

発表No.A2-1

燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型
産学官連携研究開発事業／
燃料電池の多用途活用実現技術開発／
港湾荷役機器ラバータイヤ式門型クレーンの水素駆動
化（水素燃料電池の採用） 開発事業

市村欣也
株式会社三井E & S
2023年7月14日(金)

連絡先：
株式会社三井E & S
<https://www.mes.co.jp/contact.html>

事業概要

1. 期間

開始 : 2021年8月

終了 : 2022年2月

2. 最終目標

ラバータイヤ式門型クレーン（以下、RTGC；Rubber Tired Gantry Crane）に搭載されている発電装置を従来のディーゼルエンジン発電機セットから水素燃料電池（以下、FC; Fuel Cell）、補機類、水素タンク、制御盤等で構成される電源装置であるFCパワーパック（以下、FCPP）に置き換え、FCで水素を反応させることにより得られた電力を利用することで駆動するRTGC（FC-RTGC）を開発する。これにより従来の自家用車や家庭用とは異なる分野におけるFCの多用途展開を実現することを目的とする。



ディーゼルエンジン
発電機セット



FCパワーパック

図1 FC-RTGC

3.成果・進捗概要

21年度

FC選定およびFCをRTGCの機上に搭載する為の機械設計ならびにFCPPと大型蓄電池の組み合わせにてRTGCでの荷役に必要な電力を供給する為のシステム設計の結果、FCPPの機上搭載およびFCで発電した電力を動力源としたRTGCは実現可能であることが確認できた。

22年度

自社で所有する試験用RTGCにFCPPを含む機器を搭載し、実際のコンテナターミナルでの荷役を模した試験（実荷役に用いられているコンテナ、トラック・シャーシを使用）を行い、水素駆動RTGCが従来のディーゼルエンジン発電機セットを搭載したRTGCと同等の荷役能力を発揮することを実証した。加えて、荷役に必要な水素量の検証を行った。

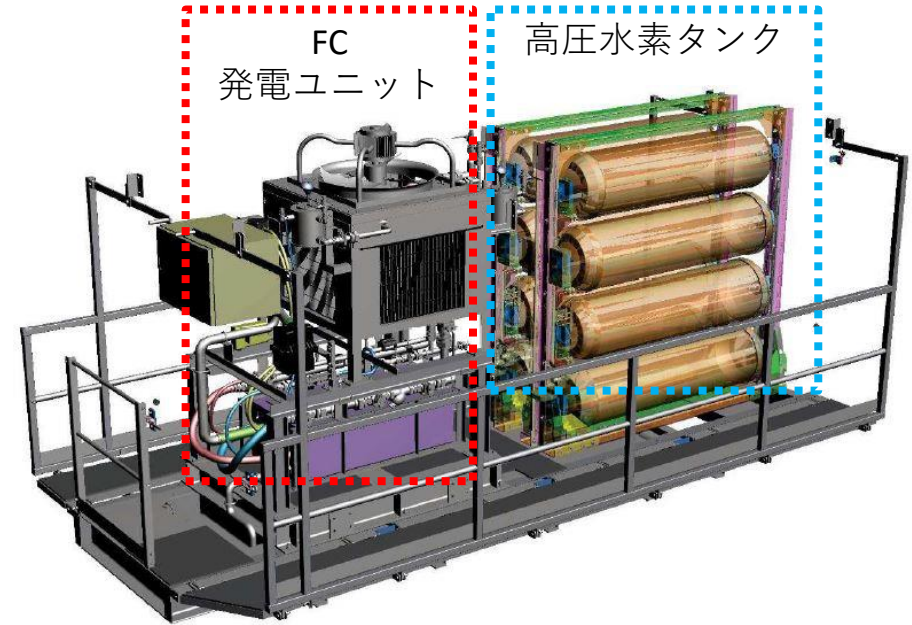


図2 FCパワーパック

1. 事業の位置付け・必要性

今日、国際貨物物流の多くを海上コンテナ輸送に頼っており、コンテナターミナル（以下、CT）では、コンテナ船に積み込むまでの間、あるいはコンテナ船から荷揚げした後に荷主が引き取りにくるまでの間、一時的にコンテナを蔵置している。現在、CTにおけるコンテナ蔵置作業にはRTGCが広く使用されている。

従来のRTGCは機上にディーゼルエンジン発電機セットを搭載し軽油を燃焼して電力に替え、荷役を行う為の各種電動モータを駆動している。

RTGCは、ラバータイヤ式の走行装置を有しているため機動性が高く、作業の繁忙度に応じて必要な蔵置エリアに配置出来る為、より少ない基数で効率的なCTの運営が可能となる。機動性を維持するため、RTGCの機上にディーゼルエンジン発電機セットを搭載し軽油を燃焼して電力に替え、荷役を行う為の各種電動モータを駆動している。



1. 事業の位置付け・必要性

以前より、CTにおいてRTGCを含む港湾荷役機器から排出される二酸化炭素やディーゼル排気ガス中の有害物質が問題視されており、ディーゼルエンジンの排出ガス規制やディーゼルエンジン発電機セット及び蓄電池を用いたハイブリッドシステムの採用による省燃費化で対応してきた。更に近年では、海外においては米国ロサンゼルス(LA)・ロングビーチ(LB)港にて2030年には港湾の排出ガスをゼロにするクリーン・エア・アクション・プラン（ゼロエミッション化）が推進されており、国内では国土交通省が水素等を活用したカーボンニュートラルポート（CNP）を形成を推進している。これらの実現には、港湾荷役機器のゼロエミッション化が不可欠であり、中でもCTにおける排出ガスの最も大きなウェイトを占めているRTGCを、従来のディーゼルエンジン発電機セットによる軽油駆動から、FCPPを搭載し水素駆動化することが重要である。現状では水素駆動RTGCは市場に存在しておらず、早期に開発し投入する必要がある。



図3 CNPイメージ(出展:国土交通省)

2. 研究開発マネジメントについて

事業目標

水素駆動のRTGCが従来のディーゼルエンジン発電機セットで駆動するRTGCと同等の荷役能力発揮を達成することを目標とする。

スケジュール

	21年度			22年度			
	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
事業開始	★						
FC等市場調査・検討	→						
FC-RTGC機械・システム設計	→						
FCPP機器調達・組立・試運転			→				
RTGCへ調達機器搭載					→		
FC-RTGC動作試験						→	
FC-RTGC評価							→

2. 研究開発マネジメントについて

研究開発の実施体制

主任研究者；運搬機システム事業部 企画管理部 戦略企画グループ長 市村 欣也
経理責任者；大分工場 業務管理部 経理グループ長 岡野 歩

事業担当窓口； 市村 欣也
検査支払担当窓口；岡野 歩

(株)三井E&Sマシナリー大分工場
統括 市村 欣也

RTGCの水素駆動化にかかる制御システムの開発
大井 孝二、山河 靖児、海老原 賢治、
田内了、南園 卓成、黒田 諒

RTGCの水素駆動化にかかる実証実験対応
丹治 俊之、守谷 博行、山崎 泰孝、
安達 浩平、中村 昌悟、金 東賓

(株)三井E&Sマシナリー本社
主任研究者 村山 哲郎

RTGCの水素駆動化にかかる
FCパワーパックの開発
村山 哲郎、柴田 尚人

2. 研究開発マネジメントについて

会社組織の制約を乗り越えるため、下記のマネージメントを行った。

1. 組織形態

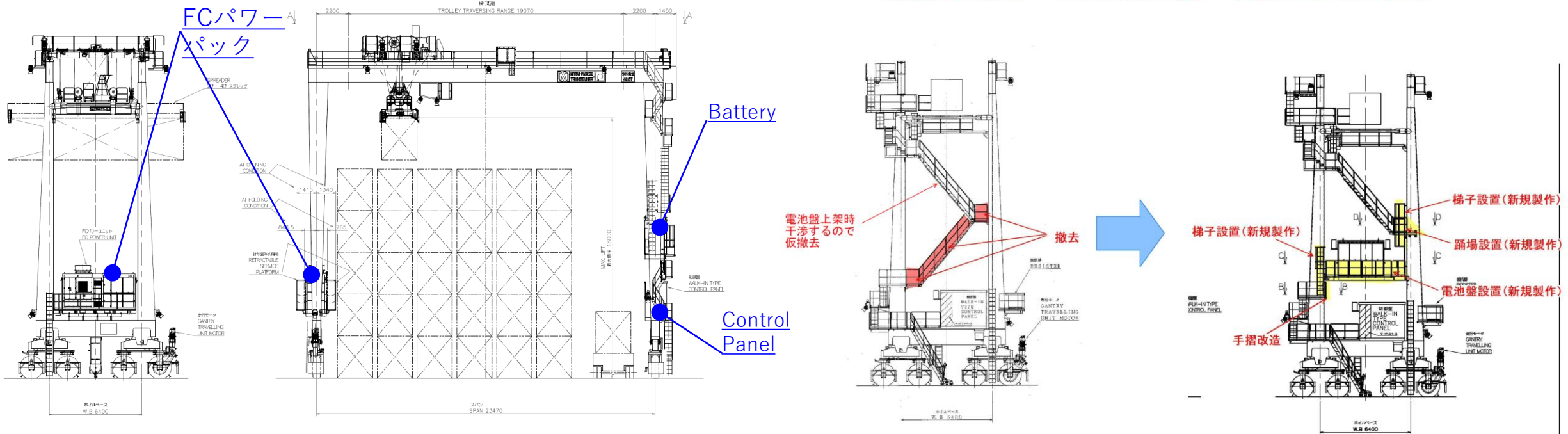
- A) 事業部をまたぐプロジェクトであることから、**マトリクス型組織**を採用し、企画部にプロマネをアサイン。
- B) プロジェクトの調整は原則としてプロマネの指示の下、プロジェクトチーム内で直接実施、**早い意思決定を実現**した。

2. 進捗管理

- A) 大分、東京に開発拠点があることから、隔週でのビデオ会議を**34回以上**実施
- B) 必要により各機能部門長が同席し、部門間調整を実施した。
- C) 進捗会議では下記の点の共有を行った
 - ① 基本設計条件
 - ② 全体スケジュール
 - ③ 所掌範囲の調整
 - ④ 課題の分担
 - ⑤ 予算と実績の確認

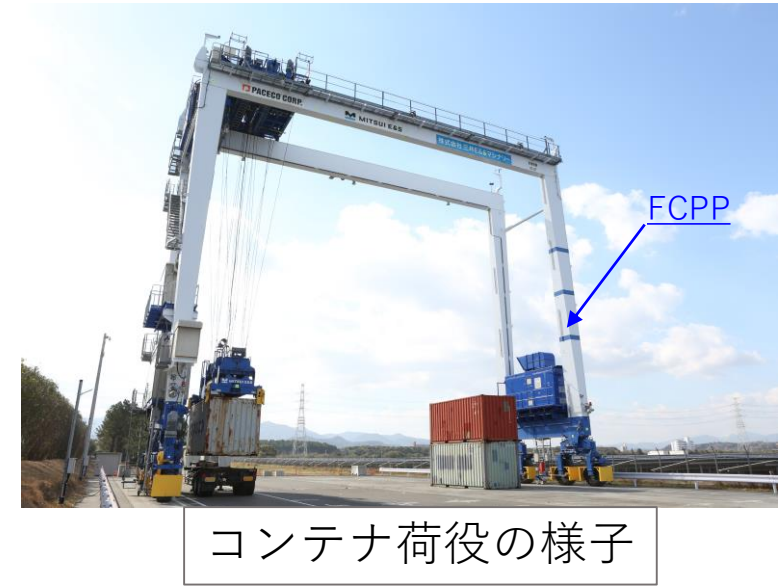
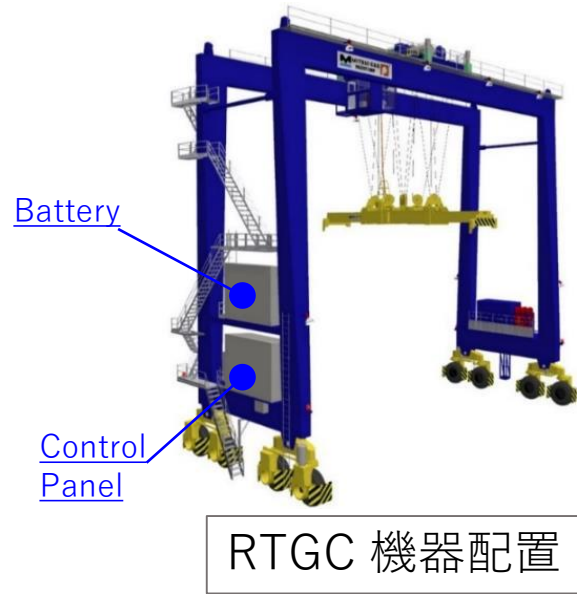
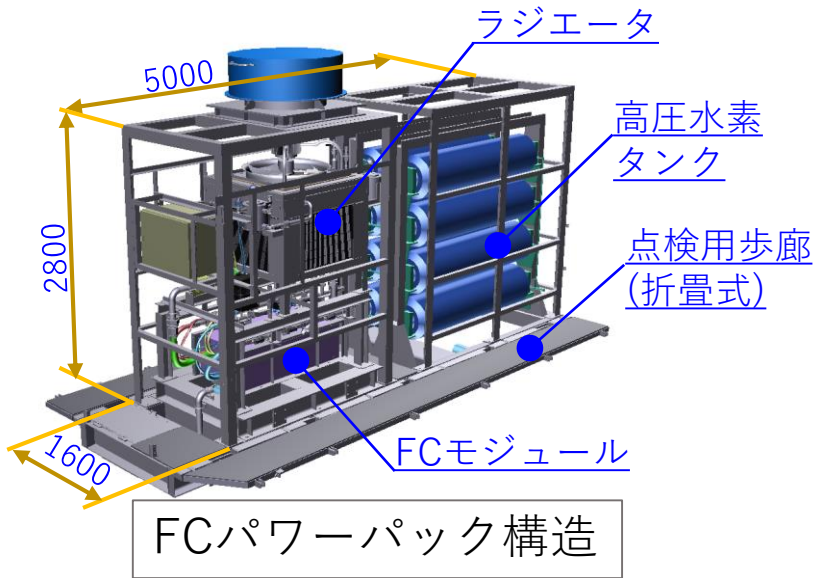
付帯物改造

階段、踊場の撤去 → 追加先行品の取付 → 新規付帯物の設置、改造



試験用RTGCをFC駆動化するにあたり、以下の改造を実施した。

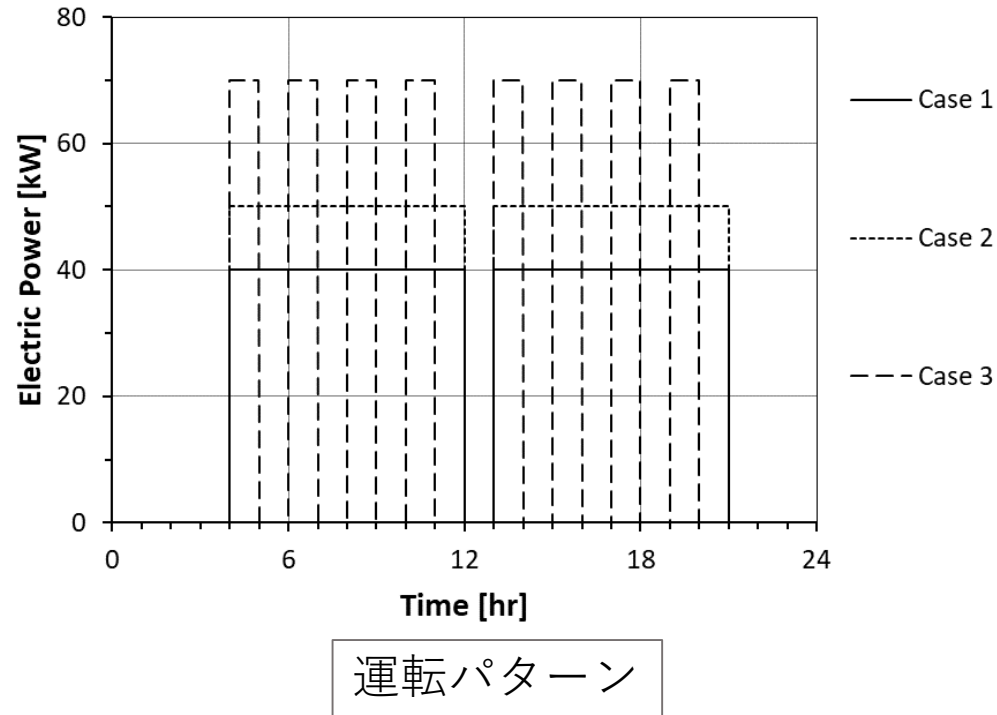
- 500kVA級のディーゼルエンジン発電機セットを降ろし、FCパワーパックを搭載
- リチウムイオン電池を格納したバッテリー盤（自社手配）を追加搭載
- 既存のクレーン制御盤内の回路改造
- FCパワーパック・クレーン制御盤間の通信および補機動力用ケーブルを追加敷設



FCパワーパック仕様

- 水素駆動RTGCは、コンテナ重量、荷役パス、荷役速度等により回生動力、荷役負荷が変化します。
- このような負荷変動をバッテリー出力調整で吸収することで、FCは定出力で運用が可能です。
- FCの定出力連続運用を行うことにより、高効率、FCの長寿命化が期待できます。

FCモジュール定格出力	60kW (DC 650V)
高圧水素タンク圧力	70MPa
高圧水素タンク容量	32 kg-H ₂ (実証機) 64 kg-H ₂ (実機、16h運転に相当)
水素ガス純度	ISO 14687-2: 201 (Type 1, Grade D)
充填プロトコル	SAE J2601-1, JPEC-S 0003



評価条件

- 16時間稼働する中で **8時間連続で運転** する運用を想定
 - ケース1 40kW出力
 - ケース2 50kW出力
- 16時間稼働する中で **1時間稼働、1時間停止** を繰り返す間欠運転を想定
 - ケース3 70kW出力

シミュレーションにより、FCパワーパックの使用可能時間に関する運転パターンの影響を評価し、FCパワーパックの運転方法を決定した。

FCパワーパックに求められる仕様

- 一般的なコンテナターミナルのRTGは1シフトあたり約8時間稼働しており、燃料補給の間隔を考慮した場合、最低でも1日の稼働が求められる。
- 要件を満足するために2シフト運転する必要がある。このことからFCパワーパックは最低でも16時間運転できる仕様が求められる。

結果

間欠運転（ケース3）に比べ、連続出力（ケース1,2）がより長く使用可能時間を確保することが確認できた。実際の実出力は、荷役作業の状況によって異なることから、連続出力をベースに荷役条件に合わせて制御を行う。

3. 研究開発成果について

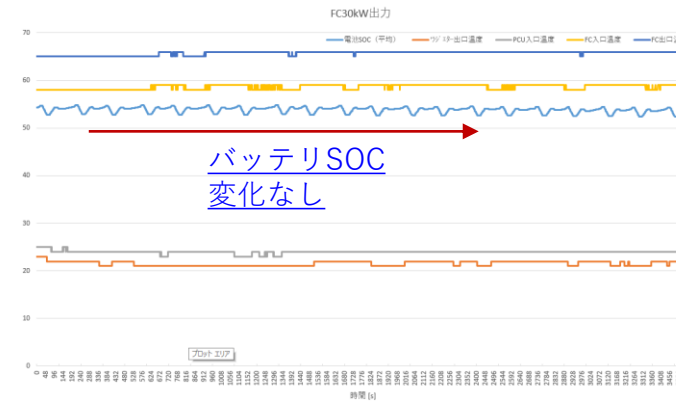
水素駆動RTGCの荷役能力の確認

連続荷役サイクル試験を行い、FC出力とバッテリー容量の確認を行った。

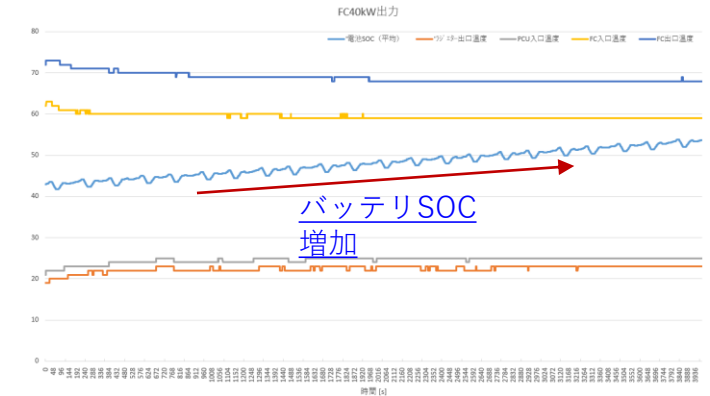
連続サイクル試験中のバッテリーSOCの経過

連続荷役サイクル試験条件

項目	荷役能力
定格	40.6トン
巻上速度(コンテナ吊)	23m/min(0.38m/sec)
巻上速度(空荷)	52m/min(0.86m/sec)
横行速度	70m/min (1.16m/sec)
走行速度	90m/min(1.5m/sec)
1時間当たりの荷役個数	20個



FC30kW



FC40kW

連続荷役サイクル試験結果

FC出力	30kW	40kW
開始前	54.30%	43.00%
終了時	53.80%	53.70%
結果	-0.50%	10.70%



40.6トン模擬コンテナの揚荷

FCパワーパック出力を一定とし、バッテリーSOCの増減を確認した。その結果、FC出力30kWでバッテリーSOCが平衡することを確認した。本成果から実荷役相当のシミュレーションを行い、水素駆動RTGCが従来のディーゼル発電機セットで駆動するRTGCと同等の荷役能力を発揮出来ることを実証することができた。



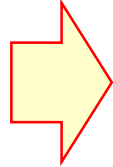
3. 研究開発成果について

RTGに水素の充填がされるまでの流れ



水素製造所

佐賀 カードル19.6MPa充填

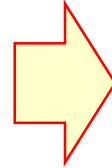


カードルをトラック輸送

20本/30本と複数のシリンダーを架台に組んだ集合容器。

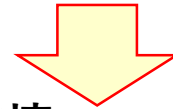
大分工場では20本,30本のカードルを併用

容器構成:	50L×30本	50L×20本
充填圧力:	19.6MPa	19.6MPa
有効水素量 ~2.0MPa:	18.9kg	12.6kg



水素貯蔵・充填施設

カードルを保管 (第二種高圧ガス貯蔵所)

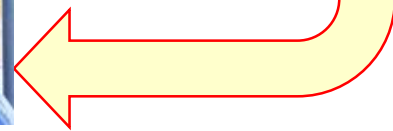


水素充填

19.6MPaからRTG機上の水素タンクに差圧充填



第二種高圧ガス製造施設



RTG FCパワーパック



レセプタクル

RTGの高圧水素タンクに接続(ワンタッチ)



3. 研究開発成果について

記事投稿

タイトル	雑誌名（発行者）	発行年月
水素駆動RTGの開発と課題	港湾（日本港湾協会）	2022年1月
水素駆動型RTGの開発と課題	CDIT（沿岸技術開発センター）	2021年10月
水素駆動RTGの開発と荷役機械の脱炭素化	港湾荷役（港湾荷役システム協会）	2021年9月

講演

タイトル	イベント名	発表年月
Zero Emission RTG	Mission Innovation; Clean Hydrogen Mission Workshop	2023年1月
Zero Emission RTG	TOC Asia 2022, Singapore TECH TOC	2022年11月
MITSUI-PACECO® Zero-Emission TRANSTAINER®	名古屋港・ロサンゼルス港 第2回 港湾における環境及び業務効率化会議	2022年6月
港湾クレーンの脱炭素化 - 水素燃料電池搭載型タイヤ式門型クレーン	日本船舶海洋工学会 東部支部ワークショップ 講演会	2022年3月

3. 研究開発成果について

プレス発表会 2022年4月18日 於 三井E&S大分工場 参加者；NEDO、報道各社

グラフィック

三井E&S FC駆動の港湾用クレーンを開発 24年春からLA港で荷役試験をスタート

三井E&Sは新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)と共同で、燃料電池(FC)で駆動する港湾用クレーンを開発し、4月18日に同社の大分工場

で報道関係者に公開した。港湾で船から荷揚げしたコンテナを一時的に蔵置(仮置き)する際、「ラバータイヤ式門型クレーン(RTGC: Rubber Tire Gantry Crane)」という荷役機器が広く用いられる。RTGCは機上に搭載されたディーゼルエンジン発電機セットでエネルギーを得るため、二酸化炭素(CO2)の排出や排ガス中の有害物質が問題となってきた。三井E&Sはハイブリッド型RTGCを開発・市場投入するなどしてこの問題に対応してきた。

こうした背景を踏まえ、三井E&SはNEDOの「燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業」を通じてFC駆動RTGC「ゼロ・エミッショントランスレーナ(ZE-TT)」を開発した。従来のハイブリッド型RTGCが発電機

セットと蓄電池で構成されるのに対し、ZE-TTは発電機セットをFC発電ユニットと高圧水素タンクからなる「FCパワーバック」に置き換えた。また、蓄電池を大容量化することで、パワーバックを小型化した。

大分工場で実施した荷役実証試験では、三井E&Sが所有する試験用RTGCにFCパワーバックなどを搭載し、実際の荷役を模した作業を行った。試験の結果、クレーンの動作やFCパワーバックの熱管理など全ての検証内容について、実際の作業に適用できることを確認した。

今後、三井E&SとNEDOはZE-TT1台を米国ロサンゼルス港に持ち込み、2024年4月から26年3月末にかけて荷役実証試験を予定している。また、水素供給インフラの整備に備え、三井E&S単体では容易にZE-TTへの改造が可能なハイブリッド型RTGC「ニアゼロミッション型トランスレーナ」を市場投入済みだ。



荷役作業を模倣するFC駆動RTGC「ゼロ・エミッショントランスレーナ」

12 KAIUN 2023.6



- 1 発電ユニットと高圧水素タンクで構成されるFCパワーバック
- 2 水素でFCを稼働するため使用時には水しか出さない
- 3 三井E&Sの赤松昭彦執行役員は「ZE-TTの開発には大きな社会的意義がある」と胸を張る
- 4 FCパワーバックへの水素充填には専用の装置を使用する

2023.6 KAIUN 13

MITSUBI E&S

News Release

No. 10
2023年4月18日

株式会社三井E&S
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)

世界初、燃料電池を動力源としたラバータイヤ式門型クレーンの開発と
実証試験に成功 —港湾荷役機器分野で、温室効果ガスの排出量削減に貢献—

株式会社三井E&S(本社：東京都中央区、代表取締役社長：高橋 岳之、以下「当社」)は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下「NEDO」)の「燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業」に取り組んでいましたが、今般、NEDOと共同で世界初となる燃料電池(FC)を動力源としたラバータイヤ式門型クレーン(RTGC)の開発とその実証試験に成功しました。

従来のハイブリッド型RTGCには、ディーゼルエンジンなどで構成される発電機セットとリチウムイオン蓄電池が搭載されていますが、今回発電機セットをFCや水素タンクなどで構成されるFCパワーバックに置き換え、リチウムイオン蓄電池を大容量化しました。これにより、FCパワーバックで発電したエネルギーを全て大容量蓄電池に蓄積し、大容量蓄電池から供給される電力で荷役することができるため、小型なFCで常運転ができるRTGCを実現しました。

また、実際のコンテナターミナルでの荷役を模した実証試験では、クレーンの動作やFCパワーバックの熱マネジメントなどの検証を行い、実作業に適用可能なことを確認しました。

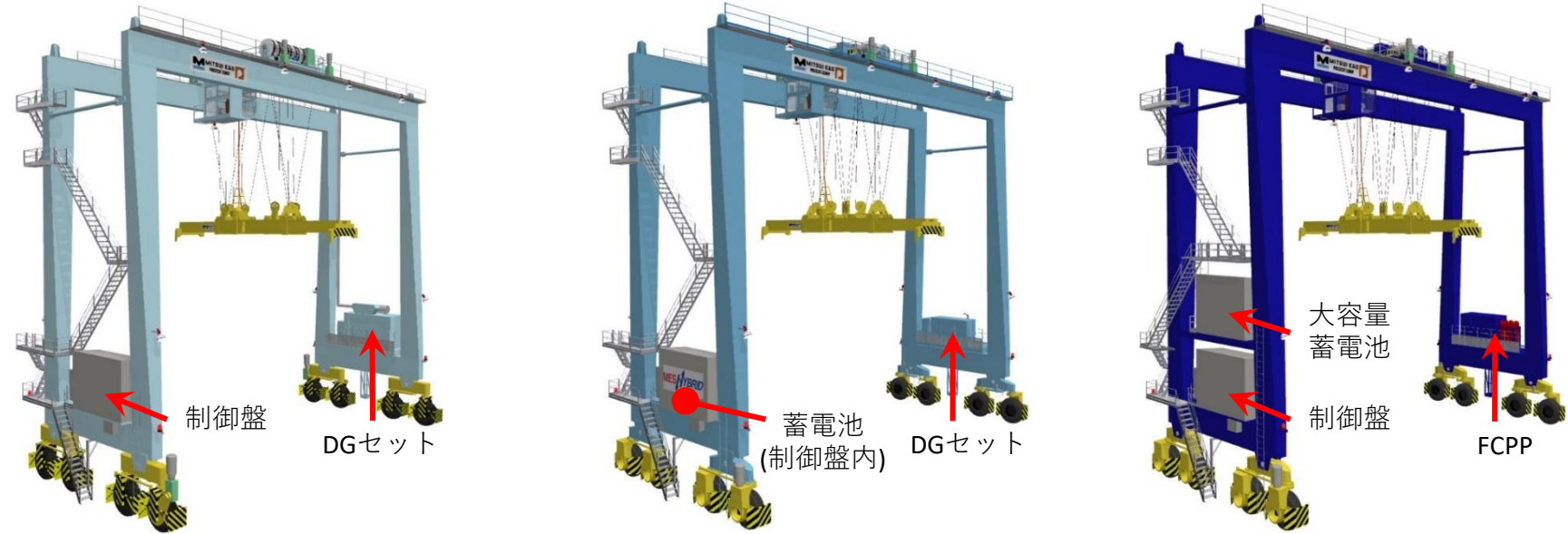
今後、当社はNEDO事業の一環で、今回開発したRTGCの実荷役環境下での稼働状態の安定性などを検証する実証事業を米国・ロサンゼルス港において実施します。これらの取り組みにより、港湾荷役機器分野における温室効果ガスの排出量削減に貢献します。



図1 今回実証試験に成功したFCパワーバック搭載のRTGC(左：全体像、右：FCパワーバック搭載部分)

引用； 海運（日本海運集会所）2023年6月号

3. 研究開発成果について



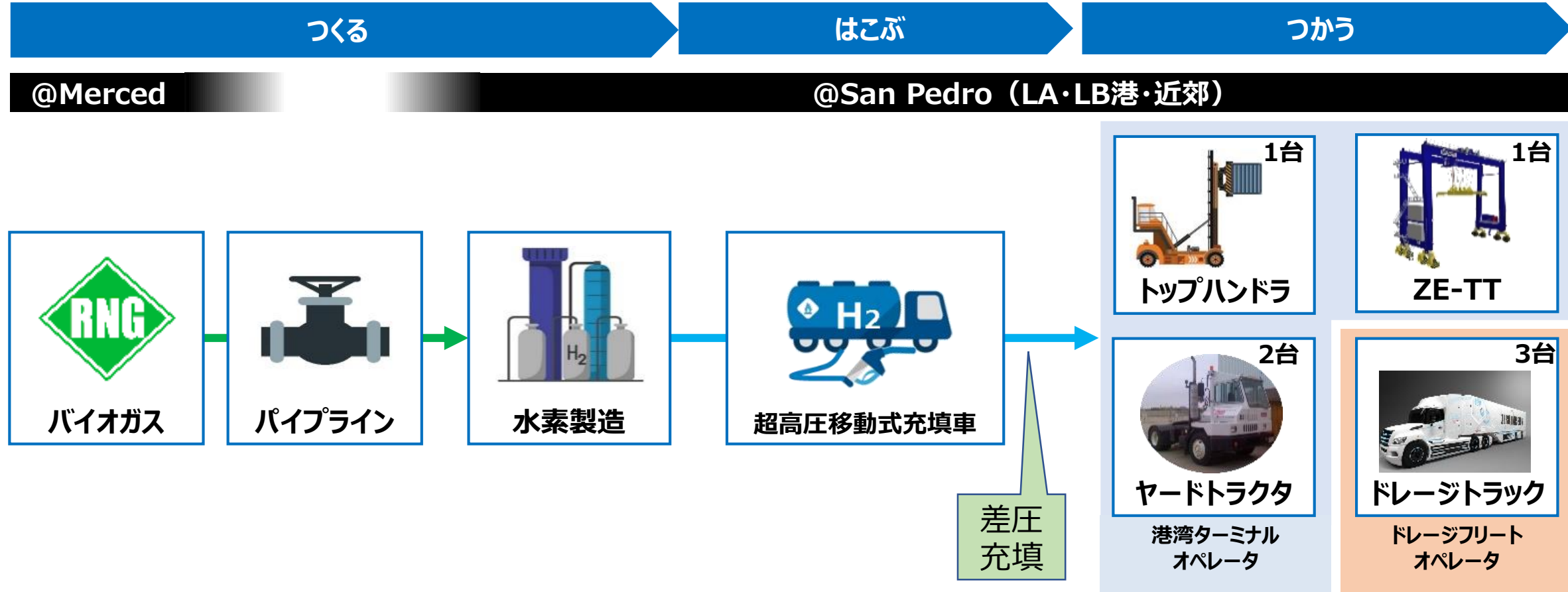
	従来型	ハイブリッド型	ゼロミッション(FCPP搭載)型
発電機	500kVA級ディーゼルエンジン	220kVA級ディーゼルエンジン	100kVA級FCPP
軽油消費	20L/時間	10L/時間	-
CO2時間排出量※/基	51.6kg/時間	25.8kg/時間	排出なし
CO2年間排出量/基	約206トン	約103トン	排出なし
従来型比CO2年間削減量/基	-	約103トン	約206トン
国内推定基数	約300基	約180基	-
FC-RTGCに置換で削減されるCO2/年	約61,800トン	約18,540トン	-

国内のRTGCを全てFC-RTGCに置換することで**合計約80,340トンCO2/年を削減可能**

※出展 環境省公表資料より、軽油CO2排出係数：2.58トン／kL
https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran_2020_rev.pdf

4. 今後の見通しについて

LA港実証試験概要



- 港湾における地産地消型クリーン水素サプライチェーンの社会実装および実証を行う
- 実使用環境下での運用を通して、水素充填作業が荷役に及ぼす影響や連続稼働時間の検証等の分析を行う

4. 今後の見通しについて

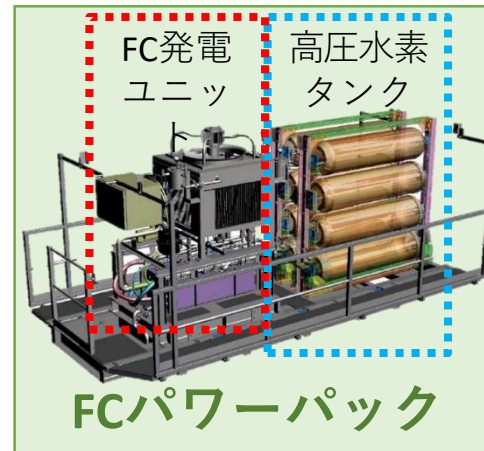
ニア・ゼロエミッション (NZE) トランスレーナ®



従来ハイブリッド型より、
さらに燃費を向上

小型ディーゼル
エンジン発電機セット

ゼロエミッション (ZE) トランスレーナ®



水素供給体制が整った時点で
FCパワーパックに換装

	NZE トランスレーナ®	ZE トランスレーナ®
発電機	100kVA級ディーゼル	100kVA級水素燃料電池
軽油消費	6L/時間 (従来型比約70%削減、従来ハイブリッド型比約30%削減)	水素燃焼
普及状況	国内6機納入・米国他19機受注済	22年度開発完了