

日本学術振興会
プロセスシステム工学第143委員会
平成14年度第4回研究会議事録

1. 日 時： 平成14年12月13日（金） 13：10～17：00

2. 場 所： キャンパスプラザ京都 （京都市下京区西洞院通塩小路下ル）

3. 出席者： 49名（順不同）

委員長：小野木克明（名古屋大学）

委 員：高松武一郎（京都大学）、橋本伊織（京都大学）、大杉 健（ジャパンエナジー）、小西信彰（代理：清水雅嗣、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）、梅田富雄（千葉工業大学）、佐渡友秀夫（製品評価技術基盤機構）、大野 弘（神戸大学）、清水良明（豊橋技術科学大学）、中岩 勝（産業技術総合研究所）、橋本芳宏（名古屋工業大学）、瀧野哲郎（東京工業大学）、吉田雅俊（東北大学）、村上佳広（関西大学）、武田和宏（九州大学）、矢嶋智之（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）、瀧口孝司（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）、宮川基彦（インベンシス システムズ）、藤尾達郎（代理：小川達也、協和発酵工業）、捧 基（システムプラザ）、大宮司理晴（代理：武本耕作、ジャパンエナジー）、藤田 歩（昭和電工）、轡 義則（住友化学工業）、馬場孝治（代理：馬場一嘉、ダイセル化学工業）、清水佳子（東芝）、小崎恭寿男（日揮）、藤井孝義（日揮）、春成 孝（日産化学工業）、西野由高（代理：松井祐二、日立製作所）、林田 豊（代理：一津屋茂、三井化学）、杉浦彰俊（代理：小尾秀志、森永乳業）、坂本英幸（代理：湯本隆雅、横河電機）

委員以外の出席者：

小河守正（三菱化学）、高橋 徹（アスペンテックジャパン）

4. 研究会 テーマ：「化学プロセス操業の最適化」

1) 「化学プロセスの動的最適化手法とオンライン最適運転への適用」(資料#1) 京都大学 野田 賢 委員
非線形計画法を利用した化学プロセスの動的最適化手法について解説があった。また、動的最適化手法のオンライン最適運転への適用について説明があった。

<質疑応答>

橋本(芳)：3次の評価関数に対して2次の制約条件がある問題を、2次の評価関数に対して1次の制約条件がある問題に変換したとき、必ず元の問題の最適解が得られるのはなぜか。

野田：大域的最適解が得られるかどうかはわからないが、極値に収束することは保証できる。

小尾：(4-7)式～(4-9)式の DAE システムをみると y は外乱のようにみえるが、ODE システムに変換すると状態変数 (x_1, x_2) が外乱 (y) に影響を与える形になってしまうのはなぜか。

野田：(4-9)式は一見 y と関係ないようにみえるが、ODE に変換する過程で複数の新たな制約条件が生じ、それに y が入ってくる。

小尾：CSTR の例では、単純に(4-19)式を R について解き、それを(4-17)式と(4-18)式に代入して、連立常微分方程式として理解はいけないのか。

野田：それでよい。Index が高い問題を回避する方法としては、そのようにして解き出せるものはできるだけ解き出してしまえば、Index が落ちていくことになる。

重政：実際にはパラメータを測定するとばらつきがある場合があると思うが、どうしているのか。

野田：例えば、我々が扱ったバッチ蒸留プロセスでは段効率というパラメータがあるが、そのパラメータをそれまでの時系列データから一番もっともらしい値に固定して最適操作プロファイルを計算し、ある程度操作が進んだ後パラメータを見直して最適操作プロファイルを再計算するという方法をとっている。

2) 「モデル予測制御と最適性—線形モデル予測制御から非線形モデル予測制御へ」(資料#2, #3, #4, #5, #6)

三菱化学(株) 小河 守正 氏、京都大学 大嶋 正裕 委員

大嶋委員より、モデル予測制御において、非線形モデルを取り扱うことにより、何が良くなりまた何が問題になるのかについて、最適性、可解性、安定性の観点から解説があった。また、小河氏より、現実に適用されている非線形モデル予測制御の事例の紹介があった。

<質疑応答>

長谷部：状態量を推定する際、カルマンフィルタをやめてPI コントローラを用いたとあったが、それはどのようなものか。

大嶋：物質収支式の中からいくつかの式を選んでそれに Δ という項を追加し、その Δ の値を変えていって観測できる状態量とそれらの式から計算される値が等しくなるように Δ の値を決めるという方法であり、その Δ の修正の仕方が観測できる状態量との差の積分と比例ゲインを用いている。

清水(佳)：小河氏のご講演の中の適用例で、温度変化による触媒属性変化がデータのダイナミクスを非常に変えており非線形の効果が大きいとあったが、温度プロファイルがパターンの決まっているのであれば、非線形モデルを逐次線形化し将来にわたって予測するときに温度条件だけでも入れてやれば、予測精度が上がりよい制御が得られると思われるが。

小河：状態量は予見しておらず現在の値のみを使っている。

大嶋：制御アルゴリズムは、まず非線形モデルを線形化し制約条件を考えないでLQIを解いて最適な軌道を求め、次にその軌道周りで非線形モデルを線形化し直してQPで制約条件を考慮するといった2段階からなっている。

3) 「リアルタイム最適化の現状」(資料#7)

(株)アスペンテックジャパン 高橋 徹 氏

アスペンテックジャパン社のAspen Plus Optimizerを対象に、リアルタイム最適化の位置、最近の導入対象、最適化制御の構成概要、最近の技術的改善点、最適化プロジェクトのステップについて解説があり、最後にそれのいくつかの適用事例について紹介があった。

<質疑応答>

長谷部：Open Equation modelというのはユーザがEquation based modelのなかをみることができるという意味なのか。

高橋：みることができると思われるが、ここでは詳細がわからない。

長谷部：ユーザにEquation based modelがオープンだとすると、ユーザがEquation based modelを変更したときSequential Modularとの整合性はどうか。

高橋：モデルの改造は基本的にSequential Modularの方で行うが、パラメータやData ReconciliationのところはSequential Modularに入っていない。Equation based modelの結果はSequential Modularに反映されないが、オンラインで使うときにはその辺りの整合性をとることが必要となってくるので、Aspen Plus Optimizerにそのような機能があると思われる。詳細はあとで調べてお知らせしたい。また、ご質問等ありましたら、toru.takahashi@aspentech.comへお願いしたい。

宮川：弊社の商品ではGUI上からでしかユーザはアクセスできないようにしている。ユーザが直接equationをできなくしても、すべてのモデルができるというところまで現状のリアルタイム最適化のソフトウェアはなっている。

長谷部：もしユーザがequationをみられるならば、我々がモデルを変えたいときequation baseならば可能であると考えられる。

宮川：それは、きちんとガードをとったりしておかないとモデルを開発したり運用したりするときにおかしくなる。

長谷部：ユーザはモデルそのものにタッチせず、せいぜいタッチできるのはモデルのパラメータの値ぐらいで十分だという考えなのか。

宮川：組み込みのモデル以外の要求がある場合は、ユーザーズサブルーチンという機能を使って対応している。

4) 総合討論

「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#8) 昭和電工(株) 藤田 歩 氏
エチレンプラントへオンラインオペティマイザーを導入した事例について紹介があった。

<質疑応答>

清水(雅): 定常シミュレーションを使った最適化システムまで入れなくてもよいという判断に至った理由はなにか?

藤田: 実プラントが外乱の影響が大きく常に変動しているため、定常シミュレーションによる2~3時間に1回の結果が最適点に向かっているかどうかの検証が難しく、そこまで入れるメリットがないと考えた。

小河: ロバストという意味でハネウェルを採用した理由は何か。Aspen PlusのDMCを採用した三菱化学では14日間24時間連続でプラントのテストをしてモデルを作成したが、ロバストなコントローラを使うとモデルがそれほど厳密でなくてもよいことからモデル作成のためのテスト期間が短くて済んだのか。

藤田: 実際には三菱化学と同じくらいの期間がかかっている。

大嶋: ハネウェルを選んだ最大の理由はなにか。

藤田: RMPCT(モデル予測制御)を入れてからDQPを入れるまでかなり期間があったので、DQPを入れるまで個々のユニットで最適化をやっておきたかったのが理由である。ハネウェルは、個々のユニットの段階で最適化ができるというのがメリットである。

なお、研究会で集めたアンケート(コメント・意見・質問など)にて、次の質問があり、それらについてご講演者から回答をいただいた。(野田委員への質問とその回答は後日掲載させていただく予定です。)

小河氏へ

(質問) 制御のハード面について聞き落とししたので差し支えなければ教えてください。DCSにパソコンを繋いだのですか。Linuxですか。

(回答) ・DCSにPCを接続して実行しています。
・PCはCPUクロック500MHz以上が望ましい。
・OSはLINUXで、プログラム言語はC++です。

(質問) 最適化計算が収束しなかったときの処理が必要でしょうか。やっておられれば教えてください。

(回答) ・異常終了として制御を停止する処理を組込んでいます。
・数値計算処理の不備(逆行列計算)と制約条件の設定が運転範囲を外れていたことによる収束未了を経験しています。

高橋氏へ

(質問) 従来のRT-OPT(or DMO)をASPEN PlusのGUIの下で一元管理するようになったと考えてよろしいでしょうか。(ASPEN PlusのSMモデル→DMOのEOモデルへの一方向の展開のみのサポートですが。)

(回答) 全体的としては、ご理解のとおりです。DMOの次世代のオペティマイザーがRT-Opt、そして現在がAspen Plus Optimizerです。DMOおよびRT-OptはEO形式のみサポートしておりました。Aspen PlusがSMとEOの両方をサポートするようになったのはversion11(国内では2001年)からです。なお、ご指摘のようにSMからEOへの展開は可能ですが、逆向きは実現されていません。

(質問) 実時間最適化のためには、下位側に多変数制御が必要、とのお話がありましたが、その理由は以下の2つでしょうか。それとも、別の理由でしょうか。

- ・下位側が最適化の結果通りに動く性能が必要
- ・最適化ルーチンで、状態量やプラントモデルなど、多変数制御独特の情報が必要

(回答) 御想定のとおりです。オペティマイザーが最適解を求めるにあたり、最新の制約条件を知るために多変数予測制御からの情報を利用します。Aspen Plus Optimizerはsteady stateのオペティマイザーなので、最適解を実装置に反映するには最適解を矛盾なく実現する多変数予測制御が必要とされます。最適計算中に新たな外乱が入り、最適解のすべてを満足できない状態になっている場合には予め定められた重要度にしたがって多変数予測制御が優先順位を決めるなどの仕組みが(Aspen Plus Optimizer/DMCplusの組み合わせでは)準備されています。

(質問) 導入数はどのくらいでしょうか。(件数、累計、各年ごと)

(回答) アスペンテックの実績としては、実時間最適化事例の累計は次のようになっております。導入年度については正確なデータが手元にありませんが、ここ2,3年の導入事例がかなり多くなっております。

背景の一部には、某世界規模化学企業が連続して導入を実施したことがあげられます。

アスペンテックオンライン最適化事例

Acrylic Acid	1
Amonia	2
BPA	2
BTX	1
Cat Reformer	3
Crude/Vac	18
Ethylene	40
FCC	13
HOC	1
H-Oil	1
Hydrocracker	2
LAB	2
PTA	3
PENEX	1
Power plant	1
PX	6
VAM	2
Phenol	1
MX	1
Ketene	1

(質問) open equation model ですが、各装置 (たとえば反応器) の equation model をユーザが見たり修正したりすることができますか。

(回答) Aspen Plus において Equation Oriented の式は通常の使い方ではユーザが見ることはできません。したがって、Equation Oriented レベルで式を修正することもできません。どうしても Equation Oriented レベルで修正が必要とされる場合、アスペンテックのスペシャリストが実行する特殊な手段があります。このような場合でも、結果が自動的に Sequential Moduler に反映されることはありません。

配布資料 :

- #1: 化学プロセスの動的最適化手法とオンライン最適運転への適用
- #2: モデル予測制御－I－基礎編：発展の歴史と現状, システム／制御／情報, Vol. 46, No. 5, pp. 286-293, 2002
- #3: モデル予測制御－II－線形モデル予測制御, システム／制御／情報, Vol. 46, No. 7, pp. 418-424, 2002
- #4: モデル予測制御－IV－制約条件付きのモデル予測制御, システム／制御／情報, Vol. 46, No. 11, pp. 702-708, 2002
- #5: モデル予測制御－V－非線形モデル予測制御, システム／制御／情報
- #6: 非線形モデル予測制御－重合反応プロセスへの適用－
- #7: リアルタイム最適化の現状
- #8: 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