

#27「電動航空機」

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 航空技術部門
次世代航空イノベーションハブ エミッションフリー航空機技術チ
ーム
西沢啓

再配布やWEBサイトへの転載等は固くお断りします



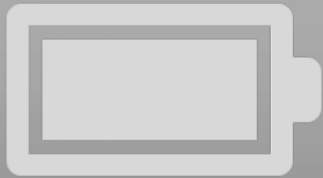
輸送需要の増加

今後20年間で 約**2倍**



CO₂ 排出量削減目標

2050年に2005年比で **半減**



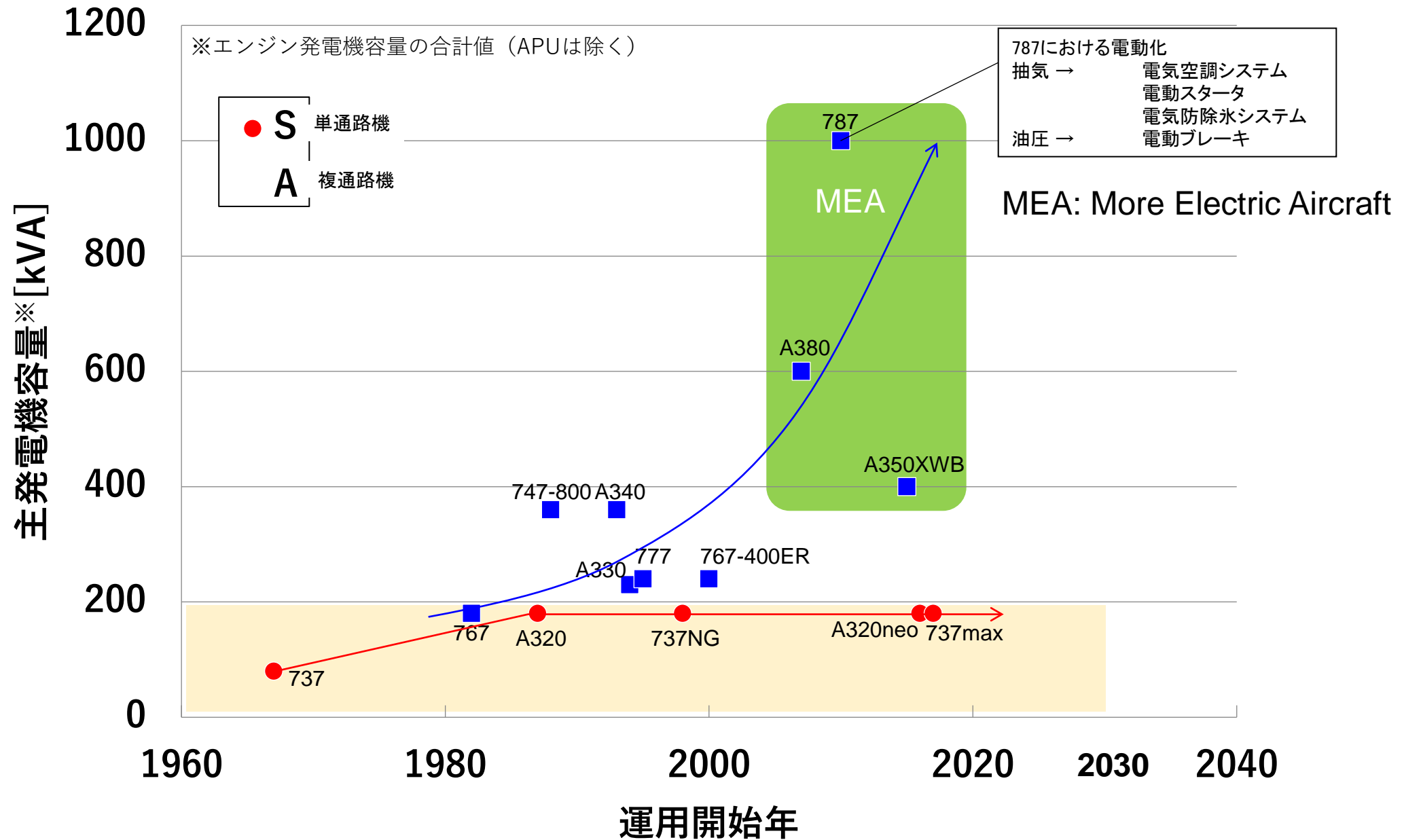
電動化の進歩

(小型機であれば推進系の電動化が可能なレベルに到達)

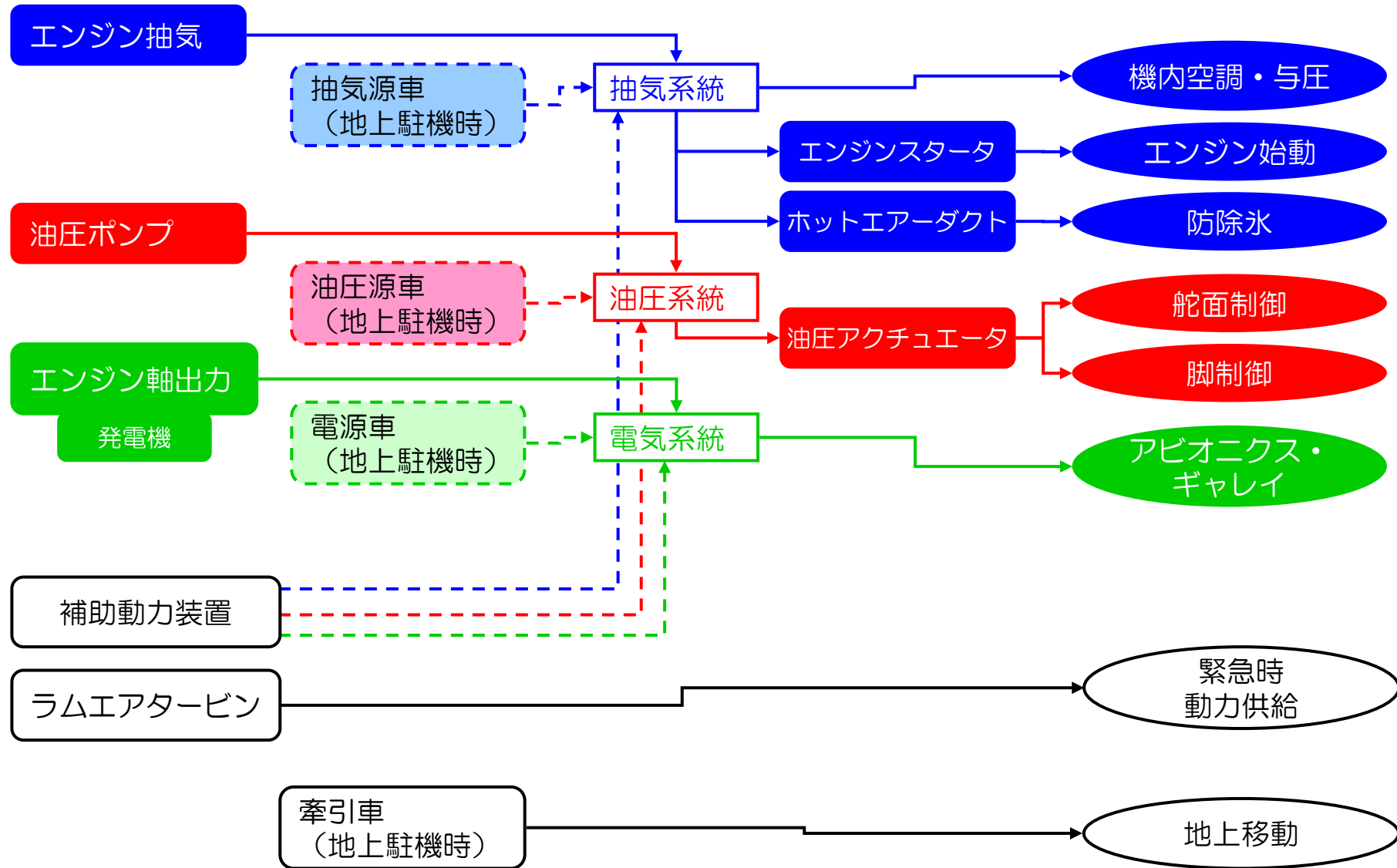
推進系出力規模(kW)は過去20年間で **20倍**

	装備品の電動化	エンジンの電動化（電動航空機）	
	MEA (More Electric Aircraft)	小型電動航空機 (personal aerial vehicle)	電動旅客機
本資料における定義	推進系以外の装備システムを電動化した航空機	推進系を電動化した小型航空機	推進系を電動化した旅客機
目的・意義	<ul style="list-style-type: none"> ✓システム効率向上による数%程度の燃費削減効果 ✓抽気・油圧系統の排除によるシステム簡素化 ✓設計自由度、整備性の向上 	<ul style="list-style-type: none"> ✓運航コスト（主に燃費と整備費）の大幅な削減 ✓運用容易性の向上 ✓空のパーソナルモビリティ（オンデマンドモビリティ）実現 	<ul style="list-style-type: none"> ✓航空機由来のCO₂排出量削減 ✓運航コスト（主に燃費と整備費）の大幅な削減
代表例	Airbus A380, Boeing787	eFlyer, Volocopter	Airbus E-thrust

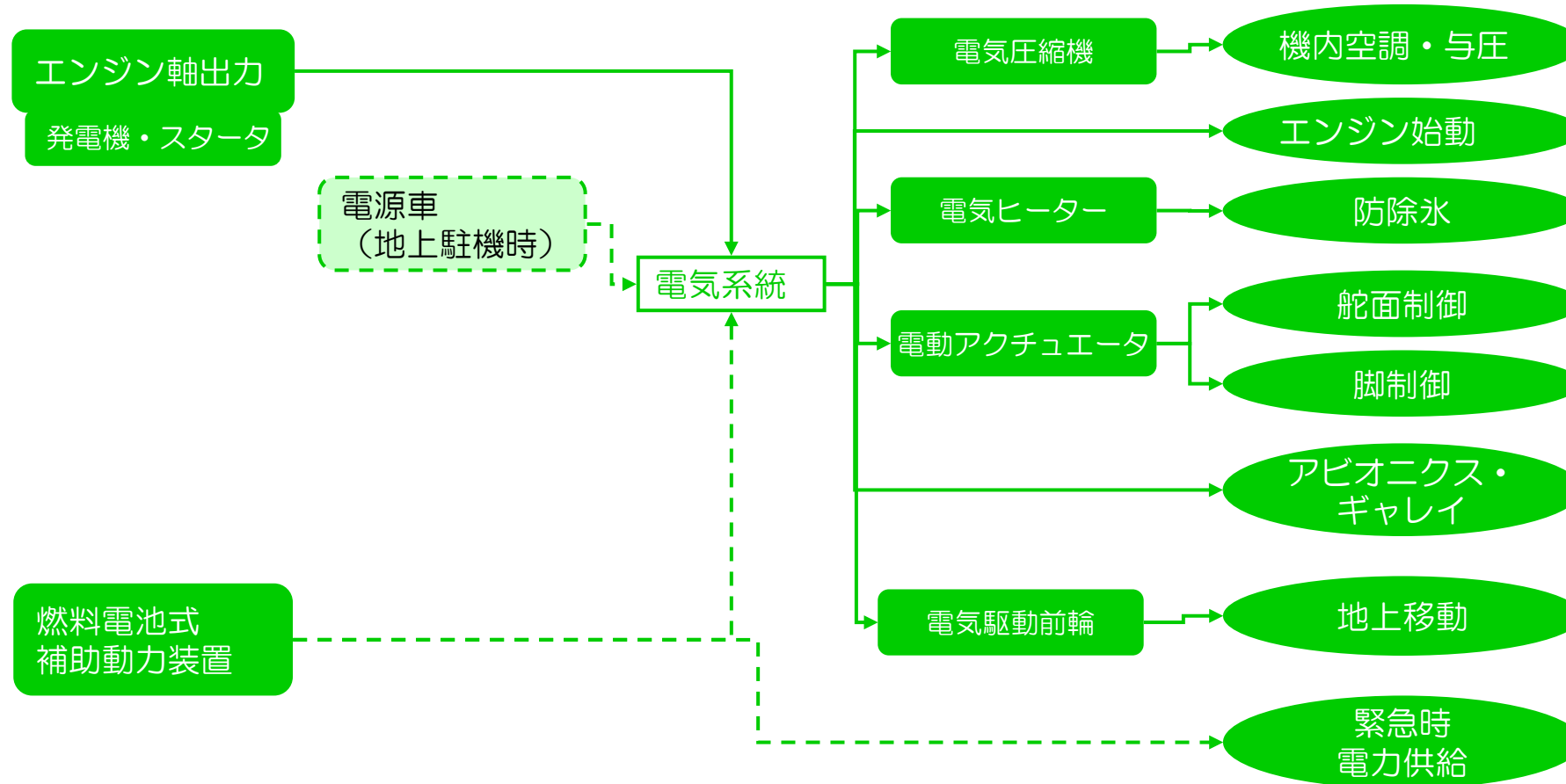
MEA (More Electric Aircraft) の動向



MEAと従来航空機システムの違い

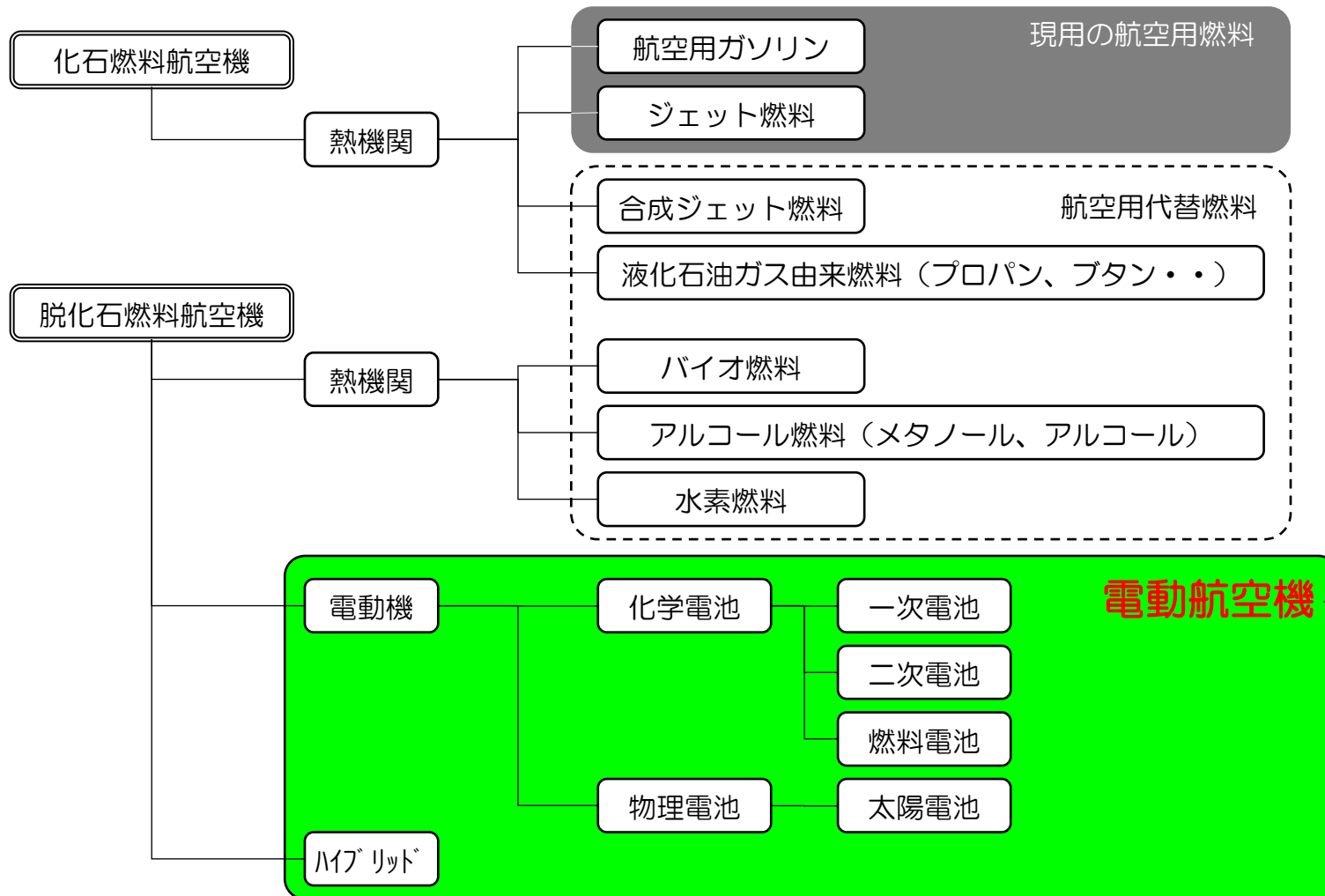


従来型の航空機システム



More Electric Aircraft (MEA) のシステム

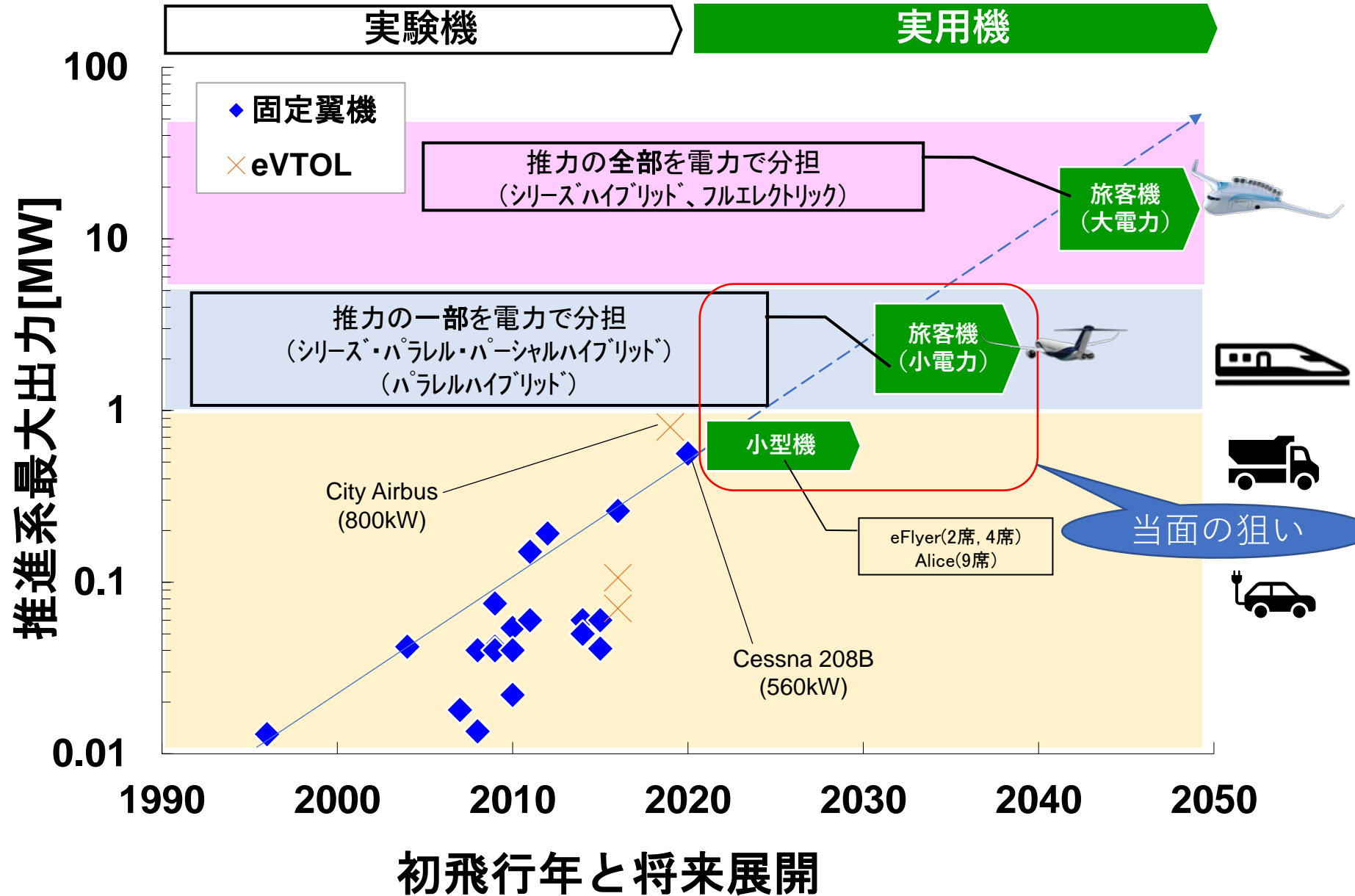
推進系の電動化（電動航空機）



出典:航空宇宙学会誌 2010年10月号「えあろすぺーすABC 基礎・応用編 脱化石燃料航空機」岡井・西沢

- 脱化石燃料化の選択肢は多数。技術的難易度、効果、適用対象に大きな違いあり

電動航空機の動向



- ここ数年のeVTOLの進歩が目覚ましい
- 小型機ではMWに迫る出力達成
- 旅客機推力の部分電動化に適用可能な要素技術が揃い始めた

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

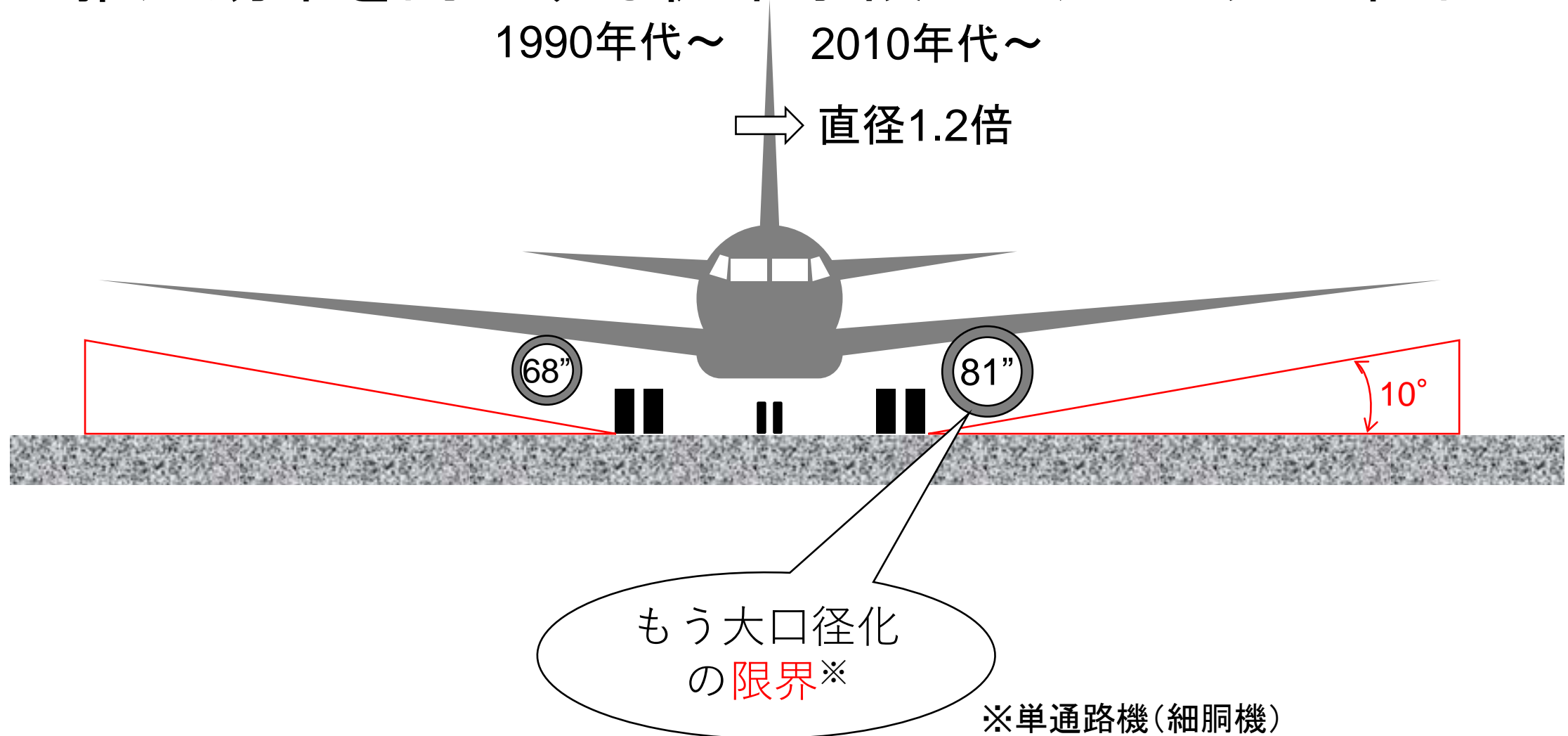
国内航空会社のCO₂排出権の購入費用は、制度開始当初年間十数億円程度から、2035年には**年間数百億円程度**に段階的に増加する見込み(2021~26年: 国ごとに自発的参加、2027~35年: 義務的参加) ^{※3}

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**

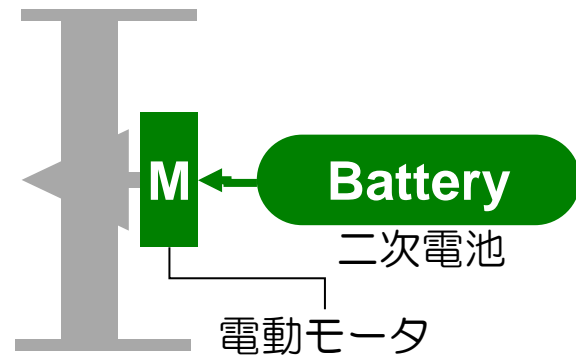
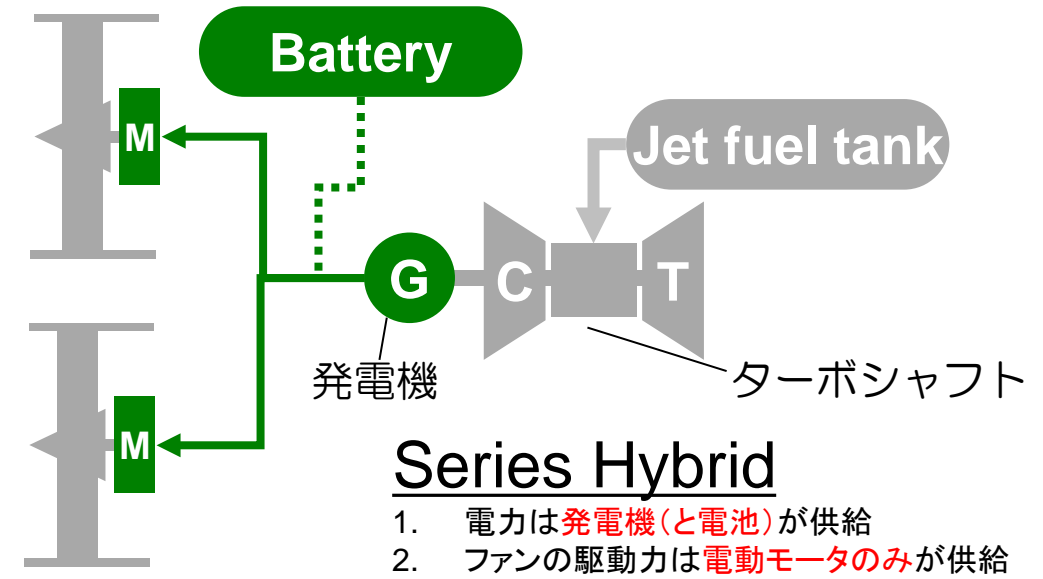
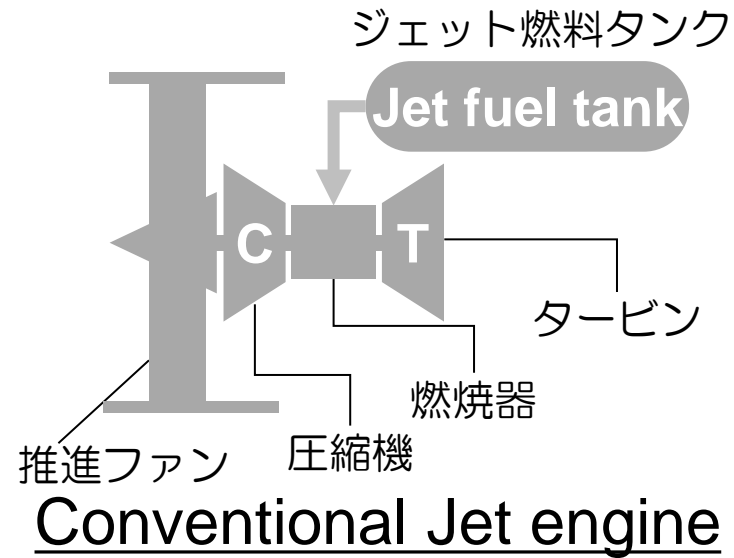
推進効率を向上する従来手段＝ファンの大口径化



推進系電動化の方式（電動航空機）

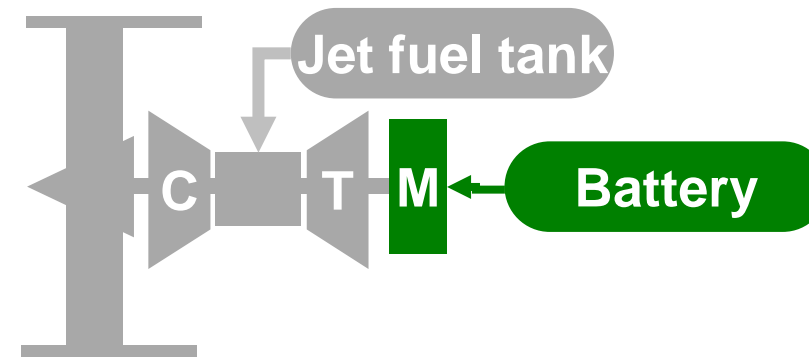
電動航空機における推進系の方式

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



Full Electric (Pure Electric)

1. 電力は**電池のみ**が供給
2. ファン**の駆動力は電動モータのみ**が供給

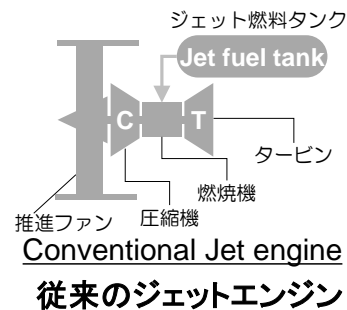


Parallel Hybrid

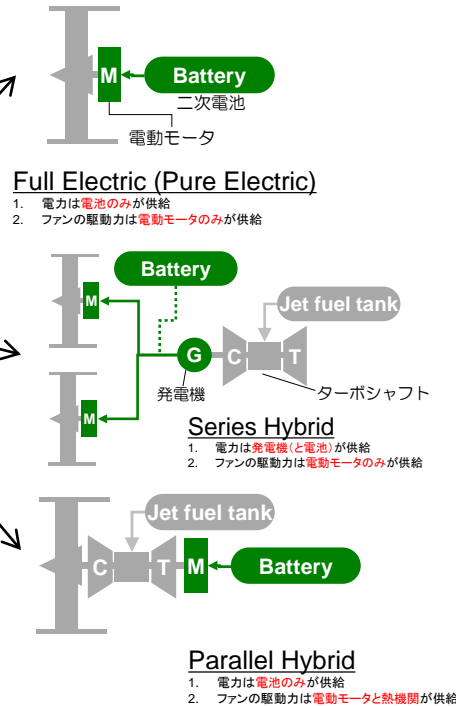
1. 電力は**電池のみ**が供給
2. ファン**の駆動力は電動モータと熱機関**が供給

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

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

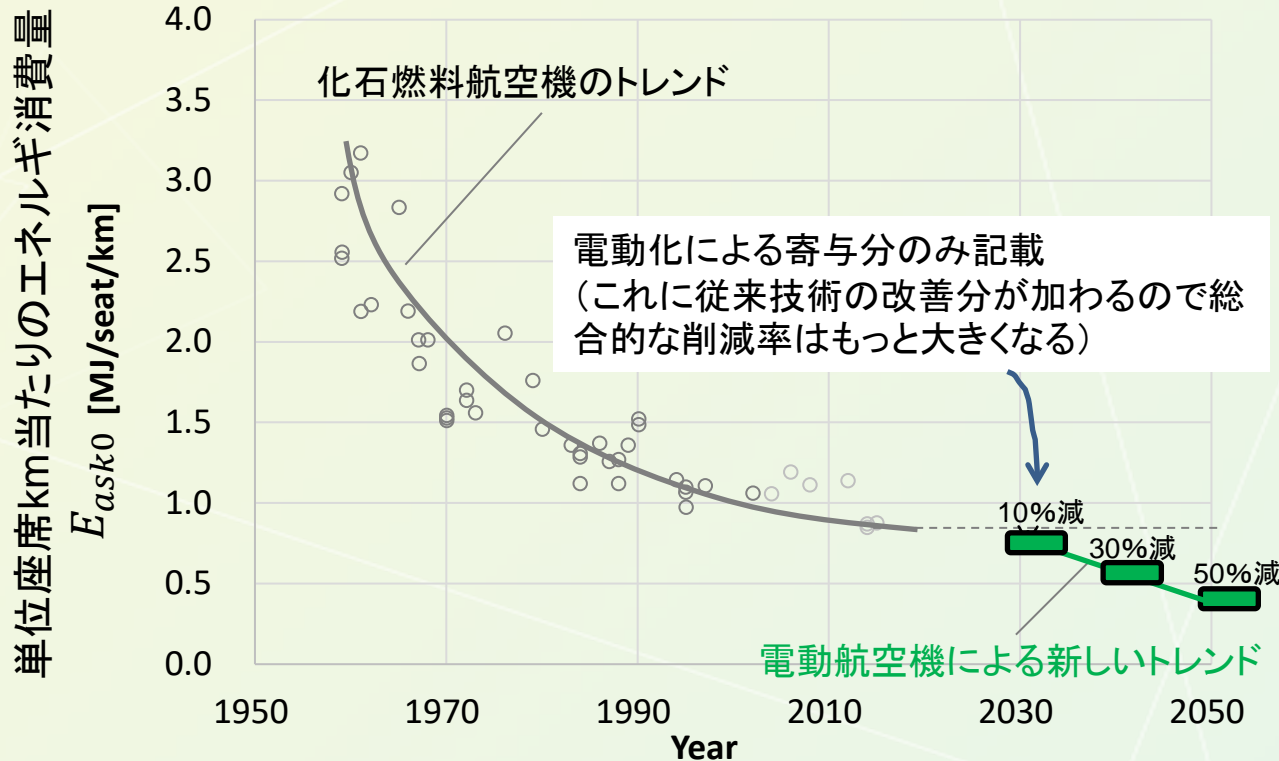
Electrification Challenge for Aircraft



2018年7月「航空機電動化コンソーシアム」を設立

<http://fanfun.jaxa.jp/jaxatv/detail/12230.html>

航空機電動化将来ビジョンにおける燃費削減目標



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

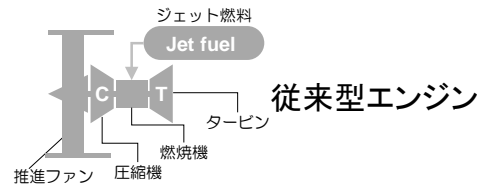
EIS時期	サイズ	燃費削減率
2030年代	細胴機以下	10%
2040年代	全サイズ	30%
2050年代	全サイズ	50%

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

電動化技術の位置づけ

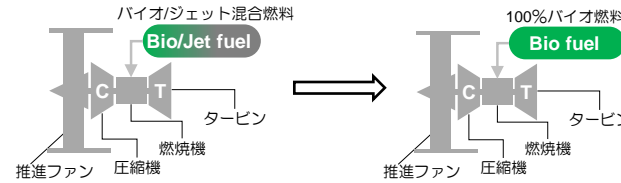
従来技術の改善によるCO₂削減



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

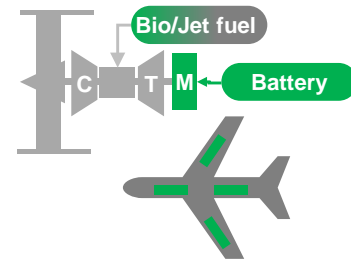
バイオ燃料の導入



電動化

推進系の電動化

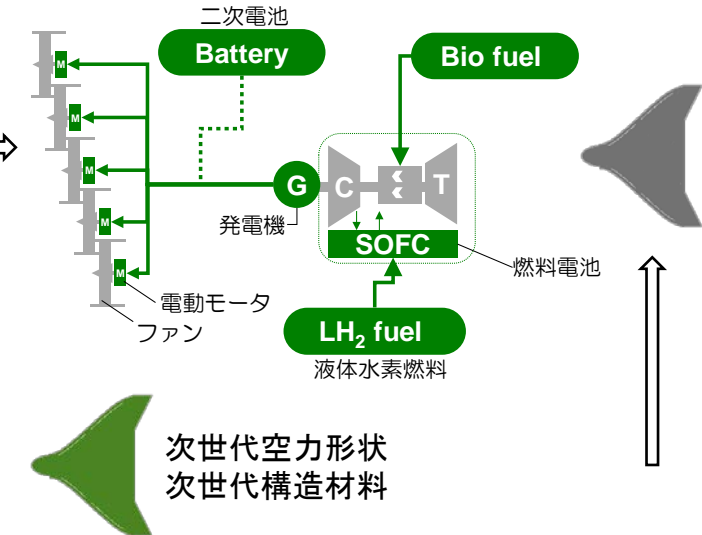
装備品の電動化



水素燃料の導入

その他の次世代技術

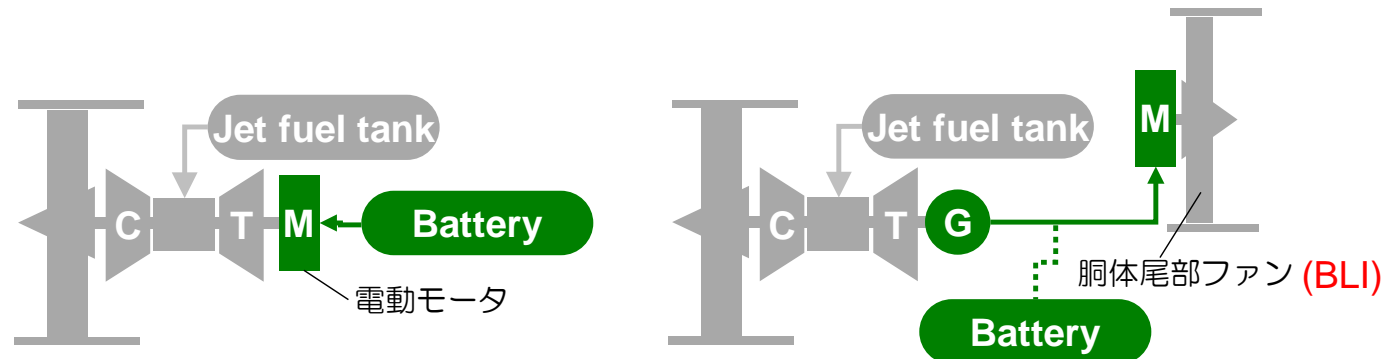
電動以外の次世代エンジン



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

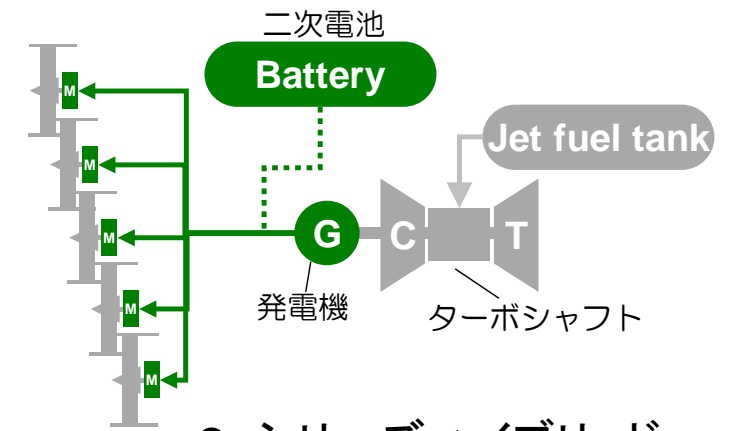
旅客機に適用し易い初期の電動ハイブリッドシステム



- パラレルハイブリッド
- 双発形態
- シリーズ・パラレル・パーシャルハイブリッド
- 双発＋胴体尾部ファン形態

- ✓ 従来のTube&Wing形態をほぼそのまま踏襲可能
- ✓ 電動化の出力規模を小さく抑えることが可能

比較的高リスクなシステム

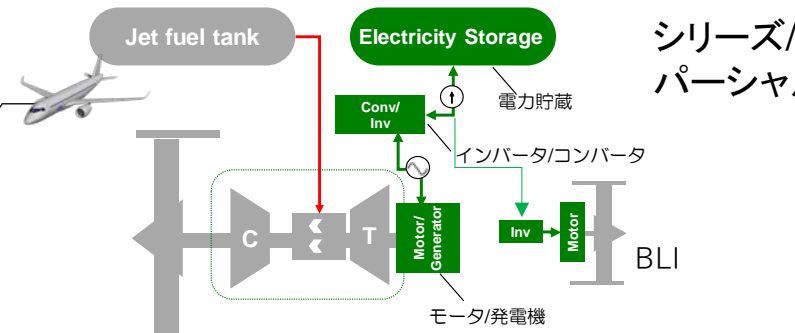
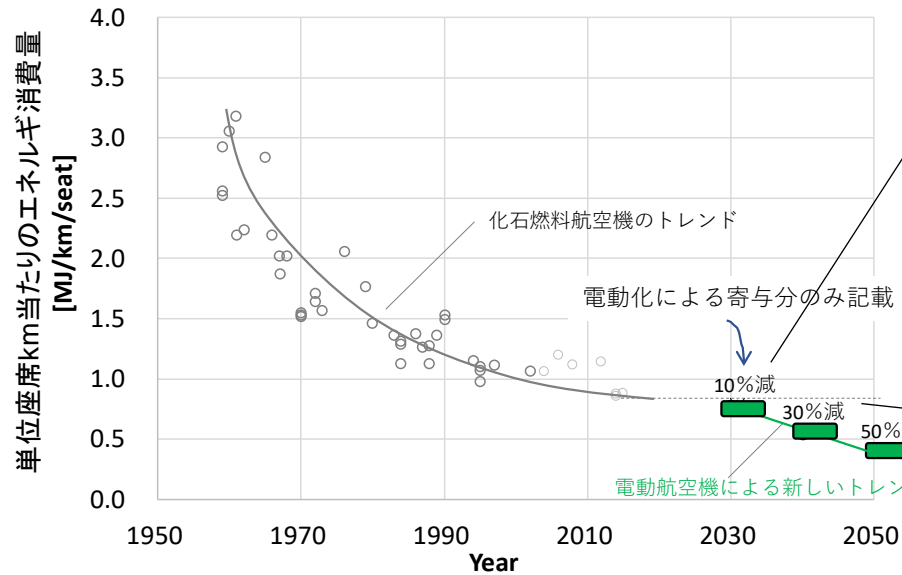


- シリーズハイブリッド
- 多発分散ファン形態

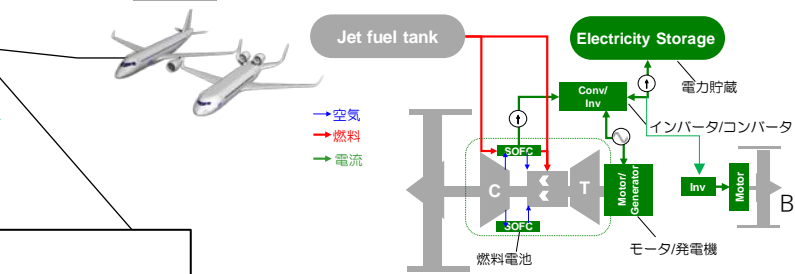
- ✓ 従来のTube&Wing形態から逸脱
- ✓ 電動化の出力規模が最大

- 初期段階の旅客機用電動ハイブリッドシステムとしては、従来のTube&Wing形態を踏襲でき、かつ出力規模も小さく抑えることが可能な**パラレルハイブリッド**や**シリーズ・パラレル・パーシャルハイブリッド**が有力

各方式のエネルギー消費削減への寄与



シリーズ/パラレル
パーシャルハイブリッド



複合サイクルシリーズ/
パラレルハイブリッド

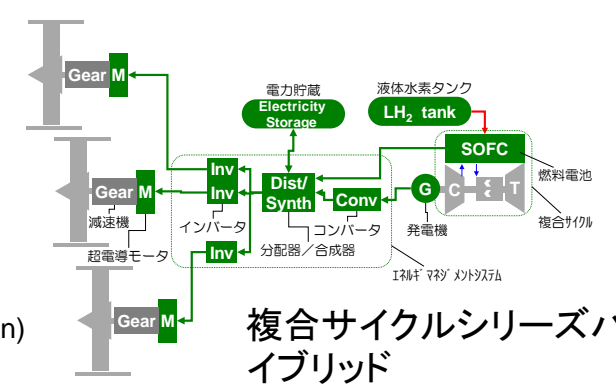
→ 空気
→ 燃料
→ 電流

2030年代:
技術的に導入しやす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。

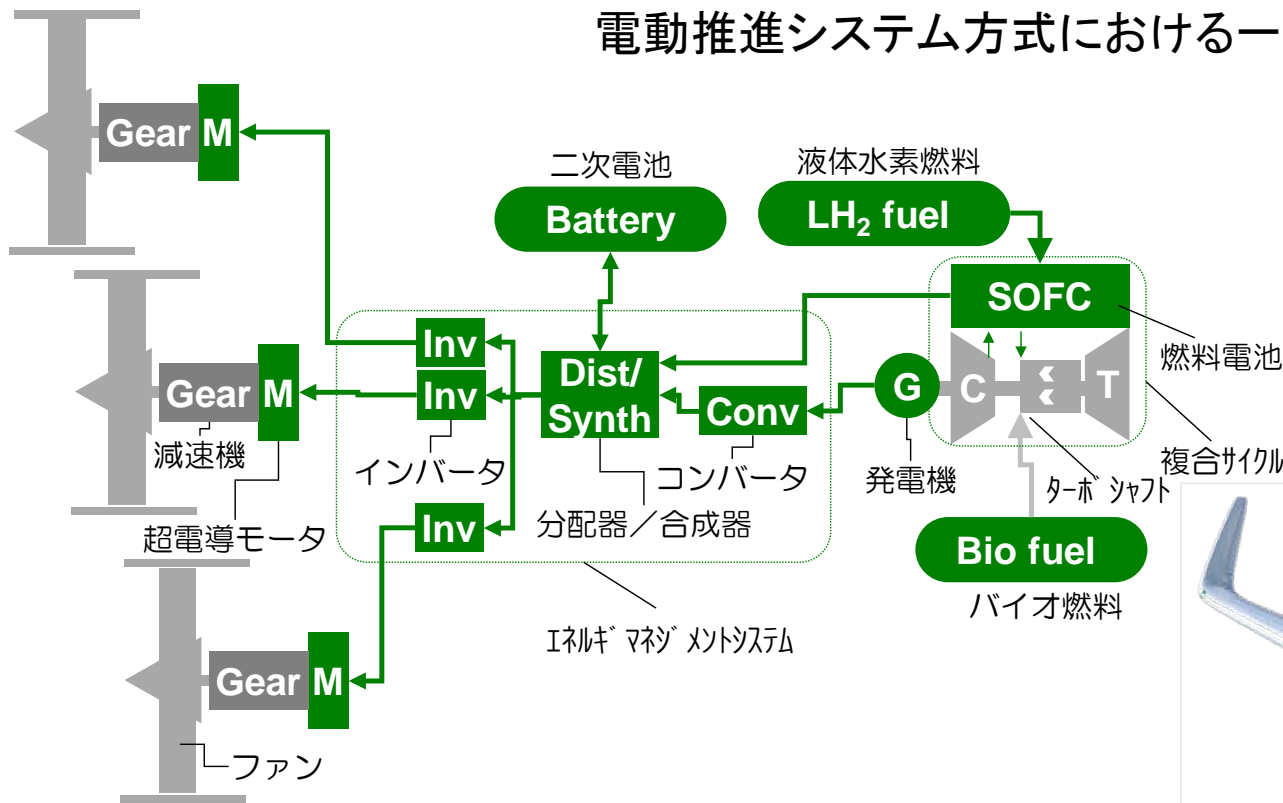
2050年代:
シリーズハイブリッドにより多発分散化を図り、機体の形態もBWB等の革新空力形状を目指す。また、超電導モータ等の革新要素技術導入も視野に。

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



複合サイクルシリーズハイブリッド

電動推進システム方式における一つの理想形



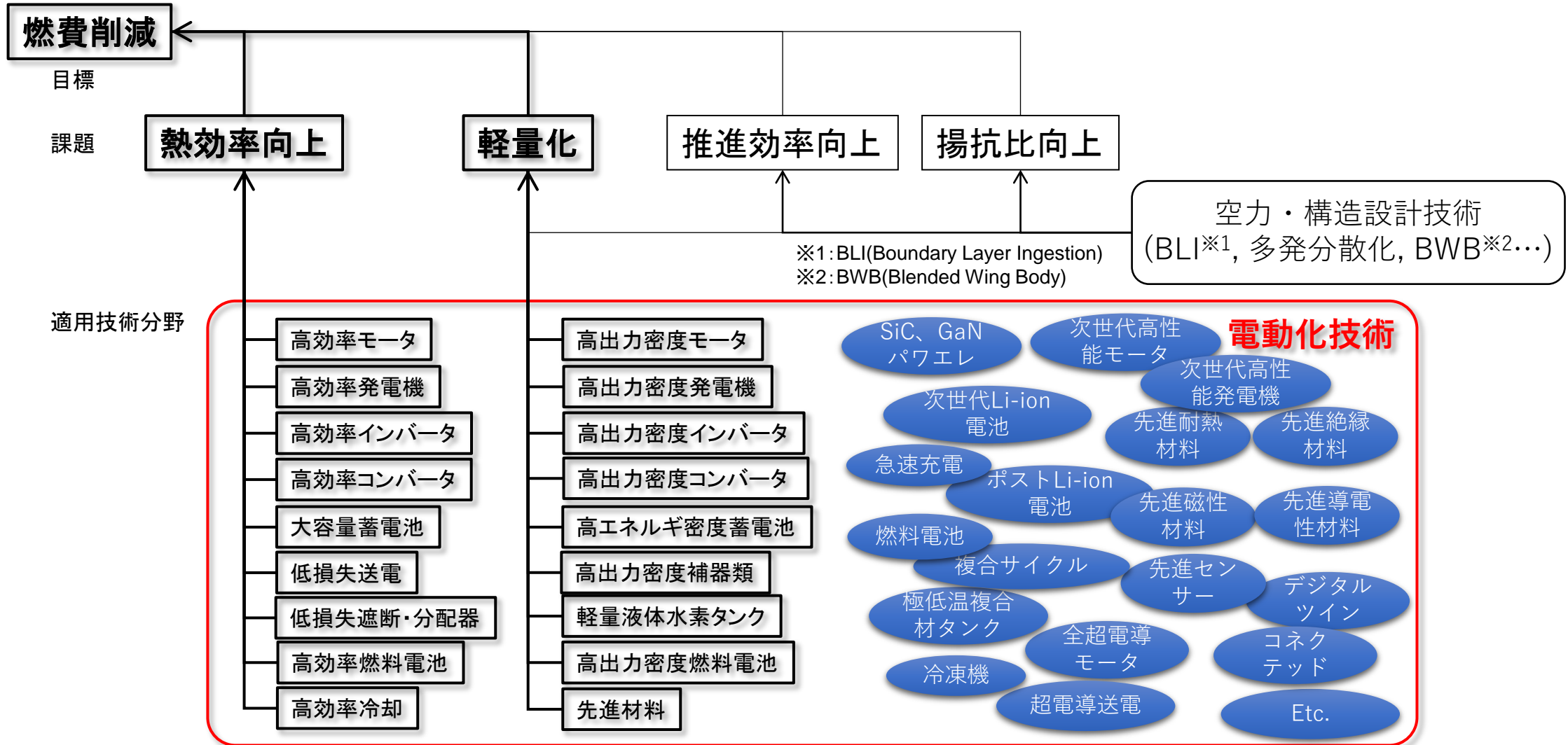
シリーズハイブリッドにより多発分散化を図り、機体の形態もBWB等の革新空力形状を目指す。
また、超電導モータ等の革新要素技術、CO₂フリー水素燃料導入も視野に。



エミッションフリー航空機の概念図

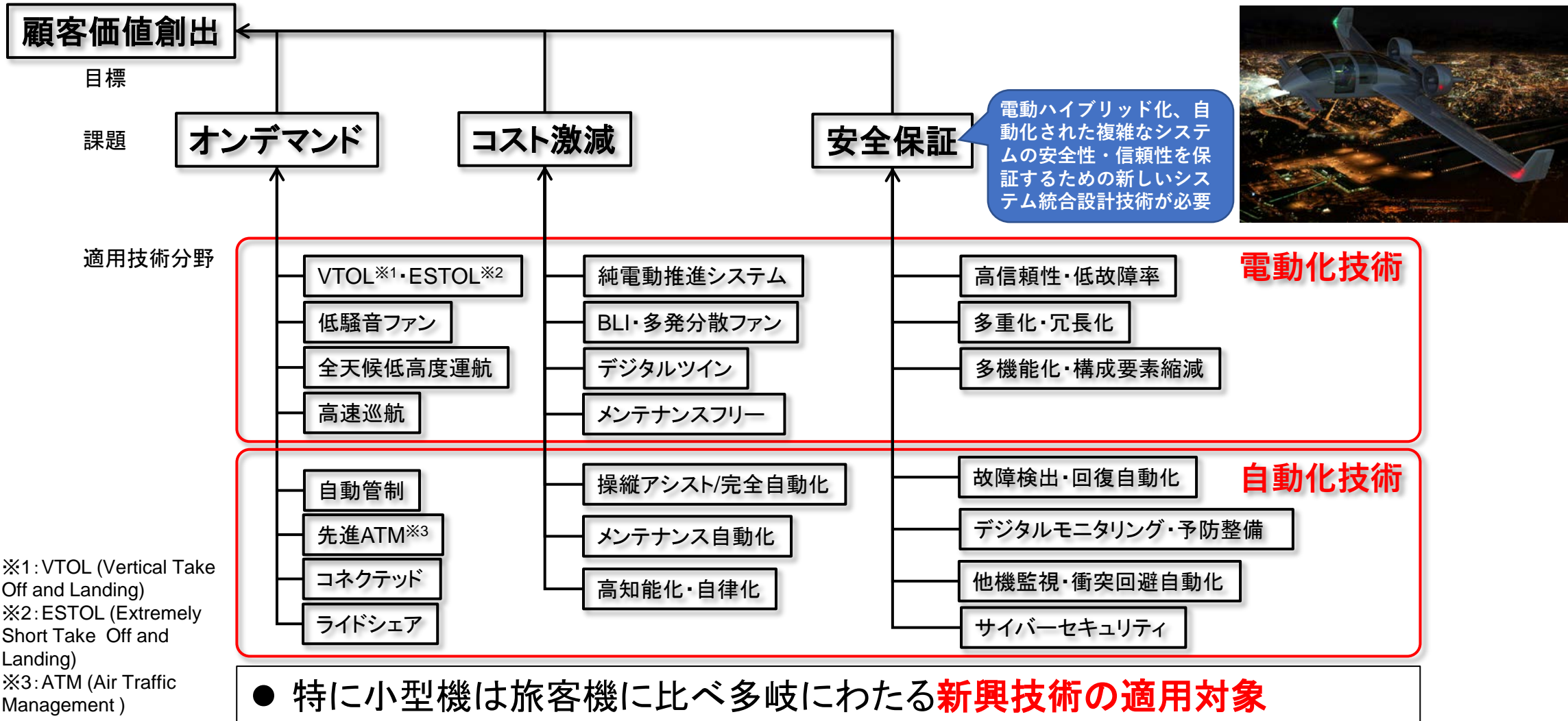
技術マップ (1/2 燃費削減※注)

※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

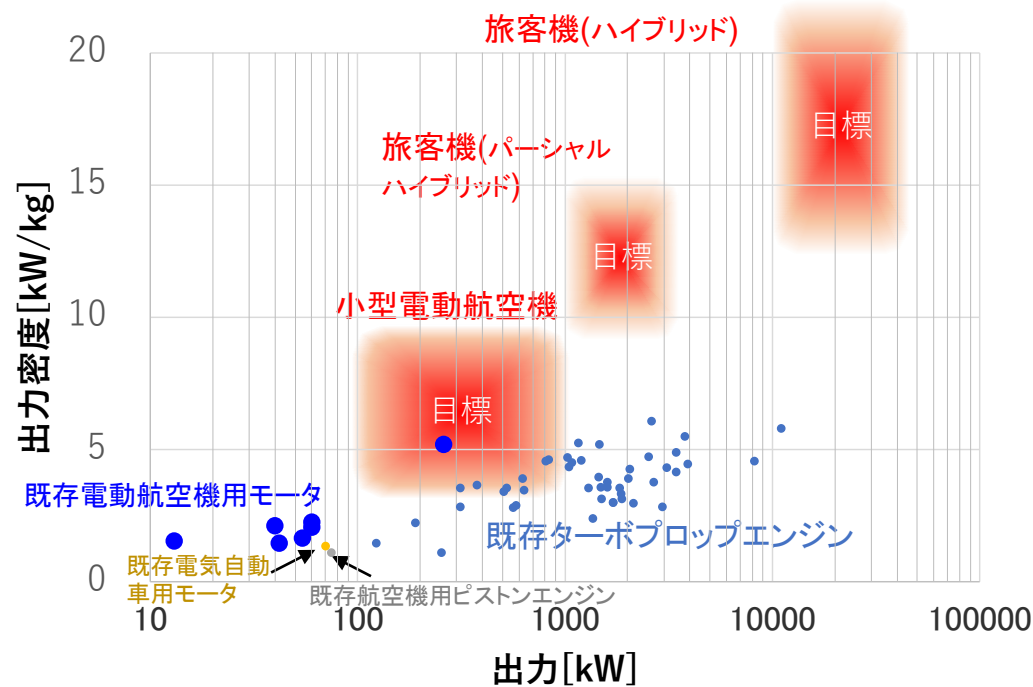


技術マップ (2/2 新しい顧客価値創出※注)

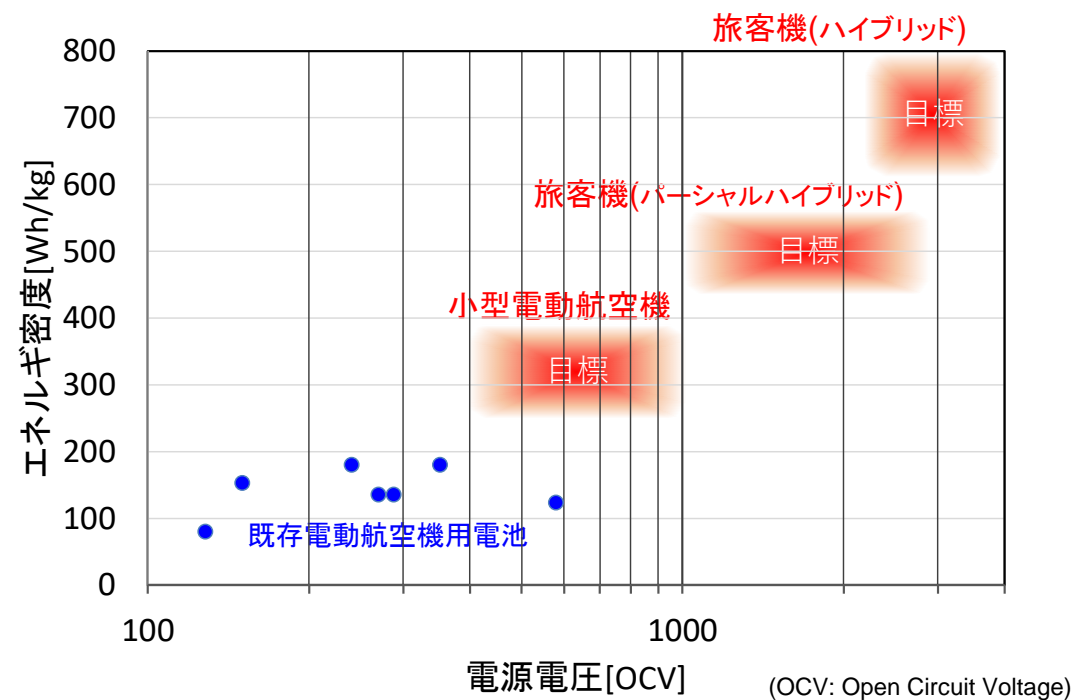
※注:本頁では小型機のための技術も、旅客機・小型機共通の技術も区別なく記載している



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



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

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）

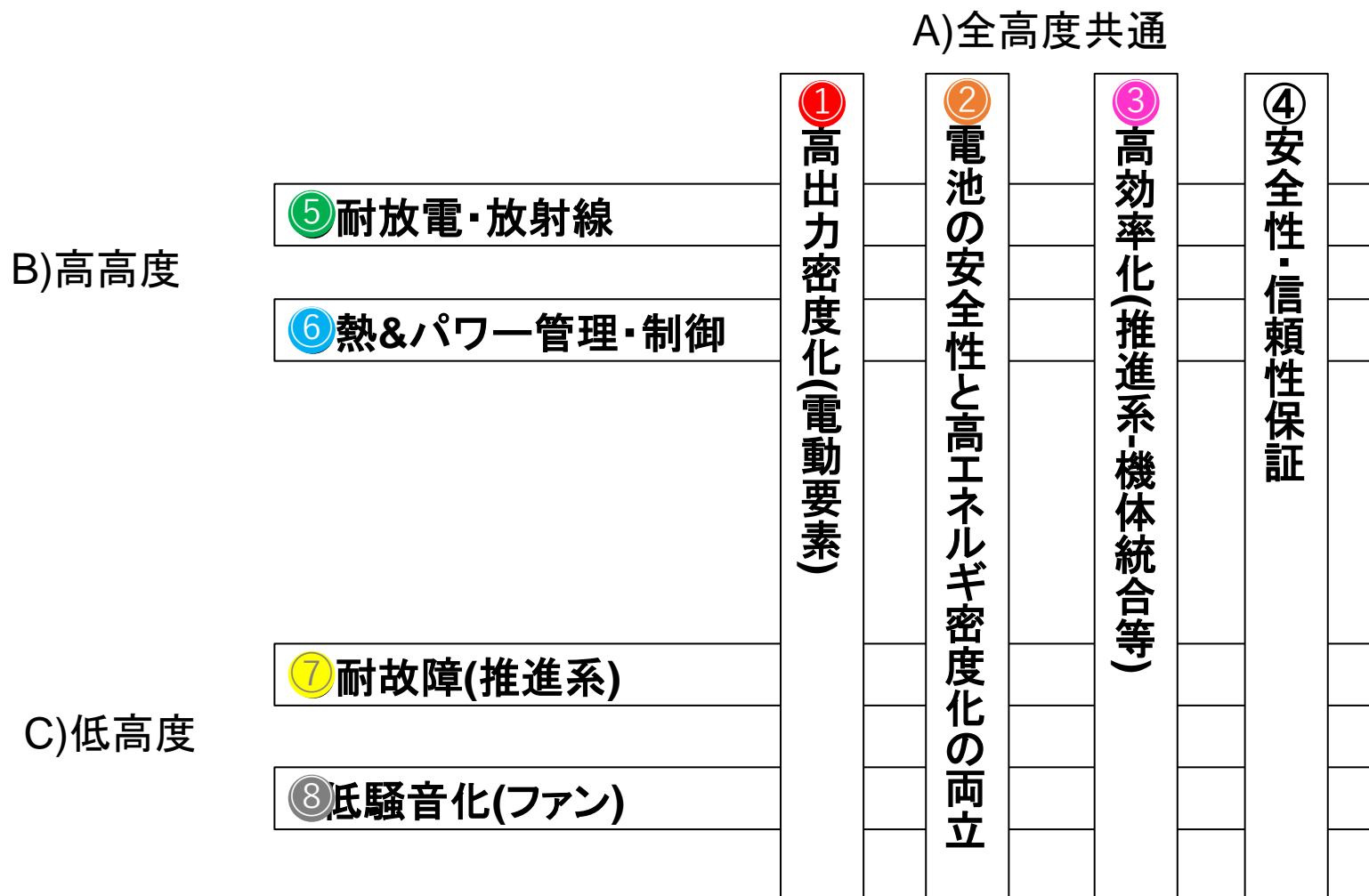
2. 電動旅客機

- 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

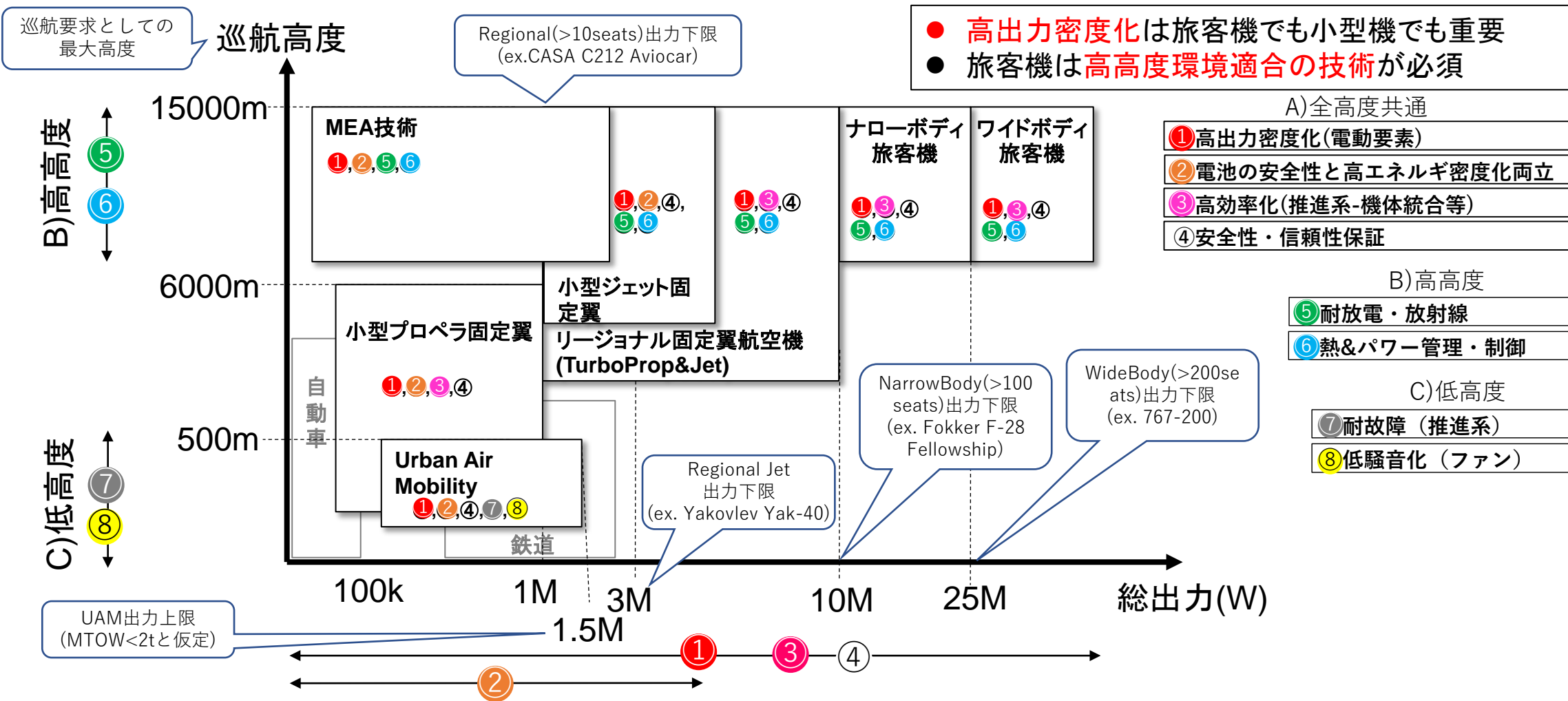
- a. システムの構成要素数が増えるために、従来よりも故障確率が増加してしまうリスク

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 (電カストレージ)
	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



- 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。

重要技術課題の抽出



- シナリオ1（**旅客機電動化：高難易度の目標に挑戦し、スピンオフも狙う**）
 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)としてスピンオフ
- 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

技術ロードマップ

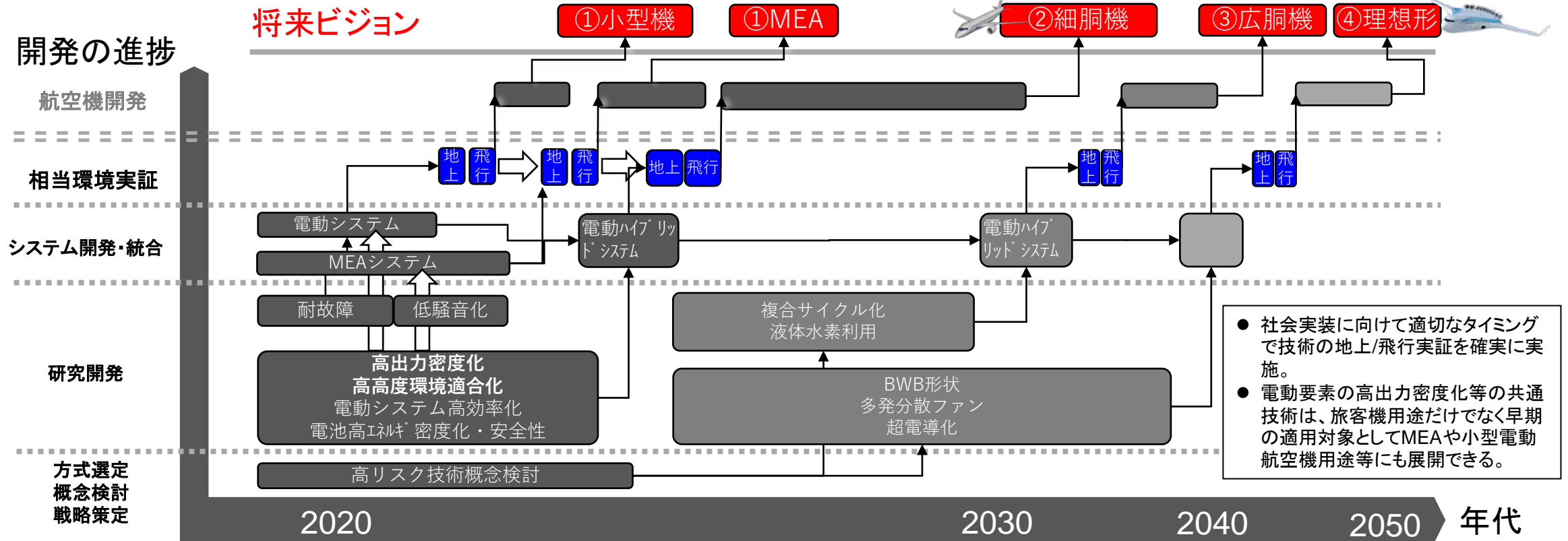
国際動向 E-FAN X(2020, 2MW) Zunum Aero(2022, 12pax) Eviation Alice(780kW, 9pax) FAR Part-23 new(2017~) CO₂ ペナルティ(2021~) EASA VTOL Special Condition(2019~) UBER Air(2023~) E-Thrust(100pax) 2005年比CO₂ 排出量半減

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**



Thank you.



宇宙航空研究開発機構
次世代航空イノベーションハブ



JAXA ECLAIR

<http://www.aero.jaxa.jp/about/hub/eclair/>

日本発 空飛ぶクルマ”SkyDrive”の開発について



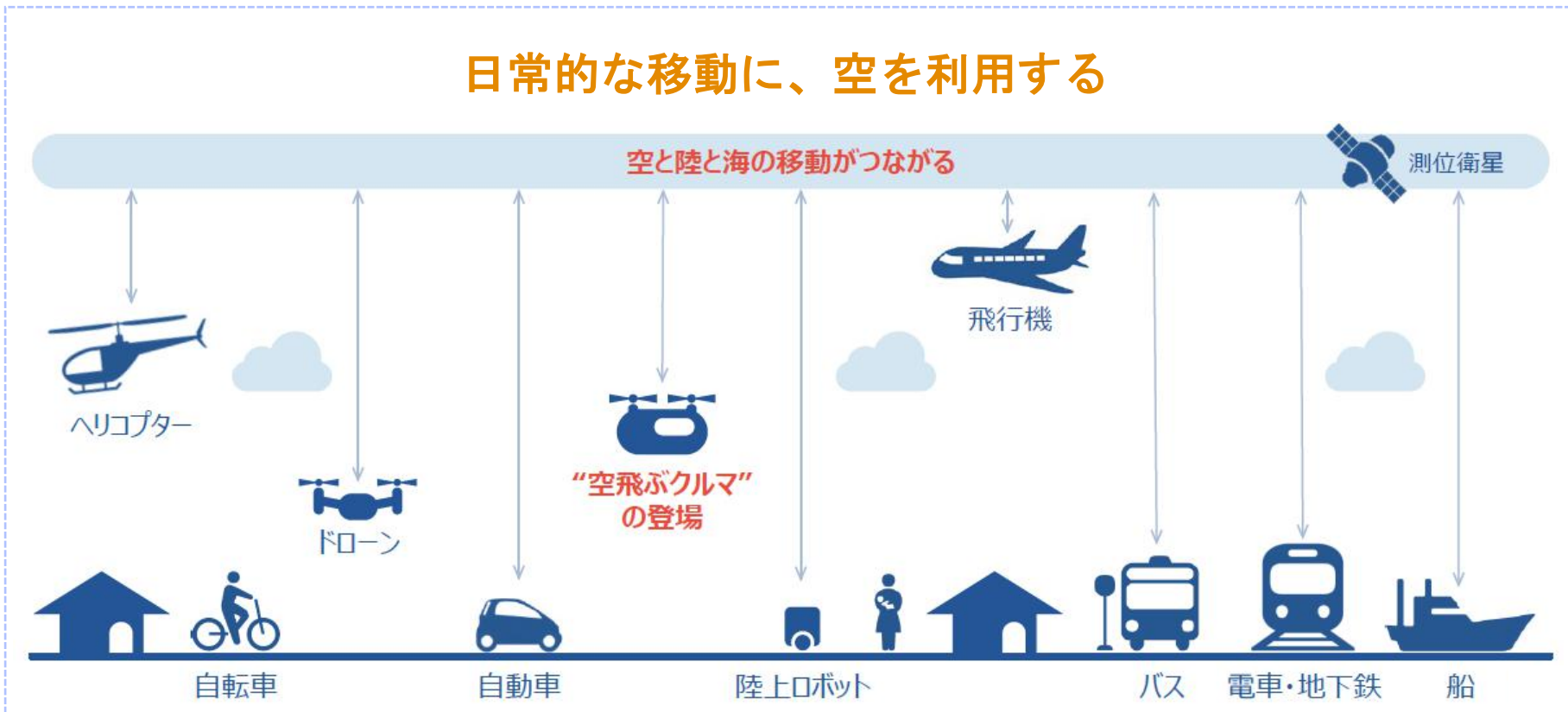
代表取締役CEO 福澤 知浩

<https://www.youtube.com/watch?v=58kEzTpPzS0&t=24s>

• 空飛ぶクルマとは

- SkyDrive紹介
- 機体/インフラ開発
- 事業開発
- 制度・社会受容性
- 無人機事業

日常的な移動に、空を利用する



特徴

電動

自動

垂直離着陸

利点

低コスト
低騒音

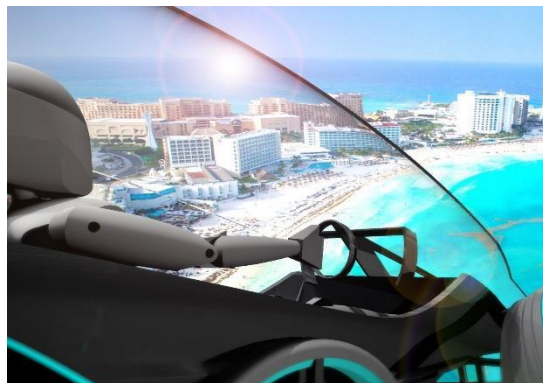
簡単な運転
自動運転も可能

インフラ小
点から点移動へ

移動をより短時間で



安全に、思いのままに



インフラが整備されて
いない地域でも

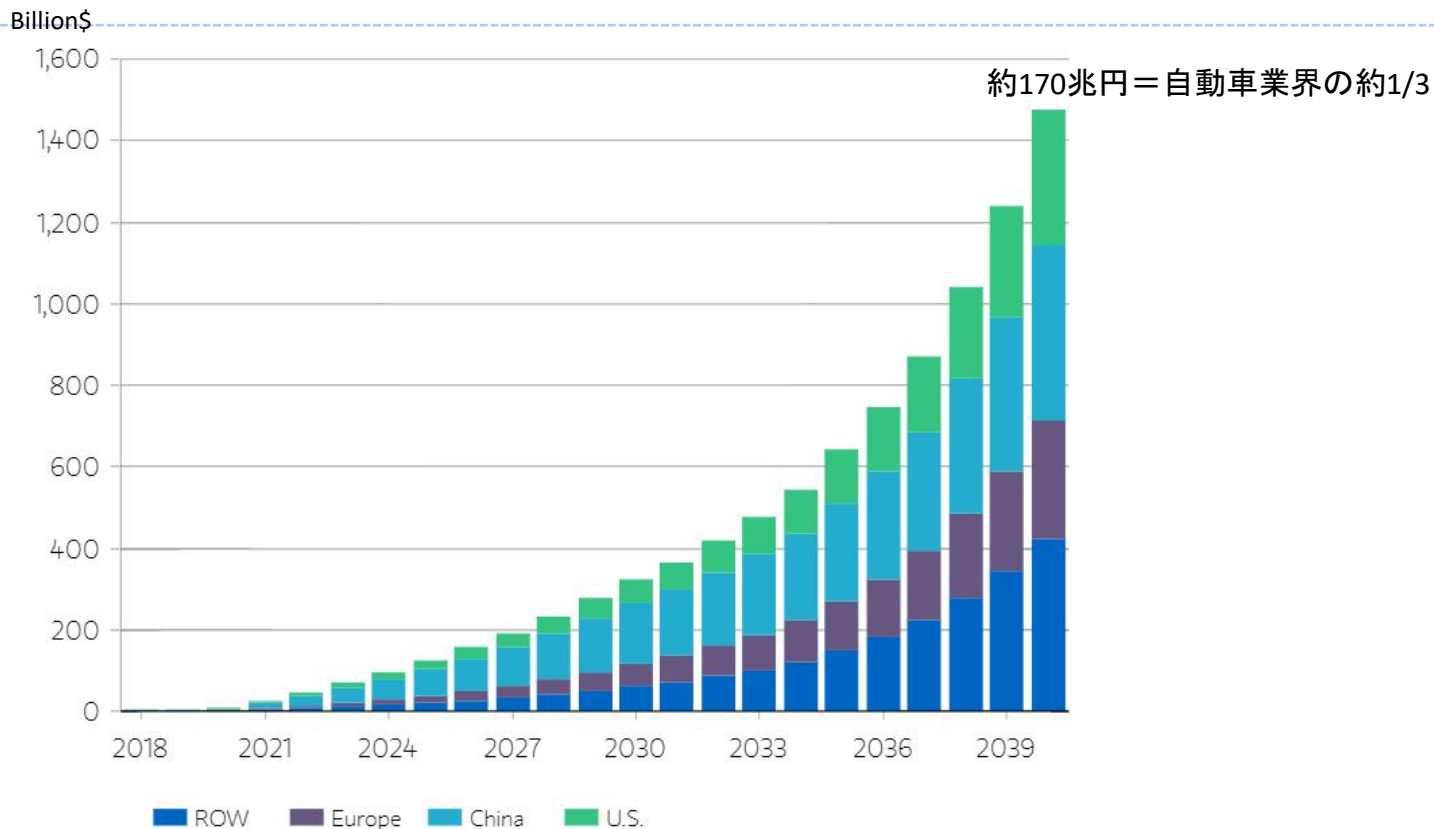






Volocopter





- 空飛ぶクルマとは

- SkyDrive紹介

- 機体/インフラ開発
- 事業開発
- 制度・社会受容性
- 無人機事業



会社名： 株式会社SkyDrive

代表取締役： 福澤 知浩

事業内容： 「空飛ぶクルマ」及び「カーゴドローン」の開発/製造/販売ほか

設立： 2018年7月

所在地： 東京オフィス：東京都新宿区（事務拠点）

開発拠点：愛知県豊田市（開発/試験拠点）

従業員数： 93名（2021年1月1日時点）

- 主に事務拠点である東京、開発拠点である愛知の2拠点で活動中

愛知 - AICHI -

豊田テストフィールド：開発拠点



開発場所 兼 事務所



屋内試験場（櫓付き）



屋外試験場

東京 - TOKYO -

東京本社：事務拠点



事務所内



- ・ 豊田市との連携協定を締結、10,000㎡の広大な試験施設の専有・無償利用
- ・ 開発と飛行試験場が同じ場所にある事が、極めて大きいアドバンテージ



組織の特徴

- メディア露出換算、約2億円/年



ワールドビジネスサテライト



ゲンバビト



組織の特徴

- 100社以上の資金・部材・人材の協賛企業様



- 空飛ぶクルマとは
- SkyDrive紹介
- **機体/インフラ開発**
- 事業開発
- 制度・社会受容性
- 無人機事業

2014
2014

2019
2019

2020
2020

2023
2023

CONCEPT
CONCEPT

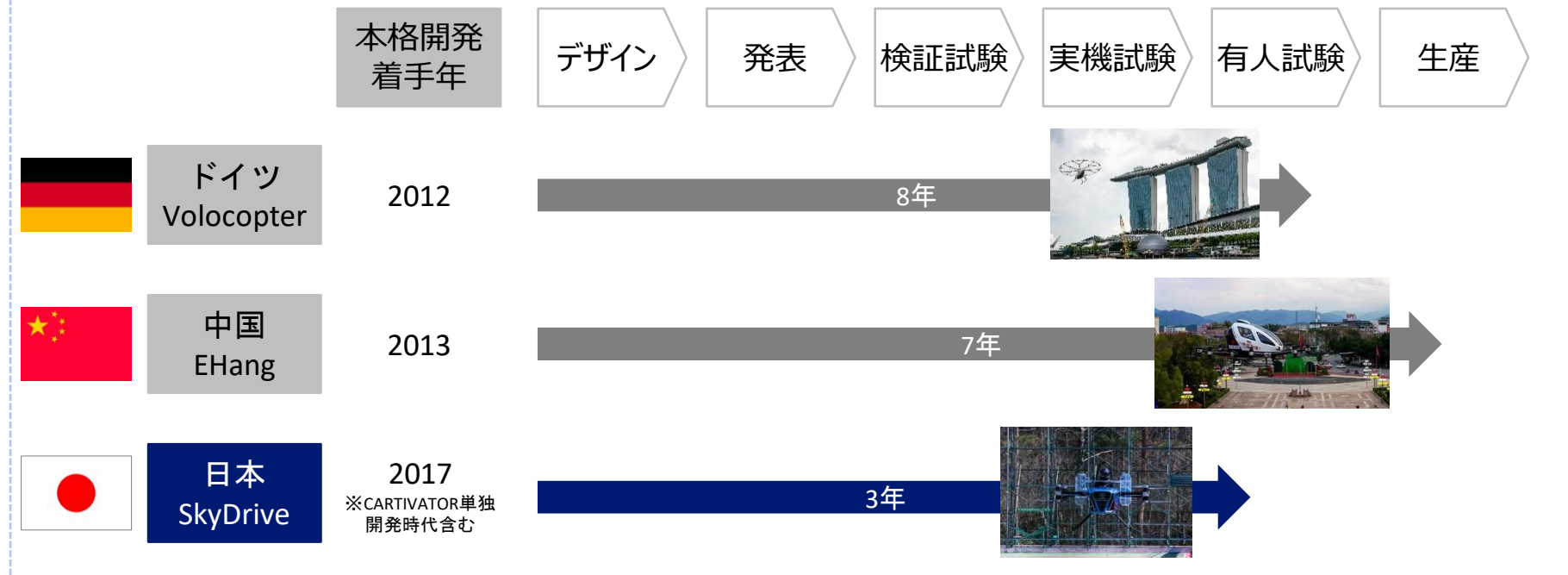
It's your journey presents by SkyDrive SD-03



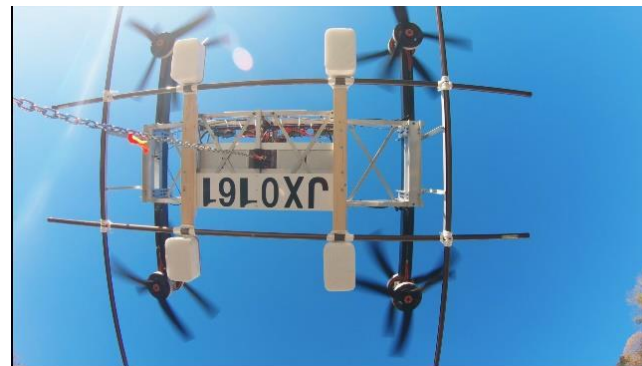
<https://www.youtube.com/watch?v=J49S0cXHSIg>

実績：世界の動きとSkyDriveの猛追

- 「空飛ぶクルマ」の開発は世界で活発化している
- 海外メーカーが先行して実用化に取り組む中、SkyDriveは異例の開発スピードで猛追している状況



- “空飛ぶクルマ”として、日本初、屋外飛行許可を取得し、飛行試験を実施



- 人形(75kg)を載せ、4分以上、数百メートルを安定飛行



World debut SkyDrive Manned Flight by SD-03 in the summer 2020 Full Version



<https://www.youtube.com/watch?v=xA9ah0zf9MQ&t=2s>

- 空飛ぶクルマとは
- SkyDrive紹介
- 機体/インフラ開発
- **事業開発**
- 制度・社会受容性
- 無人機事業



日本における有人飛行ルート案（2023～）



- まずは安全性の観点から飛行許可を得やすい海上のルートであり、一定の輸送ニーズが見込める東京・大阪の湾岸エリアにおいての実現を狙う

東京都

サービス時期の想定

- 2023年頃（5km程度）
- 2026年頃（10～30km程度）



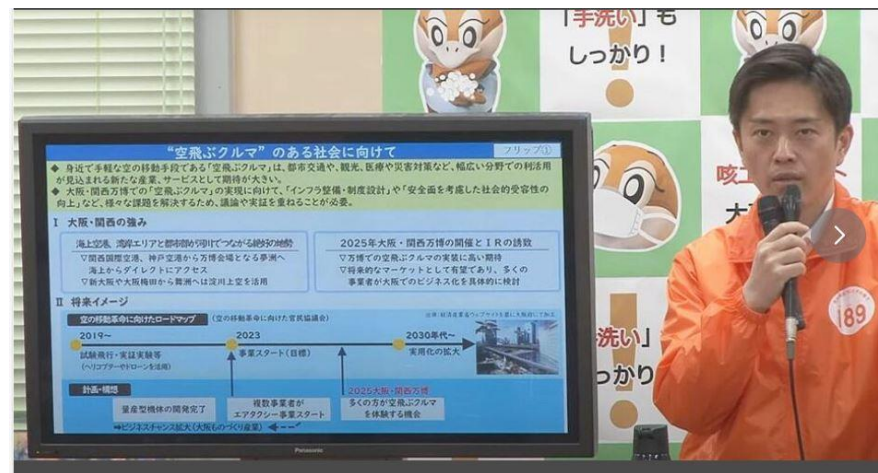
大阪府



- エアタクシーの実証実験として、大阪港湾エリアでの飛行を検討
- 夢洲⇔大阪港湾エリアから検討開始。神戸/関空との接続も目指す



2020年11月、約40社が集結し大阪府が事務局のラウンドテーブルが設立



Partnership for UAM Ecosystem

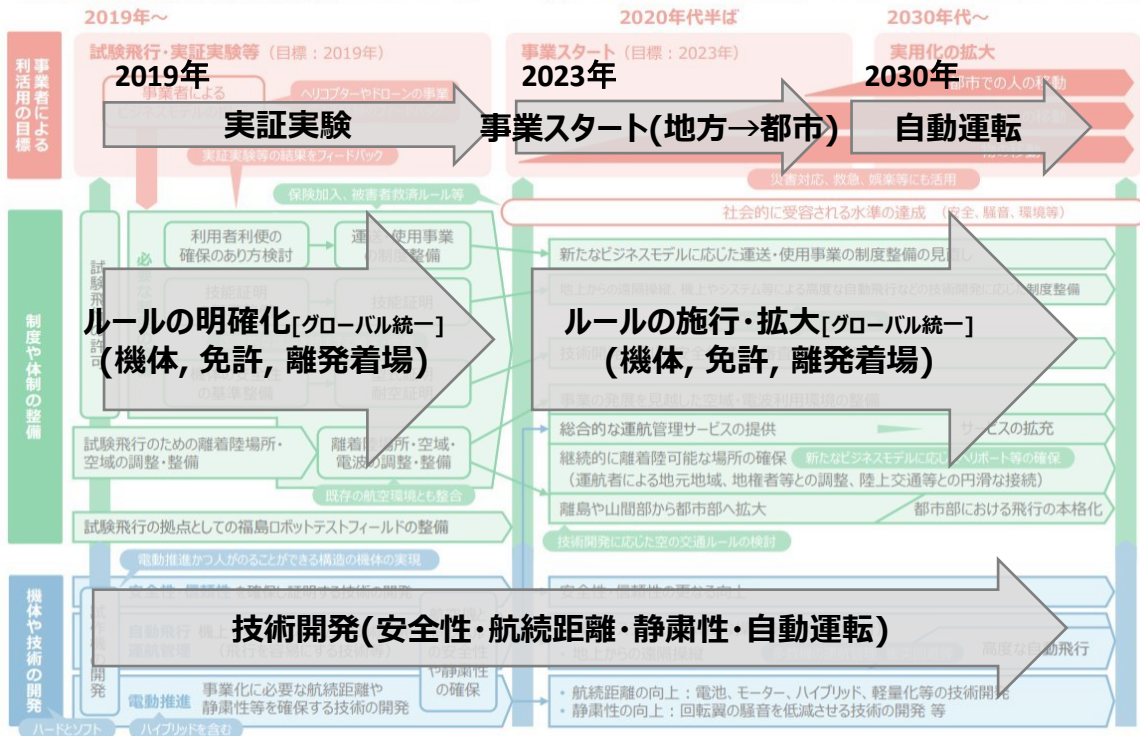


- 空飛ぶクルマとは
- SkyDrive紹介
- 機体/インフラ開発
- 事業開発
- **制度・社会受容性**
- 無人機事業

空の移動革命に向けたロードマップ

2018年12月20日 空の移動革命に向けた官民協議会

このロードマップは、いわゆる“空飛ぶクルマ”、電動・垂直離着陸型・無操縦者航空機などによる身近で手軽な空の移動手段の実現が、都市や地方における課題の解決につながる可能性に着目し、官民が取り組んでいくべき技術開発や制度整備等についてまとめたものである。(注)今後、他の輸送機器・機関の開発動向を踏まえ、空の利用に関するグランドデザインが必要になることを留意。



成長戦略

ポータルサイト



閣議決定・会議 Society 5.0の実現 全世代型社会保障への改革 人口減少下での地方施策の強化

今後の取組

- ・2020年目途に、公道での地域限定型の無人自動運転移動サービスが開始
- ・2030年までに、地域限定型の無人自動運転移動サービスが全国100か所以上で展開

1. 日本版MaaSの推進

自家所有
旅客運送

- ・タクシー事業者が協力する制度の創設
- ・観光ニーズへの対応
- ・交通空白地の明確化、広域的な取組の促進

タクシーの
利便性向上

- ・相乗り導入、事前確定運賃などの柔軟な料金体系の実現に向けた各種制度の整備

MaaS支援

- ・オープン化するデータの整理やシステム連携可能なAPI検討、ガイドライン策定
- ・国交省・経産省が連携し、新たなモビリティサービス導入に取り組む地域を支援

インフラ整備

- ・バスタ新宿、品川、神戸三宮等の集約交通ターミナル[バスタプロジェクト]を全国で展開

2. 自動運転の社会実装に向けた取組

- ・重点地域での長期間の実証実験の高度化

- ・東京臨海地域のインフラ整備を実施し、2019年10月に民間事業者等による最先端の自動運転サービスの実証を開始
- ・空港制限区域内で自動運転車両の対象を拡大、2020年までに省力化技術を実装

3. 陸海空の様々なモビリティの推進、物流改革

陸

- ・電動低速モビリティを2020年までに50地域で導入
- ・宅配用自動走行ロボットについて、本年度内に公道上での実証実現、ルール整備

海

- ・自動運航船の安全設計ガイドラインを策定

空

- ・2022年度に有人地帯での目視外飛行による荷物配送等のサービスを可能にするため、本年度中に各種制度設計の基本方針を決定

- ・空飛ぶクルマの実現に向け、2023年からの事業開始を目標に制度整備を推進

4. 昨今の交通事故を踏まえた安心安全な道路交通の実現

安全装置

- ・2019年内目途に衝突被害軽減ブレーキの義務付け、ペダル踏み間違え時加速抑制装置等への性能認定制度の導入の結論

高齢者の免許制度創設

- ・高齢者が運転できる免許制度の創設に向け、2019年度内に方向性

- 空飛ぶクルマとは
- SkyDrive紹介
- 機体/インフラ開発
- 事業開発
- 制度・社会受容性
- **無人機事業**

Air Mobility : 空飛ぶクルマ

世界最小でDoorto Doorの移動が
可能なモビリティ



Cargo Drone : 産業用ドローン

30kgの重量物輸送の
省人化・自動化を安全に実現



一般的なドローン



- ペイロード*：最大10kg程度
- 飛行時間：10-20分
- 安全性：中（1要素の故障で落下の恐れ）

*可搬重量

SkyDrive 「Cargo Drone」



- ペイロード*：最大30kg程度
- 飛行時間：10-20分
- 安全性：高（1要素の故障で落下しない）

<https://www.youtube.com/watch?v=OdNIJJ1KcWA>



山設備への資機材の輸送



建設現場での資機材の輸送

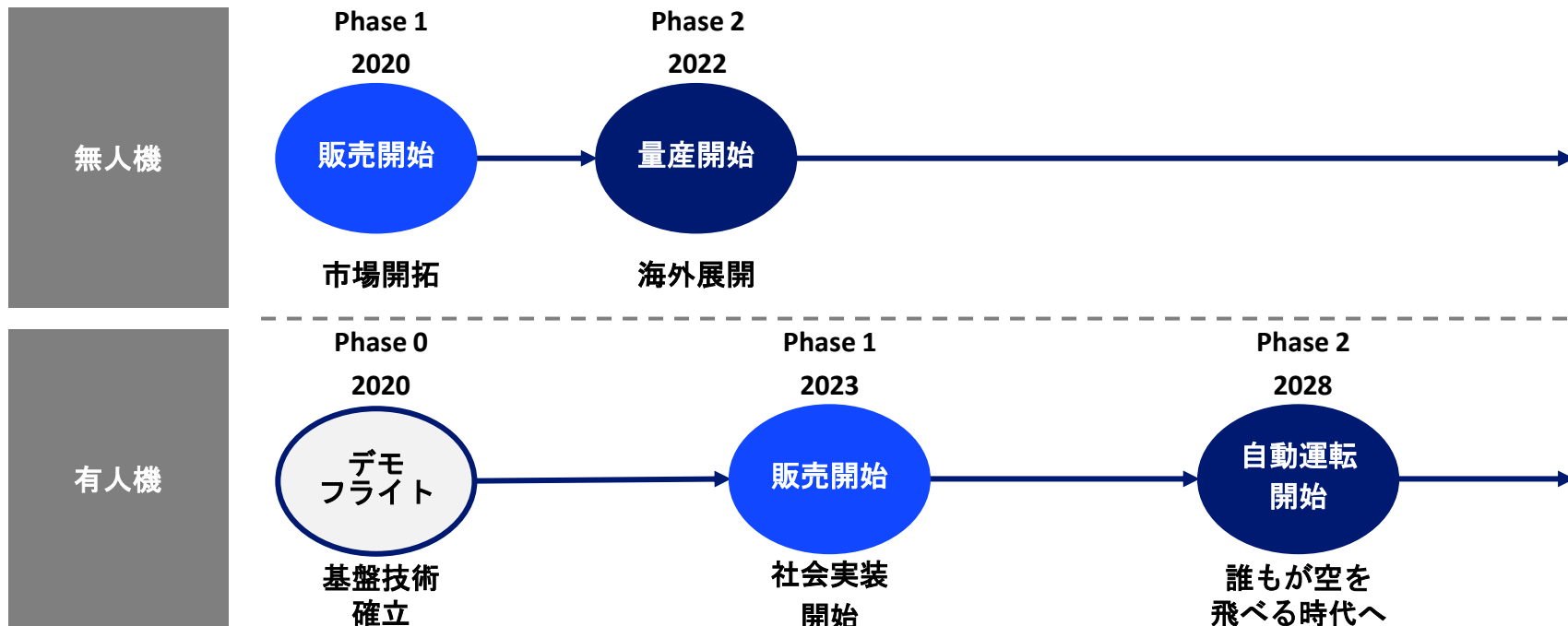


船・洋上設備への資機材輸送



山小屋への物質輸送

- 無人機と有人機のコア技術は共通。市場拡大が先行する無人機を着実に進めつつ、得られた知見を有人機に反映していく。



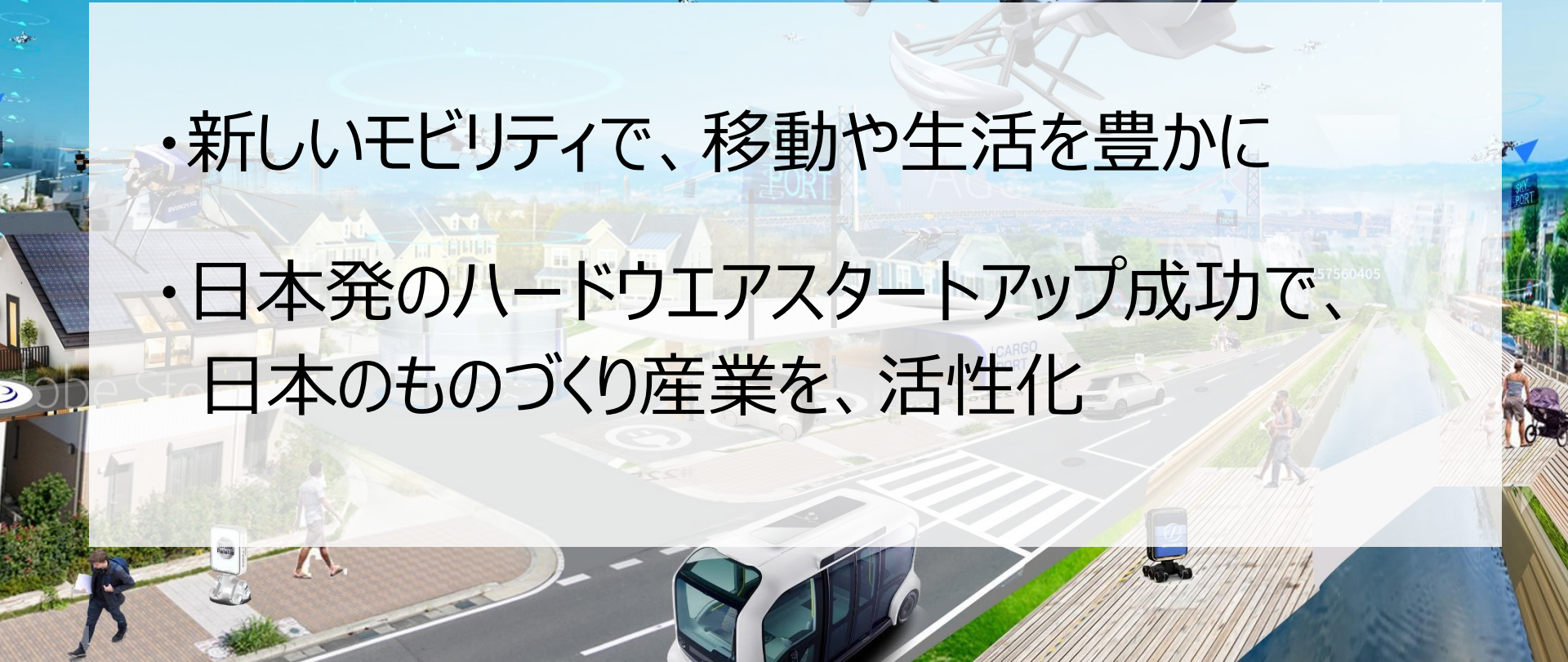
空飛ぶクルマ”SkyDrive”のある未来 -2030 Future World with SkyDrive-2030



<https://www.youtube.com/watch?v=d7IGU4KWxaQ&t=1s>

WAKE UP & BOARDING SKY ROAD

- 新しいモビリティで、移動や生活を豊かに
- 日本発のハードウェアスタートアップ成功で、日本のものづくり産業を、活性化



Thank you !

航空機開発

グローバルプロジェクトリーダー養成講座

(略称：GPL 講座)

航空機開発とプロジェクト・マネジメント

—航空機開発テキスト集—

2021 年 3 月 31 日

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学大学院工学研究科

航空宇宙工学専攻 GPL 講座事務局

目的

本講座では、国産民間航空機開発で、グローバルな対応が必要とされる航空機認証、品質管理体制、プログラム管理、大規模システム開発（システムエンジニアリング）、運航と整備等を含む技術課題を理解しこれらの体系的な見識からプログラムを指導し、海外の関連企業関係者と対等に協議あるいはネゴシエーションが行える英会話能力及び航空機開発や類似する大規模な技術開発において責任を持ってプロセスを制御する能力を養成することを目標としています。

講座概要

本講座は、航空機開発の業務現場に必須のマネージメントを教育するもので、昨今の航空機開発で課題数の多い分野から内容を選択しているため、現場で直ちに実践可能な内容になっています。

テキスト一覧

教材 01： 航空機開発の特質 / ビジネス規模と航空機の特徴

教材 02： 航空機認証に関する Regulation とガイドライン

教材 03： 航空機開発と製造における品質管理

教材 04： 商品企画と開発の流れ

教材 05： 開発手法の傾向と開発の管理

教材 06： プロジェクト・マネージメント / マネージメントとツール

教材 07： 装備機装の安全設計

教材 08： 運航と整備

教材 09： 複雑なシステムの開発

教材 10： 航法システムと航空管制技術の動向と課題

テキスト概要

教材 01：航空機開発の特質 / ビジネス規模と航空機の特徴

- 航空機開発の特質やビジネス規模を知ることによってリーダーが直面する問題の背景や他分野との連携に対する認識を得る。

教材 02：航空機認証に関する Regulation とガイドライン

- 航空機運航に先立ち必要な型式証明や事業場認定、耐空証明とそれらを規定する規則やガイドラインの体系を修得する

教材 03：航空機開発と製造における品質管理

- 航空機開発・製造の品質管理業界規格 JIS Q 9100 や航空法等関連法規の体系と要求される品質管理の概要を修得する

教材 04：商品企画と開発の流れ

- 国際的な航空機開発の流れを修得しそれぞれのフェーズで実施する作業内容を把握する

教材 05：開発手法の傾向と開発の管理

- 航空機開発手法の傾向やマネージ手法を修得する

教材 06：プロジェクト・マネージメント / マネージメントとツール

- プログラム管理の必要性和手法を修得する

教材 07：装備機装の安全設計

- 装備機器が安全に機能するために必要な設計検討を修得する

教材 08：運航と整備

- 大規模システム開発のプロセスの修得と課題の把握する

教材 09：複雑なシステムの開発

- 運航や整備がどのように行われているか機体開発ではどんな考慮が必要かを修得する

教材 10：航法システムと航空管制技術の動向と課題

- 航法管制に必要な航空機装備と機能を理解する

テキストの使用にあたり

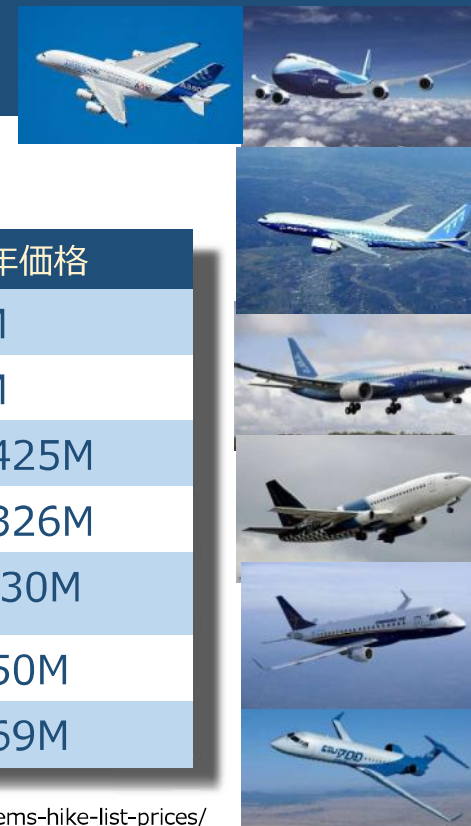
企業情報を含む場合があるため複製は禁じます。

ただし、テキストとして使用する場合は、厚生労働省該当サイトからご利用いただけます。

航空機開発グローバルプロジェクトリーダー養成講座（略称：GPL 講座）
航空機開発とプロジェクト・マネジメント
——航空機関係テキスト集——

教材 01： 航空機開発の特質 — ビジネス規模と航空機の特徴

機体価格



機種	参考：2018年価格
エアバス A380	\$446M
ボーイング 747	\$403M
ボーイング 777	\$295M～\$425M
ボーイング 787	\$239M～\$326M
ボーイング 737	\$86M～\$130M
ボンバルディア CRJ700/CRJ1000	\$41M～\$50M
エンブラエル 170/175/190/195	\$43M～\$69M

データ出所：<https://leehamnews.com/2018/02/26/pontifications-oems-hike-list-prices/>

1 座席あたりの価格

■ 自動車

約 \$4,000

75倍～175倍



■ 民間航空機

\$300,000～\$700,000

(リージョナル機/シングルアイル機 ～ 787/A350)



生産高

日本での生産高

製品	生産高
家電	21兆円
自動車	37兆円
航空機	1兆円

(経済産業省工業統計調査H23年のデータから算出)

世界の航空機産業

国名	生産高	雇用
米国	1,895億ドル	62.4万人
フランス	488億ドル	15.7万人
ドイツ	381億ドル	9.5万人
日本	113億ドル	2.5万人

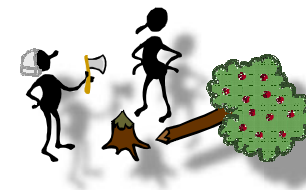


一人当たりの生産高

30万ドル
31万ドル
40万ドル
45万ドル

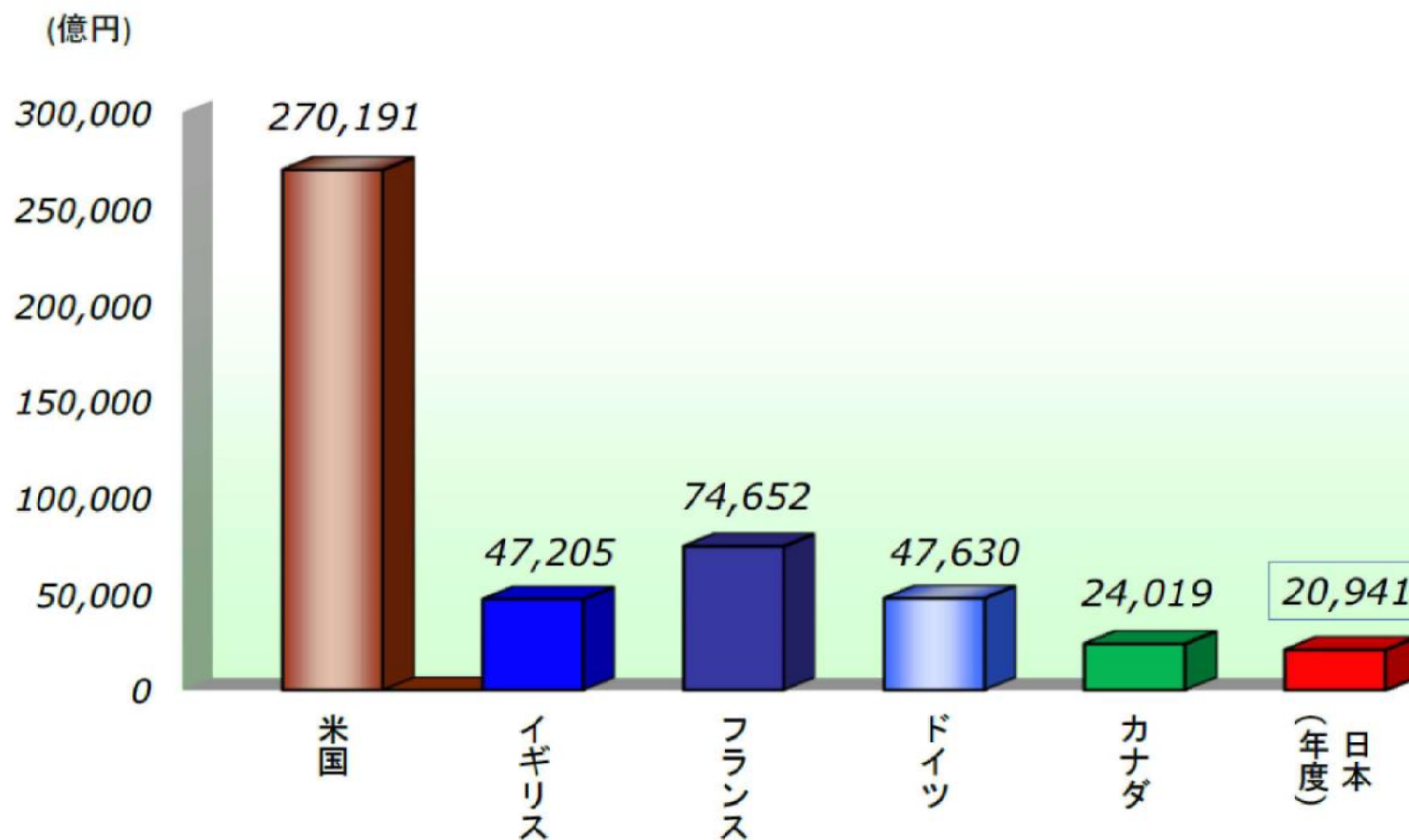
政府研究開発投資

- 欧米が数百億円規模に対し、日本は30億円規模。
(文科省研究開発局 航空科学技術委員会H25.5.23より抜粋)



世界における我が国の航空宇宙産業

H29年 主要国の航空宇宙工業の生産額

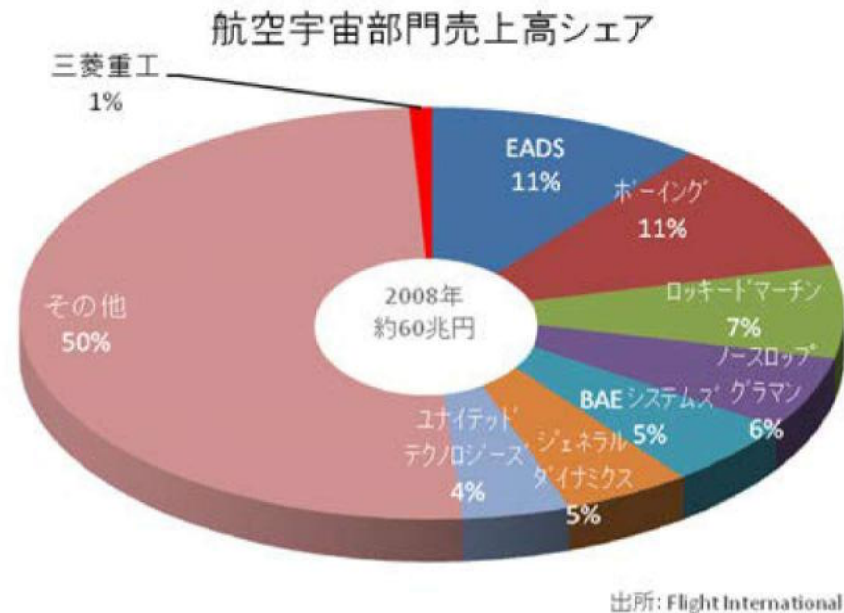


日本の航空宇宙産業の市場規模 (2.1兆円) は米国 (27兆円) の約1/13

世界市場における日本企業

航空宇宙部門売上高ランキング(百万ドル)

1	EADS	蘭	63,308
2	ボーイング	米	60,909
3	ロッキード・マーチン	米	42,731
4	ノースロップ・グラマン	米	33,887
5	BAE システムズ	英	30,928
6	ジェネラル・ダイナミクス	米	29,300
7	ユナイテッド・テクノロジーズ	米	24,540
8	レイセオン	米	23,174
9	フィンメカニカ	伊	23,030
10	タレス	仏	18,532
11	G.E.	米	16,819
22	三菱重工業	日	5,089
34	IHI	日	2,890
42	川崎重工業	日	1,994
54	パナソニック	日	1,136
65	富士重工業	日	805
90	ジャムコ	日	425

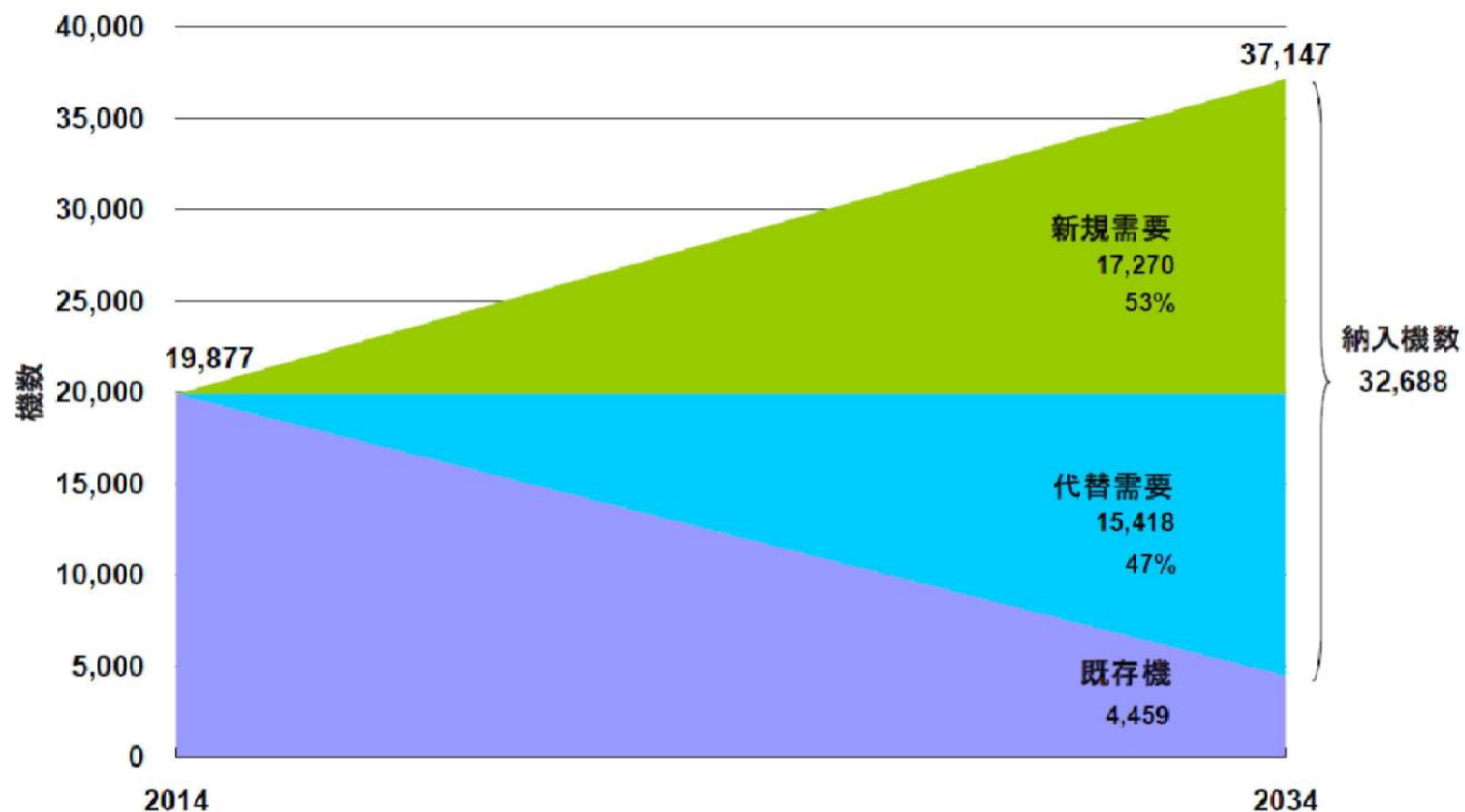


出所 : Flight International

売上高ランキング上位はすべて欧米勢で、国内勢は最高で 22 位

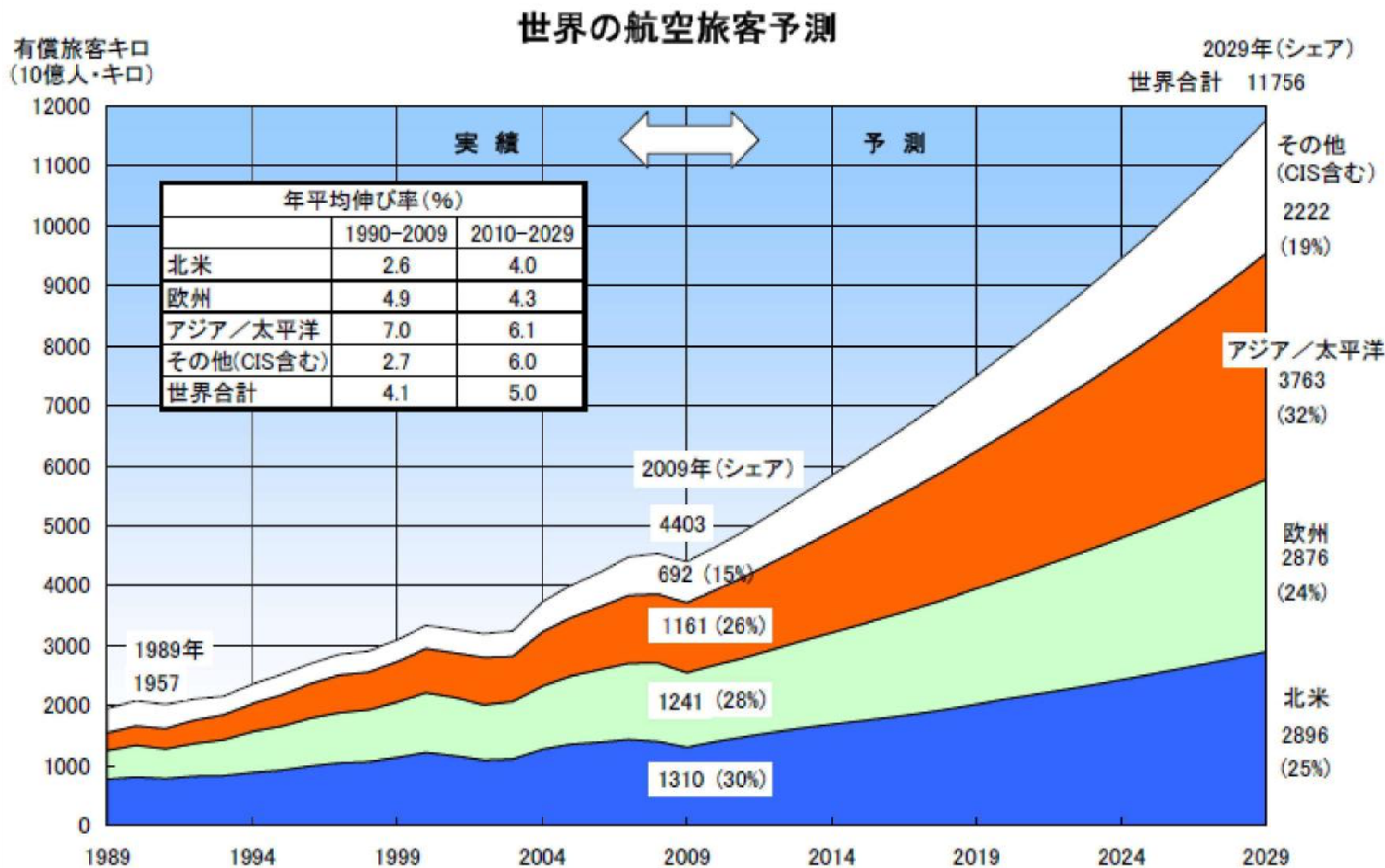
需要予測 - JADC 平成25年3月の予測

ジェット旅客機の需要予測結果



元データ出所: JADC 平成25年度版 民間航空機に関する市場予測2015-2034
2015年3月 一般財団法人 日本航空機開発協会

世界の航空旅客需要予測（地域別）

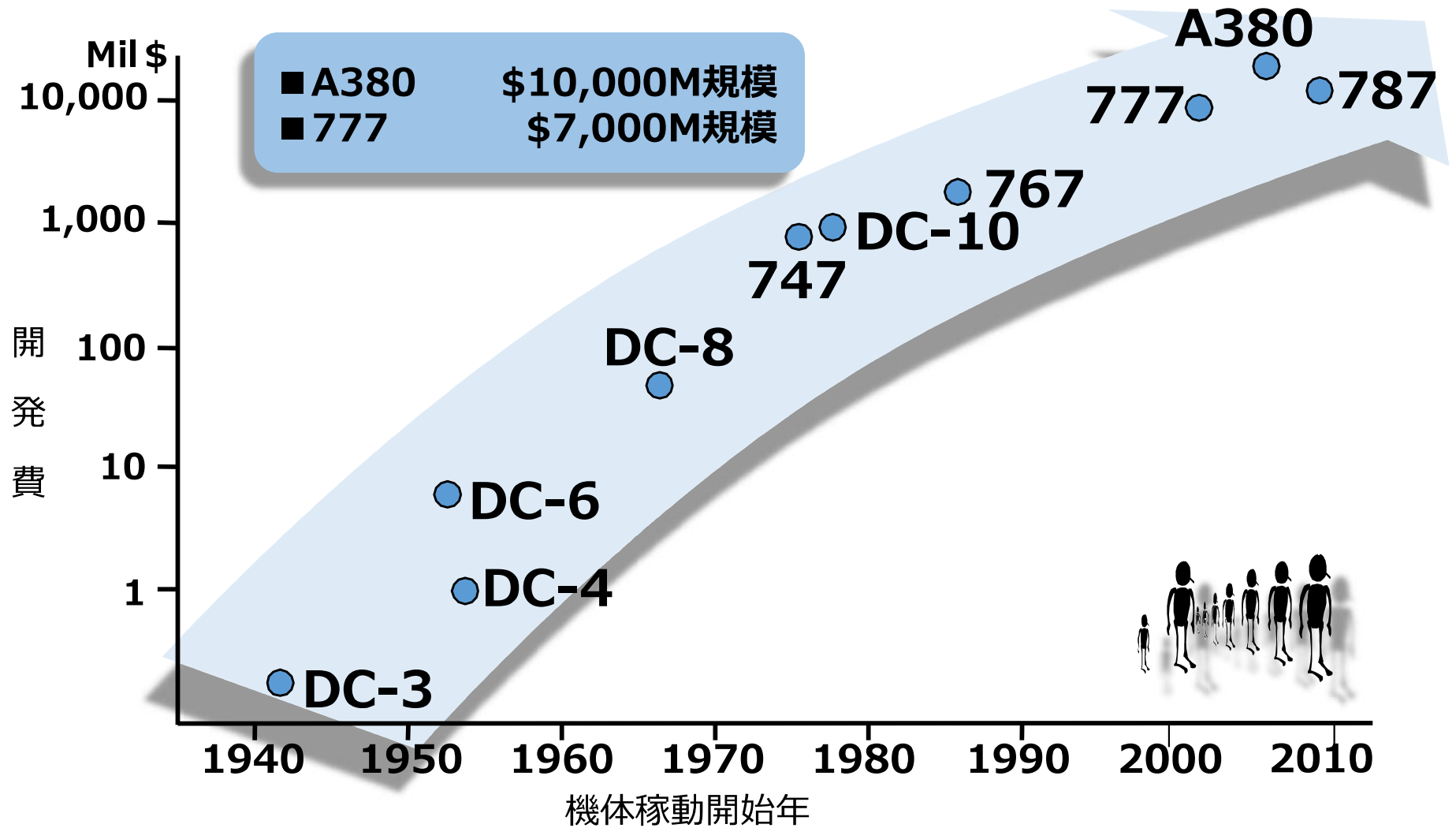


出所：日本航空機開発協会

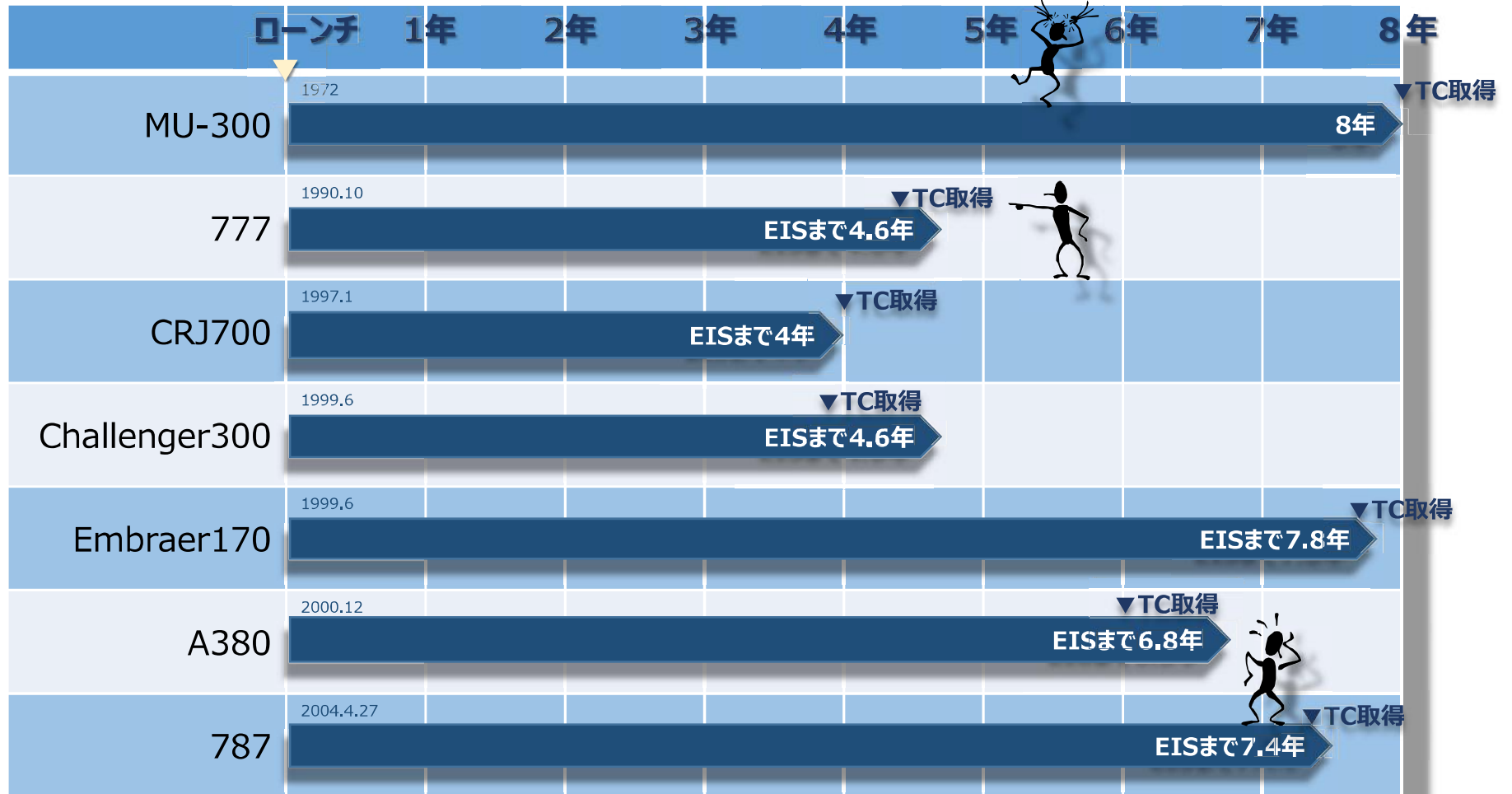
アジア市場は経済発展を背景に世界最大の市場に成長

出所：2013年1月25日 株式会社 日本政策投資銀行
国内航空機産業の現状課題と将来動向 航空機ビジネスの俯瞰図

開發費規模



民間航空機の開発期間

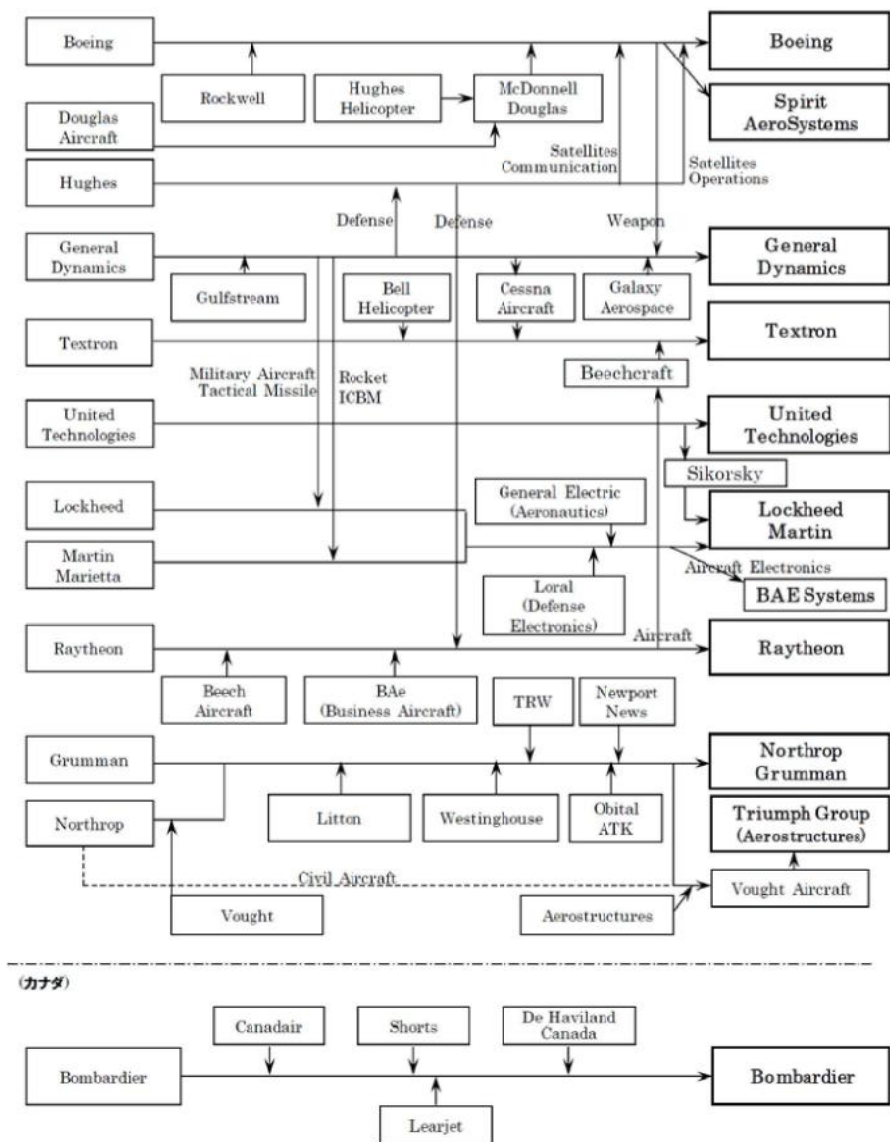


参考：自動車

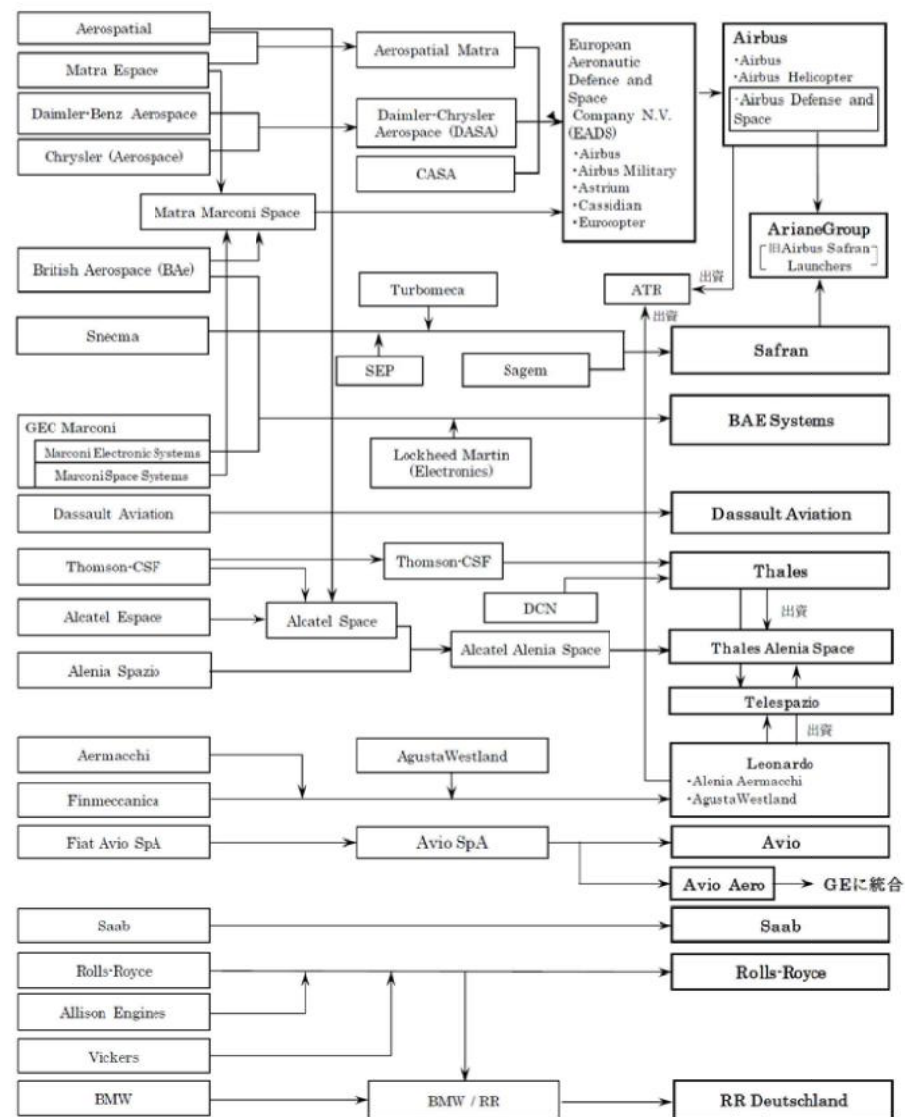
1年未満

M&A

アメリカ・カナダ航空宇宙産業のM&A

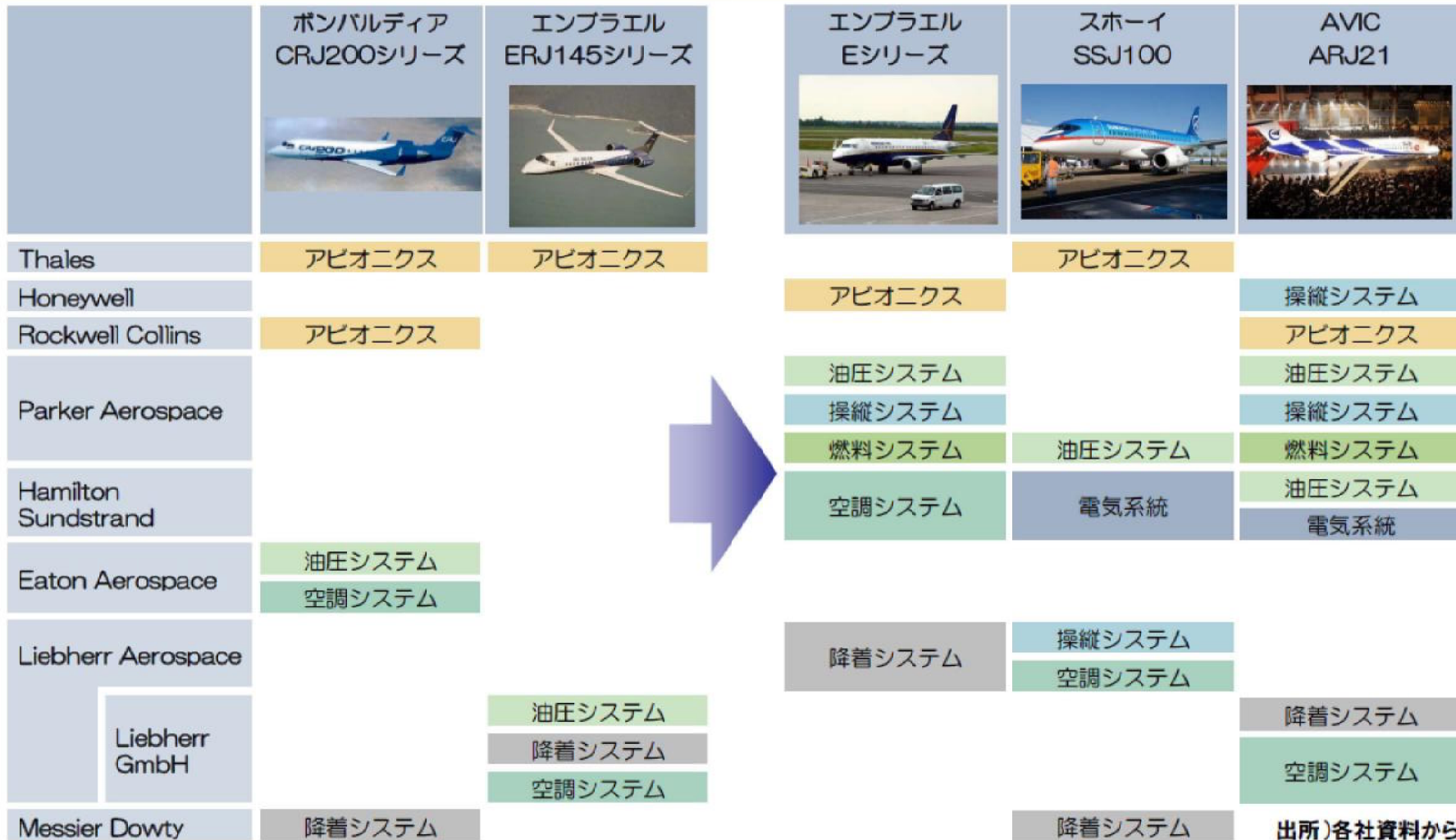


ヨーロッパ航空宇宙産業のM&A



出典：航空宇宙産業データベース
令和元年7月 一般社団法人 日本航空宇宙工業会

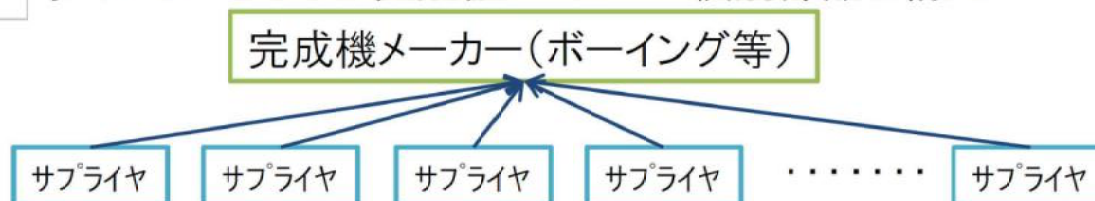
航空産業クラスターの方向性：重要となるサプライヤの役割



完成機メーカー調達方針の変化

従来

多くのサプライヤが完成機メーカーへ個別部品を納入

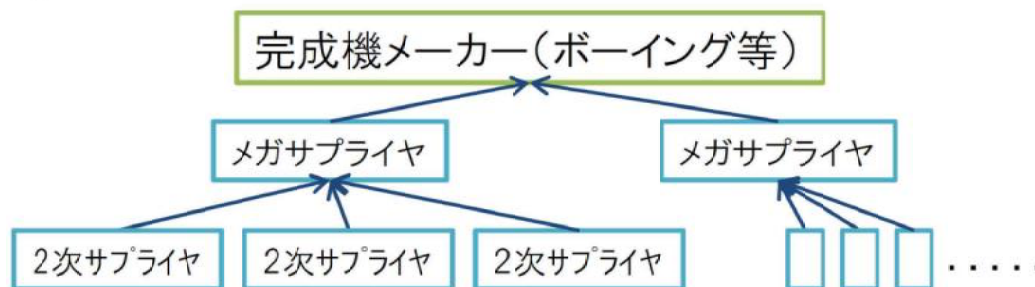


開発負担分散のための国際分業体制

移動式ライン導入による組み付け容易性の必要

現在

完成品モジュール納入を要求⇒直接取引するサプライヤ数絞り込み

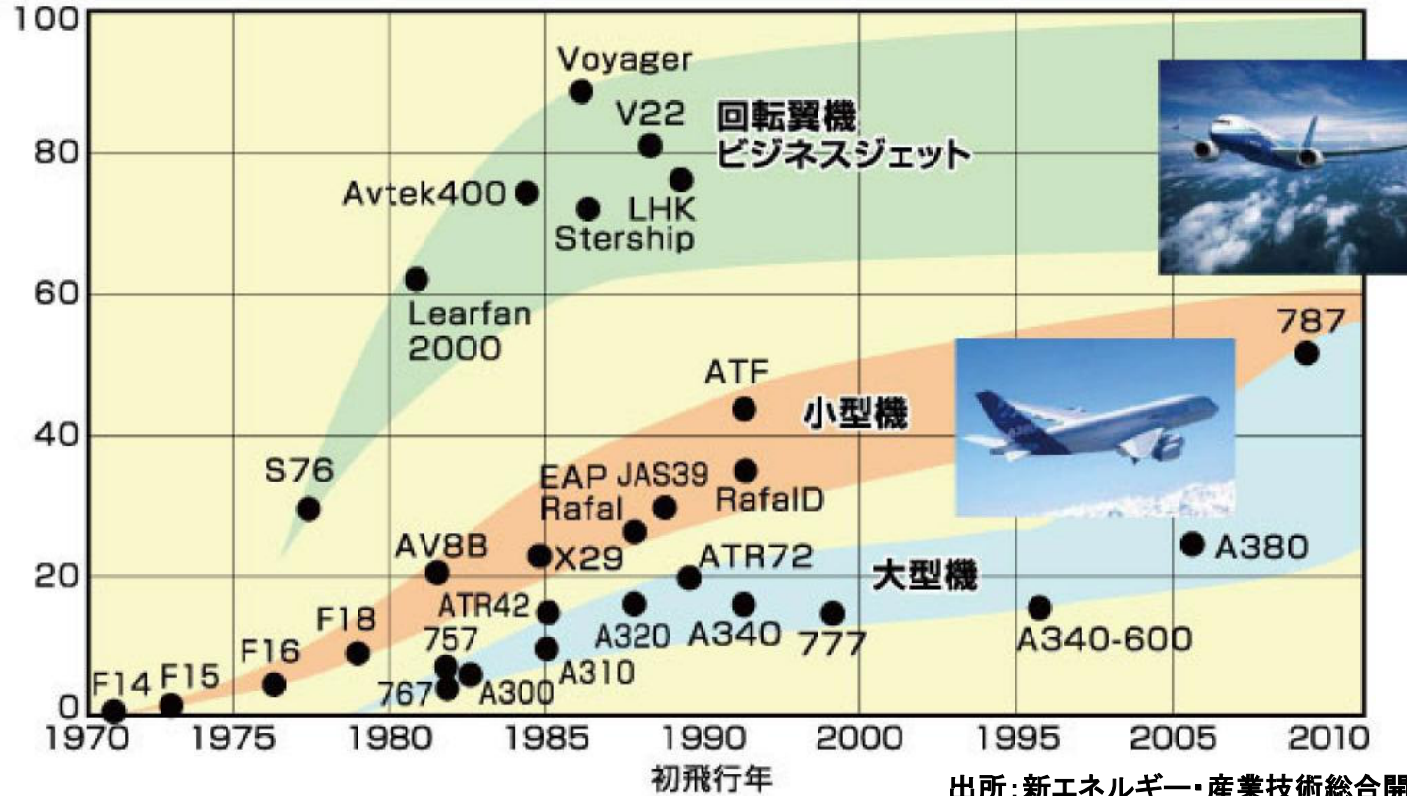


複合材使用量の増加

機体材料がアルミ合金から複合材(CFRP)中心へ

航空機への複合材料の適用

機体重量に占める複合材料の割合(%)



T2サプライヤにとって材料変換はリスク

出所:2013年1月25日 株式会社 日本政策投資銀行
国内航空機産業の現状課題と将来動向 航空機ビジネスの俯瞰図

国内におけるサプライチェーンの課題

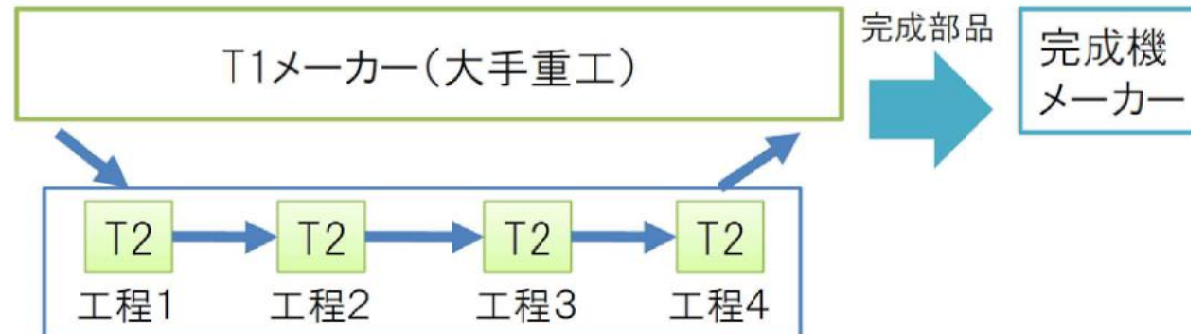
現 状

治工具設計や生産管理の負担が重い



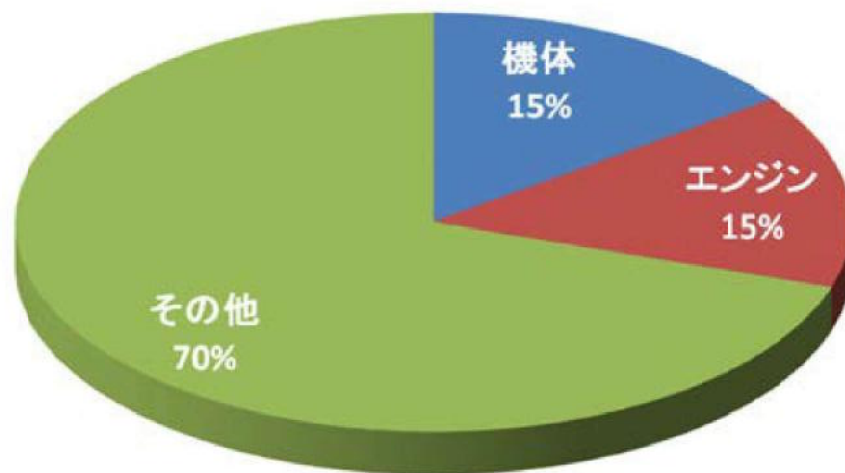
将 来

T1の管理負担軽減



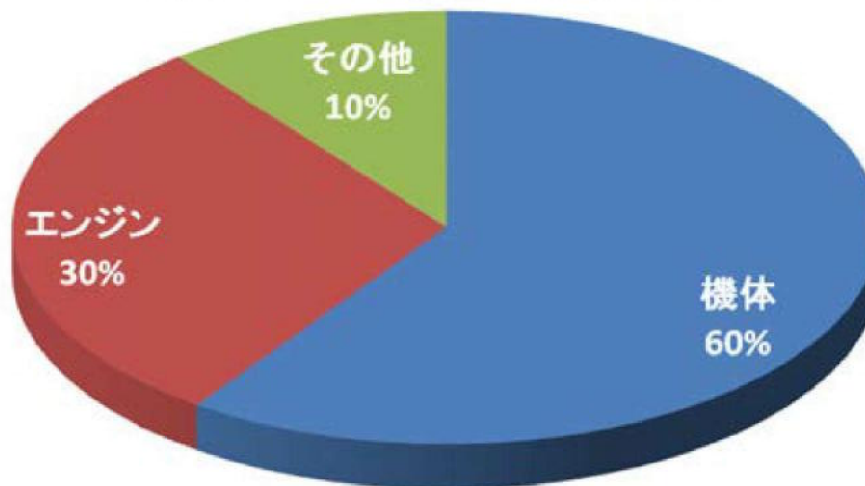
航空機の内訳構成と分野別サプライヤ比率

航空機の内訳構成



出所: 当行ヒアリング

品種別生産額比率(2009年度)



出所: 日本航空宇宙工業会

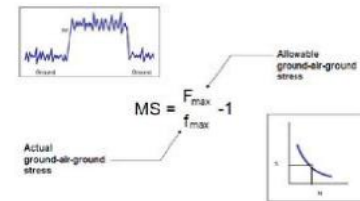
今後は付加価値の高い装備品や補修発注が期待できる部品等の
受注量の増加が求められる

安全性・信頼性の追求

■ 構造様式

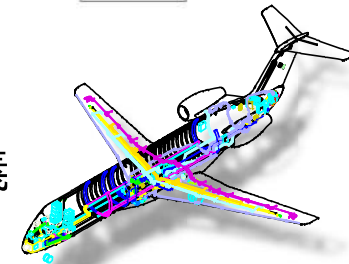
- 安全係数 : Safety Factor 構造様式
- Fail Safe設計
- Damage Tolerance設計
- 疲労寿命

Fatigue Margins of Safety Are Computed Based on the Fatigue Allowables and Maximum GAG Stresses



■ 装備品

- 故障の発生確立が 10^{-9} 以下であること
⇒ 1000機が100万時間無事故であることと同義
- 複雑なシステムの開発ガイドライン (V Process)



■ 設計の基準となる法規・基準

- 米国 : Federal Aviation Regulations
= CFR Title 14 Part 25
- 欧州 : EASA JAR
- 日本 : 耐空性審査要領 (航空法施行規則附属書第1から第3)



最近のRegulationの動向

■Aging Aircraft対策

- FAR Part 26 (EWIS関連含む)
- AC 26-1 - Part 26, Continued airworthiness and Safety Improvements
 - Enhanced Airworthiness Program for Airplane Systems
 - Reduction of Fuel Tank Flammability in Transport Category Airplanes
 - Aging Airplane Safety, and Widespread Fatigue Damage
 - Generic guidance on the roles and responsibilities of type certificate and supplemental type certificate holders, manufacturers, owners, and operators
 - PSE, FCS, WFD (MSD, MED)

■テロ対策

- AC No: 25.795-8, Interior Design to Facilitate Searches

PSE: Principle Structure Element
FCS: Fatigue Critical Structure
WFD: Widespread Fatigue Damage
MSD: Multiple Site Damage
MED: Multiple Element Damage

航空機開発に求められる認証

型式証明

耐空証明

耐空性検査委任制度

航空機設計検査認定

航空機製造検査認定

航空機整備検査認定

航空機整備改造認定

装備品設計検査認定

装備品製造検査認定

装備品修理改造認定

事業場認定

JIS Q 9100 品質マネジメントシステム—航空、宇宙及び防衛分野の組織に対する要求事項

特殊工程認定 (Nadcap)

航空機製造事業法 (事業の認可、製造の方法、製造の確認)

航空機開発に求められる認証

JIS Q 9100

- ISO9001に航空宇宙防衛産業特有の要求事項を追加した品質マネジメント規格
- ボーイング、エアバス等の欧米企業によって1998年に設立されたIAQGが発行母体
- 米国のAS9100、ヨーロッパのEN9100と同内容で規格化され、相互承認される

NADCAP

- 1990年に策定した特殊工程管理に関する認証制度
- 各社バラバラであった特殊工程審査・認証の国際的な標準化と共有化が目的
- 対象特殊工程は、化学処理、熱処理、非破壊検査、溶接、複合材など



まとめ

- 航空機の開発に不可欠なプロジェクトマネジメント

航空機の開発に不可欠なプロジェクト・マネジメント <まとめ>

航空機開発の特徴

- 部品点数が多い : 30万点～600万点
- 開発期間が長い : 5年～8年
- 開発費が多大 : 2500億円～1兆円
- 多数のGlobal Stakeholder (Partner・Supplier) の参画
- 安全性最優先 : 認証システム

プロジェクト・マネジメントは

- 評価
 - 決断
 - 計画
 - アクション
- を促すツール

コスト・スケジュール・品質
を管理

プロジェクト成功には

- 正しい分析
 - 明確な目標設定
 - 共有化された動機
- が必要

- ミスコミュニケーションを防ぐ ⇒ 共通の目標認識・共通言語
- 非効率な戻り作業を防ぐ ⇒ IT活用の共通のプロセス認識
- Riskを未然に防ぐ ⇒ 発生の予測と事前対策、進捗の管理
- 複雑な開発手法共有 ⇒ 安全性開発手法・WBS等の具体化