

参考資料1

2021年12月

## CNP形成に資する取組事例集

# 目次

○船舶への陸上電力供給.....	1
○船舶への燃料供給（LNG、水素、燃料アンモニア等） .....	2
○荷役機械の FC 化、電動化、省エネ化（ハイブリッド、電力回生） .....	3
○リーファーコンテナの省エネ化（日よけ） .....	4
○照明の LED 化 .....	5
○管理棟の省エネ化（太陽光発電等） .....	6
○ゲート前混雑解消（デジタル化等） .....	7
○上屋・CFS（太陽光発電） .....	8
○倉庫（太陽光発電、冷熱利用） .....	9
○水素ステーション.....	10
○コンテナ用トラクターヘッド（構内用） .....	11
○コンテナ用トラクターヘッド（構外用） .....	12
○水素内燃機関の船舶への活用 .....	13
○水素内燃機関の陸上機器への活用 .....	14
○小型液化水素運搬船.....	15
○大型液化水素運搬船[開発中] .....	16
○有機ケミカルハイドライド法による水素エネルギーサプライチェーンの構築.....	17
○液化水素貯蔵タンク(真空二重殻断熱構造).....	18
○大型液化水素貯蔵タンク(常圧断熱平底円筒型)[開発中].....	19
○バッファータンク（ガスホルダ） .....	20
○水素液化プラント.....	21
○水素ガスタービン、水素 CGS（コージェネレーションシステム） .....	22
○LPG/アンモニア運搬船 .....	23
○大型アンモニア受入基地 .....	24
○火力発電所（水素・燃料アンモニア混焼、バイオマス、CCUS 等） .....	25
○鉄鋼（水素等の活用、CCUS 等） .....	26
○自立型水素等電源.....	27
○系統切断時でも電力供給安定化と再生可能エネルギー最大活用を両立する自立給電システム	

.....	28
○アンモニア用高効率小型発電機.....	29
○自立分散型電源での燃料アンモニア直噴利用.....	30
○船舶ゼロエミッション技術（貨物船）.....	31
○船舶ゼロエミッション技術（タグボート）.....	32
○EV 船.....	33
○船舶環境指数（ENVIRONMENTAL SHIP INDEX: ESI）プログラム.....	34
○CCUS 向け CO2 大量輸送技術（LCO2 船）.....	35
○洋上 CO2 回収技術.....	36
○CO2 回収装置.....	37
○洋上風力発電のための基地港湾.....	38
○洋上風力余剰電力の活用（水素化、海上輸送）.....	39
○ブルーカーボン.....	40
○カーボンリサイクルに関わる技術.....	41
○カーボン・クレジット.....	42
○環境配慮型コンクリート.....	43
○環境に配慮した建設資材の利用による CO2 排出量の削減（カルシア改質材、カルシア落下混合船）.....	44
○作業船（グラブ浚渫船）の省エネ化.....	45
○作業船（深層混合処理船）の省エネ化.....	46

○船舶への陸上電力供給

【概要】

現状、岸壁に停泊中の船舶内で消費する電力の大半について、船内に搭載されているディーゼル発電機に由来しているところ、陸上電力供給施設を導入し、系統電源からの電力を船舶に供給することで、港湾における温室効果ガス等の排出量を削減することが可能である。また、将来的に、自立型水素等電源等を活用して電源自体をカーボンニュートラルなエネルギーに転換することで、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにすることができる。

【技術開発・導入状況】

- ・国内港湾においては、商用 211 基、公用 110 基の陸上電力供給設備が導入されている。商用、公用ともに比較的小型の船舶を対象に、主に生活用電源確保を目的に設置しているケースが多く、外航コンテナ船や外航ばら積み貨物船、クルーズ船といった大型船舶への導入実績はない。(令和3年5月現在、国土交通省港湾局調べ)
- ・また、動力がEVやハイブリッドの小型船の整備も進んでいる。
- ・陸電供給設備については、RORO 船、クルーズ船、コンテナ船等について、国際的な標準規格(IEC/ISO/IEEE80005-1)が定められているが、国内では各事業者が個々の設備を導入。
- ・ロサンゼルス港及びロングビーチ港は、2006年、Clean Air Action Plan (CAAP) (2017年改訂)を定め、周辺環境の大気汚染防止、脱炭素化に向けた取組を実施。その施策の一環として、港内船舶について、船舶係留時の排出ガス抑制を目指し、カリフォルニア州の財政支援を活用し陸上電力供給設備の導入を進めるとともに、寄港する船舶の一部を対象として総寄港回数の一定割合以上での陸電利用を義務づける等の取組を行っている。
- ・2021年6月には、アントワープ港、ブレーマーハーフェン港、ハンブルグ港、ハロパ港及びロッテルダム港が、定期的に超大型コンテナ船を取り扱うコンテナターミナルについて、2028年までに全てのバースで陸電設備を導入する旨の覚書を締結している。

【導入する上での留意点】

- ・使用する船社等の港湾関係者の理解を得る必要があり、施設整備に必要な初期費用、利用料金、規格の統一等について検討が必要。
- ・系統電源と船舶電源の周波数が異なる場合には、周波数変換器を利用するなどの対応が必要。

対象となる船舶:

カリフォルニア州の港に寄港するコンテナ船、クルーズ船、冷凍貨物船  
(2020年、自動車運搬船、タンカーについても、2025年より陸電もしくは排ガス対応機器を使用することが決定されている。)

主な対象外の船舶:(カリフォルニア州の港湾)

- ・通過目的の船舶
- ・米国及び外国の政府が商業目的外で運航する船舶
- ・液化天然ガスを燃料とする補機を使用する船舶(2023年以降は除外)
- ・同一船社が運航する貨物船(コンテナ船、冷凍貨物船)で年25回(LA港、LB港は同一の港湾として計上)未満、客船(クルーズ船)で年5回未満の寄港回数の場合

実施条件:

実施時期	着岸する船舶の陸電使用等割合
2014.1.1	総寄港回数の50%以上
2017.1.1	総寄港回数の70%以上
2020.1.1	総寄港回数の80%以上

ディーゼル発電機使用時間制限:

3時間以内(守れない場合は罰金が科せられる)

(出典)ロサンゼルス港湾局提供資料等より国土交通省港湾局作成



ロサンゼルス港における陸上電力供給の実施状況

図 1:ロサンゼルス港等における陸電供給の概要

○船舶への燃料供給 (LNG、水素、燃料アンモニア等)

**【概要】**

従来の船舶燃料に比べて CO<sub>2</sub> の排出削減が可能であり、IMO による SO<sub>x</sub> 規制にも対応可能な燃料として、LNG の導入が進められている。現時点では、LNG ローリーによる燃料供給だけでなく、大型の船舶にも LNG が供給可能な LNG バンカリング船の運航も行われている。さらに、CO<sub>2</sub> 排出削減(排出ゼロ)の燃料として、液化水素、燃料アンモニア等の導入が検討されている。

**【技術開発・導入状況】**

- ・伊勢湾・三河湾においては、2020 年 10 月から、日本郵船、川崎汽船、JERA、豊田通商の出資するセントラル LNG マリンフューエル社が、LNG バンカリング船「かぐや」による LNG 燃料の供給 (Ship to Ship 方式) を開始している。
- ・東京湾においては、2021 年 8 月時点で、LNG バンカリング船「エコバンカー東京ベイ」が建造中であり、2021 年度中に上野トランステック、住友商事、横浜川崎国際港湾、日本政策投資銀行の出資するエコバンカー SHIPPING 社によって供用開始予定である。また、「エコバンカー東京ベイ」は SO<sub>x</sub> 規制に対応した適合油も供給可能である。
- ・また、東京湾エリア、大阪湾エリアでは LNG ローリーによる燃料供給も実施されている。

**【導入する上での留意点】**

- ・国際エネルギー機関 (IEA) によって作成された「2050 ネット・ゼロ」ロードマップでは、2050 年における船舶燃料の約 46% がアンモニア、約 17% が水素という CO<sub>2</sub> を排出しない燃料になるとのシナリオを描いている。一方で、「国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ」において、船用燃料として水素、燃料アンモニアの利用が拡大した場合でも、LNG の利用は一定量 (約 35%) 存在すると想定されているほか、LNG の供給インフラをそのまま転用可能で、カーボンニュートラル燃料の一つであるカーボンリサイクルメタンの利用も期待されている。今後、水素・アンモニア燃料船へのバンカリングについては、バンカリング船という選択肢を含めて各燃料に最適な燃料供給体制を構築する必要がある。
- ・2021 年 10 月 26 日、我が国は、2050 年までに、国際海運からの GHG の排出を全体としてゼロ (2050 年カーボンニュートラル) を目指すことを宣言するとともに、2021 年 11 月開催の国際海事機関 (IMO) の会議において、本目標を世界共通の目標として掲げるべきであると、米国・英国・ノルウェー・コスタリカと共同で提案した。また、本目標の実現に必須となる水素燃料船やアンモニア燃料船等について、世界に先駆けた実用化を目指し、グリーンイノベーション基金を活用した開発・実証に着手する。



運航者	セントラル LNG マリンフューエル	エコバンカー SHIPPING
船名	かぐや	エコバンカー東京ベイ
総トン	4,044トン	4,100トン
全長	81.7m	95.57m
全幅	18.0m	15.8m
積載槽容量	3,500m <sup>3</sup>	2,500m <sup>3</sup> (LNG)
		1,500m <sup>3</sup> (適合油)

資料: セントラル LNG マリンフューエル株式会社 HP、エコバンカー SHIPPING 株式会社 HP より

図 2: 左)「かぐや」(手前)による LNG 燃料供給状況 右)「エコバンカー東京ベイ」進水式

○荷役機械のFC化、電動化、省エネ化(ハイブリッド、電力回生)

【概要】

港湾の荷役機械のうち、岸壁に設置されているコンテナクレーンは電動化されており、エネルギー効率を高めるため、巻下げ時に主巻モータを発電機とする電力回生が行われている。また、コンテナヤード内でコンテナを積卸する荷役機械(RTG、ストラドルキャリア等)については、ディーゼルで稼働しているものが多いものの、電動型やハイブリッド型等の導入が進みつつあり、RTG については、ハイブリッド型からパワーパック換装でFC型へ移行可能な技術開発が行われている。

【技術開発・導入状況】

- ・東京港埠頭では、インバータ制御による電力回収装置付きコンテナクレーンを導入し、従前と比べ 30%の消費電力削減し、回生した電力を他のクレーンや構内で使用している。
- ・2016年11月、豊田自動織機は日本初となるFCフォークリフトの販売を開始した。現在、2.5t積タイプと1.8t積タイプが販売されている。
- ・RTG、ストラドルキャリアのハイブリッド型については既に開発が完了しており、ハイブリッド型RTGは東京港、横浜港、名古屋港、大阪港、神戸港を中心に一定程度普及している一方、ハイブリッド型ストラドルキャリアはまだ普及が進んでいない。
- ・2021年2月、三井E&Sマシナリーは、従来のハイブリッド方式から、エンジン小型化・バッテリー大容量化により燃費性能を20-30%向上させた、ニアゼロエミッション(NZE)方式のトランステナーを発売、同時にFC方式RTGの開発を発表した。2021年5月には神戸港でNZE方式RTG2基の導入が発表された。将来的にはNZE方式のパワーパックをFCパワーパックに換装することでゼロエミッションに対応可能。
- ・2021年5月、三菱ロジスネクストは将来的にFCへの換装が可能な新型RTGの発売を発表。同RTGは、従来型で使用される蓄電池の容量はそのままに、エンジン・発電機を小型化、従来型と比較して15%以上の燃費削減等を実現。2022年度に神戸港に2台納入。同社は、今後の水素供給インフラの整備に伴い、クレーン以外の荷役機械等のFC化にも取り組んでいく予定。

【導入する上での留意点】

- ・メーカーや動力方式により、開発状況(実用段階、実証段階、構想中)が異なるため、港湾荷役機械に係る技術開発の進展について、開発メーカー等から最新の情報提供を受け、導入段階において最も効果的・効率的な運用ができるような仕様を検討する。
- ・FC化にあたっては、水素供給インフラの整備、最適な水素充填方法(充填式、カセット/ボンベ式)等について検討する。



資料:東京港埠頭HP、三井E&S造船HP、三井広報委員会HP、三菱ロジスネクスト提供

図 3:左)電力回収装置付きコンテナクレーン 右)ニアゼロエミッションRTG イメージ  
左下)ストラドルキャリア 右下)リーチスタッカー

## ○リーファーコンテナの省エネ化(日よけ)

### 【概要】

リーファーコンテナヤードにおける消費電力削減の一環として、段積みされたリーファーコンテナ上に日よけを設置し、日照によるリーファーコンテナの内部温度上昇を低減する取組がある。ターミナル全体の使用電力でリーファープラグの占める割合の高い港湾では、導入の効果が見込まれるが、季節や立地による変動要因、導入・維持費用も検討する必要がある。

### 【技術開発・導入状況】

- ・博多港アイランドシティ・コンテナターミナルには 2010 年からリーファーコンテナヤードにおける、日よけ(ルーフ・シェード)が試験的に導入されている。
- ・九州大学と博多港ふ頭の共同研究によれば、蔵置したコンテナに取り付けた温度計の測定や、温熱シミュレーションの算定による消費電力削減効果を分析した。同研究によれば、コンテナターミナルに日よけを設置した場合、日よけのない場合に比べリーファーコンテナの消費電力は 12-14%削減されるとの結果を出した。

### 【導入する上での留意点】

- ・コンテナの荷役時はルーフを畳むため、頻繁にコンテナを取り扱う場合は効果が限られる。
- ・季節や立地地域により日照や気温の変化は一律ではないこと、導入・メンテナンスに係る費用対効果について十分な検討が必要である。



資料:「コンテナターミナルにおけるリーファー・コンテナの蔵置時のルーフ・シェードの省エネ効果に関する研究」 篠田岳思

図 4:左)通常のリリーファーコンテナヤード 右)日よけ設置例

## ○照明のLED化

### 【概要】

港湾における照明の省エネルギー対策として、従来のナトリウム灯に変わり、LED照明の導入が進んでいる。LED製品はナトリウム灯に比べ、消費電力・CO<sub>2</sub>排出量は66%削減、寿命は4倍となるものもあり、CO<sub>2</sub>低排出効果に加え、長寿命化による交換コストの削減も見込まれる。

### 【技術開発・導入状況】

- 2014年10月横浜港における国内初省エネ型ヤード照明の実地試験を実施した。LED照明などの省エネルギー照明の、照度や消費電力等の測定とともに、港湾関係者へは明るさ、まぶしさ、光の色、見やすさなどをアンケート形式で調査した。
- 2015年12月名古屋港鍋田ふ頭のヤード全域をLED照明化した。敷地面積75万m<sup>2</sup>に照明灯高さ40mの大型LED177灯を設置し、消費電力を50%以上削減した。技術的特徴として防水、耐塩、耐雷仕様が挙げられる。
- 2016年12月に日本海事協会は港湾用LED照明の形式認証に関するガイドラインを発行した。試験基準は絶縁抵抗、振動、温度、湿度、電源変動、傾斜、塩水噴霧、防水、EMC(電磁波)に関する所定の基準からなる。
- 2017年2月に日本海事協会は港湾施設用LED照明の型式認証サービスを開始し、スタンレー電気・ユニエックスに対し第一号となる認証を発行している。

### 【導入する上での留意点】

- 「港湾の施設の技術上の基準・同解説」により、港湾各所における基準照度が定められているが、他に照度分布、グレア、障害光、光色及び演色性が配置箇所の必要に適しているか検討する。
- 省エネ型大型ヤード照明の導入にあたっては、日本海事協会のガイドラインの規定に適合していることを確認する。

資料:ユニエックスHP、「港湾における照明の現状と課題」渡辺健二 電気学会誌2014年1月号  
「港湾用LED照明の形式認証に関するガイドライン」ほか 日本海事協会HP



資料:「約75万m<sup>2</sup>を照らす大型LED照明」環境ビジネスオンラインHP

図5:名古屋港鍋田ふ頭におけるLED照明導入事例



○管理棟の省エネ化(太陽光発電等)

**【概要】**

近年、港湾におけるCO2排出削減や災害時における非常用電源を目的として、上屋屋上等への太陽光パネルの設置が、ターミナル利用者、港湾管理者により各港で進んでいる。  
 推進する施策として、「災害等非常時にも効果的な港湾地域低炭素化推進事業」(環境省・国土交通省連携事業)があり、名古屋港、酒田港、北九州港への太陽光発電設備の実証が行われている。

**【技術開発・導入状況】**

- ・2007年3月、商船三井は東京港大井コンテナふ頭3・4号バースに、国内港湾施設初、民間で都内最大となる太陽光発電所(太陽光パネル1,200枚をゲート棟・洗車棟に設置、発電容量200kW、年間CO2削減量128トン)を開設した。
- ・2015年3月、横浜市港湾局は大黒ふ頭のT-4公共上屋の屋根に設置した太陽光パネル1,386枚、発電容量300kW、事業費1億8千万円の発電設備を供用開始した。

**【導入する上での留意点】**

- ・FIT法等に基づく事業計画認定の申請を行う事業者、及び認定を受けた事業計画に基づいて事業を実施する事業者の太陽光発電導入にあたっては、「事業計画策定ガイドライン(太陽光発電)」(資源エネルギー庁)が適用される。

資料: 商船三井 HP、環境省 HP、日本海事新聞 HP



資料:「東京港埠頭株式会社 環境への取組み」東京港ふ頭 HP

図 6: 東京港大井コンテナターミナルにおける太陽光発電設備

○ゲート前混雑解消(デジタル化等)

【概要】

コンテナターミナルにおいて、コンテナ船の大型化にともない、寄港1回当たりの取扱個数が増加している。そのため、既存ターミナルゲートの処理能力が相対的に不足し、ターミナルゲートでの渋滞が深刻化している。こうした背景から、国土交通省港湾局では「ヒトを支援する AI ターミナル」の実現に向けた各種取組のなかで、COMPAS 等のゲート処理の効率化に係る取組を進めている。

また、民間事業者間の港湾物流手続を電子化することで業務を効率化する「サイバーポート」の情報をCOMPAS 等と連携させることで港湾物流全体の生産性向上を目指している。

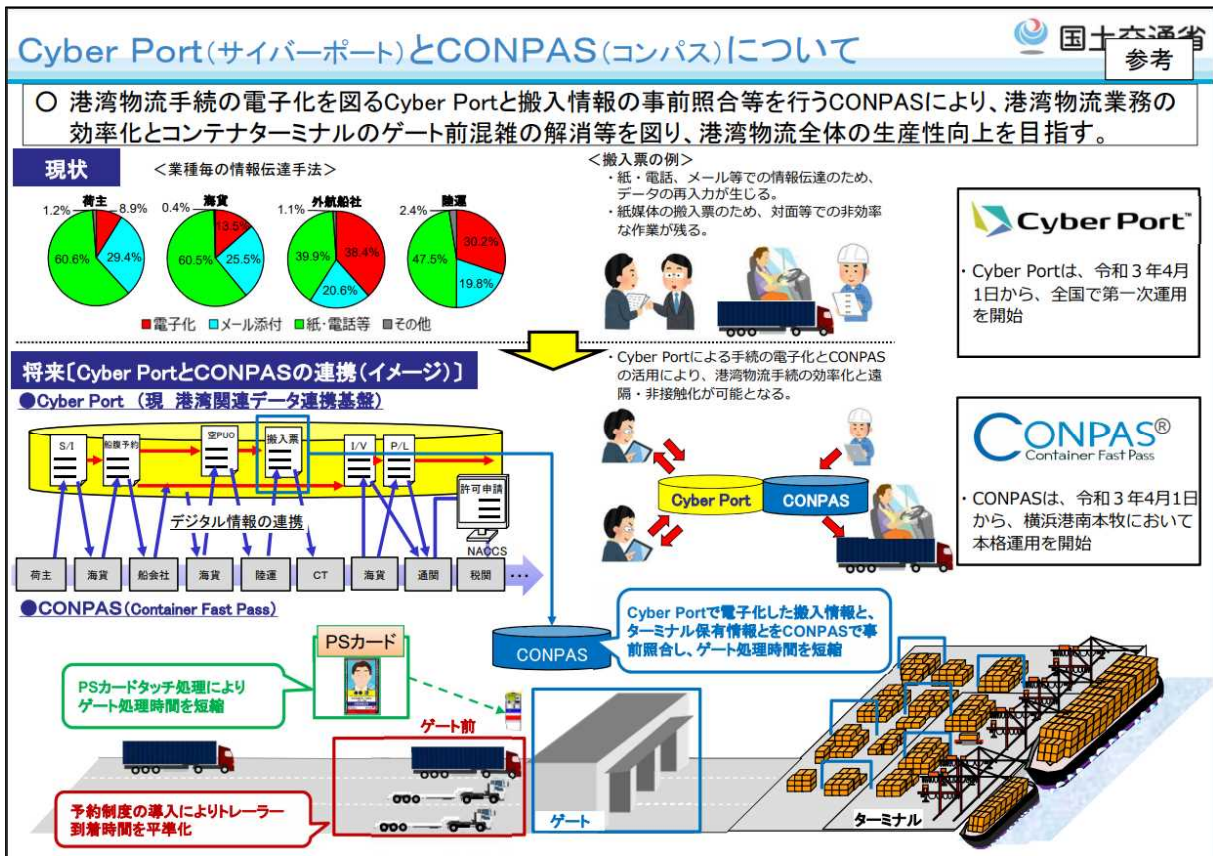
【技術開発・導入状況】

・コンテナターミナルのゲート前混雑の解消やコンテナトレーラーのターミナル滞在時間の短縮を図ることで、コンテナ物流の効率化及び生産性向上の実現を目的としたシステムである「COMPAS」について、2021年4月から横浜港南本牧ターミナルにおいて、後述の「サイバーポート」と連携した上で、本格運用を開始した。具体的には、「搬出入予約機能」、「PS カードを活用した受付機能」、「搬入情報の事前照合機能」を有している。

・民間事業者間の港湾物流手続を電子化する「サイバーポート」については、2021年4月より第一次運用がスタートしている。COMPAS の「搬入情報の事前照合機能」についてサイバーポートとCOMPAS との間で連携を行っている。

【導入する上での留意点】

・COMPAS の活用にあたっては、コンテナターミナルのゲート前混雑の解消やコンテナトレーラーのターミナル滞在時間の短縮を図るための仕組み・ルールを関係者間で協力し構築・運用することが必要である。



資料:【参考】Cyber Port(サイバーポート)とCOMPAS(コンパス)について」

図 7:COMPAS と Cyber Port の連携イメージ

## ○上屋・CFS(太陽光発電)

### 【概要】

現状、全国の公共上屋の屋上面積合計は約 200 万㎡であると試算されている(地方整備局等調べ)。太陽光パネルの設置面積の割合を 50%と仮定すると、面積は約 100 万㎡。単位面積当たりの設備容量を 0.0833kW/㎡(環境省資料、戸建住宅以外の数値)と仮定すると、発電容量は約 8.5 万 kW であり、この数値は日本における太陽光発電導入量 5,337 万 kW(2018 年度)の約 0.2%に匹敵する。

### 【技術開発・導入状況】

- ・太陽光発電の技術は確立されているものの、太陽光発電を導入している上屋・CFS は少ない。
- ・2013 年に森本倉庫株式会社が六甲アイランド営業所(南側荷捌場ひさし上)において 29.7kW の太陽光発電システムを設置し、運転を開始している。災害などの停電時には日照時間中であればパソコンなどの事務所用電気機器に使用可能。
- ・2013 年に株式会社ひろしま港湾管理センターが広島港新国際 CFS において 1,848kW の太陽光発電システムを導入した。
- ・横浜市港湾局は T-4 号上屋の屋根に 300kW の太陽光発電システムを導入。再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT)を活用し、東京電力に全量を売電している。

### 【導入する上での留意点】

- ・上屋等の屋根への太陽光パネルの設置にあたっては、建物の強度を増す補強改良が必要となる場合があることに留意が必要。



資料:森本倉庫株式会社 HPより

図 8:神戸港の荷捌場上における太陽光発電導入事例



資料:横浜市港湾局より

図 9:横浜港の公共上屋における太陽光発電導入事例

○倉庫(太陽光発電、冷熱利用)

【概要】

港湾倉庫は輸出入の際に物品を保管する場所として非常に重要な役割を担っており、各港湾において相当数の港湾倉庫が存在する。そのため、港湾倉庫の屋上へ太陽光発電システムを導入や冷蔵冷凍倉庫での冷熱利用によるエネルギー消費量の削減は港湾地域の二酸化炭素排出量削減に対して大きな効果があると考えられる。

【技術開発・導入状況】

- ・2013年に清水港において、鈴与商事株式会社のグループが保有する複数の倉庫屋根に百～数百KW程度の太陽光発電システムを設置し、総容量では1.3MWが導入されている。
- ・日本超低温株式会社は、隣接する東京ガス根岸LNG基地より供給されるLNGの冷熱を $-50^{\circ}\text{C}$ ～ $-60^{\circ}\text{C}$ の冷凍倉庫の冷却に利用している。LNGの冷熱を利用することにより、冷凍機が不要、冷媒温度が常に一定といったメリットがある。
- ・シンガポールでは、LNGの再ガス化のプロセス中に放出される冷却エネルギーを利用して、データセンターの冷却を行うことを目指す検討が行われている。

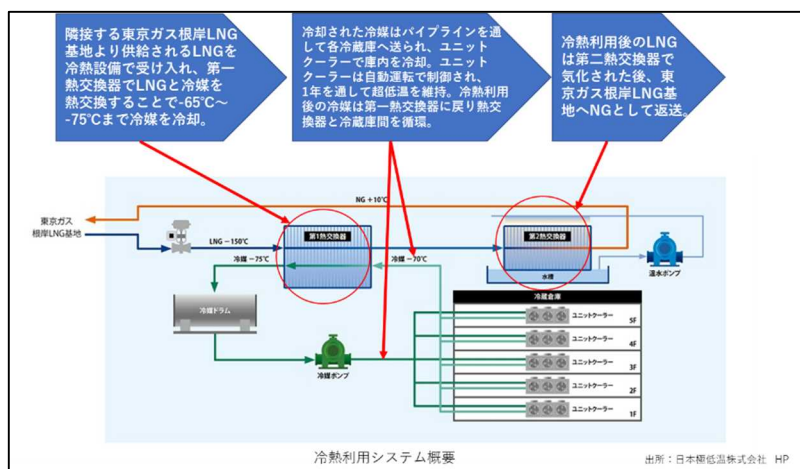
【導入する上での留意点】

- ・太陽光パネルを設置するために倉庫の補強などが必要となる場合が想定される。できるだけ速やかに、可能な限り太陽光パネルを設置することを検討する。
- ・冷熱利用システムの導入には一定の設備投資が必要となる。LNGや液化水素等の近隣に立地する冷蔵冷凍倉庫については、状況に応じ、冷熱利用システムの導入を検討する。なお、冷媒との熱交換デバイスの開発が必要であり、実運用に当たっては、水素気化量と冷熱需要のマスマランスが必要。



資料:鈴与商事株式会社 HPより

図 10:清水港の倉庫上における太陽光発電導入事例



資料:日本超低温株式会社 HP に加筆して作成

図 11:冷凍倉庫での冷熱利用事例

○水素ステーション

【概要】

水素ステーションは、燃料電池車などの水素を燃料とするモビリティに水素を供給する施設であり、外部で水素を製造してトレーラーなどを使って輸送して供給する「オフサイト型」と、水素ステーションの中で小型水素製造装置を使い、都市ガスやLPGを原料として水素を製造して供給する「オンサイト型」の2種類がある。また、水素トレーラーに充填設備を備えた移動型水素ステーションも存在する。

【技術開発・導入状況】

- ・水素ステーションの整備は全国で進んでおり、経済産業省によれば2021年2月末時点で開所137箇所、整備中25箇所としている。現時点で港湾における水素ステーションの設置事例はない。
- ・水素ステーション内で製造したCO2フリー水素(太陽光発電)の商用販売も開始されている。
- ・超高压水素インフラの本格普及に向けた規制適性化、国際基準調査、技術開発等が進んでいる。

【導入する上での留意点】

- ・港湾に設置する場合の位置、水素の供給方法、安全確保等に関して検討が必要。
- ・水素ステーションの安定した需要を確保するため、ターミナル内外を含め、水素利用機器の導入について検討する。

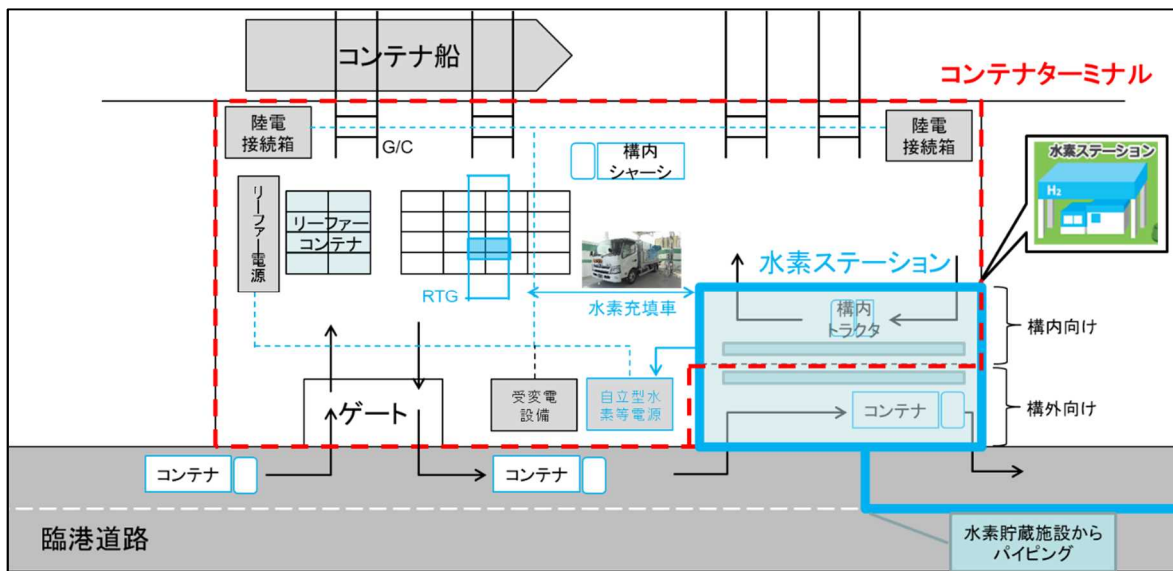


図 12: 港湾ターミナルにおける水素ステーションの設置・運営イメージ(案)



資料: 経済産業省「FCV・水素ステーション事業の現状について」より

図 13: 水素ステーションの設備構成

## ○コンテナ用トラクターヘッド(構内用)

### 【概要】

現在、国内のトラクターヘッドはディーゼルエンジンが主流である。また、海外港湾では電動化の実績もある。

### 【技術開発・導入状況】

- ・2019年11月、トヨタモーターノースアメリカは、ロサンゼルス港において、燃料電池搭載のコンテナ用トラクターヘッド(構内用)「UNO」を発表した。
- ・欧州において、CMB.TECH社が水素エンジン搭載のトラクターヘッド等の試作機を完成させている。
- ・伊藤忠商事、伊藤忠エネクスは、陸上輸送分野でのリニューアブル燃料ビジネスに参入し、配送車両の走行用に2021年6月から利用を開始している。

### 【導入する上での留意点】

- ・国内でのトラクターヘッドの水素燃料化や電動化については検討段階であり、実証を経て早期の実用化を目指す。

資料:「自動化コンテナターミナル」日経 HP、豊田自動織機 HP



資料:Toyota Motor Sales, U.S.A., Inc. HP

図 14:トヨタモーターノースアメリカの燃料電池式構内トラクターヘッド「UNO」

## ○コンテナ用トラクターヘッド(構外用)

### 【概要】

現在、トラクターヘッドはディーゼルエンジンが主流であるが、大型トラックでは国産メーカーのハイブリッド方式の車両が販売されている。また、燃料電池大型トラックによる実証実験が国内で計画されている。アメリカではトヨタ北米法人の燃料電池トラクターヘッドのロサンゼルス港/ロングビーチ港(LA/LB港)への納入事例がある。

### 【技術開発・導入状況】

- ・2019年5月、AIを活用した世界初のハイブリッドシステムを搭載した大型ハイブリッドトラックを発売した。(車両総重量 25トン、2,275万円)
- ・2020年10月、アサヒグループ、西濃運輸、NLJ、ヤマト運輸、トヨタ、日野は、燃料電池大型トラックの走行実証を行うことで合意し、2022年春頃から各社の物流業務で使用しながら走行実証を開始する。
- ・2021年6月、ロサンゼルス市港湾局主導のプロジェクトでトヨタモーターノースアメリカとケンワースは、LA/LB港向けFC大型商用トラクターヘッド5台を公開(10台納入予定)。(車体はケンワース製 T680 がベース、動力系はトヨタ「ミライ」のFCシステムを応用、航続距離 480km)を搭載している。(プロジェクト総費用 8,300万ドルのうち、およそ半額をカリフォルニア州大気資源局が助成)
- ・欧州において、CMB.TECH社が水素エンジン搭載のトラクターヘッド等の試作機を完成させている。
- ・伊藤忠商事、伊藤忠エネクスは、陸上輸送分野でのリニューアブル燃料ビジネスに参入し、配送車両の走行用に2021年6月から利用を開始している。

### 【導入する上での留意点】

- ・国内でのトラクターヘッドの水素燃料化については検討段階であり、実証を経て早期の実用化を目指す。

資料:日野自動車 HP、「名古屋港における脱炭素化に向けた取組」中部地方整備局、トヨタ HP



資料:World Cargo News Editorial

図 15 :LA/LB 港を拠点に貨物輸送を行う大型 FC トラクターヘッド

○水素内燃機関の船舶への活用

**【概要】**

従来の船舶燃料に比べてCO<sub>2</sub>の大幅な排出削減が可能であり、IMOによるNO<sub>x</sub>/SO<sub>x</sub>規制にも対応可能である。

内燃機関での水素利用の特徴として、比較的純度の低い水素の利用も可能であり製油所などで発生する副生水素についても液化等特段の事前処理なく利用できる可能性がある。

デュアルフューエル機関(水素、ディーゼル)であるので、災害時など水素の供給が途絶えた場合においてもディーゼルで運航が継続できるものである。

また、圧縮水素ガスを昇圧せずに内燃機関に供給するため、高圧圧縮機が不要である。

**【技術開発・導入状況】**

・常石グループと欧州 CMB グループの合弁であるジャパンハイドロ社において、我が国初の水素混焼エンジン搭載小型旅客船ハイドロびんご(ツネイシクラフト&ファシリティーズ建造)が日本小型船舶検査機構の検査受験の上で竣工済み。

・同社では水素混焼エンジン搭載のハーバータグ建造も決定しており、2023 年竣工に向けて建造を進めている。

・また欧州では洋上風力支援船(CTV)への水素混焼エンジンの搭載も決定しており、2021 年中の竣工が予定されている。

**【導入する上での留意点】**

・水素圧縮ガスについてはその比重などの観点から一般的に経済的に輸送が可能な距離が他のガスよりも短いという特性がある。従って、利用を検討する港湾の至近に水素供給源を確保することが肝要である。

・バンカリングについては、バンカリング船を含めて最適な燃料供給体制を構築する必要がある。



アルミ合金製旅客船ハイドロびんご

船主: ジャパンハイドロ株式会社

LBD: 19.4×5.4×1.75(m)

総トン数: 19トン

定員: 旅客80名・船員2名

主機関: 水素軽油混焼エンジン

HyPenta D13-1000

441kw×2,300min-1 ×2 基



4400 馬力型曳船

船主:

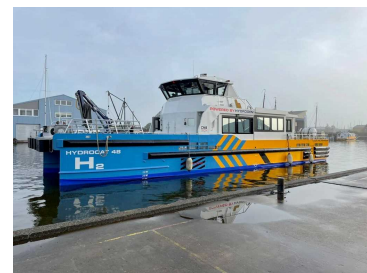
神原タグマリンサービス株式会社

LBD: 37.5×9.6×4.0(m)

総トン数: 200~250トン

主機関: 水素軽油混焼エンジン

BEH2YDRO 12DZD ×2 基



洋上風力支援船 HYDROCAT48

船主:

Windcat Workboats

LBD: 25x7.3×1.9(m)

総トン数: 112トン

定員: 旅客 26 名・船員 2 名

主機関: 水素軽油混焼エンジン

V12 749kW ×2

資料: ジャパンハイドロ株式会社 提供資料より作成

図 16: 水素を内燃機関とした船舶



## ○水素内燃機関の陸上機器への活用

### 【概要】

従来の化石燃料に比べて CO<sub>2</sub> の大幅な排出削減が可能であり、既製設備へのレトロフィットの検討も可能である。

内燃機関での水素利用の特徴として、比較的純度の低い水素の利用も可能であり製油所などで発生する副生水素についても特段の事前処理なく利用できる可能性がある。

デュアルフューエル機関(水素、ディーゼル)であるので、災害時など水素の供給が途絶えた場合においてもディーゼルで運用が継続できるものである。

また、圧縮水素ガスを昇圧せずに内燃機関に供給するため、気化装置・高圧圧縮機が不要である。

### 【技術開発・導入状況】

・欧州においては CMB.TECH 社が水素混焼エンジン搭載の重機(ショベルカー)、トラクターヘッドの試作品を完成させている。農業用トラクター、商用バンについては製品出荷済み。定置式発電機・移動式発電機についても製品化が完了しており、実機が稼働している。

・定置式発電機については我が国においても日本製発電機と組み合わせて装置製造が進められており、2022年7月に完成の予定。

### 【導入する上での留意点】

・水素圧縮ガスについてはその比重などの観点から一般的に経済的に輸送が可能な距離が他のガスよりも短いという特性がある。したがって、利用を検討する港湾の至近に水素供給源を確保することが肝要である。

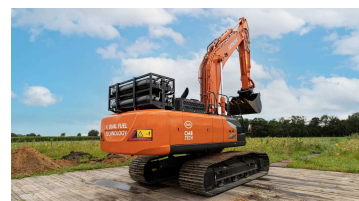
・バンカリングについては、バンカリング船を含めて最適な燃料供給体制を構築する必要がある。



定置式 BEH2YDRO パワーパック  
出力 750Kw(60Hz)~900Kw(50Hz)  
電圧 6600V (200/220V にも対応)  
連続運転時間500時間  
NOx 規制 950ppm 仕様 (別途 750ppm なども対応)  
75db (A) (極低騒音)仕様



500馬力トラクターヘッド  
ホイールベース 3600mm  
エンジン 6気筒 12.7L 500馬力  
タンク  
水素 30kg  
軽油 600+450 L  
AdBlue 78L



ベルギーLuyckx 社向け  
ZX350LC  
詳細非公表

資料: ジャパンハイドロ株式会社 提供資料より作成

図 17: 水素を内燃機関とした陸上機器

○小型液化水素運搬船

【概要】

液化水素の国内輸送や海外からの中距離輸送に利用可能な専用運搬船。貨物タンクは蓄圧タイプを採用しており、輸送中は蒸発ガス(BOG)の処理および貨物タンクの温度圧力制御が基本的に不要。建造された実証船では容積 1,250m<sup>3</sup> の貨物タンク1基のみ搭載されているが、2基搭載すれば 2,500m<sup>3</sup> の液化水素の輸送が可能。実証船は油焚ディーゼルエンジンによる電気推進であるが、商用船では水素燃料の利用を検討の予定。

【技術開発・導入状況】

- NEDO 助成事業「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」において実証船「すいそ ふろんていあ」(1,250m<sup>3</sup>)が 2021 年に建造され、実証試験を実施中。
- 2022 年以降も実証試験を継続し、さらなる技術実証や運航データの収集などを行う計画。

【導入する上での留意点】

- 既存の LNG 受入れ設備では対応できないため、液化水素を受け入れるための港湾設備などが必要。



資料:HySTRA 提供資料より

図 18: 実証船「すいそ ふろんていあ」航行写真(海上試運転時)とイメージ図

表 1: 小型液化水素運搬船の基本仕様

項目	基本仕様
主要目	全長 116m、型幅 19m、総トン数 8,000トン (実証船)、満載喫水 (4.5m)
貨物タンク	二重殻独立タンク 2(基) × 1,250m <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> /基) (商用船)
推進機関	油焚ディーゼルエンジン/電気推進 (実証船) 燃料電池 (商用船) 水素エンジン/電気推進 (商用船)

資料:HySTRA 提供資料より

○大型液化水素運搬船[開発中]

**【概要】**

海外などから液化水素を大量輸送するための専用運搬船。現在運航している大型 LNG 運搬船と同程度となる容量 16 万 m<sup>3</sup> の液化水素タンクを装備。航海中に発生する蒸発ガス(BOG)を船舶の推進燃料として有効利用するため、基本的に輸送における CO2 排出量の大幅削減が可能。

**【技術開発・導入状況】**

- NEDO 助成事業「水素社会構築技術開発事業/大規模水素エネルギー利用技術開発/液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」において、液化水素貯蔵システムを開発中。
- 2021 年5月に一般財団法人日本海事協会より液化水素貯蔵システムに関する設計基本承認 (AiP: Approval in Principal) を取得済み。
- NEDO 助成事業「液化水素サプライチェーンの商用化実証」において、水素の製造から利用者への供給までの一貫した国際液化水素サプライチェーンの構築及び実証を 2030 年までに実施の予定。

**【導入する上での留意点】**

- 既存の LNG 受入れ設備では対応できないため、液化水素を受け入れるための港湾設備などが必要。



資料:川崎重工業 提供資料より

図 19:大型液化水素運搬船と大型水素推進システムのイメージ図

表 2:大型液化水素運搬船の基本仕様

項目	基本仕様
貨物タンク容積	160,000m <sup>3</sup>
推進機関	二元燃料ボイラー(水素/MGO) + 蒸気タービン

資料:川崎重工業 HP より

○有機ケミカルハイドライド法による水素エネルギーサプライチェーンの構築

【概要】

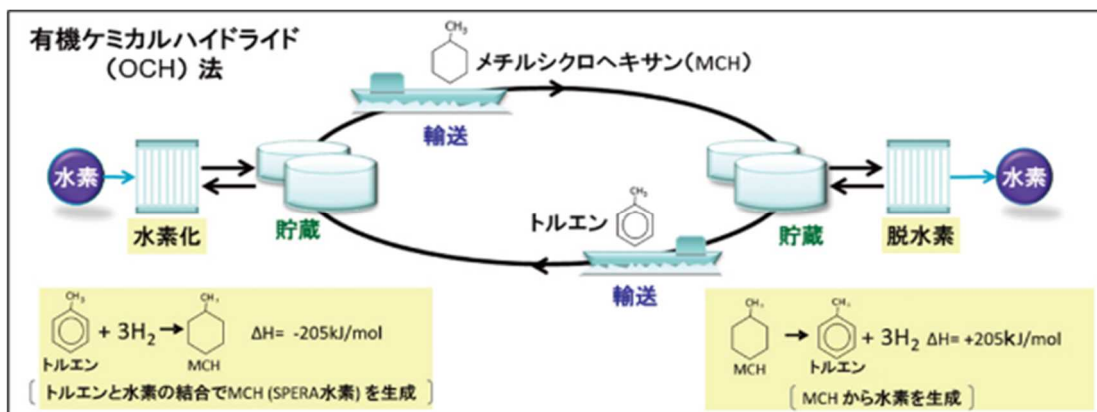
千代田化工建設は、水素を安全に貯蔵・輸送するためにメチルシクロヘキサン(MCH:SPERA 水素 TM)を水素キャリアとする液体有機水素キャリア(MCH-LOHC)法に着目し、MCH 脱水素触媒を独自開発し、SPERA 水素による水素輸送技術を確立。2020 年に実施した世界初の国際間水素サプライチェーン実証事業の完了を踏まえ、SPERA 水素技術による国際間水素サプライチェーンの商用化を目指している。

【技術開発・導入状況】

- 千代田化工建設(株)は、脱炭素社会の中心となる水素サプライチェーン構築に向けて、大量の水素の常温・常圧での安定貯蔵と長距離輸送の実現を可能とし、既存のケミカルタンカーやタンク等を転用できる、メチルシクロヘキサン(MCH:SPERA 水素 TM)を水素キャリアとする液体有機水素キャリア(MCH-LOHC)法に着目。高性能で長寿命な MCH 脱水素触媒を独自開発し、SPERA 水素による水素輸送技術を確立(～2014 年)。
- 千代田化工建設、三菱商事(株)、三井物産(株)、日本郵船(株)の4社は、国際間水素輸送の実効性を確認することを目的に、AHEAD(次世代エネルギーチェーン技術研究組合)を設立、NEDO の助成を受けて、2015～2020 年度に世界初の国際間水素サプライチェーン実証事業を実施。この実証事業では、ブルネイ・ダルサラーム国から川崎市臨海部に SPERA 水素(MCH)を海上輸送し、川崎臨海部の東亜石油(株)構内に設置した脱水素設備にて、気体の水素(計 102 トン)を取り出し、同社の商用ガスタービン用発電燃料として約8ヶ月に渡り供給(国内初)し、2020 年 12 月に事業は完了。
- AHEAD は、SPERA 水素技術による国際間水素サプライチェーンの社会実装に向けて、2020 年代中盤に水素供給量3～5万トン/年(水素目標価格 50～60 円/Nm<sup>3</sup>)の準商用、2030 年頃に 10～30 万トン/年(水素目標価格 30～45 円/Nm<sup>3</sup>)の商用規模のサプライチェーン構築を目指している。さらに、海外から大量の水素を輸入し、港湾地域から、FCV や FCトラック向けの水素ステーションや、水素 FC 発電、水素ボイラ等の分散型利用に向けて SPERA 水素(MCH)を供給することも検討。
- 2020 年3月、千代田化工建設及び三菱商事は、シンガポールの民間5社と、シンガポールの持続可能な水素経済実現に向けた協力に関する覚書を締結、その後 2021 年 10 月、両社は発電事業者である Sembcorp 社と覚書を締結するなど、SPERA 水素技術を活用した水素サプライチェーン事業の構築・実装に向け継続協議中。
- 2021 年7月、POR、Koole Terminals 社、三菱商事及び千代田化工建設の4社は、2050 年までに年間 2,000 万トンの水素を取り扱うことを目標としているロッテルダム港への水素輸入による国際間サプライチェーン構築に関する共同調査に関する覚書を締結し、当該地域への SPERA 水素(MCH)の導入可能性調査を進めている。

【導入する上での留意点】

- 本技術の特徴として、既存のケミカルタンカーやタンクが利用できる点が挙げられるが、既存設備の健全性及び法規への適合を確認する必要がある。



資料:千代田化工建設株式会社 HPより

図 20:水素(MCH)サプライチェーンの実証

## ○液化水素貯蔵タンク(真空二重殻断熱構造)

### 【概要】

技術研究組合 CO<sub>2</sub> フリー水素サプライチェーン推進機構(以下「HySTRA」)は、世界初の液化水素荷役実証ターミナル(以下「Hy touch 神戸」)において、運転試験を開始しており、2020 年度から実施中の NEDO 助成事業「水素社会構築技術開発事業:未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」において、豪州から日本へ液化水素を輸送する国際水素エネルギーサプライチェーンの実証試験で運用している。

### 【技術開発・導入状況】

- Hy touch 神戸には、-253℃での極低温の液化水素を長期間、安定的に貯蔵する国内最大の 2,500m<sup>3</sup> 球形液化水素貯蔵タンク(貯蔵容量 2,250m<sup>3</sup>)や液化水素専用船陸間移送ローディングアームなどが設置されている。
- 本タンクは、内槽、外槽の間を真空層として外気からの侵入熱を遮る「真空二重殻断熱構造」を採用している。
- また、川崎重工業㈱は世界最大級となる 11,200m<sup>3</sup>(貯蔵容量 10,000m<sup>3</sup>)までの球形液化水素貯蔵タンクの基本設計を完了した。

### 【導入する上での留意点】

- 貯蔵容量 10,000m<sup>3</sup> 級までは本タンクの採用が可能であるが、それ以上の容量の場合は、次項に示す大型液化水素貯蔵タンク(常圧断熱平底円筒型)を導入するなど、容量と導入時期に応じてより適切なタンク方式を選定する必要がある。



資料:川崎重工業 HPより

図 21: 液化水素貯蔵タンク(真空二重殻断熱構造)

○大型液化水素貯蔵タンク(常圧断熱平底円筒型)[開発中]

**【概要】**

水素社会の実現に向けて、海外からの大量輸入水素の受入基地のほか、国内二次受入基地に利用される貯蔵量に応じた液化水素貯蔵のため、大型液化水素貯蔵タンクの技術開発が進められている。

**【技術開発・導入状況】**

- 川崎重工業㈱は液化水素貯蔵タンクのさらなる大型化とラインナップの拡充を図るため、将来必要となる数万  $m^3$  級の大型液化水素貯蔵タンクを開発中である。
- 本タンクは、貯蔵容量数万  $m^3$  級を想定し、大型の LNG 貯蔵タンク同様の平底円筒型で内外槽間に常圧ガスを封入した非真空の保冷構造としたものであり、多くの LNG 貯蔵タンク納入実績を最大限活用した開発製品である。
- 現在、NEDO 助成事業「液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」で開発を実施中である。

**【導入する上での留意点】**

- 貯蔵容量 10,000 $m^3$  級までは前項の液化水素貯蔵タンク(真空二重殻断熱構造)の採用が可能であるが、それ以上の容量の場合は、本項に示す大型液化水素貯蔵タンク(常圧断熱平底円筒型)を導入するなど、容量と導入時期に応じてより適切なタンク方式を選定する必要がある。



資料:川崎重工業 HP より

図 22:大型液化水素貯蔵タンク(常圧断熱平底円筒型)[開発中]

## ○バッファータンク(ガスホルダ)

### 【概要】

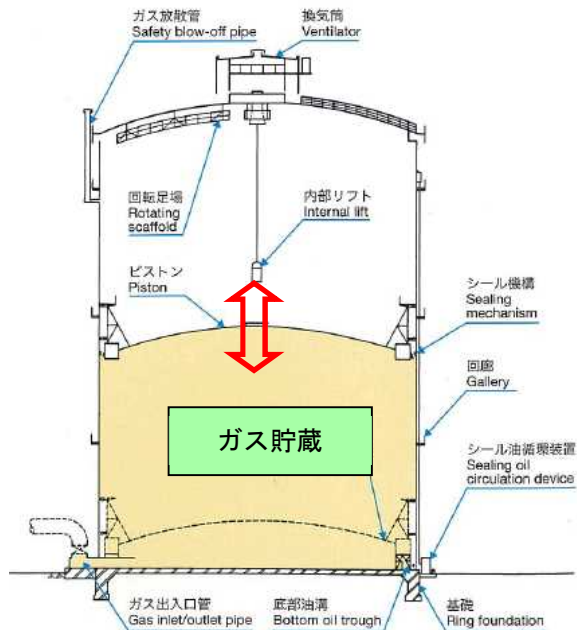
水素、二酸化炭素、アンモニア等のガスについて、発生側(供給)と消費側(需要)の間にガスホルダを設置し、ガスホルダのガス貯蔵部の体積変化により、需要と供給のアンバランスを吸収することが出来るバッファータンク設備。

### 【技術開発・導入状況】

- ・製鉄所で発生する副生ガス(高炉ガス、コークス炉ガスなど)向けには 40 年以上前から既に数多く採用され、問題なく稼働しており、多くの実績がある。
- ・上記のコークス炉ガスは成分の約 50%が水素であり、可燃性が高いガスへの対応実績がある。従って水素、アンモニア等のガスでの使用も問題ない。  
(一部、計装品で防爆規定が異なるものは微変更が必要となるが、設備の主機能に関しては実績ある現状構造をそのまま採用することができる。)
- ・過去の実績は 30,000 m<sup>3</sup>~450,000 m<sup>3</sup>の大容量であるが、1,000 m<sup>3</sup>程度の小容量ガスホルダも対応可能。・三菱重工機械システムの海外技術提携先メーカーでは、ガスホルダでの水素貯蔵の実績あり。

### 【導入する上での留意点】

- ・本ガスホルダは、低圧(~10kPa 程度)、常温(10℃~60℃程度)での使用となる。



直径 --- 40~75m 程度, 高さ --- 60~125m 程度  
容量 --- ~450,000 m<sup>3</sup> 程度, 圧力 --- 3~10kPa(低圧)

ガスを密閉するピストン(周囲にシール機能あり)が、上下に動き、内部容量変化にてガスを貯蔵する。

資料: 三菱重工機械システム公開情報

図 23: ガスホルダ全景写真、断面図および概略仕様

## ○水素液化プラント

### 【概要】

大量の水素を効率よく貯蔵および輸送するための手段の一つに水素の液化がある。水素は $-253^{\circ}\text{C}$ で液化することで体積が 800 分の1になるため、極めてコンパクトに貯蔵・輸送が可能になる。国内における水素液化プラントの用途は下記のとおりであり、液化水素のサプライチェーンにおいて、高度な極低温技術が必要な水素液化プラントは重要な要素の一つである。

- ・国内副生水素を液化し国内配送
- ・国内再生可能エネルギー由来水素を液化し、国内配送

### 【技術開発・導入状況】

- ・川崎重工業(株)は、国内メーカー製初の水素液化機を 2020 年6月に製品化した。現行のラインナップとしては、液化水素製造能力(1系列当たり) 5 ton/日、25 ton/日である。
- ・液化水素の低価格化に向けた、液化効率を大幅に向上させる新しいプロセス及びシステムのさらなる大型化の検討も行われている。

### 【導入する上での留意点】

- ・必要な液化水素製造量と運用計画、導入するサイトの敷地状況等に合わせて、ラインナップの中から適切な液化水素製造能力のものを選定する必要がある。



資料：川崎重工業 HPより

図 24:水素液化プラント(写真は液化水素製造能力 5 ton/日のプラント)



○水素ガスタービン、水素 CGS(コージェネレーションシステム)

【概要】

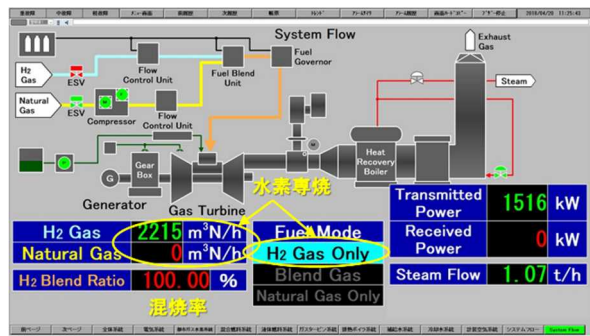
将来の水素社会構築に向けて水素サプライチェーンを構築する上では大量の水素を流通させる必要があり、水素ガスタービンは大規模な水素需要を喚起する水素利用アプリケーションとして期待されている。また、発電分野における脱炭素化を図る上でも水素ガスタービンは重要なアイテムの一つとなっている。

【技術開発・導入状況】

- ・NEDO 助成事業「水素社会構築技術開発事業」において、(株)大林組と川崎重工業(株)は1MW 級水素ガスタービンを適用したコージェネレーションシステム(水素 CGS)により、世界初となる市街地での水素 100%による熱電供給を達成。
- ・ウェット方式(NO<sub>x</sub> 低減に水噴射を使用)の燃焼器は、水素と天然ガスを自在の混合率で運転可能であり、1MW 級水素ガスタービンが製品化されている。
- ・環境性能・発電効率がより高い、ドライ方式燃焼器の開発・実証が行われている。
- ・今後、大型機への水素対応が順次展開されていく計画(1MW→5MW、8MW、20MW、30MW)。

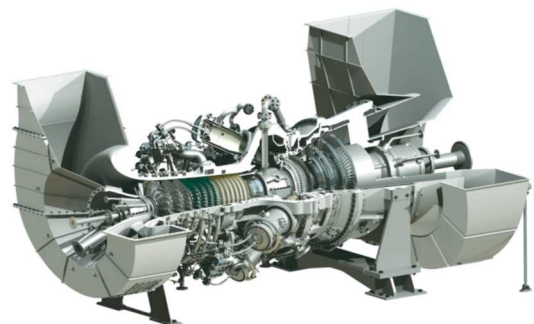
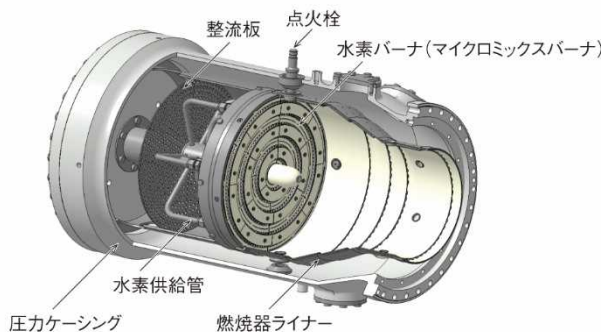
【導入する上での留意点】

- ・燃料となる水素源の確保と供給インフラの整備が必要。
- ・コージェネレーションシステムでは、システムに適した電力及び熱の需要があることが前提。



資料：新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)HPより

図 25:水素 CGS 実証プラント(神戸市ポートアイランド) 図 26:水素 100%による熱電供給の達成状況



資料：新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)HPより

図 27:ドライ方式水素燃焼器

図 28:30MW 級ガスタービン

## ○LPG/アンモニア運搬船

### 【概要】

低炭素エネルギーとしてすでに活用されているLPGと、脱炭素社会の新たな燃料として将来的に活用が期待されるアンモニアを同時に運搬することができる運搬船。世界の主要LPGターミナルに入港できるよう全長や幅などの船体主要目を大きく変えることなく、従来船型よりカーゴタンクの容積を増量し、アンモニア搭載にも対応している。推進燃料にはLPGと低硫黄燃料油が使用可能で、LPGを使用する場合、従来の燃料油使用時に比べて排気ガス中のSO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>などを大幅に削減することが可能。

### 【技術開発・導入状況】

- ・LPGとアンモニアの兼用運搬船については既に技術が確立されており、これまでに多数の建造実績がある。
- ・近年になってLPG焚きが可能な二元燃料エンジンが実用化され、運航時におけるSO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>などの大幅な削減が可能となった。
- ・三菱造船(株)は、大型LPG・アンモニア運搬船に関する技術提携契約を(株)名村造船所と締結し、名村造船所は同技術提携により、商船三井グループ向けの大型LPG・アンモニア運搬船を建造。川崎重工業(株)は、86,700m<sup>3</sup>型LPG(液化石油ガス)燃料LPG/アンモニア運搬船の第1番船の造船契約を川崎汽船株式会社と締結(2023年竣工予定)。

### 【導入する上での留意点】

- ・LPGと異なり、アンモニアは腐食性や毒性を有するため、設備や運用については注意を要する。



資料:川崎重工業 HPより

図 29:LPG 燃料 LPG/アンモニア運搬船のイメージ図

表 3:LPG 燃料 LPG/アンモニア運搬船の基本仕様(川崎重工業建造船)

項目	基本仕様
主要目	全長 230m、型幅 37.2m、型深さ 21.9m、夏期満載喫水 11.65m
貨物タンク容積	86,700m <sup>3</sup>
推進機関	二元燃料エンジン(LPG/低硫黄燃料油)

資料:川崎重工業 HPより

## ○大型アンモニア受入基地

### 【概要】

現在のアンモニアの用途は限定的であり、アンモニアを燃料として広く利用するには、サプライチェーンを拡大する必要があり、受入・貯蔵のためのインフラについても拡充が不可欠である。そのため、輸入される大量のアンモニアを効率的に受け入れるインフラを早期・低コストで確立するための大型アンモニア受入基地の技術開発が行われている。

### 【技術開発・導入状況】

- ・IHI は、燃料アンモニアの大量需要が見込まれる地域を想定し、年間 100 万トン規模を取扱う基地につき、運用面や防災面などの観点から、基本的な仕様の検討を行っている。
- ・また、受入基地の実現にあたり、LNG 級大型アンモニア貯蔵タンクの開発も同時に進め、2025 年頃の開発完了を目指す計画としている。

### 【導入する上での留意点】

- ・アンモニアは、発電燃料として直接使用することも可能という利点から、大量消費地となり得る石炭火力発電近隣などでのアンモニア受入基地の整備が必要となり、十分な港湾施設および基地敷地の確保が必要となる。
- ・港湾に設置する場合、その位置、アンモニアの供給方法、安全確保等に関して検討が必要である。



資料:株式会社 IHI プレスリリースより

図 30:大型アンモニア受入基地のイメージ図

○火力発電所(水素・燃料アンモニア混焼、バイオマス、CCUS 等)

【概要】

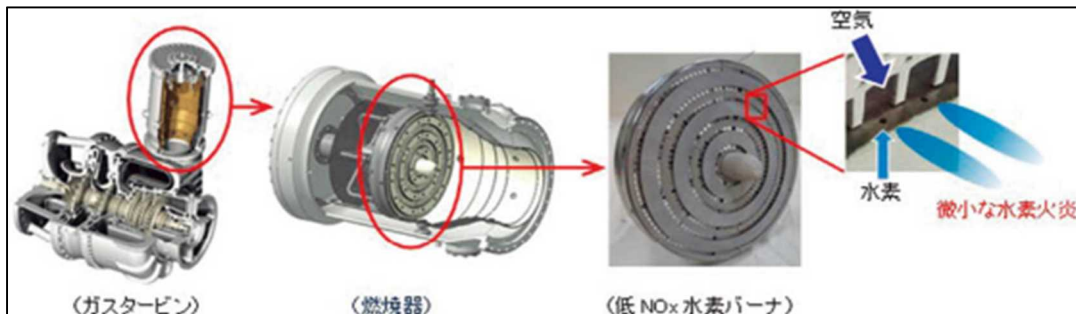
既存の石炭火力へ燃料アンモニア混焼、LNG 火力への水素混焼について技術開発が進められており、大規模な CO<sub>2</sub> 削減が期待できる。また、再生可能エネルギーや二酸化炭素回収・貯留と組み合わせた発電システムや、水素・燃料アンモニア専焼発電の実現に向けた取り組みも進められている。

【技術開発・導入状況】

- 川崎重工業が水素混焼用ガスタービンと専焼用ガスタービンを開発した。混焼用ガスタービンでは水素濃度が体積当たり 30%まで混焼を可能とし、天然ガス焚きと同等の低 NO<sub>x</sub> 燃焼を実現している。専焼用ガスタービン(出力 1MW 級)については、同社と大林組が NEDO 事業の一環として神戸市ポートアイランドで実証実験を行なっている。また、三菱重工業は、2018 年、NEDO 事業において 70 万 kW 相当のコンバインド出力に対応できる発電用大型ガスタービンで体積当たり 30%の水素混焼技術を確立。中小型ガスタービンは 2025 年、大型ガスタービンは 2030 年を目途に水素専焼へ向けた実証試験を実施中。
- 2021 年に株式会社 JERA 及び株式会社 IHI は、NEDO の助成事業において大型の商用石炭火力発電機における燃料アンモニア混焼に関する実証事業として採択を受けた。本事業において、JERA の碧南火力発電所4号機(発電出力:100 万 kW)において、2024 年度に燃料アンモニア 20%混焼を目指す計画。
- 三菱重工業では、出力4万 kW 級のアンモニア直接燃焼器と脱硝装置を組み合わせたガスタービンシステムを開発し、2025 年の実機運転・商用化に取り組んでいる。また、同社は、火力発電所のボイラー向けアンモニア燃焼装置を開発し、実機サイズの燃焼装置での実証、既存設備への展開に取り組んでいる。

【導入する上での留意点】

- 水素は発熱量が低く、燃焼速度が速く、火炎温度が高いなどの特性がある。また、アンモニアは毒性・刺激臭・腐食性・可燃性の特性があり、燃焼時の NO<sub>x</sub> 対策を講じる必要がある。水素・アンモニア設備の建設・運営に当たっては、これらの特性に十分に配慮した設計が必要。
- 発電に見合う量の水素・燃料アンモニアを調達するには、海外調達を含むバリューチェーン構築が必要。
- 受入・貯蔵・気化・払出設備等の水素・燃料アンモニア設備の新設、既設発電所の改造が必要になる。



資料:川崎重工業プレスリリースより

図 31:低 NO<sub>x</sub> 水素専焼ガスタービン燃焼器



資料:株式会社 JERA プレスリリースより

図 32:実証事業を行う碧南火力発電所とボイラーおよび改造バーナーの概略

○鉄鋼(水素等の活用、CCUS 等)

【概要】

港湾・臨海部に多く立地する鉄鋼業からの 2019 年の CO<sub>2</sub> 排出量は約 1.3 億トンであり、これは国内の CO<sub>2</sub> 排出量の約 12%を占める。

鉄鋼業において、コークスの製造プロセスで発生するメタンから水素を取り出し、高炉に投入するコークスの役割の一部を水素に代替させる技術を利用し、水素と酸素を結び付け H<sub>2</sub>O として排出させ、コークスと鉄鉱石中の酸素が結び付いて排出されていた CO<sub>2</sub> 排出量を削減する製鉄手法である水素還元製鉄の導入に向けた研究開発が進められている。

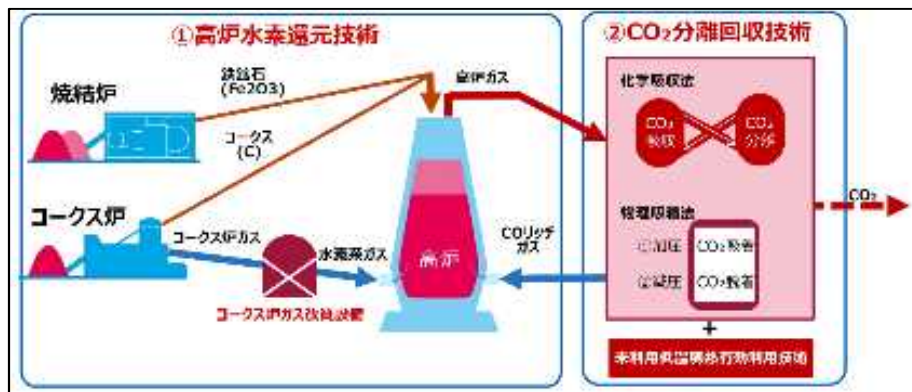
また、カーボンリサイクル技術の普及に向けた検討が進められている。

【技術開発・導入状況】

- 日本鉄鋼連盟では、水素活用還元プロセス技術等の開発(COURSE50)を NEDO の助成を受けて実施。2030 年頃までの実用化を目指している。
- 2017 年に水素をコークスの一部代替として鉄鉱石を還元し、CO<sub>2</sub> 排出量を 10%削減。高炉への水素吹込技術で CO<sub>2</sub> 排出量を 10%超削減。

【導入する上での留意点】

- 今後は大型生産設備へのスケールアップ(500 倍)および大量で安価なゼロエミッション水素の安定供給等の実用化に向けたインフラ環境整備が課題。
- 鉄鉱石から現在の国内生産量 7,500 万 t/年の鉄を生産するのに 750 億 Nm<sup>3</sup>(約 700 万 t)の水素が必要。



資料: 資源エネルギー庁 HP より

図 33: 高炉水素還元技術の概略図

鉄鋼分野における技術開発		2020	2030	2040	2050	2100
COURSE50	所内副生水素(コークス炉ガス)利用	R&D	導入			
Super COURSE50	外部水素利用(大量の水素供給が可能前提)	前倒し	R&D	導入		
水素還元製鉄	水素のみでの製鉄	前倒し	R&D	導入		
CCU	CO <sub>2</sub> のリサイクル利用、化学品化		R&D		導入	
CCS	CO <sub>2</sub> の地中貯留		R&D		導入	
社会共通基盤としての技術開発		2020	2030	2040	2050	2100
カーボンフリー電力	脱炭素電源(原子力、再生可能、化石+CCS) 次世代電力系統、電力貯蔵等		R&D		導入	
カーボンフリー水素	低コスト・大量水素の製造・輸送・貯蔵技術		R&D		導入	
CCS/CCU	CO <sub>2</sub> 分離貯留・利用技術開発 社会的課題の解決(貯留場所、地域理解等)		R&D		導入	

日本鉄鋼連盟: 長期脱炭素化戦略ビジョン(2018)を一部修正

資料: 日本製鉄株式会社 水素燃料電池戦略協議会資料より

図 34: 水素還元製鉄技術計画

○自立型水素等電源

【概要】

石油・天然ガス等の化石燃料を用いて水素を生み出し燃料とする改質型燃料電池と水素をそのまま燃料とする純水素型燃料電池に大きく分類できる。純水素型燃料電池は水素をそのまま燃料とするため、CO2を全く発生させずに短時間で発電することができる。また、非常時にも利用することができ、分散型電源としての活用が可能となる。

【技術開発・導入状況】

- ・実用段階にあることから、足下で具体的な効果が出る低炭素施策であり、関係者間の調整を経て、港湾において率先して取り組んでいく。
- ・2015年に大黒ふ頭の横浜港流通センター(Y-CC)へ自立型水素燃料電池システム(東芝『H2One』)を設置し、電力ピークカットや非常用電源の活用等の実証実験を行っている。

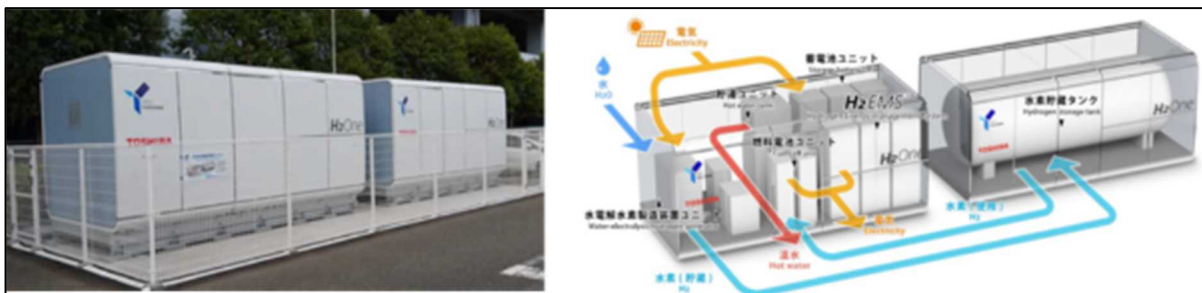
【導入する上での留意点】

- ・イニシャルコスト及び燃料代を含めたランニングコスト、水素供給体制について十分な検討が必要。

パナソニック	東芝	三菱重工
 <p>700W/5kW (基本モジュール)      60kW</p> <p>300kW      10MW級</p>	 <p>H2One™ 自立型水素エネルギー供給システム      100kW</p> <p>700W 3.5kW      H2Rex</p> <p>H2Rex™ 純水素燃料電池システム</p>	 <p>固形酸化物形燃料電池システム "MEGAMIE"</p> <p>LNG, H<sub>2</sub> GAS, BIO GAS</p> <p>SOFC (Fuel cell) → MICRO GAS TURBINE</p> <p>1st stage, 2nd stage, 3rd stage</p>
<p>・天然ガスを燃料とするエネファームの技術を活用した純水素燃料電池システム</p>	<p>・H2Oneは自立型水素エネルギー供給システム(水素製造と電力供給が可能)</p> <p>・H2Rexは純水素燃料電池システム</p>	<p>・LNG、水素、バイオガス等の多様な燃料で発電・熱供給が可能</p>
<p>700W~10MW (連結設置により大規模発電に対応)</p>	<p>700W~MW級 (連結設置により大規模発電に対応)</p>	<p>220kW (商用化)</p> <p>1MW級 (2021年予定)</p>
<p>発電効率：約56% (5kW)</p>	<p>発電効率：50~55% (総合効率：95%)</p>	<p>発電効率：55% (LHV)</p> <p>(総合効率：65% (蒸気)、73% (温水))</p>
<p>・2021.5.24公表 滋賀県草津市の自社工場に、500kWの純水素型燃料電池、太陽電池、蓄電池の実証施設を設置 等</p> <p>・21年10月以降 一般発売</p>	<p>2016.3 H2One (横浜大黒ふ頭)</p> <p>2018.6 H2Rex (川崎東急REIホテル) ※</p> <p>等 ※環境省 地域連携・低炭素水素技術実証事業</p>	<p>全国10か所にて実証・商用導入実績、2件の水素活用事例</p> <p>※NEDO事業成果を含む</p> <p>20年10月に欧州で初受注</p>

資料: 各社 HP 等より国土交通省港湾局作成

図 35: 自立型水素等電源の例



資料: 横浜市港湾局より

図 36: 横浜港流通センターへの自立型水素電池システムの導入事例

○系統切断時でも電力供給安定化と再生可能エネルギー最大活用を両立する自立給電システム

【概要】

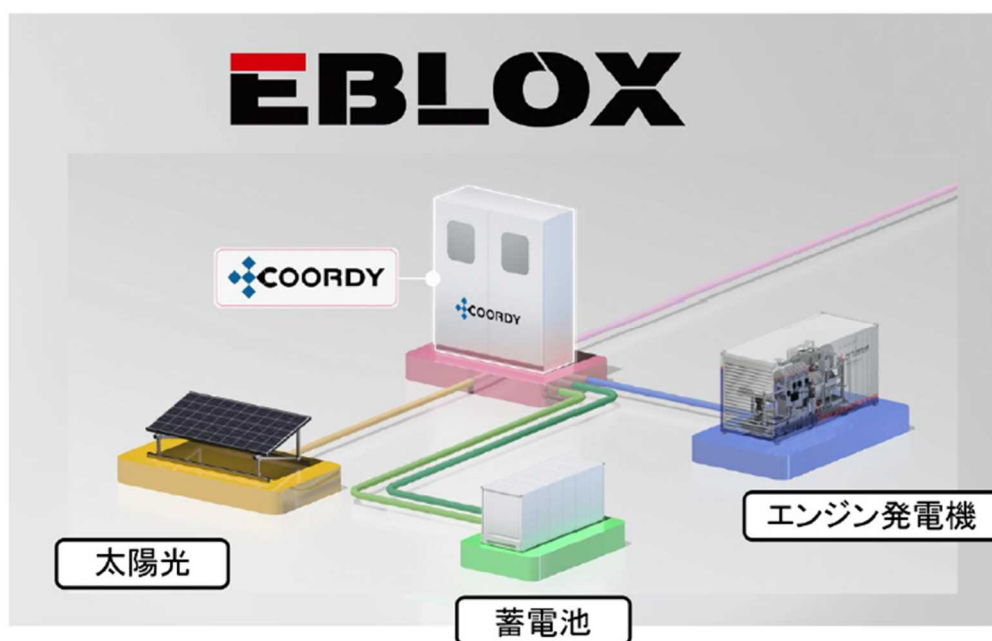
港湾においては、大地震等の自然災害等が発生しても当該港湾の重要機能を最低限維持できるよう、バックアップ自家発電システムが必要となることがある。近年は港湾においても太陽光発電等の再生可能エネルギーの導入が行われており、系統停電時にも活用し得るが、天候の影響等により変動の激しい再生可能エネルギーを大量に導入すると、自家発電システムが変動に追従できず、電圧や周波数が大きく変動し、最悪の場合停電に至る可能性がある。このため、非常用電源としての自立給電システムにおいて、再生可能エネルギーを大量に導入しても安定した電力を供給可能な制御システムの実証が行われている。

【技術開発・導入状況】

- ・三菱重工エンジン&ターボチャージャ㈱では、ガス又はディーゼルエンジンと太陽光発電を併設した発電設備に蓄電池を導入し、これらを統合的に制御して自立給電システムの電圧と周波数を安定化させるトリプルハイブリッドシステムを開発。相模原の自社工場で500kW規模の実証設備を運用中。
- ・同社が開発した制御装置(COORDY)は母線の周波数変動や電圧変動が発生した場合に、蓄電池に対し素早く充放電の指令を出すことで母線電源の安定化を図る制御機能が搭載されている。

【導入する上での留意点】

- ・制御装置 COORDY から蓄電池に対し、高速な制御信号で通信を行う必要があるため、通信方式を適切に選定する必要がある。



資料:三菱重工技報 Vol.56 No.2 (2019)

図 37:EBLOX(発電設備)とCOORDY(制御システム)

○アンモニア用高効率小型発電機

【概要】

1～100kW 規模の分散型発電を対象に、アンモニア燃料を用いることで供給電源をカーボンフリー化することを目的に、技術開発が進められている。アンモニア燃料に適した小規模の発電方式として、SOFC (Solid Oxide Fuel Cell, 固体酸化物形燃料電池)を採用し、小規模の発電機でも50%を超える高い発電効率での運転を想定している。

冷凍・冷蔵倉庫や拠点事務所など、停電や災害時も一定の電力供給が求められる場所や、船上での発電機としての利用を見込んでいる。

【技術開発・導入状況】

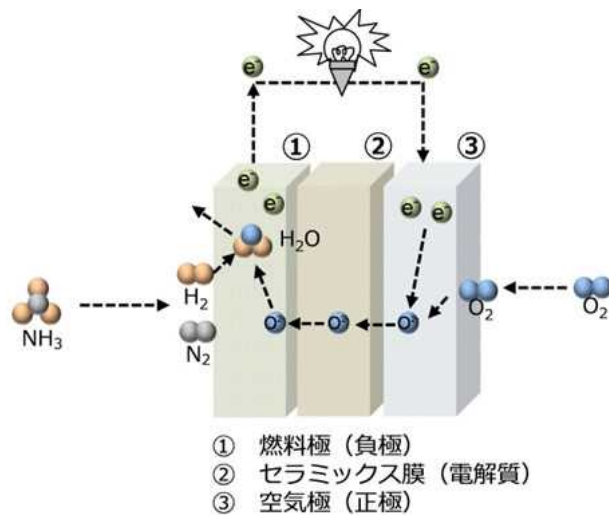
・IHI では、これまでに、100%アンモニア燃料を用いる1kW 規模の SOFC 発電システムを開発し、小型発電機であるにもかかわらず大規模発電に匹敵する 55%(LHV 基準, DC 端)と高い発電効率が得られることを確認している。アンモニア燃料はシステム内で処理され、排ガス中に残存アンモニアは含まれず、安全な運転が可能である。また NOx についても数 ppm に抑えられている。

・IHI は、10～100kW 規模の発電システムについて開発・実証運転を進めている。また、電力と温水を併産するコジェネレーションシステムについても同様に開発が進められている。

・アンモニア燃料はカーボンフリー燃料の中でも貯蔵性に優れていることから、小規模分散型発電の燃料に適している。灯油や重油など貯蔵性の高い化石燃料を用いた分散型発電機を使用している場所をカーボンフリーに転換するケースで実装が進むことが期待される。特に、停電発生時には、BCP 運用に切り替えて運用することにより、レジリエンス機能を確保することが可能である。2025 年の実用化を目標としている。

【導入する上での留意点】

・液体アンモニアを利用するシステムであるため、アンモニア貯蔵・供給設備を併設する、または周辺に一定のアンモニア供給インフラが整備されていることが必要となる。



資料:IHI HP

図 38:左)アンモニア 1kW SOFC システム 右)アンモニア発電の原理



## ○自立分散型電源での燃料アンモニア直噴利用

### 【概要】

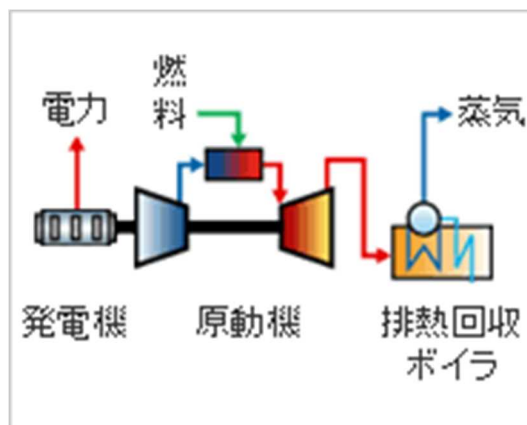
従来、都市ガスや灯油等を燃料とし、高効率なエネルギーシステムとして地域熱供給（地域冷暖房）や各種事業場・工場で運用されてきた自律分散型電源において、燃料アンモニアを直噴利用するガスタービン適用することで、効率よくCO<sub>2</sub>フリーの電気・蒸気エネルギーを供給する。

### 【技術開発・導入状況】

- ・IHIは、NEDO委託事業において液体アンモニアをガスタービン燃焼器に直接噴霧して燃焼する技術を開発しており、2020年度までに2,000kw級ガスタービンにおいて液体アンモニア70%混焼による自立運転に成功した。
- ・今後、2,000kw規模以上のガスタービンにおけるアンモニア専焼技術の確立に向けた開発を実施していく計画である。商品化は2025年以降を予定。
- ・自立分散型電源の一つであるガスタービンコージェネレーションシステムは、既に確立された汎用性の高いシステムであり、様々な業種の事業所へ電気・蒸気エネルギーを高効率に供給していることから、港湾地域やその周辺コンビナート・事業場を含んだ広範囲で社会実装されていく可能性が高いと期待できる。

### 【導入する上での留意点】

- ・燃焼器の交換など既存装置の改修及び周辺に一定のアンモニア貯蔵・供給設備の設置が必要となる。
- ・NO<sub>x</sub>規制値などの環境規制値に合わせて、適切な排ガス処理設備を組み込ませることとなる。



資料:IHI HP

図 39:左)2,000kw 級ガスタービン試験設備 右)ガスタービンコージェネレーションの概要

○船舶ゼロエミッション技術(貨物船)

【概要】

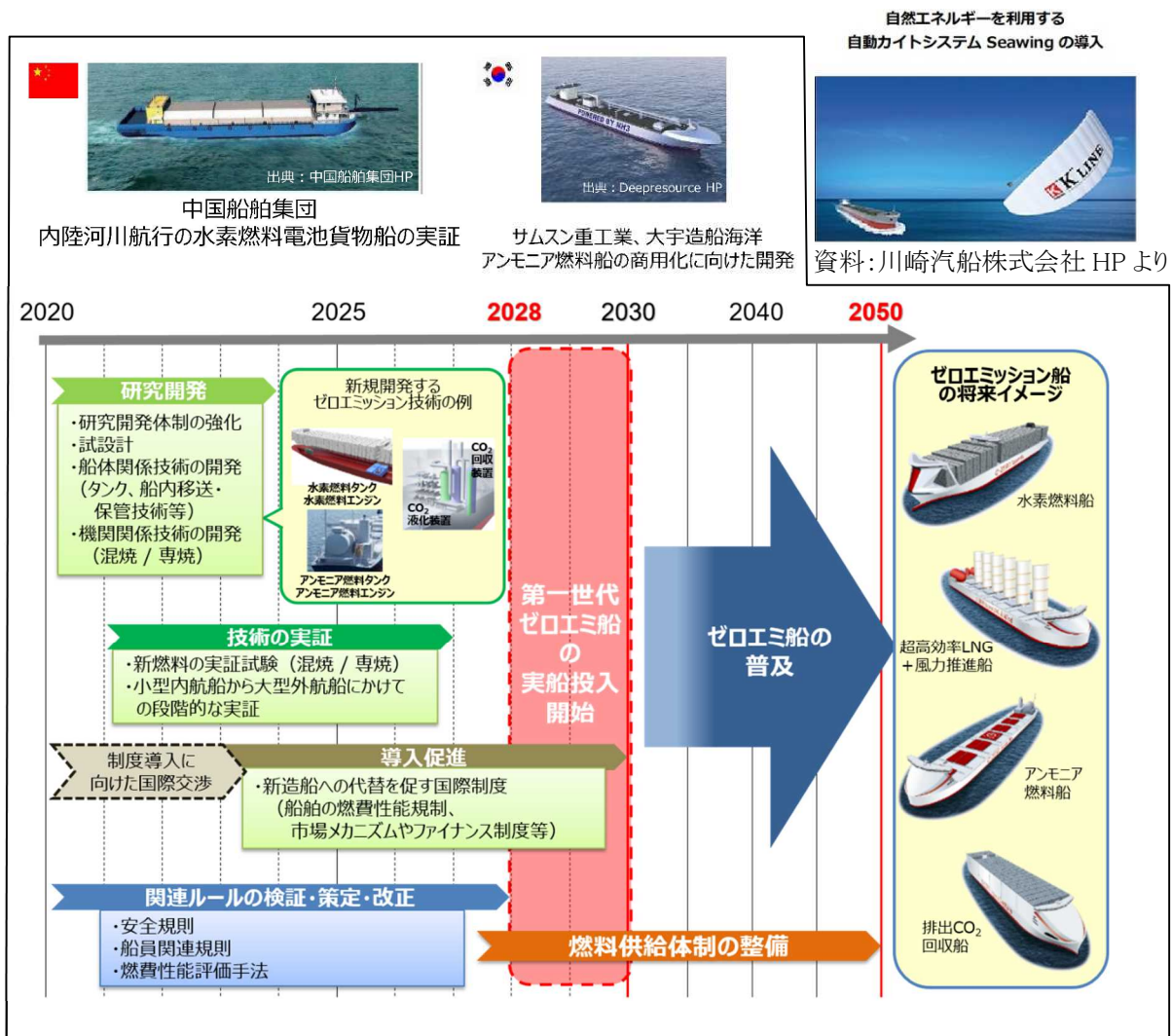
国土交通省では、我が国の産学官公の連携による「国際海運 GHG ゼロエミッション」プロジェクトを立ち上げ、有望とされた各種の代替燃料や CO2 削減技術を使用した船舶のコンセプト設計を実施。あわせて、このコンセプト設計をベースとした、究極のエコシップ「ゼロエミッション船」のイメージを作成。

【技術開発・導入状況】

- ・ドイツ・MAN 社がアンモニア燃料エンジン開発。
- ・中国、韓国もゼロエミッション船のパイロット船就航を目指して開発中。
- ・自動カイトシステムは、船首部に搭載されたカイトが、一定条件の風力・風向のもと、ブリッジ(船橋)からの操作で展張し、風力を利用して本船の推進力を補助。

【導入する上での留意点】

- ・我が国の国際競争力獲得には、世界に先駆けたゼロエミッション船の商業運航実現が必須。
- ・ゼロエミッション船の燃料の選定は重要な論点であるが、それぞれにメリット・デメリットがあることから、長期的にどれが主要な燃料となるか又は複数の燃料が共存するか、現時点で見極めることは不可能。



資料：「次世代船舶の開発」プロジェクトの研究開発・社会実装計画について、国土交通省海事局より

図 40: 国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ概略(2020年3月策定) ※今後見直し予定

○船舶ゼロエミッション技術(タグボート)

【概要】

近年、燃料電池技術を活用したタグボートが 2022 年の横浜港・川崎港での商用運航開始を目指して開発段階にある。また、リチウムイオン電池による電気推進(燃料電池非搭載)タンカーの建造中であり、2022 年以降竣工見込みである。環境負荷低減のほか、災害発生時には船内の電池による、陸上拠点への電力供給を想定している。

【技術開発・導入状況】

- ・2019 年8月、旭タンカー、エクセノヤマミズ、商船三井及び三菱商事が共同出資により、株式会社 e5(イーファイブ)ラボを設立、同年 10 月に東京汽船と e5 ラボは共同で大容量蓄電池と燃料電池を併用した電気推進ハーバータグボート「e5タグ」(イーファイブタグ)のコンセプトデザインを完成させる。また、大容量蓄電池船としては初となる国土交通省の先進船舶導入等計画の認定を受ける。
- ・2020 年 10 月、旭タンカーは e5 ラボが開発するリチウムイオン電池式電気推進(燃料電池非搭載)タンカー「e5 タンカー」(イーファイブ タンカー)を発注し、船用燃料供給船として東京湾内での就航を予定している。電気推進によるCO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>等のゼロエミッション化、振動・騒音の低減、各種自動化技術、IoT技術の採用による乗員の負担軽減、運用効率化を目指すとしている。

(e5 ラボ社は正式にはe<sup>5</sup>ラボと表記)

【導入する上での留意点】

- ・水素燃料電池船の場合、船舶への水素供給インフラの整備が必要となる。現時点で燃料電池船は、開発段階であり、今後も技術開発や水素燃料電池船の安全ガイドラインも改定などの動向に留意する。

資料:e5 ラボ HP



【本船仕様】	
(1) 寸法	全長 42m / 全幅 10.3m / 喫水 4.15m
(2) 船級	ClassNK 日本海事協会
(3) 積載貨物	重油
(4) 総トン数	499 トン
(5) 速力	約 10 ノット
(6) タンク容量	1,280m <sup>3</sup>
(7) 推進装置	アシナススタスター 300kw x 2 基 サイドスタスター 68kw x 2 基
(8) バッテリー容量	3,480kWh

災害時の電力供給システム搭載

陸上給電「S2S : Ship To Shore」

- ・自然災害等により、沿岸部の広範囲に給電が出来ない場合に活用
- ・本船に搭載された大容量蓄電池（一般的な電気自動車約100台分相当）から陸上に電力を供給
- ・陸上の道路や送電インフラが寸断されても、海上からの供給が可能
- ・災害発生時に拠点となる施設への電力供給が可能



資料:e5 ラボ公表資料より作成

図 41:燃料水素タグボート「e5 タグ」(左)、リチウムイオン電池船「e5 タンカー」のイメージ・主な特徴

○EV 船

【概要】

CO2 排出量の削減に加え、船員の作業負荷軽減を実現する大容量リチウム電池とディーゼル発電機のハイブリッド EV 船の技術開発が行われている。発電機の燃料を LNG、水素、アンモニア、バイオ燃料、合成燃料等の環境に優しい燃料に切り替えることで、航行を含む全てのオペレーションを CO2 フリー化することも可能。更に災害発生時には BCP 電源として陸上拠点への電力供給が可能。

【技術開発・導入状況】

- ・2020 年8月、株式会社 e5(イーファイブ)ラボが大容量リチウム電池とディーゼル発電機を採用した普及型 EV 船「ROBOSHIP Ver.1.0」のコンセプトを発表。電気推進によるCO2、SOx、NOx等のゼロエミッション化、振動・騒音の低減、各種自動化技術、IoT技術の採用による乗員の負担軽減、運用効率化を目指すとしている。
- ・三菱造船株式会社は e5 ラボと連携し、普及型標準 EV 船 ROBOSHIP 499GT 貨物船のコンセプト設計を完成。

【導入する上での留意点】

- ・陸上側に本船に電力を供給する給電設備及び本船から電力を受けることができる受電設備を装備することで本船の機能を最大限に発揮することができる。
- ・航行を含む全てのオペレーションを CO2 フリー化するには LNG、水素、アンモニア、バイオ燃料、合成燃料等低炭素・脱炭素代替燃料のサプライチェーン、供給インフラの整備が必要。また、代替燃料タンクが従来燃料に比べ大型化すること等も課題。水素、アンモニア燃エンジンにはエンジンメーカーが開発中。

普及型標準EV船 ROBOSHIP 499GT貨物船

- ◆ ハイブリッド電気推進システム(バッテリー + 発電機)
- ◆ 航行中CO2排出削減と港内CO2フリー運航。LNG、水素、アンモニア等低炭素・脱炭素代替燃料対応に進化可能。
- ◆ 騒音・振動の低減による船内快適性向上、ディーゼル主機メンテナンス削減、操船性向上による離着桟オペレーション負荷低減による船員の作業負荷低減。
- ◆ 災害発生時にBCP電源として陸上渠底への電力供給が可能。



資料:三菱造船株

図 42:普及型標準 EV 船 ROBOSHIP 499GT 貨物船

○船舶環境指数(Environmental Ship Index: ESI)プログラム

【概要】

国際港湾協会 (IAPH) のイニシアティブによって提唱された ESI プログラムは、国際海事機関(IMO)が定める船舶からの排気ガスに関する規制基準よりも環境性能に優れた船舶に対して入港料減免等のインセンティブを与える環境対策促進プログラム。

昨今、各国政府が野心的な温室効果ガス削減目標を提示しているほか、機関投資家が脱炭素を重視しつつあることを背景に、荷主企業が起用する船社に対し船舶燃料のゼロカーボンを求める動きも出てきており、率先して脱炭素化に取り組む姿勢を重視する考え方が社会全体に広がりつつあることから、荷主に選ばれる船社、そして船社に選ばれる港湾へ、脱炭素に向けた具体的な行動を起こすことが不可欠となりつつある。

このプログラムは、船社の自主的な環境対策への取組みを促す枠組みであることが特徴。プログラムに登録した船舶は、その船舶から発生するNOx、SOx、CO2の排出量の基礎となるエンジン性能、使用燃料、航行距離、陸電供給(OPS)対応の有無などからESIスコアが換算式によって算出され、付与される(スコアは0~100の範囲で算出され、100が最も環境性能が高いことを表す)。概ね20ポイント以上のESIスコアを付与されている登録船舶(4,623隻)は全世界でESIプログラムに参加する60港の港湾(2021年7月1日時点)に入港するときに入港料等の減免措置を受けることができる。

○ESIスコア算出式

$$ESI \text{ Score} = ESI \text{ NO}_x + ESI \text{ SO}_x + ESI \text{ CO}_2 + OPS \dots\dots\dots (1)$$

1) ESI NO<sub>x</sub>【0~66.6】、ESI SO<sub>x</sub>【0~33.3】、ESI CO<sub>2</sub>【0~15】、OPS【0~10】

2) ESIスコアは0から100の値を取る。

式(1)を構成する4つのESIサブスコアの総和がESIスコアとなる。これらの値を合計すると最大で125となるが100を超えた場合は100を上限とする。結果としてESIスコアは0から100の値を取るようになる。詳細については、ESI Portal (<https://www.environmentalshipindex.org/>) 参照。

【技術開発・導入状況】

・まずSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>に関する指標の開発がすすめられ、2011年運用を開始。2017年にCO<sub>2</sub>排出削減をESIの要素に追加。今後さらなるCO<sub>2</sub>排出削減促進等の観点から新たな要素の追加検討を予定。参加港湾60港の内訳は、欧州が多くアジアは少ない。日本では東京港、横浜港、苫小牧港の3港。

【導入する上での留意点】

・港湾にとっては、初期投資がなくてもユーザーである船舶へのインセンティブ付与を通じ、排出削減促進に寄与できる点が特徴。また船舶にとっては、参加する全港湾が同一の指標を使用するため、インセンティブ享受に必要な船舶の環境性能評価手続を全港湾分まとめて済ませられる点が特徴。



資料:ESI Portalより

図 43:ESIインセンティブ提供港湾(2021年7月1日現在)

## CCUS 向け CO2 大量輸送技術(LCO2 船)

### 【概要】

CO2 回収・有効利用・貯留(CCUS)を目的とした液化CO2の船舶輸送の実証事業が進められている。食品用の小規模輸送は既の実施されているが、CCUS 目的の大量輸送技術は今後開発される予定である。

### 【技術開発・導入状況】

- 船舶による CO2 の輸送はすでに小規模に実施されている(食品用 CO2 の船舶輸送の実績は 2,000m<sup>3</sup> 以下と小型)。
- NEDO は 2021 年度～2026 年度にかけて、2030 年頃の CO2 回収・有効利用・貯留(CCUS)技術の社会実装を視野に、工場や火力発電所から排出された CO2 を活用地や貯留地まで低コストで大量・安全に輸送するための研究開発及び実証事業を行う予定。最適な温度・圧力条件で液化した CO2 を出荷・輸送から受け入れまで行う一貫輸送システムの確立に関連する研究開発及び実証試験と、CCUS の普及に寄与する船舶輸送の事業化調査が行われる。
- 環境省は CO2 回収・貯留(CCS)技術の 2030 年以降の本格的な社会実装を目指し、2021 年度から、これまでの商用化規模の CO2 分離回収の実証等の運用・評価実績をもとに、CCUS の実用展開のための一貫実証拠点・サプライチェーンを構築する「環境配慮型 CCUS 一貫実証拠点・サプライチェーン構築事業委託業務(輸送・貯留等技術実証)」を行う予定。
- 三菱造船等は、CCUS バリューチェーンに関わる CO2 船の技術開発を進めている。

### 【導入する上での留意点】

- NEDO 及び環境省の実証事業の結果、既存のインフラや利用事業者等を考慮して、必要な設備(岸壁、荷役機械、貯蔵タンク、パイプライン等)や輸送船舶について検討する必要がある。液化 CO2 の船舶輸送の取組は欧州でも行われており、今後も技術開発や各種ガイドライン策定などの動向に留意する必要がある。

資料: 環境省 HP「令和3年度環境配慮型 CCUS 一貫実証拠点・サプライチェーン構築事業委託業務(輸送・貯留等技術実証)の公募採択案件について」、NEDO HP「船舶による CO2 大量輸送技術確立のための研究開発および実証事業を開始」、三菱重工 HP

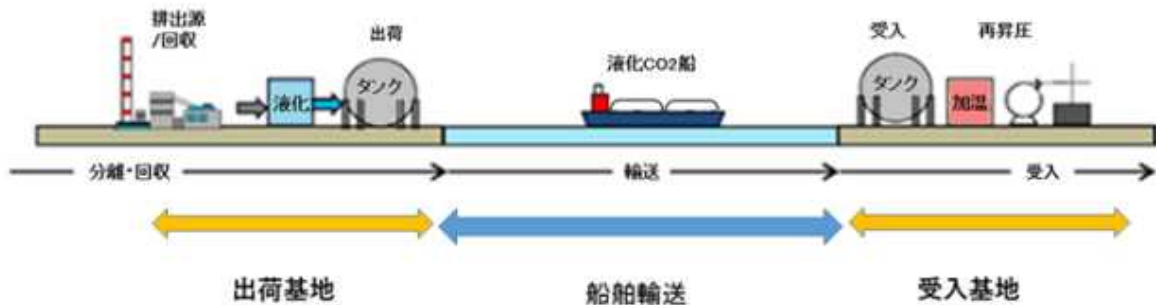


図 44: CO2 を船舶で輸送する実証事業の概念図

## ○洋上 CO2 回収技術

### 【概要】

陸上プラント用 CO2 回収装置を洋上用に転用したものが開発段階にあり、実際の船に搭載した実証試験も行われた。

### 【技術開発・導入状況】

- ・2020年8月、三菱造船、川崎汽船、日本海事協会が共同で、洋上における CO2 回収装置利用の検証として、小型の CO2 回収デモプラントを実船に搭載し試験運転及び計測プロジェクトを開始(国土交通省海事局補助事業「海洋資源開発関連技術高度化研究開発事業」)。
- ・2021年10月、実船搭載した CO2 回収小型デモプラントにて船舶エンジンより排出される排ガスから CO2 を分離・回収した結果、回収 CO2 純度が 99.9%以上と計画通りの性能を達成したことが発表された。
- ・三菱造船は、上記の実証試験で得られた知見を基に装置の安全性や操作性を検証し、今後の商用実機の開発に活用していくこととしている。

### 【導入する上での留意点】

- ・洋上で CO2 を回収する場合、回収した CO2 を受け入れる陸上インフラの整備が必要となる。現時点で洋上 CO2 回収装置は開発段階であり、今後も技術開発や CCS・CCUS といった炭素循環の取組の動向に留意する必要がある。



資料: 三菱重工 HP

図 45:CO2 回収デモプラント イメージ図(左)、本船に搭載完了した CO2 回収小型デモプラント(右)

## ○CO2 回収装置

### 【概要】

CO2 排出源へ CO2 回収装置を導入し、大幅に CO2 排出削減する。

### 【技術開発・導入状況】

- ・火力発電所や化学プラントの排ガスから CO2 を選択的に除去する技術が既に製品化されている。
- ・三菱重工エンジニアリング(株)では、既に 15 基の商用装置を世の中に導入済みで、その中で世界最大の日量約 4,800 トンの CO2 を回収できる火力発電向け装置実績もある。

### 【導入する上での留意点】

- ・CO2 を吸収した吸収液から CO2 を分離するための熱源や、排ガス/吸収液/回収 CO2 を冷却するための冷却水等の Utility 供給設備が別途必要。



資料:三菱重工業(株)

図 46:化学プラント向け CO2 回収装置の事例



○洋上風力発電のための基地港湾

【概要】

海洋再生可能エネルギー発電設備等拠点港湾(基地港湾)制度は、洋上風力発電設備の設置及び維持管理に利用される港湾を指定し、当該港湾の埠頭について、国から再エネ海域利用法の選定事業者等に対し、長期・安定的に貸し付け、利用調整することにより、洋上風力発電の導入を促進するものである。

2020年12月、「洋上風力産業ビジョン(第1次)」において、2030年までに1,000万kW、2040年までに3,000万kW~4,500万kWの案件形成を行う政府目標を明示した。同ビジョンを踏まえ、基地港湾の配置及び規模、基地港湾を活用した地域振興について検討を行うため、「2050年カーボンニュートラル実現のための基地港湾のあり方に関する検討会」を設置し、今年度内にとりまとめることとしている。

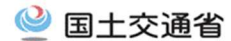
【技術開発・導入状況】

- ・2020年2月、改正港湾法により、国が基地港湾を指定し、発電事業者に当該港湾の同埠頭を、長期間(最大30年間)貸し付ける制度を創設した。
- ・2020年9月、能代港、秋田港、鹿島港及び北九州港を基地港湾に初めて指定した。
- ・2021年5月、「2050年カーボンニュートラル実現のための基地港湾のあり方に関する検討会」を設置した。

【導入する上での留意点】

- ・「2050年カーボンニュートラル実現のための基地港湾のあり方に関する検討会」のとりまとめ結果を踏まえ、導入を進める必要がある。

海洋再生可能エネルギー発電設備等拠点港湾(基地港湾)制度の概要



- 改正港湾法(令和2年2月施行)より、国土交通大臣が、海洋再生可能エネルギー発電設備等取扱埠頭(洋上風力発電設備の設置及び維持管理に利用される埠頭)を有する港湾を基地港湾として指定し、発電事業者に当該港湾の同埠頭を長期間(最大30年間)貸し付ける制度を創設。
- 埠頭は複数の発電事業者へ貸付けられるため、国土交通大臣は複数の借受者の利用調整を実施。
- 令和2年9月、能代港、秋田港、鹿島港及び北九州港を基地港湾に初めて指定。

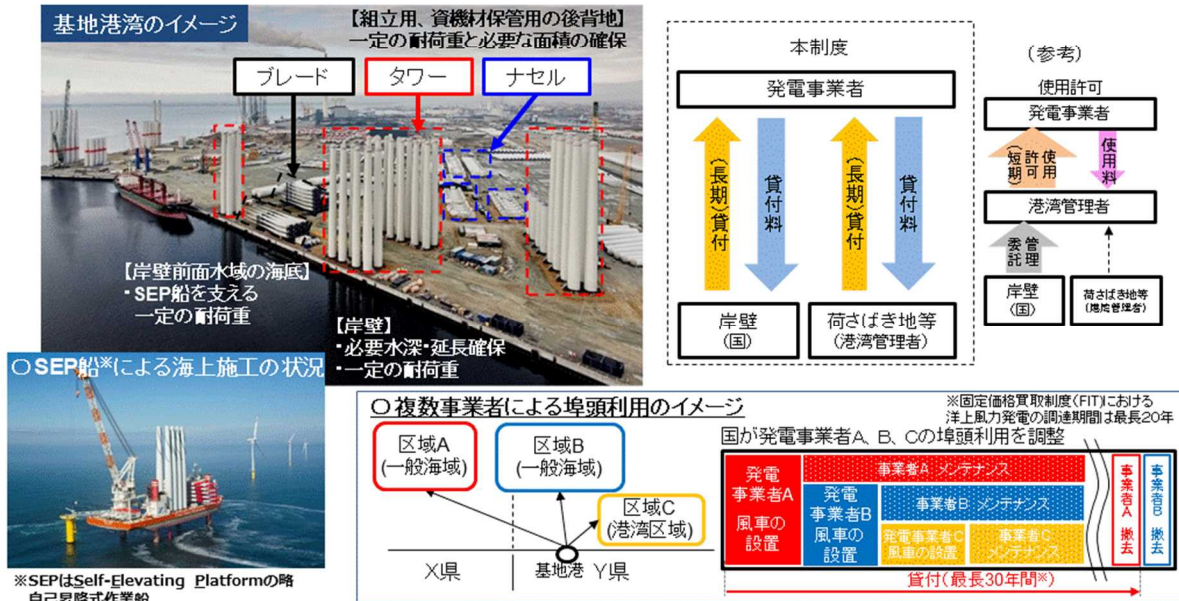


図 47: 基地港湾制度の概要

○洋上風力余剰電力の活用(水素化、海上輸送)

【概要】

洋上風力余剰電力の水素化では、わが国が世界初の実証実験を 2015 年に実施している。また、洋上風力発電導入量において先んじている欧州では、発電される電力を利用した本格的な水素化の検討が進められている。イギリス、ドイツ、オランダ、デンマークでは洋上風力により発電された電力を活用した水素生成に向けた具体的な検討段階にある。今後、2021-2022 年度に石狩湾新港における調査・検討が予定されている。

【技術開発・導入状況】

・環境省は、2014-2015 年度、長崎県五島市杵島沖の浮体式洋上風力発電設備(定格出力 2,000kW)で、余剰電力を活用した水素の製造・貯蔵・運搬の世界初となる実証実験を行っている。  
 ・NEDO 事業では 2021-2022 年度、「石狩湾新港洋上風力の余剰電力を活用した水素サプライチェーンに関する調査」が予定されている。2023 年の石狩湾新港洋上風力発電所(100MW 規模)の運転開始に合わせ、日本初のフルスケールの洋上風力発電所を活用した水素製造実証の実現を目指し、「事業可能性の検証」、「実証事業の実現に向けた事前検討」を行う。

【導入する上での留意点】

・NEDO の調査・検討事業を通して得られる、洋上風力発電や水素製造・貯蔵・運搬に係る技術的・経済的・制度的課題や、その改善策を踏まえて導入の検討を行う。

資料:「電気設備学会誌」2020 年5月号、「水素の利活用拡大に向けて 14 件の調査・技術開発を開始」NEDO HP



資料:「水素の利活用拡大に向けて 14 件の調査・技術開発を開始」NEDO HP より

図 48:「石狩湾新港洋上風力の余剰電力を活用した水素サプライチェーンに関する調査」事業イメージ

○ブルーカーボン

【概要】

2009年10月に国連環境計画(UNEP)の報告書において、海洋生態系に取り込まれた炭素が「ブルーカーボン」と命名され、吸収源対策の新しい選択肢として提示された。ブルーカーボンを隔離・貯留する海洋生態系として、海草藻場、海藻藻場、湿地・干潟、マングローブ林が挙げられ、これらは「ブルーカーボン生態系」と呼ばれる。

大気中のCO<sub>2</sub>が光合成によって、ブルーカーボン生態系に取り込まれ、CO<sub>2</sub>を有機物として隔離・貯留する。また、枯死したブルーカーボン生態系が海底に堆積するとともに、底質へ埋没し続けることにより、ブルーカーボンとしての炭素は蓄積される。

【技術開発・導入状況】

- 国土交通省港湾局では、令和元年6月に「地球温暖化防止に貢献するブルーカーボンの役割に関する検討会」を設置し、CO<sub>2</sub>吸収量の客観的な評価手法等について検討を進めている。
- 国連気候変動枠組条約に基づく我が国の「温室効果ガスインベントリ報告」について、2023年度を目処に知見が集積した分野から順次、ブルーカーボンによるCO<sub>2</sub>吸収量の反映を目指し、関係省庁と連携して取組を進める。
- 国土交通省がジャパンブルーエコノミー技術研究組合(JBE)と連携して、藻場の保全活動等によるブルーカーボン生態系が吸収したCO<sub>2</sub>量をクレジットとして認証し、取引を可能とする「ブルーカーボン・オフセット・クレジット制度」を全国制度とするための取組を実施中。2020年度は横浜港において試行を実施し、約23トンのCO<sub>2</sub>吸収量を取引している。

【導入する上での留意点】

- 将来的なインベントリ報告への反映を念頭に、国際的に合意が得られる水準のブルーカーボン生態系によるCO<sub>2</sub>吸収量の客観的な評価手法等は検討段階。
- インベントリ報告への反映については、藻場やマングローブなど対象によって、評価手法等の考え方が異なることと、統計情報の整備に差があるので、実態を踏まえて報告への反映をすることで確実に吸収源として機能することを確認することが必要。
- ブルーカーボン・オフセット・クレジット制度を用いる場合、国等が浚渫土砂等を活用し整備した藻場等において、適切に維持管理するNPO等、その活動あるいは環境投資に関心ある企業等のマッチングが重要。

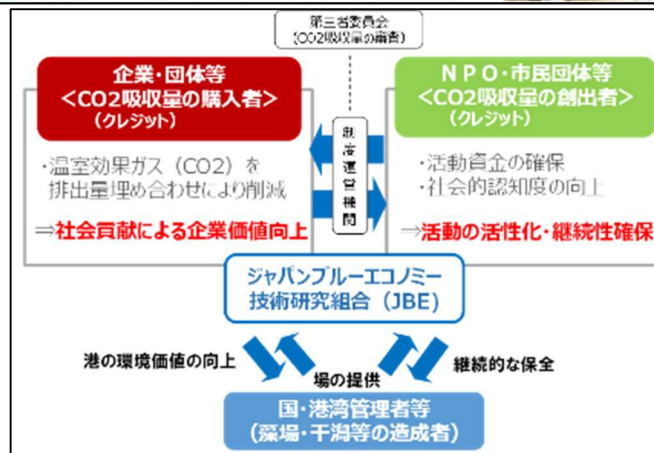


図 49: 上)ブルーカーボン生態系の造成 下)「ブルーカーボン・オフセット・クレジット制度」の仕組み

○カーボンリサイクルに関わる技術

【概要】

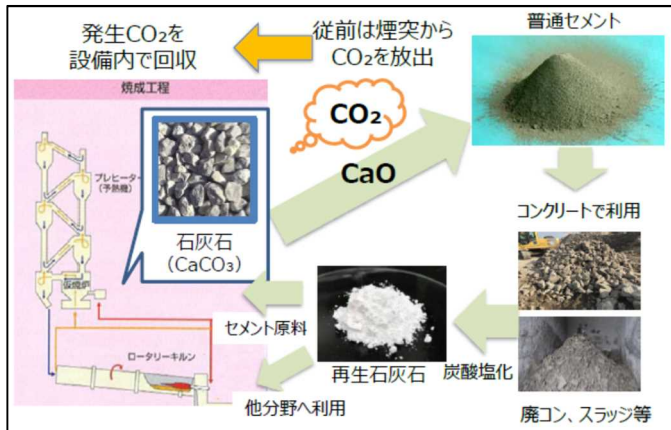
CO<sub>2</sub> を資源として捉え、これを分離・回収し、炭酸塩やコンクリートへの固定化、人工光合成等により化学品、メタネーション等により燃料へ再利用し、大気中への CO<sub>2</sub> 排出を抑制する。

【技術開発・導入状況】

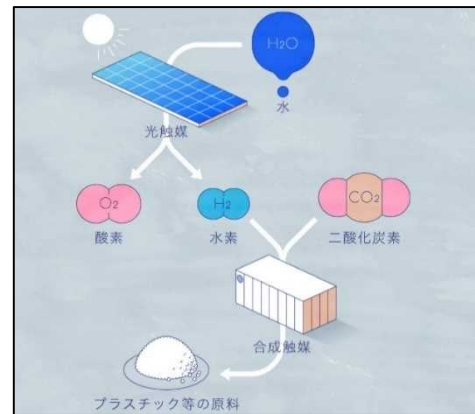
- ・国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) は、CO<sub>2</sub> を資源として捉え、炭酸塩やコンクリート製品・コンクリート構造物へ CO<sub>2</sub> を固定化し有効利用する技術開発を行うとともに、プロセス全体の CO<sub>2</sub> 削減効果および経済性の評価を行うための技術開発に着手している。
- ・人工光合成では太陽光エネルギーと光触媒を使い、水を酸素と水素に分解。その水素を二酸化炭素と反応させ、化学原料を作り出す。NEDO の人工光合成プロジェクトにおいて、国内の化学メーカーや大学・国研等の研究機関と共同開発を進めている。
- ・また、液化 CO<sub>2</sub> 海上輸送事業に関して、京都府舞鶴市の石炭火力発電所で排出された CO<sub>2</sub> を出荷基地で液化し、船舶での輸送を経て北海道苫小牧市の基地で受け入れる、一貫輸送システムの運用および操業に必要な技術を検証する取り組みが行われている。

【導入する上での留意点】

- ・競争力のある効率的な CO<sub>2</sub> 回収技術を確立するとともに、回収 CO<sub>2</sub> をカルシウム等のアルカリ源に固定する炭酸塩化技術や利用促進技術により国内で CO<sub>2</sub> を循環・利用するシステムを確立していく必要がある。
- ・人工光合成においては、太陽光エネルギーからどれだけの効率で水素を作り出すことができるかという「エネルギー変換効率」が重要。



資料: カーボンリサイクル関連プロジェクト(コンクリート・セメント分野)の研究開発・社会実装の方向性、経済産業省より



資料: 三菱ケミカルホールディングス HP より

図 50: 左) CO<sub>2</sub> 回収型セメント製造プロセス 右) 人工光合成のプロセス

○カーボン・クレジット

【概要】

カーボン・クレジットとは、省エネ・再エネ設備の導入や森林管理等による温室効果ガスの排出削減・吸収量といった CO2 削減に価値を付けたものであり、カーボン・クレジットの活用による成果についても CO2 削減量や吸収量として計上することができる。

カーボン・クレジットには、政府主体の J-クレジット制度や二国間クレジット(JCM)、海外の民間主体のボランタリークレジットが存在する。また、国内においても、ブルーカーボン・オフセット・クレジット制度が開始されるなど、新規技術等の普及において、カーボン・クレジットの活用が期待されている。

【技術開発・導入状況】

・経済産業省「世界全体でのカーボンニュートラル実現のための経済的手法等の在り方に関する研究会」の中間整理(令和3年8月)では、成長に資するカーボンプライシングの手法の1つとして、クレジット取引について、質を確保しつつ、量を拡大することが必要であると位置づけた上で、政策対応の方向性として「カーボン・クレジットの位置づけの明確化」と「カーボン・クレジット市場の創設」を示したところ。今後、経済産業省にて、有識者を交え専門的な検討を行う予定。

・また、政府主体のクレジット制度の一つである J-クレジット制度は、2013 年度に開始され、日本国温室効果ガスインベントリに計上される排出量の削減や吸収量の増大に資する取組を対象としており、経済産業省・環境省・農林水産省で連携して運営を行っている。地球温暖化対策計画で 2030 年度の目標設定を行っており、令和3年10月22日に、令和2年度の結果を踏まえ、2030 年度の目標を 1,200 万 t から 1,500 万 t への引き上げを行っており、さらなる活性化を図る。

【導入する上での留意点】

・政府におけるカーボン・クレジットの更なる創出・活用の方向性については、経済産業省にて、上述のとおり検討を行っている段階。

・また、クレジット取引の中でも市場規模の大きいボランタリークレジットについては、国際的イニシアティブである TSVCMI や VCMI において議論が行われているため、これら動向を追うことも重要。

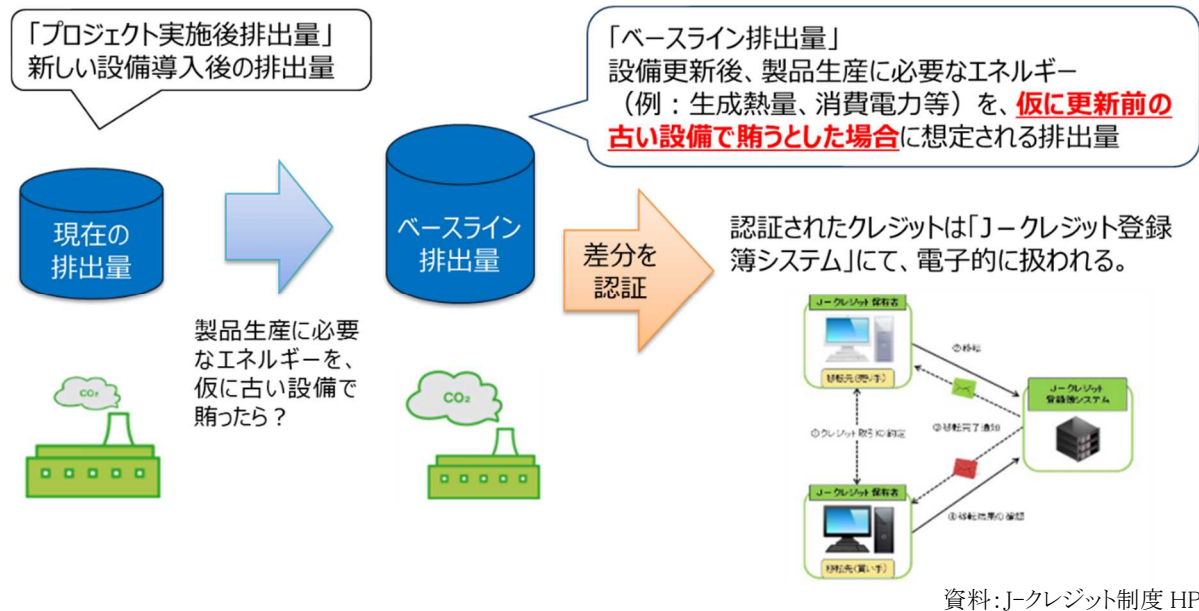


図 51:カーボン・クレジットの認証の仕組み(例)

○環境配慮型コンクリート

【概要】

従来、コンクリート原料のセメント製造過程で CO<sub>2</sub> が発生し、工事における CO<sub>2</sub> 排出源となっている。製鉄所の高炉において副生されるスラグの微粉末や、火力発電で副生されるフライアッシュを混ぜることで、セメント使用量を減らし、CO<sub>2</sub>の排出量を削減する技術が実用化されている。さらに近年、特殊混和材を併せて利用することで、製造過程において CO<sub>2</sub> を吸収する技術の実用化が進められている。

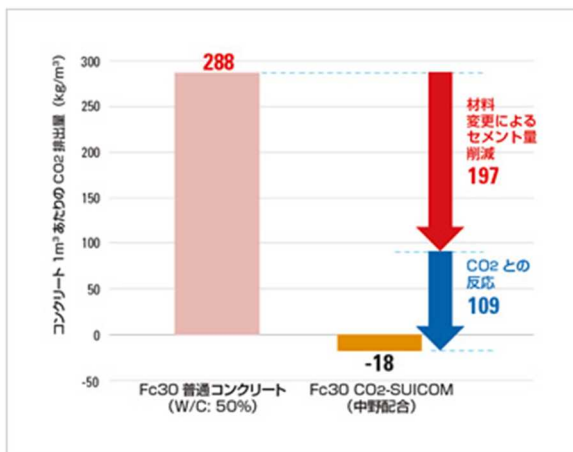
【技術開発・導入状況】

・中国電力、デンカ、鹿島建設の共同研究により、CO<sub>2</sub>-SUICOM(スイコム)を開発した。中国電力・三隅発電所(石炭火力発電)の排出 CO<sub>2</sub>、副産物(フライアッシュ)をセメントの代替材料として使用し、特殊混和剤をと併せ使用することで、セメント使用量削減によるセメント製造由来 CO<sub>2</sub> の排出削減、コンクリート養生過程で CO<sub>2</sub> 吸着を特色としている。従来コンクリートの CO<sub>2</sub> 排出量 288 kg/m<sup>3</sup> に対し、同製品は CO<sub>2</sub> 排出量-18 kg/m<sup>3</sup> であり製造過程全体での CO<sub>2</sub> 吸収を実現している。

【導入する上での留意点】

・CO<sub>2</sub>-SUICOMのような CO<sub>2</sub> 吸収型コンクリートは現状ではコストが高く(=既製品の約3倍の 100 円/kg)、コンクリートの中の鉄骨が錆やすいため(CO<sub>2</sub> 吸収により酸化しやすくなるため)、用途が限定されるという課題が存在する。

資料:「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」、鹿島建設 HP



資料:鹿島建設 HPより

図 52:コンクリート1m<sup>3</sup>当たりの CO<sub>2</sub> 排出量の試算結果及び炭素化養生設備

○環境に配慮した建設資材の利用による CO2 排出量の削減(カルシア改質材、カルシア落下混合船)

**【概要】**

カルシア改質土は、浚渫土とカルシア改質材を混合した土である。浚渫土の強度増進、水中投入時の濁りの発生抑制等の特徴があり、浅場・干潟の造成材、埋立材、護岸の裏込材等として使用されている。

カルシア改質土では、浚渫土に含まれる有機物の分解が抑制されるため、浚渫土を埋立材等としてそのまま利用する場合と比較して、CO2 の排出抑制効果が期待される。

カルシア改質材は産業副産物であり、セメントを固化材として使用した場合と比較して、材料由来の CO2 排出量を 96%削減できるとの試算がある。

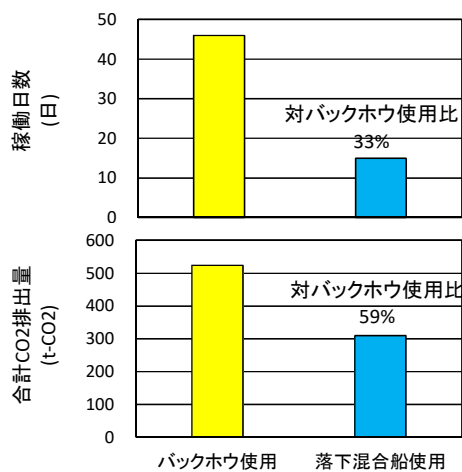
また、カルシア落下混合船は、リクレーマ船上のコンベアに浚渫土とカルシア改質材を所定の比率で供給し、コンベアからの落下時に両者を混合するものであり、2,500~4,000m<sup>3</sup>/日の大量施工が可能であるため、バックホウにより混合する施工方法と比較して、工期の短縮による CO2 排出量の削減が可能である。

**【技術開発・導入状況】**

- ・カルシア改質土による CO2 固定効果については、最大で 25kg-CO2/ m<sup>3</sup>との試算がある(現在検証中)。
- ・カルシア落下混合船は 2020 年に建造され、2021 年 11 月現在で約 16 万 m<sup>3</sup>の施工実績がある。
- ・埋立てや浅場造成では、カルシア落下混合船により作成したカルシア改質土を直接水中に投入することにより作業の効率化が可能である。
- ・バックホウ混合は、小規模施工において経済的な施工が可能ではあるが、土砂改良の処理能力が低い一方、落下混合船は土砂改良能力が高いため、土砂改良にかかる施工の効率化が可能である。
- ・カルシア改質土による5万 m<sup>3</sup>の浅場造成を想定して、カルシア落下混合船を利用した場合とバックホウによる混合の場合と比較した結果、混合・投入過程の CO2 排出量で 41%削減(対バックホウ使用比 59%)が可能となった。

**【導入する上での留意点】**

- ・CO2 の排出量削減効果は、現場の施工条件によって変化する。



試算条件  
 ・カルシア改質土 50,000 m<sup>3</sup>(20%配合)

資料: 五洋建設パンフレット、提供資料

図 53: 左)カルシア落下混合船オーシャン3号 右)CO2 排出量等試算結果例

## ○作業船(グラブ浚渫船)の省エネ化

### 【概要】

港湾工事に使用される作業船に搭載されている起重機について、巻下げ時に主巻モーターを発電機として得られる回生電力を利用した省エネ化の事例がある。また、従来はディーゼルで稼働しているものが多いものの、電力との併用によるハイブリッド型や電動型等の導入に向けた検討が行われている。

### 【技術開発・導入状況】

・ハイブリッドグラブ浚渫船の事例(第 381 良成丸)では、グラブ巻き下げ時に発生するエネルギーを回生電力として蓄え、グラブ巻き上げ時に利用し、燃料消費量を25%~30%低減できるとともにCO2などの排出ガスも大幅に削減。

### 【導入する上での留意点】

・国内での作業船の電動化については検討段階であり、実証等を経て早期の実用化を目指す。



資料:小島組 提供資料より

図 54:上)第 381 良成丸 下)ハイブリッドシステムの概念図



○作業船(深層混合処理船)の省エネ化

【概要】

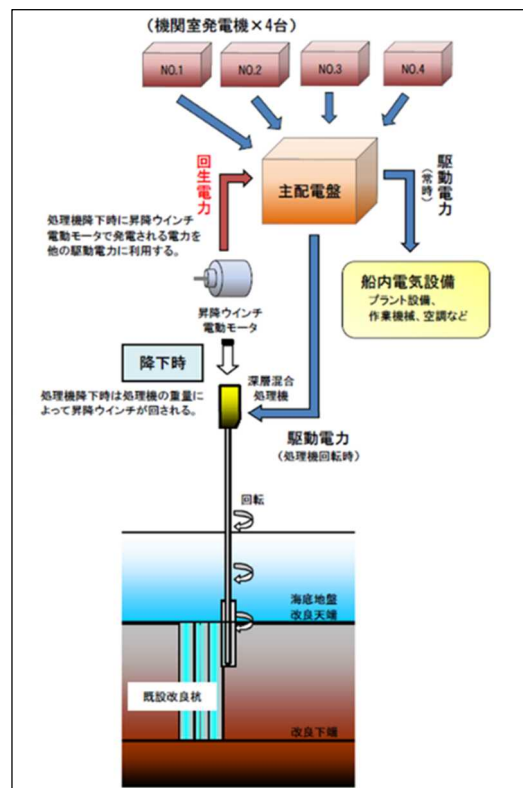
港湾工事に使用される作業船に搭載されている起重機について、巻下げ時に主巻モーターを発電機として得られる回生電力を利用した省エネ化の事例がある。また、従来はディーゼルで稼働しているものが多いものの、電力との併用によるハイブリッド型や電動型等の導入に向けた検討が行われている。

【技術開発・導入状況】

・環境に配慮した深層混合処理船の事例(DCM6号船)では、深層混合処理機昇降ウインチの駆動部を電動モーターとし、処理機降下時に発生するエネルギーを回生電力としてバスラインに還元することで、発電機の出力を抑制し省エネ化を実現。

【導入する上での留意点】

・国内での作業船の電動化については検討段階であり、実証等を経て早期の実用化を目指す。



資料: 東洋建設 HP より

図 55: 左) DCM6号船 右) 回生電力システム概要図