

# 触媒からみる二酸化炭素削減対策 2020

## ～動き始めた二酸化炭素利用～

Strategy of Carbon Dioxide Reduction on Catalysts 2020

- ▶ ご好評の2019年1月発行「触媒からみる二酸化炭素削減対策2019」を全面見直し、情報更新・大幅加筆！
- ▶ 二酸化炭素削減対策の視点より、メタン、CO<sub>2</sub>、水素戦略などを提案！
- ▶ CO<sub>2</sub>回収技術、工業的利用技術などを広範に紹介・解説！更新・加筆！
- ▶ バイオマスや廃プラ・都市ごみ関連の技術に関しても大幅加筆！

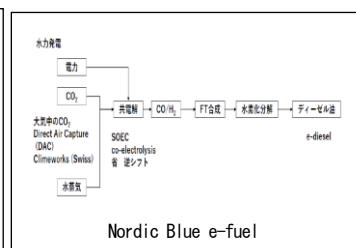
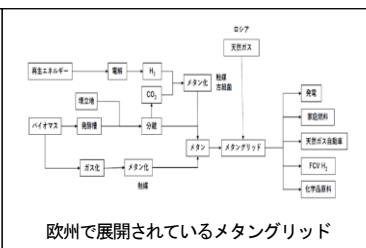
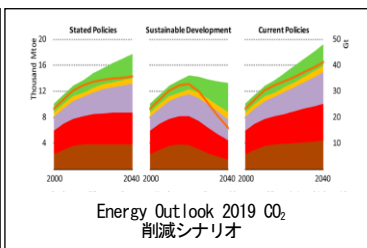
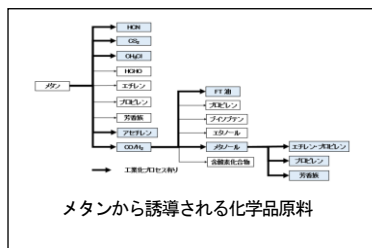
### <発行要項>

- 発行：2020年3月16日発行
- 著者：室井 高城
- 定価：冊子版 90,000円+税  
セット(冊子+CD) 100,000円+税
- 体裁：A4判・並製・301頁
- 編集・発行：(株)シーエムシー・リサーチ
- ISBN 978-4-904482-73-5

### = 刊行にあたって =

地球温暖化は我々が予測しているよりも急速に進みつつある。2018年韓国の仁川で開催された国連の気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の総会では世界の平均気温は産業革命前に比べて2030年代には1.5°C上昇に達してしまう恐れがあることが指摘された。2015年のCOP21(パリ協定)では、世界のほとんどの国が集まり、すべての締約国は、地球の温度上昇を産業革命前から2°C上昇より下方に抑え(2°C目標)、さらに1.5°C上昇まで抑えるよう努力することに合意し、日本は、CO<sub>2</sub>の排出量を2030年には2013年比26.0%減にする中期目標を掲げ、さらに日本を含む世界の主要排出国は、長期目標として2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指すことに合意している。しかし、これでは温暖化を抑制できない。2050年には、温暖化排出ガスをほとんどゼロにしなければならない。欧州は既に2050年ゼロの目標を打ち出している。2019年ドイツや英国では再生可能エネルギーの割合が化石資源エネルギーを越えた。日本は欧州に比べ温暖化対策が大きく遅れを取っているように思える。石炭火力発電から排出される二酸化炭素を削減するのに再生可能エネルギーの電力や水素を用いるのはナンセンスである。一時期騒がれていたバイオマス利用も資源量に限りがあることと自然破壊につながり、最終的にCO<sub>2</sub>を排出してしまうことが問題となっている。CCSは、地質学的に日本での実施は困難である。海外でもCCSによるCO<sub>2</sub>削減は問題視されつつある。EORも石油増産の意味はあるが生産される石油はCO<sub>2</sub>に変換されるので抜本的なCO<sub>2</sub>削減には繋がらない。このような状況の中で現実的で最も可能な解決策は、まずCO<sub>2</sub>の排出量の少ないメタンを利用することである。メタンは米国のシェールガスだけでなく世界的に埋蔵されている。そして、次には、再生可能エネルギーの社会を目指し、実現することである。欧州はCO<sub>2</sub>と再生可能エネルギーからメタンを合成しメタングリッドを用いてメタン社会を実現しようとしている。また、空気中のCO<sub>2</sub>と再生可能エネルギーからの水素で液体燃料(e-fuel)を製造する研究を始めている。中国は石炭から天然ガスそして再生可能エネルギーによりメタノールを製造し将来のメタノール社会の実現を進めているようである。水素社会は理想であるが水素は輸送や移動にコストが掛かりすぎる。廃プラスチックのケミカルリサイクルもCO<sub>2</sub>削減にとって重要な技術である。我が国は総花的な技術を展開するのではなく2030年から2050年につながる抜本的な技術を絞り込む時期に入っている。日本は世界で最も再生可能エネルギーを必要としている国でエネルギーの国産化を最も切望している国はずである。現状の工業触媒技術の観点から実現可能な最新の技術開発動向をまとめた。

室井 高城



注文書		メルマガ会員登録	登録済み / 登録希望
品名	触媒からみる二酸化炭素削減対策 2020	価格	書籍：90,000円+税 書籍+CDセット：100,000円+税 ※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： <b>(株)シーエムシー・リサーチ</b> 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: <a href="http://www.cmcre.com">http://www.cmcre.com</a> E-mail: <a href="mailto:re@cmcre.com">re@cmcre.com</a>

\*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。\*お支払いは請求書指定口座に納品日の翌末日までに振り込みをお願いします。

# 構成および内容

## 第I編 エネルギー・化学原料戦略

### 第1章 エネルギー資源原料の変化

1. 世界のエネルギー動向 1.1 2020年のエネルギーと化学品原料状況 1.2 世界のエネルギー需要予測 1.3 米国の石油の供給 1.4 石炭ガス原料メタノールからガソリンの製造 1.5 欧州の再生可能エネルギー 1.6 日本のガソリン需要量とナフサ生産量 2. 天然ガス 2.1 シェールガス 2.2 シェールガスの世界の確認埋蔵量 3. 世界の天然ガス資源 3.1 天然ガス埋蔵量 2.2 メタノールドレード
4. 再生可能エネルギー 4.1 欧州各国の電源構成 4.2 世界の再生可能エネルギーの導入予測 4.3 再生可能エネルギー価格 4.4 余剰電力

### 第2章 シェールガス革命

1. 米国のシェールガス 2. 天然ガス価格 3. シェールガスの輸入 4. 北米の化学産業 4.1 メタノール 4.2 アンモニア
5. 北米のエチレン 5.1 北米のエチレン価格 5.2 新規エチレンプラント 5.3 輸出されるエチレン誘導体
6. 不足するプロピレン、ブタジエン、芳香族 6.1 エタンクラッカーとナフサクラッカーとの違い 6.2 プロピレン、ブタジエン、芳香族の需給バランス

## 第II編 メタン戦略

### 第1章 メタンの利用

1. メタンケミストリー 1.1 CO<sub>2</sub>発生量 1.2 メタン原料化学品 1.3 メタンの直接利用 2. メタンの活性化 2.1 メタンの活性化触媒 2.2 標準生成自由エネルギー 2.3 標準生成熱 2.4 メタンのベンゼン、ナフタレン平衡値
3. メタンから芳香族の合成反応

### 第2章 メタンから燃料と化学品の製造

1. メタンから燃料油 2. メタンの脱水素二量化
3. メタンの酸化二量化 (OCM) 3.1 OCM触媒 3.2 イラン石油研究所 3.4 BHP プロセス 3.5 ナノファイバー触媒によるOCM 3.6 電場中でのOCM 3.7 OCMパイロットプラント 3.8 OCMによるエチレン製造価格 3.9 選択CO酸化による分離
4. メタンからプロピレンの合成 4.1 ハロゲン化メタン経由 4.2 メタンのNO酸化によるプロピレン 4.3 メタンとエチレンからプロピレン
5. メタンの脱水素環化 5.1 メタンからベンゼンの合成 5.2 メタンからエチレン、ベンゼン、ナフタレン
6. メタンから酢酸の合成 6.1 メタンの酸素酸化による酢酸の合成 6.2 メタンの硫酸酸化による酢酸の合成 6.3 メタンの酸化カルボニル化による酢酸 6.4 メタンとCO<sub>2</sub>から酢酸の合成
7. メタンからアセチレンの製造 7.1 部分酸化によるアセチレン 7.2 アセチレンケミストリー 7.3 メタンとアセチレンからイソブテン 7.4 メタンとCO<sub>2</sub>、アセチレンから酢酸ビニルの合成

### 第3章 メタンからメタノールの直接合成

1. メタンの直接酸化によるメタノール 2. CuOx/Zeliteによるメタン酸化 3. メタンの硫酸酸化によるメタノール 4. メタンの過酸化水素酸化によるメタノール 5. メタンのN<sub>2</sub>O酸化によるメタノール 6. メタンのNO酸化によるメタノール合成
7. メタンの硫酸酸化によるメタノールと酢酸 8. 計算科学によるCu/AEIゼオライト 9. メタンの無触媒酸化によるメタノール合成 10. メタンの電解酸化 11. 光照射によるメタンからメタノール合成 12. ホルムアルデヒドからメタノールの合成
13. メタン酸化によるホルムアルデヒドの合成 13.1 金属酸化物によるメタンからホルムアルデヒド 13.2 メタンのダイヤモンド担体によるメタン酸化

### 第4章 膜分離技術

1. 高温耐久膜 2. 膜分離触媒層 3. 共イオン膜触媒によるMDA

## 第III編 合成ガス戦略

### 第1章 合成ガス

1. メタンの水蒸気改質 1.1 メタンの水蒸気改質プラント 1.2 SMRとATRの組み合わせ 1.3 コンパクト改質装置
2. Auto Thermal Reforming (ATR) 2.1 ATR (Auto Thermal Reforming)の開発 2.2 AATG (Advanced Auto Thermal Gasification Process)
3. 迅速部分酸化による合成ガスの製造 3.1 メタンの迅速部分酸化 3.2 ConocoPhillips 3.3 千代田化工 3.4 改質ガスCO/H<sub>2</sub>比 4. 水素分離膜による水素製造 5. 共電解による合成ガスの製造

### 第2章 GTL

1. FT (フィッシャー・トロプシュ) 合成 1.1 FT合成の歴史 1.2 FT合成反応 1.3 FT合成プロセス
2. Topsoe TIGASプロセス
3. 小型FT合成プロセス 3.1 FTプラント設備投資 3.2 Compact GTL社 3.3 Velocys社 3.4 Primus Green Energy 3.5 BP-JM
4. 選択的燃料油の合成 4.1 Ru/meso-ZSM-5によるC<sub>5</sub>~C<sub>11</sub> 4.2 メタノール合成触媒とPd/ZSM-5のタンデム反応器によるC<sub>5</sub>~C<sub>11</sub> 4.3 ラネー-Feによる選択FT合成 4.4 結晶サイズの制御による選択FT合成 4.5 Ymeso-Zeolite 担持触媒による選択FT合成 5. 合成ガスからLPGの合成

### 第3章 合成ガスから化学品の合成

1. C<sub>2</sub>~C<sub>4</sub>オレフィンの合成 1.1 ナノFe触媒 1.2 炭化コバルト四角形ナプロリズム触媒 1.3 CuZn-ZSM-5によるC<sub>2</sub>~C<sub>4</sub>オレフィンの合成 1.4 ZnCr-MSAPO 1.5 合成ガスからエチレンの合成
2. 合成ガスからエタノールの合成 2.1 Rhによるエタノール合成 2.2 古細菌によるCOからエタノールの合成
3. エチレンジグリコール 4. ジメチルカーボネート
5. 合成ガスからp-キシレン

## 第IV編 メタノール戦略

### 第1章 メタノールの製造

1. メタノールの重要性 2. メタノール生産量と需要
3. メタノール燃料 3.1 ガソリン生産 3.2 エネルギーキャリアーとしてのメタノール 3.3 ジメチルエーテル (DME)
4. メタノール合成 4.1 CO<sub>2</sub>によるメタノール合成
5. コンパクトメタノール合成プロセス 5.1 小型メタノール製

- 造プラント 5.2 コンパクトメタノール合成プラント 5.3 開発中のコンパクトメタノール合成装置 5.4 eSMR

### 第2章 メタノールの利用

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・プロピレンの製造 2.2 メタノールからプロピレンの合成 2.3 メタノールからC<sub>3</sub>~C<sub>4</sub>オレフィン 2.4 メタノールから芳香族 (MTA) 2.5 メタノール経由ライトオレフィンコスト 2.6 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
3. メタノールから化学品の合成 3.1 エチレンジグリコール 3.2 酢酸 3.3 エタノール 3.4 酢酸ビニル 3.5 p-キシレン

## 第V編 二酸化炭素戦略

### 第1章 CO<sub>2</sub>削減動向

1. エネルギーアウトロック 2019
2. 2019年のCO<sub>2</sub>削減動向 2.1 COP24 2.2 日本の2030年CO<sub>2</sub>削減目標 2.3 日本の2050年目標 2.4 カーボンリサイクルファンド

### 第2章 CO<sub>2</sub>回収

1. CO<sub>2</sub>の回収技術 2. CO<sub>2</sub>回収コスト
3. 三菱重工のCO<sub>2</sub>回収技術
4. DAC (Direct Air Capture) 4.1 カーボンエンジニアリング 4.2 Climeworks社 4.3 欧州のCO<sub>2</sub>回収プロジェクト

### 第3章 CCSの現状

1. CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) 1.1 CCSの方法 1.2 世界のCCS 1.3 日本のCCS 1.4 CCSコスト
2. EOR (Enhanced Oil Recovery) 2.1 EORによる石油の採掘 2.2 EORの課題
3. BECCS (Bio-energy with Carbon Capture and Storage) 4. 炭酸ガスハイドレートによる貯蔵 5. CCSの課題 6. CO<sub>2</sub>の炭酸塩による固定化 6.1 CO<sub>2</sub>の炭酸塩固定化法 6.2 CarbFix 6.3 気硬性セメント (Non-hydraulic cement) 6.4 骨材の製造 6.5 炭酸塩化の課題

### 第4章 CO<sub>2</sub>から合成ガスの製造

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 ドライリフォーミング触媒 1.3 ドライリフォーミングの実証試験 1.4 DRM商業化プラント 1.5 ドライリフォーミングによるメタンの改質 1.6 オートサーマルドライリフォーミング
2. CO<sub>2</sub>のCOへの還元 2.1 シフト反応 2.2 逆シフト反応 (RW) 2.3 逆シフト反応触媒

### 第5章 CO<sub>2</sub>のメタン化

1. 欧州のメタングリッド 2. Power to Gas 3. CO<sub>2</sub>と水素からメタンの合成反応 4. CO<sub>2</sub>のメタン化触媒
5. Power to Gas Plant 5.1 バイオメタンの製造 5.2 Audi e-gas plant
6. Audiの天然ガス自動車 (CNG) 戦略
7. STORE&GOプロジェクト 8. 日本のPower to Gas
9. Power to Gasによるメタンコスト

### 第6章 CO<sub>2</sub>からメタノールの合成

1. メタノールの合成 2. メタノール合成におけるCOとCO<sub>2</sub>の違い 3. CO<sub>2</sub>によるメタノール合成触媒
4. メタノール合成反応機構
5. 新規メタノール合成触媒 5.1 Au修飾Cu<sub>2</sub>Ox触媒 5.2 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub>触媒
6. CO<sub>2</sub>からメタノール合成プラント 6.1 ベンチ試験結果 6.2 メタノール合成実証パイロットプラント 6.3 余剰水素とCO<sub>2</sub>によるメタノール生産プロセス
7. 液相反応 7.1 親水性溶媒の利用 7.2 有機水合物との反応による方法 7.3 液相均一系によるメタノール合成
8. CO<sub>2</sub>からギ酸エステル経由メタノールの合成
9. CO<sub>2</sub>からメタノール合成工業化プラント 9.1 Carbon Recycling International (CRI) 9.2 CRI技術の展開
10. バイオメタノール
11. エネルギー貯蔵としてのメタノール
12. CO<sub>2</sub>から合成するメタノール価格 12.1 試算 12.2 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
13. エレクトロカタリヤによるメタノール合成
14. 大気中CO<sub>2</sub>からメタノールの合成
15. メタノールによる炭素循環社会の実現

### 第7章 CO<sub>2</sub>を用いた燃料の合成

1. CO<sub>2</sub>を用いたFT合成 2. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/HZSM-5 3. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/MCM-22 4. In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/HZSM-5 5. CO<sub>2</sub>とメタンからDME 6. CO<sub>2</sub>からLPGの合成
7. e-Fuel 7.1 カーボンエンジニアリング 7.2 Nordic Blue Crude 7.3 コペルニクスプロジェクト (Power-to-X) 7.4 アウディのe-fuel計画 7.5 ReFuNoBio (e-fuel) コスト試算

### 第8章 CO<sub>2</sub>から化学品の製造

1. 欧州のCO<sub>2</sub>利用 1.1 SPIRE CO<sub>2</sub>関連プロジェクト 1.2 Carbon2Chemプロジェクト
2. BASF 2.1 BASFカーボンマネジメント 2.2 e-furnace 2.3 メタン分解によるH<sub>2</sub>の製造 2.4 メタンのドライリフォーミング 2.5 CO<sub>2</sub>を用いたアルコールNaの合成
3. CO<sub>2</sub>からエタノールの合成 3.1 エタノールの平衡収率 3.2 Rhによるエタノール合成 3.3 FeCuZnKによるエタノール合成 3.4 PdCuNPsによるエタノール合成 3.5 Fe/カーボンナノチューブによるプロパノールの合成 3.6 均一系触媒によるエタノール合成
4. 酢酸の合成 5. CO<sub>2</sub>からC<sub>2</sub>~C<sub>4</sub>の選択合成
6. CO<sub>2</sub>から軽質オレフィン

7. CO<sub>2</sub>から芳香族の合成 7.1 Feナノ触媒 7.2 ZnAlOxとHZSM-5混合触媒

### 8. アクリル酸の合成

9. CO<sub>2</sub>とメタノールから炭酸ジメチルの合成

### 10. 新たなC1ケミストリー

### 第9章 電解及び光触媒によるCO<sub>2</sub>の還元

1. 電解によるCO<sub>2</sub>の還元 1.1 NEDOプロジェクト 1.2 3Mのフィルム電極 1.3 東京工業大学
2. 光触媒によるCO<sub>2</sub>の還元 2.1 東芝 2.2 ローザンズ 工科大学 2.3 光触媒によるCO<sub>2</sub>からギ酸の合成

### 第10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 1.1 LanzaTech 1.2 Electrochaea
2. 藻類によるCO<sub>2</sub>からエタノールの合成 3.1 Algenol Biotech社 3.2 太陽光とバクテリアによるメタノールの合成

### 第11章 CO<sub>2</sub>を用いたポリマーの合成

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
3. CO<sub>2</sub>とジオールからポリカーボネートの合成
- 3.1 CO<sub>2</sub>とジオールから直接合成 3.2 エチレンジグリコール併産法 3.3 フェノール直接法
4. ヒドロキシポリウレタン 5. CO<sub>2</sub>によるHDIの合成

## 第VI編 水素戦略

### 第1章 水素の製造

1. 水素製造
2. 電解水素 2.1 電解水素価格 2.2 アルカリ電解 2.3 固体高分子水電解 (PEM) 2.4 PEMによる高圧水素の製造 2.5 固体酸化物形電解 (SOEC)
3. 欧州電解水素プロジェクト 3.1 HELMETHプロジェクト 3.2 InHyプロジェクト 3.3 コペルニクスプロジェクト 3.4 PEM, SOEC電解水素コスト
4. メタン分解による水素製造 4.1 メタン分解 4.2 融解金属によるメタン分解 4.3 メタンの接触分解による水素製造 4.4 メタンのプラズマ分解による水素製造 4.5 メタンのマイクロウェーブによる水素製造 4.6 メタンの水蒸気改質による水素収率との比較
5. 光触媒による水素製造 5.1 光触媒 5.2 人工光合成 5.3 半導体光触媒
6. 再生可能電力からの水素製造実証プロジェクト

### 第2章 水素の貯蔵・輸送

1. 有機ハイドライド 1.1 メチルシクロヘキサン 1.2 ジベンジルトルエン 1.3 水素輸送キャリアとしてのメタノール
2. アンモニア 2.1 水素キャリアとしてのアンモニア 2.2 高活性アンモニア合成触媒 2.3 コンパクトアンモニア合成装置 2.4 アンモニアの電解合成 2.5 グリーンアンモニアコンソーシアム
3. 液体水素 3.1 川崎重工 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
4. 水素製造コストと輸送コスト

## 第VII編 バイオマス戦略

### 第1章 燃料製造

1. バイオ燃料 1.1 バイオ燃料需要予測 1.2 米国の状況 1.3 欧州 1.4 シンガポール 1.5 バイオプタノール 1.6 イソオクタン
2. 可食資源から非可食資源 2.1 第二世代のバイオエタノール 2.2 非可食バイオ燃料
3. 非可食バイオオマスの糖化による液体燃料の合成 3.1 クラリアント 3.2 デュボン 3.3 Cobalt Technology
4. 非可食バイオオマスのガス化による液体燃料の合成 4.1 Red Rock Biofuel社 4.2 ウッドバイオマスからガソリンの製造

### 第2章 化学品・ポリマー製造

1. バイオマスから化学品の製造 1.1 バイオマスによる製造されている化学品 1.2 バイオエタノールによる化学品 1.3 バイオエチレン 1.4 バイオオコハク酸 1.5 エチレンジグリコール 1.6 イソブテン 1.7 イソブレン 1.8 ブタジエン
2. バイオマスから芳香族の製造 2.1 Anellotech 2.2 Shell IH2プロセス 2.3 Virent 2.4 Origin Materials
3. バイオマスによるポリマーの製造 3.1 Avantium 3.2 三菱ケミカル 3.3 スーリオン

## 第VIII編 廃プラスチック・都市ごみ戦略

### 第1章 廃プラスチックのケミカルリサイクル

1. プラスチックのリサイクル
2. 廃プラスチックの液化 2.1 Veba Oil 2.2 ポリエチレンの熱分解 2.3 廃プラスチックから燃料の合成
- 2.4 廃プラスチックのナフサ原料利用 2.5 廃プラスチックからポリオレフィン
3. 廃プラスチックのガス化 3.1 ガス化炉 3.2 宇宙興産 3.3 昭和電工

### 第2章 都市ごみガス化炉から化学品と燃料の合成

1. 都市ごみからメタノール、エタノールの合成 1.1 積水化学 1.2 Enerkem 1.3 ロッテルダムプロジェクト 1.4 EniとNextChem
2. 都市ごみから航空燃料の合成 2.1 JonhsonMattheyとBP 2.2 Eminox, JM 2.3 Fulcrum BioEnergy (Fulcrum)
3. 廃プラスチックから芳香族の製造