



Electric Machines

電氣機械

Technology Roadmap

# 技術ロードマップ

2024



英国自動車協議会の依頼を受けて英国先端推進システム技術センターが作成。情報は公表時のもの。

Produced by the Advanced Propulsion Centre UK on behalf of the Automotive Council UK. Information correct at time of publication.



2024年の技術ロードマップは、自動車産業における技術採用の見通しを示しています。これらのロードマップは、学術界、産業界、政策立案者が、研究開発 (R&D) において行われる取り組みを把握し、技術採用における重要なマイルストーンを特定し、補助資料を通じて課題と機会を探るのに役立ちます。

各ロードマップで参照可能な資料は以下の通りです。

## 実行ロードマップ

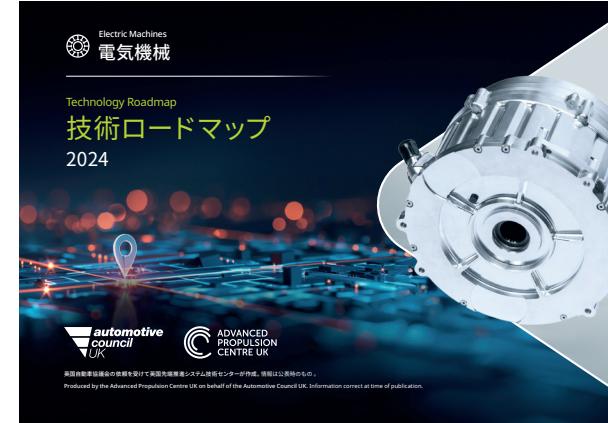
実行ロードマップは、自動車業界における技術の大量導入予測に関するハイレベルな見解を提供します。大量採用には、技術、サプライチェーン、製造、市場の準備が必要であり、場合によっては規制に対する準備も必要です。

## 技術動向レポート

技術動向レポートは、ロードマップに掲載されている技術の背景を説明することで、実行ロードマップを補足するものです。このレポートでは、個々の技術とそのサプライチェーンの開発に必要な取り組みとともに、規制および市場における推進要因について考察しています。

## 技術革新の機会レポート

技術革新の機会レポートは、ロードマップで言及されている技術を実現するために必要な研究開発の段階を深く掘り下げる目的としています。



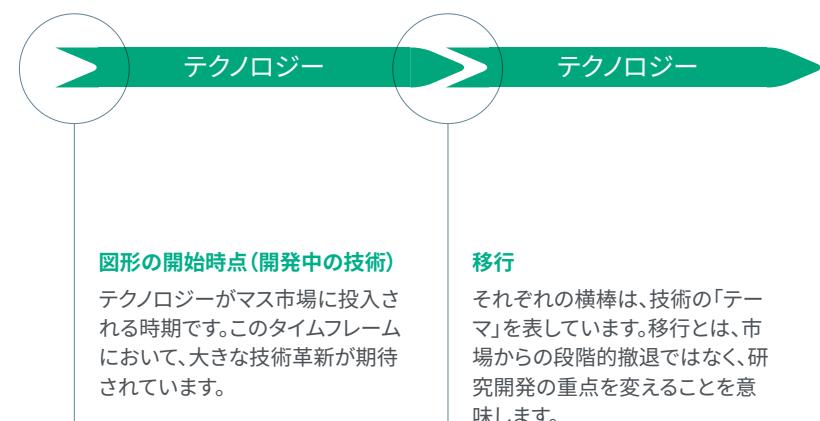
技術ロードマップ



技術動向レポート

この技術ロードマップは、マス市場投入に向けた世界の自動車産業の推進技術予測の見通しを表しています。

- 技術の説明文が付いた図形は、その技術が自動車産業でマス市場投入に達する時期を示します。
- 技術の採用は地域によって異なり、このことは実行ロードマップに添付されている技術動向レポートで説明されています。
- 技術の採用は自動車産業の各部門によって異なるため、適切な場合はロードマップに記載し、添付の技術動向レポートで説明しています。
- ロードマップの時期を前倒しして実現可能な技術もあり、遠い将来に実現すると見込まれている技術の多くは、現在技術的に実現可能なものです。しかし、ロードマップでは技術の成熟度だけでなく、市場、サプライチェーン、規制への影響も考慮されています。このことは、技術動向レポートに記載されています。
- いくつかの説明文つき図形は2025年時点から始まっていますが、これは現在利用可能な技術であるということを表します。



テクノロジーがマス市場に投入される時期です。このタイムフレームにおいて、大きな技術革新が期待されています。

それぞれの横棒は、技術の「テーマ」を表しています。移行とは、市場からの段階的撤退ではなく、研究開発の重点を変えることを意味します。



|        | 2025           | 2035    | 2040 |      |
|--------|----------------|---------|------|------|
| 大量生産技術 | 容積出力密度 (kW/l)  | 25      | 35   | 40   |
|        | 重量出力密度 (kW/kg) | 8       | 12   | 16   |
|        | 最大出力 (kW)*     | 120-250 | >250 | >250 |
|        | 連続出力 (kW)*     | 50-150  | 150  | ≥150 |

|     | 2025           | 2035     | 2040      |            |
|-----|----------------|----------|-----------|------------|
| HDV | 容積出力密度 (kW/l)  | 6        | 10        | 14         |
|     | 重量出力密度 (kW/kg) | 4        | 6         | 8          |
|     | 最大出力 (kW)*     | 250-500  | 300-500   | 400-500+   |
|     | 連続出力 (kW)*     | 150-350  | 180-350   | 250-350+   |
|     | 連続トルク (Nm)     | 480-800  | 800-1200  | 1000-1200+ |
|     | 最大トルク (Nm)     | 800-1500 | 1500-2000 | 2000+      |

|           | 2025           | 2035 | 2040 |      |
|-----------|----------------|------|------|------|
| ラグジュアリー技術 | 容積出力密度 (kW/l)  | 35   | 50   | 60   |
|           | 重量出力密度 (kW/kg) | 8    | 14   | 18   |
|           | 最大出力 (kW)*     | 350  | 500  | >500 |
|           | 連続出力 (kW)*     | 230  | 400  | >450 |

|                                | 2025           | 2035     | 2040      |            |
|--------------------------------|----------------|----------|-----------|------------|
| オフハイウェイ (NRMM (ノンロード車両) を含む)** | 容積出力密度 (kW/l)  | 6        | 10        | 14         |
|                                | 重量出力密度 (kW/kg) | 4        | 6         | 8          |
|                                | 最大出力 (kW)*     | <100     | <150      | <150       |
|                                | 連続出力 (kW)*     | <55      | <75       | <75        |
|                                | 連続トルク (Nm)     | 480-800  | 800-1200  | 1000-1200+ |
|                                | 最大トルク (Nm)     | 800-1500 | 1500-2000 | 2000+      |

|           | 2025           | 2035 | 2040    |      |
|-----------|----------------|------|---------|------|
| 高性能テクノロジー | 容積出力密度 (kW/l)  | 35   | 50      | 65   |
|           | 重量出力密度 (kW/kg) | 10   | 15      | 23   |
|           | 最大出力 (kW)*     | >500 | 500-800 | >800 |
|           | 連続出力 (kW)*     | 450  | 650     | >650 |

\*複数モーターにより達成される場合あり

出力密度はEモーターのみ (Eモーターのアクティブ質量とパッシブ質量を含む) に基づく  
連続出力と連続トルクは少なくとも15分間持続 (NRMMの場合は260分間)

「出力」は、ECE R85で定義されている定格出力

\*\*フォークリフトのような低動力を必要とするNRMM

➡ テクノロジーがマス市場に投入されます。このタイムフレームにおいて、大きな技術革新が期待されています。

➡ 移行とは、市場からの段階的撤退ではなく、研究開発の重点を変えることを意味します。

➡ 流動的なタイミング:これらのテクノロジーは、タイムライン上でいつ実現するかについて意見が割れています。  
予想よりも早くまたは遅く導入される場合があります。自動車のニッチな用途で採用される可能性があります。

このロードマップは、マス市場投入に向けた世界の自動車産業の推進技術予測の見通しを表しています。  
具体的な応用方法に合わせた技術は、地域によって異なります。



2025年

2030年

2035年

2040年

▶ 機械構造  
- 技術  
- 統合[クリックして拡大\(ページ6\)](#)▶ 熱管理  
- 材料  
- 設計[クリックして拡大\(ページ7\)](#)▶ 材料開発  
- 卷線  
- 硬磁性材料  
- 軟磁性材料  
- その他[クリックして拡大\(ページ8\)](#)▶ 製造加工  
- ハウジング  
- 卷線  
- ステーター／ローター  
- その他[クリックして拡大\(ページ9\)](#)

## ▶ 騒音、振動、ハーシュネス(NVH)

[クリックして拡大\(ページ10\)](#)

## ▶ ソフトウェアと駆動制御

[クリックして拡大\(ページ11\)](#)▶ ライフサイクル  
- ライフサイクルへの影響  
- 物質回収[クリックして拡大\(ページ12\)](#)

2025年

2030年

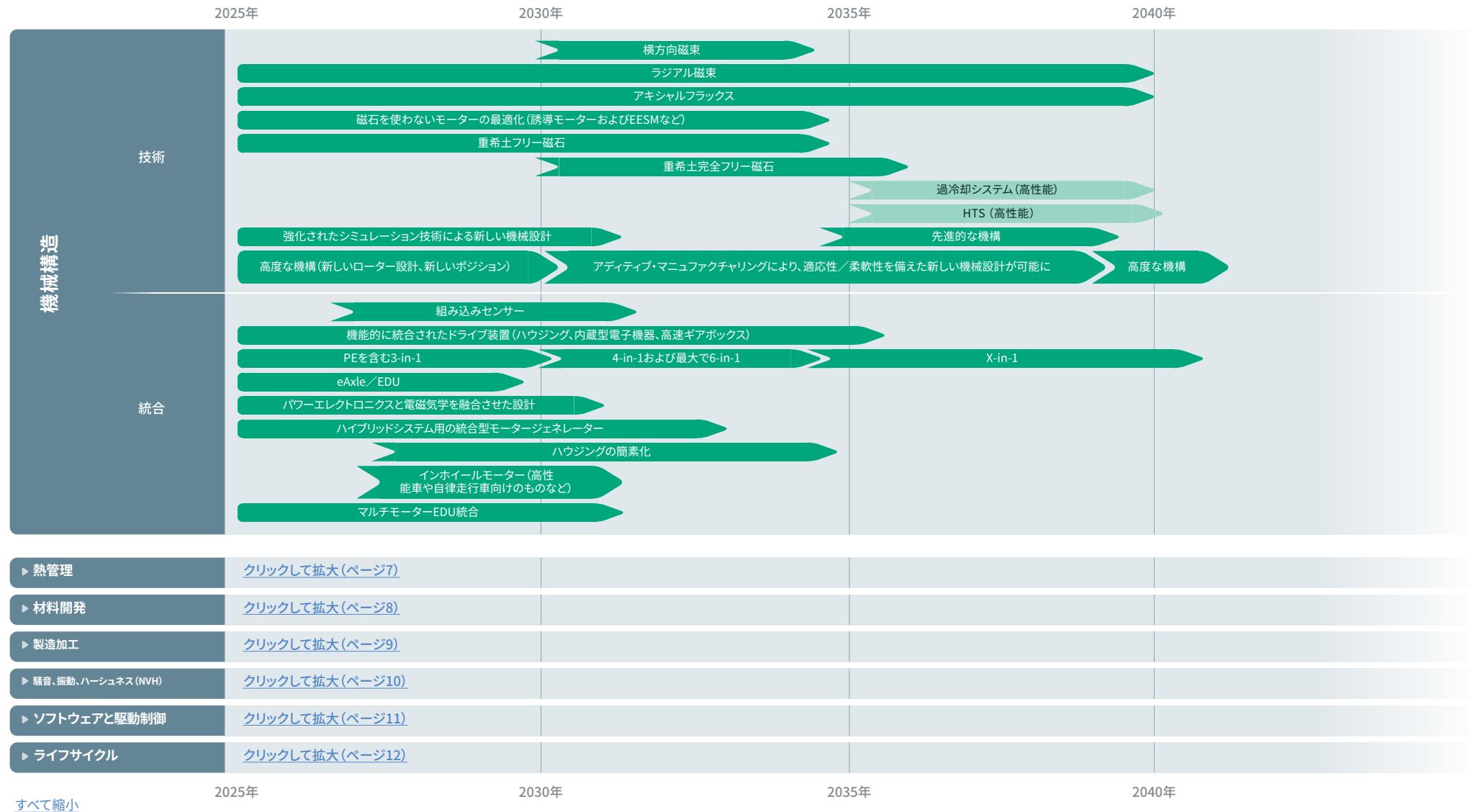
2035年

2040年

➡ テクノロジーがマス市場に投入されます。このタイムフレームにおいて、大きな技術革新が期待されています。

➡ 移行とは、市場からの段階的撤退ではなく、研究開発の重点を変えることを意味します。

➡ 流動的なタイミング：これらのテクノロジーは、タイムライン上でいつ実現するかについて意見が割れています。  
予想よりも早くまたは遅く導入される場合があります。自動車のニッチな用途で採用される可能性があります。このロードマップは、マス市場投入に向けた世界の自動車産業の推進技術予測の見通しを表しています。  
具体的な応用方法に合わせた技術は、地域によって異なります。



▶ テクノロジーがマス市場に投入されます。このタイムフレームにおいて、大きな技術革新が期待されています。

▶ 移行とは、市場からの段階的撤退ではなく、研究開発の重点を変えることを意味します。

▶ 流動的なタイミング:これらのテクノロジーは、タイムライン上でいつ実現するかについて意見が割れています。予想よりも早くまたは遅く導入される場合があります。自動車のニッチな用途で採用される可能性があります。

このロードマップは、マス市場投入に向けた世界の自動車産業の推進技術予測の見通しを表しています。具体的な応用方法に合わせた技術は、地域によって異なります。

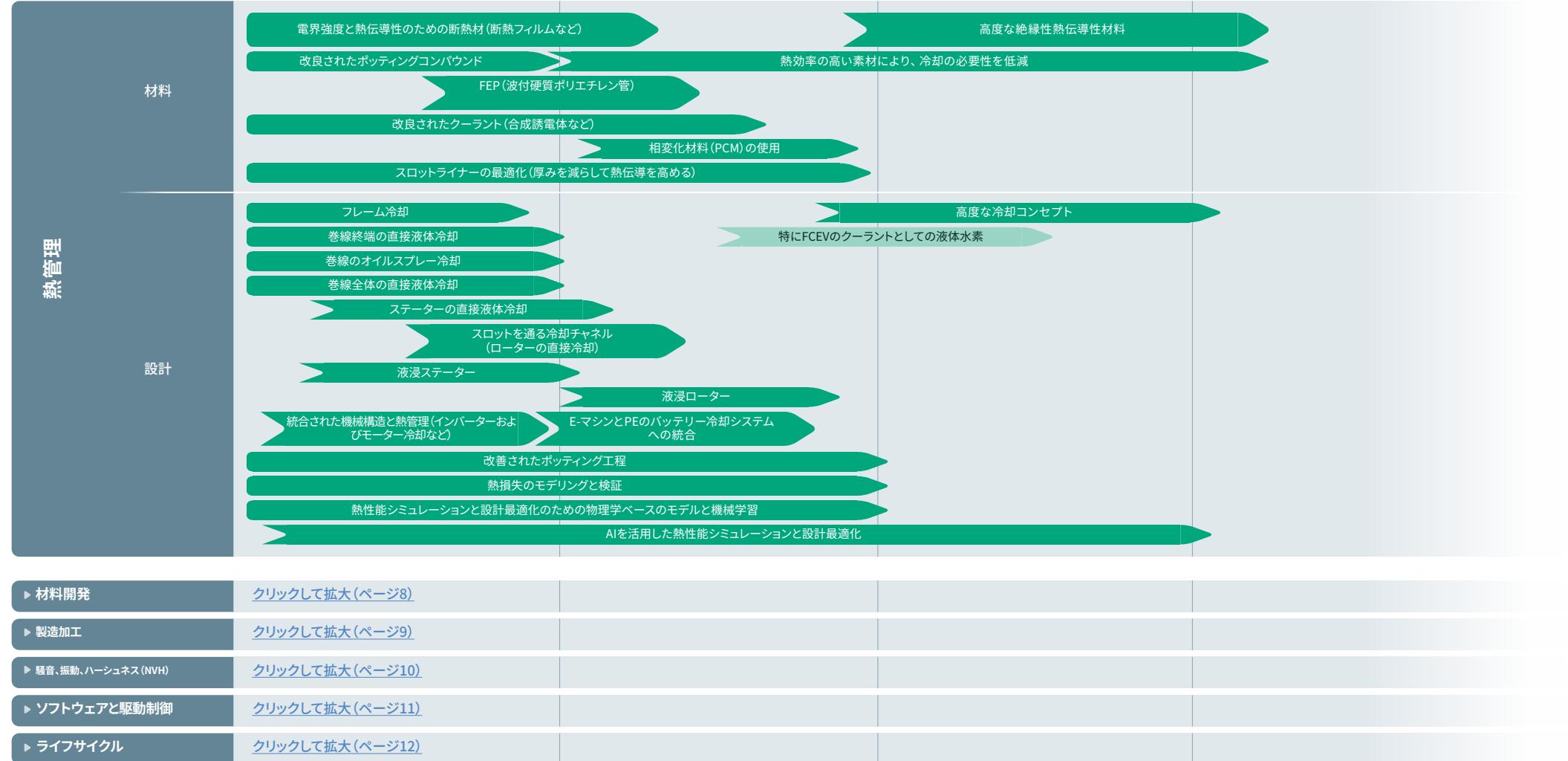
2025年

2030年

2035年

2040年

## ▶ 機械構造

[クリックして拡大\(ページ6\)](#)

2025年

2030年

2035年

2040年

[すべて縮小](#)

- ▶ テクノロジーがマス市場に投入されます。このタイムフレームにおいて、大きな技術革新が期待されています。
- ▶ 移行とは、市場からの段階的撤退ではなく、研究開発の重点を変えることを意味します。
- ▶ 流動的なタイミング:これらのテクノロジーは、タイムライン上でいつ実現するかについて意見が割れています。予想よりも早くまたは遅く導入される場合があります。自動車のニッチな用途で採用される可能性があります。

このロードマップは、マス市場投入に向けた世界の自動車産業の推進技術予測の見通しを表しています。  
具体的な応用方法に合わせた技術は、地域によって異なります。



2025年

2030年

2035年

2040年

▶ 機械構造

[クリックして拡大\(ページ6\)](#)

▶ 熱管理

[クリックして拡大\(ページ7\)](#)

卷線

強化銅巻線(合金、ラミネート、強化コーティングなど)

低成本のリツツ/線(ヘアピン巻き工具を使用するなど)

低成本で軽量な代替巻線(アルミニウムやアルクラッドなど)

高性能・高効率巻線(グラフェン、HTSなど)

カーボンナノチューブまたはナノ材料

高度な接合技術(溶接など)

ホローコンダクター

巻線の積層造形(高性能)

鋳造巻線

代替材料によるコスト競争力のある積層造形巻線

材料開発

硬磁性材料

低減された重希土類元素含有量

ホットプレスで製造された重希土フリーのネオジム磁石

一次および二次希土類磁石の混合

高温弾性材料(鉄フェライト、窒化鉄など)

大量生産向け焼結ネオジム磁石の代替品(鉄フェライト、SmCo、ボンドネオジムなど)

ポリマーボンド磁石

軟磁性材料

強化された電磁鋼(高シリコン含有など)

コスト競争力のある次世代電磁鋼(局所特性を持つもの)

次世代電子鋼(ニオブ合金、CoFe合金など)

量産自動車用に調整されたSMC(より小さな粒径、低い飽和度など)

強度の向上と損失の低減によるSMCの最適化

高速用途向け高強度鋼

積層造形

その他

スロットライナーの最適化(厚みを減らして熱伝導を高める)

積層造形(ハウジング)

▶ 製造加工

[クリックして拡大\(ページ9\)](#)

▶ 騒音、振動、ハーフェンス(NVH)

[クリックして拡大\(ページ10\)](#)

▶ ソフトウェアと駆動制御

[クリックして拡大\(ページ11\)](#)

▶ ライフサイクル

[クリックして拡大\(ページ12\)](#)

2025年

2030年

2035年

2040年

[すべて縮小](#)

➡ テクノロジーがマス市場に投入されます。このタイムフレームにおいて、大きな技術革新が期待されています。

➡ 移行とは、市場からの段階的撤退ではなく、研究開発の重点を変えることを意味します。

➡ 流動的なタイミング:これらのテクノロジーは、タイムライン上でいつ実現するかについて意見が割れています。予想よりも早くまたは遅く導入される場合があります。自動車のニッチな用途で採用される可能性があります。

このロードマップは、マス市場投入に向けた世界の自動車産業の推進技術予測の見通しを表しています。具体的な応用方法に合わせた技術は、地域によって異なります。



2025年

2030年

2035年

2040年

▶ 機械構造

[クリックして拡大\(ページ6\)](#)

▶ 熱管理

[クリックして拡大\(ページ7\)](#)

▶ 材料開発

[クリックして拡大\(ページ8\)](#)

2025年

2030年

2035年

2040年

[すべて縮小](#)

➡ テクノロジーがマス市場に投入されます。このタイムフレームにおいて、大きな技術革新が期待されています。

➡ 移行とは、市場からの段階的撤退ではなく、研究開発の重点を変えることを意味します。

➡ 流動的なタイミング:これらのテクノロジーは、タイムライン上でいつ実現するかについて意見が割れています。予想よりも早くまたは遅く導入される場合があります。自動車のニッチな用途で採用される可能性があります。

このロードマップは、マス市場投入に向けた世界の自動車産業の推進技術予測の見通しを表しています。具体的な応用方法に合わせた技術は、地域によって異なります。



2025年

2030年

2035年

2040年

▶ 機械構造

[クリックして拡大\(ページ6\)](#)

▶ 熱管理

[クリックして拡大\(ページ7\)](#)

▶ 材料開発

[クリックして拡大\(ページ8\)](#)

▶ 製造加工

[クリックして拡大\(ページ9\)](#)騒音、振動、  
ハーモニクス  
(NVH)

E-マシンのNVH管理 - スイッチング周波数の管理

PWMから脱却した高度な制御技術

E-マシン制御によるハイブリッドエンジン振動のアクティブ減衰

NVH最適化設計

剛性、減衰などの特性を最適化するための材料開発

軽量のNVH低減部品

他の駆動部品との同時設計によるNVHの最適化

NVHシミュレーションと設計最適化のための物理学ベースのモデルと機械学習

AIにより最適化されたNVHシミュレーションとモデリング

AIを活用したNVH設計の最適化

▶ ソフトウェアと駆動制御

[クリックして拡大\(ページ11\)](#)

▶ ライフサイクル

[クリックして拡大\(ページ12\)](#)

2025年

2030年

2035年

2040年

[すべて縮小](#)

➡ テクノロジーがマス市場に投入されます。このタイムフレームにおいて、大きな技術革新が期待されています。

➡ 移行とは、市場からの段階的撤退ではなく、研究開発の重点を変えることを意味します。

➡ 流動的なタイミング:これらのテクノロジーは、タイムライン上でいつ実現するかについて意見が割れています。  
予想よりも早くまたは遅く導入される場合があります。自動車のニッチな用途で採用される可能性があります。このロードマップは、マス市場投入に向けた世界の自動車産業の推進技術予測の見通しを表しています。  
具体的な応用方法に合わせた技術は、地域によって異なります。



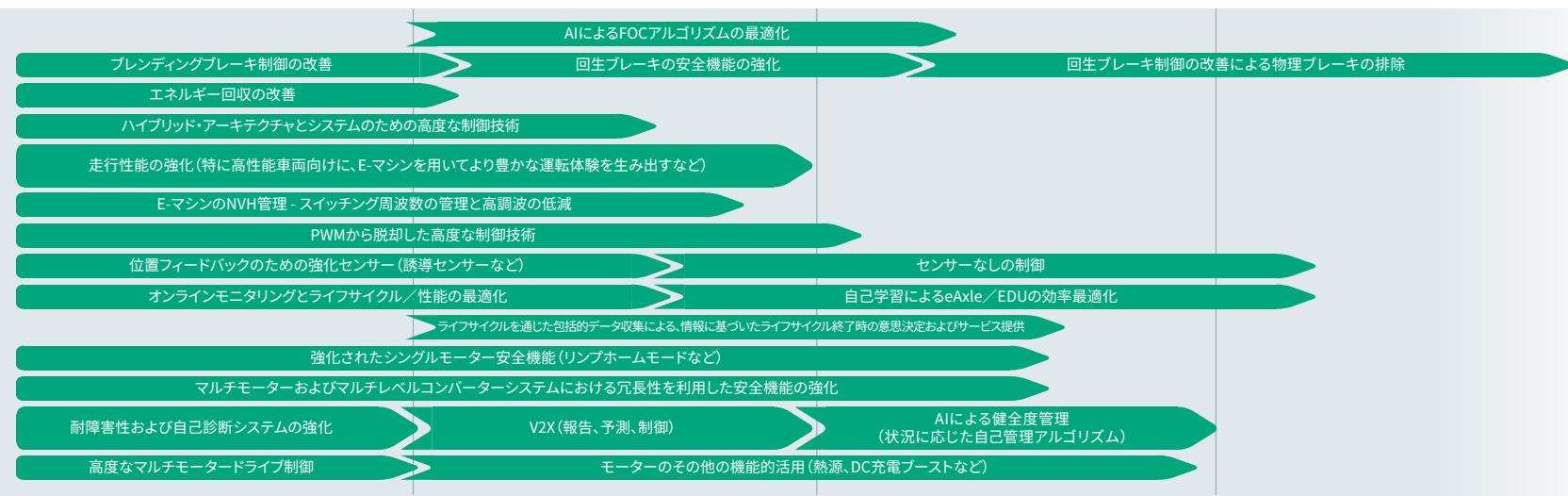
2025年

2030年

2035年

2040年

|                     |                                 |
|---------------------|---------------------------------|
| ▶ 機械構造              | <a href="#">クリックして拡大(ページ6)</a>  |
| ▶ 熱管理               | <a href="#">クリックして拡大(ページ7)</a>  |
| ▶ 材料開発              | <a href="#">クリックして拡大(ページ8)</a>  |
| ▶ 製造加工              | <a href="#">クリックして拡大(ページ9)</a>  |
| ▶ 騒音、振動、ハーシュネス(NVH) | <a href="#">クリックして拡大(ページ10)</a> |



▶ ライフサイクル

[クリックして拡大\(ページ12\)](#)

2025年

2030年

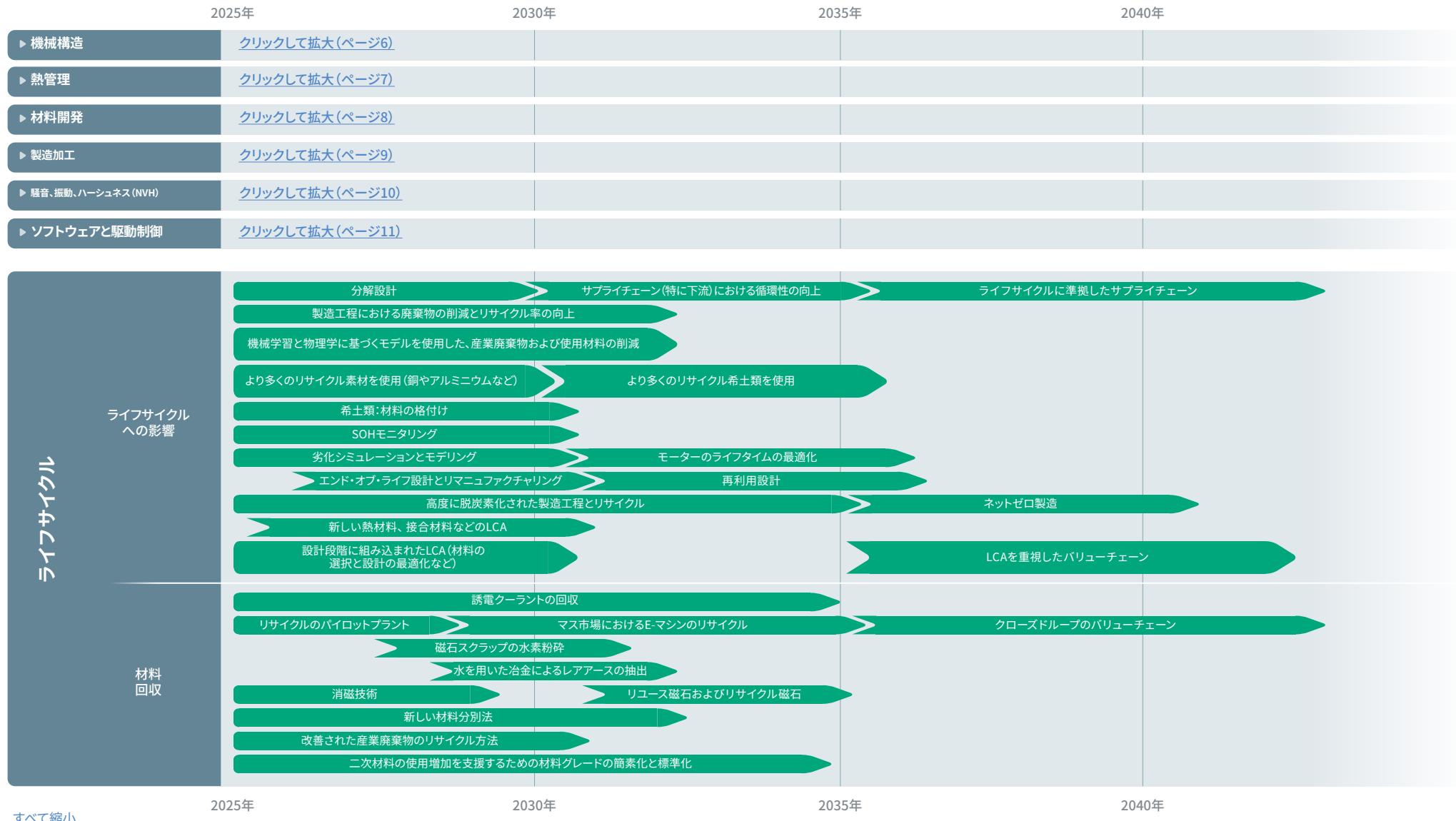
2035年

2040年

[すべて縮小](#)

- ▶ テクノロジーがマス市場に投入されます。このタイムフレームにおいて、大きな技術革新が期待されています。
- ▶ 移行とは、市場からの段階的撤退ではなく、研究開発の重点を変えることを意味します。
- ▶ 流動的なタイミング:これらのテクノロジーは、タイムライン上でいつ実現するかについて意見が割れています。予想よりも早くまたは遅く導入される場合があります。自動車のニッチな用途で採用される可能性があります。

このロードマップは、マス市場投入に向けた世界の自動車産業の推進技術予測の見通しを表しています。具体的な応用方法に合わせた技術は、地域によって異なります。



テクノロジーがマス市場に投入されます。このタイムフレームにおいて、大きな技術革新が期待されています

▶ 移行とは、市場からの段階的撤退ではなく、研究開発の重点を変えることを意味します。

➡ 流動的なタイミング:これらのテクノロジーは、タイムライン上でいつ実現するかについて意見が割れています。予想よりも早くまたは遅く導入される場合があります。自動車のニッチな用途で採用される可能性があります。

このロードマップは、マス市場投入に向けた世界の自動車産業の推進技術予測の見通しを表しています。具体的な応用方法に合わせた技術は、地域によって異なります。



|                     |                  |       |               |
|---------------------|------------------|-------|---------------|
| APC                 | 英国先端推進システム技術センター | LLM   | 大規模言語モデル      |
| AI                  | 人工知能             | LCA   | ライフサイクルアセスメント |
| BEV                 | バッテリー式電気自動車      | LDV   | 小型車両          |
| BMS                 | バッテリー管理システム      | ML    | 機械学習          |
| CO2                 | 二酸化炭素            | MPC   | モデル予測制御       |
| CO <sub>2</sub> -eq | 温室効果ガスの二酸化炭素換算値  | NEV   | 新エネルギー車       |
| EDU                 | 電動駆動装置           | NdFeB | ネオジム鉄ボロン      |
| EESM                | 巻き線界磁式の同期モーター    | NRMM  | 非道路用移動機械      |
| EV                  | 電気自動車            | NVH   | 騒音、振動、ハーシュネス  |
| EU                  | 欧州連合             | OEM   | 相手先商標メーカー     |
| FOC                 | 界磁指向制御           | R&D   | 研究開発          |
| FEP                 | 波付硬質ポリエチレン管      | REE   | 希土類元素         |
| FCEV                | 燃料電池車            | SMC   | 軟磁性複合材料       |
| HDV                 | 大型車両             | SmCo  | サマリウムコバルト     |
| HTS                 | 高温超伝導体           | xEV   | 電動車           |
| ICE                 | 内燃エンジン           | ZEV   | ゼロエミッション車     |
| IoT                 | モノのインターネット       |       |               |

## System-Level Roadmaps システムレベルのロードマップ



Mobility of People  
人のモビリティ



Mobility of Goods  
貨物のモビリティ

## Technology Roadmaps 技術ロードマップ



Electric Machines  
電気機械



Power Electronics  
パワーエレクトロニクス



Electrical Energy Storage  
電気エネルギー貯蔵



Lightweight Vehicle and  
Powertrain Structures  
小型車両およびパワートレイン構造



Internal Combustion  
Engines  
内燃エンジン



Hydrogen Fuel Cell  
System and Storage  
水素燃料電池システムと水素貯蔵

Find all the roadmaps at

ロードマップの全編は以下からご覧いただけます。

[www.apcuk.co.uk/technology-roadmaps](http://www.apcuk.co.uk/technology-roadmaps)



Established in 2013, the Advanced Propulsion Centre UK (APC), with the backing of the UK Government's Department for Business and Trade (DBT), has facilitated funding for 304 low-carbon and zero-emission projects involving 538 partners. Working with companies of all sizes, this funding is estimated to have helped to create or safeguard over 59,000 jobs in the UK. The technologies and products that result from these projects are projected to save over 425 million tonnes of CO<sub>2</sub>. The APC would like to acknowledge the extensive support provided by industry and academia in developing and publishing the roadmaps.

2013年に設立された英国先端推進システム技術センター（APC）は、英国政府商務貿易省（DBT）の支援を受け、538のパートナーが参加する304の低炭素・ゼロエミッションプロジェクトへの資金提供を促進してきました。あらゆる規模の企業との協力により、この資金は英国で5万9,000人以上に対する雇用機会の創出や保護に活用されたと推定されています。これらのプロジェクトから生まれる技術や製品は、4億2500万トン以上のCO<sub>2</sub>を削減すると予測されています。ロードマップの作成と公表にあたり、産業界と学術界から広範な支援をいただいたことに謝意を表します。

