

高度制御パッケージ Exasmoc R3と Exarqe R3の機能連携による 超深度脱硫プロセスへの高度制御の適用

Advanced Process Control for Ultra-Deep-Hydrodesulfurization Using Exasmoc R3 and Exarqe R3

池谷 祥宏^{*1} 寺島 伸彦^{*1} クーリナビーイエン^{*1}
IKEGAYA Yoshihiro TERASHIMA Nobuhiko KHOO Lena Bee Yean

PCS (Process Control System) 市場における高度制御は、既存の設備から最大の利益を引き出すための鍵といえる。高度制御は稼働中のプロセスに対しても比較的容易に導入可能であり、装置の制約条件を考慮した上で、運転の安定化および最適化が実現できる。

当社は、2000年に高度制御パッケージとして Exasmoc (多変数モデル予測制御パッケージ) と Exarqe (性状推定パッケージ) を製品化し、既に多くのシステムに導入され大きな成果をあげている。今回、大規模でクリティカルなプロセスにも適用できるように、アルゴリズムを強化した Exasmoc R3 と Exarqe R3 を開発した。これによって、国内を含め、グローバルな製油所で検討されている軽油の低硫黄化プロセスである「超深度脱硫プロセス」への高度制御の適用を可能とした。

本稿では、高度制御パッケージ Exasmoc R3 と Exarqe R3 の主な機能と、これらを連携させた高度制御の例を紹介する。

The advanced process control in the PCS (Process Control System) market is a key technology to squeeze the greatest profit from the existing equipment in the plant. The advanced process control can be easily applied to in-service processes and helps to stabilize and optimize the operations under the considerations of process restrictions.

The Exasmoc (multivariable model predictive control package) and Exarqe (robust quality estimator package) released in 2000 have been operated in many DCS or PLC systems. Recently, Exasmoc R3 and Exarqe R3 which contain the enhanced algorithms have been newly developed to materialize the operations of large-scale and critical control processes. Hence, these two packages are strongly recommended to be adopted in the ultra-deep-hydrodesulfurization process which is now in the consideration of the world-wide oil refinery plant.

This paper introduces an example of the functions of Exasmoc R3 and Exarqe R3, which are used in the high-level advanced process control.

1. はじめに

当社は高度制御 (Advanced Process Control) において、Shell Global Solutions International B.V. (以下 SGSI) とアライアンスを結び、共同で製品開発を行っている。SGSI の多変数予測制御アルゴリズム SMOC (Shell Multivariable Optimizing Controller) と性状推定アルゴリズム RQE (Robust Quality Estimator) を、DCS や PLC のシステムに対して制御動作させるためのパッケージとして、Exasmoc (多変数モデル予測制御パッケージ) と Exarqe (性状推定パッケージ) を 2000 年に製品化した。

一方、燃料油に含まれる硫黄濃度に対する環境規制が世界的に強化されつつある。硫黄化合物は酸性雨の原因となるだけでなく、健康に悪影響を及ぼす化学物質を除去するための自動車排ガス浄化装置の効率や寿命を著しく減退させる。日本でも 2004 年度末までに、現在の規制値の $\frac{1}{10}$ である 50 ppm 以下の軽油の供給が義務付けられており、今後も更なる超低硫黄化 (10 ppm 以下) が計画されている。国内を含め、グローバルな製油所では、新規規制値へ対応するための「超深度脱硫プロセス」が検討されている。より高性能な触媒やプロセス自身の研究がなされているが、より厳しくなる反応条件に対応できる高度制御システムも求められている。Exasmoc R3 と Exarqe R3 は、これらの市場要求をベースに開発された。

*1 システム事業部 PCSセンター 第2技術部

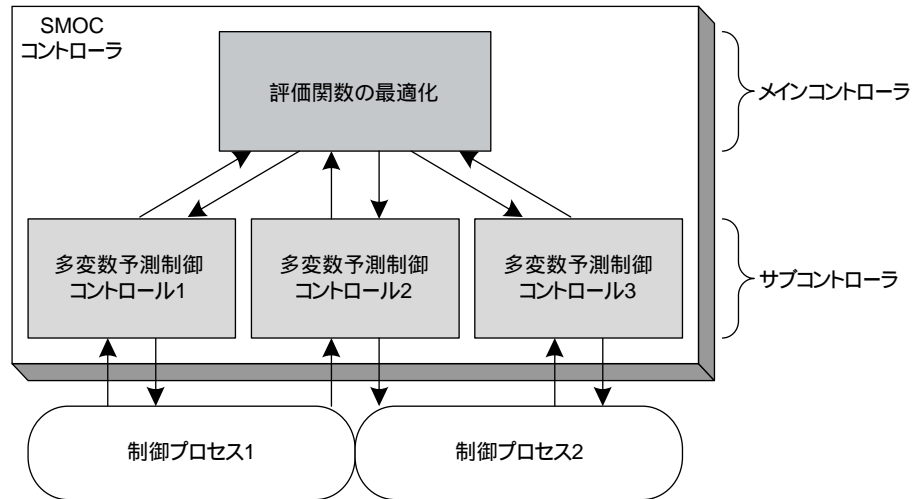


図1 2階層のコントローラ

2. Exasmoc R3 と Exarqe R3 の新機能

Exasmoc R3 と Exarqe R3 では複数の新機能を追加することにより、超深度脱硫プロセスの高度制御を実現する他、多目的かつ大規模プロセスへの適用を可能とした。

2.1 多変数モデル予測制御パッケージ Exasmoc R3

Exasmocは、多変数モデル予測制御をオンラインで実現するパッケージである。多変数モデル予測制御は、プロセスの動特性モデルをコントローラの内部に持ち、プロセスの次の動きを予測した上で、最適な操作量をプロセスに与える制御方式である。特に外乱、むだ時間、逆応答および相互干渉のあるプロセスに対して、安定化制御や最適制御で優れた制御性能が得られる。Exasmoc R3では、さらに次のような新機能を実装した。

- ・ 大規模コントローラ
- ・ Priority 制御

・ 予測トレンド

今までのExasmocでは、膨大なプロセス入出力数が必要とするエチレンプラントなどの大規模プロセスには適用できなかった。これに対してR3では、図1に示すようにメインコントローラとサブコントローラから成る2階層のコントローラを実現し、プロセス全体をいくつかの制御変数と操作変数で構成されるグループに分割できる。

サブコントローラは、このグループ毎に多変数モデル予測制御を実行する。メインコントローラは、全てのサブコントローラについて、制約条件を考慮した制御可能性チェックと最適化演算を行い、最適な制御変数の設定範囲をサブコントローラに与える。サブコントローラは、それぞれ異なる制御周期で動作できることから、制御周期が速いグループと遅いグループが混在するような大規模プロセスでの適用も可能となる。

制御変数には、1から100までの優先順位 (Priority) を設定可能であり、制御の重要度を考慮した柔軟な制御が

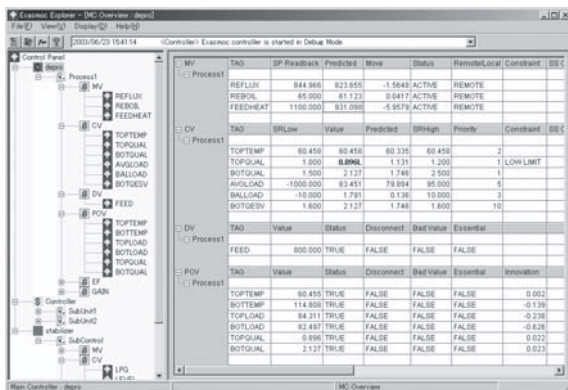


図2 Exasmoc R3 の操作・監視画面

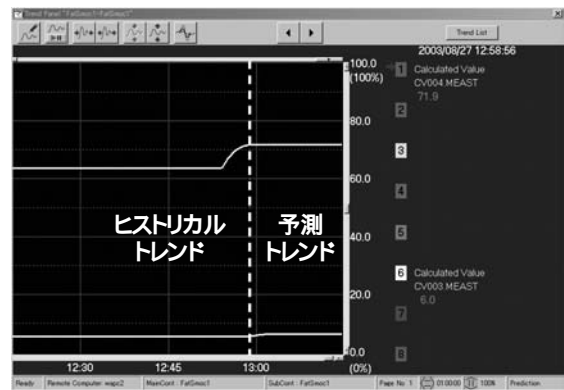


図3 予測トレンド

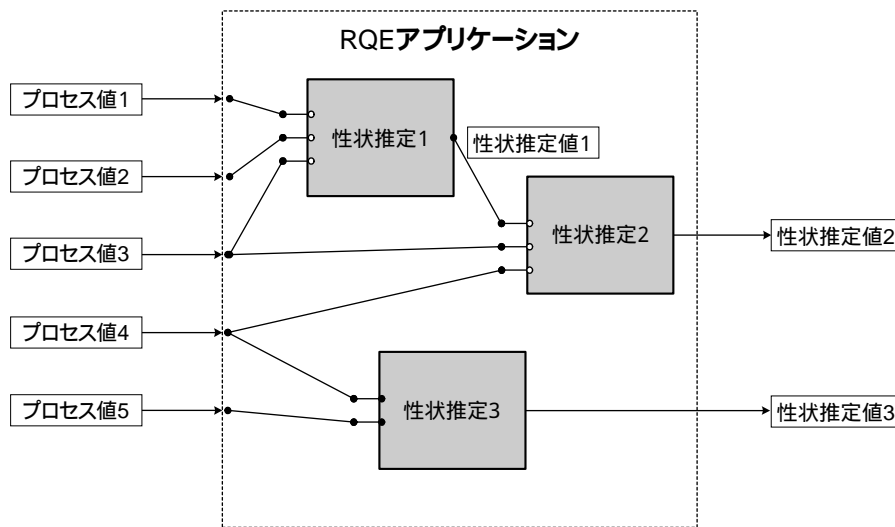


図4 複数性状推定

実現できる。これらの関係を視覚的に判り易くするために、HM(Human Machine Interface)にはツリー形式を採用した(図2)。

Exasmoc R3 では、予測したプロセスの未来の値をトレンド機能にて表示することも可能である。トレンド機能は、Exasmocが定周期に出力する予測データとヒストリカルデータを収集し、その変化をトレンドグラフに表示する。予測データとヒストリカルデータの変化を同時表示できることから、過去から未来までのプロセスの傾向が一目瞭然となり、制御における的確な判断材料をオペレータに提供できる。Exasmoc の予測データとヒストリカルデータをトレンド機能で表示した例を、図3に示す。

図3において、グラフ表示部で予測トレンドとヒストリカルトレンドの境界は破線にて示されている。境界の破線は現在時刻を示し、左側が過去のデータ、右側が未来のデータとして表示される。未来のデータは、Exasmocが定周期で予測データとして再計算を繰り返す。

2.2 性状推定パッケージ Exarqe R3

Exarqeはオンラインでリアルタイムに性状推定を行うパッケージであり、ソフトセンサとしても利用できる。性状推定とは、流量や温度などの性状に影響を与える計測可能なプロセス値から、不純物の濃度や凝固点といった直接計測が困難な性状値(品質)を推定するものである。オンライン分析やラボ分析では、測定対象のサンプル時刻と測定結果との間に時間的な遅れが発生するため、この性状値を制御に反映しても最適な運転は困難であった。

これに対して、Exarqeによる性状値はリアルタイムで連続的であり、現在のプロセス値として制御に用いることが可能である。Exarqe R3では、さらに次のような新機能を実装した。

- ・ 複数点性状推定
- ・ 演算機能
- ・ ブレンディング機能

Exarqe R3では、1つの性状推定アプリケーションにおいて、複数の性状推定が可能である。性状推定アプリケーションでは、算出した性状推定値をさらに別の性状推定の入力値として利用する多段性状推定モデルを単独で実現できる(図4)。従来、多段性状推定モデルの構築には連動させるタイミングを意識する必要があったが、Exarqe R3では1つの性状推定アプリケーションに相関する処理を集積することにより、この問題を解決した。

また、性状推定機能を応用したブレンディング機能を実現している。すなわち、積算性状の推定演算(Tank Quality Estimation)や、それによるタンク性状制御(Tank Quality Control)が可能である。この他にも任意の演算式を定義する機能や、SGSIの持つ豊富なブレンド演算式を組み込んであり、Exasmoc R3 と組み合わせることで、用途に応じたブレンディング制御が実現できる。4章で説明する超深度脱硫プロセスは、これらの新機能を総合的に活用して実現した高度制御の事例である。

3. 超深度脱硫プロセスへの高度制御の適用例

Exasmoc R3 と Exarqe R3 の機能を連携させ、以下のような超深度脱硫プロセスの高度制御を実現できる。

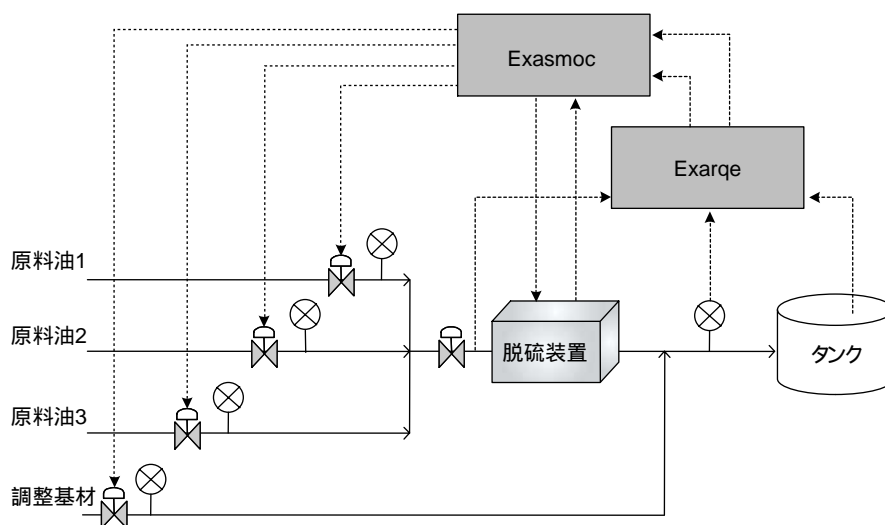


図5 超深度脱硫プロセスへの適用例

図5は、硫黄濃度の異なる各種原料油(原料油1~3)を指定した比率で配合した上で、脱硫装置にて硫黄分を減少させ、調整基材配合の調整によって目標品質内の硫黄濃度で製品(上図では軽油)を生産するシステム構成例である。このシステムでは、予め成分分析した原料油と調整基材の個別の成分データとプロセス上の原料油配合比率、温度などの各種データから、脱硫装置を経た中間製品の硫黄濃度をExarqeがリアルタイムに性状推定する。Exasmocは、プロセスの実測値とExarqeが算出した性状値を用いて反応温度やブレンド比率制御を実行し、目標品質の製品を継続的に生産する。

ガスクロマトグラフなどの分析計を用いた場合、硫黄濃度測定には一定時間を要することから、プロセスに測定結果を反映する頃には時間遅れによる品質へのズレが生じることになり、オフスペック製品を作り出してしまいう可能性が高く、また逆にオフスペックを防止するために、設定を厳しくして過剰品質の製品を作り出すような状況があった。一般的に、過剰品質の製品を生産する場合のエネルギー消費量は通常よりも多く、その分コストがかかる。この問題に対し、Exarqe R3によるリアルタイム性状推定とExasmoc R3による多変数モデル予測制御を用いて、要求スペックをぎりぎりでも満たす製品を安定して生産する高効率運転を実現した。さらに、この制御システムでは、連続したプロセスの中で目標品質通りの製品が生産されることから、プロセスの途中で中間製品を一時保管するための中間タンクを必要としない。これにより、タンク一基当たり年間1億円と言われるメンテナンス費用が不要になるなど、全体としてコスト削減効果が大きいシステムを実現している。

4. おわりに

ExasmocとExarqeは、当社が持つPCS分野での豊富な経験と、SGSIの石油精製における高度な技術を融合した高度制御パッケージである。工場での高効率運転によるコスト削減は企業の至上命題であり、それに対する高度制御の貢献度は高い。ExasmocとExarqeを連携させることで、オンライン分析計やラボの分析値では実現が困難であったリアルタイムな性状の安定化制御が可能になる。これらのパッケージは、石油、石油化学の他、ガスやエチレンなどの様々なプロセスに導入されており、現場より高い評価を得ている。

超深度脱硫はコスト的・技術的にも困難が多く、様々な分野で実現のための研究がなされているが、実際にこの問題に取り組んできたSGSIのノウハウを凝縮したExasmoc R3, Exarqe R3による効果は、大きいと考えている。

Exasmoc, Exarqeは当社の高度制御ビジネスの柱として、今後も順次バージョンアップを続け、同時に当社における高度制御ソリューションの実績とノウハウを、更に積み重ねていく所存である。

参考文献

- (1) 寺島伸彦, 高津春雄, 岡田賢司, “多変数最適予測制御パッケージ Exasmoc”, 横河技報, vol. 45, no. 3, 2001, p. 35-40

* Exasmoc, Exarqeは、横河電機(株)の登録商標です。

* SMOG, RQEは、Shell Global Solutions International B.V.の登録商標です。