

日本学術振興会
プロセスシステム工学第143委員会
平成15年度第1回研究会議事録

1. 日 時： 平成15年5月23日（金）13：15～5月24日（土）12：00

2. 場 所： アクトシティ浜松コンgresセンター （浜松市板屋町111-1）

3. 出席者：62名（順不同）

委員長：小野木克明（名古屋大）

委 員：高松武一郎（京都大学）、西谷紘一（奈良先端大）、大杉 健（ジャパンエナジー）、小西信彰（横河電機）、重政 隆（東芝）、鈴木 剛（東洋エンジニアリング）、高田晴夫（三菱化学）、黒田千秋（東京工業大学）、長谷部伸治（京都大学）、柘植義文（九州大学）、平尾雅彦（東京大学）、大嶋正裕（京都大学）、山下善之（東北大学）、橋爪 進（名古屋大学）、佐渡友秀夫（製品評価技術基盤機構）、仁井田和雄（千葉工業大学）、伊藤利昭（名古屋工業大学）、清水良明（豊橋技術科学大学）、富田重幸（宮崎大学）、栗本英和（名古屋大学）、橋本芳宏（名古屋工業大学）、瀧野哲郎（東京工業大学）、清水 浩（代理：菊谷健介、大阪大学）、矢島智之（名古屋大学）、黒岡武俊（富山大学）、加納 学（京都大学）、野田 賢（京都大学）、北島禎二（東京農工大学）、濱口孝司（名古屋工業大学）、松本秀行（東京工業大学）、樋口文孝（出光興産）、喰田秀樹（出光石油化学）、宮川基彦（インベンシス システムズ）、大宮司理晴（代理：安田憲明、ジャパンエナジー）、滝波明敏（昭和電工）、垣花克彦（代理：向山弘人、住友化学工業）、轡 義則（住友化学工業）、馬場一嘉（ダイセル化学工業）、清水佳子（東芝）、松本 伸（代理：谷山芳樹、東燃化学）、西 洋一（代理：朝守始郎、東洋エンジニアリング）、濱村光利（代理：村田 尚、東洋エンジニアリング）、小崎恭寿男（代理：野口芳和、日揮）、藤井孝義（日揮）、村岡俊和（代理：須藤 真、日産化学工業）、春成 孝（日産化学工業）、西野由高（代理：松井祐二、日立製作所）、松岡 豊（三井化学）、林田 豊（代理：藤澤靖生、三井化学）、米田 稔（代理：西澤 淳、三菱化学）、杉浦彰俊（森永乳業）、坂井 幹（代理：梶山洋輝、山武）、捧 基（代理：谷口敬樹、横河情報システムズ）、坂本英幸（代理：高津春雄、横河電機）

委員以外の出席者：

松尾 徹（三井化学）、江本源一（三菱化学）、渡 正博（横河電機）、谷 哲次（出光興産）、舟橋克之（丸善石油化学）、丸山 晃（名古屋大学）、山内恭子（名古屋大学）

4. 研究会 テーマ：「自動化のための制御とセンシング」

<1日目> 5月23日（金）

(1) 産業界での制御とセンシング技術の現状と動向（その1）

1) 「ニューラルネットワーク（NN）のポリマー製造プラントへの応用」（資料#1）

三井化学(株) 松尾 徹 氏

NNを利用した「品質推定モデル」、「最適・自動制御モデル」のポリマープラントへの導入事例の紹介があった。特に、実プラント導入の経験をふまえて、NNによるプロセスモデル化の実際（データマイニング方法、ハードセンサーとの違い、外挿領域への対応方法、ポリマー品質予測方法）について説明があった。

<質疑応答>

谷：学習に使われたデータは定常状態のものであるか。

松尾：学習には定常状態のデータを用いたが、結果的には過渡状態を推定するモデルとなっている。実際ポリマーの1本の分子鎖ができるのは1秒以内であり、モデルはその瞬時のものをモデル化できればよく、そのモデル化には定常状態のデータのみで対応できる。

大嶋：MFRや密度の予測の研究は既に厳密モデルを使ったものがあるが、NNを使った利点はどこにあるのか。

松尾：我々が非線形のモデルをもっていなかったため解決策を探したところ、NNは非常に実際的でデータがあれば何とかなると考えたためである。

大嶋：モデル予測制御は線形ですか、非線形ですか。

松尾：非線形です。

野口：NNの学習用のMFRのデータはラボで測定したとあったが、大量のデータを用意するための工夫は何かあるのか。

松尾：特別な工夫はなく、定期的に4時間ないし8時間のデータが半年分たまっている。

大嶋：一次遅れの係数と体積がわかっているれば少しずつ逆算していった過渡状態のデータも学習用に使えるのでは。

松尾：使えます。データが少なかったら過渡状態のデータも使うことが考えるが、半年分の定常状態のデータがあったのでやっていない。

2) 「モデル予測制御技術の新展開」(資料#2)

日揮(株) 野口 芳和 氏

プロセスプラントの高度制御技術として普及しているモデル予測制御パッケージ機能の進化(ニューラルネットワーク、ファジールール、厳密ダイナミックモデル)、適用される工業分野の拡大(ポリマー、バッチ、用役設備、その他)、稼働可能なハードウェアプラットフォームの拡大(PLC/DCS)について日揮(株)のモデル予測制御適用事例を含めて紹介があり、現状の技術的課題、今後の発展の方向について述べられた。

<質疑応答>

黒岡：PCRのところの物理モデルの簡略化とは実際にどのようにするのか。また、その簡略化はPCRのパッケージ側で自動的にやってくれるのか、それともユーザが手でしなければならぬのか。

野口：物理モデルから一次遅れモデルへの簡略化は、まず熱収支、物質収支から微分方程式をたて、それから伝達関数を求める。その伝達関数になかの時定数に含まれる物理パラメータを運転状態に応じて与えて時定数を計算していくことによって、時々刻々変わっていく物性を時定数へ変換する。その機能を今のところPCRのパッケージ側で自動的にやるようにはなっておらず、現在開発中である。

長谷部：電力購入に関する最適化では電力の安い夜間に稼働するといった結果になったが、これはバッチ系等が入っていてそのスケジューリングも一緒に解いているという形になっているのか。

野口：実際にオンラインで最適化を解いている。一時間後に購入電力価格が下がるという部分は予測しているが、それ以外はオンラインのデータを使っている。

長谷部：上位のオンライン最適化システム(ROMeo)のモデルが下位の高度制御システム(DMCplus)のモデルとして使えないのは、上位のモデルがスタティックだからか。

野口：DMCplusはステップ応答モデルしか使えないので上位の厳密モデルを直接使うことができない。また、現状ではオンライン最適化がスタティックなモデルの最適化の機能に制限されているのも一つの理由である。

谷：ユーティリティにDMCを使う場合、上位のオンライン最適化で解いて下位のDMCに渡したときに外乱があったときはどのように対処するのか。

野口：外乱への対処は難しい問題であり、今それに対する回答を持ち合わせていない。

大嶋：いろいろな事例を紹介されたがどのような分類で挙げられたのか。

野口：今回紹介したものはすべて我々がやったものだけでなく、自分でユニークだと思ったもの、今後発展していくと考えられるものを挙げさせていただいた。

3) 「オンライン最適化・パフォーマンスモニタリングツール-ROMeo/ARPMの紹介」(資料#3)

インベンシス システムス(株) 宮川 基彦 委員

化学工学原理に基づく、厳密モデルによるオンライン最適化・パフォーマンスモニタリングツール「ROMeo/ARPM」について、その機能、実例、今後の動向等をソフトのデモを通して紹介された。また、パフォーマンスモニタリングという観点からソフトセンサーとしての活用についても説明があった。

<質疑応答>

高津：オペティマイザが計算した結果を運転員側に渡すときの説得の方法はどのようにしているのか。

宮川：基本的にはすべて説得してから運用することになると考える。プロジェクトを行う上では、運転員の意見を聞きながらやっている。

橋本：データリコンシリエーションで、原油の性状、留出流体、段効率などがわからないものが多ければ、いかようにも合わせることができてしまうと考えるが、その点はどのような工夫をしているのか。

宮川：データリコンシリエーションの重み付けのところで調整している。例えば、圧力計のように精度の高いものは固定しリコンシリエーションの対象にしないとといった設定ができるようになっている。

長谷部：データリコンシリエーションはモデルを用いずに熱収支、物質収支のみを考えて塔の出入口の条件から行うものであり、モデルのパラメータ調整とは別の話だと考えるが。

宮川：ここでは、モデルのパラメータもデータリコンシリエーションの対象としている。

山下：モデルの式の数がどうして減らせたのか工夫を教えて欲しい。

宮川：例えば、全体のフローシートでは 50 成分あったとしても、水しか流れていないストリームに対して 50 成分の分の成分バランスや気液平衡の式を作ることせず、水だけの式に限定することにより減らしている。

大嶋：例えば、一本のストリームにフローコントローラを 2 つ付けてしまうなどの不整合な設計をシミュレーションによりチェックできるような機能はあるのか、また後で教えて欲しい。

4) 「エチレンプラントへのオンラインオペティマイザー導入」(資料#4) 昭和電工(株) 滝波 明敏 委員
昭和電工におけるエチレンプラントへ Honeywell 社のオンラインオペティマイザー DQP・RMPCT の導入経緯と、利益最大モードでの最適化運転を継続していることの現状について紹介があった。また、独自に付け加えたユーティリティーゲインスケジューリング機能の説明もあった。

<質疑応答>

西谷：まとめのなかで運転員の負荷を大幅に低減できたとあるが、これは具体的にどのような指標でどのような評価されたのか。

滝波：いままでオペレータが手動でフィード量を調節していたものが、代わりに DQP が自動的にやってくるといったことからオペレータの負荷を低減できたと考えた。

西谷：改善の定性的な評価だけでなく、数量化する必要があると思われるがどうか。なぜなら、DQP の導入によりオペレーションの形態も変わると考えるが、どう変えるかを検討する際に数量化した評価が必要と考えるからである。

滝波：今回の導入の主目的は増産であって、オペレータの負荷軽減は 2 次的効果だと考えており、その効果の数量化までは行っていない。

谷：ROMeo の導入を考えているとのことであるが、DQP でも最適化していてさらに ROMeo でもチェックするということは何か意図があるのか。

滝波：ROMeo はオンラインで使うことは考えておらず、オフラインでどちらかという生産計画系の最適化のために使うと考えている。また、2 次的な目的としては、現状の非線形最適化の検証に使うことも考えている。

野口：Pre-DQP のモデルは具体的にどのようなモデルを使っているのか。

滝波：Pre-DQP は、物質収支から得られる値や SPYRO で計算した値にもとづいてゲインを計算し、それを DQP に送るものであり、オーダーメイド的なプログラムとなっている。

伊藤：RMPCT の経験モデルによる最適化と上位の DQP による最適化の結果が合わないときはどうするのか。

滝波：DQP とつないでいるときは DQP の方を優先させている。

伊藤：最適化しようとするとき、原料の組成などをきちんと把握することが重要となると思われるが、センサはネックにならないのか。

滝波：通常は、原料の組成はタンク内で層状になっていることを表すモデルを作り、それをもとにした計算値を使っている。

伊藤：利益最大の最適化を考えると、頻繁に変わる価格をどう設定するか難しいと思われるが。

滝波：価格の設定は確かに難しい問題である。オペティマイザーが最適化しても販売が追いついていかないと、余剰製品ができてしまう結果になる。将来は、生産計画とリンクした最適化をしないといけないと考える。現状は、生産計画と合うように価格設定を意図的にしている。

5) 「モノマープラントにおける制御と最適化の新しい取り組み」(資料#5, #6)

三菱化学(株) 江本 源一 氏
オペレーション最適化および大規模多変数制御の特徴と課題について説明があり、三菱化学における制御

と最適化の取り組みの事例として、プラントテストが困難なプロセスに対する閉ループ同定技術の適用と触媒活性が経時的に劣化する反応器の最適化と制御について紹介があった。

<質疑応答>

加納：最適化の計算は8時間周期で行われているとのことであるが、一方、計算の対象としている区間、すなわち t が0から T までの区間はどのくらいか。

江本：プロセスによって違うが、例では2ヶ月間ぐらいである。

加納：なぜ2ヶ月間をも長い区間の計算しなければならないのか。

江本：それは今の運転状態を続けていって2ヶ月後にプロセスの制約条件を守れるかどうか重要であり、守られることを確認した上で今の運転条件を決めるという考え方にもとづいている。ここでは、触媒の劣化を何らかの形でモデル化し、触媒があと1ヶ月はもつかどうかを判断しながら最適化を考えようとしているので、2ヶ月間でなく2,3日といった短い区間では先の状態がみえないと考える。

高津：劣化のスピードを制御できないと意味がないと考えるが。

江本：劣化はある意味制御できる。エチレンのゲインを上げるためには、温度を下げてもいいし、モル比を下げてもいいが、モル比を下げるとより触媒の劣化が進む方向に動く。

加納：閉ループ同定ではダイレクト同定が使われているが、どんな場合でもその方法でよいという結論に至っているのか。

江本：至っていない。ここでは手っ取り早く使ってみただけであり、どの方法が最適かまではわからない。

滝波：時系列の最適化では2ヶ月間での触媒の再生の回数ほどのような形で評価しているのか。

江本：運転の周期の最適化まで含めると非常に複雑になるため、ここでは運転期間を固定して考えている。その運転期間は上位レベルで、エチレンゲインや触媒再生コストから最適運転期間をオフラインで計算して決めている。

滝波：エチレン塔の塔底のエチレンゲインを3倍にして合うようになったという話だったが、逆に低いところでは合わなくなるという問題は生じるのでは。

江本：その可能性はあります。ここでは設定値をとりあえず2%近傍にもっていこうと決め、それに合うようモデルを考えた。実際のところ、エチレン塔の制御性の問題が完全に終わったわけではなく、引き続いて検討している。

松尾：2筒出口のアセチレン濃度が設定値に対して上下にふれている結果となっているが、そのふれの原因は何か。また、そのふれをおさえればさらに効果が上がることはあるのか。

江本：これは上限1ppm(実際の管理限界は3ppm)に収まっていればよいという指標である。ふれの原因は、20ppmのレンジで1ppmを測っているため、ノイズがあるためにふれていると考えている。また、これを一定にすることまでは要求されておらず、上限に収まっていればよい。

重政：長期に渡って最適化しているが、途中で運転条件が変わることはないのか。そのときの対応は。

江本：その変わる運転条件をモデル化してあればある程度対応できると考える。予測もしてないところで運転条件が変わればそのモデルは使えないので、新たな運転条件のもとでのモデル化が必要になると考える。

6) 「プロセス分光分析機器の動向」(資料#7)

横河電機(株) 渡 正博 氏

分光分析器のラボ用からプロセス分析への移行過程についての説明があり、代表的なプロセス分光分析機器(質量・NMR・ラマン・赤外・近赤外)の原理とそれらのプロセス分析の動向について紹介があった。

<質疑応答>

加納：IR, NIR を用いる際スペクトルは温度の影響を受けてしまうが、温度への対策はどのようになされているのか。

渡：大きく3つある。1つ目は、サンプルの温度を固定する。2つ目は、検量線にいろんな温度に対するスペクトル情報を入れて、温度に強い検量線を作る。3つ目は、サンプルの温度を測って補正する。これらのうちどれを使うかは用途やコストによる。

加納：IRに比べてNIRはスペクトルがブロードになってしまうが、どの範囲の波長を選択すればよいかなどの知見はあるのか。

渡：検量線のソフトはどこにどのくらいのウエイトがかかっているかの指標を出力してくれるので、多少試行錯誤はするが、それを基準にして最適なところを選べばよい。

野口：NIRを用いる際にデータを作るところと、PLSでモデリングしてもオクタン価に入れるブレンドの割合

を少し変えただけで合わなくなるといったところで苦労したが、これらに対するいいアイデアはないか。

渡：ブロードのスペクトルであるためある程度のサンプルを集めないで検量線がうまくいかないのは事実であり、例えばオクタン価の場合 90 ぐらいが中心でありその前後レンジをいくつにとるか、そこをまんべんなく合わせ込むという作業は必要である。ブレンドの割合を変えるとモデルが合わなくなる点は、データベースをどこまで大きくするかによる。母集団が大きければブレンド割合の変化に対して大きく外れることはない。

大嶋：IR では基本的に Lambert-Beer の法則が成り立つという前提をもとにしているが、その前提が成り立たない例は今まで経験があるか。

渡：経験はある。ガスの場合には線形にはならない。ガスの濃度が高くなるほどスペクトルがブロードになってピークの位置が落ちてくるために、非線形になってしまう。よって、何らかの補正が必要である。ポリマーの場合でもそのような傾向があると思うが、目立つほどではないと考える。

大嶋：スペクトルと濃度の関係から検量線をもとめ、スペクトルの値から濃度を予測する形で使われるとのことであるが、濃度が測れないためある点をベースにしてそこからスペクトルの相対値を使って管理されたことはあるのか。

渡：ポリマーのフィルムでは厚さが変わることがあるので、波長のピークを選んでその高さの相対比と濃度の相関関係で管理している。

佐渡友：CPAC のような産官学共同の研究が日本でも動きがあれば教えて欲しい。

渡：CPAC ほどの大きなものはないと思われる。昨年、関西学院大学に文部科学省から近赤外研究センターにお金が出たという話は聞いたことがある。

長谷部：近赤外研究センターは分析に関する専門家中心の集まりである。分析専門家とシステム専門家が一緒になって日本発の技術を開発していくセンターが是非必要であると考えている。

(2) 産業界での制御とセンシング技術の現状と動向 (その2)

「プロセス制御に関するアンケート集計結果」(資料#8) について、橋爪委員、大嶋委員、鈴木委員、小西委員から報告があった。その後、参加者を4つのグループ

- A：センサ、リプレイス、技術の伝承
- B：多品種生産、品質のつくり込み、ビジネスとの連携
- C：制御アルゴリズム、モデル予測制御、性能監視
- D：バッチ制御を含んだプロセス制御、運転支援

に分け、アンケート集計結果をもとにプロセスシステム工学の問題点、今後の課題などについてグループミーティングを行った。

< 2 日目 > 5 月 2 4 日 (土)

(3) これからのプロセス制御に求められるもの

前日に引き続いてグループミーティングを行い、その後伊藤委員から「化学産業における制御」(資料#11) について説明があり、各グループのミーティング結果の報告があった。(各グループの報告は、A4 用紙 2~3 枚程度にまとめ、後日配布することとした。)

配布資料：

- #1: ニューラルネットワーク (NN) のポリマー製造プラントへの応用
- #2: モデル予測制御技術の新展開
- #3: ROMeo/ARPM 厳密プロセスモデルによるオンライン最適化/パフォーマンスモニタリング
- #4: エチレンプラントへのオンラインオペティマイザー導入
- #5: Industrial Applications of Subspace Identification Methods

- #6: Multi-period Optimization and Control of Acetylene Hydrogenation Reactor
- #7: プロセス分光分析機器の動向
- #8: プロセス制御に関するアンケート集計結果
- #9: On-Site R&D のためのバッチプラント用運転管理システムの開発
- #10: 制御屋さんは、どこへ 制御理論屋さんは、いずこへ
- #11: 化学産業における制御