

データを診て予測する／制御する ～Data, Data and Data～

データ指向型制御システム調査専門委員会編

目次

1. はじめに	3	5.5 シミュレーション	22
2. FRIT とデータ駆動型正準制御器		5.6 まとめ	23
2.1 緒言	4	6. 閉ループ過渡応答データの周波数および時間領域の情報を併用した制御器設計法	
2.2 目標応答追従問題	5	6.1 緒言	24
2.3 Fictitious Reference Iterative Tuning(FRIT)	5	6.2 一組の閉ループ過渡応答データのみを利用する制御器設計法	24
2.4 ビヘイビアアプローチと正準制御器	6	6.3 共振機械系の速度制御への応用	25
2.5 データを直接用いた正準制御器の設計	7	6.4 結言	28
2.6 数値例	8	7. 閉ループ同定を利用した移動体のモデル設計に関する検討	
2.7 結言	9	7.1 緒言	29
3. 外乱抑制を目的とした閉ループデータからの直接的制御器調整法		7.2 閉ループ同定手法	29
3.1 緒言	10	7.3 結言	32
3.2 外乱抑制問題	10	8. 進化的計算手法による閉ループ同定と PD 制御系の設計	
3.3 望ましい制御器パラメータの特徴づけ	10	8.1 緒言	33
3.4 外乱抑制のための直接的制御器調整法 1	11	8.2 クレーンのモデリング	33
3.5 外乱抑制のための直接的制御器調整法 2	11	8.3 進化的システム同定法	34
3.6 数値例	12	8.4 システム同定結果と PD 制御器設計	35
3.7 結言	13	8.5 結言	37
4. 適応出力フィードバック制御のためのデータに基づく並列フィードフォワード補償器設計		9. Just-In-Time 法によるデータ指向型制御	
4.1 緒言	14	9.1 緒言	38
4.2 問題設定	14	9.2 Just-In-Time 法	38
4.3 PFC の具体的設計法	14	9.3 PID 制御器の Just-In-Time 調整法	39
4.4 適応制御系設計	16	9.4 Just-In-Time 予測によるフィードフォワード制御	40
4.5 数値シミュレーションによる検証	17	9.5 Just-In-Time 型ソフトセンサ	40
4.6 結言	18	9.6 ジャストインタイム予測制御	40
5. 非最小位相系に対するデータを用いた制御器パラメータ調整法		9.7 結言	41
5.1 緒言	19		
5.2 Fictitious Correlation-based Tuning	19		
5.3 セーフアップデート	20		
5.4 零点の指定方法	21		

10. SOM を用いたデータベース駆動型 PID 制御系の設計		14. システム変動を監視するリアルタイム FRIT の設計	
10.1 緒言	43	14.1 緒言	62
10.2 データベース駆動型制御系の設計	43	14.2 制御系の設計	62
10.3 数値例	45	14.3 有効性の検証	64
10.4 結言	46	14.4 結言	65
11. PSO を用いたデータベース駆動型 PID 制御系の設計		15. 「評価」と「設計」を統合したパフォーマンス駆動型制御系の設計	
11.1 緒言	47	15.1 緒言	67
11.2 システムの記述	47	15.2 可調整パラメータを有する極配置制御系の設計	67
11.3 システムの同定法	47	15.3 制御性能評価による可調性パラメータの調整	68
11.4 PID 制御系の設計	49	15.4 定量フィードへの適用	69
11.5 数値計算例	49	15.5 結言	70
11.6 結言	52		
12. 非線形データ指向型制御系の設計		16. おわりに	
12.1 緒言	53		
12.2 データ駆動型 PID 制御系の設計	53		
12.3 FRIT を用いたデータベースのオフライン更新法	54		
12.4 非線形タンクシステムへの適用	55		
12.5 結言	56		
13. パフォーマンス駆動制御による DC-DC コンバータの電圧制御			
13.1 緒言	57		
13.2 制御性能評価	57		
13.3 パフォーマンス駆動制御系の設計	58		
13.4 実験結果	59		
13.5 結言	60		

データ指向型制御システム調査専門委員会委員

委員長	山本透(広島大学)	委員	佐藤孝雄(兵庫県立大学)
幹事	中本昌由(広島大学)		日高浩一(東京電機大学)
幹事補佐	藤井憲三(出光興産)		増田士朗(首都大学東京)
委員	大西義浩(愛媛大学)		松井義弘(東京工業高専)
	金子修(金沢大学)		水本郁朗(熊本大学)
	河合富貴子(富士電機システムズ)		弓場井一裕(三重大学)
	川田和男(広島大学)		

1. はじめに

産業界においては、国際競争の激化などの煽りを受けて、生産性の向上、省エネルギー・省力化など、製品の品質の向上と生産コストの削減が、より一層重要視されるようになってきており、これらの問題を解決する上で、制御システムの高機能化が求められている。特に、「温室効果ガス25 %削減」という提言を受け、産業界は環境問題との関連で効率的な産業システムの稼働が求められている。その一方で、近年のコンピュータ技術の進展に伴い、大量のデータが短時間で処理できるようになってきた。特に、操業データの蓄積、処理、プログラムの構築などが比較的容易に行われ、制御性能を一層向上させるための取り組みが活発化してきている。この潮流は、制御系設計法の枠組みを少しずつ変化させてきており、最近、操業データを制御系設計に直接利用するデータ指向型制御系設計法が注目されている。

このような背景に鑑み、電気学会電子・情報・システム部門（C部門）の制御技術委員会の傘下に『データ指向型制御システム調査専門委員会』（委員長 山本透）が、平成22年10月1日に設置された。この調査専門委員会では、平成24年9月30日までの二年間において、データ指向型制御システムの最新動向と実システムへの応用について調査を行った。その結果、データ指向型制御系設計法は、[1] 閉ループデータを用いた制御器の直接的設計法、[2] データベースを用いた制御器の設計法、[3] 「制御性能評価」と「制御系設計」とを統合したパフォーマンス駆動型制御系の設計法 として、大きく3つの方法論に大別される。

まず、「閉ループデータを用いた制御器の直接的設計法」では、FRIT（Fictitious Reference Iterative Tuning）法を中心に引き上げ、これまで主として行われてきた線形単一入出力系に対する目標値応答に基づく設計法を中心にしながら、i) 多変数系に対する設計法、ii) 非線形系に対する設計法、iii) 外乱応答に基づく設計法、さらには、iv) 状態フィードバックに基づく設計法などを確立した。また、実験室レベルの応用例やプロセス産業を中心として産業系での実施例も報告されている。「閉ループデータを用いた制御器の直接的設計法」については、本技術報告書の第2章～第7章に纏められている。

次に、「データベースを用いた制御器の設計法」では、Justin-Time（JIT）法、Model on Demand 法、Lazy-Leaning 法等が提案されており、中でも、JIT 法については、大規模データに基づいたプラント状態の予測や車両の自動走行への応用などが報告されている。一方で、JIT 法の考え方に基づいた制御パラメータのオンライン調整法についても考察されている。「データベースを用いた制御器の設計法」については、本技術報告書の第8章～第11章に纏められている。

一方、1990年代にカナダを中心に、制御性能評価法が確立

された。とくに、操業データのみを用いて制御性能が評価される点が、大きな特徴となっている。これを受けて、制御性能評価と制御系設計法を統合した、いわゆる「パフォーマンス駆動型制御系の設計法」について研究が進められている。制御性能評価が劣化したと判断された場合にのみ、制御パラメータの再調整など制御系が再構築される仕組みとなっている。これは、1970年代に理論的に体系化された「セルフチューニング制御法」を、実用的観点から見直した一つの形であると考えられる。「パフォーマンス駆動型制御系の設計法」については、本技術報告書の第12章～第14章に纏められている。

紙面の都合上、この技術報告書に取り上げられなかった記事も数多く存在する。本調査専門委員会が中心となって行ってきた2年間の活動（C部門誌における特集号の企画(1),(2)、制御技術委員会(3)–(6)、C部門大会企画セッション(7)–(9)、国際会議(10)）において発表した論文等（一部、制御技術委員会（委員長 増田士朗）、およびデータに基づく適応型スマートシステム調査専門委員会（委員長 水本郁朗）による企画を含む）についても、是非ご覧頂ければ幸いである。

参考文献

- (1) 特集「データを診て予測する／制御する」、電気学会電子・情報・システム部門誌, Vol.131, No. 4 (2011)
- (2) 特集「データ指向型モデリング／予測／制御」、電気学会電子・情報・システム部門誌, Vol.132, No. 6 (2012)
- (3) 制御研究会資料、テーマ「データ指向型制御、および制御一般」、電気学会, CT-11-001～CT-11-007, 東京 (2011)
- (4) 制御研究会資料、テーマ「データ指向型制御、および制御一般」、電気学会, CT-11-017～CT-11-030, 松山 (2011)
- (5) 制御研究会資料、テーマ「データ指向型制御、および制御一般」、電気学会, CT-12-009～CT-12-017, 金沢 (2012)
- (6) 制御研究会資料、テーマ「データに基づく適応型スマートシステム、および制御一般」、電気学会, CT12-030～CT-12-042, 東京 (2012)
- (7) 企画セッション「データからの制御器調整・システム同定」、電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, 熊本 (2010)
- (8) 企画セッション「データ指向型モデリング／制御」、電気学会 電子・情報・システム部門大会講演論文集, 富山 (2011)
- (9) 企画セッション「データを診て予測する／制御する～Data, Data and Data～」, 電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, 弘前 (2012)
- (10) Invited Session 'FRIT-Based PID Controller Design', Proc. of IFAC Conference on Advances in PID Control, Brescia (2012)