

「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 ～」 目次

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
 - 3.2 メタンハイドレード
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體
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 CO₂ 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

- 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CO₂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CO₂、アセチレンから酢酸ビニルの合成

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

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/Zeolite 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 N₂O 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/H₂ 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

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 ガソリンブレンド
 - 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 CO₂ 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

第Ⅴ編 二酸化炭素戦略

第1章 CO₂ 削減動向

1. エネルギーアウトック 2019
2. 2019 年の CO₂ 削減動向
 - 2.1 COP24
 - 2.2 日本の 2030 年 CO₂ 削減目標
 - 2.3 日本の 2050 年目標

- 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 C₅~C₁₁
 - 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 C₅~C₁₁
 - 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-Zeolyte 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. C₂~C₄ 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ノプリズム触媒
 - 1.3 CuZn-ZSM-5 による C₂~C₄ 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

- 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 C₃~C₄ 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

- 2.4 カーボンリサイクルフェンド

第2章 CO₂ 回収

1. CO₂ の回収技術
2. CO₂ 回収コスト
3. 三菱重工の CO₂ 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CO2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. CO2の炭酸塩による固定化
 - 6.1 CO2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 CO2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. CO2のCOへの還元
 - 2.1 シフト反応
 - 2.2 逆シフト反応 (RWR)
 - 2.3 逆シフト反応触媒

第5章 CO2のメタン化

- 1. 欧州のメタングリッド
- 2. Power to Gas
- 3. CO2と水素からメタンの合成反応
- 4. CO2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 Audie-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 CO2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CO2の違い
- 3. CO2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CuZnOx触媒
 - 5.2 In2O3/ZrO2触媒
- 6. CO2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CO2によるメタノール増産プロセス

7. 液相反応

- 7.1 親水性溶媒の利用
- 7.2 有機水和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. CO2からギ酸エステル経由メタノールの合成
- 9. CO2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. CO2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CO2からのメタノール製造コスト計算
- 13. エレクトロバクテリアによるメタノール合成
- 14. 大気中CO2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 CO2を用いた燃料の合成

- 1. CO2を用いたFT合成
- 2. Fe3O4/HZSM-5
- 3. Fe2O3/MCM22
- 4. In2O3/HZSM-5
- 5. CO2とメタンからDME
- 6. CO2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 CO2から化学品の製造

- 1. 欧州のCO2利用
 - 1.1 SPIRECO2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 efurnace
 - 2.3 メタン分解によるH2の製造
 - 2.4 メタンのドライリフォーミング
 - 2.5 CO2を用いたアクリル酸Naの合成
- 3. CO2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
- 4. 酢酸の合成
- 5. CO2からC2~C4の選択合成
- 6. CO2から軽質オレフィン
 - 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. CO2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

3.2 太陽光とバクテリアによるブタノールの合成

第9章 電解及び光触媒によるCO₂の還元

1. 電解によるCO₂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CO₂の還元
 - 2.1 東芝
 - 2.2 ローザンヌ工科大学
 - 2.3 光触媒によるCO₂からギ酸の合成

第10章 古細菌又は微細藻類によるCO₂の資源化

1. 古細菌
 - 1.1 LanzaTech
 - 1.2 Electrochaea
2. 欧州CO₂パイオプロジェクト
3. 藻類によるCO₂からエタノールの合成
 - 3.1 Algenol Biotech社

第11章 CO₂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. CO₂とジオールからポリカーボネートの合成
 - 3.1 CO₂とジオールから直接合成
 - 3.2 エチレングリコール併産法
 - 3.3 フェノール直接法
4. ヒドロキシポリウレタン
5. CO₂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 熔融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 バイオブタノール
 - 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 バイオマスにより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 バイオコハク酸
- 1.5 エチレングリコール
- 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 ShellIH2 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 廃プラ熱分解油のナフサ原料利用
 - 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 宇部興産
 - 3.3 昭和電工

第2章 都市ごみガス化炉ガス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 JohnsonMatthey 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