



宇宙航空研究開発機構
次世代航空イノベーションハブ

航空機電動化(ECLAIR)コンソーシアム



航空機電動化 将来ビジョン ver.1

航空機電動化 (ECLAIR) コンソーシアム

2018年12月21日

- ①社会的背景：今後20年間で航空輸送需要は約2.4倍に増加。
- ②航空機CO₂排出量削減目標：「2050年に2005年の半減」達成のため、バイオ燃料導入に加え推進系電動化等の技術革新が必要不可欠。
- ③国際技術動向：小型機であれば推進系の電動化が可能なレベルに到達。

- ④コンソーシアムの目的：航空工学分野のみならず、多分野にわたる国内外連携により、CO₂排出等の環境負荷を抜本的に低減する革新的な航空機電動化技術を創出し、航空産業の持続的発展に寄与。
- ⑤将来ビジョン策定の意義：コンソーシアム参加者間で目指す方向性を共有し、コミュニケーションや協業を円滑にすることで、航空機電動化の実現に向けた研究開発を促進するとともに、参加者の裾野を拡大。(今後ビジョンを詳細化し、動向の変化等に応じ更新していく予定)

将来ビジョンの概要 目指すべき社会実装と世界の航空産業への貢献



2020年代: **小出力用途**(小型電動航空機とMEA)を対象に電動化技術の社会実装を開始

①小型機

①MEA

MEA(More Electric Aircraft)

2030年代: **旅客機**(細胴機以下)にまで電動化技術の適用範囲を拡大

②細胴機以下

2040年代:電動化技術を核として**航空機の燃費を大幅に削減**

③広胴機まで

2050年代: 電動化の**理想形**に到達。**CO₂削減への明確な寄与**

④理想形



2020

2030

2040

2050

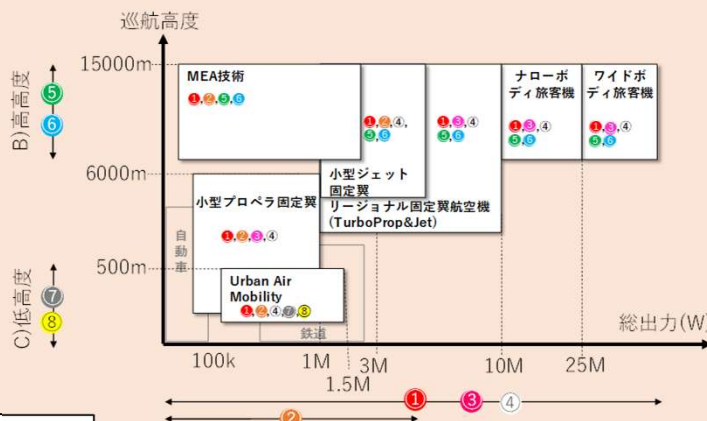
年代

重要技術課題



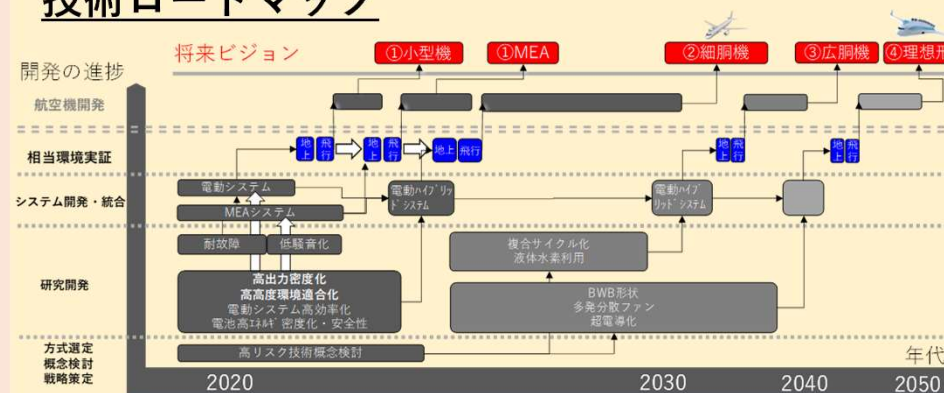
重要技術課題

- 旅客機用途には高高度飛行環境適合の技術課題解決が必須。高出力密度化と高高度環境適合の技術は航空分野特有であり優先度が高い。
- Urban Air Mobility(空飛ぶクルマ)実現には低高度運用の技術が重要。



重要技術課題と適用対象の関係

技術ロードマップ



- 社会実装に向けて適切なタイミングで技術の地上/飛行実証を確実に実施。
- 電動要素の高出力密度化等の共通技術は、旅客機用途だけでなく早期の適用対象としてMEAや小型電動航空機用途等にも展開できる。



航空機電動化 将来ビジョン【詳細版】 目次

1. はじめに

- 1.1 コンソーシアムの目的
- 1.2 将来ビジョン策定の意義
- 1.3 世界の航空動向
- 1.4 将来ビジョン策定における着眼点

2. 将来ビジョン

- 2.1 航空機のCO₂排出量削減に向けて
- 2.2 CO₂排出量削減目標に対する電動化の寄与
- 2.3 電動化技術の適用対象候補
- 2.4 電動旅客機の想定開発目標
- 2.5 小型電動航空機の想定開発目標
- 2.6 目指すべき社会実装と順序
- 2.7 航空機産業発展への貢献
- 2.8 将来ビジョン(まとめ)

3. 技術ロードマップ

- 3.1 電動化技術の位置づけ
- 3.2 システム方式
- 3.3 技術マップ
- 3.4 各技術の目標内訳
- 3.5 電動化技術適用に対する重要なリスク
- 3.6 重要技術課題の抽出
- 3.7 技術ロードマップ



宇宙航空研究開発機構
次世代航空イノベーションハブ

航空機電動化(ECLAIR)コンソーシアム



1. はじめに



1. 1 コンソーシアムの目的

1. 航空工学分野のみならず多分野との連携と協調により、CO₂排出等の環境負荷を抜本的に低減する革新的な航空機電動化技術を創出し、航空産業の持続的発展に寄与すること。
2. 従来の枠組みを超え、国内外連携によって我が国の航空産業の規模と裾野を飛躍的に拡大することを目指し、産業界のイニシアティブ醸成のための産学官連携推進の基盤を構築・提供すること。



1.2 将来ビジョン策定の意義

- 航空機の電動化という新しい技術トレンドに対し、国内企業の電動要素技術の競争力は高く、国外企業との新たな連携も含め、参入のチャンスは今後増加していくと予想される。
- 当コンソーシアムは、航空産業の持続的発展に寄与するため、電動化の実現に向けた研究開発等の活動を促進する。
- 将来ビジョンは、参加者間で**目指す方向性を共有**し、コミュニケーションや協業を円滑にすることで、航空機電動化の実現に向けた研究開発を促進するとともに、参加者の**裾野を拡大**する役割を担う。
- 今後もコンソーシアムでは、国内外の航空機業界、電機業界、自動車業界等における技術革新動向の把握を行うとともに、積極的な意見交換を実施することで、本ビジョンのより一層の拡充・詳細化を行う。



1.3 世界の航空動向



輸送需要の増加

今後20年間で **2.4倍**



CO₂ 排出量削減目標

2050年に2005年比で **半減**



電動化の進歩

(小型機であれば推進系の電動化が可能なレベルに到達)

推進系出力規模(kW)は過去20年間で **20倍**



1.4 将来ビジョン策定における着眼点



CO₂ 排出量削減目標に対する **電動化の寄与**



電動化技術の **適用対象と時期**



重要な **技術課題**



宇宙航空研究開発機構
次世代航空イノベーションハブ

航空機電動化(ECLAIR)コンソーシアム



2. 将来ビジョン



2. 1 航空機のCO₂排出量削減に向けて(1/2)

1. 電動化以外のCO₂排出削減策に対する仮定

- ① 従来技術（運航方法や地上インフラ含む）の改善：現在～2050年まで年約1.39%の燃費改善※1を仮定

※1 Source: ICAO Environmental Report 2016, P.17 Figure 1
(ICAOの燃費改善目標はトータルで年2%)

- ② バイオ燃料：最終的にジェット燃料を完全に置換し、ライフサイクルCO₂排出量はジェット燃料の37%※2を仮定

※2 Source: ICAO Environmental Report 2016, P.19, "The future development and use of alternative fuels will highly depend on the policies and incentives in place for such fuels. Based on the analysis assumptions, if enough alternative jet fuel were produced in 2050 to completely replace petroleum-derived jet fuel, **it would reduce net CO₂ emissions by 63 per cent.**"

- ③ 水素燃料：2040年から導入開始、使用率は最大50%、CO₂フリーを仮定

- ④ その他の次世代技術：従来技術でもなく電動化でもない低CO₂化技術や低CO₂燃料の導入も仮定



2. 1 航空機のCO₂排出量削減に向けて(2/2)

2. 新技術がCO₂排出削減に影響を与えるまでの時間遅れの仮定

- 旧機材が新機材に置き換わるまでに20年～30年要する。
- 新機材への置換率として、10年後50%、20年後80%と仮定。(120席-169席、2018年-2038年予測(JADC)を参照)

3. 電動化適用対象におけるCO₂排出量寄与率

- 適用対象のサイズが航空機全体のCO₂排出量に対してどの程度寄与するかによって、新機材導入のインパクトは異なる。

4. 1機の燃費削減率と航空機全体のCO₂削減率の関係※1

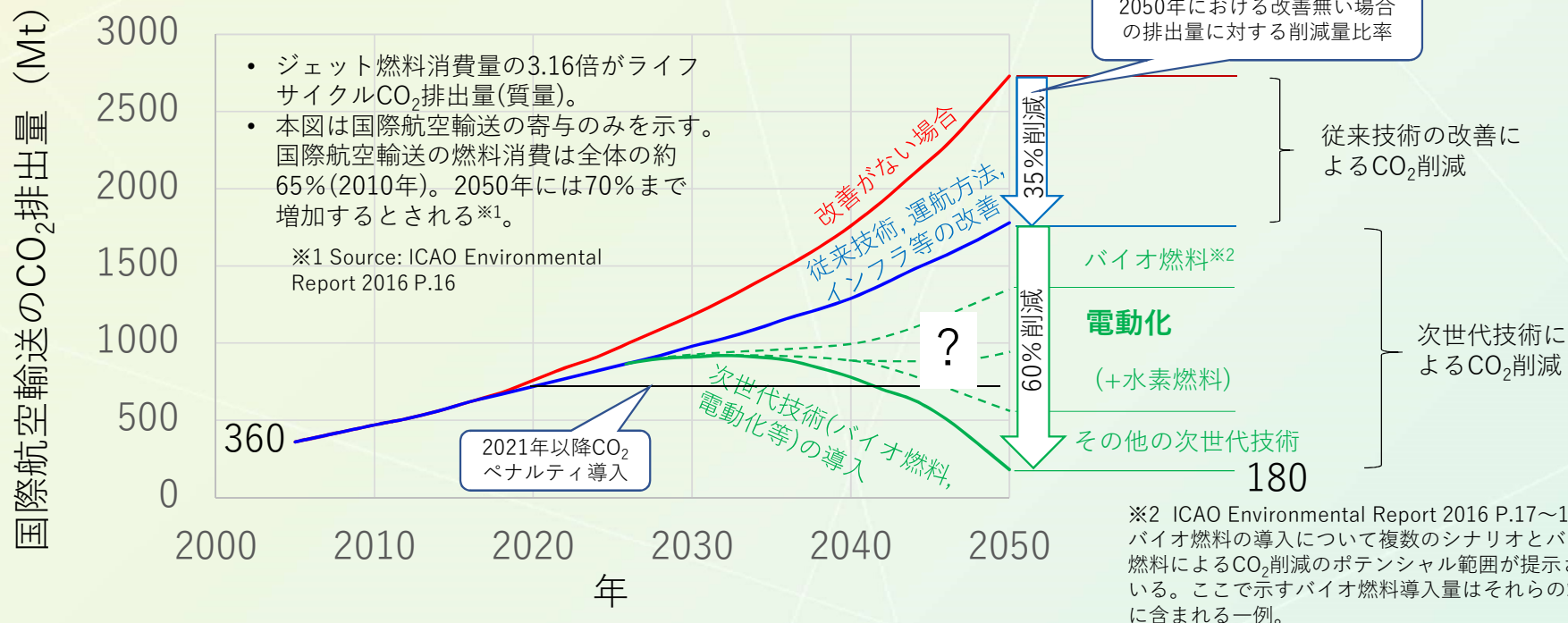
航空機全体のCO₂削減率 =

$$1 \text{ 機当りの燃費削減率} \times \text{適用サイズのCO}_2\text{排出量寄与率} \times \text{新機材への置換率}$$

※1：燃料消費量が直接削減される技術（ここでは電動化を想定）を導入した場合の関係についてのみ示す。バイオ燃料のように燃料消費量そのものを削減しなくてもCO₂排出量を削減できる場合の関係式については、ICAO Environmental Report 2016, P.19等が参考になる。

2. 2 CO₂排出量削減目標に対する電動化の寄与(1/3)

CO₂排出量半減目標に対する従来技術改善と次世代技術導入による寄与の比較



CO₂削減目標 (ATAG※3) に対する電動化の寄与の予想

(本図はICAO Environmental Report 2016のP.19 Figure5に次世代技術の寄与及びATAGの半減目標を追加)

※3 ATAG(Air Transport Action Group, <https://www.atag.org/>) 「2050年時点で2005年時点の半減」をCO₂排出量削減目標として設定



2. 2 CO₂排出量削減目標に対する電動化の寄与(2/3)

次世代技術の導入によるCO₂排出量半減に対する寄与の仮定

- **航空業界(ATAG)がICAO会議で宣言したCO₂削減目標「2050年時点で2005年時点の半減(改善無い場合に比べて約95%削減相当)」に対して、各方策の寄与の予想**
 1. 従来技術分野の改善、運航方法改善、地上インフラ改善：約35%減
 - ICAOの試算による (ICAO Environmental Report 2016, p19 Figure5)
 2. 次世代技術の導入：約60%減
 1. バイオ燃料の導入：
 - 2040年以降Jet燃料はすべてバイオ燃料に置換され、その供給量は2005年時点のJet燃料供給量に匹敵と本ビジョンで仮定
 2. 電動化と水素燃料の導入：
 - 2040年に2005年比で燃費を（電動化の寄与のみで）30%削減する機材が全サイズに導入され、2050年時点で新機材の割合が全体の約半数になり、これにより次世代技術が分担する約60%のうちの約1/4を分担すると本ビジョンで仮定
 - 2040年以降電動化システム等での利用のため水素燃料導入が開始され、2050年にはCO₂フリー水素が全航空燃料の約半分（エネルギー基準）を占め、これにより次世代技術が分担する約60%のうちの約1/4を分担すると本ビジョンで仮定
 3. その他の次世代技術の導入：特に仮定を設けず、半減目標を達成するように設定。

● 国際的なCO₂削減目標は極めて高く、あらゆる次世代技術を最大限導入する必要あり



2. 2 CO₂排出量削減目標に対する電動化の寄与(3/3)

燃料消費とCO₂排出量を削減することの経済的な価値

航空産業の経済的価値(2017)※1

※1 Source: "AVIATION BENEFITS BEYOND BORDERS", AIR TRANSPORT ACTION GROUP, 2018

- ① 航空産業がもたらす雇用 6550万人
- ② GDPへのインパクト 2.7兆米ドル/年 (全世界のGDP合計の3.6%)
- ③ 航空燃料費用 1490億米ドル/年
- ④ 航空燃料消費量 2億7500万トン/年 (全液体燃料消費量の約10%)
- ⑤ CO₂排出量(負の経済効果) 8億5900万トン/年 (全世界の人為的排出の約2%)

燃料消費を例えば10%削減することのコスト削減効果

全世界：149億米ドル/年 = 1兆6000億円/年
国内エアライン※2：約300億円/年

※2 Source: ANA Annual Report 2018,
<https://www.ana.co.jp/group/en/investors/irdata/annual/>
の年間燃料費用を参考に算出

国内航空会社のCO₂排出権の購入費用は、制度開始当初年間十数億円程度から、2035年には年間数百億円程度に段階的に増加する見込み(2021~26年：国ごとに自発的参加、2027~35年：義務的参加) ※3

排出クレジット価格：2020年時点で6~20米ドル/トン、2030年時点で10~33米ドル/トン

※3 Source: 国土交通省プレスリリース“国際航空分野の温室効果ガス排出削減制度への参加を決定”、2016年9月20日

- 航空産業の経済波及効果は大きく、CO₂等の要因で航空輸送が制限される事態は避けたい
- 燃料費とCO₂排出権購入費が二重の負担であり、燃費削減がもたらす経済的効果は高い



2.3 電動化技術の適用対象候補

電動化対象候補

- 小型機

- 小型プロペラ固定翼航空機
- 小型VTOL機 (Urban Air Mobility)
- 回転翼機
- 小型ジェット固定翼航空機

ジェネラルアビエーション

航空機CO₂排出総量への寄与は小さいが
新産業創出の可能性あり

- MEA (More Electric Aircraft: 旅客機装備品電動化)

- リージョナル機 (Turbo Prop & Jet)

- 旅客機

- ナローボディ旅客機 (細胴機)
- ワイドボディ旅客機 (広胴機)

旅客機

航空機のCO₂排出量総量に大きく寄与

- 小型機 (ジェネラルアビエーション)、装備品、旅客機すべてが電動化の対象であり国内航空機産業としての社会実装対象の候補。
- 小型機は航空機のCO₂排出総量への寄与が小さく、電動化による直接のCO₂削減効果はほとんどないものの、新しい輸送システムとして新産業創出の可能性があり、また旅客機からのモーダルシフトによるCO₂削減の可能性もある。
- 旅客機は装備品の電動化といえどもCO₂排出削減への有意な寄与があり、さらにエンジンの電動化は明確な寄与が期待できるため、社会実装の対象として有力。

2.3 電動化技術の適用対象候補

旅客機におけるCO₂排出量寄与率

- 適用対象のクラスが航空機全体のCO₂排出量に対してどの程度寄与するかによって、新機材導入のインパクトは異なる。2050年における各サイズの寄与率として、下図のような推定例がある。



- CO₂削減が目的ならば、旅客機を適用対象とすることが必須
- **細胴機**は技術リスクと効果のバランスが良く**有力な適用対象**
- しかし広胴機も対象にしなければ全体のCO₂排出を削減することは困難



2.3 電動化技術の適用対象候補

小型機(ジェネラルアビエーション)における市場規模

① 旅客機 (2014) ※1

• 機体売上高	1210億米ドル/年
• エンジン売上高	360億米ドル/年
• 装備品売上高	760億米ドル/年
• MRO ※2売上高	620億米ドル/年

※1 Source: "Supply Chain Research Insights: Global Aerospace Industry Size and Growth", Aviation Week, Dec 23, 2015
※2 MRO: maintenance, repair and operations
※3 Source: "Annual Report 2017", General Aviation Manufacturers Association
※4 Source: The future of Vertical Flight, AHS-Heli-Expo 2018
※5 Source: The Future of Vertical Mobility, Porsche Consulting 2018

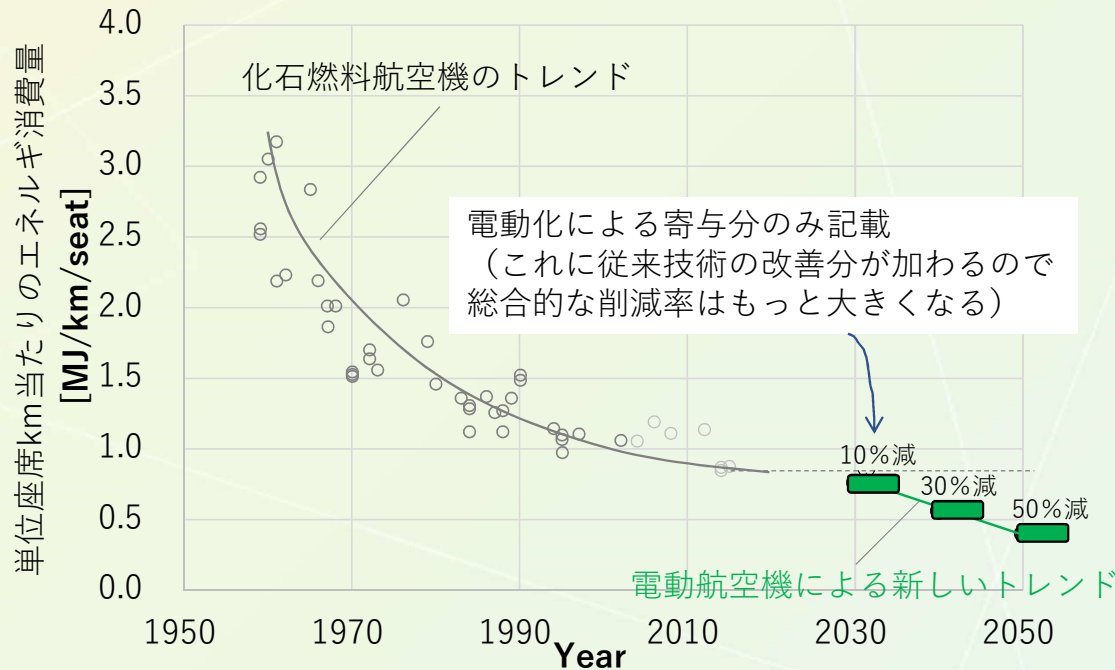
② ジェネラルアビエーション (2017) ※3

• ピストン機売上高	7億1800万米ドル/年
• ターボプロップ機売上高	14億9000万米ドル/年
• ジェット機売上高	179億9000万米ドル/年
• 回転翼機売上高※4	約20億米ドル/年(軍需15億 + 民需5億)
• 小型VTOL機	市場規模未知(約30億米ドル/年@2035の試算※5あり)

- ピストン機は市場規模比較的小さいが、技術リスク低く実用化に近い
- ジェット機は技術リスク高いが、市場規模大きい
- 小型VTOL機は現状未知だが、将来は大規模市場の可能性が期待される



2.4 電動旅客機の想定開発目標



旅客機における単位エネルギー消費量の推移と開発機の目標

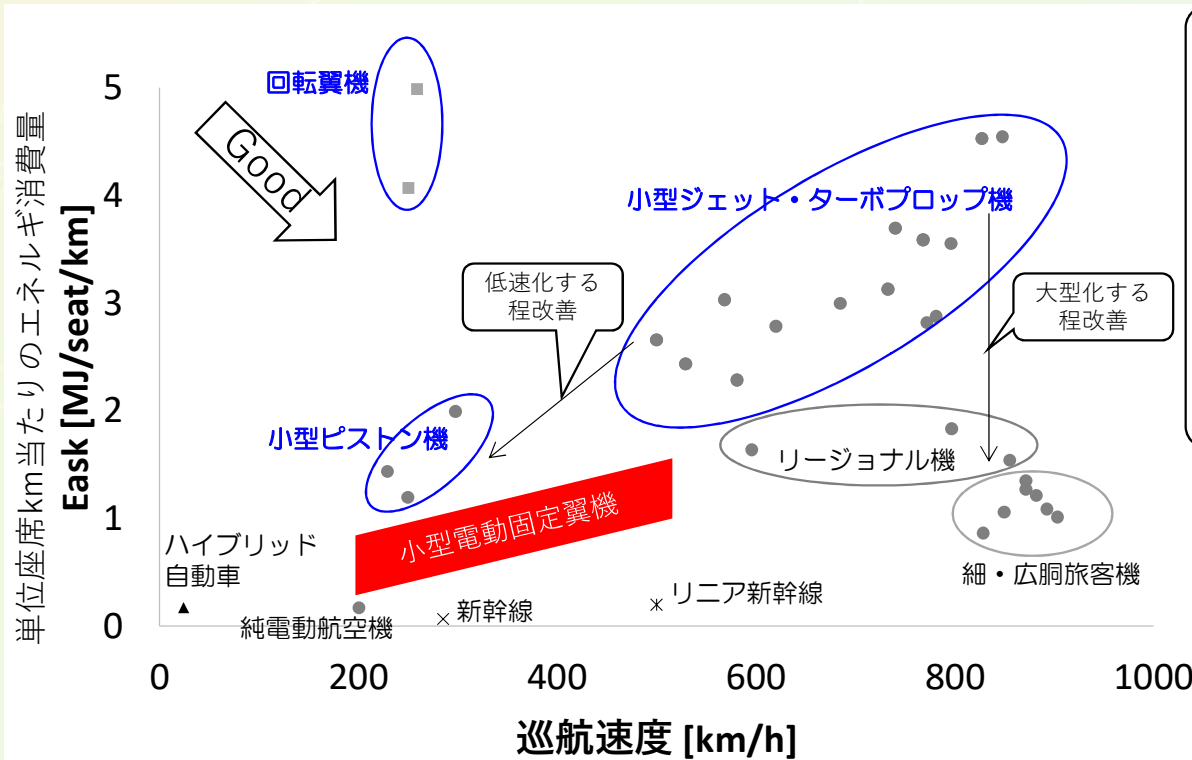
想定する開発機の燃費削減目標

EIS時期	サイズ	燃費削減率
2030年代	細胴機以下	10%
2040年代	全サイズ	30%
2050年代	全サイズ	50%

EIS : Entry Into Service

- 技術リスクが比較的低い細胴機以下のサイズから電動化を開始
- 2040年代には全サイズに適用し電動化による新しいエネルギートレンドへ移行

2.5 小型電動航空機の想定開発目標(1/3)



従来の小型機

長所：高い機動性（小型）
短所：低い燃費性能

↓

目指すべき電動化

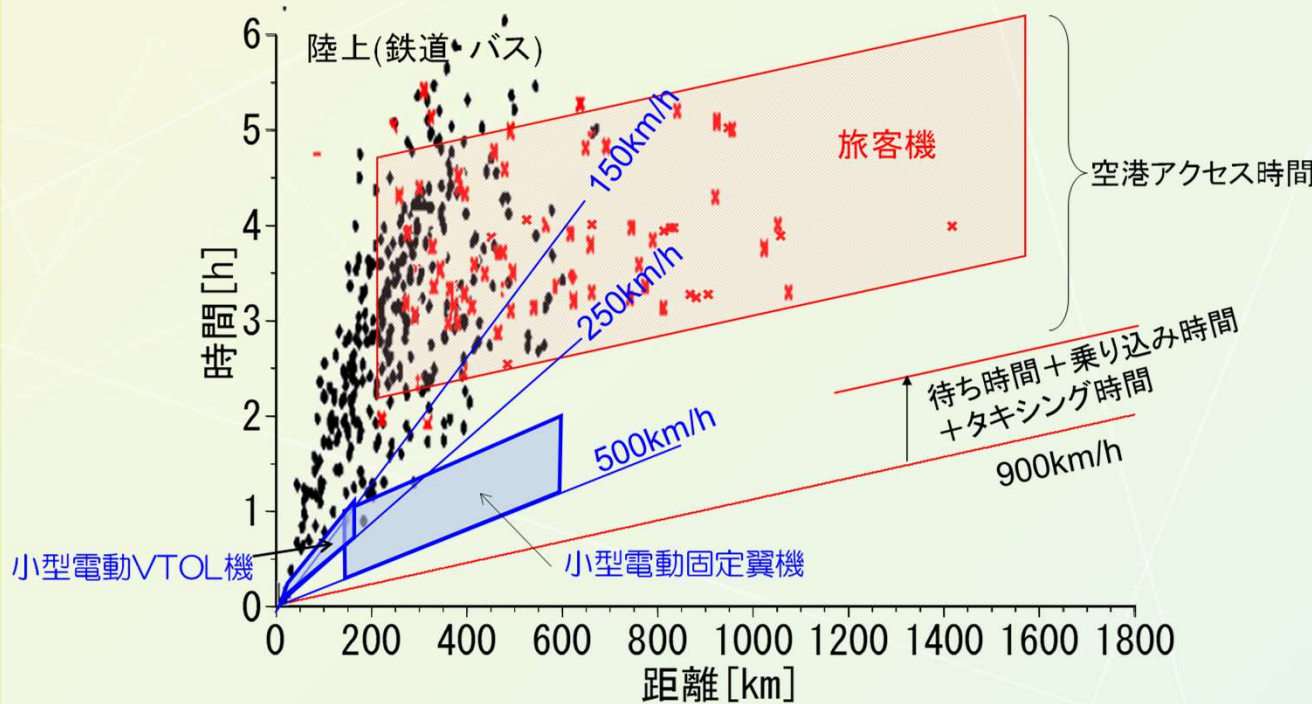
長所：高い機動性はそのままに
長所：旅客機並みの高い燃費性能を実現

注：図中の「純電動航空機」，「新幹線」，「リニア新幹線」については、発電所が消費するエネルギー（発電所でロスするエネルギー分）を計上していない。「リニア新幹線」は実績データがないので、新幹線の3倍を仮定。

● 小型電動航空機機へのモーダルシフトもCO₂削減に寄与する可能性有り



2.5 小型電動航空機の想定開発目標(2/3)



国内における主要都市間の移動時間と距離の関係

現状の移動の問題点

- 短中距離(600km以下)の移動であっても3時間以上かかる都市ペアは相当量ある。
- 旅客機は空港アクセス等のためDoorToDoorの移動時間は飛行速度の割にロスが多く、また定期便しかない。

小型機の価値

- オンデマンドの最速移動手段になるポテンシャルがある。
- VTOL機は巡航速度遅くても移動時間短縮に寄与。

- 小型機は **オンデマンドの最速移動手段** になる可能性有り



2.5 小型電動航空機の想定開発目標(3/3)

小型**電動固定翼機**のサイズとスピード目標 小型航空機耐空性基準 FAR Part-23 (New) による区分

リスク (最大客席数) 区分		スピード (設計巡航速度) 区分	
		Low: 463km/h 以下	High: 463km/h 超
Level 1	0-1席	EIS ~2020年	
Level 2	2-6席	EIS 2020年代前半	EIS 2020年代後半
Level 3	7-9席	EIS 2020年代後半	EIS 2030年代以降
Level 4	10-19席		

- 小型固定翼機は新しいFAR Part-23の区分に従い、リスクと速度が低いものから社会実装が進んでいく。
- 事業化を目指す国内企業の戦略に依り、今後の状況によって対象が選定されると考えられる。

小型**電動VTOL機**のカテゴリとサイズ目標 EASA SPECIAL CONDITION VTOL Aircraftによる区分

カテゴリ	最大客席数	Catastrophic故障状態の許容発生確率とFDAL※1	EIS
Basic	0-1席	$\leq 10^{-6}$, FDAL C	EIS 2020年代前半
	2-3席	$\leq 10^{-7}$, FDAL C	EIS 2020年代後半
	4-5席	$\leq 10^{-8}$, FDAL B	
Enhanced		$\leq 10^{-9}$, FDAL A	EIS 2030年代以降

- 小型VTOL機は耐空性基準がないものの、EASAにより特別条件が2019年にも設定される予定。
- 非商用用途でかつ人口密集地外で運用するBasicカテゴリから社会実装されると考えられる。

※1: FDAL(Functional Development Assurance Level)

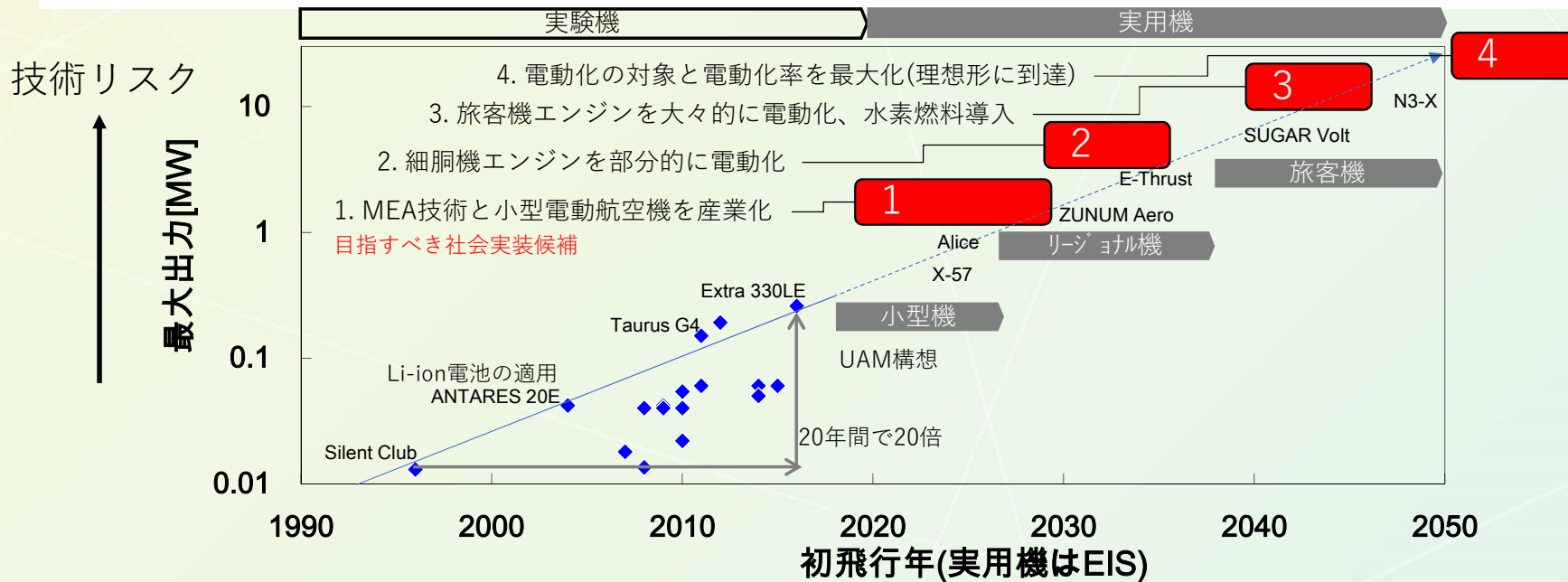
- 小型機も小サイズかつ低リスクの用途から実用化される



2.6 目指すべき社会実装と順序(1/2 全体)

世界の動向

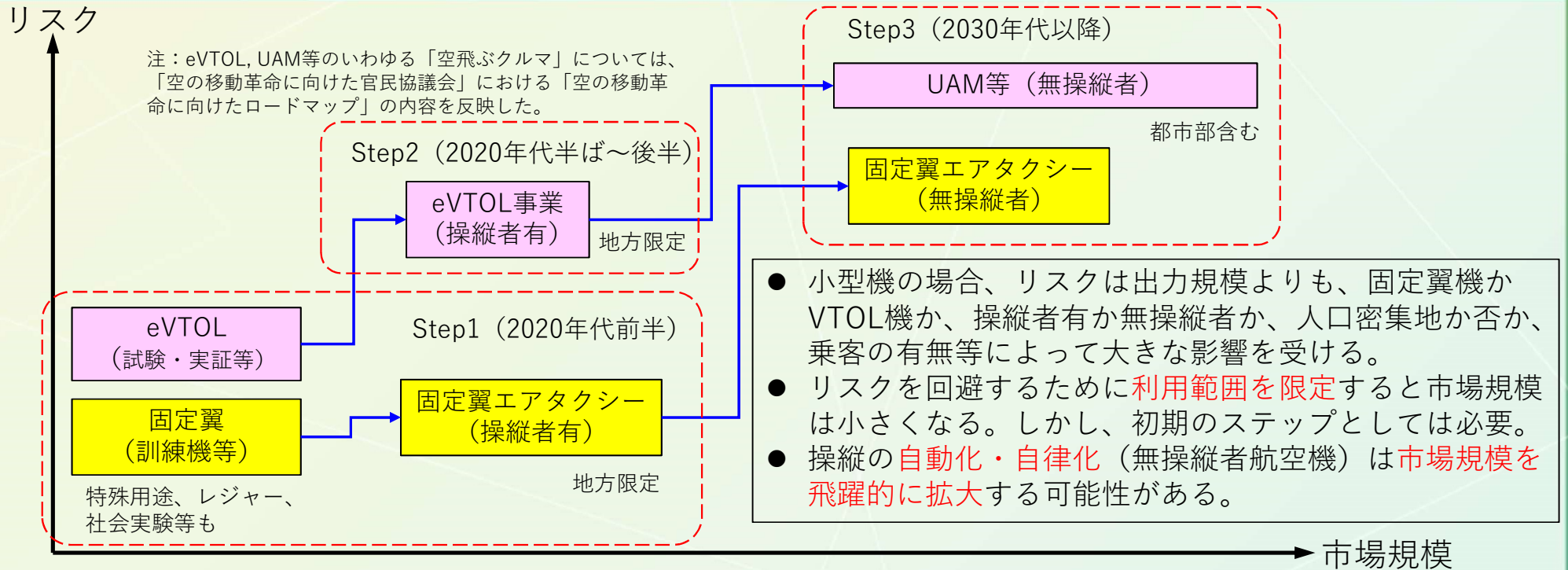
2020年代：MEA技術の拡大、バイオ燃料導入、小型電動航空機（Part23）へのモーダルシフト開始、UAM（Urban Air Mobility）の運用開始
2030年代：旅客機のエンジン電動ハイブリッド化開始、UAMの自動操縦化開始
2040年代以降：より大型の旅客機エンジンが電動化



世界の航空機電動化の動向と我が国が目指すべき社会実装

- 世界の動向に合わせ、電動化の技術リスクが低い順から社会実装

2.6 目指すべき社会実装と順序(2/2 小型電動航空機)

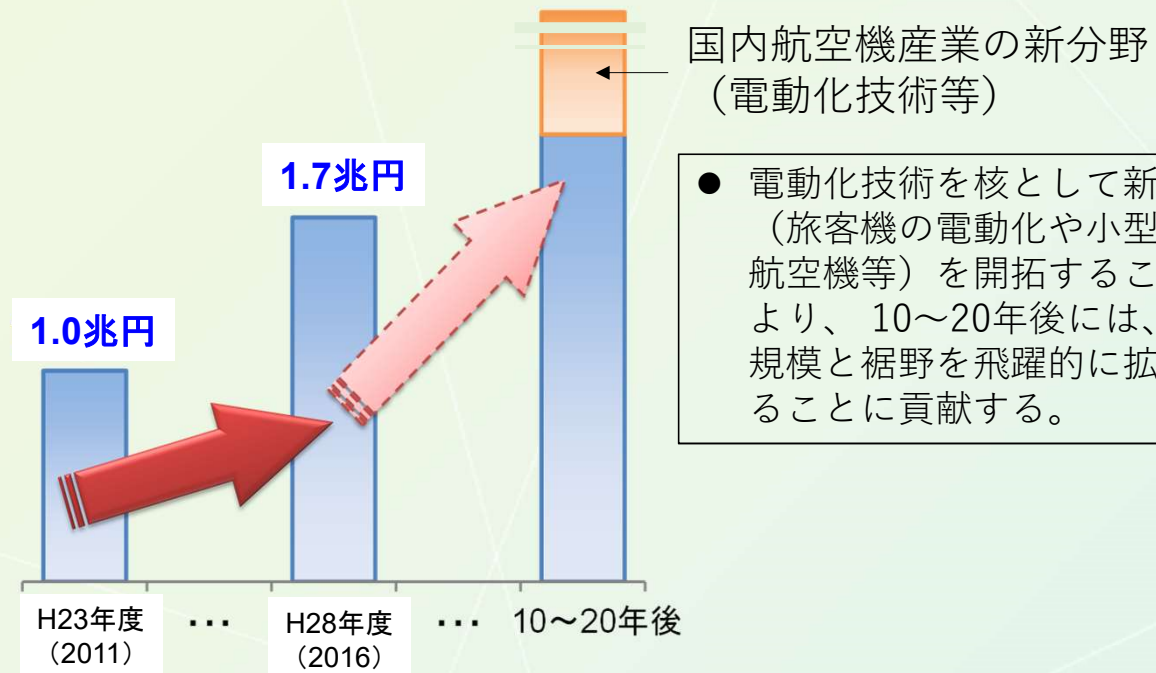


我が国が目指すべき小型電動航空機の社会実装順序

- 小型機は最終的に**操縦の自動化・自律化**に向かうことが**市場規模拡大**の鍵



2.7 航空機産業発展への貢献



国内航空機産業の新分野
(電動化技術等)

- 電動化技術を核として新分野（旅客機の電動化や小型電動航空機等）を開拓することにより、10~20年後には、産業規模と裾野を飛躍的に拡大することに貢献する。

我が国の航空機産業の生産高（防衛需要も含む）
(SJAC:日本の航空機工業(H29.6))

- 電動化は航空機産業の規模と裾野を拡大するための有力な鍵



2.8 将来ビジョン(まとめ)

1. CO₂削減への貢献

- 2030年代に燃料消費量を現状比10%削減、2040年代に30%削減する航空機電動化技術を導入することにより、2050年のCO₂排出量半減目標（2005年時点に比べて）を分担

2. 目指すべき社会実装と世界の航空産業への貢献

- ① 2020年代にMEA技術や小型電動航空機を対象に電動化技術の社会実装を開始
- ② 2030年代に旅客機にまで電動化技術の適用対象を拡大
- ③ 2040年代に電動化技術を核として航空機の燃費を大幅に削減するとともに、航空産業の価値を飛躍的に向上
 - a. 旅客機の電動化：装備品電動化、エンジン電動化
 - 燃費削減にとどまらない旅客機の新しい価値を創出
 - 参画企業の裾野を大幅に拡大
 - b. 小型電動航空機：国内企業の成長と国内市場の安定化
 - 自動車に次ぐ大規模モビリティ産業として、小型電動航空機開発企業が国内で成長
 - 国内市場も拡大・安定化され、運用のための社会インフラや安全基準も構築
- ④ 2050年代に電動化の理想形に到達し、航空機由来のCO₂排出量削減に対して明確に寄与



宇宙航空研究開発機構
次世代航空イノベーションハブ

航空機電動化(ECLAIR)コンソーシアム



3. 技術ロードマップ

3.1 電動化技術の位置づけ

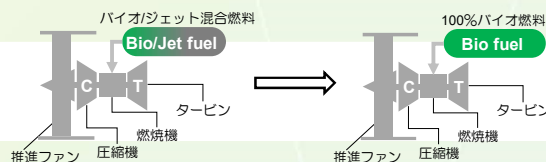
従来技術の改善によるCO₂削減



従来型空力形状
従来型構造材料

次世代技術によるCO₂削減

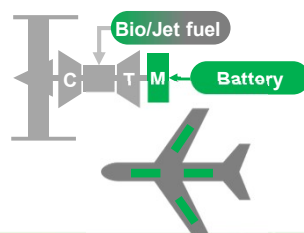
バイオ燃料の導入



電動化

推進系の電動化

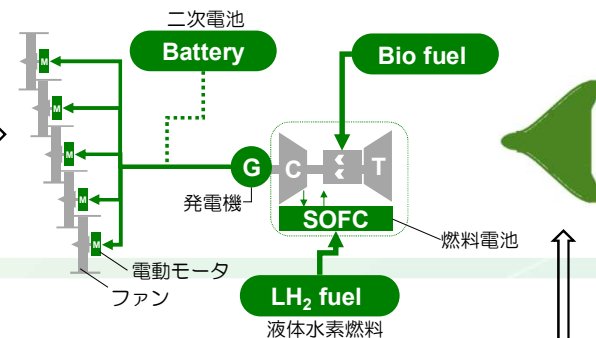
装備品の電動化



水素燃料の導入

その他の次世代技術

電動以外の次世代エンジン

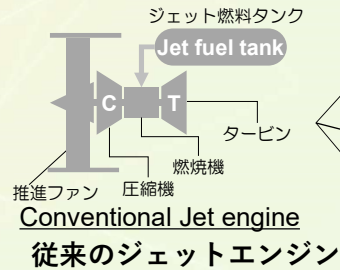


次世代空力形状
次世代構造材料

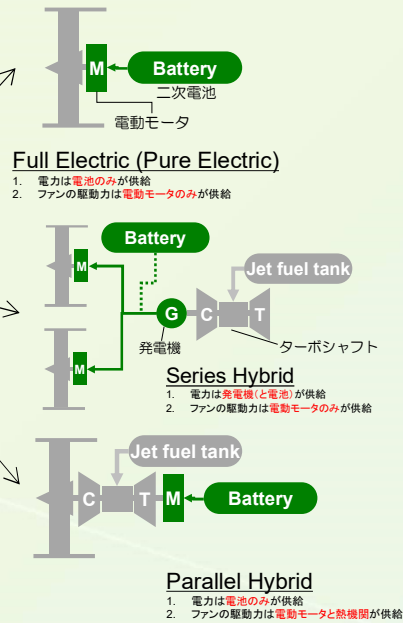
- 電動化技術は当コンソーシアムにおける直接の研究開発対象
- バイオ燃料、水素燃料、その他の次世代技術を電動化技術と組合せて発展させていくことができる

3.2 システム方式(1/4 推進系電動化の分類と特徴)

注：減速機や電力変換器等、一部の構成要素は省略して描かれている



電動化



電動化システム方式の選択肢

エンジンの電動化には主に3種類の方式(純電動化、シリーズハイブリッド、パラレルハイブリッド)があり、長所短所が異なる他、推進ファンの個数やレイアウトにも自由度があり、選択肢は多い。

電動化システム方式と適用対象の対応

小型プロペラ固定翼航空機
小型VTOL機 (UAM:Urban Air Mobility)
回転翼機

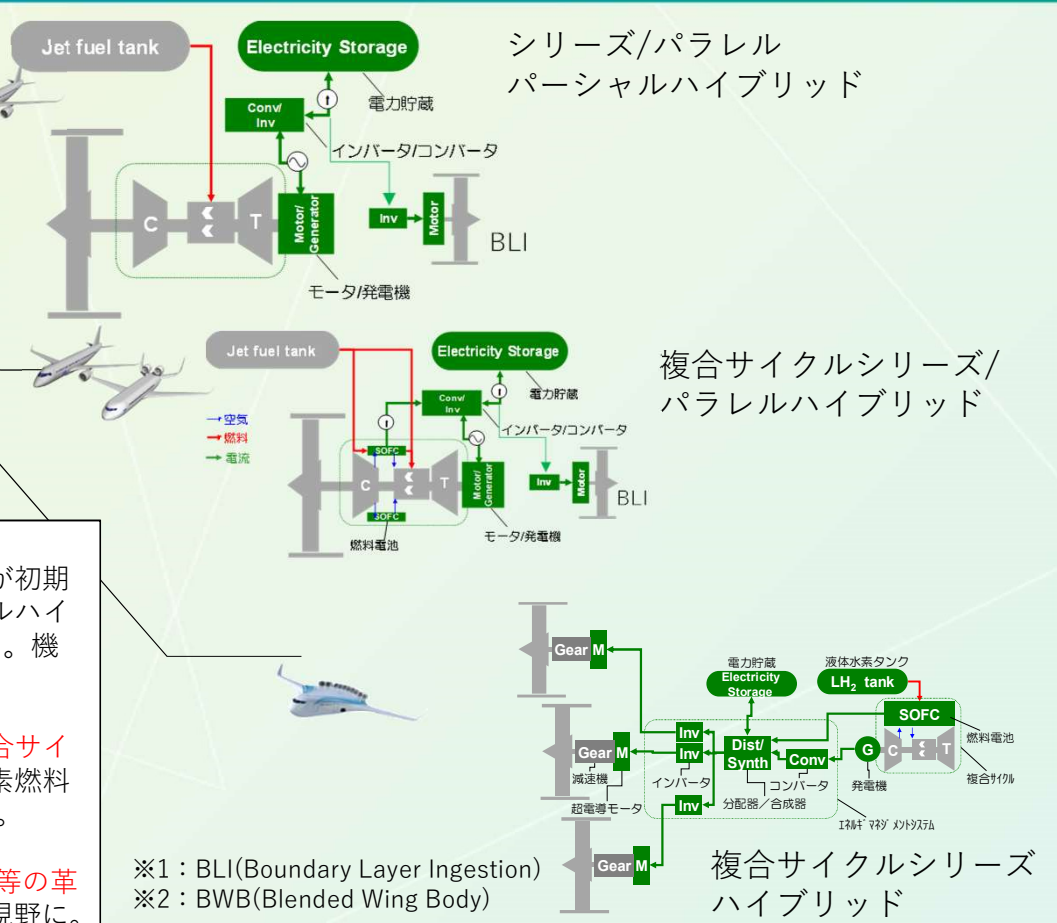
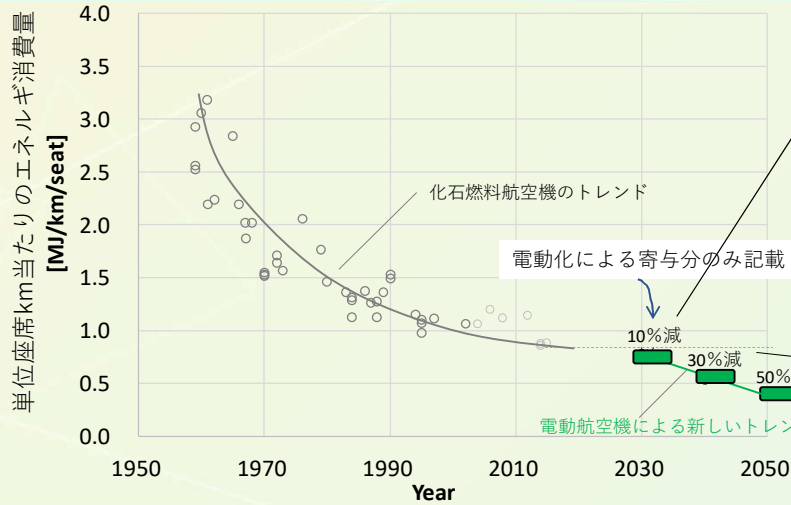
回転翼機
小型ジェット固定翼航空機
リージョナル固定翼航空機 (Turbo Prop & Jet)
ナローボディ旅客機 (細胴機)
ワイドボディ旅客機 (広胴機)

注：上記の分類には例外もある。例えば、旅客機であっても航続距離が短い用途であれば純電動方式が有利になる場合もあり得る。また、適用できる技術のレベル(特に電池の性能)や適用する年代によっても変化する。

- **小型機**で航続距離が短ければ燃費・整備費削減の点で**純電動方式**が最適
- **旅客機**は航続距離が長いのでハイブリッド方式が適する



3.2 システム方式(3/4 各方式のエネルギー消費削減への寄与)



2030年代：
技術的に導入し易い**パーシャルハイブリッド**（電動化率が小さい）が初期段階では有力。エンジン軸動力を電動モータでアシストする**パラレルハイブリッド**と**胴体尾部のBLI**※1（シリーズハイブリッド）が候補となる。機体形態は従来型（Tube&Wing）が有力。

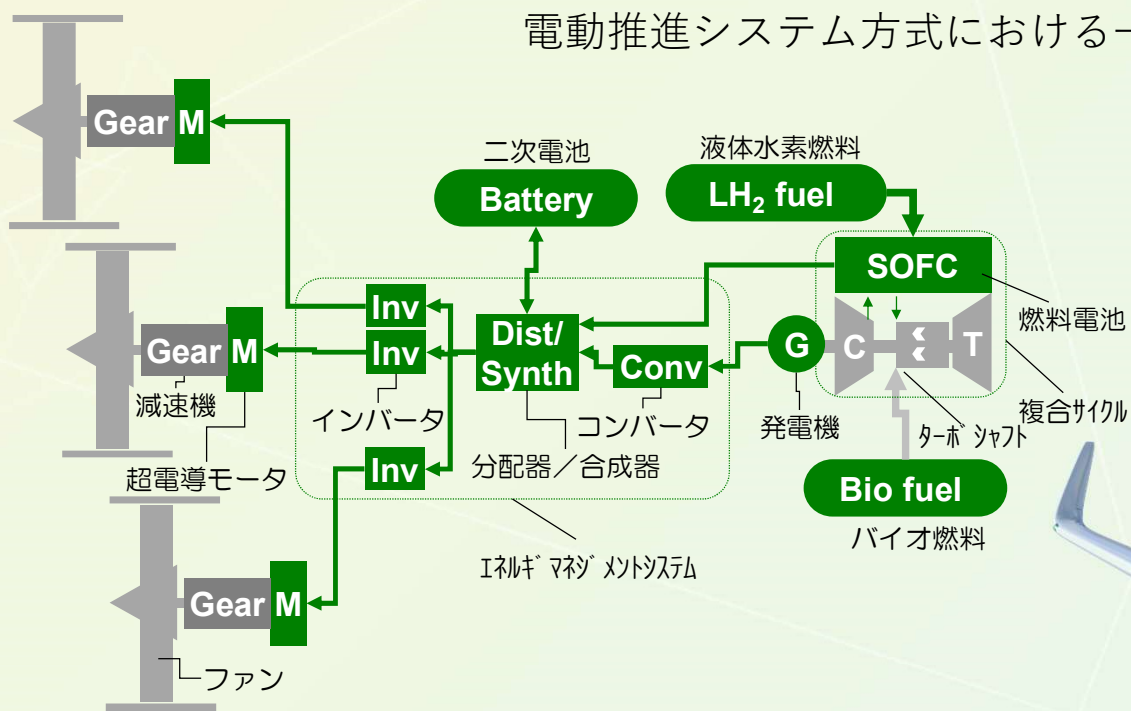
2040年代：
エンジンの**熱効率**を抜本的に改善する**燃料電池**とガスタービンの**複合サイクルハイブリッド**等が候補。エンジン出力に匹敵する電動化率。水素燃料の導入も視野に入るため、機体の形態は従来型とBWB※2等の中間期。

2050年代：
シリーズハイブリッドにより多発分散化を図り、機体の形態も**BWB等の革新空力形状**を目指す。また、**超電導モータ**等の革新要素技術導入も視野に。

※1：BLI(Boundary Layer Ingestion)
※2：BWB(Blended Wing Body)

3.2 システム方式(4/4 電動航空機の理想形)

電動推進システム方式における一つの理想形



シリーズハイブリッドにより多発分散化を図り、機体の形態もBWB等の革新空力形状を目指す。
また、超電導モータ等の革新要素技術、CO₂フリー水素燃料導入も視野に。



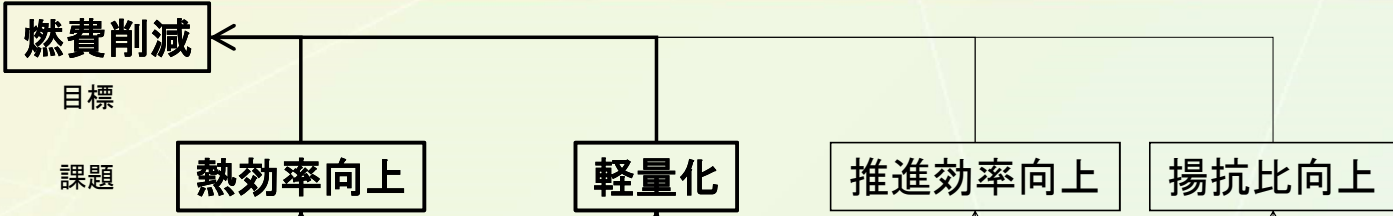
エミッションフリー航空機の概念図



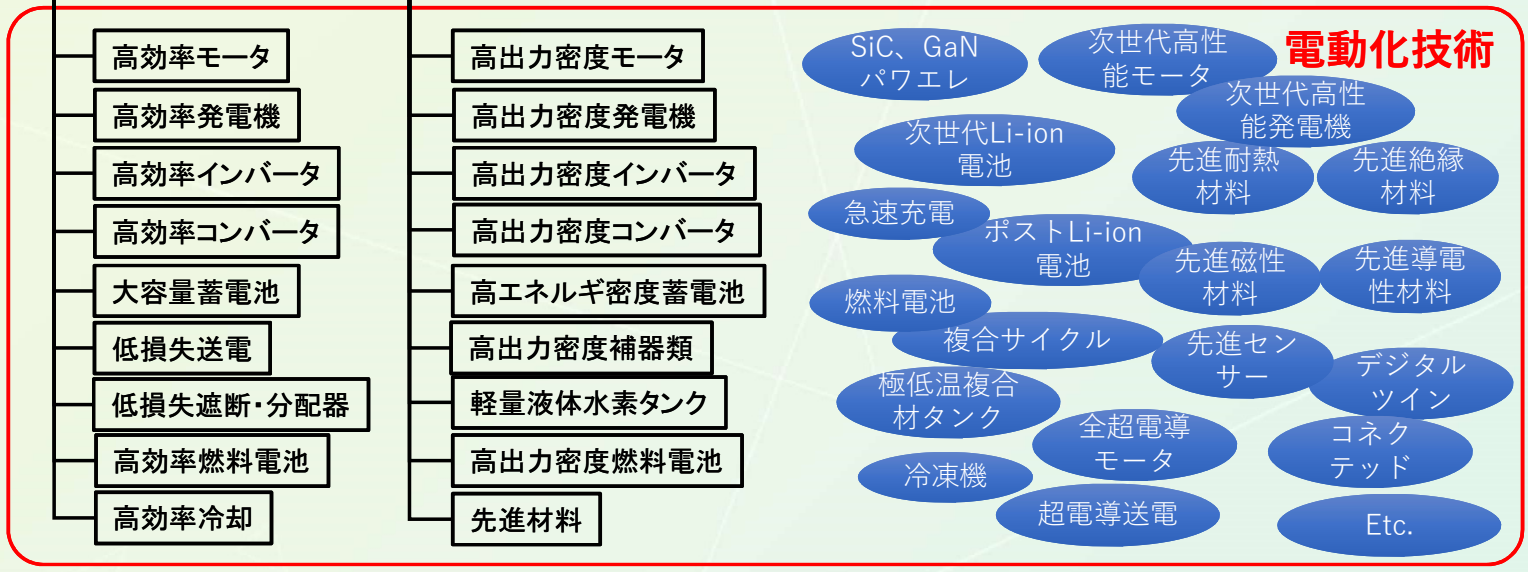
3.3 技術マップ(1/2 燃費削減※注)

※注：本頁では小型機のための技術も、
旅客機・小型機共通の技術も区別なく
記載している

空力・構造設計技術
(BLI※1, 多発分散化, BWB※2...)

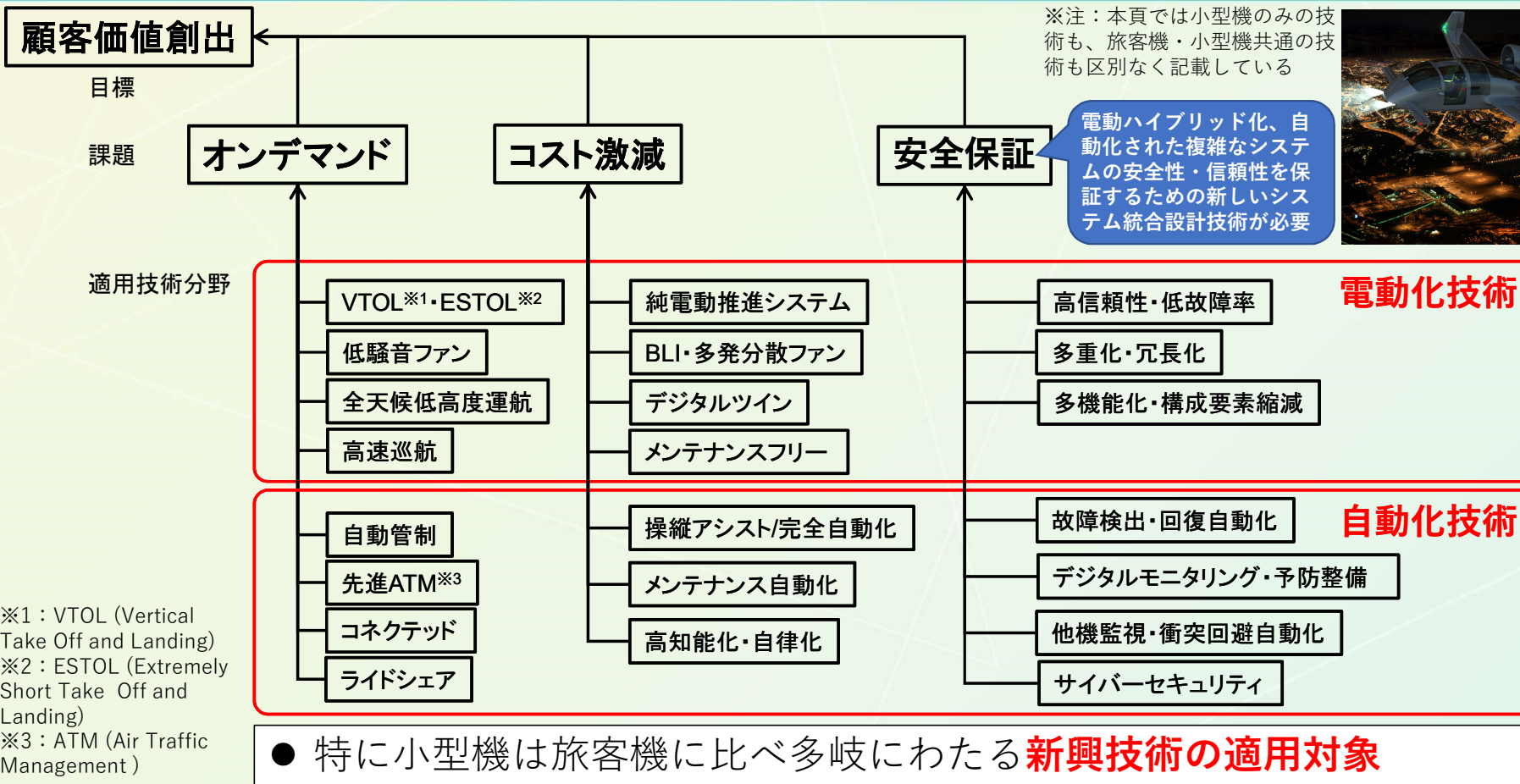


適用技術分野





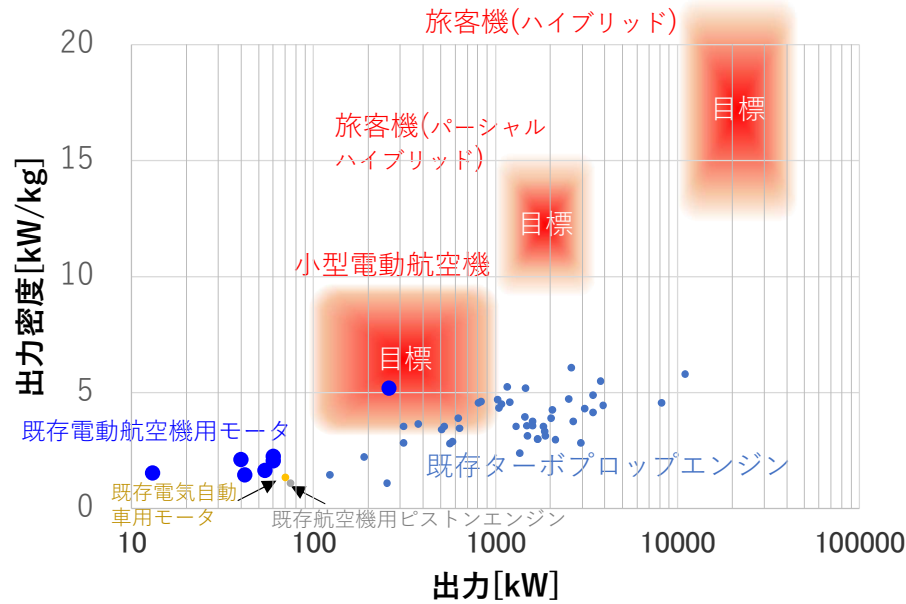
3.3 技術マップ(2/2 新しい顧客価値創出※注)



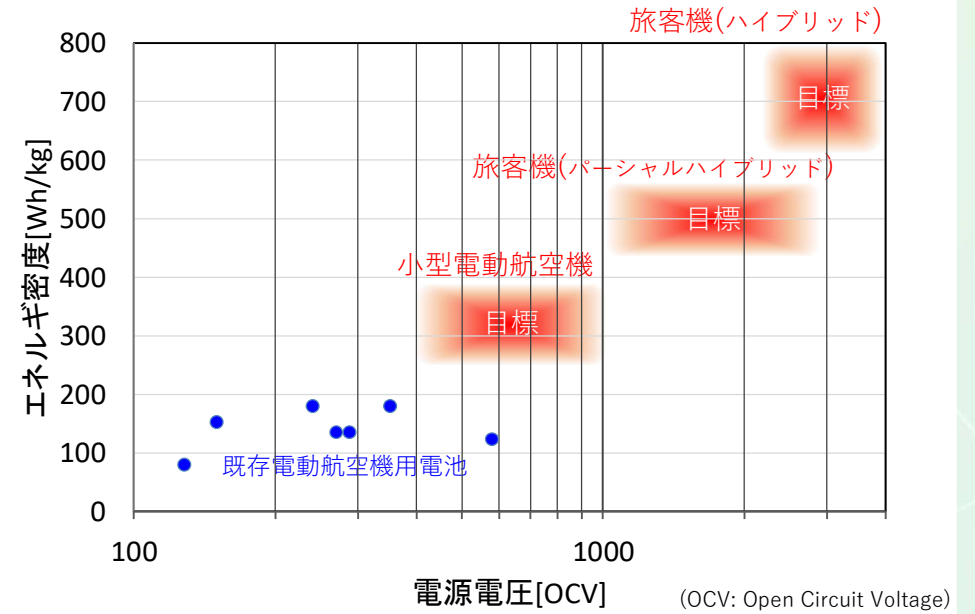
※1：VTOL (Vertical Take Off and Landing)
※2：ESTOL (Extremely Short Take Off and Landing)
※3：ATM (Air Traffic Management)



3.4 各技術の目標内訳 (電動モータ、インバータ、電池)



電動モータとインバータの合算出力密度目標



電池の目標

- 旅客機に関しては、現状技術と将来目標の間に著しいギャップがあり技術リスクが高い



3.5 電動化技術適用に対する重要なリスク

1. 小型電動VTOL機

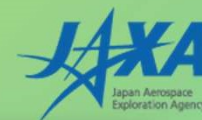
- a. 従来の回転翼機と異なり、オートローテーション機能がないため、**エンジン故障時に即座に墜落**するリスク
- b. 従来の回転翼機と異なり、操縦系統に機械的機構がないため、たとえパイロットが操縦する場合であってもコンピュータや通信系等の**電気系故障時に即座に制御不能**になるリスク
- c. 騒音が大きいため**低高度の運行が許容されない**リスク（過去の回転翼機事業の教訓から、有視界飛行方式の場合は低高度で運行できないと就航率が悪化してエアタクシ事業が経済的に成立しないことがわかっている）

2. 電動旅客機

- a. 高高度**低圧**環境における**コロナ放電と絶縁破壊**のリスク（高電圧になるほどリスクが増大）
- b. 高高度**高放射線**環境における**シングルイベント効果**増大のリスク（高電圧になるほどリスクが増大）
- c. 高高度**低空気密度**環境における**冷却機能低下**のリスク（電動デバイスの排熱処理の問題）
- d. ガスタービンエンジンと併設するため、**電動デバイスが高温環境に晒される**リスク
- e. 最大出力持続時間が長い（離陸定格で5分以上）ため、**電動デバイスが過熱**されるリスク

3. 電動ハイブリッド

- a. システムの構成要素数が増えるために、従来よりも**故障確率が増加**してしまうリスク



3.6 重要技術課題の抽出

分類	番号	重要技術課題名 (概要)	構成要素/システム
A) 全高度共通 の重要 技術課題	①	高出力密度化 (重量の成立性確保、最大出力運転時間確保のための耐熱・冷却・放熱性)	電動要素 (電動モータ、発電機、 パワーエレクトロニクス、電池、 遮断器、分配器、送配電線等)
	②	電池の安全性と高エネルギー密度化の両立 (熱暴走等の危険封じ込めと電池システム全体としての高エネルギー密度化の両立)	電池 (電力ストレージ)
	③	高効率化 (BLIや多発化による推進効率の向上、推進系熱効率の向上)	推進系-機体統合システム、ハイ ブリッドシステム、電動要素
	④	安全性・信頼性保証 (電動要素追加による故障率増加等に対するシステムの安全性と信頼性の保証)	電動推進システム、ハイブリッ ドシステム、電動要素
B) 高高度 環境特有の 重要技術課題	⑤	耐放電・耐放射線 (高高度環境における高電圧要素及びシステムの放電及び放射線影響への対処)	パワーエレクトロニクス、電動 モータ、発電機、電動要素
	⑥	熱&パワー管理・制御 (低空気密度・ガスタービンエンジン内外高温環境下の熱とパワーマネジメント)	電動要素、電動推進システム、 ハイブリッドシステム、
C) 低高度 運用特有の 重要技術課題	⑦	耐故障 (推進系故障時の緊急着陸または運航継続に対する耐故障や故障許容設計)	電動推進システム
	⑧	低騒音化 (ファン、プロペラの空力騒音低減)	ファン、プロペラ

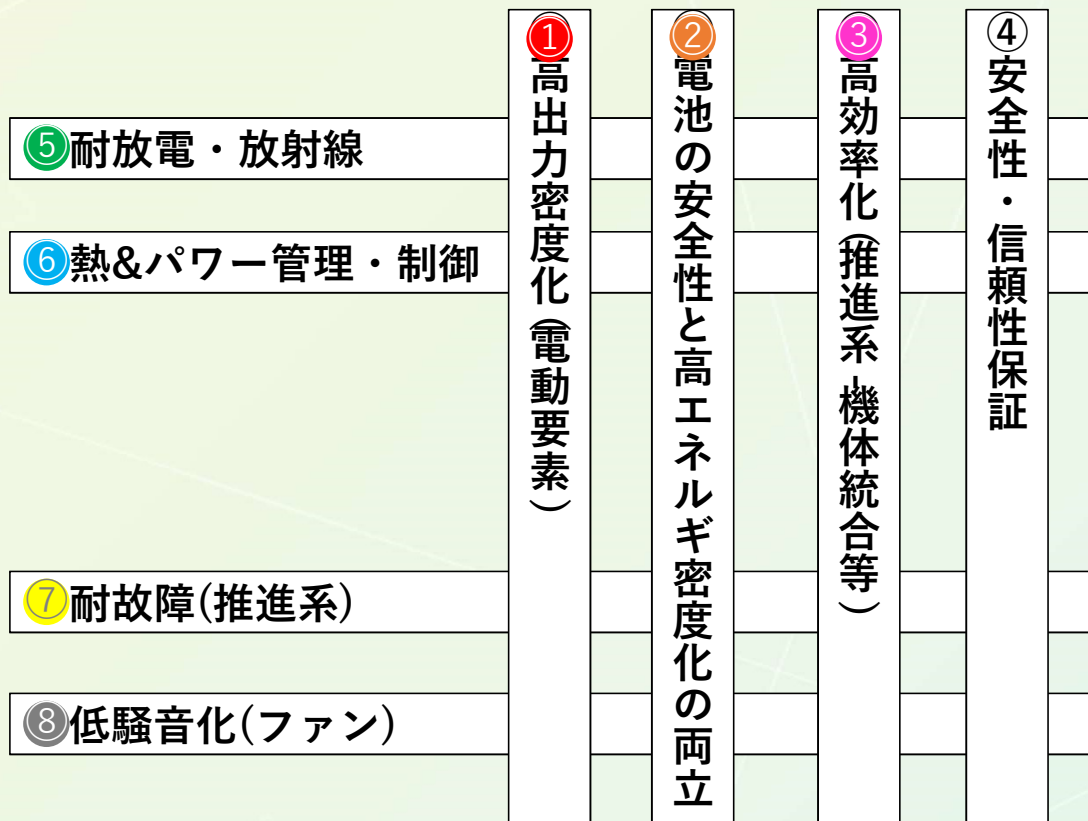


3.6 重要技術課題の抽出

A) 全高度共通

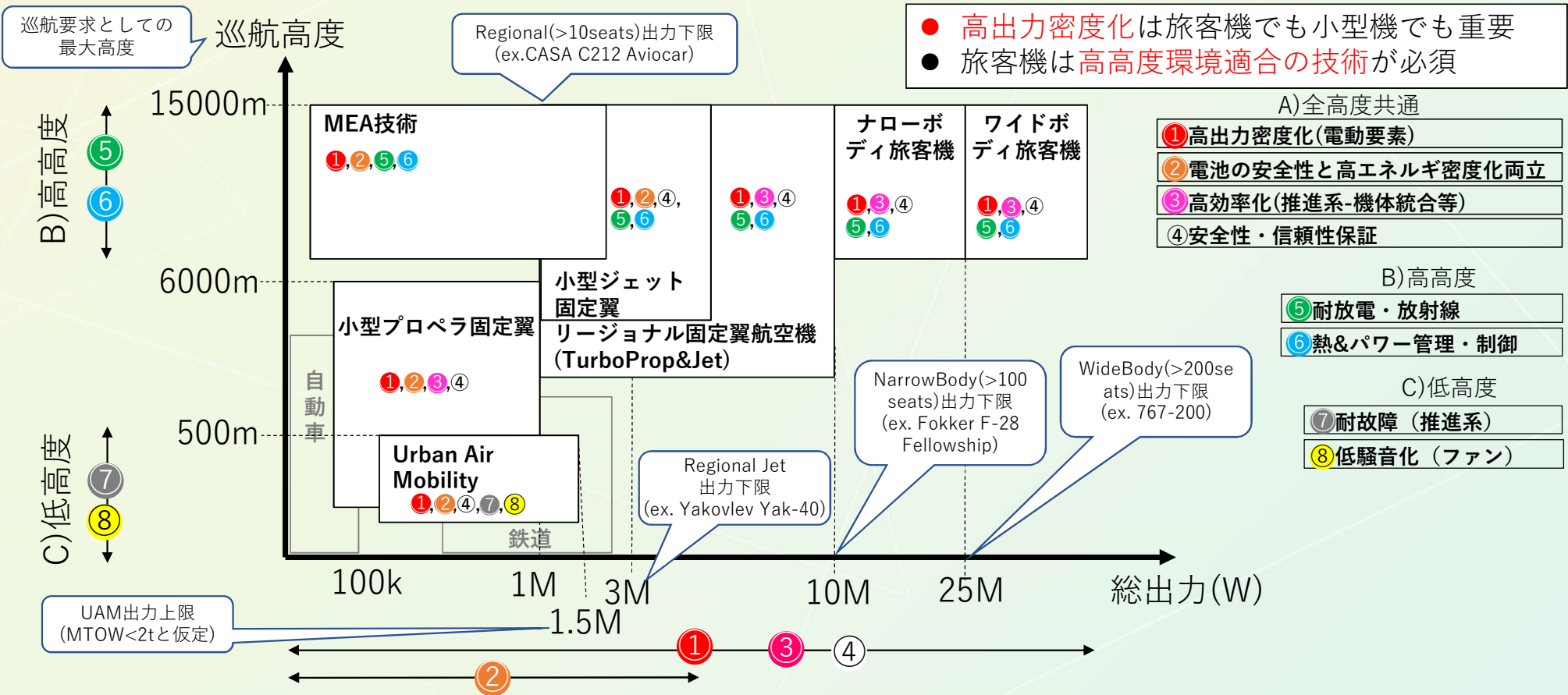
B) 高高度

C) 低高度



- 航空機電動化の技術課題は運用高度によって明確に異なる課題と高度に依らない共通課題がある。
- 旅客機のエンジン電動化のためには高高度飛行環境適合の技術課題解決が必須。高出力密度化と高高度環境適合の技術は航空分野特有であり優先度が高い。
- Urban Air Mobility (空飛ぶクルマ) 実現には低高度運用の技術が重要。

3.6 重要技術課題の抽出

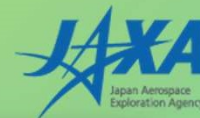




3.7 技術ロードマップ(技術展開シナリオ案)

- **シナリオ1 (旅客機電動化：高難易度の目標に挑戦し、スピノフも狙う)**
 1. 高高度航空環境特有の課題を念頭に置きつつ、**低出力**(e.g.100k-1MW)かつ**高電圧**(e.g.1k-3kV)電動パワートレインを対象に、全高度共通の課題 (①**高出力密度** (e.g.10k-20kW/kg)、②**高エネルギー密度** (e.g.500-1000Wh/kg)、③**高効率化**、④**安全性・信頼性保証**) を解決する技術を獲得
 2. その後、高高度航空環境特有の課題 (⑤**耐放電・放射線**、⑥**熱管理**) を解決する技術を1. に融合し、さらに高出力化を図って**旅客機に適用**
 3. 途中の技術を小出力用途 (MEA、小型機) としてスピノフ
- **シナリオ2 (小型電動航空機：今ある技術を最大限活用し迅速な社会実装を狙う)**
 1. 既存のパワートレイン技術をベースとして小型航空機用途 (固定翼プロペラ機) に適用
 2. 低高度利用特有の課題 (⑦**耐故障**、⑧**低騒音化**) を解決する技術を1.に融合し UAMに適用
 3. 高出力化を図ってシナリオ1にも技術を展開
 4. (その後の長期的展開：自動化・自律化を図り市場規模を飛躍的に拡大)

- シナリオ1とシナリオ2を同時に推進することで技術全体のレベルを効率的に向上



3.7 技術ロードマップ

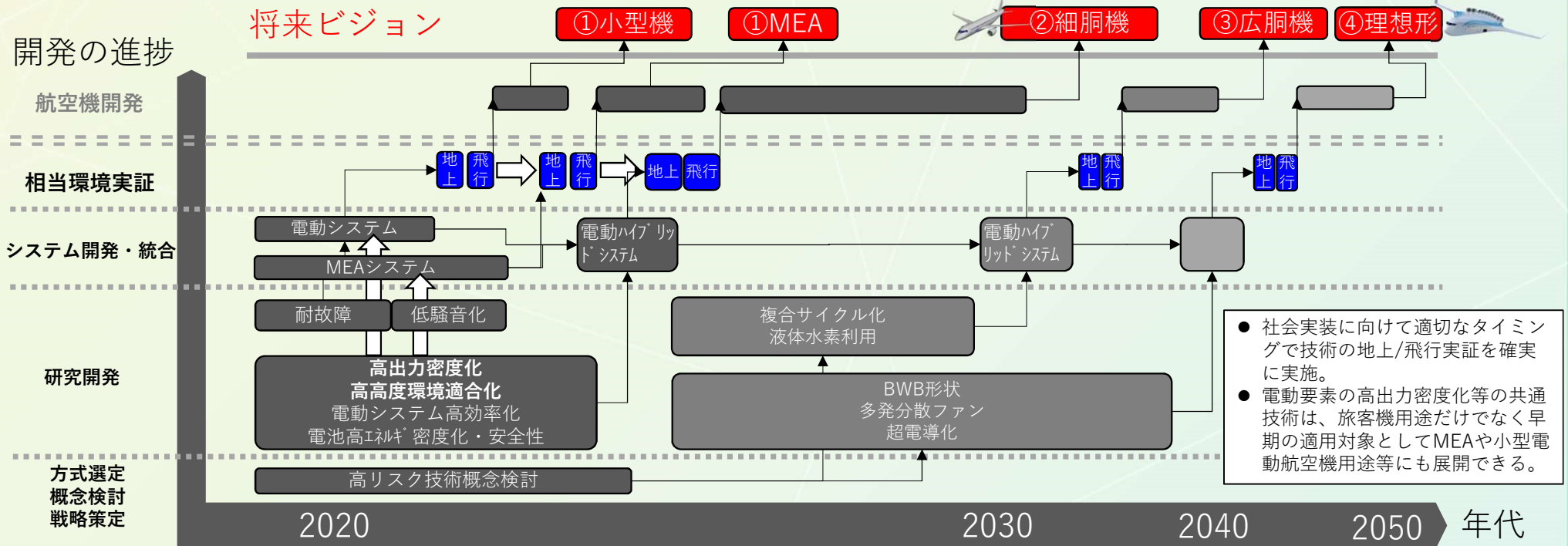
国際動向	E-FAN X(2020, 2MW) Zunum Aero(2022,12pax) Eviation Alice(780kW,9pax)	E-Thrust (100pax)	2005年比CO ₂ 排出量半減
	FAR Part-23 new(2017~) CO ₂ ペナルティ(2021~)		
	EASA VTOL Special Condition(2019~) UBER Air(2023~)		

2020年代: **小出力用途**(小型電動航空機とMEA)を対象に電動化技術の社会実装を開始

2030年代: **旅客機**(細胴機以下)にまで電動化技術の適用範囲を拡大

2040年代: 電動化技術を核として**航空機の燃費を大幅に削減**

2050年代: 電動化の**理想形**に到達。**CO₂削減への明確な寄与**





3.7 技術ロードマップ(まとめ)

1. 2020年代のMEA(More Electric Aircraft) に向けた技術開発
 1. 旅客機エンジン電動化技術に先行して、システム統合化、相当環境における実証、認証取得等で技術と知見を蓄積
 2. 特に高高度航空環境特有の課題を解決する技術は、その後の旅客機エンジン電動化技術に展開可能
2. 2020年代の小型電動航空機に向けた技術開発
 1. 固定翼プロペラ機については、既存パワートレイン技術をベースとして迅速に実用化技術を獲得
 2. VTOL機については、エンジン故障時の安全性、低騒音性のブレークスルー技術を獲得し、非人口密集地用途や非商用用途から運用開始
3. 2030年代の旅客機エンジン電動化に向けた技術開発
 1. 初期研究開発段階
 1. 燃費の抜本的な低減を可能とする電動化技術に関し、重要な技術課題のブレークスルーを導く革新的技術を創出する
 2. 特に、高出力密度化の技術と高高度環境に適合する技術は航空分野特有であり、世界に先駆けて技術を獲得するため優先的に取り組む
 3. 高出力密度化等の共通技術は、旅客機用途だけでなく、2020年代の適用対象としてMEAや小型電動航空機用途等にも展開する
 2. システム開発・統合化段階
 1. システム開発力や統合制御、電動技術をコアとして周辺技術も広く組み合わせてシステム統合度の向上を図り、国際競争力において国内の“束の強み”で上流（ルールメイキング、設計参画）からの寄与を可能にする強みを持つ
 3. 相当環境における実証段階
 1. 特に重要な技術に関しては大規模な飛行実証や環境忠実度の高い大規模地上実証等で競争力向上を図る
4. 2030年代の小型電動航空機に向けた技術開発
 1. 固定翼プロペラ機、VTOL機両方とも、操縦自動化（無操縦者化）を実現するための機体システム側及び運航システム側の鍵技術研究を推進
5. 2040年代以降の航空機産業規模の飛躍的拡大に向けた技術開発
 1. 燃料電池とガスタービンの複合サイクル化、液体水素燃料、BWB形状、超電導等の高リスク技術に対しても長期的視点で要素研究を実施



宇宙航空研究開発機構
次世代航空イノベーションハブ

航空機電動化(ECLAIR)コンソーシアム



本コンソーシアムの運営サイト
<http://www.aero.jaxa.jp/about/hub/eclair/index.html>

問い合わせ先
eclair_sec@chofu.jaxa.jp

注：@が画像化されているので、使用時はテキストを入力してください