

モビリティイノベーションシリーズ ③

# つながるクルマ

河口 信夫・高田 広章・佐藤 健哉

編著

コロナ社

# モビリティイノベーションシリーズ

## 編集委員会

編集委員長

森川 高行 (名古屋大学)

編集副委員長

鈴木 達也 (名古屋大学)

編集委員

- 1 巻：森川 高行 (名古屋大学), 山本 俊行 (名古屋大学)  
2 巻：青木 宏文 (名古屋大学), 赤松 幹之 (産業技術総合研究所)  
上出 寛子 (名古屋大学)  
3 巻：河口 信夫 (名古屋大学), 高田 広章 (名古屋大学)  
佐藤 健哉 (同志社大学)  
4 巻：鈴木 達也 (名古屋大学), 稲垣 伸吉 (南山大学)  
5 巻：二宮 芳樹 (名古屋大学), 武田 一哉 (名古屋大学)

(2020 年 4 月現在)

シリーズ構成

- 1 巻：「モビリティサービス」 2 巻：「高齢社会における人と自動車」  
3 巻：「つながるクルマ」 4 巻：「車両の電動化とスマートグリッド」  
5 巻：「自動運転」

### 3 巻執筆者一覧 (執筆担当箇所)

編著者	河口 信夫 (名古屋大学, 3 章, 6.2 節, 7 章, 8 章)
	高田 広章 (名古屋大学, 2 章, 5.1~5.3 節, 7 章)
	佐藤 健哉 (同志社大学, 1 章, 4 章, 5.5 節, 8 章)
執筆者	倉地 亮 (名古屋大学, 6.1 節)
	佐藤 雅明 (慶應義塾大学, 3 章, 5.4 節, 7 章)
	渡邊 陽介 (名古屋大学, 5.6 節)

(2020 年 10 月現在)

# 刊行のことば

人は新たな機会を得るために移動する。新たな食糧や繁殖相手を探すような動物的本能による移動から始まり、交易によって富を得たり、人と会って情報を交換したり、異なる文化や風土を経験したりと、人間社会が豊かになるほど、移動の量も多様性も増してきた。しかし、移動にはリスクが伴う。現在でも自動車事故死者数は世界で年間130万人もいるが、古代、中世、近世における移動に伴うリスクは想像を絶するものであったであろう。自分の意志による移動を英語でtravelというが、これはフランス語のtravailler（働く）から転じており、その語源は中世ラテン語のtre paliare（3本の杭に縛り付けて拷問する）にさかのぼる。昔は、それほど働くことと旅することは苦難の連続であったのであろう。裏返していえば、そのようなリスクを取ってまでも、移動ということに価値を見出していたのである。

大きな便益をもたらす一方、大きな苦難を伴う移動の方法にはさまざまな工夫がなされてきた。ずっと徒歩に頼ってきた古代でも、帆を張った舟や家畜化した動物の利用という手段を得て、長距離の移動や荷物を運ぶ移動は格段に便利になった。しかし、何といても最大の移動イノベーションは、産業革命期に発明された原動機の利用である。蒸気鉄道、蒸気船、蒸気自動車、そして19世紀末にはガソリンエンジンを積んだ自動車が生じた。そして、20世紀初頭に米国でガソリン自動車が大規模生産されるようになって、一般市民が格段に便利で自由なモビリティをもたらす自家用車を得たのである。自動車の普及により、ライフスタイルも街も大きく変化した。物流もトラック利用が大半になり、複雑なサプライチェーンを可能にして、経済は大きく発展した。ただ、同時に交通事故、渋滞、環境破壊という負の側面も顕在化してきた。

いつでもどこにでも、簡単な操作で運転して行ける自動車の魅力には抗しがたい。ただし、免許を取ったとはいえ素人の運転手が、車線、信号、標識という物理的拘束力のない空間とルールの中を相当な速度で走るからには、必ずや事故は起きる。そのために、余裕を持った車線幅と車間距離が必要で、走行時には1台につき100平方メートル近い面積を占有する。このため、人が集まる、つまり車が集まる場所ではどうしても渋滞が起きる。自動車の平均稼働時間は5%程度であるが、残りの時間に駐車しておくスペースもいる。ガソリンや軽油は石油から作られ、やがては枯渇する資源であるし、その燃焼後には必ず二酸化炭素が発生する。世界の石油消費の約半分が自動車燃料に使われ、二酸化炭素排出量の約15%が自動車起源である。

このような自動車の負の側面を大きく削減し、その利便性をも増すと期待される道路交通革命がCASE化である。CはConnected（インターネットなどへの常時接続化）、AはAutonomous（またはAutomated、自動運転化）、SはServicized（またはShare & Service、個人保有ではなく共有によるサービス化）、EはElectric（パワートレインの電動化）を意味し、自動車の大衆化が始まった20世紀初頭から100年ぶりの変革期といわれる。CASE化がもたらすであろう都市交通の典型的な変化を下図に示した。本シリーズ全5巻の「モビリティイノベーション」は、四つの巻をCASEのそれぞれの解説にあてていることが特徴である。さらに、CASE化された車を使う人や社会の観点から取り上げた第2巻では、社会科学的な切り口にも重点を置いている。

このような、移動のイノベーションに関する研究が2013～2021年度に渡り、文部科学省および科学技術振興機構の支援により、名古屋大学COI（Center of Innovation）事業として実施されており、本シリーズはその研究活動を通して生まれた「移動学」ともいべき統合的な学理形成の成果を取りまとめたものである。この学理が、人類最大の発明の一つである自動車の革命期における知のマイルストーンになることを願っている。

2020年3月

編集委員長 森川 高行



（イラスト作成：関口 愛）

# まえがき

自動車が通信ネットワーク等により外部と情報をやりとりする（つながる）ことで、自動車にさまざまな付加価値を産み出すことができる。例えば、自動車から直接見えないほかの自動車や歩行者の情報を通信により伝えることで、安全性を向上できる。また、自動車への道路交通状況の提供により交通を円滑化できるし、すべての自動車の行き先情報の収集により都市全体で交通流を最適化できる可能性もある。このように、「つながるクルマ」は、自動車をより安全に、より便利・快適に、さらに環境負荷を下げるためにも、きわめて有望な技術である。

本書のタイトルになっている「つながるクルマ」(connected vehicle または connected car) という用語に広く認められている定義はなく、使う人や状況によって異なるものを指していることが多い。そこで本書では、「つながるクルマ」を、「通信ネットワーク等により外部とデジタル情報をやりとり（双方向通信）することで、高度な機能やサービスを提供する自動車」のことをいうものとする。なお、「つながるクルマ」のつながる相手となる「外部」としては、ほかの自動車や路側機、歩行者、ネットワーク上のサーバなどがある。

この定義に従い、カーラジオや衛星測位システム (global navigation satellite system, GNSS) のように、単に情報を受信するだけのものはつながるクルマの範囲外とし、本書では原則として扱わない。また、携帯端末や音楽プレーヤなどの持込み機器は、車載ユニットと通信を行うが、自動車の外部との通信とはいえないため、これらもつながるクルマの範囲外と考える。さらに、OBD (on-board diagnostics) ポートに接続した診断機との間の通信や、電動自動車向けの充電器との間の通信のように、自動車が停止中のみ行う有線での通信も本書では扱わない。

つながるクルマをこのように定義した場合、自動車がつながる相手、そのつながり方（通信方法）、やりとりする情報、提供するサービスにはさまざまなものがある。本書では、つながるクルマのサービス、技術、システムを体系化して解説し、つながるクルマの現状と今後を俯瞰することを目指した。

まず1章では、交通と通信の関係について簡単に述べた後、本書を読むにあたって必要となる通信技術の基礎について解説する。

2章では、つながるクルマの全体像を概観する。つながるクルマの物理構成と論理構成を示した後、つながるクルマが提供するおもなサービスについて、自動車がつながる相手と情報の流れに着目して概観する。また、つながるクルマに関わる標準化と組織について説明する。

3章では、つながるクルマに関わるサービスや機能について、分類・整理して解説する。実際のサービス・機能を実現している具体的なシステムについては、この章での記述は最小限にとどめ、7章において詳述する。

4章では、つながるクルマの通信技術について解説する。通信アーキテクチャについて述べた後、各層の代表的な通信プロトコルを解説する。また、ネットワークシステム構成と課題についても述べる。

5章では、つながるクルマのプラットフォームとAPI (application programming interface) について解説する。つながるクルマで重要となる位置参照方式について述べた後、標準化が行われているプラットフォームおよびAPIの位置付けや概要を述べる。

6章では、つながるクルマを実用化するにあたって避けて通れない課題として、セキュリティとプライバシーの問題について解説する。

7章では、つながるクルマのサービス・機能を実現する代表的なシステム例について説明する。

8章では、つながるクルマの発展のロードマップを示し、未来像を描く。

可能な限り執筆時点での最新の状況に基づいて記述するようにしたが、つながるクルマを取りまく状況の変化は速く、読者の手に届くときには、古くなっている記述があることはご容赦いただきたい。本書が、つながるクルマの技術の発展と普及の一助になれば幸いである。

最後に、お忙しいなか執筆をお引き受けいただいた著者の皆様、本書の出版にあたりご尽力いただいたコロナ社の皆様、名古屋大学 COI における出版事務局やその他の関係者の皆様に厚くお礼を申し上げます。

2020年9月

3巻編集委員 河口 信夫, 高田 広章, 佐藤 健哉

# 目 次

## 1. 交通と通信

1.1 はじめに	1
1.2 「交通」と「通信」という用語	2
1.3 ITSについて	3
1.4 交通と通信の発展経緯	4
1.5 通信技術の基礎	5
1.5.1 通信とは	5
1.5.2 プロトコルとは	7
1.5.3 プロトコルスタック	7
1.5.4 通信形態	8
1.5.5 通信技術の指標	9
引用・参考文献	11

## 2. つながるクルマの全体像

2.1 つながるクルマの論理構成	12
2.2 つながるクルマの物理構成	13
2.3 つながるクルマのサービス	14
2.3.1 自動車への情報提供	14
2.3.2 自動車からの情報収集	16
2.3.3 自動車の遠隔管理・保守	17
2.3.4 自動車の運行管理	18
2.3.5 V2I 通信による周辺状況提供	18
2.3.6 V2V 通信による情報提供・協調制御	19
2.3.7 交通の最適化	20
2.3.8 その他のサービス	20
2.4 つながるクルマに関わる標準化と組織	21
2.4.1 標準の種類	21
2.4.2 おもな標準化組織	22

2.4.3 その他の関連組織	24
引用・参考文献	24

### 3. つながるクルマに関わるサービス

3.1 交通情報の収集	25
3.1.1 環境設置型の交通情報収集	26
3.1.2 プローブカーによる交通情報収集	26
3.1.3 スマートフォンを使ったプローブ情報収集	28
3.2 交通情報の提供	28
3.2.1 渋滞・規制情報の提供	29
3.2.2 地図データの更新	29
3.2.3 経路検索・誘導	30
3.2.4 道路周辺状況・信号情報の提供	31
3.3 交通支援機能の提供	31
3.3.1 料金収受	31
3.3.2 信号管制・公共車両優先	33
3.3.3 車車間連携による高度運転支援	34
3.3.4 協調型自動運転	36
3.4 車両の管理機能の提供	38
3.4.1 遠隔アップデート	38
3.4.2 リモートメンテナンス	38
3.4.3 緊急通報	38
3.4.4 セキュリティ監視	39
3.5 交通関連サービスの提供	39
3.5.1 自動車保険	39
3.5.2 ライドシェア・配車サービス	40
3.5.3 遠隔運転支援サービス	40
3.5.4 モビリティ統合サービス	42
引用・参考文献	45

### 4. つながるクルマの通信技術

4.1 通信アーキテクチャ	47
4.1.1 つながるクルマの分散システム構成	47
4.1.2 つながるクルマの通信アーキテクチャ	48
4.1.3 通信ネットワークのトポロジー（接続形態）	51
4.1.4 セキュリティ	53
4.1.5 日米欧のアーキテクチャ	55



4.2	アクセス層	57
4.2.1	無線周波数	57
4.2.2	DSRC (狭域通信)	58
4.2.3	C-V2X (移動体通信網, セルラー V2X)	59
4.2.4	第5世代移動通信システム (5G)	60
4.2.5	60 GHz ミリ波	61
4.2.6	LPWA	61
4.3	ネットワーク&トランスポート層	62
4.3.1	インターネット・プロトコル (IP)	62
4.3.2	GeoNetworking	62
4.3.3	TCP/UDP	64
4.3.4	ベーシック・トランスポート・プロトコル (BTP)	65
4.3.5	WAVE・ショート・メッセージ・プロトコル (WSMP)	65
4.3.6	高速ネットワーク&トランスポート・プロトコル (FNTP)	65
4.4	ファシリティ層	66
4.4.1	ASN.1	66
4.4.2	CAM	66
4.4.3	DENM	69
4.4.4	BSM	70
4.4.5	CVSS メッセージ	72
4.4.6	5.8 GHz 帯 DSRC 情報接続サービスのメッセージ	74
4.4.7	DSSS メッセージ	74
4.4.8	MQTT	76
4.4.9	QUIC	76
4.5	ネットワークシステム	77
4.5.1	サーバ負荷分散手法	77
4.5.2	CDN	78
4.5.3	エッジコンピューティング (MEC)	78
4.5.4	ハイブリッド通信	79
4.6	課題とアプローチ	80
4.6.1	スケーラビリティ	80
4.6.2	通信の信頼性	80
	引用・参考文献	81

## 5. つながるクルマのプラットフォームと API

5.1	位置参照方式	84
5.1.1	緯度・経度・高さによる位置参照	85
5.1.2	ID を用いる位置参照	86
5.1.3	緯度・経度と補助情報を用いる位置参照	87

5.1.4	レーンレベルの位置参照	87
5.2	ADASIS	88
5.2.1	ADAS ホライゾンと ADASIS のアプリケーション	88
5.2.2	ADASIS のシステム構成	90
5.2.3	メッセージの種類と内容	91
5.2.4	メッセージの送信方法	94
5.3	SENSORIS	94
5.3.1	SENSORIS の概要	94
5.3.2	データの表現	96
5.3.3	データのエンコーディング	97
5.3.4	データメッセージの識別情報	98
5.3.5	データメッセージの内容	99
5.3.6	ジョブリクエストメッセージとジョブステータスメッセージ	100
5.4	W3C Vehicle API	100
5.4.1	W3C における自動車情報の標準化	101
5.4.2	W3C Vehicle API	101
5.5	Extended Vehicle	106
5.5.1	位置付け	106
5.5.2	構成	107
5.5.3	アクセス方法・API	108
5.5.4	データ構成	109
5.5.5	応用例	110
5.6	ダイナミックマップ	110
5.6.1	センサデータの意味解釈のための道路地図	111
5.6.2	ローカルダイナミックマップ	112
5.6.3	ダイナミックマップ	112
5.6.4	ダイナミックマップの利用例	114
5.6.5	ダイナミックマップがもつべき機能	116
5.6.6	高精度道路地図	117
5.6.7	物体のない領域情報の共有	120
5.6.8	静的情報から動的情報までの情報の統合のための機能	122
5.6.9	大規模データへのリアルタイム処理のためのアーキテクチャ	125
5.6.10	ダイナミックマップを用いた交通サービスの実装と実証実験	127
	引用・参考文献	129

## 6. つながるクルマのセキュリティとプライバシー

6.1	つながるクルマのセキュリティ	132
6.1.1	V2X セキュリティの基本構成	133

6.1.2	V2X 通信に対する脅威	135
6.1.3	V2X 通信のセキュリティ要件	136
6.1.4	V2X 通信のプライバシー要件	138
6.1.5	V2X 通信とセキュリティ機能	139
6.1.6	日米欧の V2X におけるセキュリティ認証管理の違い	142
6.1.7	V2X 通信プロトコルにおけるセキュリティ	148
6.1.8	V2N 通信プロトコルにおけるセキュリティ	150
6.2	つながるクルマとプライバシー	152
6.2.1	個人情報とロケーションプライバシー	152
6.2.2	つながるクルマのプライバシー保護	153
6.2.3	プライバシー保護技術とロケーションプライバシー保護	154
	引用・参考文献	155

## 7. つながるクルマのシステム例

7.1	VICS	158
7.1.1	VICS の概要	158
7.1.2	情報収集と情報処理・編集	159
7.1.3	情報提供	159
7.1.4	提供情報活用	161
7.1.5	道路の識別方法	161
7.2	ETC	162
7.2.1	ETC の概要	162
7.2.2	ITS スポットと ETC2.0	163
7.2.3	ETC2.0 プローブ情報	163
7.2.4	ETC2.0 情報の利用	164
7.3	DSSS / TSPTS と ITS Connect	165
7.3.1	光ビーコンによる DSSS と TSPTS	165
7.3.2	700 MHz 帯高度道路交通システム	166
7.3.3	ITS Connect	167
7.4	カーテレマティクス・サービス	168
7.4.1	インターナビ	168
7.4.2	NissanConnect / CAR WINGS	169
7.4.3	G-BOOK mX / T-Connect	170
7.4.4	スマートループ	171
7.5	HELPNET	171
7.6	つながるクルマ向けの地図サービス	172
7.6.1	TomTom Traffic	172
7.6.2	HERE Traffic	172

7.6.3	Google Map / Google Traffic	173
7.6.4	Yahoo! カーナビ	174
	引用・参考文献	174

## 8. つながるクルマの未来

8.1	つながるクルマの発展フェーズ	175
8.1.1	フェーズ0：直接センシング（通信なし）	176
8.1.2	フェーズ1L：狭域における現在の走行状態配信	176
8.1.3	フェーズ1G：広域における現在の走行状態収集／管理／配信	177
8.1.4	フェーズ2：現在の周辺状態配信	178
8.1.5	フェーズ3：将来の走行状態配信	179
8.1.6	フェーズ4：将来状態に基づく（局所的）走行調停	180
8.1.7	フェーズ5：広域交通流制御	180
8.2	未来の「つながるクルマ」サービス	181
8.2.1	「つながるクルマ」の先にある移動サービス革命	181
8.2.2	Synergic Mobility 構想とトヨタの e-PaletteConcept	182
8.2.3	複数サービスの統合にむけて	185
8.2.4	Synerex における複数サービスプロバイダの協調	187
8.2.5	スマートシティとの融合	188
8.2.6	つながるクルマによる社会変革	190
	引用・参考文献	190

索 引	191
-----	-----

# 1 交通と通信

本章では、交通と通信の歴史的な発展から「つながるクルマ」を位置付け、IoT や ITS など関連する用語を説明するとともに、つながるクルマの観点からみた通信技術における基本的な通信の構成要素やプロトコルについて解説する。

## 1.1 はじめに

交通を歴史的にみると、まず人・モノ・手紙（情報）を輸送するために道が作られ、そこから高速、大容量を求めて、徒歩から馬車、船舶、鉄道、自動車、そして飛行機へと、輸送のための交通手段が発展してきた。一方で、手紙の内容が符号化され情報に置き換えられることで、実体ではなく情報そのものを伝えることができるようになり、情報の輸送は人やモノの輸送手段と区別され、新たに通信という情報の輸送のカテゴリが誕生した。

通信においては、手紙だけではなく、古くは狼煙<sup>のろし</sup>や太鼓、あるいは手旗信号や腕木を利用して、遠隔地の情報を伝えることができた。その後、電気や電波を利用して文字情報を送信するテレグラフや電信が誕生し、現代の電話からインターネットに至るまで、通信においても、高速、大容量が求められるようになってきた。

交通と通信という観点では、つながるクルマは輸送手段である自動車に対して通信手段を用いて情報を配信あるいは収集するという二重構造とみることができる。また、遠隔地の情報を自動車において通信で取得することにより、より安全に効率よく人・モノを輸送することが可能となる。例えば、見通しの悪い交差点における歩行者の存在情報を取得できれば安全性が向上するし、渋滞や工事情報を取得して経路を変更することで効率が向上する。また、車両側の情報を送信することで、遠隔地から走行状態を監視したり故障診断を行ったりすることが可能となる。

自動運転では、車両に搭載されたカメラやレーダを利用して、道路や障害物、他車両や歩行者などの周辺環境を認識しながら走行するが、最新の高精度道路地図や信号情報の配信、緊急車両の接近、見通しの悪い交差点の歩行者などセンサでは直接検知できない対象物の情報などを取得する場合にも通信が利用される。また、合流や車線変更の際の複数車両間の調停や、自動では対応困難な状況における遠隔制御にも通信の利用が検討されている。

## 1.2 「交通」と「通信」という用語

交通 (traffic) とは、広い意味で人やモノ、情報が場所的に移動することである。人やモノの移動を輸送あるいは運輸と呼び、情報の移動を通信と呼ぶことが多い。例えば郵便の場合は、手紙に書かれた内容を重要とすれば情報の輸送ということで通信であり、小包など物品を輸送するのであれば運輸である。

英語では、輸送 (あるいは、運輸) は, transport (輸送の行為) あるいは transportation (輸送の手段) と訳される。一方、通信の英語は communication となるが、通信ネットワークの意味で network とする場合もある。また、人やモノ、あるいは情報に関して、どちらの移動も traffic となる。情報の移動の場合、日本語でトラフィックと記載される場合が多いが、総務省 (例: 電気通信事業法施行規則) や日本電信電話株式会社 (以下, NTT), 一部の学会 (例: 電子情報通信学会) では、トラヒックと記載される場合もある。

さて、遠隔地に情報を届ける手段として放送がある。ラジオやテレビで番組を配信することも放送であるが、ここでの放送 (ブロードキャスト) とは、単一の情報を一方向で同時に多数の通信機 (受信機) に届けることを指す。単一の情報を複数の通信機に届けるとき、1 対すべての場合をブロードキャスト、1 対複数の場合をマルチキャストと呼ぶ場合がある。本書で扱うつながるクルマにおいて通信とは、ブロードキャストやマルチキャストを含む場合もある

### 〈コラム: モバイル・ユビキタスコンピューティング, IoT, CPS〉

モバイルコンピューティングとは、一般にはノートパソコンなどを持ち歩いて移動先で利用することととらえられているが、研究分野においてはコンピュータ (特に組み込みシステム) が移動しながら何らかのアプリケーション<sup>はんちゅう</sup>を実行する場合を指す。後者の意味では、つながるクルマはモバイルコンピューティングの範疇に含まれる。

ユビキタスコンピューティングとは、利用者がコンピュータを持ち運ぶのではなく、多様なモノにコンピュータが内蔵され、利用者がどこにいても特に意識することなくコンピュータを利用することになるという概念である。つながるクルマがユビキタスに含まれるかは意見の分かれるところである。

IoT (Internet of Things, モノのインターネット) とは、さまざまなモノがインターネットに接続され情報交換することにより相互に制御する仕組みである。そして、CPS (cyber physical system) とは、実世界 (フィジカル空間) にある多様なセンサをネットワークで収集し、仮想世界 (サイバー空間) でデータ処理を行い、それをもとに再び実世界に作用するという概念であり、IoT と同じような見方である (日本では Society5.0 とも呼ばれる)。各車両にカメラなどのセンサを搭載し情報をやりとりする観点から、つながるクルマは IoT の一例ということもできる。また、現実世界における車両や人などの位置情報を仮想世界に位置付けられるインターネット上のクラウドで管理し、その情報を利用してドライバや歩行者に警告を発したり、車両を直接制御したりするつながるクルマの状況は、CPS の範疇にも含まれる。

が、基本的には1対1（ユニキャスト）であり、情報は双方向でやりとりされる手段を指す場合が多い。通信と放送に関して、詳細は1.5.4項で述べる。

一般に、通信機あるいは通信機能を搭載した機器（コンピュータ）を端末（ターミナル）あるいはノードと呼び、送信機を送信端末あるいは送信ノード、受信機を受信端末あるいは受信ノードと呼ぶ場合がある。また、つながるクルマにおけるノードをITSステーションと呼ぶことがある。

## 1.3 ITS について

ITS (intelligent transport system) とは、国土交通省の定義では、情報通信技術を用いて人と道路と車両とを情報でネットワークすることにより交通事故や渋滞などといった道路交通問題の解決を目的に構築される交通システム、となっている。

ITSの正式名称は、欧州では Intelligent Transport Systems<sup>1)†</sup>、米国では Intelligent Transportation Systems<sup>2)</sup>とされている。また、日本において ITS は知的交通システム、高度交通システム、国土交通省や総務省、関連団体では高度道路交通システム<sup>3),4)</sup>などと訳される。

ITSの研究開発に関して、日本では1995年2月に「高度情報通信社会推進に向けた基本方針」を政府が策定し、同年8月に関係5省庁である建設省と運輸省（現在は国土交通省）、警察庁、通商産業省（現在は経済産業省）、郵政省（現在は総務省）が連携して「道路・交通・車両分野における情報化実施指針」を策定し、ITSの開発分野や推進方針を公表した<sup>5)</sup>。これ以前の取組みとしては、1973年の通産省による CACS (comprehensive automobile traffic control system：自動車総合管制システム)、1980年代の建設省による RACS (road/automobile communication system：路車間情報システム)、警察庁による AMTICS (advanced mobile traffic information and communication system：新自動車交通情報通信システム) などがあり、1990年ごろの運輸省による ASV (advanced safety vehicle：先進安全自動車)、警察庁による UTMS (universal traffic management systems：新交通管理システム) などのプロジェクトを経て、現在の渋滞情報や規制情報を車両に提供する VICS (道路交通情報通信システム)<sup>6),7)</sup>、ETC (自動料金収受システム)<sup>8)</sup>、安全運転支援システム、公共交通・緊急車両・商用車などの交通管理、道路管理などに引き継がれている<sup>9)</sup>。また、関係省庁の取組みに加え、関係学会、団体、企業による推進協議会の位置付けとして、1994年1月に道路・交通・車両インテリジェント化推進協議会 (VERTIS) が組織され、2001年6月に ITS Japan と名称変更し、現在に至っている<sup>10)</sup>。一般に、1995年から2004年までを ITS ファースト・ステージ (実用化の推進)、その後2013年までを ITS セカンド・ステージ (普及・社会還元加速)、さらにその後を次世代 ITS (社会的課題への対応) と呼んでいる<sup>11)</sup>。

† 肩付き数字は巻末の引用・参考文献の番号を表す。

欧州では、1986年から自動車メーカー中心のPROMETHEUS（PROgraMme for a European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented Safety）、1998年から欧州共同体によるDRIVE（Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe）といった道路交通研究プロジェクトが開始されている。米国では1987年にMOBILITY 2000が非公式に組織され、その後の1991年に米国運輸省がIVHS AMERICAを発足させ、おもに渋滞緩和、安全性向上、環境改善を目標に取り組んできた。世界的には、1993年に国際標準化機構ISOにITSに関連する標準化を行う専門委員会（TC204）が発足し、活動を行っている。また、第1回ITS世界会議が1994年にパリで開催され、その後は1年ごとにアジア・パシフィック、北米、欧州と各地域で開催され、最新の研究開発やその導入などに関する成果発表が行われている。

ITSを交通と通信におけるシステム構成の観点からみると、人（特に、歩行者が持つスマートフォン）、道路（路側機）、車両（車載器）が情報を配信・共有する形態となるが、つながるクルマにおいては、車両を中心に通信ネットワークを利用して相互に情報をやりとりする形態であり、ITSの一部と捉えることができる。一方、交通状況に応じた信号制御、VICSにおけるFM多重放送による情報配信などの一方向の情報提供はITSの範疇に含まれるが、本書におけるつながるクルマには含まれない。

## 1.4 交通と通信の発展経緯

産業革命と呼ばれる産業（工業）の発展の経緯をみてみると、1700年代後半から1800年代前半（英国では1760年代から1830年代までとされる）の第一次産業革命では蒸気機関によって綿織物などの生産過程において技術革新が起こったために軽工業を中心に発展し、1800年代後半から1900年代前半にかけて起こった第二次産業革命では石油や電気などを利用した重工業（あるいは重化学工業）において大きな発展がみられた。第三次産業革命は、原子力エネルギーの利用による産業の発展とする立場もあるが、1900年代後半からのコンピュータやインターネットの登場による技術革新（情報革命、あるいはデジタル革命）を指す場合が一般的である。そして2011年にはドイツ政府による製造業のコンピュータ化、ネットワーク化の促進を目指したプロジェクトに関連する用語としてインダストリ4.0（Industry 4.0）が生まれ、これが第四次産業革命にあたとされている。

産業革命による産業の発展にならない、交通についての革命と呼ぶことができる事象を分類してみると、第一次交通革命は1800年初頭に蒸気機関車による交通機関が発明されたことであり、第二次交通革命は1800年代後半にガソリン自動車が生じ、1900年ころからT型フォードに代表される自動車が大衆に普及したとすることができる。第三次交通革命は、1.3節で示したような情報通信技術を利用したITSの登場と捉えることができ、さらに第四次交通革命は、CASE（Connected：コネクテッド、Autonomous：自動運転、Shared & Services：カーシェアリングと移動サービス、Electric：電動化）に代表されるMaaS（Mobility as a Service）の時



代の到来ということができよう。

通信における革命的な技術革新の経緯をみると、1832年にモールス電信機が発明され電信の技術が登場し、1870年代にベルの技術を利用した電話のサービスが開始された。1969年にインターネットの起源とされるARPANETの接続実験により四つの拠点がパケット交換のネットワークで接続され、1982年のTCP/IP標準化により現在のインターネット技術が広く利用され始めた。その後の1980年代の携帯電話技術のもととなるセルラーネットワークや1990年のWorld Wide Webの登場も通信技術における革新的な事象ではあるが、これらが統合され、無線通信機能がさまざまなモノに搭載された現代は、IoTの時代といわれている。

これらをまとめてみると表1.1となり、交通と通信の発展は産業の発展と少し関連していることがわかる。例えば、一般的な自動運転は車両に搭載したカメラやレーダなどのセンサで周辺を監視しその情報に基づいて車両を制御するが、車両に搭載されたセンサからでは、見通せる範囲の対象物は検知できても、見通せない範囲は検知できないため、交差点の出会い頭の衝突や物かげからの急な飛出しに対応することは困難である。そのため、道路に設置されたインフラや走行中のほかの車両のセンサ情報をネットワーク経由で取得し、安全性向上を目指すこともつながるクルマの目的の一つである。このような観点から改めて表をみると、交通と通信の技術革新にともなって新たな産業の基盤が構築され、社会全体の発展につながっていることがわかる。

表 1.1 産業・交通・通信の発展の経緯（カッコ内の年は代表的イベントが起こった年）

革 命	産 業（工業）	交 通	通 信
第一次革命 (18世紀後半から 19世紀前半)	蒸気機関による 軽工業（1760年）	蒸気機関車（1802年）	電信（1832年）
第二次革命 (19世紀後半から 20世紀前半)	石油・電気による 重工業（1865年）	ガソリン自動車 （1903年）	電話（1876年）
第三次革命 (20世紀後半)	コンピュータ・イン ターネットによる 情報産業（1990年）	ITS（1980年）	インターネット （1969年）
第四次革命 (21世紀前半)	Industry 4.0	CASE（MaaS）	IoT

## 1.5 通信技術の基礎

### 1.5.1 通 信 と は

通信とは何らかの手段（媒体）を利用して情報を伝達することである。例えば糸電話では、**図 1.1** に示すように一方の利用者の音声を糸の振動に変えて離れたところに送り、他方の利

1

2

3

4

5

6

7

8

# 索

# 引

<b>【あ】</b>	
アクセス層	48
<b>【い】</b>	
位置参照方式	85
一般社団法人道路交通情報通信システムセンター	29
一般データ保護規則	152
インターナビ	168
インターネット ITS 協議会	24
インターネット・プロトコル	62
<b>【え】</b>	
エッジコンピューティング	78
エッジサーバ	12
エレクトロニックホライズン	89
<b>【お】</b>	
欧州協調型 ITS クレデンシャル管理システム	147
オーソリティーテーブル	86
<b>【か】</b>	
カーテレマティクス	29, 168
仮名性	138
可用性	135
観察不可能性	138
完全性	135
<b>【き】</b>	
機密性	135
協調型 ACC	36
協調型 ITS	35
協調型システム	35
<b>【く】</b>	
クエリ言語	122
クラウドサーバ	12
<b>【け】</b>	
継続クエリ	122
経路検索・誘導サービス	30
現場急行支援システム	20, 34

<b>【こ】</b>	
公共車両優先システム	20, 34
高精度道路地図	117
高速ネットワーク & トランスポート・プロトコル	65
交通安全支援システム	165
コンソーシアム標準	21
<b>【さ】</b>	
差分プライバシー	155
<b>【し】</b>	
ジッタ	10
自動運転システム	29
自動車技術会	23
自動ブレーキ	19
自動料金収受システム	31
車間距離制御システム	35
車車間通信	12, 31
車線維持支援システム	35
車両感知器	26
車両のセキュリティ監視センター	39
準静的情報	113
準動的情報	113
情報銀行	153
情報通信技術委員会	23
自律型料金収受システム	32
信号管制	33
信号情報活用運転支援システム	33, 165
真正性	135
信頼性	9
<b>【す】</b>	
スケーラビリティ	80
スマートシティ	188
スマートループ	171
<b>【せ】</b>	
静的情報	113
責任追従性	137
接続形態	51
セミダイナミック補正	86

<b>【そ】</b>	
測地系	85
<b>【た】</b>	
ダイナミックマップ	31, 110
隊列走行	19
<b>【ち】</b>	
遅延	10
<b>【つ】</b>	
通行実績	28
通行止め情報	28
通信アーキテクチャ	47
<b>【て】</b>	
デジュール標準	21
データセンタ	12
デファクト標準	22
伝送速度	9
電波産業会	23
電波ビーコン	158, 160
<b>【と】</b>	
動的情報	113
道路課金システム	31
道路の区間 ID 方式	86
匿名性	138
トポロジー	51
<b>【に】</b>	
日本規格協会	23
日本測地系 2000	85
日本測地系 2011	85
日本道路交通情報センター	26
<b>【ね】</b>	
ネットワーク & トランスポート層	49
<b>【は】</b>	
ハイブリッド通信	79
パスロケーションシステム	30

## 【ひ】

光ビーコン	158, 160
否認防止	137
非連結性	138

## 【ふ】

ファシリティ層	50
フォーラム	24
フォーラム標準	21
ブロードキャスト	51
プロトコル	7
プローブ情報	16, 26
プローブ情報システム	25
プローブデータ	26

## 【へ】

ベーシック・トランスポート・ プロトコル	65
-------------------------	----

## 【ほ】

歩車間通信	12
-------	----

## 【ま】

マップマッチング	29
マルチホップ通信	52

## 【ゆ】

ユニキャスト	51
--------	----

## 【ら】

ライドシェア	40
--------	----

## 【り】

料金収受	31
------	----

## 【ろ】

ローカルダイナミックマップ	112
路車間通信	12, 31
路車間通信システム	34
路側機	12
路路間通信	14

## 【わ】

ワンショットクエリ	122
-----------	-----

## 【A】

ACC	19, 35
adaptive cruise control	19, 35
ADASIS	24, 88
ADAS ホライゾン	88
AECC	24
AGORA-C	87
ALS	32
Android Auto	16
ANSI	23
Apple CarPlay	16
area licensing scheme	32
ARIB	23
ASN.1	66
Autonomous EFC	32

## 【B】

BSM	70
BTP	65

## 【C】

C2C 通信	12
C2I 通信	12
C2X 通信	12
CACC	19, 36
CAM	66
CAR 2 CAR Communication Consortium	23
CAR WINGS	169
CDN	78
CEN	23
CENELEC	23
C-ITS	133
cooperative ACC	36
Cooperative Intelligent Transport System	133

CRP	87
C-V2X	59
C-V2X 通信	13
CVSS メッセージ	72

## 【D】

DENM	69
driving safety support systems	34
DRM 協会	87
DSRC	58
DSRC-SPF	148
DSRC セキュリティプラットフォーム	148
DSSS	34, 165
DSSS メッセージ	74
DTN	53

## 【E】

EFC	31
electric fee collection	31
electronic road pricing	31
electronic toll collection system	31
e-Palette	183
ERP	32
ERP2	33
ERTICO	24
ETC	162
ETC2.0	163
ETSI	23
ETSI TS 102 940 ~ 943	54
EU CCMS	147
EU C-ITS security credential management system	147
Extended Vehicle	39, 106

## 【F】

FAST	20, 34
FM 多重放送	158, 160
FNTP	65

## 【G】

G-BOOK mX	170
GDPR	152
GeoNetwork	62
GNSS	28
Google Map	173
Google Traffic	173

## 【H】

HELPNET	172
HERE Traffic	173

## 【I】

I2I 通信	14
I2V	12
IEC	23
IEEE	23
IEEE 1609 シリーズ	54
IETF	23, 100
IP	62
ISO	23
ISO 17572	85
ISO 21217	53
ISO TS 21177	150
ITS	3
ITS America	24
ITS Connect	31, 34, 142, 167
ITS Forum	23
ITS Forum RC-009	54
ITS Japan	24

ITS 情報通信システム推進会議 23

ITS スポット 163

ITU 23

IVI ユニット 15

**[J]**

JARTIC 26

JASO 23

JasPar 23

JGD2011 85

JISC 23

JSAE 23

**[K]**

k-匿名性 154

**[L]**

lane departure warning 35

LDA 35

l-多様性 154

**[M]**

MaaS 42

MEC 78

Mobility as a Service 42

MQTT 76

**[N]**

NDS 24

NissanConnect 170

**[O]**

OADF 24

OpenLR 87

OSI 参照モデル 7

OTA 17, 38

over the air 38

**[P]**

pay how you drive 39

PDS 153

personal data store 153

PHYD 39

pre-coded 方式 86

protobuf 97

PTPS 20, 34

public transportation priority system 34

**[Q]**

QUIC 76

**[S]**

SAE International 23

SAE J3061 54

SCMS 133

SENSORIS 24, 94

SENSORIS 車両座標系 96

SIP-adus 24

SOTA 17

Synerex 186

Synergic Mobility 182

**[T]**

TC204 23

TC22 23

T-Connect 170

TCP/UDP 64

the Security Credential Management System 133

TISA 23

TomTom Traffic 172

traffic signal prediction systems 33, 165

Trust Model 133

TSPS 33, 165

TTC 23

t-近似性 155

**[U]**

UNIX 時間 96

UTMS 23

UTMS 協会 23

**[V]**

V2G 21

V2I 通信 12

V2N2X 通信 14

V2N 通信 12

V2P 通信 12

V2V 通信 12

V2X 通信 12

vehicle security operation center 39

VICS 29, 158

VICS リンク 162

VSOC 39

**[W]**

W3C 23, 39, 100

WAVE・ショート・メッセージ・プロトコル 65

WGS84 85

World Wide Web Consortium 100

WSMP 65

**[Y]**

Yahoo! カーナビ 174

**[数字]**

3GPP 23

5 G 60

5GAA 24

700 MHz 帯高度道路交通システム 166

## — 編著者略歴 —

### 河口 信夫 (かわぐち のぶお)

名古屋大学未来社会創造機構教授, 名古屋大学大学院工学研究科情報・通信工学専攻教授。博士 (工学)。1990 年名古屋大学工学部電気電子工学科卒業。1992 年同大学大学院情報工学専攻博士課程前期課程修了。1995 年同専攻博士課程後期課程満了。同年名古屋大学工学部助手。1999 同大学工学研究科講師。2000 年同大型計算機センター助教授。2003 年同大学院情報科学研究科助教授。2009 年より名古屋大学教授。NPO 法人位置情報サービス研究機構 (Lisra) 代表理事, 株式会社ティアフォー取締役, スマート IoT 推進フォーラムテストベッド分科会長, 国土交通省新道路技術会議委員, 名古屋市交通問題調査会委員を歴任。

### 高田 広章 (たかだ ひろあき)

名古屋大学未来社会創造機構教授, 名古屋大学大学院情報学研究科情報システム学専攻教授および同研究科附属組込みシステム研究センター長兼務。博士 (理学)。1986 年東京大学理学部情報科学科卒業。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。1989 年東京大学理学部情報科学科教務職員, 1993 年同助手。1997 年豊橋技術科学大学工学部情報工学系講師, 2001 年同助教授。2003 年より名古屋大学教授。NPO 法人 TOPPERS プロジェクト会長, APTJ 株式会社代表取締役会長・CTO, 情報処理学会組込みシステム研究会主査, 内閣府 SIP 自動走行システム交通環境情報構築 TF 主査, 国土交通省交通政策審議会臨時委員を歴任。

### 佐藤 健哉 (さとう けんや)

同志社大学大学院情報工学専攻教授, 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組込みシステム研究センター特任教授兼務。博士 (工学)。1984 年大阪大学工学部電子工学科卒業。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。同年住友電気工業株式会社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。2001 年～2003 年米国 Automotive Multimedia Interface Collaboration, Inc. チーフテクノロジスト。2004 年より現職。国際標準化機構 (ISO)/ITS 専門委員会 (TC204) 日本代表, 総務省自律型モビリティ研究開発運営委員会委員長, 総務省コネクテッドカー調査検討会主査, ITS Japan 自動運転研究会リーダを歴任。

## つなぐるクルマ

Connected Vehicle

© Nobuo Kawaguchi, Hiroaki Takada, Kenya Sato et al. 2020

2020 年 11 月 16 日 初版第 1 刷発行



検印省略

編著者 河 口 信 夫  
高 田 広 章  
佐 藤 健 哉  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来真也  
印刷所 壮光舎印刷株式会社  
製本所 株式会社 グリーン

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社  
CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-02773-0 C3365 Printed in Japan

(柏原)



< 出版者著作権管理機構 委託出版物 >

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつと事前に、出版者著作権管理機構 (電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp) の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。