはそういった情報を得るために利用することができる。

(b) については、つぎに曲がる交差点に到達するまでに適切な車線に移動する、といった走行レーン決定のために、レーンレベルの道路地図（レーンネットワーク）が必要である。また、前方に停止車両があれば車線変更して回避する、右車線がつぎの交差点で右折する車両で詰まっていれば早めに左車線に移動する、といったよりスムーズな走行を可能にするためには、ダイナミックマップからの準動的（または動的）な情報が不可欠である。

(c) については、自律センサの情報がおもに使われることとなると思われるが、死角にいる車両や歩行者の位置と移動状況といった動的な情報がダイナミックマップから入手できると、より安全な走行軌跡を選ぶことが可能になる。

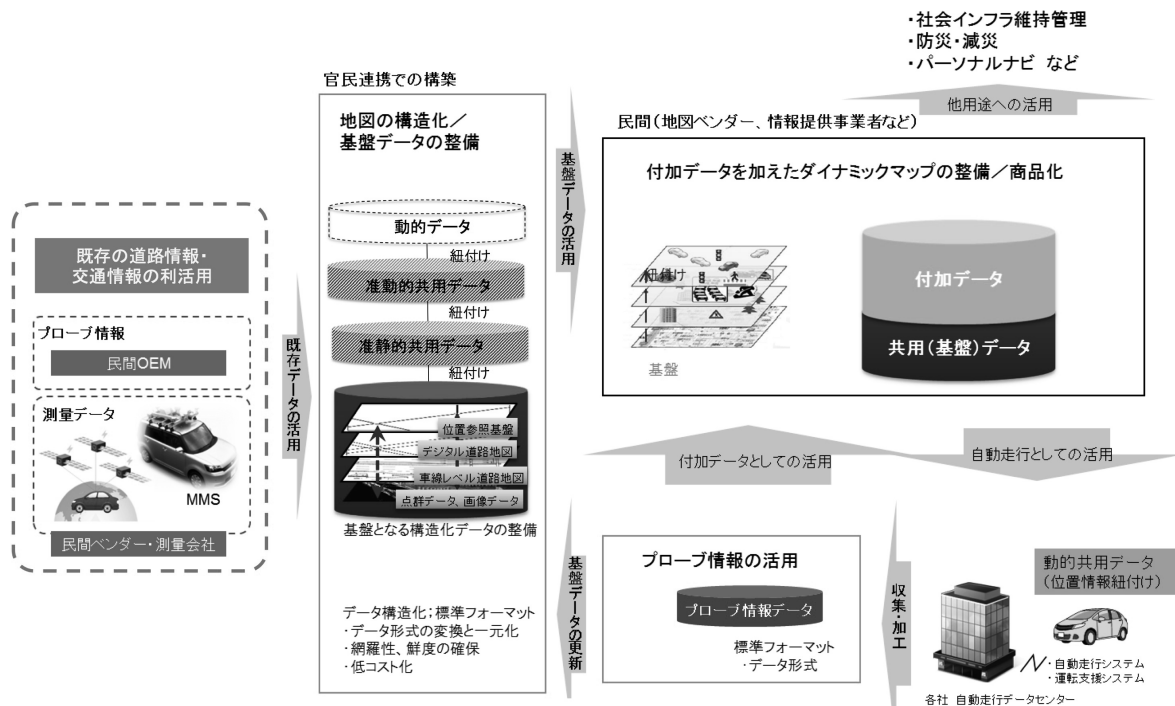
(a)～(c)の使用目的以外では、自律センサから得られた周辺情報と高精度地図を比較することで、障害物情報が効率的に抽出できるという報告もある。

自動走行システムにおいて自車の動きを決めるために有益な情報の多くは、運転支援システムにおいて、ドライバーが、より安全で効率的な走行をするための支援にも有益なものである。

### 4. SIP-adusにおけるダイナミックマップの検討

SIP-adusは、内閣府が推進する戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の一つとして、自動走行を含む新たな交通システムの実現を目指して推進されているプロジェクトである[8]。SIP-adusにおいて、ダイナミックマップ（地図情報の高度化技術）は、重点テーマの一つに位置付けられており、その推進のために、自動走行に用いる高度な地図（ダイナミックマップ）の構成や構築方法（データ構造、データの収集方法、データの配信方法、それらにかかるコスト）について検討するために、地図構造化タスクフォース（TF）が設置されている。

地図構造化TFでは、ダイナミックマップのフレームワーク（第3図）、レーンレベルの位置参照方式、ダイナミックマップのアーキテクチャなどの検討が進められている。また、公募による委託事業として、静的な高精度



第3図 SIP-adusにおけるダイナミックマップのフレームワーク

地図の試作（2014年度）やダイナミックマップの試作・検証（2015年度）を実施している[9].

第3図に示す通り、SIP-adusにおいて官民連携での構築を目指す基盤データには、高精度な静的地図、準静的の共有データ（通行規制情報や標識情報など）、準動的の共有データ（渋滞情報、事故発生中情報、路面情報など）を含んでいるが、動的データは含んでおらず（第3図では点線で記載）、紐付けのみを行うものとしている。ここでいう紐付けとは、動的なオブジェクトの位置が静的地図のどこに該当するかを表現できるようにすること、具体的には、位置参照方式の標準を定め、動的データの位置をその標準に従って表現することを意味している。

基盤データは、クラウド上のデータセンターで管理し、民間の地図ベンダや情報提供事業者などに提供することを想定しているが、データセンターの実現方法や運用主体は今後の課題である。

動的データについては、基盤データには含めず、車両間通信や路車間通信により、直接車両に配送されることを想定している。また、静的データ～準動的データを車両に配送する方法に関しては、車両メーカーごとに検討するものとして、現時点では検討対象外としている。

#### 4.1 レーンレベルの位置参照方式

ダイナミックマップは、さまざまな情報源からの情報を集約するため、動的／準動的なオブジェクトが静的地図のどこに位置するかを表現するための位置参照方式が重要になる。具体的には、あるITSステーション（車載のITSユニット、路側機、歩行者がもつ情報端末、データセンターなど）が動的／準動的なオブジェクトを検出

したときに、その正確な位置をほかのITSステーションに伝達する必要がある。自動走行システムにおけるダイナミックマップの役割を考えると、動的／準動的なオブジェクトの位置を、少なくともどの車線にあるかが区別できる精度で伝達することが求められる。

位置参照方式として最もシンプルなのは、経度緯度と高度で位置を表現する方法であるが、この方法で十分かどうかは、要求される位置精度と、静的地図の提供が単一ソースか複数ソースかが大きな分岐点となる。

SIP-adusにおける検討では、自動走行システム向けのダイナミックマップの位置参照に求められる位置精度として、半径200mの範囲内における相対位置の誤差の標準偏差を25cm以内としている。相対位置の精度要求を達成するために、絶対位置の精度の高い地図を作る方法が考えられるが、高精度地図の試作を通じて、絶対位置の誤差の標準偏差が25cm以内の地図を作成するには高いコストがかかると評価されており、高い絶対位置精度を要求するのはオーバースペックであると考えられる。また、地震や地殻変動により、絶対位置精度が低下するという課題もある。

そのため、位置の送信側と受信側で異なるソースの静的地図を使っていると、経度緯度と高度で位置を表現する方法では、伝達される位置精度が要求範囲に収まらない。たとえば、送信側の車両が走行している車線が、受信側では別の車線と解釈されてしまうおそれがある。送信側と受信側がまったく同一の地図を使っていれば、両方で誤差がキャンセルするためにこの問題は発生しないが、地震や地殻変動を補正することにより地図のバー

ジョン違いが生じるという課題は残る。

前述の通り、SIP-adusでは、官民連携で基盤地図の構築を目指すため、その範囲では、静的地図は単一ソースとみなすことができるが、海外ではその前提が通用するとは限らない。また、国内においても、地震や地殻変動の問題は無視できないことから、経度緯度と高度による位置参照に加えて、道路上に参照点を定めて、参照点からの相対位置で表現する方式や、二つの参照点間の道のり比率で位置を表現する方式を併用することを提案している。

今後、SIP-adusで検討した位置表現方式を、国際標準化提案していく計画である。

## 5. 海外における開発状況

欧州を中心にLDMの標準化が進められていることは2.で述べたが、SAFESTOPプロジェクトの終了後は、LDMという名称での研究開発はアクティブではないように思われる。

一方、同様の方向性の研究開発は、民間企業を中心に積極的に進められている。民間企業による研究開発は公開されている情報が少ないが、ここでは二つの事例について紹介する。

世界的な地図メーカーであるHEREは、HD Live Mapの名称で、自動走行システム向けのダイナミックマップの開発に取り組んでいる[10]。HD Live Mapは、自動走行システムに求められるHD-map（HDはHigh Definitionの意味）に、車両の前方の動的／準動的な情報をもつLive Map、さらにはより快適な運転を可能にするための付加情報を統合したものである。HD Live Mapはクラウド上に実現され、車両からは、自動車メーカーのもつデータセンターを通してそれにアクセスする。

ADASの分野で強みをもつ自動車部品メーカーであるContinentalは、eHorizon（または、dynamic eHorizon）の名称で、車両上のアプリケーションが、データセンターからの高精度地図と動的／準動的データと、車車間／路車間通信によって得られた動的／準動的データに統一的な方法でアクセスできるフレームワークの開発に取り組んでいる[11]。

米国においては、Googleなどが研究開発を進めているものと予想されるが、公開されている情報がなく、現時点では予想の域を出ない。

## 6. その先の方向性

この章では、著者が考えるダイナミックマップの発展性として、ダイナミックマップの進んだ使い方と、IoTにおける情報プラットフォームとしてのダイナミックマップの位置付けについて述べる。

### 6.1 ダイナミックマップの進んだ使い方

SIP-adusでは、ダイナミックマップを、基本的には自車両の周辺情報を得るための仕組みと位置付けて検討を

進めている。それに対して、ダイナミックマップのさらに進んだ使い方として、複数の車両の情報を統合することで、より安全／効率的な車両の動き方を決定することが挙げられる。

たとえば、合流や車線変更は、自動走行システムにとって難しい状況であるのみならず、運転スキルが高くはないドライバーにとっても運転が難しい。このような状況において、ダイナミックマップが管理する各車両の位置と速度から、安全／効率的な合流方法や車線変更タイミングを決定し、それに従って各車両を制御する（ドライバーが運転する場合には、ガイダンスする）ことが考えられる。

ダイナミックマップの別の応用例として、道路交通の広域での最適化への適用を挙げることができる。現在実現されているシステムでも、渋滞箇所を各車両に配信し、カーナビゲーションシステムがそこを避けるルートを案内するサービスは実現されているが、全車両がこのサービスを利用すると、空いていた道路に車両が集中して、そこが渋滞するという問題が発生する。この問題を解決するには、各車両を個別に制御するのではなく、ある地域内を走行する車両全体を最適制御することが必要であり、ダイナミックマップはこのような制御のプラットフォームとしても有効である。

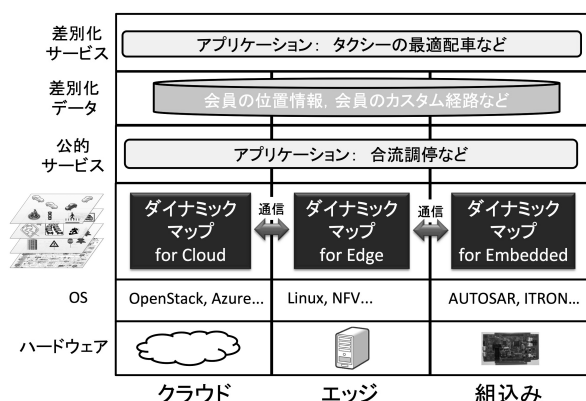
ダイナミックマップのこのような使い方を可能にするためには、SIP-adusにおける標準化領域をさらに広げることが必要であり、今後の課題と考えられる。これらの方向に向けての研究開発事例については、本特集の別の記事[12]で紹介する。

### 6.2 IoTにおける情報プラットフォームとしてのダイナミックマップ

1.において、ダイナミックマップは、概念的なデータの集合体、ないしは仮想的なデータベースであると述べた。これは、一つの計算機上に実体をもって存在するものであるとは限らないためである。

これは、一つの計算機上に実現する方法では、サービスに課せられる非機能要件を満たすことができないためである。具体的には、自動走行車の走行軌跡を決める処理は、高いリアルタイム性と信頼性が要求されるため、現在の技術では、車載の計算機で実現する必要がある。一方、道路交通の広域での最適化処理は、そこまでのリアルタイム性は必要としない一方で、広域の情報を保持し、高い計算能力をもつクラウドシステム上で実現するのが適切である。また、合流や車線変更の調停は、車載システム間で行う方法もあるが、分散調停の難しさを考えると、車載システムと路側機や基地局などのエッジシステムの連携で実現する方法が有望と思われる。

つまり、ダイナミックマップを用いるサービスを実現するアプリケーションソフトウェアは、車載組込み～エッジ～クラウドシステムに分散して配置されることに



第4図 分散データベースとしてのダイナミックマップ

なり、その情報プラットフォームであるダイナミックマップも、必然的にそれらのシステムに分散して配置する必要がある。このように考えると、ダイナミックマップは、車載組込み～エッジ～クラウドシステムをまたいで動作する分散データベースであるとみなすことも可能である(第4図)。

IoTシステム構築の課題の一つとして、各種のサービスに求められる非機能要件に応じて、組込みシステムからクラウドシステムまでの役割分担を最適に決める技術を挙げることができる。分散データベースであるダイナミックマップは、機能の論理設計と物理配置を分離できる分散プラットフォームの役割も果たすことが期待される。

一方で、分散データベースとしてのダイナミックマップは、車載システムと、路側機や基地局を接続するための通信ネットワークについても考慮する必要がある。現在、車載システム間(車々間通信)、車載システムと路側機の間(路車間通信)に関して、欧米ではIEEE802.11pを基盤としたDSRC(Dedicated Short Range Communication)ネットワーク[13]の利用が前提とされており、日本ではすでにITS Connectの車車間通信/路車間通信において700MHz帯の通信ネットワーク[14]が利用されている。さらに、LTEといった携帯電話網の利用も検討[15]されており、近い将来は第5世代移动通信(5G)[16]の利用も想定される。通信ネットワークにおける非機能要件を考慮しつつ、多様なアプリケーション実現のための統一した情報プラットフォームの構築が求められる。

最後に、本稿で議論したダイナミックマップは、道路交通に関するデータを扱うものであるが、これを人の移動全般に関するデータを扱うように拡張し、より広範なモビリティサービスの情報プラットフォームとすることは、概念的には容易である。さらに、より広範なIoTサービスへの拡張の可能性も考えられる。

## 7. おわりに

本稿では、ダイナミックマップの概念とその必要性、国内外における研究開発動向について述べた後、ダイ

ナミックマップのその先の方向性について議論した。ダイナミックマップは、自動走行/協調運転支援のための情報プラットフォームであるのみならず、各種のモビリティサービスやより広範なIoTサービスのための情報プラットフォームへの発展性も秘めている。わが国として、海外と協調しつつも、国際競争力をもったシステムを構築していくことが重要であると考えている。

## 謝 辞

本研究の一部は、文部科学省「革新的イノベーション創出プログラム(COI STREAM)」の助成を受けている。また、いつも有益なご意見をいただくSIP-adus 地図構造化TFのメンバに感謝します。

(2016年6月28日受付)

## 参 考 文 献

- [1] F. Bonnefoi, F. Bellotti, T. Scendzielorz and F. Visintainer: SAFESPOT Applications for infrastructure based co-operative road safety; *14th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services*, pp. 1-8 (2007)
- [2] C. Zott, S. Yuen, C. Brown, C. Bartels, Z. Papp and B. Netten: SAFESPOT Local dynamic map – context-dependent view generation of a platform's state and environment; *15th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services*, pp. 1-12 (2008)
- [3] ETSI TR 102 863 V1.1.1: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Local Dynamic Map (LDM); Rationale for and guidance on standardization (2011)
- [4] ISO/TS 17931:2013: Intelligent transport systems - Extension of map database specifications for Local Dynamic Map for applications of Cooperative ITS (2013)
- [5] ETSI EN 302 895 V1.0.0: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Local Dynamic Map (LDM) (2014)
- [6] ISO/TS 18750:2015: Intelligent transport systems – Cooperative systems – Definition of a global concept for Local Dynamic Maps (2015)
- [7] 佐藤, 橋本, 菅沼, 加藤, 芝, 花井, 高田, 天沼, 沓名, 大石: 協調型自動運転のためのLDMグローバルコンセプト実証実験; ITSシンポジウム2015論文集, pp. 1-6 (2015)
- [8] SIP自動走行システム: <http://www.sip-adus.jp/>
- [9] R. Shirato: Dynamic Map Development in SIP-adus; SIP-adus Workshop 2015 (2015)
- [10] M. Matsumoto: HERE Intelligent Car: the advent of Highly Automated Driving; SIP-adus Workshop 2015 (2015)
- [11] F. Försterling: Cooperative ITS – Impact to Electronic Horizon and Automated Driving; SIP-adus

Workshop 2014 (2014)

- [12] 渡辺, 竹内, 高田, 二宮: 交通マネジメントに向けたダイナミックマップアーキテクチャの研究; システム/制御/情報, Vol. 60, No. 11 (2016)
- [13] ISO 21217:2014: Intelligent transport systems – Communications access for land mobiles (CALM) – Architecture (2009)
- [14] ITS 情報通信システム推進会議: ITS Forum RC-013 1.0 版 700MHz 帯道路交通システム実験用車車間通信メッセージガイドライン (2014)
- [15] Y. Shi: LTE-V: A Cellular-Assisted V2X Communication Technology; ITU Workshop (2015)
- [16] 5G-PPP: 5G Automotive Vision (2015)

### 著者略歴

たか だ ひろ あき  
高 田 広 章



名古屋大学未来社会創造機構教授。同大学大学院情報科学研究科教授・附属組込みシステム研究センター長を兼務。1988年東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻修士課程修了。同専攻助手、豊橋技術科学大学情報工学系助教授などを経て、2003

年より名古屋大学大学院情報科学研究科教授。2014年より現職。リアルタイムOS、リアルタイムスケジューリング理論、組込みシステム開発技術などの研究に従事。博士（理学）。オープンソースのリアルタイムOSなどを開発するTOPPERSプロジェクトを主宰。SIP-adus地図構造化TF主査。IEEE, ACM, 情報処理学会, 電子情報通信学会, 日本ソフトウェア科学会, 自動車技術会各会員。

さ と う けん へ  
佐 藤 健 哉



同志社大学大学院理工学研究科情報工学専攻教授。1986年大阪大学大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。同年住友電気工業情報電子研究所入社。1991年～1994年スタンフォード大学計算機科学科客員研究員。2000年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。米国AMI-C, Inc. チーフテクノロジストを経て、2004年より現職。同志社大学モビリティ研究センター長、および名古屋大学大学院情報科学研究科附属組込みシステム研究センター特任教授兼務。国際標準化機構ITS専門委員会日本代表。博士（工学）。IEEE-CS, ACM, 情報処理学会, 自動車技術会各会員。