

★ グリーン水素製造の効率化、低コスト化に向けた触媒、セル、装置開発の最新事例！

★ 大規模サプライチェーン構築、水素の利活用で生まれるビジネスチャンス！

# 水素の製造と その輸送,貯蔵,利用技術

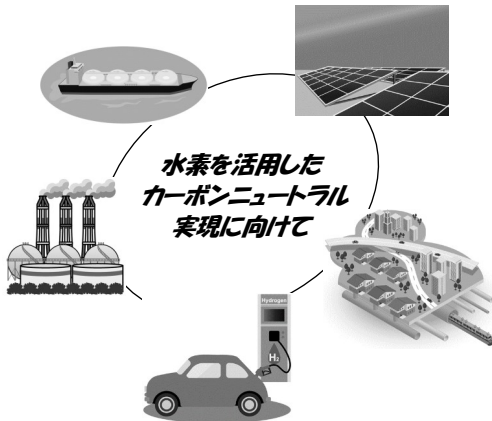


● 発刊：2022年9月30日 ● 体裁：A4判 603頁 ● 定価：88,000円(税込) ● ISBN：978-4-86104-899-9

## 本書のポイント

※大学、公的機関、医療機関の方には割引価格（アカデミック価格）で販売いたします。詳しくはお問い合わせください。

- ・水素社会の実現に向けた各国の政策、  
企業の研究開発動向
- ・アルカリ型、PEM型、固体酸化物型  
水電解の高効率化とその装置の大型化
- ・人工光合成による水素製造の高効率化、  
常温・大気条件下で駆動する触媒開発
- ・水素キャリア、水素貯蔵材料の  
種類、特徴と最近の開発動向
- ・国際間水素サプライチェーン、  
都市、住宅街への輸送システムの構築
- ・水素貯蔵タンク、配管、シール材の  
高強度化、耐水素脆性向上とその評価法



- ・微量水素漏洩の選択的検知技術、  
車載用水素ディテクタの開発例
- ・燃料電池車に向けた  
水素精製、供給技術と不純物監視
- ・Power to Gasの市場と  
実現に向けた技術開発、コスト削減
- ・CO2と水素を原料としたメタン、  
メタノール、低級オレフィンの合成
- ・水素・アンモニア燃料の  
調達、輸送、貯蔵コストと導入の課題
- ・水素エネルギー利用システムを利用した  
オフィスビルからのCO<sub>2</sub>排出量削減

## 執筆者(敬称略)

(国研)産業技術総合研究所 横浜国立大学 千代田化工建設(株) 沖為工作室(同) 早稲田大学 (株)ロボデックス (株)IH 弘前大学 (国研)産業技術総合研究所 三菱重工業(株) 東芝エネルギーシステムズ(株) 東京工業大学 新コスモス電機(株)	遠藤成輝 岡崎慎司 岡田佳巳 沖本真也 花田信子 具應大介 鎌田博之 官国清 関和彦 岩田光由 吉野正人 宮西将史 宮崎洋	(株)X-Scientia 北海道大学 JFEコンテナ(株) 宇都宮大学 芝浦工業大学 (一財)エネルギー総合工学研究所 (株)KRI 工学院大学 横浜国立大学 (株)東レ経営研究所 広島大学 (一財)日本エネルギー経済研究所 (株)オーバル 日本製鋼所M&E(株) 日本製鉄(株) 東京大学	古山通久 古川森也 高野俊夫 佐藤剛史 佐藤豊人 坂田興 阪井敦 雑賀高 三宅淳巳 山口智也 市川貴之 柴田善朗 若松武史 小田知正 小薄孝裕 小林修	(株)堀場製作所 西村あさひ法律事務所 横浜国立大学 大阪大学 大阪大学 (国研)物質・材料研究機構 (株)バルカー 東北大学 大陽日酸(株) 茨城大学 (株)NTTデータ経営研究所 バイオ水素(株) スフェラパワー(株) (株)神鋼環境ソリューション (株)コベルコ科研 鳥取大学	小林剛士 松平定之 松澤幸一 森浩亮 星本陽一 西宮伸幸 西原亮平 石本淳 足立貴義 村岡元司 多田昌平 谷生重晴 中田伏祐 中尾未貴 樋谷信彦 辻悦司	岩谷産業(株) (株)イワテック 横浜技術士事務所 山口大学 京都大学 (国研)産業技術総合研究所 TOTO(株) 山口大学 (株)野村総合研究所 ヤマト・H2Energy Japan(株) ENEOS(株) 電源開発(株) 東京電力ホールディングス(株) (国研)物質・材料研究機構	辻上博司 鶴丸将太郎 田村元紀 田中一宏 藤田健一 藤尾佑輝 徳留弘優 比嘉充 樋詰伸之 平瀬育生 ENEOS(株) 養田愛 野口嘉一 矢田部隆志 齋藤明子
--	---	---	--	--	---	---	--

<b>第1章 水素社会に向けた研究開発、政策動向</b> <b>1節 水素エネルギーシステムの大規模導入における国内外的政策動向</b> 1. なぜ水素か？ 2. 我が国の政策 3. 各国・地域の政策 <b>2節 欧州における水素製造・利活用の最新動向</b> 1. 欧州市場における炭素価格見直し 2. 2℃目標における水素の位置づけ 3. 欧州における水素戦略 4. 将来的な水素生産市場構造の見立て 5. 各国の水素供給拡大に向けたシナリオ 6. 欧州における水素製造・利活用に向けた拠点開発プロジェクト <b>3節 水素社会の実装に向けた欧州の戦略と取り組み動向</b> 1. 欧州における水素社会 2. 欧州水素戦略の背景にあるものは？ 3. 欧州における水素利用の展望と取り組み 4. 期待される市場と日本企業の事業機会 <b>4節 中国における水素エネルギー産業のトレンドと主要企業の取り組み</b> 1. 水素社会に向けた研究開発、グローバル動向について 2. 中国のNEVとカーボンニュートラル戦略 3. 中国の燃料電池車市場動向 4. 燃料電池車、中国企業動向 5. 中国の水素エネルギー産業 <b>5節 水素関連技術の普及の現状とビジネスチャンス獲得に向けて</b> 1. 水素関連技術の普及の現状と課題	2. ビジネスチャンス獲得に向けて <b>6節 水素の利活用に関する主な関連法と契約・法的留意事項</b> 1. 水素の利活用に関する主な関連法について 2. 水素事業に関する契約・法的留意事項 <b>第2章 水素の製造技術とその設備、材料技術</b> <b>1節 水素製造技術のとその規模、コストおよび今後の課題</b> <b>2節 グリーン水素の役割・課題・今後の展開</b> 1. Power to Gasの機能と分類 2. 水素の利用先 3. PtGによるEnergy System Integration： 電力とガスのネットワーク統合 4. 脱炭素化以外の重要な視点 <b>3節 グリーン水素の製造のための水電解触媒</b> 1. 水電解の歴史と基礎 2. グリーン水素 3. アルカリ水電解 4. 固体高分子形水電解 5. 水電解によるグリーン水素製造 6. グリーン水素製造と水電解触媒 <b>4節 アルカリ水電解の国内外動向、要素技術と高性能アノードの開発</b> 1. 国内外の動向 2. アルカリ水電解の特徴と課題 3. 高性能アノードの開発	<b>5節 固体高分子電解質膜を利用した水素製造用電解</b> 1. 水素の用途 2. 水素の供給方式 3. PEM水電解 4. HHOGの製品群と適用分野 <b>6節 固体酸化物形電解セル(SOEC)による水素製造とその高効率化</b> 1. 高温水蒸気電解の原理と特徴 2. SOECによる電解特性 3. SOECを用いた水素製造システム 4. 実用化に向けた課題と展望 <b>7節 高耐久性アニオン伝導膜の開発とアルカリ水電解による水素製造技術への展開</b> 1. 水電解による水素製造手法とその特徴 2. アニオン伝導膜の化学耐久性 3. 芳香族アニオン伝導膜のアルカリ劣化機構の解析 4. 市販アニオン伝導膜を用いたアルカリ水電解セルの開発 5. エーテルフリー型芳香族アニオン伝導膜を用いたアルカリ水電解セルの開発 <b>8節 球状太陽電池を利用した水素の生成</b> 1. 球状太陽電池 2. 球状太陽電池を利用した水の電気分解 3. 水電解用セルとその応用 4. 水電解と燃料電池一体化 <b>9節 水素透過膜電極を用いた水電解による水素製造と選択的水素化反応</b> 1. 水素透過性金属膜
---	--	---

<p>2. 水素透過金属膜電極を用いた水電解 3. 水素透過金属膜電極を用いた水電解水素化</p> <p><b>10節 粉末硫化物光触媒による水分解反応とその変換効率向上の条件</b></p> <p>1. エネルギー変換効率(STH)と量子収率 2. 過渡吸収分光法の原理および測定方法 3. 光触媒中での光励起キャリアダイナミクス 4. STH向上への指針</p> <p><b>11節 Zスキーム水分解可能な光触媒複合粒子膜によるソーラー水素製造</b></p> <p>1. 光触媒水分解とは 2. 水分解デバイス 3. Zスキーム水分解可能な水分解光触媒印刷膜の開発 4. 塗布型光触媒シートの開発</p> <p><b>12節 水素分離膜と光触媒反応器を組み合わせた水素製造</b></p> <p>1. 膜ガス分離の特徴と複合化 2. 分離膜の基礎 3. 膜モジュール性能の計算による分離膜の目標性能の設定 4. 候補となる分離膜素材 5. 二段法の可能性</p> <p><b>13節 バイオマスからの水素製造技術</b></p> <p>1. 乾燥バイオマスの水蒸気ガス化による水素製造技術 2. 湿潤系バイオマスの超臨界水ガス化による水素製造技術 3. バイオマスの水素発酵による水素製造技術 4. バイオメタンを原料とする水素製造技術 5. バイオエタノールを原料とする水素製造技術</p> <p><b>14節 バクテリアを用いた海藻バイオマスを原料とする水素製造技術と総合システム</b></p> <p>1. 水素生成バクテリアの現状性能と利用基質 2. 水素発酵法の利点とバイオマス原料の問題 3. 水素製造の原料コストを無料にする総合システム 4. 発酵水素生産の正味エネルギー利用可能率 5. 2050年達成目標の開発課題</p> <p><b>15節 塩分濃度差を利用した水素製造技術</b></p> <p>1. 逆電気透析 (RED) 発電の原理 2. RED発電とRED直接水素製造技術 (RED-H2) 3. 実証規模RED-H2の発電量予測</p>	<p>2. 結果と考察</p> <p><b>10節 アンモニア分解ガスをFCV用水素に精製する技術</b></p> <p>1. FCV用水素ガス 2. アンモニア分解ガス 3. 水素の精製方法 4. アンモニア分解ガスの精製方法の開発 5. アンモニア分解ガスの精製装置の開発</p> <p><b>11節 燃料電池自動車用アンモニア分解器の開発</b></p> <p>1. アンモニアの燃料電池への適用 2. アンモニア分解水素供給システム 3. 分解アンモニアによる水素供給システムを搭載した燃料電池車の走行解析</p> <p><b>12節 水素貯蔵材料の種類、特徴と最近の開発状況</b></p> <p>1. 水素貯蔵材料の利点 2. 水素貯蔵材料の水素吸蔵・放出反応 3. 水素化物中の水素 4. 最近の動向</p> <p><b>13節 水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵技術に関する取り組み</b></p> <p>1. 水素貯蔵方法の現状 2. 水素吸蔵合金の特性 3. 水素貯蔵技術への応用 4. 今後に向けて</p> <p><b>14節 マグネシウムの水素吸蔵・放出特性改善と水素貯蔵タンクへの適用</b></p> <p>1. マグネシウムの水素吸蔵・放出反応速度の改善 2. 水素を熱媒体としたMgH<sub>2</sub>-カーボンナノチューブ複合体水素貯蔵タンク</p> <p><b>15節 CO<sub>2</sub>フリー水素輸送・供給技術とサプライチェーン構築</b></p> <p>1. はじめに 2. CO<sub>2</sub>フリー水素について 3. CO<sub>2</sub>フリー水素サプライチェーン構築の取り組み</p> <p><b>16節 柱上パイプラインによる水素輸送と安全性評価</b></p> <p>1. 水素柱上パイプライン構想 2. 安全性検討</p> <p><b>17節 パッケージ型および移動式水素ステーションによる水素供給</b></p> <p>1. はじめに 2. 水素製造・精製 3. 水素ステーション</p>	<p>3. 各種流量計の個別解説</p> <p><b>11節 燃料電池自動車の水素品質規格と水素製造、供給における不純物監視</b></p> <p>1. カーボンニュートラルに貢献する水素 2. 水蒸気改質、PSAによる水素生産 3. 計測方法についての紹介 4. CCSによるブルー水素 5. グリーン水素生産 6. 副生成水素の利用 7. 水素の輸送</p> <p><b>第5章 水素利用の取り組み、その将来像</b></p> <p><b>1節 化石燃料の電化、水素化、アンモニア化への取組み</b></p> <p>1. 水素利用と電化による地球温暖化対策 2. 電気の一次エネルギー化と水素利用（間接電化） 3. 熱エネルギーの脱炭素化 4. 生産工程のプロセス改革 5. Power to Gas 6. ガス体エネルギーとしての活用策 7. CO<sub>2</sub>フリー水素ガスの普及策 8. 液体エネルギーとしての可能性 9. Power to Gasの実証</p> <p><b>2節 水素・アンモニア燃料によるCO<sub>2</sub>フリー発電技術の開発状況と今後の課題</b></p> <p>1. 2050年カーボンニュートラルに向けた水素・アンモニア燃料の政策的な位置づけ 2. 発電分野の現状 3. エネルギートランジションの重要性 4. 石炭火力政策の現状 5. 水素・アンモニア燃料 6. 石炭火力のアンモニア混焼 7. 水素・アンモニア燃料によるCO<sub>2</sub>フリー発電技術の開発状況 8. 今後の水素・アンモニア発電の導入に向けた課題と方策</p> <p><b>3節 SOFC発電システムMEGAMIEを用いたカーボンニュートラル社会に向けた取り組み</b></p> <p>1. SOFC発電システムの構成 2. 東京ガス株式会社での実証（原理検証システム） 3. 国立大学法人九州大学での実証（プロトタイプ） 4. NEDOプロジェクト：実環境下での運転実証 5. 市場導入 6. 大型SOFC発電システムの開発 7. 今後の展開</p> <p><b>4節 再エネ水素実証プラントによる、エネルギーバッファ/地域エネルギーメディアとしての水素への取組</b></p> <p>1. イワテックと再エネ・水素事業 2. 再エネと水素 3. イワテックの提唱する「地産地消水素サプライチェーン」 4. イワテックの再エネ水素実証プラント</p> <p><b>5節 建物付帯型水素エネルギー利用システム - 合合開発から社会実装まで -</b></p> <p>1. 建物付帯型水素エネルギー利用システム 2. システム構築と運転 3. 最適運転計画 4. 実建築物における運用 - 郡山総合地方卸売市場での実証試験 - 5. オフィスビルへの導入・社会実装 - 清水建設（株）北陸支店 Hydro Q-BiC -</p> <p><b>6節 秋田県能代市における再エネ水素製造及び水素混合ガスの供給利用に向けた取組み</b></p> <p>1. 実証事業の狙いと概要 2. 実証事業における主な活動 3. 実証事業より得られた主な成果 4. 経済性の検討 5. 今後の展開の見通し</p> <p><b>7節 メタネーション設備のプロセス設計と実験室規模設備</b></p> <p>1. 化学量論式 2. 反応速度 3. 反応平衡 4. 反応シミュレーション 5. 反応器の熱交換(除熱) 6. ベンチ設備反応管の設計</p> <p><b>8節 二酸化炭素の水素化によるメタノール合成技術とその高効率化</b></p> <p>1. 報告されてきたメタノール合成触媒 2. CO<sub>2</sub>水素化反応機構 3. CO<sub>2</sub>活性化を促す触媒 4. Cu/非晶質ZrO<sub>2</sub>:メタノール分解反応抑制を目的とした触媒</p> <p><b>9節 CO<sub>2</sub>と水素を原料とした有価物合成とその高効率化</b></p> <p>1. CO<sub>2</sub>と水素を原料とした有価物合成 2. CO<sub>2</sub>と水素を原料とした有価物合成プロセス</p> <p><b>10節 水素燃料電池を搭載したドローンの開発の取り組み</b></p> <p>1. 水素燃料電池ドローンの活用状況への期待 2. 水素燃料電池ドローンの技術の概要・特徴 3. 水素燃料電池ドローンの技術的課題</p>
<p><b>第3章 水素の輸送、貯蔵技術とサプライチェーンの構築</b></p>		
<p><b>1節 水素キャリアの種類、特徴および問題点とその対策</b></p> <p>1. 水素貯蔵方法のいろいろ 2. 水素貯蔵材料の各論 3. 今後の方向性</p> <p><b>2節 圧縮水素、液化水素の貯蔵、輸送、供給技術</b></p> <p>1. 圧縮水素 2. 液化水素</p> <p><b>3節 磁気冷凍による水素液化とその材料技術</b></p> <p>1. 磁気冷凍の原理 2. 磁気冷凍サイクルと磁気冷凍材料 3. 磁気冷凍による水素液化応用への取り組み 4. 磁気冷凍による水素液化を支える材料技術</p> <p><b>4節 総合的な水素サプライチェーンに向けたSPERA水素システム</b></p> <p>1. SPERA水素システム 2. SPERA水素システムの開発 3. 総合的な水素サプライチェーン 4. 2050年に向けたコストダウン技術開発</p> <p><b>5節 メチルシクロヘキサン脱水素に有効な多元合金触媒の開発</b></p> <p>1. 最適な第二金属の探索 2. 第三金属導入によるPt<sub>3</sub>Feの高機能化 3. 高性能化のメカニズム</p> <p><b>6節 イリジウム錯体触媒を用いた脱水素化反応に基づく水素製造ならびに水素貯蔵システム</b></p> <p>1. メタノール水溶液からの水素製造 2. 含窒素複素環式化合物を有機ハイドライドとする水素貯蔵システム</p> <p><b>7節 水素の貯蔵・輸送に向けた連続フロー法による芳香環水素化反応</b></p> <p>1. ポリシラン-アルミナ固定化金属ナノ粒子触媒 2. 芳香環水素化のためのポリシラン-アルミナ固定化金属ナノ粒子触媒 3. 金属ナノ粒子触媒とLewis酸触媒との協調触媒系</p> <p><b>8節 二酸化炭素/ギ酸相互変換を利用した水素貯蔵・放出を駆動する金属触媒</b></p> <p>1. ギ酸からの水素放出反応 2. 二酸化炭素の水素化によるギ酸合成反応 3. 二酸化炭素/ギ酸相互変換</p> <p><b>9節 典型元素化合物を用いた粗水素条件下における触媒的水素化反応 - 有機ハイドライドを水素精製へ活用する基礎技術 -</b></p> <p>1. 研究背景</p>	<p><b>第4章 水素貯蔵タンク、配管の設計と計測技術</b></p> <p><b>1節 高圧水素用ステンレス鋼の高強度と耐水素脆性の両立技術及びその溶接方法</b></p> <p>1. 開発鋼の性能 2. 開発鋼の溶接施工性</p> <p><b>2節 水素ステーション向け蓄圧器の要求特性と開発事例</b></p> <p>1. 各種の高圧水素容器 2. 水素ステーション用蓄圧器の構成要素と設計上考慮すべき特性 3. 水素ステーション用蓄圧器の規制と技術基準整備状況 4. 技術開発への取組</p> <p><b>3節 高圧水素ガス用シール材料の評価と特性</b></p> <p>1. プリスター 2. 高圧水素ガス環境下での使用を目指した開発品の評価</p> <p><b>4節 高圧水素環境、極低温環境中における材料強度評価</b></p> <p>1. 高圧水素ガス環境下材料評価技術 2. 極低温材料評価技術</p> <p><b>5節 応力発光による高圧水素容器の寿命予知診断</b></p> <p>1. 水素貯蔵タンクと応力発光体 2. 応力発光による水素貯蔵タンク内の欠陥検査技術</p> <p><b>6節 材料の水素透過率測定と評価</b></p> <p>1. 実験方法 2. 実験結果と考察</p> <p><b>7節 高圧水素タンクの材料破壊、水素漏えい・拡散・着火燃焼に関する統合型連成解析</b></p> <p>1. き裂伝ば現象の粒子法解析 2. 高圧タンク隔壁き裂からの水素漏えい反応流に関する数値解析</p> <p><b>8節 水素センサの特徴と応用技術</b></p> <p>1. 実用化されている水素センサ 2. 半導体式センサ 3. 接触燃焼式センサ 4. 気体熱伝導式センサ</p> <p><b>9節 水素漏洩検知システムの高度化を目指した分布型水素センサの開発</b></p> <p>1. 分布型漏洩検知センサシステムの位置づけと構成 2. 分布型センサシステムを実現するために必要な感応物質の種類と特性</p> <p><b>10節 水素計測用流量計の種類と特徴</b></p> <p>1. 水素計測用流量計に関わる法規 2. 水素計測用流量計の概要</p>	<p><b>5節 建物付帯型水素エネルギー利用システム - 合合開発から社会実装まで -</b></p> <p>1. 建物付帯型水素エネルギー利用システム 2. システム構築と運転 3. 最適運転計画 4. 実建築物における運用 - 郡山総合地方卸売市場での実証試験 - 5. オフィスビルへの導入・社会実装 - 清水建設（株）北陸支店 Hydro Q-BiC -</p> <p><b>6節 秋田県能代市における再エネ水素製造及び水素混合ガスの供給利用に向けた取組み</b></p> <p>1. 実証事業の狙いと概要 2. 実証事業における主な活動 3. 実証事業より得られた主な成果 4. 経済性の検討 5. 今後の展開の見通し</p> <p><b>7節 メタネーション設備のプロセス設計と実験室規模設備</b></p> <p>1. 化学量論式 2. 反応速度 3. 反応平衡 4. 反応シミュレーション 5. 反応器の熱交換(除熱) 6. ベンチ設備反応管の設計</p> <p><b>8節 二酸化炭素の水素化によるメタノール合成技術とその高効率化</b></p> <p>1. 報告されてきたメタノール合成触媒 2. CO<sub>2</sub>水素化反応機構 3. CO<sub>2</sub>活性化を促す触媒 4. Cu/非晶質ZrO<sub>2</sub>:メタノール分解反応抑制を目的とした触媒</p> <p><b>9節 CO<sub>2</sub>と水素を原料とした有価物合成とその高効率化</b></p> <p>1. CO<sub>2</sub>と水素を原料とした有価物合成 2. CO<sub>2</sub>と水素を原料とした有価物合成プロセス</p> <p><b>10節 水素燃料電池を搭載したドローンの開発の取り組み</b></p> <p>1. 水素燃料電池ドローンの活用状況への期待 2. 水素燃料電池ドローンの技術の概要・特徴 3. 水素燃料電池ドローンの技術的課題</p>

