

触媒からみる炭素循環（カーボンリサイクル）技術 2021

Strategy of Carbon Recycle on Catalysts 2021

室井 高城 著

- ▶ 二酸化炭素削減技術と二酸化炭素利用技術の2部構成！
- ▶ 好評「触媒からみる二酸化炭素削減対策2020」よりCO₂「削減技術」「利用技術」を抜粋し見直し、情報更新・大幅加筆！
- ▶ バイオマスや廃プラ・都市ごみ関連、燃料電池の技術に関して更新加筆！
- ▶ 広範な二酸化炭素利用技術をわかりやすく整理し紹介・解説！
- ▶ グリーン水素戦略など水素の製造と利用も詳説！

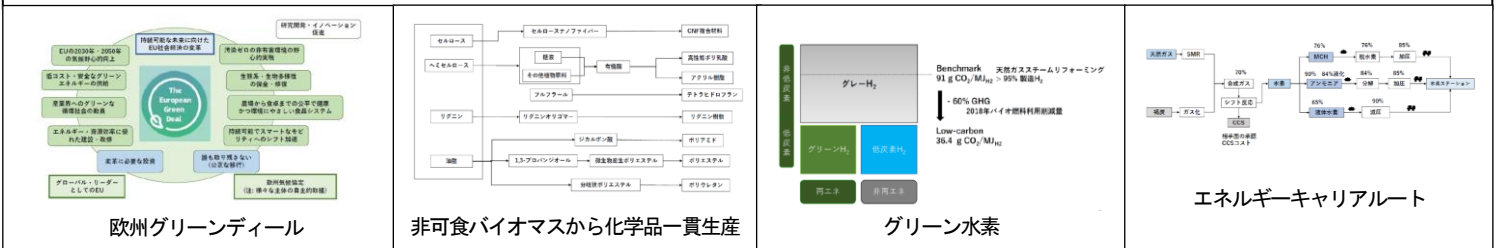
＜発行要項＞

- 発行：2021年4月20日発行
- 著者：室井 高城
- 定価：冊子版 99,000円(税込)
セット(冊子+CD) 110,000円(税込)
- 体裁：A4判・並製・302頁
- 編集・発行：(株)シーエムシー・リサーチ
- ISBN 978-4-904482-99-5

＝ 刊行にあたって ＝

2020年の世界経済成長率は、COVID-19パンデミックのために前年比マイナス約3%と落ち込み、二酸化炭素の排出量は減少し、地球温暖化は僅かに先に延びたかに思える。しかし、世界経済は、2021年の後半には回復すると予想され、再び温暖化への道を歩み続ける。パンデミックは、経済成長を鈍化させ、地球温暖化対策は停滞すると思われたが、EUは、COVID-19を逆手にとって経済を立て直すために2050年までにEU域内の温室効果ガス排出を実質ゼロにする「欧州グリーンディール」政策を打ち出し、今後10年のうちに官民で少なくとも1兆ユーロ規模の投資を行う計画を発表した。中国の習近平国家主席は2020年9月に二酸化炭素排出量を2030年までに減少に転じさせ、2060年までにCO₂排出量と除去量を差し引きゼロにするカーボンニュートラルを目指すことを表明した。韓国の文在寅大統領は、10月に温室効果ガス排出量を2050年までに実質ゼロにする「カーボンニュートラル」の実現を目指すことを表明した。続いて日本の菅総理は2050年カーボンゼロを宣言した。米国はバイデン政権になり2021年1月パリ協定に復帰した。これにより、世界の温暖化対策は、大きく前進することが予測される。日本は未だ、カーボンゼロの具体的に施策は打ち出していないが、従来の温暖化対策を加速転換しなければならない。CO₂削減には、CCSや炭酸塩などへの固定も考えられるが、日本では困難であり、削減できる量も限定的である。EUは、グリーンディールで水素社会に大きく舵を切った。日本は海外で化石資源を用いて水素やアンモニアを製造し、輸入する計画を進めてきた。しかし、化石資源を原料とした水素は、EUの言うグレー水素である。グレー水素はCO₂削減にはならない。グリーン水素を使えるようにならなければ本当の水素社会と言えない。地球温暖化以外に、廃プラスチックの汚染が新婚な問題となっている。廃プラスチックは焼却処分して熱回収するのはリサイクルとは言い難い。液化又はガス化して化学品原料としてケミカルリサイクルされなければならない。日本では、今までに多くの可能性のある地球温暖化対策の研究が総花的に取り上げられて来た。しかし、もうその時間的余裕はなくなってきた。この先10~20年でやらなければならない具体的な解決テーマを時間軸とCO₂削減量の大小に分けて、テーマを決めて、それに集中しなければならない。拙書が、これらの研究の方向に少しでも役に立てれば幸いである。

室井 高城



注文書		メルマガ会員の登録	登録済み / 登録希望
品名	触媒からみる炭素循環 (カーボンリサイクル) 技術 2021	価格	冊子版：90,000円(税込99,000円) 冊子+CD: 100,000円(税込110,000円) ※メルマガ会員は定価の10%OFF
会社名		TEL	
部課名		FAX	
お名前		E-mail	
住所	〒		

お申込み・お問合せ
編集発行： (株)シーエムシー・リサーチ 101-0054 東京都千代田区神田錦町 2-7 東和錦町ビル3F
TEL: 03 (3293) 7053 FAX: 03 (3291) 5789 URL: https://cmcre.com E-mail: re@cmcre.com

*書籍はご注文を受けた翌営業日に納品書・請求書とともに送付します。*お支払い方法は請求書指定口座に納品日の翌月末日までに振り込みをお願いします。

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 CO₂の回収技術 1.1.1 従来の回収技術 1.1.2 三菱重工のCO₂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CO₂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 CO₂分離技術開発 1.3.1 CO₂固体分離材 1.3.2 DDR型ゼオライトによるCO₂分離 1.3.3 CO₂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CO₂回収プロジェクト
- 1.5 大気からのCO₂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CO₂コスト
- 1.6 海水からのCO₂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. CO₂の炭酸塩による固定化
 - 5.1 CO₂の炭酸塩固定化 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CO₂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CO₂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E101.6.3 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 デュボン
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 溶融炭酸塩形燃料電池 (MFC: 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
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 サーマレクター炉
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-CO₂AR プロセス 1.3.3 DRYREFTM 1.3.4 DRMによるCO₂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. CO₂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CO₂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. CO₂からメタン合成4.1 CO₂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 メタン工業化プロセス 4.2.2 膜分離反応器

5. CO₂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/ZrO₂ 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 CO₂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 In203/HZSM-53. CO₂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 CO₂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 コアエシエル触媒 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CO₂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CO₂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 CO₂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. CO₂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CO₂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 有機水合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 CO₂からギ酸エステル経由メタノールの合成7. CO₂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 MeFCO₂ 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. CO₂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CO₂からのメタノール製造コスト計算(34)9. 大気中CO₂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 DMTG 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 C3~C4 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 CO₂ 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. CO₂ 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ブリズム触媒 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 CO₂ 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. CO₂ から芳香族の合成
 - 4.1 ZnAlOx と HZSM-5 ハイブリッド触媒 4.2 CO から p-キシレン 4.3 CO₂ 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 CO₂ からエタノールの合成 5.2.4 Rh による CO₂ 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 CO₂ 利用研究
 - 6.1 SPIRE イニシアチブ CO₂ 関連プロジェクト
 - 6.2 Carbon2Chem プロジェクト 6.2.1 CO/CO₂ 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 CO₂ 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. CO₂ による HDI の合成
5. AirCrbon

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 NorthH2 プロジェクト 6.2.3 VoltH2 and North Sea Port 6.2.4 Jupiter1000 プロジェクト 6.2.5 ユーロオン 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 (Murchinson 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 アルカリ金属ドレックスサイクル
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 SOCAH3 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 CO₂ の資源化

1. 古細菌による CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 利用プロジェクト
4. 藻類による CO₂ からエタノールの合成
 - 4.1 Algenol Biotech 社
 - 4.2 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 CO₂ の還元

1. CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ の還元による化学品の合成
 - 3.1 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 電解によるエチレン生成の研究
 - 3.2 CO₂ の電解還元によるエチレンオキシド
 - 3.3 CO₂ の電解還元によるエタノール
4. 光触媒による CO₂ 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 CO₂ からギ酸の合成

参考文献

著者略歴

1968 年 福島高専工業化学科卒、1968 年 住友金属鉱山入社、1969 年 日本エンゲルハルド (株) (現・エヌ・イーケムキャット (株)) に
 出向。50 年 以上 一貫して工業触媒の開発に従事。化学触媒事業部長、事業開発部長、執行役員。2006 年、触媒学会副会長。
 2008 年 アイシーラボ (工業触媒コンサルタント) 設立。BASF ジャパン (株) 主席顧問、日本ガス合成 (株) 執行役員。早稲田大学 招聘研究
 員を歴任。神奈川大学 非常勤講師、2014 年 NDEO 戦略センターフェロー。2019 年 NEDO 戦略センター 客員フェロー。
 主な受賞は触媒学功績賞 2005 年。

【著書】

2003 年「工業貴金属触媒」JETI 社、2008 年「工業触媒の劣化対策と再生、活用ノウハウ」サイエンス テクノロジー 社、
 2010 年「エネルギー触媒技術」監修 サイエンス テクノロジー 社、2013 年「新しいプロピレン製造プロセス」監修 S&T 出版、
 2013 年「工業触媒の最新動向」シーエムシー 出版、2013 年「シェールガス・オイル革命の石油化学への影響」S&T 出版、
 2014 年「シェールガス革命 第二の衝撃 日刊工業新聞社」、2017 年「触媒からみるメタン戦略・二酸化炭素戦略」シーエムシー・リサー
 チ、2019 年「触媒からみる二酸化炭素削減対策 2019」シーエムシー・リサーチ、2020 年「触媒からみる二酸化炭素削減対策
 2020」シーエムシー・リサーチ

※注 サイエンス テクノロジー 社 発行の 2 冊は、現在 ST 出版 で 販売中