

第1部

ワークショップ活動記録

日本学術振興会プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25
「制御性能監視 —プロセス産業での実用化を目指して—」
最終報告書

2001年12月7日

新規ワークショップ（No. 25）提案説明

制御性能監視 —プロセス産業での実用化を目指して—**[概要]**

資源、環境、安全、品質、価格など、生産活動を行う上で考慮しなければならない項目の数は増加するばかりであり、グローバル化を背景に、突き付けられる要求も際限なく厳しくなってきている。このような時代の要請に応えるためには、化学プラントの能力を最大限に引き出すような運転を実現しなければならず、制御系の性能を高く維持することが最低限必要である。しかし、一般的な生産プロセスには非常に多数の制御ループが存在し、どの制御ループがプラント全体の運転効率向上へのボトルネックであるかを見極めることは大変困難である。また、気温の変化、銘柄やロードの変更、触媒の劣化、伝熱係数の変化など多種多様な要因によってプラントの状態は時々刻々と変化するため、一度調整したコントローラであってもその制御性能が劣化している場合も多く、時にはその悪影響がプラント全体にまで及ぶこともある。そればかりか、調整もされないままに使用されているコントローラも少なくないのが現状である。近年では、モデル予測制御に代表される大規模な多変数制御を導入し、高度な運転システムを構築する事例も増えているが、それが計画通りの性能を発揮しているかどうかを常時監視し、必要に応じて再調整を行わなければ、高価なシステムが無駄となりかねない。このため、再調整を必要とするコントローラを検出する目的で、各制御系の性能を評価できるシステムティックかつ実用的な手法が必要である。さらに多変数制御系では、プラントの状態変化に適応するために、プロセスマodelを再同定する必要があるかどうかを判定できる手法の開発も望まれている。

本ワークショップの目的は、実用的な制御性能評価・監視手法を提供することである。そのために、そもそも制御性能の善し悪しとは何なのかという原点から議論を始め、これまでに提案されている各種制御性能監視手法を整理し、シミュレーションデータおよび実プラント運転データを用いた各種手法の評価を行いながら、我々が取り組むべき問題を明確にする。例えば、最小分散制御を規範とする制御性能評価手法は、この分野の先駆的な研究として高く評価できるが、まだ時間の正確な同定が必要であると共に、実現不可能な制御性能をベンチマークにするという問題点がある。実用的な制御性能評価・監視手法を開発するためには、産業界におけるニーズを的確に把握し、厳しい目で既存技術を検証する必要がある。本ワークショップでは、産学からの参加者が共同し、かつ適切に役割を分担して課題に取り組み、様々な立場の参加者がその成果を享受できるような方向で作業を進める方針である。

[内容]

本ワークショップの内容や進め方は参加者の議論に基づいて決定するが、現時点では、下記のような内容を想定している。

1. 産業界におけるニーズ（制御性能監視の理想像）の調査
2. 既存手法のサーベイ（文献・企業での実施例を調査）と評価（解析を実施）
3. 実用的な制御性能評価・監視手法の開発

[世話人]

(代表) 加納 学	(京都大学)	山下 善之	(東北大学)
重政 隆	(東芝)	西澤 淳	(三菱化学)

[連絡先]

加納 学

〒606-8501 京都市左京区吉田本町

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻

E-mail: kano@cheme.kyoto-u.ac.jp

Phone: (075) 753-5577 Fax: (075) 752 - 9639

制御性能監視

—プロセス産業での実用化を目指して—

日本学術振興会PSE第143委員会
ワークショップ No.25

2001年12月07日

—世話人—

加納 学 (京都大学) [代表世話人]
山下 善之 (東北大)
重政 隆 (東芝)
西澤 淳 (三菱化学)

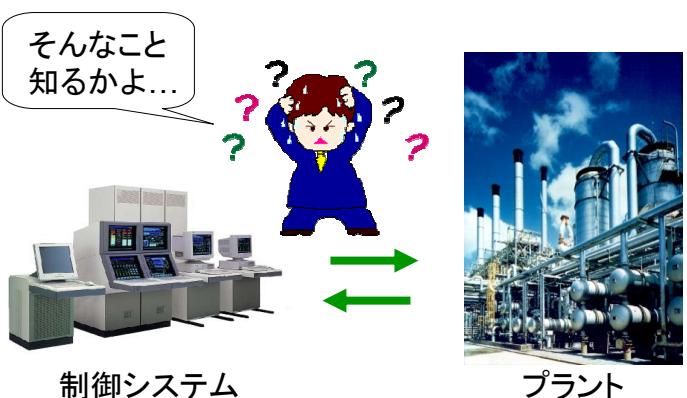
» 制御性能監視とは？－健康管理の必要性－

コントローラはまともに動いているのか？

再調整は必要ないのか？

どの制御ループがダメなのか？

いや、プラントの改造が必要ではないのか？



» 制御性能監視とは？－健康診断－

コントローラA: 良好
コントローラB: 再調整必要
コントローラC: 再調整必要
コントローラD: 良好
コントローラE: 抜本的な改善が必要

:

Dr. モニタリング



制御システム



プラント

俺の立場ないじゃん…



» 制御性能監視とは？

<背景>

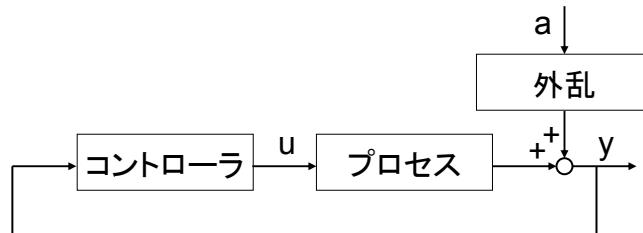
- DCSの導入等により、膨大な運転データが蓄積・利用できるようになった。
- 経済性が厳しく追及されるようになり、最適点での運転が強く求められるようになった。

<目的>

- コントローラが十分な性能を発揮しているか評価したい。
- オンラインで、運転状態を乱すことなく、できればモデル同定をせずに、制御性能を監視したい。

» 代表的な制御性能監視手法 一概念一

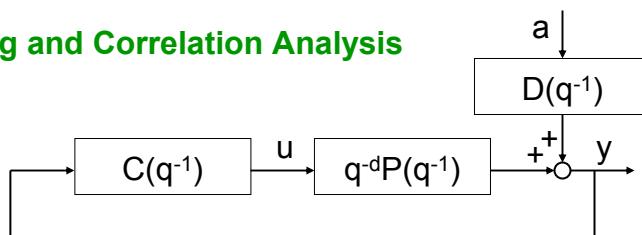
T. Harris, "Assessment of Closed Loop Performance,"
Can. J. Chem. Eng., 67, 856-861 (1989)



$$\text{評価指標} = \frac{\text{出力 } y \text{ の分散(理論的最小値)}}{\text{出力 } y \text{ の分散(実現値)}} \quad (0 \leq \eta \leq 1)$$

» FCOR法(1) 一最小分散制御一

Filtering and Correlation Analysis



$$\begin{aligned} y_t &= \frac{D}{1 + q^{-d} CP} a_t = \sum_{i=0}^{d-1} f_i q^{-i} a_t + q^{-d} \sum_{i=d}^{\infty} f_i q^{d-i} a_t \\ &= Fa_t + La_{t-d} \quad \text{むだ時間の間は制御不可能} \end{aligned}$$

$$\text{最小分散制御} \quad \sigma_{MV}^2 = Var(Fa_t) = \sum_{i=0}^{d-1} f_i^2 \sigma_a^2$$

» FCOR法(2) –Closed-Loop Potential–

最小分散制御 $\sigma_{MV}^2 = Var(Fa_t) = \sum_{i=0}^{d-1} f_i^2 \sigma_a^2$

出力 y と白色雑音 a の相関係数

$$\rho_{ya}(i) = \frac{E[y_t a_{t-i}]}{\sigma_y \sigma_a} = \frac{f_i \sigma_a}{\sigma_y}$$

CLP $\eta(d) = \frac{\sigma_{MV}^2}{\sigma_y^2} = \sum_{i=0}^{d-1} f_i^2 \sigma_a^2 / \sigma_y^2 = \sum_{i=0}^{d-1} \rho_{ya}^2(i)$

» FCOR法(3) –CLPの利用–

CLP $\eta(d) = \frac{\sigma_{MV}^2}{\sigma_y^2} = \sum_{i=0}^{d-1} f_i^2 \sigma_a^2 / \sigma_y^2 = \sum_{i=0}^{d-1} \rho_{ya}^2(i)$

CLP が0に近い場合 $\sigma_y^2 >> \sigma_{MV}^2$

コントローラを修正する必要がある。

CLP が1に近い場合 $\sigma_y^2 \approx \sigma_{MV}^2$

σ_y^2 が十分に小さいなら、完璧！

そうでないなら、フィードフォワード制御等の利用を検討する必要がある。

» FCOR法(4) - 多変数系への拡張 -

88 8 Feedback Controller Performance Assessment: General Interactor

adjustment or testing is necessary. For loops which indicate poor performance measures, a second-level study, which may require process identification and/or redesign or retuning of control loops, may be necessary. Thus, the second-level performance assessment need only be conducted on a limited number of loops and the remaining loops, which do not have significant phase and controller constraints, can then be studied at this second-level performance (local minimum) level. This approach is particularly useful for step-type disturbances ($\Sigma_m = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}$).

8.3 The FCOR algorithm for general interactor matrices

8.3.1 Multivariable performance measures

As proved in the previous sections, performance assessment processes can be reduced to finding the minimum variance term, e_t , from a multivariate moving average process, which has the general form shown in Equation 8.5. From Equation 8.5, the covariance between the output and the white noise sequence at lag t (for $t < d$) is given by

$$\Sigma_a \triangleq E[\eta(t)^T]. \quad (8.15)$$

where $\Sigma_a = D^{-1}(q)$. From

$$q^{-d}D|_{m_v} \triangleq \hat{Y}_t|_{m_v} = e_t = F_0a_t + \cdots + F_{d-1}a_{t-d+1}$$

one can solve for $\hat{Y}_t|_{m_v}$ as

$$Y_t|_{m_v} = q^d D^{-1} (F_0a_t + F_1a_{t-1} + \cdots + F_{d-1}a_{t-d+1})$$

where $\hat{Y}_t|_{m_v}$ is the interactor-filtered output under minimum variance control, and $Y_t|_{m_v}$ is the original output under the same control law. Note that from Remark 8.2.3 the minimum variance control laws of \hat{Y}_t and Y_t are identical. For the unitary interactor matrix, we have $(D^{-1}(q)) = D^T(q^{-1})$, i.e.,

$$D^{-1} = \begin{bmatrix} D_0 & \cdots & D_{d-1} \\ D_0^T & \cdots & D_{d-1}^T \end{bmatrix} \quad (8.16)$$

Therefore

$$\begin{aligned} Y_t|_{m_v} &= (D_0^T + \cdots + D_{d-1}^T q^{d-1}) (F_0 + \cdots + F_{d-1} q^{d-d+1}) a_t \\ &\triangleq (E_0 + E_1 q^{-1} + \cdots + E_{d-1} q^{-d+1}) a_t \end{aligned} \quad (8.17)$$

89 8.3 The FCOR algorithm for general interactor matrices

(Note that for a weighted unitary interactor matrix, $D_w^{-1}(q) \neq D_w^T(q^{-1})$, but $D_w = D_m W^{1/2}$ and D_m is a unitary interactor. Thus, $D_w^{-1} = W^{-1/2} D_m^{-1} W^{1/2} (q^{-1})$ and Equation 8.16 has to be modified accordingly.)

Owing to causality, any term with a positive power of q in Equation 8.17 has to be zero. In matrix form:

$$\begin{bmatrix} E_0 & E_1 & \cdots & E_{d-1} \\ [D_0, D_1, \cdots, D_{d-1}] \\ \vdots \\ F_{d-1} \end{bmatrix} \quad (8.18)$$

From Equation 8.17, variance of Y_t under minimum variance control can be

$$\triangleq X X^T \quad (8.19)$$

$$\text{where } X \triangleq [E_0 \Sigma_a^{1/2}, E_1 \Sigma_a^{1/2}, \cdots, E_{d-1} \Sigma_a^{1/2}] \quad (8.20)$$

From Equation 8.15, we have

$$E[Y_t^T Y_t]_{\min} = E_0 \Sigma_a E_0^T + \cdots + E_{d-1} \Sigma_a E_{d-1}^T \quad (8.21)$$

Substituting the expression of X from Equation 8.20 into Equation 8.21 yields

$$X = [D_0^T, D_1^T, \cdots, D_{d-1}^T] \times \begin{bmatrix} \Sigma_{Y_0}(0) \Sigma_a^{-1/2} & \Sigma_{Y_0}(1) \Sigma_a^{-1/2} & \cdots & \Sigma_{Y_0}(d-1) \Sigma_a^{-1/2} \\ \Sigma_{Y_1}(0) \Sigma_a^{-1/2} & \Sigma_{Y_1}(2) \Sigma_a^{-1/2} & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Sigma_{Y_{d-1}}(d-1) \Sigma_a^{-1/2} & \Sigma_{Y_{d-1}}(d) \Sigma_a^{-1/2} & \cdots & \vdots \end{bmatrix}$$

Since variance of Y_t under minimum variance control can be calculated from Equation 8.19, the objective function based performance measure (denoted as MIMO performance measure) can be calculated as

$$\begin{aligned} \eta(d) &= \frac{\text{minimum variance}}{\text{actual variance}} = \frac{E[Y_t^T Y_t]_{\min}}{E[Y_t^T Y_t]} \\ &= \frac{\text{tr} \Sigma_{m_v}}{\text{tr} (E[Y_t^T Y_t])} \\ &= \frac{\text{tr} (\bar{E}[Y_t^T Y_t])}{\text{tr} \bar{Y}_t} \\ &= \frac{\text{tr} (X X^T)}{\text{tr} \bar{Y}_t} \end{aligned}$$

» 制御性能監視手法は確立されたのか？

< 疑問 >

1. むだ時間を正確に同定できるのか？
2. 最小分散制御が理想なのか？
操作量の激しい変動を許容するのか？
3. PID制御などの特定のコントローラで実現できる
制御性能の限界はどこか？
4. 高度制御はどのように評価したら良いのか？



どうやら、検討すべき課題は数多く残されているようだ。。。

» 本ワークショップの目的と内容

実用的な制御性能評価・監視手法を提供する。

1. 産業界におけるニーズ(制御性能監視の理想像)の調査
2. 既存手法のサーベイ(文献・企業での実施例を調査)と評価(解析を実施)
3. 実用的な制御性能評価・監視手法の開発

具体的な目的の例

1. シングルループ制御の性能監視(主にPID制御)
コントローラのクラスごとに、各種制約条件も考慮して、実現可能な最高の制御性能を導出する。
2. 多変数制御の性能監視(モデル予測制御も含む)
制御性能の評価指標を導入するとともに、制御パラメータの再調整やモデルの再構築の必要性を判断できるシステムを開発する。

» おわりに

ご提案

時系列データ解析、システム同定、制御系設計など、本ワークショップを進めるために必要な基礎事項の解説も、必要に応じて行います。

自社あるいは個人のプロセス制御関連技術をレベルアップしたいと望まれるプラント・ユーザ企業の方々、制御システム・ベンダー企業の方々の積極的な参加をお待ちしています。あくまでも、実用化重視のワークショップにしたいと考えています。

もちろん、この分野に興味をお持ちの研究者の皆様には、本ワークショップに参加し、存分にその実力を発揮していただけることを期待しています。

» おまけ

制御性能監視のテキスト

Biao Huang & Sirish L. Shah;
Performance Assessment of Control Loops:
theory and applications,
Springer-Verlag London (1999)
ISBN: 1-85233-639-0

日本語解説

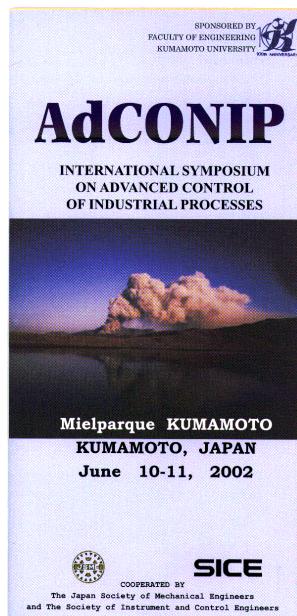
化学工学, Vol.65, No.12 (2001)

ワークショップ成果物のイメージ

多変量解析 & 統計的プロセス管理ツールボックス
<http://www-pse.cheme.kyoto-u.ac.jp/~kano/>

本ワークショップのホームページもあります。

» おまけ



工業プロセスの高度制御に 関する国際会議@熊本

アブストラクト締切：2月15日
最終原稿締切：4月30日
会議：6月10, 11日

<http://www.adconip.org/>

2002年2月1日

世話人各位

日本学術振興会
プロセスシステム工学第143委員会
委員長 小野木 克明
ワークショップ No.25 代表者
京都大学大学院工学研究科助手
加納 学

プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第1回世話人会 開催通知
(<http://www-pse.cheme.kyoto-u.ac.jp/~kano/ws25cpm.htm>)

1. 日 時：2002年2月7日（木）13:00～17:00

2. 場 所：東芝 本社 22階 22A08 会議室

（東京都港区芝浦 1-1-1（東芝ビルディング））

3. 内 容：

- 1) 世話人顔合わせ
- 2) 参加申込者の報告
- 3) ワークショップの長期計画（最終目標）について
- 4) 当面の活動内容について
- 5) アンケートについて
- 6) 第1回会合について

[出欠連絡先]

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 加納 学

E-mail: kano@cheme.kyoto-u.ac.jp

FAX: 075-752-9639

2002年2月27日

WS25参加者各位

日本学術振興会
プロセスシステム工学第143委員会
委員長 小野木 克明
ワークショップ No.25 代表者
京都大学大学院工学研究科助手
加納 学

プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第1回研究会開催通知
(<http://www-pse.cheme.kyoto-u.ac.jp/~kano/ws25cpm.htm>)

1. 日 時：2002年4月18日(木) 13:00 ~ 17:00

2. 場 所：東芝本社 39階3914会議室

(東京都港区芝浦1-1-1(東芝ビルディング))

3. 内 容：

- (1) 参加者顔合わせ
- (2) アンケート結果の報告
- (3) ワークショップの目標と進め方についての議論
- (4) 解説：「最小分散制御に基づく制御性能監視手法」
京都大学 加納 学
- (5) 次回研究会について

[その他]

- ・ アンケート(配布済み)にご回答いただき、3月末までに加納宛にご返送下さい。
- ・ 研究会の後、懇親会を予定しております。奮ってご参加下さい。
- ・ なお、準備の都合がありますので、3月25日までにご出欠についてご連絡下さい。

[出欠連絡先]

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 加納 学

E-mail: kano@cheme.kyoto-u.ac.jp

FAX: 075-752-9639

2002年5月31日

WS25参加者各位

日本学術振興会
プロセスシステム工学第143委員会
委員長 小野木 克明
ワークショップ No.25 代表者
京都大学大学院工学研究科助手
加納 学

プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第2回研究会開催通知
(<http://www-pse.cheme.kyoto-u.ac.jp/~kano/ws25cpm.htm>)

1. 日 時：2002年6月21日（金）13:00～17:00

2. 場 所：京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 演習室
(京都市左京区吉田本町 京都大学工学部4号館4階西側)

3. 内 容：

(1) 事例紹介：「三菱化学の制御性能監視に対する取組み」
三菱化学 西澤 淳 氏

(2) 報告：“How well is your controller performing: Good, Bad or Optimal?”
AdCONIP'02（熊本）の前日に開催される上記ワークショップの参加報告
(講演者はワークショップ参加後に決定します)

(3) 今後の方針、次回研究会について

[その他]

- ・ 準備の都合がありますので、6月14日までにご出欠についてご連絡下さい。

[出欠連絡先]

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 加納 学

E-mail: kano@cheme.kyoto-u.ac.jp

FAX: 075-752-9639

2002年8月9日

WS25参加者各位

日本学術振興会
プロセスシステム工学第143委員会
委員長 小野木 克明
ワークショップ No.25 代表者
京都大学大学院工学研究科助手
加納 学

プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第3回研究会開催通知
(<http://www-pse.cheme.kyoto-u.ac.jp/~kano/ws25cpm.htm>)

1. 日 時：2002年8月30日（金）13:00～17:00

2. 場 所：三菱化学本社 9階A-10会議室
(東京丸の内)

3. 内 容：

- (1) 報告：“How well is your controller performing: Good, Bad or Optimal?”
AdCONIP'02（熊本）の前日に開催されたワークショップの参加報告（続き）
三井化学 松尾 徹 氏
- (2) 事例紹介：「Wavelet を使ったプロセス診断」
三井化学 松尾 徹 氏
- (3) 議論：周波数特性の制御性能監視への利用について
- (4) 報告：“How well is your controller performing: Good, Bad or Optimal?”
AdCONIP'02（熊本）の前日に開催されたワークショップの参加報告（続き）
京都大学 加納 学
- (5) 今後の方針、次回研究会について

[その他]

- ・ 準備の都合がありますので、8月22日（木）までにご出欠についてご連絡下さい。
- ・ 受付けは不要です。三菱ビルディングに入り、エレベータで直接9階にお越し下さい。

[出欠連絡先]

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 加納 学

E-mail: kano@cheme.kyoto-u.ac.jp

FAX: 075-752-9639

2002年10月22日

WS25参加者各位

日本学術振興会
プロセスシステム工学第143委員会
委員長 小野木 克明
ワークショップ No.25 代表者
京都大学大学院工学研究科助手
加納 学

プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第4回研究会開催通知
(<http://www-pse.cheme.kyoto-u.ac.jp/~kano/ws25cpm.htm>)

1. 日 時：2002年11月1日（金）13:00～17:00

2. 場 所：名古屋工業大学 17号館308室
(名古屋市昭和区御器所町)

3. 内 容：

- (1) 作業報告 (T1): 最小分散制御をベンチマークとする手法
講演者未定
- (2) 作業報告 (T1): 最小分散制御をベンチマークとする手法
京都大学 丸田 浩 氏, 加納 学
- (3) 作業報告 (T2): LQGをベンチマークとする手法
東芝 清水 佳子 氏
- (4) 解説：「閉ループ同定」
京都大学 加納 学
- (5) 今後の方針, 次回研究会について

[その他]

- ・ 研究会の後, 懇親会を予定しております.奮ってご参加下さい.

[出欠連絡先]

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 加納 学
E-mail: kano@cheme.kyoto-u.ac.jp
FAX: 075-752-9639

2002年11月27日

WS25参加者各位

日本学術振興会
プロセスシステム工学第143委員会
委員長 小野木 克明
ワークショップ No.25 代表者
京都大学大学院工学研究科助手
加納 学

プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第5回研究会開催通知
(<http://www-pse.cheme.kyoto-u.ac.jp/~kano/ws25cpm.htm>)

1. 日 時：2002年12月20日（金）13:00～17:00

2. 場 所：京都大学 工学部4号館 化学工学第2講義室

（京都市左京区吉田本町）

地図・交通：<http://www.cheme.kyoto-u.ac.jp/map.html>

3. 内 容：

（1）解説：「フィードバック制御下でのプロセス同定」

出光石油化学 喰田 秀樹 氏

（2）作業報告（T3）：高次統計量による非線形性の検出

名古屋工業大学 黒野 基二 氏，橋本 芳宏 氏

（3）解説：「定性的形状解析を用いた制御性能監視」

東北大学 山下 善之 氏

（4）作業報告（T1）：最小分散制御をベンチマークとする手法

京都大学 丸田 浩 氏，加納 学

（5）今後の方針，次回研究会について

[その他]

- ・ 12月16日までにご出欠についてご連絡下さい。

[出欠連絡先]

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 加納 学

E-mail: kano@cheme.kyoto-u.ac.jp

FAX: 075-752-9639

2003年2月3日

WS25参加者各位

日本学術振興会
プロセスシステム工学第143委員会
委員長 小野木 克明
ワークショップ No.25 代表者
京都大学大学院工学研究科助手
加納 学

プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第6回研究会開催通知
(<http://www-pse.cheme.kyoto-u.ac.jp/~kano/ws25cpm.htm>)

1. 日 時：2003年2月14日（金）13:00～17:00

2. 場 所：三菱化学本社 9階A-11会議室
(東京丸の内)

3. 内 容：

- (1) 製品紹介：「AspenWatch の紹介」(仮題)
アスペンテックジャパン 高橋 徹 氏
- (2) 事例紹介：「GaAs 単結晶育成プロセスへのモデル予測制御の適用」(仮題)
ジャパンエナジー 白川 義之 氏
- (3) 事例紹介：「モデル予測制御の性能監視（実プラントデータへの適用）」
三菱化学 西澤 淳 氏
- (4) 今後の方針、次回研究会について

講演順序は未定です。

[その他]

- ・ 2月10日までにご出欠についてご連絡下さい。

[出欠連絡先]

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 加納 学
E-mail: kano@cheme.kyoto-u.ac.jp
FAX: 075-752-9639

2003年4月4日

WS25参加者各位

日本学術振興会
プロセスシステム工学第143委員会
委員長 小野木 克明
ワークショップ No.25 代表者
京都大学大学院工学研究科助手
加納 学

プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第7回研究会開催通知
(<http://www-pse.cheme.kyoto-u.ac.jp/~kano/ws25cpm.htm>)

1. 日 時：2003年4月18日（金）13:00～17:00

2. 場 所：東北大学 青葉記念会館 702号室（中研修室）

（仙台市青葉区荒巻字青葉）

地図・交通：<http://www.eng.tohoku.ac.jp/eng/map/citymap.html>

3. 内 容：

（1）解説：運転データおよび対象プロセスの説明

三菱化学 西澤 淳 氏

住友化学 久下本 秀和 氏

（2）WS25の今後の方針について

- ・アンケート結果報告
- ・運転データの活用方法
- ・その他

（3）143委員会での中間報告（7月）について

（4）作業報告（T1）：最小分散制御をベンチマークとする手法

京都大学 加納 学

（5）今後の方針、次回研究会について

[その他]

- ・4月11日までにご出欠についてご連絡下さい。

[出欠連絡先]

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 加納 学

E-mail: kano@cheme.kyoto-u.ac.jp

FAX: 075-753-4827

2003年5月22日

WS25参加者各位

日本学術振興会
プロセスシステム工学第143委員会
委員長 小野木 克明
ワークショップ No.25 代表者
京都大学大学院工学研究科助手
加納 学

プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第8回研究会開催通知
(<http://www-pse.cheme.kyoto-u.ac.jp/~kano/ws25cpm.htm>)

1. 日 時：2003年5月31日（土）13:00～17:00

2. 場 所：神戸大学 C4棟4階C4-402セミナー室
(神戸市灘区六甲台町1-1)

地図・交通：添付地図参照

(参考) <http://www.kobe-u.ac.jp/access/index-j.html>

3. 内 容：

(1) 解説：モデル駆動PID制御 -その特徴と応用例-

東芝 重政 隆氏

東芝 行友 雅徳氏

(2) 作業報告：三菱化学提供運転データの解析

三井化学 松尾 徹氏

(3) 作業報告：バルブステイクションモデルとステイクション検出アルゴリズム

京都大学 丸田 浩，加納 学

(4) 今後の方針，次回研究会について

[その他]

- ・ 5月28日までにご出欠についてご連絡下さい。
- ・ 5月28-30日にSICE制御部門大会が開催されます。30日にはWS25メンバーを中心とした「プロセス・コントローラの状態監視」というセッションがあります。是非ご参加下さい。

[出欠連絡先]

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 加納 学

E-mail: kano@cheme.kyoto-u.ac.jp

FAX: 075-753-4827

2003年7月2日

WS25参加者各位

日本学術振興会
プロセスシステム工学第143委員会
委員長 小野木 克明
ワークショップ No.25 代表者
京都大学大学院工学研究科助手
加納 学

プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第9回研究会開催通知
(<http://www-pse.cheme.kyoto-u.ac.jp/~kano/ws25cpm.htm>)

1. 日 時：2003年7月17日（木）13:20～17:20

2. 場 所：工学院大学 新宿校舎11階第7会議室

（新宿駅西口から徒歩7-8分）

地図・交通：<http://www.kogakuin.ac.jp/map/shinjuku/index.html>

3. 内 容：

（1）文献調査報告

“Time series methods for dynamic analysis of multiple controlled variables”

横河電機 清水 雅嗣 氏

“A practical approach for large-scale controller performance assessment, diagnosis, and improvement”

昭和電工 滝波 明敏 氏

“Performance Assessment of Constrained Model Predictive Control Systems”

ジャパンエナジー 白川 義之 氏

“An investigation into the poor performance of a model predictive control system on an industrial CGO coker”

ジャパンエナジー 大宮司 理晴 氏

“Practical issues in multivariable feedback control performance assessment”

インベンシス 宮川 基彦 氏

“Diagnostic Tools for Multivariable Model-Based Control Systems”

三菱化学 西澤 淳 氏

（2）作業報告：バルブステイクションモデルとステイクション検出アルゴリズム

京都大学 丸田 浩，加納 学

（3）今後の方針，次回研究会について

[その他]

- ・ 7月10日までにご出欠についてご連絡下さい。

[出欠連絡先]

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 加納 学

E-mail: kano@cheme.kyoto-u.ac.jp

FAX: 075-753-4827

2003年8月8日

WS25参加者各位

日本学術振興会
プロセスシステム工学第143委員会
委員長 小野木 克明
ワークショップ No.25 代表者
京都大学大学院工学研究科助手
加納 学

プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第10回研究会開催通知
(<http://www-pse.cheme.kyoto-u.ac.jp/~kano/ws25cpm.htm>)

1. 日 時：2003年8月22日（金）13:00～17:00

2. 場 所：東芝本社 39F 3903会議室

（東京都港区芝浦1-1-1（東芝ビルディング））

3. 内 容：

（1）文献調査報告

“Diagnostic Tools for Multivariable Model-Based Control Systems”

三菱化学 西澤 淳 氏

（2）作業報告：バルブステイクションモデルとステイクション検出アルゴリズム

京都大学 丸田 浩，加納 学

（3）今後の方針，次回研究会について

[その他]

- 8月18日までにご出欠についてご連絡下さい。東芝本社を利用させていただくに際して，参加者全員を登録しておいていただかなければなりません。このため，参加される方は必ず期限内にご連絡下さい。

[出欠連絡先]

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 加納 学

E-mail: kano@cheme.kyoto-u.ac.jp

FAX: 075-753-4827

2003年10月29日

WS25参加者各位

日本学術振興会
プロセスシステム工学第143委員会
委員長 小野木 克明
ワークショップ No.25 代表者
京都大学大学院工学研究科助手
加納 学

プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第11回研究会開催通知
(<http://www-pse.cheme.kyoto-u.ac.jp/~kano/ws25cpm.htm>)

1. 日 時：2003年11月4日（火）13:00～17:00

2. 場 所：京都大学化学工学専攻会議室 A2棟216室

（京都市西区京都大学桂）

交通アクセス：<http://www.cheme.kyoto-u.ac.jp/>

3. 内 容：

（1） 特別講演：Detection and diagnosis of valve stiction

Prof. Nina Thornhill (University College London, UK)

（2） 作業報告：バルブステイクション検出方法（仮題）

東北大学 山下 善之 氏

（3） 文献調査報告：PID制御の性能評価（仮題）

京都大学 丸田 浩，加納 学

（4） 今後の方針，最終報告書，次回研究会について

[その他]

- できましたら，11月1日までにご出欠についてご連絡下さい。

[出欠連絡先]

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 加納 学

E-mail: kano@cheme.kyoto-u.ac.jp

FAX: 075-383-2657

2004年1月7日

WS25参加者各位

日本学術振興会
プロセスシステム工学第143委員会
委員長 小野木 克明
ワークショップ No.25 代表者
京都大学大学院工学研究科助手
加納 学

プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第12回研究会開催通知
(<http://www-pse.cheme.kyoto-u.ac.jp/~kano/ws25cpm.htm>)

1. 日 時：2004年1月30日（金）13:00～17:00

2. 場 所：日揮（株）横浜本社 会議室 26F 北 SI センター
(横浜市西区みなとみらい2-3-1 クイーンズタワーA)
交通アクセス：添付ファイル参照

3. 内 容：

- (1) ソフトウェア（制御性能監視ツールボックス）演習
- (2) 作業報告：PID制御の性能評価
京都大学 丸田 浩，加納 学
- (3) 最終報告書，次回研究会について

[その他]

- ・ 1月16日までにご出欠についてご連絡下さい。
- ・ できるかぎりソフトウェア演習用のパソコンを持参して下さい。ソフトウェアのインストールなど詳細については改めて連絡させていただきます。
- ・ 研究会の後，懇親会を予定しております。奮ってご参加下さい。

[出欠連絡先]

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 加納 学

E-mail: kano@cheme.kyoto-u.ac.jp

FAX: 075-383-2657

2004年03月01日

WS 25 参加者各位

日本学術振興会
プロセスシステム工学第143委員会
委員長 小野木 克明
ワークショップ No.25 代表者
京都大学大学院工学研究科助教授
加納 学

プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第13回研究会開催通知
(<http://www-pse.cheme.kyoto-u.ac.jp/~kano/ws25cpm.htm>)

1. 日 時：2004年3月5日（金）13:00～17:00

2. 場 所：京都大学化学工学専攻会議室 A2棟216室
(京都市西区京都大学桂)

交通アクセス：<http://www.cheme.kyoto-u.ac.jp/>

3. 内 容：

- (1) 作業報告：E Q S Aによるバルブステイクション検出方法（仮題）
東北大學 山下 善之 氏
- (2) 作業報告：バルブステイクション検出方法の改良（仮題）
京都大學 丸田 浩, 加納 学
- (3) 作業報告：P I D制御の性能評価（仮題）
京都大學 丸田 浩, 加納 学
- (4) 今後の方針, 最終報告書, 次回研究会について

[その他]

- ・ できましたら、3月4日までにご出欠についてご連絡下さい。

[出欠連絡先]

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 加納 学

E-mail: kano@cheme.kyoto-u.ac.jp

FAX: 075-383-2657

2004年05月10日

WS25参加者各位

日本学術振興会
プロセスシステム工学第143委員会
委員長 小野木 克明
ワークショップ No.25 代表者
京都大学大学院工学研究科助教授
加納 学

プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第14回研究会開催通知
(<http://www-pse.cheme.kyoto-u.ac.jp/~kano/ws25cpm.htm>)

1. 日 時：2004年6月18日（金）13:00～18:30
6月19日（土） 9:20～12:30

2. 場 所：京都大学百周年時計台記念館 会議室IV
(京都市左京区吉田本町) 吉田キャンパスですので、ご注意ください。
交通アクセス：http://www.kyoto-u.ac.jp/access/kmap/map6r_y.htm

3. 内 容：

(1) 文献調査報告：
最近数年間に学術雑誌や国際会議で発表された論文について、本ワークショップメンバーから、その内容を紹介していただきます。その上で、制御性能監視技術の現状や将来の方向性について議論させていただく予定です。紹介していただく論文（10報程度を予定）と発表者につきましては、後日改めて連絡いたします。

(2) 最終報告書について：
最終報告書の構成と内容、および執筆担当について、最終的な打ち合わせをさせていただきます。

[その他]

- ・ 準備の都合がありますので、5月17日までにご出欠についてご連絡下さい。
- ・ 18日（金）研究会終了後、懇親会を開催します。

[出欠連絡先]

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 加納 学
E-mail: kano@cheme.kyoto-u.ac.jp
FAX: 075-383-2657

日本学術振興会プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第1回世話人会議事録

1. 日 時： 2002年2月7日(木) 13:00 ~ 17:00

2. 場 所： 東芝 本社 22階 22A08 会議室

(東京都港区芝浦1-1-1(東芝ビルディング))

3. 出席者： 4名(順不同)

加納学(京都大学), 山下善之(東北大学), 重政隆(東芝), 西澤淳(三菱化学)

4. 内 容

4-1. 報告事項

参加申込者は大学8名+企業14名。今後も参加申込は受け付ける。

4-2. 今後の活動について

まず、各社におけるプロセス制御関連の問題をできるだけ具体的に抽出する。また、現在の理論や技術を参加者に紹介すると同時に、各社での性能監視への取り組み、異常対応や制御性能改善の方法、さらに膨大な制御ループの優先順位についての考え方などを紹介してもらい、WSの方向性を定める。

1) アンケートの実施(加納)

アンケートを実施し、第1回会合にて集計結果について説明する。数回の研究会を開いた後、参加者が理論・技術の現状について共通認識を持った段階で、より詳細なアンケートを実施する。

2) 評価・検証用データ(実プラント運転データ)の用意(西澤)

エチレンプラントが候補。運転状態や制御性能に変化が生じている運転データを用意する方向で、三菱化学にて社内調整していただく。運転状態が変化した原因が既知である運転データが望ましい。

3) 評価・検証用データ(シミュレーション)の作成(加納)

HYSYSのダイナミックシミュレーションを利用する。簡単なプロセスを対象とする。

4) 第1, 2回会合の内容

第1回：最小分散制御をベンチマークとする手法と制御性能監視の現状についての解説(加納)

アンケート集計結果の説明

第2回：三菱化学での取り組みと課題(西澤)

アンケート結果をふまえて企業側参加者に講演依頼(数件)

5) 検討すべき内容について

- ・対象プロセスや制御目的に応じた性能監視を行う必要がある。
- ・望ましくない運転状態になったときにその原因を知ることが大切である。(評価だけではダメ)
- ・制御性能が悪いと判断されたときの対応(再調整, モデル再同定の必要性判断など)についても検討すべきである。
- ・個々の制御ループの制御性能を最大限に高めることができがプラント運転の目的ではない。プラント全体として最高の性能を実現するための評価・監視手法やボトルネック究明方法、制御ループに優先順位を付ける合理的な方法が必要である。プラントワイド制御性能監視とでも呼ぶべきもの。

4-3. その他

1) メールリストを立ち上げる。

2) WSのホームページにて資料(論文リストやリンク)を充実させる。

3) 第1回研究会にて、WSでの成果の取り扱い(特許取得)について議論する。

[予定]

第1回研究会 4月18日(木) 東芝本社(東京都港区芝浦1-1-1(東芝ビルディング))

日本学術振興会プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第1回研究会議事録

1. 日 時： 2002年4月18日(木) 13:00~17:15 (研究会)
17:15~19:00 (懇親会)

2. 場 所： 東芝 本社 39階 3914 会議室
(東京都港区芝浦1-1-1(東芝ビルディング))

3. 出席者： 21名(順不同、出席、欠席)

<大学> 加納学(京都大学) 山下善之(東北大学) 大嶋正裕(京都大学) 柏植義文(九州大学) 山本重彦(工学院大学) 大野弘(神戸大学) 橋本芳宏(名古屋工業大学) 黒岡武俊(奈良先端科学技術大学院大学)

<企業> 重政隆(東芝ITコントロール) 西澤淳(三菱化学) 栗原久光(出光興産) 喰田秀樹(出光石油化学) 樋口文孝(出光石油化学) 宮川基彦(インベンシスシステムス) 大宮司理晴(ジャパンエナジー) 白川義之(ジャパンエナジー) 滝波明敏(昭和電工) 久下本秀和(住友化学工業) 清水佳子(東芝) 行友雅徳(東芝) 村田尚(東洋エンジニアリング) 松尾徹(三井化学) 松尾文晴(三井化学) 清水雅嗣(横河電機)

4. 内 容

4-1. 参加者紹介

4-2. アンケート結果の報告とディスカッション

参加目的、取り組み状況、対象としていたい制御方式・プロセス、適用結果への期待、興味のあるテーマ、希望する内容、運転データ提供の可否、話題提供の可否について、アンケート結果の報告があった。その結果に基づいて、今後の方針について議論した。

【意見】

加納：検討対象とする制御方式として、PID制御とモデル予測制御を挙げた人が多かった。

清水(佳)：MPCの性能評価を行う場合、制約条件があるために取り扱いが困難になるのではないか。

松尾(徹)：MPC適用時に下位PID制御ループが悪いために全体としても悪くなることがある。PID制御を調整するための明確な目標、システムティックな評価・調整方法が必要である。プラントの動特性がわかれれば良いが、ステップ応答を取れない場合もある。閉ループ同定が必要。

西澤：経験で上手に調整できるエンジニアもいる。必要であればステップ応答テストを実施する。

久下本：トラブル発生時に運転員がパラメータを変更したまま元の設定に戻さないことがある。ステップ応答を取る場合でも、むだ時間の同定が難しいために調整がうまくいかない場合がある。

白川：定值制御であれば、偏差を監視するだけで十分ではないのか。この場合、制御系導入時の性能を基準に評価するため、導入時の性能評価が大切である。

滝波：現場から制御が良くないと指摘が来たら対応するため、~10年は再調整しないループも多い。PID制御であれば、ハンチングしているときぐらいしか注意を向かない。MPCであれば、未知外乱の影響は考慮せず、実測値と予測値のずれで評価する。

喰田：振れが大きくなると運転員がオフにする。外乱が原因か、チューニングが原因かを見極めたい。

清水(佳)：計測器の故障に気付かず、制御システムを変更した例を知っている。プロセスの特性変化なのか、コントローラ側の問題なのかを見極める必要がある。

重政：プロセスモニタリングまでを検討対象とするべきか。

加納：制御性能監視は制御系全体が正常であることを前提として制御性能を評価している。このため、制御系全体が正常であることを保証しておく必要がある。

久下本：バルブのステッキングが多いが、これはデータをよく見ればわかる。

橋本：フィルムの制御では、操作量の上下限制約を変化させて制御を行い、そのときの振幅の変化から、

外乱が原因かコントローラが原因かを調べている。

山本：プラント全体の最適と個別ループの最適とは異なる。個別ループでも、均流液面制御のように、厳しく制御してはいけない場合もある。

久下本：全体としての制御性能を評価するための指標はあるのか。また、モデル予測制御を導入する必要性の有無を判断したい。

松尾(徹)：結局は経済性の評価となる。6のように、分散を小さくするのが良いのではないか。

滝波：エチレンプラントでは製品品質の分散を抑えることが重要である。分散が小さくなれば、余裕を小さくできるため、結果としてコストを削減できる。

山本：製紙プロセスも同様であるが、経済性を評価しやすい。一般的に、化学プロセスは制御性能と経済性を結び付けるのが困難なのではないか。

加納：閉ループ同定を取り上げるべきか。現在、直接法、間接法、入出力結合法が提案されている。

喰田：数回設定値変更を行い、間接法を適用することで、閉ループ同定には成功している。直接法はダメで、入出力結合法は実際に利用するのが難しい。閉ループ同定は制御性能評価後に必要になる作業であるため、まずは制御性能評価に取り組むべき。

清水：理屈ではここまでできるという性能限界を明確にするのが先決である。

4-3. 勉強会：「最小分散制御を規範とする制御性能監視」 加納学（京都大学）

1入力1出力線形系の制御性能評価手法として、最小分散制御によって実現できる制御量の分散をベンチマークとする方法についての解説があった。

【質疑応答】

山本：実プラントに白色雑音が入力されているわけではないが、時系列データ解析を適用すれば、制御量の時系列データを生成する白色雑音系列と時系列モデルが決定できるということか。

加納：その通り。

橋本：ステップ状などの決定論的な外乱には対応できるのか。

加納：白色雑音の分布関数として正規分布などとは異なる特殊な関数を利用し、かつ適切なARIMAモデルを用いれば、ステップ状やランプ状などの決定論的な外乱にも対応できる。

橋本：高次遅れとむだ時間をどのように区別するのか。プロセスゲインが小さい部分で完全な制御を仮定するのはおかしい。この方法は現実から離れてしまっているのではないか。

西澤：最小分散をベンチマークとする方法の問題点は、むだ時間を同定するのが難しいことである。むだ時間が正しく同定できるなら使える。

4-4. 懇親会

研究会終了後、東芝本社食堂にて懇親会を開催した。参加者は17名。

5. 配付資料

1) WS25「制御性能監視」アンケート結果

2) 最小分散制御を規範とする制御性能監視 SISO系の定值制御

[予定]

第2回研究会 6月21日(金) 13:00~17:00 京都大学

1) 制御性能監視事例紹介 西澤(三菱化学)

2) 勉強会 加納(京都大学)

3) その他

日本学術振興会プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第2回研究会議事録

1. 日 時： 2002年6月21日（金）13:00～17:00

2. 場 所： 京都大学大学院工学研究科化学工学専攻 演習室

（京都市左京区吉田本町 京都大学工学部4号館4階西側）

3. 出席者：19名（順不同，出席，欠席）

<大学> 加納学（京都大学） 山下善之（東北大学） 大嶋正裕（京都大学） 柏植義文（九州大学） 山本重彦（工学院大学） 大野弘（神戸大学） 橋本芳宏（名古屋工業大学） 黒岡武俊（奈良先端科学技術大学院大学）

<企業> 重政隆（東芝ITコントロール） 西澤淳（三菱化学） 栗原久光（出光興産） 喰田秀樹（出光石油化学） 樋口文孝（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（ジャパンエナジー） 白川義之（ジャパンエナジー） 滝波明敏（昭和電工） 久下本秀和（住友化学工業） 清水佳子（東芝） 行友雅徳（東芝） 村田尚（東洋エンジニアリング） 松尾徹（三井化学） 松尾文晴（三井化学） 清水雅嗣（横河電機）[代理：末吉一雄] 橋本祐樹（三菱化学）

4. 内容

4-1. 事例紹介：「三菱化学の制御性能監視に対する取り組み」 西澤淳氏（三菱化学）

制御性能監視についての検討を進めるに至った背景、従来の最小分散制御に基づく評価手法の問題点についての説明の後、実用性を重視した制御性能監視指標として、プロセスアラーム件数、オペレータ操作頻度、ゆとり時間、サービスファクター、PFDマップ、制御性指標 Ce、操作性指標 Cu、Ce-Cu 散布図、制御性能監視指標 Cp についての具体的な説明があった。さらに、自社開発されたソフトウェアのデモが行われ、上記各指標の表示画面が示されると共に、モデリングツールと PFD チューニングツールの紹介があった。

【議論概要】

- ・ 温度、流量、圧力、レベル、分析値ごとに PFD パラメータの推奨範囲を提示している。特に、プラント毎に個性があるとは思われない。ただし、基幹プラントはより良くメンテナンスされている。
- ・ プラント安定化（制御ループ改善）活動は、DMC の導入によって促進されたというよりも、TPM 活動の中で積極的に取り組まれた。
- ・ 性能監視指標が劣化したときにオペレータに自動的に知らせるような仕組みにはなっていない。また、オペレータが積極的に指標を見るることもない。性能監視指標は絶対的な評価を行うためのものではなく、あくまでも相対的な評価を行うために利用している。
- ・ 開発したモデリングツールは SISO 系を対象としており、多変数系の同定には DMI などを使う。モデルとしてはできるだけ簡単なモデルを採用する。
- ・ PFD チューニングツールで必ずしもうまくいくとは限らず、現場での調整が必要になる場合もある。PFD 調整に関しては、オペレータが行う場合、計装エンジニアが行う場合など様々である。なお、ツール内でモデル誤差を考慮したシミュレーションも実施可能である。また、オペレータの教育用としても、開発したツールは有効である。
- ・ 現在のところ、プラント全体を考慮した制御性能評価には至っていない。また、干渉を考慮できるようにもなっていない。

4-2. 事例紹介：「多変数モデル予測制御性能監視」 橋本祐樹氏（三菱化学）

制御性能監視ワークフローと多変数モデル予測制御（DMC）の制御構成についての解説の後、多変数制御性能指標として、最小分散ベンチマーク、閉ループ整定時間を指定する方法、目的関数ベンチマーク、ヒストリカルベンチマークが紹介され、蒸留塔制御への適用事例が紹介された。

【議論概要】

- ・高ロードおよび低ロード時に制御性能が悪くなっている。さらに予測誤差も大きくなっている。この原因としては、モデル誤差の拡大と外乱の拡大が考えられる。いずれが真の原因かについては未検討である。なお、低ロード時に制御性能が悪くなる一因として、操作量が制約条件にかかることが挙げられる。

4-3. 報告：“How well is your controller performing: Good, Bad or Optimal?”

A) 概要説明 加納（京都大学）

B) Performance assessment of feedback controllers 清水氏（東芝）

C) Practical issues in control loop performance assessment 清水氏（東芝）

D) Detection and diagnosis of process and/or actuator nonlinearities 久下本氏（住友化学）

6月9日に熊本で開催された制御性能監視に関するワークショップの概要説明の後、個別テーマについての報告があった。まず、清水氏より、制御量の変動と操作量の変動とを同時に考慮するLQG型ベンチマークを用いる性能評価指標についての説明があり、MPCの制御性能評価への適用事例が紹介された。続いて、清水氏より、最小分散制御をベンチマークとする性能評価手法のBP Amoco社の製油プロセスへの実施例が報告され、実用上の問題点が指摘された。また、スペクトル解析を用いて、バルブ不感帯などの非線形性を検出する方法や振動原因を特定する方法が説明された。さらに、久下本氏より、高次（3次）統計量を用いてプロセスに内在する非線形性を検出する方法について、シミュレーション結果を交えながら具体的な説明があった。

【議論概要】

- ・LQGのパラメータを変化させることにより、1つの曲線を描くことができる。ただし、外乱の大きさが変化すれば曲線の位置も変化するため、事前に適切なスケーリングを行う必要がある。また、パレート最適であるため、プロット図に基づいて最終的な判断を下せるとは限らない。
- ・一般に、サンプリング周期を短くしすぎると高周波成分の影響を強く受けるため、適切なサンプリング周期を選択する必要があるとされる。性能評価のためのサンプリング周期を実際の制御周期よりも長くすることに問題はないか？
- ・むだ時間に幅を持たせて最小分散制御基準の監視指標(Harris Index)をプロットすることにより、持続振動やオフセットの存在を確認できる。
- ・高次統計量を用いてすべての非線形性を捉えられるかどうかは不明である。また、リミットサイクルに至らない程度のバルブスティックを検出できるかどうかについては、その可能性はある。

4-4. 今後の方針について

1) 最小分散制御を基準とする評価手法、2) LQGを基準とする評価手法、3) 閉ループインパルス応答に基づく評価手法、4) スペクトル解析および高次統計量を用いて非線形性を検出する方法について、実際にシミュレーションデータを用いて検討する。次回研究会にて、検討結果を報告する。

5. 配付資料

- 1) 三菱化学の制御性能監視に対する取り組み
- 2) 多変数モデル予測制御性能監視
- 3) ワークショップ参加報告
- 4) Path Analysis for Process Troubleshooting

[予定]

第3回研究会 8月30日（金）13:00～17:00 東京（三菱化学）

- 1) 報告会（統編） 松尾氏（三井化学）、加納（京都大学）
- 2) 事例紹介 松尾氏（三井化学）
- 3) 検討結果報告会（内容および講演者は後日相談）
- 4) その他

日本学術振興会プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第3回研究会議事録

1. 日 時： 2002年8月30日(金) 13:00 ~ 17:00

2. 場 所： 三菱化学本社 9階A - 10会議室
(東京丸の内 三菱ビル)

3. 出席者： 18名(順不同, 出席, 欠席)

<大学> 加納学(京都大学) 山下善之(東北大学) 大嶋正裕(京都大学) 柏植義文(九州大学) 山本重彦(工学院大学) 大野弘(神戸大学) 橋本芳宏(名古屋工業大学) 黒岡武俊(奈良先端科学技術大学院大学)

<企業> 重政隆(東芝ITコントロール) 西澤淳(三菱化学) 栗原久光(出光興産) 喰田秀樹(出光石油化学) 樋口文孝(出光石油化学) 宮川基彦(インベンシスシステムス) 大宮司理晴(ジャパンエナジー) 白川義之(ジャパンエナジー) 滝波明敏(昭和電工) 久下本秀和(住友化学工業) 清水佳子(東芝) 行友雅徳(東芝) 村田尚(東洋エンジニアリング) 松尾徹(三井化学) 松尾文晴(三井化学) 清水雅嗣(横河電機)

4. 内容

4-1. 報告：“How well is your controller performing: Good, Bad or Optimal?”

E) Detection and diagnosis of plant with disturbances 松尾徹氏(三井化学)

6月9日に熊本で開催された制御性能監視に関するワークショップの報告(第2回研究会の続き)があった。運転データに高速フーリエ変換(FFT)を適用して得られるパワースペクトルを利用して、振動の原因を突き止める手法についての説明があった。そのための定量的な指標として、Distortion Factorなどが紹介された。変数をいくつかのグループに分類するために、スペクトルデータに主成分分析(PCA)を適用する方法が紹介された。これにより、特定の周波数成分をもつ変数ごとにグループ化される。また、サロゲイト法を利用してスペクトルデータから運転データを復元することにより、プロセスの非線形性を評価する手法についての説明があった。

【議論概要】

- ・ 振動の原因となっている変数が見付かった後の処置については、ワークショップでは特に説明はなかった。現実には対策を講ずることが重要であり、原因発見後の処理について検討する必要がある。
- ・ PCAによって変数の分類を行う際に、ワークショップの例では第3主成分までを採用している。これは、第3主成分までの累積寄与率が90%以上となるためである。なお、各主成分に物理的意味を見出すことは困難である。
- ・ サロゲイト法は1990年代はじめには既に提案されている手法であり、一般的な手法である。

4-2. 事例紹介：“Application of wavelet analysis to chemical process diagnosis” 松尾徹氏(三井化学)
ウェーブレット解析を用いてプロセス診断を行う方法、およびその手法の実プラントへの適用事例が紹介された。解析ツールは山武製ソフトウェアである。まず、ウェーブレット解析による信号特徴の量化方法についての説明があった。そのための定量的な指標として、時間-周波数領域における類似度が提案された。さらに、類似度を利用して、プロセスのむだ時間を同定する方法についての説明があった。類似度の適用事例として、重合反応プロセスの製品品質に最も影響を与えるプロセス変数を見付け出すという例が紹介された。また、フィードバック制御下で、類似度を利用してむだ時間を同定した事例についても紹介があった。

【議論概要】

- ・ ウェーブレット解析に用いたのはガボール関数である。複数のウェーブレットを用いた結果を比較検討したところ、ガボール関数による結果が最も良かったためである。

- ・ フィードバック制御下でむだ時間同定を行っているが、本当にむだ時間を同定できているのかについて、さらに検討する必要がある。シミュレーションでは設定値変更を行っているため、フィードバック制御下でのむだ時間同定は可能と考えられるが、設定値変更を行っていない実プラントにおいては、むだ時間が同定できているかどうか疑問である。
- ・ 類似度は相互相関のようなものであるから、操作変数から制御変数への因果関係（プロセス）と制御変数から操作変数への因果関係（コントローラ）の特徴が共に抽出されるはずである。むだ時間だけずらした点のみで、類似度が最大となるのはなぜか。
- ・ 理論的には、作為的に選択した周波数領域の類似度に基づいて、正確にむだ時間を同定することはできない。実際には、入出力の不連続点を見付け出し、その時間差を実時間軸（最も周波数が高い領域）で評価しなければならない。この作業は非常に複雑であるため、ある周波数領域での時間差によって実時間軸上の時間差が近似できるという仮定が成り立つなら、提案法は有効であろう。

4-3. 報告：“How well is your controller performing: Good, Bad or Optimal?”

F) Path Analysis for Process Troubleshooting 加納学（京都大学）

制御性能監視に関するワークショップ報告会の続き（最後）。サンプル数が無限大になれば、最小二乗法によって線形システムのパラメータの真値を推定できるという性質を利用して、変数間の因果関係を調べる方法についての説明があった。いくつかの例題について、最小二乗法と部分的最小二乗法（PLS）との比較も示された。PLSによる推定値は、そのノルムが小さく、サンプル数が少ないと非常に安定している。ところが、最小二乗法による推定値の分散は、サンプル数が少ないと非常に大きくなってしまう。ただし、サンプル数を増やすと、その推定値は真値に漸近する。

【議論概要】

- ・ サンプル数を増やすと、最小二乗推定値が真値に漸近するという性質は簡単に証明できる。
- ・ 1) 非線形プロセスへの適用、2) 動的モデルへの適用、3) 入力に測定ノイズがある場合、などについては未検討であるため、簡単なシミュレーションを行って検討する。

4-4. 今後の方針について

勉強会形式で参加者全員のレベルアップを目指すとともに、1) 最小分散制御を基準とする評価手法、2) LQGを基準とする評価手法、3) 閉ループインパルス応答に基づく評価手法、4) スペクトル解析および高次統計量を用いて非線形性を検出する方法について、検討を進める。次回研究会にて、1), 2) の検討結果を報告する。

5 . 配付資料

1) Path Analysis

[予定]

第4回研究会 11月1日（金）13：00～17：00 名古屋工業大学（名古屋）

- 1) 勉強会：「閉ループ同定」 加納学（京都大学）
- 2) 検討結果報告会（内容および講演者は後日相談）
- 3) その他

日本学術振興会プロセスシステム工学第143委員会
ワークショップ No.25・第4回研究会議事録

1. 日 時： 2002年11月1日（金）13:00～17:00
17:30～20:00（懇親会）

2. 場 所： 名古屋工業大学 2号館6階611室
(名古屋市昭和区御器所町)

3. 出席者： 17名（順不同、出席、欠席）

<大学> 加納学（京都大学） 山下善之（東北大学） 大嶋正裕（京都大学） 柏植義文（九州大学） 山本重彦（工学院大学） 大野弘（神戸大学） 橋本芳宏（名古屋工業大学） 黒岡武俊（奈良先端科学技術大学院大学）

<企業> 重政隆（東芝ITコントロール） 西澤淳（三菱化学） 栗原久光（出光興産） 喰田秀樹（出光石油化学） 樋口文孝（出光石油化学） 宮川基彦（インベンシスシステムス） 大宮司理晴（ジャパンエナジー） 白川義之（ジャパンエナジー） 滝波明敏（昭和電工） 久下本秀和（住友化学工業） 清水佳子（東芝） 行友雅徳（東芝） 村田尚（東洋エンジニアリング） 松尾徹（三井化学） 松尾文晴（三井化学） 清水雅嗣（横河電機）

4. 内容

4-1. 検討結果報告：「最小分散制御をベンチマークとする手法」

喰田秀樹氏（出光石油化学）、樋口文孝氏（出光興産）、栗原久光氏（出光興産）熱交換器の温度制御ループ、蒸留塔の塔内温度制御ループ、反応器の製品性状（ガスクロ分析値）制御ループという3種類の実プラントにおける制御ループについて、最小分散制御をベンチマークとする制御性能評価指標である Harris Index を算出した結果が報告された。チューニング前後での評価指標が比較され、チューニングによる制御性能の改善度合いを定量的に把握できることが示された。また、むだ時間、白色化フィルタ次数、さらに外乱特性が計算結果に及ぼす影響についての検討結果について説明があった。

【議論概要】

- PID 制御のチューニングには CHR 法を利用した。なお、ケース 1, 2 のプロセス時定数はそれぞれ 5 分および 1 時間程度である。
- ケース 2 では、MPC 適用前後の制御性能を比較している。
- 今回の検討では ARMA モデルの次数を 3 次としたが、AIC などの指標を利用して自動的に決定することもできる。自動的に次数を決定するよう、開発中のソフトウェアを改良する。
- 現場的に（実用上）十分な制御性能であるか否かを判断する方法として、現場では、ステップ状の設定変更変更や外乱に対する応答を見る。
- 様々な制御ループの現場での満足度を調査し、その結果と Harris Index などの制御性能評価指標とを結び付けることはできないか。
- プロセスの特性だけでなく、ヒステリシスなども含むアクチュエータの特性によっても到達可能な Harris Index の値は変化する。このことを指標に取り込めないか。

4-2. 検討結果報告：「最小分散制御をベンチマークとする手法」

丸田浩氏（京都大学）、加納学（京都大学）最小分散制御をベンチマークとする手法についての簡単な復習の後、むだ時間が正確には特定できない場合に用いる指標曲線についての説明があった。また、様々なプロセスとコントローラを用いて制御シミュレーションを行い、指標曲線を描いた結果が報告され、その指標曲線の特徴とインパルス応答係数との関連づけが行われた。

【議論概要】

- ・ 様々な PID 調整則による Harris Index の違いを確認するため、さらに検討を続ける。
- ・ P, PI, PID 制御の比較を行っているが、今回の検討ではゲインのみを変化させている。すべての制御パラメータを適切に調整した上での比較結果を示す必要がある。
- ・ チューニング前後の Harris Index の改善度合いと満足度とを関係づけられないか。
- ・ 様々な特性を持つプロセスを対象として、Harris Index の到達可能な値を求めてみる。

4-3. 検討結果報告：「L Q Gベンチマーク検討報告（1）性能限界曲線を描く」

清水佳子氏（東芝）

L Q Gをベンチマークとする制御性能評価手法を利用する際に必要にある性能限界曲線の描き方についての説明があった。性能限界曲線を描くための作業手順についての説明の後、ステップ状外乱抑制特性および設定追従特性を評価するための性能限界曲線、さらに未知外乱抑制特性を評価するための性能限界曲線を描く方法について具体的な説明があった。さらに、上記2ケースの場合について、数値例が示された。

【議論概要】

- ・ むだ時間がある場合でも、同様の手順で性能限界曲線を描くことができる。
- ・ プロセスの特徴に応じて性能限界曲線がどのように変化するか。
- ・ 状態量がすべては分からぬ場合に、性能限界曲線はどのようになるか。
- ・ M A T L A B 上で開発しているプログラムはワークショッピングメンバーに公開する。
- ・ システム同定で得たモデルの信頼性が制御性能評価にどのような影響を及ぼすか。モデル誤差がある場合に、モデルが悪いのか、制御性能が本当に悪いのかを区別することができるか。

4-4. 検討結果報告：「高次統計量による非線形の検出」

橋本芳宏氏（名古屋工業大学）

3次統計量についての説明の後、3次統計量によって非線形性が検出できる原理についての説明があった。運転データを用いた検討結果については、次回研究会にて報告がある予定。

4-5. 勉強会：「閉ループ同定」 加納学（京都大学）

フィードバック制御下で得られる運転データからプロセスのモデルを構築する際の問題点、いわゆる閉ループ同定の問題点が指摘された後、閉ループ同定手法である直接法、間接法、入出力結合法についての説明があった。

4-6. 懇親会

研究会終了後、名古屋工業大学内にて懇親会を開催した。参加者は17名。

5. 配付資料

- 1) 最小分散制御をベンチマークとする手法（4-1）
- 2) 最小分散制御をベンチマークとする手法（4-2）
- 3) L Q Gベンチマーク検討報告（1）性能限界曲線を描く（4-3）
- 4) 閉ループ系同定の概要（4-4）

[予定]

第5回研究会 12月20日（金）13:00～17:00 開催場所未定

- 1) 勉強会（内容および講演者は後日相談）
- 2) 検討結果報告会（内容および講演者は後日相談）
- 3) その他