

令和３年度産業経済研究委託事業
(水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ調査)

調査報告書

令和３年９月



みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社

<空白ページ>

<目次>

1	事業の目的・内容	1
1.1	事業目的.....	1
2	水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会の実施に向けた事前調査.....	2
2.1	文献調査による海外での水素航空機の実現に向けたインフラ検討や研究開発の現状に係る情報収集.....	2
2.1.1	水素航空機の開発動向について	2
2.1.2	水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討の動向について	3
2.1.3	水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会の開催に向けての課題の整理.....	9
2.2	水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会の実施に向けた関連機関へのヒアリング調査.....	11
2.2.1	ヒアリング調査概要	11
2.2.2	ヒアリング調査を受けた課題の整理.....	11
3	水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会の実施.....	13
3.1	検討会の概要	13
3.1.1	実施体制	13
3.1.2	開催状況	15
4	水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラについて	16
4.1	水素航空機の導入及び水素燃料に対応した空港周辺インフラの構築に向けて	16
4.2	水素航空機導入における水素インフラに関わる課題について	17
5	まとめ.....	27

<空白ページ>

1 事業の目的・内容

1.1 事業目的

近年、国際民間航空機関（ICAO）が 2020 年以降、国際航空に関して CO₂排出量を増加させないとの目標を採択するなど、航空機産業においても、低炭素化に向けた要求が強まりつつある。こうした中、革新的な低炭素化関連技術の一つとして、世界的に研究開発が加速されつつあるのが、航空機における水素の活用である。

実際、昨年 9 月には、エアバス社が水素航空機を 2035 年に市場投入すると発表しており、我が国企業においてもこうした動きを受け、水素航空機に関する具体的な取組が始動している。他方で、水素航空機の実現に向けたこのような技術開発と併行して十分に検討しなければならないのが、水素航空機の利用に必要な空港を中心とした周辺インフラや、水素燃料の供給設備における実現可能性である。

現在、航空機に利用されているケロシン燃料は、製油所からタンカーで石油ターミナルへと運搬され、さらに相当距離離れた空港へと運べるよう、確固とした設備が構築されている。こうした供給網と共存可能な形で、水素燃料を貯蔵、運搬、利用する空港周辺インフラを検討する必要がある。

具体的に検討すべき項目としては、

- ・ 空港における水素燃料の保管、輸送、供給
- ・ 水素利用の多様化に伴う空港設備（地上車両、ビル等）
- ・ 水素の散逸防止や再利用

等が挙げられる。また、実際に経済的に運航可能な体制を整えるためにも、安全を確保しつつも、離着陸時のターンアラウンドタイムを極限まで減らすことができる仕組みを整えることが必須である。

実際、世界に目を向けると、2021 年 2 月、パリ空港公団が、エアバス、エールフランス-KLM グループ、及びパリでの産業推進を行う Paris Region と共同して、シャルルドゴール、オルリー、ブルジェの 3 空港の水素ハブ化に向け、インフラ検討のパートナーを公募している。我が国としても必要な調査検討を実施し、水素航空機のインフラ構築に向けた体制を作り上げていくことが急務の状況である。

本事業では、水素航空機の利用に必要な空港を中心とした周辺インフラや供給サプライチェーンの在り方について、①空港における水素燃料の保管、輸送、供給、②水素利用の多様化に伴う空港設備（地上車両、ビル等）、③水素の散逸防止や再利用等について調査検討を行った。

調査検討にあたっては、水素航空機関連メーカー、エアライン、水素インフラ事業者、水素サプライヤー、空港整備に関わる団体等のプレイヤーが参加する検討会を開催することで、十分に議論を行えるようにした。加えて、先行して検討が行われている、仏空港における水素インフラ検討等の取組を参照しつつ、将来的には連携することに配慮しつつ調査を実施した。

2 水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会の実施に向けた事前調査

水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会の実施前に、海外での水素航空機の実現に向けたインフラ検討や研究開発の現状を調査するとともに、検討内容について、水素航空機関連メーカー、エアライン、水素インフラ事業者、水素販売会社、空港整備に関わる団体、研究機関といった関係機関に対して事前ヒアリングを実施した。

2.1 文献調査による海外での水素航空機の実現に向けたインフラ検討や研究開発の現状に係る情報収集

水素航空機の実現に向けたインフラ検討や研究開発の現状に関して文献調査を行い、欧州での検討内容を中心に整理する。

2.1.1 水素航空機の開発動向について

欧州における航空分野の共同技術イニシアティブ（JTI）である Clean Sky 2 によると、水素を利用した航空機の開発動向に関しては、小型機から開発が進み、2030 年までに航続距離 500km 程度の航空機、2035 年までに航続距離 2,000km 程度の航空機が導入されることを見込んでいる。水素を利用した航空機の開発動向を図 2.1 に示す。

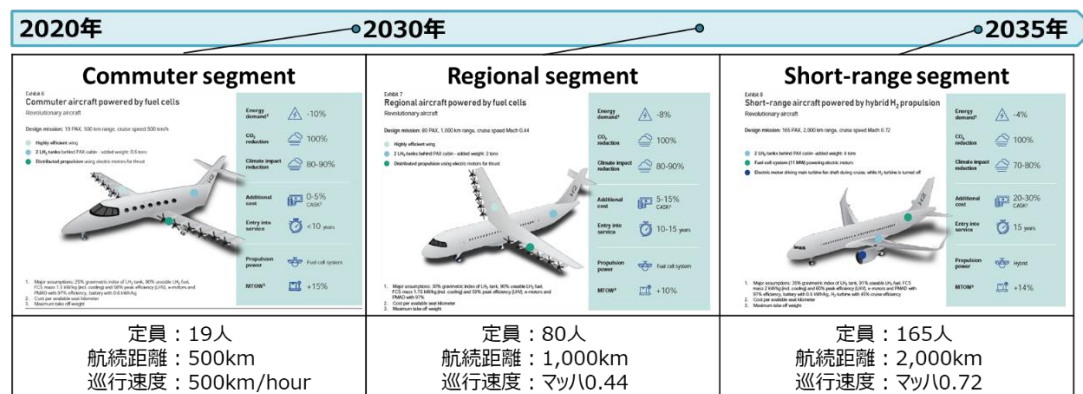


図 2.1 水素を利用した航空機の開発動向¹⁾

次に、主要航空機メーカーであるエアバス社の開発動向を以下に整理する。

エアバス社では、2020 年 9 月、水素を燃料としたゼロ・エミッションを達成する 3 つの航空機コンセプトを提唱しており、2035 年までの実現を目指している。ゼロエミッションの 3 つの航空機コンセプトを表 2.1 に示す。

¹ 出典：Clean Sky 2 報告書（https://www.cleansky.eu/sites/default/files/inline-files/20200507_Hydrogen-Powered-Aviation-report.pdf、2021 年 7 月閲覧）よりみずほリサーチ&テクノロジーズ作成

表 2.1 ゼロ・エミッション 3つの航空機コンセプト²⁾

	ターボプロップ機	ターボファン機	翼胴一体機
イメージ			
乗客数	100人以下	200人以下	200人以下
航続距離	1850km以上	3700 km以上	3700km以上

また、ゼロエミッションと並行して研究機関、メーカー、空港等と共同で水素の生産、貯蔵、輸送のサプライチェーンを通じたインフラの構築を目指している。具体的な項目は以下の通りである。

- 水素燃料の使用に適した機体システムの開発
- 水素燃料と水素燃料電池を組み合わせたハイブリット系電気推進系の開発
- 極低温での水素燃料の貯蔵方法の確立・安全性の確保／給油を含む空港ネットワーク・インフラの構築

2.1.2 水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討の動向について

Clean Sky 2 では、水素航空機の導入初期に地方空港に小型の水素航空機の導入、将来的には大都市空港、大型の水素航空機への展開を想定している。この想定を踏まえて、地方空港に小型水素航空機を導入を想定した導入初期と、水素航空機の導入が本格化する時期頃に分けて、水素航空機を導入する際の空港周辺インフラの状況を整理した。

(1) 水素航空機導入初期について

欧州の Clean Sky 2 の想定によると、水素航空機導入初期には地方空港に小型飛行機を導入するとしている。水素航空機導入初期の空港周辺インフラの想定を図 2.2 に示す。

水素航空機導入初期においては、水素航空機の導入機数が限られると仮定すると、水素を利用する空港周辺インフラは図 2.2 に示すように、液化水素貯蔵タンクと、水素を運搬する車両等に限定されるものと見込まれる。したがって、既存のケロシン燃料を利用したハイドラントシステムとの共存の可能性がある。

水素製造拠点から空港周辺の液化水素貯蔵タンクへの水素燃料の輸送は、主に水素運搬車両を利用することが想定され、空港内に設置される液化水素貯蔵タンクで水素を貯蔵する。空港内に

² 出典：エアバス社ホームページ (<https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2020/09/airbus-reveals-new-zeroemission-concept-aircraft.html>、2021 年 7 月閲覧) よりみずほリサーチ&テクノロジーズ作成

においては、水素航空機導入の初期段階では、利用する水素量が限られるため、水素対応のハイドラントシステムは構築せず、水素運搬車両を活用し、液化水素貯蔵タンクから水素航空機へと燃料が運ばれる可能性がある。

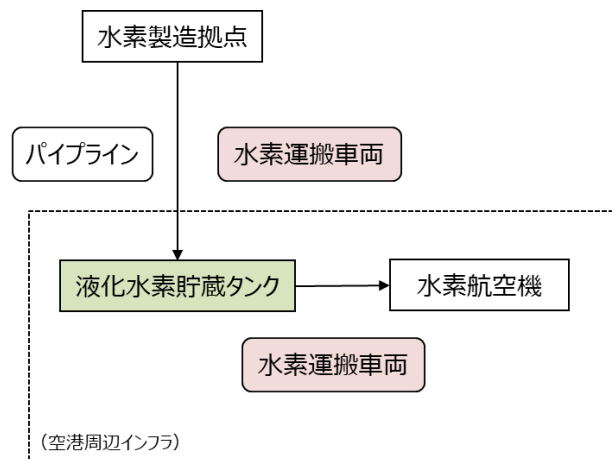


図 2.2 水素航空機導入初期の空港周辺インフラの想定

(2) 水素航空機の導入が本格化する時期について

欧州の Clean Sky 2 の分析によると、水素航空機の導入が本格的に進む時期には、大都市空港、大型航空機への導入が想定されている。水素航空機の導入が本格化する時期の空港周辺インフラの想定を図 2.3 に示す。

図 2.3 に示すように、水素航空機導入初期と比べて、水素航空機の導入規模の拡大に伴い、水素燃料の利用量増加、大規模なインフラ設備の構築が進み、さらに水素航空機以外の水素利用の多様化が想定される。

水素製造拠点から空港周辺の液化水素貯蔵タンクへの水素燃料の輸送は、水素運搬船、水素運搬車両を利用することが想定され、水素を気体として製造する場合にはガスパイプラインによる輸送も考えられる。

空港周辺インフラとしては、水素対応のハイドラントシステムの構築が必要となる可能性がある。その場合、液化水素貯蔵タンクから水素航空機へ水素を注入する方法としては、水素航空機導入初期の水素運搬車両による輸送から、地下ピット（配管）を活用した水素の輸送が主な水素輸送方法となることが想定される。

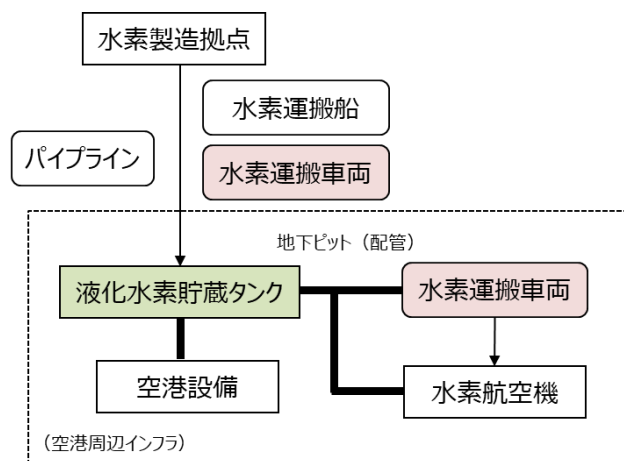


図 2.3 水素航空機の導入が本格化する時期の空港周辺インフラの想定

(3) 水素航空機導入に関わる空港周辺インフラの各設備と運用について

次に、水素航空機導入に関わる空港周辺インフラとして対応が求められる設備の想定と燃料の価格についての情報を整理した。

(i) 液化水素向けの設備が必要となる箇所の想定

現行のケロシン燃料を利用したハイドラントシステムを図 2.4 に示す。現行のハイドラントシステムにおいて、極低温の液化水素に対応することが求められる主な設備は

- 貯油タンク (⑤)
- ポンプ (⑥)
- 地下ピット（パイプライン） (⑦)
- ハイドラントバルブ (⑧)
- 給油車両 (⑨)

であると想定する。

水素航空機導入の初期には、貯油タンク (⑤)、ポンプ (⑥)、給油車両 (⑨) が液化水素に対応する必要があり、水素用のハイドラントシステムを構築する場合には、地下ピット（パイプライン） (⑦) とハイドラントバルブ (⑧) も液化水素を利用できるようになることが求められる。



図 2.4 ケロシン燃料におけるハイドラントシステム全体像³⁾

(ii) 水素航空機導入時の燃料の量について

欧州の Clean Sky 2 の分析によると、地方空港、小型航空機へ水素航空機を導入した際に必要となる燃料の量は、年間 5,000 トン程度、1 日あたりで約 10 トンとなると想定している。4 トントラックで液化水素を運ぶことを仮定した場合、1 日あたり約 2.5 台のトラック輸送が必要となる。

(iii) 燃料の保管スペースについて

欧州の Clean Sky 2 の分析によると、3 日分程度の液化水素として 90 トンの液化水素を空港周辺で保管する場合、燃料の保管スペースとしては約 100m²が必要であると想定している。容積としては 1,300m³程度となり、種子島に設置されている液化水素貯蔵タンク（540m³）に換算すると 2 個強の貯蔵タンクとなる。既存の空港設備に対して、水素燃料を貯蔵するスペース確保することができるかは検討課題の一つとなる。

(iv) ターンアラウンドタイムへの影響について

欧州の Clean Sky 2 の分析では、水素航空機へ水素を注入するのに必要な時間について、以下のように検討している。航空機への液化水素は 2 本のホースから供給を行い、充填速度は 1 分あたり 500L とすると、30 分で 30,000L（2.1 トン）の液化水素が航空機へ給油されることになり、水素の給油用ホースを 1 箇所ではなく 2 箇所に増やすと、液化水素の給油時間は 20～30 分程度となると見込んでいる。

ジェット燃料の給油速度は 1 分あたり 900L であるのに対し、欧州の分析に基づく液化水素の充填速度は 1 分あたり 500L と遅いため、ターンアラウンドタイムへ大きく影響を与える。したがって、液化水素の充填速度を向上させる技術開発が必要と想定される。

また、他の作業と並行して作業ができるかもターンアラウンドタイムに影響を与えるので、給油漏れなどのリスクや安全な範囲などの検討をして、並行作業の実現についても検討が必要である。

(v) 航空機への燃料の注入について

導入初期には水素の利用量が少ないため、液化水素を運搬する車両から航空機へ直接注入する

³⁾ 出典：三愛石油ホームページ（<http://www.san-ai-oil.co.jp/biz/aviation/hydrant/>、2021 年 7 月閲覧）よりみずほリサーチ&テクノロジーズ作成

方法が想定され、水素航空機の導入が本格化する時期には、水素向けのハイドラントシステムが構築されて配管（地下ピット）から航空機へ水素を注入する方法が主流となると見込まれる。

空港にはケロシン燃料用のインフラが既に整備されているため、いずれの方法についても既存インフラと並行して運用できるように、航空機へ水素注入するシステムを構築する必要がある。

(vi) 水素製造地点と空港間の水素輸送について

水素製造地点と空港間の水素輸送については、水素ガスを輸送する方法と液化水素を輸送する方法が可能である。国内で水素を製造する場合は、水素ガスの状態での輸送が想定され、水素ガス向けのパイプラインの構築（または既存のガスパイプラインの改造）、あるいは圧縮水素運搬トラックでの輸送が考えられる。また、空港内にオンサイトの液化設備が必要となる。

水素航空機の導入初期では水素の利用量は限定的と考えられるため、液化水素を水素製造地点あるいは船舶から空港まで水素運搬車両で輸送して、最終的に水素航空機へ給油することが想定される。

(vii) 液化水素用のハイドラントシステムのコストについて

欧州の Clean Sky 2 の分析によると、液化水素用のハイドラントシステムは、現行のハイドラントシステムと比較して 5 倍以上の費用が掛かると想定しているため、コスト低減が必要となる。特に、空港において液化設備が必要な場合には、液化設備の費用検討、冷却システムの設計検討が必要となる。

(viii) 水素価格、ジェット燃料価格の想定について

・水素価格

欧州において分析されている水素価格の推移を表 2.2 に整理する。現在は 78 円以上/Nm³ 程度であるが、2050 年には、23.5 円以下/Nm³ になると想定されている。

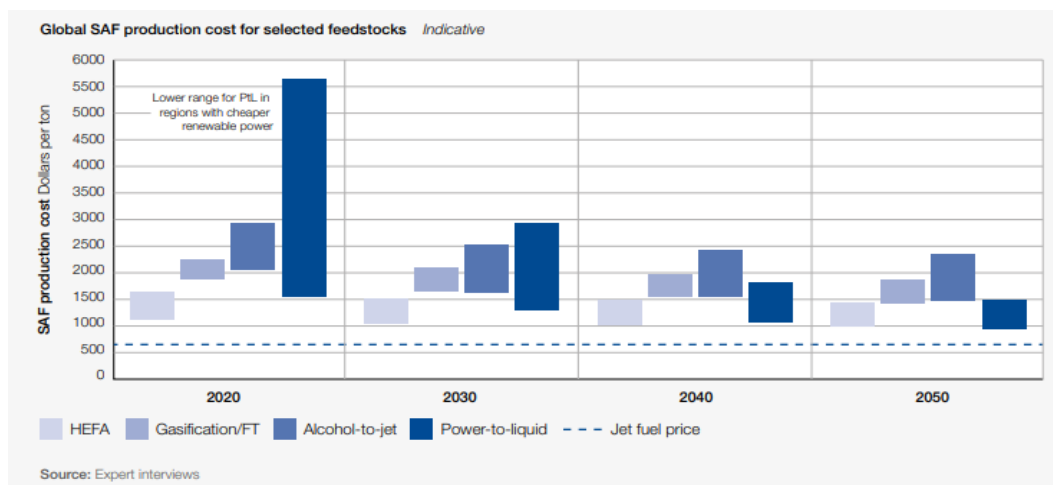
表 2.2 水素価格の推移⁴⁾

年	価格
現在	200 ドル以上／MWh (78 円以上/Nm ³)
2030 年	100 ドル以下／MWh (39 円以下/Nm ³)
2050 年	60 ドル以下／MWh (23.5 円以下/Nm ³)

注) HHV (水素発熱量 : 142.90MJ/kg) で換算 (1 ドル=110 円を想定)

・ジェット燃料、SAF の価格について

世界経済フォーラムの分析によると、ジェット燃料価格は 1 トンあたり 600 ドルと想定している。SAF (持続可能な航空燃料) の価格については、水素化処理エステル・脂肪酸 (HEFA) で、現状でジェット燃料価格の 2.5 倍程度、2050 年でも 2 倍程度と予測している。SAF の価格の推移を図 2.5 に示す。



注) ジェット燃料の密度 : 0.8kg/L、ジェット燃料の価格 : 600 ドル/トン は 5.3 万円/kL に相当する。(1 ドル=110 円を想定)

図 2.5 SAF の燃料価格の推移⁵⁾

⁴ 出典 : Clean Sky 2 報告書

(https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCH%20Docs/20200507_Hydrogen%20Powered%20Aviation%20report_FINAL%20web%20%28ID%208706035%29.pdf、2021 年 7 月閲覧)
よりみずほリサーチ&テクノロジーズ作成

⁵ 出典 : WORLD ECONOMIC FORUM 報告書

(http://www3.weforum.org/docs/WEF_Clean_Skies_Tomorrow_SAF_Analytics_2020.pdf、2021 年 7 月閲覧)

2.1.3 水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会の開催に向けての課題の整理

以上の調査結果を受け、「水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会」において検討する議題を整理した。以降に検討会における議論の方向性、想定する議題について示す。

(1) 検討会での議論の方向性

欧州での検討内容を鑑みると、国内においても同様に地方空港、小型飛行機の導入から始まり、カーボンニュートラル社会においては、大都市空港、大型航空機への水素航空機の導入が想定されるが、水素航空機の導入が本格化した際に利用される液化水素に対応したハイドラントシステムの詳細については現時点では想定がしにくい。

したがって、「水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会」では、水素航空機導入初期に焦点をあて、地方空港、小型飛行機への導入を前提とした検討から始めることとする。

(2) 想定する議題

欧州の分析を参考に、水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会で意見交換を行う主な議題を整理した。整理した結果を、表 2.3 に示す。

検討会においては、想定される議題の項目について、現行の研究開発状況、運用状況について、参加組織より情報提供をいただき、想定した議題について詳細な議論が行える形式とした。

表 2.3 想定する主な議題について

項目	想定される議題	詳細
水素航空機の導入見通し	水素航空機の運航見通し	・欧州の情報を参考に、導入初期と導入が本格化する時期の水素航空機の運航見通しを検討
水素の利用量、生産量、コストの見通し	水素燃料の利用量見通し	・水素航空機の運航見通しを参考に、導入初期と導入が本格化する時期の水素燃料の利用量見通しを検討
	水素生産量の見通し	・水素燃料の利用量見通しに対して、水素・燃料電池戦略ロードマップ等を参考に、水素生産量の将来見通しと見合うかを検討
	燃料コストの見通し	・水素・燃料電池戦略ロードマップ等を参考に、水素航空機の燃料コスト見通しを検討
ターンアラウンドタイムの短縮	航空機への水素充填時間の検討	・国内における液化水素の充填速度の状況 ・液化水素の充填時間を短縮する技術開発（ポンプ等）の状況
	並行作業の実現	・安全性の確保と並行作業の実現性の検討
空港内の水素関連インフラ	液化水素を貯蔵、輸送する設備	・液化水素を貯蔵、輸送する設備の開発状況 ・空港の既存のインフラと並行して運用する際の既存システムへの影響、留意点の検討 ・水素を航空機へ給油する際の安全基準及び規制について、検討すべき課題の抽出
	液化水素向けのホース接続システムの開発	・極低温の液化水素向けのホース接続システムの開発
流通インフラ（製造地点と空間の輸送）	水素製造地点と空港間の輸送方法	・輸送方法として、水素ガスと液化水素の2通りの輸送方法を検討（水素の製造状況等により、いずれかを選択） ・ガスで輸送する場合の課題の抽出 ・液化水素を運搬する車両の安全性の状況

2.2 水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会の実施に向けた関連機関へのヒアリング調査

2.2.1 ヒアリング調査概要

水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会の参加組織である水素航空機関連メーカー、エアライン、水素インフラ事業者、水素販売会社、空港整備に関わる団体、研究機関といった関係機関に対して事前にヒアリングを行った。

現行の空港のインフラ設備、水素燃料のインフラに係る技術動向について主にヒアリングを行い、ヒアリング結果を参加組織による発表や事務局資料として検討会において共有をした。

2.2.2 ヒアリング調査を受けた課題の整理

ヒアリング調査の結果と文献調査の結果より、水素利用の空港周辺インフラの課題については、現行の技術等で対応可能な課題と今後対応が必要な課題とに分けられることが判明した。図 2.6、表 2.4 に想定される水素利用の空港周辺インフラの設備と各設備に関する課題を示す。

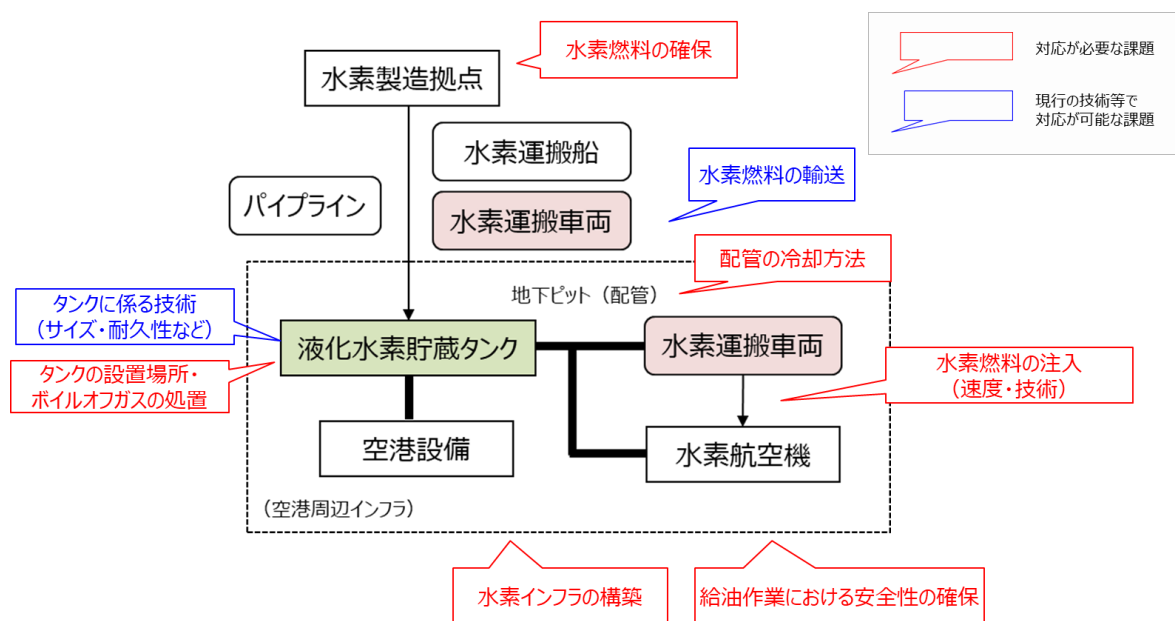


図 2.6 想定される水素利用の空港周辺インフラと課題

表 2.4 想定される水素利用の空港周辺インフラの課題

項目	主な課題
水素燃料の確保	・ 必要な水素燃料の量と水素製造量のバランス
水素燃料の輸送	・ 液化水素の輸送方法
液化水素貯蔵タンクに係る技術	・ 液化水素地上タンクに係る技術（サイズ、耐久性など）
タンクの設置場所	・ 離隔距離等を考慮したタンクの設置場所の検討
ボイルオフガスの処置	・ ボイルオフガスの処置
水素インフラの構築	・ 水素航空機専用のエリアの導入の検討
	・ 既存のインフラと干渉しないインフラ構築
配管の冷却方法	・ 液化水素を通す配管の冷却方法の検討
水素燃料の注入	・ 液化水素の充填速度、ターンアラウンドタイムへの影響
	・ 液化水素の充填速度を上げるためのポンプ技術の開発
水素注入作業における安全性の確保	・ 液化水素の取り扱いに係る基準の制定
	・ ターンアラウンドタイム短縮のための並行作業の実現

3 水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会の実施

3.1 検討会の概要

3.1.1 実施体制

本調査では、2章で行った事前調査をもとに、水素航空機関連メーカー、エアライン、水素インフラ事業者、水素販売会社、空港設備に関わる団体、研究機関、関連省庁等の関係機関から構成される、水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会を実施した。

本検討会の実施体制を図 3.1 に、参加組織一覧を表 3.1 に示す。

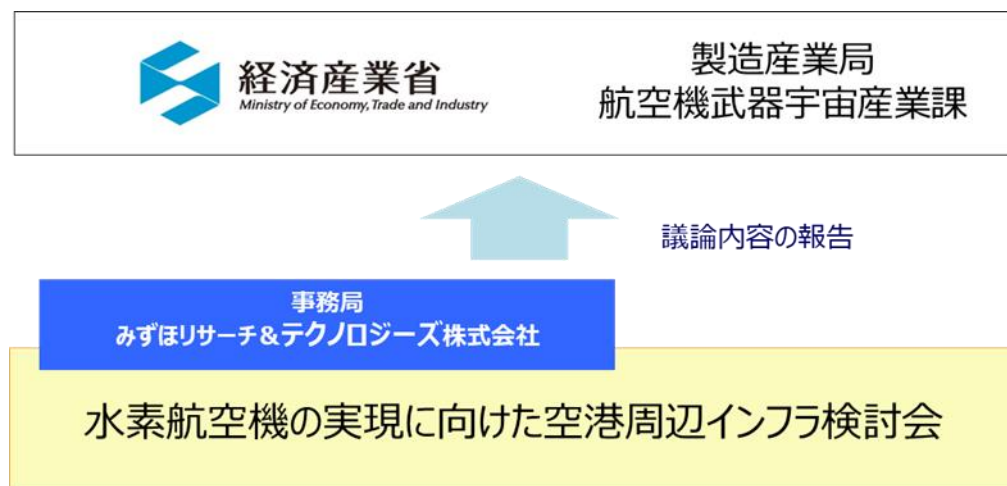


図 3.1 水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会・実施体制

表 3.1 水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会・参加組織

参加組織（五十音順）
株式会社 IHI
出光興産株式会社
岩谷産業株式会社
株式会社荏原製作所
ENEOS 株式会社
川崎重工業株式会社
コスモ石油マーケティング株式会社
三愛石油株式会社
一般社団法人全国空港給油事業協会
全日本空輸株式会社
定期航空協会
株式会社豊田自動織機
日本航空株式会社
三菱重工業株式会社
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
経済産業省
国土交通省
文部科学省

3.1.2 開催状況

検討会の開催状況を表 3.2 に示す。

表 3.2 水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会・実施状況

回数	開催日	主な議題
第1回	2021年8月3日	・政府の取り組みについて ・国内外の水素航空機の研究開発状況について ・燃料供給パイプライン、空港設備の紹介 ・空港のターンアラウンドタイムについて
第2回	2021年8月30日	・水素燃料の保管について ・水素燃料の輸送方法、輸送時の安全性について ・既存の空港システムへの組み込みを想定した水素燃料の供給設備について
第3回	2021年9月13日	・地上車両への水素燃料電池自動車の導入検討について ・ケロシン燃料、SAF（持続可能な航空燃料）のサプライチェーンおよび特徴等 ・液化水素用ポンプの取組 ・全体総括

4 水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラについて

4.1 水素航空機の導入及び水素燃料に対応した空港周辺インフラの構築に向けて

本項では、水素航空機の導入及び水素燃料に対応した空港周辺インフラの構築に向けての課題を整理するため、現状想定される各種情報を整理し、水素航空機が国内に導入される初期（実証初期、最小インフラを想定）から、水素航空機の導入が本格化する普及期（実用フェーズ）までの導入のイメージを作成した。導入イメージの詳細を表 4.1 に示す。なお、あくまでも本イメージは水素燃料に対応した空港周辺インフラの構築にあたっての課題を整理するためのケーススタディとして仮定したものであり、必ずしも今後の具体的な計画や見通しとして議論したものではない点、留意されたい。

表 4.1 水素航空機・水素燃料に対応した空港周辺インフラの導入イメージ

	実証初期	実証中期	実用フェーズ
	受入れ準備フェーズ	実証フェーズ	インフラ整備拡大、徐々に実用フェーズへ移行
水素航空機	・水素航空機を導入し、実証開始	・水素航空機の導入台数を増やし、本格実証開始	・実用開始
運航状況	・地方～地方	・主要都市～地方	・主要都市間飛行を期待
空港への水素供給	・液化水素 ・輸送船・ローリー	・液化水素 ・輸送船・ローリー	・再生可能エネルギーからの水素製造設備整備 ・水素パイプライン整備 ・液水、MCH受入れ基地の拡大
空港内での水素供給	・液水タンク+ローリー	・液水タンク+ローリー+ポンプ+（液化設備+MCHの導入）	・主要空港：ハイドラント・システム ・地方空港：ローリー
必要水素量	・数千km/日 ・数千トン程度/年	・数万km/日 ・数万トン程度/年	・数億km/年 ・数十万トン程度/年
その他の課題	・クロシン設備と水素設備の併用に関する法整備を終える必要あり	・水素の供給能力に応じ、クロシン混焼タービンの利用	

以降に表 4.1 に記載されている項目についての情報及び考え方について整理する。

(1) 水素航空機の導入

日本国内においては、空港に水素航空機の導入を想定した水素インフラ設備が整備されておらず、また水素航空機が現在開発が開始された段階であることを鑑み、水素航空機が国内に導入される初期には、実証事業レベルとして、最小のインフラ、最小の機数からスタートすることを想定する。

(2) 空港までの水素供給体制

日本国内には、水素航空機の運航に十分な量の水素を空港まで供給するパイプラインが整備されていないため、水素航空機導入初期（実証初期）は、大量の輸送が可能な液化水素を輸送し、空港内に整備された液化水素タンクに貯蔵することを想定する。水素ガスを用いる場合には、水素製造設備、パイプライン、液化設備等を要し、実績がある液化水素タンクよりコストがかかる

と思慮する。

水素航空機の導入が本格化する実用フェーズにかけて、空港付近での本格的な水素製造の検討を開始し、再生エネルギーを活用した水素製造、水素パイプラインの整備、液化設備の設置、ハイドランドシステムの設計・開発に着手する。

液化設備が設置された場合には、メチルシクロヘキサン（MCH）を輸入し、空港での脱水素、液化水素の生成が可能になる。

(3) 空港内での水素供給体制

水素航空機導入初期（実証初期）はあくまで実証という位置づけで、給水素に時間がかかることが想定した運用となる。実証事業として、ターンアラウンドタイムと給水素時間の確認を行うこと、実用に向けた運用の検討が必要となる。その後、水素航空機に適したポンプが開発、整備され、要求されるターンアラウンドタイムに応じた給水素が可能となることを期待する。水素航空機の導入が本格化する実証フェーズには、主要空港ではハイドランドシステムからの水素供給が主流となることを期待する。

(4) 必要となる水素燃料の量

水素航空機導入初期（実証初期）はあくまで実証という位置づけで、1日あたり数千 km 程度の航続距離、年間数千トンの水素を利用することを想定する。実証中期には、1日あたり数万 km 程度の航続距離、年間数万トンの水素を利用し、水素航空機の導入が本格化する実証フェーズには、1日あたり数十万 km 程度の航続距離、年間数十万トンの水素を利用することが想定される。

4.2 水素航空機導入における水素インフラに関わる課題について

本項では、4.1 での整理を踏まえ、水素航空機導入初期（実証初期）から水素航空機の導入が本格化する普及期（実用フェーズ）までの期間を想定して、実用化時期までに生じうる水素燃料、インフラ設備、その他（安全性、コスト等）の課題及び今後検討が必要と考えられる事柄を整理した。

課題の概要を図 4.1 に示し、主な課題及び今後検討が必要と考えられる事柄の詳細を表 4.2 に整理する。

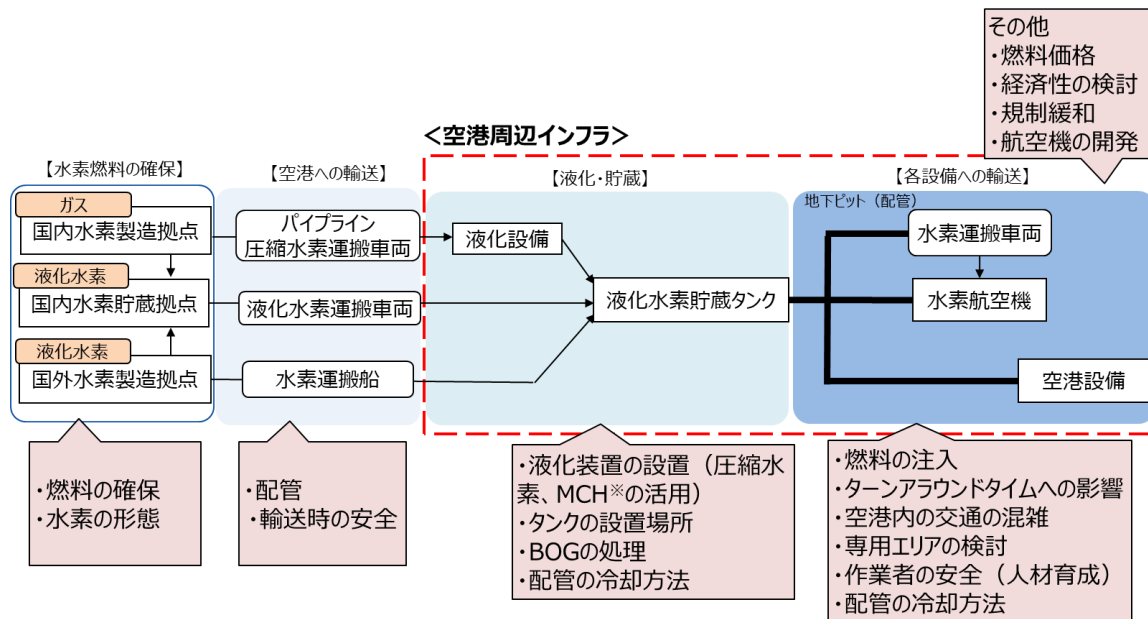


図 4.1 水素航空機導入における水素インフラに関わる課題の概要

表 4.2 水素航空機導入に向けた空港周辺インフラの課題及び解決に向けた方向性

項目	論点	課題、今後検討が必要と考えられる事柄
水素燃料の確保・コスト	水素の確保	【課題：水素航空機に必要な水素の量と水素生産量のギャップ】 ・水素航空機の導入が本格化する普及期には、年間数十万トン以上の水素が必要と見込まれる。 ・現在の液化水素工場での年間生産量では大きく及ばない量である。 ・水素・燃料電池戦略ロードマップ（水素・燃料電池戦略協議会作成）による水素生産量（年間）の見通し：300万トン（2030年）、2,000万トン程度（将来目指すべき姿）に見合う生産量が少なくとも必要である。 【解決に向けて：各フェーズでの適切な目標設定が必要】 ・水素航空機導入初期については利用可能な水素量を鑑みると、<u>国内線のすべてを置き換えるのは難しく、各フェーズで、航空機のうち、どの程度の割合を水素航空機に置き換えるのか、適切な目標設定が望まれる。</u>
	品質	【課題：水素の品質検討及び管理】 ・水素供給会社が複数となる場合、既存のケロシン燃料と同じく、空港内の共同貯有に関するルール作りが必要となる。 ・一方、国内・海外とも航空機用の水素燃料の標準的な品質に関する基準が存在しない。 ・品質の観点として、国際標準が定められた際には、国際標準に則り、品質基準、管理要領、品質不適合時の対応等を定めておくことが肝要であり、航空機用の水素燃料の国際標準化の動向について、今後把握する必要がある。 ・併せて、水素航空機で利用される水素燃料のスペックについて、必要に応じて水素航空機メーカー等の動向についても把握する必要がある。
	グリーン水素・ブルー水素の導入	【課題：グリーン水素、ブルー水素の利用】 ・カーボンニュートラル実現にはグリーン水素の利用、少なくともブルー水素の利用が必要であるが、現時点では、グリーン水素、ブルー水素の導入時期については、具体的なロードマップは存在しない。

項目	論点	課題、今後検討が必要と考えられる事柄
		・グリーン水素、ブルー水素の評価方法に関する国際的な動向を睨み、燃料製造方法・輸送過程で発生するCO₂の評価を行い、比較検討を行うことが望まれる。
	コスト・経済性	【課題：燃料コスト】 ・ジェット燃料等と比較した際、水素燃料コストの削減も求められる。 ・水素・燃料電池戦略ロードマップ（水素・燃料電池戦略協議会作成）による水素のコスト見通しで示されているように、30 円/Nm³（2030 年）、20 円/Nm³（将来目指すべき姿）へとコスト低下されることが望まれる。 【解決に向けて考慮すべき点】 ・水素航空機の導入にあたり、経済性も加味して検討する必要がある。 ・例えば、水素航空機の導入検討の際には、水素とケロシン燃料の混焼のアイデアも取り入れながら検討しないと、経済的に成り立たない懸念がある。
空港への水素の輸送	水素の輸送形態	【課題：水素の輸送形態の選択肢及び各形態における設備の検討】 ・水素の輸送形態としては、液化水素、圧縮ガスの両方が考えられるため、<u>水素製造拠点と空港との距離等を踏まえて検討が必要</u>である。 ・国内で水素製造する場合は輸送形態としては主に圧縮ガスが考えられるが、<u>輸送方法（パイプライン、圧縮水素運搬車両）の検討、液化水素貯蔵タンクに貯蔵する際には空港内に液化設備が必要</u>となる。 【解決に向けて：導入段階に応じて検討が必要】 ・実証中期まで 液化設備やパイプラインを構築せずに液化水素（国内で製造した水素を液化して貯蔵、及び海外からの輸送）をローリー等で輸送し利用することが想定される。 ・実証中期から実用フェーズに移行する過程 空港内に液化設備が設置される場合には、現地で脱水素を行うことにより、メチルシクロヘキサン（MCH）での輸送も想定される。

項目	論点	課題、今後検討が必要と考えられる事柄
		・実用フェーズ 水素パイプラインを活用し、圧縮ガスの形態での輸送も想定される。 ・本報告書では、上記の想定を行ったが、国際市場で標準化された方法に基づいて輸送することが求められる。今後の動向などを踏まえ、輸送形態、設備等の検討を行う必要がある。 ・将来的に、水素航空機メーカーが認可する水素のスペックについても情報収集を進めつつ、検討段階では、様々な可能性を考慮し検討を実施する必要がある。
パイプラインによる水素輸送	パイプラインの構築	【課題：パイプラインの構築】【解決に向けて：実証フェーズまでを目途に】 ・<u>空港まで水素を輸送するために、水素ガス向けのパイプラインの構築、あるいは、既存のガスパイプラインの改造</u>が求められる。 ・水素ガス向けパイプラインの敷設については、脆性や漏えい等の水素特有の課題を考慮する必要がある。
車両による水素輸送	＜なし＞	【現状の技術レベルで対応可能】 ・圧縮水素、液化水素を道路にて輸送する際は道路交通法に従い輸送しており、安全性に係る基準等が確立されている。
液化水素貯蔵タンク	液化水素貯蔵タンクの設置場所（離隔距離）	【課題：タンクの設置場所の検討】 ・水素航空機の導入にあたり、空港周辺に液化水素貯蔵タンクを新たに設置する必要があり、それに伴う場所の確保及び、設置場所の検討が必要である。 ・貯蔵タンクについては、技術は確立しており、現時点では 10,000m³ の貯蔵タンクの設計まで進められている。 【解決に向けて：実証中期までを目途に】 ・既存の空港に、液化水素貯蔵タンクの設置場所を検討する際には、以下の項目に配慮する必要がある。 ・<u>離隔距離を定めるルール作りの検討が必要</u>である。 ・<u>駐機スペースに余裕があり、かつ現状の燃料供給タンクから一定の離隔距離を確保する場所に液</u>

項目	論点	課題、今後検討が必要と考えられる事柄
		<u>化水素貯蔵タンクを設置することが可能な空港での活用から検討してはどうか。</u>
液化設備	液化設備の設置場所	【課題：液化設備の設置場所】【解決に向けて：実証中期までを目途に】 ・水素をガス状態で輸送する場合、または MCH を輸送し現地で脱水素を行う場合、 <u>水素を液化するために、空港内に液化設備の設置場所を検討する必要がある。</u>
	電力の確保	【課題：液化設備の運用に必要な電力の確保】【解決に向けて：実証中期までを目途に】 ・水素を液化する設備では、 <u>大量の電力が必要となる可能性が高い。</u> ・電力会社、近隣工業地帯のユーザ、近隣住民等と、電力の供給、使用への影響を考慮した調整が必要となる。
液化設備	小型の液化設備	【課題：小型の液化設備の開発】 ・空港内に水素向けのハイドラントシステムが構築される際には、ボイルオフガスのベントラインを設けるため、ベントラインから回収した水素を再び液化する必要がある、低コストの小型の液化設備の研究開発が必要である。
配管	運用時の配管の冷却方法	【現状の技術レベルで対応可能】 ・液化水素用の配管は真空二重断熱管であり、技術的には確立している。 ・水素漏洩については、配管の継ぎ目にすべて溶接を施しており、溶接部の非破壊検査も製造、施工時に実施しているため危険は少ない。 【さらに検討すべき点】 ・液化水素用配管を利用して、貯蔵タンクから航空機に水素を充填する際は、配管を予冷してから充填すると時間と蒸発ロスが生じる課題があり、配管の冷却方法は検討が必要である。（充填していない際には、液化ガスとなりロスとなる点にも留意する。）
水素燃料の注入	充填速度、ターンアラウンドタイムへの影響	【課題：充填速度、ターンアラウンドタイムの維持】 ・現行の水素運搬車両における液化水素の充填速度から推算される給油時間は、現行の給油時間よりも長いことから、 <u>ターンアラウンドタイムに影響が出る可能性が高い。</u>

項目	論点	課題、今後検討が必要と考えられる事柄
	航空機向けの液化水素ポンプの開発	【解決に向けて：実証初期までを目途に】 ・現時点では航空機向けの液化水素ポンプとして適切な製品は市場になく、液化水素ポンプの研究開発が必要である。 ・ポンプのみならず、機体側タンクの仕様検討（燃料注入部分を2,3箇所を増やす等）も必要である。 ・現状の液化水素の貯槽、ローリーで想定している流量では給油に対応できないことが想定されるため、現行のターンアラウンドタイムを維持するためには、より太い配管を有する専用ローリーの開発が必要となる可能性もある。
	水素燃料搭載時の検討	【課題：水素燃料搭載に関わる技術検討】【解決に向けて：実証初期までを目途に】 ・入熱により、航空機燃料タンク内に発生した水素ガスを回収するベントラインの構築が必要である。 ・給油ホースの浄化（不純物除去）や冷却に時間を要することの考慮することが求められる。 ・水素検出器で漏れを検出した場合に、インターロック機能により、燃料搭載を停止する保護機能を導入する必要がある。 ・併せて、不純物除去に利用するヘリウムの回収、雨天や荒天の際も運用を想定した技術（給油口周辺の水分を遮断する工夫）も検討が必要である。
	水素漏洩対策	【現状の技術レベルで対応可能】 ・漏洩感知のために水素ガス検知器に加え、火災が出ることを想定した火災センサーを設置している点は、空港周辺インフラへの適用にも活用できる。 【さらに考慮が望まれる点】 ・水素燃料が漏洩した際、水素航空機の脆性破壊のリスクは考慮する必要がある。
	水素燃料運搬車両の開発	【課題：水素燃料運搬車両の開発】 ・空港ハイドラントシステムを利用したサービサー、車両搭載のポンプを利用したレフューラーのいずれの形態を想定するとしても、水素供給専用の運搬車両の開発が必要となる。 ・受入側の航空機の仕様や求められる給油水準に合致した水素燃料運搬車両設計を行うためには、航空機

項目	論点	課題、今後検討が必要と考えられる事柄
		メーカーとの綿密な連携が必要である。
空港運営	空港内の交通の混雑	【課題：水素燃料運搬車両の増加に伴う交通混雑】【解決に向けて：実証初期までを目途に】 ・1機分の給油に複数台のローリーが必要となる可能性があることや、空港内では燃料給油用車両だけではなく、バス等の多数の車両が走行しているため、<u>飛行場内の混雑を誘発する可能性がある。</u> ・併せて<u>大量の燃料を給油するため、複数の水素燃料運搬車両を配置できるスペースを検討する必要がある。</u> ・ローリーから水素航空機の液化水素タンクへ充填する場合、タンクの容量等の情報から適切な車両サイズを検討する必要がある。
	専用エリア設置の検討	【課題：従来インフラと水素インフラの共存】【解決に向けて：実証初期までを目途に】 ・実際の空港での運用にあたっては、水素航空機専用のエリアを設けるか、あるいは従来機と水素航空機のエリア併用を可能とするかの検討が必要となる。 ・併用する場合は、<u>両方の機材に干渉しない最適なシステムの構築が必要</u>となる。 ・投資額や利便性を考慮した検討も必要である。
水素注入作業における安全性の確保	運用方法	【課題：運用に係るルールの確立】【解決に向けて：実証初期までを目途に】 ・給油作業による液化水素の取り扱いに関わる<u>基準・ルールの制定が必要</u>である。加えて、<u>空港全体で安全に水素燃料の運用するための方法及びルールの確立が必要</u>である ・宇宙分野での水素燃料の運用については、日本でも30年以上実績がある。安全な運用方法は確立しているため、空港インフラにおいても適用できる点は活用してはどうか。
	並行作業の実現	【課題：ターンアラウンドタイムへの短縮】【解決に向けて：実用フェーズまでを目途に】 ・給油時間が長くなることが想定されるため、ターンアラウンドタイムの短縮に向けた、<u>並行作業の実現のための安全性検証や基準検討が必要</u>となる。例えば、以下の項目を検討する。 ・水素燃料運搬車両、給油ホースや燃料補給口の故障も考慮した液化水素の漏洩管理 ・給油作業エリアから一定距離内における点火源を排除した安全ゾーンの設定

項目	論点	課題、今後検討が必要と考えられる事柄
その他	空港内での水素利用を広めるための規制緩和	【課題：規制の緩和】 ・ 現行の規制では、<u>空港での石油類の燃料設備と高圧ガス設備の併設については、現状の法規制（消防法及び高圧ガス保安法）では想定されていない。</u> ・ 実証初期までには、空港における石油類の燃料設備と高圧ガス設備の併設が可能となるような法整備が必要となる。 ・ また、水素航空機の普及期には、空港での水素利用に関する国際標準が制定されることが想定され、国内法との整合をとる必要がある。 【解決に向けて：実証初期までを目途に】 ・ 水素ステーションに関わる規制緩和の過去の検討の流れを参考に、民間企業中心でリスク要因を挙げ、高圧ガス保安法上の技術基準の整備、消防法における併設に係る法整備が必要となるものと思われる。 ・ 法令整備や規制に係る検討は時間を要することを念頭に置き検討を進める必要がある。 【解決に向けて：国際標準化対応】 ・ 空港での水素利用に関する国際標準が制定された場合には、国内法との整合を確認し、必要に応じて国内規制の見直しが必要となる。
	人材育成	【課題：水素燃料を扱える人材育成】 ・ 水素燃料の給油を取り扱える人材の育成が必要である。 ・ 現在ほとんどの空港で給油作業は人材不足のため、一人のオペレーターで対応している状況を踏まえ、水素航空機を導入した際に、ワンマンで作業ができる内容なのか、高圧ガスを取り扱う資格が必要となるのか等の要件も含めて整理する。 【解決に向けて：実証初期までを目途に】 ・ 圧縮水素、液化水素の処理することができるガスの容量が 1 日 100m³ 以上である製造者は、第一種製造者となり、1 日に複数回の水素航空機が離着陸する空港は、これに該当する可能性がある。その場合、保安統括者、保安技術管理者、保安主任者、保安係員等の管理者が必要となり、複数の資格を有する技

項目	論点	課題、今後検討が必要と考えられる事柄
		術者が必要となり、現状のワンマンで対応できる状況から増員する必要がある。 ・増員の対応が困難な場合は、十分なリスク評価、リスク対策の検討を行い、規制緩和要望について検討することが必要となる。
	水素航空機の設計	【解決に向けて：実証初期までを目途に】 ・水素燃料の特性に対応した航空機の設計開発が求められる。 ・機体重量の増加、タンクの取り付けが機体後部になることから、主翼の付け根部分の構造解析等含めた航空機全体の設計を見直しが必要となる。 ・併せて、機体重量が増加することで搭乗人数や貨物の搭載重量への影響も考慮する必要がある。
	航空機メーカーとの綿密な連携	【解決に向けて：実証初期までを目途に】 ・航空会社が水素航空機の導入のためのインフラを構築するにあたり、機体の開発状況や性能を把握する必要がある。そのため、航空会社と航空機メーカーが連携・議論をする機会が必要である。 ・ポンプメーカー（水素航空機への液化水素の充填速度の調整）、タンクメーカー（水素航空機に搭載する液化水素タンクの注入口数の調整）、水素燃料運搬車両メーカー等、空港周辺インフラに関係する製造メーカーも航空機メーカーと密に連携を取り、製品の開発を進める必要がある。

5 まとめ

(1) 水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会の実施に向けた事前調査

国内の水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラの検討を行うために、海外での水素航空機の実現に向けたインフラ検討や研究開発の現状を文献調査するとともに、検討会参加組織である水素航空機関連メーカー、エアライン、水素インフラ事業者、水素販売会社、空港設備に関わる団体、研究機関にヒアリングを実施した。

(2) 水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会の実施

(1)での調査結果より検討会で扱うテーマを選定し、水素航空機関連メーカー、エアライン、水素インフラ事業者、水素販売会社、空港設備に関わる団体、研究機関、関連省庁から構成される、水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ検討会を実施した。

(3) 水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラの導入に関わる課題の整理

(1)、(2)を踏まえ、水素航空機の導入及び水素燃料に対応した空港周辺インフラの構築に向けた課題を整理した。

課題を検討するための土台として、空港周辺インフラの導入イメージについて一定の仮定をおいた。現時点では空港に水素インフラが十分には整備されていないこと、水素航空機が現在開発の開始段階であることを鑑みながら、以下の点について導入イメージを検討した。

- 水素航空機の導入
- 空港までの水素供給体制
- 空港内での水素供給体制
- 必要となる水素燃料量の想定

次に、実用開始までに生じうる水素燃料、インフラ設備、その他（安全性、コスト等）について、課題及び今後検討が必要と考えられる事柄を整理した。具体的には以下の項目について検討を行った。

今後は、より適切な水素航空機の導入台数、運航距離の設定に基づき、水素燃料量、空港周辺インフラに要求される設備と導入時期の検討調査を含め、表 5.1 に示すような項目について、十分に検討する必要があると考える。

表 5.1 水素航空機の導入及び水素燃料に対応した空港周辺インフラの構築に関わる調査項目

項目	現状	詳細な調査が必要な項目
導入時期の検討	水素航空機の開発動向を踏まえた、空港周辺インフラ設備に係るロードマップが必要。	適切な水素航空機の導入台数、運航距離の設定に基づく、水素燃料量、空港周辺インフラに要求される設備と導入時期の検討調査
水素燃料の確保、燃料コスト	- 十分な量の水素燃料が確保できるかの検討が必要。 - カーボンニュートラルの実現にはグリーン水素の利用が求められる。 - 水素燃料コストにも課題がある。	- 必要な水素燃料を確保するための製造方法を網羅的に調査 - クリーン水素の研究開発動向調査 - 製造コストの将来動向調査 - 水素航空機へ利用される水素燃料のスペックにも配慮
空港への水素の輸送	水素燃料の輸送形態は特定な方法に定まっていない。	- 考慮可能な輸送形態及び必要なインフラ設備の網羅的な調査 - 輸送方法に関する、国際市場での標準化検討動向の調査
供給システム	水素燃料に対応したハイドラントシステムの具体的な仕様が整理されていない。	具体的な空港を想定した、設置コストを含めた、ハイドラントシステムの詳細検討
貯蔵設備、液化設備	- 水素燃料に対応した貯蔵設備、液化設備の設置要件が必要。 - ベントラインから回収した水素を再び液化する設備が必要。	- 設置場所、離隔距離の要件検討に向けた調査 - 低コストの小型液化設備の研究開発が必要
水素燃料の注入	- 水素の充填速度向上のため、水素航空機へ燃料を供給するための液化水素ポンプが必要。 - 現在考えられる技術レベルでは、充填速度が十分ではなく、ターンアラウンドタイムへの影響が大きい。 - 空港内で、貯蔵タンクと航空機間を輸送する車両（レフューラー方式、サービサー方式）の要件検討が必要。	- 燃料搭載向けに液化水素ポンプに係る技術開発の推進 - カセット式タンク等、他の燃料タンク方式の動向調査 - 水素燃料運搬車両、フォークリフト等の空港内で利用される車両に係る開発動向、要件検討の調査
空港運営	従来のインフラ設備と水素インフラ設備の併用が想定されていない。	従来のインフラ設備と併用することを念頭とした、運用に関する

項目	現状	詳細な調査が必要な項目
	給油作業の方法次第では、空港内で混雑、複数台の水素燃料運搬車両を配置するスペース確保等の課題が生じる可能性がある。	る検討調査
安全性確保	給油作業による液化水素の取り扱いに係るルールが必要。	- 液化水素の取り扱いに係るルールの制定に向けた調査 - 水素航空機導入時の並行作業の可能性検討
その他	- 石油類の燃料設備と高圧ガス設備の併用の法整備が必要。 - 水素燃料を扱う人材の育成。 - 企業間（航空会社、航空機メーカー、メーカー）が連携できる機会が必要。	- 水素ステーション等の過去事例を参考にした規制緩和 - 水素燃料を扱う要件を明確化して、人材育成 - 企業間での連携を高める取り組みの実施

(4) 今後の検討方針について

本事業では、文献調査、ヒアリング、検討会での議論を通して、水素航空機の導入及び水素燃料に対応した空港周辺インフラの実現に向けた課題を抽出した。水素燃料に対応した空港周辺インフラの実現に向けた検討は今後進むことが想定されるが、抽出された課題については、導入のスケジュールや検討内容に考慮し優先順位を付け、優先順位の高い項目からより深く検討を行うことが有効と考えられる。

今後、より深く検討すべきと考えられる課題を以下に整理する。

(i) 空港の規模や地理的性質等を想定した燃料供給方法、貯蔵設備、供給設備、設置コストの検討

欧州の分析によると、水素利用のハイドラントシステムの構築には、既存のハイドラントシステムの約 5 倍以上と想定している。今後は、国内の具体的な空港を想定して、水素利用の空港周辺インフラに関わる設備の設置コストを検討する必要がある。

その際、特定の空港および航空機について水素航空機に置き換えたと想定した場合に、燃料供給方法、貯蔵設備、供給設備については、便数から計算した 1 日に必要な液化水素の量、予備を含めた貯蔵タンクに求められる要件、液化水素供給設備の設置要件（必要な用地面積、電力）などの検討を行う必要があるのではないかと。

なお、対象となる空港の性質の設定にあたっては、水素の出荷元から空港、空港から航空機への供給サプライチェーンのあり方も変わってくることに加え、ダイバート空港（天候や機材不具合等の事情により本来の目的地外に着陸する可能性を考慮して設定する空港）の設定を考慮する。

(ii) 充填時間を短時間とする液化水素充填設備の検討

航空機のターンアラウンドタイムには燃料の充填時間が大きく影響する。現状では水素航空機の燃料タンクへ水素を注入するのに適する液化水素ポンプが市場製品として存在していないため、水素航空機の充填時間は長時間が必要となり、ターンアラウンドタイムへ影響が生じる可能性がある。既存のケロシン燃料と同程度の充填時間を可能とする液化水素充填設備の仕様について、関係機関、メーカー等からの情報を参考にして検討する必要があるのではないか。

(iii) 空港内で利用する車両に関わる課題検討

現状、水素燃料電池を利用した車両はごくわずかの台数であること、空港で使用する航空機地上支援車輛（GSE）は、トラックベース車両か、建機、農機の駆動ユニットを流用したものであり、これらの車両について水素燃料電池が普及する必要があると考えられる。また、現行の燃料電池車両も使用温度の制約があり、さらなる技術開発が期待される。

現状の水素燃料電池車両は高価であり、補助金等の支援策が無いと導入は難しく、車両の価格が廉価となるまでの間の導入支援体制が必要である。

以上の背景を踏まえて、空港内で利用する車両のカーボンニュートラル化を睨み、課題、解決の方向性について、車両開発の問題、車両価格の低減を中心に検討する必要があるのではないか。

(iv) 必要な供給量を実現する燃料製造方法、輸送方法の比較検討

水素航空機では大量の水素を燃料として必要とするため、十分な供給量を確保する必要がある。水素の製造については、国内で行われる製造方法、海外で行われる製造方法を調査して、十分な水素を供給可能かを確認する。水素の輸送形態としては、液化水素、圧縮ガスの両方が考えられる。海外から水素を輸送する方法を含めて、十分な供給量の確保を可能とする輸送形態を調査する。併せて、輸送形態に応じて必要なインフラ設備の検討する必要があるのではないか。

(v) 燃料製造・輸送過程で発生する CO₂ の評価と各方式の比較検討

カーボンニュートラルの実現にはグリーン水素の利用、少なくともブルー水素の利用が必要であり、水素航空機でもグリーン水素、ブルー水素の利用が望まれる。一方、国内でのブルー水素、グリーン水素の評価方法については、不確実性があり、国際的な標準を考慮し、燃料製造方法・輸送過程で発生する CO₂ の評価を行い比較検討を行うことが望まれる。

(vi) 国際標準化対応

現状、航空燃料のサプライチェーンは、JIG（Joint Inspection Group）が制定した、安全と効率を高めるためのジェット燃料に係る品質規格、取り扱い指針に従い、燃料の輸送、空港施設及び給油等の設計・運用が行われている。今後、水素航空機が導入された場合には、JIG の水素版が国際標準として適用されることが推察される。

今後は、空港における水素利用の国際標準化の動向を睨むとともに、国内規制との整合性、国内特有の災害時対応について検討する必要があるのではないか。

二次利用未承諾リスト

報告書の題名：
令和３年度産業経済研究委託事業
（水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ調査）
調査報告書

委託事業名：
令和3年度産業経済研究委託事業
(水素航空機の実現に向けた空港周辺インフラ調査)

受注事業者名：みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社

[illegible]