省エネ・安定化運転を指向した所内工業用水の最適化制御システム

三菱樹脂株式会社　宮崎　嘉次

１．はじめに

生産設備の制御に汎用 PLC を用いたオープンなシステムを構築することは、①急速に変化する市場へのフレキシブルな対応、②ユーザ自身による柔軟なカスタマイズ、③現場に点在する情報のネットワーク活用など、製造業にとってもはや必要不可欠な要素技術となってきている。

その生産設備を支えている電気・水・圧空などのユティリティについても、設備の負荷に対応した安定供給はもとより、エネルギー原単位削減のため、省エネルギーに向けてより高度な制御を要求される時代となってきた。

2.採用事例

2.1 システム概要

今回、工業用水制御(図 1)に PLC 計装システムを適用、送水温度・圧力の制御はもとより、ポンプの交互運転や高効率運転など、従来のシングルループコントローラやラダーシーケンス制御では困難であった高度な制御システムを構成、省エネルギーの観点からもアプローチできるシステムを構築した。

工業用水に要求されるポイントは大きく 2 つ有り、季節や時間帯に影響を受けない一定の温度と、必要なときに必要なだけ供給できる安定した圧力の制御がある。

従来よりシングルループコントローラを単体もしくは複数組み合わせる事によって、ある程度の範囲については制御可能なシステムを構築し、実用化してきた。

しかしながら、生産設備の要求する最大負荷に充分対応できる容量を持ちながら、設備負荷ゼロまでの広範囲な制御が要求される。このため、通常複数のポンプが設置され、負荷に応じた台数の制御を実施、制御範囲を拡大してきた。

ところが、台数制御のみでは切替え時に圧力変動が発生するため、インバータ制御などによりポンプを可変容量化し、連続的な制御が可能なシステムが考案され、

広く実用化されてきた。

　また、ポンプには設定された能力で最大の効率が得られるように設計されているが、可変速度による運転では一定の範囲を超えると、その効率が著しく悪化してくる。そのため、最低運転速度などを設定して、消費電力との折り合い点を持たせている。

　さらにポンプの定格回転数あたりでは、逆にインバータ制御器の効率が問題となってくる場合もある。このような場合、通常の商用電力運転の方がエネルギー効率の面では有利となってくる。

　次に水温の制御について考えてみると、生産設備の安定制御を考慮すれば、一定の水温で推移することが望ましい。一般的には加熱・冷却設備を併用して一定の水温となるよう制御していく。当社のように、プラスチック加工を主とする業種では、そのほとんどが冷却用途に利用されるため、今回の設備においても、基本的に生産設備で熱を回収してくる系となっていることから、冷却面のみ考慮した設計とした。今回は立地条件も勘案した上で、密閉型クーリングタワーを採用、ヒートポンプ等の冷却装置は設置していない。

　クーリングタワーにおける冷却は外気との熱交換に依存しており、その冷却能力を可変とするには通常、空気の通過量、すなわち冷却ファンの回転数で制御することになる。もちろん、外気温や湿度、被冷却水温にも影響を受ける。夏と冬、日中と夜間、晴天時と雨天・降雪時など、多数のパラメータからなる複雑な系となっている。

　通常は ON/OFF の 2 位置制御で運用されることが多いが、夜間の騒音抑制や、厳寒期の凍結防止など、こちらも可変容量での運転が望ましい。

2.2 制御基本設計

　これらの制御系を、なるべく変動させず、かつ高効率で省エネ運転を実現するには、時々刻々変化しているプロセスから、多数の情報を取り込み、その先をある程度予測した形の制御システムが必要となってくる。

従来からこのような要求に対し、プロセス DCS やコンピュータを用いた制御システムが適用されてきた。これらのシステムは直感的なプログラミング方式を採用しており、制御システムの変更などにも柔軟に対応できる。その反面、開発コスト・運用コストは非常に高額となり、とても省エネルギーの効果と引き合わないケースが多い。

また、安価な汎用 PLC を用いたシステムも考えられるが、その制御を実現するためのラダーシーケンスは非常に難解なものとなる。最近では PID 制御命令なども整備され、制御ループのプログラミングも容易になってきたと言われているが、まだまだ DCS と比較できるレベルには達していない。そのため、システムのチューニング・仕様変更などへの対応も、専門的かつ多くの工数を必要とするであろう。

そこで浮上してきたのが、今回採用した PLC 計装システムである。これはフィールドで実績をもつ PLC をベースに、本格的な DCS 並みの機能を持たせたもので、安価でメンテナンスしやすい PLC 機能に DCS 機能を混在させたオープンなシステム構築が可能となっている。もちろん、制御機能はアドオン形となっているため、入出力カードなどは低価格・短納期の汎用 PLC パーツであるため、運用・保守の面でも非常に導入しやすいシステムと言えるであろう。

2.3 システム構成

今回対象とした所内工業用水制御について、概略以下のようなシステムで構成されている。

生産設備に送水するポンプが 3 台、うち 2 台がインバータ制御による可変速、残る１台は電磁開閉器による ON/OFF 制御である。生産設備のリクエストする水量は 2 台のポンプでまかなえる設計としているため、1 台はメンテナンス・トラブル時のバックアップとしても稼動する。送水端には水圧センサーを配置し、一定の圧力となるよう、ポンプの制御へフィードバックする。

冷却用クーリングタワーへの送水及びタワー内散水には ON/OFF 制御のポンプを設置、冷却ファンの回転数をインバータ制御で可変速運転し、冷却能力の制御が

可能な構成とした。これらの操作端は PLC を介さずにまったくの手動運転が可能な回路構成にもなっている。

温度検出端として、工業用水水槽内・送水端・戻水端温度、クーリングタワー戻水温、及び外気温を取り込み、制御パラメータに使用、運転条件の記録も兼ねている。

以上のデバイスを計装 PLC へ接続、入出力カードで計装信号が工学値変換され、制御ループでは変換された値で制御される。また、マンマシンインターフェースとして液晶タッチパネルを装備、オペレータからの条件設定や、トレンド監視、警報表示などの機能も持たせている。

２．４制御ループ構成

次に、制御ループについてであるが、こちらは大きく２つのステップで設計・試運転を計画した。

第１ステップは、とりあえず送水圧力と水槽温度の制御ができるループ構成とし、運転状況の把握と所要電力量を計測、今後の改善によるメリット集計時のベンチマークデータとする。

圧力制御は２台のポンプをベース運転用と負荷変動対応用に割り当て、送水圧をフィードバックする単純な PID 制御ループで構成、バックアップポンプは故障時のみ運転の制御とした。各ポンプには最低回転数のリミッタを設け、極低速での非効率領域運転は避ける構成となっている。

水温制御は水槽温度のみフィードバックし、ヒステリシスを持たせた ON/OFF の 2 位置制御とし、冷却ファンの回転数も定格運転として設定した。ただし、外気温が設定条件以下になった場合、凍結防止として送水・散水運転し、冷却ファンの運転は無しの例外シーケンスを組み込んでいる。

3.PLC 計装の優位性

これらの制御ループ設計には、今回採用した PLC 計装のグラフィカルなプログラミング環境が非常に有効となっている。第 1 ステップの制御内容程度であれば、従

来からの制御命令を用いたラダーシーケンスでも作成可能ではあるが、作成難易度や理解度から考えても、PLC 計装に軍配が上がる。

以上のシステム構成で試運転を開始、負荷状況を見ながら各パラメータのチューニング、ベンチマークデータを収集する予定としている。

第 2 ステップとして、各制御の最適化と省エネルギー運転化を計画している。この最適化と省エネ化は必ずしも一致しないケースが想定されるため、そのどちらにウェイトをおくかは、今後の課題である。

改善を計画している制御には、①ポンプの交互発停シーケンスによる運転時間の平準化、②ポンプ 2 台運転時のベース用として ON/OFF 運転ポンプを割り当てインバータの損失を削減、③クーリングタワーの冷却ファンを水温よりフィードバック制御とし水温変動を抑制しエネルギーロスを削減、④戻水温とポンプ負荷による回収熱エネルギーの演算と冷却制御ループへの予測制御、といったテーマがある。特に③や④の制御には、従来型のループコントローラ組み合わせでは、その実現が非常に困難であることが推測される。

このステップにおける制御ループの設計変更に際しても、PLC 計装環境におけるプログラミングは非常に有効で、作成されたループのテストやチューニング、回路変更などもごく少ない工数で実施できる点は特筆に価する。通常運転に移管されてからのメンテナンスや、将来の改造について考慮しても、直感的にわかりやすいプログラミングは、担当者が異動となっても理解されやすく、柔軟に対応が可能であると考えられる。

4．PLC 計装の評価

今回採用した PLC 計装システムについて、①安価・短納期で調達可能、②複雑な制御ループのプログラミング性が非常に良好、③仕様変更に際しても容易に対応可能な点を高く評価している。特に省エネ運転などこれからのテーマに対して、フレキシブルに制御システムを構築できることは、改善のステップ展開に柔軟に対応が可能、いろいろなアイディアを形にしやすいことも、このシステムを採用して正解

であったと考えている。

　今後は生産設備の制御システムにも、その適用範囲を広げ、ますます複雑化していく生産設備を自由自在にコントロールする手段の選択肢が増えたことは、TCO 削減につながる重要なステップであったと評価している。

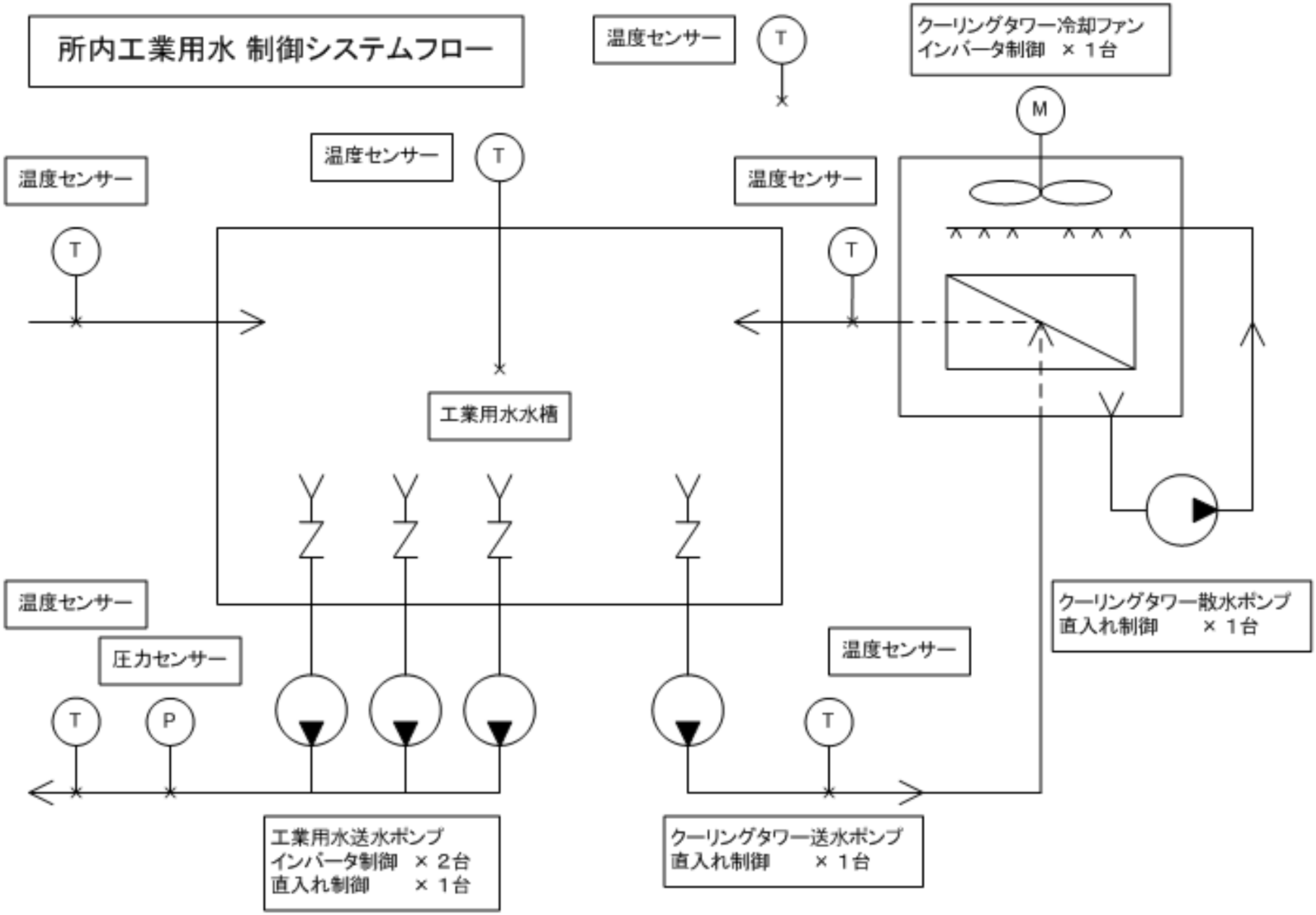
所内工業用水 制御システムフロー
温度センサー
T
クーリングタワー冷却ファン
インバータ制御 × 1台
M
温度センサー
T
温度センサー
T
温度センサー
T
工業用水水槽
温度センサー
圧力センサー
T
P
温度センサー
T
クーリングタワー散水ポンプ
直入れ制御 × 1台
工業用水送水ポンプ
インバータ制御 × 2台
直入れ制御 × 1台
クーリングタワー送水ポンプ
直入れ制御 × 1台

写真1　工業用送水ポンプ群

写真2　クーリングタワー

写真3　制御盤内部