

特集 コプロ連携によるスマートコンビナート構想の現状と課題

特集

現在、我が国の製造業、とりわけコンビナートを構成するプロセス産業は大きな転換点に立たされており、より一層の省エネ化やコストダウンが求められている。そのためには、入り口(原材料)から出口(製品、および廃棄物、排熱の有効利用など)までの過程を俯瞰し、いかに高付加価値な製品を高効率、低コストに生産していくかが重要である。多様な原料、化石資源以外の再生可能原料の導入等に対応し、かつ個々のプロセスの生産効率を上げ、できるだけ廃棄物・副産物や排熱を出さないようにし、どうしても出るものについては別のプロセスの原料やユーティリティとして再使用するなど、よりシステムティックな生産プロセス合成が強く望まれている。このような背景のもと、大規模な生産システムにおいてエネルギーと物質の同時カスケード利用を最適化し、技術集約による新しいコンビナート(スマートコンビナート)を構築することが望まれている。本特集では、最近おこなわれている研究開発や事業の例を紹介しつつ、現状を俯瞰するとともに今後の課題について整理する。

(編集担当：片岡 祥)†

スマートコンビナートの構築を目指して

遠藤 明・中岩 勝

1. はじめに

石油ショック以来、我が国の産業は使用エネルギーの大幅な削減を達成し、省エネ世界一の水準に到達したといえる。また、各要素技術においても、様々な技術革新により省エネ化が進んでいる。いわゆる「乾いた雑巾」と呼ばれる日本の産業においてさらなる省エネ化を推進するためには、個々の要素技術の改良、革新に加え、生産システム全体についての抜本的な転換が必要である。特に石油精製や石油化学コンビナートを構成する化学系産業は、不安定な原油価格、原料の多様化、国内需要の低下や生産拠点の海外移転等、大きな転換点に立たされており、将来のあるべき姿を一刻も早く検討・設計していくことが重要である。

産業技術総合研究所では、コンビナート等大規模な生産システムにおけるエネルギーと物質の同時カスケード利用を可能とし、工場等が隣接する企業間の連携を促進する解析手法の開発を共同研究、委託研究を通じて実施してきた。このようなコンセプトをどこまで現実の生産プロセスにブレークダウンできるかは要素技術およびシステム化技術の進展に依存するが、少なくとも単独の技術で解決できる類のものでないことは確かである。

このような背景のもと、我々は「スマートコンビナート」と呼ぶ新しい石油精製・石油化学コンビナートの形態を提案している。すなわち、大規模な生産システムにおいてエネルギーと物質の同時カスケード利用を最適化し、技術集約と大規模連携による次世代型のコンビナート(=スマートコンビナート)を構築することが目標である。



Toward the Development of "Smart Kombinat"
Akira ENDO (正会員)
1998年 東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻博士課程修了 博士(工学)
現在 (独)産業技術総合研究所 環境化学技術研究部門 化学システムグループ 研究グループ長
連絡先：〒350-8565 茨城県つくば市東1-1-1 つくば中央第5-2
E-mail endo-akira@aist.go.jp

2014年12月30日受理



Masaru NAKAIWA (正会員)
1980年 京都大学工学部化学工学科卒業
現在 (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 スマートコミュニティ部 統括研究員
連絡先：〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮1310
E-mail nakaiwamsr@nedo.go.jp

† Kataoka, S. 平成25, 26年度化工誌編集委員(3号主査)
(独)産業技術総合研究所 環境・エネルギー分野研究企画室

2. スマートコンビナート研究会

以上で述べたようなことを背景に、我々は、平成23年に(独)産業技術総合研究所のコンソーシアムとして「スマートコンビナート研究会」を設立した。設立の目的は以下の4つである。

- ①国内コンビナートの国際競争力強化
- ②世界最高レベルの省エネの実現によるグリーンイノベーションへの貢献
- ③世界の範となる高効率複合生産システムのコプロダクション化による実現
- ④産業間連携を大幅に加速するためのビジネスモデルおよび評価解析技術の確立

現在までのところ、民間企業、大学・公的機関・個人会員あわせて18の法人・個人に参加いただき、コンビナート連携に関する調査や情報交換を中心とした活動をおこなっている。本特集では、スマートコンビナート研究会の会員を中心に、スマートコンビナート構想の現状と課題について執筆いただいた。

3. スマートコンビナート構築のための方法論

スマートコンビナートを構築するためには、大規模なコンビナートの中で物質とエネルギーをいかに最適に配分・(再)利用すべきかを定量的に明らかにする必要がある。

図1に示したように、連携の程度によりコンビナートを分類し、特に高度な連携によるプロセス革新を目指したコンビナートの構築を目指している。

各工場・プロセスで余剰あるいは廃棄されているエネルギー(電力・熱)や物質を、他の工場やプロセスに再配分・利用する連携(カテゴリ2)は比較的容易に実現しうるコンビナート連携の一形態である。このレベルでの連携については、これまでも国内外で多くの具体的事例がある。本特集記事の一つである「製油所と石油化学コンビナートの

連携の実態」において、特に海外を中心としたコンビナート連携の実状についてKBCプロセス・テクノロジー・リミテッドの三浦氏に現状を詳しく紹介していただいた。

スマートコンビナート構想では、さらにコンビナートにおける連携を進め、以下で説明する「コプロダクションプロセス(以下、コプロプロセスと略記する)」を導入することで、物質系とエネルギー系を統合して最適化することを考える(カテゴリ3から4)。具体的な連携の例としては、図2に示したように様々な可能性を検討するべきである。個々の技術そのものは既に実用化されているものがほとんどであるが、コンビナート全体を高度に統合化することで、大幅な効率向上が期待できる。

高度な統合化のためには、従来おこなわれてきた最適化手法によるプロセスの設計では必ずしも十分とはいえず、新しい方法論やソフトウェア、ツールが必要となる。我々は、スマートコンビナートの設計・評価手法として「コプロダクション・ピンチテクノロジー統合解析(コプロピンチ解析)」に注目した。

ここで、いくつかの用語の定義を述べる。図3に示したように、「コジェネレーション(コジェネ)」が熱と電力の併給であるのに対し、「コプロダクション(コプロ)」は電力、水素などの燃料やエネルギーとともに物質(化学品)を併産することを指す。「ピンチテクノロジー」は、1970年台後半に提案された熱回収システムのための解析技術で、対象

近未来対応
・復水発電の廃止
・復水タービン動力の電動化
・水素インフラ・工業ガス供給の共用化
・LNG冷熱の低沸点蒸留、発電等への有効利用
中期的対応
・大型プロセス加熱炉へのGTインテグレーション
・重油処理装置・SDA等の導入
・ヒートポンプ導入による中・低圧蒸気製造
・エチレンセンター原料の灯・軽油などの重質化対応
・事業所発電所からの中圧蒸気供給による蒸気供給センター
・蒸気発生用ボイラ所有の最小化・廃止
究極的対応
・製油所重質残渣、エチレンタル等のガス化装置導入でのGT+抽気背圧タービン複合発電での地域向けクリーン電力センターとコンビナート熱電併給センターのハイブリッド化
・ガス化装置のSYN GASの一部を利用した合成ガス化学利用(酢酸、オクタノール、水素製造等)
・製油所・石化工場でのバイオ原料への一部転換

図2 スマートコンビナート構築のための具体策

カテゴリ	連携構造	タイプ
カテゴリ1	川上→川下垂直連携	旧来型コンビナート
カテゴリ2	エネルギー、中間留分、副生物の複数工場間双方向融通連携	現在形コンビナート
カテゴリ3	コプロプロセスによる複数工場複数レイヤー間3次元融通連携	近未来型コンビナート
カテゴリ4	生産プロセスの革新(モジュール最適)を伴うエクセルギーロス最小連携	究極型コンビナート

スマートコンビナート

図1 コンビナート連携の分類

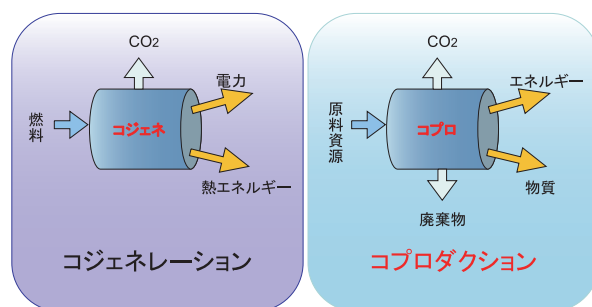


図3 コジェネレーションとコプロダクション

システム内の熱授受の理論的最大熱交換量を推算することができる¹⁾。ちなみに、「ピンチ」という言葉は、「熱をつまむ (pinch)」ことに由来している。この概念は、物質系についても適用可能であり、これまでに水のカスケード利用やコンビナートにおける水素の高度利用や、鉄などの廃棄物再利用等について検討されている²⁾。従来型の熱ピンチや物質ピンチでは、温度レベルや濃度 (純度) の低くなったものをヒートポンプや分離精製プロセスなどを導入することにより再生・利用することをおこなっている。

最適化の対象が、熱と物質を併産するコプロダクションプロセスを導入したスマートコンビナートになると、「熱ピンチ解析」や「物質ピンチ解析」を独立におこなうだけでは不十分である。スマートコンビナートでは、「コプロプロセス」と呼ぶ物質・エネルギーを併産するプロセスを新たに導入し、全体最適化を目指す。例えば、低位排熱や副生物などから高品位エネルギー (高温熱、冷熱、電力など) と高品位物質 (合成ガス、水素など) を生産するプロセス等を考えると、より一層の効率化を図ることが可能であることは (定性的には) 容易に想像がつく。

コプロプロセスとして様々な要素技術が開発される中、それらが導入されることで影響が及ぶ広い範囲の系の省エネ性評価を横断的におこなえる解析手法が必要となる。筆者らが世界で初めて開発したコプロピンチ解析手法²⁾は、熱ピンチ解析、物質ピンチ解析およびコプロプロセスを導

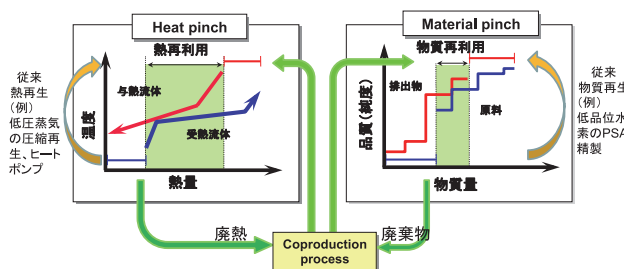


図4 コプロダクションピンチ統合解析の概念図

表1 2002年～2010年の検討事例

検討テーマ	削減効果(見込み)
ICFG ガス化炉	ガス化炉導入前に比べて26%のコスト削減
排ガスCO ₂ からのドライアイス製造	従来法に比較して24%～37%のコスト削減
アイアンカーバイド法製鉄	従来法に比較して26%のコスト削減
バイオマスリファイナリー	熱量30000 kW相当の木質バイオマスの追加的利用により、従来法より9800 kWの化石燃料を削減
製油所のコプロ問題	ガスタービン導入により最大25%のエネルギーコスト削減
自己熱再生コプロ問題	原油換算で11.7万kL/年の省エネ

入したシステムで両者を統合したコプロピンチ解析で構成される。図4にそれらの統合の概要を示した。熱ピンチや物質ピンチの用役使用量は通常変数であるが、それらをコプロプロセスという関数で連携させることで全体を一体の問題としている。「コプロダクションピンチ解析による評価理論」については、本特集において京都大学・谷口氏らに解説していただいたので、詳細はそちらを参照されたい。

4. コプロピンチ統合解析の適用事例と技術課題

これまでに、「コプロピンチ統合解析」により高度なプロセス連携を実現した (あるいは進行中の) 例が複数ある。コプロピンチ解析ソフトウェアの初期プロトタイプを開発した2002年以降2010年までに、表1に示すテーマにコプロピンチ解析を適用し、概ね20%以上のコストやエネルギー削減効果が得られるという結果が得られている。

また、本特集においてもNSスチレンモノマーと昭和電工によるコプロダクション連携の具体例について、馬越氏らに詳しく解説していただいた。

コプロピンチ解析を用いたコンビナート連携の高度化、すなわちスマートコンビナートの構築は、これまで示してきたように幅広い分野で最先端の省エネ技術開発に貢献できることが分かっているものの、広く普及していくためにはいくつかのハードルがあるのも事実である。スマートコンビナート構築に際し、課題の現状と今後必要となる取り組みについて、「情報」「技術」「ビジネス」の観点から分類したものを表2にまとめた。

我々が開発してきたコプロピンチ統合解析ソフトウェアは、基本的に定常運転の状態を最適化するものである。実プラントの運転には、起動・停止や操業中の揺らぎ、入出力の変動が発生するため、非定常状態を考慮したコプロピンチ解析を可能とするように拡張していく必要がある。

また、現状ではコプロピンチ解析の対象、すなわちどのようなプロセスをどう連携させるかの最初のアイデアは

表2 スマートコンビナートの課題

分野	課題の現状	必要な取り組み
情報	- 概念としてのコプロは認知されてきているが、実現のための基礎データが全く不足している - データの収集、整理、管理方法のノウハウの不足	コンビナート向け熱共有検討のデータフォーマットのコプロ用途への拡張
技術	- 会社間をまたぐ連携案件の評価手法の標準化ができていない - より複雑かつ有機的に繋がった工場やプロセス間の運転管理、設備管理技術が不足している	- コプロピンチ解析技術をコアとした標準化・一般化と普及 - 非定常状態やシャットダウンメンテナンスおよび緊急時のバックアップ対応方法を検討できるフローモデルの作成
ビジネス	連携案への投資方法が不明確	- 調査研究およびプロジェクトファイナンス方式の検討 - 利益配分標準モデルの開発

自動的に生成されるわけではなく、技術者の知識・経験に頼らざるを得ないという弱点もある。熱ピンチが“Target before design”が可能な解析技術であるのに対し、コプロピンチ解析はまだその段階にまで至ってはならず、この点も含めた学理の深化が望まれる。

また、連携を高度に進めると、ある一つのプラントが停止した際に、全体に与える影響が非常に大きくなるため、バックアップも含めたプラント全体のオペレーション方法を明確にする必要もある。その他、ビジネス上の問題であるが資金調達や利益配分のガイドライン等も必要になってくる。最近話題となっている“インダストリー4.0”においてもデータの総合管理や標準化等の必要性が謳われているが、スマートコンビナート構築に際しても大いに参考になる部分が多いと思われる。これらの想定される課題については、本特集の中で「スマートコンビナートの事業化における各種課題と今後の展望」について、千代田化工・広地氏にまとめていただいた。

5. まとめ

本稿で紹介したようなスマートコンビナートをはじめと

する高度に省エネ化を進めたシステムを実現化することは喫緊の課題である。本稿で述べた複数プロセスの連携は、対象とするシステムのバウンダリーを拡げるほど統合の手段・選択枝は増加し、省エネ性の向上が期待できる。

持続可能社会の構築に向けた化学産業のあり方を考えると、今後縮小傾向にある国内産業の活性化(利益最大化)とスマートコンビナートの構築は、このような課題克服に大きく貢献できることは自明であるが、技術的課題の克服に加え、ビジネスモデルの構築、法整備や各種ガイドラインの策定等、検討する必要があるテーマも多く残されている。世界に先駆けて我が国からの新たなコンビナートのモデルを発信していけるよう産学官が一体となって推進していく体制を一刻も早く構築することが望まれる。

参考文献

- 1) Linhoff, B. et al.: “User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy”, IChemE, UK (1994); 青山洋訳: 省エネルギープロセスのためのピンチ解析法ガイドブック, シーエムシー出版(1997)
- 2) Nakaiwa, M. and H. Tatsumi: “Pinch Technology”, *Journal of the Japan Institute of Energy*, 91 584-591 (2012)

廃プラスチックのリサイクルーガス化処理による原料化ー ～人材育成センター 夢化学委員会 作成教材の紹介～

家庭ゴミとして出される廃プラスチックの量は全国で年間500万トンにものぼり、そのリサイクル、有効利用が課題です。現在これら廃プラスチックは多くが焼却処理されていますが、より有効な利用が望まれています。

単純な焼却処理は、炭化水素(C_nH_m)であるプラスチックを空気(酸素)で燃やして CO_2 と H_2O に完全酸化するものです。これをその一歩手前の CO と H_2 に部分酸化することでこれらが化学原料として有効利用できます。昭和電工川崎事業所の部分酸化法による廃プラスチックガス化プロセスを紹介します。



廃プラスチック(家庭ゴミ)

続きはこちらのQRコードより
YouTubeで



廃プラスチック