

日本の航空業界の持続可能な航空燃料（SAF）への挑戦



全日本空輸株式会社 経営戦略室 企画部 エグゼクティブ・マネージャー 杉森 弘明

はじめに

航空業界における温暖化対策は、どのような歴史を辿ってきたのだろうか。1992年に国連気候変動枠組条約（UNFCCC）が採択され、その後1997年のCOP3で京都議定書が採択された。この時、国際航空と国際海運はCOPの場には馴染まない、なぜなら国際間の移動があって何れかの国に排出量を紐づけることは難しいということで、国際航空はICAO（国際民間航空機関）で、国際海運はIMO（国際海事機関）で別途協議することになった。そして、2015年のCOP21で採択されたパリ協定では、NDC（国が決定する貢献）、つまり国別温室効果ガス排出削減目標が設定された。NDCは、国単位のCO2削減目標を定めるものとなり、この中に航空と海運の国内運航分が含まれることになった。

世界における航空の温暖化対策

国連組織の一つであるICAOの総会は3年おきにカナダのモントリオールで開催される。2010年の第37回総会で、毎年2%ずつ燃料効率を高めていく、そして2020年以降はCO2総排出量を増加させない（CNG2020）ことが採択された。2016年の第39回総会では、「国際航空のためのカーボンオフセット及び削減スキーム」（CORSIA）が採択された。2019～2020年の国際航空からのCO2総排出量の平均値をベースラインに設定して、2021年以降このベースラインを上回ることをしないようにする、可能ならさらに引き下げていくということが決められた。CORSIAでは、2021～2035年の枠組が決められたが、2019年の第40回総会では、2022年の第41回総会までに2035年以降の長期の野心的な目標（LTAG）を設定していくことが決議された。この件に関しては、日本の航空局が議長国として、この会議体をリードしてきているのである。

一方で、民間の航空会社で組織されている国際航空運送協会（IATA）でも同じように目標を設定している。ICAOがCNG2020を設定した2010年に、IATAは、2050年にCO2総排出量を2005年比で50%削減するという目標を設定している。また、2021年には、更に2050年にはネットゼロを目指すといった目標を採択している。つまり、国際航空においては、民間航空会社は基本的に2050年ネットゼロを目標としつつ、CORSIAの枠

組みで進んでいることになる。

CORSIA とは何か

CORSIAは、2021年から2035年までの期間を対象に3年ずつの期間でフェーズに区切って目標を立てている。最初の3年間はパイロットフェーズ、次の3年間はフェーズ1、残りの9年間はフェーズ2となっている。パイロットフェーズは、まさに立ち上げの段階であり、先進国と自発的な参加国を募ってスタートを切っている。2021年88カ国、2022年107カ国、そして2023年115カ国が参画している。フェーズ2の2027年以降については、全加盟国が基本的に参加を義務付けられることになる。

ただし、本当の開発途上国であったり、島国であったりといった国だけは免除されることになっている。その中で、今現在参加していないが排出量の大きな国が、実は4カ国ある。それらは、中国、ロシア、インド、ブラジルだ。この4カ国で世界全体の国際航空におけるCO2排出量の約20%を占めている。かなり大きなシェアだが、彼等の言い分は、自国はあくまで開発途上国であり、そもそも現在の温暖化の原因は先進国にあり、先進国が責任を持って対処すべきだと主張して、自発的な参加国には入っていないのである。

残念ながら今般のコロナ禍の影響で、航空業界の業績は非常に悪い状況で、2020年の業績は急降下した。その結果、2019年と2020年の平均値を取ると、CO2総排出量のベースラインは当初予想の約3～4割低い水準となってしまうため、これを目標とするのは傷んでいる航空業界にとってはかなりハードルが高くなってしまふことから、2021年から2023年のパイロットフェーズ期間については2019年単年の値をベースラインとし、2022年開催の次回第41回総会で改めて審議することになった。

CORSIA の目標達成手段

航空業界としては4つの手段があると考えている。1つ目は技術革新だ。新型機材の導入で、例えばB787機を導入すると従来のB767やB777と比べて、燃費が20～25%改善されると言われている。2つ目は運航方式の改善だ。これはまさに日々の乗員や管制官の努力のたまものだ。例えば航空機着陸直後のエンジンの逆噴射をやめるとか、着陸後に滑走路から駐機場に移動する際、双発機の場合は、片方のエンジンを停止して走行するとか、最適な高度や最短距離の航路を飛ぶなど、日々こういった努力をやっている。しかし、こ

筆者紹介

大学を卒業後、証券会社勤務を経て1998年4月に全日本空輸株式会社に入社。その後、貨物、アライアンス、財務、危機管理、空港オペレーション、不動産などの業務を経て2019年4月から現職。それまでの経験を活かし、ANAグループのGHG排出量削減に取り組む。中でもSAFを日本市場に導入することに注力。そのために、米国のLanzaTech社と協業してSAFの製造所から航空機に搭載するまでの一連のサプライチェーン構築や、フィンランドのNeste社・伊藤忠商事株式会社と取り組んで行ったヨーロッパから日本へのSAFの輸入を実施。前者では、SAFを購入・使用するだけに留まらず、SAFを製造所から輸送し、ブレンディングや品質検査なども主体的に行う。後者では、国際的な第三者認証機関であるISCCによるライフサイクル評価を取得、日本までの輸送を含めたCO2削減効果を証明したうえで本邦航空会社として初めての日本発の定期便に使用。どちらも世界の航空会社として初の試みとなる。また、ANAの法人企業向けにSAF Flight Initiativeプログラムを立ち上げる原動力となった。

これらの工夫でどれだけ燃費が改善できるのかというと、IATAやICAOの統計では、1.37%つまり2%弱程度しか燃費の改善はできないのではないかとされている。すなわち、残る2つの手段が大きいということになる。3番目は代替航空燃料、SAFの活用だ。SAFは、Sustainable Aviation Fuelの略で、持続可能な航空燃料をさす。以前はバイオジェット燃料と呼ばれていたが、バイオマス由来だけならそういう呼称で良いが、今は色々な種類の原料が想定されており、工場の排ガス等も活用できるようになってきた。大気中のCO₂を吸収し、これを燃料に変えていくことも考えられている。それぞれの製造方法、原料を総称して、SAFと呼んでいる。しかし、残念なことにSAFは未だ世の中に十分供給されていない。2019年の実績では、世界で消費された航空機燃料の0.01%未満しか製造されていない。あれだけ航空需要の減少した2020年でも0.03%だった。それで、目標達成に不足する分はどうするのかといえば、4番目の市場メカニズムの活用というところで、要はクレジットを購入することで達成するしか無いのだろうということになる。

我が国における温室効果ガス排出量の現況

国土交通省の統計では2019年の日本全体のCO₂総排出量が約11億トンであった。世界全体のCO₂総排出量が約335億トンとされているので、日本は世界の約3%のCO₂を排出していることになる。その中で航空が占める割合は0.9%である。これは国内で使用された燃料に起因するCO₂排出量だ。国際航空については、海外発の航空機もCO₂を排出しているが、この中に含まれていない。仮に含めた場合は、現状の倍のシェア（1.8%前後）になるというふうと考えられる。

日本における訪日外国人旅行者数・出国日本人数

さて、日本における訪日外国人旅行者数と、出国日本人数の推移を考えてみよう。日本政府観光局（JNTO）から出された資料によると、出国日本人数は、2000年代当初からほぼ横ばいで1,700万人程度で推移してきたが、2019年に2,000万人を突破した。一方、訪日外国人旅行者数は、2013年に1,000万人、2016年2,000万人、2018年3,000万人を突破してきた。そのうち訪日クルーズ旅客数は、コロナ禍前のピークでも約250万人であったことから、人の流れにおける航空の寄与度が如何に高いかがわかっていただけなのではないか。菅政権において示された、訪日外国人旅行者数2030年に6,000万人の目標がそのまま生きていくとするならば、2020~2022年とコロナの影響で急減したものの、今後かなりの勢いで増えていくことが期待されることになる。

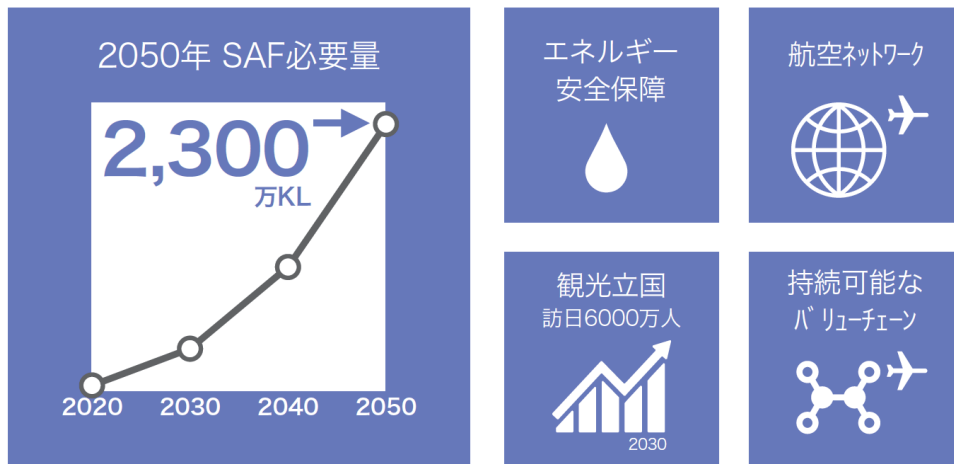
SAF とは何か

SAFとは、原料の生産、収穫から燃料として燃焼されるまでのライフサイクルで、CO₂

の総排出量が少ない持続可能なジェット燃料のことである。以前はバイオジェット燃料と呼ばれていたが、様々な原料をもとに製造されるようになったことからSAFへ呼称を変更された。国際規格で認められた製造方法で生産されたSAFは、既存の航空機、エンジン、物流インフラ（タンカー船、ローリー、空港タンク、給油車両等）を改造することなく従来型の化石由来ジェット燃料と同様に使用が可能なことから別名 Drop-in Fuel と言われている代替燃料である。そして、化石燃料と NEAT と呼ばれる SAF の原液の部分を必ず混ぜて使わなければならないというのが、現状のルールである。その化石燃料として今どういったものがあるかと言うと、世界標準規格は3つあることになる。アメリカのASTM、イギリスの Def-Stan、そしてロシアの GOST だ。いずれかの国際標準規格に適合していないと、航空機に搭載することはできない。NEATの方は、世界で唯一認められているのはアメリカの規格だけで、ASTMが出しているものになる。ASTMは現在、7通りのSAFの製造方法を認めている。そして、今は化石燃料と NEAT を半々の比率で混ぜなければならないというルールがあり、今はどちらもアメリカの ASTM の規格を取り、その上で適格燃料としての規格を取らなければならないという状況となっている。

SAF の必要量

これらを踏まえて、日本において航空会社が必要とするSAFの量はどのようになるのだろうか。2019年の実績で、世界におけるSAFの使用量はジェット燃料使用量全体の0.01%（4万kl）であった。同年に日本で使用されたジェット燃料（日本国内の空港で給油された燃料）は、海外で搭載された燃料は含まず1,300万klであった。そのうち、SAFは残念ながらゼロであった。では2030年にどれだけ必要なのだろうか。先ほどの旅行者数を念頭に入れ、今後の生産体制を考えると、2030年にはジェット燃料だけで1,700万klが日本の空港で必要になると考えている。2019年比で400万klの増加となる。ところで、SAFを使用したからといって、CO₂を100%削減できる訳ではない。平均すると、良いものでもCO₂削減率は80%ぐらいと言われている。この80%で割り戻すと、2030年に必要となるSAFの量は約500万klということになる。すなわち、2030年時点で2019年からの増加分だけを置き換えるとしても、SAFが500万kl必要になるということになる。経産省から出されている「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」によると、2030年にはSAFの価格を100円/l台まで下げたいとしている。100円台といっても100円から199円までとかなりの幅がある。仮に100円として計算しても、5,000億円の市場規模になるのではないかと推定している。そのまま2050年まで、トレンド線を延長していくと、2050年にはジェット燃料の必要量は2,800万klで、その頃にはSAFのCO₂削減率も改善され90%ぐらいになっていると考えられている。ただし、世界中でSAFの供給量は（2050年時点でも）全世界の需要の65%程度までしか無く依然として不足していると言われている。



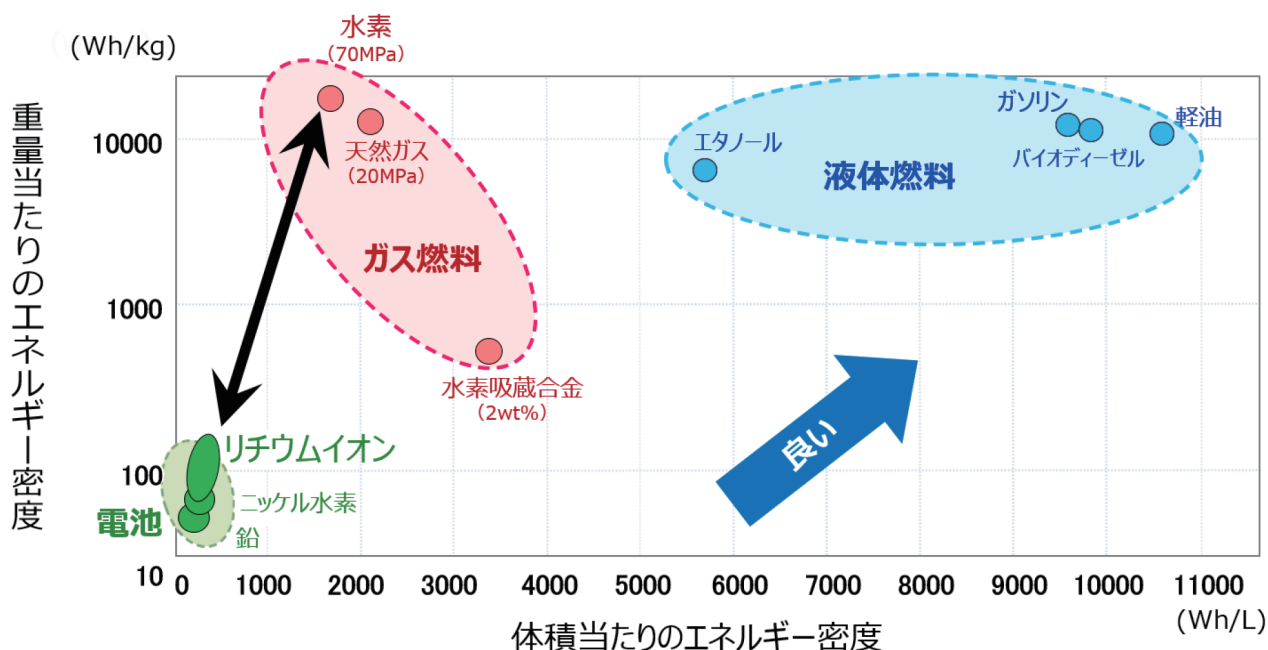
※2021年10月8日付 ANAプレスリリースより (<https://www.ana.co.jp/group/pr/>)

るので、日本における2050年の SAF 供給量は約2,300万 kl かと見ているところだ。それでも、おおよその市場規模は2兆円程度になるということになる。

SAF (液体燃料) へのこだわり

下図の右上に液体燃料が各種プロットされている。左下の緑の部分にリチウムイオンやバッテリーが位置している。その上に水素を含むガス燃料がある。現在のジェット燃料であるケロシンは、液体燃料だが、左下のリチウムイオン電池と比べると、重量当たり約60倍のエネルギー密度となる。このように高いエネルギー密度を持った液体燃料に代わるものが見当たらないというのが実態だ。例えばリチウムイオン電池で B767の飛行機を飛ば

エネルギー密度の比較



https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyogosei_nenryo.html

そうと考えた場合、少なくともサッカーコート1面分の電池が離陸するだけで必要となってくる。また、水素を活用しようとする、マイナス253℃に冷却して液体水素にしなければならない。そのためには非常に強固なタンクを造らなければならない、それに連結するパイプも必要ということになる。航空機は、運航の都度給油が必要になる。また、天候やその他緊急事態に備えてダイバート空港の設定が求められている。航空機のみならず、インフラの整備も必要となり、新たなコストがかかることになる。すなわち、なかなか液体燃料からは離れられないというところである。

SAFの製造方法と原料

残念ながら、SAFを商業規模で供給できる事業者はアジアにはない。世界でも数えるほどの事業者しか存在しない。その供給者も、欧米に偏在している。SAFは、究極的には地産地消が理想だが、まずは業界として必要量を確保することが先決である。

現在、SAFはASTMにより7通りの製造方法が認められている。既に商用化されているHEFA、これから有望視されているFT合成とATJなどがそれである。HEFAは廃食油や獣脂等を原料に、FT合成は木質チップや廃プラ等を原料に、そして、ATJは植物残渣等から抽出したエタノールを原料にしてSAFを製造する。ただし、課題も多い。どの原料も無限にあるわけではない、ということである。そこで着目されているのがPTLである。それは、大気中のCO₂を原料に炭素を取り出してSAFを製造する方法である。この方法であれば原料は無限にあると考えられるからである。しかし、課題も残されている。現時点では、製造過程で大量の再生可能電力を必要とすることである。

第41回 ICAO 総会

2022年9月～10月にICAO第41回総会が開催された。以下の2点が決められた。

(1) LTAG:

2050年の国際航空からのCO₂総排出量をネットゼロとすること

(2) CORSIAのベースライン:

① 2024年以降を2019年の85%とすること

② 個社の排出量実績を考慮に入れるのは2033～2035年の3年間のみとすること

2019年の第40回総会を受けて、日本の航空局が中心となって長期の野心的な目標(LTAG)設定に向けた議論が進められた。CORSIA目標達成手段の技術革新と運航方式の改善、そして代替航空燃料SAFについて、技術的な評価と分析が行われた。最も野心的なシナリオでは、無対策の場合のシナリオと比べて、2050年には最大で87%のCO₂が削減可能とされている。技術革新と運航方式の改善の累計で32%、SAFで55%となっている。それでも国際航空セクター内でCO₂を100%削減することは困難としている。すなわ

CORSIAの仕組み

2016年のICAO総会で、2021年以降GHG排出量を国際航空においては増加させないことを決定

(赤字は、2022年のICAO第41回総会決議事項)

| Phase | Pilot Phase | Phase 1 | Phase 2 | | |
|---|---|--------------------------|--|--|-------------|
| 年 | 2021 - 2023 | 2024 - 2026 | 2027 - 2029 | 2030 - 2032 | 2033 - 2035 |
| 参加国 | 自発的参加 2021年 88カ国 2022年 107カ国 2023年 118カ国 | 後発、小島しょ、内陸開発途上国等を除いた全加盟国 | | | |
| 抑制 (オフセット)する CO ₂ 量 | = (個社排出量) x (全体の排出量増加率*) | | = (%Sectoral) x (個社排出量) x (全体の排出量増加率*) + (%Individual) x (個社排出量) x (個社の排出量増加率*) | | |
| Sectoral(全体) と Individual (個社) | (Sectoral : 100%, Individual: 0%) | | Sec. 80%以下 100% Indiv. 20%以上 0% | Sec. 30%以下 85% Indiv. 70%以上 15% | |

(*) 各年のCO₂排出量の基準排出量(2019,20年の平均)からの増加分を各年の排出量で除算
Phase 1 (2024年)以降のCO₂排出量の基準排出量は2019年の85%となる

※ ICAO のウェブサイトの内容をもとに ANA にて作成

ち、長期的にも市場メカニズムを使った対策が必要だということになる。

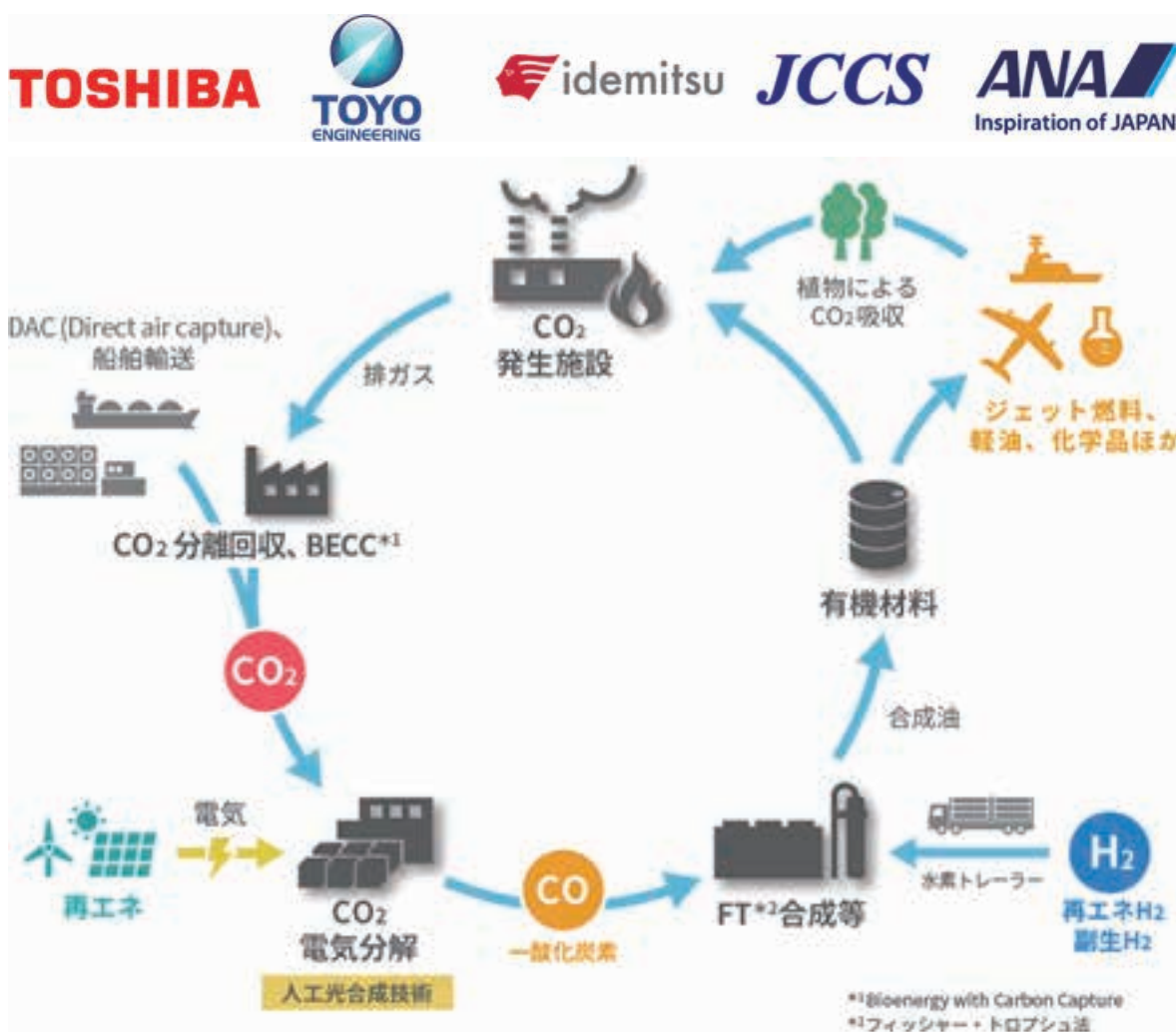
一方で、国連組織の一つであるICAOでは、全193の締約国の合意に向けた交渉が難航した。中でも、長期的な目標LTAGは、その性質として個々の締約国に義務を課すものではなく、国際航空セクター全体として共同で達成すべき目標だということの確認と、それを達成するためのコスト負担などに関し、特に開発途上国における実施手段がどうあるべきか、ということについて難航したのである。その結果、2022年の第41回総会では、国際航空セクターの長期的な目標として、「2050年ネットゼロ」が合意された。また、CO₂削減に向けた締約国支援策の具体化、特にSAFの世界的な展開に向けた支援と、それに関連した開発途上国への資金面での支援の仕組みなどが合意事項に盛り込まれたのである。

この大幅な見直しが行われた背景には、CORSIAを世界唯一の国際航空の脱炭素の仕組みとして存続させるため、そして、先進国がコロナ禍を理由に脱炭素化に向けた努力を怠っていると見られないようにするための力が働いたからだと考えている。ICAOに加盟する193カ国の政府の立場は、常に分かれている。先進国と開発途上国との間の問題だけでは済まされない。例えば、環境先進国と言われる欧州が掲げるEU-ETSがそれにあたる。欧州域外の航空会社が、欧州空港発着の国際航空便を運航する場合に、EUが一方的にEU-ETSを適用するというものである(排出上限値の設定、排出枠の割当て方法、排出枠購入による収入の用途などもEUが一方的に決定)。また、開発途上国と言われている国の中には、先進国よりもCO₂排出削減に積極的な国があるのも事実なのである。その結果、CORSIAによる航空会社のオフセット義務が前倒しになることも否めないと考えている。

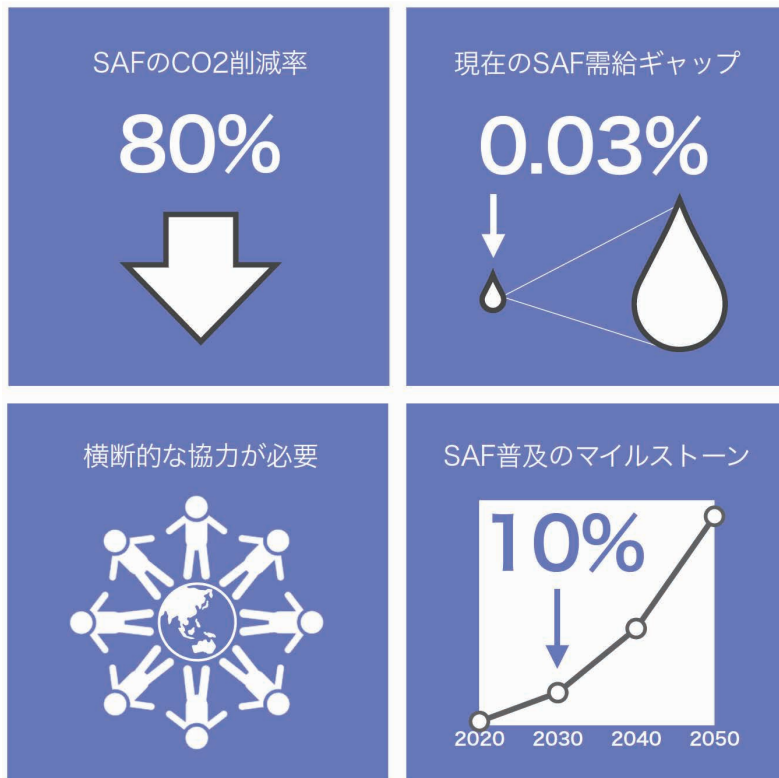
ANA の取り組み

ANA では、2012年に世界初の SAF による太平洋横断フライトを実施している。そして、2019年には米国の LanzaTech と協業し、SAF の製造所からの輸送やブランディング、品質検査などを主体となって行い、新造機デリバリーフライトに給油するまでの一連のサプライチェーンを構築した。2020年にはフィンランドのNeste、伊藤忠商事と共同で輸入、品質管理、空港への搬入に至るまでのサプライチェーンを構築した。航空会社が自らサプライチェーン構築に取り組むのは世界初のことである。2021年には、NEDO 事業における技術開発の成果として、株式会社IHI が製造した SAF を国内定期便に搭載している。

2021年からは、環境省の「二酸化炭素の資源化を通じた炭素循環モデル構築促進事業」に参加している。東芝エネルギーシステム株式会社、東洋エンジニアリング株式会社、株式会社東芝、出光興産株式会社、日本 CCS 調査株式会社と連携して、株式会社東芝研究開発センターが開発した二酸化炭素を一酸化炭素に転換するCO₂電解技術を用い、COと水素から液体燃料を合成する FT 合成技術と組み合わせて SAF を製造する P2C による炭素循環モデルの実証事業に取り組んでいる。






※2021年8月24日付 ANA プレスリリースより (<https://www.ana.co.jp/group/pr/>)



※2021年10月8日付 ANA プレスリリースより (<https://www.ana.co.jp/group/pr/>)

同じく2021年には、JALと共同で「2050カーボンニュートラルに向けたSAFに関するレポート」を策定している。その中で、SAFはそのライフサイクルにおいてCO2排出量を従来の燃料より約80%削減することができるため、航空輸送によるCO2排出量の実質ゼロを実現するためには不可欠な代替燃料であり、既存インフラをそのまま活用できる点においても評価できるとしている。また、2050年の環境目標を実現させるためには、2030

| GHGプロトコルに基づくCO2削減プログラム | | |
|---|--|---|
|  SAF Flight Initiative For the Next Generation | | |
| |  コーポレート・プログラム |  カargo・プログラム |
| 参加方法 | 法人契約を締結 | |
| 参加証明 認証 | 第三者機関の認証を受けたCO2削減証書を発行 | |
| 対象・用途 | 従業員の出張等によるCO2排出を実質的に削減(Scope3のカテゴリー6) | 事業のバリューチェーンにおける輸送・配送(上流・下流)によるCO2排出を実質的に削減(Scope3のカテゴリー4、9) |
| その他 ご活用方法 | SAF Flight Initiativeのパートナーとして弊社媒体での社名、コーポレートシンボル等の提供 | |

※2021年10月14日付 ANA プレスリリースより (<https://www.ana.co.jp/group/pr/>)

年には最低でも使用する燃料の10%を SAF へ移行するマイルストーンが必要だと訴えている。

また、2021年には「SAF Flight Initiative」プログラムを立ち上げている。SAFの活用を通じて航空輸送における CO2排出量削減に取り組み、社員の出張や貨物輸送等ご利用いただくすべてのお客様の CO2削減に貢献することを目的としたプログラムになっており、日本の航空会社としては初の取り組みである。

2022年には、国産 SAF の商用化および普及・拡大に取り組む有志団体「Act For Sky」を設立している。これにより、SAFの認知度向上を図り、航空セクターの脱炭素化への貢献を目指している。

さいごに

今、Book & Claim システムの議論が沸き上がっている。はたして SAF を帳簿上だけで管理することができるのか、ということである。SAF の供給量が不足する短・中期的には、この仕組みは必要だと考えている。まずは製造可能なところでSAFを増量し、必要なロジスティクスを構築することだ。その上で、将来的にSAFの絶対量が不足することが予想されることから生産拠点を広げていく必要がある。もちろんその際は、SAFのトレーサビリティが担保され、ダブルカウンティングが回避されることが条件となるが。

略語一覧

SAF (Sustainable Aviation Fuel) 持続可能な航空燃料

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) 国連気候変動枠組条約

COP (Conference of the Parties) 締約国会議

ICAO (International Civil Aviation Organization) 国際民間航空機関

IMO (International Maritime Organization) 国際海事機関

NDC (Nationally Determined Contributions) 温室効果ガスの国別排出削減目標

CNG2020 (Carbon Neutral Growth 2020) 2020年以降のCO2排出を増加させない中期目標

CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) 国際航空のためのカーボンオフセット及び削減スキーム

LTAG (Long term Global Aspirational Goal) 国際航空のための長期的な目標

JNTO (Japan National Tourism Organization) 日本政府観光局

EU-ETS (EU Emissions Trading System) EU 域内排出量取引制度

ASTM (American Society for Testing Materials) アメリカ材料試験協会

HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) 脂肪酸エステルの水素化により燃料を製造する技術

FT 合成 (Fischer Tropsch 合成) 触媒反応による一酸化炭素及び水素の合成ガスからの炭化水素合成法

ATJ (Alcohol-to-Jet) アルコール・エタノールを原料に触媒反応を通じて燃料を製造する技術

PTL (Power-to Liquid) 電気分解して得られる水素と二酸化炭素から燃料を製造する技術

P2C (Power to Chemicals) 再エネや再エネ水素等を用いてCO₂を環境価値の高い有価物に再利用する技術

* 本稿の内容は執筆者の個人的見解であり、中東協力センターとしての見解でないことをお断りします。