

PLCを用いたバッチ反応機のモデル予測制御

三井化学株式会社 名古屋工場 江口 元
 三井武田ケミカル株式会社 名古屋工場 藤中 満昭
 三井化学エンジニアリング株式会社 名古屋事業所 野口 明彦
 日揮株式会社 第2事業本部 小崎 恭寿男
 オムロン株式会社 システム機器統轄事業部 浪江 正樹

1. はじめに

バッチ反応機の生産性向上というテーマは、これまですべての化学工場において追求され、今後も永久に求め続けられる課題である。

当社においても、

バッチ反応のサイクルタイム短縮による増産効果

ユーティリティ(電力、スチーム等)の削減によるコストダウン

がバッチプロセスの目標として掲げられ、常に追求されてきた。

これまでの取り組みによって、かなりの成果をあげてきたが、次第に頭打ちに近づいてきたように思われる。

今回、そのような状況を打開し、さらに一段の生産性向上を実現するための手段としてモデル予測制御によるバッチ反応機の制御系の高度化に取り組むことになった。

しかし、既存の実プラントにおいて生産を行ないながら、その生産性を落とさずに新しい制御システムを円滑に導入するのは極めて難しい。そこで、まず試験設備(実プラントの10分の1程度)でフィジビリティスタディを行なうことにした。

ここで報告するのは、試験設備に高度制御(モデル予測制御)を導入して得られた成果の一部である。

2. プロセスフロー

当試験設備のフローは図 2.1 のとおりである。

反応機の加熱・冷却はジャケットをとおして行ない、冷却水(あるいは加熱水)は循環する。

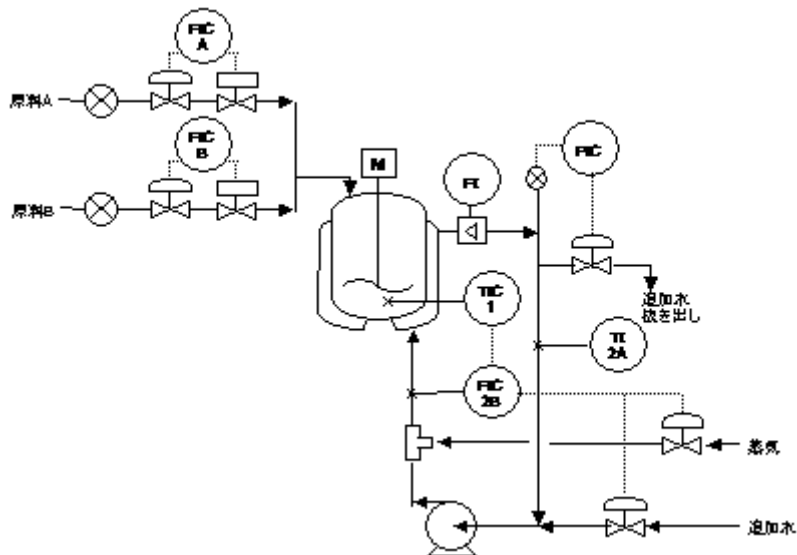


図 2.1 プロセスフロー

3. システムの構成

当システムには既に DCS が導入されており、バッチ反応機の制御、監視に必要なデータはすべて取り込まれている。しかし、DCSは機能的な制約が大きく、高度制御をその上で実行することが困難であるため、高度制御の実行環境として新たに PLC(オムロン株式会社 CS1シリーズ)を導入した。(図3.1、図3.2)

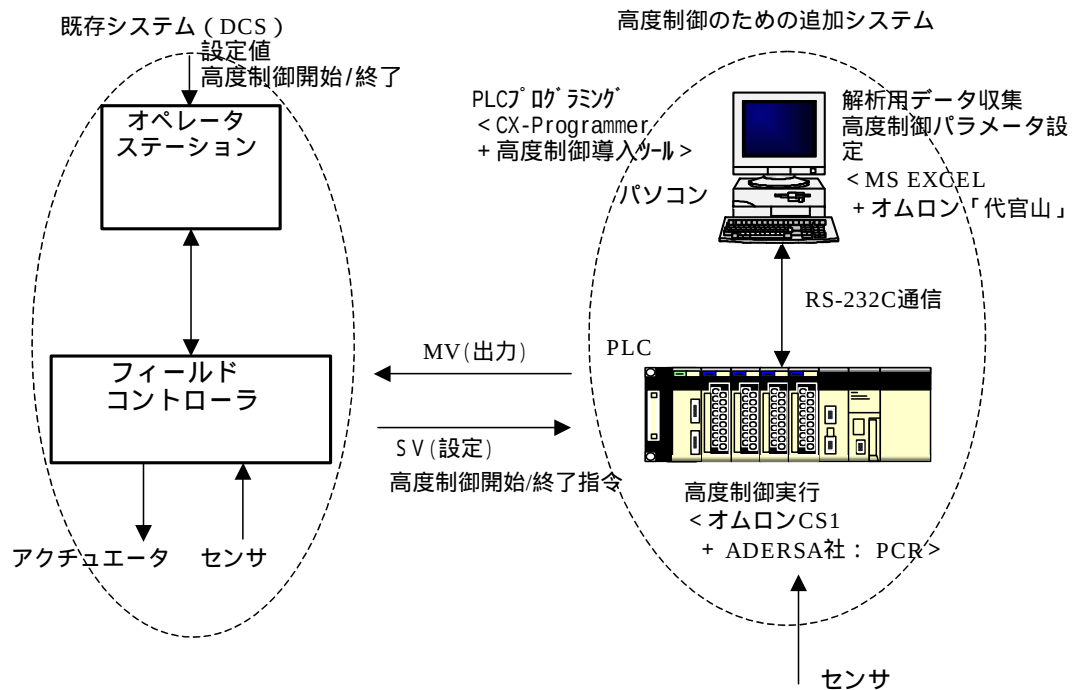


図3.1 システム構成図

3.1 DCSの機能

運転員はDCSの操作卓を用いて、プラントを監視し、操作しているので、高度制御の機能を追加するにあたってはDCSの機能を極力活かして、現状の操作手順を変えないように配慮した。

したがって、高度制御に必要なプロセス変数はDCSと平行してPLCにも取り込み、PLCで演算した高度制御からの出力は、アナログ出力としてDCSに渡し、DCSからフィールドのアクチュエータに出力する仕組みとした。また、高度制御の入/切もDCSから行ない、あたかも高度制御がDCSの内部で実行されているかのように見える構造にした。

これらによって、運転員はPLCの操作について新たに覚える必要はなく、非常になじみやすいシステムになっている。

3.2 PLCの機能

今回追加したPLCの機能は大きく分けると次の2つからなる。

1) 高度制御実行機能

PLC(CS1 シリーズ)には、ラダーのみでなくC言語で作成したプログラムを実行する機能(SYSMAC ACE)がある。今回、各種制御タイプ(フィードバック、フィードフォワードなど)に対応した制御モジュールをソフトウェアパーツとしてPLCに移植し、これらを組み合わせて制御ループを構築した。

制御ループの構築には、パーツの組み合わせを定義するための高度制御導入用ツールを使用した。また、DCSとのインターフェイス信号のハンドリング部は、CX-Programmer(CS1用プログラミングツールソフト)を使用し、ラダープログラムで記述した。

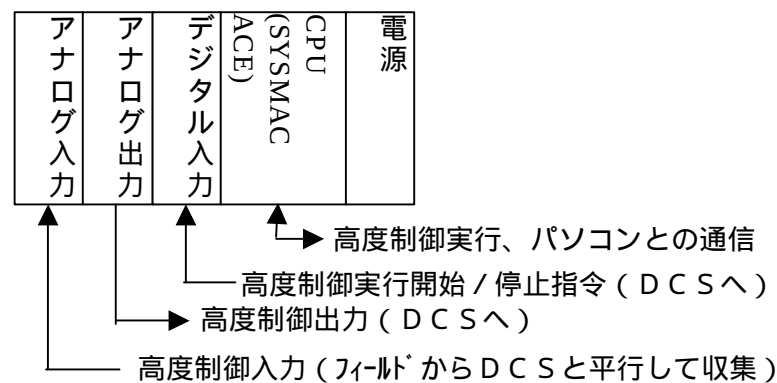


図 3.2 PLC のユニット構成と各ユニットの役割

2) 解析用データ収集機能

制御対象の同定、および制御結果の解析のためにも、データ収集が必要である。PLCで収集したデータを、高度制御の設計ツールに読み込むために、EXCEL ベースのデータ収集ソフトであるオムロン製「代官山」を使用した。

このツールには、高度制御のパラメータ設定ツールとしての機能も持たせ、EXCEL のシート上で高度制御のパラメータチューニングが簡単にできるようにした。(図3.3)

1	2	3	4	5
1	名称	タイプ	番地	設定値
2	IMP REAG KM	REAL	D1100	0.99
3	IMP REAG TM	REAL	D1102	1.00
4	IMP REAG DM	REAL	D1104	200
5	TUNE REAG TS	REAL	D1106	50
6	TUNE REAG TH	REAL	D1108	50
7	TUNE REAG TRBF	REAL	D1110	2800
8	LM REAG YMIN	REAL	D1112	25
9	LM REAG YMAX	REAL	D1114	100
10	LM REAG YRATE	REAL	D1116	100
11	IMP DM KM	REAL	D1118	0.99
12	IMP DM TM	REAL	D1120	54
13	IMP DM DM	REAL	D1122	10
14	IMP HOT KM	REAL	D1124	0.0016
15	IMP HOT TM	REAL	D1126	180
16	IMP HOT DM	REAL	D1128	10
17	TUNE HOT TS	REAL	D1130	5
18	TUNE HOT TH	REAL	D1132	5
19	TUNE HOT TRBF	REAL	D1134	400
20	IMP CND KM	REAL	D1136	0.12
21	IMP CND TM	REAL	D1138	63
22	IMP CND DM	REAL	D1140	10
23	LM LO YMIN	REAL	D1142	0
24	LM LO YMAX	REAL	D1144	100
25	LM LO YRATE	REAL	D1146	100
26	SELF CND HSD	REAL	D1148	0
27	SELF CND TSD	REAL	D1150	0
28	IMP COLD KM	REAL	D1152	0.0026
29	IMP COLD TM	REAL	D1154	180
30	IMP COLD DM	REAL	D1156	10
31	TUNE COLD TS	REAL	D1158	5
32	TUNE COLD TH	REAL	D1160	5
33	TUNE COLD TRBF	REAL	D1162	400
34	Twater,1	REAL	D1164	25
35	Tsteam,1	REAL	D1166	100
36	SPUR VAL,1	UNIT	D1170	1

1	2	3	4	5	6	7	8
2	UNIT	℃	℃	℃	℃	%	
3	DATE	TIO-2A PV	TIO-2B PV	TIO-2C PV	TIO-2D PV	TCM1021 OP	TCM1022 OP
4	10:36:40	102.2	102.3	102.3	204.55	0	0
5	10:36:45	102.2	102.35	102.3	204.8	0	0
6	10:36:50	102.2	102.4	102.35	204.9	0	0
7	10:36:55	102.2	102.5	102.45	205.1	0	0.61
8	10:37:00	102.25	102.6	102.55	205.2	0	0
9	10:37:05	102.3	102.7	102.7	205.3	0	0
10	10:37:10	102.35	102.8	102.7	205.4	0	0
11	10:37:15	102.4	102.95	102.7	205.5	0	0.45
12	10:37:20	102.45	103	102.7	205.6	0	0
13	10:37:25	102.5	103.1	102.7	205.7	0	0
14	10:37:30	102.55	103.15	102.7	205.8	0	0
15	10:37:35	102.6	103.15	102.75	205.9	0	0.25
16	10:37:40	102.65	103.15	102.7	206	0	0
17	10:37:45	102.65	103.15	102.7	206.1	0	0
18	10:37:50	102.7	103.15	102.7	206.2	0	0
19	10:37:55	102.75	103.15	102.7	206.3	0	0
20	10:38:00	102.7	103.1	102.7	206.4	0	0
21	10:38:05	102.75	103.1	102.75	206.5	0	0
22	10:38:10	102.75	103.05	102.75	206.6	0	0
23	10:38:15	102.75	103	102.75	206.7	0	0
24	10:38:20	102.7	102.9	102.697	206.8	0	0
25	10:38:25	102.7	102.95	102.747	206.9	0	0.30
26	10:38:30	102.65	102.8	102.746	207	0	0.34
27	10:38:35	102.65	102.7	102.727	207.1	0	0.35
28	10:38:40	102.65	102.65	102.724	207.2	0	0.36
29	10:38:45	102.6	102.55	102.718	207.3	0	0
30	10:38:50	102.6	102.5	102.718	207.4	0	0
31	10:38:55	102.55	102.45	102.7167	207.5	0	0.52
32	10:39:00	102.5	102.45	102.7167	207.6	0	0
33	10:39:05	102.45	102.4	102.715	207.7	0	0
34	10:39:10	102.45	102.4	102.715	207.8	0	0
35	10:39:15	102.4	102.35	102.7139	207.9	0	0
36	10:39:20	102.4	102.4	102.7139	208	0	0
37	10:39:25	102.4	102.4	102.7139	208.1	0	0.52

図3.3 高度制御パラメータ設定画面とデータ収集画面

4. 高度制御(モデル予測制御)の導入

4.1 高度制御に求めるもの

試験設備のバッチ反応機に高度制御システムを導入するにあたっての要求項目は次のとおりである。

- 1) 反応温度制御の安定化、外乱の抑制(モノマー流量の変化、反応温度設定変更)
- 2) 生産銘柄による制御性変化の抑制
- 3) 冷却水(追加水)量、スチーム量の削減

これまで加熱と冷却はクロスオーバーレンジ方式(出力0%で冷却水(追加水)全開、スチーム全閉、出力50%で冷却水(追加水)、スチームそれぞれ50%開、出力100%で冷却水(追加水)全閉、スチーム全開)で行なわれていたが、スプリットレンジ方式(出力0%で冷却水(追加水)全開、50%以上で冷却水(追加水)全閉、出力100%でスチーム全開、50%以下でスチーム全閉とする。ただし、今回のテストでは冷却水(追加水)を全閉にせず、4%開を最小開度とした)に変更した。(図4.1)

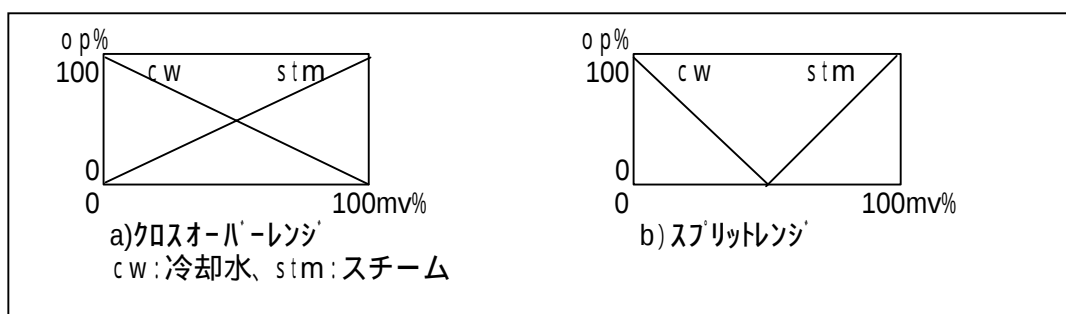


図 4.1 クロスレンジとスプリットレンジの比較

試験設備のバッチ反応機において、上に述べた項目を満たす制御系を確立し、1.の項で述べた最終目標の実現が可能であるかどうかを検討した。

4.2 高度制御の概要

今回導入した高度制御システムは、ADERSA 社の PCR (Predictive Control of Reactor) である。この制御システムはバッチ反応サイクルの昇温から反応終了までのすべての過程に適用できる。

バッチプラントの制御の難しさは、プロセスが本質的に非定常でありバッチの進行に伴ってプロセスの動特性が著しく変化することにある。この非線形なプロセスの挙動を支配する要素として、バッチ反応そのものに由来する非線形性と混合や熱伝導などの物理過程に由来する非線形性が存在する。

PCR のアプローチは、このうち物理過程に由来する非線形性に着目してプロセスモデルを作成し、得られた非線形プロセスモデルに基づくモデル予測制御を構成することを基本としている。

一般に、バッチプラントにおいて観測される主な物理過程は、反応器ジャケットの循環流体と供給熱媒や冷媒との混合、反応器内の反応物のジャケットによる昇温および冷却、コイルによる冷却、熱媒や冷媒の外部熱交換器での加熱や冷却などであり、比較的容易にモデル化することが可能である。

PCR による制御ループの設計においては、あらかじめ用意された複数の PCR の標準モジュールを組み合わせ、これらの物理過程を簡易モデルとして組み込んだ制御ループを構成する。

これにより、反応に由来する非線形性と物理過程に由来する非線形性をモデル上分離することが可能となり、後から反応に由来する非線形挙動を外乱として組み込むことも容易となる。

なお PCR には、標準制御モジュールについて CAD Toolbox が用意されており、モデル同定および制御系の設計、シミュレーション、リアルタイム性のチェックなどを Windows PC 上で容易に実行することができる。また、PCR の標準モジュールは C 言語のプログラムモジュールとして提供可能であり、C 言語のプログラムを実行可能な環境であれば、PLC、DCS、Windows PC などのプラットフォームに

組み込むことが可能である。

4.3 高度制御の制御ループ

高度制御は2つの制御ループを持つ。

1) ジャケット入口温度制御

このループの制御量はジャケット入口の冷却用循環水温度で出力(操作量)は冷却用追加水量(冷却時)あるいはスチームフィード量(加熱時)である。

冷却用追加水量と加熱用スチームフィード量はスプリットレンジ方式で操作され、コントローラからの出力値が0～50%で追加水量の弁開度が100～4%、50～100%でスチームフィード量の弁開度が0～100%(この時追加水量の弁開度はジャケット内の循環を保つために常に4%としている)の値をとるようになっている。

2) 反応機内温制御

このループの制御量は反応温度で、コントローラからの出力は1)のジャケット入口温度制御の設定値にカスケード出力される。このカスケードの入/切は選択できるようになっており、切替はパンプレスに行なわれる。

4.4 高度制御のブロック図

図4.2に、今回適用したPCR制御の制御ブロック図を示す。この図に示されるように、PCR制御の基本構造は、PCRの標準モジュールを結合することにより構築される。

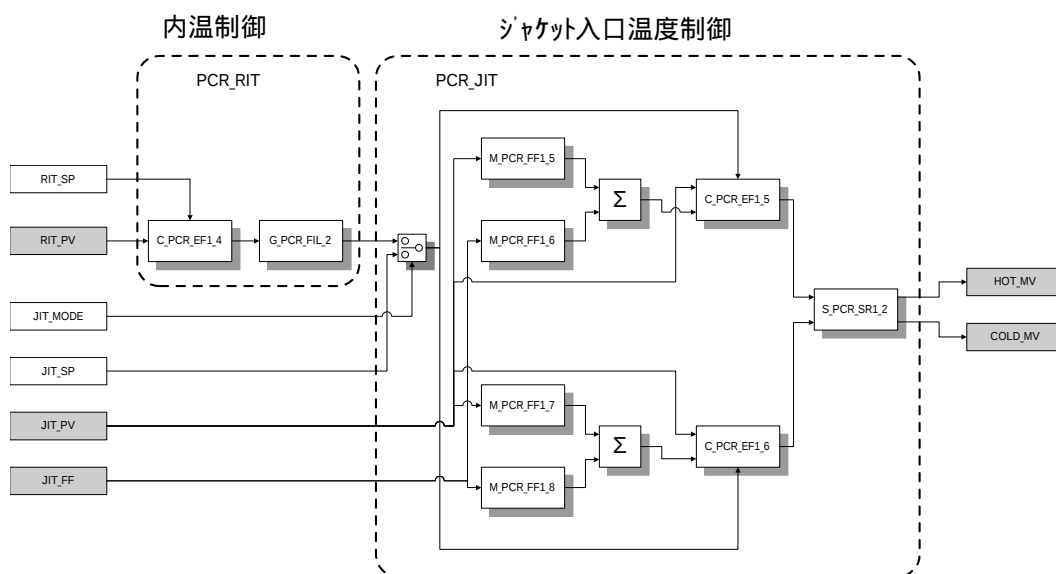


図 4.2 PCR制御ブロック図

4.5 高度制御導入までの過程

図4.3に、バッチプラントにPCRを導入する場合の標準的な手順をしめす。今回のPCR導入に当たっては、初めての導入ということもあり、実運転テストに入る前にダミーロード（水運転）による様々な予備テストを行って制御性の確認作業を実施した。

実プラントへの導入においては、運転上の制約から事前に今回のように多くのテストを実施するのは困難であるが、今回の経験から必要最小限のテストで実運用に入るための知見が十分得られたと言える。

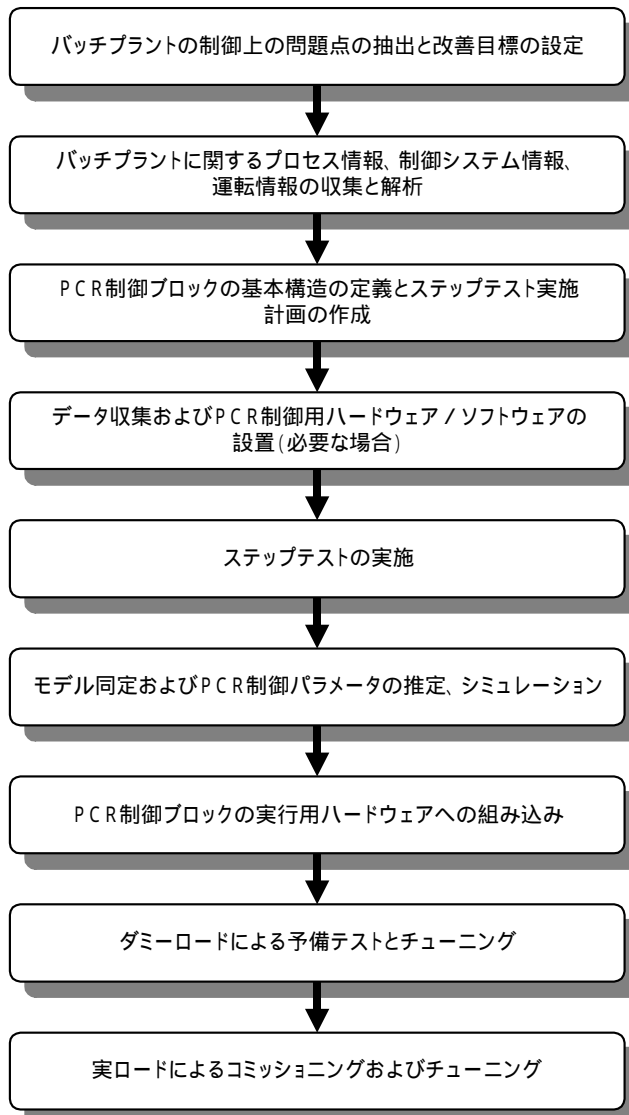
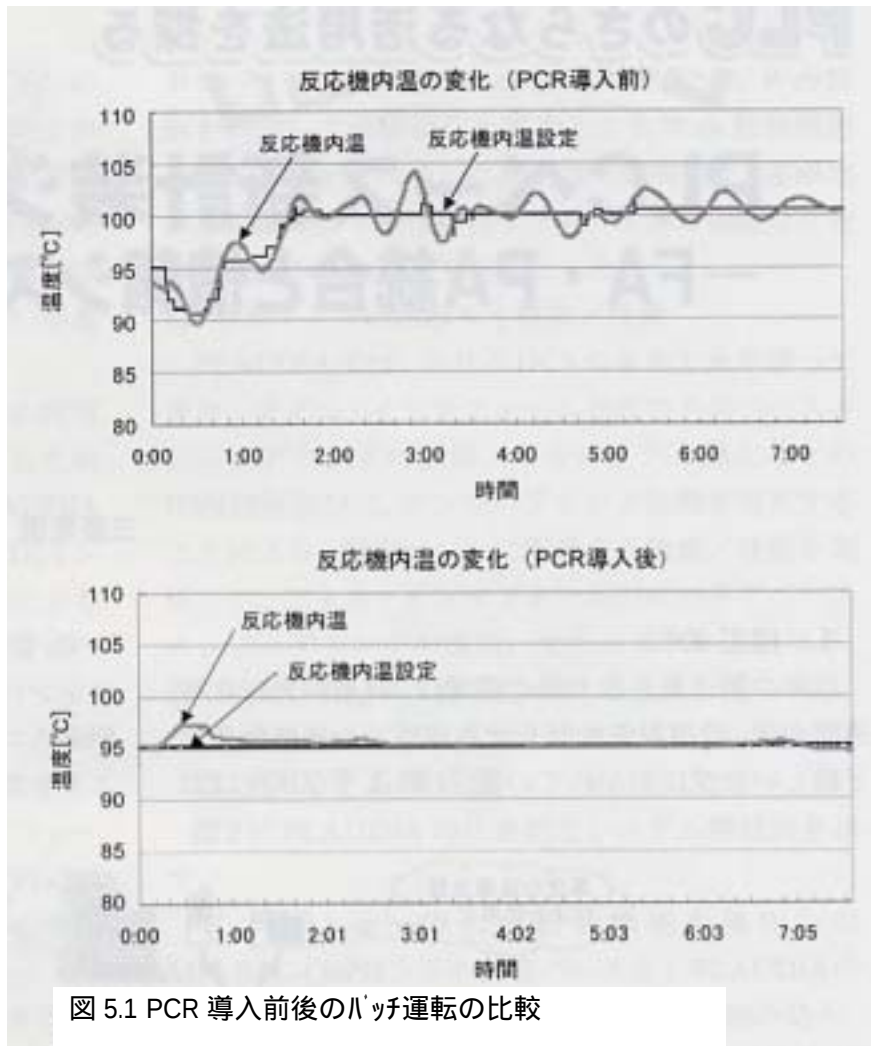


図 4.3 既設バッチプラントへの PCR 導入手順

5. テストの結果

現在導入にあたって要求された3つの項目のうち、反応温度の安定化に関する結果が得られている。

図5.1に、実際のバッチ反応の、PCR導入前と導入後の反応器内温制御の比較を示す。PCRの導入により、反応器内温の制御の大幅な安定化が達成されていることがわかる。



6. 今後の取り組み

今回は PLC への PCR の組み込み、水運転によるステップ応答テスト、PLC と DCS のデータの受け渡しについてこれまで未経験の項目が多く、予想外の労力を要したが今後様々なテストを重ねて、4.1 で述べた試験設備に高度制御を導入するにあたっての要求事項をすべて達成したいと思っている。

さらに今回の導入結果を踏まえて、次に取り組むべき課題として次のようなものを考えている。

1) 今回導入した試験設備について

さらに人手の掛からない運転を目指して、他のプロセス変数(圧力、原料フィード量など)も考慮した制御系を組み立てること。

2) 高度制御の水平展開

他のバッチ反応機や設備などに高度制御を水平展開すること。

「EXCEL」はマイクロソフト(株)の登録商標である。

「PCR」は ADERSA の登録商標である。

執筆者連絡先

江口 元(エグチ ハジメ) 〒457-8522 名古屋市南区丹後通 2-1

藤中 満昭(フジナカ ミツアキ) 〒457-8522 名古屋市南区丹後通 2-1

野口 明彦(ノグチ アキヒコ) 〒457-8522 名古屋市南区丹後通 2-1

小崎 恭寿男*(コザキ ヤスオ) 〒220-6001 横浜市西区みなとみらい 2-3-1

浪江 正樹** (ナミエ マサキ) 〒411-8511 三島市松本 66

* PCR 問い合わせ先

** PLC 問い合わせ先