

自動車以外のモビリティにおける 電動化動向と広がる事業機会



西 和哉



吉村英亮



川原拓人

CONTENTS

- I 運輸部門における二酸化炭素の削減要求と電動化
- II 航空機
- III 船舶
- IV 自動二輪車
- V まとめ

要 約

- 1 2050年のカーボンニュートラル達成を掲げる中、CO₂排出量の23%を占める運輸部門の排出量削減が急務である。自動車以外にも、船舶や航空機は運輸部門の排出量中10%程度を占め削減要求が高まっており、電動化を中心に脱炭素化の動きが加速している。
- 2 航空機では、現時点で確立している電動化技術は少ないものの、燃料電池や水素ガスタービンを軸にした電動化の議論が活発化してきており、今後、小型機から大型機、難度の低い技術から高い技術へと徐々に適用範囲が拡大していく。
- 3 船舶では、主に小型レジャー向けボートを中心に完全電動推進システムの導入が始まっている。現時点では、技術的課題から一部の小型のレジャーボートや運河および湾内向け観光船での採用にとどまっているが、今後は、より速度や航続距離が求められるレジャーボートや湾外向け観光船、内航貨物船などへの採用も想定される。
- 4 自動二輪車では、バッテリー交換式電動二輪車への注目が高まっている。当事業では、標準化・仲間づくりと、バッテリー交換ステーション設置場所の陣取りを、グローバルで迅速に進めることが重要となる。そのためには、現地政府による支援確保の観点からも地場企業を的確に巻き込んだ活動を展開する必要がある。
- 5 自動車以外のモビリティにおいてもカーボンニュートラル対応・電動化は待ったなしの状況である。一方、電動化技術を用いた事業は黎明期であるため自動車部品メーカーにとっても参入の好機であり、積極的な情報収集と既存プレイヤーへの接触が事業開発に向けて重要と考えられる。

I 運輸部門における二酸化炭素の削減要求と電動化

パリ協定1.5℃目標の実現に向け、2050年のカーボンニュートラル達成を掲げる中、IEAによるとCO₂排出量の23%が運輸部門由来であることから、運輸部門における排出量削減が急務である。自動車以外でも、船舶や航空機などは運輸部門の排出量のうち10%程度を占め、やはりCO₂排出量の削減要求が高まっており、特に電動化を中心に脱炭素化を目指す動きが加速している。

本章では、CO₂排出量削減における運輸部門の重要性について解説する。

1 CO₂排出量全体から見た運輸部門の重要性

2021年10月31日～11月13日に開催された国際気候変動枠組条約第26回締約国会議（COP26）にて議論されたとおり、グローバルでの脱炭

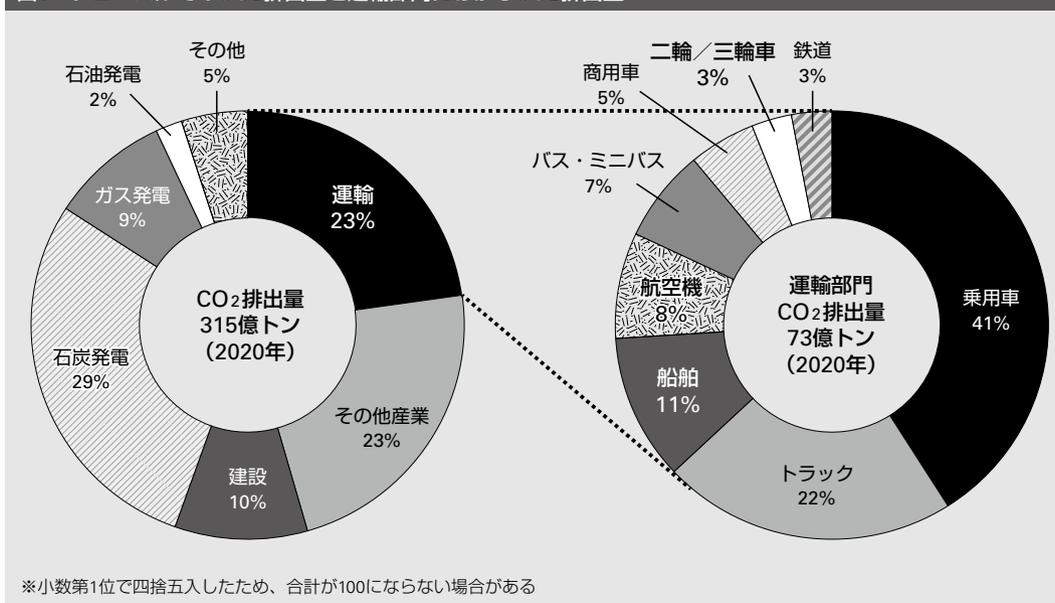
素化の動きが急加速している。COP26では、パリ協定で定めた1.5℃努力目標実現に向け、2050年のカーボンニュートラル実現と、その中間点である2030年／2040年に向けた気候変動対策（石炭火力発電の通減）など、各分野においてさまざまな取り組み目標が発表された。

2020年における、全世界でのCO₂排出量は315億トンとなっている。図1に示すとおり、運輸部門はそのうちの23%を占める72億トンを排出しており、これは石炭火力発電部門に次いでその他産業部門と並ぶ排出要因となっている。そのため、運輸部門においても排出量を削減することが必要不可欠な状況である。

2 自動車以外のモビリティにおけるCO₂削減の重要性と削減要求

図1に示したとおり、グローバルでのCO₂排出量における23%が運輸部門での排出によるものである。さらにその内訳を見ると、乗

図1 グローバルでのCO₂排出量と運輸部門におけるCO₂排出量



※小数第1位で四捨五入したため、合計が100にならない場合がある

用車（41%）、トラック（22%）がその大部分を占めており、船舶（11%）、航空機（8%）、二輪／三輪車（3%）も、それぞれ一定の割合を占めていることが分かる（なお、航空機については新型コロナウイルスによる航空需要への影響が反映された数字になっており、19年のデータでは運輸部門のCO₂排出量のうち12%を占めている。これは乗用車・トラックに次いで3番目に大きな排出要因となっている）。このような移動手段に関しても、CO₂排出量削減について盛んに議論されている。

たとえば航空機においては、2050年までのカーボンニュートラル達成を目指してロードマップが作成されているほか、欧州を中心にいわゆる飛び恥（flygskam）といった、航空機を回避する動きが広がりつつある。フランスでは21年4月に「電車で2時間半以内にアクセス可能な短距離区間における航空路線を禁止する」という法案が下院で可決されているほか、ノルウェー政府は40年までにノルウェー国内を発着する短距離路線の全便を電動航空機に切り替えると発表しているなど、航空機に対するCO₂削減要求が高まっている。

3 CO₂削減における電動化の重要性

グローバルでCO₂削減の方向性として脱化石燃料が提言されている。化石燃料からの脱却を図るために、自動車では車両の電動化を軸にシナリオが描かれている。自動車と同様に二輪や航空機・船舶などにおいても、電動化などを軸に脱炭素化に向けたシナリオが描かれており、各分野における電動化の重要性が増している状況である。

以下各章において、航空機、船舶、自動二

輪における電動化動向と関連する事業機会について論ずる。

II 航空機

航空機では現時点で確立している電動化技術は少ないものの、燃料電池や水素ガスタービンを中心に電動化の議論が活発化してきており、今後、小型機から大型機、難度の低い技術から高い技術へと、徐々に適用範囲が拡大していく見込みである。

本章では、航空機を分類した上で、各分類における航空機電動化の進展状況と、適用に向けた今後の課題、展望などについて解説する。

1 航空機の分類と各分類におけるCO₂削減の方向性

(1) 航空機の分類

航空機は固定翼航空機（ジェット機・プロペラ機など）と回転翼航空機（ヘリコプターなど）に大別される。明確な定義として存在してはいないものの、通例として、それぞれ座席数や航続距離によりさらに細かく分類される（表1）。

通常、旅客／貨物輸送業務として供されるものとしては、プロペラ機の双発機（ATR72など）やジェット機のリージョナル機（E190など）、ナローボディ機（B737など）、ワイドボディ機（B787など）が挙げられ、航空部門CO₂排出量全体の99%を旅客／貨物輸送が占める形となっている。

現在、新型コロナウイルスの影響によって航空需要の低下が見られ、受注数が伸び悩んでいるものの、航空機メーカーのボーイング

表1 航空機の種類と脱炭素化の方向性

大分類	中分類	航続距離	座席数	機体例	脱炭素化の方向性			
					MEA（装備品電動化）	二次電池	燃料電池	水素ガスタービン
固定翼機	ジェネラルアビエーション	<500km	<20席	Cessna Skyhawk	○	○	○	—
	リージョナル機	<2,000km	20～100席	E190、A220、ATR72	○	○ (<1,000km)	○	○
	ナローボディ機	<5,500km	100～250席	A320、B737	○	—	○	○
	ワイドボディ機	<18,000km	250～600席	B787、A350、B777	○	—	○	○
回転翼機	ヘリコプター	<1,000km	<15席	EC135、Bell412	○	○	○	—

によると、2040年にかけては新造機として4万3610機が必要になる。このうち、ナローボディ機が3万2660機と全体の75%を占め、ワイドボディ機が7670機、リージョナル機が2390機と予測されている。

(2) 各分類におけるCO₂削減の方向性

2021年10月、国際航空運送協会（IATA）は、2050年までに航空輸送業界においてカーボンニュートラルを達成するという決議を採択した。目標の実現に向けて、①運航方式・インフラの改善（地上タキシング時間短縮・飛行ルート最適化など）、②電動化・機体軽量化・エンジン効率化などの新技術導入、③持続可能な航空燃料（SAF）の導入、④市場メーカーニズムの活用（CORSA制度^{注1}）を組み合わせることにより、CO₂の削減を図る、というものである。航空機の技術に着眼すると、電動化などの新技術導入とSAFの

導入が目標達成に向けて必要な活動となる。

SAFについてはすべての航空機に導入可能だが、原料供給量に限界があるほか、現時点では既存のジェット燃料との混焼が必須（燃料種によるが10～50%程度がSAF使用の上限）であるため、SAFのみでの目標達成は現実的ではなく、新技術の導入が必須となる。

電動化には装備品電動化と推進系電動化があり、装備品電動化に関しては、既にA380のような大型機でも一定の導入が進んでいる。一方、推進系の電動化については、前項で分類したすべての航空機に同一の新技術が適用できるわけではなく、それぞれに適した技術の導入が必要となる。表1に示すとおり、航続距離が短く小型機のジェネラルアビエーションであれば二次電池による推進系電動化が可能だが、航続距離の長い大型機では二次電池による推進系電動化は現実的ではな

く、燃料電池や水素ガスタービンなどの技術が必要となる。

2 各分類における電動化の進展状況

前述のとおり、それぞれの分類において取り入れられる技術には違いがある。ここでは、現在それぞれの航空機について電動化がどのような進展状況にあるかを説明する。

(1) ジェネラルアビエーション

乗員数人までの小型飛行機では、2020年にリチウムイオン電池や水素燃料電池を動力源とした電動化機が既にテストフライトを実施しており、最も早く推進系の電動化が達成される見込みである。

米国のスタートアップ企業であるマグニクスは、20年5月にリチウムイオン電池を動力源とし、560kW級のモーターを推進系に搭載した完全電動化商用機「eCaravan」のテストフライトをワシントン州の上空で実施した。ベースとなっている「Cessna 208 Caravan」の航続距離は1200マイル（約2000km）程度であるが、現時点でのeCaravanの航続距離は100マイル（約160km）程度となっており、商用化に向けては航続距離の改善が必要な状況である。完全電動化商用機が空を飛ぶのはこのテストフライトが世界初であり、マグニクスは22年の型式証明取得を目指し、各種試験を重ねている。また、FAA（米国連邦航空局）では電動機の型式証明に関して議論が進められている。

一方、英米系のスタートアップ企業であるゼロアビアは、20年9月に水素燃料電池を主動力源とする完全電動化航空機の20分のテストフライトを英国にて実施した。同社は19人

乗り、航続距離350マイル（約560km）級機体の23年の初飛行を視野に、開発に着手している。

(2) リージョナル機／ナローボディ機

現時点では研究開発段階だが、2020年代後半の電動推進ハイブリッド技術実用化を目指し、航空機メーカー、エンジンメーカーらがプロジェクトを推進している。

エンジンメーカーであるプラット・アンド・ホイットニーは、大手航空機サプライヤーのコリンズ・エアロスペース（レイセオン傘下）と提携し、2MW級の推進システムを搭載したハイブリッド航空機の開発（Project804）を19年より実施してきた。21年7月の発表によると、40席クラスのリージョナル機である「de Havilland Canada DHC-8-100」を用いて、ハイブリッド電気推進技術による22年の地上試験および24年の飛行実証を予定している。

航空機メーカーのエアバスは20年9月、水素を燃料としたゼロエミッション旅客機「ZEROe」のコンセプト機を3種類（ターボプロップ・ブレンデッドウィングボディ・ターボファン）発表した。いずれも、液体水素を燃料として燃焼させるガスタービンエンジンと補完用の水素燃料電池から構成される、ハイブリッド型推進システムを用いている。ターボプロップ型は100席程度で1100マイル程度、ブレンデッドウィングボディ型は100席程度で2200マイル程度、ターボファン型は250席程度で2200マイル程度の航続距離を目標に掲げ、それぞれ35年の初飛行を目指し研究開発が進められている。エアバス本社のあるフランスの政府は、新型コロナウイルスか

らの復興を目的に、総額150億ユーロの航空産業支援策を打ち出している。そのうち15億ユーロについてはゼロエミッション航空機（ZEROe）の研究開発を促進するためのものと位置付けているなど、官民一体となり、大型航空機の電動化を推進しようとしている。

(3) ワイドボディ機

客席数の多いワイドボディ機は、航続距離の長い大陸間輸送に用いられることが多いため、エネルギー密度の課題から2050年時点でも推進系電動化を達成することは難しいと考えられている。

一方、燃料効率改善の観点から、装備品の電動化については一部進んできており、エアバスの「A380」では電動アクチュエーターを活用し、エルロンやフラップを作動させるようになっているほか、「B787」では主翼のアンチアイシングシステム（着氷防止装置）や客室空調システムについて電気式に置き換えられている。今後も燃料効率改善のために、ギアシステムや補助動力装置など、装備品電動化が進んでいくと考えられる。

3 部品メーカーにとっての事業開発の可能性

(1) 航空機電動化に向けた課題

前述のように航空機の電動化に向けた研究開発は非常に盛り上がっているものの、実現に向けた課題は依然として多い。たとえば、電動モーター・発電機・パワエレを中心とした重量軽量化に向けた高出力密度化や、出力低下を避けるための耐熱・冷却・放熱性向上、推進系における高効率化、航空機特有の高高度環境における高電圧要素およびシステ

ム放電や放射線影響への対処などが重要課題として取り上げられている。さらに、大型機ほど必要とする電力（エネルギー）が大きくなることから、重要課題の難度も高くなる。そのため、前述したとおり、航空機電動化は小型機から大型機へ徐々に適用範囲が広がっていきとみられるものの、現時点ではジェネラルアビエーションの試験飛行にとどまっている。

(2) 航空産業における標準化団体

前述のような課題については、主要企業での研究開発と並行して民間の標準化団体にて議論が行われている。ここでは、航空機における標準化議論の重要性について説明する。

航空機はほかのモビリティと比較しても冗長性・安全性といった項目が非常に重要であるため、各国の航空当局（FAA/EASA：欧州航空安全機関など）により細かな規制文書が策定されている。ただし、航空機の製造仕様など細かな部分については民間の標準化団体（SAE/RTCA/ASTM/EUROCAEなど）が策定する標準化文書を参照する形で規制文書を策定するケースが多く、標準化団体が実質的な主導権を握っている^{注2}。

航空機電動化に関しては、それぞれの標準化団体で議論される領域が分かれており、たとえば旅客機クラスの航空機であればSAEが、ドローンなどの小型航空機であればASTMが主な担当団体となっている（図2、表2）。

もともと、航空機のライフサイクルが非常に長期であること、構造を変えるような大きな技術革新が起きていないことから、航空機における標準化議論の主軸は過去決定事項の

図2 規制機関・標準化団体一覧と位置付け

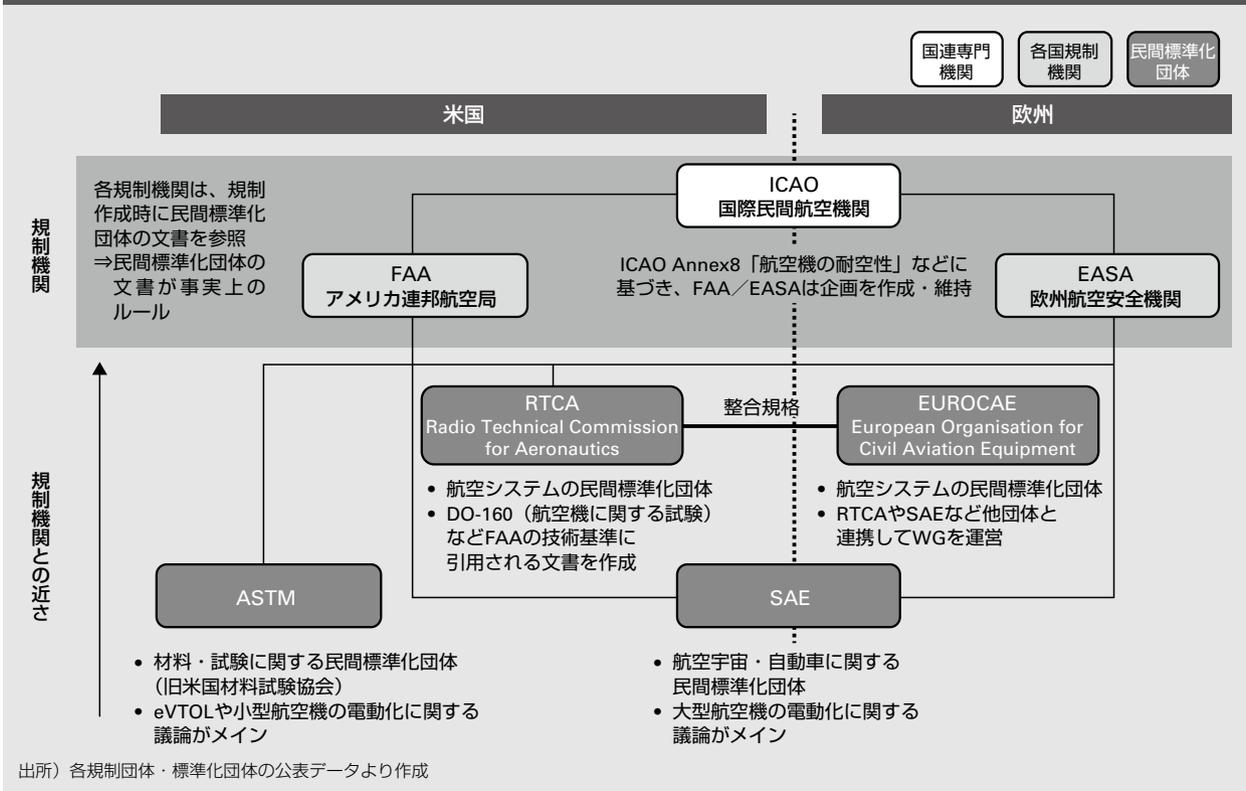


表2 標準化団体一覧と電動航空機の議論状況

	本拠地	会員数	電動航空機における主な対象領域	団体概要
ASTM	米国ペンシルベニア州 ウェスト・コンショホッケン	個人 32,000 (2020年)	<ul style="list-style-type: none"> 小型航空機向け電動推進機、機体製造プロセス、バッテリーの設計と認証 航空機向け電動推進機（ハイブリッド含む）、バッテリーの仕様 	<ul style="list-style-type: none"> 1898年に米国材料試験協会として設立 世界最大の標準化機関として、幅広い分野の標準化を推進 個人または団体として参画
RTCA	米国ワシントンDC	N/A	<ul style="list-style-type: none"> 無人航空機を含む航空機システムの最低運用性能基準 機器の動作パフォーマンス仕様 	<ul style="list-style-type: none"> 1935年に航空無線技術委員会として設立し、1991年に民営化 1975～2018年まではFAAの諮問機関として、標準化を推進 企業や国家機関が参画
SAE	米国ペンシルベニア州 ワレンデル	個人 138,000 (2017年)	<ul style="list-style-type: none"> 旅客機クラスの電動航空機およびMEAのシステム、機器の仕様 安全性やオペレーションにかかわる基準 	<ul style="list-style-type: none"> 1905年に米国自動車技術者協会として設立 1916年より航空機や船舶を含む自動推進の乗物の標準化を推進 基本的に技術者個人が参画
EUROCAE	フランス・サン=ドニ	N/A	<ul style="list-style-type: none"> 電動航空機向けハイブリッド推進システムの仕様や耐久性 eVTOLを含めたVTOLのシステム、機器の仕様 水素燃料電池の認証ガイドライン 	<ul style="list-style-type: none"> 1963年にスイスにて、航空輸送に関する標準化を目的として設立 WGの50%はRTCAと、10%はSAEと連携して標準化を推進・企業や国家、教育機関が参画

出所) 各規制団体・標準化団体の公表データより作成

更新などであった。しかし電動化により、航空機のさまざまなシステムが影響を受ける（＝今後のビジネスに影響を及ぼす）ため、エアバスやボーイングなど、欧米諸国の主要プレイヤーは標準化団体へ多くのエキスパートを派遣し、自社に有利な形で標準化が進展するよう、議論をリードしている。

(3) 航空機電動化に向けた今後の展望と 他領域からの新規参入

前述のとおり、航空機電動化については現時点で確立している技術は少なく、今後、小型機から大型機へと、難度の低い技術から高い技術へと、徐々にその適用範囲が拡大していくものと見られる。

今後、活用が見込まれる部品としては、操舵関連部品（電動アクチュエーターなど）・水素関連部品（水素燃料タンク、水素ガスタービンなど）・モーター・エネルギーマネジメントシステム・パワー半導体・バッテリー関連など、非常に多岐にわたっており、他産業からの参入余地も十分あると考えられる。

ただし、現状では日本国内に実績のある航空機メーカーが存在していないため、電動化についてどのようなトレンドがあり、どのような方向性に進んでいくかということを正確に把握し、潮流から取り流されないことが必要不可欠である。そのためにも、技術開発だけではなくルールを決める段階（標準化議論）から積極的に議論へ参加していくことが重要であろう。

SAEなどの国際標準化団体にいきなり参加することは、ハードルが高いと受け止められるかもしれない。そこで、JAXA航空技術部門次世代航空イノベーションハブが中核と

なって活動を行っている、航空機電動化（ECLAIR）コンソーシアムへの参加をファーストステップとすることが望ましい。当コンソーシアムには、日本国内の航空機電動化にかかわる企業が数多く参画しており、航空機電動化および関連技術の社会実装・研究開発計画の策定・共有や、SAEなどの国際標準化団体での最新動向についての情報交換など、活発に活動が行われている。当コンソーシアムに参加することにより、既に航空機産業で活躍しているプレイヤーとのコネクションづくりや、議論の最新状況を把握するなど、自社技術の適用可能性や研究開発へとつなげることが可能になる。

当領域での事業機会をうかがう企業は、研究開発と並行して電動化動向の情報収集をしつつ、単独もしくは他企業とタッグを組んで標準化団体などに参画し、海外主要プレイヤーと議論を重ねていくことが肝要である。

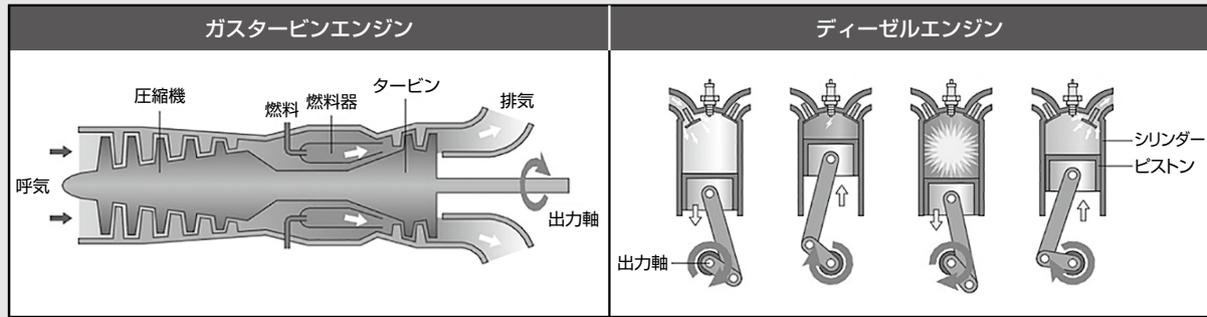
III 船舶

船舶では、温室効果ガスをより多く排出する外航大型船から代替燃料を活用したCO₂削減の議論が始まっている。他方で、小型船舶については推進システムの完全電動化の動きが起こりつつあり、小型レジャー向けを中心に製品の開発が進んでいる。本章では船舶の大きさや推進システムおよびCO₂削減方針を分類し、その上で完全電動推進の進展状況と課題、今後の展望について解説する。

(1) 船体、船舶推進システム構成の分類

内燃機関で推進する現代の船舶向けエンジンの多くはタービンエンジンとピストンエン

図3 ガスタービンエンジンとピストンエンジンの構造比較



出所) 川崎重工業Webサイトより作成
https://www.khi.co.jp/energy/gas_turbines/outline.html

表3 推進機の配置構造比較

駆動方式	船外機	船内外機	船内機
推進システム 配置図			
推進システム 概要	<ul style="list-style-type: none"> エンジンなどがすべて一体となったシステム 基本的に船外後部へ設置し、取り外しが容易に可能 基本的に小型ボートでの使用が多い 	<ul style="list-style-type: none"> 船内後部に設置したエンジンと船外に設置されたドライブユニットが直接接続されたシステム 基本的に中型ボートでの使用が多い 	<ul style="list-style-type: none"> 船内に設置したエンジンと船外に設置されたドライブユニットがシャフト接続されたシステム 経済性や安定性に優れる 比較的に大型ボートでの使用が多い

出所) ヤマハ発動機Webサイトより作成
<https://www.yamaha-motor.co.jp/marine/life/start/boat/drive.html>

ジンに分類され、中でも前者はLNG船を除きガスタービンエンジン、後者はディーゼルエンジンが主に使用されている（図3）。

ガスタービンエンジンは圧縮した空気に燃料を噴射して燃焼させ、生じた高圧のガスでタービンを回すことで回転エネルギーを生み出す。このエンジンはディーゼルエンジンと比較すると燃費や整備性では劣るものの、小型化および高出力化に優れているため、軍用艦艇や水中翼船などの一部の船舶で使用されている。

ディーゼルエンジンはシリンダー内で燃焼と圧縮を繰り返すことで、ピストンの上下運動を回転運動に変換しエネルギーを得る。この方式は燃費がよく整備性にも優れているため、小型船舶から大型の貨物船まで多様な船舶のエンジンで採用されている。加えて、構造がシンプルであるため、船体の大きさに応じて船外機、船内外機、船内機といった異なるエンジンのレイアウトが存在する（表3）。

(2) それぞれの分類におけるCO₂削減の方向性と電動化

国際海事機関（IMO）では2018年4月に国際海運からの温室効果ガス排出削減目標を採択した。この合意では、08年と比較して50年には排出総量を50%削減し、今世紀中のなるべく早期に排出量をゼロにすることが目標と定められた（図4）。

この目標を達成するためには化石燃料から脱却した新たな燃料の使用が必要不可欠であり、船体の大きさや航続距離に応じた代替燃料の使用や完全電動化の検討および技術開発が現在進行している。

1000～5000マイル以上の距離を航行する大型の外航船については、バッテリーのエネルギー密度に起因する航続距離の問題やモーターの出力密度の問題から、現状の技術では完全な電動化は難しいと推察される。そのため、これらの船舶では重油を使用しているディーゼルエンジンから、温室効果ガスを排出

しない水素やアンモニアを直接燃料として使用するピストンエンジンへの転換が検討されている。加えてカーボンニュートラルの観点から、バイオメタンをはじめとしたバイオ燃料や、回収した二酸化炭素と水素を反応させて製造するカーボンニュートラルメタンについても使用が想定される。

他方で200マイル程度の距離を航行する内航船や、さらに小型の遊覧船、プレジャーボートなどについては、航続距離やモーターの出力に起因する技術的な障壁が比較的少ない。そのため現在ディーゼルエンジンを主に採用している小型船舶については、今後、温室効果ガス排出量の削減を目指す上で、推進システムの完全電動化の素地があると考えられる。

(3) 小型船舶における完全電動化の先行プレイヤー動向

船舶における完全電動推進システムについて

図4 IMOにおける温室効果ガス削減目標

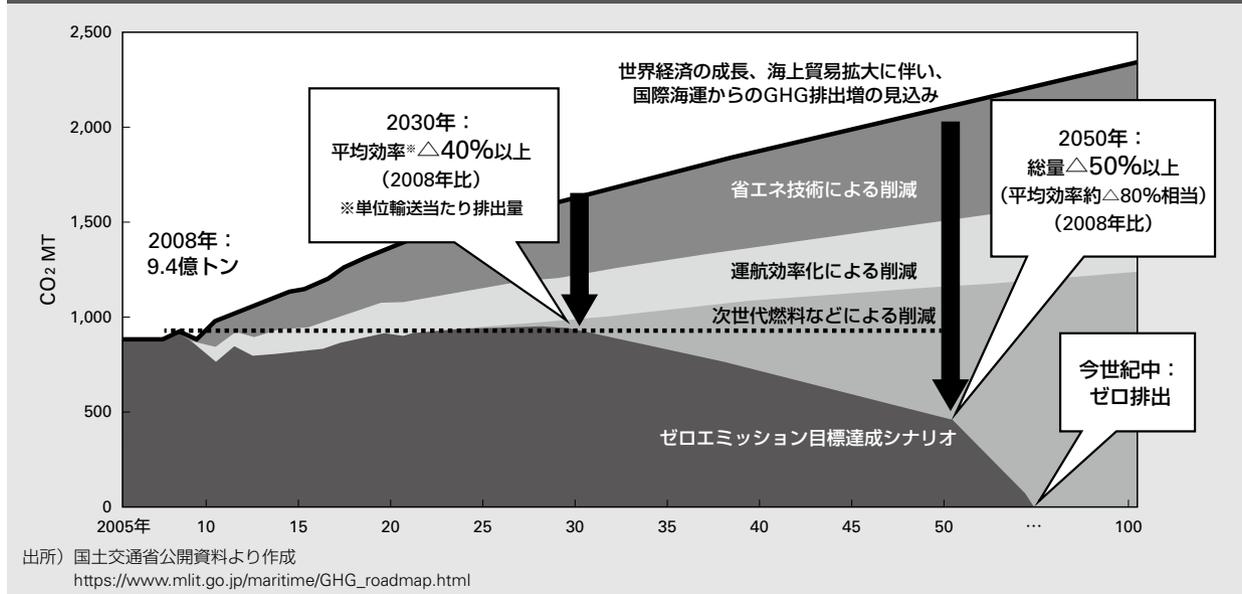
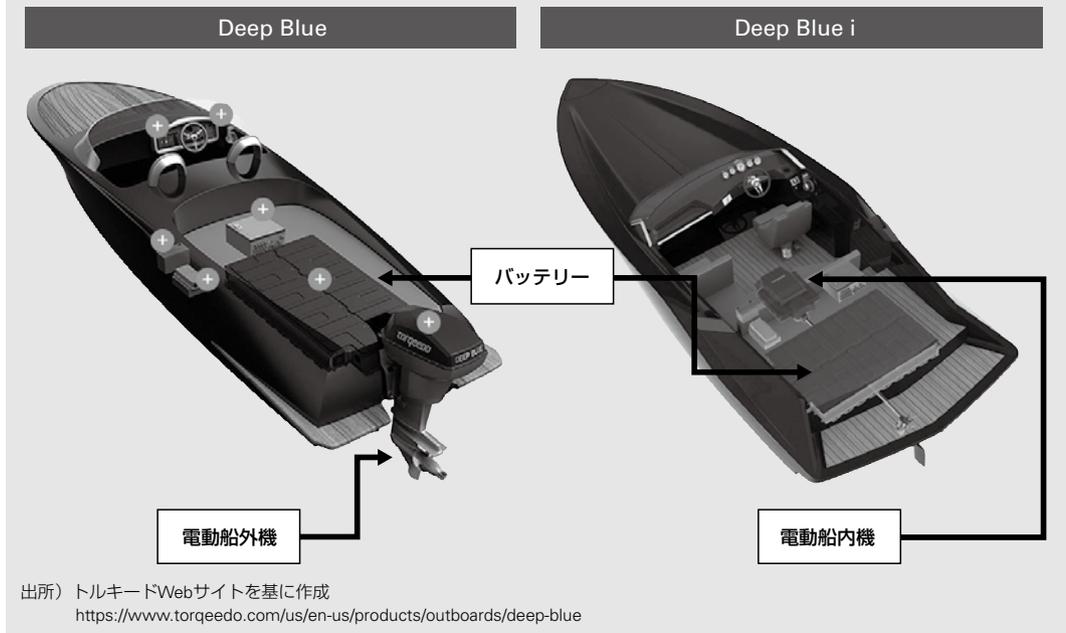


図5 トルキードの完全電動推進システム



て、これまでは昆布漁やトローリングなどで使用されるエレキモーターやトローリングモーターが主な製品領域であった。これらは1～3馬力程度の出力を持ち、主に補機として

使用されている。ただ近年では、高出力のモーターと高性能のバッテリーを組み合わせ、主機として使用することが可能な電動船外機や電動船内機の開発が進んでおり、一部では

表4 東京海洋大学のらいちょうシリーズ

船名	らいちょうI	らいちょうS	らいちょうN
船体画像	 電池推進船「らいちょうI」	 電池推進船「らいちょうS」	 ハイブリッド型電池推進船「らいちょうN」
推進システム	電動スクリュー	電動ウォータージェット	電動スクリュー
概要	<ul style="list-style-type: none"> 世界初の急速充電対応型電池推進船として2010年に就役 速力10kt、推進機出力45kW 充電規格はCHAdemoを採用 	<ul style="list-style-type: none"> 世界初の急速充電対応型電池ウォータージェット推進船として2011年に就役 速力10kt、推進機出力45kW 充電規格はCHAdemoを採用 	<ul style="list-style-type: none"> 水素燃料電池の搭載を念頭に、ハイブリッド型電池推進船として2014年に就役 速力8kt、推進機出力45kW×2 充電規格はCHAdemoを採用 バッテリーは東芝SCiBを採用

出所) 東京海洋大学Webサイトを基に作成
<https://www.kaiyodai.ac.jp/>

主にレジャー向けの小型プレジャーボートを対象として販売もされている。

たとえば、ドイツのトルキードは、小型船舶向けの完全電動推進システムを複数種類販売しており、船外機では1～80馬力、船内機では33～134馬力が製品の出力領域である。中でも40～80馬力の出力を誇る電動船外機「Deep Blue」シリーズや、33～134馬力の出力を誇る電動船内機「Deep Blue i」シリーズについては、自社のEVであるi3およびi8で使用しているバッテリーがBMWから供給されている（図5）。

日本国内においては、東京海洋大学が2010年に世界初の急速充電対応型電池推進船「らいちょうI」、11年にウォータージェット推進を採用した世界初の急速充電対応型電池推進漁船「らいちょうS」、14年には将来的に燃料電池の搭載も視野に入れたハイブリッド型電池推進船「らいちょうN」を建造した。3隻ともバッテリーの充電にはEVの急速充電で使用されるCHAdemo規格を採用している。加えて「らいちょうN」ではEVなどでも幅広く使用されている東芝製のリチウムイオンバッテリー「SCiB」が採用されている。これらのことから、船舶の完全電動化においてEVの技術は比較的親和性が高いといえる（表4）。

（4）推進システム完全電動化に向けた課題

小型船舶の推進システムを完全電動化する場合、モーターの出力密度については技術的な課題は少ないと考えられる。他方で、バッテリー密度に起因する航続距離の短さは大きな課題である。

船舶における完全電動推進システムはEV

と異なり、回生システムによる充電や駆動系とバッテリーを切り離した惰性航行が難しく、常に一定の負荷がかかった状態でモーターを回し続ける必要がある。そのため、同一のエネルギー量で移動可能な距離がEVと比較して短くなる傾向にあり、この課題を解決するためには、充電インフラの整備や全個体電池などの高性能バッテリーの開発が必要不可欠である。他方で、回生システムが存在しないため、バッテリーに対する負荷が少なく、加えて船体の周囲が水で囲まれているためバッテリーやモーター、インバーターなどの温度管理を比較的容易に行うことが可能という利点も存在する。

（5）完全電動化に向けた諸外国の取り組み

まだ航続距離などに一定の技術的課題は存在するものの、世界的な温室効果ガスの排出量削減などの潮流から、脱炭素を目的とした小型船舶の完全電動化はさらに進むと考えられる。

たとえば欧州では、国や自治体が主体となった完全電動推進船の導入推進も行われており、オランダのアムステルダムでは2025年までに市内運河でのディーゼルエンジンの使用を禁止するとともに、21年末までに100基のボート用充電ステーションの整備が予定されている。またノルウェーやイタリアのベネチアでも同様に、ボート向け充電ステーションの整備が官民一体となって推進されている。

加えて、企業でいうと英国のアクアシーパワーは、地中海を中心に全世界での船舶向け急速充電器ネットワーク、およびオンラインプラットフォームの構築を進めている。このように、一部の地域では充電インフラを整備

することで、完全電動推進船のさらなる普及を目指す取り組みが進行している。

(6) 推進システム完全電動化の展望

完全電動推進船は、現在、一部のレジャー用途での採用に限られているが、今後、充電インフラなどがさらに整備された場合、短時間で高出力を出すことが可能なモーターの特性を活かしたマリナーレジャーへの採用や、静粛性を活かした観光船への採用、加えて比較的航続距離の短い内航貨物船への採用なども想定される。完全電動推進船に搭載されるバッテリーやモーター、インバーターなどの部品や充電システムについては、EVに技術的な優位性があり、船舶に対しての転用も可能と推察される。

実際に、前述のトルキードはバッテリーの供給をBMWから受けており、東京海洋大学の船舶は充電システムにCHAdeMO、バッテリーにEVでの採用実績もある東芝のSCiBを採用している。このように、船舶メーカー側もEVの技術に対しては高い関心や期待感を持っているため、既存船舶メーカーとの協業という形式で、船舶分野の事業へ自動車などのサプライヤーが新規参入することが可能であると考えられる。

IV 自動二輪車

本章では、自動二輪車を取り巻く電動化の動向・課題を踏まえて、有力な電動化の選択肢となり得るバッテリー交換式電動二輪車に着目する。バッテリー交換式電動二輪車の特徴と事業展開の要点を念頭に、当ビジネスのプラットフォームの動向を見据え、部品メ

ーカーにとっての事業開発の可能性について述べる。

1 自動二輪車市場の概観と電動化動向

世界の自動二輪車需要は、ヤマハ発動機の推定によると、2020年に約4449.7万台である。地域別に見ると、インド・中国・インドネシアに代表されるアジアが世界需要全体の約8割を占めており、先進国を含むほかの地域を引き離している。

自動二輪車においても自動車と同様に、政府動向に民間企業が呼応する形で電動自動二輪車（以下、電動二輪車）の導入が進んでいる。

インドでは、原油の輸入による貿易赤字と大気汚染への対策という観点から、政府が電動車の普及を後押ししてきた。電気自動車普及促進策「FAME (Faster Adoption and Manufacturing of Electric Vehicles)」では、150cc以下の自動二輪車を25年までに100%電動車化することをうたい、19年4月から3年間で1000億ルピー（約1500億円）の補助金予算枠を設定して電動車の普及を促進してきた。21年6月には補助金の増額と24年3月までの施策の期限延長を発表している。企業側も政策に呼応して、電動二輪車普及に向けた活動を進めている。配車サービス大手のオラは、21年4月に高密度の電動二輪車充電ネットワークをインド内で10万カ所以上構築すると発表した。また、21年9月には自社で開発した電動スクーターを発売している。オラは、240億ルピー（約360億円）を投じて電動二輪車の工場を建設しており、初期段階でも年産200万台体制を整えようとしている。

インドネシアにおいても、政府は25年までに自動二輪車と自動四輪車を合わせた電動車を200万台導入する目標を掲げてきた。政府計画に呼応し、登録運転手が200万人に達する配車サービス大手のゴジェックは、稼働するすべての自動四輪車・自動二輪車を30年までに電動化とすると発表した（21年4月）。また、同じく配車サービス大手のGrab・インドネシアも、インドネシアの地場の二輪／三輪販売メーカーであるフィアル・モトル・インドネシアと共同で電動二輪車約6000台を導入した（21年10月）。

日本でも、21年11月22日に経済産業省や自動二輪車関連企業、地方自治体などで構成する会議体「バイク・ラブ・フォーラム（BLF）」が30年に向けた自動二輪車産業政策「ロードマップ2030」を発表した。具体的なKPI（重要業績評価指標）は規定されていないが、電動車、合成燃料対応車などによるカーボンニュートラル達成への貢献をうたっている。また、東京都は、35年までにガソリンだけで走行する自動二輪車の都内における新車販売をゼロにすることを表明した（20年12月）。企業側も、川崎重工業は35年に先進国向け主要モデルの新車販売のすべてを電動車に切り替えることを宣言している。また、ヤマハ発動機は電動二輪車の比率を35年に20%、50年に90%に引き上げる方針である。

一方で電動二輪車は、主としてバッテリー価格の高さに起因する「イニシャルコストの上昇」と、搭載できるバッテリー容量制約と充電時間の長さによる経路充電²³のしにくさに起因する「航続距離の短さ」が大きな課題となる。特に、自動二輪車世界市場の大部分を占める新興国においては、所得の観点で

自動車を購入できない層が自動二輪車の主要購買層となるため、イニシャルコストの上昇を伴う電動化は相性が悪い。これらの課題に対する一つの解として、バッテリー交換式電動二輪車への注目が高まっている。

2 バッテリー交換式電動二輪車の 特徴と事業展開の要点

(1) バッテリー交換式電動二輪車の概観

バッテリー交換式電動二輪車は、取り外し可能なバッテリーと、車両本体、バッテリー交換ステーションがそろうことで利用可能となる。バッテリー交換ステーションは、複数のバッテリーを格納して充電を行う。ユーザーは、車両本体の使用済空バッテリーをバッテリー交換ステーションに返却することで充電済バッテリーを入手でき、それを車両本体に装着すれば走行が可能となる。従来のバッテリー付き電動車と比較して、経路充電に必要となる時間を大幅に短縮することができる。また、高価なバッテリーを車両本体と切り離せるので、車両本体のみを販売し、バッテリーは定額で利用できるサブスクリプション形式での支払いを導入すれば、イニシャルコストの低減も実現できる。法人ユーザーにとって充電時間の短縮は車両稼働率の向上による収支効率改善の貢献にもつながる。

(2) バッテリー交換式電動二輪車の ビジネスの要点

バッテリー交換式電動二輪車のビジネスをプラットフォームとして展開する上では、バッテリー価格低減のための標準化・仲間づくりと、バッテリー交換用ステーション設置場所の早期の陣取りが重要となる。

先に述べたバッテリー交換式電動二輪車が備える基本的な「イニシャルコスト低減」の特徴に加えて、さらにコストを下げるためには、バッテリー保有数量の増大が必要となる。量産効果および大量購入による価格交渉力の確保に加えて、退役バッテリーの二次利用を円滑に実現するためには一定の数量規模が必要となるためである。バッテリー交換式電動二輪車の市場が黎明期であることから、一企業で保有するバッテリー数量は限定的であるため、複数企業でバッテリーの規格を統一化・標準化することが肝要となる。

経路充電で利用するバッテリー交換ステーションは、多くのユーザーにとって立ち寄りやすい場所に設置されている必要がある。一方で、バッテリー交換ステーションは一般的にATM程度のサイズを有するため、特に建物の密集する都市部においては設置の適地は限られている。また、特定の企業のバッテリー交換ステーションのバッテリーを利用するユーザーが多いほど、より同種のバッテリーを扱うバッテリー交換ステーションの設置が進むというネットワーク効果が働きやすくなる。そのため、自社のバッテリーのバッテリー交換ステーションを、限られた適地に迅速に設置して、ドミナント化することが肝要となる。

本田技研工業（ホンダ）は、バッテリー交換式電動二輪車を含む電動モビリティとエネルギーサービスを統合した「Honda eMaaS」の実現を目指し、交換可能なバッテリー「モバイルパワーパック（Honda Mobile Power Pack）」を核としたエコシステムの構築を進めている。2019年には、ヤマハ発動機、川崎重工業、スズキとともに「電動二輪車用交換式

バッテリーコンソーシアム」を創設し、交換式バッテリーと交換システムの標準化の検討を進めてきた。当活動では、「eやんOSAKA」と連携したバッテリー交換式電動二輪車実証実験を経て、21年3月に共通仕様の合意に至った。また、21年9月には、ヤマハ発動機、ピアaggio（イタリア）、ケーティーエム（オーストリア）と4社で交換式バッテリーコンソーシアム（SBMC：Swappable Batteries Motorcycle Consortium）を欧州に創設することで合意した。これは小型電動モビリティ向け交換式バッテリーシステムの技術仕様を定義することが目的であり、同種のコンソーシアムは欧州では初めての設立となった。

ホンダは、自動二輪車業界での仲間づくりに加えて、交換式バッテリーの他業界への展開も進めている。21年6月には、コマツと交換式バッテリーを用いた土木・建設業界向けバッテリー共用システムの体制構築を目指す基本合意を締結した。まずは、21年度中にコマツのマイクロショベルをホンダの交換式バッテリーを活用して電動化し、市場導入した後、ほかのマイクロショベルや1トンクラスのミニショベルの電動化まで展開しようとしている。また、21年11月には、交換式バッテリーを使用した船舶用小型電動推進機のコンセプトモデルを発表した。ホンダの交換式バッテリーを2個搭載し、5～6馬力程度の出力となる。今後は、さらなる開発を通じて船舶の電動化も進めようとしている。

(3) バッテリー交換式電動二輪車の事業展開の要点

自社規格のバッテリー普及によるコスト低

図6 早期の陣取りに向けたグローバル展開手法

	プラットフォーム	運用・サービス	利用者	長所	課題	戦略上の位置付けと適した展開地域
① 直営モデル	自社	EVサービス	ユーザー サービス利用料金	<ul style="list-style-type: none"> 収益性の高さ 事業展開のコントロール可能性 	<ul style="list-style-type: none"> 投資リスクの低減およびROI管理 現地でのエコシステム構築 	<p>自社が根を張る地域かつ有望地域で事業収益稼ぐ</p> <ul style="list-style-type: none"> スケールメリット大（大規模バイク市場） 低リスク（政策的支援が明確）
② 協業モデル	自社	パッケージ提供	協業先との合弁企業 EVサービス ユーザー サービス利用料金 パッケージ利用料金	(中間)	(中間)	<p>自社の地場産業への貢献が限定的な地域かつ有望地域で迅速に陣取る</p> <ul style="list-style-type: none"> スケールメリット大（大規模バイク市場） 中リスク（地場産業への貢献に支援が依存）
③ 委託モデル	自社	パッケージ提供	協業先地場企業 EVサービス ユーザー サービス利用料金 パッケージ利用料金	<ul style="list-style-type: none"> 事業展開のスピードアップ 投資リスクの低減 	<ul style="list-style-type: none"> ノウハウの蓄積による収益性の確保 協業先のリスク管理 	<p>優先度の低い地域で迅速に陣取る</p> <ul style="list-style-type: none"> スケールメリット小（中～小規模バイク市場） 高リスク（政策的支援が不明確）

減と陣取り合戦を制するためには、グローバルでの迅速な事業展開が必要となる。その際には、限られたリソースを最大限効率的に活用するため、現地企業との協業を前提にしつつ、市場の特性を踏まえて国・地域ごとに自社の関与の度合いを変えていく必要がある（図6）。

現地企業との協業は、自社展開時の不足リソースの補完にとどまらず、現地政府による支援を受けやすくするという観点からも重要である。各国が自動車政策を考える際には、①自国内の産業育成、②エネルギー安全保障の確保、③自国内の環境改善（大気汚染対策など）、が主な目的となる。特に①の優先度は高く、自国内への投資および地場企業の成長につながる施策に優先的な補助がなされる傾向がある。バッテリー交換式電動二輪車では、多くの車種で同じ交換式バッテリーとバ

ッテリー交換ステーションを利用できることが重要であり、地場企業が共通仕様の交換式バッテリーを活用して新たにバッテリー交換式の車両をつくることは、プラットフォームにとってプラスに働く。また、特に自動車産業の地場企業が自国で育てていない新興国の政府にとっては魅力となる。

バッテリー交換式電動二輪車のエコシステム構築で先行している台湾のGogoro社は、「Powered by Gogoro Network (PBGN)」を構築し、パートナー企業が同社のバッテリーやバッテリー交換システムを使う車両を製造できるようにしている。インドでは、自動二輪車最大手のヒーロー・モトコープとバッテリー交換ネットワークを構築する合弁会社を設立した（2021年4月）。ヒーロー・モトコープは、PBGNパートナーとして同ネットワークを採用した電動二輪車を発売する予定

である。

さらに中国では、PBGNパートナーである自動二輪車大手の大長江集团有限公司（大長江）と電動二輪車大手の雅迪科技集团有限公司（雅迪）の2社と提携し（21年5月）、バッテリー交換ステーションの新ブランド「換換」を共同で立ち上げて中国でサービス展開すると発表した（21年10月）。Gogoro社は、大長江と雅迪の2社が製造する電動二輪車やバッテリー交換システム構築のため、自社のバッテリーや充電制御システム、ステーション関連設備を提供する方針である。雅迪は、Gogoro社のシステムを採用した電動二輪車2車種を既に発売しており、大長江も同システム採用の電動二輪車を22年に販売予定である。また、インドネシアにおいても、Gogoro社は、配車大手ゴジェックと首都ジャカルタでバッテリー交換式電動二輪車のレンタルサービスの試験運用を始めると発表した（21年11月）。

また、自動車業界ではあるが電動車への展開を活発化するフォックスコンは、タイにお

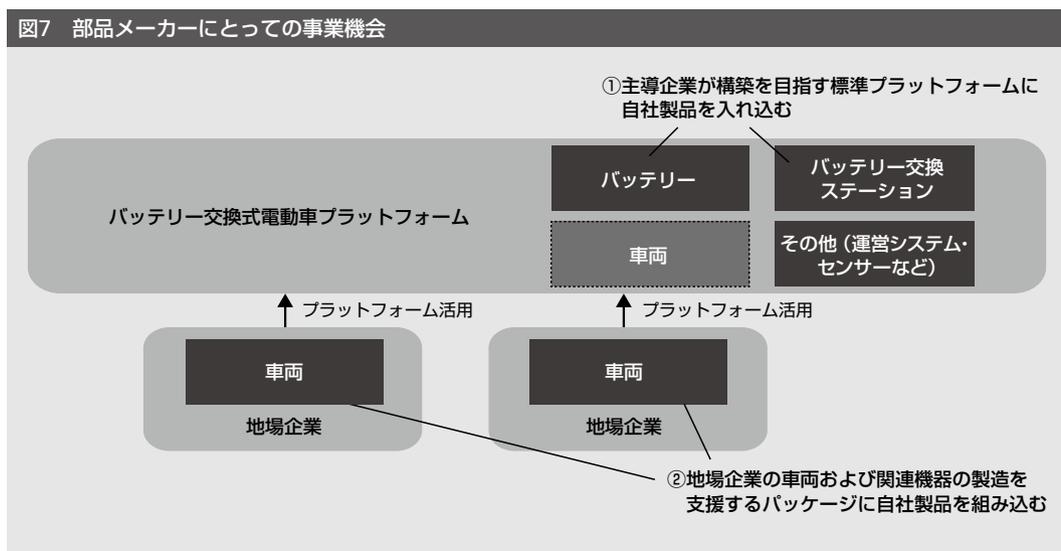
いて自動車生産のノウハウを持たない国営タイ石油公社（PTT）と電動車生産の合弁契約を締結した（21年9月）。電動車の設計・製造・組立に加えて、バッテリープラットフォーム・ドライブトレイン・モーターといった基幹部品の生産まで実施することを想定しており、タイの地場メーカーの参画を呼びかけている。地場有力企業PTTと地場メーカーを通じて、自社電動車のタイにおける普及を図ろうとしている。

3 部品メーカーにとっての事業開発の可能性

(1) プラットフォーマーの動向を踏まえた事業機会

バッテリー交換式電動二輪車のエコシステム構築を主導する企業・プラットフォームの前述の動向を念頭に置くと、部品メーカーにとって二つの事業機会が想定される（図7）。

一つ目は、主導企業が構築を目指す標準プラットフォームの中に自社製品を入れ込むこ



とである。車両については、地場企業を含む多数のメーカーが豊富なラインナップを用意できるようにするケースが多いため、バッテリーおよびバッテリー交換ステーションの構成部品が主な対象となる。プラットフォームによっては、エコシステム全体を管理・運営するシステムや、車両データを取得するためのセンシングデバイスなども含まれ得る。

二つ目は、主導企業が海外での迅速な展開を志向して地場企業のエコシステムへの参画を推奨する際に、地場企業が容易に車両や関連機器を製造できるようなパッケージに自社製品を組み込むことである。併せて、技術導入支援サービスも含まれ得る。新たに参入する地場企業は自動車業界の企業に限らないため、バッテリー交換システムのコア部品以外でも、独自にパッケージ化と技術導入のチャンスはあり得る。

フォックスコンは、2021年6月にGogoro社と戦略的技術・生産提携に向けた基本合意書を締結した。提携対象は、バッテリー交換や部品製造などであり、基幹部に入り込んでいる。前述したGogoro社と大長江・雅迪による「換換」というバッテリー交換ステーションは、フォックスコンが受託生産する予定である。

また、自動車業界ではあるが、フォックスコンが20年10月に設立した電動車開発プラットフォーム「MIH」アライアンスには、21年11月時点で2100社を超える企業が参加している。デンソーや日本電産、ブリヂストンなどの日本の自動車部品メーカーも多数参画している。参画する企業の思惑はさまざまだが、電動車領域に取り組む企業の情報収集などに加えて、早期にコンソーシアムに参画す

ることで、標準プラットフォーム内もしくは周辺パッケージでの事業機会創出が想定される。

(2) 他領域からの新規参入

電動車領域に新規参入する部品メーカーは、将来的なバッテリー交換式電動二輪車エコシステムでの事業機会獲得を目指し、まずは電動二輪車・電動三輪車や主要部品を扱う企業との出資も含めた提携・協業を進めていくことが肝要である。

クラッチ大手のエフ・シー・シーは、2021年4月に電池スタートアップのCONNEXX SYSTEMS社に、同年7月には電動二輪車・電動三輪車を手掛けるテラモーターズに出資して、電動化への対応を進めている。テラモーターズは、電動二輪車・電動三輪車の開発・製造から販売・アフターサービスまで一貫して行っており、またインドにおける電動三輪車（Eリキシャ）の販売ではシェア首位である。

当領域での事業機会をうかがう企業は、電動車領域での知見を収集しながら、エコシステム構築主導プレーヤー・プラットフォームのコンソーシアム構築動向・地域展開動向と主要市場の政府動向を注視し、可能であれば早期にコンソーシアムに接触していくことが肝要といえる。

V おわりに

航空・船舶・二輪における電動化について述べてきたとおり、自動車以外のモビリティにおいても、カーボンニュートラル対応・電動化は待ったなしの状況である。特に、航空

や船舶など、現時点で技術が確立していないような業界においては、他産業の知見を大いに求めており、先行している自動車産業などの技術が十分に転用可能であると考え。たとえば前述のとおり、トルキードは高出力の完全電動推進システムではBMWからEV向けバッテリーの供給を受けている。加えて東京海洋大学の電池推進船は充電システムにCHAdemoを使用しており、バッテリーもEVでの利用実績がある東芝のSCiBを搭載している。

一方、航空・二輪の事例にあるように、標準化議論がその後のデファクトスタンダードに直接つながってくると考えられる。たとえば、二輪では、Gogoro社は自社バッテリー交換システムを使う車両を製造するパートナーを集めたPBGNを構築し、中国やインドでパートナーを交えた事業展開を開始している。また、ホンダ・ヤマハ発動機・ピアッジオ・ケーティーエムも小型電動モビリティ向け交換式バッテリーシステムの技術仕様を定義するSBMCを構築し、関心あるステークホルダーへの協力を呼び掛けている。そのため、メーカー・OEMなどへの提案・営業や研究開発と並行して、標準化団体への参画および標準化議論の推進を行っていくことが、事業開発および他領域からの新規参入にあたり重要な活動である。

いずれも自動車業界ではないが、電動化技術を用いたこれらの事業は黎明期であるため、今が参入の好機と考えられる。特に、航空機・船舶など、ライフサイクルの長い業界では、サプライヤーのスイッチングは通常容易ではない。自社の事業領域を広げていくためにも、これまでに自動車などで培った技術

を強みとしつつ、積極的な情報収集と既存プレイヤーへの接触を早期に行うことが重要だと考えられる。

注

- 1 Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation : 「国際民間航空のためのカーボン・オフセットおよび削減スキーム」。2021年より国際航空においてCO₂排出を抑制するための市場メカニズムを導入。航空会社はCO₂排出量が一定の上限を超えた場合にオフセット義務(クレジット購入)が発生する
- 2 FAAなどの規制機関は、民間標準化団体の各WGへ人を派遣しており、議論の内容を把握
- 3 目的地に到達するために途中で行う充電

参考文献

- 1 川崎重工業
https://www.khi.co.jp/energy/gas_turbines/outline.html
- 2 ヤマハ発動機
<https://www.yamaha-motor.co.jp/marine/life/start/boat/drive.html>
- 3 国土交通省 国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ
https://www.mlit.go.jp/maritime/GHG_roadmap.html
- 4 トルキード
<https://www.torqueedo.com/us/en-us/products/outboards/deep-blue>
<https://www.torqueedo.com/us/en-us/products/inboards/deep-blue-25-50i-1400/M-3302-00.html>
- 5 東京海洋大学
<http://www2.kaiyodai.ac.jp/~takamasa/kaiyodai-ees-project/>

著者

西 和哉 (にしかずや)
野村総合研究所 (NRI) グローバル製造業コンサルティング部自動車産業グループ副主任コンサルタント

ト

専門は先端技術を用いた新事業開発、および自動車・航空機を中心とした製造業にかかわる事業戦略立案・ルール形成戦略など

吉村英亮（よしむらえいすけ）

野村総合研究所（NRI）グローバル製造業コンサルティング部モビリティサービスグループ上級コンサルタント

専門は先端技術を用いた新事業開発、および自動車・医療機器業界を中心とした製造業にかかわる事業戦略立案など

川原拓人（かわはらたくと）

野村総合研究所（NRI）アーバンイノベーションコンサルティング部モビリティ・ロジスティクスグループコンサルタント

専門は先端技術を用いた新事業開発、および航空機・船舶を中心とした製造業にかかわる事業戦略立案・ルール形成戦略など