

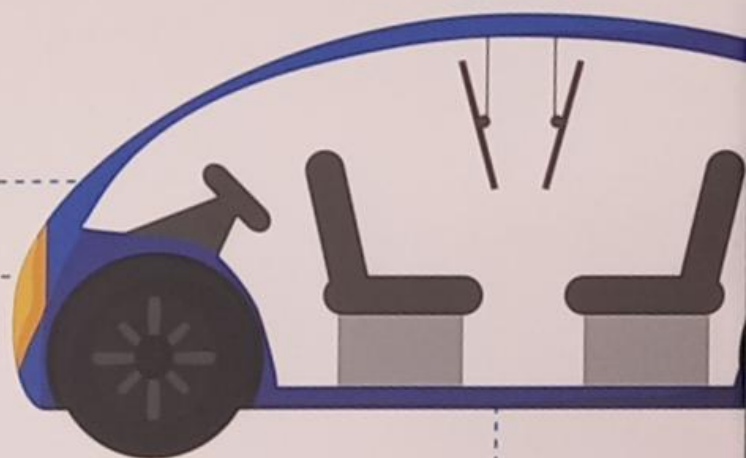
AUTOMATED DRIVING Systems and Technologies

自動 運転

第2版

システム構成と
要素技術

保坂明夫
青木啓二 共著
津川定之



森北出版株式会社

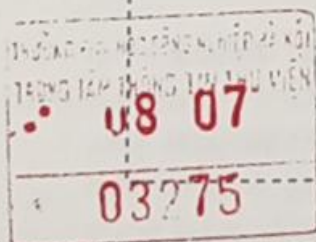
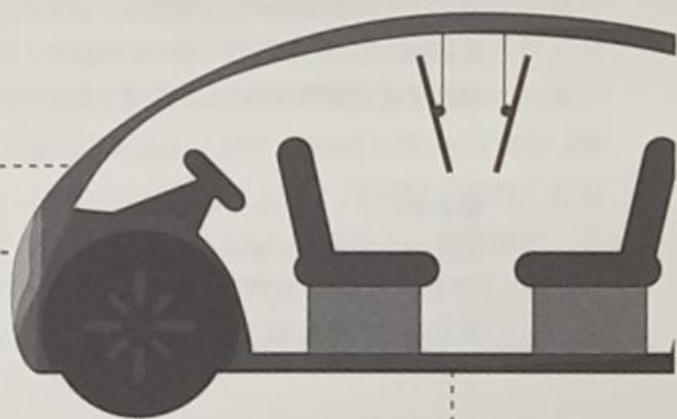
AUTOMATED DRIVING Systems and Technologies

自動 運転

第2版

システム構成と
要素技術

保坂明夫
青木啓二 共著
津川定之



森北出版株式会社

-
- 本書のサポート情報を当社Webサイトに掲載する場合があります。
下記のURLにアクセスし、サポートの案内をご覧ください。

<https://www.morikita.co.jp/support/>

- 本書の内容に関するご質問は、森北出版 出版部「(書名を明記)」係宛
に書面にて、もしくは下記のe-mailアドレスまでお願いします。なお、
電話でのご質問には応じかねますので、あらかじめご了承ください。

editor@morikita.co.jp

- 本書により得られた情報の使用から生じるいかなる損害についても、
当社および本書の著者は責任を負わないものとします。
-

- 本書に記載している製品名、商標および登録商標は、各権利者に帰属
します。

- 本書を無断で複写複製（電子化を含む）することは、著作権法上での
例外を除き、禁じられています。複写される場合は、そのつど事前に
(一社)出版者著作権管理機構（電話03-5244-5088, FAX03-5244-5089,
e-mail:info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。また本書を代行業者
等の第三者に依頼してスキャンやデジタル化することは、たとえ個人や
家庭内での利用であっても一切認められておりません。

はじめに

長い間、自動運転は自動車にとって究極の夢といわれてきた。社会ニーズの高まりと技術の進展により近い将来に実現されることが期待できるようになってきて、多くの関係者が積極的に研究開発に取り組むようになってきた。

本書は、自動運転が必要とされる背景、これまでの研究開発の取り組みの歴史、自動運転の技術、自動運転技術の応用、自動運転の課題についてまとめ、自動運転の研究開発に取り組む人達の基本的知識として利用していただくことを目的としている。教科書的に利用できるように自動運転の全体像を体系的に記述した。

自動車は、出発地から目的地までのトータルで考えると大変便利な交通手段であり、社会生活の高度化に大きく貢献している。しかし、その普及に伴い安全（交通事故）、交通渋滞、燃料消費、排気ガスなどの社会的課題が発生している。

現在の自動車は、運転に関する外界情報の検出と状況認識（認知）、状況ととるべき行動の判断（判断）、運転制御目標の生成（計画）、運転制御操作（操作）などの情報処理と操作のほとんどすべてをドライバが行っている。人間は大変優れた情報処理能力と操作能力をもっているが、人間の能力や注意力には限界があり、多くの問題の主要因となっている。たとえば、安全について、事故の原因はドライバの発見の遅れや判断の誤りによるものが9割以上といわれている。交通渋滞についてもドライバに起因することが多い。その結果、燃料消費、排気ガスなどの悪化をまねいている。

運転の基本機能は、人間の行動の基本機能と同じく「認知」「判断」「計画」「実行（操作）」である。自動車関係者の間では、これらの機能を「認知」「判断」「操作」としてまとめることが通例であるので、判断と計画を一つにまとめて扱う。自動車が、これらの機能のほとんどすべてをドライバに代わって行う高度な機能を備えることで、ドライバの運転を支援・代行して安全で、円滑で、環境に調和した自動車交通を実現する「自動運転」の早期実現が期待されている。

本書で扱う自動運転システムは、車両の縦方向制御（加速、減速、速度制御）と横方向制御（車線維持、車線変更）をシステムが自動で行うものである。その際に、人間（ドライバ）が運転席にいていつでもすぐに運転を取って代わることができるように注意しているシステムから、ドライバは通常は運転から解放されているが環境や交通状況などから自動運転継続が困難であるとシステムが判断してドライバに運転を戻すシステム、さらにすべて自動でシステムが行うもの（完全自動運転）まで含める。車の自動運転が役立つところは広範囲で、道路を走る車だけでなく、工場や飛行場な

と特別に専用の環境が確保されている場所の車や戦場の地雷原のような危険な場所を走る車、さらに惑星探査の車など多くの場面における自動運転が開発されているが、本書は道路を走行する自動車の自動運転に限定して述べる。

運転に関する機能は、目的やすべきことが決まったあとにリアルタイムに実行する反射的機能（小脳的機能）と、運転を開始する前あるいは運転中に今後の行動を考えて実行する思考的機能（大脳的機能）の二つがある。これまでの研究開発や近い将来の実用化は前者が対象であるので、本書でも主に前者を対象として記述するが、運転のすべてを自動化する場合は後者も必要になる。今後の課題などは後者も含めて記述する。

著者は、1970年代の知能自動車から PVS (Personal Vehicle System)、IMTS (Intelligent Multimode Transit System)、AHS (Advanced cruise-assist Highway Systems)、さらにエネルギー ITS などの多くの自動運転システムの研究開発や関連プロジェクトに長年たずさわってきた。本書は、それらにおける経験・知見をもとに執筆されている。

2015年5月

著者

■改訂版発行にあたって

本書の初版を上梓したのは2015年のことであったが、幸いにして多くの読者に恵まれ、3刷を重ねることができた。ところが、その後の研究開発の進展が著しく、自動運転の基本的なシステム構成や要素技術は変わらないものの、運転支援システムの商品化が進み、実用化を見据えた自動運転システムの実証実験が多く実施されている。技術面では人工知能の活用、センシング機能の向上、制御技術の高度化などが進んでいる。また、自動化レベルの共通理解が進み、関連する標準・基準・法規なども整備されつつある。一方で、高度の自動化には多くの課題があることも明らかとなっている。これらの状況をふまえ、このたび改訂版を上梓することとなった。

なお、本書第2版では、ヒューマンドライバが運転中に行う認知、判断、操作の一部を機械が代行するものを「運転支援」、認知、判断、操作の全部を機械が代行するものを「狭義の自動運転」、**「運転支援」と「狭義の自動運転」をあわせて「広義の自動運転」と定義している。**

2019年3月

著者

目次

第1章 自動運転の概要	1
1.1 自動車交通の現状と課題	1
1.1.1 安全（交通事故）の問題	1
1.1.2 渋滞の問題	3
1.1.3 燃料消費の問題	4
1.1.4 快適・利便に関する問題	5
1.2 自動運転の目的・ニーズ	6
1.2.1 安全性の向上	6
1.2.2 渋滞の削減	10
1.2.3 燃料消費の削減	11
1.2.4 人間が運転困難、不可能な場面での運転	15
1.2.5 快適・利便性の向上	16
1.3 自動運転に求められる機能	17
1.4 自動化レベル	18
1.4.1 機能構成	18
1.4.2 自動化レベルの要素	19
1.4.3 自動化レベルの定義	20
1.4.4 機器構成	23
コラム 自動運転車のハンドル	24
第2章 自動運転システムの歴史	26
2.1 第1期：路車協調方式の自動運転システム	27
2.2 第2期：自律方式自動運転システム	28
2.3 第3期：ITS プロジェクトにおける自動運転システム	30
2.3.1 ヨーロッパの自動運転システム	30
2.3.2 アメリカの自動運転システム	31
2.3.3 我が国の自動運転システム	34
2.4 第4期：実用化を目指す自動運転システム	34

2.4.1	路線バスの自動運転	34
2.4.2	大型トラックの隊列走行	35
2.4.3	新しいコンセプトの自動運転	36
2.4.4	小型低速車両の自動運転	38
2.5	第5期：商品化を目指す自動運転システム	38
2.5.1	Googleの自動運転車	39
2.5.2	自動運転乗用車の商品化	39
2.5.3	自動運転トラックの商品化	40
2.6	運転支援システム実用化の略史	40
コラム	技術史から学ぶ—温故知新	42
第3章 自動運転のための技術		44
3.1	自動運転システムの構成	44
3.2	センシング技術	46
3.2.1	自車位置のセンシング	46
3.2.2	外界センサ	55
3.2.3	インフラセンサ	70
3.3	路車間通信と車車間通信	73
3.3.1	路車間通信システム	74
3.3.2	車車間通信システム	75
3.4	制御コンピュータ	78
3.5	走行制御技術	79
3.5.1	横方向制御	79
3.5.2	縦方向制御	85
3.5.3	大局的な経路計画	89
3.6	判断に求められる技術	92
3.6.1	判断の基本的な考え方	92
3.6.2	基本的な衝突回避判断の例	92
3.6.3	計画の基本的な考え方	96
3.6.4	基本的な計画の例	96
3.6.5	HMI	97
3.7	操作に求められる技術	100
3.7.1	ハンドル自動制御	100

3.7.2 電子ブレーキ制御	101
3.8 認知・判断・操作にまたがる AI 技術の発展	103
3.8.1 AI とは何か	104
3.8.2 自動運転に AI が必要な理由	104
3.8.3 最近の AI の特徴 — ディープラーニング	105
3.8.4 AI の適用例	107
3.8.5 AI の課題	109
コラム 自動運転車と人間のレース	110

第 4 章 自動運転システムの実例 111

4.1 安全性の向上の事例	111
4.1.1 安全のための縦方向制御	111
4.1.2 安全のための横方向制御	112
4.1.3 安全のための交差制御	114
4.1.4 その他の安全システム	115
4.1.5 市街地走行	115
4.1.6 協調走行システム	119
4.1.7 ドライブモニタと健康状態不良時の自動停車	121
4.2 効率化の事例	123
4.2.1 グリーンウェーブ運転支援システム	123
4.2.2 ACC によるサグ渋滞軽減	123
4.2.3 トラック隊列走行	124
4.2.4 乗用車の隊列走行	129
4.3 バスの自動運転	131
4.3.1 専用軌道バスの自動運転 (IMTS)	131
4.3.2 プレジジョンドッキング	133
4.4 小型低速車両による公共交通機関	134
4.4.1 小型電気自動車によるカーシェアリング車両の回収	135
4.4.2 博覧会での小型低速車両の自動運転	135
4.4.3 CityMobil, CityMobil 2, EasyMile 社 EZ10	135
4.4.4 道の駅を拠点とした自動運転サービス実証	137
4.5 道路作業車	138
4.5.1 除雪車	138

4.5.2	トンネル作業車	140
4.6	快適・利便性の向上の事例	142
4.6.1	自動駐車	142
4.6.2	自動バレー駐車	142
4.6.3	渋滞自動走行	144
コラム	自動車制御技術のキープレーヤーの変化	145

第5章 自動運転の課題

147

5.1	アーキテクチャの課題	147
5.2	技術的課題	148
5.2.1	センシングの技術課題	148
5.2.2	判断・計画に関する技術課題	152
5.2.3	セキュリティの技術課題	154
5.2.4	ソフトウェアの技術課題	155
5.3	ヒューマンファクタに関する課題	156
5.3.1	運転支援のありかた	156
5.3.2	自動化レベル3に特有の課題	157
5.3.3	フェールセーフとフルプルーフの課題	157
5.4	非技術的課題	158
5.4.1	道路交通制度	158
5.4.2	社会の受容性	160
5.4.3	個人の受容性	161
5.4.4	道路インフラなどの環境	161
5.4.5	ビジネスや普及促進	162
5.4.6	標準・基準・法規	162
5.4.7	自動運転システムにおける倫理上の課題	164
5.5	研究開発と実験評価	165
5.5.1	エンジニアリングモデル	165
5.5.2	実験評価の課題	166
	おわりに	170
	参考文献	171
	さくいん	178