

はじめに

私の本業は自動車ジャーナリストです。ではなぜ、自動車ではなく自転車、それもロードバイクに関する書籍を書いたのか不思議に思われる読者もおられることでしょう。それには2つの理由があります。

私が中学生の時に日本でロードバイクブームが起こり、父にねだって買ってもらい、毎日のように乗っていました。そして高校生になりオートバイ、社会人になってクルマに乗るようになって一時は自転車から遠ざかったものの、MTBの流行で再び自転車に乗るようになり、都内の移動に自転車を活用するようになりました。そこから再びロードバイクに乗るようになって以来、人類が発明した中でも最も効率の高いモビリティと言える自転車に魅了され、クルマと併用しつつロードバイクを愛用するようになりました。これが1つめの理由です。

2つめは、ロードバイクには、極めて緻密なメカニズムと高価な素材や最先端の素材がふんだんに使われており、理系の自動車ジャーナリストである私の興味を非常に惹きつけました。取材をしていくなかで、ロードバイクの素材や製法について、もっと注目してもよいのではないかと感じました。なぜならロードバイク関連ではフィジカル面を解説した書籍は数多くありますが、ロードバイクの素材や製法について解説した書籍はあまり見かけなかったのです。よって、本書の執筆に思い至りました。

ロードバイクの高性能ぶり、スポーティなルックスに魅せられている方々に、もっとロードバイクの「機械的魅力」の奥深さを知っていただきたい。そんな思いを込めて、本書を書き上げました。あまり難しくならないよう、中学生の方でも興味があれば理解してもらえる内容にしています。

本書をきっかけに、先端素材や機械工学の世界にも興味をもっていただけたら、それは著者冥利に尽きるといえるものです。

高根英幸

はじめに 3

ロードバイクの各部名称 8

第1章

ロードバイク の歴史

- 1▶自転車の誕生～競技によってロードレーサーへ発展 9
- 2▶軽量化を追求して構造や素材が進化 14
- 3▶日本におけるロードバイクの歴史 17

第2章

ロードバイクの エネルギー効率は どれくらい高いか

- 1▶ロードバイクほど効率の高い乗り物はない！ 23
- 2▶一般的な自転車であるママチャリとの比較 25
- 3▶速度を出すほど安定する高重心デザイン 28
- 4▶ジョギングなどと運動強度と効率を METs で比較 29

第3章

ロードバイクの カーボンフレームが もつ可能性

- 1▶形状（構造）と素材がフレームの特性を決定づける 33
- 2▶カーボンフレームは自由自在に特性を設計できる 36
- 3▶カーボンフレームは高価なものほど優れているか 39
- 4▶カーボンフレームに寿命はあるか 40
- 5▶カーボンフレームは修理できるモノか 42

第4章

カーボンフレームに使われる素材

- 1▶カーボンファイバーとは何か 45
- 2▶カーボンファイバーにも種類がある 47
- 3▶カーボンファイバー以外の素材も組み合わせられる 52
- 4▶なぜ日本製のカーボンファイバーが優れているのか 54
- 5▶カーボンファイバーはグレードにより使い分けされる 55
- 6▶カーボンファイバーをより軽く強くする工夫 57

第5章

CFRPの製法の種類

- 1▶カーボンモノコックでも、作り方はいろいろ 61
- 2▶CFRPとして成形するための樹脂について 65
- 3▶内圧成形法やマッチドダイなど様々な製法 70
- 4▶オートクレーブによるドライカーボンの製法が最高峰 70
- 5▶ロードバイクでは珍しいRTM製法 72
- 6▶ウエットでも高性能な製品を実現可能な、インフュージョン成形法 75
- 7▶近い将来、カーボンフレームが一番安いグレードになる!? 78

第6章

ロードバイクフレームの金属素材

- 1▶アルミ合金でも種類は豊富で特性も様々 81
- 2▶クロモリ=鉄ではない、奥深いスチールの世界 85
- 3▶チタンという金属の可能性 91

- 4▶ マグネシウムは将来、活用される金属になるか 93
- 5▶ 竹やマホガニーといった木製フレームも存在する 94
- 6▶ ロードバイクフレームの表面仕上げについて 95

第7章

ロードバイクの 安全性

- 1▶ ロードバイクにも衝撃を吸収する能力がある 101
- 2▶ ロードバイクは見た目よりもずっと強度が高い 105
- 3▶ ロードバイクの安全基準 EN から SBBA、ISO へ 106
- 4▶ ロードバイクのフレームにかかる応力 113

第8章

フレーム形状の 動向

- 1▶ ダイヤモンドフレームからの進化に制約 119
- 2▶ スローピングフレームによりコンパクトで高剛性化 122
- 3▶ メガチューブは加工技術と素材が生んだ効率追求のかたち
124
- 4▶ 最も大きな力を受ける BB 回りの進化 126
- 5▶ カーボンフォークにより安全性、快適性が大幅向上 128
- 6▶ エアロ形状がどこまで進化していくか 129
- 7▶ ブレーキも車体に合わせて進化してきた 131

第9章

ロードバイクの 最近の進化

- 1▶ フレームにアルミ合金、CFRP 導入で超軽量化 135
- 2▶ 軽量化の次は空力特性へ、エアロードの登場 139

- 3▶新ジャンル、人気のグラベルロードとはどんな仕様か 142
- 4▶電動アシストロードバイクという乗り物 145

第10章

コンポーネントの 進化の歴史

- 1▶変速機登場後も競技へはなかなか実戦投入されず 147
- 2▶カンパニョーロがコンポを発明、シマノが続く 149
- 3▶ブレーキレバーにシフターを組み込んだ革命的進化 151
- 4▶キャリパーブレーキもデュアルピボット化で進化 154
- 5▶シマノの巧みなグレード戦略、追随するカンパニョーロ 157
- 6▶電動化がもたらす、ギアシフト革命 161

第11章

ホイールの歴史と 近年の進化ぶり

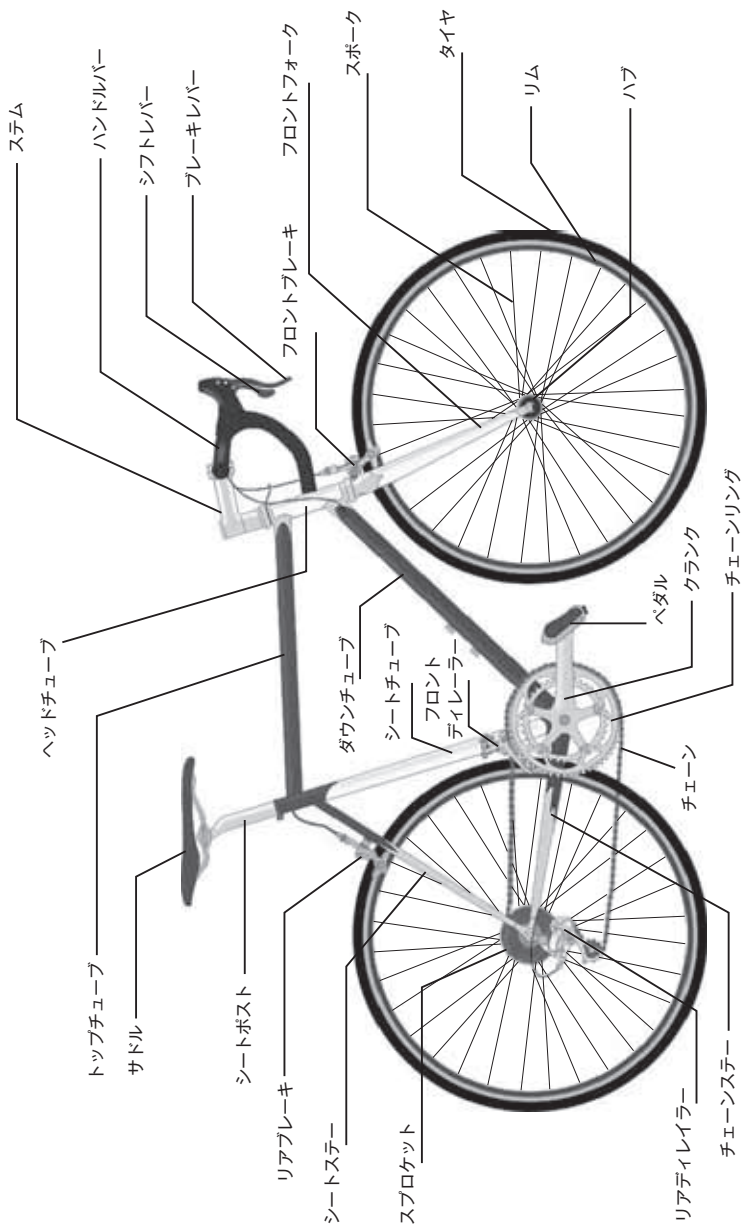
- 1▶フレームの進化に合わせてホイールも進化 165
- 2▶ホイールの空気抵抗軽減における進化 168
- 3▶リム形状と素材による機能、効率の違い 171
- 4▶タイヤはサイズアップの一方で軽量化も進む 174
- 5▶ハブの構造も近年、進化してきた 176

参考文献 181

協力 182

おわりに 183

ロードバイクの各部名称



第 1 章

ロードバイクの歴史

1 ▶ 自転車の誕生

～競技によってロードレーサーへ発展

自転車がこの世に生まれたのはクルマより早く、今から200年前と言われている。1816年に誕生したドライジーネと呼ばれるその乗り物は、ほとんどが木製で、まだホイールを駆動するシステムがなく、またがって足で地面を蹴ることで進ませるものだった。

それでも、当時の駅馬車と50kmの競争をして勝利したという記録もあり、37kmを2時間半で走り切ったとも言われている。

当時の駅馬車は、多くの人を乗せて運ぶ列車のような役割であり、決して速い乗り物ではなかったが、それでも人力で長距離を馬車よりも速く移動できたことは、早くも自転車としてのポテンシャルの片鱗を感じさせたようだ。

ちなみに、このドライジーネは、ドイツの発明家、カール・フォン・ドライス男爵が考案したものだが、そのきっかけとなったのは、インドネシアのタンボラ火山が1815年に大噴火を起こし、その噴煙が欧州の空まで覆って、



図1-1

日本の自転車文化センターが所蔵するドライジーネ。後に再現されたレプリカだが忠実に複製されており、誕生当時の仕様を知ることができる。ほとんどの部品は木製で、足で地面を蹴って進むものだが、時速12kmで走行できたと言われている。

画像提供：自転車文化センター

世界的に日照時間が減少して牧草が成育不良となって、馬が飼料不足で減少してしまったことだった。馬を乗り物として使えなくなったために、足で蹴ってバランスを取りながら進むドライジーネが考え出されたのだ。

しかもこのドライジーネは、イタリアの芸術家レオナルド・ダ・ヴィンチのスケッチブックに挟まっていた、彼の弟子が描いたと思われる乗り物がヒントになったと言われている（諸説あり）。15世紀頃にダ・ヴィンチらがイメージした乗り物が、400年の時を経てようやく現実の自転車の祖となったのである。



図1-6

ナショナル(現パナソニック)が販売していたスーパーカー自転車。前輪の両側に付いたヘッドライトとトップチューブのシフトレバー、テールランプなどが特徴で、スポーツサイクルとしては、重量は重くなってしまいが、当時の少年たちの憧れの自転車であった。

写真：筆者撮影

これは戦後のサイクリングブームよりも数段大きなムーブメントであり、雑誌など情報の充実もあって、趣味としての入り口がグンと広がっていた。ようやくスポーツ車を庶民が手に入れられるようになったのは、この時期からと言ってもいいだろう。

そんなロードバイクとは別のスポーツ車として1970年代当時、セミドロップハンドルのスポーツ車にディスクブレーキやブレーキランプ、ウインカーやクルマのAT風のシフトレバーなどを備えた「スーパーカー自転車」が登場し、中高生の憧れの的となる。こちらはダイヤモンドフレームに外装変速機を備えるなど、スポーツ自転車としての要素もあったが、フレーム素材は普通鋼などで電装品を搭載していることから、乾電池を使用することもあって、重量も重くなる。それに伴って強度を確保するために、さらに重くなるとい

第2章

ロードバイクのエネルギー 効率はどれくらい高いか

1 ▶ ロードバイクほど 効率の高い 乗り物はない!

自転車は人類が発明した中で、最もエネルギー効率が高い乗り物と言える。では、実際にはどれくらい効率が高いかは、ご存知だろうか。

ガソリンなどの燃料を使ったクルマや飛行機、船などと比べて、はるかに高い効率を誇っているのは当然だが、自転車は1km走るのに4kcalしか必要としない。何と徒歩よりも4倍も効率が良いのである。

しかもこれは一般的な自転車による数値で、ロードバイクとなるとさらにエネルギー効率は高くなる。

ただし、クルマや飛行機の技術革新はここ20年ほどで目覚ましいものがあり、特に燃費改善に関しては格段の進歩を遂げている。また、こうして図を見てみると、空を飛んでいる旅客機の燃費が意外と良いことに気付いた人も

エネルギー効率の比較

重量1gあたりの1km移動に要するエネルギー

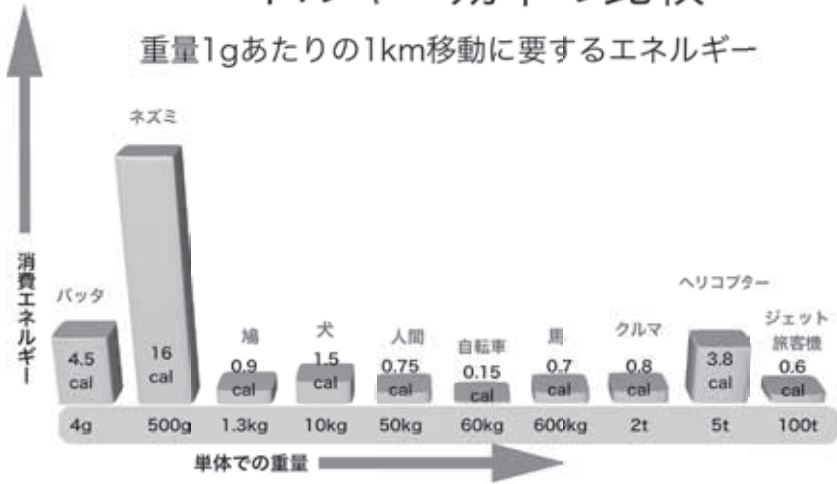


図2-1

重量1gあたりの1km移動するために必要なエネルギーを比較したグラフ。動物でもエネルギー効率から見ると低いものもあり、そうした種は1日の摂取エネルギーも体重から見ると比較的大きい。

図：自転車博物館サイクルセンターHPの情報を参考に作成

多いのではないだろうか。

ヘリコプターは、飛び続けるためにはローターを回転させて機体を浮かび続けさせなければいけないので、あまり効率は良くないのだが、飛行機は速度を出すことによって翼に揚力が生じるので、速度や高度が上昇してしまえば、飛び続けることで効率が高まる。

さらに、高度1万m近くの上空では空気が薄いことから、空気抵抗も少なくなる。これによって燃料の消費を抑えて、飛び続けることができるようになるのだ。

しかもロードバイク同様、航空機もアルミ合金からカーボンファイバーへとメイン素材を転換することにより、大幅な軽量化と造形の自由度が高められることで快適性の改善が図られており、燃費は20%も向上している。ただし航空機は一度にたくさんの人間を運べることによって、エネルギー効率を



図3-1

ラグにより接合されたクロモリフレームの例。溶接技術が現在ほど高くなかった時代に考案され、1980年代まで長く使われた技法である。現在では手間が掛かり、価格が上昇してしまうため、クロモリフレームでもラグレスが一般的になりつつある。

写真：筆者撮影

発生しにくいとする、極めて合理的な構造である。だからこそ、100年以上もほぼそのままのデザインで作られ続けているのだ。

ロードバイクは長い間、スチール製のパイプをラグと呼ばれる継ぎ手にロウ付けすることで、パイプ同士を接合する製法を用いていたため、ダイヤモンドフレームは製作しやすいだけでなく、軽く強靱で、サイクリストの体格に合わせてサイズを調整しやすいなど、利点も多い。現在もクロモリ鋼製フレームでは、この伝統的な製法も受け継がれているが、溶接技術が向上した現在は、スチール製でもパイプ同士を直接溶接するラグレスフレームも広く使われるようになった。

Contour Plot
Composite Failure Index(Failure Index)

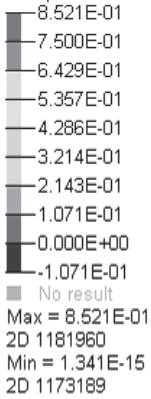


図3-6

CFRPスペシャリストの1社である東京R&DによるCFRP構造最適化技術での解析結果。十分に軽量で強靭なカーボンフレームでもこうした解析技術により、さらに軽量化、低コスト化が追求できる。このようにカーボンフレームは全体の剛性がバランスされているため、修理によって部分的に補強されてしまうと、その周辺に応力集中が起こり、破壊につながりかねない。

出典：東京R&D



図4-4

完成したカーボンフレームを切断して内側の高い仕上がりを見せたもの。樹脂が表面に余っていると重くなってしまう。またカーボンファイバーが燃れていたり、シワが入っていたりするような状態では、強度や剛性が低下してしまう。

写真：筆者撮影

近年、低価格帯のロードバイクにもカーボンフレームが普及し始めているが、これは、価格が安い中国製や韓国製などのカーボンファイバーを素材に選び、樹脂の含有量など、重量面での品質もある程度緩和して、生産性と特性のバランスをとることで低コストを実現させている。

さらに、低価格なカーボンフレームの場合、製作する作業員の技術力もそれほど要求されず、歩留まりも良いため、量産効果により低価格が実現しているのである。

したがって、軽量性という意味では、高価格帯のカーボンフレームには敵わないものの、中級グレード以下のカーボンフレームも十分に高性能で、耐

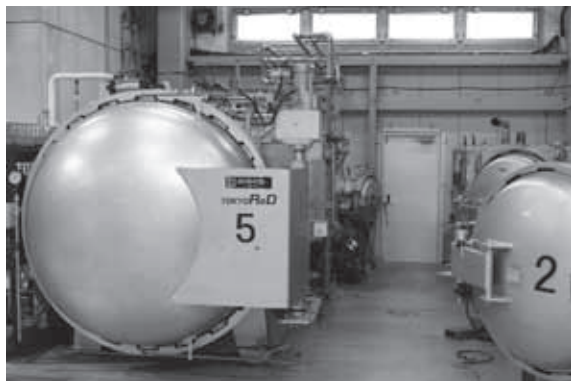


図5-2-1

オートクレーブは圧力釜のようなもので、密閉性の高い容器と加熱するヒーターによって構成されている。温度と圧力を管理しながら熱硬化樹脂を焼き固めるための機器だ。
写真：筆者撮影

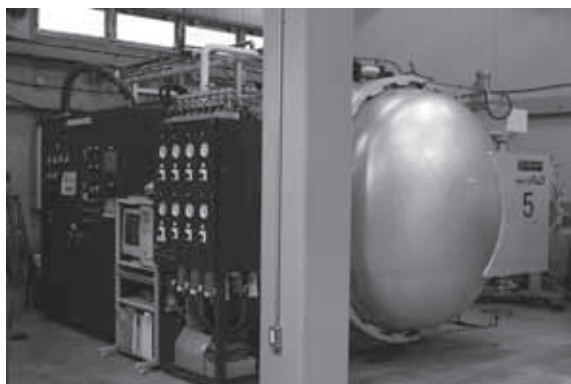


図5-2-2

圧力釜本体の横には、圧力と温度を管理して制御するための装置が置かれている。オートクレーブによる硬化は、内部の空気を暖めて温度と圧力が上昇し、CFRPのワーク（加工物）に熱が伝わり切って硬化を完了させ、再び温度と圧力を下げて取り出せるようになるまで、かなり時間を要する。そこで、制御のための装置が重要なのだ。
写真：筆者撮影

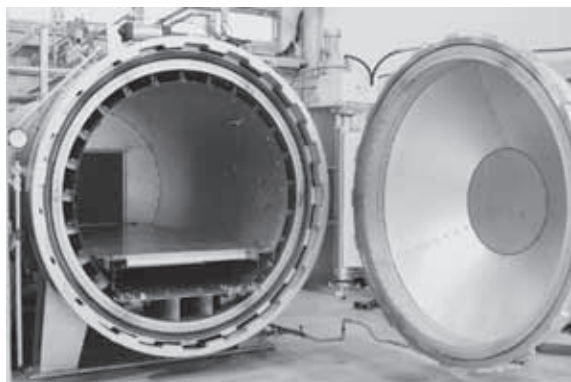


図5-2-3

釜の内部は二重構造になっていて、内部の空気が循環するようになっている。どのようにワークを並べ、温度や圧力の上昇具合を調整するのか、製作を担当する作業者の技術やノウハウが仕上がりに影響する。
写真：筆者撮影



図5-4-3(上)、図5-4-4(下)

トレックは金型により部分ごとに製作し、エポキシ系の接着剤で接合してフレームを作り上げている。ロードバイクのフレームは、複雑な構造のため1回の成形でフレームを完成させることは難しい。そのためメーカーにより何箇所かに分割して成形したものを接合しているが、その分割の箇所や分割数に関してはメーカーによって考え方が異なる。

写真：筆者撮影



図 11-9

スルーアクスルとディスクブレーキをもつロードバイクの例。レバーを回転させてアクスルを抜き取ってホイールを交換する。剛性が高く、安定性に優れるだけでなく、回転抵抗もより少なくできるのがスルーアクスルのメリットだ。
写真：筆者撮影



図 11-10

剛性が高く、回転抵抗を減らせるスルーアクスルが普及してきただけでなく、リヤホイールの支持方法にも変化が現れてきた。幅広い使い方ができるグラベルロードでは、目的に合わせてホイールベースを調整できる機構を搭載したモデルまで登場してきているのだ。
写真：筆者撮影

■参考文献

David Gordon Wilson *Bicycling Science* THE MIT PRESS 2004

仲沢 隆『ロードバイク進化論』樫出版社 2010年

服部四士主『自転車の科学』講談社 1982年

ふじいのりあき『ロードバイクの科学』スキージャーナル 2009年

近藤政市『二輪車の力学』自転車技術研究所 1962年

トム・アンブローズ著 甲斐理恵子訳『50の名車とアイテムで知る図説自転車の歴史』原書房 2014年

『ヴィンテージロードバイクーロードバイク100年の歴史』樫出版社 2003年

マックス・グラスキン著 黒輪 篤嗣訳『サイクル・サイエンス 自転車を科学する』河出書房新社 2013年

■協力（順不同）

一般財団法人 自転車産業振興協会 技術研究所
一般財団法人 自転車普及協会 自転車文化センター
株式会社グラフィイトデザイン
株式会社シマノ
株式会社東京アールアンドデー
サイクルモード・インターナショナル
パナソニック サイクルテック株式会社
ブリヂストンサイクル株式会社
マツダ株式会社

おわりに

本書の執筆を思いついたのは、もう10年も前のことだ。本業である自動車ジャーナリストとしてクルマ関連の記事を書きながら、並行してロードバイクについての取材と執筆を進めていた。そのさなか、思いもよらないことが起こった。2011年3月11日の東日本大震災である。震災時に被災地でのガソリン不足が大きな問題となり、ますます低燃費自動車への社会的要求も高まったこともあって、ロードバイクの本は中断して、エコカー技術に関する単行本を刊行することになったのだ。結果として、ここで一度刊行予定は消滅してしまった。

しかし、その後もロードバイクの取材は続けていた。そしてグランプリ出版会長の小林謙一氏、社長の山田国光氏のおかげもあり、ふたたび刊行に向けて執筆を始められたのである。

ところが、今度は世界的な新型コロナ禍である。すでにほとんどの取材は終えていたとはいえ、全国に緊急事態宣言が発出となり、外出自粛、イベント中止による影響も少なくなかった。原稿を書き進めて、脱稿が見えた頃に再度取材に行こうと思っていた自転車文化センターとその別館である科学技術館内の自転車広場は臨時休館となり、歴史的な自転車を収録することは難しいかと思われた。

しかし、自転車文化センターのスタッフの方々のご尽力で、所蔵自転車の画像を提供してくださることになり、本書に収録することができた。自転車文化センターの皆様には感謝申し上げたい。

自転車産業振興協会 技術研究所の坪井所長にも本当にお世話になった。取材時の対応から、ISO規格の確認、貴重なご自身の資料をご提供いただくなど、同氏のご協力を得られなければ、この本は成り立たなかった。この場を借りてお礼申し上げたい。さらには、取材でお世話になったメーカー各社の皆様にも深く感謝申し上げる。

そして本書の担当編集者である木南ゆかり氏の手綱捌きが絶妙であったことも記さねばならない。これまで30年もの間、様々な編集者と仕事を共にしてきたが、彼女ほど著者に筆に向かわせるモチベーションを保たせ、適確に要望を伝えてくる編集者はそうはいない。日々の仕事に押し潰されそうになりながらも、隙間時間を捻り出して筆を進ませられたのは、すべて氏のおかげと言っていい。

前述のように何度も困難に直面しながらも諦めずに熟考して執筆を進めて、ようやく刊行の運びとなったことは、文字通り感慨無量の心境である。あらためて、関係者の皆様には感謝申し上げる。

高根英幸

〈著者紹介〉

高根英幸 (たかね・ひでゆき)

1965年東京生まれ。芝浦工業大学工学部機械工学科卒。日本自動車ジャーナリスト協会(AJAJ)会員。これまで自動車雑誌数誌でメインライターを務め、テスターとして公道やサーキットでの試乗、レース参戦を経験。現在は『日経 Automotive』、『モーターファンイラストレーテッド』、『クラシックミニマガジン』など自動車雑誌のほか、Web 媒体では「ベストカー Web」、「日経 X TECH」、「ITmedia ビジネスオンライン」、「ビジネス+IT」、「MONOist」、「Response」などに寄稿中。企業向けのドライバー研修事業を行なう「ショーファーデプト」でチーフインストラクターも務める。近年では、自動車だけでなく自転車、とくにロードバイクの素材や製法、メカニズムなどについて取材、理系ならではの解説に定評がある。

著書に『カラー図解でわかる クルマのハイテク (サイエンス新書)』『エコカー技術の最前線』(ともにSBクリエイティブ)、『図解カーメカニズム基礎講座 パワートレイン編』(日経BP)がある。

ロードバイクの素材と構造の進化	
著者	高根英幸
発行者	山田国光
発行所	株式会社 グランプリ 出版 〒101-0051 東京都千代田区神田神保町1-32 電話 03-3295-0005(代) FAX 03-3291-4418
印刷・製本 組版	モリモト印刷株式会社 関月社