

# 「カーボンニュートラルを目指す最新の触媒技術」 目次

## 第I編 合成ガス

### 第1章 Ni 微粒子内包ゼオライト触媒によるメタンのドライ リフォーミング 多湖輝興, 藤墳大裕

- はじめに
- 熱力学的考察
- DRM 反応触媒
  - 固体炭素ガス化反応の促進
  - 繊維状炭素析出の抑制
  - 金属微粒子の内包構造
- 金属微粒子内包ゼオライト触媒による DRM 反応
  - 貴金属微粒子内包ゼオライト触媒
  - Ni 微粒子内包ゼオライト触媒
- おわりに
- 参考文献

### 第2章 CO<sub>2</sub>の電解還元によるCO合成 山中一郎

- はじめに
  - 電気分解とCO<sub>2</sub>還元
    - SPE電解
- CO<sub>2</sub>-水の共電解によるCO合成
  - SPE電解によるCO<sub>2</sub>還元法
  - Co-N-C化合物カソード触媒
  - Co<sub>4</sub>, 4' -dmbpy/KB (673K) 触媒のCO<sub>2</sub>還元活性点
  - CoN<sub>4</sub>Cx 触媒の高活性化
- おわりに
- 参考文献

### 第3章 佐賀市におけるCCUを活用した資源循環の取組 江島 英文

#### 概要

- はじめに
  - 佐賀市の概要
- 佐賀市のバイオマス事業の取組
  - バイオマス産業都市さが
  - 既存施設の利用
    - 佐賀市下水浄化センター施設概要
    - 佐賀市下水浄化センターの取り組み
    - 佐賀市清掃工場の施設概要
    - 佐賀市清掃工場の資源循環の取組
    - 佐賀市清掃工場のCCU事業
- 二酸化炭素回収装置について
  - 稼働状況
    - 稼働時間
    - エネルギー消費量, エネルギー効率
    - 二酸化炭素削減量等
    - 二酸化炭素分離回収液の性状等に関するデータおよびその分析結果
  - 廃棄物焼却排ガスによる二酸化炭素分離回収設備等への影響及び回収プロセスの改善に必要と考えられる方策
    - 当該事業でCCU設備を設置した廃棄物発電電力量
    - 当該発電施設で用いる廃棄物のうちバイオマス由来分の割合
    - 二酸化炭素削減量等(二酸化炭素の分離回収量)
  - 採算性の分析及び事業性向上の検討状況
- おわりに

- 4.1 CCUでサーキュラーエコノミーを可能に

## 第II編 メタン・LPG

### 第1章 CO<sub>2</sub>メタネーションによるカーボンニュートラルメタン(CNM)の製造と実装に向けた課題 鎌田博之

- はじめに
- 再生可能エネルギーとカーボンニュートラルメタンの活用
- メタネーションによるカーボンニュートラルメタンの製造
  - メタネーションプロジェクトの概要
  - 高耐熱Ni触媒を使ったメタネーション技術の開発
- 実装のための課題と今後の展開
- まとめ
- 参考文献

### 第2章 室温域作動のメタン化反応と構造体触媒システムで 拓くCO<sub>2</sub>ガスの資源化 福原長寿

- はじめに
- 触媒充填型反応システムによるメタン化反応
- 構造体触媒反応システムによるメタン化反応
- CO<sub>2</sub>を高速処理するメタン化反応
- 室温域作動のメタン化反応(オートメタネーション)
- ラポレブル装置による実ガスの室温域メタン化処理
- おわりに
- 参考文献

## 第III編 メタノール・DME・ギ酸

### 第1章 CO<sub>2</sub>からのメタノール合成 中村潤児

- はじめに
- メタノール合成の平衡論と速度論
- Cu/ZnO系触媒の活性点
- 表面科学的手法によるモデル触媒研究
- おわりに
- 参考文献

### 第2章 二酸化炭素/ギ酸サイクルによる水素キャリア技術 兼賀量一, 姫田雄一郎

- はじめに
- 水素キャリアとしてのギ酸の特性
- ギ酸からの水素発生
- CO<sub>2</sub>からのギ酸/ギ酸塩製造
  - 水素化反応によるギ酸/ギ酸塩合成
  - CO<sub>2</sub>電解還元によるギ酸/ギ酸塩合成
- 海外動向
- まとめ
- 参考文献

### 第3章 CO<sub>2</sub>からのジメチルエーテル(DME)の合成 武石 薫

- はじめに
- 一酸化炭素からのDME合成に関して
- 二酸化炭素からのDME合成に関して
- おわりに
- 参考文献

### 第4章 メタン酸化によるメタノール・ギ酸合成〜カーボンニ

## ニュートラル循環型酪農システムへの展開～ 大久保敬

- 1 はじめに
  - 2 メタンを燃焼させずに酸化
  - 3 いかにしてメタンのC-Hを切断するのか
  - 4 二酸化炭素のメタンの酸化試薬としての利用
  - 5 反応条件の検討
    - 5.1 フルオラス溶媒
    - 5.2 二層反応系
  - 6 反応機構
  - 7 北海道興部町との取り組み
  - 8 カーボンニュートラル循環型酪農システムへの展開
  - 9 今後の展望
  - 10 謝辞
- 参考文献

## 第IV編 燃料

### 第1章 二酸化炭素の転換による低温でのメタンなどへの合成 山野遼太, 関根 泰

- 1 はじめ
  - 2 電場印加反応場を用いたCO<sub>2</sub>メタネーション
    - 2.1 担持金属による反応活性の比較
    - 2.2 反応活性の温度依存性
    - 2.3 反応メカニズム及び電場印加効果の検討
    - 2.4 反応活性点の検討
  - 3 電場印加反応場を用いた逆水性シフト反応
    - 3.1 高分散担持Ru触媒の調製及び活性比較
    - 3.2 熱触媒反応との活性挙動の比較
    - 3.3 想定される電場印加の効果についての検討
  - 4 まとめ
- 参考文献

### 第2章 e-fuel 製造技術 里川重夫

- 1 はじめに
  - 2 e-fuel 製造プロセス
  - 3 プロセス効率化のための新しい電解技術
  - 4 CO<sub>2</sub>直接水素化触媒による燃料製造の研究動向
  - 5 おわりに
- 参考文献

## 第V編 化学品

### 第1章 エタノールからの1,3-ブタジエン 本田一規

- 1 はじめに
  - 2 化学品原料としてのバイオエタノール
  - 3 反応パス
  - 4 エタノールからのブタジエン製造プロセスの歴史
  - 5 国内の開発動向
  - 6 プロジェクト動向
    - 6.1 Axens/IFP/Michelin
    - 6.2 ETB Catalytic Technologies
    - 6.3 Synthos
    - 6.4 横浜ゴム/産総研
- 参考文献

### 第2章 酸化セリウム触媒とニトリル脱水剤を用いた二酸化炭素とメタノールからの炭酸ジメチル合成プロセス 富重圭一, 大野 肇, 福島康裕

- 1 はじめに

- 2 二酸化炭素とアルコールからの有機カーボネート合成と固体触媒
  - 3 副生するH<sub>2</sub>Oの除去による生成物収率の向上
  - 4 2-シアノピリジンの再生
  - 5 2-シアノピリジン脱水剤を用いた二酸化炭素とメタノールからの炭酸ジメチル合成プロセスの構築と評価
    - 5.1 プロセス設計とシミュレーション
    - 5.2 ライフサイクル評価
  - 6 まとめ
- 参考文献

## 第3章 メタノールからC<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>の合成 横井俊之

- 1 はじめに
  - 2 CON型ゼオライト
  - 3 [A, B]-CONの直接合成とMTO反応特性
  - 4 CON型ゼオライトの骨格組成の検討による酸性質制御
  - 5 ポスト処理によるCIT-1の高性能化
  - 6 実用化に向けた検討
  - 7 おわりに
- 参考文献

## 第4章 CO<sub>2</sub>を原料とするポリマーの合成 杉本 裕

- 1 はじめに
  - 2 CO<sub>2</sub>とエポキシドの共重合による脂肪族ポリカーボネート合成と樹脂物性
    - 2.1 CO<sub>2</sub>とエポキシドの交互共重合
    - 2.2 CO<sub>2</sub>-エポキシド交互共重合体(CO<sub>2</sub>由来脂肪族ポリカーボネート)の性質
    - 2.3 CO<sub>2</sub>-エポキシド交互共重合体の工業規模での製造
    - 2.4 CO<sub>2</sub>-エポキシド交互共重合体のガラス転移温度の向上をめざした研究
  - 3 CO<sub>2</sub>-エポキシド交互共重合体への機能性付与
    - 3.1 親水性・水溶性
    - 3.2 導電性
    - 3.3 側鎖反応性
  - 4 おわりに
- 参考文献

## 第VI編 水素製造・キャリア

### 第1章 人工光合成ー水素製造を中心としてー 堂免一成

- 1 はじめに
  - 2 「人工光合成」型光エネルギー変換
    - 2.1 光電気化学的エネルギー変換
    - 2.2 光触媒的エネルギー変換
      - (1) 均一系光触媒を用いるエネルギー変換
      - (2) 不均一系光触媒を用いるエネルギー変換
        - (2)-1 「1段階光触媒」による水分解および二酸化炭素還元
        - (2)-2 「2段階光触媒」による水分解および二酸化炭素還元
  - 3 エネルギー変換型光触媒の大規模応用への試み
    - 3.1 光触媒シートと水分解パネル
    - 3.2 受光面積100m<sup>2</sup>をもつ水素製造システムの屋外試験
  - 4 今後の展望と課題
- 参考文献

### 第2章 ターコイズ水素:メタン熱分解による水素製造 高木英行

- 1 はじめに
  - 2 メタン熱分解によるターコイズ水素製造の特徴
  - 3 国内外における技術開発動向
  - 4 産業技術総合研究所での取組
- 謝辞  
参考文献

### 第3章 有機ケミカルハイドライド法水素貯蔵輸送システムの触媒技術 岡田佳巳

- 1 はじめに
  - 2 SPERA 水素システム
    - 2.1 システムの概要
    - 2.2 SPERA 水素システムの特長
  - 3 開発の経緯
  - 4 “SPERA 水素”<sup>®</sup>システムによる国際間水素サプライチェーン実証
  - 5 SPERA 水素システムの触媒技術
    - 5.1 水素化触媒
    - 5.2 脱水素触媒
  - 6 Hydrogenious による有機ケミカルハイドライド法の実用化状況
  - 7 謝辞
  - 8 まとめ
- 参考文献

### 第4章 エネルギー/水素キャリアとしてのアンモニアから水素を製造する触媒・プロセス 佐藤勝俊, 永岡勝俊

- 1 はじめに
  - 2 アンモニア分解用触媒の開発
    - 2.1 Ru 系アンモニア分解触媒の開発
    - 2.2 Ni 系アンモニア分解用触媒の開発
  - 3 コールドスタート型アンモニア酸化的分解プロセスの構築
    - 3.1 触媒の酸化熱を利用したコールドスタート
    - 3.2 アンモニアの吸着熱を利用したコールドスタート
  - 4 おわりに
- 参考文献

### 第5章 再生エネルギー由来水素によるアンモニア合成を目標とした触媒開発 難波哲哉, 眞中雄一, 松本秀行

- 1 再生可能エネルギー貯蔵を目指して
  - 2 アンモニア合成触媒の活性評価
  - 3 Ru-CeO<sub>2</sub> 間相互作用とアンモニア合成活性の相関
  - 4 様々な反応条件下でのアンモニア合成活性
  - 5 速度論モデル解析
  - 6 再生可能エネルギー由来水素を想定したアンモニア合成実証試験
  - 7 まとめ
- 参考文献

### 第6章 メタンから水素とベンゼンを生み出すMTB触媒 山本陽

- 1 はじめに
  - 2 メタン芳香族化反応について
  - 3 固定床式MTB触媒
  - 4 固定床オンライン反応—再生運転
  - 5 流動床反応
  - 6 球状流動床触媒
  - 7 カーボンリサイクルの観点からみたMTB反応
- 参考文献

### 第7章 熱化学水素製造 町田正人

- 1 硫黄系熱化学サイクル
    - 1.1 Sulphur-Iodine (SI) サイクル
    - 1.2 Hybrid Sulphur (HyS) サイクル
    - 1.3 Solid Sulphur (SoSu) サイクル
  - 2 硫酸分解反応の特徴
  - 3 SO<sub>3</sub> 分解触媒の研究開発動向
    - 3.1 貴金属触媒
    - 3.2 酸化物触媒
- 参考文献

## 第VII編 燃料電池

### 第1章 燃料電池用各種触媒の現状と展望 吉武 優

- 1 はじめに
  - 2 燃料電池用燃料製造触媒
  - 3 燃料電池用電極触媒
    - 3.1 PEFC 用電極触媒
      - (1) 水素極用電極触媒
      - (2) 酸素還元用触媒
    - 3.2 固体酸化物形燃料電池 (SOFC : Solid Oxide Fuel Cell) 用電極触媒
  - 4 その他の燃料電池反応
    - 4.1 直接メタノール燃料電池 (DMFC)
    - 4.2 二酸化炭素の還元
    - 4.3 直接ギ酸燃料電池 (DFAFC)
    - 4.4 燃料電池の色々な展開
  - 5 最後に
- 参考文献

### 第2章 燃料電池自動車用高活性・高耐久性 Pt 系触媒の開発 大門英夫, 稲葉 稔

- 1 はじめに
  - 2 Pt 触媒の微粒子化による高活性化
  - 3 Pt 合金触媒と Pt コアシェル触媒の ORR 活性と耐久性
  - 4 Pt 系触媒の耐久性向上
  - 5 担体材料の耐久性向上
  - 6 高い電池特性を目指した実用触媒への取り組み
  - 7 おわりに
- 謝辞  
参考文献

## 第VIII編 廃プラスチックのリサイクル

### 第1章 触媒を用いたプラスチック・ケミカルリサイクルの工業化 府川伊三郎

- 1 プラスチックのケミカルリサイクルとは
- 2 触媒が使用されるケミカルリサイクル
- 3 PET の解重合法ケミカルリサイクルに使用される触媒
  - 3.1 PET の解重合法の種類(メタノール分解法, 加水分解法, MEG 分解法)
  - 3.2 PET の解重合法ケミカルリサイクルの開発状況
  - 3.3 3 社の開発触媒
    - (1) Loop Industries (カナダ) の開発
    - (2) Ioniqa (オランダ) の触媒技術
    - (3) IBM (米国) の触媒技術
- 4 混合廃プラの熱分解法ケミカルリサイクルに使用される触媒

4.1 混合廃プラ (PE/PP/PS) の熱分解法ケミカルリサイクルとは

4.2 PE, PP, PS の無酸素条件下での熱分解特性と熱分解用触媒が研究される理由

- (1) PE, PP, PS の無酸素条件下での熱分解特性
- (2) 熱分解用触媒が研究される理由

4.3 熱分解法触媒とプロセス

- (1) 熱分解法触媒と水素添加触媒
- (2) 熱分解プロセス

4.4 熱分解法触媒の開発・工業化

(1) 欧州における化学メーカーと熱分解油メーカーの提携による開発

(2) LyondellBasell の触媒使用熱分解プロセスの開発

(3) 熱分解油メーカーの状況

(4) 日本における過去(1990~2010年)の熱分解法の開発と工業化

謝辞

脚注

参考文献

## 第2章 廃プラスチックの触媒による油化(HiCOPプロセス)が描く未来 野田修嗣

1 はじめに

2 ケミカルリサイクルループの必要性

3 HiCOPプロセスの優位性

4 事業化へ向けた油化装置の開発

5 ケミカルリサイクルループが描く未来

## 第3章 プラスチックのケミカルリサイクルにおける触媒研究動向 熊谷将吾, 吉岡敏明

1 はじめに

2 熱分解法

2.1 油化

2.2 ガス化

3 水素化分解

4 おわりに

参考文献

## 第IX編 今後の展望

### 今後の展望 室井高城

1 はじめに

2 水素社会の到来

2.1 CCU(Carbon Capture and Use)

2.2 グリーン水素

3 エネルギーキャリア

4 CO<sub>2</sub>フリー燃料の製造

4.1 グリーン燃料の合成

4.2 クリーン燃料

(1) クリーン燃料製造触媒

(2) e-fuel

4.3 バイオマスから燃料

5 CO<sub>2</sub>を原料とした化学品

5.1 メタノールセンター

5.2 プロピレンセンター

5.3 合成ガス(CO/H<sub>2</sub>)から化学品の合成

5.4 CO<sub>2</sub>からプラスチックの製造

6 バイオマスの利用

7 廃棄物の利用

8 電解技術

9 発酵技術

10 おわりに

参考文献