

経済産業省製造産業局産業機械課
次世代空モビリティ政策室 御中

令和2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（国際ルールインテリジェンスに関する調査 （空飛ぶクルマの標準化動向調査））

調査報告書

2021年3月31日

株式会社三菱総合研究所

目次

1. 「空飛ぶクルマ」の標準化における情報収集	P.05
1. 1 国際的な標準化動向の調査	P.06
1. 2 米国及び欧州における制度の調査	P.46
2. 他の産業等における標準化事例調査	P.51
3. 技術開発調査	P.95
3. 1 海外の技術開発調査	P.96
4. ルール形成戦略の策定	P.141
4. 1 システムアーキテクチャの検討	P.142
4. 2 ルール形成戦略の検討	P.194
5. 「空飛ぶクルマの標準化に関する連絡会議」の開催	P.199

背景と目的

<背景>

経済産業省は、国土交通省と合同で、日本における「空飛ぶクルマ」の実現に向けて、官民の関係者が一堂に会する「空の移動革命に向けた官民協議会」（以下「官民協議会」という。）を2018年8月29日に設立し、12月20日に開催した第4回官民協議会において「空の移動革命に向けたロードマップ」を取りまとめた。

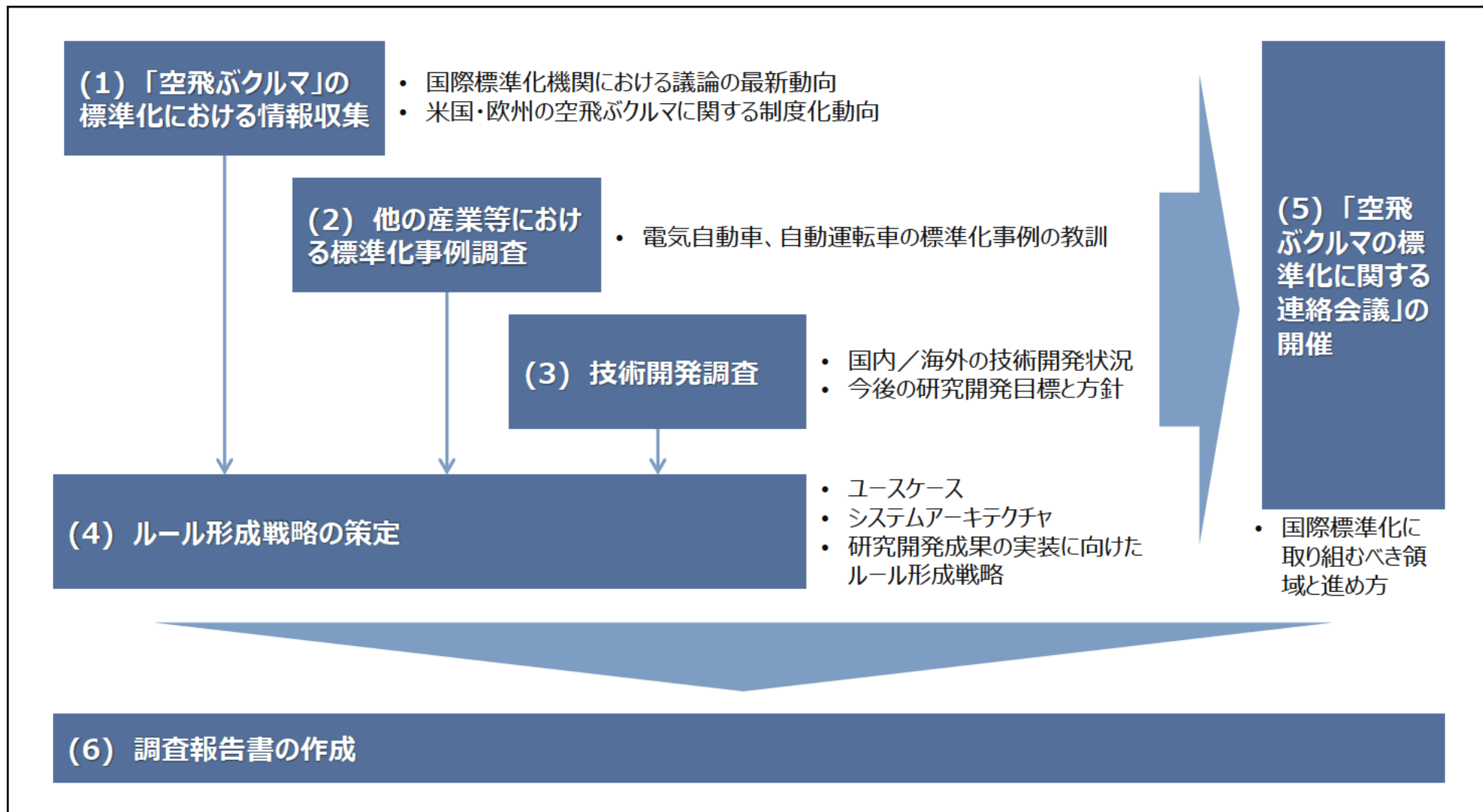
<事業目的>

「空飛ぶクルマ」の実現にあたっては、国内の制度整備の議論を進めていく必要があると同時に、国際的な制度整備の状況や国際標準化の動向を適切にとらえ、機体製造事業者や部品製造事業者等が技術開発を進めていく必要がある。

そのため、本事業を通して、「空飛ぶクルマ」に関わる国際標準化の動向を調査するとともに、関係事業者が国際標準化の動向や各社の取組状況について議論する「空飛ぶクルマの標準化に関する連絡会議」を開催し、国内事業者の技術開発における協調領域や標準化が可能な領域についての調査を行う。

実施概要

本業務の実施項目と全体のフロー、アウトプットを示す。

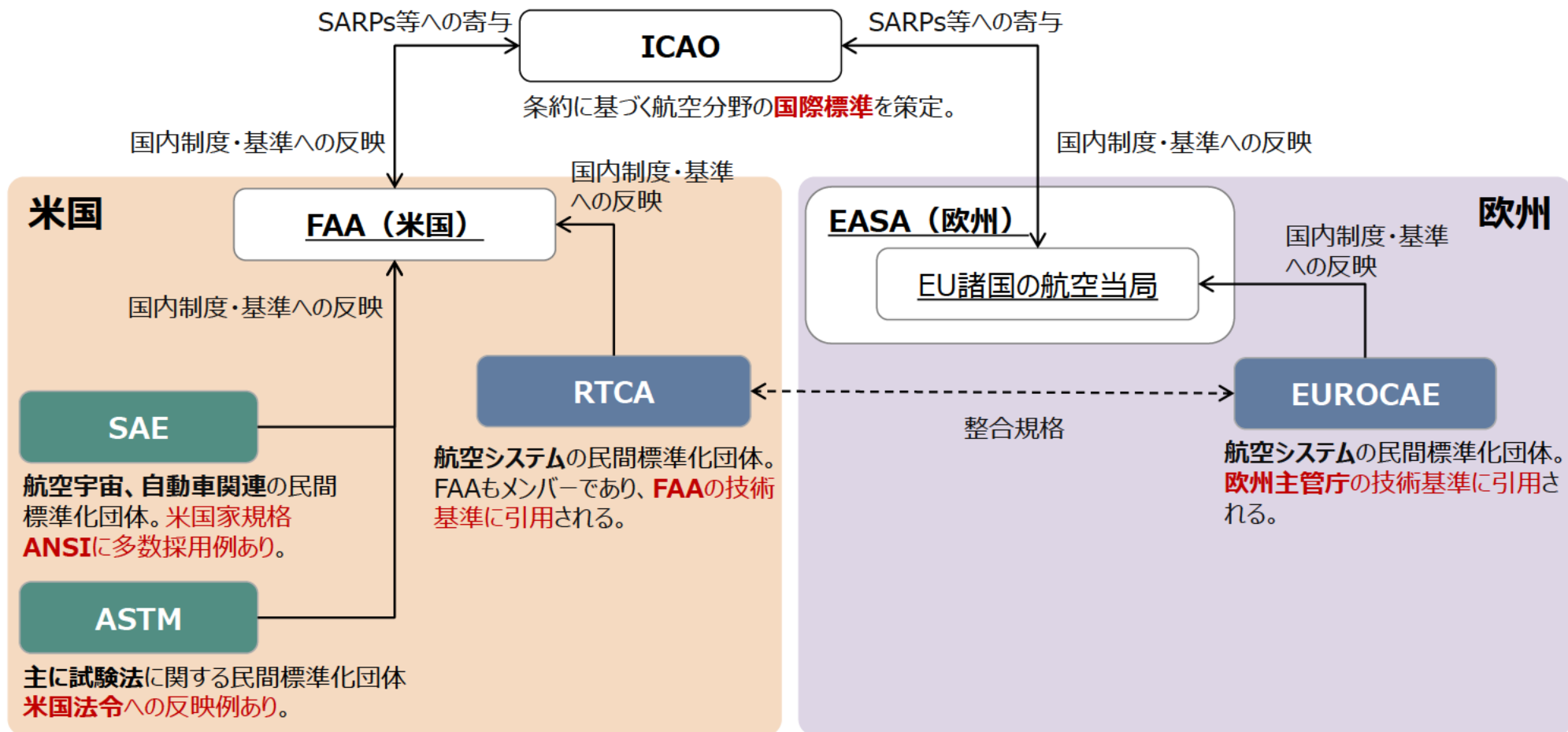


1. 「空飛ぶクルマ」の標準化における情報収集

1. 1 国際的な標準化動向の調査

国際的な標準化動向の調査の概要

- 空飛ぶクルマに関する国際標準化機関の議論の動向を調査した。
- 調査対象の標準化機関の位置づけ、米国・欧州の主管庁との関係を示す。eVTOL関連の議論が活発であるが、任意規格色の強い**SAE**、**ASTM**に加え、各国基準への反映がされやすい航空システムのグローバル標準である**RTCA**、**EUROCAE**の動向を調査した。



eVTOL関連の標準化機関 議論の概要

eVTOL関連の標準化機関・委員会は以下の通り。特にASTMとEUROCAEがeVTOLの議論を積極的に推進。

機関	Comt.	VTOL関連活動	各Committeeの参加メンバー
ASTM	F38/UAS	Vertiportの議論が始まったところ	FAA, CAA(NZ) , Airbus, Bell, Boeing, Ehang, GAMA, Joby, Kitty Hawk, Lilium, Volocopter, Garmin, Honeywell, Moog, Thales, Uber 等
	F39/Aircraft Systems	電動推進の規格を発行。追加検討が行われている	EASA, FAA , Airbus, Aurora, Kitty Hawk, Embraer, GAMA, Joby, Lilium, Volocopter, Garmin, Rolls-Royce, Safran, Thales, Uber等
	F44/ General Aviation	eVTOL全般の多岐にわたる規格を開発中	GAMA, NASA, Uber, Kitty Hawk, Terrafugia, PIPISTREL, CAMI 等
SAE	E-40/ Electrified Propulsion	電動航空機の安全性指針を準備中	FAA, EASA, TCCA , PW, Collins, Embraer, Boeing, Airbus, Triumph Aurora, GE, Safran, Rolls-Royce, UTC 等
	AE-7D/ Energy Storage	電池、BMS、充電に関する設計指針を検討中	EASA, FAA , Airbus, Boeing, Joby aviation, Lilium, Pipistrel, SAFRAN, Rolls-Royce, Volocopter 等
RTCA	SC-228/ UAS	UASの遠隔操縦の議論の延長でUAMが予定に入っている	FAA , Collins Aerospace, Boeing 等
EURO CAE	WG112/ VTOL	機体、安全、推進、インフラを網羅的に検討	EASA , Safran, Vertical aerospace, Thales 等
	WG113/ Hybrid Electric Propulsion	電動/ハイブリッド推進の検討が行われている	EASAと連携。それ以外は不明
ISO	TC20/SC16/ UAS	UASの運航の議論の延長でポート等が挙げられている	WG3はイギリスが部会長。ポートとpassenger carrying UASについてはイタリアから提案

*上記参加メンバーは委員会の参加メンバーをわかる範囲で記載しているものであり、eVTOL関連の個別のWork itemに積極的に関わっているとは限らない

出所) 公開情報をもとに三菱総合研究所作成

(1) ASTMの動向

ASTM サマリー

[ASTMの特徴]

- WGには国際的な民間航空当局*1の代表が含まれている。設計だけでなく、安全性や運用上の問題にも取り組んでいる。
*1 : FAA、GAMA、Transport Canada、SAE、Vertical Flight Society、RTCA、EASA、IATA、ICAO等
- **F38 (Unmanned Aircraft Systems)** , **F39 (Aircraft Systems)** , **F44 (General Aviation Aircraft)** 委員会の下で、eVTOLないし電動推進に係る規格が検討されている。

[最近の主な取組状況、予定]

- **F38.01/WK62668** : **検出および回避に関する性能要件基準**の改訂版 F3442M-20を発行した (WK62668を廃止)。2021年にWK74215として再編。
- **F38.01/WK69690** : **監視補足データサービスプロバイダー (Surveillance SDSP)** の関連で、無人交通管理のために2つのモデルを統合し、NASAの作業やリモートIDルールと調和させ、その後に参照表の作成を進める予定。
- **F38.02/WK59317** : **パーティポート設計規格**の投票が2021年1月17日に実施された (3/5にメ切)。ICAOからの入力を包含し、全米防火協会および国際ヘリコプター協会と調和するように文言を改訂予定。
- **F39.05/WK66523** : **コンプライアンスの手段としての液体冷却**に対応するためF3338-18を改訂した。発行は保留中。
- **F39.05/WK56255** : **電気推進エネルギー貯蔵システムの設計**は、基準を策定することから、技術の発展に伴って修正/更新が容易となる「実践(practice)」にシフトした。草案を検討中。
- **F44.40/WK68801** : **航空機用プロペラシステム設置の標準規格**は、F3065の改訂版であり、F3065M-21として発行される。発行は保留中。
- **F44.50/WK72754** : **小型航空機の計装に関する標準規格**は、2020年12月22日から投票プロセスに移行し、2021年第一四半期に投票が再開される予定。
- 2021年に予定されている新たなWGには、UASで使用する燃料電池の設計、大規模UASの設計と構築、監視UTM補足データサービスプロバイダーの性能、UASの耐久性と信頼性に関する遵守手段、および軽量UASの検証が含まれる。

eVTOL関連委員会と関連規格

2021年2月現在、**F38 (Unmanned Aircraft Systems)** , **F39 (Aircraft Systems)** , **F44 (General Aviation Aircraft)** 委員会の下で、eVTOLないし電動推進に係る**新規格 (赤文字)** や**既存規格の修正 (青文字)** が検討されている。

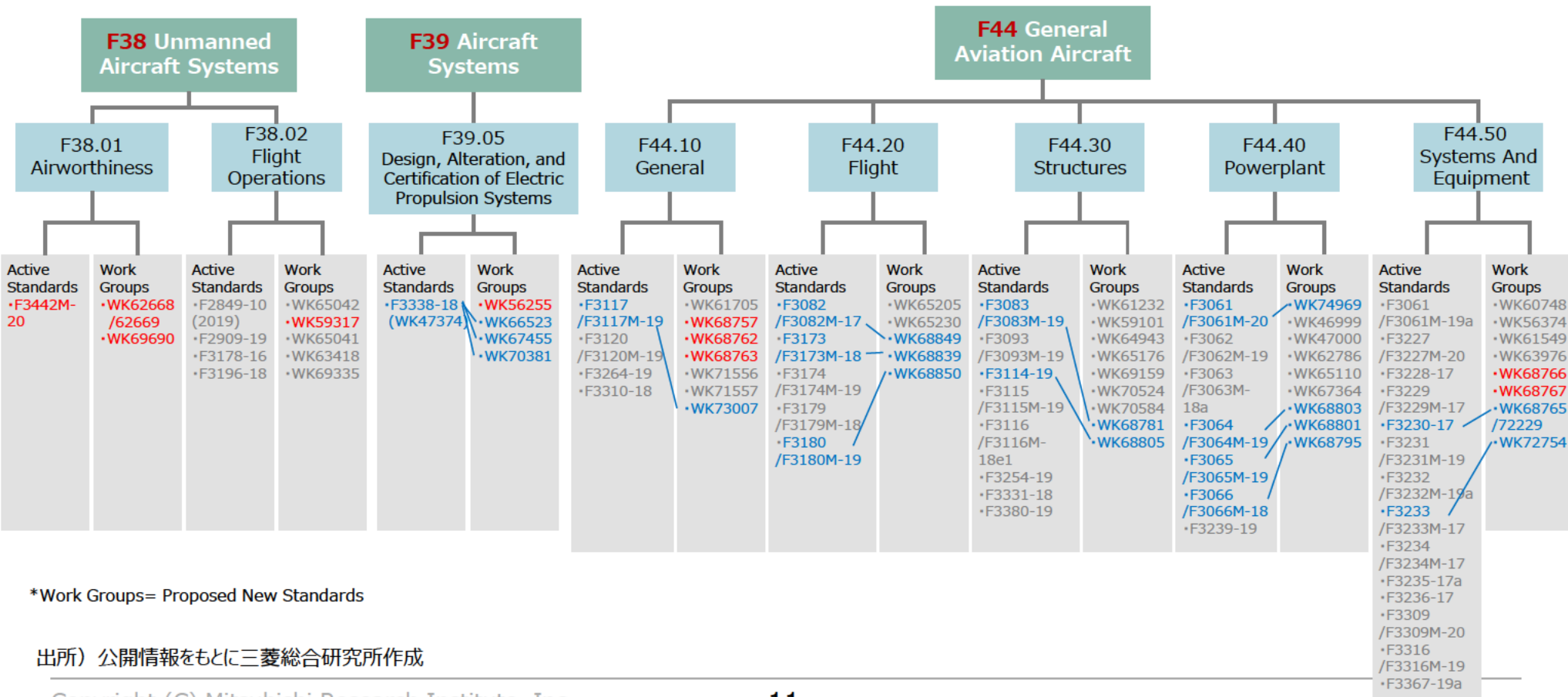
タスクフォース

AC377 Autonomy TG

F38、F39、F44の委員会メンバーからなる戦略的諮問委員会。

AC433 eVTOL means of compliance group

既存規格とeVTOL/UAMの間のギャップ分析から、それらのギャップを埋める方法を検討



*Work Groups= Proposed New Standards

出所) 公開情報をもとに三菱総合研究所作成

ASTM F38 (UAS) における審議項目

Com	No	Work Item (英)	項目名 (和)	スコープ、取組状況
F38.02	WK59317	New Specification for Vertiport Design	パーティポート設計の新規格	<p>[スコープ]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 小型の垂直離陸型 (VTOL)航空機への活用を意図した、パーティポートの企画、開発、設計、設立のため要求される規格。これら航空機には、7000lbs以下/乗客9名以下の標準的な航空機、任意の操縦航空機 (optionally piloted aircraft)、無人航空機等が含まれる。 ■ パーティポートはVTOLの操行サポートを通して商業的およびプライベートサービスを提供しうる。これには、乗客および貨物配送、フライト指示、航空事業 (aerial work)、航空機レンタル、充電、燃料取替、航空機の格納、メンテナンスサービス等が含まれる。 ※パーティポート：VTOLの離着陸に使用することを意図した陸地、水上、機構等 <p>[取組状況]</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 2021/1/17に投票用の基準案を発表、3/5に投票メ切。

<議論詳細>

■ 議論の経緯

- ✓ 本WIは2017年に開始。当初は規制当局、パイロット、空港/ヘリポート設計者で議論したが、近年は充電ステーションやマルチモーダル計画等、様々なバックグラウンドの関係者から意見が出された。
- ✓ 本WIの検討は、ICAO、SAE、FAA及びその他航空当局による検討との調和を目指している。なお、中国、シンガポール、ニュージーランド、日本からの参加者はいない。
- ✓ FAAからはヘリポート設計に関するアドバイザリ・サーキュラ (VTOL機や無人機の着陸区域は未考慮) が公表、今後数年の間はUAMやeVTOLに対応したVertiport基準が想定されない中、認証されたeVTOLの出現が予想される。本規格はこのギャップを埋める架け橋となる。
- ✓ 本WIでは、事故報告の分析により特定の機体の検証された性能データが公表されるまでは、リスクが高くより保守的な条件を要求する。ICAOの決定に整合するため、必要に応じて規格改訂を計画している。

■ 主な論点

- ✓ 寸法や性能が不明なeVTOL機に対する規格の検討は困難であったが、機体開発に合わせて幅広く設計、保守的なアプローチとなった。例えば、離着陸時のPoint in Spaceは、FAAやICAOの要求に比べて、TLOF/FATO上においてより垂直な領域が要求された。議論の途中、認証された性能データが無い中で、UAMの性能がヘリコプターと同等以上との表現があったが、EASAから安全上の懸念が示された。
- ✓ 騒音レベルが重要な検討課題とされた。アプローチ(Approach)、地表面 (Surface)、遷移時 (Transition) に関する一連のノイズ測定基準を確立した。これはヘリポートの設計にもとづいており、開発中のeVTOLの騒音レベルははるかに低いことが認識されている。
- ✓ Vertiport設計の分野における様々な利害関係者に対し、共通の前提条件 (eVTOLの運航方法等) を作成する点が最大の課題であった。

ASTM F39 (Aircraft Systems) における審議項目

Com	No	Work Item (英)	項目名 (和)	スコープ、取組状況
F39.05	F3338-19 (WK47374)	New Specification for Design and Manufacture of Electric Propulsion Units for General Aviation Aircraft (Aeroplanes)	民間機の電動推進ユニット (Electric Propulsion Units : EPU) の設計, 開発における新規格	<p>[スコープ]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ この規格はGAのEPU設計・開発における必須要求事項を網羅する。EPUは少なくとも電動モーター1つ、コントローラー、切断及び配線、EPUモニター、適用可能な場合はヒューマンマシンインターフェース(HMI)から構成される。機上或いは地上での充電装置、飛行中の電力供給デバイスを含む。 ■ このタスクグループの内容は F44.40 WK41136と統合する。 <p>[取組状況]</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 2018/12にF3338-18として発行。 □ 関連して、液体冷却の追加(WK66523)、規制内容の修正、改善提案の取り込み(WK67455)、一体型スラスター(WK70381)を含む一般航空航空機用の電気推進装置に関する設計のための最低要件の追加が検討された(下段参照)。
F39.05	WK66523	Revision of F3338 - 18 Standard Specification for Design of Electric Propulsion Units for General Aviation Aircraft	液体冷却のMoCの追加	<p>[スコープ]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 液体冷却のMoCの追加 <p>[取組状況]</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 適合証明の手段としての液体冷却に対応するためF3338-18を改訂した。 □ 本改訂は、液体冷却を包含するものであり、公表が保留されている。 □ 一方、EASAではモータとインバータを液体冷却するEPUの認証に関するアドバイザリーを発行した。EASAは、危険なEPU影響の割合が、超遠隔と定義される割合を超えないようにすることを提案している。さらに、EASAは、「水噴霧は、EPU動作範囲全体にわたっていかなる異常なEPU動作をも生じさせてはならない」といった修文を提案している。 □ ASTM F3338-18の第5.10章によると、ソフトウェア開発については、申請者はEUROCAE ED-12およびRTCA DO-178を使用したAMC 20-115 D-Airborne Software Development Assuranceを考慮すべきである。コンプライアンスに関する他の提案事項は、EASAに正当化され同意を得ることを提案している。
F39.05	WK67455	Revision of F3338 - 18 Standard Specification for Design of Electric Propulsion Units for General Aviation Aircraft	規制内容の抽出と提案された改善の組み込み	<p>[スコープ]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 規制内容の見直しと提案された改善の反映。 <p>[取組状況]</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 規格に関係のないいくつかの規制上の内容を削除し、明確にするための文言の改善案の反映作業を実施。

ASTM F39 (Aircraft Systems) における審議項目

Com	No	Work Item (英)	項目名 (和)	スコープ、取組状況
F39.05	WK70381	Revision of F3338 - 18 Standard Specification for Design of Electric Propulsion Units for General Aviation Aircraft	一体型スラスターを含む一般航空機（飛行機）の電気推進ユニット（EPU）の設計に関する最小要件の追加。	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 一体型スラスターを含む一般航空機（飛行機）の電気推進ユニット（EPU）の設計に関する最小要件の追加。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 本項目の作業は、一体型スラスターとプロペラに関するもの。推進器はエンジンに搭載されることを前提。 □ 本取組みは、電気エンジンの認証と並行して進行している。規制当局は、バードストライクに関する文言追加の必要性に疑問を呈しており、これにより完了前に投票が強制された。
F39.05	WK56255	Design of Electric Propulsion Energy Storage Systems for General Aviation Aircraft	民間機の電動推進エネルギー貯蓄システム（Energy Storage Systems : ESS)の設計	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 民間機のESS設計および開発における必須要求事項をこの規格は網羅する。この規格は、小型航空機にも適用される。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 活動が停止していたが、直近では、UberのRyan Naru氏がリーダーシップを引き継ぎ、本分野でUberElevateが行った調査から恩恵を受けられる見込み。 □ 短期的な発表は期待できないが、バッテリーメーカーまたは機体メーカーのいずれかが認証を申請し、そのプロセスを通して定義されていく可能性が高い。 □ RTCA-311に準拠するための代替手段として検討が開始された。特定システムの属性は独特であり、311がカバーする範囲を超えている。その後、「基準」の策定から、技術の発展に伴って修正/更新が容易となる「実践(practice)」にシフトするために、諮問回覧と同様の「実践」または「ガイダンス」文書が必要であると判断した。本分野には重要な革新があり、継続的なフォローが必要である。

ASTM F44 (General Aviation Aircraft) における審議項目

Com	No	Work Item (英)	項目名 (和)	スコープ、取組状況
F44.10	WK68762	New Practice for Maintenance and Development of Maintenance Manuals and Training Materials for eVTOL Aircraft	eVTOLのメンテマニュアル・トレーニング資料の作成に向けた新たな試み	<p>[スコープ]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 電動・eVTOL航空機特有のメンテプログラム、補足資料およびトレーニングプログラムを作成するにあたり、重要となる検討事項を挙げる。ASTM AC433により、この規格はeVTOLのコンプライアンスギャップ分析手法に基づくべき。 <p>[取組状況]</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 草案を策定中（優先度低）
F44.10	WK68763	New Test Method for Acoustic Evaluation of eVTOL Aircraft	eVTOLの新しい音響測定メソッド	<p>[スコープ]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 航空機が発する音響および周囲への影響を評価するため、様々なeVTOLに適用可能な信頼性ある、これはeVTOLのためのMoCギャップ分析の一部とされる。上記は地域の意思決定基準を作成する必要がある。 ■ 現行研究、および既存のヘリコプター、航空機、ティルトローターのノイズ評価・測定技術を活用する。 <p>[取組状況]</p> <ul style="list-style-type: none"> □ eVTOLコミュニティにサービスを提供するために設立されたTest Councilに基づくテストに関する議論を行った。そして、電気飛行試験手順、飛行特性およびシミュレータ検証に関するコア要求事項を特定した。 □ 一方で、バッテリーの取り扱い/保管、バッテリー落下テスト、バッテリー状態の保証、ミッション管理試験プロトコルおよび「シェイクダウン」に対する試験への相当な関心がみられる。 □ 試験のギャップ分析を継続予定。
F44.10	WK68757	New Specification for Protection from Inadvertent Icing for General Aviation Aircraft	民間機への偶発的な着氷を防ぐための新規格	<p>[スコープ]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 都市部の航空移動等で利用されることを想定したF3120では現状網羅されていない、着氷防止及び保護のための検討事項。 <p>[取組状況]</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 当面、開発中の航空機は着氷が懸念されるような状況で飛行することはないため、優先度の高いWork Itemとはなっていない。 □ 重要でないというわけではないが、バッテリーなどは優先順位が異なる。

ASTM F44 (General Aviation Aircraft) における審議項目

Com	No	Work Item (英)	項目名 (和)	スコープ、取組状況
F44.10	WK73007	Revision of F3117 / F3117M - 19 Standard Specification for Crew Interface in Aircraft	航空機の乗務員インターフェースの標準規格	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 規則を遵守する手段としての基準の連結性についての認識を高め、当局及び産業界がより容易に基準を使用できるようにするため、基準の付属書に相互参照を追加することを提案している。 ■ 付属書は、包括的な相互参照表にまとめられ、ASTM及びGAMAのウェブサイト上で公開され、本基準の各項目と現行のCS/Part 23規則とを結びつける。これを標準に反映することは、この接続性を標準に公開することで、規則から標準へのすべての接続が同じであることを保証するだけでなく、提案された接続の検証も提供する。スコープステートメントは、各規格のドキュメント概要ページに公開されている。したがって、この情報は、GoogleやASTMウェブサイトのようなインターネット検索機能で発見可能となり、業界が特定の規則に適用される基準を見つけやすくなる。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 本規格は投票から取り下げられた。現在は、フライトコントロール、アラートへの対応、データの入出力に関するインターフェースに焦点を当てている。
F44.20	WK68850	Revision of F3180 / F3180M - 19 Standard Specification for Low-Speed Flight Characteristics of Aircraft	F3180 / F3180Mの改訂 - 航空機の低速特性に関する19標準規格	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ eVTOLは、この規格内で対処すべき特有の低速航空特性 (low speed flight characteristics)を持つ。ギャップはAC433と調整される。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 草案を策定中。
F44.20	WK68839	Revision of F3173 / F3173M - 18 Standard Specification for Aircraft Handling Characteristics	F3173Mの改訂-航空機ハンドリング特性に関する18標準規格	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ NASA Grand Challengeやその他のeVTOL研究からの教訓を組み込む。 ■ 垂直離陸からwingborneへの移行、拡張wingborne機、地面付近 (near-to-ground) の検討。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 保留中。NASAグランドチャレンジから得られた知見を活用して、地上に近い場所での運用に特化していく。
F44.20	WK68849	Revision of F3082 / F3082M - 17 Standard Specification for Weights and Centers of Gravity of Aircraft	F3082 / F3082Mの改訂 - 航空機の重量及び重力に関する17標準規格	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Operational reserveに関する要求事項は設計要求事項に含まれている。その他の操行要求事項を検討するため、改訂が必要となった。この規格の再検討に際し、eVTOLとeAircraftのギャップについても検討される。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 草案を策定中 (初期の機体設計が開発継続中のため)。

ASTM F44 (General Aviation Aircraft) における審議項目

Com	No	Work Item (英)	項目名 (和)	スコープ、取組状況
F44.30	WK68781	Revision of F3083 / F3083M - 18 Standard Specification for Emergency Conditions, Occupant Safety and Accommodations	F3083 / F3083Mの改訂-非常事態,乗客の安全確保及び座席に関する18標準規格	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ この規格はeVTOLに適合するよう見直される。また追加の载荷検討や要求事項も適宜検討する。AC433eVTOL Mocギャップ分析の推奨事項に基づく。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 草案を策定中（機体設計の発展を待つ必要があるという状況）。
F44.30	WK68805	Revision of F3114 - 15 Standard Specification for Structures	F3114の改訂-構造に関する15標準規格	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 都市空間にて操行予定のeVTOLについて、バードストライクに関する要求事項を再評価すべき。FAA Part27のロータークラフト要求事項が参照ポイントとして役立つだろう。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 更なる設計の詳細が利用可能になるまで延期（優先度低）。

ASTM F44 (General Aviation Aircraft) における審議項目

- F44.40全般としては、作業に関する5年間のロードマップを確立することについて議論された。2021年の課題には、FADEC、分散推進、およびeVTOL標準の完成が含まれる。委員会全体がSAILリストを調べて次の問題を特定するように求められる（小型飛行機の問題リスト）。
- 混乱を避けるために、リスト改訂に関する相互参照について、FAAとEASAがより適切に調整するよう委員会に要請があった。
- 同委員会は、eVTOL飛行試験評議会と連絡を取り、飛行試験中に発生するギャップを表す問題を把握している。

Com	No	Work Item (英)	項目名 (和)	スコープ、取組状況
F44.40	WK68803	Revision of F3064 / F3064M - 18a Standard Specification for Aircraft Powerplant Control, Operation, and Indication	F3064 / F3064Mの改訂-航空機の発電装置制御,操作および指示に関する18標準規格	【スコープ】 ■ eVTOL含むeAircraftへの適用性について見直すべき。また、分散推進 (distributed propulsion)状態についても検討が必要。 【取組状況】 <input type="checkbox"/> 現在更新されていない。
F44.40	WK68801	Revision of F3065 / F3065M - 18 Standard Specification for Aircraft Propeller System Installation	F3065 / F3065Mの改訂-航空機のプロペラシステム設置における18標準規格	【スコープ】 ■ eVTOLの回転式エネルギー容量 (rotational energy content) における違いを再検討する。 【取組状況】 <input type="checkbox"/> 以前の標準の回転式エネルギー容量(rotational energy content)が解決。 <input type="checkbox"/> 投票はF3065/F3065M-2021として承認され、公開を保留中。
F44.40	WK68795	Revision of F3066 / F3066M - 18 Standard Specification for Aircraft Powerplant Installation Hazard Mitigation	F3066 / F3066Mの改訂-航空機の発電装置設置 危険回避に関する18標準規格	【スコープ】 ■ eVTOLとその他eAircraftのギャップ分析に基づき、追加で危険緩和に関する要求事項を検討すべき。これには、水浸、ローター破壊に関する検討が含まれる（これらに限定されない）。 【取組状況】 <input type="checkbox"/> 2020年12月の会合は2021年まで延期。追加措置は取られていない。

ASTM F44 (General Aviation Aircraft) における審議項目

Com	No	Work Item (英)	項目名 (和)	スコープ、取組状況
F44.40	WK74969	<i>Revision of Specification for Systems and Equipment in Small Aircraft Design (F3061/F3061M-20)</i>	F3061/F3061M-20の改訂- 小型航空機の設計におけるシステムと機器に関する規格	<p>【スコープ】 (WK74969の説明なし)</p> <p>【取組状況】</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 改訂版は2週間以内に回覧され、2021年4月に投票予定。</p>

<議論詳細>

- 2月10日の会合の焦点は、安全でないシステム動作条件 (USOC) と障害条件に関する正確な表現にあった。
- 本WGは、これらが同一であることを提案している。いずれの場合も、乗組員の行動によって検出および適切に対応されない場合、1つ以上の重篤な損傷を引き起こす、もしくは、その要因となる。これらは2つの別々の問題であり、解決が必要であると提案された。
- 本WGはまた、システムが正常に機能していないことをシステムが「annunciates(通知)」した場合、人的要因が引き継がれ、フォールトツリーが作成され、訓練マニュアルの作成方法が示されるという点でも意見が一致した。
- 本WGはまた、USOCではない危険/致命的な障害状態を最終決定した。
- 改訂版は2週間以内に回覧され、4月に投票される予定である。

ASTM F44 (General Aviation Aircraft) における審議項目

Com	No	Work Item (英)	項目名 (和)	スコープ、取組状況
F44.50	WK68765	Revision of F3230 - 17 Standard Practice for Safety Assessment of Systems and Equipment in Small Aircraft	F3230の改訂 - 小型航空機における安全評価及び機器に関する17標準規格	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ eVTOLの法令適合の手段として、改訂すべき範囲をASTM AC433は規定する。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 作業継続中であり、具体的な優先順位はまだ決まっていない。 □ EASAとTCCAは、F3230表2への変更に反対票を投じた。具体的には、これは特定の障害の起こりうる結果の説明を提供する注記1を扱っており、必ずしも障害を分類するための絶対的な基準ではない。 □ EASAとTCCAが反対した2例が提示された。削除が提案されたフレーズは、自律システムが影響を軽減できたとしても、航空機の装備に関係なく、乗組員の無能力化を引き起こす可能性が非常に低いことを示す必要がある。今回の投票では、これまで機体だけを扱っていたという表現が削除された。
F44.50	WK68767	New Specification for Simplified Vehicle Operations (SVO) in General Aviation Aircraft	民間機における簡易車両操作に関する新規格	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ GAMAとASTM AC433委員会は、simplified vehicle operationsを利用するeVTOLと航空機に関して、法令順守のための検討が必要と考えている。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 作業継続中で、2021年の優先事項に移行予定。
F44.50	WK68766	New Specification for Sensor Fusion in General Aviation Aircraft	民間機に関するセンサー融合 (Sensor fusion)の新規格	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 都市空間で操行予定のeVTOL含む民間機におけるセンサー融合 (sensor fusion)活用について、システムや部品の設計、統合検討を行う。ASTMAC433により、eVTOLやその他潜在的な自動航空機は法令順守のためこれら検討が必要と指摘された。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 作業継続中 (優先度低)。

ASTM F44 (General Aviation Aircraft) における審議項目

Com	No	Work Item (英)	項目名 (和)	スコープ、取組状況
F44.50	WK72754	Proposed Revision to F3233/ Standard Specification for Instrumentation in Small Aircraft	F3233の改訂案 - 小型航空機の計装に関する標準規格	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 適用性マトリックスを修正するためのVLA言語の組み込みの更新。F44スタイルガイドに合わせて定型言語に更新。Shall vs. mustのASTMガイドラインに合わせるため、文法を更新。 <p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 2020年12月22日から投票プロセスに移行し、2021年第一四半期に投票が再開。

<議論詳細>

- 投票により、規格の名称が航空機の飛行および航法計器に変更された。
- 次の文章が追記された。
 - 「本資料は、ゼネアビの国際的な専門家のオープンな合意のもとに作成された。本情報は、レベル1、2、3、および4の標準カテゴリの航空機に焦点を当てて作成された。ただし、内容はより広範に適用可能であり、過度に制限すべきではない。本資料では対気速度、高度、姿勢、方位、自由気温、速度警告などの飛行計器および航法計器について記述している。」
- 本変更により、感度の高いアルタイマー（気圧の関数としての高度、典型的には調節可能な気圧計による）の定義も提供された。「sensitive（感度の高い）」という単語は、全範囲にわたる高度変化を指す。
- 第3姿勢計器は、発電システムとは独立した電源から電力を供給（対必須）されるものとし、発電システム全体の故障後も最低30分間信頼できる動作を継続するものとされた。
- 委員会で承認され、2020年12月22日から本投票プロセスに移行したが、否定的なコメントが寄せられたため、2021年の第1四半期に投票が再開された。

ASTM Task Forceの活動

Com	No	スコープ、取組状況
task force	AC377 Autonomy TG	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 無人航空機システム（F38）、航空機システム（F39）、および一般航空機（F44）に関する委員会のメンバーからなる戦略的諮問委員会で、sUAS、GA、UAMまでの航空機の自律性を調べることが任務。2019年6月に、自律システムの認証要件を決定するための用語とフレームワークをカバーする技術レポートを発表した。レポートには、ASTM、GAMA、SAE、FAAなどの関連規格情報が含まれる。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 2020年7月に技術報告書「Developmental Pillars of Increased Autonomy for Aircraft Systems（航空機システムの自律性向上の開発の柱）」を発表。その目的は、有人機及び無人機の安全性、精度及び利用可能性を高めることを意図し、航空機の自律性を高めるための技術的な最良の慣行を健全に適用することである。 □ 報告書の作成を主導したTulsa大学（オクラホマ州）の技術教授、Loyd Hook博士は、本報告書で、航空および航空システム設計者が使用しているシステムアーキテクチャ、動的機能、および開発プロセスの分野における堅牢な原則について説明している。
task force	AC433 eVTOL means of compliance group	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ AC377のメンバーによって行われた既存規格とeVTOL/UAMの間のギャップ分析から、それらのギャップを埋める方法を検討する。 ■ 委員会は新しい標準の技術コンテンツを作成しない。新しいコンテンツを必要とする分野を特定することで、各分野の適切な技術標準作成委員会の連携を促す。また、委員会は一種のプロジェクトマネージャーとしても機能し、20を超えるアクティブなeVTOL関連の作業項目を追跡する。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ すべてのeVTOL関連作業項目を追跡し、追加基準の必要性を特定し、その必要性をASTM内の適切な作業部会/委員会と調整。

ASTM F44 参加メンバー

ASTM F44は2019年4月にeVTOLに関するワークショップを開催。GAMA, Uber, Kitty Hawk, Terrafugia, NASAが講演しており、その後のASTMにおけるeVTOL関連の活動にはこれらの企業・機関が関わっていると考えられる。

eVTOL International Standards Workshopのプログラム (April.2019, Belgium)

プログラム	講演者
OPENING WELCOME AND OPENING REMARKS	Kyle Martin, GAMA
SESSION I REGULATORY FRAMEWORK AND MARKET REVIEW (Session will discuss standardization efforts underway. These areas are gaining consensus with the goal of beginning standards work in the near future. Some needs and gaps under consideration will be highlighted.)	
Implementing Basic Regulation for GA - Part 21 Light - Part M Light	Boudewijn Deuss, EASA
SESSION II VERTICAL TAKE OFF AND LANDING: MARKET OVERVIEW (Session presentations will cover an overview of the market, changes in technology, regulatory considerations and its impact on the transportation infrastructure globally.)	
Market Overview: Innovations and Considerations	Christine DeJong, GAMA
EASA SC VTOL	Kyle Martin, GAMA EU
Operational Capabilities and Considerations	Ryan Naru, Uber
SESSION III MEANS OF COMPLIANCE: GAPS & PRIORITIES (Session will discuss standardization efforts underway. These areas are gaining consensus with the goal of beginning standards work in the near future. Some needs and gaps under consideration will be highlighted.)	
Energy Storage Devices	Tom Gunnarson, Kitty Hawk
Integration of Energy Storage Systems	Tom Gunnarson, Kitty Hawk
Inadvertent Icing Protection	Greg Bowles, GAMA
Crashworthiness	Nick Borer, NASA
UAM/eVTOL Emergency Systems Certification Credit	Ryan Naru, Uber
Design of Indirect Flight Controls (WK61549)	Dave Stevens, Terrafugia
CLOSING REMARKS	Greg Bowles, F44 Chairman

出所) <https://www.astm.org/MEETINGS/SYMPOSIAPROGRAMS/F44ID3890.pdf> (閲覧日: 2021年3月1日)

https://www.astm.org/COMMIT/F44%20ASTM%20eVTOL%20Workshop%20Presentations_April2019.pdf (閲覧日: 2021年3月1日)

ASTM 参加メンバー GAMAについて

- GAMA (General Aviation Manufacturers Association) は、ASTMにおけるeVTOL関連規格の策定に積極的に関わっている組織の一つである。
- GAMAの委員会の一つにElectric Propulsion & Innovation Committee (**EPIC**)があり、この下にeVTOL Subcommitteeがある。



ASTM 参加メンバー GAMAのEPICのサブ委員会

EPIC傘下のサブ委員会の概要は以下の通り。

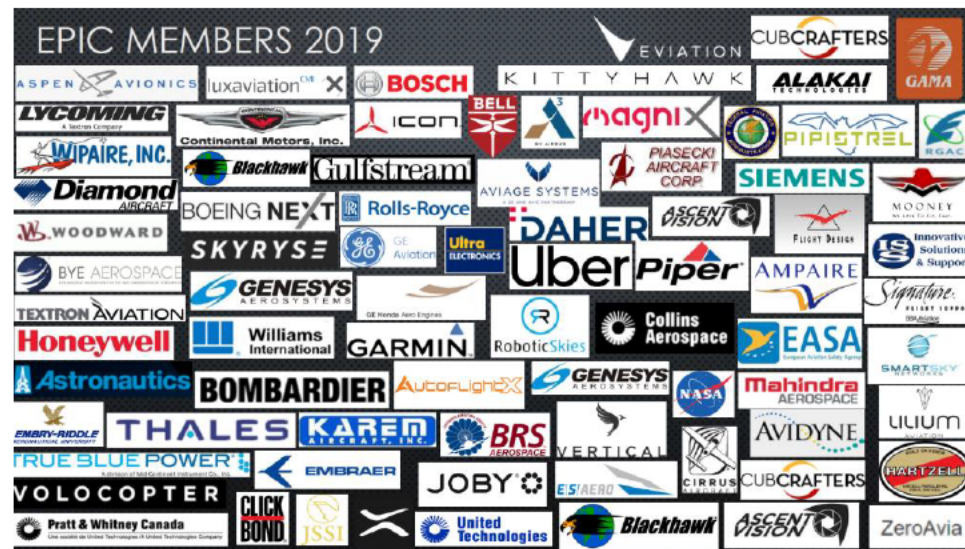
SUBCOMMITTEE	CHARTER	Key Focus Areas
Electric and Hybrid Propulsion Subcommittee	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 電化促進の枠組み ✓ ハイブリッド及び完全電気推進システムを含む ✓ 設計認証ポリシーと規定 ✓ オペレーショナル・リスク、ポリシー、規制 	<ul style="list-style-type: none"> -power train -motor -battery -fuel cell
Simplified Vehicle Operation Subcommittee	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 設計および運用要件の進化をサポート ✓ 汎用機の自動化拡大 ✓ 簡素化された機体運用システム及び機器のための設計の機能及び運用目的 ✓ 運用要件とライセンス要件 ✓ 空中都市移動/オンデマンド空中移動の成功を促進する問題 	<ul style="list-style-type: none"> -Pilots functions -Increased automation -Pilot training/Licensing framework
eVTOL Subcommittee	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 設計認証、製造、運航、許可、訓練、空域及び継続的耐空性 ✓ 重要な安全問題に関する協力 ✓ 設計認証ポリシーと規定 ✓ オペレーショナル・リスク、政策、規制 ✓ eVTOLミッションの適応を必要とするかもしれない社会的・地球的变化 	<ul style="list-style-type: none"> -Vehicle certification -Operational considerations -Public perception
Infrastructure Subcommittee	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 電子航空機のオフエアポート支援ニーズに対応する ✓ 既存の地上インフラストラクチャにおけるギャップとオポチュニティを特定 ✓ 業務を効率的に実施するために調整することができる政策、規制又は立法 	<ul style="list-style-type: none"> -Aircraft servicing, charging, fueling -Ground crew & maintenance personnel -Vertiport design & safety -Passenger & crew safety
Data Communications Ad-Hoc Committee	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2019年4月設立 ✓ データ通信のニーズと機会に対応 ✓ パブリック、プライベート、および不可知論的なリンクソリューションを検討 	<ul style="list-style-type: none"> •Data needs •V2V •V4C2 •V2FOC •V2CLOUD •VINV •V2ANSP
Flight Licensing & Certification Ad-Hoc Committee	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 最新の委員会 ✓ eVTOLのパイロットライセンスによる短期的なフレームワークの開発 ✓ Simplified Vehicle Operation Subcommitteeと並行して作業 ✓ EUと米国から開始 	-

出所) ヒアリングにもとづき作成

ASTM 参加メンバー GAMAのEPICのメンバー

- GAMAのEPICは2015年に設置された。
- 2015年の設立当時から、eVTOLのOEMではJoby aviation, Pipistrel, Airbus, Bellが参加している。2019年までにLilium, Volocopter, Kitty Hawk, Uber, Boeing Nextなどの機体メーカー、プラットフォームやGarmin, Thales, Honeywellなどの装備品メーカーも加わり、2019年には80機関がEPICメンバーとなっている。
- GAMAのメンバーには、GAMA正会員、GAMA準会員、EPIC準会員の分類がある。

GAMAのEPICのメンバー



出所) EASA EUROCAE VTOL workshop

(2) SAEの動向

SAE サマリー

[SAEの特徴]

- SAEは、基本的に電気航空機のエレクトロニクスおよびエンジニアリング設計に重点を置いている。
- eVTOLに特化した委員会はないが、関連する委員会として**E-40電動推進**と**AE-7D蓄電・充電**があげられる。

[最近の主な取組状況、予定]

- **E40/ARP8677**：電動航空機の安全性検討で、既存のシステム安全性評価手法が電動航空機に適合することが判明。
- **AE-7D/AIR6897**：航空宇宙用途の再充電可能なリチウムバッテリーのバッテリーマネジメントシステムが発行され、型式証明の一部として"インストール済みの"バッテリーに適用。
- **AE-7D/AIR6127**：AIR6127は、航空宇宙電気システムにおける高電圧の管理として発行されており、本分野の他のすべての作業のための入門書と見なされる。
- **AE-7D/AS6968**：2021年に入ると、AE7Dのリーダーたちは、より小型の標準カテゴリーの航空機用の共通の充電インターフェースと、コンピューターおよび輸送カテゴリーの航空機の充電をするための別の基準を期待していることを示した。電動航空機のための伝導性充電接続セット**AS6968**、および航空機用超高速充電**AIR7357**である。
- **AE-7D/AIR7357**：中型航空機(150~200kWh)の超高速充電に必要な電力レベルに対応し、コンピューターのコンセプトを進化させている。他のAE-7D作業、SAE E-40およびAE-8委員会を参照する。4月末までに草案を策定し、年末までに最終案を承認する予定。
- 2021年には、特に以下の取組が予定されている。

AE-7（航空宇宙電力および設備委員会）、AE-8（航空電子配電システム委員会）、AE-9（電気材料委員会）、S-18（UAS自律WG）、G-34/EUROCAEWG-114（航空における人工知能）、G-31（航空宇宙向け電子取引）、G-32（サイバー物理システムセキュリティ）。

SAEの組織図とeVTOL関連サブ委員会

eVTOLに特化した委員会はないが、関連する委員会として**E-40電動推進**と**AE-7D蓄電・充電**があげられる。



SAE Aerospace Council Organization Chart

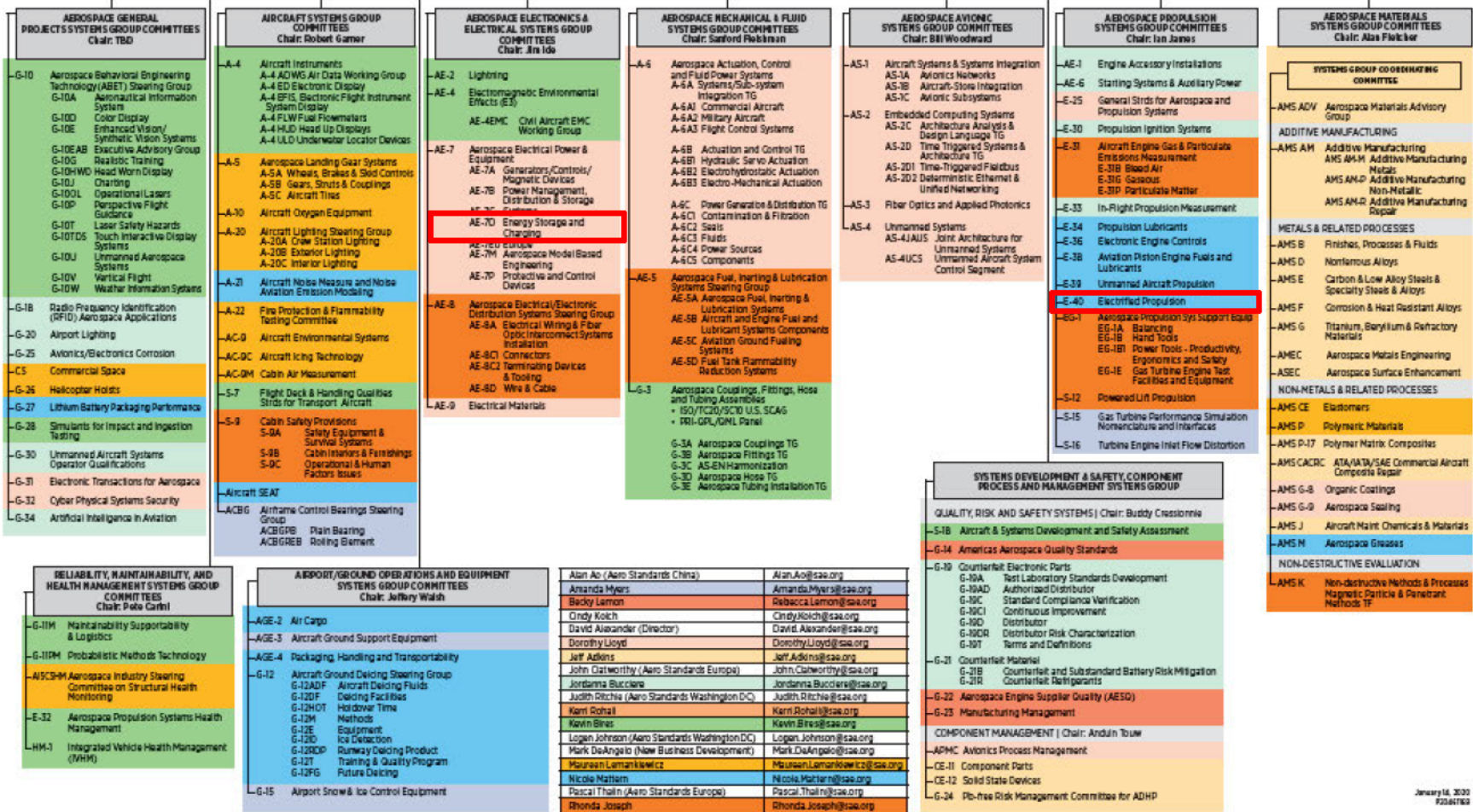
sae.org/standards

Americas
400 Commonwealth Drive
Warrendale, PA 15096 USA
+1.873.605.7323
+1.724.776.4970
CustomerService@sae.org

Europe
1 York Street
London, W1U 6PA, UK
+44 (0) 20.70341250

Asia
Room 2503, Likong Plaza,
No. 1350 North Sichuan Road
Hongkou District,
Shanghai, 200080, P.R. China
+86.21.6140.8900

AEROSPACE COUNCIL David Alexander +44 (0) 208 201 5251 Kent Rohal +1.24.772.7161	ELECTRIC AIRCRAFT STEERING GROUP Mark DeAngelo +1.724.800.0665 Pascal Thalln +33 (0) 6.8.500.25.36	DIGITAL & DATA STEERING GROUP Logan Johnson +1.724.27.20495	INTEGRATED VEHICLE HEALTH MANAGEMENT (IVHM) STEERING GROUP Logan Johnson +1.724.2720495
---	---	---	---



January 16, 2020
FD241762

SAE E-40 (Electrified Propulsion) における審議項目

Com	No	Work Item (英)	項目名 (和)	スコープ、取組状況
E40	AIR8678	Architecture Examples for Electrified Propulsion Aircraft	電動航空機的设计例	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ この文書は電動推進に関して機構を分類し、例を示す。また、以下を定義することによって機構要素に対する共通の定義を開発する。 <ol style="list-style-type: none"> 1) 電動推進機構の構成要素。個々の電力発生・配電システム、エネルギー貯蓄機構を含む。 2) 電動推進システムとの相互のインターフェース。 3) 電動推進システム内のインターフェース。 4) 電動推進システムのエネルギー管理及び貯蓄機構。これら機構および要素を網羅する一方、この文書は SAE E-40 委員会の将来的作業の参照ポイントとなる。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 次回会合は、Webexにより2021年3月30日から4月1日にて予定。 □ 現在進行中の作業または文書はない。追加のアクティビティもない。 □ 一方で、米国の国立アカデミーは、枠組みを確立するためのアーキテクチャのタイプを特定して、研究の概要を提供した。これには、全電気、ハイブリッド電気、パラレルハイブリッド、シリーズハイブリッド、シリーズ/パラレル部分ハイブリッド、フルターボ電気、および部分ターボ電気が含まれる。
E40	ARP8676	Nomenclature & Definitions for Electrified Propulsion Aircraft	電動航空機の学名及び定義	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 電動航空機の関連用語リストと説明要約を作成する。これら用語や説明書により、完全な説明、設計図、その他詳細な説明が提供されるわけではない。そうした詳細な説明は別の文書にて対応予定。 ■ 理論的根拠は、共通の解釈に達するために、電気推進航空機を記述する新しい領域、新しい技術、および新しいアーキテクチャに関する共通言語を確立することである。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 作業進行中、目的は本課題がAIR8678の一部であると明示されることである。

SAE E-40 (Electrified Propulsion) における審議項目

Com	No	Work Item (英)	項目名 (和)	スコープ、取組状況
E40	ARP8677	Safety Considerations for Electrified Propulsion Aircraft	電動航空機の安全性検討	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 範囲：このSAE航空宇宙勧告規定(ARP)は、電気推進航空機の安全評価を行う際に考慮すべき特殊性を論じている。その主な焦点は以下の通りである。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 電気推進構成要素の故障モード ✓ 電気推進構成要素の故障率を評価する方法 ✓ 故障が例示的な電気推進システム及び航空機構造に及ぼす影響 ✓ 特定のリスク ✓ 共通の原因及び電気推進に特有の地域的な考慮事項 <p>この文書の指針は、システム及び航空機の安全評価活動のための入力を生成するために使用することができる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 理論的根拠：既存のシステム安全性評価方法論は、電気化推進航空機の安全性を評価するのに適切であると考えられるが、そのような方法論の適切な展開は、電気化によって導入された新規性の理解を必要とする。さらに、ガスタービン及びピストンエンジン航空機推進のために典型的に配備される安全実証方法のいくつかは、電気推進には適切でないかもしれない。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 既存のシステム安全性評価方法論が、電気推進航空機に適合することが判明した。しかし、この方法論を適用するには、電気推進対ガスタービン及びピストンエンジン推進に存在する「ノベルティズ (novelties)」の知識が必要である。これは、安全性実証プロトコルを取り巻く追加作業の必要性を示しているかもしれない。

SAE AE-7D (Aircraft Energy Storage and Charging) における審議項目

AE-7D全般としては、2021年1月の会合では、アルゴンヌ国立研究所のTed Bohn氏がEV充電に関する3段階の試験計画を発表した。これは2月9日の会合で再び提起される見込み。

Com	No	Work Item (英)	項目名 (和)	スコープ、取組状況
AE-7D	AIR6127	ARP for Design and Test of High Voltage Power Electronic Systems	高電圧パワーエレクトロニクスシステムの設計及び試験のためのARP	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 航空宇宙電気システムにおけるより高電圧の管理のための基準である。本分野の他のすべての作業の入門書と見なされる。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ AIR6127は、航空宇宙電気システムにおける高電圧の管理として発行されており、本分野の他のすべての作業のための入門書と見なされる。 □ SAE航空宇宙情報報告書 (AIR) は、航空宇宙用途に使用される高電圧電気システムの適切な設計ガイダンスの問題を検討している。部分放電を含む放電機構に焦点を当てており、人員の安全には触れていない。航空宇宙分野で高電圧を使用する場合の主な懸念事項は、電力変換装置、電気機械、コネクタ、およびケーブル/配線である。構成要素とサブシステム間の相互作用について議論する。
AE-7D	AIR6198	Design Considerations for Aerospace Electric Power Systems	航空宇宙電力システムの設計上の考慮事項	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ AIR6198は、現在の基準では扱われていない、より多くの電気航空機 (MEA) への影響を提示している。本作業は軍事および民間への適用を目的としており、表面化した問題によって推進され、既存の基準または慣行の更新が必要となる。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 更新は草案段階である。
AE-7D	AIR6343	Design and Development of Rechargeable Aerospace Lithium Battery Systems	再充電可能な航空リチウムバッテリーシステムの設計開発	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ このAIRは、走行中の航空機上で利用できる航空リチウムバッテリーシステムの設計開発において考慮すべき基本的な指標及び方法を提供することを目的とする。この指標は"インストール済みの"機器に適用される。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 本基準は発行された。

SAE AE-7D (Aircraft Energy Storage and Charging) における審議項目

Com	No	Work Item (英)	項目名 (和)	スコープ、取組状況
AE-7D	AIR6897	Battery Management Systems for Rechargeable Lithium Batteries used in Aerospace Applications, David Vutektakis	航空機で利用する再充電可能なりチウムバッテリーのバッテリーマネージメントシステム	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ このAIRは、機上 (onboard) において再充電可能なりチウムバッテリーシステムを活用するための設計・開発に際し、検討すべき基本的指標を提供する。これら指標は、"インストール済みの"機器にも適用される。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 本基準は発行され、インストール済み及び型式証明/軍用機体認証の一部のバッテリーに適用される。
AE-7D	AS6968	Connection Set of Conductive Charging for Electric Aircraft	電動航空機のための伝導性充電 (Conductive Charging)接続セット (Connection Set)	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 電動航空機のための接触充電 (Conductive Charging)の接続部 (Connection Set)に関する設計要求事項と、必須の性能要求事項。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 2021年に入ると、AE7Dのリーダーたちは、より小型の標準カテゴリの航空機用の共通の充電インターフェースと、コンピューターおよび輸送カテゴリの航空機の充電をするための別の基準を期待していることを示した。電動航空機のための伝導性充電接続セットAS6968、および航空機用超高速充電AIR7357である。
AE-7D	AIR7357	Committee	委員会	<p>【スコープ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 中型航空機(150~200kWh)の超高速充電に必要な電力レベルに対応し、コンピューターのコンセプトを進化させている。本作業は、他のAE-7D作業、SAE E-40およびAE-8委員会を参照する。 <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 4月末までに草案を策定し、年末までに最終案を承認する予定。

(3) EUROCAEの動向

EUROCAE サマリー

[EUROCAEの特徴]

- 他のSDOとの調和があることがあまり明白ではない。メンバー限定の「公開協議」が行われるまで、書類は厳重に保管される。
- eVTOLに関連するWGとしては、**WG-112 (VTOL)**、**WG-113 (Hybrid Electric Propulsion)**、**WG-80 (Hydrogen and Fuel Cells Systems)**、**WG-105 (UAS)** が挙げられる。最近、WG-112/SG6（電子機器）、SG7（運航概念）が追加された。

[最近の主な取組状況]

- 大部分の議論が草案段階であるが、さらに進んだ段階のものは以下のとおりである。

委員会	サブG	タイトル	取組状況
WG-112		VTOL	● ED-278 Concept of Operations for VTOL Aircraft - Volume 1: General Considerations - Status: Published
	SG1	Electrical	● ED-289 Guidance on determination of accessible Energy in Battery Systems for eVTOL Applications - Status: Open consultation ● ED-290 Guidance on High Voltage Definition and Consideration for Personal Safety - Status: Open consultation
	SG4	Flight	● ED-xxx VTOL Flight Trajectories - Status: Setup ● ED-xxx Compliance methodologies for VTOL certification in “inadvertent icing” operation - Status: Setup
	SG5	Ground	● ED-xxx VTOL charging infrastructure - Status: Setup
	SG6	Avionics	● ED-XXX Guidance on Electronic Flight Bag usage for VTOL Aircraft - Status: Setup
WG-113		Hybrid Electric Propulsion	● Internal Report List of standardisation needs for Hybrid Electric Propulsion - Status: Published
WG-80		Hydrogen and Fuel Cells Systems	● ED-219 Aircraft Fuel Cell Safety Guidelines - Status: Published ● ED-245 MASPS for Installation of Fuel Cell Systems on Large Civil Aircraft - Status: Published ● ER-020 Considerations for Hydrogen Fuel Cells in Airborne Applications - Status: Published
WG-105	SG5	Remote Pilot Stations	● ED-272 Minimum Aviation Systems Performance Standard for Remote Pilot Stations supporting IFR operations into non-segregated airspace - Status: Published

EUROCAEにおける関連委員会

2021年2月現在、eVTOLに関連する委員会としては、**WG-112 (VTOL)**、**WG-113 (Hybrid Electric Propulsion)**、**WG-80 (Hydrogen and Fuel Cells Systems)**、**WG-105 (UAS)** が挙げられる。

Com	No	タイトル (英)	項目名 (和)	スコープ
WG-112		VTOL	VTOL	EASAのVTOL機に関するSpecial ConditionのAcceptable Means of Complianceとなるような産業界としての標準を策定することが目的のWG。電動、揚力・推力、安全性、飛行、地上インフラ、のSGが設置され、各SGの全体統括を行うSG0 Steering Committeeは各SGのリーダー、EASAから構成される。
WG-112	SG1	Electrical	電気	VTOLの電気システムの標準を開発する。
WG-112	SG2	Lift/Thrust	推進	VTOLのlift/thrustシステムの標準を開発する。
WG-112	SG3	Safety	安全	VTOLの安全面の標準を開発する。
WG-112	SG4	Flight	飛行	VTOLの飛行に関する標準を開発する。
WG-112	SG5	Ground	地上	ポート、地上インフラの標準を開発する。
WG-112	SG6	Avionics	電子機器	VTOLの電子機器に関する標準を開発する。
WG-112	SG7	ConOps	運航概念	VTOLの運航概念を開発する。
WG-113		Hybrid Electric Propulsion	ハイブリッド電気推進	航空機業界ではさらなる電動化に向けた変革が進んでいる。技術革新の背景には環境規制（排出を抑える目的）がある。航空機の電動化により、2005年から2050年の間に二酸化炭素排出量を50%削減できる可能性を示す研究もある。これによりACARE目標に寄与することができるだろう。技術や機構における革新により、航空機の機体製造者・エンジン製造者・システムサプライヤー間の新たな連携方法や、規制への対処、また新機構に対するコンプライアンス手段が必要となる。ハイブリッド/電動航空機は、ACARE Flightpath2050目標実現のための一つの重要な鍵となりうる。
WG-80		Hydrogen and Fuel Cells Systems	燃料電池システム	航空機の水素燃料電池システムの認定/認証のガイドライン開発、ベストプラクティス収集を目的としたWGで、水素燃料電池技術の空中使用事例と認証目標を検討する。電力や信頼性などの運用要件は範囲外。
WG-105		Unmanned Aircraft Systems (UAS)	UAS	あらゆるタイプの空域で、何時でも、全ての操作においてUASの安全な運航を可能とするための基準とガイドラインの開発を目的としたWGで、以下の特定6分野で構成される。: UAS Traffic Management, Command/Control/Communication, Detect and Avoid, Design and Airworthiness Standards, Specific Operations Risk Assessment, Enhanced RPAS Automation
WG-105	SG42	Remote Pilot Stations	リモートパイロットステーション	リモートパイロットステーションのATCインターフェースの標準化。

EUROCAEの状況：「WG-112 VTOL」の構成

VTOLに特化した標準を開発するWG-112が2019年6月に立ち上げられ、EASAのSpecial Condition for VTOLのAcceptable Means of Complianceとなる業界標準の開発を進めている。

委員会	サブG	タイトル	概要	取組状況	体制
WG-112		Vertical Take Off and Landing (VTOL)	EASAのVTOL機に関するSpecial ConditionのAcceptable Means of Complianceとなるような産業界としての標準を策定することが目的のWG。電動、揚力・推力、安全性、飛行、地上インフラ、のSGが設置されている。	2019年6月に設置ED-278を公開 (次頁)	ハイブリッド電気推進の委員会(WG-113)と連携 ASTM, SAEと連携
	SG0	Steering Committee	全体統括を行う。	CLOSED	EUROCAE, EASA, WG-112の各SGのリーダーから構成される
	SG1	Electrical	VTOLの電気システムの標準を開発する。	ドラフトを検討中等 (次頁)	議長は Limhi Somerville, Vertical Aerospace
	SG2	Lift/Thrust	VTOLのlift/thrustシステムの標準を開発する。	ドラフトを検討中等 (次頁)	議長はAndrea Marinovich, LEONARDO SpA Meunier René, SAFRAN
	SG3	Safety	VTOLの安全面の標準を開発する。	ドラフトを検討中等 (次頁)	議長はPhilip Blagden, Civil Aviation Authority(UK)
	SG4	Flight	VTOLの飛行に関する標準を開発する。	ドラフトを検討中等 (次頁)	議長はDavid Scorer, Lilium GmbH
	SG5	Ground	ポート、地上インフラの標準を開発する。	ドラフトを検討中等 (次頁)	議長はSimon Whalley, Skyports
	SG6	Avionics	VTOLの電子機器に関する標準を開発する。	ドラフトを検討中等 (次頁)	議長はChristian CANTALOUBE, Thales Group
	SG7	ConOps	VTOLの運航概念を開発する。	ドラフトを検討中等 (次頁)	議長はJörn Jaeger, Volocopter GmbH

EUROCAEの状況：「WG-112 VTOL」のActivities

WG-112のサブグループでは、以下の技術基準のドラフトの検討等が実施されている。

委員会	サブG	タイトル	取組状況
WG-112		Vertical Take Off and Landing	<ul style="list-style-type: none"> ● ED-278 Concept of Operations for VTOL Aircraft - Volume 1: General Considerations - Status: Published
	SG0	Steering Committee	<ul style="list-style-type: none"> ● Internal report Overview of EUROCAE VTOL standardisation activities - Status: closed
	SG1	Electrical	<ul style="list-style-type: none"> ● ED-xxx Process Standard for crashworthiness test of battery systems for eVTOL applications - Status: Draft ● ED-289 Guidance on determination of accessible Energy in Battery Systems for eVTOL Applications - Status: Open consultation ● ED-XXX Technical Standard on Rechargeable Lithium Batteries in eVTOL applications - Status: Draft ● ED-290 Guidance on High Voltage Definition and Consideration for Personal Safety - Status: Open consultation ● ED-XXX Guidance on specifying random hardware failures rates of Lithium-Ion Cells for eVTOL applications - Status: Draft
	SG2	Lift/Thrust	<ul style="list-style-type: none"> ● ED-xxx Guidance on designated fire zone for VTOL - Status: Draft ● ED-xxx Guidance for rotorburst analysis for VTOL enhanced category - Status: Draft ● ED-xxx Guidance for Common mode analysis for lift - thrust system for VTOL enhanced category - Status: Draft ● ED-xxx Method for determination of aircraft structure failure probability - Status: Draft
	SG3	Safety	<ul style="list-style-type: none"> ● ED-xxx Guidance on Hazard and Safety Assessment from Aircraft down to system level for VTOL - Status: Draft ● ED-xx Specific Risks Assessment: Magnetic Heading - Status: Draft ● ED-xxx Information security guidance for VTOL and collaborative systems - Status: Draft ● ED-xx Guidance on the demonstration of acceptable occupant safety - injury prevention measures - Status: Draft ● ED-xx Guidance on Emergency Landing - Status: closed ● ED-XXX Specific Risks Assessment: Positioning System - Status: Draft ● ED-XXX Guidance on Ballistic Recovery System installed in a VTOL platform. - Status: Draft ● ED-XXX Guidance for a crashworthy stroking seat system for a VTOL aircraft - Status: Draft
	SG4	Flight	<ul style="list-style-type: none"> ● ED-xxx Environmental Conditions and Test Procedures for VTOL Operations - Status: closed ● ED-xxx VTOL Flight Trajectories - Status: Setup ● ED-xxx VTOL Flight control/ Handling qualities verification - Status: Draft ● ED-xxx Compliance methodologies for VTOL certification in “inadvertent icing” operation - Status: Setup ● ED-xxx Primary Flight Control Forces for VTOL aircraft - Status: Draft
	SG5	Ground	<ul style="list-style-type: none"> ● ED-xxx VTOL vertiports - Status: Draft ● ED-xxx VTOL charging infrastructure - Status: Setup ● IR eVTOL charging - Status: Draft
	SG6	Avionics	<ul style="list-style-type: none"> ● ED-XXX VTOL Flight and Navigation Instruments - Status: Draft ● ED-XXX Guidance on Electronic Flight Bag usage for VTOL Aircraft - Status: Setup ● ED-XXX Compliance methodologies for VTOL energy level information to the crew - Status: Draft
	SG7	ConOps	<ul style="list-style-type: none"> ● ED-XXX Concept of Operations for VTOL Aircraft – Volume 2 Air Taxi flights in urban environment - Status: Draft

EUROCAEの状況： その他のVTOLに関連するWG

WG-112以外の関連WGとして、**WG-113**（電動ハイブリッド推進）、**WG-80**（水素・燃料電池システム）、**WG-105**（UAS）がある。

委員会	サブG	タイトル	概要、取組状況、体制
WG-113		Hybrid Electric Propulsion	<p>【概要】 航空機業界ではさらなる電動化に向けた変革が進んでいる。技術や機構における革新により、航空機の機体製造者・エンジン製造者・システムサプライヤー間の新たな連携方法や、規制への対処、また新機構に対するコンプライアンス手段が必要。</p> <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ED-xxx Guidance material for endurance substantiation of Electric - Hybrid Propulsion Systems EHPS - Status: Draft ● Internal Report List of standardisation needs for Hybrid Electric Propulsion - Status: Published ● Internal Report Standards review and assessment against the SC-EHPS - Status: Draft ● ED-xxx Guidance material for durability substantiation of Electric - Hybrid Propulsion Systems EHPS - Status: Draft <p>【体制】 EASAと連携</p>
WG-80		Hydrogen and Fuel Cells Systems	<p>【概要】 航空機の水素燃料電池システムの認定/認証のガイドライン開発、最善慣行収集を目的としたWGで、水素燃料電池技術の空中使用事例と認証目標を検討する。電力や信頼性などの運用要件は範囲外。</p> <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ED-219 Aircraft Fuel Cell Safety Guidelines - Status: Published ● ED-xxx MASPS for Liquid Hydrogen fuel cells on-board aircraft - Status: Draft ● ED-245 MASPS for Installation of Fuel Cell Systems on Large Civil Aircraft - Status: Published ● ER-020 Considerations for Hydrogen Fuel Cells in Airborne Applications - Status: Published <p>【体制】 SAE AE-7AFCと共同で作業</p>
WG-105		Unmanned Aircraft Systems (UAS)	<p>【概要】 あらゆるタイプの空域で、何時でも、全ての操作においてUASの安全な運航を可能とするための基準とガイダンスの開発を目的としたWGで、以下の特定6分野で構成される。: UAS Traffic Management, Command/Control/Communication, Detect and Avoid, Design and Airworthiness Standards, Specific Operations Risk Assessment, Enhanced RPAS Automation</p> <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 2016年9月に設置 <p>【体制】 RTCA SC-228 for Unmanned Aircraft Systems と連携</p>
	SG42	Remote Pilot Stations	<p>【概要】 リモートパイロットステーションのATCインターフェースの標準化。</p> <p>【取組状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ED-272 Minimum Aviation Systems Performance Standard for Remote Pilot Stations supporting IFR operations into non-segregated airspace - Status: Published <p>【体制】 議長は Francisco Javier RAMOS SALAS, Airbus Defence & Space</p>

(4) RTCA・ISOの動向

RTCA/ISOにおける審議項目

RTCAにおけるeVTOLに関連する委員会として、**SC-228 (Minimum Performance Standards for Unmanned Aircraft Systems)** が挙げられる。加えて、ISOではUASに関する委員会である**TC20/SC16**において、eVTOL関連の新たな議題提案がなされているところ。

<RTCA>

Com	No	Work Item (英)	項目名 (和)	スコープ、取組状況
SC-228		Minimum Performance Standards for Unmanned Aircraft Systems	UASの最低運用性能基準	<p>【スコープ】 無人航空機システム (UAS) のDAA機器の最低運用性能基準 (MOPS) DO-365等と、L帯やC帯の電波を用いたコマンドアンドコントロール (C2) データリンクのMOPS DO-362を開発。</p> <p>【取組状況】 DO-362、DO-365の改訂、及びDO-365から派生する個別コンポーネントのMOPSを開発・改訂中。</p>

※RTCA SC-228では、UASのMOPSを検討している委員会であるが、将来の検討テーマの候補としてUAMが挙げられている

<ISO>

Com	No	Work Item (英)	項目名 (和)	スコープ
TC 20/SC 16 WG3	New work item proposal	Operational procedures for passenger carrying UAS	旅客輸送UASの運航手順	—
TC 20/SC 16 WG3	New work item proposal	Operation of vertiports for unmanned aircraft	無人機のパーティポートのオ ペレーション	—

RTCA SC-228の動向

RTCAのSC-228では、UAS関連の最低運用性能基準（MOPS）が策定されているほか、UAM StandardもSC-228の今後のアジェンダとして検討が行われている現状がある。

委員会	英語タイトル	日本語タイトル	概要
SC-228	Minimum Performance Standards for Unmanned Aircraft Systems	無人航空機システムの最低性能基準	無人航空機システム（UAS）のDAA機器の最低運用性能基準（MOPS）、空対空レーダー（Air to Air Rader）のMOPS、L帯やC帯の電波を用いたC2リンクのMOPSを開発している委員会。

- SC-228においては、下記の文書が策定されている。

RTCA-DO-362 Command and Control (C2) Data Link MOPS

- ↳ UASの運用において、地上施設やUASなどとの間をつなぐC2システムに必要な性能や試験手順を整理した文書。

RTCA-DO-365 MOPS for Detect and Avoid (DAA) Systems

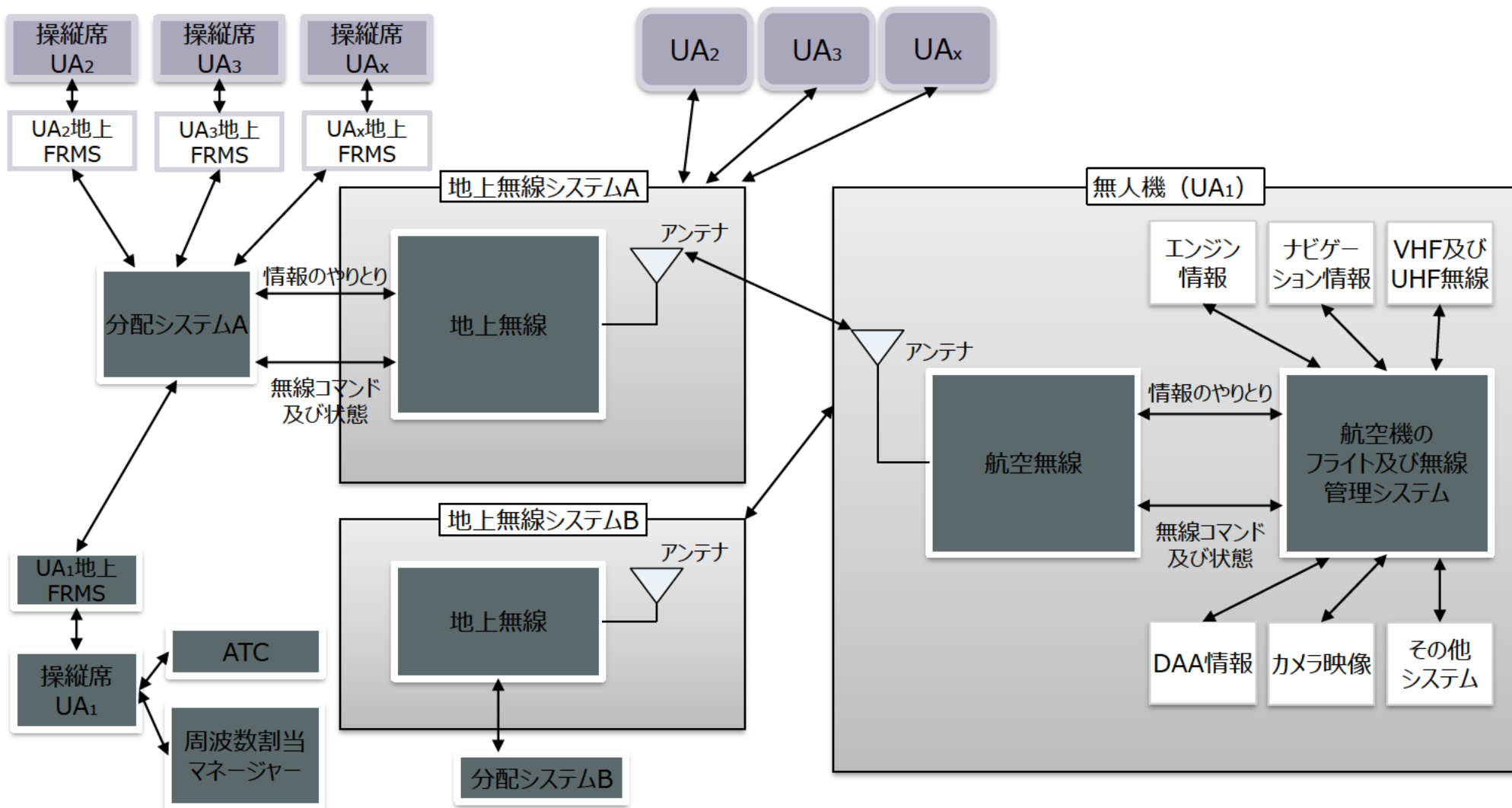
- ↳ UASに搭載される衝突回避（DAA）システムに必要な性能や試験手順を整理した文書であり、FAAにおけるTechnical Standard Order等において参照されている。

RTCA-DO-366 MOPS for Air-to-Air Radar for Traffic Surveillance

- ↳ UASに搭載されるDAAシステムにおいて活用される空対空レーダー（Air-to-Air Radar）に必要な性能や試験手順等を整理した文書。

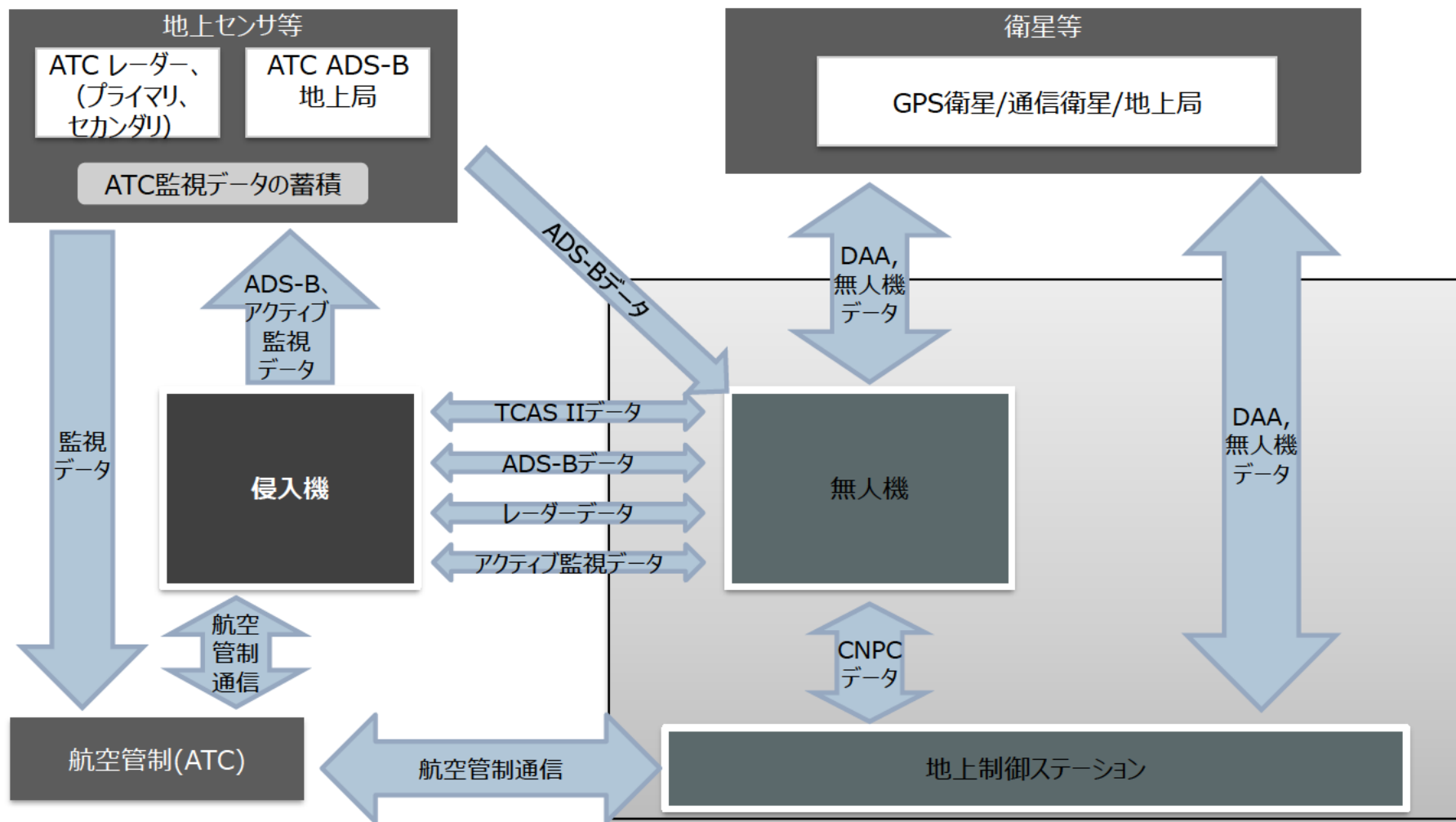
RTCA SC-228の動向

RTCA DO-362で規定されるC2リンクのアーキテクチャは下記の通り。これらを一つの基準として、各種機体に実装されるC2リンクが作られている。



RTCA SC-228の動向

RTCA DO-365で規定されるDAAシステムのアーキテクチャは下記の通り。これらを一つの基準として、各種機体の実装されるDAAシステムが作られている。



RTCAにおけるその他の関連動向

バッテリーに関する基準として、RTCA SC-225が策定したDO-311（Minimum Operational Performance Standards for Rechargeable Lithium Battery Systems）が存在する。

委員会	文書番号	英語タイトル	日本語タイトル	概要
SC-225	DO-311A	Minimum Operational Performance Standards for Rechargeable Lithium Battery Systems	充電可能なりチウムバッテリーシステムの最低運用性能基準	<ul style="list-style-type: none"> 2017年にSC-225により策定された規格であり、充電式リチウムバッテリーの設計者・メーカー、航空機メーカー、航空機機器の設置者、航空機業界のユーザーが対象とされている規格。 規格の対象となる機体は特定されておらず、航空機に積載される充電式リチウムバッテリーシステムに当該規格は適用される※。 DO-311Aは、充電式リチウムバッテリーシステムの設計・試験・設置に関するガイダンスを提供する規格となっている。

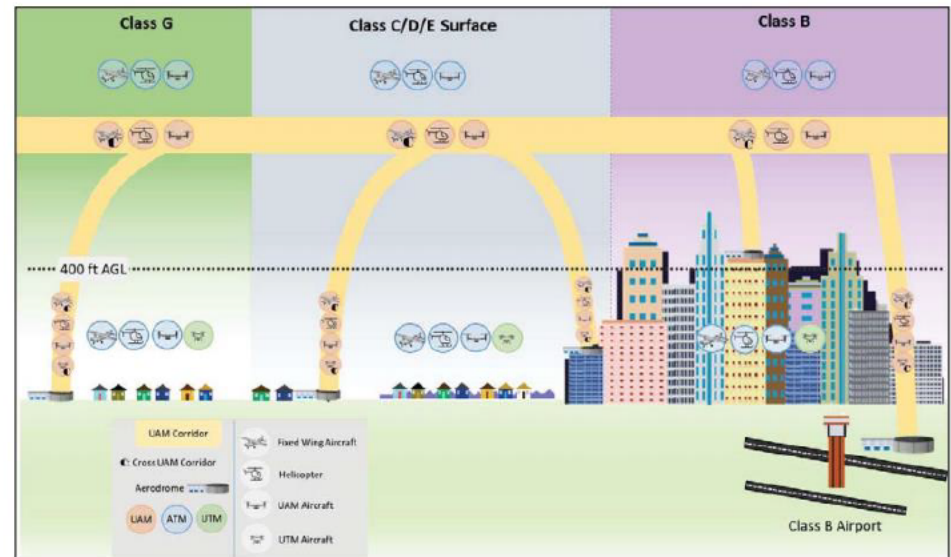
※型式証明の一部を構成するPortable Electronic Devicesに含まれる充電式リチウムバッテリーも適用対象であるとされている。

1. 2 米国及び欧州における制度の調査

米国の法令におけるeVTOLの位置づけ

- 2020年6月に米FAAより発表された、*Urban Air Mobility (UAM) Concept of Operation (ConOps) v1.0*において、UAMという新たな交通形態とその運用コンセプトが整理された。
 - 同文書で、UAM機は、UAMコリドーを用いて、都市環境下で人や物品の運送を行う機体と定義され、これにeVTOLも含まれるとの整理がなされた。
 - また、UAMの運航環境は、コリドーを利用することから、400ft以下を飛行するより小型のUnmanned Aircraft System (UAS) の運航を管理するUTMや、現行の航空管制システム (ATM) とは区別して整理されている。

- 同ConOpsでは、以下の段階的なステップでUAMの完全実装を目指すとしている。
 1. 初期のUAM運航は、**現行制度や現行の運航環境下で認証された新たな機体**により実施される。
 2. 法規則の見直しやUAMコリドーの導入により、より高頻度のUAM運航が実現される。
 3. 新たな運航ルールやインフラにより、高度な自動運航管理が可能となり、遠隔操縦や自律飛行によって飛行を行うUAM機が高頻度で安全に運航される。



▲UAM、UTM、ATMの環境比較
出所) FAA

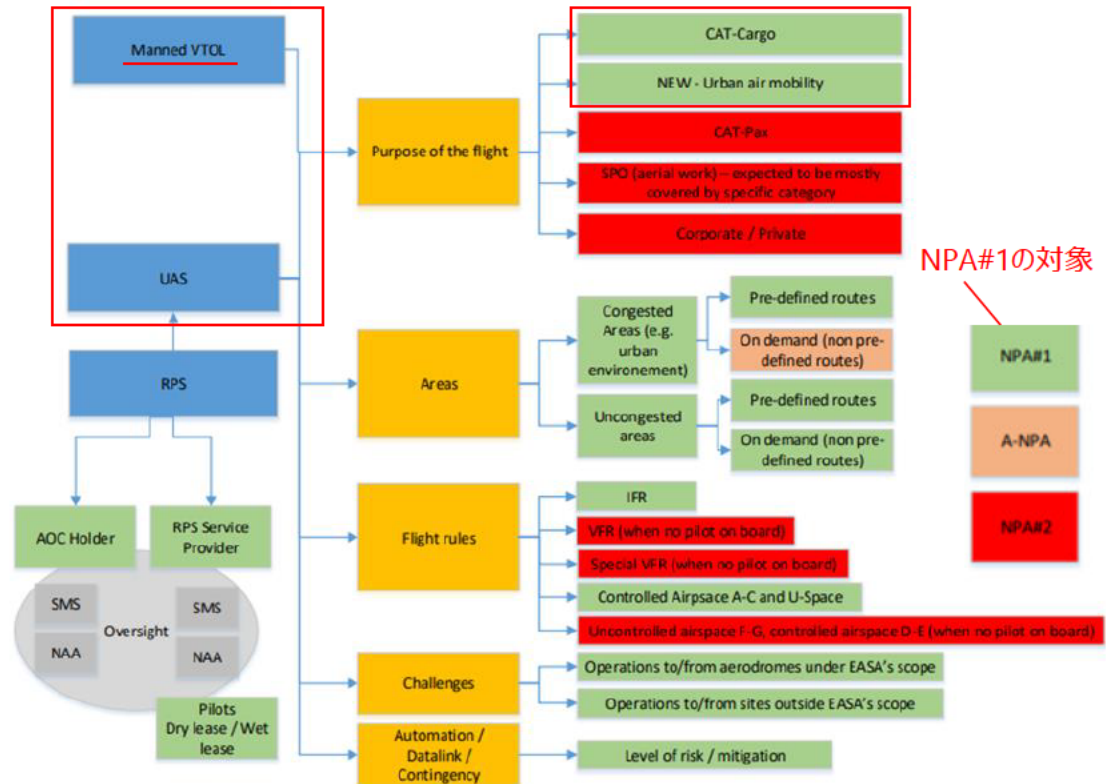
⇒UAMの実装に向けては、**まずは既存法令の枠組みの中でできる運航から開始し、徐々に法令改正等により、より高度な運航を実現していく想定となっている。そのため、eVTOLの型式証明や操縦者ライセンス、離着陸場等に係る制度は、現状は既存の航空関連法規則が基本的に適用されている。**

欧州の法令におけるeVTOLの位置づけ

- 2019年11月にEASAより発表された、EASA concept for regulation of UAS 'certified' category operations of Unmanned Aircraft Systems (UAS), the certification of UAS to be operated in the 'specific' category and for the Urban Air Mobility operations - Issue 2.1において、人や物品を輸送するeVTOL機は、無人・有人に関わらず、CertifiedカテゴリーのUASの一つに区分し、今後CertifiedカテゴリーUASの法規則を整備していくことが示された。

【EASAにおけるUASのカテゴリー】

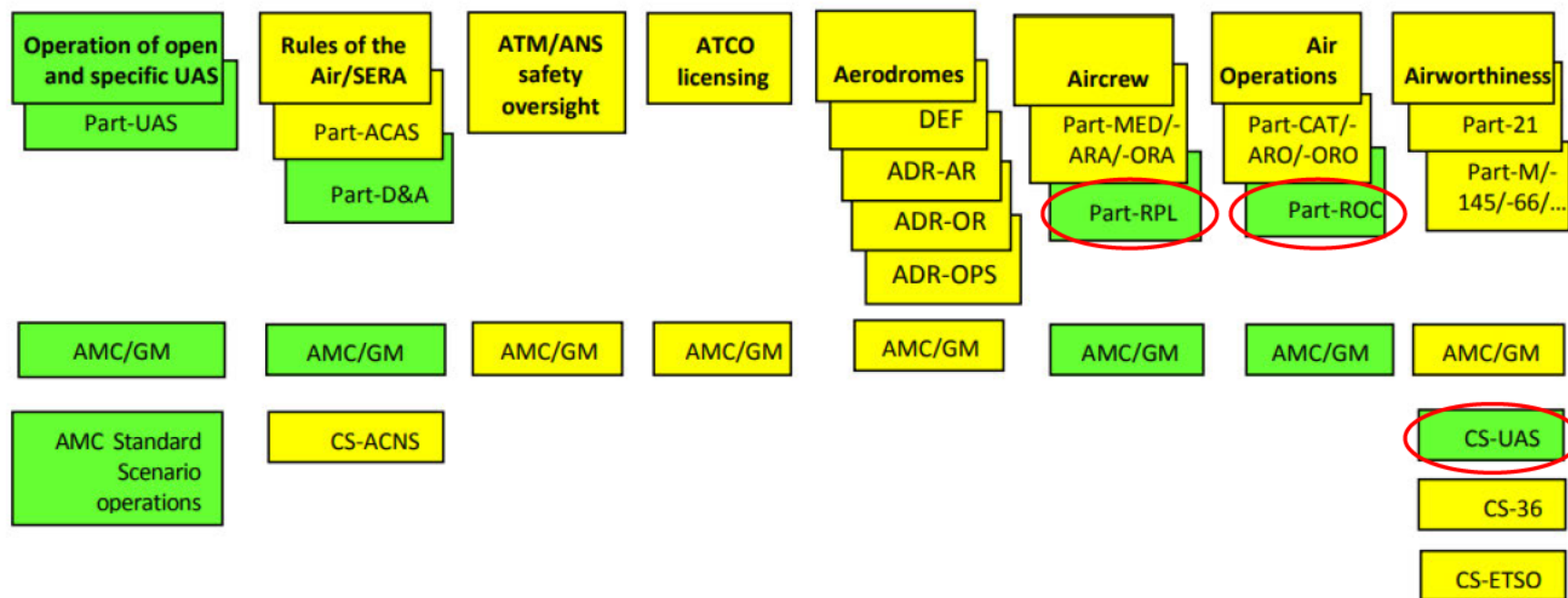
Open	最も低リスクな運航を行い、飛行時に主管庁の個別審査が不要とされるカテゴリー
Specific	中リスクの運航を行い、飛行時に主管庁の個別審査必要とされるカテゴリー
Certified	<p>高リスクの運航を行い、機体の型式証明、オペレータ・遠隔操縦者免許が必要とされるカテゴリー</p> <p>＜第一版の法規則案（NPA#1）が対象とする、3つのオペレーションタイプ＞</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 空域クラスA-Cでの荷物輸送のためのIFR飛行や、EASAの所管する空港での離着陸 2. 特定の空港に縛られず、過疎地・都市環境下のUTM（"U-space"）が提供されている空域を既定のルートで飛行するUAS（無人自動化航空機（unmanned automation system – based aircraft（ASBA））、人・荷物を輸送するVTOL機を含む） 3. 2と同じ運航を行う有人のASBA（U-spaceのない空域の飛行を含む）



⇒既存の航空関連法規則とは違う枠組みで、eVTOLを含む、CertifiedカテゴリーUASの制度検討を進める予定。そのため、型式証明の基準も新たにVTOL用の基準を策定しており、今後は、操縦者ライセンス、離着陸場等に係る制度もCertifiedカテゴリーUASの法令検討の枠組みの中で新規に具体検討が進められていく予定。

欧州（EASA）における今後の制度化の全体方針

- 2018年6月にEASAより発表された、*Rulemaking Task (RMT) 0230 Regulatory framework to accommodate unmanned aircraft systems in the European aviation system*において、今後検討するUAS関連の法令の構成案が以下の通り示されている。
- 既存文書の改訂に加え、**耐空性証明、乗員・オペレータ要件に関する法令は新たに規定することが提案されている。**



(凡例)

新規に規定する文書

改訂する文書

米国FAAと欧州EASAの制度化動向比較

		FAA	EASA
全体の制度化方針	eVTOLの位置づけ	人や荷物の運送を行うeVTOLは、 UAM機の一つ として位置づけ	人や荷物の運送を行うeVTOLは、無人・有人に問わず、 CertifiedカテゴリーのUASの一つ として位置づけ
	制度化方針	まずは既存法令の枠組みの中で実施できる運航から開始し、法令改正等により、徐々に高度な運航を実現していく方針となっており、 現状は既存の航空関連法規則が基本的に適用	既存の航空関連法規則とは違う枠組みで、eVTOLを含む、 Certified カテゴリー-UASの制度検討を進める方針を提示
	政策文書	Urban Air Mobility (UAM) Concept of Operation (ConOps) v1.0 (2020年6月)	EASA concept for regulation of UAS 'certified' category (後略) - Issue 2.1 (2019年11月)
テーマ別制度化動向	機体の安全性	現状、既存法令である 14 CFR Part 23 (固定翼機向け型式認証基準) とその遵守方法 (MoC) を定めた 14 CFR Part 23 amendment 64 をベースに一部適用基準を変更しながら型式認証を実施中	小型のVTOL機に特化して適用される型式認証基準 SC-VTOL-01 を、Special Conditionとして発効し、一部の基準についてはMOCも発表済み 将来的には、 <u>Certification Specificationの策定も想定される</u>
	操縦者	当面は既存法令である 14 CFR Part 61 (一般航空機の操縦者要件) の適用が想定される	Certified カテゴリー-UASの制度検討の一環で、 <u>eVTOL運航も想定した新たな操縦者ライセンス制度を検討中</u>
	事業者・オペレータ	当面は既存法令である 14 CFR Part 135 (航空機使用事業・航空機輸送事業の要件) の適用が想定される	Certified カテゴリー-UASの制度検討の一環で、 <u>eVTOL運航も想定した新たなUASオペレータ認証制度を検討中</u>
	運航管理 (空域、運航方式)	当面は既存法令である 14 CFR Part 71 及び 73 (空域利用の要件)、 91 (運用及び飛行の一般規則) の適用が想定されるが、 <u>将来的にはUAMコリドーを利用した運航管理を行う方針</u>	Certified カテゴリー-UASの制度検討の一環で、 <u>eVTOL運航も想定した新たな運航管理制度を検討中</u> 、 <u>同制度方針では、U-space (UASの運航管理コンセプト) の下でeVTOLも管理する方針を提示</u>
	離発着場	<u>Vertiportの設計要件の検討に向け、RFIを公表済み</u> (以後の詳細は不明) 当面は、既存法令である、 AC 150/5390-2C (ヘリポートの設計要件) の適用が想定される	Certified カテゴリー-UASの制度検討の一環で、 <u>eVTOL運航も想定した新たな空港内の運航制度を検討中</u> (基本的な安全指針は現行法令に準じる方針) <u>Vertiportの設計要件もManual等により規定する必要性についても言及しているが、具体内容は不明</u>

2. 他の産業等における標準化事例調査

他の産業等における標準化事例調査の概要

- 空飛ぶクルマの標準化活動の検討に資するため、自動運転車や充電に関する標準化事例を調査した。具体的には、ISOやIECにおける充電規格、自動運転規格に関する主な標準を整理すると共に、国際標準のステークホルダや規格内容・開発プロセス、日本の取組み、国際標準化の効果・影響について整理した。
- 主な調査事項は以下の通り。
 - 規格開発テーマ・技術とその概要
 - 標準化スケジュール
 - 参加国・機関と主要プレーヤ
 - 議論開始の背景
 - 主な論点と議論の状況
 - 日本市場・製品に対する規格開発の効果・影響 等
- 本報告の構成は以下の通り。
 - (1) 国際規格の開発に向けた体制
 - (2) 充電規格の開発状況
 - (3) 自動運転規格の開発状況
 - (4) まとめ

(1) 国際規格の開発に向けた体制

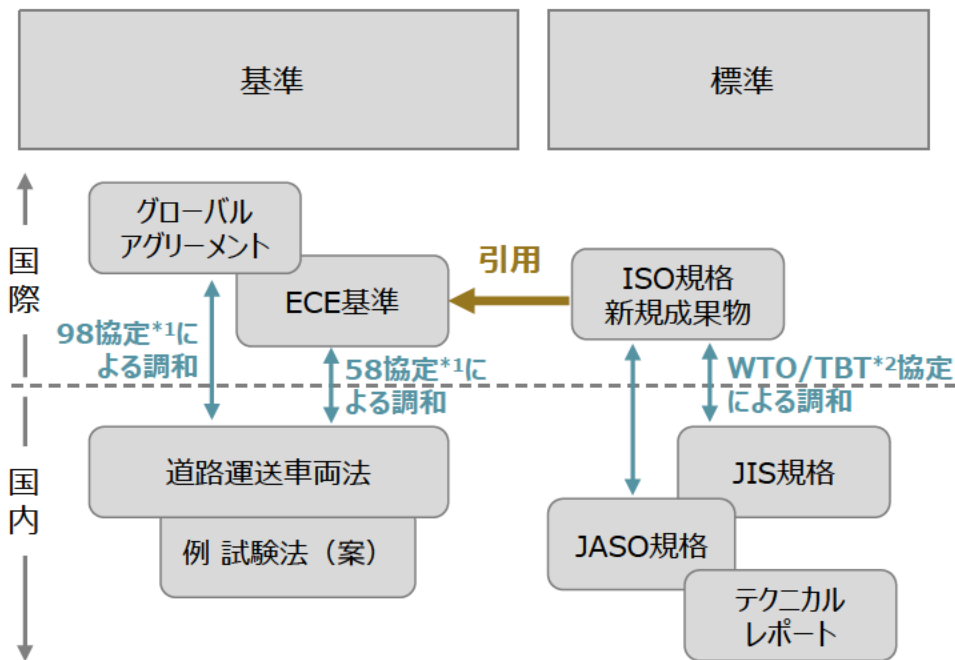
国際基準と国際標準の関係（自動運転）

従来の自動車分野では発行済の国際標準を国際基準が引用する場合があったが、自動運転では国際基準と国際標準が同時並行で検討されている。関連基準との対象範囲分担や相互親和性など考慮しながら標準の開発を手戻りなく進める必要があるため、規格の開発状況や技術データなどを連携している。

国際基準と国際標準の関係

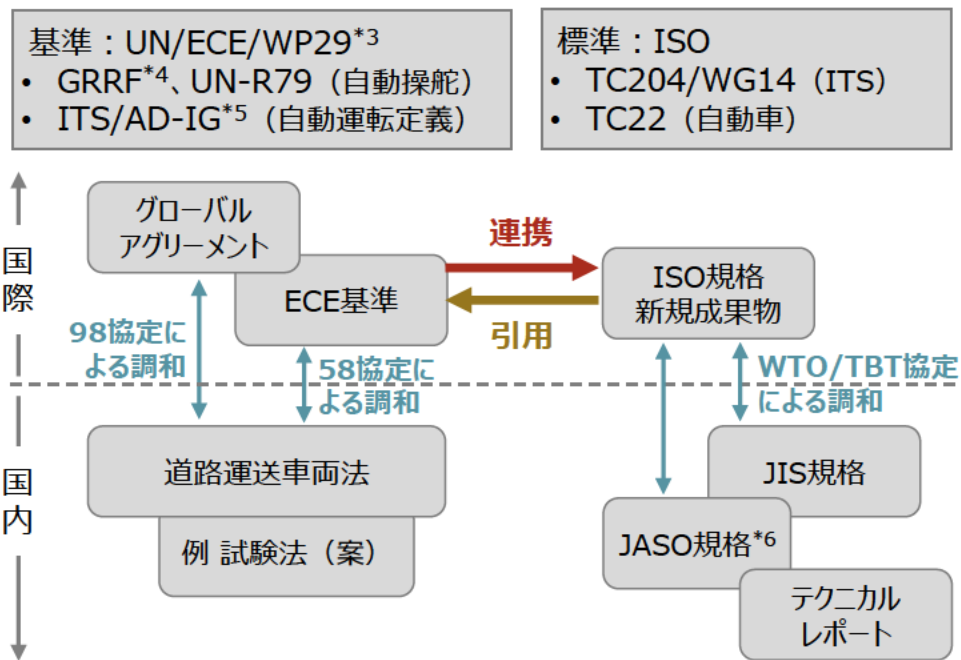
従来の自動車分野

- 発行済みの標準を基準が**引用**する場合あり



自動運転

- 同時並行で検討中の基準と**連携**し、開発を手戻りなく進める必要あり

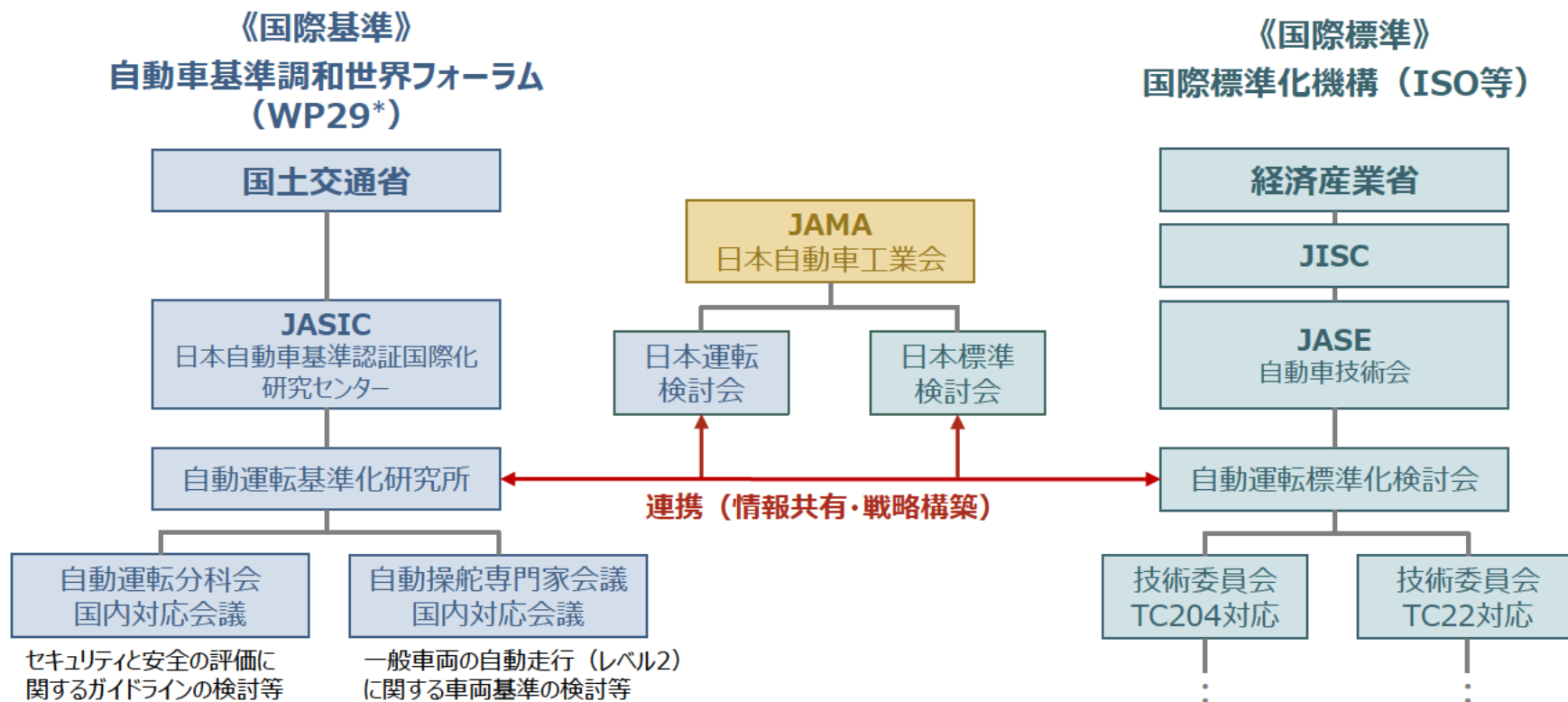


*1 個別事項に関する国際的調和を進めるために採択された協定。1995年に自動車技術基準認証の相互認証に関する1958年協定が改正され、1998年には日米欧を含むグローバルアグリーメントが採択された、*2 世界貿易機関／貿易の技術的障害に関する協定、*3 国連／欧州経済委員会／自動車基準調査世界フォーラム、*4 ブレーキと走行装置の専門部会 *5 高度道路交通システム／自動運転インフォーマルグループ、*6日本自動車技術会規格

国際基準・標準策定に係る国内体制（自動運転）

国際的なルール制定に向け、強制規格である国際基準と任意規格である国際標準を俯瞰して日本としての戦略を構築することが重要。自動運転分野では、JAMA、JASIC、JASEが連携し、情報共有や戦略構築を図っている。空飛ぶクルマにおいても、基準と標準の両面から戦略を構築する必要があると考えられる。

自動運転における国際的なルール（基準・標準）づくりに向けた国内体制の整備



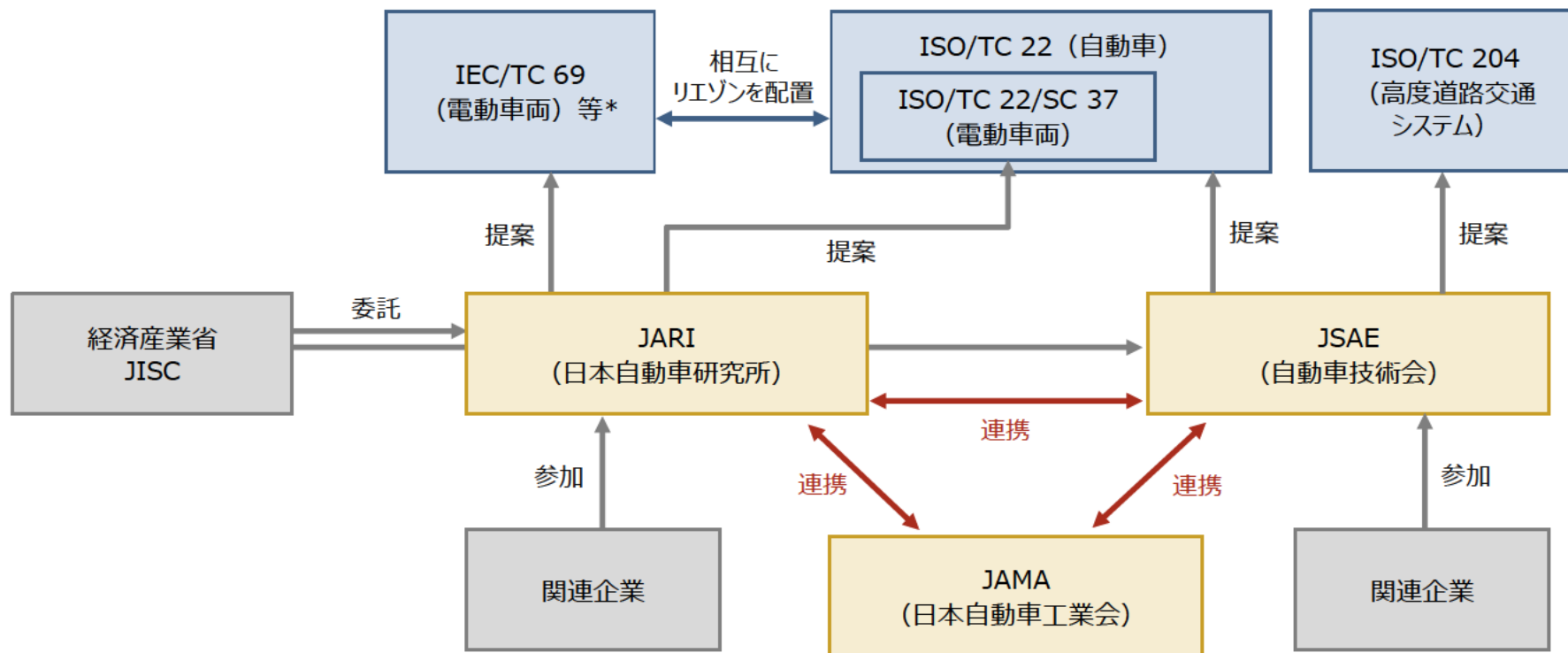
*world forum for harmonization of vehicle regulations working party 29

出所) 内閣府「国際的なルール(基準・標準)づくりに向けた体制の整備」, https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/iinkai/jidousoukou_22/siryu22-4-3_part6.pdf、JASIC「自動運転基準化研究所 概要」, https://www.jasic.org/check/html/j/14_automated-driving/pdf/sympo2.pdf、JASIC「国際標準化に対する日本の活動」, https://www.jasic.org/j/14_automated-driving/pdf/sympo6.pdf を基に三菱総合研究所作成（閲覧日：2020年9月14日）

自動車分野の標準化に係る国内団体の所管

自動車分野では、標準化団体の委員会別に国内団体の所管を明確にしている。

自動車分野の標準化に係る国内団体の所管



*EVの充電に関してはIEC/TC 23/SC 23Hでも規格が開発されている。当該SCの国内団体はJEWA（日本配線システム工業会）であるが、EV充電用車両カブラの審議はJARIが担当している

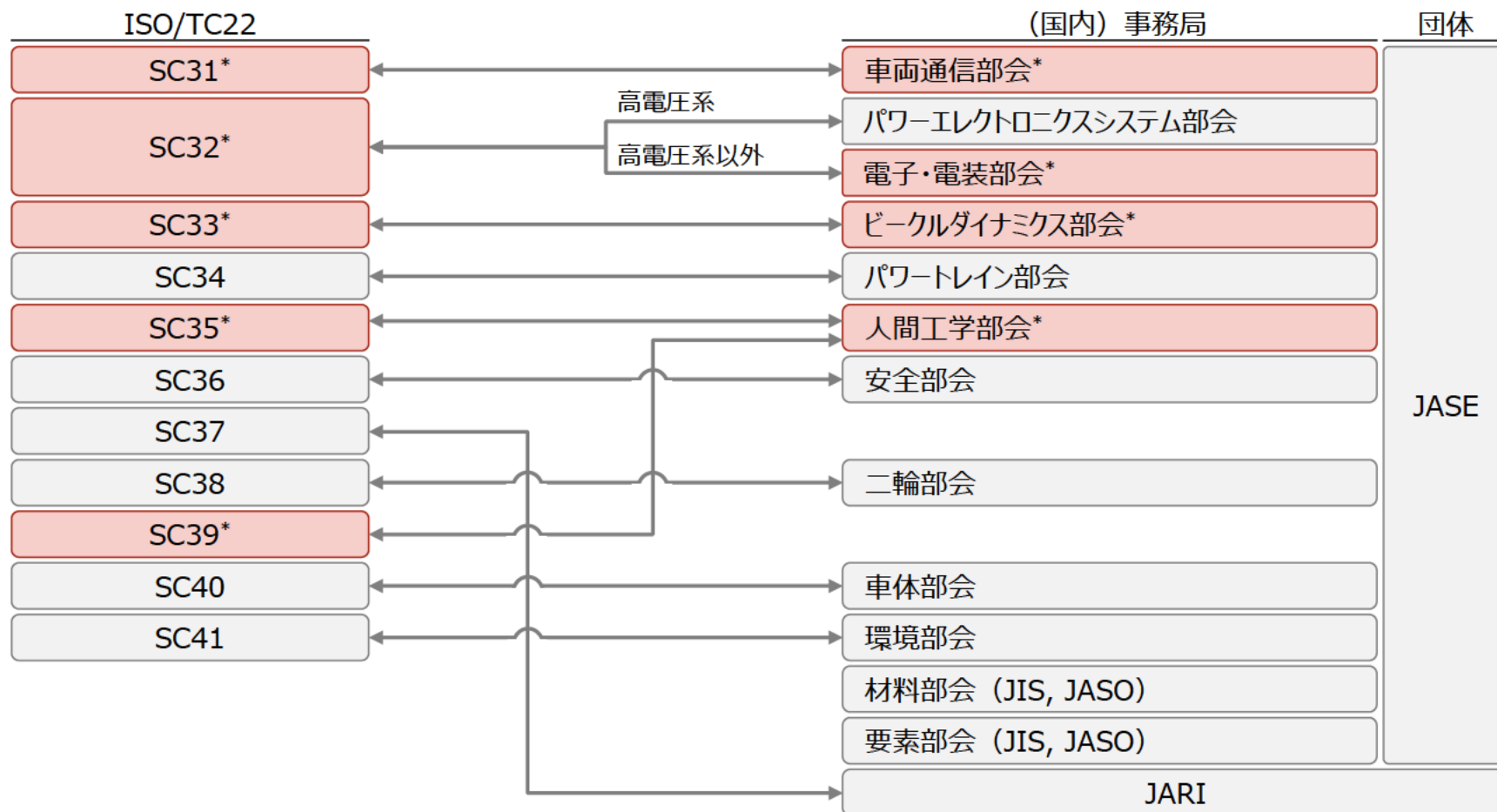
出所) JAMA「変化する世界の市場と企業活動の実際、戦略国際基準・標準への取り組み」, https://www.ntscl.go.jp/kouenkai/h24/7_harada.pdf、JSAE「電動車両に関する国際標準の動向」, https://www.jsae.or.jp/~dat1/mr/motor33/No33_07.pdf、JASIC「国際標準化に対する日本の活動」, https://www.jasic.org/j/14_automated-driving/pdf/sympo6.pdfを基に三菱総合研究所作成（閲覧日：2020年9月14日）

国際標準の日本組織図（ISO/TC22：自動車）

ISO/TC22に対し、JSAEではミラー体制を整備することで情報共有や戦略構築を綿密に実施している。

国際標準の日本組織図（TC22）

*自動運転と関連性が高いWG



出所) JASIC「国際標準化に対する日本の活動」, https://www.jasic.org/j/14_automated-driving/pdf/sympo6.pdf を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2020年9月14日)

国際標準の日本組織図（ISO/TC204：高度道路交通システム）

ISO/TC204においても、JSAEはミラー体制を整備することで情報共有や戦略構築を綿密に実施している。

国際標準の日本組織図（TC204）

*自動運転と関連性が高いWG

ISO/TC204	JSAE	事務局
WG1	システム機能構成分科会	(一財) 日本自動車研究所
WG3*	ITSデータベース技術分科会	(一財) 日本デジタル道路地図協会
WG4	車両・積載貨物自動認識分科会	(一社) UTMS協会
WG5	自動料金收受分科会	(一財) 道路新産業開発機構
WG7	商用貨物車運行管理分科会	(一財) 道路新産業開発機構
WG8	公共交通分科会	(一財) 国土技術研究センター
WG9	交通管理分科会	(一社) UTMS協会
WG10	旅行者情報分科会	(一社) UTMS協会
WG14*	走行制御分科会	(公社) 自動車技術会
WG16*	通信分科会	(一社) 電子情報技術産業協会
WG17	ノーマディックデバイス分科会	(一社) 電子情報技術産業協会
WG18*	協調システム分科会	(一財) 道路新産業開発機構

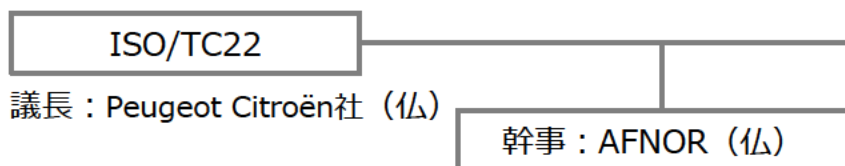
出所) JASIC「国際標準化に対する日本の活動」, https://www.jasic.org/j/14_automated-driving/pdf/sympo6.pdf を基に三菱総合研究所作成（閲覧日：2020年9月14日）

(参考) 国際標準体制：ISO/TC22 (自動車)

TC22では、自動車及び装置の性能評価のための、用語及び試験方法に関連する適合性、互換性、安全性に関する標準化をスコープに掲げている。SC32とSC38は日本が議長を務めている。

国際標準体制：TC22 (自動車)

*自動運転と関連性が高いWG



Pメンバー (投票権あり) 29カ国

アルジェリア、アルメニア、オーストリア、ベルギー、カタール、中、仏*、独*、印、イラン、イスラエル、伊*、日本*、カザフスタン、韓*、ルウェンダ、マレーシア*、メキシコ、蘭、ナイジェリア、ルーマニア、露、サウジアラビア、スウェーデン*、スリ、英、米*

*TC総会 常連出席メンバー

Oメンバー (投票権なし) 45カ国

アルゼンチン、豪、ボスニアヘルツェゴビナ、ブルガリア、カメルーン、コロンビア、コスタリカ、クアチマ、キューバ、チコ、デンマーク、エクアドル、エジプト、エルサルバドル、フィンランド、ギリシャ、香港、ハンガリー、アイスランド、インドネシア、アイルランド、ケニア、北朝鮮、ルウェンダ、モルドバ、モンゴル、ルウェン、オマーン、パキスタン、フィリピン、ポーランド、ポルトガル、カタール、セルビア、シンガポール、スロバキア、南ア、タンザニア、タイ、トリニダードトバゴ、チュニジア、トルコ、ウクライナ、ベトナム、ジンバブエ

WG	名称	議長
SC31*	データ通信	独/仏
SC32*	電子・電装部品/システム	日
SC33*	ヒューマン・マシン・インターフェース部品	独
SC34	パワートレイン	米
SC35*	灯火・視認性	伊
SC36	安全性・衝突試験	米
SC37	電動車両	独
SC38	モーターサイクル・モペット	日
SC39*	人間工学	米
SC40	商用車・バス・トレーラ	伊
SC41	ガス燃料	伊
AG	自動運転アドホックグループ	(公開情報からは不明)
SAG	戦略的諮問グループ	(公開情報からは不明)

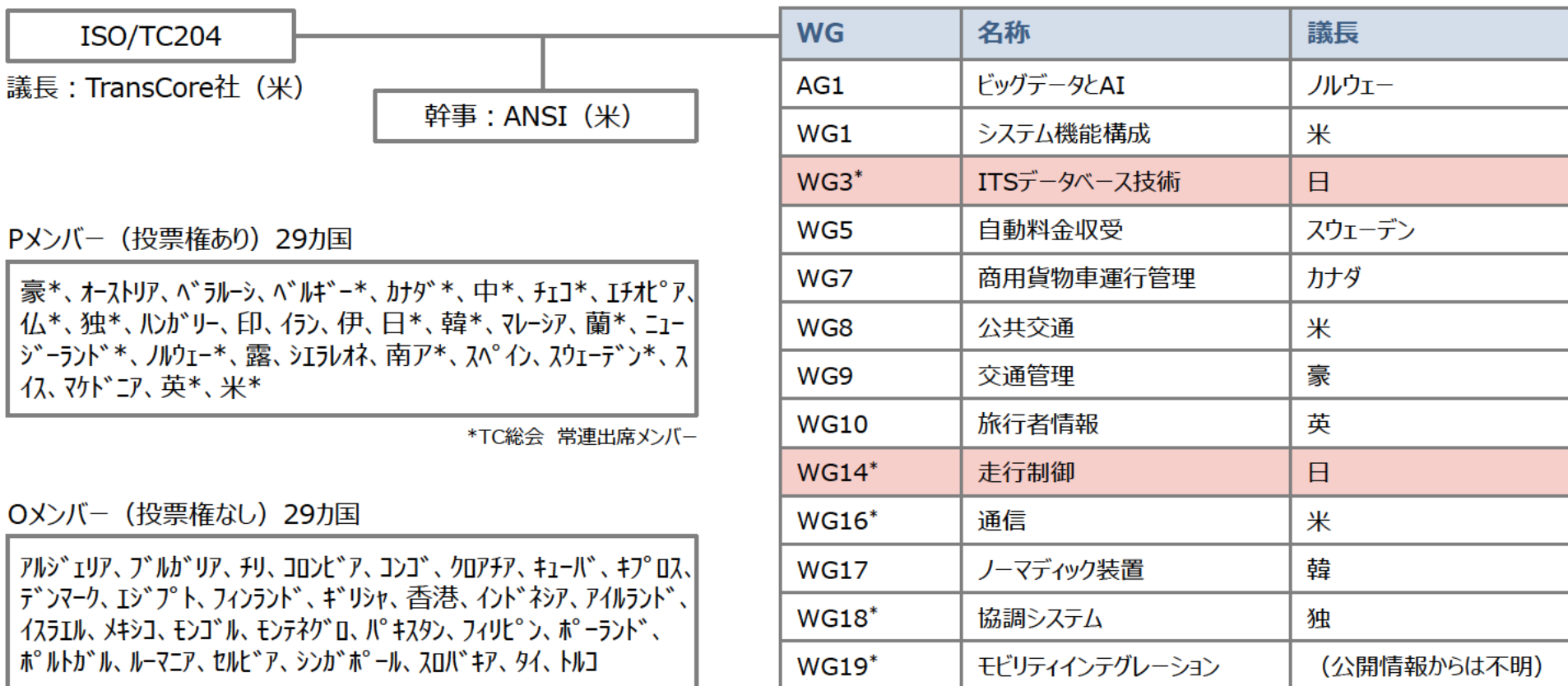
出所) JASIC「国際標準化に対する日本の活動」, https://www.jasic.org/j/14_automated-driving/pdf/sympo6.pdf、ISO「ISO/TC22」, <https://www.iso.org/committee/46706.html> を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2020年9月14日)

(参考) 国際標準体制：ISO/TC204（高度道路交通システム）

TC204では、高度道路交通システムにおける旅行者情報、交通管制、公共交通、商用交通等のインターモーダル（複合輸送手段）及びマルチモーダルの側面が含まれる都市及び郊外の交通分野の情報、通信及び制御システムの標準化をスコープに掲げている。WG3とWG14は日本が議長を務めている。

国際標準体制：TC204（高度道路交通システム）

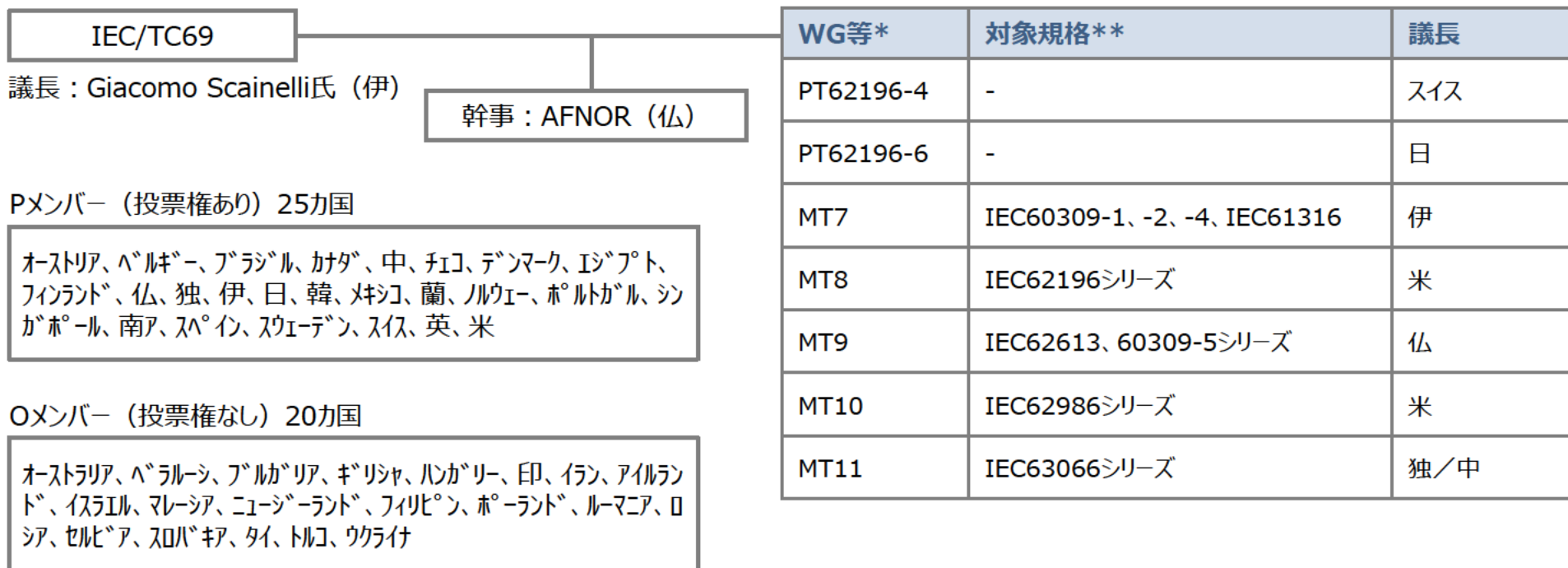
*自動運転と関連性が高いWG



(参考) 国際標準体制：IEC/TC23/SC23H（電気自動車用のプラグ、ソケット、カプラ）

TC23/SC23Hでは、電気自動車用のプラグ、ソケット、及びカプラの標準化をスコープに掲げている。PT62196-6は日本が議長を務めている。

国際標準体制：TC23/SC23H（電気自動車用のプラグ、ソケット、カプラ）



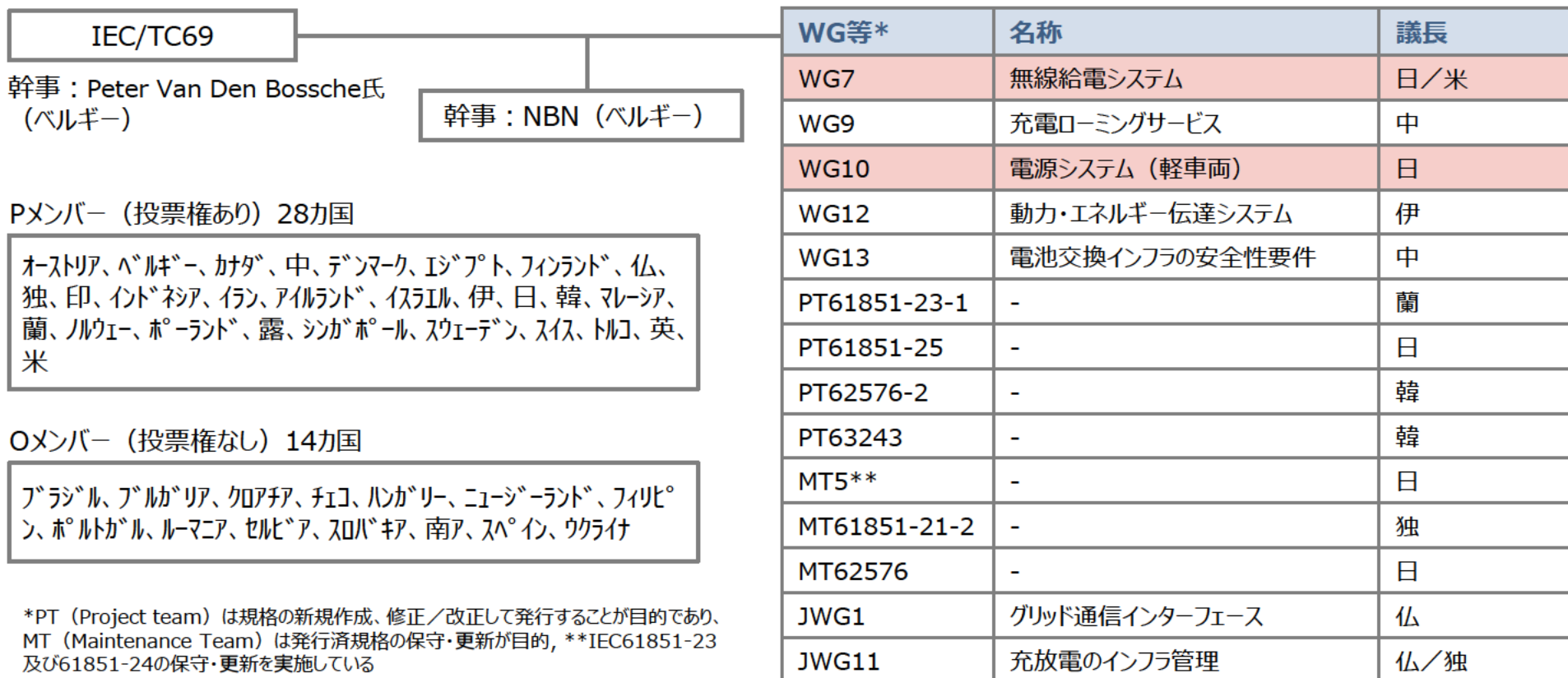
*PT（Project team）は規格の新規作成、修正/改正して発行することが目的であり、MT（Maintenance Team）は発行済規格の保守・更新が目的、**MTにおいて保守・更新を実施する対象の規格

出所) IEC/TC23/SC23H「SC 23H Membership」, https://www.iec.ch/dyn/www/?p=103:29:79053892350:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1426,25#2、IEC/TC23/SC23H「SC 23H Subcommittee(s) and/or Working Group(s)」, https://www.iec.ch/dyn/www/?p=103:29:79053892350:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1426,25#1、IEC/TC23/SC23H「SC 23H Scope」, https://www.iec.ch/dyn/www/?p=103:7:79053892350:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1426,25 を基に三菱総合研究所作成（閲覧日：2020年9月14日）

(参考) 国際標準体制：IEC/TC69 (電動車両)

TC69では、充電式エネルギー貯蔵システム (RESS) から電流を取り出す電動道路車両・産業車両 (EV) 用の電力/エネルギー伝達システムの標準化をスコープに掲げている。電力/エネルギー伝達手段にはコンダクティブ、ワイヤレスおよび電池交換を含んでいる。WG7、WG10、PT61851-25、MT5及びMT62576は日本が議長を務めている。

国際標準体制：TC69 (電動車両)



出所) IEC/TC69「TC 69 Membership」, https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:29:79053892350:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1255,25、IEC/TC69「TC 69 Subcommittee(s) and/or Working Group(s)」, https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:29:79053892350:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1255,25#1、IEC/TC69「TC 69 Scope」, https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:79053892350:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1255,25 を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日：2020年9月14日)

(2) 充電規格の開発状況

充電関連のISO規格

ISOで開発中／発行済の充電規格は多数存在するが、本調査では、日本発の充電規格であるCHAdeMO規格に係るISO 15118にフォーカスして調査を実施した。

開発中／発行済のISO規格例

規格番号	規格内容	提案国	ステータス	委員会
ISO 15118-1:2019*	自動車と配電網の通信インターフェース：一般情報とユースケース定義	独・仏*	60.60	TC22/SC31
ISO 15118-2:2014	ネットワークとアプリケーションプロトコル要件	独・仏	90.60	TC22/SC31
ISO 15118-3:2015	物理・データリンク層要件	独・仏	90.60	TC22/SC31
ISO/CD 15118-4	ネットワーク・アプリケーションプロトコル適合性試験	独・仏*	30.99	TC22/SC31
ISO 15118-5:2018	物理・データリンク層の適合性試験	独・仏	60.60	TC22/SC31
ISO 15118-6	ワイヤレス通信の一般情報とユースケース定義	独・仏*	-**	TC22/SC31
ISO 15118-7	ワイヤレス通信のネットワークとアプリケーションプロトコル要件	独・仏*	-***	TC22/SC31
ISO 15118-8:2020	ワイヤレス通信の物理層とデータリンク層要件	独・仏*	60.60	TC22/SC31
ISO 19363:2020	磁界WPT車両安全・相互運用性要件	日*	60.60	TC22/SC37
ISO 17409:2020	外部電源接続時のEV安全要件	独*	90.92	TC22/SC37

*改訂前の規格での提案国, **ISO 15118-1の改訂時に統合された, ***公開情報からは不明であるが、ISOのHPには規格番号の記載がないため、他の規格の改訂時に統合されたと想定される

出所) JARI「電動車両用電池・充電に関する国際標準化の進捗」, http://www.jari.or.jp/Portals/0/resource/JRJ_q/JRJ20130705_q.pdf, JARI「電動車両用電池・充電に関する国際標準化の動向」, http://www.jari.or.jp/Portals/0/resource/JRJ_q/JRJ20190202_q.pdf, ISO「STANDARDS BY ISO/TC 22/SC 37」, <https://www.iso.org/committee/5391154/x/catalogue/p/1/u/1/w/0/d/0>, ISO「STANDARDS BY ISO/TC 22/SC 31」, <https://www.iso.org/committee/5383568/x/catalogue/p/1/u/1/w/0/d/0>, Newcastle University「Communication Protocols for Electric Vehicle Charging – Meet ISO 15118-20」, <https://www.ncl.ac.uk/media/wwwnclacuk/cesi/files/Communication%20Protocols%20for%20Electric%20Vehicles%20charging%20-%20Meet%20ISO%2015118-min.pdf> を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日：2020年9月14日)

ISO 15118規格の内容

ISO15118は、電気自動車とグリッド（電力網）間の通信インターフェースに関する規格である。通信プロトコルとして欧州提案のCOMBO2が承認されている。

ISO 15118規格の詳細

規格名称	概要
ISO 15118-1	一般情報とユースケース定義
ISO 15118-2	ネットワークとアプリケーションプロトコル要件
ISO 15118-3	物理・データリンク層要件
ISO 15118-4	ネットワーク・アプリケーションプロトコル適合性試験
ISO 15118-5	物理・データリンク層の適合性試験
ISO 15118-6	ワイヤレス通信の一般情報とユースケース定義
ISO 15118-7	ワイヤレス通信のネットワークとアプリケーションプロトコル要件
ISO 15118-8	ワイヤレス通信の物理層とデータリンク層要件

ISO 15118とOSI参照モデルの通信レイヤ、プロトコルの関係

ISO 15118-1		
ISO 15118-2	OSI layer 7 Application	SDP + Application layer Messages
	OSI layer 6 Presentation	EXI
	OSI layer 5 Session	V2GTP
	OSI layer 4 Transport	TCP, UDP, TLS
	OSI layer 3 Network	IP, ICMP, SLLAC
ISO 15118-3	OSI layer 2 Data Link	ETH, PLC, WLAN
	OSI layer 1 Physical	

各国・地域での充電規格と通信プロトコル

項目	日本	中国	米国	欧州
充電規格	CHAdeMO規格	GB規格	COMBO1	COMBO2
通信プロトコル	CHAdeMO方式 (CAN)	J1939 (CAN)	SAE J2847/2 (PLC)	ISO15118 (PLC/無線)

出所) DANSO「ISO15118規格オープンソースのEXI変換処理改版方法について」, https://www.denso-ten.com/jp/gihou/jp_pdf/Vol03/Vol03-8.pdf を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2020年9月14日)

充電関連のIEC規格

IECで開発中／発行済の充電規格は多数存在するが、本調査では、日本発の充電規格であるCHAdeMO規格に係るIEC 62196-3（急速充電）にフォーカスして調査を実施した。なお、IEC-62196-2は普通充電の規格である。

開発中／発行済のIEC規格例

規格番号	規格内容	提案国	ステータス	委員会
IEC 61851-1:2017 ED3	EVコンデクティブ充電システム：一般要件	仏*	60.60	TC69/WG12
IEC 61851-21-1: 2017 ED1	EVコンデクティブ充電システム：AC/DC電源接続時の車載充電器のEMC要件	-**	60.60	-**
IEC 61851-21-2: 2018 ED1	EV充電システム：オフボード充電システムのEMC要件	-**	60.60	TC69/MT 61851-21-2
IEC 61851-23 ED2	EVコンデクティブ充電システム：DC充電ステーション	日*	40.92	TC69/MT5
IEC 61851-24 ED2	EVコンデクティブ充電システム：DC充電制御デジタル通信	日*	40.92	TC69/MT5
IEC 62196-2 ED3	EVコンデクティブ充電用プラグ・ソケット・車両カプラ：AC充電用車両カプラの寸法互換性	日*	40.92	TC23/SC23H/ MT8
IEC 62196-3 ED2	EVコンデクティブ充電用プラグ・ソケット・車両カプラ：DC充電用車両カプラの寸法互換性	日*	40.92	TC23/SC23H/ MT8
IEC 61980-1 ED2	EVワイヤレスシステム給電システム：一般要件	スイス*	50.20	TC69/WG7
IEC 63110-1 ED1	EV充放電インフラ管理	独・仏	40.00	TC69/JWG11

*改訂前の規格での提案国, **公開情報からは不明

出所) JARIF「電動車両用電池・充電に関する国際標準化の動向」, http://www.jari.or.jp/Portals/0/resource/JRJ_q/JRJ20190202_q, IEC「TC 69 Work programme」, https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:23:79053892350::: FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1255,25, IEC「TC 69 Stability date of publications」, https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:21:79053892350::: FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1255,25, IEC「SC 23H Work programme」, https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:23:79053892350::: FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1426,25 を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2020年9月14日)

IEC 62196-3規格の内容

IEC 62196-3では、日本、中国、米国、欧州の4つの急速充電方式が承認されている。どの方式を採用するかは市場に委ねられており、今後はCHAdeMOを搭載した製品を如何にしてユーザに届けられるかが鍵となる。標準化と並行し、製品の普及を進めることが重要だと考えられる。

IEC 62196-3で採択された急速充電方式

	Configuration AA CHAdeMO (Japan) (System A)	Configuration BB GB/T (PRC) (System B)	Configuration EE COMBO 1 (US) (System C)	Configuration FF COMBO 2 (DE)
Connector				
Dimensional requirements				
Communication Protocol	CAN		PLC	

出所) CHAdeMO「IEC / EN standardization」, https://www.chademo.com/wp2016/wp-content/uploads/2014/10/IEC_standardization_update.pdf、MONOist「日本発のEV用急速充電規格「チャデモ」はなぜ国際標準になれたのか」, https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1406/17/news020_3.html を基に三菱総合研究所作成（閲覧日：2020年9月14日）

急速充電に関する規格開発動向

急速充電に関しては、CHAdeMO協議会の設立をきっかけとして充電装置の設置実績では日本がリード。しかし、SAEやISO規格開発では、米国や欧州に後れを取った。巻き返しに向け、充電装置でシェア1位の中国と連携し、超高出力急速充電の規格として2020年4月に新規格「ChaoJi」を発行した。装置の普及でリードしていても規格開発で後れを取る可能性があることに留意すべき。

急速充電に関する規格開発動向

年月	内容
2005年	CHAdeMOの技術開発を開始
2009年秋	CHAdeMOの開発チームがSAEに規格改正を実施
2010年3月	トヨタ、日産、三菱自動車、富士重工業、東京電力を幹事会員として、CHAdeMO協議会が設立された
2010年6月	ドイツ、フランスがISOに提案していた新規プロジェクトが承認された
2010年7月	CHAdeMO協議会がIECに規格提案を実施
2012年2月	東京電力の開発仕様に基づき、日米欧の電気機器メーカー32社が製品化。設置場所は2月10日時点で日本国内に835箇所、国外に176箇所に達した
2012年5月	メルセデスベンツ、BMW、フォルクスワーゲン、アウディ、ポルシェ、GM、フォードが「COMBO方式」を提案。「CHAdeMO方式」では急速充電と普通充電で別のプラグを用いるが、「COMBO方式」では両プラグが一体となっている ※COMBO1が米国案、COMBO2がドイツ案
2012年10月	COMBO1を標準仕様としてSAE J1772_201210が発行
2014年6月	COMBO1、COMBO2、CHAdeMO、GB part3（中国案）を標準仕様としてIEC 62196-3が発行
2015年5月	COMBO2を標準仕様としてISO 15118-3が発行（MRI想定）
2018年8月	CHAdeMO協議会と中国電力企業聯合会が超高出力の急速充電規格の共同開発に合意。2020年4月に新規格を発行

出所) 名古屋大学「標準化機関」, http://www.coi.nagoya-u.ac.jp/html/coiura/case_siryou/20191119_11thCASE_AkatsuKoushi.pdf. CHAdeMO「CHAdeMOのあゆみ」, <https://www.chademo.com/ja/about-us-2/history-timeline/>. CHAdeMO「Charging Standard」, <https://www.itf-oe.cd.org/sites/default/files/docs/charging-infrastructure-standardisation/default/files/docs/charging-infrastructure-standardisation-developments-yoshida.pdf>. synthesist「米国自動車技術会の新しい充電規格、コンポコネクターとは」, <http://hori.way-nifty.com/synthesist/2012/10/post-2d12.html>. JARI「米国自動車技術会の新しい充電規格、コンポコネクターとは」, http://www.jari.or.jp/Portals/0/resource/JRJ_q/JRJ20130705_q.pdf. IEC「IEC 62196-3:2014」, <https://webstore.iec.ch/publication/6584>. ISO「ISO 15118-3:2015」, <https://www.iso.org/standard/59675.html>. MONOist「電力平準化や課金を意識して策定された欧州のEV用充電規格「コンボ」」, https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1407/02/news014_2.html を基に三菱総合研究所作成（閲覧日：2020年9月14日）

急速充電の方式と各規格での承認状況

日本のCHAdeMOと中国のGB/Tは普通充電と急速充電のポートを分けているが、COMBOでは同一のポートで充電できる。教訓として、消費者ニーズに基づいた製品の普及・拡大を先行させる一方で、方式の乱立を防ぐための国際協調に向けた戦略構築が求められると考えられる。

急速充電の方式と各規格での承認状況

急速充電方式	CHAdeMO	GB/T	COMBO1	COMBO2	Tesla
推進国	日本	中国	米国	欧州	-
ポート	急速充電のみ	急速充電のみ	普通／急速充電	普通／急速充電	急速充電のみ
ISO規格				● (MRI想定)	
IEC規格	●	●	●	●	
EN規格 (欧州)	●			●	
JIS規格 (日本)	●	●	●	●	
GB規格 (中国)		●			
IEEE, SAE (米国)	● (IEEE)		● (SAE)		
設置数*	27,500	300,000	3,000	11,000	20,000
開発着手	2009年	2013年	2014年	2013年	2012年
備考	普通充電は別ポート	普通充電は別ポート	-	-	普通充電はアダプタを仕様

*2020年2月のCHAdeMO発表資料より引用した値

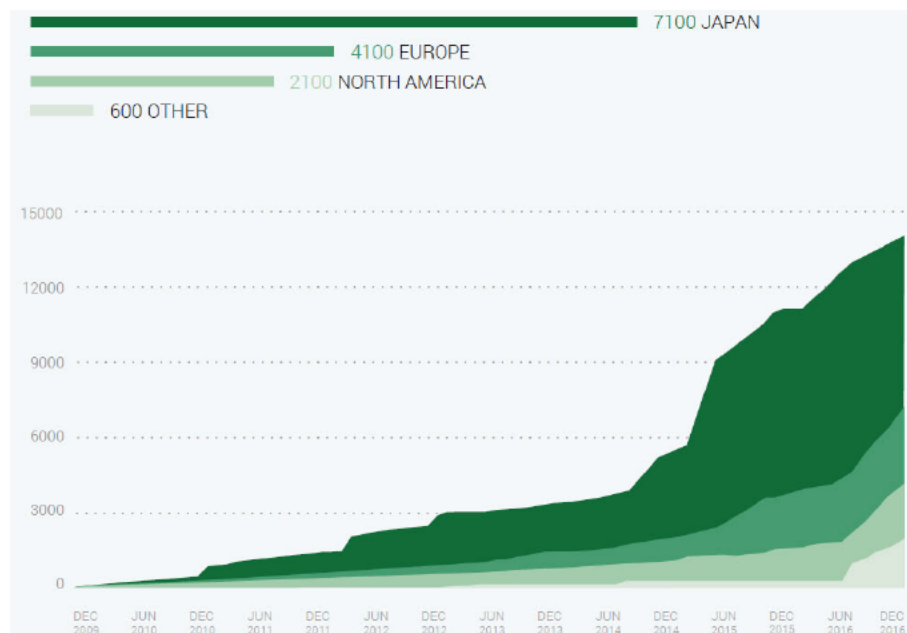
出所) CHAdeMO「Charging Standard」, <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/charging-infrastructure-standardisation-developments-yoshida.pdf>、電気設備学会誌「EVの普及と活用動向」, https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieiej/33/10/33_752/_pdf/-char/en、Tesla「サポート」, <https://www.tesla.com/jp/support/public-charging>、MONOist「電力平準化や課金を意識して策定された欧州のEV用充電規格「コンボ」」, <https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1407/02/news014.html> を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2020年9月14日)

(参考) CHAdeMO方式充電器の普及の推移

CHAdeMO方式の充電器は普及が急速に進み、世界で最も普及している急速充電器となっている。世界の主要充電器メーカーは全てCHAdeMO会員である。また、CHAdeMOに準拠したEVの販売台数（中国を除く）でもCHAdeMOが世界をリードしている。

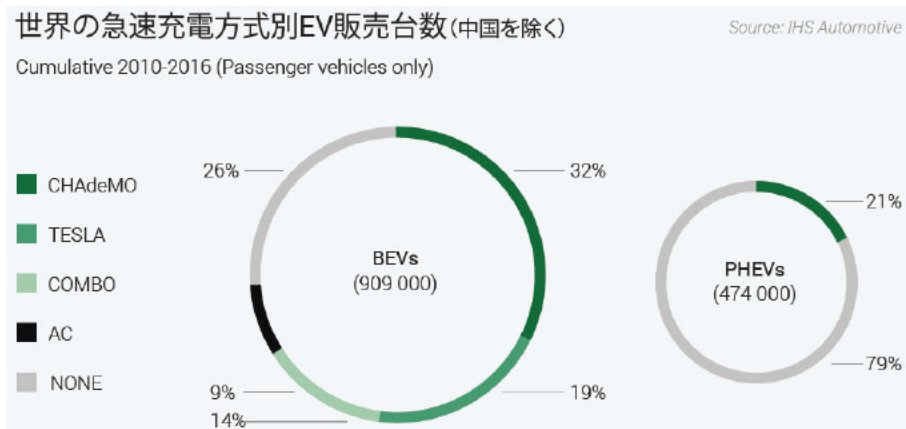
CHAdeMO急速充電器の普及の推移（2016年末時点）

- 日本を中心に、欧州や米国でも普及が進んでいる



CHAdeMO急速充電器に対応したEV販売台数

- CHAdeMO方式が30%以上を占めている



出所) CHAdeMO「充電インフラの技術開発とEV普及への取り組み」, <https://www.chademo.com/wp2016/wp-content/japan-uploads/Brochure2017jp.pdf> を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2020年9月14日)

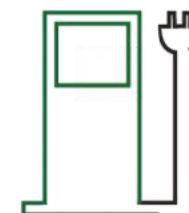
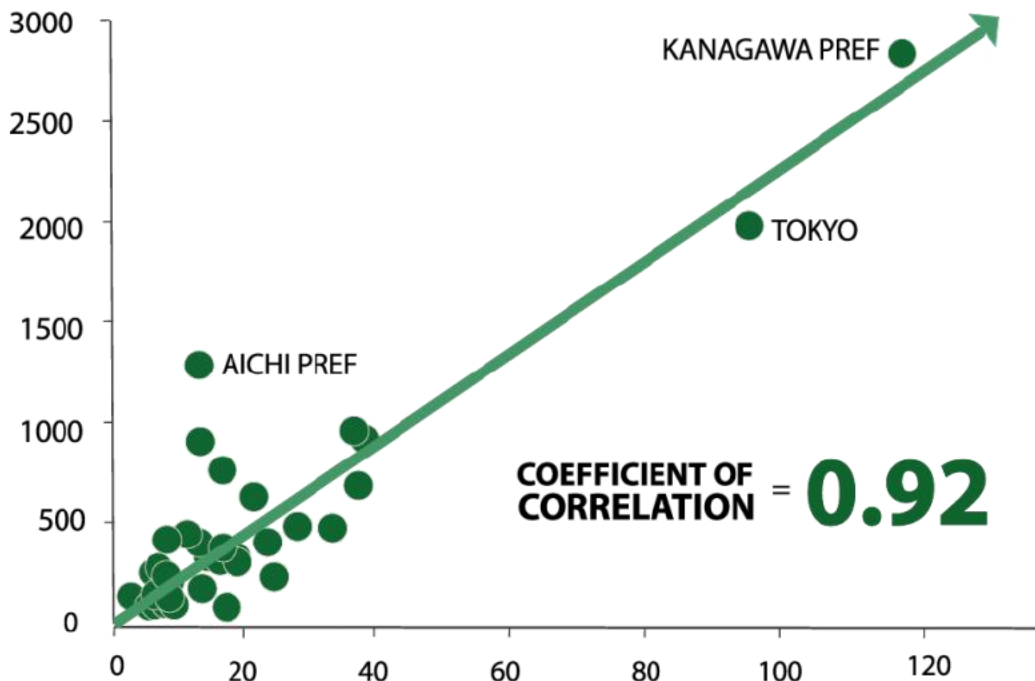
(参考) 急速充電器の設置台数とEV販売台数の関係

急速充電器の設置台数とEV販売台数の間には強い相関関係があることが示されている。

急速充電器の設置台数とEV販売台数の関係



NUMBER OF EVS
REGISTERED (Unit)



NUMBER OF FAST
CHARGERS INSTALLED
(Unit)

急速充電器の普及効果 (1/2)

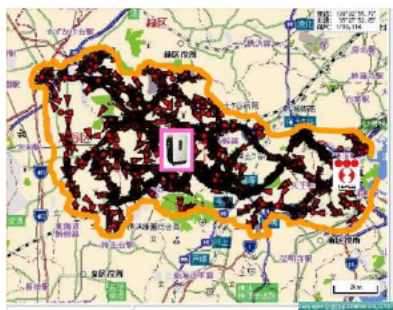
急速充電器の増設で電池残量が少なくなるまで走行するようになり、結果として走行距離が急増した。規格開発の争いで既存利用者が不利益を被ることを避けることを優先し、今後は協調のための技術的ソリューション開発が進むと考えられる。

急速充電器の増設

- 2007年10月 (増設前)
月間走行距離：203km

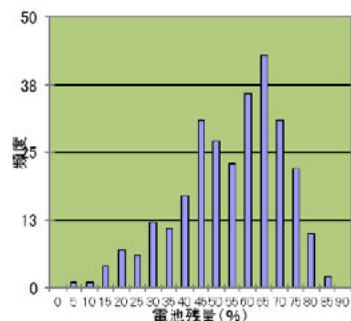


- 2008年7月 (増設後)
月間走行距離：1,472km

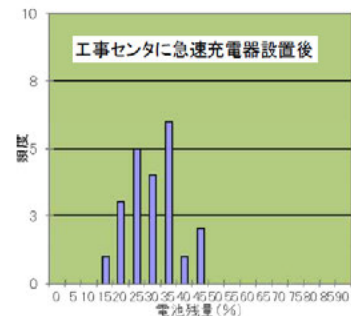


急速充電器の設置効果

残量が半分以上残っている状態で帰社
(航続距離が短いのは不安)



残量が少なくなるまで走行
(急速充電器の設置で出先での電池切れの不安が解消された)



急速充電器の普及に関する見解

CHAdeMO協議会
事務局 丸山氏

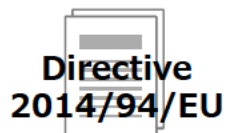
(電気設備学会誌より引用)

既に世界各地で普及が始まっているCHAdeMO準拠EVの利用者が、規格争いで不利益を被ることがないようにすることを最優先に考えなければならない。そのためには対抗する規格を排除するのではなく、**協調のための技術的ソリューション**を地域の枠を超えて**協力・提供しなければならない**と考えている。

急速充電器の普及効果（2/2）

EUは充電インフラ整備に関する法律（2014/94/EU）の中で、IEC 62196-3に併記された4つの急速充電規格のうち、COMBO2（ドイツ提案）を欧州標準としたが、CHAdeMO方式を備えたマルチ充電器の設置を容認することを特記した。本特記は、既に各国で普及しているCHAdeMOの市場ニーズに対する配慮であるとする、規格開発と並行して装置の普及を進めることが重要であると考えられる。

Directive 2014/94/EU における特記

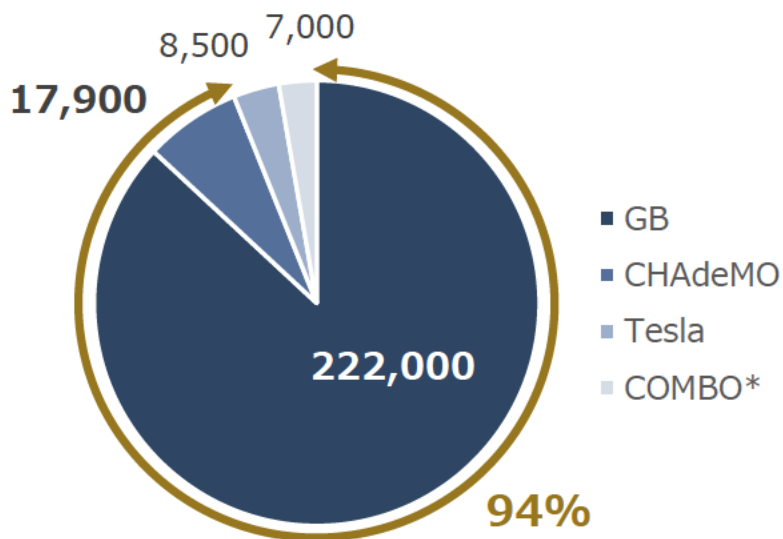


Interface to charge electric vehicles could include several socket outlets or vehicle connectors as long as one of them complies with the technical specifications set out in this Directive, so as to allow multistandard recharging. However, the choice made in this Directive of Union-wide common connectors for electric vehicles (Type 2 and Combo 2) should not be detrimental to Member States having already invested in the deployment of other standardised technologies for recharging points and should not affect existing recharging points deployed before the entry into force of this Directive. Electric vehicles already in circulation before the entry into force of this Directive should be able to recharge, even if they were designed to recharge at recharging points that do not comply with the technical specifications set out in this Directive. The choice of equipment for normal and high power recharging points should comply with specific safety requirements in force at national level.

次世代高出力規格（ChaoJi）の開発

規格の統一を見据え、急速充電で市場シェア1位の中国と2位の日本が次世代高出力規格（ChaoJi）を共同で開発した。欧米各国との連携が難しい場合は、欧米以外の市場規模が大きい国と連携することで、デファクトスタンダードを獲得するアプローチも考えられる。

急速充電器の普及台数（2018年4月時点）



*COMBO1とCOMBO2の合算値

次世代高出力規格（ChaoJi）の開発

	CHAdeMO	GB/T	US-COMBO CCS1	EUR-COMBO CCS2	Tesla	ChaoJi
Connector						
Inlet						
IEC	✓	✓	✓	✓		Future
IEEE	✓		SAE			?
EN	✓			✓		?
JIS	✓	✓	✓	✓		✓
GB		✓				✓
Protocol	CAN		PLC		CAN	CAN
Max Power	400kW 1000x400	185kW 750x250	200kW 600x400	350kW 900x400	?	900kW 1500x600
Market Power	150kW	125kW	150kW	350kW	120kW	-
Connectors #	27,500	300,000	3,000	11,000	20,000	-
Start @	2009	2013	2014	2013	2012	2020 Target

出所) CHAdeMO「Charging standard」, <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/charging-infrastructure-standardisation-developments-yoshida.pdf>.
Smart Grid「日本と中国が次世代EV急速充電の統一規格を共同開発へ」, <https://sgforum.impress.co.jp/article/4811> を基に三菱総合研究所作成（閲覧日：2020年9月14日）

日本製品・市場に対する充電規格の開発効果・影響

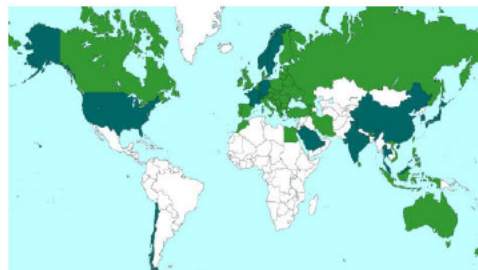
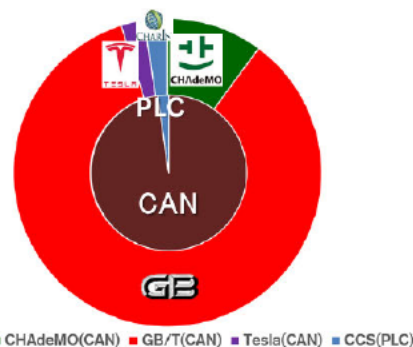
規格開発の効果・影響としては、1) 日本の自動車メーカーや充電器メーカーが開発したEVや充電器が使い続けられること、2) 開発製品のユーザが増えることで量産効果によるコスト削減が期待できること、の2点がある。

日本製品・市場に対する規格開発の効果・影響（ChaoJiの開発メリット）

All rights reserved. CHAdeMO Association

中国との協業のメリット

- 高品質（安全性、耐久性、互換性）な規格が作れる
- 中国と規格を同じくすることで実質の世界標準化が可能
 - ✓ 規格普及状況によって参入容易国が増大する
- 数量のめどがたつことによるコスト削減が期待できる
- 従来の充電器も無駄にならない



GBの数的優位性

チャデモの地理的優位性

21

(3) 自動運転規格の開発状況

自動運転関連のISO規格

自動運転関連のISO規格は、ISO/TC22とTC204で開発されている。本調査では、ISO 19237と19206-2の開発に関わるTC22とTC204の連携のほか、TC204/WG14で日本が提案した規格にフォーカスして調査を実施した。

開発中／発行済のISO規格例

規格番号	規格内容	提案国	ステータス	委員会
ISO 19237:2017	歩行者検出および衝突軽減ブレーキシステム	日	60.60	TC204/WG14
ISO 19206-2:2018	予防安全機能を試験する際に使用する歩行者のダミーターゲット	-*	60.60	TC22/SC33/WG16
ISO 21202:2020	部分的自動車線変更システム (PALS)	日	60.60	TC204/WG14
ISO/WD 23792-1	自専道自動走行システム (MCS)	日	20.00	TC204/WG14
ISO/TR 20545:2017	自動運転の標準化に関するレポート (RoVAS)	日	60.60	TC204/WG14
ISO/DIS 22737	限定運行条件の低速自動走行システム	英	40.20	TC204/WG14
ISO/AWI 23374	自動バレー駐車システム (AVPS)	日・独	20.00	TC204/WG14
ISO 21717:2018	車線内部分的自動走行システム (PADS)	独	60.60	TC204/WG14
ISO/PWI 23793-1, -2	自動運転システム用フォールバック機能	韓	-	TC204/WG14
ISO/CD 21448	性能限界時の機能安全 (SOTIF)	仏***	30.60	TC22/SC32/WG8
ISO/TR 21959-1:2020	自動運転におけるドライバの状態：用語の定義	日・米***	60.60	TC22/SC39**

*公開情報からは不明, **WGに関しては公開情報からは不明, ***改訂前の規格での提案国

出所) 経済産業省「国際標準化に対する日本の活動」, https://www.jasic.org/j/14_automated-driving/pdf/sympo6.pdf. JSAE「ITSの標準化2019」, https://www.jsae.or.jp/01info/org/its/its_2019_jp.pdf. ISO「ISO19206-2:2018」, <https://www.iso.org/standard/63992.html>. ISO「ISO19237:2017」, <https://www.iso.org/standard/64111.html>. ISO「ISO21202:2020」, <https://www.iso.org/standard/70072.html>. ISO「ISO/WD 23792-1」, <https://www.iso.org/standard/76964.html>. ISO「ISO/TR 20545:2017」, <https://www.iso.org/standard/68300.html>. ISO「ISO/DIS 22737」, <https://www.iso.org/standard/73767.html>. ISO「ISO/AWI 23374」, <https://www.iso.org/standard/78420.html>. ISO「ISO 21717:2018」, <https://www.iso.org/standard/71471.html>. ISO「ISO/CD 21448」, <https://www.iso.org/standard/77490.html>. ISO「ISO/TR 21959-1:2020」, <https://www.iso.org/standard/78088.html> を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2020年9月15日)

(参考) TC22とTC204の連携

TC22は情報通信サイド、TC204は自動車サイドにあるが、自動運転に関する両TCの職掌範囲に重複が生じていた。その中で、欧州の自動車メーカーやサプライヤの活動が活発なTC22と、日本が議長を務め、WS開催やTR発行等の活動を先行するTC204の間でリエゾン問題が生じた。信頼関係を醸成し、2014年に覚書を締結したことで両TCの連携が加速した。

TC22とTC204の連携までの流れ

年月	内容
2013年	TC204/WG14の議長に三角（みすみ）氏が就任
2013-2014年	TC204が規格開発を検討してきた予防安全技術に関し、TC22が競合するWGを設立し、NP投票を開始
2013年10月	TC204神戸会議にTC22議長Igor Demay氏が出席し、両TC代表者間で連携に関する覚書案を協議
2014年5-6月	TC22とTC204で、両TC間連携の手順を取り決めた覚書を締結（TC204側は5月に投票で、TC22側は6月の総会で承認）。以降、予防安全試験用の評価ダミー（歩行者・自転車ダミー）の規格開発はTC22/SC33/WG16、ダミーを用いた試験法や最低性能要件の規格開発はTC204/WG14で進める役割分担になった
2014年6月	日本提案のISO 19237（歩行者検出・衝突軽減ブレーキシステム）がTC204で新規プロジェクトとして承認
2014年7月	ISO 19206-2（性能試験で用いる歩行者ダミー）がTC22で新規プロジェクトとして承認
2017年12月	ISO 19237が発行
2018年11月	ISO 19206-2が発行

出所) マツダ「ITSの国際標準化に向けた取り組み」, https://www.mazda.com/globalassets/ja/assets/innovation/technology/gihou/2017/files/2017_no027.pdf、JSAE「ITSの標準化2019」, https://www.jsae.or.jp/01info/org/its/its_2019_jp.pdf、経済産業省「令和元年度 産業標準化事業表彰受賞者インタビュー Vol.18」, <https://www.meti.go.jp/policy/economy/hyojun-kijun/keihatsu/hyosho/interview/20191008-20.html>、JARI「ISO/TC204におけるITSの国際標準化動向」, http://www.jari.jp/Portals/0/resource/JRJ_q/JRJ20150101_q.pdf、ISO「ISO19206-2:2018」, <https://www.iso.org/standard/63992.html>、ISO「ISO19237:2017」, <https://www.iso.org/standard/64111.html>、経済産業省「日本発の「自動車運転時の歩行者検出・被害軽減ブレーキ」に関する国際規格が発行されました」, <https://www.meti.go.jp/press/2017/12/20171225005/20171225005.html> を基に三菱総合研究所作成（閲覧日：2020年9月15日）

ISO 19237規格の内容

交通死亡事故の1/3を占めている歩行者の検出・被害軽減ブレーキシステムの要求性能を明確化すべく、2013年12月に日本が規格開発を提案。TC204/WG14で審議され、2017年12月に発行。世界各国の自動車アセスメントに採用され、自動車の予防安全性能が向上し、国連SDGs目標「2020年までに世界道路交通事故死傷者半減」に貢献することが期待されている。

ISO 19237規格の内容

背景

2017年上期の交通死亡事故は交通弱者である歩行者が34.4%を占め、約7割が夜間で発生。これに対し、近年の市販車には歩行者を車載カメラ・センサで検出し、警報や緊急自動ブレーキを作動することで被害を軽減する予防安全機能が採用されるようになった。自動車事故対策機構では、ユーザーが安全な自動車を選択できる環境をつくり、安全な車の普及を図ることを目的として、「車種別予防安全性能評価試験（※2017年12月時点は昼間条件のみ）」を実車試験に基づいて実施し、その試験結果を公表している

規格内容

先方歩行者に衝突する可能性がある時、自動で緊急制動を行い、衝突被害を軽減するシステムの作動コンセプト、性能要件、試験方法に関する規格

歩行者検出・被害軽減ブレーキシステムの機能要件及び性能試験方法（昼間及び夜間）を規定した。性能試験で使用する歩行者ダミーの仕様については、TC22/SC33/WG16と連携することで、当該WGでISO 19206-2として発行されている

規格イメージ



(参考) ISO 19206-2で規定された歩行者ダミーの例



ISO 21202規格の内容

自動車による接触事故が車線変更中にも多発していることを踏まえ、自動車線変更システムの要求性能の明確化に向け、2017年8月に日本から規格開発を提案。日本が議長を務めるTC204/WG14で審議され、2020年4月に発行された。車両制御システムを搭載した自動車が世界に普及することで、高速道路等での交通事故の減少につながることを期待されている。

ISO 21202規格の内容

背景

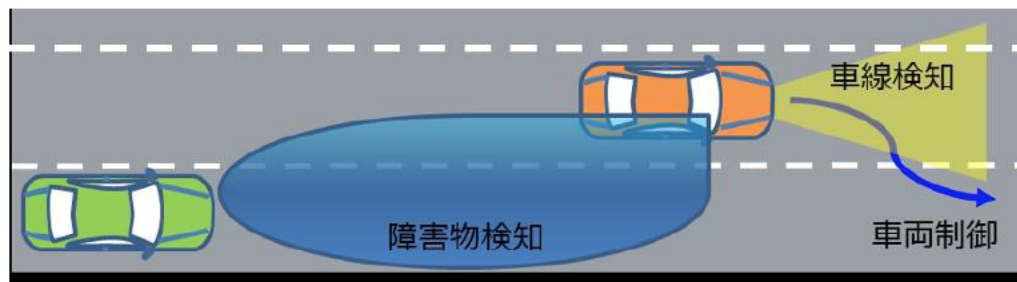
自動車による接触事故は車線変更中にも多発しており、2015年の統計では7,000件を越える死傷事故が発生している。こうした背景を受け、自動車線変更システムの要求性能を明確化し、一定の性能を有したシステムがより広く普及することを目指して、日本から国際標準を提案

規格内容

車線や自車両の周囲をセンサーで認識し、ドライバーの指示または承認によって、車線変更を部分的に自動で行うシステムに関する規格
 ドライバーによる車線変更の指示に基づきシステムが車線変更動作を行うタイプ1と、システムによる車線変更の提案に対してドライバーが承認するとシステムが車線変更動作を行うタイプ2に分類され、それぞれに要求される要件やその検証試験方法が定義されている。タイプ1においては車両付近のドライバーの死角となるエリアを、タイプ2においてはより後方のエリアに対する障害物検知機能を備えることを要件としている

規格イメージ

部分的自動車線変更システムの機能及び動作イメージ



※経済産業省HPより抜粋

ISO 21202規格の開発におけるポイント

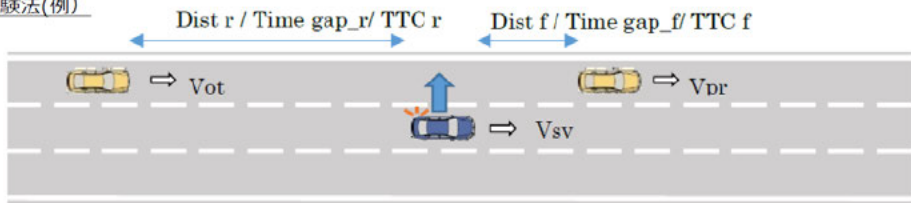
ISO 21202では、技術的検証や試験データに基づいて規格値が設定されている。技術データに基づいて規格案を作成すること、また他国等からの質問に対しては技術資料を添えて回答し、懸念を払拭することも重要なポイントであると考えられる。

ISO 21202規格の内容

最小機能要件・試験条件について検討中

最小機能要件(例) $V_{min}=20$ m/s (TBD) $V_{max}=30$ m/s (TBD) $Lat_Acel_max.=3$ m/s²
(車速72km/h~108 km/hで動作、ただし、最高速は各国の法規以内)

試験法(例)



- V_{sv} between 20 m/s and 23 m/s
- Requirement: The system shall transition from PALS ACTIVE state starting a lane change to PALSSTANDBY state within 6.3 seconds (TBD) of completing the lane change

(車速72~83 km/hの条件で6.3秒以内(TBD)に車線変更を完了)

その他、車線変更提案試験、車線変更中断試験、などの規格を検討中。

設定根拠について次頁で説明

数値の設定根拠

A STUDY ON WARNING TIMING FOR LANE CHANGE DECISION AID SYSTEMS BASED ON DRIVER'S LANE CHANGE MANEUVER

Takashi Wakasugi

Japan Automobile Research Institute

ESV2005 Paper Number 05-0290

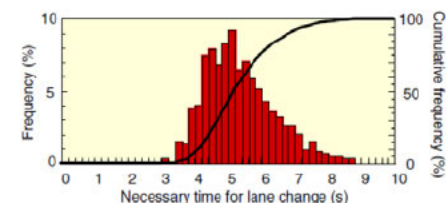


Figure 6. Distribution of required time for lane change.

The above findings set a reasonable standard of the warning threshold for LCDAS: TTC should be set at 10 seconds if the designer gives precedence to safety and to 6 seconds in order to minimize the driver's annoyance. We now examine why the threshold of TTC ranges from 6 to 10 seconds, i.e., why the decision point for lane change or cancellation exists in this range. Drivers' predictions before lane changing greatly influence this. Figure 6 shows a histogram of required time for lane change for all 831 data points in which the driver executed a lane change. The time required is distributed between 3.1 seconds and 8.8 seconds, and the average is 5.3 ± 1.0 seconds.

→ 6.3秒以内で規格提案

ISO 23792規格の内容

自動車専用道路でのレベル3の自動走行システムの実用化が迫る中で、日本から規格開発を提案。日本が議長を務めるTC204/WG14で審議されており、現在のステータスは20.00。システムの全体構成に加え、車線内自動走行機能の性能要件や試験方法が検討されている。

ISO 23792規格の内容

背景

自動車専用道路でのレベル3の自動走行システムの実用化が目前に迫っている。一方、自動運転システムは当面の間、天候や交通流などを踏まえた特定の条件下での作動や、単一車線内走行のように一部の機能のみが段階的に提供されることが想定される。これに加え、レベル3のシステムは緊急時に運転を交代する待機者の存在を前提としており、システムの起動や終了条件をユーザーが正しく理解する事が重要になる

規格内容

自動車専用道路でレベル3の自動走行を行うシステムの全体構成（パート1）及び車線内自動走行機能の要件や試験法（パート2）に関する規格

パート1の論点は、システム分類、運行設計領域（ODD）規定、システム状態遷移、異常時対応等。パート2の論点は、性能要件としては走路・障害物認識、車両運動制御、運転権限移譲、自動停止、ドライバーモニター等、試験方法としては走行車認識、減速・加速、追従等。今後、車線変更や分合流などの性能要件も随時追加する予定

規格イメージ



提案国: 日本

出所) 名古屋大学「標準化機関」, http://www.coi.nagoya-u.ac.jp/html/coiura/case_siryou/20191119_11thCASE_AkatsuKoushi.pdf、JSAE「ITSの標準化2019」, https://www.jsae.or.jp/01info/org/its/its_2019_jp.pdf、ISO「ISO/WD 23792-1」, <https://www.iso.org/standard/76964.html> を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2020年9月15日)

ISO/TR 20545規格の内容 (1/3)

TR 20545では、今後検討すべき標準化項目の全体像を示すため、機能的アーキテクチャ（後のページに示す）を想定しながら検討を進めた。日本から規格提案をするにあたり、JAMAやSIP自動走行システム関係者等への意見照会を通じて取りまとめた。

ISO/TR 20545の概要（検討時の留意点、今後検討すべき標準化項目）

検討時の留意点

- ① 自動運転全体を示す概念的なアーキテクチャを参考にして、体系的に項目を広く抽出する
- ② 標準化をどの組織が担当するかは問わず、可能性のある項目を幅広く抽出し、標準化の役割分担は別途検討する
- ③ いつ標準化するかは別途判断することとし、将来的に可能性があると思われる項目も広く抽出する

今後検討すべき標準化項目 ※次ページに続く

大分類	小分類	標準化の可能性がある項目	検討ポイント
一般共通項目	用語定義	用語定義	自動化レベルに応じてドライバとシステムの要件が異なるため、その役割分担が標準化の対象となる
	自動化レベル	自動化レベル	
	参照アーキテクチャ	概念的参照アーキテクチャ	
基本的な機能要件	レベルごとのシステムが満たすべき要件	走行環境の認識（位置の特定、地図や渋滞情報などの走行環境の静的・動的状態）	
		センシングの範囲・対象	
		制御性能（応答性、制御範囲）	
		適用条件が満たされているかどうかの確認	
	レベルごとのドライバが満たすべき要件	システム動作のモニタの要否	
		ドライバが運転に復帰する可能性（直ちに運転に復帰できる体制の要否、読書など運転以外の他のタスクの許容可否、運転席への在席の要否）	

ISO/TR 20545規格の内容 (2/3)

今後検討すべき標準化項目

大分類	小分類	標準化の可能性がある項目
基本的な機能要件	レベルごとのシステムとドライバとの機能の遷移に関わる要件	システムが伝えるべき内容
		受け渡しの時間要件
		ドライバとのインタラクション (ドライバが了解してから受け渡す、答えがない場合の対応)
		HMI (ヒューマンマシンインターフェース)
	システムのレベル間の遷移に関わる要件	システムが伝えるべき内容
		受け渡しの時間要件
		ドライバとのインタラクション
		HMI
	レベルごとのシステムに異常が発生した場合の要件	各自動化レベルにおいてシステムに異常が発生した場合の処理の原則等、システムの動作に関わる要件
		HMI
	協調システムの通信に関する要件	車載センサにより検知した先行車との車間距離・方位による先行車位置と、車車間通信で受診した先行車位置が異なる場合の情報の扱い方
	協調システムの外部情報の要件	インフラ・他車両から提供される情報内容
		精度
		鮮度
分解能		
その他	信頼性要件	フォールトトレランス
		フェールセーフ
		フェールプルーフ

検討ポイント

物理アーキテクチャの個別要素 (例えばセンサ) 間のインターフェース等が標準化項目になると想定した

ISO/TR 20545規格の内容 (3/3)

今後検討すべき標準化項目

大分類	小分類	標準化の可能性がある項目
その他	セキュリティ要件	データセキュリティ
		サイバーセキュリティ要件
		センサが誤作動させられないようにする要件
	システム動作記録の要件	イベントデータ記録
		プライバシー
	テスト要件	機能のテスト (テストシナリオ等)
		安全性・信頼性テスト (テストシナリオ、テスト条件、テストユースケース)
		テスト方法 (机上チェック、エミュレーション、実機、それらの組み合わせ等の条件)
	認証に関する標準の要件	認証に関する事項
		システム診断
		自動運転システムの利用申請
	他の車や歩行者へのインターフェース	自動運転中であることの表示
		隊列走行中であることの表示
		走行車とドライバのアイコンタクトに代わるインターフェース

検討ポイント

機能・物理アーキテクチャからは導出されないが、自動運転システムの標準化で考慮すべき項目 (用語や自動化レベルの定義、システム記録、テスト方法等) は一般共通項目とその他の項目として、各国・地域での標準化例のほか、専門家の意見聴取等から抽出した

ISO/TR 20545規格を開発した目的・ねらいと今後の取り組み

TR 20545は、他国・機関から関連提案があった際、日本が検討済であることを示し、日本と相談した上で規格開発を進められるようにすることを目的として開発された。

ISO/TR 20545規格の目的・ねらいと今後の取り組みについて

目的・ねらい

- ① 自動運転は広範囲のシステムが考えられており、標準化すべき項目は多岐にわたる。その全体像を体系的に明確にし、今後の戦略的・体系的な取り組みと標準の早期具体化を促進する
- ② 日本リードで標準化項目を抽出し、明文化することで、今後の自動運転関連技術の国際標準化全般において日本が主導していける下地を作る。他国や他機関から関連する標準化提案がなされたときに、日本は既に検討していることを示し、日本が標準化を担当するかを日本と相談して進めてもらうように主張できるようにする
- ③ これらの目的を達成するには、全体的に抜けがないことと日本の関係者の意見を反映することが重要。関係者・関係機関に対して広く事前の説明と相談を行い、意見を反映させて案を作成した

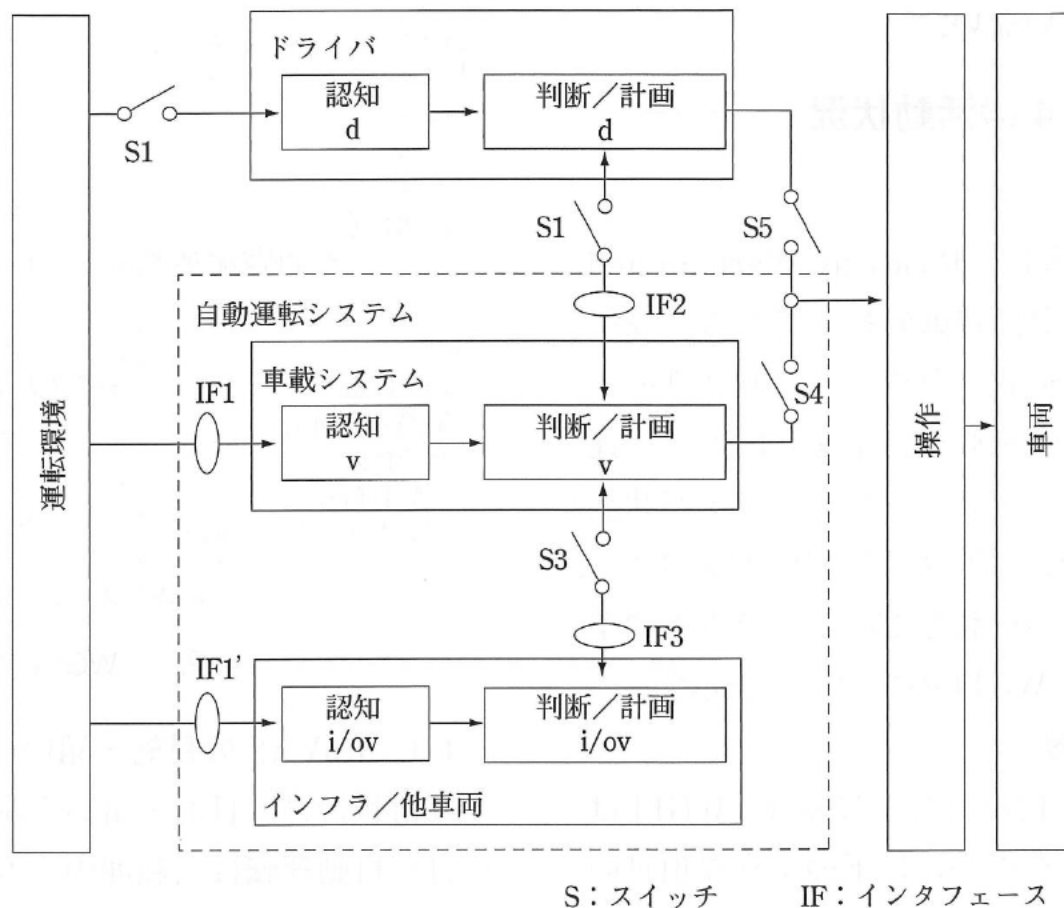
今後の取り組み

- ① 全体像の活用
 - ・ 全体像を明らかにするため、アーキテクチャを基にしたトップダウンアプローチ、そして多くの関係者や関係機関の知見や関連活動調査によるボトムアップアプローチの両面で、現状で考えられる範囲を網羅している。国や業界として、国際的に優位に立つためには、標準化についてどこを狙っていくか等の戦略的アプローチをトップダウンで進めることが重要
- ② 国際的リーダーシップ
 - ・ TRによって標準化の全体像や取り組むべき領域を示したことは日本の存在感や意欲を示す上で優位には働いている。重要な項目の標準化で引き続きリーダーシップを発揮していく必要がある。例えば、ヒューマンドライバと自動運転システムが共存して運転している場合の役割分担の基本的考え方、両社間の役割の受け渡し時の基本的方法等は大変重要な事項と考えられている

(参考) 自動運転の機能的アーキテクチャ：TR 20545規格での想定アーキテクチャ

TR 20545の検討では、標準化項目をトップダウンで抽出するための概念的なアーキテクチャとして、下記の機能的アーキテクチャを想定した。

TR 20545規格での想定アーキテクチャ



自動運転システムに関する規格開発動向

自動運転分野においては、日本がTC総会でのワークショップ（WS）を企画したほか、SIP「自動走行システム」でも技術開発のみならずワークショップ「SIP-adus」を開催することで、日本提案の規格開発を促進した。教訓として、技術開発と並行してWS等の実施により国際的に意識共有を図ることが求められると考えられる。

自動運転システムに関する規格開発動向

年月	内容
2014年6月	SIP「自動走行システム」のプロジェクトが始動
2014年5月	TC204オスロ総会で日本提案の自動運転に関するWSの開催を決定。WS企画の代表として、米国からはShladover氏、欧州からはTom Alkim氏、日本からはWG14議長の三角氏（マツダ）がTC204議長によって指名された
2014年10月	TC204バンクーバー総会でWSを実施。TR 20545*草案を日本がWG14会議で紹介。WSではWG14が標準化項目リストを提示
2014年11月	日本提案のISO/TR 20545が新規プロジェクトとして承認（10.99）
2014年11月	SIP-adusでWSを実施 ※以降、毎年10-11月に開催
2015年4月	TC204広州総会でWSを実施。WG14会議では、TR 20545に関し、若干の修正を行った後にDTR投票に進める承認を得た
2015年10月	TC204ポツダム総会でWSを実施。部分的自動車線変更システムや自動車専用道歩行支援システム等の標準化で合意に至る
2017年7月	ISO/TR 20545が発行（60.60）
2017年11月	日本提案のISO 21202（部分的自動車線変更システム）が新規プロジェクトとして承認（10.99）。WG14で開発を進行
2020年2月	日本提案のISO 23792-1が新規プロジェクトとして承認（10.99）。WG14で開発を進行
2020年4月	ISO 21202が発行（60.60）

*JAMAやSIP自動走行システム関係者等への意見照会を通じて取りまとめた、自動運転の標準化に関するレポート。日本が議長を務めるTC204/WG14でISO/TR 20545を発行することで、日本が自動運転システムの標準化をリードしたいとのねらいがあった

出所) 内閣府「研究開発計画」, https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf. JARI「ISO/TC204におけるITSの国際標準化動向」, http://www.jari.jp/Portals/0/resource/JRJ_q/JRJ20150101_q.pdf. JARI「ISO/TC204におけるITSの国際標準化動向」, http://www.jari.jp/Portals/0/resource/JRJ_q/JRJ20151203_q.pdf. JARI「ISO/TC204におけるITSの国際標準化動向」, http://www.jari.or.jp/Portals/0/resource/JRJ_q/JRJ20170101_q.pdf. ITS Japan「SIP-adus等での国際連携活動」, https://www.its-jp.org/katsudou2014/tabid_30/tabid_301/. JSAE「ITSの標準化2019」, https://www.jsae.or.jp/01info/org/its/its_2019_jp.pdf. ISO「ISO 21202:2020」, <https://www.iso.org/standard/70072.html>. ISO「ISO/WD 23792-1」, <https://www.iso.org/standard/76964.html>. ISO「ISO/TR 20545:2017」, <https://www.iso.org/standard/68300.html> を基に三菱総合研究所作成（閲覧日：2020年9月15日）

SIP「自動走行システム」での目標設定

SIP「自動走行システム」では、実用化にむけた大規模実証のみならず、ガラパゴス化防止のために国際規格の開発を目標に定めている。

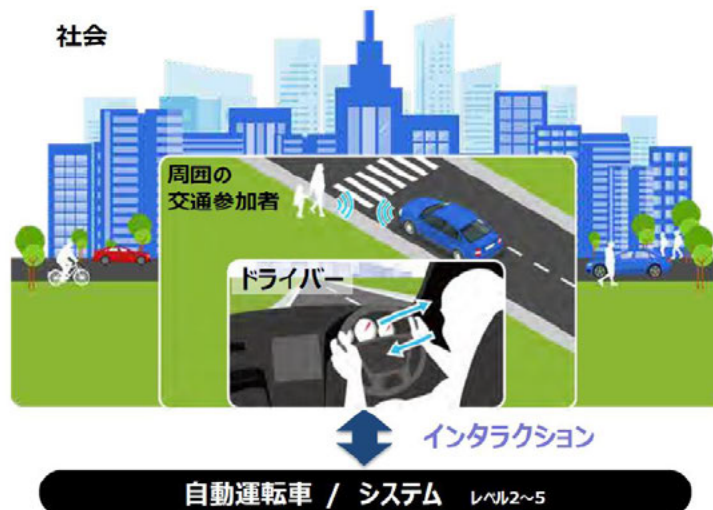
情報セキュリティ分野での最終目標

- ◆ 評価ガイドライン策定のため、3社競争による研究開発を導入
- ◆ ガイドライン立案及び実機評価能力を元に評価ベンダー1社を選定
⇒ 受託会社毎にアプローチが異なり、ガイドライン策定のポイントが明確化



《最終目標》 車両レベル・モジュールレベルでの評価手法の確立と国際標準化

HMI (ヒューマンマシンインターフェース) 分野での最終目標



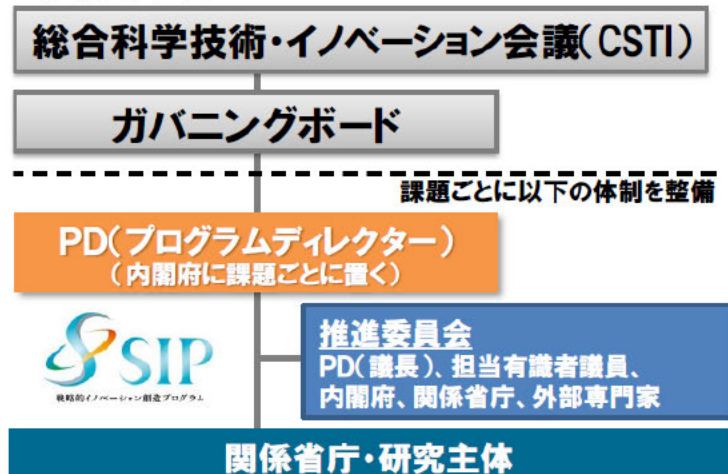
《最終目標》 自動運転レベル3実現に向けたHMIガイドライン策定・国際標準化

SIP「自動走行システム」の実施体制

国際規格の開発に向け、SIP「自動走行システム」では国際連携WGを設置している。

SIP「自動走行システム」の実施体制：国際連携WGの設置

<実施体制>



➤ SIP 自動走行システム (略称：SIP-adus)
Cross-Ministerial Strategic Innovation Promotion Program
Innovation of Automated Driving for Universal Services

➤ 「自動走行システム」の研究開発

平成26年度：約 25 億円

平成27年度：約 23 億円

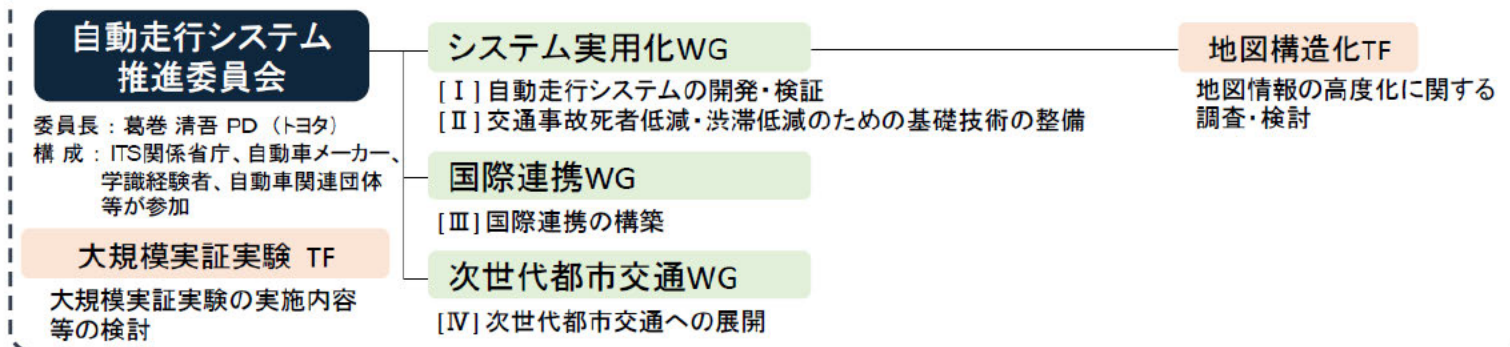
平成28年度：約 27 億円

平成29年度：約 33 億円

平成30年度：約 28 億円

[PD取りまとめの下、関係省庁(警察庁、総務省、経産省、
国交省)等が連携して推進]

「自動走行システム」プロジェクト



SIP「自動走行システム」での人的コネクション構築に向けた取組み

また、国際規格開発に向けては情報発信やキーマンとの意見交換、人的コネクションの構築が重要となる。SIP「自動走行システム」では、SIP-adusを設置し、毎年WSを開催することで人的交流を図っている。

SIP「自動走行システム」での人的コネクション構築に向けた取組み：SIP-adusの設置

ダイナミックマップ

ISO/TC204/WG3にドラフトを提案
・3件の規格案を提出済



デジュール標準化

HMI

ISO/TC22/SC39/WG8にドラフトを提案
・1件の規格案を提出済、2件を準備中

①SIP-adus Workshop

'17年11月14-16日@東京国際交流会館 登壇者 59名(海外35名) 500名規模
→情報発信・キーマンとの意見交換・人的コネクション



②大規模実証実験

③JAMA, JSAEとの緊密な連携

JAMA ; 日本自動車工業会 JSAE ; 自動車技術会



デファクト標準化

日独連携

欧米主導のダイナミックマップ業界標準会議(OADF*)
との連携 ⇒ SIPから正式メンバー登録

「自動走行技術の研究開発の推進に関する
日独共同声明」⇒共同研究枠組み構築中

(4) まとめ

調査結果まとめ（1/2）

まとめ

(1) 規格開発のポイント

【国内体制の整備】

- 日本が議長を務める、あるいは議長と密な連携を図れている委員会で規格提案することが望ましいが、そうではない場合は特に国内の役割分担や戦略構築が重要。
- 標準化団体の各委員会とミラー体制を敷き、所管を明確化。標準化の投票権を有していない場合は投票権のある国内機関との密な連携により着実に規格開発を推進。
- 国際標準のみならず、国際基準も見据えて情報連携を図り、日本としての戦略を構築。

【開発すべき規格の先行検討・提案】

- 全体を捉えた概念的なアーキテクチャに基づき、開発すべき規格を網羅的・体系的に整理した規格の開発により、他国から関連提案があっても日本が検討済であることを示し、日本との相談を促すことが可能。

【技術に基づいた規格開発】

- 規格開発の乱立を防ぐには国際協調が肝要。海外での普及を視野に入れ、市場規模が大きい国やプレーヤーを仲間にする際、技術内容の教授や資料提供が必要になる。
 - 市場規模が大きい国と連携するとデファクトスタンダードを確立できる可能性が高い。
 - 規格開発時に技術資料を添えて相手の懸念を払拭することは、仲間作りに重要な役割を果たす。
 - NEDO事業等での技術開発においてWSを実施し、情報発信、キーマンとの意見交換、人的コネクション構築を推進することで、国際的な仲間作りを図るのもよい。

※次ページにつづく

調査結果まとめ（2/2）

(1) 規格開発のポイント：前ページのつづき

【消費者ニーズを捉えた規格開発】

- 規格開発を意義あるものにするには製品普及を見据える必要がある。また、先行して製品を開発することは規格開発の推進にも貢献し得る。
- 普及する製品を開発するには消費者ニーズを捉えることが重要。開発規格の普及まで見据える場合は、消費者ニーズに沿った形で、製品開発・普及と規格開発の両輪を回すことが重要。
 - メーカー側とユーザ側の企業が連携することで、技術シーズと消費者ニーズが噛み合った規格開発を推進。
- また、製品利用に周辺設備を要する場合はその設備をセットで普及させる必要あり。

まとめ

(2) 規格開発のメリット

- 国内メーカーの開発製品を海外に普及でき、共通仕様化・量産効果によるコスト削減が期待できる。
- 標準化の議論過程で客観性のある技術資料が入手できることも重要な視点。

3. 技術開発調査

3. 1 海外の技術開発調査

海外の技術開発調査の概要

- 空飛ぶクルマの技術項目ごとに、海外事業者を抽出し、その技術開発状況を公開情報から調査した。
- 具体的には、主要機体の動向、及び各主要機体メーカーが機体開発プロジェクトにおいて連携、あるいは装備品を採用しているプレーヤを中心に調査した。以下に、主要機体メーカーの連携・採用プレーヤを整理する。

主要機体メーカーの連携・採用プレーヤー一覧 ※引用は次ページに記載

項目	Volocopter	Bell	Uber	Airbus
バッテリー	(公開情報からは不明)	EPS [6]	E-One Moli Energy [12]	Airbus' Defense and Space arm [20]
モーター	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)	Launch point [13]	Siemens [21]
充電システム	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)	Charge point [14]	(公開情報からは不明)
推進システム	(公開情報からは不明)	Safran [7]	ESAero [15]	Airbus' E-Aircraft Systems [22]
推進機	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)	ARL [16]	Airbus Helicopter ¹⁾ [23]
アビオニクス	(公開情報からは不明)	Garmin [8]	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)
アクチュエータ	(公開情報からは不明)	Moog [9]	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)
自律制御	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)	École Polytechnique [17]	Airbus [24] ※MRI想定 ²⁾
ナビゲーションシステム	Honeywell [1]	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)
フライトコントロールシステム	Diehl Aviation [2]	Thales [10]	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)
運航管理システム	AirMap ³⁾ , Unifly ³⁾ , Altitude Angel ³⁾ [3]	Microsoft [11]	NASA ⁴⁾ [18]	(公開情報からは不明)
離着陸ポート	Skyport [4] Fraport [5]	(公開情報からは不明)	Signature Flight Support [19]	ADP Group [25]

1) プロペラ・ダクトシステム等の推進機をAirbus Helicopterが製造、2) AirbusはA350-1000XWBの自律飛行に関して試験飛行を実施しており、eVTOLの自律飛行に関しても一定の技術・ノウハウを有していると考えられる、3) UTMの主要プロバイダ3社のシステムそれぞれを利用して超低空域でのサービス提供の実験を実施中、4) NASAとUberがUTMを共同開発する旨を発表

参考情報一覧

- [1] Honeywell「Honeywell and Volocopter to Research and Develop Navigation Solutions for Urban Air Mobility」, <https://aerospace.Honeywell.com/en/learn/about-us/press-release/2019/04/Honeywell-and-volocopter-to-develop-navigation-mobility> (閲覧日：2020年9月28日)
- [2] Diehl「CONTRACT WITH VOLOCOPTER MARKS DIEHL AVIATION'S ENTRY INTO MARKET FOR URBAN AIR MOBILITY」, <https://www.diehl.com/aviation/en/press-and-media/press/contract-volocopter-urban-air-mobility/> (閲覧日：2020年9月28日)
- [3] Volocopter「SESAR Joint Undertaking Gulf of Finland U-space completes final demonstration」, <https://press.volocopter.com/index.php/successful-integration-of-piloted-air-taxi-into-air-traffic-management-utm-system> (閲覧日：2020年9月28日)
- [4] Volocopter「Volocopter and Skyports exhibit Urban Air Mobility infrastructure prototype」, <https://press.volocopter.com/index.php/volocopter-and-skyports-exhibit-urban-air-mobility-infrastructure-prototype> (閲覧日：2020年9月28日)
- [5] Volocopter「Mobility of the Future: Fraport and Volocopter Are Developing Airport Infrastructure and Passenger Processes for Air Taxi Services」, <https://press.volocopter.com/index.php/mobility-of-the-future-fraport-and-volocopter-are-developing-airport-infrastructure-and-passenger-processes-for-air-taxi-services> (閲覧日：2020年9月28日)
- [6] Electric Power Systems「Electric Power Systems to Charge Bell's On-Demand Mobility Project with Advanced Energy Storage System」, <https://ep-sys.net/bell-on-demand-mobility-project/> (閲覧日：2020年9月28日)
- [7] Safran「Safran is proud to power the Bell Nexus」, <https://www.safran-helicopter-engines.com/media/safran-proud-power-bell-nexus-20190107> (閲覧日：2020年9月28日)
- [8] Bell「Bell and Garmin Sign Teaming Agreement for On-Demand Mobility Avionics Systems」, <https://news.bellflight.com/en-US/168955-bell-and-garmin-sign-teaming-agreement-for-on-demand-mobility-avionics-systems> (閲覧日：2020年9月28日)
- [9] Moog「Bell and Moog Collaborate for On-Demand Mobility Flight Control Actuation System」, https://www.moog.com/news/operating-group-news/2018/Bell_and_Moog_Collaborate_for_On-Demand_Mobility_Flight_Control_Actuation_System.html (閲覧日：2020年9月28日)
- [10] Thales「BELL AND THALES COLLABORATE ON FLIGHT CONTROLS OF THE FUTURE」, <https://www.thalesgroup.com/en/canada/press-release/bell-and-thales-collaborate-flight-controls-future> (閲覧日：2020年9月28日)
- [11] Bell「Bell Teams Up with Microsoft to Bring Connected Mobility」, <https://news.bellflight.com/en-US/184674-bell-teams-up-with-microsoft-to-bring-connected-mobility> (閲覧日：2020年9月28日)
- [12] E-One Moli Energy「Uber and E-One Moli Energy collaborate on battery packs for eVTOL」, <http://www.molice.com/corporate/uber-and-e-one-moli-energy-collaborate-on-battery-packs-for-evtol/> (閲覧日：2020年9月28日)
- [13] LaunchPoint Technologies「Clients & Partners」, <https://www.launchpnt.com/about-us/clients---partners> (閲覧日：2020年9月28日)
- [14] Chargepoint「ChargePoint Reveals New Concept Design for High-Powered Charging of Electric Aircraft and Semi-Trucks」, <https://www.chargepoint.com/about/news/chargepoint-reveals-new-concept-design-high-powered-charging-electric-aircraft-and-semi/> (閲覧日：2020年9月28日)
- [15] Ksby News「SLO company collaborating with NASA, Uber on electric aircraft」, <https://www.ksby.com/news/local-news/2018/12/10/slo-company-collaborating-with-nasa-uber-on-electric-aircraft> (閲覧日：2020年9月28日)
- [16] U.S. Army「U.S. Army, Uber sign research agreement」, https://www.army.mil/article/204882/u_s_army_uber_sign_research_agreement (閲覧日：2020年9月28日)
- [17] École Polytechnique「Uber to partner with l'X to create the Chair of "Integrated Urban Mobility"」, <https://www.polytechnique.edu/en/content/uber-partner-lx-create-chair-integrated-urban-mobility> (閲覧日：2020年9月28日)
- [18] Uber「Uber、uberAIRの飛行実験をロサンゼルスで2020年に実施およびNASAと都市空域の交通管理開発に関する航空宇宙契約の締結を発表」, <https://www.uber.com/ja-JP/newsroom/uberair-nasa-losangeles/> (閲覧日：2020年9月28日)
- [19] Signature Flight Support「Uber Elevate announces partnership with Signature Flight Support to configure Skyport operations」, <https://www.signatureflight.com/about/newsroom/details/2019/06/12/uber-elevate-announces-partnership-with-signature-flight-support-to-configure-skyport-operations> (閲覧日：2020年9月28日)
- [20] eVTOL news「Airbus CityAirbus」, <https://evtol.news/airbus-helicopters/> (閲覧日：2020年9月28日)
- [21] Airbus「CityAirbus demonstrator passes major propulsion testing milestone」, <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2017/10/cityairbus-demonstrator-passes-major-propulsion-testing-mileston.html>, Siemens「Siemens eAircraft Disrupting the way you will fly!」, <https://www.ie-net.be/sites/default/files/Siemens%20eAircraft%20-%20Disrupting%20Aircraft%20Propulsion%20-%2000%20H%20THO%20-%202020180427.cleaned.pdf> (閲覧日：2020年9月28日)
- [22] Airbus「Iron Bird Power On: CityAirbus reaches next milestone」, <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2017/12/iron-bird-power-on--cityairbus-reaches-next-milestone.html> (閲覧日：2020年9月28日)
- [23] Airbus「CityAirbus demonstrator passes major propulsion testing milestone」, <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2017/10/cityairbus-demonstrator-passes-major-propulsion-testing-mileston.html> (閲覧日：2020年9月28日)
- [24] Business Insider「Airbus' new eVTOL that aims to usher in an era of flying taxis just took its first public flight – take a look at CityAirbus」, <https://www.businessinsider.com/cityairbus-makes-first-public-flight-airbus-flying-taxi-evtol-2020-7> (閲覧日：2020年9月28日)
- [25] Airbus「Airbus, Groupe ADP and the RATP Group sign a partnership to study the integration of flying vehicles into urban transport」, <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2019/06/airbus-groupe-adp-and-the-ratp-group-sign-a-partnership-to-study-the-integration-of-flying-vehicles-into-urban-transport.html> (閲覧日：2020年9月28日)

報告の概要

- 本報告の構成は以下の通り。
 - (1) 素材
 - (2) 推進システム・動力
 - (3) 電源
 - (4) アビオニクス・監視（制御、航法、衝突回避等を含む）
 - (5) 安全装置
 - (6) 運航管理システム
 - (7) 気象観測
 - (8) ポート
 - (9) まとめ

(1) 素材

素材

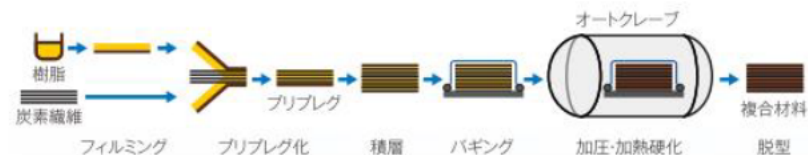
- eVTOLの機体構造には炭素繊維複合材(CFRP)が用いられている。
- 航空機向けCFRPの材料と成形加工法の組み合わせとして最も実績があるのはプリプレグをオートクレーブにより硬化する方法である。eVTOLの場合、初期は実績があるオートクレーブ法での生産が想定されるが、中長期的には既存航空機以上の生産レートへの要求にこたえるため、新材料や新加工技術が検討されていく可能性がある。
- eVTOL向け材料の具体的なサプライヤーとしては、東レがLilium jetとJoby aviationに、FACCがEhangに材料供給を行うことが発表されている。

eVTOL機体-材料の供給体制

機体メーカー	材料メーカー	概要
Lilium	東レ	<ul style="list-style-type: none"> ● 東レはUAMメーカーと協業しながら、機体の高性能化・省エネルギー化・低コスト化に向けた革新的な複合材料の開発を行っていく方針 ● 東レは、Lilium社とLilium Jet向けCFRPを提供する契約を締結
Joby aviation	東レ	<ul style="list-style-type: none"> ● Toray Advanced Compositesは複合材料についてJoby Aviationと長期供給契約を締結したと発表
Ehang	FACC	<ul style="list-style-type: none"> ● FACCとEhangはパートナーシップを締結 ● オーストリアのリンツ市、Ehang、FACCは、リンツ市でUAMのパイロットプログラムを行うことを発表

東レのCFRP加工技術

《通常の航空機部品向け成形プロセス オートクレーブ法》



《東レとMHIが開発した新成形プロセス A-VaRTM法》



出所) <http://cs2.toray.co.jp/news/torayca/newsrrs01.nsf/0/3EA62DE43F71E0A149257EBC001E7B67>

<https://cs2.toray.co.jp/news/toray/newsrrs01.nsf/0/0E19DFA8B8D64A78492585A4000B75E7?open>

<https://press.facc.com/news-urban-air-mobility-facc-and-ehang-develop-new-solutions-for-autonomous-flying?id=75794&menuid=14308&l=english>

<https://transportup.com/headlines-breaking-news/vehicles-manufactures/linz-austria-to-be-added-to-list-of-ehangs-pilot-cities/> を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2020年12月17日)

(2) 推進システム・動力

機体の設計方式

eVTOLの主な機体設計方式としては、Vectored Thrust（可動有翼）、Lift + Cruise（固定有翼）、Wingless（無翼）の3点がある。

機体の設計方式イメージと概要

機体の設計方式	機体イメージ	概要
Vectored Thrust (可動有翼)	 <p>PAV (Boeing/ Aurora Flight Sciences)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 固定翼があり、垂直離着陸と水平巡航で同じ推進システムを用いる。
Lift + Cruise (固定有翼)	 <p>Cora (WISK / Kitty Hawk)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ベクター thrust と同様、水平巡航のための固定翼を有するが、垂直離着陸時と水平巡航時に2つの異なる推進システムを使い分ける。
Wingless (無翼)	 <p>Volocity (Volocopter)</p>	<ul style="list-style-type: none"> マルチローター型で固定翼を持たない。ヘリコプターと同様に、プロペラの推力のみで水平巡航する。短距離飛行に適する。

出所) Aerospace「Electric VTOL Configurations Comparison」, <https://www.mdpi.com/2226-4310/6/3/26/htm>, Lilium「Engineered for Regional Air Mobility」, <https://lilium.com/>, Electric eVTOL News「Wisk (Kitty Hawk) Cora」, <https://evtol.news/kitty-hawk-cora/>, TechCrunch「Volocopterが初の商業エアタクシー「VoloCity」を公開」, <https://jp.techcrunch.com/2019/08/22/2019-08-21-volocopter-reveals-its-first-commercial-aircraft-the-volocopter-air-taxi/> を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2020年10月5日)

推進方式の概要（電動推進システム）

NASAは航空機の電動推進システムとして、全電動推進、ハイブリッド推進、ターボエレクトリック推進システムの3点を提案している。eVTOLに関しては、全電動推進とハイブリッド推進システムの適用が検討されている。

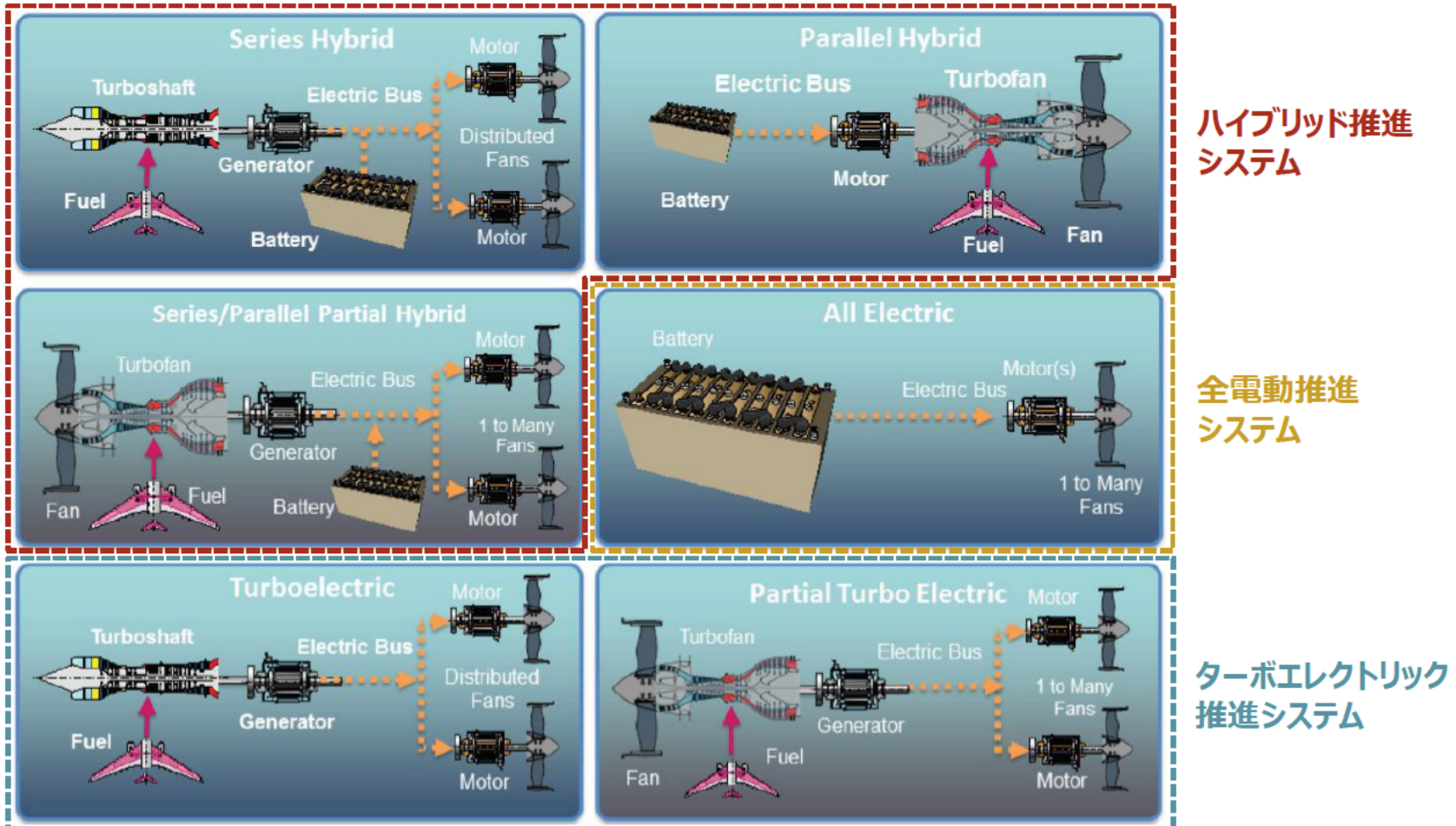
電動推進システムの構成と概要

	推進方式	構成	小分類	概要
eVTOLの 適用領域	全電動 推進システム	モータ+バッテリー	-	<ul style="list-style-type: none"> バッテリーを電源とし、1つあるいは複数のモータを駆動 モータに取り付けたファン（プロペラ、ロータ）の推進力で飛行
	ハイブリッド 推進システム	内燃機関+モータ +バッテリー	SH (Series Hybrid)	<ul style="list-style-type: none"> 内燃機関で発電し、モータを駆動させ、ファンを回転 バッテリーでの蓄電も実施
			PH (Parallel Hybrid)	<ul style="list-style-type: none"> 内燃機関と、バッテリーとモータの両方でファンを回転
			SPH (Series/Parallel partical Hybrid)	<ul style="list-style-type: none"> 内燃機関を発電とファン回転の両方で用いる 別途、電動モータのみで駆動するファンを搭載
ターボエレクトリック 推進システム	内燃機関+モータ	-	<ul style="list-style-type: none"> SHやSPHでバッテリーを用いない構成 	

(参考) NASAが提案している航空機の電動推進システム構成

NASAが提案している航空機の電動推進システムの構成イメージを以下に示す。

電動推進システムの構成イメージ ※点線枠及び日本語はMRI追記



出所) National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine「Commercial Aircraft Propulsion and Energy Systems Research」, <http://library.iyte.edu.tr/dosya/kitap/Commercial-Aircraft-Propulsion-and-Energy-Systems-Research.pdf> 基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2020年9月25日)

機体への搭載を予定している動力と電源（全電動推進システム）

PAVとVahanaを比較すると、Vahanaの方が最大離陸重量と航続距離の数値が大きい一方で、PAVの方がモータの出力は大きい。出力の小さいモータを数多く搭載するか、あるいは出力の大きいモータを数点搭載するかは機体のコンセプトに依存する。下記は全電動推進システムの機体である。ハイブリッド推進システムの機体と比してバッテリー容量は大きい傾向がある。

	メーカー	機体名	座席数	機体重量	パイロード	距離	モータ	バッテリー	備考
↑ 可動有翼	Bell Helicopter	Nexus 4EX ²⁾	4席 + ¹⁾ パイロット	3,175kg	(公開情報からは不明)	97km	4基	(公開情報からは不明)	ダクトプロペラを4点搭載
	Airbus (A ³⁾)	Vahana (Beta)	2席	475kg ※MTOWは815kg	340kg	100km	45kW/基を8基	38kWh ※MRI想定 ³⁾	プロペラを8点搭載 モータはMAGicALL社、バッテリーはAirbus Defense社製を搭載
	Lilium Aviation	Lilium Jet	5席	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)	300km	36基	(公開情報からは不明)	ダクトファンを36点搭載
↑ 固定有翼	Boeing/Aurora Flight Sciences	PAV	2席	565kg ※MTOW ¹⁾ は800kg	225kg	80km	75kW/基を8基	(公開情報からは不明)	垂直飛行用のプロペラを8点、前方推進用のプロペラを1点搭載
	Airbus	City Airbus	4席	2,200kg (MTOW)	250kg	30km ⁴⁾	100kW/基を8基	140kWを4点 ⁵⁾ 110kWh ⁶⁾	プロペラを8点搭載 Siemens社のモータ「SP200D」を独自に再設計している
↓ 無翼	Volocopter	VoloCity VC 2-1	1席 + ¹⁾ パイロット	900kg (MTOW)	200kg	35km	18基	9点	ブラシレスDCモータを18基搭載 リチウムイオン電池を9点搭載

1) 最大離陸重量, 2) ハイブリッド推進も検討されている, 3) Vahanaには座席数が1席のAlphaと2席のBetaがあるが、両機体の重量、パイロード、及びモータ性能は同一である。Vahanaのバッテリー容量は38kWhとの記載がある中、AlphaとBetaのどちらの機体に搭載しているかまでの言及はなかったが、両機体で重量、パイロード、及びモータ性能が同一であることを踏まえると、バッテリー性能も同一であることが推測される。なお、Vahanaプロジェクトは2019年12月に終了が発表されている, 4) 巡航速度 (120km/h) と運行時間 (15分) より算出, 5) Airbus' Defense and Space armが開発, 6) 4点のバッテリーを合計したエネルギー量

出所) Electric VTOL News「Aurora Flight Sciences Pegasus PAV」, <https://evtol.news/aurora/>、Electric VTOL News「Bell Nexus 4EX」, <https://evtol.news/bell-nexus-4ex>、Electric VTOL News「A3 Vahana」, <https://evtol.news/a3-by-airbus/>、网易号「空客分享Vahana飛行测试结果和供应商细节」, <https://dy.163.com/article/F90MTSE705383R6Y.html>、Airbus「City Airbus」, <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/urban-air-mobility/cityairbus.html>、Electric VTOL News「Airbus CityAirbus」, <https://evtol.news/airbus-helicopters/>、Electric VTOL News「Lilium Jet」, <https://evtol.news/lilium/>、Electric VTOL News「Volocopter VoloCity VC 2-1」, <https://evtol.news/volocopter-volocity/>、Airbus「City Airbus」, <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2017/10/cityairbus-demonstrator-passes-major-propulsion-testing-mileston.html> を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2020年9月25日)

機体への搭載を予定している動力と電源（ハイブリッド推進システム）

機体メーカーの多くは全電動推進システムを検討しており、ハイブリッド推進システムを検討しているメーカーは少ない。また、ハイブリッド推進システムのモータ数は4～8基である。

	メーカー	機体名	座席数	機体重量	パイロード	距離	モータ	バッテリー	備考
	Bell Helicopter	Nexus 6HX	4席 +H° 10ト	2,720kg	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)	6基	3.5kWh/個 (151Wh/kg) ※MRI想定 ¹⁾	全体での出力は600kW 仏Safran社が推進システムを提供 Electric Power Systems社がバッテリーとしてリチウムイオン電池を提供
	XTI Aircraft	TriFan 600	5席 +H° 10ト	1,588kg ※MTOW ²⁾ は2,404kg	816kg	2,222km ³⁾	4基 ※MRI想定 ⁴⁾	(公開情報からは不明)	Honeywell社のHTS900ターボシャフトエンジン（820kW）を搭載 ダクトファンを3点搭載。うち、固定翼のダクトファン2点は前方推進時に回転
	MOOG (Workhouse)	SureFly	2席	500kg ※MTOWは 680kg	180kg	113km	8基 (150kW)	7.5kWh/個 ※エンジンの故障時に使用	6,000rpmのホンダ製ガソリンエンジンで150kWを発電 4本のアームに8点の固定ロータを装着 緊急時にリチウムイオン電池を使用

1) バッテリーを提供しているEPS社の航空向けリチウムイオン電池の性能を記載している、2) 最大離陸重量、3) 最大離陸重量かつ垂直離陸時で1,060km、パイロットのみ搭乗かつ垂直離陸時で1,240km、4) 固定翼のダクトファンにはプロペラが1点ずつ装着されている。ただし冗長性の観点から、プロペラ1点につき250kWのモータが2基搭載されている。しかし、ターボシャフトエンジンの出力は820kWであるため、固定翼で飛行時に稼働しているモータは実質2基だと考えられる。なお、後部胴体に搭載したダクトファンには2点のプロペラがあり、プロペラ1点につきモータ1基が搭載されているが、出力は不明である

出所) Electric VTOL News「Bell Nexus 6HX」, <https://evtol.news/bell-air-taxi/>. Wings Over Quebec「The two challenges of the Bell Nexus project」, <https://www.wingsoverquebec.com/?p=8301>. Safran「Safran is proud to power the Bell Nexus」, <https://www.safran-group.com/media/safran-proud-power-bell-nexus-20190107>. Electric power systems「epic-av3500-aviation-battery」, <https://ep-sys.net/project/epic-av3500-aviation-battery/>. Electric VTOL News「Moog SureFly」, <https://evtol.news/workhorse/>. Electric VTOL News「The eVTOL Industry in Transition」, <https://evtol.news/news/the-evtol-industry-in-transition/>. Electric VTOL News「XTI Aircraft TriFan 600」, <https://evtol.news/xti-aircraft/> を基に三菱総合研究所作成（閲覧日：2020年9月25日）

ハイブリッド推進システム

ハイブリッド推進システムは、主にSafran社、Rolls-Royce社、Honeywell-Densoの3社が検討している。なお、Honeywell-Densoが開発するハイブリッド推進システムの詳細については公開されていない。

メーカー	システム出力	システム構成	システムイメージ	概要
Safran (Bell Nexus 6HX向け)	600kW以上	タービン発電機とバッテリーからなる発電システム、電力管理システム、揚力・推進力を生成する電気モータシステムの3点で構成されている		<ul style="list-style-type: none"> タービン発電機で生成した電力をバッテリーに供給 発電機が故障した場合はバッテリーの電力で着陸し、バッテリーが故障した場合はタービン発電機で着陸するとの冗長性を有する 通常時は6つのモータで飛行するが、モータが1つ故障した場合は反対のモータを停止させ、4つのモータで飛行する（モータ4つでも飛行に十分な揚力・推進力を生成できる）
Rolls-Royce	500kW-1MW	M250ガスタービンエンジンを、発電機、バッテリーシステム、電力変換器、及び電力管理・制御システムと統合する	 ※M250ターボシャフトエンジンの写真 (ハイブリッド推進システムの一部)	<ul style="list-style-type: none"> M250ターボシャフトエンジンは、計2億5,000万時間以上稼働し、33,000点以上出荷された実績がある 3年間のプロジェクトとして、独ブランデンブルク工科大学と航空エンジニアリング企業である独APUS社と連携し、独ブランデンブルク州政府からの支援を受けてハイブリッドVTOL実証機の開発を進めている。2021年の飛行実証を目指している eVTOLやヘリコプター等に使用する予定
(参考) Honeywell ¹⁾	(公開情報からは不明)	飛行実績のあるHTS900エンジンと、200kWのコンパクトな高出力密度発電機2基の組合せ		<ul style="list-style-type: none"> 従来型あるいはバイオ由来ジェット燃料により生み出された電力をモータとバッテリーに供給する

1) 同社が開発したハイブリッド電気タービン発電機はプロトタイプである。UAM用のハイブリッド推進システムの開発に向けては、Denso社と連携する旨を発表している。

出所) Honeywell「Honeywell And DENSO Collaborate On Electric Propulsion Systems For Urban Air Mobility」, <https://www.honeywell.com/en-us/newsroom/pressreleases/2019/06/honeywell-and-denso-collaborate-on-electric-propulsion-systems-for-urban-air-mobility>. Intelligent Aerospace「Honeywell to debut 200 kw hybrid-electric turbogenerator prototype next month」, <https://www.intelligent-aerospace.com/helicopter/article/16543624/honeywell-to-debut-200-kw-hybridelectric-turbogenerator-prototype-next-month>. Safran「Safran is proud to power the Bell Nexus」, <https://www.safran-group.com/media/safran-proud-power-bell-nexus-20190107>. Wing Over Quebec「The two challenges of the Bell Nexus project」, <https://www.wingsoverquebec.com/?p=8301>. Rolls-Royce「Rolls-Royce takes major step towards electrifying flight with successful hybrid aero propulsion tests」, <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2019/14-03-2019-rr-takes-major-step-towards-electrifying-flight.aspx>. Billionaire TOYS「Rolls-Royce Announces New Hybrid-Electric Flight i-5 Demonstrator Aircraft」, <https://billionairetoys.com/rolls-royce-hybrid-powered-apus-i-5-demonstrator-aircraft/>. By eVTOL「Rolls-Royce plans new hybrid-electric flight demonstrator」, <https://evtol.com/news/rolls-royce-hybrid-electric-flight-demonstrator/> を基に三菱総合研究所作成（閲覧日：2020年9月29日）

モータ：各社の製品性能の比較

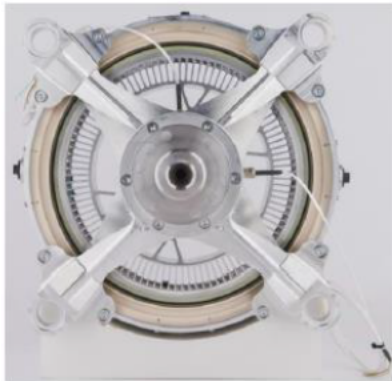
MAGicALL社は2018年モデルでは出力密度、モデル500では連続出力、Siemens社はトルク密度にフォーカスして製品開発を行っていると考えられる。

項目	MAGicALL		LaunchPoint Technologies	Siemens	YASA	Safran
	2018年モデル	モデル500				
推進システム	全電動	(公開情報からは不明)	全電動	全電動	全電動	全電動・ハイブリッド
最大出力 (kW)	75	500	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)	160	(公開情報からは不明)
連続出力 (kW)	60	400	(公開情報からは不明)	204	20-100	45
回転数 (rpm)	(公開情報からは不明)	3,200	(公開情報からは不明)	1,300	8,000	2,500
トルク (Nm)	最大130	950-5,000	(公開情報からは不明)	1,500	最大370	172
重量 (kg)	11	50-100	(公開情報からは不明)	49	24-	17-18
出力密度 (kW/kg)	5.5	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)	4.2	4.2	2.5
トルク密度 (Nm/kg)	最大11.8	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)	30.6	最大15.4	10

モータに関する課題 (1/2)

独Siemens社は出力密度*を5.2kW/kgから5.9kW/kgに増加させることに成功した。一般的にeVTOLには軽量化が求められるため、同社は出力密度にフォーカスして製品開発を推進していると考えられる。

独Siemens社のモータ開発動向 (出力密度 ; kW/kg)



SP260D

Direct Drive Permanent Magnet
MTOP 260 kW @ 2500 RPM
 Torque 977 Nm
 UDC 580 V
 Oil cooled @ 90 °C
 Efficiency 95%

50 kg
 5.2 kW/kg

SP260D-A

Weight 44kg
 Power Density 5.9 kW/kg

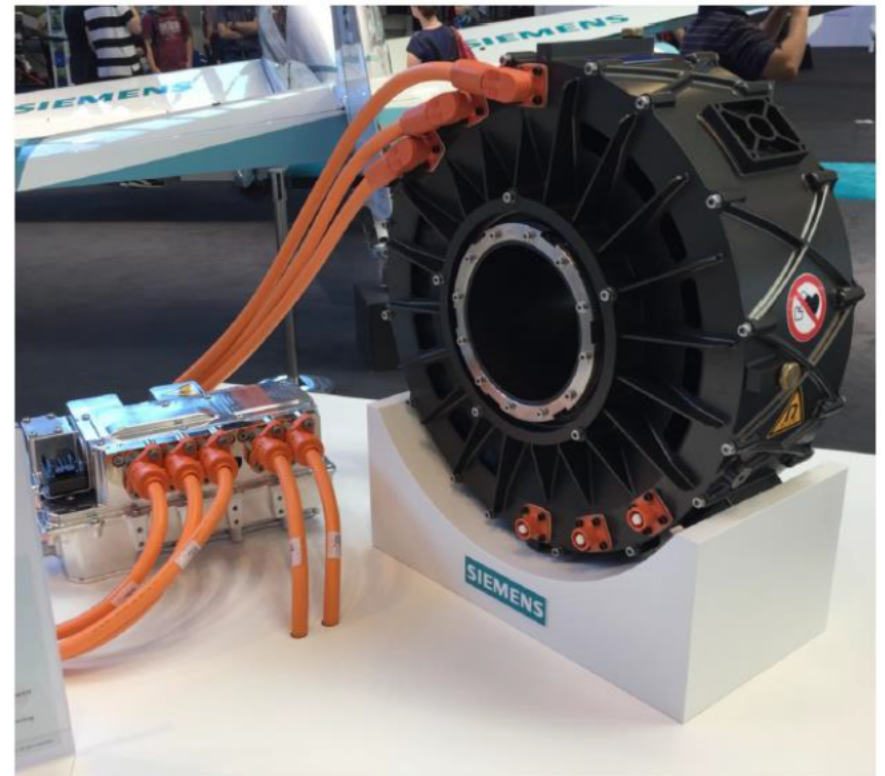
Developed for maximal Power Density
 Redundant 3 Phase Windings

Implemented in Extra 330LE

Achievements:

- Electric Aircraft Speed Records
- Electric Aircraft Climbing Records
- First All-Electric Glider Towing

*一般的に、出力は速度に関係する

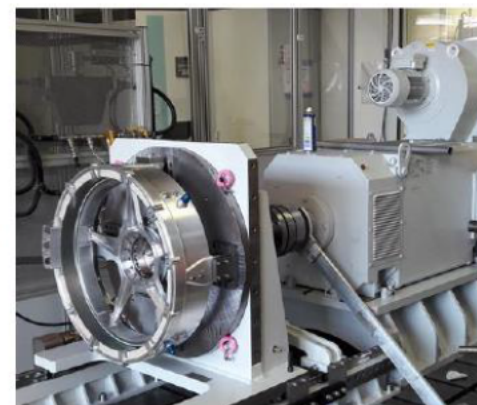
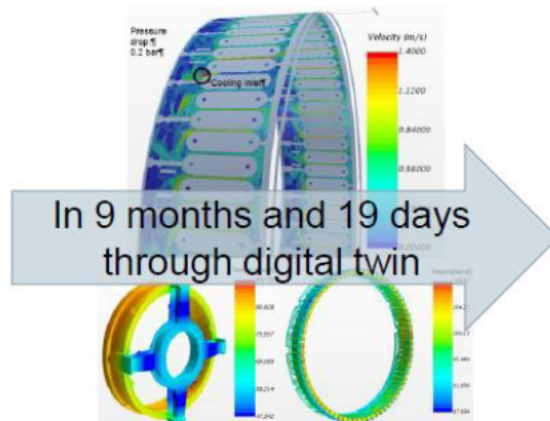


出所) Siemens「Siemens eAircraft」, <https://www.ie-net.be/sites/default/files/Siemens%20eAircraft%20-%20Disrupting%20Aircraft%20Propulsion%20-%2000%20JH%20THO%20-%2020180427.cleaned.pdf> を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日 : 2020年9月18日)

モータに関する課題 (2/2)

独Siemens社は2015年から2017年にかけてトルク密度*を50%増加させることに成功した。一般的にeVTOLには軽量化が求められるため、同社はトルク密度にもフォーカスして製品開発を推進していると考えられる。

独Siemens社のモータ開発動向 (トルク密度 ; Nm/kg)



	SP260D	2015		SP200D	2017
Continuous Power	260 kW			204 kW	
Rotational Speed	2500 RPM non-g geared			1300 RPM non-g geared	
Continuous Torque	1000 Nm			1500 Nm	
Mass	50 kg			49 kg	
Torque to Mass Ratio	20 Nm/kg		↑ Increase by 50%	30.6 Nm/kg	
Inverter Type	Si			SiC	

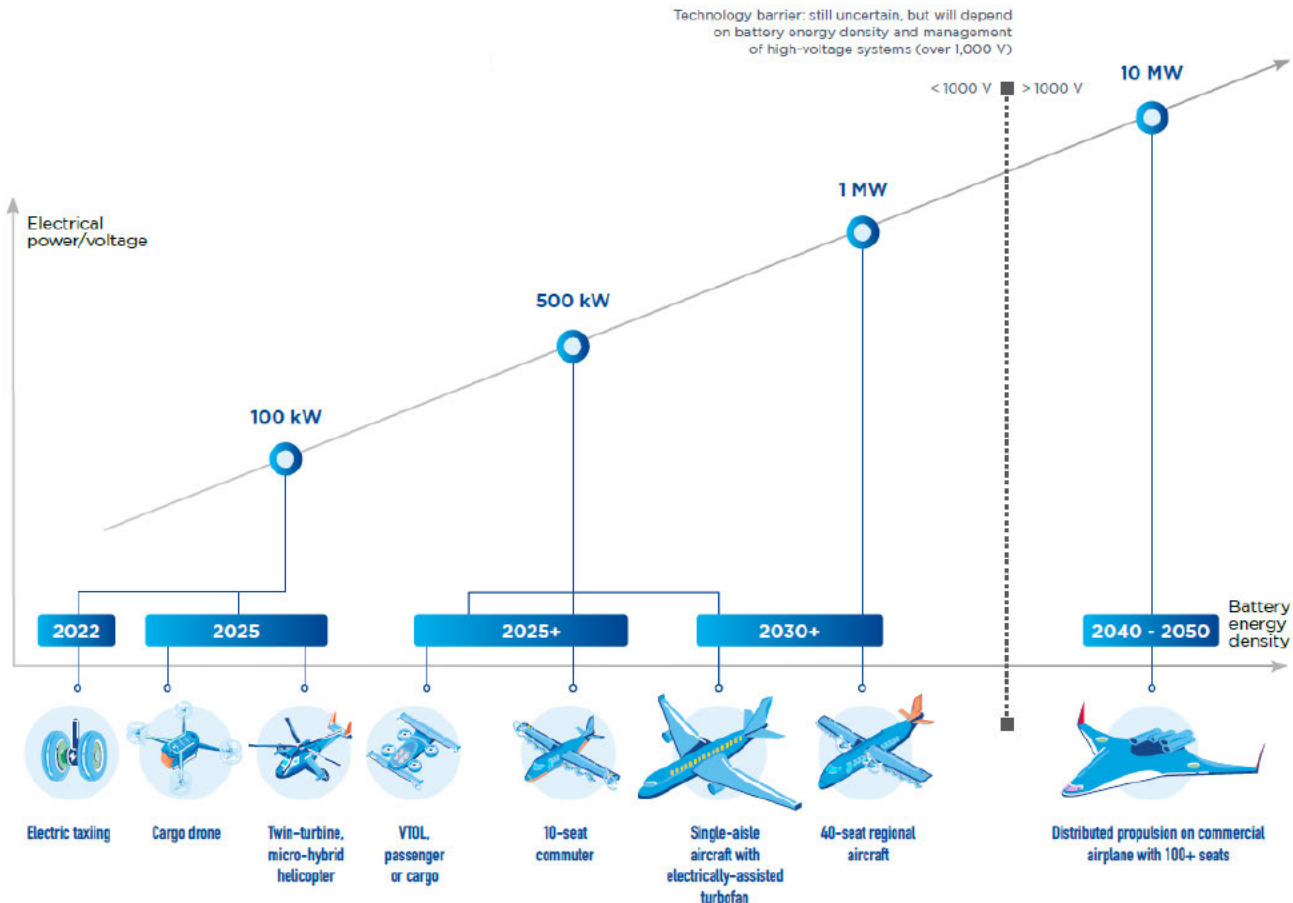
*一般的に、トルクは加速性能に関係する

出所) Siemens「Siemens eAircraft」, <https://www.ie-net.be/sites/default/files/Siemens%20eAircraft%20-%20Disrupting%20Aircraft%20Propulsion%20-%20OO%20JH%20THO%20-%2020180427.cleaned.pdf> を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日 : 2020年9月18日)

モータに関する目標

仏Safran社の資料より、同社はeVTOLの実現に向け、500kW出力のモータを2025年以降に開発することを目指していると考えられる。

Safran社が描くロードマップ



出所) Safran「SAFRAN AND AVIATION'S ELECTRIC FUTURE」, https://www.safran-group.com/file/download/dp_safran_bourget_2019_safran_and_aviations_electric_future_en.pdf を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2020年9月29日)

(3) 電源

各社の製品性能の比較

EPS社はエネルギー容量の大きいリチウムイオン電池を開発し、OXIS Energy社、Amprius Technologies社、Sion Power社は軽量でエネルギー密度の高い電池を開発している。

項目	OXIS Energy		Electric Power Systems	E-One Moli Energy	Amprius Technologies	Sion Power
	高容量型	高エネルギー型				
分類	リチウム硫黄電池	リチウム硫黄電池	リチウムイオン電池	リチウムイオン電池	シリコンナノワイヤを用いたリチウムイオン電池	リチウム金属電池
公称電圧 (V)	2.1	2.1	57.6	3.6	(公開情報からは不明)	3.82
電圧範囲 (V)	1.9-2.6	1.9-2.6	40-67.2	2.5-4.2	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)
容量 (Ah)	19	14.7	60	4.2	(公開情報からは不明)	20
エネルギー (Wh)	42	34	3,500	16	(公開情報からは不明)	79
エネルギー密度 (Wh/kg)	300	400	151	230	435以上	500
充電速度 (h)	4	4	(公開情報からは不明)	1.5	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)
サイクル寿命	60-100	60-100	300	(公開情報からは不明)	数百	1,000
サイズ (mm)	151×116×10.7	145×78×10	270×217×397	直径21.7, 高さ70.2	(公開情報からは不明)	80×91×10
重量 (g)	141	85	23,200	70	(公開情報からは不明)	158

各電池種類の概要

リチウム硫黄電池とリチウム金属電池は従来のリチウムイオン電池よりもエネルギー密度が高いメリットがあったが、実用化に向けては問題を有していた。しかし近年は、それぞれの問題を解決するための技術開発が進みつつある。

電池	負極 (アノード)	正極 (カソード)	電池の特長、課題、及び技術開発動向
リチウムイオン電池	炭素 (グラファイトなど)	リチウム金属酸化物	-
リチウム硫黄電池	リチウム化合物	硫黄	<p>リチウム硫黄電池はリチウムイオン電池の5倍以上の理論エネルギー密度を有する。</p> <p>しかし、電極反応時に、中間反応生成物である多硫化リチウムが有機電解液に溶出し、電池容量が劣化する問題があった。また、リチウムイオン貯蔵材料の硫化リチウム自身が絶縁体であるため、容量が小さいことも問題になっていた。</p> <p>この問題に対し、例えば大阪府立大学では、低容量の原因が硫化リチウムの低伝導性にあると考え、硫化リチウムとハロゲン化リチウムからなる固液体と、硫化物固体電解質を組み合わせた正極を開発し、正極の容量と寿命を飛躍的に改善したことを2017年5月に発表した。</p>
リチウム金属電池	リチウム金属	リチウム金属酸化物	<p>リチウム金属電池はリチウムイオン電池よりも軽量でエネルギー密度が2倍程度ある。</p> <p>しかし、電極反応時に、アノードと液体電解質の反応でデンドライト (リチウムの微細構造) がアノード表面に成長することが電池の発火や故障の原因となっていた。</p> <p>この問題に対し、例えばスタンフォード大学は、電解質にフッ素原子を添加することで電解質の安定性が向上することを2020年6月に発表している。</p>

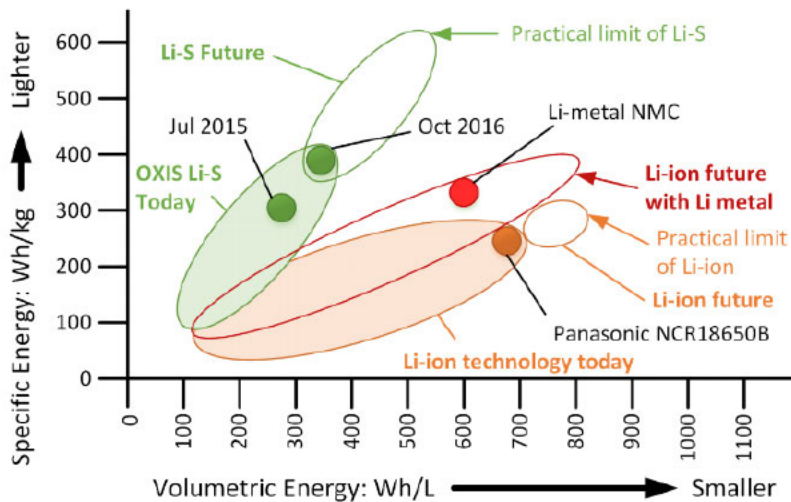
出所) IP Force「リチウム金属電池用負極、及びそれを含むリチウム金属電池」, <https://ipforce.jp/patent-jp-A-2017-204468>、NEDO「海外技術情報(2020年7月31日号)」, <https://www.nedo.go.jp/content/100920915.pdf>、日経XTECH「リチウム-硫黄電池の実現につながる正極を開発、大阪府立大学」, <https://xtech.nikkei.com/dm/atcl/news/16/053007736/>、「」, を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2020年9月27日)

電源に関する目標（英OXIS Energy）

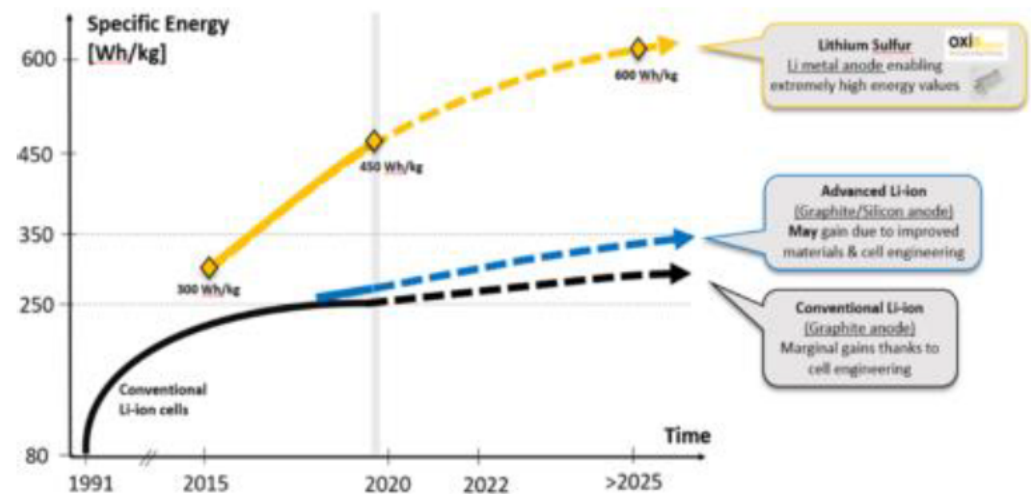
英OXIS Energy社は、リチウム硫黄電池の特長として、軽量でエネルギー密度が高いことを挙げている。特に、エネルギー密度の理論値はリチウムイオン電池の約5倍（2,700Wh/kg以上）であることに言及している。

450Wh/kgの電池性能は達成済との記載があるが、製品情報には反映されていないため、現在は研究段階の可能性がある。また、同社がHPに公表しているグラフからは、2025年時点で600Wh/kgを目指していると予想される。

リチウム硫黄電池の位置づけ



リチウム硫黄電池の開発見通し

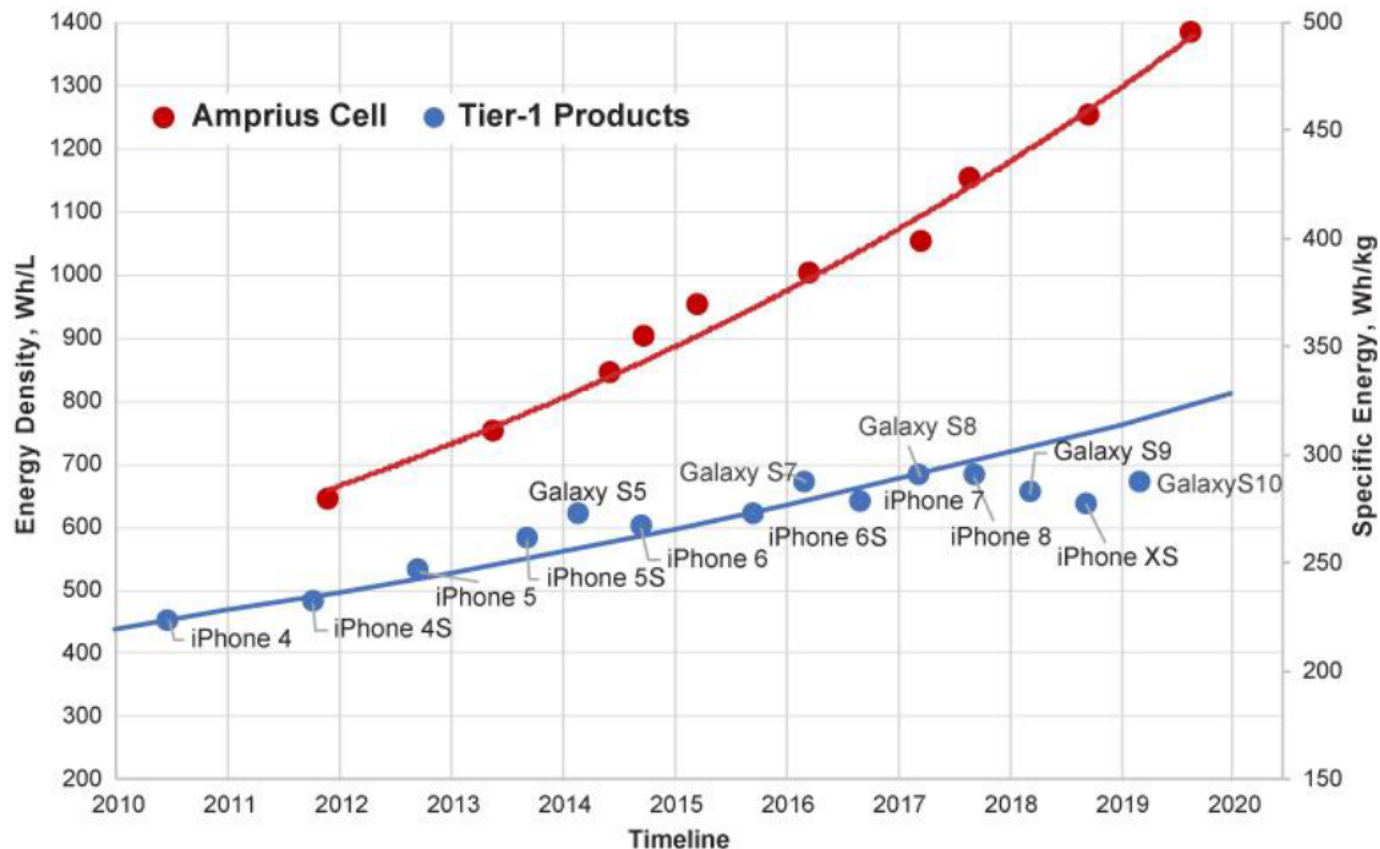


出所) OXIS Energy[Our Cell and Battery Technology Advantages], <https://oxisenergy.com/technology/>、OXIS Energy[Sulfur Batteries: Mechanisms, Modelling and Materials], <http://energysuperstore.org/esrn/wp-content/uploads/2017/06/Li-SM3-2017-Opening-Slides.pdf> (閲覧日: 2020年9月29日)

電源に関する目標（米Amprius Technologies）

米Amprius Technologies社は、陽極にシリコンナノワイヤーを用いたリチウムイオン電池を開発している。435Wh/kgの電池性能は達成済との記載があるが、同社がHPに公表しているグラフからは2020年時点で約500Wh/kgを達成している可能性がある。

リチウムイオン電池の開発見通し ※発表日は不明だが、2020年12月時点でHP上で公開されている



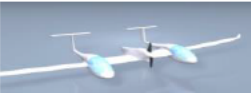

出所) Amprius「The World Needs Better Batteries!」, <https://www.amprius.com/technology/> を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2020年12月22日)

燃料電池

現在、eVTOLの動力源の主流はLIB電池であるが、より長い航続距離を実現するため、水素燃料電池を動力に採用するコンセプトが複数の企業から発表されている。

燃料電池を動力として採用しているeVTOL, 小型航空機の例

↑
eVTOL
の事例
↓
↑
固定翼機
の事例
↓

機体メーカー	FCメーカー	機体	概要
-	Ballard (カナダ) / Honeywell	-	<ul style="list-style-type: none"> 2020年10月、Honeywellは燃料電池メーカーであるBallardの航空機事業を買収すると発表し、UAS/UAM向けに燃料電池を供給する方針を示した
Urban Aeronautics (イスラエル)	HyPoint (米国)	CityHawk 	<ul style="list-style-type: none"> 座席：～6名（パイロット含） 巡航速度：234km/hr 航続距離, 飛行時間：150km, 20min（4名搭乗時） HyPointの「ターボ空冷」水素燃料電池を採用
Alaka'I Technologies (米国)	情報なし	Skai 	<ul style="list-style-type: none"> 航空タクシー、個人用、貨物輸送などの市場を想定 航続距離, 飛行時間：400マイル（644 km）、4時間
Pipistrel (スロベニア) /DLR (ドイツ)	Hydrogenics (カナダ)	HY4 	<ul style="list-style-type: none"> 最大300マイル飛行可能な19人乗りの水素駆動航空機を開発中 Pipistrelの固定翼機をベースにDLRが設計。2016年9月に燃料電池を搭載して飛行試験を実施した
Airbus	情報なし		<ul style="list-style-type: none"> 2020年9月、水素を動力源とする新しい航空機のコンセプトを発表。2035年までに就航する予定。

出所) <https://evtol.news/alakai-technologies-skai/>, <https://www.urbanaero.com/evtol.html#energy>

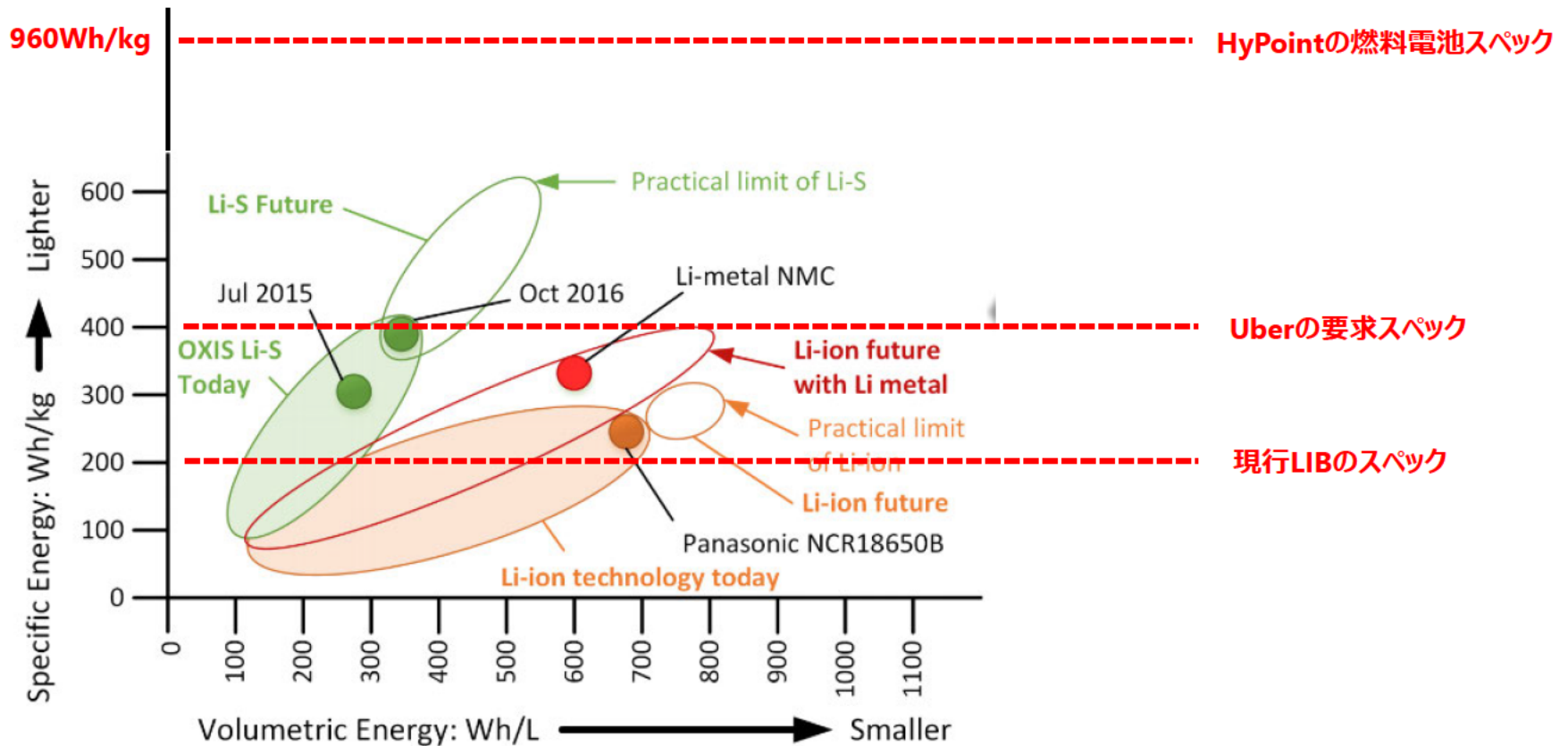
<https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2020/09/airbus-reveals-new-zeroemission-concept-aircraft.html> 基に三菱総合研究所作成（閲覧日：2020年9月25日）

(参考) 燃料電池のメリット

燃料電池のエネルギー密度は、LIB電池と比較して高いため、航続距離を伸ばすことができる上、燃料補充にかかる時間も通常のバッテリー充電と比較して短縮される。

今日のLIBは150-200Wh/kgのスペックであるのに対し、Uberがバッテリーに要求しているエネルギー密度は400Wh/kgとギャップがあるが、例えばHyPoint社の最新燃料電池は960Wh/kgでUberの要求スペックをクリアする。

バッテリーと燃料電池のエネルギー密度比較



出所) Oxis energy, Uber elevate white paper, HyPoint

機体の充電時間

機体を充電する方法とバッテリーを交換する方法の2つがある。機体を充電するパターンでは、充電時間は電流と電圧により異なる。例えば米Opener社「BlackFly」の場合、120V/15Aで7.4時間を要するが、240V/50Aでは67分で充電できる。バッテリー交換のパターンでは、例えば独Volocopter社「VoloCity VC 2-1」の交換時間は5分と短いため、ターンアラウンドタイムが短縮できる。

	メーカー	機体名	座席数	機体重量	パイロード	距離	モータ	バッテリー	充電時間	備考
機体の充電 ↑	EHang	EHang 216	2席	(公開情報からは不明)	220kg	35km	16基	17kW	120分	
	BlackFly	Opener	1席	142kg ¹⁾	113kg	40km ¹⁾	(公開情報からは不明)	8kWh ¹⁾	67分 ²⁾	
	Airbus	Pop.Up Next ³⁾	2席	(公開情報からは不明) ⁴⁾	(公開情報からは不明)	50km ⁵⁾	20kWを8基	60kW	15分 ⁶⁾	
バッテリーの交換 ↓	Volocopter	VoloCity VC 2-1	1席 +1 ⁰⁾ 個外	900kg (MTOW)	200kg	35km	18基	9点	(機体の充電は実施しない)	バッテリーは約5分で交換可能

1) 米国仕様の場合、2) 240V/50Aで20%から100%までの充電時間。120V/15Aで20%から100%の場合は7.4時間、120V/20Aで20%から100%の場合は5.5時間、240V/2x50Aで20%から80%までの場合は25分、3) パートナー企業の独Audi社が再考を表明しており、Airbus社の機体の商業化はCity Airbusに集約される見通し、4) Pop. Up Nextは飛行モジュール、乗客用カプセル、地上モジュールの3点で構成されているが、乗客用カプセルの重量は200kg、5) 荷物なしの場合、6) コンセプトであり、実現可能性は不明

出所) Electric eVTOL News「EHang 216」, <https://evtol.news/ehang-216/>. Electric eVTOL News「Opener BlackFly」, <https://evtol.news/opener-blackfly/>. Electric eVTOL News「Pop.Up Next」, <https://evtol.news/pop-up-next/>. BOSS HUNTING「EHang 216 eVTOL Completes The World's First Commercial Trip」, <https://www.bosshunting.com.au/motors/ehang-216-evtol/>. Opener「BlackFly」, <https://www.opener.aero/#technology>. Aviation Today「Aircraft Manufacturers Must Jump In or be Left Out of Air Taxi Revolution, Says Airbus Exec」, <https://www.aviationtoday.com/2019/01/15/airbus-exec-expanding-services-challenging-uber/>. DRIVEMAG「Audi, Italdesign and Airbus update Pop.Up Next, the self-driving-car - flying-drone combo」, <https://drivemag.com/news/audi-italdesign-and-airbus-update-pop-up-next-the-self-driving-car-flying-drone-combo>. Electric VTOL News「Volocopter VoloCity VC 2-1」, <https://evtol.news/volocopter-velocity/> を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2020年10月12日)

(4) アビオニクス・監視（制御、航法、衝突回避等を含む）

機体への搭載を予定しているアビオニクス等

制御システムに関しては、Volocopter社がFly-by-light (FBL) 方式を採用しているが、他社の多くはFly-by-wire (FBW) 方式を採用している。HMIシステムについては、パイロットが搭乗する場合の操縦方法としてジョイスティックやタッチパネルを搭載しているほか、顔認識・音声認識システムや視線追跡システムを搭載している機体がある。

企業名 (機体名)	座席数	制御 システム	管制 システム	センサ、航法システム	HMIシステムに関する構想	
					初期	長期展望
Volocopter (VoloCity)	1席+ パイロット	FBL ※MRI想定 ¹⁾	U-SPACE	センサ：赤外・電気光学カメラ、 長距離レーダ、高度計、GNSS ²⁾ システム：FMS ³⁾ 、ミッションコン ロール、ランタイムモニタ	[パイロットが搭乗] パイロットがジョイスティックで操縦 ※MRI想定 ¹⁾	[自律飛行] (HMIシステムの詳細は 公開情報からは不明)
Bell (Nexus 6HX)	4席+ パイロット	FBW	(公開情 報から は不明)	センサ：(公開情報からは不明) システム：飛行管理システム、 車両管理コンピュータ	[パイロットが搭乗] 画面上のメニュー選択で操縦	[パイロットの搭乗なし (15-20年後)] (HMIシステムの詳細は 公開情報からは不明)
Airbus (Pop.Up Next) ⁴⁾	2席	FBW ※MRI想定	(公開情 報から は不明)	センサ：(公開情報からは不明) システム：(公開情報からは不明)	[自律飛行] 音声・顔認識システム、車載 サービスを作動・操作するための 視線追跡システムを搭載	-
Airbus (Vahana Alpha)	1席	FBW ※MRI想定	(公開情 報から は不明) ⁵⁾	センサ：レーダ、カメラ、LIDAR、 エアデータプローブ ⁶⁾ 、GPS、IMU ⁷⁾ などの機体位置・傾き取得センサ システム：(公開情報からは不明)	[自律飛行：飛行経路の投影] (HMIシステムの詳細は公開情報 からは不明)	-

1) 制御システムとHMIシステムの仕様はVolocopter 2Xと同様であると想定、2) 全地球航法衛星システム、3) 飛行管理システム、4) パートナー企業の独Audi社が再考を表明しており、Airbus社の機体の商業化はCity Airbusに集約される見通し、5) Airbus社は運航管理システムとして「Blueprint for the Sky」を公表しているが、現在は構想段階にある。なお、Vahanaプロジェクトは2019年12月に終了が発表されている、6) 迎え角、横滑り角、流速、高度を測定、7) 慣性測定ユニット

出所) Wing Ober Quebec「The two challenges of the Bell Nexus project」, <https://www.wingoverquebec.com/?p=8301> などの各種情報を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日：2020年10月12日)

(5) 安全装置

安全装置

基本的に、いずれの機体でもモータやプロペラの冗長性は担保されており、パラシュートは最終手段との位置づけである。また、Nexus 4EXは部品の故障予知センサを搭載している。耐衝撃構造としては、Nexus 4EX、Cora、Lilium Jetが車輪付きの降着装置を搭載しているほか、SureFlyが機体、ロータ、スキッドに炭素繊維を用いている。

メーカー	機体名	冗長性の担保、故障予知	運動エネルギー低減	耐衝撃構造
MOOG (Workhorse)	SureFly	<ul style="list-style-type: none"> ガソリンエンジンの故障時にはリチウムイオン電池でモータを駆動 4本のアームに2基ずつ、独立したモータを搭載 	<ul style="list-style-type: none"> アームの中央部に緊急着陸用パラシュートを搭載 	<ul style="list-style-type: none"> 機体、ロータ、スキッドに炭素繊維を用いて耐久性を向上
Bell	Nexus 4EX	<ul style="list-style-type: none"> ダクトプロペラ4点のうち、2点が故障しても安全に着陸可能 オプションで緊急用バッテリーを搭載可能 部品の故障を予知するセンサを搭載 	(公開情報からは不明)	<ul style="list-style-type: none"> 車輪付きの降着装置を3点搭載
WISK (Kitty Hawk)	Cora	<ul style="list-style-type: none"> 垂直飛行用に12点の独立したプロペラを搭載しており、複数のプロペラが停止しても飛行可能 3点の独立したフライトコントローラを搭載し、三重冗長性を担保。1点に問題が生じた場合でも確実にナビゲートできる 	<ul style="list-style-type: none"> 最終手段として緊急着陸用パラシュートを搭載 	<ul style="list-style-type: none"> 車輪付きの降着装置を3点搭載
Airbus	Vahana	(公開情報からは不明)	<ul style="list-style-type: none"> 搭載した緊急着陸用パラシュートは低高度でも機能するように設計 	<ul style="list-style-type: none"> 耐衝突性のある座席を使用
Lilium	Lilium Jet	<ul style="list-style-type: none"> 36基の独立したエンジンを搭載。エンジンは個別にシールドされており、1基の故障が隣接エンジンに悪影響を与えることはない 機体設計をシンプルにすることで故障リスクを低減 三重冗長性の飛行制御コンピュータを搭載 	<ul style="list-style-type: none"> パラシュートで機体全体を軟着陸させる 	<ul style="list-style-type: none"> 車輪付きの降着装置を3点搭載

出所) Electric eVTOL News「Lilium Jet」, <https://evtol.news/lilium/>、Electric eVTOL News「A3 Vahana」, <https://evtol.news/a3-by-airbus/>、Electric eVTOL News「Bell Nexus 4EX」, <https://evtol.news/bell-nexus-4ex/>、Electric eVTOL News「WISK (KittyHawk) Cora」, <https://evtol.news/kitty-hawk-cora/>、Electric eVTOL News「Moog SureFly」, <https://evtol.news/workhorse/> を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2020年10月14日)

(6) 運航管理システム

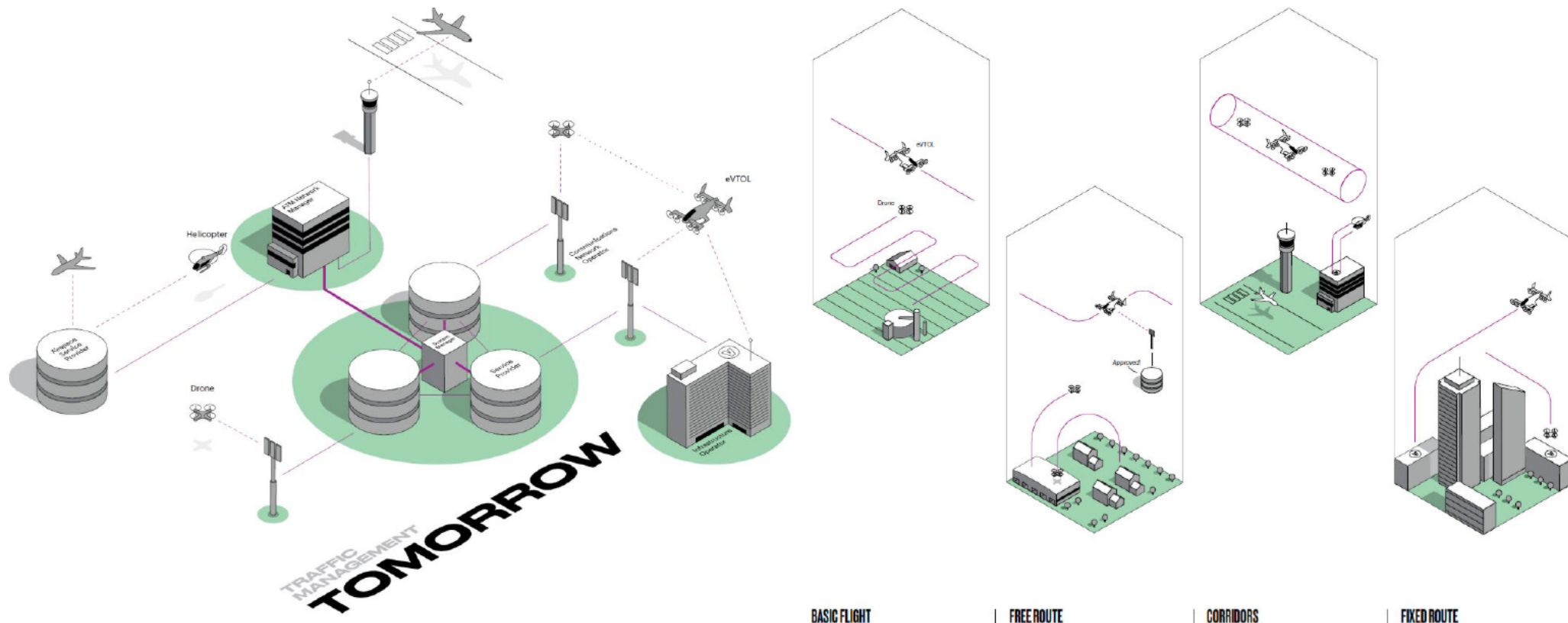
空飛ぶクルマの運航管理

- 空飛ぶクルマの運航管理については、コンセプトレベルの提案が複数行われている状況。
- コンセプトの方向性としては、無人航空機のUTMに空飛ぶクルマを統合する方向性のもの、UTMとは分離し、空飛ぶクルマを対象に運航管理を実施する方向性のもの、を軸に、複数の考え方が提案されている。

	運航管理構想	対象空域	管理対象
UTMに統合	AIRBUS BLUEPRINT	—	自律的に飛行する航空機（sUASや自律飛行するeVTOLが管理対象）
	U-Space	VLL及びそれを超える空域	現在は主にVLLを飛行するUASを対象とするが、今後VLLを超える空域にスコープを拡張、UAMを対象に含める方向性を提言
空飛ぶクルマ用	FAA UAM CONOPs	UAMコリドー	UAM及びヘリコプターを対象とするUAMコリドーを運航する機体を対象に管理、各UAMサービスプロバイダがFAAシステムやUTMと調整を実施。
	EMBRAERX “UATMS”	ATM管理空域とsUASの運用空域の間にUATM空域を設定	UAMを対象とし、唯一のUAM空域管理者（UASP）が、ATM、UASサービスプロバイダ等と調整。

AIRBUS “BLUEPRINT FOR THE SKY”

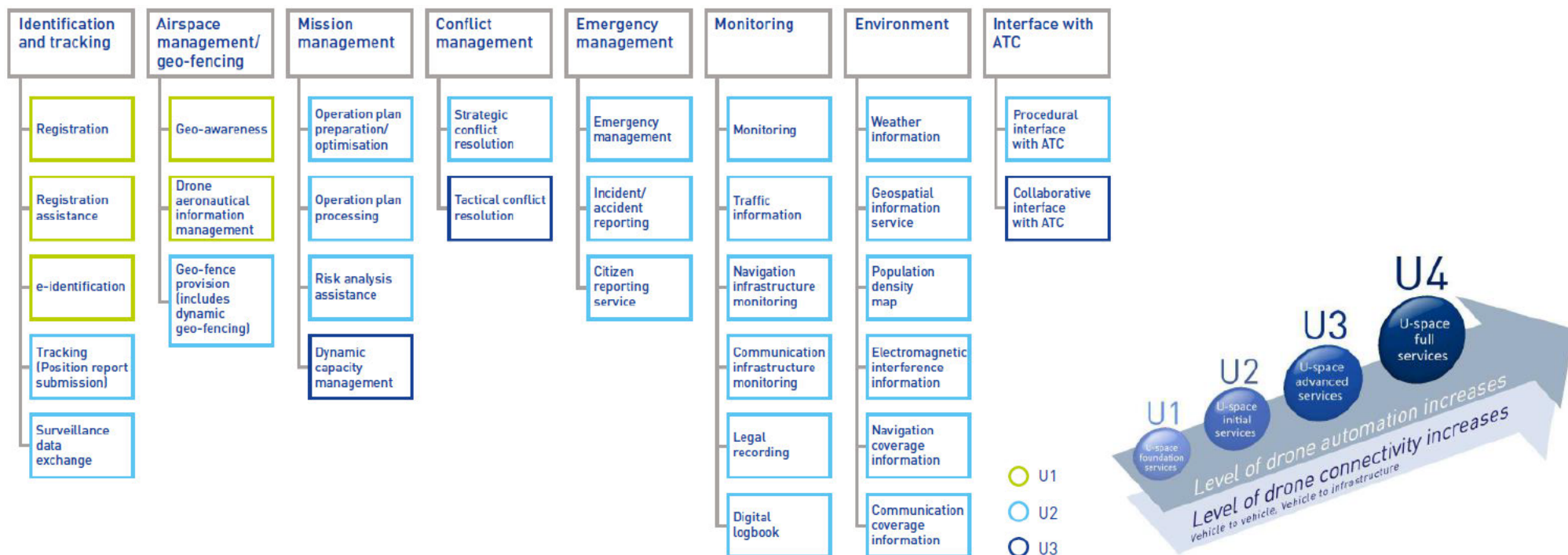
- BLUEPRINTは、航空機の自律化や遠隔操縦等の技術革新の進展を踏まえ、安全確保に向けた空域・システム・規制・ステークホルダに関する連携のロードマップを示したもの。その中で、UTMのスコープとして、従来のUASだけでなく、自律飛行する航空機（self-piloting aircraft）を支援対象として拡張。
- 航空機は、相互に調整が行われるデジタルシステムと対話する絵姿を提示。この時、sUASやeVTOLは、ATM NETWORK MANAGERと接続されたSERVICE PROVIDERに接続（Communication Network Operatorを中継）されるイメージを提示。
- 飛行経路の管理として、4つの考え方を提示。



出所) AIRBUS BLUEPRINT

U-Space

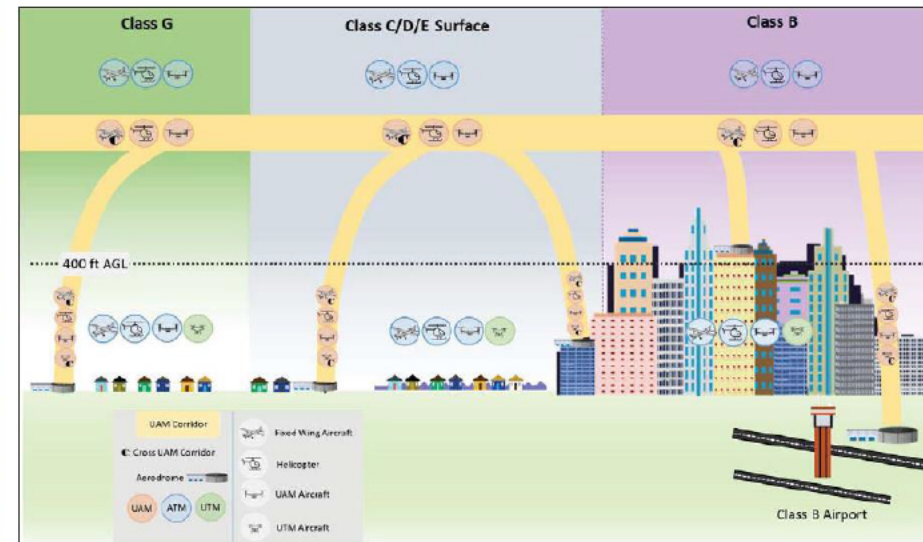
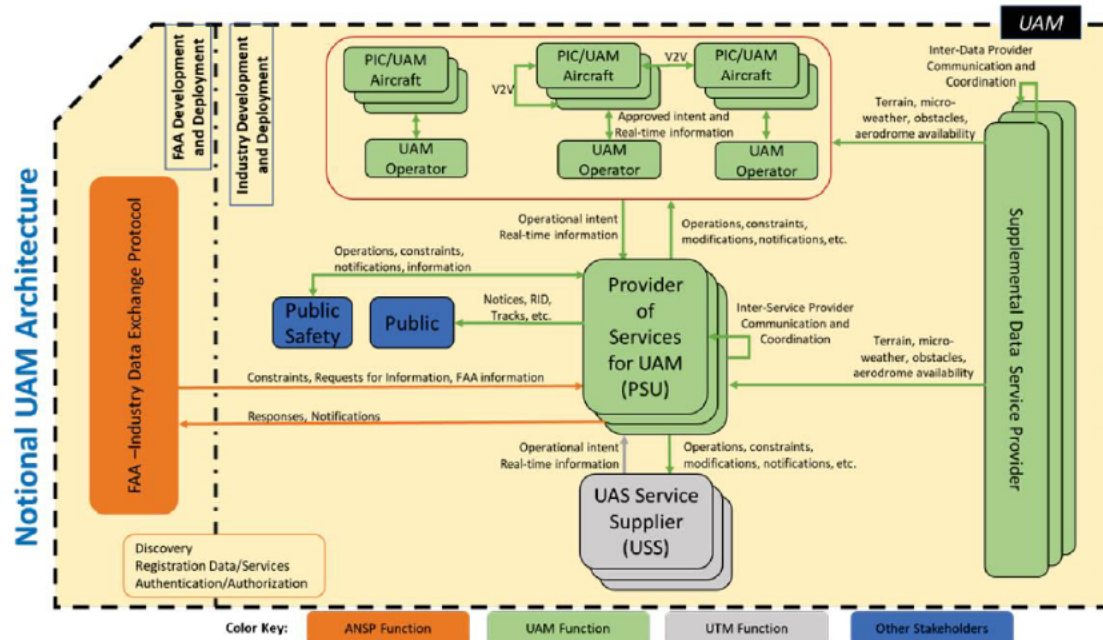
- U-Spaceは、多数のドローンの空域への安全かつ効率的なアクセスをサポートする、高度に機能がデジタル化、自動化されたサービス群であり、これを実現に向け19の研究開発プロジェクトが進められた。U-Spaceが提示するサービス実装の計画、U1～U4の4段階が提示されており、初期サービスU1の実装は2019年頃、フルサービスU4の実装は2035年頃とされている。
- U-Spaceの現状の研究開発は、Very Low-Level (VLL) airspace（航空機の最低安全高度未満）が主対象。U-Space CONOPsでは、ドローンの他、VFRで飛行する有人機（一部IFRを含む）についてもU-Spaceのサービスを受けることを強く推奨。
- Gulf of Finland (GOF) U-spaceの実証プロジェクト一環で、2019年8月、Volocopterはヘルシンキ空港において、UTMへの接続実証を実施。AirMap、Altitude Angel、UniflyのUTMサービスプロバイダと共に、必要なソフトウェアやハードウェア（位置報告センサ）の接続を複数シナリオで確認。
- SESARが2020年11月に発表したレポートでは、U-Spaceの今後の開発ニーズとして、U3/U4サービスに向け、サービススコープにUAMを加え、VLLを超える空域まで範囲を拡張することを挙げている。



FAA UAM CONOPs

- FAAが2020年6月に公表したUAM CONOPs 1.0では、UAMの飛行空域として、UAMコリダーを定義。eVTOLに加え、従来ヘリコプターも飛行可能。コリダー内ではATMとの通信は不要としている。なお、UAMコリダー外のUAMは、ATMにより管理。
- UTMの対象は、地上高400ft以下のUASのみ。
- 同CONOPsでは、下図に示すUAMアーキテクチャを提案。UTMに類似するアーキテクチャとなっているが、UAMサービスプロバイダ (PSU)は、FAAシステムとの相互情報共有、PSU同士の運航調整、UASサービスプロバイダとの相互情報共有を行いながら、UAM運航者による運航を実現する方針を提示。

環境	空域	根拠
UAM	UAMコリダー	UAM ConOps 1.0
UTM	地上高400ft以下	UTM ConOps 2.0
ATM	全空域	有人機/無人機に関する現行規制



出所) FAA UAM CONOPs 1.0

EMBRAERX “UATMS”

- EMBRAERXは、戦略的に設計された空域構造と手順を用いて、ATMへの影響を最小限に抑えながら、都市の飛行を安全かつ効率的に維持するUATMS（Urban Air Traffic Management）構想を提案。
- UATMの空域は、sUASの運用空域とATMの制御空域の間に配置される。この階層化されたアプローチにより、都市の空域容量を増やし、新しい航空機と従来の航空機に平等な空域アクセスを提供。
- UATMは、単一の存在としてのUrban Airspace Service Provider (UASP)が、低高度の都市航空交通の管理に責任を持つことを想定している。UASPは、ATM、UASサービスプロバイダ、及びUATMのステークホルダとの緊密な連携により、一連のサービスを提供。UATMSの具体的なサービスは、大きく基本サービスと運用サービスに分かれ、6つのサービス項目を提示。



サービス項目		概要
基本サービス （UATMの運航前に 確立する必要がある サービス）	空域・手順 設計	都市空域における飛行経路、コリドー 及び調整手順の作成
	情報交換	UATMやATM、UTMなど全ステークホル ダとの空域及び飛行情報の交換
運用サービス （空域と飛行を管理 するために毎日提供 されるサービス）	飛行許可	UTAM空域における飛行について、飛 行前の登録済み機体及びパイロットへ の許可
	フロー管理	UATM運用の整合性を維持するた めの航空機間隔の確保
	動的な空域管 理	ATMニーズや気象変化に対し、飛行 経路、コリドー、空域境界等を動的に 変更
	適合性監視	飛行の適合性を監視し、ガイダンス等 のパイロット支援を提供

出所) EMBRAERX “FLIGHT PLAN 2030”

(7) 気象観測

各社の製品概要

米Garmin社は降雨・風向・風速を観測するヘリコプター搭載型のドップラー気象レーダを販売し、仏LUMIBIRD社と中Everise Technology社は風向・風速を観測する地上設置型のドップラーLIDARを販売している。

これらの気象観測装置により、eVTOLの運行に活用可能な天候データ（降雨・風向・風速）を得られる可能性がある。

企業名 (製品名)	方式	観測項目	大きさ	重量	動作高度	走査距離	解像度
Garmin (GWX 75H)	ドップラー 気象レーダ (ヘリコプター に搭載)	降雨、風向、 風速 (MRI想定)	幅29.7cm 高さ18.0cm (アンテナ長を含む)	4.52kg (10インチアンテナ) 4.59kg (12インチアンテナ)	450～ 16,750m	-	(公開情報からは 不明)
LUMIBIRD (STREAMLINE)	ドップラー LIDAR (地上に 設置)	風向、風速	63×53×40cm (最大走査範囲が 5, 10kmの製品) 63×53×65cm (最大走査範囲が 15kmの製品)	85kg	(公開情報からは 不明)	50m～5km (最大15km)	3m (時間分解能は 0.1～30秒)
Everise Technology (WINDVIEW12)	ドップラー LIDAR (地上に 設置)	風向、風速	(公開情報からは 不明)	(公開情報からは 不明)	(公開情報からは 不明)	50m～3.5km	(公開情報からは 不明)

出所) Aviation Today「Garmin Debuts New Weather Radar for Planes, Helicopters」, <https://www.aviationtoday.com/2018/07/17/garmin-debuts-new-weather-radar-planes-helicopters/>、GARMIN「GWX™ 75」, <https://buy.garmin.com/en-US/US/p/576890/pn/010-01589-11#specs>、HALO Photonics「STREAMLINE SERIES」, <https://halo-photonics.com/lidar-systems/stream-line-series/>、METEK「Doppler LIDAR Stream Line | Stream Line XRJ」, <https://metek.de/product/doppler-lidar/>、Everise Technology「Remote Sensing Lidar Detection」, <http://everisetech.com/en/products/ygtc/windlidar12.html> を基に三菱総合研究所作成 (閲覧日: 2021年2月3日)

(8) ポート

Vertiportに関わる目標スペック

Vertiportの処理能力は20便/日から1,000回/時間とさまざま提案されている

要素	Volocopter	Uber	Lilium	Ehang	Beta
処理能力	<ul style="list-style-type: none"> Hubポートでは1,000人/時間、30秒ごとの離陸 パッド1つでは10~15便/時間 	<ul style="list-style-type: none"> 着陸回数150回~1,000回/時間 	<ul style="list-style-type: none"> 20便/日~20便/時間 	<ul style="list-style-type: none"> 広西省に建物中のポートには屋上に4つのパッドがあり、機体を20機納入 	<ul style="list-style-type: none"> 不明
設置場所	<ul style="list-style-type: none"> 高速道路沿い、ビル屋上、地上 	<ul style="list-style-type: none"> 地上または構造物上 	<ul style="list-style-type: none"> 地上または構造物上 	<ul style="list-style-type: none"> 構造物上（ポート自体が3階以上の構造） 	<ul style="list-style-type: none"> 不明
サイズ	<ul style="list-style-type: none"> 不明 	<ul style="list-style-type: none"> 3エーカー以内 	<ul style="list-style-type: none"> モジュラー式 	<ul style="list-style-type: none"> 広西省に建物中のポートは建物面積2,500m²。1階に受付、2階に待合室、屋上に4つのパッドがある 	<ul style="list-style-type: none"> プロトタイプは高さ6m 屋上に離着陸デッキがあり、下層に電力設備、パイロットラウンジ、宿泊施設がある
充電	<ul style="list-style-type: none"> バッテリースワップ式。ロボットによる自動交換 	<ul style="list-style-type: none"> ~600kWで機体に充電 	<ul style="list-style-type: none"> 不明 	<ul style="list-style-type: none"> 自動で機体に給電するイメージ 	<ul style="list-style-type: none"> 250kWインバーターによる急速充電 バッテリー貯蔵モジュールを備える
地上走行	<ul style="list-style-type: none"> エレベータとベルトコンベアによる移動 	<ul style="list-style-type: none"> 不明 	<ul style="list-style-type: none"> 自動走行 	<ul style="list-style-type: none"> エレベータとベルトコンベアによる移動 	<ul style="list-style-type: none"> 想定されていない
他モビリティとの接続	<ul style="list-style-type: none"> 不明 	<ul style="list-style-type: none"> 自転車、自動車、公共交通機関 	<ul style="list-style-type: none"> 不明 	<ul style="list-style-type: none"> 不明 	<ul style="list-style-type: none"> 不明
付帯設備	<ul style="list-style-type: none"> 待合スペース 	<ul style="list-style-type: none"> カフェ・ショップ 	<ul style="list-style-type: none"> 待合スペース 	<ul style="list-style-type: none"> 待合スペース 	<ul style="list-style-type: none"> 宿泊施設
運用体制	<ul style="list-style-type: none"> 不明 	<ul style="list-style-type: none"> 不明 	<ul style="list-style-type: none"> 不明 	<ul style="list-style-type: none"> ポートとは別の場所にコントロールセンター 	<ul style="list-style-type: none"> 不明

(9) まとめ

海外技術動向のまとめ（1/5）

構造、動力、電源、充電の技術指標及び技術動向を以下に示す。電源では、Uberのエネルギー密度の目標値（400Wh/kg）をSion powerのリチウム金属電池が達成している（500Wh/kg）が、サイクル寿命（1,000回）に関して改善の余地がある。

技術項目		プレーヤー	指標	フェーズ*	現状の製品性能	機体搭載時の目標	将来的な目標
構造	素材	• 東レ、FACC	• CFRP	製品化前	(公開情報からは不明)	(オートクレーブ法)	(真空含浸法)
動力	ハイブリッド推進システム	• Rolls-Royce、Safran	• タービン発電機、バッテリー	製品化前	(公開情報からは不明)	• 500-1,000kW	(公開情報からは不明)
	モータ	• MAGicALL	• 連続出力	製品化済	• 400kW	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)
			• 出力密度	製品化済	• 5.5kW/kg	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)
		• Siemens	• トルク密度	製品化済	• 30.6Nm/kg	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)
• Safran	• 連続出力	製品化前	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)	• 500kW (2025年～)		
電源	電源全体	• Uber	• エネルギー密度	(要求水準)	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)	• 400Wh/kg (2023年)
	リチウム硫黄電池	• OXIS Energy	• エネルギー密度	製品化済	• 400Wh/kg	(公開情報からは不明)	• 600Wh/kg (2025年～)
	リチウムイオン電池	• Electric Power Systemsなど	• エネルギー密度	製品化済	• 151-435Wh/kg	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)
			• エネルギー出力	製品化済	• 16-3,500Wh	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)
	リチウム金属電池	• Sion Power	• エネルギー密度	製品化済	• 500Wh/kg	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)
			• サイクル寿命	製品化済	• 1,000回	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)
燃料電池	• HyPoint	• エネルギー密度	製品化済	• 960Wh/kg	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)	
充電	機体の充電	• BlackFly	• 充電時間	製品化前	(公開情報からは不明)	• 67分**	(公開情報からは不明)
	バッテリー交換	• Volocopter	• 交換時間	製品化前	(公開情報からは不明)	• 5分 (2022年)	(公開情報からは不明)

出所) 各種公開情報を基に三菱総合研究所作成

*製品の開発フェーズ, **240V/50Aの場合。機体開発目標時期は不明

海外技術動向のまとめ (2/5)

制御システム、HMIシステム、センサ、航法システムの技術指標及び技術動向を以下に示す。

技術項目		プレーヤー	指標	現状の技術	将来の技術
アビオニクス	制御システム	<ul style="list-style-type: none"> • Volocopter ※機体の採用方式 	<ul style="list-style-type: none"> • 技術方式 	<ul style="list-style-type: none"> • Fly-by-Light 	(公開情報からは不明)
		<ul style="list-style-type: none"> • Honeywell 	<ul style="list-style-type: none"> • 技術方式 	<ul style="list-style-type: none"> • Fly-by-Wire 	(公開情報からは不明)
		<ul style="list-style-type: none"> • MOOG ※eVTOL向けか不明 	<ul style="list-style-type: none"> • 技術方式 	<ul style="list-style-type: none"> • 電動式FBWアクチュエータ 	<ul style="list-style-type: none"> • FBL対応電気油圧式アクチュエータ (EHA)
	HMIシステム	<ul style="list-style-type: none"> • Volocopter、Bell ※機体の採用方式 	<ul style="list-style-type: none"> • 技術方式 	<ul style="list-style-type: none"> • ジョイスティック • 画面操作 	(公開情報からは不明)
		<ul style="list-style-type: none"> • Airbus ※機体の採用方式 	<ul style="list-style-type: none"> • 技術方式 	<ul style="list-style-type: none"> • 音声・顔認識システム • 視線追跡システム 	(公開情報からは不明)
	センサ	<ul style="list-style-type: none"> • Volocopter、Airbus ※機体の採用方式 	<ul style="list-style-type: none"> • 技術方式 	<ul style="list-style-type: none"> • 高度計 • GNSS • GPS • IMU • エアデータプローブ 	(公開情報からは不明)
	航法システム	<ul style="list-style-type: none"> • Honeywell、Collins Aerospace、Garmin ※eVTOL向けか不明なものを含む 	<ul style="list-style-type: none"> • 主要機能 	<ul style="list-style-type: none"> • FMS • ランタイムモニタ • ミッションコントロール • 車両管理コンピュータ 	(公開情報からは不明)

海外技術動向のまとめ (3/5)

監視、気象観測の技術指標及び技術動向を以下に示す。

技術項目		プレイヤー	指標	現状の技術	将来の技術
監視	非協調方式	<ul style="list-style-type: none"> Airbus ※自社開発 	<ul style="list-style-type: none"> 検出距離 	<ul style="list-style-type: none"> レーダ、カメラ、LIDAR 検出距離：公開情報からは不明 	(公開情報からは不明)
			<ul style="list-style-type: none"> 回避性能 	<ul style="list-style-type: none"> 機械学習で知覚技術や意思決定ソフトの開発 	(公開情報からは不明)
	協調方式	<ul style="list-style-type: none"> Volocopter 	<ul style="list-style-type: none"> 検出距離 	<ul style="list-style-type: none"> レーダ、赤外カメラ、電気光学カメラ 検出距離：不明 	(公開情報からは不明)
			<ul style="list-style-type: none"> uAvionix 	<ul style="list-style-type: none"> 技術方式 	<ul style="list-style-type: none"> ADS-B out/トランスポンダ ADS-B受信機
気象観測	ドップラー気象レーダ (機体に搭載)	<ul style="list-style-type: none"> Garmin ※eVTOL向けか不明 	<ul style="list-style-type: none"> 観測項目 	<ul style="list-style-type: none"> 降雨 風向 風速 	(公開情報からは不明)
	ドップラーLIDAR (地上に設置)	<ul style="list-style-type: none"> LUMIBIRD、Everise Technology ※eVTOL向けか不明 	<ul style="list-style-type: none"> 観測項目 	<ul style="list-style-type: none"> 風向 風速 	(公開情報からは不明)

海外技術動向のまとめ（4/5）

機体の安全装置の技術指標及び技術動向を以下に示す。

技術項目		プレーヤー	指標	現状の技術	将来の技術
機体の 安全装置	冗長性の担保	• MOOG、Bell、WISK、Lilium	• 技術方式	• 一部のプロペラが作動せずとも飛行可能	(公開情報からは不明)
		• MOOG、Bell	• 技術方式	• エンジン故障時のために緊急用バッテリーを搭載	(公開情報からは不明)
		• WISK、Lilium	• 技術方式	• フライトコントローラに対し三重冗長性を担保	(公開情報からは不明)
	故障予知	• Bell	• 技術方式	• 部品の故障予知センサ	(公開情報からは不明)
	運動エネルギー低減	• Airbus、BRS Aerospace	• 技術方式	• (低高度で作動する) パラシュート	(公開情報からは不明)
	耐衝撃構造	• MOOG	• 技術方式	• 機体、ロータ、スキッドで炭素繊維を採用	(公開情報からは不明)
• Bell、WISK、Lilium		• 技術方式	• 車輪付きの降着装置を3点搭載	(公開情報からは不明)	

海外技術動向のまとめ (5/5)

ポートの技術指標及び技術動向を以下に示す。

技術項目		プレイヤー	指標	フェーズ	現状の性能	将来的な目標
ポート	処理能力	• Volocopter	• 着陸回数、 輸送人数	プロトタイプ建設	(公開情報からは不明)	• 1,000人/時間 ※ポート全体での能力
		• Uber		構想	(公開情報からは不明)	• 150回~1,000回/時間
		• Lilium		構想	(公開情報からは不明)	• 20便/日~20便/時間
		• EHang		建設中	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)
		• Beta technologies		プロトタイプ建設	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)
	充電	• Volocopter	• 技術方式	プロトタイプ建設	(公開情報からは不明)	• ロボットでのバッテリー交換
		• Uber		構想	(公開情報からは不明)	• 機体充電 (~600kW)
		• Lilium		構想	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)
		• EHang		建設中	(公開情報からは不明)	• 自動での機体充電
		• Beta technologies		プロトタイプ建設	(公開情報からは不明)	• 250kWインバーターによる急速充電
	機体の 地上走行	• Volocopter	• 技術方式	プロトタイプ建設	(公開情報からは不明)	• エレベータとベルトコンベアによる移動
		• Uber		構想	(公開情報からは不明)	(公開情報からは不明)
		• Lilium		構想	(公開情報からは不明)	• 自動走行
		• EHang		建設中	(公開情報からは不明)	• エレベータとベルトコンベアによる移動
		• Beta technologies		プロトタイプ建設	(公開情報からは不明)	(想定されていない)

出所) 各種公開情報を基に三菱総合研究所作成

4. ルール形成戦略の策定

4. 1 システムアーキテクチャの検討

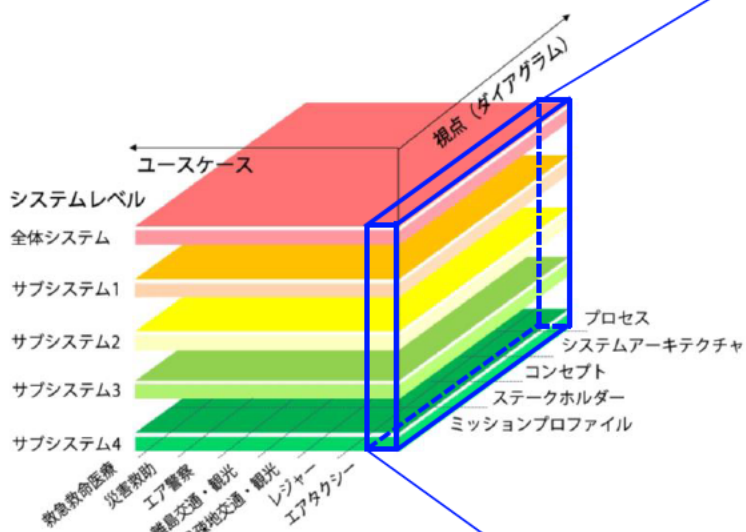
検討の概要

- 空飛ぶクルマの2つのユースケースを検討し、各ユースケースを実現するシステムコンセプトを検討した上で、そのリファレンスモデル、システムアーキテクチャ、運用プロセスを作成。これを踏まえ、空飛ぶクルマの実装に向けた標準化課題、技術開発課題等を抽出。
- 本検討は、慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科 空飛ぶクルマラボとの協力により実施した。具体的には、同ラボで開発した **Keio Reference Architecture Model for Flying Cars (KRAM-FC)** に基づく検討を行った。

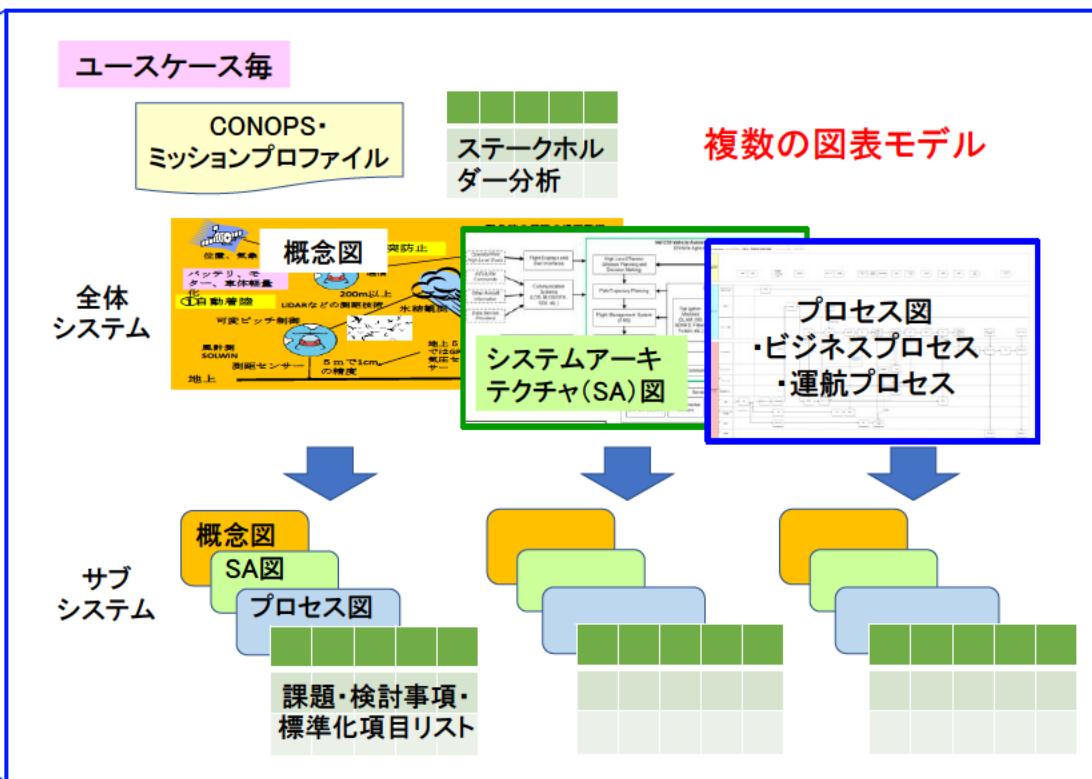
Keio Reference Architecture Model for Flying Cars (KRAM-FC)

全体観と共通イメージを持ちつつ、構造的な議論を可能とする当ラボ独自のモデル。ユースケース・視点・システムレベルの軸からなるリファレンスアーキテクチャモデルの中で、概念図・システムアーキテクチャ図・プロセス図をセットとしたマルチビューモデリングを用い、課題・検討事項・標準化項目が抽出可

リファレンスアーキテクチャモデル



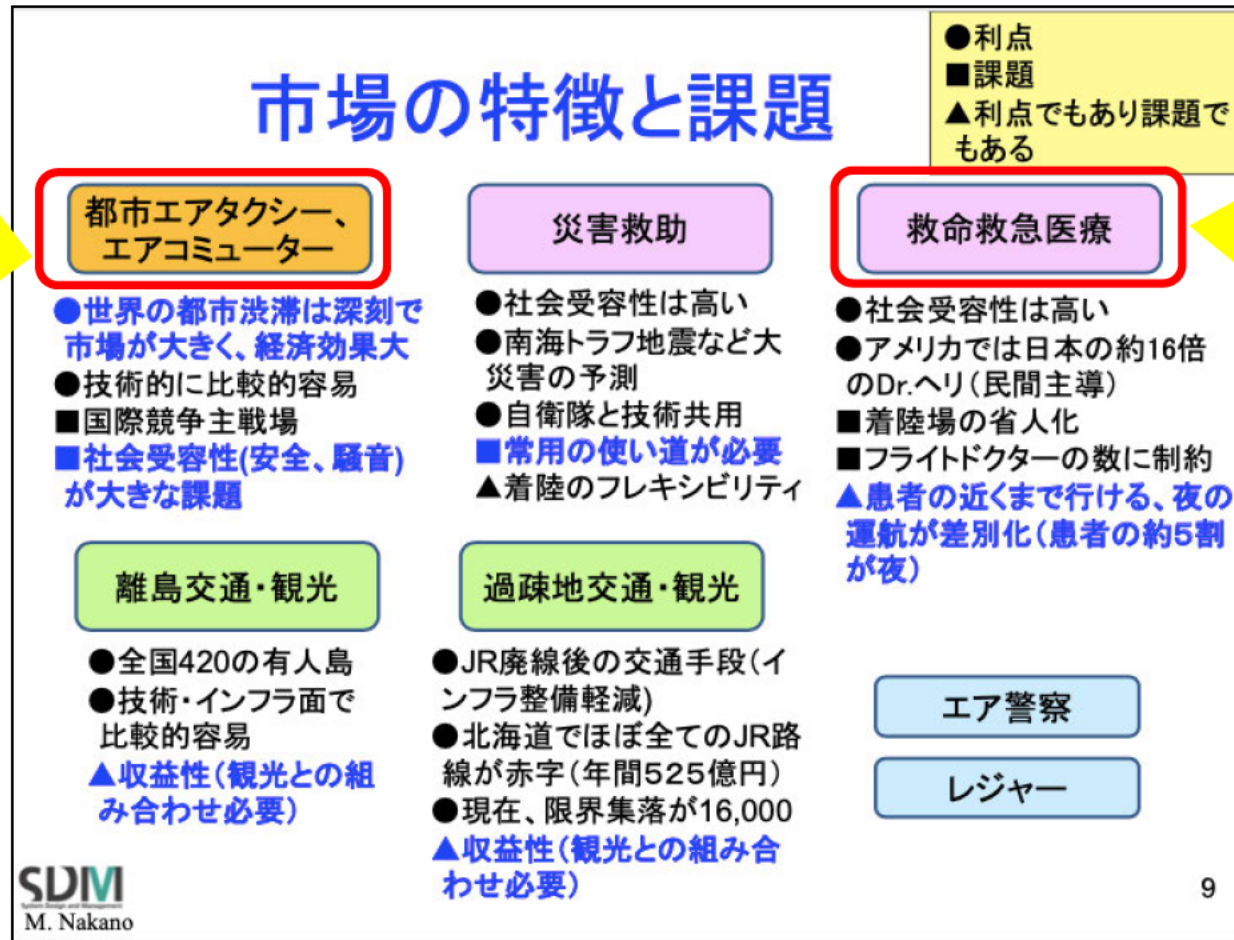
マルチビューモデリング



ユースケースの選定

他のユースケースにおける課題も包含しやすいものとして、救命救急医療およびエアタクシーを選択。

出動タイミングや目的地・到着地が様々で、多様な離着陸シーンを考慮する必要が出てくるため、他のユースケースにおける課題も包含しやすい



将来の高密度運航や、人口密集地の離発着が想定されるなど、チャレンジな要素が多いため、他のユースケースにおける課題も包含しやすい

*慶應義塾大学大学院 空飛ぶクルマ研究ラボ (2018), 第2回 空の移動革命に向けた官民協議会 資料2に加筆
 <https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/air_mobility/pdf/002_02_02.pdf> (2021-02-02閲覧)

例として深掘りした課題

システム別 *カッコ内は抽出した課題数

1. 次世代エアアンビュランス (8)

1. コンビニ着陸支援
2. 救急救命医療用ビークルネットワーク
3. バッテリー交換
- ...



「課題1」深掘り
「課題2」深掘り
「課題3」深掘り

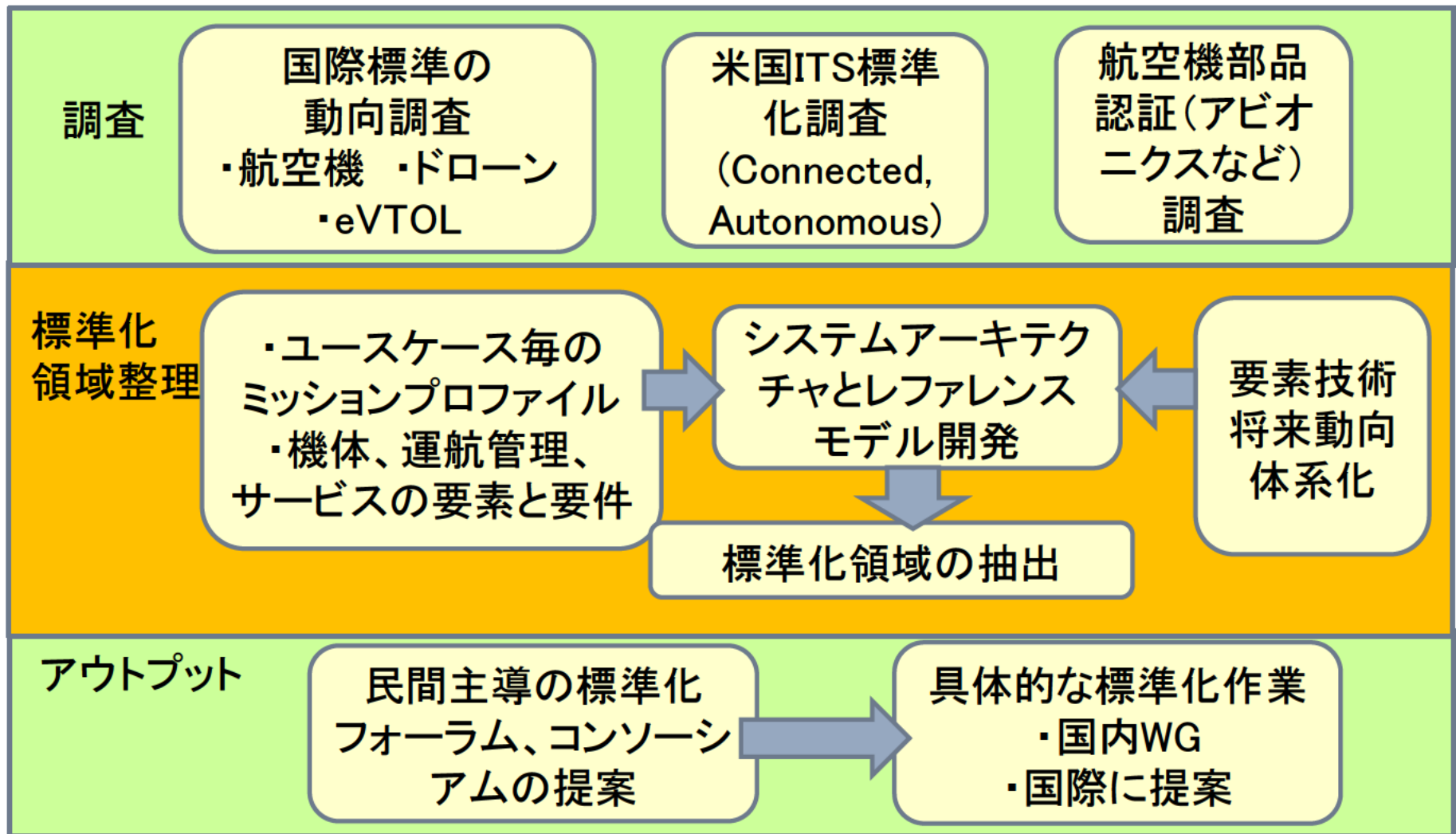
1. 次世代エアタクシー (15)

- ...
1. 気象情報提供 (4)
 - ...
 1. ビル屋上着陸における風況対処
 - ...



「課題8」深掘り
「課題2」深掘り

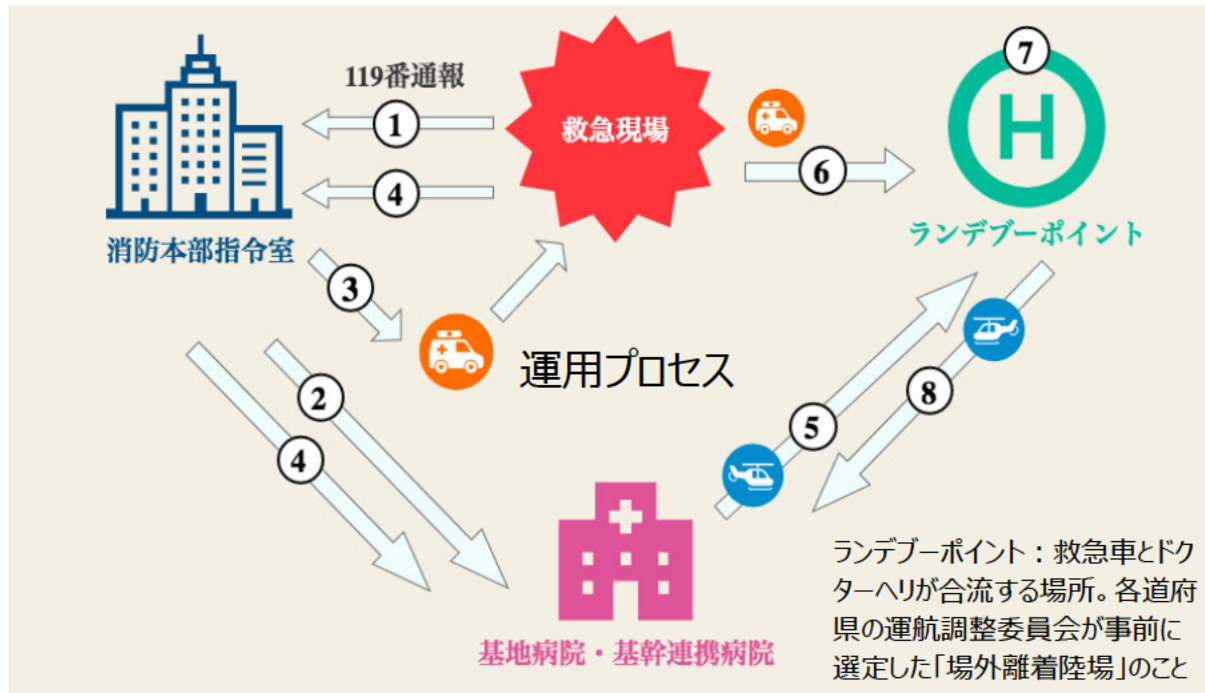
標準化のアプローチ



(1) エアアンビュランスの検討

エアアンビュランスの概要

傷病通報後15分以内に救急救命医療行為を開始することを目的とし、ドクターを救急現場に搬送。救急救命処置後、患者を病院へ搬送する。



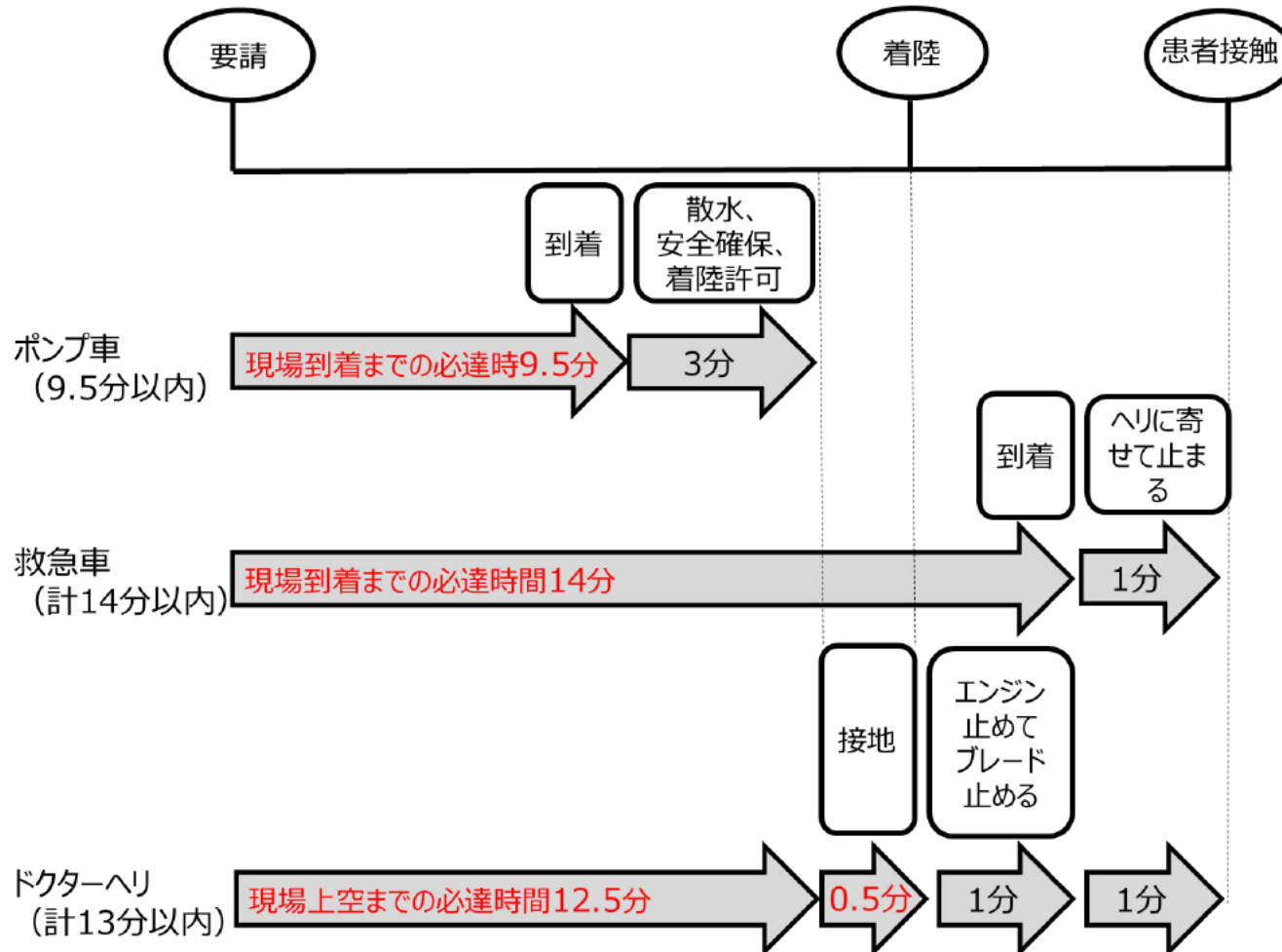
*HEM-Net HP
<https://hemnet.jp/know-about>
 (2021-02-02閲覧)

- ① 119番通報
- ② ドクターヘリ要請
- ③ 救急車出動
- ④ 救急隊員からドクターヘリの出動要請
- ⑤ Communication Specialist(※)の指示でドクターヘリ出動
- ⑥ ランデブーポイントに搬送
- ⑦ 救急車と合流
- ⑧ 搬送

※Communication Specialist・・・ドクターヘリの出動調整担当。ドクターヘリの運航会社所属で、基地病院に専用の部屋を構える。

ミッションプロフィール (1/2)

15分以内にドクターと患者の接触を実現するため、ランデブーポイントまでに到達すべき時間は、ポンプ車が9.5分、救急車が14分、ドクターヘリが13分以内。



ミッションプロフィール (2/2)

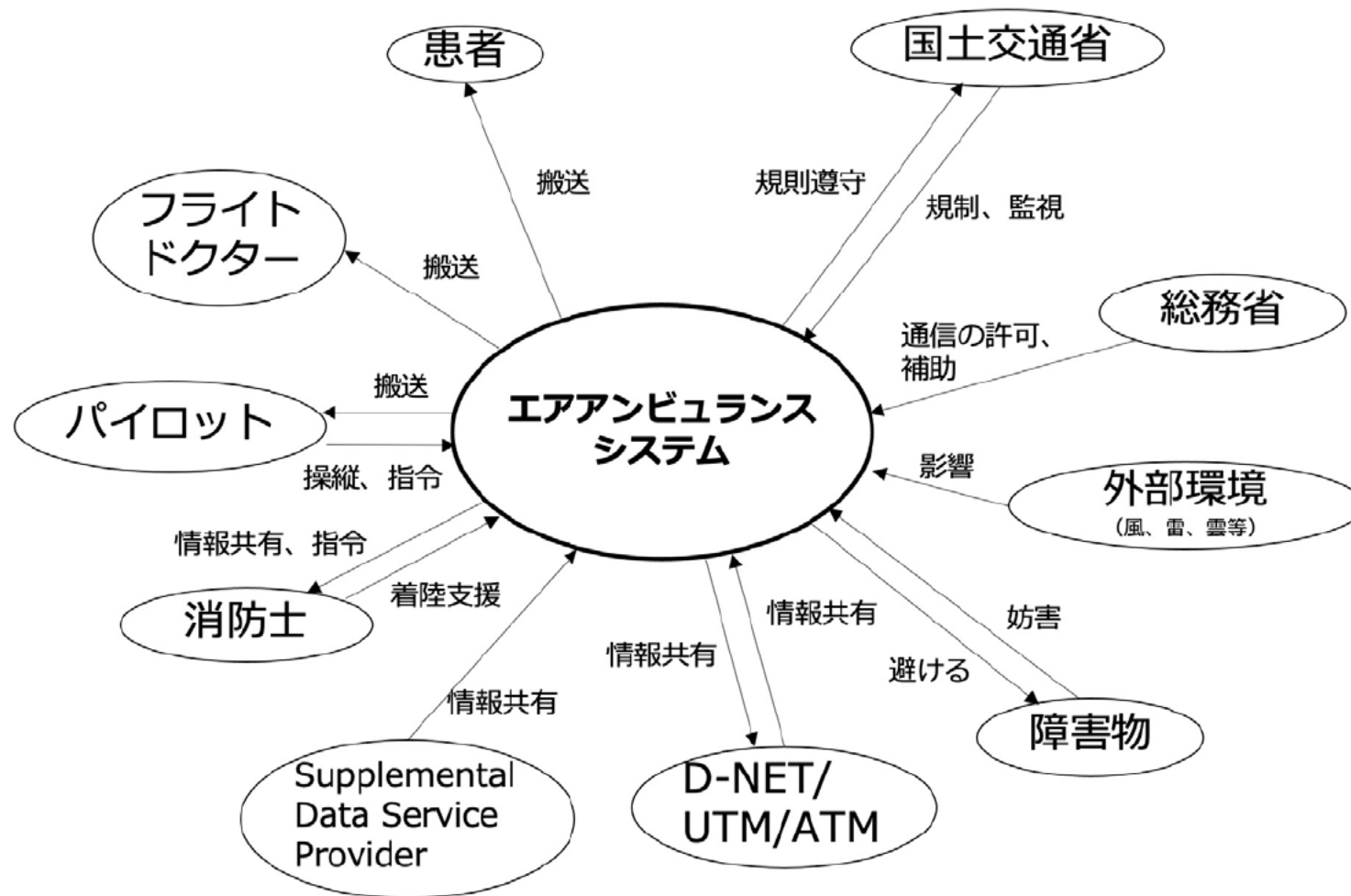
エアアンビュランスのミッションプロフィールを示す。

フェーズ	時間 [min]	水平距離 [mile]	垂直方向平均 速度 [ft/min]	水平方向平均 速度 [mile/h]	対地高度 [ft]	備考
出動要請~離陸	4.0	0	0	0	0	
離陸-ホバリング	0.5	0	100	0	50	
上昇	0.45	0.3	1000	0-80	50-500	
加速+上昇	1.0	1.7	1000	80-125	500-1500	等加速度運動
水平巡航	3.5	7.3	0	125	1500	
減速+下降	2.0	3.4	500	125-80	1500-500	等加速度運動
下降	0.9	0.6	500	80-0	500-50	
ホバリング-着陸	0.5	0	100	0	50	
Total	12.85	13.4	-	-	-	

*Uber, "Uber Air Vehicle Requirements and Missions"参照し当ラボで計算
 <<https://s3.amazonaws.com/uber-static/elevate/Summary+Mission+and+Requirements.pdf>> (2021-02-02閲覧)

ステークホルダー図

現状のエアアンビュランスシステムのステークホルダーおよびそれらとの関係性を示す。

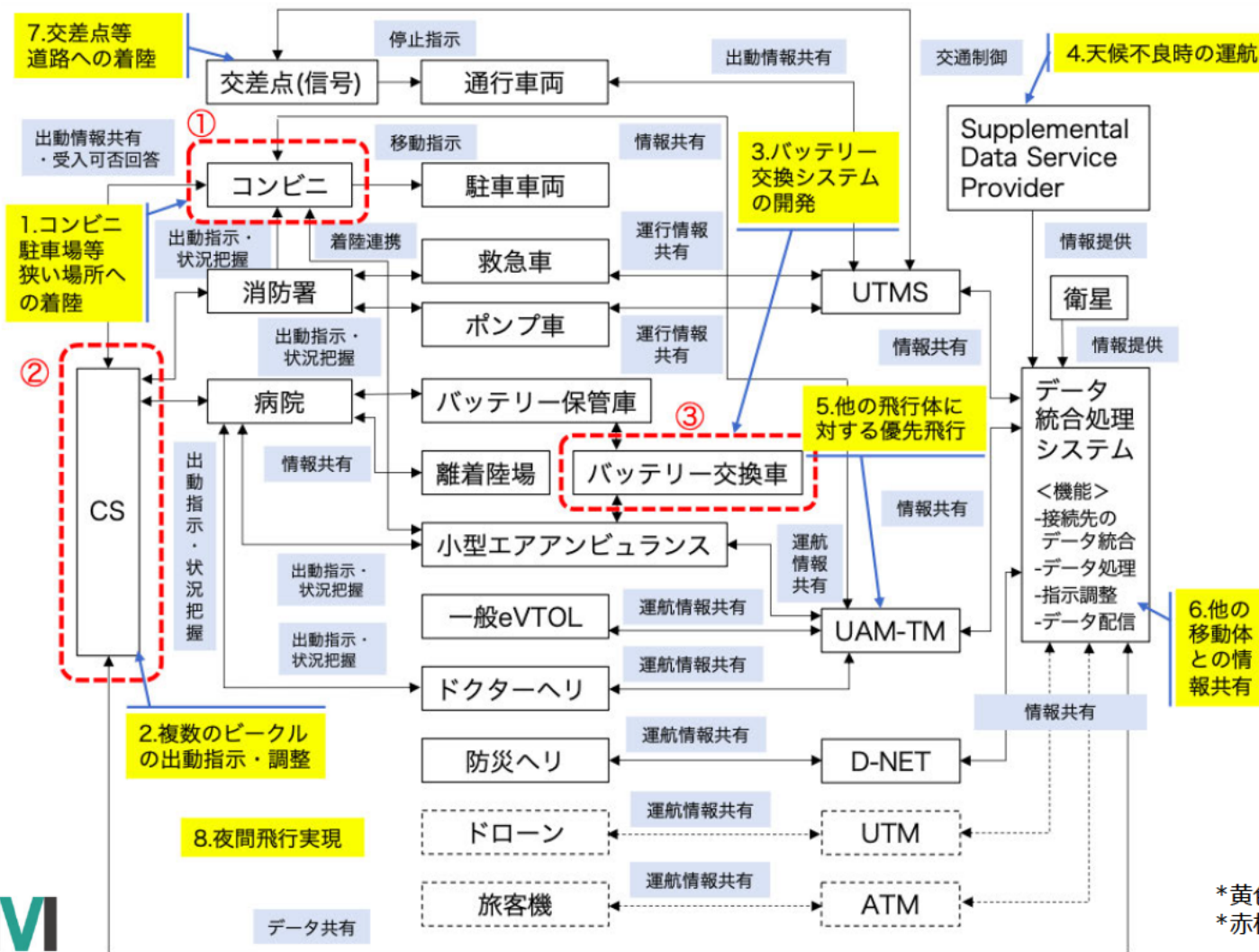


次世代エアアンビュランスシステム – 前提およびコンセプト

- ドクターへのヒアリングより、早期患者接触のため、コンビニ駐車場や交差点などに着陸したいとのニーズあり。小型の機体が必要となるが、本邦ドクターヘリの第一義は、ドクターを患者の元に搬送することであり、ドクター曰くパイロットとドクターのみが乗れば良いとのことから、**二人乗りの小型機体**を想定。
- 現状のドクターヘリ年間運航費は数億円/機。事業継続性に難があり、またそれ故に各県で約1機しか持てず、重複要請への対応も十分でない状況。eVTOLの採用により、ヘリに対して部品点数が減少し、機体費・整備費が低減されれば、**多くの病院に配備**出来、重複要請対応の可能性が高まる。
- 出勤要請がいつ来るか分からない中で、出勤知覚から患者接触までを15分以内に達成するためには、機体に搭載されたバッテリーは常に満充電状態となっている必要がある。機体にバッテリーを積み込んだまま充電する方式では、即時の出勤が難しいことから、**バッテリー交換方式**を選択することとした。
- 今回は重複要請が発生しうる程度の人口を有する、**郊外地域**の想定とした。また、時間軸は2030年代とし、**完全自動操縦**にはなっていない前提としている。

次世代エアアンビュランスシステム - システムアーキテクチャ

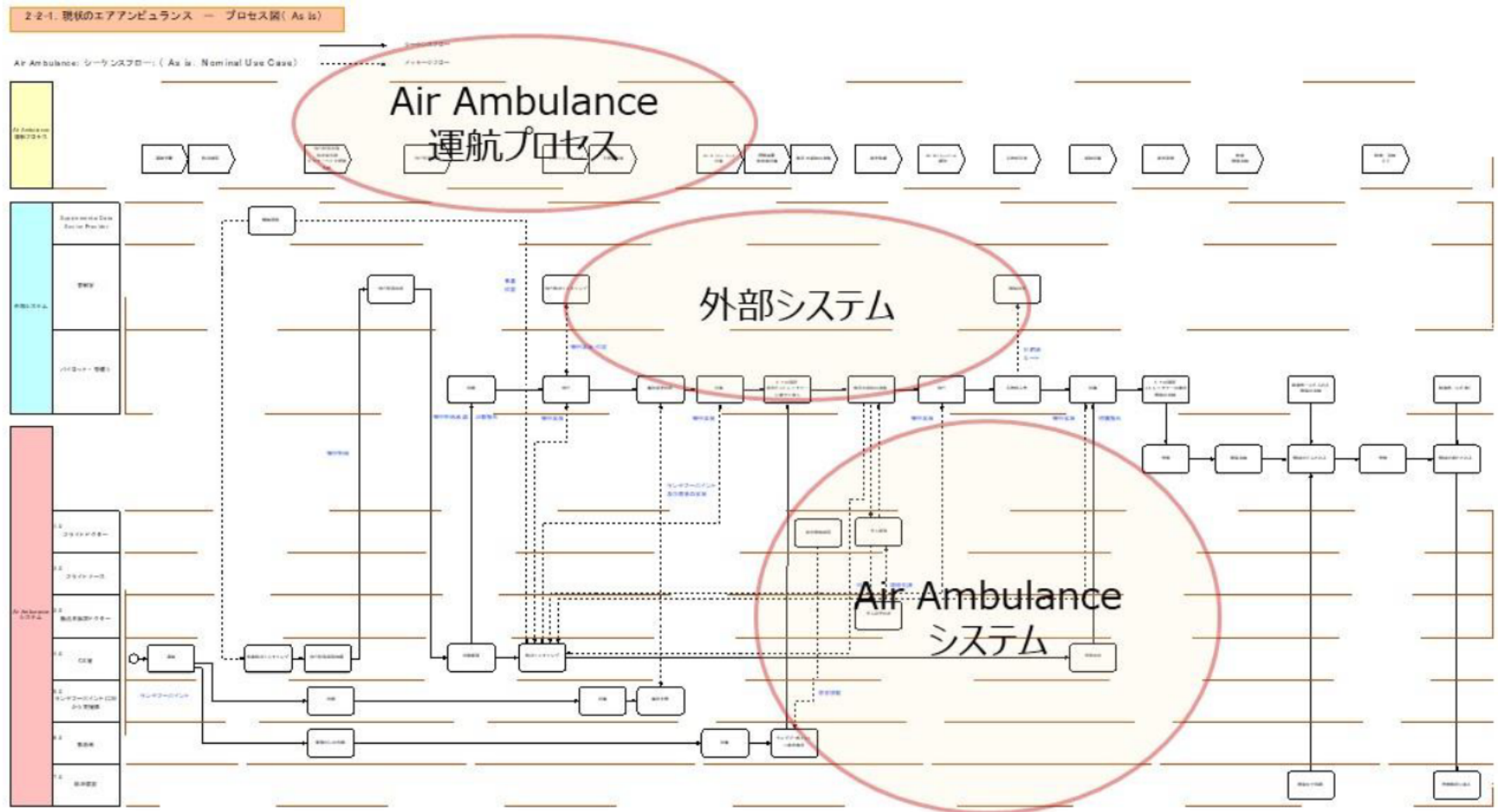
前ページの概念図をアーキテクチャとして示したもの。ドクターへのニーズヒアリングにおいて優先度が高い課題であった①～③のシステムについて、以降のページで深掘りを行う。



*黄色のBOXは課題を示す
*赤枠は後に詳細を説明する箇所

現状のエアアンビュランス - プロセス図

横軸に出動要請～バッテリー交換までの一連のプロセス、縦軸に登場人物を置き、登場人物間でのシーケンスやメッセージのフローを可視化。議論の対象としているプロセスの認識合わせや、議論において登場人物に抜けがないかなどを確認するのに用いた。

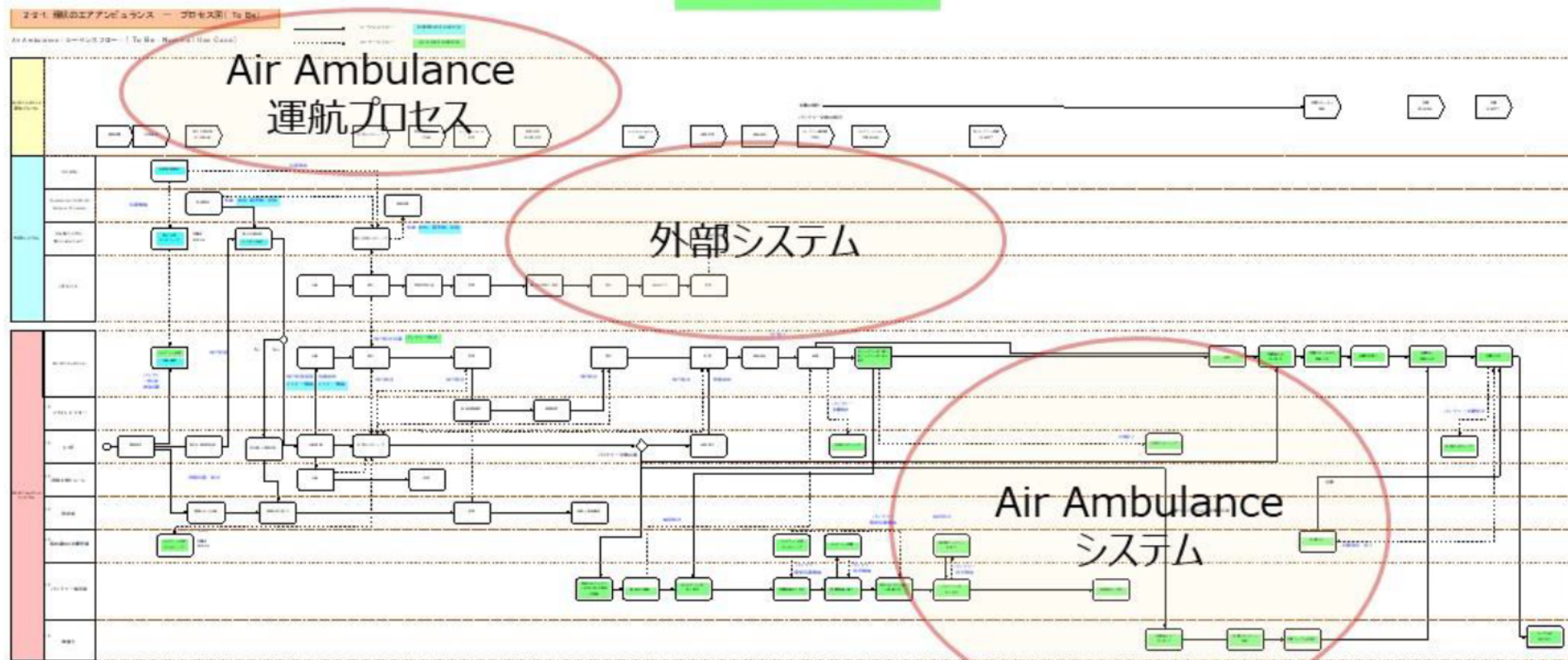


次世代エアアンビュランスシステム - プロセス図

前ページと同様のフォーマットで、次世代システムのプロセス図を描写。前ページにおける現状のプロセス図と比較することで、変化点を明確化し、課題を網羅的に抽出するのに用いた。

技術進化ゆえの変化点

eVTOLゆえの変化点



次世代エアアンビュランスシステム – 課題および検討事項（例）

マルチビューモデリングを用いて抽出した課題に対し、技術・制度・運用・標準化に分類。

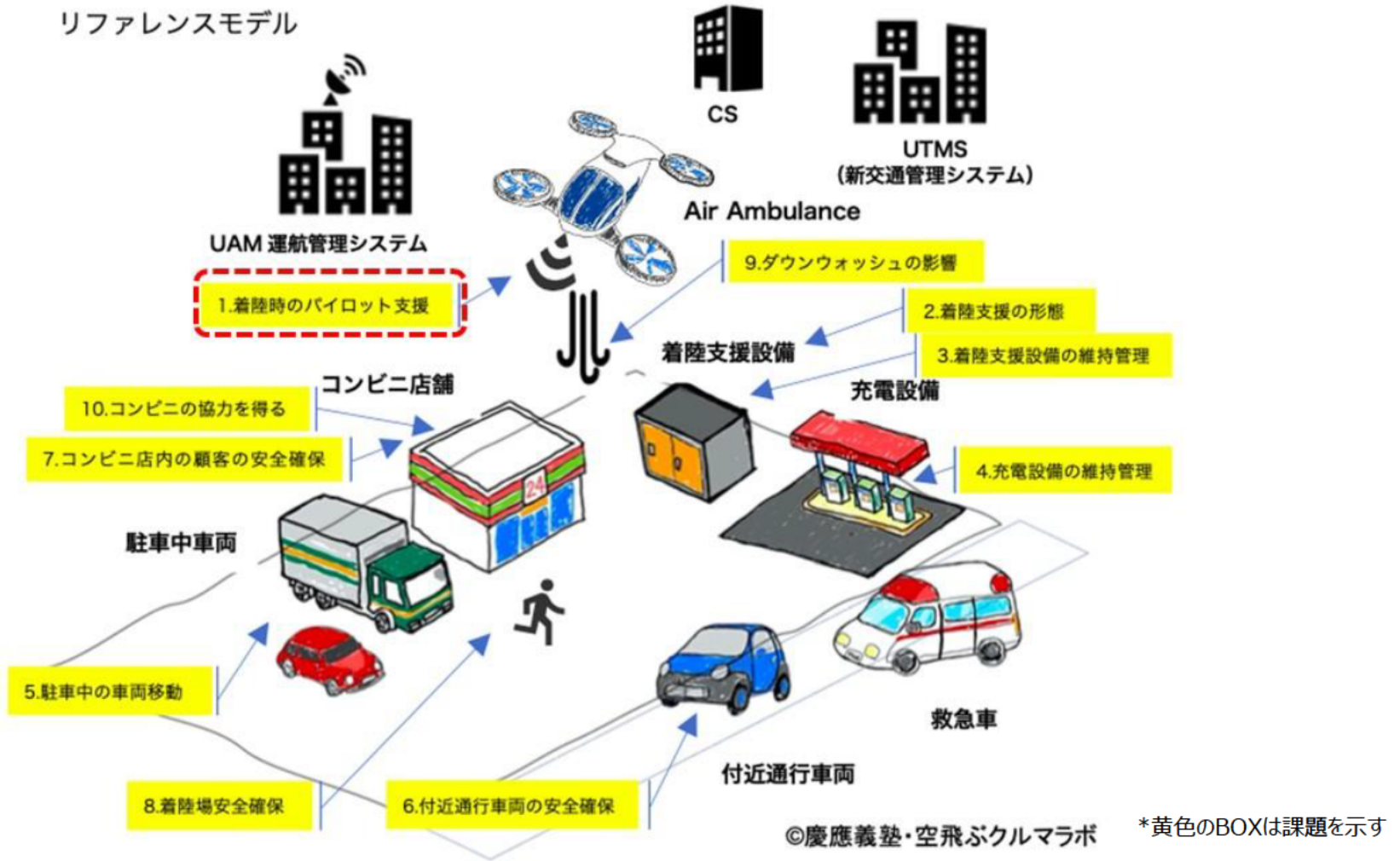
	課題	分類	検討事項・オプション
1	コンビニ駐車場等狭い場所への着陸方法、必要設備など	技術	Op1：駐車場に着陸 Op2：屋上に着陸
		技術	・高精度な飛行制御・パイロット操縦支援システム
		制度	・必要設備の選定（着陸支援設備、充電設備など）
2	複数のビークルの出動指示・調整	標準化	Op1：CSによるビークルへの直接指示 Op2：病院や消防署がCSからの指示窓口機能を担当
3	バッテリー交換システムの開発	標準化	Op1：機体をベルトコンベアで移動させてバッテリーを交換 Op2：バッテリー交換車でバッテリーを搬送して交換
4	天候不良時の運航	技術	・VFRにおいて低視程状態での飛行を安全かつ安価に可能にするための技術開発 ・雲分布の高精度検知
5	他の飛行体との衝突回避・優先飛行順の決定	技術	・高密度運航へのスケール方法 Op1：現在の有人航空機をベースとした技術 Op2：ドローンをベースとした技術
6	他の移動体との情報共有	技術	Op1：共通プロトコルの策定 Op2：異なるプロトコル間のAPI開発
7	交差点等道路への着陸	運用	・交通整理隊の派遣
		技術	・信号および自動運転車の制御
8	夜間飛行実現	技術	・VFRにおいて低視程状態での飛行を安全かつ安価に可能にするための技術開発

コンビニ着陸支援システム - 前提およびコンセプト

- ドクターによる「少しでも患者の近くに降り、早く現場に到着したい」というニーズを受け、日本全国に約58,000店あるコンビニに着陸することを検討する。ただし、首都圏のコンビニでは駐車場がなかったり、狭くて十分な面積が確保出来ない場合が多く、主に地方郊外にある広いコンビニを想定している。
- コンビニ事業者へのヒアリングにより、店員に負荷や責を追わせるのはハードルが高いとのこと。よって、安全確保の対応や責については、現場に到着した消防隊が担い、店員は顧客の店外移動抑止などの呼びかけのサポートのみ。
- 着陸場所については、店舗屋上とすると、安静にすべき患者を上下移動させることになってしまうため、駐車場とする。ただし、駐車中の車両は店舗付近に集中しており、駐車場に広いスペースが確保出来るという前提。
- 現状、コンビニ駐車場をドクターカーのランデブーポイントに活用している実績はあり、コンビニによる救急救命業務への協力を得ること自体は可能と想定。

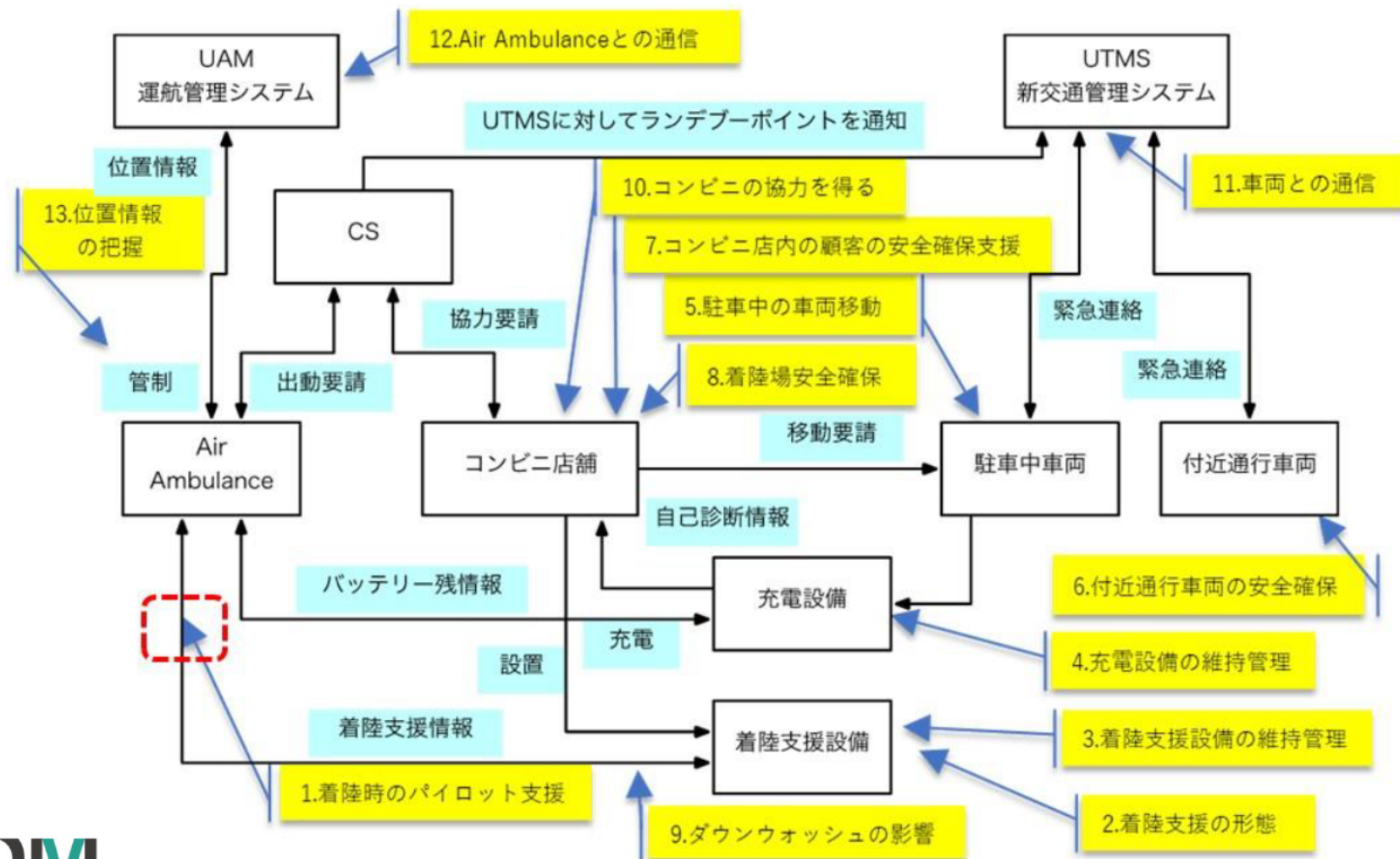
コンビニ着陸支援システム - 概念図

駐車場着陸時には、周囲の安全確保やダウンウォッシュなどの影響への配慮、コンビニの協力を得る必要があるなど、数多くの課題が存在。



コンビニ着陸支援システム - システムアーキテクチャ

リファレンスモデルに示した課題に加え、11~13に示すような関係者との通信システムに関する課題の解決も必要。



*黄色のBOXは課題を示す

コンビニ着陸支援システム – 課題および検討事項（例）（1/2）

	課題	分類	検討事項・オプション
1	着陸時のパイロット支援	技術	Op1：離着陸場に設置したセンシング機器などを中心としたインフラ依存 Op2：機体に搭載されたセンシング機器などを活用した機体存型 Op3：インフラと機体双方のセンシング機器を活用したバランス型
2	現場での着陸支援の形態	運用	Op1：着陸支援設備をコンビニ敷地内で保管し必要に応じて設置 Op2：着陸支援設備を着陸支援隊が搬入して設置 Op3：着陸支援設備を予めコンビニ駐車場に設置 Op4：現場支援隊としてのドローンが着陸支援設備を運搬、設置
3	着陸支援設備の維持管理	運用	・着陸支援設備をコンビニに設置（格納）する場合の維持管理手順の規定
4	充電設備の維持管理	運用	・充電設備をコンビニに設置する場合の責任所在 Op1：消防署の責任で維持管理 Op2：コンビニ従業員の責任で維持管理 Op3：充電設備をEVと共有する場合は充電設備を設置した事業者
		標準化	・充電設備をEVと共有する場合の規格 Op1：充電プラグをEVと共通の規格とする Op2：充電プラグをEVとは別の規格とする
5	駐車中の車両移動	運用	・基本的には駐車車両は店舗付近に集中、それ以外の駐車場スペースには車両はいないことを想定し、当該スペースに着陸 ・当該スペースに車両がいた場合は、CS室から連絡を受けたコンビニ店員が、顧客に車両移動を要請 ・最終的には現場消防が到着し次第、安全を確認してから着陸許可を出す
6	付近通行車両の安全確保	技術	・CS室よりコネクティッドカーのインフラを利用して付近通行車両に警告

コンビニ着陸支援システム – 課題および検討事項（例）（2/2）

	課題	分類	検討事項・オプション
7	コンビニ店内の顧客の安全確保	運用	<ul style="list-style-type: none"> ・CS室から連絡を受けたコンビニ店員が、顧客に店外に出ないように注意を促す ・さらに現場に消防が到着し次第、安全を確認してから着陸許可を出す
8	着陸場の安全確保	運用	<ul style="list-style-type: none"> Op1：現場支援隊としての消防車が着陸場の安全確保 Op2：現場支援隊としてのドローンが着陸現場の安全確保
9	ダウンウォッシュの影響	運用	<ul style="list-style-type: none"> Op1：着陸場のゴミ、小石などを除去 Op2：着陸場の水まき Op3：着陸地点の駐車場にダウンウォッシュの吸収設備を設置
		技術	<ul style="list-style-type: none"> ・ダウンウォッシュの地面からの吸い込み技術
10	コンビニの協力を得る	運用	<ul style="list-style-type: none"> ・コンビニ駐車場を利用するための契約・協定（販売機会損失に対する保証、車両の損害に対する保証） ・着陸支援に関して従業員の協力は得られるのか ・着陸支援設備の維持管理ができるか ・充電設備の維持管理ができるか
11	付近走行車両との通信	技術	<ul style="list-style-type: none"> ・UTMS（新交通管理システム）と付近走行車両との通信を確保
12	Air Ambulanceと運航管理システムの通信	技術	<ul style="list-style-type: none"> ・Air Ambulanceと運航管理システムとの通信を確保
13	Air Ambulanceの位置の把握	技術	<ul style="list-style-type: none"> ・運航管理システムによるAir Ambulanceの位置情報の把握

救急救命医療用ビークルネットワーク – 前提およびコンセプト

- 現状のドクターヘリは県に約一機であり、重複要請への同時対応が困難。今後、安価なeVTOLの採用で、複数機体が配備出来るようになるという前提を置く（他用途向け機体と共通仕様とすることで、量産効果も見込む）。その際、複数出動出来るためのビークルネットワークシステムが必要。
- 救急車や消防車との連携を図るため、Communication Specialist (CS)が地域のビークルを一元的に管理する。従来は1つの拠点病院に対してCS1人だったのが、より複雑な管理が必要となる。CSを増やすことも容易でなく、また人間のキャパシティを超えることを想定し、自動化を目指す。
- 格納庫付きの離着陸場を設置出来る広さを持つ病院（基地病院と呼ぶ）には、ドクターヘリか小型eVTOLを1台は配備することとする。
- eVTOLはバッテリー駆動であるがゆえ、従来のヘリコプターほどの航続距離を持っておらず、よりシビアなエネルギーマネジメントが必要となる。よって、バッテリーの残量管理に関する機能が求められる。

救急救命医療用ビークルネットワーク - 課題および検討事項 (例)

	課題	分類	検討事項・オプション
1	各病院へのeVTOL導入・運用パッケージの確立	制度	・バッテリー交換設備の設置・運用基準の明確化
		制度	・運航、メンテナンス、充電方法の標準プロセス確立
2	各拠点、各ビークルの状況共有ネットワーク構築	標準化	・出すべき情報の整理 (ビークル出動状況、患者の傷病度合い、目的地、搭乗人数、バッテリー残量 等) ・メッセージの Protokol 統一
		技術	・各拠点、各ビークルなどは非同期で状態が変化していることから、それらを矛盾無く一元管理する情報共有データベースを開発
3	最適配置・行動計画の処理アルゴリズム開発	技術	・出動優先順位決定のアルゴリズム開発 (患者傷病度合い、15分以内到達可能性などを考慮) ・出動地～ランデブーポイントまでの距離、ランデブーポイントの騒音 & ダウンウォッシュ耐性などを踏まえた出動機体の選択 ・複タスク同時処理システムの構築 (エアアンビュランス、救急車、消防車の現場急行調整)
4	バッテリー充電状態の正確な把握	標準化	・バッテリーの種類や劣化状態も考慮した、標準的な残量計測手法
5	災害発生時のD-NETとの接続	運用	・D-NET (災害救援航空機情報共有ネットワーク) との連携による、エアアンビュランスの災害救援体制の構築
6	フライトドクター・ナースの養成	制度	・フライトドクター・ナースの人材育成・教育

バッテリー交換システム – 前提およびコンセプト

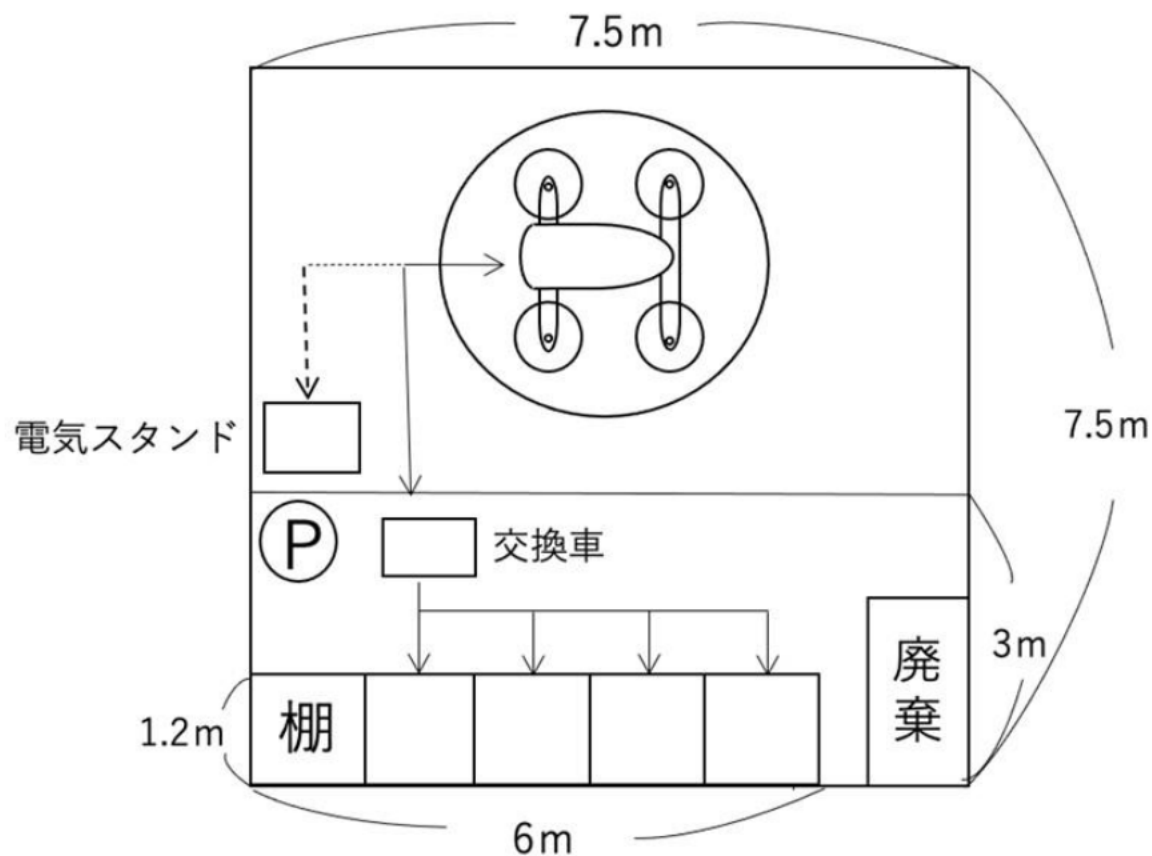
- Volocopter社は、バッテリー交換システムに関して、ベルトコンベアで運ばれた機体にバッテリーを挿入する方式を提案している*。エアアンビュランスの場合、出勤が1日数回程度に限られるため、拠点病院にベルトコンベアを設置することはコスト的に困難と考えられ、**バッテリー交換車によるバッテリー交換方式**を採用する。
- バッテリーは数百kgの重量があり、腰痛防止のガイドライン25kg**を考慮すると、かなりの人数が必要となる。また、出勤回数が日に数回と限られるため、バッテリー交換専門人員の人件費が高つくことから、**自動作業を採用**することとする（ただし、パイロット兼整備士が確認や補足的な作業を行うことはありうる）。

*Volocopter, "PIONEERING THE URBAN AIR TAXI REVOLUTION 1.0",
<<https://press.volocopter.com/images/pdf/Volocopter-WhitePaper-1-0.pdf>> (2021-02-02閲覧)

**厚生労働省, "腰痛を予防するための「見える化」",
<https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzenproject/concour/2018/sakuhin2/images/n336_1.pdf> (2021-02-03閲覧)

バッテリー交換システム - 概念図 (1/4)

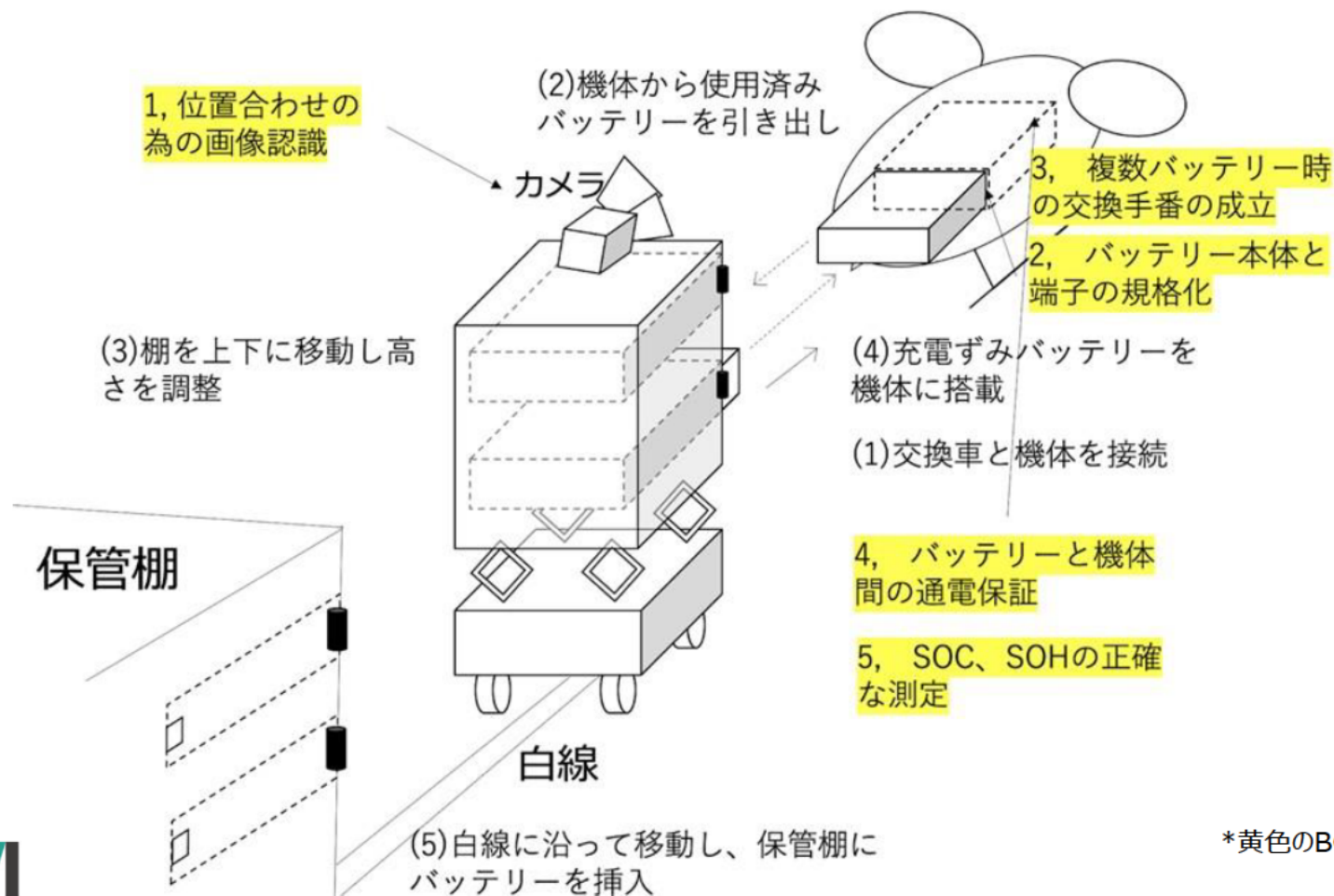
- バッテリー交換設備は、拠点病院の平地部もしくは屋上に設置されることを想定。
- 機体の待機スペース、電気スタンド、交換車、バッテリー交換棚、廃棄スペースで構成。
- 複数のバッテリーを保管し、通常速度での充電を行う。



※寸法やレイアウトは仮

バッテリー交換システム - 概念図 (2/4)

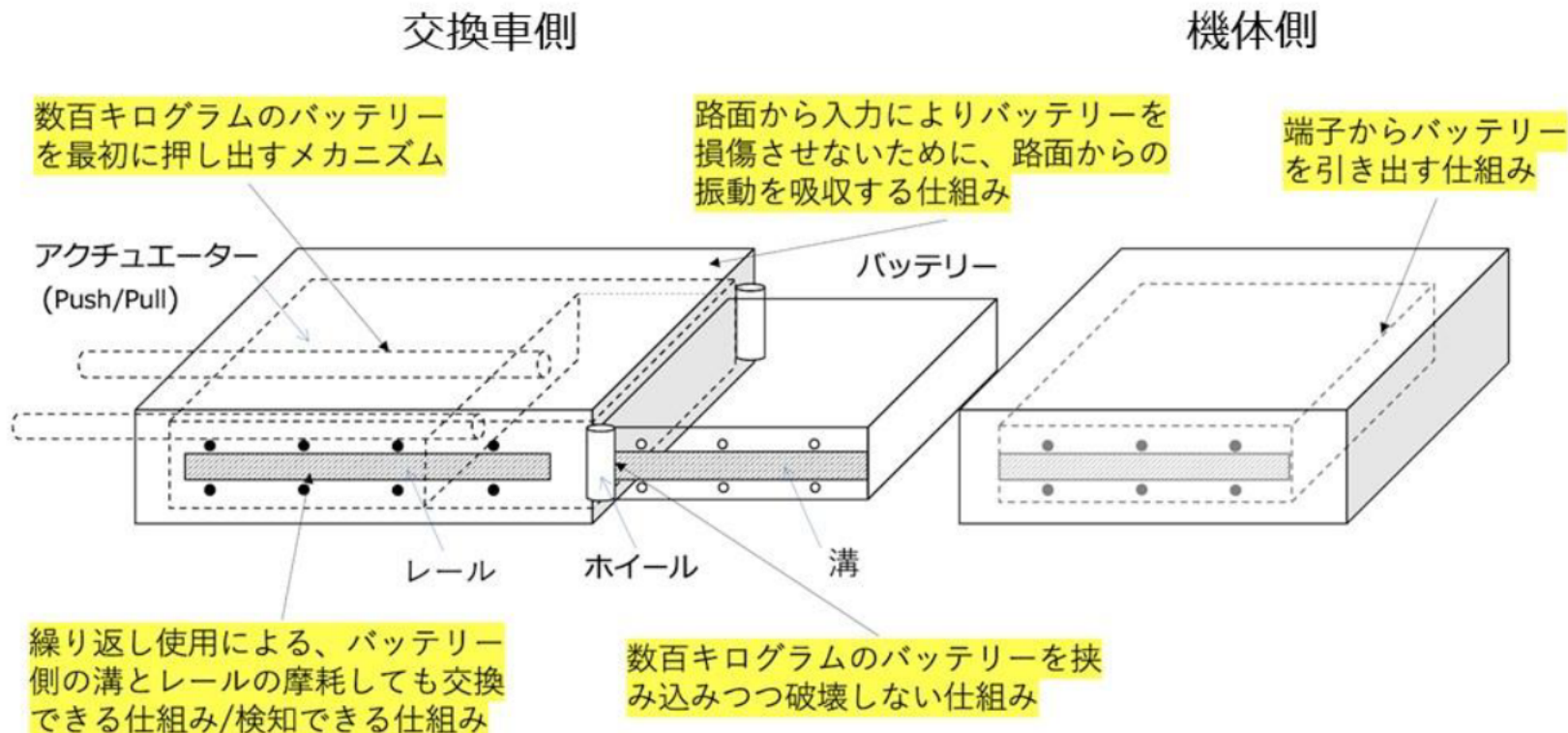
エアアンビュランス着陸後、機体搭載のバッテリーは、次のフライトのために充電済のバッテリーと自動的に交換される。使用済バッテリーは保管棚にて充電される。



*黄色のBOXは課題を示す

バッテリー交換システム - 概念図 (3/4)

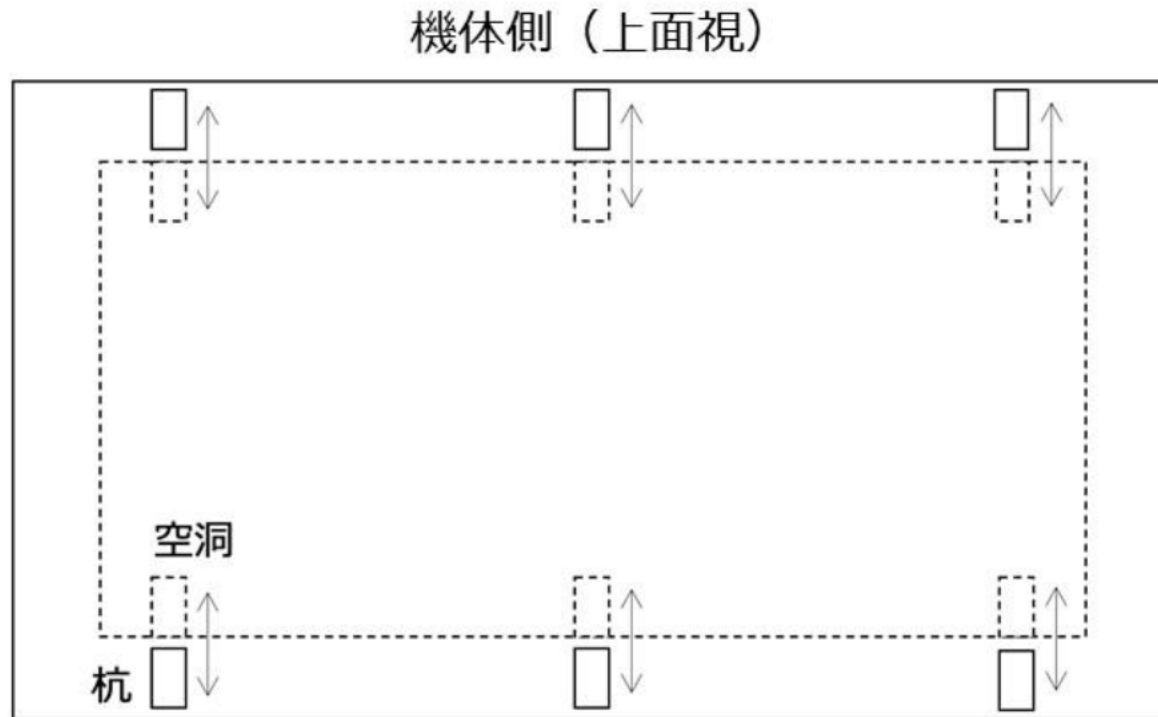
バッテリーの交換部分の構造を検討する際の概念図として、バッテリー交換車の授受部分と機体のバッテリー挿入口の構造を示す。



- (1) 交換車に備えられたPush/Pullのアクチュエーターでバッテリーを押し出す
- (2) バッテリー側面にある溝が交換車のレールにガイドされ、そのまま機体側のレールに乗る

バッテリー交換システム - 概念図 (4/4)

ロックの為の杭の構造例を示す。杭は機械式もしくは電気式で出し引きが出来るものを想定するが、冗長性等の配慮が必要。

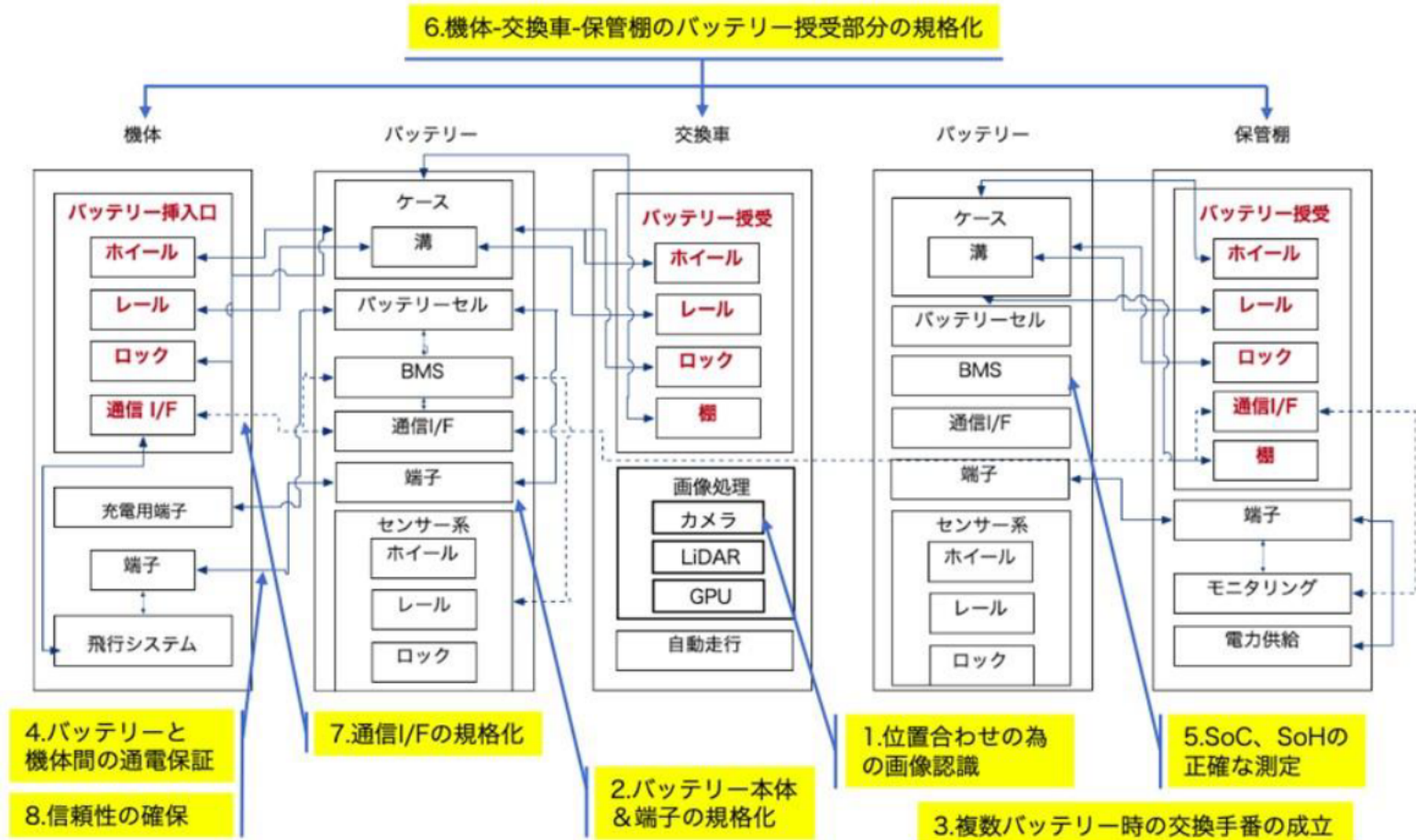


- ・ バッテリーを完全固定するために、杭がどれぐらいの数が必要であるか。
- ・ ピンの押し込み、引き出すメカニズム

- (1) バッテリー挿入後、機体に備えられた杭 (ピン) がバッテリー側の空洞に入り、ロックする
- (2) バッテリーを抜く際はその逆で、杭が機体側に引き込まれ、ロックが外れる

バッテリー交換システム - システムアーキテクチャ

各登場人物のサブシステムまでを含めてアーキテクチャで表し、要素間のインタラクションを示した。交換車を一台とした場合、機体、交換車、保管棚のバッテリー保持部分の構造を共通規格とすることで、効率的な交換システムが設計可能。



*黄色のBOXは課題を示す

バッテリー交換システム — 課題および検討事項（例）

	課題	分類	検討事項・オプション
1	位置合わせの為の画像認識	技術	<ul style="list-style-type: none"> ・画像認識結果を交換車の挙動へフィードバックする仕組み ・XY軸（挿入口に平行な面）の機械学習を使った画像認識システム ・平面の画像情報から挿入口までの深度推定
2	バッテリー本体&端子の規格化	標準化	<ul style="list-style-type: none"> ・サイズ・形状・構成の統一
3	複数バッテリー時の交換手順の成立	標準化	<ul style="list-style-type: none"> ・電源冗長化・可搬性・出火時の引火抑制等の為に、複数個のバッテリーを分散配置させた場合の対応と、交換手順の整理
4	バッテリーと機体間の通電保証	技術	<ul style="list-style-type: none"> ・摩耗による端子部の物理的劣化のモニタリング機能やモニタリング方法の構築
		標準化	<ul style="list-style-type: none"> ・通電状態のクライテリア設定
		標準化	<ul style="list-style-type: none"> ・端子部の物理的劣化による交換基準の設定
5	SoC、SoHの正確な測定	技術	<ul style="list-style-type: none"> ・異なる種類のバッテリーに対しても同じように測定可能な方法の確立
		標準化	<ul style="list-style-type: none"> ・測定ばらつきの許容値の設定
6	機体-交換車-保管棚のバッテリー授受部分の規格化	標準化	<ul style="list-style-type: none"> ・機体、交換車、保管棚における統一構造の設計
7	通信I/Fの規格化	標準化	<ul style="list-style-type: none"> ・メッセージの種類、構造の設計
		技術	<ul style="list-style-type: none"> ・改変を不可能とするセキュリティの確保
8	信頼性の確保	標準化	<ul style="list-style-type: none"> ・万一の短絡時でも飛行継続可能な冗長性確保
		技術	<ul style="list-style-type: none"> ・高頻度の抜き差しに耐える端子の構造設計と材質の開発

(2) エアタクシーの検討

エアタクシーの概要

■ 運用目的

- ▶ ある地点から目的地までの移動を、行きたい時に呼び出し、プライベート性を保った形で空中移動するためのサービス。離着陸場までの移動／離着陸場からの移動については、地上のタクシーに乗り換える前提。なお、電車やバスはあくまで公共交通機関であり、プライベート性を保てないことから、ここでは競合する手段ではなく、グラウンドタクシーやハイヤーの代替手段となる。

■ 現状の運用プロセス

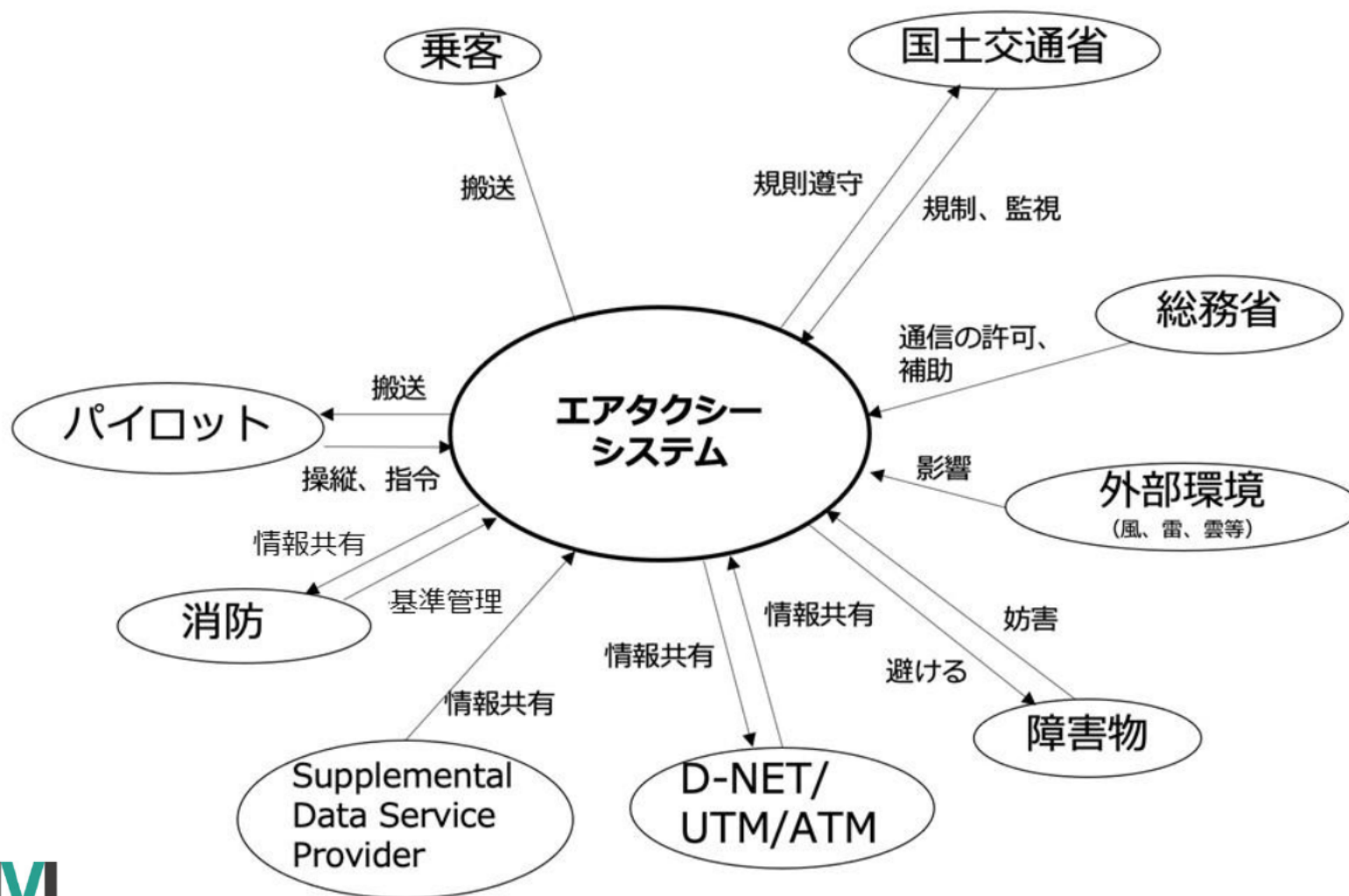
- ▶ 現状把握のため、本邦におけるエアータクシーの運用プロセスを調査したものをプロセス図に示した。ただし、現時点で運航を行っている例は非常に少なく、過去事例も参考にしている。

ミッションプロフィール（東京ヘリポート～成田空港までをヘリで行く前提）

フェーズ	時間 [min]	水平距離 [mile]	垂直方向平均 速度 [ft/min]	水平方向平均 速度 [mile/h]	対地高度 [ft]	備考
離陸-ホバリング	0.5	0	100	0	50	
上昇	0.9	0.3	500	0-80	50-500	
加速+上昇	3.0	5.5	500	80-140	500-2000	等加速度運動
水平巡航	5.2	12.2	0	140	2000	
減速+下降	1.0	2.8	500	140-80	2000-500	等加速度運動
下降	0.9	0.6	500	80-0	500-50	
ホバリング-着陸	0.5	0.0	100	0	50	
タクシー移動	10.0	3.0	0	18	0	
降車	0.0	0.0	0	0	0	
Total	22.0	24.4	-	-	-	

ステークホルダー図

現状のエアタクシーシステムのス stakeホルダーおよびそれらとの関係性を示す。



ユーザーのニーズ

- 国内で運航しているエアタクシーサービスは少なく、実際のユーザーにニーズヒアリングを行うことが困難だったため、**運航事業者**にヒアリングを行った。その結果、主に以下のようなニーズが挙がった。
 - ▶ 安全性：事故や故障が生じず、安全・安心に移動出来る
 - ▶ 正確性：予定の時間までに目的地に到着出来る
 - ▶ 接続性：離着陸場から地上の移動手段に乗り換えるのがスムーズである
 - ▶ 信頼性：ほぼ確実に運航され、欠航が少ない
 - ▶ 妥当性：地上の移動手段に対して、費用対効果が優れている

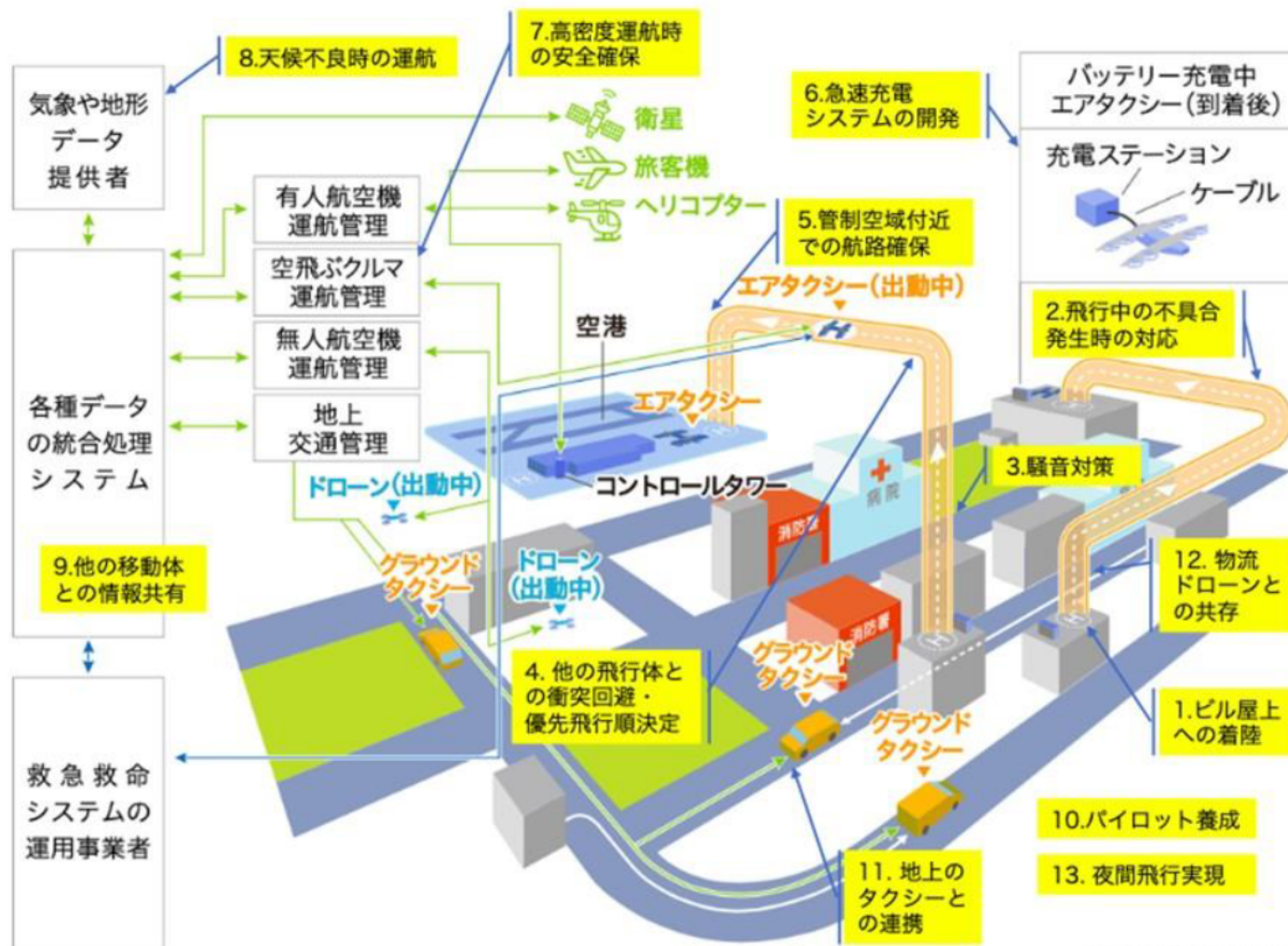
- 今回の調査では、すべてを追うことは困難であるため、全体のコンセプトを描きつつ、具体的な課題を一つ取り上げることにする。一つの課題を絞るにあたり、ヒアリングの中でよく聞かれた課題として、従来のエアタクシーサービスにおいては、**天候不良による欠航率**が高く、事業を成立させる上でネックになるとの声があった。そこで、本調査におけるエアタクシーのユースケースにおいては、天候不良時の運航に焦点を置くこととした。

次世代エアタクシーシステム – 前提およびコンセプト

- 過去のエアタクシーサービスでは、企業のエグゼクティブ等をターゲットとして、都心部のビル屋上と空港を結ぶ移動に焦点を当てたものが提供されていた。本調査でも同様のケースを想定するが、ビル間移動も含めている。
- 離発着場までの移動は、主にグラウンドタクシーを想定。顧客としてはトータルの移動時間を短くしたいことから、乗り換えがスムーズに繋がれているものとする。またそのために、各ビークル間は必要な情報を共有する必要がある。
- 前述のエアアンビュランス以上に、様々な場所に離着陸場を用意することが想定され、各場所でエネルギー補給を可能にする必要がある。Volocopterのバッテリー交換式、Uberの急速充電式が提案されているが、ここではエアアンビュランスと異なる方式を検討すべく、バッテリーは急速充電式とした。
- エアアンビュランスと同様に、時間軸は2030年代とし、完全自動操縦にはなっていない前提としている。

次世代エアタクシーシステム - 概念図

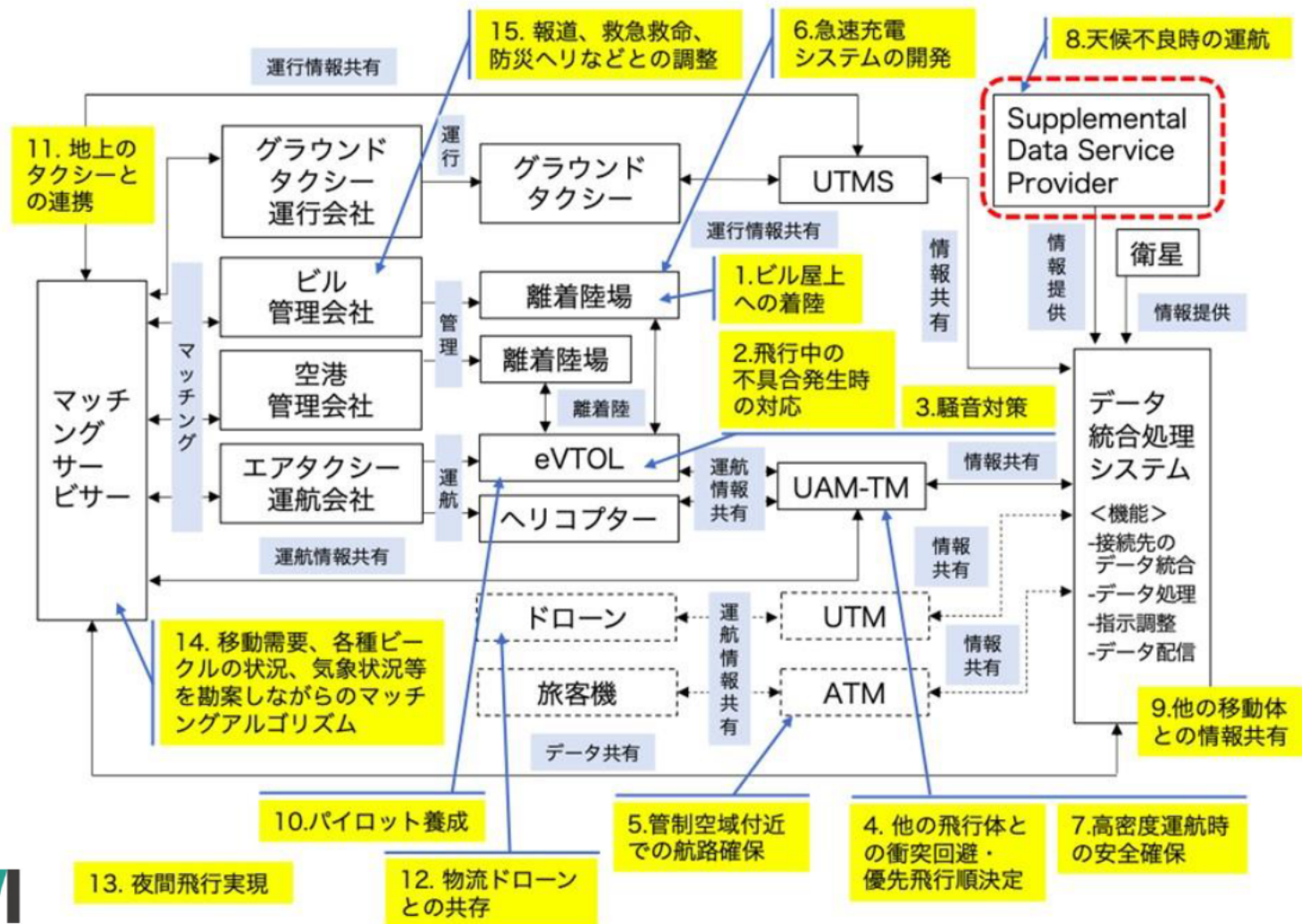
飛行計画を申請すると、航路が用意され、その中を飛行する。最終的には自動操縦によるパイロットレスの運航を目指す。ここではその手前の段階としてパイロット有りの運航を前提とする。



©慶應義塾 空飛ぶクルマラボ

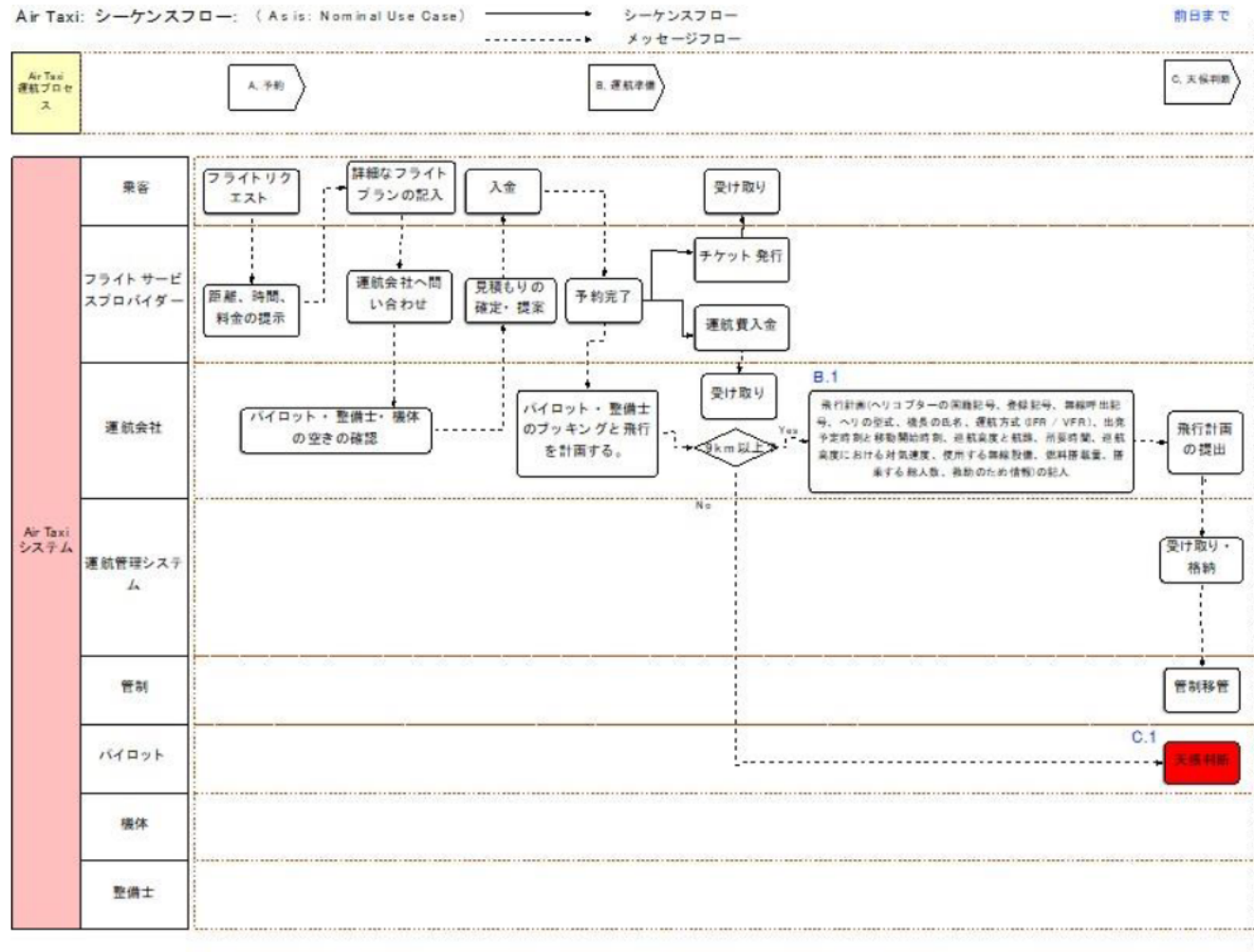
次世代エアタクシーシステム - システムアーキテクチャ

前ページの概念図に記載した課題に加え、14、15に示す課題も抽出。ここでは、ユーザーニーズのヒアリングに基づき、8. 天候不良時の運航に着眼。



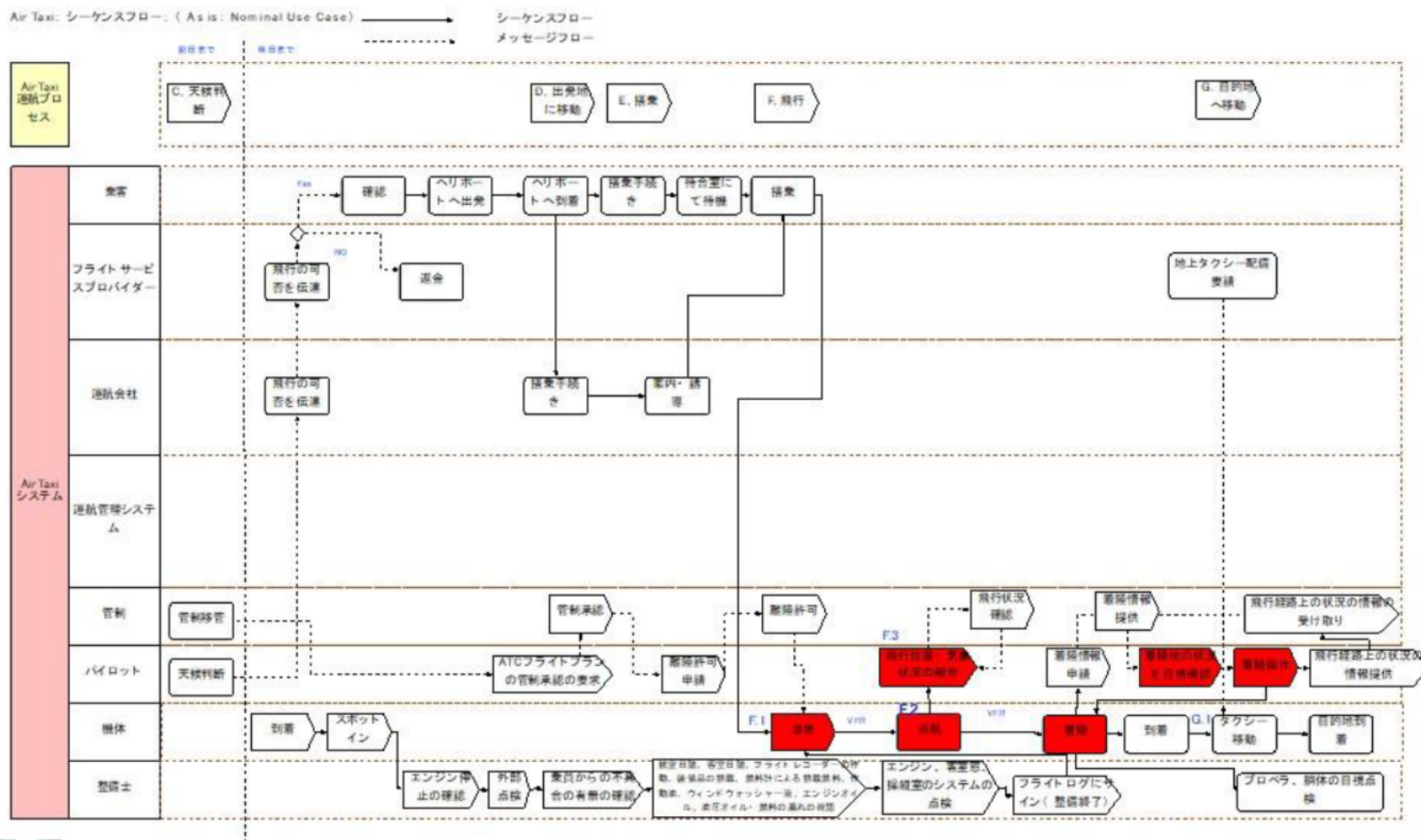
エアタクシー - プロセス図 (1/2)

- 前日まで (予約～天候判断)
- 乗客とフライトサービスプロバイダー間で、フライトスケジュールが決まり、運航会社は飛行計画と、運航に必要なスタッフを準備。パイロットは前日に天候判断を行う。



エアタクシー - プロセス図 (2/2)

- 当日（機体が出発地へ移動～乗客が目的地へ到着）
- VFRの飛行ルールにおいて、パイロットが機体の離陸、着陸の判断をする。着陸後、乗客は運航会社により配備されたグラウンドタクシーにより、最終目的地に向かう。



次世代エアタクシーシステム – 課題および検討事項（例）

	課題	分類	検討事項・オプション
1	ビル屋上への着陸	技術	<ul style="list-style-type: none"> ・ビル風による乱気流への機体制御での対応 ・ダウンウォッシュによる物体の吹き飛ばし防止（ゴミ拾いの徹底、物理的なシェルター設置等）
2	飛行中の不具合発生時の対応	技術	<ul style="list-style-type: none"> ・機体側の冗長系設計 ・低高度パラシュートの開発 ・周囲の関係者への即時周知の方法（音声ガイダンスやレーザー発振による知覚）
3	騒音対策	技術	<ul style="list-style-type: none"> ・機体側でのプロペラ騒音低減 ・離着陸場における騒音低減対策（防音壁等）
		運用	<ul style="list-style-type: none"> ・離着陸方法の工夫（上下移動の時間最小化）
4	他の飛行体との衝突回避・優先飛行順決定	技術	<ul style="list-style-type: none"> ・運航管理の方式の検討 Op1：現行の有人機における飛行方式をベースにする Op2：無人航空機（ドローン）における飛行方式をベースにする Op3：まったく新しい飛行方式をベースにする（中央集権型／分権型／Peer-to-Peer型）
		技術	<ul style="list-style-type: none"> ・機体位置決めの精度の確保 ・通信速度の確保 ・既存運航管理システムとの連携 <p>※日本都市部は交通機関が整っており、また導入されたとしても最初から高密度・高頻度で運航される訳ではないため、課題の緊急度は低め</p>
5	管制空域付近での航路確保	運用	<ul style="list-style-type: none"> ・管制側との協定締結など

次世代エアタクシーシステム — 課題および検討事項（例）

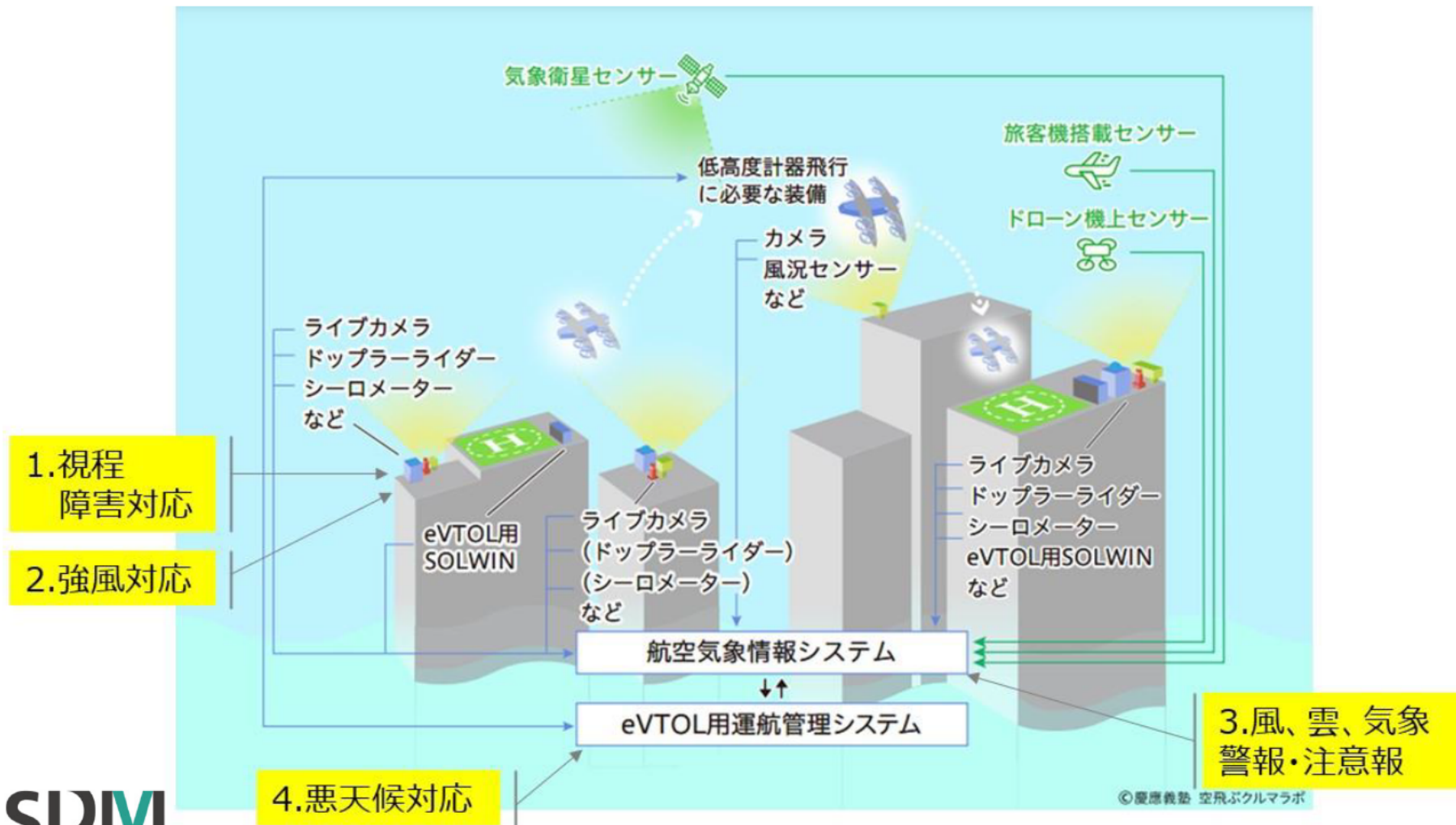
	課題	分類	検討事項・オプション
6	急速充電システムの開発	標準化	・EVとの共通規格化是非
7	高密度運航時の安全確保	標準化	・セパレーションのルール設定
		技術	・オペレーションミス発生時でも事故を防ぐ対応（自動化）
8	天候不良時の運航	技術	・雲分布の高精度検知 ・計器飛行方式用技術・設備の低コスト化（ヘリでも議論がされているものの、未だ実現しておりらず、課題は大きい）
9	他の移動体との情報共有	標準化	Op1：共通プロトコルの策定 Op2：異なるプロトコル間のAPI開発
10	パイロット養成	制度	・eVTOL用ライセンスの設定
11	地上のタクシーとの連携	運用	・タクシー乗り場から離着陸場までの移動容易性の確保
12	物流ドローンとの共存	運用	・有人航空機優先の中での運航遅延による補償
13	夜間飛行実現	技術	・騒音低減技術、安価で高精度な暗視カメラ、対地衝突防止&自動経路制御技術
		制度	・パイロット教育要件の最適化等による運航人員確保
14	マッチングアルゴリズム	標準化	・各種データ連携のためのAPI開発
		技術	・最適配置・行動計画のアルゴリズム開発
15	報道、救急救命、防災ヘリなどの調整	制度	・各ビークルの優先順位付けルール作り

気象情報提供システム（風・雲） — 前提およびコンセプト

- ヘリコプターパイロットへのヒアリングにより、空港周辺を除いたエンルートや着陸地点の風・雲の状況把握が困難であり、不安があることが分かった。そこで、本項では、**風・雲に着目**する。
- 高度150mまでは、ドローン向けに水平方向100mメッシュでの気象情報を提供出来るものが開発されているが、空飛ぶクルマが飛行する**高度300-1000mにおけるデータは少ない**。
- 空飛ぶクルマ専用多数のセンサーを設置することは採算上困難であることから、極力既存のセンサーや気象モデルなどを活用し、どうしても必要なものを新規で追加する。気象情報提供システムも**既存のものを拡張**する形とする。
- センサー類を機体に搭載するか、地上に設置するかについての議論は、ペイロードやコスト、通信の冗長性など多くの観点からの検討が必要であり、今後の課題として、ここでは一例を示すに留めた。

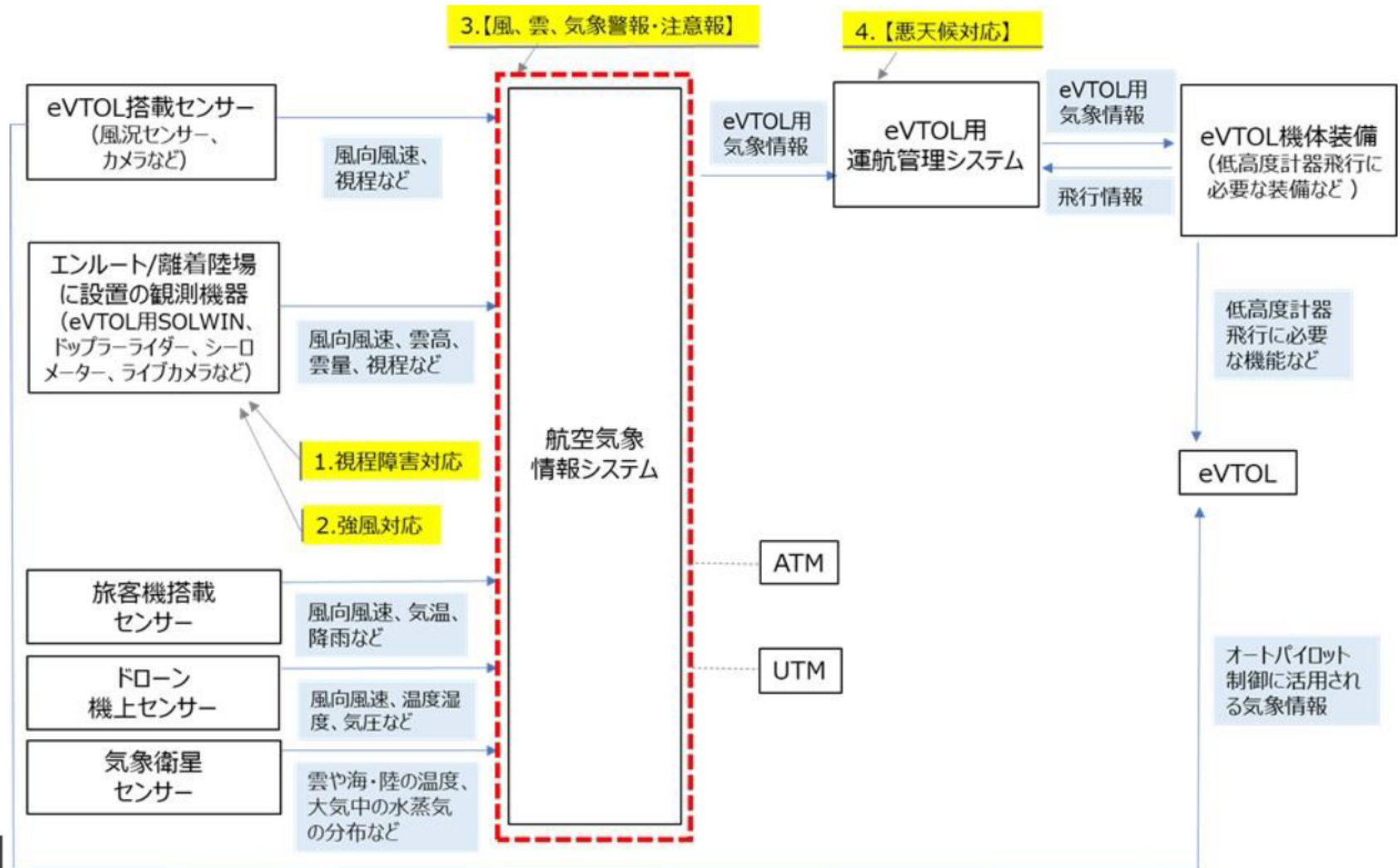
気象情報提供システム（風・雲）－ 概念図

離陸時、エンルート、着陸時、それぞれでカメラやセンサーを使って、事前／リアルタイムに気象情報を取得したものを、航空気象情報システムに集約して処理を行う。



気象情報提供システム（風・雲）－ システムアーキテクチャ

センサー類からインプットを受け、航空気象情報システムで処理をした後、eVTOL用運航管理システムへとアウトプットし、安全運航に役立てる。



気象情報提供システム（風・雲）－ あるべき姿および検討事項（例）

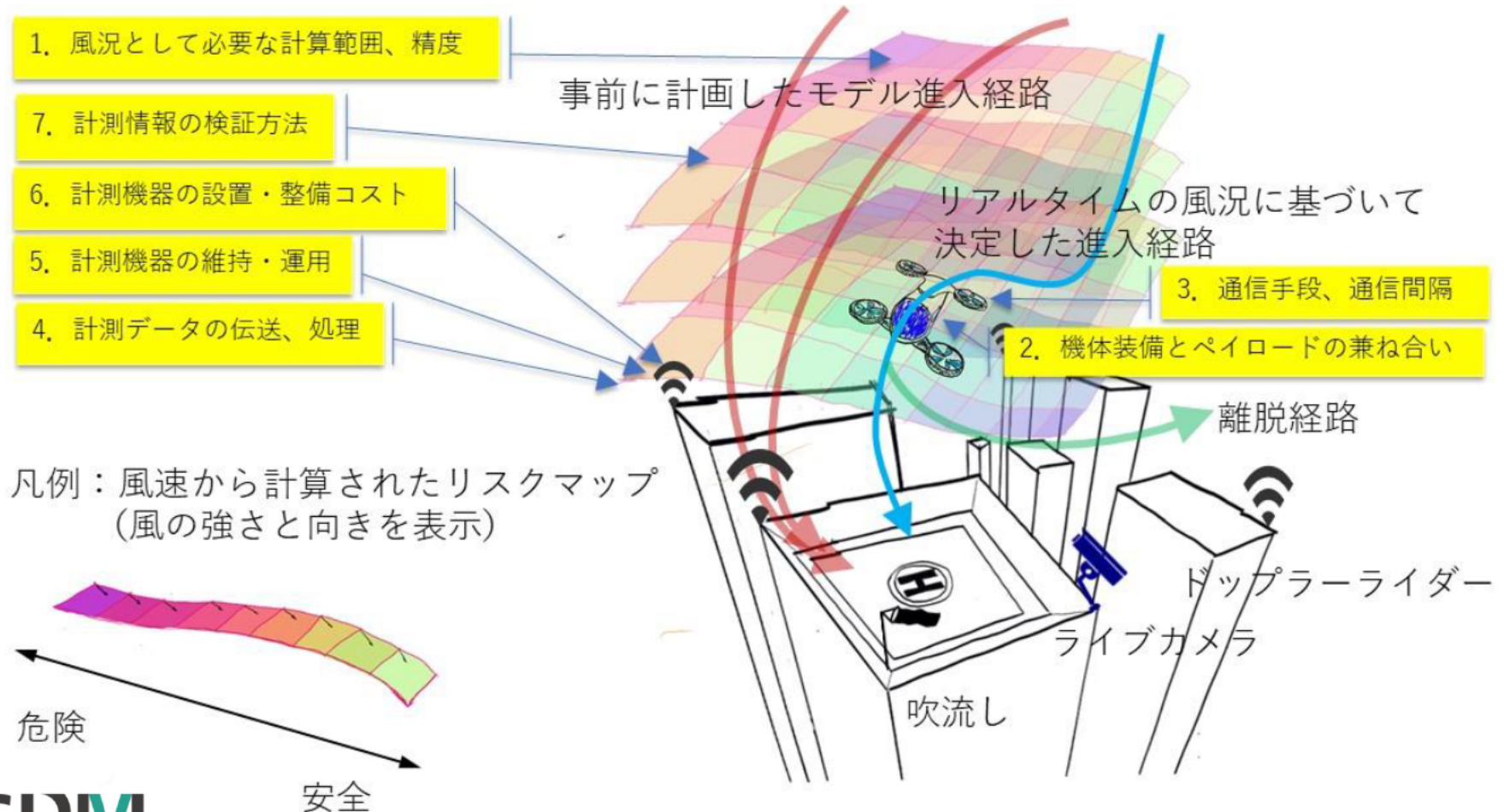
	あるべき姿	分類	検討事項・オプション
1	【視程障害対応】 eVTOL飛行高度の出発地～エンルート～到着地のリアルタイムの雲量、雲高、雲形の情報を観測、情報提供するシステムが、eVTOLのエアタクシー事業として成立するレベルで確立している	技術	安価・小型な計測機器の開発と、それらからの計測情報の収集システムが必要
2	【強風対応】 出発・到着地の風向風速気流、航法計画のためエンルート上の風向風速、コリドーでのセパレーションや到着時間への影響、安全のためエンルート上の乱流の情報を観測・情報提供するシステムが、eVTOLの安全運航が出来るレベルで整理されて使えるようになっている	技術	<ul style="list-style-type: none"> ・安価な計測機器とそれらからの計測値の情報収集システムが必要 ・種々の情報がeVTOLの運航向けに整理されていない
3	【風、雲、気象警報・注意報】 ポイント予測と高解像度メッシュ予測を提供するeVTOL気象情報システムが、エアタクシー事業として成立し、安全運航を実現するレベルで確立している	技術	・マイクロな気象モデルを用いたeVTOL向け気象予測が必要
4	【悪天候対応】 悪天候時の運航方式が、eVTOLのエアタクシーが事業として成立し、安全運航を実現するレベルで確立している	技術	・悪天候時の運航率向上が安価に実現できるための運航システムが必要

ビル屋上着陸における風況対処システム – 前提およびコンセプト

- ドップラーライダー製造事業者へのヒアリングから、都市部でのドローンやエアタクシーの活用に向けては、ビル屋上着陸における風況把握へのニーズが強いことが分かった。そこで、本項ではその点にフォーカスする。
- 着陸地点付近の風況に関して、リアルタイムに三次元ボリュームで計測することは困難である。また、建物の形状などを考慮した風の気象モデルを解像度高く、リアルタイムで計算することも難しい。そこで、事前に気象モデルを解いておき、進入経路の選択肢を用意することとする。
- その上で、機体やビル屋上にライブカメラや風向風速センサーを設置し、データを取得。事前計算されたモデルに照らして、風向風速から導かれるリスクマップを算出し、パイロットへの進入経路表示や、離脱経路への転換判断の支援を行う。
- 収集されたデータは気象予測の精度向上や、周辺を飛行する他機体への情報提供に使われ、飛べば飛ぶほど風況把握の精度が向上する仕組みを構築する（詳細検討は今後の課題とする）。

ビル屋上着陸における風況対処システム - 概念図

過去のデータおよびモデルから、事前に複数の進入経路を用意。風況センサーからの実況データも使い、進入経路の選択や離脱経路の選択支援を行う（案）



ビル屋上着陸における風況対処システム — 課題および検討事項（例）（1/2）

	課題	分類	検討事項・オプション
1	風況として必要な計算範囲、精度	標準化	・エアタクシーの着陸に必要な風況情報の密度、精度の標準
		技術	・小型ドップラーライダーを利用したリモートセンシングと信号処理による3D風況データの収集・配信
2	機体装備とパイロードの兼ね合い	技術	・機体のパイロードとの兼ね合いでどこまでの機能を機体に持たせるか
3	通信手段、通信間隔	技術	・飛行中のエアタクシーとの気象情報の通信（通信頻度、レイテンシーなどを考慮する） Op1：通信衛星を経由 Op2：携帯電話網を利用した5G通信
4	計測データの伝送、処理	技術	・地上設備で収集した気象データを収集するための伝送手段 Op1：通信衛星を経由 Op2：携帯電話網を利用した5G通信 Op3：有線電話網を利用したインターネット網
5	計測機器の維持・運用	技術	・地上に設置した計測機器の維持・運用（携帯電話基地局との併設など）
6	計測機器の設置・整備コスト	運用	・利用者（エアタクシー運航会社）から徴収するための賦課形態
7	計測情報の検証方法	技術	・計測した情報の妥当性検証方法
8	空間・時間分解能、形式の異なるデータの整理	標準化	・出力データへの変換・補間方法
9	リスク評価モデルの構築	技術	・危険モードの整理・モデル化 ・クライテリアの設定（eVTOLの機体性能（航行能力）を踏まえて、リスクマップ上の危険度を測る技術を開発する）

ビル屋上着陸における風況対処システム — 課題および検討事項（例）（2/2）

	課題	分類	検討事項・オプション
10	計算結果の信頼性評価・担保	技術	・別システムでの確認手段も踏まえた検証方法の確立
		標準化	・標準計算方法の決定
11	どこを機体内／外で処理するかの割り付け	運用	・各プレイヤーの役割・機能明確化
		標準化	・APIの開発・実装
12	三次元情報の直感的な表示方法の開発	技術	・パイロットの技量、知識、行動心理等を考慮した表示方法
13	離脱経路への転換判断支援システムの開発	技術	<ul style="list-style-type: none"> ・離脱パターンの整理 ・瞬間的判断のアルゴリズム開発 ・回避行動の実施者 <ul style="list-style-type: none"> Op1：人による操縦 Op2：機械による操縦
14	異なる場所・時間で取得された情報との整合整理	技術	・ビル屋上の気象計算におけるデータ同化モデルの構築

4. 2 ルール形成戦略の検討

ルール形成戦略の検討（1/4）

国際標準化動向の調査結果、技術開発調査結果、システムアーキテクチャの検討結果に基づき、今後の取組み方針として、技術開発の方針、市場展開方針（標準化方針を含む：青字）を整理した。

項目	海外技術動向	国際標準化動向	システムアーキテクチャ 検討に基づく課題	今後の取組み方針
機体	<ul style="list-style-type: none"> 2人乗り程度のMultiroter方式、5人乗り程度のVectord Thurst方式、Lift&Cruise方式の機体が開発中。 FAA、EASA等の認証取得に向けた取組みを推進中。 	ASTM AC433(MOC) ASTM F44全般 EUROCAE WG-112全般 <ul style="list-style-type: none"> 機体認証基準に対する各種MOC等 ASTM F44.1 <ul style="list-style-type: none"> メンテナンス・トレーニング、音響測定等 	<ul style="list-style-type: none"> パイロットの養成・確保 騒音低減技術の開発 夜間飛行実現(騒音低減等) 	<ul style="list-style-type: none"> 短期的には、2人乗り程度の電動Multiroter方式の機体開発と、国内での認証取得に向けた取組みを推進 中長期的には、5人乗り程度の電動/ハイブリッド型で長距離飛行が可能なLift&Cruise方式等の機体開発を推進
電動推進システム・動力	<ul style="list-style-type: none"> フル電動推進システムが主流、ハイブリッド推進システムは数社のメーカーが供給 モータは、メーカーにより異なる性能に注力した製品開発を実施。出力(最大500kW)、出力密度(5.5kW/kg)、トルク密度(30Nm/kg)等。 	ASTM F39.05 <ul style="list-style-type: none"> EPU設計、ESS設計、液体冷却のMOC等 SAE E40 <ul style="list-style-type: none"> 電動航空機設計、安全性等 EUROCAE WG-112 SG2 <ul style="list-style-type: none"> 推進システムの安全評価やモード評価等 EUROCAE WG-113 <ul style="list-style-type: none"> ハイブリッド推進の各種規格等 	<ul style="list-style-type: none"> 安全性の評価指標とその状況に関する情報伝送方法の標準化 	<技術開発> <ul style="list-style-type: none"> 高出力・高トルク・高応答性・軽量化が実現可能なモータ方式の検討と開発、冷却方式の検討 <市場展開> <ul style="list-style-type: none"> コイル等の要素技術の優位性に基づく市場展開 国内メーカー供給による実績確保 海外OEM向け市場展開の推進 EV製造技術の活用と標準化

ルール形成戦略の検討 (2/4)

項目	海外技術動向	国際標準化動向	システムアーキテクチャ 検討に基づく課題	今後の取組み方針
電源	<ul style="list-style-type: none"> 高容量電池(3,500Wh)、高エネルギー密度電池(400~500Wh/kg)が開発。 リチウムイオン電池の他、リチウム硫黄電池、リチウム金属電池等の製品開発が進捗。 	<p>ASTM F44.40</p> <ul style="list-style-type: none"> 発電装置の制御・操作、危険回避、エネルギー容量等の検討 <p>SAE AE-7D</p> <ul style="list-style-type: none"> 再充電可能なLiバッテリーシステム、そのマネジメントシステムの設計・開発等 <p>EUROCAE WG-112 SG1</p> <ul style="list-style-type: none"> Liバッテリー技術要件、安全評価、利用可能エネルギー定義等 	<ul style="list-style-type: none"> 安全性の評価指標とその状況に関する情報伝送方法の標準化 バッテリー本体、端子の規格化 バッテリー充電状態の正確な把握 	<p><技術開発></p> <ul style="list-style-type: none"> エネルギー密度向上と安全性確保の両立、飛行プロファイルに合った出力維持と排熱性の向上 バッテリーの小型・分散化とエネマネ技術の開発 <p><市場展開></p> <ul style="list-style-type: none"> EV製造技術の活用と標準化、EVとの共通規格化の検討 航空安全基準への対応
安全システム	<ul style="list-style-type: none"> 推進システム特性(ロータ数等)に応じたモータ、ロータ、制御系、電源系等の冗長構成 降着装置の具備、座席等の耐衝撃構造 緊急パラシュートの具備 	<p>ASTM F44.30</p> <ul style="list-style-type: none"> 乗客安全確保や構造に関する規格開発中 <p>EUROCAE WG-112 SG3</p> <ul style="list-style-type: none"> ハザード・リスク評価、乗客安全確保、緊急着陸、クラッシュウォーシネス等の規格開発中 	<ul style="list-style-type: none"> 機体の不具合発生時の対応(冗長設計、パラシュート開発、周囲への周知方法等) 	<p><技術開発></p> <ul style="list-style-type: none"> パラシュート、エアバッグ、耐衝撃システム、障害検出等を含めたトータルシステムの開発と機体搭載性の検証 <p><市場展開></p> <ul style="list-style-type: none"> 障害レベルや評価法等の国際標準化の推進と、それに基づく当該技術の必要性の合意形成
素材	<ul style="list-style-type: none"> eVTOLの機体構造には炭素繊維複合材(CFRP)が適用 大手の航空機向け素材サプライヤがeVTOL向けにCFRPを供給 	<p>FAAは航空機認証に適した材料データベースを整備</p>	—	<p><技術開発></p> <ul style="list-style-type: none"> 力学特性を維持し、小型部材の成形が可能な素材開発、既存装置を用いた成形加工の実現 認証取得に適用可能なシミュレーション評価技術の開発 <p><市場展開></p> <ul style="list-style-type: none"> 海外での認証取得と、海外OEM向け市場展開の推進

ルール形成戦略の検討 (3/4)

項目	海外技術動向	国際標準化動向	システムアーキテクチャ 検討に基づく課題	今後の取組み方針
アビオニクス (制御・航法・HMI等を含む)	<ul style="list-style-type: none"> FBW・FBL飛行制御システム、GNSSの航法システムの適用 各種センサ情報に基づく自動制御システムの検討 簡易なHMIの検討(片手ジョイスティック、画面操作等) 航空機向けディスプレイと各種表示機能 	EUROCAE WG-112 SG6 <ul style="list-style-type: none"> 飛行・航法機器、電子フライトバッグの利用、エネルギーレベル情報の遵守方法等の検討 ASTM AC377(Autonomy) <ul style="list-style-type: none"> 自律システムの認証要件の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 狭い場所に着陸するための高精度な飛行制御、パイロット支援システム ビル屋上への着陸(ビル風への対応の制御) 高密度運航時の安全確保(セパレーション確保、自動制御等) 	<技術開発> <ul style="list-style-type: none"> eVTOLの機体サイズに適した応答性や出力制御の最適化、センサ構成の最適化 自律性向上と安全機能 <市場展開> <ul style="list-style-type: none"> 航空機、ドローンの実績の活用 QZSSの利活用推進
監視・衝突回避	<ul style="list-style-type: none"> 機上の電気光学カメラ、赤外カメラやLidar、レーダ等による環境認識技術 機械学習による画像解析に基づく自動検出と回避技術 eVTOL向けGPS、トランスポンダ、ADS-B装置の製品化 	EUROCAE WG-105 RTCA SC-228 <ul style="list-style-type: none"> UAS向け衝突回避システムの最低運用性能基準(MOPS)、最低航空システム性能基準(MASPS)について検討 協調システム、非協調システム 	<ul style="list-style-type: none"> 他の飛行体との衝突回避 夜間飛行実現(暗視カメラ、対地衝突防止、自動経路制御) 	<技術開発> <ul style="list-style-type: none"> 機体識別方法と識別情報の生成・取得方法、通信網検討 機上センサ・回避技術の開発 <市場展開> <ul style="list-style-type: none"> 国内のシステム整備と実績確保
通信	<ul style="list-style-type: none"> 4G/5G、従来航空機向け通信システム等の利用 	EUROCAE WG-105 RTCA SC-228 <ul style="list-style-type: none"> UAS向けC2/C3リンクの最低運用性能基準、最低航空システム性能基準について検討 	<ul style="list-style-type: none"> 運航管理システムとの通信網の通信速度の確保 機体の状況(バッテリー、不具合等)の伝送方法 	<技術開発> <ul style="list-style-type: none"> 安全性担保に資する通信方式 飛行高度・経路のカバレッジ確保 <市場展開> <ul style="list-style-type: none"> 4G/5G活用に基づく市場展開
運航管理	<ul style="list-style-type: none"> 以下の2つの方向性が検討 ✓ 空飛ぶクルマ向けに専用空域を設定し運航管理を行うコンセプト ✓ 無人航空機と空飛ぶクルマを統合的に運航管理を行うコンセプト 	EUROCAE WG-105 <ul style="list-style-type: none"> UAS運航管理について検討 E-identificationやGeo-FencingのMOPS、MASPSについて検討 	<ul style="list-style-type: none"> 他の飛行体との優先飛行順の決定 天候不良時の運航 無人航空機との共存 管制空域付近での航路確保 災害時のD-NET接続 	<技術開発> <ul style="list-style-type: none"> 安全性を考慮した飛行計画の概念やアーキテクチャ検討、気象情報提供、ATM/UTMとの接続 <市場展開> <ul style="list-style-type: none"> 国内のシステム整備と実績確保 国際標準化の推進(運航管理に資する機体の情報伝送)

ルール形成戦略の検討（4/4）

項目	海外技術動向	国際標準化動向	システムアーキテクチャ 検討に基づく課題	今後の取組み方針
給電 インフラ	<ul style="list-style-type: none"> バッテリー交換方式について、Volocopterは機体を移動させ、ロボットで自動交換する方式を検討、交換時間約5分 プラグインの充電方式は、充電時間として数10分～2時間程度を想定 Uberのコンセプトでは、充電システムの電圧は～600kWを構想 	ASTM F38.02 <ul style="list-style-type: none"> Vertiportの企画・開発・設計・設立の要件について検討 充電や燃料取替を含めて検討 SAE AE-7D <ul style="list-style-type: none"> 電動航空機の接触充電の接続部に関する設計要件、性能要件の検討 EUROCAE WG-112 SG5 <ul style="list-style-type: none"> 充電インフラに関する検討 	<ul style="list-style-type: none"> 急速充電システムの開発(EVとの共通規格化を含む) バッテリー交換システムの開発(バッテリー交換車の使用) 	<技術開発> <ul style="list-style-type: none"> 機体のバッテリー場所や挿入方向に対応した交換技術(ロボットアーム、交換車等)の開発 充電の高速化、急速充電に対応可能なバッテリー開発 バッテリー残量モニタリングと充電へのフィードバック <市場展開> <ul style="list-style-type: none"> バッテリー交換方式：国内開発機体への適用による実績確保とI/F標準化の推進 急速充電方式：EV規格に基づく市場展開、共通インフラ化
離着陸場	<ul style="list-style-type: none"> Volocopterの構想では、パッド1つで10～15便/h、Liliumの構想では20便/日～20便/hの処理を検討 設置場所は地上及びビル等の構造物上を検討 地上走行はエレベータ及びベルトコンベアによる移動、もしくは機体の自力走行を検討 	ASTM F38.02 <ul style="list-style-type: none"> Vertiportの企画・開発・設計・設立の要件について検討 EUROCAE WG-112 SG5 <ul style="list-style-type: none"> Vertiportに関する検討 	<ul style="list-style-type: none"> ビル屋上への着陸(ダウンウォッシュによる物体吹き飛ばし防止) 騒音対策 地上タクシーとの連携(タクシー乗り場までの移動容易性の確保) 	<技術開発> <ul style="list-style-type: none"> ポート内の機体移動技術 騒音低減技術 水上ポートの開発(フローティングの活用等) <市場展開> <ul style="list-style-type: none"> 国内の先進エリアにおける実績確保と他地域展開

- 上記の他、システムアーキテクチャ検討結果から、他のモビリティとの情報共有やサービスのマッチング等が標準化要素として抽出された。旅客輸送のトータルサービスとしての効率化や利便性向上、サービス品質向上に資する項目であるが、海外での標準化の検討事例は見られない。

5. 「空飛ぶクルマの標準化に関する連絡会議」の開催

空飛ぶクルマの標準化連絡会の開催について

- 空飛ぶクルマの標準化の観点から、以下の検討を実施
 - ▶ 空飛ぶクルマのシステムアーキテクチャを検討
 - ・ 空飛ぶクルマの課題を包含する観点から、エアタクシー、エアアンビュランスの2つのユースケースを対象に、これを実現するシステムコンセプトを検討した上で、そのリファレンスモデル、システムアーキテクチャ、運用プロセスを策定
 - ・ これを踏まえ、空飛ぶクルマの実装に向けた標準化課題、技術開発課題等を抽出
 - ▶ 空飛ぶクルマに関するASTM、SAE、EUROCAE等の国際標準化の最新動向を整理
- 上記検討結果を国内の空飛ぶクルマの関係事業者の皆様と共有すると共に、検討結果をもとに、空飛ぶクルマの社会実装を進める上で必要となる標準化事項や、標準化の具体的な進め方について、意見交換する場として、「空飛ぶクルマの標準化連絡会」を設置

<連絡会の開催状況>

回次	開催日時	主な議題
第1回	3/1(月) 15:00～17:00	<ul style="list-style-type: none"> ● 本連絡会の開催趣旨、検討概要の説明 ● エアアンビュランスに関する検討結果の共有 ● 意見交換
第2回	3/3(水) 16:00～18:00	<ul style="list-style-type: none"> ● エアタクシーに関する検討結果の共有 ● 意見交換
第3回	3/15(月) 13:30～15:30	<ul style="list-style-type: none"> ● 国際標準化動向（ASTM、SAE、EUROCAE等）の共有 ● 意見交換
第4回	3/23(火) 15:00～17:00	<ul style="list-style-type: none"> ● 議論のまとめ、論点整理 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 注力すべき分野の整理 ✓ 今後の検討の進め方（検討事項、検討開始のハードルと対処、スケジュール）

システムアーキテクチャの今後の検討要素に関する意見

■ エアアンビュランス

➤ ユースケースの精緻化

- コスト負担要素の可視化。運用コストが運用制約となっている現状を踏まえた検討が必要。
- 「覚知要請（119番の時点で重篤度を判断して出動）」「現場直近着陸（現場の可能な限り近くに着陸させ、ランデブーポイントに輸送しない運用）」等の動向の考慮
- 使用する機体種類、機体配備等の前提条件の明確化

➤ 個別の技術要素

- 医師によるリモート支援の反映
- フェールセーフの視点、システム喪失時の代替手段の検討
- パイロット搭乗が想定される中で、ナースやドクターが操縦可能なHMIの検討と標準化

■ 次世代エアタクシー

➤ ユースケースの精緻化

- 2030年代を想定した場合にパイロットレス、自動／自律操縦を前提とした検討が必要。
- 前提となる飛行方式の検討（VFRか、IFRか、新たな飛行方式か）。

➤ 個別の技術要素

- 機体の航法精度に対する必要なセパレーションの検討と、それに基づく運航密度の現実性の検討。
- 風況データの機体側への寄与範囲の精緻化（情報提供のみか、機体制御や運航経路への反映を考慮するか）
- 機体側での計測情報の利活用

標準化テーマに関する意見と対応する標準化機関

項目	標準化テーマ（例） ※連絡会で出された意見の整理	関連標準化機関
機体	<ul style="list-style-type: none"> 認証基準（騒音を含む）の適合証明手段（MOC） 騒音の指標と測定方法 	ASTM AC433(MOC)、F44全般、EUROCAE WG-112全般
安全性	<ul style="list-style-type: none"> 地上第三者に対する衝突・障害レベルの定義と定量的な評価方法 	ASTM F44.30、EUROCAE WG-112 SG3
電動推進	<ul style="list-style-type: none"> 電動推進ユニットの製造自動化や品質保証の方法（EV技術の適用、JIS Q 9100適用の妥当性等） 電動推進システムとしての安全設計要件 	ASTM F39.05、SAE E40 EUROCAE WG-112 SG2、WG-113
電源	<ul style="list-style-type: none"> バッテリー性能・残量評価の規格化（安全性評価のものさし、発熱・出力等） バッテリー容量の測定方法 	ASTM F44.40、SAE AE-7D EUROCAE WG-112 SG1
アビオニクス、航法 監視・衝突回避	<ul style="list-style-type: none"> CONOPs、運用環境・シナリオの定義に応じた性能要件の規格化 専用操縦士を必要としない直感的なHMIの検討と標準化 準天頂衛星システムの利用に向けたインテグリティ・セキュリティの規格化 	EUROCAE WG-112 SG4・SG6 EUROCAE WG-105、RTCA SC-228 ASTM AC377(Autonomy)
通信	<ul style="list-style-type: none"> 伝送情報の種類や用途に応じた通信性能要件、安全・信頼性要件 	EUROCAE WG-105、RTCA SC-228
運航管理	<ul style="list-style-type: none"> 気象条件に左右されない運航率確保の実現、運航数等を考慮した空飛ぶクルマの飛行方式、運航管理方法 低高度空域のヘリ・空飛ぶクルマ・無人航空機の運航管理ルール 運航管理の優先度調整に資する機体情報の伝送（ミッション、耐風性等の機体性能、バッテリー残量、モータ等の不具合情報等） 	EUROCAE WG-105
気象情報提供	<ul style="list-style-type: none"> 計測方法、計測データの処理方法と生成する情報の内容・形式、機体への情報提供方法、機体側での使用方法 	—
給電インフラ	<ul style="list-style-type: none"> バッテリー交換方式（交換車、ロボットアーム等）と方式に応じた各種I/F等の関連規格 プラグイン方式における各種I/F等の関連規格、EVとの共通規格化（次世代のDC800V規格等） 運航率を考慮した急速充電の充電時間、運航管理システムとの連携 給電インフラとしてのハードウェア構成（バックアップの必要性等） 	ASTM F38.02(Vertiport Design) SAE AE-7D EUROCAE WG-112 SG5
離着陸場 (Vertiport)	<ul style="list-style-type: none"> ビル屋上への離着陸に対応した精密な進入方式 ビル屋上における精密進入を可能とする着陸支援システム 機体との通信プロトコル等、ソフトウェア関連の規格 不時着可能なポートに関する情報共有方式 	ASTM F38.02(Vertiport Design) EUROCAE WG-112 SG5

標準化活動の進め方の整理（1/2）

■ 海外の標準化動向の現状

- 空飛ぶクルマに関する標準化は、ASTM、SAE、EUROCAE等においてeVTOLに関する標準化課題が多く設定され、検討が進められている。
- 運航管理、通信、監視・衝突回避等については、EUROCAE(WG-105)、RTCA(SC-228)等におけるUASに関する標準化議論が、eVTOLにおいても参考になると考えられる。
- 米国では、ASTMを中心に議論、電動推進についてはSAEで議論されている。欧州については、EUROCAEで一元的に議論されている。
- 現状の標準化課題は、航空当局の認証基準に対する適合証明方法（MOC）の規格化の議論が中心であり、ローカルなユースケースやシステム連携、アプリケーションに関する標準化は進んでいない。
- 国際標準化機関の議論では、標準化活動へのコミットメントが重要であり、技術提案や文書作成への貢献が必要。機関によっては、“文書作成への貢献が無いと規格化の投票権が得られない”、といった制約を受ける場合がある。

■ 標準化活動の取組み方針

▶ 取組み体制

- 複数の標準化機関において、多岐に渡るテーマについて議論が行われている中で、個々の企業が標準化動向を網羅的にウォッチすることは困難であり、また、企業ごとに個別に対応するのは非効率的。
- 業界団体やフォーラムなど、標準化を推進する民間団体により、技術テーマごとに分担しつつ、戦略的に情報収集や標準化提案等の対応を進めることが適切。
- 特に、認証基準のMOCに関する標準化活動については、制度設計、特に安全性に関する基準策定の議論と連携しながら進めることが必要。
- 標準化の方針を国内で擦り合わせる上では、関係各社の標準化に対するスタンスが適切に共有されることが望まれる。

▶ 必要な支援等

- 標準化動向の継続的な情報収集と共有
- 他分野も含めた、国際標準化活動の知見や教訓の共有
- 各企業における標準化体制整備の後押し

標準化活動の進め方の整理（2/2）

■ 標準化活動の重点分野

▶ 基本的な考え方

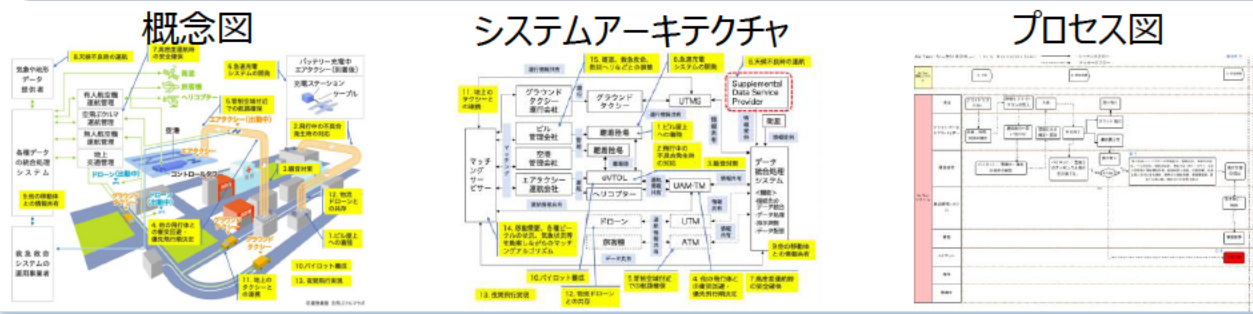
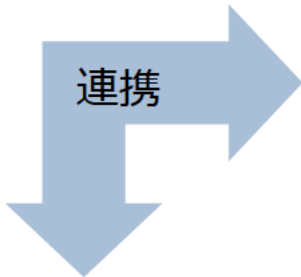
- 個別企業のビジネス領域を繋ぐI/F、いわゆる協調領域に該当するテーマの標準化を進めることが必要。
- 国内外の動向を踏まえた我が国としての戦略に基づくトップダウンの方針と、各社の要望やシステムアーキテクチャから抽出される課題要素に基づくボトムアップの方針、の双方の観点から、標準化テーマを検討することが適切。

▶ 積極的な取組みが必要なテーマ

項目	考え方・方向性
機体	<ul style="list-style-type: none"> • 認証基準のMOCに関する情報を取得し、設計に反映させる観点から継続的な情報収集が必要
電動推進	<ul style="list-style-type: none"> • 認証基準のMOCに関する情報を取得し、設計に反映させる観点から継続的な情報収集が必要 • 日本がEV分野で培った知見に基づく標準化の推進が適切（製造自動化や品質保証等）
電源	<ul style="list-style-type: none"> • 日本がEV分野で培った知見に基づく標準化の推進が適切（性能指標や測定方法等）
給電インフラ	<ul style="list-style-type: none"> • 協調領域の要素が多く、運航率の向上や利便性確保、インフラ整備効率化等の観点から標準化が必要なテーマ • 特に急速充電規格については、日本がEV分野で開発した規格の活用やEVとの共通化の推進が適切
運航管理	<ul style="list-style-type: none"> • 協調領域の要素が多く、安全な運航を実現する上での前提条件として標準化が必要なテーマ • 諸外国でCONOPsが策定される中、日本の特性やユースケースを踏まえた運航管理の方式や技術、伝送情報等の標準化が必要 • 機体性能やバッテリー残量・不具合情報等の伝送、ポート情報の共有、他の有人機や無人航空機とのコンフリクト解消の方式等
安全性	<ul style="list-style-type: none"> • 社会受容性向上の観点から、墜落時の安全性に関する標準化が必要 • 乗員や地上の第三者に対する衝突・障害レベルの定義と定量的な評価方法等

標準化テーマの検討イメージ

マルチビューモデリングに戻づく課題抽出



各サブシステム/サブシステム間の標準化課題

標準化テーマの検討	
	<ul style="list-style-type: none"> 日本からの標準化提案 国際標準化動向の情報収集
<p>※各技術テーマは、複数のサブシステムに関係。システムアーキテクチャの検討から抽出された各サブシステム、サブシステム間の標準化課題に対し、対応する研究開発成果を標準化提案する流れが想定される。</p>	

※国内外動向に基づくトップダウンの戦略も考慮

各技術テーマの研究開発

- 機体
- 危害軽減
- 電動推進
- 電源
- アビオニクス
- 監視・衝突回避
- 通信
- 運航管理
- 給電インフラ
- 気象情報提供
- 離着陸場

提案技術・方式

二次利用未承諾リスト

報告書の題名 令和2年度省エネルギー

委託事業名 令和2年度省エネルギー

受注事業者名 株式会社三菱総合研究所

頁	図表番号	タイトル
26		GAMAのEPICのメンバー
29		SAEの組織図とeVTOL関連サブ委員会
47		UAM、UTM、ATMの環境比較
48		EASAにおけるUASのカテゴリー
49		欧州（EASA）における今後の制度化の全体方針
67		IEC 62196-3で採択された急速充電方式
70		CHAdemo急速充電器の普及の推移
70		CHAdemo急速充電器に対応したEV販売台数
71		急速充電器の設置台数とEV販売台数の関係
72		急速充電器の増設
72		急速充電器の設置効果
74		急速充電器の普及台数（2018年4月時点）
74		次世代高出力規格（ChaoJi）の開発
75		市場に対する規格開発の効果・影響（ChaoJiの開発
79		ISO 19237規格の内容
80		ISO 21202規格の内容
81		ISO 21202規格の内容
81		数値の設定根拠
82		ISO 23792規格の内容
87		TR 20545規格での想定アーキテクチャ
89		情報セキュリティ分野での最終目標
89		HMI（ヒューマンマシンインターフェース）分野での最終目標
90		「自動走行システム」の実施体制：国際連携WGの討
91		議システム」での人的コネクション構築に向けた取組み
101		東レのCFRP加工技術
103		機体の設計方式イメージと概要
105		電動推進システムの構成イメージ
108		ハイブリッド推進システム
110		独Siemens社のモータ開発動向（出力密度；kW/kg）
111		独Siemens社のモータ開発動向（トルク密度；Nm/kg）
112		Safran社が描くロードマップ
116		リチウム硫黄電池の位置づけ
116		リチウム硫黄電池の開発見通し
117		リチウムイオン電池の開発見通し
118		電池を動力として採用しているeVTOL、小型航空機
119		バッテリーと燃料電池のエネルギー密度比較
127		AIRBUS “BLUEPRINT FOR THE SKY”
128		U-Space
129		FAA UAM CONOPs



株式会社三菱総合研究所