

東アジアにおける石油化学工業 技術発展の比較研究 (2)

——エチレン製造技術の変遷——

洪 邦 夫

HONG Pangbu

1. はじめに

石油化学工業は1930年代から1940年代初期のアメリカで始まった。自動車の普及に伴いガソリン需要が増大し、これに呼応して石油の熱分解によるガソリンの製造が盛んに行われるようになる中で、分解ガス中にエチレンが含まれることがわかり、エチレンの製造が始まった。当初は、石油精製プラントの副産物回収装置としてスタートしたが、熱分解によるエチレン製造を目的としたプラントは1950年頃から本格化した¹⁾。

現在、エチレンはナフサや天然ガスなどの炭化水素の熱分解により製造され、ポリエチレンや各種エチレン誘導体の原料となる。エチレン製造時に副生するプロピレンやB-B (ブテン) 留分、分解油などの各種炭化水素も重要な原料となり、プラスチックや合成ゴム、合成繊維、界面活性剤など、多種多様な石油化学工業製品が生産され、石油化学産業は大きく発展することになった。

世界のエチレン生産能力は、21世紀に入った10年間で1.5倍に急増し、1.5億 t/y 近くになっている。この増加は、中国やサウジアラビアなどをはじめとしたアジア・中東新興国における巨大エチレンプラントの新設・増設によるものが大きい。たとえば2009年11月に、サウジアラムコと住友化学の合弁によるラービグ石油化学プロジェクトで、130万 t/y という世界最大級のエチレンプラントが建設され、汎用プラスチック、ポリエチレン (PE) やポリプロピレン (PP) をはじめとした石油化学製品の生産・輸出を開始している²⁾。

1950年代に始まったエチレン生産では、分解炉1基当りの生産能力が5000 t/y、エチレンプラントとしての能力は1～2万 t/y 程度であったが、その後、スケールメリットを追求する中で、分解炉は徐々に大型化し、最近では10万 t/y 規模となり、巨大エチレンプラントが登場するようになった。

前報³⁾では、東アジアにおける石油化学工業の現状と特徴について概括して考察したが、本報では、その後の東アジア諸国におけるエチレン生産能力の拡大とその製造技術の変遷について、また欧米諸国からの先進技術の導入と、国産技術化への発展過程について考察する。

2. 世界のエチレン生産の現状

1980年から2014年までの世界と主要地域のエチレン生産能力の推移⁴⁾を図1に、2011年1月現在の世界各国の生産能力とそのランキング⁴⁾を図2に示した。

世界のエチレン生産能力は、21世紀に入り、急速に拡大している。2000年に1億 t/y を超え、2011年には14,735万 t/y になり、約1.5倍に成長している。さ

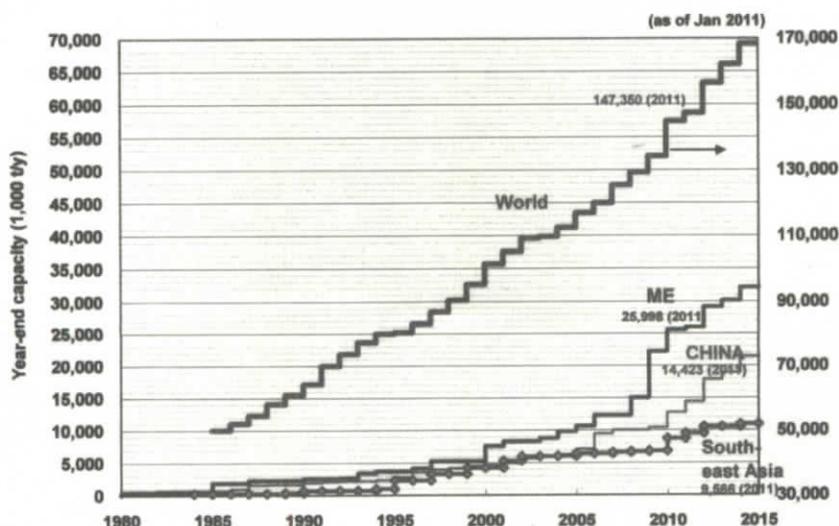


図1. 世界、中東、中国、東南アジアのエチレン生産能力の推移（1980-2014）⁴⁾

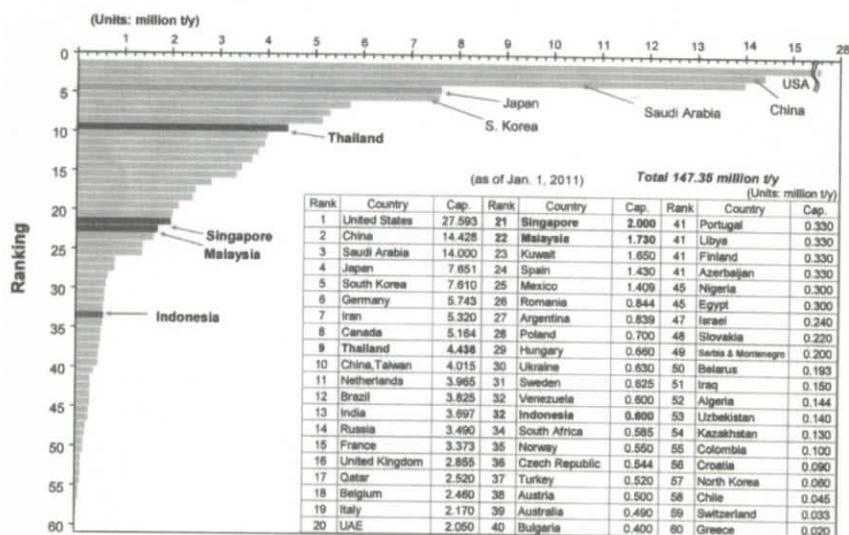


図2. 世界各国のエチレン生産能力とランキング (2011.1.1現在)⁴⁾

らに、2014年末には17,000万 t/yになろうとしている。

21世紀に入って、このように拡大した背景には、

- ① 中国が急速な経済成長に伴う石油化学製品需要の急拡大により、エチレンプラントの新設・増設を行っていること
- ② 中東産油国がコストの安い随伴天然ガスを原料とした巨大エチレンプラントを建設し、急速に需要を伸ばしているアジア諸国への石油化学製品の輸出を狙い石油化学産業に参入していること
- ③ エクソンモービル、ダウ、BASFをはじめとした欧米の巨大石油化学企業が機動的な統合・再編を進め、世界各国で巨大なエチレンプラントを立ち上げ、スケールメリットの追求による国際競争力の強化を図っていること

などが要因であると考えられる。

2011年の国別生産能力を見ると、米国 (2759万 t/y) が1位で、中国 (1443万 t/y)、サウジアラビア (1400万 t/y)、日本 (765万 t/y)、韓国 (761万 t/y)、ドイツ (574万 t/y)、イラン (532万 t/y)、カナダ (516万 t/y)、タイ (443万 t/y)、

台湾（405万 t/y）が⁸上位10位に入っている。

2010年の国別生産能力⁵⁾と比較すると、アメリカ（2750万 t/y）の1位は変わらないが、サウジアラビア（1265万 t/y）と中国（1115万 t/y）が入れ替わり、16位のタイ（254万 t/y）が⁹9位の台湾（405万 t/y）を抜いてランクアップしている。

アジアでは、中国、日本、韓国、タイ、台湾の5カ国がベスト10に入り、シンガポール、マレーシアなどでも大型エチレンプラントの建設が進められ、ランキングが上昇している。2000年のアジアでは、日本（740万 t/y）、韓国（520万 t/y）、中国（470万 t/y）、台湾（240万 t/y）の順であった³⁾が、2011年までに、日本の生産能力はほとんど変わらず、その他の国々の生産能力は、エチレンプラントの大型化が進められ、急速に拡大している。

アジアで初めて石油化学工業を導入した日本では、1959年6月までに1.2万～2.5万 t/y 規模の4エチレンプラントが操業開始した。製造技術は、いずれも米国 Stone and Webster（S&B）社のものであり、詳細設計や機器製作に国内のエンジニアリング会社関わった。その後、1965年にエチレン新設基準として「10万 t 基準」を設けたのに続き、1967年には一気に「30万 t 以上」に改定し、大型化時代に突入した⁶⁾。この目的は、国際的規模への大型化を図ることで、コスト競争力を強化して外貨獲得を図り、同時に乱立する計画の一本化などで企業集約化を実現し、技術開発力を備えた国際的企業の誕生を意図したものであった⁶⁾。その結果、1970年には361万 t/y 能力となり、米国に次ぐ石油化学工業大国になった。

日本に続いて石油化学工業を導入した韓国では、1972年に初めて15.5万 t/y 能力の工場をスタートさせた。製造技術は米国 Kellogg 社のもので、その規模は当時の国際水準であった。その後、1981年に麗川石油化学コンビナートで2基目のLummus法大型プラント（35万 t/y）を稼働させ、1989年に3基目を稼働させ、生産能力は100万 t/y を超え、今日の石油化学工業大国の基礎を築いた。

中国では、1.1～4万 t/y 能力の小規模石油化学工場が存在していたが、1976年に北京燕化会社に30万 t/y 能力のLummusプロセスが導入され、その後、1980年代に大慶や上海など5カ所に30万 t/y 設備が建設された。しかし、それらの

大型設備から川下に至る態勢に不備があったため、大型化のメリットを生かせなかった⁷⁾。

WTO への加盟（2001年）、北京オリンピック（2008年）、上海万博（2010年）が実現するなかで、「世界の工場」化が加速する幕開けとなり、シェルや BASF、BP、エクソンモービルなどの巨大外資が合併で石油および石油化学事業に参入することになる。これらの外資プロジェクトは、60万～90万 t 規模のエチレンプラントを建設し、操業するに至った。これらの建設を通してプラントの一部機器は現地のエンジニアリング会社が調達するなど、中国企業のプラント建設技術が著しく進歩し、第11次計画の新增設は中国国内企業が中心となって実施することにつながっている⁷⁾。

3. エチレン製造プロセスの概要

エチレン製造プロセスは、天然ガスや石油留分の熱分解セクションと分離精製セクションに分けられる。代表的なエチレン製造プロセスである Lummus 法エチレンプロセスのフロー⁸⁾を図3に示した。

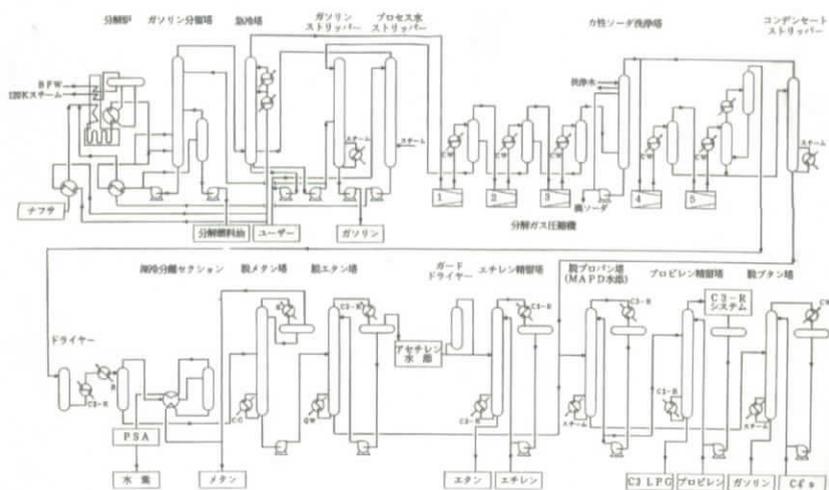


図3. Lummus 法エチレンプロセスフロー⁸⁾

原料のナフサは予熱された後、一定量の希釈水蒸気と共に分解炉に供給され、800～830℃で熱分解される。希釈水蒸気はオレフィン収率を上げるため、分解域での滞留時間を短くし、かつ分解した炭化水素の分圧を低く保つため、ナフサに対して40～50wt%加えられる。

熱分解で生成したガス（分解ガス）は水素（沸点-253℃）、メタン（沸点-162℃）、エチレン（沸点-104℃）などの軽質分から、沸点が180℃以上の分解重油まで多種の炭化水素と加えられた希釈水蒸気を含んでいる。分解ガスは分解炉出口の熱交換器で360～400℃に急冷され、その後ガソリン蒸留塔で油、クエンチタワー（冷却塔）で水によって約40℃まで冷却される。ガソリン蒸留塔底から重質油が分離され、冷却塔で分解ガソリン留分と希釈水蒸気が凝縮し、静置槽で分離される。

これらを分離除去した分解ガスは圧縮工程に導かれ、中間クーラーで冷却しながら約37kg/cm²Gまで圧縮される。圧縮工程の低圧段（1～3段）と高圧段（4、5段）の中間（約10kg/cm²G）に硫化水素や二酸化炭素を除去するためのソーダ洗浄塔がある。低圧段で凝縮した留分はガソリンストリッパーを経由し、分解ガソリンとして分離され、高圧段で凝縮した留分はコンデンサイトストリッパーを経て脱プロパン塔に送られる。

圧縮された分解ガスは分離工程で順次軽質分より分離するため、低温まで冷却されるが、水分による氷結を防ぐために脱水塔で水分を完全に除去する。脱水後、-40℃レベルまではプロピレン冷媒で、-100℃レベルまではエチレン冷媒で冷却され、これよりも低い温度はジュールトムソン効果による自己冷却システムで冷却される。

この低温系で水素は-165度でも凝縮しないガスとして分離され、凝縮された留分は脱メタン塔に供給され、塔頂からメタンを分離して塔底留分は脱エタン塔に送られる。脱エタン塔では塔頂からエチレンとエタンを分離し、アセチレン水素化系へ送る。アセチレン水素系では、アセチレンを1 ppm以下に水素化し、エチレン精留塔に送られる。脱エタン塔の塔底留分は脱プロパン塔に送られる。

エチレン精留塔では、塔頂部分で水素化未反応の水素を除き、上部から高純

度のエチレンを製品として得る。塔底のエタンは再度分解原料として戻すか、燃料系で使用される。

脱プロパン塔には脱エタン塔とコンデンセイトストリッパーの塔底部分が供給され、塔頂からプロピレンとプロパンを分離し、 C_3 アセチレンを水素化してプロピレン精留塔へ送られ製品となる。

脱プロパン塔の塔底留分は脱ブタン塔に送られ、 C_4 留分が分離される。この C_4 留分にはブタジエンが40~45wt%含まれており、ブタジエン抽出装置の原料となる。塔底からはガソリン留分がガソリンストリッパーの塔底留分と一緒に系外に出る。この分解ガソリンが芳香族抽出装置にかけられ、ベンゼン、トルエン、キシレンが得られる。

4. エチレン製造技術—熱分解技術—の進歩

上述のように、エチレンプラントは、ナフサやエタンなどの炭化水素を無触媒で高温加熱して熱分解し、多種類のオレフィンや芳香族炭化水素を得、さらにこれらを分離・精製するものである。熱分解に膨大なエネルギーを消費し、同時に、その大半を回収するとともに、分離精製でも膨大なエネルギーを圧縮・冷却・液化・蒸留のために消費するエネルギー多消費プロセスである。したがって、エチレンプラント技術は、基本的に次の3点に集約される⁹⁾。

- ① 熱分解技術
- ② 分離・精製技術
- ③ エネルギーシステム技術

ここでは、特に重要な熱分解技術の進歩について考える。

1) 炭化水素の熱分解

エチレン製造を目的としたナフサの熱分解は、原料がさまざまな構造をもつ炭化水素混合物であるため、多数の反応が同時に進行する複雑な反応である。図4に示したように、パラフィン系炭化水素やナフテン系炭化水素が分解し、オレフィンを生成する。このオレフィンは環状重合し、BTXや縮重合物に変化して減少する。また、ナフテン系炭化水素が脱水素化し、また芳香族系炭化

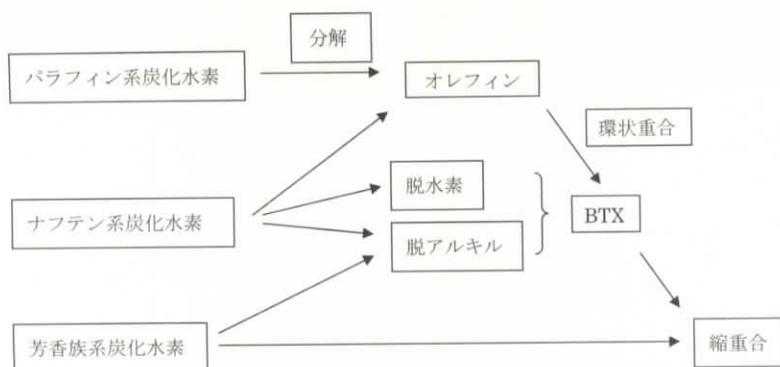


図4. 炭化水素の熱分解によるオレフィンの生成・消滅

水素が脱アルキル化して BTX や縮重合物を生成する。

熱分解反応は、高温下で行われるほど速く、また短時間かつ低炭化水素分圧下で行われるほど、2次反応が抑制される。したがって、高いオレフィン収率を得るためには、可能な限り低炭化水素分圧下で、急速に（短滞留時間）高温で加熱し、かつ急速に冷却して反応を停止させることが重要である。

2) 分解炉の構成

高いオレフィン収率を得るためには、上述のように低炭化水素分圧下で、短滞留時間で高温加熱し、かつ急速に冷却して反応を停止させることが重要である。このような原理を実現させるため、分解炉は炭化水素ガスを分解するコイル（分解コイル）を燃焼による直接輻射で急加熱する輻射部と、その高温排ガスにより炭化水素を蒸発・予熱するとともに高圧給水予熱・高圧蒸気加熱に熱回収する対流部からなる。また、分解された高温ガスを急冷するためのクエンチボイラを付設して高圧蒸気発生で熱回収を行っている。分解炉の一例¹⁰⁾を図5に示した。

3) 分解技術の進歩

高いオレフィン収率を得るためには、化学反応上のオレフィン選択性（＝滞留時間×炭化水素分圧）と熱的過酷度（＝滞留時間×分解温度）の両方を向上させる必要がある。このような条件を実現するために円管状のコイルを直接輻

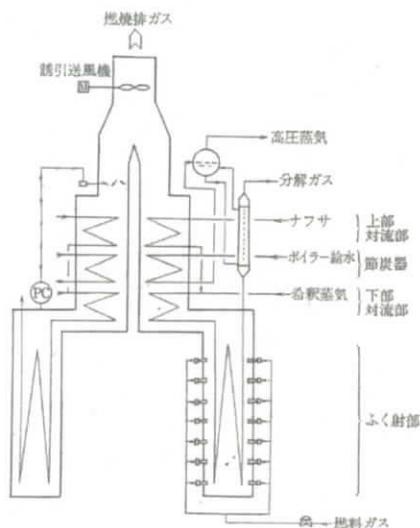


図5. 分解炉の一例¹⁰⁾

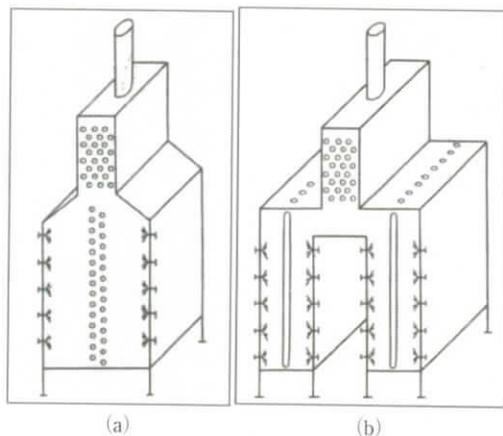


図6. 初期のエチレン製造用分解炉¹¹⁾

射で強熱する方法がとられた。

初期のエチレン製造用分解炉は、図6 (a)に示したようなラジアントウォール形加熱炉であった¹¹⁾。これは Selas 社で実用化されたもので、中央に千鳥に

配列した分解コイルを水平に置き、両側の側壁に設けた多数のラジアントウォール形バーナで加熱する横型管式分解炉であり、Selas 型炉と呼ばれた。

最初のエチレン製造用 Selas 型炉は1952年の DowChemical 向けのものであり、プロパンなどの単純炭化水素が原料であった¹²⁾。ナフサを原料とした分解炉は1957年に初めて登場し、その後 S&W 社や UOP 社などの小型エチレン製造プラントで多数採用され、1965年末までに Selas 型炉の総数は322基に、エチレン生産量の72%を占めていた¹²⁾。初期のナフサ分解炉1基当りのエチレン生産量は5000t/y 程度であり、大型化には困難を伴った。また、反応管を支える支柱が、ますます上昇する炉内温度に対応して、従来の25Ni-20Cr 鋼よりもさらに耐熱性の高い材料や、第3成分の入った特殊材も使用されるようになった¹²⁾。このように、分解コイルを水平に配置し、炉内に高級耐熱鋼で組んだ支柱上に乗せておく横型炉では大型化や強加熱に限度が生じてきた。

これを解決したのが堅型炉の出現であった。コイルを炉内に縦に配置し、天井からつりさげるという発想で、支柱が不要となり、多数のコイルを大きな炉に配置することが可能になり、Lummus 社(米国)の垂直管式形式(b)が登場し、大型分解炉が登場した¹³⁾。この分解炉では、ラジアントウォール形バーナを炉側壁に多数配置して垂直に置かれた分解コイルを両側から加熱し、炉上に対流部を設け、ナフサの予熱のほかに、ボイラ供給水の予熱も行うようにし、全体としてかなり高い熱効率が得られるようになった。

Lummus 社分解炉は、SRT (Short Residence Time) 型と称され、1965年の SRT-I 型炉以降改良されて SRT-II、III 型炉となり、1984年には SRT-IV 型炉、1987年には SRT-V 型炉が発表されている¹³⁾。最初の SRT-I 型炉は世界最初の堅型コイル配列による大型化とハイシビアリティ分解を可能としたことで有名で、分解コイルは同一管径で8~10パス構造になっている。

分解コイルは、径が細いほどコイル断面積に対する表面積の割合が増大し、材料の耐熱性が優れているほど強熱できる。したがって、短時間で多くの熱を単位原料に与えることが可能となり、コイルの長さの短縮による圧力損失の減少が実現できる。SRT-I 型炉以降に改良された炉は、いずれも分解コイルの前半部に多数の小口径管を設けて入口部分の伝熱面積を増し、流体の急速加熱

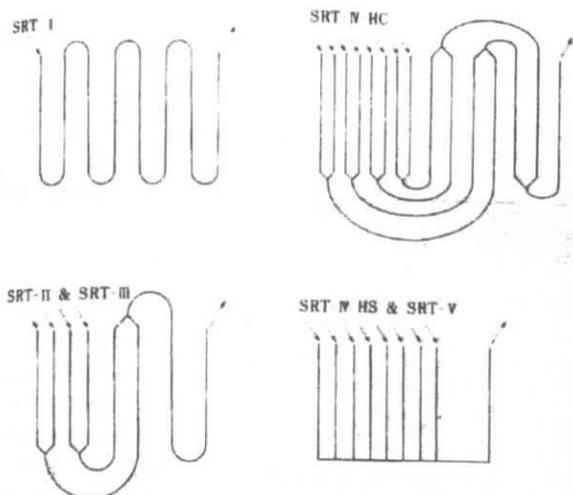


図7. SRT型炉における分解コイルの形状¹³⁾

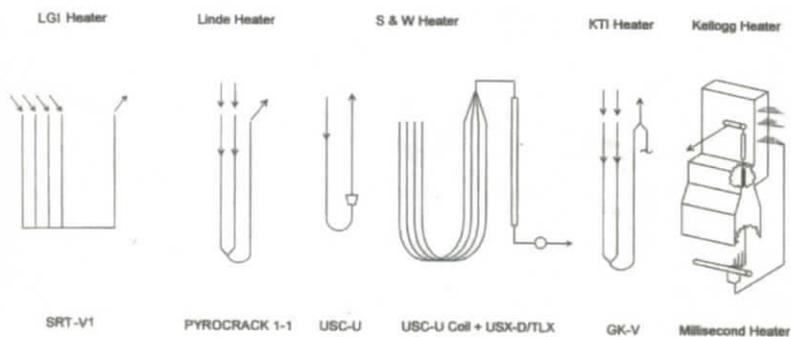


図8. エチレン製造プロセスにおける分解管形状⁸⁾

と滞留時間の減少を目指す一方、後半部は大口径管として管内圧損低下をはかるスプリット型コイルを特徴としている。

SRT-II型は4パス(4-2-1-1の管配列)4コイル、SRT-III型はSRT-II型と同じで4パス6コイルにして1炉当たりの能力を上げている。SRT-IV型はHC (High Capacity) 型とHS (High Selectivity) 型の2種類がある。HC型

は4パスだが各パスが8-4-2-1の平行に並んだ管から成立している。HS型は高選択性を旨とした2パス形状になっている。SRT-V型はSRT-IV HS型と同一であるが、コイルの入口パスに内面フィン付き管を採用している。

このようにSRT分解炉のコイル形状は大きく変わってきたが、いずれも流体の短滞留時間での急速加熱分解と管内低圧損による低圧熱分解が可能になるように改良されたものである。

現在、代表的なエチレン製造プロセスとして知られているLummus法、Linde法、S&W法、KTI法、Kellogg法の分解コイルの形状⁸⁾を図8に示した。

4) コーキングの抑制

熱分解炉の操業中に、分解管では高温となる出口側チューブを中心に固形炭素(コーク)の析出が起る。このコークは、一定条件に達すると原料の供給を停止し、スチームと空気を供給して燃焼するデコーキングによって除去される。発生したコークやデコーキング時に剥離したコークが急冷装置に到達し、伝熱抵抗を増大させ、熱交換能力が低下する。また、発生した炭素はチューブ内面から金属組織内に侵入していく侵炭現象のため、材料を脆化させ、チューブ破損を引き起こすので、チューブ寿命に大きく影響を与える。

このコーキングを抑制するために、①内面改質、内面コーティング、②伝熱改善(高効率伝熱管)、③化学的処理などが提案されている¹⁴⁾。

熱分解炉で生成されるコークは、過熱による縮重合反応によって生じるアモルフォス状コークとNiやFeによる触媒作用によるフィラメント状コークの2種類があり、原料によってその比率が変わる。ナフサ原料では、前者が50~60%、エタン原料では、後者が70~80%である。

反応管には当初ステンレス鋼やインコロイなどが使われてきたが、最近では高温での強度や耐クリープ性が要求される35Ni-25Cr、45Ni-35Crなどの高Ni系耐熱鋼が使われている。

FeやNiがコーク生成の触媒となるため、スピネル型酸化物皮膜を形成させ、チューブ内面と原料との接触を断つことでコーキングを抑制して400日以上の連続操業を達成しているケースがある¹⁴⁾。

コークの発生を抑制する材料として、触媒となるFeを含まない50Cr-50Ni

が有効であるが、HK や HP に比べ、高温強度、クリープ強度が不足しているため、分解炉管に使用できない。そこで、HK や HP の母管に45Cr-54Ni-1Mo をプラズマ粉体肉盛技術 (PPW) で肉盛した耐コーキング性および耐侵炭性に優れた分解炉管が開発されている¹⁵⁾。

チューブの伝熱改善を図り、コーキングを抑制する方法に MERT (Mixing Element Radiant Tube) がある。チューブ内面にらせん状の攪拌素子を設けた遠心力 casting 管を用いて、チューブ内の伝熱特性を向上させ、原料を攪拌して均温化を促進している¹⁴⁾。

4. アジアにおけるエチレン製造技術の変遷

1) 日本

表1に、大型化 (30万能力) が達成される1972年までに設立されたエチレンプラントの稼働開始時期、能力、ライセンサーを示した。石油化学国産化の第1期計画で認可された三井石油化学、住友化学、三菱油化、日本石油化学の4社のエチレンプラントが1959年までに完成し、稼働した。生産能力は1.2~2.5万 t/y、製造技術はすべて S&W 法であった。当時、S&W 法が全世界のエチレンプラントの約70%を占め、安定した実績をもち、詳細設計などを日本のコンストラクターである千代田化工や日本揮発油に任せため、採用されたといわれている。一方、分解装置に特長があった Kellogg 社は、日本でのエチレンプラント建設が初めてなので詳細設計まで自社でやることを主張したため、建設費や技術導入料が高まることが懸念され、採用されなかったといわれている¹⁸⁾。

第2期計画には原料ナフサを供給する石油会社をはじめとして、多くの計画が提出された。新たに丸善石油化学など石油系の石油化学専業会社が4社設立され、三菱化成工業も化成水島を設立して石油化学事業への展開を図った。

第2期計画は、既存メーカーの増設を含めてエチレン規模は4万 t/y 以上に拡大し、計画が完成した1964年のエチレン設備能力は9社合計54万 t となった。ライセンスは、大協和石油化学 (四日市)、三井石油化学 (岩国)、化成水島 (水島) の3社が S&W 法、東燃石油化学 (川崎) がエッソ (ER&E) 法¹⁹⁾、出光興産 (徳

表1. 日本におけるエチレンプラントとライセンスー

		当初	立地	スタート	能力(万トン)	ライセンス
1	三井化学	三井石油化学	岩国	1958	2	S&W
2	住友化学	住友化学	大江	1958	1.2	S&W
3	三菱化学	三菱油化	四日市	1959	2.2	S&W
4	新日本石油化学	日本石油化学	川崎	1959	2.5	S&W
5	住友化学	住友化学	新居浜	1961	1.6	SBA
6	東燃化学	東燃石油化学	川崎	1962	4	ER&E
7	東ソー	大協和石油化学	四日市	1963	4.1	S&W
8	三井化学	三井石油化学	岩国	1964	6	S&W
9	三菱化学	化成水島	水島	1964	6	S&W
10	出光興産	出光石油化学	徳山	1964	7.3	UOP
11	丸善石油化学	丸善石油化学	千葉	1964	4.4	Lurgy
12	三菱化学	三菱油化	四日市	1965	6	S&W
13	新日本石油化学	日本石油化学	川崎	1965	10	S&W
14	住友化学	住友化学	大江	1966	4.8	S&W
15	東燃化学	東燃石油化学	川崎	1966	11	ER&E
16	丸善石油化学	丸善石油化学	千葉	1966	10	S&W
17	三井化学	三井石油化学	千葉	1967	12	S&W
18	住友化学	住友千葉化学	千葉	1967	10	S&W
19	三菱化学	三菱油化	四日市	1968	20	Lummus
20	三菱化学	化成水島	水島	1968	10	S&W
21	出光興産	出光石油化学	徳山	1968	20	UOP
22	丸善石油化学	丸善石油化学	千葉	1969	30	Lummus
23	昭和電工	鶴崎油化	大分	1969	15	S&W
24	三井化学	浮島石油化学	千葉	1970	30	S&W
25	三井化学	大阪石油化学	泉北	1970	30	Lummus
26	住友化学	住友千葉化学	千葉	1970	30	S&W
27	三菱化学	三菱油化	鹿島	1970	30	Lummus
28	三菱化学	水島エチレン	水島	1970	30	Lummus
29	新日本石油化学	浮島石油化学	浮島	1970	30	S&W
30	昭和電工	鶴崎油化	大分	1970	32	S&W
31	東燃化学	東燃石油化学	川崎	1971	30	ER&E
32	東ソー	新大協和石油化学	四日市	1972	30	Lummus
33	旭化成ケミカル	山陽エチレン	水島	1972	30	シーラスブローン

山)がUOP法²⁰⁾であった。一方、住友化学(新居浜)のSBA法²¹⁾と丸善石油化学(千葉)のLurgy法²²⁾は上記の管式分解法とは異なったもので、いずれも5年程度で停止している。

1965年にエチレン新設基準として「10万t基準」を設けたのに続き、67年に

は一気に「30万t以上」に改定され、1969年までに9社の計画が認可された。石油化学産業は拡大に次ぐ拡大で「利益なき繁栄」といわれる状況にあったが、成長した金融資本の激しいシェア競争を背景に大型設備が次々と建設され、結果として乱立を招き、所期の目的が実現されたとはいえなかった。エチレン30万t設備を中核とした大型コンビナートは、丸善石油化学(千葉)を皮切りに1972年の山陽エチレン(水島)まで3年間で9カ所建設された。

表1に示したように、1965年から1972年までに22カ所でエチレンプラントが建設された。ライセンスの提供数は、S&W法が12、Lummus法が6、エッソ法が2、UOP法とシーラスブローン法がそれぞれ1になっている。Lummus法は、三菱油化(四日市)の20万t/yに日本では初めて採用され、その後30万t/y能力のプラントに採用され、初めて堅型炉で大型化した実績が買われたものと思われる。30万t/y規模での建設は他のライセンサーでも行われており、この段階でエチレン製造技術はほぼ完成したものとみなされる。

表2に2010年末現在の日本のエチレンセンターを、エチレン生産能力、製造

表2 日本のエチレンセンター*1

	会社名	所在地	能力*2	製造技術*3	原料*3
1	出光興産	千葉	37.4	UOP/日揮	ナフサ、LPG、NGL、灯油
2	出光興産	徳山	62.3	UOP/日揮	ナフサ、改質生成油、その他
3	三井化学(大阪石油化学)	大阪	45.5	Lummus	ナフサ
4	旭化成ケミカル	水島	44.3	シーラスブローン、S&W	ナフサ、重質NGL
5	昭和電工	大分	61.5	S&W	ナフサ、NGL、ブタン
6	JX日鉱日石エネルギー	川崎	40.4	S&W/三井造船	ナフサ、P・P、灯油
7	住友化学	千葉	38	S&W/日揮	ナフサ、LPG
8	東ソー	四日市	49.3	Lummus	ナフサ、その他
9	東燃化学	川崎	49.1	Esso	ナフサ、その他
10	丸善石油化学	千葉	48	Lummus	ナフサ、改質生成油
11	三井化学	市原	55.3	自社	ナフサ、LPG、重質NGL
12	三菱化学	鹿島	77.8	Lummus/自社	ナフサ、ガスオイル
13	三菱化学	水島	43.7	Lummus/TEC/MHI	ナフサ、ガスオイル
14	京葉エチレン	千葉	69	Lummus	ナフサ
	合計		721.6		

*1 石油化学工業会 Web ページ16)より作成。

*2 2010年末現在、定修実施年ベース、単位：万トン

*3 文献17)参照

技術、使用原料を示した。エチレンセンターは11社14か所であり、エチレン生産能力(定修実施年ベース)合計は721.6万 t/y、生産規模は37.4~77.8万 t/y、センター平均能力は51.5万 t/yである。

それぞれのエチレン製造技術をみると、Lummus法が三井化学(大阪)、東ソー(四日市)、丸善石油化学(千葉)、三菱化学(鹿島、水島)、京葉エチレン(千葉)の6か所で採用され、三菱化学(鹿島)では自社、三菱化学(水島)では東洋エンジニアリング(TEC)と三菱重工(MHI)がこれまでに蓄積された技術ノウハウを提供している。またS&W法は昭和電工(大分)、JX日鉱日石エネルギー(川崎)、住友化学(千葉)、旭ケミカルズ(水島)²³⁾の4か所で採用され、三井造船や日揮がエンジニアリングに関与していることがわかる。UOP法は出光興産(千葉、徳山)の2か所で、Esso法は東燃化学(川崎)、シーラスブロン法は旭ケミカルズ(水島)に採用されている。この中で注目すべきことは、三井化学(市原)の自社技術によるものである。

三井化学は、ユーザーとしての長年の運転保全の経験を活かし、ユーザーの立場から高性能(収率や熱効率)、低コスト、かつ運転が容易でメンテナンスの少ない、安全で信頼性の高い分解炉とクエンチャーの開発に取り組み、三井分解システム(MAC(Mitsui Advanced Cracker)、MIQ(Mitsui Innovative Quencher))を完成し、浮島石化第2エチレンプラントの増設炉として設置した(1989年9月稼働、7万 t/y)^{9,24)}。

これに先立ち、三菱油化と三菱重工は1977年3月に中国・上海石油化工股份公司向けの灯軽油分解エチレンプラント(11.5万 t/y)を完成させている²⁵⁾。同プラントは1968年から研究開発されたもので、重質原料の熱分解に優れた特徴を発揮するものとされている。工業化に当っては三菱油化の運転技術と三菱重工のハード製品の特性ととの結合が重視された。

このように日本のエチレンプラントは外国のライセンスを取得し、操業運転や保全の経験を蓄積して自社技術に高めることが可能になった。また、エンジニアリング会社はライセンサーと基本設計、詳細設計、付帯設備設計、設備調達、運転などの役割分担を進め、その技術と経験を蓄積し、発展するようになった。

たとえば、日揮は S&W 社プロセスを採用したエチレンプラントを日本で 1958年に建設して以来、2002年までに35件のプロジェクトを遂行し、その後も海外プロジェクトでコントラクターとしての業務を行っている。中国では、1985年に大慶で、1996年に茂名で SINOPEC ENGINEERING 社と協力して S&W 法エチレンプラントを建設したのをはじめ、2005年には SHELL 南海社と CNOOC 石油化学投資会社との合弁会社のエチレンプラント（80万 t/y）の設計、機材調達、建設工事および試運転役務を行っている。このプラントは、ナフサから重質油までの多様な原料に対応するフレキシビリティを持つ²⁷⁾。

さらに、日揮は中東でも、カタールペトロケミカルカンパニー社からエチレン増設プロジェクト²⁸⁾を、ジュベイルシェブロンフィリップス社から大型石油化学プラント²⁹⁾を、住友化学とサウジアラムコ社により、サウジアラビア王国ラービグ地区で計画された世界最大級のエタンクラッカー（130万 t/y）の大規模建設工事を一括受注している³⁰⁾。

東洋エンジニアリング（TEC）と米国 ABB Lummus Global Inc.（LGI）とは1962年にエンジニアリング技術の導入契約を締結して以来、エチレン製造プラントを中心とした協力関係を維持しており、2001年11月にライセンス契約更新を行った。この間に TEC は LGI 社と協力して新設のエチレンプラントを計35基（累計でエチレン年産1千万トン強）、改造・増設を含めて約60件に達するエチレンプロジェクトを遂行してきた。また TEC は、当時世界最大のナフサ分解プラントであった台湾の100万トンプラントの設計・試運転に携わるなど、この15年だけでも世界の1/4に近いエチレンプラントを受注している³¹⁾。

LGI 社は中国に Lummus 法エチレンプロセスライセンスを1976年から2010年までに26件提供しており、そのうちの15件のエンジニアリングを TEC が行っている。

TEC はさらにシンガポール向けエチレンプラント（80万 t/y）プロジェクトを共同受注³²⁾、インド向け大型エチレン設備（80万 t/y）をインドのエンジニアリング企業と連合して受注³³⁾、タイ向け大型エチレン設備（100万 t/y）を受注している³⁴⁾。最近では、2012年3月にエジプト向けエチレンプラント（46万 t/y）をエジプト企業と共同受注している³⁵⁾。2010年7月の入札以来、欧州

勢・韓国勢との競争を経て受注したもので、TECが2001年完工したエチレンプラント(30万t/y)に次ぐ、エジプト2基目かつ最大のプラントである。

2) 韓国

韓国では、1966年に米国のコンサルタント会社 Aurther D.Little (ADL) が石油化学工業建設のフィージビリティ・スタディを行い、エチレン生産能力3.2万t/yを核としたポリエチレン(2万t/y)、塩ビモノマー(2.2t/y)、アクリロニトリル(0.8t/y)、アルキルベンゼン(0.68t/y)、カプロラクタム(1.17t/y)のプロダクト・ミックスの提案を行った。その後、政府がADL社の提案を約3倍に、当時の国際水準であるエチレン生産能力10万t/yに引き上げ、最終的には15万t/yに拡張し、1968年3月に蔚山石油化学コンプレックスナフサ分解工場(大韓石油公社)の建設を始め、1972年10月に完成させた³⁶⁾。

ナフサ分解プロセスは、韓国に「技術を選別する技術」が蓄積されていなかったため、大韓石油公社への合併投資者である米国ガルフ石油の助言により Kellogg のプロセスが選ばれた³⁶⁾。本来、天然ガス分解を得意とする Kellogg プロセスをナフサ分解工場に導入したのは問題があったといわれている。

その後、1970年代後半になると、石油化学製品の内需拡大により供給力不足が顕在化し、蔚山の増設と麗川第2コンプレックス(旧湖南エチレン、大林産業・現YNCC)の新設が行われた。麗川第2コンプレックスのナフサ分解工場(35万t/y)には Lummus プロセスが採用された。

蔚山では、プロセス・オーナーである Kellogg が基本設計³⁷⁾と詳細設計³⁸⁾を一括して請け負ったが、麗川では、Lummus 社が基本設計を、詳細設計は Lummus 社と密接な提携を持っていた TEC が行った。

その後、1989年に麗川で大林産業が韓国にとって3基目のエチレンプラントを、大韓石油公社が蔚山に大型プラントを完成させ、エチレン生産能力は100万t/yを突破した³⁹⁾。

1990年代は、世界屈指の石油化学大国になる“爆発の時代”となる。1991年6月の三星総合石油化学を皮切りに、2年足らずの間に6つのエチレンセンターが完成し、エチレン生産能力は500万t/yを突破する。世界的な石油化学需要急増で高収益をもたらすが、輸出依存体質を生み、供給過剰-赤字転落の

悪循環を根付かせ、1997年の金融・経済危機がその基盤の脆弱性を露呈する。そのような中で、外資への資産売却や麗川でのセンター統合などの業界再編が始まり、LG-湖南による現代石油化学の3分割が実施された³⁹⁾。

韓国のエチレンセンターを表3に、エチレンプラントの生産能力とライセンス、エンジニアリング企業を完成年度順に並べ、新增設計画を含めて表4に示した⁴⁰⁾。

2010年末現在で、蔚山、温山、麗川、大山の4地域に、SK Global Chemical、大韓油化、LG Chem、三星-Total、YNCC、湖南石油化学の6社のエチレンセンターが8か所存在する。エチレン生産能力合計は760万 t/y、センターの生産能力規模は47~191万 t/y、生産能力平均は95.2万 t/y である。エチレンセンターの生産能力平均は日本のほぼ2倍に近い。

表4から明らかのように、韓国のエチレンプラントのライセンサーをみると、Lummusが10件、Kelloggが6件、S&Wが1件で、Lummusのシェアが比較的に高い。エンジニアリングについてみると、1基目の蔚山プラントはプロセス・オーナーであるKelloggが、2基目の麗川プラントではTECと大林産業が関わっている。3基目の蔚山プラントでは現代が建設に関わったが、分解炉自身は新鴻鉄工所が設計・製造・納入している。これ以降のエンジニアリング会社の関わり方を見ると、国内会社の比重が大きくなっていることが伺われる。

1991年6月に完成した三星総合化学大山のプラントはLummusの技術で

表3. 韓国のエチレンセンター

	エチレンセンター	立地	現有*1	新增設*1
1	SK Global Chemical	蔚山	88	50
2	大韓油化	温山	47	
3	LG Chem	麗山	100	
4	LG Chem	大山	76	24
5	三星-Total	大山	85	15
6	YNCC	麗山	191	
7	湖南石油化学	大山	100	
8	湖南石油化学	麗山	75	25
			762	114

*1 単位：万 t/y

表４．韓国のエチレンプラント生産能力と新增設計画

	担当企業	立地	現有*1	新增設*1	ライセンス	エンジニアリング	完成	完成時名称
1	SK Global Chemical	蔚山	9		Kellogg	Kellogg	1972	大韓石油 15.5万 t
2	YNCC (No.3)	麗川	47		Lummus	TEC/ 大林産業	1979	湖南エチレン、 大林産業 35万 t
3	SK Global Chemical	蔚山	77		Kellogg	新鴻鉄工	1989	SK 25万 t
4	YNCC (No.1)	麗川	86		Lummus	大林産業	1989	大林産業 25万 t
5	LG Chem	麗川	100		Lummus	LG Chem/TEC	1991	LG 石油化学
6	湖南石油化学	大山	100		Kellogg	現代	1991	現代石油化学
7	大韓油化	温山	38		Lummus	大林産業/TEC	1991	大韓油化
8	三星-Total	大山	85		Lummus	KECL/ 三星 Eng	1991	三星総合化学
9	YNCC (No.2)	麗川	58		S&W	S&W/ 三星 Eng	1992	韓火総合化学
10	湖南石油化学	麗川	46		Lummus	TEC/ 大林産業	1992	湖南石油化学
11	LG Chem	大山	76		Kellogg	現代	1997	現代石油化学
12	湖南石油化学	麗川	29		Lummus		2001	
13	大韓油化	温山	9		Lummus		2001	
14	LG Chem	大山		24	KBR		2011	
15	YNCC (No.2-増設)	麗川		35			2012	
16	湖南石油化学	麗川		25	Lummus		2012	
17	三星-Total	大山		15	Lummus		2012	
18	SK Global Chemical	蔚山		50	Kellogg			
	合計		760	149				

*1 単位：万 t/y

KECL (Korea Engineering Company) と三星 Engg が建設している。KECL は韓国開発銀行と Lummus の合弁会社で1970年に設立された⁴¹⁾。KECL は Lummus とともに大韓石油の常圧蒸留部門の詳細設計を1971年に実施しており、その過程で配管図や仕様書、熱交換器の設計法など具体的な実際の技術を学びとったものと考えられる。また、エンジニアリング企業ばかりでなく、石油化学工業企業においても技術導入と装置・プラントの建設を通して、先行技術のノウハウや単位操作の考えを取り入れ、国産技術化するようになった。エチレンプラント建設においては、表4に掲載されている大林産業、現代、LG Chemなどがノウハウと実践力を蓄積したと思われる。

事実、このような企業は国内だけでなく、中国をはじめとした海外で活躍するようになる。中国への進出の最初の例は、1995年完成の吉林石化の Linde 法プラント (30万 t/y) をエンジニアリングした三星 Engg である。また、2002

年にはLG石化のライセンスで吉林石化のプラント(8万t/y)をLG Enggが建設している⁴²⁾。これと関連してLG化学は中国Petro Chinaとナフサ分解技術などを含めた石油化学技術に関する技術交流会を開催している⁴³⁾。また、LG石化は触媒を用いたナフサ分解技術を開発し、商業化を目指してABB Lummusと提携したことを発表している⁴⁴⁾。この技術は従来の無触媒で熱分解したものを、金属酸化物触媒を用いてナフサを分解し、エチレン生産量を20%以上増大させる最先端の技術として注目されるものである。

最近では、LG化学がカザフスタンに大規模石油化学コンプレックスの建設が報じられている⁴⁵⁾。エタン原料でエチレン(84万t/y)を製造し、高密度ポリエチレン(HDPE、40万t/y)や線形低密度ポリエチレン(LLDPE、40万t/y)などを製造する意欲的な計画である。

3) 中国

中国では、自動車産業や建設産業の牽引で第2次産業が好調で高い伸びを維持してきた。その結果、石油化学製品の需要が急拡大し、エチレン生産量も増大している。2004年のエチレン生産量は623.3万tであったが、2009年には1069.7万tになり、1.71倍になっている。輸出入による供給量から見た不足分は、2007年の46万tから2009年の96.1万tに増大している⁴⁶⁾。このような需要の拡大と関連し、大型エチレンプラントの新増設が進められ、エチレン生産能力の拡大が図られている。

今後の需要については、2020年には3700万t~4100万tが見込まれ、2010年の生産能力は、予測需要の55%にあたる1400万t/y、2020年も60%に当たる2300万t/yで対応できず、80万~100万t/y級の大型エチレンプラントの建設が求められている⁴⁶⁾。

中国では、1.1~4万t/y能力の小規模エチレンプラントが存在していたが、1976年に北京燕化会社に30万t/y能力のエチレンプラントがLummusプロセスで建設され、中国石油化学工業の新しい幕開けとなり、その後、1980年代に大慶や上海など5カ所に30万t/y設備が建設されるなど、大きく発展するようになった。

1976年以降に建設されたエチレンプラントについて、会社名、立地、現有能

表5. 中国における年代別エチレンプラント生産能力*1の推移

年代	プラント数	最大	最小	平均
1976-1980	2	300	115	207.5
1981-1990	11	300	3	140.1
1991-2000	22	300	20	107.1
2001-2010	32	1200	10	422.2
2011-2013*2	8	1000	150	593.8

*1 単位：千 t/y *2 建設中

力、計画能力、ライセンス、エンジニアリング、完成年に関するデータが報告されている⁴⁶⁾。このデータによれば、1976年から2010年までに完成したプラントは67件、その生産能力合計は1740万 t/y、2011年から2013年までに完成予定のプラントは8件で、生産能力合計は476万 t/yである。このデータから中国におけるエチレン製造技術の変遷について考察する。

表5に中国で建設されたプラントの年代別にみた生産能力の大きさを示した。1976～1980年には2つのプラントが外国から導入された。2つの平均が20.7万 t/yであった。1980年代には11件のプラントが建設され、最大能力30万 t/y、最小能力0.3万 t/y、平均能力14万 t/yであった。0.3万 t/yのプラントは四川ビニロン廠(重慶)でつくられたもので、中間工場的なものと思われる。

1990年代には22件のプラントが建設された。最大能力30万 t/y、最小能力2万 t/y、平均能力10.7万 t/yであった。2000年代になると建設されたプラント数は32に増え、最大能力120万 t/y、最小能力1万 t/y、平均能力42.2万 t/yとなり、大型化が急進していく。120万 t/y能力のプラントは天津につくられたLummus法によるものである。また、1万 t/y能力のプラントは、大連化学物理研究所(DICP)のライセンスで洛陽石油化工(LPEC)が建設したもので国産技術によるものである。2011年以降のものは建設中のもので8件、最大能力100万 t/y、最小能力15万 t/y、平均能力59.4万 t/yになっている。この中には、DICPとLPEC、Lummusの共同ライセンスで、エンジニアリングをLPECが行った2件のプラントが注目される。エチレン生産技術の国産化が進んでいることを示すものである。

1976年から2010年までに完成したエチレンプラント67件中、外国のライセン

表 6. 中国の外国エチレン技術の導入数

ライセンサー	導入数
Lummus	26
S&W, Show S&W	11
KBR, Kellogg	6
Linde	3
三菱油化	3
IFP	2
Lurgi	1
Petrobras	1
KTI	1
LG 化学	1
合計	55

スを使用した件数は55件に達する。その内訳を表6に示した。中国が外国から導入した技術は世界の主だったものをほとんど採用しているが、最も多いものがLummus (26)である。そのほかに、S&W (11)、Kellogg (6)、Linde (3)、三菱油化 (3)、IFP (2)、Lurgi (1)、Petrobras (1)、KTI (1)、LG 化学 (1)である。

中国において外国技術を国産技術化する過程を表7と表8から考察する。

表7には、Lummus法が導入された26件を時系列に並べ、現在建設中の2例を加えて示した。2002年までライセンス・オーナーであるLummusは外国のエンジニアリング会社とともにプラントを建設している。特に密接な関係のあった東洋エンジニアリング(TEC)との業務遂行がほとんどであった。しかし、2004年以降に中国石油化工総公司(Sinopec)がエンジニアリング業務を4件担当するようになった。さらに、その後の2件ではライセンサーにSinopecがLummusと名を共にしている。これは、Lummusがほぼ完成した技術といわれていたエチレンプロセスの圧縮機システムを改革し、熱分解ガスの圧縮圧力を従来の半分以下に、またこれまで数台必要としていた冷凍機を一台にすることをSINOPECとともに、共同で実証プラントの検証を行ったためである。これによりプラントの機器数の約25%削減、機器費の15%削減が可能になるといわれている³¹⁾。

表8には、外国ライセンスー中国エンジニアリングと中国ライセンスー中国

東アジアにおける石油化学工業技術発展の比較研究（2）（洪）

表7. 中国におけるLummus法エチレンプラント導入の技術的変遷

	会社名	サイト	現有*1	計画*1	ライセンス	エンジニアリング	完成
1	北京東方石油化工股份有限公司	北京市	300		Lummus	TEC	1976
2	齊魯石油化工股份有限公司	山東省留博市	300		Lummus	TEC	1986
3	揚子石油化工股份有限公司	江蘇省南京市	300		Lummus	TEC	1987
4	上海石油化工股份有限公司	上海市	300		Lummus	TEC	1989
5	盤錦エチレン工業公司	遼寧省盤錦市	130		Lummus	TEC	1991
6	撫順石化分公司	遼寧省撫順市	140		Lummus	TEC	1991
7	北京東方石油化工股份有限公司	北京市	150		Lummus	TEC	1994
8	天津分公司	天津市	140		Lummus	TEC/T・R	1995
9	中原石油化工有限公司	河南省濮陽市	140		Lummus	CTIP	1995
10	独山子石化分公司	新疆カラマイ市	140		Lummus	Snamprogetti	1995
11	揚子石油化工股份有限公司	江蘇省南京市	100		Lummus	TEC	1996
12	齊魯石油化工股份有限公司	山東省留博市	30		Lummus	TEC	1996
13	盤錦エチレン工業公司	遼寧省盤錦市	30		Lummus	TEC	1997
14	上海石油化工股份有限公司	上海市	100		Lummus	TEC	1997
15	齊魯石油化工股份有限公司	山東省留博市	120		Lummus	TEC	1998
16	北京東方石油化工股份有限公司	北京市	260		Lummus	TEC	2001
17	上海石油化工股份有限公司	上海市	300		Lummus	Show S&W	2002
18	揚子石油化工股份有限公司	江蘇省南京市	250		Lummus	TEC	2002
19	上海賽料石油化工有限公司	上海市	900		Lummus	Sinopec	2004
20	齊魯石油化工股份有限公司	山東省留博市	270		Lummus	Sinopec	2004
21	茂名エチレン公司	広東省茂名市	620		Lummus	Sinopec	2006
22	天津分公司	天津市	1200		Lummus	Lummus	2009
23	上海賽料石油化工有限公司	上海市	190		Lummus	Sinopec	2009
24	福建聯合石油化工有限公司	福建省泉州市	800		Lummus	Lummus/SRI	2009
25	鎮海煉化分公司	浙江省寧波市	1000		Lummus/Sinopec	Sinopec	2009
26	鎮海煉化分公司	浙江省寧波市		1000	Lummus/Sinopec	Sinopec	2010
27	寧波天元化学公司	浙江省寧波市		1000	DICP/LPEC/Lummus	LPEC	2012
28	河南中科化工公司	河南省新郷市		500	DICP/LPEC/Lummus	LPEC	2013
	合計		8210	2500			

*1 単位：千t

エンジニアリングの例を抜き出した。言うまでもなく、後者は国産技術である。2008年までに10件の例があるが、生産能力は0.3万～8万 t/y と比較的にかさい。外国ライセンス—中国エンジニアリングの場合は、1982年の三菱油化—中国の11.5万 t/y にはじまり、比較的に大型化したプラントであり、2004年の上海のプラントでは90万 t/y になっている。このような経験を積むことによって、2009年の鎮海のプラントではLummusとの共同ライセンスであるが、100万 t/y 規

表 8. 中国のエチレンプラントと国産技術化

	会社名	サイト	現有*1	計画*1	ライセンス	エンジニアリング	完成
1	吉林石化分公司	吉林省吉林市	115		三菱油化	中国	1982
2	四川ビニロン廠	重慶市	3		中国	中国	1983
3	ジャムス石油化工廠	黒竜江省ジャムス市	20		米国	中国	1990
4	吉林石化分公司	吉林省吉林市	35		中国	中国	1992
5	撫順石化分公司	遼寧省遼陽市	42		中国	中国	1995
6	蘭州石化分公司	甘肅省蘭州市	80		Kellogg	Sinopec	1996
7	安徽省輕化工廠	安徽省宿県	20		Petrobras	中国	1996
8	蘭州石化分公司	甘肅省蘭州市	40		Kellogg	Sinopec	1998
9	中原石油化工公司	河南省濮陽市	40		Sinopec 蘭州設計院	Sinopec 北京石化設計院	2000
10	天津分公司	天津市	60		中国	中国	2000
11	撫順石化分公司	遼寧省撫順市	18		LPEC	PetroChina 第一建設	2002
12	蘭州石化分公司	甘肅省蘭州市	40		n.a	PetroChina 第一建設	2002
13	独山子石化分公司	新疆カラマイ市	80		中国	中国	2002
14	上海賽科石油化工公司	上海市	900		Lummus	Sinopec	2004
15	齊魯石油化工股份公司	山東省留博市	270		Lummus	Sinopec	2004
16	陝西新興煤化工科技發展公司	陝西省榆林市	10		大連化学物理研究所	LPEC	2005
17	茂名エチレン公司	広東省茂名市	620		Lummus	Sinopec	2006
18	瀋陽石蠟化工公司	遼寧省瀋陽市	130		PetroChina ほか/S&W	中国	2008
19	撫順石化分公司	遼寧省遼陽市	80		中国	中国	2008
20	上海賽科石油化工公司	上海市	190		Lummus	Sinopec	2009
21	鎮海煉化分公司	浙江省寧波市	1000		Lummus/Sinopec	Sinopec	2009
22	鎮海煉化分公司	浙江省寧波市		1000	Lummus/Sinopec	Sinopec	2010
23	神華包頭煤化工公司	内蒙包頭市	300		陝西新興煤化/LPEC	LPEC	2010
24	寧波天元化学公司	浙江省寧波市		1000	DICP/LPEC/Lummus	LPEC	2012
25	中原石油化工公司	河南省濮陽市		300	SRIPT/SEI/燕山分公司	SRIPT/SEI	2012
26	河南中科化工公司	河南省新郷市		500	DICP/LPEC/Lummus	LPEC	2013
	合計		4093	2800			

*1 単位：千 t/y

模に到達している。

さらに、陝西新興煤化/LPEC や SRIPT（上海石油科学技術研究所）/SEI（Sinopec エンジニアリング）/燕山分公司のライセンスによる30万 t/y プラントが建設もしくは建設中である。また、DICP/LPEC/Lummus による寧波天元化学（100万 t/y）や河南中科化工公司（50万 t/y）のプラントは従来の DICP/LPEC の技術に Lummus の大型化技術が結合したものと思われる。

中国では第11次5カ年計画の中で、エチレン技術の国産化と新技術の開発推進が上げられている。その重点として、高選択性・高熱効率でメンテナンス周期の長い大型分解炉の開発、先進的な分離技術、高効率の省エネルギー深冷分離技術、接触の水添技術、混合冷却剤冷凍技術などの開発をあげている。上にあげた事例は、これらの開発が順調に進んでいることを示しているのであろう。

5. おわりに

21世紀にはいって、世界のエチレン生産能力は急増している。その中で現在、中国、日本、韓国、タイ、台湾の5カ国がベスト10に入っており、世界の石油化学工業発展に大きな役割を果たしている。これらの国々の石油化学工業の発展過程はそれぞれ異なるものであり、それを石油化学工業の根幹をなすエチレン生産能力と製造技術の変遷から考察しようとした。

これらの国にとって、エチレン製造技術は自前のものではなく、欧米の先進技術を導入して発展させてきたものである。そこには、先進技術を受け入れる土台に差異があり、受け入れる過程での技術移転の方法にも相違がある。

日本、韓国、中国における先進国からエチレン製造技術の受け入れと、国産技術化への過程について考察した。

日本は、一定のエンジニアリング技術を所有していたため、ライセンス・オーナーの基本設計以後の詳細設計などを行うことにより、早い段階で国産技術化を達成した。

韓国は、「技術を選択する技術」がなかったため、ライセンス選択にも自力でできず、基本設計や詳細設計もすべてライセンス・オーナーに委ねたが、生産規模の決定やその後の導入には世界的動向を把握して行い、今日の基礎を築いた。

中国は、1980年代以降に多くの大型エチレンプラントを海外から導入し、旺盛な国内需要に合わせ、石油化学工業を発展させてきた。その過程で、エチレン製造技術を国産化する基礎を築いた。

参考文献と注釈

- 1) 『日本の化学産業技術』、化学工学会編、工業調査会、1997年12月。
- 2) 岩間剛一、中東協力センターニュース、2010年、4/5月号、p60。
- 3) 洪邦夫、大阪経済法科大学論集、第94号、p43、2008年。
- 4) 平成23年度経済産業省委託調査、「平成23年度、経済連携促進のための産業高度化推進事業、インドネシアにおける石油化学産業及び油脂化学産業に関するミッション派遣事業」報告書、2012年2月。(株)三菱化学テクノロジー、2012年2月。
www.meti.go.jp/meti_lib/report/2012fy/E002043.pdf。
- 5) 平成22年度経済産業省委託調査、「平成22年度、経済連携促進のための産業高度化推進事業、インドネシアにおける石油化学産業に関するミッション派遣事業報告書」、(株)三菱テクノロジー、2011年3月。
http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2011fy/E001424-1.pdf。
- 6) 石油化学工業会、『石油化学の50年 一年表でつづる半世紀』、大型化(1965～1973)、p26、2008年6月。http://www.jpca.or.jp/pdf_50year/2-o-gataka.pdf。
- 7) 石油化学工業会、『石油化学の50年 一年表でつづる半世紀』、グローバル化(2001～2008)、p112、2008年6月。http://www.jpca.or.jp/pdf_50year/6_global.pdf。
- 8) 畠秀幸、PETROTECH、第21巻、p428、1998年。
- 9) 吉田雅彦、化学装置、1990年、10月号、p27。
- 10) 松岡孝、PETROTECH、第9巻、p518、p634、1986年。
- 11) 『加熱炉』、化学工学会編、丸善、1971年。
- 12) 池見敏明、柴原智、有崎慶治、日立評論、第48巻、第8号、p63、1967年。
- 13) 近藤洋、内田正之、化学装置、1990年、10月号、p35。
- 14) 藤原正人、配管技術、2004年、9号、p1。
- 15) 大矢耕二、配管技術、2004年、9号、p13。
- 16) 石油化学工業会「石油化学コンビナート」<http://www.jpca.or.jp/62ability/0plant.htm>。
- 17) 『日本の石油化学工業2012年版』、重化学工業通信社、2011年12月。
- 18) 野口雄一郎、『日本のコンビナート』お茶の水書房、1998年、p9。
- 19) 東燃石油化学は外資系であり、エッソ・スタンダードとモービル・オイルが25%ずつ株を保有していたため、エッソの技術を採用した。参考文献18)、p250。
- 20) 出光石油化学は出光興産の子会社で、隣接する出光興産徳山製油所がすべてユニバーサル・オイル・プロダクション(UOP)の方式で建設されているため、ナフサ分解にもUOP法を採用した。特許料も無料で、S&W法よりも安いといわれている。参考文献18)、p83。
- 21) ベルギーのSBA社(Societ Belge del'Azonte)が開発した技術で、ナフサからエチレンとアセチレンを併産するものである。エチレンからPEを、アセチレンからアクリロニトリルを生産することを狙ったものであるが、プロピレンからアクリロニトリルを製造するソハイオ法の登場によって、競争力を全くなくした。参考文献18)、p116。
- 22) Lurgy法は原料として原油でもナフサでも使用することができ、この原料を過熱水蒸気とともに装入して、循環している加熱砂によって熱分解するもので、サンドクラッカーと呼ばれている。参考文献18)、p141。
- 23) 旭化成水島分解炉を既存のシーラスブローン法に加えて、S&W法で増設することを石川島プラントエンジニアリングと契約を内定。

- <http://www.enn-net.com/news2007/070225a.htm>.
- 24) 山本悦治ら、化学経済、1998年4月号、p43.
 - 25) 松浦三郎ら、三菱重工技報、第14巻、第5号、p13、1977年.
 - 26) http://www.jgc.co.jp/jp/06ir/pdf/annual_rpt/2002/section/jgc_ar02j_eigyougaiyou.pdf.
 - 27) <http://www.jgc.co.jp/jp/01newsinfo/2002/release/20021124.html>.
 - 28) <http://www.jgc.co.jp/jp/01newsinfo/2004/release/20040330.html>.
 - 29) <http://www.jgc.co.jp/jp/01newsinfo/2004/release/20040722.html>.
 - 30) <http://www.jgc.co.jp/jp/01newsinfo/2006/release/20060307.html>.
 - 31) <http://www.toyo-eng.co.jp/ja/company/news/2002/020212t/index.html>.
 - 32) <http://www.toyo-eng.co.jp/ja/company/news/2006/060905/index.html>.
 - 33) <http://www.toyo-eng.co.jp/ja/company/news/2006/060530/index.html>.
 - 34) <http://www.toyo-eng.co.jp/ja/company/news/2006/061002/index.html>.
 - 35) <http://www.toyo-eng.co.jp/ja/company/news/2012/20120328/index.html>.
 - 36) NRF-79-3総合研究開発機構助成研究『1980年代における日韓国際分業の動向に関するケース・スタディー-鉄鋼・石油化学・繊維の3業種を中心として-』、(株)三菱総合研究所、1981年10月、p130.
 - 37) 基本設計に含まれるのは、(i)プロセス設計、(ii)プラント機器の種類と生産諸元の決定、(iii)プロセス計算(物質・熱バランス計算など)、(iv)工場のレイアウト。基本設計ノウハウは、プロセスの特許情報と一体不可分のため、基本設計はプロセス・オーナーが行うことが多い。
 - 38) 詳細設計は、基本設計を基に行われ、(i)機器の仕様書、(ii)配管レイアウトの詳細図面、(iii)配管材料の集計、(iv)計装設計、(v)電気設計、(vi)土建設計などを行う。詳細設計の国産化は基本設計よりも容易である。
 - 39) 『東アジアの石油産業と石油化学工業』、東西貿易通信社、2011年、p82.
 - 40) 『東アジアの石油産業と石油化学工業』、東西貿易通信社、2011年、p144.
 - 41) M.C.Chon, Chemical Industry and Technology, Vol. 1, p99.
 - 42) 『中国の石油産業と石油化学工業』、東西貿易通信社、2011年、p82.
 - 43) 韓国石油化学工業会会員社動向、No347、2003年11月6日、<http://www.kpia.or.kr/news/news>.
 - 44) 韓国石油化学工業会会員社動向、No346、2003年11月3日、<http://www.kpia.or.kr/news/news>.
 - 45) 韓国石油化学工業会会員社動向、No1045、2011年8月25日、<http://www.kpia.or.kr/news/news>.
 - 46) 『中国の石油産業と石油化学工業』、東西貿易通信社、2011年、p521.