

## 令和8年度「第25回プロセスデザイン学生コンテスト」 「メタネーションプロセスの設計」

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

本課題では、二酸化炭素（ $\text{CO}_2$ ）と再生可能エネルギー由来の水素（ $\text{H}_2$ ）を原料とするメタネーションプロセスを対象とする。メタネーションにて製造されるメタン（ $\text{CH}_4$ ）は、変動性の強い再生可能エネルギーの平滑化、既存ガスインフラへの接続やC1化学を利用した化学誘導品原料製造に活用することが想定されている。本課題では、 $\text{CH}_4$ の活用先を適宜選定したうえで製品条件の設定を行い、また、製品条件に応じた最適なプロセスを設計することとする。

以下に設計手順の一例を示す；

- ① 想定する利用形態（都市ガス代替、発電用燃料、化学原料など）を明確に定義する。
- ② その用途に基づく製品側の制約条件（組成、温度、圧力）を整理する。
- ③ 立地条件および必要な用役の種類について整理する。また、副製品ができる場合はその活用や処理方法を検討する。
- ④ プロセス設計の方針を策定する（全体物質収支を含むブロックフローダイアグラムの作成）。
- ⑤ メタネーション合成器、分離方式の要否／要件、リサイクル方式、システム全体の熱統合に関するプロセス設計を行う（プロセスフローダイアグラムの作成、熱・物質収支表の作成）。

なお、本課題では原料として供給される  $\text{CO}_2$  および  $\text{H}_2$  は十分に高純度なものであるとして、前処理工程の検討は必須としない。

### 【2】プロセスの概要

メタネーションプロセスは、 $\text{CO}_2$  と  $\text{H}_2$  を原料として  $\text{CH}_4$  を合成する反応であり、原料供給、反応、反応生成物の分離、リサイクルを含む複数の工程から構成される。

まず、 $\text{CO}_2$  および  $\text{H}_2$  は触媒活性が得られる反応条件の圧力・温度に調整された後に反応器へ供給される。メタネーション反応は発熱反応である。過度な温度上昇は触媒劣化や副反応を引き起こすため反応条件に考慮する。反応熱による温度上昇を抑制するための多段化や熱除去が反応器設計のポイントとなる。メタネーション反応の発熱量は大きく、その活用方

針も課題となる。

反応器出口ガスは $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、未反応の $\text{CO}_2$ および $\text{H}_2$ である。 $\text{H}_2$ を過剰とする場合、もしくは、 $\text{CO}_2$ を過剰とする場合のどちらも可能性がある。 $\text{H}_2\text{O}$ を除去する方法、および $\text{H}_2\text{O}$ 除去後のガスの分離方法も設計上の重要な検討事項となる。

参考資料；

- Tripodi, A., Conte, F., & Rossetti, I. (2020), Carbon dioxide methanation: design of a fully integrated plant, *Energy & fuels*, **34(6)**, 7242-7256.  
既存のメタネーションプロセスの概要を提示してある。
- <https://scejcontest.jp/2019/download.html>  
「エチレンオキシド製造プロセスの設計」3-3.1) 脱炭酸ユニットの文章中に $\text{CO}_2$ 吸収プロセスの原単位（特定の圧力・温度・組成の場合の原単位例）を提示してある。
- <https://scejcontest.jp/2014/download.html>  
「アンモニア製造プロセスの設計」図3として、断熱多段式反応器（平衡）の概念を提示してある。

### 【3】プロセス設計条件

#### (1) 原料

$\text{CO}_2$	:	25℃、大気圧（Dry Gas とする） 供給量：供給水素量に見合った $\text{CO}_2$ が供給される
$\text{H}_2$	:	25℃、大気圧（Dry Gas とする） 供給量：100kg/hr

(2) 製品条件 : 製品 $\text{CH}_4$ の用途に応じて製品条件（圧力、温度、組成）を決定する

#### (3) 反応条件

温度	:	(※)
圧力	:	(※)

※ 反応器の形式や反応熱による温度上昇の抑制などを考慮すること、また決定根拠を示すこと。

#### (4) ユーティリティ

冷却水	:	供給 30℃、戻り 40℃ (※1)
加熱源	:	所内で熱回収する方式を含めて検討すること (※2)
電力	:	外部から供給がある

※1 温度は一例として提示した条件であり、必要に応じて設定変更可とする。

※2 原料の水素や製品の $\text{CH}_4$ を熱源として利用してはならない。

#### 【4】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）。CO<sub>2</sub>吸収／再生プロセスは厳密シミュレーションをしても良いが、簡易的に熱収支を計算してもよい。その場合は、論文や公知なデータベースを調査したうえで、CO<sub>2</sub>分圧と絶対量に応じた吸収／再生熱を考慮すれば良いこととする。
- (2) メタネーション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ように求めること。シミュレーションの対象成分は CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>O の 4 成分とする。
- (3) 液体移送用のポンプ所要動力は無視して良い。
- (4) H<sub>2</sub>を反応器圧力まで昇圧する場合、各段の圧縮機吐出温度は 150℃以下とすること。
- (5) 反応器の圧力損失は余裕を見て各段の入口圧力の 10%程度を確保しておくものとする。
- (6) 分離に関わる機器の圧力損失は各自検討すること。
- (7) 本プラント内の配管の圧力損失は無視してよい。
- (8) 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  $\Delta T_{min}$ ）は、流体の組み合わせごとに設定することが一般的であるが、本課題においては簡易的に  $\Delta T_{min}=10^{\circ}\text{C}$  とする。
- (9) 物質収支の誤差（収束計算の精度）について注意すること。リサイクルの計算で発生する収束誤差の評価を推奨する。

#### 【5】課題

- (1) 製品 CH<sub>4</sub>の利用形態と製品の制約条件の決定  
製品 CH<sub>4</sub>の利用形態および利用形態に応じた製品の制約条件を各自で設定すること。
- (2) プロセス設計検討  
供給水素を受け入れ可能なメタネーションプロセスを設計すること。また、CH<sub>4</sub>生産量が最大化されるようにプロセス設計を考慮すること。  
「設計方針」、「設計案の特徴」「設計検討の過程」を明確に提示すること。
- (3) 設計ドキュメント作成  
提出要領に沿ってプロセスフローシートなどのドキュメント類を提示すること。

#### 【6】評価基準

説明内容の論理的整合性を重視して評価する。

- (1) 製品 CH<sub>4</sub>の利用形態と製品の制約条件の決定  
製品 CH<sub>4</sub>の利用形態の選定に至る思考過程が説明されているか、選定した利用形態に適した製品制約条件が提示されているか。
- (2) プロセス設計検討  
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が明確に示されているか。代替案がある場合には、それらを比較・検討した過程が説明されているか。
- (3) 設計ドキュメント作成  
プロセスフローシートなどのドキュメント類が提出要領に沿ったものとなっているか。
- (4) プレゼンテーション  
発表会におけるプレゼンテーションにて検討結果を分かりやすく明確に説明しているか。

以上