

省エネ型 PSA 式窒素ガス発生装置の制御系開発

Development of Control System of PSA Type Nitrogen Generator for Energy-Saving

松島 洋輔*
MATSUSHIMA Yousuke
飯村 憲*
IIMURA Ken

西脇 良樹**
NISHIWAKI Yoshiki

斎藤 達央**
SAITOU Tatsuo

安部 敏行**
ABE Toshiyuki

1. はじめに

地球温暖化防止京都会議による CO₂ 削減目標の設定や省エネ法の改正など、ここ数年、省エネを促進するための施策が実施され、工場や事業所においても消費電力量を抑制する対策が求められている。

当社では、このような施策やユーザーの要望を背景に、ガスの供給や製造に関わる装置を中心に省エネ対策の開発を実施しており、当社製品の1つである PSA 式窒素ガス発生装置（以下、PSA 装置）も、低消費電力型の装置開発に取り組んでいる。

この PSA 装置を省エネ型にするためには、ユーザーのガス使用量に応じて、PSA 装置に休止工程を設け空気圧縮機の無負荷（アンロード）状態を利用することで実現でき¹⁾、最適な休止工程の時間を決定する連続的な制御の確立も必要不可欠である。

そこで、本開発では、製品タンク圧力の数学モデルを決定し予測を行うことにより、ガス使用量に応じた休止工程時間を自動的に調節する機能を開発した。さらに、開発した制御系の実証試験を実施した。

2. 休止工程による PSA 装置の省エネ方法

本開発における PSA 装置の構成を図1に示す。一般的に PSA 装置の設計は、製品窒素ガスの最大使用量に基づき行われるが、ユーザーではこの最大使用量より少ない量で製品窒素ガスを使用することも多い。このため、使用量が少ない場合は、製品タンクからの送ガスのみで使用量を確保することができ、製品タンクの圧力が規定値に低下するまで空気圧縮機をアンロードの状態にすることができる。このとき PSA 装置を休止状態とする「休止工程」を組み入れることで省エネ型の PSA サイクルが構築できる。

このサイクルは、まず、製品タンクの圧力が上限規

* 開発・エンジニアリング本部ガスエンジニアリング統括部電気制御システム部

** 開発・エンジニアリング本部ガスエンジニアリング統括部機器技術部

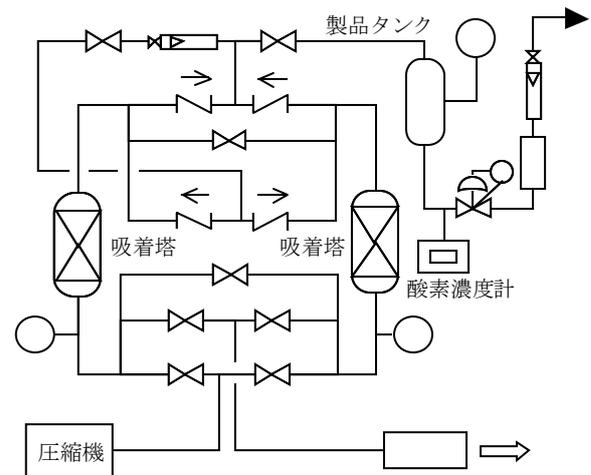


図1 PSA装置の構成

定値に到達した時点で吸着塔の各バルブが「閉」となり、吸着工程を終了休止工程に移行する。この休止工程では吸着塔に送ガスする圧縮機もアンロード状態になる。製品ガスの使用により製品タンクの圧力が低下し、下限規定値に達した時、再び均圧工程を経て吸着工程に移行する。この時、吸着塔の入口バルブが「開」となり、送ガス用の圧縮機の運転を再開し負荷運転（ロード）状態となる。このような操作が製品タンクの圧力変動で繰り返される。

圧縮機は図2に示したようにアンロード状態になると消費電力が大きく低下するため、この時間を長くすることにより省エネ型の運転を実現することができる。

しかし、使用量によって最適な休止工程時間が異なるため、使用量の変動に連動した最適な自動制御方法が必要とされる。

3. 自動制御方法

休止工程では、製品タンク内にある製品窒素ガスを供給するのみであるため、製品ガスの使用によって、製品タンクの圧力が徐々に低下していく。また、製品

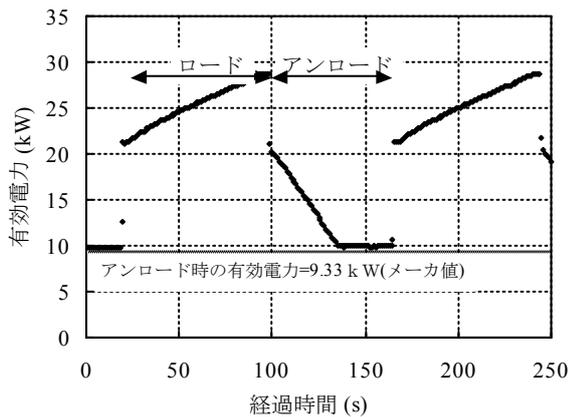


図2 圧縮機アンロード曲線

タンクの圧力が下限規定値に到達した後は、空気圧縮機が再びロード状態になり、製品タンクへ製品ガスが供給される。このサイクルは、製品窒素ガスの純度や圧力に影響されるため、ユーザーのガス使用量に応じた休止工程時間を調節する必要がある。

そこで、製品ガス使用量およびバルブ開閉情報を入力変数とし、さらに製品タンクの圧力を出力変数として運転データのシステム同定^{*1}を行い、同定した数学モデルを使用することで製品タンク圧力を予測した。

システム同定に使用する数学モデルは、(1)式で表される2入力1出力の自己回帰 (ARX: autoregressive model with exogenous input) モデルを使用した。

$$A(q) \cdot y(k) = [B_1(q) \ B_2(q)] \cdot \begin{bmatrix} u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix} + w(k) \quad (1)$$

ここで、 $A(q)$ 、 $B_1(q)$ 、 $B_2(q)$ は同定パラメータ行列、 $y(k)$ は出力変数のデータ列 (製品タンク圧力)、 $u_1(k)$ 、 $u_2(k)$ は入力変数のデータ列 (製品流量、バルブ開閉情報)、 $w(k)$ は白色雑音列である。既存の入出力データを使用したシステム同定により $A(q)$ 、 $B_1(q)$ 、 $B_2(q)$ を決定し、決定した $A(q)$ 、 $B_1(q)$ 、 $B_2(q)$ と入力変数から出力変数である製品タンク圧力が予測可能になる。

同定した数学モデルを使用して、25秒先の製品タンク圧力を予測したシミュレーション結果を図3に示す。

製品タンク圧力は吸着工程時に上昇し、休止工程時に下降するため、工程の切り替え時間に合わせ圧力が上下する。また、製品ガス流量の変動に合わせて製品タンク圧力の振幅も変化する。さらに、製品タンク圧力の実測値と予測値がほぼ等しいことが分かる。実際の制御においては、製品タンク圧力を制御周期毎に予測して休止工程の終了を判別することにより休止工程

^{*1} システム同定: 入出力データにもとづいて、システムの伝達関数を推定する方法

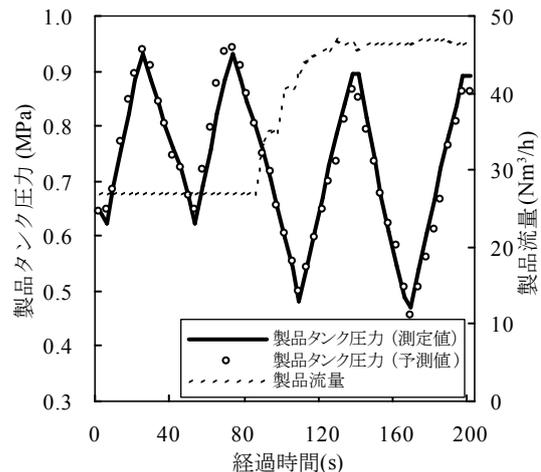


図3 数学モデルによるシミュレーション

時間の自動調節が可能になる。

数学モデルによる予測制御を実現するためには、高度なアナログ演算が可能な制御システムを使用する必要がある。しかし、一般的な制御システムである PLC (Programmable Logic Controller) は高度なアナログ演算に不向きであるため、数学モデルによる予測制御を組み込むことが難しい。そこで、今回、アナログ演算に特化した小型プロセスコントローラである EzMPICS^{*2}を制御システムとして採用した。

4. 省エネ効率の実証試験

図1に示した PSA 装置を用いて省エネ効率の実証試験を行った。図4に製品取出率と消費電力率の関係を示す。EzMPICS による制御は、手動による制御には及ばないものの、十分な省エネ運転が実現できることを確認した。しかし、製品窒素ガス中の酸素濃度は、製品流量の急激な増加に伴い上昇し、上限値 (100 ppm) を超過する結果が得られた。

これは、下記に挙げる要因により、吸着剤が破過し酸素濃度が上昇したものと考えられる。

- ・ 休止工程を設けることにより、均圧工程終了後の吸着塔圧力が低くなる。
- ・ 製品流量の急増によって吸着工程時の製品タンクの圧力上昇が遅くなる。
- ・ 吸着塔圧力が低く、製品タンクの圧力上昇が遅い場合、吸着塔の最高操作圧は常に一定に設定されていることから、吸着工程の時間が延長される。

そこで、吸着工程終了後、休止工程開始と同時に高圧側の塔より低圧側の塔へ再生ラインを用いて圧力を回収する「圧力回収工程」を設けた。図5に、製品流量を急激に増加させた時の酸素濃度の変化を示す。圧力回収工程を設けない場合は、酸素濃度が急上昇して

^{*2} 当社開発の小型プロセスコントローラ

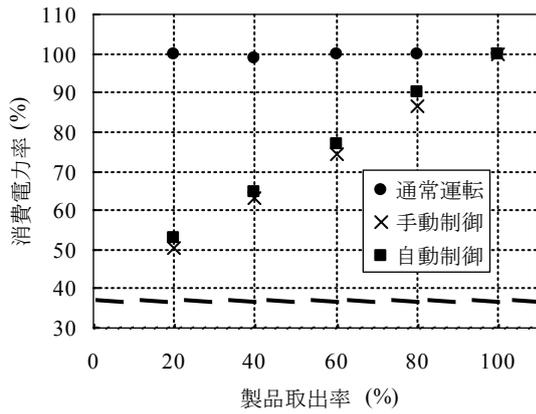


図4 省エネ効率実証試験結果

上限値 (100 ppm) を超えるのに対し、圧力回収工程を設けた場合は酸素濃度の急激な上昇を抑えられることがわかった。

5. まとめ

PSA 式窒素ガス発生装置の省エネ化を実現するために、製品窒素ガス使用量の変動に合わせた制御系の開発を実施した。省エネ効率を把握する実験により、今回開発した制御系によって連続的な製品流量で最適休

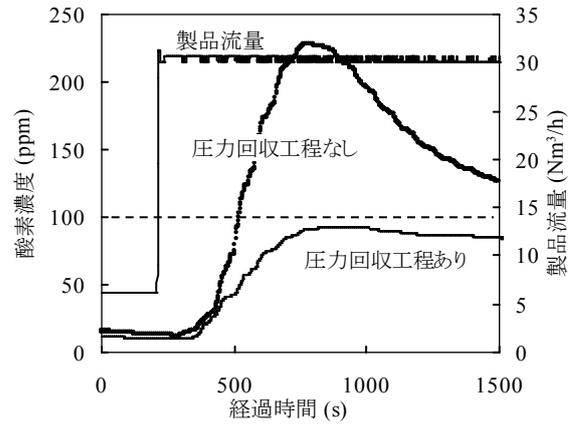


図5 流量変化時における酸素濃度の経時変化

止時間を設定でき、かつ手で最適化した省エネ効率とほぼ同等であることを実証した。また、製品流量の変動に対しても、新たに「圧力回収工程」を設けることで、安定した純度の製品窒素ガスを供給できることを実証した。

参考文献

1) 青山和弘 . 日本酸素 . 特開2003-88721. 2003-3-25.