

技術紹介

空気分離装置群のガス発生量最適化による消費電力の削減

Reduce Power Consumption by Optimizing Production of Multiple Air Separation Units

松島 洋輔*

東山 泰三**

MATSUSHIMA Yousuke

HIGASHIYAMA Taizo

1. はじめに

当事業における環境負荷は、ガス生産工場の電力消費が大きな比重を占めており、年間で約 40 億 kWh を消費している。そのため、当社は環境活動の中でガス生産工場の消費電力削減を最重要課題として取り組んでいる¹⁾。主な取り組みの内容としては、高効率な新型装置への更新や装置自体の運転方法の改善が挙げられる。本報では、新たに開発した運転方法の改善手法とその適用事例について紹介する。

当社のガス生産工場は空気を蒸留分離する空気分離装置から、酸素や窒素等を需要家に供給している。操業の特徴として、需要変動に合わせてガス発生量の変更操作を頻繁に実施していることが挙げられる。この変更操作は数時間に 1 回程度の頻度で実施している。

ガス生産工場の中でも複数基の空気分離装置で操業している工場においては、最も少ない消費電力となるガス発生量の組合せで供給することが望ましい。しかしながら、消費電力の特性は各装置で異なり、ガス発生量や気温など様々な要因で変化する。そのため最も消費電力が少ないガス発生量の組合せを実現することが難しく、操業上の課題になっていた。

上記課題を解決する方法として、工場内で測定し蓄積された操業データを基に構築した電力推定モデルを利用し、各装置のガス発生量の組合せを最適化する手法を開発した。

2. 最適化の手法について

最適化の手順は大きく分けて、(1) 操業データの前処理、(2) 電力推定モデルの構築、(3) 最適化計算の実行で構成される。図 1 に最適化手順のフローを示す。

(1) 操業データの前処理

操業データは空気分離装置内の各種プロセス値や気温などを時系列に沿って保存したものを使用する。操業データの中には、装置停止時や例外的な操作を実施した際のデータも含まれている場合がある。そのため、適

用できないデータを全て削除する。

また、操業データには様々な測定レンジの測定点があるため、各測定点の時系列データについて式 (1) の正規化を実施しレンジを揃える。

$$x_{i,j} = \frac{x'_{i,j} - x'_{i,\text{mean}}}{x'_{i,\text{std}}} \quad (1)$$

(2) 電力推定モデルの構築

各装置のガス発生量や気温などの値から、消費電力を推定するモデルを式 (2) のように定義し、式 (2) の係数 a_i を求めることで電力推定モデル P を構築する。

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+m}) \\ = (a_1, a_2, \dots, a_n, a_{n+1}, a_{n+2}, \dots, a_{n+m}) \\ \cdot (x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+m})^T \quad (2)$$

操業データから係数 a_i を決定する代表的な手法としては、多変数の最小二乗法である重回帰分析が挙げられる。しかし、操業データの中には気温と冷却水温度など互いに強い相関性を持つ測定点が含まれており、重回帰分析では係数 a_i が正しく計算できない多重共線性という問題がある。そこで、データを線形独立な成分に分離した後に回帰を行う部分的最小二乗法 (Partial Least Squares ; PLS) を採用した²⁾。

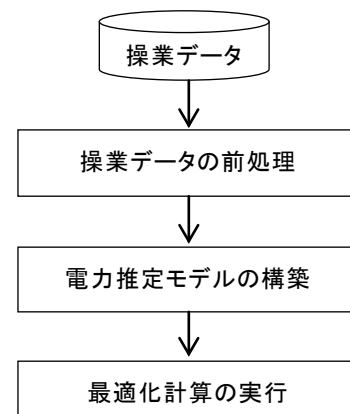


図 1 最適化手順のフロー

* 開発・エンジニアリング本部 技術サポートセンター シミュレーション技術部

** オンサイト・プラント事業本部 ガス生産技術部

(3) 最適化計算

最適化計算を行う上で、各装置のガス発生量の上下限など制約条件を考慮する必要がある。この制約条件は式 (3) のように定義することができる。

$$\begin{cases} x_{1,\min} \leq x_1 \leq x_{1,\max} \\ x_{2,\min} \leq x_2 \leq x_{2,\max} \\ \vdots \\ x_{n,\min} \leq x_n \leq x_{n,\max} \\ x_1 + x_2 + \dots + x_n = Z \end{cases} \quad (3)$$

最適なガス発生量の組合せ (x_1, x_2, \dots, x_n) は、式 (2) より得られる消費電力を最小にし、かつ式 (3) の制約条件を満足するように算出する。

3. 適用事例

本手法の適用事例を説明する。適用したガス生産工場は、A~C の 3 装置の空気分離装置で酸素を発生している。そこで、酸素需要量に合わせた各装置の酸素発生量の最適化を実施した。

電力推定モデルは、1 時間毎に平均化された操作データを使用して構築した。合計消費電力の実績値と電力推定モデルによる推定値の対比を図 2 に示す。実績値と推定値の平均二乗誤差は±0.2%で、良好な推定精度が得られた。

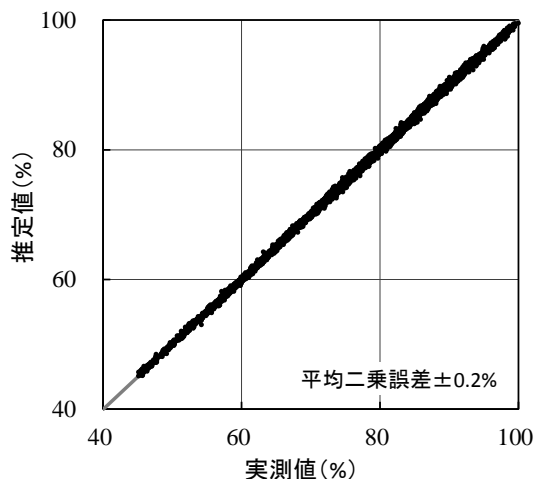


図 2 合計消費電力の実測値と推定値の対比 (最大発生時の消費電力に対する割合)

得られた電力推定モデルと制約条件を基に、消費電力を最小にする各装置の酸素発生量の組合せを計算した。計算により得られた組合せは、合計酸素発生量に対して一意に決まった。各装置の酸素発生量の組合せを図 3 に示す。

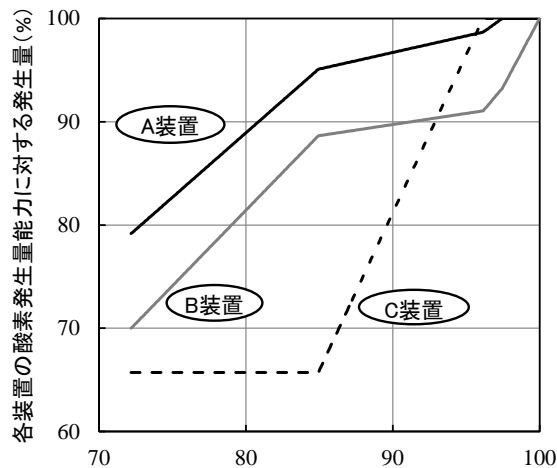


図 3 最適化された各装置の酸素発生量組合せ

最適な酸素発生量の組合せが適用出来た場合と出来なかった場合について、電力の実績値を比較することで効果を検証した。その結果、最適な酸素発生量の組合せの電力の方が低く、約 0.7%の改善を確認した。

4. まとめ

複数の空気分離装置の消費電力を最小化する手法の確立ならびに削減効果を実証できた。本手法は、複数装置のガス発生量の最適化による電力削減だけでなく、工場全体の電力削減への応用が可能であり、当社の環境活動への貢献が期待できる。

参考文献

- 1) 大陽日酸. 環境・社会活動報告書 2013, 2014, p.31-32
- 2) Geladi, Paul; Kowalski, R. Bruce. Partial least-squares regression. Original Research Article Analytica Chimica Acta. 1986, 185, p.1-17

使用記号

- $x'_{i,j}$ 操業データ (正規化前)
- $x_{i,j}$ 操業データ (正規化後)
- P 装置群の合計消費電力
- a_i PLS により決定した系数
- Z 合計ガス発生量

下添字

- i 測定点 ※ $1 \leq i \leq n$: 各装置のガス発生量
- j 時系列
- n 装置の基数
- m ガス発生量以外の測定点
- mean 平均値
- std 標準偏差
- max 上限値
- min 下限値