

**日本学術振興会**  
**プロセスシステム工学第143委員会**  
**平成18年度第1回研究会議事録**

1. 日 時：平成18年5月19日（金）13：15 ～ 5月20日（土）12：00

2. 場 所：大阪 コスモスクエア国際交流センター（大阪市住之江区南港北1-7-50）

3. 出席者：45名（基本は五十音順，敬称略）

委員長：長谷部伸治（京都大学）

委 員：小野木克明（名古屋大学），小西信彰（横河電機），鈴木 剛（東洋エンジニアリング），高田晴夫（三菱化学エンジニアリング），山田 明（三井化学），柘植義文（九州大学），橋本芳宏（名古屋工業大学），平尾雅彦（東京大学），瀧野哲郎（東京工業大学），山下善之（東北大学），野田 賢（奈良先端科学技術大学院大学），加納 学（京都大学），川村継夫（オメガシミュレーション），北島禎二（東京農工大学），栗本英和（名古屋大学），小木曾公尚（奈良先端科学技術大学院大学），小崎恭寿男（日揮），末吉一雄（代理：坂本秀幸，横河電機），重政 隆（東芝三菱電機産業システム），武田和宏（静岡大学），殿村 修（京都大学），富田重幸（宮崎大学），鈴木勝幸（代理：西野由高，日立製作所），橋爪 進（名古屋大学），濱口孝司（名古屋工業大学），樋口文孝（出光興産），藤原健史（京都大学），松本秀行（東京工業大学），村上佳広（関西大学），吉田雅俊（東北大学），米田 稔（三菱化学），高松武一郎（京都大学），響 義則（住友化学），篠原和太郎（東芝），大田原健太郎（クレハエンジニアリング），桂樹徹（奈良先端科学技術大学院大学），菊野 亨（大阪大学），栗原久光（出光興産），黒岡武俊（富山大学），小池重章（代理：薄 豊文，ジャパンエナジー），隠田雄一（代理：一津屋茂，三井化学），藤井孝義（日揮），野口芳和（日揮）

委員以外の出席者：

大谷哲也（横河電機）

4. 研究会 テーマ：「モデリング」

【1日目】 5月19日（金）

第1部 講演による話題提供（司会 前半：山下善之 委員， 後半：小西信彰 委員）

山下善之 委員から今回のテーマについて趣旨説明があった。

1) 「プロセス設計と操作のためのダイナミックモデル」

《講演者》 奈良先端科学技術大学院大学 野田 賢 委員（資料#1）

《コメンテータ》 オメガシミュレーション 川村継夫 委員（資料#2）

ダイナミックモデルの取り巻く状況と最近の研究例（現代制御理論，ハイブリッドシステムのモデル予測制御，不確定なパラメータを含むダイナミカルシステムの設計・制御系の最適化，オペレータの認知情報処理ダイナミックモデル）について紹介があった後，これから取り組むべき課題について意見が述べられた。また，ダイナミックシミュレータのエンジニアリングツールとしての位置づけ，ニーズと課題に関するコメントがあった。

<質疑応答>

野 口：(a)ハイブリッドシステムのモデル予測制御におけるロバスト性はどうなっているのか。

(b)ダイナミックシミュレータはプラント最適設計に実際利用されているのか。

野 田：(a)ロバスト性を考えた制御系設計の検討は既になされている。  
(b)ダイナミックシミュレータを用いた設計例は報告されていると思うが、シミュレータの信頼度を評価する方法が必要になるだろう。

小木曾：何故そのモデルなのか、についての議論はなされているのか。

野 田：この研究会で議論して欲しい。制御の分野でのモデルの位置付けはどうなっているのか。

小木曾：明確になっていない。

## 2) 「手順制御と生産管理のためのハイブリッド/ディスクリートモデル」

《講演者》 名古屋大学 橋爪 進 委員 (資料#3)

《コメンテータ》 三井化学 山田 明 委員 (資料#4)

ディスクリート(離散事象)システムの紹介、それを表現できるモデル(オートマトン、ペトリネット)の説明、スーパーバイザ制御やバッチ制御システム設計例などについて述べられた。離散事象システムに時間を取り入れるなど、ハイブリッドシステムの展開について意見が述べられた。また、バッチプラントの手順制御と生産管理についての課題として、産業界からのコメントがあった。

<質疑応答>

米田：(a)離散事象システム設計理論の中で評価関数は何か。

(b)状態変数にはプロセス変数(組成、温度)は含まれているのか。

橋爪：(a)スーパーバイザ制御の場合、制御目標(この順番にきなさい、この状態は好ましくない)を満たすようなコントローラをつくるということが前提にあって、それを満たす選択肢候補を全て洗い出して、別の意思決定法に基づいて1つに絞ることになる。

(b)どんな順番でバルブを開閉するかという手順制御の場合、例えば、温度がある閾値に達したならば次の動作へというように、二値変数(ある条件を満たしているか否か)として取り扱うことができる。

北島：スケジューリングは生産現場では色々な機能をもつものとして捉えることができる。スケジューリングをどう捉えて、どうモデル化するかに関する共通認識はなく、その点は問題である。今回、スケジューリング問題をどうして離散事象システム問題として捉えたのか。

橋爪：今回発表するにあたり、離散事象システムがどんなところに使えるかという観点から出発した。この後のグループ討論で議論したい。

野田：連続と離散は混在するものという前提に立って考えれば、PSE分野で曖昧な問題に対して様々なツール立てをもって議論できる場面が増えると思う。スケジューリング以外の連続/離散な対象はあるか。

橋爪：まず離散事象システム適用限界を明らかにする必要がある。その上で、連続/離散モデルのあり方を考えていくべきだ。

富田：連続であるか離散であるかということは本質的な問題ではない。時間駆動と事象駆動が混在することが問題であり、その問題を扱っていくことがPSEでは大事である。

## 3) 「非線形/物理モデルを用いたモデルベース制御」

《講演者》 東北大学 吉田雅俊 委員 (資料#5)

《コメンテータ》 横河電機 大谷哲也 氏 (資料#6)

非線形/物理モデルをベースとした制御として、Generic Model Control (GMC)、逐次線形化やMultiple Shooting Methodによる非線形モデル予測制御について説明があり、バッチ反応器や蒸留塔への適用例が示された。簡略化モデルに基づくプロセス制御の可能性について意見が述べられた。また、制御対象としてのプロセス特性について、事例を交えながらコメントがあった。

<質疑応答>

野 口 : GMC と PID 制御のモデル式は似ているが、違いはどこにあるのか。GMC では反応熱を考慮していることがポイントか。

吉 田 : その通り。比熱項を時変として取り扱っているために、GMC が PID 制御より優れている。

長谷部 : 非線形物理モデルをそのまま制御に持ち込むことは本当に意味があるのか。制御に限らず運転支援という観点からするに、将来予測に使えるところに意味があると思う。

末 吉 : GMC で、制御対象の相対次数が 1 というのはどういうプロセスか。

吉 田 : 伝達関数の分母の次数と分子の次数の差が相対次数。1 次遅れプロセス (ex. バッチプロセス) の基本的に相対次数は 1。2 次遅れプロセスの場合、相対次数が 2 になる場合あり。

#### 4) 「プロセス運転管理のための統計的モデル」

〈講演者〉 富山大学 黒岡武俊 委員 (資料#7)

〈コメンテータ〉 三菱化学エンジニアリング 高田晴夫 委員 (資料#8)

モデリング手法の分類の後、隠れマルコフモデル (HMM) について説明があった。HMM の有効性が、オペレータ教育のための熟練度評価、バッチ反応器の異常検出・診断への適用結果を通して示された。最後に、モデリングについて思うところとして意見が述べられた。また、産業界における統計モデルの現状として、ソフトセンサ導入状況と課題についてコメントがなされた。

〈質疑応答〉

篠 原 : (a) 熟練運転モデル作成時において、データ毎に自己組織化マップ (SOM) をつくって類似度を判定する方法と確率モデルを利用する HMM 法の差異は何か。

(b) HMM が広く適用される理由は何か。

黒 岡 : (a) データ数が影響している。SOM は多くのデータが必要となる。もし十分なデータがあるようなら、今回のようにデータを一纏めにする必要はなく、一纏めにしない方がうまく機能すると思う。

(b) 音声認識に関して言えば、データの特徴の抽出方法がうまくいっている。そして、データバンクが整備されているからだと思う。

北 島 : SOM と HMM を組み合わせにより、データを 2 重で曖昧にしている印象をもつが、何を狙ったものなのか。数理統計モデルによる出力結果について説明できないと思うが、それに対して何か意見はあるか。

黒 岡 : SOM を異常診断に利用することを考えた場合、長さが揃っていない時系列データに対して適用できない。それを解消するために、HMM を導入することに至った。

富 田 : HMM がうまくいくのは、確率過程で出てくる実現系列をグルーピングすれば、別の系列を 1 つのモデルで表現できるという点にある。音声認識がうまくいく理由は、音声の発生メカニズムが元々ずれていても確率過程としてうまくのっていたからだろう。ところで、今回の時系列データを確率過程とみなして良いのか。

黒 岡 : 調査中である。

加 納 : (a) 産業界でのモニタリングの応用がなかなか進まない。モデル更新ができてソフトセンサを使用し続けることができるとされる Recursive PLS が実用的にうまくいかないのは何故か。どのデータを使ったらいいのか、どのようにデータクリーニングすればいいのか、といったプリプロセスに問題があるのか。あるいは、新しい変数を考慮する仕組みがないのが問題なのか。

(b) MSPC 発表から 15 年くらい経っているが、実用例は少ない。何故か。

高 田 : (a) 変数選択は問題だが、現状、担当者のスキルに依存している。異常データ監視は人手に頼っているのが実情で、システム化する方法論が確立しきっていない。また、新しい変数導入の問題については、対象によるだろう。

(b)オペレータの未熟さに問題があると思う。

長谷部：兆候があるけれども異常になっていないというデータを異常診断に利用できないのか。

米田：そのようなデータはない。

## 第2部 グループディスカッション

グループディスカッションに入る前に、加納学委員から事前アンケート（産学界&大学界）の結果について説明があった。その後、下記のテーマ毎にグループに分かれ、今後取り組む価値のある課題を抽出すること、産業界の抱える課題（短期的・長期的）、最先端の研究動向を整理し、産学が連携して取り組むべき課題について議論した。

- ① ダイナミックモデルに基づく設計と制御
- ② ハイブリッド/ディスクリートモデル
- ③ 非線形・物理モデル
- ④ 統計的モデルに基づく運転管理

【2日目】 5月20日（土）

前日に引き続いて、グループディスカッションを行った。

## 第3部 グループディスカッションの報告と総合討論（司会：小西信彰 委員）

各グループから、グループディスカッションの報告がなされた。そして、それらをもとに総合討論がなされた。今後、モデリングの研究課題について、各グループにおいてディスカッションの末、出てきたキーワードを以下に記す。

- ① ダイナミックモデルに基づく設計と制御
  - ◆ 現在のニーズ → プロセス解析・設計，運転訓練  
将来のニーズ → 品質予測，非定常運転最適化 or 運転支援，保全予測（寿命予測 etc.）
  - ◆ 産学協業の課題
    - ・モデル構築の体系化 → モデルマネージメントの仕組み作り，評価方法の確立
    - ・活用の仕方 → 異常診断支援，非定常最適化，時間軸上の挙動解析だけでなく設計への活用
- ② ハイブリッド/ディスクリートモデル
  - ◆ 離散事象システムの代表的検証項目 → デッドロック，オーバーフロー，可到達性
  - ◆ 課題 → モデル化の要求仕様（曖昧性のない）のための言語  
検証のための個々の異常ケース対応とその網羅性の検証  
バッチの特徴（時間制約）を表せるハイブリッドモデルと検証法
- ③ 非線形・物理モデル
  - ◆ プロセス制御のロードマップの整理
    - ・品質、効率の向上で収益性アップにつながる対象  
人間ができていないけど、自動化できていない問題  
自動化ができていないけど、メンテナンスがやっかいな問題  
人間にも、線形制御でもできない問題
    - ・制御理論による適用対象の整理  
データドリブンの制御  
ハイブリッド制御  
非線形モデル予測制御

#### ④ 統計的モデルに基づく運転管理

##### ◆ ソフトセンサの課題

- ・ どの変数（時刻も含めて）を入力変数とすれば良いのか？
- ・ どのような非線形性を取り込めばよいか？
- ・ そもそも統計的モデルの構築が無理な場合もある
- ・ メンテナンスの省力化ができるか？
- ・ 統計的手法を使える人材が乏しい
- ・ バッチプロセスの終点品質予測は困難

##### ◆ 産学連携の可能性

- ・ 合理的なモデル構築方法
- ・ モデルメンテナンス方法

最後に、各グループのディスカッションをまとめたものをメールにて提出していただくこととした。

#### 配布資料：

- #1: プロセス設計と操作のためのダイナミックモデル
- #2: ダイナミックモデル or ダイナミックシミュレーション
- #3: 手順制御と生産管理のためのハイブリッド/ディスクリートモデル
- #4: モデリング-手順制御と生産管理のためのハイブリッド/ディスクリートモデル
- #5: 非線形/物理モデルを用いたモデルベース制御
- #6: プロセス制御のための非線形/物理モデルに関するコメント
- #7: プロセス運転管理のための統計的モデル-プロセス運転管理への隠れマルコフモデルの適用
- #8: プロセス運転管理のための統計的モデル（コメント）

以上