

C 高効率水素製造等技術開発

1－C. 事業の目的・政策的位置付け

1－1－C 事業の目的

現在、地球温暖化及び資源制約の解決を目指した低炭素社会において、水素は重要な燃料と位置付けられている。また、自動車分野でも、更なる燃費向上、CO₂の削減、燃料の多様化の観点から、次世代自動車の本格的な市場導入への要請が強まっており、特に燃料電池自動車は、2015年の普及開始に向け水素の製造・供給インフラの整備を行う必要がある。製油所は大規模な水素製造装置を有しており、それらの余力の活用により安定的な水素供給が可能となる。しかし、製油所内の水素製造装置からの水素を燃料電池自動車に用いるためには、純度を現状の98%前後から99.99%まで高純度化し、かつ製油所から効率的に出荷できる状態にする必要がある。

本事業では、製油所で製造される水素を効率的に高純度化する技術開発及び高圧出荷のための技術開発に対する補助を行い、燃料電池自動車普及のための安定的な水素供給を図ることを目的とし、以下の2項目の技術開発を行う。

(1) 高効率水素製造等技術開発

製油所内の既存装置から製造される水素を効率的に活用し、その純度を燃料電池自動車に必要な高純度(99.99%)にまで高める製造プロセスを開発・実証する。

(2) 高圧出荷装置技術開発

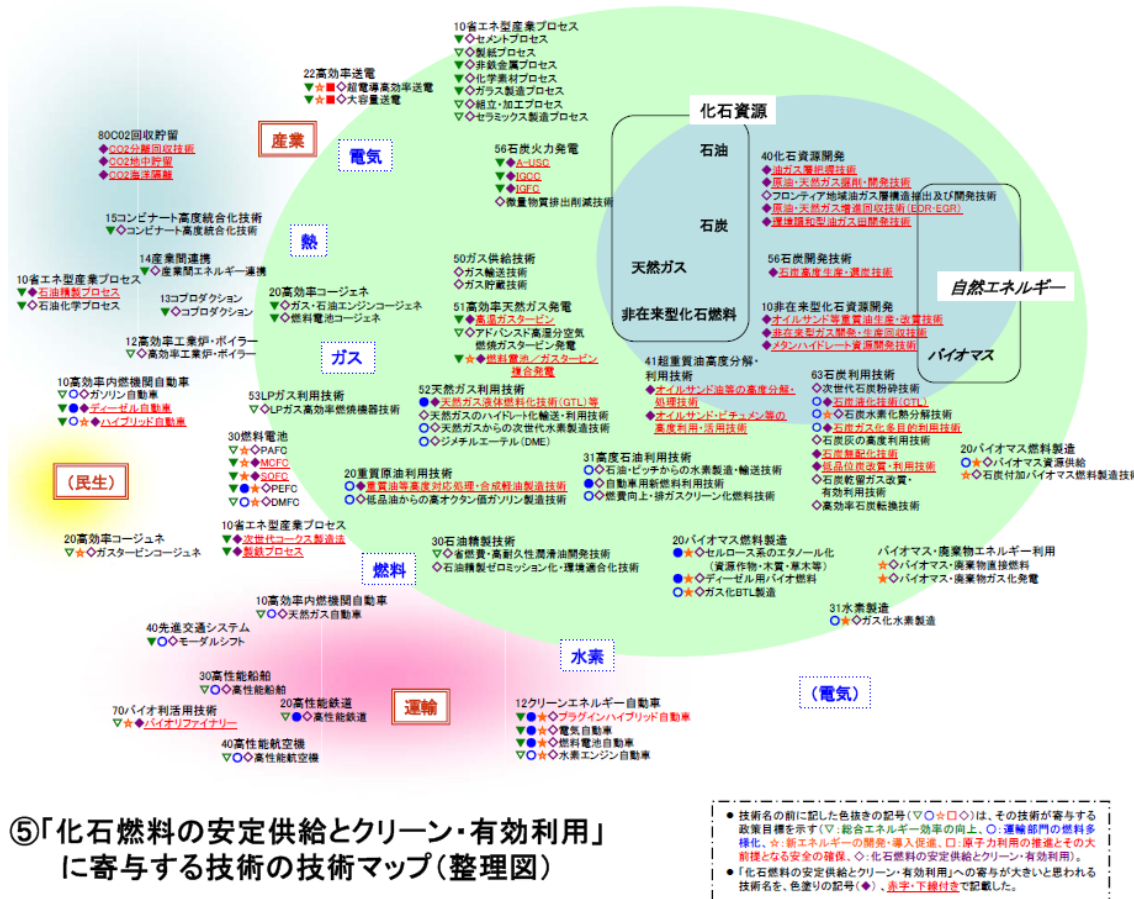
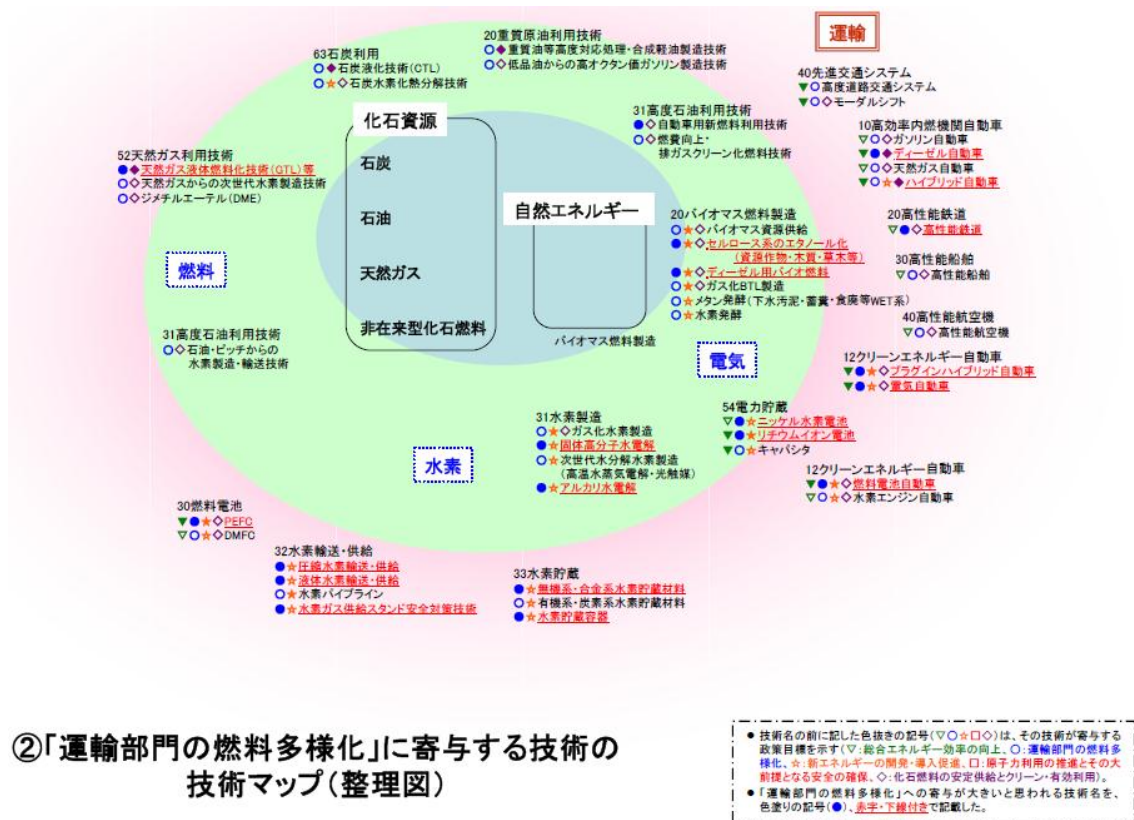
製油所で製造した高純度(99.99%)水素を高圧(45MPa程度)で効率的に出荷するための大型の圧縮装置の開発・実証を行う。

1－2－C 政策的位置付け

平成22年6月に経済産業省が取り纏めた「技術戦略マップ2010」において本事業は「高度石油利用技術 石油・ピッチからの水素製造・輸送技術」として「運輸部門の燃料多様化」および「化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用」に寄与する技術に位置づけられている。また、同月に閣議決定された「新成長戦略」において、その戦略分野の一つである「グリーン・イノベーションによる環境・エネルギー大国戦略」の中の、産業・エネルギー部門における「エネルギー高度利用の推進」として本事業は位置づけられている。

エネルギー技術—俯瞰図—





また、同じく平成 22 年 6 月に閣議決定された「エネルギー基本計画」においては、2030 年に目指すべき姿と政策の方向性の中で、水素エネルギーは、

あらゆる化石燃料から製造可能で、利用段階では高効率かつゼロ・エミッションのエネルギーであり、民生・産業部門の分散型電源システムや輸送用途の有力なエネルギー源の一つとしての役割が期待される。将来的には、原子力や再生可能エネルギーを利用した水素製造及び、CCS を組み合わせた化石燃料からの水素製造により、製造段階から利用段階までのゼロ・エミッション化の実現が見込まれる。家庭用燃料電池のさらなる普及や 2015 年以降の燃料電池自動車の市場投入が期待されており、中長期的な観点から開発・利用に向けた取組を進めていく。その際、技術・コスト・インフラ等に関する課題を克服する必要がある。

とされ、また、「資源確保・安定供給強化への総合的取組」の中で、「国内における石油製品サプライチェーンの維持」が重要課題とされ、その実現に向けた基本戦略の一つとして、

石油産業の設備等を活用した水素の供給インフラ整備

- ・ 製油所の水素製造装置（装置余力だけで FCV500 万台分の水素生産が可能）を活かし、安定・安価な水素製造を可能とするため、高効率・高品質の水素製造技術の開発や、CCS と組み合わせて CO₂ をほぼゼロにするための検討を促進する。
- ・ また、2015 年の燃料電池自動車の普及開始に向けた水素ステーション等の供給インフラのコスト低減のため、高圧ガス保安法等の規制への対応が課題である。このための安全性の検証、技術開発を積極的に進める。さらに、将来的には石油燃料に加え、水素、電気も供給するマルチステーションを整備する。

が掲げられているように、本事業は、エネルギー基本計画においても重要な課題と位置づけられている。

さらに、平成 23 年 1 月 13 日、自動車メーカー 3 社及び水素供給事業者 10 社は、「燃料電池自動車の国内市場導入と水素供給インフラ整備に関する共同声明」として以下の発表を行った。

1. 自動車メーカーは、技術開発の進展により燃料電池システムの大幅なコストダウンを進めつつあり、FCV 量産車を 2015 年に 4 大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し、開発を進めている。導入以降、エネルギー・環境問題に対応するため、更なる普及拡大を目指す。
2. 水素供給事業者は、FCV 量産車の初期市場創出のため、2015 年までに FCV 量産車の販売台数の見通しに応じて 100 箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指す。
3. 自動車メーカーと水素供給事業者は、運輸部門の大幅な CO2 排出量削減に資するため、全国的な FCV の導入拡大と水素供給インフラ網の整備に共同で取組む。これら実現に向け、普及支援策や社会受容性向上策等を含む普及戦略について官民共同で構築することを、政府に対し要望する。

平成 25 年 6 月 14 日には、「日本再興戦略」が閣議決定され、この中で、

産業部門や運輸部門において、革新的な技術開発と省エネ基準の整備などにより、一層の省エネ化を進める。次世代自動車については、2030 年までに新車販売に占める割合を 5 割から 7 割とすることを目指し、初期需要の創出、性能向上のための研究開発支援、効率的なインフラ整備等を進める。

○次世代自動車の普及・性能向上支援

○電池・充電制御等の国際標準化

○水素供給インフラ導入支援、燃料電池自動車・水素供給インフラに係る規制の見直し

・2015 年の燃料電池自動車の市場投入に向けて、燃料電池自動車や水素インフラに係る規制を見直すとともに、水素ステーションの整備を支援することにより、世界最速の普及を目指す。

とされた。また、平成 25 年 12 月 13 日に開催された「総合資源エネルギー調査会基本政策分科会」において、将来の二次エネルギーでは、電気、熱に加え、水素が中心的役割を担うことが期待され、水素を本格的に利活用する社会である“水素社会”の実現について言及され、このため、水素の製造から貯蔵・輸送、利用に関わる様々な要素を包含している全体を俯瞰したロードマップの策定とその策定を担う産学官からなる協議会を早期に立ち上げることが指摘された。

これを受け、12 月には、「水素・燃料電池戦略協議会」が設置され、

- ① 水素エネルギーの意義に関する共通理解の醸成

- ② 水素需給の見通しに関する共通理解の醸成
- ③ 水素の「製造」「輸送・貯蔵」「利用」に関するロードマップの策定について検討が進められている。

1－3－C 国の関与の必要性

国として燃料電池・水素関連の研究開発等を推進することは重要である旨位置づけられているところであり、その早期実現のためには、まず、水素の有力な供給源であり、かつ既存の供給インフラが活用できる石油系水素に関する技術開発を行うことが必要である。現状において、燃料電池自動車用の高純度水素（99.99%）の製造は可能であるが、製造コストが高く、製造時に発生する二酸化炭素削減の観点から製造効率向上も課題である。このため、高純度水素を安価に高効率で製造し供給する新たな技術開発が必要である。

石油業界の既存インフラを利用した高純度水素の供給を行うことは、国が掲げる水素社会の早期実現という目標に沿ったものであり、国のエネルギー政策に合致するものである。しかしながら、この技術開発は、収益への貢献を早期に求める民間企業の通常概念からすれば、リスクが大きく、技術開発の対象とはなりにくいと思われる。従って、これら事業の取り組みにおいては、国の適切な関与を行い進めることが必要である。

2－C 研究開発目標

2－1－C 研究開発目標

本技術開発事業は平成 23 年度から平成 25 年度までの 3 年間で実施し、個別要素技術開発ごとに目標を設定して以下の 2 項目について研究開発を進めている。

(1) 高効率水素製造等技術開発

製油所内の既存装置から製造される水素を効率的に活用し、その純度を燃料電池自動車に必要な高純度(99.99%)にまで高める製造プロセスを開発・実証するために、以下の目標を設定し技術開発を進めることとした。

- ① 実環境試験下（硫黄分 1ppm 未満を含む）でもボンベガスによる評価時と同等の水素回収率(90%)を有し、純度 99.99%以上の水素を製造する膜分離プロセスを開発する。
- ② 実用サイズである 1m 長のエレメントを多管化した大型分離膜モジュールの量産技術を確立する。
- ③ 超低圧から高圧への高純度水素ガス圧縮システムを開発し、高純度水素回収率を現状 90%から 95%以上に向上する。
- ④ CO₂ ガス中の低濃度水素を回収するシステムを開発し、水素利用率を現状 97%から 99%に向上する。

(2) 高圧出荷装置技術開発

製油所で製造される燃料電池自動車用に高純度（99.99%）化された水素を高圧（45MPa）で効率的に出荷するために必要な大型の圧縮装置を開発・実証するために、以下の目標を設定し技術開発を進めることとした。

- ① 製油所からの水素出荷を想定した油潤滑レシプロ式の高純度水素圧縮機実証設備の詳細仕様を検討し、同実証設備を建設する。
- ② 開発圧縮機の単独負荷運転による設備信頼性の実証を行うとともに、圧縮後水素の高純度維持システムに必要な油分除去技術を開発する。
- ③ 実用化に必要な 1 年以上の連続運転に対応する圧縮機の耐摩耗部材を選定し耐久性を評価する。
- ④ 蓄圧器、充填機、水素トレーラを備えた既存の水素出荷実証設備と連結運用し、水素トレーラ充填への適用システムを開発する。

2-1-C 全体の目標設定

表 2-1 全体の目標

目標・指標	設定理由・根拠等
(1) 高効率水素製造技術開発 ① 実環境試験下（硫黄分 1ppm 未満を含む）でもポンベガスによる評価時と同等の水素回収率(90%)を有し、純度 99.99%以上の水素を製造する膜分離プロセスを開発する。 ② 1m 長のエレメントを多管化した大型分離膜モジュールの量産技術を確立する。 ③ 超低圧から高圧への高純度水素ガス圧縮システムを開発し、高純度水素回収率を現状 90%から 95%以上に向上する。 ④ CO₂ ガス中の低濃度水素を回収するシステムを開発し、水素利用率を現状 97%から 99%に向上する。	左記目標を達成することで製油所水素製造装置の実環境下で膜分離プロセスが使用できる。さらに低品位エネルギー（装置圧力）を活用した水素精製、CO₂ 分離が可能となり、製油所で高純度水素を効率的に製造できる。従ってこれまで石油産業が培ってきた水素製造技術を活かすとともに、製油所で高純度水素を高効率で製造することにより、低コストで安定的な水素供給が可能となり水素エネルギー社会の早期実現に貢献できる。
(2) 高圧出荷装置技術開発 ① 製油所からの水素出荷を想定した油潤滑レシプロ式の高純度水素圧縮機実証設備の詳細仕様を検討し、同実証設備を建設する。 ② 開発圧縮機の単独負荷運転による設備信頼性の実証を行うとともに、圧縮後水素の高純度維持システムに必要な油分除去技術を開発する。 ③ 実用化に必要な 1 年以上の連続運転に対応する圧縮機の耐摩耗部材を選定し耐久性を評価する。 ④ 蓄圧器、充填機、水素トレーラを備えた既存の水素出荷実証設備と連結運用し、水素トレーラ充填への適用システムを開発する。	燃料電池自動車普及のため、製油所で製造される水素を高圧で出荷するための技術開発を行い、安定的な水素供給の実現に貢献する。燃料電池自動車用に高純度(99.99%)化された水素を高圧(45MPa)で効率的に出荷するために必要な大型の圧縮装置の開発・実証を行う。 本事業では高純度水素用油潤滑式レシプロ圧縮機設備を製作し、圧縮機単独運転により水素品質の確認、信頼性の実証を行う。その後、既存の水素出荷実証設備に接続し、水素トレーラへの水素充填に適用できることを実証することで実用化に繋げる。

2-2-C 個別要素技術の目標設定

表 2-2 個別要素技術の目標設定

要素技術	目標・指標	設定理由・根拠等
(1)高効率水素製造等技術開発 ①膜分離プロセスの開発	・実環境試験下（硫黄分 1ppm 未満を含む）でもボンベガスによる評価時と同等の水素回収率(90%)を有し、純度 99.99%以上の水素を製造する膜分離プロセスを開発する。	本プロセスの開発により、製造効率を従来の PSA（Pressure Swing Adsorption）法の 70%程度から 80%以上に高めることができる。
②大型分離膜モジュールの量産技術の確立	・1m 長のエレメントを多管化した大型分離膜モジュールの量産技術を確立する。	分離膜及び分離膜モジュールの不良品（リーク発生）発生を抑える。
③超低圧から高圧への高純度水素ガス圧縮システムの開発	・高純度水素ガス圧縮システムを開発し、高純度水素回収率を現状 90%から 95%以上に向上する。	水素回収率を向上させることにより、製造コストを低減（製造効率を向上）させる。
④CO ₂ ガス中の低濃度水素を回収するシステムの開発	・CO ₂ ガス中の低濃度水素を回収するシステムを開発し、水素利用率を現状 97%から 99%に向上する。	水素利用率を向上させることにより、製造コストを低減（製造効率を向上）させる。
(2)高圧出荷装置技術開発 ①高純度水素圧縮機の設計・建設	・製油所からの水素出荷を想定した油潤滑レシプロ式の高純度水素圧縮機実証設備の詳細仕様を検討し、同実証設備を建設する。	連続運転に対応する大型高圧水素圧縮機には摺動部材の摩耗量を抑制可能な油潤滑レシプロ式が適しており、商用機にスケールアップ可能な設備規模とする。
②設備高信頼性システム技術の開発	・開発圧縮機の単独負荷運転による設備信頼性の実証を行うとともに、圧縮後水素の高純度維持システムに必要な油分除去技術を開発する。	実運転条件で安定した圧縮性能が発揮でき、圧縮後の水素品質が燃料電池自動車用として問題ないことが必要。

③圧縮機の高耐久システム技術	・実用化に必要な１年以上の連続運転に対応する圧縮機の耐摩耗部材を選定し耐久性を評価する。	一定運転時間後の金属部材の健全性と摺動部材の摩耗量測定による耐久性の検証が必要。
④トレーラ充填適用システム技術	・蓄圧器、充填機、水素トレーラを備えた既存の水素出荷実証設備と連結運用し、水素トレーラ充填への適用システムを開発する。	実用化に向け、水素出荷設備での稼働に対応する圧縮機設備であることが必須であり、この実証により商用水素出荷設備の仕様検討に寄与する。

３－Ｃ 成果、目標の達成度

３－１－Ｃ 成果

３－１－１－Ｃ 全体成果

本技術開発は平成 23 年度から平成 25 年度までの３年間の計画で実施しており、個別要素技術ごとに最終目標を設定して、研究開発を進めている。

高効率水素製造等技術開発では、パイロット規模のハイブリッド分離膜型水素精製装置の長期評価を現在実施中であり、その他の個別要素技術の開発は目標を達成し完了している。高圧出荷装置技術開発では、高純度水素圧縮機実証設備を建設し、水素循環による圧縮機単独運転を実施して、水素品質の確認、設備信頼性の評価を行い、個別要素技術の開発は目標を達成した。現在、本設備を既存の水素出荷実証設備に接続し、水素トレーラへの水素充填に適用できることを実証中である。

３－１－２－Ｃ 個別要素技術成果

(１) 高効率水素製造等技術開発

本技術開発では、製油所の既存の水素製造装置で製造される純度 98%程度の水素を燃料電池自動車用の純度 99.99%以上の高純度水素に精製する工程において、水素分離膜と CO2 分離膜を組み合わせたハイブリッド分離膜型水素精製装置を開発した。

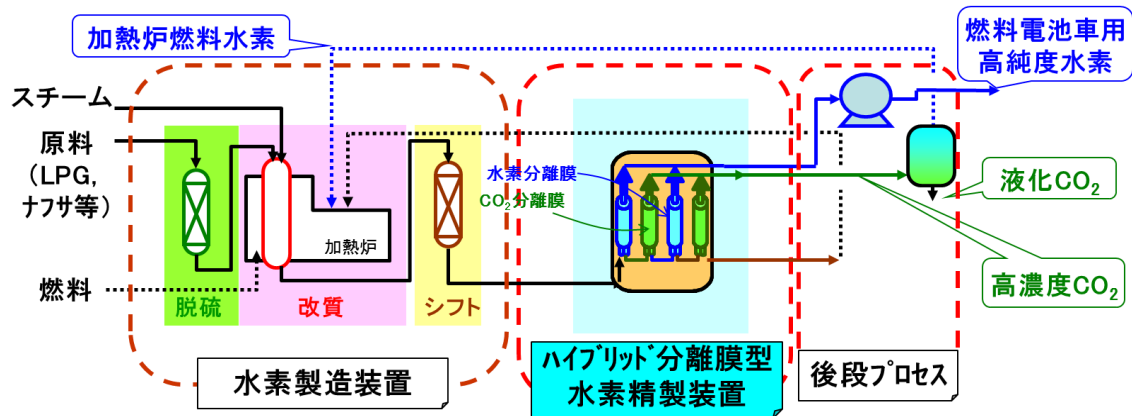


図3-1 「高効率水素製造等技術開発」の概要

① 膜分離プロセスの開発

耐不純物性(H₂S 等)の高い膜分離プロセスを開発するため、初めに不純物濃度と分離性能の関係を明らかにした。H₂S 濃度が 1ppm 程度になると、水素透過係数は 1/5 程度まで低下する。実機においては、前段プロセスである水素製造装置に脱硫設備があるため、膜分離プロセスの入口 H₂S 濃度は 1ppb 程度であり、その場合の水素透過係数の低下は 10%以内に収まると推定された。

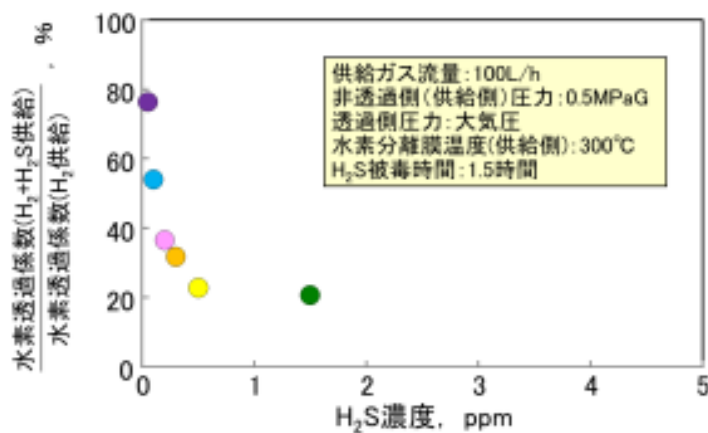


図3-2 H₂S 濃度が水素透過係数に与える影響

次にベンチ装置による 1000 時間連続評価を行ったところ、水素回収率、回収した水素純度及び透過 CO₂ 濃度はほぼ初期性能を維持したが、CO₂ 回収率はガスの流量により大きく低下することが解った。CO₂ 回収率が 60%程度を維持するよう CO₂ 分離膜モジュールの運転本数などを調整することとした。

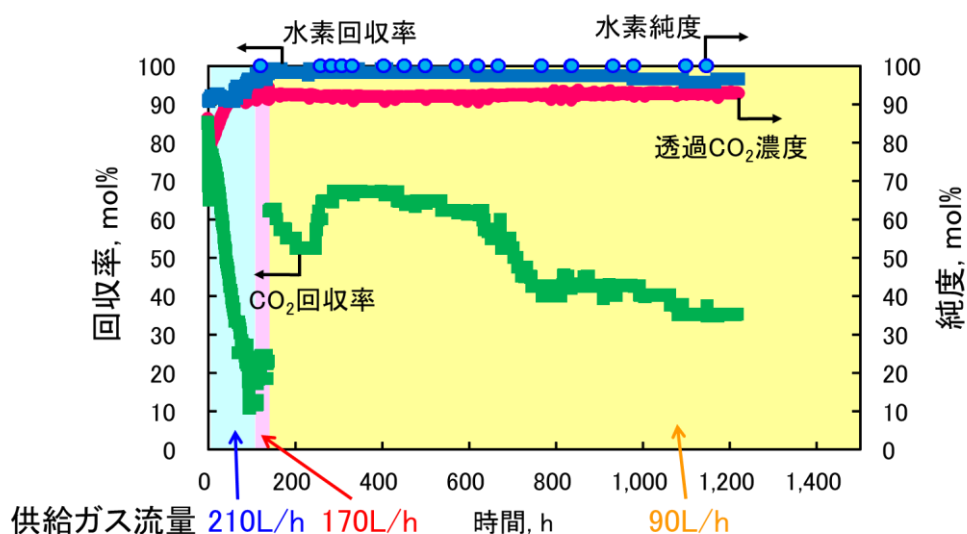


図3-3 ベンチ装置による1000時間連続評価結果

ベンチ装置で確立した運転条件に従って、パイロット規模のハイブリッド分離膜型水素精製装置での1000時間耐久評価を2月～3月にかけて実施する予定としている。

② 大型分離膜モジュールの量産技術の確立

表面分析、シミュレーション等により実使用環境下で分離膜に生じた現象を解析することにより、量産する分離膜の品質管理の指標を確立した。

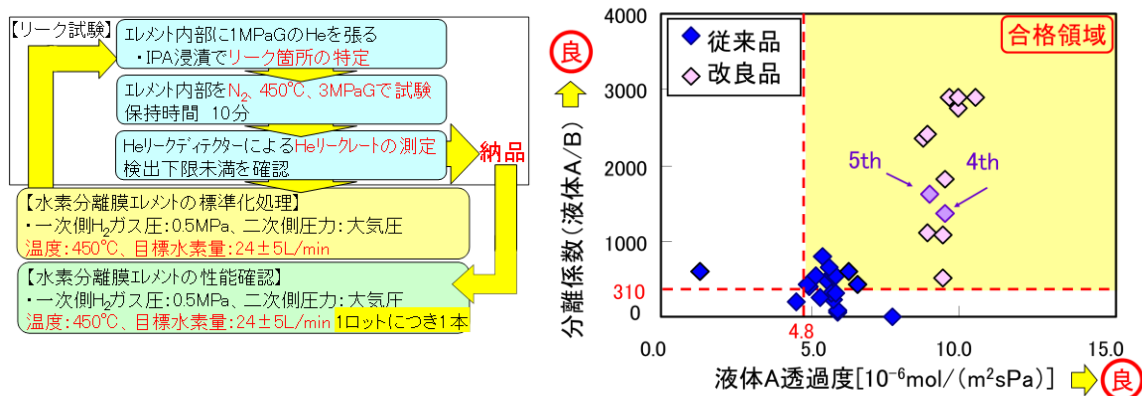


図3-4 水素分離膜試験フロー、CO2分離膜品質管理指標

③ 低圧から高圧への高純度水素ガス圧縮システムの開発

スチームエゼクターを用いて水素分離膜透過側を減圧にすることによる水素回収率の向上効果を確認した。

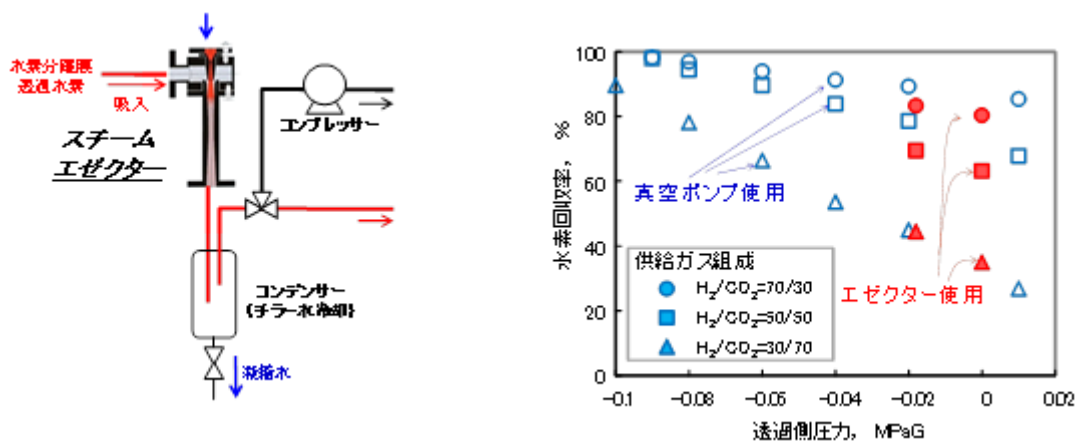


図 3-5 高純度水素ガス圧縮システムによる水素回収率の向上

④ CO₂ ガス中の低濃度水素を回収するシステムの開発

装置の後段に低濃度水素回収装置を設置し、CO₂ ガス中に含まれる低濃度の水素を気液分離で回収し、装置の燃料等に利用する場合のプロセス全体の水素利用率をシミュレーションおよび実験で検討した。低濃度水素回収装置を設置することで水素利用率は 99.9% となった。

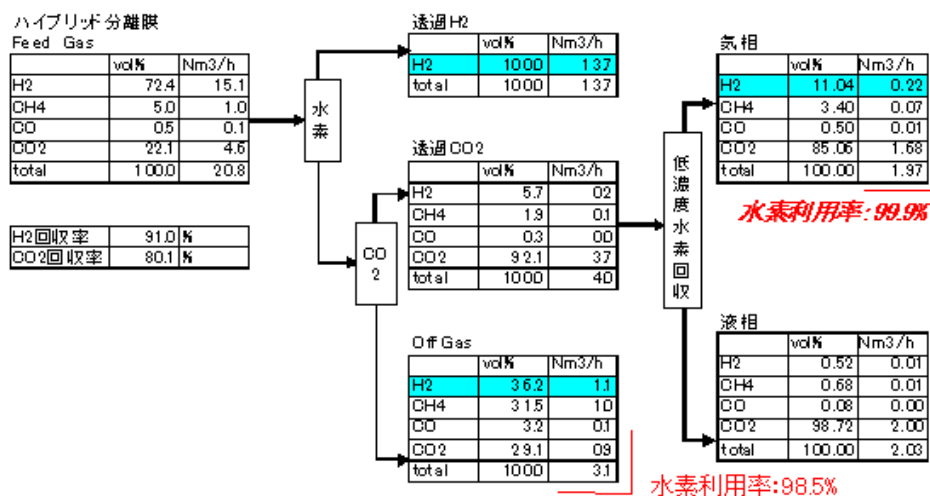


図 3-6 水素利用率の試算

(2) 大型出荷装置技術開発

本技術開発では、製油所で製造される燃料電池自動車用高純度（99.99%）化された水素を、高圧（45MPa）で効率的に出荷するための大型出荷装置技術を開発するために、油潤滑式レシプロ圧縮機からなる高純度水素圧縮機設備を開発した。

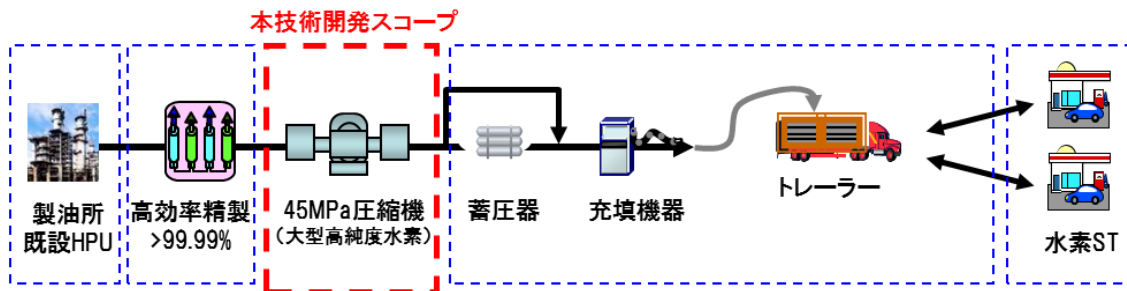


図 3-7 「大型出荷装置技術開発」の概要

① 高純度水素圧縮機的设计・建設

製油所での長期間連続運転を想定し、油潤滑レシプロ式の高純度水素圧縮機実証設備の詳細仕様を検討し、同実証設備を建設した。既存の高純度水素圧縮機は水素ステーションにおける燃料電池自動車への水素充填を目的とした比較的小型のものである。将来の商用規模の高純度水素出荷設備に対応する連続運転可能な 45MPa 級の圧縮機として、油潤滑式を採用し、潤滑油分を製品水素へ持ち込まない高純度水素に対応した仕様とした。

また、水素循環使用による単独での連続運転が可能な設備とした。

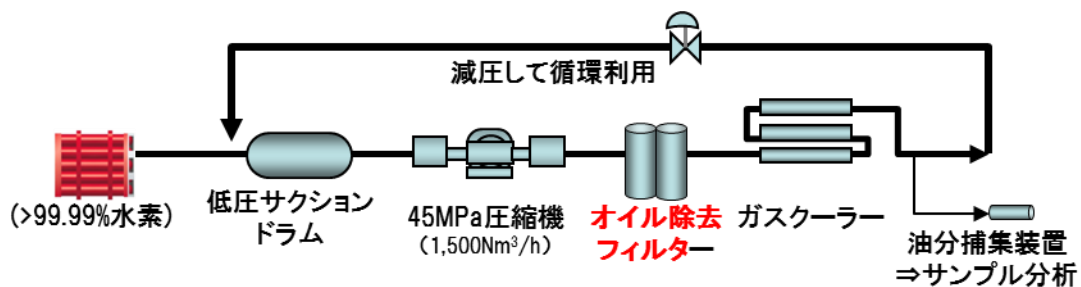


図 3-8 「高純度水素圧縮機実証設備」の概要

水素圧縮機の主たる仕様、性能は以下とした。

型式	水冷式レシプロ型（４段圧縮式） 強制給油潤滑方式
取扱流体	水素（１００％）
性能	吸込圧力 ０．９ＭＰａ、吐出圧力 ４５ＭＰａ 流量 １５００Nm³／hr
防爆仕様	本質安全防爆もしくは水素防爆
特記事項	圧縮水素中の油分濃度が ０．５ppm 以下を達成できること

設備は平成 24 年度に高純度水素圧縮機実証設備の詳細仕様の検討、同設備の建設を実施し、高純度水素の圧縮実証運転が可能となった。

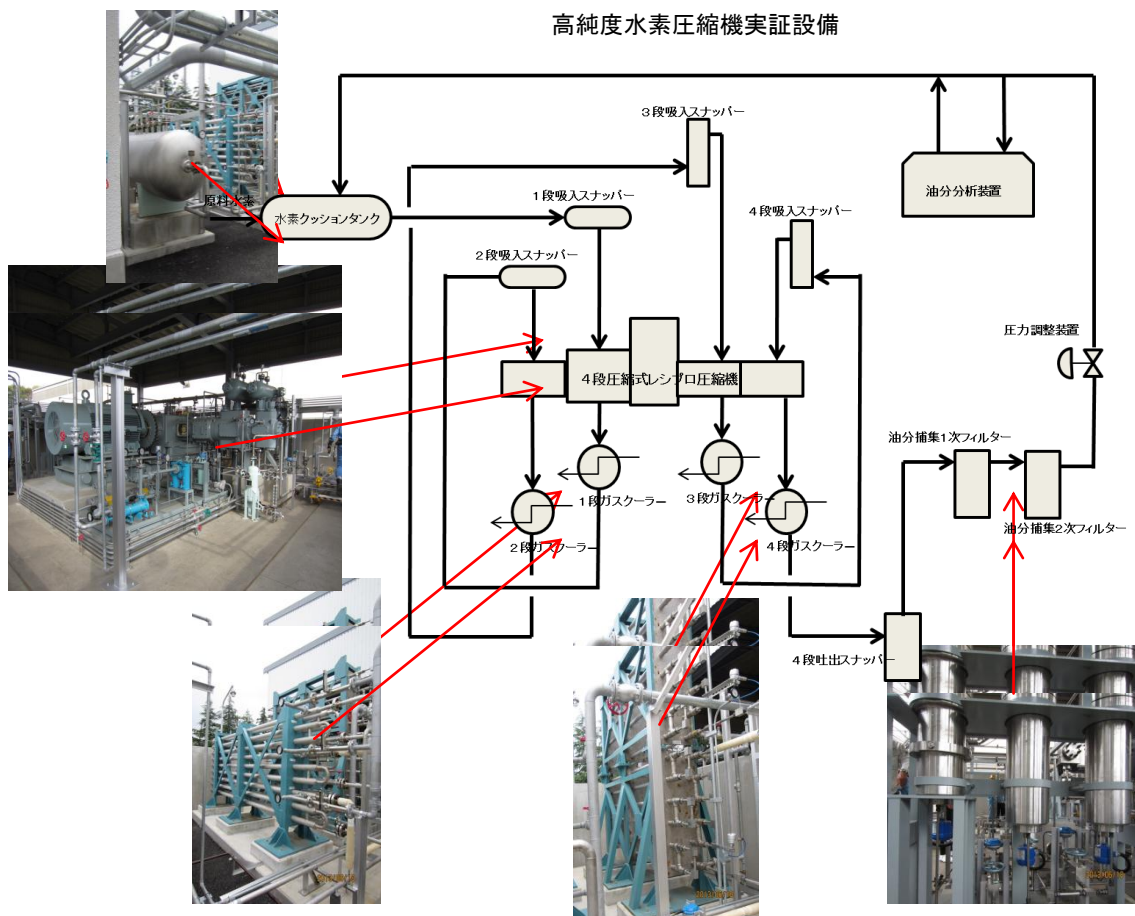


図 3－9 高純度水素圧縮機実証設備

② 設備高信頼性システム技術の開発

開発圧縮機の単独負荷運転による設備信頼性の実証および圧縮後水素の高純度維持システムに必要な油分除去技術の開発を行った。

水素昇圧運転を延べ521時間、最終部品仕様における連続運転はサイクル疲労評価が可能な340時間以上実施し、設計仕様を満足し、安定運転可能なことを実証した。また、油分除去フィルターシステムの有効性が確認された（表3－1）。設計仕様と最終仕様における運転データの比較を表3－2に示す。

表 3－1 水素ガスの油分測定結果

	結果	判定
1 回目 (実施日 9/27)	ミスト成分 <0.01ppm	OK
2 回目 (実施日 10/16)	ミスト成分 <0.01ppm	OK

- 1)サンプリング容器内にガスを捕集
 (2)活性炭によりミスト成分を捕集し、ミスト状で存在するC13以上を定量

装置 : ガスクロマトグラフ
 検出器: 水素炎イオン化検出器

表 3-2 設計仕様と最終仕様の比較

	設計仕様点	最終仕様の 運転データ	設計仕様点に換算
1 段吸入圧力 (MPaG)	0.9	0.84	0.9
2 段吸入圧力 (MPaG)	2.99	2.90	—
3 段吸入圧力 (MPaG)	7.74	7.8	—
4 段吸入圧力 (MPaG)	19.2	21.6	—
4 段吐出圧力 (MPaG)	45.0	45.0	—
1 段吸入温度 (°C)	40	19	40
1 段吐出温度 (°C)	149(断熱)	144	—
2 段吸入温度 (°C)	40	24	—
2 段吐出温度 (°C)	140(断熱)	123	—
3 段吸入温度 (°C)	40	21	—
3 段吐出温度 (°C)	137(断熱)	151	—
4 段吸入温度 (°C)	40	22	—
4 段吐出温度(AC 前)(°C)	126(断熱)	116	—
4 段吐出温度(AC 後)(°C)	40	22	—
質量流量 (kg/h)	134	158	—
体積流量 (Nm ³ /h) (実測圧力・温度換算 ^{※1} - λ)	1500	1593 (実測圧力、 温度 ^{※1} -λ)	1580 ※1 → 1500 (+5.3%)
軸動力 (kW)	287	336	355 ※2 → 337 ※3 (<350)

※1:体積流量 1593Nm³/h (吸入圧力 0.84MPaG, 吸入温度 19°C) を仕様点 (吸入圧力 0.9MPaG, 吸入温度 40°C) で換算した際の体積流量の値を示しています。

※2:軸動力値 336kW (体積流量:1593Nm³/h, 吸入圧力 0.84MPa) を体積流量 1580Nm³/h 吸入圧力 0.9MPaG で換算した際の軸動力の値を示しています。

※3:上記※2 の軸動力を仕様点流量値(1500Nm³/h)で換算した数値を示しています。

③ 圧縮機の高耐久システム技術

単独負荷運転終了後の部材健全性評価および摺動部品の摩耗量測定を実施し、実用設備に必要な圧縮機の耐摩耗部材選定による耐久性の評価を行った。

最終仕様部品の摩耗量測定及び寸法変化測定によりシール部品、バルブ部品、

ベアリング類の寿命評価を実施し、いずれも9500時間以上の寿命想定であった。また、水素環境下の高圧機器金属材料の非破壊検査を実施し健全性を確認した。

表 3－3 シール部材の摩耗量測定と寿命推定

No.	部品名	材質	摩耗率 (mm/h)	運転 時間	推定寿命 (時間)
1	1 段ピストン リング	PTFE	0	521	9500 以上
	2 段ピストン リング	PTFE	0	521	9500 以上
	3 段ピストン リング	PEEK	0.000110	408	9500 以上
	4 段ピストン リング	PEEK	0.000111	360	9500 以上
2	1 段ライダー リング	PTFE	0	521	9500 以上
	2 段ライダー リング	PTFE	0.000077	521	9500 以上
	3 段ライダー リング	PTFE	0.000058	521	9500 以上
	4 段ライダー リング	PTFE	0	521	9500 以上
3	1 段ロッド パッキン	PTFE	0.000058	521	9500 以上
4	4 段ロッド パッキン	LBC	0	521	9500 以上
		PTFE	0	408	9500 以上

表 3－4 水素環境下における健全性の確認

	部品名	設計圧力 MPa	確認方法	判定結果
1	3/4 段シリンダ接ガス部	50	P T (カラーチェック)	合格
2	3/4 段外シリンダカバ接ガス部	50	P T	合格
3	3/4 段ピストンロッド		M T (磁粉探傷試験)	合格
4	4 段吸入バルブ座	50	M T	合格
5	4 段吐出バルブ座	50	M T	合格
6	4 段吐出スナッパ/カバー	50	P T	合格
7	1 次フィルタケース/カバー	50	P T	合格
8	2 次フィルタケース/カバー	50	P T	合格
9	4 段吐出配管 (代表 1 本)	50	エディカルト	合格



図 3 - 1 0 圧縮機部品分解点検

④ トレーラ充填適用システム技術

開発した高純度水素圧縮機実証設備を大型蓄圧器、水素ディスペンサーを備えた既設の水素出荷実証設備に移設し、連結運用することで、高純度水素源から蓄圧器へ充填、水素トレーラへの水素供給が問題なく実施できることを確認するための作業準備中。今年度中に実証を完了する予定である。

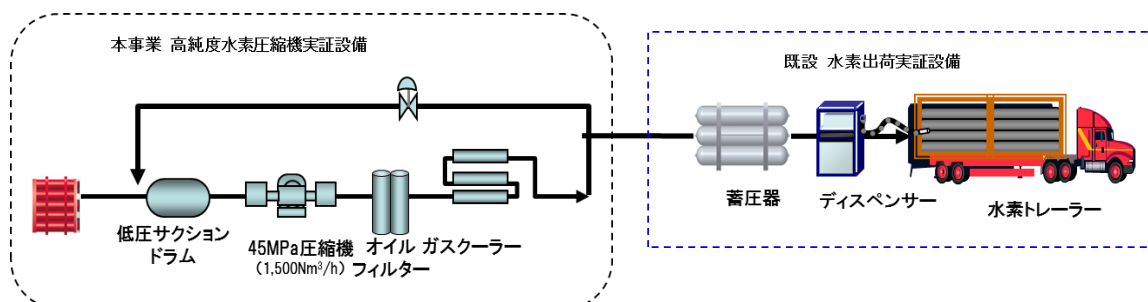


図 3 - 1 1 トレーラ充填適用システム技術開発



図 3 - 1 2 既設水素出荷実証設備

3-1-3-C 特許出願状況等

表 3-1 特許・論文等件数

要素技術	論文数	論文の 被引用 度数	特許等 件数(出 願を含 む)	特許権 の実施 件数	ライセ ンス供 与数	取得ラ イセン ス料	国際標 準への 寄与
(1)高効率水素製造等技術 開発	15		1				
(2)高圧出荷装置技術開発							
全体	15		1				

表 3-2 論文、投稿、発表、特許リスト

	題目・メディア等	時期
論文	「環境浄化技術」7月号 特集「環境産業における膜技術の最新動向」 分離膜による高純度水素精製技術の開発	H24.6
	「燃料電池」2012 年秋号 水素分離膜とCO ₂ 分離膜を組み合わせたハイブリッド分離膜型水素精 製装置の開発 Development of a hydrogen purification system with hybrid-type membrane	H24.10
	燃料電池開発情報センター日本における燃料電池の開発 Fuel Cell RD & D in Japan 2013 製油所における燃料電池自動車用水素製造技術の開発状況	H25.10
発表	International Symposium on Zeolites and MicroPorous Crystals 2012 Development of a hydrogen purification system with hybrid-type membrane -The efficient high-purity hydrogen purification technology by using zeolite membranes-	H24.7
	第42回石油・石油化学討論会秋田大会 事前報道各社 送付資料 日刊工業、化工日報、毎日新聞、日経、NHK 他 分離膜を用いたCO ₂ 分離回収型高純度水素精製技術の開発	H24.9
	第42回石油・石油化学討論会秋田大会 分離膜を用いたCO ₂ 分離回収型高純度水素精製技術の開発	H24.10

	2012 HESS 特別講演会 膜分離による石油留分改質水素製造について ～ハイブリッド分離膜型水素精製装置の紹介～	H24.10
	第42回石油・石油化学討論会秋田大会 事前報道資料 化工日報 分離膜写真 分離膜を用いたCO ₂ 分離回収型高純度水素精製技術の開発	H24.10
	明治大学応用化学・機械工学・情報科学専攻の大学院生 エネルギーの未来予想と膜への期待	H25.7
	参加会社広報部主催の研究所メディア見学会（JX日鉱日石エネルギー中央 研究所） ハイブリッド分離膜型水素精製パイロット装置の見学	H25.8
	日経エコロジー 中西記者（JX日鉱日石エネルギー中央研究所） ハイブリッド分離膜型水素精製パイロット装置の見学	H25.8
	(株)日経映像 中森ディレクター ハイブリッド分離膜型水素精製パイロット装置の撮影	H25.9
	第43回石油・石油化学討論会 ハイブリッド分解肩水素精製装置の開発（第1報） ー1000時間連続評価と分離膜ガス透過性能の低下原因の考察ー	H25.11
	第43回石油・石油化学討論会 ハイブリッド分解肩水素精製装置の開発（第2報） ー精製水素の分析と水素分離膜モジュールの寿命予測ー	H25.11
	第43回石油・石油化学討論会 ハイブリッド分解肩水素精製装置の開発（第3報） ーパイロット装置へのスケールアップー	H25.11
特許	特願 2012-138054 水素精製装置及び水素製造方法	H24.6

3-2-C 目標の達成度

本事業は、平成25年度末の期限に向けて研究開発を進めており、下表に示すとおり、既に多くの個別要素技術について目標を達成し、現在未達成となっている項目についても目標を達成する見込みである。

表 3-3 目標に対する成果・達成度の一覧表

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
(1)高効率水素製造等技術開発 ①膜分離プロセスの開発	・実環境試験下(硫黄分 1ppm 未満を含む)でもボンベガスによる評価時と同等の水素回収率(90%)を有し、純度 99.99% 以上の水素を製造する膜分離プロセスを開発する。	・分離性能と不純物(H ₂ S 等)の濃度の関係を明らかにし、ベンチ装置により運転条件を確立し、パイロット装置での長期耐久試験を実施予定。	未達成 (達成見込み)
②大型分離膜モジュールの量産技術の確立	・1m 長のエレメントを多管化した大型分離膜モジュールの量産技術を確立する。	・水素分離膜、CO ₂ 分離膜の量産時の品質管理指標を確立した。	達成
③超低圧から高圧への高純度水素ガス圧縮システムの開発	・高純度水素ガス圧縮システムを開発し、高純度水素回収率を現状 90%から 95%以上に向上する。	・スチームエゼクターによる透過側減圧による水素回収率の向上を実験により確認した。	達成
④CO ₂ ガス中の低濃度水素を回収するシステムの開発	・CO ₂ ガス中の低濃度水素を回収するシステムを開発し、水素利用率を現状 97%から 99%に向上する。		
(2)高圧出荷装置技術開発 ①高純度水素圧縮機的设计・建設	・製油所からの水素出荷を想定した油潤滑レシプロ式の高純度水素圧縮機実証設備の詳細仕様を検討し、同実証設備を建設する。	高純度水素圧縮機実証設備の詳細仕様の検討、同設備の建設を実施し、 今後の高純度水素の圧縮実証運転が可能となった。	達成
②設備高信頼性システム技術の開発	・開発圧縮機の単独負荷運転による設備信頼性の実証を行うとともに、圧縮後水素の高純度維持システムに必要な油分除去技術を開発する。	水素昇圧運転を延べ 5 2 1 時間、最終部品仕様における連続運転はサイクル疲労評価が可能な 3 4 0 時間以上実施し、設計仕様を満足し、安定運転可能なことを実証した。また、油分除去フィルターシステムの有効性が確認さ	達成

③圧縮機の高耐久システム技術	・ 実用化に必要な 1 年以上の連続運転に対応する圧縮機の耐摩耗部材を選定し耐久性を評価する。	れた。 最終仕様部品の摩耗量測定及び寸法変化測定によりシール部品、バルブ部品、ベアリング類の寿命評価を実施し、いずれも 9 5 0 0 時間以上の寿命想定であった。また、水素環境下の高圧機器金属材料の非破壊検査を実施し健全性を確認した。	達成
④トレーラ充填適用システム技術	・ 蓄圧器、充填機、水素トレーラを備えた既存の水素出荷実証設備と連結運用し、水素トレーラ充填への適用システムを開発する。	大型蓄圧器、水素ディスペンサーを備えた既設の水素出荷実証設備に本開発大型圧縮機を移設・接合させ、高純度水素源から蓄圧器へ充填し、水素トレーラへの水素供給が問題なく実施できることを確認予定である。	未達成 (達成見込み)

4-C 事業化、波及効果について

4-1-C 事業化の見通し

(1) ハイブリッド分離膜型水素精製装置は、今後 2 年程度の運転ののち 2016 年度以降の実用化を目指している。実用化には以下の課題がある。

- ・ 低品位廃熱を利用したモジュールの加熱システム
- ・ 膜分離プロセスのガス透過能の経時変化予測

(2) 高圧出荷装置は、2015 年の燃料電池自動車普及開始に合せ、建設が進められている水素ステーションへの高純度高圧水素の供給に向け実用化を目指している。実用化には以下の課題がある。

- ・ 高純度水素圧縮機を高圧出荷設備に組み込んでの運転実証の蓄積
- ・ 出荷量の変動に対応した設備運転方法の検討

4-2-C 波及効果

1. 製油所における高効率高純度水素製造技術開発

本技術開発においては、製油所の水素製造装置の高温・高圧で使用できる分離膜モジュールを開発し、これを用いたハイブリッド分離膜型水素製造装置で製造効率 80%、純度 99.99% 以上の水素を製造できることがわかった。この技術により製油所において次の利用形態への適用が可能である。

- ・製油所において、水蒸気改質プロセスの後段の PSA 法水素精製装置を置き換えて、ハイブリッド分離膜水素製造装置を設置することによる、安価で製造効率の高い水素製造。

2. 高圧出荷装置技術開発

本技術開発においては、製油所で製造された高純度水素を燃料自動車用燃料として高圧に圧縮し効率的に出荷するための大型水素圧縮機を実用化できることがわかった。この技術を活用し純度 99.99% 以上の水素の純度を維持して、大量の水素を安定的に効率よく出荷するための高純度高圧水素出荷設備の建設が可能である。

- ・複合容器を用いた水素トレーラに 4 5 MPa に圧縮した水素を充填することにより、高純度圧縮水素輸送コストの低減。
- ・長期連続運転可能な高圧水素出荷装置により、安定的な燃料電池自動車用燃料水素の製油所からの出荷。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等

5-1-C 研究開発計画

水素社会早期実現のためには、水素の有力な供給源となりうる石油系水素において高純度水素を効率的に製造し供給する技術開発は重要である。特に、2015 年の燃料電池自動車の普及開始以降の本格普及に備えて水素供給コスト低減は早急に対応する必要がある。本事業はまさに当該スケジュールに合わせる必要があり、3 年間の研究機関は必要かつ適切であった。下記に本実施計画を示す。

表 5－1 研究開発計画

要素技術	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度
(1) 高効率水素製造等技術開発	耐不純物性のある膜・膜分離プロセスの開発		
	大型分離膜量産技術の確立		
	高純度水素ガス圧縮システムの開発		
	低濃度水素回収システムの開発		
			実環境試験下での長期評価
(2) 高圧出荷装置技術開発		高純度水素圧縮機の設計・建設	
			設備高信頼性システム技術の開発
			圧縮機の高耐久システム技術
			トレーラ充填適用システム技術

5－2－C 研究開発実施者の実施体制・運営

事業の実施に当たっては、(1) 高効率水素製造等技術開発については、一般財団法人石油エネルギー技術センター(JPEC)に当該開発事業に即した専門の研究室を設置し、研究開発を行った。その上で、当該専門分野の最先端研究者である大学、民間会社の技術者からなる「高効率水素製造等技術評価小発委員会」を JPEC に設置した。図 5－1 にその実施体制を示す。委員会は年 3 回の報告等を実施し、専門家並びに有識者からの適切な助言、指導を受け、研究開発目標に対する達成度、進捗管理等を行いながら、効率的に研究開発を推進した。(表 5－2)

また、(2) 高圧出荷装置技術開発については、J X 日鉱日石エネルギー株式会社が実施した。

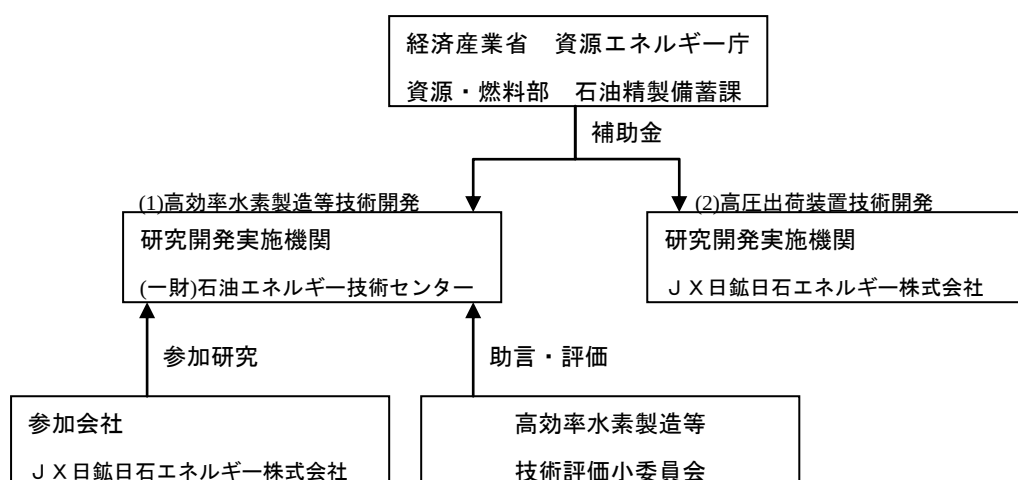


図 5-1 研究開発実施体制

表 5-2 技術評価小委員会運営実績

年 次	委員長	開催実績（回）
平成 23 年度	東京工業大学 名誉教授 山崎陽太郎	3
平成 24 年度	京都大学工学部 教授 江口浩一	3
平成 25 年度	京都大学工学部 教授 江口浩一	3

5-3-C 資金配分

本事業の資金配分を表 5-3 に示す。

高効率水素製造等技術開発においては、初年度にパイロット装置の設計、2 年目に装置建設、3 年目に装置の運転評価という計画であったことから、2 年目に予算を大きく配分した。高圧出荷装置技術開発においては、2 年目からの事業で 2 年目に実証設備の設計・建設、3 年目に運転評価の計画であり、これも 2 年目に予算を大きく配分した。

以上述べたように、限られた補助金を有効活用し、最大の効果を得るためメリハリのきいた予算運用を行った。

表 5-3 資金配分

（単位：百万円）

要素技術	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	合計
(1)高効率水素製造等技術開発	79.9	225.0	80.0	384.9
(2)高圧出荷設備技術開発	0	301.0	137.7	438.7
合 計	79.9	526.0	217.7	823.6

5－4－C 費用対効果

本事業は、約 8.2 億円（平成 23 年度から平成 25 年度までの 3 年間の補助費）を投入した事業であるが、全体的に見ると各テーマにおいて当初設定していた目標がおおむね達成される見込であり、水素社会の早期実現に向け、本事業の費用対効果は大きいものと考えられる。

5－5－C 変化への対応

変化への対応となる事項は無い。