

航空分野におけるCO2削減取組みに関する調査 (長期目標調査) 報告書

令和5年3月



一般財団法人 運輸総合研究所

はじめに

国際航空分野は国境を越えて移動する交通モードであることから、国別に対策を検討するのではなく、国際機関（国際民間航空機関（ICAO））において検討が進められており、2010年のICAO総会において①燃料効率を毎年2%改善する、②2020年以降総排出量を増加させないという2つの短中期目標（2050年以前）が決定されている。

運輸総合研究所では、2020年度から日本財団「交通運輸・観光分野における持続的発展に向けた調査研究基金」を活用した「航空分野におけるCO₂排出削減方策に関する調査研究」を継続して実施しており、2021年度には我が国航空分野の気候変動対策に係る長期的な戦略の構築に貢献することを目的として、我が国航空分野の将来のCO₂排出削減方策に関する報告書を取りまとめた。

国際航空分野における長期的な排出削減目標については、ICAO航空環境保全委員会（CAEP: Committee on Aviation Environmental Protection）が設置したタスクグループ（LTAG - TG: Long-Term global Aspirational Goal for international aviation Task Group）においても実現可能性調査が行われ、2022年3月にLTAG報告書（LTAG Report）として公開された。さらにLTAG報告書を受けて、2022年10月に開催された第41回ICAO総会では、CO₂排出枠となるベースラインの見直しが行われると共に、「2050年までにカーボンニュートラルを目指す」との長期目標が採択された。これにより国際航空分野では脱炭素に向けて、航空技術、運航技術及び燃料（SAF等）の対策による相当の削減努力が必要となり、また、削減義務を満たすためにはCORSLIA適格クレジットの確保が一層重要になると考えられる。

このような背景から、運輸総合研究所では、LTAG報告書、並びにICAO総会での決定事項を踏まえ、2021年度にとりまとめた「航空分野の長期的な排出削減見通し」のアップデートを行うと共に、関係業界や有識者と議論を重ね、そのシナリオを実現するために日本の関係者が取り組むべき技術的、政策的な方向性と課題を示した。

本研究の実施にあたっては、山内弘隆 一般財団法人運輸総合研究所所長・武蔵野大学経営学部特任教授・一橋大学名誉教授を座長とする調査検討委員会及び市場メカニズム小委員会を設置し、多くの委員の皆様にご多大なるご助言をいただくとともに、株式会社三菱総合研究所のご協力をいただいた。

ここにこれらの皆様方に対して、改めて深く感謝の意を表す次第である。

令和5年3月

一般財団法人 運輸総合研究所
会長 宿利 正史

航空分野における CO2 削減取組に関する調査検討委員会
委員名簿

(敬称略・順不動)

委員(座長)	山内 弘隆	一般財団法人運輸総合研究所所長、 武蔵野大学経営学部特任教授、一橋大学名誉教授
委員(座長代理)	鈴木 真二	東京大学名誉教授、未来ビジョン研究センター特任教授
委員	軸丸 真二	東京大学公共政策大学院交通・観光政策研究ユニット (TTPU)特任教授
委員	高村ゆかり	東京大学未来ビジョン研究センター教授
委員	田邊 勝巳	慶應義塾大学商学部教授、 一般財団法人運輸総合研究所客員研究員
委員	中道久美子	東京工業大学環境・社会理工学院特定准教授
委員	細田 衛士	東海大学副学長、政治経済学部経済学科教授、 慶應義塾大学名誉教授、中部大学名誉教授
委員	矢野 貴久	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部バイオマスグループ主任研究員
委員	大塚 洋	定期航空協会理事長
委員	宮田千夏子	ANAホールディングス株式会社上席執行役員 グループCSO(Chief Sustainability Officer) サステナビリティ推進部長
委員	小川 宣子	日本航空株式会社総務本部ESG推進部部長
委員	東田 晃拓	国土交通省航空局大臣官房参事官(航空戦略担当)
委員	石井 靖男	国土交通省航空局安全部航空機安全課長
委員	洪武 容	国土交通省航空局交通管制部交通管制企画課長
委員	宿利 正史	一般財団法人運輸総合研究所会長
委員	佐藤 善信	一般財団法人運輸総合研究所理事長
委員	奥田 哲也	一般財団法人運輸総合研究所専務理事、 ワシントン国際問題研究所長、アセアン・インド地域 事務所長
委員	藤崎 耕一	一般財団法人運輸総合研究所主席研究員、 研究統括

事務局	一般財団法人運輸総合研究所
作業協力	株式会社三菱総合研究所

航空分野における CO2 削減取組に関する調査検討委員会
市場メカニズム小委員会 委員名簿

(敬称略・順不動)

委員 (座長)	高村ゆかり	東京大学未来ビジョン研究センター教授
委員 (座長代理)	山内 弘隆	一般財団法人運輸総合研究所所長、 武蔵野大学経営学部特任教授、一橋大学名誉教授
委員	鈴木 政史	上智大学大学院地球環境学研究科教授
委員	大塚 洋	定期航空協会理事長
委員	杉森 弘明	全日本空輸株式会社経営戦略室エアライン事業部 GXチームマネージャー
委員	平野 佳	日本航空株式会社総務本部ESG推進部企画グループアシスタントマネージャー
委員	高橋健太郎	公益財団法人地球環境戦略研究機関 (IGES) 気候変動とエネルギー領域副ディレクター
委員	本郷 尚	株式会社三井物産戦略研究所シニア研究フェロー
委員	木村 範尋	経済産業省産業技術環境局地球環境対策室地球環境問題 交渉官
委員	内野 泰明	経済産業省産業技術環境局環境経済室企画官
委員	勝間 裕章	国土交通省航空局カーボンニュートラル推進室課長補佐
委員	鈴木 純	国土交通省航空局航空ネットワーク部空港計画課 課長補佐
委員	山本 泰生	環境省大臣官房環境経済課市場メカニズム室長
委員	小坪 一久	環境省地球環境局国際脱炭素移行推進・環境インフラ 担当参事官室国際企画官
委員	宿利 正史	一般財団法人運輸総合研究所会長
委員	佐藤 善信	一般財団法人運輸総合研究所理事長
委員	奥田 哲也	一般財団法人運輸総合研究所専務理事、 ワシントン国際問題研究所長、アセアン・インド地域事務所長
委員	藤崎 耕一	一般財団法人運輸総合研究所主席研究員、 研究統括

オブザーバー	外務省国際協力局気候変動課
オブザーバー	中嶋 健次 農林水産省大臣官房みどりの食料システム戦略グループ 地球環境対策室補佐
オブザーバー	谷本 哲朗 林野庁森林整備部計画課海外林業協力室長
オブザーバー	増山 寿政 林野庁森林整備部森林利用課森林保全推進官
オブザーバー	宮田 豪 経済産業省資源エネルギー庁資源・燃料部石油精製備蓄課 課長補佐
オブザーバー	高橋 馨 国土交通省総合政策局環境政策課 交通環境・エネルギー対策企画官
事務局	一般財団法人運輸総合研究所
作業協力	株式会社三菱総合研究所

目次

1.	業務概要	1
1.1	業務目的	1
1.2	調査の内容・方法	1
1.3	検討経緯	3
2.	長期目標の前提となる気候変動対策等の調査	5
2.1	文献レビュー	5
2.2	まとめ	25
3.	航空技術・運航技術・SAF を含む燃料に係る検討	28
3.1	ICAO LTAG 報告書	28
3.2	第 41 回 ICAO 総会決議の概要	74
4.	シナリオ分析のアップデート	77
4.1	排出削減対策見通しアップデートの全体像	77
4.2	シナリオ・前提条件	80
4.3	シミュレーション結果	128
4.4	まとめ・考察	147
5.	とりまとめ	151
5.1	短中期的課題～CORSA 適合のための課題と対策～	151
5.2	中長期的課題	159

略称の一覧

略称

本報告書での表記	正式名称・意味など
ACA	Advanced Concept Aircraft (先進コンセプト航空機)
AFE	Advanced flight inefficiency (先進的飛行効率)
AR6	the Sixth Assessment Report (第6次評価報告書)
ASBU	Aviation System Block Upgrades (航空システムブロックアップグレード)
ASKT	liquefied gas aviation fuels (液化ガス航空燃料)
ASTM	ASTM International(旧称 American Society for Testing and Materials:米国試験材料協会) 世界最大規模の標準化団体
ATAG	Air Transport Action Group (航空輸送行動グループ)
ATJ	Alcohol To Jet (アルコール・トゥ・ジェット)
ATK	Available Tonne Kilometer (利用可能トンキロ)
ATW	Advanced Tube and Wing (先進チューブ・アンド・ウィング航空機)
AtJ/AtJ-SPK	Alcohol-to-Jet Synthetic Paraffinic Kerosene (アルコール・ジェット由来の合成パラフィンケロシン)
BECCS	Bioenergy with Carbon dioxide Capture and Storage (バイオマス燃料の使用時に排出されたCO ₂ を回収して地中に貯留する技術)
BJ	Business Jet (ビジネスジェット機)
BMC	the Baseline Merit Curve (ベースラインメリットカーブ)
CAEP	Committee on Aviation Environmental Protection (ICAO 航空環境保全委員会)
CCUS	Carbon Capture, Usage and Storage (炭素捕捉利用貯蔵)
CHJ	Catalytic Hydrothermolysis Jet (触媒式ヒドロ熱分解ジェット)
CI	Carbon Intensity(炭素強度)
COP	Conference of the Parties (国連気候変動枠組条約締約国会議)
CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (国際民間航空のためのカーボン・オフセット及び削減スキーム)
DAC	Direct Air Capture (直接大気回収)
DACCS	Direct Air Capture with Carbon Storage (大気中にすでに存在するCO ₂ を直接回収して貯留する技術)
ETS	Emissions Trading System (排出量取引スキーム)
FB	Fuel Burn (燃料燃焼)
FOG	Fats, Oil and Grease (油脂)
FT/FT-SPK	Fischer-Tropsch Hydroprocessed Synthesized Paraffinic Kerosine (Fischer-Tropsch 法により製造される合成パラフィンケロシン)

本報告書での表記	正式名称・意味など
GFE	Ground operations Efficiency (地上運用効率)
GHG	Greenhouse Gas (温室効果ガス)
HEFA	Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (ハイドロプロセスエステルと脂肪酸)
HFE	Horizontal Flight Efficiency (水平飛行効率)
HSR	High-Speed Rail (高速鉄道)
HWB	Hybrid Wing Body (ハイブリッド・ウィング・ボディ航空機)
IATA	International Air Transport Association (国際航空運送協会)
ICAO	International Civil Aviation Organization (国際民間航空機関)
ICTT	International Council on Clean Transportation (国際クリーン交通委員会)
IEA	International Energy Agency (国際エネルギー機関)
IFE	Innovative Flight Efficiency (革新的飛行効率)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (気候変動に関する政府間パネル)
JCM	Joint Crediting Mechanism (二国間クレジット制度)
LCAF	Lower Carbon Aviation Fuels (低炭素航空燃料)
LH2	cryogenic hydrogen/Liquid H2 (低温水素/液化水素)
LTAG	Long term global aspirational goal for international aviation (国際航空 CO2 排出削減のための長期の野心的目標)
LULUCF	Land use, Land-use Change and Forestry (土地利用、土地利用変化及び林業)
MAM	Maximum Attainable Mitigation (最大達成可能緩和量)
MJ	Mega Joule (メガジュール) エネルギー・熱量の単位
MSW	Municipal Solid Waste (都市固形廃棄物)
MTOM	Maximum Take-Off Mass (最大離陸重量)
NB	Narrow Body (ナローボディ機)
NDC	Nationally Determined Contributions (温室効果ガス排出削減目標)
NETs	Negative Emissions Technologies (ネガティブエミッション技術)
OAG	英国に本社を置くグローバルな旅行データプロバイダー、1929年発行の航空路の公式航空ガイド(Official Aviation Guide of the Airways)が企業名の由来
OPGEE	Oil Production Greenhouse Gas Emissions Estimator (原油生産 GHG 排出推定法)
PEM	Proton Exchange Membrane(プロトン交換膜)
PtL	Power To Liquid (パワー・トゥ・リキッド)
RJ	Regional Jet (リージョナルジェット機)
SAF	Sustainable Aviation Fuel (持続可能な航空機燃料)
SDGs	Sustainable Development Goals (持続可能な開発目標)
SLCFs	Short-lived climate forcers (短寿命強制因子)
TP	Turboprop (ターボプロップ機)

本報告書での表記	正式名称・意味など
TRA	Technology Reference Aircraft (技術参照航空機)
UNEP	United Nations Environment Programme (国連環境計画)
VFE	Vertical Flight Efficiency (垂直飛行効率)
WB	Wide Body (ワイドボディ機)
WEO	World Energy Outlook (世界エネルギー見通し)
ZEPs	Zero-Emission Planes (ゼロエミッション航空機)

1. 業務概要

1.1 業務目的

国際航空分野からの排出削減に係る長期目標については、国際民間航空機関(ICAO)において設置されたタスクグループ(LTAG-TG:日本が議長)を中心に検討が進められ、2022年秋のICAO総会において決議される見込みである。

他方、米国は既に2050年カーボンニュートラル(国際線・国内線・空港)の目標を掲げており、また、本邦航空会社を含む航空業界も2050年カーボンニュートラル(国際線・国内線)の目標を掲げている。

我が国としても、このような国際的な状況を踏まえ、航空分野からの排出削減に係る長期的な目標を掲げることが望ましいと考えられる。加えて、昨年のCOP26においては、パリ協定の1.5℃目標と一致し、2050年ネットゼロCO₂排出に向けた業界の取組みを考慮して、ICAOによる野心的な長期目標の採択を支援するとして「国際航空気候野心宣言」に我が国も署名した。1.5℃目標の達成を念頭に置くと、長期の視点だけでなく、足下の10年間、20年間における排出削減も重要である。

以上を踏まえ、本調査研究においては、我が国航空分野からの排出削減に係る長期目標の設定に貢献することを目的とし、ICAOでの検討や2021年度にとりまとめた「航空分野の長期的な排出削減対策見通し」を踏まえ、短期／中期／長期における排出削減対策、当該対策を行う上での課題及び解決の方向性等について検討を行ったものである。

1.2 調査の内容・方法

上記の目的を達成するため、以下のような内容・方法により業務を実施した。

(1) 長期目標の前提となる気候変動対策等の調査

COPやIPCCにおける1.5℃目標の動向(上記目標とピークアウトのタイミング、中間地点の排出目標、累積排出量等との関係性)や産業部門別(運輸分野、航空分野)の動向について整理を行った。

《デスクリサーチ》

- 国連気候変動枠組条約締約国会議(COP)
 - 第27回締約国会議(COP27)(2022年11月6日～18日予定)
参考:第26回締約国会議(COP26)(2021年10月31日～11月13日)
- 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)
 - 第6次評価報告書(AR6)
 - AR6第1作業部会の報告『気候変動-自然科学的根拠』(2021年8月9日)
 - AR6第2作業部会の報告『気候変動-影響・適応・脆弱性』(2022年2月28日)
 - AR6第3作業部会の報告『気候変動-気候変動の緩和』(2022年4月4日)
- その他国際機関・研究機関のシナリオ
 - 国際クリーン交通委員会(ICTT)

- 「VISION 2050」(2020年9月21日)
 - 国連環境計画(UNEP)
 - 「Emission Gap Report 2022」(2022年10月頃)
 - 参考:「Emission Gap Report 2021」(2021年10月26日)
 - 国際エネルギー機関(IEA)
 - 「World Energy Outlook 2022」(2022年10月頃)
 - 参考:「World Energy Outlook 2021」(2021年10月13日)
- 注)2022年度に公表予定の情報は、最新情報が公表されてから作業に着手する。

(2) 航空技術・運航技術・SAFを含む燃料に係る検討

LTAG-TGにおいては、2070年までを見据え、需要予測並びに航空技術、運航技術及び燃料(SAF等)の対策による削減効果の定量化が行われた。我が国として導入可能と考えられる対策を整理するため、2022年3月に公開されたLTAG報告書(LTAG Report)の付録3 航空技術(Appendix M3 Technology)、付録4 運航(Appendix M4 Operation)、付録5 燃料(Appendix M5 Fuels)を分析した。また、ICAOにおける2022年秋の総会決議の動向や結果についても整理を行った。

《デスクリサーチ》

- 国際民間航空機関(ICAO)「LTAG報告書」(2022年3月)
 - 付録M3 航空技術(2022年3月)
 - 付録M4 運航(2022年3月)
 - 付録M5 燃料(2022年3月)
- ICAO総会(2022年9月)

(3) シナリオ分析のアップデート

(2)を踏まえ、2021年度にとりまとめた「航空分野の長期的な排出削減対策見通し」をアップデートした。具体的には、航空技術、運航技術の導入時期や導入見通しについて、LTAG報告書を踏襲して各種パラメータを更新した。また、輸入SAF及びLCAFの供給見通しや水素航空機における水素の需要については、国内の供給計画との比較を行うとともに、ライフサイクルGHGを踏まえてCO₂排出に反映した。

《デスクリサーチ》

- 各種WEBサイト
- LTAG報告書付録等

《定量分析》

- 各種パラメータ更新
 - ワイドボディ水素航空機の導入反映(過年度はナローボディ機のみ反映)
 - ライフサイクルGHG反映(水素製造過程のCO₂排出量等)

- LCAF の供給見通し反映 等
- 航空分野の長期的な排出削減対策見直し更新

(4) とりまとめ

(1)～(3)の検討に基づき、我が国における排出削減シナリオと ICAO の長期目標や 1.5℃目標との整合性について検討を行った。また、バックキャストにより追加の対策の検討を行うことで、今後の我が国航空分野の長期的な排出削減対策の提言を検討し、とりまとめ文書に盛り込んだ。

《定量分析》

- 排出削減シナリオの整合性検討
- バックキャスト分析・追加対策検討

《とりまとめ》

- 短期/中期/長期における排出削減対策
- 当該対策を行う上での課題及び解決の方向性 等

1.3 検討経緯

本業務については昨年度に引き続き、「航空分野における CO2 削減取組に関する調査検討委員会」及び関連会合として「同委員会市場メカニズム小委員会」における議論を通じて検討を行った。開催実績は以下の通りである。

表 1-1 航空分野における CO2 削減取組に関する調査検討委員会 関連会合開催日程

回数	開催日	議事
航空分野における CO2 削減取組に関する調査検討委員会		
第 5 回	2022 年 11 月 11 日	<ul style="list-style-type: none"> ● 2022 年度の調査研究事業について ● ICAO 総会の報告について(国交省) ● 2021 年度調査研究結果(排出削減シナリオ)と ICAO 長期目標との比較について ● 航空会社の取組について(ANA/JAL) ● SAF の国産化に向けた NEDO の取組について(NEDO) ● 意見交換
第 6 回	2023 年 2 月 8 日	<ul style="list-style-type: none"> ● 第5回検討委員会のご指摘と対応について ● 航空分野の長期的な排出削減対策シナリオのアップデート ● CORSIA 適合のための課題と対策(SAF/市場メカニズム) ● 2050 年カーボンニュートラルに向けての課題の整理 ● 意見交換
航空分野における CO2 削減取組に関する調査検討委員会 市場メカニズム小委員会		
第 3 回	2022 年 10 月 12 日	<ul style="list-style-type: none"> ● 2022 年度の調査研究事業について ● 炭素クレジットに関する最新動向について <ul style="list-style-type: none"> ➢ 二国間クレジット制度(Joint Crediting Mechanism (JCM))の最新動向 ➢ J-クレジット制度の最新動向と GX リーグ等の取組状況に関して ➢ ボランタリー市場の最近の動向 ● 炭素クレジット需給及び市場メカニズム関連政策の最新動向 ● 意見交換
第 4 回	2023 年 1 月 13 日	<ul style="list-style-type: none"> ● 航空分野における CO2 削減取組に関する調査検討委員会(親委

		員会)での検討状況について <ul style="list-style-type: none"> ● COP27における市場メカニズムに係る動向(環境省) ● CORSIA 遵守に向けた市場メカニズムのアクションプランと中長期的な課題 ● 意見交換
--	--	---

注)議事の語尾括弧()内の組織名は資料提供者。記載がないものは事務局が資料提供。

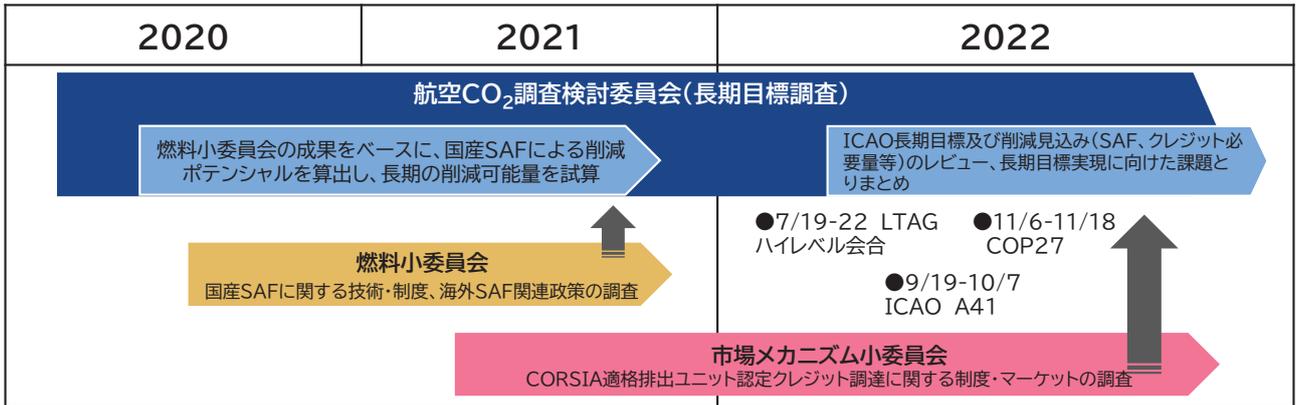


図 1-1 調査研究の全体像(2020 年度～2023 年度)

2. 長期目標の前提となる気候変動対策等の調査

COP や IPCC における 1.5°C 目標の動向(上記目標とピークアウトのタイミング、中間地点の排出目標、累積排出量等との関係性)や産業部門別(運輸分野、航空分野)の動向について整理を行った。

2.1 文献レビュー

COP や IPCC の最新の報告書等についてレビューを行った。

2.1.1 国連気候変動枠組条約締約国会議(COP) 第 27 回締約国会議(COP27)

<エグゼクティブサマリー>

2022年11月6日(日)から11月20日(日)にかけて、エジプト(シャルム・エル・シェイク)において、国連気候変動枠組条約第27回締約国会議(COP27)が開催された。本会議では、気候変動対策の取り組みの強化を求める「シャルム・エル・シェイク実施計画」、緩和の野心と実施を向上するための「緩和作業計画」が採択された。また、気候変動の悪影響に伴う損失と損害支援のための措置を講じること及びその一環としてロス&ダメージ基金(仮称)を設置することを決定するとともに、この運用化に関して COP28 に向けて勧告を作成するため、移行委員会の設置が決定された。

「シャルム・エル・シェイク実施計画」では、科学的知見と行動の緊急性、野心的な気候変動対策の強化と実施、エネルギー、緩和、適応、ロス&ダメージ、早期警戒と組織的観測、公正な移行に向けた道筋、資金支援、技術移転、パリ協定第13条の強化された透明性枠組み、グローバル・ストックテイク(GST)、パリ協定第6条(市場メカニズム)、海洋、森林、非国家主体の取組の強化等を含む内容が決定された。同文書は、昨年 COP26 全体決定「グラスゴー気候合意」の内容を踏襲しつつ、緩和、適応、ロス&ダメージ、気候資金等の分野で、締約国の気候変動対策の強化を求める内容となっている。

緩和分野では、パリ協定の 1.5°C 目標に基づく取り組みの実施の重要性を確認するとともに、同目標に整合的な NDC(温室効果ガス排出削減目標)を 2023 年までに設定していない締約国に対して、目標の再検討・強化を求めることが決定された。また、全ての締約国に対して、排出削減対策が講じられていない石炭火力発電の遡減及び非効率な化石燃料補助金からのフェーズ・アウトを含む努力を加速することを求める内容が含まれている。

気候資金については、世界全体の資金の流れを気候変動の取り組みに整合させることを目的としたパリ協定に関する理解を促進するための「シャルム・エル・シェイク対話」の開始を決定した他、グラスゴー気候合意で決定された先進国全体による適応資金支援の倍増の取り組みに関する報告書作成が決定された。

「緩和作業計画」では、1.5°C 目標達成の重要性、計画期間を 2026 年までとして毎年議題として取り上げて進捗を確認すること、全てのセクターや分野横断的事項(パリ協定 6 条(市場メカニズム)の活用含む)等について対象とすること、最低年 2 回のワークショップの開催と報告という一連のサイクルを確立すること等が盛り込まれた。

(1) 国連気候変動枠組条約締約国会議(COP)

国連気候変動枠組条約締約国会議(COP)とは、1992年に国連総会にて採択された国連気候変動枠組条約の最高意思決定機関であり、世界各国の政府が気候変動対策として、大気中の温室効果ガス削減対策などの国際共通ルールを協議する国際会議である。1995年にドイツ・ベルリンで第1回会議(COP1)が開催されて以来、毎年開催されており(コロナウイルス感染症拡大に伴い2020年は開催中止)、2022年11月には27回目を迎えた(COP27)。全ての COP 参加国には、具体的な対策を含む温室効果ガス削減計画の策定・実施、温室効果ガス排出量の実績公表が義務付けられている。

2022年11月6日(日)から11月20日(日)にかけて、エジプト(シャルム・エル・シェイク)にて開催された COP27では、気候変動対策の各分野における取り組みの強化を求める COP27 全体決定「シャルム・エル・シェイク実施計画」、2030 年までの気候変動の緩和の野心と実施を向上させる為の「緩和作業計画」が採択された。加えて、ロス&ダメージ(気候変動の悪影響に伴う損失と損害)支援の為の措置を講じること及びその一環としてロス&ダメージ基金(仮称)を設置することが決定された。また、この資金面での措置(基金を含む)の運用化に関して COP28 に向けて勧告を作成する為、移行委員会の設置が決定された。

(2) COP27 全体決定「シャルム・エル・シェイク実施計画」

シャルム・エル・シェイク実施計画は、前年2021年の COP26 全体決定「グラスゴー気候合意」の内容を踏襲しつつ、緩和、適応、ロス&ダメージ、気候資金等の分野で、締約国の気候変動対策の強化を求めた内容となっている。まず気候変動対応には、持続的な生活様式、持続的な消費・生産パターンへの移行の必要性と、そうしたシフトを促進するための教育の役割の重要性を述べている。また、食料安全保障・飢餓の撲滅達成を最優先事項とし、気候変動による負のインパクトをうける食料生産システムの脆弱性を是正し、強靭性を高める必要性を強調している。

緩和分野では、世界の気温上昇を工業化以前比 1.5°Cに抑制するための締約国によるコミットメントを再確認したうえ、2030 年までに温室効果ガス排出を2019年比 43%削減する努力に野心的に取り組むことに加え、温室効果ガス貯留に貢献しうる陸域・海洋エコシステムの保全・生物多様性保護の重要性に言及している。

適応に関しては、気候変動への強靭性向上・適応能力強化のための抜本的なアプローチの適用を求め、最貧国・発展途上国に対するファンドの役割への期待を示した。さらに、気候変動適応における水の重要性を強調し、水および水にまつわる河川流域・帯水層・湖沼といったエコシステムの保護・保全・修復の必要性を指し示したものとなっている。また、COP27の焦点でもあった「ロス&ダメージ」については、気候変動に起因する被害で途上国が債務超過に陥ることで持続可能な開発目標の達成が不可能になりかねないとし、途上国支援の基金創設に向けた合意を歓迎するとした。

実行計画には、早期警戒システム・温室効果ガス濃度モニタリングの不備・ギャップに言及し、とくに途上国における気候観測システムの強化の必要性も盛り込まれた。アフリカの 60%を含む世界の 3 分の 1 の地域は早期警告システムや気候情報にアクセスを有していない。気候サービスや早期警告の質向上には、気候変動メカニズムの理解や気候リスク・転換点の監視が必要となることから、気候データ観測システムの整備強化が求められている。

(3) 「緩和作業計画」及びロス&ダメージ基金(仮称)の設立

「緩和作業計画」は COP26 グラスゴー会議において立ち上げが合意されており、2030 年までの緩和の野心と実施を緊急に高めるべく、今回の COP27にて策定された。同計画の主な内容としては、1.5°C目標達成の重要性、計画期間を 2026 年までとして毎年議題として取り上げ、進捗を確認すること(2026 年に期間延長の可否を検討)、全てのセクターや分野横断的事項(パリ協定6条(市場メカニズム)の活用含む)等について対象とすること、最低年 2 回のワークショップの開催と報告という一連のサイクル、非政府主体の関与、緩和作業計画の成果を閣僚級ラウンドテーブルで毎年議論すること等である。この計画には、排出削減に関して新たな削減目標を押し付けるものではない、と言う文言が意図的に入れられており、逃げ道が残る表現となっている。また、2030 年目標の見直しや強化を促す内容になることが期待されたが、そのような内容は含まれない形となった。

また、COP27では、開催国及び途上国側の強い要求もあり、新たな議題としてロス&ダメージの資金面での支援が取り上げられ、結果としてロス&ダメージ基金(仮)の設立が決定された。基金の設立にあたって問題となったのが資金を拠出するドナー、また資金の受け手を具体的にどのように設定するかであった。先進国側は、ドナーとして中国などの新興国を含めること、また受け手は後発開発途上国に限定することなどを提案したが、これに対して新興国やその他の途上国が強く反発したため、結果的にはドナーは先進国を含め、既存の資金メカニズムや NGO、民間など幅広く設定され、資金の受け手は「途上国の中でも特に脆弱な国々」であると決定された。今後の流れは、移行委員会を立ち上げ、更には次回 COP28 での提言が予定されている。合意に至るために先進国が譲歩したことにより、今後は発展途上国側も国際交渉においてより協力的な姿勢になることが期待される。

2.1.2 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)

- 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第 6 次評価報告書(AR6)

環境省ウェブサイト“地球環境・国際環境協力”，

<https://www.env.go.jp/earth/ipcc/6th/index.html>

- AR6 第 1 作業部会の報告『気候変動-自然科学的根拠』(2021 年 8 月 9 日)
- AR6 第 2 作業部会の報告『気候変動-影響・適応・脆弱性』(2022 年 2 月 28 日)
- AR6 第 3 作業部会の報告『気候変動-気候変動の緩和』(2022 年 4 月 4 日)

<エグゼクティブサマリー>

2022 年 4 月 4 日に第 3 作業部会報告書-気候変動の緩和が公表され、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)による第 6 次評価報告書については、残りは 2023 年 3 月に統合報告書が公表されるのみとなった。今回の第 6 次評価報告書では、第 1 作業部会にて、人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地はないとの評価がなされ、第 2 作業部会では、人為起源の気候変動が自然界に危険で広範囲に及ぶ混乱を引き起こし、世界の数十億もの人々の生活に多大な影響を与えているとの結論が下された。第 3 作業部会では、2010 年~2019 年にかけての全世界の年間平均温室効果ガス排出量は人類史上最も高い水準であった一方、排出量増加のペースは減速しているとの分析結果を示した。また、過去約 10 年間において、太陽光・風力発電、蓄電池のコストは、大きく持続

的に低下している他、エネルギー効率の改善、森林破壊の減速、再生可能エネルギー導入の加速が見られることに言及し、気候変動の緩和ポテンシャルを指し示す形となった。その上で、IPCC の李会晟（イ・フェソン）議長は、今回の評価報告書は行動を取らないことがもたらす結果についての緊急の警告であり、今日の私たちの行動が、気候リスクの増大に対して人類がどのように適応し、自然がどのように反応するかを形成することになると述べる一方、温暖化を抑えるために必要なツールとして、イノベーション、政策、規制、市場機能など多くの排出削減方法があることに言及している。

第3作業部会報告書の第10章では、運輸業界に焦点を当て、現在の排出トレンド、技術革新、気候変動の緩和ポテンシャルについて詳細に分析している。気候変動緩和目標を達成するためには、運輸部門全体でのドラスティックな変化を要している。運輸部門からのGHG排出量は年間8.7GtCO₂eqにのぼり、CO₂に限れば、運輸部門が世界全体の排出量の23%を占める。運輸部門からの排出量のうち、乗客及び貨物の移動を行う陸上輸送が70%を占め、1%を鉄道、11%を航空、12%を海運が占める。近年においては、特に航空及び海運分野からの排出量増加が著しい状況である。IPCCの第5次評価報告書(AR5)以来、陸上輸送のための電気自動車の利用や海運及び航空のための先進的なバイオ燃料及び水素燃料等の新技術と連携した需要コントロール策の必要性への認識が非常に高まっている。海運及び航空の脱炭素化には依然、更なる研究開発が必要な状況ではあるが、先進的なバイオ燃料、アンモニア、合成燃料が実現可能な選択肢として表出している。運輸部門の脱炭素化を後押しする低炭素の航空・船舶燃料の利用には、各国そして国際的なガバナンス構造の変革が求められており、すべての政府レベルにおいて、法的な気候変動戦略が現れてきており、個人選択の誓約と相まって、需要及び供給サイドの運輸部門気候緩和戦略の利用を促すことが期待されている。

(1) IPCC 評価報告書

IPCC は、人為起源による気候変動、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、1988年に国連環境計画(UNEP)と世界気象機関(WMO)により設立された政府間組織である。活動としては、5～8年に1回程度のサイクルで、気候変動に関する科学研究から得られた最新の知見を評価し、評価報告書(Assessment Report)にまとめて公表しており、本報告書は国際交渉や国内政策のための基礎情報として、世界中の政策決定者に引用されている。IPCCの第6次評価報告書は、65か国から234人の専門家が集まり、1万4,000本を超える文献を引用して執筆されている。加えて、3回にわたる査読(レビュー)により、報告書の途中原稿を様々な専門家に見てもらい意見吸収する作業があるため、この徹底的な包括性、厳密性、透明性がIPCC報告書に確固たる信頼性を与えていると言われている。

IPCC 評価報告書は、評価対象により分けられた3つの作業部会による報告書から構成される。3つの作業部会とは、第1作業部会(WG1)-自然科学的根拠、第2作業部会(WG2)-影響・適応・脆弱性、第3作業部会(WG3)-気候変動の緩和、であり、第6次評価報告書(AR6)については、18か月以内にすべての評価報告書(第1～第3作業部会報告書)を公表することが、IPCC 第41回総会(2015年2月)において決定されており、それぞれ2021年8月9日(第1作業部会)、2022年2月28日(第2作業部会)、2022年4月4日(第3作業部会)に公表された。2023年3月には、第6次評価報告書の知見を統合した統合報告書が公表される予定である。IPCC 第6次評価報告書における、航空分野の気候変動に関する知見は、CO₂ 排出削減等を通じた緩和をカバーする第3作業部会(WG3)の第10章輸送に言及されている。

(2) 第1作業部会(WG1)-自然科学的根拠

第1作業部会報告書では気候変動の自然科学を分析しており、今般の報告書では、人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地はなく、気候システム全般にわたる最近の変化の規模と、気候システムの多くの側面における現在の状態は、数百年から数千年にわたって前例がないものであると評価。人間活動が及ぼす温暖化影響についての評価において、第4次評価報告書(AR4)(2007年)では、「可能性が非常に高い」(90%以上)、第5次評価報告書(AR5)(2013年)では、「可能性が極めて高い」(95%以上)と記述されていたが、今回「疑う余地がない」との表現がなされ、人間活動の気候への影響について、確度が100%に近いことを強調した形となった。また、2019年には、大気中のCO₂濃度は少なくとも過去200万年間のどの時点よりも高かったこと、世界平均気温は1970年以降少なくとも過去2千年間にわたって、他のどの50年間にも経験したことのない速度で上昇していることも示された。人為起源の気候変動は、現在、世界中の全ての地域で多くの異常気象を引き起こす等、既に気候に影響を及ぼしている。熱波、大雨、干ばつ、熱帯低気圧などの極端現象について観測された変化に関する証拠、特にそれらの変化が人間の影響によるとする要因特定に関する証拠は、AR5以降強まっており、いずれの極端現象についても頻度・強度が増加していることが確認された。

将来起こりうる気候状況に関しては、世界平均気温は、考慮されたすべての排出シナリオの下で、少なくとも今世紀半ばまで上昇し続け、向こう数十年の間にCO₂及び他の温室効果ガスの排出が大幅に減少しない限り、21世紀中に1.5℃及び2℃の地球温暖化を超えるとの評価結果を示している。加えて、排出削減の結果によっては、過去300年以上前例のない世界平均気温の領域に到達する可能性も指摘されている。気候システムの多くの変化は、地球温暖化の進行に直接関係して拡大するが、これらには、極端な高温、海洋熱波、大雨、及びいくつかの地域における農業及び生態学的干ばつの頻度と強度の増加、強い熱帯低気圧の割合の増加、並びに北極域の海氷、積雪及び永久凍土の縮小が含まれる。地球温暖化が続くと、世界の水循環が、その変動性、地球規模のモンスーンに伴う降水量、そして湿潤と乾燥に関する現象の厳しさを含め、更に強まると予測される。AR5以降、世界の水循環が地球規模の気温上昇とともに強まり続けるという確証が強まっており、降水量と地表水の流れは、季節内及び年々においてほとんどの陸域の地域でより変動が大きくなると予測される。また、CO₂排出量が増加するシナリオの下では、自然の炭素吸収源である海洋と陸域のCO₂吸収割合が低下、大気中にCO₂が蓄積しやすくなると予測される。過去及び将来の温室効果ガスの排出に起因する多くの変化、特に海洋、氷床、及び世界の海面水位における変化は、数百年から数千年にわたって不可逆的であり、今世紀末までに海面上昇が2mに到達する可能性も指摘された。

将来の気候変動の抑制として、以下のようにまとめられている。まず第一に、自然科学的な見地から、人為的な地球温暖化を特定の水準に制限するには、CO₂の累積排出量を制限し、少なくとも正味ゼロのCO₂排出を達成し、他の温室効果ガスの排出も大幅に削減する必要があるとのことである。一方で、世界全体で正味負のCO₂排出が達成され持続した場合、CO₂による世界平均気温の上昇は徐々に下降に向かうものと見込まれるが、他の気候の変化は数十年から数千年の間、現在の方向性を継続するであろうことも述べられている。GHG排出が非常に少ない又は少ないシナリオは、GHG排出が多い又は非常に多いシナリオと比べて、温室効果ガスとエアロゾルの濃度及び大気質に、数年以内に識別可能な効果をもたらさう。これらの対照的なシナリオ間の識別可能な差異は、世界平均気温の変化傾向については約20年以内に、他の多くの気候影響駆動要因についてはより長い期間の後に、自然変動の幅を超え始めるとして分析された。

(3) 第2作業部会(WG2)-影響・適応・脆弱性

第2作業部会報告書では、観測された気候変動の、生態系や人間社会、都市、居住、インフラ、産業構造、そしてそれらの脆弱性や将来に与える影響についての現在の理解をまとめている。本報告書は、急激な都市化、生態系の喪失、世界的な人口爆発、不平等問題、急速に進む技術革新、継続的貧困、食糧危機、そして現在進行中の気候変動により激しさを増す極端現象等を背景に記述されているものである。今般の第2作業部会報告書では、リスクを軽減する取り組みが行われているにもかかわらず、人為起源の気候変動が自然界に危険で広範な混乱を引き起こしている他、世界中で数十億もの人々の生活、特に最も対応が困難な人々や生態系が最も大きな被害を受けていると指摘している。

第一に、気候変動によるリスクの増大に対応するためには、緊急の行動が必要だということである。熱波や干ばつ、洪水の増加は、動植物が耐えられる閾値(いきち)をすでに超え、樹木やサンゴなどの種が大量に消滅している。これらの異常気象は同時に発生しており、影響は連鎖的に拡大し、管理することがますます困難になっている。特にアフリカ、アジア、中南米、小島嶼国や北極圏においては、異常気象により何百万もの人々が深刻な食料危機と水不足に見舞われている。生命や生態系、生物多様性、そしてインフラ・社会システムの損失が拡大するのを防ぐためには、CO₂を中心とした温室効果ガス排出量を急速かつ大幅に削減すると同時に、気候変動に適応するための野心的な行動を加速することが急務である。これまでのところ、適応に関する進歩には各国、及び関係者間でむらがあり、これまで実行された行動と、リスクの増大に対応するために必要とされる行動との乖離が広がっている状況である。

居住可能な未来を守るカギとして、自然を保護・強化することの重要性について言及されている。健全な生態系は気候変動に対してより強靱であり、食料や安全な水など、生命・生活に関わるサービスを提供してくれるものである。破壊された生態系を回復し、地球上の陸地、淡水と海洋の生息地の30%~50%を効果的かつ公平に保全することで、社会は自然の炭素吸収・貯留能力の恩恵を受けることができる。しかし、気候変動は、天然資源の持続可能でない利用や都市化の進展、社会不平等、異常気象・パンデミックによる損失といった世界的な動向と相まって、未来の発展を危うくしている。その上で、これらのさまざまな課題全てに対処するためには、政府、民間セクター、市民社会の誰もが協力し、意思決定と投資において、リスク軽減と公平性および公正さを優先させる必要がある。その結果、さまざまな利害、価値観、世界観を調和させ、科学技術のノウハウと先住民・地域住民の知識を結集することで、解決策はより効果的なものとなるであろうことが述べられている。

その他、世界人口の半数以上が居住する都市において、気候変動による熱波、暴風雨、干ばつ、洪水、海面上昇などを原因とするハザードが、人々の健康、生命、生活、ならびに繁栄やエネルギー・輸送システムなどの重要なインフラにますます多くの影響を与えていることも述べられている。一方、都市における気候変動対策行動の機会についても言及されており、例えば、環境に配慮した建物、安全な水と再生可能エネルギーの安定供給、そして都市部と農村部を結ぶ持続可能な輸送システム、これらはいずれも、より包括的で公平な社会につながるものであると記述がなされた。一部の地域では、地球温暖化が2°Cを超えた場合、気候変動にレジリエントな開発が不可能になると想定されるため、公平性と公正さに重点を置いた気候行動の緊急性を強調し、そして十分な資金提供、技術移転、政治的コミットメント、そしてパートナーシップが、気候変動への適応と排出削減において不可欠であることが指摘された。

(4) 第3作業部会(WG3)-気候変動の緩和

第3作業部会報告書では、気候変動の緩和における科学的、技術的、環境的、経済的、そして社会的側面の現在の見識について評価している。今般の報告書は、AR5の公表後に発表された緩和に関しての新しい文献、気候変動の緩和に向けた近年の体系的発展及び変化に関して分析したものであり、2010年から2019年にかけての全世界の年間平均温室効果ガス排出量は人類史上最も高い水準であったものの、増加のペースは減速していると分析した。全ての部門において排出量を直ちにかつ大幅に削減しない限り、工業化前比の気温上昇を1.5°Cに抑えることは不可能であるとする一方で、気候変動対策の行動・エビデンスは増加しているとした。また、2010年以降、太陽光・風力発電、蓄電池のコストは、最大85%まで持続的に低下している他、政策や法制度の幅が広がることによるエネルギー効率の改善、森林破壊の減速、再生可能エネルギー導入の加速が明示されている。

地球温暖化を抑制するためには、エネルギー部門における大転換が必要となるが、そのために化石燃料利用の大幅な削減、広範囲に及ぶ電化、エネルギー効率の改善、水素などの代替燃料の利用が期待される。都市部も排出量削減の大きな機会を提供する。例えば、(徒歩で移動可能なコンパクトな街づくりなどによる)エネルギー消費量の削減、低排出のエネルギー源と組み合わせた輸送手段の電化、自然を活用した炭素の回収・貯留の改善などである。世界の排出量の約4分の1を占める産業界では、排出量正味ゼロの達成は難易度が高くはあるが、原料使用の効率化、製品の再利用とリサイクル、廃棄物の最小化、そして鉄鋼、建材、化学製品といった一次材料については、温室効果ガスの排出量が低い、もしくはゼロである生産プロセスが試験段階や商用に近い段階にある。農業、林業等においては、規模を拡大して二酸化炭素の除去・貯留も可能であり、対応策により生物多様性に恩恵をもたらすことができ、生計手段、食料と水、そして木材の供給を確保することができる。

気候変動対策への投資及び持続可能な開発目標(SDGs)に関しても言及がなされた。投資に関して、資金の流れは、温暖化を2030年までに2°C未満に抑えるために必要な水準の3分の1から6分の1にとどまっている一方、投資ギャップを解消するための世界の資本と流動性は十分にあることを示している。公的部門の資金と政策の整合性を高めることを含め、各国政府と国際社会から明確なシグナルを発信することが極めて重要である。持続可能な開発には、気候変動による影響の緩和と適応のために、加速的かつ公平な気候変動対策が不可欠である。一部の対応における選択肢は、炭素を吸収・貯留できると同時に地域社会が気候変動による影響を抑える上で役立つ。例えば、都市においては、公園と緑地のネットワーク、湿地、都市農業により、洪水のリスクとヒートアイランド効果を軽減することができ、産業界における緩和は、環境に与える影響を軽減し、雇用とビジネス機会を増大させ、再生可能エネルギーによる電化と公共交通機関における転換は、健康、雇用、公平性を高めることができる。

(5) 第3作業部会(WG3)-気候変動の緩和 第10章輸送

第3作業部会による報告書の第10章輸送において航空分野の脱炭素について整理されている。各項目における航空に関する言及について以下のとおり纏める。

1) 排出トレンドと航空分野への影響

2019年現在、運輸業界での最大の排出源は陸上輸送での乗客と貨物の移動である(6.1 GtCO₂eq、セクター全体の69%)。国際海運が2番目に大きな排出源で、0.8GtCO₂eqを排出(セ

クター全体の 9%)。国際航空は 0.6GtCO₂eq で 3 番目に大きな排出源である(セクター全体の 7%)。鉄道を含む他のすべての輸送排出源は、比較的些細であり、2019 年の合計排出量は 1.4GtCO₂eq である。2010 年から 2019 年の間、国際航空分野は、全セグメントの中で GHG 排出量が最も増加している分野の1つである(年間+3.4%)。2020 年以降に実施されたコロナパンデミックによる経済封鎖は、運輸業界の排出量に多大な影響を与え、専門家による予備的推定値では、世界の運輸業界 CO₂ 排出量は 2019 年比 11.6%減少(7.6GtCO₂ の減少)。これらの経済封鎖は、特に航空分野に影響を与え、2020年は推定で45%の CO₂ 排出量が削減された。

航空分野は、液体化石燃料に過度に依存した脱炭素化が難しいセクターとして、また「ロックイン」と呼ばれる、脱炭素化に長い時間を要するインフラとして広く認識されている。航空分野で排出される主要な GHG は、化石燃料である航空燃料の燃焼による CO₂ だが、CO₂ 以外の排出量も気候に影響を与えると理解されている。国際航空の CO₂ 排出量は、航空分野の総排出量の約 65% を占めている。航空部門からの排出量は、過去 20 年間、年間約 2.5%の割合で着実に増加しているが、2010 年から 2018 年にかけては、その割合は年間約 4%にまで上昇した。最新の利用可能なデータによれば、航空分野は世界全体の CO₂ 年間排出量の約 2.4%を占めている(土地利用の変化を含む)。

AR5 以降、気候変動を起因とする地球規模の海面上昇の、交通システムへの潜在的および実際の影響に対する認識が高まっている。また、最近の研究は、世界のジェット気流の変化が航空分野に影響を与えることを示唆しており、極端な気象条件が滑走路と航空機の浮揚に悪影響を及ぼすと考えられている。これらが組み合わさり、有料荷重の制限と混乱に陥る可能性がある。専門家による調査では、冬季の大西洋横断飛行ルートにおける晴天乱気流の量は、気候変動に伴い大幅に増加すると見込まれている。しかし、気候変動による輸送システムへのリスクを完全に理解するには、更なる研究が必要である。

2) 航空分野の脱炭素について

a. 短寿命強制因子(SLCFs)

航空分野の正味の温室効果は、過去および現在の CO₂ 排出と CO₂ 以外の GHG 排出に起因する。CO₂ 以外の GHG には水蒸気、すす、二酸化硫黄、および窒素酸化物が含まれる。今日の CO₂ 排出量の残りは、多くの地域で何千年も温暖化効果をもたらす一方で、排出された水蒸気、すす、窒素酸化物は、数十年後には温暖化に寄与しなくなる。パリ協定の 1.5°Cシナリオで必要とされる航空分野の CO₂ 排出量「ネットゼロ」の達成には、技術、燃料の種類、または行動や需要の変容における根本的なシフトが要求される。航空分野から排出される CO₂ 以外の GHG は、短寿命気候強制因子 (SLCFs) のカテゴリーに分類される。現在、窒素酸化物の排出は、短期オゾンの形成と冷却効果のあるメタンの破壊により正味の温暖化をもたらしている。条件が整っていれば、すすと水蒸気の排出は、広範囲にわたる巻雲を生成させる飛行機雲の形成を引き起こす可能性がある。航空分野から排出される CO₂ 以外の GHG の影響は、気候変動緩和策の議論の対象であり、問題は非常に複雑である他、CO₂との技術的および運用上のトレードオフを伴う可能性も指摘されている。

b. GHG 排出削減ポテンシャル(運航技術、燃費技術、市場メカニズム)

ア) エンジン及び航空機体の技術的選択肢

時間を経るにつれ、エンジン技術の分野において、初期のターボジェットエンジンから大型のターボファンエンジンへと大きな進展があったが、航空機の基本的な様相は過去何十年、そして2037年までほぼ同様であると見込まれている。また、航空機体のパフォーマンスについては、よりよい翼のデザインにより過去数年で改善されたが、技術レベルがすでに成熟したため、大きな累積的改善は非常に難しくなっている。関連文献においても、航空分野での予測成長と見合うだけの航空エンジン効率の改善が大きくなされるとの見方は支持されていない。

イ) 航行の運用改善

地球的な観点からは、航空機の航行は比較的効率的であり、多くの長距離輸送は良好な円形軌道を辿っている他、燃料消費を増加させる逆風を回避しているため、航行や運用の改善余地は限られている。その中で、編隊飛行と呼ばれる、燃料消費を減少させる可能性を秘めた戦略が提案されている。

ウ) 代替バイオ燃料、合成燃料、液体水素

関連文献によると、CO₂の排出量を増加させずに航空分野の需要が成長し続けていく唯一の方法は、低炭素のバイオ燃料や合成航空燃料を活用することである。航空分野の炭素負荷を減少させる持続可能な航空燃料は関心及び研究開発が強まっている分野であり、化石燃料にとってかわる代替航空燃料は、安全性の問題におけるパラメーターに対して、通常燃料と同等の基準が認められなければならない。バイオ燃料は、作物残余、地方自治体の固形ごみ、木製製品等を使って生成されるが、それぞれのバイオ燃料源は固有のライフサイクルエミッションがあり、それぞれの生成や分配過程においてCO₂やその他のGHGを排出するため、気候変動緩和において制限があることが現状である。また、水資源の利用方法や生態系への影響等に対する課題も存在する。しかし、バイオ燃料を基にした持続可能な航空燃料は、2%から70%の範囲内においてライフサイクルエミッションを減少させると見積もられている。コスト面がバイオ燃料の大きな課題であり、化石燃料の約3倍費用がかかると言われている。持続可能な航空燃料が経済競争力を高めるためには、化石燃料の大胆な価格調整や持続可能な航空燃料の利用にインセンティブを与える政策導入、2050年までの間に大規模な資本投資が求められる。

エ) 市場メカニズムを用いた緩和策

欧州連合は、2012年に航空分野にCO₂排出量の取引スキーム(ETS)を適用した。それにより現在、欧州連合では、域内の航行すべてがETSの対象となっている。国際的には、国際民間航空機関(ICAO)が2016年に、2020年から「国際民間航空のためのカーボン・オフセット及び削減スキーム」(CORSIA)を開始すると発表し、2021年から2023年を試験段階、2024年から2026年を第一段階としている。また、第一段階までは各国の自発的な参加によるものであるが、2026年からの第二段階では、特別免除されない限り、すべての国が参加国となり、航空分野のCO₂排出量削減が大規模で実施されることとなる。

オ) 高速鉄道へのモーダルシフト

上記に述べた現行の航空分野の緩和戦略の限界により、高速鉄道の潜在性への関心が強まっている。国際エネルギー機関(IEA)による2050年のネットゼロに向けたロードマップでは、地域航空から高速

鉄道へのシフトに向けた行動変容を提案している。高速鉄道が航空路線と競争的であるためには発着地間の距離が400km から800km であることが最適であることが分かっている。貨物輸送を提供する高速鉄道への見込みも急速に進展しており、それによる排出量削減の潜在性も確認されているが、追加的かつ補助的な政策が導入される必要がある。適切な高速鉄道サービスの開始は、とりわけ短距離から中距離輸送において、航空分野の排出量削減の追加的措置となる潜在力を秘めている。

2.1.3 国際クリーン交通委員会(ICCT)「VISION2050」

- 国際クリーン交通委員会(ICCT)「VISION 2050」(2020年9月21日),
<https://theicct.org/vision-2050/>

<エグゼクティブサマリー>

この報告書は航空の技術と運用に対しての国際クリーン交通委員会(ICCT)のシナリオを提示し、これらのシナリオにおける排出量の影響を新しい国際航空分野排出モデルを使い評価している。ICCTのロードマップは分析対象が国際的規模であること、国際航行のみを含めているという点で他のロードマップと異なっている。また、ICCTのロードマップは航空分野が国際的カーボンバジェットのシェアを早期解消してしまうことを避けるための新しい排出量削減技術への早期投資を確実にする中間目標を提案する。

脱炭素シナリオは3つに分かれ、6つの重要な指標によって分析される。その指標は、①交通、②航空機体技術、③運航、④ゼロエミッション航空機(ZEPs)、⑤持続可能な航空燃料(SAF)、そして⑥経済インセンティブである。全てのシナリオにおいてCO₂排出量は2050年までに2019年比9%~94%減少すると見込まれている。減少要因は、持続可能なSAFの活用や新しい航空機体と運用効率の改善、多くを液体水素により稼働するZEPsの導入などである。航空燃料の引き上げや高速鉄道(HSR)へのモーダルシフトに関連した航空交通量の減少はGHG排出量削減においてはより限定的な要因である。

3つのシナリオの中で、最も野心的なシナリオでは、2025年に排出量のピークを迎え、2050年までに排出量をゼロに近い水準まで持っていき1.75℃目標を達成させる推定である。航空分野のカーボンバジェットを増加させることなく、1.5℃目標を達成させるためには、上記の最も野心的なシナリオから50%追加でのCO₂の削減が求められる。これは、2030年までに航空分野のネットゼロを達成することと同義である。全てのシナリオにおいて、SAFによる削減が最も大きな貢献を期待される分野であり、航空機体の技術・運用効率の改善、液体水素により稼働するZEPs、航空燃料の上昇や高速鉄道(HSR)へのモーダルシフトに付随する航空交通量の減少と続く。

本報告書の政策的な提案として、第一に、航空分野をパリ協定の2℃目標と整合させることは可能であるが、多くの野心的目標と投資を必要とする。最も野心的なシナリオによれば、1.75℃目標が達成可能ではあるが、公共政策によって後押しされた大々的な投資が必要不可欠である。第二に、航空分野をパリ目標に整合させるためには、航空機体からのCO₂排出は2025年までにピークアウトすることを本報告書では提案する。最後に、1.5℃目標を達成するためには、航空分野外からのアクション及び劇的な交通量の減少が求められると述べられている。

(1) 導入

2015年にフランス・パリにて196か国を代表する政府関係者が集まり、1850年比の気温上昇を2℃、可能であれば1.5℃に抑えるという協定を締結した。以来、パリ協定には含まれていない、国際的な排出源である海運分野や航空分野はパリ協定から逸脱しないように目標設定と方策の確立に努めてきた。国際民間航空機関(ICAO)は2022年後半に長期の野心的な目標(LTAG)の設定に取り組んだ。2020年9月に発行した ICCT の報告書では、世界全体の航空分野からの排出量は、航空機体技術の改善と代替燃料により2050年に300Mt 削減されると見積もられている。この報告書は上記の分析結果をより詳細に精査するものである。

(2) 排出量削減方策

1) 交通量成長見通し

交通量見通しにおいては、コロナウイルス感染症によるパンデミックが指示したように、予期しない事象が航空分野を含むどの運輸業界においても将来の成長予測を複雑にさせる。しかし、気候目標の分析やその分析手法を支援するために現実的な交通量成長予測は必要である。本報告書は、2050年までの航空分野の成長を予測した歴史的データを利用し、結果として全ての成長予測シナリオ(低・中・高成長予測)において、航空分野の交通量は年々増加していくことが観察された。

2) 航空機体技術

新しい航空機体はより効率的であり、航行毎の排出量は減少していく。燃料コストは新しい航空機を発注する航空会社の意思決定を促す効果があるため、航空機体の製造業者はイノベーションを起こす。一方で、航空機体のデザイン及び製造は時間のかかるプロセスであり、燃料効率の改善も十数年で微小の改善しかみられないものである。そのため、予期される航空機体技術効率の改善は2035年まで大きくは起こらないものと見込む。

3) 運航

航行の際の航空燃料の燃焼を減少させるいくつかのツールを利用することができる。具体的には、ゲートまでの電動移動、継続的な上昇及び下降、燃料荷役の減少、編隊飛行等であり、編隊飛行は1回の航行当たり2%から9%の CO₂ 排出量削減が見込まれる。これらのいくつかは既に検討及び試験的に実施されているが、より野心的なツールは実現までまだほど遠い状況である。

4) ゼロエミッション航空機

ゼロエミッション航空機は、水素と電気を使用する技術である。現行のバッテリー重量により、2050年までは電気航空機は短距離区間に制限される。一方で、液体水素により稼働する航空機は、潜在的に3,400kmに及ぶ、短距離から中距離輸送に利用可能になると見込まれる。

5) 持続可能な航空燃料(SAF)

バイオマスや再生可能エネルギーから生成された SAF は、ほとんどのロードマップにて半数以上の排出量削減を叶える技術であると予測されている。SAFは50%の配合までは、現行の航空機体やエンジンとの互換性がある他、100%配合での利用に向けた努力も進行中である。現段階における SAF スケール拡大に向けた発展プロセスは遅々としているが、EU やイギリス等で提案されている政策により SAF の発達は加速していくものと期待されている。

6) 経済インセンティブ

低炭素技術、特に SAF やゼロエミッション航空機は、化石燃料で稼働している従来の航空機より多くのコストがかかる。それらの技術の競争力を高めるために化石燃料の価格を引き上げる等の政策が必要である。関連する航空燃料の上昇は航空チケットの価格を上昇させることで乗客数が減るため、交通量の成長速度を落とすことが可能である。多種多様な政策は代替燃料と化石燃料の価格ギャップを埋める潜在力を持っている。例えば、排出量取引スキーム(ETS(Emission Trading Systems))、燃料税、代替燃料義務等である。

7) モーダルシフト

短距離輸送に関しては、低負荷である陸上輸送への転換が、排出量を減少させるうえで非常に効果的である。様々な交通手段の中で、高速鉄道が短距離航空需要を減少させる潜在力を保持している。移動時間とコストが比較可能もしくは少ない場合、そして鉄道サービスが頻繁かつ信頼性があれば、消費者は高速鉄道へ乗り換える可能性が高い。過去の研究結果は、新しい改善された高速鉄道システムは、移動距離が 1,000kmまでの航空移動と競争可能であり、700 から 800km以下の移動であれば最も競争力が高くなると示している。

(3) 政策的推論

本報告書における最も野心的なシナリオでは航空分野のカーボンバジェットが増加しなかったと仮定した場合、気温上昇1.75℃が達成可能であり、SAF、燃料効率及びゼロエミッション航空機は排出量の多くを削減するため、政策立案者が最も関心を寄せるべき脱炭素化技術である。また、航空機からのCO₂の排出は遅くとも2030年までにピークアウトしなければならず、3つすべてのシナリオにおいて1.5℃目標下の航空分野のカーボンバジェットは2030年に底をつくため、短期的かつ暫定的な削減目標が必要となる。早期の行動は、不可欠な技術のコスト低下を叶えるため、2050年時点におけるより低コストでの大規模な排出削減を実現させる他、1.5℃目標を達成するためには、航空分野外からのアクション及び劇的な交通量見通しの減少が不可欠である。

2.1.4 国連環境計画(UNEP)「Emission Gap Report 2022」

- 国連環境計画(UNEP)「Emission Gap Report 2022」(2022年10月27日),
<https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2022>

<エグゼクティブサマリー>

Emission Gap Report 第13版は、国連環境計画(UNEP)が2022年10月に発表した報告書であり、2030年までの排出ギャップに関して詳細に記したものである。本報告書は、地球規模の気候危機に対しての各国の行動が不十分であることの証言であり、社会の急激な変革への要求である。また、本報告書では、電力供給、産業、輸送、建築の各分野で必要とされる変革について考察している。加えて、食料システムや金融システムなど、横断的なシステム変革も調査し、現在の緩和策の誓約を超える排出削減の大きな可能性があることを解説している。

2016年の COP26以来、約束された排出量削減目標と、パリ協定目標を達成するために必要とされる排出量削減目標のギャップを 2030 年に向け埋めていく上で、ごく限られた進展しかみられない状況である。また、土地利用、土地利用変化及び林業(LULUCF)を除いた 2021 年の世界の GHG 排出量は、2019 年比微増の52.8GtCO₂ となっており、世界合計排出量は、2019 年水準と同程度か、もしくは上回る水準である。この事実は世界のコロナウイルス感染症のパンデミックへの対応による前例のない排出量の減少が一時的なものであるとする調査結果を裏付けるものとなった。

世界で上位 7 つの排出国(中国、EU、インド、インドネシア、ブラジル、ロシア、アメリカ)と国際運輸は 2020 年において世界の排出量の55%を占めており、G20諸国で75%を占める。国民一人当たりの排出量は国によって大きく異なり、世界平均が一人当たり年間6.3tである一方、アメリカ14t、ロシア13t、中国9.7tと続き、開発途上国平均は2.3tである。地域及び国によって大きなばらつきが存在している。

各国に対して、2030 年温室効果ガス排出削減目標(NDC)の見直し及び増強が要求されているにも関わらず、COP26 以来の進展は非常に不足している。とりわけ 2020 年以来 NDC を更新してきた G20諸国のほとんどは政策実施や新しい目標に沿ったアクションを昨今ようやく開始したばかりであり、2030 年に向けた排出量削減コミットメントにおいて非常に遅れている状況だ。また、NDC を達成するためにも更なる政策的アプローチが不可欠となっている。2030 年に向けた取り組みへの排出量ギャップは、各国の NDC を宣言通り実行した際に想定される世界全体の排出量と、地球温暖化を 2℃、1.8℃、1.5℃に抑えるための最もコストのかからないシナリオでの世界全体の排出量の差と定義されるが、このギャップは現時点で非常に大きく、現在の各国の NDC は大きく不足している。追加的な行動がなければ、現行の政策では今世紀中に2.8℃の地球温暖化が想定されている。また、世界全体の排出量の79%をカバーする 88 の参加国がネットゼロエミッションを達成させるという目標を採択しているが、その誓約の信頼度と実現可能性は非常に不確実である。

世界が直面する課題は、計り知れないものであり、広範囲にわたる、大規模、急激かつ構造的な変革がパリ協定目標を達成するために不可欠となっている。食料分野は世界の排出量の 3 分の 1 を占めており、大規模な削減がなされなければならない。また、金融システムを再度整合させることについても、現在必要とされる社会変革を実現させるうえで極めて重要である。

(1) 排出量の状況と排出ギャップ

COP26 以降に提出された各国の新規および更新された NDC は、COP26 時点の緩和策の誓約に基づく排出量予測と比較しても、2030年の世界の温室効果ガス排出量をわずか 0.5GtCO₂ しか削減しない。この世界的に極めて不十分な NDC でさえ、各国は達成の目途が立っていない状況である。

地球温暖化を 1.5°Cに抑制するための道筋に乗せるためには、世界の GHG 排出量を、現在実施されている政策の下での排出量予測に比べて、わずか 8 年間で 45%削減しなければならず、限られた大気中のカーボンバジェットを使い切らないためには 2030 年以降も急速に削減し続けなければならない。これらが示すように、漸進的な変化はもはや選択肢ではなく、地球温暖化を 2°C以下、可能であれば 1.5°C以下に抑えるための格好の機会を逃さないためには、経済全体にわたる広範な変革が必要であり、あらゆるわずかな変化が重要である。

2021 年に世界の GHG 排出量は記録を更新する可能性がある。現時点では LULUCF の推計が 2020 年までしか利用できないため、2021 年の世界全体の GHG 排出量の分析には限界があるが、LULUCF を除いた 2021 年の世界の GHG 排出量は暫定的に 52.8GtCO₂ と推定され、2019 年比微増である。これは 2021 年の世界全体の GHG 排出量の合計が 2019 年の記録と同等かそれをさらに上回ることを示唆しており、コロナウイルス感染症によるパンデミックに対する世界的な対応によって実現した前例のない排出量の減少が一時的であったというこれまでの調査結果を確かなものとする形となった。一方、世界の GHG 排出量はここ 10 年間増え続けているが、その増加率は過去 10 年間と比較して鈍化している。2000 年から 2009 年は年間平均 2.6%であったのに対し、2010 年から 2019 年にかけての増加率は年間平均 1.1%だった。世界の排出量の約 10%を占める 35 カ国は、CO₂ やその他の GHG 排出量のピークを迎えたが、他の場所での世界的な排出量の増加がその削減量を上回っている状況である。

2030 年の排出量ギャップは、NDC を完全に実施した場合に予測される世界総 GHG 排出量と、地球温暖化をそれぞれ 2°C、1.8°C、1.5°Cに抑える最小コスト・シナリオのもとでの世界総 GHG 排出量の差として定義されるが、2030 年に向けて無条件・条件付き NDC で示された各国の現在のコミットメントを完全に実施したと仮定した場合、現行政策と比較して、世界の排出量はそれぞれ 5%、10%削減されると推定される。しかし、地球温暖化を 2.0°C以下、1.5°C以下に抑えるための軌道に乗せるためには、現行政策の予測と比較して、世界の GHG 排出量をそれぞれ 30%、45%削減する必要がある。無条件 NDC の完全実施により、1.5°Cシナリオとのギャップは 23GtCO₂ になると推定され、この推計値は、2021 年版の本報告書よりも 5GtCO₂e ほど小さくなっており、条件付き NDC も完全に実施された場合、1.5°Cの排出量ギャップは 20GtCO₂ に縮小される。しかし、この差は方法論の変更と 1.5°Cシナリオの更新によるものがほとんどである。無条件 NDC シナリオと 2°C以下シナリオの間にある排出量ギャップは約 15GtCO₂ あり、昨年より約 2GtCO₂e 大きくなっている。この増加の主な理由は、今年の報告では、調整によって過去の排出量の不一致が修正されたためである。条件付き NDC も完全に実施された場合、2°C以下シナリオの排出量ギャップは 12GtCO₂ に縮小される。

(2) 国・地域・世帯間における排出量の不平等

上位 7 つの排出国(中国、EU、インド、インドネシア、ブラジル、ロシア、アメリカ)と国際運輸は 2020 年の世界の GHG 排出量の 55%を占め、G20 諸国を合わせると、75%に相当する。また、一人当たりの排出量は、国によって大きく異なっている。2020 年の一人当たりの GHG 排出量(LULUCF を含む)の世界平均は 6.3tCO₂ である。アメリカはこれを大幅に上回る 14tCO₂ であり、ロシア連邦の 13tCO₂、中国の 9.7tCO₂、ブラジルとインドネシアの約 7.5tCO₂、欧州連合の 7.2tCO₂ がこれに続く。インドは 2.4tCO₂ と、世界平均を大きく下回っている他、後発開発途上国は平均して一人当たり年間 2.3tCO₂ を排出している。消費に基づく排出量も国家間および国内で非常に不平等である。世

帯消費と公共・民間投資の両方に関連する排出量を世帯に割り当て、世帯を GHG 排出量(LULUCF を除く)で順位付けすると、下位 50%は一人当たり平均 1.6tCO₂ を排出し世界全体の 12%を占めるのに対し、上位 1%は一人当たり平均 110tCO₂ を排出し全体の 17%に相当する。高排出世帯はすべての経済大国に存在し、国内および国家間で大きな不平等が存在している。

(3) 各国の 2030 年温室効果ガス排出削減目標(NDC)の状況

パリ協定で定められた 5 年間の野心引き上げサイクルの一環として、各国は COP26 に向けて新規または更新された NDC を提出するよう要請され、2021 年の COP26 で採択されたグラスゴー気候合意では、パリ協定の気温目標に整合するよう、2030 年の緩和目標を再検討し、強化することがさらに要請された。2020 年 1 月 1 日から 2022 年 9 月 23 日の間に、世界の GHG 排出量の約 91%を占める 166 の国が新規または更新された NDC を提出し、COP26 時点の 152 カ国を上回った。新規または更新された無条件の NDC が完全に実施された場合の推定では、当初の NDC と比較して 2030 年までに 4.8GtCO₂ の年間追加削減効果をもたらすと予測される。しかし、COP26 以降の追加削減効果は約 0.5GtCO₂ であり、主にオーストラリア、ブラジル、インドネシア、韓国からの新規または更新された NDC によるものである。

2020 年以降、強化された NDC 目標を提出した G20 諸国のほとんどは、新しい目標を達成するための政策や行動の実施を開始したばかりであり、現在、NDC 目標を達成すると予測されているのは、当初の NDC を更新していないか、更新した NDC で目標レベルを強化しなかったか、中程度にしか強化していない国である。その他の G20 加盟国は、NDC を達成するために追加的な政策が必要となっている状況である。G20 加盟国全体では、新規または更新された NDC の達成に向けた軌道には乗っていない。独立研究におけるシナリオ予測に基づき、現行政策で予測される排出量と、NDC を完全に実施した場合の排出量の差として実施ギャップが存在するが、この実施ギャップは、G20 加盟国において 2030 年までに年間 1.8GtCO₂ となる。ロシア連邦とトルコについては、NDC の予測排出量は一貫して現行政策の予測値を大幅に上回っており、それによって実施ギャップは合理的に想定されるものよりも小規模なものとなっている。この 2 カ国の NDC の予測値を現行政策シナリオの予測値に置き換えた場合、G20 加盟国は 2030 年までに合計で年間 2.6GtCO₂ 分の NDC が未達になる。

(4) 今後の想定及び各国の公約の信頼性

現在の無条件 NDC の気候変動緩和努力を継続すれば、今世紀中の温暖化を 66%の確率で約 2.6°Cに抑えられると予測されるが、CO₂ 排出量がまだネットゼロ水準に達していないと予測されるため、2100 年以降も温暖化が進むと想定される。条件付き NDC に向けた努力を継続することで、これらの予測は約 0.2°C低くなり、66%の確率で 2.4°Cとなる。しかし、現行政策は、無条件の NDC を満たすのにさえ不十分であるため、現行政策を継続すると、66%の確率で約 0.2°C高い 2.8°Cという予測になる。不確実性の高いネットゼロの公約を完全に実施すると仮定した場合のみ、地球温暖化レベルはパリ協定の気温目標に近づき、無条件の NDC に加えてネットゼロ目標を達成すると、66%の確率で地球温暖化を 1.8°Cに抑えることができる。また、条件付き NDC と公約が達成され、その後にネットゼロ目標が続くと仮定した場合も、66%の確率で地球温暖化を 1.8°Cに抑えられると予測される。しかし、ほとんどの場合、現行政策及び NDC において、各国の 2030 年からのネットゼロ目標達成に向けた信

頼できる道筋は描かれていないのが現状である。

世界の GHG 排出量の約 79%をカバーする 88 の国が、法律や NDC、長期戦略などの政策文書、政府高官による発表のいずれかで、ネットゼロ目標を採択しており、これは COP26 の 74 カ国から増加した。世界の GHG 排出量の 2%を占めるその他の 8 カ国は、長期戦略の一環として別の(非ネットゼロの)GHG 緩和目標を掲げている。G20 加盟国に焦点を当てると、19 の国がネットゼロ排出の達成を約束しており、COP26 での 17 から増加している。これらの目標は、法的位置づけ、期間、公平・公正への明確な配慮、対象となる排出源、セクター、ガス、国際的なオフセットの利用、目標達成に関する計画、レビュー、報告のあり方など、多くの重要な点において異なっている。短期的な政策実施、中・長期的な目標の間の不一致が確認されている他、現在のエビデンスによると、国が決定したネットゼロ目標は必ずしも達成されるとは限らないと予測されている。

(5) 主要セクター・食料システム・金融システムにおける変革の重要性

電力供給、産業、輸送、建築の各セクターで、温室効果ガスの排出ゼロに向けた変革が進んでいるが、地球温暖化を 2℃より低く、可能なら 1.5℃以下に抑えるために必要な速度と規模でこれらを実現するには、行動を拡大し、かつ加速することが必要である。上記 4 つのセクターのうち、電力供給は、再生可能エネルギーのコストが劇的に低下していることから、最も進んでいると言える。4 つのセクターの具体的な状況に合わせて変革を開始し、推進するための重要な行動として、3つの幅広いポートフォリオを実施する必要がある。①化石燃料集約型の新しいインフラへのロックインを回避すること、②ゼロカーボン技術、市場構造、公正な変革のための計画をさらに推進することにより、移行を可能にすること、③ゼロエミッション技術を適用し、ゼロエミッション達成に向けた削減を維持し深化させるための行動変革を推進すること、である。

食料システムは、気候変動だけでなく、土地利用の変化や生物多様性の損失、淡水資源の枯渇、水生および陸上生態系の汚染などにも大きく関わっている。現在、世界の GHG 排出量の約 3 分の 1 が食料システムによるものである。最大の要因は、肥料などの投入物の生産を含む農業生産(39%)、次に土地利用の変化(32%)、そしてサプライチェーン活動(29%)である。サプライチェーン活動には、小売、輸送、消費、燃料生産、廃棄物管理、工業プロセス、包装が含まれる。パリ協定の気温目標に沿った軌道に乗るためには、食料システムを複数の領域で急速に変革する必要がある。必要な変革には、食生活のシフト、自然生態系の保護、食料生産の改善、食料バリューチェーンの脱炭素化などが含まれる。食料システムの変革は、気候変動や環境劣化に対処するために重要なだけでなく、人々の健康的な食生活と食料安全保障を確保するためにも不可欠である。変革を推進し、障壁を克服するためには、すべての主要な行動グループによる行動が必要である。

金融システムの再調整も必要な変革を実現するために極めて重要である。化石燃料や持続不可能な土地利用に大きく依存した経済からの低炭素経済への世界的な転換には、少なくとも年間 4~6 兆米ドルの投資が必要と見積もられている。これは、運用される金融資産全体に占める割合は比較的小さい(1.5 ~2%)が、毎年追加で割り当てられる資産としては大きい(20~28%)。IPCC は、世界的に緩和への投資を 3~6 倍増加させる必要があり、途上国ではさらに増加させる必要があると分析している。このような世界的な変革を可能にするためには、金融システムの変革が必要である。金融システムの変革に関しては、文脈に合わせた、入れ子式の協調的なアプローチが必要であり、主要な国のグループにおいて、国内および国家間の公平性と「公正な移行」を確保しながら実施されなければならない。このよ

うな協調的かつ協力的な行動の成功は、最終的には、重大なリスクを回避するための国民の支持と圧力、そして金融システムの主要行動主体が自らの役割を進んで引き受けるかどうかにかかっている。

2.1.5 国際エネルギー機関(IEA)「World Energy Outlook 2022」

- 国際エネルギー機関(IEA)「World Energy Outlook 2022」(2022年10月),
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>

<エグゼクティブサマリー>

ロシアのウクライナ侵攻による前例のない規模と複雑性によるショックで、現在世界は過去経験のないエネルギー危機の最中にある。ウクライナ情勢によるエネルギーマーケットへのプレッシャーはパンデミックからの回復を後戻りさせる形となり、欧州諸国による、世界最大のエネルギー輸出国であるロシアへの制裁措置は、世界的なエネルギー貿易を深刻化させている。全ての燃料、特にガス市場は甚大な影響を受けている他、消費者は高騰したエネルギー価格に晒されている。

この状況下、政策立案者や本報告書における重要な問いは、この危機がクリーンエネルギーへの移行の後退につながってしまうのか、それともより早期の行動への触媒となるのかである。多くの政府は原油・ガス供給の増加・多様化を図っており、構造的な変革を加速させている。政策的対応はクリーンエネルギー経済の誕生を早期化させ、主要エネルギー市場における新しい政策は、2030年時点でのクリーンエネルギーへの投資を年間2兆ドル以上に押し上げる効果を持つ。クリーンエネルギーは成長や雇用、国際的経済競争の主要舞台になると期待される。また、今日のより強力な政策設定は、化石燃料のピークアウトを射程範囲に入れさせることができる。現行政策に基づいたシナリオでは、石炭の使用は今後数年間のうちに減少に転じ、天然ガスの需要は10年後に頭打ちとなる他、右肩上がりの電気自動車の売り上げは、石油需要が2030年代半ばに横ばいになることを意味する。全ての気候関連の誓約を達成することは世界をより安全な場所へ導く一方で、今日の野心と1.5℃目標には依然大きな隔たりが存在する。

クリーンエネルギーに導かれ、いくつかの業界はより早期の変革への準備が整えられている。世界は、より安定した持続可能で低価格なエネルギー構造を実現するのに非常に重要な10年間にいる。バッテリーや太陽光パネルを含むカギとなる技術の供給網は、世界的な高い野心を可能とする速度で拡大している。効率的かつクリーンな燃料は競争力を手に入れており、昨今の高騰したエネルギー価格は、より高度なエネルギー効率の利点を強調し、各国におけるエネルギー使用を減少させる行動的かつ技術的変革を駆り立てている。また、燃料価格やエネルギー安定供給に対する懸念は、より強力なエネルギー政策支援の後押しによって、多くの低排出燃料の将来性を高める。

しかし、早期のカーボンニュートラル社会への移行を叶えることは究極的には投資にかかっている。エネルギー投資の劇的な上昇は、将来のエネルギー価格の高騰や不安定性のリスクを減少させるため、そして2050年のネットゼロエミッションを達成するためには不可欠である。クリーンエネルギー投資の不足は、新興国・発展途上国において最も顕著であり、これらの国の今後のエネルギー需要の急成長予測を勘案すれば、由々しき問題である。仮にクリーンエネルギーへの投資が加速しなかった場合、将来の燃料価格の不安定性を避けるために石油やガスへの更なる投資が必要となり、これは1.5℃目標を危機に晒すこととなる。これらの課題を勘案し、回復力のある供給網に基づいた低コストかつ安全な移行

の実現が急務である。排出量を減らしつつ、信頼性及び低コストを維持できる新しいエネルギー安定供給パラダイムが必要となっている。昨今のエネルギー危機はよりクリーンかつ安定的なエネルギー構造に向けた歴史的な転換点になるであろうことが約束されており、ロシアのウクライナ侵攻の結果として、エネルギー市場とエネルギー政策は、一時的でなく今後数十年間に向けて変革している。

(1) 導入

本報告書(World Energy Outlook 2022 (WEO))を公表した国際エネルギー機関(IEA)は、第1次石油危機後の1974年に、キッシンジャー米国務長官(当時)の提唱を受けて、経済協力機構(OECD)の枠内における自律的な機関として設立された国際組織である。本報告書は、IEAを代表する刊行物であり、エネルギーの需給や技術開発に関する見通しなどを示した報告書として、世界的に権威のあるものとなっており、2022年10月27日に発表された。IEAは報告書内で以下の3つのシナリオに基づいた分析をおこなっている。①公表政策シナリオ(STEPS)-政府が何を達成するかではなく、設定した目標や目的を達成するために実際に何をしているかを観察し、これがエネルギー部門をどこに導くのかを評価するもの。②発表誓約シナリオ(APS)-現在発表されているすべてのエネルギーおよび気候に関するコミットメントが、完全かつ時間どおりに実施された場合、エネルギー部門がどこに向かうのかを検証するもの。③2050年までのネットゼロエミッションシナリオ(NZE)-世界の平均気温を1.5℃に安定させ、主要なエネルギー関連の持続可能な開発目標(SDGs)を達成する方法を示すもの。今般の報告書では、すべてのシナリオで初めて各化石燃料の世界需要は、ピークまたは横ばいを示し、特にロシアの輸出は、世界のエネルギー秩序が再形成されるにつれ、大幅に減少すると指摘している。

(2) エネルギーの見通し

ロシアのウクライナ侵攻によって引き起こされた世界的なエネルギー危機は、経済全体に広範な影響を及ぼし、各国政府に対し短期的な対応だけでなく、将来の混乱のリスクを軽減しエネルギー安全保障を促進する手段に関する議論をより深める契機となった。エネルギー価格の高騰は、消費者から生産者への巨額の富の移転をもたらし、石油は2014年の水準に戻ったものの、天然ガスは全く前例がない状況である。燃料価格の高騰は、世界の平均発電コストの上昇の9割を占め、天然ガスだけでも半分以上を占める。再生可能エネルギーとCO₂のコストはわずかな役割しか果たしておらず、これはまさに危機であり、エネルギー転換がもはや問題ではなく、解決策であることを強調している。

また、経済的圧力によって、近代的エネルギーにアクセスできない人々が10年ぶりに増加している。最近電気を利用できるようになった約7500万人の人々は、電気代を払えなくなる可能性があり、1億人が従来のバイオマスを使った調理に戻る可能性がある。このエネルギー危機がどのように発展し、いつまで化石燃料の価格が高止まりするのかについては多くの不確実性が残り、またさらなるエネルギーの混乱と地政学的な分裂のリスクは依然高い。本報告書におけるすべてのシナリオにおいて、価格圧力と世界経済の短期的な見通しの暗さは、昨年の見通しよりもさらにエネルギー需要の減少に影響している。このエネルギー危機は、消費者が高価格のガスに替わるものを求めて争うため、石油と石炭の需要を短期的に押し上げるが、この危機から得られる持続的な恩恵は、低排出源、主に再生可能エネルギー、場合によっては原子力にもたらされ、また効率化や電気自動車などの電化の進展も早まると見込まれる。

公表政策シナリオ(STEPS)では、2030年までの世界のエネルギー需要の伸びを年1%程度とし、

それをほぼ全面的に再生可能エネルギーが賄うと推定している。インドなどの新興国や開発途上国では、より広範な燃料と技術で増加が見られる一方、先進国では、2030年まで成長を続ける唯一のエネルギー源は低排出エネルギー源である。成熟したクリーンエネルギー技術のコスト優位性と低排出水素などの新技術の見通しは、米国のインフレ抑制法、欧州のクリーンエネルギーへの推進力の高まり、その他の新しい主要政策によって後押しされる。その結果、新興の世界的なクリーンエネルギー経済が加速される。石炭需要は今後数年でピークに達し、天然ガス需要は10年後までに頭打ちになる。そして石油需要は2030年代半ばにピークを迎え、その後わずかに減少する。世界のエネルギーミックスにおける化石燃料の割合は、現在の割合から2030年までに75%未満に低下し、今世紀半ばまでに60%強まで低下する。発表誓約シナリオ(APS)では、気候誓約を完全に達成するために、2030年までにすべての化石燃料の需要が減少する。ロシアは、最大の輸出先である欧州を失うことで、国際的なエネルギー問題において役割が大幅に減少する見通しに直面しており、2021年に30%であった国際取引されるガスのシェアは、STEPSでは2030年までに15%、APSでは10%に低下する。

エネルギー関連のCO₂排出量は2021年に36.6Gtにリバウンドし、過去最大の年間排出量の増加となった。STEPSでは、37Gt付近で横ばいとなり、その後ゆっくりと減少し、2050年には32Gtとなる。これは、2100年までに世界の平均気温が2.5℃上昇する軌道である。APSでは、排出量は2020年代半ばにピークを迎え、2050年には12Gtまで減少し、その結果、2100年の世界の気温上昇の中央値は1.7℃になると予測される。2050年までのネットゼロエミッション(NZE)シナリオでは、CO₂排出量は2030年に23Gt、2050年にゼロになり、2100年の気温上昇を1.5℃未満に抑制することと矛盾しない軌道を描く。各シナリオに共通するポイントは、世界の最終エネルギー消費に占める電力の割合が高まっていることである。これは現在の20%から各シナリオで増加し、NZEシナリオでは今世紀半ばまでに50%以上に達する。しかし、近年、世界はエネルギーに十分な投資を行っておらず、エネルギーシステムは2022年に見られたようなショックに対して遥かに脆弱になっている。スムーズで確実なエネルギー転換には、クリーンエネルギーへの投資を大幅に増やす必要があり、NZEシナリオを軌道に乗せるには、2030年までにクリーンエネルギーとインフラへの支出を3倍に増やすとともに、新興市場国と開発途上国への投資を大幅に増やす必要がある。

(3) エネルギー需要見通し

悲観的な経済見通しにより、今回の報告書では昨年版よりもエネルギー需要の伸びを低く予測している。エネルギー価格の高騰、エネルギー安全保障への懸念の高まり、気候関連政策の強化により、天然ガスはこの10年間の急速な成長に終焉を迎えつつある。天然ガスの年間需要の伸びは、2010年から2019年までの2.3%から、公表政策シナリオ(STEPS)においては、現在から2030年まで0.4%に減速する。石炭に関しては、天然ガス価格の上昇に伴い、一部の地域において電力や産業部門からの需要が一時的に急増するが、排出量削減の取り組みにより早期に石炭は再び減少に転じ、需要は10年間で現在より9%減少すると予想される。再生可能エネルギー、特に太陽光と風力発電は、この10年間であらゆるエネルギー源の中で最大の伸びを示し、再生可能エネルギーの世界の発電量に占めるシェアは、現在の28%から2030年には43%を占める。石油需要に関しては2030年まで年率0.8%で増加するが、電気自動車や効率化により間もなく日量約1億300万バレルのピークを迎える。

先進国におけるこの10年間のクリーンエネルギー開発の加速の傾向は、新たな政策パッケージや政府の計画・目標、特にインフレ抑制法(米国)、GX グリーントランスフォーメーション(日本)などによって

方向性が定められつつある。全ての国のエネルギーと排出量目標が達成されるわけではないが、先進国では STEPS で初めて、2030 年までにすべての化石燃料の需要が減少する。新興国と開発途上国では、化石燃料の需要は、特にアジアの天然ガスに対して、昨年版の STEPS よりも緩やかに増加する。化石燃料需要の伸びの鈍化は中国が主導しており、経済成長の鈍化と政策努力により、この 10 年間で排出量のピークを迎えると見込まれる。

発表誓約シナリオ(APS)では、WEO2021 以降のインドとインドネシアによる発表を含め、各国のネットゼロエミッション誓約の達成を前提として、2030 年までに STEPS よりもさらに化石燃料の使用量が減少する。すべての部門で STEPS と比較して電化とエネルギー効率の進展が加速し、輸送・建築部門では EV と電気暖房の加速が顕著となる。また、再生可能エネルギーは電力部門で急速に増加し、2030 年までに発電量の 50% 近くを占める。STEPS のエネルギー関連の排出量は、今後 2 年間増加し続けるが、2020 年代半ばに減少に転じ、2030 年の排出量は 36.2Gt まで減少、現在のレベルをわずかに下回ると推定される。APS では、この 10 年間で排出量を大幅に削減することを目標に、各国政府が早期に野心的な行動をとり、2030 年までに 31.5GtCO₂ までさらに削減すると想定する。APS では、民間部門が重要な役割を果たしており、鉄鋼、セメント、航空、海運の部門全体のイニシアチブを含め、約 800 社がネットゼロエミッションの達成を誓約している。但し、APS の行動でさえ、2050 年までのネットゼロエミッション(NZE)シナリオで必要とされる対策には大きく及ばない状況である。

開発途上国では、高価格とインフレにより、近代的なエネルギーへの普遍的なアクセスに向けた進展が遅れている。電気のない人々の数は、2022 年に数十年ぶりに増加する可能性がある。サハラ以南のアフリカでの後退は、2013 年以降になされたほぼすべての進展を消し去る恐れがある。また、液化石油ガス(LPG)の価格高騰により、調理に LPG を使用していた約 1 億人の人々が、従来の燃料に戻る可能性がある。APS はさらなる進展を予測しているが、関連する国レベルのアクセス目標をすべて達成しても、2030 年までに電気とクリーン調理の両方でユニバーサルアクセスを実現するための道程の半分しか達成できないと見込む。

今日、約 50 億人が冷房を必要とする地域で生活しているが、先進国を中心にエアコンを設置している世帯は 3 分の 1 程度にとどまっている。2050 年には地球温暖化と人口増加により、冷房を必要とする人々の数は 70 億人に膨らみ、エアコン台数が現在の 15 億台から 2050 年までに 44 億台に増加する。その需要の増加の 90% は新興国と開発途上国が占める。APS では、エアコンの効率改善と建物でのパッシブ冷房化により、需要の伸びが 50% 以上削減される。石油需要のピークは、主に EV の普及が進んだ結果、STEPS の 2030 年代半ばから APS の 2020 年代半ばに早まる。APS では、EV は 2030 年までに世界の自動車販売の 35% 以上を占め、中国、EU、米国では販売の 50% 以上を占める。その結果、2030 年の電気自動車市場は 2021 年の 6 倍になる。これは、36 か国で内燃機関車を段階的に廃止する目標と、主要メーカーが EV 生産に軸足を移す計画であることを反映している。

(4) 電力の見通し

世界の電力需要は、2030 年までに公表政策シナリオ(STEPS)では 5,900TWh 増加、発表誓約シナリオ(APS)では 7,000TWh 以上増加し、これは米国と EU の現在の需要水準を足したものに相当する。先進国では、輸送が電力需要の増加に最も大きく貢献し、電気自動車の市場シェアは 2021 年の約 8% から、2030 年までに STEPS で 32%、APS で約 50% に上昇する。新興国と開発途上国では、人口増加と冷房需要の増加が電力需要の増加に寄与する。中国では、エアコンの保有台数が

2030年までに STEPS と APS で、現在の水準から約 40% 拡大する。電力は、全ての経済圏において最終エネルギー消費量全体に占める割合が増加する。世界の 2050 年の電力需要は、現在よりも STEPS で 75%、APS で 120%、NZE で 150%、それぞれ上昇する。近年、電力部門での石炭の利用は、旺盛な需要と天然ガス価格の高騰、エネルギー安全保障上の懸念に伴い多くの国で増加しているが、これは一時的なものと予想される。STEPS でも、太陽光・風力を中心とした再生可能エネルギーの成長を反映して、排出削減対策なしの石炭の発電量の割合は 2021 年の 36% から 2030 年には 26%、2050 年には 12% に減少する。APS では、83 か国と EU のネットゼロエミッション目標などの誓約が計画通り完全に達成されることにより、クリーンエネルギーへの移行が加速する。発電における再生可能エネルギーは、2021 年の 28% から 2030 年までに約 50%、2050 年までに 80% に増加する。削減対策なしの石炭は、2050 年にはわずか 3% に低下する。太陽光発電の設備容量の追加は、2021 年の 151GW から 2030 年には 370GW、2050 年にはほぼ 600GW に拡大し、風力発電の設備容量は 2030 年に 210GW に倍増し、2050 年には 275GW に増加する。

電力システムは昨年、手頃な価格と安全保障に対する多くの課題に直面した。市場の状況とエネルギー危機により、2022 年には世界の平均電力供給コストがほぼ 30% 上昇すると試算している。EU は、2022 年上半期の電力卸売価格が前年比 3 倍に上昇したため、特に大きな圧力に直面している。これは主に記録的な天然ガス価格の高騰によるものであるが、石炭と石油価格の上昇も反映しており、原子力と水力発電の稼働率低下が拍車をかけた。エネルギー使用量の削減、燃料価格の引き下げ、原子力の再稼働、市場設計の改革可能性など、すべて将来の救済の可能性に繋がる。熱波、干ばつ、異常気象等の気候関連リスクは、電力網に負担をかけ、世界中で停電を引き起こしている。

電力部門は 2021 年に 13Gt の CO₂ を排出し、世界のエネルギー関連の CO₂ 排出量の 3 分の 1 以上を占める。電力部門の CO₂ 排出量は、全てのシナリオで近い将来ピークに達し、2050 年までに STEPS で 40%、APS で 80% 以上削減される。NZE では、電力からの正味排出量は 2040 年までにゼロに達する。先進国では、電力部門の排出量は 2007 年以降減少しており、2021 年にはパンデミックからの回復により一時的に増加するも、STEPS で年間 5%、APS で 14% 減少する。新興国と開発途上国では、排出量はすぐにピークを迎え、その後、STEPS で年間 1% 以上、APS で年間 6% 減少する。電力部門への投資額は、2017-2021 年の年間平均 8,600 億米ドルから、2022-2050 年には STEPS で約 1.2 兆米ドル、APS で 1.6 兆米ドル、NZE シナリオで 2.1 兆米ドルに増加する。

電力部門に関連する重要な鉱物需要は、再生可能エネルギー、バッテリー貯蔵、ネットワークの導入の進展により、STEPS で 2021 年の年間 7 Mt から 2030 年には 11 Mt、2050 年には 13 Mt に達すると見られる。APS と NZE ではさらに速く成長し、2050 年までに年間 20Mt に達する。グリッド用の銅、太陽光発電用のシリコン、風力タービンモーター用のレアアース、バッテリー貯蔵用のリチウムが極めて重要であり、これらの鉱物は、エネルギーと電力の安全保障の重要な構成要素である。鉱物の使用量を減らし、主要な用途で鉱物を代替できるようにするためには、リサイクル、電気自動車用バッテリーの再利用、エンドユーザーのエネルギー効率化策とともに、更なる研究開発が必要である。

2.2 まとめ

2.1 の文献レビュー結果について、1.5°C 目標の動向や産業部門別（運輸分野、航空分野）の動向とといった観点からとりまとめた。

(1) 1.5℃目標の動向

COP27 では、全体決定「シャルム・エル・シェイク実施計画」において、2023 年までにパリ協定の 1.5℃目標に整合的な NDC を設定していない締約国に対して、目標の再検討・強化を求めること、「緩和作業計画」では、1.5℃目標達成の重要性、計画期間を 2026 年までとして毎年議題として取り上げ進捗を確認すること等が盛り込まれた。しかし、1.5℃目標達成のための緩和策強化については、基本的には前年の「グラスゴー気候合意」を踏襲・再確認する形にとどまった。中間地点の排出目標については、2030 年までに GHG 排出を 2019 年比 43%削減する努力に野心的に取り組むことが明示された。

IPCC 第6次評価報告書では、世界平均気温は、すべての排出シナリオの下で、少なくとも今世紀半ばまで上昇し続け、向こう数十年の間に CO₂ 及び他の温室効果ガスの排出が大幅に減少しない限り、21 世紀中に 1.5℃及び 2℃の地球温暖化を超えるとの評価結果を示している。また、排出削減の結果（想定シナリオ）によっては、過去 300 万年以上前例のない世界平均気温の領域に到達する可能性も指摘されている。

UNEP により発表された「Emission Gap Report 2022」では、約束された排出量削減目標と、パリ協定目標を達成するために必要とされる排出量削減目標のギャップを詳細に記しており、各国に対して、2030 年 NDC の見直し及び増強が要求されているにも関わらず、COP26 以来の進展は非常に不足していると分析している。また、地球温暖化を 2.0℃以下、1.5℃以下に抑えるための軌道に乗せるためには、現行政策の予測と比較して、世界の GHG 排出量をそれぞれ 30%、45%削減する必要がある。反対に、現在の無条件 NDC の気候変動緩和努力を継続すれば、今世紀中の温暖化を約 2.6℃に抑えられると予測され、条件付き NDC に向けた努力継続の場合は、これらの予測は約 0.2℃低くなり、約 2.4℃となるとした。しかし、現行政策は、無条件の NDC を満たすのにさえ不十分であるため、現行政策を継続すると、約 0.2℃高い 2.8℃の気温上昇に陥るという予測結果を示している。希望的観測としては、ネットゼロの公約を完全に実施すると仮定した場合のみパリ協定の気温目標に近づき、無条件の NDC に加えてネットゼロ目標を達成すると地球温暖化を 1.8℃に抑えられると分析している。

IEA による「World Energy Outlook 2022」では、エネルギーの需給や技術開発に関する見通しなどを主に示し、ロシアのウクライナ侵攻により現在世界は過去経験のないエネルギー危機の最中にあるが、この危機はよりクリーンかつ安定的なエネルギー構造に向けた歴史的な転換点になると述べている。その中で、石炭の使用は今後数年間のうちに減少に転じ、天然ガスの需要は10年後に頭打ち、石油需要は2030年代半ばに横ばいになるとの見通しを示す一方で、今日の野心と1.5℃目標には依然大きな隔たりが存在すると指摘している。

(2) 産業部門別の動向

IPCC 第6次評価報告書の第3作業部会にて、産業界・経済界における緩和について触れており、全ての部門において排出量を直ちにかつ大幅に削減しない限り、工業化前比の気温上昇を 1.5℃に抑えることは不可能であるとする一方で、気候変動対策の行動・エビデンスは増加しているとした。第3作業部会報告書の第10章では、運輸部門に焦点を当て、世界全体の CO₂ 排出量の23%を占める運輸部門がドラスティックな変化をすることが、1.5℃目標を達成する為には不可欠であることを明示している。近年においては、特に航空及び海運分野からの排出量増加が著しい状況であり、航空部門からの排出量は、過去 20 年間、年間約 2.5%の割合で着実に増加しているが、2010 年から 2018 年にかけて

は、その割合は年間約 4%にまで上昇したと示されている。航空分野における GHG 削減ポテンシャルの高い技術的、政策的、社会的方策として航空機体の性能向上、航行の運用改善、代替バイオ燃料・合成燃料・液体水素、市場メカニズムを用いた緩和策、高速鉄道へのモーダルシフトが挙げられている。

ICCT による報告書「VISION2050」では、航空分野に焦点を当て、今後の動向について分析している。本報告書では、3つの脱炭素シナリオと6つの指標(①交通、②航空機体技術、③運航、④ZEPs、⑤SAF、⑥経済インセンティブ)を用いて評価しているが、全てのシナリオにおいて航空分野からの CO2 排出量は2050年までに2019年比9%~94%減少すると見込まれている。減少要因は、持続可能な SAF の活用や新しい航空機体と運用効率の改善、多くを液体水素により稼働する ZEPs の導入などとしている。本報告書の見解としては、最も野心的なシナリオでは航空分野のカーボンバジェットが増加しなかったと仮定した場合、気温上昇1.75℃が達成可能であるが、公共政策によって後押しされた大々的な投資が必要不可欠であり、航空機からの CO2 の排出は遅くとも2030年までにピークアウトしなければならないと述べている。また、航空分野は、液体化石燃料に過度に依存した脱炭素化が難しいセクターとして認識されており、1.5℃目標を達成するためには、航空分野外からのアクション及び劇的な交通量の減少が求められると結論付けている。

3. 航空技術・運航技術・SAF を含む燃料に係る検討

LTAG-TG においては、2070 年までを見据え、需要予測並びに航空技術、運航技術及び燃料 (SAF 等)の対策による削減効果の定量化が行われた。我が国として導入可能と考えられる対策を整理するため、2022 年 3 月に公開された ICAO LTAG 報告書(LTAG Report)の付録 3 航空技術 (Appendix M3 Technology)、付録 4 運航(Appendix M4 Operation)、付録 5 燃料 (Appendix M5 Fuels)を分析した。また、ICAO における 2022 年秋の総会決議の動向や結果についても整理を行った。

《デスクリサーチ》

- 国際民間航空機関(ICAO)「LTAG 報告書」(2022 年 3 月)
 - 付録 M3 航空技術(2022 年 3 月)
 - 付録 M4 運航(2022 年 3 月)
 - 付録 M5 燃料(2022 年 3 月)
- ICAO 総会(2022 年 9 月)

3.1 ICAO LTAG 報告書

ICAO LTAG 報告書を概観したうえで、付録 3 航空技術、付録 4 運航、付録 5 燃料のレビューを行った。

3.1.1 ICAO LTAG 報告書の概要

ICAO LTAG (国際航空 CO2 排出削減のための長期的意欲目標: Long term global aspirational goal for international aviation)とは、第 41 回 ICAO 総会(2022.9~10)において、UNFCCC パリ協定の気温目標を支持し、採択された、2050 年までに国際航空 CO2 排出量をネットゼロにするという長期的意欲目標のことである。

LTAG は、個々の国に対して、排出削減目標という形で特定の義務やコミットメントを課していない。その代わりに、各国の特殊状況や能力(例えば、発展レベル、航空市場の成熟度、国際航空の持続的成長等)が、各国のタイムフレーム内で LTAG に貢献する能力を示すと認識。各国は、社会的、経済的、環境的に持続可能な方法で、自国の状況に応じて目標達成に貢献することとされている。

LTAG 報告書とは、第 40 回 ICAO 総会(2019.10)において LTAG の実現可能性を探るよう要請を受け、ICAO 航空機環境保全委員会(CAEP)が設置した LTAG タスクグループ 280 名以上の専門家による約 2 年間の検討成果を取り纏められたものである。LTAG の分析の背景、方法論、結果、解釈について説明されており、透明性と包括性のために、モデリングアプローチ、方法論、モデル、仮定、結果に関するより詳細な情報を提供する付録のセットも用意されている。

ICAO LTAG 報告書の構成

本編

国際民間航空 CO2 排出削減のための長期的意欲目標(LTAG)の実現可能性に関する報告書

付録

付録 R1 サマリーシート

付録 R2 トレンドとの比較

付録 R3 文脈の中の結果

付録 M1 結果作成に使用したモデリング手法の概要

付録 M2 予測

付録 M3 航空技術

付録 M4 運航

付録 M5 燃料

付録 S1 気候科学の背景

付録 B1 背景

出所)ICAO ウェブサイト:“LTAG Report”,

<https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Pages/LTAGreport.aspx> より三菱総合研究所作成

(1) LTAG における CO2 排出量推計

LTAGでは、3つの統合シナリオ(IS1,IS2,IS3)について国際航空 CO2 排出量を推計している(図 3-1)。なお、前提となる航空交通量については、低位、中位、高位の3ケースが予測されているが、そのうちの中位ケースが適用されている。

- IS1: 残留 CO2 排出量は 2050 年約 950MtCO₂(2019 年比 1.6 倍)、2070 年 1420MtCO₂(同 2.3 倍)
 - 2050 年排出量はベースライン(IS0)の 39%減、うち航空技術 20%、運航技術 4%、燃料 15%
 - 燃料効率は 2050 年まで年率 1.20~1.31%改善
- IS2: 残留 CO2 排出量は 2050 年約 495MtCO₂(2019 年比 0.8 倍)、2070 年 600MtCO₂(同 1.0 倍)
 - 2050 年排出量はベースライン(IS0)の 68%減、うち航空技術 21%、運航技術 6%、燃料 41%
 - 燃料効率は 2050 年まで年率 1.35~1.47%改善。
- IS3: 残留 CO2 排出量は 2050 年約 200MtCO₂(2019 年比 3 分の 1)、2070 年 210MtCO₂(同 3 分の 1)
 - 2050 年排出量はベースライン(IS0)の 87%減、うち航空技術 21%、運航技術 11%、燃料 55%
 - 燃料効率は 2035 年まで年率 1.42~1.60%改善、2050 年まで年率 1.55~1.67%改善

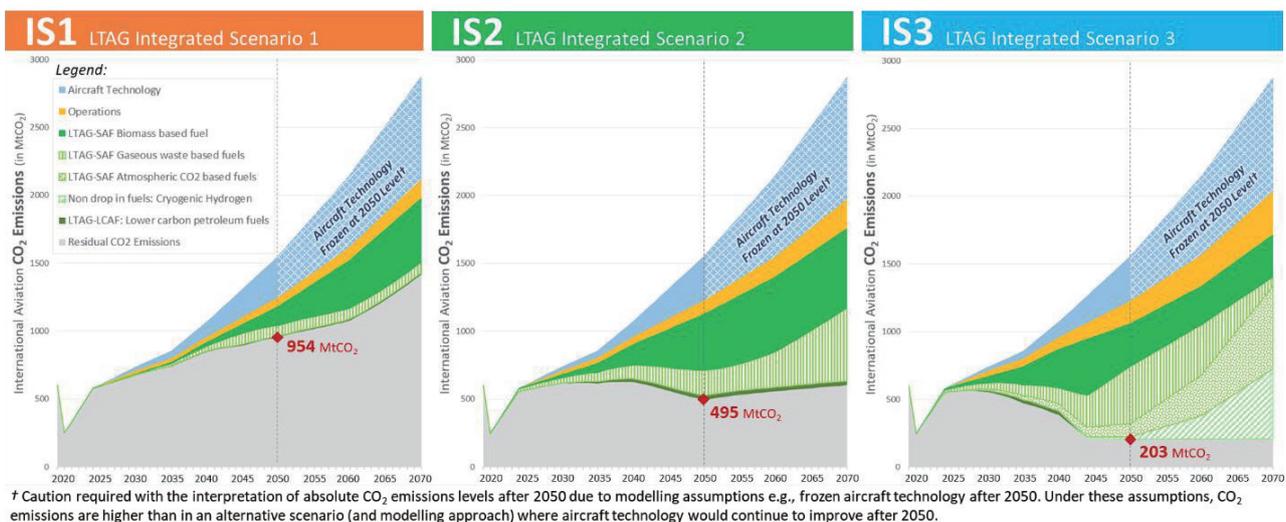


図 3-1 LTAG 統合シナリオ(IS1~IS3)における国際航空からの CO2 排出量

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M1 Overview of the Modelling Approaches」(2022 年 3 月), https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM1.pdf, 2022.10.7 閲覧より作成

(2) LTAG における 3 つの統合シナリオ(IS1～IS3)

LTAG における 3 つの統合シナリオ (IS1、IS2、IS3) の概要は以下の通りである。

- 統合シナリオ 1 (IS1) は、高い実現可能性と低い意欲
- 統合シナリオ 2 (IS2) は、中間の実現可能性と中間の意欲
- 統合シナリオ 3 (IS3) は、低い実現可能性と高い意欲

表 3-1 LTAG における 3 つの統合シナリオ (IS1～IS3)

	ベースライン	LTAG-TG シナリオ		
	統合シナリオ 0 (IS0)	統合シナリオ 1 (IS1)	統合シナリオ 2 (IS2)	統合シナリオ 3 (IS3)
概要	この凍結シナリオは、基準年に利用可能な現行技術を想定(フリート更新は反映)。技術や運用による追加的改善はなく、燃料(SAF)による排出量削減もない。	この低/名目シナリオは、現時点(2021年頃)で見込まれる技術進展、運用効率改善、燃料利用可能性の実現を想定。技術、運用、燃料に関する政策の実現も含む。	この意欲的シナリオは、他の 2 つのシナリオ(技術進展、運用効率改善、燃料供給増加)の中間的な位置付け。技術、運用、燃料に係る政策実現の高まりも想定。	この積極的/不確かなシナリオは、技術進展、運用効率改善、燃料供給の観点からの最大限の努力を想定。技術、運用、燃料に係る最大限の政策的支援も想定。
シナリオ種類	改善なしのベースライン(CAEP のトレンド)	トレンド+期待される改善(既存の CAEP トレンド分析に酷似)	トレンド+意欲的な改善	トレンド+積極的な改善
フリート進化	「フリート更新」、生産中の航空機の就航を成長・代替データベースに含む。	フリート進化(「CAEPトレンドのベースライン」と同じ)。追加技術、改良を後処理で実施。	フリート進化(「CAEPトレンドのベースライン」と同じ)。追加技術、改良を後処理で実施。	フリート進化(「CAEPトレンドのベースライン」と同じ)。追加技術、改良を後処理で実施。
航空技術 (T)	T0: 技術による追加的な排出削減なし(基準年レベルで凍結した技術)	T1: 現在のインフラを利用した先進の従来機	T2: インフラの変更が限定的な従来型および非従来型の先進的な機体/推進装置	T3: インフラを大幅に変更した従来型・非従来型の先進的な機体/推進力
運航技術 (O)	O0: 2025 年以降、オペレーションによる排出削減なし	O1: 保守的な運用効率化	O2: 中程度の運用効率化	O3: 高い運用効率化
燃料 (F) (SAF 等)	F0: 低炭素燃料 (SAF 等) による排出削減なし	F1: 期待される低炭素燃料の導入	F2: 中程度の低炭素燃料の導入	F3: 最大限の低炭素燃料の導入
コスト	なし	最も低い	中間	最も高い
努力水準	とても低い	低い	中間	高い

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M1 Overview of the Modelling Approaches」(2022 年 3 月), https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM1.pdf, 2022.10.7 閲覧より作成

長期予測	低	or	中	or	高
フリート構成	現在(2018年)残存するフリート	+	先進Tube & Wingsの導入		
フリートの参入と普及	ACA市場シェアなし				
機体構成	現在(2018年)の認証機		先進Tube & Wings(ATW)		
機体技術	現在(2018年)のレベルの凍結された技術		T1 技術バスケット 2030/2040/2050		
運航技術	現在の能力で固定されたフライトと地上業務		O1: 低シナリオの運用想定		
インフラ	新しい成長のみに対応するため逐次変更		効率化対応に必要な変更		
燃料	従来型ジェット機用A-1燃料		F1: ドロップイン燃料の利用可能性 (SAF & LCAF)		

図 3-2 IS1 シナリオ(インフラを変更しない ATW)

長期予測	低	or	中	or	高
フリート構成	現在(2018年)残存するフリート	+	先進Tube & Wingsの導入	+	限られたインフラ変更でACAを導入
フリートの参入と普及	低いACA市場シェア	or	中程度のACA市場シェア	or	高いACA市場シェア
機体構成	現在(2018年)の認証機		先進Tube & Wings(ATW)	ACA機体 ACA推進(ドロップイン)	ACA(機体+推進) (ドロップイン)
機体技術	現在(2018年)のレベルの凍結された技術		T1 技術バスケット 2030/2040/2050	T2 技術バスケット 2030/2040/2050	
運航技術	現在の能力で固定されたフライトと地上業務			O2: 中シナリオの運用想定	
インフラ	新しい成長のみに対応するため逐次変更		効率化対応に必要な変更	代替機のために必要なマイナーチェンジ	
燃料	従来型ジェット機用A-1燃料			F2: ドロップイン燃料の利用可能性の向上	

図 3-3 IS2 シナリオ(ATW とインフラが限定的な ACA)

長期予測	低	or	中	or	高		
フリート構成	現在(2018年)残存するフリート	+	先進Tube & Wingsの導入	+	限られたインフラ変更でACAを導入	+	大幅なインフラ変更を伴うACA導入
フリートの参入と普及	低いACA市場シェア	or	中程度のACA市場シェア	or	高いACA市場シェア		
機体構成	現在(2018年)の認証機	先進Tube & Wings(ATW)	ACA機体 ACA推進(ドロップイン)	ACA(機体+推進) (ドロップイン) ACA推進 (ノンドロップイン)	ACAコンビネーション (機体+推進) (ノンドロップイン)		
機体技術	現在(2018年)のレベルの凍結された技術	T1 技術バスケット 2030/2040/2050	T2 技術バスケット 2030/2040/2050	T3 技術バスケット 2030/2040/2050			
運航技術	現在の能力で固定されたフライトと地上業務			O3:高シナリオの運用想定			
インフラ	新しい成長のみに対応するため逐次変更	効率化対応に必要な変更		代替機のために必要な大規模な変更			
燃料	従来型ジェット機用A-1燃料			F3:ドロップイン燃料の普及	F3: ノンドロップイン代替燃料		

図 3-4 IS3 シナリオ(ATW とインフラを大きく変える ACA)

注)ATW:先進チューブ・アンド・ウィング航空機 ACA:先進コンセプト航空機 SAF:持続可能な航空燃料 LCAF:低炭素化石燃料
 技術バスケット:複数技術
 出所)ICAO「LTAG Report Appendix M1 Overview of the Modelling Approaches」(2022年3月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM1.pdf,
 2022.10.7 閲覧より作成

(3) LTAG における航空技術シナリオ(T1~T3)

LTAG における 3 つの航空技術シナリオ(T1~T3)の概要は以下の通りである。

- 航空技術シナリオ T1 は、先進チューブ・アンド・ウィング航空機(ATW)
- 航空技術シナリオ T2 は、先進コンセプト航空機(ACA)、ドロップイン燃料(HWB 機等)
- 航空技術シナリオ T3 は、先進コンセプト航空機(ACA)、非ドロップイン燃料(電動航空機・水素航空機等)

表 3-2 LTAG における航空機技術シナリオ(T1~T3)

	統合シナリオ 0 (IS0)	統合シナリオ 1 (IS1)	統合シナリオ 2 (IS2)	統合シナリオ 3 (IS3)
航空技術 (T)	T0:新規航空機(代替機、増設機)は 2018 年レベルで凍結(現在認証中の製品を含む)	T1:先進チューブ・アンド・ウィング航空機(ATW):従来型の航空機体・推進力構造の性能向上 ドロップイン燃料	T2:先進コンセプト航空機(ACA):現状の航空機体・推進力構造の大幅変更による性能大幅向上 ドロップイン燃料	T3:先進コンセプト航空機(ACA):現状の航空機体・推進力構造の大幅変更による性能大幅向上 非ドロップイン燃料 空港とその周辺で大規模なインフラ変更が必要 電動航空機、水素航空機

出所)ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022 年 3 月), https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf, 2022.10.7 閲覧より作成

ハイブリッド・ウィング・ボディ航空機(HWB)



ボックス結合翼航空機



電動航空機



水素航空機



図 3-5 代表的な ACA の例

出所)ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022 年 3 月), https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf, 2022.10.7 閲覧より作成

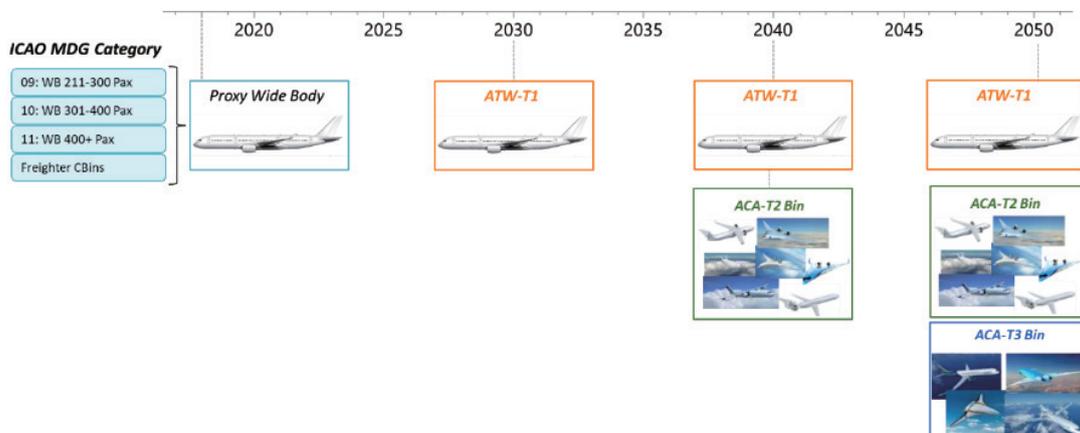


図 3-6 航空技術シナリオ(T1~T3)の機体および投入時期イメージ(WB の例)

出所)ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022 年 3 月), https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf, 2022.10.7 閲覧より作成

(4) LTAG における運航技術シナリオ(O1~O3)

LTAG における 3 つの運航技術シナリオ(O1~O3)の概要は以下の通りである。

- 運航技術シナリオ O1 は、保守的な運用効率化
- 運航技術シナリオ O2 は、中程度の運用効率化
- 運航技術シナリオ O3 は、積極的な運用効率化

表 3-3 LTAG における運航技術シナリオ(O1~O3)

	統合シナリオ 0 (IS0)	統合シナリオ 1 (IS1)	統合シナリオ 2 (IS2)	統合シナリオ 3 (IS3)
運航技術 (O)	O0: 2025 年以降、オペレーションによる排出削減なし (ASBU ブロック 0 と 1 の実施)	O1: 保守的な運用効率化 システムや技術への投資減少・遅れによる施策実施率・範囲の保守的想定 HFE、VFE、GFE を最適化するための ASBU 要素の低い展開率	O2: 中程度の運用効率化 既存の経験則や新規施策の経験則に沿った排出削減と運用効率化 HFE、VFE、GFE を最適化するための ASBU 要素の中程度の展開率 IFE、AFE を最適化するための運用施策の低い展開率	O3: 積極的な運用効率化 システムや技術への投資増加・加速による施策実施率・範囲の積極的想定 HFE、VFE、GFE を最適化するための ASBU 要素の高い展開率 IFE と AFE を最適化するための運用施策の中程度の展開率

注) ASBU:航空システムブロックアップグレード, HFE:水平飛行効率, VFE:垂直飛行効率, GFE:地上飛行効率, IFE:革新的飛行効率, AFE:高度な飛行効率

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M4 Operations」(2022 年 3 月), https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM4.pdf, 2022.10.7 閲覧より作成

表 3-4 LTAG による運航技術対策と燃費削減率・普及率・費用負担主体シナリオ

施策	燃料節約 (%/便)	普及率(地域別全便当たり)						費用負担主体			
		2020	2030	2040	2050	2060	2070	ATC	サプライヤ	航空会社	空港
動的セクター分割	0.058 ~ 0.078	0%	25%	35%	45%	55%	65%	○	—	—	—
機内余分な燃料の削減	0.217 ~ 0.239	5%	25%	50%	75%	100%	100%	—	—	—	—
運用のベストプラクティス-重量最小化	0.650 ~ 0.850	50%	75%	85%	95%	100%	100%	—	○	○	—
イントレイルプロシージャ(ITP)	0.650 ~ 0.870	33%	65%	85%	100%	100%	100%	○	—	○	—
隊列飛行	3.300 ~ 7.100	0%	3%	3%	15%	30%	30%	○	—	○	—
航空会社燃料管理システム	1.000 ~ 2.000	0%	5%	10%	15%	20%	25%	—	—	○	—
最適化滑走路誘導支援ツールと到着便間隔天候依存分離の削減	0.511 ~ 0.758	0%	25%	50%	100%	100%	100%	○	—	—	—
最適化分離誘導支援と出発便間隔天候依存分離の削減	0.038 ~ 0.189	0%	25%	50%	100%	100%	100%	○	—	—	—
幾何学的高度測定とRVSMフェーズ2	0.750 ~ 1.090	0%	0%	20%	30%	40%	100%	○	—	○	—
グローバル航空交通管理	0.020 ~ 0.053	0%	25%	50%	100%	100%	100%	○	—	—	—
海洋/遠隔地向けの衛星ベースのVHF	0.000 ~ 0.000	0%	100%	100%	100%	100%	100%	—	—	—	—
電動タグ着脱式航空機牽引装置	0.470 ~ 0.800	?	10%	30%	80%	100%	100%	—	—	○	○
APUシャットダウン	2.100 ~ 2.300	10%	30%	60%	100%	100%	100%	—	—	—	○
メンテナンス-技術関連の航空機メンテナンスと改造の違い	0.200 ~ 1.900	30%	50%	70%	100%	100%	100%	—	—	○	—

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M4 Operations」(2022 年 3 月), https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM4.pdf, 2022.10.7 閲覧より作成

(5) LTAG における燃料シナリオ(F1~F3)

LTAG における 3 つの燃料シナリオ(F1~F3)の概要は以下の通りである。

- 燃料シナリオ F1 は、予期される低炭素燃料の導入
- 燃料シナリオ F2 は、中程度の低炭素燃料の導入
- 燃料シナリオ F3 は、最大限の低炭素燃料の導入

表 3-5 LTAG における燃料シナリオ(F1~F3)

	統合シナリオ 0 (IS0)	統合シナリオ 1 (IS1)	統合シナリオ 2 (IS2)	統合シナリオ 3 (IS3)
燃料(F) (SAF 等)	F0: 低炭素燃料 (SAF 等)による排出削減なし	F1: 予期される低炭素燃料の導入 低炭素燃料(SAF, LCAF)の排出量削減は 低い ASTM はジェット燃料混合率 50% 利用を認証 陸上輸送と航空は代替燃料利用で競合 SAF, LCAF 生産のインセンティブは 低い 技術革新により、廃ガス(CO, CO2)を SAF に、原料に油糧種子被覆作物を利用。SAF, LCAF 生産にブルー/グリーン水素を利用	F2: 中程度の低炭素燃料の導入 低炭素燃料(SAF, LCAF)の排出量削減は 中程度 ASTM は 100% 合成ジェット燃料利用を認証 陸上輸送の電化が進み、 SAF の取得率が高まる SAF, LCAF 生産のインセンティブが 高まり コストが低下 SAF, LCAF 生産にブルー/グリーン水素利用が普及。 炭素捕捉利用貯蔵(CCUS) 利用が普及。	F3: 最大限の低炭素燃料の導入 低炭素燃料(SAF, LCAF)の排出量削減は 高い ASTM は 100% 合成ジェット燃料利用を認証 経済全体の脱炭素化、陸上輸送の電化が進み 再エネが普及 インセンティブが 大きく 低排出航空燃料の利用が普及 SAF 生産に 大気中 CO2 利用 が普及・原材料調達増加、 CCUS 普及 、航空機で 極低温水素 利用可能 非ドロップイン燃料利用可能な空港が世界に 拡大

3.1.2 付録 M3 航空技術の概要

ICAO 環境委員会(CAEP)LTAG グループ内の技術サブグループでは、2050 年までの機体、推進システム、エネルギー貯蔵を含む先進コンセプトの将来の進化技術について、特に CO2 排出量に焦点を当てた評価をしている。なお、技術レベルについては 2050 年以降の凍結が想定されているが、市場シェアについては時間枠を超えて 2070 年までの変化が想定されている。

(1) 背景・目的

技術サブグループでは、CO2 削減ポテンシャルの評価の方法として、①技術参照航空機(TRA; Technology Reference Aircraft)の作成、②先進チューブ・アンド・ウィング航空機(ATW; Advanced Tube and Wing)の評価、③先進コンセプト航空機(ACA; Advanced Concept Aircraft)の評価、④フリート全体のモデリングとコスト評価の 4 つの主要なステップを踏んでいる。

航空機に利用可能な技術的改善のレビューを実施し、5 つの TRA における 2050 年 CO2 排出量の削減は 2019 年比で約 30~40%の範囲で実現可能であるとしている。ACA は代替エネルギーの有無にかかわらず 2035 年までに推進される可能性があり、電動航空機や水素燃料航空機はどちらも CO2 削減に貢献できる一方、通電から可能な炭素還元は炭素強度に大きく依存し、水素からの炭素還元は水素に用いる製造方法の炭素強度に大きく依存することになる。

これらの整理をするため、技術サブグループでは、機体、推進、先進コンセプト及びエネルギー貯蔵、機材影響評価、モデリング及びシミュレーションの 5 つの専門グループが形成されている。

(2) 技術参照航空機(TRA)

2018 年に運航中の機体の主要クラスから汎用型航空機カテゴリの座席容量で定義している。航空宇宙産業協会の国際調整評議会の指導の下、各クラスに適合する基準航空機を決定した。

● ビジネスジェット機(BJ)	≤20 席	想定 G650ER
● ターボプロップ機(TP)	20-85 席	想定 DHC Dash 8-400
● リージョナルジェット機(RJ)	20-100 席	想定 E190E2
● ナローボディ機(NB)	101-210 席	想定 A320neo
● ワイドボディ機(WB)	>210 席	想定 A350-900

技術の影響を評価するため、燃料燃焼、NOx 排出量、騒音指標を単一のフレームワークで予測できる環境デザインスペースを使用し、同時マルチデザインポイント方式を使用してエンジンサイクルを生成する。また、エンジン解析と機体解析の両方に物理的な性能上の制約を組み込み、結果のモデルが実現可能な設計であることを確認する。

環境デザインスペースでシミュレートした TRA は公有のデータに基づいており、宇宙産業協会の国際調整評議会からのフィードバックに基づいて検証され、2030 年、2040 年、2050 年の特定の航空機に技術領域の影響を適用できる 5 つの TRA を得ることができた。それぞれについて、ペイロード、航続距離、乗客数、巡航マッハ数、巡航高度に関してベースライン TRA に使用される値はこのレポートで詳しく説明されている。

(3) 先進チューブ・アンド・ウィング航空機(ATW)の評価

1) 評価方法

TRA のベースラインを設定したのち、ATW が時間枠 2030 年、2040 年、2050 年ごとに 7 つのフェーズからモデル化される。

- 第 1 フェーズ： 乗客クラスに基づき概念的な TRA を選択し、各時間枠における航空機の性能を評価する比較のためのベースラインとして使用する。
- 第 2 フェーズ： 航空機モデルの調整が環境デザインスペースで実行され、将来の技術への影響がベースライン ATW に適用される。
- 第 3 フェーズ： 技術への影響を 4 つのカテゴリで特定する。
- 第 4 フェーズ： 実験計画手法を使用して技術の影響を環境デザインスペースに実装し、代理モデルを作成する。
- 第 5 フェーズ： 機体レベルのメリットが定量化される。各時間枠における最大離陸重量と燃料燃焼量の予測が含まれる。
- 第 6 フェーズ： 機体レベルの結果を将来の技術と機体シナリオに投影し、各時間枠のフリート普及率を評価する。
- 第 7 フェーズ： 技術の成熟と導入のためのコスト見積もり、投資要件を概算する。

2) 評価結果

ATW 評価手法では、技術の進捗度に係る 3 つのシナリオ(低進捗、中進捗、高進捗)別に最大離陸重量(MTOM)、利用可能トンキロあたりの燃料燃焼量(FB/ATK)、2018TRA 比の燃料燃焼量変化率、2018TRA 比の燃料燃焼量年平均変化率、および過去 10 年前比の燃料燃焼量年平均変化率に係る結果が得られている。代表例としてワイドボディ機 ATW の評価結果は表 3-6 の通りである。

表 3-6 設計範囲における評価結果(WB の例)

時間枠	技術の進捗度	MTOM (kg)	FB/ATK (kg/ATK)	%FB/ATK 2018TRA 比	FB/ATK 年率 2018TRA 比	FB/ATK 年率 10 年前比
2018	TRA	280,000	0.1979			
2030	低進捗	276,585	0.1905	-3.73%	-0.32%	-0.32%
	中進捗	267,442	0.1794	-9.35%	-0.81%	-0.81%
	高進捗	253,440	0.1648	-16.70%	-1.51%	-1.51%
2040	低進捗	268,138	0.1694	-14.38%	-0.70%	-1.17%
	中進捗	255,106	0.1543	-22.02%	-1.12%	-1.49%
	高進捗	240,933	0.1399	-29.30%	-1.56%	-1.63%
2050	低進捗	260,628	0.1561	-21.11%	-0.74%	-0.82%
	中進捗	247,160	0.1429	-27.76%	-1.01%	-0.76%
	高進捗	233,211	0.1304	-34.07%	-1.29%	-0.70%

出所)ICAO, "Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M3", 2022 年 3 月

ATW 評価結果として、ワイドボディ機(WB)を例とした3つの進捗度別 2018TRA 比の燃料燃焼量

変化率推移は図 3-7 の通りに示されている。この評価結果は、すべて航空技術の改善によってもたらされる航空機の燃料燃焼効率の改善に基づいている。すべての機体が同様の改善傾向に従っていることが観察されるが、機体クラス全体で結果を比較すると、小さな航空機クラス(TP、BJ、および RJ)の方が大きなクラス(NB および WB)よりも潜在的な改善率が低い結果となっている。

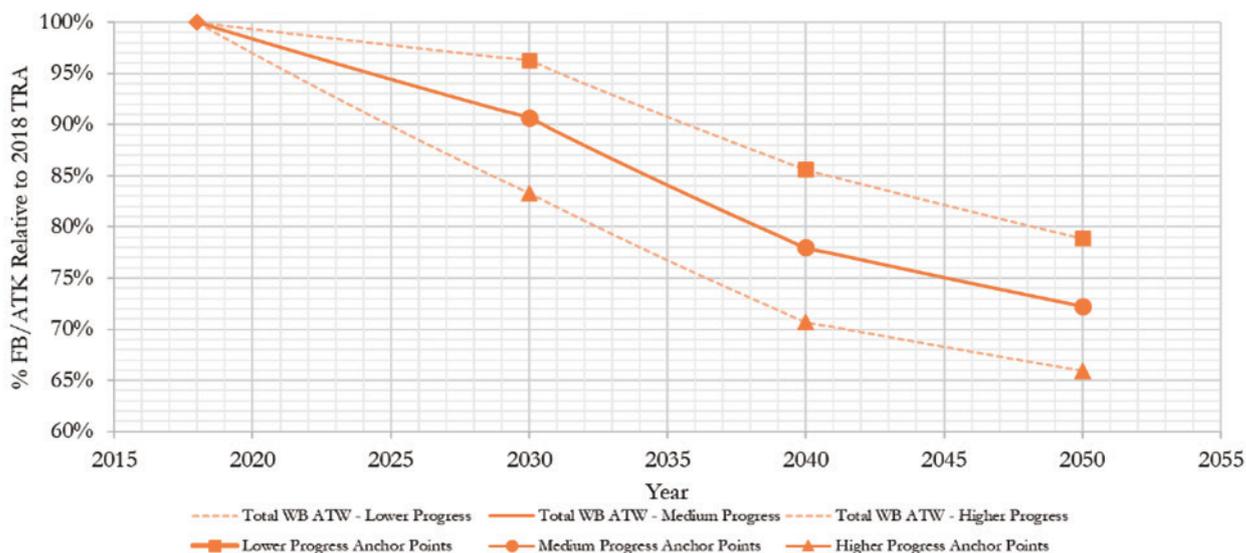


図 3-7 2018TRA 比の燃料燃焼量変化率(WB の例)

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M3”, 2022 年 3 月

(4) 先進コンセプト航空機(ACA)の評価

1) 評価方法

先進コンセプト航空機(ACA)は ATW のように定量的にモデル化されておらず、以下の通り定性的な方法論が用いられている。

- シナリオごとの潜在的利点に基づく構成/アーキテクチャスクリーニング
- 技術的および非技術的障壁の識別
- スコアカードによる高度な航空機コンセプトの評価
- 各機材クラスの代表的な航空機の識別
- 各機材クラスの利点定量化(同年 ATW と比較して)
- 技術および機材シナリオベースの予測(フリート普及)
- コスト見積もりと投資の定量化

まず、エネルギーも含む3つの技術シナリオとして、先進チューブ・アンド・ウィング航空機(T1-ATW)、先進コンセプト航空機・ドロップイン燃料(T2-ACA)、および先進コンセプト航空機・非ドロップイン燃料(T3-ACA)を位置づける。次に、各代表的な航空機構成の技術的障壁および非技術的障壁を識別する。次に、スコアカードを使用して ACA を評価し、準備状況・達成可能性・潜在的な利点について整理する。T2-ACA は代替アーキテクチャの機体および/または推進力(従来型またはドロップイン燃料)

の代表、T3-ACA は非ドロップイン燃料およびエネルギーの使用を特徴とする高度な機体および高度な推進力の代表で、主に水素またはバッテリー電気を使用する。

フリート分析では ATW を超えた代替アーキテクチャに段階的な変更を加えることに関連する利点と課題を分離する。各機材クラスについて、同じ年の ATW と比較して、低・中・高進捗別に燃料消費原単位(単位輸送トンキロあたりエネルギー消費 MJ/ATK)の変化の範囲が推定される。なお、ACA の燃料消費原単位は、使用される燃料種別とは無関係に推定されている。

最後に、2018-2070 年の ACA と ATW の航空機市場シェア予測が行われ、2050 年に導入される新技術からの潜在的なエネルギー消費削減を実現するために、さらに 20 年間のフリート評価が行われている。

2) 評価結果

各コンセプトの障壁の特定、さまざまな技術シナリオの下でのフリート普及率の決定、コスト見積もりなど、7 段階の手順で ACA の定性評価が実施されている。最速サービス開始時期に関するタイムラインや評判の良い文書の定性的なレビュー、多数のコンセプトの研究に基づいて、5 つの機材クラスすべての各時間枠について代表的な ACA が特定された。

- 航空業界を超えた主要なグローバルドライバーの組み合わせは、航空における ACA 主導のさらなる排出削減を提供するのに役立つ。
- ACA 関連の重要な研究開発は今後 10 年間に進行または計画されている。短期的なアプリケーションは、当初はより小型の航空機で計画されており、その後、大型の航空機に拡張される。大型航空機は炭素削減により多くの影響を与えるがサービス開始時期は遅くなる。
- ACA 関連の機材は、現時点で 2035 年までにサービス開始が可能と想定されている。ATW と比較して、構成ステップ変更により 5~15%の間の燃料消費原単位低減の可能性が想定されている。
- ACA は 2035 年までにサービス開始が可能と想定されているが、その実現可否はエネルギーインフラに大きく依存している。
- 電動航空機は、最初は利点は小さいが重要であり変化を扇動する。ハイブリッドシステムは重量と航続距離の課題のバランスをとる可能性が高い。電化による炭素削減の実現・普及は、世界中のローカルグリッドに大きく依存する。
- 水素燃料の航空機は技術的に達成可能であり、飛行中の CO₂ 排出量をゼロに削減する可能性があるが、非技術的な達成可能性の課題と商業的実行可能性がより大きな課題である。航空機の設計とミッション能力の取引は水素の特性のために影響を受け、エネルギー使用量は飛行中の CO₂ 排出量を減らすために増加する可能性がある。ライフサイクルの CO₂ 削減の利点は、水素の製造方法に大きく依存する。
- 2035 年までに変化は可能だが、ACA には大規模なデモンストレーションが必要となる。非ドロップイン燃料の場合、航空に利用可能なエネルギーインフラへの大幅な変更が必要となる。ビジネスモデルは、低炭素航空機の航続距離能力にも適応して変更する必要がある。

シナリオでは、ATW を超える 2 つの変革が想定されている。従来の燃料またはドロップイン燃料による代替アーキテクチャの機体および/または推進力の T2-ACA と、代替アーキテクチャの機体変更の有

無にかかわらず非ドロップイン燃料の使用を特徴とする高度な機体と高度な推進力の T3-ACA である。さらに、LTAG 分析のために 3 つの統合シナリオ(IS1, IS2, IS3)が定義され、各シナリオについて 5 つの機材クラスごとに 2018 年から 2070 年までの年間効率改善、航続距離とパイロード情報、新しい航空機市場シェアに関する情報が提示されている。

このレビューに基づき、各機材カテゴリの T1, T2 および T3 がいつフリートに加わるのか、最速サービス開始時期に関するタイムラインが予測されている。代表例として、ワイドボディ機(WB)の最速サービス開始時期は図 3-8 の通りである。ACA の定量評価には、5 つの機材クラスすべてについて対応年次の ATW に対するエネルギー効率上の利点が含まれるが、ワイドボディ機については、2035 年で T2-ACA のみの導入、2050 年で T2-ACA, T3-ACA の導入が予測されており、2035 年と 2050 年のエネルギー効率上の利点が示されている。なお、他の機材クラスでは 2040 年の時間枠も含まれている。表 3-7 では、エネルギー効率の予測が 3 つの進捗度別、年次別に示されている。これらのデータは、モデリング・データベース分析に必要な計算の基礎として使用される。

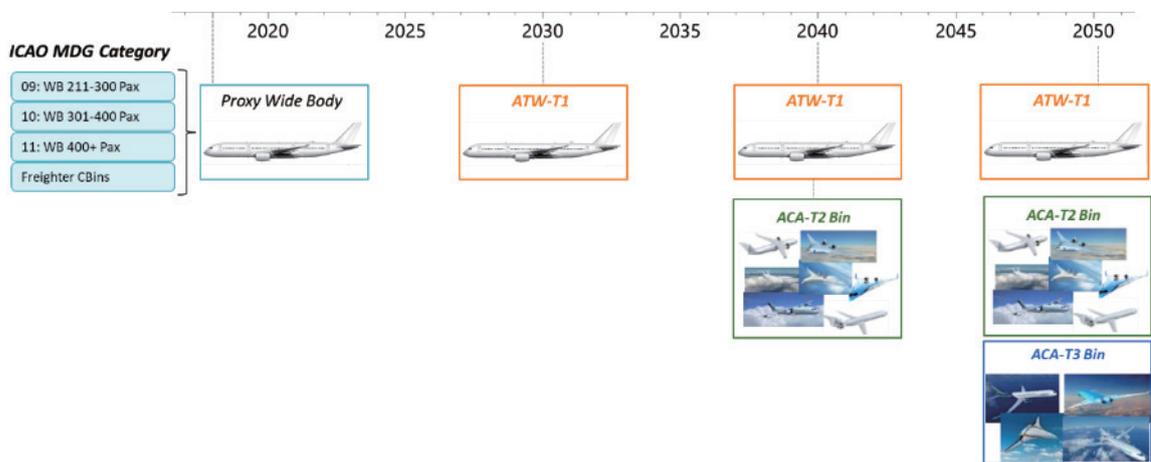


図 3-8 ACA の最速サービス開始時期(WB の例)

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M3”, 2022 年 3 月

表 3-7 ATW と比較した ACA のエネルギー効率の利点(WB の例)

技術シナリオ	技術の進捗度	2035 年(MJ/ATK)	2050 年(MJ/ATK)
T2	低進捗	-5%	-5%
	中進捗	-10%	-10%
	高進捗	-15%	-20%
T3	低進捗	-	+40%
	中進捗	-	0%
	高進捗	-	-10%

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M3”, 2022 年 3 月

(5) フリート全体のモデリングとコスト評価

将来のフリートの燃料需要と将来の航空機フリートミックスから、各時間枠の燃料消費原単位としてモデル化し、T1-ATW, T2-ACA および T3-ACA が将来のすべての時間枠での市場シェアが整理されている。なお、技術レベルについては 2050 年以降の凍結が想定されているが、市場シェアについては時間枠を超えて 2070 年までの変化が想定されている。

5つの機材クラスそれぞれについて、3つの技術シナリオ(T1-ATW、T2-ACA、T3-ACA)別の燃料消費原単位が示されている。技術の進捗度については、中進捗を中心に低進捗から高進捗の幅で示されているが、これは技術の進捗の不確実性を表している。例として、ワイドボディ機の燃料消費原単位と市場シェアを表 3-8～表 3-10 に示す。

表 3-8 年次別 2018 年 TRA 比の T1-ATW 燃料消費原単位(WB の例)

2018TRA 比の燃料消費原単位			ワイドボディ機			
			2018	2030	2040	2050-2070
T1	T1-ATW	低進捗	100.00%	96.27%	85.62%	78.89%
		中進捗		90.65%	77.98%	72.24%
		高進捗		83.30%	70.70%	65.93%

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M3”, 2022 年 3 月

表 3-9 同年の T1-ATW 燃料消費原単位に対する ACA 燃料消費原単位変化(WB の例)

同年 ATW に対する ACA 燃料消費原単位変化			ワイドボディ機			
			2018	2030	2040	2050-2070
T2	T2-ACA	低進捗			-5.00%	-5.00%
		中進捗			-10.00%	-10.00%
		高進捗			-15.00%	-20.00%
T3	T3-ACA	低進捗				40.00%
		中進捗				=ATW
		高進捗				-10.00%

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M3”, 2022 年 3 月

表 3-10 統合シナリオ別年次別の市場シェア(WB の例)

市場シェア		ワイドボディ					
		2018	2030	2040	2050	2060	2070
IS1	T1-ATW	100%	100%	100%	100%	100%	100%
IS2	T1-ATW	100%	100%	95%	50%	25%	0%
	T2-ACA			5%	50%	75%	100%
IS3	T1-ATW	100%	100%	95%	45%	10%	0%
	T2-ACA			5%	50%	50%	50%
	T3-ACA				5%	40%	50%

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M3”, 2022 年 3 月

データの傾向とフリートの変化を視覚化するため、関連する年のウェイポイントが作成されている。図 3-9、図 3-10 はワイドボディ機の例であり、ウェイポイントは 3 つの進捗度(低、中、高)別に 2050 年まで示されている。図中の数表には実際の燃料消費原単位と、2018 年 TRA 比に正規化されたパーセンテージが整理されている。図 3-11 は、IS1、IS2、IS3 の 3 つの統合シナリオすべてについて、2018 年から 2070 年までのワイドボディ機の技術シナリオ別の市場シェアが示されている。



図 3-9 ATW ウェイポイント、ACA サービス開始時期と燃料消費原単位(WB の例)

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M3”, 2022 年 3 月

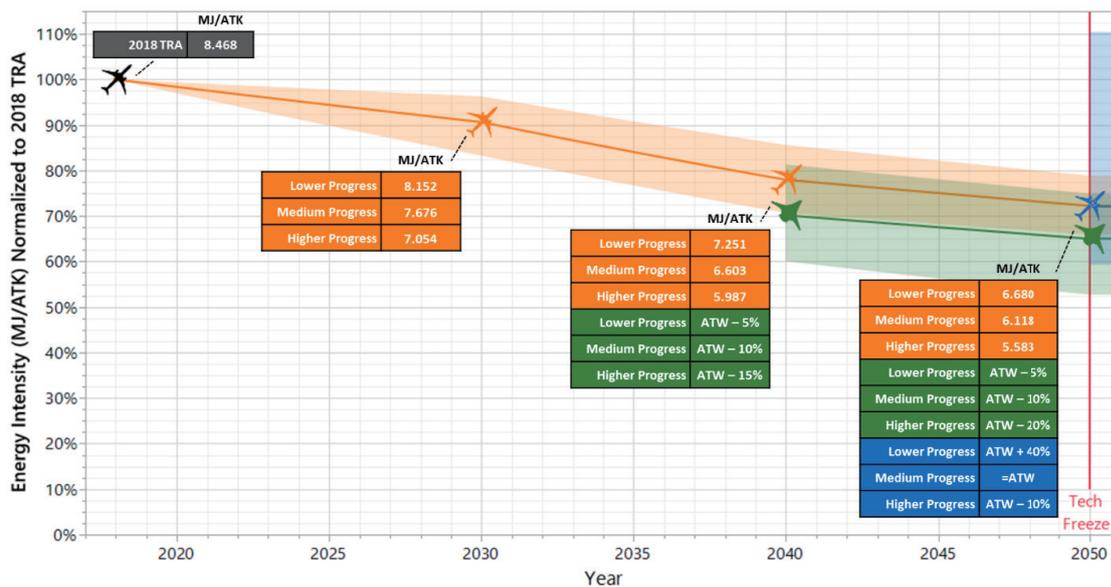


図 3-10 2018 年 TRA 比の燃料消費原単位推移(WB の例)

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M3”, 2022 年 3 月

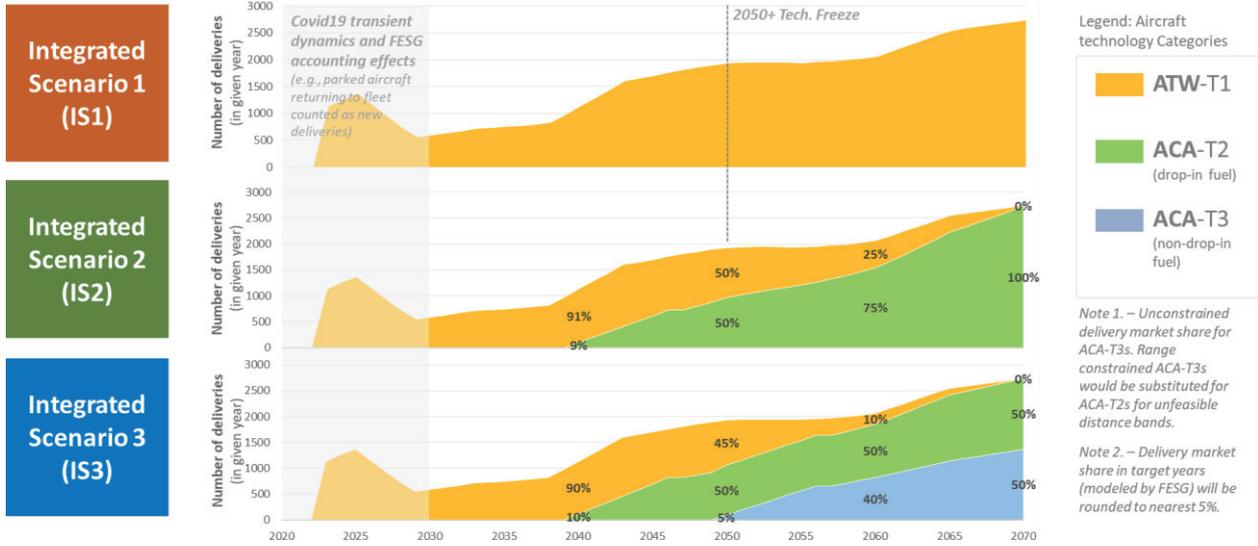


図 3-11 市場シェア推移(WB の例)

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M3”, 2022 年 3 月

3.1.3 付録 M4 運航の概要

運用サブグループでは、運用分野における既存、予測、革新的 CO2 削減効果対策を評価し、運用シナリオを開発、分析することを目的としている。航空運用と地上運用の要素に分け、データ収集、データ分析、シナリオ開発の 3 つのフェーズで全体的なアプローチを確立している。

(1) データ収集

航空分野での CO2 排出量削減のため、現在予測されている情報を ICAO 内部文書と外部文書からまとめ、それらのギャップを整理している。また、LTAG 分析の範囲を定義しており、新しい空港や既存の空港でのインフラ増加を含めないとしているが、サブグループの分析では空港の容量拡大とそれに伴う CO2 排出量の削減に対する運用対策を考慮している。

データ収集段階で特定された対策の多くは、世界航空航法計画-航空システムブロックアップグレード(GANP-ASBU; the Global Air Navigation Plan - Aviation System Block Upgrades)の CAEP/11 WG2 環境評価で把握されていたものである。CAEP 環境傾向分析の目的でモデル・データベースグループ(MDG)および予測・経済サポートグループ(FESG)に情報を提供するために 2019 年に ASBU ブロック 0 と 1 の評価が行われている。このデータには、水平飛行効率(HFE; Horizontal Flight Efficiency)に対する 2028 年、2038 年、2050 年の運用改善が含まれており、最新の CAEP WG2 では垂直飛行効率(VFE; Vertical Flight Efficiency)も考慮されている。運用サブグループの分析のベースラインとなったこの前回の分析では、31 の運用措置の一般的な実施によって期待される 53 の経験則による燃料節約効果を作成し、2015 年から 2025 年の ICAO 諸国の実施計画に基づいて、期待される燃料と CO2 排出削減効果を推定している。

(2) データ分析

運用対策の評価に運用手段ごとの経験則の開発を含んだ方法を適用している。対策ごとの経験則は潜在的な CO2 排出削減を特定し、以下の側面に対処している。

- 対策による省燃費検討のための前提条件整備
- 運航 1 時間あたりまたは 1 回あたりの燃料節約量
- 対策の適用時間帯(例:ピーク時、夜間)
- 対策の適用場所(例:特定の空港、地域、グローバル)
- 対策の適用時間枠(2030 年、2040 年、2050 年、2060 年、2070 年)

さらに、以下の非効率の原因を考慮するために、WG2 分析のベースラインを更新している。

- 水平飛行の非効率:軌道の長さとその起終点間の最短距離の比較。
- 垂直飛行の非効率:飛行中に最適な巡航レベルに到達できないか、上昇または下降段階で飛行が最適でない飛行レベルに保たれる。
- 地上運用の非効率:誘導路やゲートでの排出削減可能なインフラ関連の対策(半自律型牽引車(タクシーボット)など)
- 革新的な飛行効率:中期的(2038 年以降)に編隊飛行などの新しい運用手段の実施で達成。

- 先進的な飛行効率:ブレンデッド・ウィング・ボディ機(BWB; blended wing body)など、先進コンセプト航空機の導入により発生。これらの航空機は、速度や高度など、従来の航空機とは異なる性能特性を持つ可能性がある。その場合、全体的な飛行効率への影響は、異なる飛行プロファイルがより大きな容量を可能にするというプラスの影響もあれば、フリート内の異質性がより複雑さを生むというマイナスの影響もあり得る。

(3) シナリオ開発

IS1、IS2、IS3 のシナリオに沿った、保守的、中程度、積極的な 3 つのシナリオが開発されている。

- 運用シナリオ 1(O1):
O1 は、運用による GHG 削減の可能性の範囲の低いまたは保守的な範囲の想定。このシナリオでは、HFE、VFE、GFE を最適化するための ASBU 要素の展開率が低くなる。
- 運用シナリオ 2(O2):
O2 は、運用による GHG 削減の可能性の範囲の中間を想定。このシナリオでは、HFE、VFE、GFE を最適化するための ASBU 要素の展開率が中程度で、IFE と AFE を最適化するための運用手段の展開率が低くなる。
- 運用シナリオ 3(O3):
O3 は、運用による GHG 削減の可能性が高いまたは積極的な範囲の想定。このシナリオでは、HFE、VFE、GFE を最適化するための ASBU 要素の展開率が高く、IFE と AFE を最適化するための運用手段の展開率が中程度になる。

3.1.4 付録 M5 燃料の概要

2022年3月に公開された ICAO LTAG 燃料サブグループ M5 における SAF 等の航空燃料の製造ポテンシャルの分析結果や将来推計について整理した。

(1) 背景・目的

燃料サブグループは、2070年までの国際航空分野の排出量削減シナリオを作成することを目的として3つの燃料カテゴリ、持続可能な航空燃料(LTAG-SAF)・低炭素航空燃料(LTAG-LCAF)・非ドロップイン燃料に焦点を当てて調査を行った。LTAG-SAF は、バイオマス・固体/液体廃棄物・排CO₂・大気中 CO₂ の4つのカテゴリに分類される。またドロップイン燃料を LTAG-SAF と LTAG-LCAF を差し、非ドロップイン燃料は、電気・液化ガス航空燃料(ASKT)・低温水素に分類される。

3つの燃料カテゴリでの検討を整理するために、追加の専門家サブグループが形成され、潜在的な燃料量の予測とそれに伴う排出削減量を評価されている。また最終的な燃料需要量を満たすための各燃料シナリオの下で燃料の組み合わせについて述べ、排出削減量についても言及している。

(2) 燃料の分類

燃料サブグループは、従来のジェット燃料に代わるドロップインおよび非ドロップイン燃料をカバーする燃料カテゴリを設定した。

ドロップイン燃料は、既存の機体や燃料供給インフラに完全に適合する航空燃料で、既存のインフラを変更する必要がなく、従来の ASTM 規格の制限内で、現在の従来の航空燃料と同じ運用上の安全性と性能レベルで使用が可能である。

表 3-11 は、ドロップイン燃料の分類と、それに関連する準備と達成の基準を示している。LTAG の分析では、LTAG-SAF(以下 SAF)と低炭素航空燃料(LTAG-LCAF)(以下 LCAF)をドロップイン燃料としている。

表 3-11 LTAG ドロップイン燃料分類

燃料カテゴリ	燃料名	原料	準備基準	達成可能基準
LTAG-持続可能な航空燃料 (LTAG-SAF)	バイオマスベース燃料	一次バイオマス製品および連産品	1.ASTM 承認プロセス 2.燃料転換技術状況 3.低炭素エネルギーキャリアの生産に利用可能なシステム	1.投資資金 2.最低燃料販売価格 3.土地面積 4.水 5.土壌(残渣抽出) 6.生物多様性 7.空港までの燃料輸送インフラ
	固体/液体バイオマスベース燃料	副産物、農業残渣、林地残材、廃棄物		
	大気CO ₂ ベース燃料	排CO/CO ₂ 大気CO ₂		
LTAG-低炭素航空燃料 (LTAG-LCAF)	低炭素石油燃料	石油	1.ASTM の承認プロセス 2.燃料転換技術状況 3.低炭素エネルギーキャリアを製造するシステム	1.投資資金 2.最低燃料販売価格 3.CCS 容量 4.水 5.空港までの燃料輸送インフラ

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022年3月

1) ドロップイン燃料

a. サステナブル航空燃料(SAF)

バイオマス・固体/液体廃棄物からドロップイン燃料を製造するには、炭化水素源(フィードストック)と変換プロセスが必要である。燃料の原料には、エネルギー作物・都市固形廃棄物(MSW)・油脂(FOG)等の再生可能資源が含まれる。これらの原料は、現在 ASTM International の附属書で承認されたハイドロプロセスエステルと脂肪酸(HEFA)・アルコールジェット化(ATJ)・触媒式ヒドロ熱分解ジェット(CHJ)等の既存技術によって処理する。

排 CO₂/大気中 CO₂ からドロップイン燃料を製造するには、水素源、CO₂ 源、水素と CO₂ を航空燃料に変換する変換プロセス(PtL)が必要になる上、どのプロセスでも電力が必要である。

b. 低炭素航空燃料(LCAF; Lower carbon Aviation Fuels)

LCAF は、石油資源から燃料中の炭素を得るドロップイン航空燃料と定義する。生産・輸送し、使用するまでのプロセス全体、well-to-wake の炭素強度は<80.1gCO₂e/MJ である。炭素強度の低減は、下記に示されるような GHG 削減技術やベストプラクティスを適用することで実現される。

LCAF のサプライチェーンから排出される GHG を削減する様々な機会があり、下図に LCAF の生産に貢献する技術を示した。LCAF製造技術には、再エネの導入・低炭素水素製造・炭素回収・貯留の導入・上流工程からのフレアガス排出の最小化が含まれる。

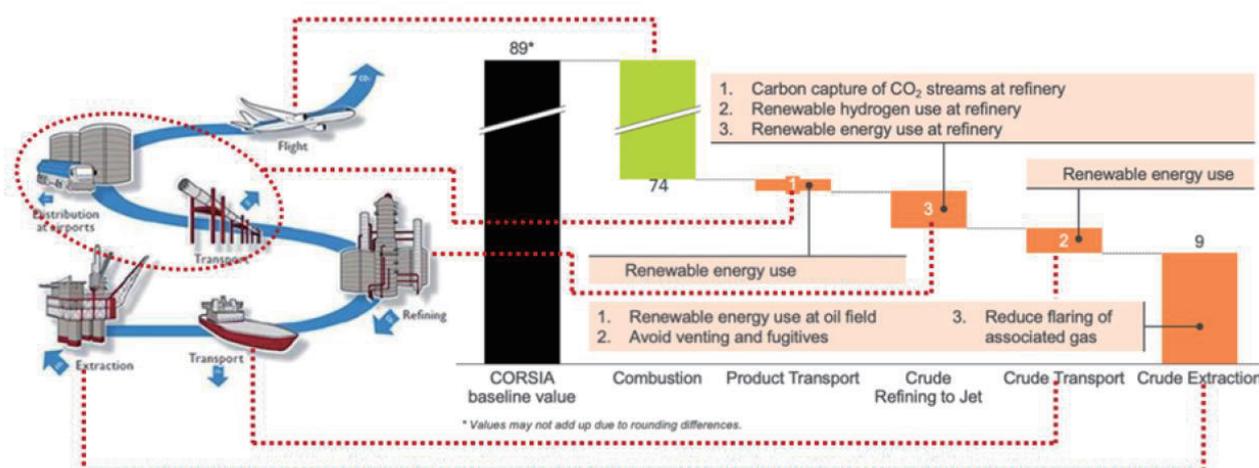


図 3-12 各 LCA 段階及び GHG 排出削減機会の LTAG-LCAF サプライチェーンの炭素強度 (出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

LTAG-LCAF 生産の炭素強度をベースラインと比較した仮想的なケースを下記に示す。削減技術とベストプラクティスの実施は、LTAG-LCAF の炭素強度だけでなく、他の副産物にも影響を与え、全体として大きな GHG 排出削減をもたらす。

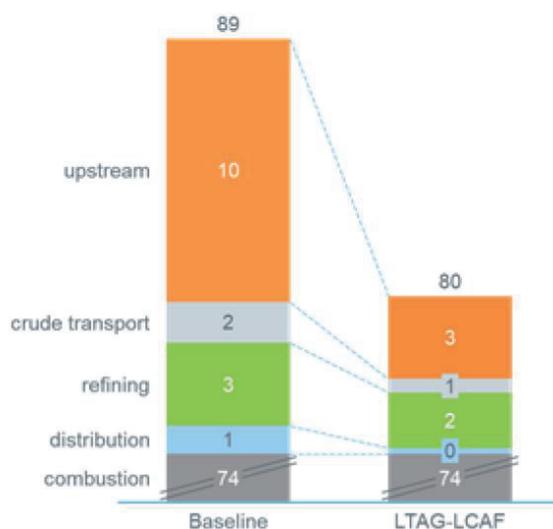


図 3-13 従来ジェット燃料ベースラインと比べた LTAG-LCAF 生産過程の排出量
出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

2) 非ドロップイン燃料(Non-drop-in)

非ドロップイン燃料は、既存の機体や給油インフラに変更が必要な航空燃料である。この燃料は、現在の航空機やエンジン構造とは互換性がなく、従来の航空燃料と比較して、独自の安全性と性能に関する考慮事項がある。下記は非ドロップイン燃料の分類・必要な準備・達成可能性の基準である。LTAG は非ドロップイン燃料を電気・液化ガス航空燃料(ASKT)・液化水素(LH₂)の 3 種類に分類した。

表 3-12 LTAG 非ドロップイン燃料の分類

<i>Fuel Category</i>	<i>Fuel Name</i>	<i>Carbon source in fuel feedstock</i>	<i>Readiness Criteria</i>	<i>Attainability Criteria</i>
Non-drop-in fuels	Electricity	Not applicable	1. Standards/regulations available to govern safety, handling, etc.	1. Capital investment
	Liquefied gas aviation fuels (ASKT)	Petroleum gas, “fat” natural gas, flare gas, and propane-butane gases	2. Technology available to produce energy carrier	2. Minimum fuel selling price
	Cryogenic hydrogen (LH ₂)	Natural gas, by-products, non-carbon sources	3. Systems available to produce low carbon energy carrier	3. Infrastructure for fuel transport to airport
				4. Land area
				5. Water

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

a. 電力

非ドロップイン燃料の電力は、ハイブリッド機と完全電気機体の両方を含む航空機の電化を指す。ハイブリッド電気システムは、空港で大きな充電負荷が発生しないため、エネルギー供給システムに関して空港レベルで大きな変更を必要とせず、航空機設計が依然として動力の供給にドロップイン燃料に依存するので、電気システムは補助的なものに留まる。

b. 液化ガス航空燃料

液化ガス航空燃料(ASKT)は、既存のエンジンと機体構造の変更を必要とする。ASKT は、特異な化学的特徴から、北極圏のような炭化水素資源に乏しい遠隔地での適用性を示すケーススタディとして含まれる。

c. 液化水素

液化水素(LH2)は、航空機専用燃料として使用できる非ドロップイン型燃料である。LH2 は、ガスタービンエンジンで液体水素を直接燃焼させるものとして評価した。また水素燃料電池は分析範囲外である。LH2 の導入は、開発するシステムと技術の利用可能性によって定義される。水素(H2)の製造は、排 CO2・大気中 CO2 ベースの燃料に使用されるモデルに同様に準拠している。体積エネルギー密度を高めるため、液化状態の水素のみを考慮し、液化のステップを追加した。

(3) 燃料シナリオ

燃料シナリオの設定にあたり、シナリオの定義、設定、調整、ライフサイクル GHG 排出量評価、実現可能性の分析からシナリオ開発を行い、3つの展開シナリオ(低 - F1、中 - F2、高 - F3)を開発した。このシナリオは、実現可能性を含め排出削減レベルを反映している。また燃料シナリオの定義は、統合シナリオの定義と一致するように設定される(F1・F2・F3 は、統合シナリオ IS1・IS2・IS3 を補完)。(下記表は表 3-5 を再掲)

表 3-13 (再掲)LTAG 燃料シナリオ

	統合シナリオ 0(IS0)	統合シナリオ 1(IS1)	統合シナリオ 2 (IS2)	統合シナリオ 3 (IS3)
燃料(F)	F0:低炭素燃料(SAF等)による排出削減なし	F1: 予期される低炭素燃料の導入 低炭素燃料(SAF, LCAF)の排出量削減は低い ASTM はジェット燃料混合率 50%利用を認証 陸上輸送と航空は代替燃料利用で競合 SAF, LCAF 生産のインセンティブは低い 技術革新により、廃ガス(CO, CO2)を SAF に、原料に油糧種子被覆作物を利用。SAF, LCAF 生産にブルー/グリーン水素を利用	F2:中程度の低炭素燃料の導入 低炭素燃料(SAF, LCAF)の排出量削減は中程度 ASTM は 100%合成ジェット燃料利用を認証 陸上輸送の電化が進み、SAF の取得率が高まる SAF, LCAF 生産のインセンティブが高まりコストが低下 SAF, LCAF 生産にブルー/グリーン水素利用が普及。炭素捕捉利用貯蔵(CCUS)利用が普及。	F3: 最大限の低炭素燃料の導入 低炭素燃料(SAF, LCAF)の排出量削減は高い ASTM は 100%合成ジェット燃料利用を認証 経済全体の脱炭素化、陸上輸送の電化が進み再エネが普及 インセンティブが大きく低排出航空燃料の利用が普及 SAF 生産に大気中 CO2 利用が普及・原材料調達増加、CCUS 普及、航空機で極低温水素利用可能 非ドロップイン燃料利用可能な空港が世界に拡大

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5” ,2022 年 3 月

以上を踏まえた燃料シナリオ F1,F2,F3 は下記の通り。

a. F1

F1 シナリオは SAF・LCAF による潜在的な GHG 削減量の下限を示す。F1 シナリオでは、燃料製造技術と認証プロセスは、実現可能性が高いと考えられている。LTAG-SAF 生産のために排 CO₂ 利用を可能にする技術は適用されるが、廃棄物資源の量は経済的な供給源に限定される。また、SAF および LCAF 生産のインセンティブは低いシナリオである。

b. F2

F2 シナリオは、SAF と LCAF による潜在的な GHG 削減の中間に位置する。このシナリオでは、燃料生産技術と認証プロセスが実現可能性は中程度と想定されている。LTAG-SAF の生産に排 CO₂ を利用する技術が存在し、F1 と比較して廃棄物資源量が拡大する。陸上輸送の電化・炭素回収・有効利用・貯留 (CCUS) など外部経済動向が SAF と LCAF の生産に影響を与える。SAF や LCAF 生産に対するインセンティブも高まるシナリオである。

c. F3

F3 シナリオは、SAF・LCAF・非ドロップイン燃料による潜在的 GHG 削減量が最も野心的である姿を示す。先進的な燃料製造技術や認証プロセスは、実現可能性が低いと考えられている。LTAG-SAF の製造には、排 CO₂ と大気中 CO₂ の両方を利用できる技術が増加する。外部経済動向として、陸上輸送の大規模な電化と二酸化炭素の回収・利用・貯留 (CCUS) により、経済全体が脱炭素化される。十分に水素が生産され、航空機に極低温水素使用が可能になる。F1、F2 とは異なり、F3 では、非ドロップイン燃料使用を可能にするために、エネルギーと空港の両方のインフラに大きな変更が必要となる。先進技術と集中的なインフラ開発が、高いインセンティブに支えられ、航空機における低 GHG 燃料普及につながるシナリオである。

(4) 燃料製造における技術シナリオの開発

定義したシナリオを基に、各燃料カテゴリの潜在的な燃料製造量と技術別の排出削減量を算定した。

1) LTAG-SAF-バイオマス&固体/液体廃棄物ベースの製造

LTAG は、バイオマスおよび固体・液体廃棄物ベースの燃料製造のモデリングを行い、燃料タスクグループ (FTG) の技術生産と政策 (TPP) グループで検討を進めた。TPP グループは、既存の SAF 生産と SAF 燃料に関する知見から、将来の SAF 燃料量をモデル化するため市場普及モデルを開発した。SAF は、FTG TPP シナリオを LTAG 燃料シナリオと整合させ、2070 年までのモデルを作成した。

潜在的な排出削減量を推計するために、CAEP/10 が開発した燃料生産アセスメント (FPA) で開発した原料予測値を利用した。FTG TPP グループは、油糧種子被覆作物や燃料生産技術の進歩などの追加要因を、感度ケースとして評価した結果は SAF による GHG 削減潜在量に影響し、バイオマスおよび固体/液体廃棄物からの SAF のライフサイクル分析値に反映される。

TPP グループは、短期 SAF 生産をモデル化するために、シナリオベースのアプローチを採用した。

将来の生産ポテンシャルを把握するために低・中・高・High+・Max 5つのシナリオから選択される。シナリオは、生産計画の成熟度・製品開始時期から将来の成功率が異なっているため、TPPシナリオの条件を評価し、LTAG-TGの統合シナリオと燃料シナリオの定義に最も近いシナリオを選択した。

F1シナリオは、SAF/LCAF生産のインセンティブを示す。F1は、陸上輸送燃料と同じ条件とし、SAF/LCAFの生産にインセンティブを与え、TPPの中シナリオに最も近いものである。

F2シナリオは、より多くの政策が提供される。SAFの生産に排CO₂をより多く利用できるようにするための技術進歩と陸上車両の電化により、SAF/LCAFの利用可能性をさらに高める。この燃料シナリオで採用するのは、TPPの高シナリオである。

F3シナリオは、経済全体の脱炭素化と航空用低炭素燃料に対する大きなインセンティブ。この燃料シナリオで採用するのはTPPのHigh+シナリオが最適である。

このように3つのシナリオを定義し、各シナリオの下で、予測燃料量が原料資源量を上回ることはないようチェックを行った上で、市場普及モデルを2070年まで拡張した。

2) LTAG-SAF-排CO₂および大気CO₂ベースの製造(PtL)と必要電力量

排CO₂と大気中CO₂ベースの航空燃料の製造については原料制限と生産技術達成可能性という特徴があり、FTG TPPの作業では広範囲に評価されなかった。一方、経済全体の脱炭素化要因が、排CO₂の利用可能性に影響するため考慮の必要がある。そこでアルゴンヌ国立研究所(ANL)とマサチューセッツ工科大学(MIT)が、燃料分析を主導した。排CO₂または大気CO₂由来の燃料生産モデルは、a 水素製造技術、b CO₂回収技術(排CO₂または大気CO₂)、c 燃料変換技術をどう行うかで変わる。以下では、各プロセスのモデル化について概説し、必要な電力需要の分析を行う。

a. 水素製造技術

水の電気分解による水素製造に着目した。電力供給源に応じて、コストとライフサイクルGHG排出量をモデル化可能である。水素製造には下記に示すような電解技術が存在し、現在の普及率と拡張性を考慮し、エネルギー変換効率70%のプロトン交換膜(PEM)電解槽と整合性のある仮定を用いた。

	Alkaline electrolysis	Proton exchange membrane (PEM)	Solid electrolyzer (SOEC)
TRL	9	9	6-7
Efficiency* [%]	63-80	56-74	74-90
Cost* [\$/kW _e]	200-950	200-1450	500-4200
Temperature [°C]	60-80	50-80	650-1000
Pressure [bar]	1-30	30-80	1
Prevalence (today)	50-60%	40-50%	< 5%

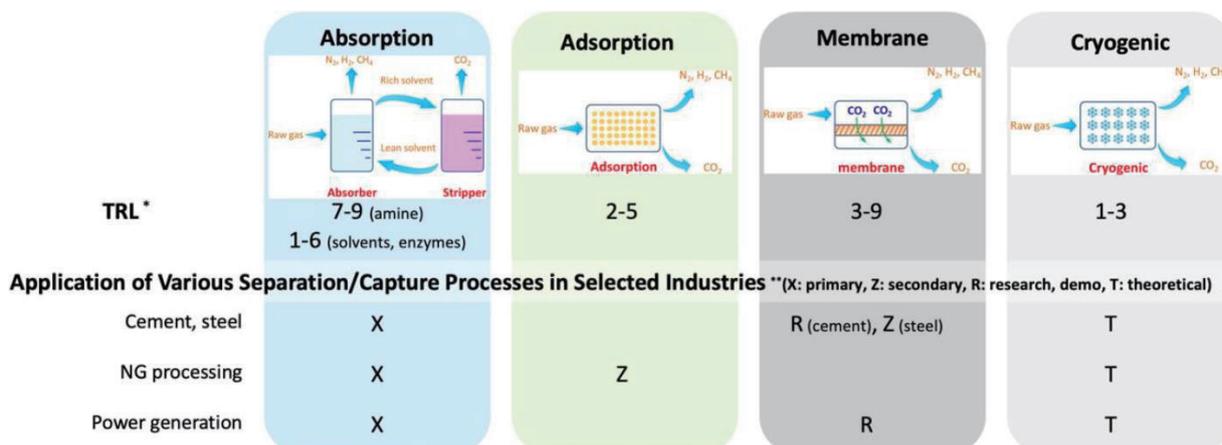
* Lower value: min. future, higher value: average today; Sources: IEA, Future of Hydrogen, 2019, CSIRO Opportunities for Hydrogen in Commercial Aviation, 2020

図 3-14 電解技術

出所) ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

b. CO₂ 回収技術(DAC)

排 CO₂ については、下記に示すような回収技術が利用可能であると想定される。吸収は、現在の技術水準では、CO₂ 回収に最も適した技術である。吸着法・膜法・低温法も CO₂ 回収技術であり、研究開発が進められており、2 つの技術の組み合わせも CO₂ 回収の選択肢である(Song et al., 2018)。



* High-purity CO₂ (99%~) from ethanol/ammonia plant only requires compression and dehydration processes

** Bui, Mai, et al. “Carbon capture and storage (CCS): the way forward.” Energy & Environmental Science 11.5 (2018): 1062-1176.

** National Petroleum Council. “Meeting the Dual Challenge: A Roadmap to At-Scale Deployment of Carbon Capture, Use, and Storage.” Chapter 2. (2019).

Figures: Song, Chunfeng, et al. “Alternative pathways for efficient CO₂ capture by hybrid processes—a review.” Renewable and Sustainable Energy Reviews 82 (2018): 215-231.

図 3-15 排 CO₂ の回収技術

出所) ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

分析ではエタノール・アンモニア・鉄鋼・セメント生産からの排 CO₂ 回収を考慮し、それぞれの排 CO₂ に応じた回収技術を適用する。モデリングの前提条件は、下表の通り。CO₂ 回収と燃料転換の熱統合を仮定しており、鉄鋼とセメント生産工程における排 CO₂ 回収の天然ガス必要量を削減可能。

表 3-14 排 CO2 の CO2 濃度、回収のための電力エネルギー等の概要

CO2 源	純度	CO2 濃度 [vol-%]	回収技術	回収に要するエネルギー [MJ/t](電力と compression)	天然ガス必要量と熱統合 [MJ/t]	該当する燃料シナリオ
エタノール	高	100	Purification	414.5	-	1-3
アンモニア	高	97.1	Purification	385.9	-	1-3
鉄鋼	中	23.2-26.4	化学吸収	511.4	4459	2-3
セメント	中	22.4	化学吸収	510.6	4441	2-3
大気	低	0.04	低温、化学吸収	2340	-	3

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

大気中 CO2 は、捕捉技術を用いて直接大気回収(DAC)により回収する。一般に、DAC プロセスには 2 つのタイプがある。一つは、数百℃の高温で、水酸化カルシウムや水酸化カリウムなどの吸着剤に化学的に吸着させるプロセスである。もう一つは、アンミンで機能化した吸着剤を用いて 100℃程度で処理する低温処理である。本検討ではプロセスに熱源の組み込みが可能であるため、低温 DAC 技術に焦点を当てる。例えば、フィッシャー・トロプシュ転換プロセスは 200℃以上で廃熱を発生させるため、DAC プロセスの熱需要を部分的にカバーするために統合できる。これにより、CO2 回収に必要な追加エネルギー量を減少させることができ、排出量とコストを改善可能である。DAC からの CO2 回収のための電力需要は上述の通りである。

c. 混合率

H2 と CO2 の燃料転換は、排 CO2-to-Alcohol-to-Jet プロセス(Lanzatech プロセスと同様)か逆水性ガスシフト(RWGS)反応と組み合わせたフィッシャー・トロプシュ(FT)プロセスのいずれかである。F1 では Waste-CO2-to-Alcohol-to-Jet プロセスを想定し(FT +RWGS プロセスと比較して、効率が高く、コストが低い)、F2 と F3 では、RWGS を含む FT プロセスを選択した。本分析で考慮したプロセスの仮定は以下の通り。

表 3-15 各燃料シナリオにおける燃料シェア

	F1[% of e-fuel]	F2, F3[% of e-fuel]
ジェット燃料	70	41

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

表 3-16 各燃料シナリオおよび各プロセスの CO2・H2・電力需要

	CO2需要[t CO2/t e-fuel]		H2需要[t H2/t e-fuel]		電力需要[MJ/t]	
	F1	F2, F3	F1	F2, F3	F1	F2, F3
排CO2	6.80	3.68	0.634	0.518	36.324	26.89
DAC CO2	-	3.68	-	0.518	-	28.81

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

d. 必要電力量

本項の技術は CO2 の回収・H2 の生産・変換などの主要な工程で電力が必要となり、下記に各シナリオの電力消費量をまとめた。電力需要はシナリオによって異なるのは、主に工程の想定が異なるため

である。電解の電力需要は、F1 に比べて F2 と F3 で低くなっている。これは排 CO₂-to-Alcohol-to-Jet 工程でより高い H₂ が必要になるためである。CO₂ 回収については、F2 と F3 は F1 に比べて電力需要が少ない。しかし、F2 と F3 では、セメント生産プロセスや鉄鋼生産から低濃度の CO₂ を回収時に熱需要が高いため、天然ガス消費量(0.09 MJ (NG) /MJ(燃料))を考慮する必要がある。

表 3-17 各燃料シナリオの排 CO₂ と大気 CO₂ 由来燃料生産のための電力需要 [MJ(電力)/MJ(燃料)]

	F1-排 CO ₂	F2-排 CO ₂	F3-排 CO ₂	F3-DAC
電解	2.4	1.96	1.96	1.96
CO ₂ 回収*	0.06	0.04	0.04	0.06
変換	0.02	0.02	0.02	0.02
合計	2.48	2.02	2.02	2.04

* 異なる CO₂ 源からの CO₂ 回収した場合電力需要の加重平均
出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

3) LTAG-LCAF の製造

LCAF のために、世界のジェット燃料サプライチェーンをモデル化するボトムアップアプローチと、LCAF の 3 つの導入シナリオを定義するトップダウンアプローチを開発した。

LCAF 使用による排出量削減は、前述の通り低炭素電力使用・メタン漏れの抑制・関連ガスのフレアの最小化・プロセス排ガスの炭素回収・低炭素水素の使用など GHG 緩和技術やベストプラクティスの実施により実現し、排出削減量は Well-to-wake の炭素強度の削減閾値(80.1gCO₂e/MJ 未満)を満たすプロセスについて算出される。

以下では、3 つの燃料シナリオにおける LCAF 燃料生産量試算に使用したモデルと仮定を述べる。

a. モデルと前提条件、方法論

世界の原油生産と石油精製における GHG 排出量をモデル化し、排出量削減技術と実践を分析する研究が存在し、Masnadi et al., (Science, 2018)は、世界の 9000 の油田の炭素強度を評価した。使用されたモデルは原油生産 GHG 排出推定法 (OPGEE) で、原油生産の GHG 排出評価ツールとして知られ、該当論文は 2015 年における原油生産の98%の炭素強度の位置を特定し推計した。

Jing et al., (Nature Climate Change, 2020)は、The Petroleum Refinery Life Cycle Inventory Model (PRELIM)を用いて、世界の石油精製の炭素強度を分析している。これはボトムアップ工学に基づくモデルで、原油の特性や製油所配置などのばらつきの影響を捉えるものである。この 2 つの研究の主な結果は次の図で表される。

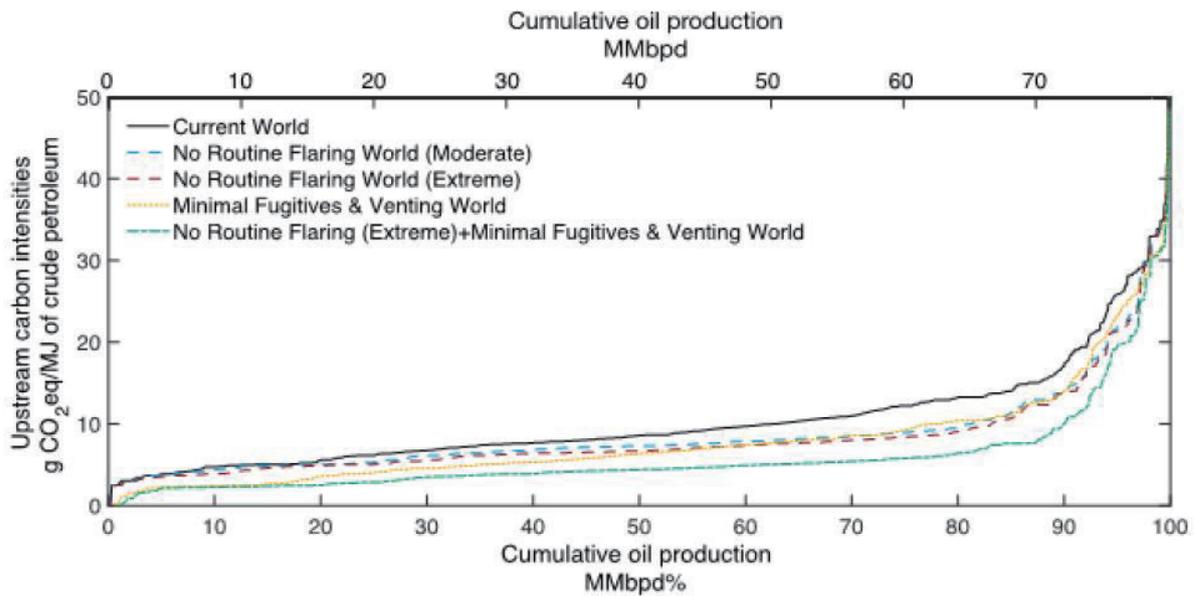


図 3-16 世界油田ベース上流工程における炭素強度供給曲線 (Masnadi et. al., 2018)

注) 上流工程における異なるガス管理水準の結果として、世界炭素強度供給曲線が得られる。

出所) ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022年3月

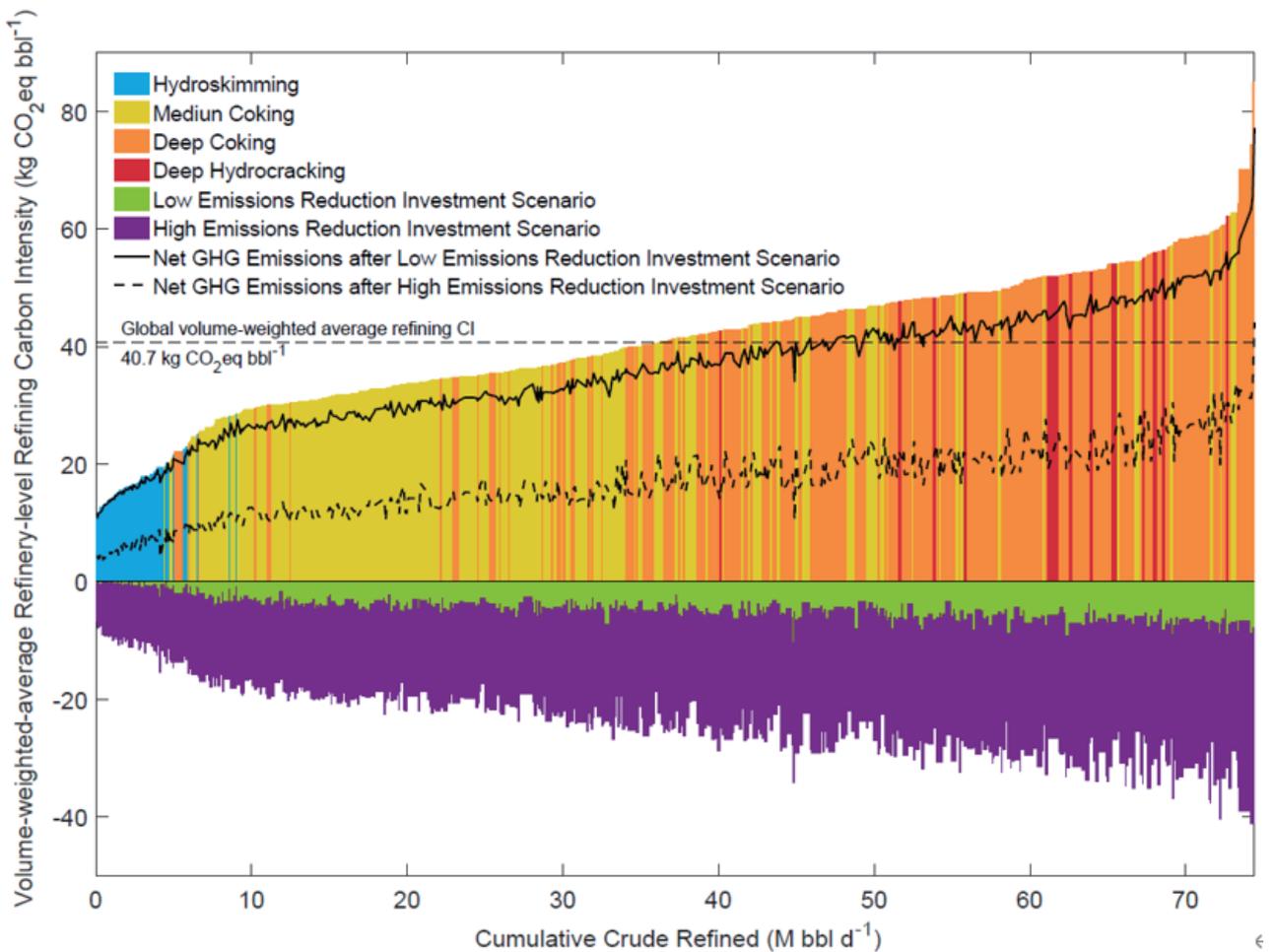


図 3-17 世界精製ベース原油精製炭素強度供給曲線 (Jing et. al., 2020)

出所) ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022年3月

図は全世界の精製構成と2つの投資シナリオ(低-高投資シナリオ)による排出削減を示す。

3つ燃料シナリオの下で LCAF 生産量を決定する手順は、以下のとおりである。

1. 現在の世界のジェット燃料供給 CI(炭素強度)カーブ(ベースラインメリットカーブ(BMC))の平均 CIは $\sim 89\text{gCO}_2\text{e}/\text{MJ}$ である。異なる技術プロセスの炭素強度を2つのボトムアップモデルを用いて推計した。
2. GHG 排出削減の可能性のある技術とベストプラクティスの特定。
3. GHG 排出削減技術の適用と BMC の再計算による最大達成可能緩和量(MAM)の推計。このステップで LCAF の最大達成可能量を計算。
4. LTAG 燃料シナリオに従った技術シナリオを開発。このステップで、シナリオ別の LCAF の実現性を評価。
5. 各シナリオのテクノロジーマップを適用し、メリットカーブを算出。
6. 各シナリオのメリットカーブを反映し、2030年、2050年、2070年の LCAF の導入量と GHG 排出量削減量を決定。
7. 各技術の削減コストと GHG 排出量削減への貢献度から、LCAF 生産の関連コストを推計。

b. メリット曲線決定のアプローチ

LCAF の実現可能性を判断するためには、世界のジェット燃料生産の炭素集約度の認識が不可欠である。これは各 GHG 排出削減技術は、地域の生産プロセス・市場力学・原料の入手可能性に応じて、地域によって影響が異なるためである。

Masnadietal.,2018;Jingetal.,2020 では、石油のサプライチェーン全体で GHG 排出量に大きなばらつきがあることを示されており、一次排出源をターゲットにすることで、2100年までに $56\sim 79\text{GtCO}_2\text{e}$ を削減できる可能性があり、LCAFはこの削減実現の一助となる可能性がある。

上記の論文とウッドマッケンジーの製油所シミュレーションモデルを用いて、世界の400以上の精製所の GHG 排出量をモデル化した。また LCAF の生産量・潜在的 GHG 排出削減量・コストのモデリングのベースラインとして、世界のジェット燃料 CI のメリットカーブを作成した。

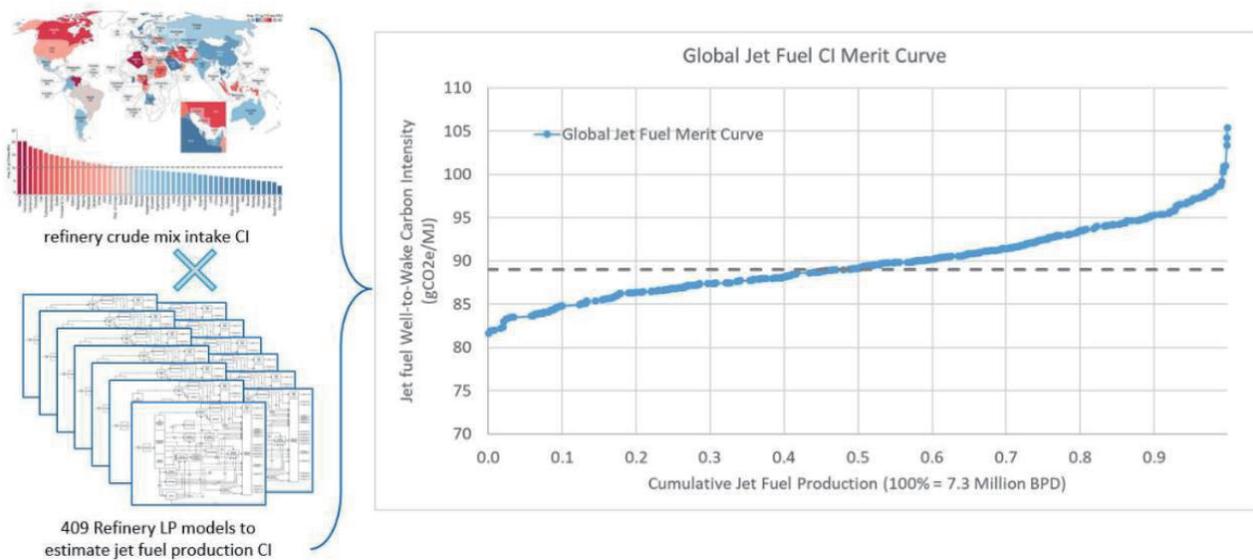


図 3-18 世界ジェット燃料炭素強度メリット曲線推計

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

GHG 排出量のジェット燃料生産への配分は、Elgowainy et al.2014 を用いて実施すると LCAF の排出係数は $74\text{gCO}_2\text{e/MJ}$ とした。世界のジェット燃料の CI を分析した結果、平均で $\sim 89\text{gCO}_2\text{e/MJ}$ となり、これはこれまで LTAG が設定している GHG 排出削減量と一致している。

メリットプロットについて、世界のジェット燃料生産量を、BMC に従って分析した結果は上図の通り。メリットプロットは、基準ケースとシナリオケースについて作成でき、ベータ確率分布関数を用いている。

c. 導入シナリオ別・技術別による排出削減量、シナリオ

GHG 削減技術やベストプラクティスに基づいて、各対策の最大の炭素原単位削減潜在量を決定している。対策のリストと導入が推定される技術限界(MAM)の評価は下記の通り。Masnadi et al., 2018; Jing et al., 2020 に基づき、ボトムアップ・モデルの各要素に排出削減量を適用する。

	Africa	Asia Pacific	Europe	Eurasia	Latin America	Middle East	North America	World wide
Jet Volume (bbl/d)	196 500	2 762 736	1 183 805	274 075	217 403	924 720	1 755 421	7 314 660
Upstream (gCO ₂ e/MJ jet fuel)	-8.68	-5.32	-5.97	-6.02	-5.05	-5.00	-6.01	-5.66
<i>No Routine Flaring</i>	-5.11	-1.94	-2.40	-2.51	-1.09	-1.37	-1.75	-1.98
<i>Min. Fugitives</i>	-2.62	-2.33	-2.45	-2.49	-2.09	-2.35	-2.86	-2.48
<i>Renewables integration - Heavy Oilfields</i>	-0.95	-1.04	-1.13	-1.02	-1.87	-1.28	-1.40	-1.19
Crude transportation (gCO ₂ e/MJ jet fuel)	-1.26	-1.26	-1.26	-1.26	-1.26	-1.26	-1.26	-1.26
Refining (gCO ₂ e/MJ jet fuel)	-2.62	-3.19	-4.06	-2.93	-2.54	-3.87	-3.83	-3.53
<i>CC at CDU furnaces</i>	-1.37	-1.29	-1.56	-1.43	-1.01	-1.49	-1.22	-1.34
<i>CC applied to whole refinery</i>	-0.99	-0.87	-1.24	-0.82	-0.61	-1.09	-1.19	-1.02
<i>Low carbon electricity</i>	-0.34	-0.42	-0.50	-0.36	-0.36	-0.43	-0.57	-0.46
<i>Low carbon steam generation</i>	-0.12	-0.18	-0.11	-0.12	-0.23	-0.11	-0.11	-0.14
<i>Blue/Green H2**</i>	-0.20	-0.43	-0.65	-0.21	-0.32	-0.75	-0.74	-0.56
- Green H2**	-0.21	-0.44	-0.67	-0.21	-0.33	-0.77	-0.77	-0.58
- Blue H2**	-0.20	-0.42	-0.63	-0.20	-0.31	-0.73	-0.72	-0.55
Jet Fuel Transportation (gCO ₂ e/MJ jet fuel)	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90
Combustion (gCO ₂ e/MJ jet fuel)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
WtW Reduction (gCO ₂ e/MJ jet fuel)	-13.46	-10.67	-12.20	-11.12	-9.75	-11.03	-12.00	-11.35

Upstream
No Routine Flaring:
- Flaring limited to 20 scf/bbl
Min. Fugitives:
- Venting CI limited to 0.2 gCO₂e/MJ of crude oil produced
Renewable integration:
- i) Shifting steam generator for thermal enhanced oil recovery (TEOR) to solar steam
- ii) Renewable electricity drive for downhole pump, where applicable

Refining
CC at CDU furnaces & whole facility
- Two cumulative case, 1) only capture CO₂ from CDU gas combustion and 2) extend CC to whole refinery (hydrotreaters, hydrocrackers,...)
- Assumed 80% capture rate with additional elec. (0.2 kWh/kg CO₂) & steam (6 MJ/kg CO₂) from low carbon sources.
Low carbon utilities
- Electricity and steam assumed to be generated from low carbon sources (i.e. renewables, CCS on steam boilers,...)
- Emissions factors assumed: 8 gCO₂e/MJ elec. and 19.3 gCO₂e/MJ steam.
Blue and Green hydrogen supply
- Green H₂ from HTE electrolysis using renewable electricity consuming 40.05 kWh/kg H₂
- Blue H₂: Apply CC on natural gas SMR.

図 3-19 GHG 排出削減技術別の最大達成可能緩和量(MAM)(地域別内訳)

※GHG 排出削減潜在量はボトムアップモデルを用いて決定される。技術の MAM 値は地域によって異なる(出所) ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

MAM のケースは、F3、F2、F1 シナリオに対応する高、中、低の 3 つのケースと対応。(なお、各シナリオにおける世界全体の加重平均炭素原単位は、ジェット燃料生産全体。LCAF の予測生産量は、各シナリオのメリットカーブのうち、<80.1gCO₂e/MJ の生産から使用までの炭素強度を示す部分として決定される。)

表 3-18 ジェット燃料の平均炭素強度と削減効果

Measures	CI	Effect of measures (delta CI vs Ref)			
	gCO ₂ e/Mj	gCO ₂ e/MJ			
	REF	MAM	HIGH	MED	LOW
Upstream	8.4	-5.7	-5.4	-4.4	-3.2
<i>No Routine Flaring</i>		-2.0	-2.0	-2.0	-2.0
<i>Min. Fugitives</i>		-2.5	-2.5	-1.9	-1.2
<i>Renewables integration - Heavy Oilfields</i>		-1.2	-0.9	-0.6	0.0
Crude transportation	1.4	-1.3	-1.3	-0.9	-0.6
Refinery	4.9	-3.5	-2.4	-1.9	-0.5
<i>CC at CDU furnaces</i>		-1.3	-1.3	-1.0	0.0
<i>CC applied to whole refinery</i>		-1.0	0.0	0.0	0.0
<i>Low carbon electricity</i>		-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
<i>Low carbon steam generation</i>		-0.1	-0.1	-0.1	0.0
<i>Blue/Green H2</i>		-0.6	-0.4	-0.3	0.0
Jet Fuel transportation	1	-0.9	-0.9	-0.5	-0.2
Combustion	73.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Total carbon intensity reduction (gCO ₂ e/MJ)	0.0	-11.3	-9.9	-7.7	-4.5
Global average carbon intensity (gCO₂e/MJ)	89	77	79	81	84

REF:対策なしの参照ケース MAM:最大限の緩和ケース HIGH, MED, LOW:対策の強度別シナリオ(出所) ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

以下シナリオ別の削減技術と普及進捗率を下記表に示す。

表 3-19 LTAG 燃料シナリオの下で LTAG-LCAF に実施される GHG 排出削減対策

Technology Scenario	Description	Target
Low	Low investment scenario based on quick wins and low-hanging fruit GHG mitigation technologies and practices: <ul style="list-style-type: none"> - Minimum flaring - Low carbon electricity use at refinery - Methane leakage detection and control measures in upstream operations 	<ul style="list-style-type: none"> - 100% of target flaring rate (20 scf/bbl) - 100% of target electricity carbon intensity (8 gCO₂e/MJ of electricity) - 50% of target methane intensity (0.2 gCO₂e/MJ or Norway's methane intensity in 2015)
Medium	Moderate investment scenario that extends the low scenario by applying: <ul style="list-style-type: none"> - Methane leakage detection and control measures in upstream operations - Retrofitting carbon capture on the furnace stack of refinery crude distillation column - Partial low carbon steam use at refinery - Partial low carbon hydrogen use at refinery 	<ul style="list-style-type: none"> - 75% of target methane intensity (0.2 gCO₂e/MJ or Norway's methane intensity in 2015) - 75% of target carbon capture efficiency (80% carbon capture rate) - 75% of target steam carbon intensity (19.3 gCO₂e/MJ of steam) - 50% of target hydrogen carbon intensity (combination of green H₂ consuming 40.5 kWh/kg H₂ and blue H₂ applying CCS to SMR)
High	Reaching target emissions reduction for all technologies	- 100% of target

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

LCAF の各 GHG 排出削減対策が、各燃料シナリオ下でどのようにモデル化されるかを示す。技術展開係数(%)は、各燃料シナリオの野心と障壁、及び各技術の実現可能性を表す。

表 3-20 シナリオ別の GHG 排出削減技術の展開状況-技術展開係数(%)で説明

		Low [F1]	Medium [F2]	High [F3]
Upstream	No Routine Flaring	100%	100%	100%
	Min. Fugitives	50%	75%	100%
	Renewable integration - Heavy Oilfields	0%	50%	75%
Crude transportation		50%	75%	100%
Refinery	CC at CDU furnaces	0%	75%	100%
	CC applied to whole refinery	0%	0%	0%
	Low carbon electricity	100%	100%	100%
	Low carbon steam generation	0%	75%	100%
	Low carbon H ₂	0%	50%	75%
Jet fuel transportation		0%	50%	100%
Combustion		0%	0%	0%

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

シナリオメリットカーブは、各シナリオでの LCAF の予測生産量を決定するために使用され、2030 年、2050 年、2070 年で適用する。実際の市場と量を予測する上での限界に注意が必要である。

4) 非ドロップ燃料 LH2 の製造

電気分解を用いた水素製造のモデリングを行い、具体的な電解プロセスは定義されていないが、PEM 電解と整合的な 70% のエネルギー効率を仮定した。

水素の液化は、Aasadnia and Mehrpooya, 2018 に概説されているように、著しい技術的進歩を前提とし、電力需要が 2020 年に 10kWh/kg、2050 年に 5kWh/kg に削減できると仮定する。

パイプライン輸送によるガス状水素の輸送のための電力需要は、アルゴンヌ国立研究所による HDSAM モデルを使って評価した (Argonne National Laboratories, 2015)。その結果、流量 1,500t/d、距離 1,000km の場合、圧縮機ステーションを稼働させるための電力は 0.02MJ/MJ。

表 3-21 LH2 生産と輸送に必要な電力量[MJ(電力)/MJ(LH2)]

工程名	2020	2030	2040	2050	2060	2070
電力	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43
液化	0.3	0.25	0.2	0.15	0.15	0.15
輸送	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
合計	1.75	1.70	1.65	1.60	1.60	1.60

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

5) ライフサイクル GHG の算出法(SAF)

各燃料カテゴリにおけるライフサイクル(LCA)の算出方法を記載する。燃料別に生産から使用まで (Well to wake) の LCA 分析を行った。

a. LTAG-SAF-バイオマス&固体/液体廃棄物ベースの製造

将来のバイオマス及び固体/液体廃棄物ベースの SAF の LCA 値変化をモデル化するために TPP 感度分析を活用した。これは将来、被覆作物が増加した場合や、生産に対する再エネ効果が高まった場合等環境変化の生産への影響を試算したものである。両パターンとも燃料シナリオ定義に含まれており、影響を統合した。それぞれのシナリオ別に普及度合い・重みづけ係数を割り当て、LCA 値の GHG 削減に寄与すると仮定した。具体的には下記の通りである。

表 3-22 SAF の GHG 排出要因の普及の程度

普及の程度(Qualifiers)	重みづけ係数(WF)
なし	0.00
制限的	0.25
中程度	0.50
高程度	0.75
全て	1.00

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

また、普及の程度を表す Qualifiers を 2035 年、2050 年、2070 年に割り当て、普及の程度に応じた重みづけを GHG 排出要因に適用した。GHG 排出要因は TPP が示した通りで、対応するシナリオの LCA 値に追加した。

表 3-23 SAF GHG 排出要因の普及程度 燃料シナリオへの割り当て

要因	F1 シナリオ			F2 シナリオ			F3 シナリオ		
	2035	2050	2070	2035	2050	2070	2035	2050	2070
CC 普及	制限的	中	中	中	高	全て	高	高	全て
RE 普及	制限的	中	中	中	高	高	中	高	全て
CC WF	0.25	0.50	0.50	0.50	0.75	1.00	0.75	0.75	1.00
RE WF	0.25	0.50	0.75	0.50	0.75	0.75	0.50	0.75	1.00

注)CC=被覆作物、RE=再生可能エネルギー、WF=重みづけ係数を意味する。

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

表 3-24 FTG TPP における SAF 生産の GHG 排出要因の変動(gCO₂eq/MJ)

シナリオ	被覆作物	再生可能エネルギー
F1(中)	-6.8	-3.2
F2(高)	-8.3	-3.4
F3(高+)	-10.4	-3.7

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

表 3-25 FTG TPP における SAF の LCA 基準値(各シナリオ)

シナリオ	2035 年 基準値 (gCO ₂ eq/MJ)	2050 年 基準値 (gCO ₂ eq/MJ)
F1(中)	31.5	35.9
F2(高)	32.2	35.3
F3(高+)	33.9	35.2

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

b. LTAG-SAF-排 CO₂-および大気 CO₂ ベースの製造

排 CO₂ と大気 CO₂ ベースの SAF は、CORSIA アプローチで処理し、バイオマス起源・排 CO₂ 起源・DAC 由来の大気 CO₂ 起源の原料を生むための排出はゼロに設定した。

燃料生産過程では、電力が最大要因であり、電力生産の GHG 原単位を考慮することが重要である。発電による排出は ISO スタンドアードのライフサイクル分析に従っている。既存の研究で、GHG 排出係数を風力エネルギーは 3.1 gCO₂e/MJ(elec)、太陽光エネルギーは 11.1 gCO₂e/MJ(elec)としている。排出係数はそれぞれ、1.5 gCO₂e/MJ(elec)、5.6 gCO₂e/MJ(elec)と 2050 年に向けて半減すると想定している。

さらに、系統電力の GHG 排出係数の世界平均を使って感度分析を行った。これは燃料生産に必要な全ての電力が系統から調達される場合である。系統電力の排出原単位はシナリオ別に想定され時間軸が進むほど低下する。下図に示す通り、世界平均系統電力の排出曲線を描くために、シナリオ別に異なる電源の発電排出係数が適用される。

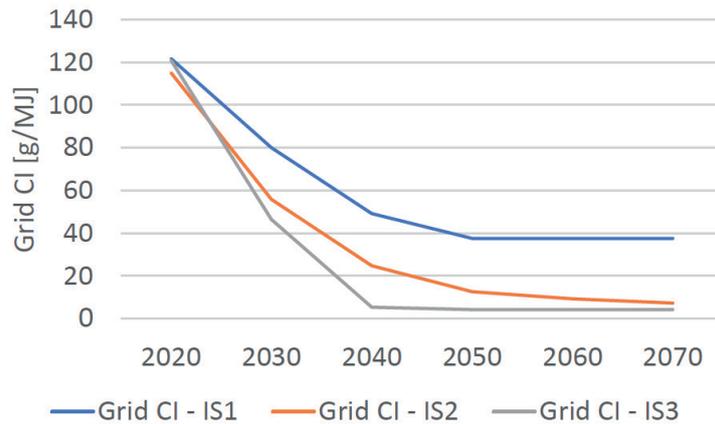


図 3-20 グリッド炭素強度の軌跡. シナリオはグリッドの脱炭素化についての IEA シナリオに対応する (F1: IEA STEPS, F2: IEA SDS, F3: IEA NZE)

出所) ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

(5) 統合シナリオを踏まえた燃料製造量

1) 統合シナリオ別の燃料種導入優先順位

潜在的燃料利用可能量を決定するため、各燃料カテゴリの予測燃料量を燃料シナリオ F1、F2、F3 に従って組み合わせた。これは SAF と LCAF の予測生産量が予測航空燃料需要を上回るよう調整した結果である。燃料の優先順位付けは、燃料の実現可能性を考慮し、下記の通りとした。

F1 は、低コストの GHG 削減を優先し、燃料は最小販売価格 (MSP) \$/L で順序付けた。

F2 は、費用対効果の高い GHG 削減を優先し、限界回避コスト \$/kgCO₂reduced で順序付けた。

F3 は、GHG 削減量の最大化を優先し、燃料の LCA 値 gCO₂/MJ で、順序付けた。

残りの予想される航空燃料の需要は、従来のジェット燃料を使用した。

表 3-26 各燃料シナリオの燃料導入優先順位付け

F1	最小販売価格 (\$/L)	F2	限界排出回避コスト (\$/kgCO ₂ e)	F3	LCA (gCO ₂ e/MJ)
LCAF	0.52	SAF-biomass/waste	<1	SAF-DAC	8-13
SAF-biomass/waste	0.9-2	LCAF	<1	SAF-排 CO ₂	13-16
SAF-排 CO ₂	~2.5	SAF-排 CO ₂	4.3	SAF-biomass/waste	21-24
SAF-DAC	N/A	SAF-DAC	N/A	LTAG-LCAF	80.1

注) LTAG-SAF-DAC は大気中 CO₂ 由来の SAF を意味し、F1・F2 では考慮されない。

出所) ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

2) 交通量制約条件なし潜在燃料量

a. LTAG-SAF-バイオマス&固体/液体廃棄物ベースの製造

バイオマスや固形・液体廃棄物の SAF の潜在的生産量は、下記の通り。FTG TPP SAF 生産市場普及モデルを用いて、2070 年までの SAF 潜在燃料生産量を予測したものである。LTAG 燃料シナリオ(F1・F2・F3)は、FTG TPP シナリオと整合し、順に中位・高位・高位+とした。(電力や水の制約は、バイオマスや固形・液体廃棄物から SAF を製造する制限要因とみなされない。)

表 3-27 制約のない LTAG-SAF-バイオマスと固体/液体廃棄物の予測燃料量(2020 年～2070 年)

Volume [kt/yr]			
Year	F1 LTAG-SAF biomass/waste	F2 LTAG-SAF biomass/waste	F3 LTAG-SAF biomass/waste
2020	693	2,821	4,153
2025	1,707	7,571	12,651
2030	4,195	19,965	36,988
2035	10,208	50,113	96,881
2040	24,294	112,828	202,013
2045	54,991	209,138	310,371
2050	112,523	305,031	374,999
2055	195,138	366,897	401,924
2060	277,509	396,494	411,416
2065	334,604	408,635	414,568
2070	365,012	413,293	415,603

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

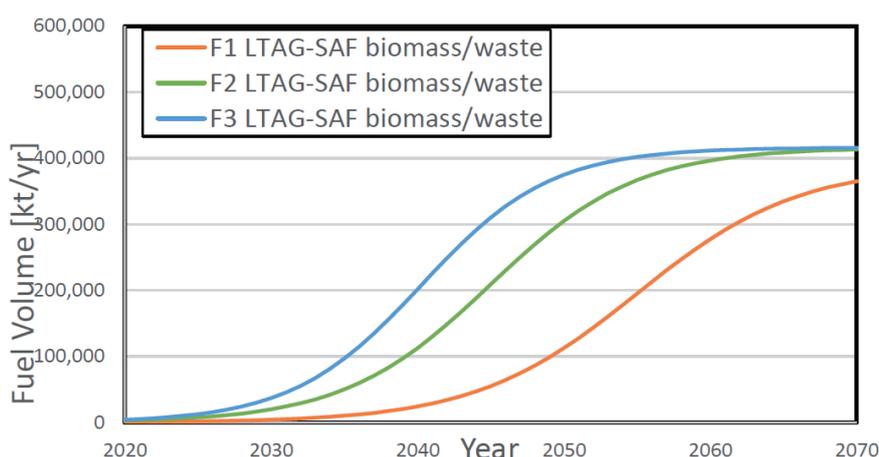


図 3-21 制約のない LTAG-SAF-バイオマスと固体/液体廃棄物潜在的燃料量(2020 年～2070 年)

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

b. LTAG-SAF-排 CO₂-および大気 CO₂ ベースの製造

排 CO₂ や大気中の CO₂ を変換して生産する燃料の制約のない場合の潜在生産量は下記の通り。F1 では、エタノールとアンモニアからの排 CO₂ のみを考慮。2040 年以降に最大 0.05Gt/y の生

産が可能である。

F2 では、鉄鋼とセメント工場の利用を追加することで、2070 年には 0.3~0.35Gt/y までスケールアップが可能である。

F3 では、排 CO₂ と大気中 CO₂ を活用した燃料製造の組み合わせでは、0.35Gt/y に達する。これは、DAC の利用可能性が拡大し、CCS 使用が増加するため、排 CO₂ が減少する。

シナリオと評価期間において、CO₂ 資源か再エネ電力かによって制約要因が異なる。下記に制約条件を示す

表 3-28 制約のない場合の LTAG-SAF-排 CO₂/大気 CO₂ (DAC)予測燃料量(2020 年~2070 年)

Volume [kt/yr]				
Year	F1 LTAG-SAF-CO ₂	F2 LTAG-SAF-CO ₂	F3 LTAG-SAF-CO ₂	F3 LTAG-SAF-DAC
2020	0	0	0	0
2030	24,670	24,637	28,404	5,018
2035	38,745	43,049	49,736	17,495
2040	52,820	61,461	71,068	29,971
2050	51,200	207,577	244,593	54,924
2060	50,380	287,985	210,968	164,771
2070	48,480	336,195	39,170	329,542

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5” ,2022 年 3 月

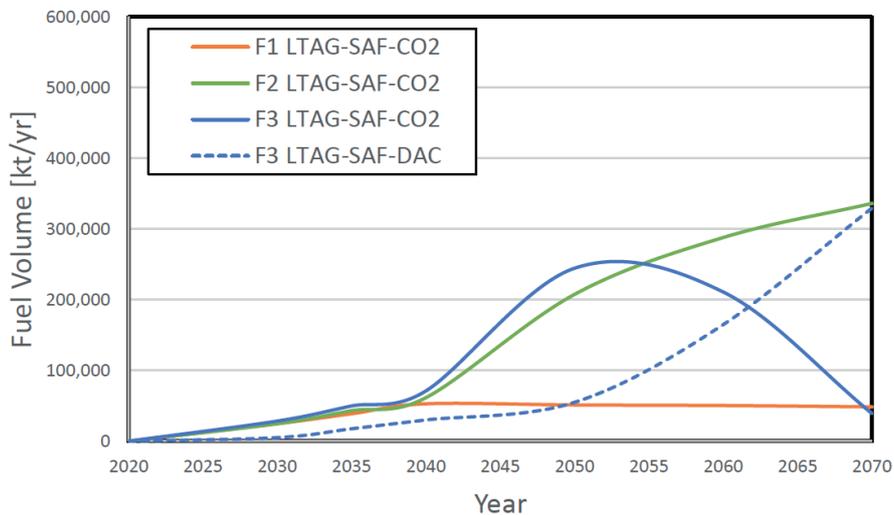


図 3-22 制約のない場合の排 CO₂/大気 CO₂ を原料とする LTAG-SAF の潜在燃料量(2020 年~2070 年)

注) LTAG-SAF-CO₂ は廃棄物由来の CO₂ からの LTAG-SAF, LTAG-SAF-DAC は大気中の CO₂ を原料とする LTAG-SAF(直接空気捕捉方式)を示す。

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5” ,2022 年 3 月

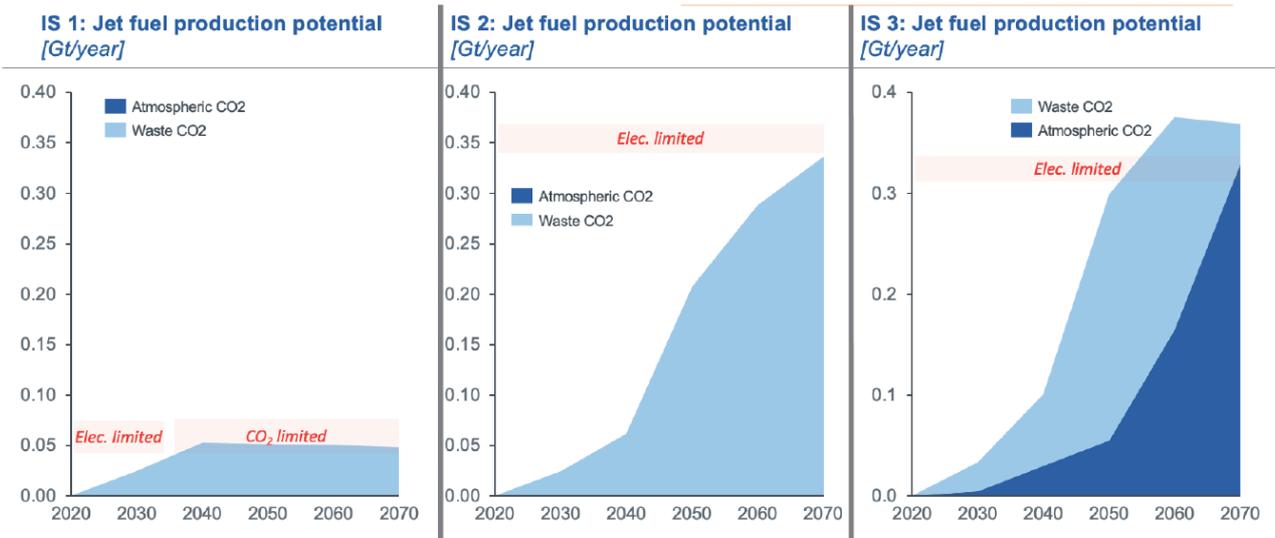


図 3-23 電力もしくはCO2源に制約がある場合の潜在的 PtL 生産量

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022年3月

c. LTAG-LCAF

制約のない場合の LCAF の予測生産量は下記の通り。この LCAF 燃料シナリオの低・中・高は、F1・F2・F3 シナリオに対応する。炭素強度が 80.1gCO₂e 未満のシナリオメリットカーブに相当する重量分率を適用し、予測ジェット燃料消費量全体から導出する。高(F3)シナリオの LCAF は、2070 年までに最大 560MT/年に達する可能性がある。

表 3-29 制約のない場合の LCAF の予測燃料量 (2020 年~2070 年)

Volume [kt/yr]			
Year	F1 LTAG- LCAF	F2 LTAG- LCAF	F3 LTAG- LCAF
2020	0	0	0
2025	0	0	0
2030	4,853	14,439	54,917
2035	29,076	67,907	137,779
2040	34,881	130,160	240,817
2045	40,632	146,369	314,833
2050	45,343	162,319	346,140
2055	51,089	181,533	390,531
2060	57,800	200,748	435,780
2065	66,202	226,304	497,825
2070	75,490	251,617	560,172

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022年3月

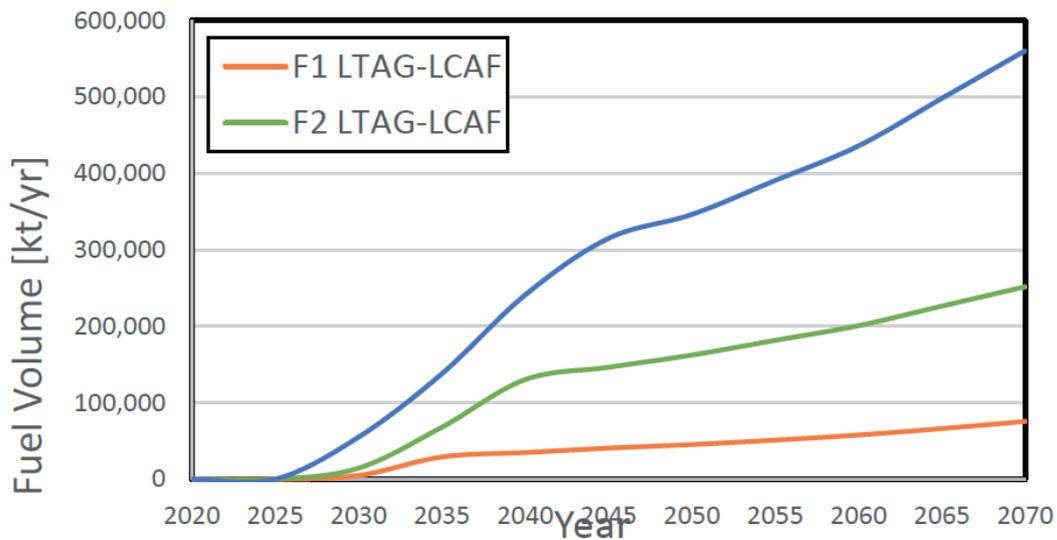


図 3-24 制約のない場合の LTAG-LCAF 潜在的燃料量(2020 年~2070 年)
出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

d. 非ドロップ燃料 LH2

上述の通り、分析は燃料生産が液体水素導入を制約すると想定していない。その代わりに、燃料の入手可能性に制限されない F3 での水素航空機を導入した場合の燃料需要を分析した。下記は、F3 の LH2 需要推計である。モデルとデータベースグループ(MDG)が予測する水素需要は、水素航空機の就航を反映して 2036 年に始まり、2070 年には年間 6-9EJ にまで増加する。

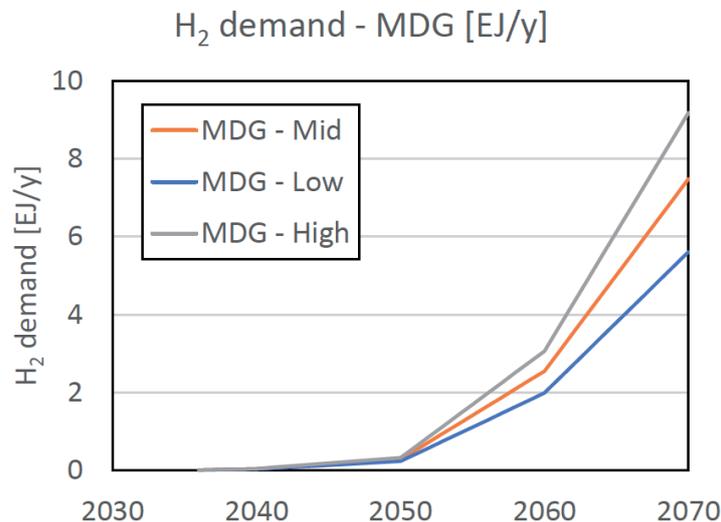


図 3-25 F3 シナリオにおける T3-ACA 航空機のための H2 必要量
出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

3) 交通量予測による制約条件あり燃料製造量

既に述べたように、潜在的な燃料量は、MDG 統合によって FESG 予測航空燃料需要の制約を受け、予測需要量を超えることはない。FESG は LOW・MID・HIGH の 3 つの交通量予測を行い、MDG はモデル化した各燃料シナリオの技術や運用の改善と統合した。これによって、燃料シナリオ F1・F2・F3 にそれぞれ 3 つの交通量予測、合計 9 つのシナリオが確立され、これらによる燃料導入量を試算されている。本報告書においては交通量中位ケースを以降の分析で採用しているため、下記には該当ケースのみを記載する。なおグラフにおける、LH2 は、水素需要で置き換えられたジェット燃料で示され、液体水素の量ではない。

下記の 3 つのグラフは、中交通量予測における燃料量の組み合わせ結果を表示したものである。

下記上図は、F1 の燃料カテゴリ別の将来燃料供給量の内訳である。F1 では、従来のジェット燃料、バイオマス・固形・液体廃棄物由来 SAF、排 CO₂-SAF、LCAF が含まれる。2050 年には、従来のジェット燃料が国際ジェット燃料需要の約 3 分の 2 を占め、残りを SAF と LCAF が供給する。2070 年には、従来のジェット燃料が国際ジェット燃料需要のおよそ半分を占め、残りを LCAF と SAF が供給する。SAF は、ほとんどがバイオマスや固形・液体廃棄物から製造される SAF で賄われる。

下記中段は、F2 での将来の燃料供給量の燃料分類別内訳である。F2 では、従来のジェット燃料、バイオマス・固形・液体廃棄物からの SAF、排 CO₂ からの SAF、LCAF が含まれている。2050 年には、SAF と LCAF が国際ジェット燃料需要の 100% を占め、およそ 70% が SAF、約 30% が LCAF で賄われる。2070 年には、バイオマスや固形・液体廃棄物から作られる SAF は、国際ジェット燃料需要の約 50% を占める。およそ 3 分の 1 は排 CO₂ 由来の SAF で賄われる。LCAF は国際ジェット燃料需要全体の約 20% に減少する。

下記下段は、F3 における燃料カテゴリ別の将来燃料供給の内訳を示したものである。F3 では、従来のジェット燃料、LCAF、バイオマス・固形・液体廃棄物からの SAF、排 CO₂ からの SAF、大気中の CO₂ から SAF、そして LH2 が含まれる。2050 年には、SAF は大気中 CO₂ 由来の SAF を含めて国際ジェット燃料需要の 98% を占め、残りは LH2 が供給する。2070 年には、SAF は大気中 CO₂ 由来の SAF を含めて、国際的なジェット燃料需要の約 68% を供給する。大気中の CO₂ 由来の SAF と LH2 が、それぞれ約 40%、約 30% を供給する。

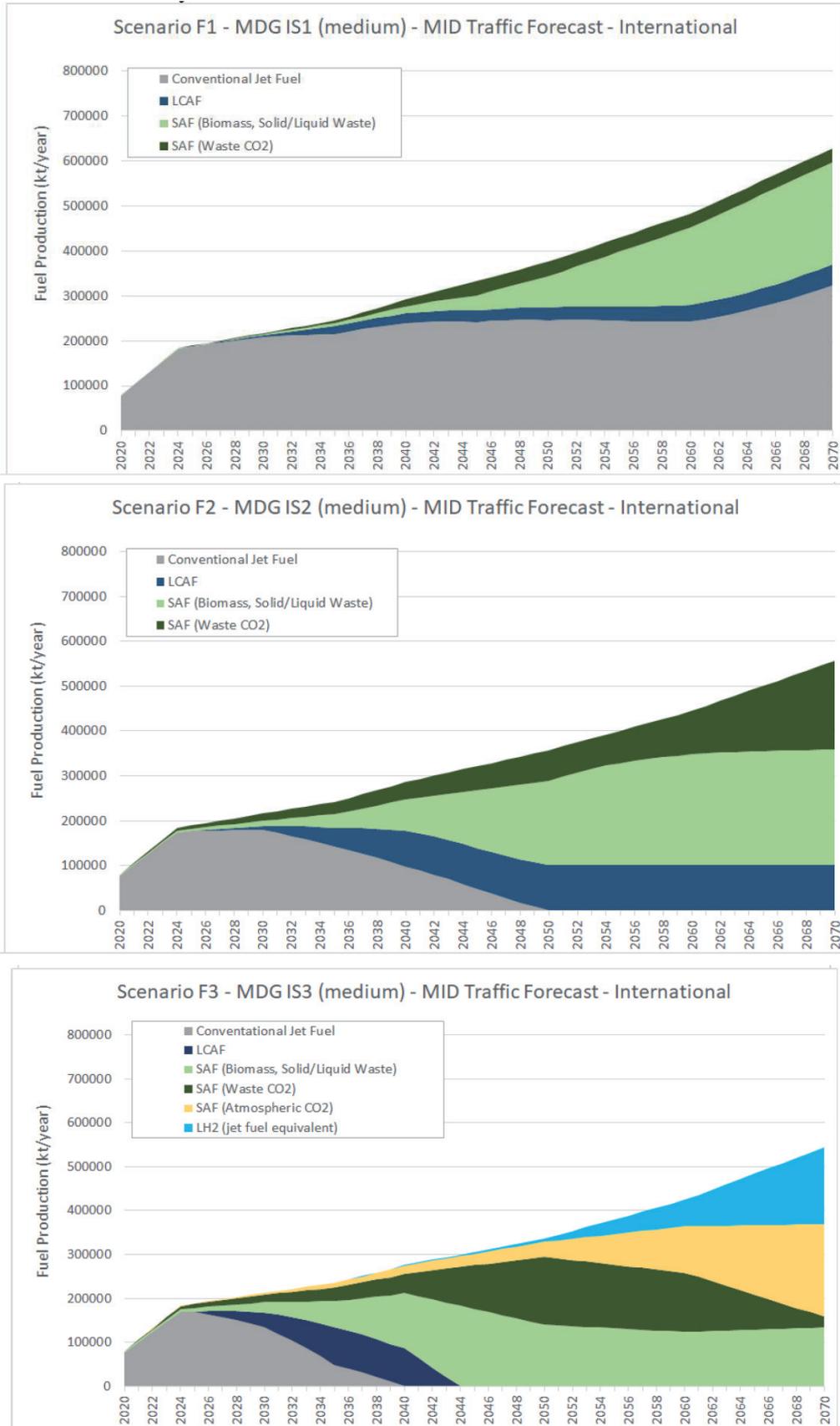


図 3-26 交通需要が中位の場合の燃料量予測

出所) ICAO, "Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5", 2022年3月

下表は各燃料種の詳細である。

表 3-30 交通量中位ケースの燃料量予測(国際線シェア・各燃料の LCA 値・燃料ミックス)

Volumes													
Year		F1				F2				F3			
		Global	Share	Intl	LCA	Global	Share	Intl	LCA	Global	Share	Intl	LCA
	Units	kt/year	%	kt/year	gCO _{2e} /MJ	kt/year	%	kt/year	gCO _{2e} /MJ	kt/year	%	kt/year	gCO _{2e} /MJ
2035	Demand	396399	100%	244999	85.0	391184	100%	241819	71.5	380753	100%	235459	56.3
	SAF-FTG	10208	2.6%	6309	29.0	50113	12.8%	30978	26.4	96881	25.4%	59912	24.2
	SAF-CO ₂	10208	2.6%	6309	17.6	43049	11.0%	26612	16.7	49736	13.1%	30757	16.1
	SAF-DAC	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	17495	4.6%	10819	12.2
	LCAF	29076	7.3%	17971	80.1	67907	17.4%	41978	80.1	137779	36.2%	85203	80.1
	SAF+LCA F	49492	12.5%	30589	56.7	161069	41.2%	99568	46.44	301890	79.3%	186690	47.7
	LH2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0	0.0%	0	8.6
	Jet A/A-1	346907	87.5%	214410	89.0	230115	58.8%	142251	89.0	78863	20.7%	48769	89.0
2050	Demand	606829	100%	375459	71.6	576830	100%	357319	39.0	542948	100%	335619	16.8
	SAF-FTG	112523	18.5%	69620	30.9	305031	52.9%	188952	26.6	222599	41.0%	140324	24.7
	SAF-CO ₂	51200	8.4%	31679	18.3	109480	19.0%	67818	12.9	244593	45.0%	154188	12.5
	SAF-DAC	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	54924	10.1%	34623	8.4
	LCAF	45343	7.5%	28055	80.1	162319	28.1%	100549	80.1	0	0.0%	0	80.1
	SAF+LCA F	209066	34.5%	129354	38.5	576830	100%	357319	39.0	522116	96%	329135	17.3
	LH2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	20832	3.8%	6485	5.6
	Jet A/A-1	397763	65.5%	246105	89.0	0	0.0%	0.00	89.0	0	0.0%	0	89.0
2070	Demand	1009087	100%	627236	63.6	894638	100%	557177	30.4	878963	100%	543912	10.7
	SAF-FTG	365012	36.2%	226887	30.1	413293	46.2%	257397	24.5	209298	23.8%	133636	21.1
	SAF-CO ₂	48480	4.8%	30135	18.3	319026	35.7%	198688	12.9	39170	4.5%	25010	12.5
	SAF-DAC	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	329542	37.5%	210411	8.4
	LCAF	75490	7.5%	46924	80.1	162319	18.1%	101092	80.1	0	0.0%	0	80.1
	SAF+LCA F	488983	48.5%	303946	36.7	894638	100%	557177	30.4	578009	66%	369057	13.3
	LH2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	300953	34.2%	174855	5.6
	Jet A/A-1	520104	51.5%	323290	89.0	0	0.0%	0	89	0	0.0%	0	89.0

出所) ICAO, "Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5", 2022年3月

(6) ライフサイクル GHG 排出削減量

次に、ライフサイクル GHG 排出分析の結果を示す。燃料カテゴリの LCA 値をそれぞれの制約燃料量と組み合わせて、燃料ミックスの LCA 値の加重平均を反映し、この値を用いて、2035年、2050年、2070年における各燃料シナリオ(F1、F2、F3)の排出量削減係数を決定し、従来ジェット燃料からのCO₂削減量を算定した。

1) LTAG-SAF-バイオマス&固体/液体廃棄物ベースの製造

バイオマス燃料と固体/液体廃棄物燃料ベースの SAF LCA 値は下記の通り。

表 3-31 バイオマスと固体/液体廃棄物 LTAG-SAF ライフサイクル値 [gCO₂e/MJ]

Year	F1	F2	F3
2035	29.00	26.38	24.23
2050	30.91	26.55	24.67
2070	30.12	24.49	21.14

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

2) LTAG-SAF-排 CO₂-および大気 CO₂ ベースの製造

大気中 CO₂ 又は排 CO₂ から製造されたドロップイン燃料のライフサイクル GHG 排出量推計は下記の通り。既述の前提から、再エネ電力のみで製造する場合と、平均的な系統電力で製造する場合について示した。その結果、低炭素電力を使用した場合、系統電力の大部分が脱炭素化した場合にのみ、検討対象の燃料は従来のジェット燃料よりも GHG 排出量が少なくなることが示された。

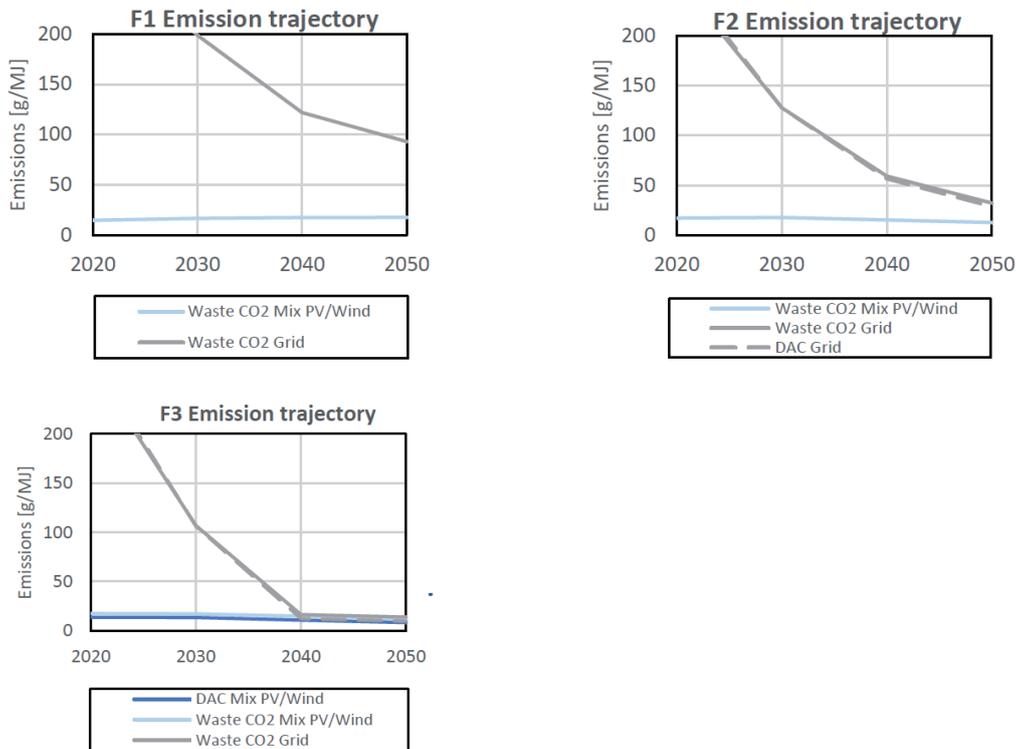


図 3-27 PtL 生産の排出量推計(排 CO₂(F1:上段, F2:中央)または大気中 CO₂(F3:下段))
出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

3) LTAG-LCAF

LTAG-LCAF の生産から使用までの炭素強度は 80.1gCO₂e/MJ と仮定した。この値は、LTAG の分析のために一定であると仮定され、評価対象期間中に変化しない。

4) ノンドロップ燃料 LH2

LH2 生産モデルと仮定に基づき、LH2 生産に伴う GHG 排出量を経時的に算出した。結果は、太陽光発電と風力発電、および世界平均のグリッド電力を使用して生産された LH2 の両方で示されている。

3.5.2 節で説明したグリッドシナリオに従った。その結果を図 5.2 に示す。

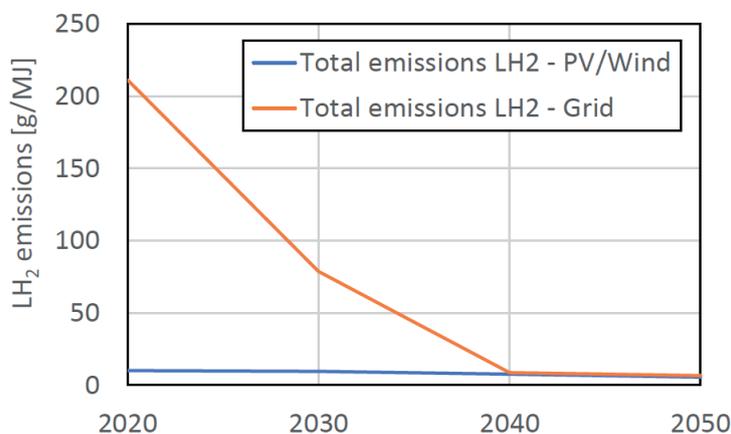


図 3-28 F3 シナリオの LH2 生産におけるライフサイクル GHG 排出

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

5) 1)~4)を踏まえた排出削減量

ジェット燃料の代替供給シナリオが将来の CO2 排出量に与える影響を示すために、それぞれの燃料シナリオで、排出削減率を計算した。(1 - LCfuel mix/LC)

ここで、LCfuel mix は燃料ミックスのライフサイクル排出値、LC は従来のジェット燃料のベースラインのライフサイクル排出値=89gCO2e/MJ である。下表は各燃料シナリオ(F1, F2, F3)における混合燃料の排出削減率をまとめたものである。

表 3-32 予測交通需要が中位の場合の排出削減率

Year	F1	F2	F3
2035	5%	20%	37%
2050	20%	56%	81%
2070	28%	66%	88%

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

LTAG 燃料の改善による全体の CO2 排出量削減量は、ベースラインの従来型ジェット燃料のライフサイクル値 89gCO2e/MJ から、特定の時間軸とシナリオにおける燃料ミックスのライフサイクル値を差し引き、国際的な燃料消費量に乗じることで、CO2 排出削減量を算出する。以下の表に示す。

表 3-33 予測交通需要が中位の場合の CO2 排出削減量 [MtCO2]

Year	F1	F2	F3
2035	35	150	274
2050	232	634	858
2070	565	1,159	1,511

出所)ICAO, “Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal, Appendix M5”, 2022 年 3 月

3.2 第 41 回 ICAO 総会決議の概要

(1) ICAO 長期目標の策定

- 第 40 回 ICAO 総会(2019.10)で、国際航空の長期目標の実現可能性調査を行い、第 41 回総会(2022)で報告させることを決議
- 2019 年 12 月の ICAO 環境委員会(CAEP)にて我が国から、国際航空分野の長期目標検討のためのタスクグループの設置を提案し、多くの支持を得てタスクグループが設置。議長に日本が選任(議長日本、副議長オランダ・サウジ)
- 本タスクグループで、第 41 回 ICAO 総会に向けて、国際航空分野の長期目標の策定に向けて議論を行い、昨年 11 月に報告書を取りまとめ
- 本年 7 月には航空分野の脱炭素化長期目標に係るハイレベル会合が開催され、我が国からは、政府として初めて公式に国際航空分野における 2050 年カーボンニュートラルを目指す旨を宣言し、「2050 年までのカーボンニュートラル」を目標として盛り込んだ成果文書が中国を除く大多数の支持により採択
- ハイレベル会合の結果を踏まえ、第 41 回 ICAO 総会で「2050 年までのカーボンニュートラル」が国際航空分野の長期目標として採択

表 3-34 ICAO 総会決議における脱炭素化目標

	短中期目標	長期目標
パリ協定	産業革命以降の平均気温上昇を 2 度未満に抑制(義務)、1.5 度未満に抑制(努力) 今世紀後半には排出量と吸収量を均衡させる(義務)	
(参考)協定下での日本の目標	2013 年度比総排出量 46%減(全分野として)(2030 年度)	2050 年カーボンニュートラルの実現を目指す(全分野として)
国際民間航空機関(ICAO)	燃料効率を年平均2%改善 2020 年以降総排出量を増加させない *CORSIA(国際航空におけるカーボンオフセット制度)により 2035 年に達成することを意図	2050 年までのカーボンニュートラル(今次 ICAO 総会で採択)

出所)国土交通省航空局資料(2022.11)

(2) 第 41 回 ICAO 総会における環境関係の決定概要

国際航空分野の CO₂ 排出量は世界全体の約 1.8%(6.2 億トン)を占め、パリ協定や国際海事機関(IMO)では、CO₂ 削減に係る長期目標が設定されているが、国際航空分野の気候変動対策を担当する国際民間航空機関(ICAO)では設定されていなかったところである。

第 41 回 ICAO 総会(2022 年 10 月)において、2050 年までのカーボンニュートラルを目指す脱炭素化長期目標を採択するとともに、2035 年までの取組についてオフセット量算定の基準となるベースラインを 2019 年の 85%に変更すること等が決定された(図 3-29)。

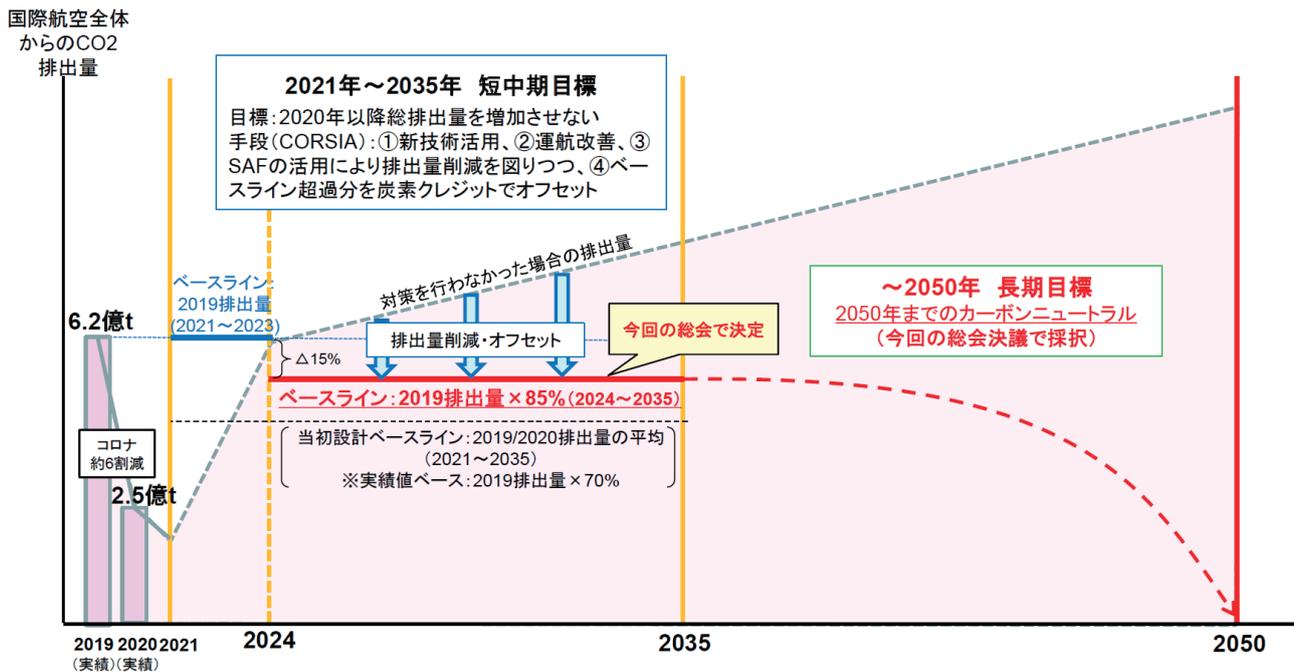


図 3-29 第 41 回 ICAO 総会決議における脱炭素化目標

出所)国土交通省航空局資料(2022.11)

第 41 回 ICAO 総会の決議の概要は以下のとおりであり、各国の貢献のあり方が問われている内容となっている。

第 41 回 ICAO 総会決議の概要

- 6 また、ICAO 及びその加盟国は、個々の国に特定の義務を帰属させることなく、関係機関とともに、2020 年以降の国際航空からの世界の正味炭素排出量を同じレベルに保つという、中期的な世界的・野心的な目標(Medium term global aspirational goal)の達成に向けて努力することを、特に以下に配慮し決議する。
 - 各国の特別な状況と能力(special circumstances and respective capabilities of States)、特に発展途上国
 - 航空市場の成熟度
 - 国際航空産業の持続可能な成長
 - 以下のパラグラフ 7 の長期的な世界的野心的な目標を認識しつつ、低排出技術及び燃料並びにその他の緩和措置が開発及び展開されるまで、国際航空交通の予想される増加により排出量が増加する可能性があること；
- 7 さらに、ICAO 及びその加盟国は、上記パラ 6 の中期的世界的願望目標に加えて、パリ協定の気温目標を支持し、2050 年までに炭素排出量を正味ゼロとする国際航空に関する collective LTAG(Long term global aspirational goal)の達成に向けて努力するために協力することが奨励されることを決議する。その際、以下の各国の特別な状況と能力(special circumstances and respective capabilities of States)が、各国の自国の

タイムフレーム内で LTAG に貢献する能力を示すことを認識。

- 開発のレベル
 - 航空市場の成熟度
 - 国際航空の持続可能な成長
 - 公正な移行
 - 航空輸送開発の国家的優先事項
- 8 LTAG は、集団的な世界的野心的な目標であり、排出削減目標という形での特定の義務やコミットメントを個々の国に帰するものではないことを認識しつつ、各国に対し、社会的、経済的及び環境的に持続可能な方法で、かつ、各国の状況に応じて、目標の達成に貢献するよう要請する。
 - 9 理事会に対し、以下を通じて、LTAG の達成に向けた措置バスケットのすべての要素の実施の進捗状況を定期的に監視するよう要請する。
 - SAF・ICAO ビジョンのレビュー
 - 気候変動が国際航空、地域及び国、特に開発途上国に与える CO2 排出削減及びコストへの影響
 - セクターの発展への影響
 - LTAG を達成するための努力のコスト影響の更なる評価
 - 国際航空 CO2 排出削減のための国家行動計画からの情報の監視
 - 実装の手段
 - この目的のために、理事会は進捗状況を監視するために必要な方法論を検討し、ICAO 総会の将来のセッションに報告する。

4. シナリオ分析のアップデート

3 を踏まえ、2021 年度にとりまとめた「航空分野の長期的な排出削減対策見通し」をアップデートした。具体的には、航空技術、運航技術の導入時期や導入見通しについて、LTAG 報告書を踏襲して各種パラメータを更新した。また、輸入 SAF 及び LCAF の供給見通しや水素航空機における水素の需要については、国内の供給計画との比較を行うとともに、ライフサイクル GHG を踏まえて CO₂ 排出に反映した。

4.1 排出削減対策見通しアップデートの全体像

排出削減対策見通しの枠組み、2021 年度調査からの主な変更点を示す。

(1) 枠組み

対象範囲：本邦航空会社の国内線及び国際線(外国発含む)

対象年次：2020～2070 年

推計手法：2021 年度調査で構築したフレームワーク(図 4-1)

前提条件：2021 年度調査の前提条件を基本に、ICAO LTAG を踏まえて一部見直し

削減対策：航空技術は 3 ケース(T1,T2,T3)、運航技術は 1 ケース(O1)、燃料は 3 ケース(F1,F2,F3)、統合シナリオは全組み合わせの 9 ケース

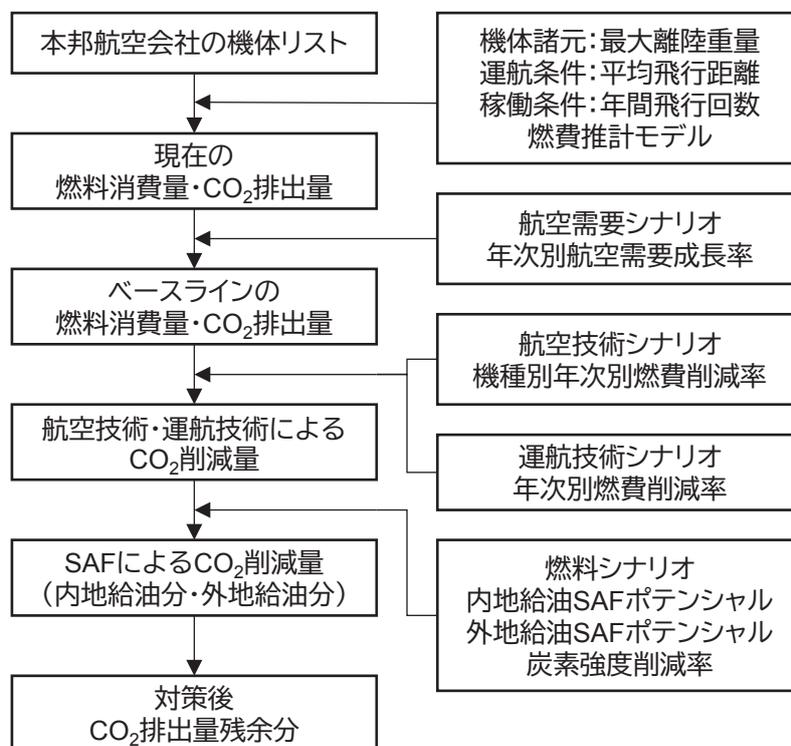


図 4-1 排出削減対策見通し推計手法

出所)三菱総合研究所「令和3年度航空分野における CO₂ 排出削減方策に関する調査研究(長期目標調査)補助業務報告書」(2022.3)に基づき作成

1) 対象範囲

本推計の対象範囲は、本邦航空会社の国内線及び国際線(外国発含む)とした。なお、各種検討の参考とした ICAO LTAG は世界全体の国際線、ATAG Waypoint 2050 は世界全体の国内線・国際線を対象としており、推計対象範囲が異なる点に留意が必要である。

表 4-1 推計対象範囲

本推計	国内線(日本):本邦航空会社(定期便のみ) 国際線(日本):本邦航空会社のみ(外国発含む)
参考 1:ICAO LTAG	世界全体の国際線
参考 2:ATAG Waypoint2050	世界全体の国内線・国際線

出所)ICAO「LTAG Report」(2022.3),

<https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Pages/LTAGreport.aspx>, 2022.10.7 閲覧

出所)Air Transport Action Group (ATAG)「WAYPOINT 2050 Second Edition」(2021.9),

https://aviationbenefits.org/media/167417/w2050_v2021_27sept_full.pdf, 2022.10.7 閲覧

2) 対象年次

本推計の対象年次は、2020～2070 年とした。

国土交通省では、2030 年～2050 年を見据えた航空分野における脱炭素化推進目標(図 4-2)を策定しており、短中期(2030 年)、長期(2050 年)が本調査研究の主要なターゲットとなる。加えて、長期の目標、対策を検討する上では、その時点を通過点とするその先の傾向を把握しておくことも必要と考え、超長期(2070 年)までを検討対象とした。

1.航空の脱炭素化の推進の意義及び目標

(意義)

- ・2050年カーボンニュートラルに向けて航空の脱炭素化への取組は不可欠
- ・国際競争力の維持・強化、航空ネットワークの維持・発展、地域連携・レジリエンス強化のためにも脱炭素化の推進が重要

(目標)

2030年	2050年
国際航空：2020年以降総排出量増加制限 国内航空：単位輸送量当たりのCO2排出量2013年度比16%削減 空港：各空港の温室効果ガス排出量2013年度比46%以上削減 さらに、空港全体でカーボンニュートラルの高みを目指す	航空（国際・国内）：カーボンニュートラル 空港：新技術の活用促進及びクレジット創出・利用拡大

図 4-2 わが国の航空脱炭素化推進目標

出所)国土交通省航空局「航空脱炭素化推進基本方針(概要)」(2022.12.1),

https://www.mlit.go.jp/report/press/kouku08_hh_000039.html, 2023.3.5 閲覧

3) 推計手法

2021 年度調査で構築した排出削減対策見通し推計手法に係るフレームワーク(図 4-1)を適用した。推計手法の大まかな流れは、まず無対策の場合(ベースライン)の CO2 排出量を推計し、次に各対策を講じた時の CO2 排出削減量並びに CO2 排出量残余分を推計する流れとした。

a. 無対策の場合(ベースライン)の CO2 排出量の推計

まず、現在の本邦航空会社の機体リストと、2021 年度調査で構築した燃料消費量推計モデルから、現在の燃料消費量および CO2 排出量を算出する。次に、航空需要シナリオに基づく年次別航空需要成長率を乗じることで、将来ベースラインの燃料消費量・CO2 排出量を算出する。

<推計手順>

- 本邦航空会社の機体諸元／運航条件／稼働条件の作成
- 燃料消費量推計モデルに基づく現在の燃料消費量・CO₂ 排出量の算出
- 航空需要シナリオ(年次別航空需要成長率)の作成
- ベースラインの燃料消費量・CO₂ 排出量

b. 各対策を講じた時の CO₂ 排出削減量並びに CO₂ 排出量残余分の推計

将来ベースラインの CO₂ 排出量を基準に、まず、航空技術シナリオに基づく機種別年次別燃費削減率と、運航技術シナリオに基づく年次別燃費削減率から、航空技術・運航技術による CO₂ 排出削減量を算出する。次に、燃料シナリオに基づく内地給油 SAF ポテンシャルおよび外地給油 SAF ポテンシャルと、航空技術・運航技術対策後の燃料消費量から、内地給油・外地給油それぞれの SAF 使用量を算出し、SAF の炭素強度削減率を乗じることで SAF による CO₂ 削減量を算出する。最後に、ベースラインの CO₂ 排出量から、各対策を講じた時の CO₂ 排出削減量を減じて、残った分を CO₂ 排出量残余分として算出する。

<推計手順>

- 航空技術シナリオ(機種別年次別燃費削減率)の作成
- 運航技術シナリオ(年次別燃費削減率)の作成
- 航空技術・運航技術による CO₂ 削減量の算出
- 燃料シナリオ(国内給油 SAF ポテンシャル／外地給油 SAF ポテンシャル／炭素強度削減率)の作成
- SAF による CO₂ 削減量(国内給油分・外地給油分)の算出
- 対策後 CO₂ 排出量残余分の算出

4) 前提条件

2021 年度調査の前提条件を基本に、航空需要シナリオ、航空技術シナリオ、運航技術シナリオ、燃料シナリオについて、ICAO LTAG 等を踏まえて一部見直しを行った。

5) 削減対策

航空技術は 3 ケース(T1,T2,T3)、運航技術は 1 ケース(O1)、燃料は 3 ケース(F1,F2,F3)、統合シナリオは全組み合わせの 9 ケースを設定した。なお、各削減対策のケースの大まかな考え方(下位、中位、上位という幅のあるケース設定)およびケース数、統合シナリオのケース数は 2021 年度調査を踏襲しているものの、具体的なケースの考え方、設定値等は一部見直しを行っている点に留意が必要である。

(2) 2021 年度調査からの主な変更点

2021 年度調査で構築したフレームワークを活かし、ICAO LTAG を踏まえて、各種シナリオの一部

見直しを行った。2021 年度調査からの主な変更点は以下の通りである。

<主な変更点(2021 年度調査→2022 年度本調査)>

- 航空需要シナリオの見直し
 - ICAO LTAG に基づき、長期(2031～)の航空需要成長率を再設定
- 航空技術シナリオの見直し
 - ICAO LTAG に基づき、機材タイプ別(WB,NB 等)の新技术導入、導入時期、普及率に基づく年次別燃費改善率を再設定
- 運航技術シナリオの見直し
 - ICAO LTAG に基づき、各種施策による燃費削減率・普及率を踏まえ超長期(2051～)の燃費改善率を再設定
- 燃料シナリオの見直し
 - ICAO LTAG に基づき、CO₂・水素原料の合成燃料(PtL)、大気中 CO₂ 直接回収(DAC)、輸入 SAF、低炭素化石燃料(LCAF)、水素の供給ポテンシャル、種別炭素強度削減率を再設定

4.2 シナリオ・前提条件

無対策の場合(ベースライン)の CO₂ 排出量、各対策を講じた時の CO₂ 排出削減量並びに CO₂ 排出量残余分の推計に必要なシナリオ・前提条件について、燃料消費量推計モデル、本邦航空会社の機体諸元／運航条件／稼働条件、航空需要シナリオ、航空技術シナリオ、運航技術シナリオ、燃料シナリオの順で設定した。

4.2.1 燃料消費量推計モデル

燃料消費量推計モデルは、本邦航空会社が保有する航空機の燃料消費量を算出するために、2021 年度調査で構築されたモデルである。本モデルに、本邦航空会社保有航空機の機体リスト、機体諸元、運航条件、稼働条件を入力すると、本邦航空会社全体の年間燃料消費量が出力される。燃料消費量推計モデルの概要を以下に示す。なお、モデル構築に係る検討プロセス、使用データ、パラメータ推定結果等の詳細については、2021 年度調査報告書を参照されたい。

<モデル式>

本邦航空会社全体の年間燃料消費量($FUEL$)[ℓ /年]は、式 1 により、機体 a の年間燃料消費量($FUEL_a$)[ℓ /年]を全機体分積み上げることにより算出する。

$$FUEL = \sum_a FUEL_a \quad (\text{式 1})$$

機体 a の年間燃料消費量 ($FUEL_a$) [ℓ/年] は、式 2 により、国際線・国内線別に設定される係数 (k_n) (国内線: $k_d=0.42$ /国際線: $k_i=0.46$)^{*}、機体 a の最大離陸重量 ($MTOW_a$) [t/機]、機体 a の平均運航距離 ($DIST_a$) [km/回] (空港間の直線距離)、機体 a の年間運航回数 (FLY_a) [回/年] を乗じることに
より算出する。

$$FUEL_a = k_n \times (e^{0.424} \times MTOW_a^{0.888} \times DIST_a^{0.72} \times FLY_a) \quad (\text{式 2})$$

^{*} k_n は、本来的には離陸重量と最大離陸重量の比率を表す指標であるが、実際にはモデルの推定誤差も影響しており、実際の離陸重量と最大離陸重量の比率よりも小さな値になっていると考えられる。

4.2.2 本邦航空会社の機体リスト／機体諸元／運航条件／稼働条件

燃料消費量算出の前提条件となる現在の本邦航空会社の機体リスト、機体諸元、運航条件、稼働条件を設定した(表 4-2)。ここでの設定値は、すべて 2021 年度調査における設定を踏襲している。

(1) 機体リスト

本邦航空会社の機体リストは、各国航空局公式サイトや各種非公式サイトに基づき全世界の航空機情報を網羅的に整理しているウェブサイト「Planespotters.net」の 2021 年 7 月末時点の情報に基づき抽出・整理した(<https://www.planespotters.net/>, 2021 年 8 月 4 日閲覧)。

(2) 機体諸元(最大離陸重量)

機体諸元として、本邦航空会社の際内・機種別の最大離陸重量[t]を OAG 時刻表(2019年)に基づき設定した。なお、同一の際内・機種分類であっても最大離陸重量の異なる機体が存在する。そのため、平均値の算出に当たっては OAG 時刻表(2019年)による機体別の年間運航回数を重みとする加重平均値として算出した。

(3) 運航条件(平均運航距離)

運航条件として、本邦航空会社の際内・機種別の平均運航距離[km]を OAG 時刻表(2019年)に基づき設定した。なお、同一の際内・機種分類であっても運航距離は多種多様である。そのため、平均値の算出に当たっては OAG 時刻表(2019年)による機体別の年間運航回数を重みとする加重平均値として算出した。機体別の運航距離は、空港間の直線距離で設定した。

(4) 稼働条件(年間運航回数)

稼働条件として、本邦航空会社の際内・機種別の年間運航回数[回/年]を OAG 時刻表(2019年)に基づき設定した。

表 4-2 本邦航空会社の機体リスト／機体諸元／運航条件／稼働条件

際内	タイプ	機種名	機数 [機]	最大離陸重量 [t]	平均運航距離 [km/回]	年間運航回数 [回/年機]
国際旅客	NB	Airbus A320-200	11	78	1,743	2,995
		Airbus A321neo	3	78	1,743	0
		Boeing 737-800	9	82	1,787	1,373
	WB	Airbus A380-800	3	560	6,133	186
		Boeing 767-300	24	187	3,443	656
		Boeing 777-200	6	298	3,470	1,379
		Boeing 777-300	28	353	9,258	562
		Boeing 777-9	3	353	9,258	0
		Boeing 787-10 Dreamliner	3	255	4,626	223
		Boeing 787-8 Dreamliner	49	228	4,230	650
		Boeing 787-9 Dreamliner	64	253	6,189	429
国内旅客	TP	ATR 42-600	11	19	226	2,039
		ATR 72-600	2	23	304	1,279
		Bombardier DHC-8-400	8	29	326	11,009
		ATR 42-600	2	14	201	5,364
	RJ	Bombardier CRJ-700	10	35	634	2,685
		Embraer ERJ-170	16	46	511	6,961
	NB	Airbus A320-200	69	78	811	1,452
		Airbus A321-200	24	94	644	1,064
		Boeing 737-700	148	81	785	2,183
	WB	Airbus A350-900	12	280	867	140
		Boeing 767-300	31	199	793	2,559
		Boeing 777-200	13	298	847	4,188
		Boeing 777-300	5	300	1,133	3,112
		Boeing 787-8 Dreamliner	16	251	782	1,066
	国際貨物	WB	Boeing 787-9 Dreamliner	8	448	5,845
Boeing 767-300F			9	189	1,932	1,075
Boeing 777F			2	348	1,556	151
合計			589			

注) Airbus A321neo および Boeing 777-9 は新型機材であり、2021年7月時点に存在するが、2019年の運航回数はゼロ。
 原典) 機種名・機数は「Planespotters.net」(2021年7月末時点), <https://www.planespotters.net/>, 2021.8.4 閲覧
 最大離陸重量、平均運航回数、年間運航回数は、OAG 時刻表(2019年)
 出所) 三菱総合研究所「令和3年度航空分野における CO2 排出削減方策に関する調査研究(長期目標調査)補助業務報告書」
 (2022.3)等に基づき作成

4.2.3 航空需要シナリオ

航空需要シナリオとして、国内旅客、国際旅客、国際貨物別の年次別航空需要成長率を設定し、ベースラインの燃料消費量および CO2 排出量を算出した。

(1) 航空需要成長率

各種文献等に基づき国内旅客、国際旅客、国際貨物別の 2021~2070 年の年次別航空需要成長

率を設定した(表 4-3、表 4-4、図 4-3)。

表 4-3 航空需要シナリオ

	2021~ 2023	2024~ 2030	2031~2070
国内旅客	①IATA, COVID-19 Outlook for air travel in the next 5 years	②交通政策審 議会航空分科 会第 15 回基本 政策部会に基づ く想定	③横ばい
国際旅客		④第 2 回「航空 機運航分野にお ける CO ₂ 削減 に関する検討 会」に基づくと 想定	⑤2029-30 年の成長率を基準に、2031 年以降 の ICAO-LTAG(中位)による年平均成長率鈍化を 反映し、2031-38 年 3.1%、2039-50 年 3.0%、2051-60 年 2.3%、2061-70 年 2.1% で設定。
国際貨物	⑥3.1%/年 (ATAG Waypoint2050 の中 位シナリオ)		⑦2029-30 年の成長率を基準に、2031 年以降 の ICAO-LTAG(中位)による年平均成長率鈍化を 反映し、2031 年以降の ICAO-LTAG(中位)年平 均成長率の鈍化を加算して設定。具体的には、 2031-38 年 3.0%、2039-50 年 3.1%、 2051-60 年 3.0%、2061-70 年 2.6%で設定。
備考	2021 年度調査から変更なし		ICAO-LTAG に基づき 2021 年度調査よりも長期 の航空需要成長率鈍化を反映

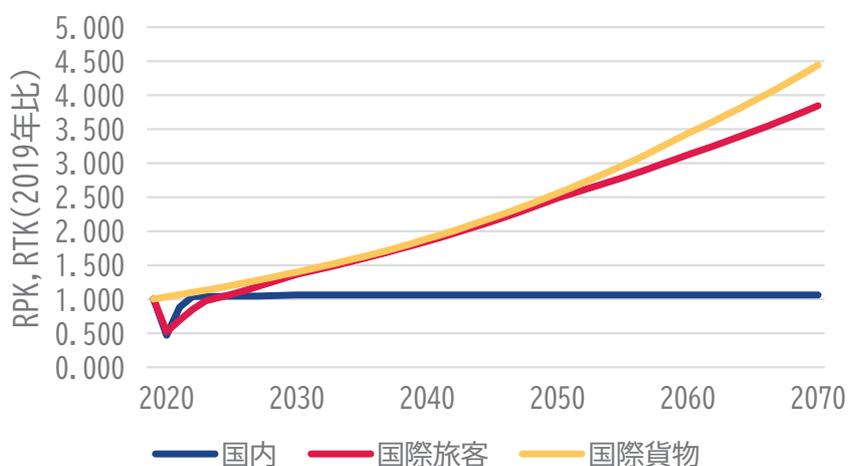


図 4-3 航空需要想定

表 4-4 航空需要想定

		航空需要 RPK, ATK (2019年比)								年平均成長率 (%)						
		2019	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070	2019-25	2026-30	2031-35	2036-40	2041-50	2051-60	2061-70
中位	国内	1.000	1.041	1.059	1.059	1.059	1.059	1.059	1.059	0.7%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	国際旅客	1.000	1.072	1.366	1.591	1.850	2.486	3.121	3.842	1.2%	5.0%	3.1%	3.1%	3.0%	2.3%	2.1%
	国際貨物	1.000	1.201	1.399	1.622	1.884	2.557	3.436	4.441	3.1%	3.1%	3.0%	3.0%	3.1%	3.0%	2.6%

1) 国内旅客

コロナ禍の影響が見込まれる 2021～2023 年は IATA(2020)が示したシナリオ¹に基づき需要伸び率を設定した(①)。2024 年から 2030 年までは、交通政策審議会航空分科会第 15 回基本政策部会(2014)²の資料 3 における需要予測を元とした数値とし(②)、2031 年以降は需要を横ばいとした(③)。

- 国内旅客 :2019 年比で 2030 年 1.059、2050 年 1.059、2070 年 1.059

2) 国際旅客

コロナ禍の影響が見込まれる 2021～2023 年は国内旅客と同様に IATA(2020)が示したシナリオ¹に基づき需要伸び率を設定した(①)。2024 年から 2030 年までは、第 2 回「航空機運航分野における CO2 削減に関する検討会」(2021)³での 2030 年 SAF 導入量試算のために用いられている前提条件⁴を用い(④)、2031 年以降は、④による 2029-30 年の成長率を基準に、2031 年以降の ICAO-LTAG(中位)による年平均成長率鈍化を反映し、2031-38 年 3.1%、2039-50 年 3.0%、2051-60 年 2.3%、2061-70 年 2.1%で設定した(⑤)。

- 国際旅客 :2019 年比で 2030 年 1.366、2050 年 2.486、2070 年 3.842

3) 国際貨物

貨物に関しては、旅客ほどコロナ禍の影響を受けていないことから、2019 年から 2030 年までは ATAG Waypoint2050(2021)の年平均成長率 3.1%を適用することとし(⑥)、2031 年以降は、⑥による 2029-30 年の成長率を基準に、2031 年以降の ICAO-LTAG(中位)による年平均成長率鈍化を反映し、2031 年以降の ICAO-LTAG(中位)年平均成長率の鈍化を加算して設定した(⑦)。具体的には、2031-38 年 3.0%、2039-50 年 3.1%、2051-60 年 3.0%、2061-70 年 2.6%とした。

- 国際貨物 :2019 年比で 2030 年 1.399、2050 年 2.557、2070 年 4.441

4) 参考:2021 年度調査からの主な変更点

- 短中期(～2030)は変更なし
- 長期(2031～)は国際線の成長率鈍化を反映(下方修正)

¹ IATA「COVID-19 Outlook for air travel in the next 5 years」(2020.5.13)

<https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/covid-19-outlook-for-air-travel-in-the-next-5-years/>

² 国土交通省、https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/kouku01_sg_000152.html、平成 26 年 4 月開催

³ 国土交通省航空局、「航空分野における CO2 削減に向けたアプローチ毎の取組の方向性」、2021 年 6 月 と同様

⁴ ICAO による North Asia 地域(日本が含まれる。)と他のエリアとの往來の各成長率(推計)を OAG 時刻表(2019 年)の日本発着の方面別席キロシェアに対して適用

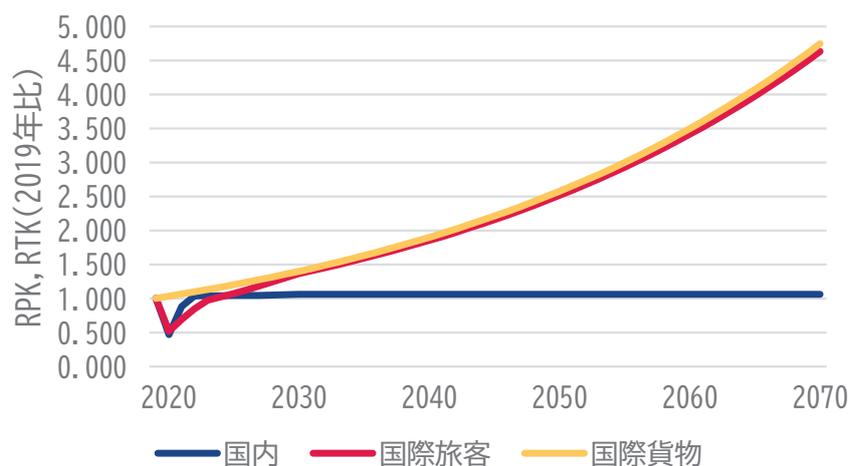


図 4-4 参考:航空需要想定(2021 年度調査)

表 4-5 参考:航空需要想定(2021 年度調査)

		航空需要 RPK, ATK (2019年比)								年平均成長率 (%)						
		2019	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070	2019-25	2026-30	2031-35	2036-40	2041-50	2051-60	2061-70
中位	国内	1.000	1.041	1.059	1.059	1.059	1.059	1.059	1.059	0.7%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	国際旅客	1.000	1.072	1.366	1.591	1.853	2.515	3.413	4.632	1.2%	5.0%	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%
	国際貨物	1.000	1.201	1.399	1.630	1.899	2.576	3.496	4.745	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%

注)網掛けは今年度変更した箇所

(2) ベースラインの CO2 排出量

4.2.1 の燃料消費量推計モデルに、4.2.2 で設定した本邦航空会社の機体リスト／機体諸元／運航条件／稼働条件を入力することで、2019 年現在の国内旅客、国際旅客、国際貨物別かつ機種別の燃料消費量を算出し、そこに 4.2.3(1)の年次別航空需要成長率を乗じることで、将来の年次別燃料消費量を算出した。また、年次別燃料消費量に、ジェット燃料の比重 0.8kg/l及び CORSIA における排出係数 3.16g-CO2/kg を乗じて、CO2 排出量に換算した。

その結果、ベースラインの CO2 排出量は、図 4-5、表 4-6 の通り算出された。2050 年時点の CO2 排出量は、国内旅客機で約 1,134 万 t-CO2、国際旅客機で約 3,492 万 t-CO2 国際貨物機で約 369 万 t-CO2、合計で 4,994 万 t-CO2(2019 年比約 1.9 倍)と推計された。

- 国内旅客機 :2030 年 1,134 2050 年 1,134 2070 年 1,143 万 t-CO2
- 国際旅客機 :2030 年 1,918 2050 年 3,492 2070 年 5,396 万 t-CO2
- 国際貨物機 :2030 年 202 2050 年 369 2070 年 495 万 t-CO2
- 合計 :2030 年 3,254 2050 年 4,994 2070 年 7,170 万 t-CO2

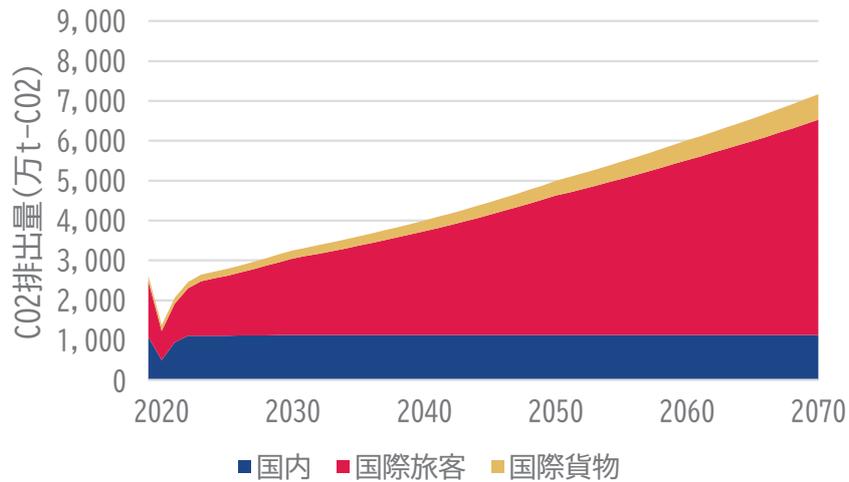


図 4-5 ベースラインの CO2 排出量見通し(本調査)

表 4-6 ベースラインの CO2 排出量見通し(本調査)

ベース		CO2排出量 (万t-CO2)								年平均成長率 (%)						
		2019	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070	2019-25	2026-30	2031-35	2036-40	2041-50	2051-60	2061-70
ベース	国内	1,070	1,115	1,134	1,134	1,134	1,134	1,134	1,134	0.7%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	国際旅客	1,405	1,506	1,918	2,235	2,598	3,492	4,383	5,396	1.2%	5.0%	3.1%	3.1%	3.0%	2.3%	2.1%
	国際貨物	144	173	202	234	272	369	495	640	3.1%	3.1%	3.0%	3.0%	3.1%	3.0%	2.6%
	合計	2,619	2,794	3,254	3,602	4,004	4,994	6,013	7,170	1.1%	3.1%	2.1%	2.1%	2.2%	1.9%	1.8%

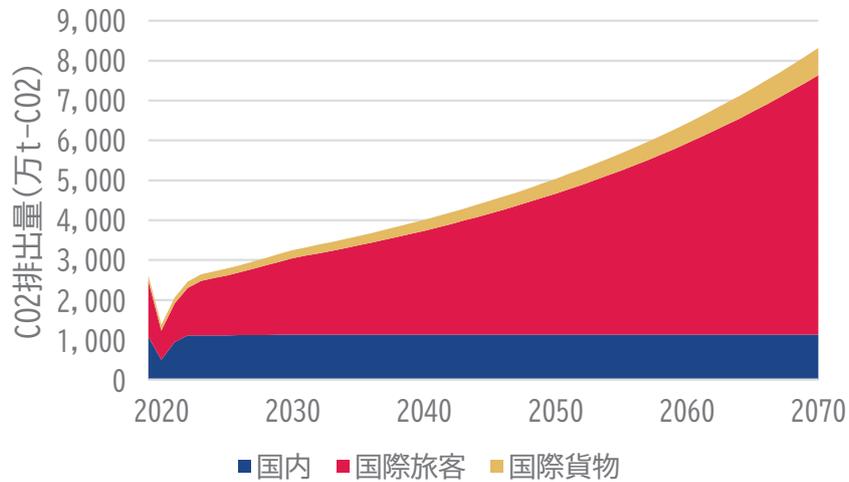


図 4-6 参考:ベースラインの CO2 排出量見通し(2021 年度調査)

表 4-7 参考:ベースラインの CO2 排出量見通し(2021 年度調査)

ベース		CO2排出量 (万t-CO2)								年平均成長率 (%)						
		2019	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070	2019-25	2026-30	2031-35	2036-40	2041-50	2051-60	2061-70
ベース	国内	1,070	1,115	1,134	1,134	1,134	1,134	1,134	1,134	0.7%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	国際旅客	1,405	1,506	1,918	2,235	2,603	3,533	4,794	6,505	1.2%	5.0%	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%
	国際貨物	144	173	202	235	274	372	504	684	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%
	合計	2,619	2,794	3,254	3,604	4,011	5,038	6,432	8,323	1.1%	3.1%	2.1%	2.2%	2.3%	2.5%	2.6%

注) 網掛けは今年度変更した箇所

4.2.4 航空技術シナリオ

航空技術シナリオとして、4つの機材タイプ別の年次別燃料効率を設定し、航空技術による燃料消費削減量およびCO₂排出削減量を算出した。

(1) 航空技術シナリオの枠組み

1) 航空技術シナリオ(T1-ATW、T2-ACA、T3-ACA)

ICAO-LTAGでは、統合シナリオ(IS1、IS2、IS3)との整合を図るために3つの航空技術シナリオ(T1-ATW、T2-ACA、T3-ACA)が開発されている。T1-ATWでは、従来技術とドロップイン燃料を用いた先進チューブ・アンド・ウィング航空機(ATW)が評価されている。また、従来技術やドロップイン燃料を用いたATWの先に、2つの重複する先進コンセプト機(ACA)が検討されている。T2-ACAは、代替アーキテクチャの機体および推進力(従来型またはドロップイン燃料を使用)を代表するものであり、T3-ACAは、代替アーキテクチャの機体の変更有無にかかわらず、非ドロップイン燃料の使用を特徴とする先進機体および先進推進力を代表するものである。

<ICAO-LTAGにおける3つの航空技術シナリオ>

- T1-ATW:先進チューブ・アンド・ウィング航空機(ATW)
- T2-ACA:先進コンセプト航空機(ACA)、ドロップイン燃料(HWB機等)
- T3-ACA:先進コンセプト航空機(ACA)、非ドロップイン燃料(電動航空機・水素航空機等)

a. T1-ATW

T1-ATWでは、従来型の航空機アーキテクチャの性能または能力の大幅な漸増的改善を特徴とする先進チューブ・アンド・ウィング航空機(ATW)が、ドロップイン燃料に適合し、新技術ではなく、航空機設計により運用効率を改善する。

b. T2-ACA

T2-ACAでは、性能や能力の革新的改善を特徴とする先進コンセプト航空機(ACA)が、現在支配的な航空機アーキテクチャを置き換え、機体、推進、または組み合わせレベルでのアーキテクチャ/構成の大幅な変更を引き起こす。

c. T3-ACA

T3-ACAでは、性能や能力の革新的改善を特徴とする先進コンセプト航空機(ACA)が、現在支配的な推進力アーキテクチャを非ドロップイン燃料(電動航空機・水素航空機等)に置き換え、空港とその周辺で大規模なインフラ変更も含めて大きなシステム変更を引き起こす。

2) 統合シナリオ(IS1=T1、IS2=T2、IS3=T3)

ICAO-LTAGの統合シナリオ(IS1、IS2、IS3)では、3つの航空技術シナリオ(T1-ATW、T2-

ACA、T3-ACA)の組み合わせが考慮されている。IS1 では、T1-ATW のみを考慮しているが、IS2 では、T1-ATW に加えて T2-ACA を、IS3では、T1-ATW、T2-ACA に加えて T3-ACA を考慮している。航空技術シナリオ毎の燃料効率には共通の設定となっているが、その構成率を表す市場シェアは統合シナリオ(IS1、IS2、IS3)別に異なる設定となっている。

本調査では ICAO-LTAG の統合シナリオ(IS1、IS2、IS3)に相当する航空技術シナリオをそれぞれ T1、T2、T3 と呼ぶこととする。

3) 機材タイプ区分

対象とする機材タイプは、ターボプロップ機(TP)、リージョナル機(RJ)、ナローボディ機(NB)、ワイドボディ機(WB)の4区分とした。それぞれの概要、特徴は表 4-8 の通り。

表 4-8 機材タイプの区分

機材タイプ	説明	航続距離／座席数
TP ターボプロップ機	推進系がジェットエンジンではなく、プロペラが回転することにより推進する小型の機体	短／少
RJ リージョナル機	座席数が 100 席前後の小型機体	↑
NB ナローボディ機	客室に通路が1本ある機体	↓
WB ワイドボディ機	客室に通路が2本ある機体	長／多

4) 技術参照航空機

ICAO-LTAG では、将来の燃料効率改善率を算定する際のベースラインとして、機材タイプ別に技術参照航空機を以下の通り設定している。

- TP :DHC Dash 8-400
- RJ :E190E2
- NB :A320neo
- WB :A350-900

(2) 機材タイプ別の燃料効率

本邦航空会社の 2021 年度時点の使用機材タイプ別(TP、RJ、NB、WB)構成を前提に、ICAO-LTAG の航空技術シナリオ(T1-ATW、T2-ACA、T3-ACA)に基づく機材タイプ別の年次別航空技術区分別燃料効率と、年次別航空技術区分別市場シェアに基づく機材タイプ別の年次別燃料効率平均値を設定した。更に、2019 年の燃料効率を基準値として燃費改善率とした。

- 年次別航空技術区分別燃料効率
 - ICAO-LTAG において、機材タイプ別(TP、RJ、NB、WB)に新技術(T1-ATW、T2-ACA、T3-ACA)のサービス開始時期や、サービス開始時およびその後の燃料消費原単位の推移、それらに基づく年次別航空技術区分別燃料効率が算定されており、それに基づき設定する。
- 年次別航空技術区分別市場シェア

- ICAO-LTAG において、機材タイプ別 (TP、RJ、NB、WB) に新技術 (T1-ATW、T2-ACA、T3-ACA) のサービス開始時期や普及率、それに基づく年次別航空技術区分別市場シェアが算定されており、それに基づき設定する。

なお、非ドロップイン燃料である電動航空機および水素航空機は T3-ACA3 シナリオでのみ反映している。これらの機種は燃料消費は行すが、後述する炭素強度削減率の高い液体水素 (LH2) を使用することで、CO2 排出量削減に寄与する設定としている。

表 4-9 航空技術による燃料効率設定値 (2019 年比) (本調査)

		航空技術による燃料効率 (2019年比)								燃料効率・年平均変化率 (%)							
		2019	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070	2019-25	2026-30	2031-35	2036-40	2041-50	2051-60	2061-70	
T1:ATW	TP	1.000	0.938	0.890	0.860	0.831	0.801	0.801	0.801	1.1%	1.1%	0.7%	0.7%	0.4%	-	-	
	RJ	1.000	0.967	0.940	0.901	0.864	0.826	0.826	0.826	0.6%	0.6%	0.8%	0.8%	0.4%	-	-	
	NB	1.000	0.945	0.901	0.859	0.819	0.765	0.765	0.765	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%	0.7%	-	-	
	WB	1.000	0.952	0.914	0.848	0.786	0.728	0.728	0.728	0.8%	0.8%	1.5%	1.5%	0.8%	-	-	
T2:ACA2	TP	1.000	0.938	0.890	0.860	0.810	0.753	0.729	0.721	1.1%	1.1%	0.7%	1.2%	0.7%	0.3%	0.1%	
	RJ	1.000	0.967	0.940	0.901	0.833	0.777	0.752	0.744	0.6%	0.6%	0.8%	1.5%	0.7%	0.3%	0.1%	
	NB	1.000	0.945	0.901	0.859	0.794	0.719	0.696	0.689	0.9%	0.9%	0.9%	1.5%	1.0%	0.3%	0.1%	
	WB	1.000	0.952	0.914	0.848	0.782	0.692	0.674	0.656	0.8%	0.8%	1.5%	1.6%	1.2%	0.3%	0.3%	
T3:ACA3	TP	1.000	0.938	0.890	0.860	0.814	0.769	0.765	0.761	1.1%	1.1%	0.7%	1.1%	0.6%	0.1%	0.1%	
	RJ	1.000	0.967	0.940	0.901	0.877	0.843	0.845	0.847	0.6%	0.6%	0.8%	0.5%	0.4%	-0.0%	-0.0%	
	NB	1.000	0.945	0.901	0.859	0.829	0.781	0.782	0.784	0.9%	0.9%	0.9%	0.7%	0.6%	-0.0%	-0.0%	
	WB	1.000	0.952	0.914	0.848	0.782	0.692	0.692	0.692	0.8%	0.8%	1.5%	1.6%	1.2%	-	-	

(3) 機材タイプ別シナリオ

ICAO-LTAG において算定されている新技術(T1-ATW、T2-ACA、T3-ACA)のサービス開始時期や、サービス開始時およびその後の燃料消費原単位の推移、航空技術区分別市場シェアを、機材タイプ別(TP、RJ、NB、WB)に抽出・整理した。

1) ターボプロップ機(TP)

ターボプロップ機(TP)における新技術(T1-ATW、T2-ACA、T3-ACA)のサービス開始時期、サービス開始時の燃料消費原単位、市場シェアは図 4-7～図 4-10 の通りであり、これらに基づき設定した統合シナリオ(IS1、IS2、IS3)の年次別燃料消費原単位は表 4-10 の通りである。

- サービス開始時期
 - T2-ACA:2035 年、2050 年にサービス開始
 - T3-ACA:2035 年、2050 年にサービス開始
- サービス開始時の燃料消費原単位
 - T2-ACA:2030 年 ATW の-10%、2050 年 ATW の-10%
 - T3-ACA:2030 年 ATW 並、2050 年 ATW 並
- 市場シェア
 - 2040 年
 - IS1:ATW100%
 - IS2:ATW 75%、T2-ACA 25%
 - IS3:ATW 60%、T2-ACA 20%、T3-ACA 20%
 - 2050 年
 - IS1:ATW100%
 - IS2:ATW 40%、T2-ACA 60%
 - IS3:ATW 20%、T2-ACA 40%、T3-ACA 40%
 - 2070 年
 - IS1:ATW100%
 - IS2:ATW 0%、T2-ACA100%
 - IS3:ATW 0%、T2-ACA 50%、T3-ACA 50%

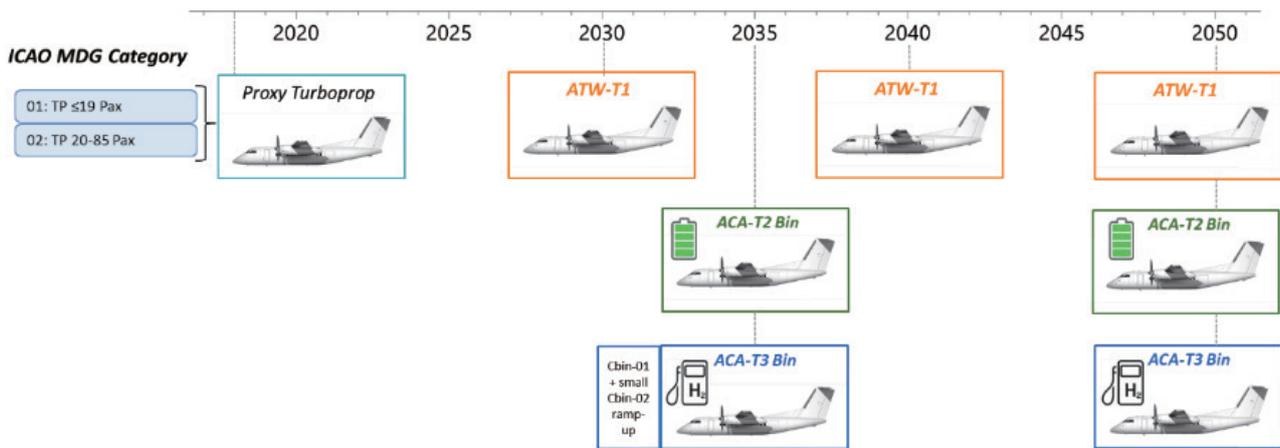


図 4-7 ACA の最速サービス開始時期(TP)

出所)ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022年3月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧

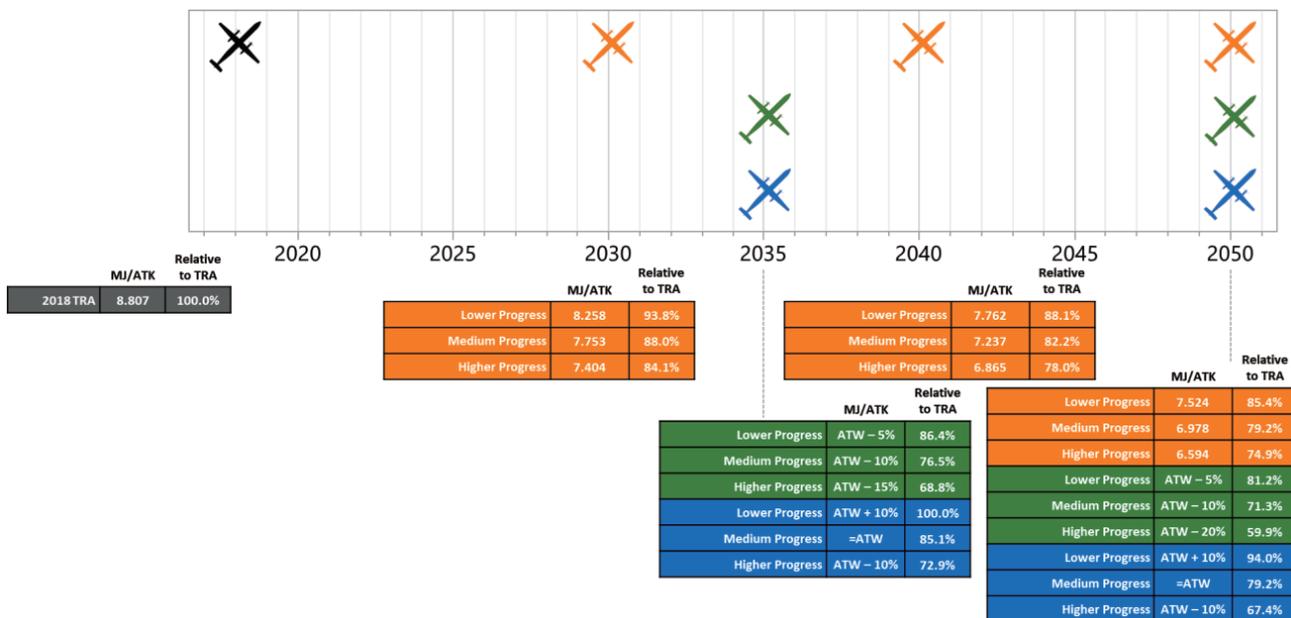


図 4-8 ATW ウェイポイント、ACA サービス開始時期と燃料消費原単位(TP)

出所)ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022年3月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧

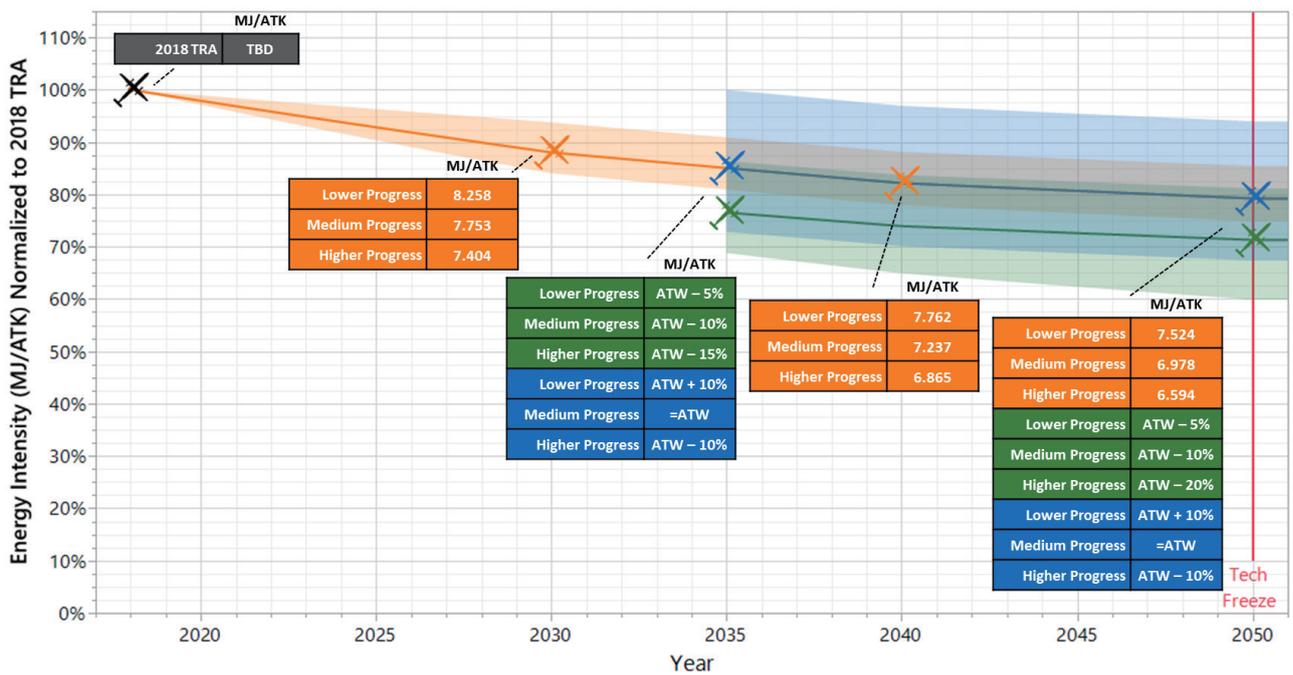


図 4-9 2018 年基準の燃料消費原単位推移(TP)

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022 年 3 月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧



図 4-10 市場シェア推移(TP)

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022 年 3 月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧

表 4-10 航空技術による燃料効率設定値(2018年比)(TP)

	燃料効率			市場シェア									燃料効率			
	T1-ATW	T2-ACA	T3-ACA	IS1			IS2			IS3			IS1	IS2	IS3	
				T1-ATW	T2-ACA	T3-ACA	T1-ATW	T2-ACA	T3-ACA	T1-ATW	T2-ACA	T3-ACA				
2018	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	1.000	1.000	1.000
2019	0.989	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.989	0.989	0.989
2020	0.979	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.979	0.979	0.979
2021	0.969	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.969	0.969	0.969
2022	0.958	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.958	0.958	0.958
2023	0.948	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.948	0.948	0.948
2024	0.938	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.938	0.938	0.938
2025	0.928	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.928	0.928	0.928
2026	0.919	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.919	0.919	0.919
2027	0.909	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.909	0.909	0.909
2028	0.899	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.899	0.899	0.899
2029	0.890	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.890	0.890	0.890
2030	0.880	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.880	0.880	0.880
2031	0.874	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.874	0.874	0.874
2032	0.868	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.868	0.868	0.868
2033	0.862	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.862	0.862	0.862
2034	0.856	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.856	0.856	0.856
2035	0.851	0.766	0.851	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.851	0.851	0.851
2036	0.845	0.760	0.845	1.000	-	-	0.950	0.050	-	0.920	0.040	0.040	1.000	0.845	0.840	0.841
2037	0.839	0.755	0.839	1.000	-	-	0.900	0.100	-	0.840	0.080	0.080	1.000	0.839	0.831	0.832
2038	0.833	0.750	0.833	1.000	-	-	0.850	0.150	-	0.760	0.120	0.120	1.000	0.833	0.821	0.823
2039	0.827	0.745	0.827	1.000	-	-	0.800	0.200	-	0.680	0.160	0.160	1.000	0.827	0.811	0.814
2040	0.822	0.740	0.822	1.000	-	-	0.750	0.250	-	0.600	0.200	0.200	1.000	0.822	0.801	0.805
2041	0.819	0.737	0.819	1.000	-	-	0.715	0.285	-	0.560	0.220	0.220	1.000	0.819	0.795	0.801
2042	0.816	0.734	0.816	1.000	-	-	0.680	0.320	-	0.520	0.240	0.240	1.000	0.816	0.790	0.796
2043	0.813	0.732	0.813	1.000	-	-	0.645	0.355	-	0.480	0.260	0.260	1.000	0.813	0.784	0.792
2044	0.810	0.729	0.810	1.000	-	-	0.610	0.390	-	0.440	0.280	0.280	1.000	0.810	0.778	0.787
2045	0.807	0.726	0.807	1.000	-	-	0.575	0.425	-	0.400	0.300	0.300	1.000	0.807	0.773	0.783
2046	0.804	0.724	0.804	1.000	-	-	0.540	0.460	-	0.360	0.320	0.320	1.000	0.804	0.767	0.778
2047	0.801	0.721	0.801	1.000	-	-	0.505	0.495	-	0.320	0.340	0.340	1.000	0.801	0.761	0.774
2048	0.798	0.718	0.798	1.000	-	-	0.470	0.530	-	0.280	0.360	0.360	1.000	0.798	0.756	0.769
2049	0.795	0.716	0.795	1.000	-	-	0.435	0.565	-	0.240	0.380	0.380	1.000	0.795	0.750	0.765
2050	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.400	0.600	-	0.200	0.400	0.400	1.000	0.792	0.745	0.761
2051	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.370	0.630	-	0.190	0.405	0.405	1.000	0.792	0.742	0.760
2052	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.340	0.660	-	0.180	0.410	0.410	1.000	0.792	0.740	0.760
2053	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.310	0.690	-	0.170	0.415	0.415	1.000	0.792	0.738	0.759
2054	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.280	0.720	-	0.160	0.420	0.420	1.000	0.792	0.735	0.759
2055	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.250	0.750	-	0.150	0.425	0.425	1.000	0.792	0.733	0.759
2056	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.220	0.780	-	0.140	0.430	0.430	1.000	0.792	0.731	0.758
2057	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.190	0.810	-	0.130	0.435	0.435	1.000	0.792	0.728	0.758
2058	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.160	0.840	-	0.120	0.440	0.440	1.000	0.792	0.726	0.758
2059	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.130	0.870	-	0.110	0.445	0.445	1.000	0.792	0.723	0.757
2060	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.100	0.900	-	0.100	0.450	0.450	1.000	0.792	0.721	0.757
2061	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.090	0.910	-	0.090	0.455	0.455	1.000	0.792	0.720	0.756
2062	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.080	0.920	-	0.080	0.460	0.460	1.000	0.792	0.719	0.756
2063	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.070	0.930	-	0.070	0.465	0.465	1.000	0.792	0.719	0.756
2064	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.060	0.940	-	0.060	0.470	0.470	1.000	0.792	0.718	0.755
2065	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.050	0.950	-	0.050	0.475	0.475	1.000	0.792	0.717	0.755
2066	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.040	0.960	-	0.040	0.480	0.480	1.000	0.792	0.716	0.754
2067	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.030	0.970	-	0.030	0.485	0.485	1.000	0.792	0.715	0.754
2068	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.020	0.980	-	0.020	0.490	0.490	1.000	0.792	0.715	0.754
2069	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	0.010	0.990	-	0.010	0.495	0.495	1.000	0.792	0.714	0.753
2070	0.792	0.713	0.792	1.000	-	-	-	1.000	-	-	0.500	0.500	1.000	0.792	0.713	0.753

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022年3月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧に基づき作成

2) リージョナル機(RJ)

リージョナル機(RJ)における新技術(T1-ATW、T2-ACA、T3-ACA)のサービス開始時期、サービス開始時の燃料消費原単位、市場シェアは図 4-11～図 4-14 の通りであり、これらに基づき設定した統合シナリオ(IS1、IS2、IS3)の年次別燃料消費原単位は表 4-11 の通りである。

- サービス開始時期
 - T2-ACA:2035 年、2050 年にサービス開始
 - T3-ACA:2035 年、2050 年にサービス開始
- サービス開始時の燃料消費原単位
 - T2-ACA:2030 年 ATW の-10%、2050 年 ATW の-10%
 - T3-ACA:2030 年 ATW の+15%、2050 年 ATW の+15%
- 市場シェア
 - 2040 年
 - IS1:ATW100%
 - IS2:ATW 65%、T2-ACA 35%
 - IS3:ATW 40%、T2-ACA 30%、T3-ACA 30%
 - 2050 年
 - IS1:ATW100%
 - IS2:ATW 40%、T2-ACA 60%
 - IS3:ATW 20%、T2-ACA 40%、T3-ACA 40%
 - 2070 年
 - IS1:ATW100%
 - IS2:ATW 0%、T2-ACA100%
 - IS3:ATW 0%、T2-ACA 50%、T3-ACA 50%



図 4-11 ACA の最速サービス開始時期(RJ)

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022年3月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧

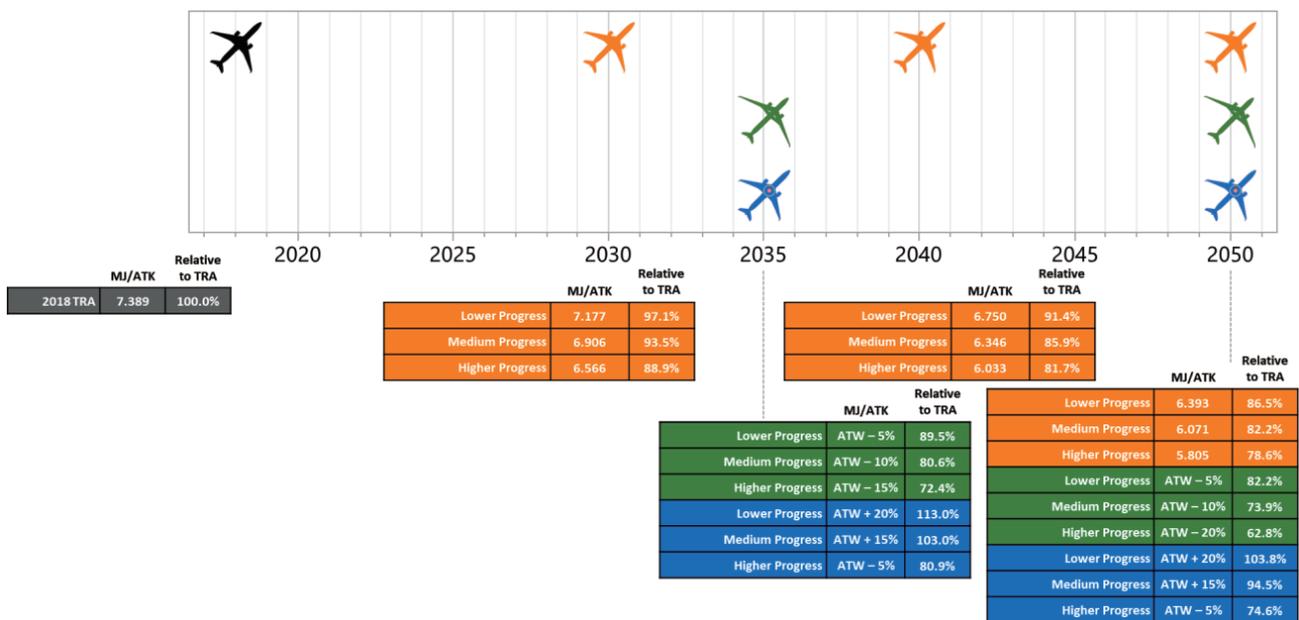


図 4-12 ATW ウェイポイント、ACA サービス開始時期と燃料消費原単位(RJ)

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022年3月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧

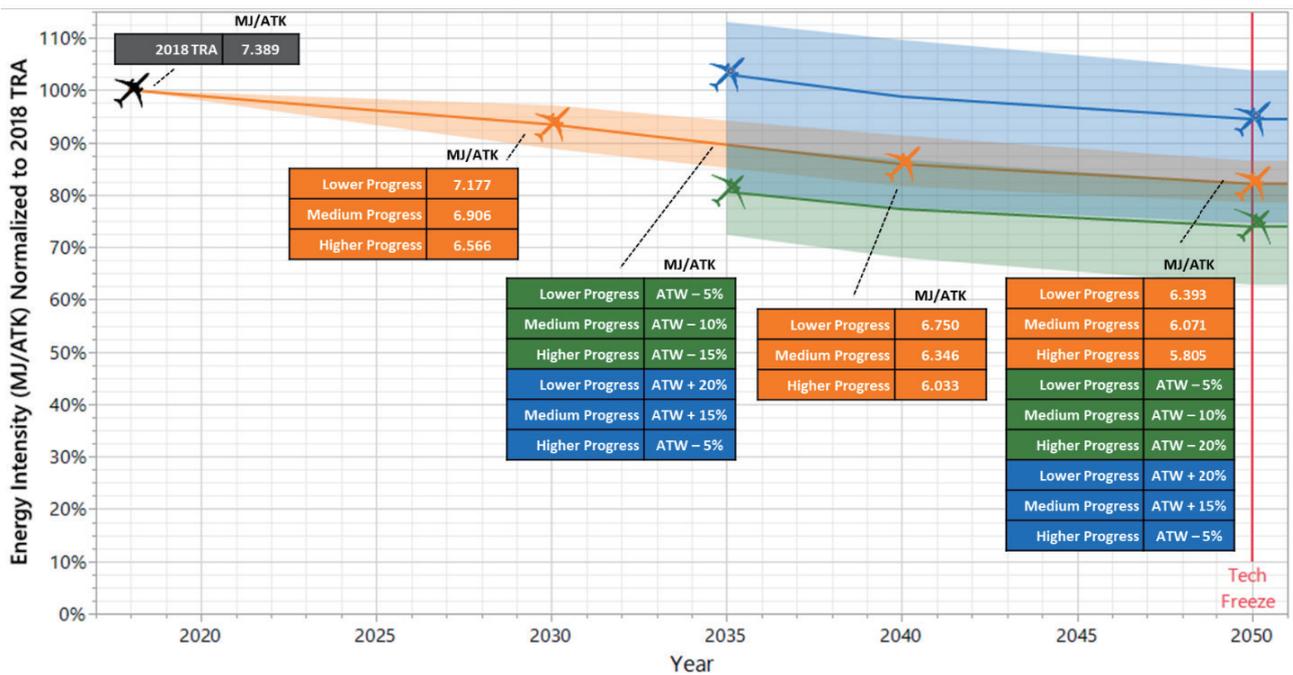


図 4-13 2018 年基準の燃料消費原単位推移(RJ)

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022 年 3 月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧



図 4-14 市場シェア推移(RJ)

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022 年 3 月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧

表 4-11 航空技術による燃料効率設定値(2018 年比)(RJ)

	燃料効率			市場シェア									燃料効率			
	T1-ATW	T2-ACA	T3-ACA	IS1			IS2			IS3			IS1	IS2	IS3	
	T1-ATW	T2-ACA	T3-ACA	IS1	IS2	IS3										
2018	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	1.000	1.000	1.000
2019	0.994	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.994	0.994	0.994
2020	0.989	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.989	0.989	0.989
2021	0.983	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.983	0.983	0.983
2022	0.978	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.978	0.978	0.978
2023	0.972	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.972	0.972	0.972
2024	0.967	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.967	0.967	0.967
2025	0.961	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.961	0.961	0.961
2026	0.956	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.956	0.956	0.956
2027	0.951	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.951	0.951	0.951
2028	0.945	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.945	0.945	0.945
2029	0.940	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.940	0.940	0.940
2030	0.935	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.935	0.935	0.935
2031	0.927	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.927	0.927	0.927
2032	0.919	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.919	0.919	0.919
2033	0.911	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.911	0.911	0.911
2034	0.904	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.904	0.904	0.904
2035	0.896	0.806	1.030	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.896	0.896	0.896
2036	0.888	0.800	1.022	1.000	-	-	0.930	0.070	-	0.880	0.060	0.060	1.000	0.888	0.882	0.891
2037	0.881	0.793	1.013	1.000	-	-	0.860	0.140	-	0.760	0.120	0.120	1.000	0.881	0.869	0.886
2038	0.873	0.786	1.005	1.000	-	-	0.790	0.210	-	0.640	0.180	0.180	1.000	0.873	0.855	0.881
2039	0.866	0.780	0.996	1.000	-	-	0.720	0.280	-	0.520	0.240	0.240	1.000	0.866	0.842	0.876
2040	0.859	0.773	0.988	1.000	-	-	0.650	0.350	-	0.400	0.300	0.300	1.000	0.859	0.829	0.872
2041	0.855	0.770	0.983	1.000	-	-	0.625	0.375	-	0.380	0.310	0.310	1.000	0.855	0.823	0.868
2042	0.851	0.766	0.979	1.000	-	-	0.600	0.400	-	0.360	0.320	0.320	1.000	0.851	0.817	0.865
2043	0.847	0.763	0.975	1.000	-	-	0.575	0.425	-	0.340	0.330	0.330	1.000	0.847	0.811	0.861
2044	0.844	0.759	0.970	1.000	-	-	0.550	0.450	-	0.320	0.340	0.340	1.000	0.844	0.806	0.858
2045	0.840	0.756	0.966	1.000	-	-	0.525	0.475	-	0.300	0.350	0.350	1.000	0.840	0.800	0.855
2046	0.836	0.753	0.962	1.000	-	-	0.500	0.500	-	0.280	0.360	0.360	1.000	0.836	0.794	0.851
2047	0.833	0.749	0.957	1.000	-	-	0.475	0.525	-	0.260	0.370	0.370	1.000	0.833	0.789	0.848
2048	0.829	0.746	0.953	1.000	-	-	0.450	0.550	-	0.240	0.380	0.380	1.000	0.829	0.783	0.845
2049	0.825	0.743	0.949	1.000	-	-	0.425	0.575	-	0.220	0.390	0.390	1.000	0.825	0.778	0.841
2050	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.400	0.600	-	0.200	0.400	0.400	1.000	0.822	0.772	0.838
2051	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.370	0.630	-	0.190	0.405	0.405	1.000	0.822	0.770	0.838
2052	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.340	0.660	-	0.180	0.410	0.410	1.000	0.822	0.767	0.838
2053	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.310	0.690	-	0.170	0.415	0.415	1.000	0.822	0.765	0.839
2054	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.280	0.720	-	0.160	0.420	0.420	1.000	0.822	0.762	0.839
2055	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.250	0.750	-	0.150	0.425	0.425	1.000	0.822	0.760	0.839
2056	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.220	0.780	-	0.140	0.430	0.430	1.000	0.822	0.757	0.839
2057	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.190	0.810	-	0.130	0.435	0.435	1.000	0.822	0.755	0.839
2058	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.160	0.840	-	0.120	0.440	0.440	1.000	0.822	0.753	0.840
2059	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.130	0.870	-	0.110	0.445	0.445	1.000	0.822	0.750	0.840
2060	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.100	0.900	-	0.100	0.450	0.450	1.000	0.822	0.748	0.840
2061	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.090	0.910	-	0.090	0.455	0.455	1.000	0.822	0.747	0.840
2062	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.080	0.920	-	0.080	0.460	0.460	1.000	0.822	0.746	0.840
2063	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.070	0.930	-	0.070	0.465	0.465	1.000	0.822	0.745	0.841
2064	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.060	0.940	-	0.060	0.470	0.470	1.000	0.822	0.744	0.841
2065	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.050	0.950	-	0.050	0.475	0.475	1.000	0.822	0.744	0.841
2066	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.040	0.960	-	0.040	0.480	0.480	1.000	0.822	0.743	0.841
2067	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.030	0.970	-	0.030	0.485	0.485	1.000	0.822	0.742	0.841
2068	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.020	0.980	-	0.020	0.490	0.490	1.000	0.822	0.741	0.842
2069	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	0.010	0.990	-	0.010	0.495	0.495	1.000	0.822	0.740	0.842
2070	0.822	0.739	0.945	1.000	-	-	-	1.000	-	-	0.500	0.500	1.000	0.822	0.739	0.842

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022年3月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧に基づき作成

3) ナローボディ機(NB)

ナローボディ機(NB)における新技術(T1-ATW、T2-ACA、T3-ACA)のサービス開始時期、サービス開始時の燃料消費原単位、市場シェアは図 4-15～図 4-18 の通りであり、これらに基づき設定した統合シナリオ(IS1、IS2、IS3)の年次別燃料消費原単位は表 4-12 表 4-11 の通りである。

- サービス開始時期
 - T2-ACA:2035 年、2050 年にサービス開始
 - T3-ACA:2035 年、2050 年にサービス開始
- サービス開始時の燃料消費原単位
 - T2-ACA:2030 年 ATW の-10%、2050 年 ATW の-10%
 - T3-ACA:2030 年 ATW の+15%、2050 年 ATW の+15%
- 市場シェア
 - 2040 年
 - IS1:ATW100%
 - IS2:ATW 70%、T2-ACA 30%
 - IS3:ATW 50%、T2-ACA 25%、T3-ACA 25%
 - 2050 年
 - IS1:ATW100%
 - IS2:ATW 40%、T2-ACA 60%
 - IS3:ATW 20%、T2-ACA 40%、T3-ACA 40%
 - 2070 年
 - IS1:ATW100%
 - IS2:ATW 0%、T2-ACA100%
 - IS3:ATW 0%、T2-ACA 50%、T3-ACA 50%



図 4-15 ACA の最速サービス開始時期(NB)

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022年3月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧



図 4-16 ATW ウェイポイント、ACA サービス開始時期と燃料消費原単位(NB)

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022年3月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧

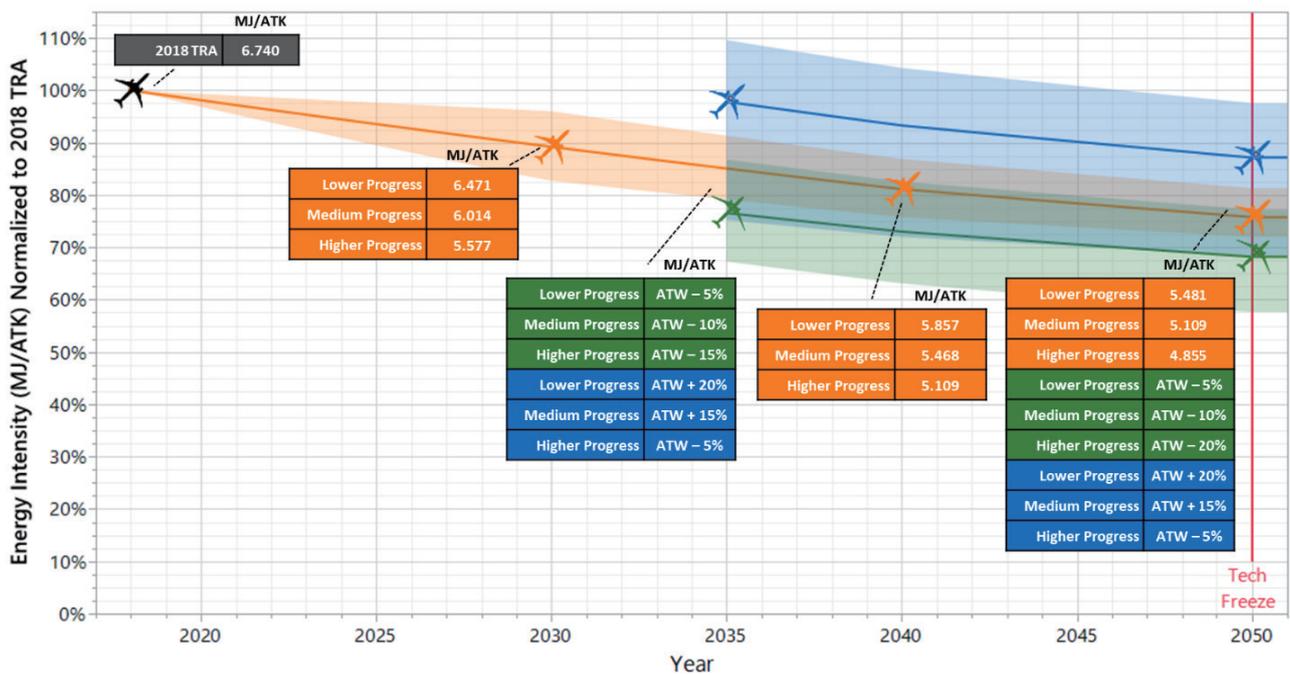


図 4-17 2018 年基準の燃料消費原単位推移(NB)

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022 年 3 月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧



図 4-18 市場シェア推移(NB)

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022 年 3 月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧

表 4-12 航空技術による燃料効率設定値(2018 年比)(NB)

	燃料効率			市場シェア									燃料効率			
	T1-ATW	T2-ACA	T3-ACA	IS1			IS2			IS3			IS1	IS2	IS3	
				T1-ATW	T2-ACA	T3-ACA	T1-ATW	T2-ACA	T3-ACA	T1-ATW	T2-ACA	T3-ACA				
2018	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	1.000	1.000	1.000
2019	0.991	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.991	0.991	0.991
2020	0.981	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.981	0.981	0.981
2021	0.972	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.972	0.972	0.972
2022	0.963	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.963	0.963	0.963
2023	0.954	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.954	0.954	0.954
2024	0.945	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.945	0.945	0.945
2025	0.936	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.936	0.936	0.936
2026	0.927	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.927	0.927	0.927
2027	0.918	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.918	0.918	0.918
2028	0.909	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.909	0.909	0.909
2029	0.901	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.901	0.901	0.901
2030	0.892	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.892	0.892	0.892
2031	0.884	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.884	0.884	0.884
2032	0.875	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.875	0.875	0.875
2033	0.867	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.867	0.867	0.867
2034	0.859	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.859	0.859	0.859
2035	0.851	0.766	0.978	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.851	0.851	0.851
2036	0.843	0.758	0.969	1.000	-	-	0.940	0.060	-	0.900	0.050	0.050	1.000	0.843	0.838	0.845
2037	0.835	0.751	0.960	1.000	-	-	0.880	0.120	-	0.800	0.100	0.100	1.000	0.835	0.825	0.839
2038	0.827	0.744	0.951	1.000	-	-	0.820	0.180	-	0.700	0.150	0.150	1.000	0.827	0.812	0.833
2039	0.819	0.737	0.942	1.000	-	-	0.760	0.240	-	0.600	0.200	0.200	1.000	0.819	0.799	0.827
2040	0.811	0.730	0.933	1.000	-	-	0.700	0.300	-	0.500	0.250	0.250	1.000	0.811	0.787	0.821
2041	0.806	0.725	0.927	1.000	-	-	0.670	0.330	-	0.470	0.265	0.265	1.000	0.806	0.779	0.816
2042	0.800	0.720	0.920	1.000	-	-	0.640	0.360	-	0.440	0.280	0.280	1.000	0.800	0.772	0.812
2043	0.795	0.715	0.914	1.000	-	-	0.610	0.390	-	0.410	0.295	0.295	1.000	0.795	0.764	0.807
2044	0.790	0.711	0.908	1.000	-	-	0.580	0.420	-	0.380	0.310	0.310	1.000	0.790	0.756	0.802
2045	0.784	0.706	0.902	1.000	-	-	0.550	0.450	-	0.350	0.325	0.325	1.000	0.784	0.749	0.797
2046	0.779	0.701	0.896	1.000	-	-	0.520	0.480	-	0.320	0.340	0.340	1.000	0.779	0.741	0.792
2047	0.774	0.696	0.890	1.000	-	-	0.490	0.510	-	0.290	0.355	0.355	1.000	0.774	0.734	0.787
2048	0.768	0.692	0.884	1.000	-	-	0.460	0.540	-	0.260	0.370	0.370	1.000	0.768	0.727	0.783
2049	0.763	0.687	0.878	1.000	-	-	0.430	0.570	-	0.230	0.385	0.385	1.000	0.763	0.720	0.778
2050	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.400	0.600	-	0.200	0.400	0.400	1.000	0.758	0.713	0.773
2051	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.370	0.630	-	0.190	0.405	0.405	1.000	0.758	0.710	0.773
2052	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.340	0.660	-	0.180	0.410	0.410	1.000	0.758	0.708	0.774
2053	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.310	0.690	-	0.170	0.415	0.415	1.000	0.758	0.706	0.774
2054	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.280	0.720	-	0.160	0.420	0.420	1.000	0.758	0.703	0.774
2055	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.250	0.750	-	0.150	0.425	0.425	1.000	0.758	0.701	0.774
2056	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.220	0.780	-	0.140	0.430	0.430	1.000	0.758	0.699	0.774
2057	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.190	0.810	-	0.130	0.435	0.435	1.000	0.758	0.697	0.774
2058	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.160	0.840	-	0.120	0.440	0.440	1.000	0.758	0.694	0.775
2059	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.130	0.870	-	0.110	0.445	0.445	1.000	0.758	0.692	0.775
2060	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.100	0.900	-	0.100	0.450	0.450	1.000	0.758	0.690	0.775
2061	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.090	0.910	-	0.090	0.455	0.455	1.000	0.758	0.689	0.775
2062	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.080	0.920	-	0.080	0.460	0.460	1.000	0.758	0.688	0.775
2063	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.070	0.930	-	0.070	0.465	0.465	1.000	0.758	0.688	0.776
2064	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.060	0.940	-	0.060	0.470	0.470	1.000	0.758	0.687	0.776
2065	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.050	0.950	-	0.050	0.475	0.475	1.000	0.758	0.686	0.776
2066	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.040	0.960	-	0.040	0.480	0.480	1.000	0.758	0.685	0.776
2067	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.030	0.970	-	0.030	0.485	0.485	1.000	0.758	0.684	0.776
2068	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.020	0.980	-	0.020	0.490	0.490	1.000	0.758	0.684	0.777
2069	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	0.010	0.990	-	0.010	0.495	0.495	1.000	0.758	0.683	0.777
2070	0.758	0.682	0.872	1.000	-	-	-	1.000	-	-	0.500	0.500	1.000	0.758	0.682	0.777

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022 年 3 月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧に基づき作成

4) ワイドボディ機(WB)

ワイドボディ機(WB)における新技術(T1-ATW、T2-ACA、T3-ACA)のサービス開始時期、サービス開始時の燃料消費原単位、市場シェアは図 4-19～図 4-22 の通りであり、これらに基づき設定した統合シナリオ(IS1、IS2、IS3)の年次別燃料消費原単位は表 4-13 表 4-11 の通りである。

- サービス開始時期
 - T2-ACA:2040 年、2050 年にサービス開始
 - T3-ACA:2050 年にサービス開始
- サービス開始時の燃料消費原単位
 - T2-ACA:2030 年 ATW の-10%、2050 年 ATW の-10%
 - T3-ACA:2050 年 ATW 並
- 市場シェア
 - 2040 年
 - IS1:ATW100%
 - IS2:ATW 95%、T2-ACA 5%
 - IS3:ATW 95%、T2-ACA 5%、T3-ACA 0%
 - 2050 年
 - IS1:ATW100%
 - IS2:ATW 50%、T2-ACA 50%
 - IS3:ATW 45%、T2-ACA 50%、T3-ACA 5%
 - 2070 年
 - IS1:ATW100%
 - IS2:ATW 0%、T2-ACA100%
 - IS3:ATW 0%、T2-ACA 50%、T3-ACA 50%

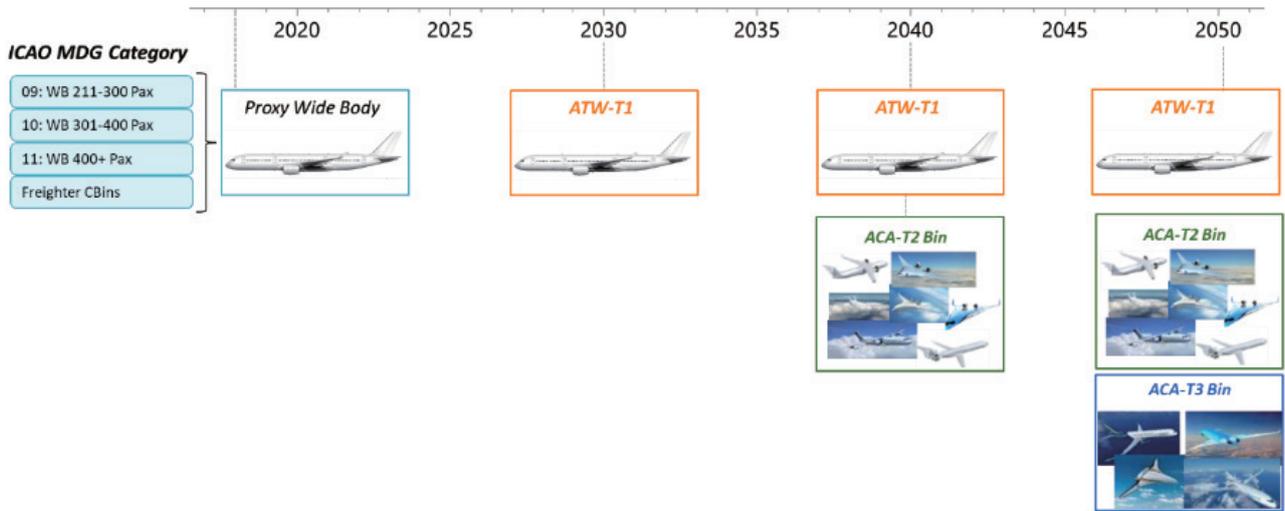


図 4-19 ACA の最速サービス開始時期(WB)

出所)ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022年3月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧



図 4-20 ATW ウェイポイント、ACA サービス開始時期と燃料消費原単位(WB)

出所)ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022年3月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧

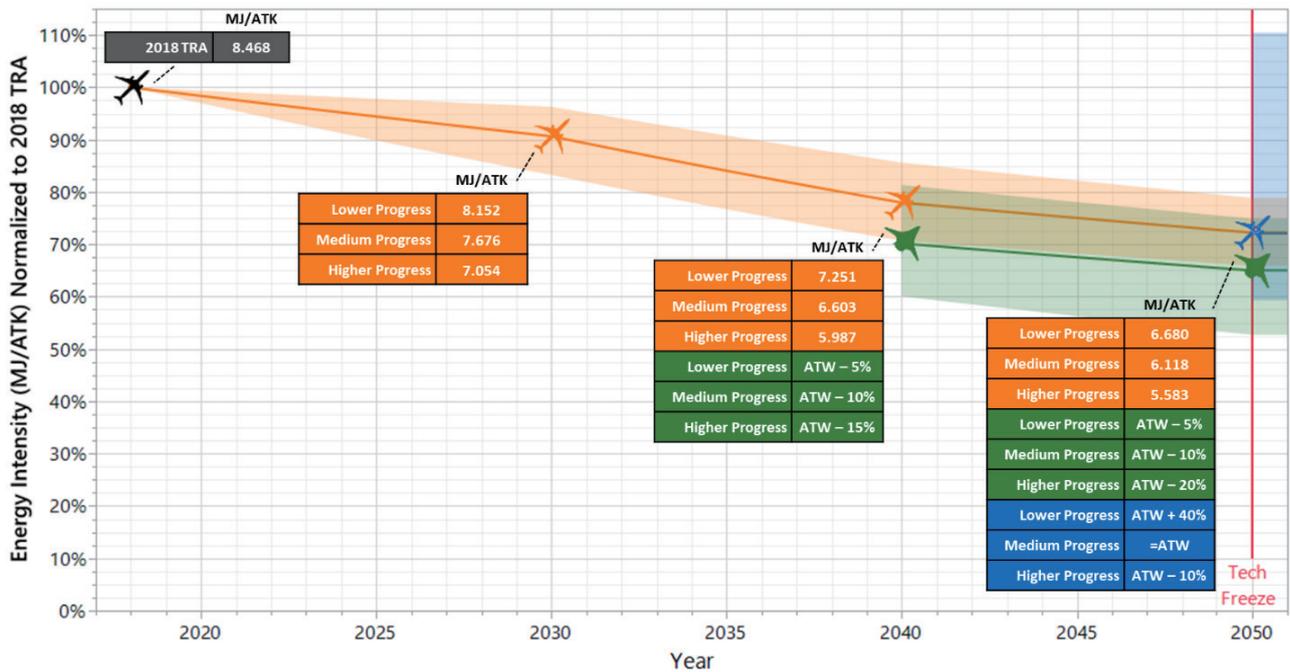


図 4-21 2018 年基準の燃料消費原単位推移(WB)

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022 年 3 月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧



図 4-22 市場シェア推移(WB)

出所) ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022 年 3 月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧

表 4-13 航空技術による燃料効率設定値(2018 年比)(WB)

	燃料効率			市場シェア									燃料効率			
	T1-ATW	T2-ACA	T3-ACA	IS1			IS2			IS3			IS1	IS2	IS3	
				T1-ATW	T2-ACA	T3-ACA	T1-ATW	T2-ACA	T3-ACA	T1-ATW	T2-ACA	T3-ACA				
2018	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	1.000	1.000	1.000
2019	0.992	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.992	0.992	0.992
2020	0.984	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.984	0.984	0.984
2021	0.976	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.976	0.976	0.976
2022	0.968	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.968	0.968	0.968
2023	0.960	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.960	0.960	0.960
2024	0.952	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.952	0.952	0.952
2025	0.944	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.944	0.944	0.944
2026	0.937	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.937	0.937	0.937
2027	0.929	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.929	0.929	0.929
2028	0.921	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.921	0.921	0.921
2029	0.914	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.914	0.914	0.914
2030	0.907	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.907	0.907	0.907
2031	0.893	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.893	0.893	0.893
2032	0.880	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.880	0.880	0.880
2033	0.867	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.867	0.867	0.867
2034	0.854	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.854	0.854	0.854
2035	0.841	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	-	-	1.000	0.841	0.841	0.841
2036	0.828	-	-	1.000	-	-	0.990	0.010	-	0.990	0.010	-	0.990	0.828	0.820	0.820
2037	0.816	-	-	1.000	-	-	0.980	0.020	-	0.980	0.020	-	0.980	0.816	0.799	0.799
2038	0.804	-	-	1.000	-	-	0.970	0.030	-	0.970	0.030	-	0.970	0.804	0.779	0.779
2039	0.792	-	-	1.000	-	-	0.960	0.040	-	0.960	0.040	-	0.960	0.792	0.760	0.760
2040	0.780	0.702	-	1.000	-	-	0.950	0.050	-	0.950	0.050	-	0.950	0.780	0.776	0.776
2041	0.774	0.697	-	1.000	-	-	0.905	0.095	-	0.905	0.095	-	0.905	0.774	0.766	0.766
2042	0.768	0.691	-	1.000	-	-	0.860	0.140	-	0.860	0.140	-	0.860	0.768	0.757	0.757
2043	0.762	0.686	-	1.000	-	-	0.815	0.185	-	0.815	0.185	-	0.815	0.762	0.748	0.748
2044	0.756	0.681	-	1.000	-	-	0.770	0.230	-	0.770	0.230	-	0.770	0.756	0.739	0.739
2045	0.751	0.676	-	1.000	-	-	0.725	0.275	-	0.725	0.275	-	0.725	0.751	0.730	0.730
2046	0.745	0.670	-	1.000	-	-	0.680	0.320	-	0.670	0.320	0.010	0.670	0.745	0.721	0.714
2047	0.739	0.665	-	1.000	-	-	0.635	0.365	-	0.615	0.365	0.020	0.615	0.739	0.712	0.697
2048	0.734	0.660	-	1.000	-	-	0.590	0.410	-	0.560	0.410	0.030	0.560	0.734	0.704	0.681
2049	0.728	0.655	-	1.000	-	-	0.545	0.455	-	0.505	0.455	0.040	0.505	0.728	0.695	0.666
2050	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.500	0.500	-	0.450	0.500	0.050	0.450	0.722	0.686	0.686
2051	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.475	0.525	-	0.415	0.500	0.085	0.415	0.722	0.684	0.686
2052	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.450	0.550	-	0.380	0.500	0.120	0.380	0.722	0.683	0.686
2053	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.425	0.575	-	0.345	0.500	0.155	0.345	0.722	0.681	0.686
2054	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.400	0.600	-	0.310	0.500	0.190	0.310	0.722	0.679	0.686
2055	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.375	0.625	-	0.275	0.500	0.225	0.275	0.722	0.677	0.686
2056	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.350	0.650	-	0.240	0.500	0.260	0.240	0.722	0.675	0.686
2057	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.325	0.675	-	0.205	0.500	0.295	0.205	0.722	0.674	0.686
2058	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.300	0.700	-	0.170	0.500	0.330	0.170	0.722	0.672	0.686
2059	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.275	0.725	-	0.135	0.500	0.365	0.135	0.722	0.670	0.686
2060	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.250	0.750	-	0.100	0.500	0.400	0.100	0.722	0.668	0.686
2061	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.225	0.775	-	0.090	0.500	0.410	0.090	0.722	0.666	0.686
2062	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.200	0.800	-	0.080	0.500	0.420	0.080	0.722	0.665	0.686
2063	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.175	0.825	-	0.070	0.500	0.430	0.070	0.722	0.663	0.686
2064	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.150	0.850	-	0.060	0.500	0.440	0.060	0.722	0.661	0.686
2065	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.125	0.875	-	0.050	0.500	0.450	0.050	0.722	0.659	0.686
2066	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.100	0.900	-	0.040	0.500	0.460	0.040	0.722	0.657	0.686
2067	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.075	0.925	-	0.030	0.500	0.470	0.030	0.722	0.656	0.686
2068	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.050	0.950	-	0.020	0.500	0.480	0.020	0.722	0.654	0.686
2069	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	0.025	0.975	-	0.010	0.500	0.490	0.010	0.722	0.652	0.686
2070	0.722	0.650	0.722	1.000	-	-	-	1.000	-	-	0.500	0.500	-	0.722	0.650	0.686

出所)ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022 年 3 月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM3.pdf,
 2022.10.7 閲覧に基づき作成

5) 参考:2021 年度調査からの主な変更点

- 機材タイプ別に先進航空機(ATW,ACA)の燃料効率、導入時期、市場シェアを更新
 - T3 では全機材タイプで非ドロップイン燃料航空機(電動化・水素航空機等)の導入を想定
 - 2050 年時点で TP,RJ,NB の燃料効率は下方修正、WB は上方修正

表 4-14 参考:航空技術シナリオ(2021 年度調査)

ケース・機材タイプ		2034 年以前の更新	2049 年以前の更新	2050 年以降の更新
A.機材コンポーネントの更新		機材コンポーネントの更新		
B.新コンセプトの導入+電動化	WB	機材コンポーネントの更新	マイルド・ハイブリッド化・新コンセプト機材に移行	マイルド・ハイブリッド化・新コンセプト機材に移行
	NB		多くが電動化	全体電動化
	RJ		全体電動化	
	TB			
C. ナローボディ機への水素航空機導入追加	WB	機材コンポーネントの更新	マイルド・ハイブリッド化・新コンセプト機材に移行	マイルド・ハイブリッド化・新コンセプト機材に移行
	NB			全体水素航空機化
	RJ		多くが電動化	全体電動化
	TB		全体電動化	

2021 年度調査では、本邦航空会社の 2021 年度時点の使用機材・機齢リストを前提に将来の機材更新を反映。シナリオ B では 2035 年以降に TP、RJ で新コンセプトの導入+電動化の導入を想定。シナリオ C では更に、2050 年以降に NB で水素航空機の導入を想定。電動航空機および水素航空機は燃料消費を「ゼロ」と仮定していたため機材更新のタイミングで燃費改善が大きく進む想定となっていた。

表 4-15 参考:航空技術による燃料効率(2019 年比)(2021 年度調査)

		航空技術による燃料効率 (2019年比)								燃料効率・年平均変化率 (%)							
		2019	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070	2019-25	2026-30	2031-35	2036-40	2041-50	2051-60	2061-70	
A:要素改善	TP	1.000	0.948	0.931	0.851	0.815	0.752	0.716	0.680	0.9%	0.4%	1.8%	0.9%	0.8%	0.5%	0.5%	
	RJ	1.000	0.922	0.865	0.839	0.803	0.754	0.710	0.710	1.3%	1.3%	0.6%	0.9%	0.6%	0.6%	-	
	NB	1.000	0.963	0.903	0.852	0.835	0.764	0.714	0.680	0.6%	1.3%	1.2%	0.4%	0.9%	0.7%	0.5%	
	WB	1.000	0.950	0.906	0.868	0.827	0.772	0.711	0.681	0.9%	0.9%	0.8%	1.0%	0.7%	0.8%	0.4%	
B:A+電動機	TP	1.000	0.948	0.931	0.836	0.518	0.025	0.000	0.000	0.9%	0.4%	2.1%	9.1%	26.2%	100.0%	-	
	RJ	1.000	0.922	0.865	0.772	0.513	0.186	0.076	0.076	1.3%	1.3%	2.3%	7.8%	9.6%	8.6%	-	
	NB	1.000	0.963	0.903	0.850	0.822	0.698	0.643	0.612	0.6%	1.3%	1.2%	0.7%	1.6%	0.8%	0.5%	
	WB	1.000	0.950	0.906	0.866	0.808	0.708	0.639	0.613	0.9%	0.9%	0.9%	1.4%	1.3%	1.0%	0.4%	
C:B+水素機	TP	1.000	0.948	0.931	0.836	0.518	0.025	0.000	0.000	0.9%	0.4%	2.1%	9.1%	26.2%	100.0%	-	
	RJ	1.000	0.922	0.865	0.772	0.513	0.186	0.076	0.076	1.3%	1.3%	2.3%	7.8%	9.6%	8.6%	-	
	NB	1.000	0.963	0.903	0.850	0.822	0.654	0.290	0.000	0.6%	1.3%	1.2%	0.7%	2.3%	7.8%	100.0%	
	WB	1.000	0.950	0.906	0.866	0.808	0.708	0.639	0.613	0.9%	0.9%	0.9%	1.4%	1.3%	1.0%	0.4%	

注)網掛けは今年度変更した箇所

(4) 航空技術による CO2 削減量

航空技術による CO2 削減量は、2035 年までは先進コンセプト航空機(ACA)の導入がないため、T1～T3 の 3 ケースとも共通で、2036 年以降は導入技術に差が生じ、T2、T3、T1 の順で CO2 削減効果が発現する。なお、CO2 削減効果が、T3 よりも T2 の方が大きくなっているが、後述する燃料種別の炭素強度も考慮した場合(燃料による CO2 削減効果も含めて計算した場合)には、T3 の方が CO2 削減効果は大きくなる。

<航空技術による CO2 削減量>

- 2030 年 287 万 t-CO2(ベース比 8.8%減)
- 2035 年 537 万 t-CO2(同 14.9%減)
- 2050 年 1,321～1,511 万 t-CO2(同 26.5～30.3%減)
- 2070 年 1,908～2,434 万 t-CO2(同 26.9～33.9%減)

<留意点>

- 本調査では、航空技術による CO2 削減効果と、燃料による CO2 削減効果との効果の分離を行うため、炭素強度の低い燃料種別を用いることによる効果(=燃料による CO2 削減効果)は別途算出することとし、ここでは航空機体の性能向上に伴う燃料消費の効率化効果(=航空技術による CO2 削減効果)のみを計算対象とした。具体的には、非ドロップイン燃料も含むすべての燃料種別について、従来型ジェット燃料の単位エネルギー当たり炭素強度 89.0gCO2e/MJ を前提として CO2 排出削減量を算出している。
- ICAO-LTAG では、T1～T3 の航空技術シナリオの他に、新規航空機(代替機、増設機)は 2018 年の技術水準で凍結(現在認証中の製品を含む)するが、フリート更新は反映するとした T0 シナリオを作成している。一方、本調査では T0 シナリオは設定していないため、2018 年技術水準の新規航空機へのフリート更新による CO2 削減効果は、T1～T3 の航空技術による CO2 削減効果に含まれていることになる。すなわち、ICAO-LTAG と本調査を比較すると、本調査ではベースラインの CO2 排出量を大きめに推計するとともに、航空技術による CO2 削減効果も大きめに推計し、両者の差し引きで算出される航空技術による削減対策後の CO2 排出量は同水準となっている。

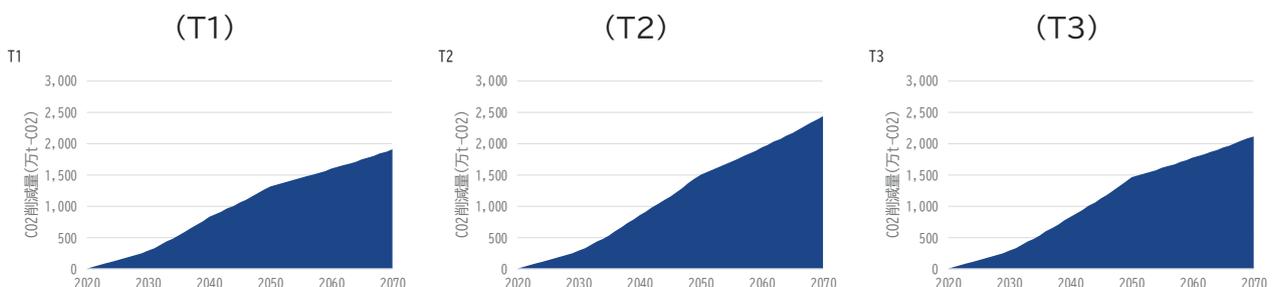


図 4-23 航空技術による CO2 削減量

出所)各種資料に基づき作成

表 4-16 航空技術による CO2 削減量(T1、T2、T3)

		CO2削減量 (万t-CO2)					CO2削減率 (%) ベースライン比				
		2020	2030	2035	2050	2070	2020	2030	2035	2050	2070
T1	全体	12	287	537	1,321	1,908	0.8%	8.8%	14.9%	26.5%	26.6%
	国際	7	184	374	1,040	1,627	0.8%	8.7%	15.2%	27.0%	27.0%
	国内	4	103	163	281	281	0.9%	9.1%	14.4%	24.8%	24.8%
T2	全体	12	287	537	1,511	2,434	0.8%	8.8%	14.9%	30.3%	33.9%
	国際	7	184	374	1,183	2,068	0.8%	8.7%	15.2%	30.6%	34.3%
	国内	4	103	163	328	366	0.9%	9.1%	14.4%	28.9%	32.3%
T3	全体	12	287	537	1,462	2,118	0.8%	8.8%	14.9%	29.3%	29.5%
	国際	7	184	374	1,169	1,827	0.8%	8.7%	15.2%	30.3%	30.3%
	国内	4	103	163	292	290	0.9%	9.1%	14.4%	25.8%	25.6%

出所)各種資料に基づき作成

4.2.5 運航技術シナリオ

運航技術シナリオとして、管制の高度化や運航方式の改善に伴う年次別燃料効率を設定し、運航技術による燃料消費削減量および CO2 排出削減量を算出した。

(1) 運航技術による燃料効率改善

2019 年から 2050 年までの運航技術による燃料効率の改善は、国の目標(2050 年に 2019 年比 10%程度の CO2 削減)の実現を前提に年率換算した 0.34%と設定した。国土交通省の「航空機運航分野における CO2 削減に関する検討会」では、管制の高度化による運航方式の改善に係る工程表において、我が国における今後の取組みのロードマップがとりまとめられている。その工程表では、2050 年において 2019 年比 10%程度の CO2 削減を目指すこととされている。

この目標は、ICAO-LTAG の野心的シナリオ(O3)並みに高い目標であること、ICAO-LTAG では 2051 年以降の燃費改善率は鈍化を見込んでいることから、2051 年以降の運航技術による燃料効率の改善は ICAO-LTAG の野心的シナリオ(O3)並みの燃費改善率 2051~2060 年が年率 0.11%、2061~2070 年が年率 0.07%で設定した。

- 運航技術による燃費改善率：2019 年比で 30 年 0.963、50 年 0.900、70 年 0.884

工程表(②管制の高度化による運航方式の改善)

●凡例 1.準備・導入フェーズ 2.試行・実証フェーズ 3.運用・拡大フェーズ ④更なる高度化

工程表の基本的な考え方

- 航空交通量の増大に対応するとともに、運航効率の改善等によりCO2排出量の削減に取り組む必要がある。
- 将来の航空交通システムの進展や技術開発の動向を見越しつつ、航空交通全体の最適化と航空路・出発及び到着・空港面における運航フェーズごとの改善策それぞれについて、短期的取組を実行に移すとともに中長期的取組を段階的に推進していく。(今後の取組において、10%程度のCO2削減を目指す)

	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	
総合管理	今後、「CO2削減協議会(仮称)」を設立し、下記のような取組を検討し、推進していく。						※ 年は暦年を表す。	
航空交通全体	空域の抜本的再編	上下分離の段階的実施 → 本運用					→	
	空域の境界(高度)のリアルタイム変更	→ 本運用					→	
	空域の境界(高度+水平位置)のリアルタイム変更	→ 本運用					→	
	デジタル情報共有基盤(SWIM)構築 → FF-ICE(運航前軌道調整)	→ 試行運用					→ 本運用/機能拡大	
運航情報の共有による飛行計画の調整	SWIMの外国との接続 → FF-ICE(運航中軌道調整)					→	→	
時間管理の実現(交通容量管理を含む。)	メタリングの導入					→ 本運用/機能拡大	→ 将来の航空交通システムの進展や技術開発の動向を踏まえながら、航空交通全体の最適化等について、更なる取組を推進	
航空路	高度・経路の選択自由度の向上	洋上航空路における飛行高度最適化 → 試行運用					→ 本運用	→
	迂回の少ない飛行ルート	高高度フルルート → 試行運用					→ 導入空域拡大	→
出発・到着	就航率の改善(高度化された航法の導入推進)	RNP-AR 運航基準見直し → 導入空域拡大					→	→
		SBASを用いたRNP進入方式の導入 → 試行運用					→ 高度化/導入空域拡大	→
	燃費の良い上昇・降下の実現	継続的な上昇・降下(CDO等)が可能となる運用 → 導入空域拡大					→	→
空港面	地上待機時間の短縮	ACDM統合、AMAN高度化開発 → 機能実証					→ 導入拡大	→
	地上走行の最適化	自走距離の短縮 → 試行運用					→ 本運用/導入空域拡大	→

※ 表内部の記載は取組例。

図 4-24 管制の高度化による運航方式の改善に係る工程表(2021年12月)

出所)国土交通省航空局「航空の脱炭素化推進に係る工程表(航空機運航分野における CO2 削減に関する検討会)」(2021年12月)
<https://www.mlit.go.jp/common/001445923.pdf>, 2022.10.7 閲覧

表 4-17 (参考)CARATS における CO2 削減に寄与する運航方法

運航方法	仕組み・寄与する理由	導入時期目安
空港における運用効率化	地上における待機時間を短縮することで CO ₂ 排出量を削減する 空港関係者間で、情報共有を強化することにより、航空機、地上作業員及び航空管制提供者間の情報交換を容易にする。これにより、航空会社にとってより正確なターンアラウンド情報が提供され、遅延や燃料消費を最小限に抑えるスロットの効果的な使用が可能になる。	2030 年以降
自由なルートでの飛行	上空の気象に応じて、運航乗務員がより効率的に飛行できるルート・高度を選択して飛行することで巡航中の CO ₂ 排出量を削減する。 事前に計画された管制承認をリアルタイムに変更する調整が必要であり、地上・機上のインフラ整備が必要となる。	2022 年以降
時間管理運航	管制機関が交通流の混雑具合を把握し、上空において待機時間を発生させないよう飛行の位置・速度をリアルタイムに調整することで全体として、巡航中の CO ₂ 排出量を削減する。 事前に計画された管制承認をリアルタイムに変更する調整が必要であり、地上・機上のインフラ整備が必要となる。	2030 年以降
継続的な上昇・降下運用	上昇・降下フェーズでの CO ₂ 削減に寄与する。 エンジン運用の方法を変更することで実現ができる。	2023 年以降
進入経路短縮 (RNP AR 方式など)	進入フェーズの飛行距離を短くすることで CO ₂ 排出に寄与する。 飛行方式の設定および機上・地上のインフラに左右されることが多く、特定空港へ順々に導入される予定である。	2021 年以降

注)RNP AR:特別許可を要する航法性能要件、RNP AR 方式は近年の航空機の優れた性能を十分に生かせる計器進入方式出所)国土交通省航空局資料

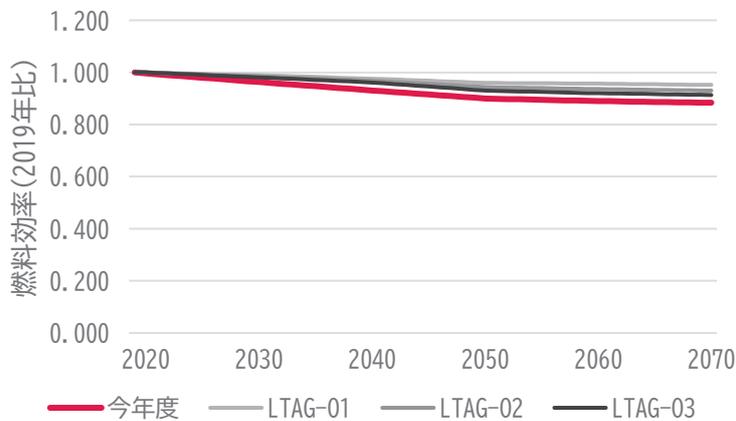


図 4-25 運航技術による燃料効率(2019 年比)

表 4-18 運航技術による燃料効率(2019 年比)

		運航技術による燃料効率 (2019年比)							燃料効率・年平均変化率 (%)							
		2019	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070	2019-25	2026-30	2031-35	2036-40	2041-50	2051-60	2061-70
今年度	野心的	1.000	0.980	0.963	0.947	0.931	0.900	0.890	0.884	0.34%	0.34%	0.34%	0.34%	0.34%	0.11%	0.07%
参考 LTAG	01:保守的	1.000	0.995	0.989	0.983	0.976	0.960	0.957	0.952	0.09%	0.11%	0.13%	0.13%	0.17%	0.03%	0.05%
	02:中程度	1.000	0.993	0.985	0.977	0.968	0.944	0.936	0.930	0.13%	0.15%	0.17%	0.17%	0.26%	0.08%	0.06%
	03:野心的	1.000	0.991	0.981	0.971	0.962	0.930	0.920	0.914	0.16%	0.19%	0.20%	0.20%	0.33%	0.11%	0.07%

注)表中の LTAG の数値は、LTAG 報告書本編に記載の統合シナリオ(IS1、IS2、IS3)・2050 年・運航技術によるベースラインからの CO₂ 削減率 IS1「4%」、IS2「6%」、IS3「11%」とは一致していない点に留意が必要である。本編には 2050 年時点の数値しか書かれていないが、今回の計算では年次別の数値が必要であったため、「ICAO LTAG 報告書 付録 M4 運航」巻末添付ファイル A に記載の施策別燃料削減率(Fuel Saving)および普及率(Readiness)に基づき積み上げで推計した数値を採用した。

1) 参考:2021 年度調査からの主な変更点

- 昨年度の設定が LTAG を上回る野心的目標であることを確認
- 中長期(~2050)は目標を堅持して変更なし
- 超長期(2051~)は LTAG に合わせて燃料効率改善を下方修正

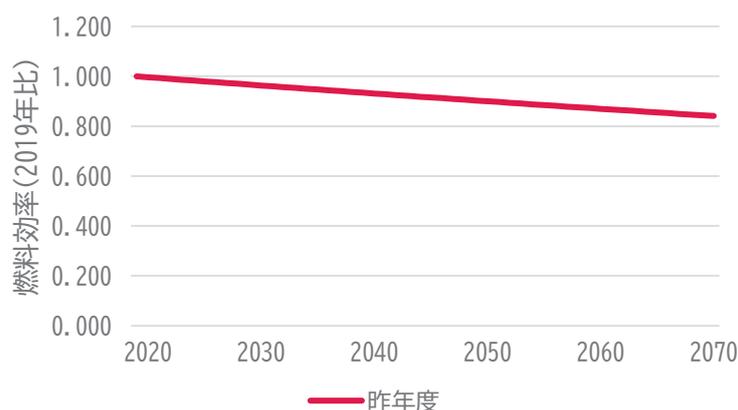


図 4-26 参考:運航技術による燃料効率(2019 年比)(2021 年度調査)

表 4-19 運航技術による燃料効率(2019 年比)(2021 年度調査)

	運航技術による燃料効率 (2019年比)	燃料効率・年平均変化率 (%)														
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070	2020-25	2026-30	2031-35	2036-40	2041-50	2051-60	2061-70
昨年度	運航改善	1.000	0.980	0.963	0.947	0.931	0.900	0.870	0.841	0.34%	0.34%	0.34%	0.34%	0.34%	0.34%	0.34%

(2) 運航技術による CO2 削減量

運航技術による CO2 削減量は、以下の通りに算出された。なお、計算の手順上、本調査で算出する運航技術による CO2 削減量は、ベースラインからの削減ではなく、航空技術による削減後の水準からの削減量になっている点に留意が必要である。

$$\begin{aligned}
 & \text{(計算例:ベースライン排出量 100、航空技術による削減率 28%、運航技術による削減率 10%の場合)} \\
 & \text{運航技術による削減量} \\
 & = \{ \text{ベースライン排出量} \times (1 - \text{航空技術による削減率}) \} \times (1 - \text{運航技術による削減率}) \\
 & = \{ 100 \times (1 - 0.28) \} \times (1 - 0.9) \\
 & = 7.2
 \end{aligned}$$

<運航技術による CO2 削減量>

- 2030 年 112 万 t-CO2(ベース比 3.5%減)
- 2035 年 167 万 t-CO2(同 4.6%減)
- 2050 年 359 万 t-CO2(同 7.2%減)
- 2070 年 564 万 t-CO2(同 7.9 減)

<留意点>

- 本調査では、運航技術による CO2 削減効果と、燃料による CO2 削減効果との効果の分離を行うため、炭素強度の低い燃料種別を用いることによる効果(=燃料による CO2 削減効果)は別途算出することとし、ここでは管制高度化等に伴う燃料消費の効率化効果(=運航技術による CO2 削減効果)のみを計算対象とした。具体的には、従来型ジェット燃料の単位エネルギー当たり炭素強度 89.0gCO₂e/MJ を前提として CO2 排出削減量を算出している。

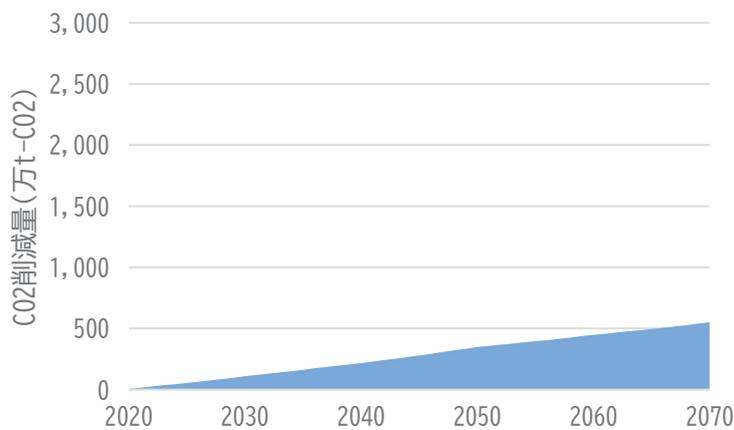


図 4-27 運航技術による CO2 削減量

出所)各種資料に基づき作成

表 4-20 運航技術による CO2 削減量

		CO2削減量 (万t-CO2)					CO2削減率 (%) ベースライン比				
		2020	2030	2035	2050	2070	2020	2030	2035	2050	2070
01	全体	5	109	162	348	550	0.3%	3.3%	4.5%	7.0%	7.7%
	国際	3	71	111	268	461	0.3%	3.4%	4.5%	6.9%	7.6%
	国内	2	38	51	81	89	0.3%	3.3%	4.5%	7.1%	7.9%

注)計算の手順上、本調査で算出する運航技術による CO2 削減量は、ベースラインからの削減ではなく、航空技術による削減後の水準からの削減量になっている点に留意が必要である。

出所)各種資料に基づき作成

4.2.6 燃料シナリオ

燃料シナリオとして、内地給油 SAF ポテンシャルおよび外地給油 SAF ポテンシャルに係る 3 つのシナリオ(F1、F2、F3)を設定し、航空技術・運航技術対策後の燃料消費量から、シナリオ毎に内地給油・外地給油それぞれの SAF 使用量を算出する。また SAF 燃料種別の炭素強度削減率を設定し、SAF 使用量に乘じることで SAF による CO2 削減量を算出した。

(1) SAF 供給ポテンシャル

1) SAF 供給ポテンシャルの3つのシナリオ

内地 SAF-HEFA、FT は、以下の 3 つのシナリオを作成(2021 年度調査から変更なし)

- F1:未利用量(海外流出分を含む)
- F2:未利用量に加え発電用等バイオマス以外の供給源がある既利用分
- F3:全ポテンシャル

内地 SAF-PtL*1、DAC*2、LH2、LCAF および外地 SAF、LCAF は、ICAO-LTAG の 3 つの燃料シナリオ(F1,F2,F3)を適用

- F1:保守的シナリオ
- F2:中程度シナリオ
- F3:野心的シナリオ、非ドロップイン燃料を含む

2) SAF 供給ポテンシャルの推計方法

a. 内地 SAF

内地 SAF-HEFA、FT、AtJ は、国内の各種資料に基づき 2050 年の供給ポテンシャルを推計し、中間年は補完推計した(後述:c 参照)。また 2051 年以降は横ばいと仮定した。(2021 年度調査から変更なし)

内地 SAF-PtL、DAC、LCAF は、世界的な新技術開発動向に依存すると考え、ICAO-LTAG に基づく世界の供給ポテンシャルに、世界の燃料消費量に占める内地給油シェア 3.31%(2019 年)を乗じて算出した。

内地 LH2 は、水素航空機等の非ドロップイン燃料導入を前提とする T3 シナリオでのみ反映することとし、シナリオ間の整合を図るため、必要量分の LH2 がすべて供給されると仮定した。

輸入 SAF(※対象は HEFA・FT・AtJ)は、世界の SAF 供給ポテンシャルに余剰が生じた場合のみ、内地 SAF に加えて、追加的に調達・輸入できるものと仮定して算出した。具体的には、シナリオ別・年次別の世界の SAF 供給ポテンシャルに、世界の燃料消費量に占める内地給油シェア 3.31%(2019 年)を乗じて算出される日本 SAF 調達ポテンシャル(a)と、内地 SAF 供給ポテンシャル(b)を比較して、(a)が(b)よりも多い場合のみ、その差分を計上した。

上記の内地 SAF 供給ポテンシャルの内数として、国内の燃料消費量に占める本邦航空会社シェア

55.8%(2019年)分を抽出した。残りの44.2%は海外航空会社の国際線・日本出発便において給油される分とした。

表 4-21 SAFの原料候補の概要

原料カテゴリ		原料の概要	製造方法(D7566)
油脂系バイオマス	残渣	食用油・廃獣脂・PFAD・POMEからの廃棄油脂	Annex A2:植物油等の水素処理により精製される合成パラフィンケロシン(HEFA) Annex A6:Catalytic Hydrothermolysis Jet (CHJ)
	主産物	・上記とは異なり、油糧作物として土地を利用し生産されるもの(ジャトロファ等)。 ・食料競合の課題により農地で栽培される油脂の燃料用途での利用は抑制的な扱いのため、農地栽培を避けての利用(耕作放棄地等の活用)が想定される。	
セルロース系バイオマス ^{※1}	残渣	例として以下が挙げられる。 ・農業残渣:作物の収穫時や加工時に発生する残渣(稲わら・籾殻・トウモロコシわら・バガス等) ・森林残渣:林地に放置された残材。 ・製材残渣:製材工場等から発生する樹皮や背板などの残材。 ・建設発生木材:建設工事に伴い、副次的に得られる建設副産物の一つで木造住宅の解体工事からの発生量が多い。	Annex A1:Fischer-Tropsch 法により製造される合成パラフィンケロシン(FT-SPK) Annex A3:発酵水素化処理糖類由来のイソ・パラフィン(SIP) Annex A4:非化石資源由来の芳香族をアルキル化した合成ケロシン(SPK/A) Annex A5:アルコール・ジェット由来の合成パラフィンケロシン(ATJ-SPK)
その他	主産物(糖料作物)	サトウキビ等糖料作物から得られるエタノールからアルコール・ジェット(ATJ)プロセスを経て炭化水素(ケロシン)を生産できる。	Annex A5
	廃棄物(油脂成分を除く)	・一般廃棄物:廃棄物処理法において産業廃棄物でないもの。市町村の区域内での処理が原則。市町村に処理責任。 ・産業廃棄物:事業活動に伴って生じた廃棄物(廃プラスチック類、紙くず、動植物性残さ等20種)。排出者に処理責任。	Annex A1, Annex A5
	CO ₂ ・水素(合成燃料) ^{※2}	CO ₂ と水素の逆シフト反応によるCOの製造、COと水素のFT合成反応によるパラフィンの合成を経てSAFが製造される。	Annex A1
	藻類 ^{※3}	光合成により高速で増殖する微細藻類等を大量培養それらが生成する藻油からSAFを一貫製造する。	Annex A2, Annex A6, Annex A7: Hydrocarbon-HEFA (HC-HEFA)

※1:耕作放棄地等で栽培される主産物のセルロース系原料(ミスカンサス、ネビアグラス等)も候補としては挙げられるが、ここでは耕作放棄地の活用用途として、油糧作物を対象に検討を行った。

※2:CO₂・水素(合成燃料)の供給ポテンシャルは、世界的な新技術開発動向に依存すると考え、ICAO-LTAGの世界の供給ポテンシャルに基づき推計することとし、ここでは推計を行っていない。

※3:商業規模への拡大について検討がなされている途上であり、先行事例においてもポテンシャル推計がなされていないため、本資料では推計を行っていない。

出所)株式会社三菱総合研究所「2021年度航空分野におけるCO₂排出削減方策に関する調査研究(長期目標調査)補助業務報告書」(2022年3月)

表 4-22 国内原料由来の SAF ポテンシャル推計まとめ(万 kL/年)

SAF 原料	F1	F2	F3
廃棄油脂	5.0	5.6	21.1
油糧作物	3.2	3.2	3.2
農業残渣	73.1	73.1	105.9
森林残渣	86.8	105.8	122.3
製材残渣	1.3	3.0	64.3
建設発生木材	2.2	3.4	55.5
糖料作物	0.0	0.0	2.3
一般廃棄物	3.0	258.7	306.3
産業廃棄物※	17.5	67.9	118.4
合計	192.0	520.6	799.2

注1) F1:未利用量(海外流出分を含む)のみ SAF に振り向ける場合

F2:未利用量に加え発電用等バイオマス以外の供給源がある既利用分を SAF に振り向ける場合

F3:全ポテンシャルを SAF に振り向ける場合

注2)※:紙くず、動植物系残渣、廃プラスチック類を対象

注3)CO₂・水素(合成燃料)および藻類を除く

出所)株式会社三菱総合研究所「2021 年度航空分野における CO₂ 排出削減方策に関する調査研究(長期目標調査)補助業務 報告書」(2022 年 3 月)

b. 外地 SAF

外地 SAF(LH2 除く)および LCAF は、ICAO-LTAG に基づき設定した。

外地 LH2 は、内地 LH2 と同様、T3 シナリオに基づく非ドロップイン燃料必要量分の LH2 がすべて供給されると仮定した。

上記の外地 SAF 供給ポテンシャルから、世界の燃料消費量に占める本邦航空会社外地給油シェア 0.77%(2019 年)分を抽出した。

c. 中間年補完

内地 SAF-HEFA、FT、AtJ は、各種資料に基づき 2050 年の供給ポテンシャルを設定し、中間年は燃料種別に関数形等を当てはめて補完推計した。(2021 年度調査から変更なし)

また、内地 SAF-PtL、DAC の供給ポテンシャルは ICAO-LTAG に基づき設定するが、国内での商用化見通し等を踏まえ 2030 年迄はゼロ、2035 年以降は LTAG 設定通り、その中間年にあたる 2031 年から 2034 年は線形で増加と想定した。

- FT、AtJ(農業残渣、森林残渣、都市ごみ・産業廃棄物)は、中間年の供給計画に関数形を当てはめて推計
- HEFA(廃棄油脂)は、2030 年を上限に線形で増加、それ以降横ばいと想定
- HEFA(主産物)は、2030 年迄ゼロ、それ以降 2050 年上限まで線形で増加と想定
- PtL、DAC は、2030 年迄ゼロ、2035 年以降は LTAG 設定通り、その中間年にあたる 2031 年から 2034 年は線形で増加と想定

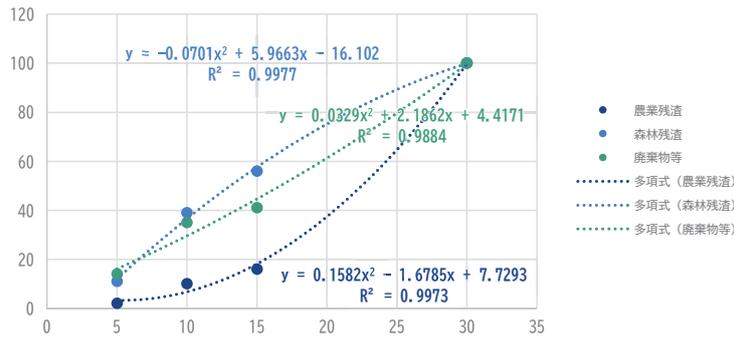


図 4-28 内地給油 SAF(SAF-HEFA、FT、AtJ、PtL)の中間年補完推計方法
出所)各種資料に基づき三菱総合研究所作成

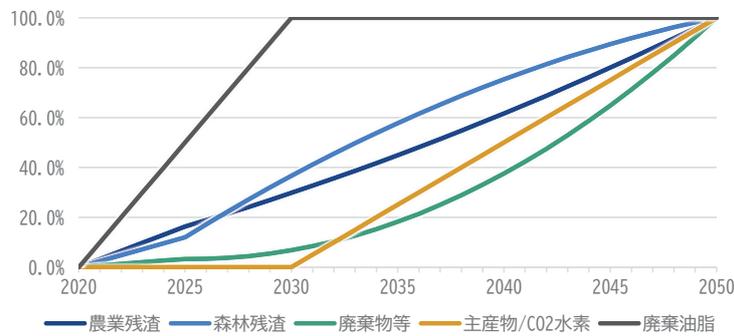


図 4-29 内地給油 SAF(SAF-HEFA、FT、AtJ、PtL)の中間年補完推計方法
出所)各種資料に基づき三菱総合研究所作成

<参考:燃料消費量実績>

本調査対象である本邦航空会社の国内線及び国際線の 2019 年燃料消費量実績は 1,036 万 kL (うち国内線 423 万 kL、国際線-内地給油 309 万 kL、国際線-外地給油 304 万 kL)である。

一方、推計の過程では、上記の調査対象から国際線-外地給油分 304 万 kL を減算し、外航航空会社の国内給油分 580 万 kL を加算した内地給油量 1,313 万 kL も取り扱っている。

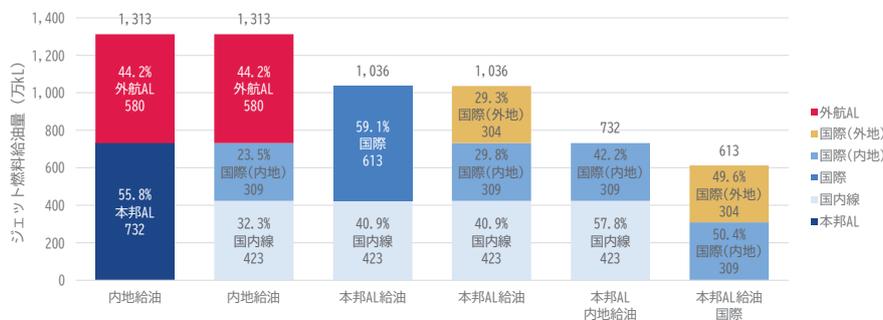


図 4-30 (参考)内地給油および本邦航空会社関連のジェット燃料消費量実績(2019 年)
出所)国土交通省「航空輸送統計」、経済産業省「石油統計」に基づき作成

3) SAF 供給ポテンシャルの推計結果

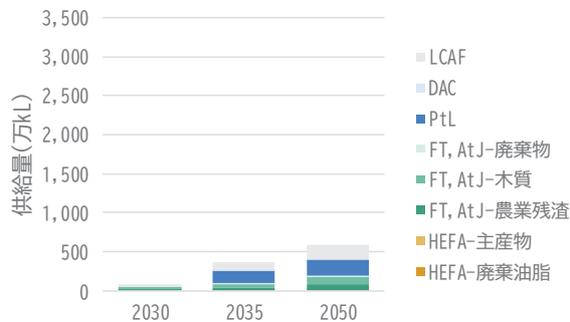
a. 内地給油

内地給油 SAF の供給ポテンシャルは以下の通り推計された。なお、LH2、輸入 SAF は、需要に応じて算出しているため、ここでは整理対象外とした。

<内地給油 SAF 供給ポテンシャル(LCAF 除く)>

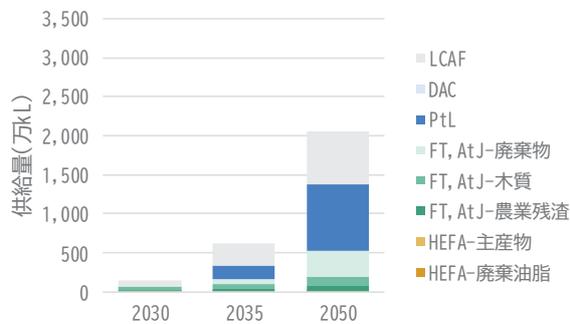
- F1:2030年 60万 kL、2050年 404万 kL、2070年 393万 kL
- F2:2030年 89万 kL、2050年 1,379万 kL、2070年 1,912万 kL
- F3:2030年 134万 kL、2050年 2,038万 kL、2070年 2,325万 kL

F1



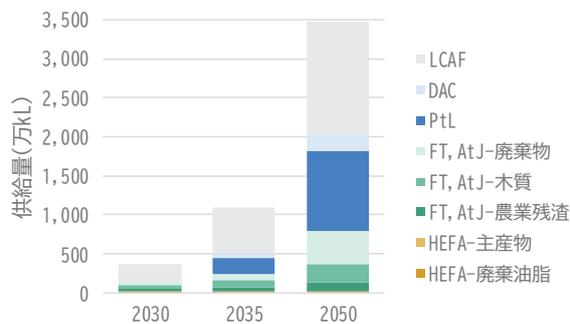
		国内SAF供給量(万kL)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
HEFA	廃棄油脂	-	2	5	5	5	5	5	5
	主産物	-	-	-	1	2	3	3	3
FT+AtJ	農業残渣	-	12	22	33	45	73	73	73
	木質	-	11	32	51	67	90	90	90
	廃棄物	-	1	1	4	8	20	20	20
PtL	CO ₂ ・水素	-	-	-	160	219	212	208	201
	DAC	-	-	-	-	-	-	-	-
LCAF		-	-	20	120	144	188	239	312
SAF計 (LCAF除く)		-	26	60	253	345	404	400	393

F2



		国内SAF供給量(万kL)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
HEFA	廃棄油脂	-	3	6	6	6	6	6	6
	主産物	-	-	-	1	2	3	3	3
FT+AtJ	農業残渣	-	12	22	33	45	73	73	73
	木質	-	13	39	62	82	112	112	112
	廃棄物	-	11	22	59	123	327	327	327
PtL	CO ₂ ・水素	-	-	-	178	254	859	1,192	1,391
	DAC	-	-	-	-	-	-	-	-
LCAF		-	-	60	281	539	672	831	1,041
SAF計 (LCAF除く)		-	38	89	339	511	1,379	1,712	1,912

F3



		国内SAF供給量(万kL)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
HEFA	廃棄油脂	-	11	21	21	21	21	21	21
	主産物	-	-	-	1	2	3	3	3
FT+AtJ	農業残渣	-	17	32	48	65	106	106	106
	木質	-	19	53	92	137	242	242	242
	廃棄物	-	14	29	78	161	427	427	427
PtL	CO ₂ ・水素	-	-	-	206	294	1,012	873	162
	DAC	-	-	-	72	124	227	682	1,363
LCAF		-	-	227	570	996	1,432	1,803	2,318
SAF計 (LCAF除く)		-	60	134	518	804	2,038	2,354	2,325

図 4-31 内地給油 SAF 供給ポテンシャル

出所)各種資料に基づき作成

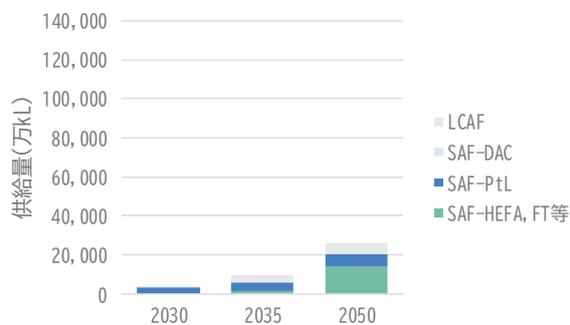
b. 外地給油

外地給油 SAF の供給ポテンシャルは以下の通り推計された。なお、LH2、輸入 SAF は、需要に応じて算出しているため、ここでは整理対象外とした。

<世界 SAF 供給ポテンシャル(LCAF 除く)>

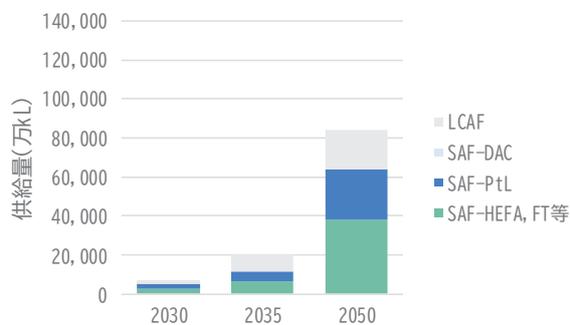
- F1:2030年 3,608 万 kL、2050年 20,465 万 kL、2070年 51,687 万 kL
- F2:2030年 5,575 万 kL、2050年 64,076 万 kL、2070年 93,686 万 kL
- F3:2030年 8,801 万 kL、2050年 84,315 万 kL、2070年 98,039 万 kL

F1



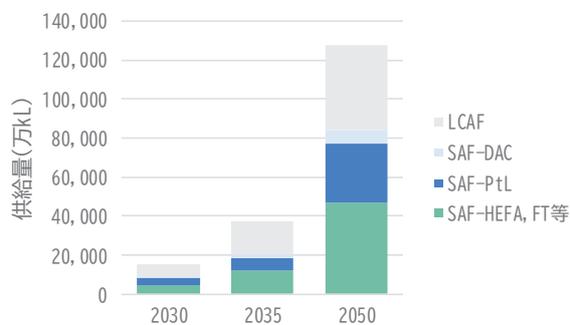
		世界SAF供給量(万kL)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
SAF	HEFA, FT等	87	213	524	1,276	3,037	14,065	34,689	45,627
	PtL	-	-	3,084	4,843	6,603	6,400	6,298	6,060
	DAC	-	-	-	-	-	-	-	-
LCAF		-	-	607	3,635	4,360	5,668	7,225	9,436
SAF計	(LCAF除く)	87	213	3,608	6,119	9,639	20,465	40,986	51,687

F2



		世界SAF供給量(万kL)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
SAF	HEFA, FT等	353	946	2,496	6,264	14,104	38,129	49,562	51,662
	PtL	-	-	3,080	5,381	7,683	25,947	35,998	42,024
	DAC	-	-	-	-	-	-	-	-
LCAF		-	-	1,805	8,488	16,270	20,290	25,094	31,452
SAF計	(LCAF除く)	353	946	5,575	11,645	21,786	64,076	85,560	93,686

F3



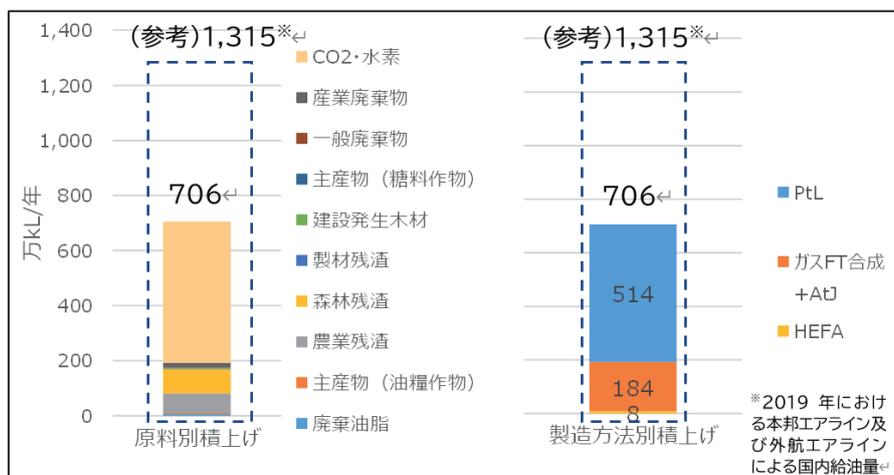
		世界SAF供給量(万kL)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
SAF	HEFA, FT等	519	1,581	4,624	12,110	25,252	46,875	51,427	51,950
	PtL	-	-	3,551	6,217	8,884	30,574	26,371	4,896
	DAC	-	-	627	2,187	3,746	6,866	20,596	41,193
LCAF		-	-	6,865	17,222	30,102	43,268	54,473	70,022
SAF計	(LCAF除く)	519	1,581	8,801	20,514	37,882	84,315	98,394	98,039

図 4-32 世界給油 SAF 供給ポテンシャル

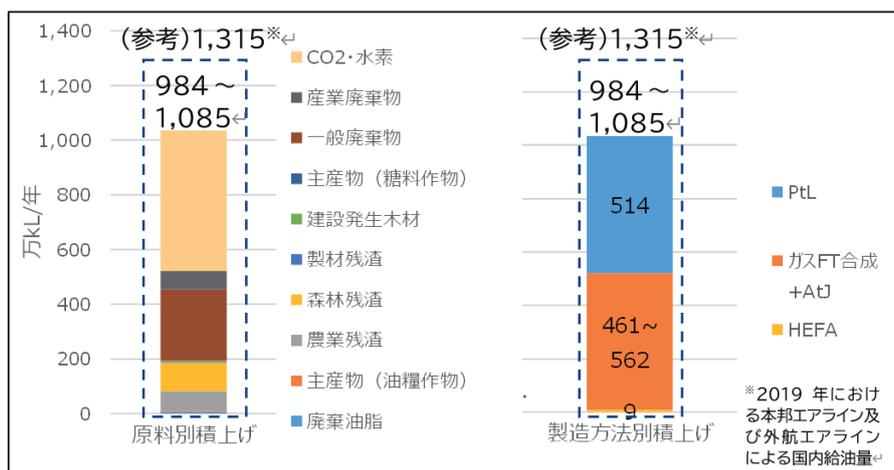
出所)各種資料に基づき作成

c. 参考:2021 年度調査からの主な変更点

- 内地供給ポテンシャル:HEFA、FT、AtJ は国産供給ポテンシャルで設定、変更なし。PtL、DAC、LH2 並びに LCAF は LTAG の世界供給ポテンシャルに本邦航空会社の内地給油シェアを乗じて推計(PtLはF1で**下方修正**、F2・F3で**上方修正**、DAC、LH2、LCAFは**純増**)。内地 SAF 不足&外地 SAF 余剰ありの場合、輸入 SAF を反映(**純増**)。
- SAF-外地供給ポテンシャル:昨年度 Waypoint2050 中位 1 ケースのみの設定から、LTAG3 ケース(F1,F2,F3)の設定に変更。HEFA/FT/AtJ はケースごとに増減、DAC、LH2、LCAFは純増。その結果、F1は**下方修正**、F2・F3は**上方修正**

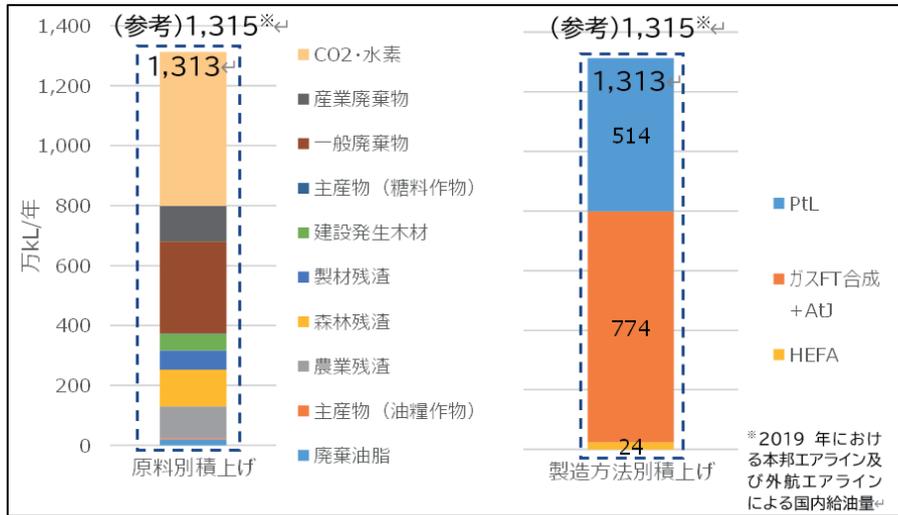


推計①:未利用量(海外流出分を含む)



推計②:未利用量に加え発電用等バイオマス以外の供給源がある既利用分

図 4-33 SAF 供給ポテンシャル(2021 年度調査)(1/2)



推計③:全ポテンシャル
 図 4-34 SAF 供給ポテンシャル(2021 年度調査)(2/2)

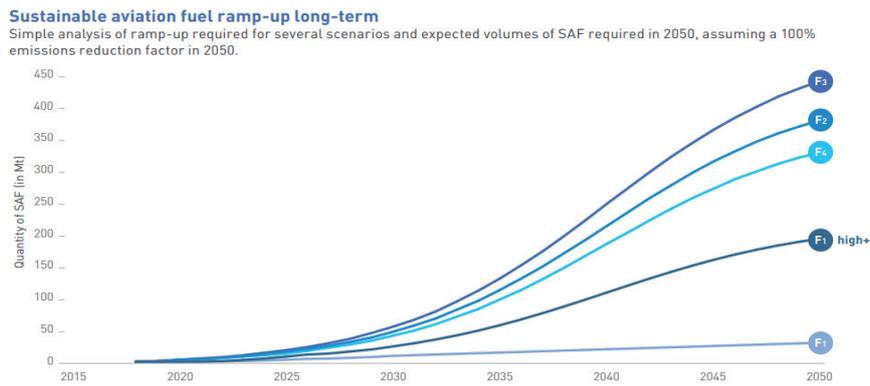


図 4-35 SAF 供給ポテンシャル ATAG Waypoint2050 SAF 中位シナリオ(F2) (2021 年度調査)

(2) SAF 使用量

1) 種別使用の優先順位

SAF 供給が需要に充たない場合、SAF は供給量すべてを使用と仮定し、不足分は LCAF、従来型ジェット燃料で補完すると仮定した。一方、SAF 供給が需要を超過する場合には、ICAO-LTAGのF3シナリオに準拠し、SAF 種別のうち炭素強度削減率の高い SAF から順に使用するものと仮定した。

なお、具体的な優先順位は以下の通り設定した。(F1、F2、F3 共通)

LH2 > DAC > PtL > HEFA = FT = AtJ > LCAF > JetA1

表 4-23 シナリオごとの選択基準と優先順位(ICAO-LTAG)
(F1 : 価格重視)

	最小販売価格[\$/L]
LTAG-LCAF	0.52
LTAG-SAF-固体/液体バイオ	0.9-2
LTAG-SAF-排 CO ₂	~2.5
LTAG-SAF-DAC	N/A

(F2 : 費用対効果重視)

	限界削減コスト[\$/kg CO ₂ red]
LTAG-SAF-固体/液体バイオ	<1
LTAG-LCAF	<1
LTAG-SAF-排 CO ₂	4.3
LTAG-SAF-DAC	N/A

(F3 : GHG 削減量重視)【本調査で採用】

	LCA 値[gCO ₂ e/MJ]
LTAG-SAF-DAC	8-13
LTAG-SAF-排 CO ₂	13-16
LTAG-SAF-固体/液体バイオ	21-24
LTAG-LCAF	80.1

注)Note: LTAG-SAF-DAC (Direct Air Capture) represents LTAG-SAF from atmospheric CO₂ and is not included under F1 or F2. Marginal Abatement Costs are given in units of US dollar per kg of CO₂ reduction

出所)ICAO「LTAG Report Appendix M5 Fuels」(2022年3月),
https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Documents/ICAO_LTAG_Report_AppendixM5.pdf,
2022.10.7 閲覧より作成

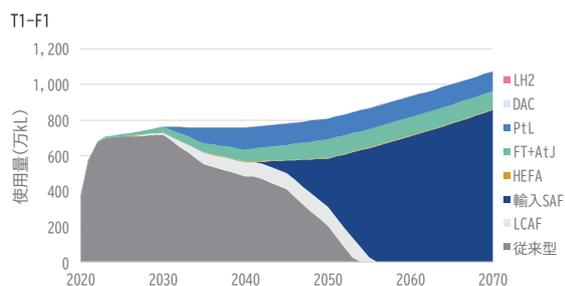
2) 内地給油

F1 では、内地給油 SAF は永続的に供給が需要に追い付かず、2040 年代半ば以降、輸入 SAF への依存割合が上昇(2030 年ゼロ、2050 年 30%、2070 年 80%)する結果となった。

F2 では、供給不足に対して、2030 年頃から LCAF、2030 年代半ばから輸入 SAF への依存割合が高まるが、同時期に始まる PtL の供給が 2040 年代以降増加し、2050 年代以降は国内供給で充足する結果となった。

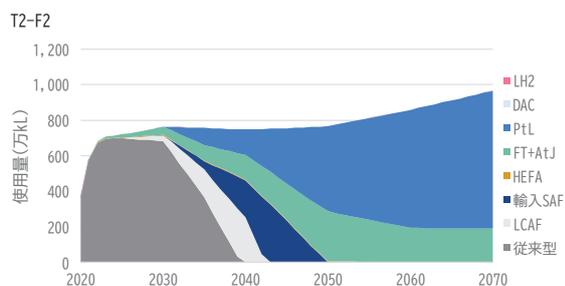
F3 では、2030 年代半ばから DAC の供給が拡大し、PtL から DAC への転換が進行。更に T3-F3 では、2040 年代以降非ドロップイン燃料航空機の導入・市場シェア拡大が進み、水素系の PtL、DAC から LH2 への転換が進行する結果となった。

「2050年CNに伴うグリーン成長戦略」(2021.6)で掲げられた水素の国内供給量目標は、「2030年に最大300万トン、2050年に2,000万トン程度」であり、SAF換算すると2030年514万kL/年、2050年3,426万kL/年に相当する。本推計結果における水素関連燃料(PtL、DAC、LH2)の使用量は、最大のT3-F3で2035年ゼロ、2050年780万kLであり、供給目標の23%に相当する結果となった。



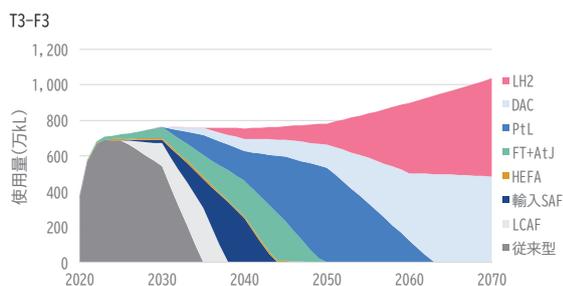
		内地給油SAF使用量(万kL)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
従来型	JetA	369	708	720	551	484	206	-	-
SAF	HEFA	-	1	3	3	4	5	5	5
	FT+AtJ	-	13	31	49	67	103	103	103
	PtL	-	-	-	89	122	118	116	112
	DAC	-	-	-	-	-	-	-	-
	輸入SAF	-	-	-	-	-	274	709	856
	LH2	-	-	-	-	-	-	-	-
	LCAF	-	-	11	67	81	105	-	-
SAF計	(LCAF除く)	-	14	45	208	273	603	933	1,075
水素計	PtL+DAC+LH2	-	-	-	89	122	118	116	112

(T1-F1)



		内地給油SAF使用量(万kL)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
従来型	JetA	369	701	682	367	-	-	-	-
SAF	HEFA	-	2	3	4	4	5	3	3
	FT+AtJ	-	20	46	86	139	283	192	189
	PtL	-	-	-	99	142	479	665	776
	DAC	-	-	-	-	-	-	-	-
	輸入SAF	-	-	-	47	210	-	-	-
	LH2	-	-	-	-	-	-	-	-
	LCAF	-	-	33	157	253	-	-	-
SAF計	(LCAF除く)	-	21	83	392	748	767	860	968
水素計	PtL+DAC+LH2	-	-	-	99	142	479	665	776

(T2-F2)



		内地給油SAF使用量(万kL)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
従来型	JetA	369	688	544	-	-	-	-	-
SAF	HEFA	-	6	12	12	13	-	-	-
	FT+AtJ	-	28	63	121	202	-	-	-
	PtL	-	-	-	115	164	535	124	-
	DAC	-	-	-	40	69	127	380	484
	輸入SAF	-	-	19	161	248	-	-	-
	LH2	-	-	-	-	60	120	396	553
	LCAF	-	-	127	309	-	-	-	-
SAF計	(LCAF除く)	-	34	220	759	756	782	900	1,037
水素計	PtL+DAC+LH2	-	-	-	155	293	782	900	1,037

(T3-F3)

図 4-36 内地給油 SAF・LCAF 使用量

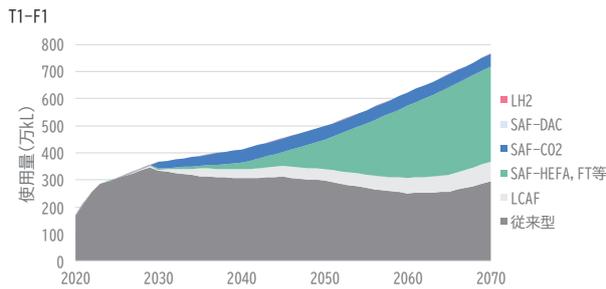
※LH2 量はジェット燃料換算
出所)各種資料に基づき作成

3) 外地給油

F1 では、2030 年頃から PtL の供給化が開始されるものの、永続的に供給が需要に追い付かず、従来型ジェット燃料を使用し続ける結果となった。

F2 では、2040 年代半ばごろから PtL の供給が拡大し、従来型ジェット燃料や LCAF への依存が不要となる結果となった。

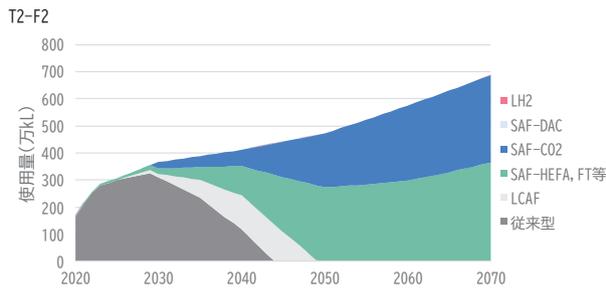
F3 では、2030 年頃から DAC の供給が拡大し、PtL から DAC への転換が進行。更に T3-F3 では、2040 年代以降非ドロップイン燃料航空機の導入・市場シェア拡大が進み、水素系の PtL、DAC から LH2 への転換が進行する結果となった。



T1-F1

		外地給油SAF使用量(万kL)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
従来型	JetA	169	305	333	314	305	297	251	294
SAF	HEFA, FT等	1	2	4	10	23	108	267	351
	CO2	-	-	24	37	51	49	48	47
	DAC	-	-	-	-	-	-	-	-
	LH2	-	-	-	-	-	-	-	-
	LCAF	-	-	5	28	34	44	56	73
SAF計	(LCAF除く)	1	2	32	75	108	201	371	471

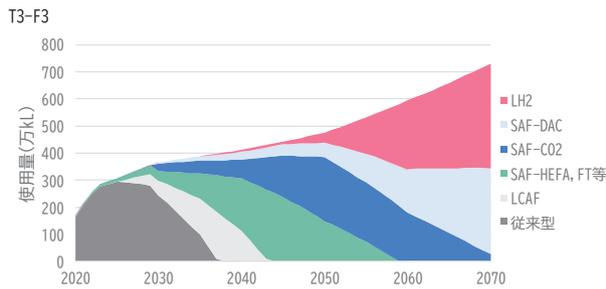
(T1-F1)



T2-F2

		外地給油SAF使用量(万kL)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
従来型	JetA	167	300	309	234	117	-	-	-
SAF	HEFA, FT等	3	7	19	48	109	273	298	365
	CO2	-	-	24	41	59	200	277	324
	DAC	-	-	-	-	-	-	-	-
	LH2	-	-	-	-	-	-	-	-
	LCAF	-	-	14	65	125	-	-	-
SAF計	(LCAF除く)	3	7	57	155	293	473	575	688

(T2-F2)



T3-F3

		外地給油SAF使用量(万kL)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
従来型	JetA	166	295	245	99	-	-	-	-
SAF	HEFA, FT等	4	12	36	93	194	149	-	-
	CO2	-	-	27	48	68	235	182	27
	DAC	-	-	5	17	29	53	159	317
	LH2	-	-	-	-	7	38	253	386
	LCAF	-	-	53	133	113	-	-	-
SAF計	(LCAF除く)	4	12	121	291	412	475	594	730

(T3-F3)

図 4-37 外地給油 SAF・LCAF 使用量

※LH2 量はジェット燃料換算
出所)各種資料に基づき作成

(3) SAFによるCO2削減量

1) 燃料種別の炭素強度削減率

内地 SAF-HEFA、FT、AtJ は国内の各種資料、ICAO-LTAG に基づき炭素強度削減率を設定した。なお、国内の各種資料に基づく炭素強度削減率(c)と、ICAO-LTAG のシナリオ別 2050 年の炭素強度削減率(d)とを比較して、(c)が(d)よりも低い場合は、2050 年にかけて線形で(d)まで上昇すると設定した。2051 年以降は(c)と ICAO-LTAG の年次別 CO2(d)のいずれか大きい方で設定した。

内地 SAF-PtL、DAC、LH2、LCAF および外地 SAF、LCAF は、ICAO-LTAG に基づき設定した。

2021 年度調査では、2050 カーボンニュートラル(CN)の目標達成を前提に、SAF の炭素強度削減率は 2050 年 100%と設定していたが、ライフサイクル GHG 削減率の観点で現実的ではないことから今回見直しを行った。

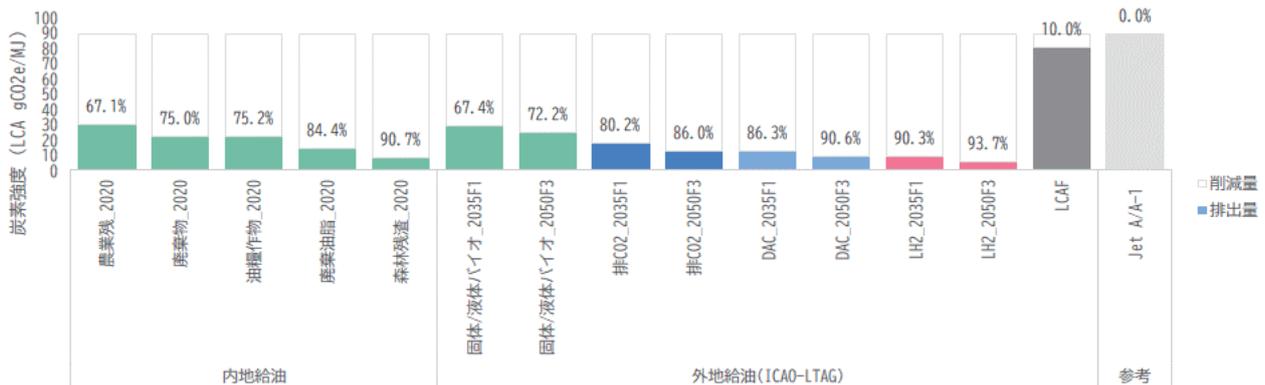


図 4-38 燃料種別の炭素強度削減率

注)外地給油(ICA0-LTAG)における固体/液体バイオ由来 SAF は内地給油における 5 種を指している。

出所)各種資料に基づき作成 注)グラフ中の数値は「削減率」 注)炭素強度削減率は、従来型ジェット燃料の CO2 排出量原単位 89.0gCO2e/MJ に対する減少率として算出

a. 参考:2021 年度調査からの主な変更点

- SAF-炭素強度削減率:昨年度は 2050 年 100%達成を前提としたが、今年度は LTAG 想定を踏まえ 2050 年時点でも **72~91%**と 100%達成は困難と見込む(下方修正)

2) 内地給油

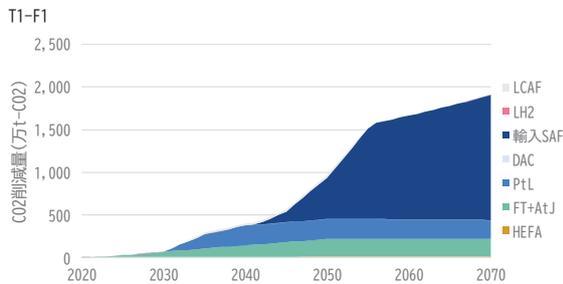
内地給油 SAF は、F1 では永続的に、F2・F3 では 2040 年頃まで供給が不足し、2030 年頃から LCAF、輸入 SAF での補完が必要という結果となった。

F1 では、2050 年以降、内地 SAF が頭打ちとなり輸入 SAF への依存割合が上昇する。

T3-F3 では、2040 年頃から非ドロップイン燃料航空機用の LH2 が増加し、その他の SAF を代替する。

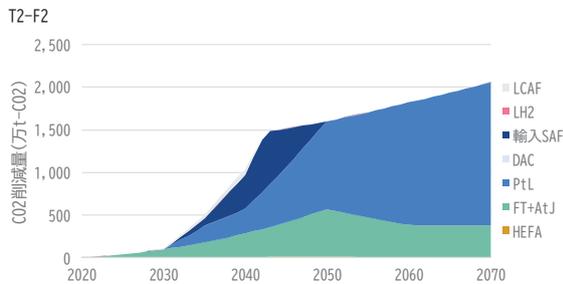
<内地給油 SAF・LCAF による CO2 削減量>

- F1:2030 年 72 万、2050 年 961 万、2070 年 1,906 万 t-CO2
- F2:2030 年 109 万、2050 年 1,602 万、2070 年 2,056 万 t-CO2
- F3:2030 年 223 万、2050 年 1,739 万、2070 年 2,417 万 t-CO2



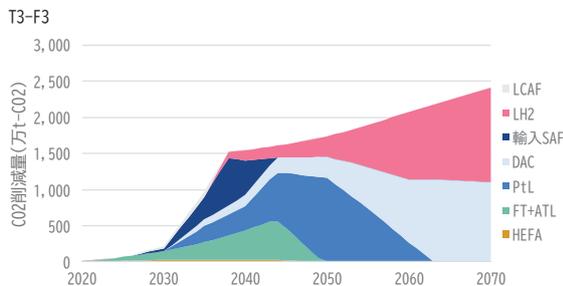
		内地給油CO2削減量(万t-CO2)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
HEFA	廃棄油脂	-	3	6	6	6	6	6	6
	主産物	-	-	-	1	2	3	3	3
FT+AtJ	農業残渣	-	11	21	31	43	69	69	69
	木質	-	13	41	65	85	115	115	115
	廃棄物	-	1	1	4	8	22	22	22
PtL	CO2・水素	-	-	-	168	234	237	233	225
	DAC	-	-	-	-	-	-	-	-
輸入SAF		-	-	-	-	-	482	1,217	1,466
LH2	液体水素	-	-	-	-	-	-	-	-
LCAF	LCAF	-	-	3	17	20	26	-	-
SAF+LCAF+LH2		-	28	72	291	398	961	1,666	1,906

(T1-F1)



		内地給油CO2削減量(万t-CO2)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
HEFA	廃棄油脂	-	3	7	7	7	7	4	4
	主産物	-	-	-	1	2	3	2	2
FT+AtJ	農業残渣	-	11	21	32	44	72	49	49
	木質	-	17	50	80	105	142	96	95
	廃棄物	-	11	23	63	130	343	232	228
PtL	CO2・水素	-	-	-	194	287	1,036	1,437	1,677
	DAC	-	-	-	-	-	-	-	-
輸入SAF		-	-	-	89	396	-	-	-
LH2	液体水素	-	-	-	-	-	-	-	-
LCAF	LCAF	-	-	8	40	64	-	-	-
SAF+LCAF+LH2		-	43	109	504	1,034	1,602	1,821	2,056

(T2-F2)



		内地給油CO2削減量(万t-CO2)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
HEFA	廃棄油脂	-	13	25	25	25	-	-	-
	主産物	-	-	-	1	2	-	-	-
FT+ATL	農業残渣	-	17	31	47	65	-	-	-
	木質	-	24	68	118	175	-	-	-
	廃棄物	-	15	30	82	170	-	-	-
PtL	CO2・水素	-	-	-	225	333	1,163	269	-
	DAC	-	-	-	88	153	290	871	1,108
輸入SAF		-	-	37	314	480	-	-	-
LH2	液体水素	-	-	-	-	139	285	939	1,310
LCAF	LCAF	-	-	32	78	-	-	-	-
SAF+LCAF+LH2		-	68	223	978	1,542	1,739	2,078	2,417

(T3-F3)

図 4-39 内地給油 SAF・LCAF による CO2 削減量

出所)各種資料に基づき作成

3) 外地給油

外地給油 SAF は、F1 では永続的に、F2・F3 では 2040 年頃まで供給が不足し、2030 年頃から LCAF での補完が必要という結果となった。

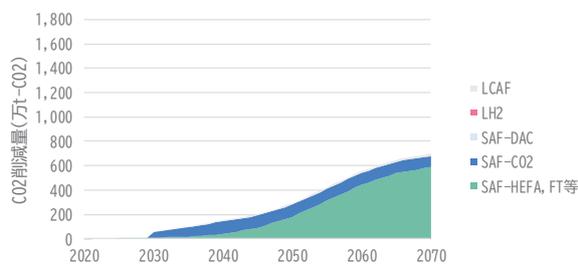
F2、F3 では、2050 年以降、SAF の供給に余力が生じ、LCAF を使用停止する。

T3-F3 では、2040 年頃から非ドロップイン燃料航空機用の LH2 が増加し、その他の SAF を代替する。

<外地給油 SAF・LCAF による CO2 削減量>

- F1:2030 年 56 万、2050 年 289 万、2070 年 700 万 t-CO2
- F2:2030 年 86 万、2050 年 916 万、2070 年 1,368 万 t-CO2
- F3:2030 年 146 万、2050 年 994 万、2070 年 1,699 万 t-CO2

T1-F1

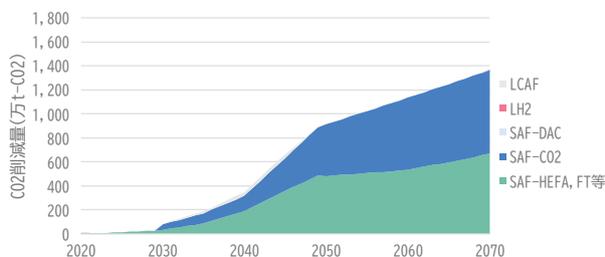


T1-F1

		外地給油CO2削減量(万t-CO2)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
SAF	HEFA, FT等	1	3	7	17	39	179	444	588
	CO2	-	-	48	76	103	99	97	94
	DAC	-	-	-	-	-	-	-	-
	LH2	-	-	-	-	-	-	-	-
LCAF		-	-	1	7	8	11	14	18
SAF計 (LCAF除く)		1	3	56	99	151	289	555	700

(T1-F1)

T2-F2

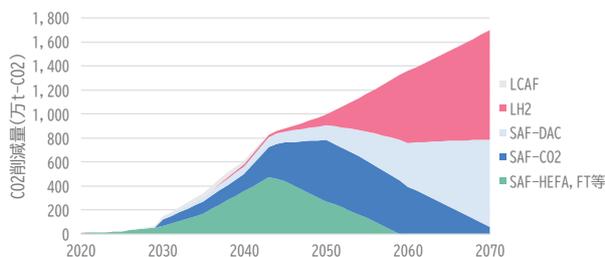


T2-F2

		外地給油CO2削減量(万t-CO2)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
SAF	HEFA, FT等	5	13	34	86	193	484	537	668
	CO2	-	-	49	85	124	432	599	699
	DAC	-	-	-	-	-	-	-	-
	LH2	-	-	-	-	-	-	-	-
LCAF		-	-	4	17	32	-	-	-
SAF計 (LCAF除く)		5	13	86	187	348	916	1,136	1,368

(T2-F2)

T3-F3



T3-F3

		外地給油CO2削減量(万t-CO2)							
		2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060	2070
SAF	HEFA, FT等	7	22	66	172	357	273	-	-
	CO2	-	-	57	99	144	512	395	58
	DAC	-	-	11	37	64	121	363	726
	LH2	-	-	-	-	17	89	600	914
LCAF		-	-	13	34	28	-	-	-
SAF計 (LCAF除く)		7	22	146	341	610	994	1,359	1,699

(T3-F3)

図 4-40 外地給油 SAF・LCAF による CO2 削減量

出所)各種資料に基づき作成

4.2.7 統合シナリオ

削減対策：統合シナリオは航空技術、運航技術、燃料の全組み合わせの9ケース(=3×1×3)を設定した。

- 航空技術(3 ケース) : T1:ATW/T2:T2-ACA/T3:T3-ACA
- 運航技術(1 ケース) : O1:野心的
- 燃料(3 ケース) : F1:保守的/F2:中程度/F3:野心的

表 4-24 統合シナリオ9ケース

本邦対策	シナリオ名	Dem	航空需要	Tech	航空技術	Ope	運航技術	Fuel	燃料
1	T1-F1	D1	中位	T1	ATW	O1	野心的	F1	保守的
2	T1-F2	D1	中位	T1	ATW	O1	野心的	F2	中程度
3	T1-F3	D1	中位	T1	ATW	O1	野心的	F3	野心的
4	T2-F1	D1	中位	T2	T2-ACA	O1	野心的	F1	保守的
5	T2-F2	D1	中位	T2	T2-ACA	O1	野心的	F2	中程度
6	T2-F3	D1	中位	T2	T2-ACA	O1	野心的	F3	野心的
7	T3-F1	D1	中位	T3	T3-ACA	O1	野心的	F1	保守的
8	T3-F2	D1	中位	T3	T3-ACA	O1	野心的	F2	中程度
9	T3-F3	D1	中位	T3	T3-ACA	O1	野心的	F3	野心的

表 4-25 (参考)ICAO LTAG 統合シナリオ 3 ケース

世界対策	シナリオ名	Dem	航空需要	Tech	航空技術	Ope	運航技術	Fuel	燃料
1	IS1	D1	中位	T1	ATW	O1	保守的	F1	保守的
2	IS2	D1	中位	T2	T2-ACA	O2	中程度	F2	中程度
3	IS3	D1	中位	T3	T3-ACA	O3	野心的	F3	野心的

4.3 シミュレーション結果

(1) ベースラインの CO2 排出量

ベースラインの CO2 排出量は 4.2.3(2)を参照されたい。

(2) 航空技術による CO2 削減量

航空技術による CO2 排出削減量は 4.2.4(4)を参照されたい。

(3) 運航技術による CO2 削減量

運航技術による CO2 排出削減量は 4.2.5(2)を参照されたい。

(4) SAF

1) SAF 供給ポテンシャル

SAF 供給ポテンシャルは 4.2.6(1)3)を参照されたい。

2) SAF 使用量

SAF 使用量は 4.2.6(2)を参照されたい。

3) SAF による CO2 削減量

SAF による CO2 排出削減量は 4.2.6(3)を参照されたい。

(5) CO2 排出量見通し

ベースラインのCO2排出量、対策別のCO2排出削減量、並びに残余分は下表のとおり算出された。ここでは9ケースの最小値と最大値の幅で示す。なお、9ケース別の算出結果は別表に示す。

表 4-26 CO2 排出量・対策別削減量・残余分見通し(9 ケースの最小値～最大値)

全体	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	3,254	3,602	4,994	7,170	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	287 ~ 287	537 ~ 537	1,321 ~ 1,511	1,908 ~ 2,434	8.8% ~ 8.8%	14.9% ~ 14.9%	26.5% ~ 30.3%	26.6% ~ 33.9%
運航技術削減量	109 ~ 109	162 ~ 162	348 ~ 367	550 ~ 611	3.3% ~ 3.3%	4.5% ~ 4.5%	7.0% ~ 7.4%	7.7% ~ 8.5%
SAF削減量	128 ~ 369	391 ~ 1,319	1,250 ~ 2,771	2,422 ~ 4,116	3.9% ~ 11.3%	10.8% ~ 36.6%	25.0% ~ 55.5%	33.8% ~ 57.4%
(国内給油)	(72) ~ (223)	(291) ~ (978)	(961) ~ (1,755)	(1,722) ~ (2,417)	(2.2%) ~ (6.8%)	(8.1%) ~ (27.2%)	(19.2%) ~ (35.1%)	(24.0%) ~ (33.7%)
(外地給油)	(56) ~ (146)	(99) ~ (341)	(289) ~ (1,015)	(700) ~ (1,699)	(1.7%) ~ (4.5%)	(2.8%) ~ (9.5%)	(5.8%) ~ (20.3%)	(9.8%) ~ (23.7%)
残余分	2,489 ~ 2,730	1,584 ~ 2,512	446 ~ 2,055	350 ~ 2,045	76.5% ~ 83.9%	44.0% ~ 69.7%	8.9% ~ 41.2%	4.9% ~ 28.5%
(国内給油)	(1,710) ~ (1,861)	(941) ~ (1,628)	(239) ~ (1,085)	(203) ~ (812)	(52.6%) ~ (57.2%)	(26.1%) ~ (45.2%)	(4.8%) ~ (21.7%)	(2.8%) ~ (11.3%)
(外地給油)	(779) ~ (869)	(643) ~ (884)	(207) ~ (970)	(147) ~ (1,233)	(23.9%) ~ (26.7%)	(17.8%) ~ (24.5%)	(4.1%) ~ (19.4%)	(2.0%) ~ (17.2%)

国際(旅客・貨物)	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	2,120	2,469	3,860	6,036	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	184 ~ 184	374 ~ 374	1,040 ~ 1,183	1,627 ~ 2,068	8.7% ~ 8.7%	15.2% ~ 15.2%	27.0% ~ 30.6%	27.0% ~ 34.3%
運航技術削減量	71 ~ 71	111 ~ 111	268 ~ 282	461 ~ 512	3.4% ~ 3.4%	4.5% ~ 4.5%	6.9% ~ 7.3%	7.6% ~ 8.5%
SAF削減量	91 ~ 254	251 ~ 851	890 ~ 2,112	1,945 ~ 3,428	4.3% ~ 12.0%	10.2% ~ 34.5%	23.0% ~ 54.7%	32.2% ~ 56.8%
(国内給油)	(35) ~ (108)	(152) ~ (510)	(601) ~ (1,097)	(1,245) ~ (1,732)	(1.6%) ~ (5.1%)	(6.1%) ~ (20.6%)	(15.6%) ~ (28.4%)	(20.6%) ~ (28.7%)
(外地給油)	(56) ~ (146)	(99) ~ (341)	(289) ~ (1,015)	(700) ~ (1,699)	(2.7%) ~ (6.9%)	(4.0%) ~ (13.8%)	(7.5%) ~ (26.3%)	(11.6%) ~ (28.1%)
残余分	1,611 ~ 1,774	1,133 ~ 1,732	355 ~ 1,648	292 ~ 1,820	76.0% ~ 83.7%	45.9% ~ 70.2%	9.2% ~ 42.7%	4.8% ~ 30.1%
(国内給油)	(832) ~ (905)	(490) ~ (848)	(148) ~ (678)	(146) ~ (587)	(39.2%) ~ (42.7%)	(19.9%) ~ (34.3%)	(3.8%) ~ (17.6%)	(2.4%) ~ (9.7%)
(外地給油)	(779) ~ (869)	(643) ~ (884)	(207) ~ (970)	(147) ~ (1,233)	(36.7%) ~ (41.0%)	(26.0%) ~ (35.8%)	(5.4%) ~ (25.1%)	(2.4%) ~ (20.4%)

国内	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	1,134	1,134	1,134	1,134	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	103 ~ 103	163 ~ 163	281 ~ 328	281 ~ 366	9.1% ~ 9.1%	14.4% ~ 14.4%	24.8% ~ 28.9%	24.8% ~ 32.3%
運航技術削減量	38 ~ 38	51 ~ 51	81 ~ 85	89 ~ 99	3.3% ~ 3.3%	4.5% ~ 4.5%	7.1% ~ 7.5%	7.9% ~ 8.7%
SAF削減量	37 ~ 114	140 ~ 469	359 ~ 666	478 ~ 688	3.3% ~ 10.1%	12.3% ~ 41.3%	31.7% ~ 58.7%	42.1% ~ 60.7%
残余分	879 ~ 956	451 ~ 780	92 ~ 407	58 ~ 225	77.5% ~ 84.3%	39.8% ~ 68.8%	8.1% ~ 35.9%	5.1% ~ 19.9%

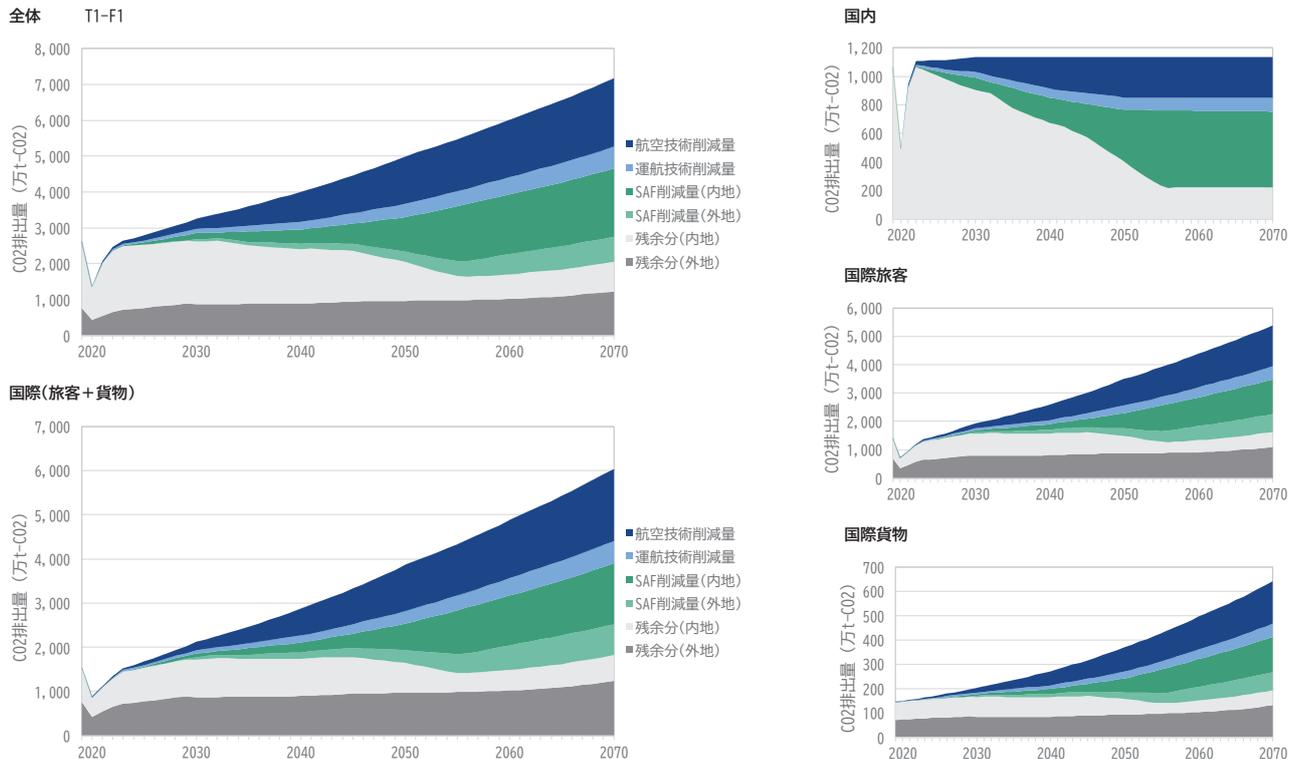
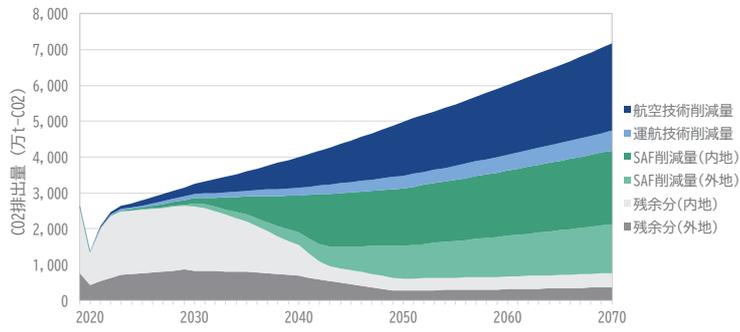
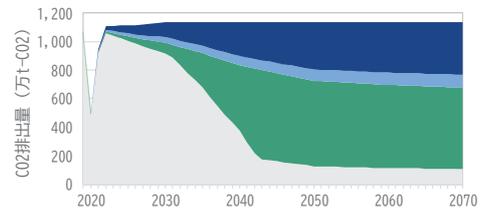


図 4-41 CO2 排出パス(例:T1-F1)

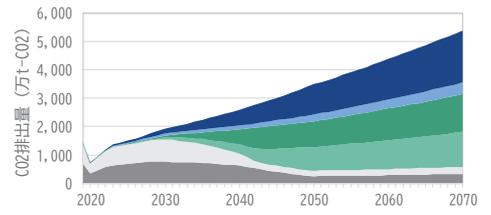
全体 T2-F2



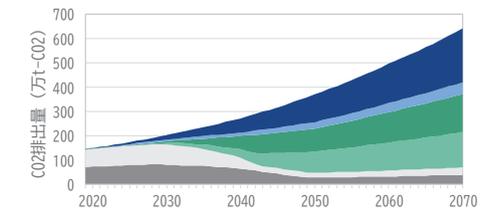
国内



国際旅客



国際貨物



国際(旅客+貨物)

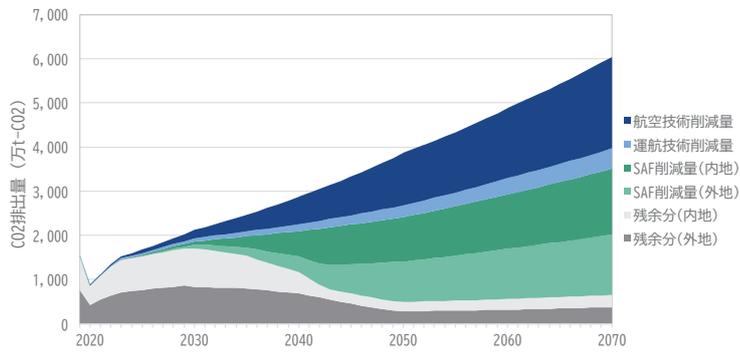
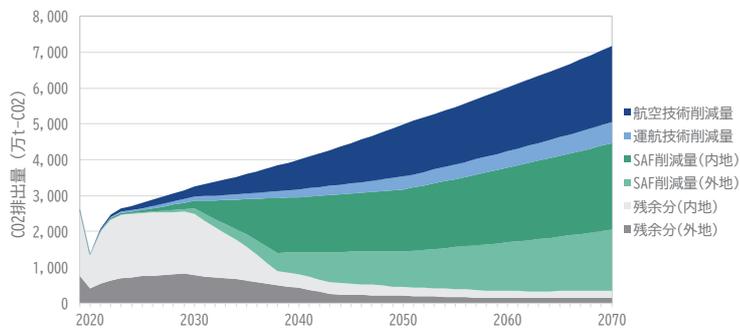
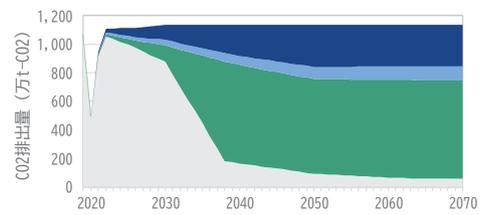


図 4-42 CO2 排出パス(例:T2-F2)

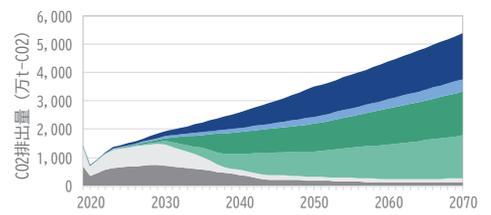
全体 T3-F3



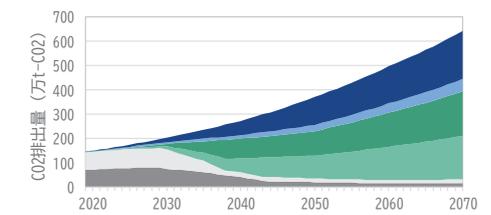
国内



国際旅客



国際貨物



国際(旅客+貨物)

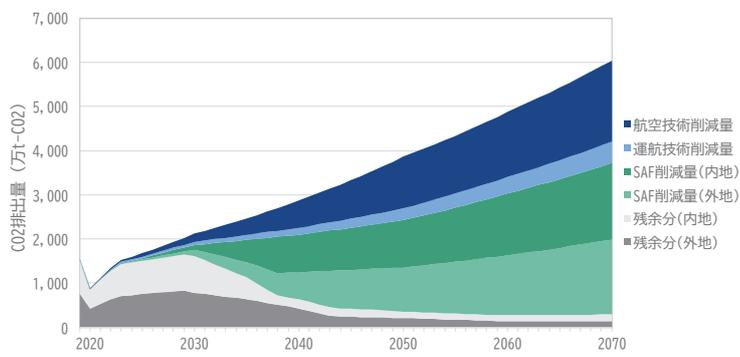


図 4-43 CO2 排出パス(例:T3-F3)

(6) 対策による CO2 削減量

ベースラインの CO2 排出量、全対策による CO2 排出削減量、ベースライン比の CO2 削減率は下表のとおり算出された。

<全対策による CO2 削減量(全体)>

- 2030 年 524~765 万、50 年 2,939~4,548 万、70 年 5,125~6,820 万 t-CO2

表 4-27 ベースライン CO2 排出量、対策後の CO2 削減量・CO2 削減率

		CO2排出量・削減量 (万t-CO2)					CO2削減率 (%) ベース比				
		2019	2030	2035	2050	2070	2019	2030	2035	2050	2070
全体	ベース	2,619	3,254	3,602	4,994	7,170	100.0%	-	-	-	-
	T1-F1	-	524	1,090	2,939	5,125	-	16.1%	30.3%	58.8%	71.5%
	T1-F2	-	592	1,391	4,326	6,226	-	18.2%	38.6%	86.6%	86.8%
	T1-F3	-	765	2,019	4,459	6,497	-	23.5%	56.0%	89.3%	90.6%
	T2-F1	-	524	1,090	3,110	5,406	-	16.1%	30.3%	62.3%	75.4%
	T2-F2	-	592	1,391	4,377	6,407	-	18.2%	38.6%	87.7%	89.4%
	T2-F3	-	765	2,019	4,499	6,611	-	23.5%	56.0%	90.1%	92.2%
	T3-F1	-	524	1,090	3,439	6,413	-	16.1%	30.3%	68.9%	89.4%
	T3-F2	-	592	1,391	4,438	6,711	-	18.2%	38.6%	88.9%	93.6%
	T3-F3	-	765	2,019	4,548	6,820	-	23.5%	56.0%	91.1%	95.1%
国際	ベース	1,549	2,120	2,469	3,860	6,036	100.0%	-	-	-	-
	T1-F1	-	346	736	2,212	4,216	-	16.3%	29.8%	57.3%	69.9%
	T1-F2	-	395	935	3,328	5,217	-	18.6%	37.9%	86.2%	86.4%
	T1-F3	-	509	1,336	3,435	5,452	-	24.0%	54.1%	89.0%	90.3%
	T2-F1	-	346	736	2,342	4,473	-	16.3%	29.8%	60.7%	74.1%
	T2-F2	-	395	935	3,370	5,382	-	18.6%	37.9%	87.3%	89.2%
	T2-F3	-	509	1,336	3,466	5,552	-	24.0%	54.1%	89.8%	92.0%
	T3-F1	-	346	736	2,585	5,398	-	16.3%	29.8%	67.0%	89.4%
	T3-F2	-	395	935	3,418	5,652	-	18.6%	37.9%	88.5%	93.6%
	T3-F3	-	509	1,336	3,506	5,744	-	24.0%	54.1%	90.8%	95.2%
国内	ベース	1,070	1,134	1,134	1,134	1,134	100.0%	-	-	-	-
	T1-F1	-	178	354	727	909	-	15.7%	31.2%	64.1%	80.1%
	T1-F2	-	197	456	998	1,009	-	17.4%	40.2%	88.0%	89.0%
	T1-F3	-	255	683	1,024	1,044	-	22.5%	60.2%	90.4%	92.1%
	T2-F1	-	178	354	768	933	-	15.7%	31.2%	67.7%	82.3%
	T2-F2	-	197	456	1,008	1,025	-	17.4%	40.2%	88.9%	90.5%
	T2-F3	-	255	683	1,033	1,059	-	22.5%	60.2%	91.1%	93.4%
	T3-F1	-	178	354	854	1,015	-	15.7%	31.2%	75.3%	89.5%
	T3-F2	-	197	456	1,020	1,058	-	17.4%	40.2%	90.0%	93.3%
	T3-F3	-	255	683	1,042	1,076	-	22.5%	60.2%	91.9%	94.9%

(7) 対策後のCO2 残余率

全対策後のCO2 排出量(残余量)、ベースライン比および2019年比のCO2 残余率は下表のとおり算出された。

このうち、オフセット必要量に影響する国際線の2019年比残余率を見ると、2030年は全ケースで85%超過、2035年はF3ケースで85%を下回るが、F1・F2ケースで超過する結果となった。

<全対策後の2019年比CO2 残余率(国際)>

- 2030年104~114%
- 35年73~112%
- 50年23~106%
- 70年19~118%

表 4-28 ベースラインCO2 排出量、対策後のCO2 削減量・CO2 削減率

		CO2排出量・残余量 (万t-CO2)					CO2残余率 (%) ベース比					CO2残余率 (%) 2019年比					
		2019	2030	2035	2050	2070	2019	2030	2035	2050	2070	2019	2030	2035	2050	2070	
全体	ベース	2,619	3,254	3,602	4,994	7,170	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	124.2%	137.5%	190.7%	273.8%	
	T1-F1	-	2,730	2,512	2,055	2,045	-	83.9%	69.7%	41.2%	28.5%	-	104.2%	95.9%	78.5%	78.1%	
	T1-F2	-	2,662	2,211	668	944	-	81.8%	61.4%	13.4%	13.2%	-	101.6%	84.4%	25.5%	36.0%	
	T1-F3	-	2,489	1,584	535	673	-	76.5%	44.0%	10.7%	9.4%	-	95.0%	60.5%	20.4%	25.7%	
	T2-F1	-	2,730	2,512	1,885	1,764	-	83.9%	69.7%	37.7%	24.6%	-	104.2%	95.9%	72.0%	67.4%	
	T2-F2	-	2,662	2,211	617	763	-	81.8%	61.4%	12.3%	10.6%	-	101.6%	84.4%	23.5%	29.1%	
	T2-F3	-	2,489	1,584	495	559	-	76.5%	44.0%	9.9%	7.8%	-	95.0%	60.5%	18.9%	21.3%	
	T3-F1	-	2,730	2,512	1,555	757	-	83.9%	69.7%	31.1%	10.6%	-	104.2%	95.9%	59.4%	28.9%	
	T3-F2	-	2,662	2,211	556	459	-	81.8%	61.4%	11.1%	6.4%	-	101.6%	84.4%	21.2%	17.5%	
	T3-F3	-	2,489	1,584	446	350	-	76.5%	44.0%	8.9%	4.9%	-	95.0%	60.5%	17.0%	13.4%	
	国際	ベース	1,549	2,120	2,469	3,860	6,036	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	136.9%	159.4%	249.3%	389.7%
		T1-F1	-	1,774	1,732	1,648	1,820	-	83.7%	70.2%	42.7%	30.1%	-	114.5%	111.8%	106.4%	117.5%
		T1-F2	-	1,725	1,533	532	819	-	81.4%	62.1%	13.8%	13.6%	-	111.4%	99.0%	34.3%	52.9%
T1-F3		-	1,611	1,133	426	584	-	76.0%	45.9%	11.0%	9.7%	-	104.0%	73.1%	27.5%	37.7%	
T2-F1		-	1,774	1,732	1,519	1,563	-	83.7%	70.2%	39.3%	25.9%	-	114.5%	111.8%	98.1%	100.9%	
T2-F2		-	1,725	1,533	491	654	-	81.4%	62.1%	12.7%	10.8%	-	111.4%	99.0%	31.7%	42.3%	
T2-F3		-	1,611	1,133	395	484	-	76.0%	45.9%	10.2%	8.0%	-	104.0%	73.1%	25.5%	31.3%	
T3-F1		-	1,774	1,732	1,275	639	-	83.7%	70.2%	33.0%	10.6%	-	114.5%	111.8%	82.3%	41.2%	
T3-F2		-	1,725	1,533	442	384	-	81.4%	62.1%	11.5%	6.4%	-	111.4%	99.0%	28.6%	24.8%	
T3-F3		-	1,611	1,133	355	292	-	76.0%	45.9%	9.2%	4.8%	-	104.0%	73.1%	22.9%	18.9%	
国内		ベース	1,070	1,134	1,134	1,134	1,134	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	105.9%	105.9%	105.9%	105.9%
		T1-F1	-	956	780	407	225	-	84.3%	68.8%	35.9%	19.9%	-	89.3%	72.9%	38.0%	21.0%
		T1-F2	-	937	678	136	125	-	82.6%	59.8%	12.0%	11.0%	-	87.5%	63.3%	12.7%	11.7%
	T1-F3	-	879	451	109	89	-	77.5%	39.8%	9.6%	7.9%	-	82.1%	42.1%	10.2%	8.3%	
	T2-F1	-	956	780	366	201	-	84.3%	68.8%	32.3%	17.7%	-	89.3%	72.9%	34.2%	18.8%	
	T2-F2	-	937	678	126	108	-	82.6%	59.8%	11.1%	9.5%	-	87.5%	63.3%	11.8%	10.1%	
	T2-F3	-	879	451	101	75	-	77.5%	39.8%	8.9%	6.6%	-	82.1%	42.1%	9.4%	7.0%	
	T3-F1	-	956	780	280	119	-	84.3%	68.8%	24.7%	10.5%	-	89.3%	72.9%	26.2%	11.1%	
	T3-F2	-	937	678	114	75	-	82.6%	59.8%	10.0%	6.7%	-	87.5%	63.3%	10.6%	7.0%	
	T3-F3	-	879	451	92	58	-	77.5%	39.8%	8.1%	5.1%	-	82.1%	42.1%	8.6%	5.4%	

(8) オフセット必要量

第41回 ICAO 総会で決定の新基準(2019年比=85%等)によりオフセット必要量が大幅に増加しており、本邦航空会社のオフセット必要量は、2024年時点で89~176万トン、2035年時点で0~517万トンと算出された。

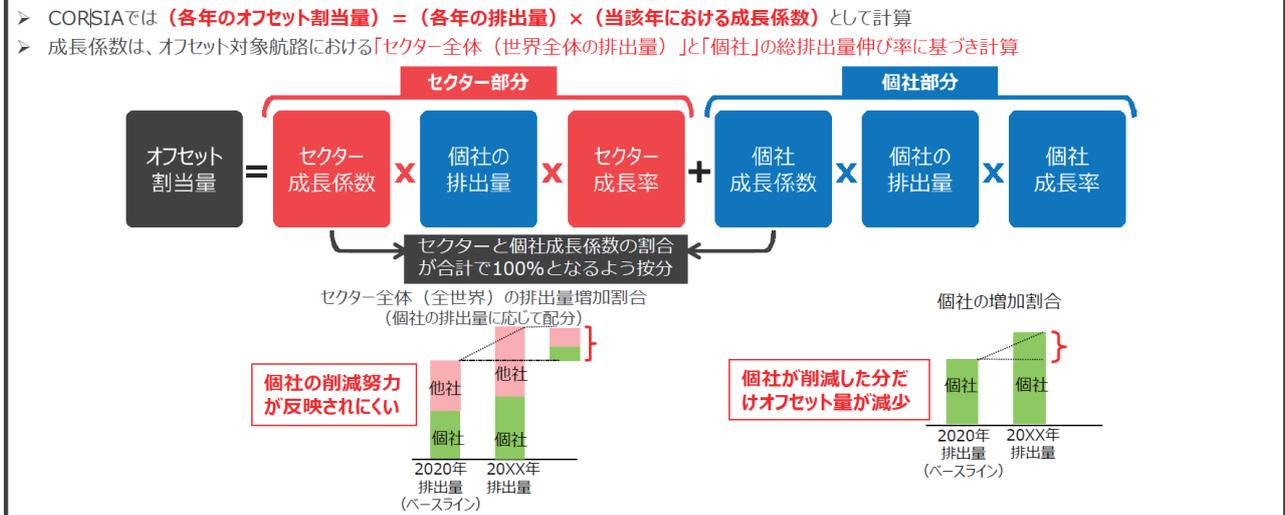
- 2024年、保守的 T1-F1 で 176 万トン、中程度 T2-F2 で 108 万トン、積極的 T3-F3 で 89 万トン
- 2035年、保守的 T1-F1 で 519 万トン、中程度 T2-F2 で 250 万トン、積極的 T3-F3 でゼロ

<参考:オフセット必要量の算出方法>

オフセット必要量の算出方法は下図の通り。なお、セクター全体の排出量・成長率は CORSIA 参加国のみが対象であるが、CORSIA 参加国に限定した排出量算出は困難であるため、本調査では便宜的に ICAO-LTAG による全世界の排出量を適用して算出した。

CORSIAにおける成長係数の取扱の修正

CORSIAにおけるカーボンオフセット割当量の算出方法と成長係数



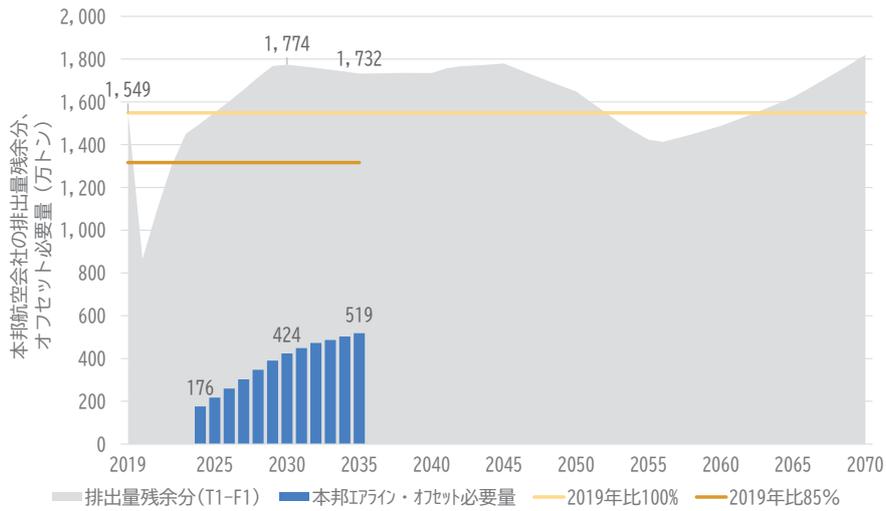
今次総会における成長係数の取扱の変更

	現行		2020年総会決定	
	セクター成長係数	個社成長係数	セクター成長係数	個社成長係数
2021~2029	100%	0%	100%	0%
2030~2032	80%以下	20%以上	100%	0%
2033~2035	30%以下	70%以上	85%	15%

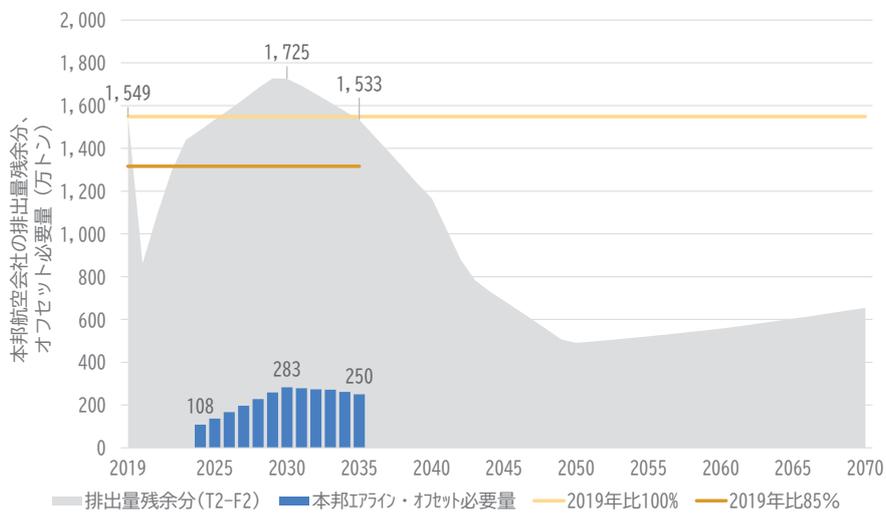
> セクター成長係数の割合の増加により、より成長率が高い (= 排出量増加割合が大きい) 途上国航空会社のオフセット割当量がより成長率の穏やかな先進国航空会社と按分され、途上国の負担軽減につながる

図 4-44 オフセット必要量の算出方法

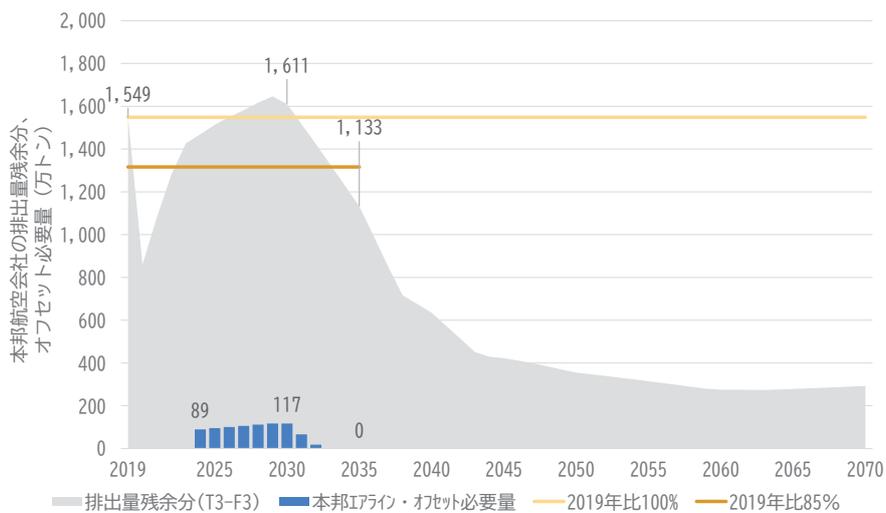
出所)国土交通省航空局資料(2022.11)



(T1-F1)

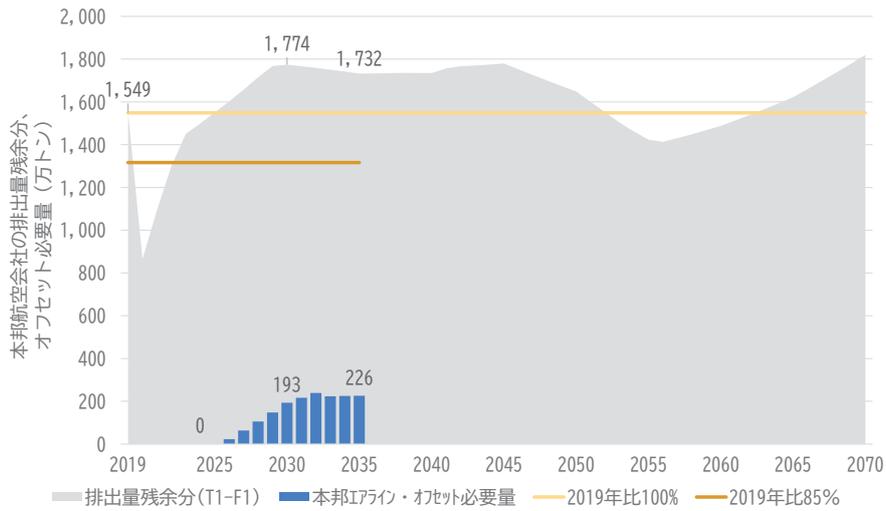


(T2-F2)

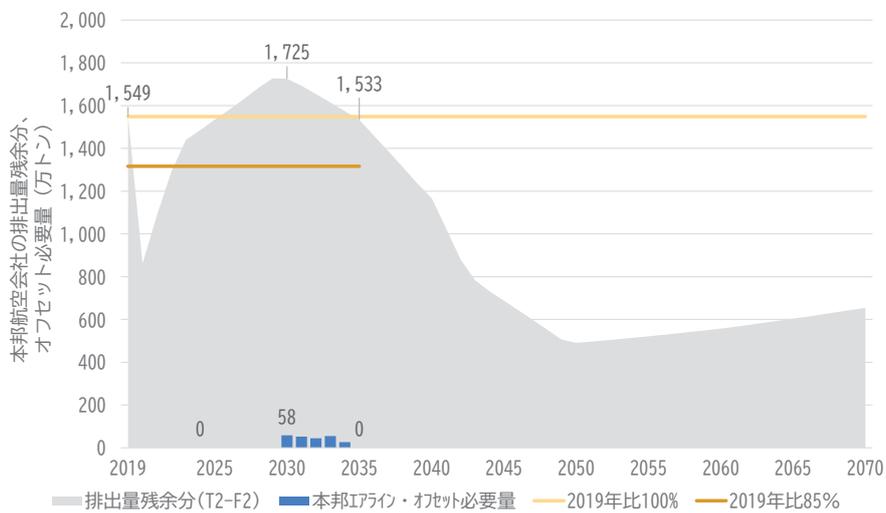


(T3-F3)

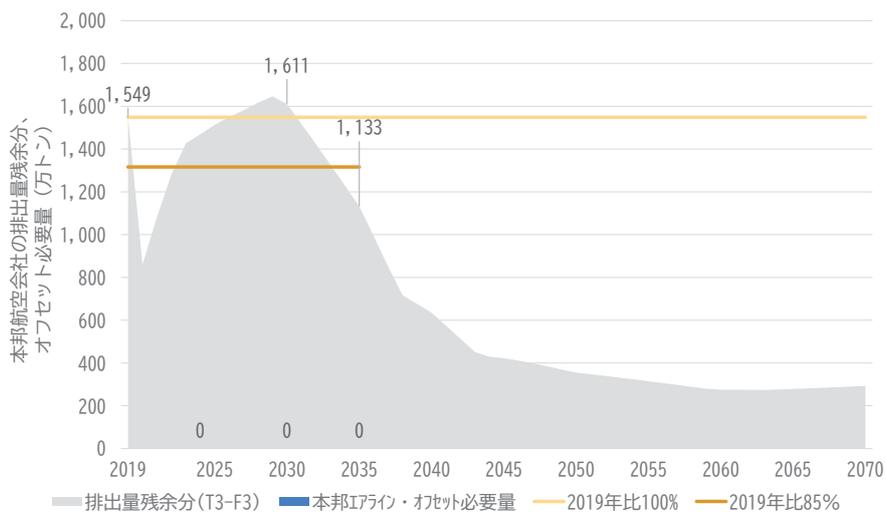
図 4-45 本邦航空会社のベースライン排出量、CO2 排出量残余分、オフセット必要量(国際線)



(T1-F1)



(T2-F2)



(T3-F3)

図 4-46 (参考)第 41 回 ICAO 総会前の旧基準を適用した場合のオフセット必要量(国際線)

注)旧基準=2019 年比 100%、国際航空セクター寄与率=2029 年まで 100%、2032 年まで 80%、2035 年まで 30%、2036 年以降 0%

(9) 2030年 SAF 使用率

本邦航空会社のSAF使用率目標「2030年10%」の実現状況を確認した。その結果、F3では10%以上を実現するが、F1・F2では10%に未達という結果となった。

- F1:全体 5.4%(うち内地給油 4.4%、外地給油 7.6%)
- F2:全体 8.2%(うち内地給油 6.5%、外地給油 11.7%)
- F3:全体 14.3%(うち内地給油 12.2%、外地給油 18.5%)

2030年10%実現のためには、現状の本邦航空会社の市場シェア相当分の輸入SAF確保だけでは不十分で、更なる積み増しが必要である。なお、2030年10%実現するために必要な追加SAF量は逆算したところ、輸入SAFの他に、F1:51.7万kL、F2:20.7万kL、F3:ゼロ必要という結果が得られた。

表 4-29 本邦航空会社のSAF使用量・使用率(2025-35年)
(T1-F1)

T1-F1

		燃料使用量(万kL), 使用率(%)										
		2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
燃料使用量(万kL)		1,029.3	1,047.7	1,067.3	1,089.4	1,109.4	1,130.4	1,133.5	1,136.9	1,140.5	1,144.2	1,148.2
	内地給油	722.2	729.3	737.1	746.8	755.4	764.6	763.1	761.9	760.8	759.8	759.1
	外地給油	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SAF使用量(万kL)		15.9	20.3	24.6	28.9	33.3	61.3	86.8	112.2	137.6	163.0	188.4
	内地給油	14.3	18.1	22.0	25.8	29.7	33.6	55.1	76.7	98.2	119.8	141.3
	外地給油	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	27.8	31.6	35.5	39.4	43.3	47.1
SAF使用率(%)		1.5%	1.9%	2.3%	2.7%	3.0%	5.4%	7.7%	9.9%	12.1%	14.2%	16.4%
	内地給油	2.0%	2.5%	3.0%	3.5%	3.9%	4.4%	7.2%	10.1%	12.9%	15.8%	18.6%
	外地給油	0.5%	0.7%	0.8%	0.9%	1.0%	7.6%	8.5%	9.5%	10.4%	11.3%	12.1%
追加SAF使用量(万kL)		17.2	25.9	34.5	43.1	51.7	51.7	26.6	1.5	-	-	-
	内地給油	17.2	25.9	34.5	43.1	51.7	51.7	26.6	1.5	-	-	-
	外地給油	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SAF使用量(万kL)		33.2	46.1	59.1	72.0	85.0	113.0	113.4	113.7	137.6	163.0	188.4
	※追加後 内地給油	31.5	44.0	56.5	68.9	81.4	85.3	81.7	78.2	98.2	119.8	141.3
	外地給油	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	27.8	31.6	35.5	39.4	43.3	47.1
SAF使用率(%)		3.2%	4.4%	5.5%	6.6%	7.7%	10.0%	10.0%	10.0%	12.1%	14.2%	16.4%
	内地給油	4.4%	6.0%	7.7%	9.2%	10.8%	11.2%	10.7%	10.3%	12.9%	15.8%	18.6%
	外地給油	0.5%	0.7%	0.8%	0.9%	1.0%	7.6%	8.5%	9.5%	10.4%	11.3%	12.1%

(T2-F2)

T2-F2

		燃料使用量 (万kl) , 使用率(%)										
		2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
燃料使用量(万kl)		1,029.3	1,047.7	1,067.3	1,089.4	1,109.4	1,130.4	1,133.5	1,136.9	1,140.5	1,144.2	1,148.2
	内地給油	722.2	729.3	737.1	746.8	755.4	764.6	763.1	761.9	760.8	759.8	759.1
	外地給油	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SAF使用量(万kl)		28.7	35.6	43.1	51.1	59.6	92.4	135.0	183.2	231.0	278.3	325.3
	内地給油	21.4	25.9	31.0	36.6	42.8	49.4	82.7	121.6	160.0	198.0	235.6
	外地給油	7.3	9.7	12.1	14.4	16.8	42.9	52.3	61.6	71.0	80.3	89.7
SAF使用率 (%)		2.8%	3.4%	4.0%	4.7%	5.4%	8.2%	11.9%	16.1%	20.3%	24.3%	28.3%
	内地給油	3.0%	3.6%	4.2%	4.9%	5.7%	6.5%	10.8%	16.0%	21.0%	26.1%	31.0%
	外地給油	2.4%	3.0%	3.7%	4.2%	4.8%	11.7%	14.1%	16.4%	18.7%	20.9%	23.0%
追加SAF使用量(万kl)		6.9	10.3	13.8	17.2	20.7	20.7	-	-	-	-	-
	内地給油	6.9	10.3	13.8	17.2	20.7	20.7	-	-	-	-	-
	外地給油	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SAF使用量(万kl)		35.6	46.0	56.9	68.3	80.3	113.0	135.0	183.2	231.0	278.3	325.3
	※追加後 内地給油	28.3	36.3	44.8	53.9	63.4	70.1	82.7	121.6	160.0	198.0	235.6
	外地給油	7.3	9.7	12.1	14.4	16.8	42.9	52.3	61.6	71.0	80.3	89.7
SAF使用率 (%)		3.5%	4.4%	5.3%	6.3%	7.2%	10.0%	11.9%	16.1%	20.3%	24.3%	28.3%
	内地給油	3.9%	5.0%	6.1%	7.2%	8.4%	9.2%	10.8%	16.0%	21.0%	26.1%	31.0%
	外地給油	2.4%	3.0%	3.7%	4.2%	4.8%	11.7%	14.1%	16.4%	18.7%	20.9%	23.0%

出所)各種資料に基づき作成

(10) 推計結果詳細表

表 4-30 CO2 排出量・対策別削減量・残余分見通し[T1-F1]

T1-F1

全体	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	3,254	3,602	4,994	7,170	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	287	537	1,321	1,908	8.8%	14.9%	26.5%	26.6%
運航技術削減量	109	162	367	611	3.3%	4.5%	7.4%	8.5%
SAF削減量	128	391	1,250	2,606	3.9%	10.8%	25.0%	36.3%
(内地給油)	(72)	(291)	(961)	(1,906)	(2.2%)	(8.1%)	(19.2%)	(26.6%)
(外地給油)	(56)	(99)	(289)	(700)	(1.7%)	(2.8%)	(5.8%)	(9.8%)
残余分	2,730	2,512	2,055	2,045	83.9%	69.7%	41.2%	28.5%
(内地給油)	(1,861)	(1,628)	(1,085)	(812)	(57.2%)	(45.2%)	(21.7%)	(11.3%)
(外地給油)	(869)	(884)	(970)	(1,233)	(26.7%)	(24.5%)	(19.4%)	(17.2%)

国際(旅客・貨物)	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	2,120	2,469	3,860	6,036	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	184	374	1,040	1,627	8.7%	15.2%	27.0%	27.0%
運航技術削減量	71	111	282	512	3.4%	4.5%	7.3%	8.5%
SAF削減量	91	251	890	2,078	4.3%	10.2%	23.0%	34.4%
(内地給油)	(35)	(152)	(601)	(1,378)	(1.6%)	(6.1%)	(15.6%)	(22.8%)
(外地給油)	(56)	(99)	(289)	(700)	(2.7%)	(4.0%)	(7.5%)	(11.6%)
残余分	1,774	1,732	1,648	1,820	83.7%	70.2%	42.7%	30.1%
(内地給油)	(905)	(848)	(678)	(587)	(42.7%)	(34.3%)	(17.6%)	(9.7%)
(外地給油)	(869)	(884)	(970)	(1,233)	(41.0%)	(35.8%)	(25.1%)	(20.4%)

国内	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	1,134	1,134	1,134	1,134	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	103	163	281	281	9.1%	14.4%	24.8%	24.8%
運航技術削減量	38	51	85	99	3.3%	4.5%	7.5%	8.7%
SAF削減量	37	140	361	529	3.3%	12.3%	31.8%	46.6%
残余分	956	780	407	225	84.3%	68.8%	35.9%	19.9%

全体	燃料使用量 (万kl), 使用率(%)			
	2030	2035	2050	2070
燃料使用量	1,130	1,148	1,308	1,840
(内地給油)	(765)	(759)	(810)	(1,075)
(外地給油)	(366)	(389)	(498)	(765)
SAF使用量	61	188	656	1,473
(内地給油)	(34)	(141)	(499)	(1,075)
(外地給油)	(28)	(47)	(158)	(398)
うちSAF追加分	-	-	-	-
(内地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
(外地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
SAF使用率	5.4%	16.4%	50.2%	80.1%
(内地給油)	(4.4%)	(18.6%)	(61.6%)	(100.0%)
(外地給油)	(7.6%)	(12.1%)	(31.6%)	(52.0%)

表 4-31 CO2 排出量・対策別削減量・残余分見通し[T1-F2]

T1-F2

全体	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	3,254	3,602	4,994	7,170	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	287	537	1,321	1,908	8.8%	14.9%	26.5%	26.6%
運航技術削減量	109	162	367	611	3.3%	4.5%	7.4%	8.5%
SAF削減量	196	691	2,638	3,708	6.0%	19.2%	52.8%	51.7%
(内地給油)	(109)	(504)	(1,684)	(2,268)	(3.4%)	(14.0%)	(33.7%)	(31.6%)
(外地給油)	(86)	(187)	(953)	(1,439)	(2.7%)	(5.2%)	(19.1%)	(20.1%)
残余分	2,662	2,211	668	944	81.8%	61.4%	13.4%	13.2%
(内地給油)	(1,823)	(1,415)	(363)	(450)	(56.0%)	(39.3%)	(7.3%)	(6.3%)
(外地給油)	(839)	(796)	(305)	(494)	(25.8%)	(22.1%)	(6.1%)	(6.9%)

国際(旅客・貨物)	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	2,120	2,469	3,860	6,036	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	184	374	1,040	1,627	8.7%	15.2%	27.0%	27.0%
運航技術削減量	71	111	282	512	3.4%	4.5%	7.3%	8.5%
SAF削減量	140	450	2,006	3,078	6.6%	18.2%	52.0%	51.0%
(内地給油)	(53)	(263)	(1,053)	(1,639)	(2.5%)	(10.6%)	(27.3%)	(27.2%)
(外地給油)	(86)	(187)	(953)	(1,439)	(4.1%)	(7.6%)	(24.7%)	(23.8%)
残余分	1,725	1,533	532	819	81.4%	62.1%	13.8%	13.6%
(内地給油)	(887)	(737)	(227)	(325)	(41.8%)	(29.9%)	(5.9%)	(5.4%)
(外地給油)	(839)	(796)	(305)	(494)	(39.6%)	(32.3%)	(7.9%)	(8.2%)

国内	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	1,134	1,134	1,134	1,134	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	103	163	281	281	9.1%	14.4%	24.8%	24.8%
運航技術削減量	38	51	85	99	3.3%	4.5%	7.5%	8.7%
SAF削減量	56	241	632	629	5.0%	21.3%	55.7%	55.5%
残余分	937	678	136	125	82.6%	59.8%	12.0%	11.0%

全体	燃料使用量 (万kl), 使用率 (%)			
	2030	2035	2050	2070
燃料使用量	1,130	1,148	1,308	1,840
(内地給油)	(765)	(759)	(810)	(1,075)
(外地給油)	(366)	(389)	(498)	(765)
SAF使用量	92	325	1,303	1,797
(内地給油)	(49)	(236)	(810)	(1,075)
(外地給油)	(43)	(90)	(493)	(721)
うちSAF追加分	-	-	-	-
(内地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
(外地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
SAF使用率	8.2%	28.3%	99.7%	97.6%
(内地給油)	(6.5%)	(31.0%)	(100.0%)	(100.0%)
(外地給油)	(11.7%)	(23.0%)	(99.1%)	(94.3%)

表 4-32 CO2 排出量・対策別削減量・残余分見通し[T1-F3]

T1-F3

全体	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	3,254	3,602	4,994	7,170	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	287	537	1,321	1,908	8.8%	14.9%	26.5%	26.6%
運航技術削減量	109	162	367	611	3.3%	4.5%	7.4%	8.5%
SAF削減量	369	1,319	2,771	3,978	11.3%	36.6%	55.5%	55.5%
(内地給油)	(223)	(978)	(1,755)	(2,396)	(6.8%)	(27.2%)	(35.1%)	(33.4%)
(外地給油)	(146)	(341)	(1,015)	(1,582)	(4.5%)	(9.5%)	(20.3%)	(22.1%)
残余分	2,489	1,584	535	673	76.5%	44.0%	10.7%	9.4%
(内地給油)	(1,710)	(941)	(292)	(322)	(52.6%)	(26.1%)	(5.8%)	(4.5%)
(外地給油)	(779)	(643)	(243)	(351)	(23.9%)	(17.8%)	(4.9%)	(4.9%)

国際(旅客・貨物)	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	2,120	2,469	3,860	6,036	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	184	374	1,040	1,627	8.7%	15.2%	27.0%	27.0%
運航技術削減量	71	111	282	512	3.4%	4.5%	7.3%	8.5%
SAF削減量	254	851	2,112	3,314	12.0%	34.5%	54.7%	54.9%
(内地給油)	(108)	(510)	(1,097)	(1,732)	(5.1%)	(20.6%)	(28.4%)	(28.7%)
(外地給油)	(146)	(341)	(1,015)	(1,582)	(6.9%)	(13.8%)	(26.3%)	(26.2%)
残余分	1,611	1,133	426	584	76.0%	45.9%	11.0%	9.7%
(内地給油)	(832)	(490)	(182)	(233)	(39.2%)	(19.9%)	(4.7%)	(3.9%)
(外地給油)	(779)	(643)	(243)	(351)	(36.7%)	(26.0%)	(6.3%)	(5.8%)

国内	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	1,134	1,134	1,134	1,134	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	103	163	281	281	9.1%	14.4%	24.8%	24.8%
運航技術削減量	38	51	85	99	3.3%	4.5%	7.5%	8.7%
SAF削減量	114	469	658	665	10.1%	41.3%	58.1%	58.6%
残余分	879	451	109	89	77.5%	39.8%	9.6%	7.9%

全体	燃料使用量 (万kl), 使用率 (%)			
	2030	2035	2050	2070
燃料使用量	1,130	1,148	1,308	1,840
(内地給油)	(765)	(759)	(810)	(1,075)
(外地給油)	(366)	(389)	(498)	(765)
SAF使用量	161	608	1,308	1,830
(内地給油)	(94)	(450)	(810)	(1,075)
(外地給油)	(68)	(158)	(498)	(755)
うちSAF追加分	-	-	-	-
(内地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
(外地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
SAF使用率	14.3%	53.0%	100.0%	99.5%
(内地給油)	(12.2%)	(59.3%)	(100.0%)	(100.0%)
(外地給油)	(18.5%)	(40.6%)	(100.0%)	(98.7%)

表 4-33 CO2 排出量・対策別削減量・残余分見通し[T2-F1]

T2-F1

全体	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	3,254	3,602	4,994	7,170	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	287	537	1,511	2,434	8.8%	14.9%	30.3%	33.9%
運航技術削減量	109	162	348	550	3.3%	4.5%	7.0%	7.7%
SAF削減量	128	391	1,250	2,422	3.9%	10.8%	25.0%	33.8%
(内地給油)	(72)	(291)	(961)	(1,722)	(2.2%)	(8.1%)	(19.2%)	(24.0%)
(外地給油)	(56)	(99)	(289)	(700)	(1.7%)	(2.8%)	(5.8%)	(9.8%)
残余分	2,730	2,512	1,885	1,764	83.9%	69.7%	37.7%	24.6%
(内地給油)	(1,861)	(1,628)	(978)	(724)	(57.2%)	(45.2%)	(19.6%)	(10.1%)
(外地給油)	(869)	(884)	(906)	(1,040)	(26.7%)	(24.5%)	(18.1%)	(14.5%)

国際(旅客・貨物)	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	2,120	2,469	3,860	6,036	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	184	374	1,183	2,068	8.7%	15.2%	30.6%	34.3%
運航技術削減量	71	111	268	461	3.4%	4.5%	6.9%	7.6%
SAF削減量	91	251	891	1,945	4.3%	10.2%	23.1%	32.2%
(内地給油)	(35)	(152)	(602)	(1,245)	(1.6%)	(6.1%)	(15.6%)	(20.6%)
(外地給油)	(56)	(99)	(289)	(700)	(2.7%)	(4.0%)	(7.5%)	(11.6%)
残余分	1,774	1,732	1,519	1,563	83.7%	70.2%	39.3%	25.9%
(内地給油)	(905)	(848)	(612)	(523)	(42.7%)	(34.3%)	(15.9%)	(8.7%)
(外地給油)	(869)	(884)	(906)	(1,040)	(41.0%)	(35.8%)	(23.5%)	(17.2%)

国内	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	1,134	1,134	1,134	1,134	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	103	163	328	366	9.1%	14.4%	28.9%	32.3%
運航技術削減量	38	51	81	89	3.3%	4.5%	7.1%	7.9%
SAF削減量	37	140	359	478	3.3%	12.3%	31.7%	42.1%
残余分	956	780	366	201	84.3%	68.8%	32.3%	17.7%

全体	燃料使用量 (万kl), 使用率 (%)			
	2030	2035	2050	2070
燃料使用量	1,130	1,148	1,240	1,656
(内地給油)	(765)	(759)	(767)	(968)
(外地給油)	(366)	(389)	(473)	(688)
SAF使用量	61	188	656	1,366
(内地給油)	(34)	(141)	(499)	(968)
(外地給油)	(28)	(47)	(158)	(398)
うちSAF追加分	-	-	-	-
(内地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
(外地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
SAF使用率	5.4%	16.4%	52.9%	82.5%
(内地給油)	(4.4%)	(18.6%)	(65.0%)	(100.0%)
(外地給油)	(7.6%)	(12.1%)	(33.3%)	(57.8%)

表 4-34 CO2 排出量・対策別削減量・残余分見通し[T2-F2]

T2-F2

全体	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	3,254	3,602	4,994	7,170	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	287	537	1,511	2,434	8.8%	14.9%	30.3%	33.9%
運航技術削減量	109	162	348	550	3.3%	4.5%	7.0%	7.7%
SAF削減量	196	691	2,518	3,424	6.0%	19.2%	50.4%	47.7%
(内地給油)	(109)	(504)	(1,602)	(2,056)	(3.4%)	(14.0%)	(32.1%)	(28.7%)
(外地給油)	(86)	(187)	(916)	(1,368)	(2.7%)	(5.2%)	(18.3%)	(19.1%)
残余分	2,662	2,211	617	763	81.8%	61.4%	12.3%	10.6%
(内地給油)	(1,823)	(1,415)	(337)	(390)	(56.0%)	(39.3%)	(6.8%)	(5.4%)
(外地給油)	(839)	(796)	(279)	(372)	(25.8%)	(22.1%)	(5.6%)	(5.2%)

国際(旅客・貨物)	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	2,120	2,469	3,860	6,036	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	184	374	1,183	2,068	8.7%	15.2%	30.6%	34.3%
運航技術削減量	71	111	268	461	3.4%	4.5%	6.9%	7.6%
SAF削減量	140	450	1,919	2,853	6.6%	18.2%	49.7%	47.3%
(内地給油)	(53)	(263)	(1,003)	(1,486)	(2.5%)	(10.6%)	(26.0%)	(24.6%)
(外地給油)	(86)	(187)	(916)	(1,368)	(4.1%)	(7.6%)	(23.7%)	(22.7%)
残余分	1,725	1,533	491	654	81.4%	62.1%	12.7%	10.8%
(内地給油)	(887)	(737)	(211)	(282)	(41.8%)	(29.9%)	(5.5%)	(4.7%)
(外地給油)	(839)	(796)	(279)	(372)	(39.6%)	(32.3%)	(7.2%)	(6.2%)

国内	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	1,134	1,134	1,134	1,134	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	103	163	328	366	9.1%	14.4%	28.9%	32.3%
運航技術削減量	38	51	81	89	3.3%	4.5%	7.1%	7.9%
SAF削減量	56	241	599	570	5.0%	21.3%	52.8%	50.3%
残余分	937	678	126	108	82.6%	59.8%	11.1%	9.5%

全体	燃料使用量 (万kl), 使用率 (%)			
	2030	2035	2050	2070
燃料使用量	1,130	1,148	1,240	1,656
(内地給油)	(765)	(759)	(767)	(968)
(外地給油)	(366)	(389)	(473)	(688)
SAF使用量	92	325	1,240	1,656
(内地給油)	(49)	(236)	(767)	(968)
(外地給油)	(43)	(90)	(473)	(688)
うちSAF追加分	-	-	-	-
(内地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
(外地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
SAF使用率	8.2%	28.3%	100.0%	100.0%
(内地給油)	(6.5%)	(31.0%)	(100.0%)	(100.0%)
(外地給油)	(11.7%)	(23.0%)	(100.0%)	(100.0%)

表 4-35 CO2 排出量・対策別削減量・残余分見通し[T2-F3]

T2-F3

全体	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	3,254	3,602	4,994	7,170	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	287	537	1,511	2,434	8.8%	14.9%	30.3%	33.9%
運航技術削減量	109	162	348	550	3.3%	4.5%	7.0%	7.7%
SAF削減量	369	1,319	2,639	3,627	11.3%	36.6%	52.8%	50.6%
(内地給油)	(223)	(978)	(1,670)	(2,176)	(6.8%)	(27.2%)	(33.4%)	(30.4%)
(外地給油)	(146)	(341)	(969)	(1,451)	(4.5%)	(9.5%)	(19.4%)	(20.2%)
残余分	2,489	1,584	495	559	76.5%	44.0%	9.9%	7.8%
(内地給油)	(1,710)	(941)	(270)	(270)	(52.6%)	(26.1%)	(5.4%)	(3.8%)
(外地給油)	(779)	(643)	(226)	(289)	(23.9%)	(17.8%)	(4.5%)	(4.0%)

国際(旅客・貨物)	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	2,120	2,469	3,860	6,036	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	184	374	1,183	2,068	8.7%	15.2%	30.6%	34.3%
運航技術削減量	71	111	268	461	3.4%	4.5%	6.9%	7.6%
SAF削減量	254	851	2,015	3,024	12.0%	34.5%	52.2%	50.1%
(内地給油)	(108)	(510)	(1,046)	(1,573)	(5.1%)	(20.6%)	(27.1%)	(26.1%)
(外地給油)	(146)	(341)	(969)	(1,451)	(6.9%)	(13.8%)	(25.1%)	(24.0%)
残余分	1,611	1,133	395	484	76.0%	45.9%	10.2%	8.0%
(内地給油)	(832)	(490)	(169)	(195)	(39.2%)	(19.9%)	(4.4%)	(3.2%)
(外地給油)	(779)	(643)	(226)	(289)	(36.7%)	(26.0%)	(5.8%)	(4.8%)

国内	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	1,134	1,134	1,134	1,134	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	103	163	328	366	9.1%	14.4%	28.9%	32.3%
運航技術削減量	38	51	81	89	3.3%	4.5%	7.1%	7.9%
SAF削減量	114	469	624	604	10.1%	41.3%	55.1%	53.2%
残余分	879	451	101	75	77.5%	39.8%	8.9%	6.6%

全体	燃料使用量 (万kl), 使用率 (%)			
	2030	2035	2050	2070
燃料使用量	1,130	1,148	1,240	1,656
(内地給油)	(765)	(759)	(767)	(968)
(外地給油)	(366)	(389)	(473)	(688)
SAF使用量	161	608	1,240	1,656
(内地給油)	(94)	(450)	(767)	(968)
(外地給油)	(68)	(158)	(473)	(688)
うちSAF追加分	-	-	-	-
(内地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
(外地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
SAF使用率	14.3%	53.0%	100.0%	100.0%
(内地給油)	(12.2%)	(59.3%)	(100.0%)	(100.0%)
(外地給油)	(18.5%)	(40.6%)	(100.0%)	(100.0%)

表 4-36 CO2 排出量・対策別削減量・残余分見通し[T3-F1]

T3-F1

全体	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	3,254	3,602	4,994	7,170	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	287	537	1,462	2,118	8.8%	14.9%	29.3%	29.5%
運航技術削減量	109	162	353	586	3.3%	4.5%	7.1%	8.2%
SAF削減量	128	391	1,624	3,709	3.9%	10.8%	32.5%	51.7%
(内地給油)	(72)	(291)	(1,246)	(2,203)	(2.2%)	(8.1%)	(25.0%)	(30.7%)
(外地給油)	(56)	(99)	(378)	(1,505)	(1.7%)	(2.8%)	(7.6%)	(21.0%)
残余分	2,730	2,512	1,555	757	83.9%	69.7%	31.1%	10.6%
(内地給油)	(1,861)	(1,628)	(732)	(417)	(57.2%)	(45.2%)	(14.6%)	(5.8%)
(外地給油)	(869)	(884)	(824)	(340)	(26.7%)	(24.5%)	(16.5%)	(4.7%)

国際(旅客・貨物)	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	2,120	2,469	3,860	6,036	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	184	374	1,169	1,827	8.7%	15.2%	30.3%	30.3%
運航技術削減量	71	111	269	489	3.4%	4.5%	7.0%	8.1%
SAF削減量	91	251	1,147	3,082	4.3%	10.2%	29.7%	51.1%
(内地給油)	(35)	(152)	(769)	(1,577)	(1.6%)	(6.1%)	(19.9%)	(26.1%)
(外地給油)	(56)	(99)	(378)	(1,505)	(2.7%)	(4.0%)	(9.8%)	(24.9%)
残余分	1,774	1,732	1,275	639	83.7%	70.2%	33.0%	10.6%
(内地給油)	(905)	(848)	(451)	(299)	(42.7%)	(34.3%)	(11.7%)	(4.9%)
(外地給油)	(869)	(884)	(824)	(340)	(41.0%)	(35.8%)	(21.3%)	(5.6%)

国内	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	1,134	1,134	1,134	1,134	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	103	163	292	290	9.1%	14.4%	25.8%	25.6%
運航技術削減量	38	51	84	98	3.3%	4.5%	7.4%	8.6%
SAF削減量	37	140	477	627	3.3%	12.3%	42.1%	55.3%
残余分	956	780	280	119	84.3%	68.8%	24.7%	10.5%

全体	燃料使用量 (万kl), 使用率 (%)			
	2030	2035	2050	2070
燃料使用量	1,130	1,148	1,258	1,767
(内地給油)	(765)	(759)	(782)	(1,037)
(外地給油)	(366)	(389)	(475)	(730)
SAF使用量	61	188	814	1,767
(内地給油)	(34)	(141)	(619)	(1,037)
(外地給油)	(28)	(47)	(195)	(730)
うちSAF追加分	-	-	-	-
(内地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
(外地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
SAF使用率	5.4%	16.4%	64.7%	100.0%
(内地給油)	(4.4%)	(18.6%)	(79.1%)	(100.0%)
(外地給油)	(7.6%)	(12.1%)	(41.1%)	(100.0%)

表 4-37 CO2 排出量・対策別削減量・残余分見通し[T3-F2]

T3-F2

全体	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	3,254	3,602	4,994	7,170	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	287	537	1,462	2,118	8.8%	14.9%	29.3%	29.5%
運航技術削減量	109	162	353	586	3.3%	4.5%	7.1%	8.2%
SAF削減量	196	691	2,623	4,007	6.0%	19.2%	52.5%	55.9%
(内地給油)	(109)	(504)	(1,681)	(2,355)	(3.4%)	(14.0%)	(33.7%)	(32.9%)
(外地給油)	(86)	(187)	(942)	(1,651)	(2.7%)	(5.2%)	(18.9%)	(23.0%)
残余分	2,662	2,211	556	459	81.8%	61.4%	11.1%	6.4%
(内地給油)	(1,823)	(1,415)	(297)	(265)	(56.0%)	(39.3%)	(6.0%)	(3.7%)
(外地給油)	(839)	(796)	(259)	(194)	(25.8%)	(22.1%)	(5.2%)	(2.7%)

国際(旅客・貨物)	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	2,120	2,469	3,860	6,036	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	184	374	1,169	1,827	8.7%	15.2%	30.3%	30.3%
運航技術削減量	71	111	269	489	3.4%	4.5%	7.0%	8.1%
SAF削減量	140	450	1,980	3,336	6.6%	18.2%	51.3%	55.3%
(内地給油)	(53)	(263)	(1,037)	(1,685)	(2.5%)	(10.6%)	(26.9%)	(27.9%)
(外地給油)	(86)	(187)	(942)	(1,651)	(4.1%)	(7.6%)	(24.4%)	(27.4%)
残余分	1,725	1,533	442	384	81.4%	62.1%	11.5%	6.4%
(内地給油)	(887)	(737)	(184)	(190)	(41.8%)	(29.9%)	(4.8%)	(3.1%)
(外地給油)	(839)	(796)	(259)	(194)	(39.6%)	(32.3%)	(6.7%)	(3.2%)

国内	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	1,134	1,134	1,134	1,134	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	103	163	292	290	9.1%	14.4%	25.8%	25.6%
運航技術削減量	38	51	84	98	3.3%	4.5%	7.4%	8.6%
SAF削減量	56	241	643	670	5.0%	21.3%	56.7%	59.1%
残余分	937	678	114	75	82.6%	59.8%	10.0%	6.7%

全体	燃料使用量 (万kl), 使用率 (%)			
	2030	2035	2050	2070
燃料使用量	1,130	1,148	1,258	1,767
(内地給油)	(765)	(759)	(782)	(1,037)
(外地給油)	(366)	(389)	(475)	(730)
SAF使用量	92	325	1,258	1,767
(内地給油)	(49)	(236)	(782)	(1,037)
(外地給油)	(43)	(90)	(475)	(730)
うちSAF追加分	-	-	-	-
(内地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
(外地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
SAF使用率	8.2%	28.3%	100.0%	100.0%
(内地給油)	(6.5%)	(31.0%)	(100.0%)	(100.0%)
(外地給油)	(11.7%)	(23.0%)	(100.0%)	(100.0%)

表 4-38 CO2 排出量・対策別削減量・残余分見通し[T3-F3]

T3-F3

全体	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	3,254	3,602	4,994	7,170	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	287	537	1,462	2,118	8.8%	14.9%	29.3%	29.5%
運航技術削減量	109	162	353	586	3.3%	4.5%	7.1%	8.2%
SAF削減量	369	1,319	2,733	4,116	11.3%	36.6%	54.7%	57.4%
(内地給油)	(223)	(978)	(1,739)	(2,417)	(6.8%)	(27.2%)	(34.8%)	(33.7%)
(外地給油)	(146)	(341)	(994)	(1,699)	(4.5%)	(9.5%)	(19.9%)	(23.7%)
残余分	2,489	1,584	446	350	76.5%	44.0%	8.9%	4.9%
(内地給油)	(1,710)	(941)	(239)	(203)	(52.6%)	(26.1%)	(4.8%)	(2.8%)
(外地給油)	(779)	(643)	(207)	(147)	(23.9%)	(17.8%)	(4.1%)	(2.0%)

国際(旅客・貨物)	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	2,120	2,469	3,860	6,036	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	184	374	1,169	1,827	8.7%	15.2%	30.3%	30.3%
運航技術削減量	71	111	269	489	3.4%	4.5%	7.0%	8.1%
SAF削減量	254	851	2,067	3,428	12.0%	34.5%	53.6%	56.8%
(内地給油)	(108)	(510)	(1,073)	(1,730)	(5.1%)	(20.6%)	(27.8%)	(28.7%)
(外地給油)	(146)	(341)	(994)	(1,699)	(6.9%)	(13.8%)	(25.8%)	(28.1%)
残余分	1,611	1,133	355	292	76.0%	45.9%	9.2%	4.8%
(内地給油)	(832)	(490)	(148)	(146)	(39.2%)	(19.9%)	(3.8%)	(2.4%)
(外地給油)	(779)	(643)	(207)	(147)	(36.7%)	(26.0%)	(5.4%)	(2.4%)

国内	CO2排出量・削減量 (万t-CO2)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	1,134	1,134	1,134	1,134	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	103	163	292	290	9.1%	14.4%	25.8%	25.6%
運航技術削減量	38	51	84	98	3.3%	4.5%	7.4%	8.6%
SAF削減量	114	469	666	688	10.1%	41.3%	58.7%	60.7%
残余分	879	451	92	58	77.5%	39.8%	8.1%	5.1%

全体	燃料使用量 (万kl), 使用率 (%)			
	2030	2035	2050	2070
燃料使用量	1,130	1,148	1,258	1,767
(内地給油)	(765)	(759)	(782)	(1,037)
(外地給油)	(366)	(389)	(475)	(730)
SAF使用量	161	608	1,258	1,767
(内地給油)	(94)	(450)	(782)	(1,037)
(外地給油)	(68)	(158)	(475)	(730)
うちSAF追加分	-	-	-	-
(内地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
(外地給油)	(-)	(-)	(-)	(-)
SAF使用率	14.3%	53.0%	100.0%	100.0%
(内地給油)	(12.2%)	(59.3%)	(100.0%)	(100.0%)
(外地給油)	(18.5%)	(40.6%)	(100.0%)	(100.0%)

4.4 まとめ・考察

(1) 前提条件の変更点(2021年度調査→本調査)

- 航空需要:短中期(~2030)は変更なし、長期(2031~)は国際線の成長率鈍化を反映(下方修正) [図 4-47]
- 航空技術:機材タイプ別に先進航空機(ATW,ACA)の燃料効率、導入時期、市場シェアを更新
 - T3 では全機材タイプで非ドロップイン燃料航空機(電動化・水素航空機等)の導入を想定
 - 2050年時点で TP,RJ,NB の燃料効率は下方修正、WB は上方修正[図 4-48]
- 運航技術:昨年度の設定が LTAG を上回る野心的目標であることを確認。中長期(~2050)は目標を堅持して変更なし、超長期(2051~)は LTAG に合わせて燃料効率改善を下方修正
- SAF-内地供給ポテンシャル:HEFA、FT、AtJ は国産供給ポテンシャルで設定、変更なし。PtL、DAC、LH2 並びに LCAF は LTAG の世界供給ポテンシャルに本邦航空会社の内地給油シェアを乗じて推計(PtL は F1 で下方修正、F2・F3 で上方修正、DAC、LH2、LCAF は純増)。内地 SAF 不足&外地 SAF 余剰ありの場合、輸入 SAF を反映(純増)。[図 4-49]
- SAF-外地供給ポテンシャル:昨年度 Waypoint2050 中位 1 ケースのみの設定から、LTAG3 ケース(F1,F2,F3)の設定に変更。HEFA/FT/AtJ はケースごとに増減、DAC、LH2、LCAF は純増。その結果、F1 は下方修正、F2・F3 は上方修正[図 4-50]
- SAF-炭素強度削減率:昨年度は 2050 年 100%達成を前提としたが、今年度は LTAG 想定を踏まえ 2050 年時点でも 72~91%と 100%達成は困難と見込む(下方修正)

注)青字:排出量減、赤字:排出量増

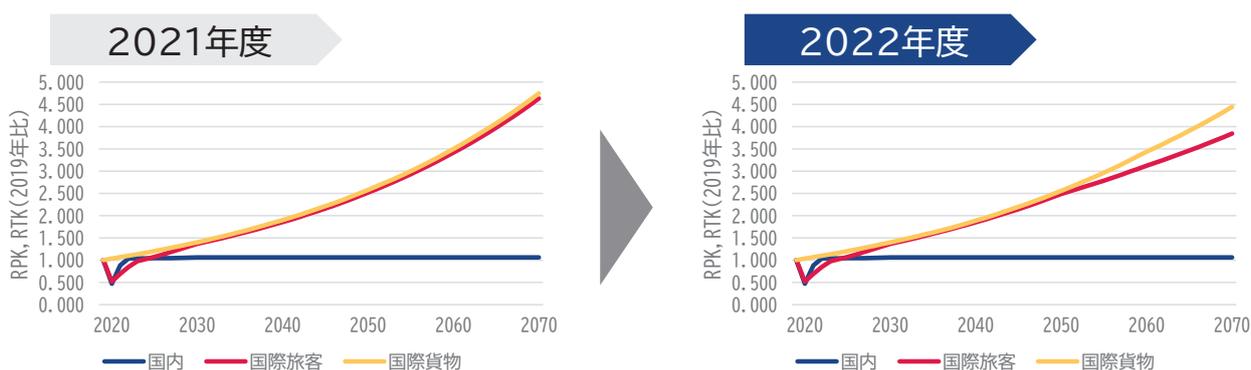


図 4-47 (再掲)航空需要シナリオ

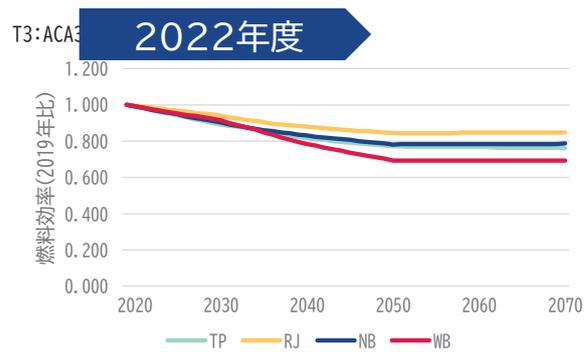
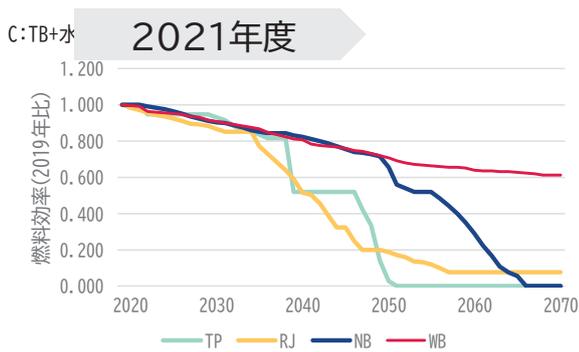


図 4-48 (再掲)航空技術(T3)シナリオ

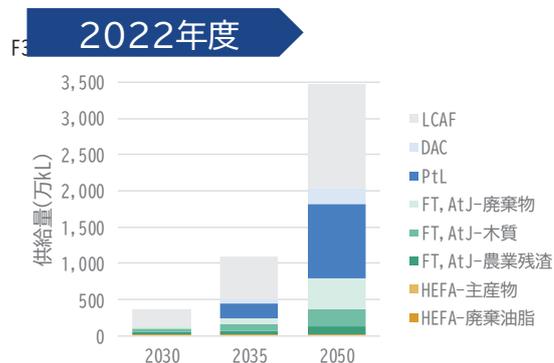
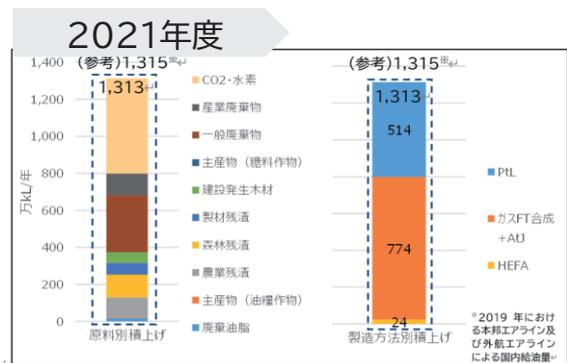


図 4-49 (再掲)内地給油ポテンシャル(F3)

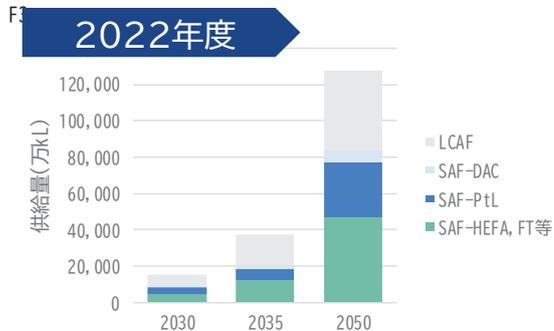
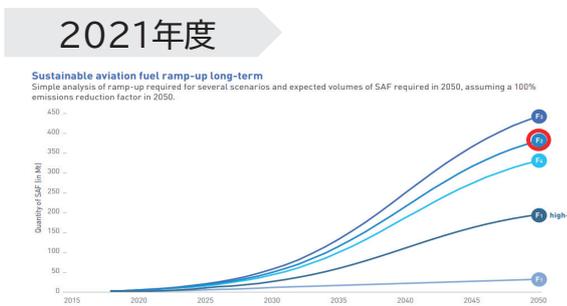


図 4-50 (再掲)外地給油ポテンシャル(F3)

(2) 推計結果(2021年度調査→本調査)

- 前提条件変更を踏まえ、ベースラインの CO₂ 排出量、各対策を講じた時の CO₂ 削減量、並びに残余分を推計



図 4-51 CO₂ 排出量・対策別削減量・残余分見通し

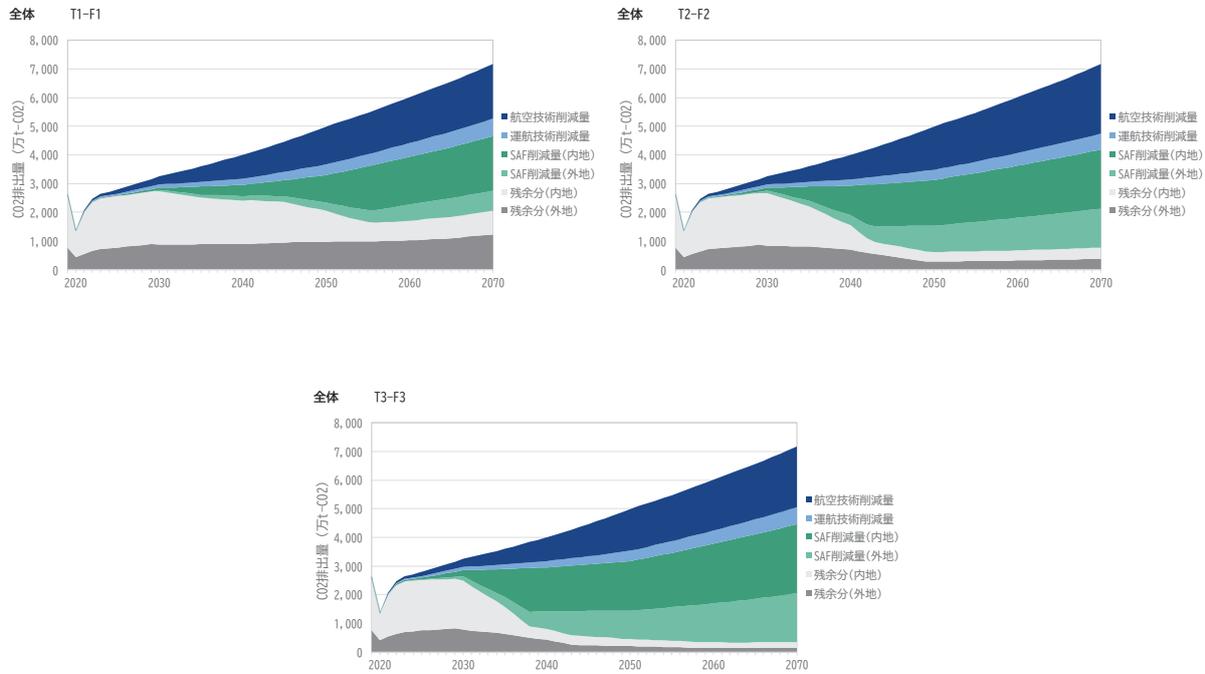


図 4-52 CO₂ 排出量・対策別削減量・残余分見通し

表 4-39 CO₂ 排出量・対策別削減量・残余分見通し

全体	CO ₂ 排出量・削減量 (万t-CO ₂)				削減率 (%)			
	2030	2035	2050	2070	2030	2035	2050	2070
ベース排出量	3,254	3,602	4,994	7,170	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
航空技術削減量	287 ~ 287	537 ~ 537	1,321 ~ 1,511	1,908 ~ 2,434	8.8% ~ 8.8%	14.9% ~ 14.9%	26.5% ~ 30.3%	26.6% ~ 33.9%
運航技術削減量	109 ~ 109	162 ~ 162	348 ~ 367	550 ~ 611	3.3% ~ 3.3%	4.5% ~ 4.5%	7.0% ~ 7.4%	7.7% ~ 8.5%
SAF削減量	128 ~ 369	391 ~ 1,319	1,250 ~ 2,771	2,422 ~ 4,116	3.9% ~ 11.3%	10.8% ~ 36.6%	25.0% ~ 55.5%	33.8% ~ 57.4%
(国内給油)	(72) ~ (223)	(291) ~ (978)	(961) ~ (1,755)	(1,722) ~ (2,417)	(2.2%) ~ (6.8%)	(8.1%) ~ (27.2%)	(19.2%) ~ (35.1%)	(24.0%) ~ (33.7%)
(外地給油)	(56) ~ (146)	(99) ~ (341)	(289) ~ (1,015)	(700) ~ (1,699)	(1.7%) ~ (4.5%)	(2.8%) ~ (9.5%)	(5.8%) ~ (20.3%)	(9.8%) ~ (23.7%)
残余分	2,489 ~ 2,730	1,584 ~ 2,512	446 ~ 2,055	350 ~ 2,045	76.5% ~ 83.9%	44.0% ~ 69.7%	8.9% ~ 41.2%	4.9% ~ 28.5%
(国内給油)	(1,710) ~ (1,861)	(941) ~ (1,628)	(239) ~ (1,085)	(203) ~ (812)	(52.6%) ~ (57.2%)	(26.1%) ~ (45.2%)	(4.8%) ~ (21.7%)	(2.8%) ~ (11.3%)
(外地給油)	(779) ~ (869)	(643) ~ (884)	(207) ~ (970)	(147) ~ (1,233)	(23.9%) ~ (26.7%)	(17.8%) ~ (24.5%)	(4.1%) ~ (19.4%)	(2.0%) ~ (17.2%)

(3) 考察

- 短期的には、2030年本邦航空会社のSAF使用率目標10%について、燃料シナリオの野心的なF3では14.3%と達成可能な一方、保守的なF1で5.4%、中程度のF2で8.2%と未達を見込む
 - 当面、国産SAFの供給拡大が必要であり、残りの不足分を補うためには輸入SAFの安定供給が必要
- 中期的には、2019年比85%超過分に課されるオフセット必要量(2024~2035年累計)について、F1で4,494万t-CO₂、F2で2,696万t-CO₂、F3で818万t-CO₂と見込む
- 2035年までは航空技術T1~T3には差がないことから、オフセット必要量を減らしていく観点では、SAFの供給拡大・安定供給が不可欠であり、F1よりもF2、F2よりもF3を目指す取り組みが必要
- 長期的には、2050年本邦航空会社のSAF使用率について、F1で50~65%、F2で99.8~100%、F3で100%と見込み、また各燃料種別の炭素強度削減率について、2050年時点でも72~91%と100%達成は困難と見込む
- その結果、航空技術、運航技術、SAFに係る最も野心的なシナリオ(T3-F3)においても、2050年にCO₂残余量が発生し、クレジットオフセットなしでのカーボンニュートラル(CN)の達成は困難と見込む
 - 我が国の航空分野の2050年CN実現に向けては、最も野心的なシナリオ(T3-F3)の実現を目指すことが方向性の1つ。一方、非ドロップイン燃料の水素航空機等の航空技術を前提とするT3の実現性は不透明。そこで、ドロップイン燃料を前提とするシナリオ(T2)も視野に入れ、これと燃料・SAFの最も野心的なシナリオ(F3)を組み合わせたT2-F3シナリオももう1つの方向性として認識し、最終的なクレジット活用も含めた中長期的課題を整理

5. とりまとめ

2～4 の検討結果に基づき、今後の我が国航空分野の短期／中期／長期的な排出削減対策の課題と対応策について検討し、とりまとめた。

5.1 短中期的課題～CORSlA 適合のための課題と対策～

5.1.1 SAF

SAFに係る課題と対策については、2021年度燃料小委員会において、「我が国における SAF の普及促進に向けた課題・解決策」として網羅的に取り纏められている。当時取り纏められた7つの課題(以下に示す(2)～(8)の課題)のうち主に“長期的な検討課題”について、本調査における排出削減対策見通しのアップデートを踏まえて更新・見直しを行った。

ここでは、更新・見直しを行った SAF に係る長期的な検討課題について示す。なお、その他の課題・解決策については、別添「CORSlA 適合のための課題と対策(SAF)」(航空分野における CO2 削減取組に関する調査検討委員会(第6回)配布資料 3-2、2023.2.8)を参照されたい。

<我が国における SAF の普及促進に向けた課題・解決策>

- (1) 検討の全体像
- (2) 国産 SAF の製造に係る課題(原料調達)
- (3) 国産 SAF の製造に係る課題(SAF の製造支援)
- (4) 国産 SAF の製造に係る課題(CORSlA 適格燃料として認められるための対応)
- (5) SAF の規格遵守・認証体制に係る課題(国内検査体制)
- (6) SAF の規格遵守・認証体制に係る課題(品質管理・輸入 SAF 受入)
- (7) 空港における課題
- (8) 長期的な検討課題

出所)航空分野における CO2 削減取組に関する調査検討委員会 燃料小委員会「我が国における SAF の普及促進に向けた課題・解決策」(2022.2)

(1) 長期的な検討課題

1) 課題の特徴と検討のアプローチ

ICAO LTAG-TG においては 2050 年以降を見据えた長期目標の検討が進められ、2022 年 3 月に燃料サブグループが下記の F1、F2、F3 と 3 つの燃料シナリオが提示された。技術革新・普及と共に化石ジェット燃料から LCAF⇒既存の SAF⇒PtL や DAC の削減率の高い SAF⇒非ドロップイン燃料の導入がそれぞれのシナリオにおける優先順位や制約条件の元で進められ、長期的な見通しが検討された。

世界的な指標である LTAG におけるシナリオ検討を特に先進的な燃料について導入の方針として採

用しながら、本資料の前半で述べた日本の SAF のポテンシャルの積み上げ・輸入 SAF の状況・技術動向とを相互に連携させて、長期的なポテンシャルと導入量を推計した。今後の航空部門の脱炭素に向け SAF に対して求められる事象について検討を深めることが必要である。

<SAF 導入量、燃料の長期的な見通し試算において用いた前提条件>

- 輸入 SAF は LTAG の各シナリオにおける燃料を占める割合を下回る際に、導入されると設定。
- SAF 製造ポテンシャルの推移について
 - セルロース系バイオマス(残渣)及び廃棄物について、International Council on Clean Transportation (ICCT)の分析結果を活用
 - 廃棄油脂については 2030 年にかけて線形でポテンシャルの上限に達する。
 - その他(油脂系バイオマスの主産物、糖料作物)について 2030 年以降線形でゼロから増加と設定。
 - 排 CO2 由来(Pt)、DAC 由来について GI 基金ロードマップを参考に 2030 年以降にゼロから 2035 年まで線形に推移、それ以降は TAG におけるその他 SAF との割合をシナリオ別に採用。(DAC 由来 SAF は野心的な F3 シナリオのみ)
- LCAF は当初、化石ジェット燃料の SAF 分以外を安価に代替するものとして活用される。削減率の高い F2、F3 シナリオでは早々に離脱。
- 非ドロップイン燃料 H2 は水素航空機が導入される F3 シナリオのみ 2036 年以降導入され、PtL、DAC 同様 LTAG の他 SAF との割合を参照。

注)ライフサイクル GHG 削減率高い順: LH2>DAC 由来 SAF>PtL-SAF>HEFA や AtJ 等の SAF>LCAF。経済性は逆順。

表 5-1 参考にした LTAG の燃料シナリオ

F1 シナリオ	F2 シナリオ	F3 シナリオ
予期される低炭素燃料導入	中程度の低炭素燃料導入	最大限の低炭素燃料導入
低炭素燃料(SAF, LCAF)の排出量削減は低い	低炭素燃料(SAF, LCAF)の排出量削減は中程度	低炭素燃料(SAF, LCAF)の排出量削減は高い
ASTM はジェット燃料混合率 50%利用を認証	ASTM は 100%合成ジェット燃料利用を認証	ASTM は 100%合成ジェット燃料利用を認証
陸上輸送と航空は代替燃料利用で競合	陸上輸送の電化が進み、SAF の取得率が高まる	経済全体の脱炭素化、陸上輸送電化が進み再エネが普及
SAF, LCAF 生産のインセンティブは低い 導入優先順位は経済性	SAF, LCAF 生産のインセンティブが高まりコストが低下 導入優先順位は限界削減費用の安さ	インセンティブが大きく低排出航空燃料の利用が普及 導入優先順位はライフサイクル GHG 削減率の高さ
技術革新により、廃ガス(CO, CO2)を SAF に、原料に油糧種子被覆作物を利用。SAF, LCAF 生産にブルー/グリーン水素を利用	SAF, LCAF 生産にブルー/グリーン水素利用が普及。炭素捕捉利用貯蔵(CCUS)利用が普及。	SAF 生産に大気中 CO2 利用が普及・原材料調達増加、CCUS/DAC 普及(一方排 CO2 由来 PtL の SAF は減少) 航空機で極低温水素利用可能、非ドロップイン燃料利用可能な空港が世界に拡大

2) 長期的な検討課題(全体課題)

本邦航空会社の SAF 等脱炭素ジェット燃料導入量の LTAG-F3 シナリオを踏まえた野心的な長期的な見通しは左下図のとおり。航空燃料需要は全て SAF 以上のライフサイクル GHG 削減を持つ低炭素燃料の導入が進むこととなる。(なお T2-F3 シナリオでは水素航空機が導入されないため、LH2 は導入されず、その分 DAC、PtL、FT+AtJ で全ての需要を賄うこととなる。)

一方、2050 年カーボンニュートラルという視点で考えると、SAF の中で削減率の高い PtL や DAC が拡大し、加えて T3 シナリオでは水素航空機が導入されることで非ドロップイン燃料 LH2 の導入を進む野心的な F3 シナリオを選択した場合でも、SAF を燃焼させる以上、なんらかの残余排出が残り、カーボンニュートラルの達成は難しい。そのため、最終的にはクレジットを活用する必要がある。

以上を踏まえて、燃料代替による大きな排出削減を目指すには、LTAG に示されるような野心的な F3 シナリオの姿を目指す必要があり、そのための FT 合成や AtJ も含めた原料調達量の確保、ASTM の SAF 混合率 100% への引き上げ、PtL 関連技術革新/普及による各種コストの低減、需要競合が予想される再エネ電力や水素量の確保、サプライチェーンの構築を進め、さらにはコストの社会分担の在り方も視野に、石油ジェットや削減量が少ない LCAF に頼らない SAF 導入量の増加に取り組む必要がある。

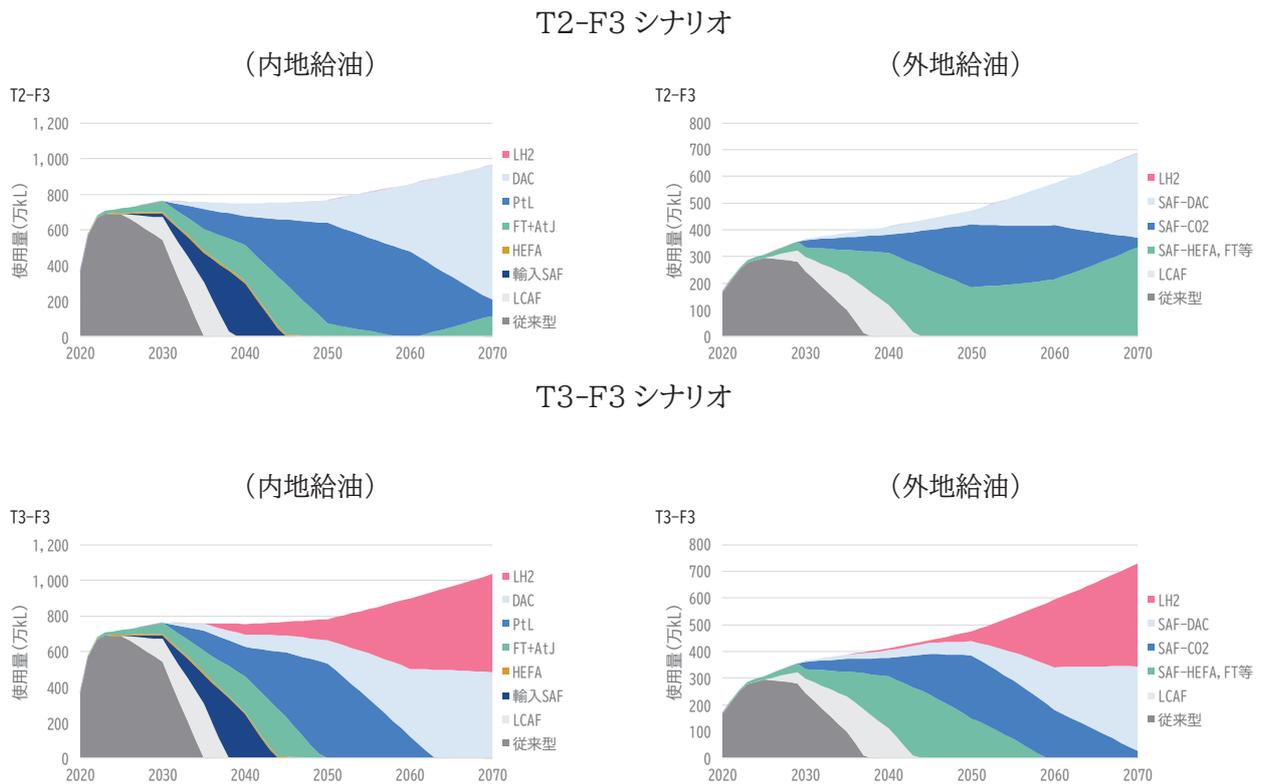


図 5-1 本邦航空会社の SAF 等脱炭素ジェット燃料導入量の長期的な見通しのイメージ

*LH2 の量はジェット燃料換算

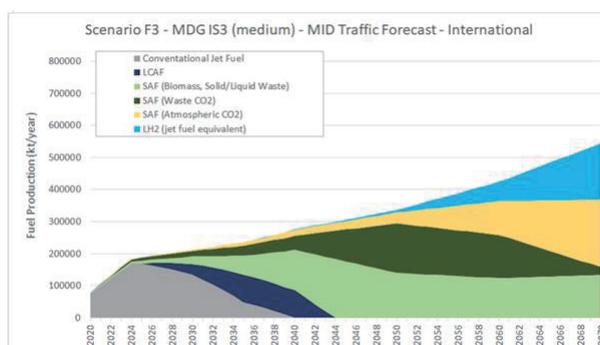


図 5-2 世界全体の SAF 等脱炭素ジェット燃料導入量の長期的な見通しのイメージ(最も野心的な F3 シナリオ)

出所)ICAO LTAG ,” Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal Appendix M5, LTAG-TG FUELS SUB-GROUP REPORT”, 2022 年 3 月

3) 長期的な検討課題(燃料別)

前述の全体的な課題の中で、特に内地給油に係る各燃料種別の課題とその他の課題を検討・整理した。

a. LCAF

- 原料調達や製造はジェット燃料同程度であり、安価かつインフラの整備は容易だが、ライフサイクル GHG は $80.1\text{gCO}_2/\text{MJ}$ 燃料と、GHG 削減効果は 10%程度で少なく、SAF に及ばない。
- カーボンニュートラルを目指すならば、時を経ずに SAF への燃料転換が必要となり、LCAF 導入のためのサプライチェーンの構築を行った場合、投資回収が難しい。
- シミュレーション上では 2040 年にはライフサイクル GHG の観点で導入量はフェードアウトする。

b. HEFA、AtJ による SAF(油脂、廃棄物)

- 短中期と同様、十分な量の原料調達・収集の難易度が高く、他用途との競合や輸出との競合がある。
- 既存の原料・技術で、下記の PtL、DAC、LH2 よりライフサイクル GHG 削減効果は小さいものの、T2-F3 シナリオでのシミュレーションにおいて、2050 年以降も需要があり、下記燃料種を補完する役割を果たす必要があるため、引き続き積極的な原料調達・確保の必要がある。

c. 排 CO2 由来 PtL

- 制約条件として CO2 以外にも再エネ電力や水素量が必要であるため、その確保とそれらを SAF 製造のために調達する必要がある。両者は他工業用途にも非常に大きな役割を持っており、競合は避けられない。

- エタノール、アンモニア、鉄鋼、セメント等の工業由来の排 CO₂ を原料とするため、カーボンニュートラルに向けて世界の産業が進むと、将来原料調達・確保が困難となる可能性がある。
- 下記 DAC、LH₂ ほどではないが、2030 年以降に導入が想定され、コスト低下が必須。
- 上記の既存 SAF とは異なるサプライチェーンの構築が必要である。
- 原料となる排 CO₂ が排出される時点での計上のルールが定まっておらず、バウンダリ等今後整理が必要である。

d. DAC 由来 PtL

- SAF の中では最もライフサイクル GHG の削減効果の高い燃料で、最も野心的なシナリオでのみ採用される先進的な技術であるため、DAC の建設/製造コストが高く、普及速度が不透明である。
- 排 CO₂ 由来 PtL 同様、必要となる再エネ電力や水素量は他工業用途にも非常に大きな役割を持っており、競合は避けられない。
- サプライチェーンについてできる限り、排 CO₂ 由来 PtL のものを活用できるような調整が必要。

e. 非ドロップイン燃料 LH₂

- 水素航空機の導入と同時であるため、今後の技術革新・普及・コストの度合いが不透明。我が国における水素利用社会構築の動向を踏まえつつ、長期的な視野で取組む必要がある。
- GHG 削減効果は非常に大きいですが、水素航空機に係る安全性の確保が不可欠であり、技術・各種基準の整備に加え、利用者・一般社会からの理解も重要である。
- 水素を燃料として用いる場合の空港周りのサプライチェーンの整備が必要。

f. その他

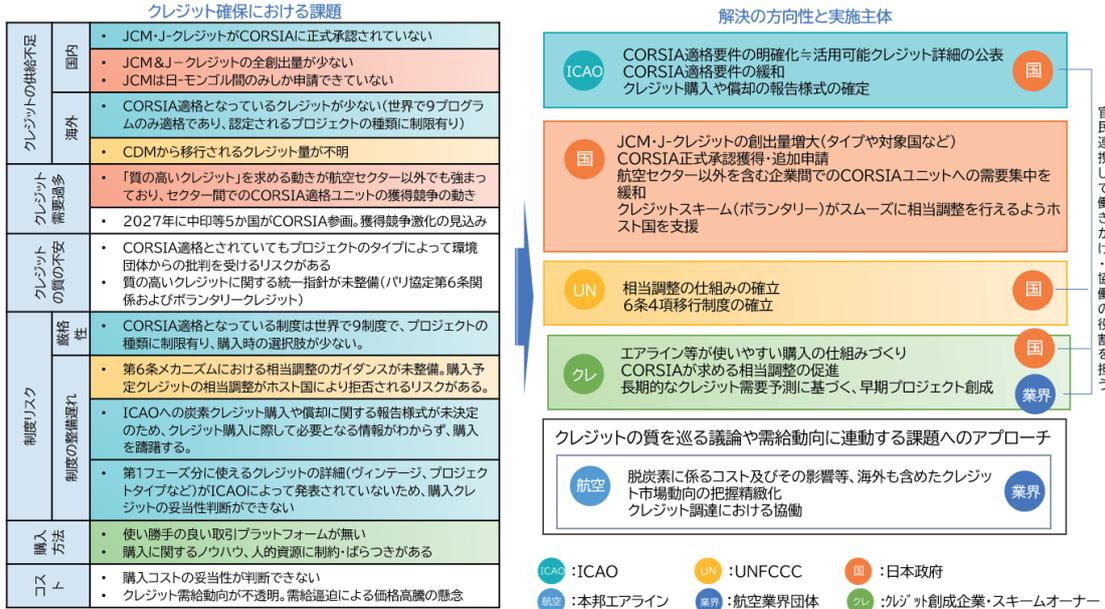
- SAF のライフサイクル GHG 排出量をよりゼロに近づけていくための製造技術が不可欠であり、これによりクレジットの活用を減らすことが重要。
- 今後、脱炭素コストの社会的分担の議論や長期予測のさらなる精査をしていく中で、シナリオに応じた SAF のコストや経済性影響評価を行うことが必要である。
- 各種 SAF の早期普及促進に向け、製造・流通を含めた実証試験等を通じた官民での連携した取組が重要。

5.1.2 市場メカニズム

市場メカニズムに係る CORSIA 適合のための課題と対策について、「2022 年度市場メカニズム小委員会 成果サマリー」として取り纏められ、調査検討委員会に報告された内容を転載する。

課題とその解決策の方向性(クレジット調達面)

- クレジット確保における課題をマッピングし、特に重要な課題をタイプに応じて分類・整理(左表)
- 課題に応じた解決の方向性及び実施主体を検討(右表:課題と解決策の対応関係は色で表している)。



課題とその解決策の方向性(クレジット創出面)

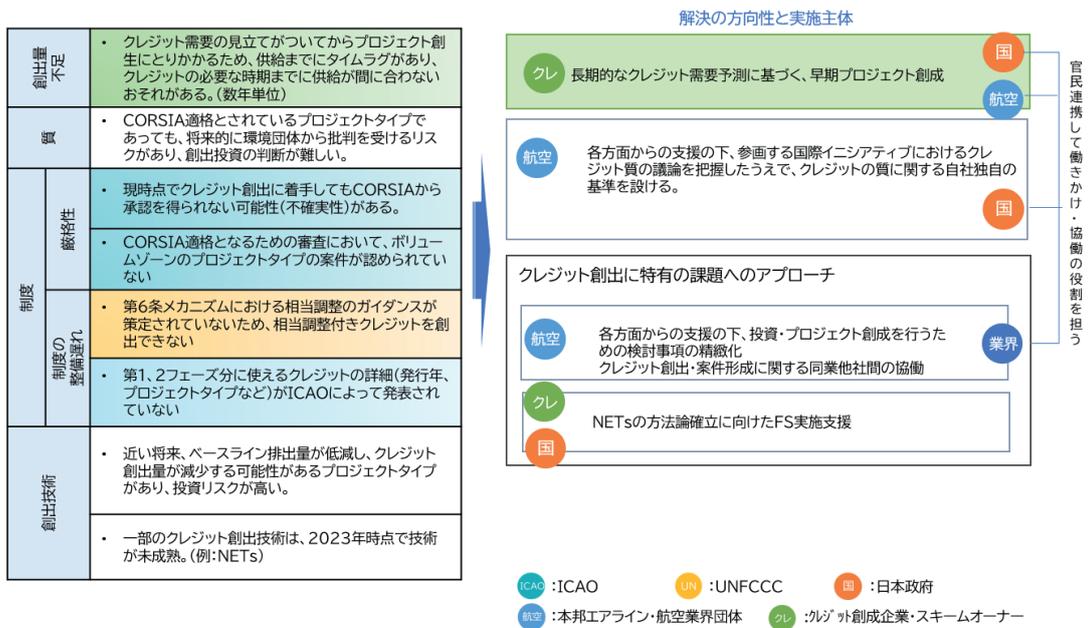


図 5-3 市場メカニズムに係る CORSIA 適合のための課題とその解決の方向性

出所)運輸政策総合研究所・三菱総合研究所「CORSIA 適合のための課題と対策(市場メカニズム)(2022 年度市場メカニズム小委員会 成果サマリー)」、航空分野における CO2 削減取組に関する調査検討委員会(第6回)配布資料 3-2(2023.2.8)

解決の方向性の内容(対策・期待される結果) (1/3)

- P11・12で整理した解決の方向性を、実施主体毎に再整理し、それぞれ対応策に取り組むことで期待される結果を示した。

解決の方向性(再掲)	対策・期待される結果
CORSIAに活用可能クレジット詳細の公表 (2023~)	<ul style="list-style-type: none"> ・ フェーズIのオフセット義務履行において、2027年に向けて計画的に購入できるよう、ICAOにおいては、オフセットに確実に使用できるクレジット(ウィンテージ・プロジェクトタイプの等詳細)を速やかに公表。
CORSIA適格要件の明確化・見直し (2023~)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ICAOにおけるCORSIA適格クレジット審査の手順・要件の透明性を向上し、承認可否の不確実性の低下と、クレジット・プログラム側の再申請に係る申請負担を軽減。 ・ ICAOにおいては、多くのクレジットボリュームを創出できるプログラムや方法論が対象となるよう適格要件を見直し。例えば、吸収源(炭素貯留を含む)プロジェクト等が含まれることが重要と思われる。 ・ 国としてもTABにおける議論への関与の機会を増やし、CORSIA適格承認に関する有益な情報の確実かつ早期獲得を図ることが重要。
クレジット購入や償却の報告に必要な情報・様式の確定 (2023~)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ICAOへの報告に必要な情報等を早急に明確化することにより、エアラインがクレジットを購入する際に確認すべき情報を明らかにする。
JCM・J-クレジットの創出量増大(プロジェクトタイプや対象国など)(継続)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国においては、対象プロジェクトスコープや対象国の拡大、資金支援によるプロジェクト組成支援等を一層加速・拡充することによりクレジット創出量の増大を図る。
JCM・J-クレジットのCORSIA正式承認獲得・追加申請(継続)	<ul style="list-style-type: none"> ・ まず国においては、国産クレジットがフェーズ1における適格クレジットとして認定されるよう、引き続き積極的に取り組むことが重要。 ・ 更に、CORSIA適格申請において、JCM対象国の追加、またJクレジットの対象方法論の追加に向けて取り組むことも重要と思われる。

解決の方向性の内容(対策・期待される結果) (2/3)

- P11・12で整理した解決の方向性を、実施主体毎に再整理し、それぞれ対応策に取り組むことで期待される結果を示した。

解決の方向性(再掲)	対策・期待される結果
相当調整の仕組みの確立とスムーズな運用の促進 (2023年~)	<ul style="list-style-type: none"> ・ UNIにおいては、関係国および組織との連携のもと、ホスト国に対して相当調整のルールを直ちに明確化する。 ・ UNIにおいては、関係国および組織との連携のもと、ホスト国内の制度・体制の構築および運用支援等を行い、個々のプロジェクト開発者やクレジットを購入するエアラインが煩雑な相当調整交渉する必要性を排除し、クレジットの円滑な取引環境を整備。
CORSIAが求める相当調整の促進 (2023年~)	<ul style="list-style-type: none"> ・ クレジット創成企業/スキームオーナーにおいては、UNや関連機関との連携によりプロジェクトのホスト国政府への働きかけ、相当調整付きのCORSIA適格ユニットの供給量の増加を図り、エアライン間での獲得競争を緩和。同時に、相当調整に関する情報を積極的に発信し、エアラインがクレジットを購入する際の安心感を増大。
質の高いクレジットに関する統一指針が未整備(パリ協定第6条関係およびボランタリークレジット) (2023年~)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現在CORSIAが一定のクレジットの質を担保する数少ないスキームであることから、エアライン以外の需要もひきつけている状況。「質の高いクレジット」の公的な基準を速やかに策定することにより、他のセクターとのCORSIAユニットの獲得競争激化を回避する効果が期待できる。
CDMから6条4項メカニズムへのクレジットの速やかな移管および移管量の最大化 (2023~24年 期限内対応必須)	<ul style="list-style-type: none"> ・ UNIにおいては、CDMからパリ協定6条4項への移管制度を早急に確立し、移管の必要条件やプロセスを明確化することにより、移管されるCORSIA適格ユニット量を増大。国においては、移管制度の円滑かつ早期の実現と移行されるクレジット量が最大化する方向での議論を働きかけ。

図 5-4 市場メカニズムに係る CORSIA 適合のための解決の方向性(1/2)

出所)運輸政策総合研究所・三菱総合研究所「CORSIA 適合のための課題と対策(市場メカニズム)(2022 年度市場メカニズム小委員会 成果サマリー)」、航空分野における CO2 削減取組に関する調査検討委員会(第6回)配布資料 3-2(2023.2.8)

解決の方向性の内容(対策・期待される結果)(3/3)

解決の方向性(再掲)	対策・期待される結果
エアライン等が使いやすい購入の仕組みづくり (2023年～)	<ul style="list-style-type: none"> クレジット創成企業/スキームオーナーにおいては、CORSIAが要求する報告事項の内容や、相当調整の有無等を含むCORSIA適格ユニットに関してエアラインにとって必要な情報を、スキーム横断的にプラットフォーム等で公開し、エアラインが相対取引を複数同時並行で行う必要性を排除し、エアラインによるCORSIA適格ユニット購入の際の事務処理負担を軽減 国産クレジットの購入において本邦エアラインがスムーズに獲得を行えるような購入プロセスを整備。
長期的なクレジット需要予測に基づく、早期プロジェクト創成 (2023年～長期)	<ul style="list-style-type: none"> クレジット創成企業においては、ICAOやUNによる長期的なクレジット需要予測を参考に、プロジェクト創成のタイミングを判断し、需要発生と供給までのタイムラグを縮小し、エアラインのクレジット需要を的確なタイミングと量で充足。
同業他社との調達に関する協働やそれを支援する仕組みの検討 (2023年～)	<ul style="list-style-type: none"> 本邦エアラインにおいては、他社との共同購入等により購買力を増強し、販売元に対してインセンティブおよび発信力を発揮し、購入の確実性を向上。また、このような取組を支援する公的な仕組みを検討することも有効。
各方面からの支援の下、脱炭素に係るコスト及びその影響等、海外も含めたクレジット市場動向の把握精緻化 (2023年～)	<ul style="list-style-type: none"> 本邦エアラインにおいては、各関係機関との連携による情報収集の量の確保およびクレジットスキームやクレジット創成企業とのネットワークの深化による情報の質を向上させることにより、クレジットの価格や供給量、供給元の動向をより精緻に把握し、タイムリーかつ適切価格での購入を図る。

図 5-5 市場メカニズムに係る CORSIA 適合のための解決の方向性(2/2)

出所)運輸政策総合研究所・三菱総合研究所「CORSIA 適合のための課題と対策(市場メカニズム)(2022 年度市場メカニズム小委員会 成果サマリー)」、航空分野における CO2 削減取組に関する調査検討委員会(第6回)配布資料 3-2(2023.2.8)

5.2 中長期的課題

(1) 課題検討の視点

本調査の結果を踏まえ、我が国の航空分野の2050年カーボンニュートラル実現に向けては、最も野心的なシナリオ(T3-F3)の実現を図ることが望ましいと考えられるが、一方で、非ドロップイン燃料の水素航空機等の航空技術を前提とするT3の実現性は課題も多いことから、ドロップイン燃料を前提とするT2も視野に入れ、これと燃料・SAFの最も野心的なシナリオ(F3)を組み合わせたT2-F3シナリオも考慮して、最終的なクレジット活用も含めた中長期的課題の整理を行った。

課題は、対策種別×課題種別×時間軸別の観点で抽出・整理した。

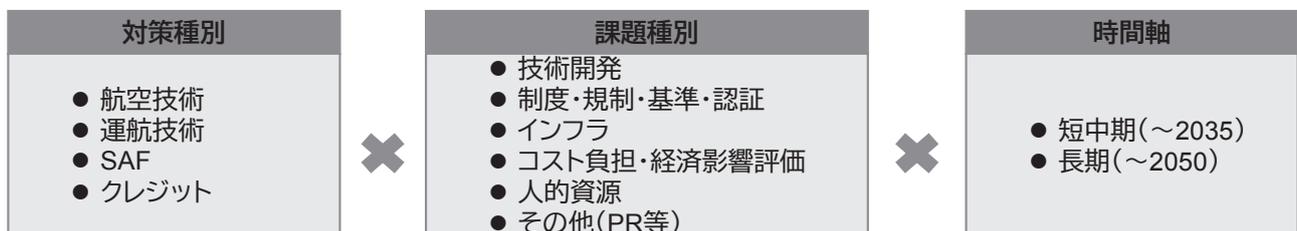


図 5-6 課題検討の視点

(2) T2-F3 および T3-F3 シナリオの見通しと中長期的課題

T3-F3 シナリオは、2035 年における CO2 残余率が 2019 年比 85%以下を達成し、かつ、2050 年以降の CO2 残余率が減少していくシナリオである。2040 年以降は PtL が主力燃料となり、長期には DAC と LH2 により運航されることとなる。

T2-F3 シナリオは、水素航空機を導入しないシナリオで、T3-F3 シナリオに次いで CO2 削減量が多いが、2050 年以降残余 CO2 排出量が漸増する。このシナリオでは、LH2 は導入されず、その分 DAC、PtL の利用に頼ることとなるが、FT 合成+AtJ も長期にわたって一定の役割を果たす。

これらのシナリオ、すなわち LTAG に示されるような野心的な F3 シナリオの姿を目指すためには、FT 合成や AtJ も含めた原料調達量の確保、ASTM の SAF 混合率 100%への引き上げ、PtL 関連技術革新/普及による各種燃料コストの低減、燃料製造に必要な再エネ電力や水素量の確保(産業間の需要競合も要考慮)、それぞれの燃料種に応じたサプライチェーンの構築などを進める必要がある。また、推進に当たっては、脱炭素コストの影響やその社会分担の在り方も踏まえて、シナリオ及び実現手法の選択・工夫を行っていくことが重要である。

なお、いずれのシナリオにおいても、燃料製造時(WtT)の CO2 排出を伴うため、2050 年カーボンニュートラルの達成には、最終的にはクレジットを活用する必要がある。

表 5-2 T2-F3 および T3-F3 シナリオの前提条件

	T2-F3 シナリオの前提条件	T3-F3 シナリオの前提条件
航空技術(T)	T2:先進コンセプト航空機(ACA):現状の航空機体・推進力構造の大幅変更による性能大幅向上/ドロップイン燃料	T3:先進コンセプト航空機(ACA):現状の航空機体・推進力構造の大幅変更による性能大幅向上/非ドロップイン燃料/空港とその周辺で大規模なインフラ変更が必要/電動航空機、水素航空機
運航技術(O)	O3:積極的な運用効率化:システムや技術への投資増加・加速による施策実施率・範囲の積極的想定/HFE、VFE、GFE を最適化するための ASBU 要素の高い展開率/IFE と AFE を最適化するための運用施策の中程度の展開率	
燃料 SAF (F)	F3: 最大限の低炭素燃料の導入 ドロップイン SAF(T2,T3共通):ASTM は 100%合成ジェット燃料利用を認証/経済全体の脱炭素化、陸上輸送の電化が進み再エネが普及/低排出航空燃料利用が普及(インセンティブ大)/SAF 生産に再生可能炭素(バイオ由来 CO2、DAC)利用が普及・原材料調達増加、CCUS 普及 非ドロップイン SAF(T3): 航空機で極低温水素利用可能/非ドロップイン燃料利用可能な空港が世界に拡大	
クレジット	燃料のライフサイクル GHG 排出量は減少するものの一定の CO2 排出量は残存する。一方で、全産業的にカーボンニュートラルに向かう中で省エネ等によるクレジット創出には限界があり、ネガティブエミッションによるクレジットの重要性が増す	

5.2.2 航空技術に係る中長期的課題

航空技術シナリオの実現に向けては、日本企業が持つ優れた環境新技術(航空機の電動化、水素航空機、軽量化など)の技術開発動向を踏まえ、その社会実装及び日本のプレゼンス向上に向け、官民が戦略的に国際標準化等に取り組んでいくべき国内連携体制の構築及び制度整備等が課題となる。

従来型の航空機体・推進力構造の性能向上(ATW)においては、特に軽量化・効率化に資する技術、先進コンセプト航空機・ドロップイン燃料(T2-ACA)、同非ドロップイン燃料(T3-ACA)においては特に航空機の電動化、水素航空機に資する技術の設計・開発・デモ・商業化、それらを支える燃料・運用・インフラの漸進的改善、安全基準策定・国際標準化、認証活動のサポート・認証・継続的な耐空性の保全といった点が課題となる。

我が国では、これら新型機材の重要技術要素である燃費向上・低炭素化のためのコア技術や主要構造部品の開発への貢献が期待されている。具体的には、機体の低抵抗・軽量化技術やエンジンの高効率化技術、電動ハイブリッド推進技術、水素電動エンジン技術等の研究開発が課題となる。

航空機の技術は極めて高い安全性が要求されるが、現在基準が策定途上の新技術について早期実用化を実現するためには、開発と並行して、企業と政府が連携して安全基準の検討を進める必要がある。ICAO-LTAG では新型機材の導入のおよそ7年前までの基準整備を想定していることから、我が国において 2035 年の水素航空機(T3-ACA、ナローボディ機)の商用導入を想定する場合、2028年までにコア技術・主要構造部品の開発を進めるとともに、並行して関連する安全基準や国際標準の策定が必要である。また、日本の空港がこれらの航空機を受け入れるため、同時期までに燃料関連のインフラ整備や運用規則見直し、新型機材に対応した運航・整備関連人材・体制の構築などの受入環境整備が必要となる。

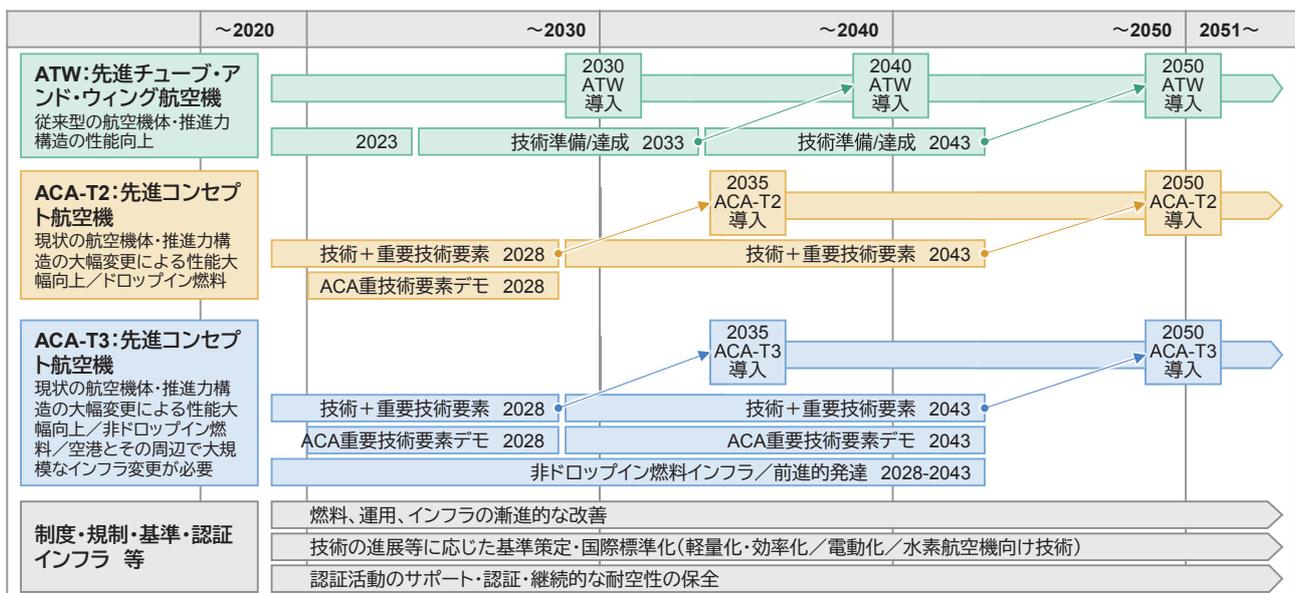


図 5-7 航空技術に係る中長期的課題

出所)ICAO「LTAG Report Appendix M3 Technology」(2022.3)等に基づき作成

5.2.3 運航技術に係る中長期的課題

運航技術に係るわが国の目標(2050年に2021年比10%程度のCO2削減)は、ICAO-LTAGと比べても野心的な目標となっている。これは、CORSA適用時期(2024~2035年)のCO2排出削減量の積み増しに非常に重要な意味を持つのみならず、省エネ効果による我が国航空会社の運航コスト削減(コスト競争力)にも寄与するものと期待される。

将来の航空交通システムの進展や技術開発の動向を踏まえながら、工程表等に掲げた各種施策、航空交通全体の最適化とともに、航空路、出発・到着、空港面における各運航フェーズの改善策を確実に実行・実現していくことが重要となる。

航空交通全体の最適化においては時間管理の実現が重要であり、飛行経路の短縮等の個別運航の効率化に加えて、航空交通全体を適切に管理することによる円滑な交通流の実現が必要である。

航空路においては、高高度フリールートが課題である。安全な間隔を保ちながら運航者が希望する効率的な経路を用いた運用方式の導入、柔軟な運用の実現が求められる。

出発・到着に係る運用においては、燃費の良い上昇・降下の実現が課題である。上昇又は降下フェーズにおいて、周りの交通状況を勘案し、一時的な水平飛行を行うことなく継続的な上昇・降下が可能となる運航の実現が求められる。

空港面においては、地上待機時間の短縮が課題である。空港面において、出発から到着まで一括した運航状況の把握を行い、機体性能の異なる機体毎に最適化した地上走行、出発及び到着スケジューリングの最適化等を行うことにより、交通流の効果的な管理を図り、離陸前及び着陸後の航空機の円滑な走行の実現が求められる。

これら運航技術で効果が高く、前倒し可能な施策から順次実行・実現していくことが望ましい。



図 5-8 運航技術に係る中長期的課題

出所)国土交通省航空局「航空の脱炭素化推進に係る工程表」(2021.12)、ICAO「LTAG Report Appendix M4 Operations」(2022.3)に基づき作成

5.2.4 SAFに係る中長期的課題

航空分野の排出を 2050 年カーボンニュートラルに極力近づけるものと設定するならば、燃料シナリオ F3 シナリオ実現が必要となる。その場合、2035 年、2050 年の各時点において以下の内地給油 SAF 供給量が必要となる。

- 2035 年・シナリオ共通:FT/AtJ 134 万 kL、PtL 115 万 kL、DAC 40 万 kL
(原料水素計 90 万 t、原料 CO2 計 640 万 t)
- 2050 年・T2-F3 シナリオ:FT/AtJ 73 万 kL、PtL 565 万 kL、DAC 127 万 kL
(原料水素計 404 万 t、原料 CO2 計 2,859 万 t)
- 2050 年・T3-F3 シナリオ:FT/AtJ ゼロ、PtL 533 万 kL、DAC 127 万 kL、LH2 120 万 kL*
(原料水素計 385 万 t(LH2 分を含まない)、原料 CO2 計 2,727 万 t)
 - *LH2はジェット燃料換算値として記載

F3 シナリオは野心的なシナリオと言えるものの、上記の燃料確保のためには、DAC の導入が想定される 2030 年までに、下記の課題に対して一定の道筋を示すことが重要であると考えられる。

- 製造量が急増する PtL、DAC による SAF 製造を行うために必要な原料調達/確保
既存の HEFA、FT 合成、AtJ のような SAF 製造技術と異なり、PtL、DAC による SAF 製造には再エネ電力・水素・原料 CO2 が必要である。これらの需要は SAF 製造だけでなく、その他産業においても高まっていくことが推察されるため、その他産業との需要競合を見据えた分析やカーボンプライシング等を踏まえた上での各種コストを見越した市場設計をしていく必要がある。
- 将来 SAF の中心となる PtL 関連技術の製造コスト低下
NEDO 等を中心に事業者の中で実証が進んでいる最中であるが、今後商用化が進むことにより製造コストの低下を目指していくことが必要と考えられる。また前述の通り、既存 SAF 原料とは製造技術が異なるため、それに対応した各種サプライチェーンを構築し、空港周りを含めた輸送経路の整備等に事前に投資しておく必要がある。そのための実証・開発支援をすることで促進されることが考えられる。
- PtL 及び DAC の利用に係る規制・ルール作り
国際的な CORSIA 適格と並行して考えることにはなるが、現状 50%が上限となっている SAF のジェット燃料への混合率を品質確保や安全性を担保した上で引き上げることで、より排出量削減につなげることができると考えられる。また、PtL 原料となる排 CO2 の排出量の計上主体、排出帰属のルール作りも不可欠である。一次排出者(工場等)の排出に計上するのか、その回収 CO2 を原料とする燃料の燃焼時の排出とするのか、すなわち二次排出者であるエアライン等利用者の排出に計上するのかの国際的ルールが未整備である。更に、経済活動全体から見ると航空分野をはじめとする運輸部門の排出は Scope3 排出に該当する部分が多く、その Scope3 の排出削減需要が高まっていることにも鑑みれば、回収 CO2 による削減効果の帰属は重要な論点である。また PtL 原料となる排 CO2 の排出量の計上主体(バウンダリ)を該当 CO2 の排出主体とするか、SAF 需要家とするか等どのように考えるかも Scope3 排出が大部分を占める航空分野の GHG 排出量にとって重要な論点である。その他にも、複数種の原料

から製造されたSAFの混合や利用等、考慮が必要な制度設計/規制の構築を、資源エネルギー庁や国土交通省が主催するSAF官民協議会やその下に設けられている製造・供給ワーキンググループ、流通ワーキンググループにおいて検討を進めることが必要である。

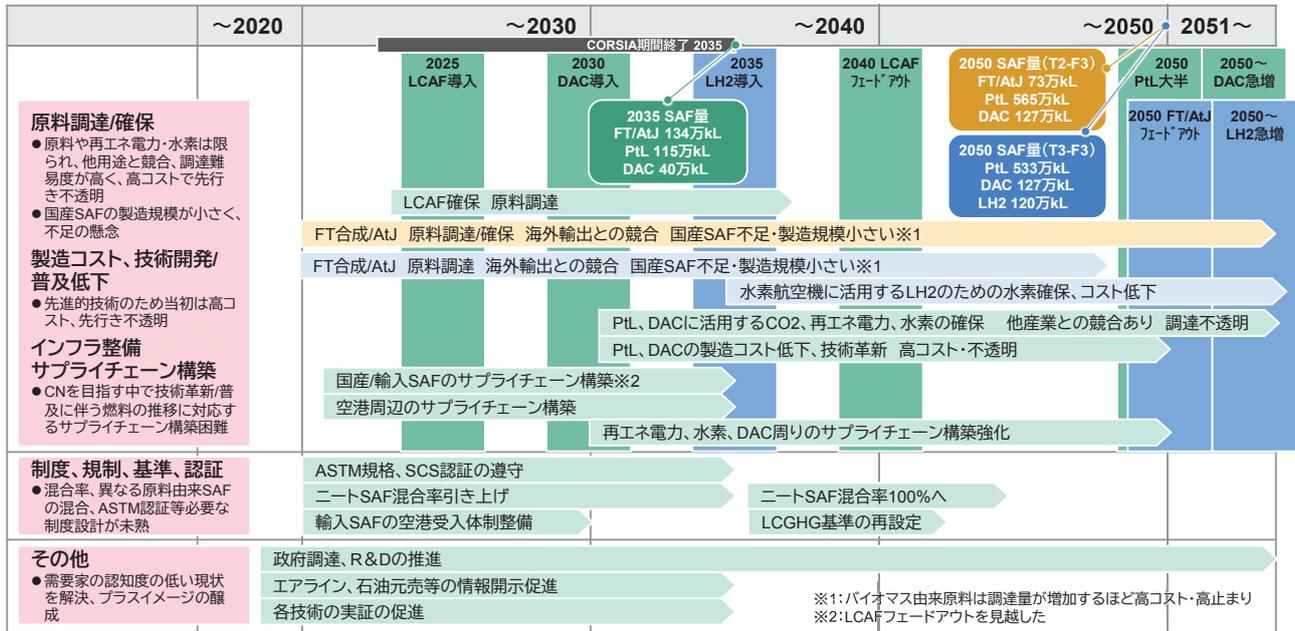


図 5-9 SAFに係る中長期的課題

出所) ICAO LTAG Report Appendix M5, 「Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal LTAG-TG FUELS SUB-GROUP REPORT」(2022.3)に基づき作成

5.2.5 クレジットに係る中長期的課題

T2-F3 または T3-F3 シナリオが実現できたとしても、なお、燃料製造時(WtT)のCO2排出を伴うため、2050年カーボンニュートラルの達成には、最終的にはクレジットを活用する必要がある。クレジットに係る中長期的課題としては以下の点があげられる。また、DACCS、BECCSの技術開発は、上述のPtLの原料確保としても重要な役割を果たすことから、我が国も積極的な取組を進めるべきである。

表 5-3 クレジットに係る中長期的課題

	短中期(~2035)	中長期(~2050)
技術開発 利用・製造・メンテ (原料調達)	—	将来的に有望な炭素クレジット対象分野の技術(特にDACCS、BECCS、鉱物資源化等のNETs先端技術)の開発・低コスト化
制度・規制・基準・認証	第一フェーズの制度設計の推進に向けた働きかけ(整理CORSIAに活用可能クレジット詳細の公表、CORSIA適格要件の明確化・見直し、クレジット購入や償却の報告に必要な情報・様式の確定) JCM・Jクレジットの創出量増大(プロジェクトタイプや対象国などの拡大、CORSIA適格化)	将来的に有望な炭素クレジット対象分野(特にDACCS、BECCS、鉱物資源化等のNETs先端技術)の算定方法論の確立 費用対効果に応じたクレジット調達戦略の策定(相応の量のクレジットを確実に確保するには比較的低コストな技術領域におけるクレジット調達も必要)

インフラ	相当調整の仕組みの確立、CORSIA が求める相当調整の促進 航空会社が参照できる、質の高いクレジットに関する統一的な基準の検討 同業他社との調達に関する協働やそれを支援する仕組みの検討	費用対効果を踏まえた、将来的に有望な炭素クレジット対象分野への投資促進に向けた事業環境の整備
------	---	--

5.2.6 共通的な中長期的課題

航空技術、運航技術、SAF、クレジットの各対策に共通する課題として、以下に示す通り、コスト負担・経済影響評価に係る課題、人的資源に係る課題、その他の課題があげられる。

表 5-4 クレジットに係る中長期的課題

	短中期(～2035)	中長期(～2050)
コスト負担・経済影響評価	SAF、クレジット、新型機材等の調達に関するリスクを低減し、購買力を高める仕組みづくり(共同調達等) 利用者(需要家・搭乗者)を含めた社会でのコスト負担の検討 コスト、経済影響を考慮したシナリオ評価	—
人的資源	各業界の人材育成(例としてクレジット創出サイドではプロジェクト開発人財、購入サイドではクレジット調達専門家等)	各業界における更なる人財の充実
その他	各方面からの支援の下、脱炭素に係るコスト及びその影響等、海外も含めたクレジット市場動向の把握精緻化	カーボンニュートラルの達成を示すための更なる情報開示の推進

以上

航空分野における CO2 削減取組みに関する調査（長期目標調査）報告書

令和5年3月発行

編集発行人 宿利正史

発行者 一般財団法人 運輸総合研究所

東京都港区虎ノ門3丁目18番19号 UD 神谷町ビル

電話 03-5470-8405 〒105-0001

3065-202208-0519