

NEDO水素・燃料電池成果報告会2024

発表No.B2-20

競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業/総合調査研究/
小型モビリティにおける水素内燃機関燃焼技術の実現可能性調査

発表者名：菊池 雄介

団体名：PwCコンサルティング合同会社

発表日：2024年7月19日

連絡先：PwCコンサルティング合同会社

<https://www.pwc.com/jp/ja/aboutus/member/consulting.html>

1. 事業概要

小型モビリティ用水素ICE¹⁾の技術課題に対する解決手法の特定を目標とし、約半年の事業期間で調査を実施した

- 事業期間
 - ✓ 開始：2023年10月
 - ✓ 終了：2024年03月
- 最終目標
 - ✓ 小型モビリティ用水素ICEの技術的な優位性・ニーズを検討した上で、実用化に向けて水素ICEの技術課題を洗い出し、その解決に向けた手法を特定する
- 成果・進捗概要
 - ✓ 小型モビリティ用水素ICEの優位性検討
 - 水素ICEと燃料電池の比較を実施し、水素ICEは日本の強みが発揮できる領域であり、燃料電池より優位な点が存在することを確認
 - ✓ 小型モビリティ用水素ICE実現に向けた技術課題の洗い出し
 - 主要な技術課題を洗い出し、体系的に整理
 - ✓ 小型モビリティ用水素ICE実用化に向けた技術課題の解決方法の検討
 - 技術課題解決のための試験設備群の特定
 - 国内の様々な研究機関等が利用可能な共用試験施設のコンセプト検討
 - 共用試験施設に導入する試験設備群を整理
 - 共用試験施設の立地要件の策定
 - ロードマップ案の策定

2. 事業の位置付け・必要性

水素社会実現には水素の需要創出も必要となり、既存のサプライチェーンを活かせる水素ICEが選択肢として検討されている

事業の位置付け・必要性

- 水素はカーボンニュートラルを目指す中で鍵となるクリーンエネルギーである。製造方法や輸送・貯蔵方法の柔軟性等の観点から、我が国のエネルギーセキュリティ向上に資することも期待されており、2017年には世界初の水素に関する国家戦略である「水素基本戦略」が策定されているところである（2023年6月に改訂）
- 水素社会の実現に向けては、**供給側のみならず需要側の需要創出も重要な論点**となっている
- その中で、運輸部門のカーボンニュートラル化に向けては、動力源をモーターとしたEVやFCVが先行しているが、バッテリーなどの大きく重いシステムを搭載する必要があり、製造コスト、小型軽量化などの面で、多くの技術課題を克服する必要が指摘されているところ、**新たな選択肢として、水素を燃料とするICEが検討されている**
- **従来の化石燃料での内燃機関の製造技術を応用**、軽量、コンパクト、安価といった特徴を継承可能であり、**我が国の強みである既存サプライチェーンをそのまま活かすことができる**ことが期待されている

事業の目的（再掲）

小型モビリティ用水素ICEの技術的な優位性・ニーズを検討した上で、実用化に向けて水素ICEの技術課題を洗い出し、その解決に向けた手法を特定することを目的とする

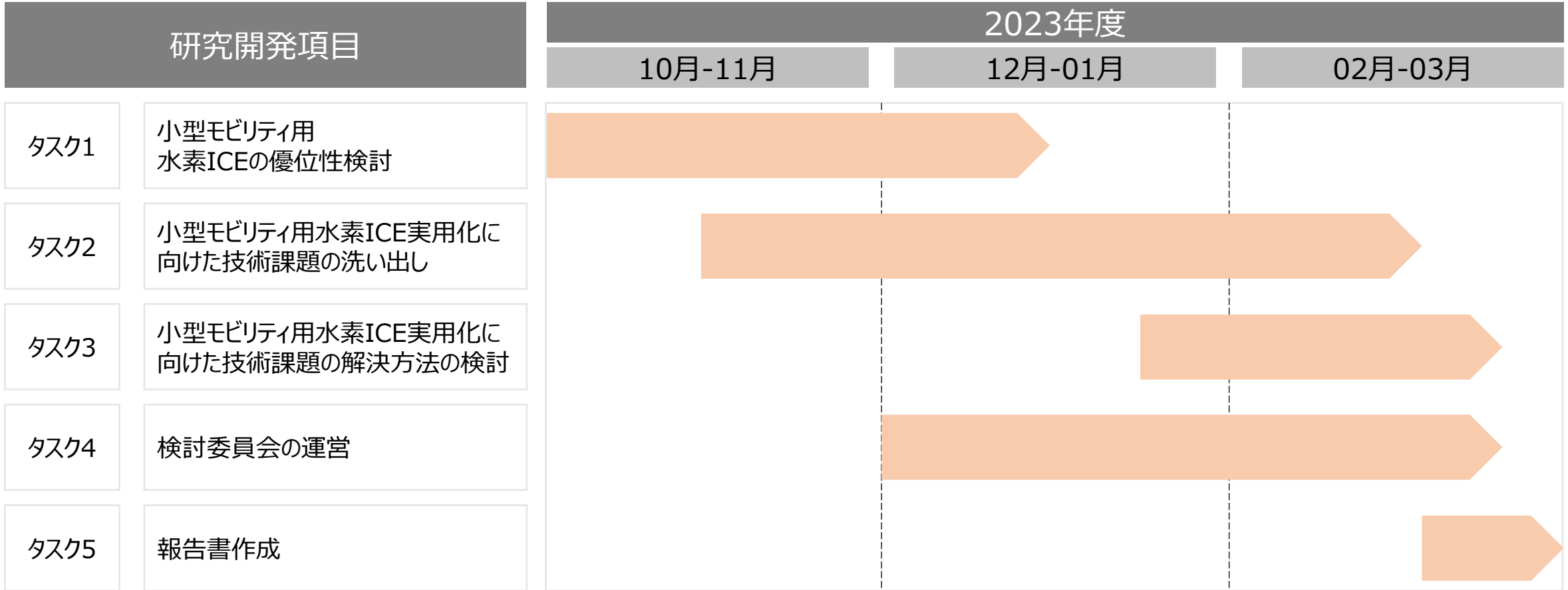
3-1. 調査項目の全体像

本事業では、以下のタスク1-5を実施した

| 調査実施項目 | | 実施内容(概要) |
|--|--|---|
| 【タスク1】小型モビリティ用水素ICEの優位性検討 | 1.調査スキープの検討 | <ul style="list-style-type: none"> 本調査において水素ICEの比較対象となる技術（燃料電池）、適用対象となる小型モビリティ、比較項目を決定する。 |
| | 2.文献調査 | <ul style="list-style-type: none"> 燃料電池と水素ICEに関する国内外の動向について、上記で定めた小型モビリティをスキープとして、公開情報を中心とした文献調査を行う。 |
| | 3.関係者ヒアリング | <ul style="list-style-type: none"> 検討委員会（後述）構成メンバーを中心に、水素ICEの優位性やニーズに関するヒアリングを実施する。 |
| | 4.調査結果に基づく優位性・ニーズ分析 | <ul style="list-style-type: none"> 調査結果に基づいて、ニーズの仮説を抽出する。 仮説について、検討委員会にて議論を行い、アウトプットを最終化する。 |
| 【タスク2】小型モビリティ用水素ICE実用化に向けた技術課題の洗い出し | <ul style="list-style-type: none"> タスク1で確かめられた優位性・ニーズをベースとしながら、水素ICEの実現に向けて重要となる技術課題を洗い出す。 技術課題の洗い出しは、ヒアリング調査と検討委員会討議を中心に実施する。 | |
| 【タスク3】小型モビリティ用水素ICE実用化に向けた技術課題の解決方法の検討 | <ul style="list-style-type: none"> タスク2で抽出された技術課題について、解決方法を具体的に検討する。 解決方法の検討はヒアリング調査と検討委員会討議を中心に実施する。 | |
| 【タスク4】検討委員会の運営 | <ul style="list-style-type: none"> 当分野における有識者から構成される検討委員会を設置・開催し、委員会での議論等を通じて成果物の充実化を図る。 | |
| 【タスク5】報告書作成 | <ul style="list-style-type: none"> 調査結果全体を取りまとめた報告書を作成する。 | |

3-2. 調査実施スケジュール

タスク1-5は、以下のスケジュールで実施した



3-3. 検討委員会の運営

本事業の対象分野の有識者から構成される検討委員会を設置・開催し、委員会での議論等を通じて成果物の充実化を図った

委員会構成メンバー

| 役割 | 所属・役職 | 氏名（フリガナ） |
|-----|--|----------------------|
| 委員長 | 京都大学 名誉教授 | 塩路 昌宏 (シオジ マサヒロ) |
| 委員 | 本田技研工業株式会社 二輪・パワープロダクツ事業本部 二輪・パワープロダクツ開発生産統括部 ものづくり企画・開発部戦略企画・運営管理課 チーフエンジニア | 上田 浩矢 (ウエダ ヒロヤ) |
| 委員 | カワサキモーターズ株式会社 先行開発部 部長 | 市 聡顕 (イチ サトアキ) |
| 委員 | スズキ株式会社 二輪事業本部 二輪第一技術部 エンジン実験グループ 専門職（課長） | 二宮 至成 (ニノミヤ ヨシナリ) |
| 委員 | ヤマハ発動機株式会社 パワートレインユニット PT先行企画開発統括部 統括部長 | 中島 彰利 (ナカジマ アキトシ) |

検討委員会のアジェンダ

| | 主な議題 | 実施内容 |
|-----|--|--|
| 第1回 | <ul style="list-style-type: none"> 水素ICEの優位性 水素ICEへのニーズ | 水素ICEの優位性・ニーズ検討 <ul style="list-style-type: none"> 事務局から文献調査やヒアリング調査の結果をもとに、水素ICEの優位性・ニーズの仮説を説明 |
| 第2回 | <ul style="list-style-type: none"> 技術課題の洗い出し 解決すべき重要な技術課題の特定 | 水素ICE実現に向けた技術課題検討 <ul style="list-style-type: none"> 事務局からヒアリング調査結果をもとに技術課題の全体像を説明 参加メンバーより、特に重要と考えられる技術課題の詳細を説明 |
| 第3回 | <ul style="list-style-type: none"> 技術課題の解決方法の検討 技術課題解決に向けた研究開発ロードマップ検討 | 水素ICEの技術課題解決方法の検討 <ul style="list-style-type: none"> 事務局からヒアリング調査結果をもとに技術課題解決の方向性の全体像と研究開発ロードマップ案を説明 参加メンバーより、特に重要と考えられる技術課題について解決方法を詳細説明 参加メンバーとのディスカッション |
| 第4回 | <ul style="list-style-type: none"> 技術課題解決に向けた研究開発ロードマップ 次年度以降の活動計画 | 次年度以降の活動方針の取りまとめ <ul style="list-style-type: none"> 事務局から技術課題解決に向けた研究開発ロードマップ案（改訂版）と次年度以降の活動計画案を説明 |

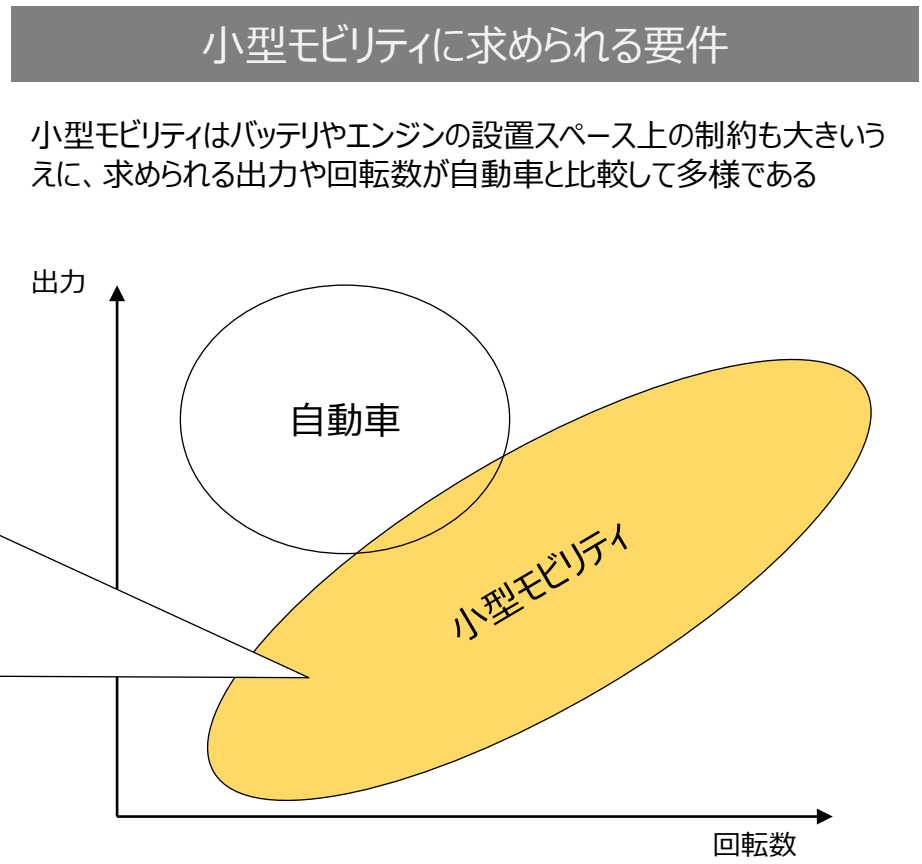
3-3. 調査の内容・成果 -【タスク1】小型モビリティ用水素ICEの優位性検討- 小型モビリティのスコープ

検討対象とする小型モビリティは、二輪車のエンジン技術を転用可能な小型モビリティを対象とし、主な出力レンジとしては数kW～百数十kW程度を想定した。小型であり、出力と回転数が多様、特に高回転が求められる点を加味して技術課題の洗い出しを行う必要がある

水素ICEの横展開の可能性

小型モビリティ向けの開発、二輪車のみならず、多様なモビリティへの展開の可能性はある

- 二輪車
- 軽四輪車
- フォークリフト
- ミニホイールローダ
- ミニショベル
- 小型漁船
- 軽飛行機
- ドローン



3-3. 調査の内容・成果 -【タスク1】小型モビリティ用水素ICEの優位性検討- 主要な論点

主要な論点に対して検証項目を設定し、研究開発動向やコスト面での検証作業を実施、水素ICEは燃料電池と比較して優位な点があり、日本の強みを発揮できる領域として、今後研究開発に取り組むべきテーマであることが示唆された。本日は一部結果を抜粋してご報告する

太字 次ページ以降で抜粋して説明

水素ICEの優位性を検討する論点

本調査を通じて得られた結果

研究開発における優位性、独自性

- 研究開発事例の調査から、水素ICEは世界的に研究開発が進められており、小型モビリティ用は日本が独自の領域として踏み込んでいる
- 特許調査から、水素ICE関連の特許出願数は近年増加傾向にあり、国別特許出願数では、日本が世界2位となっている

確立されたサプライチェーンの存在

- 世界的に高シェアを保持している日本の二輪車産業は、確立されたサプライチェーンを擁しており、国内に部品、素材産業が分厚く蓄積され、日々強化されていることが、日本二輪車完成企業の1つの強みである

TCO¹⁾での優位性

- イニシャルコストの低さを主要因として、シナリオによっては、燃料電池より水素ICEの方がTCOが低くなり、優位といえる

経済安全保障

- 水素ICEは燃料電池と比較し、希少資源の使用量が少なく、安定的な調達（資源安定供給）の観点で優位である

重さ・スペース制約

- 特に高出力が必要となる大型二輪車の場合、重さ、スペース制約の観点で、燃料電池と比較して、搭載性の観点で優位となる

水素純度











- 水素ICEは燃料電池と比較し、純度の低い水素燃料を使用可能な点で優位となる

1) TCO (Total Cost of Ownership)

3-3. 調査の内容・成果 -【タスク1】小型モビリティ用水素ICEの優位性検討- 研究開発動向

水素ICEは近年、日本のならず世界的に研究開発が進められている。海外では中～大型車がメインで、小型モビリティへに注目した取り組みはまだ少ない状況と推察される。

各国の水素ICEを対象にした近年の研究開発動向¹⁾

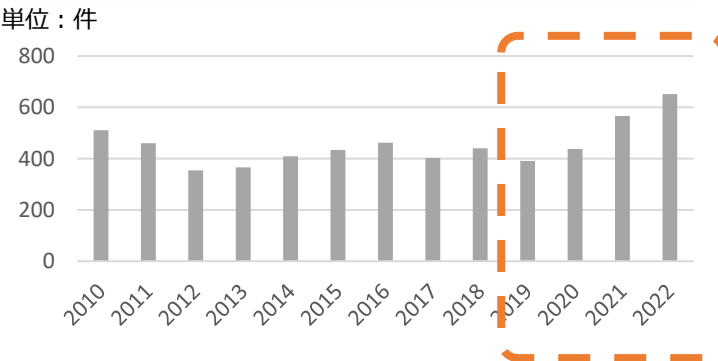
- Cummins : Advanced Clean Transportation (ACT) Expo にて開発した水素エンジン (300-400kW) の公開を実施 (2022年5月) 
- 一汽解放汽車 : 独自開発した大型商用車用水素燃料エンジンが、国内で初めて安定燃焼に成功したと発表 (2022年6月) 
- HD Hyundai Infracore : 商用車や建設機械向けの水素エンジンシステムを開発する国営プロジェクトの開始を発表 (2022年6月) 
- BMW、Deutz、DHL Freight、KEYOU等 : 18tの水素ICE搭載トラックを2台、40tの水素ICE搭載トラックを2台開発し、ロジスティクス業務でトラックを実際に使用する実証試験の実施を発表 (2022年9月) 
- Southwest Research Institute (SwRI) : 大型車に水素エンジンを搭載し、現行技術による水素エンジンの低環境負荷の可能性を実証する共同産業プログラムを創設 (2022年11月) 
- PUNCH : 自動車・商用車・産業車両分野向けの水素エンジンおよび関連エネルギー貯蔵システム (燃料電池) の技術開発の実施を発表 (2023年1月) 
- iLabo : トラック用ディーゼルエンジンを水素エンジンに改造する「水素化コンバージョン」技術を開発中であり、国内外の企業と連携し水素エンジン開発を加速することを発表 (2023年5月) 
- カワサキモーター、スズキ、本田技研工業、ヤマハ発動機 : 国内二輪4メーカーが共同で水素小型モビリティ・エンジン研究組合 (HySE) を設立。水素エンジンの研究や水素充填系統および水素タンクの検討、燃料供給システムの検討に取り組むことを発表 (2023年5月) 
- 広州汽車集団 : 水素エンジン・システムを搭載することで、100km当たりの水素消費量を1.4kg以下に抑え、車両航続距離を600kmに近づけたことを発表 (2023年6月) 
- 韓国機械研究院、Hyundai-Kia Motor Company : 水素のみで走行可能な2リッタークラスの水素エンジンの開発を発表 (2023年10月) 

3-3. 調査の内容・成果 -【タスク1】小型モビリティ用水素ICEの優位性検討- 特許調査

特許調査から、水素ICE関連の特許出願数は近年増加傾向にあり、国別特許出願出願数では日本が世界2位となっていることを確認した
また、「水素エンジン」の技術スコア¹⁾に着目すると、日本が他国と比較して高い数値を誇っており、技術開発の進展度の高さがうかがえる

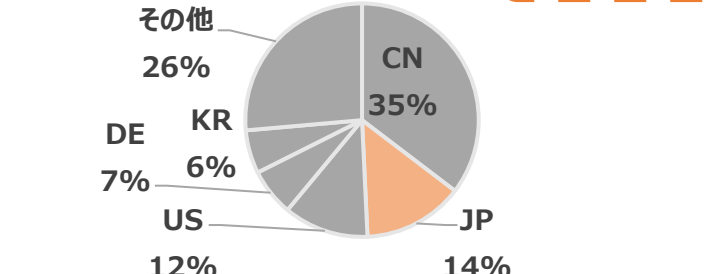
特許調査方法・結果

| | | |
|--------|---------|--|
| 特許調査方法 | 分析手法 | 特許出願件数分析 |
| | 使用DB | Orbis Intellectual Property ²⁾ (検索日:2023/11/22-2023/11/24) |
| | 分析対象データ | <ul style="list-style-type: none"> 技術：水素ICE 出願期間：2010/01/01-2022/12/31 特許出願件数：5,886件 IPC³⁾：263個 企業等の数：1,481社 |



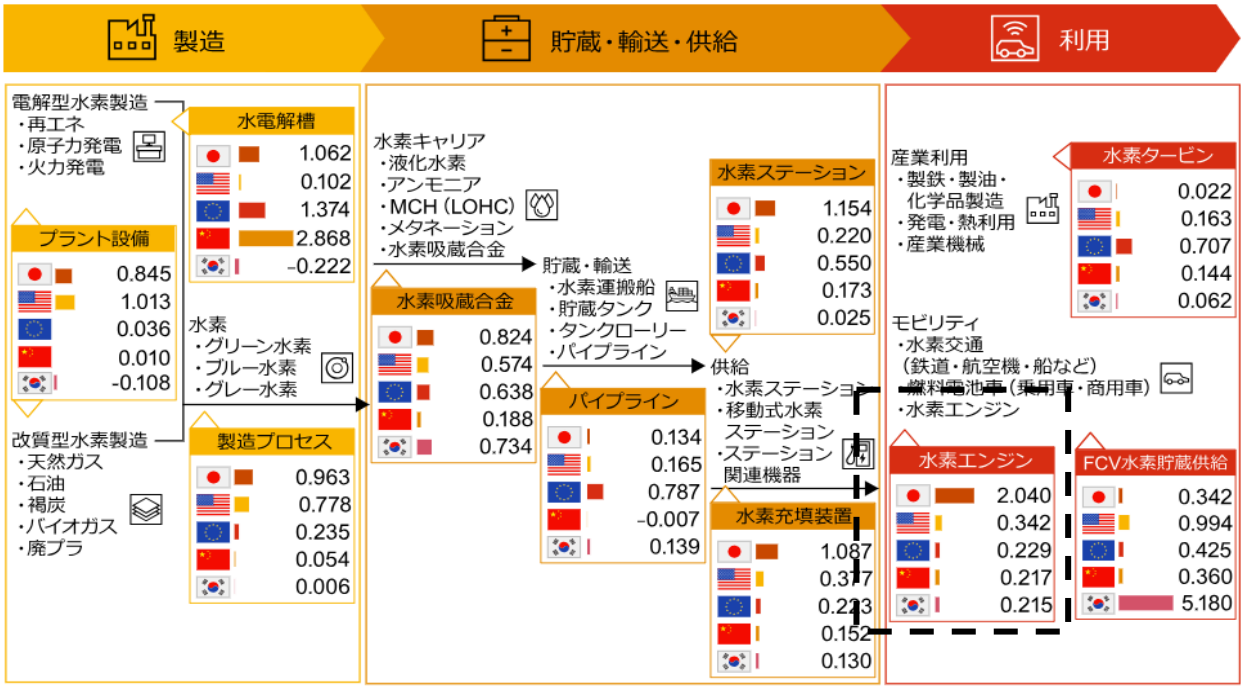
特許調査結果

国別特許出願件数の割合



「水素技術」のバリューチェーンの各技術要素における各国・地域企業の技術スコア⁴⁾

水素利用の 카테고리内：「水素エンジン」に対する日本の技術スコアは、他国と比較して顕著に高い数値を示しており、高い存在感を示していることが分かる



1) IBA (PwC Japanが独自開発したAIにより網羅的かつ高速で知的財産を収集・分析するツール) により技術の中心性を定量化しスコア化したもの。技術開発の進展度を示す
 2) 全世界の上場・非上場企業とその企業が所有する特許の情報を紐づけたDB
 3) IPC (International Patent Classification : 国際特許分類)
 4) IBA分析結果に基づきPwC作成

3-3. 調査の内容・成果 -【タスク1】小型モビリティ用水素ICEの優位性検討- TCO分析 (1/3)

水素ICE車とFCVをコストの観点で比較するため、TCO分析を行った
 車両タイプによる結果の違いを見るため、スクータータイプ・スポーツタイプの2輪車を対象とした

TCO分析の比較対象

スクータータイプ（排気量：200cc程度）とスポーツタイプ（排気量：1,000cc程度）の2つのタイプにて比較した。

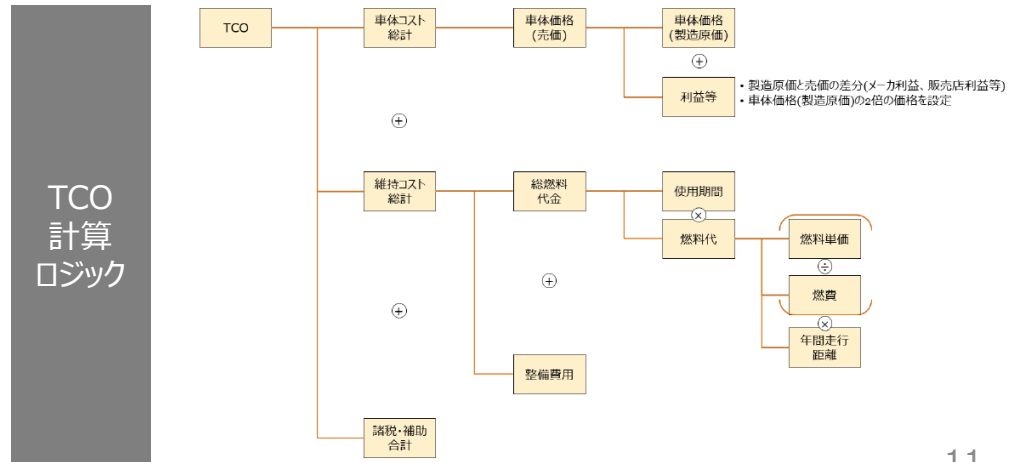
- スクータータイプ（排気量：200cc程度）
 - ✓ FCV：スズキ株式会社のバーグマンフューエルセルの仕様をベースに、TCOを算出
 - ✓ 水素ICE車：スズキ株式会社のバーグマン200ABSの仕様をベースに、駆動系を水素ICEに置き換えた場合と仮定した場合のTCOを算出
 - ✓ 燃費はFCV150km/kgに対し、水素ICE車は100/kgで設定
 - ✓ 年間走行距離は3,300kmで設定

- スポーツタイプ（排気量：1,000cc程度）
 - ✓ FCV・水素ICE車：カワサキモーターズ株式会社のZ900RSの仕様をベースに、駆動系を燃料電池または水素ICEに置き換えた場合のTCOを算出
 - ✓ 燃費はFCV120km/kgに対し、水素ICE車は60/kgで設定
 - ✓ 年間走行距離は4,300kmで設定

TCO計算に用いたパラメータの概要

車体コスト、維持コスト、諸税・補助の3つの合計からTCOを計算した

- 車体コスト
 - ✓ 左記の基準ガソリンICE車の売価から利益率を想定して製造原価を推定し、ガソリンICE車特有の構成品を差し引き、共通構成品の価格を算出、その値に、FCV及び水素ICE車各々の特有構成品の価格を加えることで、車体コストとした
- 維持コスト
 - 燃料費と整備費から算出した。燃料費について、燃料単価に複数シナリオを設定（後述）している。
- 諸税・補助
 - 軽自動車税、重量税、保険料を費用として考慮した
 - 補助金は車体コスト総計の5%の金額を設定した



3-3. 調査の内容・成果 -【タスク1】小型モビリティ用水素ICEの優位性検討- TCO分析 (2/3)

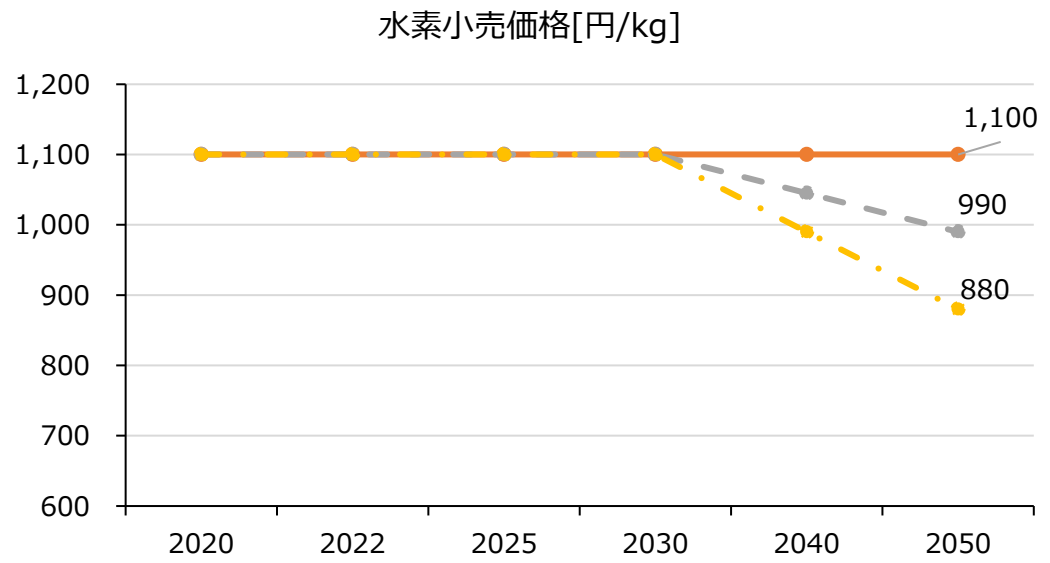
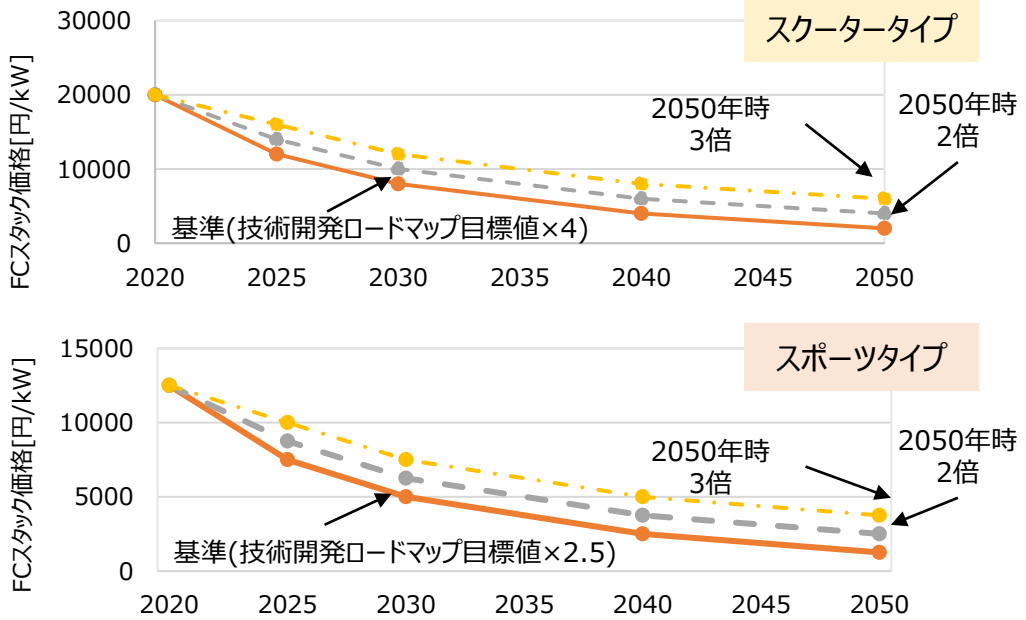
TCOに影響を及ぼすと考えられたFCVのイニシャルコスト・燃料価格の見込みについては複数シナリオを設定、結果を比較した

A. FCVのイニシャルコスト (FCスタック価格) の3シナリオ

- ① 基準シナリオ
 - ✓ 技術開発ロードマップ(FCV・移動体)目標値¹⁾に対して、スクータータイプは4倍、スポーツタイプは2.5倍したFCスタック価格を設定
- ② 基準シナリオの2050年時FCスタック価格の2倍
 - ✓ 「基準シナリオ」の2050年時FCスタック価格を2倍し、2050年時の価格を算出、2025～2050年は「基準シナリオ」と同じ傾きで推移
- ③ 基準シナリオの2050年時FCスタック価格の3倍
 - ✓ 「基準シナリオ」の2050年時FCスタック価格を3倍し、2050年時の価格を算出、2025～2050年は「基準シナリオ」と同じ傾きで推移

B. 燃料価格 (水素小売価格) の3シナリオ

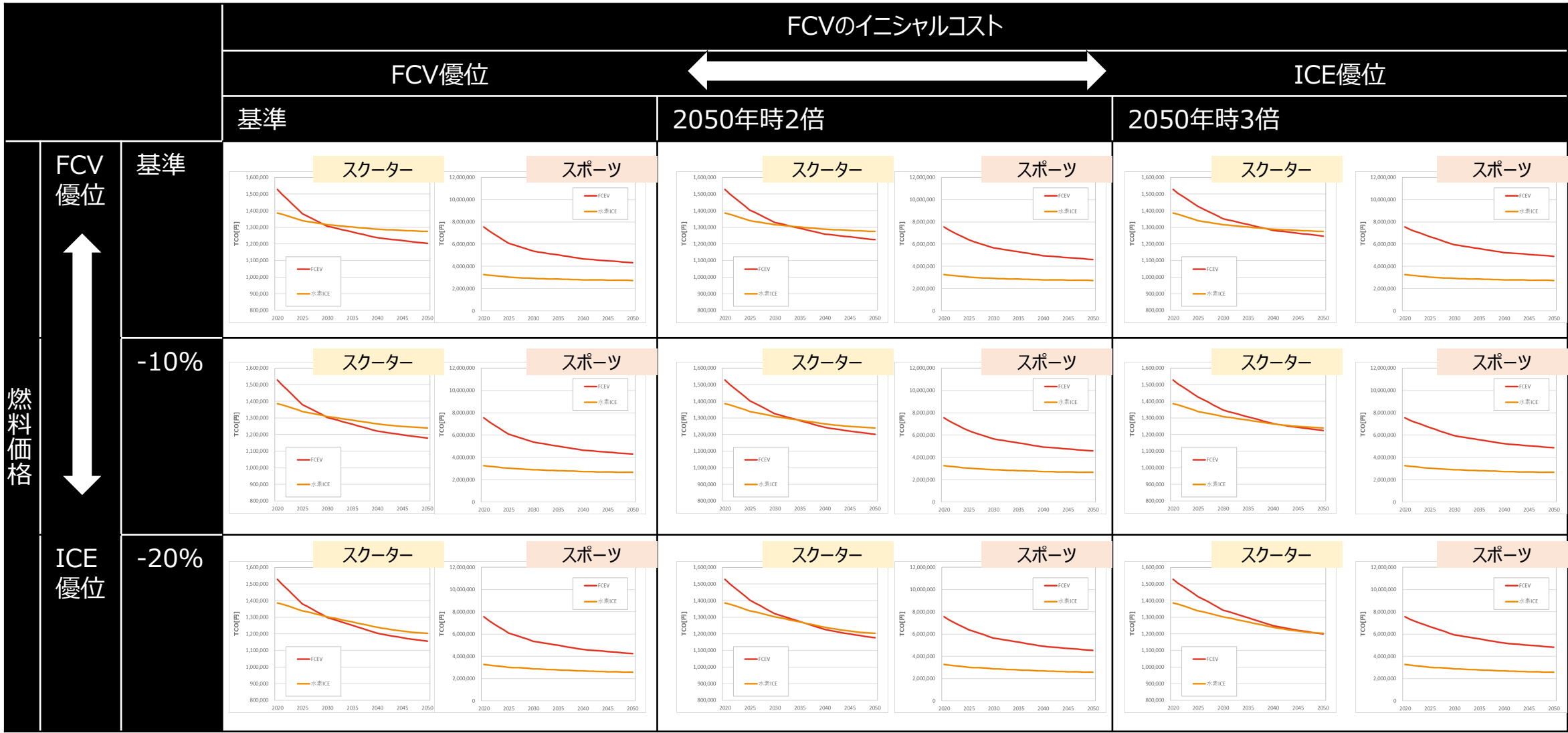
- ① 基準シナリオ
 - ✓ 富士経済のレポートで設定された値²⁾を参照 (2020年から2050年まで1,100円/kgとしてPwCにて設定)
- ② 基準シナリオの2050年時水素小売価格の-10%
 - ✓ 2050年時点の水素小売価格を「基準シナリオ」の-10%で算出
- ③ 基準シナリオの2050年時水素小売価格の-20%
 - ✓ 2050年時点の水素小売価格を「基準シナリオ」の-20%で算出



1) 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) 「技術開発ロードマップ (FCV・移動体)」
 2) 株式会社富士経済「2023年版 水素利用市場の将来展望 ～水素需要・関連機器の長期市場予測と世界動向を徹底調査～」より。株式会社富士経済では、2022年から2040年までの期間における水素ステーションの収益性試算を実施しており、試算において、水素小売価格は1,100円/kgと設定していた。結果として、水素ステーションの収支は2030年までマイナスであり、2040年以降プラスに転じると試算している

3-3. 調査の内容・成果 -【タスク1】小型モビリティ用水素ICEの優位性検討- TCO分析 (3/3)

今回の前提条件・シナリオでは、スポーツタイプではインシャルコストの差が効いて、FCVより水素ICE車の方が一貫してTCOの値が低くなる傾向を確認した。スクータータイプでは、2050年に近づくにつれ TCOの値が水素ICE車 < FCVから水素ICE車 > FCVへ逆転する傾向がある

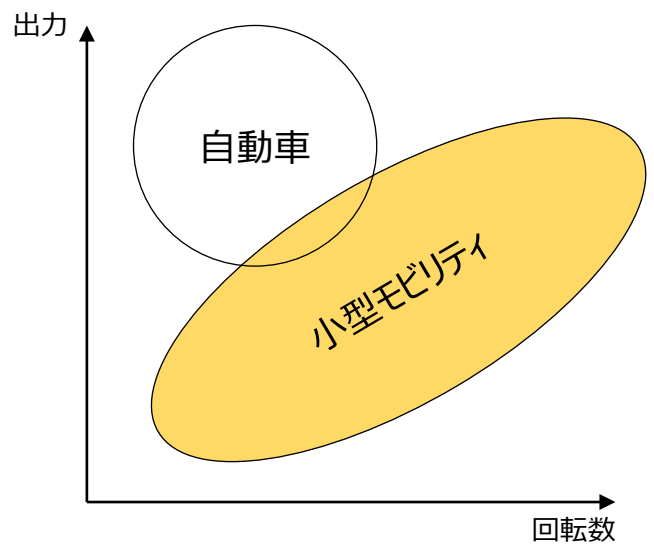


3-3. 調査の内容・成果 -【タスク2】小型モビリティ用水素ICE実用化に向けた技術課題の洗い出し-

小型モビリティ用水素ICEを実用化するためには、「小型モビリティに求められる要件」×「水素燃料の特性」を考慮した上で、特有の技術課題を解決する必要がある

小型モビリティに求められる要件（再掲）

- 今回のスコープは、主に数kW~百数十kWのレンジのエンジンである
- 小型であり、出力と回転数が多様、特に高回転が求められる



水素燃料の特性

- 燃料速度が速く可燃範囲が広い
- 軽いため空気と混ざりにくい
- 分子が小さいため材料内に侵入し、材料の強度を低下させる
- 消炎距離が小さい

小型モビリティ用水素ICE実用化に向けて顕在化してくる技術課題（例）

- 小さなシリンダー内で混合気形成を精緻にコントロールするために、霧困気条件や燃料の噴射角度、水素燃料の分散・混合過程の把握
- 高回転の状況下で吸・排気バルブが同時に開く現象が起こり、吸気側に高温ガスが戻り、異常燃焼発生
- 高比出力の運転領域において高濃度のNOx生成
- 水素脆化・水素侵食
- 熱損失

3-3. 調査の内容・成果 -【タスク2】小型モビリティ用水素ICE実用化に向けた技術課題の洗い出し-

委員会の議論や大学等の有識者へのヒアリングを通じて、主要な技術課題を洗い出し、基盤技術課題（協調領域）として、「燃焼のコントロール」と「水素影響による機能低下：潤滑性低下」を各社共通で解決すべき技術課題と位置付けた

| 大分類 | 中分類 | 小分類 | 領域 | |
|-------------|------------|---------|--------------------------------|---------------|
| 燃焼のコントロール | 霧囲気条件 | 霧囲気条件 | 基盤技術課題 ¹⁾ (協調領域) | |
| | | 噴射・噴流 | | |
| | 燃焼/火炎伝播 | 混合メカニズム | | |
| | | 点火/着火 | | |
| | | 火炎伝播 | | |
| | | 燃焼温度 | | |
| | | 異常燃焼 | | |
| | | NOx生成 | | |
| | エミッション | PM発生 | | |
| | | 水生成 | | |
| | | 未燃水素生成 | | |
| | エネルギー効率 | 熱損失 | | |
| | | 熱効率 | | |
| 燃焼効率 | | | | |
| 燃料のロバスト性 | 燃料のロバスト性確認 | | | |
| 水素影響による機能低下 | 潤滑 | 潤滑油消費 | 製品化課題 ¹⁾ | |
| | | オイル劣化 | | |
| | | 潤滑不良 | | |
| | 部品劣化 | 腐食 | | |
| | | 寿命解明 | | |
| | | 摩耗 | | |
| | | 水素侵食 | | |
| | | 水素脆化 | | |
| | | センサ出力 | | 空燃比センサ信号のドリフト |
| | | パワー不足 | | 低速域におけるターボラグ |

¹⁾基盤技術課題(協調領域)は基礎研究を進めるうえでの各社共通の課題であり、製品化課題は主に各社個別に対応する課題と想定。研究開発の進展により課題が顕在化し、製品化課題が基盤技術課題(協調領域)となる可能性がある。

3-3. 調査の内容・成果 -【タスク3】小型モビリティ用水素ICE実用化に向けた技術課題の解決方法の検討-

実用化に向けて解決すべき技術課題は山積しており、個別の大学や企業等で研究開発を進めていくためには障壁が多いことが想定される
 そこで、大学や企業等が共同利用可能な共用試験施設を、技術課題解決方法のコンセプトとして検討した

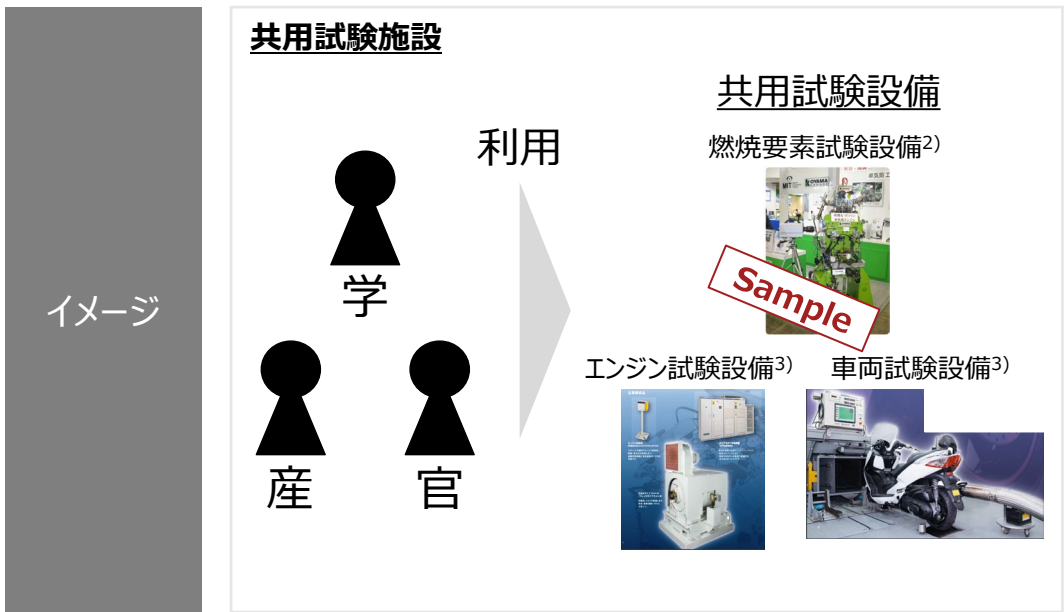
コンセプト立案の背景

| | |
|---------------------------|---|
| 技術課題 洗い出しから 見えてきたこと | 小型モビリティ用水素ICEの実用化に向けて解決すべき技術課題は多く、技術課題解決のための研究開発を推進する必要がある |
| 研究開発推進を 妨げる障壁 (想定) | 高圧ガス保安法等の法令順守、設備導入・運用コスト、設備設置スペース等の障壁が多く、個別の大学や企業等での対応が困難な場合がある |

| | | |
|--------------|------|---|
| 技術課題 解決方法 | 内容 | 大学や企業等が共同利用できる 小型モビリティ×水素ICEの共用試験施設を整備する |
| | 想定効果 | 質の高い、効率的な研究開発が可能になり、 当該分野における産業競争力の維持・強化に繋がる |

コンセプト内容

| | |
|---------------|--|
| 検討した コンセプト | <ul style="list-style-type: none"> 国内の水素エンジン研究の成果を高め、強い国際競争力の実現に向け「水素エンジン試験設備を集約的に整えた」研究環境を整備する HyTReC¹⁾のように国内の企業・研究機関等が利用可能な、水素エンジン向け試験施設の整備をイメージとする |
|---------------|--|



1) 公共財団法人 水素エネルギー製品研究試験センター。当センターは、水素関連製品の性能や信頼性を評価する第三者機関として、中小・ベンチャー企業等の研究開発・製品試験を支援することにより、水素エネルギーの実用化、水素エネルギー新産業の育成を推進している
 2) 小山ガレージ 資料
 3) 明電舎 カタログ

3-3. 調査の内容・成果 -【タスク3】小型モビリティ用水素ICE実用化に向けた技術課題の解決方法の検討-

委員会の議論や大学等の有識者へのヒアリングを通じて、基盤技術課題（協調領域）に対する解決方法を検討し、必要となる試験設備を整理した。その後、水素ICEの燃焼領域を主な研究対象として共用試験施設を整備する前提で、各試験設備の活用を3種類に分類した

| 技術課題(基盤技術課題) | | | 分類 | 課題の解決方法(試験設備) | | 具体例 | 活用分類 | |
|---------------|----------|---------------------|--------------------|---------------|--|-------------------------------------|-----------------|---------------|
| 燃焼の コントロール | 混合気形成 | 雰囲気条件 | 基礎 研究用 | 燃焼要素 試験設備 | 燃焼可視化装置 | 可視化エンジン、急速圧縮膨張装置(RCEM)、 高圧定容容器等 | 共用試験施設に導入 | |
| | | 噴射・噴流 | | | 照射系装置 | レーザー装置、ストロボ装置等 | | |
| | | 混合メカニズム | | | 撮影系装置 | 高速度カメラ、受光系、分光器等 | | |
| | 燃焼/火炎伝播 | 点火/着火 | | | センシング装置 | 熱流束センサ、イオンプローブ、 流量計等 | | |
| | | 火炎伝播 | | 排ガス浄化触媒試験装置 | | マイクロリアクター、脱硝試験装置等 | | 外部リソースを活用 |
| | | 燃焼温度 | | 実機 試験用 | 動力吸収設備 | エンジン試験設備 | | エンジンダイナモ、動力計等 |
| | 異常燃焼 | 車両試験設備 | | | | シャーシダイナモ、動力計等 | | |
| | エミッション | NOx生成 | 基礎研究 実機試験 共用 | 燃料供給設備 | | (様々な品質の水素燃料に対応可能な)水素タンク、配管系等 | 共用試験施設に導入 | |
| | | オイル由来PM発生 | | 爆火設備 | | 水素検出装置、火炎検出装置等 | | |
| | | 水生成 | | 排ガス分析装置 | | O2分析装置、NO分析装置、H2分析装置等 | | |
| | エネルギー効率 | 未燃水素 | | 材料試験装置 | | エンジン部品成分分析装置、電子顕微鏡等 | 外部リソースを活用 | |
| | | 熱損失 | | オイル分析装置 | | 簡易分析装置、オイル劣化解析装置、オイル燃焼 希釈率分析装置等 | 一部共用試験施設に 導入 | |
| | | 熱効率 | | 燃焼効率 | | 流動シミュレーション、燃焼シミュレーション、RANS、 LES等 | 外部リソースを活用 | |
| | 燃料のロバスト性 | 燃料のロバスト性確認 | | データベース | データベース用HW・SW(データベース管理システム) 等 ※研究期間中から研究終了後以降も試験結果 のデータや画像データを蓄積し、今後の研究に活 用する | | | |
| | | 水素影響に よる 機能低下 | 潤滑 | 潤滑油消費 | | | | |
| オイル劣化 | | | | | | | | |
| 潤滑不良 | | | | | | | | |

3-3. 調査の内容・成果 -【タスク3】小型モビリティ用水素ICE実用化に向けた技術課題の解決方法の検討-

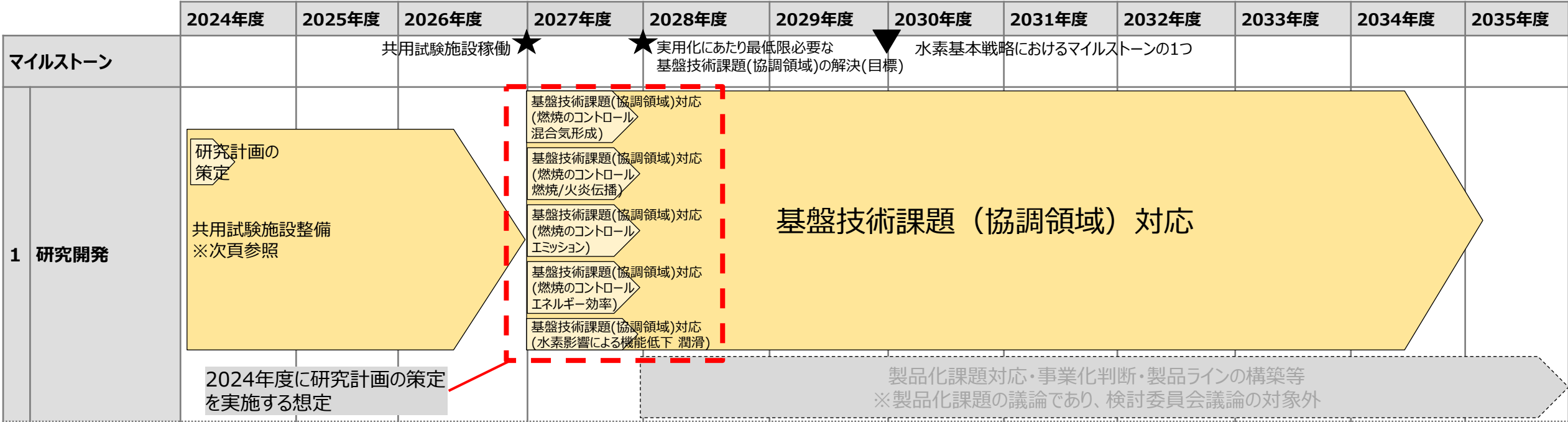
有識者ヒアリング結果を踏まえ、共用試験施設を整備する際に求められる立地要件、周辺環境条件を整理した

| 共用試験施設 立地要件・周辺環境条件案 ¹⁾ | |
|-----------------------------------|---|
| ① 共用試験施設 建設容易性 | <ul style="list-style-type: none">• 用地の確保容易性(既存施設の拡張性または新規用地の確保)• 既存ユーティリティ設備の利用容易性(電気・ガス・水道・通信環境) |
| ② 共用試験施設 運用容易性 | <ul style="list-style-type: none">• 周辺の住宅有無(周辺住宅への騒音による影響に配慮)• 施設運用人材(技能員・設備保守担当員等)の確保容易性• 高圧ガス保安法担当者の水素関連の規制に対する習熟度• 水素の安定供給性 |
| ③ 立地の戦略性 | <ul style="list-style-type: none">• (水素社会実現に向けた)行政の取組姿勢• 水素産業の集積進展度• 地域内水素関連人材(研究者、技術者等)の存在• 国内水素試験施設の地域的偏在性解消へ向けた貢献度 |
| ④ ユーザー利便性 | <ul style="list-style-type: none">• 交通アクセスの良さ(新幹線/在来線、空港、高速道路など)• 近隣宿泊施設・コンビニ等の有無 |

1) 国立研究開発法人・新エネルギー産業技術総合開発機構「水素社会構築技術開発事業/総合調査研究/液化水素用機器に関する試験設備の現状、課題抽出および将来展望に関する調査」2022年度報告書、有識者ヒアリング結果を基にPwC作成

3-3. 調査の内容・成果 -【タスク3】小型モビリティ用水素ICE実用化に向けた技術課題の解決方法の検討-

技術課題解決に向けて、研究開発のロードマップ案の検討を行った。水素基本戦略のマイルストーンの1つである2030年度以降の早い段階でメーカー各社で事業化判断が可能な状態とするため、2028年度までに小型モビリティ用水素ICE実用化にあたり最低限必要な基盤技術課題(協調領域)の解決を目指す方針が考えられる



■「実用化にあたり最低限必要な基盤技術課題(協調領域)の解決(目標)」マイルストーン設定根拠

- 二輪車市場における日本メーカーの競争力を維持するために、他国に先んじた研究開発、実用化が必要
- 一方、製品の实用化にあたり、国内各社での事業化判断が必要であり、事業化判断の際には水素供給側の整備状況も加味される
- 水素供給側の整備目標は水素基本戦略において示されており、2030年がマイルストーンの1つとして設定されている

【水素基本戦略2030年目標】

- 水素供給量：300万t/年
- CIF価格：30円/Nm3
- 水素ST：1,000基
 - ✓ 2030年以降、個社にて事業化判断ができる状態になっておくことが望ましく、そのためには2028年度までに製品化にあたっての最低限の基盤技術課題(協調領域)を解決し、それ以降個社にて製品化課題の対応を行い、2030年以降の早い段階で事業化判断が可能な状態を築くことが必要と考える

3-3. 調査の内容・成果 -【タスク3】小型モビリティ用水素ICE実用化に向けた技術課題の解決方法の検討-

水素基本戦略にて定量目標が定められている2030年を起点に、当社にてバックキャストで共用試験施設整備のスケジュール¹⁾²⁾を検討した。2028年度までに、製品化にあたり最低限必要な基盤技術課題(協調領域)の解決を目指すにあたり、2024年度から共用試験施設整備の詳細検討を始め、2027年度からの施設稼働を目指す方針が考えられる

- 2023年度 調査事業アウトプット
- 小型モビリティ用水素ICEの優位性の把握
 - 小型モビリティ用水素ICE実用化に向けた主要な技術課題の特定
 - 小型モビリティ用水素ICE実用化に向けた技術課題解決方法の検討結果
 - ✓ 概要レベルでの試験設備の特定
 - ✓ 共用試験施設に導入する試験設備群の検討結果
 - ✓ 共用試験施設の候補地要件の検討結果

| | | 2024年度 | | | | 2025年度 | | | | 2026年度 | | | | 2027年度 | | | |
|----------------|----------------|-------------|----|----------|----|---------|----|---|----|-----------|----|----|----|-----------|----|----|----|
| | | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q | 1Q | 2Q | 3Q | 4Q |
| マイルストーン | | ★建設地/設備仕様決定 | | | | ★試験設備発注 | | | | ★共用試験施設完工 | | | | ★共用試験施設稼働 | | | |
| 1 | 計画立案 | 研究計画の策定 | | 事業スキーム検討 | | 建設地検討 | | だれが共用試験施設の整備主体となるかにより、実施内容に変更がある事項を主に想定 具体的には、「建設用地の取得」、「監督官庁からの許認可取得」等を想定 | | | | | | | | | |
| 2 | 施設整備準備 | 施設整備に必要な準備 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 施設・設備設計 | 設備仕様検討 | | 施設・設備設計 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 建設工事 | | | | | 施設建設工事 | | | | | | | | | | | |
| 5 | 設備工事 | | | | | | | | | 設備納入・設備工事 | | | | | | | |
| 6 | 試験運用 | | | | | | | | | | | | | 試験運用 | | | |
| 7 | 実稼働 | | | | | | | | | | | | | 実稼働 | | | |

1) 現状、共用試験施設の運用事業者決定等の残課題や不確定要素が多いが、水素基本戦略にて定量目標が定められている2030年を起点に、PwCにてバックキャストで共用試験施設整備のスケジュールを検討した結果を、ロードマップとして示している
 2) 本ロードマップは、水素ICE実用化にあたり最低限必要な基盤技術課題の解決を目指すための試験設備を備えた共用試験施設の整備を前提としてPwCにて記載した

4. 今後検討していくべき事項

今後は、①共用試験施設建設に向けた方針詳細、②電動化や他の代替燃料と比較して小型水素ICEが主導権を握ることができる適用先、を検討する必要がある

調査内容総括

- 小型モビリティ用水素ICEと燃料電池を比較した結果、水素ICEは日本の強みを発揮できる領域であり、燃料電池より優位な点も存在するため、今後、研究開発に取り組むべきテーマであると考え
- 他方で、当該領域は商用化に向けて解決すべき技術課題が多く、課題解決のための研究開発を推進する必要がある
- 個別の大学や企業等で研究開発を進めていくためには障壁が多いことが想定される。そこで、大学や企業等が共同利用できる小型モビリティ用水素ICEの共用試験施設を整備することで、質の高い、効率的な研究開発が可能になり、当該分野における産業競争力の維持・強化に繋げることが可能と考えられる
- 本事業では技術課題の解決に向け、必要な試験設備群や共用試験施設の立地要件等は整理したが、具体的な建設地の絞り込み等、詳細検討には至っていない



今後検討していくべき事項

- 共用試験施設整備・運用における事業者の決定や、共用試験施設の建設地決定、技術課題に対する研究計画の策定等を実施する必要がある
- 電動化等の他のCN技術との棲み分け、水素ICEが主導権を握る適用先を明確化する必要がある