

令和 7 年度「第 24 回プロセスデザイン学生コンテスト」 「e-メタノール製造プロセスの設計」

主催：化学工学会・SIS 部会・情報技術教育分科会

共催：化学工学会・人材育成センター

【1】概要

工業的なメタノール製造は、1923 年ドイツ BASF 社の Leuna における 300t/yr 規模の生産に始まる。このプロセスは、一酸化炭素と水素を原料とし、200bar、400°C の高温高压条件下で、Zn-Cr 酸化物を触媒とするものであり、1926 年には 25,000t/yr 規模に拡張されている。一方、米国では、DuPont 社が 1927 年にアンモニア合成の副産品としてメタノール合成を開始し、イタリアでも 1928 年に 4,000t/yr のプラントが建設されている。これ以降戦前戦後を通じ 1960 年代まで、世界のメタノール製造は、Zn-Cr 系触媒による高压法が主流となる。対して、1966 年に ICI (Imperial Chemical Industries) 社は、Billingham で現在主流である Cu 系触媒を用いた低压合成の工業化を行い、様々な改良が加えられて現在に至っている。

メタノールの用途は、従来合成樹脂、接着剤の主原料であるホルマリンや、メチルアミンの原料といった工業用基礎原料であり、また近年では、MTO (Methanol to Olefine)、MTP (Methanol to Propylene) プロセスへ接続することで石油化学の重要な原料である Olefine を製造する中間原料としての利用も考慮されてきている。e-メタノールは合成燃料の一種で再生可能エネルギーによって得られた電力で水を分解し生成された H_2 と工業排出ガスや大気中などから回収した CO_2 から合成したものである。本年度のプロセス設計学生コンテストは再生可能エネルギーから得られた電力のみで e-メタノールを製造するプロセスの設計を課題とする。

【2】プロセスの概要

既存のメタノールプロセスの概要は以下の資料が参考にできる；

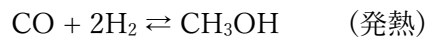
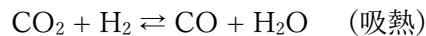
- 平成 25 年度「第 12 回 プロセスデザイン学生コンテスト」
「天然ガスを原料としたメタノール製造プロセスの設計」、
https://altair.chem-eng.kyushu-u.ac.jp/scej_contest2013/
- 野沢伸吉、橋本佳法：「メタノール」、化学工学、46(9)、507-517(1982)。
- 山本為親：「新化学工業原料としての燃料メタノール」、有機合成化学、41(6)、570-576(1983)。
- 宇野和則：「超大型メタノール製造技術について」、PETROTECH、28(6)、390-398(2005)。
- Luyben, W. L.: "Principles and Case Studies of Simultaneous Design," John Wiley & Sons,

185-210, 2011.

- Comtec Quest 社：「プロセスエンジニアのためのウェブサイト」、
<https://comtecquest.com/DocPfd/MeOH.html>
- COCO Simulator: “Sample Flowsheets”,
https://www.cocosimulator.org/index_sample.html
- DWSim on FOSSEE; Free/Libre and Open Source Software for Education Project:
“Completed Flowsheets”,
<https://dwsim.fossee.in/flowsheeting-project/completed-flowsheet>
- 化学工学協会編、「化学プロセス集成」、東京化学同人、1970.
<https://www.scej.org/publication/viewable-books.html>
(化学工学会の会員は、化学工学会 電子図書館から閲覧できます)

【3】e-メタノールのプロセスケミストリー

メタノール合成反応器では、以下の2つの反応式を考えるものとする。



反応条件は 50~100bar、200~300℃である。全体的には発熱反応となり、反応器出口のメタノール濃度は平衡によって支配される。

【4】プロセス設計条件

(1) 原料

CO₂ : 25℃、1.013 bar、純度 100% (Dry Gas とする)

H₂ : 25℃、1.013 bar、純度 100% (Dry Gas とする)

(2) 製品条件 : メタノール純度 99.8wt%以上、50℃、1.013 bar

(3) 排水条件 : 不純物の濃度 0.2wt%以下、50℃、1.013 bar

(4) 排ガス条件 : フレアガスとして燃焼して排出する
(本課題の検討対象外とし、計算は不要である)

(5) ユーティリティ

冷却水 : 供給 30℃、戻り 40℃

熱媒体 : 水、Hot Oil (熱媒体油)などを循環利用してもよい
(系外との取り合いはない)

電力 : 10MW まで利用可能とする

熱源 : 原料の水素は熱源として利用してはならない

【5】設計上の注意

(1) 物性推算モデルは状態方程式型のモデルを用いる (相互作用パラメーターが設定されていることの確認を推奨する)。

(2) メタノール合成反応は平衡反応を仮定する。平衡反応モデルは Gibbs 自由エネルギーを最小化する

るように求めること。また、DME(Dimethyl Ether)、エタノール、C4 高級アルコールは副生しないと仮定する。

- (3) 蒸留塔は Rigorous Model を用いてシミュレーションすること (Shortcut Model は初期値の取得などのみに利用可能とする)。
- (4) 熱交換器の最小必要温度差 (高温流体と低温流体の温度差) は流体の組み合わせごとに以下に設定した条件を用いるものとする。
 - (ア) 高温流体と低温流体が両方共ガスの場合は $\Delta T_{min}=20^{\circ}\text{C}$ とする。
 - (イ) 蒸留塔のリボイラーは $\Delta T_{min}=20^{\circ}\text{C}$ とする。
 - (ウ) (ア)および(イ)以外のケースは $\Delta T_{min}=10^{\circ}\text{C}$ とする。
- (5) 液体移送用のポンプ所要動力は無視して良い。
- (6) 圧縮機吐出温度は通常では 150°C 以下が推奨されるが、特別な場合にはより高温の吐出温度が許容できる場合もある (200°C 程度を上限の目安とすること)。ただし、 H_2 が混在するガスの圧縮を考慮する場合は 135°C を上限とすること。
- (7) 圧力損失を考慮すること。
 - (ア) 蒸留塔のコンデンサー／リボイラー間の圧力損失は 0.2bar とする。
 - (イ) 反応器の圧力損失は 5bar を仮定する。
 - (ウ) その他の機器および配管の圧力損失は無視してよい。
- (8) 計算収束誤差の評価を推奨する。リサイクル、平衡反応や蒸留 (気液平衡) などの計算で発生する物質収支の誤差 (収束計算の精度) について注意すること。

【6】課題と評価基準

- (1) 使用電力量と e-メタノール生産量
最大 10MW の再生可能エネルギー由来の電力供給で、e-メタノール生産量の最大化を評価基準とする。
- (2) 原料の有効利用
使用する水素、 CO_2 は出来得る限り有効利用する。
- (3) 設計方針および設計案の特徴
「設計方針」、「設計案の特徴」を明確に述べること。
セクション(工程)の概要、設計方針、特徴やプロセスユニットの設計方針や設計根拠を明確に示すこと。代替案がある場合には、それらを比較・検討した過程が分かるように説明すること。
- (4) プロセスフローシートなどのドキュメント類に関しても評価対象となるので、提出資料要項に従って、適宜、準備すること。

以上