

**日本学術振興会**  
**プロセスシステム工学第143委員会**  
**平成20年度 第3回研究会議事録**

1. 日 時： 平成20年10月03日（金）13：10～17：00

2. 場 所： 京都 京都大学 桂キャンパス （京都市西京区京都大学桂）

3. 出席者：36名（順不同、敬称略）

委員長：長谷部伸治（京都大学）

委 員：轡 義則（代理：吉田英昭，住友化学），小西信彰（横河電機），高田晴夫（三菱化学エンジニアリング），柘植義文（九州大学），野田 賢（奈良先端科学技術大学院大学），橋本芳宏（名古屋工業大学），山下善之（東京農工大学），加納 学（京都大学），山田 明（三井化学），木村直樹（九州大学），殿村 修（京都大学），小木曾公尚（奈良先端科学技術大学院大学），坂本英幸（横河電機），重政 隆（東芝三菱電機産業システム），樋口文孝（出光興産），村山 大（東芝），山田幸治（宇部興産），石田敏和（宇部興産），武田和宏（静岡大学），黒岡武俊（富山大学），丸山 亨（新日本石油精製），馬場一嘉（ダイセル化学工業），小崎恭寿男（代理：昆潤一郎，日揮），西澤 淳（三菱化学），中西 勤（三菱化学），村田 尚（東洋エンジニアリング），橋爪 進（名古屋大学），末吉一雄（横河電機），吉井清次（出光興産），矢野智之（名古屋大学）

委員以外の出席者：大塚敏之（大阪大学），湯本隆雅（オメガシミュレーション），村上 晃（神戸製鋼所），小河守正（山武），増田士朗（首都大学東京）

#### 4. 研究会

テーマ：制御技術の新展開

（司会：加納 学 委員）

0) 研究会の趣旨説明（加納 学 委員）

1) 「研究会趣旨説明と WS27 活動紹介」

    《講演者》 京都大学 加納 学 委員（資料#1）

    [概要] これまでの研究会・検討会の活動内容を報告され、現在取り組んでいる課題を紹介された。

2) 「IFAC CC6/TC6.1 Milestone Report 紹介」

    《講演者》 京都大学 加納 学 委員（資料#2,3）

    [概要] IFAC World Congress において化学プロセス制御（TC6.1）を含む委員会 CC6 が発表したマイルストーン報告書の内容を簡潔に紹介された。

    <質疑応答>

長谷部： 今後、製薬会社の中でプロセスシステムエンジニアの活躍の場が広がるのではないかと。

加 納： その通りだと思う。従来プロセス改善は重要視されてこなかったが、QbD や PAT が注目される今、このタイミングでプロセス制御の人間が取り組むべき良き対象だろう。

山 田： プラントワイド制御の検討における規模・範囲は？

加 納： 既往の論文では、例えば VAC プロセス（大きなユニットで 5 個）程度の規模をターゲットとしていることが多い。プラントワイド制御は何を何で制御するかが鍵。プラント全体の厳密モデルを使って、プラントワイド全体を考慮した制御系を設計するという研究は殆どない。どちらかと言えば、線形化したモデル、定常状態の情報を用いて、ヒューリスティックベースの検討が今の段階である。マイルストーンレポートにも記述されているように、プロセスの非線形性、ダイナミックモデルに基づく制御系設計ができるようになる必要がある。しかし現状、そのような技術・方法論は見当たらない。

### 3) 「運転データを利用する直接的 PID/I-PD 調整：不安定重合反応プロセスへの適用」

《講演者》 京都大学 加納 学 委員 (資料#4)

[概要] フィードバック制御下の運転データから直接的に PID または I-PD 制御器を調整すべく開発した拡張型 Fictitious Reference Iterative Tuning (E-FRIT) 法を説明され、それを不安定な重合反応プロセスへ適用した結果について報告された。

<質疑応答>

橋 本：理想の応答という形状の与え方によっても、PI にするのか PID にするのかによっても、どれくらい誤差が発生するのかが変わる（不安定なプロセスなら特に）。モデリング技術と組み合わせて、モデルベースによる結果と提案法（直接法）の結果を比較するといった試み・用途はあるか。

加 納：実際の制御応答と理想の制御応答の誤差が小さくなるような制御パラメータ  $\theta$  を求めている。制御系の閉ループ特性と参照モデルの動特性が一致するように、 $\theta$  を決めればよいという話であるのだが、実は、特性を一致させる話が出力を一致させる話に置き換わっている。評価関数と当初の目的がマッチングするのは評価関数がゼロの時のみ。今後、その誤差を評価する必要があると考えている。更に、今回開発した E-FRIT といえども、信号を変化させることで（精度の問題は残るが）閉ループ同定ができる環境にある。モデルを作成できたのなら、それを用いた応答のチェックができる。実際の利用を考えるなら、E-FRIT と並行して閉ループ同定結果の利用も必要になってくると思う。

重 政：現場で使えそうな（ギャランティの）尺度が必要だと思う。

加 納：WS の中で更に議論させて頂きたい。

### 4) 「機会制約条件計画による冷間タンデム圧延機のパススケジュール最適化」

《講演者》 神戸製鋼所 村上晃 氏 (資料#5)

[概要] パススケジュール設計問題を、機会制約条件計画問題として扱い、過去の実績圧延入出力データと圧延モデルを用いることで、変数の確率分布を仮定することなく、ばらつきを考慮したパススケジュール設計を可能にした。高張力鋼での実験の結果、板厚公差外れ長さが 13~35%減少することを紹介された。

<質疑応答>

加 納：正規分布を利用する場合、過去の実績データを利用する場合、最適化計算時間はどの程度違ってくるのか。それから、過去の実績データは何点くらい用いているのか。

村 上：正規分布を利用する場合は実際に検討していないので、比較は難しいが、膨大な時間を要する。それから、過去の実績データとして、数ヶ月くらいのデータを使う。少ないものだと数個、多いものだと千個のオーダーになる。

野 田：実績データに引っ張られた結果しか出てこないのではないのか。実績が大事なのか。

村 上：圧延の場合、摩擦などモデル化できない部分があるので、実データを用いた最適化が有効である。学習ではなく最適化なので、従来の圧延とは異なった解が得られる。

(司会：橋本芳宏 委員)

### 5) 「非線形システムのモデル予測制御と Moving Horizon 推定」

《講演者》 大阪大学 大塚敏之 氏 (資料#6)

[概要] 非線形モデル予測制御の計算方法の考え方と共に、主として機械システムに対する応用事例を紹介された。また、同様の計算方法を推定問題に応用した Moving Horizon 推定についても紹介された。

<質疑応答>

加 納：ホバークラフトのズレを待ってないといけないのは、Horizon 設定に依存しているのか？

また、Moving Horizon Estimation の過去の遡り方に何か指針はあるか？また、拡張カルマンフィルタで推定を行えなかった原因は？

大塚：ある程度離れないと、もがいても無駄だという話である。一般論として、Horizon 長さが長いと精度向上に繋がりそうだが、長すぎると応答が遅れ気味になったりする経験がある。システムティックに取り組みは今後の課題である。拡張カルマンフィルタの計算は発散してしまっていて、真値から離れ具合が原因であろう。

殿村：MHE が苦手とするシステムの特性的について見識はあるのか？Horizon の長さは固定するのが一般的か？

大塚：ホバークラフトの推定問題でも苦労した。非線形システムの場合、状態とか入力によってある種の可観測性が変わってしまう。その点について気を付ける必要がある。Horizon の長さは固定するのは一般的であると思う。今回のアルゴリズムでは Horizon の長さが変化しても対応可能である。今回の実験では、即座に推定を始めたいので、Horizon の長さをゼロからスタートして延ばしている。

野田：連立1次方程式（解きにくい場合もある）について、変数増加に対する計算時間への影響は？解法・アルゴリズムに工夫は？解の精度は？

大塚：変数の数に対して線形にしか増えない。GMRES の反復回数は固定している。高速で高精度なアルゴリズムになっている。問題設定を工夫して、（おおざっぱ言い方をすれば）入力の自乗のペナルティが評価関数にあれば解は求まる。

#### 6) 「耐故障制御 — 異常状態下でもプラントを安全に動かし続けるために」

《講演者》 東京農工大学 山下善之 委員（資料#7）

[概要] 研究が盛んになってきているフォールトトレランス制御（耐故障制御）の基本的な考え方と概要について紹介された。

＜質疑応答＞

加納：このような箇所が故障しやすいといった情報が与えられたときに、適切に、巧妙に冗長さを持たせる、という観点でのセンサロケーションのような研究はあるか？

山下：フォールトトレランスの観点から、センサロケーションの話は聞いたことない。どこに置けばサービスが継続されるかというケーススタディはあるが、一般的な議論になるレベルに達していないと思う。

増田：故障が起こったときに自動的に修復してしまう（動かしてしまう）と、出来上がったシステムの信頼性が気になる場所である。その保証はどうなっているのか。

山下：全ての故障に対して、運転モードを用意し、それぞれのモードとして目的を書き上げておく。目的を満たさなければ何もしないことに落ち着く。フォールトトレランスの場合、常に解があるとは限らない。再構築したシステムの安全は記述範囲内で保証されているということになる。

長谷部：時間的な要素はどのように考えればよいのか。

山下：手続きのところは微分方程式で記述されている。ある値が閾値を超えなければサービスを提供できる、といった形で表現できる程度である。

#### 配布資料：

#1: WS27 活動紹介

#2: IFAC CC6/TC6.1 Milestone Report 紹介

#3: Milestone Session CC 6 TC 6.1: Chemical Process Control

#4: 運転データを利用する直接的 PID/I-PD 調整：不安定重合反応プロセスへの適用

#5: 機会制約条件計画による冷間タンDEM圧延機のパススケジュール最適化

#6: 非線形システムのモデル予測制御と Moving Horizon 推定

#7: 耐故障制御 — 異常状態下でもプラントを安全に動かし続けるために

以上