

資源エネルギー庁長官賞 「メタネーション標準機」 株式会社 I H I

1. 装置の詳細説明

(1) 概要

本装置は、温室効果ガスである二酸化炭素 (CO₂) を、当社触媒を用いて、水素 (H₂) と反応させ、有価なメタンガス (CH₄) を製造する機器をコンパクトにパッケージ化した装置となっている。原料ガスの CO₂ 及び H₂ 並びにユーティリティ (ページ用窒素ガス [N₂]、冷却水及び電気) を供給し、合成メタン (e-methane) を製造する。

メタン製造にあたっては、制御装置 (PLC) にて運転を制御、監視し、PLC は外部と伝送通信可能となっている。

<主な仕様>

方式：サバティエ反応

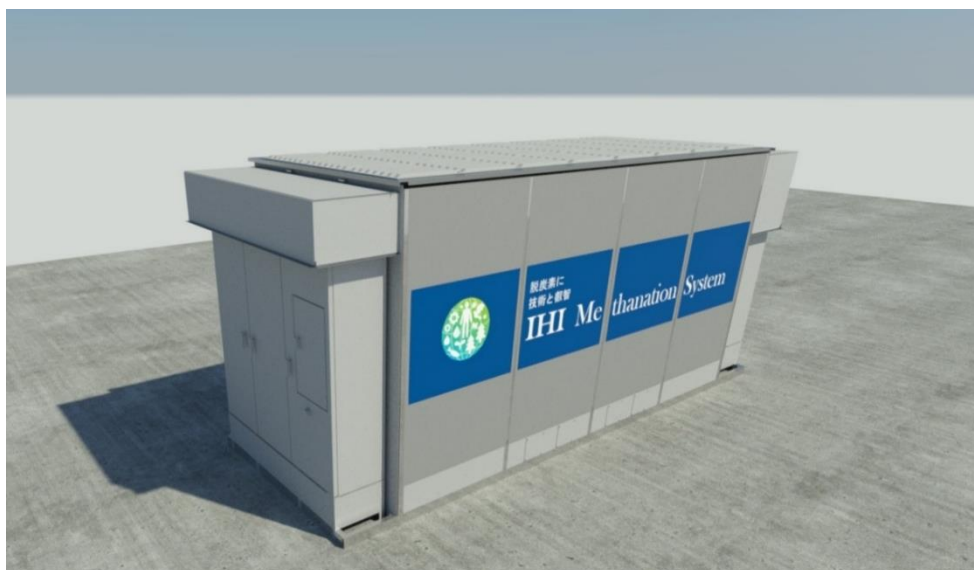
触媒：Ni 系 IHI 触媒

反応器：シェル&チューブ型・2 段式

合成メタン (e-methane) 製造量：12.5 Nm³/h (低負荷運転も可能)

エンクロージャ寸法：幅 2,200mm×長さ 6,700mm×高さ 2,850mm

運転・保守支援システム：MEDICUS NAVI サービス (以下、M-NAVI サービス)



図表 1 本装置 (外観イメージ)

(2) プロセス概要

系統は以下で構成されている（図表 2）。

1) ガス系統

① ガス供給

水素及び二酸化炭素は、下流の流量調節弁にて水素を 50Nm³/h、二酸化炭素を 12.5Nm³/h の流量にそれぞれ調整し、混合ガス配管で合流される。

② 1 段目熱交換器～1 段目反応器

合流後の混合ガスは、1 段目熱交換器において 1 段目反応器の 出口ガスと熱交換することでメタネーション反応開始に必要な温度まで昇温され、1 段目反応器上部に導入する。導入された混合ガスは、触媒上で以下のメタネーション反応によりメタンガスと水を生成する。



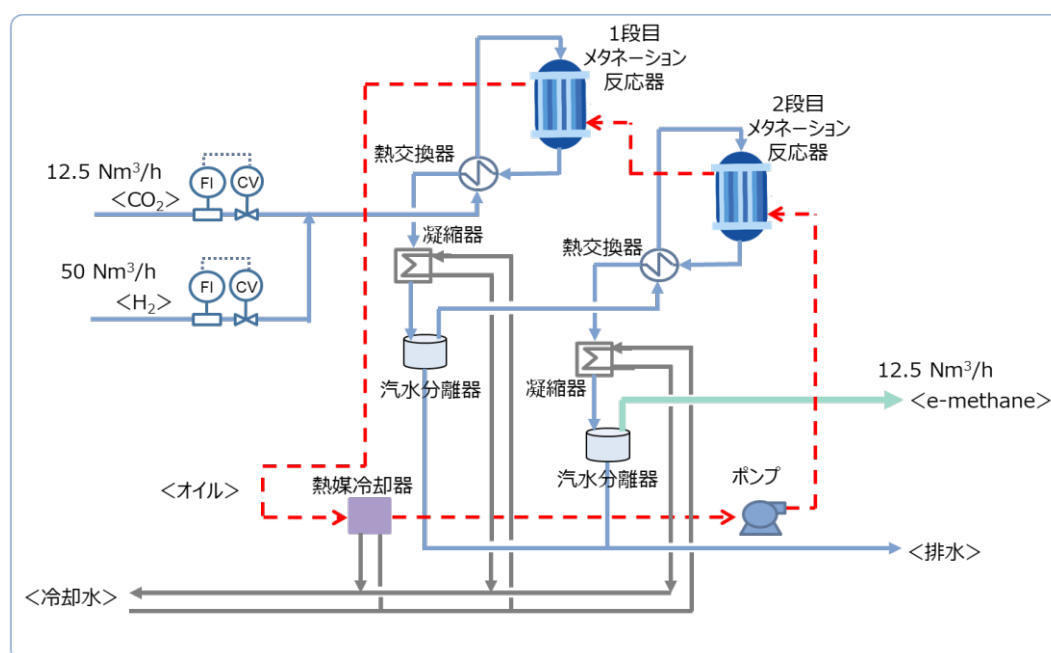
反応は発熱反応であり、反応の進行とともに反応器内の温度が上昇する。過度な昇温による触媒劣化を抑制するため、熱媒油を反応器内（反応管外部のシェル部）に導入し、反応熱を除去する。

反応で生成したメタン、水（気体）、未反応水素及び二酸化炭素が混合した粗製メタンガスとして、1 段目反応器下部より取出す。

反応圧力については、2 段目反応器を含めたガス系統全体を、下流の背圧弁で保持する。

③ 1 段目冷却

得られた粗製メタンガスは、1 段目熱交換器で混合ガスと熱交換、冷却された後、さらに 1 段目凝縮器で冷却する。この冷却で、粗製ガスに含まれる水分は凝縮し、1 段目汽水分離器にて分離する。分離された凝縮水は、汽水分離器のレベルコントローラにより排水系統に送水する。



図表 2 プロセスフロー概略図

④2 段目熱交換器～2 段目反応器

冷却除湿された粗製メタンガスは、2 段目熱交換器において 2 段目反応器の出口ガスと熱交換することで、メタネーション反応開始に必要な温度まで昇温し、2 段目反応器に導入される。導入された粗製メタンガスに含まれる未反応の水素及び二酸化炭素は、触媒上でメタネーション反応することでメタン濃度が高まり、2 段目反応器出口で所定メタン濃度の粗製ガスとなる。

⑤2 段目冷却

得られた粗製メタンガスは、2 段目熱交換器で混合ガスと熱交換、冷却された後、さらに 2 段目凝縮器で冷却される。この冷却で、粗製ガスに含まれる水分は凝縮し、2 段目汽水分離器にて分離され、製品メタンガスとなる。分離された凝縮水は、汽水分離器のレベルコントローラにより排水系統に送水する。

⑥製品メタンガス供給/排気系統への排出

冷却除湿された製品メタンガスの流量とメタン濃度をオンラインでモニタリングする。

得られた製品メタンガス濃度が所定濃度以上の場合、ガス利用設備等へ供給し、メタンガス濃度が所定濃度未満の場合は、ガス処理系統（フレアスタック等）へ排出する。

2) 熱媒油系統

本系統は、熱媒油を供給し、反応器での反応温度の維持及び反応熱を除去する系統である。

熱媒油は、ウォーミング時には電気ヒータにて常温から反応に必要な温度まで加温され、熱媒油ポンプにより反応器へ供給し、反応器を所定温度まで加温する。

運転時に熱媒油ポンプより 2 段目反応器、続けて、1 段目反応器へ供給する。各反応器を通過時に、反応熱により熱媒油温度が上昇する。各反応器で反応熱を除去した熱媒油は、熱媒油凝縮器への供給流量を調節することにより、温度を一定に調整する。また、熱媒油凝縮器にて温度調整される前の熱媒油をメタネーション装置外部に取り出して、反応熱を利用することができる。反応熱を利用する場合、熱媒油は反応に必要な温度にて本装置に戻す。

運転により昇温した熱媒油は膨張するため、膨張分を熱媒油タンクにて保持する。

また、低負荷運転時は、反応熱よりも放熱が大きくなる場合がある。その際、熱媒油は電気ヒータにて所定の温度まで加温して反応器へ供給する。

3) 冷却水系統

本系統は、冷却水を各凝縮器（以下）へ供給する系統である。

- ①1 段目凝縮器
- ②2 段目凝縮器
- ③熱媒油凝縮器
- ④熱媒油タンク

冷却水は約 32℃以下で装置取り合い入口から供給され、各凝縮器にてガス又は熱媒油と熱交換し、約 40℃以下で装置取り合い出口からユーティリティ設備（冷却塔等）に戻る。

4) 排水系統

本系統は、メタネーション反応により生じる凝縮水を排出する系統である。

1 段目反応器又は 2 段目反応器で生成した水（気体）は、熱交換器及び凝縮器にて降温されて凝縮し、1 段目汽水分離器又は 2 段目汽水分離器で気液分離され、貯蔵する。汽水分離器に貯蔵した凝縮水は定期的に排水処理等へ排出する。

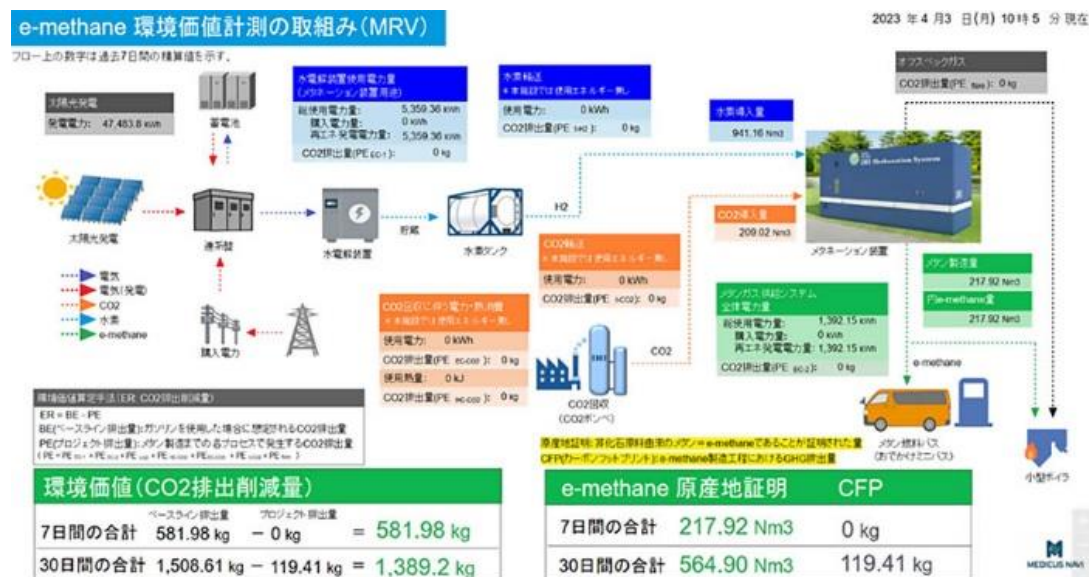
5) 排気系統

本系統は、混合ガスからの排気ガス（粗製メタンガスを含む）及び製品ガスからの余剰ガスを、系外へ排出する系統である。

例えば、混合ガスが所定の圧力を超えた場合、緊急対応としてガス供給上流に設置の安全弁が開き、ガスを本排気系統で排出する。同様に、製品ガスが所定のメタン濃度に満たない場合や、製品ガスの余剰分を不定期に本系統で排出する。

(4) リモート監視

M-NAVI サービスは、ILIPS (IHI Group Lifecycle Partner System) により収集したプラントの運転データを用いて、インターネット上の Web ブラウザ上で見ることができ「環境価値管理」や「遠隔監視」画面の提供、各種レポートの発行、合成メタン (e-methane) 製造量、CO₂ 排出量の算出、プラント装置・構成機器のメンテナンス等（一部オプション対応）を行う標準サービスである。



図表 3 MEDICUS NAVI 「環境価値管理」画面 (例)

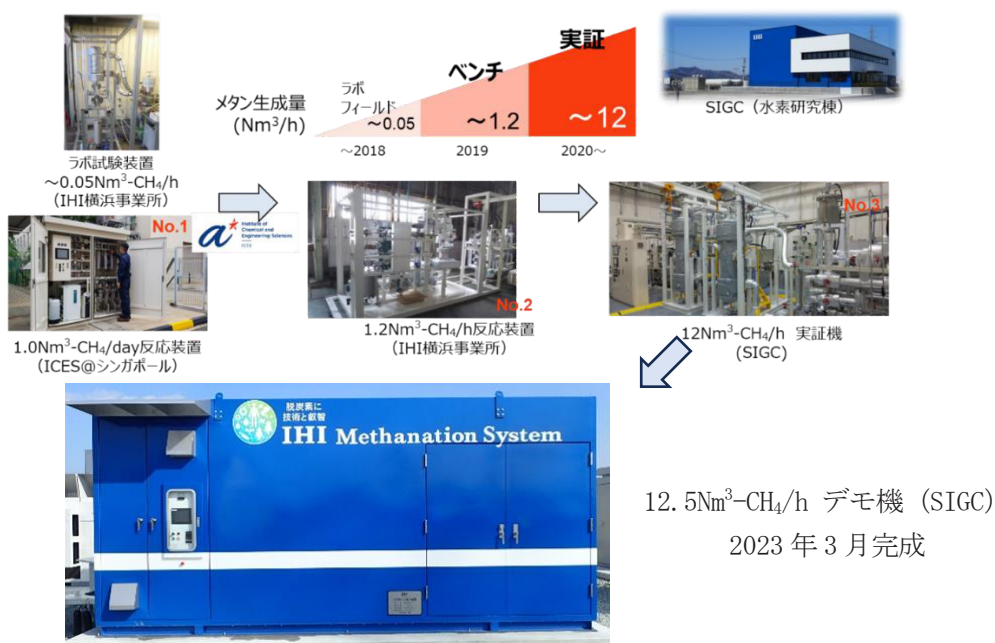
2. 開発経緯

(1) 開発経緯

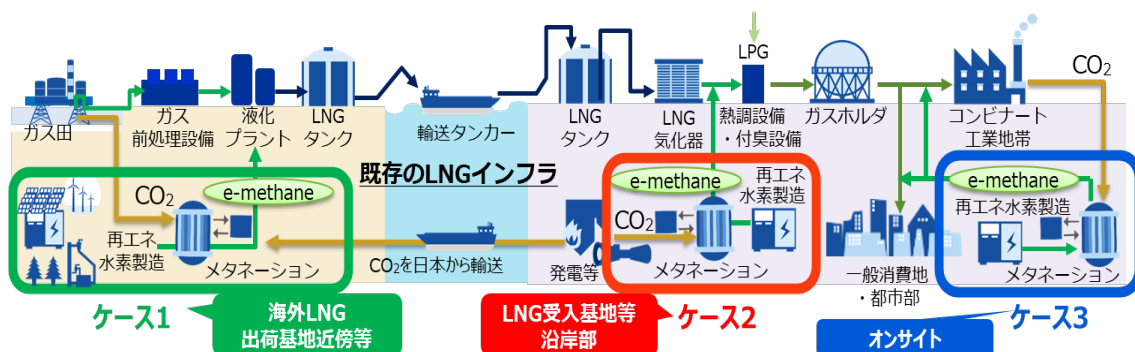
1) 背景

メタネーション反応プロセスのスケールアップとして、「ラボ試験 (～0.05 Nm³/h)」、「ベンチ試験 (～1.2 Nm³/h)」と段階的にメタネーション触媒の特性及び反応器の構造を評価した。その後、「実証試験 (～12.5 Nm³/h)」をそうま IHI グリーンエネルギーセンター (Soma IHI Green Energy Center : SIGC、福島県相馬市) で行い、デモ機ではスケールアップ時の性能評価及び、システムとしての運用特性や安定性を確認した。

合成メタン (e-methane) の社会実装の形としては、原料となる CO₂、再エネ水素供給源、LNG・都市ガスインフラ及びユースポイントへのアクセスの容易さから、以下に示す三つのケースを想定しており、各ケースに応じたスケールアップの検討を進めている。



図表4 12.5Nm³-CH₄/h-デモ機へのスケールアップ



図表5 メタネーション社会実装の想定ケース

(ケース 1)

海外における再生可能エネルギーを利用した大規模な合成メタン (e-methane) 製造・日本への供給

(ケース 2)

都市ガス導管への供給が容易な LNG 受け入れ基地近傍での合成メタン (e-methane) 製造

(ケース 3)

国内 CO₂ 排出源及び余剰水素源におけるオンサイトでの合成メタン (e-methane) 製造

合成メタン (e-methane) のニーズをヒアリングする中で、工場や研究所、事業所におけるカーボンニュートラルに関する取り組みを検討する企業から、本格的に導入する前に試験運用したいという要望を受けることが多くあった。さらに、再生可能エネルギーの余剰電力活用として、オンサイトでメタネーションを実施したいといった声があった。それらのニーズを受けて、本装置を開発した。

2018 年	ラボ試験 (～0.05Nm ³ -CH ₄ /h) : 触媒の特性及び反応器の構造評価
2019 年	ベンチ試験 (～1.2Nm ³ -CH ₄ /h) : 触媒の特性及び反応器の構造評価
2020 年～	実証試験 (～12.5Nm ³ -CH ₄ /h) : スケールアップ時の性能評価、 システムとしての運用特性及び安定性の確認
2023 年度	第 1 号機納入

2) コンセプト

本装置は、メタネーション設備を小規模で、すぐに試験運用したい、または社会実装の「ケース 3: オンサイトメタネーション」のうち小規模の運用といったニーズを想定し、「トラックで輸送できるコンパクトさ」、「既存の水電解装置や水素ポンペでも活用できる能力」をコンセプトとした。必要な機器をコンパクトなエンクロージャ (筐体) にパッケージ化し、短期間かつ省スペースでの据付を実現した。また、設計の標準化により、短納期と低価格を可能とした。

(2) 共同開発

なし

ただし、触媒開発においては、シンガポール科学技術研究庁 (A*STAR: Agency for Science, Technology And Research) 傘下の研究機関である ISCE² (Institute of Sustainability for Chemicals, Energy and Environment) と共同開発したレシピをベースとし、当社にてさらに改良を加えたものである。

(3) 技術導入

なし

3. 独創性

メタネーション技術の核となる触媒は、比類なき性能を有している。特に、熱的耐性（耐シンタリング）と耐被毒性能に長けている。開発したメタネーション触媒の透過型電子顕微鏡(TEM)写真とその模式的な構造を示す（図表 6）。開発した触媒は、内部の Ni 粒子径が数 nm と極めて小さなサイズであり、その Ni ナノ粒子を包含する多孔質な酸化物マトリックスから構成されている。酸化物マトリックスはメソポーラス構造を有し、Ni ナノ粒子の保護層として作用する。そのため高温の反応場でも Ni 粒子同士の会合が抑制できシンタリングし難いという特徴がある。本触媒を用いることで長期間にわたり安定的に合成メタン（e-methane）を製造することが可能である。

また、標準設計による短納期、低価格で、トラック輸送可能なオール・イン・ワンのメタネーションパッケージとして、実装可能な品質での合成メタンを製造し、国内初の都市ガス導管注入を可能とした。

4. 特許

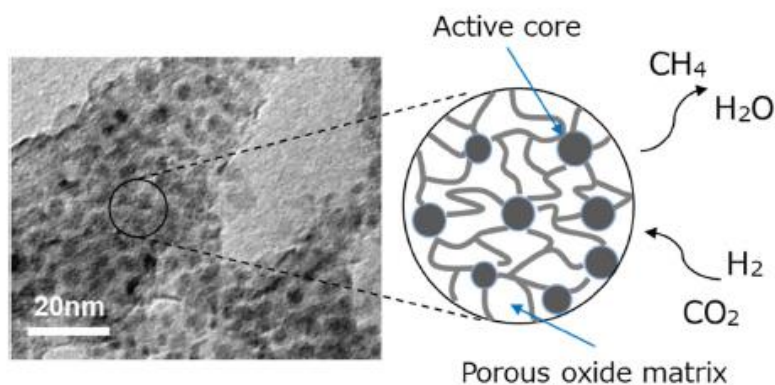
次のとおり、特許 2 件を取得済み。

特許番号：第 6203375 号 / 名称：メタン化触媒

特許番号：第 6279726 号 / 名称：メタン化触媒

5. 性能

標準機の合成メタン製造量は $12.5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ で、低負荷運転も可能。保証性能としての出口メタン純度は 95%以上である。原料となる CO_2 濃度に制限はなく、不純物としての硫黄 (S) 分は 0.2 ppm 程度でも前処理不要である。筐体サイズは幅 2,200mm×長さ 6,700mm×高さ 2,850mm である。



図表 6 IHI メタネーション触媒の TEM 写真と模式図

6. 経済性

合成メタン製造コストの大きな部分は、水素製造・再エネ電力コストが占める。従って足下では、大きなコストをかけず短期間でCO₂削減効果を上げられるソリューションとして、小規模な本装置をそれぞれの事業所の事情に合った形で実装することをお勧めしている。合成メタンの本格的な社会実装に向けては、これらのコストをいかに下げていくかが重要である。当社においても、設備のスケールアップ設計、触媒の長寿命化、余剰再エネ電力を有効活用する設備運転を実現するクラウドサービスの開発、環境価値を証明する信憑の発行サービスの開発により、合成メタンのコストダウンや高付加価値化により社会実装を後押しする施策を実施している。

7. 将来性

2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロとする、つまりカーボンニュートラルを目指すことを日本政府は宣言している。カーボンニュートラルへのソリューションの一つとして、メタネーションによる合成メタン（e-methane）製造技術の確立、実装が期待されている。

この技術は、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（経済産業省）において、次世代熱エネルギー産業のカーボンニュートラル化の具体策として挙げられている。メタネーションによって合成されたメタンは合成メタン（e-methane）と呼ばれ、再生可能エネルギーの水素キャリアの一形態であると同時に、回収CO₂の有力な利用先として期待されている。

カーボンニュートラルの実現に向けてCO₂排出削減量を環境価値として認証する動きがある。この認証に対応するために、当社ではお客さまの水素製造装置から合成メタン（e-methane）の供給までの各機器・計器の運転データを基にインターネット上のWEBブラウザから「環境価値管理」や「リモートモニタリング」画面を提供する運転・保守支援システム「MEDICUS NAVI」サービスをおこなう。お客さまの運転データはILIPS（IHI group Lifecycle Partner System）により収集され、遠隔から運転監視を行い、必要であればアドバイスを行う（ILIPSとは、当社グループの製品や装置のデータをクラウドサーバーに集積し、ライフサイクルビジネス活用するための当社グループ共通IoTシステムのことである）。

小型ではあるが、本装置を通じて、装置や運転、メンテナンスの知見を積み重ね、より経済的で、安心してお使いいただける装置（技術）へと進化させていく。そして、本装置を皮切りに、さらに経済的に成立しやすい数百～数万Nm³/hクラス（前項に示すケース1やケース2）につなげていく。