

# 「触媒からみる炭素循環（カーボンリサイクル）技術 2021」 目次

## 第 I 編 二酸化炭素削減技術

### 第 1 章 二酸化炭素削減政策

1. 欧州グリーンディール
    - 1.1 グリーンディールの目標
    - 1.2 グリーンディールの取り組み
  2. 欧州カーボンゼロ戦略
    - 2.1 EU の脱炭素戦略
    - 2.2 欧州水素戦略
  3. 韓国グリーンディール
  4. 日本の 2050 年カーボンゼロ戦略
    - 4.1 カーボンニュートラル宣言
    - 4.2 カーボンニュートラルに向けた取組
    - 4.3 必要な政策
    - 4.4 課題
- 参考文献

### 第 2 章 二酸化炭素の回収・捕集と貯留

1. 二酸化炭素の回収
  - 1.1 CO<sub>2</sub> の回収技術
    - 1.1.1 従来の回収技術
    - 1.1.2 三菱重工の CO<sub>2</sub> 回収技術
    - 1.1.3 東芝エネルギーシステムズ
  - 1.2 二酸化炭素の回収コスト
    - 1.2.1 吸収法による CO<sub>2</sub> 回収コスト
    - 1.2.2 アミン系吸収液の分離回収エネルギー比較
  - 1.3 CO<sub>2</sub> 分離技術開発
    - 1.3.1 CO<sub>2</sub> 固体分離材
    - 1.3.2 DDR 型ゼオライトによる CO<sub>2</sub> 分離
    - 1.3.3 CO<sub>2</sub> 分子ゲート膜
    - 1.3.4 電気化学的ゲーティング膜
  - 1.4 欧州の CO<sub>2</sub> 回収プロジェクト
  - 1.5 大気からの CO<sub>2</sub> の回収 (DAC:Direct Air Capture)
    - 1.5.1 カーボンエンジニアリング
    - 1.5.2 One Point Five 社
    - 1.5.3 Climeworks 社
    - 1.5.4 DAC による 2050 年の CO<sub>2</sub> コスト
  - 1.6 海水からの CO<sub>2</sub> の回収
2. 二酸化炭素の貯留
  - 2.1 EOR(Enhanced Oil Recovery)
    - 2.1.1 EOR の実際
    - 2.1.2 EOR の課題
  - 2.2 CCS
    - 2.2.1 CCS の方法
    - 2.2.2 世界の CCS プロジェクト
    - 2.2.3 BECCS (Bio-energy with Carbon Capture and Storage)
    - 2.2.4 日本の CCS
    - 2.2.5 CCS コスト
    - 2.2.6 CCS の課題
3. CCUS(Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)
  - 3.1 欧州の CCUS プロジェクト
    - 3.1.1 Porthos プロジェクト
    - 3.1.2 Antwerp @ C プロジェクト
  4. 炭酸ガスハイドレートによる貯蔵
  5. CO<sub>2</sub> の炭酸塩による固定化
    - 5.1 CO<sub>2</sub> の炭酸塩固定化法

- 5.2 CarbFix
  - 5.3 炭酸塩化
  - 5.4 気硬性セメント(Non-hydraulic cement)
  - 5.5 骨材の製造
  - 5.6 NEDO の CO<sub>2</sub> 固定化技術テーマ
  - 5.7 炭酸塩化の課題
- 参考文献

### 第 3 章 バイオマス・廃プラ利用による CO<sub>2</sub> 削減

1. バイオ燃料
  - 1.1 バイオ燃料需要予想
  - 1.2 第二世代のバイオエタノール
  - 1.3 非可食のバイオ燃料製造法
  - 1.4 米国の状況
    - 1.4.1 ブレンドウォール
    - 1.4.2 米国バイオエタノール 2020 規制
    - 1.4.3 DOE バイオエネルギー研究開発
  - 1.5 米国石油会社の動向
    - 1.5.1 シェブロン
    - 1.5.2 フィリップス 66
  - 1.6 欧州の状況
    - 1.6.1 REWOFUEL プロジェクト
    - 1.6.2 英国 E10
    - 1.6.3 欧州における次世代バイオ燃料製造プラント
    - 1.7 シンガポール
2. 非可食バイオマスの糖化による液体燃料の合成
  - 2.1 クラリアント
  - 2.2 デュポン
3. バイオブタノール
  - 3.1 ガソリン添加剤としてのイソブタノール
  - 3.2 Cobalt Technology
  - 3.3 Butama Advanced Biofuels
  - 3.4 日本でのイソブタノールの開発
4. イソオクタン
5. 非可食バイオマスのガス化による液体燃料の合成
  - 5.1 Topsoe TIGAS プロセスによるガソリンの製造
  - 5.2 FT 合成によるジェット燃料
  - 5.3 航空燃料
6. バイオマスによる化学品の合成
  - 6.1 バイオマスにより製造されている化学品
  - 6.2 バイオエタノールによる化学品
  - 6.3 バイオエチレン
    - 6.3.1 バイオエチレンの製法
    - 6.3.2 エタノールの脱水触媒
    - 6.3.3 LanzaTech 古生菌によるエタノールからエチレン
    - 6.3.4 バイオエチレンコスト
  - 6.4 エチレングリコール(MEG)
    - 6.4.1 エチレンオキシドの水和
    - 6.4.2 糖から MEG の製造
  - 6.5 イソブテン
    - 6.5.1 Global Bioenergies と Clariant
    - 6.5.2 Gevo Inc.
  - 6.6 ブタジエン
    - 6.6.1 エタノールからブタジエン
    - 6.6.2 横浜ゴム
    - 6.6.3 日揮

- 6.6.4 BioButterfly プロジェクト
- 6.7 イソブレン
- 6.8 バイオコハク酸
- 7. 非可食性バイオマスから化学品までの一貫プロセス
- 8. バイオマスから芳香族の製造
  - 8.1 Anellotech
  - 8.2 Shell IH2 プロセス
  - 8.3 Virent
  - 8.4 Origin Materials
- 9. バイオマスによるポリマー
  - 9.1 バイオポリエチレン
  - 9.2 バイオポリプロピレン
  - 9.3 ポリエチレンフラノエート (PEF)
  - 9.4 ポリカーボネート
  - 9.5 PHBH (ポリヒドロキシ酪酸)
  - 9.6 ダイニーマ
  - 9.7 バイオマス洗剤
- 参考文献

#### 第4章 燃料電池

- 1. 実用化されている燃料電池
  - 1.1 各種燃料電池
  - 1.2 熔融炭酸塩形燃料電池 (MCFC: Molten Carbonate Fuel Cell)
  - 1.3 固体高分子形燃料電池 (PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cell)
    - 1.3.1 PEFC システム
    - 1.3.2 PEFC 電極触媒
    - 1.3.3 MEA の劣化原因
  - 1.4 固体酸化物形燃料電池 (SOFC)
  - 1.5 リン酸型燃料電池 (PEFC)
- 2. 家庭用燃料電池 (エネファーム)
  - 2.1 水素・燃料電池戦略ロードマップ
  - 2.2 世帯当たりの CO2 排出量
  - 2.3 エネファーム販売台数
  - 2.4 エネファーム販売会社
  - 2.5 エネファーム価格
  - 2.6 家庭用燃料電池の経済性と CO2 削減率
- 3. 燃料電池自動車 (FCV)
  - 3.1 水素・燃料電池ロードマップ
  - 3.2 欧州燃料電池水素共同実施機構 (FCH-JU)
  - 3.3 IEA の FCV 販売予測
  - 3.4 燃料電池車の課題
  - 3.5 燃料電池の開発
    - 3.5.1 Pt の削減
    - 3.5.2 アイオノマー
    - 3.5.3 硫黄被毒
- 4. 自立型水素エネルギー供給システム「H2OneTM」
- 参考文献

#### 第5章 廃プラスチック・都市ゴミ利用による CO2 削減

- 1. 廃プラスチックの現状
  - 1.1 廃プラスチックの累計発生量
  - 1.2 プラスチックのリサイクル
  - 1.3 EU プラスチック税
  - 1.4 容器包装リサイクル法による入札制度
- 2. 廃プラのモノマー化
- 3. 廃プラスチックの液化
  - 3.1 海外の廃プラ液化技術

- 3.1.1 Cynar プロセス
- 3.1.2 プラスチックエナジー社
- 3.1.3 Recenso GmbH
- 3.2 廃プラ熱分解油のナフサ原料利用
  - 3.2.1 BASF
  - 3.2.2 SABIC
  - 3.2.3 Neste Oil
  - 3.2.4 Dow-Fuenix
  - 3.2.5 Nexus Fuel 社
- 4. 廃プラからポリオレフィン製造
  - 4.1 二段方式による熱分解
  - 4.2 二段目 ZSM-5 による接触分解
- 5. 廃プラスチック液化油の化学品利用
  - 5.1 廃プラから p-キシレンの製造
  - 5.2 界面活性剤
  - 5.3 改質アスファルト
- 6. 熱分解による廃プラリサイクル LCA 評価
- 7. 廃プラスチックのガス化
  - 7.1 ガス化炉
  - 7.2 EUP プロセス
    - 7.2.1 EUP プロセスによるアンモニア製造
    - 7.2.2 EUP プロセスフロー
    - 7.2.3 昭和電工によるアンモニア製造
    - 7.2.4 EUP プロセスのライセンスリング
- 8. 都市ごみのガス化
  - 8.1 都市ごみから化学品と燃料の合成
  - 8.2 サーマセレクト炉
- 9. 都市ごみから化学品の合成
  - 9.1 メタノール、エタノールの合成
  - 9.2 都市ごみからエチレンの製造
  - 9.3 Enerkem
  - 9.4 ロッテルダムプロジェクト
  - 9.5 Eni と NextChem
  - 9.6 都市ごみからグリーン水素製造
- 10. 都市ごみから航空燃料の合成
  - 10.1 COS
  - 10.2 ジョンソン・マッセイと BP
  - 10.3 Eminox, JM
  - 10.4 Fulcrum BioEnergy (Fulcrum)
  - 10.5 NEDO
  - 10.6 Lanza Jet
- 11. 海外の都市ごみガス化原料プロジェクト
- 参考文献

## 第II編 二酸化炭素利用技術

### 第1章 合成ガスの製造

- 1. ドライリフォーミング (DRM)
  - 1.1 ドライリフォーミング反応
    - 1.2 DRM 触媒
      - 1.2.1 千代田化工
      - 1.2.2 BASF の DRM 触媒
      - 1.2.3 SABIC の DRM 触媒
      - 1.2.4 村田製作所
      - 1.2.5 三菱ケミカル
      - 1.2.6 富山大学
      - 1.2.7 Ni 微粒子内包ゼオライト
      - 1.2.8 物質材料研究所 (NIMS)
      - 1.2.9 古河電工

- 1.3 DRM 商業化プラント
    - 1.3.1 千代田化工の DRM プロセス
    - 1.3.2 CT-CO<sub>2</sub>AR プロセス
    - 1.3.3 DRYREFTM
    - 1.3.4 DRM による CO<sub>2</sub> フリー化学品の製造
  - 1.4 オートサーマルドライリフォーミング
  - 1.5 トリリフォーミング(TriReforming)
    - 1.5.1 GTL プロジェクト
    - 1.5.2 JFE による DRM
    - 1.5.3 KOGAS
  - 2. CO<sub>2</sub> の CO への還元
  - 2.1 シフト反応
    - 2.1.1 工業化シフト触媒
    - 2.1.2 耐硫黄シフト触媒
  - 2.2 逆シフト反応(RWR)
  - 2.3 逆シフト反応触媒
  - 2.4 メタンの熱分解と逆シフト反応の組み合わせ
- 参考文献

## 第2章 二酸化炭素からメタンの合成

- 1. Power to Gas
  - 1.1 P2G の工業化
  - 1.2 P2G プラント
  - 1.3 欧州メタングリッド
    - 1.3.1 欧州 CO<sub>2</sub> フリーメタン製造
    - 1.3.2 欧州メタングリッド
    - 1.3.3 天然ガスグリッドへの水素混合限界量
- 2. P2G プロジェクト
  - 2.1 世界の P2G プロジェクト
  - 2.2 欧州 HELMETH プロジェクト
- 3. 欧州工業化プロジェクト
  - 3.1 Jupiter1000 プロジェクト
  - 3.2 STORE&GO プロジェクト
  - 3.3 Engie 社(フランス)
  - 3.4 Electrochaea 社
  - 3.5 Waga Energy(フランス)
- 4. CO<sub>2</sub> からメタン合成
  - 4.1 CO<sub>2</sub> と水素からメタンの合成反応
  - 4.2 メタネーションプロセス
    - 4.2.1 メタン化工業化プロセス
    - 4.2.2 膜分離反応器
- 5. CO<sub>2</sub> のメタン化触媒
  - 5.1 メタネーション触媒
  - 5.2 IHI
  - 5.3 日立造船
    - 5.3.1 Ni/ZrO<sub>2</sub>
    - 5.3.2 プレート型構造体触媒充填
  - 5.4 静岡大学
  - 5.5 二元機能材料 (DMF: Dual functional materials)
- 6. Audi の Power to Gas Plant
  - 6.1 バイオメタン
  - 6.2 Audi e-gas plant
    - 6.2.1 水電解
    - 6.2.2 メタン化
  - 6.3 Audi の天然ガス自動車 (CNG) 戦略
- 7. 日本の Power to Gas
  - 7.1 越路原 Power to Gas 試験プラント
  - 7.2 環境省環境省「二酸化炭素の資源化を通じた炭素循環社会モデル構想促進事業」

- 8. Power to Gas によるメタンコスト
- 参考文献

## 第3章 二酸化炭素から燃料の合成

- 1. e-fuel
    - 1.1 e-fuel の定義
    - 1.2 燃料の合成
    - 1.3 触媒によって異なる合成燃料
  - 2. 合成液体燃料
    - 2.1 FT 合成
      - 2.1.1 合成ガスから FT 合成
      - 2.1.2 FT 合成触媒
    - 2.2 TIGAS プロセス
    - 2.3 CO<sub>2</sub> から液体燃料開発触媒
      - 2.3.1 大連化学物理研究所
      - 2.3.2 富山大学/ZSM-5
      - 2.3.3 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/HZSM-5
  - 3. CO<sub>2</sub> を用いた FT 合成
    - 3.1 カーボンエンジニアリング
    - 3.2 Nordic Blue Crude
    - 3.3 コペルニクスプロジェクト (Power-to-X)
    - 3.4 アウディの e-fuel 計画
    - 3.5 CO<sub>2</sub> 原料液体燃料コスト
  - 4. グリーン LPG
    - 4.1 CO から LPG の合成
      - 4.1.1 ハイブリッド触媒
      - 4.1.2 コアシエル触媒
      - 4.1.3 日本ガス合成
      - 4.1.4 グリーン LPG 研究会
  - 5. 航空燃料
    - 5.1 航空機からの CO<sub>2</sub> 排出量
    - 5.2 CORSIA
    - 5.3 航空会社の取り組み
    - 5.4 KEROGREEN プロジェクト
    - 5.5 ENEOS
    - 5.6 アンモニア燃料
  - 6. 船舶燃料
    - 6.1 船舶メタン燃料
    - 6.2 船舶アンモニア燃料
      - 6.2.1 アンモニア燃料タグボート
      - 6.2.2 MAN Energy Solutions
      - 6.2.3 シンガポールアンモニア燃料の船用供給
    - 6.3 船舶メタノール燃料
      - 6.3.1 二元燃料搭載船
      - 6.3.2 FReSMe プロジェクト
- 参考文献

## 第4章 二酸化炭素からメタノール合成と応用

- 1. メタノールの重要性
  - 1.1 多様原料からの合成
  - 1.2 メタノール生産量と需要
  - 1.3 ガソリンブレンド
  - 1.4 エネルギーキャリアーとしてのメタノール
  - 1.5 エネルギー貯蔵としてのメタノール
  - 1.6 メタノールによる炭素循環社会の実現
- 2. メタノール合成
  - 2.1 メタノール合成反応
  - 2.2 メタノール合成における CO と CO<sub>2</sub> の違い
  - 2.3 メタノール合成反応機構

3. メタノール合成触媒
    - 3.1 CO<sub>2</sub>によるメタノール合成触媒
    - 3.2 新規メタノール合成触媒
  4. メタノール合成反応器
    - 4.1 膜分離によるメタノール合成
    - 4.2 ゼオライト膜と掃引ガスシステム
    - 4.3 内部凝縮型反応器によるメタノール合成
      - 4.3.1 島根大学
      - 4.3.2 内部凝縮型反応器によるメタノールの工業化
  5. CO<sub>2</sub>からメタノール合成プラント
    - 5.1 ベンチ試験結果
    - 5.2 メタノール合成実証パイロットプラント
    - 5.3 余剰水素とCO<sub>2</sub>によるメタノール増産プロセス
  6. 低温メタノール合成
    - 6.1 相反応
      - 6.1.1 親水性溶媒の利用
      - 6.1.2 有機水和物との反応による方法
      - 6.1.3 液相均一系によるメタノール合成
      - 6.1.4 低温メタノール合成
      - 6.1.5 CO<sub>2</sub>からギ酸エステル経由メタノールの合成
  7. CO<sub>2</sub>からメタノール合成工業化プラント
    - 7.1 Carbon Recycling International (CRI)
    - 7.2 CRI 技術の展開
      - 7.2.1 CRI 技術展開プロジェクト
      - 7.2.2 MefCO<sub>2</sub>
      - 7.2.3 FReSMe プロジェクト
      - 7.2.4 CirclEnergy プロジェクト
      - 7.2.5 苫小牧カーボンリサイクル実証試験
  8. CO<sub>2</sub>から合成するメタノールコスト
    - 8.1 試算
    - 8.2 フラウンホーファー研究所によるCO<sub>2</sub>からのメタノール製造コスト計算(34)
  9. 大気中CO<sub>2</sub>からメタノールの合成
- 参考文献

## 第5章 メタノール・DMEから燃料と化学品の合成

1. メタノールから燃料の合成
  - 1.1 MTG プロセス
  - 1.2 MTG プロセスの実績と計画
2. メタノールから基礎化学品の合成
  - 2.1 メタノールからエチレン・プロピレン
    - 2.1.1 メタノールからエチレン・プロピレンの製造プロセス
    - 2.1.2 DMTD プロセス
    - 2.1.3 UOP MTO プロセス
    - 2.1.4 MTO 反応機構
    - 2.1.5 中国 MTO プラント
  - 2.2 メタノールからプロピレンの合成
    - 2.2.1 MTP プロセス
    - 2.2.2 DTP プロセス
    - 2.2.3 流動層プロセス
  - 2.3 メタノールからC<sub>3</sub>~C<sub>4</sub> オレフィン
  - 2.4 メタノール経由ライトオレフィンコスト
  - 2.5 米国シェールガス由来のメタノール利用軽質オレフィン
  - 2.6 メタノールから芳香族 (MTA)
    - 2.6.1 中国 MTA プラント
    - 2.6.2 バクー大学
    - 2.6.3 中国 MTA プラント計画
    - 2.6.4 p-キシレン

3. メタノールから機能化学品の合成
    - 3.1 メタノール脱水によるDME
    - 3.2 エチレングリコール
  4. DME
    - 4.1 DMEの製法
    - 4.2 直接法によるDMEの製造
      - 4.2.1 懸濁床と固定床
      - 4.2.2 懸濁床プロセス
      - 4.2.3 気相固定層プロセス
    - 4.3 CO<sub>2</sub>からDMEの合成
      - 4.3.1 三菱重工
      - 4.3.2 内部凝縮型反応器によるDMEの合成
  5. DMEから燃料の合成
    - 5.1 MTG プロセスとTIGAS プロセス
    - 5.2 OME(オキシメチレンエーテル)
  6. DMEから化学品の合成
    - 6.1 酢酸メチル経由酢酸の合成
    - 6.2 エタノール
      - 6.2.1 TCX プロセス
      - 6.2.2 DICP エタノールプロセス
      - 6.2.3 酢酸メチルの水素化分解によるエタノール
      - 6.2.4 合成ガスからエタノールの一気通貫プロセス
      - 6.2.5 酢酸ビニル
  7. メタノール/DMEによる化学品の合成図
- 参考文献

## 第6章 二酸化炭素から化学品の合成

1. 炭素循環で製造される化学品
  - 1.1 二酸化炭素原料
  - 1.2 一酸化炭素原料
  - 1.3 基礎化学品の製造
2. CO<sub>2</sub>フリー化学品の製造
  - 2.1 e-Furnace
  - 2.2 メタンのDRMによるDME原料
3. 軽質オレフィンの合成
  - 3.1 COから軽質オレフィンの合成
    - 3.1.1 ナノFe触媒
    - 3.1.2 炭化コバルト四角形ナノプリズム触媒
    - 3.1.3 ZnCr-MSAPO触媒
    - 3.1.4 合成ガスからエチレンの合成
  - 3.2 CO<sub>2</sub>から軽質オレフィンの合成
    - 3.2.1 カルフォルニア大学
    - 3.2.2 大連化学物理研究所
4. CO<sub>2</sub>から芳香族の合成
  - 4.1 ZnAlO<sub>x</sub>とHZSM-5ハイブリッド触媒
  - 4.2 COからp-キシレン
  - 4.3 CO<sub>2</sub>からp-キシレン
  - 4.4 Feナノ触媒
5. エタノールの合成
  - 5.1 エタノール原料と用途
  - 5.2 合成ガスからエタノールの合成
    - 5.2.1 合成ガスからエタノール合成触媒
    - 5.2.2 Rhによるエタノール合成
    - 5.2.3 CO<sub>2</sub>からエタノールの合成
    - 5.2.4 RhによるCO<sub>2</sub>からエタノール合成
    - 5.2.5 FeCuZnKによるエタノール合成
    - 5.2.6 PdCuNPsによるエタノール合成
    - 5.2.7 Fe/カーボンナノチューブによるアルコール合成
    - 5.2.8 均一系触媒によるエタノール合成

- 5.3 ジメチルカーボネート(DMC)
  - 5.3.1 エチレングリコール併産法
  - 5.3.2 プロピレングリコール併産法
- 5.4 酢酸の合成
- 5.5 アクリル酸の合成
- 6. 欧州のCO<sub>2</sub>利用研究
  - 6.1 SPIRE イニシアチブCO<sub>2</sub>関連プロジェクト
  - 6.2 Carbon2Chem プロジェクト
    - 6.2.1 CO/CO<sub>2</sub>原料
    - 6.2.2 プロジェクトの開発会社
    - 6.2.3 水素関連
    - 6.2.4 高級アルコール
    - 6.2.5 Carbon2Polymers
    - 6.2.6 OME(オキシメチレンエーテル)

参考文献

## 第7章 二酸化炭素からポリマーの合成

- 1. ポリアルキレンカーボネート
  - 1.1 アルキレンカーボネート樹脂
  - 1.2 ポリエチレンカーボネート(PEC)
  - 1.3 ポリプロピレンカーボネート(PPC)
  - 1.4 ポリアルキレンカーボネートの工業化
- 2. ポリカーボネートポリオール
  - 2.1 Covestro 社
  - 2.2 Eonic Technology
  - 2.3 O<sub>2</sub>とジオールから直接合成
  - 2.4 エチレングリコール併産法
  - 2.5 フェノール直接法
- 3. ヒドロキシポリウレタン
- 4. CO<sub>2</sub>によるHDIの合成
- 5. AirCarbon

参考文献

## 第8章 水素の製造と利用

- 1. 水素の需給予測
- 2. 水素基本戦略
  - 2.1 水素戦略のロードマップ
  - 2.2 水素基本戦略
- 3. 水素の定義
  - 3.1 水素の色分け
  - 3.2 グリーン水素
- 4. 欧州水素プロジェクト
- 5. 水素製造
  - 5.1 安価な水素製造
  - 5.2 電解水素
    - 5.2.1 電解技術
    - 5.2.2 電解水素価格
    - 5.2.3 アルカリ電解
    - 5.2.4 固体高分子水電解(PEM)
    - 5.2.5 PEMによる高圧水素の製造
    - 5.2.6 固体酸化物形電解(SOEC)
    - 5.2.7 E-TAC技術による水素製造
- 6. グリーン水素プロジェクト
  - 6.1 開発プロジェクト
    - 6.1.1 InHyプロジェクト
    - 6.1.2 コペルニクスプロジェクト
  - 6.2 海外のグリーン水素プロジェクト
    - 6.2.1 デンマークのグリーン水素プロジェクト
    - 6.2.2 NorthH<sub>2</sub>プロジェクト

- 6.2.3 VoltH<sub>2</sub> and North Sea Port
- 6.2.4 Jupiter1000プロジェクト
- 6.2.5 ヌーリオン
- 6.2.6 寧夏回族自治区エネルギー
- 6.2.7 NEOM
- 6.2.8 マーチソン水素プロジェクト(Murchison Renewable Hydrogen Project)
  - 6.2.9 豪州FGMグループ
- 6.3 日本のグリーン水素プロジェクト
  - 6.3.1 そうまIHIグリーンエネルギーセンター(SIGC)
  - 6.3.2 FH2R(福島水素エネルギー研究フィールド)
  - 6.3.3 岩谷産業
- 7. ターコイズ水素
  - 7.1 メタン分解
    - 7.1.1 メタン分解平衡値
    - 7.1.2 メタン分解必要エネルギー
  - 7.2 溶融金属によるメタン分解
    - 7.2.1 カールスルーエ溶融金属研究所
    - 7.2.2 カルフォルニア大学
    - 7.2.3 オランダ応用科学研究機構(TNO)
  - 7.3 メタンの接触分解による水素製造
    - 7.3.1 触媒によるメタンの接触分解
      - 7.3.2 Hazer Group
      - 7.3.3 BASF
      - 7.3.4 NEDO 先導研究
    - 7.4 メタンのプラズマ分解による水素製造
      - 7.4.1 モノリスマテリアルズ
      - 7.4.2 メタンのプラズマによる分解による水素コスト
  - 7.5 メタンのマイクロウェーブによる水素製造
- 8. 熱化学水素製造
  - 8.1 ISプロセス
  - 8.2 アルカリ金属レドックスサイクル
- 9. 光触媒による水素製造
  - 9.1 光触媒
  - 9.2 ARPChem
  - 9.3 ARPChemの開発経過
  - 9.4 一段型触媒
  - 9.5 小型モジュール試験
  - 9.6 CISによるタンデムセル
  - 9.7 半導体光触媒
- 10. 太陽電池と電解による水素製造
  - 10.1 三接合型太陽電池とPEMの組み合わせ
  - 10.2 集光型太陽電池
- 11. 水素の貯蔵・輸送
  - 11.1 水素貯蔵輸送材料
    - 11.1.1 有機ハイドライド
    - 11.1.2 メチルシクロヘキサン
    - 11.1.3 ジベンジルトルエン
  - 11.2 アンモニア
    - 11.2.1 水素キャリアとしてのアンモニア
    - 11.2.2 グリーンアンモニア
    - 11.2.3 高活性アンモニア合成触媒
    - 11.2.4 コンパクトアンモニア合成装置
    - 11.2.5 アンモニアの電解合成
    - 11.2.6 Topsoe SOFC/NH<sub>3</sub>プロジェクト
  - 11.3 液体水素
    - 11.3.1 川崎重工
    - 11.3.2 国際水素エネルギーサプライチェーン(SC)構築実証事業

12. 水素キャリアによるエネルギー変換効率
  13. 水素製造コストと輸送コスト
    - 13.1 水素キャリアコスト試算
    - 13.2 IEAによる水素キャリアコスト試算
- 参考文献

## 第9章 古細菌又は微細藻類によるCO<sub>2</sub>の資源化

1. 古細菌によるCO<sub>2</sub>から化学品合成
    - 1.1 LanzaTech社
      - 1.1.1 古細菌による化学品の合成
        - 1.1.2 製鉄所のCOを原料としたエタノールの製造
        - 1.1.3 CO<sub>2</sub>電解と組み合わせたLanzaTechプロセス
    - 1.2 水素菌によるエタノール合成
    - 1.3 Electrochaea社
    - 1.4 MicrobEnergy社
    - 1.5 他の発酵法によるメタン合成開発会社
  2. エレクトロバクテリアによるメタノール合成
  3. 欧州の発酵法によるCO<sub>2</sub>利用プロジェクト
  4. 藻類によるCO<sub>2</sub>からエタノールの合成
    - 4.1 Algenol Biotech社
  5. 太陽光とバクテリアによるブタノールの合成
- 参考文献

## 第10章 電解及び光触媒によるCO<sub>2</sub>の還元

1. CO<sub>2</sub>の電解還元によるCOの合成
    - 1.1 NEDOプロジェクト
    - 1.2 東京工業大学
    - 1.3 3M
    - 1.4 低濃度CO<sub>2</sub>のCOへの電解還元
  2. 共電解による合成ガスの製造
    - 2.1 Sunfire社
  3. 電解によるCO<sub>2</sub>の還元による化学品の合成
    - 3.1 CO<sub>2</sub>の電解還元によるエチレン
      - 3.1.1 メタノール電解液を用いたCO<sub>2</sub>の電解還元
      - 3.1.2 Zn/Cu複合電極によるエチレンの生成
      - 3.1.3 海外のCO<sub>2</sub>電解によるエチレン生成の研究
    - 3.2 CO<sub>2</sub>の電解還元によるエチレンオキシド
    - 3.3 CO<sub>2</sub>の電解還元によるエタノール
  4. 光触媒によるCO<sub>2</sub>の還元
    - 4.1 東芝
    - 4.2 ローザンヌ工科大学
    - 4.3 光触媒によるCO<sub>2</sub>からギ酸の合成
- 参考文献