

最終報告書

令和4年度省エネルギー等に関する国際標準の獲得・普及促進事業委託費
(ルール形成戦略に係る調査研究
(次世代航空機(電動航空機、水素航空機)のルール形成戦略に係る調査研究))

株式会社野村総合研究所
コンサルティング事業本部
グローバル製造業コンサルティング部

2023年3月17日



本報告書の構成

1：本調査の背景・目的

1.1：本調査の背景・目的

1.2：調査手法

2：本調査のサマリー

3：次世代航空機における国内・海外企業の動向と、関連する標準化団体の議論動向

3.1：各技術領域における日本企業の参加状況まとめ（非公表）

3.2：電動化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.3：水素分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.4：軽量化・効率化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.5：各技術領域における標準化団体の議論動向（SAE/EUROCAE/ASTM/RTCA等）

4：新技術の社会実装に向けた主要企業のロードマップ（一部非公表）

5：次世代航空機に関する標準化戦略（一部非公表）

本報告書と仕様書の対応

仕様書記載内容

報告書記載内容	(1)-① 分析表の作成	(1)-② 計画・ロードマップ 案作成	(2)-① 課題・対策の 特定	(3)-① 標準化団体 における議論状況 調査	(3)-② 最新技術動向 調査	(3)-③ ルール形成による インパクト	(4) 調査報告書の 作成
1：本調査の背景・目的							✓
1.1：本調査の背景・目的							✓
1.2：調査手法							✓
2：本調査のサマリー	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3：次世代航空機における国内・海外企業の動向・ 関連する標準化団体の議論動向	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.1：各技術領域における日本企業の参加状況まとめ	✓						✓
3.2：電動化分野における日本企業の参画・活動動向及 び海外企業の動向		✓			✓	✓	✓
3.3：水素分野における日本企業の参画・活動動向及び 海外企業の動向		✓			✓	✓	✓
3.4：軽量化・効率化分野における日本企業の参画・活動 動向及び海外企業の動向		✓			✓	✓	✓
3.5：各技術領域における標準化団体の議論動向				✓			✓
4：新技術の社会実装に向けた主要企業のロードマップ		✓					✓
5：次世代航空機に関する標準化戦略		✓	✓				✓

本報告書の構成

1：本調査の背景・目的

1.1：本調査の背景・目的

1.2：調査手法

2：本調査のサマリー

3：次世代航空機における国内・海外企業の動向と、関連する標準化団体の議論動向

3.1：各技術領域における日本企業の参加状況まとめ（非公表）

3.2：電動化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.3：水素分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.4：軽量化・効率化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.5：各技術領域における標準化団体の議論動向（SAE/EUROCAE/ASTM/RTCA等）

4：新技術の社会実装に向けた主要企業のロードマップ（一部非公表）

5：次世代航空機に関する標準化戦略（一部非公表）

今年度事業の背景・目的

背景・目的（NRI認識）

- 昨今の国際的な環境対応への機運が高まっていることで、航空分野においても、急速に脱炭素化の要求が高まりつつある。要求への解決策として、欧米OEMは電動航空機や水素航空機の開発を掲げており、2030年以降の実用化が見込まれている。
- 電動航空機や水素航空機のような次世代航空機では、長らく変化してこなかった機体構造やシステム構造等が大きく変化することが想定されており、SAEやEUROCAEなどの民間標準化団体において、安全性等に関する標準化議論が活発化している。FAAやEASAなどの規制機関は民間標準化団体のTR（テクニカルレポート）を参照する形で規制を定めるケースも多く、現在議論されている規格が将来的に各国で準用される可能性がある。
- 欧米OEM等の日本の電動化、水素関連技術に関する期待は大きく、従来の機体構造がメインであった日本の航空機産業を電動化・水素化という技術革新をとらえて飛躍的に成長させるためには、技術開発だけではなくルール形成の領域にも注力する必要がある。
- 過去の委託調査では、国際標準化団体（主にSAE）内の各コミッティで進む電動航空機に係るルール形成動向・SAEに参加する企業が抱える課題等を調査・整理し、今後日本として航空機の電動化に係るルール形成により注力していくための方向性を決定した。
- 日本は欧米諸国の航空関連企業よりも規模が小さい企業が多く、個社で様々なコミッティへエキスパートを派遣することは極めて難しい。そのような状況下で、次世代航空機の標準化議論に対し、日本が積極的に関与していくためには、日本が強みを持つ技術領域において、日本企業が連携し、日本として参画するエキスパート数を増やし、かつ影響力を高めていく必要がある。
- 今年度の調査では、過去調査結果を踏まえ、電動航空機に加え、水素航空機や機体の軽量化・エンジンの効率化等に必要な技術・標準化に向けて必要な活動および課題について、調査・整理及び政策的提言を行う。

本報告書の構成

1：本調査の背景・目的

1.1：本調査の背景・目的

1.2：調査手法

2：本調査のサマリー

3：次世代航空機における国内・海外企業の動向と、関連する標準化団体の議論動向

3.1：各技術領域における日本企業の参加状況まとめ（非公表）

3.2：電動化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.3：水素分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.4：軽量化・効率化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.5：各技術領域における標準化団体の議論動向（SAE/EUROCAE/ASTM/RTCA等）

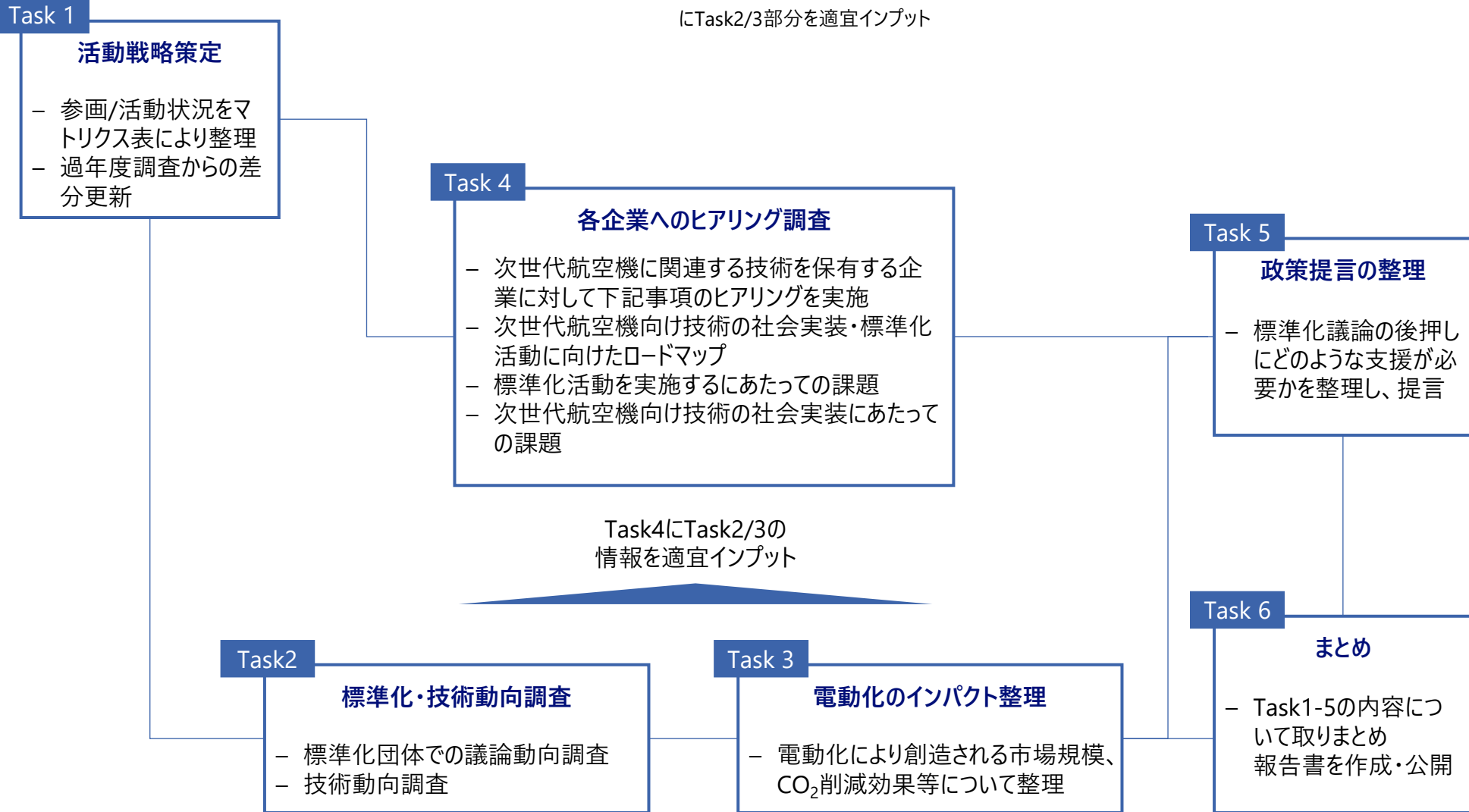
4：新技術の社会実装に向けた主要企業のロードマップ（一部非公表）

5：次世代航空機に関する標準化戦略（一部非公表）

下記タスクフローをベースにPJTを遂行

※プロジェクト進行に応じ、適宜METI側との議論・進捗確認を実施

※経済産業省・国土交通省が実施する『航空機の脱炭素化に向けた新技術官民協議会』
にTask2/3部分を適宜インプット



本報告書の構成

1：本調査の背景・目的

1.1：本調査の背景・目的

1.2：調査手法

2：本調査のサマリー

3：次世代航空機における国内・海外企業の動向と、関連する標準化団体の議論動向

3.1：各技術領域における日本企業の参加状況まとめ（非公表）

3.2：電動化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.3：水素分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.4：軽量化・効率化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.5：各技術領域における標準化団体の議論動向（SAE/EUROCAE/ASTM/RTCA等）

4：新技術の社会実装に向けた主要企業のロードマップ（一部非公表）

5：次世代航空機に関する標準化戦略（一部非公表）

本調査のサマリー

次世代航空機 に関する 環境認識

- 昨今の国際的な環境対応への機運が高まっていることで、航空分野においても急速な脱炭素化要求の高まりを見せている。要求への解決策として、欧州エアバス社の水素航空機ZEROeや、米ボーイング社の遷音速トラスブレース翼機をはじめとする次世代技術を活用した航空機の開発を航空機OEM各社が掲げており、それぞれ2030年代半ばでの実用化が見込まれている。
- 次世代航空機の実用化に向け、SAEやEUROCAE等の民間標準化団体において、安全性等に関する標準化議論が活発化している。FAAやEASA等の規制機関は上記団体の発行文書を参照する形で規制を定めるケースも多く、現在議論されている規格が将来的に各国で準用される可能性がある。
- 電動化や水素等の次世代航空機における日本の国際的なプレゼンス確立に向け、技術開発だけでなく、標準化議論に参画することが強い意義を持つ一方で、日本企業は欧米諸国の航空関連企業よりも規模が小さい企業が多いため、戦略的に連携した形での標準化議論への参画が必要である。

航空機 電動化における 標準化動向と 国内企業の 取り組み

- 電気推進システムを有する電動航空機の研究開発競争や実証機製造競争は2017年ごろより大きく加速している。特に旅客機クラスに関する議論を行うSAEでは、2021年に電動化に関連するコミッティが新設されている他、合計10コミッティで電動化に関する標準化議論が進行している。
 - 2021年には電動化関連コミッティとしてAE-10（高電圧機器）、AE-11（絶縁関連）が新設。
 - 日本企業はAE-10、AE-11を含めた上記の電動化関連コミッティに対し、複数社が参加。
- 日本企業としては推進システムに関わるモーターやコンバーター、絶縁を中心に、幅広い分野に関して開発を実施している。開発した技術について、不利にならない形で社会実装を進めるためにも関連するコミッティでの議論の注視、積極的な標準化提案への参加が必要である。

本調査のサマリー

水素航空機 における 標準化動向と 国内企業の 取り組み

- 電動化における標準化議論が活発である一方で、水素に関連する標準化議論は現時点では限定的であり、具体的な議論が進んでいるとは言えない。
 - SAEでは電動化に関する議論が10コミッティで進行しているのに対し、水素に関してはAE-7(F)の1コミッティで議論されているのみである。
 - SAEにおいて新たなステアリンググループとしてSAFSGが設立され、SAFSGにおいてSAFと水素燃料のギャップ分析を実施している。EASGと同様に、ギャップ分析の結果を基に各WGへの議論振り分けもしくはWGの新設が進むものとみられる。
- 日本企業としては、液体水素燃料タンクやポンプ・配管等の周辺システム、水素航空機用エンジン気化器等の開発を行っているため、SAFSGでの議論結果について注視するとともに、関連する標準化議論が立ち上がった際には積極的に議論へ参加することが望ましいと考えられる。

軽量化・効率化 における標準化 動向と 国内企業の 取り組み

- 軽量化分野では材料を中心にASTM、CMH-17、NCAMP等で標準化議論が実施されている。
 - ASTM：金属や複合材等の試験方法等について標準化文書を制定。
 - CMH-17：複合材料について最終製品を設計、製造するために必要な情報と手法を載せたハンドブックを発行。
 - NCAMP：FAA等が認定した材料をNCAMPのデータベースに登録することにより、航空機メーカーが認証プロセスを簡略化できるため、材料メーカーは機体開発前から材料の市場投入・認証取得が可能。
- 一方、具体的な製造技術等に関しては各製造サプライヤーとOEMの個別議論が鍵であり、国際的な標準化の議論には至っていない。
 - 一部、複合材料の設計～製造に関する標準化については上述したCMH-17で議論がされているが、応用的な製造技術に関してはOEMとの個別議論の領域であると認識。
- 日本企業としては材料および製造技術に強みを持つ企業が多い。
 - 素材メーカーは上述の標準化議論へ積極的に参加することが望ましく、製造メーカーはOEMとの議論を中心に、上述の標準化議論を注視していく必要がある。

本調査のサマリー

次世代航空機 における 標準化戦略

- 本年度の活動（並行して開催された航空機脱炭素化に向けた新技術官民協議会での取り組みを含む）において、標準化推進に必要となる、I.戦略、II.組織体制、III.環境・リソースについて下記活動が進展。
 - I. 戦略：今後のアクションプランとなる全体のロードマップを策定。
 - II. 組織体制：次世代技術の社会実装に向けた標準化議論を加速するため、国内協議団体を設置することで合意。
 - III. 環境・リソース：標準化戦略領域に関連する実証設備環境に関する課題の明確化、ニーズの高い設備の整理。
- 上記活動および国内企業各社へのヒアリングを通じ、下記課題が表面化。それぞれの課題について、来年度以降の継続的な検討が求められる。
 - I. 戦略：標準化団体においてプレゼンスの高い日本企業が少ないため、プレゼンスの高い企業増加・強化が必要。
 - I. 戦略：日本が強い自動車等の分野での知見を航空機に活かしていないため、他産業・アカデミアとの連携・補完方針の具体化が必要。
 - II. 組織体制：個社・個人単位でバラバラに標準活動しているため、ワンボイス化等情報連携の仕組みづくりが必要。
 - II. 組織体制：国内協議団体に保有すべき機能が明確化されておらず、類似する活動を行う業界団体が存在しているため、国内協議団体活動の明確化・連携が必要。
 - II. 組織体制：耐雷性等従来分野における標準化戦略については議論がされていないため、脱炭素分野以外に関する標準化活動の扱いについて方針検討が必要。
 - III. 環境・リソース：特定の試験設備について予約が困難な他、大型設備が国内で整備されておらず新技術の開発がスムーズに進まないため、試験・実証設備の拡充が必要。
 - III. 環境・リソース：知見を管理する基盤等がない他、知財等に関する各社対応がバラバラであるため、知財・データ等の共有基盤・ルール整備が必要。
 - III. 環境・リソース：法規制等により、国内では開発に際して液体水素の柔軟な運用が困難であるため、開発時の液体水素使用に関する法規制の検討が必要。

本調査のサマリー

次世代航空機 における 標準化戦略

- 標準化活動は長期的な事業成長につながり得る現場活動の一つであり、個別企業の取り組み推進・強化には、産業の長期ビジョン明確化と合わせ、個別企業の経営レベルでの認識醸成が必要と認識。
 - 標準化活動は、国レベルでの長期ビジョン・各社の長期事業戦略と、ベクトルが揃っていることが極めて重要。
 - 国・産業を巻き込み、標準化議論をリードしていくことでビジネスを有利に進めている企業が国内/海外に存在。
- 航空機産業における長期ビジョンの検討にあたっては、①業界再編・構造転換、②社会課題解決への対応（航空機産業のカーボンニュートラル/サーキュラーエコノミー）が重要と思料。
 - コロナによって影響を受けた国内航空機産業のGDPは3割以上減少した一方で、グローバルでの航空宇宙防衛産業領域において21年度は過去10年間でM&A件数が最も多い年となった。取引では、Boeingによる内製領域拡大や有力Tier1の更なる拡大を目的とする買収など、業界全体が寡占方向へ向かう動きが見られた。
 - カーボンニュートラル（CN）の観点では、SAFに加え合成燃料の活用についても、欧米を中心に実用化の早期化が期待されており、注視が必要。
 - サーキュラーエコノミー（CE）の観点では、金属のクローズドループリサイクルや、今後増加が予見される、CFRP素材の回収・再利用といったビジネスへの対応方針については検討が必要。
- 長期的なビジョンへ対応するために、標準化活動やエコシステムに対する立ち位置の必要性が増加。NRIとしては、官側による産業長期ビジョンの提示・ビジョンに対応する標準化活動の位置づけの整理が重要と想定。

本報告書の構成

1：本調査の背景・目的

1.1：本調査の背景・目的

1.2：調査手法

2：本調査のサマリー

3：次世代航空機における国内・海外企業の動向と、関連する標準化団体の議論動向

3.1：各技術領域における日本企業の参加状況まとめ（非公表）

3.2：電動化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.3：水素分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.4：軽量化・効率化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.5：各技術領域における標準化団体の議論動向（SAE/EUROCAE/ASTM/RTCA等）

4：新技術の社会実装に向けた主要企業のロードマップ（一部非公表）

5：次世代航空機に関する標準化戦略（一部非公表）

3：次世代航空機における国内・海外企業の動向と、関連する標準化団体の議論動向

本章では主要国内企業へのヒアリングを通じ、マトリクス表を整理するとともに、国内・海外企業の取り組み概要、CO2削減のインパクト、標準化団体の議論動向を取りまとめている

3.1：マトリクス表

マトリクス表

国内主要企業の参加状況は下記の通り。参加状況および基準提案の状況から鑑みて、日本としてはSAEのxxx等が強みであると考えられる。

凡例 ○：基準提案、△：オブザバ、空欄：不参加/不明																
コミティ#	日本の保有	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社	H社	I社	J社	K社	L社	M社	N社	O社
A-5	○							○								
A-6								△	△					△		△
AE-7			△		△			△							△	
AE-7(F)	○			△			○							○		
AE-9	○		○				○		△		△			○		△
AE-10	○		○		△		○				△			△		
AE-11	○		△			△				○		△				
E-36	○		○		○	△					△		△			
G-32	○	△							○	△					△	○
S-18	○			△	○		△			○				△		
NCAMP			△				○			△						
CMH-17	○		○								△	○			○	
ARAC											△					
IMRBPB										○						

Copyright (C) Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved. NRI 17

3.2-3.4：国内・海外企業取り組み

3.4 軽量化・効率化分野における動向：国内企業の取り組み

現在の航空機関連主力事業であるxxxを中心に技術開発を進める

企業概要	
企業名	株式会社 xxx
全社売上高 (FY21)	xxx億円
航空機関連売上高 (FY21)	xxx億円
航空機関連売上比率	xxx億円
民間/防衛売上比率	x (民間) : x (防衛)
主要事業 (航空機)	Xxx Yyy
保有する先進技術	FRP
参画済み標準化団体	CMH-17

Source) 公開資料・ヒアリングより情報作成

3.4 軽量化・効率化分野における動向：国内企業の取り組み

現在の航空機関連主力事業であるxxxを中心に技術開発を進める

企業概要	
企業名	株式会社 xxx
全社売上高 (FY21)	xxx億円
航空機関連売上高 (FY21)	xxx億円
航空機関連売上比率	xxx億円
民間/防衛売上比率	x (民間) : x (防衛)
主要事業 (航空機)	Xxx Yyy
保有する先進技術	FRP
参画済み標準化団体	CMH-17

Source) 公開資料・ヒアリングより情報作成

企業概要に関連するアラインメント (軽量化領域)

【現状の取り組みに関して】

- 参考メッセージ1 参考メッセージ2 参考メッセージ3 参考メッセージ4 参考メッセージ5 参考メッセージ6 参考メッセージ7 参考メッセージ8 参考メッセージ9 参考メッセージ10 参考メッセージ11 参考メッセージ12 参考メッセージ13 参考メッセージ14 参考メッセージ15 参考メッセージ16 参考メッセージ17 参考メッセージ18 参考メッセージ19 参考メッセージ20 参考メッセージ21 参考メッセージ22 参考メッセージ23 参考メッセージ24 参考メッセージ25 参考メッセージ26 参考メッセージ27 参考メッセージ28 参考メッセージ29 参考メッセージ30 参考メッセージ31 参考メッセージ32 参考メッセージ33 参考メッセージ34 参考メッセージ35 参考メッセージ36 参考メッセージ37 参考メッセージ38 参考メッセージ39 参考メッセージ40 参考メッセージ41 参考メッセージ42 参考メッセージ43 参考メッセージ44 参考メッセージ45 参考メッセージ46 参考メッセージ47 参考メッセージ48 参考メッセージ49 参考メッセージ50 参考メッセージ51 参考メッセージ52 参考メッセージ53 参考メッセージ54 参考メッセージ55 参考メッセージ56 参考メッセージ57 参考メッセージ58 参考メッセージ59 参考メッセージ60 参考メッセージ61 参考メッセージ62 参考メッセージ63 参考メッセージ64 参考メッセージ65 参考メッセージ66 参考メッセージ67 参考メッセージ68 参考メッセージ69 参考メッセージ70 参考メッセージ71 参考メッセージ72 参考メッセージ73 参考メッセージ74 参考メッセージ75 参考メッセージ76 参考メッセージ77 参考メッセージ78 参考メッセージ79 参考メッセージ80 参考メッセージ81 参考メッセージ82 参考メッセージ83 参考メッセージ84 参考メッセージ85 参考メッセージ86 参考メッセージ87 参考メッセージ88 参考メッセージ89 参考メッセージ90 参考メッセージ91 参考メッセージ92 参考メッセージ93 参考メッセージ94 参考メッセージ95 参考メッセージ96 参考メッセージ97 参考メッセージ98 参考メッセージ99 参考メッセージ100

【標準化活動に関して】

- 参考メッセージ1 参考メッセージ2 参考メッセージ3 参考メッセージ4 参考メッセージ5 参考メッセージ6 参考メッセージ7 参考メッセージ8 参考メッセージ9 参考メッセージ10 参考メッセージ11 参考メッセージ12 参考メッセージ13 参考メッセージ14 参考メッセージ15 参考メッセージ16 参考メッセージ17 参考メッセージ18 参考メッセージ19 参考メッセージ20 参考メッセージ21 参考メッセージ22 参考メッセージ23 参考メッセージ24 参考メッセージ25 参考メッセージ26 参考メッセージ27 参考メッセージ28 参考メッセージ29 参考メッセージ30 参考メッセージ31 参考メッセージ32 参考メッセージ33 参考メッセージ34 参考メッセージ35 参考メッセージ36 参考メッセージ37 参考メッセージ38 参考メッセージ39 参考メッセージ40 参考メッセージ41 参考メッセージ42 参考メッセージ43 参考メッセージ44 参考メッセージ45 参考メッセージ46 参考メッセージ47 参考メッセージ48 参考メッセージ49 参考メッセージ50 参考メッセージ51 参考メッセージ52 参考メッセージ53 参考メッセージ54 参考メッセージ55 参考メッセージ56 参考メッセージ57 参考メッセージ58 参考メッセージ59 参考メッセージ60 参考メッセージ61 参考メッセージ62 参考メッセージ63 参考メッセージ64 参考メッセージ65 参考メッセージ66 参考メッセージ67 参考メッセージ68 参考メッセージ69 参考メッセージ70 参考メッセージ71 参考メッセージ72 参考メッセージ73 参考メッセージ74 参考メッセージ75 参考メッセージ76 参考メッセージ77 参考メッセージ78 参考メッセージ79 参考メッセージ80 参考メッセージ81 参考メッセージ82 参考メッセージ83 参考メッセージ84 参考メッセージ85 参考メッセージ86 参考メッセージ87 参考メッセージ88 参考メッセージ89 参考メッセージ90 参考メッセージ91 参考メッセージ92 参考メッセージ93 参考メッセージ94 参考メッセージ95 参考メッセージ96 参考メッセージ97 参考メッセージ98 参考メッセージ99 参考メッセージ100

xxx社とアライン

Copyright (C) Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved. NRI 108

3.5：標準化団体議論

SAEにおける現在の主な標準化議論動向

グループ名	コミティ#	コミティ名	コミティ概要	対象技術
Aircraft Systems Group	A-5	Aerospace Landing Gear Systems Committee	ランディングギアの設計やメンテナンス、運用上の知見等について議論	
Aerospace Mechanical & Fluid Systems Group	A-6	Aerospace Actuation, Control and Fluid Power Systems	アクチュエーター、制御及び油圧等について網羅的に議論 特にA-6B2では電動油圧式アクチュエーター、A-6B3では電動機械式アクチュエーターを担当	電動
	AE-7	Aerospace Electrical Power and Equipment Committee	発電、コントロール、蓄電、変圧、分電等、電力及び電気設備について議論	
	AE-7(F)	Hydrogen and Fuel Cells	水素燃料電池や水素燃料タンク (貯蔵及び液体) について議論	水素
Aerospace Electronics & Electrical Systems Group	AE-9	Electrical Materials Committee	機体及びエンジンで使用する電気機器について議論	
	AE-10	HVDC High Voltage Coordinating Committee	搭載される部品の高電圧技術標準について議論	
	AE-11	Aging Models for Electrical Insulation in High-Energy Systems	高エネルギーシステムにおける絶縁性の劣化について議論	
Aerospace Propulsion Systems Group	E-36	Electronic Engine Controls Committee	エンジンの電子コントロールユニットの設計、運用及びメンテナンスについて議論	電動
	E-40	Electrified Propulsion Committee	ペイロード150lb/70kg以上の機体における電動推進システムについて議論	
Aerospace General Projects Systems Group	G-32	Cyber Physical Systems Security Committee	コンポーネントのサイバーフィジカルセキュリティについて議論	
Systems Development and Safety, Component Process and Management Systems Group	S-18	Aircraft and Systems Development and Safety Assessment Committee	機体及びシステムの安全性評価について議論	

Source) SAE

Copyright (C) Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved. NRI 147

- 国内主要企業へのヒアリングを通じ、主要標準化団体への参画状況（基準提案状況）を整理している。
 - あわせて、参画状況・基準提案状況と国内・海外企業の取り組みから、当該領域における日本としての優劣を推察している。
- 国内主要企業へのヒアリング等を通じ、電動化、水素、軽量化効率化の各分野において、各社の航空機に対する現状および新技術に関する取り組み、標準化活動を整理している。
 - 海外主要企業については電動化、水素、軽量化効率化の各分野において先進的な取り組みを整理している。
- 電動化、水素の各分野における標準化議論動向に関して、SAE / EUROCAE / RTCA / ASTMについて議論中の標準化文書について整理している。

本報告書の構成

1：本調査の背景・目的

1.1：本調査の背景・目的

1.2：調査手法

2：本調査のサマリー

3：次世代航空機における国内・海外企業の動向と、関連する標準化団体の議論動向

3.1：各技術領域における日本企業の参加状況まとめ（非公表）

3.2：電動化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.3：水素分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.4：軽量化・効率化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.5：各技術領域における標準化団体の議論動向（SAE/EUROCAE/ASTM/RTCA等）

4：新技術の社会実装に向けた主要企業のロードマップ（一部非公表）

5：次世代航空機に関する標準化戦略（一部非公表）

3.2 電動化分野における動向：各技術の技術レベル、達成見込み

諸外国における電動航空機関連の技術レベル及び開発動向（1/3）

関連部品	標準化議論	技術レベル	TRL8-9 達成見込	プロジェクト/取組企業 (主要企業)	取組概要
電動推進用 モーター	【SAE】 E-40 AE-10 E-36 【EUROCAE】 WG-113 SC-216	TRL 5-7	2023年	Safran	150 kWクラスのモーターを含むハイブリッドシステムを開発 4~5人乗りの航空機に搭載し、2023年の飛行試験を目指す
		TRL 5-7	2026年	Wright Electric	0.5~4MWの航空機向け推進用モーターを製造 - BAe146を使用したテストフライトを検討
		TRL 5-7	2035年	magniX	- 航空機向け電動推進システム用モーターを開発 - NASAのElectric Powertrain Flight Demonstrationプログラムに参加
		TRL 5-7	—	SIEMENS	- E-Fan X計画向けに2MW級の航空機向け推進機用モーターを開発 - プロジェクトは中止したものの、モーター自体は開発済み
		TRL 5-7	2026年	Rolls-Royce	320 kWの出力が可能な、EASA CS-23に合致したモーターを開発 - ダイレクトドライブ方式で駆動し、冷却は空冷方式を採用
		TRL 5-7	2020年台 中旬	GE Aviation	- NASAと共同でMWクラスモーターの電動推進システムを開発 - Saab340Bへ搭載し、ハイブリッドシステムによる試験飛行を目指す
		TRL 5-7	2025年	Collins Aerospace	500kWの電動推進システム用モーターを開発 - 対象は世界最大の航空機とされる飛行船Airlander 10
		TRL 5-7	2024年		1MWのハイブリッド電動推進システム向けモーターを開発 - Pratt & Whitney Canadaが主導するプロジェクトでの使用を想定
		TRL 9	—	MGM COMPRO	70kWクラスの完全電動推進システムを開発し販売 - 対象はグライダー、ULP、LSA、コミュータークラス双発機等
		TRL 9	—	PIPISTREL	- 世界初のEASAで型式証明を取得した電動推進システムを販売 - 対象はULP、LSA、VLA等
		TRL 9	—	MAGicALL	- コントローラーを内蔵した航空機向け空冷式モーターを販売 5 kW~400 kWの出力のモーターをラインナップ

3.2 電動化分野における動向：各技術の技術レベル、達成見込み

諸外国における電動航空機関連の技術レベル及び開発動向（2/3）

関連部品	標準化議論	技術レベル	TRL8-9 達成見込	プロジェクト/取組企業 (主要企業)	取組概要
ジェネレーター	【SAE】 AE-7A,B,C,D,M,P AE-9 AE-10 AE-11 G-27 G-32 【EUROCAE】 WG-116 SC-216	TRL 5-7	2030年	Rolls-Royce	600kW~1MWを発電可能なターボジェネレーターを開発し、4kW/kg以上の出力密度を実現 - SAFに対応し、将来的には水素への対応も考慮 - 加えて、2.5MWの発電が可能なジェネレーターについても開発
		TRL 5-7	－	Honeywell	- ハイブリッドシステムでの使用も想定した、1MWクラスの発電が可能なターボジェネレーター - SAFをはじめとしたバイオ燃料への対応も可能
		TRL 5-7	－	Safran	500 kWを発電可能な航空機向けターボジェネレーターを開発 - 自社で開発したヘリコプター向けターボシャフトエンジンと統合 - 将来的にはMWクラスが発電可能なジェネレーターの開発も計画
リチウムイオン バッテリー 全固体電池		TRL 9	－	Electric power systems	NASA X-57、BOEING CAV等の電気航空機、eVTOLのフライトデモ機向けに、バッテリーシステムを供給
		TRL 9	－	ELECTRO FLIGHT	- 電動航空機向けオーダーメイドバッテリーシステムを設計・製造 - Rolls-Royce等の企業も実施
インバーター コンバーター		TRL 9	－	SynQor	- 航空機向けのインバーター、コンバーターを設計・製造 - 軍用機への採用もされており、耐衝撃性や高高度対応、高電圧対応にも注力
絶縁素材		TRL 9	－	W.L. Gore & Aerospace	600V 270℃での運用に対応した航空機用高電圧ワイヤー向け絶縁体を開発・販売 2021年にはアメリカのMilitary & Aerospace Electronics Technology Innovators Awardsを受賞

3.2 電動化分野における動向：各技術の技術レベル、達成見込み

諸外国における電動航空機関連の技術レベル及び開発動向（3/3）

関連部品	標準化議論	技術レベル	TRL8-9 達成見込	プロジェクト/取組企業 (主要企業)	取組概要
電動油圧式アクチュエーター 電動機械式アクチュエーター 電動タキシング	【SAE】 A-6B2,B3 AE-7A,B,C,D,M,P AE-9 AE-11 G-32 【EUROCAE】 WG-116 SC-216	TRL5-7	－	Wheel Tug	• B737-800を使用し、前輪へ搭載する電動タキシングシステムを開発 • スポット運用やタキシングの効率化によるコスト削減を目指す
		TRL5-7	2022～ 2025年	Safran	• 2022年のフアンボロー国際航空ショーにて電動ノーズランディングギアアクチュエーターを発表（EHA）
		TRL9	－		• EMAを適用したB787向け電気式ブレーキを製造
		TRL 9	－	MOOG	• A350、A380、B787向けを中心に電気油圧式アクチュエーター（EHA）、EHAの派生型であるバックアップ用アクチュエーター（EBHA）、電気機械式アクチュエーター（EMA）を製造
		TRL 9	－	AMETEK	• A380向けにスポイラー用EBHAを製造
		TRL 9	－	Collins Aerospace	• A380向けを中心に、ラダー用EBHA、エレベーター用EHAを製造

3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

リージョナル機サイズ以上（FAR Part-25）で開発が進む電動航空機

プロジェクト名	開発主体	初飛行予定	機体概要	機体イメージ
PEGASUS (EPFD)	- NASA - GE Aviation - magniX	2035年	70~90席クラスのリージョナル機 - ジェットエンジンとモーターのハイブリッド及び完全電動推進システムに対応した実証機体 - EPFDで開発したモーターの搭載も視野に入る	
STARC-ABL	NASA	—	150席クラスの単通路機 - 尾部にはBLI技術を活用した推進用モーターを搭載 - 主翼には2基のGTFを搭載 - 巡航中はモーターと2基のGTFが1/3ずつ推力を供給	
SUSAN	NASA	—	180席クラスの遷音速旅客機 - 出力比50:50のハイブリッド推進システムを尾部に搭載 - 主翼には5~10kWのモーターを複数設置	
STEP-Tech	- Pratt & Whitney - Collins Aerospace	2024年	40席クラスのリージョナル機 - DHC-8-100をベースに開発し、ハイブリッド推進システムを搭載	
Wright Spirit	Wright Electric	2025年	80~110席クラスのリージョナル機 - BAe146をベースに開発し、1時間程度の飛行を目指す 2023年より1基ずつエンジンをモーターへ換装し試験	
Airlander 10	- Hybrid Air Vehicles - University of Nottingham - Collins Aerospace	2030年	- 現在開発が進む、飛行船型VTOL機 2025年までに2基の前部搭載エンジンを電動化し、230年には後部の2基についても電動化を目指す	

3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

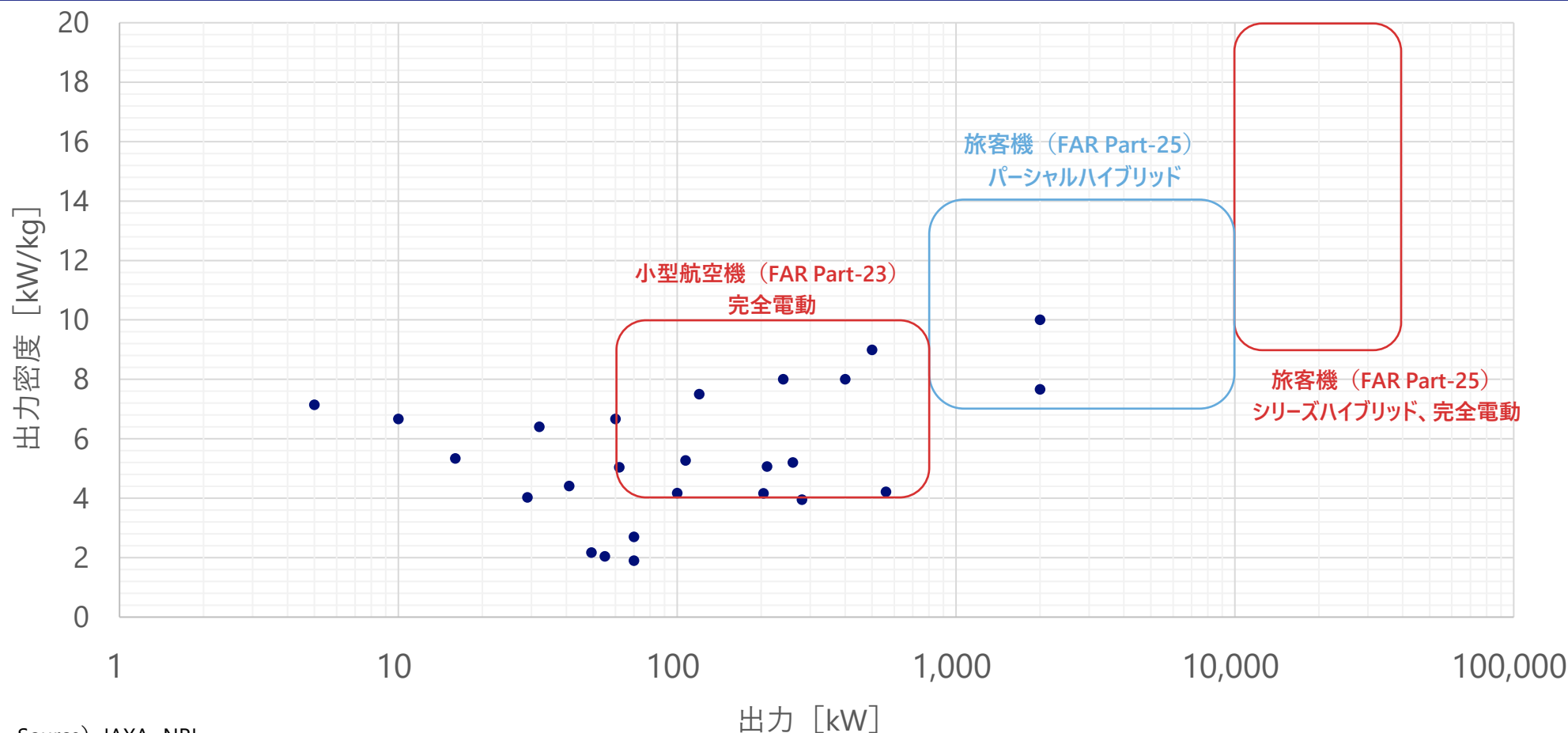
航空機向け電動推進用モーター1基あたりの出力と出力密度分布及び目標値

- プロットは電動モーター1基あたりの連続定格出力密度であり、各メーカーの公称出力密度を表す。
- 目標値については電動モーター単体の出力密度とし、インバーターや冷却器等の重量は含まない。

電動推進用モーター1基あたりの出力密度及び今後目標とする出力密度

完全電動推進の目標値

部分電動推進の目標値



3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

航空機向け電動推進用モータースペック一覧（抜粋）

現在開発中または販売中の航空機向け電動推進用モータースペック一覧

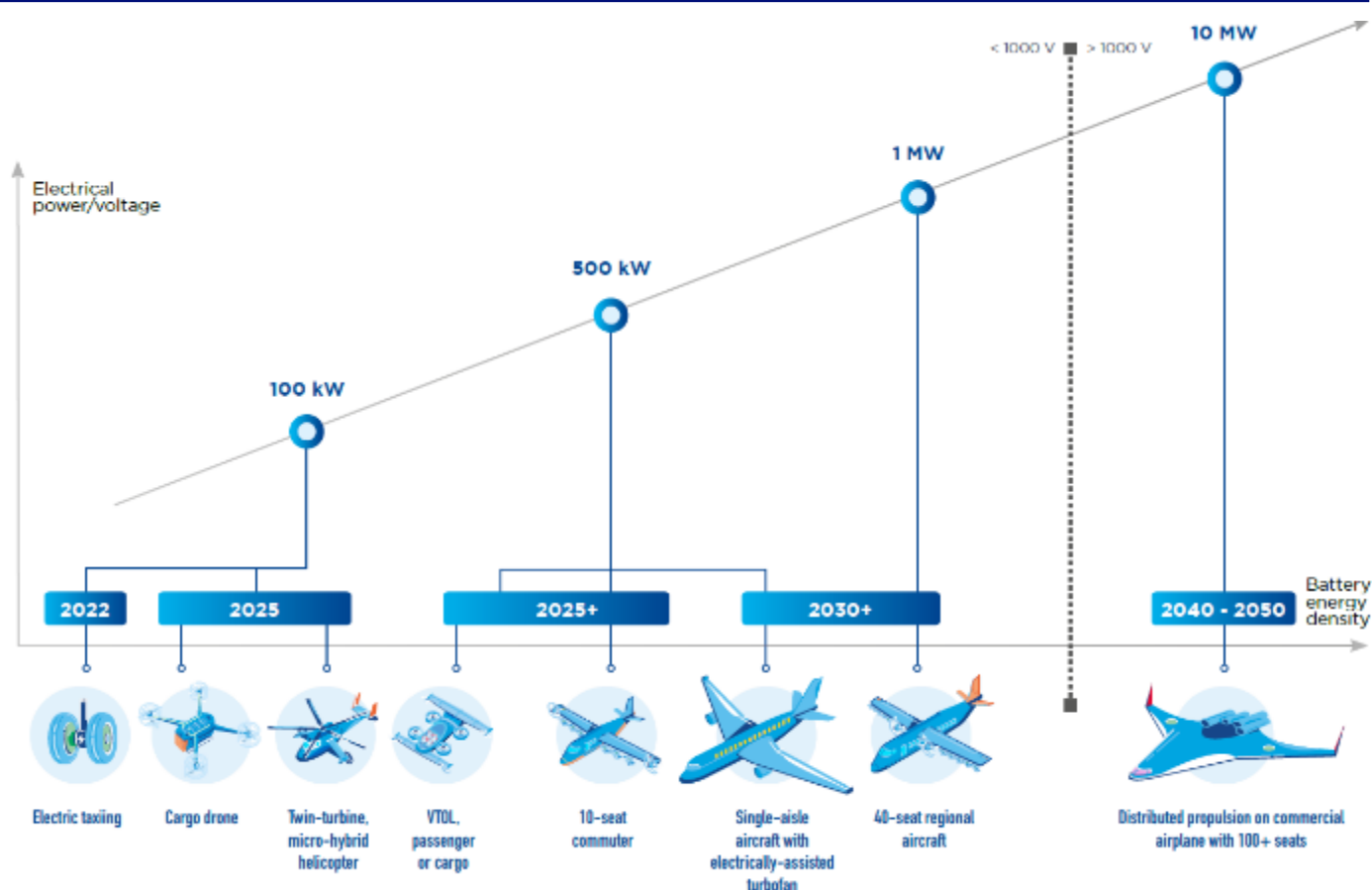
メーカー	モデル名	連続出力(kW)	重量(kg)	出力密度(kW/kg)	最大トルク(N・m)	回転数(RPM)	対象機体サイズ
Safran	ENGINEUS	500	－	－	－	4,500	単発小型航空機
Wright Electric	The Wright Motor	2,000	200	10	－	－	リージョナル機
magniX	Magni650 EPU	560	200	2.8	3,020	2,300	リージョナル機
SIEMENS	SP2000D	2,000	261	7.66	3,000	6,500	リージョナル機
Rolls-Royce	For RAM	320	－	－	－	－	単発小型航空機 コピューター機
MGM COMPRO	70 kW	70	－	－	300	4,000	単発小型航空機 コピューター機
PIPISTREL	E-811	49.2	22.7	2.17	220	2,500	単発小型航空機
MAGicALL	500	400	50~100	4~8	5,000	3,200	単発小型航空機 UAV
Collins Aerospace	500kW	500	55.6	9	－	2,000	飛行船

3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

電動推進用モーター：Safranの開発概要

- Safranは航空機における電動タキシング用モーターから電動推進システム向けのモーターまで開発を実施。
- 2022年にはVoltAero社の試験機Cassio330の推進システムとしてENGINEUS100が採用され、2023年中の飛行試験及び認証を目指し開発中。

Safranが計画する開発ロードマップ



3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

電動推進用モーター：Wright Electricの開発概要

- Wright Electricは航空機向け電動推進システムを開発しているアメリカの企業。
- 航空機向けのMWクラスモーターやインバーター、及びそれらを統合した電動推進システムを主に開発。
- 2026年には100人乗りのBAe146のエンジンを全てモーターへ換装し、1時間の商用フライト実現を目指す。

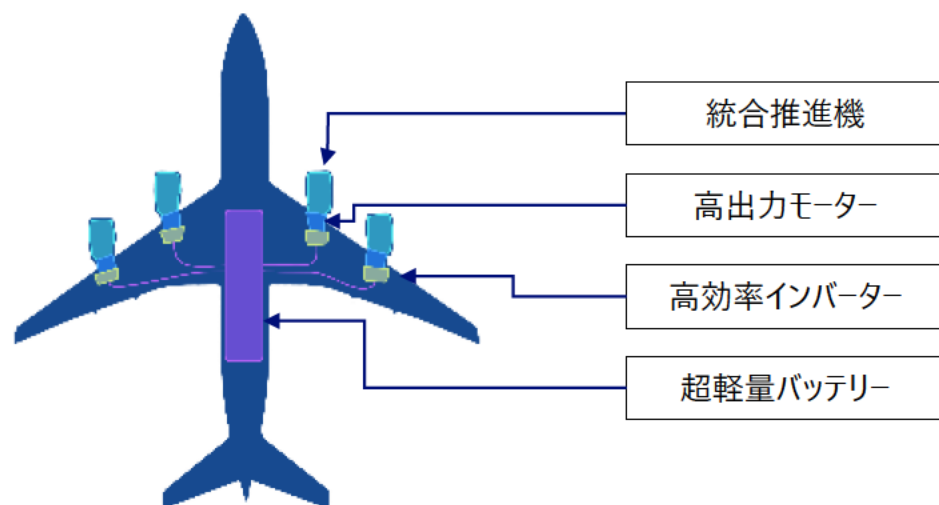
Wright Electricが計画する開発ロードマップ



3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

電動推進用モーター：Wright Electricの開発概要

Wright Electricが計画する実証機の構成及びモータースペック



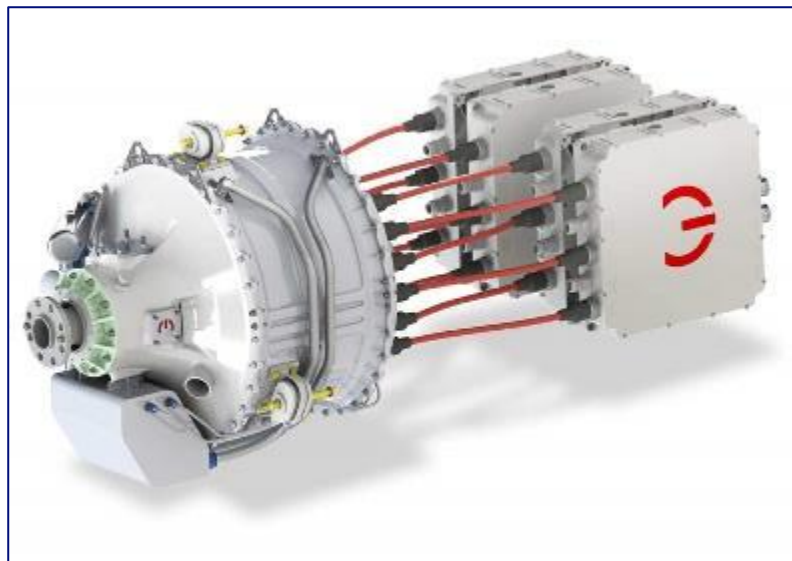
出力密度：10 kW/kg
出力：500 kW~4 MW
(実証機においては2 MWのモータを10機搭載予定)

3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

電動推進用モーター：magniXの開発概要

- magniXは航空機向け電動推進システムを開発しているアメリカの企業。
- 航空機向けのモーターやインバーター、温度管理システム、及びそれらを統合した電動推進システムを主に開発し、2022年中にFAA Part33の認証取得を目指す。
- 2021年には、2035年の電動推進システムの商用化を目指すNASAのElectric Powertrain Flight Demonstrationプログラム参加企業に採択され、74.3百万ドルの拠出を受ける。

magniXが開発した電動推進システム「magni650」の構成及びスペック



最大出力：640 kW

通常連続出力：560 kW

出力回転数：1,200~2,300 RPM

最大連続トルク：3,020 N・m

通常トルク：2,820 N・m

乾燥重量：200 kg/440.9 lbs

最大運用高度：35,000 ft

最大運用電圧：800 VDC

最低運用電圧：500 VDC

3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

電動推進用モーター：SIEMENSの開発概要

- SIEMENSはAIRBUS、Rolls-Royceと共同で実施していたハイブリッド推進システムを搭載した電動航空機E-FAN X向けにメガワットクラスの推進システム向けモーターを開発。
- AIRBUSはZEROeプロジェクトへ移行したためE-FAN Xプロジェクトは終了したものの、テスト用の液冷式モーターは開発と製造が完了。

SIEMENSが開発したE-FAN X向けモーター「SP2000D」のスペック



最大連続出力：2,000 kW

出力回転数：6,500 RPM

通常トルク：3,000 N・m

乾燥重量：261 kg

運用電圧：3,000 VDC

3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

電動推進用モーター：Rolls-Royceの開発概要

- Rolls-Royceは、航空機向けの電動推進システムとして、ダイレクトドライブを採用した2種類の空冷式ユニットを開発。
- 中でもRegional Air Mobility向け320kW仕様のユニットはEASA CS-23の安全基準に準拠しており、単発機や双発機、四発機での使用を想定。

Rolls-Royceが開発した電動推進システムのスペック



ダイレクトドライブを採用したUrban Air Mobility
向け空冷式推進ユニット
出力：150kW



ダイレクトドライブを採用したRegional Air
Mobility向け空冷式推進ユニット
出力：320kW

3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

電動推進用モーター：Collins Aerospaceの開発概要

- Collins AerospaceはHybrid Air Vehicles製の次世代型ハイブリッド飛行船Airlander10向けに500kWの推進用モーターを開発
- 上記に加え、Pratt & Whitney Canadaが計画するリージョナル電動ハイブリッド航空機向けに、1MWのモーターの初期設計を実施

Collins Aerospaceが開発した電動推進システムのスペック



Airlander 10向け永久磁石搭載型
推進用モーター
出力：500kW
回転数：2,000RPM
出力密度：9kW/kg



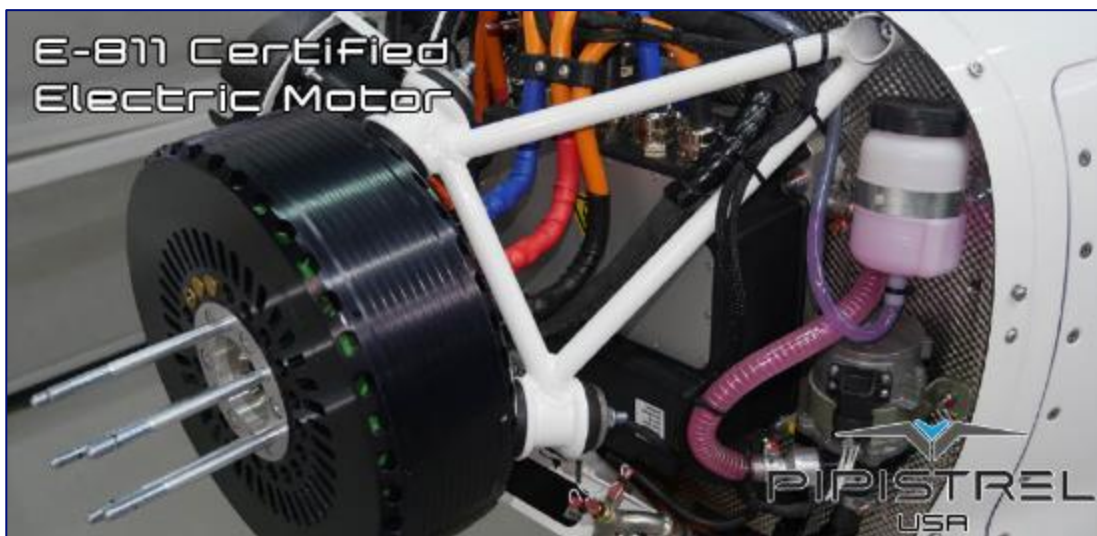
パラレルハイブリッド推進システム向けモーター
出力：1MW

3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

電動推進用モーター：PIPISTRELの開発概要

- PIPISTRELは主に単発の軽飛行機を開発、販売しているアメリカの企業。
- 同社が開発したE-811は世界で初めてEASAから型式証明を取得したGeneral Aviation向け電動推進システム。
- 対象は水上機やUltra Light, Light Sport Aircraft, Very Light Aircraft及びFAA Part-23 Level 1で規定された0~1人乗りのGeneral Aviationであり、現在購入も可能。

PIPISTRELが開発した電動推進システム「E-811」の構成及びスペック



最大出力：57.6 kW

通常連続出力：49.2 kW

出力回転数：2,350~2,500 RPM

最大連続トルク：220 N・m

通常トルク：200 N・m

乾燥重量：22.7 kg/50 lbs

最大運用電圧：400 VDC

最低運用電圧：250 VDC

3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

ジェネレーター：Rolls-Royceの開発概要

- Rolls-Royceは、ハイブリッド電動航空機向けにメガワットクラスのジェネレーターシステムを開発。
- 最大1MWの発電が可能なターボジェネレーターは4kW/kgの出力密度を実現し、SAFの使用にも対応。

Rolls-Royceが開発したジェネレーターの概要



ハイブリッド電動推進システム向けターボジェネレーター
SAFへの対応に加え、将来的に水素への対応も目指す
出力：600 kW~1 MW
出力密度：4 kW/kg

3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

ジェネレーター：Rolls-Royceの開発概要

- さらなる高出力化を目指して現在開発中のPower Generation System 1（PGS1）は1MWの出力試験に成功しており、2.5MWの出力に向け開発が進行中。
- なお、本プロジェクトはthe UK Aerospace Technology Institute MegaFlight projectとEU Clean Sky2のサポートを受ける。

Rolls-Royceが開発したジェネレーターの概要



イギリスのテストベッド108で開発試験が進むPGS1
AE2100エンジンや熱コントロールシステム等で構成
最大出力：2.5MW

3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

ジェネレーター：Honeywellの開発概要

- Honeywellは、ハイブリッド電動航空機向けにメガワットクラスのジェネレーターシステムを開発。
- 最大1MWの発電が可能なターボジェネレーターはSAFの使用にも対応。

Honeywellが開発したジェネレーターの概要



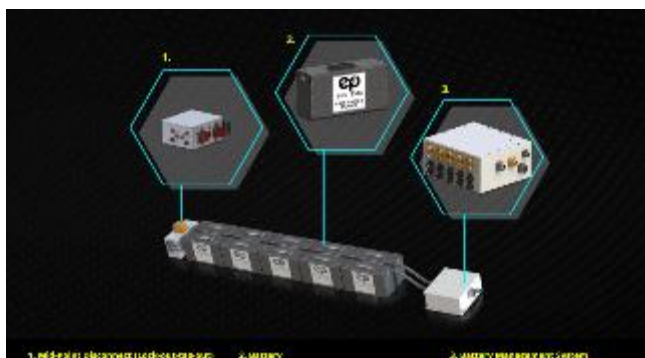
ハイブリッド電動推進システム向けターボジェネレーター
A350に搭載されているHGT1700と共に発電システムを
構成し、SAFにも対応可能
出力：1 MW

3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

バッテリーシステム： Electric power systemsの開発概要

- Electric power systemsはアメリカ、カリフォルニア州に拠点を置く、2007年設立の電動航空機向けバッテリー及び、バッテリーマネジメントシステムを提供する企業。
- 2019年、2021年にBOEINGとSafranが出資を行っており、NASA、FAA、BOEING、Safran、Bell-Textron、EMBRAER等が顧客。
- NASA X-57、BOEING CAV等の電気航空機、eVTOLのフライトデモ機向けに、バッテリーシステムを供給。
- FAAと連携し、一般航空機用バッテリーシステムの認証を行っており、2022年初頭に初期のTSO認証完了予定。
- 2018年にElectric power systems製バッテリーを搭載した、米企業BYE AEROSPACEの電動航空機が初飛行を実現。

Electric power systems製バッテリーシステム構成及びEPiC AV1000 スペック



	Rated Capacity	Registering of IEC 62484	1.25h	4.5Ah
	Temperature	Operating Discharge	-20 to +55	°C
		Storage Discharge	-30 to +25	°C
Continuous Discharge Current	At Positive Charging	At Positive Charging	min of 7.5C or 500A	
	At Negative Charging	At Negative Charging	min of 7.5C or 500A	
	At Zero Current	At Zero Current	min of 7.5C or 500A	
Fast Charge Charge	At Standard Charge	At Standard Charge	min of 3.0C or 200A	
	At High Rate Charge	At High Rate Charge	min of 3.0C or 200A	
	At Ultra Fast Charge	At Ultra Fast Charge	min of 3.0C or 200A	
Other	Max. Power	Max. Power	1.25h	4.5Ah
	Max. Power	Max. Power	1.25h	4.5Ah
	Max. Power	Max. Power	1.25h	4.5Ah

Designed For:
Aircraft (eVTOL, UAV, etc.)
Electric Aircraft (eAircraft)
Electric Aircraft (eAircraft)

Applications:
Hybrid | Military | eVTOL | Regional | APU

Model Number	Capacity (Ah)	Voltage (V)	Power (W)	Energy (Wh)	Charging Current		Discharge Current		Physical Dimensions (mm)
					Max. Charge Rate (C)	Max. Charge Rate (A)	Max. Discharge Rate (C)	Max. Discharge Rate (A)	
EPiC AV1000-001	277.0Ah	3.2V	8.86W	886.4Wh	0.5C	138.5A	1.0C	277.0A	1.118"
EPiC AV1000-002	138.5Ah	3.2V	4.43W	443.2Wh	0.5C	69.25A	1.0C	138.5A	0.559"
EPiC AV1000-003	69.25Ah	3.2V	2.215W	221.6Wh	0.5C	34.625A	1.0C	69.25A	0.279"
EPiC AV1000-004	34.625Ah	3.2V	1.1075W	110.8Wh	0.5C	17.3125A	1.0C	34.625A	0.139"
EPiC AV1000-005	17.3125Ah	3.2V	0.55375W	55.4Wh	0.5C	8.65625A	1.0C	17.3125A	0.069"
EPiC AV1000-006	8.65625Ah	3.2V	0.276875W	27.7Wh	0.5C	4.328125A	1.0C	8.65625A	0.035"
EPiC AV1000-007	4.328125Ah	3.2V	0.1384375W	13.85Wh	0.5C	2.1640625A	1.0C	4.328125A	0.017"
EPiC AV1000-008	2.1640625Ah	3.2V	0.06921875W	6.925Wh	0.5C	1.08203125A	1.0C	2.1640625A	0.009"

3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

インバーター、コンバーター：SynQorの開発概要

- SynQorはアメリカにおいて、航空宇宙や軍事、運輸、産業、通信などを中心に電力変換ソリューションを開発する企業
- 航空機に特化した製品では米軍をはじめとした軍用機でも採用歴を持ち、耐衝撃性や耐温度性に優れる
- 複数のインバーター、コンバーターを連結して運用することで、大出力への対応も可能

SynQorが開発したインバーター、コンバーターのスペック



AC-DCコンバーター (MPS-4000)

基本性能

- ・密閉構造で耐環境性・衝撃性に優れた構造
- ・軍事用途に適した堅牢なアルミ・ダイキャスト・フレーム
- ・使用温度：-40℃～55℃
- ・幅広い三相の入力電圧及び周波数に対応
- ・AC入力にPFCモジュール内蔵
- ・大容量対応に最大8台までの連結運転（最大32kW）
- ・連結運転時の同期起動・停止制御

ブロック図



DC-ACインバーター (MINV-4000)

基本性能

- ・密閉構造で耐環境性・衝撃性に優れた構造
- ・軍事用途に適した堅牢なアルミ・ダイキャスト・フレーム
- ・使用温度：-40℃～55℃
- ・出力構成
28V入力品：単相(1出力)/単相(3出力)/三相(1出力)
180V入力品：単相(1出力)
- ・大容量や三相出力対応に最大3台までの連結運転(28V入力品のみ)
- ・船舶向け中性極フローティング(オプション)

ブロック図



3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

電動アクチュエーター：Safranの開発概要

- SafranはEMAを適用したB787向け電気式ブレーキを製造。
電動式ブレーキの採用により、従来の課題であった、ブレーキの摩擦熱による油圧アクチュエーターの作動油などへの引火懸念が払拭。
- 2022年のフーンボロー国際航空ショーにて、ナローボディおよびワイドボディ商用ジェット機向け、電動ノーズランディングギアアクチュエーターを発表。

B787向け電気式ブレーキ



電動ノーズランディングギアアクチュエーター



3.2 電動化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

電動アクチュエーター：MOOGの開発概要

- MOOGはA350、A380、B787向けを中心に電気油圧式アクチュエータ（EHA）、EHAの派生型であるバックアップ用アクチュエータ（EBHA）、電気機械式アクチュエータ（EMA）を製造。

B787向けミッドボードスポイラー用EMA



A400M向けスポイラー用EBHA



本報告書の構成

1：本調査の背景・目的

1.1：本調査の背景・目的

1.2：調査手法

2：本調査のサマリー

3：次世代航空機における国内・海外企業の動向と、関連する標準化団体の議論動向

3.1：各技術領域における日本企業の参加状況まとめ（非公表）

3.2：電動化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.3：水素分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.4：軽量化・効率化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.5：各技術領域における標準化団体の議論動向（SAE/EUROCAE/ASTM/RTCA等）

4：新技術の社会実装に向けた主要企業のロードマップ（一部非公表）

5：次世代航空機に関する標準化戦略（一部非公表）

3.3 水素化分野における動向：技術候補の全体像、各技術に対する取り組み状況（海外）

水素燃料タンク関連の技術候補と技術開発動向（海外）

システム	関連部品	技術レベル	TRL8-9 達成見込	プロジェクト/取組企業 (主要企業)	取組状況
水素燃料 タンク	システム全体	TRL1-3	?	Fly Zero (ATI)	- 複合材/金属を用いたタンクのコンセプト、候補材料の選定、最適な成形法に関する検討 - 水素燃料タンク関連技術の今後の展望について整理
		TRL4-6	?	HEAVEN (Ayesa Foundation)	宇宙分野で活用された極低温液体水素貯蔵技術を航空機に転用し、水素タンクを設計
		TRL4-6	2035年	Airbus	- 金属製/複合材製液体水素タンクの開発を進める 2023年に極低温水素タンクの地上試験、2025年に飛行試験を予定
	内部タンク	TRL4-6	?	GTL	Hypoint向けに複合材液体水素燃料タンクを開発
		?	?	StirWeld	FSW（摩擦拡販接合）を活用したアルミニウム製液体水素タンクを検討
	デュワーシェル（外壁）	—	—	—	—
	バルブ	—	—	—	—
	パイプ	TRL1-3	?	Fly Zero (ATI)	極低温水素パイプに関する研究
	ポンプ	—	—	—	—
	接手	—	—	—	—
	加圧・極低温装置	—	—	—	—
	真空装置	—	—	—	—
	ベントシステム	—	—	—	—
	サスペンション	—	—	—	—
	流量計	—	—	—	—
	温度計	—	—	—	—
	圧力計	—	—	—	—
	液位センサ	—	—	—	—

3.3 水素化分野における動向：技術候補の全体像、各技術に対する取り組み状況（海外）

水素燃料電池・燃焼器関連の技術候補と技術開発動向（海外）

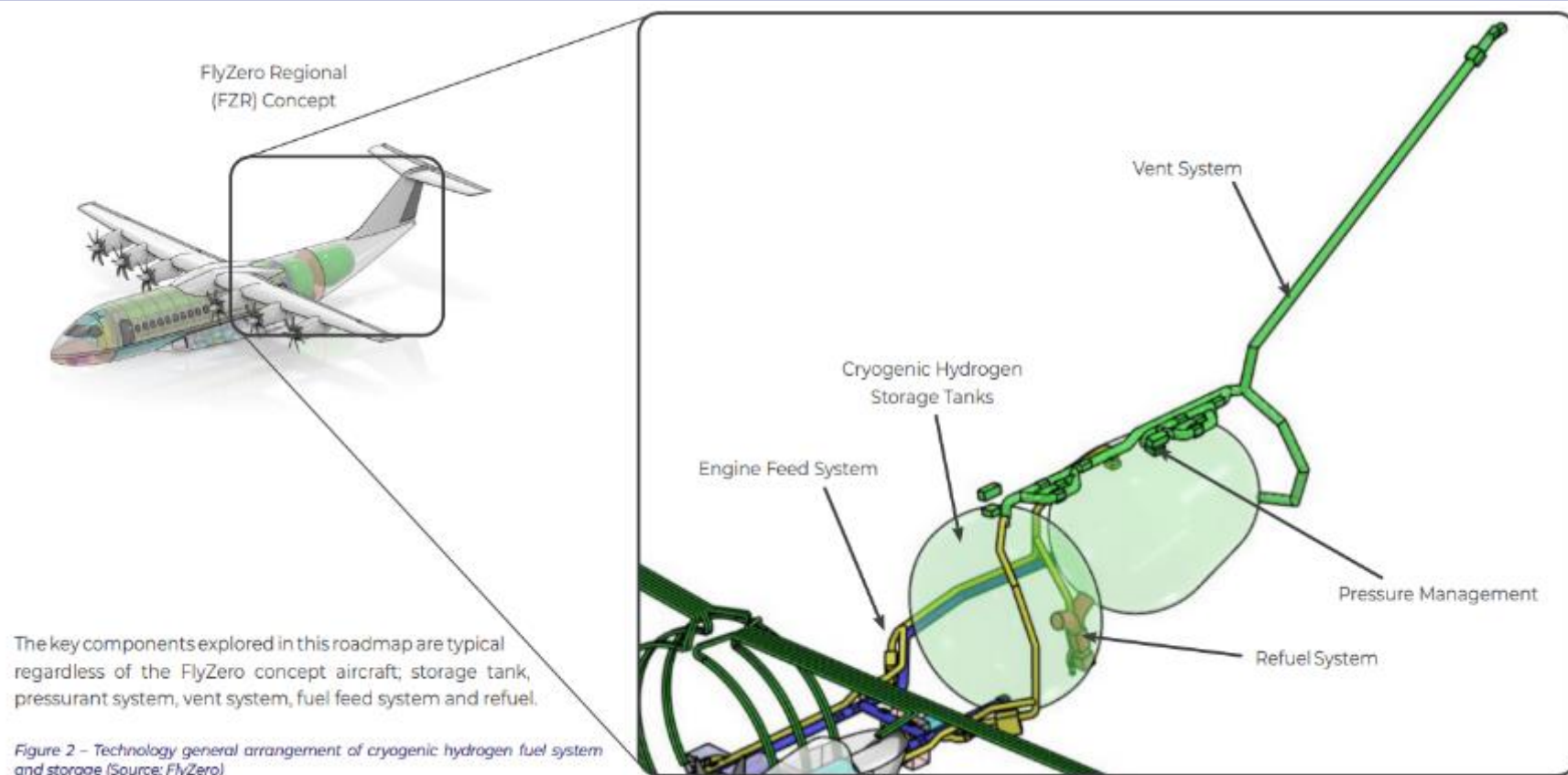
システム	関連部品	技術レベル	TRL8-9 達成見込	プロジェクト/取組企業 (主要企業)	取組状況
燃料電池	システム全体	TRL4-5	2035年	H2GEAR (GKN aerospace)	- 水素燃料電池を含む、サブリージョナル航空機向けの液体水素推進システムの開発を目指す 2025年末までに地上試験による技術実証を予定
		TRL5-6	2025年	HyPoint	- 高温高分子電解質膜（HTPEM）を用いたTurbo Air-Cooled方式により、将来的には既存の燃料電池を61%軽量化し、3000W/kgの出力密度（System）、1250Wh/kgのエネルギー密度を持つ燃料電池を量産（現時点ではラポレベルのプロトタイプのみ） 2023年ごろからの地上試験、試験飛行を目指す
		TRL5-6	?	HEAVEN	2022年までに航空機推進用の90kW級の燃料電池開発を目指す
		TRL3-6	-	FLHYSAFE (Safran)	出力範囲15kw~60kwのモジュール式燃料電池を用いた緊急動力源（EPU）の設計。TRL6を目標としている
	セパレータ	—	—	—	—
	燃料極・空気極	—	—	—	—
	電解質膜	—	—	—	—
	触媒	—	—	—	—
	熱交換器・冷却システム	—	—	—	—
水素航空機用エンジン	システム全体	TRL1-3	?	Fly Zero (ATI)	- オックスフォード大学と共同で、水素とアンモニアを燃料とするガスタービンのメリットと実現可能性の検討を目的とした性能解析を実施 - 水素推進関連技術の今後の展望について整理
		?	?	H2JET (GKN aerospace)	2035年における欧州国内路線への投入を目指し、単通路機向け水素ターボプロップエンジン・ターボファンエンジンの検討を行う
	燃料ノズル	—	—	—	—
	燃焼器	—	—	—	—
	熱交換器（気化器）	—	—	—	—
	燃料コントロールシステム	—	—	—	—

3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

水素燃料タンク/水素燃焼器：Fly Zeroプログラムの概要

- FlyZeroはAEROSPACE TECHNOLOGY INSTITUTE（ATI）は英国政府の研究機関により、2021年初頭から進められていたプログラム。
- 水素航空機及び要素技術に対する、設計上の課題、製造需要、運用要件、市場機会の評価が行われた。また、今後の展望の考察、各水素関連技術分野におけるロードマップの策定を行っている。
- リージョナル機、ナローボディー機、中型機の水素航空機コンセプトを発表している。

水素リージョナル航空機における水素燃料システム配置



3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

水素燃料タンク/水素燃焼器： Fly Zeroプログラムの概要

水素燃料タンク 性能計画

		TRL6	2026	2030	2050	
Regional		Total Gravimetric Efficiency (%)	47%	61%	64%	
		Gravimetric Efficiency of Tank (%)	Aft Tank 1 (Vacuum)	57%	75%	75%
			Aft Tank 2 (Vacuum)	54%	72%	72%
		Maintenance Intervals	Flight Cycles	17,000	43,500	70,000
			Flight Hours	17,000	43,500	70,000

		TRL6	2026	2030	2050	
Narrowbody		Total Gravimetric Efficiency (%)	58%	66%	69%	
		Gravimetric Efficiency of Tank (%)	Aft Tank 1 (Foam)	67%	76%	77%
			Aft Tank 2 (Foam)	63%	72%	73%
		Maintenance Intervals	Flight Cycles	20,000	40,000	60,000
			Flight Hours	10,000	80,500	120,000

		TRL6	2026	2030	2050	
Midsize		Total Gravimetric Efficiency (%)	58%	72%	75%	
		Gravimetric Efficiency of Tank (%)	Delta Tank 1 (Foam)	45%	65%	66%
			Aft Tank 2 (Foam)	82%	89%	90%
		Maintenance Intervals	Flight Cycles	15,000	27,500	40,000
			Flight Hours	45,000	87,500	130,000

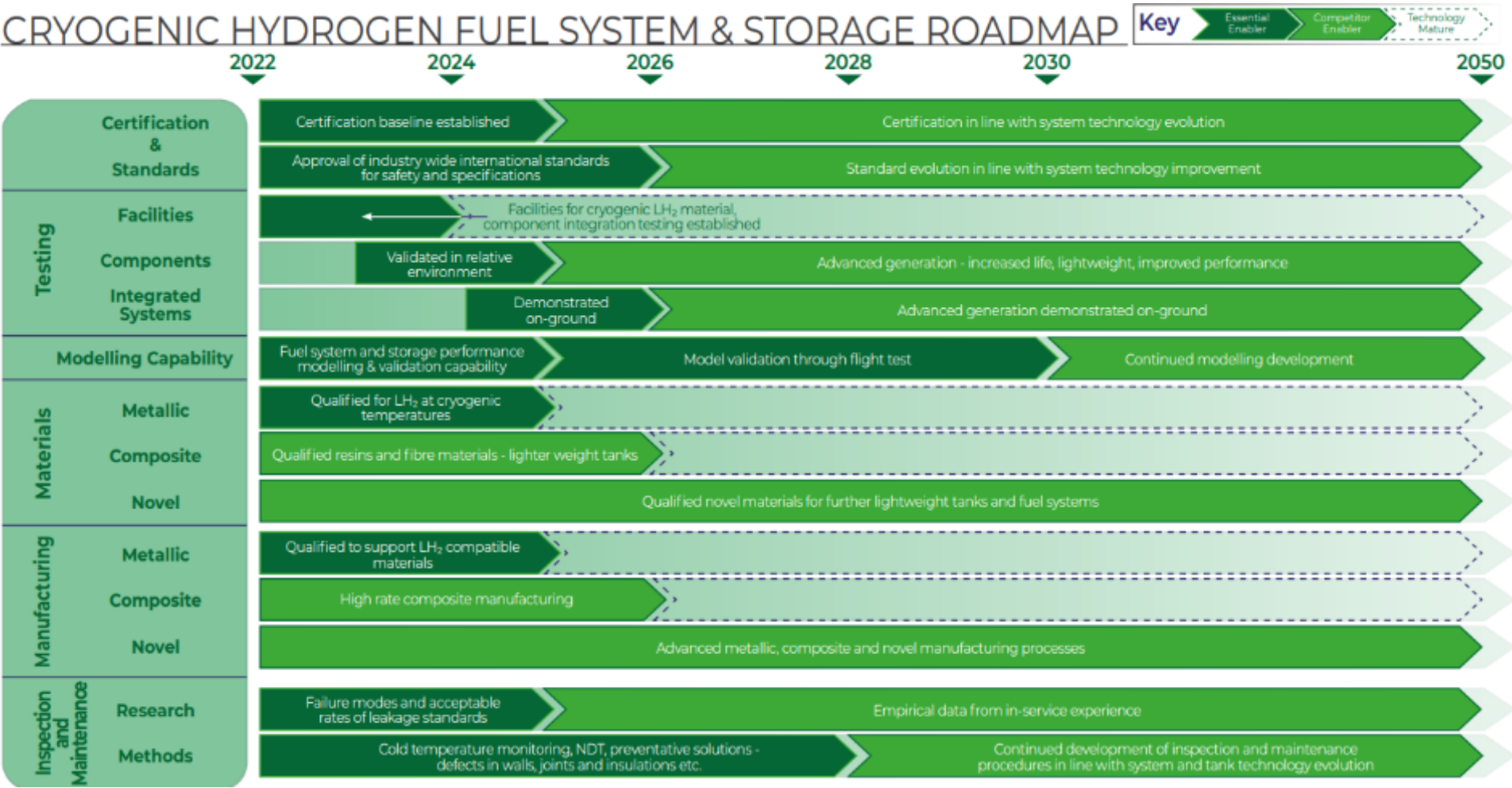
Toal Gravimetric Efficiency = Mass of Usable Fuel ÷ (Mass of Usable Fuel + Fuel System mass + Empty Tank Mass)

Gravimetric Efficiency of Tank = Mass of Usable Fuel ÷ (Mass of Usable Fuel + Empty Tank Mass)

3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

水素燃料タンク： Fly Zeroプログラムの概要

極低温水素燃料システム及び水素燃料タンク ロードマップ

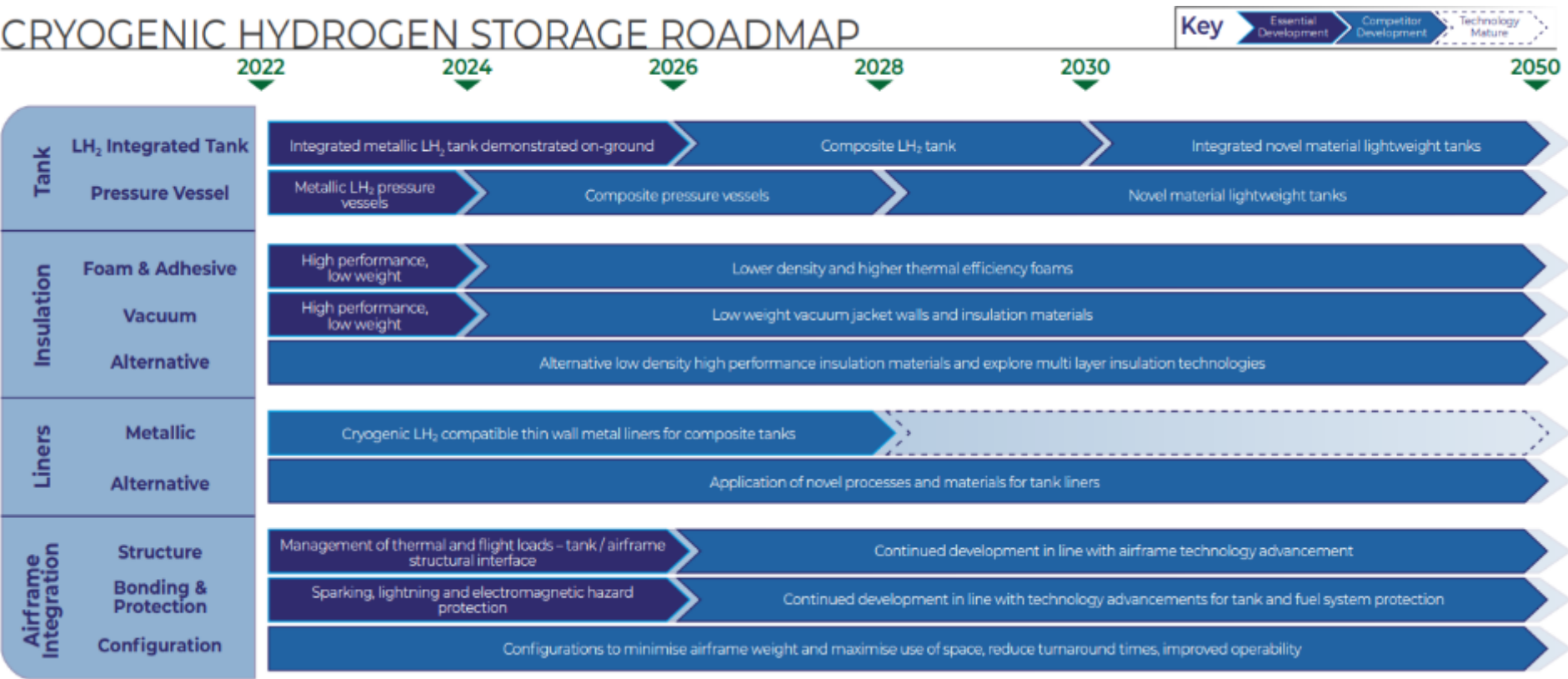


Source) AEROSPACE TECHNOLOGY INSTITUTEよりNRI作成

3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

水素燃料タンク： Fly Zeroプログラムの概要

水素燃料タンク ロードマップ



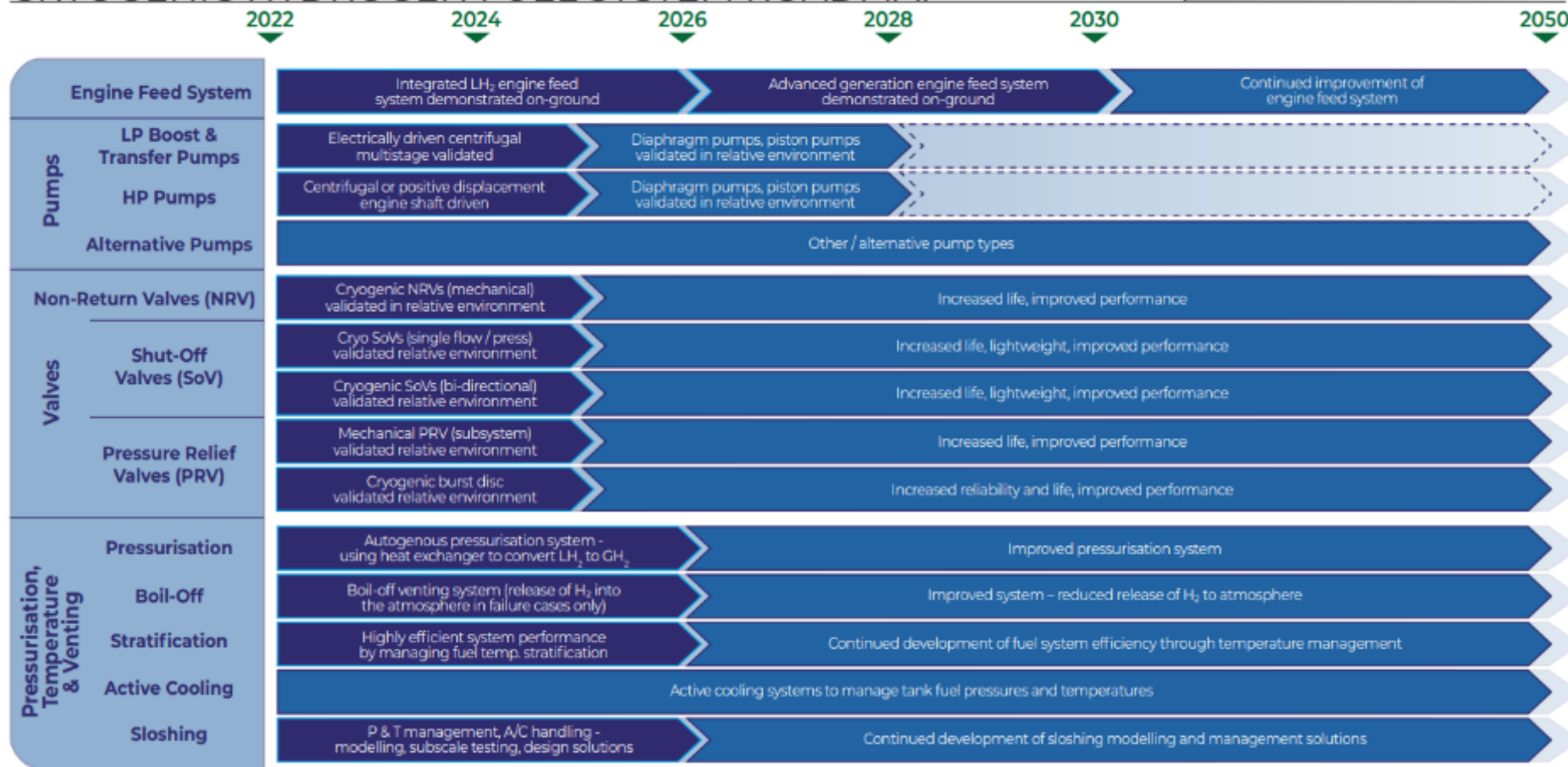
3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

水素燃料タンク：Fly Zeroプログラムの概要

極低温水素燃料システム ロードマップ1

CRYOGENIC HYDROGEN FUEL SYSTEM ROADMAP

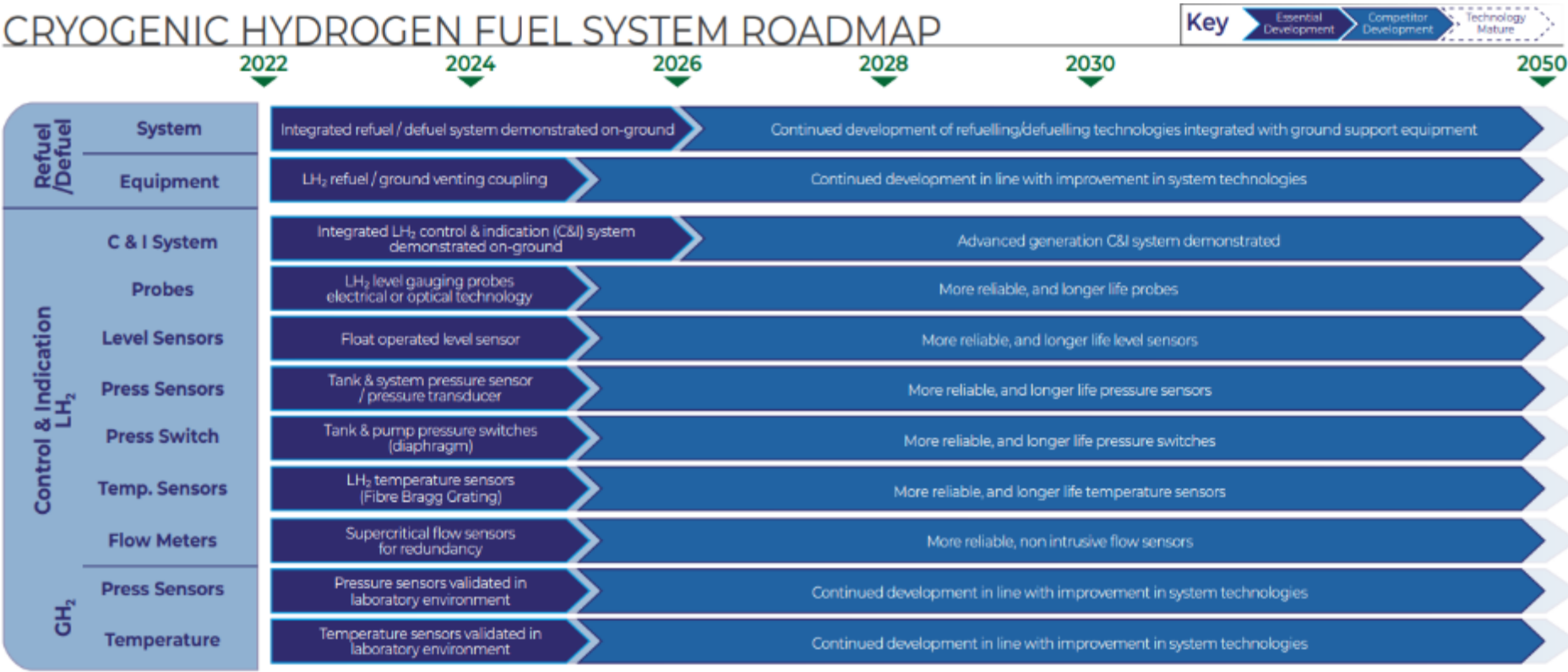
Key Essential Development Competitor Development Technology Mature



3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

水素燃料タンク： Fly Zeroプログラムの概要

極低温水素燃料システム ロードマップ2

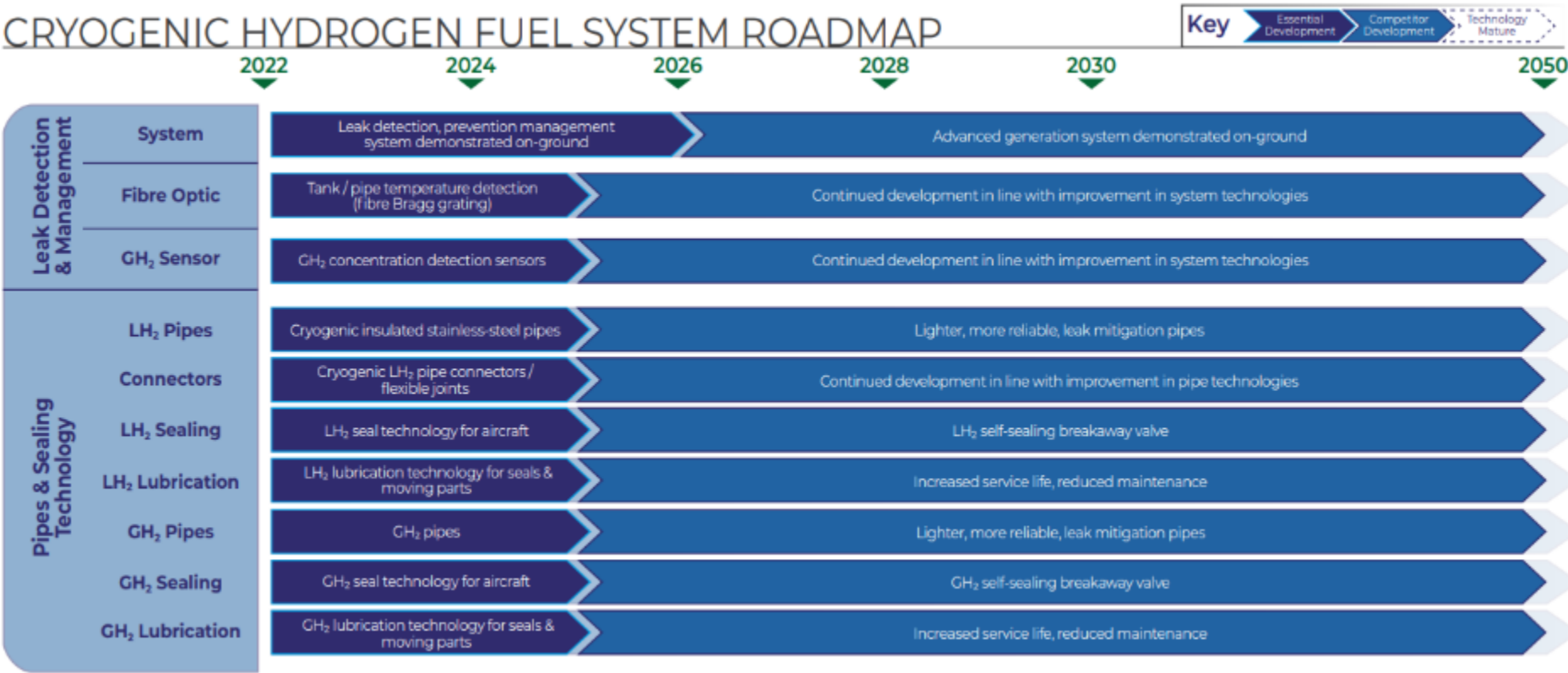


Source) AEROSPACE TECHNOLOGY INSTITUTEよりNRI作成

3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

水素燃料タンク： Fly Zeroプログラムの概要

極低温水素燃料システム ロードマップ3

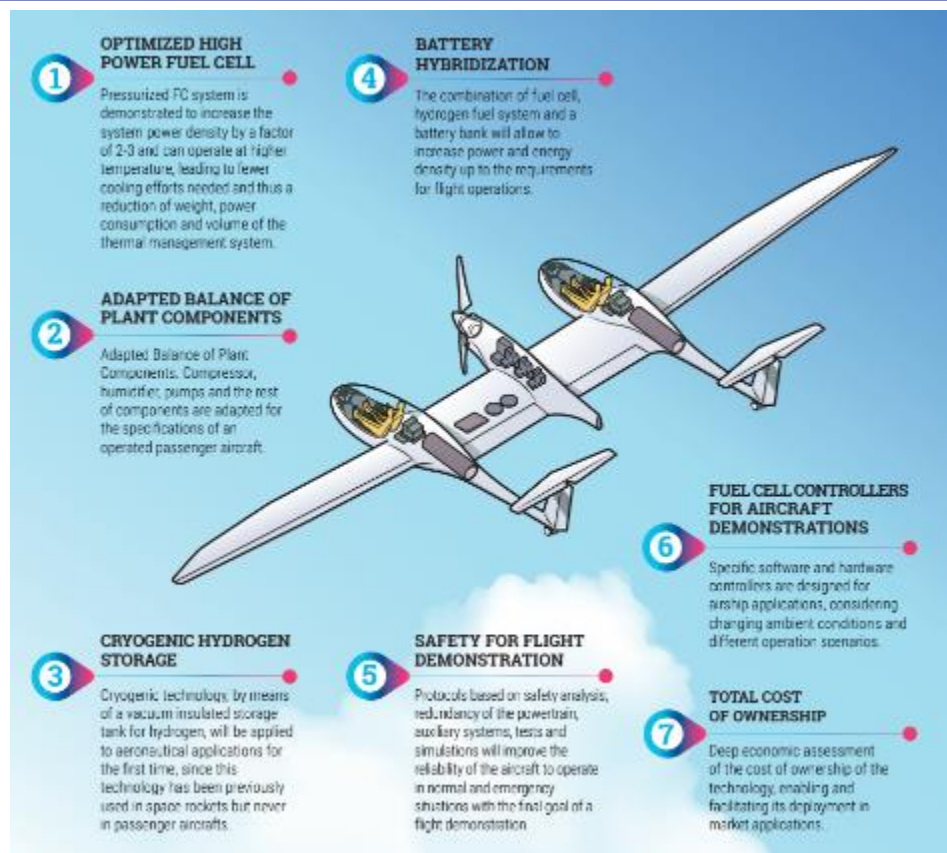


3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

水素燃料タンク： HEAVENプロジェクトの概要

- HEAVEN(High powEr density FC System for Aerial Passenger Vehicle fueled by liquid HydrogeN)は欧州の研究開発計画である『Horizon2020』の『Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking(FCHJU)』から3,900万ユーロの資金を調達している共同研究プロジェクト。
- 2019年1月に開始（4年間の期限付き）し、スペインのエンジニアリング企業であるAyesaの非営利部門である Ayesa Foundationを筆頭に、ドイツDLR、H2FLY、フランスAir Liquidなど系6社・団体が参画。
- 主に小型航空機向けに、高密度燃料電池（90kW級）を用いた推進システム開発を掲げる。

HEAVENプロジェクトの対象と参画メンバー



fundación
ayesa

Fundación Ayesa Spain
www.fundacionayesa.org

Air Liquide
creative oxygen

Air Liquide Advanced Technologies S.A.
www.airliquide.com

elringklinger

ElringKlinger AG
www.elringklinger.de



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
www.dlr.de



H2Fly GmbH
www.h2fly.de

PIPISTREL
Pipistrel vertical solutions
www.pipistrel-aircraft.com

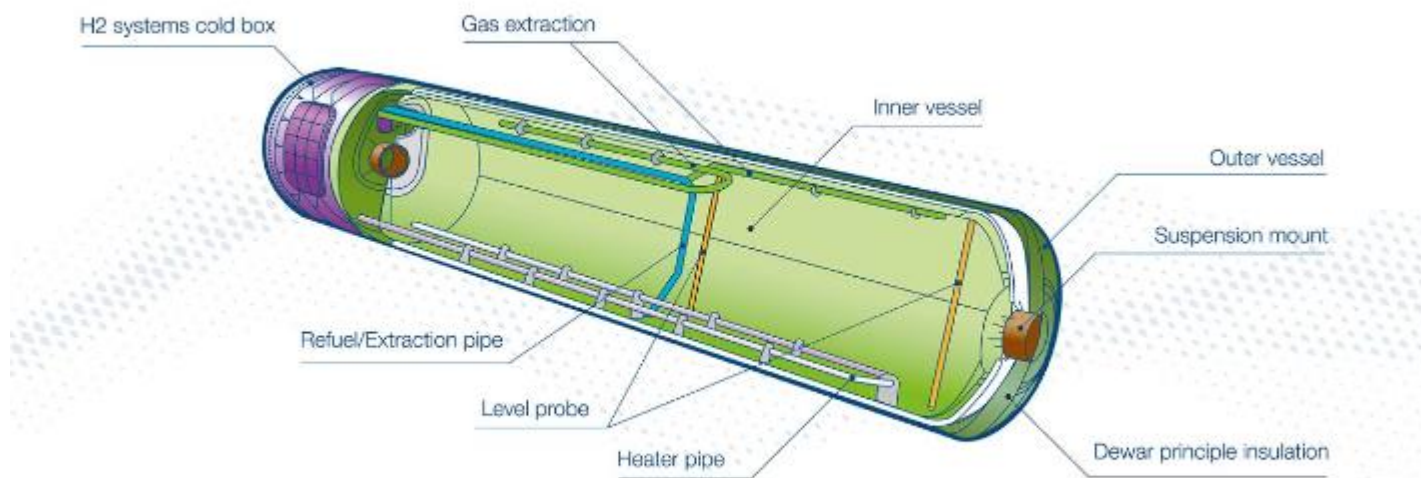
3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

水素燃料タンク： Airbusの概要

- Airbusは2035年頃の水素航空機ZEROeのEISを目指し、水素航空機の研究開発を進める。
- ゼロエミッション開発センター（Zero Emission Development Centres：ZEDEC）にて極低温液体水素タンクの開発が進行中。
- フランスのナント、ドイツのブレーメンのZEDECにて金属製水素タンクの研究開発、スペインのZEDECにて複合材製水素タンクの研究開発が行われている。
- -253℃の極低温状態を維持するため、タンクは二層構造になっており、内側と外側のタンクの間は真空状態となっている。また、輻射による熱伝導を防ぐため、多層断熱材（Multi-Layer Insulation：MLI）を使用している。
- 2023年に地上試験、2025年に飛行試験が予定されている。

Airbusの液体水素タンクイメージ

Liquid H₂ tank



AIRBUS

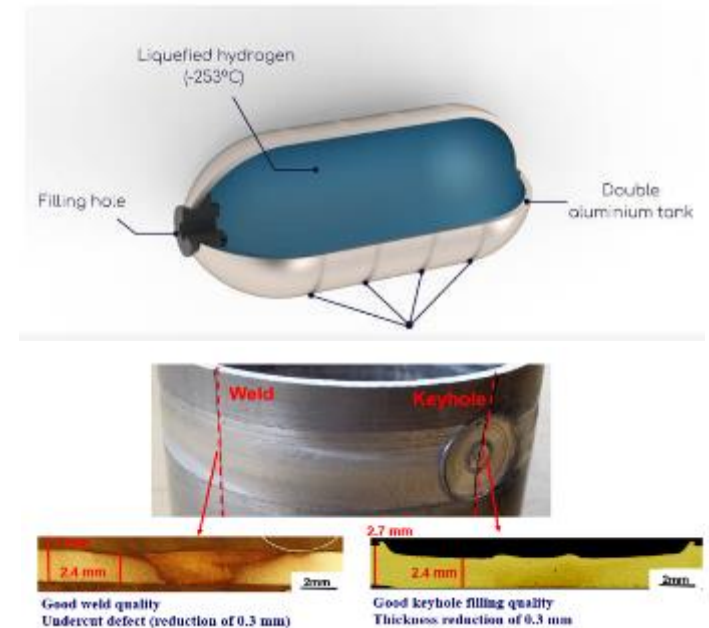
3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

水素燃料タンク： StirWeldの概要

- StirWeldは摩擦攪拌溶接(FSW)技術を強みに持つ2007年設立の企業。Airbus、仏CEA等を顧客に持つ。
- FSW技術は漏れがなく、高圧用途で使用可能であることから、ロケット用極低温水素タンク製造に用いられており、スペースX社ファルコン9、MHIのH-II、H-III等のランチャータンクへの適用実績がある。
- 航空用途ではリベット接合に代わる技術として用いられており、低コスト・部品の軽量化・疲労の改善・高い防水性等が期待できる。
- 航空用途での適用例としては、エアバスA400Mの床パネルの溶接にFSW技術が用いられている。
- FSW（摩擦攪拌接合）を活用したアルミニウム製液体水素タンクを検討を行っている

FSWを用いた航空用アルミニウム製液体水素タンク検討の概要

	Arc-welded steel	Arc-welded aluminium	Aluminium welded by FSW
Metal mechanical strength	★ ★ ★	★ ★	★ ★
Join efficiency	★	★	★ ★ ★
Fatigue resistance	★	★	★ ★ ★
Corrosion resistance	★ Except stainless steel	★ ★	★ ★ ★
Mechanical properties at low temperature	★ Except austenitic nickel steel	★ ★ ★	★ ★ ★
Density	★ 7500 to 8000 kg/m³	★ ★ ★ 2700 kg/m³	★ ★ ★ 2700 kg/m³
Material cost	★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★
Weld cost	★ Gas protection, filler metal, rework	★ Gas protection, filler metal, rework	★ ★ ★ Low cost after the FSW test



3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

水素燃料タンク：GTL（HyPoint）の概要

- HyPoint社はアメリカ・カリフォルニアに位置する水素航空機向けソリューションを開発する新興企業であり、水素航空機のリーディングカンパニーであるZeroAviaに燃料電池システムを供給。
- 燃料タンクについては宇宙領域にて実績を持つGTL（Gloyer-Taylor Laboratories）とパートナーシップを組んでいる。
- 各種メディアの報道によると、複合材（炭素繊維）で作られたBHL cryotank（液体水素燃料タンク）は2.4m×1.2mの円筒状で、重量は12kgである。Vacuum Dewar shell等も含めたシステム重量は67kgで、150kg以上の水素を格納できる。

GTL社タンク



3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

燃料電池：H2GEARプロジェクトの概要

- H2GEARは2021年1月より、GKN aerospaceを中心に計6団体で進められている、液体水素推進システムの共同研究プロジェクト。
- Aerospace Technology Institute（ATI）から2,700万ポンドの資金調達をしている。
- サブリージョナル航空機用の液体水素推進システムの開発を目指しており、2025年末までに地上試験を予定。2035年の超伝導水素駆動航空機就航を目指す。
- 2022年4月よりeasy Jetが、同じく英GKN aerospace主導のH2JETプロジェクトとともに支援を開始。

H2GEARの概要及び参画団体



3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

燃料電池： HyPointの概要

- HyPoint社はアメリカ・カリフォルニアに位置する水素航空機向けソリューションを開発する新興企業であり、水素航空機のリーディングカンパニーであるZeroAviaに燃料電池システムを供給。
- HTPEM（高温高分子電解質膜）、ターボ空冷を用いて、将来的には既存燃料電池重量の61%を削減し、3000W/kgの出力密度（System）、1250Wh/kgのエネルギー密度を持つ燃料電池を量産（現時点ではラボレベルのプロトタイプのみ）

HyPoint社のFC軽量化とFC構造

- Specific power of a fuel cell stack (includes cooling system): up to **3,000 W/kg**
- Specific power at system level (full BoP is included): up to **2,000 W/kg (projected to exceed 3,000 W/kg in the future)**



Figure 3: Comparison of Traditional LTPEM and HTPEM turbo air-cooled power units

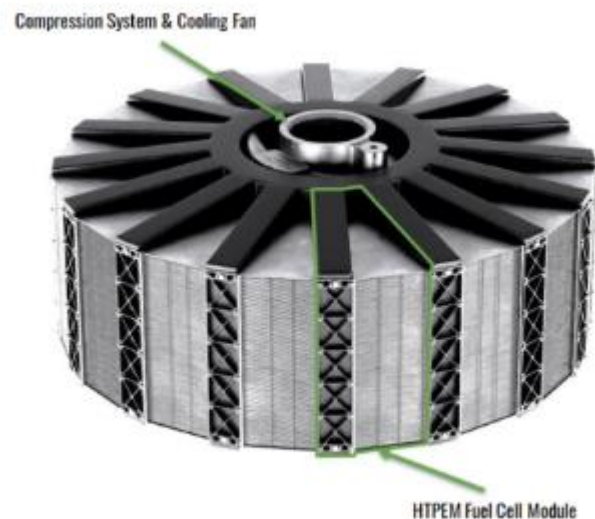


Figure 6: 180 kW Turbo Air-Cooled HTPEM Fuel Cell

3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

燃料電池：HyPointの概要

各燃料電池の性能比較表

Parameter	HyPoint flying demonstrated	HyPoint NEW	Best-in-class liquid-cooled FC	Other air-cooled FC
Cooler Type	Air	Turbo Air-Cooled	Liquid	Air
Type	LTPEM	HTPEM	LTPEM	LTPEM
Specific Power [Stack]	1500 W/kg	5500 W/kg	6000 W/kg	1200 W/kg
Specific Power [System]	1000 W/kg	3000 W/kg	900W/kg	800 W/kg
Energy Density [System]	750 Wh/kg	1250 Wh/kg* *Estimate for a system 270 kW massing 500 kg, including FC and hydrogen tanks with an 10% hydrogen mass ratio	600 Wh/kg*	500 Wh/kg
Weight [270 kW system]	–	90 kg	300 kg	–
\$/kW In Mass Production	800–1000	100–500	300–600	3000
Other Crucial Params	Advantages: • Simple construction and ultra lightweight of air-cooled FC • Temp of operation: -40 to +40°C (with potential for +45°C) • Proven technology with customers • Modularity Limitations: • Power capacity • Lifespan 1000–2000 h • Terrestrial vehicles only	Advantages: • Simple construction and ultra-lightweight of air-cooled FC • Temp of operation: -60 to +60°C • Lifespan: 5000–20000 h • Modularity • Cost • No power capacity limit • All the benefits of lighter air-cooled scheme Limitations: • Prototype scale today	Advantages: • Temp of operation: -20 to +50°C • Proven technology • Lifespan: no data • Cost Limitations: • Cooler mass • Engineering complexity • Compressor + complicated fuel cell design = parasitic mass • Tech service • Customized solution for Mirai only	Advantages: - None in the existing comparison Limitations: • Power capacity • Customized solution only • Temp of operation -5 to +30°C • Lifespan • Terrestrial vehicles only

LTPEMとHTPEMの性能比較表

Parameter	LTPEM	HTPEM	Comments
Temperature Range	≤ 80°C	140–180°C	Significantly broader temperature range
Electrolyte	Water	Phosphoric acid	No water management problems, but more corrosive conditions
Humidity control	Critical	Unnecessary	HTPEM permits short overheating and overcurrent – more reliable in an emergency
Impurity Tolerance	CO: ppm levels	CO: several percent	Enhanced tolerance for HTPEM for other impurities also. Lower operational cost
Membrane chemistry	Fluorocarbon → higher cost	Hydrocarbon → lower cost	Lower capital cost
Durability	5,000–10,000 h	5,000–20,000 h	20,000 hours achieved in a lab
Stack design	Standard	Simplified	No gas humidification, simpler cooling system

LTPEM :
Low Temperature Polymer Electrolyte Membrane
低温高分子電解質膜

HTPEM :
High Temperature Polymer Electrolyte Membrane
高温高分子電解質膜

3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

燃料電池：HyPointの概要

HyPoint社の燃料電池開発計画

Table 8: Product Development Plan (updated on November 2021)

	2019-2020	2021	2022	2023	2024	2025
Type of FC	Turbo Air-Cooled	Turbo Air-Cooled	Turbo Air-Cooled		Turbo Air-Cooled	
Product	Short-Stack	20 kW Module	180 kW Power Unit	650 kW Power Unit	900 kW Power Unit	>1MW Power Unit
Status	Prototype	Prototype	Full Scale Beta Product	Full Scale Beta Product	Full Scale Beta Product	Commercialized
Specific Power [Stack]	--	2500W/kg	3000 W/kg	3000 W/kg	4500 W/kg	5500 W/kg
Specific Power [System]	--	1500 W/kg	2000 W/kg	2000 W/kg	2500 W/kg	≥ 3000 W/kg
Energy Density*	--	--	1000 Wh/kg	1000 Wh/kg	≥ 1200 Wh/kg	≥ 1500 Wh/kg
Short Description	Validation and feasibility study	Prototype	Prototype	Real flight testings, ground testings	Real flight testings	Real flight testings
Action Plan	LOI with Majors	Development agreements	Manufacturing, Testings	Manufacturing, Testings	Manufacturing, Certification	Certification, Commercialization

* Depends on hydrogen storage

3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

燃料電池： FLHYSAFEプロジェクトの概要

- FLHYSAFEプロジェクト(Fuel cell HYdrogen System for AircraFt Emergency Operation)は欧州の研究開発計画である『Horizon2020』の『Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking(FCHJU)』から5,100万ユーロの資金を調達している共同研究プロジェクト。
- 2018年1月に開始した5年間にわたるプロジェクト。フランスサフランを筆頭に、ドイツDLR、フランスCEA、スペインINTAなど計6団体が参画。
- 出力範囲15kw~60kwのモジュール式燃料電池を用いた緊急動力源(EPU)の設計開発、実証、開発ロードマップの策定を行う。
- PEM燃料電池スタックを用いた燃料電池技術、より統合された電力変換装置、エアベアリングコンプレッサーの提案を行う。
- 現在利用可能なTRL3、4の技術を用い、サブシステムのコンポーネントに関してはTRL5、システムレベルでは部分的にTRL6を目指すことが目標。

FLHYSAFEプロジェクトの目的



3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

水素燃焼器：Fly Zeroプログラムの概要

水素ガスタービンエンジン 性能計画

 H ₂	2025	2030	2035	2050
Energy consumption (MJ/kNs)	0.56	0.55	0.54	0.49
Total Efficiency (%) thermal x propulsive	41	42	43	47
Unit cost divided by power \$/kW (System)	140	130	120	100
Time to first Shop Visit/overhaul (hours)	30,000	35,000		45,000
Power density (kW/kg)	6.5	6.5	6.8	7.6
Emissions (NO _x) relative to Legislation (CAEP 8)	80%	50%	30%	<10%
Noise A/C level db relative to Chapter 14	Ch 14	10db to 22db margin		>22db margin

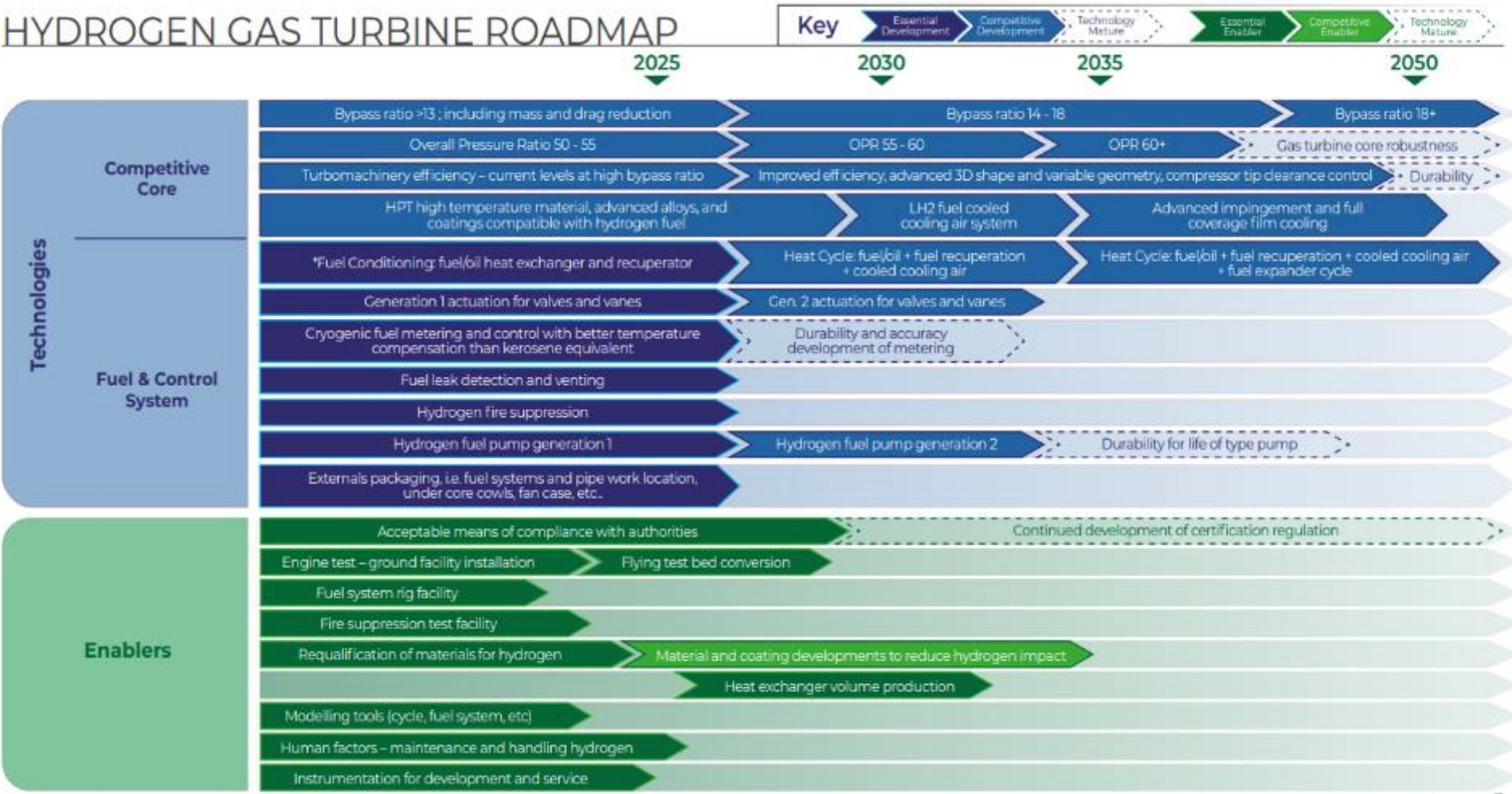
Notes and Commentary

- › **Energy consumption:** assuming hydrogen energy content at 118.353 MJ/kg
- › **Efficiency:** total cruise efficiency
- › **Unit cost divided by take-off power:** continued pursuit of cost reductions
- › **Time on wing:** in hours
- › **Power density:** small cores and larger fan systems with associated weight reductions and efficiency improvements
- › **Emissions:** (NO_x) current aerospace legislative process is based around the landing and take-off (LTO) cycle. Climate science findings may recommend adoption of the energy industry gas turbine limits by 2050 (10 parts per million)
- › **Noise (aircraft):** target includes future proof margin

3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

水素燃焼器：Fly Zeroプログラムの概要

水素ガスタービン ロードマップ1

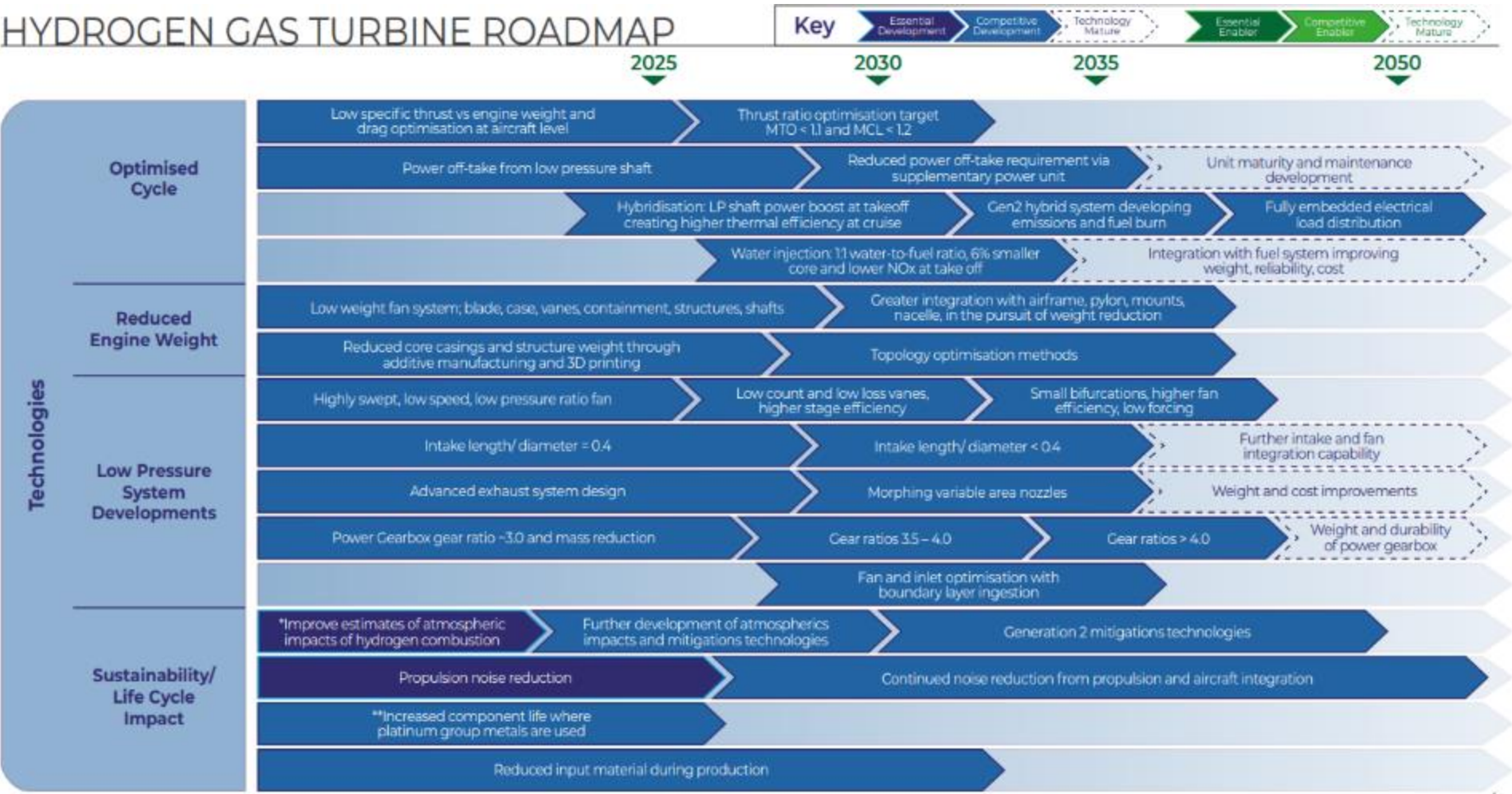


Source) AEROSPACE TECHNOLOGY INSTITUTEよりNRI作成

3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

水素燃焼器：Fly Zeroプログラムの概要

水素ガスタービン ロードマップ2



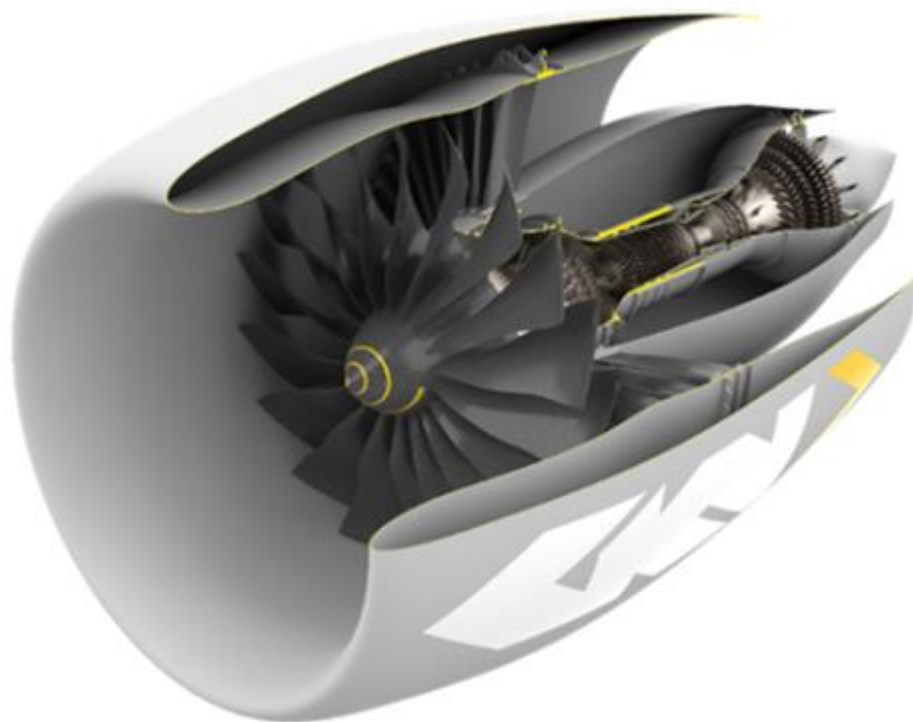
Source) AEROSPACE TECHNOLOGY INSTITUTEよりNRI作成

3.3 水素化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

水素燃焼器： H2JETプロジェクトの概要

- H2GEARは2021年7月より2年間、GKN aerospaceを中心に進められている、水素ガスタービンエンジンの主要サブシステム共同研究開発プロジェクト。
- スウェーデンエネルギー庁はじめ、スウェーデン国内の大学、研究機関、企業、計8団体で進められている。
- 2035年における欧州国内路線への投入を目指し、単通路機向け水素ターボプロップエンジン・ターボファンエンジンの検討を行う。
- 2022年4月よりeasy Jetが支援を開始。

GKN aerospaceの水素ターボファンエンジンイメージ



本報告書の構成

1：本調査の背景・目的

1.1：本調査の背景・目的

1.2：調査手法

2：本調査のサマリー

3：次世代航空機における国内・海外企業の動向と、関連する標準化団体の議論動向

3.1：各技術領域における日本企業の参加状況まとめ（非公表）

3.2：電動化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.3：水素分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.4：軽量化・効率化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.5：各技術領域における標準化団体の議論動向（SAE/EUROCAE/ASTM/RTCA等）

4：新技術の社会実装に向けた主要企業のロードマップ（一部非公表）

5：次世代航空機に関する標準化戦略（一部非公表）

CO2削減効果に関する前提（CFRP）

炭素繊維利用によるCO₂削減効果の定量化（LCA）

“炭素繊維協会モデル”



<前提>

機体：中型旅客機（ボーイング767）国内線仕様

運航：国内線（羽田⇄千歳；500マイル）

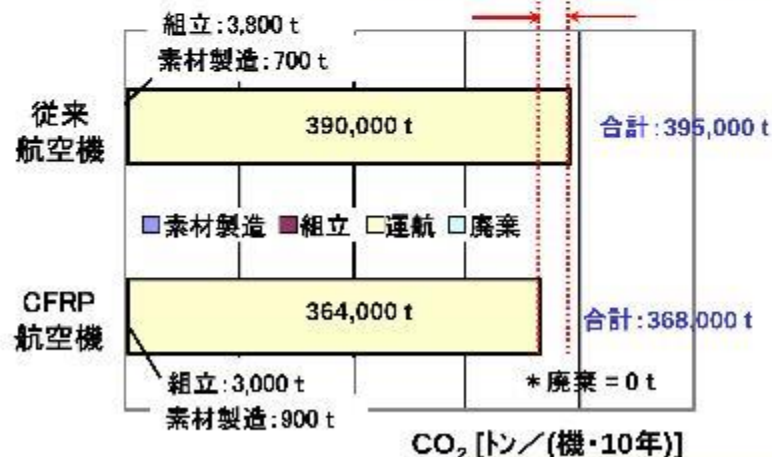
生涯運航距離：年間2,000便、10年（出典：全日空）

CFRP航空機：CFRP50%適用、20%軽量化（従来機対比）

<ライフサイクルCO₂排出量>

<航空機1機当たり>

削減効果：27,000トン（7%）



CO₂ 削減量 27,000トン/(機・10年)

<炭素繊維1トン当たり>

炭素繊維製造時のCO₂排出量

ライフサイクルCO₂削減効果
(製造時含む)

20トン

▲1400トン

1機当たり炭素繊維
約20トン使用

JCMA Proprietary

3.4 軽量化・効率化分野における動向：技術候補の全体像、各技術に対する取り組み状況（海外）

諸外国における軽量化・効率化関連の開発動向

大分類		対象技術	標準化議論	取組企業	取り組み/企業概要
材料		CMC	ASTM C28	GE	CFMのLEAPエンジンの高圧タービンシュラウドにCMCを活用するほか、GE9Xの燃焼器ライナーなど、65以上の製紙部材にCMCを活用
		FRP	CMH-17	—	—
	構造 / 製造 技術	CFRP	ISO TC61/SC13 複合材 ASTM D6484	sgl carbon	航空機向けCFRPを製造するドイツ企業
				BGF Industries	航空機向けCFRPを製造するアメリカ企業
				Hexcel	航空機向けCFRPを製造するアメリカ企業
				GTL	液体水素燃料タンク向けCFRPを開発
				Arevo	CFRPの3Dプリンティング技術を有する米ベンチャー企業(Airbusが出資)
		CFRTP	VICTREX	航空機向けPEEK・PAEKポリマーを用いたCFRTPを製造する英国企業（ブラケットなどで採用実績あり）	
		AM	ASTM F42	GE	CFMのLEAPエンジンの燃料ノズル、GE90用温度センサーハウジングのAM製造型式認証を取得
				Safran	2019年に6,800万ユーロを投じ、フランス・ボルドーにAM製造工場を開設
装備品		MEMS式INS	ICAO	Advanced navigation	ヘリコプター向けのMEMS式INSを供給

3.4 軽量化・効率化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

CFRP：SGL Carbonの概要

- SGL Carbonはドイツ Wiesbadenに本社を置く炭素・グラファイト関連製品メーカー。2021年の売上高10億ユーロのうち33.5%を炭素繊維、12.1%を複合材ソリューション事業が占める。当社のCFRPはA350などに搭載。

SGL Carbon社のCFRPデータシート（航空機向けプリプレグ）



Resin system	Resin type	Tg [°C]	Curing temperature [°C]	Storage life at 20°C [days]	Storage life at -18°C [months]	Tack ¹⁾	Impact-modified
E500 E501 E502 E503	transparent epoxy	110	80 - 160	70	12	L/M/H	yes
E401	epoxy	120	70 - 140	14	6	M	yes
E400 E402	epoxy	120	80 - 140	40	12	L	nc
E310 E311	flame-retardant epoxy	120	80 - 160	14	6	L/M/H	yes
E320 E321 E322 E323	epoxy	120	90 - 140	90	12	M	yes
E450	transparent epoxy	120	120 - 160	28	6	M	nc
E302	epoxy	130	70 - 140	14	12	L/M/H	nc
E340	epoxy	140	100 - 150	90	12	L/M	nc
E704	flame-retardant epoxy	140	140 - 160	14	12	M	yes
E753	flame-retardant epoxy	140	140 - 160	28	12	L	yes
E330	epoxy	145	80 - 160	28	12	L/M/H	yes
E420	snap-cure epoxy	150	120 - 170	28	12	M	nc
E800	tooling epoxy	220	80 - 200	14	12	L/M/H	nc
P320 P321 P322	phenolic	>200	100 - 180	180	12	M/H	nc
P350	phenolic	>200	120 - 160	7	6	L/M	nc
P500	phenolic	75	150 - 170	28	12	L/M/H	yes

3.4 軽量化・効率化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

CFRP：BGF Industriesの概要

- BGF Industriesはアメリカ・バージニア州に本社を置く繊維メーカー。航空宇宙を筆頭に船舶、自動車産業などにCFRP等を供給。

BGF Industriesの供給する航空機向けCFRP



➤ CARBON FABRICS

- Satisfies Boeing Material Specifications BMS 9-8, as well as other major airframe manufacturers' specifications.
- Uses carbon yarns from precursor of PAN and Pitch.

Style	3K-70-P	3K-70-CS	3K-135-8H	6K-135-5H	94140
Precursor	PAN	PAN	PAN	PAN	PAN
Warp & Filling Yarns	3K	3K	3K	6K	12K
Yarn Count (WxF/inch)	12 x 12	12 x 12	24 x 24	12 x 12	10 X 10
Weave Pattern	Plain	4HS	8HS	5HS	2 X 2 Twill
Aerial Weight (gms/sq meter)	193	185	370	370	670

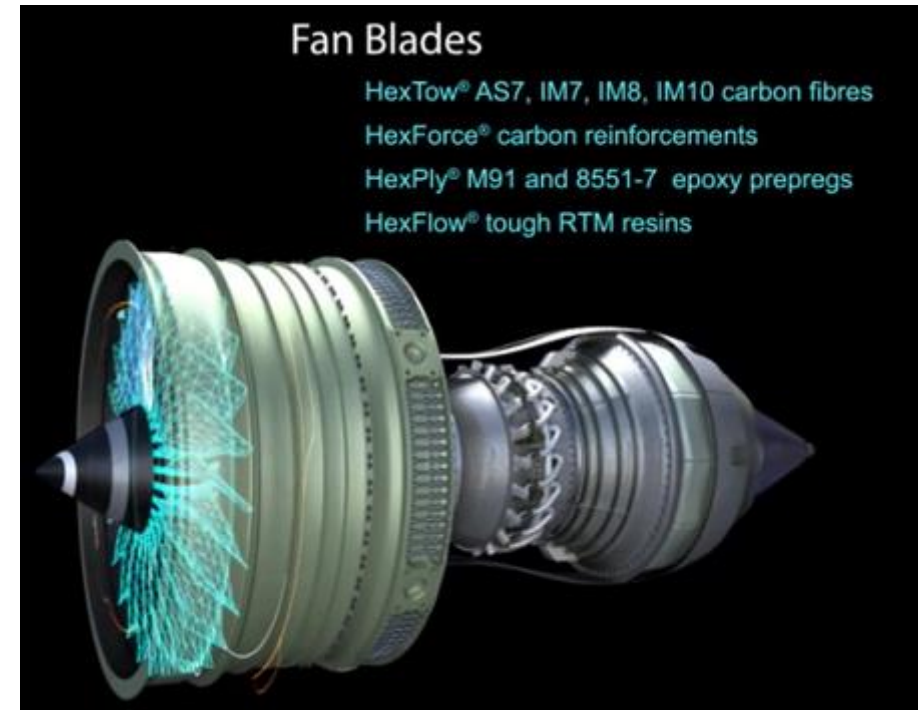
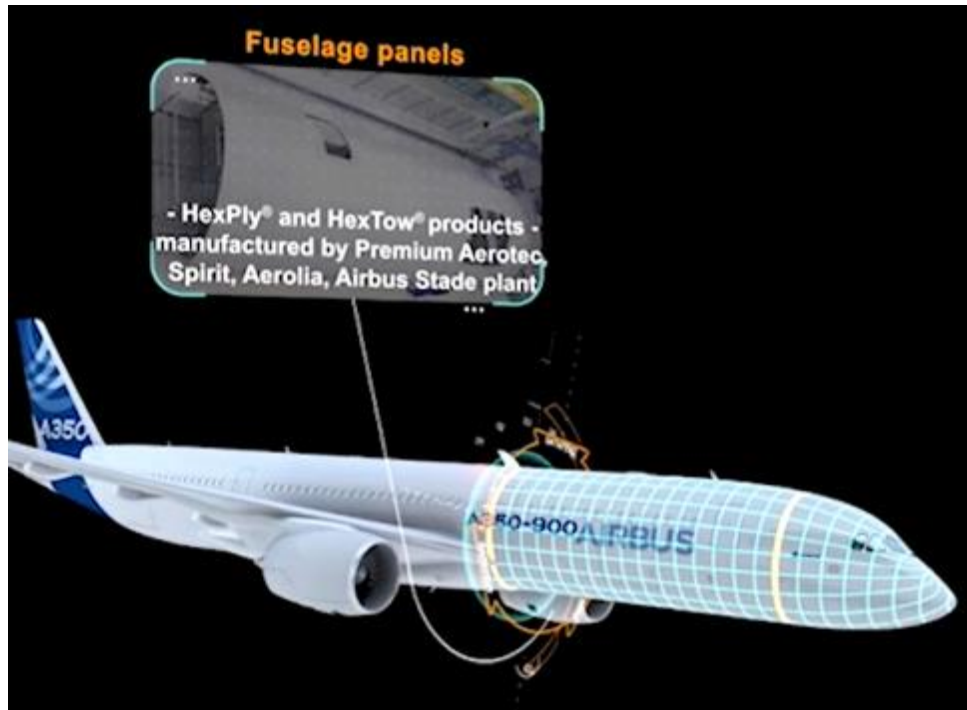
Carbon fabrics are not covered by ISO standards at this time.

3.4 軽量化・効率化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

CFRP：Hexcelの概要

- Hexcelはアメリカ・コネチカット州に本社を置く複合材・炭素繊維メーカー。2021年の売上高13億USDのうち77%を複合材（炭素繊維含む）事業が占める
- 当社のCFRPはA350の構造体やLEAP向けファンブレードなどに搭載実績がある。

Hexcel製CFRPの適用例



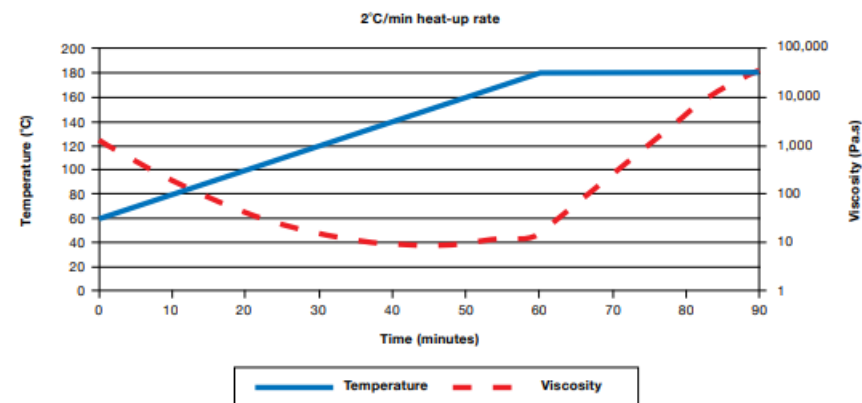
3.4 軽量化・効率化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

CFRP：Hexcelの概要（参考：航空機向けCFRPのデータ）

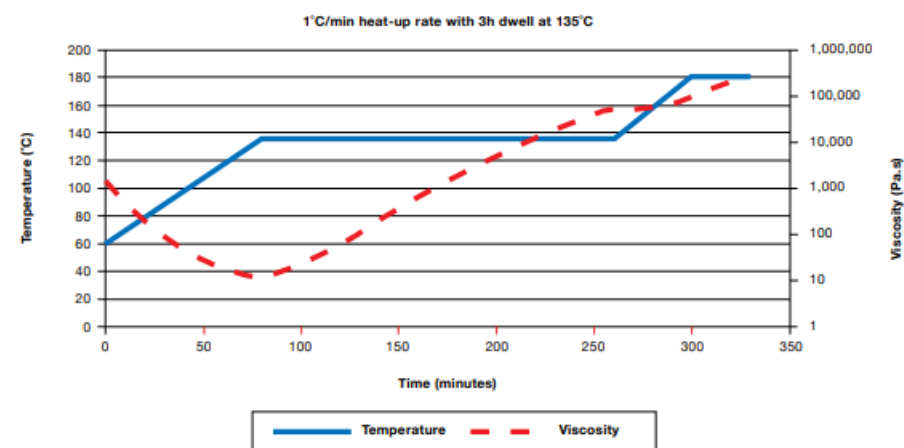
Cure Cycle Viscosity Profiles

All experiments were made on a Bohlin Gemini Rheometer and correspond to the recommended cure cycles below.

Typical Autoclave Cure – Monolithic Part < 15mm (0.6inch) thick



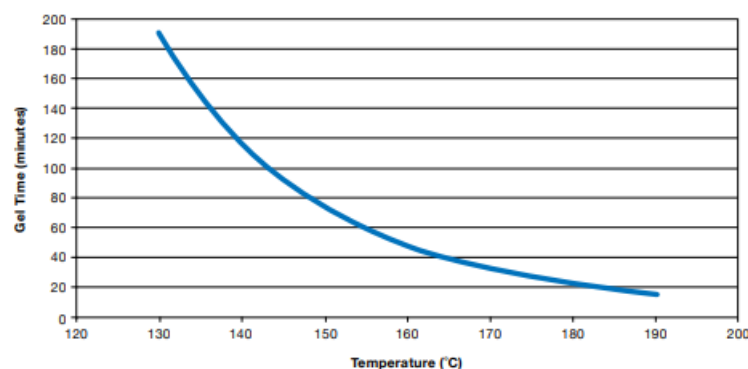
Typical Autoclave Cure – Monolithic Part 15mm-70mm (2.7inch) thick



Resin Matrix Properties

Gel Time

All experiments were made on a Bohlin Gemini Rheometer.



3.4 軽量化・効率化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

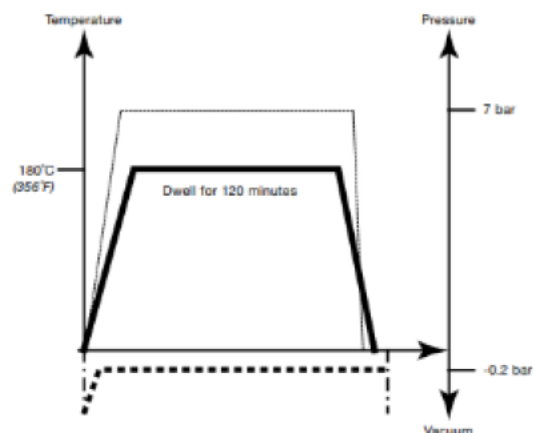
CFRP：Hexcelの概要（参考：航空機向けCFRPのデータ）

Prepreg Curing Conditions

Defined heat-up rates will vary depending on the autoclave dimensions, the mass of tooling used and the size of the component to be manufactured.

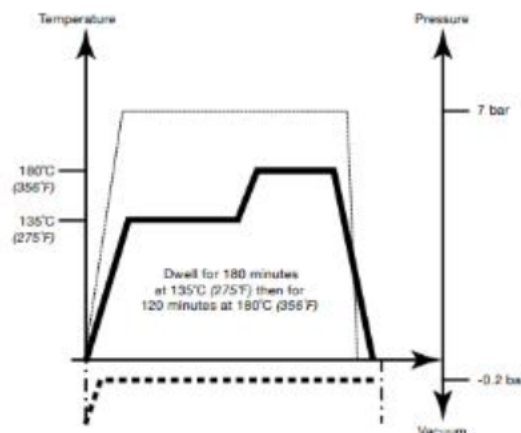
Typical Autoclave Cure Monolithic Part < 15mm thick (1)

1. Apply full vacuum (1bar).
2. Apply 7 bar gauge autoclave pressure.
3. Reduce vacuum to a safety value of -0.2bar when the autoclave pressure reaches ~ 1 bar gauge.
4. Set heat-up rate from room temperature to $180^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($356^{\circ}\text{F} \pm 9^{\circ}\text{F}$) to achieve an actual component heat-up rate between $1\text{-}2^{\circ}\text{C}/\text{minute}$ ($2\text{-}4^{\circ}\text{F}/\text{minute}$).
5. Hold at $180^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($356^{\circ}\text{F} \pm 9^{\circ}\text{F}$) for 120 minutes $\pm$ 5 minutes.
6. Cool component at an actual cool down rate of $2\text{-}5^{\circ}\text{C}/\text{minute}$ ($4\text{-}9^{\circ}\text{F}/\text{minute}$).
7. Vent autoclave pressure when the component reaches 60°C (140°F) or below.



Typical Autoclave Cure Monolithic Part 15 - 70mm thick (1)

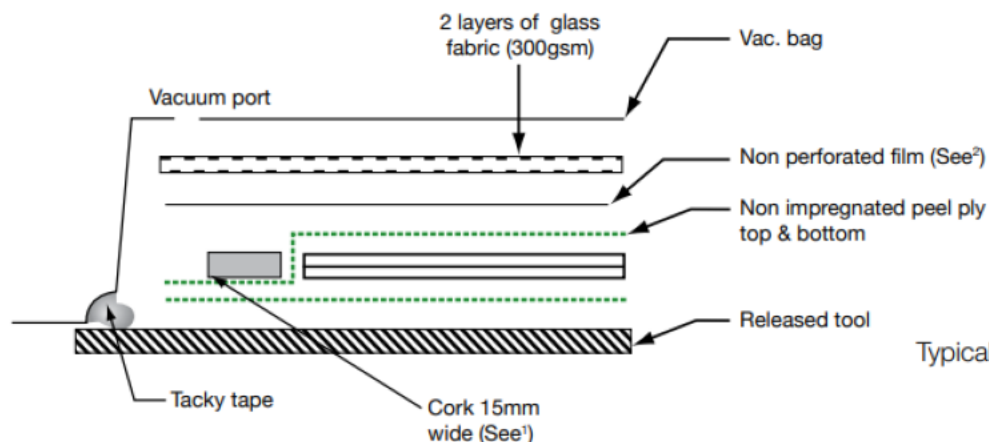
1. Apply full vacuum (1bar).
2. Apply 7 bar gauge autoclave pressure.
3. Reduce vacuum to a safety value of -0.2bar when the autoclave pressure reaches ~ 1 bar gauge.
4. Set heat-up rate from room temperature to $135^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($275^{\circ}\text{F} \pm 9^{\circ}\text{F}$) to achieve an actual heat-up rate between $0.5\text{-}1^{\circ}\text{C}/\text{minute}$ ($1\text{-}2^{\circ}\text{F}/\text{minute}$).
5. Hold at $135^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($275^{\circ}\text{F} \pm 9^{\circ}\text{F}$) for 180 minutes $\pm$ 5 minutes.
6. Set heat-up rate from $135^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($275^{\circ}\text{F} \pm 9^{\circ}\text{F}$) to $180^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($356^{\circ}\text{F} \pm 9^{\circ}\text{F}$) to achieve an actual heat-up rate between $0.5\text{-}1^{\circ}\text{C}/\text{minute}$ ($1\text{-}2^{\circ}\text{F}/\text{minute}$).
7. Hold at $180^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($356^{\circ}\text{F} \pm 9^{\circ}\text{F}$) for 120 minutes $\pm$ 5 minutes.
8. Cool component at an actual cool down rate of $2\text{-}5^{\circ}\text{C}/\text{minute}$ ($4\text{-}9^{\circ}\text{F}/\text{minute}$).
9. Vent autoclave pressure when the component reaches 60°C (140°F) or below.



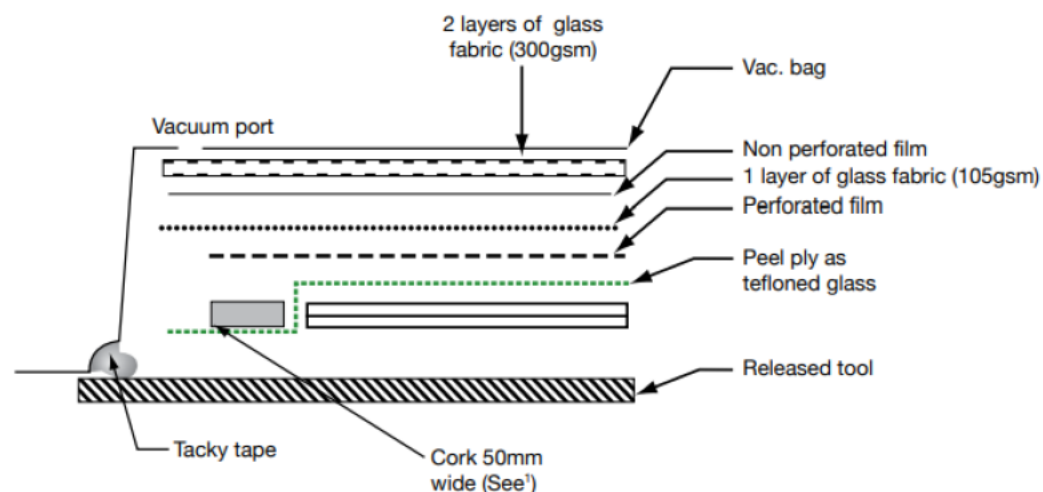
3.4 軽量化・効率化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

CFRP：Hexcelの概要（参考：航空機向けCFRPのデータ）

Typical autoclave bagging configuration adopted for curing mechanical test laminates



Typical autoclave bagging configuration adopted for curing component



¹ Cork is butted up to the laminate with a height equal to that of the prepreg stack

² Non perforated film to extend over cork by 15mm (0.6inch)

3.4 軽量化・効率化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

CFRP：Hexcelの概要（参考：航空機向けCFRPのデータ）

Cured Unidirectional Prepreg Properties

Nomenclature: resin/resin content by weight (%)/fiber weight (gsm)/fiber type.

Physical Properties	Units	M91/34%/UD194/ IM10-12K	M91/34%/UD194/ IM7-12K	M91/34%/UD194/ AS7-12K
Fiber		IM10	IM7	AS7
Weave/UD		UD	UD	UD
Fiber Mass	g/m ²	194	194	194
Nominal Prepreg Mass	g/m ²	294	294	294
Theoretical Calculated Cured Ply Thickness	mm (inch)	0.184 (0.0072)	0.184 (0.0072)	0.184 (0.0072)
Theoretical Calculated Fiber Volume	%	58.9	59.2	58.7
Resin Density	g/cm ³ (lbs/ft ³)	1.28 (80.2)		
Fiber Density	g/cm ³ (lbs/ft ³)	1.79 (111.7)	1.78 (111.1)	1.80 (112.4)
Theoretical Calculated Laminate Density	g/cm ³ (lbs/ft ³)	1.58 (98.63)	1.57 (98.00)	1.58 (98.63)

HexTow® IM10 is a Hexcel intermediate modulus continuous carbon fiber 12K product with enhanced tensile strength properties.

HexTow® IM7 is a Hexcel intermediate modulus continuous carbon fiber 12K product.

HexTow® AS7 is a Hexcel high strength continuous carbon fiber 12K product.

3.4 軽量化・効率化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

CFRP：Hexcelの概要（参考：航空機向けCFRPのデータ）

Mechanical Properties	Units	Temp °C (°F)	M91/34%/UD194/IM10-12K	M91/34%/UD194/IM7-12K	M91/34%/UD194/AS7-12K
Glass Transition Temperature	°C (°F)		185 - 190 (365 - 374)		
Method			EN 6032 – DMA extrapolated onset E'		
Tensile Strength	MPa (ksi)	23 (73)	3520 (510)	2980 (432)	2580 (374)
Tensile Modulus	GPa (msi)	23 (73)	176 (25.5)	165 (23.9)	142 (20.6)
Method			ASTM D3039 (1)		
Compression Strength	MPa (ksi)	23 (73)	1880 (273)	1860 (270)	1350 (196)
Compression Modulus	GPa (msi)	23 (73)	156 (22.6)	150 (22)	123 (17.8)
Method			ASTM D695 (2)		EN 2850A
ILSS	MPa (ksi)	23 (73)	105 (15)	110 (16)	115 (17)
Method			EN 2563		
Open Hole Tension	MPa (ksi)	23 (73)	610 (88)	505 (73)	
Method – (25/50/25) (gross section)			ASTM D5766 (3)		
Open Hole Compression	MPa (ksi)	23 (73)	315 (46)	315 (46)	315 (46)
Method – (25/50/25) (gross section)			ASTM D6484		
CAI @ 30.5J	MPa (ksi)	23 (73)	350 (51)	350 (51)	300 (44)
Method – (25/50/25)			ASTM D7136 & D7137		

(1) Specimen dimensions: 12.7mm (0.5") wide and 127mm (5.0") free length

(2) Specimen dimensions: 12.7x80mm (0.5"x3.1")

(3) Specimen dimensions: 305x38mm (12.0"x1.5") and 6.35mm (0.25") hole diameter

Results for UD prepregs after an autoclave cure at 180°C (356°F) for 120 minutes.

Data normalised to Vf 59%, except for ILSS.

Nominal cured ply thickness quoted is based on zero bleed and is determined using the fiber weight, resin content and resin & fiber density. Data quoted is for comparison only

3.4 軽量化・効率化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

CFRP：GTL（HyPoint）の概要

- HyPoint社はアメリカ・カリフォルニアに位置する水素航空機向けソリューションを開発する新興企業であり、水素航空機のリーディングカンパニーであるZeroAviaに燃料電池システムを供給。燃料タンクについては宇宙領域にて実績を持つGTL（Gloyer-Taylor Laboratories）とパートナーシップを組んでいる。
- 各種メディアの報道によると、複合材（炭素繊維）で作られたBHL cryotank（液体水素燃料タンク）は2.4m×1.2mの円筒状で、重量は12kgである。Vacuum Dewar shell等も含めたシステム重量は67kgで、150kg以上の水素を格納できる。
- "Similar to the carbon fiber that is used in racing bikes, our carbon-composite technology adds strength and durability while significantly reducing weight,"* said Paul Gloyer, President and CEO at GTL.

GTL社タンク



3.4 軽量化・効率化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

CFRP×AM：Arevoの概要

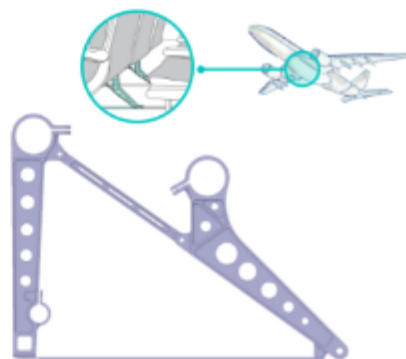
- ArevoはCFRPを用いた3Dプリンティングに強みを持つ米ベンチャー企業であり、2018年にAirbus VenturesからSeries Bラウンドでの出資を受けている。
- 自動積層法の1つであるAFP（Automated Fiber Placement）法の装置では、10mm程度の積層に限られるが、Arevoの3Dプリンターでは30-40mm、それ以上の高さについても製造可能。
- 現在、航空機への搭載を目指し技術開発を進めている。

Arevoの開発する3Dプリンタを活用したCFRPシートブラケット

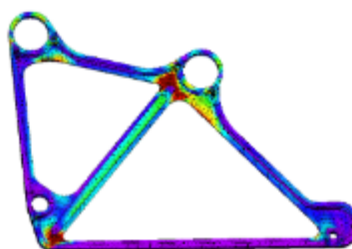
SEAT BRACKET

A metal seat bracket was examined for parts integration and weight reduction using Xplorator™'s generative design module.

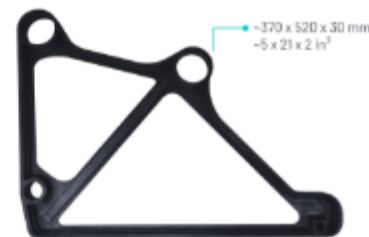
The original metal design consisted of four aluminum parts stamped with holes to reduce weight and later assembled.



1. Simulating the critical load cases revealed the minimum material necessary to meet structural requirements.



2. A design informed by Xplorator™'s generative design result was created. Then, the design's strength was validated before manufacturing using the additive finite element analysis (AFE) module in Xplorator™.



3. After manufacturing, AREVO's airplane seat bracket reduces weight by 30% and parts count to one.

3.4 軽量化・効率化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

CMC：GEの概要

CFMインターナショナルの概要



- CFMインターナショナルは米GE aviationと仏サフラン傘下のスネクマとの合併会社
- A320neo, B737max向けエンジン、LEAPに商用機として初めてCMC部材を採用
- 高圧タービンシュラウドにCMCを用いる
- 日本カーボン、GE、サフランの合併会社、NGSアドバンスドフアーバー製SiC繊維をCMC製造に使用

GE aviationの概要



- GE aviationは2025年に初号機納入が予定されているB777Xに搭載予定のエンジン、GE9XにCMC部材を採用
- 燃焼器ライナー、高圧タービンシュラウド・ノズルなど、65以上の静止部材にCMCを用いる
- 現状存在するエンジンで最も多くのCMC部材を採用している
- CFMインターナショナルと同様、NGSアドバンスドフアーバー製SiC繊維をCMC製造に使用

Source) CFM international、Aviation wire、Ly Team、sky-budget、GE、GE Aviation Blog、GE Reports japan、GE9Xエンジンの開発（IHI）よりNRI作成

3.4 軽量化・効率化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

AM：GEの概要

- 航空機ジェットエンジン最大手のGE社はAMに力を入れており、下記に示すLEAP用燃焼器の燃料ノズルとGE90用の温度センサーハウジングの型式認証を取得している。（燃料ノズルは2018年9月に3万固の生産を達成）
- Advanced Turbo Prop Engineのデモ機製造において部品の35%にAMを適用し、845点の部品を削減。

AMで試作される航空機エンジンの代表的な部品例と、LEAPエンジンの燃料ノズル

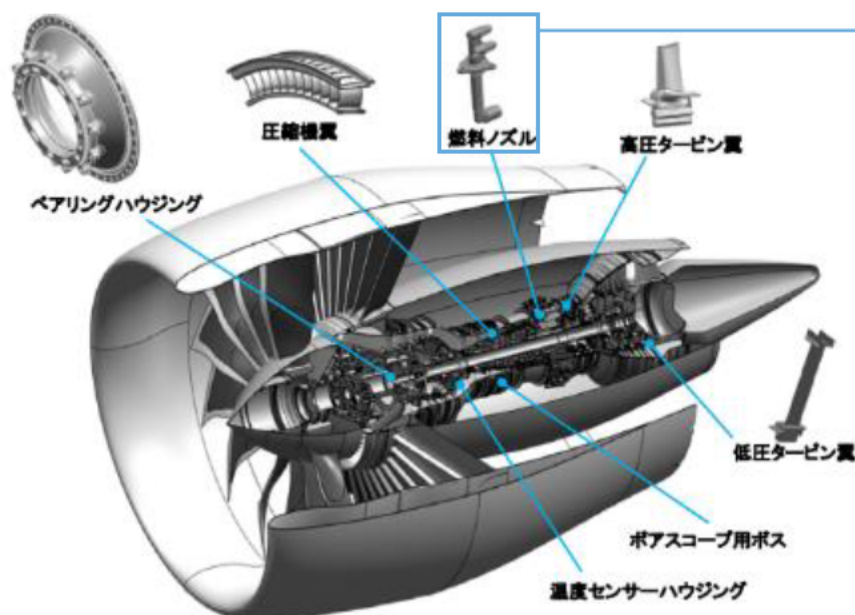


図3. 1-1 Additive Manufacturing で試作されている代表的な部品例

3.4 軽量化・効率化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

AM：Safranの概要

- 仏Safranグループは、部品の軽量化・開発期間の短縮を達成するためにAMへ積極的に投資。2019年には6,800万ユーロを投じ、ボルドーにAM製造工場であるSafran Additive Manufacturing Campusを開設することを発表。（2021年オープン）

（左） Safranグループの軽量化に向けた取り組み （右） Safranの試作したビジネスジェットノーズランディングギアケーシング

HIGH-PERFORMANCE MATERIALS AND PROCESSES

Reducing aircraft and equipment weight requires increased use of composite materials. Safran engines and equipment (nacelles, landing gear and brakes) are also characterized by increasingly heavy mechanical loads.

Organic matrix composites, including 3D woven composites, a proprietary Safran process, combine strength and lightweight properties. They are necessary for breakthrough propulsion architectures capable of reducing fuel consumption, especially through the use of wide-diameter blades, and will lead to weight reductions on a wide range of equipment, including seats and cabin interiors. Higher turbine running temperature is another key factor in improving engine performance. Ceramic matrix composites can withstand extremely high temperatures, while being three times lighter than the metallic materials used today. They are developed by the Safran Ceramics center of excellence, which has unique resources and expertise in space technologies.

The quest for very high temperatures and fast speeds, along with lighter components, calls for new metallic materials: new nickel-based and single-crystal alloys for turbine and compressor disks and blades withstanding extreme conditions, and very high performance steels for compact, long-life gearboxes.

Additive manufacturing processes bring improvements in compactness, weight, raw material consumption and manufacturing cycles for many components of our engines and equipment. In 2021, Safran set up the Safran Additive Manufacturing Campus, a center of excellence in additive manufacturing pooling all research, industrialization and production activities to support all Group entities.

Additive manufacturing

UP TO
50 COMPONENTS
REPLACED
BY A SINGLE
PART

LEAD TIME
DIVIDED
BY 6

15%

reduction in
manufacturing costs

25%

mass reduction



3.4 軽量化・効率化分野における動向：各技術に対する取り組み状況（海外）

MEMS式INS：Advanced Navigationの概要

- Advanced Navigationはオーストラリアに本社を置くセンサメーカー。航空宇宙・船舶・自動車等に慣性形センサーを供給。
- 航空機での搭載実績はないが、UAV等でBoeingやLockheed Martin、NASA等に供給しているとみられる。

Advanced NavigationのMEMS式INS（ヘリコプター向け）

Solutions » Inertial Systems » MEMS GNSS/INS » Certus Evo

Certus Evo

Certus Evo is an ultra-high accuracy MEMS GNSS/INS that combines low SWaP-C and FOG-like performance.

Roll & Pitch	0.03 °
Heading (GNSS)	0.05 °
Bias Instability	0.2 °/hr
Position Accuracy	10 mm

[Get A Quote](#)

[Ask a question](#)



本報告書の構成

1：本調査の背景・目的

1.1：本調査の背景・目的

1.2：調査手法

2：本調査のサマリー

3：次世代航空機における国内・海外企業の動向と、関連する標準化団体の議論動向

3.1：各技術領域における日本企業の参加状況まとめ（非公表）

3.2：電動化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.3：水素分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.4：軽量化・効率化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.5：各技術領域における標準化団体の議論動向（SAE/EUROCAE/ASTM/RTCA等）

4：新技術の社会実装に向けた主要企業のロードマップ（一部非公表）

5：次世代航空機に関する標準化戦略（一部非公表）

SAE International

3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：SAE

SAE Aerospace Council組織図（2023年3月時点）



Americas
400 Commonwealth Drive
Warrendale, PA 15096 USA
+1 877 606 7323
+1 724 776 4970

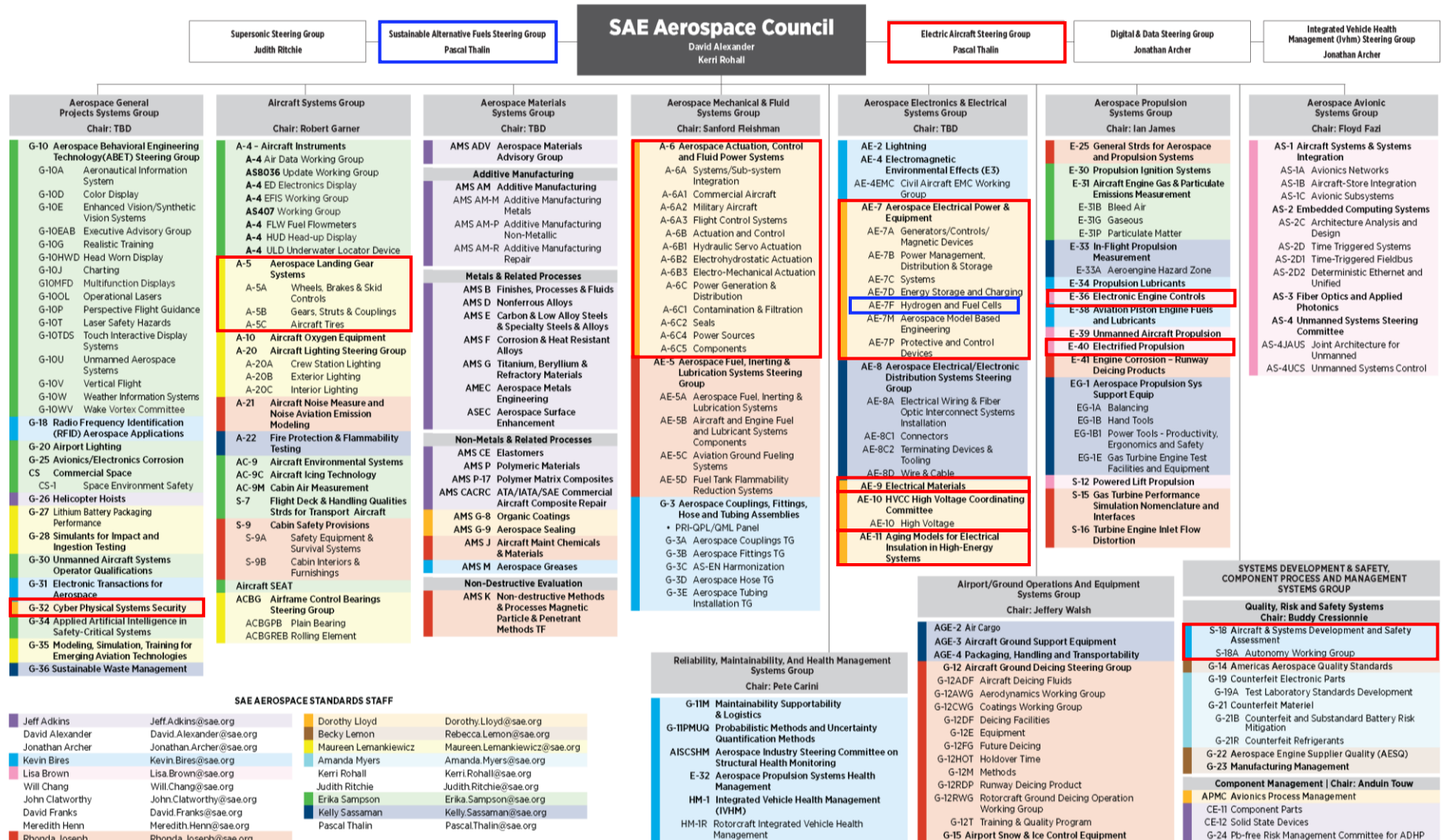
Europe
1 York Street
London, W1U 6PA, UK
+44 (0) 20 7034 1250

Asia
Room 2503, Litong Plaza,
No. 1350 North Sichuan Road
Hongkou District,
Shanghai, 200080, P.R. China
+86 21 6140 8900

電動化関連コミッティ

水素化関連コミッティ

sae.org/standards/development/aerospace



3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：SAE

SAEにおける現在の主な標準化議論動向

グループ名	コミッティ #	コミッティ名	コミッティ概要	対象技術
Aircraft Systems Group	A-5	Aerospace Landing Gear Systems Committee	ランディングギアの設計やメンテナンス、運用上の知見等について議論	電動
Aerospace Mechanical & Fluid Systems Group	A-6	Aerospace Actuation, Control and Fluid Power Systems	- アクチュエーター、制御及び油圧等について網羅的に議論 - 特にA-6B2では電動油圧式アクチュエーター、A-6B3では電動機械式アクチュエーターを担当	
Aerospace Electronics & Electrical Systems Group	AE-7	Aerospace Electrical Power and Equipment Committee	発電、コントロール、蓄電、変圧、分電等、電力及び電気設備について議論	
	AE-7(F)	Hydrogen and Fuel Cells	水素燃料電池や水素燃料タンク（ガス及び液体）について議論	水素
	AE-9	Electrical Materials Committee	機体及びエンジンで使用する電気機器について議論	電動
	AE-10	HVCC High Voltage Coordinating Committee	搭載される部品の高電圧技術標準について議論	
	AE-11	Aging Models for Electrical Insulation in High-Energy Systems	高エネルギーシステムにおける絶縁性の劣化について議論	
Aerospace Propulsion Systems Group	E-36	Electronic Engine Controls Committee	エンジンの電子コントロールユニットの設計、運用及びメンテナンスについて議論	
	E-40	Electrified Propulsion Committee	ペイロード150lb/70kg以上の機体における電動推進システムについて議論	
Aerospace General Projects Systems Group	G-32	Cyber Physical Systems Security Committee	コンポーネントのサイバーフィジカルセキュリティについて議論	電動
Systems Development and Safety, Component Process and Management Systems Group	S-18	Aircraft and Systems Development and Safety Assessment Committee	機体及びシステムの安全性評価について議論	

3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：SAE

SAEにおける現在の主な標準化議論動向

コミッティ#	コミッティ名	文書#	文書名	文書概要
A-5	Aerospace Landing Gear Systems Committee	タキシングモーター等の電動化関連技術については、今後議論が開始される模様		
A-6B2	Electrohydrostatic Actuation Committee	AIR6353	Electrohydrostatic Actuation Applications on Aircraft Programs	EHAやEBHAの出力等を含むパラメーター及びアプリケーションについて記載
		ARP5772	Reservoirs, Hydraulic, Maintenance Free, Electrohydrostatic Actuator (EHA)	航空宇宙機での使用を想定したメンテナンスフリーのリザーバーの温度及び圧力要件について記載
		ARP5879A	Aerospace - Test Methodology for Electrohydrostatic Actuators	EHAに関連するコンポーネントのテスト方法について議論
		ARP6352	Sizing Considerations for Electrohydrostatic Actuation Pumps and Motors	対象アクチュエーターごとに必要とされる性能を基に、推奨されるモーター及びポンプのサイズを定義
		ARP6354	Electrohydrostatic Actuation Thermal Management Considerations	特に低温域におけるEHAの熱マネジメント設計及び評価について記載

3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：SAE

SAEにおける現在の主な標準化議論動向

コミッティ#	コミッティ名	文書#	文書名	文書概要
A-6B3	Electro-Mechanical Actuation Committee	AIR6226A	Trimmable Horizontal Stabilizer Actuator Structural Load Path Integrity Monitoring Principles	通常2系統存在する水平安定板用アクチュエーターで、負荷のかかった系統の破断や切断の検出方法について記載
		AIR7061	Typical Failure Modes for High Lift Actuation Load Paths	固定翼フラップ向けアクチュエーターにおける機械的故障モード例及び影響について記載
		AIR7379	Seals and Wipers for Mechanical and Electromechanical Actuators	EMAで使用する低圧シール材及びワイパーの概要について記載
		AIR8442	Considerations for Prevention of Moisture Damage in Aircraft Electro-mechanical Actuation Equipment	湿気によるEMAの機械的故障および損傷の可能性について記載
		ARP5724A	Aerospace - Testing of Electromechanical Actuators, General Guidelines For	EMAにおいて必要となる試験の基礎的なガイドラインについて記載
		ARP6131A	Maintenance and Inspection Procedures for Rotary and Linear Mechanical Actuators	運用中及び経年機における線形及び回転式EMAの整備、故障診断について記載
		ARP7370	General Guidelines for Specifying Motor Requirements for Electromechanical ActuationElectrically Powered Actuation	永久磁石を使用したブラシ/ブラシレスモーターをEMAへ搭載する際の必要スペックについて定義

3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：SAE

SAEにおける現在の主な標準化議論動向

コミッティ#	コミッティ名	文書#	文書名	文書概要
AE-7A	Generators/Controls/Magnetic Devices	ARP6505	ELA Standardization	電源容量、電力品質及び安定性に影響を与える電気負荷動的特性の文書化及び表作成を実施
AE-7B	Power management, Distribution & Storage	AS4805A	Solid State Power Controller, General Standard For	電力パワーシステムで使用するSolid States Power Controller の一般規格を投票
		AS6087	ARC Fault Interrupter, 270 VDC	Voltage Level 3に相当する、270VDCで動作するARC故障回路遮断器について検討
AE-7C	Systems	AIR6198	Considerations for future more electric aircraft electric power systems	将来のMEA電動パワーシステム検討について投票
		AIR7098	System Recommendations for Power Conversion between Propulsive and Nonpropulsive Buses	ノイズや電圧の不均衡がある電気バス官の電力変換に関する推奨事項について記載
		AIR7497	Advanced methods for Wire Selection and Sizing for Aerospace applications	AIR6540から継続し、機体及びコンポーネントにおける電線の選択方針及びサイズについて記載
		AIR7502A	Aircraft Electrical Voltage Level Definitions	将来のMEAや電動航空機の定義等に関する検討
		AIR8445	Aerospace Electrical Power System Stability	電力システムの安定性に関して、運用上想定されるシナリオや必須となるレンジについて議論

3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：SAE

SAEにおける現在の主な標準化議論動向

コミッティ#	コミッティ名	文書#	文書名	文書概要
AE-7D	Energy Storage and Charging	AIR7357	MegaWatt and Extreme Fast Charging for Aircraft	航空機向けMWクラスの超高速充電のデザインやユースケースについて議論
		ARP7131	Validation Process for Thermal Runaway Mitigation in Large Electrical Energy Storage Systems for Aviation	熱暴走を定量的に検証するために、航空機の大型推進システム向けの熱暴走条件を検討
		AS6968	Connection Set of Conductive Charging for Light Electric Aircraft	電動航空機向けの導電性接続セットに関する検討が進行中
AE-7F	Hydrogen Fuel Cells	AS7373	Gaseous Hydrogen Storage for General Aviation	一般小型航空機向けの水素ガスタンクにおける、ガス充填方法を含む運用、メンテナンス、統合、認証について検討
		AS6679	Liquid Hydrogen Storage for Aviation	航空機向けの液体水素タンクにおける、充填方法を含む運用、メンテナンス、統合、認証について検討
AE-7M	Aerospace Model Based Engineering	AIR6387	Aircraft Electrical Power Systems (EPS). Modeling and Simulation. Validation and Verification Method	MEA及び完全電動機を見据えたEPSのモデリング及びシミュレーション構築に向け、共通フレームワークを確立

3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：SAE

SAEにおける現在の主な標準化議論動向

コミッティ#	コミッティ名	文書#	文書名	文書概要
AE-7P	Protective and Control Devices	AIR5568	Alternate Means of Compliance	AS5692で定義されたMIL-STD-704への準拠方法の代替手段について定義
		ARP1199C	Selection, Application, and Inspection of Electric Overcurrent Protective Devices	過電流保護装置の選択のために、航空機の電機システム及びサポート機器の設計に必要な定義を検討
		AS14155	Circuit Breaker - Aircraft, Trip-Free, Blade Terminal, 3 Phase, 1 Thru 25 Amp, Type I -55°C Thru +71°C	平刃型端子を用いた航空機用三相サーキットブレーカーの寸法と性能の要求値を検討
		AS14156	Circuit Breaker - Aircraft, Trip-Free, Socket Terminal, 3 Phase, 1 Thru 25 Amp, Type I -55°C Thru +71°C	ソケット型端子を用いた航空機用三相サーキットブレーカーの寸法と性能の要求値を検討
		AS24509C	CIRCUIT BREAKER - AIRCRAFT, TRIP-FREE, TOGGLE, 5 THRU 15 AMP, TYPE I	トグルスイッチを用いた航空機用サーキットブレーカーの寸法と性能の要求値を検討（5~15A）
		AS24510B	Circuit Breaker - Aircraft, Trip-Free, Push-Pull, 5 Thru 15 Amp, Type I	プッシュプル型端子を用いた航空機用サーキットブレーカーの寸法と性能の要求値を検討（5~15A）
		AS33203	Circuit Breaker - Aircraft, Trip-Free, Push-Pull, Socket Terminal, 1 Thru 25 Amps, Type 1, -55 Thru +121 °C	プッシュプルソケット型端子を用いた航空機用サーキットブレーカーの寸法と性能の要求値を検討
		AS5692B	ARC Fault Circuit Breaker (AFCB), Aircraft, Trip-Free Single Phase and Three Phase 115 VAC, 400 Hz - Constant Frequency	MIL-STD-704に準拠する、手動リセット式航空機用アーク故障/熱回路遮断器の一般要件を検討
		AS58091B	Circuit Breakers, Trip-Free, Aircraft General Specification For	MIL-STD-704に準拠する、航空機用単極/二極/三極サーキットブレーカーの一般要件を検討
		AS6019A	ARC Fault Circuit Breaker (AFCB), Aircraft, Trip-Free 28 VDC	MIL-STD-704に準拠する、航空機用マニュアルリセットトリップフリー型サーキットブレーカーの一般要件を検討

Source) SAE

3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：SAE

SAEにおける現在の主な標準化議論動向

コミッティ#	コミッティ名	文書#	文書名	文書概要
AE-9	Electrical Materials Committee	AIR6674	Electrical Insulation Materials in Hybrid Aerospace	今後注視すべき項目について検討されており、部分放電圧による絶縁劣化やメカニズム、寿命予測、評価方法等が検討中
		AIR7219	Electrical and Magnetic Materials in Hybrid Aerospace	主にケイ素鋼板や鉄コバルト鋼板に関する様々な特性について、文献を参照し検討
		ARP6946	Assessment of Dielectric Fluids in Aerospace Electrical Machines	MEAや電動ハイブリッド機における誘導電流に関する航空宇宙電機メカニクスについて議論
AE-10	HVCC High Voltage Coordinating Committee	AIR7058	High Voltage DC Electromechanical, Solid State and Hybrid Switching Devices in Aerospace Applications	航空宇宙機における直流高電圧アプリケーションの定義や用語を検討し、対象とすべきスイッチング技術を特定
		ARP7215	Aerospace Conductor Surface Spacing on Dielectric Material	高度や試験方法アプローチを含む沿面放電に関する高電圧設計標準について検討
		ARP7376	Design And Test of High Voltage Power Electronic equipment	航空機に搭載する高電圧機器において、Level4~5に相当する電圧の推奨設計及び試験について検討
		AS7499	Aircraft High Voltage DC Power Quality Standard	電動推進システムにおける電力品質の設計、解析、検証及びテスト方式について検討
		AS8441	Minimum Performance Standard for Permanent-Magnet Propulsion Motors and Associated Variable-Speed Drives	永久磁石を使用した推進用モーター及びコンバーターの設計、製造及び最低性能要件について検討
AE-11	Aging Models for Electrical Insulation in High-Energy Systems	AIR7374	Aging Mechanisms of Electrical Insulation Materials in a High Energy System	絶縁コンポーネントの故障メカニズムや物理的影響を特定し、高電圧及び高電流下における経年劣化モデルを検討
		ARP7375	Test Guidelines for assessment of Electrical Insulation Materials Ageing in a High Voltage System	高電圧システムにおける絶縁材料の経年劣化を評価するための試験ガイドラインを検討
		ARP7380	Electrical Insulation Aging and Life Models for a High Energy System	高エネルギーシステムの絶縁劣化モデルと寿命モデルを検討

Source) SAE

3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：SAE

SAEにおける現在の主な標準化議論動向

コミッティ#	コミッティ名	文書#	文書名	文書概要
E-36	Electronic Engine Controls Committee	AIR5924B	Guidelines for the Integration of Electronic Engine Control Systems for Transport Category (Part 25) and General Aviation (Part 23) Aircraft	航空機における全権限デジタルエンジン制御システム（FADEC）を搭載・統合するための方法論とアプローチについて議論
		AIR6993	Engine Control Systems Interdependencies	エンジン制御システムの相互依存性戦略及び機能に関する技術情報について記載
		AIR7368	Cybersecurity for Propulsion Systems	航空機エンジンおよびプロペラ制御システムのサイバーセキュリティに関する規格
		ARP5757B	Guidelines for Engine Component Tests	航空機エンジンコンポーネントの耐空性実証に必要なガイドランスについて記載
		ARP5890C	Guidelines for Preparing Reliability Assessment Plans for Electronic Engine Controls	電動推進システムの信頼性評価に向けたプロセスおよびガイドラインについて議論
		ARP6950	Application of ARP4754A to Propulsion Control System Integration	ARP4754Aで定義された項目をどのように電動推進システムへ適合させるか議論
		AS7986	Control System Fault Accommodation	FAA 33.28コントロールシステムレギュレーションの認証に向けて、障害検出、対応方針及び耐久性に関する推奨事項について議論

3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：SAE

SAEにおける現在の主な標準化議論動向

コミッティ#	コミッティ名	文書#	文書名	文書概要
E-40	Electrified Propulsion Committee	AIR7128	Integration and Certification Considerations for Electrified Propulsion Aircraft	電動推進システムに関して現在提供可能な知見や標準、ガイダンス等について包括的に情報を提供
		AIR7130	Assessment of Electric Engine Failures Leading to LOPC	電動推進システムにおける出力制御及び電力制御が喪失した際の許容範囲について議論
		ARP8677	Safety Considerations for Electrified Propulsion Aircraft	- 電動推進システムの安全性評価を行う際に考慮すべき特殊性について整理し、故障診断や故障率の評価方法、想定されるリスク等について検討 - 電動化による新たな特徴や危険性に対するアプローチの明確化を実施
		ARP8689	Endurance tests for Aircraft Electric Engine	- 電動推進システムの耐久性と安全性の要件を定義するためのガイダンスを検討 - 型式証明を含む推進システムの認証手法を提供することが目的
G-32	Cyber Physical Systems Security Committee	JA6678	Cyber Physical Systems Security Software Assurance	サイバーフィジカルシステムのソフトウェア側のセキュリティと回復力に関する規格
		JA6801	Cyber Physical Systems Security Hardware Assurance	サイバーフィジカルシステムのハードウェア側のセキュリティと回復力に関する規格
		JA7496	Cyber-Physical Systems Security Engineering Plan	CPSのリスクや脆弱性、弱点を評価し、システムセキュリティエンジニアリングの取り組みを通じてアプローチ方法の統合を検討

3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：SAE

SAEにおける現在の主な標準化議論動向

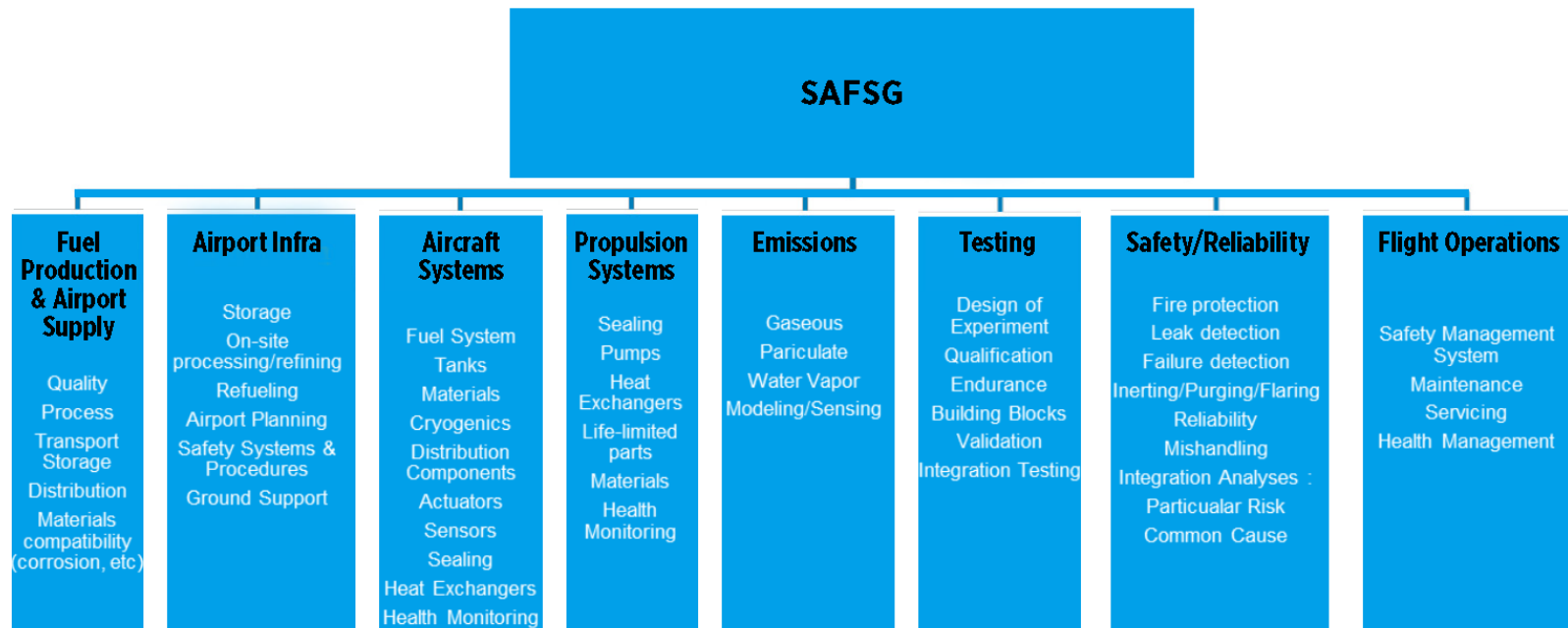
コミッティ#	コミッティ名	文書#	文書名	文書概要
S-18	Aircraft and Systems Development and Safety Assessment Committee	AIR6276	Use of Modeling and Tools for Aircraft Systems Development – A Strategy for Development Assurance Aspects with Examples	• システム開発における人間の作業を補完または自動化するためのソフトウェアツールについて記載
		AIR6913	Using STPA During Development and Safety Assessment of Civil Aircraft	• STPAの基礎的な事項及び、どのように航空機の開発・安全性アセスメントに寄与するか記載
		AIR7126	Industry Guidance to Address Common Mode Errors in Aircraft/ System Designs	• 航空機及びシステム設計におけるコモンモードエラーの用語定義や対象方針等もガイダンスについて記載
		ARP4754B	Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems	• 航空機向けのシステム開発における要件の検証や認証、製品保証のための設計実装について記載
		ARP4761A	Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment	• FAR/JAR 25.1309への準拠等、航空機の認証のための安全性評価に向けたガイドラインと方法について記載

3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：SAE

SAEでは新たにSustainable Alternative Fuel Steering Group(SAFSG)を設立した。
SAFと水素に係る検討項目について、現状のコミッティとのギャップ分析を実施する。

- 新たなステアリンググループであるSAFSGには、燃料メーカー、機体OEM、研究・試験センター、エンジンOEM、システムサプライヤー、航空会社、認証機関、空港運営会社から関係者が参画
- 8つのタスクグループに分かれてSAFおよび水素に関して標準化を検討すべき項目と現状のコミッティのギャップ分析を行い、標準化議論の担当コミッティ及び新たに設立が必要なコミッティについて議論

Sustainable Alternative Fuel Steering Groupの組織体制



3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：SAE

EASGの時間軸と同様と仮定すると、2027-28年ごろに新規水素関連コミッティが立ち上がる

EASGの動き

時期	具体的な動向
2015	- EASG (Electric Aircraft Steering Group) 立ち上げ - 設定されたキーワード (More Electric Engine, Power generation & Distributionなど) についてギャップ分析を実施 - ギャップ分析により、既存コミッティへの議論振り分けおよび新規コミッティの立ち上げを行う
2021	- AE-10 (高電圧機器)、AE-11 (絶縁関連) の新規コミッティ立ち上げ
	- 議論の継続・見直し

SAFSGの動き

時期	具体的な動向
2022秋	- SAFSG (Electric Aircraft Steering Group) 立ち上げ - 設定されたキーワード (Fuel System、Tanks、Sensorsなど) についてギャップ分析を実施 - ギャップ分析により、既存コミッティへの議論振り分けおよび新規コミッティの立ち上げを行う
2027-28ごろ？	- 水素関連の新規コミッティ立ち上げ？

SAFSGの活動に関する公式な言及

EUROCAE/SAEのJoint-committeeは、SAE InternationalのSAFSG (Sustainable Alternative Fuels Steering Group) と緊密に連携し、航空宇宙におけるSAFおよび水素利用のための規格ニーズを突き止め、AE-7F水素・燃料電池委員会をはじめとする関係委員会や、必要に応じて他の委員会で標準化策定の議論を可能にするロードマップを考案する作業を開始した。

Blue Spirit Aero CEO Olivier Savin

EUROCAE

3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：EUROCAE

EUROCAEにおける現在の主な標準化議論動向

ワーキンググループ#	ワーキンググループ名	コミティ概要	対象技術
WG-14	Environment	航空機の堅牢性に係る最低品質基準及び上空における環境負荷の基準について検討	電動化 (RTCAと協業)
WG-71	UG FAS/EUROCAE/RTCA User Group Forum on Aeronautical Software	航空ソフトウェア開発に携わる人々が情報を共有するためのフォーラムとして設置	
WG-72	Aeronautical Systems Security	航空システムの長期的な安定性を保証すべく、航空システムセキュリティガイドラインについて検討	
WG-113	Hybrid Electric Propulsion	ACARE (the Advisory Council for Aeronautics Research in Europe)ゴールを実現すべく、ハイブリッド電動航空機の推進システムに関する検討を実施	電動化
WG-116	High Voltage Systems and Components in Aviation	電動航空機やハイブリッド航空機の開発に向け、高電圧システムおよびコンポーネントに関して標準化が求められる箇所の特定と規格検討	
WG-80	Hydrogen and fuel Cell Systems	MEA検討の一環として、水素燃料電池システムを航空宇宙機で使用するための認証に向けた調査やガイドラインを作成。なお、電力や信頼性などの性能要求は対象外	水素化

3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：EUROCAE

EUROCAEにおける現在の主な標準化議論動向

コミッティ#	コミッティ名	文書#	文書名	文書概要
WG-14	Environment	ED-14H	Environmental conditions and test procedures for airborne equipment	上空における航空機コンポーネントの環境条件及び試験手順について記載
		ED-90B	Radio frequency susceptibility Test procedures	無線周波数による影響評価試験手順について記載
		ED-234A	User Guides to ED-14H	上空における航空機コンポーネントの環境条件及び試験手順について記載のED-14Hの解説書
		ED-XXX	Minimum Standard Environmental Test Conditions for Ground Based Equipment	地上支援装置におけるコンポーネントの環境条件及び試験方法について記載
WG-71	UG FAS/EUROCAE/RTCA User Group Forum on Aeronautical Software	EUROCAEとRTCAの情報交換が主な目的で、文書の検討は実施されていない模様		

3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：EUROCAE

EUROCAEにおける現在の主な標準化議論動向

コミッティ#	コミッティ名	文書#	文書名	文書概要
WG-72	Aeronautical Systems Security	ED-201A	Aeronautical Information System Security (AISS) Framework Guidance	航空情報システムセキュリティ（Aeronautical Information System Security：AISS）に関して利害関係者が対処すべき事項が記載
		ED-204A	Information Security Guidance for Continuing Airworthiness	航空機搭載品の運用、サポート、保守、管理、および解体等のライフサイクルに関するガイダンスについて記載
		ED-205A	Process Standard for Security Certification and Declaration of ATM/ANS Ground Systems	ATM/ANS地上システムを安全に使用するための評価プロセスについて記載
		ED-206A	Guidance on Information Security Event Management	航空機の実業者やサプライヤー、運航者等様々な関係者がセキュリティイベントを特定して報告するためのプロセスについて記載
		ER-013A	Aeronautical Information System Security Glossary	航空機の運航開始後（運用・保守・サポート・管理・使用停止）におけるサイバーセキュリティ基準が記載
		ER-017	International Aeronautical Information Security Mapping Summary	標準化と規制におけるギャップや重複を回避するために、ASS関連の国際活動について記載
		ED-202A	Airworthiness Security Process Specification	電子相互作用が機体の安全性に影響を与える可能性がある場合、航空当局が耐空性等を認定するための情報について記載
		ED-XXX	Information Security Management System for aviation organisations	航空当局が航空機のセキュリティマネジメントシステムについて検討するための情報について議論
		ED-XXX	Standard on Aviation Data Security	航空機のデータセキュリティの標準について議論

3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：EUROCAE

EUROCAEにおける現在の主な標準化議論動向

コミッティ#	コミッティ名	文書#	文書名	文書概要
WG-113	Hybrid Electric Propulsion	ER-025	List of standarisation needs for Hybrid Electric Propulsion	電動ハイブリッド推進システムに関する標準化ニーズを検討し、リストを作成
		ED-xxx	Guidance material for endurance substantiation of Electric - Hybrid Propulsion Systems EHPS	電動ハイブリッド推進システムの耐久性に関するガイドラインについて検討
		ED-xxx	Guidance material for durability substantiation of Electric - Hybrid Propulsion Systems EHPS	電動ハイブリッド推進システムの持続性に関するガイドラインについて検討
WG-116	High Voltage Systems and Components in Aviation	ED-zzz	Interface Characteristics and Power Quality of Aircraft High Voltage Propulsive Electrical Systems	推進系の高電圧電気システムのインターフェース特性及び電力品質について検討
		ED-zzz	Guidance for High Voltage Risk Mitigation at EWIS and Human Safety Level	電気配線の相互接続系統(EWIS)基準及び人体的に安全なレベルへの高電圧リスク低減方法について検討
		ED-xxx	Aging mechanisms of electrical insulation materials in a high energy system	高エネルギーシステムにおける電気絶縁材料及び経年変化メカニズムについて検討
		ED-xxx	Test guidelines for electrical insulation materials and components for a high voltage system	高電圧システムにおける電気絶縁材料及びコンポーネントの試験に関するガイドラインを定義
		ED-xxx	Electrical insulation aging and life models for a high energy system	高電圧システムにおける電気絶縁の経年変化と寿命モデルについて検討

3.5 各技術領域における標準化団体の議論動向：EUROCAE

EUROCAEにおける現在の主な標準化議論動向

コミッティ#	コミッティ名	文書#	文書名	文書概要
WG-80	Hydrogen Fuel Cell Systems	ED-219	Aircraft Fuel Cell Safety Guidelines	プロトン交換膜(PEM)燃料電池システム(FCS)と水素燃料の安全な統合実現に関する技術ガイドラインについて記載。この文書は燃料電池システムの設計や運用、搭載方法、安全性についても記載
		ED-245	MASPS for Installation of Fuel Cell Systems on Large Civil Aircraft	- 大型航空機向けの燃料電池システム導入に対するMinimum Aviation System Performance Standards(MASPS)を策定。 - この文書の技術的な概念とアプローチの大部分は業界のベストプラクティスを示す
		ER-020	Considerations for Hydrogen Fuel Cells in Airborne Applications	航空機以外の分野で使用されている水素燃料電池に関する検討を行い、航空燃料として水素を使用するための包括的な分析を実施
		ED-XXX	MASPS for Liquid Hydrogen storage and distribution on-board aircraft	航空機向け液体水素燃料電池のMinimum Aviation System Performance Standards(MASPS)について議論
		ED-XXX	MASPS for Gaseous Hydrogen Storage and Distribution for Small Aircraft	航空機向け気体水素貯蔵に関するMinimum Aviation System Performance Standards(MASPS)について議論
		ED-XXX	MASPS for Hydrogen Fuel Cells for Propulsion	航空機向け燃料電池推進システムに関するMinimum Aviation System Performance Standards(MASPS)について議論

本報告書の構成

1：本調査の背景・目的

1.1：本調査の背景・目的

1.2：調査手法

2：本調査のサマリー

3：次世代航空機における国内・海外企業の動向と、関連する標準化団体の議論動向

3.1：各技術領域における日本企業の参加状況まとめ（非公表）

3.2：電動化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.3：水素分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.4：軽量化・効率化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.5：各技術領域における標準化団体の議論動向（SAE/EUROCAE/ASTM/RTCA等）

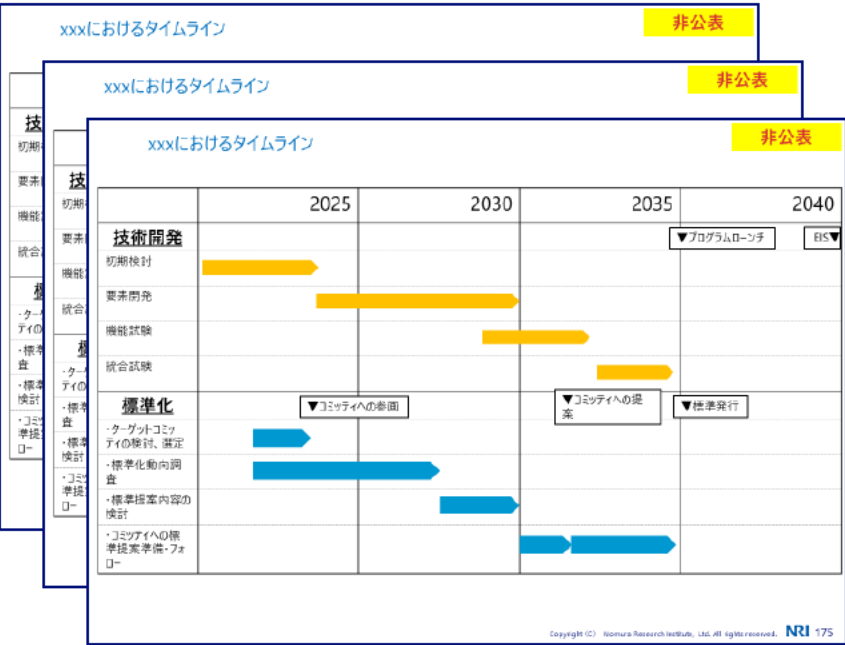
4：新技術の社会実装に向けた主要企業のロードマップ（一部非公表）

5：次世代航空機に関する標準化戦略（一部非公表）

4：新技術の社会実装に向けた主要企業のロードマップ

本章では各社から提出された技術開発タイムラインについて、分野ごとに取りまとめを行うとともに、具体的な活動内容について補足したものを記載している

各社から提出された技術開発タイムライン



分野ごとの技術開発タイムライン



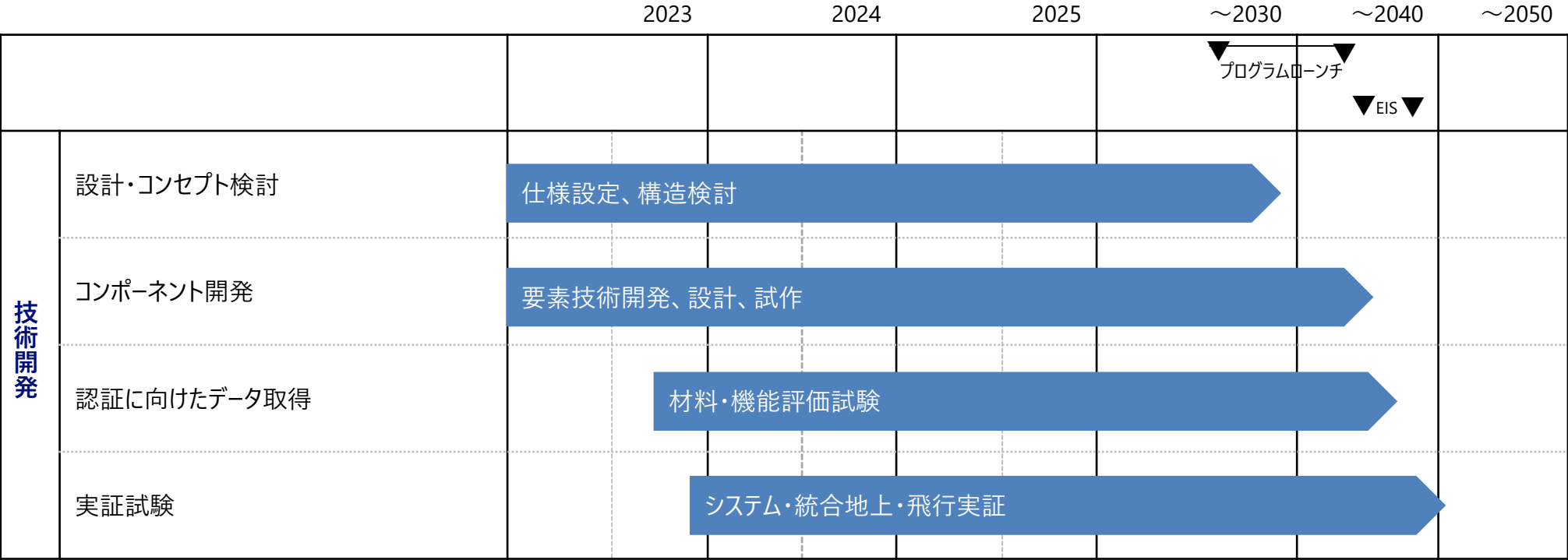
分野ごとの具体的な活動内容

大分類	概要	含まれる要素	詳細	記載がある企業
設計・コンセプト検討	技術開発・プロジェクトのローンチに向けた初期的な活動で、OEMと継続的に会話を実施することでニーズの明確化 部品レベルでの目標設定値を検討し、数値解析やコンピュータシミュレーションによる解析を実施 企業にとって収益を生み出し得る製品かどうかについて需要・コストの両面を確認 他産業から適応可能な航空機関連技術について検証し、搭載時の課題についても検討	コスト調査	開発費用、量産費用、製品の費用対効果（採用可能性）、整備性（MRO）の調査および検証	Xxx
		設計・性能分析・モデル解析	目標スペックの検討 コンピュータシミュレーション等による設計解析、性能検証 設計値に基づく数値解析	Xxx
		情報収集	特に海外競合他社による開発状況の把握	Xxx
		技術適応性評価	他産業技術が適応可能な航空機関連部品・技術の洗い出し、搭載時の課題抽出	Xxx
要素技術開発・検証	搭載する新技術を選定し、試作に向けた加工技術や製作技術について検討 システム構成の実現性について検討し、スペック検証及び設計内容検証に使用する試作品の開発、製造を実施	要素技術開発	使用する新技術の搭載に向けた基礎技術開発 試作に向けた加工・製作技術の開発及び施設の整備 技術及び設計内容検証に使用する試作品の開発、製造	Xxx
		評価・検証	新技術実現に向けた前提条件の検討・基礎試験 想定スペックを満たす条件及び試験方法の検討 システム構成の実現性検討 システムで使用する先進技術の選定	Xxx
コンポーネント開発	機体への搭載を想定した部品やコンポーネントの設計、製造及び航空機適合性を検討 OEMとの共同開発及び機体への採用が全体となるケースが多いため、継続的な会話に加え量産に向けた準備も実施	設計基準の検討・設計	コンポーネントとしての必要スペック達成に向けた各部設計基準の検討 OEMへの採用を目指した実機向けコンポーネントの設計	Xxx
		試作・適合性検討・技術検証	OEMへの採用を目指した実機向けコンポーネントの試作 航空機搭載品としての適合性評価 量産に向けたライン設計	Xxx

電動化分野

4：新技術の社会実装に向けた主要企業のロードマップ

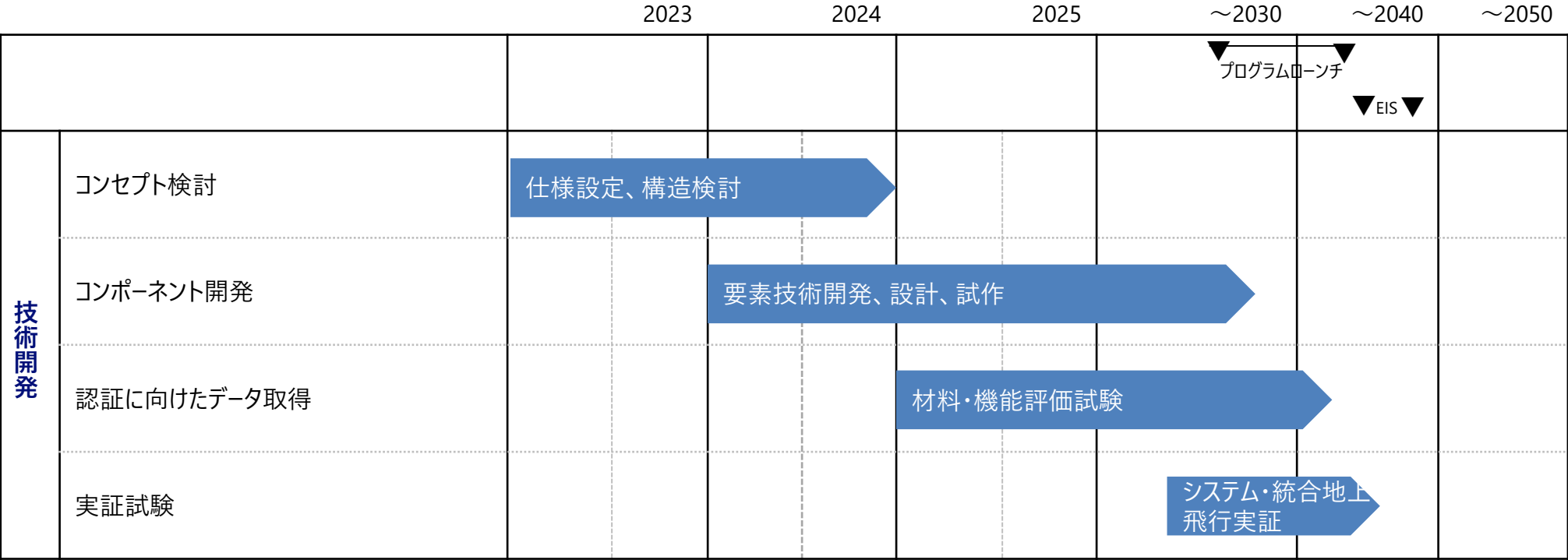
電動化分野の技術開発ロードマップ



水素分野

4：新技術の社会実装に向けた主要企業のロードマップ（水素化）

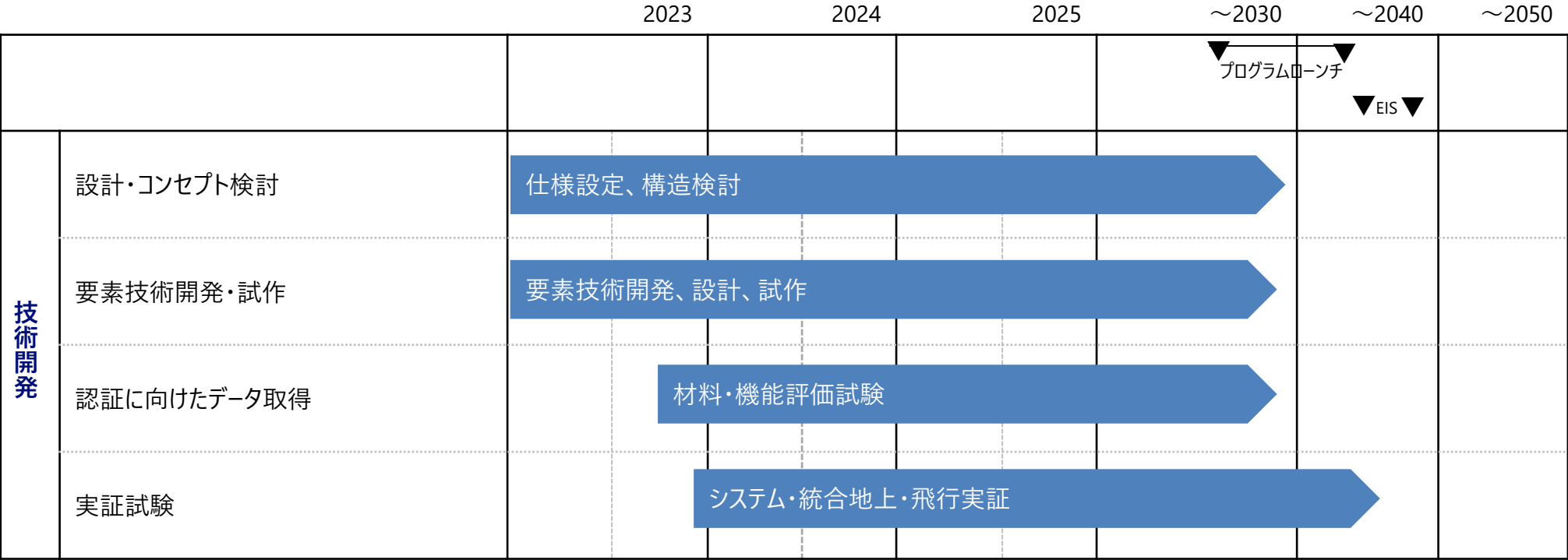
水素分野全体の技術開発ロードマップ



軽量化・効率化分野

4：新技術の社会実装に向けた主要企業のロードマップ（軽量化・効率化）

軽量化・効率化分野全体の技術開発ロードマップ



本報告書の構成

1：本調査の背景・目的

1.1：本調査の背景・目的

1.2：調査手法

2：本調査のサマリー

3：次世代航空機における国内・海外企業の動向と、関連する標準化団体の議論動向

3.1：各技術領域における日本企業の参加状況まとめ（非公表）

3.2：電動化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.3：水素分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.4：軽量化・効率化分野における日本企業の参画・活動動向及び海外企業の動向（一部非公表）

3.5：各技術領域における標準化団体の議論動向（SAE/EUROCAE/ASTM/RTCA等）

4：新技術の社会実装に向けた主要企業のロードマップ（一部非公表）

5：次世代航空機に関する標準化戦略（一部非公表）

5. 次世代航空機に関する標準化戦略：サマリ

航空機電動化・水素化に向けた標準化戦略・ロードマップ策定、推進組織体制の整理を進めた一方、国内協議団体の詳細化等に関しては次年度含めた検討継続が求められる

本事業に係る環境・本年度対応サマリ

欧米主導での航空機の脱炭素化推進

- 〉 電動化・水素化の開発を進め、2030年代以降の実用化を目標

日本国における標準化戦略の策定・活動推進

本年度の活動(協議会運営含む)

- | | |
|--------------------|---|
| I 戦略 | 〉 検討に必要なインプット情報整理
(標準化団体、技術開発、他産業事例等)
〉 標準化戦略・ロードマップの策定 |
| II 組織体制 | 〉 各WG活動における課題・解決案の検討
〉 次年度以降の活動体制・機能/役割に関する詳細検討 |
| III 環境・リソース | 〉 技術実証及び当該実証に必要な試験設備/課題の明確化・対応方針の策定 |

活動内容・本年度活動を通じ見えてきた課題

- | | |
|------------|--|
| I | 〉 本事業での調査・マトリクス表整理を通じたインプットを活用し、標準化戦略・ロードマップ案の策定は完了
〉 プレゼンスの高い企業の増加・強化、連携・補完方針の具体化(他産業※、アカデミアなど)が今後の主な課題 |
| II | 〉 本年度活動を通じたWG課題、及びそれらを踏まえた次年度以降の体制案：国内協議団体の設立に向けた具体的検討が進捗
〉 団体内外の業務詳細 ：他産業連携業務、内部情報連携業務など、 脱炭素以外での標準化活動の扱い明確化 、が今後の主な課題 |
| III | 〉 標準化戦略領域に関連する国内実証設備環境に関する課題の明確化、導入に向けた方針・ロードマップの明確化を推進
〉 設備環境の確実な推進 に加えて、標準化活動における データ・知見共有基盤・方法の整備 、が今後の主な課題 |

5. 次世代航空機に関する標準化戦略：I. 戦略に関する本年度の推進事項・課題および今後の方針

プレゼンスの高い企業の増加・強化に向けた更なる啓蒙活動や、 他産業・アカデミアとの連携体制の具体化が必要

▶ 本年度の推進事項

マトリクス表整理	- 検討に必要なインプット情報として、標準化団体の議論動向、国内・海外企業の技術開発動向等について取りまとめ（－第3章） - 国内企業については、標準化団体参加状況を調査し、マトリクス表として整理を実施（－第3章）
ロードマップの作成	本年度の新技术官民協議会において、脱炭素分野において注力する技術領域が整理され、標準化領域を含む今後の取り組みに向けたロードマップ（大方針）を取りまとめ（－資料①）

▶▶ 活動を通じ見えてきた課題

プレゼンスの高い企業の増加・強化	国際標準化団体においてプレゼンスの高い日本企業が少なく、後が続かない
連携・補完方針の具体化	他産業・アカデミアとの連携が不十分であり、日本が強い自動車等の分野での知見を航空機に活かしていない

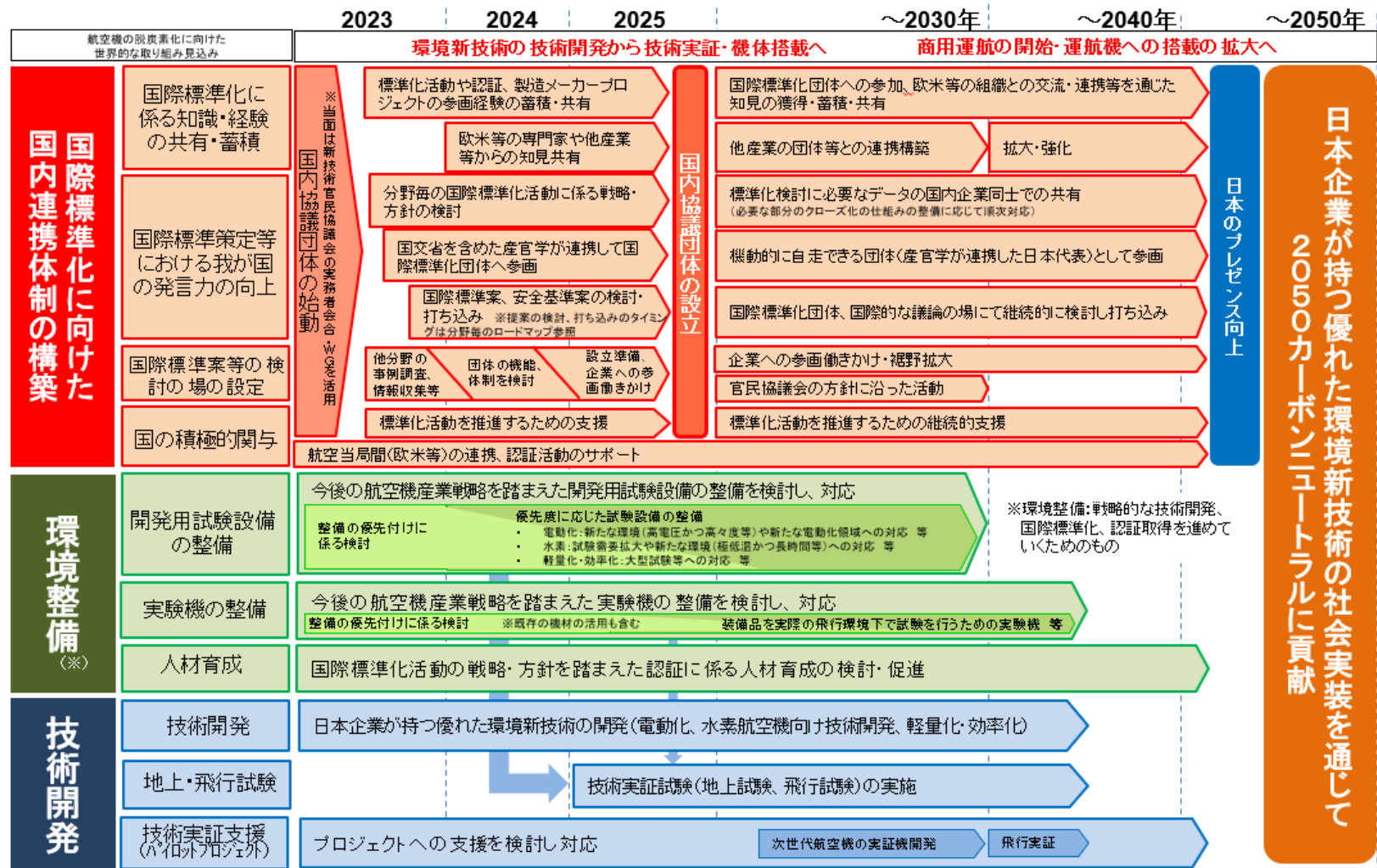
▶▶▶ 課題に対する今後の方針

プレゼンスの高い企業は標準化活動を重要と認識し、標準化議論等を通じてOEMやTier1とのコネクションを拡大、それを営業などに還流する好循環となっている。重要性を認識してもらうべく、標準化における好事例やホラシナリオを提示しつつ、啓蒙活動を実施する
- 個社での連携は困難であるため、国内協議団体を核とし、関連する技術分野におけるアカデミアおよびJARIやHySUT等他団体と連携体制を構築する - 連携にあたっては連携先にもwinとなる形での連携方式を検討する

5. 次世代航空機に関する標準化戦略：I. 戦略 資料① 共通ロードマップ

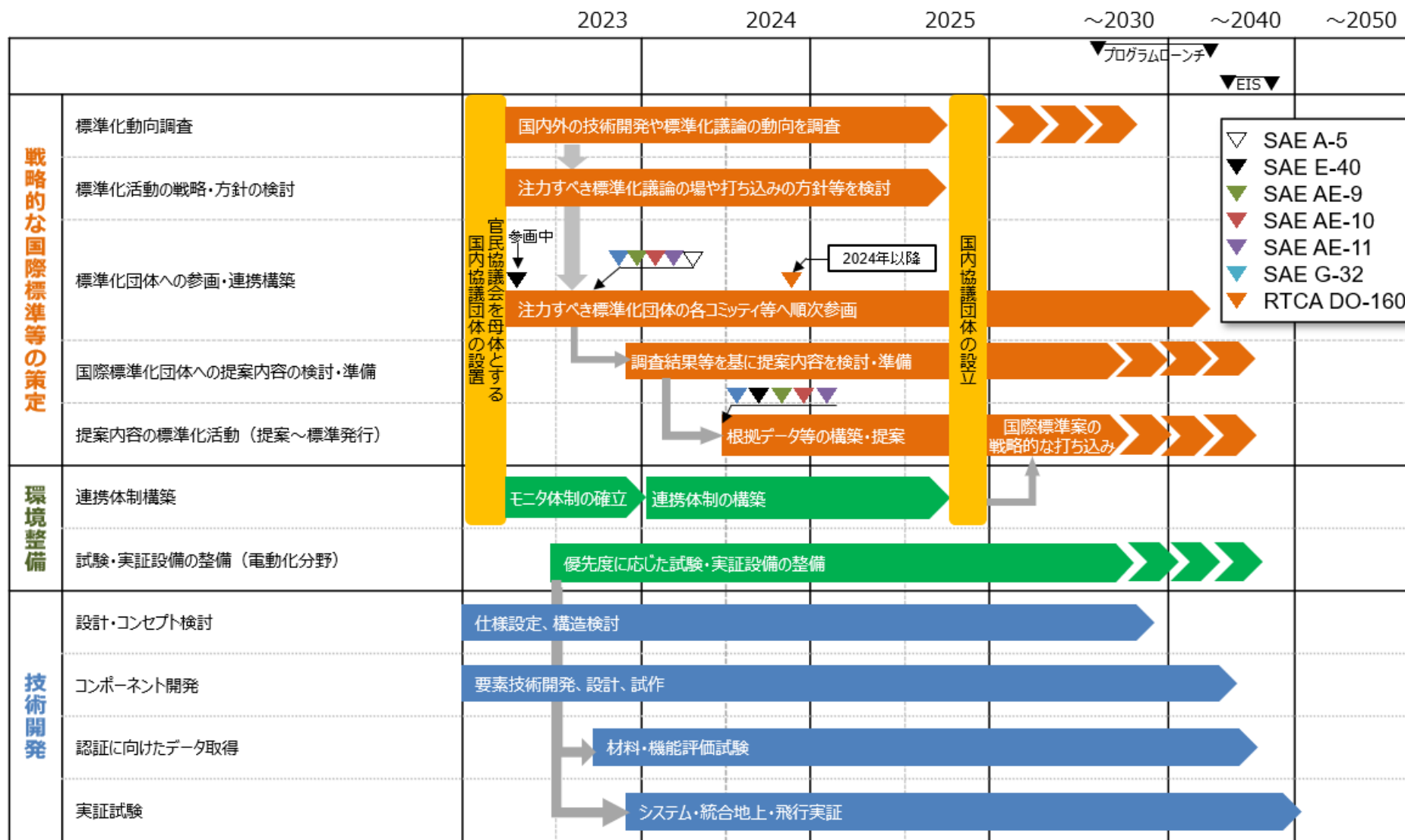
新技術の社会実装に向けた大方針として官民協議会においてロードマップが策定された

このロードマップは、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についてまとめたものである。



5. 次世代航空機に関する標準化戦略：I. 戦略 資料① 電動化ロードマップ

官民協議会において、電動化分野に細分化したロードマップについても策定

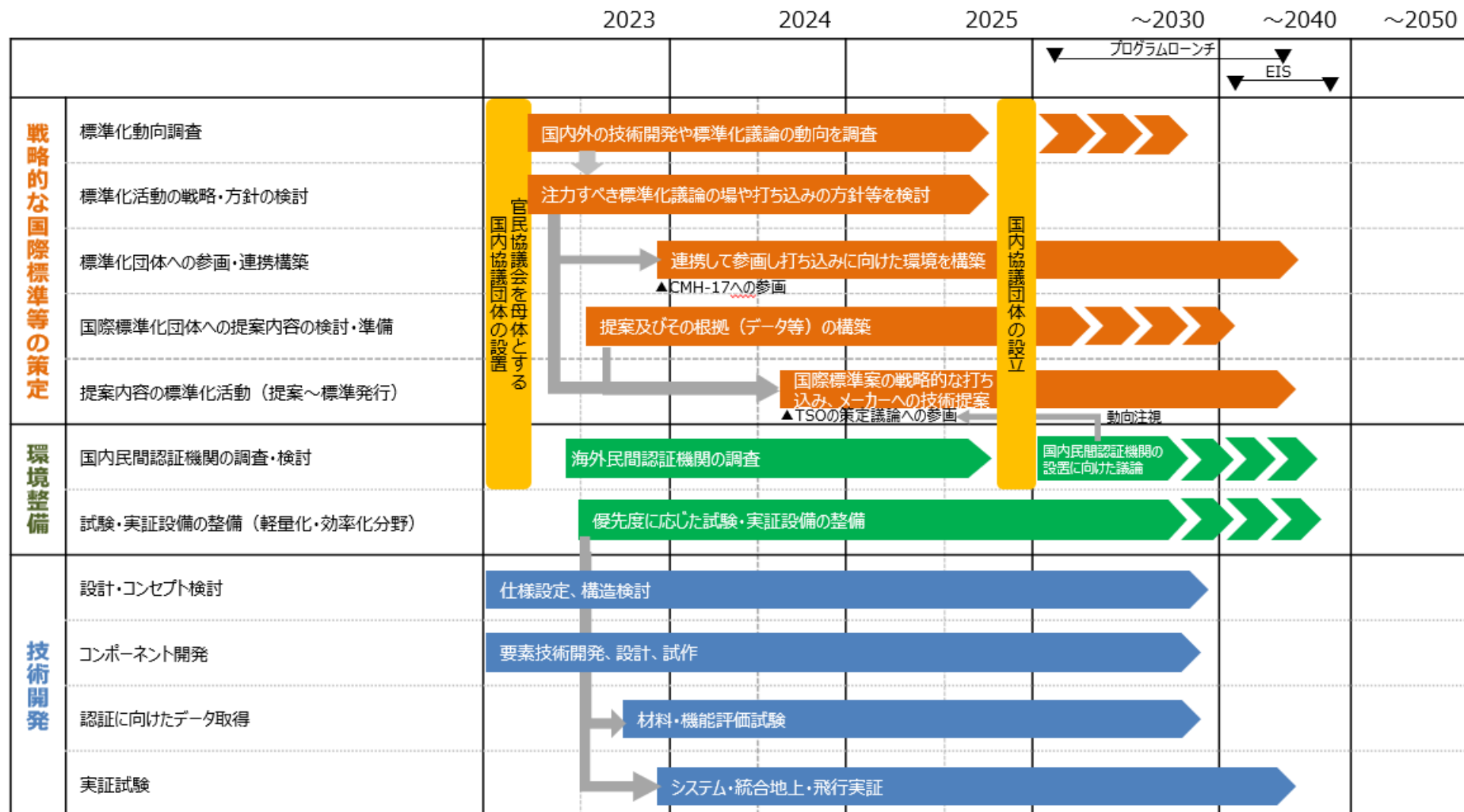


官民協議会において、水素分野に細分化したロードマップについても策定



5. 次世代航空機に関する標準化戦略：I. 戦略 資料① 軽量化効率化ロードマップ

官民協議会において、軽量化・効率化分野に細分化したロードマップについても策定



5. 次世代航空機に関する標準化戦略：II. 組織体制に関する本年度の推進事項・課題および今後の方針

国内協議団体の設立に向けた活動の具体化、航空産業関連団体との連携等が必要

▶ 本年度の推進事項

各技術分野における
課題・解決案の検討

- 次世代技術（電動化、水素航空機、軽量化・効率化）各分野特有の課題および横断的な課題について、官民協議会に付随する各WG及び実務者会合にて社会実装に向けた課題および解決案を検討（－資料②）

来年度以降の活動
体制・必要機能/役割に
関する検討

- 上記課題および解決案を踏まえた次年度以降の活動体制案（次年度の活動体制案、最終的な活動体制（国内協議団体）のイメージ）についてを検討（－資料③、④）

▶▶ 活動を通じ見えてきた課題

情報連携の仕組みづくり

- 標準化提案時にISOのようにワンボイス化できるような仕組みがない

国内協議団体活動の
明確化、連携

- 国内協議団体に保有すべき機能・活動が現時点では明確化されていない
- 類似する活動がSJAC等他団体で実施されている可能性があり、活動の棲み分け・連携が必要

脱炭素分野以外に
関する
標準化活動の扱い

- 本年度は、次世代技術に関連する部分の標準化に関する課題整理・戦略策定を実施した一方で、耐雷性等従来分野における標準化については議論がされていない

▶▶▶ 課題に対する今後の方針

- コミティタスクグループを創設し、標準化提案に向けた議論をまず国内で実施することで事前に日本としての意見集約を実施する。（－資料③）

- 保有すべき機能の具体化・明確化に向けて、資料⑤のステップで国内企業団体設立に向けた活動を行う
- 機能の明確化と並行して、他団体との重複が無いよう、住み分け・連携を実施する

- 国内企業の標準化に関する情報連携や意見集約機能、標準化団体との窓口機能に関しては脱炭素化に限らない議論と考えられるため、含めることを検討する

官民協議会において、電動化分野特有の課題および取り組みについて取りまとめ

電動化分野において特定された課題

①標準化に資する技術的知見の戦略的な充足

(具体的な課題)

- 標準規格の案を検討するために必要となる以下のデータ・情報を取得
 - 不具合発生データ・メカニズムの取得・理解
 - 複雑な統合システムにおける故障モード・故障率・システム安全性等への十分な理解 等
- データ・情報を踏まえた標準化案の打ち込み

対応策・解決策：

- 国際標準化に係る戦略・方針を検討し、標準化に資する技術的知見を戦略的に取得
- 根拠データ等を取得・構築した上で標準化案の提案

今後の取組

- 国際標準化案の検討・提案に必要となるデータの種類等の把握
 - 材料、装備品、システム、評価試験装置の各メーカやアカデミアとの連携
 - 関連する標準化コミッティ等への参画
- データの取得・データに基づいた標準化案の提案に向けた戦略・方針の検討
- 技術的知見の取得、データに基づいた国際標準化案の提案
 - 国際標準試験規格（RTCA DO-160）に対応した試験による不具合メカニズムの解明
 - 劣化・寿命モデルの構築、故障率・故障モード・システムレベルの安全要件の情報把握等
 - 高電圧かつ高々度といった新たな環境での試験・実証が可能な設備を整備し、データを取得

官民協議会において、電動化分野特有の課題および取り組みについて取りまとめ

電動化分野において特定された課題

②標準化活動を促進する連携体制の構築

(具体的な課題)

- ・ 個社レベルの活動範囲を超えて国内外の知見を共有する枠組みの構築
- ・ 電動化技術で先行する他産業（鉄道・自動車等）の強みを活用
- ・ 電動化技術の鍵となる国内材料メーカーや、物理・化学的知見を有するアカデミアとの連携

対応策・解決策：

- 連携の対象や目的に応じた柔軟な連携範囲と枠組みの設定

今後の取組

- 国交省も含め、産官学での国際標準化団体への参加
- 産官学において情報共有・標準化案の検討を実施できるような体制を構築
 - ・ 他産業にて高電圧部品・機器に優位性のある企業が参加できる連携体制の構築と国際標準化活動への一体的参画
 - ・ 材料メーカー等に対する航空機産業への参入意欲の醸成
 - ・ 国際標準化活動への官民による一体的参画だけでなく、アカデミアを想定した緩やかな連携枠組みも構築
 - ・ 他産業が有する既存の規定類や枠組み（研究会）等を活用 等
- 航空当局間の連携

官民協議会において、水素分野特有の課題および取り組みについて取りまとめ

水素分野において特定された課題

①国際標準化に向けて必要となる体制・機能の整備 (具体的な課題)

- 水素を既に利用している他産業の知見の活用
- 標準化活動に係る知識の不足
- 標準化団体における発言力の向上
- 運用面も見据えた新たな耐空性基準・認証方法、水素燃料の取扱いに係るルールの検討
- 環境影響評価を踏まえた技術開発の実施
- 標準化活動における知財のオープン・クローズ整理

対応策・解決策：

- 官民協議会を母体とする国内協議団体の設立
 - 自動車・宇宙業界との連携構築
 - 国際標準化活動を戦略的に進めていくための知見の蓄積
 - 国際標準化団体への戦略的な参画・打ち込み
- 国際標準化団体、欧米航空当局、環境基準設定機関等の動向を把握
- 環境影響評価について国内で連携して検討
- 各社間での情報提供方法を整理

今後の取組

- 自動車・宇宙業界との関係構築・情報交換等。
- 規格化のための認証試験について調査・共有、海外人材等によるセミナー等の開催。
- 標準化団体との情報交換、国内に共有可能とするような連携体制の構築。
- 国交省も含め、国内で連携して標準化団体へ参画し、コミッティへの貢献を行いながら戦略的に標準案を打ち込む。
- 国際標準化団体及び航空当局、ICAO等の環境基準設定機関での議論動向を調査。
- 環境影響評価を検討する体制を構築し、国際的な議論に向けた技術情報の提供を見据えて、その動向を把握。
- 協議団体の体制・必要となる機能・ルールの検討。

官民協議会において、水素分野特有の課題および取り組みについて取りまとめ

水素分野において特定された課題

②国際標準化・認証取得を進めていくための環境整備 (具体的な課題)

- ・ 水素航空機（燃料電池、水素燃焼）の技術開発に必要な実証環境の整備
- ・ 水素関連データを取得するために必要な試験設備の導入

対応策・解決策：

- 設備の優先順位等を検討したうえで、以下のような試験・実証設備を整備
 - ・ 試験需要の拡大や極低温かつ長時間等の新たな環境へ対応した水素関連の試験・実証設備
- 海外企業の試験設備利用機会を確保しつつ、重要技術の実証設備を国内に整備する方法を検討

※水素分野は国際的な技術開発がスタートしたタイミングであり、整備も途中段階のため、継続的な議論が必要。

今後の取組

- 情報管理の担保、各社共通利用、ノウハウの蓄積が可能となる試験設備の整備方法を検討。
- 液化水素を用いた要素・システム実証設備等の必要な設備、仕様情報、整備計画、運用管理の明確化。
- 既存機材の活用を検討。

官民協議会において、軽量化・効率化分野特有の課題および取り組みについて取りまとめ

軽量化効率化分野において特定された課題

①戦略的な国際標準、安全基準の策定に向けた産官学の連携 (具体的な課題)

- ・ 現状、航空機・エンジンメーカーが材料と製造方法の仕様を排他的に所有するが、その仕様に自社技術を打ち込むことができるかが課題。
- ・ 他者より優れた生産・設計・解析技術の獲得。
- ・ 実用的な評価手法・判定基準が不明瞭であり、暗黙のうちに本邦企業の利益を損なう状況。
- ・ 標準化団体だけでなく、メーカーやエアラインが受け入れやすい提案をしなければ標準化につながらない。
- ・ 航空機・エンジンメーカーのプログラムローンチ後しか材料の認証を取得できない。
- ・ 新たな慣性航法装置（MEMS式）の特有の性能を踏まえた標準策定が必要。

対応策・解決策：

- 欧米の技術動向や当局意向を把握しつつ、標準化活動等に参加
 - ・ CMH-17（材料に係る認証手法等を検討する国際標準化団体）等の活動に参画して、認証手法の策定活動に関与・リードすることが必要
 - ・ 材料・装備品を認証するための技術基準（TSO：米国連邦航空局の認証基準）に本邦企業の技術が盛り込まれるべく策定活動に関与・リードすることが必要

今後の取組

- 国交省も含め、産官学での国際標準化団体への参加
 - ・ 欧米の技術・国際標準策定動向を把握
 - ・ 国際標準化案の提案
- 産官学において情報共有・標準化案の検討を実施できるような体制を構築
- 航空当局間の連携

官民協議会において、軽量化・効率化分野特有の課題および取り組みについて取りまとめ

軽量化効率化分野において特定された課題

②OEMプログラム開始前の材料に係る海外認証の取得の推進 (具体的な課題)

- OEMプログラム開始前に、米国等においても材料の認証を受けることができるようにする。
 - 米国の民間認証機関（NCAMP（National Center for Advanced Materials Performance））をモデルとした日本版NCAMPを立ち上げて、米国のNCAMPとの相互認証関係の確立、又は
 - 材料を対象としたTSOを策定し、OEMプログラム開始前でも米国等の認証を取得

対応策・解決策：

- 海外民間認証機関（米国NCAMP）の調査。
- OEMプログラム開始前でも米国等の認証の取得を可能とするTSOの策定動向を注視・議論に参画しつつ、国内民間認証機関の設置に向けた議論。

今後の取組

- 海外民間認証機関と相互認証関係を持った国内民間認証機関の整備に向けた調査・検討。
- OEMプログラム開始前でも米国等の認証の取得を可能とするTSOの策定動向の注視・議論への参画及び上記調査等を注視しつつ、国内民間認証機関の設置に向けた議論を行う。
- 仮に設置するとした場合、実効性のある機関とするために、海外の民間認証機関と相互認証関係を持たせた機関とするために必要な事項について検討する。

官民協議会において、分野共通の課題および取り組みについて取りまとめ

II 特定された課題に対する対応策・解決策の盛り込み

①戦略的に我が国がリードして国際標準及び安全基準を策定していくためのプレイヤーが連携する場
(具体的な課題)

- ・ 知識の共有、経験の共有の場の設定
- ・ 国際標準策定等における我が国の発言力の向上
- ・ 国際標準案及び安全基準案を産官学が連携して検討する場 等

対応策・解決策：

- オールジャパンでノウハウや情報を共有し、戦略的な国際標準化及び安全基準案を連携して策定する場として、新たに産官学からなる国内協議団体を始動する（当面は新技術官民協議会の実務者会合・WGを活用）。
- 新技術官民協議会において、国内協議団体の機能、体制、設立等について引き続き検討。

今後の取組

- 戦略的な国際標準化及び安全基準案を連携して策定する場として、新たに産官学からなる国内協議団体を始動する（当面は新技術官民協議会の実務者会合・WGを活用）
 - ※ 国内協議団体に求められる機能・役割（現時点の想定）
 - ・ 標準化活動や認証、製造メーカープロジェクトの参画経験の蓄積・共有（成功事例・失敗事例等含む）
 - ・ 欧米等から専門家（海外OEM、海外コンサルタント、民間事業者等）や他産業等からの知見共有（規制・標準の最新動向等に係るセミナーを開催など）
 - ・ 企業への参画働きかけ・裾野拡大
 - ・ 標準化検討に必要なデータの国内企業同士での共有（必要な部分のクローズ化の仕組みの整備含む）
 - ・ 分野毎の国際標準化活動に係る戦略・方針の検討
 - ・ 国交省を含めた産官学が連携して戦略的に国際標準化団体へ参画し国際標準案、安全基準案を検討し打ち込む
- 官民協議会において、正式な国内協議団体の設立に向けた他分野の協議団体の事例調査、団体の機能・体制（予算・人員等）を引き続き検討

官民協議会において、分野共通の課題および取り組みについて取りまとめ

II 特定された課題に対する対応策・解決策の盛り込み

②戦略的な国際標準化に係る国の積極的な関与

(具体的な課題)

- ・ 国（国交省等）の国際標準化団体への参加
- ・ 航空当局間での標準化及び安全基準化に向けた活動の連携

対応策・解決策：

- 国として国内協議団体に積極的に関与
- 産官学連携して国際標準化団体に参画
- 標準化活動を推進するための官による支援
- 航空当局間（欧米等）の連携

今後の取組

- 国において、以下を実施
 - ・ 国内協議団体に経済産業省、国交省も参加し、国レベルで積極的に関与
 - ・ 国交省を含めた産官学が連携して国際標準化団体へ参画
 - ・ 標準化活動を推進するための予算を国において要求
 - ・ 航空当局間（FAA、EASA等）の連携、認証活動のサポート

官民協議会において、分野共通の課題および取り組みについて取りまとめ

II 特定された課題に対する対応策・解決策の盛り込み

③戦略的な国際標準化、認証取得を進めていくための環境整備 (具体的な課題)

- ・ 戦略的な国際標準化、認証取得を進めていくための開発用試験設備、実験機
- ・ 国際標準化活動や認証活動に精通した人材育成
- ・ 技術実証支援（パイロットプロジェクト）

対応策・解決策：

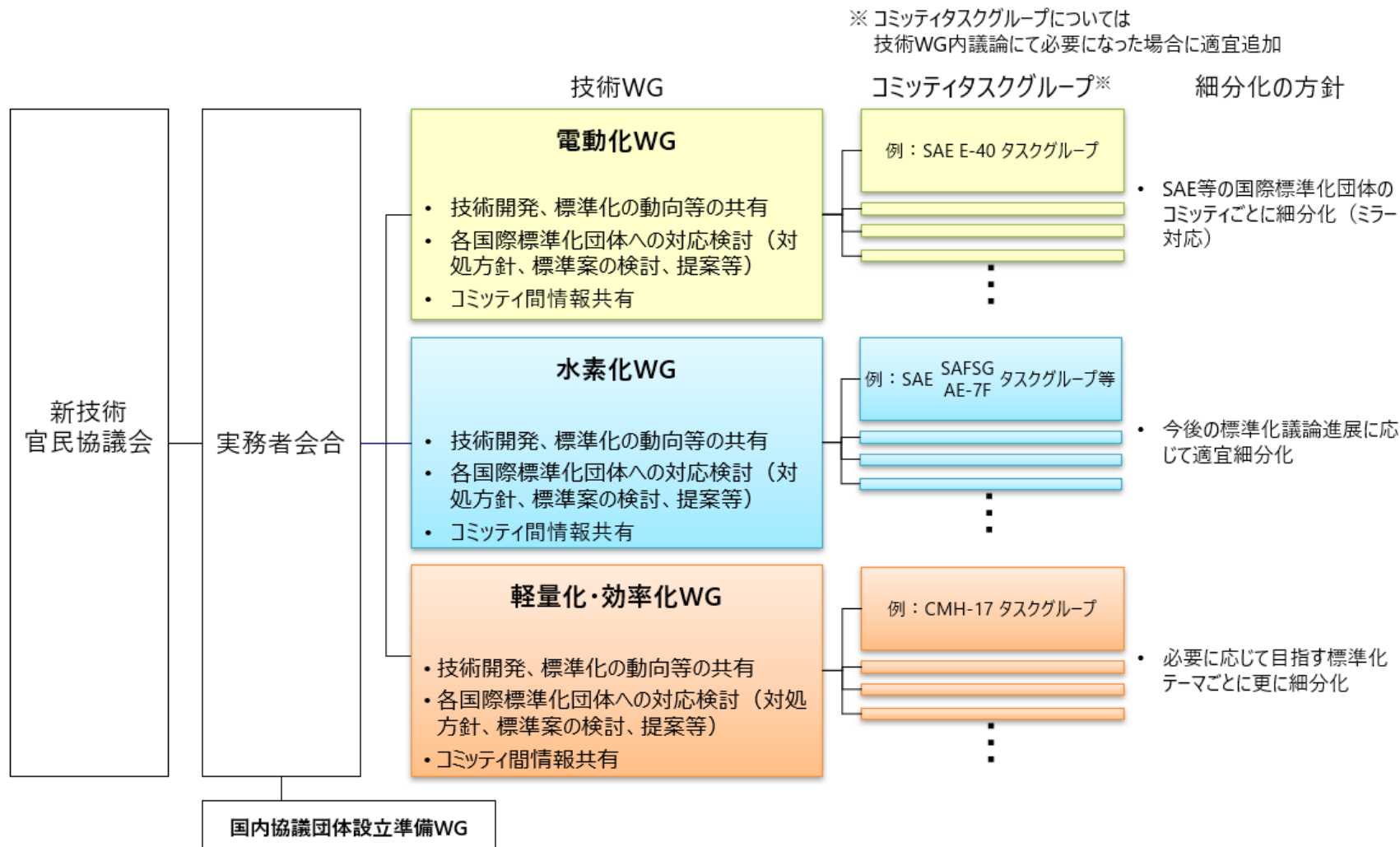
- 戦略的な国際標準化、認証取得を進めていくための開発用試験設備、実験機については、必要となる機器・機材のスケジュール等の洗い出し
- 今後の航空機産業戦略を踏まえつつ、整備が必要な機器、機材の優先順位等をつけた上で整備
- 国際標準化活動の戦略・方針を踏まえた認証に係る人材育成の検討・促進
- 技術実証（パイロットプロジェクト）の具体化に合わせた支援（実証機開発等）

今後の取組

- 今後の航空機産業戦略を踏まえて以下について検討
 - ・ 優先度に応じ開発用試験設備、実験機を整備
 - ・ 国際標準化活動の戦略・方針を踏まえた認証に係る人材育成の検討・促進
- 実証機開発等による技術実証（パイロットプロジェクト）の支援

5. 次世代航空機に関する標準化戦略：II. 組織体制 資料③ 次年度の活動体制案

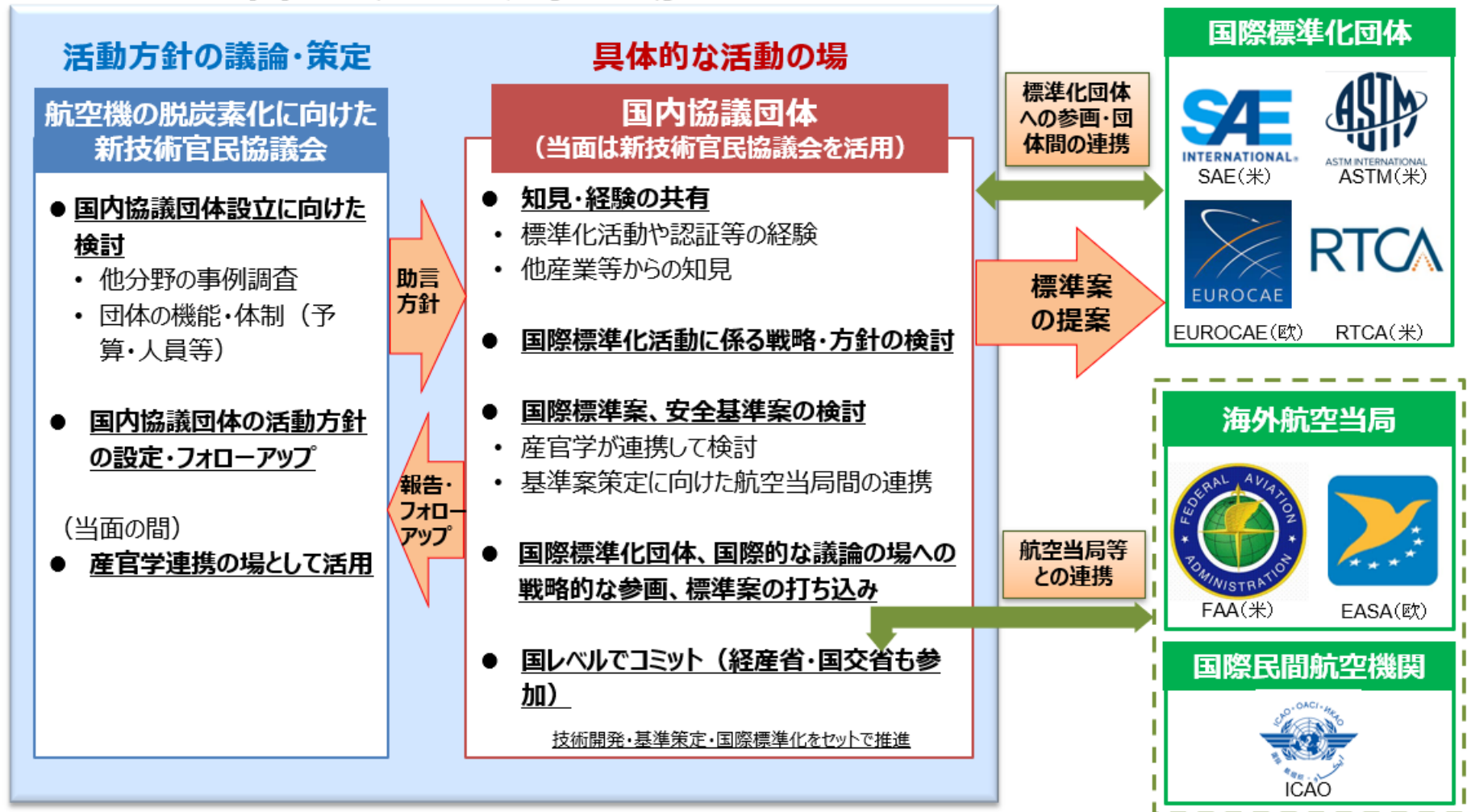
来年度は具体的な標準化提案に向けた話し合いを行うコミティタスクグループを創設することで、標準化提案に向けた議論を国内で集約し、日本としての方向性統一を目指す



5. 次世代航空機に関する標準化戦略：II. 組織体制 資料④ 国内協議団体のイメージ

将来的には国際標準化団体への窓口機能やワンボイス化、知見の共有といった機能を持った国内協議団体を設立することで、標準化提案に向けた活動を加速

国内の産官学連携の場



5. 次世代航空機に関する標準化戦略：II. 組織体制 資料⑤ 国内協議団体立ち上げに向けたステップ

国内協議団体立ち上げに向けては下記タイムラインで検討を進める必要がある



5. 次世代航空機に関する標準化戦略：III. 環境・リソースに関する本年度の推進事項・課題および今後の方針

国内での技術開発を円滑化すべく、設備・データベースの拡充や法規制の特例措置等が必要

▶ 本年度の推進事項

現状国内に存在する
実証施設・設備の整理

- 次世代技術（電動化、水素航空機、軽量化・効率化）各分野での技術開発において、現在使用している、または使用可能な国内の公共設備について取りまとめ整理（-資料⑥）

今後必要と想定される
実証施設・設備の検討

- 上記開発を進めるにあたり、今後必要と想定される実証設備や試験設備、およびそれに関連する法規制の有無などについて調査（-資料⑦）

▶▶ 活動を通じ見えてきた課題

試験・実証設備の不足

- 利用機会が少ない為、飛行試験機をはじめとした大型設備が国内で整備されておらず開発が難航
- 特にEMC試験等の環境試験設備の数が不足しており、予約の取得や利用が困難

共同で標準化活動を実施するうえでの知財の
取り扱い

- 国内で標準化活動を共同実施する場合、知財情報等の機密情報に触れた後の対応方針が各社で異なる
- 知財や知見を一括して管理するデータ基盤やデータベースが存在せず、情報の一元管理が困難

開発に液体水素を使用
する際の法規制

- 高圧ガス保安法をはじめとした法規制により、国内では開発に際して液体水素の柔軟な運用が困難

▶▶▶ 課題に対する今後の方針

- 利用者の多い実機サイズ向け試験設備や、飛行試験機について国主導で整備
- 既存設備の機能を拡充し、EMC試験等不足している試験設備を追加設置

- グランドルールの制定、知財等を管理するセクションを設けることに加え、情報の共うデータベース等を整備し知財管理を一元化

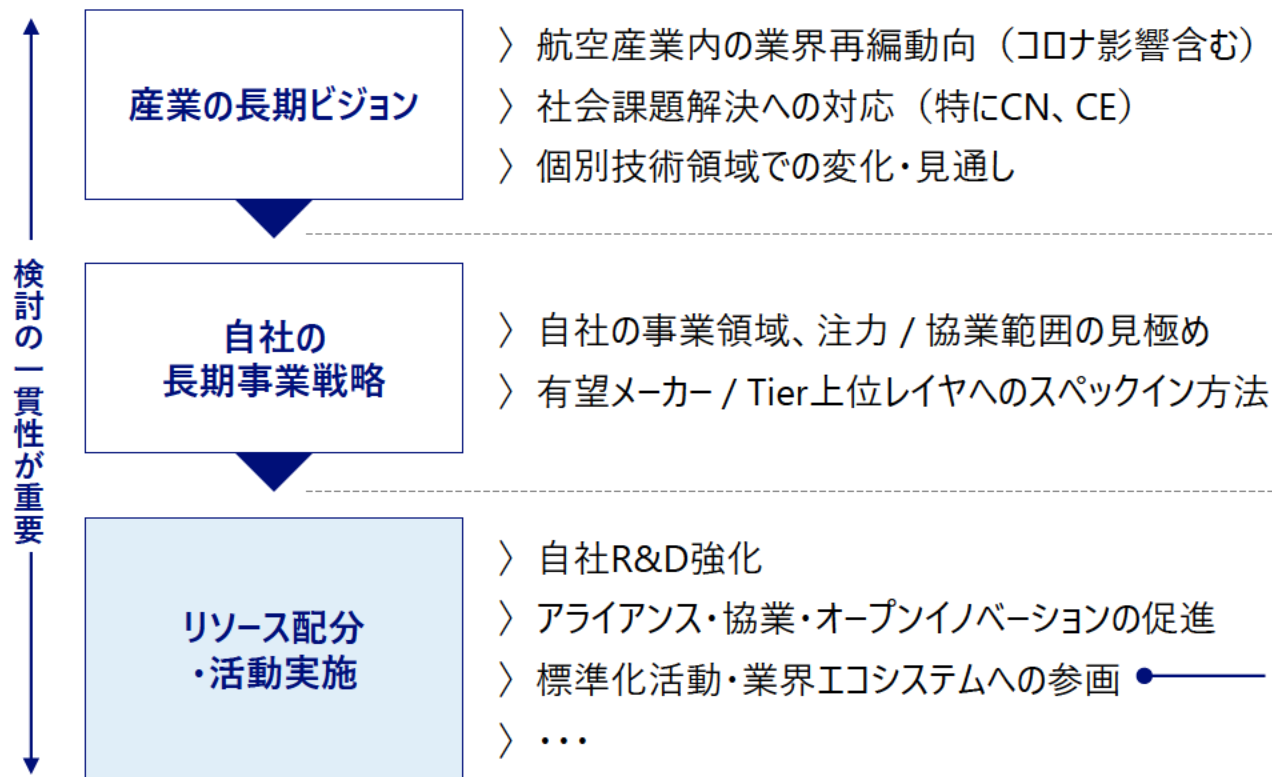
- ドイツ等諸外国の規制と日本の規制を比較し、具体的にどの条文が影響を及ぼしているのか確認

5. 次世代航空機に関する標準化戦略：標準化活動に対するNRIの認識

標準化議論はあくまで長期的な事業成長に繋がりうる現場活動の一つ。個別企業の取り組み推進・強化には、長期ビジョンと合わせ、経営レベルでの認識醸成が必要と認識。

民間企業における標準化活動の位置づけ（NRI認識）

キーワード



本年度課題感とのリンク

プレゼンスの高い企業の増加・強化

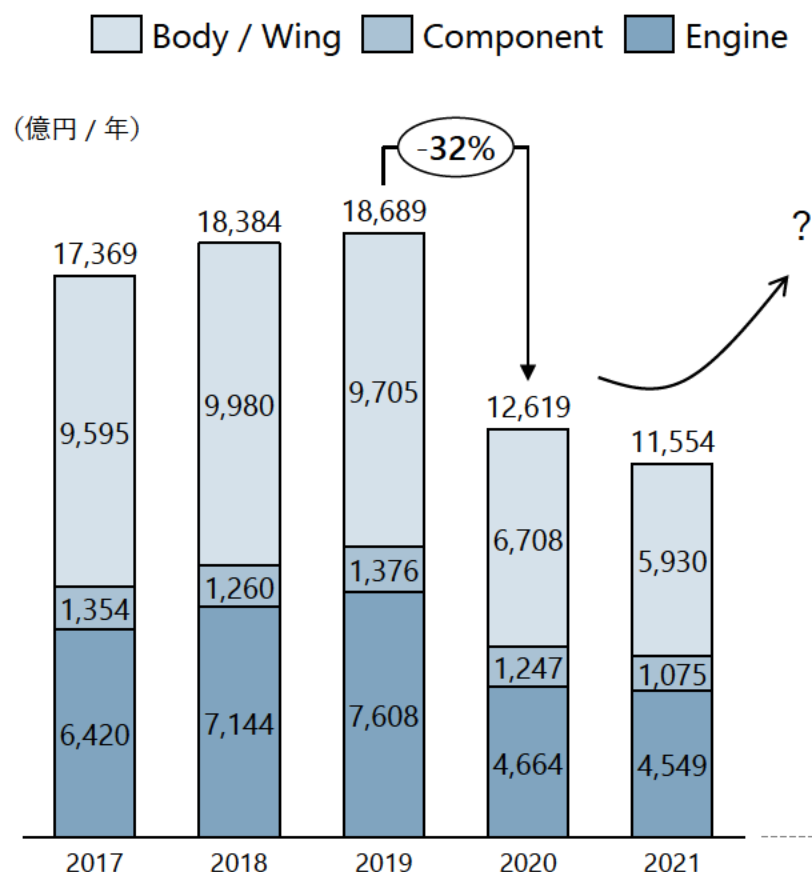
- 〉 来年度以降、国内協議団体を母体とした標準化活動が継続
- 〉 競争力強化には活動継続に加え、参画企業の増加も重要に
- 〉 貴省では、過去活動より有力プレイヤー・上位職層との広いコネクション・会議体を保有

産業構造の長期ビジョン提示
・対応する標準化活動の位置づけ
の明確化が重要

5. 次世代航空機に関する標準化戦略：航空産業の業界再編動向

航空産業はコロナ影響を最も大きく受けた産業の一つ。危機下では業界再編の機運が高まる形になっており、産業維持・強化に向けた動向・イベントに注視が必要。

国内航空機産業のGDP推移 / 危機下でのイベント例



産業
維持

危機下での資金調達・返済優遇措置

- 各社の自助努力（リストラなど）に加えて、DBJ「危機対応融資」活用や公募増資による運転資金確保

産業
強化

業界コンソーシアム / 協業促進

- 特定技術の開発に向けたコンソーシアムや各種協業促進（素材、燃料の共同調達など）

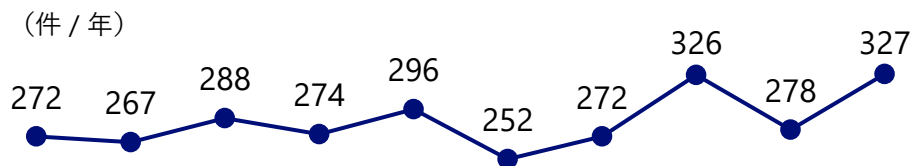
M&A増加

- 同業買収によるシェアアップ、取引先・協業先買収による内製領域の拡大・自社ケイパビリティ拡大

5. 次世代航空機に関する標準化戦略：航空産業の業界再編動向

実際に、航空宇宙防衛産業領域において21年度は過去10年間でM&A件数が最活況。
Boeingによる内製領域拡大、有力Tier1の更なる拡大など、業界全体が寡占方向へ。

航空宇宙防衛産業におけるM&A件数の推移



Source) KPMG

2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021

- 20年はコロナで前年比15%減少。
これは過去8年(12-19)での平均数：280件と同程度
- 一方、業績影響が続く21年において、過去10年で最高となる327件のM&Aが発生

2020/21年の航空業界における主要なM&A

OEM⇒Tier1買収

買い手企業

Boeing (米)



対象先

TECT Aerospace (米)

- Boeingは2021年に倒産したTECT Aerospace（機体構造部品などを幅広く手掛けるTier1）を買収。
- B787での外注比率を高めすぎたことによる反省から自社製造比率を高めており、本取引は救済措置と内製領域拡大の意義があるとみられる

Tier1⇒Tier1買収

買い手企業

Mecachrome (仏)

LATECOERE (仏)

Montana Aerospace (スイス)



対象先

WE ARE (仏)

AVCORP (加)

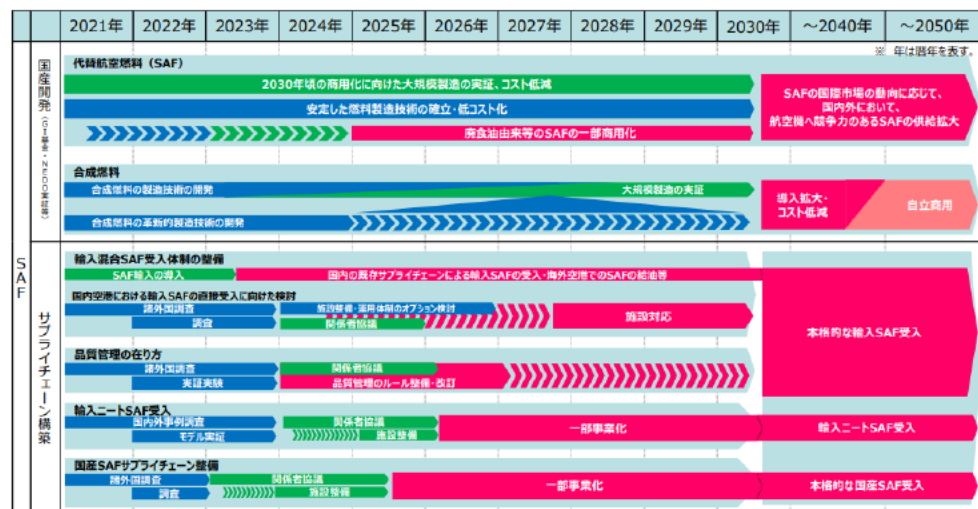
ASCO (ベルギー)

- 欧州の有力Tier1が自社ケイパビリティや顧客コネクションの拡大を目的に再編が進む。

Key Question：電動化・水素化の実現期においても、現状の取引構造は維持されているという前提は成り立つのか

航空機の脱炭素化に向けては、電動化・水素化以外の動きも継続的に進展。
例えば、合成燃料の活用についても、欧米を中心に実用化の早期化が期待されている。

SAFの導入促進に向けたロードマップ



- 国内ロードマップでは、バイオマス由来のSAFの本格導入は、25年以降をマイルストーンに設定
- 合成燃料については、20年代は技術開発（大規模製造技術の確立含む）時期とし、30年以降の本格導入を見込む

- › The ReFuelEU Aviation regulation represents a major opportunity to defossilize aviation. It requires jet fuel suppliers at the current 500 airports in the EU to guarantee a blending of at least 2% sustainable aviation fuels (SAFs) in 2025, which are defined in the Renewable Energy Directive (RED) as advanced biofuels from wastes and residues.
- › In 2030, the quota increases to 5% and includes a sub-quota for synthetic fuels, also known as eFuels, of 0.7%. The quota increases further to 63% SAFs, with a minimum of 28% eFuels, in 2050.

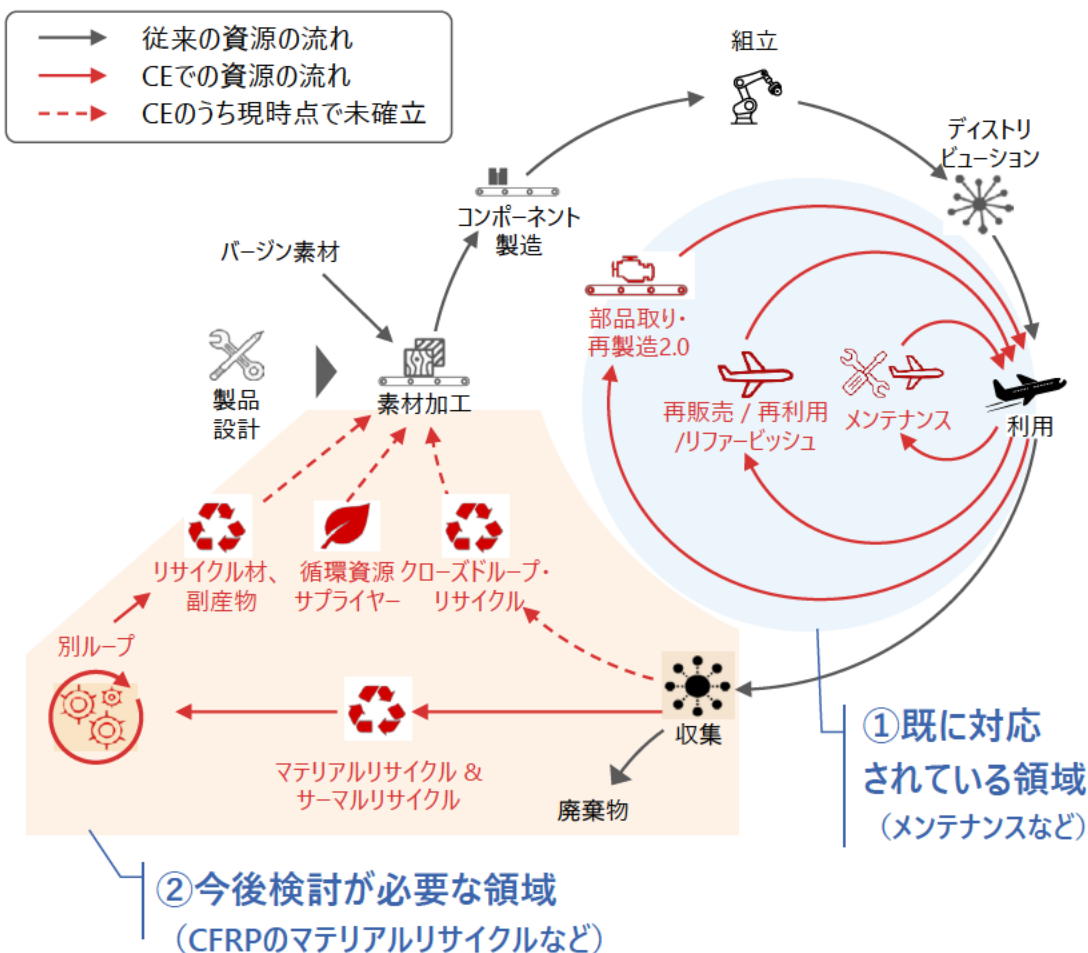
- 〉 航空分野での合成燃料活用の立ち上がり期は想定より早まる可能性がある。20年代にて、中小型航空機向けに需要が立ちあがるのではないかと。
- 〉 例えば、米国では、25年時点でグリーン水素燃料は今の航空燃料と同じ価格水準の\$2-4/kgになる。との声も聞いている。



5. 次世代航空機に関する標準化戦略：社会課題解決への対応（CE）

航空機産業でもサーキュラーエコノミーの機運は高まる想定。例えば今後増加が予見される、CFRP素材の回収・再利用といったビジネスへの対応方針については検討が必要な想定。

航空機におけるサーキュラーエコノミー（CE）



① 既に対応されている領域

- 旅客機は以前よりメンテナンスや故障診断が確立しており、内装の入れ替え等により長期間の運用が可能。
- 中古機市場も確立しており、先進国で使用された整備状態の良い機体については再販売・再利用がされるケースが多い。

② 今後検討が必要な領域（マテリアルリサイクルなど）

- 金属領域に関しては他産業向けアルミインゴットなど一定のリサイクルが確立しているが、航空機向け材料としての活用は**物性が劣化するため困難**。
- CFRPに関しては、少量がリサイクル炭素繊維として活用されているものの、物性が劣化している上に高価なため、**活用先がなく、産廃として廃棄**されるケースが多い。
- 本格的なCFRP使用機材であるB787が運用から10年以上経過しており、今後課題が顕在化するとみられる。欧州ではEUの拠出金でSUSTAINairプロジェクトが発足し、**CE対応機体の設計や新たな材料プロセスなどの研究が進展**。

〉 関連動向の注視や、CFRPの回収や再利用等のビジネス検討が必要

5. 次世代航空機に関する標準化戦略：標準化活動事例（Siemens）

Siemensは、自社の産業長期ビジョンに基づき、戦略的活動を推進。
国・産業の巻き込み、標準化議論をリードすることで、現在のP/Fビジネスを確立。

SiemensにおけるBizモデルの変遷

時期	事業形態	取り組み内容
～2006年	モノ売り	独自に事業環境変化を見定め、事業変革を開始 － 自社に影響のある長期的事業環境変化として、「都市への人口流入」・「世界人口の増加」・「気候変動の加速」に注目し、これらの対応に向けたポートフォリオ変革を開始
2007年～2014年		事業の選択と集中、国際標準化活動への参画 － 事業環境変化への対応を念頭に置きつつ、組織の再編と共に事業の選択と集中を実施 － デジタル時代の到来に向け標準化活動も実施
2015年～	コト売り	デジタル事業への集中により、P/Fビジネスを確立 － 社会の巻き込みも推進してきたデジタル分野への投資も継続的に実施することで、主力事業としてのP/F事業を確立

Siemensでは、独自に見定めた産業長期ビジョンに基づき、10年以上をかけて産業機器売りのモノ売りビジネスからP/F型のコト売りビジネスに転換を図った

Siemensの戦略的な標準化活動内容

Industry 4.0への積極関与



- ✓ ドイツでは、2011年から政府主導で「工場のスマート化」に重点を置いたIndustry 4.0を推進。加えて、その推進のために産官学の連携のための枠組みであるPlatform Industry 4.0を設立
- ✓ Siemensは、Platform Industry 4.0の枠組みに参加した上で、中心的役割を担ってきた
- ✓ 一連の活動の中でSiemensは、「工場内だけではなくバリューチェーン全体での包括的な取り組みが重要である」と主張し、**幅広い業界とのネットワーク構築とルールメイク活動を実施**

IECの標準化活動への参画



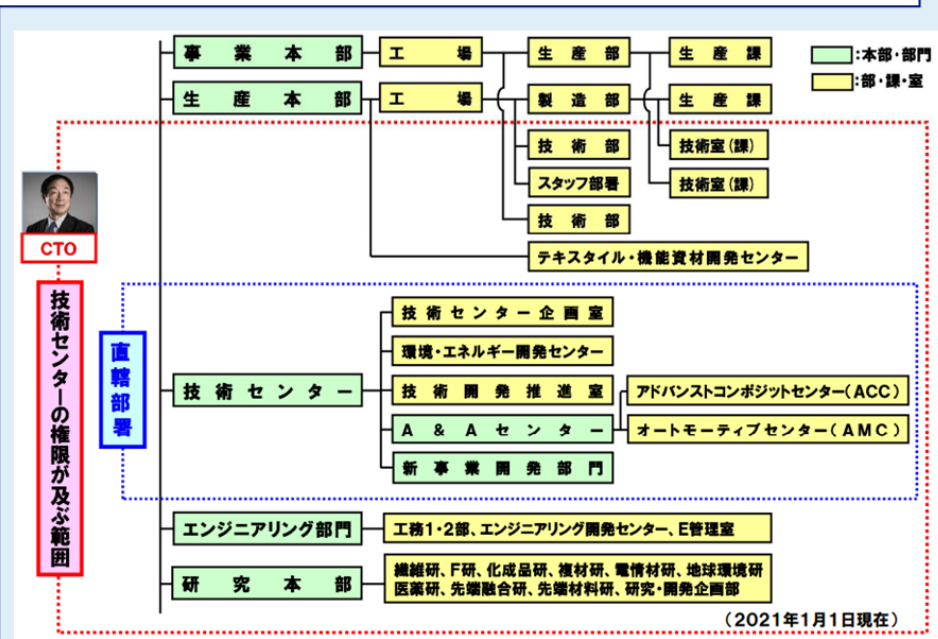
- ✓ Siemensは、IEC（国際電気標準会議）のTC（テクニカルコミッティ）の一つであるIEC/TC65（工業用プロセス計測・制御・オートメーション）においても、精力的な活動を推進
- ✓ 様々な産業機器の接続・データ連携、セキュアな相互運用環境の必要性が高まることを予見し、早期から同コミッティを通じた**通信規格の標準化、ステークホルダーとのネットワーク形成を推進**

5. 次世代航空機に関する標準化戦略：標準化活動事例（東レ）

東レは、先端技術の先読み力に優れ、リーディングカンパニーへのトップ営業力が強い。
標準活動への積極的関与の背景には、トップによる活動の重要性理解があるものと想定。

東レ：ボーイング社との提携

- 1973年にBoeing社の機体内部部品に採用。以降航空機における東レ製品のカバー範囲を拡大し、2006年に主翼や胴体等に東レ炭素製品の導入を開始
- ボーイング社とのオープンイノベーションはCTOプロジェクトとして、両社のCTO同士が年2回面会し、開発ベクトルの確認・将来議論を実施



CTOの役割

- 代表取締役副社長：CTOが技術センター所長を歴任
- 技術センターは、直轄組織に加えて、生産本部の技術関係部署、エンジニアリング部門、研究本部の範囲まで含めた権限を保有

権限設計の背景

前CTO 阿部氏のコメントより抜粋

- 各部署に散らばる研究員が連携して動けるようにしている。一人のマネジメントの下に広い範囲の研究者を集結させることで、総合力を発揮できる
- 「研究開発の親分は同じ」という意識を全社の研究員に植え付け、繊維やフィルム、水処理技術と、専門がそれぞれ異なる研究員同士が連絡を取り合ったり、協力し合ったりする際の垣根を低くしている

水素に関する他産業の基準

燃料電池に関する標準化議論

関連部品	標準化議論				
	標準化団体	文書	ステータス (出版年/月)	文書名	概要
• 燃料電池向け空気供給システム • 熱交換器 (燃料電池・水素燃料)	EUROCAE (WG-80)	ED-219	Published (2013/12)	Aircraft Fuel Cell Safety Guidelines	- プロトン交換膜(PEM)燃料電池システム(FCS)と水素燃料、燃料貯蔵、燃料分配、電気システムの安全な統合実現に関する技術ガイドラインについて記載。 - 燃料電池システムの設計や運用、搭載方法、安全性についても記載
		ED-245	Published (2017/07)	MASPS for Installation of Fuel Cell Systems on Large Civil Aircraft	- 大型航空機向けの燃料電池システム導入に対するMinimum Aviation System Performance Standards(MASPS)を策定。 - この文書の技術的な概念とアプローチの大部分は業界のベストプラクティスを示す
		ER-020	Published (2019/11)	Considerations for Hydrogen Fuel Cells in Airborne Applications	航空機以外の分野で使用されている水素燃料電池に関する検討を行い、航空燃料として水素を使用するための包括的な分析を実施
		ED-XXX	Draft (※2022/09)	MASPS for Liquid Hydrogen fuel cells on-board aircraft	航空機向け液体水素燃料電池のMinimum Aviation System Performance Standards(MASPS)について議論
		ED-XXX	Draft (※2023/09)	MASPS for Gaseous Hydrogen Storage for General Aviation	航空機向け気体水素貯蔵に関するMinimum Aviation System Performance Standards(MASPS)について議論

※Draft段階の文書に関しては出版計画年/月を記載

今後の標準化議論の参考になりうる、宇宙分野における水素燃料タンクに関する規格/基準

関連部品	参考になりうる規格/基準			
	標準化団体	規格/基準	規格/基準 名称	概要
- タンク - バルブ - パイプ - ポンプ - 加圧・極低温装置 - ベント	ISO	ISO14623	Pressure vessels and pressurized structures - Design and operation	- ロケットや衛星に用いられる燃料用圧力容器の安全設計に関する規格であり、配慮すべき設計条件、安全度許容度、安全度要求事項、試験法について記載 - 金属および非金属容器に適用可能
		ISO16454	Stress analysis requirements	- ロケットや宇宙機の一次構造体の応力・ひずみ分布と安全マージンの決定に関する規格。静的破壊モードでの基準について記載 - 液体推進エンジンや固体推進ノズル、固体推進剤は基準の対象外だが、液体推進剤タンク、圧力容器および固体推進ケースが基準の対象に含まれる
		ISO14624-5	Determination of reactivity of system/component materials with aerospace propellants	宇宙自燃性推進剤と材料の反応性の決定試験方法に関して記載
	NASA	※NASA-STD-5001	Structural Design and Test Factors of Safety for Spaceflight Hardware	- 宇宙飛行用機器の開発・検証時の構造・強度設計、試験係数、耐用年数に関する基準が記載されている - この基準は推進剤タンク、固体ロケットモータケース、及びペイロードを含むロケットに適用される
		NASA-STD-5019	Fracture Control Requirements for Spaceflight Hardware	- 宇宙飛行用機器の破壊制御に関する基準が記載 - ペイロード、推進システム、軌道上支援装置、および惑星居住施設を含む、すべての有人宇宙飛行システムが対象
	JAXA	JERG-0-001	宇宙用高圧ガス機器技術基準	金属製ロケット推進薬タンクを含む金属製圧力容器に関して、タンクの構造様式、材料選定基準、板厚の決定法等、設計時の基準が記載されている

※圧力容器及び加圧部品についてはAIAA080（金属）、AIAA081（複合材）を基準としている

(参考) 宇宙分野における水素燃料タンクに関する規格/基準の主な記載内容

	ISO : ISO14623	AIAA : S-081B (複合材)	JAXA : JERG-0-001
設計条件	- 荷重、環境 - 強度 - 圧力容器 - 加圧構造 - 剛性 - 熱 - 疲労寿命 - 漏れ - 応力破断寿命 - 破壊制御 - 腐食制御/防止 - 水素脆化制御	- 最大使用圧力 - 圧力差 - 荷重、音響、衝撃、振動環境設計 - 損傷許容設計 - 疲労寿命設計 - LBB - 許容リーク率 - クリーンレベル - 信頼性 - タンク容量 - 流体適合設計 - 特殊環境設計 - 破壊係数 - 破壊圧力 - 耐圧 - 安全率 - 安全マージン etc	- 設計条件の設定 - 荷重、温度条件 - 安全係数の定義 - インターフェース条件 - 寿命要求 - 構造様式の設定 - 板厚の算定
材料選定	- 金属材料選定/特性評価 - 複合材料選定/特性評価		- 機械的特性 - 破壊特性 - 適合性 - 製造性
解析	- 応力解析 - LBB破壊モード解析/シミュレーション	- 基本物性解析 (強度、荷重、剛性、熱etc) - 圧力容器構造解析 (安全率、耐圧、座屈、流体適合、疲労寿命、破断etc) - 破壊制御解析 (損傷許容寿命、LBB) - 信頼性解析 (故障モード、影響)	- 詳細解析 - 応力解析 - LBB(Leak Before Break)成立判定 - 疲労損傷解析 - き裂進展改正 - 剛性解析 - ベローズ関連解析
その他	- 製造 - 品質保証/検査 - 運用/保守	- 製造 - 開発試験 - 品質保証/検査 - 運用保守	- 製造 - 開発試験・認定試験 - 再利用・検査

今後の標準化議論の参考になりうる、自動車分野における水素技術に関する規格/基準

内包する技術	参考になりうる規格/基準			
	標準化団体	規格/基準	規格/基準 名称	概要
- バルブ - タンク - パイプ	国連	GTR-13	Global Technical Regulation on Hydrogen and Fuel Cell Vehicles	- 水素燃料電池車及び水素燃料を用いた内燃機関車の安全性に関する世界統一基準 - 圧縮水素容器の試験方法・水素安全・電気安全について記載
		UNR-134	HFCV specific requirements for the electric power train	- 水素燃料車（HFCV）の安全関連性能に係わる自動車およびその構成部品の認可に関する統一規定 - 圧縮水素貯蔵システム（圧縮水素容器）の性能試験、圧縮水素貯蔵システムに関する固有厚生部品・車両燃料システムの仕様に関して記載
	SAE	J2579_201806	Standard for Fuel Systems in Fuel Cell and Other Hydrogen Vehicles	- 地上走行車両に対する水素燃料貯蔵システムの設計・製造・運用・メンテナンス要件及び試験方法を記載 - 耐衝撃性に関する基準については未記載
		J2578_201408	Recommended Practice for General Fuel Cell Vehicle Safety	- 燃料電池システム・水素燃料貯蔵・ハンドリングシステム・高電圧電気システムの燃料電池車全体への統合に関する基準を記載 - 燃料電池自動車の耐衝撃性と車両統合に関する基準を含む
		2007-01-2009 (technical paper)	HIGH-PRESSURE HYDROGEN TANK FOR FCHV	トヨタ製造の燃料電池車向け35MPa、70MPaの高圧水素タンクに関して記載
		2021-01-00741 (technical paper)	Development of High-Pressure Hydrogen Storage System for New FCV	トヨタ製造のCFRPを用いた高圧水素タンクの製造法に関して記載
	ISO (TC-197)	ISO19881	Gaseous hydrogen - Land vehicle fuel containers	- 車載用の高圧水素ガスタンクの保管に対する基準 - 詰め替え可能な容器の材料、設計、製造、検査および試験に関して記載
		ISO19882	Gaseous hydrogen - Thermally activated pressure relief devices for compressed hydrogen vehicle fuel containers	車載用水素容器の使用時を目的とした、TPRD（Thermal Pressure Relief Device（燃料容器の安全弁））に関する基準を記載

UNR-134の主な記載内容

圧縮水素貯蔵システム

- ・ 構成要素
- ・ 基準初期破壊圧力
- ・ 基準初期圧力サイクル寿命
- ・ 保証圧力テスト
- ・ 落下（衝撃）テスト表面損傷
- ・ 化学薬品曝露および周囲温度圧力サイクルテスト
- ・ 高温静圧テスト
- ・ 極限温度圧力サイクル
- ・ 残留保証圧力テスト
- ・ 残留強度破裂テスト
- ・ 保証圧力テスト
- ・ 周囲温度および極限温度ガス圧サイクルテスト（空気圧）
- ・ 極限温度静ガス圧漏洩／透過テスト（空気圧）
- ・ 残留保証圧力テスト
- ・ 残留強度破裂テスト（液圧）
- ・ 火炎中でのサービス停止性能の検証テスト
- ・ 主閉鎖装置に関する要件

構成部品

- ・ TPRD（燃料容器の安全弁）の要件
 - ・ 圧力サイクルテスト
 - ・ 促進寿命テスト
 - ・ 温度サイクルテスト
 - ・ 耐塩害腐食性テスト
 - ・ 車両環境テスト
 - ・ 応力腐食割れテスト
 - ・ 落下および振動テスト
 - ・ 漏洩テスト
 - ・ ベンチトップ作動テスト
 - ・ 流量テスト
- ・ 逆流防止バルブおよび自動シャットオフバルブの要件
 - ・ 静水圧強度テスト
 - ・ 漏洩テスト
 - ・ 極限温度圧力サイクルテスト
 - ・ 耐塩害腐食性テスト
 - ・ 車両環境テスト
 - ・ 大気曝露テスト
 - ・ 電気テスト
 - ・ 振動テスト
 - ・ 応力腐食割れテスト
 - ・ 予冷水素曝露テスト

車両燃料システム

- ・ 使用中の燃料システムの要件
- ・ 衝突後の燃料システム完全性

UNR-134 圧縮水素貯蔵システム要件詳細

試験項目	試験項目 (小)	性能試験要件
基準尺度 (大)	基準初期破裂圧力	3 個の容器に液圧を加え、破裂するまで加圧する。メーカーは、新しい貯蔵容器の中間破裂圧力BPO を確定する文書(測定値および統計解析)を提供するものとする。テスト対象のすべての容器は、破裂圧力がBPO の±10%以内であり、かつ225%NWP の最小値BPmin 以上であるものとする。さらに、主成分としてガラス繊維複合材を有する容器は、350%NWP より大きい最小破裂圧力を有するものとする。
	基準初期圧力サイクル寿命	3 個の容器に対し、20 (±5) °Cで破裂なしに125%NWP (+2/-0 MPa) まで22,000サイクル、または漏洩が生じるまでの間、液圧による圧力サイクルを加えるものとする。15 年の使用壽命に相当する11,000 サイクル以内に漏洩が発生しないものとする。
耐久性能 (液圧逐次テスト)	保証圧力テスト	貯蔵容器を150%NWP (+2/-0 MPa) まで加圧し、少なくとも30 秒間保持する
	落下(衝撃)テスト	いくつかの衝撃角度で貯蔵容器を落下させる
	表面損傷	貯蔵容器に表面損傷を与える
	化学薬品曝露および周囲温度	貯蔵容器をオンロード環境内に存在する化学薬品に曝露し、20 (±5) °Cで125%NWP (+2/-0 MPa) まで60%サイクル数の圧力サイクルを加える。最後の10 サイクルの前に化学薬品曝露を打ち切り、その後は150%NWP (+2/-0 MPa) で実施する。
	高温静圧テスト	貯蔵容器を≥85°Cで少なくとも1,000 時間、125%NWP (+2/-0 MPa) まで加圧する
	極限温度圧力サイクル	貯蔵容器に対し、20%サイクル数については≤-40°Cで80%NWP (+2/-0 MPa) まで、また20%サイクル数については≥+85°Cおよび相対湿度95 (±2) %で25%NWP (+2/-0 MPa) まで圧力サイクルを加える
	残留保証圧力テスト	貯蔵容器を180%NWP (+2/-0 MPa) まで加圧し、破裂なしに少なくとも4 分間保持する
実使用 (空気圧逐次テスト)	残留強度破裂テスト	貯蔵容器に対して液圧破裂テストを行い、破裂圧力が5.1.1 項で求める基準初期破裂圧力 (BPO) の少なくとも80%であることを確認する
	保証圧力テスト	システムを150%NWP (+2/-0 MPa) まで少なくとも30 秒間加圧する(附則3、3.1項のテスト手順)。製造中に保証圧力テストを受けた貯蔵容器は、このテストから適用除外してもよい。
	周囲温度および極限温度ガス圧サイクルテスト (空気圧)	水素ガスを使用し、システムに500 サイクルの圧力サイクルを加える(詳細は省略)
	極限温度静ガス圧漏洩/透過テスト (空気圧)	周囲温度および極限温度ガス圧サイクルテスト (空気圧)の後に実施する(詳細は省略)
	残留保証圧力テスト (液圧)	貯蔵容器を180%NWP (+2/-0 MPa) まで加圧し、破裂なしに少なくとも4 分間保持する
火災中でのサービス停止システム性能	残留強度破裂テスト (液圧)	貯蔵容器に対して液圧破裂を行い、破裂圧力が基準初期破裂圧力で求める基準初期破裂圧力 (BPO) の少なくとも80%であることを確認する。
	水素貯蔵システムをNWP まで加圧し、火災に曝露する温度作動式の過圧防止安全装置が破裂なしに制御された形で内部のガスを放出するものとする。	
主閉鎖部に関する性能耐久性		(詳細は省略)

ISO19881/ISO19882の主な記載内容

ISO : ISO19881 (水素燃料貯蔵システム)

ISO : ISO19882 (TPRD)

設計条件

- 圧力
 - 公称作動圧力
 - 最大圧力
- 充填サイクルの最大数
- 温度範囲
 - 定常ガス温度
 - コンテナ温度
 - 過渡ガス温度
 - 試験温度
- ガス組成
- 外部表面

- 耐用年数
- 公称作動圧力
- 耐久性試験サイクル
- 温度範囲
- 設計要件
- 流量容量
- 故障モードと影響解析
- 圧力サイクル
- 加速寿命
- サーマルサイクル
- 暴露
- 落下・振動
- 漏れ
- 流量容量

材料

- 材料要件
- 金属容器
 - 材料特性
 - 衝撃試験
 - 引張試験
 - アルミニウム合金の持続荷重亀裂試験 (SLC)
 - アルミニウム合金の腐食試験
- 外部コーティングの対紫外線性
- 繊維
- 樹脂
- 壁面厚さ
- 応力解析
- 応力比

- 材料要件
- 耐応力腐食割れ
- 腐食

その他

- 製造
- 生産
- 品質保証

- 生産
- 検査



Share the Next Values!

