

プロピレンオキサイド製造技術の 動向と展望



住友化学株式会社

石油化学品研究所

川 端 智 則

山 本 純

千葉工場

小 池 弘 文

吉 田 周 平

Trends and Views in the Development of Technologies for Propylene Oxide Production

Sumitomo Chemical Co., Ltd.

Petrochemicals Research Laboratory

Tomonori KAWABATA

Jun YAMAMOTO

Chiba Works

Hirofumi KOIKE

Shuhei YOSHIDA

Sumitomo Chemical Co., Ltd. has developed a propylene oxide (PO)-only manufacturing process where cumene acts as the oxygen carrier, which has a high reputation as a production method that offers distinct advantages of a high PO yield and superior stability in plant operation. In this article we outline the trends in PO manufacturing technology, and also introduce the status of licensing activities and features of the Sumitomo Chemical process.

はじめに

プロピレンオキサイド (PO) は、世界で1,000万吨以上生産されている主要工業製品である。その用途の約70%はポリエーテルポリオール (ポリオール) として各種ウレタン原料、約17%はプロピレングリ

コールとして不飽和ポリエステル原料、食品添加剤、化粧品などに使用される (Fig. 1)。特にアジアを中心としたウレタン需要の伸びが著しく各国のPOメーカーは相次いで新設プラントの稼働計画を発表している (Fig. 2)。POの世界の製法別の生産割合をFig. 3に示す。

PO applications:

Polyether polyols 68%, Propylene glycol 17%, Others (Glycol ether, Surfactants) 15%

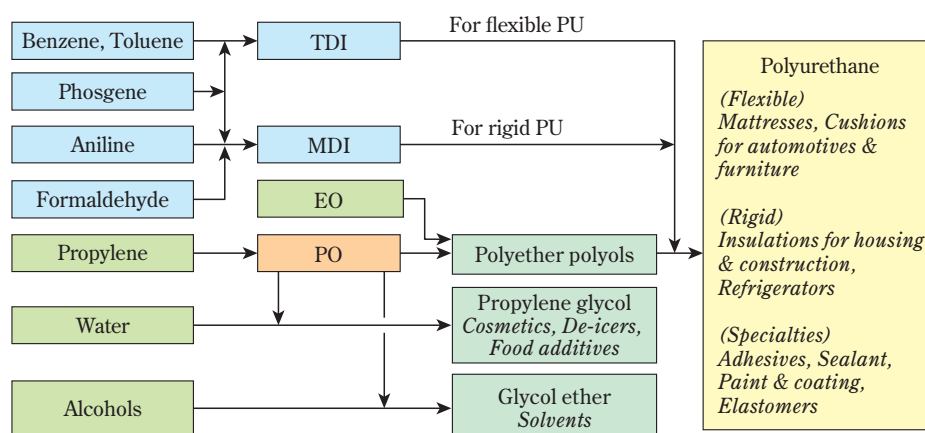


Fig. 1 Main applications of PO and market outlook

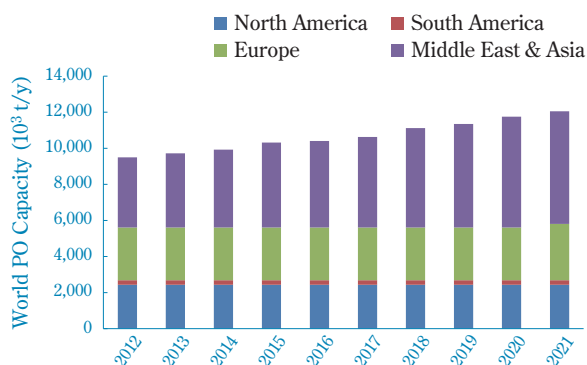


Fig. 2 Forecast world PO production capacity (estimated by Sumitomo Chemical Co., Ltd.)

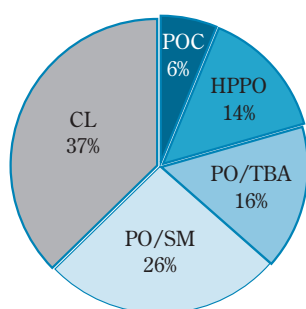


Fig. 3 PO production technologies (2018) (estimated by Sumitomo Chemical Co., Ltd.)

現在工業化されているPO製造方法は、その開発の歴史から3つの方法に大別される。第1世代は塩素を用いPOを生産する塩素法（CL）、第2世代は有機ハイドロパーオキシドを用いPOとともにスチレンモノマー（SM）や*tert*-ブチルアルコール（TBA）のような併産品を生産する併産法である（PO/SM、PO/TBA）。いずれの製法も副産物の処理の問題や、経済性が併産品の市況に左右される等の問題を抱えており、併産物を伴わず、環境にやさしい新規な単産法の開発が望まれてきた。その結果、第3世代の製法であるクメンを酸素キャリアとして循環再利用する製法（POC法）と過酸化水素法（Hydrogen Peroxide to Propylene Oxide法；HPPO法とも言う）が工業化されるに至った。2015年以降の生産能力20万トン／年の新設プラントでは、第3世

代の製法が全体の生産能力の半分以上を占めている。

当社は1998年に新規エポキシ化触媒の開発に成功したことを契機に、POC法の技術確立に成功し、2003年に千葉工場において15万トン／年のプラントをスタートさせた。その後、アジアにおける旺盛な需要を背景に2005年秋には20万トン／年への能力増強を実施し、さらには競争力強化のための合理化や環境負荷低減対策にも継続的に取り組みつつ順調な稼働を続けている。POC法は、当社独自開発の高性能エポキシ化触媒技術と、熱安定性の高いクメンハイドロパーオキシドを使ったプロセス開発技術の融合により、非常に高いPO収率と分離精製の省エネ化を達成し、既存のプロセスに比べて収率およびエネルギーの両面で優れた方法である。そのため、平成18年度 日本化学会 化学技術賞（2006）、第8回グリーンサステナブルケミストリー（GSC）賞 経済産業大臣賞（2008）、平成20年度 石油学会学会賞（2008）などを受賞するなど、持続可能な社会の発展に貢献するものとして、各方面から高い評価を受けている。

同時に、POC法は他製法と比較して運転安定性の高いプロセスでもあり、海外から技術ライセンスの要望も多く、これまでに3件のライセンスを実施している。（Table 1）。2009年にペトロ・ラービグ社（サウジ・アラムコ社と住友化学株式会社の共同出資会社、サウジアラビア）で初のライセンスプラントが稼働した。2015年にはS-Oil社（韓国）にライセンスを実施したことに加え、2017年にはPTTGC社（タイ）とライセンス契約を締結し、2020年の稼働に向け現在建設中である。

本稿ではPO製造技術の動向について解説すると共に、POC法の特徴についても紹介する。

工業化されたPO製造方法

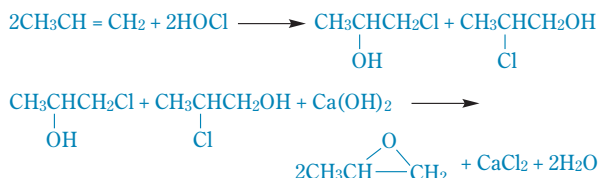
1. 塩素法

塩素法は最も古くから工業的に実施されているPO製法であり、プロピレン、塩素および水を原料にプロピレンクロロヒドリンを生成する工程、次いで石灰乳による脱塩化水素工程を経てPOが製造される。本製法を用いた最大のメーカーはDow Chemical社（現：DowDuPont社）であり、国内メーカーはAGC株式会社と株式会社トクヤマの2社である。PO 1トン

Table 1 Licensing history for Sumitomo POC technology

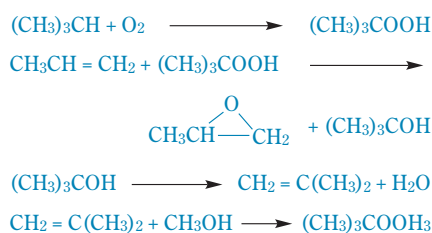
Plant	Location	Capacity (10 ³ t/y)	Start-up
Sumitomo Chemical Co., Ltd.	Japan	200	2003
Rabigh Refining and Petrochemical Co. (Petro Rabigh)	Saudi Arabia	200	2009
S-Oil Corp.	South Korea	300	2018
PTT Global Chemical Public Co., Ltd. (PTTGC)	Thailand	200	2020

あたり約1.9トンの塩化カルシウムを含む約40トンの廃液を発生させるため、廃液処理の環境への負荷が高いとされている。塩素法は現在も世界のPO生産能力の約40%を占めるが、最近では環境に対する規制強化の動向により¹⁾、新設による実施が難しくなっている。



2. 併産法

併産法は、1970年代にHalcon社とAtlantic Richfield社（後のLyondellBasell Industries社）により開発された。併産法にはPO/SM法とPO/TBA法があり、それぞれエチルベンゼンハイドロパーオキシドまたはtert-ブチルハイドロパーオキシド（TBHP）を有機過酸化物として用いてプロピレンをエポキシ化することによりPOを製造する。同時に併産品としてスチレンモノマー（SM）またはtert-ブタノール（TBA）を生成する。PO/SM法の代表メーカーはLyondellBasell Industries社とShell社であり、PO/TBA法メーカーはLyondellBasell Industries社とHuntsman社である。2000年代の併産法の新設プラントは、併産物の需要動向を反映しPO/SM法の採用が多かったが、近年ではPO/TBA法の採用が主である。以下にPO/TBA法のプロセスを説明する。



PO/TBA法では、イソブタンの空気酸化によるTBHPの生成工程、TBHPによるプロピレンのエポキシ化工程でPOを製造する。イソブタンの酸化は、液相にて120～140℃、3～4 MPaGの条件で行われ、イソブタン転化率35～50%、TBHP選択率は50～60%である。プロピレンのエポキシ化は通常モリブデン化合物からなる触媒の存在下、液相にて90～130℃、1.5～6 MPaGの条件で行われる。プロピレン転化率約10%、TBHP転化率95%以上で、PO選択率は約90%である。副生したTBAは脱水すればイソブチレンになり、さらにメタ

ノールと反応させれば、ガソリンのオクタン価向上剤として利用されるtert-ブチルメチルエーテル（MTBE）となる。この方法はPO 1トンあたり約2.1トンのMTBEが副生するため、MTBE市況の影響を受けやすいプロセスである。一方、PO/SM法では、PO 1トンあたり約2.5トンのSMが副生する。

3. 第3世代の製法1（POC法）

併産品市況の影響を受けない製法として、副生物が実質的に水のみであるPOC法や過酸化水素法（HPPO法）が近年相次いで工業化された。

当社により技術確立され、2003年に商業生産を開始したPOC法（Fig. 4）は、クメン（CUM）の空気酸化によるクメンハイドロパーオキシド（CMHP）の生成工程、CMHPによるプロピレン（C₃'）のエポキシ化工程、次いで副生するα-クミルアルコール（CMA）の水素化によるクメンの生成工程からなる3段反応工程のプロセスである。

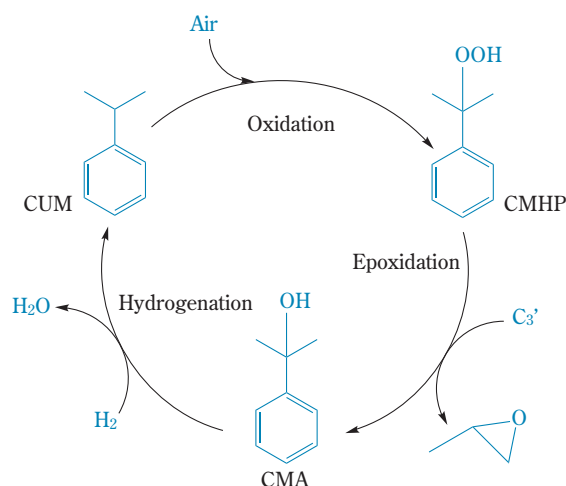


Fig. 4 Sumitomo PO production process (POC)

(1) 高性能エポキシ化触媒Ti含有珪素酸化物の採用

POC法では活性が高く、高PO選択性を有するエポキシ化触媒としてチタン（Ti）含有珪素酸化物（以下、住友Ti触媒と言う）を採用している。後述するHPPO法において使用されているTiシリケート触媒（TS-1）は、MFI型に分類されるゼオライト構造を有しAlの代わりにTiが導入された物質であるが、5～6 Åのマイクロ細孔しか有さず大きな分子の反応には不向きである。住友Ti触媒は、ナノスケールのメソ細孔を有する点を特徴とし、クメンハイドロパーオキシドという大きな分子に対して高い活性を発現するようにデザインされたものである。

住友Ti触媒が高性能である理由は、上記のメソ細孔に加え、シリカ骨格中に高分散に取り込まれた4配位Ti

および、他のTiシリケートを凌駕する高い疎水性、の計3つの要素を兼ね備えているためと考えられる。**Fig. 5**に住友Ti触媒の原子分解能電子顕微鏡像を示しているが、エポキシ化活性の高い4配位Tiがシリカ中に原子状で存在する様子が確認できている。本局所構造の存在は、Ti K-edge EXAFSなどの他の分析結果からも確かめられている²⁾。

次に住友Ti触媒の疎水性の評価を行い、TS-1および触媒担体用シリカゲルと比較した結果を**Fig. 6**に示した。加水した α -クミルアルコール／クメン溶液中に触媒を浸漬させ触媒上に吸着したH₂O量を測定したところ、一般に疎水性が高いことが知られているTS-1よりもH₂O吸着量が少ないことが分かった。住友Ti触媒では、この高い疎水性がプロピレン親和性を高めることにより、高いエポキシ化活性が発現するものと推測している。

(2) プロセスの概要

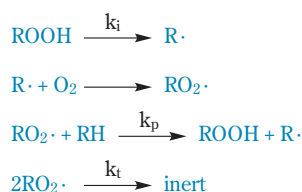
POC法の特徴は高性能なエポキシ化触媒により非常に高いPO収率を達成するとともに、分離精製エネ

ルギーも少なく、他の製法に比べてエネルギー使用量が極めて低く抑えられている点にある。以下に各工程の概略を説明する。

① 酸化工程

酸化工程は、クメンを空気により酸化してクメンハイドロパーオキシド（CMHP）を得る工程である。

酸化反応は空気による自動酸化で行われるため、触媒を必要としない³⁾。クメン酸化の速度はエチルベンゼン酸化に比べて大きいことが知られており、通常は90～130℃、常圧～1.0 MPaの比較的温和な条件で反応が進行する（**Fig. 7**）⁴⁾。本反応の収率は高く、有効成分の選択率は95%以上に達する。また、CMHPは安定なヒドロパーオキシドであり、エチルベンゼン酸化やイソブタン酸化に比べてヒドロパーオキシドの高濃度化も可能となる。これにより製造工程全体でのクメン循環量を少なくすることができ、大幅な省エネが達成できている。



Comp.	k_p	$2k_t$	$k_p/(2k_t)^{0.5}$	yield (%)
Cumene	0.72	0.04	35.6	84.8
Ethylbenzene	2.4	20	5.30	low

Rate constant at 60 °C (L/mol · sec),
yield at d [O₂]/dt = 10⁻⁴ (L/mol · sec)

Fig. 7 Comparison of hydroperoxide yield between cumene and ethylbenzene

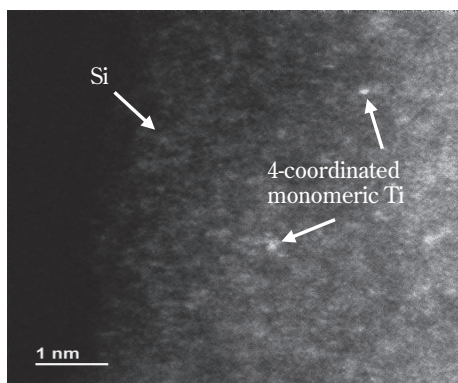


Fig. 5 Atomic resolution TEM image of Sumitomo Ti catalyst

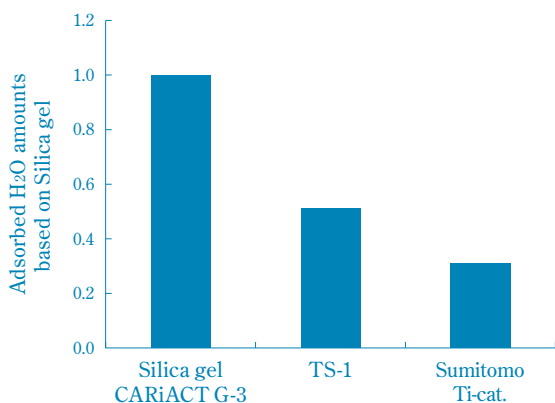


Fig. 6 Comparison of hydrophobicity in the view of H₂O adsorption between TS-1, silica gel, and Sumitomo Ti catalyst

② エポキシ化工程

エポキシ化工程は、CMHPとプロピレンを反応させて、 α -クミルアルコールとPOを得る工程である。

当社が開発した高性能エポキシ化触媒の採用と非水系での反応により、POからプロピレングリコール類への逐次反応が少なく、95%以上の非常に高いPO選択性が達成されている。溶媒として使用するクメンはPOに対し実質的にイナートであり、溶媒との逐次反応によるPOのロスがないことも高選択性に寄与している。後述するとおり、過酸化水素法（HPPO法）では、エポキシ化は水系での反応であることに加え、POとの反応性が高いメタノールを溶媒として用いるため逐次反応が進みやすく、PO選択率はPOC法に比べ低いと推測される。また、CMHPの熱安定性は過酸化水素よりも高く、HPPO法に比べ比較的高温で反応させることができる。

③ 水素化工程

水素化工程は、 α -クミルアルコール（CMA）と水素とからクメンを得る工程である。

反応は水素化触媒を充填した固定床形式でCMA／クメン溶液と水素を供給し実施される。PO/SM法、PO/TBA法におけるエポキシ化でそれぞれ生成する α -フェニルエタノールや*tert*-ブタノールとは異なり、CMAはほとんど定量的にクメンに変換することができる。得られた反応液から生成水の分離などの精製工程を経てクメンが回収される。回収されたクメンは酸化工程にリサイクルされる。

4. 第3世代の製法2（過酸化水素法（HPPO法））

BASF社・Dow Chemical社と、Evonik社・Thyssenkrupp社は2009年にTS-1触媒を用いプロピレンと過酸化水素（ H_2O_2 ）からPOを製造するHPPO法の商業運転を開始した。

HPPO法は、 H_2O_2 によるプロピレンエポキシ化の1段反応工程であるが、アルキルアントラキノンの酸化／還元サイクルを活用した H_2O_2 製造（アントラキノ

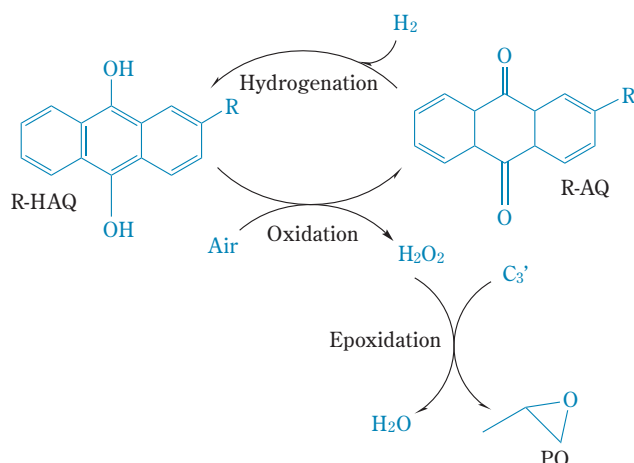


Fig. 8 HPPO process (including anthraquinone H_2O_2 production)

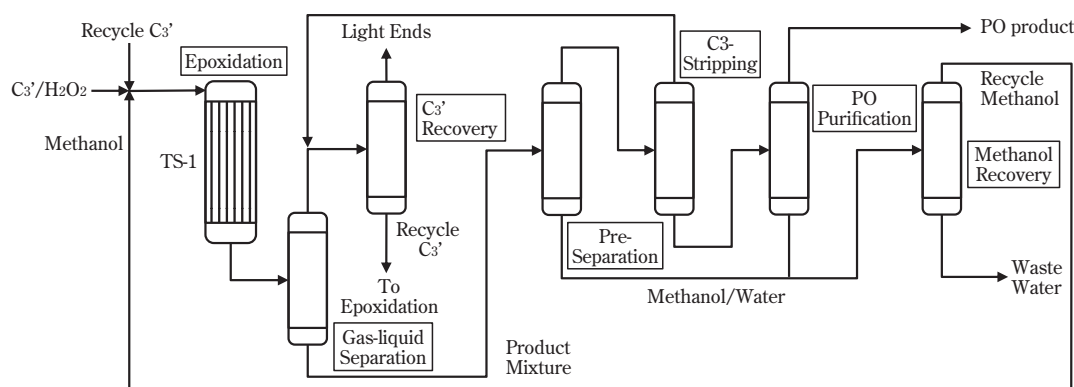


Fig. 9 Evonik/thyssenkrupp HPPO process

ン法と言う）まで含めれば3段工程（Fig. 8）になり、POC法と大きな差異はないと言える。一例として、Evonik社・Thyssenkrupp社が開発したプロセスの概要をFig. 9に示す⁵⁾。エポキシ化以外の主要な工程としては、溶媒メタノールの回収リサイクル工程などがあり、溶媒を分離精製するために大量のエネルギーを消費するプロセスとなる。

① エポキシ化工程

エポキシ化工程は、 H_2O_2 とプロピレンを反応させて、POを得る工程である。

反応はTS-1触媒が充填された反応器へプロピレンと H_2O_2 水とをメタノール（MeOH）溶媒とともに流通させて行われる。多管式熱交換器型反応器が採用され、触媒は焼成または高温下でのMeOH洗浄により再生され繰り返し使用される。 H_2O_2 の熱安定性が低く、POが水およびMeOHと反応する性質を持つことから、反応温度は50℃程度に抑えられ、また反応液中のPO濃度の上限は10 wt%程度となっている⁶⁾。この低い反応温度では反応熱の回収は困難と予想され、他工程の熱源としての利用は限定的であると予想される。

② MeOH回収工程

MeOH回収工程は、エポキシ化反応液からMeOHを分離回収する工程である。

エポキシ化工程で得られる反応液からガス成分、粗POの順に分離除去し、逐次反応生成物であるプロピレングリコール類などの高沸点不純物を含有するMeOH／水の混合液を得る。MeOHは蒸留分離により回収され、エポキシ化反応へリサイクルされる。先述のとおりエポキシ化反応液中のPO濃度を低くするために、溶媒であるMeOHはPOに対して大過剰の量が必要とされる。MeOHは蒸発潜熱が1,100 kJ/kgと大きいため、HPPO法のPO生産量あたりのエネルギー消費は比較的大きいと推測される。

エネルギー消費からみたPOC法と過酸化水素法 (HPPO法) との比較

Fig. 10では、製造工程全体で使用するエネルギーについてPOC法とHPPO法⁷⁾との比較を行っている。POC法はパーオキシドを製造する酸化工程を含むため、HPPO法についても原料のH₂O₂製造に使用されるエネルギー⁸⁾を考慮している。

この図に示すように、トータルのエネルギー消費についてPOC法はHPPO法に比べ優位であり、経済的かつ環境負荷の小さいプロセスであると言える。一方、H₂O₂はアントラキノン (AQ) 法によって製造されるが、アルキルアントラキノン (酸素/AQ = 32/264) がクメン (酸素/クメン = 32/120) に比較して酸素キャリアーとしての効率が悪く、かつ炭化水素溶媒へのAQ溶解度が低いことから液循環のためのエネルギーが大きいという課題がある。また、HPPO法ではMeOH中でエポキシ化反応が行われるが、MeOHは蒸発潜熱が1,100 kJ/kgとクメンの蒸発潜熱330 kJ/kgの3倍以上であるため、その回収エネルギーはPOC法に比べ相当に大きいと推測される。

近年、地球温暖化問題を始めた環境問題の深刻化に国際的な関心が高まっている中、各国においては二酸化炭素などの温室効果ガス削減など気候変動対策に向けた対応が今後確実に求められる。他のPO製法に比べ省資源、省エネルギーを実現したPOC法については、今後ますますその価値が高まっていくと予想される。

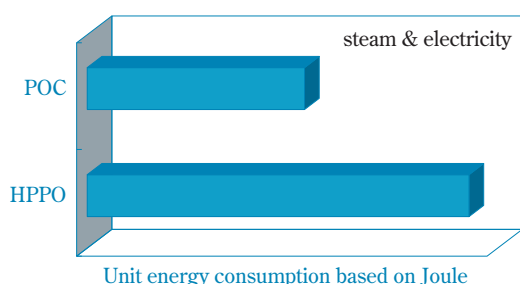


Fig. 10 Comparison of unit energy consumption between POC and HPPO

その他開発中のPO製造方法

1. 改良過酸化水素法 (改良HPPO法)

先述のとおり、現在商業運転されているHPPO法については、PO収率改善やエネルギー使用量削減の課題があり、各社独自の改良検討を進めていると思われる。一例として、2015年以降に公開された特許情報を基に検討技術の概要を解説する。

Evonik社は、水に溶解する均一系Mn錯体触媒を用いる水/プロピレン2相系の反応プロセスを構築した⁹⁾。水溶性Mn錯体をエポキシ化触媒として使用するH₂O₂によるオレフィンのエポキシ化反応は以前から知られていたが、Mn錯体のH₂O₂分解活性が高く、H₂O₂基準のエポキシ化生成物の収率が低い問題があった¹⁰⁾。公開特許に記載されているEvonik社の想定プロセスをFig. 11に示す。ループ型リアクターを使用し水相と油相 (プロピレン (C₃')) の2相系でエポキシ化させている。メタノールなどの溶媒を使用しないことによる分離エネルギーの削減や、接触時間を短くしH₂O₂の分解やPOの逐次反応を抑制し収率を向上させることが狙いと見られる。ただし、15℃程度の低温反応にも関わらず、PO収率が75%程度にとどまっており、H₂O₂の分解抑制に課題が残っていると推察される。

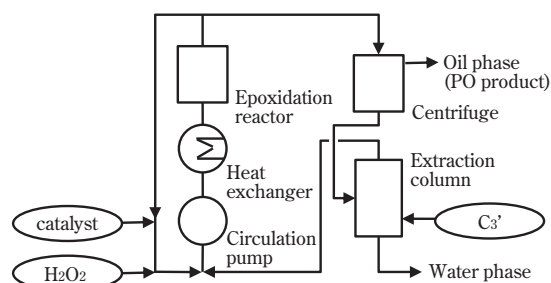


Fig. 11 Evonik modified process

BASF社-Dow Chemical社は共同で、溶媒変更により使用するエネルギーを削減する方法を開発中である¹¹⁾。エポキシ化触媒は酸化亜鉛を修飾したゼオライト構造を有するTi-MWW¹²⁾が使用されていると推測される。MWW構造は12員環サイドポケットと互いに独立した2種類の10員環細孔と酸素12員環スーパーケージを含むユニークな結晶構造であり¹³⁾、10員環細孔のみを有するTS-1に比べ反応に利用できるスペースが大きい特徴を有する。

2. 直接酸化法

直接酸化法は、工業的なエチレンオキシド (EO) 製造と同様の方式でプロピレンを気相で空気酸化する製法である。エネルギー消費の観点からは理想的なPO製法であるが、プロピレンのアリル位メチル基の脱水素反応に伴う燃焼反応の抑制が困難であり、未だ工業製法は確立されていない。2014年以降に公開された出願特許および学術論文から抽出した代表的な報告例をTable 2に示す。検討されている触媒系はEOプロセスで採用されているAg触媒系とラジカル反応触媒系に大別される。

Table 2 Example of published research of PO production by direct propylene epoxidation (2014 ~)

Company or research institution	Catalyst	Typical results	Reference
LyondellBasell Industries Holdings B. V.	Ag-Mo/CaCO ₃	PO sel. 40~50%	14)
China Petroleum & Chemical Corp.	Nano hollow Fe ₂ (MoO ₄) ₃	PO sel. <15%	15)
LOTTE Chemical Corp.	Ag-(Mo-W)/ZrO ₂	propylene conv. 12%, PO sel. 58%	16)
University of Oxford	NiAg _{0.4} /SBA-15	propylene conv. 0.04%, PO sel. 71%	17)
East China University of Science and Technology	Ag-Cu-Cl/BaCO ₃	propylene conv. 1%, PO sel. 84%	18)
Fuzhou University	Fe ₂ O ₃ -MoO ₃ -Bi ₂ SiO ₅ /SiO ₂	propylene conv. 12%, PO sel. 60%	19)

3. その他の製法

Pdなどの貴金属により水素／酸素から液相中で過酸化水素（H₂O₂）を発生させ、このH₂O₂を用いてプロピレンのエポキシ化を同反応器内で実施する方法（以下、in-situ HPPO法と言う）がLyondellBasell Industries社やSinopec社などから開示されている。触媒としては貴金属を担持したTiシリケートが多く使用される。LyondellBasell Industries社は、Pd担持Ti-MWW触媒でのin-situ HPPO法において、プロピレンと水素から副生するプロパンを抑制するためにキノン化合物添加が有効であることを見いだしているが²⁰⁾、低いPO生産性と水素基準での低いPO選択率（<50%）のために実用化は困難と推測される。

LyondellBasell Industries社は他の方法として、 α -メチルベンジルアルコール（MBA）をH₂O₂キャリア兼溶媒とし、Ti-MWWをエポキシ化触媒として使用するPO製法を開示した²¹⁾（Fig. 12）。同社はすでに1990年代にMBAの酸化によりH₂O₂を製造する概念を見いだしていたが²²⁾、先述したTi-MWW触媒の開発を契機として本プロセスを考案したと推測される。副生するビス- α -メチルベンジルーエテル（BAMBE）を分離除去するため、未反応MBAは全量蒸留され酸化工程にリサイクルされる。MBAの蒸発潜熱は400 kJ/kgであり、メタ

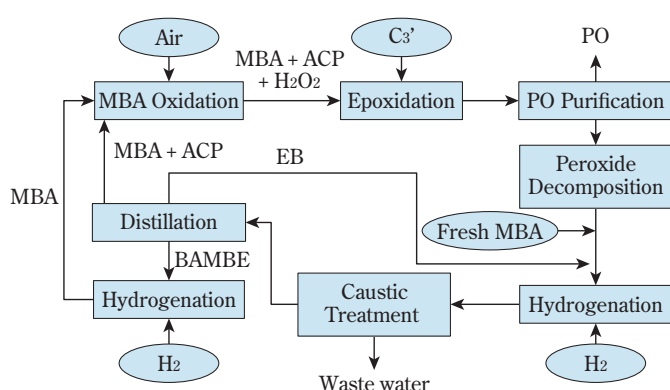
ノールを蒸留するHPPO法に比べエネルギー消費は少ないとみられるが、POC法（クメンの蒸発潜熱330 kJ/kg）に比べるとエネルギー消費が大きいと推測される。

おわりに

POの製造技術として現在は第1世代から第3世代の製法がほぼ同比率となっているが、第3世代の製法が主役となりつつある。今回紹介したPOC法は低環境負荷プロセスであり、住友化学グループのサステナビリティ推進に関する考え方に即したものである。今後もPOC法のさらなる改良や新たな技術の開発により、社会の持続的な発展に貢献したいと考えている。

引用文献

- 1) 日本貿易振興機構，“中国における環境規制と市場規模の最新動向調査 2018年1月”，<https://www5.jetro.go.jp/newsletter/shanghai/2018/180126/doukou.pdf> (参照2019/3/4).
- 2) 辻 純平 ほか, 住友化学, **2006-I**, 4 (2006).
- 3) K. Weissmehl and H.-J. Arpe (向山 光昭 監訳), “工業有機化学”, 第5版, 東京化学同人 (2004), p.289.
- 4) 神谷 佳男, 燃料協会誌, **49**, 603 (1970).
- 5) F. Schmidt *et al.*, *Chimica Oggi-Chemistry Today*, **32**, 31 (2014).
- 6) Degussa AG and Uhde GmbH, WO 2005/000827 A1 など.
- 7) ThyssenKrupp Uhde, “Propylene Oxide, The Evonik-Uhde HPPO technology, Innovative・Profitable・Clean”, <https://www.digitalrefining.com/data/literature/file/1994182549.pdf> (参照2019/4/23).
- 8) “Process Economics Program Report 68B”, IHS Markit (1992).
- 9) Evonik Degussa GmbH, JP 2018-508505 A など.
- 10) D. E. De Vos *et al.*, *Tetrahedron Lett.*, **39**, 3221 (1998).



EB; Ethylbenzene, ACP; Acetophenone, BAMBE; bis- α -methylbenzylether

Fig. 12 LyondellBasell Industries modified process

- 11) 辰巳 敬, ペトロテック, **36**(7), 521 (2013).
- 12) BASF SE, WO 2018/115117 A1 など.
- 13) 窪田 好浩・辰巳 敬, 真空, **49**(4), 205 (2006).
- 14) Lyondell Chemical Technology, L. P., US 2017/0056860 A1.
- 15) China Petroleum & Chemical Corporation, CN 103664832 A (2014).
- 16) Lotte Chemical Corporation, WO 2018038505 A1.
- 17) B. Yu *et al.*, *Appl. Catal., B*, **243**, 304 (2019).
- 18) Q. Zhang *et al.*, *Chin. J. Catal.*, **38**, 65 (2017).
- 19) Fuzhou University, CN 108816243 A (2018).
- 20) Lyondell Chemical Technology, L. P., US 2012/0083612 A1 など.
- 21) Lyondell Chemical Technology, L. P., WO 2016/164585 A1 など.
- 22) Arco Chemical Technology L. P., US 5268160 A (1993).

PROFILE



川端 智則
Tomonori KAWABATA

住友化学株式会社
石油化学品研究所
主席研究員
博士 (工学)



小池 弘文
Hirofumi KOIKE

住友化学株式会社
千葉工場
第一製造部長
(現職：シニアテクニカルアドバイザー)



山本 純
Jun YAMAMOTO

住友化学株式会社
石油化学品研究所
主席研究員



吉田 周平
Shuhei YOSHIDA

住友化学株式会社
千葉工場
主席技師