

# 最近のエチレンプラント用 Selas 分解炉

——特に Selas HS ナフサ分解炉について——

Latest Selas Cracking Furnaces for Ethylene Plants

——Selas High-severity Naphtha Cracking Furnaces——

池見 敏明\*  
Toshiaki Ikemi

柴原 智\*\*  
Satoshi Shibahara

有崎 虔治\*\*  
Kenji Arisaki

## 要 旨

石油化学工業の基幹原料であるエチレン、プロピレン、ブタジエン、芳香族成分などを製造するエチレンプラントにおいて、エチレン用ナフサ分解炉のはたす役割はきわめて重要である。ことにエチレン原料としてナフサを使用しているわが国においては、ナフサ分解炉の優劣が、全石油化学製品の価格を決定しているといっても過言ではなく、一方最近ではナフサ事情の悪化と国際競争力の強化の両面から、分解炉に対する関心がますます高まっている。

本稿では Selas ナフサ分解炉について、特に最近話題の多い High Severity ナフサ分解炉に重点をおいて概説する。

## 1. 緒 言

ポリエチレンをはじめ各種オレフィン誘導体の急速な需要増加に伴って、世界のエチレン生産能力は、現在の 720 万 t/y が、1967～1968 年までには、1,650 万 t/y に増加するといわれている。一方わが国でも 1958～1959 年にはじめてエチレンの本格生産が開始されて以来、わずか 10 年にもならないうちに、早くも 150 万 t/y もの生産設備を保有することになる予定であり、現在計画中のものをも含めると、ここ数年のうちに 200 万 t/y を越える勢である。

この間、設備の大形化、新しい理論の展開、新技術の開発が相ついで行なわれ、エチレン価格中に占める設備費の割合は 10 年前の約 1/3 に低下したといわれているが、なかでも近年特に技術面での進歩開発が目ざましいのは、新形炉によるナフサ分解技術の出現である。アメリカと異なり、エチレン原料を主としてナフサに依存しているわが国およびヨーロッパでは、高エチレン収率を目標に開発された新形ナフサ分解炉 —High Severity 分解炉— の出現が非常な関心を呼んでいる。

High Severity 分解炉(HS 炉)は Selas Corporation of America (Selas) が西ドイツの Rheinische Olefinwerke (ROW) に設置して開発した工業規模の実験炉と、これに引き続いて 1964 年にエチレン 20 万 t/y 生産用として建設した 15 基が、管状の HS 炉における本格工業化の世界最初のものである。これとほとんど同時期に、Royal Dutch Shell も Lummus と共同で HS 炉の開発に着手し、最近実用炉が西ドイツで稼動を開始したといわれている。また、エチレンプラントではわが国でもっともなじみの深い Stone & Webster (SW) は、Hercules Powder と共同で開発した二重管構造の新形炉を大協和石油化学株式会社に試作的に設置、現在ほぼ順調に稼動中であるが、分解ガスの熱利用の面で今後問題が残されている。そのほか Foster Wheeler, Esso Research Engineering, Kellogg などそれぞれ独自に HS 炉の開発を行なっていると聞くと、各社とも高度の秘密を保持しているため詳細は不明である。また管状炉以外では Lurgi のサンドクラッカが著明である。

日立製作所はかねてより、エンジニアリング会社およびプラントメーカーとしての立場から、エチレンプラントに対して積極的な態度でのぞみ、その一つの現われとして、完全な自社技術によるエチレン深冷分離装置を開発し、すでに工業装置を世に送ったが、ナフ

サ分解技術については、技術、実績とも世界でもっとも卓越している Selas との技術提携により、わが国はもとより近傍アジア諸国における独占実施権を確立した\*。

本稿ではエチレン用 Selas ナフサ分解炉について、ことに最近話題の多い HS 炉を中心にその概要を述べる。

## 2. ナフサ分解炉の問題点と HS 分解炉出現の背景

前述のようにわが国のエチレン生産量は増加の一途をたどっているが、エチレン業界の目下の最大関心事は、原料ナフサ対策とエチレン価格の引下げであろう。対ナフサ問題は単に業界のみならず、官民一体となつての抜本的対策が必要である。

エチレン価格の低減を支配する技術的分野での重要な因子は、分離精製関係の技術がほぼ頂点に達した現在では

(1) プラントの規模の大形化

(2) 対ナフサ分解率の向上

の二つに集約される。資料<sup>(1)</sup>によれば、管式分解炉を組み込んだエチレンプラントの場合、5, 10, 20 および 30 万 t/y の設備から得られるエチレンの販売価格の比は 1.6:1.3:1.1:1.0 である。このような現象はエチレンプラントに限ったことではないが、仮に現在のエチレン取引価格を 40 円/kg とした場合、20～30 万 t/y のエチレンプラントの出現によって、kg 当たり 20 円代の価格が生ずる理で、大形化の魅力は大きい。わが国でも 20 万 t/y クラスの計画がうわさされているが、当然の帰結といえよう。

プラントの大形化に伴い、分解炉もまた大形化を要望されることとなるが、炉の場合は、ほかの機器類(たとえば圧縮機、塔、熱交換器)とは異なって、大形化による経済性はさほど目だつて向上しないことと、逆にデコーキングの際の一時的な生産量の大幅低下の防止、減産時への配慮および種類の異なったナフサの同時使用に対する適応性などから考えて、今後とも多数並列設置の方式がとられるであろうから、極端な大形化は要求されない。とはいえエチレンプラントが出現した 1950 年初期にはナフサ分解炉 1 基当たりたのエチレン生産量は 5,000 t/y 程度であったものが、現在では約 4 倍の容量に大形化されている<sup>(2)</sup>。しかしながら炉自体の単位容量の増大化は、ある程度限界に近づいたと考えられる現段階では、当然の成り行きとして、もっとも問題となり重要視されるのはエチレン収率の向上である。

\* 日立製作所化学プラント事業部 理博

\*\* バブコック日立株式会社呉工場

\* Selas との技提内容は、エチレン用分解炉に限らず、改質炉などをも含めた広範な化学工業用炉全般にわたるものである。

表1 エチレン分野における Selas の歴史

1952年	C <sub>2</sub> /C <sub>3</sub> 分解炉を納入
1957年	ナフサ分解炉1号機を納入 (Naphtha Chemie 向)
1960年	最初の 4-pass 炉を設計 (Good year 向)
1962年	4-pass 炉を納入 (SW 経由 CFR 向)
1963年	ガス/油混焼炉を納入 (top outlet 方式)
1963年	実用規模のHSナフサ分解試験炉を運転 (ROW)
1963年	ガス/油混焼炉を納入 (bottom outlet 方式)
1964年	ナフサ熱焼用ふく射バーナ開発
1964年	最初の実用HSナフサ分解炉を納入 (ROW 向)

表2 わが国における Selas 分解炉の実績

納入先	運転開始時	原料	基数	プロセス
三井石油化学株式会社	'58-12月	ナフサ	2	SW
住友化学株式会社	'58-12月	ナフサ	2	SW
日本石油化学株式会社	'59-6月	ナフサ	7	SW
三菱油化株式会社	'59-6月	ナフサ	3	SW
三菱油化株式会社	'62-3月	エタン	1	SW
日本石油化学株式会社	'62-2月	ナフサ	1	SW
三井石油化学株式会社	'62-2月	エタン	1	SW
住友化学株式会社	'62-3月	エタン	1	SW
出光石油化学株式会社	'62-3月	ナフサ	8	UOP
出光石油化学株式会社	'62-3月	エタン	1	UOP
大協和石油化学株式会社	'62-3月	エタン	1	SW
丸善石油化学株式会社	'66-3月	ナフサ	6	SW
丸善石油化学株式会社	'66-3月	エタン	1	SW
出光石油化学株式会社	('66-10月)	ナフサ	2	UOP
三井石油化学株式会社	('67)	ナフサ	10(HS)	SW
三井石油化学株式会社	('67)	エタン	1	SW

表3 Selas HS ナフサ分解炉の実績

	(1965 年末現在)
ROW (No. 4)	15
Scholven Chemie	15
ICI (オーストラリア)	4
Israel Petrochemical	1
三井石油化学株式会社	10
	45 基

エチレン収率の向上は、悪化する原料問題による、エチレン価格低減の困難性に対する解決の原動力となるのみならず、一方では分離精製系設備の縮小、動力原単位の向上などと相まって、ますますその重要度を増大しつつある。

このような背景から、エチレン分解率の向上を最大課題とした HS 分解炉が開発され、その結果従来 18~20% 程度であったエチレン収率は 28~33% に飛躍的に向上した。HS 炉では、比較的利用度の低いプロピレンは、エチレンの半量程度しか生成せず、さらに C<sub>4</sub> 留分については生成量は従来炉と大差ないが、そのうちのブタジェン含有量は 40~50% に倍増、また芳香族成分も増加する。このように HS 炉は、現在のわが国の誘導品利用度とも良くマッチした数々の利点、特長をもっており、ますますその真価を発揮しつつある。

### 3. Selas 分解炉の歴史と実績

エチレン分野における Selas 分解炉の歴史は、そのまま近代エチレンプラントの歴史につながるほどに古い。一般工業用炉の総合メーカーである Selas が、初めにエチレン用分解炉を手がけたのは、1948年の Gulf Oil の分解炉の建設に関与したときであったという。しかし本格的なエチレン用 Selas 分解炉が世に出たのは 1952 年で、Dow Chemical 向けのものが最初である。爾来、横形管式分解炉は Selas 形と呼ばれるほどに名声を高めたが、これほどまでに Selas の名を高からしめたのは、その真しな炉一筋に徹した優秀な設計および製作態度と卓越した技術のたまものであるが、一方 Selas が独自で開発した著明な無火焰カップバーナ (Selas Duradiant Burner®) の貢献を無視することはできない。

いうまでもなく初期の分解炉はプロパンなどの単純炭化水素を原料とするものであったが、1957年には最初のナフサ分解炉を世に出し、以後表1のような歴史を経て今日に至っている。この間全世界で採用されたエチレン用 Selas 分解炉の総数は 1965 年末現在で 322 基、世界のエチレン総生産量の 72% を占めている。

わが国のエチレンプラントは SW 法が圧倒的に多いが、SW がこれまでわが国で自己のプロセスに組み込んだ分解炉は多くは Selas 炉である。ただ、一時的に自社設計になる SW Model-B を持ち込んだことがあったが、分解炉自体の経済性と分解率の点で時勢に押され、現在では HS 炉を含めて Selas 分解炉を採用している\*。

HS 炉については、わが国ではいまだ経験が浅く、わずかに前述の SW-Hercules の HS 炉およびサンドクラッカ各 1 基が稼動中であるにすぎないが、近く三井石油化学株式会社で稼動予定の 12 万 t/y エチレンプラント用 Selas HS 炉 (10 基) が、わが国における本格的な HS 炉の先べんとなるであろう。わが国における Selas 分解炉の実績は、表2のように、現在建設中のものを含めると約 50 基に達している。

次に Selas の HS 炉開発の経緯について概説すると、1960 年 Selas は、西ドイツ ROW の No. 3 エチレンプラント用に計 7 基のナフサ分解炉を納入した (精製系は C. F. Braun)。これらの分解炉は従来の Low Severity (LS) 分解炉であるが、ROW は次期 No. 4 プラントの建設を計画するに当たり、よりエチレン収率の高い分解炉の設計製作を Selas に依頼した。Selas は前記要望に応えるために、ROW に納入した Selas 炉にとっては第 8 号炉にあたる HS 実験炉を建設し、HS 分解に必要な数々の技術データの集積と解析を行なったのち、20 万 t/y の No. 4 プラント用として実装置 15 基を納入 (1964 年)、現在順調に稼動している。

ROW の前記実験炉は約 1 年半にわたって運転されたが、これと平行して Selas の本社工場でも別のパイロット装置によって HS 分解の研究が行なわれた。このパイロットによる結果の一部は ROW の実用規模の試験炉で確認運転を行なうなどして、ROW 試験炉では 10 種類のナフサについて 500 種の、また本社パイロットでは 20 種類のナフサについて 350 種の分解テストが行なわれ、理論、実験、設計製作技術の各分野にわたる徹底的な研究がなされた。こうして得られた成果は、昨年末現在ですでに表3のように 45 基の Selas HS 炉の実績となって現われているが、最近の情報では、ROW は No. 5 エチレンプラントにも Selas HS 炉の採用を決定した由である<sup>(3)</sup>。

### 4. Selas 分解炉の構造と特長、利点

Selas 分解炉の構造を、もっとも一般的な図 1 について概説すると、まず、炉体はふく射部と対流部とに大別できる。いうまでもなく炉の最重要部は反応管を内蔵したふく射部であるが、分解しようとするナフサなどの炭化水素原料は、燃焼ガスの熱利用部である対流部に炉頂より導入されて、ここで予熱される。一方分解時に必要な稀釈用水蒸気もこの対流部に供給し、過熱水蒸気としたのち、前記予熱後の原料と混合して対流部の管内を下降する。次にふく射部の炉中心部に千鳥配列で水平に設置されている反応管に導かれるが、ふく射部と対流部との境界付近に、通常 shock zone といわれている部分がありこの部分で反応開始寸前の温度まで加熱される。

この shock zone は後述する crossover temperature の調節に欠くことのできない重要部分である。

原料は続いて二列に並んだ反応管にはいり、炉側壁に配列されたふく射バーナによるほとんど完全なふく射加熱で、所定の熱分解が

\* 最新のものは三井石油化学株式会社 (12 万 t/y) 用 Selas HS 分解炉。

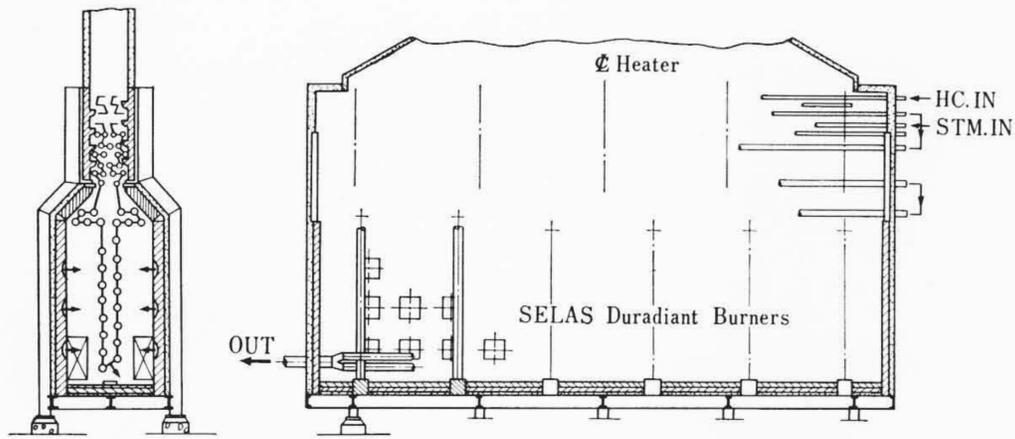


図1 Selas ナフサ分解炉 (2-pass)

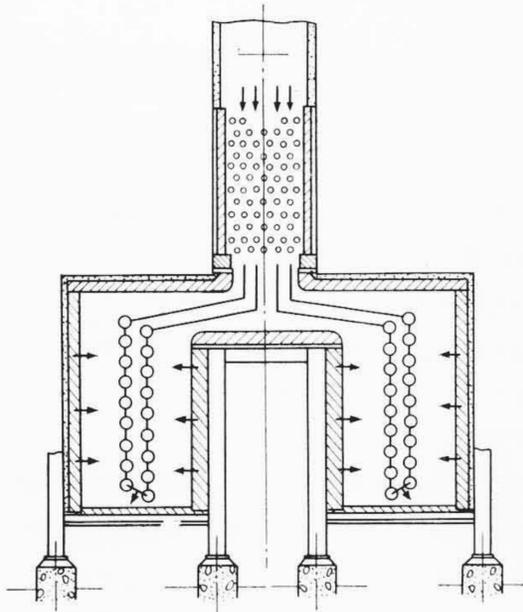


図2 Selas ナフサ分解炉 (2-pass Double Cell)

行なわれたのち、炉底部より外部に導かれる。炉内の反応管およびその上部に連結している対流部の管は、通常図1のように2系列より成っており、これが現在の Selas 分解炉の基本形である。このような形式を2-passと呼ぶが、最近では大容量化に対応して4-pass, 6-passなどの multi-passが開発され、4-passはすでに実用化されている\*。しかし本格的な大容量 HS 炉においては、これらの multi-passでは炉の長さが非常に増大すること\*\*および各 passの完全な同一加熱状態が得にくいことなどの理由から、大容量化と建設費の経済性を兼ねそなえた図2のような2-pass double cell (または twin cell) 形を採用している。この場合はふく射部反応管の上部約30%が shock zone に相当する。

Selas 分解炉は Selas Duradient バーナを使用した図1, 2などを基本形としているが、使用燃料が duradient バーナの使用可能限界を越える場合、たとえば分解重油などを燃料として併用するような場合には、最もデリケートな温度調節を必要とする下部の出口部分に Selas Duradient バーナを使用し、ふく射部上部に油用または油/ガス混焼バーナを使用した図3の構造とする\*\*\*。

なお対流部には前述の原料予熱管や水蒸気過熱管のほかに、エコノマイザ(たとえばボイラ供給水加熱)をも組み入れることが多い。対流部を通過した燃焼ガスは、炉頂部の自立煙突より自然通風で外気に放出するか、または共通ダクトに集めてファンにより強制排気される。

反応管には従来ステンレス鋼、インコイなどが主として使われてきたが、最近、特に HS 炉にあっては主として 25/20 鋼(Cr25%, Ni 20%)の遠心鑄造管が使われている。過去にも一時的に 25/20 材が使われたことがあったが、当時は遠心鑄造技術が今日ほど進歩していなかったため、いわゆる不健全肉厚部の問題その他で難点があったので、最近まではインコイが主軸をなしていた。しかし前記

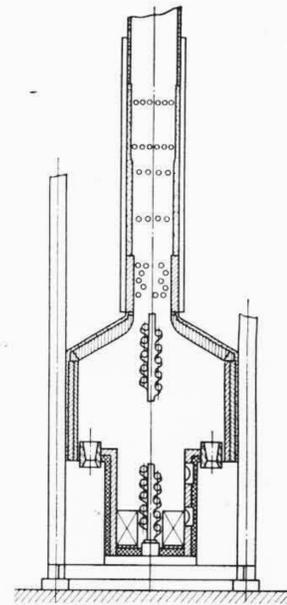


図3 Selas ナフサ分解炉 (Combined Gas/Oil Firing)

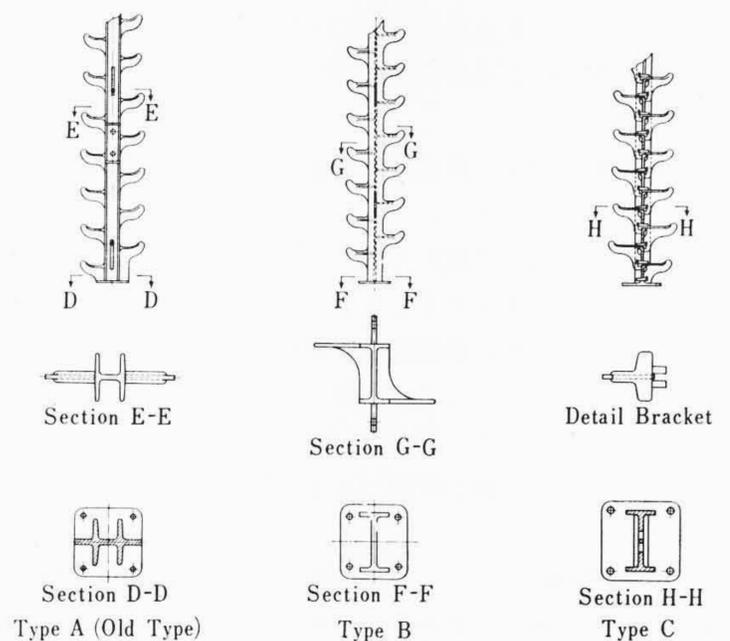


図4 反応管支持台の形式

難点が解消した現在では、高温時総合特性の良好な 25/20 がおもに使われている。

反応管をささえる tube support は、ますます上昇化する炉内温度と大形化に対応して、材料、形状の両面から種々改良が加えられ、最近の、ことに HS 炉においては従来の 25/20 などよりもさらに耐熱性の高い材料として開発された、第3成分のはいった特殊材も使用されている。また形状の面では図4に示すAタイプの従来形は姿を消し、BまたはCタイプが用いられており、変形などの欠陥が除かれた。

反応管の末端出口部は旧形では各 pass ごとに各個に炉外に出ていたが、最近では高温化とともに、炉外における transferline exchanger との連結配管内の滞留時間などが重要視されること、および配管に便利なように、2-pass, 4-pass とともに出口管は特殊な集合管と炉内で溶接一体化して一本で炉外に出る構造になっている。

次に熱分解においてもっとも重要な反応管の加熱には、しばしば述べたように、特色ある Selas Duradient バーナが用いられる。Selas バーナの一例を図5に示す。

\* Compagnie Française de Raffinage (CFR) および丸善石油化学株式会社などに納入した Selas ナフサ分解炉はこのタイプの 4-pass である。

\*\* 標準タイプの 2-pass では反応管の単位長さは約 10 m であるが、4-, 6-pass ではそれぞれ約 15, 18 m となり、高さも高くなる。

\*\*\* 丸善石油化学株式会社第二エチレンプラントに納入した分解炉(6基)はこの形式である。

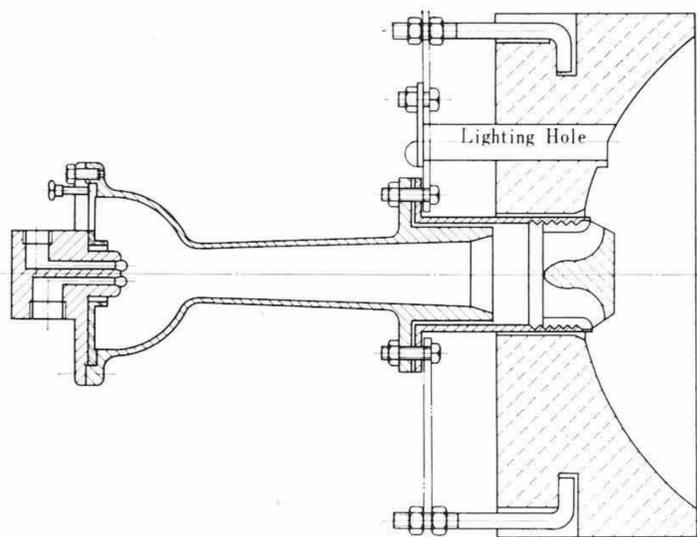


図5 Selas Duradiant Burner

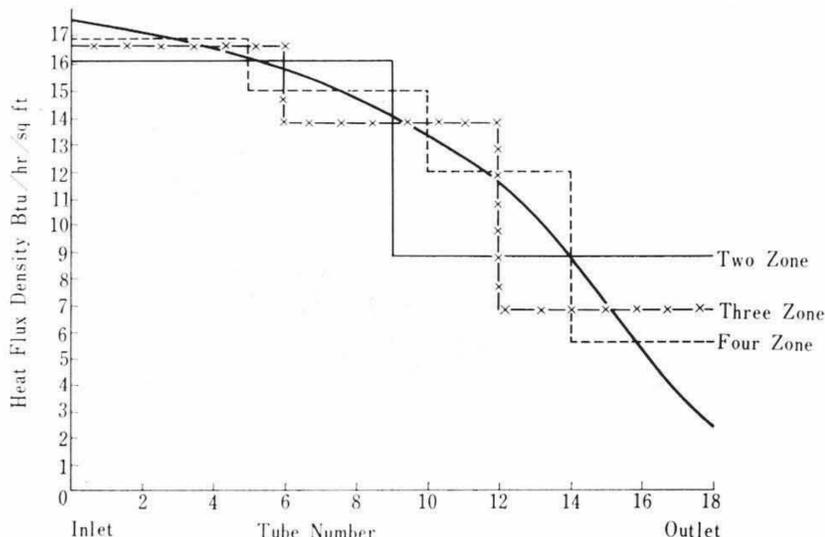


図6 プロパン分解における理想的 Heat Flux 曲線

このバーナの特長のおもなものをあげると、

- (1) きわめて少量の過剰空気(わずか2%以下)で完全燃焼し、燃焼ガスによる管そのほかへの悪影響がない(たとえば酸化など)。
- (2) 燃料組成および供給量の変動など、燃料の熱量変化に対する適応性が大きい。
- (3) 無火炎状態の燃焼が可能で、また安定であるためふく射面を局部的に集中することができる。
- (4) 空気と燃料比の調節機構が簡単で、その操作も容易である。
- (5) 火炎を生じないので、炉壁と反応管の距離を非常に小さくすることができ、炉がコンパクトになる。
- (6) 急速加熱、冷却が可能である。

などである。

さて、この Selas バーナは反応管と平行に配置されているが、その配列は、熱分解に必要な管内の吸熱量こう配に応じた適切な温度制御に最も適した位置に配置されている。一般に上記最適加熱制御には、いわゆる zone control 方式がとられ、たとえば Foster Wheeler の分解炉では 3-zone control を行なっている。Selas 分解炉は反応管の本数と配置配列に対応して数列のバーナ配列をとり、簡単なバーナ操作と、その特長を生かして 4-zone control 方式で設計されている。また Selas 炉は横形 down flow であるため、反応管は最も大きな heat flux を必要とする入口部が炉上方にあり、微妙な高温調整を必要とする出口部分は炉底部にあってほとんど燃焼ガスの影響をうけない完全ふく射加熱である。このためいっそうコントロールが正確にできる。図6は炭化水素分解における所要 heat flux の理想曲線と、2-, 3-, 4-zone control の関係を、プロパンの場合について示したもので、この図より 4-zone control の利点が理解されよう。

なお、Selas Duradiant バーナの操作により、cold spot を生ずることなく均一な安定した加熱が得られるとともに、原料の変動や、分解ガス組成の変更要求に即応して、運転条件をすばやく変更できることも Selas 分解炉の大きな特長の一つである。

そのほか Selas 炉では、高い flexibility、運転保守の容易なことなどいろいろな特長があげられるが、ここでは割愛する。

### 5. 横形ナフサ分解炉の利点

管式分解炉は、反応管の配置配列によって、横形と立形の二形式に大別できるが、前述のように Selas 分解炉は典型的な down flow 形の横形水平管方式である。

最近管式ナフサ分解炉の管配列について、横形か立形かの論議がにぎやかであるが、分解反応の本質そのものは管の配列には無関係

である。しかし炉の構造、加熱方式および加熱状態の差異、反応管の支持法、対流部との関連、transferline exchanger との関連、運転および保守の難易、および建設費など、分解反応の本質以外の因子にもとづくそれぞれの形式の特長、優劣は当然出てくる。そこで本項では Selas 炉で代表される横形ナフサ分解炉と立形分解炉との代表的な相異点と得失を簡単に述べると、

#### (1) 対流部の均一加熱性

横形炉の場合の対流部は各ゾーンが非常に均一に加熱される。なんとなれば、ふく射部からの燃焼ガス流による対流部の温度は、各水平断面において同一の分布となる。これに対し、立形の場合は、反応管(ふく射部)は縦配列であるが、対流部のみは横形と同様の水平管構造であるゆえ、反応管の入口側と出口側のそれぞれの燃焼ガスの流の間に生ずる温度差のために、対流部の水平管は不均一加熱とならざるを得ない。したがって出口側上方の対流部は必要以上に高温にさらされる結果、高級な材料を使用しなければならぬし、事故も多い。

#### (2) 反応管温度の連続的均一性

Selas 炉は down flow の形式であり、かつ水平反応管の両側から管と平行に配列されたふく射バーナによって加熱しているから、反応管の入口部、出口部などのそれぞれのゾーンは完全に連続的に加熱される。これに引き換え立形炉は、反応管がふく射加熱のみの下部と、燃焼ガスによる対流影響の多い上部との間を往復するために、cold spot や hot spot ができやすい。このことは部分的なカーボンの発生付着、部分的な管の熱損傷などの好ましくない結果を招くのみならず、flow にそった温度こう配が、階段状となるために、前述した zone control にも重大な支障をきたすこととなる。

#### (3) コーキングおよびデコーキング

立形においては反応管下部と上部のベンド間の温度を一定に保持しがたいために cold spot ができやすく、このためにコーキングを起しやすことは前述したが、デコーキングの場合にも問題が多い。たとへばデコーキング操作中に下部ベンドに落下したコークスを炉外に排出するためには、横形炉に比べて単位時間当たり 3~4.5 倍量の空気または水蒸気を用いて、非常に速い速度とする必要がある。このことは完全なデコーキングを困難にするだけでなく、ベンドの浸食をも助長する結果を招く。Selas 炉は、もともと down flow 形式であるからこのようなトラブルはない。また一般に、同じ管長、同一 heat flux の場合、横形炉は return ベンドの数が少なくすみ、管内の圧力降下も少ない。

#### (4) Tube Support

当然のことながら、立形の場合は反応管の支持方法が複雑とな

表4 Selas HS ナフサ分解炉による分解ガス組成例 (wt %)

H <sub>2</sub>	1.0	0.9	1.0
CO	0.2	0.3	0.2
CH <sub>4</sub>	19.2	17.6	19.3
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0.5	0.35	0.5
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	30.0	28.0	32.4
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	5.3	4.9	5.3
C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	0.35	0.4	0.4
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	16.1	13.2	16.5
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.6	0.4	0.5
C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	4.4	4.6	4.7
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	4.8	3.8	4.2
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.3	0.3	0.3
C <sub>4</sub> A <sub>e</sub>	0.1	0.1	0.1
ガソリン	14.5	17.60	14.7
残油	2.5	7.55	
出口温度 (°C)	845	845	850
ナフサ			
IBP (°C)	37	43	37
EBP (°C)	110.5	166	110
Sp. gr.	0.6655	0.701	0.666

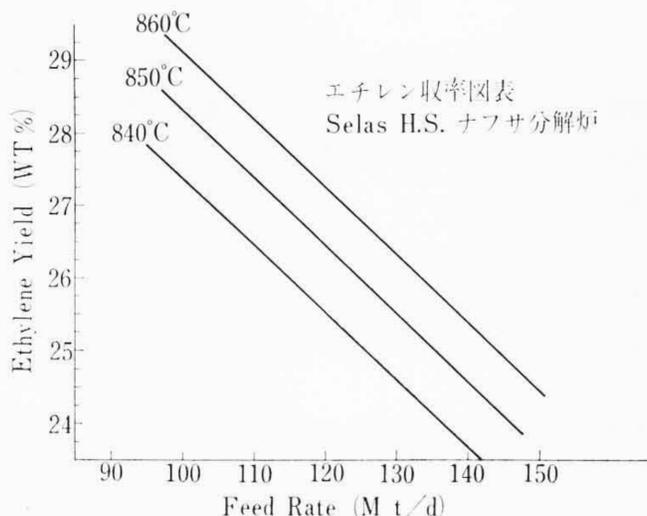


図7 Selas HS ナフサ分解炉における原料供給量とエチレン収率の関係

る。たとえば上部のつり装置を炉内に設ければ、複雑な機構のために熱的トラブルを起こしやすく、炉外に設置すれば、上部ベンドが cold spot になりやすい。横形の場合は材質の選定さえ適切であれば、構造が簡単で問題が起りにくい。

などがあげられる。もっとも横形の場合にも弱点がないわけではない。たとえば代表的なものとして、横形水平管は自重および内容物の重量のために、加熱によって若干下方に湾曲することが指摘されるが、炉の運転をおびやかすような重大な欠陥とは考えられない。

## 6. Selas HS ナフサ分解炉の特長

炭化水素の熱分解によって生ずる分解ガスの組成は、分解温度と加熱時間に著しく影響される\*。一般に 600~800°C 程度の温度条件では、ナフサ分解ガス中のエチレン、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub> の量は分解温度に比例して上昇するが、それ以上の高温になると、エチレンの量がふえるが、反面 C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub> は急激に減少する。また利用度の低い水素、メタンなどのいわゆる dry gas が急増するとともに、カーボンの生成が著しくなるという好ましくない現象が起こる。したがってナフサ分解におけるエチレン収率向上の問題は、単に分解温度の上昇だけではすまされないむずかしさを内蔵しており、新しい理論の適用に基づいた HS 分解技術が必要である。

Selas 炉のような管式分解炉における新しい考え方の要点は、二次的に副生する縮合環状化合物が管壁に集中して炭化することなどの、好ましくない現象を防止するために、管内の炭化水素の滞留時間を短くし、一方では管壁の温度を高めることにある。従来の LS

表5 Selas LS, HS 炉におけるエチレン/プロピレン比および dry gas 比

	反応管出口温度	エチレン/プロピレン	dry gas 比*
LS	820°C	1.8	0.75
HS	820°C	1.6	0.63
LS	850°C	2.3	0.80
HS	850°C	2.1	0.67

\* H<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>

炉での管内滞留時間は 0.7~1.5 秒程度であったが、Selas HS 炉では 0.3~0.5 秒に短縮されている。管壁温度を高くするためには、分解反応が吸熱反応であるために、熱をいかに速く管内に伝えるかが問題となるが、Selas HS 炉においては Selas Duradiant バーナの有効使用によって heat flux を増加させる方法をとっており、管の表面積当たりの heat flux はほとんど完全なふく射加熱により 20,000~25,000 BTU/h/ft<sup>2</sup> に達している。

表4に Selas HS 分解炉での分解ガス組成例を示す。

さて、一般に分解炉に対しては、原料事情、生成物誘導品の製品市況の変動などに対応できるように、エチレンの生産量、副生物の生成比の両面にわたり高い flexibility が要求されるが、HS 炉の場合も例外ではない。したがってまず、Selas HS 炉の flexibility について説明する。

図7に示すように Selas HS 炉における、ナフサ供給量とエチレン収率の関係は、各分解温度ごとに直線関係にあるが、今仮に分解温度 850°C でナフサ供給量を 100 t/d とした場合のエチレン収率およびエチレン生産量は、それぞれ 28.3% および 28.3 t/d である。これに対して分解温度をそのまま 850°C とし、ナフサ供給量を 140 t/d にふやす(滞留時間短縮)とエチレン収率は 24.5% に低下する。しかしこの場合のエチレン生産量は

$$140 \text{ t/d (ナフサ)} \times 24.5\% = 34.3 \text{ t/d (エチレン)}$$

と増加する。

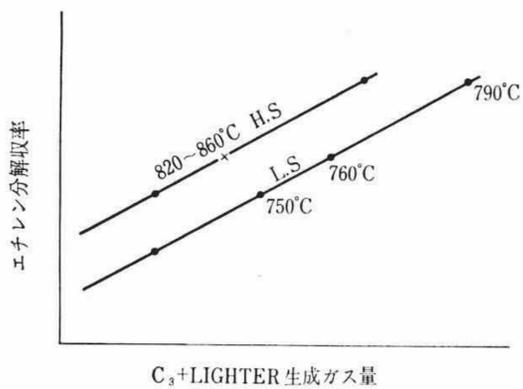
今度はナフサ供給量を 140 t/d として、分解温度を 860°C に上げると、分解率は 25.4%、エチレン生産量は 35.6 t/d とさらに増加する。このようにナフサ供給量や温度条件の変更など、運転条件の調節により非常に flexible なエチレン生産が可能である。言うまでもなくこのような操作による変更は、エチレンのみならず、これと関連したほかの副製品の生産にも適用できるから、そのときどきの市場変化に応じたさまざまな弾力性のある経済運転が確保できる。

上述のように分解温度を上昇せしめてエチレンの収率を向上させることは、LS 炉でも可能であるが、しかし滞留時間の長い従来の LS 炉では、温度上昇とともにプロピレンの生産量が低下するとともに、dry gas 量が増加する。表5は Selas LS 炉および HS 炉におけるエチレンとプロピレンの生成比および dry gas 比 (H<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) の比較例であるが、dry gas 比が大きいと、分解ガス圧縮機をはじめとし、分離精製系設備のコスト高および動力原単位の増加を招く結果となる。Selas HS 炉の場合は、むしろ従来炉以上に dry gas 比を押えることができ、はなはだ経済的である。

さらに理解を深めるために、Selas 炉における分解ガス中の、C<sub>3</sub> 成分以下の軽いガスの生成量に対するエチレン収率の関係を模式的に図示すると図8のようになる。C<sub>3</sub> 以下のガス生成量を一定とした場合のエチレン収率は、LS 炉に比べ HS 炉は図のように増加し、HS 炉の経済性を如実に示している。

Selas HS 炉のもう一つの特長は、分解温度が高いにもかかわらず、表4でもわかるようにプロピレンの収率低下の度合いが比較的

\* 実際には圧力の影響も無視できないが、ここでは略す。



注) 1) 原料 B.P. 40°C~120°C 直留ナフサ  
2) 本図は模式的に表現したものであるため横軸は NOT. SCALE である。

図8 C<sub>3</sub>+Lighter 量とエチレン収率の関係

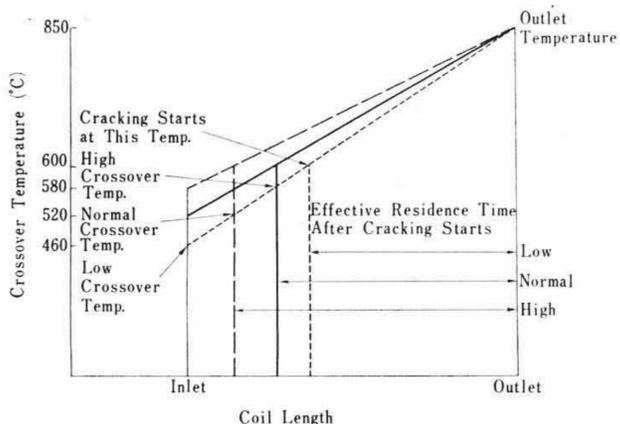


図9 有効滞留時間における Crossover Temperature の効果

少ないことである。エチレンとプロピレンの生成比は、使用者の要求に応じて変更できるが、Selas HS 炉は他社のそれに比べてプロピレンの収率が高目である。これらのことは、炉の設計技術の面から見ると非常に困難なことであるにもかかわらず、Selas は良くこれを克服して、エチレンなどの生産価格を有利にしている。

エチレンの生産量および分解率にもっとも関係の深い、ナフサ供給量と管内滞留時間の調節、および分解温度分布に関して、分解温度とならんで重要な因子は crossover point (実際に分解反応が開始される点) の設定と crossover temperature の調節に対する弾力性の有無である。一般に分解温度とは反応管出口温度を指しているが、この温度だけで分解反応を正しく規定できるものでないことは言うまでもない。

crossover temperature の問題は、炉の条件が過酷になるほど重要度を増すが、Selas 分解炉は完全に近い zone control が可能であることから、同一炉で、設計変更を行なうことなしに適切な任意の点で安定した crossover temperature を保持することができる。crossover temperature の変更が、滞留時間(真の分解反応時間)に

表6 Crossover Temperature の影響

実験 No.	329	333	339
反応管出口温度 (°C)	860	860	860
Crossover temp.	530	550	590
C <sub>2</sub> (wt %)	25.5	26.7	25.2
H <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> (wt %)	18.3	17.5	21.0
Dry gas 比	0.72	0.73	0.84

およぼす効果は図9に示すとおりである。

一般に Selas HS 炉は 460~580°C の間で自由に crossover temperature を変えられるように設計されており、したがって滞留時間をも広範に変化させることができる。

表6は crossover temperature の効果を、実際の Selas HS 炉で実測した結果であるが、このデータでもわかるように、単に反応管出口温度を変えるだけでなく、適切な crossover temperature を保つことによって、はじめて最高のエチレン収率が得られるのである。

### 7. 結 言

Selas との技術提携が正式に認可となった機会に、エチレン用 Selas 分解炉—特に HS 分解炉—について概説したが、ナフサ分解技術の最近の進歩は目ざましいものがある。しかしわが国では急速にナフサ事情が悪化しており、したがってまだまだ現在の分解技術で十分というまでには至っていない。今後はナフサ用 HS 炉の技術を基盤として、さらに重質な原料の分解が重要な課題となるであろうが、Selas ではこれらの重質油についてもかなりの研究を進めているといわれている。

また分解炉と関連して見逃がせない問題は、炉と transferline exchanger とを結ぶ一連のクエンチおよび廃熱回収系の、信頼性のある技術の確立である。従来クエンチシステムのエンジニアリングはだいたいにおいて精製系のエンジニアリング会社が担当していたが、HS 分解においては、むしろクエンチシステムは炉の一部とみなすのが適当であり、目下われわれは真剣にこの問題の解析と検討を行なっている。しかし紙数の関係で割愛した。

終わりに、本稿に使用した数々の資料は、大部分 Selas から提供された技術情報に基づくものであることを付記し、Selas の関係各位に謝意を表する次第である

### 参 考 文 献

- (1) European Chemical News, 10, 16, (1964), Supplement
- (2) 平戸: 石油学会誌, 9, 39 (1965) などを参照
- (3) Selas からの情報による。