

水素関連機器の社会実装拡大事業業務

報 告 書

令和5年3月

日本環境技研株式会社

水素関連機器の社会実装拡大事業業務

報告書 目次

1. 事業の目的と概要	
(1) 事業の目的	1
(2) 試験実証場所	2
(3) 試験実施体制	2
(4) 全体スケジュール	3
2. FCFL及び水素充填機の貸出による試験運用	
(1) 実施方法	4
(2) 試験実証準備	9
(3) 実施スケジュール	18
3. 試験運用によるデータ収集・分析	
(1) 試験運用実証事業者でのFCFLの試験運用における稼働時間や稼働燃費、それに応じた必要水素量、水素供給価格等のデータの収集及び分析	19
(2) 実証試験におけるFC式と他方式とのコスト・CO2 排出量の比較	31
(3) 水素サプライチェーンモデルのコスト試算及び比較	35
(4) 水素サプライチェーン別FC式と他方式とのコスト比較	43
(5) 試験運用実証事業者へのアンケート調査	45
4. 水素関連機器（FCFL含む）の社会実装に向けての課題抽出・解決策の提示	
(1) 本事業の成果	65
(2) 今後の課題・解決策	66

1. 事業の目的と概要

(1) 事業の目的

水素エネルギーは、エネルギーセキュリティと環境への適合をともに解決するため、3E+Sの実現に重要な役割を果たすエネルギーである。令和2年12月に国が策定した「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」においても、水素エネルギーは、発電・輸送・産業など幅広い分野で活用が期待されるカーボンニュートラルのキーテクノロジーであること、今後は新たな資源と位置づけることなど、益々期待が高まっている。

一方、水素利活用の現状については、水素の需要と供給のバランスが取れていないことに加えて、ユーザー側における具体的な水素利活用の手法や取組に課題を抱えており、地域における水素利活用が広がっていない。水素エネルギーは幅広い分野での活用が期待されているが、水素需要の見込みが立たず、多様化に向けた実証事業などが社会実装に結びついていないことが多い。

水素基本戦略においても、水素の社会実装に関して、既存の化石燃料コストとの比較から輸送部門における活用が現段階においては最も有望であると言われており、そのなかでも、定時・定量の水素需要を見込むことができる産業用・商用車両が有望視されている。現段階において国内で商用化されている産業用のFCモビリティはFCフォークリフト（以下、FCFL）のみであり、物流業や製造業などの既存フォークリフトユーザー等において導入促進を図ることが重要である。

山口県においても、環境省の地域連携・低炭素水素技術実証事業「苛性ソーダ由来の未利用な高純度副生水素を活用した地産地消・地域関連携モデルの構築」（平成27年度～令和3年度）により周南市地方卸売市場や下関漁港施設でのFCFL、スポーツジムや道の駅等での純水素燃料電池の運用実証などを行い、既に開発されている水素関連機器が将来的に普及していくことで、CO2排出量の大幅な低減が見込まれることが分かったところである。

一方で、環境省実証事業でのFCFLの試験運用においては、水素ステーションに隣接する場所での実証であり、FCFLの社会実装を促進するためには、水素ステーションに隣接しない場所での導入に向けた課題の抽出及び解決策の検討が必要である。

水素は新しいエネルギーであるため、その使い勝手や安全性など、社会受容性の向上が導入拡大に向けた一つの障壁となっている。また、既存機器や燃料と比較してコストが高い課題や高圧ガス保安法に係る規制も障壁となっている。中小企業や物流企業においては導入を検討するにあたってこのような情報を入手することに対してもハードルがある。

上記を踏まえて本業務では、県内の工場や空港においてFCFLの試験運用実証を行うことによりFCFLの使い勝手の良さや安全性などを明らかにするとともに、試験運用から得られるデータをもとに課題の抽出及び解決策の検討を行い、水素サプライチェーンの構築を進め、整理した情報を広く活用することなどによって、環境ニーズの高い大企業のみならず中小企業等におけるFCFLやその他の機器（純水素燃料電池等）の普及拡大を促進することに役立てる。

(2) 試験実証場所

本試験運用は、以下の2箇所のモデルで実施した。

①工場モデル

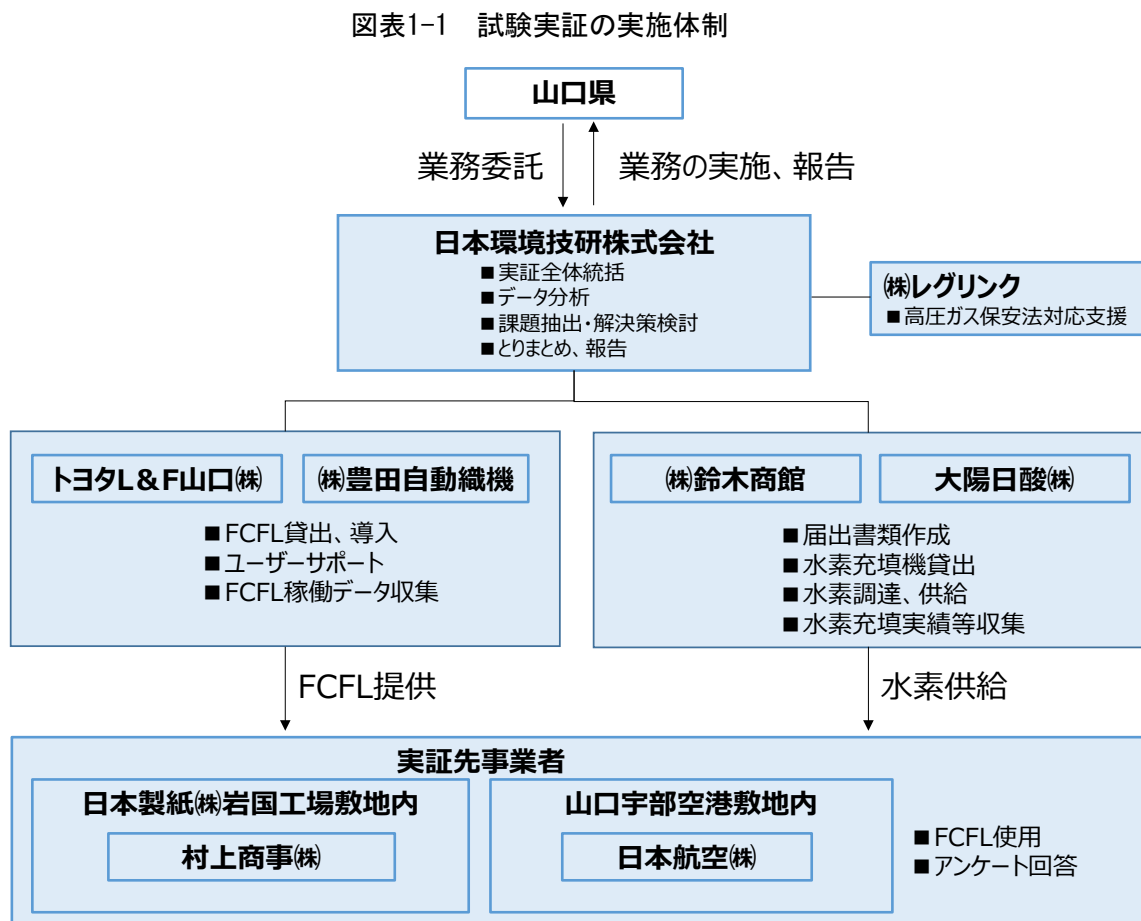
- ・実施場所：山口県岩国市飯田町2-8-1 日本製紙株式会社 岩国工場
- ・FL使用者（試験実証事業者）：村上商事株式会社

②空港モデル

- ・実施場所：山口県宇部市沖宇部625番地17 山口宇部空港
- ・FL使用者（試験実証事業者）：日本航空株式会社

(3) 試験実施体制

本試験運用は図表1-1に示す体制で実施した。



(4) 全体スケジュール

本試験実証は、図表1-2に示すスケジュールで実施した。

図表1-2 試験実証の全体スケジュール

業務内容	2022年							2023年		
	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
(1)FCFL及び水素充填機の貸出による試験運用	水素調達先・試験運用先の調整等	試験運用準備		試験運用①（工場） 試験運用②（空港）						
(2)試験運用によるデータ収集・分析				データ収集	データ分析					
(3)水素関連機器（FCFL含む）の社会実装に向けての課題抽出・解決策の提示					課題の抽出			解決策の検討		
(4)報告書等とりまとめ									報告書等とりまとめ	

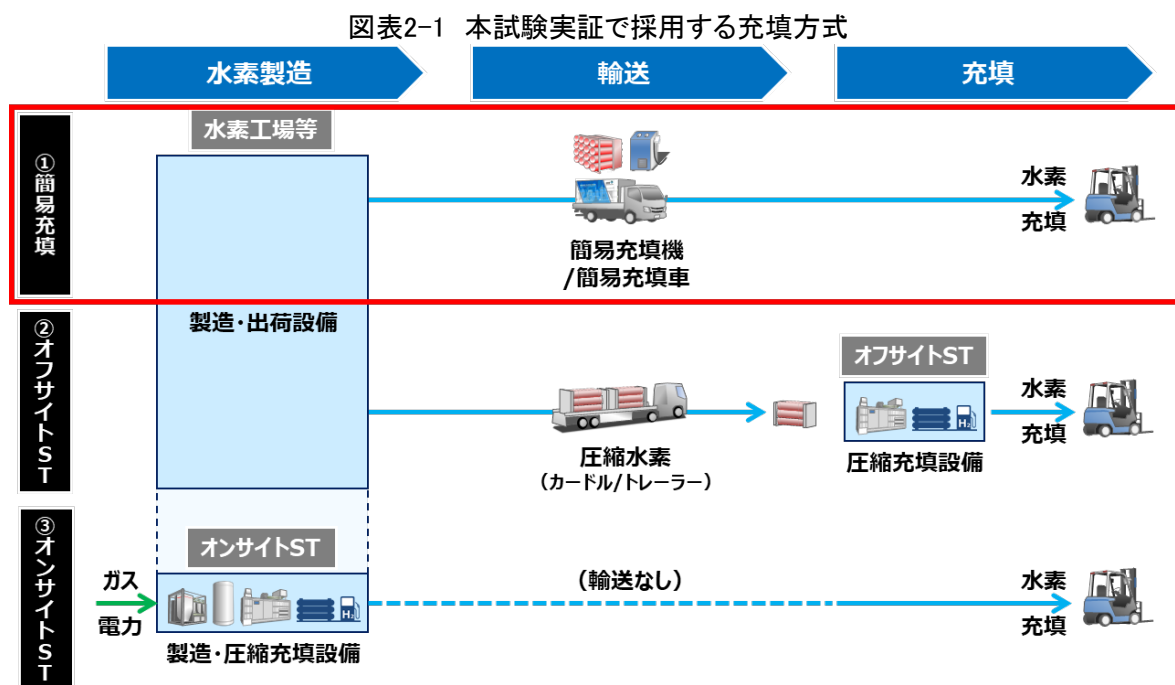
2. FCFL 及び水素充填機の貸出による試験運用

(1) 実施方法

① 充填方式

水素の製造、貯蔵・輸送および利活用にあたっては、高圧ガス保安法などの法令による設備に関する規制や有資格者の選任義務がある他、供給インフラの確保が必要なこと、設備投資の初期費用や水素調達費用など運用費用が他燃料方式に比べ高額であることなどの導入ハードルがある。

FCFLへの水素充填方式としては、図表2-1に示すように、①簡易充填、②オフサイト、③オンサイトがある。本試験実証では、水素ステーションなどの供給インフラがない地域での試験実証を行い、水素の普及促進を図るために、簡易なインフラ（①簡易充填方式）を用いることで、複数箇所においてフレキシブルかつ経済的にデモンストレーションを実施し、ユーザー側の受容性を高めることや導入機運を高めることを主眼として実施する。

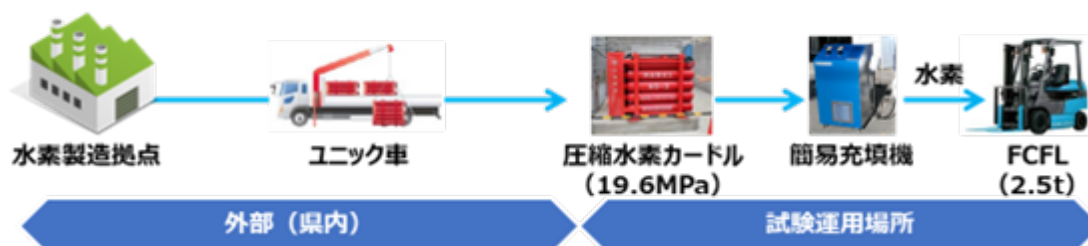


具体的には、試験運用場所にFCFL及び移動可能な簡易充填機を導入したケースを想定した実証を行う。外部からカードルを試験運用場所に配送して圧縮水素を供給し、簡易充填機からFCFLに差圧で水素を充填する。この仕組みにより、試験運用場所における必要設備を最小限としたFCFLのデモンストレーションが可能となる。

FCFLについては、今回はボリウムゾーンである2.5tタイプで実証した。

また、簡易充填方式の場合、調達可能な圧縮水素カードルの圧力により、FCFLに差圧で充填可能な水素の圧力・量が左右される。FCFLのタンク（常用圧力35MPa）に水素をフル充填するためには、供給側で35MPa以上の圧力が必要であるため、45MPaの圧縮水素カードルを用いることが望ましい。しかし、45MPaの圧縮水素カードルは一般に流通しておらず、出荷拠点も関東や中部圏に限られているため、今回は一般的に流通しており当地域で入手可能な19.6MPaの圧縮水素カードルを用いた実証を行う。

図表2-2 導入設備の概要



②機器の概要

今回の実証で用いる機器の概要を図表 2-3～2-5 に示す。

図表 2-3 FCFL の仕様



項目	単位	数値
定格荷重	kg	2,500
全長	mm	3,360
全幅	mm	1,170
ヘッドガード高	mm	2,105
車両重量	kg	3,900
最小旋回半径 外側	mm	2,000
水素充填圧	MPa	35
水素搭載量	kg	1.2

- ・ 充填時間：約 3 分
- ・ 稼働時間：水素満タンで概ね 8 時間稼働
- ・ FCFL1.8t 機の場合、水素搭載量は 1kg (11N m³) となる。

図表 2-4 簡易充填機の仕様



ベルステーションmini20	
寸法 (本体)	W740×L480×H978
寸法 (制御盤)	W515×L490×H895
重量 (本体)	70kg
重量 (制御盤)	30kg
水素源圧力	19.6MPa

図表 2-5 カードルの仕様



水素カールドル (295m ³)	
寸法	W1583 × L1720 × H1503
充填圧力	19.6MPa
容器本数	30本
充填口	W34-12左
重量	2.5 t

③本試験実証における充填量

①で述べたように、水素燃料については、当地域で入手可能な19.6MPaの圧縮水素カードルを調達して、試験運用場所において簡易充填機を用いてFCFLに供給する。なお、FCFLへの充填作業については、試験運用事業者により実施した。

19.6MPaの圧縮水素カードルによりFCFLに供給可能な水素量は、FCFLのタンク（35MPa）の半分程度であり、1回あたり約5Nm³、6回合計で約30Nm³となる。この場合のFCFLの稼働時間は作業状況により左右されるが、概ね3～4時間程度と想定される。今回の試験運用事業者における通常の1日のFL作業時間からは問題なかった。

図表2-6 FCFLへの供給可能量

	供給システム	FCFLへの供給可能量
[今回] 19.6MPa カードル		<ul style="list-style-type: none"> ● 35MPa（満タン）までの充填は不可 ● 19～14MPa（約5～4割）までの充填×6回
[参考] 45MPa カードル		<ul style="list-style-type: none"> ● 35MPa（満タン）までの充填×5回

検討の結果、以上の充填方法により、具体的には、圧縮水素カードルを一つの試験運用場所あたり3回供給（週に1回程度）することとした。

1週目から2週目にかけては、1日1回の充填および1日3～4時間の運用を行う。これにより、事業者内でのFCFLの有用性を確認してもらう。

3週目においては、これにとらわれず、実運用に必要な時間分の運用を行い、必要な回数の充填を行った。これにより、実運用時に求められる水素量の把握を行った。

図表 2-7 実証運用の方法及び目的の設定

	運用期間	運用方法	運用の目的
1週目	月 → 金	1日1回の充填	FCFLの性能・使い勝手の確認
2週目	→	同上	
3週目	→	実運用に必要な回数充填	フル運転や別工程での利用の確認

(2) 試験実証準備

①現地調査

事前に必要な現地調査として、①水素供給・充填の観点、②FCFL利用の2つの観点から実施した。

a)簡易充填機

試験実証場所について、今回の実証で用いる圧縮水素カードルおよび簡易充填機の設置および運用を行うため、安全運用のために必要な法対応を取ることができるか等について現地調査を実施した。試験運用場所における機器運用のイメージを図表2-8に示す。

また、試験運用場所における主要な確認項目は以下のとおりである。

i) 高圧ガス保安法で定められた各保安距離

- ・容器置場（カードルを設置する場所）については、高圧ガス保安法の一般高圧ガス保安規則第6条第1項第42号ハにより、容器置場の外面から最も近い第一種保安物件までの距離を第一種置場距離以上の距離を確保すること、容器置場の外面から最も近い第二種保安物件までの距離を第二種置場距離以上の距離を確保することが定められている。
- ・日本製紙（株）岩国工場では、容器置場の候補地が複数あったため、届出の協議において臨機応変に対応するために、置場距離（下表）の最大値である第一種置場距離22.5m、第二種置場距離15mを確保することとした。山口宇部空港では、日本製紙（株）岩国工場での協議を踏まえ、容器置場の面積（2.72m²）が8m²以下のため、第一種置場距離は $9\sqrt{2}=12.7\text{m}$ と第二種置場距離は $6\sqrt{2}=8.5\text{m}$ を確保することとした。

置場距離（m）（x：容器置場の面積）（一般則第二条 備考）

	$0 \leq x < 8$	$8 \leq x < 25$	$25 \leq x$
第一種置場距離	$9\sqrt{2}$	$4.5\sqrt{x}$	22.5
第二種置場距離	$6\sqrt{2}$	$3\sqrt{x}$	15

- ・現地調査においては、カードル設置候補場所周辺において該当する物件が存在しないことを確認した。

（定置式製造設備に係る技術上の基準）

第6条 製造設備が定置式製造設備（コールド・エバポレータ、圧縮天然ガススタンド、液化天然ガススタンド及び圧縮水素スタンドを除く。）である製造施設における法第八条第一号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。ただし、経済産業大臣がこれと同等の安全性を有するものと認めた措置を講じている場合は、この限りでなく、また、製造設備の冷却の用に供する冷凍設備にあつては、冷凍保安規則に規定する技術上の基準によることができる。

四十二 容器置場並びに充填容器及び残ガス容器（以下「充填容器等」という。）は、次に掲げる基準に適合すること。

イ ロ 略

ハ 容器置場（貯蔵設備であるものを除く。）であつて、次の表に掲げるもの以外のものは、その外面から、第一種保安物件に対し第一種置場距離以上の距離を、第二種保安物件に対し第二種置場距離以上の距離を有すること。

※第一種保安物件

- ・学校教育法に定める、小学校、中学校、高等学校、中等教育学校、高等専門学校、特別支援学校、幼稚園
- ・医療法に定める病院（20人以上の患者を入院させるための施設を有するもの）
- ・収容定員300人以上の劇場、映画館、演芸場、公会堂その他これらに類する施設
- ・収容定員20人以上の生活保護法の保護施設、児童福祉施設、老人福祉施設、介護老人保健施設、身体障害者厚生援護施設、母子福祉施設等
- ・重要文化財、重要有形民俗文化財、史跡名勝天然記念物若しくは重要な文化財として指定された建築物
- ・博物館
- ・1日に平均2万人以上の者が乗降する駅の母屋及びプラットホーム
- ・百貨店、マーケット、公衆浴場、ホテル、旅館その他不特定多数の者を収容する建築物であって、その用途に供する床面積の合計が1000㎡以上のもの

第二種保安物件

- ・第一種保安物件以外の建築物で、住居の用に供するもの

- ・簡易充填機の充填口より半径5mに火気取扱施設・可燃物がないこと

条項：一般則第12条の3第2項第2号

項目：流動防止措置

該当する記述：

圧縮水素を燃料として使用する車両に固定した燃料装置用容器に当該圧縮水素を充てんするときは、火気（当該移動式圧縮水素スタンド内のもは除く。）を取り扱う施設、多数の人の集合する場所又は引火性若しくは発火性のものをたい積した場所（以下この号において「火気を取り扱う移動式圧縮水素スタンドに係る施設等」という。）から五メートル以内で充てんしない。

- ・簡易充填機本体外面と敷地境界線や他の可燃性ガス製造設備との距離は6m以上とる

条項：一般則第12条の3第2項第1号

関連：一般則第8条の2第2項第2号ホ

項目：製造の基準

該当する記述：

第七条第二項の規定に基づき設置された圧縮天然ガススタンド内、第七条の二第一項の規定に基づき設置された液化天然ガススタンド内、第七条の三第二項の規定に基づき設置された圧縮水素スタンド内又は液化石油ガス保安規則第八条第一項の規定に基づき設置された液化石油ガススタンド内で圧縮水素を燃料として使用する車両に固定した容器に、移動式圧縮水素スタンドから圧縮水素を充てんするときは、当該移動式圧縮水素スタンドの外面から敷地境界に対し第二種設備距離

（製造設備の常用の圧力が四十メガパスカルを超え八十二メガパスカル以下の場合にあつては八メートル、製造設備の常用の圧力が四十メガパスカル以下の場合にあつては六メートル）以上の距離を有し、又はこれと同等以上の措置を講じられていることを確認する。

[例示基準56の2、「敷地境界等に対し所定の距離を有することと同等の措置

（圧縮水素スタンド・移動式圧縮水素スタンド）」を参照]

※他の可燃性ガス製造設備との距離については(7条の3第1項第12号)

12条の3の技術上の基準では適用されていません。

- ・水素放出管開口部から 3m 以内の危険場所範囲は火気がないこと

水素放出管は装置本体内部の水素を排気するための管(いわゆる VENT 管)である。安全弁作動時(緊急時)、充填ホースの脱圧時(使用時)、および装置本体の脱圧時(準備・片付け)に水素が放出される。開口部は大気中に水素が放出される位置になる。また、装置の一部なので充填機に近くても問題はない。

周囲に着火源のない安全な場所を判定するために、労働安全衛生総合研究所技術指針「ユーザーのための工場防爆設備ガイド」(JNIOOSH-TR-No. 44)の危険場所の分類を準用している同ガイドでは、水素放出管開口部から 3m 以内を危険場所(火気厳禁)としている。

また、放出管は配管の延長で位置を調整できるので、例示基準 14. 項目 4 の基準に沿うように使用する。これは、放出管の近く(5m 又は 8m 以内)に建築物がある場合はその建物よりも高い位置で放出すること、という規定になる。つまり、8m 以上の距離をとれば放出管の高さは関係がなくなるので、今回は放出管を建築物から十分な距離(8m 以上)を置くことで、放出管の高さを建築物以下(約 3m)のままにしている。充填場所の届出の申請書類には 8m 以上の距離をとっていることを記載している。

条項：第 12 条の 3 第 1 項第 1 号
 関連：第 8 条の 2 第 1 項第 4 号
 項目：安全弁放出管開口部の位置
 <該当する記述>
 第一号で準用する第六条第一項第十九号の安全装置のうち安全弁又は破裂板及び前号の規定により設けた熱作動式安全弁には、放出管を設けること。この場合において、放出管の開口部の位置は、放出するガスの性質に応じた適切な位置とする。

[例示基準 14. 「安全弁、破裂板及び圧力リリーフ弁の放出管の開口部の位置」を参照。]
 <一般則例示基準 14. 項目 4>
 移動式圧縮水素スタンドの上部又は近接する建築物又は工作物(当該建築物又は工作物が火気を取り扱う施設である場合にあつては放出管から 8m 以内にあるもの、その他の場合にあつては 5m 以内にあるものをいう。)の高さ以上であつて、周囲に着火源等のない安全な位置
 ※水素放出管開口部から 3m 以内を危険場所とする基準は「JNIOOSH-TR-No. 44 ユーザーのための工場防爆設備ガイド」の危険場所の分類を参照している。
 (周囲に着火源のない安全な位置を判定するため)

ii) 電源 (100V 15A) の供給

- ・一般的な 100V コンセント電源の規格。(アース付きのものであるとなおよい)

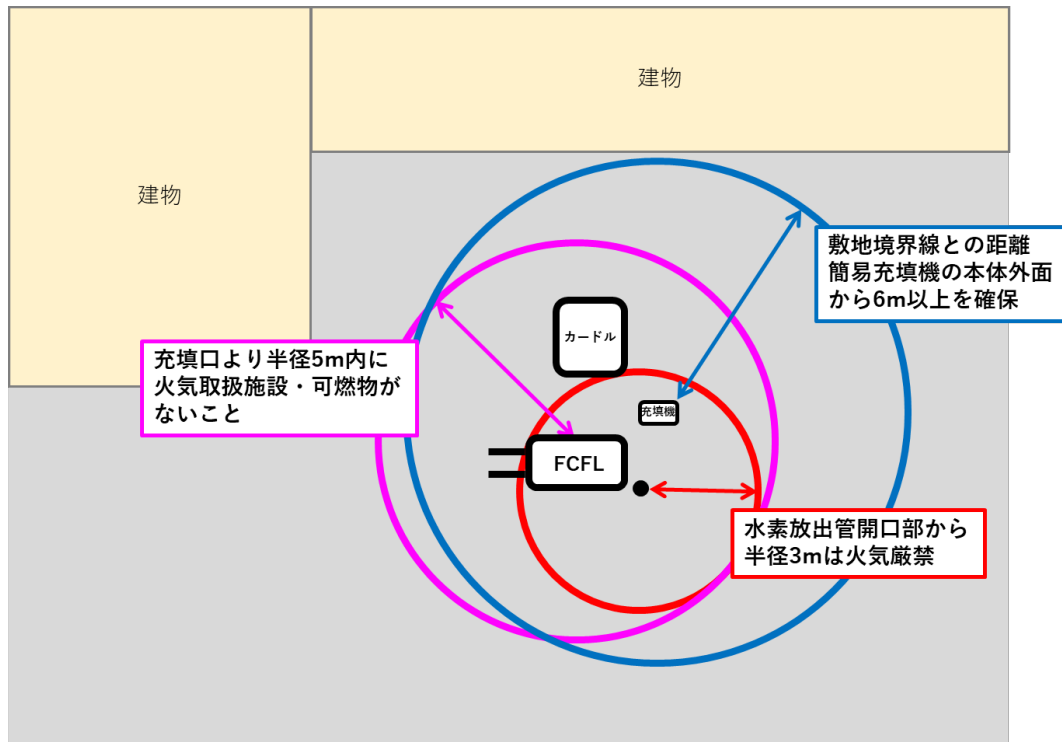
iii) 4m×4m の設置スペースの確保

- ・法令上必要な距離は規定されていないが、カードル(1600mm×1810mm)および充填機本体、制御盤、FCFL の配置で充填作業におおよそ必要なスペースになる。

iv) ベルステーション mini20 の使用時以外における保管場所や方法

その他の取り扱い上の注意点など

図表 2-8 試験運用場所における機器運用のイメージ



b) FCFL

今回の実証で用いる FCFL (2.5t) の運用を安全に行うため、試験運用実証事業者側における荷役作業の内容および作業環境等について現地調査を実施する。適合性を確認するための主要なチェック項目は以下のとおりである。

- ・ 2.5t 車で作業可能 (荷重・スペース)
- ・ 塩分を含む水のかからない環境
- ・ 使用環境の温度 0℃～40℃
- ・ 敷地内のみで稼働 (公道走行不可)

②法規制対応

a) 高压ガス保安法の届出

高压ガス保安法が対象とする高压ガスの一つ (第 2 条第 1 項) に、「常用の温度において圧力が 1MPa 以上となる圧縮ガスであって現にその圧力が 1MPa 以上であるもの」または「温度 35℃において圧力が 1MPa 以上となる圧縮ガス (圧縮アセチレンガスを除く)」があり、これに圧縮水素ガスが該当する。

高压ガス保安法において、水素の製造施設の処理能力及び貯蔵所の貯蔵量に応じて、図表 2-9 に示すように各都道府県への手続きが必要である。ここで、「製造」とは、圧力を変化させる場合で減圧して 1MPa 以上の高压ガスにする場合を含む。

本試験実証で用いる簡易充填機については、高压ガス (カードルの最高圧力が 19.6MPa) を減圧しながら FCFL に充填する減圧設備である。減圧後のガスも高压 (19.6MPa よりも低い圧力で

あり 1MPa 以上) であるため、高圧ガス保安法における高圧ガスの製造行為に該当する。処理能力は 0Nm³/日 (100Nm³/日未満) であり、高圧ガス保安法第 5 条第 2 項の第二種製造者となるため、届出が必要である。なお、簡易充填機の中には蓄圧器等がないため、高圧ガス保安法における貯蔵所には該当しない。

水素カードルに、圧縮水素ガスを貯蔵することは、高圧ガス保安法上の貯蔵行為に該当するが、貯蔵容量が 295m³ であり、300Nm³/日未満であるため、高圧ガス保安法第 16 条の第一種貯蔵所および同法第 17 条の 2 の第二種貯蔵所には該当しない。そのため、その他の貯蔵所と位置づけられ、許可や届出は不要だが、第一種・第二種貯蔵所の技術基準等を遵守することが求められる。

上記を踏まえて、簡易充填機の設置にあたり、高圧ガス保安法第 5 条第 2 項第 1 号の規定に基づく届出を使用開始の 20 日前までに提出した。調整が難しかったところとしては、県内においては、初めての簡易充填機を使用した事業ということで、その届出内容についての確認や資料の提出に時間を要したことであった。届出・受理の日付は、以下のとおりであった。

- ・工場モデル： 8 月 4 日 (木) 届出、8 月 10 日 (水) 受理
- ・空港モデル： 8 月 23 日 (火) 届出、8 月 26 日 (金) 受理

(製造の許可等)

第五条 次の各号の一に該当する者は、事業所ごとに、都道府県知事の許可を受けなければならない。

1 (略)

2 次の各号の一に該当する者は、事業所ごとに、当該各号に定める日の二十日前までに、製造をする高圧ガスの種類、製造のための施設の位置、構造及び設備並びに製造の方法を記載した書面を添えて、その旨を都道府県知事に届け出なければならない。

一 高圧ガスの製造の事業を行う者(前項第一号に掲げる者及び冷凍のため高圧ガスの製造をする者並びに液化石油ガス法第二条第四項の供給設備に同条第一項の液化石油ガスを充てんする者を除く。) 事業開始の日

(貯蔵所)

第十六条 容積三百立方メートル(当該ガスが政令で定めるガスの種類に該当するものである場合にあっては、当該政令で定めるガスの種類ごとに三百立方メートルを超える政令で定める値)以上の高圧ガスを貯蔵するときは、あらかじめ都道府県知事の許可を受けて設置する貯蔵所(以下「第一種貯蔵所」という。)においてしなければならない。ただし、第一種製造者が第五条第一項の許可を受けたところから従って高圧ガスを貯蔵するとき、又は液化石油ガス法第六条の液化石油ガス販売事業者が液化石油ガス法第二条第四項の供給設備若しくは液化石油ガス法第三条第二項第三号の貯蔵施設において液化石油ガス法第二条第一項の液化石油ガスを貯蔵するときは、この限りでない。

第十七条の二 容積三百立方メートル以上の高圧ガスを貯蔵するとき(第十六条第一項本文に規定するときを除く。)は、あらかじめ、都道府県知事に届け出て設置する貯蔵所(以下「第二種貯蔵所」という。)においてなければならない。ただし、第一種製造者が第五条第一項の許可を受けたところから従って高圧ガスを貯蔵するとき、又は液化石油ガス法第六条の液化石油ガス販売事業者が液化石油ガス法第二条第四項の供給設備若しくは液化石油ガス法第三条第二項第三号の貯蔵施設において液化石油ガス法第二条第一項の液化石油ガスを貯蔵するときは、この限りでない。

図表 2-9 製造者及び貯蔵所の区分及び対応

区 分		条 件	対 応 (許可/届出)
製造者	第一種製造者	100m ³ /日以上、第二種ガス(※)を製造	都道府県知事の許可
	第二種製造者	100m ³ /日未満、第二種ガスを製造	都道府県知事へ届出
貯蔵所	第一種貯蔵所	1000m ³ /日以上、第二種ガスを貯蔵	都道府県知事の許可
	第二種貯蔵所	300m ³ 以上～1000m ³ 未満、第二種ガスを貯蔵	都道府県知事へ届出
	その他の貯蔵	300m ³ 未満、第二種ガスを貯蔵	不要 (貯蔵基準を遵守)

(※)水素は第二種ガス (第一種ガス (ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノン、ラドン、窒素、二酸化炭素、フルオロカーボン、空気) 以外) に該当。

今回の高圧ガス製造事業届書の構成は、以下の通りであった。

1. 高圧ガス製造事業届書

名称、所在地、製造する高圧ガスの種類等

2. 製造計画書

製造の目的、製造の方法、1日の処理能力、貯蔵能力、保安統括者等の選任予定者及び資格 (必要な場合のみ)、連絡先、工事施工者

3. 機器等一覧表

4. 技術上の基準

事業所全体平面図、付近図、フローシート、高圧ガス製造施設配置図、製造施設に係る各種仕様書・計算書、その他資料

b) 関連法規制 (石油コンビナート等災害防止法 (石災法))

工場モデルの今回の試験実証場所の工場では、石油コンビナート等災害防止法において、取り扱う石油や高圧ガス量によって特定事業所として指定されている (図表 2-10)。そのため、特定事業所を設置している者は特定事業者として、自衛防災組織の設置や特定防災施設等の設置、異常現象の通報、災害応急処置等の責務がある。

本試験実証では、高圧ガスの減圧製造で処理能力は 0m³/日、貯蔵所の貯蔵の能力は 295m³ とされるため、高圧ガスの処理量が増えることはなく、新たな届出などは不要であった。ただし、連絡体制等について求められたため、試験運用の運用管理体制図を作成し、工場所有者様にて石災法を所管する岩国地区消防組合に FCFL の試験実証に関する説明を行った。

図表 2-10 特定事業所の指定条件

特定事業所	条 件
第一種事業所	石油の貯蔵・取扱量が1万 kL 以上又は高圧ガスの処理量が 200 万 m ³ 以上等である事業所。
第二種事業所	石油の貯蔵・取扱量が 1,000 kL 以上又は高圧ガスの処理量が 20 万 m ³ 以上等である事業所。

③運用事業者における資格者の配置と充填方法の講習

今回の試験実証で用いる簡易充填機は前述の通り第二種製造者に該当するため、高圧ガス保安法に定められている保安統括者等の専任や資格者の配置は不要である。

また、第二種製造者では、保安教育計画の策定は不要であるが、一般高圧ガス規則上、保安教育（第 68 条）の実施は義務付けられており、各試験実証場所において試験実証を実施する前に保安教育および実務的な充填方法の講習等を実施した。保安教育及び充填方法の講習等は、関係者の勤務シフトに合わせて 2 回ずつ実施した。

（保安教育）

第二十七条 第一種製造者は、その従業者に対する保安教育計画を定めなければならない。

2 都道府県知事は、公共の安全の維持又は災害の発生の防止上十分でないとき、前項の保安教育計画の変更を命ずることができる。

3 第一種製造者は、保安教育計画を忠実に実行しなければならない。

4 第二種製造者、第一種貯蔵所若しくは第二種貯蔵所の所有者若しくは占有者、販売業者又は特定高圧ガス消費者（次項において「第二種製造者等」という。）は、その従業者に保安教育を施さなければならない。

5 都道府県知事は、第一種製造者が保安教育計画を忠実に実行していない場合において公共の安全の維持若しくは災害の発生の防止のため必要があるとき、又は第二種製造者等がその従業者に施す保安教育が公共の安全の維持若しくは災害の発生の防止上十分でないとき、第一種製造者又は第二種製造者等に対し、それぞれ、当該保安教育計画を忠実に実行し、又はその従業者に保安教育を施し、若しくはその内容若しくは方法を改善すべきことを勧告することができる。

6 協会は、高圧ガスによる災害の防止に資するため、高圧ガスの種類ごとに、第一項の保安教育計画を定め、又は第四項の保安教育を施すに当たって基準となるべき事項を作成し、これを公表しなければならない。

（保安係員等の講習）

第六十八条 法第二十七条の二第七項（法第二十七条の三第三項において準用する場合を含む。以下この条において同じ。）の規定により、法第二十七条の二第一項第一号に規定する第一種製造者若しくは法第二十七条の三第一項に規定する第一種製造者（以下この条において単に

「第一種製造者」という。)は、保安係員、保安主任者若しくは保安企画推進員に、又は法第二十七条の二第一項第二号に規定する第二種製造者（以下この条において単に「第二種製造者」という。）は、保安係員に、保安係員又は保安主任者にあつてはそれらの者が製造保安責任者免状の交付を受けた日の属する年度の翌年度の開始の日から三年以内に、保安企画推進員にあつてはその者が選任された日から六月以内に、それぞれ第一回の法第二十七条の二第七項に規定する講習（以下この条において単に「講習」という。）を受けさせなければならない。

(3) 実施スケジュール

工場モデルは、8月29日（月）、30日（火）に運転者教育を行い、8月31日（水）に開始した。カードルは2回目以降は毎週金曜日に交換、撤収を行った。1週目、2週目は毎日充填、3週目は、できるだけ使ってもらい、必要な都度、充填してもらった。9月16日（金）に終了した。

空港モデルは、10月4日（火）、5日（水）に運転者教育を行い、10月6日（木）に開始した。カードルは毎週水曜日に交換、撤収を行った。工場モデルと同様、1週目、2週目は毎日充填、3週目は、できるだけ使ってもらい、必要な都度、充填してもらった。充填機、カードル撤収後も、FCFLに水素が残っている限り、使ってもらい、10月28日（金）に終了した。

図表2-11 実施スケジュール

	月	火	水	木	金	土	日
工場	8月22日	8月23日	8月24日	8月25日	8月26日	8月27日	8月28日
				FCFL、 充填機搬入 カードル搬入			
	第1週	8月29日	8月30日	8月31日	9月1日	9月2日	9月3日
		使い方教育①	使い方教育②				
		→	→	→	→	→	→
				1日1回充填		カードル交換	
	第2週	9月5日	9月6日	9月7日	9月8日	9月9日	9月10日
		→	台風のため休止	→	→	→	
		1日1回充填				カードル交換	
	第3週	9月12日	9月13日	9月14日	9月15日	9月16日	9月17日
	→	→	→	→	→		
					カードル撤収		
	様々な場所で使用→使い切った時点で終了						
	9月19日	9月20日	9月21日	9月22日	9月23日	9月24日	9月25日
		充填機、FCFL移送					
空港	9月26日	9月27日	9月28日	9月29日	9月30日	10月1日	10月2日
		カードル搬入					
	第1週	10月3日	10月4日	10月5日	10月6日	10月7日	10月8日
			使い方教育①	使い方教育②			
		→	→	→	→	→	→
						雨天のため休止	
						1日1回充填	
	第2週	10月10日	10月11日	10月12日	10月13日	10月14日	10月15日
		→	→	→	→	→	→
		雨天のため 充填せず	1日1回充填	カードル交換			
						イベントのため 充填せず	
第3週	10月17日	10月18日	10月19日	10月20日	10月21日	10月22日	
	→	→	→	→	→	→	
	1日1回充填		カードル交換				
						実運用に必要な回数充填	
	10月24日	10月25日	10月26日	10月27日	10月28日	10月29日	
	→	→	→	→	→	→	
			カードル撤収				
						使い切った時点で終了	

3. 試験運用によるデータ収集・分析

(1) 試験運用実証事業者での FCFL の試験運用における稼働時間や稼働燃費、それに応じた必要水素量、水素供給価格等のデータの収集及び分析

①FCFL 試験運用結果データ分析

ユーザーの記録データおよびFCFLの運転データを分析した。

a) 工場内での試験実証（試験実証期間：8月29日（月）～9月16日（金））

（※）試験実証期間には、教育日を含む。

（※）9月4日（日）、10日（土）、11日（日）が休みで、9月6日（火）は台風のため運転しなかった。

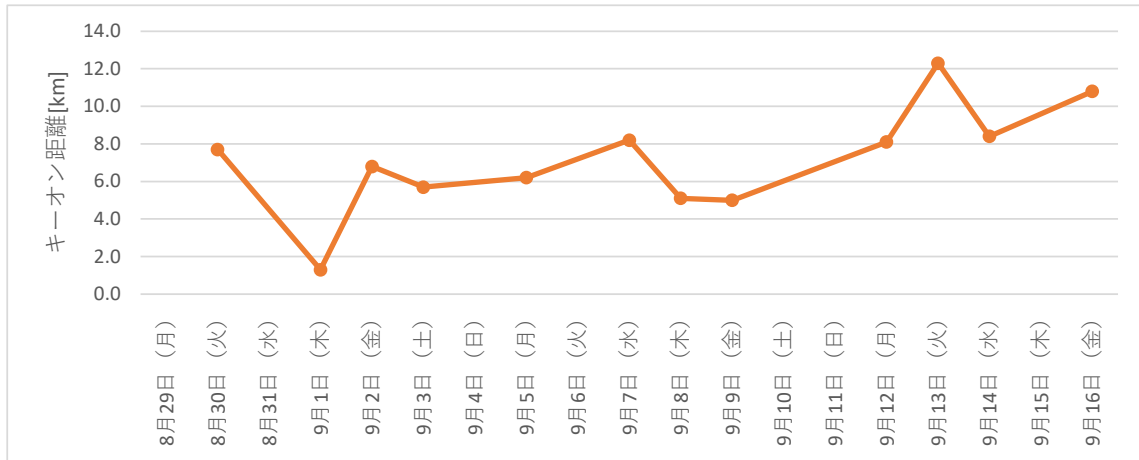
i) ユーザーの記録データ

- ・試験実証期間：8月29日（月）～9月16日（金）
- ・試験運用事業者への教育：8月29日（月）、30日（火）
- ・第1・2週（8月31日（水）～9月9日（金））：1日1回の充填
- ・第3週（9月12日（月）～16日（金））：必要な都度、充填

工場の1日の操業時間に対しFCFLの使用時間が短いため、特に第3週は敷地内のいろいろな場所でできるだけ使ってもらったようにした。

キーオン（運転）した距離を図表3-1に示す。稼働日はおおむね1.5時間から3時間で、9月1日（木）は少なく、逆に9月13日（火）は多かった。

図表3-1 FCFLのユーザー記録（キーオン距離）（工場）



(※) データの集計上、8月30日以降を記載。

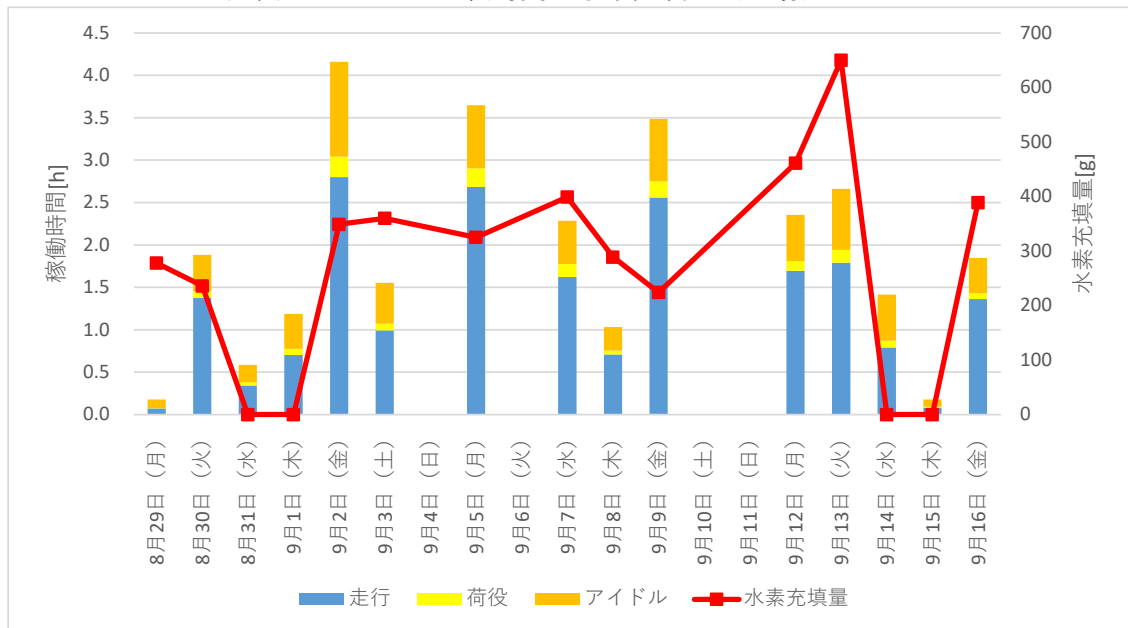
第1週	8月29日	8月30日	8月31日	9月1日	9月2日	9月3日	9月4日
	使い方教育①	使い方教育②	1日1回充填	カードル交換			
第2週	9月5日	9月6日	9月7日	9月8日	9月9日	9月10日	9月11日
	1日1回充填	台風のため休止		カードル交換			
第3週	9月12日	9月13日	9月14日	9月15日	9月16日	9月17日	9月18日
	様々な場所で使用→使い切った時点で終了				カードル撤収		

ii) FCFLの運転データ

運転時間は、週初めや金曜が多く、週半ばは少ない傾向にある。

充填作業については、9月1日（木）は前日が行事だったため、行わなかった。9月13日（火）は午前と夕方の2回充填作業を行ったが、13日（火）夜の稼働がほとんどなかったため、14日（水）は充填を行わなかった。

図表3-2 FCFLの運転時間と水素充填量（工場）



●稼働区分の意味

走行：走行状態（荷物持ちながらの走行を含む）

荷役：停止して荷物を積み下ろししている状態

アイドル：キーオンだが、動かしていない状態

b) 空港内での試験実証（試験実証期間：10月4日（火）～10月28日（金））

（※）試験実証期間には、教育日を含む。

（※）空港のため休みはないが、10月7日（金）、10日（月）は雨天のため、10月16日（日）はイベントで延長ケーブルが使えなかったため、充填は行わなかった。

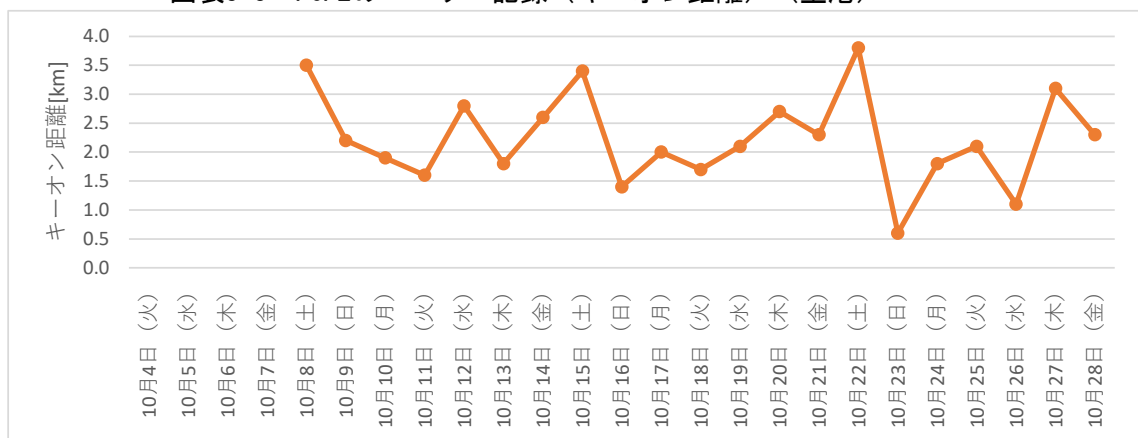
i) ユーザーの記録データ

- ・試験実証期間：10月4日（火）～10月28日（金）
- ・運転者への教育：10月4日（火）、5日（水）
- ・第1・2週（10月6日（木）～10月18日（火））：1日1回の充填
- ・第3週（10月19日（水）～26日（水））：必要な都度、充填
- ・10月27日（木）～28日（金）：FCFLに水素が残っている限り使用

キーオン（運転）した距離を図表3-3に示す。空港におけるFLの使用時間は貨物便の到着時と出発時のみのため、おおむね1.5時間以下となっている。曜日による傾向としては、土曜が長い傾向が見られた。実証事業者からのコメントによると、週半ばから金曜日にかけて貨物量は多くなっており、そのため土曜日の稼働が多かったと考えられる。

最終週はできるだけ動かしてもらおうこととしたが、作業スペースが限られていることから稼働には限界があったこともあり、最終週は前半以上には運転時間が長くなることはなかった。

図表3-3 FCFLのユーザー記録（キーオン距離）（空港）



（※）データの記録は10月8日（土）から実施。

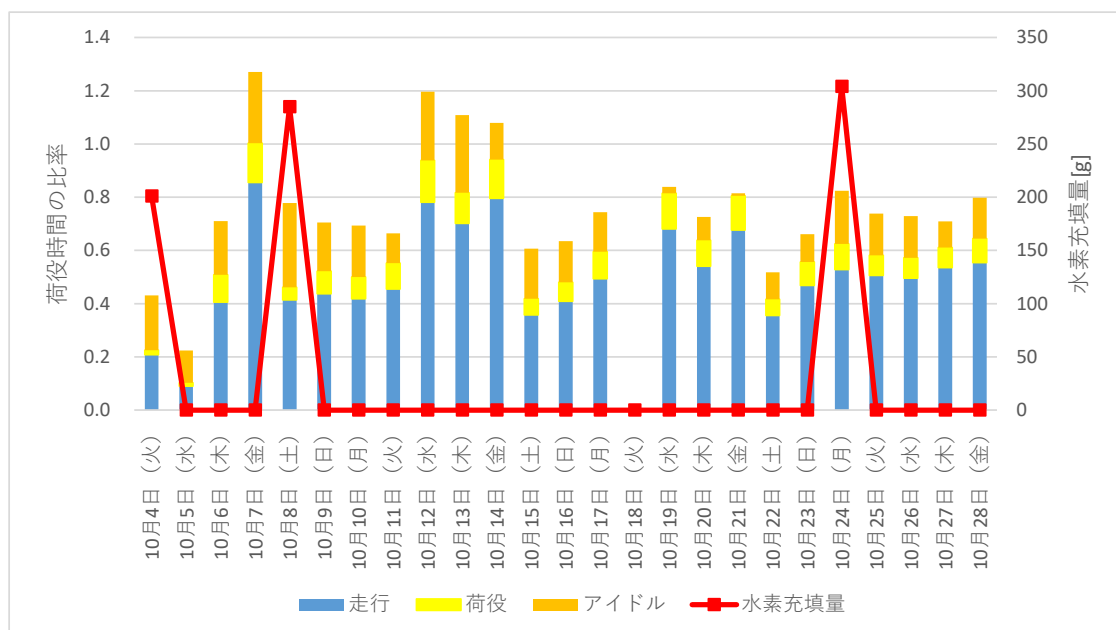
週	10月3日	10月4日	10月5日	10月6日	10月7日	10月8日	10月9日
第1週		使い方教育①	使い方教育②		雨天のため休止		
第2週	雨天のため充填せず	1日1回充填	カードル交換	1日1回充填			イベントのため充填せず
第3週	1日1回充填		カードル交換	実運用に必要な回数充填			
			カードル撤収	使い切った時点で終了			

ii) FCFLの運転データ

運転時間は、前半2週間は週末に多いが、3週目の時間数はやや少なくなっていた。

充填作業については、ユーザーの記録では、雨天日など以外では毎日充填されているが、使用量が少ないためカードルとの差圧が確保できず、FCFL側の計測データでは0gとなってしまう。

図表3-4 FCFLの運転時間と水素充填量（空港）



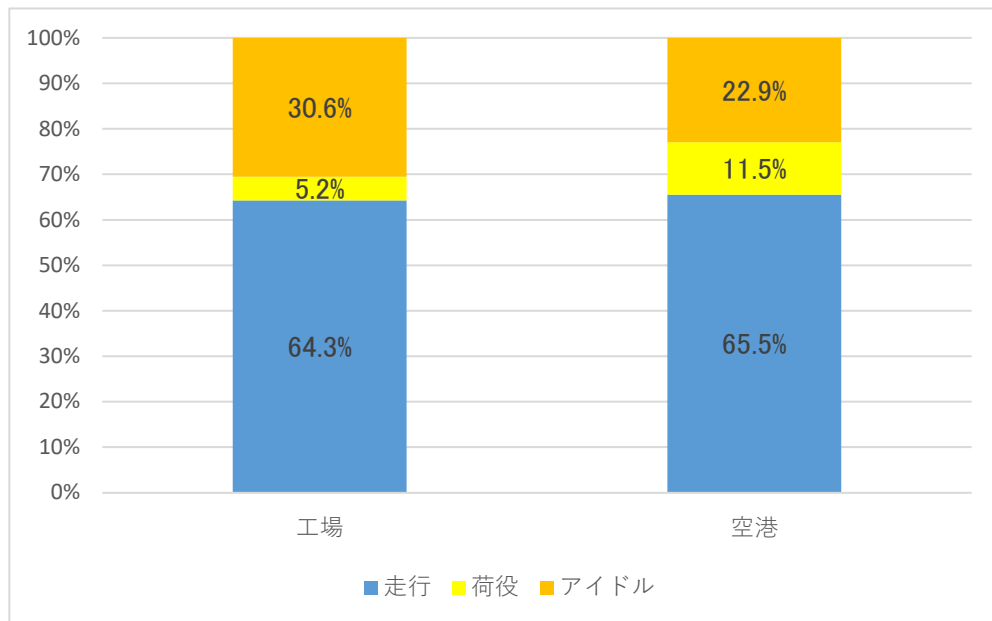
c) 運転時間の構成比

工場モデルと空港モデルにおける運転時間の試験実証期間中の合計の構成比を比較する(図表3-5)。

工場モデルと空港モデルを比較すると、空港モデルでは「荷役」の比率が大きく、「アイドル」の比率が小さい。

工場モデルに比べて空港モデルは、FCFLの作業場所が限られるため、待機時間が短いことが考えられる。

図表3-5 運転時間の構成比 (工場・空港)



d) 実証での水素使用量の算出

実証の場合、各1週間のカードル残圧の減少量が把握できる。水素使用量は、下の気体の状態方程式より、カードル内の温度は標準状態0℃（273K）として推定した。水素使用量の容積⑤は11.2Nm³/kgで換算した。

カードル残圧と水素使用量の推定結果を図表3-6に示す。表より、工場モデルでは、水素使用量が6,837g（77Nm³）、稼働日数が15日で、空港モデルでは、水素使用量が4,232g（47Nm³）、稼働日数が18日となる。

$$\Delta P \times V = \frac{m}{M} \times R \times T$$

ΔP : ③圧力減少量（残圧差）[Pa]

V : 容積（カードル 50ℓ×30本=1500ℓ）

m : ④水素使用量[g]

M : 水素分子量=2

R : 気体定数（=8.31×10³Pa・ℓ/(mol・K)）

T : 絶対温度（=273K）

図表3-6 カードル残圧と水素使用量の推定

	週目 稼働日数		①充填前 カードル残圧 [MPa]	②充填後 カードル残圧 [MPa]	③残圧差 (②-①) [MPa]	④水素 使用量 [g]	⑤水素 使用量 [Nm ³]
工場	第1週目 5日	8月29日（月）	19.80				
		9月2日（金）		18.00	1.80	2,380	27
	第2週目 5日	9月3日（土）	19.00				
		9月9日（金）		17.18	1.82	2,407	27
	第3週目 5日	9月12日（月）	19.20				
		9月16日（金）		17.65	1.55	2,050	23
	累計 15日				6,837	77	
空港	第1週目 4日	10月8日（土）	18.50				
		10月11日（火）		17.50	1.00	1,322	15
	第2週目 7日	10月12日（水）	18.70				
		10月18日（火）		18.00	0.70	926	10
	第3週目 7日	10月19日（水）	19.00				
		10月25日（火）		17.50	1.50	1,984	22
	累計 18日				4,232	47	

(※) 空港のデータの記録は10月8日（土）からであった。

e) 実証を踏まえたコスト分析

<実証を踏まえて使用可能な水素使用量の算出>

試験実証では、第1～2週は1日1回充填、第3週は必要な都度、充填したが、実態ベースに合わせて、水素使用量については、効率的な供給及び充填が可能なケースを想定して算出した。差圧充填のため、カードル内の水素ガスの全量（19.6MPa）は充填できないため、残量14MPaまで使用可能として計算する。したがって、使用量に相当する圧力差を5.6MPaとして、使用量を求めると、1回分のカードル（30本×50L=1500L）あたり7,405g（83Nm³）となる。

圧力[Pa]×体積[L]=質量/水素分子量（2）×気体定数（8.31J/K・mol）×絶対温度（273K）

$$5.6 \times 10^6 \times 1500 = m / 2 \times 8.31 \times 10^{-3} \times 273$$

$$\therefore m = 7,405g \rightarrow 83Nm^3$$

水素の使用量83Nm³は、FCFLの標準的な水素消費量をもとに計算した場合、約10回の充填量に相当する。カードルを1週間ごとに入れ替える試験実証の運用を前提に考えると、2台のFCFLが1日1回ずつ週に5回充填するような稼働に相当する。このケースを「フル利用ケース(2台)」とする。

f) コストの算出

<実証コスト>

今回の試験実証に要したコストを分析した。今回要した主なコストは以下の通りだった。試験実証場所は工場、空港の2箇所であったが、それぞれ近隣の拠点から水素を配送したため輸送コストは同一であった。

製造・出荷コスト	: 112,800円（水素カードル30本組19.6MPa 1基あたり）
輸送コスト	: 30,000円（4tユニック車1回あたり）
充填コスト	: 77,000円（バルステーションミニのレンタル料7日分）
合計	: 219,800円

■実証のNm³あたり単価

試験実証では水素カードルを1週間に1回配送したため、工場、空港で各3回配送して利用するのに要したコストを水素消費量で除した水素単価は以下の通りとなる。

工場モデル	: 219,800円×3回÷77Nm ³ =8,564円/Nm ³ （95,917円/kg）
空港モデル	: 219,800円×3回÷47Nm ³ =14,030円/Nm ³ （157,136円/kg）

■フル利用ケース(2台)のNm³あたり単価（参考値）

試験実証では1台のFCFLに対して週に1回の固定配送で対応したため配送量に対して水素消費量が少なくなっている。e)で求めたようにフル利用ケース(2台)の場合の水素消費量は水素カードル30本組19.6MPa（1基あたり83Nm³）となるため、水素単価は以下の通りとなる。

フル利用ケース(2台) : $219,800\text{円} \div 83\text{Nm}^3 = 2,648\text{円/Nm}^3$

<コスト分析>

この水素単価は一般的な水素ステーションでの水素単価（例：1,200円/kg=107円/Nm³）と比べてかなり高額であるため、この要因を分析した。

■製造・出荷コスト

まず、製造・出荷コストについて、フル利用ケース(2台)、一般的な水素出荷価格を比較した。フル利用ケース(2台)と一般水素価格との差が大きいですが、今回は試験実証のため少量の水素をスポット的に調達したことが要因として高コストとなったと考えられる。大口で定期的に購入するなどの条件下においては一般水素価格に近づくことが期待できる。

フル利用ケース(2台) : $112,800\text{円} \div 83\text{Nm}^3 = 1,359\text{円/Nm}^3$

一般水素価格 : 33円/Nm³

(2020年工業統計表より2015～2019年の副生水素ガス出荷価格の平均値)

■輸送コスト

次に、輸送コストについて、フル利用ケース(2台)、一般輸送価格を比較した。フル利用ケース(2台)では、差圧充填によりカードル内の水素の3割弱しか利用できないことが一般輸送価格と比べて高コストとなる要因になっている。4tユニット車にはカードル2基が積めるため2基単位で輸送することや、トレーラーで大量に輸送すること、高い圧力のカードルを用いることでカードル内の水素をより有効に利用することなどで低コスト化が図れると考えられる。

フル利用ケース(2台) : $30,000\text{円} \div 83\text{Nm}^3 = 361\text{円/Nm}^3$ (カードル1基を輸送した場合)

フル利用ケース(2台)-2 : $30,000\text{円} \div 166\text{Nm}^3 = 180\text{円/Nm}^3$ (カードル2基を輸送した場合)

一般輸送価格 : 134円/Nm³ (カードル、水素ST実績値の平均*)

75円/Nm³ (トレーラー、水素ST実績値の平均*)

* 「FCV・水素ステーション事業の現状について」2021年3月18日経済産業省

なお、輸送コストについては輸送距離により変動する。今回の試験実証でのカードル輸送距離を往復50kmと想定して、往復100km、往復200kmとなった場合の輸送コストをフル利用ケースにおいてシミュレーションした。

往復50km : $30,000\text{円} \div 83\text{Nm}^3 = 361\text{円/Nm}^3$

往復100km : $42,358\text{円} \div 83\text{Nm}^3 = 510\text{円/Nm}^3$

往復200km : $66,753\text{円} \div 83\text{Nm}^3 = 804\text{円/Nm}^3$

* 国交省の公表している「標準的な運賃【中国運輸局】」の中型車（4tクラス）の数値を元に試算した。

■ 充填コスト

最後に、充填コストについて、フル利用ケース(2台)とFCFLを10台とした場合の「フル利用ケース(10台)」(水素消費量が5倍)を比較した。簡易充填機をレンタルで借りるコストと購入して利用するコストとでは差があることが想定されるが、一方で購入の場合は定期検査等のメンテナンスコスト等が追加で発生することを別途考慮する必要がある。なお、購入費についてはメーカーヒアリングに基づく参考値である。

□ レンタルの場合

フル利用ケース(2台) : $77,000\text{円} \div 83\text{Nm}^3 = 928\text{円/Nm}^3$

フル利用ケース(10台) : $77,000\text{円} \div 415\text{Nm}^3 = 186\text{円/Nm}^3$

□ 購入の場合 (参考値)

フル利用ケース(2台) : $10,000,000\text{円} \div 8\text{年} \div (83\text{Nm}^3 \times 50\text{週}) = 301\text{円/Nm}^3$

フル利用ケース(10台) : $10,000,000\text{円} \div 8\text{年} \div (415\text{Nm}^3 \times 50\text{週}) = 60\text{円/Nm}^3$

(バルステーションミニを購入して8年間で償却する想定、購入費以外を含まず)

■コスト分析のまとめ

上記を踏まえて、今回の試験実証のサプライチェーンにおいてコスト低減が可能な条件が整ったと仮定した場合のコストを以下に試算した。製造・出荷コストについてはフル利用ケース(2台)、輸送コストについてはフル利用ケース(2台)-2、充填コストについてはフル利用ケース(10台)(レンタル)とした。なお、製造・出荷コスト及び輸送コストについては、FCFL台数を2台から10台に増やしても大きな影響はないと想定した。(製造・出荷コストについては10台の場合でも大口には当たらないと考えられるため2台の場合のコストと同じと想定した。輸送コストについては4tユニック車に積むことができるカードルが最大2基であるためそれ以上に輸送量が増えた場合は輸送回数(又はトラック台数)が増えるため輸送コスト自体の低減効果(効率向上等)はないと想定した。)

製造・出荷コスト	: 1,359円/Nm ³
輸送コスト	: 180円/Nm ³
<u>充填コスト</u>	<u>: 186円/Nm³</u>
合計	: 1,725円/Nm ³

前述の水素ステーションでの販売価格と比較して高額となるが、水素輸送が小口であることなどが主な要因として想定されるため、FCFL以外の水素需要も含めて大口での水素調達や輸送をするようなモデル構築が今後の課題として想定される。

g) 実証のCO2分析

工場モデルと空港モデルについて、前述の水素使用量をもとに、CO2排出量を算出した。今回利用した水素は、県内の水素製造拠点の立地状況等を鑑み、副生水素であると想定した。ただ現時点では、副生水素についてのCO2排出量の算定方法は明確化されていない課題がある。例えば、副生水素が発生する工場内で副生水素が従来より熱利用等で利用されていることを前提として、副生水素を外部に供給する場合は工場側で追加的に化石燃料が必要になるという考え方があり、この考え方にもとづき熱量等価の化石燃料のCO2排出量を副生水素の排出量とする例もある（下表参照）。一方で、苛性ソーダ等の主生産物を生産する際に副次的に発生するものとして副生水素のCO2排出量を0としたり、質量や経済的価値などによりCO2排出量を按分する考え方もある。

本調査では、副生水素のCO2排出係数として図表3-7より1.16 kg-CO2/Nm3-H2を用いるが、CO2排出係数がより少なく評価される可能性があることについて考慮が必要である。

図表3-7 各製造方法のCO2排出量比較

		CO2排出量 (kg - CO2/Nm3 - H2)	備 考
副生水素	苛性ソーダ	0.89~1.16 (重油代替~石炭代替)	
	鉄鋼	1.00~1.28 (重油代替~石炭代替)	・ COGからの水素分離のためにPSAを想定 ・ 系統電力のCO2排出係数は2010年の0.35kgCO2/kWhを想定
目的生産 (既存設備)	石油精製	都市ガス 0.95	・ 改質効率は70%を想定
	アンモニア	LPG 1.08	・ 改質後は水素精製にPSAを想定
目的生産 (新規設備)	化石燃料等改質	ナフサ1.13	・ 系統電力のCO2排出係数は2010年の0.35kgCO2/kWhを想定
	水電解	0.00~1.78 (再生可能エネルギー~系統電力)	・ 電解効率は70%を想定 ・ 系統電力のCO2排出係数は2010年の0.35kgCO2/kWhを想定

注) ライフサイクルCO2は考慮していない。

出典：水素・燃料電池戦略協議会ワーキンググループ（第5回）平成26年4月14日配布資料

図表3-8 工場モデル・空港モデルの年間CO2排出量の算定

		工場	空港
水素使用量 (Nm3)	試験実証	77	47
	1年換算	1,386	953
CO2排出量 (kg-CO2/年)		1,608	1,105

(2) 実証試験におけるFC式と他方式とのコスト・CO2排出量の比較

実証での水素使用量をもとに、工場モデルおよび空港モデルにおけるFC式と電動式、エンジン式（ガソリン、軽油）のコストとCO2排出量を計算し、比較を行ったものを図表3-9～12に示す。水素使用量は、実証試験における工場、空港での使用量を用いている。

コストについては、FCFLの購入費を「補助金なし」と「補助金あり」の2ケース想定した。「補助金あり」はエンジン式との差額の2分の1（上限550万円/台）とした（※）。水素の単価については、フル利用ケースで計算した値（1,725円/Nm³）を用い、その他については現状の市場価格を用いた。なお、電力については、中国電力の高圧需要家の従量料金、燃料費調整額および再エネ賦課金の合計とした（詳細は表下注参照）。また、ガソリンや軽油は、一般的に公道を走行しない産業用車両向けにインタンク（貯蔵・給油設備等）を保有してタンクローリー等で大口購入しているケースやインタンクは保有せずに小型のタンクローリー等で車両に直接給油を受けているケースがある。ここでは代表的なコスト指標として、ガソリンについてはスタンドでの価格情報、軽油についてはローリー渡価格を用いた（なお、ローリー渡価格については、小口需要家向け価格情報がないため、大口需要家向け価格情報を用いた。石油製品価格調査によると大口需要家向け軽油ローリー渡価格は軽油の店頭価格に比べて20円程度低い価格であるが需要家側でインタンクを所有運営しており一般的に数千万円の建設費に加えて運営費がかかっている。ガソリンスタンドから小型ローリーによる個別の給油を受けている場合は統計データが存在しないが、一般的に店頭価格と同等以上と想定される。）

※) FCFLに対する補助金について

事業名：環境省 二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金

脱炭素社会構築に向けた再エネ等由来水素活用推進事業「水素社会実現に向けた産業車両等における燃料電池化促進事業」

（令和4年度は、公益財団法人北海道環境財団が実施。令和5年度も概算要求中。）

補助率及び補助上限額：原則として補助対象経費に次の補助率を乗じた金額を補助。

○FCFLを導入する事業

- ・補助率：1/2（一般的なエンジン車の価格との差額に対して）
- ・補助上限額：550万円/台

その結果、FC式は、現在の補助金を導入した場合でも、工場モデルで1年あたりコスト（FCFL購入費÷4年+エネルギー費）にして約4,400千円、空港モデルで約3,600千円である。工場モデルでは、電動式の3.3倍（=4,391千円÷1,329千円）、エンジン式（ガソリン）の3.65倍（=4,391千円÷1,203千円）、エンジン式（軽油）の4.34倍（=4,391千円÷1,012千円）となっている。また、空港モデルでは、電動式の2.79倍（=3,644千円÷1,304千円）、エンジン式（ガソリン）の3.44倍（=3,644千円÷1,060千円）、エンジン式（軽油）の3.92倍（=3,644千円÷930千円）となっている。今後、FCFLのコスト低減を図っていくとともに、必要な補助制度の導入を検討していく必要がある。

FCFLの初期費用については国の補助金があるが、まだ電動式とは3,000千円（=8,000千円-5,000千円）、エンジン式（ガソリン・軽油）とは5,000千円（=8,000千円-3,000千円）の差がある。

また、運用費用が、工場モデルで電動式とは2,300千円程度（=2,391千円-79千円）、エンジン式とは1,900~2,100千円程度（=2,391千円-453~262千円）の差があり、空港モデルで電動式とは1,600千円程度（=1,644千円-54千円）、エンジン式とは1,300~1,500千円程度（=1,644千円-310~180千円）の差がある。運用費用の差額としては、おおむね1,500~2,000千円/台・年程度となっている。

図表3-9 電動式・エンジン式との経済性の比較（工場）

	FC式 (2.5t)		電動式 (2.5t)	ガソリン式 (2.5t)	ディーゼル式 (2.5t)
	補助金なし	補助金あり			
FCFL購入費 (*1) (千円/台)	13,000	8,000	5,000	3,000	3,000
稼働日	試験実証：15日、年間：270日/年（平日+隔週土曜）				
エネルギー使用量 (*2)	水素使用量 (Nm3)		推定電気使用量 (kWh)	推定ガソリン使用量 (L)	推定軽油使用量 (L)
	試験実証		138	155	110
	1年換算		2,484	2,790	1,980
運用費単価 (税込) (円/★)	水素単価 (*3)		電気代単価 (*4)	ガソリン単価 (*5)	軽油単価 (*6)
	1,725		31.74	162.47	132.44
運用費 (千円/台・年)	2,391		79	453	262
1年あたりコスト (千円/台・年)	購入費÷4年（耐用年数）+年間運用費				
	補助金なし		1,329	1,203	1,012
	補助金あり				
5,641		4,391			

図表3-10 電動式・エンジン式との経済性の比較（空港）

	FC式 (2.5t)		電動式 (2.5t)	ガソリン式 (2.5t)	ディーゼル式 (2.5t)
	補助金なし	補助金あり			
FCFL購入費 (*1) (千円/台)	13,000	8,000	5,000	3,000	3,000
稼働日	試験実証：18日、年間：365日/年				
エネルギー使用量 (*1)	水素使用量 (Nm3)		推定電気使用量 (kWh)	推定ガソリン使用量 (L)	推定軽油使用量 (L)
試験実証	47		84	94	67
1年換算	953		1,703	1,906	1,359
運用費単価 (税込) (円/★)	水素単価 (*3)		電気代単価 (*4)	ガソリン単価 (*5)	軽油単価 (*6)
	1,725		31.74	162.47	132.44
運用費 (千円/台・年)	1,644		54	310	180
1年あたりコスト (千円/台・年)	購入費÷4年(耐用年数)+年間運用費				
	補助金なし	補助金あり	1,304	1,060	930
	4,894	3,644			

*1) メーカーヒアリング結果より。

*2) メーカーヒアリング結果による水素使用量から他燃料への換算係数を用いた。

*3) フル利用ケースでの製造・出荷+輸送+充填の単価 (P. 29 (1) ①f) 参照)。

*4) 中国電力の高圧電力Aの夏季料金 (14.91円/kWh) とその他料金 (13.63円/kWh) を年間日数で加重平均して求めた13.95円/kWhと、2023年1月時点の燃料費調整14.34円/kWh、および再エネ賦課金3.45円/kWhの合計。

*5) 山口県平均のスタンド価格直近30日の価格、ガソリン162.47円

(<https://e-nenpi.com/gs/prefavg>、2022年12月1日)

*6) 大口需要者向け軽油ローリー渡価格 (石油製品価格調査 (2022年11月))。

CO2排出量については、グリーン水素の場合でCO2排出量は0だが、副生水素の場合、電動式の50%程度増加、エンジン式（ガソリン）の75%程度減少、エンジン式（軽油）の70%程度減少となっている。

FC式はエンジン式と比べるとCO2削減効果が得られるが、電動式と比べるとCO2削減効果が得られるがどうかは条件により異なる。FC式（副生水素）と電動式（温対法の代替値）との比較では、電動式の方がCO2排出量が少なかった。CO2排出係数が高い電源を用いた場合の電動式との比較では、FC式（副生水素）のCO2排出量が下回るケースもある。

前述の通り、副生水素のCO2排出係数は定まっておらず、電動式と比べてCO2排出量が大幅に少ないと評価できる可能性もある。仮にCO2排出量0のグリーン水素を用いた場合は、CO2排出量は0となる。

図表3-11 電動式・エンジン式とのCO2排出量の比較（工場）

	FC式 (2.5t)		電動式 (2.5t)	ガソリン式 (2.5t)	ディーゼル式 (2.5t)
稼働日	試験実証：15日、年間：270日/年（平日+隔週土曜）				
エネルギー使用量 (*1)	水素使用量 (Nm3)		推定電気使用量 (kWh)	推定ガソリン使用量 (L)	推定軽油使用量 (L)
	試験実証		138	155	110
	1年換算		2,484	2,790	1,980
CO2排出量原単位(*2) (kg-CO2/★)	副生水素	グリーン	0.4333	2.32	2.58
	1.16	0			
CO2排出量 (kg-CO2/年)	1,608	0	1,076	6,473	5,108

図表3-12 電動式・エンジン式とのCO2排出量の比較（空港）

	FC式 (2.5t)		電動式 (2.5t)	ガソリン式 (2.5t)	ディーゼル式 (2.5t)
稼働日	試験実証：18日、年間：365日/年				
エネルギー使用量 (*3)	水素使用量 (Nm3)		推定電気使用量 (kWh)	推定ガソリン使用量 (L)	推定軽油使用量 (L)
	試験実証		84	94	67
	1年換算		1,703	1,906	1,359
CO2排出量原単位(*2) (kg-CO2/★)	副生水素	グリーン	0.4333	2.32	2.58
	1.16	0			
CO2排出量 (kg-CO2/年)	1,105	0	738	4,422	3,506

*1) メーカーヒアリング結果による水素使用量から他燃料への換算係数を用いた。

*2) 水素は前述の経産省資料、水素以外は温暖化対策法より。

(3) 水素サプライチェーンモデルのコスト試算及び比較

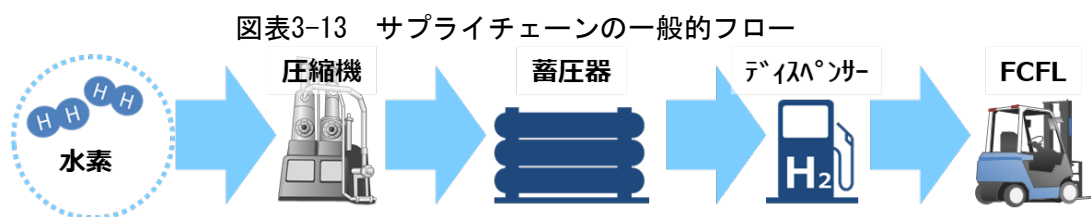
まずは、実証事業をするにあたり、今後県内で有望と考えられるサプライチェーンのモデルを設定した。

a) サプライチェーン構築の前提

i) 構成要素と選択肢

FCFLに水素を供給するサプライチェーンとして、一般的なフローを以下に整理した。何らかの方法で製造または調達した水素をもとに、圧縮機を用いて蓄圧器（カードル等を含む）に高圧で溜めて、ディスペンサーを用いてFCFLと接続して水素を充填することにより、FCFLを稼働させる。

FCFLのタンクは充填圧力が35MPaであるため、45MPaで水素を溜めた蓄圧器から充填することでフル充填が可能となる。19.6MPaの蓄圧器から充填することも可能だが、フル充填ではなく半分程度の充填となる課題がある。



サプライチェーンを大きく製造側と充填側に分類した上で、現状で想定できる選択肢を以下に整理した。製造側ではオフサイトとオンサイトがあり、充填側では移動式設備と定置式設備が想定され、これらの組み合わせによりサプライチェーンを構成する。

図表3-14 製造側と充填側の選択肢

製造側	充填側
<p>a. オフサイト 水素製造工場等で製造した水素または副生水素等を調達</p> <p>b. オンサイト FCFL稼働場所で自ら水素を製造</p>	<p>c. 移動式設備 FCFL稼働場所に定置式設備を設けずに簡易な設備を用いて水素を充填</p> <p>d. 定置式設備 FCFL稼働場所に圧縮機・蓄圧器・ディスペンサー等の設備を設置して充填</p>



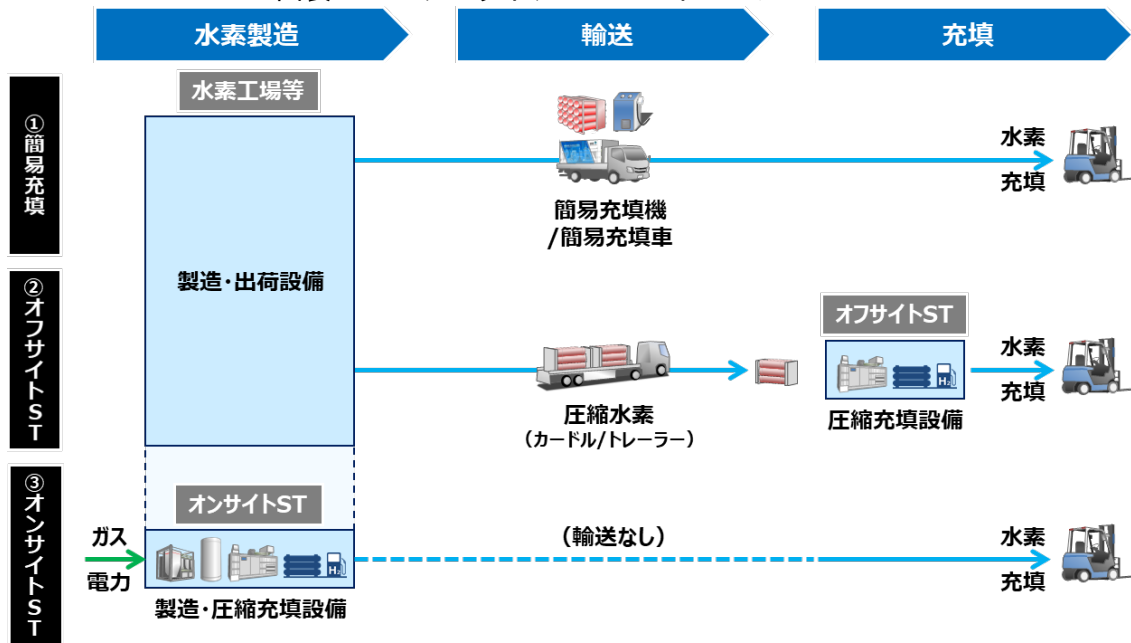
ii) サプライチェーンのパターン

前項で整理した製造側及び充填側の選択肢の組み合わせにより、FCFL向けの水素サプライチェーンのパターンを整理して、方式を①簡易充填、②オフサイトST、③オンサイトSTとした。簡易充填の方式は製造側についてはオフサイトだが、FCFL稼働場所において定置式設備を設けない特徴があるため、独立した方式として整理した。

図表3-15 製造側と充填側の組み合わせパターン

パターン	製造側	充填側
①簡易充填	a. オフサイト	c. 移動式設備
②オフサイトST	a. オフサイト	d. 定置式設備
③オンサイトST	b. オンサイト	d. 定置式設備

図表3-16 サプライチェーンのイメージ



上記の3方式はFCFL向けの水素サプライチェーンとして先行事例があるものである。以下に一例を整理した。

- ①簡易充填 : 富山水素エネルギー促進協議会のモデル事業 (簡易充填機)
愛知県、京浜臨海部、北海道での実証 (簡易充填車)
- ②オフサイトST : 自動車メーカー工場内などの水素充填所
- ③オンサイトST : 中部国際空港セントレア貨物地区の水素充填所

図表3-17 事例の写真



オンサイトST
(中部国際空港セントレア)



簡易充填*
(ベルステーションムーブ)
*光南工業ホームページより

①簡易充填、②オフサイトST、③オンサイトSTについて各項目の比較を行った。最大のポイントは外部から水素を調達するか、現地で水素を製造するかである。水素製造にスケールメリットがあることに加えて水素製造装置の稼働率が低いとコストが高くなることから、一般的にオンサイトSTは大規模向けと言われている。また、簡易充填については、FCFLへの満充填を前提とすると45MPaのユニット又はカードルでの水素調達が必要となるが、一般的には19.6MPaより低い圧力での水素のみが流通しているため、新たな出荷拠点整備が必要となる課題がある。

図表3-18 各方式の比較

項目	①簡易充填	②オフサイトST	③オンサイトST
製造	(外部から水素を調達)	←同じ	● 現地で水素を製造
出荷/輸送	● ユニットorカードル (非汎用の45MPa*)	● カードルorトレーラー (汎用の19.6MPa)	—
圧縮/貯蔵	—	● 圧縮機⇒蓄圧器 (45MPa)	←同じ
充填	● ユニットorカードルから差圧 充填 (35MPa)	● 蓄圧器から差圧充填 (35MPa)	←同じ

*汎用の19.6MPaカードル等でも充填することは可能だがFCFLに満充填ができない課題がある

iii) 諸条件の比較

外部から水素を調達する①簡易充填、②オフサイトSTにおいては、現状流通している水素が化石燃料をもとに製造するグレー水素または副生水素のみであるためこれらに限られるが、③オンサイトSTでは再エネ電力をもとに製造するグリーン水素や化石燃料をもとに製造した上でCO2を回収利用又は貯蔵するブルー水素も選択肢とすることができる。

運用面においては、①簡易充填は高圧ガス保安法の資格者の常駐は不要だが、水素の利用に合わせて例えば毎日水素を配送するようなオペレーション体制が必要となる。②オフサイトSTは規模によっては資格者の常駐が必要で、水素の利用に合わせて例えば週に1回水素を配送するようなオペレーション体制が必要となる。③オンサイトSTでは規模によっては資格者の常駐が必要で、定常的な水素配送はないが水素製造設備の故障時等にはバックアップ水素の調達が必要となる。

図表3-19 各方式の諸条件

項目	①簡易充填	②オフサイトST	③オンサイトST
諸条件	環境性	● グレー水素or副生水素	←同じ
	能力	● 5台 (ハバルステーションムフ 1回の供給量)	● 10~30台 (セントレア事例)
	土地	● 500㎡ (ハバルステーションムフ)	● 800㎡
	運用	● 充填のみ実施 (第二種製造設備、資格者不要) ● 毎日配送 (例)	● 圧縮・充填のみ実施 (第一種製造設備、資格者) ● 週1回トレーラー配送 (例)
数台の規模		10台以上の規模	

高圧ガス保安法の製造の規制により、FCFL稼働場所において高圧ガスの製造行為を行う際に制約が生じる。高圧ガスの製造行為には、圧縮機での圧縮や充填が該当する。圧縮機の1日あたりの処理能力により第一種製造、第二種製造に分かれる。充填に関しては各方式とも差圧充填であるため処理量は0㎡となる。このため①簡易充填については第二種製造で届出が必要、保安検査は義務なし、資格者不要となる。②オフサイトST及び③オンサイトSTについては第一種製造で許可が必要、保安検査の義務あり、資格者が必要となる。

図表3-20 高圧ガス保安法の製造の規制

処理能力	区分	許認可	保安検査	資格者
100㎡/日以上	第一種製造	許可	保安検査	必要
30㎡/日以上 100㎡/日未満	第二種製造	届出 (機器、充填場所など)	自主検査	不要
30㎡/日未満			義務なし	

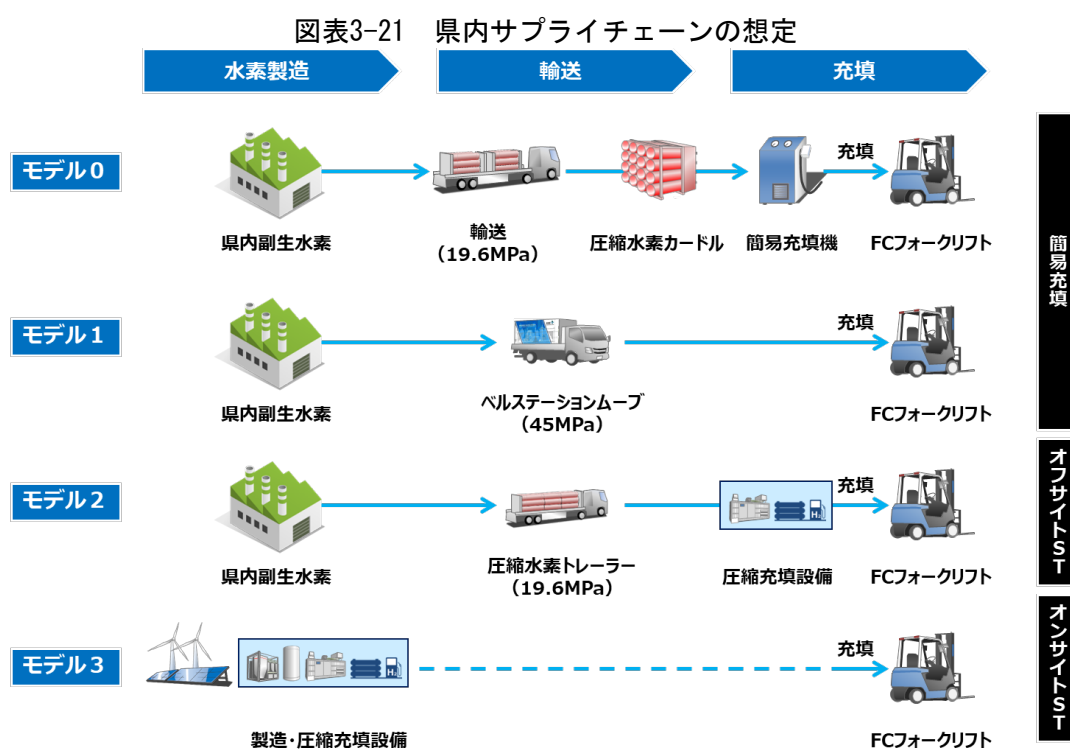
県内での実装段階におけるサプライチェーンを想定してFCFL導入台数に応じて各モデルによる水素コストを算出した。実装段階において想定できるモデル1～3をベースとして、比較のために今回の試験実証のモデル0を加えた。モデル0については今回の試験実証と同様に、FCFLに水素を満充填することが不可能であるため使用可能時間が短くなることや、簡易充填機設置の手間等があるため、実装段階においては現実的ではなく、あくまで参考値として比較する必要がある点に留意が必要である。

モデル0：圧縮水素カードル（19.6MPa）と簡易充填機

モデル1：ベルステーションムーブ

モデル2：圧縮水素トレーラー（19.6MPa）と圧縮充填設備（オフサイトステーション）

モデル3：再エネ設備と水素製造装置と圧縮充填設備（オンサイトステーション）



モデル0～3について、FCFLの導入台数を2台～30台で想定して先行事例等のコスト情報をもとに水素コストを試算した。またモデル3では既存の再エネ発電設備を利用できることを前提とした。以下にFCFL導入台数を10台とした場合の試算結果を示す。

なお、図表3-22～25においてCAPEXとは初期投資の発生する設備に関して投資額を償却年数で割った年間経費のことを指しており、これを水素 1Nm³あたりの単価として計算したものである。また、OPEXとは上記以外の経費を水素 1Nm³あたりの単価として計算したものである。

図表3-22 モデル0（10台）のコスト試算結果

項目		設定値	単位	備考
水素需要	FCFL台数	10	台	
	充填量	8.3	Nm3/日・台	1日8時間稼働
		0.7	kg/日・台	
	稼働日数	250	日/年	
	水素消費量	1,853	kg/年	
20,750		Nm3/年		
初期費用	簡易充填機	0	千円	ベルステーションminiをレンタル利用
運用費用	製造・出荷コスト	28,199	千円/年	フル利用ケース(2台)の単価
	輸送コスト	3,735	千円/年	フル利用ケース(2台)-2の単価
	充填コスト	3,860	千円/年	フル利用ケース(10台)(レンタル)の単価
	小計	35,794	千円/年	

水素単価	CAPEX	0	円/Nm3	償却費用（8年）
	OPEX	1,725	円/Nm3	運用費用
	計	1,725	円/Nm3	

図表3-23 モデル1（10台）のコスト試算結果（参考値）

項目		設定値	単位	備考
水素需要	FCFL台数	10	台	
	充填量	8.3	Nm3/日・台	1日8時間稼働
		0.7	kg/日・台	
	稼働日数	250	日/年	
	水素消費量	1,853	kg/年	
20,750		Nm3/年		
初期費用	簡易充填車	100,000	千円	ベルステーションムーブ（参考値）×2台
運用費用	人件費	6,000	千円/年	運転手1名（参考値）
	諸経費	6,000	千円/年	修繕費、保険料、固定資産税その他（参考値）
	水素代	7,802	千円/年	全量利用ケースの単価*
	小計	19,802	千円/年	

水素単価	CAPEX	602	円/Nm3	償却費用（8年）
	OPEX	954	円/Nm3	運用費用
	計	1,557	円/Nm3	

*ベルステーションムーブにより水素を調達する際に調達した水素をほぼ全量利用できること仮定して全量利用ケースの単価を用いた。P27をもとに112,800円÷300Nm3として計算した。

*ベルステーションムーブはFCFL5台にしか充填できないため、10台に対して円滑に充填するため2台体制を想定した。現状では水素供給事業者がベルステーションムーブを用いた供給体制を整えている状況ではないため、ベルステーションムーブは専用で購入する前提とした。

*参考値とはメーカーヒアリングや各種公表情報に基づき設定した値である。以下表でも同様。

図表3-24 モデル2（10台）のコスト試算結果（参考値）

項目		設定値	単位	備考
水素需要	FCFL台数	10	台	
	充填量	8.3	Nm3/日・台	1日8時間稼働
		0.7	kg/日・台	
	稼働日数	250	日/年	
	水素消費量	1,853	kg/年	
20,750		Nm3/年		
初期費用	オフサイトST	410,000	千円	圧縮充填設備（参考値）
	トレーラー	18,000	千円	チューブトレーラー（参考値）×1台
	小計	428,000	千円	
運用費用	人件費	6,000	千円/年	資格者1名（参考値）
	諸経費	25,680	千円/年	修繕費、保険料、固定資産税その他（参考値）
	輸送費	210	千円/年	7回/年
	水素代	685	千円/年	一般水素単価*
	小計	32,575	千円/年	

水素単価	CAPEX	2,578	円/Nm3	償却費用（8年）
	OPEX	1,570	円/Nm3	運用費用
	計	4,148	円/Nm3	

*チューブトレーラーにより水素を調達する際にカードルやベルステーションムーブと比べて量が多いため一般水素単価で調達できると仮定した。

図表 3-25 モデル 3（10 台）のコスト試算結果（参考値）

項目		設定値	単位	備考
水素需要	FCFL台数	10	台	
	充填量	8.3	Nm3/日・台	1日8時間稼働
		0.7	kg/日・台	
	稼働日数	250	日/年	
	水素消費量	1,853	kg/年	
20,750		Nm3/年		
初期費用	オンサイトST	460,000	千円	製造圧縮充填設備（参考値）
運用費用	人件費	6,000	千円/年	資格者1名（参考値）
	諸経費	27,600	千円/年	修繕費、保険料、固定資産税その他（参考値）
	水素代	1,038	千円/年	1Nm3あたり5kWh、PV10円/kWhと仮定*
	小計	34,638	千円/年	

水素単価	CAPEX	2,771	円/Nm3	償却費用（8年）
	OPEX	1,669	円/Nm3	運用費用
	計	4,440	円/Nm3	

*水素製造（水電解装置）の消費電力を一般的に用いられている1Nm3あたり5kWhと設定した。自家消費型の太陽光発電の発電電力を用いることとして発電コストをFIT制度の2022年度の調達価格（50kW以上）より10円/kWhと設定した。

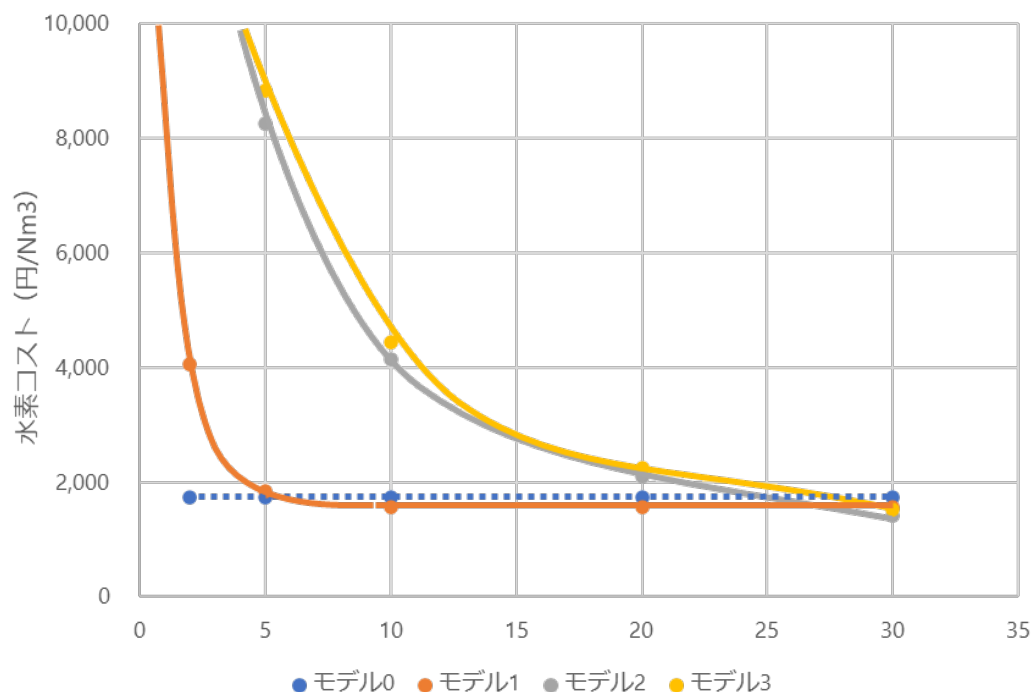
FCFLの導入台数を2～30台とした場合の各モデルの水素コスト試算結果を整理した。

FCFL導入台数2台の場合、モデル0（簡易充填機）が最も低コストである。その他のモデルは非常に高コストとなるため、最適供給方法はモデル0となる。ただし、前述の通り運用に制約がある点に留意が必要である。

FCFL導入台数5台、10台、20台の場合、モデル0とモデル1（ベルステーションムーブ）のコストがほぼ同等で他と比べて低コストであるが、モデル0はタンクが満タンにならないため頻繁な水素充填が必要になるなど運用面の懸念があるため、最適供給方法はモデル1となる。

FCFL導入台数30台の場合、モデル2が最も低コストであり、最適供給方法はモデル2となる。ただし、モデル3のコストもモデル2に近づいており、再エネ水素を利用できるという観点も考慮した上で供給方法を決めることが望ましい。

図表 3-26 水素コスト試算結果



図表 3-27 水素コスト試算結果（円/Nm3）

台数	モデル0	モデル1	モデル2	モデル3
2台	1,725	4,051	20,580	22,002
5台	1,725	1,846	8,255	8,831
10台	1,725	1,557	4,148	4,440
20台	1,725	1,557	2,096	2,245
30台	1,725	1,557	1,411	1,513

(4) 水素サプライチェーン別FC式と他方式とのコスト比較

サプライチェーン別FC式と他方式とのフォークリフト1台あたりのコストを比較することで、FCFL社会実装に向けて補填することが望まれるコスト差を明らかにした。FCFL導入台数に応じてコストが変動するため、小・中・大規模での最適サプライチェーンの例として、モデル0（簡易充填機）は導入台数2台、モデル1（バルステーションムーブ）は導入台数10台、モデル3（オンサイトステーション）は導入台数30台の場合のコストをピックアップした。なお、FCFLについては前述の通り、既存補助金の適用を前提とした。

年間1台あたりに係るコスト比較の結果、FCFL導入費用については、電動式と比べて750千円、ディーゼル式と比べて1,250千円のコスト差があり、サプライチェーンについては、初期費用及び運用費用として以下のコスト差がある。

よって、年間1台あたりに係るトータルコストにおいては、水素サプライチェーンの各モデルと既存の電動式やディーゼル式と比べた場合、いずれも3,700～4,400千円程度コストが高いため、社会実装に向けては、このコスト差に対する補助が必要であると考えられる。

■年間1台あたりに係るコスト比較

<モデル0（2台）の他方式とのコスト差>

- ・ FCFL導入費用（電動式：750千円/台・年、ディーゼル式：1,250千円/台・年）
- ・ サプライチェーン初期費用（電動式：—、ディーゼル式：—）
- ・ サプライチェーン運用費用（電動式：3,461千円/台・年、ディーゼル式：3,186千円/台・年）

<モデル1（10台）の他方式とのコスト差>

- ・ FCFL導入費用（電動式：750千円/台・年、ディーゼル式：1,250千円/台・年）
- ・ サプライチェーン初期費用（電動式：1,250千円/台・年、ディーゼル式：1,250千円/台・年）
- ・ サプライチェーン運用費用（電動式：1,862千円/台・年、ディーゼル式：1,587千円/台・年）

<モデル3（30台）の他方式とのコスト差>

- ・ FCFL導入費用（電動式：750千円/台・年、ディーゼル式：1,250千円/台・年）
- ・ サプライチェーン初期費用（電動式：1,917千円/台・年、ディーゼル式：1,917千円/台・年）
- ・ サプライチェーン運用費用（電動式：1,106千円/台・年、ディーゼル式：831千円/台・年）

図表3-28 サプライチェーン別FC式と他方式とのコスト比較(1台当たり)

			FC式			既存		
			モデル0(2台)	モデル1(10台)	モデル3(30台)	電動式	ガソリン式	ディーゼル式
エネルギー 需要	充填量	Nm3/日・台	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3
		kg/日・台	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
	稼働日数	日/年	250	250	250	250	250	250
	水素使用量	Nm3/台・年	2,075	2,075	2,075	—	—	—
		kg/台・年	185	185	185	—	—	—
	電気使用量	kWh/台・年	—	—	—	3,705	—	—
	ガソリン使用量	L/台・年	—	—	—	—	4,169	—
軽油使用量	L/台・年	—	—	—	—	—	2,964	
エネルギー単価(税込)	—	1,725円/Nm3	1,557円/Nm3	1,513円/Nm3	31.74円/kWh	162.47円/L	132.44円/L	
FL 1台あたり	初期費用	千円/台	8,000	8,000	8,000	5,000	3,000	3,000
	初期費用(4年償却)	千円/台・年	2,000	2,000	2,000	1,250	750	750
SC 全体	初期費用	千円	0	100,000	460,000	0	0	0
	運用費用	千円/年	7,159	19,802	36,713	0	0	0
SC 1台あたり	初期費用	千円/台	0	10,000	15,333	0	0	0
	初期費用(8年償却)	千円/台・年	0	1,250	1,917	0	0	0
	運用費用	千円/台・年	3,579	1,980	1,224	118	677	393
	初期+運用費用	千円/台・年	3,579	3,230	3,140	118	677	393
FL+SC	年間コスト	千円/台・年	5,579	5,230	5,140	1,368	1,427	1,143

注) 端数処理のため合計が一致しないところがある。

以下にモデル0(2台)及びモデル3 (30台) のコスト試算結果を示す。

図表3-29 モデル0 (2台) のコスト試算結果

項目		設定値	単位	備考
水素需要	FCFL台数	2	台	
	充填量	8.3	Nm3/日・台	1日8時間稼働
		0.7	kg/日・台	
	稼働日数	250	日/年	
	水素消費量	371	kg/年	
4,150		Nm3/年		
初期費用	簡易充填機	0	千円	ベルステーションminiをレンタル利用
運用費用	製造・出荷コスト	5,640	千円/年	フル利用ケース(2台)の単価
	輸送コスト	747	千円/年	フル利用ケース(2台)-2の単価
	充填コスト	772	千円/年	フル利用ケース(10台)(レンタル)の単価
	小計	7,159	千円/年	

水素単価	CAPEX	0	円/Nm3	償却費用 (8年)
	OPEX	1,725	円/Nm3	運用費用
	計	1,725	円/Nm3	

図表3-30 モデル3 (30台) のコスト試算結果

項目		設定値	単位	備考
水素需要	FCFL台数	30	台	
	充填量	8.3	Nm3/日・台	1日8時間稼働
		0.7	kg/日・台	
	稼働日数	250	日/年	
	水素消費量	5,558	kg/年	
62,250		Nm3/年		
初期費用	オンサイトST	460,000	千円	製造圧縮充填設備 (参考値)
運用費用	人件費	6,000	千円/年	資格者1名 (参考値)
	諸経費	27,600	千円/年	修繕費、保険料、固定資産税その他 (参考値)
	水素代	3,113	千円/年	1Nm3あたり5kWh、PV10円/kWhと仮定*
	小計	36,713	千円/年	

水素単価	CAPEX	924	円/Nm3	償却費用 (8年)
	OPEX	590	円/Nm3	運用費用
	計	1,513	円/Nm3	

(5) 試験運用実証事業者へのアンケート調査

試験実証の終了後、実証して頂いた運転者と管理者にアンケートを行った。

①アンケート概要

a) 調査票

試験実証終了後、運転者と管理者に対して、次頁の調査票を用いて行った。

b) 回答件数

i) 工場

	運転者	管理者
日本製紙 (株)	—	3人
村上商事 (株)	4人	1人

ii) 空港

	運転者	管理者
日本航空 (株)	—	1人
西鉄エアサービス (株)	8人	—

【運転者向け】

燃料電池(FC)フォークリフトに関するアンケート						運転者向け					
会社名		部署名		役職		氏名					
主にご使用されているフォークリフトに○をお付けください(比較対象) エンジン車・バッテリー車(カウンター)・バッテリー車(リーチ)						※可能でしたら、比較対象の車両番号を教えてください(7FB25-6030など)					
※カウンター式:座席に座った状態で運転する形式、リーチ式:立ったまま操作する形式											
「FCフォークリフト」を使用する際、以下の項目をどの程度重視されているか、満足されているかをお伺いします。											
「FCフォークリフト」に対する重視度と満足度を1～5の数字の中から選んで○をお付けください。											
		重視度					満足度				
		5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
		重視する	やや重視する	言えなるとも	重あ視しな	重視しない	満足	やや満足	言えなるとも	やや不満	不満
1. 水素充填作業	1-1) 水素充填に係る手間・時間	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
	1-2) 水素充填場への移動距離	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
	コメント欄(例)簡易充填機による水素充填を実施してみたかどうか										
2. 稼働時間	2-1) フル充填からの稼働時間の長さ	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
	コメント欄(例)既存FLとの比較等										
3. 車両性能	3-1) 走行性(加速、安定性)	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
	3-2) 荷役作業性(フォーク上昇の早さなど)	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
	3-3) 走行・荷役時の音(コンプレッサー音など)	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
	3-4) 走行・荷役時の振動(コンプレッサーなどによる)	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
	3-5) 車両側面からの排熱(温風)	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
	3-6) キーオン後、車両起動までの時間	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
	3-7) キーオフ後、電源停止までの時間	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
	3-8) 給電機能(コンセント電源)	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
	3-9) 車両の大きさ	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
	コメント欄(例)既存FLとの比較等										
4. メンテナンス性	4-1) 日常点検のしやすさ	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
	コメント欄(例)既存FLとの比較等										
5. 総合評価							5	4	3	2	1
フリーコメント欄 FCフォークリフトの感想、ご要望を教えてください											
(例)FCフォークリフトを利用して、水素を充填してみて、良かった点、悪かった点、不安点、改善に期待する点等											
~ アンケートは以上です。お忙しい中ご協力いただき、誠にありがとうございました。 ~											

【管理者向け（1/2）】

燃料電池(FC)フォークリフトに関するアンケート				管理者向け							
会社名		部署名	役職	氏名							
主にご使用されているフォークリフトに○をお付けください(比較対象) エンジン車・バッテリー車(カウンター)・バッテリー車(リーチ)			※可能でしたら、比較対象の車両番号を教えてください(7FB25-6030など)								
※カウンター式:座席に座った状態で運転する形式、リーチ式:立ったまま操作する形式											
「FCフォークリフト」を使用する際、以下の項目をどの程度重視されているか、満足されているかをお伺いします。											
		重視度 5 4 3 2 1 重 重 言 重 重 視 視 や え ど 視 あ す や や え ち 視 ま する 重 重 な ら し り 重 視 い と な い す 視 す も い する									
1. 水素充填作業	1-1) 水素充填に係る手間・時間	5	4	3	2	1					
	1-2) 水素充填場への移動距離	5	4	3	2	1					
コメント欄(例)実導入に際して簡易充填機による水素充填は現実的かどうか											
2. 稼働時間	2-1) フル充填からの稼働時間の長さ	5	4	3	2	1					
	コメント欄(例)既存FLとの比較等										
3. 車両性能	3-1) 走行性(加速、安定性)	5	4	3	2	1					
	3-2) 荷役作業性(フォーク上昇の早さなど)	5	4	3	2	1					
	3-3) 走行・荷役時の音(コンプレッサー音など)	5	4	3	2	1					
	3-4) 走行・荷役時の振動(コンプレッサーなどによる)	5	4	3	2	1					
	3-5) 車両側面からの排熱(温風)	5	4	3	2	1					
	3-6) キーオン後、車両起動までの時間	5	4	3	2	1					
	3-7) キーオフ後、電源停止までの時間	5	4	3	2	1					
	3-8) 給電機能(コンセント電源)	5	4	3	2	1					
	3-9) 車両の大きさ	5	4	3	2	1					
	コメント欄(例)既存FLとの比較等										
4. メンテナンス性	4-1) 日常点検のしやすさ	5	4	3	2	1					
	コメント欄(例)既存FLとの比較等										
貴社でFCフォークリフトの導入を検討する上で、下記項目の重視度を、お伺いします。 (5:重視する 4:やや重視する 3:どちらとも言えない 2:あまり重視しない 1:重視しない)											
1. FCフォークリフト導入費用	5	4	3	2	1	6. 水素設備導入費用	5	4	3	2	1
2. 環境性能(CO2削減)	5	4	3	2	1	7. 水素設備の維持管理	5	4	3	2	1
3. 環境性能(排ガス削減)	5	4	3	2	1	8. 水素設備の設置スペース	5	4	3	2	1
4. 広報価値(環境の取組みアピール)	5	4	3	2	1	9. 水素充填時間	5	4	3	2	1
5. FCFLの維持管理	5	4	3	2	1	10. 作業者の作業効率	5	4	3	2	1
⇒次ページに続きます											

【管理者向け（2/2）】

今後、貴社にとって、FCフォークリフトを活用・導入する可能性について、該当する番号に○をお付けください。

1:非常に有望、 2:有望、 3:有望でない、 4:わからない・まだ見通せない

フリーコメント欄（どのような条件が整えば導入が有望になるか、FCフォークリフトの感想、ご要望を教えてください）

(例) 水素が配達されるサービスがある、自ら定置式設備を導入する手厚い補助メニューがある、コストが既存FLと同程度となる
ことが必要等

水素関連機器（FCフォークリフト含む）の導入に対して、国や県に対する要望があれば、記載してください。

(ソフト面、ハード面問いません。)

(例) FCフォークリフトの導入に係る税制優遇等

～ アンケートは以上です。お忙しい中ご協力いただき、誠にありがとうございました。～

②アンケート回答結果の要約

試験実証を行った事業者の回答や意見をまとめると、以下のようになる。

a) 重視している点

運転者、管理者とも、作業上の効率が重視される傾向である。

- ・水素充填にかかる手間・時間
- ・走行性
- ・日常点検のしやすさ

b) 満足度の高い点

FCFLについては満足度が高く、評価する意見が多かった。充填機関連については特になかった。

- ・車両側面からの排熱がない
- ・荷役作業性
- ・車両の大きさ
- ・走行時の音や振動が小さい
- ・加速は遅いが、安全を考えると問題ない
- ・排気ガスやすすがないため、製品が汚れない
- ・ディスプレイは見やすい

c) 満足度の低い点や要望点

【充填機関連】

- ・水素充填の手間・時間
- ・充填作業のマニュアルや手順をわかりやすくしてほしい
- ・最初にパージの必要性や水素の流れを説明してほしい
- ・制御盤のセットを簡単に、パージ作業の自動化を検討してほしい
- ・充填しても満タンにならず、充填してから稼働する時間が短い。既存のFLは週1～2回の補給で済む。
- ・雨天時に充填が難しい。
- ・充填機を運ぶ台車のタイヤが小さくて、移動に気を使う。

【FCFL関連】

- ・クリープ現象がないため、下り坂で後退する
- ・点検項目が多く、わかりにくい
- ・音がしないので、周りの作業員が気づきにくい。
- ・従来のFLの方がスピードが出るので、急いでいる場合は作業が早い。
- ・前後進のレバーが既存のFLと逆なので、危なかった。
- ・レバーで爪の幅が調整できるタイプの方が使用用途上は便利。

③回答結果（工場）

a) 運転者が比較的重視している点

「水素充填に係る手間・時間」「フル充填からの稼働時間の長さ」「走行性」

b) 運転者が比較的満足している点

「水素充填場への移動距離」「荷役作業性」「走行・荷役時の音」「走行・荷役時の振動」
「車両側面からの排熱（温風）」

c) 運転手の総合満足度

5点満点で平均2.8点と中程度。

d) 管理者が比較的重視している点

「水素充填に係る手間・時間」「走行性」「走行・荷役時の音」「給電機能（コンセント電源）」「給電機能（コンセント電源）」「日常点検のしやすさ」

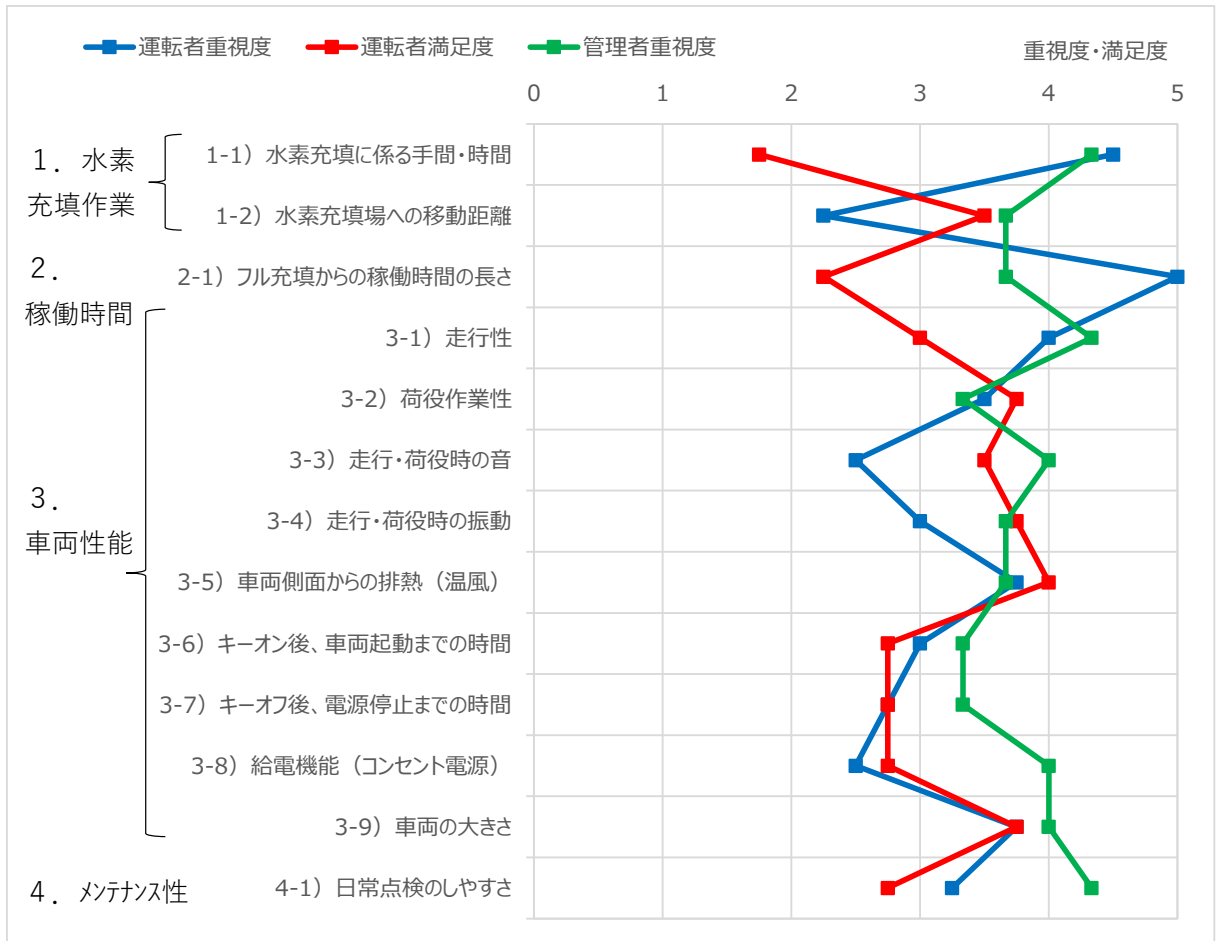
図表3-31 運転者・管理者の重視度と満足度(工場)

評価が高い数値を赤で、低い数値を青で示す。

	運転者												管理者					
	重視度						満足度						重視度					
	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均
1. 水素充填作業																		
1-1) 水素充填に係る手間・時間	0	0	1	0	3	4.5	1	3	0	0	0	1.8	0	0	0	2	1	4.3
1-2) 水素充填場への移動距離	1	2	0	1	0	2.3	0	0	3	0	1	3.5	0	0	1	2	0	3.7
2. 稼働時間																		
2-1) フル充填からの稼働時間の長さ	0	0	0	0	4	5.0	0	3	1	0	0	2.3	0	0	1	2	0	3.7
3. 車両性能																		
3-1) 走行性	0	0	1	2	1	4.0	0	2	1	0	1	3.0	0	0	0	2	1	4.3
3-2) 荷役作業性	0	0	3	0	1	3.5	0	0	2	1	1	3.8	0	1	0	2	0	3.3
3-3) 走行・荷役時の音	0	2	2	0	0	2.5	0	0	3	0	1	3.5	0	0	0	3	0	4.0
3-4) 走行・荷役時の振動	0	2	1	0	1	3.0	0	0	2	1	1	3.8	0	0	1	2	0	3.7
3-5) 車両側面からの排熱（温風）	0	1	1	0	2	3.8	0	0	2	0	2	4.0	0	0	1	2	0	3.7
3-6) キーオン後、車両起動までの時間	0	1	2	1	0	3.0	0	1	3	0	0	2.8	0	1	0	2	0	3.3
3-7) キーオフ後、電源停止までの時間	0	1	3	0	0	2.8	0	1	3	0	0	2.8	0	1	0	2	0	3.3
3-8) 給電機能（コンセント電源）	0	2	2	0	0	2.5	0	1	3	0	0	2.8	0	0	0	3	0	4.0
3-9) 車両の大きさ	0	0	2	1	1	3.8	0	0	2	1	1	3.8	0	0	0	3	0	4.0
4. メンテナンス性																		
4-1) 日常点検のしやすさ	0	1	1	2	0	3.3	0	1	3	0	0	2.8	0	0	0	2	1	4.3
5. 総合評価							0	1	3	0	0	2.8						

各項目における回答者の平均を図表3-32に示す。

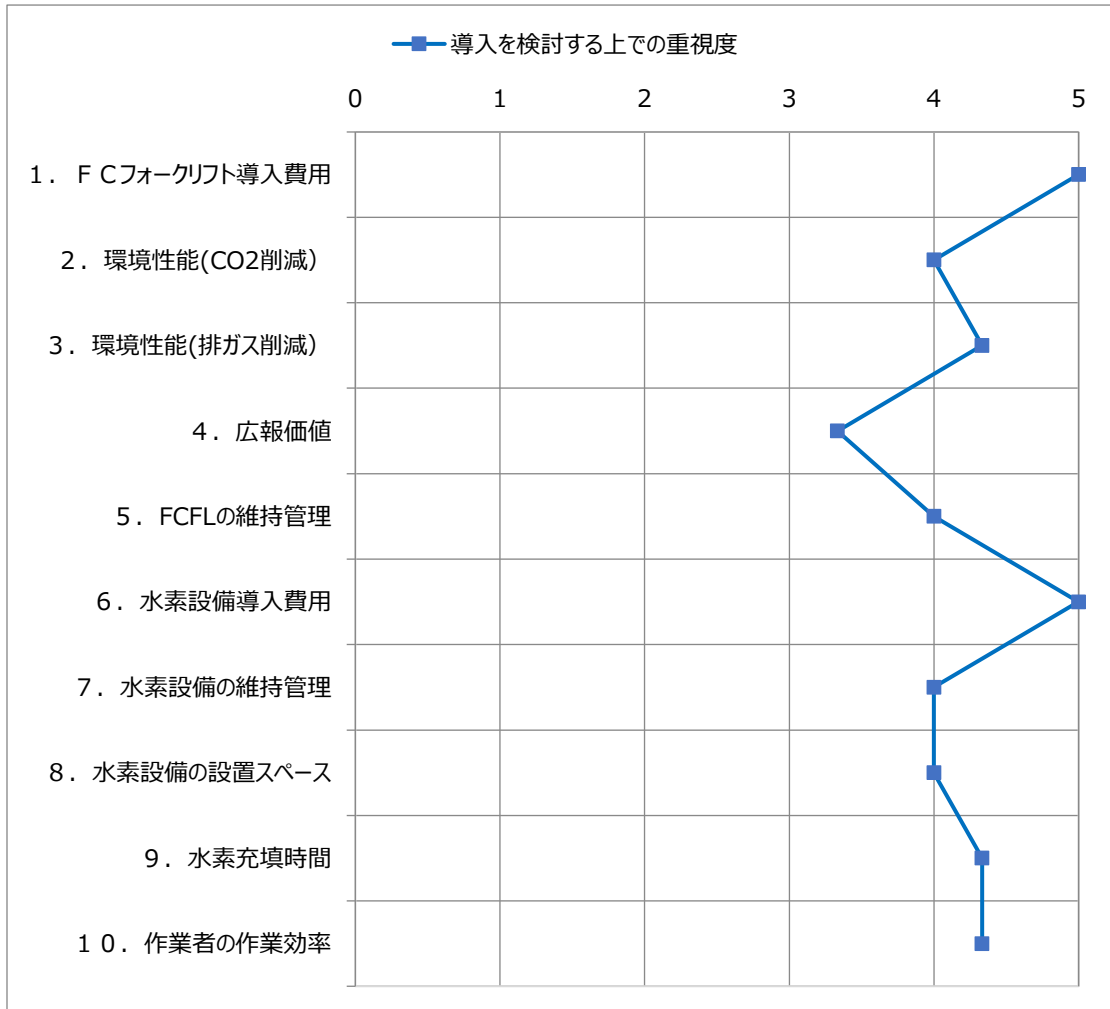
図表3-32 運転者の重視度・満足度、管理者の重視度(工場)



e) 管理者がFCFLの導入を検討する上での重視度

「広報価値」はさほど重視していないが、その他は各項目で重視されている。

図表 3-33 管理者が FCFL の導入を検討する上での重視度(工場)



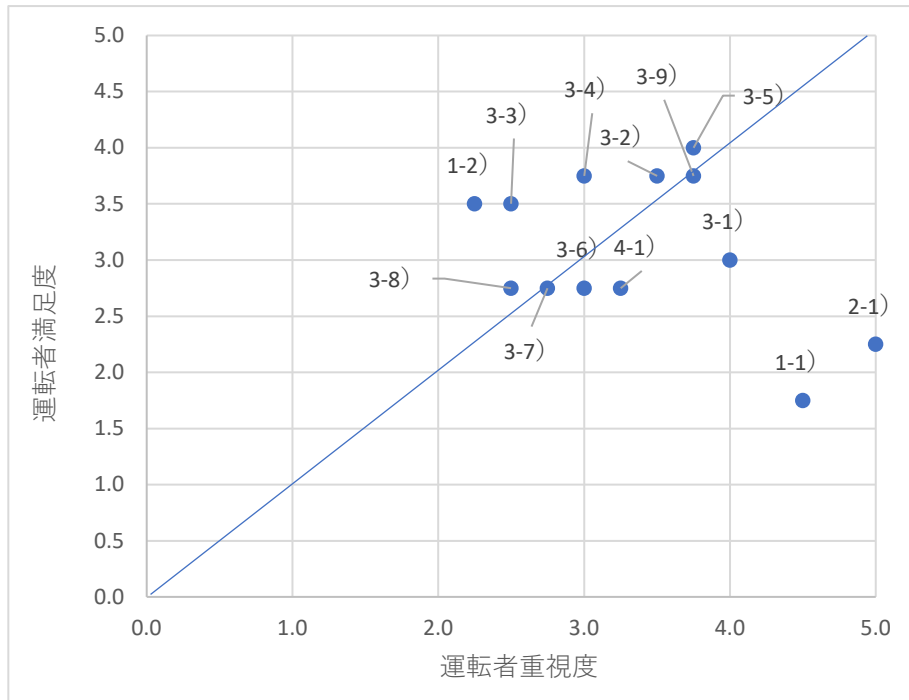
f) 管理者がFCFLを活用・導入する可能性

5点満点で平均4.0点であった。

g) 運転者の重視度と満足度の相関

運転者の重視度と満足度（工場）の散布図を図表3-34に示す。「水素充填に係る手間・時間」「フル充填からの稼働時間の長さ」「走行性」「キーオン後、車両起動までの時間」「日常点検のしやすさ」は、下側にあり、重視度が高い項目だが、満足度が低い項目である。

図表 3-34 運転者の重視度と満足度の相関(工場)



- 1-1) 水素充填に係る手間・時間
- 1-2) 水素充填場への移動距離
- 2-1) フル充填からの稼働時間の長さ
- 3-1) 走行性
- 3-2) 荷役作業性
- 3-3) 走行・荷役時の音
- 3-4) 走行・荷役時の振動
- 3-5) 車両側面からの排熱（温風）
- 3-6) キーオン後、車両起動までの時間
- 3-7) キーオフ後、電源停止までの時間
- 3-8) 給電機能（コンセント電源）
- 3-9) 車両の大きさ
- 4-1) 日常点検のしやすさ

h) 自由意見（工場）

【運転者】

1. 水素充填作業
・ 充填作業に時間がかかった。マニュアルについて、写真等で分かりやすくしてほしい。
・ 固定の充填場があれば良い。
・ 制御盤のセットがたいへん。
・ パージ作業の自動化を検討してほしい。
2. 稼働時間
・ 充填後の稼働時間が少なすぎる。
・ 既存のFLは週一回～二回の燃料補給で済むので、毎日の充填するのは作業負荷が高い。
・ 充填作業未実施のため、コメントなし。
・ 充填したときに満タンにならないため、準備に時間が掛かった割に稼働時間が短い気がする。
3. 車両性能
・ 既存FLとそん色ない。
・ 排気、走行性、音は満足。
・ 既存と比べると加速が遅いが、安全を考えると問題はないと思う。ただし、既存と違い排熱がなく、夏の暑い時期は助かる。
・ 下り坂の荷役で後退時に前進する。
4. メンテナンス性
・ 既存FLとそん色ない。
・ 点検項目が多く、分かりにくい。
・ 日常点検も未実施のためコメントなし。
・ ディスプレイは見やすい。
5. 総合評価
・ 既存FLとそん色ない。
・ 今回、水素FLを使用してみて、普段エンジン車しか使用しなていない自分としては排気ガスやススで製品が汚れないことが大変良く、ダンボールの汚れ落としなどしなくて大変よかった。ただし、毎日の充填作業の時間が長く、忙しいときは充填することができないと感じた。
・ FCFLを使用してみて、静かなこと、排気ガスが出ないことは倉庫内で使用するのは大変よいと思うが、充填してからの稼働時間が短すぎて毎日充填するのは大変だと思う。
・ 走行時に音がしないので、周りの作業員が気付かない。

【管理者】

1. 水素充填作業
・水素充填に必要な資格取得の困難さを知りたい。
・屋根付きの水素充填等の置き場所が用意出来れば導入しやすいかも。
・充填作業の準備に時間がかかり、2～3名での対応になるため、通常作業に支障をきたす恐れがある。
2. 稼働時間
・今後の稼働時間の作業性改善の可能性はあるか？
・フォークリフトへの充填量が残圧力により減っていくので、昨日と今日で使用できる距離が減るのは作業者にとって問題あるかもしれません。
・満タンに出来ないため、エンジン車との比較が難しいが、エンジン車の場合1日3時間の稼働で3～4日は稼働できる。バッテリー車のように充電して帰る等の対応もできないため稼働時間は今後の課題と考える。
3. 車両性能
・車両が故障した場合の部品調達に必要な時間や費用、メーカーの対応可否について知りたい。
・エンジン車と比較した場合、音が静かすぎて他作業者が動いていることに気付かない。前進走行時も後進走行時と同じように音を出すなどの対応が必要。
4. メンテナンス性
・車両が故障した場合のメーカー対応可否について知りたい。
・まだ車両が少ないと思われるので、車両が故障した場合のメーカー対応が充実しているのか心配。
・日常点検等は問題なく行えた。既存と変わらない。
FCフォークリフトを活用・導入する可能性
・メーカーのアフターサービス状況について知りたい。
・車両、水素、設備全てにおいて費用での負担が大きい。記載されてあるように水素を運んでくれるローリー車等があればよい。水素を充填するまでの準備に時間がかかるうえ、今回のように夏期に屋外で作業する時間が長くなれば熱中症の危険もある。また、弊社のように危険物を多く扱う化学工場だと法規制を受けやすいため、そのあたりもクリアしたFLであれば導入しやすくはなる。
要望
・補助金について知りたい。
・今後の環境影響を考えると、水素を使用していくことは大変重要なことと考えるが、今回取り扱ってみて感じたことが、水素が危険な物であるという認識が拭えない。もし着火して火災となったときにどうしたらいいか、などの思いを持ちながら充填作業を確認していた。今後、他事業場でも実証実験を行うにあたり、安全性に配慮してほしい。
・カードル設置位置がグレーチングが無い排水溝前での作業なので足を踏み外そう。
・ホースやコードが多いので躓きそう。
・日当たりの良い場所に設置しているため、日よけカバーをしているとはいえ、カードルが高温になる恐れがある。
・水素の放出管から高圧〔20MPa〕で勢いよく噴出するため、その摩擦静電気だけでも着火しそう。また、逆火防止措置等の対応はとられているか？

④回答結果（空港）

a) 運転者が比較的重視している点

「水素充填に係る手間・時間」「走行性」「フル充填からの稼働時間の長さ」「日常点検のしやすさ」「水素充填場への移動距離」であった。

b) 運転者が比較的満足している点

「キーオフ後、電源停止までの時間」「車両の大きさ」「走行・荷役時の音」「荷役作業性」「車両側面からの排熱（温風）」であった。

c) 運転手の総合満足度

5点満点で平均2.4点と中程度よりやや低い。

d) 管理者が比較的重視している点

「水素充填に係る手間・時間」「走行性」「日常点検のしやすさ」「水素充填場への移動距離」「フル充填からの稼働時間の長さ」「走行・荷役時の振動」

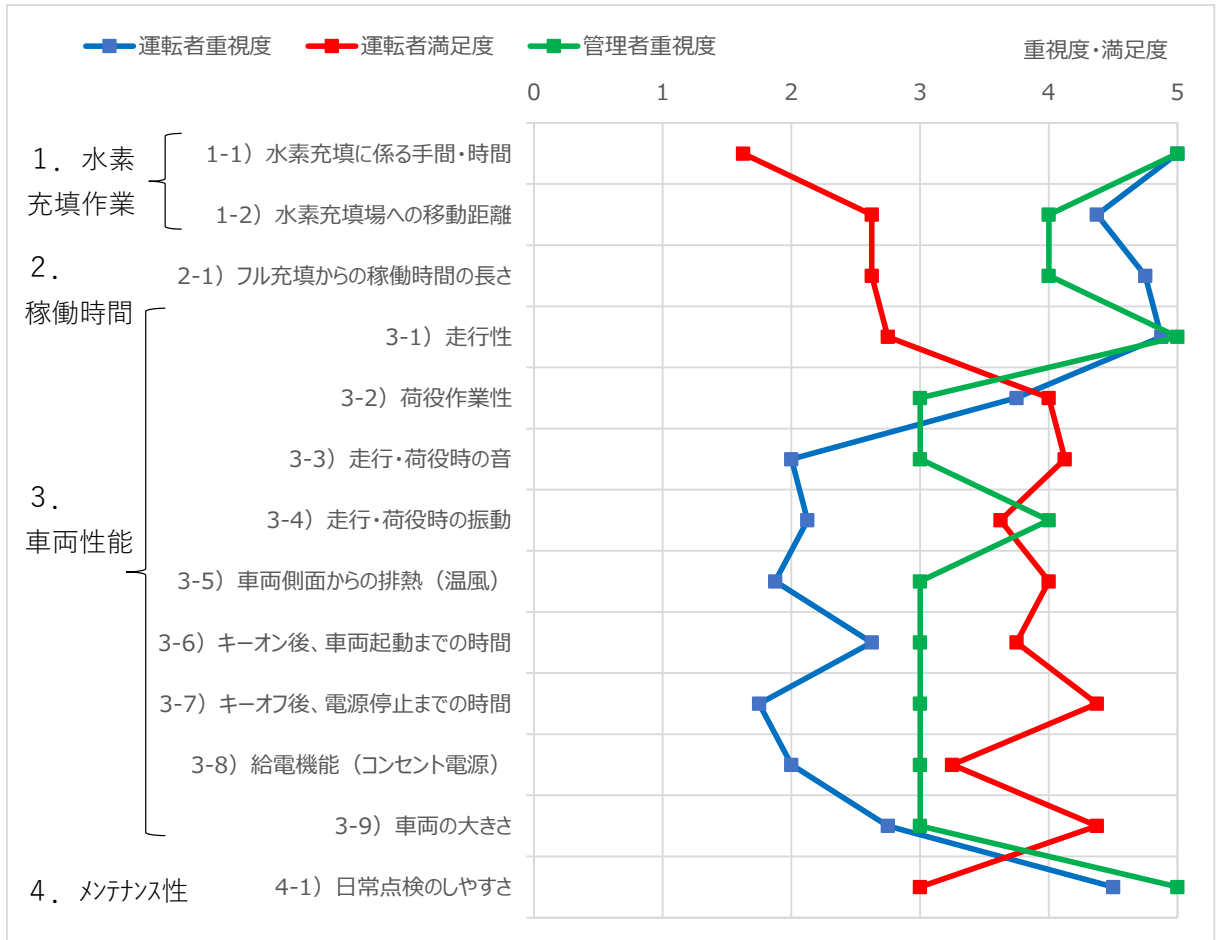
図表3-35 運転者・管理者の重視度と満足度(空港)

評価が高い数値を赤で、低い数値を青で示す。

	運転者													管理者					
	重視度						満足度						重視度						
	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均	
1. 水素充填作業																			
1-1) 水素充填に係る手間・時間	0	0	0	0	8	5.0	4	3	1	0	0	1.6	0	0	0	0	1	5.0	
1-2) 水素充填場への移動距離	0	1	0	2	5	4.4	0	5	1	2	0	2.6	0	0	0	1	0	4.0	
2. 稼働時間																			
2-1) フル充填からの稼働時間の長さ	0	0	0	2	6	4.8	1	2	4	1	0	2.6	0	0	0	1	0	4.0	
3. 車両性能																			
3-1) 走行性	0	0	0	1	7	4.9	0	4	2	2	0	2.8	0	0	0	0	1	5.0	
3-2) 荷役作業性	1	0	2	2	3	3.8	0	0	3	2	3	4.0	0	0	1	0	0	3.0	
3-3) 走行・荷役時の音	3	3	1	1	0	2.0	0	0	3	1	4	4.1	0	0	1	0	0	3.0	
3-4) 走行・荷役時の振動	3	2	2	1	0	2.1	0	0	4	3	1	3.6	0	0	0	1	0	4.0	
3-5) 車両側面からの排熱（温風）	3	3	2	0	0	1.9	0	0	3	2	3	4.0	0	0	1	0	0	3.0	
3-6) キーオン後、車両起動までの時間	2	2	2	1	1	2.6	0	0	4	2	2	3.8	0	0	1	0	0	3.0	
3-7) キーオフ後、電源停止までの時間	3	4	1	0	0	1.8	0	0	1	3	4	4.4	0	0	1	0	0	3.0	
3-8) 給電機能（コンセント電源）	3	2	3	0	0	2.0	0	0	7	0	1	3.3	0	0	1	0	0	3.0	
3-9) 車両の大きさ	1	2	3	2	0	2.8	0	0	1	3	4	4.4	0	0	1	0	0	3.0	
4. メンテナンス性																			
4-1) 日常点検のしやすさ	0	0	1	2	5	4.5	0	2	4	2	0	3.0	0	0	0	0	1	5.0	
5. 総合評価							0	5	3	0	0	2.4							

各項目における回答者の平均を図表3-36に示す。

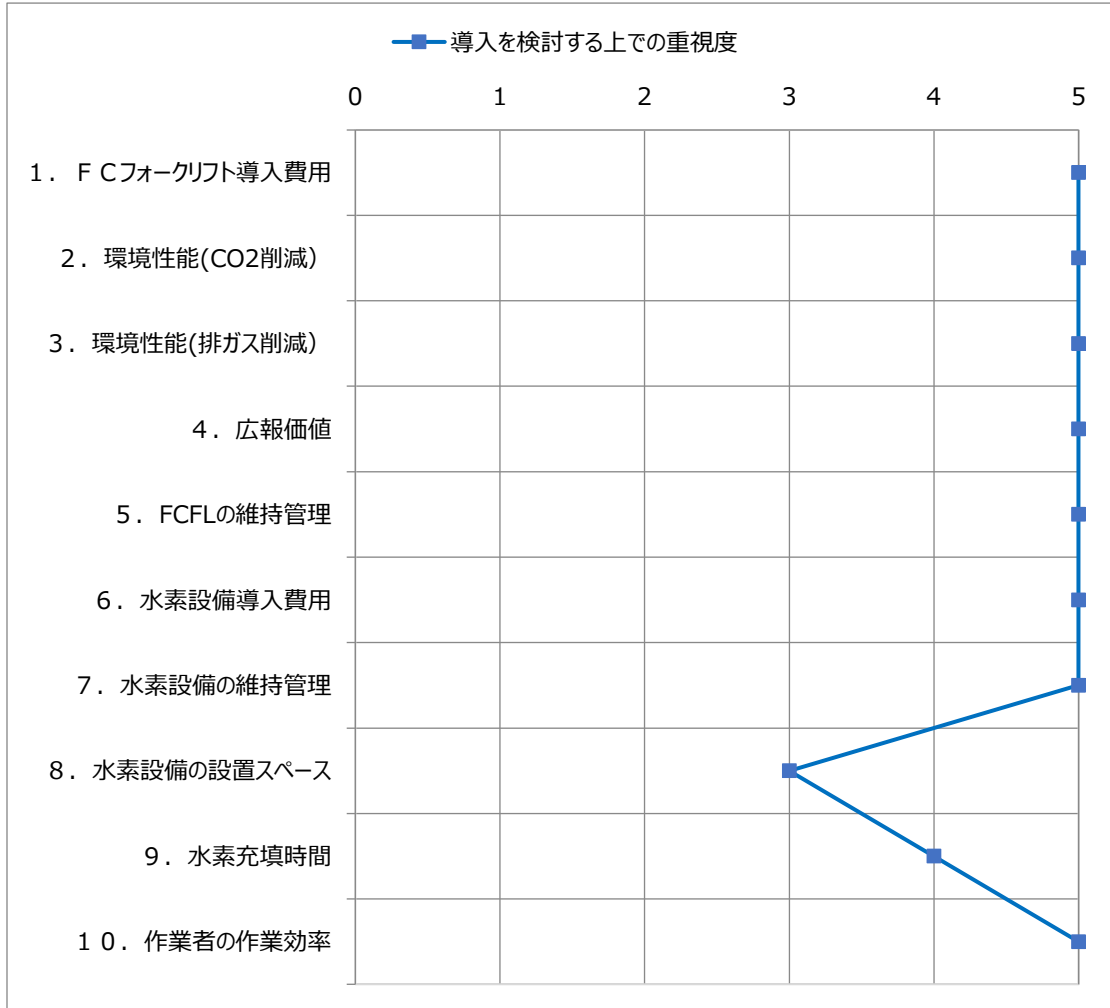
図表3-36 運転者の重視度・満足度、管理者の重視度(空港)



e) 管理者がFCFLの導入を検討する上での重視度

「水素設備の設置スペース」はさほど重視していないが、敷地に余裕があったためと考えられる。それ以外は、すべて重視度が高い。

図表3-37 管理者がFCFLの導入を検討する上での重視度(空港)



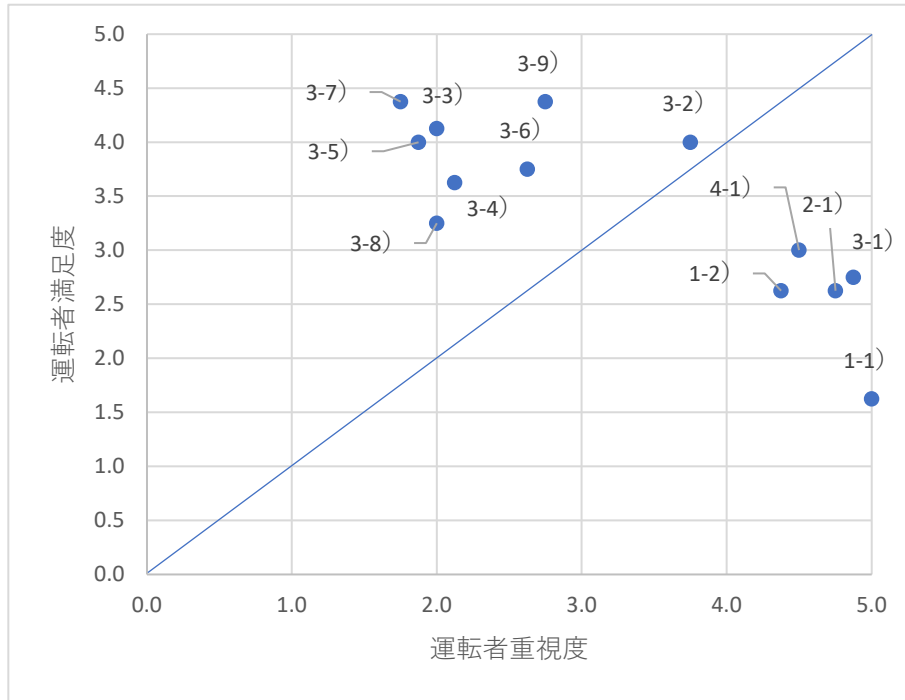
f) 管理者がFCFLを活用・導入する可能性

管理者は1人であったが、5点満点で4.0点であった。

g) 運転者の重視度と満足度の相関

運転者の重視度と満足度（空港）の散布図を図表3-38に示す。「水素充填に係る手間・時間」「水素充填場への移動距離」「フル充填からの稼働時間の長さ」「走行性」「日常点検のしやすさ」は、下側にあり、重視度が高い項目だが、満足度が低い項目である。

図表 3-38 運転者の重視度と満足度の相関(空港)



- 1-1) 水素充填に係る手間・時間
- 1-2) 水素充填場への移動距離
- 2-1) フル充填からの稼働時間の長さ
- 3-1) 走行性
- 3-2) 荷役作業性
- 3-3) 走行・荷役時の音
- 3-4) 走行・荷役時の振動
- 3-5) 車両側面からの排熱（温風）
- 3-6) キーオン後、車両起動までの時間
- 3-7) キーオフ後、電源停止までの時間
- 3-8) 給電機能（コンセント電源）
- 3-9) 車両の大きさ
- 4-1) 日常点検のしやすさ

g) 自由意見（空港）

【運転者（1/2）】

1. 水素充填作業
最初にページの必要性や水素の流れを説明して欲しかった。慣れても手順の多さに困惑した。
もう少し手順を簡略化してわかりやすくして欲しい。
機器のタイヤが小さくて、持ち運びに不便だった。
機器の移動時、少しの段差でも乗り越えられず神経を使った。充填までの作業が多く、慣れるまで時間を要した。
充填作業は回数をこなしていく度に、作業時間は短縮していった。問題点は、充填場所が事務所から離れた場所でしかできない。雨天時に充填が難しい点。
充填するまでに時間がかかりすぎる。
1回の充填で少ししか入らないので、もっと多く入れば良いと思った。
2. 稼働時間
既存FLに比べれると燃料の減りが早かった。
特にはないが、充電する頻度が下がれば下がるほど効率がよくなる。
既存のFLと比較した場合、燃料の値段を考慮しなければ、ガソリンの方が持つ。ただ、充填が時短になればあまり気にならない。
フル充填ができないため、毎日充填していたが手間だと感じた。既存のFLと比べ残燃料メモリが減るのが早いと感じた。
エンジン車と比較して、稼働時間は短いと感じた。充填時間は短いので、充填頻度を増やすことにより、カバーできると思う。
ガソリン車の方が保つと感じる。
フル充填ができないので、今後、できるようになってもらえたら幸い。
3. 車両性能
クリープ現象が無く、坂道でコンテナを置く際に思いがけない方向に進んで怖かった。
アクセルを踏まないと動かないので、慣れるまでは危なかった。前後進のレバーが既存のものと逆なので、危なかった。
性能に関しては満足している。強いて言うなら、レバーで爪の幅が調整できるタイプの方が使用用途上、便利だと思った。
エンジン車ではある走行時のクリープ現象がないので、走行・荷役時に慣れが必要。
クリープ現象が無く、坂道でコンテナを置く際に思いがけない方向に進んで怖かった。現象がないため、慣れが必要だった。
パワーがないので、今後、強度が上がれば良いと感じた。
アクセルワークに慣れるまで時間がかかった。シフトレバーが逆で危険だった。

【運転者（2/2）】

4. メンテナンス性
確認する所が多い
充填以外のメンテナンス性は既存のFLと変わらなかった。
エンジン車とあまり変わらず、特に問題はなかった。
既存FLと変わらないと思う。
5. 総合評価
改善として既存のFLとシフトレバーが逆に付いているので使いづらかった。
環境に配慮していて良い反面、今までのFLの感覚は忘れ、人間がFLと同様にアップデートするべきだと感じた。
充填までの準備がもっと手軽になると負担が減ると思った（パージが不要or自動など…）。水素放出カプラーがちゃんと挿っていない状態で作業してしまいカプラーも入らず、水素も抜くことができないことが大変だったため、万が一の際の手順や水素を強制的に開放するバルブがあれば良いと思った。
充填作業でカードルの接続や窒素ボンベとの接続など、きちんと接続しないと危険が伴う作業があるのが不安な点である。もう少し充填作業が簡単になれば、普及しやすいのではないかと思った。
充填作業がもっと簡単になれば既存FLとあまり変わらないと感じました。クリープ現象が改善可能なら、して頂きたいと思います。
充填に時間を使ってしまい、他の作業の効率が悪くなるので、充填が簡単になってくれればとてもありがたい。パワーがないので、改善していただきたいです。
雨が續くと充填ができない所が不便を感じた。走行音が静かで声が通りやすかった。充填装置が簡素化されるととても助かる。

【管理者】

1. 水素充填作業
実導入に際し、簡易充填機による水素充填は画期的であるが、手間と時間を考えると現段階では難しい。カードルとセットで収納できる屋根付きの小屋のようなものがあれば雨の日も安心できる。
2. 稼働時間
既存のFLよりは燃料充填回数が多くなると思われる。
3. 車両性能
—
4. メンテナンス性
—
F C フォークリフトを活用・導入する可能性
—
要望
—

⑤満足度の低い点等の要因の検討

アンケートでは、騒音や振動が小さいことや排気ガスがないことなどFCFLの性能に対して満足する意見が多かったが、満足度の低い点や要望点についての回答も見られた。今後、FCFLの普及を進めていくために、試験実証で把握できた満足度の低い点等の要因を推察し、改善が必要なものについては対応していくことが求められる。なお、本試験実証で使用されている既存FLがエンジン式だったため、評価の高いポイントは電動式と共通のものとなっていることに留意する必要がある。たとえば、電動式との違いである燃料補給時間の長さや停電時の問題などは別の実証などで把握する必要がある。

③と④で抽出した満足度の低い点や要望点の要因を整理した表を図表3-39に示す。

図表3-39 満足度の低い点や要望点の要因を整理

	充填機	F C F L
試験実証特有の条件により評価が低くなってしまったもの	「水素充填の手間・時間」 試験実証ではデモ用の簡易充填機を使用したため、使いやすさを考慮した商用機ではなかった。	
	「雨天時に充填が難しい。」 試験実証では簡易充填機を仮設場所で使用したが、本格使用時には雨除けを設けるなど、雨天時でも使用するようにはする。	
	「充填機を運ぶ台車のタイヤが小さくて、移動に気を使う。」 試験実証では簡易充填機を使用時に移動させる必要があったため、安価な台車を用いたが、本格使用時には移動させる必要がある場合でも支障のない設備とする。	
	「充填しても満タンにならず、充填してから稼働する時間が短い。既存のF Lは週1～2回の補給で済む。 試験実証では差圧充填方式による簡易充填機（19.6MPa）であったため、充填量は多くはできなかった。ただ、今回の試験実証では、稼働時間が短い使用場所であることから、さほど問題ではなかったと考えられる。	
慣れの問題によるもの		「前後進のレバーが既存のF Lと逆なので、危なかった。」 機種が変われば起こる問題であり、使用していくうちに慣れると考えられる。
機器開発への要望	【充填機】「制御盤のセットを簡単に、パージ作業の自動化を検討してほしい」 試験実証ではデモ用の簡易充填機を利用したが、商用の簡易充填機の開発では考慮していくことが望ましい。	「クリーブ現象がないため、下り坂で後退する」 E Vではクリーブ現象を再現している機種があることから、今後の機器開発で対応を検討することが望ましい。
		「従来のF Lの方がスピードが出るので、急いでいる場合は作業が早い。」 安全性を考慮した上で、機器開発で対応を検討することが望ましい。
		「点検項目が多く、わかりにくい」 点検項目はエンジン式並みに減らせられないか、改善を検討することが望ましい。
		「音がしないので、周りの作業員が気づきにくい。」 騒音がない点は長所ではあるが、事故防止の観点から、メロディなどが流れるようにするなど、改善を検討することが望ましい。
F C F Lが要因ではないもの	「充填作業のマニュアルや手順をわかりやすくしてほしい」 「最初にパージの必要性や水素の流れを説明してほしい」 運転者教育用のマニュアルや教育方法、スタッフ育成など、教育システムを整備する。	「レバーで爪の幅が調整できるタイプの方が使用用途上は便利。」 F C F L特有の問題ではないが、機種のバリエーションを増やせないか改善を検討することが望ましい。

4. 水素関連機器（FCFL 含む）の社会実装に向けての課題抽出・解決策の提示

（1）本事業の成果

<試験実証の実施>

- ・工場及び空港において、定置式の水素ステーションを設置することなく、カードルで水素を配送して簡易充填機で充填する簡易な方法により、FCFLを運用できることが実証できた。（2.（1）参照）
- ・簡易充填機及びカードルを導入するにあたり、高圧ガス保安法の製造行為に該当するため、第2種製造の届出を実施した。山口県消防保安課との事前打ち合わせ等を行った上で運用開始の20日前までの申請を実施した。簡易充填機の利用は県内では初めてであったことから届出内容の確認や調整に時間を要したが、今回で実績ができたため、今後、県内で簡易充填機を用いる場合には円滑に導入できることが期待できる。（2.（2）参照）
- ・今回の充填スキームは処理量0m³の第二種製造であるため、高圧ガス保安責任者（資格者）の配置等は不要であり、充填機メーカーによる保安教育・充填講習を行った上で、運転者による水素充填を実施できた。（2.（2）、3.（3）参照）

<試験実証の分析>

- ・FCFLと電動式・エンジン式FLについて導入及び運用にかかるコストを算定して分析した。FC式は、現在の補助金を導入した場合でも、工場モデルで1年間あたり約4,400千円、空港モデルで約3,600千円となっている。これは、工場モデルで、電動式の3.3倍程度、エンジン式（ガソリン）の3.65倍程度、エンジン式（軽油）の4.34倍程度であり、空港モデルでは、電動式の2.79倍、エンジン式（ガソリン）の3.44倍、エンジン式（軽油）の3.92倍である。（3.（2）参照）
- ・FCFLの初期費用については国の補助金があるが、まだ電動式とは3,000千円、エンジン式（ガソリン・軽油）とは5,000千円の差がある。また、FC式と他方式との運用費用の差額としては、おおむね1,500～2,000千円/台・年程度となっている。
- ・同様にCO₂を算定して分析した。CO₂排出量については、グリーン水素の場合でCO₂排出量は0だが、副生水素の場合、電動式の50%程度増加、エンジン式（ガソリン）の75%程度減少、エンジン式（軽油）の70%程度減少となっている。FC式はエンジン式と比べるとCO₂削減効果が得られるが、電動式と比べるとCO₂削減効果が得られるがどうかは条件により異なる。FC式（副生水素）と電動式（温対法の代替値）との比較では、電動式の方がCO₂排出量が少なかった。CO₂排出係数が高い電源を用いた場合の電動式との比較では、FC式（副生水素）のCO₂排出量が下回るケースもある。副生水素のCO₂排出係数は定まっておらず、電動式と比べてCO₂排出量が大幅に少ないと評価できる可能性もある。仮にCO₂排出量0のグリーン水素を用いた場合は、CO₂排出量は0となる。（3.（2）参照）
- ・県内のFLがすべてFC式に置き換えられた場合の年間CO₂削減量は72,975t～87,570t-CO₂/年と推定される。

【計算】

- ・メーカーヒアリングより、県内のFLは15,000～18,000台と推定。
 - ・工場モデルにおいてエンジン式（ガソリン）からFC式（副生水素）への変更によるCO2削減量が4,865kg-CO2/台・年（=6,473-1,608、P.34参照）。
- 4,865kg-CO2/台・年×15,000～18,000台=72,975t～87,570t-CO2/年

＜サプライチェーン構築に向けた検討＞

- ・FCFLの実装に向けて、構築が求められる水素サプライチェーンの全体及び構成要素について、既存事例等の情報をもとに諸条件等を整理した。その上で県内で実装段階において想定可能な水素サプライチェーンモデルを複数設定して、導入規模に応じた水素コストを比較した。
- ・最もコストが安価となる供給方法はFCFL導入台数により異なり、2台の場合はモデル0（簡易充填機）、5台・10台・20台の場合はモデル1（バルステーションムーブ）、30台の場合はモデル2（オフサイトステーション）となる。ただし、モデル0は運用に制約がある点に留意が必要である。またモデル2よりも高コストとなるモデル3（オンサイトステーション）は現状で再エネ水素を利用する唯一の方法である点も考慮する必要がある。（3.（3）参照）
- ・サプライチェーン別FC式と他方式とのフォークリフト1台あたりのコストを比較することで、FCFL社会実装に向けた補填することが望まれるコスト差を明らかにした。（コスト差については後述）
- ・アンケートによるユーザーのニーズをメーカーにフィードバックした結果、機器開発に関する項目としては、FCFLメーカーからは燃費の向上に継続して取り組むとしている。（3.（5）参照）

（2）今後の課題・解決策

(a) 技術面（FCFL及び水素供給設備）

- ・簡易充填機については、ユーザーから充填手間が指摘された。今後も機器開発を進める中で、簡易充填機において充填の手間の軽減が課題と考えられる。
- ・手間としては、手順の多さや複雑さが挙げられていた。また、窒素ガスのパージが必要であったり、自動化されていないといった点が挙げられた。
- ・充填作業は3分しかかからないが、準備時間を要した。準備時間は初日が45分、2日目が30分と徐々に短縮され、最終日には20分程度に短縮された。長期にわたって使っていれば、短縮されると思われるとの意見であった。
- ・簡易充填機については、プロトタイプであるため、今後、改良開発が進むことにより、充填作業時間が短縮されると考えられる。
- ・エンジン式の給油時間が3分程度、電動式の充電時間が8時間程度であるのに対し、FC式の充填時間は3分程度である。電動式に比べ、FC式は充填時間が短い点で利便性に優れている。

(b) コスト面

- ・FCFLの運用コストは、現在の補助金を導入した場合でも、既存で最安のディーゼル式と比較して約400万円以上高くなる。普及促進には、(c)に後述する国や行政による手厚い支援が必要と考えられる。

- ・メーカー側でのFCFLの機器開発や生産量拡大等により、今後機器コストが低減することが期待される。また、水素サプライチェーンに用いる充填設備等の機器についても、FCFLの普及に伴いメーカー側での機器開発や生産量拡大等により、同様に機器コストが低減することが期待される。
- ・今後FCFL以外の各種の水素利用機器（FCV・FCバスに加えて定置型の燃料電池、その他）の普及拡大や、産業を中心とした大規模サプライチェーンの構築なども含めて水素の社会実装を進めることにより、幅広い地域において複合的な水素サプライチェーンが形成され、流通システムや競争的な市場環境が整うことにより、コスト低減が図られるような仕組みづくりが期待される。

(c)制度面

- ・主に経済性の面で、FCFL導入が進みにくいことから、行政の支援制度の充実が求められる。ユーザーの意見も含め、以下のような点が挙げられる。
 - －FCFL導入費用に対する補助制度の増額
 - －FCFLの運用にかかる税制の優遇（軽自動車税）
 - －簡易充填機、オフサイトST、オンサイトSTの導入費用に対する補助制度の創設
 - －水素調達費等の運用にかかる補助制度の創設
- ・年間1台あたりに係るコスト比較の結果、FCFL導入費用については、電動式と比べて750千円、ディーゼル式と比べて1,250千円のコスト差があり、サプライチェーンについては、初期費用及び運用費用として以下のコスト差がある。よって、年間1台あたりに係るトータルコストにおいては、水素サプライチェーンの各モデルと既存の電動式やディーゼル式と比べた場合、いずれも3,700～4,400千円程度コストが高いため、社会実装に向けては、このコスト差に対する補助が必要であると考えられる。

■年間1台あたりに係るコスト比較

<モデル0（2台）の他方式とのコスト差>

- ・ FCFL導入費用（電動式：750千円/台・年、ディーゼル式：1,250千円/台・年）
- ・ サプライチェーン初期費用（電動式：－、ディーゼル式：－）
- ・ サプライチェーン運用費用（電動式：3,461千円/台・年、ディーゼル式：3,186千円/台・年）

<モデル1（10台）の他方式とのコスト差>

- ・ FCFL導入費用（電動式：750千円/台・年、ディーゼル式：1,250千円/台・年）
- ・ サプライチェーン初期費用（電動式：1,250千円/台・年、ディーゼル式：1,250千円/台・年）
- ・ サプライチェーン運用費用（電動式：1,862千円/台・年、ディーゼル式：1,587千円/台・年）

<モデル3（30台）の他方式とのコスト差>

- ・ FCFL導入費用（電動式：750千円/台・年、ディーゼル式：1,250千円/台・年）
- ・ サプライチェーン初期費用（電動式：1,917千円/台・年、ディーゼル式：1,917千円/台・年）
- ・ サプライチェーン運用費用（電動式：1,106千円/台・年、ディーゼル式：831千円/台・年）

- ・他県では、環境省補助執行団体が実施する二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金の交付申請を行った者を対象とするFCFLの補助制度がある。

図表4-1 自治体のFCFL補助制度

	愛知県	神奈川県
補助金名	燃料電池産業車両導入費補助金	燃料電池フォークリフト導入費補助金
補助金	<p>ガソリンで稼働する通常のフォークリフトとの差額</p> <ul style="list-style-type: none"> ・中小企業の場合：補助率は差額の1/2、補助上限額は550万円 ・大企業の場合：補助率は差額の1/4、補助上限額は275万円 	<p>環境省補助金の補助対象経費と、当該車両に対応する一般的なエンジン式車両の導入経費の差額</p> <ul style="list-style-type: none"> ・補助率は1/2 ・補助上限額は500万円

製造、輸送、利用の各フェーズについて、課題、解決策、効果を検討する。

図表 4-2 課題の抽出・解決策

	製 造	輸 送	利 用
課 題	<ul style="list-style-type: none"> ・副生水素を使うことになる場合、安定的で安価に調達する方法が必要。 ・再可エネルギーによる電解水素を用いる場合、県内に再可エネルギーの発電施設が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・オンサイト ST 以外で、圧縮水素や液化水素を使用場所に輸送する場合、まとまった量で定期的に輸送する仕組みが望ましい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・FL の利用台数が多い事業場でも、最初からステーションを設置してFCFLを導入することは難しい。
解決策	<ul style="list-style-type: none"> ・県内の製造業における副生水素を補完するために、輸入水素の導入も検討する。 ・太陽光発電や風力発電などの再可エネルギーの普及を図る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・FL の他、バスやトラックなどにも FC を普及することにより、水素利用を普及促進する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・簡易充填機を用いて、試験導入を進め、ユーザー開拓を進める。
効 果	<ul style="list-style-type: none"> ・輸入水素により水素の普及を進めつつ、並行して再可エネルギー設備によるグリーン水素の比率を高めることができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水素供給先が増えることにより、FC 1 台あたりの輸送効率が向上する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・簡易充填機により使用メリットを確認したら、ステーション方式に切り替えるとともに、簡易充填機を別の事業場に試験導入することで、ドミノ的に普及することが期待できる。