

ま え が き

現在の自動車にはさまざまな電子制御技術が使われており、「自動車は制御なしには走ることができない」といわれて久しい。自動車エンジン制御は、走行性能や安全はもちろん、排気ガスのクリーン化・低燃費化などのさまざまな要求を高度なレベルで満足しなければならない。このため、エンジン制御技術はますます複雑化・高度化しており、技術者が短期間で必要な技術を習得することは大変難しくなっている。したがって、制御理論に基づくシステムティックな制御系設計への期待は高いのだが、企業の開発現場では現象論に基づくヒューリスティックな開発方法が主流であり、制御理論の貢献度は増えていない。つまり、先端の制御理論を開発する大学とそれを活用する企業との間にはギャップが存在している。

多くの日本の制御工学研究者は、エンジン実験設備にアクセスすることが難しく、制御実験を自ら行うことができない。仮に実験設備があったとしても設備は旧式であり、欧米と比べて大きく立ち遅れている。このため、制御対象のモデル構築の難しさ、アクチュエータの性能限界やセンサ動作と精度の限界、ほかの制御との干渉など実用上の課題を知ることは大変難しい。大学における制御系設計の学習では、定式化された簡単なモデルが与えられ、かつ実用上の制約を無視し、非常に単純化された制御目的に対して制御系を設計する理想化された課題が与えられる。しかし、現実の設計は、各種の手法を組み合わせ、これらの実用的な問題をうまく調停することが必要である。制御対象のモデリングの学習では、簡単なモデル要素を組み合わせる複雑なモデルを作成するというきわめて基本的なことを学ぶ。実際の問題では、初めから複雑なシステムが与えられるので、システムを構成要素に分解し、必要な構成要素のモデルを作成するところから始めなければならない。すなわち、実際の制御開発の制約

や要求を伴うプロセスに即した学習が重要であるが、大学では実際のエンジンを用いた制御実験ができないために、勢い抽象的な理論展開が主体になりがちである。一方、企業においては、制御理論を適用するための制御対象モデル開発が困難であるという状況が改善されず、現実的な制約や目標を定式化することも難しいため、制御理論応用の開始点にすらたどり着けないことが多い。

このギャップを解消するための糸口を探るため、2006年4月より2009年3月までSICE（計測自動制御学会）の制御部門に「エンジン・パワートレイン先端制御理論調査研究会」が設立された。SICEには多くの研究委員会があるが、これまでにこのような問題意識を前面に押し出した活動は初めてのものであろう。15以上の企業および15以上の大学から委員が参加しており、おもな活動の一つとして、エンジン制御問題の中でも難しいといわれる始動時のエンジン速度制御問題「SICEベンチマーク問題」（詳細は本書付録Aを参照されたい）を立ち上げ、委員会内外からの挑戦を呼び掛けた。その結果、多くの制御工学研究者から興味を示され、制御理論研究者だけではなく、現場開発者の先端理論によるエンジン制御応用への関心を集める結果となったのである。本書の執筆者は全員この委員会のメンバーであり、SICEベンチマーク問題の挑戦者でもある。3章以降各章で紹介するエンジン制御系設計手法は、それぞれ独自のアプローチから得られた結果である。

最後に、同研究会がベンチマーク挑戦結果の検証用として公開したエンジン始動制御シミュレータは、自動車産業開発現場の研究者によって作成されたことも意味深い。これは、この研究活動が先端制御理論研究のフロンティアと開発現場の現実の両側面に足をおろしていたことを意味する。そのシミュレータをこの本とともに公開することによって、より多くの制御理論研究者と開発現場の方々の関心が集まることを期待する。また、本書と付属CD-ROMに収録されているシミュレータは、大学で勉強する学生諸君にもよい参考書になるに違いない。

2011年1月

申 鉄龍
大島 明

目 次

1. 序 論

1.1 エンジンのモデリングと制御	1
1.2 エンジン制御のための制御理論課題	4
1.3 本書の内容	7
引用・参考文献	10

2. エンジンの動特性とモデリング

2.1 エンジンの概要とモデルの変遷	11
2.1.1 エンジンの概要	11
2.1.2 エンジンモデルの変遷	12
2.2 基本法則	15
2.3 モデルの導出	18
2.3.1 吸気パス	18
2.3.2 燃料パス	22
2.3.3 トルク生成	23
2.3.4 クランクシャフトの回転運動	29
2.4 モデルのまとめとシミュレーション例	30
2.5 補足説明：ノズルを通過する気体の流量	33
引用・参考文献	39

3. モデルに基づく速度制御

3.1 平均値モデル	40
3.1.1 モデルの導出	40
3.1.2 同定結果	43
3.2 速度制御系設計	45
3.2.1 制御則	45
3.2.2 安定性解析	46
3.2.3 実験結果	52
3.3 冷間始動速度制御系設計	54
3.3.1 燃料パス制御	55
3.3.2 点火時期とスロットルの協調制御	57
3.3.3 シミュレーション検証	59
引用・参考文献	63

4. 役割変数を用いた物理モデルベース制御

4.1 モデリングと制御仕様	65
4.2 周期離散時間モデルの導出	68
4.2.1 サンプル点	68
4.2.2 連続時間モデルの近似解析	69
4.3 時不変離散時間モデルへの等価変換	78
4.4 Floquet 定理に基づく制御系設計	81
4.4.1 問題の定式化	82
4.4.2 Floquet 変換	83
4.4.3 非同次系の時不変系へ等価変換	86

4.5 制御設計例	87
引用・参考文献	91

5. フィードフォワード・フィードバック切替え型制御法

5.1 PSOによる最適入力列の探索	94
5.2 Cooperative PSO	95
5.3 性能テスト	96
5.4 関数近似	97
5.5 局所モデルによるJITモデリング	99
5.5.1 ARXモデルの同定アルゴリズム	99
5.5.2 ARXモデルを用いたJIT法	100
5.6 一般化予測制御 (GPC) の設計	101
5.6.1 一般化予測制御 (GPC)	101
5.6.2 JITモデリングを用いたGPC	103
5.7 空燃比制御	103
5.8 点火時期の制御	106
5.9 ノミナルモデルによる数値シミュレーション	109
5.10 バラツキ問題	110
5.10.1 バラツキに関する仕様	111
5.10.2 各種バラツキパラメータの影響	111
5.11 バラツキ問題に対する関数近似	114
5.11.1 入出力設定	114
5.11.2 学習シミュレーション	115
5.12 バラツキのあるモデルによる数値シミュレーション	116
引用・参考文献	119

6. 吸気バルブリフト量に着目したエンジン制御

6.1 SI エンジン始動制御	120
6.1.1 吸気流量法による筒内吸入空気量の推定	122
6.1.2 吸気バルブリフト量制御（離散型極値探索制御）	123
6.1.3 シミュレーション結果と考察	127
6.2 SI エンジンのトルクデマンド制御	132
6.2.1 問題設定	133
6.2.2 吸気バルブリフト量に注目したトルクデマンド制御	134
6.2.3 ベンチマークテストと考察	142
引用・参考文献	149

7. 大規模データベースオンラインモデリング

7.1 大規模データベースオンラインモデリング (LOM)	151
7.1.1 JITモデリング	152
7.1.2 LOM	157
7.2 LOM の筒内吸入空気量予測への応用	162
7.2.1 筒内吸入空気量の予測適用例	162
7.2.2 筒内吸入空気量の予測精度	166
7.3 LOM を用いたエンジン始動制御系設計	168
7.3.1 制御対象および問題設定	168
7.3.2 コントローラ的设计	168
7.3.3 制御シミュレーション	171
引用・参考文献	173

8. 探索的モデル予測制御によるエンジン始動制御

8.1 制御系設計の指針	176
8.1.1 燃料噴射量	176
8.1.2 スロットル開度	177
8.1.3 点火時期	178
8.2 燃料噴射量制御	180
8.3 点火時期制御	181
8.3.1 探索的 MPC の概要	182
8.3.2 予測モデル	183
8.3.3 予測期間	186
8.3.4 目標軌道と評価関数	188
8.3.5 点火時期決定方法	189
8.4 数値シミュレーション	191
引用・参考文献	194

付録 A. SICE エンジン制御ベンチマーク問題

A.1 エンジンモデル	196
A.2 課題の特徴	198
A.3 挑戦者のアプローチ	202

付録 B. エンジンシミュレータ仕様書

B.1 エンジンモデル	203
B.1.1 モデル解説	203

B.1.2	バラツキモデル	204
B.1.3	構成ファイル	205
B.1.4	実行方法	206
B.2	設計仕様	206
B.2.1	定常特性に関する仕様	206
B.2.2	過渡特性に関する仕様	206
	引用・参考文献	206
索 引		208

CD-ROM 使用上の注意

本書には、エンジンモデルを収録した CD-ROM を付属しています。CD-ROM 内のデータは、MATLAB R2006a[†]以降のバージョンで動作することを確認しています。詳しくは、巻末の付録 B. エンジンシミュレータ仕様書をご参照下さい。なお、ご使用に際しては、以下の点をご留意下さい。

- ・ CD-ROM に収録されている内容は著作権法により保護されており、この利用は個人の範囲に限られます。また、著作者およびコロナ社の許諾を得ずに、ネットワークへのアップロードや他人への譲渡、販売、コピー、データの改変などを行うことは一切禁じます。
- ・ CD-ROM に収録された内容の使用により生じた損害等につきましては、著者ならびにコロナ社は一切の責任を負いません。
- ・ CD-ROM に収録されたデータの使い方に対する問合せには、コロナ社は対応しません。

[†] MATLAB および Simulink は、アメリカ合衆国の The MathWorks, Inc. の登録商標です。

1 | 序 論

1.1 エンジンのモデリングと制御

自動車の動力生成装置としてのエンジンはすでに百年を超える歴史を持っているが、今日ほど自動制御技術に頼ったことはなかった。現在のエンジンでは、エンジン運転性能に影響を与えるスロットル開度、燃料噴射量、点火時期、吸排気バルブタイミング等のほとんどの操作量がリアルタイム情報処理によって決定され、電子技術によって実現される。「車の付加価値の 90 % は電子制御による」、「車 1 台に ECU (electronic control unit)[†]が 100 個以上搭載される」、「車 1 台の車重の約 10 % がワイヤハーネスである」等のような話で強調されるように、自動車技術と電子技術は切っても切れない関係になっている。そして、電子技術を介してエンジンの性能、さらには自動車全体の性能に大きく貢献しているのが自動制御技術である。その背景には、電子技術とリアルタイム情報処理技術の急速な発展がある。そして、何よりも日増しに強くなる自動車に対する環境保全やエネルギー効率視点からの社会的要求がある。

1960 年代後半から、米国をはじめ世界主要工業先進国が相次いで環境関連部門を設置し、自動車排気ガスへの制限を法規化し始めたのは周知の事実である。この動きこそ、自動車を制御工学という学問に目を向けさせたきっかけである。

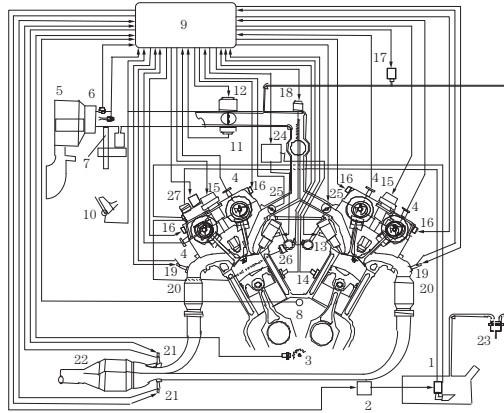
[†] エンジン制御装置、電子制御ガソリン噴射などの制御システム用の電子装置。

1980年代初頭、HEGO センサ^{†1} (heated exhaust gas oxygen sensor) の導入によって閉ループの空燃比制御が可能になり、日米欧では三元触媒^{†2}搭載が常識となったのである¹⁾。また、この頃から可変吸排気バルブ機構、ガソリン直噴技術、多段や連続可変トランスミッション等の先進的なパワートレイン技術が導入され始めた。これらの導入は、自動制御技術に安定かつ効率のよいエンジン運転のための制御理論の適用への挑戦の機会を与えることになった。過去30年間、じつに多様な制御理論がエンジン制御に適用されたことが報告されている。例えば、筒内圧に基づいた燃焼モデルは1930年代にすでに提案され²⁾、熱力学第一法則から導出されたモデルを用いて筒内圧から発熱量を計算する手法も提案されていたが³⁾、筒内圧をフィードバック制御に用いて、リアルタイムで燃焼の安定化やサイクル間・気筒間の燃焼バラツキを抑制する手法に関する研究は最近になって報告された。文献4)では、クランク角上死点(TDC)付近における一定クランク角の筒内圧力値を用いて燃焼バラツキを評価する手法を提案し、点火時期のオンライン調整によるバラツキ抑制効果を示した。また、このフィードバック制御問題に最小分散制御やモデル予測制御などの設計理論を適応した研究も報告されている⁵⁾。このような先進制御理論の自動車エンジンへの適用例や制御工学の立場からのエンジン設計技術については、近年出版された専門書6),7)や解説文献1),8)を参照されたい。図1.1はエンジンとその制御装置であるECUのつながりを示すイメージ図である。1台の6気筒乗用車エンジンとECUを繋ぐワイヤは200本を超える。また、図1.2は実際にあるメーカーの車に搭載されているECUの写真である。

制御理論がエンジン設計技術分野で注目され始めたのは、自動車産業が推進するMBD(model-based development)の動向にも関連する。エンジン制御技術開発に特化して狭義的に解釈すれば、MBDとはエンジンの振舞いを表現する数学モデルに基づいて制御系を設計し、その制御アルゴリズムを実装したECUをモデルに基づいて評価することであるといえよう。エンジン制御系設

^{†1} 排気ガス中の酸素濃度などから空燃比を検出し、これを電気信号に変換するセンサ。

^{†2} 理論空燃比近傍で排気ガス中の、CO, HC, NO_xを同時に浄化させる触媒。



- | | |
|---------------------------|-------------------------------|
| 1. 燃料ポンプ | 16. オイル制御弁 |
| 2. 燃料ポンプレジスタ | (可変吸排気バルブタイミング制御用) |
| 3. クランク角度センサ | 17. VSV(負圧切り換え弁) |
| 4. カム角度センサ | (エバポパージ制御用) |
| 5. 空気クリーナ | 18. ロータリソリノイドバルブ |
| 6. 吸気温度センサ | (可変吸気システム制御用) |
| 7. エアフローメータ | 19. 空燃比センサ(UEGO) |
| 8. 水温度センサ | 20. 三元触媒 |
| 9. ECU | 21. 酸素センサ(HEGO) |
| (electronic control unit) | 22. 三元触媒 |
| 10. アクセルペダル位置センサ | 23. 炭罐チャコール |
| 11. スロットル開度センサ | 24. EDU(electric driver unit) |
| 12. スロットル駆動装置 | 25. SCV(swirl control valve) |
| 13. インジェクタ | 26. 燃料圧力センサ |
| 14. ノックセンサ | 27. 高圧燃料ポンプ |
| 15. 電子点火装置 | |

図 1.1 エンジン制御システムの構造



(トヨタ自動車(株)提供)

図 1.2 実車搭載用 ECU の写真

計のためのモデルは各目的に応じて簡略化し、導出される制御アルゴリズムの複雑化を避けるが、検証用のモデルはそうとは限らない。例えば、暖機された状態で、しかも一定のエンジン速度範囲内におけるエンジン速度制御のためのスロットル制御を設計するには、スロットル開度からエンジン速度までの動的な振舞いを無駄時間が伴う一時遅れ系としてモデル化できる場合が多い。実際、このモデルが速度制御に使われたのは1980年代早々である。しかし、各気筒ごとの燃料噴射量、点火時期、吸気排気バルブタイミング等に対するエンジンの振舞いを表現するには、これではまったく役に立たない。気筒内の状態を圧力、密度、温度を用いて表現すると、少なくとも1気筒につき3変数を含む微分方程式が必要になり、しかもイベント発生ごとに微分方程式を切り替える必要も生ずるので、空気・燃料系を集中定数系として表現するにしても、相当数の微分方程式が必要になる。このようなモデルを筒内モデル (in-cylinder model) とも呼び、エンジン動特性のシミュレーションによく使われている。詳細は2章を参照されたい。

1.2 エンジン制御のための制御理論課題

本書でいう制御理論とは、簡単にいうと、動特性を持つシステムの振舞いを数学的にモデル化し、そのモデルに基づいてシステムの振舞いを解析し、必要に応じてコントローラと呼ばれる補償装置を加えることでシステムが所望の振舞いを見せるようにする理論体系のことである。動的システムの制御理論の基本ともいわれるフィードバック原理は、エンジンの誕生とともにエンジン速度を安定させる機構に使われていたが、学問としての制御理論の歴史はエンジンほど古くはない。特に、微分方程式をおもなモデル化手法として展開する制御理論体系は、わずか半世紀しか経っていない。しなしながら、制御理論を覗いてみると、じつに多彩な制御系の解析と設計理論が提案されていることがわかる。例えば、制御系設計理論一つにしても、最適制御、適応制御、ロバスト制御、ファジィ、スライディングモード制御等々それぞれの特色を持つ独特の手

法がある。しかし、現存のエンジン制御技術開発現場をみると、制御理論が提供している理論結果の豊富さとは対照的に限られた手法しか使われていない。つまり、先進的な制御理論と実際のエンジン制御技術の間にはギャップが存在する。

いうまでもなく、エンジンは気筒内で空気と燃料の混合気を燃焼させ、その爆発力をピストンの推力に変えて自動車の動力にする装置である。したがって、ドライバの要求に応じてエンジンの出力を調整するには、各気筒に入っていく空気と燃料量を調整し、適切なタイミングで点火して確實かつ十分な燃焼を実現することが、まず第一である。そのうえ、排気ガスや燃費規制などの制約を満たすようにしなければならない。これらの要件を満たすためにリアルタイムで調整するスロットル開度、燃料噴射量、点火時期、吸排気弁開閉タイミング等の変化がエンジンの内部状態の変化を起し、最終的に出力に変化をもたらすまでにはダイナミクスという言葉で表現される複雑な過渡現象が存在するので、制御系設計が難しくなる。さらに、燃焼や環境などに存在する不確かさや経年変化によるバラツキに対して、エンジンのリアルタイム状態を確認できるセンサが限られているので、制御設計は一層難しくなる。

以上の視点から考えると、制御理論を活用したエンジン制御技術を生み出すためには、制御理論自身にまだ多くの課題が残されている。例えば、エンジン運転におけるダイナミクスをモデル化するためには、制御理論分野で最も成熟している線形系のモデリング手法だけでは不十分である。エンジンの特性は非線形特性を呈し、多くのパラメータは変化するものである。また、ダイナミクスはイベント発生に従って切り替わることが多い。このようなシステムを一つの線形モデルを持って表現するには無理がある。制御理論の言葉を用いると、エンジンのダイナミクスは切替特性を持つ時変非線形形で表現される。しかも、エンジンの物理構造をできる限り忠実に再現してモデル化をしてみると、状態変数が非常に多くなる。例えば、6気筒のエンジンにしても内部状態変数は30を超える。このようなモデルを用いてエンジンの特性を一定の精度の範囲内で表現するのは可能である。しかし、これをモデルに基づく制御系設計に用いる

のは容易ではなく効率も悪い。エンジン設計技術の分野には1サイクル間の移動平均特性に着目した平均値モデル (mean value model) があるが、制御理論が提供している各種設計手法を効率よく適用可能にするモデルをいかにして構築するかが重要な課題と言えよう。

つぎに、制御系の設計手法である。前述のように、制御理論分野にはすでにそれぞれの目的に応じた設計理論が提供されている。例えば、与えられた目標指標を最小にする最適制御、不確かさに対応するためのロバスト制御、パラメータの変動に適応するための適応制御、切替特性を考慮したハイブリット制御、モデルの情報を活用したモデル予測制御、モデルの曖昧さに対応するためのファジィ・ニューラルネットワーク技術等がある。既に述べたエンジン制御が直面した問題点からいうと、どれ一つとってもそのキーワードからみると、それはまさに「きんじょうてんか錦上添花^{†1}」ではなく「せつりそうたん雪里送炭^{†2}」の気がする。しかし、いざ使ってみようとするとなかなかうまくいかない。例えば、エンジンに最も重要な要求仕様として燃費とドライバビリティが挙げられる。また、この両者間のある程度のトレードオフを考慮しなければならない。しかし、この要求仕様を最適制御理論の言語で表現し、その最適化問題を解く際にエンジンの現実味を持たせる拘束条件となるエンジンダイナミクスのモデルを確定するだけでも、最適制御理論の中からシステムティックな方法を見つけることは不可能である。モデルの構造、パラメータ選択、最適目標関数の構築に関するなんらかのガイドラインも見つからないのが現実である。このような状況になったおもしろな理由は、制御理論が「純粹の理論」を目指し過ぎた結果であるといえよう。確かに、あらゆる物理背景から抽出した一般論としての制御理論は数学で表現されることは間違いない。しかし、工学のための制御理論とすれば、具体的な対象に適用するために前述のようなガイドラインを提供することも制御理論自身の課題としてもよいだろう。今後、制御理論のアドバンストな結果だけではなく既存の設計理論とエンジン制御の実用技術の間のギャップを埋めるためにもこのよう

^{†1} 元々良いものをさらに良くすること。

^{†2} 必要な時に必要な物を届けること。

索引

【あ】		【ね】
圧縮行程 184	車両統合制御システム 132	熱損失 185
安定性 47	シリンダサイクル数 180	熱力学第一法則 16
【い】	【す】	燃焼熱 185
一般化モデル予測制御 94	ステップワイズ法 157	燃焼熱総量 178
	スミスのむだ時間補償 135, 138	燃料吸入量 180
【お】	【せ】	燃料挙動モデル 104
重み付き局所回帰法 155	セルフチューニング制御 120, 135, 138, 148	燃料付着率 180
重み付き線形平均法 155		燃料噴射制御 94
【か】	【そ】	燃料噴射量 55
間欠性 176	相加平均法 155	【の】
	速度制御 40	ノミナルモデル 110
【き】	【た】	【は】
逆モデル 181	大規模データベース	排気ガス再循環 135
吸気行程 184	オンラインモデリング 151	排気行程 184
吸気 TDC (上死点) 124		ハイブリッド性 193
局所モデル 155	【つ】	バルブ付着量 180
【く】	追従性 193	【ひ】
空燃比 103, 177	【て】	ヒートリリリース率 25
【こ】	ディオファントス方程式 102	火花点火エンジン 120
誤差逆伝播法 99	点火時期 58, 106	【ふ】
【さ】	【と】	フィードバック 94
最終予測誤差規範 101	筒内状態動的モデル 14	フィードフォワード 94
三元触媒搭載 2	トルクデマンド制御 132	【へ】
残留率 180	【に】	平均値モデル 13, 40
【し】	ニューラルネットワーク 97	平衡点 45
始動速度制御系 54		変数減少法 160
ジャストインタイム 151		変数増加法 158, 160

<p>【ほ】</p> <p>放射基底関数 97</p> <p>膨張行程 183</p> <p>ポート温度 185</p> <p>ポート付着量 180</p> <p>【む】</p> <p>むだ時間 46</p>	<p>【や】</p> <p>役割入力 80</p> <p>役割変数 68, 78</p> <p>【よ】</p> <p>要求点 100, 151</p> <p>【ら】</p> <p>ラグランジュ方程式 70</p>	<p>【り】</p> <p>離散型極値探索制御 123, 147</p> <p>離散時間極値探索制御 120</p> <p>離散事象 176, 181</p> <p>理想気体の状態方程式 16, 41</p> <p>粒子群最適化 94</p> <p>流量関数 66, 71</p> <p>理論空燃比 103, 142, 177, 197</p>
--	---	---

<p>【A】</p> <p>ARX モデル 99</p> <p>【B】</p> <p>back propagation 99</p> <p>【C】</p> <p>CHR (Chien, Hrones and Reswick) 法 170</p> <p>Cooperative PSO 95</p> <p>CPSO 95</p> <p>【D】</p> <p>Diophantine 方程式 102</p> <p>【E】</p> <p>ECU 1</p> <p>【F】</p> <p>F 値 159</p> <p>final prediction errors 101</p> <p>Floquet の定理 82</p> <p>Floquet 変換 83, 84</p> <p>FPE 101</p> <p>【G】</p> <p>GPC 94</p>	<p>【H】</p> <p>HEGO センサ 2</p> <p>【I】</p> <p>intake-to-power delay 42</p> <p>in-cylinder dynamical model 14</p> <p>【J】</p> <p>JIT 法 94</p> <p>JIT モデリング 152</p> <p>Just-In-Time 法 94</p> <p>【K】</p> <p>k-NN 154</p> <p>k-SN 154</p> <p>【L】</p> <p>LQI 88</p> <p>Lyapunov-Krasovski 汎関数 49</p> <p>Lyapunov-Krasovskii 安定定理 48</p> <p>【M】</p> <p>MBD 2</p> <p>MBT 120, 129</p>	<p>mean-value model 13, 40</p> <p>model-based development 2</p> <p>【P】</p> <p>PE 性 139</p> <p>PI 制御 141</p> <p>PSO 94</p> <p>p-V 線図 31, 121</p> <p>【Q】</p> <p>query 100</p> <p>【R】</p> <p>radial basis function 97</p> <p>RBF 97</p> <p>reverse operation 96</p> <p>RO 96</p> <p>【S】</p> <p>SA 96</p> <p>sigmoid 関数 98</p> <p>simulated annealing 96</p> <p>【W】</p> <p>wall-wetting dynamics 22</p> <p>Weibe 関数 26, 66</p> <p>Woschni 関数 66</p>
--	--	--

— 編著者略歴 —

- | | |
|--|------------------------------|
| 申 鉄龍 (しん てつりゅう) | 大 畠 明 (おおはた あきら) |
| 1982 年 中国東北重型機械学院自動制御工学部卒業 | 1973 年 東京工業大学工学部制御工学科卒業 |
| 1986 年 中国東北重型機械学院大学院修士課程修了 (自動制御専攻) | 1973 年 トヨタ自動車株式会社勤務
現在に至る |
| 1992 年 上智大学大学院博士後期課程修了 (機械工学専攻)
博士 (工学) | |
| 1992 年 上智大学助手 | |
| 2006 年 上智大学助教授 | |
| 2008 年 上智大学准教授 | |
| 2009 年 上智大学教授
現在に至る | |

自動車エンジンのモデリングと制御
— MATLAB エンジンシミュレータ CD-ROM 付 —

Modeling and Control Design for Automotive Engines

© Tielong Shen, Akira Ohata 2011

2011 年 3 月 23 日 初版第 1 刷発行



検印省略

編 著 者 申 鉄 龍
大 畠 明
発 行 者 株式会社 コロナ社
代 表 者 牛来真也
印 刷 所 三美印刷株式会社

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 <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04610-6 (中原) (製本:愛千製本所)

Printed in Japan



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おります。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おりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします