

有機ケミカルハイドライド法を 利用した水素燃料船の検討

一般財団法人日本海事協会

株式会社MTI

千代田化工建設株式会社

三菱重工業株式会社

目次

1. はじめに
2. 有機ケミカルハイドライド法
3. 推進プラントの検討
 - 3-1. 燃料電池
 - 3-2. ボイラー・タービンプラント
 - 3-3. エンジンプラント
4. 水素供給プラント
5. 推進プラントの比較
6. 評価

1. はじめに

はじめに

背景

- CO₂排出を削減する究極の燃料として水素が注目されているが、貯蔵方法が課題であった。
- 水素を常温・常圧の状態、貯蔵密度を高く貯蔵する方法として有機ケミカルハイドライド法の利用が現実味を帯びてきた。



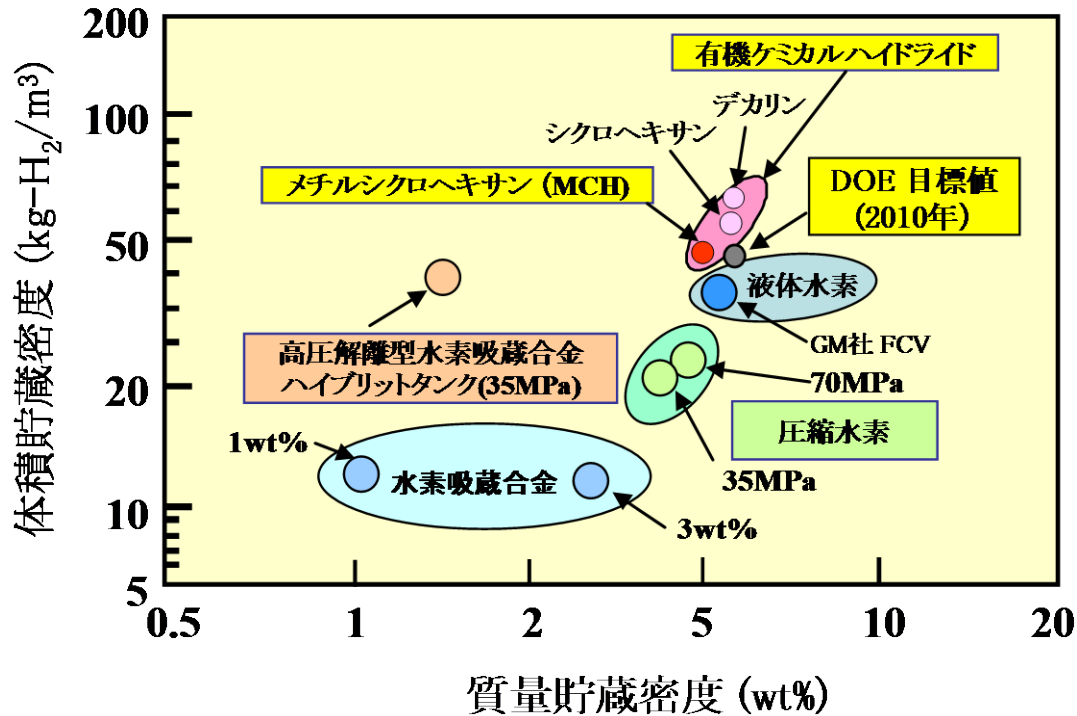
本検討の目的

船舶のCO₂排出を低減するために、有機ケミカルハイドライド法を用いた水素を燃料とした、推進プラントの検討を行う。
検討ケースとして、主機馬力を9,000kW、航続距離を17,000海里と仮定して試算を行う。

2. 有機ケミカルハイドライド法

有機ケミカルハイドライド法

有機ケミカルハイドライド法 (OCH法: Organic Chemical Hydride Method) とは、トルエンなどの芳香族化合物を水素化することによって、メチルシクロヘキサン(MCH)などの飽和環状化合物として水素を固定し、常温・常圧の液体状態で貯蔵輸送を行い、水素の需要地において脱水素反応により水素を取り出して利用する方法である。

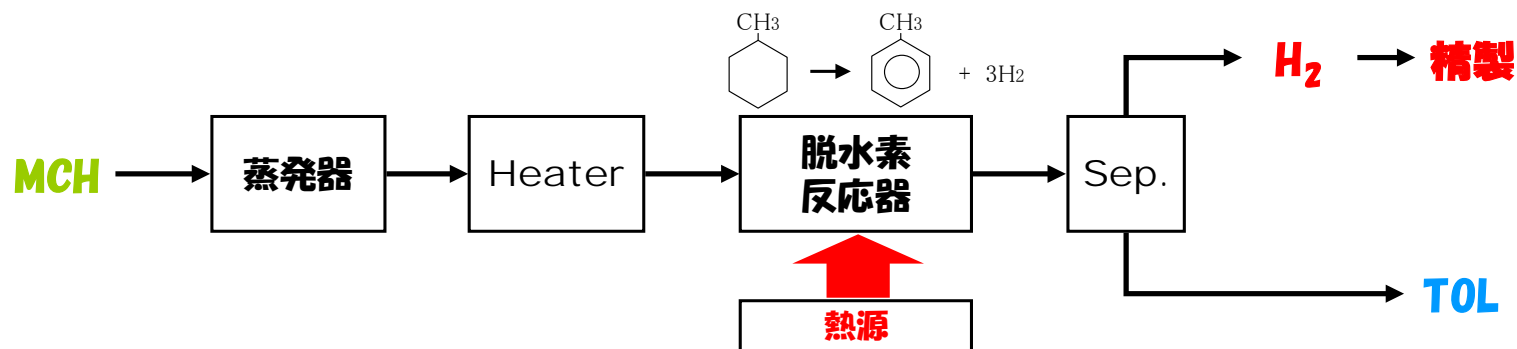


各種水素貯蔵密度の比較

有機ケミカルハイドライド法

脱水素プロセスの標準的な構成を下図に示す。

原料となるメチルシクロヘキサン(MCH)は標準条件で液体であるため、これを蒸発させて反応に必要な温度まで昇温させた後、脱水素反応器にて触媒を用いて脱水素反応を行うものである。



脱水素プロセスの構成

有機ケミカルハイドライド法

有機ケミカルハイドライド法の特徴

- 常温・常圧の条件にも関わらず貯蔵密度が高い。
- 貯蔵時のロスはほとんどなく、輸送燃料のエネルギーロスも比較的少ない。
(エネルギーロスの大半は脱水素の際に必要な熱量分となる。)
- 脱水素反応は吸熱反応でありエネルギーを消費するプロセスであることから、脱水素反応後のガスからの熱回収などを含めた、熱の有効利用を図ることが求められる。
- 高活性・長寿命の脱水素触媒の開発に目処。

3. 推進プラントの検討

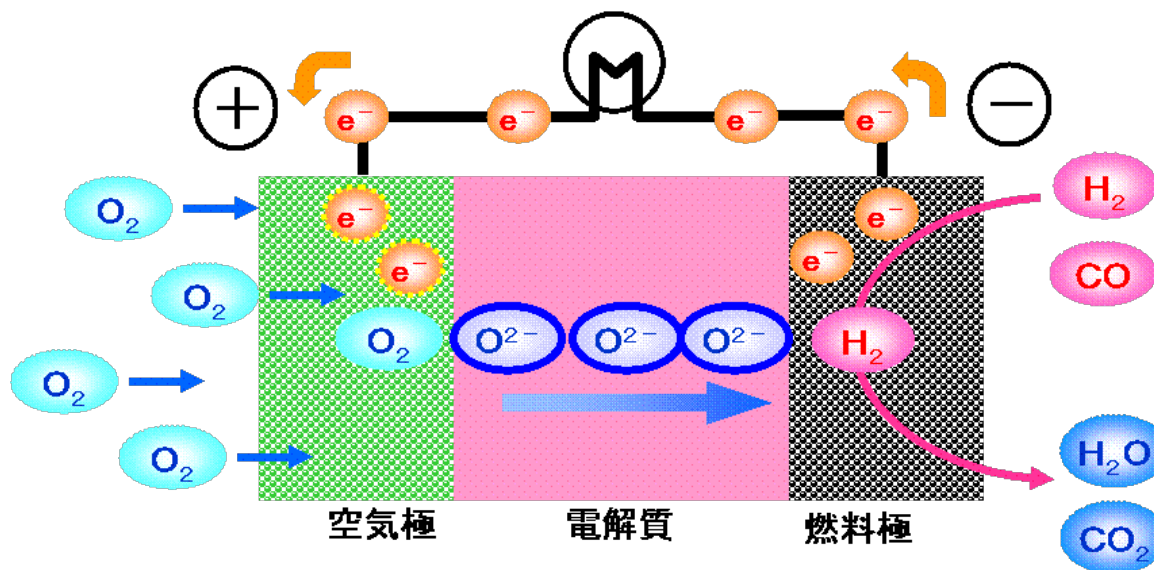
推進プラントの検討

有機ケミカルハイドライド法を使用した推進プラントとして以下3つのプラントについて検討を行う。

- 燃料電池
- ボイラー・タービンプラント
- エンジンプラント

推進プラントの検討 - 燃料電池

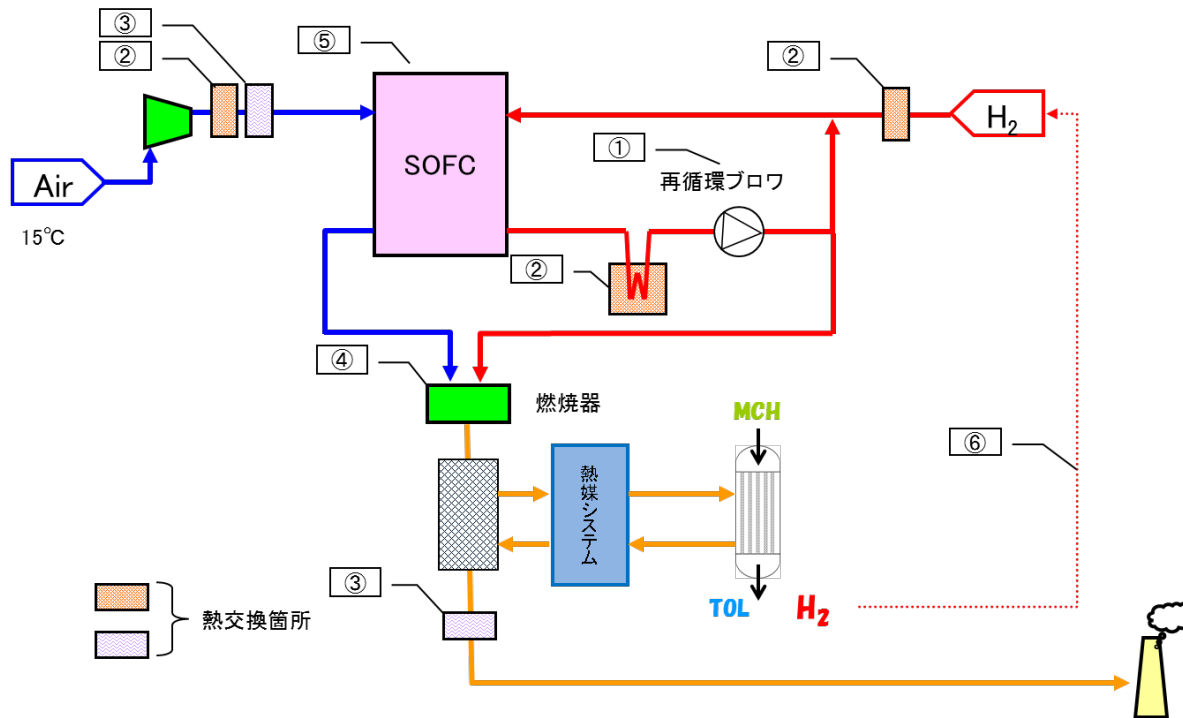
燃料電池(Fuel Cell)は、燃料(水素、一炭化炭素等)の持つ化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換する装置であり、熱機関のように熱エネルギー、運動エネルギーの段階を経ずに電気エネルギーを得ることが可能であるため、理論的な効率是非常に高い。下図に燃料電池の一例として、固体酸化物形燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell; SOFC)の模式図を示す。



燃料電池の原理(SOFC)

推進プラントの検討 - 燃料電池

下図に燃料電池システムの概略系統図を示す。
 燃料電池の発電効率を向上させるために、燃料電池から排出された未反応な燃料を一部再循環し再度燃料電池へ投入する事とする。



- ①燃料の再循環
- ②SOFC排燃料との熱交換
- ③脱水素反応器の出口ガスとの熱交換
- ④脱水素反応への熱供給 (SOFC排燃料/排空気の燃焼)
- ⑤燃料電池の運転条件
- ⑥燃料電池への水素の供給条件

燃料電池システム概略系統図

推進プラントの検討 - 燃料電池

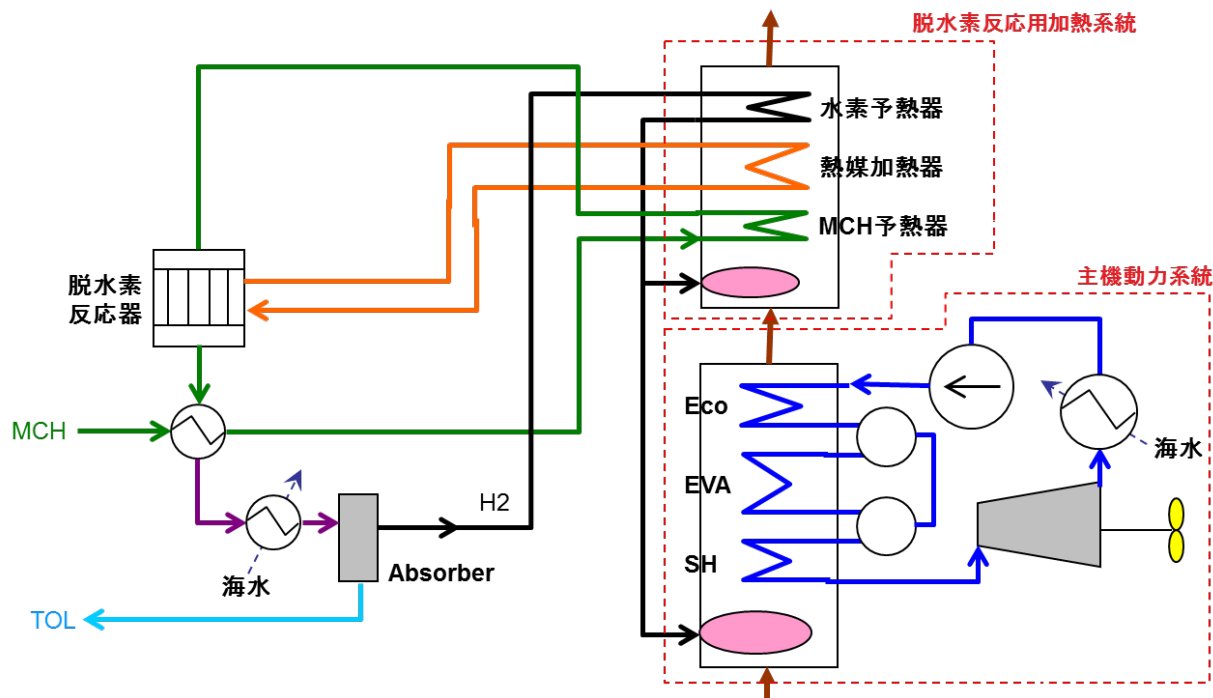
燃料電池の特徴

- プラント全体の発電効率は、低位発熱量ベースで40.2%、高位発熱量ベースで36.2%である。
- 高温作動であるため白金のような貴金属触媒を使用する必要がない。
- 電解質が固体であるため電解質の漏れや散逸の問題がない。

推進プラントの検討 - ボイラー・タービンプラント

水素供給プラント側のシステムとボイラー・タービン主機関を組み合わせた際のシステムフロー図を下図に示す。

主機関駆動用の蒸気加熱システムの排熱を利用して、後流に水素供給プラント用の熱供給システムを設置している。



ボイラー・タービンのシステムフロー図

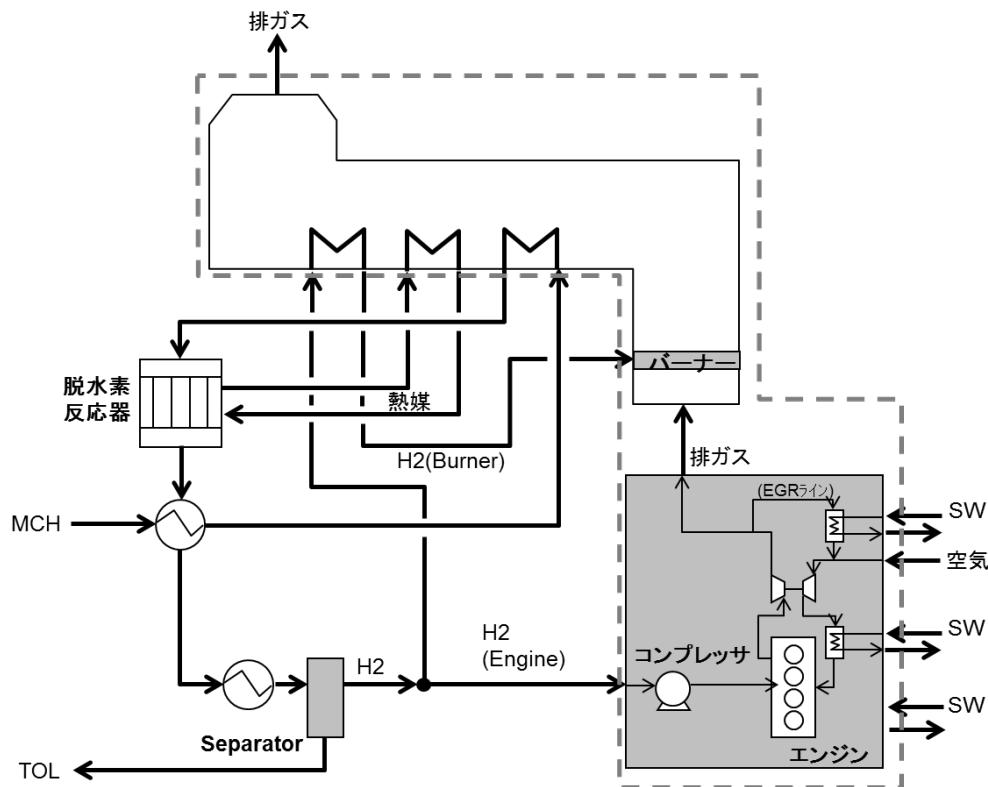
推進プラントの検討 - ボイラー・タービンプラント

ボイラー・タービンプラントの特徴

- プラント全体の熱効率は、最も効率が高いケースとして低位発熱量ベースで20.0%、高位発熱量ベースで16.8%である。
- NO_xの排出は、IMOの3次規制値(3.4g/kWh)を十分満たせる。
- 従来の船用主ボイラに適用できる。

推進プラントの検討 - エンジンプラント

下図にエンジンプラントのフローチャートを示す。
エンジンでは主機動力はエンジン本体内部のピストンを通じて取り出すため、脱水素反応に必要な熱量はエンジン本体の排ガスラインに設置する伝熱部から取り出す構成となる。



エンジンプラントのフローチャート

推進プラントの検討 - エンジンプラント

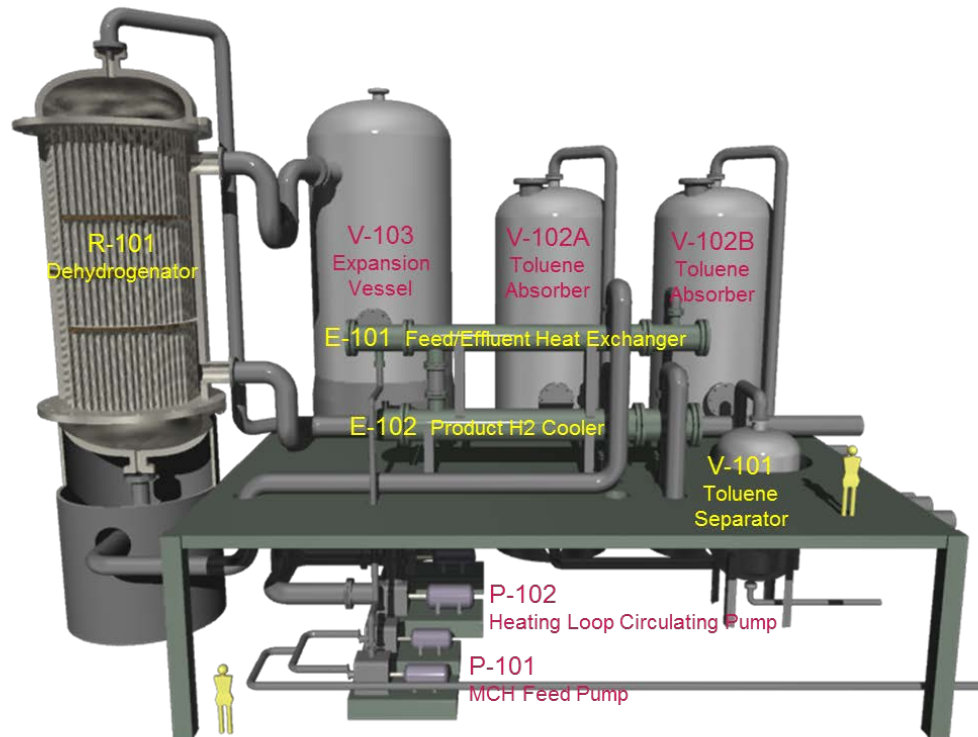
エンジンプラントの特徴

- プラント全体の熱効率は、最も効率が高いケースとして低位発熱量ベースで25%、高位発熱量ベースで21.1%である。
- NO_xの排出は、EGR(排ガス再循環)および脱硝触媒を本エンジンに適用することで、IMOの3次規制値(3.4g/kWh)を達成できる。
- 一般的な船用ディーゼルエンジンに適用できる。

4. 水素供給プラント

水素供給プラント

脱水素設備のイメージ図を下図に示す。R-101 Dehydrogenator は、内部構造がわかるようにカットモデルとしている。



脱水素プロセスの構成

5. 推進プラントの比較

推進プラントの比較

推進プラントの比較を下表に示す。

	燃料電池	ボイラー・タービン	エンジン
必要水素量	631 kg/h (70.1 g/kWh)	1,353 kg/h (150.3 g/kWh)	1,080 kg/h (120 g/kWh)
効率(LCV/HCV)	40.2 % / 36.2 %	20.0 % / 16.8 %	25% / 21.1 %
寸法	25 m x 26 m x 3.5 m	12 m x 10 m x 14 m 2 sets	6 m x 5.9 m x 8.6 m 10 m x 12 m x 14 m

プラントの性能比較

推進プラントの比較

性能評価と、技術課題を考慮し、各プラントの評価を下表に示す。

	燃料電池	ボイラー・タービン	エンジン
性能	◎	△	○
実現性	△	◎	○
将来性	◎	△	○

プラントの評価比較

6. 評価

評価

従来船との経済性比較

以下に、現在最も実現性が高い水素を燃料としたボイラー・タービン船と、従来の重油を燃料としたディーゼル船を比較する。

- 1日当りの運行費
現状の水素価格をベースとすると、重油燃料のディーゼル船と比較して、約2倍の燃料費となる。
- 初期投資費用
水素供給プラントを含めた機関部プラントの価格は、通常のディーゼル船に比べて、約5倍となる。

初期投資額が高額であり、運航費用もメリットが見いだせない現状では、経済性での利点を見出すことは困難である。しかし、将来のCO₂に対する課金、有機ケミカルハイドライドによる安価な水素燃料の供給等の条件が整えば、実現の可能性は残されている。

評価

まとめ

以下に、各推進プラントの評価をまとめる。

- 燃料電池
効率の面からは理想的なプラントであり、陸上での運転実績を重ねた後、船用化への開発が開始されるものと考えられる。しかし、船用としての実用化には、相当の時間が必要と思われる。
- ボイラー・タービンプラント
技術的なハードルが最も低く、早期に実現可能である。また、連続燃焼のため、安定した燃焼が期待でき、リスクも最も少ないと期待できる。
- エンジンプラント
燃料電池が利用できるまでの繋ぎとして、利用される可能性があるが、安全に水素を燃料として使用するためには解決すべき課題は多い。

本検討では主に技術的な検討を行い、CO₂排出を低減するために水素燃料を使用した船舶の可能性を示すことができた。

おわり