

論 説

石油化学工業における市場ニーズ対応型生産プロセスの成立
ー プロセス制御技術の高度化の観点から ー

中 村 真 悟

目 次

- I. はじめに
- II. 1970年代以降の市場構造
 - 1. オイルショックと石油化学製品市場の成長鈍化
 - 2. 市場構造の質的变化：自動車・家電・エレクトロニクス用途市場の拡大
- III. 産業政策と産業構造の変化
- IV. プロセス制御技術の高度化と市場ニーズ対応型生産プロセスの成立
 - 1. 1970年代以前のプロセス制御技術
 - 2. 分散型計装制御システムの登場と精密制御技術の進展
- V. 生産プロセスと在庫・物流管理システムの統合
- VI. おわりに

I. はじめに

2000年以降、石油化学コンビナート高度統合技術研究組合（石油企業・石油化学企業など20社にて2000年5月に設立。現在は26社で構成）や、化学ビジョン研究会（経済産業省が2009年11月に設置）を中心に石油化学工業の国際競争力の強化に関する議論が活発に行なわれている¹⁾。そこでは石油化学工業の生産能力規模や国際展開の動向、コンビナート内の資源・エネルギーの有効活用を通じたコスト競争力の問題が議論され具体的な政策提言がなされているが、日本の石油化学工業の競争力のもう一つの重要な要素である市場の多様な品質・価格ニーズに対応する生産プロセスについては、その指摘はなされるものの具体的な展望は示されていない。

日本の石油化学工業に見られる多品種生産は、素材ユーザーの多様なニーズに対応するべく形成されたもので、既存研究ではこうしたあり方を指して「ユーザー密着型生産販売体制」（増田，1995，43頁）との定義が示されるなど、日本の石油化学工業の特質として理解されてきた。既存研究では、市場ニーズに対応した多品種生産プロセスが日本の製造業の国際競争力を強めるのに貢献したとの指摘や、欧米石油化学企業の日本市場に対する参入障壁としての機能を果たしたとの指摘がされているものの、そもそもこのような生産プロセスがどのように成立した

1) 石油化学コンビナート高度統合技術研究組合 (<http://www.ring.or.jp/index.html>, 2013年12月21日閲覧) 化学ビジョン研究会 (2010, 2011)。

のかという背景は明らかにされていない²⁾。

既存研究が日本特有の生産プロセスの成立過程を明らかにしえなかったのには次のようなことが考えられる。その第一の理由は、石油化学工業が少品種大量生産の製造業であるという固定観念にしばられてきたこと³⁾、その第二は、化学工業の技術競争力を研究開発能力と生産規模に限定し、触媒技術、化学装置、プロセス制御技術の発達による生産プロセスの進化を捨象したことが挙げられよう。

そこで、本稿では 1970 年代以降の日本の石油化学工業に見られる市場ニーズに対応した多品種生産プロセスを「市場ニーズ対応型生産プロセス」と定義し、その成立を社会的契機と技術的契機、具体的にはプロセス制御技術がその成立に当ってどのような役割を果たしたのかという観点を軸に据えて考察する。本稿の分析の前提として、II では 1970 年代以降の石油化学工業を取り巻く市場構造を、III では産業政策による産業構造の変化を整理する。その上で、IV ではプロセス制御技術の高度化の過程、V では生産プロセスと物流・販売プロセスの統合システムである CIM (Computer Integrated Manufacturing) の構築に着目し、市場ニーズ対応型生産プロセスの成立過程をその歴史的展開を踏まえて検証する。

II. 1970 年代以降の市場構造

本章では市場ニーズ対応型生産プロセスの分析の前提として、1970 年代以降の石油化学工業を取り巻く市場構造と産業構造について述べる。

1. オイルショックと石油化学製品市場の成長鈍化

1970 年代の二度に渡るオイルショックを契機に、国内産の石油化学原料用ナフサ（以下、ナフサと省略）の一リットルあたりの年平均価格は、73 年の 6.1 円から、74 年には 20.3 円、80 年には 57.2 円に急騰した。

日本の石油化学製品は主にナフサを原料としていたため、ナフサ価格の高騰はそのまま石油化学製品価格の高騰を招いた。ポリエチレンの場合、国内生産が開始された 1958 年当時の価格は 315 円 / kg で、その後生産プロセスの進化や装置の大規模化などを通じて 72 年には

2) 佐伯 (1994)、弘岡 (1995)、増田 (1995)。たとえば、増田 (1995) は以下のように述べている。

「石油化学製品が需要の裾野が広い重要な基礎素材であるが故に、石油化学産業は自らの発展と並んで関連産業の発展に貢献することを強く求められたのである。このため、石化メーカーは国内ユーザーに高品質低価格の素材を提供することに全力を挙げ、自らの収益は市場の拡大、即ち数量効果に大きく依存する体質となった面も大きい。ユーザーは汎用樹脂の品質を極限まで高めることを石化メーカーに求め、石化メーカーもそれに応えてきた。その結果たどり着いたのが 80 年代後半以降の特殊グレード品、高グレード品の開発とその結果としてのグレードの多様化であり、これに付随して多頻度小口配送や無償による技術サービスも行なわれてきたのである。」(増田, 1995, 44 頁)

3) たとえば Utterback (1994) は非組立型製品の技術革新の主たる内容を生産プロセスの連続化や工程改良だとしているが、非組立型製品には石油化学製品も含まれているとしている。

100.8 円/kg まで下落した。しかしオイルショックを契機に価格は高騰し、74年には150円/kg、80年には275.2円/kgとなった。

またオイルショックは石油化学製品の原価構成も大きく変化させた。佐伯・尾見（1994）によれば、汎用合成樹脂の高密度ポリエチレンでは1970年頃の原価構成に占める原料価格は33%であったのが80年頃には80%に、ポリプロピレンでは21%から70%にそれぞれ上昇した⁴⁾。

石油化学製品の高騰は、石油化学製品市場の拡大傾向にも影響を与えた。1950年代後半以降、石油化学工業は原料価格の安さと装置の大規模化によって生み出された価格面でのコスト競争優位を武器に、天然ゴムや天然繊維、木材等の既存素材の代替化を進める一方、ポリ容器や洗面容器などの日用雑貨を中心に新たな用途開拓を行ない、市場を拡大させてきた。しかし、70年代にはオイルショックにより原料および燃料価格は高騰し、石油化学工業製品は他の素材に対するコスト競争における優位性を喪失した。その結果、図1に示すように国内消費市場の拡大ペースは鈍化した。

また、同時期は四日市公害裁判をはじめとする化学工業における公害問題が社会的な問題としてクローズアップされ、公害対策基本法を筆頭とする各種の法制度に基づいて公害対策が取り組まれるようになった。公害対策投資自体は企業責任としてなされるべきことではあったが、省エネ・省資源などのコスト要因の改善に結びつくような例外的な公害防止投資もあるが、その多くは製品価格に転嫁された。

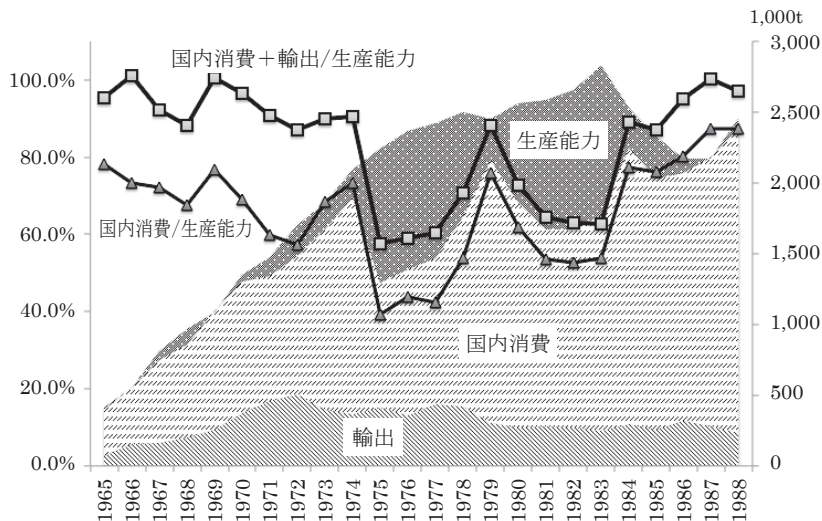


図1 ポリエチレンの生産量および生産能力の推移

出所 石油化学工業（1989）319-21頁に基づき、筆者作成。

4) 佐伯・尾見（1994）31-32頁。

2. 市場構造の質的变化：自動車・家電・エレクトロニクス用途市場の拡大

石油製品市場の市場拡大傾向は、製品価格の高騰を背景に鈍化し、石油化学製品市場に質的变化をもたらした。

1970 年代以降、石油化学企業各社は新たな市場を開拓するべくコンテナなどの大型成形品の製造や、自動車・家電・エレクトロニクスといった射出成形用途への展開、また食品包装などのフィルム用途などに対応した素材の開発・生産を目指した(表 1, 表 2)。これらの中には既存の合成樹脂の品質や機能性だけでは対応できないものもあり、各社は石油化学製品の品質向上や機能性付与に向けた研究・開発を進めた。

なかでも自動車・家電・エレクトロニクス向けの素材市場は、石油化学工業のみならず、他の化学工業や鉄鋼業などの素材産業も参入し、これら産業との品質面・価格面を通じての素材間競争は激化した⁵⁾。表 3 は 1960 年代以降の自動車における合成樹脂の採用を示したものであるが、70 年代以降に合成樹脂は各種部品でその多くが採用されるようになったことが分かる。たとえば自動車用バンパーは 70 年まで薄板鋼板が主流であったが、ウレタン樹脂を利用したバンパーが徐々に採用されるようになり、80 年代に入ると加工性や剛性などの機能性を向上させるとともに低温衝撃性や塗装性の弱点を克服したポリプロピレンが利用されるようになった

表 1 ポリプロピレンの用途別生産量の推移 (1970-1990 年)

単位：トン

	1965	1970	1975	1980	1985	1990
射出成形	26,000	169,468	258,965	439,399	644,220	1,074,200
フィルム	15,700	87,772	123,998	188,932	291,858	415,910
フラットヤーン	3,500	47,760	72,707	76,715	81,244	88,256
繊維	9,000	42,110	32,103	35,269	46,199	55,633
中空成形	1,500	6,732	11,562	22,538	23,792	37,287
押出成形	1,300	45,649	57,824	69,094	123,385	189,970
その他				21,835	36,701	72,321
国内需要計	57,000	339,491	557,159	853,782	1,247,399	1,933,577
輸出	1,200	129,534	126,879	53,063	82,755	150,241
合計	58,200	529,025	684,038	906,845	1,330,154	2,083,818

出所) 石油化学新聞社『石油化学工業年鑑』1967 年版, 1970 年版, 1975 年版および化学経済『化学経済白書』1980 年版, 1985 年版, 1990 年版より作成。

表 2 用途市場別の合成樹脂需要の推移

単位：トン

	1966	1969	1972	1977	1983	1988
自動車	33,737	98,840	181,192	306,902	422,912	761,430
電気機械器具	85,324	167,207	439,006	196,016	555,408	724,037
日用雑貨	71,826	62,200	399,470	149,334	2,189,017	3,563,098
包装容器・資材	222,840	386,388	595,340	708,295		

出所 合成樹脂編集部 (1980a) (1980b) (1980c) (1980d) および化学経済研究所 (1990) より作成。

5) 上条 (1976)。

表 3 自動車部品における使用素材の変化

年次	1950	1960	1970	1980	1990
一般技術動向	高速性能向上量産技術 省エネルギー法 地球環境問題 リサイクル規制 多様化技術				
エンジン関係部品	本体部品	シリンダーヘッドカバー (PA6・66, SMC) エンジンフード (HDPE, SMC) ピストンコート (PA) エンジンカバー (PP)			
	燃料系部品	フューエルタンク (HDPE, PDPE/PA)			
	吸・排気系部品	エアクリーナー (PP) エアインテークパイプ (PP, PA) インテークマニホールド (PA6) ターボチャージャーローター (PEK)			
	潤滑・冷却系部品	ラジエータータンク (PA66) オイルパン (SMC)			
	電装品	ディストリビューターキャップ (PF) 電気・電子部品 (PBT, PPS)			
シャシー関係部品	パワートレイン部品	トランスミッション シフトレバーベースプレート (PA) アンダーカバー (PP) 等速ジョイント用ブーツ (TPE)			
	ステアリング部品	ステアリングホール (PP, PUR, PVC)			
	サスペンション部品	サスペンションボールジョイント用ベアリング (PE)			
	ブレーキ部品	ブレーキ用ピストン (PF) ブレーキブースター用ブーツ (TPE)			
	ホイール・タイヤ	ホイールカバー・キャップ (変性 PPO, ABS, PA)			
車体関係部品	外装品	ラジエーターグリル (ABS, AAS, パンパー (RIM, PP, FRP) パンパー (TSOP, TPO) ルーフ (FRP) AES, PC/ABS アロイ) パンパーラインホースメント (PP) フェンダーミラー (ABS, PP, AAS, AS) フード (SMC) フロントフェンダー (R・RIM) スポイラー (SMC) スポイラー (ABS, PP, 変形 PPO, PPE/PA アロイ) サイドモール (PVC, PP, TPO, ABS, R-TPU) アウトサイドハンドル (PC, PC/PBT, POM) カバートップ (FRP) クリスタルビラー (PMMA) エンジンマウント (PA6・66)			
	内装品	シフトレバーノブ (PUR, PVC) インストルメントパネル (PP, ABS) インストルメントパネル・コア (ASG) シートクッション (PUR) シートクッション (PF→POM→ABS) メーターリッドクラスタ (PF→POM→ABS) インストルメントソフトパッド (PUR) センターコンソール (PP) 変形ドアトリム (PP, PE, ABS, PET, PUR, TPE, TPO) 一体発泡アームレスト (PUR) 成形天井 (PP, PE, PF, PUR, PVC, FS 天井)			
	車体電装品	テールランプレンズ (PC, PMMA, ASA/PC アロイ) ヘッドランプハウジング (PP, BMC) ヘッドランプレンズ (PC, PMMA, ASA/アロイ) ヘッドランプ・リフレクター (BMC) 合わせガラス (PVB 中間膜)			
	その他	ヒーターケース (PP) オーディオパネル (PP, ABS)			

注 AAS…アクリロニトリルアクリルゴムスチレン, AES…AES 樹脂, ASA…ASA 樹脂, BMC…不飽和ポリエステル, HDPE…高密度ポリエチレン, PA…ポリアミド, PA6, PA66…ナイロン 6, ナイロン 66, PC…ポリカーボネート, PE…ポリエチレン, PF…フェノール樹脂, PMMA…アクリル樹脂, POM…ポリアセタール, PP…ポリプロピレン, 変形 PPO, PPE…変性ポリフェニレンエーテル, PUR…ポリウレタン, PVB…ブランチール樹脂, PVC…塩化ビニル樹脂, TPO…オレフィン系エラストマー, TSOP…トヨタスーパーオレフィン
 出所 アイアールシー (1997) 8 頁, 第 I -1 表より転載。

た⁶⁾。これらの結果として、自動車一台あたりの原材料構成比に占める合成樹脂の割合は 2.9% (73 年), 3.5% (77 年), 4.7% (80 年), 5.5% (83 年), 6.6% (86 年), 6.4% (89 年) と約 16 年の間に倍増した⁷⁾。

Ⅲ. 産業政策と産業構造の変化

1970 年代以降、日本の石油化学工業は 50 年代後半以降の各社の設備拡大競争の激化と国内市場の長期低迷の結果として、生産能力の長期過剰状態が長期に続いた。装置工業におけるコスト競争力の規定要因には、上述した原料価格と設備規模のほかに設備稼働率が挙げられるが、70 年代以降の石油化学工業の設備稼働率は 80% を下回り、石油化学企業各社の経常利益は急速に悪化した (表 4)。こうした状況を打開する手段として制定された政策が特定産業構造臨時改善措置法 (1983 年 4 月公布、以下産構法と略する) であった^{8) 9)}。

産構法は、「原材料・エネルギーコストの上昇等により輸入の急増、過剰設備の発生、収益の著しい悪化等の構造的困難」(通商産業省産業政策局編, 1983, 2 頁) に対して、産業自身の自助努力を前提にしつつ、過剰設備の処理、老朽設備の償却と高効率設備への集約化、生産・流通・販売の合理化を進め、産業の経済性を回復することを目的とした¹⁰⁾。

生産設備の処理は生産能力の総量規制と企業内の自主努力をセットにして進められた。産構法ではエチレン製造業、ポリエチレン・ポリプロピレン製造業、塩化ビニル樹脂製造業、エチレンオキサイド製造業のそれぞれに対して 229 万トン、90 万トン、39 万トン、20.1 万トンの生産設備処理の実施が定められた。処理目標の手段としては設備の廃棄または休止・部分停

表 4 エチレンセンター 12 社の収益状況

単位: 億円

	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
売上高	10,014	11,050	15,051	23,529	24,520	28,169	26,200	23,885	27,540	31,024	29,676	28,641
経常利益	223	203	496	693	▲ 245	278	181	217	1,037	468	▲ 822	▲ 822

注 1979 年以降は石油化学のみの売上高、経常収益を掲載した。

出所 石油化学工業協会 (1989) 322 頁より抜粋。

6) ポリプロピレンはマイナス 10 度以下の環境下ではガラス状になり衝撃性が著しく低下するという問題を抱えていた。そこで低温環境での影響をほとんど受けないエチレンとポリプロピレンを共重合し、低温衝撃性を克服したポリプロピレン素材が開発された。また塗装性の弱点は、ポリプロピレンにゴム成分を添加し、塗装膜からの塗料の剥離に対する耐久性を高めることで克服した。詳しくは小林 (2006)、住友化学工業 (1997) 138-142 頁を参照。

7) 日本自動車工業会 (2002) 51 頁。

8) 産構法の制定経緯については通産省産業政策局編 (1983)、化学工業日報社 (2007) を参照。なお同法での新規の指定業種は石油化学関連製品が多数を占めていたことから「石化産業救済法」(化学工業日報社, 2007, 67 頁) ともいわれる。

9) 橋本 (2002) および平野 (2011, 2013) は、業界再編ならびに石油化学工業の国際競争力に対する影響への関心から、通産省および産構法の役割を検討している。ただし、本論の課題である市場ニーズ対応型生産プロセスの成立における産構法の役割については分析が及んでいない。

10) 通商産業省産業政策局編 (1983) 10-11 頁。

止が認められ¹¹⁾、各製造業では産構法の定める設備処理目標に基づいて各社の設備処理の目標が設定された。

設備処理に際して、住友化学（大江工場、千葉工場）、日本石油化学（川崎工場、千葉工場）、三菱油化（四日市工場、鹿島工場）、出光石油化学（徳山工場、千葉工場）のように複数の生産拠点を有する石油化学企業の場合には生産能力の低い生産設備を廃棄し、生産能力の集約化ないし新プロセスの導入が行なわれた¹²⁾。しかし生産拠点ないし生産プラントを一つしか持たない企業の場合は、プラント内設備の部分休止や設備処理枠の余っている企業から処理枠の融通を受けて処理目標を達成するところとなった¹³⁾。

生産・流通・販売の合理化は、表 5 に示す共同販売会社という企業のグループ化を通じて促進されるはずであった。しかし、ダイヤポリマーや三井日石ポリマーでは、生産委託、生産設備の共同出資、共通の製品ブランドの構築などの成果も散見されるものの、共同販売会社の実態は石油化学企業各社の汎用品販売部門の出向であり¹⁴⁾、共同販売会社とはいいながらも実際には各社の製品ブランドを各社の販売員が販売するという寄り合い所帯に近い状態であった¹⁵⁾。

産構法は、生産設備の総量規制と、企業のグループ化を通じた適正な競争環境の形成、生産・流通・販売の合理化を目指した。確かに業界規模での生産能力の総量規制と各社共同による設備処理・設備更新という点ではある程度成功したものの、流通・販売の合理化という点ではほ

11) 部分休止とは、エチレンプラント中の分解炉を停止するという措置のことである。エチレンプラントは、一般に複数の分解炉によってナフサを熱分解し、その後精留塔などを通して、エチレン・プロピレン等の各種中間材料に分けられる。エチレンプラントを 1 基しか持たない山陽エチレンなどや、小規模設備の廃止だけでは設備処理目標率に達しない三菱油化の場合、過剰設備の処理手段として分解炉の停止という部分休止やグループ内融通枠による共同処理の手段が採用された（日本経済新聞 1982 年 10 月 28 日付）。

12) 三菱油化の場合、四日市コンビナート内のポリエチレン生産プロセス 4 系列の生産を停止し、かわりに鹿島コンビナート内に新製品である直鎖状ポリエチレンを生産するプラントを新設した（三菱油化、1988、374 頁）。三井石油化学の場合、1985 年に高活性触媒と気相重合法による最新のポリプロピレン生産プロセス（年産 6 万トン）を千葉工場内に建設したが、その際に同工場内の既存プラント 4.1 万トンの廃棄のほか、三井東圧化学から年産 1.9 万トンの生産能力枠を融通してもらった（三井石油化学、1987、194-5 頁）。

13) たとえば東洋曹達工業（現、東ソー）の場合、当時稼働していたエチレンプラントは四日市の第二系列しかなかったため、設備の廃棄ではなく分解炉 13 基のうち 2 基を停止させ年産 32 万トンの生産能力を 26.6 万トンに削減した。丸善石油化学の場合、処理目標値として年産 15.27 万トンが割り当てられたが、目標の達成には当時所有していた第二プラント（年産 11 万トン、1974 年 10 月以降休止）の休止だけではなく、第三プラント（年産 39.5 万トン）の部分休止をする必要があった。しかし第三プラントの部分休止を極力削減するため、当時処理枠に余裕のあった住友化学から年産 2.5 万トンの処理枠を融通してもらった（丸善石油化学、2009、52 頁）。

14) ポリエチレンやポリプロピレンのうち特定の市場ニーズに対応した「特殊品」については共同販売会社の取り扱い品目の対象外とされた（通商産業省産業政策局編、1983、87 頁）。

15) 「現在は、1 社（ダイヤポリマーのこー注）だけが全製品を共販（共同販売会社のこー注）ブランドで販売しているが、残る 3 社は限定的（30～60%）な範囲に留まっており、製造元表示は 1 社が 30% 程度を表示なしで販売しているが、他は全て表示しているため、共販ブランドが実質的に無意味となっている」（「ポリオレ共販、実質化の行動計画を提出」『化学経済』1987 年 2 月号、52 頁）。ダイヤポリマーの製品ブランドの統合の背景には、三菱油化から三菱化成への高密度ポリエチレン製造の生産委託をはじめ、各種設備の共同処理と生産受委託が進められたことが挙げられる（三菱油化、1988、374 頁）。

表 5 産構法で承認された事業提携計画（石油化学企業）

	グループ名	参加企業	出資比率
共同販売会社 (エチレン, ポリオレフィン)	三井日石ポリマー	日本石油化学	25%
		三井石油化学	25%
		三井東圧化学	25%
		三井ポリケミカル	25%
	ダイヤポリマー	三菱化成工業	50%
		三菱油化	50%
	ユニオンポリマー	住友化学工業	18%
		宇部興産	18%
		東洋曹達	18%
		四日市ポリマー (チッソ)	18%
徳山曹達		14%	
エースポリマー	日産丸善ポリエチレン	14%	
	昭和電工	20%	
	旭化成	20%	
	出光石油化学	20%	
	東燃石油化学	20%	
		日本ユニカー	20%

出所 通商産業省産業政策局編（1983）81 頁に加筆修正。

とんど機能しなかった。それどころか、規模の拡大によるコスト競争が制限された結果、製品差別化競争が触発される結果となった。この製品差別化競争について注視すべきは、上述した品質向上や機能付加という研究開発競争だけではなく、多様な市場ニーズに対応できる生産プロセスの構築も挙げられる。さらに 1980 年代に入ると、石油化学企業各社は多様な市場ニーズにするための生産プロセスの構築に向け、設備投資および生産プロセスの改良を行なうようになった。

以上、1970 年代以降の石油化学工業の市場構造と産業構造の変化について述べてきた。市場構造の量的・質的变化という点では欧米の石油化学工業も同様の事態であったが、産業政策の相違から日本とは対照的な産業構造が形成された。欧米の石油化学工業では、事業の撤退、企業間での事業部門のスワップなどの国際的な規模での選択と集中が促進された¹⁶⁾。このことから 80 年代以降に成立した市場ニーズ対応型生産プロセスは日本的な特質をもった生産プロセスであるといえよう。

IV. プロセス制御技術の高度化と市場ニーズ対応型生産プロセスの成立

市場ニーズ対応型生産プロセスの成立には、多様な製品を設計・開発する研究開発能力もさることながら、生産プロセスそのものの技術発達が重要である。既存研究の中には製品設計・開発に着目した議論はあるものの¹⁷⁾、生産プロセスの技術発達、とりわけプロセス制御技術の

16) 欧米石油化学企業の再編については Leonard (1990)、田口定雄 (2007a, 2007b, 2007c, 2009) を参照。

17) たとえば赤瀬 (2000) はトヨタ自動車向けのバンパー開発を事例に、ポリプロピレンの製品設計段階での多様性を考察している。

高度化に着目した議論はほとんど見られない。

石油化学工業の生産プロセスは化学反応を基礎としており、生産者は装置内の温度・圧力・流量などの調節、すなわちプロセス制御を通じて化学反応プロセスを間接的に制御し、生産物を獲得する。多様な市場ニーズに対応するには、品質管理を厳格化し多品種生産を実現しなければならないが、それには化学反応プロセスの精密な制御が不可欠となる。以下では石油化学工業におけるプロセス制御技術の展開に着目し、その生産プロセスの成立、発展過程について検証する。

1. 1970年代以前のプロセス制御技術

1970年代以前の石油化学工業におけるプロセス制御は、アナログ方式のPID計装（後述）を用いたフィードバック制御が支配的であった。フィードバック制御とは、生産プロセスの維持を阻害する要因（外乱）に予め対応するのではなく、生産プロセスの結果と目標のズレである偏差を検出し、必要な作業量を計算し、調整作業を含む一連の作業工程を自動的に行なう制御のことを指す（図2）。つまり、フィードバック制御は生産プロセスの偏差をもたらす諸要素の分析ではなく、諸要素がもたらした結果に基づいて必要な調節作業を行なうことが可能である。そのために温度、圧力、流量などの変動の構造的把握が科学的に困難な制御対象であっても、目標値と計測値の量的偏差に基づいて確かな自動制御を行なうことが簡便に実現できるため、装置工業におけるプロセス制御手法として一般的に用いられるようになった¹⁸⁾。

さて、PID制御はフィードバック制御手法の一つであるが、化学反応プロセスの自動制御装置として1940年代に導入され、現在でも一般的に用いられる制御方法、すなわち1) 現時点での偏差の割合を計測し調節する比例制御（Proportion）、2) 偏差の積算量に基づいて調節する積分制御（Integration）、3) 偏差の変化速度に従って調節する微分制御（Differentiation）という三つの制御方法を総称したものである（図3）。制御対象によってはPI制御、PD制御とすべての制御手法を用いない場合もあるが、偏差の検出・調節を通じてプロセスの安全性確

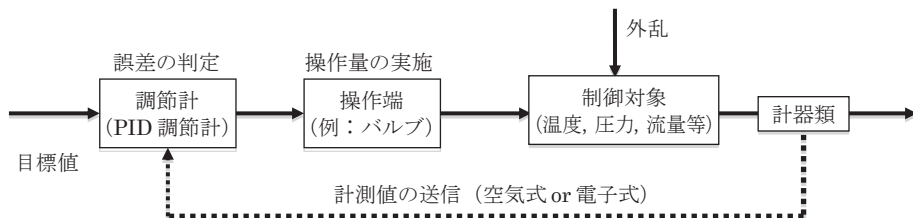


図2 化学工業プロセスにおけるフィードバック制御

出所 木村（2002）76頁，図2-7に加筆・修正。

18) たとえばワットの回転式蒸気機関における回転数の調整において用いられた振り子式調節器もフィードバック制御である。

保と定常運転の維持による生産性の向上・品質安定化を行なうのは同様である¹⁹⁾。

PID 制御の技術構成は、1) 化学反応後の温度、圧力、流量等の計測を行なう計器、2) 計器からの情報を受取り目標値と計測値の偏差に基づいて必要な操作量を計算・指示する調節部、3) 調節部の指示に基づいてバルブの開閉などの作業を行なう操作端で構成される。これらの諸作業は自動で行なわれるが、当初は空気式の伝送方式を含めアナログ方式が採用された。

しかしアナログ式の PID 制御は精密制御の観点からすると、第一に情報の送受信が遅いため偏差の許容量が大きくならざるを得ないこと、第二に個々の制御対象（温度、圧力、流量など）のプロセス制御は別々に行なわざるを得ず、相関関係のある制御対象を効率的に制御するプロセスの構築が出来なかったこと、第三に偏差をデータとして蓄積・分析することができないため、外乱の予測制御に基づく生産性や品質の更なる向上、エネルギーの節約ができないこと、第四に制御数値の変動を伴う非定常運転（生産品種の切替作業、作業のスタートアップ、シャットダウンなど）の制御には適していないことなどの課題を抱えていた。そのため、アナログ式の PID 制御によるプロセス制御では熟練オペレーターの知識・経験に多くを依存する生産プロセスにならざるを得なかった。

1960 年代以降の石油化学工業における生産プロセスの大型化およびプロセスの連続化に伴って、アナログ PID 制御の課題が徐々に認識されるようになった。石油化学工業は 60 年代には各地で年産 10 万トン以上のエチレン生産能力を有する石油化学コンビナートを建設した。これらコンビナートの特徴として、1 プラントあたりの生産能力が従来と比較して大規模化したこと、各種製品の生産プロセスがバッチプロセスから連続プロセスに転換したこと、各種製品の生産プロセスの連続化に伴って生産プロセス間の一体化が図られたことが挙げられる。

生産プロセスの大規模化・連続化は、精密なプロセス制御を要求することになった。なぜなら大規模・連続プロセスの場合、個々のプラントの制御の偏差は他の制御対象にも影響を与え

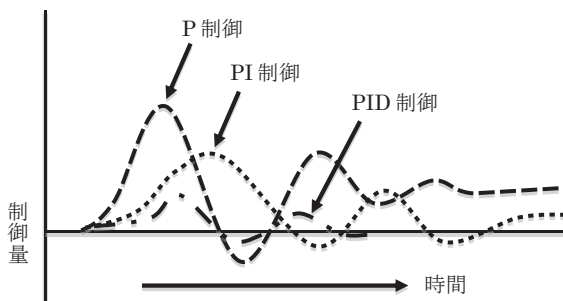


図 3 P 制御, PI 制御, PID 制御の比較

出所 化学工学協会編 (1961) 33 頁, 図 2.29 より転載。

19) 偏差の調節を急激に行なうと反応装置内の化学反応に急激な変化が生じる場合が多く、結果的に定常運転までの時間が長期化や爆発事故などの事故発生が生じることになる。

るため、結果的に定常運転に至る制御に多くの時間を要し、生産性・品質に与える影響が大きくなるからである。こうした事態の変化を受けて、石油化学企業ではエチレンプラントを中心に大型コンピュータを利用したプロセス制御装置として DDC (Direct Digital Control) や SCC (Supervisory Computer Control) が導入されるようになった (図 4)。

DDC は PID 制御の調節部の役割をコンピュータが果たす制御装置で、100 以上の制御対象を時分割処理によって数値制御を行なう制御方式であった。DDC は、プロセス全体の制御対象の統合処理により生産性・品質の安定化の向上をもたらすプロセス制御が実現できるという点で優れた制御装置であった。しかし、コンピュータに何らかの支障が生じた場合にプロセス全体の制御が機能しなくなる危険性をはじめとして、生産品種の改変・切替が頻繁に行なわれるプロセスでのソフトウェア改変の時間・労力の甚大さ、プラントあたりの導入コストの高さなどの諸問題もあり、導入されたプラントは大規模生産で長期の定常運転が前提とされるアンモニアプラント、エチレンプラントなどの一部の化学プラントのみであった²⁰⁾。

SCC は、DDC の弱点のうち制御の機能不全のリスク回避に着目した制御システムで、既存のアナログ式の PID 制御装置をそのままにして、計器のデータをアナログ調節計と大型コンピュータに送り、プロセス制御を行なうというものであった。SCC は大型コンピュータの課題であるプロセス制御の機能不全に保険をかける制御システムで、三菱化成水島工場のエチレンプラントなどに導入された²¹⁾。

このように 1960 年代に入ると、当時のコンピュータ技術の限界はありつつもプロセス制御のデジタル化が進んだのだが、70 年代以降の生産プロセスにおける精密制御の進展との関係では以下のような役割を果たした。

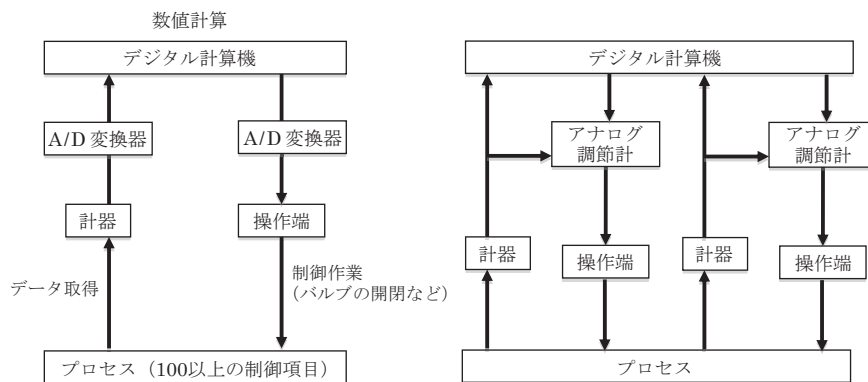


図 4 DDC (左) と SCC (右) におけるプロセス制御の仕組み

出所 渡辺 (1969) 69 頁第 1 図および 74 頁第 7 図, 佐伯・尾見 (1994) 62 頁, 図 3.2, 図 3.3 を参考に作成。

20) 佐伯・尾見 (1994) 61-2 頁。化学工学協会編 (1973)。

21) 高田・板野 (1994) 29 頁。

第一に、制御理論の発展への寄与である。それまでプロセス制御はアナログ制御が主流であり、数値制御を適用する余地がほとんどなかった。しかしプロセス制御においてコンピュータの導入が実用化されると、プロセス制御における数値制御の適用が現実性を伴うようになり、数学モデルを用いた制御諸理論が次々と登場した。これらの制御理論の多くは、化学プロセスにおける偏差をモデル化し、予めプロセス制御プログラムとして内包させるフィードフォワード制御の理論であった。また既存の制御理論とは異なり、複数の制御対象の相関関係をモデル化した多変数制御理論でもあった²²⁾。これらの制御理論と制御手法は PID 制御によるフィードバック制御である古典的制御理論と区別して現代制御理論ないしアドバンスト制御と呼ばれるが、1980 年代以降の生産プロセスの精密制御の進展に重要な役割を果たした。

第二に、制御システムの分散化である。DDC では制御と情報管理が大型コンピュータで一元化されていたが、SCC では大型コンピュータと制御装置の間で、情報管理と目標設定を行なう制御システム (大型コンピュータ) と制御装置 (フィードバック制御) という分業関係が形成された。SCC が導入された当時はコンピュータとアナログ制御装置の性能格差から有機的な連結は困難であったが、1970 年代後半のマイクロプロセッサの出現は制御システムと制御装置を結合させた分散型計装制御システムである DCS (Distributed Control System) の登場をもたらした。

2. 分散型計装制御システムの登場と精密制御技術の進展

1974 年にマイクロプロセッサであるインテル 8080 が発売されると、1975 年には横河電機製作所 (「CENTUM」)、山武ハネウエル (「TDCS2000」)、東芝 (「TOSDIC」) などが次々とマイクロプロセッサを搭載した分散型計装制御システムを発表した²³⁾。

DCS は、デジタル PID 制御装置と計算機を結合したという点では既存の DDC と同様であるが、プロセス全体の制御装置をすべて制御するのではなく、8～32 項目の限定された自動制御を対象とするもので、DDS で危惧されたコンピュータの故障にともなうプロセス全体への影響が軽減された。また制御装置内の計測・調節 (= 計算)・操作の一連の情報処理および伝送を統一規格のデジタルデータで行なうことが可能で²⁴⁾、SCC と比較して情報処理の高速化と複数の制御項目の変数の相関関係を加味した制御手法を実現可能した²⁵⁾。

22) 坪井ほか (1980) 13 頁。

23) 村井 (1982) 21 頁。

24) デジタル伝送は 1960 年代には、2～10mA DC、0～10mA DC、0～100mV DC、4～20mA DC、0～16mA DC、10～40mA DC と様々な信号が統一されることなく使用されていたが、73 年にアメリカ計測器学会 (ISA: Instrument of America) が伝送規格を 4～20mA DC に統一した。詳しくは日本電気計測器工業会 (1998) および若狭 (2008) を参照のこと。

25) マイクロプロセッサ搭載のデジタル制御装置としては、一つの項目のみをデジタル制御するワンループコントローラも存在する。

さらに、個々のDCSで蓄積された制御データの蓄積をプロセス管理用コンピュータに集約することで、個々の制御装置の最適制御ではなく、プロセス全体を軸とする最適な生産プロセスの制御手法を個々の制御装置の目標として設定することが可能になった²⁶⁾。

Ⅲにて述べたように、石油化学企業各社は1980年代に入り業界および通産省を巻き込んだ生産能力調整を行ない、規模拡大を通じたコスト競争力の競争に制限をかけた。その結果、既存の生産プラントを前提に生産性、品質管理の厳格化、多品種生産による製品バラエティの拡充が国内市場における市場シェアの拡大ならびに高利潤の達成には不可欠となった。そのため東燃石油化学川崎工場（81年）²⁷⁾、三井石油化学千葉工場のポリプロピレン生産プロセス（83年）²⁸⁾、三菱化成水島工場（83年）²⁹⁾、出光石油化学千葉工場（84年）³⁰⁾など、80年代に入り石油化学工業各社はDCSを含むデジタル制御装置および制御システムを導入し、現代制御理論の生産プロセスへの活用を試みるようになった³¹⁾。また山武ハネウェル、横河電機製作所などのプロセス制御メーカー各社では鉄鋼業、石油化学工業などでの精密制御の取組やニーズを受け、制御装置のハードウェア・ソフトウェア開発を進めた³²⁾。要するに、プロセス企業とプロセス制御装置メーカーの相互作用がプロセス制御における精密制御をもたらしたといえよう。

たとえば出光石油化学のポリエチレンプラントでは品種切替えなどに伴う規格外品、すなわちユーザーニーズに対応しない製品の発生を抑制するため、1983年頃から複数の制御項目を関連させて制御する多変数制御を実現するためのデータ解析を開始し、87年から同プロセスにモデル予測制御を導入した³³⁾。モデル予測制御は、図5に示すように、品種切替えなどのプロセス内の制御対象の変化を事前に予測し、必要な制御操作をフィードバック制御が行なわれる以前に実施する制御手法である。

モデル予測制御は、三菱油化のポリエチレン生産プロセス³⁴⁾、三井デュポンポリケミカルの低密度ポリエチレン生産プロセス³⁵⁾にも導入されるなど、1996年頃には150以上の石油精製・石油化学プロセスで活用された³⁶⁾。その他の現代制御理論の生産プロセスの導入事例としては、

26) 精密制御の実現にはガスクロマトグラフィ、赤外線分析計などの各種分析計の役割も大きい。

27) 日経産業新聞 1981年11月12日付。東燃石油化学は横河電機製作所の分散計装制御システム「CENTUM-B」を導入した。

28) 日経産業新聞 1983年9月29日付。三井石油化学は山武ハネウェルの分散計装制御システム「TDCS2000」とプロセス制御用コンピュータ「4500PMX」を導入した。

29) 日経産業新聞 1983年9月29日付。三菱油化は山武ハネウェルの分散計装制御システム「TDCS2000」の他、三菱電機のプロセス制御用コンピュータを導入した。

30) 日経産業新聞 1984年4月6日付。出光石油化学は横河電気製作所の「CENTUM-D」を導入した。

31) 橋本・富田（1985）、計測自動制御学会産業委員会（1985）。

32) 若狭（1988）。

33) 花熊（1984, 1989）を参照。

34) 古川・宇佐見（1994）。

35) 湯浅・倉本（1988）。

36) 大嶋（1998）。

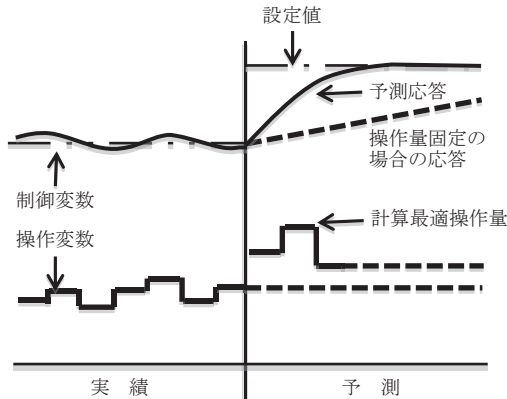


図 5 モデル予測制御

出所 栗山 (1988) 261 頁, 図 1 より転載。

熟練オペレーターの知識や経験をプロセス制御に活用することを目的としたエキスパートシステム、ファジィ制御、AI 制御の導入も挙げられる³⁷⁾。

プロセス制御装置およびシステムのデジタル化は、従来のフィードバック制御にフィードフォワード制御、すなわちより厳密な目標値の設定に基づく精密制御の実現、品種切替プロセスにおける熟練オペレーターの知識や経験の体系化と自動制御システムへの活用を可能にし、結果的にプロセスの省力化、省エネ化、規格外製品発生率の縮小をもたらした。たとえば、三菱油化のポリエチレン生産プロセスでは DCS 制御装置・システムと現代制御理論の応用の結果として、図 6 に示すように、品種切替時の規格外品が従来に比べて大幅に減少した³⁸⁾。三菱化成ではプロセス制御の高度化の結果として二割強にあたる約 200 人のオペレーター削減という省力化のほか、エチレンの生産能力が約 1% 向上した³⁹⁾。

他方で、熟練オペレーターの知識・経験のデジタル制御装置・システムへの導入は、現場作業員の知識・経験の蓄積の機会、とりわけスタートアップ、品種切替、シャットダウンなどの定常運転とは異なる運転状況における教育訓練の機会を減少させた。こうした事態に対処すべく石油化学企業各社では、訓練シミュレーターの開発・導入するなど熟練の継承、構築に向けた取組も行なうようになった⁴⁰⁾。

37) 森田・船越・藤隠 (1993)、高田・板野 (1994)、日経産業新聞 1988 年 6 月 10 日付、日本経済新聞 1988 年 9 月 2 日付。

38) 湯浅・倉本 (1994)。

39) 日経産業新聞 1990 年 3 月 26 日付。

40) プラントオペレーションの訓練機会の喪失をもたらしたもう一つの出来事として高圧ガス法改正 (1988 年) が挙げられる (丸善石油化学, 2009, 57 頁)。同法の改正は石油化学プラントの定期修理を運転中に検査が行なえることを条件に、それまでの年一回の定期修理から二年に一回の定期修理の実施でよいとするもので、実質的にプラントの生産能力の拡充をもたらすものであったが、同時に定期修理時にプロセスのシャットダウン、点検作業、スタートアップなどの訓練作業機会が失われた。

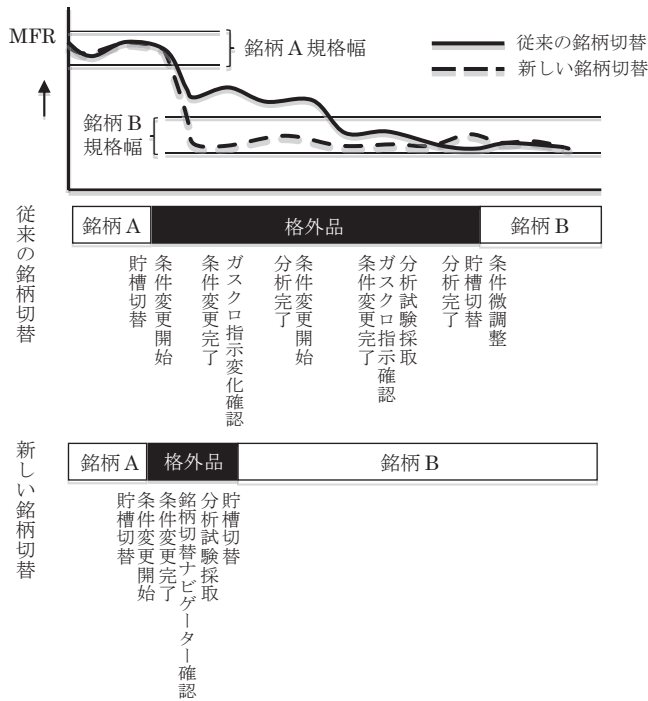


図 6 モデル予測制御に基づく品種切替の効率化

注1 MFR（メルト・フロー・レート）とは合成樹脂の流動体を表す指標で、合成樹脂の品種を分ける重要な要素の一つである。

注2 ガスクロ（ガスクロマトグラフィ）とは、気体・液体の質量を分析する分析装置のことである。なお分析は生産プロセスとは離れた分析室にて行われるのが一般的である。

出所 湯浅・倉本（1988）721頁，図4より転載。

V. 生産プロセスと在庫・物流管理システムの統合

1980年代末頃になると、石油化学企業各社プロセス制御のデジタル化と精密制御の試みと同時に、生産プロセスと在庫・物流システムを統合したプロセスとして CIM（Computer Integrated Manufacturing）を構築し、設計・開発、資材調達、製造、流通・販売に至る企業の一連の業務プロセスの効率化を模索するようになった。

1980年代末に CIM 構築が促進された背景には、石油化学製品の自動車・家電・エレクトロニクス分野でのウェイトが高まったことが挙げられる。なぜなら、これらのユーザーの製品製造の管理面に見られる特徴は、部品ごとに用いられる品質基準が厳格であり、製品ごとに異なる仕様の樹脂を用意する必要があったからである。しかも部品ごとの仕様は同一業種内であっても企業ごとに異なっているために、このような多様な市場ニーズに対応した多品種生産をする必要があったからである。工場内の生産プロセスに関していえば、80年代以降の DCS の導入と現代制御理論の導入を契機とする精密制御技術の発達により多品種生産プロセスへと

進展していったが、石油化学企業各社はさらに受発注情報と生産プロセスの統合を通じて、資材調達・在庫・物流の生産管理と結合させることにより、生産効率の改善を図ろうとしていたのだった (図 7)⁴¹⁾。

このように石油化学工業における生産プロセスは、1980 年代以降のプロセス制御技術のデジタル化を契機に、従来のフィードバック制御のみの制御に加えてモデル予測制御やエキスパートシステムなどを取り込み、従来よりも精密なプロセス制御が可能になった。さらに、80 年代末に入ると、生産プロセスと在庫・物流システムを結合させることで、市場ニーズに迅速に対応できるようプロセス全体を管理する試みも登場した。これらの結果として、90 年代前半には石油化学工業は多様な市場ニーズに対応した変種変量の生産プロセスである市場ニーズ対応型生産プロセスを成立させたのである。

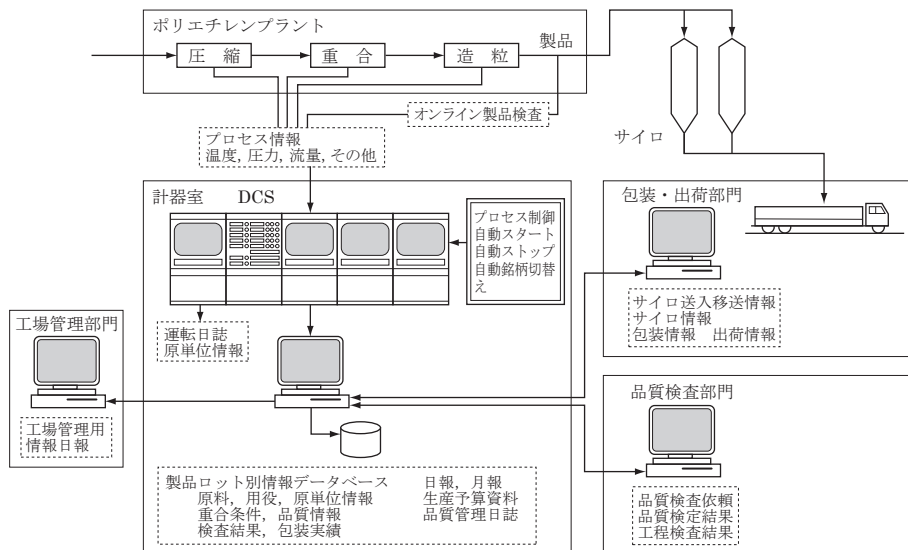


図 7 三菱油化の高圧法ポリエチレン生産プロセスにおける生産支援システム

出所 古川・宇佐見 (1994) 36 頁, 図 2 より転載。

VI. おわりに

本稿ではプロセス制御技術の高度化の過程を軸に据えて、日本の石油化学工業の特質である市場ニーズ対応型生産プロセスの成立過程を検証した。

市場ニーズ対応型生産プロセスの成立の社会的契機には、1970 年代以降のオイルショックを契機とする石油化学用ナフサおよび燃料価格の高騰を背景とする市場拡大傾向の鈍化、自動車・家電・エレクトロニクス分野を中心とする品質要求の厳格化・多様化、産構法を典型とす

41) たとえば三菱化成は 1989 年に 3 年計画で総額約 20 億円をかけ、直接受注情報、出荷・輸送業務の自動化システムを整備した (日本経済新聞 1989 年 7 月 19 日付, 日経産業新聞 1990 年 3 月 26 日付)。

る生産能力の総量規制政策による製品差別化競争の触発が挙げられる。これらの結果として、石油化学企業は70年代以前の生産規模の拡大によるコスト競争力の強化ではなく、多様かつ厳格な市場ニーズに対応する生産プロセスの構築を目指すようになった。

1970年代以降、石油化学企業は70年代前半のマイクロプロセッサの登場により開発された分散型計装制御システムやプロセスコンピュータを導入し、プロセス制御技術のデジタル化を促進した。プロセス制御技術のデジタル化は、数学モデルを用いた現代制御理論や熟練オペレーターの知識・経験を体系化したエキスパートシステムなどのソフトウェアの生産プロセスの応用を可能にし、品質要求の多様化・厳格化に対応した生産プロセスの精密制御を実現した。さらに生産プロセスと物流・販売システムを統合したCIMの導入により、変種変量の需要に柔軟に対応する市場ニーズ対応型生産プロセスが形成された。

市場ニーズ対応型生産プロセスは1980年代から90年代前半までは、日本の製造業の品質競争力を素材面から支えるとともに、欧米石油化学企業や韓国・台湾の新興石油化学企業の日本市場進出の参入障壁として機能した⁴²⁾。他方で、市場ニーズ対応型生産プロセスは石油化学工業各社に少量・多頻度輸送による物流コスト負担の増加をもたらした⁴³⁾。

さらに1990年代後半以降の自動車・家電等の製造業のアジア展開に伴い、市場ニーズ対応型生産プロセスは質的に変化せざるを得なくなった。なぜなら、本稿が分析した市場ニーズ対応型生産プロセスは品質要求の厳しい国内市場を前提にした生産プロセスであり、アジア市場を範疇とはしていなかった。実際、日本国内の石油化学製品のアジア輸出は特殊な製品を例外に輸送コストが高いこともあって、日本の製造業のアジア展開を目的したコスト競争力の強化には貢献しなかった。そうした事情からアジア展開した製造業は合成樹脂などの石油化学製品の現地調達率を増やした⁴⁴⁾。

また1990年代後半以降、韓国、台湾など他のアジア地域の石油化学企業の実産能力は国内需要以上に大規模化し、日本を含む他のアジア諸国に向けて製品輸出を行なうようになった。韓国、台湾の石油化学企業の成長は、日本の石油化学工業にとってはアジア市場向け輸出という過剰生産能力の調整機能が失われることを意味していた。また国内市場における価格面・品質面での競争の激化を意味していた。

こうした1990年代後半以降の石油化学工業を取り巻く環境変化を受けて、石油化学工業の生産プロセスがどのように変化したのかは今後の分析課題とする。

42) 弘岡(1995)。増田(1995) 43頁。

43) 石油化学需給協議会国際小委員会(1994)。

44) 増田(1995) 91-4頁。

参考文献 (英語, 日本の順)

- Utterback, J. M. (1994) *Mastering the Dynamics of Innovation*, Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts (大津正和・小川進訳『イノベーション・ダイナミクス—事例から学ぶ技術戦略』有斐閣, 1998年)。
- アイアールシー (1997) 『自動車樹脂部品の生産状況と材料調達』アイアールシー。
- 赤瀬英昭 (2000) 「合成樹脂の製品開発」藤本隆宏・安本雅典編『成功する製品開発』有斐閣。
- 大嶋正裕 (1998) 「プロセス制御の現状と将来」『ケミカルエンジニアリング』第 43 巻第 5 号, 334-343 頁。
- 化学経済研究所 (1990) 『合成樹脂需要構造調査報告書 1990 年』化学経済研究所。
- 化学工学協会編 (1961) 『プロセス制御 [改訂版]』いずみ書房版。
- 化学工学協会編 (1973) 『プロセスの制御と計算機制御』丸善。
- 化学工業日報社 (2007) 『そのとき石化は一決断の軌跡—検証・日本の石化産業 50 年』化学工業日報社。
- 化学ビジョン研究会 (2010) 『化学ビジョン研究会報告書』
<http://www.meti.go.jp/press/20100430004/20100430004-3.pdf> (2013 年 12 月 15 日閲覧)。
- 化学ビジョン研究会 (2011) 『化学ビジョン研究会緊急取りまとめ～震災を乗り越え、新たな成長のための戦略を構築～』<http://www.meti.go.jp/press/2011/06/20110621001/20110621001-3.pdf> (2013 年 12 月 15 日閲覧)。
- 上条準夫 (1976) 「ポリプロピレン」『化学経済』4 月号, 34-41 頁。
- 栗山隆文 (1988) 「アドバンスト制御」『化学工学』第 52 巻第 4 号, 261-264 頁。
- 計測自動制御学会産業委員会 (1985) 「現代制御理論はいま、ここまで使える」『計測と制御』Vol.24, No.9, 862-867 頁。
- 合成樹脂編集部 (1980a) 「昭和 52 年合成樹脂需要構造調査報告」『合成樹脂』第 26 巻第 1 号, 6-21 頁。
- 合成樹脂編集部 (1980b) 「昭和 52 年合成樹脂需要構造調査報告 <合成樹脂製品試用産業調査> (輸送機械産業—自動車)」『合成樹脂』第 26 巻第 3 号, 26-34 頁。
- 合成樹脂編集部 (1980c) 「昭和 52 年合成樹脂需要構造調査報告 <合成樹脂製品試用産業調査> (電気・通信機械産業 (1))」『合成樹脂』第 26 巻第 4 号, 38-44 頁。
- 合成樹脂編集部 (1980d) 「昭和 52 年合成樹脂需要構造調査報告 <合成樹脂製品試用産業調査> (電気・通信機械産業 (2))」『合成樹脂』第 26 巻第 6 号, 17-24 頁。
- 小林豊 (2006) 「プラスチックでできた自動車材: PP バンパーを巡って」『化学と教育』52 巻 11 号, 608-611 頁。
- 佐伯康治 (1994) 「企業における研究開発—ポリマー企業を中心として」『化学史研究』第 21 巻, 25-36 頁。
- 佐伯康治・尾見信三 (1994) 『新ポリマー製造プロセス』工業調査会。
- 住友化学工業 (1997) 『住友化学工業最近二十年史: 開業八十周年記念』住友化学工業株式会社。
- 石油化学工業協会 (1989) 『石油化学工業 30 年のあゆみ』石油化学工業協会。
- 石油化学需給協議会国際小委員会 (1994) 『我が国石油化学産業の国際競争力について』石油化学需給協議会国際小委員会。
- 高田晴夫・板野則弘 (1994) 「石油化学工場における統合生産システムの構築」『オートメーション』第 39 巻第 10 号, 29-34 頁。
- 田口定雄 (2007a) 「上流強化で汎用石化分離に動く BP—BP ケミカルとアモコ・ケミカルのケース—」『化学経済』3 月号, 105-113 頁。
- 田口定雄 (2007b) 「アジア・中東シフト強めるシェル—Basell 売却で事業構造改革の総仕上げ—」『化学経済』4 月号, 99-107 頁。
- 田口定雄 (2007c) 「石化地殻変動に備えるダウ・ケミカル (上) —多角化戦略を転換, UCC との合併

- に活路一』『化学経済』5月号, 94-103頁。
- 田口定雄（2009）「農業バイオに先陣切るモンサント（1）—「総合化学」から新産業へのラジカルな転進—」『化学経済』11月号, 80-86頁。
- 通商産業省産業政策局編（1983）『産構法の解説—新たな産業調整に向けて』通商産業調査会。
- 坪井邦夫他（1980）13頁。「'80年代の計測制御システムの展望」『オートメーション』第25巻第1号, 10-25頁。
- 日本自動車工業会（2002）『日本の自動車工業2002年版』日本自動車工業会。
- 日本電気計測工業会（1998）『電気計測器産業のあゆみと展望:日本電気計測器工業会創立50周年記念』日本電気計測器工業会。
- 橋本伊織・富田芳生（1985）「コンピュータ支援オペレーションの現状—DCSの利用状況に関するアンケート調査結果を中心に」『化学工学』第49巻第11号, 880-882頁。
- 橋本規之（2002）「産構法」に基づく設備処理と共同行為—石油化学工業のケース」『経営史学』第37巻第3号, 57-85頁。
- 花熊克友（1984）「石油化学プラントにおける制御理論の適用事例」『オートメーション』第29巻第3号, 105-109頁。
- 花熊克友（1989）「重合プラントにおけるモデル予測制御の設計と応用」『計装』第32巻第1号, 22-24頁。
- 弘岡正明（1995）「わが国化学工業の技術力と国際競争力」『化学経済』7月号, 2-9頁。
- 平野創（2011）「石油化学工業における投資調整と設備過剰の深化:不況カルテル締結後の投資活動とその帰結（1972～85年）」『社会経済史学』第77巻第1号, 49-70頁。
- 平野創（2013）「エチレンセンター発展史（7）産構法に基づく設備処理:深刻な不況と構造改革」『化学経済』第60巻第12号, 71-82頁。
- 古川幸一・宇佐美卓哉（1994）「ポリエチレンプラント生産支援システムの構築」『オートメーション』第39巻第10号, 35-39頁。
- 増田真男（1995）「石油化学産業の国際競争力を巡る課題について—汎用樹脂事業を中心に」『日本開発銀行調査』198号, 2-165頁。
- 丸善石油化学（2009）『丸善石油化学五十年のあゆみ』丸善石油化学株式会社。
- 三井石油化学（1987）『三井石油化学工業30年史:1955-1985』三井石油化学株式会社。
- 三菱油化（1988）『三菱油化三十年史』三菱油化株式会社。
- 村井邦宏（1982）「デジタル計装の遷移と今後の展望」『オートメーション』第27巻第8号, 18-24頁。
- 森田尚夫・船越良幸・藤隠一郎（1993）「ポリプロピレン重合プロセスへのエキスパートシステムの適用」『化学工学』第57巻第5号, 338-340頁。
- 湯浅孝生・倉本毅（1988）「大型連続プロセスでの多品種少量生産技術」『化学工学』第52巻第10号, 719-722頁。
- Leonard, Joseph P. (村上幸夫訳) (1989)「米国化学産業のリストラクチャリングと事業売却の論理」『化学経済』第36巻第1号, 47-56頁。
- 渡辺成一（1969）「実用商業化学プラントで成功」『オートメーション』第14巻第5号, 69-78頁。
- 若狭裕（1988）「CENTUM-XLの開発思想とシステム・アーキテクチャーCENTUMのあゆみ」『横河技報』第32巻第4号, 185-190頁。
- 若狭裕（2008）「プロセス制御システムの技術系統化調査」『技術の系統化調査報告 第11集』
<http://sts.kahaku.go.jp/diversity/document/system/pdf/043.pdf> (2013年12月20日閲覧)。

