

公開用

# 終 了 報 告 書

S I P (戦略的イノベーション創造プログラム)

課題名「エネルギーキャリア」

研究開発テーマ名「有機ハイドライドを用いた水素供給技術の開発」

H26 年度～H29 年度

研究責任者：JXTG エネルギー株式会社  
チーフリサーチャー 壺岐 英

## 目次

1. 本研究の目的	1
2. 研究実施体制	2
3. 研究成果	2
3-1. 有機ハイドライド水素ステーション向け脱水素システムの開発	
3-2. 有機ハイドライド電解合成技術の開発	
3-3. まとめ	
3-4. 今後の課題	
4. 外部発表実績	7
5. 特許出願実績	7
6. 参考文献	9

別添：各研究機関終了報告書

- ・JXTG エネルギー株式会社
- ・東京工業大学
- ・早稲田大学
- ・NOK 株式会社
- ・国立研究開発法人産業技術総合研究所
- ・横浜国立大学
- ・大阪府立大学
- ・デノラ・ペルメレック株式会社
- ・東京工業大学
- ・JXTG エネルギー株式会社
- ・旭化成株式会社

## 1. 本研究の目的

水素は、化石燃料だけでなく再生可能エネルギーからも製造が可能で、エネルギー供給源の多様化にも寄与する。また、タービン・エンジン等での直接燃焼、あるいは燃料電池等で電気に変えて高い効率で利用することもできる。エネルギーの大半を海外に依存している日本にとって、エネルギー供給の多様化、CO<sub>2</sub>削減および経済適合性を追求することは重要な課題であり、化石燃料や再生可能エネルギーからの水素エネルギーの利用拡大とそのため社会インフラの構築に向けた取り組みを強化、加速していく必要がある。

有機ハイドライドは水素を有機化合物に転換して貯蔵する技術であり、水素化反応によりトルエンなどの芳香族化合物をメチルシクロヘキサンなどのナフテン化合物(有機ハイドライド)に転換することで水素を固定し、貯蔵・輸送を行い、利用時には脱水素反応によって水素を取り出して利用する。脱水素反応に伴い生成するトルエンなどの芳香族化合物は、回収することにより再び利用することができる。有機ハイドライドとしてメチルシクロヘキサンを用いた場合、常温・常圧で液体であり、化学的にも安定な物質であるため、通常のタンクローリーや船舶など既存の石油流通インフラを活用したサプライチェーンが構築できる。このような特長を利用すれば、水素の大量貯蔵と輸送・供給が可能になると考えられる。

走行時にCO<sub>2</sub>を排出せずエネルギー効率が高いと言われる燃料電池自動車は、その普及によって輸送部門におけるCO<sub>2</sub>排出量を削減することが期待されている。今後、燃料電池自動車の普及に伴って水素供給網を整備するに当たり、水素を安定的かつ安価に供給するためには水素の大量供給を可能にする技術が必要となってくる。

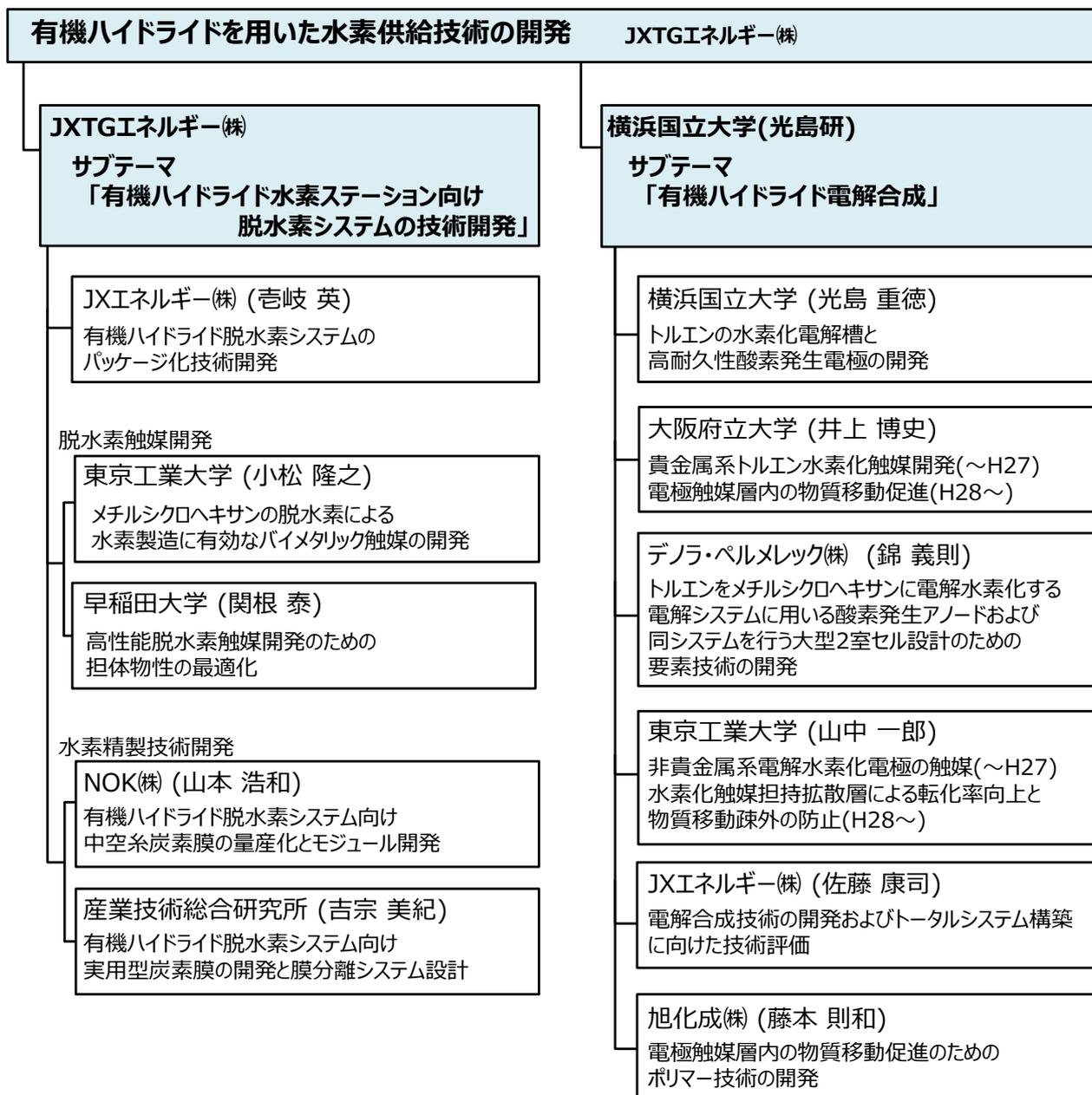
本プロジェクトにおいて、有機ハイドライドを用いた水素ステーション用脱水素システムの基本技術を完成させる。さらに、システムの安全性検証を行うことで技術基準の整備を進める。これにより、水素ステーションへのシステムの導入実現とその円滑な普及を図る。

一方、地球温暖化を抑制し、持続的成長可能な社会とするためには、再生可能電力をベースとしたエネルギーシステムの構築が必要である。このとき、国内の再生可能エネルギーは絶対量の不足の他、世界的な適地と比較して稼働率でも劣ると考えられるので、再生可能エネルギーの大規模導入を考える上では、適地の選定とともに有効なエネルギー貯蔵・輸送技術を適用する必要がある。

電力を用いて水とトルエンから直接メチルシクロヘキサンを製造する電解有機ハイドライド法は、規模にかかわらず効率損失が少なく、起動停止の追従性に優れている。特に、従来の高温プロセスによるシステムでは効率が低下しやすい比較的小規模の再生可能エネルギーの拠点において、効率面で優位にエネルギーを変換して有機ハイドライドによるエネルギー貯蔵・輸送網に乗せることができる。

本プロジェクトではトルエン-メチルシクロヘキサン系の有機ハイドライドによる高効率次世代エネルギーシステムの構築を目指し、トルエンをメチルシクロヘキサンに電解水素化する高効率大規模電解システム開発の要素技術開発を行った。

## 2. 研究実施体制



## 3. 研究成果

### 3-1. 有機ハイドライド水素ステーション向け脱水素システムの開発

#### (1) 脱水素触媒の開発

有機ハイドライドによる水素供給で用いる脱水素触媒には、十分な活性と耐久性が求められる。一方で、脱水素反応と併発する脱メチル反応により副生するメタンは水素精製装置の負荷を増大させ、効率低下やコスト上昇の懸念がある。そこで、活性、耐久性と併せて反応選択性の高い脱水素触媒の開発を行った。

メチルシクロヘキサンを脱水素し水素製造する触媒として現行触媒よりも性能および反応選択性に優れたPt/TiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>触媒を開発した。耐久性評価においても、良好な性能安定性を確認した。さらに、生成メタン濃度が現行触媒に比べて大幅に低減できてい

ることを確認した。

さらなる選択性向上に向けて、Pt-Sn 系バイメタリック触媒を検討し、高い選択性で脱水素反応を促進する有効な活性種を見出した。また、Pt 触媒への Mn 添加によっても大幅に副生物生成が抑制できることを見出した。計算化学によって、活性金属である Pt の活性点構造と選択性に相関が見られることを明らかにするとともに、反応解析および触媒のキャラクタリゼーションと併せて機構解明を進め、Mn が Pt 上の活性点に特異的に作用して選択性が向上していることが示された。

## (2) 脱水素システム開発

有機ヒドライドの製造・利用においては、メチルシクロヘキサンの脱水素反応が吸熱反応であり、反応に必要な熱を有効に供給・利用できる熱効率の高い脱水素反応器・熱供給システムの構築が求められる。一方、水素ステーションを普及させていくうえで、脱水素システムには必要な機能を満たしたうえで小型化、パッケージ化が求められる。これらの要件を満たした上で、低コストなシステムを目指すべくシステム開発を行った。

10Nm<sup>3</sup>/h パイロット機を製作して運転評価を行い、メチルシクロヘキサン転化率 95% 以上を達成した。運転データとの照合により反応器内の状態を再現可能な脱水素反応器シミュレーション技術確立した。

パイロット機において、従来技術である PSA 法 (Pressure Swing Adsorption) を初めて有機ヒドライドに適用した結果、炭化水素濃度 2ppm 以下 (C1 換算) に水素精製できることを示し、有機ヒドライド法への PSA 法の適用が可能であることを確認した。本結果を基に PSA の詳細設計を行った。

新型熱交換器の採用によりシステムの小型化・簡素化が可能となった。水素圧縮機の耐久評価により、機器健全性やシール性を検証した。また、脱水素システム用熱媒ボイラを開発した。システムの非定常状態を模擬できる 300Nm<sup>3</sup>/h システムの動的シミュレーションによって起動・停止を含めてプロセスが健全に作動することを確認し、300Nm<sup>3</sup>/h 機の仕様を確定し詳細設計を完了した (図 1)。設計検討の結果、既存の水素ステーションに設置可能なサイズに小型化でき、システムの高効率化、低コスト化に目途を付けた。

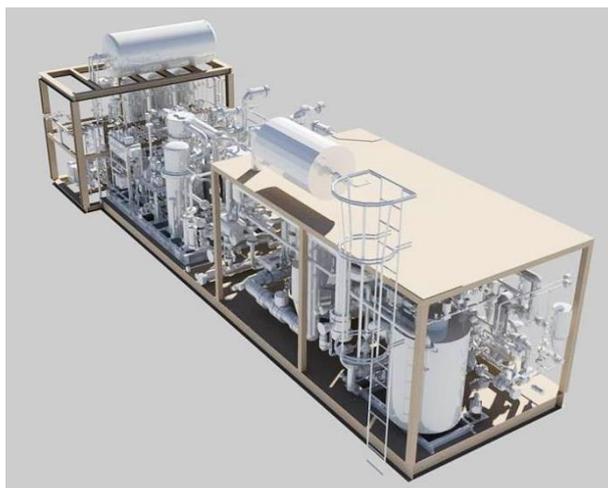


図 1 有機ヒドライド脱水素システム

## (3) 水素精製技術の開発

PSA 法に替わる次世代型水素精製技術として、炭素膜を用いた水素精製技術の開発を

行った。

中空糸炭素膜について、CVD 処理によって選択性を維持したまま水素透過速度を向上できることを見出した。選択性の最適化検討によって、水素/メタン選択性 2000 程度で 2000 時間にわたって 90GPU 以上の安定した透過速度を維持することを示した。この時、精製水素中炭化水素濃度 2 ppm 以下 (C1 換算) を達成できている。耐久性についても、過剰量のトルエンを供給しても、3000 時間に渡って膜の破損やリークは見られず、炭素膜とモジュールの耐久性に問題がないことを確認した。

中空糸炭素膜の量産化について、原料およびその調合方法を最適化するとともに、大型製造試験設備による連続ロール式製造法を検討し、大きな課題であった不融化工程の連続化に成功した。

モジュール開発では、モジュール用中空糸炭素膜の性能および強度向上、耐トルエン性を有する部材の選定や、製作工程や内部構造の改良・最適化によって、十分なシール性と耐久性を有する処理量  $0.1\text{Nm}^3/\text{h}$  の中型モジュールを開発した。これらの成果をもとに、 $1\text{Nm}^3/\text{h}$  規模にスケールアップした大型モジュールを試作し、目標とした水素透過性能と水素/トルエン選択性を有することを確認した。

モジュールのさらなる処理能力向上に向け、モジュールの長尺化、中空糸充填密度の増大および膜エレメント数増加についてスケールアップのための基本技術を確立した。

膜分離システム設計では、トルエン/メタン/水素の 3 成分混合ガスにおける各種システムフローで必要となる分離性能を算出する手法を確立し、システム設計の指針を得た。中空糸炭素膜材料およびモジュール開発成果をもとに、モジュールを複数組み合わせさせた  $300\text{Nm}^3/\text{h}$  級のマルチモジュールシステムを設計した。その結果、24 本のモジュールで回収水素量  $300\text{Nm}^3/\text{h}$  以上を達成でき、水素純度も FCV 用水素規格を十分達成できることを明らかにした。また、所要動力原単位は  $0.12\text{kWh}/\text{Nm}^3(\text{H}_2)$  となった。

#### (4) 有機ハイドライド水素ステーションの安全性評価

有機ハイドライド水素ステーションの社会実装に向けて、脱水素システム及び有機ハイドライド水素ステーションについて安全対策を確立する必要がある。本研究開発において、パイロット機の運転評価により、脱水素システムに関する安全検討に必要なデータを取得した。また、有機ハイドライド水素ステーションの仕様検討を行い、必要な安全対策を整理した。パイロット機を用いて各種安全対策の技術検証を行うとともに、シミュレーションによってタンク内部等の流体解析を行い、安全対策の立案に反映させるとともに、技術基準の整備に役立てている。

### 3-2. 有機ハイドライド電解合成技術の開発

液相のトルエンを電気化学的に直接水素化する先行研究として日立製作所の特許<sup>1, 2)</sup>及び本グループの学会発表<sup>3, 4)</sup>があるが、海外からの報告事例は認められていない。両者とも固体高分子形燃料電池の電極膜接合体の作製技術を応用した貴金属系触媒担持炭素触媒上での還元反応を利用している。このような関連研究の例は非常に少ないため、触媒材料、担体材料や、これらで構成される触媒層の構造制御、電解質として用いる陽イオン交換膜の材料や構造、ならびに電解槽の構造設計等に関わる検討を系統的に推進することが必要である。

ここでは、これらの材料技術を使用して開発する電解槽として、最新鋭の食塩電解工業

の技術を取り入れ、最終的には数  $\text{m}^2$  級の電極面積、電流密度  $0.4 \text{ A/cm}^2$  以上の電解槽並びにメチルシクロヘキサンへの転化率 95%以上の電解槽システムを開発することを目指し、大型化のための基礎技術として  $100 \text{ cm}^2$  級電解槽にて、初期性能として電流密度  $0.4 \text{ A/cm}^2$  でファラデー効率並びに転化率 95%以上を達成し、1000 時間の運転試験を実施することを目標とした。電流密度  $0.4 \text{ A/cm}^2$  は現状の商用アルカリ水電解と比較すると 2 倍程度、食塩電解の塩素発生電極で工業化されているレベルの高い値である<sup>5, 6)</sup>。

## (1) 電解水素化触媒の開発

電解水素化触媒は本技術の特徴的な反応を行う重要な技術である。トルエン (TL) はパイ結合により貴金属に強く吸着しやすく、水素は白金族金属上ではアンダーポテンシャルデポジットにより、水素発生の理論電位より高い電位で原子状水素となる。したがって、できるだけ高い電位でトルエンと原子状水素を生成、メチルシクロヘキサン (MCH) に変換し、メチルシクロヘキサンが容易に脱離できる材料の探索は重要な課題であり、比較的高活性である PtRu/C 系の触媒をベースとして検討を行った。

PtRu 系触媒の合金組成の最適化として、 $\text{Pt}_3\text{Ru}/\text{CB}$  触媒が最適組成であることを見出し、TL/MCH = 1/1 組成で、水素の酸化反応を対極に用いたハーフセルを用いたトルエンの電解水素化試験にて、 $0.05 \text{ A cm}^{-2}$  の電流密度において、MCH 生成のファラデー効率 95%を達成した。

燃料電池用に市販されている Pt/C をベースとして簡便で大量合成可能な触媒作製法として、Pt/C を Rh あるいは Ru で修飾した Rh/Pt/CB、Ru/Pt/CB を開発した。Ru/Pt/CB 触媒に対する見かけの水素化電流密度は  $\text{Pt}_3\text{Ru}/\text{CB}$  触媒より低かったが、Rh/Pt/CB 触媒は、0 V での見かけの水素化電流密度が  $\text{Pt}_3\text{Ru}/\text{CB}$  触媒より高いことを見出した。

炭素担体の影響を Ru と Rh 触媒について調べた結果、Ru の場合はカーボンブラック BP3500 を用いると、また、Rh の場合はバルカンカーボンブラック VP を用いると飛躍的に水素化活性が改善されることを見出した。さらに貴金属間の機能分担に着目しカソード触媒の開発を行った結果、Ru と Ir 間に協奏効果が観測された。高電位において Ir 上でプロトンが還元して原子状の水素種を発生し、この原子状の水素種が Ru 上に流れ出し (スピルオーバー)、Ru 上でトルエン水素化が進行していると考えられる。

## (2) カソード膜接合体の開発

カソード膜接合体は固体高分子形燃料電池の電極膜接合体 (MEA) と似た構成であり、フッ素系カチオン交換樹脂のアイオノマーと貴金属触媒担持カーボン触媒からなる触媒層をフッ素系カチオン交換膜とカーボンペーパーなどの多孔体の拡散層で挟んで熱圧着してあり、フッ素系カチオン交換膜及びアイオノマーがプロトン伝導体、貴金属触媒担持カーボン触媒が反応場で、拡散層が反応基質および生成物の供給、排出を担っている。

カソード膜接合体の開発では、アイオノマーと触媒の組成比である N/C を最適化するとともに、副反応として発生する水素がトルエンやメチルシクロヘキサンの物質移動を阻害しないために、拡散層に間接水素化触媒を担持することを検討した。白金を間接水素化触媒として使用した結果、非白金担持拡散層と比較して、白金担持量が  $0.02 \text{ mg cm}^{-2}$  以上において明確な電流効率向上の効果を確認した。水素化触媒としての活性の序列は Rh > Ir > Pt >> Pd であった。

カソード膜接合体を構成するフッ素系カチオン交換膜はプロトン伝導体であるとともに、カソード側のトルエン/メチルシクロヘキサンとアノード側の硫酸水溶液を分離する役割を果たす。また、触媒層内のアイオノマーはプロトンとトルエンやメチルシクロヘキサンの透過性に優れている必要がある。このため、カソード膜接合体設計の重要な基礎データとして、イオン交換容量及び側鎖の長さをパラメーターとしてトルエンの透過度を評価した。その結果、トルエンの透過は親水相が担っていると考えられ、イオン交換容量が大きいと塩析効果によりトルエンの溶解度が低下すること、側鎖が短いと含水率が低くなり透過断面積が縮小することにより、トルエンの透過度を抑制できることが分かった。すなわち、フッ素系カチオン交換膜としてはイオン交換容量が大きく側鎖が短いもの、アイオノマーとしてはイオン交換容量が小さく、側鎖が長いものが適すると考えられる。

### (3) 酸素発生電極の開発

本電解槽の酸素発生電極には酸化イリジウム系電極触媒をチタン系基板上に熱分解被覆した酸素発生用 DSA<sup>®</sup>電極を使用している。カソード室からアノード室にトルエンが透過すると、DSA<sup>®</sup>の異常劣化の原因となる。そこで、Ti 基材に AIP 中間層を設け、さらに組成の異なる 3 層の IrTa 系電極触媒をコーティングした電極を開発し、工業用の標準タイプの DSA<sup>®</sup>の 4 倍以上の耐久性を有するアノードを開発した。また、高活性触媒層として IrTaZr 系や IrSn が有望であることも明らかにした。

### (4) 小型電解槽の開発

小型電解槽の開発として、100 cm<sup>2</sup> 級の電解槽にてトルエンの物質移動を促進するカソード流路、アノードの形状およびアノードとカソードの接触状態を均一にするためのアノード支持体の開発を行った。

カソードの流路としては一般的な電解槽やりん酸形燃料電池などに使用される並行流路、固体高分子形燃料電池などに使用されるサーペンタイン流路、バナジウムレドックスフロー電池などに使用される多孔質流路の比較を行った結果、カソード膜接合体の拡散層を厚型にして流路を兼ねる多孔質流路が最もファラデー効率が高かった。また、アノードには標準的な DSA<sup>®</sup>よりも目が細かいファイブメッシュアノードを使用すると、電解質膜内の電流分布が均一になり、カソード側の触媒層の利用率が高くなり、セル電圧の削減およびファラデー効率の向上に有効であった。また、アノードを支持する弾性体としてはチタン繊維を熱圧縮した Ti web アノード支持体が優れた性能を示した。

これらの改良により、0.4 A cm<sup>-2</sup> の定電流電解でセル電圧 1.8 V、連続単流操作運転での転化率はトルエン流量からの計算値にほぼ一致し、最高で 90% 以上であった。また、電解槽として 1000 時間以上安定運転できることも確認した。

## 3-3. まとめ

有機ハイドライド脱水素システム開発では、活性、耐久性および反応選択性に優れた脱水素触媒を開発した。熱媒加熱器、圧縮機、水素精製装置 (PSA) といった一連の機器で構成された 10Nm<sup>3</sup>/h パイロット機による運転評価をもとに 300Nm<sup>3</sup>/h 商用機の詳細設計を完了した。既存の水素ステーションに設置可能なサイズに小型化でき、システムの高効率化、低コスト化にも目途を付けた。開発した脱水素システムを適用した有機ハイドライド水素ステーションの安全仕様を確立し、技術基準の整備につなげている。

水素精製技術として、中空糸炭素膜の実用膜調製技術を開発するとともに、量産技術確

立のための連続製造の可能性を見出した。また、1Nm<sup>3</sup>/h 級大型膜モジュールの試作に成功するとともに、さらなるモジュール大型化のための要素技術を獲得した。開発モジュールの性能をもとに、300Nm<sup>3</sup>/h 級膜分離システムを設計し、従来の水素精製装置より小型化・高効率化できる見通しを得た。

有機ハイドライド電解合成では、固体高分子電解質膜を隔膜とした SPE 電解の技術により、水の電気分解とトルエンを水素化してメチルシクロヘキサンとする反応を同時に行う電解槽を開発した。成果として、100 cm<sup>2</sup> 級の電解セルを複数直列接続したバイポーラー型電解槽にて、反応転化率およびファラデー効率 95%以上、0.4 A cm<sup>-2</sup> の電流密度においてセル電圧 1.8V 程度で達成した。また、電解槽として 1000 時間以上安定運転できることも確認した。これは、水電解による水素製造とほぼ同じ装置を用い、ほぼ同程度のエネルギー消費量で再生可能エネルギーと水から有機ケミカルハイドライドを合成するプロセスの目処を得たことを意味する。

### 3-4. 今後の課題

有機ハイドライド脱水素システム開発において、開発した脱水素触媒は高い活性と耐久性とともに反応選択性にも優れている。他用途展開も視野に、触媒設計に役立つ指針を得るために機構解明を進めていく。中空糸炭素膜では、膜の量産化技術の確立とともに、実用化に向けてモジュール製造能力の向上が必要である。また、トータルコストが最小になる最適な膜分離システムの探索が必要である。これらの技術を組み込んだ脱水素システム開発によってさらなる小型化、高効率化、低コスト化を目指す。今後の実用化に向けて、規制合理化等の事業環境の整備に引き続き取り組んでいく。

有機ハイドライド電解合成では、100 cm<sup>2</sup> 級の電解槽にて本プロセスが有効であることを確認したが、実用化のためには高さ 1 m のレベルの電解槽での実証や電解槽の劣化解析と高耐久化が必要である。また、電極触媒の高活性化によるエネルギー消費量削減のアプローチも、水電解ベースで水素製造を行う他のシステムに対する優位性を確固たるものとするために取り組んでいきたい。

## 4. 外部発表実績

(単位：件数)

学会発表	講演	査読付論文	査読なし論文	取材	合計
102 (17/85)	17 (12/5)	12 (3/9)	9 (8/1)	2 (1/1)	142 (41/101)

※カッコ内はサブテーマごとの実績内訳(脱水素システム開発/有機ハイドライド電解合成)

## 5. 特許出願実績

### ①有機ハイドライド脱水素システム開発

	出願番号	発明の名称	出願年月日	出願人
1.	特願2015-067465	中空糸炭素膜の製造方法、分離膜モジュール、並びに膜分離器	2015/3/27	産業技術総合研究所 JX日鉱日石エネルギー(株)
2.	特願2015-067540	水素製造システム	2015/3/27	JX日鉱日石エネルギー(株)

3.	特願2015-067385	中空系炭素膜の製造方法及び分離膜モジュール	2015/3/27	産業技術総合研究所
4.	特願2015-131588	炭化水素用の脱水素触媒、水素の製造システム及び水素の製造方法	2015/6/30	JX日鉱日石エネルギー(株)
5.	特願2015-131591	炭化水素用の脱水素触媒、水素の製造システム及び水素の製造方法	2015/6/30	JX日鉱日石エネルギー(株)
6.	特願2015-209850	脱水素触媒、脱水素触媒の製造方法、脱水素反応器、脱水素反応器の製造方法、水素の製造システム、及び水素の製造方法	2015/10/26	早稲田大学 JX日鉱日石エネルギー(株)
7.	特願2016-034693	脱水素触媒、水素の製造システム、及び水素の製造方法	2016/2/25	早稲田大学 JX日鉱日石エネルギー(株)
8.	PCT/JP2016/056497	中空系炭素膜の製造方法及び分離膜モジュール	2016/3/2	産業技術総合研究所
9.	特願2017-170601	脱水素触媒、水素の製造システム、及び水素の製造方法	2017/9/5	JXTGエネルギー(株)

## ②有機ハイドライド電解合成

	出願番号	発明の名称	出願年月日	出願人
10.	特願2014-195202	有機ケミカルハイドライド製造用電解セル	2014/9/25	横浜国立大学 ペルメレック電極(株)
11.	特願2014-228096	酸素発生用アノード	2014/11/10	横浜国立大学 ペルメレック電極(株)
12.	特願2014-236772	有機ハイドライド製造装置およびこれを用いた有機ハイドライドの製造方法	2014/11/21	横浜国立大学 ペルメレック電極(株)
13.	特願2016-510361	有機ハイドライド製造装置	2015/3/24	横浜国立大学 デノラ・ペルメレック(株) JX日鉱日石エネルギー(株)
14.	PCT/JP2015/058824	有機ハイドライド製造装置(特願2014-069716)を国際出願	2015/3/24	横浜国立大学 デノラ・ペルメレック(株) JX日鉱日石エネルギー(株)
15.	特願2015-069299	水素ジェネレータ兼用発電システム	2015/3/30	JX日鉱日石エネルギー(株) 横浜国立大学 京都大学 静岡大学
16.	特願2015-069305	水素ジェネレータ兼用発電システム	2015/3/30	JX日鉱日石エネルギー(株) 横浜国立大学 京都大学 静岡大学
17.	PCT/JP2015/076769	1(特願2014-195202)を国際出願	2015/9/18	横浜国立大学 デノラ・ペルメレック(株)
18.	PCT/JP2015/081518	2(特願2014-228096)を国際出願	2015/11/9	横浜国立大学 デノラ・ペルメレック(株)
19.	PCT/JP2015/82616	3(特願2014-236772)を国際出願	2015/11/19	横浜国立大学 デノラ・ペルメレック(株)
20.	特願2016-044403	触媒層、膜電極接合体、電解セル及び触媒層の製造方法	2016/3/8	JX日鉱日石エネルギー(株)
21.	特願2016-163131	カソード、有機ハイドライド製造用電解セル及び有機ハイドライドの製造方法	2016/8/23	横浜国立大学 デノラ・ペルメレック(株) JXエネルギー(株)
22.	特願2016-222563	有機ハイドライド製造装置及び有機ハイドライドの製造方法	2016/11/15	横浜国立大学 デノラ・ペルメレック(株) JXエネルギー(株)

23.	特願2017-101419	有機ハイドライド製造装置	2017/5/23	横浜国立大学 デノラ・ペルメレック(株) JXTGエネルギー(株)
24.	PCT/JP2017/025984	カソード、有機ハイドライド製造用電解セル及び有機ハイドライドの製造方法	2017/7/18	横浜国立大学 デノラ・ペルメレック(株) JXTGエネルギー(株)
25.	PCT/JP2017/037647	有機ハイドライド製造装置及び有機ハイドライドの製造方法	2017/10/18	横浜国立大学 デノラ・ペルメレック(株)

## 6. 参考文献

- 1) WO 2011/122155.
- 2) 特開 2013-84360.
- 3) K. Miyoshi, Y. Sato, S. Mitsushima, 224th ECS meeting, abstracts, #759, (2013).
- 4) S. Mitsushima, Y. Takakuwa, K. Nagai, Y. Kohno, K. Matsuzawa, Proceedings of the Grand Renewable Energy 2014, submitted (Aug., 2014, Tokyo).
- 5) 竹中啓恭, 安田和明, 第6版電気化学便覧, 電気化学会編, p.439 (2013).
- 6) ソーダ技術ハンドブック 2009, ソーダ工業会(2009).