

コンビナート・ルネッサンス —国際競争力強化に向けた高度統合運営技術開発—

石油コンビナートの国際競争力強化を目的に、石油産業および化学産業等19社は、技術研究組合を設立し、平成12～14年度の3年間にわたり国内5地区のコンビナートで、新生コンビナートの創造に関わる種々の技術開発を行ってきた。本企画では、石油コンビナートの先端的な取り組みと研究開発の内容を紹介し、これらの成果がコンビナート以外の産業の発展にも寄与することを期待する。

(編集担当：種田大介)[†]

新生コンビナートへのアプローチ*

能村 郁夫

1. はじめに

近年、石油・石油化学産業を取り巻く競争環境は激化してきており、そのなかでわが国の石油コンビナートにおいては、資源・エネルギー消費の最小化、環境問題への対応等をさらに進めつつ、国際競争力を有する最適な生産体制を構築していくために、製油所や企業の枠組みを越えた、複数製油所間または石油化学等の異業種間における高度な一体的運営を行う必要がある。このため、いわゆる「コンビナート・ルネッサンス構想」の具体化として、情報通信技術等を活用した石油精製関連設備の共同運用、製品や原材料の最適融通・最適制御のためのシステム技術および移送技術等を研究し、その技術的、経済的可能性を明らかにするとともに、研究装置による技術開発を行ってきた。

このような石油コンビナート高度統合に関わる先端的な取り組みと研究開発の内容を紹介する。

Approach to the Advanced Refining and Petrochemical Complexes

Ikuro Nomura

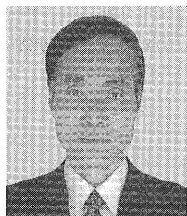
1969年 金沢大学工学部化学工学科卒業

同年 出光興産(株)入社

現在 石油コンビナート高度統合運営技術研究組合技術部長

連絡先：〒105-0001 東京都港区虎ノ門4-3-9 住友新虎ノ門ビル

E-mail nomurar@ring.pecj.or.jp



*2002年11月15日受理

2. 世界のコンビナート動向

2.1 欧米の石油・化学産業の選択・集中と統合運営

石油、化学産業をめぐる国際情勢は1990年代より大きく変容してきており、欧米の巨大石油企業・化学企業などが、選択と集中の戦略のもとで大胆な再編・集約化を行い、競争力を有する分野での事業拡大を図っている。

石油業界では、1998年から2001年にかけて、先ずBP(英)とアモコ(米)が合併しBPアモコに、さらにアルコ(米)の買収がなされた。フランス・ベルギーの合併では、トタルフィナエルフ、また、米国では石油メジャーの大型合併により、エクソンモービル、シェブロンテキサコというスーパーメジャーが誕生し、収益性と成長性を高めた¹⁾。

川下に石油化学事業を抱える企業が多い石油産業の再編成は、製油所からの一貫生産で石油化学を展開できるために統合メリットが大きい。1990年代より、石油化学への原料供給は、石油精製業における利益のかかなりの部分を稼ぎ出すようになり、図1に示すように石油企業グループにおける石油化学部門の位置づけは、補助的なものから成長

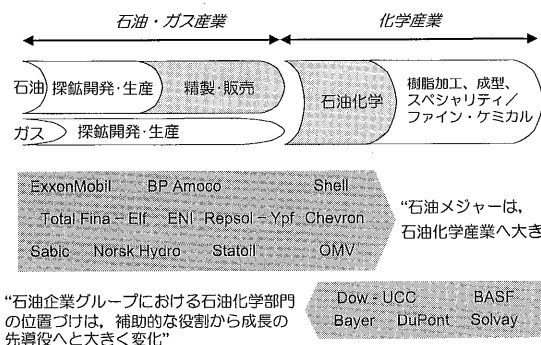


図1 欧米石油・化学産業の選択・集中

[†] Taneda, D. 平成13、14年度化工誌編集委員(主査) 日揮(株)

の先導役へ大きく変わってきた。米国におけるプロピレン生産の50%、ベンゼン生産の45%はすでに製油所のサイトで行われている。石油精製・石油化学の統合オペレーションとしては米国のメキシコ湾岸地域におけるエクソンモービルのベイタウンコンプレックス、欧州ロッテルダムのシェルコンプレックスなどが代表的である。また、ベルギーアントワープのトータルフィナエルフでは、石油精製からエチレン装置までを一つの製油所として運転し一体運営、イタリアのアジップとENIケミカルのコンプレックスでは、石油精製と石油化学の装置が同一の敷地内に混在して統合運営がなされている。

一方、欧米では化学系石油化学企業同士の大型合併、提携、事業統合等が活発に行われた。ヘキスト（独）とローヌ・プーラン（仏）は、石油化学等を切り離してアベンティスとなり、また、ダウ・ケミカル（米）とユニオンカーバイド（米）の合併等、世界の化学企業の流れが、総合化学から自社の得意事業に経営資源を集中させる方向に変わったといえる²⁾。オランダのDSMが石油化学部門をSABIC（サウジアラビア基礎産業公社）に売却し、スペシャリティケミカルに経営資源を集中する姿勢を明確にしているように、石油化学産業の再編成が一段と進んだ。

2.2 中東や中国の新たな台頭

21世紀を迎えて、すでに成熟段階といわれる日・欧・米にかわり、アジア諸国、中東産油国の石油化学企業は、高い経済成長、大きな潜在市場や有利な原料基盤を背景に急速に生産力を拡大している。この結果、需要過剰であったアジア地域も、次第に供給過剰となり、ASEAN諸国での大型投資案件も急速に縮小している。そのなかで、中東や中国では、安い原料や労働力による大型の最新鋭設備を活用したコスト競争力のあるエチレンや汎用分野の誘導品の供給力が、今後大幅に増大する見込みである。

中東のサウジアラビア、クウェートの産油・産ガス諸国では、図2のように新たな大型エチレン製造設備の建設が進んでいる。

また、中国では、2001年もGNP（国民総生産）は7%の

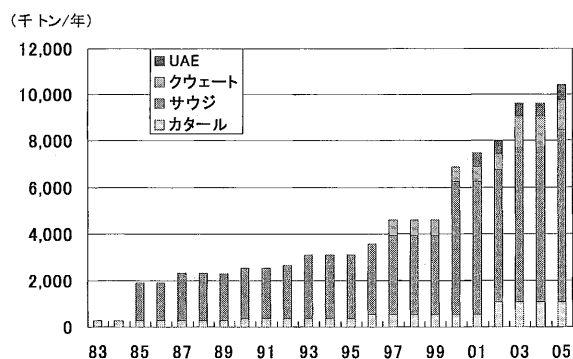


図2 中東エチレン生産能力の推移

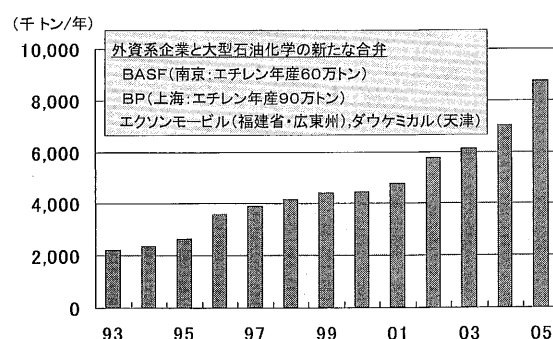


図3 中国エチレン生産能力の推移

成長を示し、WTO（世界貿易機関）加盟とあいまって、グローバル化を推進する欧米の石油・化学大手企業の標準が向けられ、総合的な統合石油化学プラント建設もこれまでの計画段階から実行段階に移っている。外資系企業と大型石油化学合併の第1号となるBASFの南京での年産60万トンのエチレンを中心にしたコンプレックス建設（2004年末から2005年にかけて完成）、BPの上海石油加工との合併による年産90万トンのエチレンセンター建設（2005年末までに完成）、その他エクソンモービルの福建省、広東省の2カ所での石油精製からの一貫プラントの建設の計画、ダウ・ケミカルの天津での大型石油化学拠点の建設に関する検討等の動きが続いている（図3）。

2.3 シンガポールジュロン島のケミカルアイランド

シンガポールの石油産業は、1950年代末～1970年代にかけて、シェル、エクソンモービル、SRC（シンガポール石油、BP、カルテックスの合併）の製油所が稼動し、1日あたり120万バレルの処理能力を有する世界でも有数の輸出型石油精製基地の一つに成長している。さらに、1970年代以降、より付加価値の高い石油化学・化学産業に重点を置き企業誘致を推進し、最近では石油精製・石油化学の統合オペレーションとして、ジュロン島が注目を集めている（図4）。

シンガポール政府は、GDP（国内総生産）の25%を製造業に依存、このうち25%を石油精製、石油化学、スペシャリティケミカルでまかなうという基本方針を打ち出し、

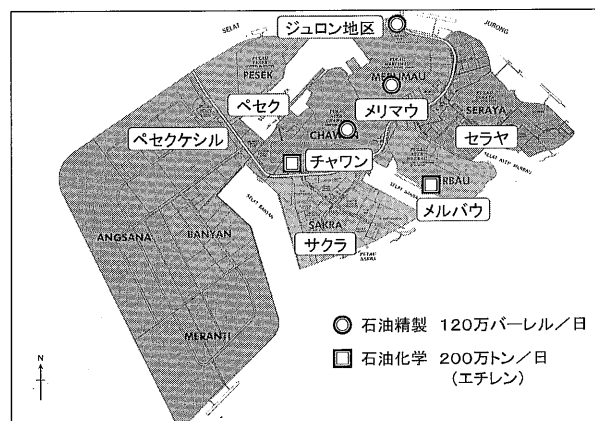


図4 シンガポールジュロン島のケミカルアイランド

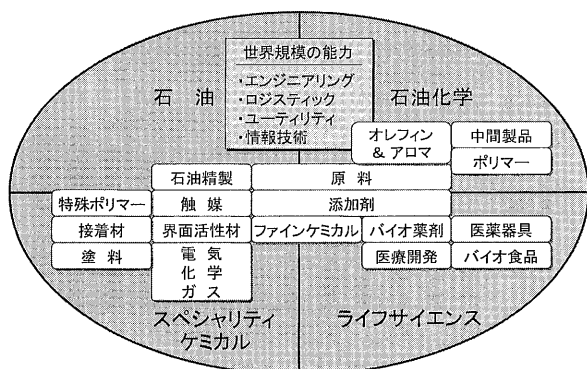


図 5 シンガポールのケミカルクラスター

ジュロン島の開発、インフラや人材の確保など投資基盤の整備に力を入れている。シンガポール政府経済開発局(EDB)は、1990年代からジュロン島の開発を始め、7つの島を埋め立てて陸続きにしコンビナート用地(4×8キロメートル)を造成、石油精製と結びつけてケミカルアイランドと位置づけて欧米や日本の石油化学企業の投資を促進するとともに、産業支援を行ってきた³⁾。化学工業のハブ(拠点)として、土地を含むインフラストラクチャーを供給することで、進出企業は初期投資を抑え、生産活動部分に集中することができる。さらに行き届いた行政サービスと、多様なインセンティブ制度が整備され、急速に発展してきた。ジュロン島では上流の石油精製から、基礎化学品、誘導品へと高度な連鎖ができてきており、図5のようにスペシャリティケミカル、ファインケミカル、医薬、ライフサイエンス等の各種の化学工業分野と関連づけて統合や連携が図られ、シナジー効果を生み出している⁴⁾。また、各社のプラントはパイプラインにより原料、中間品、製品を直接やりとりし、貯蔵・出荷設備の共同利用や、スチーム等の用役・廃水設備のアウトソーシングができ、高い生産性を確保している。

3. わが国のコンビナートの課題と対策

3.1 石油・化学産業を取り巻く環境の変化と対応

国際的な競争環境の厳しさが増すなかで、1987年の石油産業基本問題検討委員会は、石油産業、石油政策のあり方についての報告をまとめ、規制緩和、自由化の方向づけについて石油審議会に答申した。その後、自由化のアクションプログラムにより、国によるガソリンの生産割当制の廃止、原油の処理指導廃止、特定石油製品輸入暫定措置法(特石法)の廃止等一連の規制緩和が実現し、2002年1月には石油業法も廃止になった。このような規制緩和、国際化とともに、人件費、修繕費などの精製コストの安い韓国やシンガポールからの石油製品の輸入増大の圧力が高まるなかで、わが国では構造改善等の取り組みが本格化した。日

本石油・三菱石油の合併とコスモ石油との提携や、昭和シェル石油とジャパンエナジーの業務提携等、企業規模の拡大と経営合理化策が打ち出され、エクソンモービル、出光興産とあわせ4つのグループに集約されることになった。

石油化学・化学企業では、構造的な要因に景気低迷、中東などでの大型設備の稼働開始、原油価格の上昇などの循環的な要因が加わって厳しい経営環境が続く。抜本的なコスト競争力の強化が求められてきている。これまでの第1次オイルショックによるエネルギー価格高騰と低成長、アジア諸国の経済成長に伴う韓国等における設備の大幅な増強、そしてそれに続く2000年頃からの石油メジャーおよび産油国による大型プラントの建設が本格化してきており、国際的な競争時代を迎えたといえる。こうした環境変化のなかで、わが国の石油化学企業は、1990年代後半から徹底的なスクラップ・アンド・ビルド等によるコスト競争力の改善、不採算事業からの撤退、コア事業・成長事業への積極的な投資、そして一部は海外のコンプレックスへの進出を行い、さらに事業統合を図ってきた⁵⁾。

3.2 わが国のコンビナートの課題

わが国における石油精製、石油化学・化学企業は国際競争力のさらなる向上のためには、製造規模の拡大、製造工程の効率化や製造コストの低減が必要であるが、一社単独ではその合理化に限界があり、会社を越えたコンビナート地域の一体化の推進が重要な課題となる。そのなかで、高度な一体的運営を行うことによる石油コンビナート全体の国際競争力強化が注目を浴びることになった。

4. コンビナート・ルネッサンス事業

4.1 技術開発の概要

わが国の石油コンビナートにおける石油精製と石油化学のインテグレーション合理化可能性に関わるフィジビリティ調査等の結果、石油の低廉かつ安定的な供給確保を図るとともに、国際競争力を有する最適な生産体制を構築していくために、製油所や企業の枠組みを越えた、複数製油所間または石油化学等の異業種間における高度な一体的運営を行う必要があることが明らかになった。

このため、石油産業および化学産業等19社は、鉱工業技術研究組合法に基づく認可法人として石油コンビナート高度統合運営技術研究組合(RING)を2000年5月に設立した。「コンビナート・ルネッサンス構想」の具体化として、国からの補助金を受けて2000～2002年度の3年間にわたり国内5地区のコンビナートで高度統合運営に関わる未利用資源の高度利用、情報通信技術を活用した製品や原材料の最適融通・最適制御のための生産・操業システム技術等の新たな技術開発(研究開発費約200億円)を行ってきた。



図 6 各地区の技術開発事業

各地区の技術開発の概要は、以下のとおりである (図6)。

4.1.1 副生成物高度利用統合運営技術開発 (高松地区)

石油精製および石油化学基礎化学品の生産工程で生じる副生成物を相互に融通して高度利用を図り、エネルギーの消費量を低減した二つの事業所間の設備に関わる統合運営を可能とするための最適運営システム技術の開発および不飽和LPG留分の新たなアルキレート製造等の多目的高度利用プロセス技術の開発。

4.1.2 先端的综合生産管理システム技術開発 (水島地区)

複数の石油精製工場および石油化学工場間の原料・半製品等の流通を最適化するために、各社の生産装置等が相互に有効活用できる新たな生産管理システム・移送技術の開発と、多数の原料・半製品等の移送設備および付帯設備を管理する先進的な総合生産管理システム技術の開発。

4.1.3 重質油高度統合処理技術開発 (相模地区)

同一地域内の複数の製油所間において、各製油所が保有する各々異なる重質油処理設備を組み合わせ一体的に運用することにより、揮発油などの高付加価値石油製品の効率的な製造を可能とする新たな重質油処理技術、移送技術および最適な処理条件の確立に関わる技術の開発。

4.1.4 コンビナート操業情報システム技術開発 (徳山地区)

原料調達、用役供給、各種設備利用等、コンビナート内の多様な業種の事業所の操業に共通的に関わる情報を一元的に管理し、提供することにより、コンビナート全体の高効率・省エネルギー運転を可能とする高度広域情報システムおよび広域移送制御システムの開発と、フレキシブルパイプによるインラインパイプ技術によるコンビナート原料多様化に関わる開発。

4.1.5 動的最適統合操業計画システム技術開発 (瀬戸内地区)

同一地域内の複数の製油所間において、市場の価格動向や在庫状況等を逐次同時に製油所の操業に反映することにより、フレキシブルな生産対応、半製品の融通および原油調達を可能とするSCM (サプライチェーンマネジメント) の考え方を入れた、新たな原油配船・生産計画・配送システムの開発。

4.2 期待される効果

グローバルな競争環境のなかで、最新の各種技術を開発しつつ業種・企業の枠を越えてコンビナートを一つの工場と見なして統合運営することにより、従来各企業単位では得られなかった効果を創出することが可能となる。この研究開発事業の実施により、技術開発がすべて完了した時点では石油精製設備等のエネルギー使用量を10%削減、複数製油所間・異業種工場間における原料・半製品の最適融通等により生産効率を5%向上させることができると考えられる。さらに、この事業で得られた各種の技術開発の成果が全国のコンビナートで活用され、コスト競争力の向上に大いに貢献することが見込まれる。

5. おわりに

コンビナート・ルネッサンス事業は、各地区において研究開発から実証研究の段階に入り、その成果がみられる状況になってきている。今後、石油・石油化学等の業種だけでなく、わが国の産業界の様々な分野での波及が期待されている。この研究開発事業に引き続き、国際競争力の一層の強化に向けて、これまで研究してきたコンビナート共通の情報・移送等のインフラを有効に活用するとともに、コンビナートのさらに高度な一体運営により、環境負荷低減対策を具体化しつつ生産性・効率性を高めるための新たな高度統合技術の開発が期待される。

引用文献

- 1) 河原一夫：ペトロテック，24, 893-898 (2001)
- 2) 化学工業日報社：ケミカルビジネスガイド2002，化学工業日報社，10 (2001)
- 3) 化学工業日報社：化学経済，2001・11月臨時増刊号，81-82 (2001)
- 4) 石油産業活性化センター：エネルギー産業化における製油所の役割と機能に関する調査報告書，石油産業活性化センター，50-54 (2001)
- 5) 2002年版化学工業年鑑，化学工業日報社，76-77 (2002)

技術開発の内容と成果*

竹田 充範・齊藤 豊・河村 芳郎
山村 俊行・茶野 敬三

1. 副生成物高度利用統合運営技術開発

鹿島地区コンビナートで隣接する鹿島石油(株)と三菱化学(株)は、融通留分の強化やインテグレーション合理化可能性調査に基づき、統合運営に関わる新たな技術開発を行ってきた。

1.1 最適運営システム技術開発

コンビナートを構成している石油精製(鹿島石油)と石油化学(三菱化学)をバーチャルに一体化し、両事業所の生産計画の最適化を行うシステムを開発している。また、両事業所間で互いの操業情報を共有するシステムを開発し、日常運転のなかでも最適操業を行える体制を整え、両事業所の生産計画段階から実際の操業まで、主要原料はもとより双方の副生成物の高度利用も含めた最適運営を実現するためのシステムを開発している。このシステムの実証研究を行うため、既存の融通留分に加え新たに不飽和LPG、水素等の7種の融通留分の強化を図った。

1.2 不飽和LPG留分の多目的高度利用技術開発

本技術開発では、石油精製・石油化学双方で余剰傾向にある不飽和C4留分を原料に、既存MTBE(Methyl Tertiary Butyl Ether)装置も活用しながらMTBE/アルキレート/飽和ブタンなどの高付加価値製品をフレキシブルに生産することを目的とした。

Program Activities and Achievements of Research and Development

Mitsunori Takeda

1985年 大阪大学大学院工学研究科修了(工学修士)

同年 鹿島石油(株)入社

現在 開発部開発第一グループ長

連絡先; 〒105-0001 港区虎ノ門2-10-1

鹿島石油(株) 開発部開発第一グループ

E-mail takeda-mi@kashima-oil.co.jp

Yutaka Saitou

1968年 岡山県立岡山工業高校機械科卒業

同年 三菱石油(株)入社

現在 新日本石油精製(株) 水島製油所 計画グループシステムチームチームリーダー

連絡先; 〒712-8528 倉敷市水島海岸通4-2 新日本石油精製(株) 水島製油所 計画グループ

E-mail yutaka.saitou@eneos.co.jp

1.2.1 プロセス構成

本プロセスは、既存のMTBE装置も活用したMTBE/ブテン二量化反応セクション、ブタジエン選択水添反応セクション、水添反応セクション、分留セクションで構成される。石油系および石化系からの各不飽和C4留分は各リアクターを経て、混合して水素添加・分離を行う。MTBE/ブテン二量化反応セクションでは、強酸性イオン交換樹脂触媒を用い、メタノールを供給してMTBEに変換したり、供給せずに二量化物に変換することができる。また、これに固体リン酸触媒を用いた二量化専用反応塔を組み合わせたプロセスとした(図1)。

1.2.2 プロセス概要と開発状況

本プロセスは、余剰な不飽和C4留分を原料とし、状況に応じて高付加価値MTBE/アルキレートを生産できる設備であり、特にアルキレートへの変換においてはオレフィンの二量化、引き続き水添反応による間接アルキレーションプロセスを採用している(図2)。

間接アルキレーションプロセスの特徴を直接アルキレーションプロセスと比較して、次に記述する。

- ・固体酸触媒のため、酸腐食がほとんどない。
- ・固体酸触媒を用いた液相反応であるため、液-液分離

Yoshiro Komura

1974年 京都大学大学院工学研究科修了(工学修士)

同年 東亜燃料工業(株)入社

現在 東燃ゼネラル石油(株) 川崎ルネサンスプロジェクトベンチャー マネジャー

連絡先; 〒210-9526 川崎市川崎区浮島町6-1 東燃ゼネラル石油(株) 川崎ルネサンスプロジェクト

E-mail yoshiro.komura@exxonmobil.com

Toshiyuki Yamamura

1973年 山口大学工学部工業化学科卒業

同年 出光興産(株)入社

2000年 徳山製油所所長付

現在 製造部プロセスシステムセンター 所長

連絡先; 〒299-0107 市原市姉崎海岸26 出光興産(株) 製造部プロセスシステムセンター

E-mail toshiya.yamamura@si.idemitsu.co.jp

Keizo Chano

1980年 京都大学大学院工学研究科修了(工学修士)

同年 日本石油(株)入社

現在 新日本石油(株) 需給部需給計画グループマネージャー

連絡先; 〒105-8412 港区西新橋1-3-12 新日本石油(株) 需給部需給計画グループ

E-mail keizo.chano@eneos.co.jp

*2002年11月15日受理

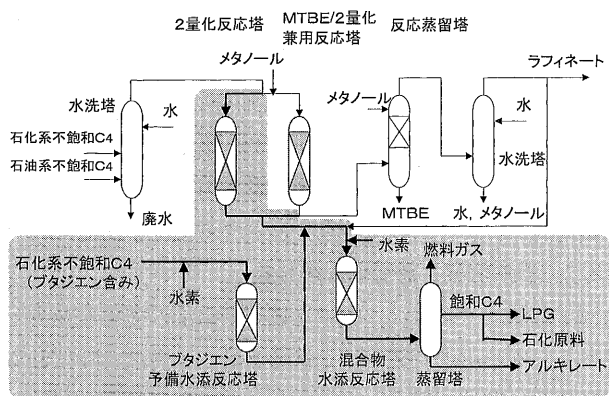
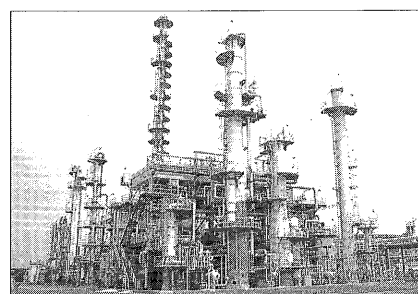


図 1 不飽和LPG留分の多目的高度利用プロセス



最適運営システムを用い立案した生産計画を、副生成物の相互融通および不飽和LPG留分の多目的高度利用プロセスに反映させた総合実証研究を実施

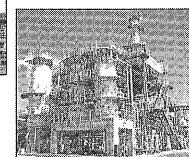


図 3 総合実証研究

2. 先端的総合生産管理システム技術開発

水島地区では、水島コンビナート内に立地する新日本石油精製(株)、(株)ジャパンエナジー、三菱化学(株)、旭化成(株)、山陽石油化学(株)の5社間の事業所をパイプラインで連結し、そのパイプラインにより石油精製側生産留分や石油化学側生産留分の相互融通および各社の装置等を相互に有効活用することにより、各社のさらなる操業の効率化を図り、より競争力のある製品を供給できる総合生産管理システムを開発してきた。

2.1 先端的総合生産管理システムの概要

本システムは、単なる統合LP (Linear Programming：線形計画法) による石油精製－石油化学間のインテグレーションおよび全体最適化ではない。現状の各社において行っている業務フローを1つの仮想事業所とみなして全体生産計画の立案からスケジューリングまでの業務を統合することは、全体の最適解が必ずしも個々の事業所の収益最大とはならず、業務上の意思決定からも、システム構築上からも現実的には困難である。したがって、個々の事業所間で融通しあう原材料に関し、個々の事業所毎の最適操業計画をベースに、日次スケジュールのレベルで調整しあうことにより部分最適化を図ることが、現実的かつ段階的に結合度を高めていく上でも有効と考えられる。このような観点に基づき、先端的総合生産管理システムを開発し、安全かつ円滑な相互融通を実現する。

2.2 システムの特徴

本システム概念図は、図4に示すとおりである。

各社での取引情報の標準化や最適な取引のための最適流通・生産管理システム、安全な広域移送のための高度操業監視システム、海底下の全長約800mのパイプライン防護設備内の保安・保全のための保全システム等で構成している。

2.2.1 最適流通・生産管理システム

複数社間で行う種々の取引形態(単独、複数社同時等)における取引計画の調整をシステム化することにより、最適、かつ効率的な取引計画の立案を行う。各社が希望する取引

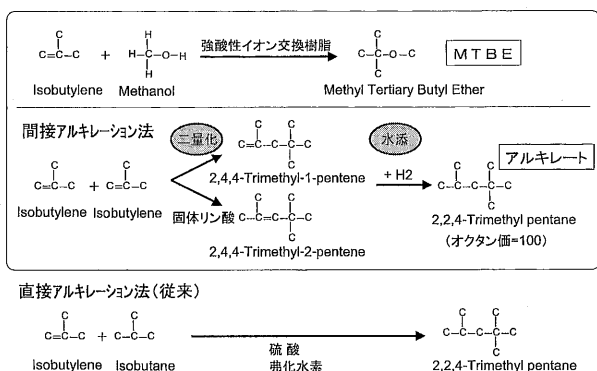


図 2 多目的高度利用プロセスの反応

のような特別な分離操作を必要としない。

- ・ 反応条件がマイルドで副生成物が少なく、コーキングもほとんど起こらない。
- ・ 不飽和C4間の反応であり、余剰C4処理に適する。

硫酸を触媒とする直接アルキレーションプロセスは、国内でも11基稼働しているが、実証レベルの間接アルキレーションプロセスは国内はもとより海外においても例をみない世界で初めての技術開発である。固体リン酸触媒によるブテン二量反応の実証試験を行った結果、当初設定条件では*n*-ブテンの転化率が低く反応条件の最適化検討が必要であった。このため主に反応塔入口のオレフィン濃度と温度に関して最適化検討を行い、当初目標の*n*-ブテン転化率ならびにアルキレート収率を達成した。今後は、触媒寿命や長期安定試験検証を中心に実証研究を継続する(図3)。

1.3 期待される効果

最適運営システムおよび不飽和LPG留分の多目的高度利用技術開発における実証試験の最終段階に入っている。C4留分等の副生成物の高度利用が実現でき、また、揮発油のオクタン価向上基材であるアルキレートの新プロセス開発に目処がついたことにより、今後全国に波及することを期待している。

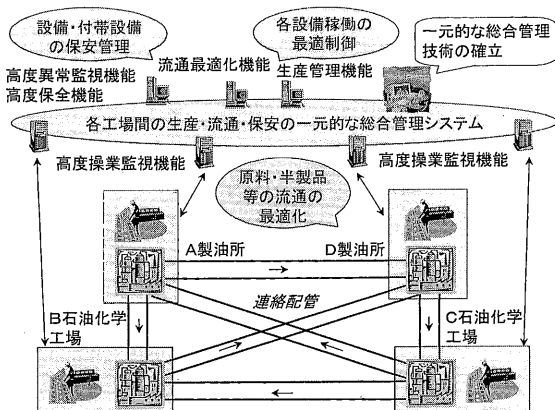


図 4 先端的総合生産管理システム技術開発の概念

量、取引スケジュール等の突合せを行い、競合や不一致を検出し、調整を促すことにより実行可能な取引計画を確定する。また確定された取引計画においては、新規計画、変更分を含めた直近の短期取引計画は各社の承認を得た後に高度操業監視システムへ渡され、実際の設備の操業を支援する。なお、これまでに開発した機能では、競合や不一致時には人間が介入して調整を行うが、あらたにラグランジュ分解調整法、ペナルティ関数法等の考えを取り入れた自動交渉機能の開発も行っている。

2.2.2 高度操業監視システム

複数の会社間、同時移送における安全な流通のために、各社の異なるメーカーのDCS等をOPC（共通インターフェイス）で連携し、最適流通・生産管理システムから転送された取引計画に沿って広域移送状況の監視を行う。また、ヒューマンエラー防止として移送準備から終了までの間、種々の異常検知および異常時対応を含めたガイダンス表示機能を持たせている。さらにパイプライン防護設備内の保全システムとも連携した多機能な監視システムである。

2.2.3 パイプライン防護設備内の保全システム

海底下に設置した全長約800mの閉鎖された空間の防護設備内においては、入坑者の安全確保、異常の早期発見を行うことが重要である。そのため本保全システムではマルチメディア、通信、制御等の技術を組み合わせて単独機能では成し得なかった機能を構築し、閉鎖空間における人間、設備の安全を確保できるようにした。さらに、構築された機能の一つである発災場所特定化機能と連携した水噴霧設備により早期消火を行う局所水噴霧システムを開発した。

2.3 期待される効果

これまでは系列の枠内での取引であったが、今回の異業種、他社間の取引においては全てではないにしても、必要とされる機能が構築されてきており、これらの技術開発を国内の他コンビナートに有効活用することにより、コンビナートの競争力強化に大いに役立つと考える。

3. 重質油高度統合処理技術開発

川崎地区では、東燃ゼネラル石油(株)と昭和シェル石油(株)グループのメンバーである東亜石油(株)の2製油所において、異なる重質油処理設備を組み合わせ高付加価値石油製品の効率的な製造を可能とする技術を開発した。

3.1 石油産業と重質油分解装置

近年、国内では重油、特に発電用C重油の需要が減少してきており、石油産業ではC重油を減産し白油と呼ばれるガソリンや灯油・軽油を生産する重質油分解装置が製油所に導入されてきた。東燃ゼネラル石油は水添分解脱硫装置を、東亜石油は熱分解装置を保有しており、前者の残渣油を後者でさらに分解することにより、さらなる白油生産比率の増加が期待される。

3.2 重質油高度統合処理技術開発の特徴

本技術開発の概念図は、図5に示すとおりである。

3.2.1 異なる重質油分解装置の一体運営

両社の製油所は運河や他工場により約2.2km隔てられているため、残渣油特有の超高粘度物質の安全で安定的な移送技術の確立と超重質油を効率的に分解する技術開発が必要となる。また、これらの重質油分解装置は各々の製油所の最重要装置でもあることから、安全で安定的な一体運営を可能とするシステム開発も必要となる(図6)。

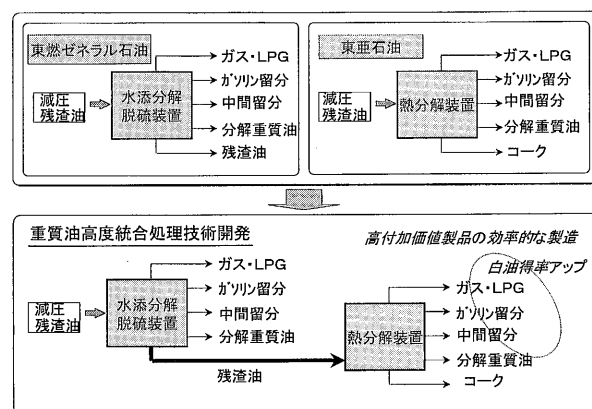


図 5 重質油高度統合処理技術開発の概念

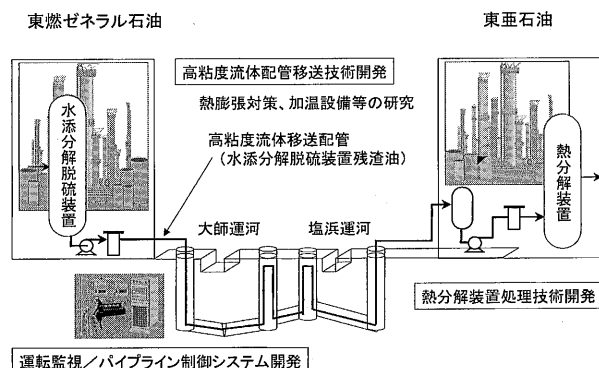


図 6 重質油分解装置の一体運営

3.2.2 高粘度流体配管移送技術開発

水添分解脱硫装置残渣油は、高粘度でアスファルテンを多く含むため、流動性確保とセジメント（沈積）抑制の観点から200℃以上の高温下で移送する必要がある。これらの移送条件を満足する高粘度重質油の移送配管を、海底下30～40 mの地下部分を含めて約4.5 kmにわたり敷設し、このための材質選定、熱膨張対策、高温維持対策等について研究開発を行った。そのなかで、移送配管の温度降下を防止し、地下トンネルの構造に合わせたエキスパンション・ループを設置し、熱による配管膨張を吸収することにした。このような高粘度高温流体の長距離移送技術の開発は、世界で初めてである。

3.2.3 残渣油の熱分解装置処理技術開発

水添分解脱硫装置残渣油の組成、化学・物理特性等进行分析するとともに、残渣油のセジメント発生メカニズムを解明し、アスファルテンを含む重質油を長距離移送する際のセジメント発生防止対策について検討を実施した。

また、残渣油性状が熱分解装置の製品収率に与える影響評価について実機予備テストおよびパイロットプラントテストを行うとともに、移送配管敷設後の残渣油通油にともなう熱分解装置での処理に関わる総合的な影響評価を実施した。その結果、残渣油中の残留炭素分含有率を安定化させることなどにより、熱分解装置の能力を最大限発揮させる効率的な運転ができることがわかった。

3.2.4 運転監視／パイプライン制御システム開発

残渣油等を安全かつ安定的に移送するために必要な運転監視、緊急時対応システム油量管理や移送条件制御に関わるシステムの開発を行った。

3.3 期待される効果

2001年12月から、異なる重質油分解装置を組み合わせた重質油高度統合処理技術開発の試験を開始し、高温下での残渣油の安定的な移送やセジメント抑制対策等についての実証研究を継続中である。今後、2製油所間の総合的な影響評価を実施するが、技術開発による白油留分等の高付加価値製品の効率的な製造が見込まれる。

4. コンビナート操業情報システム技術開発

徳山地区の出光興産(株)、出光石油化学(株)、帝人ファイバー(株)、日本ゼオン(株)、(株)トクヤマ、日本酸素(株)、東ソー(株)、三井武田ケミカル(株)、の8社は、各事業所の操業に共通的に関わる情報を一元的に管理・活用することで、コンビナート全体の高効率・省エネルギー操業を図るべく技術開発を行った。各社を接続するネットワークを基盤として、広域移送制御システムおよび高度広域情報システム、さらに既存設備の有効利用を可能とするイ

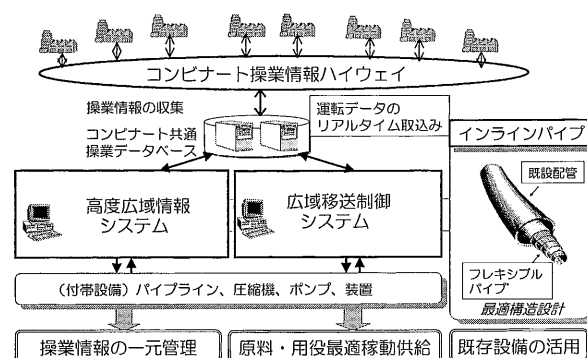


図7 コンビナート操業情報システム技術開発の概要

ンラインパイプの技術開発であり、その全体概要を図7に示す。

4.1 広域移送制御システム

コンビナート全体を、あたかも一つの工場・装置のように一括管理・制御すべく、操業・運転情報をリアルタイムに共有し、効率化・最適操業等を実現する。コンビナート原料・用役広域移送制御システムとしては、原料・製品・用役等を含む複数装置を包含した詳細なシミュレーションによる最適化システムの開発を行った。研究用の原料・用役としては、気体の窒素・エチレン、液体のプロピレンなどであり、各種特性に適合した移送制御システムの技術開発を行い、実証化を図ってきた。

4.2 高度広域情報システム

4.2.1 無線によるリアルタイム情報共有化

コンビナート各企業間の8km以上にわたる光基盤LAN（Local Area Network）による情報共有化に加え、動画やリアルタイム情報を交換することを想定した無線通信技術の開発に取り組んだ。また、無線LAN経由による動画像の遠隔監視、異常時対応の機能も想定した「移動クライアント」の実用化に向けた開発を行い、検証を行っている。

4.2.2 複数工場間にまたがる統合運転情報システム

主としてDCS（Distributed Control System：分散制御システム）を中心に集約されている運転制御情報の共有化の技術開発を行った。異なるメーカーの異機種DCSをコンビナート操業情報ハイウェイを経由して接続し、汎用的な技術（オペレーティングシステム、連携機能、通信技術など）を活用して遠隔で統合監視制御ができる統合コンソール運転システムを開発した。

目標としたシステム機能はほぼ満足し、現在、平常運転以外のトラブル時や装置の立上げ・停止時などにおける活用度を検証・開発中である。

4.3 インラインパイプ技術

既設海底パイプラインの中へ新たなフレキシブルパイプを設置し、既存設備を有効利用するインラインパイプ技術の開発を行った。

表 1 最適軽量化構造

主要層材質	機能	許容応力，緒元 [N/mm ²]	
インターロック層 (ステンレス鋼)	外圧，及び側圧補強	主過重；221 従過重；450	
内管（ナイロン11）	内部流体の保持	—	
内圧補強層 (冷間圧延鋼帯)	内圧補強	主過重；214	
軸力補強層 (亜鉛メッキ鋼線)	軸力補強	主過重；200 従過重；360	
軸力補強層 (ポリエステル)	スペーサ	—	
外部シース (ポリエチレン)	外傷保護	—	
パイプ内径	127.0 mm	気中重量	26.9 kg/m
パイプ外径	183.1 mm	水中重量	0.6 kg/m
最小曲げ半径	1450 mm	曲げ剛性	1.2×10 ⁴ N・m ²

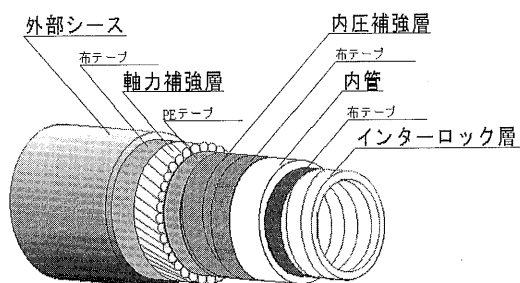


図 8 フレキシブルパイプの構造

曲がり有る長距離ルートにフレキシブルパイプを設置するには、パイプの軽量化、曲げ剛性の低減、外形縮小化などが必須の要件であり、必要強度を確保しつつ軽量化を図り、表1、図8のように5層からなる最適構造設計を行った。

この構造設計結果に基づき、実サイズの製作に向けた各種課題の解決のため、スケールアップ技術の開発に取り組んだ。スケールアップに伴う流体摩擦係数の検討における実験データを表2に示す。これにより本パイプの係数は0.025前後であると推測することが可能であるとした。また、図9に外部シースの損傷予測をするための試作パイプの引込み実験の状況を示す。さらに長期連続使用に向け、透過性、損傷性、防食性などの保安管理技術の研究開発を実施した。

これらの総合的な成果を踏まえて、長さ3.3 km、重さ約100トンにおよぶフレキシブルパイプの製作及び既設パイプ内への引込み敷設を行ったが、この技術は世界でも例がないものである。今後、陸上移送設備や既設装置との接続による原料供給設備としての検証および連続安定運転の実証研究に取り組む。

4.4 期待される効果

コンビナート全体に関わる操業情報の技術開発を行って

表 2 フレキシブルパイプの摩擦損失係数 f に関する実験データ

対象	フレキシブルパイプ	
内径(mm)	109(4B)	216(8B)
内面材料	ステンレス鋼	
内部流体	水	
内面形状		
レイノルズ数	$2.0 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^6$	$2.0 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^6$
摩擦損失係数	0.0243	0.0281

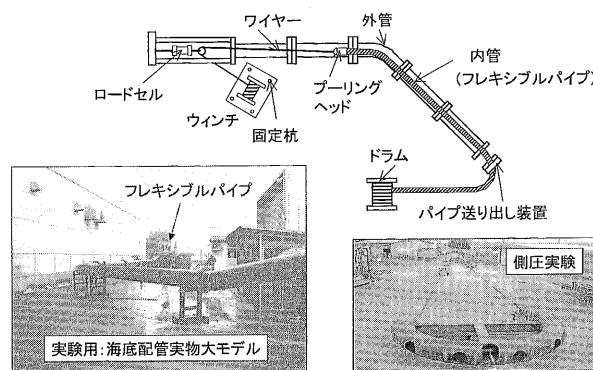


図 9 試作パイプ引込み実験状況

きたが、「省エネ・効率化運転」など、当初目標とした期待効果が見込める技術開発はほぼ実証化できた。これらの成果の各企業、他コンビナートへの適用・拡大が期待できる。

今後、今まで開発を行ってきた個々のシステムの統合に向けた全体最適化および実運用に向けたシステムの開発・検証を継続していく。

5. 動的最適統合操業計画システム技術開発

瀬戸内地区では、新日本石油(株)とコスモ石油(株)の製油所において、SCM (Supply Chain Management: サプライチェーンマネジメント) の考えを取り入れた一貫した効率的操業計画システムを開発した。

5.1 石油産業のSCM

SCMは、物流や生産管理の世界で成功事例が着目されるようになってきた概念である。比較的歴史が浅く、概念も流動的な部分があるが、「供給者から消費者まで資材と製品の流れを管理してプロセスの無駄を削減し、顧客の付加価値を高める経営手法」と捉えることができる¹⁾。的確な需要見込みに応じた出荷・生産・原料調達を行うことで、在庫を削減しつつ、欠品による機会損失を低減するという、一見矛盾する成果の実現を目指す。このためには、需要予測をはじめ、実現可能な計画を立案・調整するスケジューラが必要となる。

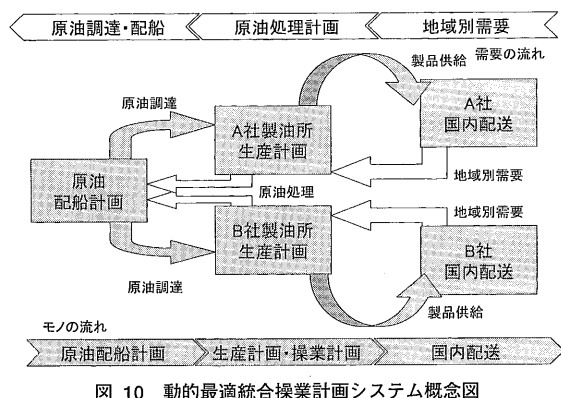


図 10 動的最適統合操業計画システム概念図

5.1.1 石油産業と組立産業の相違

組立加工産業などでは既に一般的となっている SCM ではあるが、情報技術先進国の欧米においても、以下の要因により、石油産業を対象として配送から原料調達までを一貫した仕組みで扱う十分なシステムは実現できていない。

- ・製油所では、液体の複雑な分離・加工・混合のため、製品と原料の関係を直接的には結びつけ難い。
- ・製品が連産品であり特定の製品のみを生産できない。
- ・処理工程が複雑であり、かつ、制約条件がよく変わるため、生産計画スケジューリングの自動化が難しい。
- ・原油購入から受入までに数ヶ月かかり、製品需要の変化を原料調達に迅速に反映できない。

5.1.2 石油産業における SCM の実現

石油産業の業務プロセスは、1) 原油調達、2) 石油精製、3) 国内配送、に分類することができる。これらの業務プロセスにスケジューリング技術等を適用して見通しのよい計画策定を可能にするとともに、業務間をスムーズに連携できるシステム技術を開発することで、統合操業計画システムを確立できる。具体的には、それぞれスケジューリング機能を持つ 1) 国内配送システム、2) 製油所生産計画システム、3) 原油配船計画システム、をサブシステムとして開発し、これらのシステム間連携の実現を目指した。

5.2 動的最適統合操業計画システムの特徴

今般のシステムの概念図は図10に示すとおりである。

5.2.1 国内配送システム

販売状況の変化を製油所生産計画システムに伝え、物流拠点である油槽所出荷実勢と製造基地である製油所の在庫および製油所製造計画の情報から、最適な製油所と油槽所間製品転送計画の策定を支援する機能を有する。

5.2.2 製油所生産計画システム

石油精製業の特殊要因を考慮すると、生産部門である製油所生産計画を自動スケジューリング化するのは非常に困難と判断されたため、手動のスケジュール策定支援ツールとしてのスケジューラを開発した。在庫推移を容易に参照したり、原料・運転状況に応じて精度よく収率・性状を推

原油配船の相対コスト変化 (シミュレーション試行例)

- 実行配船と自動配船計画による解探索 -

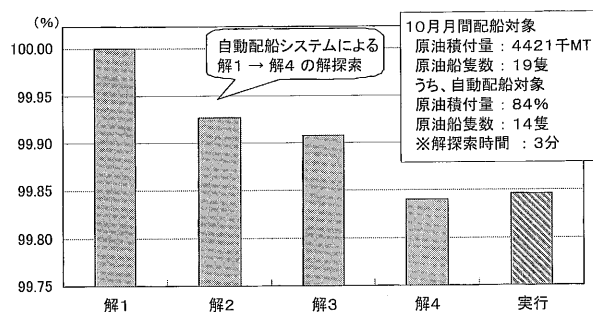


図 11 自動配船計画による原油配船相対コスト推移

算できる機能を有する。また、国内配送や原油受入を円滑に行うために両システムとデータ連携可能なインターフェイス機能を実装した。

5.2.3 原油配船計画システム

原油処理計画により最適配船を行うものであり、製油所生産計画と連携して直近の在庫情報の取得や配船変更による原油在庫推移のシミュレーションが可能な機能を持つ。

原油配船の策定においては実行可能な配船とする上で、さまざまな制約を考慮する必要がある。そこで制約条件を充足しつつ、現実的な時間で最適な配船計画策定を支援する機能として、制約プログラミング技法を用いた自動解探索機能を構築した。

図11に実際の原油配船に対して、自動配船計画にて探索した解の相対コスト推移をあらわすシミュレーション試行例を示す。この例では約1ヶ月分の原油積込計画において、全体の84%に相当する原油船14隻を対象として配船コストが小さくなる計画を一定時間で探索させたものである。解4にて実行配船に相当する配船計画案を見出しており、当該技法にて複雑な原油配船計画の解を実用的な応答速度で探索可能であることが明らかとなった。

5.3 全体システム結合と期待される効果

瀬戸内地区の3製油所を対象とした各システムの結合による動的最適統合操業計画システムの開発を行った。その結果、目標とする「物流コストの削減、間接費の低減」の期待効果が見込める技術開発は、ほぼ実証化できている。実証化の成果を踏まえ、先ず両社の他の9製油所への適用、全体最適化の範囲拡大に取り組むことにした。両社の全製油所への適用ができると、全国12製油所が同一仕様の生産計画システムを運用するとともに、原油配船システムは35隻の配船を計画するという、世界的に見ても類のない大規模なサプライチェーンマネジメントシステムが完成する。その後は全国の製油所への適用が期待できる。

引用文献

- 1) SCM研究会：サプライチェーン・マネジメントがわかる本，日本能率協会マネジメントセンター，16 (1998)