

「カーボンニュートラルのためのグリーン燃料と化学品」 目次

第I章 カーボンニュートラル水素

1. グリーン水素
 - 1.1 水素製造
 - 1.2 水素の色分け
 - 1.3 グリーン水素の定義
 2. IEAのNet Zero 報告書
 - 2.1 水素生産量
 - 2.2 2050年の水素占有率
 - 2.3 2050年の水素需要
 - 2.4 2050年の水素コスト
 3. 再エネ電力
 - 3.1 第6次エネルギー基本計画
 - 3.2 世界の太陽光発電コスト
 - 3.2.1 2050年世界の太陽光発電コスト
 - 3.2.2 Carbon Trackerの再エネコスト比較
 - 3.2.3 日本の再生エネルギー価格
 4. 水素コスト
 - 4.1 電解水素価格
 - 4.2 IEAの水素コスト予測
 - 4.3 電解水素コスト予測
 5. 水素製造
 - 5.1 電解技術
 - 5.1.1 電解特性
 - 5.1.2 電解槽金属使用量
 - 5.2 アルカリ電解
 - 5.2.1 アルカリ電解装置
 - 5.2.2 アルカリ電解効率
 - 5.2.3 アルカリ電解水素製造規模
 - 5.2.4 アルカリ電解プロジェクト
 - 5.3 固体高分子水電解 (PEM)
 - 5.3.1 PEM電極
 - 5.3.2 PM削減電極
 - 5.3.3 PEMによる高圧水素の製造
 - 5.3.4 PEM製造各社
 - 5.4 固体酸化物形電解 (SOEC)
 - 5.4.1 HELMETHプロジェクト
 - 5.4.2 第三世代のSOEC
 - 5.4.3 Haldor Topsoe
 - 5.4.4 Sunfire
 - 5.4.5 SOEC製造各社
 - 5.5 共電解
 6. 水素プロジェクト
 - 6.1 世界の水素プロジェクト
 - 6.1.1 欧州のグリーン水素プロジェクト
 - 6.1.2 中国のグリーン水素プロジェクト
 - 6.1.3 中東のグリーン水素プロジェクト
 - 6.1.4 豪州のグリーン水素プロジェクト
 - 6.2 日本のグリーン水素プロジェクト
 7. ターコイズ水素
 - 7.1 メタンの熱分解
 - 7.1.1 ターコイズ水素の意味
 - 7.1.2 メタンの熱分解反応
 - 7.1.3 メタン分解に必要なエネルギー
 - 7.2 ターコイズ水素開発状況
 - 7.2.1 熱分解法
 - 7.2.2 プラズマによるメタン分解
 - 7.2.3 接触分解によるメタン分解
 - 7.3 国内のターコイズ水素開発状況
 - 7.3.1 NEDO 先導研究
 - 7.3.2 産総研, 京都大学, IHI
 - 7.3.3 岐阜大, 伊原工業
 - 7.3.4 RITE
 - 7.3.5 戸田工業-エア・ウォーター
 - 7.3.6 マイクロウェーブ法(旭川高専)
8. 水素の貯蔵・輸送
 - 8.1 水素キャリア
 - 8.2 有機ヒドライド
 - 8.2.1 メチルシクロヘキサン(MCH)
 - 8.2.2 Direct MCHTM
 - 8.2.3 ジベンジルトルエン
 - 8.3 水素輸送キャリアとしてのメタノール
 - 8.4 アンモニア
 - 8.4.1 水素キャリアとしてのアンモニア
 - 8.4.2 高活性アンモニア合成触媒
 - 8.4.3 コンパクトアンモニア合成装置
 - 8.4.4 アンモニアの電解合成
 - 8.4.5 Haldor Topsoeによる電解法
 - 8.4.6 グリーンアンモニアコンソーシアム
 - 8.5 液体水素
 - 8.5.1 川崎重工
 - 8.5.2 国際水素エネルギーサプライチェーン(SC)構築
- 実証事業
 - 8.6 水素製造コストと輸送コスト
- 参考文献

第II章 グリーンメタン

1. グリーンメタン
2. 欧州の動向
 - 2.1 欧州のバイオメタン
 - 2.2 欧州の天然ガスグリッド
 - 2.3 欧州バイオガス
 - 2.4 欧州バイオガス導入の理由
 - 2.5 EUエネルギー指令
 - 2.6 欧州バイオガスとバイオメタン目標
3. グリーンメタンの製法
 - 3.1 発酵法によるグリーンメタンの製造
 - 3.2 バイオメタン原料
 - 3.3 バイオメタンの製法
4. CO₂と水素からメタン合成
 - 4.1 発熱反応
 - 4.2 平衡反応
 - 4.3 メタネーション反応の特徴
 - 4.4 Ru/Al₂O₃によるメタン化反応
5. メタネーション触媒
6. メタネーションプロセス
7. 欧州のグリーンメタンプラント
 - 7.1 Audi e-gas plant
 - 7.2 発酵法によるグリーンメタンの製造
 - 7.2.1 Electrochaea 社
 - 7.2.2 MicrobEnergy 社
8. グリーンメタンプロジェクト
 - 8.1 欧州のプロジェクト

- 8.1.1 HELMETH プロジェクト
- 8.1.2 Jupiter1000 プロジェクト
- 8.1.3 STORE&GO プロジェクト
- 8.1.4 GAYA プロジェクト
- 8.1.5 Hycanais プロジェクト
- 8.2 日本のプロジェクト
 - 8.2.1 越路原試験プラント
 - 8.2.2 小田原エックス都市
 - 8.2.3 東京ガス
 - 8.2.4 大阪ガス
- 9. グリーンメタン触媒の開発
 - 9.1 日立造船
 - 9.1.1 Ni/ZrO₂ 触媒
 - 9.1.2 プレート型構造体触媒
 - 9.2 IHI
 - 9.3 グリーンメタン合成触媒開発動向
 - 9.3.1 複合酸化物担体
 - 9.3.2 クラリアント触媒
 - 9.3.3 東芝
 - 9.3.4 膜による水分離
 - 9.3.5 パイオマスからメタン
- 10. グリーンメタン製造プロセスの開発
 - 10.1 Haldor Topsøe 社の SOEC によるメタンの倍増プロセス
 - 10.2 二元機能材料(DMF)による CO₂ の回収とメタン化
 - 10.3 静岡大学
- 11. Power to Gas によるメタンコスト
- 12. グリーン LPG
 - 12.1 CO から LPG の合成
 - 12.1.1 ハイブリッド触媒
 - 12.1.2 コアシェル触媒
 - 12.2 CO₂ から LPG の合成
 - 12.3 グリーン LPG 研究会
 - 12.3.1 日本 LPG 協会
 - 12.3.2 グリーン LPG 推進協議会提案プロセス

参考文献

第三章 グリーン液体燃料

- 1. はじめに
- 2. グリーン液体燃料の合成
- 3. グリーンメタノール
 - 3.1 グリーンメタノール製造ルート
 - 3.2 メタノール合成
 - 3.3 メタノール合成における CO と CO₂ の違い
 - 3.4 CO₂ によるメタノール合成触媒
 - 3.4.1 RITE 開発触媒
 - 3.4.2 In₂O₃/ZrO₂ 触媒
 - 3.4.3 Au/In₂O₃-ZrO₂
 - 3.5 メタノール合成反応器
 - 3.5.1 膜分離によるメタノール合成
 - 3.5.2 ゼオライト膜と掃引ガスシステム
 - 3.5.3 内部凝縮型反応器によるメタノール合成
 - 3.6 CO₂ からメタノール合成プラント
 - 3.6.1 ベンチ試験結果
 - 3.6.2 メタノール合成実証パイロットプラント
 - 3.7 CO₂ を用いたメタノール合成プロセス
 - 3.7.1 余剰水素と CO₂ によるメタノール増産プロセス
 - 3.7.2 Carbon Recycling International 社 (CRI)
 - 3.7.3 CRI の中国における商業プラント

- 3.7.4 CRI 技術展開プロジェクト
- 3.7.5 Enerkem 社
- 3.7.6 bse Engineering
- 3.7.7 European Energy 社
- 3.7.8 Haru Oni プロジェクト
- 3.7.9 苫小牧カーボンリサイクル実証試験
- 3.7.10 三菱ガス化学
- 3.7.11 電気菌によるメタノールの合成
- 3.7.12 大気中の CO₂ からメタノールの合成
- 3.8 低温メタノール合成
 - 3.8.1 親水性溶媒の利用
 - 3.8.2 有機水和物との反応による方法
 - 3.8.3 液相均一系によるメタノール合成
 - 3.8.4 Ir 錯体による低温メタノール合成
 - 3.8.5 CO₂ からギ酸エステル経由メタノールの合成
- 3.9 CO₂ から合成するメタノールコスト
- 3.10 パイオメタノール
 - 3.10.1 グリセロールからパイオメタノール
 - 3.10.2 グリセロールの水素化分解
 - 3.10.3 パルプ廃液からパイオメタノール
- 4. パイオエタノール
- 5. バイオディーゼル油
 - 5.1 ディーゼル油
 - 5.2 EU 各国のバイオディーゼル生産能力(現行+計画)と生産量
 - 5.3 エステル交換バイオディーゼル油 (FAME)
 - 5.4 水素化バイオディーゼル(HVO)
 - 5.4.1 食用油脂と脂肪酸
 - 5.4.2 油脂の水素化
 - 5.4.3 油脂の水素化処理によるバイオディーゼル油の製造
 - 5.4.4 水素化処理
 - 5.5 Neste Oil による水素化バイオディーゼルの工業化
 - 5.5.1 工業化プラント
 - 5.5.2 廃油からディーゼル油
 - 5.5.3 Neste Oil NextBTL プロセス
 - 5.6 HVO の併産 (co-processing)
- 6. グリーンブタノール
 - 6.1 ブタノール
 - 6.2 イソブタノール
 - 6.2.1 Gevo 社
 - 6.2.2 アウディ (Audi)
 - 6.3 REWOFUEL
 - 6.4 Butamax Advanced Biofuels
- 7. 合成燃料
 - 7.1 合成燃料工業化プロセス
 - 7.2 FT (Fischer Tropsch) 合成
 - 7.2.1 FT 合成反応
 - 7.2.2 Sasol プロセス
 - 7.2.3 Shell プロセス
 - 7.2.4 FT 合成アップグレーディング(水素化分解・異性化)
 - 7.3 開発されている FT プロセス
 - 7.4 CO₂ と水素による FT 合成
 - 7.5 工業化触媒
 - 7.5.1 FT 触媒
 - 7.5.2 Sasol 触媒
 - 7.5.3 Shell 触媒
 - 7.5.4 FT 合成触媒反応条件

- 7.6 日本 GTL 技術
 - 7.7 小型 FT 合成装置
 - 7.7.1 小型装置
 - 7.8 選択 FT 合成プロセス
 - 7.9 TIGAS プロセス
 - 7.10 世界の e-fuel プロジェクト
 - 7.10.1 Nordic Blue Crude
 - 7.10.2 コペルニクスプロジェクト
 - 7.10.3 アウディの e-fuel 計画
 - 7.10.4 カーボンエンジニアリング
 - 7.10.5 Haru Oni プロジェクト
 - 7.10.6 Prometheus Fuels 社
 - 7.11 日本の e-fuel プロジェクト
 - 7.12 CO₂ 原料液体燃料コスト
 - 8. 航空燃料
 - 8.1 航空機からの CO₂ 排出量
 - 8.2 CORSIA (国際航空カーボンオフセットと削減計画)
 - 8.3 SAF (Sustainable Aviation Fuel) の需要予測
 - 8.4 SAF 製法
 - 8.5 油脂の水素化によるバイオ燃料
 - 8.5.1 開発されているプロセス
 - 8.5.2 現在のバイオ燃料コスト
 - 8.6 ATJ (アルコールからジェット燃料)
 - 8.6.1 LanzaJet
 - 8.6.2 ORNL (Oak Ridge National Laboratory)
 - 8.7 バイオマスガス化と FT 合成による液体燃料
 - 8.7.1 BioTfuel
 - 8.7.2 COMSYN プロジェクト
 - 8.7.3 Red Rock Biofuel
 - 8.7.4 BETO (DOE Bioenergy Technologies Office) プロジェクト
 - 8.7.5 ワールド・エナジー
 - 8.7.6 W2C ロッテルダムプロジェクト
 - 8.7.7 Fulcrum BioEnergy 社
 - 9. 国内動向
 - 9.1 バイオジェット燃料
 - 9.1.1 NEDO プロジェクト
 - 9.1.2 微細藻類
 - 9.1.3 IHI
 - 9.1.4 ユーグレナ
 - 9.1.5 ガス化・FT 合成
 - 9.1.6 廃棄物から SAF
 - 9.1.7 ATJ (エタノールから SAF)
 - 9.1.8 ENEOS
 - 9.2 船舶燃料
 - 9.2.1 船舶代替燃料
 - 9.2.2 船舶メタン燃料
 - 9.2.3 船舶アンモニア燃料
 - 9.2.4 船舶メタノール燃料
- 参考文献
- 第IV章 バイオマスを用いたグリーン化学品**
- 1. バイオマスにより製造されている化学品
 - 2. バイオエタノール
 - 2.1 バイオエタノールの製法
 - 2.1.1 発酵法
 - 2.1.2 クラリアント Sunliquid プロセス
 - 2.1.3 Wood からエタノール
 - 2.1.4 都市ゴミからエタノール
 - 2.1.5 バイオエタノールを用いた化学品
 - 3. バイオエチレン
 - 3.1 バイオエチレンの製法
 - 3.1.1 エタノールの脱水
 - 3.1.2 Braskem プロセス
 - 3.1.3 Humingbird プロセス
 - 3.1.4 ATOL プロセス
 - 3.1.5 都市ゴミからバイオエチレン
 - 3.2 バイオエチレンコスト
 - 4. エチレングリコール (MEG)
 - 4.1 エチレンオキシドの水和
 - 4.2 糖から MEG の製造
 - 4.3 セルロースからエチレングリコール
 - 5. エピクロロヒドリン (ECH)
 - 6. バイオプロピレン
 - 6.1 バイオエチレンからプロピレンの製造
 - 6.2 水素化バイオディーゼル油副生プロパンの脱水素グリーンプロピレン
 - 6.3 バイオナフサの熱分解
 - 6.4 発酵法
 - 7. プロピレングリコール (1,2-プロパンジオール)
 - 7.1 グリセロールからプロピレングリコール (PG)
 - 7.1.1 Cargill 社
 - 7.1.2 GTL Technology 社
 - 7.1.3 Oleon 社
 - 7.1.4 Orlen 社
 - 7.1.5 Missouri-Columbia 大学
 - 7.1.6 乳酸から PG
 - 7.1.7 ソルビトールから PG
 - 8. 1,3-プロパンジオール (1,3-PD)
 - 8.1 DuPont Tate & Lyle Bio Products 社
 - 8.2 グリセロールから 1,3-PD
 - 8.2.1 グリセロールの水素化
 - 8.2.2 菌体による 3-ヒドロキシプロピオンアルデヒドの合成
 - 8.2.3 グリセロールから連続合成
 - 9. 1,4-ブタンジオール (1,4-BDO)
 - 10. 乳酸
 - 11. アクリル酸
 - 11.1 グリセロールからアクリル酸
 - 11.2 乳酸からアクリル酸
 - 12. ブタジエン
 - 12.1 エタノールからブタジエン
 - 12.2 横浜ゴム
 - 12.3 日揮
 - 12.4 BioButterfly プロジェクト
 - 13. イソプレン
 - 14. バイオコハク酸
 - 14.1 バイオコハク酸の工業化
 - 14.2 コハク酸誘導体
 - 14.2.1 PBS (ポリブチレンサクシネート)
 - 14.2.2 コハク酸誘導体
 - 15. バイオマスから芳香族の製造
 - 15.1 Anellotech
 - 15.2 Shell IH2 プロセス
 - 15.3 Virent
 - 15.4 Origin Materials
 - 16. 5-ヒドロキシメチルフルフラール (5-HMF)
 - 16.1 5-HMF の合成ルート

- 16.2 グルコースから5-HMF
 - 16.3 フルクトースから5-HMF
 - 16.4 セルロースから5-HMF
 - 17. 2,5-ビス(アミノメチル)フラン
 - 18. 2,5-ビス(アミノメチル)テトラヒドロフラン
 - 19. 2,5-フランジカルボン酸 (FDCA)
 - 20. レブリン酸
 - 21. γ -バレロラクトン (GVL)
 - 22. フルフラール
 - 23. テトラヒドロフラン (THF)
 - 24. ソルビトール
 - 25. イソソルビド
 - 26. バイオポリエチレン
 - 27. バイオポリプロピレン
 - 28. ポリエチレンテレフタレート (PET)
 - 29. ポリカーボネート
 - 30. ポリヒドロキシ酪酸 (PHBH)
 - 31. ダイニーマ
 - 32. バイオマス洗剤
 - 33. バイオナイロン
 - 33.1 1,3-ペンタメチレンジアミン
 - 33.2 ポリアミド4 (PA4)
 - 33.3 ポリアミド11 (PA11)
 - 34. β -ファルネセン
 - 35. スクワラン
 - 36. オリゴ糖
- 参考文献

第V章 CO₂を用いたグリーン化学品

- 1. グリーン化学品
- 2. CO₂から合成される化学品
 - 2.1 CO₂原料基礎化学品
 - 2.2 CO₂から直接合成できる化学品
 - 2.3 CO₂から誘導できる化学品
- 3. メタノールケミストリー
 - 3.1 CO₂と水素から合成できるメタノール
 - 3.2 メタノールから化学品原料
 - 3.3 メタノールからオレフィンの製造
 - 3.3.1 メタノールから軽質オレフィン製造プロセス
 - 3.3.2 DMTO プロセス
 - 3.3.3 S-MTO プロセス
 - 3.3.4 UOP の MTO プロセス
 - 3.3.5 メタノールからプロピレン
 - 3.3.6 メタノールからC₃~C₄ オレフィン
 - 3.3.7 メタノールからグリコール酸
 - 3.4 メタノールから芳香族
 - 3.4.1 工業化プロセス
 - 3.4.2 p-キシレン
- 4. 酢酸からエタノール
 - 4.1 TCX プロセス
 - 4.2 大連化学物理研究所 (DICP)
- 5. ジメチルエーテル (DME) から化学品
 - 5.1 DME の合成
 - 5.1.1 メタノールから DME
 - 5.1.2 合成ガス(CO/H₂)から DME
 - 5.2 DME から酢酸メチル
 - 5.2.1 酢酸メチルの合成

- 5.2.2 酢酸メチルから酢酸
 - 5.2.3 酢酸メチルからエタノール
 - 6. エチレングリコール
 - 6.1 宇部興産-ハイケム法
 - 6.2 Eastman-Davy(JM) Process
 - 7. 酢酸ビニル
 - 8. 合成ガスからエチレンの合成
 - 8.1 CO/H₂ からエチレンの直接合成
 - 8.2 微生物によるエチレン合成
 - 9. エタノール
 - 9.1 エタノールの合成
 - 9.1.1 エタノールの用途
 - 9.1.2 CO₂ からエタノール合成平衡収率
 - 9.1.3 合成ガスからエタノールの合成
 - 9.1.4 合成ガスからエタノールの一気通貫プロセス
 - 9.1.5 Rh によるエタノール合成
 - 9.1.6 FeCuZnK によるエタノール合成
 - 9.1.7 PdCuNPs によるエタノール合成
 - 9.2 微生物によるエタノール合成
 - 9.2.1 古生菌によるエタノール合成
 - 9.2.2 藻類による CO₂ からエタノールの合成
 - 10. 軽質オレフィン
 - 10.1 CO から軽質オレフィンの合成
 - 10.1.1 ナノ Fe 触媒
 - 10.1.2 ZnCr-MSAPO 触媒
 - 10.2 CO₂ から軽質オレフィンの合成
 - 10.2.1 カルフォルニア大学
 - 10.2.2 大連化学物理研究所
 - 11. 芳香族の合成
 - 11.1 CO₂ から芳香族
 - 11.2 p-キシレン
 - 11.2.1 CO から p-キシレン
 - 11.2.2 CO₂ から p-キシレン
 - 12. 機能化学品の合成
 - 12.1 アクリル酸
 - 12.1.1 CaRLa(Catalysis Research Laboratory)
 - 12.1.2 BASF によるアクリル酸
 - 12.2 ジメチルカーボネート (DMC)
 - 12.2.1 併産法
 - 12.2.2 CO₂ とメタノールからの合成
 - 12.2.3 CO とメタノールからの合成
 - 12.3 β -プロピオラクトン
 - 12.4 HDI
 - 12.5 尿素化合物
 - 13. CO₂ からポリマーの合成
 - 13.1 ポリプロピレンカーボネート (PPC)
 - 13.1.1 Novomer 社
 - 13.1.2 ポリアルキレンカーボネートの工業化
 - 13.1.3 Covestro 社
 - 13.1.4 Eonic Technologies 社
 - 13.2 ジフェニルカーボネート
 - 13.2.1 エチレングリコール併産法
 - 13.2.2 フェノールと CO₂ からポリカーボネート
 - 13.3 ヒドロキシポリウレタン
 - 13.4 Newlight Technologies
- 参考文献