

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19560762

研究課題名(和文) 耐故障性能を有するプロセス制御系の創造

研究課題名(英文) Creation of Fault-tolerant Process Control Systems

研究代表者

山下 善之 (YAMASHITA YOSHIYUKI)

東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・教授

研究者番号：60200698

研究成果の概要(和文)：

複雑な化学プラントの運転制御においては、さまざまな機器の故障はある程度避けられないものである。そこで、本研究では、何らかの故障が起こった場合でも、可能な限り、安全や環境・コストなどに配慮して適切に対処できるようにするための運転制御系の構築手法を開発した。さらに、開発した手法を簡単なプロセスのシミュレータに適用したところ、故障が発生した場合でも適切な運転操作を実現可能であることをいくつかの実例によって検証することができた。

研究成果の概要(英文)：

Faults of equipments are inevitable during an operation of a complex chemical plant. In this study, design methodology of a control system under faulty situation is developed to realize the most satisfying safety, environmental and cost constraints. The method was successfully applied to several equipment faults on a simple process simulator and achieved appropriate operations to overcome the faults.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：プロセスシステム工学

科研費の分科・細目：反応工学・プロセスシステム工学

キーワード：プロセス制御, 安全, 異常診断, 化学工学

1. 研究開始当初の背景

(1) 製造プロセス技術の近年の発展により、プロセスプラントの運転はますます高精度かつ高性能に行われるようになってきた。しかし、

一方では、それらのシステムは故障に対しては脆弱な場合も多く、ひとたび故障が発生した場合には生産性を低下させるばかりか安全や環境に対して大きな影響をおよぼす事態に

発展しかねない。システムが複雑になると、故障が起こることはある程度避けられない面があるが、たとえ故障が起こったとしても適切な操作が行えればその影響を最小限にとどめることができるはずである。

(2) これまでも、故障を迅速に検出しその原因を診断するための支援システムは様々な角度から研究・開発され、実用化されてきているが、診断結果に基づいて行われる故障時の対処は、強制的なシャットダウンを除きオペレータの操作にまかされているのが現状である。しかし、オペレータの対応操作は、時間的制約や情報・知識の制約、組み合わせ的な制約などのために必ずしも十分であるとは限らないという問題がある。

2. 研究の目的

(1) プロセス制御系において、故障の発生時にも可能な限り適切な制御を行わせるための耐故障制御手法を開発し、故障時の影響を最小限にするためのプロセス制御系の構築手法を提供することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) これまで、個々の故障診断技術やプロセス制御技術はさまざまな手法が研究されてきたが、故障が起こることを前提にして、故障診断とプロセス制御やシステム管理までを統合的には検討されてこなかった。本研究では、故障耐性を有するプロセス制御系を実現するための適切な故障診断手法や制御手法・管理技術はどうあるべきかを検討した。

(2) 耐故障性能の確保は、適切な故障診断の結果を用いて、正常時のモデルと故障時のモデルを調整し、冗長性を利用しながら各時刻でどのような制御動作を行うかを決定することが基本的な方法となる。

(3) 本研究課題の目的を達成するためには、シ

ステムの状態を監視・分析するための「故障診断技術」と、操業中に故障が起きたとしても他の部分を使うなどしてシステムの性能や安全性を維持できるようにする「耐故障制御技術」、そして両者を融合するための「システム管理技術」の3つの要素技術が必要である。

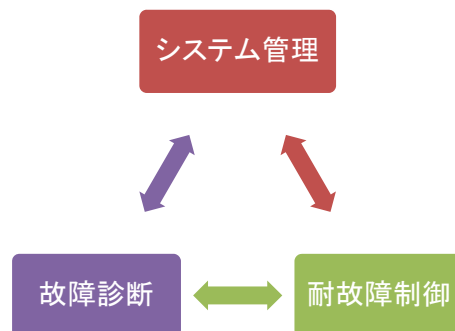


図 1 耐故障プロセス制御系の構成要素

4. 研究成果

故障耐性を有するプロセス制御系を実現するために、上述の「故障診断技術」、「耐故障制御技術」、そして「システム管理技術」のそれぞれを開発した。

(1) 故障診断技術

検出から診断までを考慮し、判別分析に基づいて診断を繰り返し診断精度の向上をはかる手法などを開発した。開発した手法を、化学プラントのシミュレーションデータに適用し、迅速かつ適切な診断が行われることを検証した。また、プロセス制御系で最も多いアクチュエータである制御弁について、その代表的異常であるスティクションを検出・診断する手法を確立した。シミュレーションや実プラントの運転データに適用したところ、高い精度で診断できることが分かった。

(2) 耐故障制御技術

機器に故障が発生した場合でも、システムに何らかの冗長性があれば、それを利用することによって、コンピュータによる自動的な対応操作、すなわち故障耐性を持ったプロセス制御が実現される可能性がある。そこで、ま

ず、各機器のさまざまな操作の機能とそれぞれが提供できるサービスをモデル化し、さらにプラントの運転モードとそれぞれの目的とをモデル化する手法を開発した。次に、故障によって失われた機能が発生した場合に、その機能を代替できる手段があるかどうかを検索し、もしあれば制御系を再構成し代替手段を実現するための方法を開発した。さらに、代替手段がない場合には、運転モードを切り替えて、その新しい運転モードの目的を達成するための操作方法をオンラインで構築するための手法を開発した。

(3) システム管理技術

故障の検出・診断では、必ずしも唯一の故障原因が特定されるわけではない。また、耐故障制御技術で得られる実現可能な解も複数ある場合が多い。そこで、オンラインで両者を融合して動作させるために、唯一の実行解を選択し、制御系全体を適切に管理・調整するためのシステム管理技術を開発した。結局、耐故障性能を有するプロセス制御系は、図2のようなスキームで構築できることになる。

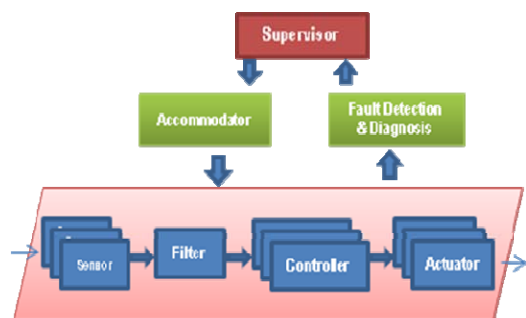


図2 耐故障プロセス制御系の構築例

(4) ケーススタディー

図3に示すような、3つのタンクからなる簡単なプロセス系のシミュレータを構築し、本手法を適用した。中央のタンクからの流出流量を一定に保つように制御することが正常時の制御目的である。

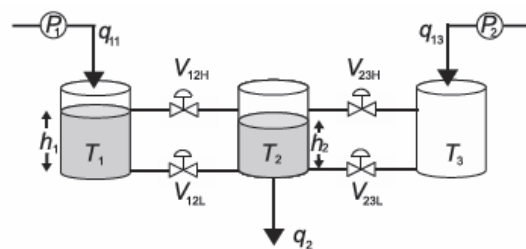


図3 3タンクシステム

2つタンクを接続している弁が完全に閉塞してしまった場合や、全開のまま動かなくなってしまった場合などの故障を発生させ、その際の対処方法を提案手法で生成させた。生成された対処方法に従って操作を行った場合の運転をシミュレーションしてみたところ、いずれの場合においても各運転モードの目的を満たすことができ、たとえ故障が起こったとしても適切な運転・制御を続けることができることが実証された。

本研究で開発した手法によって、耐故障性能を有するプロセス制御系が実現できるようになり、プロセス制御系の信頼性や安全性を向上することができるようになる。したがって、本研究の成果は、生産技術の向上やプロセスシステム工学の発展に大きく寄与するものとなる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- ① 昆潤一郎, 山下善之, “ARX モデルを使用したモデル予測制御,” 化学工学論文集, 査読有 (2010) Accepted
- ② X. Pei, Y. Yamashita, M. Yoshida and S. Matsumoto, “Fault Detection in Chemical Process using Discriminant Analysis and Control Chart,” 査読有, *J. Chem. Eng. Japan*, **41**, 25-31 (2008)
- ③ 坂倉義康, 野田賢, 西谷紘一, 鹿内良将, 山下善之, 吉田雅俊, 松本繁, “複数の局所モデルを用いた制御系のコーディネーション法,” 化学工学論文集, 査読有, **33**, 346-353 (2007)

〔学会発表〕（計 9 件）

- ① 昆潤一郎, 山下善之, ARX モデルを使用したモデル予測制御, SICE 制御部門大会, 熊本, 3 月 16 日 (2010)
- ② Yoshiyuki Yamashita, “Data-based Approaches for Process Monitoring,” International Symposium on Clean Process Technology, Daegu, November 13 (2009)
- ③ 田中宏幸, 山下善之, 次元解析を併用したプロセスシステムのデータに基づく異常検出・診断, 化学工学会第 41 回秋季大会, 東広島, 9 月 17 日 (2009)
- ④ X.Pei, Y.Yamashita, M.Yoshida and S.Matsumoto, “Fault Detection in Chemical Process using Discriminant Analysis and Control Chart,” 化学工学会第 41 回秋季大会, 東広島, 9 月 16 日 (2009)
- ⑤ 山下善之, 定性的形状解析を用いたコントロールバルブの機器診断, 第 51 回自動制御連合講演会, 米沢, 11 月 23 日 (2008)
- ⑥ Yoshiyuki Yamashita, “Diagnosis and Quantification of Control Valves,” SICE Annual Conference 2008, Chofu , August 21 (2008)
- ⑦ Yoshiyuki Yamashita, “Toward dependable process control systems - Integration of fault diagnosis and controller redesign,” PSE Asia 2007, Xi'an, August 17 (2007)
- ⑧ X.Pei, Y.Yamashita, M.Yoshida and S.Matsumoto, “Fault detection and identification of process systems using discriminant analysis and control charts,” PSE Asia 2007, Xi'an, August 17 (2007)
- ⑨ Y.Sakakura, M.Noda, H.Nishitani and Y.Yamashita, “Coordination of Multiple Model Predictive Controllers for CSTR,” PSE Asia 2007, Xi'an, August 16 (2007)

6. 研究組織

(1)研究代表者

山下 善之 (YAMASHITA YOSHIYUKI)
東京農工大学・大学院共生科学技術研究
院・教授
研究者番号：60200698

(2)研究分担者

北島 禎二 (KITAJIMA TEIJI)
東京農工大学・大学院共生科学技術研究
院・助教
研究者番号：80273845