

電動化の動向と主要部品の解説



- 【実施】 令和7年7月30日 テクノプラザおかや(大研修室兼展示場)
- 【主催】 公益財団法人 長野県産業振興機構
- 【共催】 長野県
- 【後援】 岡谷市
- 【協力】 株式会社三幸コーポレーション 次世代自動車戦略研究所

目次

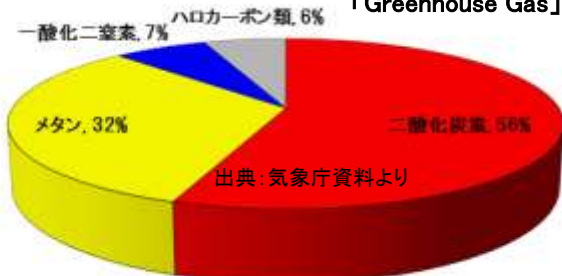
- § 1 気候変動
- § 2 カーボンニュートラル
- § 3 世界のBEV化状況
- § 4 BEV
- § 5 BEVプラットフォーム
- § 6 モーター
- § 7 インバーター
- § 8 パワーデリバリーモジュール(PDM)
- § 9 減速機
- § 10 リチウムイオンバッテリー
- § 11 サーマルマネジメント
- § 12 ADAS(先進安全運転支援システム)
- § 13 自動車 変革の時代
- § 14 BEV化の影響
- § 15 BEV化への対応

§1 気候変動

1. 温室効果ガス(GHG※)

1) GHG排出の割合

※GHG: 温室効果ガスの英語名「Greenhouse Gas」の略称

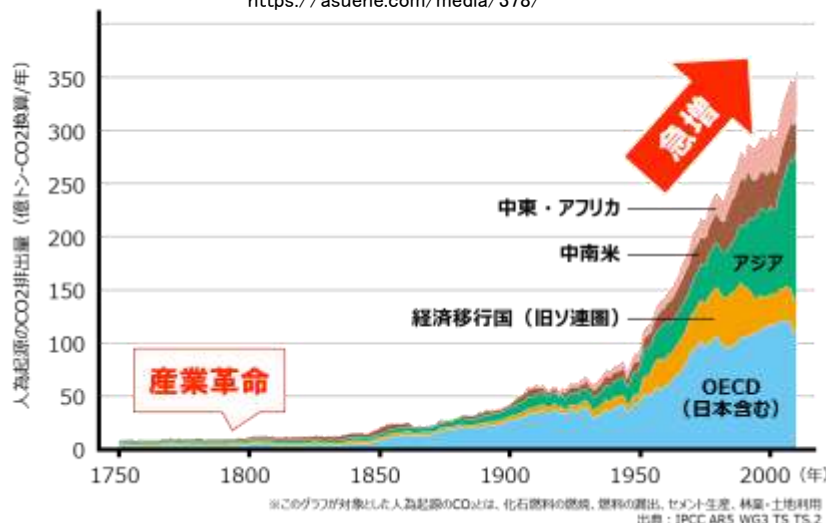


GHGは地表から赤外線の形で宇宙に逃げていくエネルギーを吸収して大気を暖める。二酸化炭素はGHGの中でも大気中に最も多く存在し、温暖化への影響は大きい。

2) 世界の年間CO₂排出量の推移

■ 人為起源のCO₂排出量

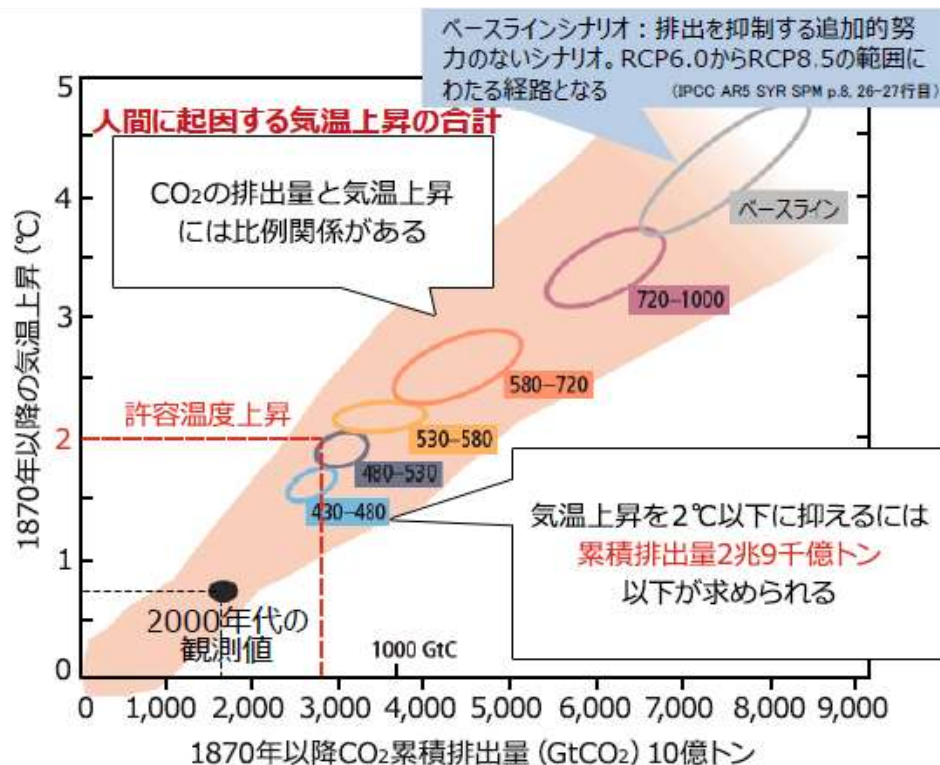
<https://asuene.com/media/378/>



18世紀後半、産業革命が起き、化石燃料が主エネルギー源となり、大量生産・大量消費が定着したこともあり大気中のCO₂の量は急激に増えた。2023年は前年と比べて2.3ppm増えて420.0ppmとなっている。

3) 産業革命以降の累積CO₂排出と平均気温上昇

<https://www.pwc.com/jp/ja>



産業革命以降2013年までの間でCO₂の年間排出量は330億トンにまで増加し、累積CO₂排出量は1兆9千億トンに達した。その結果、平均気温は0.8℃上昇した。

2024年の世界の平均気温は、観測史上最も高い15.10℃を記録。これは、産業革命前の水準と比較して1.60℃の上昇に相当し、パリ協定の目標である1.5℃上昇を初めて暦年で超えた年となった。

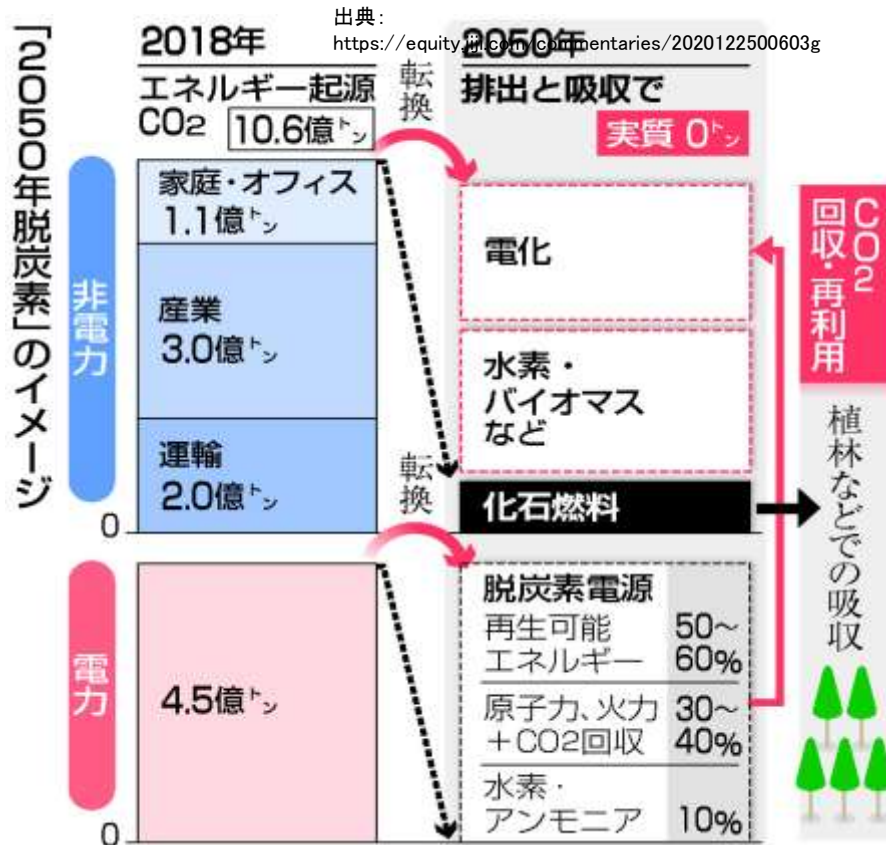
このまま上昇を続けられれば、多くの問題(食料危機、病気蔓延、自然災害の規模/発生数拡大)が発生し、地球上での生活は困難になってくる。

次世代自動車戦略研究所®

§ 2 カーボンニュートラル

1. 日本の対応:カーボンニュートラル

菅総理が2020年10月の臨時国会で述べた。
「我が国は、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すことを、ここに宣言いたします」



戦略は50年までに、再生可能エネルギーを普及させるほか、火力発電所などから出るCO₂を回収・再利用する技術(CCUS)導入により、電力部門の排出を実質ゼロに抑え込む。家庭やオフィス、工場をはじめ非電力部門からのCO₂は植林などを通じて吸収する。

2. 自動車分野の対応

<https://www.mlit.go.jp/common/001283224.pdf>

	2017年度(実績) (新車販売台数)	2030年 (目標)
従来車(ICE)	63.3%(275万台)	30～50%
次世代自動車	36.7%(160万台)	50～70%
ハイブリッド自動車(HEV)	31.7%(238万台)	30～40%
電気自動車(BEV)	0.55%(2.4万台)	20～30%
プラグイン・ハイブリッド自動車(PHEV)	0.78%(3.4万台)	
燃料電池自動車(FCEV)	0.02%(0.07万台)	～3%
クリーンディーゼル自動車(CDV)	3.6%(15.8万台)	5～10%

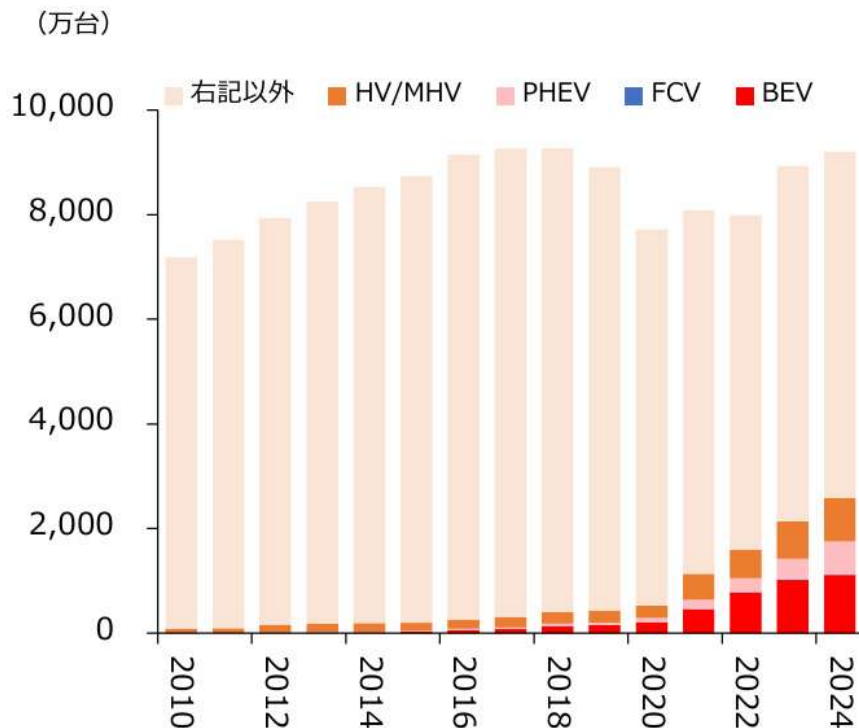
自動車分野のカーボンニュートラルの実現に向けて、EVやPHEVは重要な選択肢の1つ。政府としても、2030年に新車販売台数のうち20～30%をEV・PHEVに、2035年には全て電動車とする目標を掲げている。

§ 3 世界のEV化状況

1. パワートレイン別販売動向

<https://www.marubeni.com/jp/research/report/data/20250430automotive.pdf>

▽パワートレイン別自動車販売台数

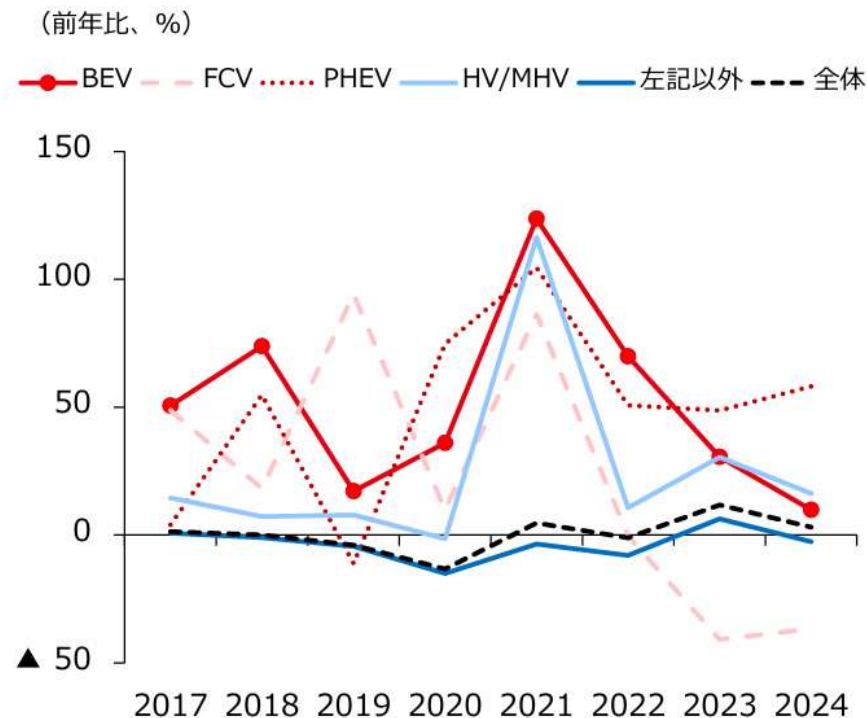


(出所) マークラインズより丸紅経済研究所作成

2024年にはBEVは1,100万台を突破、PHEV(644万台)とHV/MHV(825万台)も根強く増加。一方、BEV販売に減速感が強まっている。中国を除く世界のBEV販売台数は2024年に前年比+3.0%とかろうじて前年越えとなった。世界第2位のBEV市場である欧州は同▲1.9%と前年割れに転換したほか、第3位の市場である米国は同+7.1%と増加率が大幅に縮小した。要因としては、ドイツなど主要国の購入補助金の減額・撤廃や、米国における税額控除要件の厳格化のほか、アーリーアダプター(早期導入者)の一巡や、充電設備の不足なども挙げられる。世界のBEV販売台数の6割強を占める中国は同+14.2%と依然として一定の好調さを維持し、全体をけん引している。

(注)米国のドナルド・トランプ大統領は2025年6月12日、カリフォルニア州のゼロエミッション車(ZEV、注1)販売義務の無効化を含む複数の共同決議に署名し立法化した。即日発効となった。州内でのガソリン車やハイブリッド車などの新車の販売を2035年以降、全面的に禁止するとした規制案を5月、与党・共和党が主導する連邦議会ではこの規制を無効とする決議案が可決。

▽パワートレイン別自動車販売台数



(出所) マークラインズより丸紅経済研究所作成

§ 3 世界のEV化状況

2. BEV産業地図の変貌

<https://www.marubeni.com/jp/research/report/data/20250430automotive.pdf>

＜主力企業の入れ替わり。テスラは一貫して首位の座、中国BYDは急伸＞

▽ BEV販売台数上位5社（2018年・2024年）

(万台)

		2018年	シェア			2023年	2024年	2024年 シェア
1	Tesla	23	18%	→	Tesla	210	199↓	18%
2	北京汽車グループ	15	12%	→	比亞迪汽車(BYD)	167	194↑	17%
3	比亞迪汽車(BYD)	10	8%	→	吉利控股集团(Geely)	55	87↑	8%
4	日産	9	7%	→	GM グループ	63	82↑	7%
5	奇瑞汽車 (Chery)	7	5%	→	VWグループ	74	72↓	6%
6	吉利控股集团(Geely)	6	5%	→	現代-起亜自動車グループ	39	39→	4%
7	GM グループ	6	4%	→	広汽集団	48	38↓	3%
8	安徽江淮汽車集団 (JAC)	5	4%		BMW グループ	37	37→	3%
9	華泰汽車集団	5	4%		長安汽車(集団) (Changan/Chana)	22	32↑	3%
10	Renault	5	4%		上海汽車工業(集団)総公司 (SAIC)	50	27↓	2%
	上位5社合計	91	71%		上位5社合計	764	807	73%

(注) 統計対象：パワートレイン種別がBEVと判明しているもののみ。2024年列の矢印：23年対比での販売台数の変化を表す

(出所) マークラインズより丸紅経済研究所作成

・BYDのBEV販売台数は2024年に194万台に達し、首位テスラとの差が大きく縮小。BYDは2008年に著名な投資家であるウォーレン・バフェット氏による投資で知名度が向上、その後2009年以降の政府による補助金や、2019年に導入されたBEVやPHEV、FCVを含む新エネルギー車(NEV)規制(一定比率でのNEV製造・販売を義務付ける制度)などを受け、中国国内での販売台数が大幅に拡大した。

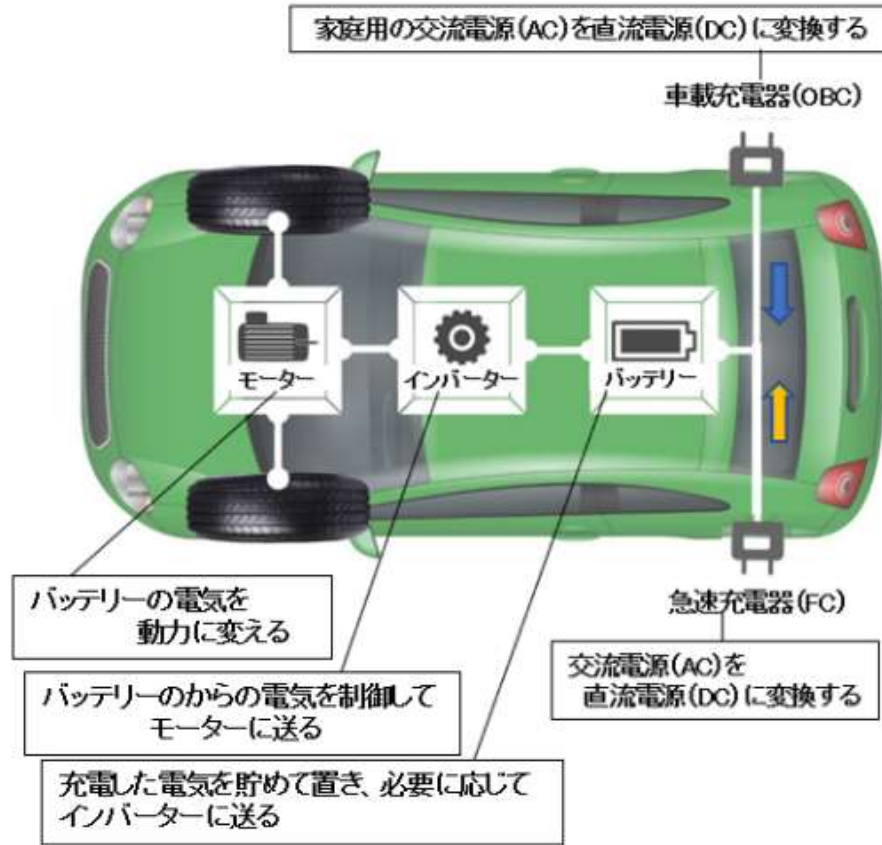
中国電気自動車(EV)メーカー比亞迪(BYD)は、欧州のEV市場を長くリードしてきた米テスラを、同市場の販売台数で初めて追い抜いた。2025年5月22日BRoomBergによれば、コンサルタント会社ジャト・ダイナミクスによると、BYDは4月、前年同月比169%増の7231台のバッテリーEVを新車登録し、販売台数トップ10に入った。テスラは登録台数が49%減少し、順位を落とした。

次世代自動車戦略研究所®

§ 4 BEV

1. BEV(電気自動車)の仕組み

出典: <https://www.rohm.co.jp/blog/-/blog/id/7172223>



これまで主流であったICEV(内燃機関車)に比べ、BEV(電気自動車)は上図の様に仕組み的にはシンプルである。
何より優れた点は、**走行中には二酸化炭素(CO2)を排出しない**ことである。

2. 特徴

車種	BEV (電気自動車)	ICEV (ガソリン車)	PHEV (プラグインハイブリッド)	HEV (ハイブリッド)
利用エネルギー源	電気のみ (モーター)	ガソリンのみ (エンジン)	メイン: 電気 サブ: ガソリン	メイン: ガソリン サブ: 電気
走行中のCO2排出	無し	有り	有り・無し	有り・無し
航続距離	短い	長い	長い	長い
車両価格	高い	(基準)	高い	やや高い
税金	優遇あり	優遇無し	優遇あり	優遇あり

3. 主な問題点と対応

EVの問題点	原因	対応策
車両価格が高い	電池が高い	安い電池を使う
航続距離が短い	車重が重い	軽い車づくり
	電力消費が多い	電力消費を減らす
充電時間が長い	急速充電電圧が低い	充電電圧を上げる
	電池温度温度上昇	充電時電池温度制御
暖房が効かない	熱源が無い	熱管理
音が気になる	雑音が減り、気になる	防音・制振

BEVもかなり一般化したけど、日本ではまだ、販売の主流にはなっておらず、これから増えることは間違いない。ものづくりの側からは、問題点をチャンスと捉えて解決していく必要がある。

§ 4 BEV

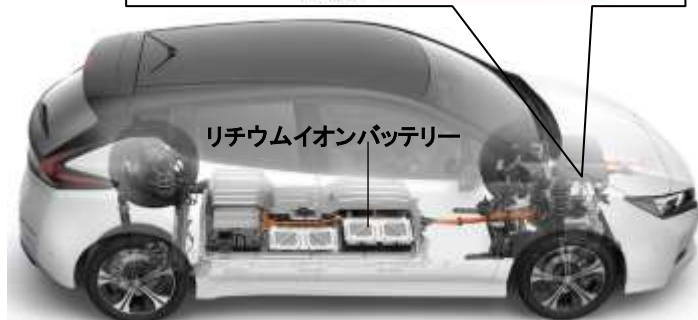
3. BEVの例



車両／仕様	日産 リーフ	日産 サクラ	トヨタ bZ4X	テスラ モデル 3	BYD ATTO 3	IONIQ 5
全長×全幅×全高	4480× 1790× 1540 mm	3395× 1475× 1655 mm	4690× 1860× 1650 mm	4694× 1849× 1443 mm	4455× 1875× 1615 mm	4635× 1890× 1645mm
ホイールベース	2700mm	2495mm	2850mm	2875 mm	2720mm	3000mm
車両重量	1490kg	1070kg	1920kg	1760 kg	1750kg	1870kg
乗車定員	5名	4名	5名	5名	5名	5名
交流電力量消費率 (WLTC)	120Wh/km	124Wh/km	128Wh/km	127 Wh/km	144Wh/km	131Wh/km
一充電走行距離 (WLTC)	WLTC: 322km	180km	559km	565 km	485km	498km
駆動用バッテリーセル種類	リチウムイオン電池 パウチ型	リチウムイオン電池 パウチ型	リチウムイオン電池 箱型	リチウムイオン電池 筒型	リチウムイオン電池 LFP(ブレード)	リチウムイオン電池 ラミネート(パウチ)型
セル(モジュール)数	24(192).	6(96)	96セル	96(4416セル)	8モジュール	
総電圧	350V	350V	355.2V	DC 360V	DC390.4V	523V
バッテリー冷却	自然空冷	エアコン冷媒	水冷	水冷	水冷	水冷
総電力量	40kWh	20kWh	71.40kWh	55kWh	58.56kWh	58kWh
モーター型式名	EM57	MM48	1XM		TZ200XSQ	EM17
モーター種類	永久磁石内蔵三相交流同期	永久磁石内蔵三相交流同期	永久磁石内蔵三相交流同期	AC永久磁石同期	交流同期	永久磁石内蔵交流同期電動機
最高出力 kW(PS) /rpm	110(150)/3283~9795	47(64)/2302~10455	150(203.9)	208 kW	150(204)/5000~8000	125(170) / 3,600~7,400
最大トルク N・m(kgf・m)/rpm	320(32.6)/0~3283	195(19.9)/0~2302	266(27.1)	353 Nm	310(31.6)/0~4620	350(35.7) / 0~3,200
最高回転数	10500rpm					
冷却方式	水冷	水冷	油冷	油冷	油冷	油冷
動力伝達装置最終減速比	8.193	8.153	13.785	9	10.68	5
駆動方式	フロントモーター・前輪駆動	フロントモーター・前輪駆動	フロントモーター・前輪駆動(4WDもあり)	RWD	FWD	RWD
価格(消費税込み)	3,326,400円	2,548,700円	6,000,000円	4,290,000円	4,400,000円	4,790,000円

§ 5 BEVプラットフォーム

1. 日産リーフ



<https://www.webcartop.jp/2018/02/199990>

前輪をモーターで駆動するFF車。

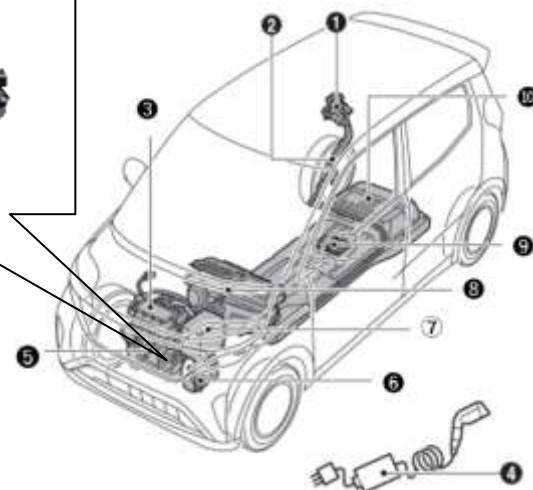
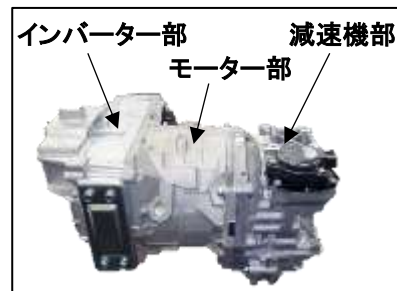
動力用リチウムイオンバッテリーは運転席と後席の床下に吊り下げる形で搭載され車両の重心を下けている。

バッテリーは高電圧ケーブルでPDMとつながる。バッテリーは自然空冷で特別な冷却装置を持たない。

ボデー最前端には充電ポートがあり高電圧ケーブルを通じて充電電力をPDM経由でバッテリーに送る。

現行リーフは、旧型に比べバッテリー容量の拡大で航続距離を大幅に伸ばしたが、車両重量が40kg増えている。航続距離を伸ばすには、バッテリーの容量や数を増やすしかないの分、重くなり、車両価格が高くなる。

2. 日産サクラ



番号	構成部品	説明
①	充電ポート	充電ケーブルの普通/急速接続口
②	高電圧ハーネス	LiBと高圧部品を接続し、高電圧電力を供給
③	PDM (パワーデリバリーモジュール)	・普通充電電力を単相交流から直流に変換・昇圧しLiBを充電 ・LiBの高電圧を降圧して、12Vバッテリーへ供給
④	充電ケーブル&充電コネクタ	・LiB充電時に使用 ・充電ケーブルの充電コネクタを充電ポートに接続
⑤	フロント駆動モーター用インバーター	LiBの電力を直流から三相交流に変換し、モーターを制御
⑥	電動コンプレッサー	モーターは、三相交流の電力を動力(回転力)に変換 高電圧の専用モーターで、エアコンガスを高圧に圧縮
⑦	12Vバッテリー	12Vで作動する電装品に電力を供給
⑧	PTCヒーター	暖房専用ヒーターで、高電圧で空気を加熱
⑨	サービス・プラグ	高電圧回路を機械的に遮断
⑩	LiB	車両を駆動するための電力を蓄え、出力

https://www.nissan-global.com/JP/DOCUMENT/PDF/SAFETY/RESCUE/RESCUE_SAKURA.pdf

インバーター直列一体のモーターで前輪を駆動するFF。床下にリチウムイオンバッテリーを置くのはリーフと共通するが、リチウムイオンバッテリーはエアコン冷媒で冷却する。

次世代自動車戦略研究所®

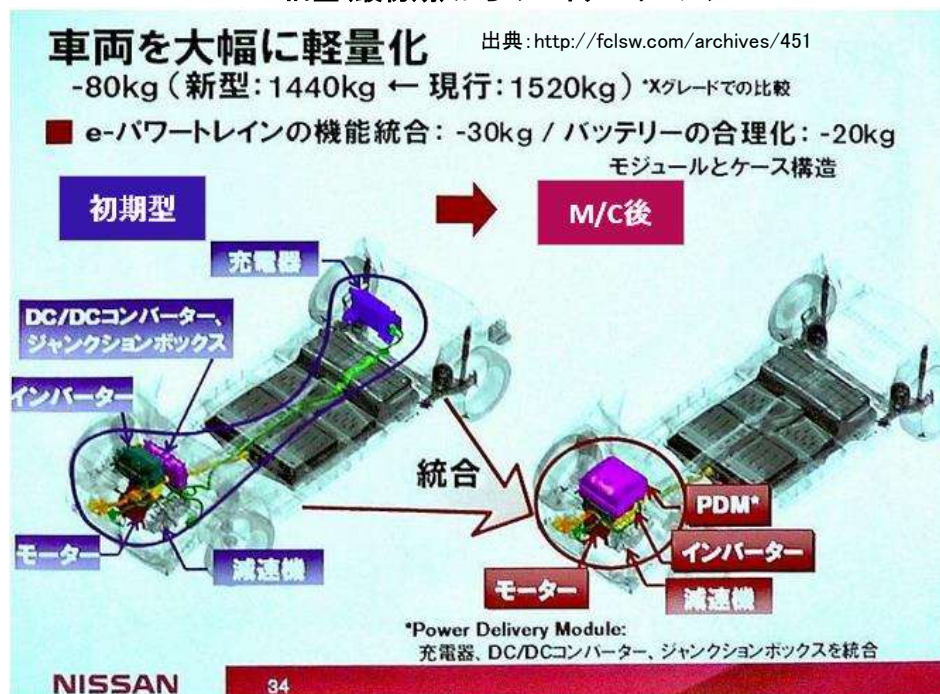
§ 5 BEVプラットフォーム

3. 駆動ユニット統合

1) 日産リーフの例

(1) ユニットの統合

旧型(最初期)からのマイナーチェンジ



初期型では個別に置かれていた充電器、DC-DCコンバーター、ジャンクションボックスをPDMとして統合、インバーターの上に載せた。

(2) 統合ユニット外観

出典: <https://business.nikkei.com/atcl/report/16/020600202/030100009/?P=3>



最初期型では高圧コードでつながれていたPDM/インバーター/モーターは、マイナーチェンジでそれぞれを合わせて一体化され、バスバーで連結して電流のロスを減らすと共に、配線・配管を削減した。新型でも、このPDM・インバーター・モーターの三段積み構成を引き継ぎ、重量物を集中させるとともにスペースを稼いでいる。各段毎のつなぎはシーラントで密封されているので、音や電磁波の漏洩が少なくなっている。ガソリンエンジン車で言えば、3リッター級の出力やトルクを発揮するモーターをコントロールするのがPDM/インバーターである。

モーターも含めたこの電動パワートレインの全体は、1.5リッターガソリン車より小さく、軽量化に貢献すると共に、部品点数の削減も大きい。

次世代自動車戦略研究所®

§ 5 BEVプラットフォーム

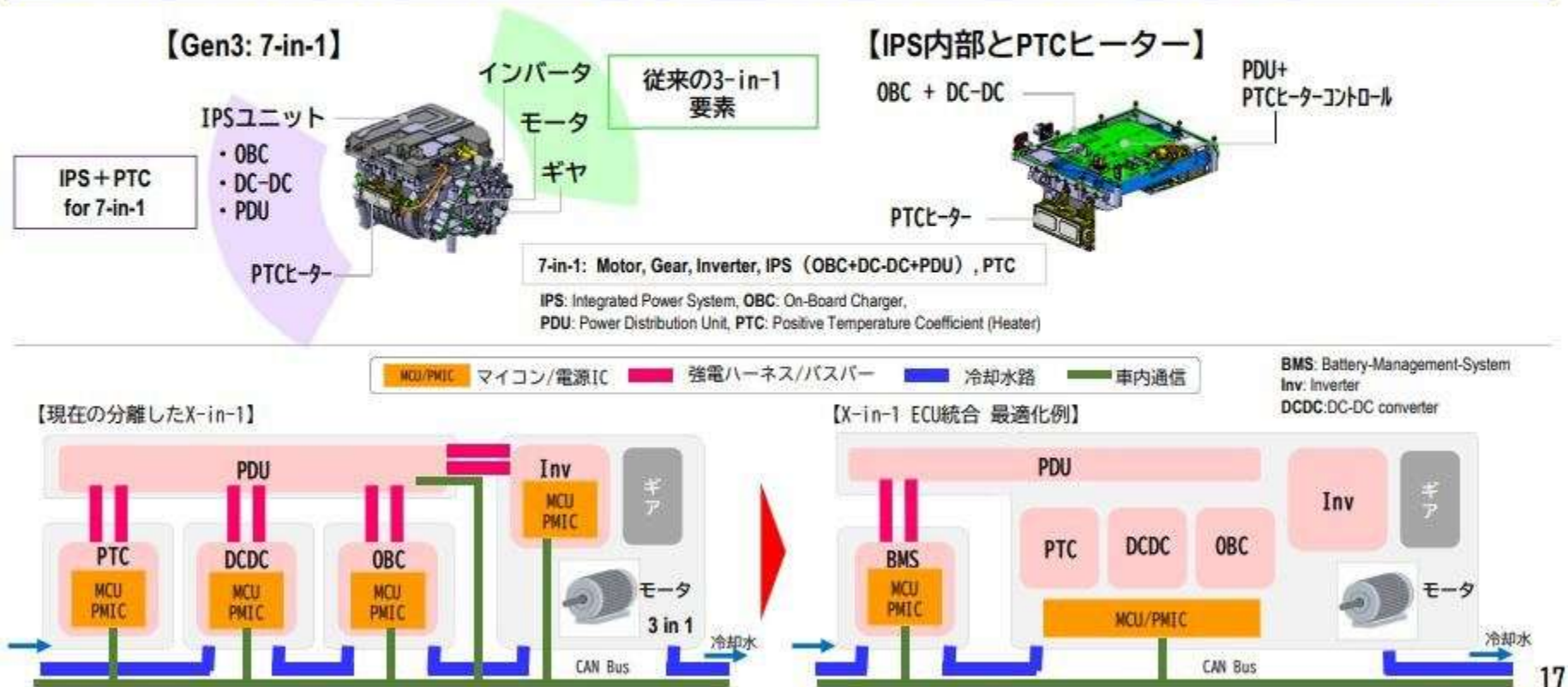
2) Nidec(旧社名は日本電産株式会社)の例

■ 車載 : E-Axleの「X-in-1化」

https://eetimes.itmedia.co.jp/ee/articles/2310/25/news133_2.html#l_sh231024_nidec05.jpg



E-Axle Gen3は、従来の3-in-1に、IPSユニットとPTC-Heaterを組み込んだ「7-in-1」へ

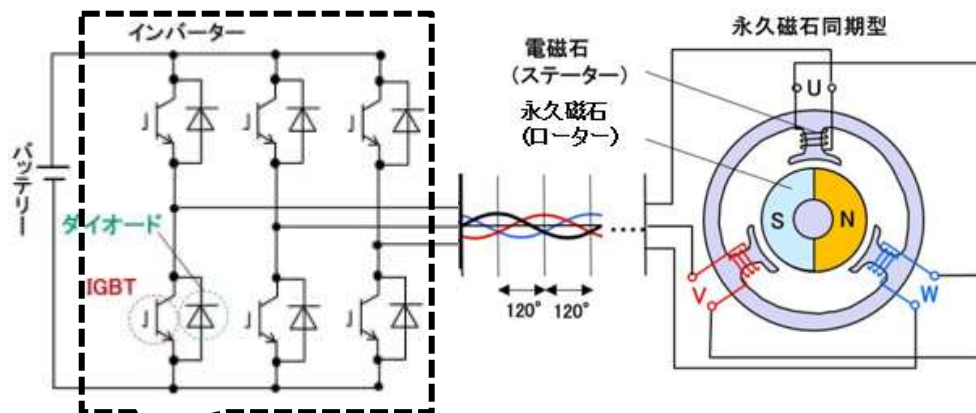


Nidec第3世代Xin1は、2025年3月6日にトヨタと広州汽車集団の合併で中国市場向けに発売されたトヨタ「bZ3X」に、7in1として搭載された。トヨタBZ3Xは最廉価モデルは約220万円(10万9800円)という中国市場で競争力のある価格設定と、大空間で快適な居住性、先進機能を両立し、日本でも反響を呼んでいる。

§ 6 モーター

1. モーターの種類

出典: https://clccc.com/2020/01/06/937691/glossary_electricpart_outline_01/

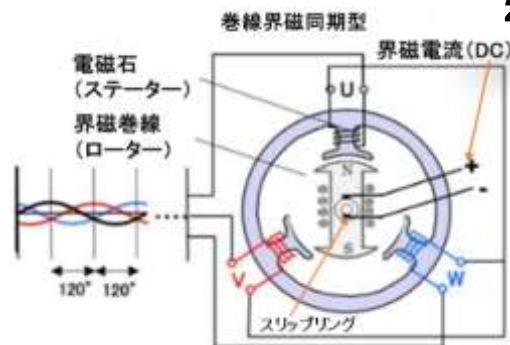


1) 永久磁石同期型

ステーターコイルに生じた回転磁界の磁極と、ローター内の永久磁石の磁極との間で起きる吸引・反発力がローターを回転させる。

ステーターの周波数を速くすれば、ローターの回転は速くなり、ステーターコイルへの電流を強くすれば、ローターの回転トルクが大きくなる。

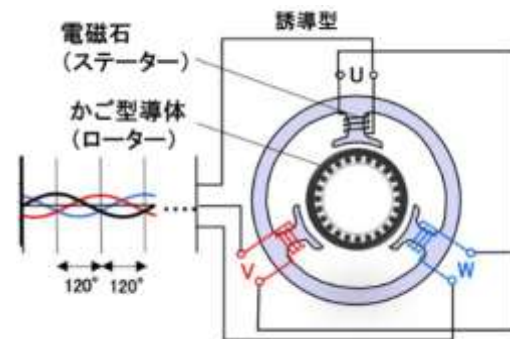
2) 巻線界磁同期型



ステーターコイルに生じた回転磁界の磁極と、ローターの巻線界磁の磁極との間で起きる吸引・反発力がローターを回転させる。ローターの巻線にはスリップリングを介して直流の界磁電流が流れ、これによりローターが磁化されて、永久磁石内蔵型と同様な作用になる。また、ネオジムなどのレアアースの使用もなくすることができる。

ステーターコイルへの電流とともに、ローターの界磁電流の強弱でもモーターの回転制御ができる。

3) 誘導型 (かご型)



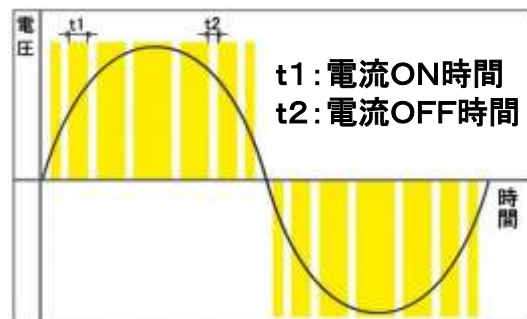
ステーターコイルに生じた回転磁界の磁極と、ローター内のかご型導体に生ずる誘起電力による磁界の相互作用によりローターが回転する。ローターの回転はステーターの回転磁界の回転に遅れる。

磁石を使用しないので、レアアースが不要になる。構造が簡単で高速回転が可能。

<インバーター>

バッテリーの直流電流を、インバーターに内蔵するIGBTにより交流に変換し、モーターのステーターコイルのU・V・W各相に120度の位相差で送電する。

(インバーターの疑似交流)

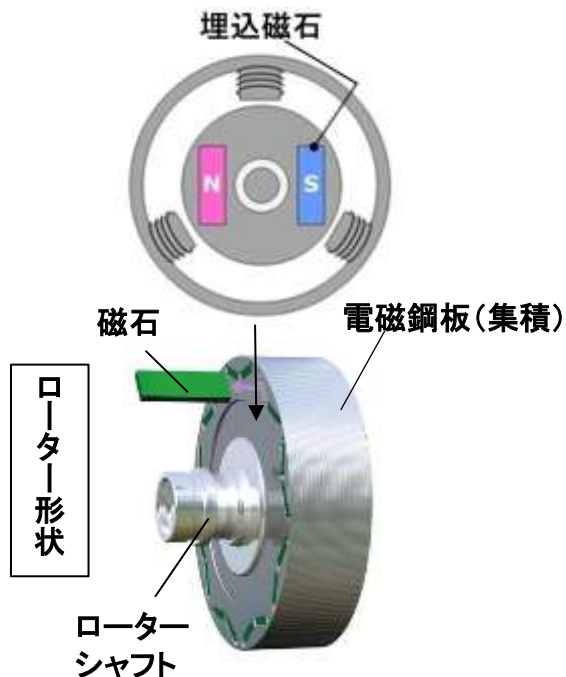


IGBTで、ON/OFF時間と極性(プラス・マイナス)を制御して疑似交流波形を作り出す。

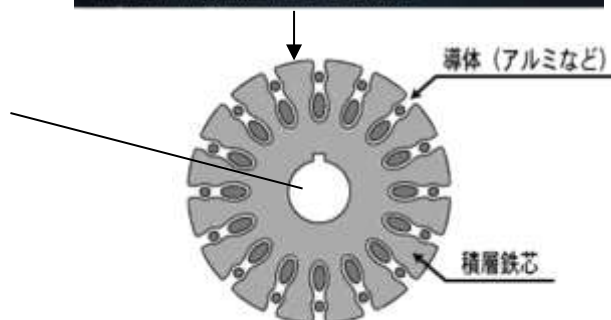
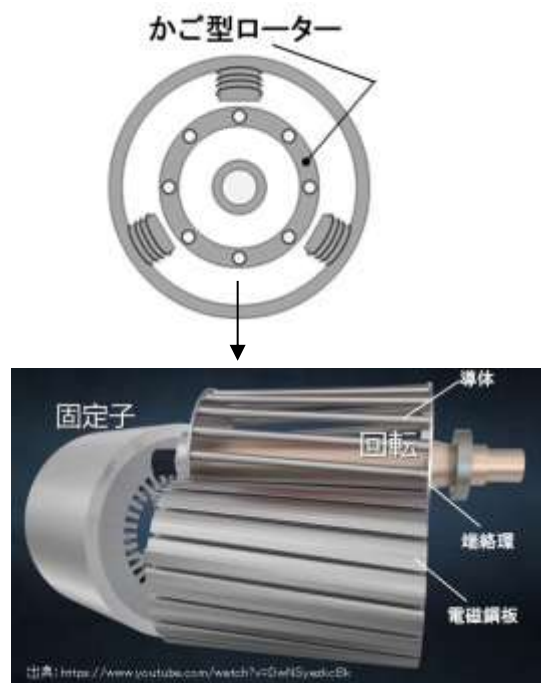
§ 6 モーター

2. ローターの構造 出典: <https://www.renesas.com/jp/ja>

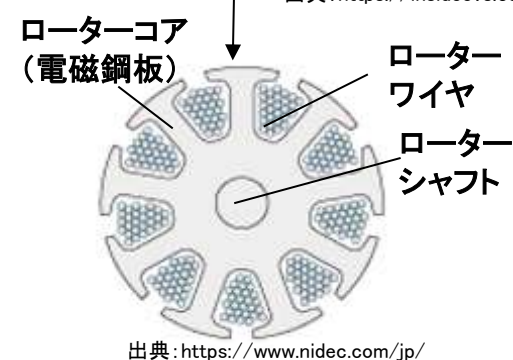
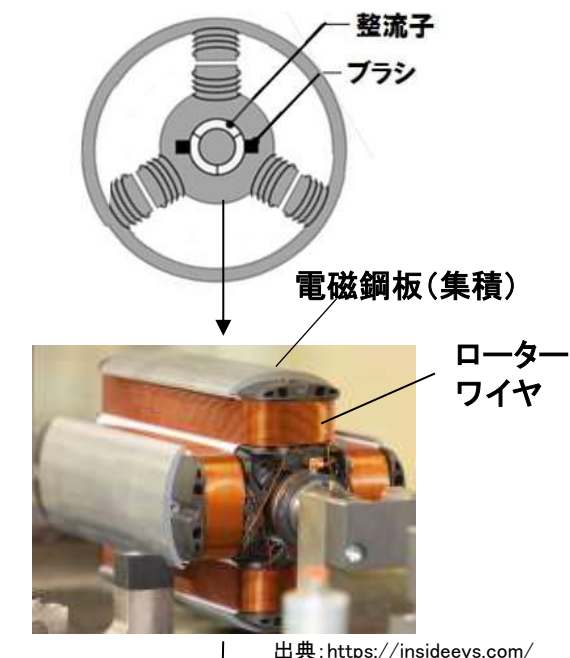
1) 永久磁石同期モーター



2) 三相誘導モーター



3) 巻線界磁型同期モーター



§ 6 モーター

3. エネルギー回生

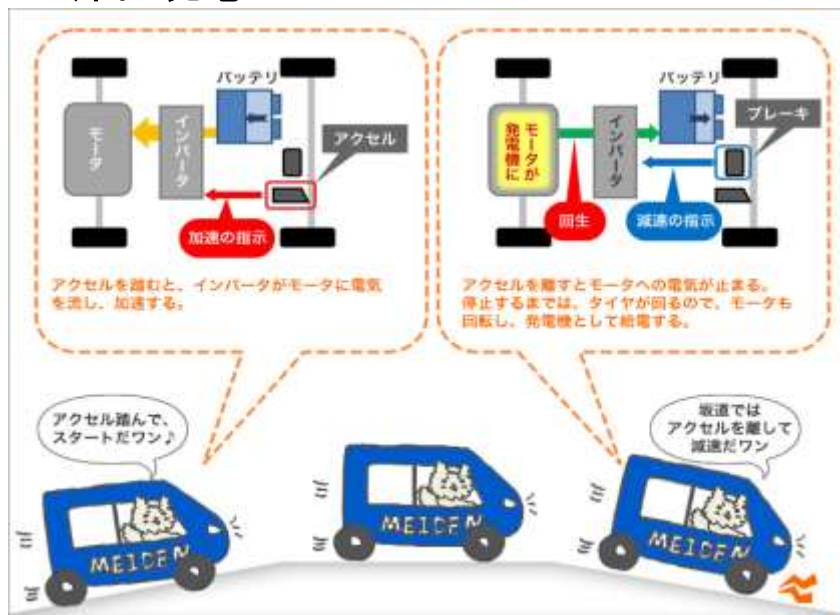
1) 駆動と回生

モータを発電機として駆動させる実験



出典: <https://www.tdk.com/ja/tech-mag/hatena/026>

2) 回生充電

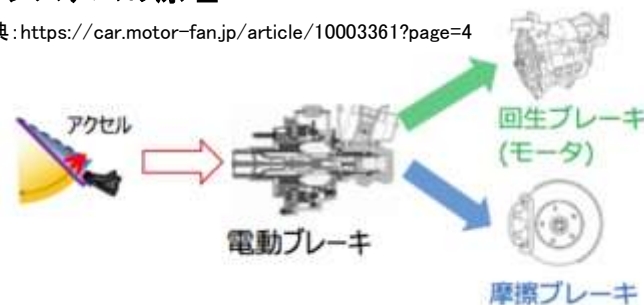


出典: https://www.meidensha.co.jp/knowledge/know_03/enote/no7/index.html

3) 回生ブレーキ(日産:e-PEDAL)

(1) システムの原理

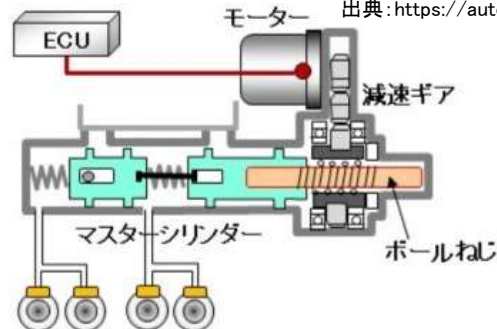
出典: <https://car.motor-fan.jp/article/10003361?page=4>



回生発電によるモーターの回転抵抗をブレーキ力として活用する。ドライバーはアクセルペダルを離すだけで車両は減速する。

(2) 電動ブレーキユニットの特徴

出典: <https://autos.goo.ne.jp/column/881925/>



モーターの回転を減速ギヤ(ボールナット)の回転に変え、ボールねじを突き出してマスターシリンダーを押す。

(3) 回生ブレーキと摩擦ブレーキの協調

出典: <https://car.motor-fan.jp/article/10003361?page=4>

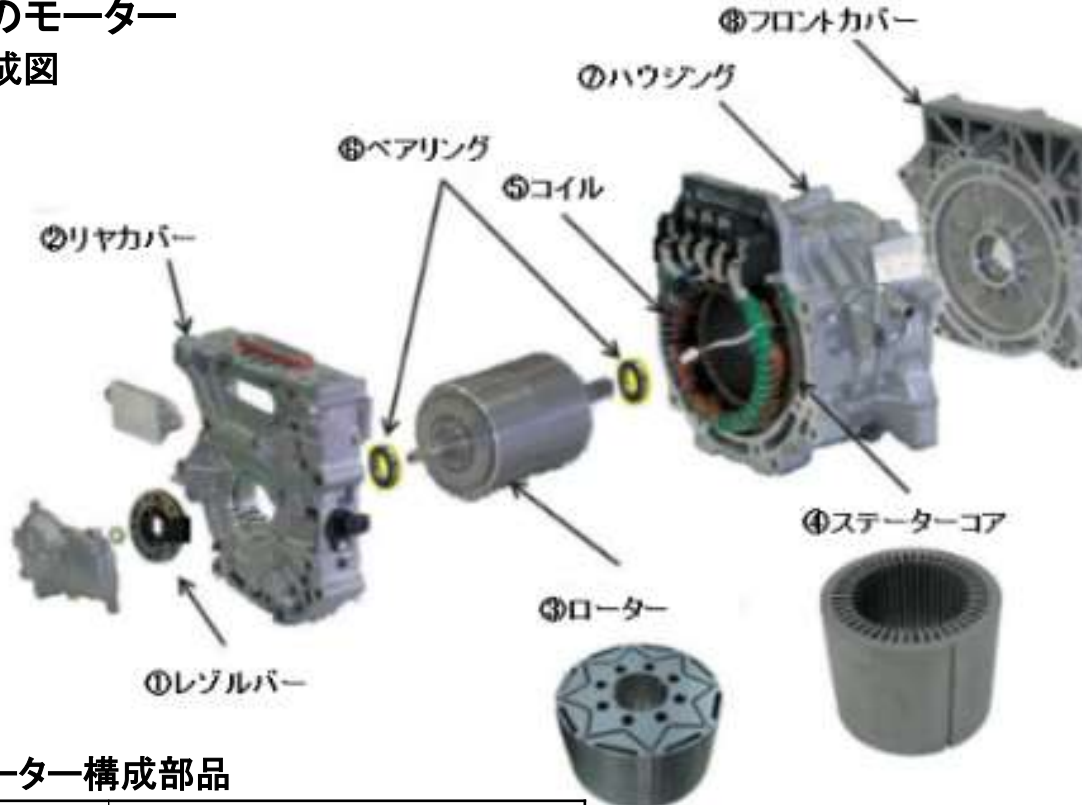


回生は応答が早いので、アクセルペダルを離せばすぐに減速する。減速度は切替可能。最後の停止と、その持続は摩擦ブレーキ。

§ 6 モーター

4. リーフのモーター

1) 構成図



2) モーター構成部品

部品名	機能
①レゾルバー	ローターの回転位置検出
②リヤカバー	インバーターからの電力受入れ口
③ローター	電磁鋼板の集積で磁石を内蔵する
④スターターコア	電磁鋼板集積。スターターコイルを保持
⑤スターター(コイル)	コイルへの通電により、電磁石化
⑥ベアリング	ローターの回転軸を保持
⑦ハウジング	アルミ鑄造。内蔵水路により水冷
⑧フロントカバー	減速機側のカバー

https://www.nissan-global.com/JP/TECHNICALREVIEW/pdf/NISSAN_TECHINICAL_REVIEW_82.pdf

部品サプライヤー

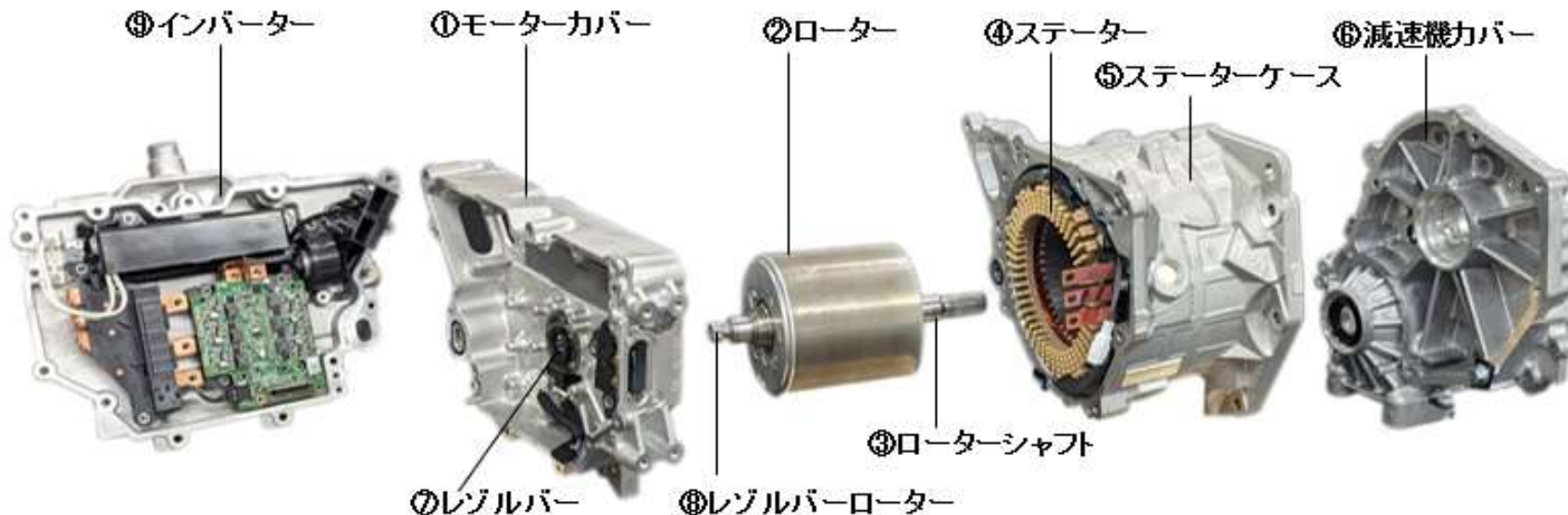
出典: <https://automotive.ten-navi.com/article/31281/>

部品	メーカー	製造国	備考
駆動モーター	日産内製	日本	重量は15.3kg(ベアリング含む)。
ベアリング	NSK(日本精工)		両端ともにNSK製で同じ仕様を採用(型番号が一致)。重量は192g。厚さは15.98mm、内径30mm。
レゾルバー	ミネベアミツミ	タイ	関係者からのヒアリング等より。
水温センサー	パナソニック		

§ 6 モーター

5. サクラのモーター

1) 構成図



2) モーター構成部品

部品名	機能
①モーターカバー	アルミ casting. インバーターカバーも兼ねる
②ローター	電磁鋼板の集積で磁石を内蔵する
③ローターシャフト	ローターの回転中心。鋼製中実品
④ステーター	電磁鋼板集積。ステーターコイルを保持
⑤ステーターケース	アルミ casting. ステーターを保持
⑥減速機カバー	アルミ casting. モーターカバーと兼用
⑦レゾルバー	ローターの回転角度・速度計測
⑧レゾルバーローター	ローターシャフトと一体し回転角検出
⑨インバーター	モーターと三相交流をやり取りする

部品サプライヤー

部品	メーカー	製造国	備考
駆動モーター	明電舎	日本	重量は37.5kg
ベアリング	KOYO製	日本	単列深溝玉軸受・密封型
レゾルバー	多摩川精機	日本	
水温センサー	Panasonic	日本	

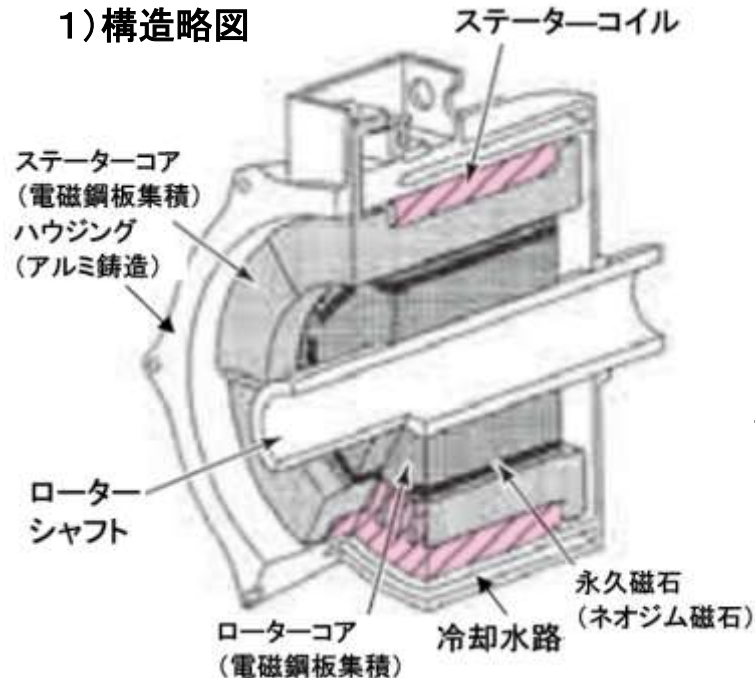
レゾルバーをローターの延長線上においてユニットの全高を低くしている。各ケースはアルミ casting 品で軽量化と放熱性を向上。配線をバスバー結合にしてシンプルでコンパクト化している。

§ 6 モーター

6. モーター断面

1) 構造略図

出典：日産資料より

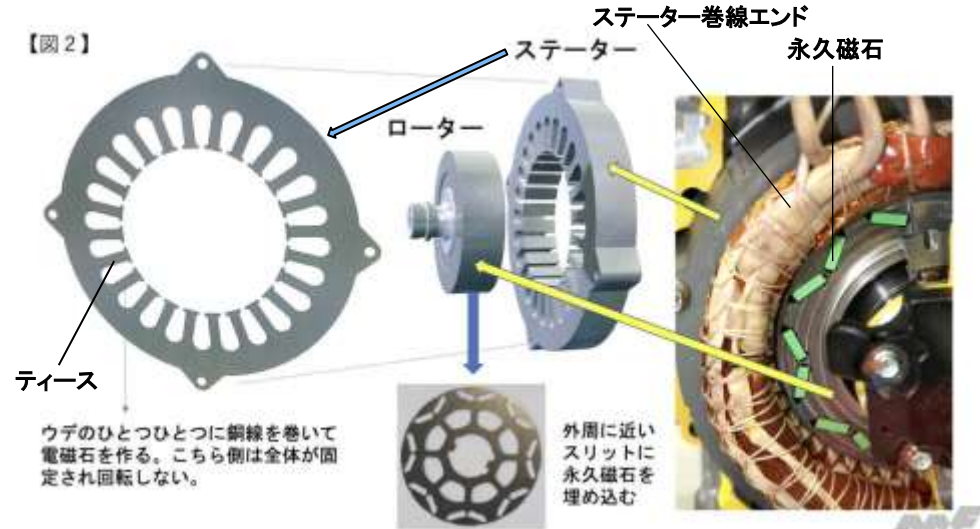


部品サプライヤー

部品	メーカー	製造国	備考
電磁鋼板	JFEスチール(株)、日本製鐵(株)他	日本	モーター用は無方向性電磁鋼板
ネオジム磁石	(株)三徳、マグテック他	日本	希土類磁石(レアアース磁石)
ネオジム磁石固定剤	(株)住友ベークライト、セメダイン(株)他	日本	エポキシ樹脂
モーターハウジング	(株)日立金属、(株)吉田工業他	日本	アルミ casting
ステーター巻線	(株)KMD、(株)石田製作所他	日本	自動巻線機等
ステーターコア	(株)ユタカ技研、(株)イワビシ他	日本	電磁鋼板積層
ステーター線材	浦谷エンジニアリング(株)、(株)大和電機他	日本	丸線コイル、角線折り曲げ
ローターシャフト	(株)JST、(株)都筑製作所他	日本	熱間鍛造、円筒研削、摩擦圧接接合
導線	(株)古川電工、(株)日立金属、(株)昭和電線ケーブルシステム(株)他	日本	丸銅線、アルミ線、角線

2) 電磁鋼板

出典：<https://motor-fan.jp/mf/article/19453/makino-b/>



電磁鋼板は磁力線の透過を助け、モーターの性能向上に欠かせない。ステーター用はステーターコイルを收容するため、ローター用は永久磁石を收容するためのスリットがそれぞれ設けられる。鉄損を抑えるため、厚さは0.5～0.3mm程度で、数百枚が集積される。

<鉄損>

「ヒステリシス損」

：鉄心の磁区が交番磁界によって磁界の向きを変えるときに発生する摩擦によるエネルギー損失。

「渦電流損」

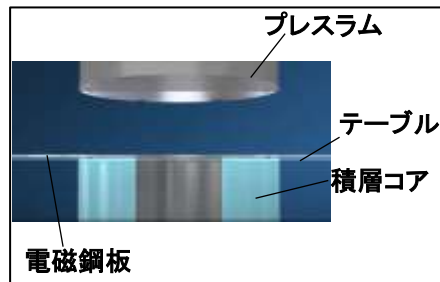
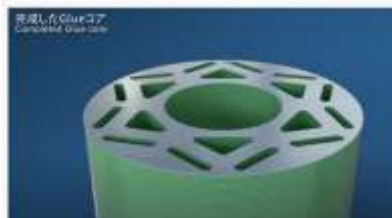
：磁場の向きを変えたときに、磁化の変化を妨げるように鋼板内に発生する渦電流による損失で、ジュール熱となり外部に発散する。

次世代自動車戦略研究所®

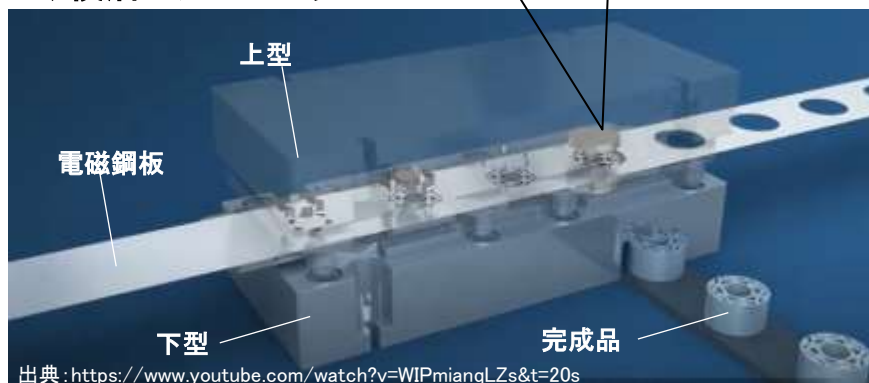
§ 6 モーター

7. ローターコア積層工程(例)紹介(FASTEC®システム) 黒田精工株式会社 企業サイト <http://www.kuroda-precision.co.jp/>

1) 積層コア

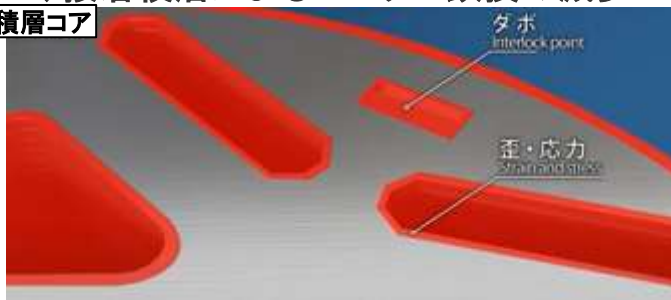


2) 積層コアプレスライン



7) 接着積層によるモーター鉄損の減少

ダボ積層コア

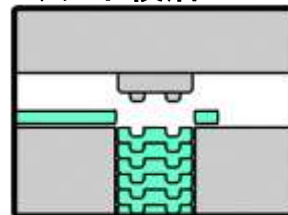


ダボにより電磁鋼板に歪や応力発生するが、ダボを無くして接着にすれば、ヒステリシス損が減る。



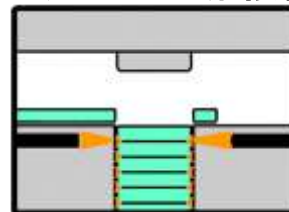
鋼板が切り離されるので渦電流損が減る

4) ダボ積層



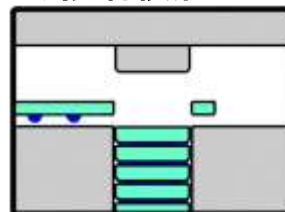
薄い鋼板にヘコミとダボを成形し、それを押し込むことで上下の薄板を固着(かしめ)しながら積層していく工法です。

5) レーザー溶接積層



薄板の積層固着にYAGレーザーを採用したことにより、製品形状の制約を受けにくく、従来困難とされていた小形薄板積層品を安定した強度と品質で量産化することができます。

6) 接着積層



薄板の積層固着に接着剤を使用することにより、絶縁状態を保ちながら金型内での自動積層を可能にした画期的なシステムです。

$$\text{鉄損} = \text{ヒステリシス損} + \text{渦電流損}$$

モーターには銅損と鉄損がある。
銅損はコイルの銅による発熱による。
鉄損はヒステリシス損(磁化の時の発熱)と渦電流損(鋼板に生じる渦電流による発熱)の二つがある。

次世代自動車戦略研究所®

§ 6 モーター

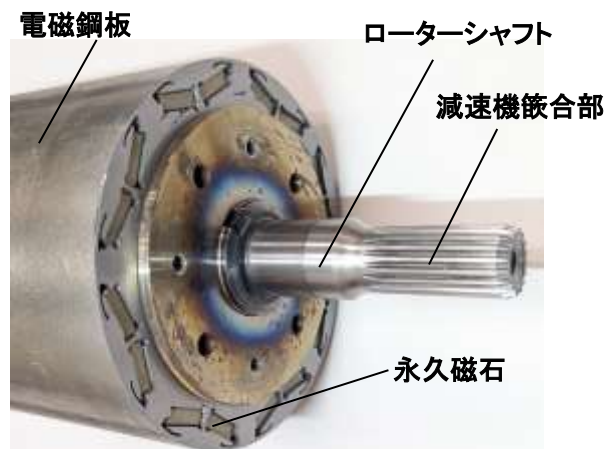
8. ローター(リーフ/サクラ)

1) ローター外形(寸法はサクラ用)



ローターシャフトは中実で、ローラーベアリングで回転を支えている。ローターコアは数百枚の電磁鋼板が集積されている。電磁鋼板は低鉄損化を狙って0.3mm厚さを選定した。

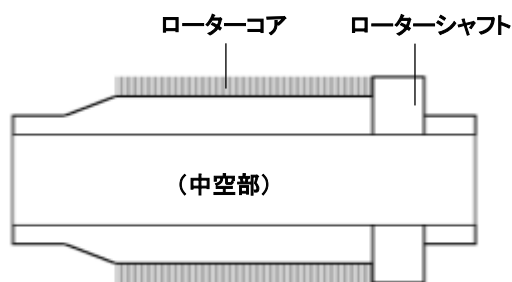
2) ローター内蔵磁石



電磁鋼板には永久磁石が内蔵されている。磁石の配置位置や形状が性能に影響するため、各社/各車で異なる。

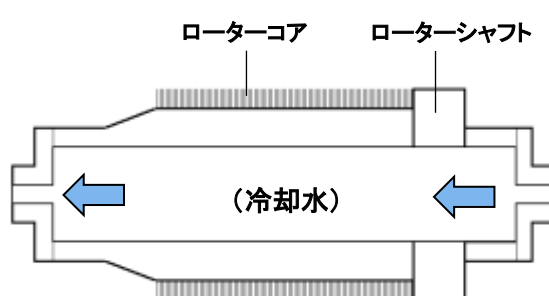
(参考) 中空ローターシャフトの形状と機能

(1) 中空タイプ



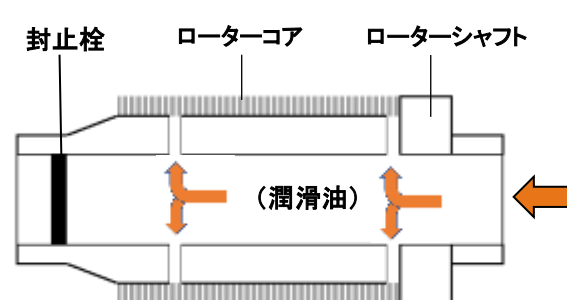
中空部がシャフト全長にあり軽量化が実現される。この中空部に駆動シャフトが通るタイプもある。

(2) 水冷タイプ



中空部に出入り口を設け、冷却水を通してローターを内部から冷却する。テスラ、アウディなどにあり。

(3) 油冷タイプ

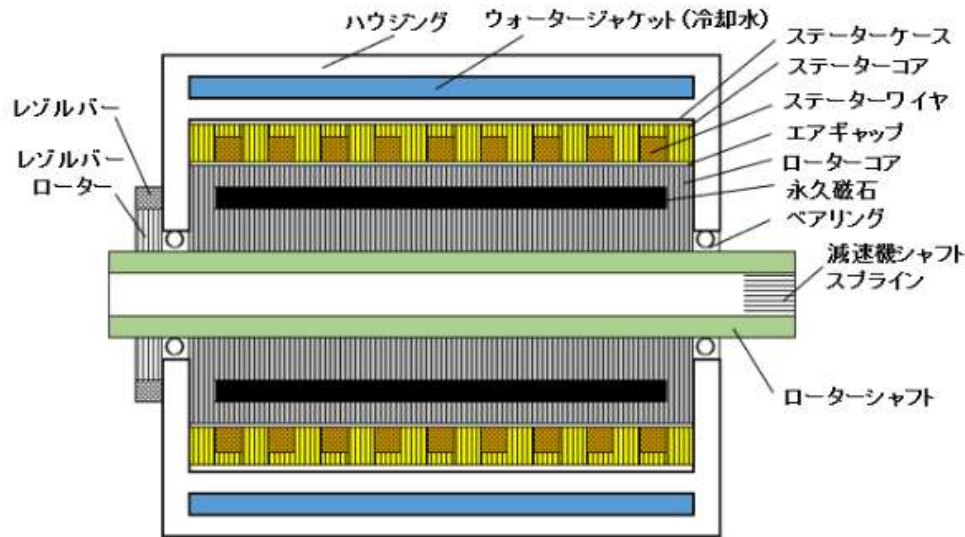


中空部に潤滑油を注入し、シャフトに設けた油孔からローターコアへ油を通して冷却する。テスラ、Nidecなどにあり。

§ 6 モーター

9. ローターシャフト

1) モーター断面図(磁石内蔵型ローター)



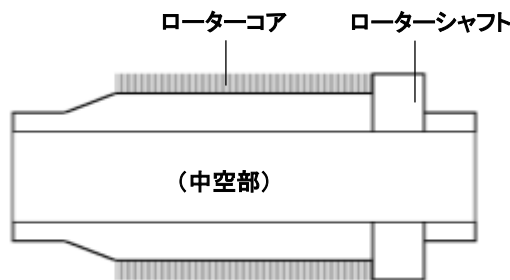
2) ローターシャフトの比較

形状	中実型	中空型
特徴	・素材形状が活かせコストが抑えられる ・高精度加工によりエアギャップを狭められる ・慣性重量が大きいいため振動軽減ができる	・中実シャフトに比べ圧倒的な軽量化が可能 ・軸が空洞化されているため、冷却液を流すことが可能 ・慣性力を抑えられるため、モーターの起動や停止が容易になる ・内径形状加工も可能
外観		

出典: <https://www.tsuzuki-mfg.co.jp/solution/2021/10/ev.php>

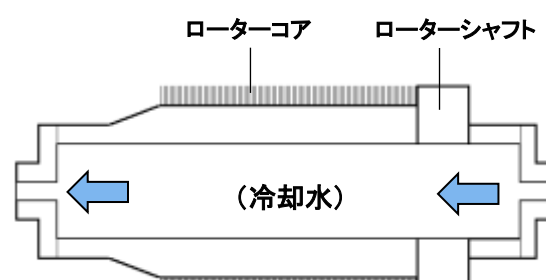
3) 中空ローターシャフトの形状と機能

(1) 中空タイプ



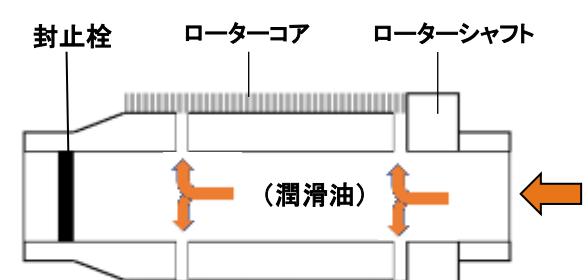
中空部がシャフト全長にあり、軽量化が実現される。この中空部に、駆動シャフトが通るタイプもある。

(2) 水冷タイプ



中空部に入出力口を設け、冷却水を通してローターを内部から冷却する。テスラ、アウディなどにあり。

(3) 油冷タイプ



中空部に潤滑油を注入し、シャフトに設けた油孔からローターコアへ油を通して冷却する。テスラ、Nidec(旧: 国産電機)などにあり。

次世代自動車戦略研究所®

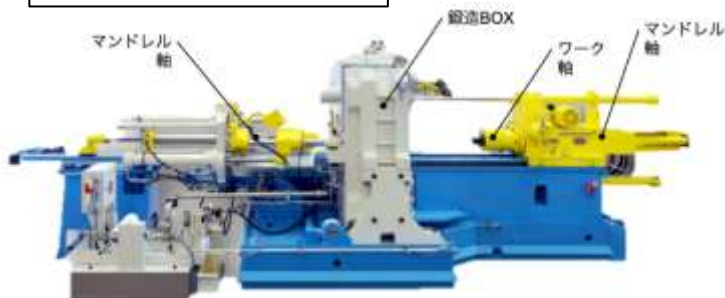
§ 6 モーター

4) 中空シャフト製造方法(例)

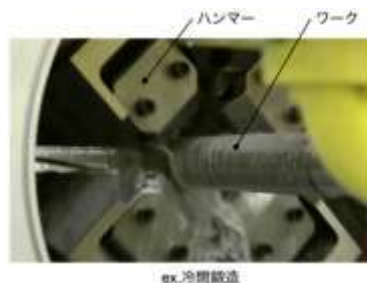
(1) ラジアルフォーミング(株式会社都築製作所) (出典: <https://www.tsuzuki-mfg.co.jp/solution/radialforging/>)

ラジアルフォーミングはハンマー(金型)によって中空シャフト・中空軸の径方向から力をかけ塑性させる加工方法の鍛造機です。中空シャフト・中空軸に芯金を挿入し内径形状を転写させることで、内外径同時に成形することができます。

ラジアルフォーミング鍛造機



加工部

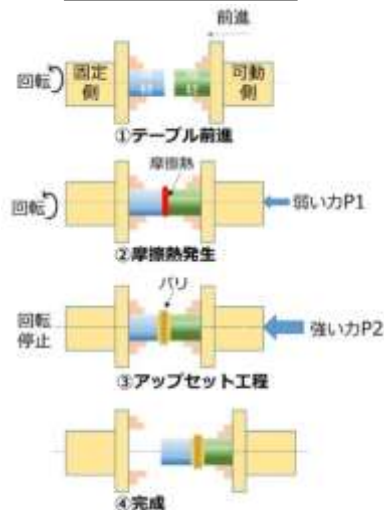


製品例



(2) 摩擦圧接技術による中空シャフト製造(株式会社JST(旧: 株式会社秋山製作所)) (出典: <https://www.jstco.jp/>)

摩擦圧接の工程



製品例



全面で接合するため高強度。母材の高温化が避けられ、ひずみが生じにくい。人力での溶接による品質のばらつき、欠陥の発生に繋がる問題が回避できる。

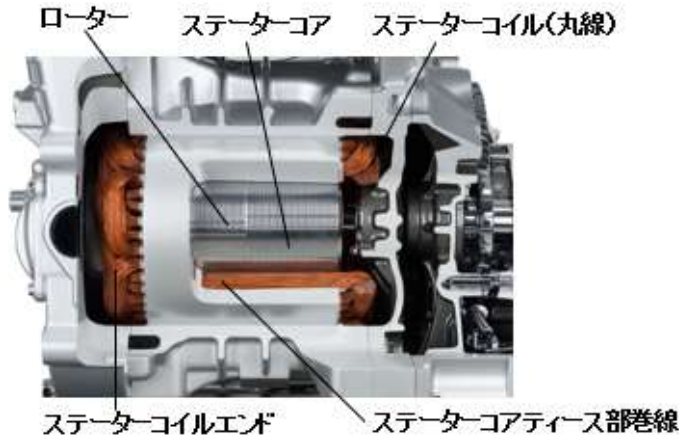
次世代自動車戦略研究所®

§ 6 モーター

10. ステーター

1) ステーターコイル

(1) リーフ



(2) サクラ



ステーターコイルはステーターコアティースに巻かれ、交流電流によりステーターコアを電磁化する。この電流量で出力が決まるので、できるだけ多くの電流を流すことが要求される。

(3) ステーターコイル線の比較

Table 1 Comparison between conventional and proposed structures

	Conventional structure Stator with concentric round winding (Type1)	Proposed structure Stator with lap square winding (Type2)
Coil-end		Height of coil end (A+B)
Structure of stator	 Type1 Round wire Core teeth	 Type2 Square wire Core teeth
Wire	Round wire	Square wire
Height of coil end	58 mm	36 mm or less (Target value)
Slot-fill rate	64%	75% (Target value)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/pscjspe/2011S/0/2011S_0_911/_pdf/-char/ja

リーフは上図左の丸線、サクラは右の角線。

角線は、ステーターコアのティースにコイルを嵌めたときの占積率が大きく電流量を大きくできる。

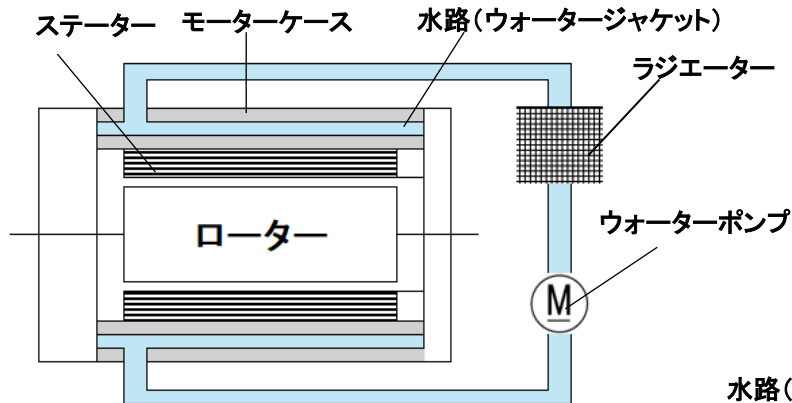
またステーターコアからのコイルのはみだし量(コイルエンド高さ)を低くでき、コンパクトになる。

次世代自動車戦略研究所®

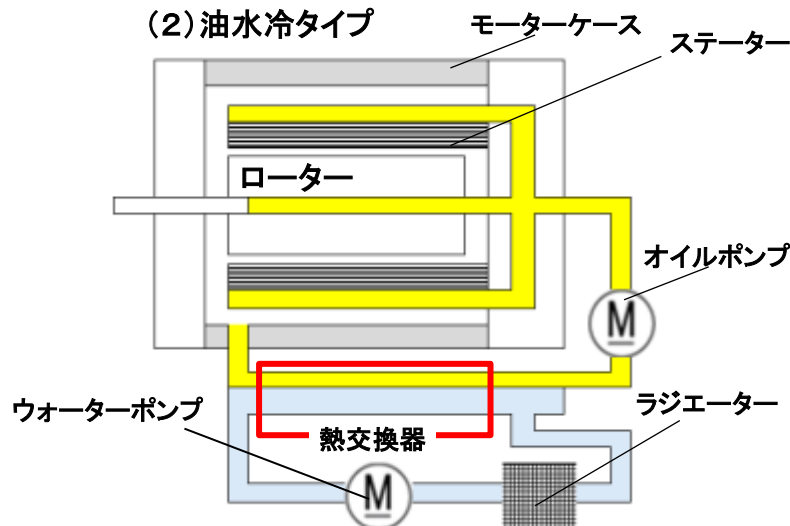
§ 6 モーター

2) ステーターの冷却

(1) 水冷タイプ

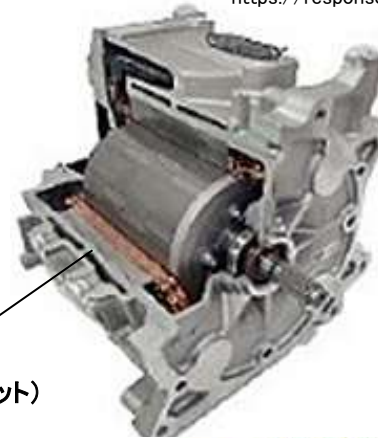


(2) 油水冷タイプ



マツダMX-30EV

<https://response.jp/article/2021/06/01/346327.html>



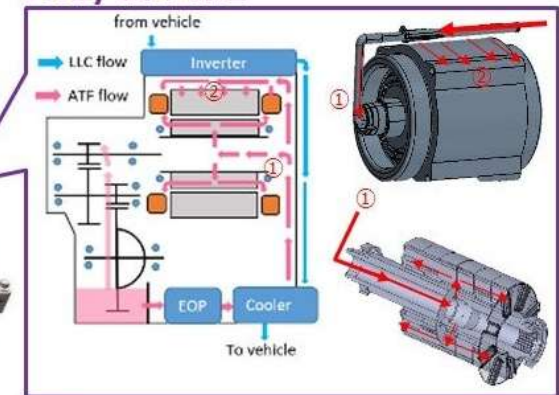
マツダ初のBEVとして201年に発売されたが、2023月で販売終了した。航続距離が短く、価格も高めだったため、販売が伸び悩んだ。

水路(ウォータージャケット)

Nidec E-Axle



2way 油冷構造



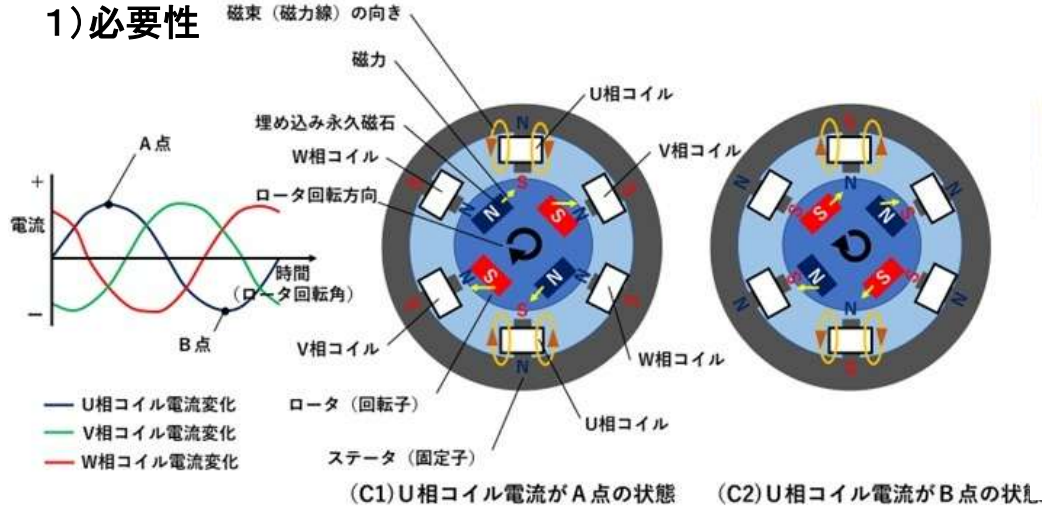
https://www.nidec.com/jp/technology/new_field/e-axle/

水冷タイプが標準的だが、熱管理(サーマルマネジメント)が進む中で油水冷タイプが増加し、TESLAやトヨタも採用。モーターケースに水路(ウォータージャケット)がない分コンパクト化・軽量化につなげやすい。

§ 6 モーター

11. ローター回転角計測

1) 必要性



永久磁石の位置に合わせてステータに適正な電流(正負・強弱)を流し、モーターを回転させる。

(2) 電磁誘導式(レゾルバー)



<https://monoist.itmedia.co.jp/>

回転角度を二相の交流電圧(アナログ信号)として出力する角度センサー。

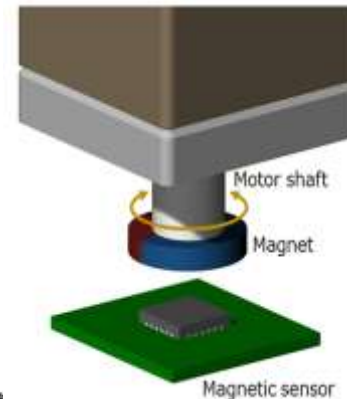
鉄心とコイルのみで構成されているため、他のセンサーに比べ構造的に高い耐環境性を持っている。

励磁側巻線を交流電圧で励磁すると、出力側巻線に交流の出力電圧が誘導され、この出力電圧は回転角によって変化するため、その電圧を読取ることで角度を知ることができる。

2) 回転角センサーの種類

(1) 磁気式エンコーダー

<https://www.akm.com/jp/ja/products/rotation-angle-sensor/>



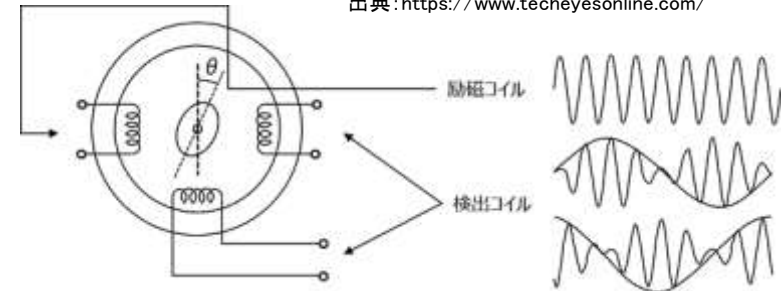
磁気式エンコーダーは永久磁石と磁気センサーで構成。

回転位置情報を磁界の変化として検出し、電気信号に変換して出力。

永久磁石はモーター軸などのモーター軸に取り付けられた永久磁石が回転すると磁気センサーが検知する磁界の向きが変化するのでモーター軸の回転位置・回転速度がわかる。

レゾルバーの原理

出典: <https://www.techeyesonline.com/>



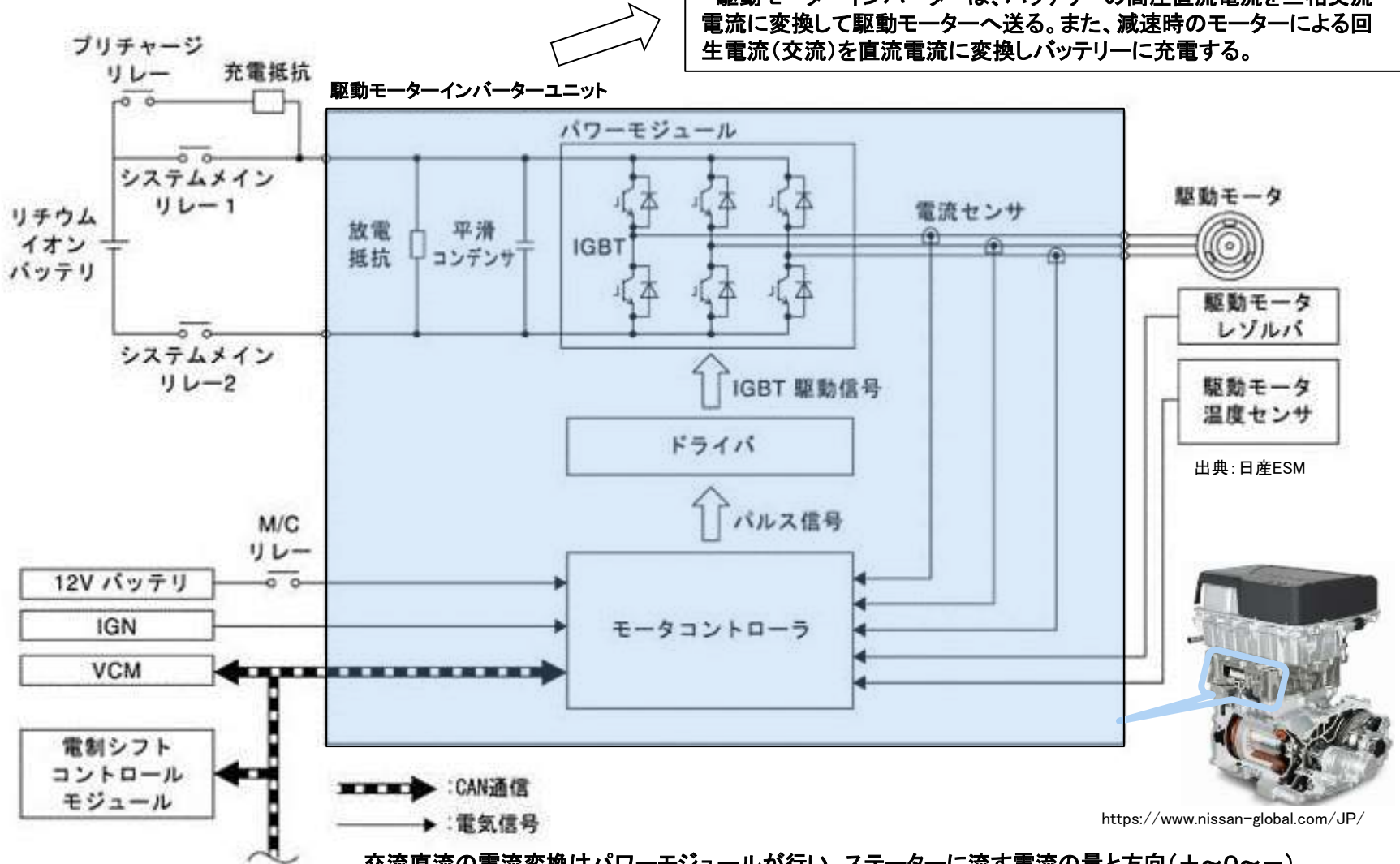
一次側に正弦波信号を入力して、二次側の2つの検出コイルからの出力が、回転角に対して正弦波状に振幅の変化は90度位相がずれるようにコイルが配置されている。

レゾルバから出力される信号は角度検出回路に入力されて、角度信号を得る仕組みになっている。

次世代自動車戦略研究所®

§ 7 インバーター

1. インバーターの機能:リーフの例



交流直流の電流変換はパワーモジュールが行い、ステーターに流す電流の量と方向(+～0～-)はモーターコントローラからの指令による。モーターコントローラは駆動モーターレゾルバーの信号でローターの磁石位置に合わせて電流を送る。

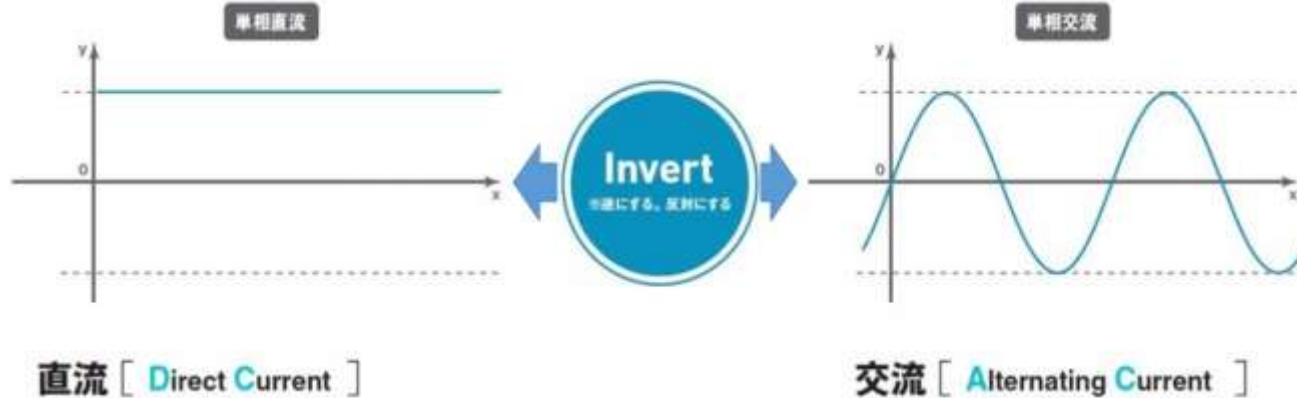
次世代自動車戦略研究所®

§ 7 インバーター

2. インバーター パワーモジュールの基本的作動

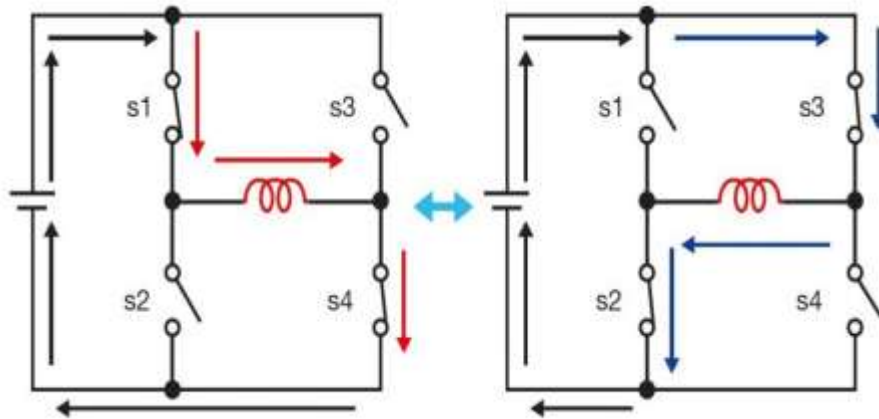
<https://motor-fan.jp/tech/10000926>より

1) 電流の変換



インバーターは走行用高電圧バッテリーとモーターの間にあり、駆動用電力のモーターへの供給と、モーターからの回生電力のバッテリーへの供給を行なう。
このため直流と交流の変換を行なう。

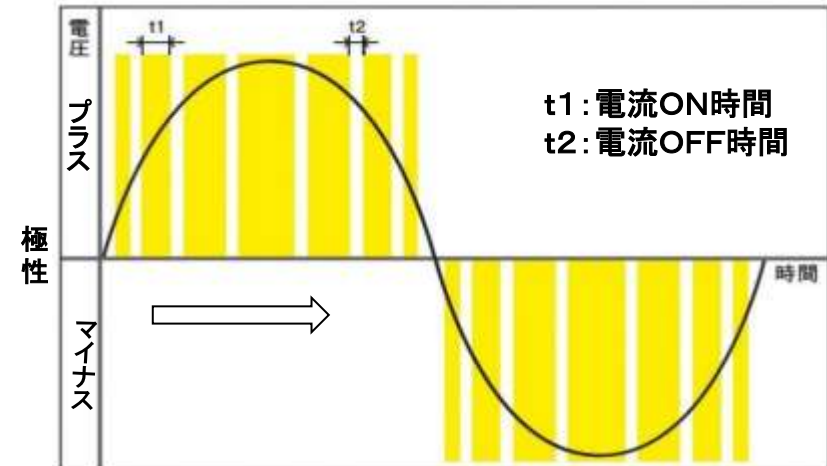
2) インバーターの基本回路



インバーターを構成する最も基本的な回路。

左右の図を比較すると、対角に配置するスイッチ(S1とS4、S3とS2)をON/OFFにする2通りのパターンにより、中央のコイルに流れる電流の向きが変わることがわかる。

3) 擬似交流波形



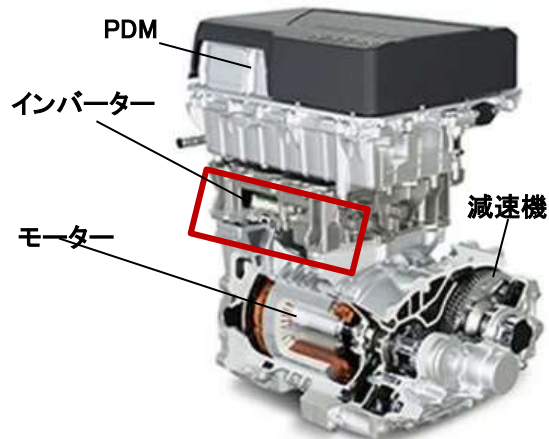
基本回路を内蔵したIGBTで、直流電流の流す時間・流さない時間と極性(プラス・マイナス)を制御して擬似交流波形を作り出す。

§ 7 インバーター

3. 実車インバーター

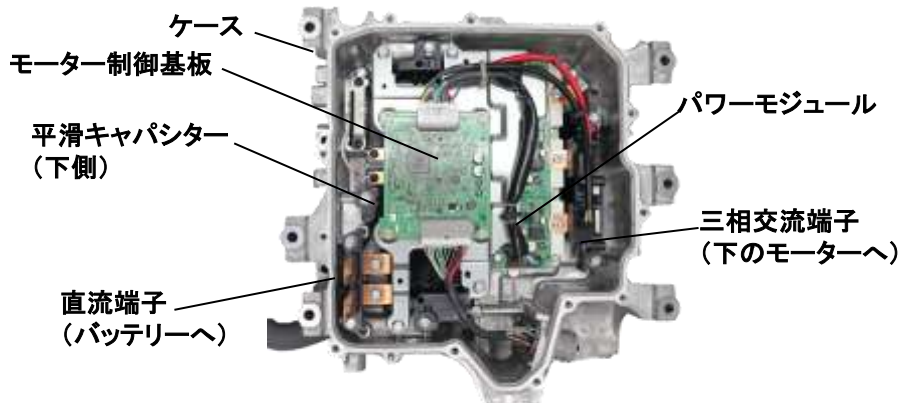
1) リーフ

(1) インバーター配置



リーフのインバーターは、モーターの上でPDMとともに一体化されて各機能の連携を効率化している。

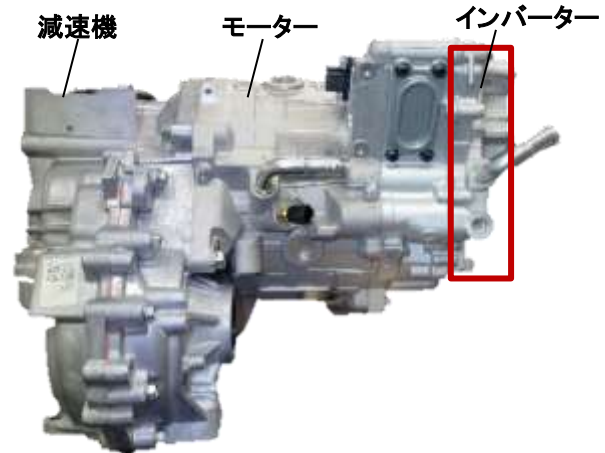
(2) インバーター内部の配置



ケースはアルミ鋳物だが、形状が大きく構成も複雑になっている。

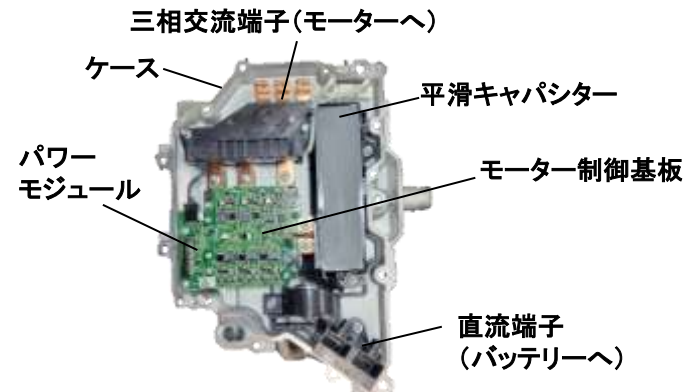
2. サクラ

(1) インバーター配置



サクラのインバーターは、ローター回転軸と同軸上に配置され、パワーユニットの高さを低めている。

(2) インバーター内部の配置

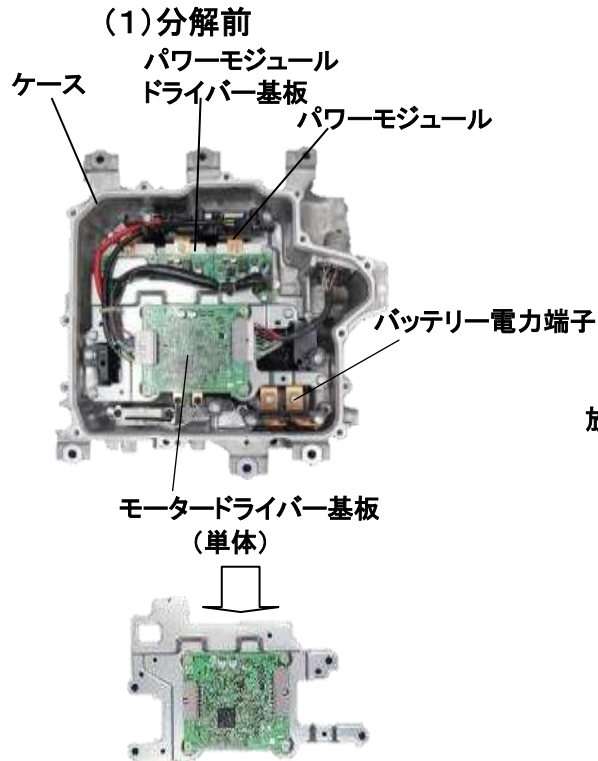


ケースはアルミ鋳物で、軽量化と放熱性を意図している。

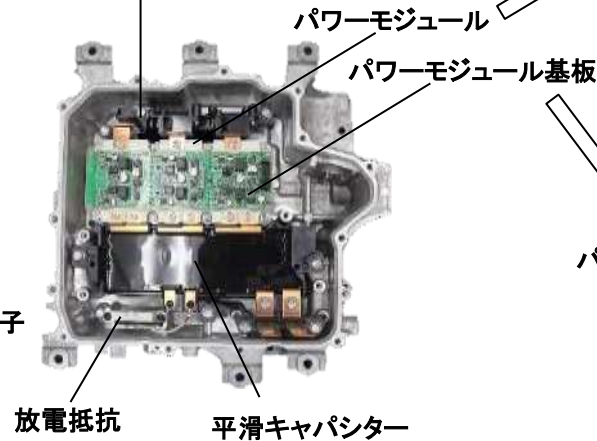
§ 7 インバーター

4. 部品詳細

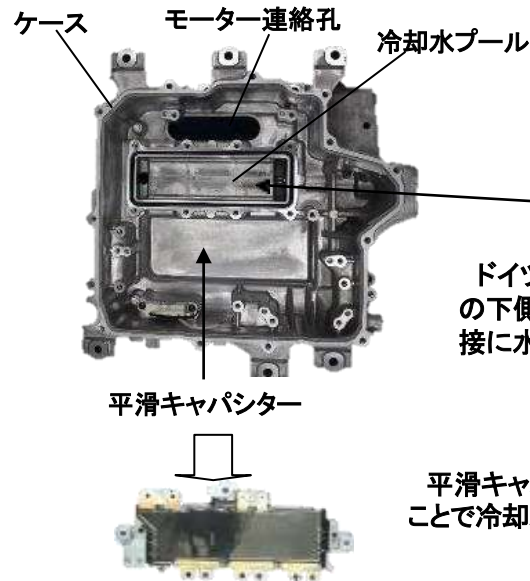
1) リーフ



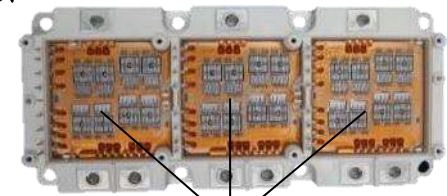
(2) モータードライバー基板無し 電流センサー



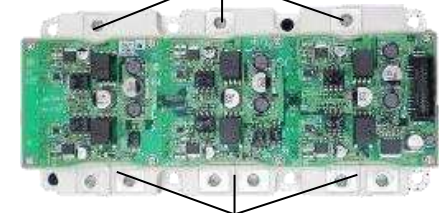
(3) 全部品取り外し後



パワーモジュール(拡大)



パワーモジュール+基板ユニット(拡大・平面視) モーター接続(交流)



パワーモジュール+基板ユニット(拡大・側面視)



ドイツInfineon製のパワーモジュールはIGBTケースの下側に冷却ピンが伸びていて、冷却水プールで直接に水に触れて熱を放散する。

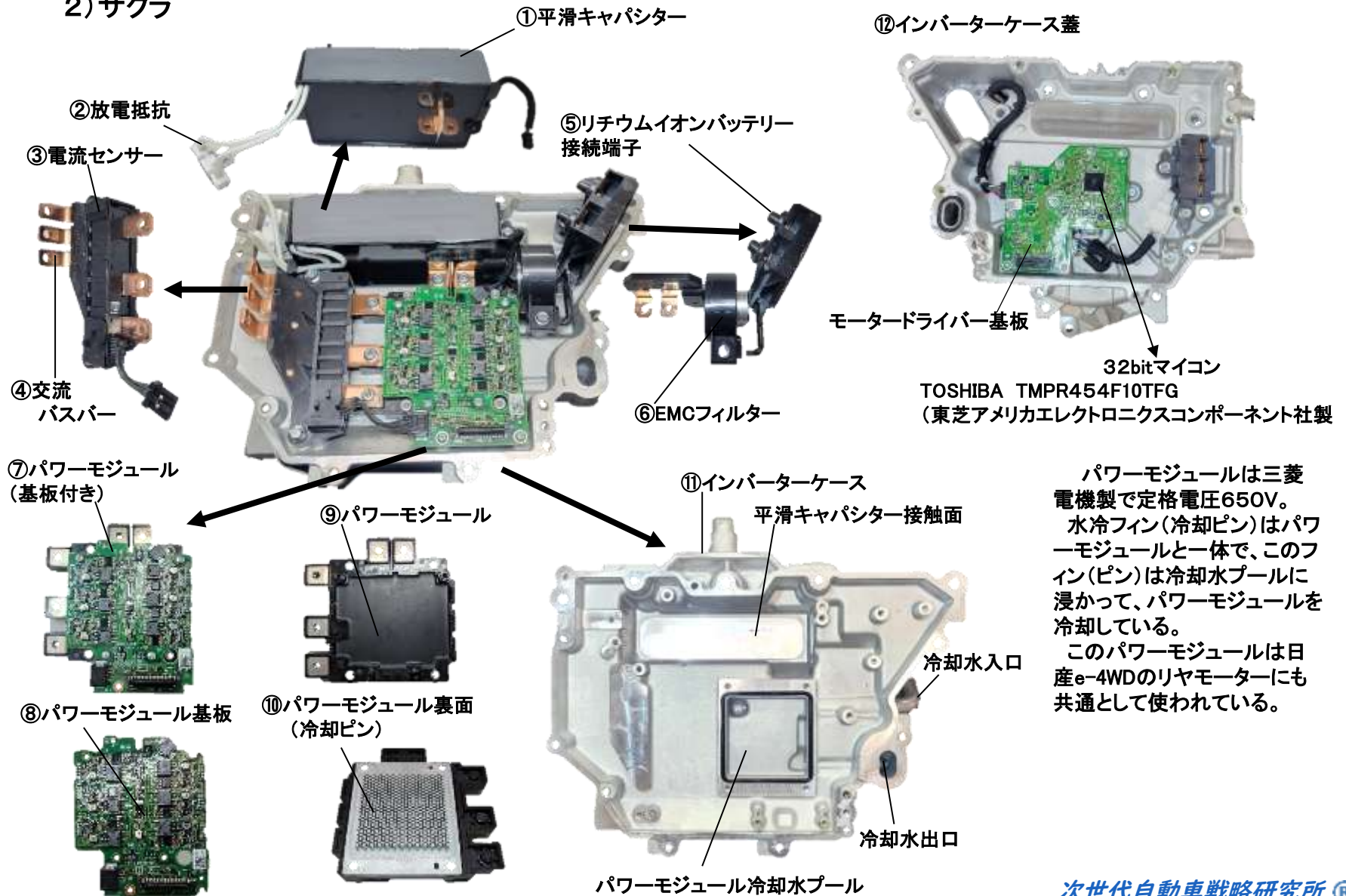
平滑キャパシターの底面はインバーターケースに密着することで冷却水で冷やされたケースによって放熱する。

リーフのインバーターは、モータードライバー基板、パワーモジュールドライバー基板、電流センサーなどが丸線でつながり、全体に大柄になっている。

モーター制御基板は、車両コンピューターの指示を受け、パワーモジュール基板に制御信号を発信。これを受けたパワーモジュール基板は回転方向や出力を決め、パワーモジュールに指示する。

§ 7 インバーター

2) サクラ

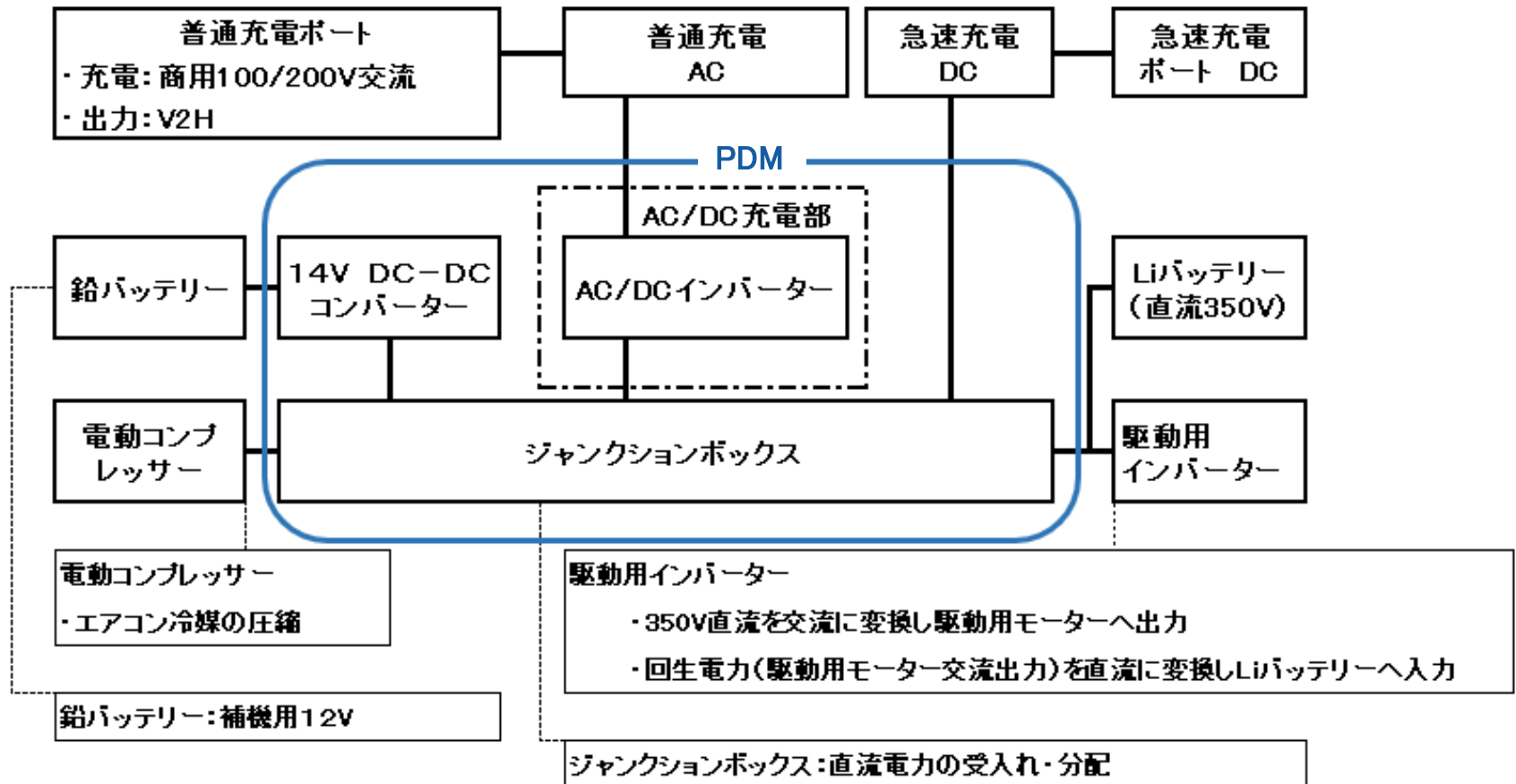


§ 8 パワーデリバリーモジュール(PDM)

1. 機能(リーフ)

1) 配電機能図

出典: 日産ESM



パワーデリバリーモジュール(PDM)は車載充電器、DC/DCコンバーター、ジャンクションボックスを一体に結合し、車両全体の電力配分制御を行う。

§ 8 パワーデリバリーモジュール(PDM)

2. 配置と機能(サクラ)

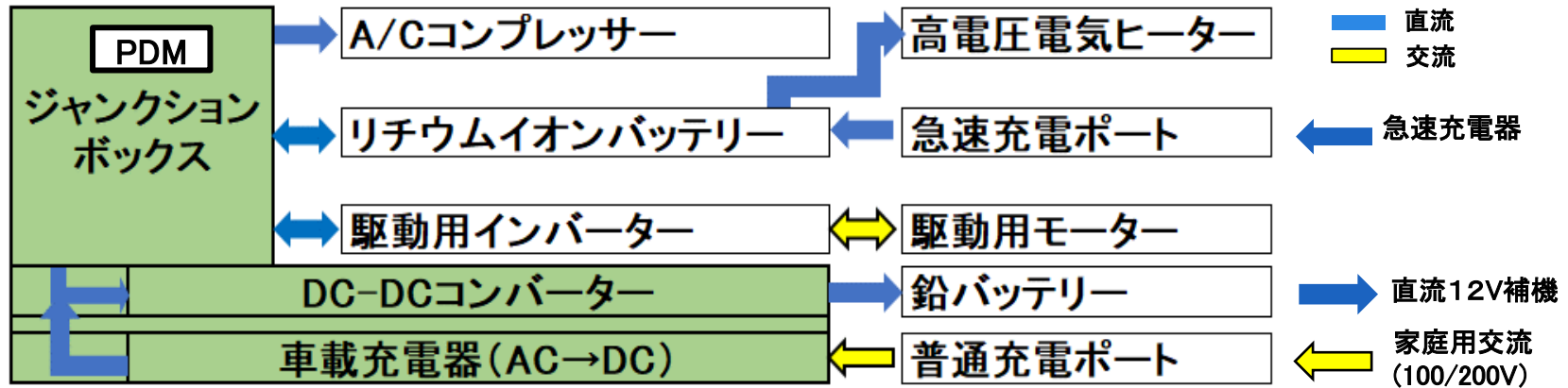
1) モータールーム内配置

出典: <https://www.webcartop.jp/2022/08/943980/>



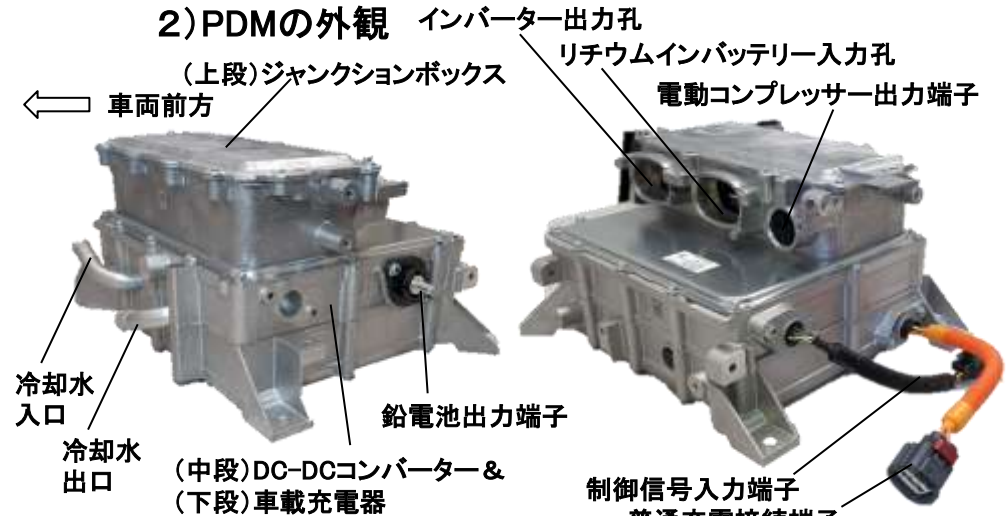
モータールーム中央にPDMがある。オレンジ色のコードは高圧電線を表す。PDMの下にパワーユニットがある。

3) PDMの連携



PDMは車載充電器、DC-DCコンバーター、ジャンクションボックスを一体に結合し、車両全体の電力配分制御を行う。

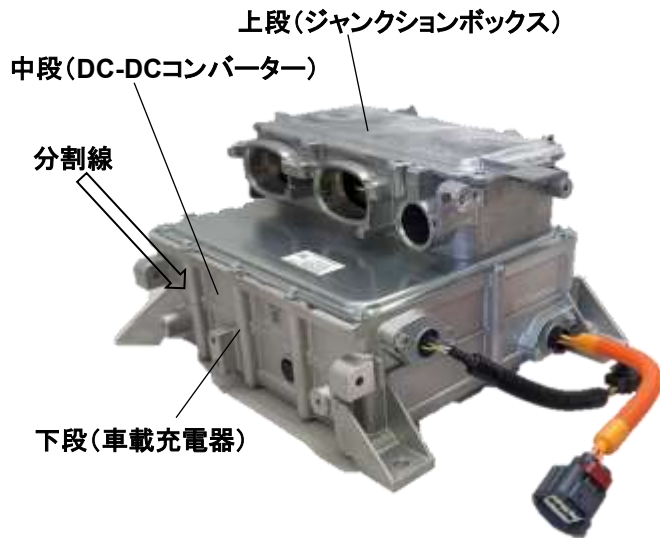
2) PDMの外観



PDMはジャンクションボックス、DC-DCコンバーター、車載充電器の3段構成。アルミ鋳物のケースも3段で構成される。

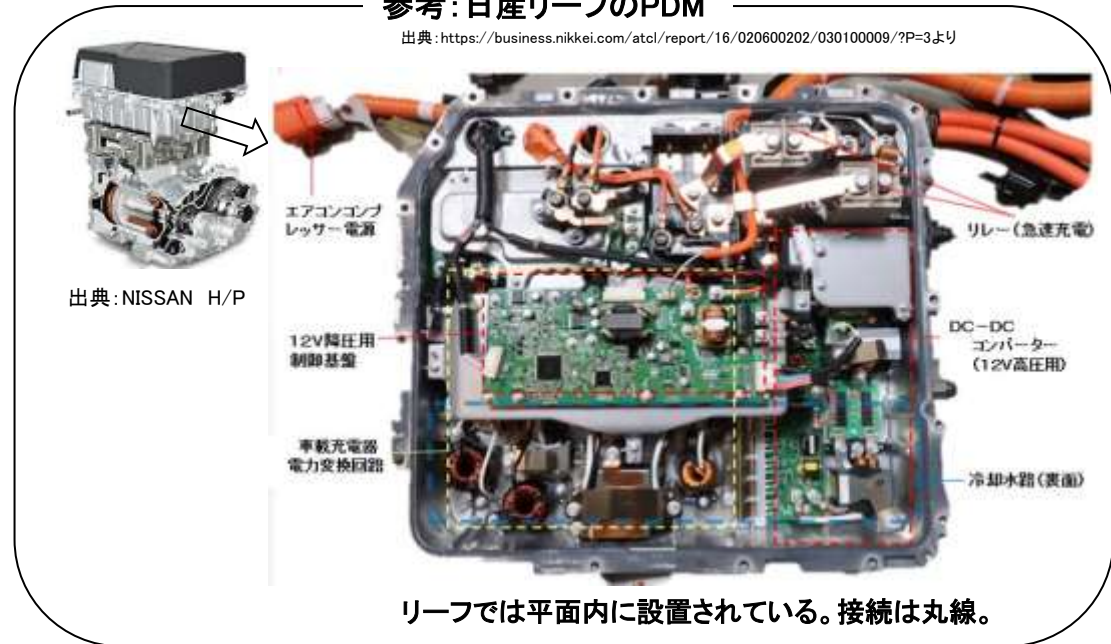
§ 8 パワーデリバリーモジュール(PDM)

4) ケースの配置



参考: 日産リーフのPDM

出典: <https://business.nikkei.com/atcl/report/16/020600202/030100009/?P=3より>



リーフでは平面内に設置されている。接続は丸線。

5) 内部の配置

(1) 上段(ジャンクションボックス)



内部に丸線は無く、バスバーで接続。

(2) 中段(DC-DCコンバーター)



一部に丸い電線。薄く作られている。

(3) 車載充電器(ケース裏返し)

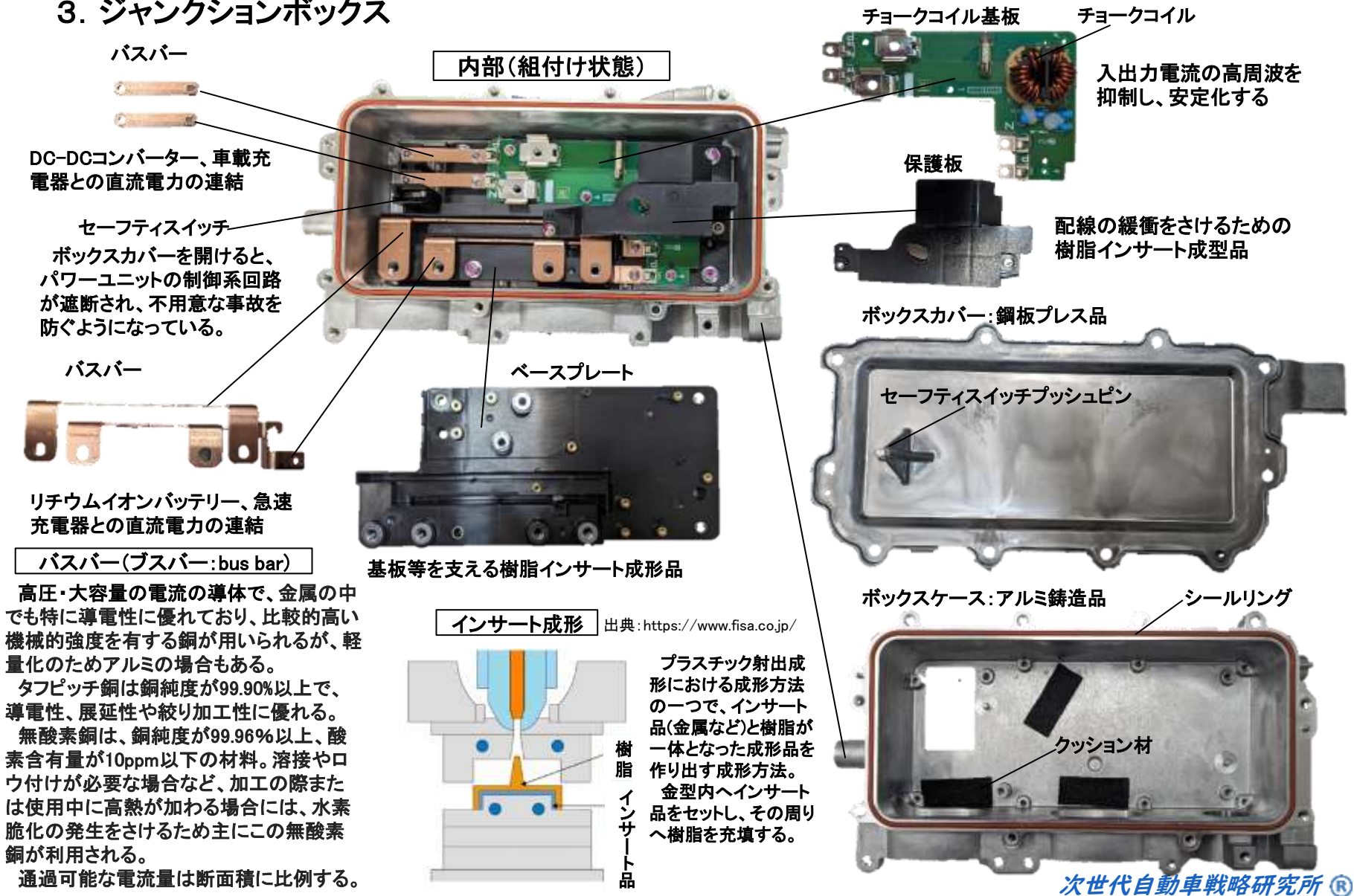


ほぼ全面が基板で覆われている。

次世代自動車戦略研究所®

§ 8 パワーデリバリーモジュール(PDM)

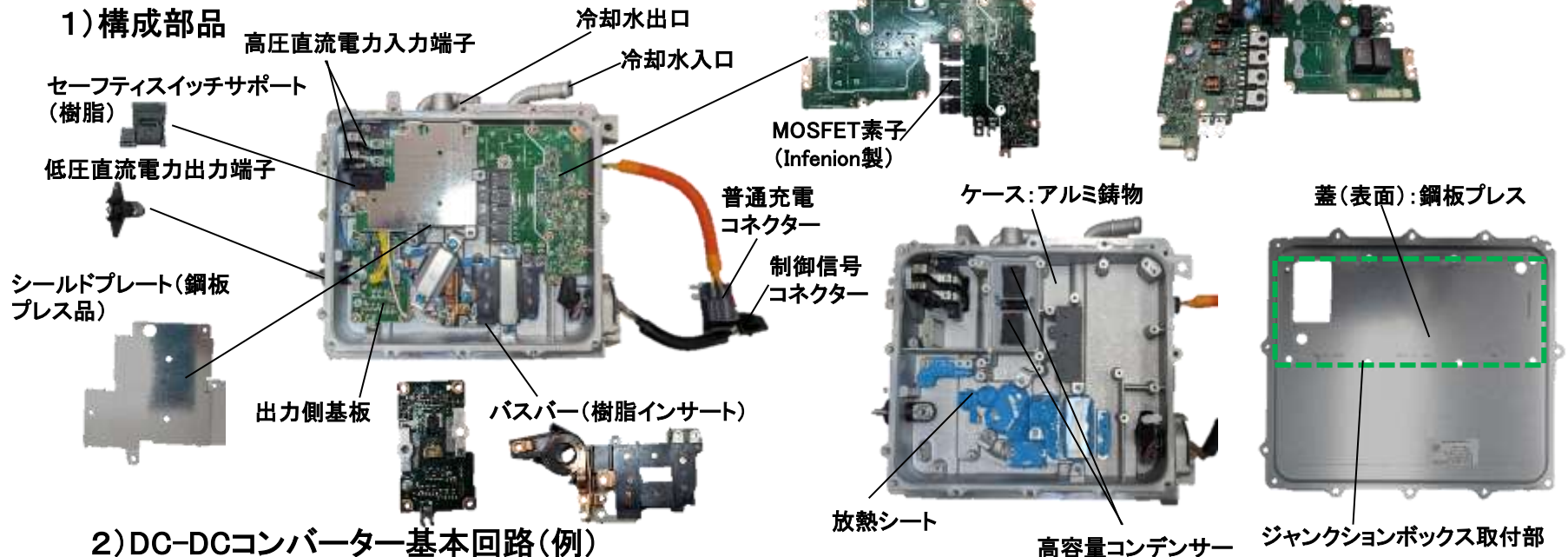
3. ジャンクションボックス



§ 8 パワーデリバリーモジュール(PDM)

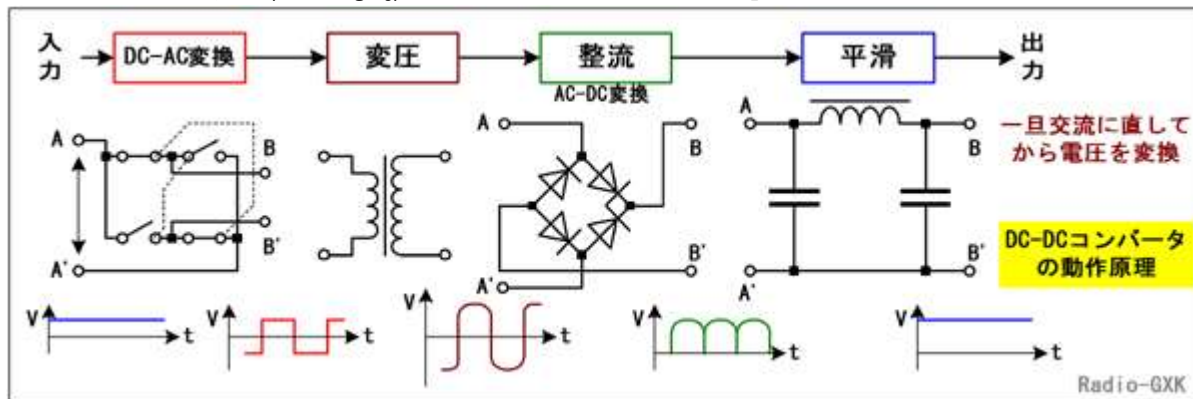
4. DC-DCコンバーター

1) 構成部品



2) DC-DCコンバーター基本回路(例)

出典: http://www.gxkjp/elec/musen/1ama/Htb/html/HG0601_a.html



ケース(裏面:車載充電器ケースとの合わせ面)

冷却水パイプ取付部



伝熱材(青色部)

サクラでは、リチウムイオンバッテリーの電圧(直流350V)を、実質14V程度までに降圧して12V鉛バッテリーに充電する。鉛バッテリーが消耗すれば、14Vが給電されることになる。

§ 8 パワーデリバリーモジュール(PDM)

5. 車載充電器 1) 構成部品

整流平滑回路(AC-DC変換)

100(200)V AC 冷却水出口 冷却水入口

DC-DCコンバーター回路
(DC-AC-DC昇圧—整流平滑)

回路基板(表)

回路基板(裏)

CAN BUSブートローダー
(Mitsubishi)

大型アルミコンデンサー
(日本ケミコン)

SiCショットキー
ダイオード(ROHM)

プラスチックフィルム
キャパシター(Panasonic)

回路基板(表) 回路基板(裏)

ポリエチレン
フィルム
キャパシター
(Panasonic)

ケース(基板取り外し後)

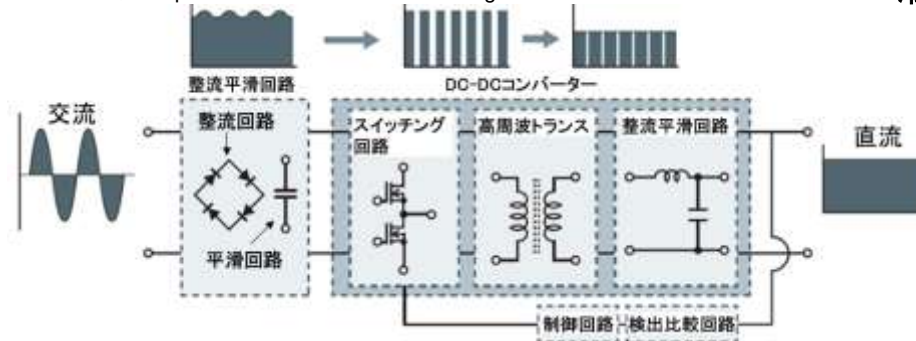
ケース(裏面:DC-DCコンバーター
ケースとの合わせ面)

底板(鋼板プレス)

冷却水パイプ(青色は伝熱材)

2) 車載充電器基本回路(例)

出典: <https://xtech.nikkei.com/dm/atcl/mag/15/040600107/00004/>

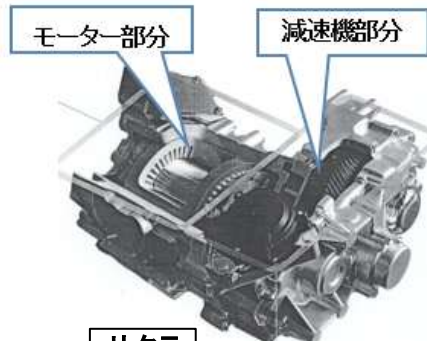


左図はスイッチング電源の基本回路の模式図で、入力電力(交流)を整流素子と平滑コンデンサーなどを用いて直流に変える。その後、DC-DCコンバーター部分で半導体スイッチ素子により、いったん高周波交流とする。さらに、高周波トランスで変圧し平滑化したのち、直流として出力する。

§ 9 減速機

1. ユニット(リーフ/サクラ)

リーフ



サクラ



(アースブラシ拡大図)



アースブラシでローター軸電圧をボデーアースさせる構造とした。軸電圧は軸受のグリスを破って金属表面に流れ、軸受を痛めたり、ラジオノイズの原因にもなる。

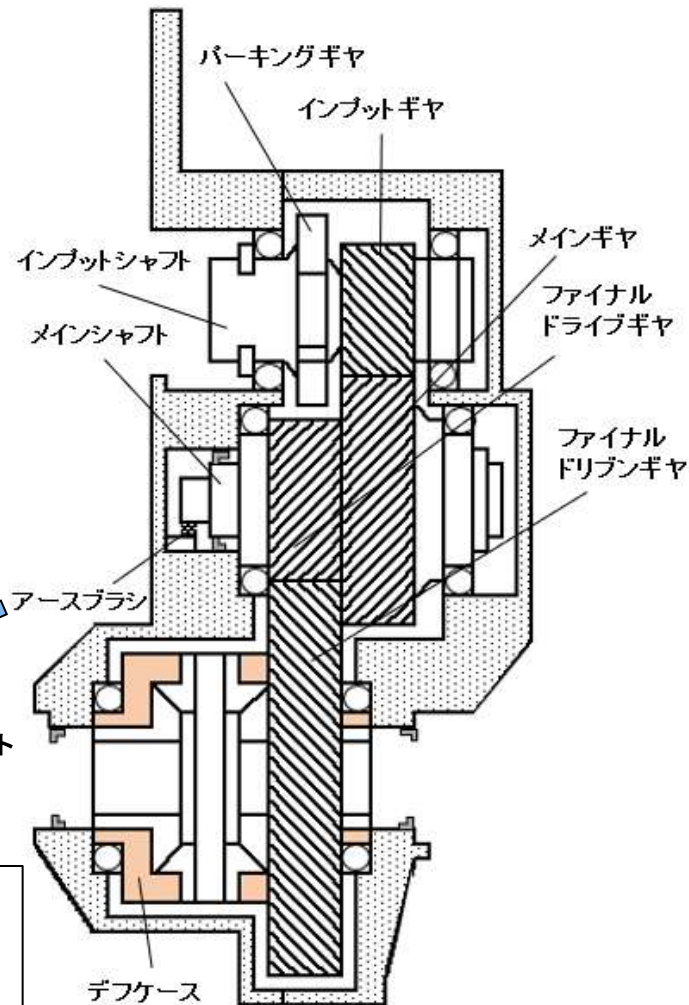
(損傷軸受の例)



リッジマーク

<https://www.fukudaco.co.jp/>

2. 断面図



<減速機仕様>

車両	リーフ	サクラ
減速機型式	RE1F61B	RE1F61B
最終減速比	8.193	8.153
インプットギヤ歯数	17	21
メインギヤ歯数 (IN/OUT)	32/17	46/18
ファイナルギヤ歯数	74	67
潤滑油 名称	オートマチックフルードS	ダイヤクインATF SP-III
潤滑油 量	1.41ℓ	0.85ℓ

リーフとサクラの減速機は基本的に同じ。減速機は切替変速はせず、減速比は一定。バックギヤはなく、モーターを逆転させて後退する。

BEVは乗員に騒音が届きやすく、減速機のギヤ音は高周波で聞こえやすいので騒音対策が重要。斜歯ギヤを使い、歯面の仕上げレベルを上げて噛み合い時の音を小さくしている。

軸受にはすべてボールベアリングを使用し、転がり抵抗を削減している。

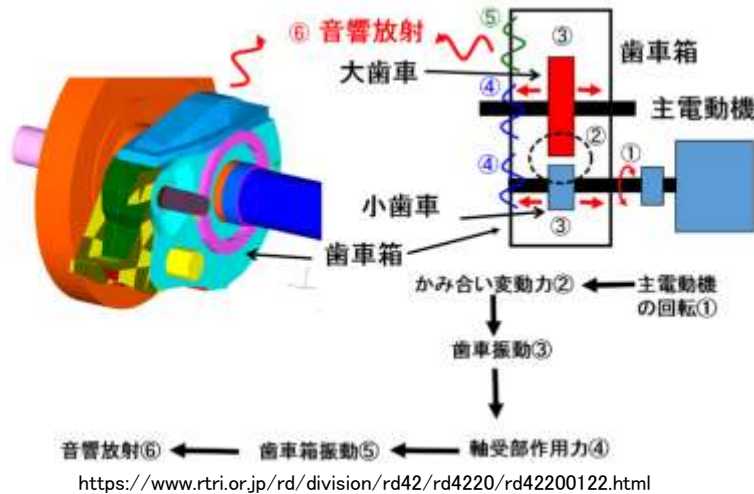
潤滑はファイナルドリブンギヤによる掻き揚げ飛沫潤滑。

§ 9 減速機

2. 騒音の低減

エンジン車ではエンジン騒音に隠れていた音が、EVでは車内で聞こえ、不快感を呼び品質感を損ねる。BEVでは風切り音、タイヤノイズと減速機騒音の低減が課題となる。

1) 減速機騒音の発生メカニズム



2) ギヤノイズの種類

ギヤノイズ種類	主な発生原因	音質の特徴
うなり音 (Whine noise)	波面形状の誤差	・歯数、軸回転数に依存
	歯の剛性	・高周波音(高い音色)
歯打ち音 (Rattle noise)	負荷の変動	・負荷変動の周期に依存
	ガタ (バックラッシュ)	・低周波音(衝撃音)

3) 対策の方向

https://www.khkgears.co.jp/gear_technology/intermediate_guide/KHK433.html

加工	(1) 良い精度	ピッチ誤差、歯形誤差、歯すじ方向誤差、歯溝の振れなどを小さくする。
	(2) 小さい歯面粗さ	歯車研削、ラッピングなどのほかに、適当ななじみ運転で歯面粗さを向上させる。
	(3) 良い歯当たり	歯幅中央部に良い歯当たりがある歯車にする。
設計	(4) 適切なバックラッシュ	伝動トルクの脈動で、たたき音がしやすい。バックラッシュを小さくするのが効果的。
	(5) 大きな正歯かみ合い率	同時にかみ合う歯が多いほど歯車は低騒音。かみ合い圧力角を小さく、高歯にすることが有効。
	(6) 大きな重なりかみ合い率	ねじれのある歯車は、同時にかみ合う歯が増えて静か。平歯車よりもはるばる歯車のほうが静かになる。
	(7) 干渉のない歯形	歯先アール及び歯形修整した歯車は、干渉することなくスムーズにかみ合う。
	(8) 小さい歯	同じ大きさなら、小さなモジュール、大きな歯数の歯車の方が低騒音となる。
	(9) 高剛性の歯車箱	歯車、軸、歯車箱の剛性を高める。負荷を受けて歯車、軸などが変形することにより、悪い歯当たりとなり、騒音の原因になる。

4) 歯車の仕上げ加工

ギヤホーニング	内歯車状の砥石に交差角を持たせて被加工歯車と噛み合わせ仕上げる。
創成歯研	ねじ状の砥石とワークを噛み合わせ連続的に歯面を仕上げる。
超仕上げ	低速で回転する加工ワークに、砥石に小さな振動(オシレーション)を与えながら押し付けて、ワークの表面を精密に研磨する。

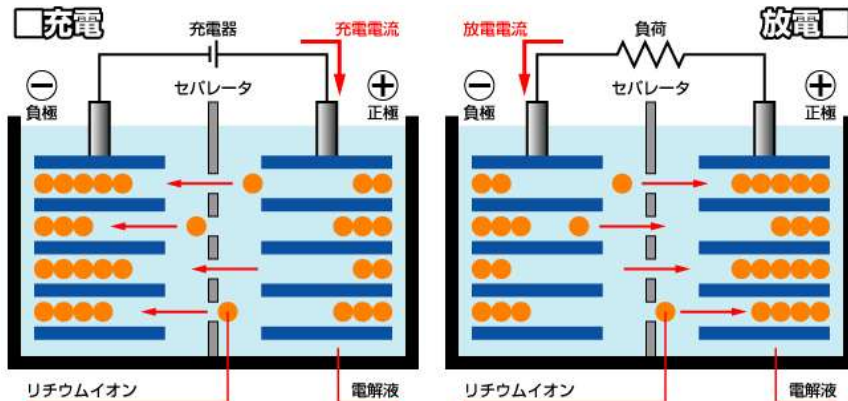
https://www.yanmar.com/jp/about/technology/technical_review/2018/0413_6.html

次世代自動車戦略研究所®

§ 10 リチウムイオンバッテリー

1. 構造と概要

<https://www.diatec.co.jp/support/details/lithium.html>



2. リチウムイオン電池の種類

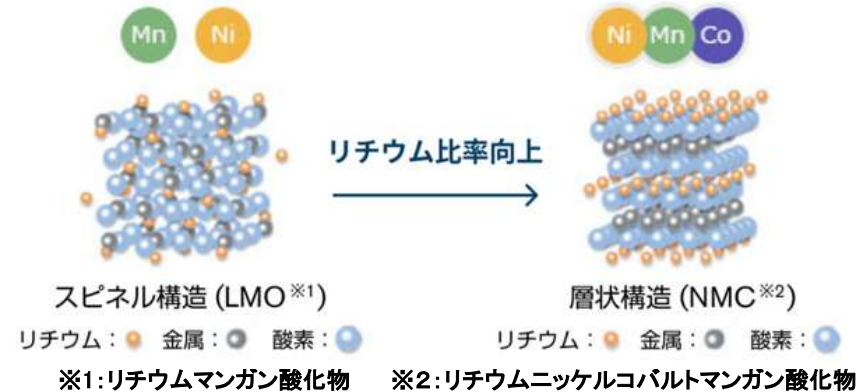
<https://plaza.rakuten.co.jp/lostcontinent/diary/202205160000/>

分類	BYD他 リン酸鉄系	マンガン系	リーフ/サクラ 三元系	チタン酸系
正極材	リン酸鉄リチウム (LiFePO_4)	マンガン酸リチウム (LiMn_2O_4)	三元系リチウム $\text{Li}(\text{Ni-Mn-Co})\text{O}_2$	マンガン酸リチウム (LiMn_2O_4)
負極材	黒鉛 (LiC_6)	黒鉛 (LiC_6)	黒鉛 (LiC_6)	チタン酸リチウム ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)
セパレータ	ポリエチレン、ポリプロピレン等			
電解液	エチレンカーボネート プロピレンカーボネート ジメチルカーボネート ジメチルカーボネート エチルメチルカーボネート + リチウム塩			
公称電圧	3.2V	3.7V	3.7V	2.4V
価格	安値	高値	高値	高値
エネルギー密度	低い	高い	高い	低い
寿命(Cycle)	1500回~2000回	500回	700回	3000回

コバルトベースのリチウムイオン電池バッテリーはエネルギー往復効率が90%と低く、廃熱による火災・爆発の危険がある。リン酸鉄リチウム (LFP) バッテリーは廃熱を発生しないため、往復効率が98%と高く、発火しない。

3. 日産 三元系リチウムイオン電池の特徴

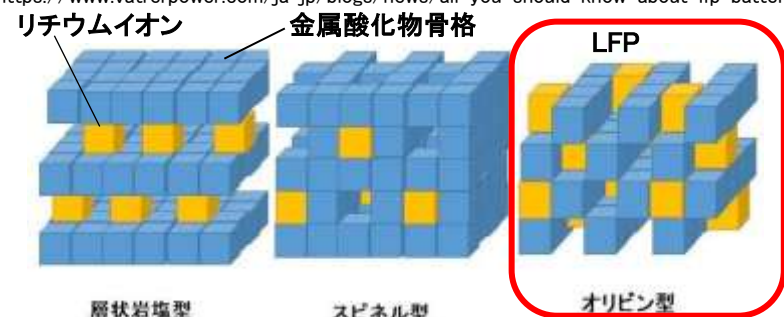
<https://www.nissan-global.com/JP/INNOVATION/TECHNOLOGY/ARCHIVE/11/IONEV/>



初代「リーフ」のマンガン系正極材料を、現在の日産系リチウムイオンバッテリーでは三元系正極材料に進化させ、高いエネルギー密度を実現。三元系正極材料の結晶は層状構造のためリチウムイオンを高密度に蓄えることができ、バッテリーの大容量化に貢献している。

4. リン酸鉄リチウムイオン(LFP)電池の特徴

<https://www.vatrerpowers.com/ja-jp/blogs/news/all-you-should-know-about-lfp-batteries>



LFPのオリビン型は結晶中のリンと酸素の結びつきが非常に強いので、過充電や高温での分解、結晶構造崩壊による酸素放出が起こりにくい。つまり異常発熱や発火に対する安全性が高いことが特徴。

次世代自動車戦略研究所®

§ 10 リチウムイオンバッテリー

5. リチウムイオンバッテリーの形状と搭載例

CELLtype	Module	搭載例	コメント
円筒型 (Cylindrical)	TESLA Model S	TESLA Model 3	Model Sでは合計6510本の18650サイズの電池を並べている。重量550kg。 Model3では2170に径・長さともにサイズアップ。さらに4680サイズを開発。
角柱型 (Prismatic)	BMW i3	BMW i3	バッテリーメーカーは韓国サムスンSDI。12セル入りのモジュールが8個(合計96セル)。セルはアルミケースで、バッテリー全体は温度調節(冷却・加温)されている。
パウチ型 (laminate型)	日産リーフ	日産リーフ	世界初の量産BEV用リチウムイオンで、現在はAESCグループが生産。ラミネートフィルムで包まれ、強制冷却・加温なし。発売以来無事故で信頼性は高い。
ブレード型 (Blade型)		BYD	正極がリン酸鉄リチウムイオン(LiFePO ₄ :LFP)で、体積エネルギー密度、平均電圧が3.2Vと低い。ブレードバッテリーは容積効率を高めて総容量を確保。熱安定性が高く火災の恐れが少ない。

§ 10 リチウムイオンバッテリー

6. リーフ リチウムイオンバッテリー

1) 配置



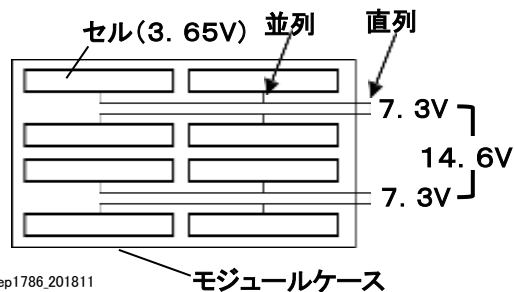
3) モジュール

(1) 外観



内蔵セル数		8枚
構造		(2並列2直列)× 2ユニット
外寸	長さ	約300mm
	幅	222mm
	高さ	68mm
モジュール電圧		14. 6V
質量		8. 7 kg

(2) 内部



出典: https://www.marklines.com/ja/report_all/rep1786.201811

2) バッテリースペック

項目	仕様
種類	リチウムイオン電池
構成	24モジュール(192セル)
電圧(V)	350.4
総電力量(kWh)	40
総重量(kg)	約300

8枚のセルをステンレス鋼製のケースに入れてモジュールとし、24モジュール(192セル)で電池パックを構成する。電池パックの質量は約300kg。

オートモーティブエナジーサプライ(AESC)がセルとモジュールを製造し、日産がパックに組み立てる。冷却装置がないので非常にシンプル。

4) セル(ラミネートタイプ)



出典: http://www.ecoaesclb.com/product/liion_ev/

タイプ		高容量タイプ
定格容量		56. 3Ah
公称電圧		3. 65 V
外寸	長さ	261mm
	幅	216mm
	厚さ	7. 91mm
質量		914g
エネルギー密度		460Wh/l
		224Wh/kg

薄く、表面積を大きく作れるので、積載性や冷却性に優れる。日産リーフは、発売以来一度もバッテリーの発火事故はなく、信頼性の高いものになっている。

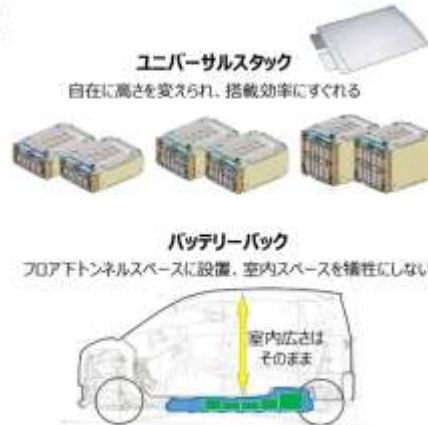
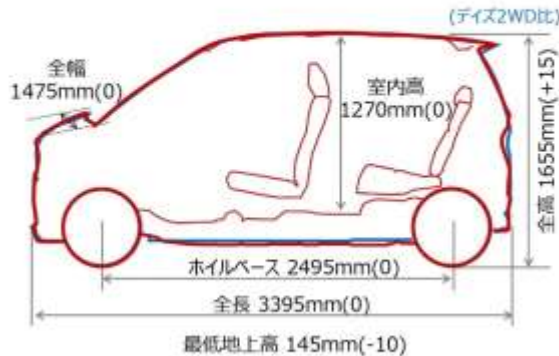
§ 10 リチウムイオンバッテリー

7. サクラ リチウムイオンバッテリー

1) バッテリー配置 出典: <https://www.webcg.net/articles/-/46404>

上質なプライベート空間(広い室内空間)

- 広い室内空間はそのままに、20kWhバッテリーを搭載



2) バッテリーパック

出典: <https://www.webcg.net/articles/gallery/46404#image-8>



3) バッテリーの仕様

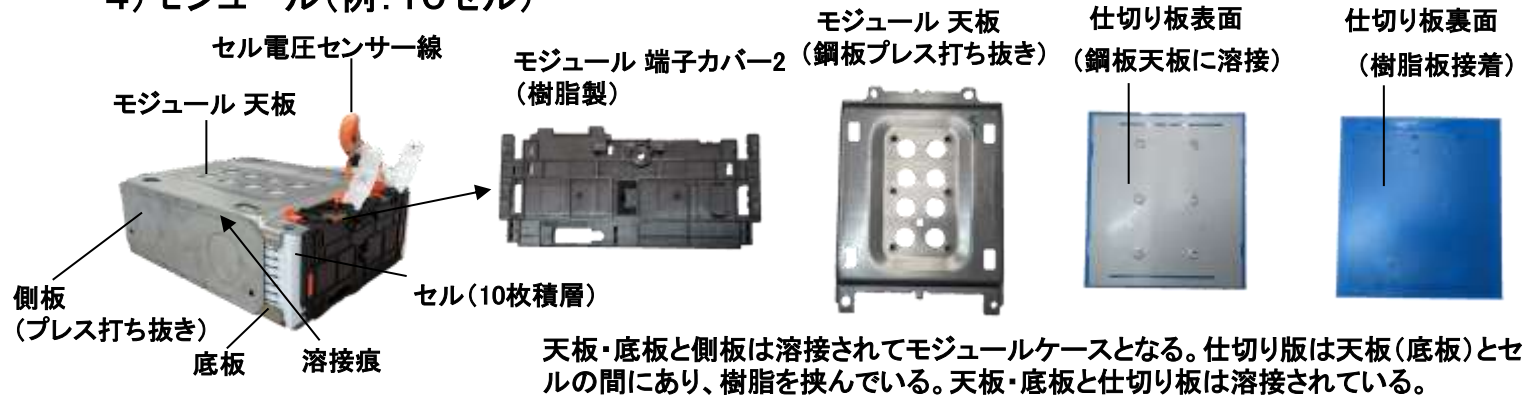
バッテリーの種類	リチウムイオンバッテリー
陽極の種類	三元系(NMC:ニッケル、マンガン、コバルト)
セル形状	パウチ(Pouch)型
セル重量	978.3g/個
総セル数	96個
モジュール数	6個(24セル/個×2、14セル/個×2、10セル/個×2)
モジュール重量	24セル:29.6kg 14セル:18.4kg 10セル:13.8kg
バッテリーパック総重量	192.2kg
バッテリー冷却方法	エアコン冷媒(HFO-1234yf※)による強制冷却
バッテリー定格電圧	350.4V
総電力量	20kWh
一充電走行距離(WLTC)	180km
急速充電最大受入能力	30kW
普通充電最大受入能力	2.9kW

※オゾン破壊係数(ODP)がゼロで、地球温暖化係数(GWP)が<1と極めて低い等、地球環境への影響が極めて少ない。

日産サクラのバッテリーはAESC製のリチウムイオン電池で、セル数は日産リーフの192枚に対し96枚で、半分。バッテリーケースは車両の床下に、ボディ形状に合わせて配置される。もともとのガソリン車設計時にEV化が織り込まれていた。バッテリーの総重量は192kgと重い、重量物が床下にあるのは、運動性能的には有利。セルは樹脂で包まれた平面形のパウチ型で、モジュールケース内に積層される。モジュール内のセル数は、モジュールの配置によって、10、14、24のものが2個ずつ計6個積まれている。モジュールには冷却装置が組み込まれ、温度上昇による性能の低下、特に急速充電時の充電時間の延長に対処している。

§ 10 リチウムイオンバッテリー

4) モジュール(例:10セル)

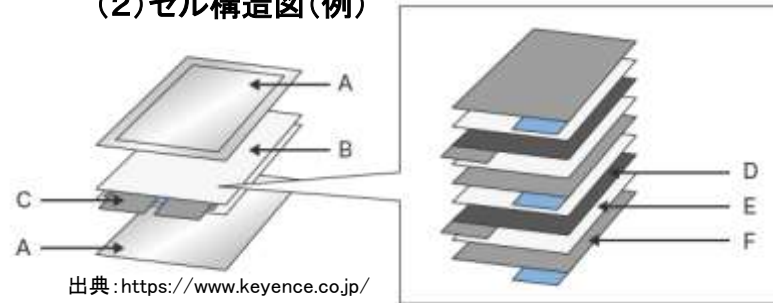


5) セル

(1) 各部名称



(2) セル構造図(例)



A	ラミネートフィルム
B	積層電極
C	タブ
D	正極
E	セパレーター
F	負極

(3) ラミネートフィルムの構成例

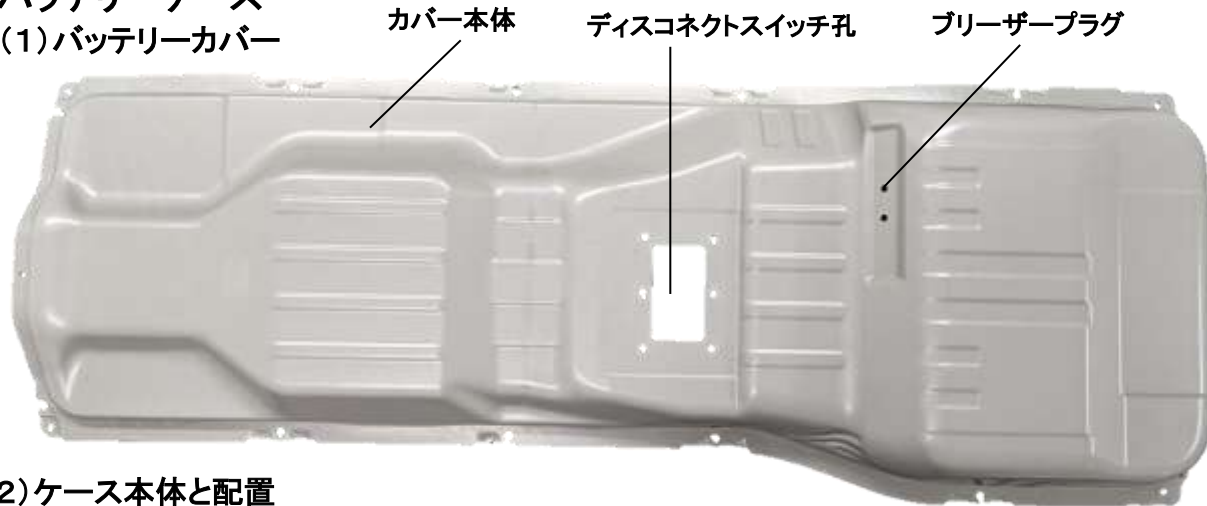
材質	厚み	役割
2軸延伸ナイロン	25 μm	材料補強、耐衝撃
接着剤	4 μm	接着
下地処理剤	微量	層間剥離防止
アルミ箔	40 μm	バリア、形状保持
下地処理剤	微量	密着補強、耐薬品
特殊接着剤	2~4 μm	接着
シーラント(CPP又はPE)	30~50 μm	ヒートシール材料

出典: <https://www.resonac.com/jp>

パウチ型セルは日産リーフが先鞭をつけ、GMでも採用が進んでいる。
製造コストが安く、性能的にも表面積が大きいことから冷却に有利などの利点がある。

§ 10 リチウムイオンバッテリー

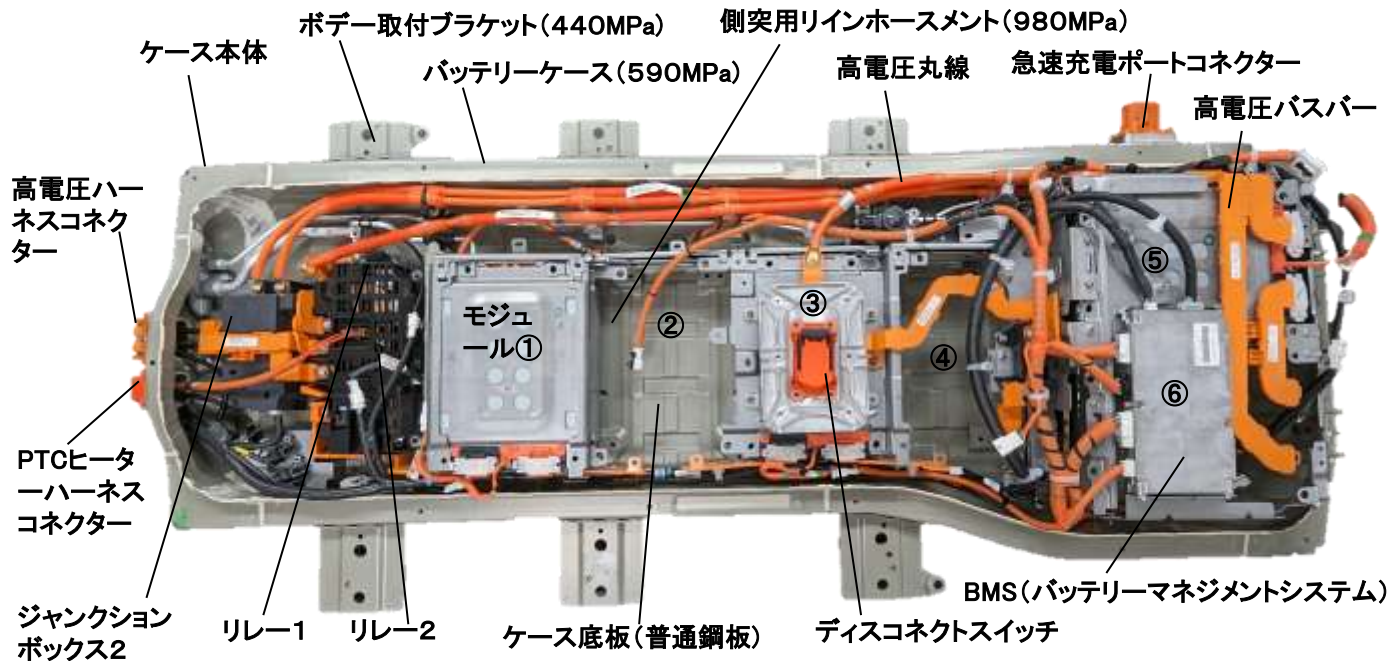
6) バッテリーケース (1) バッテリーカバー



カバー本体は鋼板1枚物のプレス品。各部にリブやへこみを付けて防振を図り、全面塗装して防錆している。

バッテリーカバーは、バッテリーを車内の他の部分から分離、電磁波を遮蔽し、液体や異物の侵入を防ぐとともに、外部からの火災の際にはバッテリーを保護。バッテリーの危険な火災（熱暴走）時、外への延焼する事を防ぐ安全部品である。最近では、樹脂による軽量化も図られるようになってきた。

(2) ケース本体と配置



バッテリーケース本体は高張力鋼板の溶接で作られた枠に普通鋼板の底板をはめ込む形で作られている。ケース内前側にはジャンクションボックスがあり、高圧電力を入切する。セル・モジュールは直列接続で、途中のディスコネクトスイッチを外すと断絶する。

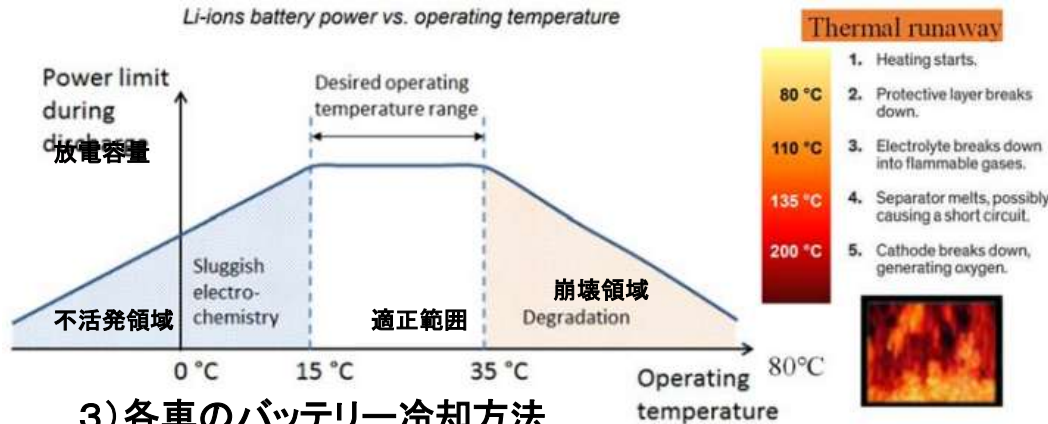
モジュール	①	②	③	④	⑤	⑥
セル数	14	10	10	14	24	24

§ 10 リチウムイオンバッテリー

8. リチウムイオンバッテリーの温度管理

出典: <https://criepi.denken.or.jp/hokokusho/pb/reportDownload?reportNoUkCode=C20003&tenpuTypeCode=30&seqNo=1&reportId=9000>

1) 放電容量と温度の関係



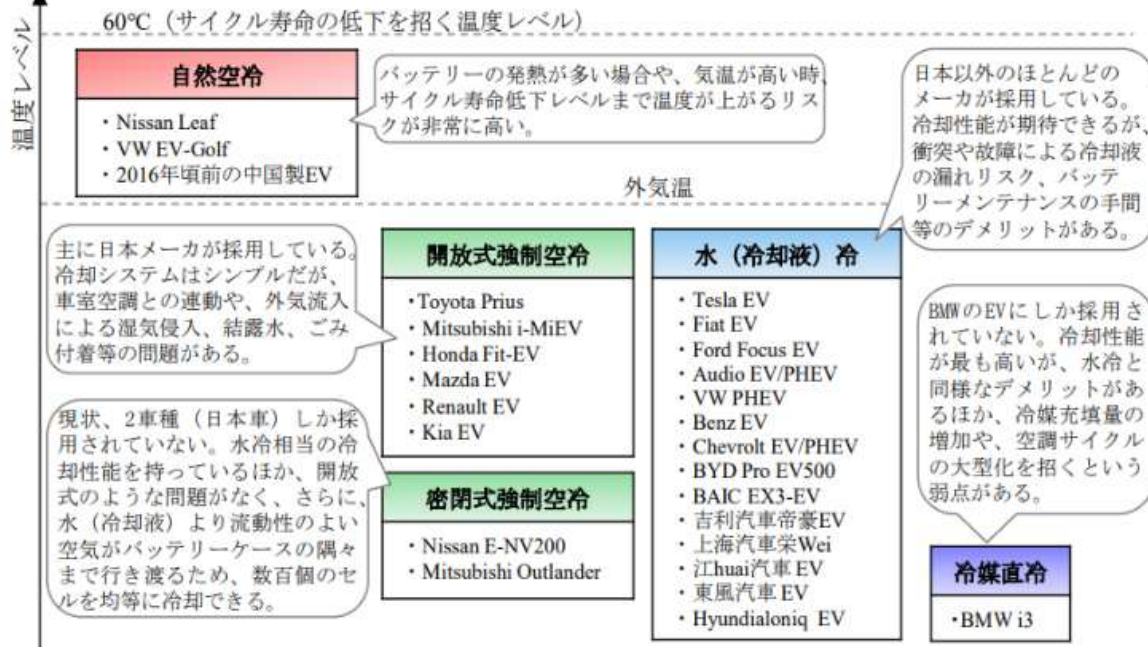
2) 急速充電時温度(日産リーフの実験例)

＜初代リーフの急速充電時(充電量13.2kwh)での計算結果＞

急速充電器出力 [kW]	20	30	50	90	150	350
充電所要時間 [min]	40	26	16	9	5	2
発熱負荷 [kW]	0.3	0.7	1.8	5.4	14.6	77.2
バッテリー温度 ^{#1} [°C]	42	44	47	53	62	92

充 電終了時のバッテリー温度が35°Cを超えると放電容量が低下、80°C以上になると熱暴走のリスクがある。

3) 各車のバッテリー冷却方法



リチウムイオンバッテリーの作動には適正温度範囲があり、この範囲を外れるときは何らかの対応が必要。

低温時は加熱、高温時は冷却が必要となる。左図では、水冷(冷却液)が多いが、そのためにはバッテリーケースの構造の工夫や水循環のためのホースやポンプが必要で、重量・スペース・コストの点で不利になる。

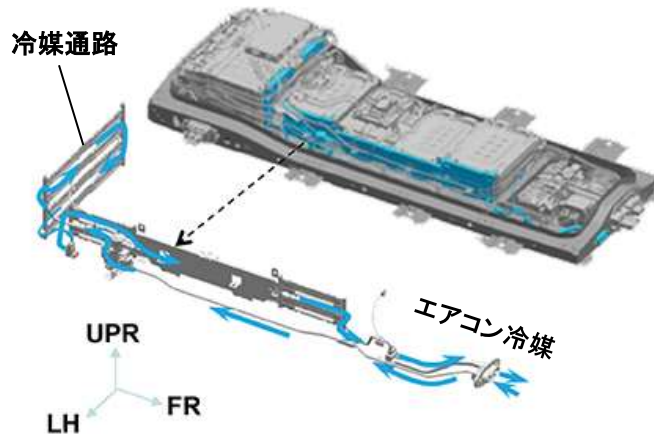
日産リーフなどは自然空冷を続けてきたが、今後、急速充電量の増大などが予想され、何らかの強制冷却が必要となるであろう。

同じ日産のE-NV200ではエアコンの冷媒による冷却風での強制空冷を行っている。今後の開発では、これらを踏まえた対策が施されるであろう。

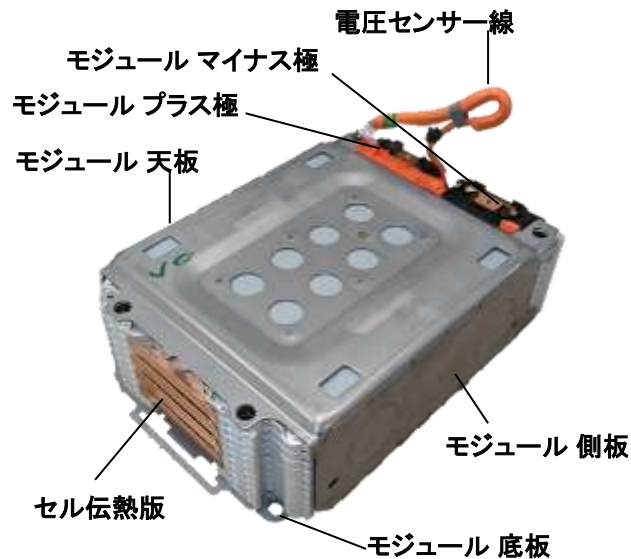
§ 10 リチウムイオンバッテリー

4) サクラのバッテリー冷却

(1) 冷却装置イメージ図

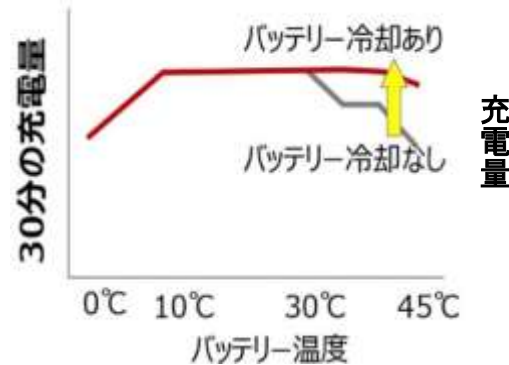


(2) モジュール伝熱板



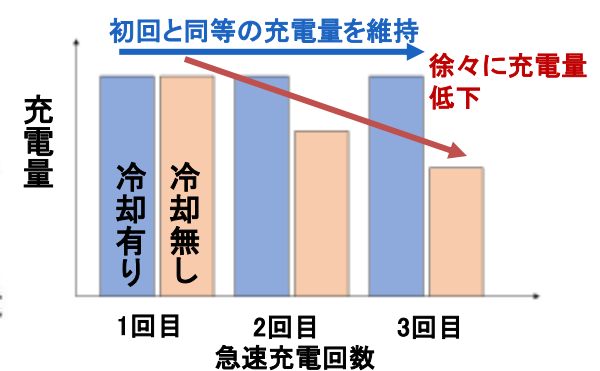
バッテリー冷却の効果

① 急速充電時の効果



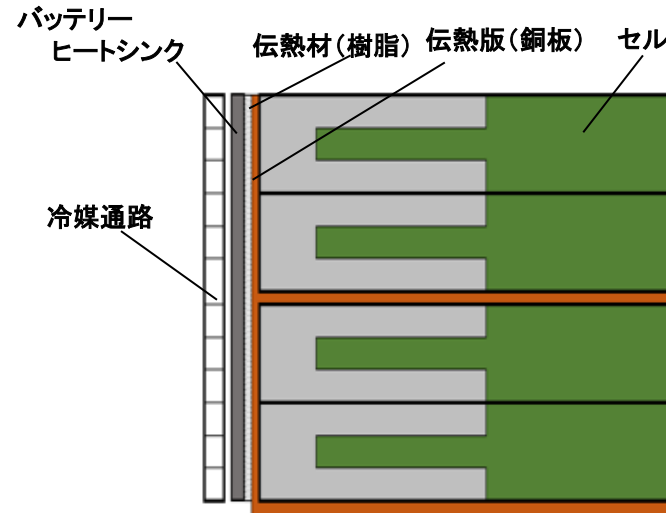
バッテリー温度上昇を抑え、充電量を確保する。

② 急速充電繰り返し時の効果



温度上昇による性能劣化を抑える充電量削減を、冷却により回避。

(3) セル冷却模式図



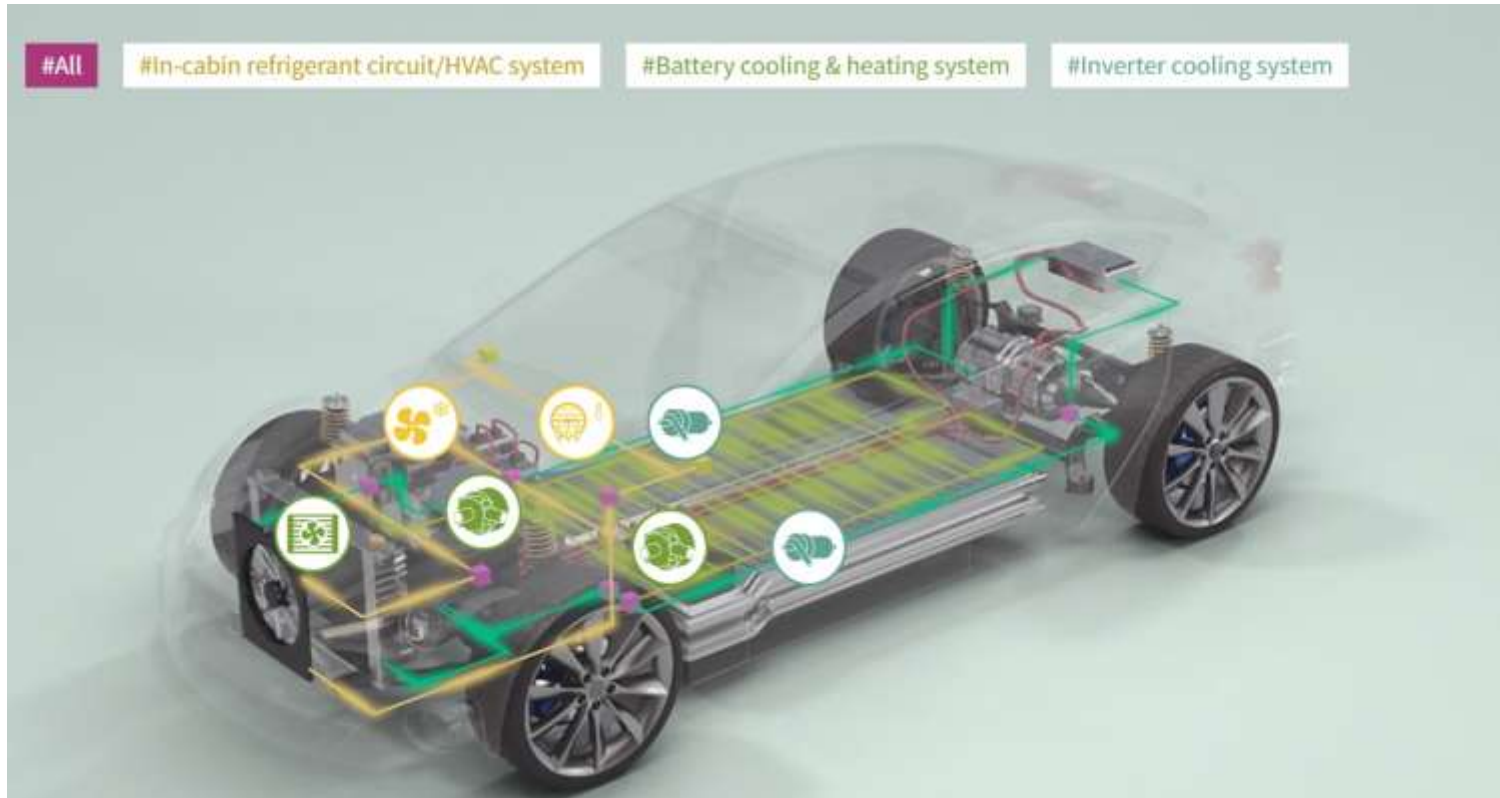
セルに挟み込まれた銅製の伝熱板は樹脂の伝熱材と一体のバッテリーヒートシンクと接している。

冷媒通路とバッテリーヒートシンクが接することでセルの熱が冷媒に伝わり吸熱されて、セルが冷却される。

§ 11 サーマルマネジメントシステム(TMS)

1. サーマルマネジメントの必要性

出典: <https://www.infineon.com/cms/jp/applications/automotive/ev-thermal-management/>



- ICE車とは対照的に、BEVの電気モーターは熱をほとんど発生せず、暖房のために追加で加熱エネルギーが必要となり、走行範囲を狭くする。
- 急速充電機能では最大350kWの電力を備えたDC急速充電ステーションを提供。利用可能な充電電力を最大限に活用するために、バッテリーの予熱または冷却が必要となる
- EVサーマルマネジメントシステムは、キャビン内の乗客の快適さを確保しながら、電気モーター、パワーエレクトロニクス、およびバッテリーを適切な温度に保つ責任を担う。EVサーマルマネジメントの失敗は、磁石の減磁、絶縁材料の経年劣化、効率の低下、寿命の短縮、さらには電気モーターの焼損につながる。
- バッテリーセルの寿命を延ばし、熱暴走を防ぐ主要な安全機能でもある。
- ☆全体的なEVサーマルマネジメントシステムは、電動コンプレッサー、クーラントポンプとファンモーター、バルブとフラップ、HVAC制御モジュール、電気ヒーターなどのアクチュエータを必要とするさまざまな熱回路で構成されている。上図の統合EVサーマルマネジメントシステムは、液体ベースのバッテリー冷却戦略に収束するOEMによってより一般的に使用されている。

次世代自動車戦略研究所®

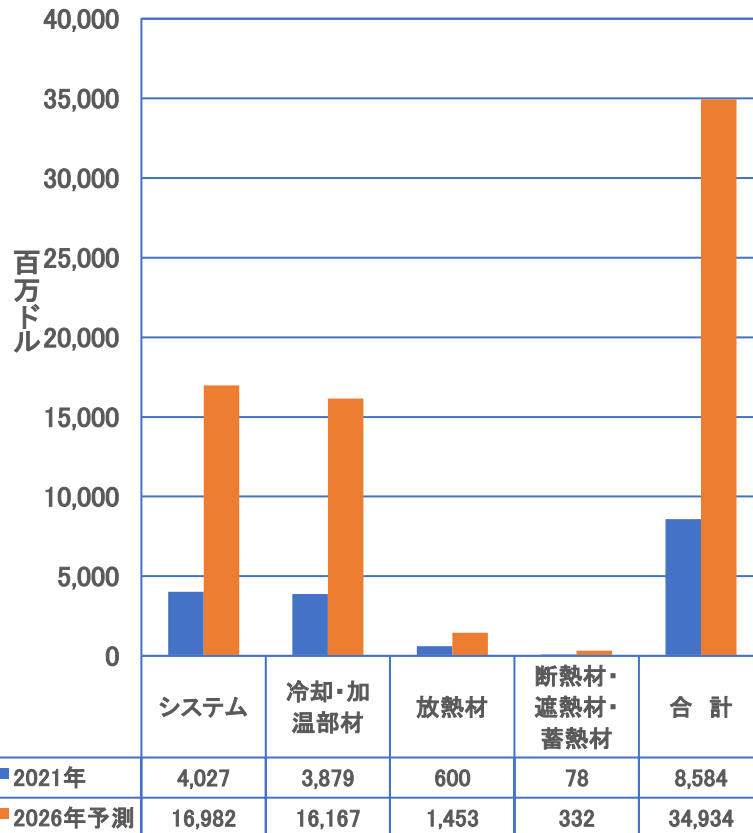
§ 11 サーマルマネジメントシステム(TMS)

2. EV向けサーマルマネジメント製品・システム・部材の世界市場

出典: <https://www.fuji-keizai.co.jp/press/detail.html?cid=22103>

1) 世界市場調査結果

<調査対象>



システム		
・バッテリー冷却システム	・エアコンシステム	・モーター・PCUの冷却システム
冷却・加温部材		
・バッテリー冷却プレート	・バッテリーカバー	・電動ウォーターポンプ
・電動コンプレッサ	・バルブ	・ラジエーター
・ヒーター	・面状発熱体※1	・空調ダクト
・冷却配管用樹脂チューブ	・ペルチェ素子※2	・エアコン冷媒
・ヒーター電極		
放熱材		
・放熱シート	・放熱ギャップフィラー	・放熱グリース
・放熱接着剤	・熱伝導コンパウンド	・セラミックベース回路基板
断熱材・遮熱材・蓄熱材		
・断熱材(バッテリー、空調ダクト、天井等)		・合わせガラス用中間膜
・熱線遮蔽コーティング剤	・熱線遮蔽フィルム(透明)	・蓄熱材

※1 面状発熱体: PTC特性を持つ、薄いシート状の発熱体で、平面や曲面をムラなく温めることができる。

※2 ペルチェ素子: 熱電変換素子とも呼ばれ、電気を使って熱を一方から他方へ伝える素子

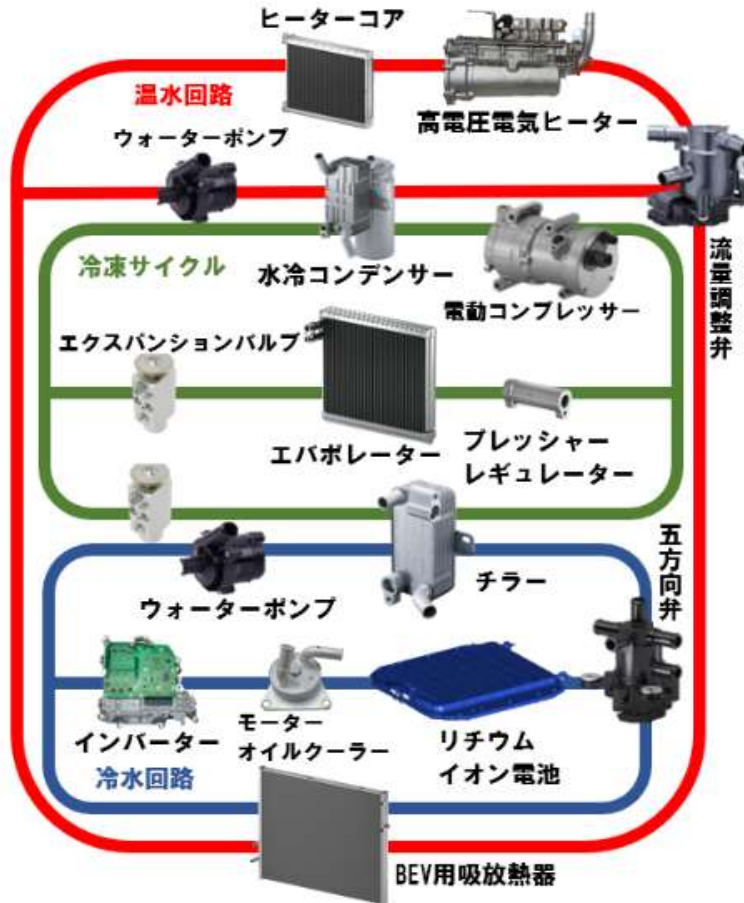
バッテリー冷却システムは現在の水冷から冷媒直冷方式への移行を予想。エアコンシステムは、PTCヒーターからヒートポンプが主流になる。モーター、PCUや電動駆動モジュール「eAxe」の冷却システムは水冷システムが中心。冷却・加温部材市場では、バッテリーカバーや冷却配管の樹脂化や、電動ウォーターポンプ・バルブ(冷却ウォーターバルブ)のリザーバタンクなど一体化したモジュール化が進む。エアコン冷媒は欧州・中国を中心に従来のフロン系冷媒ではなく自然系冷媒が採用され始めている。放熱材市場では、放熱シート、放熱ギャップフィラー、放熱接着剤などはLiB用途を中心に採用が多く、伸びている。他方、放熱グリースはパワーモジュール用途などで高熱伝導率製品の需要が増加している。断熱材・遮熱材・蓄熱材は、使用量が増加、高級車から一般乗用車への採用も進み、市場拡大が予想される。

§ 11 サーマルマネジメントシステム(TMS)

3. バッテリー温度管理の例(トヨタbZ4X)

2) 電池昇温時の回路状態と冷媒の流れ 出典:トヨタテクニカルレビュー№68

1) システム図



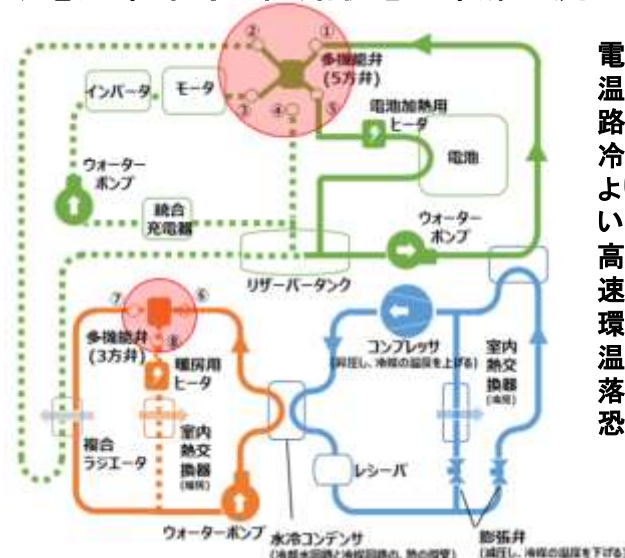
温水回路・冷水回路に冷凍サイクルを組み合わせ、熱を有効に生かして、電力消費を削減する努力をしている。

流量調整弁、エクステンションバルブ、五方向弁、ヒーター、コンプレッサーなどを電動化し、コンピューター制御で適時な作動を意図している。



電池昇温時は、冷却水回路に組み込まれた電池ヒーターにより昇温させている。
気温が低いと充電速度や性能が低下し、充電に時間がかかることがある。0℃以下で充電するとバッテリーが損傷し、寿命が短くなる可能性がある。また、内部抵抗が増加して金属析出による内部短絡の危険が生じる危険がある。
リチウム電池を長持ちさせるには、10℃～30℃の間で充電することが推奨される。

3) 電池冷却時の回路状態と冷媒の流れ 出典:トヨタテクニカルレビュー№68



電池冷却時は、冷媒回路、低温冷却水回路、高温冷却水回路を作動させ、空調のエアコン冷媒でチラーを介して、外気温より低くした冷却水で冷却している。

高速道路での連続高負荷と急速充電の繰り返しというような環境条件が想定される。電池温度が上昇すると充電速度が落ち、十分な充電が妨げられる恐れがある。

§ 11 サーマルマネジメントシステム(TMS)

4. 乗員温度調節システム(トヨタ bZ4X) 出典: <https://global.toyota.jp/newsroom/toyota/37136929.html>

乗員の周囲のみを素早く温める

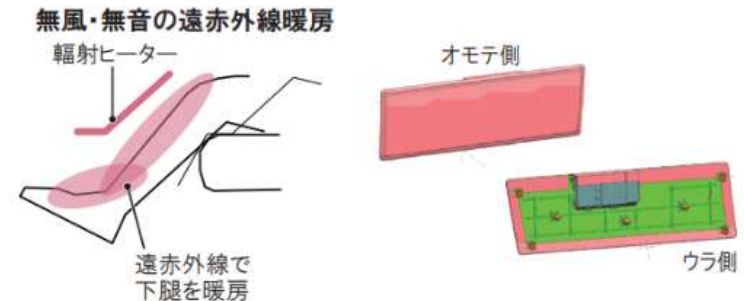
ALL AUTO(ECO)

- 「ECO switch」により、シートヒーター、ステアリングヒーター、空調吹出温度、風量を自動コントロールし、
**乗員の周囲のみを
省電力で暖める制御を採用**

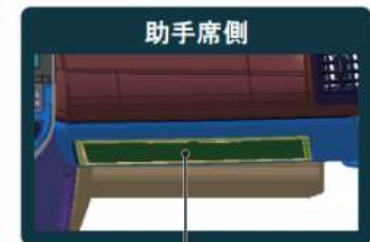


輻射ヒーター

- 輻射ヒーターを採用し、
素早く快適暖房空間を提供



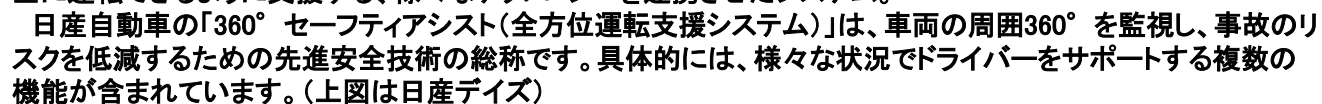
ステアリングコラム下面に配置



インストルメントパネル下面に配置

BEVのバッテリーの消費を減らし航続距離を延ばすことは、CO₂排出削減とともに、使用性向上に大きく寄与する。空調関係ではヒーター使用時の電力消費が大きいので、なるべくメインのヒーター使用頻度を少なくするために、ステアリングホイールやシートのヒーターが使われる。bZ4XのALL AUTO(ECO)は乗員に重点的に加温し熱を有効利用する。輻射ヒーターは乗員の足元に集中して温熱を送ることで、乗員に早く重点的に暖かさを感じさせて室内暖房電力を節減する。

https://www3.nissan.co.jp/vehicles/new/dayz/performance_safety/360_safety_assist.html



§ 12 ADAS(先進運転支援システム)

2. サクラの走行支援機能※

1) 機能例

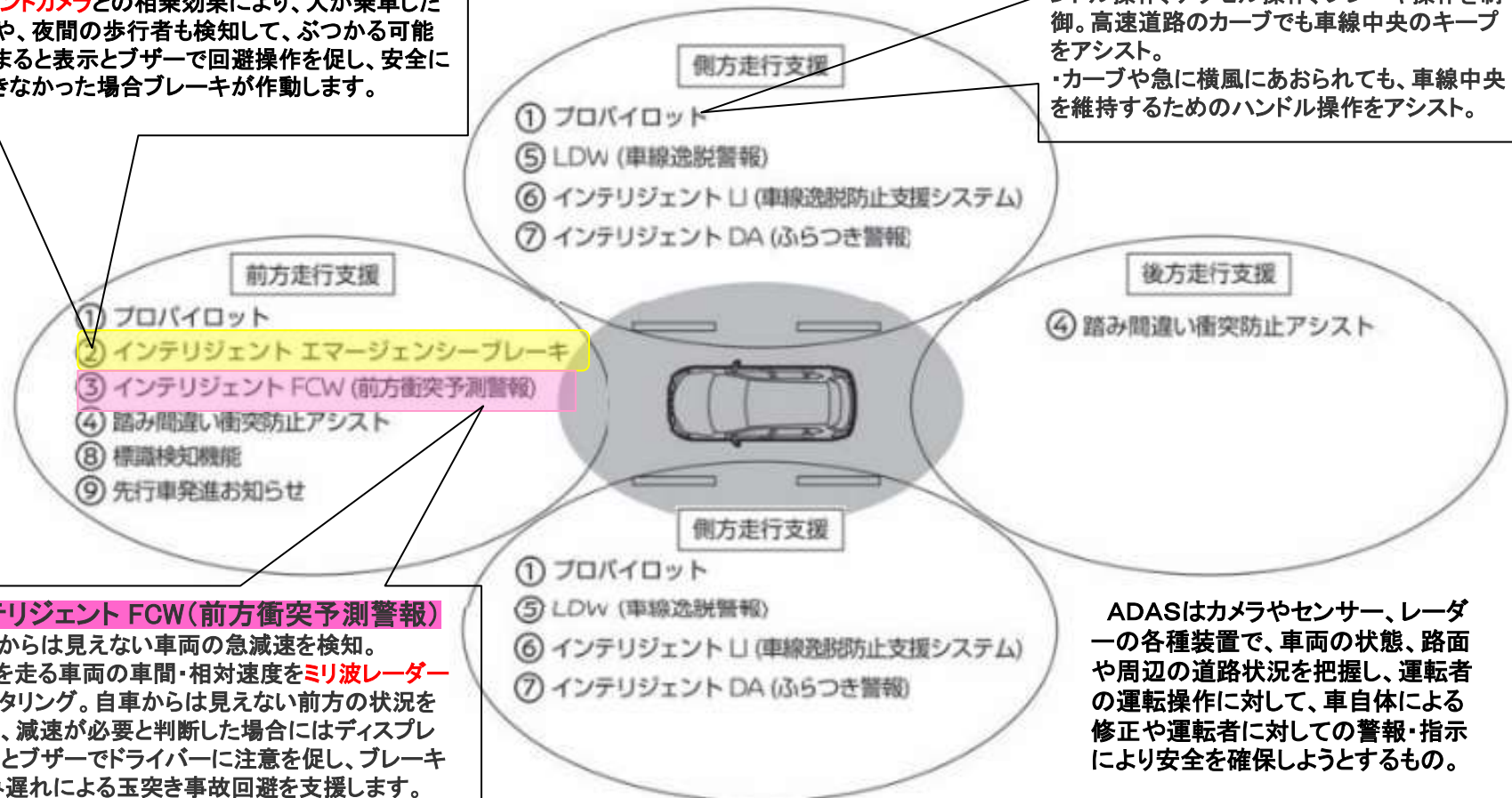
https://www.nissan.co.jp/SP/OM/SAKURA/2406/manual_t00um7pa5a.pdf

インテリジェント エマージェンシーブレーキ

走行中の衝突回避をアシスト。より遠くまで検知でき、周囲の明るさにも影響されにくい**ミリ波レーダー**を搭載。**フロントカメラ**との相乗効果により、人が乗車した自転車や、夜間の歩行者も検知して、ぶつかる可能性が高まると表示とブザーで回避操作を促し、安全に減速できなかった場合ブレーキが作動します。

プロパイロット

- ・高速道路のロングドライブ。渋滞走行でも、アクセル、ブレーキ、ハンドルの操作をクルマがアシスト。渋滞時のストップ＆ゴーでも車間のキープをアシスト。
- ・渋滞走行のとき、車間距離維持のためのハンドル操作、アクセル操作、ブレーキ操作を制御。高速道路のカーブでも車線中央のキープをアシスト。
- ・カーブや急に横風にあおられても、車線中央を維持するためのハンドル操作をアシスト。



インテリジェント FCW(前方衝突予測警報)

自車からは見えない車両の急減速を検知。2台前を走る車両の車間・相対速度を**ミリ波レーダー**でモニタリング。自車からは見えない前方の状況を検知し、減速が必要と判断した場合にはディスプレイ表示とブザーでドライバーに注意を促し、ブレーキの踏み遅れによる玉突き事故回避を支援します。

ADASはカメラやセンサー、レーダーの各種装置で、車両の状態、路面や周辺の道路状況を把握し、運転者の運転操作に対して、車自体による修正や運転者に対しての警報・指示により安全を確保しようとするもの。

※車両型式、オプションなどで装備が異なる場合あり

次世代自動車戦略研究所®

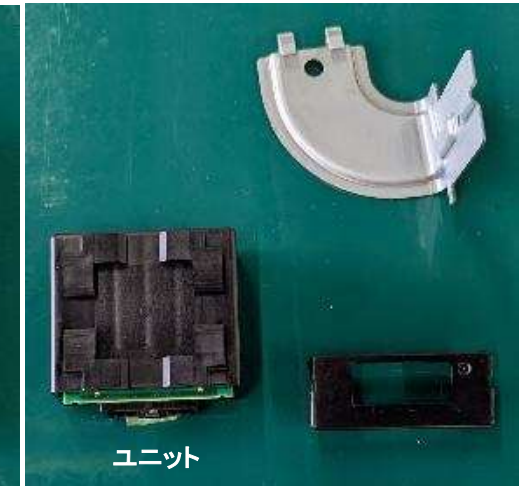
§ 12 ADAS(先進運転支援システム)

2)実車部品

(1)マルチセンシングフロントカメラ



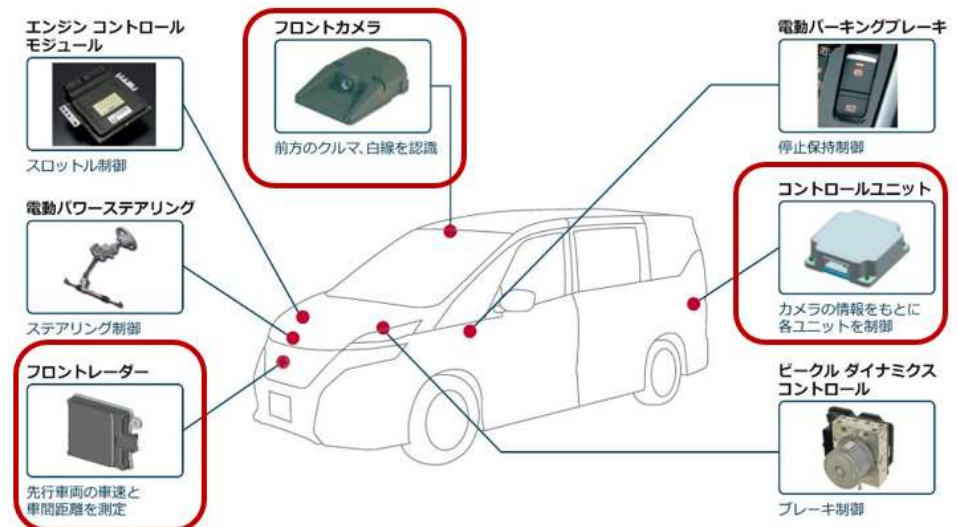
(3)ADASコントロールユニット



(2)ミリ波レーダー



(4)ADAS部品配置例



事故防止、高齢化などの要請からADASは現代のクルマとして必須。この技術が自動運転につながる。

§ 13 自動車 変革の時代

1. CASE

1) CASEとは <https://www.webcartop.jp/2021/10/783684/>



CASEとは、「Connected(コネクテッド)」「Automated/Autonomous(自動運転)」「Shared & Service(シェアリング)」「Electrification(電動化)」というモビリティの変革を表す4つの領域の頭文字をつなげた造語。2016年のパリのモーターショーで提唱されて以来、CASEは自動車業界全体の未来像を語る概念として話題を集めている。CASEがモビリティ業界にとって100年に1度の大変革をもたらす概念だと言われているのは、多くの変化が相互に関係し、同時期に起きているからである。

次世代自動車戦略研究所®

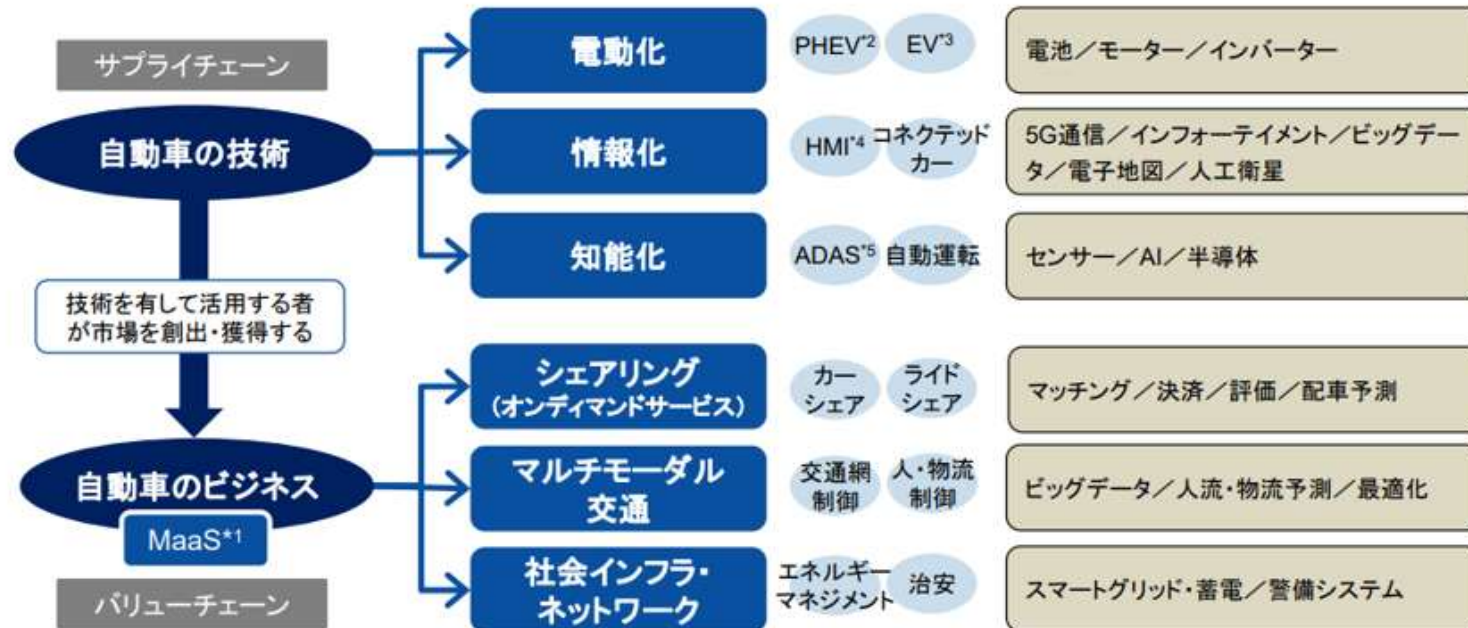
§ 13 自動車 変革の時代

2)「自動車」の変化

https://www.mizuho-bank.co.jp/corporate/industry/sangyou/pdf/mif_205.pdf

自動車の変化 ～技術進化とビジネス拡大の世界観～

- 自動車業界は今まさに大きな変化を迎えている
- 自動車の電動化・情報化・知能化といった技術進化が新たなビジネスを生み出し、技術を有して活用し得る者が自動車ビジネスの市場を創出・獲得する



*1: Mobility as a Service, *2: プラグインハイブリッド車, *3: 電気自動車, *4: Human Machine Interface, *5: Advanced Driving Assistant System

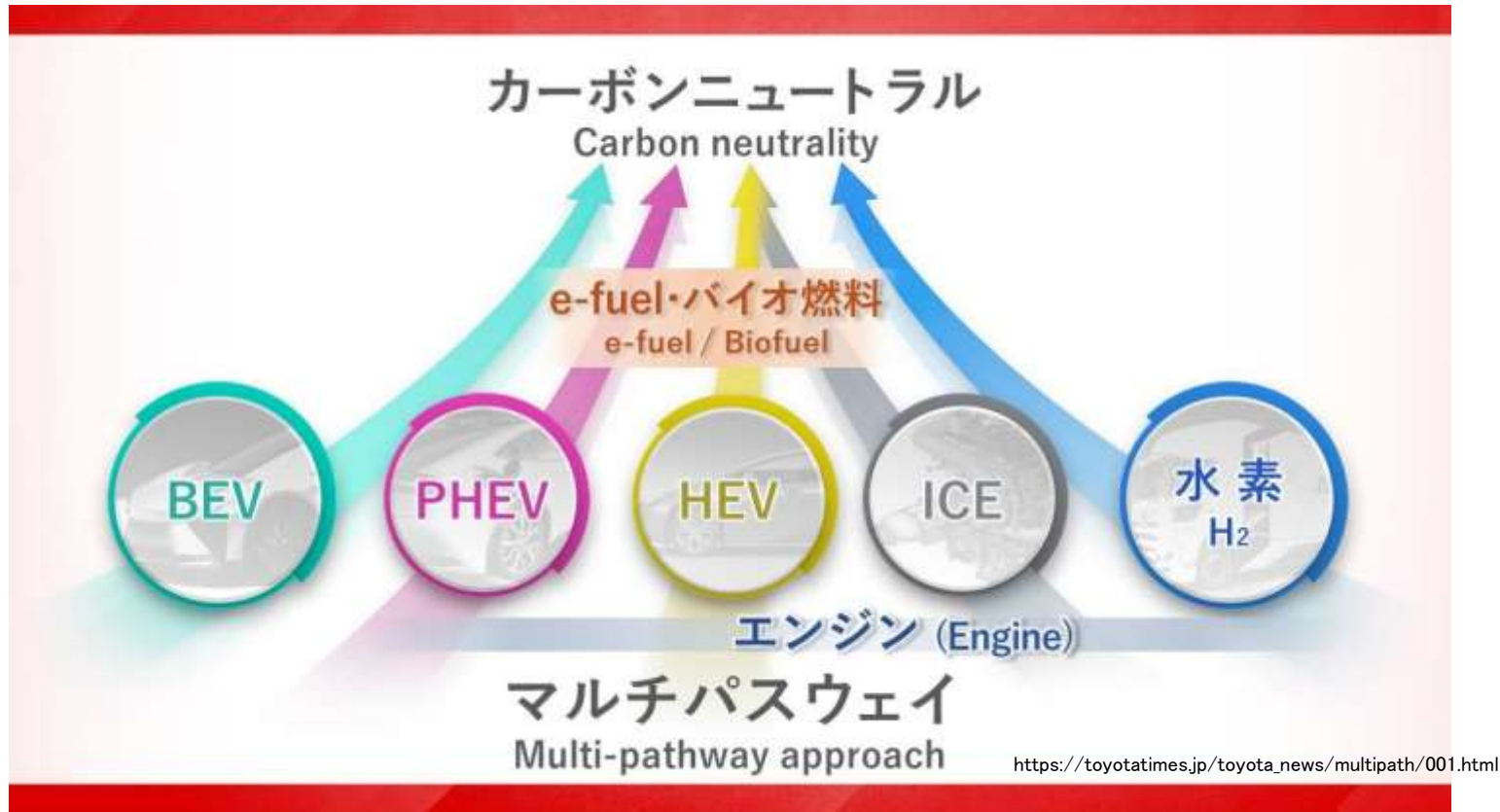
(出所) みずほ銀行産業調査部作成

自動車においては、電動化特にBEV化が大きな変化をもたらすとして注目されているが、それだけでなく自動車を取り巻く社会環境が変化し、新たなビジネスチャンスがもたらされようとしている。

§ 13 自動車 変革の時代

2. マルチパスウェイ

1)「真実はいつも一つ。敵は炭素」(トヨタ 豊田章男会長)



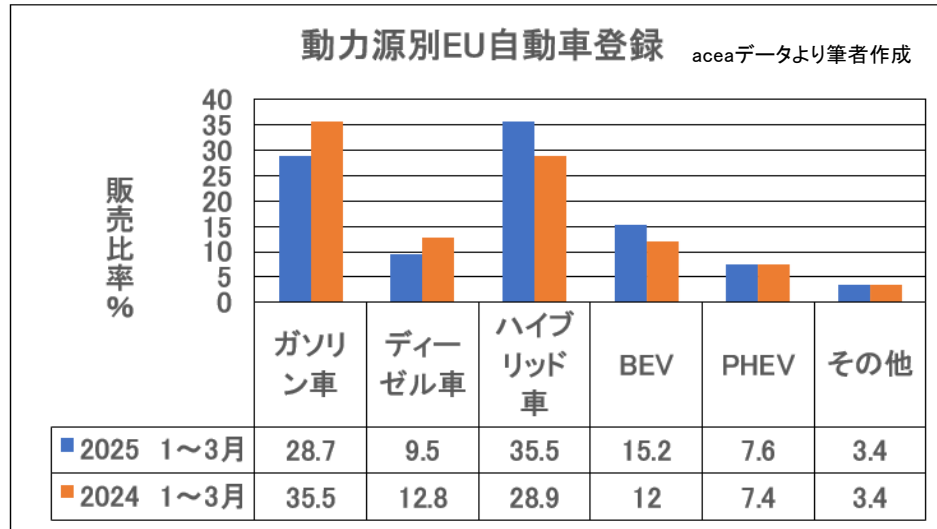
カーボンニュートラルの実現に向けて大切なことは、エネルギーの未来に向き合い、多様な選択肢を準備して、CO₂の排出を確実に減らしていくことです。昨年のG7広島サミットでも、「日本らしい山の登り方がある」、「カーボンニュートラルにも多様性を」というメッセージとともに、多様な選択肢にかける日本の自動車産業の想いをお伝えしてきました。

その一つとして、各社バッテリーEV(BEV)の開発に取り組んでいますが、エンジンもまた、マルチパスウェイに必要な技術です。電動車の普及に向けて、パワートレインに求められる新しい価値を追求し、未来のエネルギー環境に寄り添ったものに進化をさせていく。(2024.05.28 トヨタタイムズ マルチパスウェイワークショップにて トヨタ 佐藤恒治社長)

§ 13 自動車 変革の時代

3. EVシフトの見直し、HEVの販売増加

1) 欧州(EU)でもハイブリッド車(HEV)の伸びが大きい



2025年第1四半期の電気自動車市場シェアは15.2%にとどまり、依然として予想水準には遠く及ばない。ハイブリッド電気自動車の人気は引き続き高まり、購入者の間で最も人気のある動力源としての地位を維持している。

025年3月までに、バッテリー電気自動車(BEV)はEU市場全体のシェアの15.2%を占め、2024年第1四半期の12%という低い水準から増加しました。ハイブリッド電気自動車は急成長し、市場シェアの35.5%を獲得し、EU消費者の間で依然として人気の高い選択肢となっています。

2) トヨタでもハイブリッド車(HEV)が22.9%の伸び(2024年世界電動車販売台数) 自動車産業インフォメーションより筆者抜粋)

		HV	PHV	EV	FCV	合計
トヨタ	世界販売	4,237,000 (22.9)	154,000 (23.4)	140,000 (34.5)	2,000 (▲55.8)	4,533,000 (23.2)
	国内販売	872,000 (▲2.2)	20,000 (▲14.9)	2,000 (▲30.5)	1,000 (50.9)	896,000 (▲2.6)
	海外販売	3,365,000 (31.7)	133,000 (32.6)	138,000 (36.4)	1,000 (▲69.2)	3,637,000 (31.8)
	北米	1,060,000 (47.9)	75,000 (44.5)	36,000 (80.8)	1,000 (▲80.9)	1,170,000 (48.1)
	欧州	775,000 (7.8)	51,000 (37.2)	38,000 (17.8)	1,000 (▲33.7)	864,000 (9.5)
	アジア	1,157,000 (33.7)	7,000 (▲37.8)	61,000 (29.3)	0 (2.4)	1,224,000 (32.6)
	中国	806,000 (27.4)	4,000 (▲49.6)	60,000 (31.9)	0 (—)	869,000 (26.8)
	その他	374,000 (46.9)	1,000 (9.6)	3,000 (71.7)	0 (145.5)	378,000 (46.9)

2024年トヨタの国・地域別電動車販売。トヨタ自動車は販売全体の4割以上を電動車が占め、世界的な燃料高を背景に燃費改善効果の高いハイブリッド車(HV)が販売を伸ばすほか、電気自動車(BEV)も新型車効果で増加した。

§ 13 自動車 変革の時代

4. 電気自動車(BEV)の性能向上:トヨタの例

1) バッテリー開発方向

<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/39330299.html>



2026年の次世代EV導入に向け、電池も革新していく。

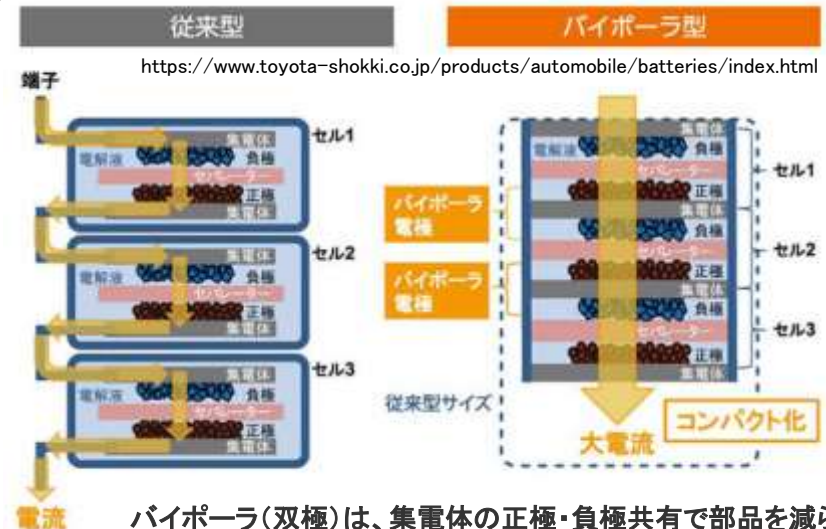
3) 次世代電池の開発目標

<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/39330299.html>

電池種類	形状	構造	正極	ラインオフ時期	EV距離 (CLTCモード、車両改善含む)	コスト (EV距離同等 時)	急速充電時間 (SOC = 10~80%)
現行	bZ4X搭載電池	角形	モノポーラ	NCM系	2022年	615km	~30分
次世代電池	① パフォーマンス版	角形	モノポーラ	NCM系	2026年	200% bZ4X比 1000km	~20分
	② 普及版	新構造	バイポーラ	LFP系	2026-27年 実用化にチャレンジ	20% UP bZ4X比	~30分
さらなる進化	③ ハイパフォーマンス版	新構造	バイポーラ	Ni系	2027-28年 実用化にチャレンジ	10% UP 次世代電池 パフォーマンス版 比	~20分

液系リチウムイオン電池は、角形電池のエネルギー密度の向上によりパフォーマンスを高める。また、バイポーラ構造を採用することで、ラインアップの拡充を進める。

2) 新構造



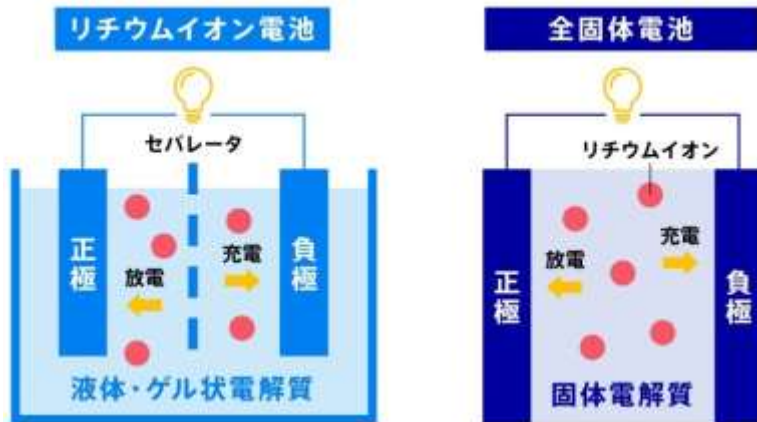
バイポーラ(双極)は、集電体の正極・負極共有で部品を減らして電池をコンパクト化。通電面積が広くシンプルな構造により、電池内抵抗を低減し、大電流を一気に流せる。新型アクア搭載のニッケル水素電池では従来型の約2倍の高出力化を実現している。

§ 13 自動車 変革の時代

5. 新電池

1) 全固体電池

出典: <https://www.honda.co.jp/stories/037/>

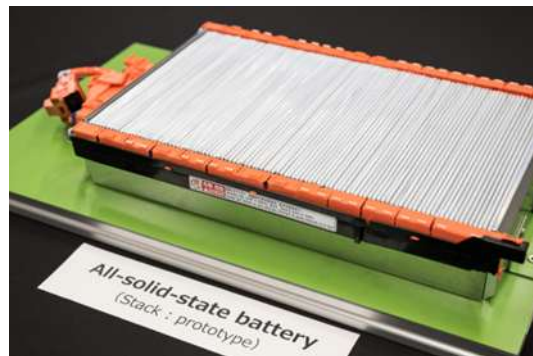


全固体電池の利点

- ①電池形状が小型化で、航続距離が伸び、形状がより自由に
- ②バッテリー劣化が低減。繰り返し高速充電できる“長持ち”なEVに
- ③熱に強く発火などの危険性が低くなり、より安全なEVに

2) トヨタの全固体電池

出典: Toyota Technical Workshop



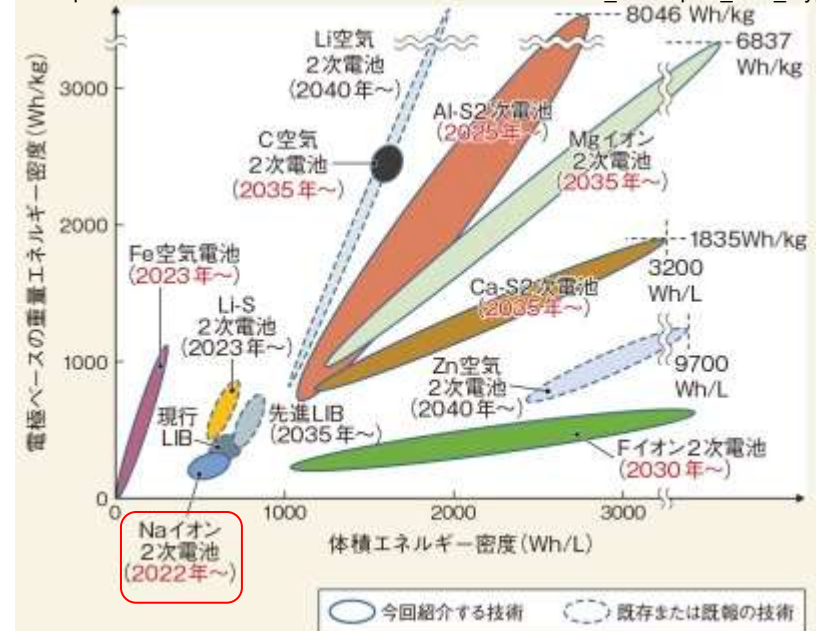
2027～28年を目標に、電気自動車（BEV）向け全固体電池の実用化を目指す。

次世代BEVに搭載すれば、航続距離は1200kmほどになるとみられ、急速充電時間も10分以下に短縮することを目指している。

コストは精査中。豊田自動織機と開発する。

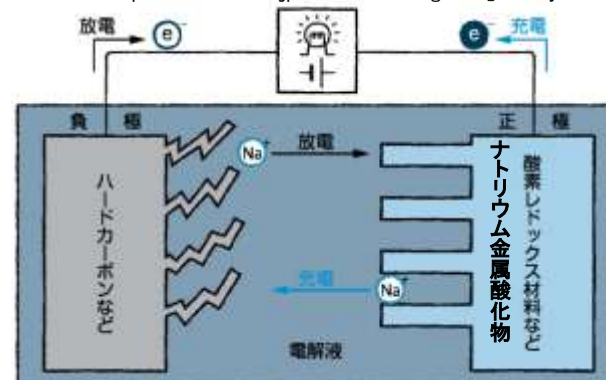
3) 脱Liイオン2次電池(LIB)の動き

https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/01992/00002/?i_cid=nbpxnt_reco_atype



4) ナトリウムイオン二次電池

https://mitsuba.co.jp/theme/rechargeable_battery/



ナトリウムイオンが両極間を移動し、脱離・吸着により充放電が行われる。

ナトリウムはリチウムと比較すると資源量が豊富で偏在せず安価で、資源リスクがない。また、充電速度が速く、使用温度が-20～60℃と広い。

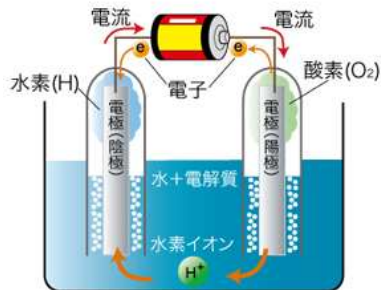
中国CATLやBYDが実用化し量産へ。

§ 13 自動車 変革の時代

6. 燃料電池車 (FCV) (FC: Fuel Cell)

1) 燃料電池の原理 出典: <https://fccj.jp/jp/aboutfuelcell.html>

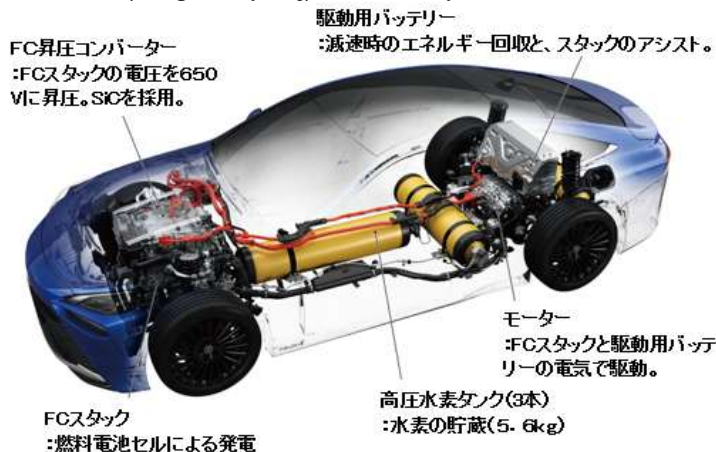
(1) 電気分解



左の「水の電気分解」では、電解質を溶かした水(H₂O)に電極を入れて、外部から電気を流すと、水素(H)と酸素(O₂)が発生。右の「燃料電池」では、一方の電極に水素を、そしてもう一方の電極に酸素を送ることによって化学反応を起こし、水(H₂O)と電気が発生。

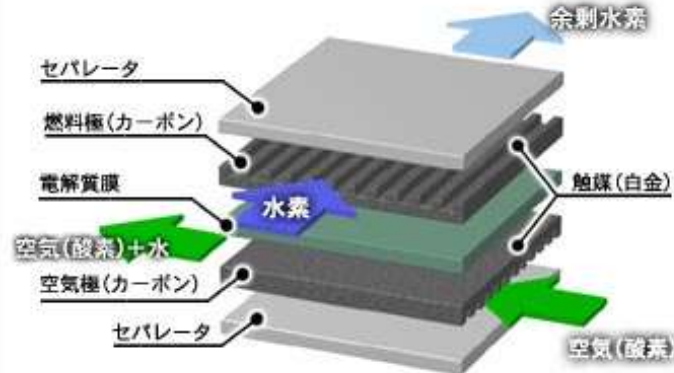
3) 燃料電池車(トヨタMIRAI)

出典: <https://global.toyota.jp/newsroom/toyota/33558116.html>



トヨタの燃料電池車の2代目。FFから後輪駆動に変え、フルサイズセダンになった。システムは新型クラウンにも搭載されている。

2) 燃料電池の基本構成 出典: https://eco-word.jp/html/04_energy/en-07.html



プラスの空気極とマイナスの燃料極が固体高分子膜(電解質膜)をはさんだ構造。空気極の酸素(空気)と水素が通る。水素は電解質膜と接して、電子を遊離して水素イオンとなり、反対側の電極に送られた酸素と外部から電線を通じて戻ってきた電子と反応して水になる。電子が電線を移動することは、電流が流れること、すなわち電気が発生する。

4) FC大型トラック

出典: <https://motor-fan.jp/mf/article/142385/>



長距離定点走行を基本とする大型トラックには水素を活用したCO₂削減が期待される。

定点基地に水素ステーションを置くことで水素補給の点も解決できる。

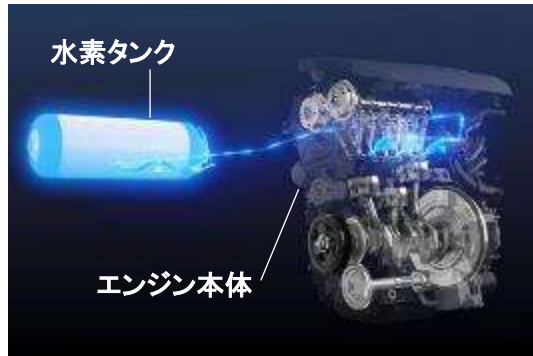
燃料電池(FC)システムは乗用車で開発したものを複数搭載することを想定している。

§ 13 自動車 変革の時代

7. 水素エンジン(トヨタの例)

1) エンジン <https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/35209944.html>

(1) 基本配置



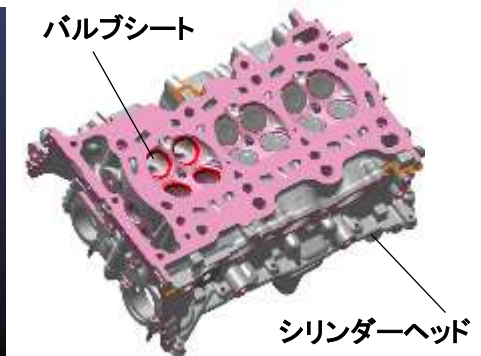
基本的には、ガソリンタンクを水素タンクに置き換えた形。

(2) 燃焼室



電子制御の噴射ノズルから水素ガスを直接噴射し、プラグで点火する。ノズルとプラグは開発品。

(3) バルブシート高精度加工



水素にあわせた材質変更と加工

(4) スーパー耐久レース車(実験車)



<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/40849694.html>

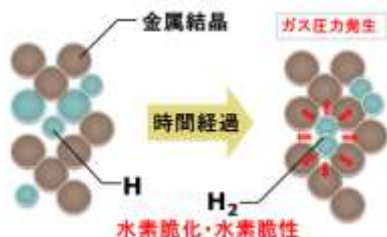
トヨタは、水素を燃料とするエンジンを開発し、2021年5月のサーキットレースに参加して完走した。車体はカローラ、エンジンはヤリスをベースにした。

エンジンは1.6L3気筒ターボ。気体の水素を噴射ノズルから噴射し点火プラグで点火する方式。CNGやLPGでの経験を踏まえ、水素の特性に合わせた仕様で仕立てている。

当初は70MPaの圧縮気体水素をボンベに搭載してレース走行していたが、2023年からは液体水素を搭載し、これを気化した水素ガスを燃焼するシステムに変更して出走している。

液体水素エンジンGRカローラ(2025年スーパー耐久富士レース車)

(5) 水素脆化 https://www.kikai.numazu-ct.ac.jp/senkouka/専攻科HP2011/res/me/me_top.html



水素脆化とは、金属組織中に入り込んだ水素が、材料を脆くしてしまうという欠陥のこと。水素脆化は「遅れ破壊」という大変深刻な問題を引き起こす。遅れ破壊とは、静的な荷重を受けている金属材料が突然破断する現象。HRC(ロックウェル硬さ)40以上、抗張力130kgf/mm²などの基準に当てはまる高張力鋼や高強度鋼が、水素脆性を引き起こしやすいといわれる。

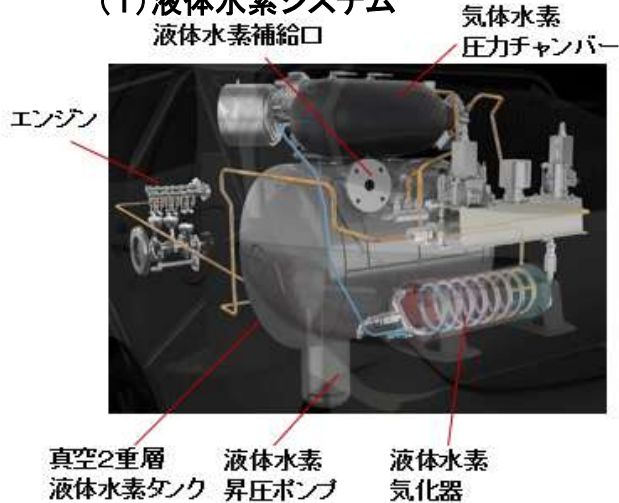
水素脆化を防止できる完全な金属はないが、比較的水素脆化が起こりにくいとされるものにステンレス鋼SU S316Lがあり、燃料電池車では、この金属材料が水素燃料配管や水素制御弁などに使われることが多い。

§ 13 自動車 変革の時代

2) 液体水素への転換

出典: <https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/39234812.html>

(1) 液体水素システム



☆水素ガスは-253℃で液化
 ・体積: ガスの800分の1
 ・密度: 70.8kg/m³
 ・重量エネルギー密度
 : 142MJ/kg
 (ガソリン49MJ/kgの約3倍)

(2) 液体水素システム搭載レースカー: 2023年

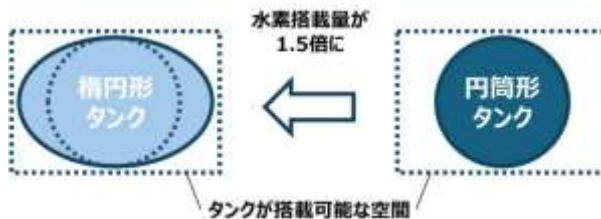


レース用カローラの車体に、-253℃の液体水素システムを搭載した。現状では後席を占領している。

(3) 液体水素システムの進化: 2024年

出典: <https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/40849694.html>

① 異形タンク採用による航続距離の向上

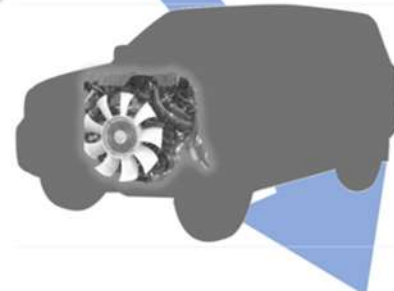


② 液体水素昇圧ポンプの耐久性向上



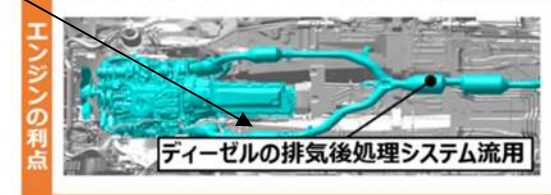
液体水素をエンジンに送る
 ピストン往復式ポンプ。
 駆動入力をバランスの良い
 両持ちに変更し耐久性向上。

(4) 開発の課題



水素エンジン排ガス中のNO_x

従来エンジン技術の流用可能



代表例: 水素燃焼で発生する水対策



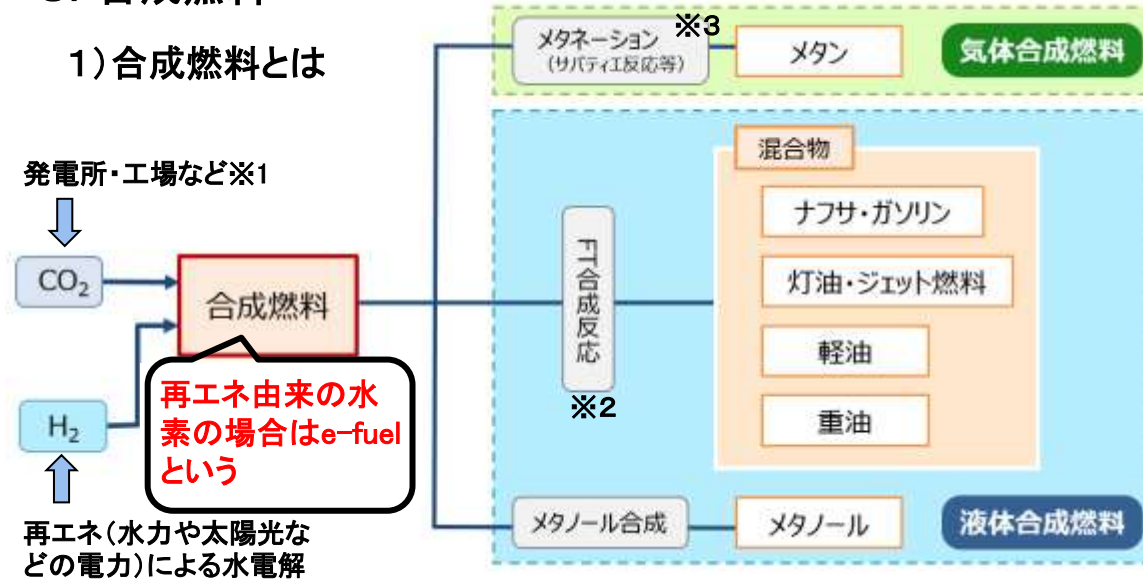
市販・量産化に向けた検討も進められている。水素エンジンは船舶や大型トラックのエンジンでも可能性を探っている。

次世代自動車戦略研究所®

§ 13 自動車 変革の時代

8. 合成燃料 https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/gosei_nenryo.html

1) 合成燃料とは



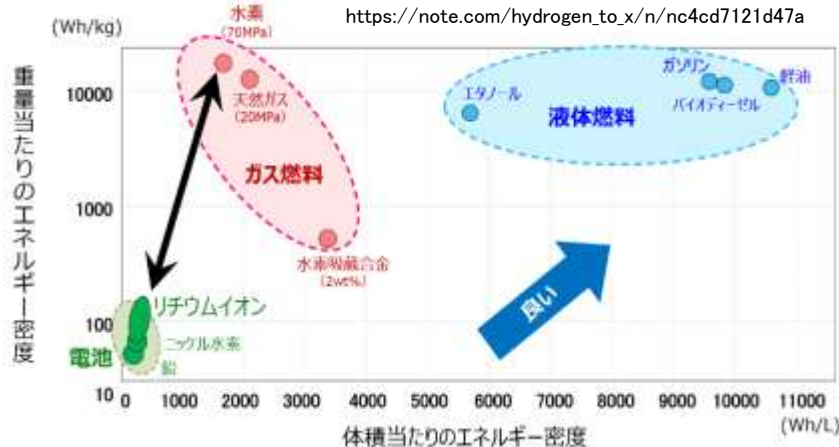
合成燃料は、原油にくらべて硫黄分や重金属分が少ないという特徴があり、燃焼時もクリーン。CO₂も増加しない。

※1 DAC: Direct Air Capture
大気中のCO₂を直接分離・回収する

※2 FT(フィッシャー・トロプシュ)反応
一酸化炭素と水素から触媒技術で炭化水素を合成する技術

※3: メタネーション
水素と二酸化炭素から合成メタンを人工的に合成すること

2) 高いエネルギー密度



液体の合成燃料には、化石燃料を由来とするガソリンや軽油などの液体燃料と同じく「エネルギー密度が高い」という特徴がある。

3) EUのe-fuelエンジン車承認

出典: https://ene-fro.com/article/ef295_a1/

2023年3月28日のEUエネルギー閣僚理事会は、「乗用車および小型商用車の二酸化炭素(CO₂)排出基準改正法案」で、2035年にゼロエミッション車以外の販売を原則禁じることで正式に合意した。

EUは地球温暖化対策の一環として、EV(電気自動車)化を急速に進めており、内燃機関(以下、エンジン)搭載車の新車販売を2035年以降認めない方針だった。その点はこれまでと同じだが、**今回例外としてe-fuelや水素を利用するエンジン搭載車に限り、新車販売を2035年以降も認めることとなったことが大きい。**

今回のEUの決定は、EVで出遅れている日本車メーカーにとって福音だ。これまでEV至上主義ともいえるEUの姿勢に、日本車メーカーは欧州市場において競争力を失うのではないかと危惧されてきた。しかし、今回EUが使用を認めたe-fuelは、既存のエンジン搭載車はもちろん、日本車メーカーが得意とするHV(ハイブリッド車)やPHV(プラグインハイブリッド車)にも使用でき、2035年以降も引き続き欧州で販売できることになる。

次世代自動車戦略研究所®

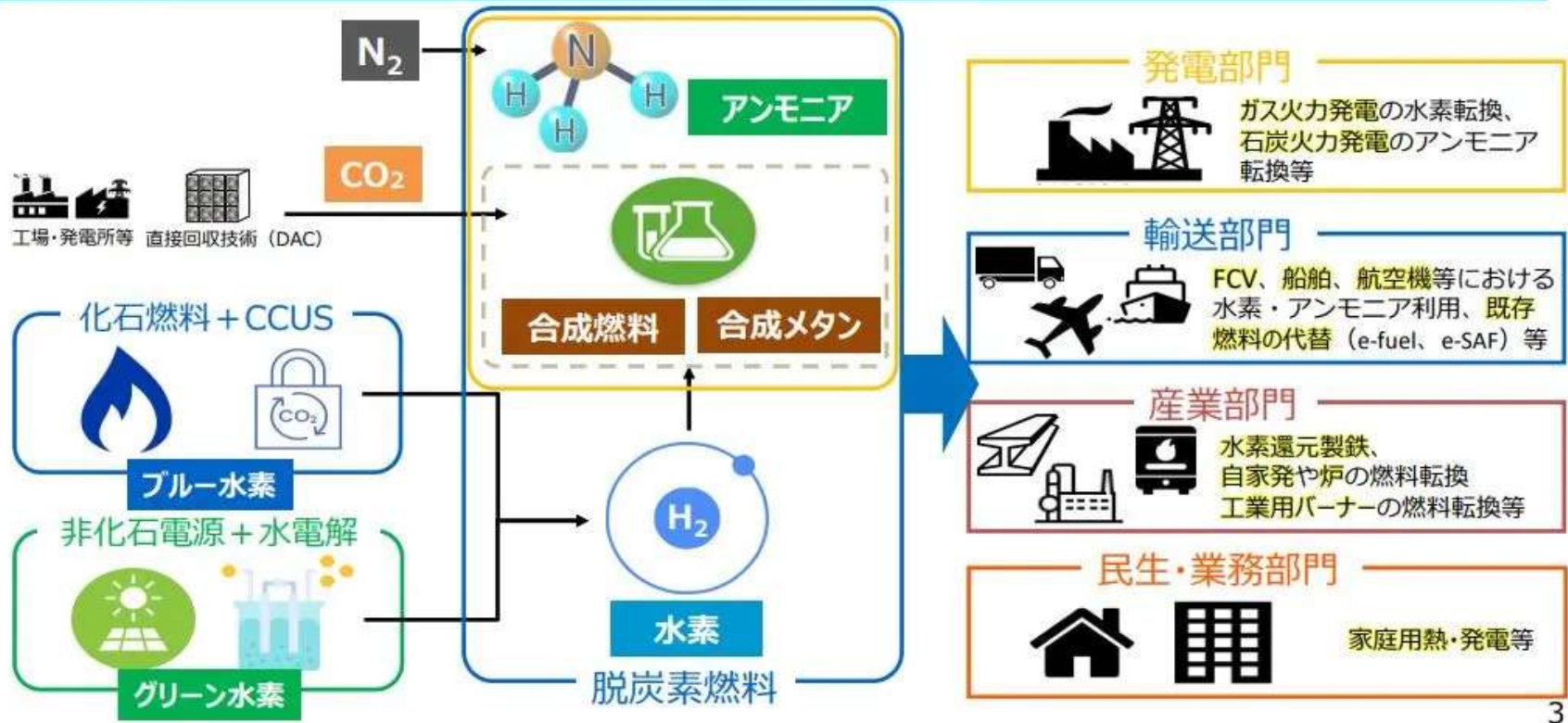
§ 13 自動車 変革の時代

8. 合成燃料

3) アンモニア燃料

https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/020_04_00.pdf

水素等の供給源及び需要先



アンモニア燃料は、水素と窒素から構成、燃焼時に二酸化炭素を排出しないことが最大の特長。発電や輸送分野における化石燃料の代替手段として期待されており、特に既存の石炭火力発電所における混焼技術の開発が進んでいる。アンモニアは水素を効率的に運搬・貯蔵できる「水素キャリア」としての役割も果たす。

水素と比べアンモニアは、常温・常圧でも比較的安定した状態を保つことができ、より容易に国際的な輸送が可能で、グリーンアンモニア(再生可能エネルギー由来のアンモニア)を海外から調達し、国内で燃料として利用する取り組みが進められている。

(Scopeマガジンより抜粋)

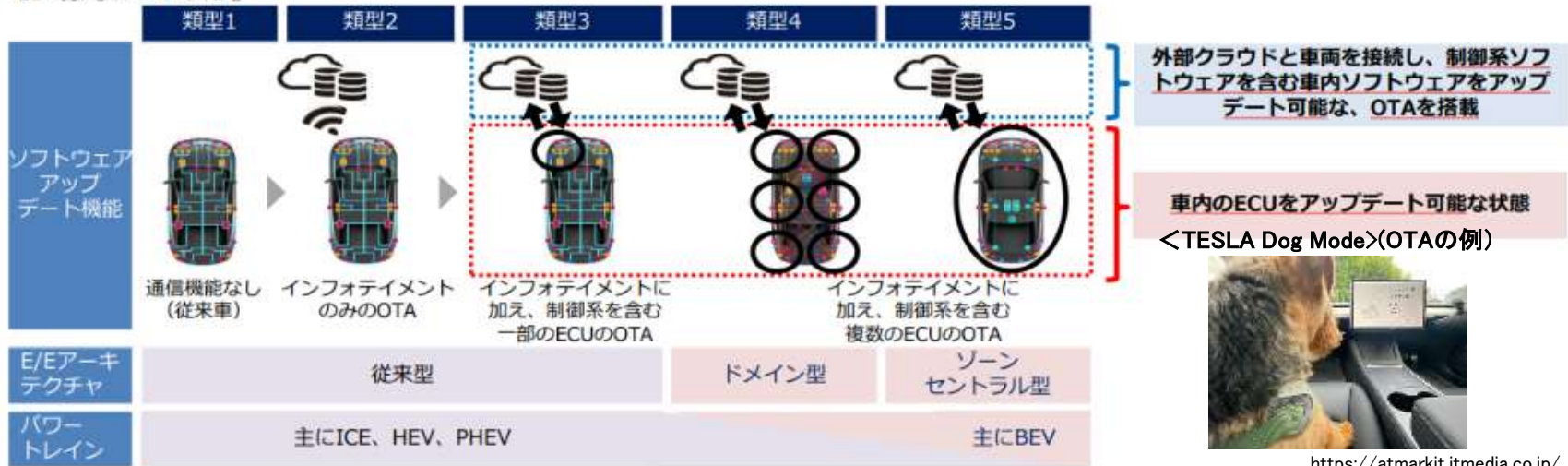
§ 13 自動車 変革の時代

9. SDV (Software Defined Vehicle: ソフトウェア定義車両)

1) SDVとは:「制御系ソフトウェアをアップデート可能なOTA *機能を搭載した車両」

【多様なSDVの形】

https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/jido_soko/pdf/mobilitydxsenryaku2025.pdf



2) OTAアップデートにより付加される機能の例

一般ユーザーからの投稿によりOTAで実現した。

自動運転やADAS機能の搭載	車両機能を最新の状態に維持	自動車×他業種による 多様なサービス設計	機能やサービスの カスタマイズ
			
Tesla	BYD	Tesla	NIO
完全自動運転を想定した運転支援 機能 (FSD: Full-Self-Driving) 搭載	OTAにより車両に搭載された機 能をリモートで更新・改善	OTAで他社のエンターテインメ ントアプリを追加	乗客の質問やコマンドに対応可 能な双方向的な会話を実現
2020年から北米で提供開始。2025 年以降に欧州、中国でも提供を予定 - 現時点では自動運転レベル2相当だ が、完全自動運転を開発予定	日本におけるDolphinのOTAで、 シートベルトの非着用警告音の最適 化、充電スタンドとの互換性改善、 エアコン機能の最適化を実施 (2024年9月、2025年2月)	ラジオアプリ (TuneIn) や音楽ア プリ (YouTubeミュージック、 Amazonミュージック)、ゲーム プラットフォーム (Steam) との 提携 等	2024年9月のOTAにて、スマート AIアシスタント「NOMI」を改善 し、GPTを搭載した新機能を欧州 で配信

SDVではOTAによるソフトウェアのアップデートを通じて、購入後も新しい機能を追加可能。
車両機能の更新・改善や エンターテインメント機能の追加、ユーザーの好みや利用状況に基づくパーソナライゼーションの提供等、新たな付加価値を創出。

§ 14 BEV化の影響

1. 部品の減少

出典：https://www.chusho.meti.go.jp/pamflet/hakusyo/h23/h23/html/k212300.html



BEV化により、自動車部品の37%が削減になるという予測。

特にエンジンやトランスミッションが電動モーターや減速機に置き換えられることが大きく、該当する部品製造企業は新たな展開が必要となる。

エンジン、トランスミッションは細かな部品も多く、歴史的にも中小企業の分担も多いので影響が大きい。

※ガソリンエンジン（4気筒DOHC）の部品数はざっと250個。
対するモーターは約20個。
（ただし、ステーターワイヤは1セット、ローターコアは1個ととした。）

電気自動車によって不要となる部品（想定）

	ガソリン自動車の 部品の構成比	電気自動車に不要 となる部品割合	自動車部品点数を3万点 としたときの部品点数	電気自動車に不要 となる部品点数
エンジン部品	23%	23%	6,900	6,900
駆動・伝達及び操縦部品	19%	7%	5,700	2,100
懸架・制動部品	15%	0%	4,500	0
車体部品	15%	0%	4,500	0
電装品・電子部品	10%	7%	3,000	2,100
その他の部品	18%	0%	5,400	0
合計	100%	37%	30,000	11,100

（資料）経済産業省「素形材産業ビジョン追補版（2010年6月）」
1. 自動車部品点数は全体の部品点数を3万点としたときの数値。
2. 自動車部品工業会からの資料を基に作成。

次世代自動車戦略研究所®

§ 15 BEV化への対応

1. 長野県 次世代自動車分野への参入状況等に係る調査結果（長野県産業労働部 筆者抄訳）

1) 調査の概要 県内企業に対し、次世代自動車分野に関する参入状況調査を実施

・ 調査期間: 令和6年6月3日～19日 ・ 調査対象: 県内製造業企業（長野県産業振興機構のメーリングリスト登録企業869社）

・ 有効回答数: 118件（うち自動車関連の取扱いなし、かつ今後参入を予定 2件 うち自動車関連の取扱いなし、かつ今後も参入予定なし 37件）
回答率 13.5%（118/869）

1) EVシフト等の次世代自動車の普及が、5年後の売上に与える影響



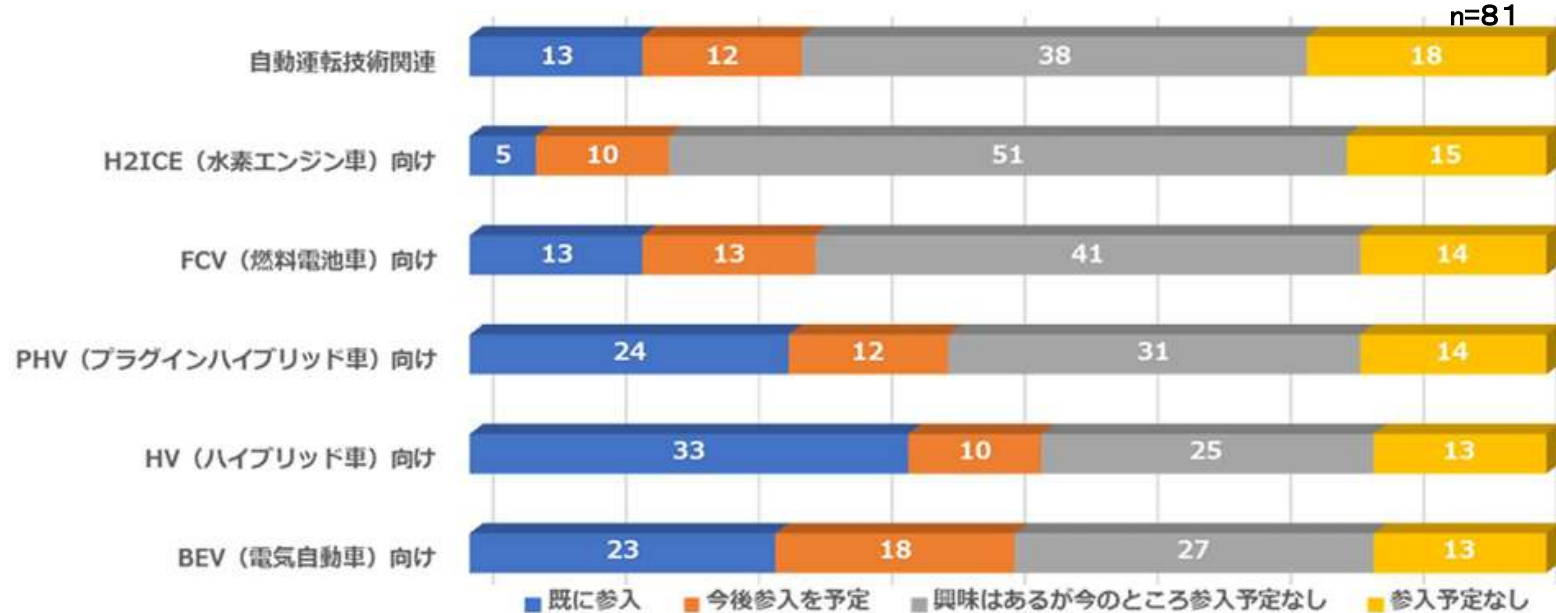
影響	取り扱っている自動車関連部品	影響の要因として想定される事由
影響を受け増加する	基板実装部品、車載用ディスプレイ 関連、電装品・電子部品、コンデンサ関係、リッツ線・コイル、センサー、電源系部品製造用の自動化装置部品 等	▷1台あたりの車に搭載されるディスプレイは今後さらに増加する ▷電動化による電動車両用部品の増加に伴い、プレス・プラスチック成形の複合化案件の増加が見込まれる ▷電源系部品の需要増による装置需要の上昇 ▷部品開発の受注減
影響を受け減少する	エンジン関連、インジェクター部品、シャフト、ブレーキ関連、ミッション関連、計器類 等	▷エンジン部品の受注減、EV部品の客先内製化による受注減 ▷部品点数使用減により影響大となる事が想定される ▷次世代自動車の普及により、熱処理工程の無い部品の台頭や、既存のエンジン部品等の生産終了が考えられ、全体的な受注量の減少が想定される
影響はない	タンク関連（インサートナット）、外装パーツ、内装部品、アルミホイール、ヘッドランプ 等	▷EVでもエンジンでもプラスチック部品は必要な為、影響はなしと考えられる ▷影響はないと思われるが、新品種等が出てくる可能性がある
わからない	エアコン関連、ワイパー部品、内装関連（プラスチック部品の金型）、樹脂めっきパーツ 等	▷電動化により増加予想の案件も有れば減少予想の案件もある EV車は増えるであろうが、どこまで伸びるのかは不透明と考 えている

§ 14 BEV化への対応

2) 次世代自動車分野への参入状況

次世代自動車の区分ごとの参入状況について、「既に参入」の回答が最も多かったのは「HV(ハイブリッド車)向け」であった。「今後参入を予定」では、「BEV(電気自動車)向け」が最も多く、次世代自動車分野の中で、BEVへの対応を進める企業が多い。

一方で、「HV(ハイブリッド車)向け」を除く全区分において、「興味はあるが今のところ参入予定なし」の回答が最も多く、実際に参入を判断するには至っていない。



<製造又は加工している(予定している)次世代自動車関連部品>

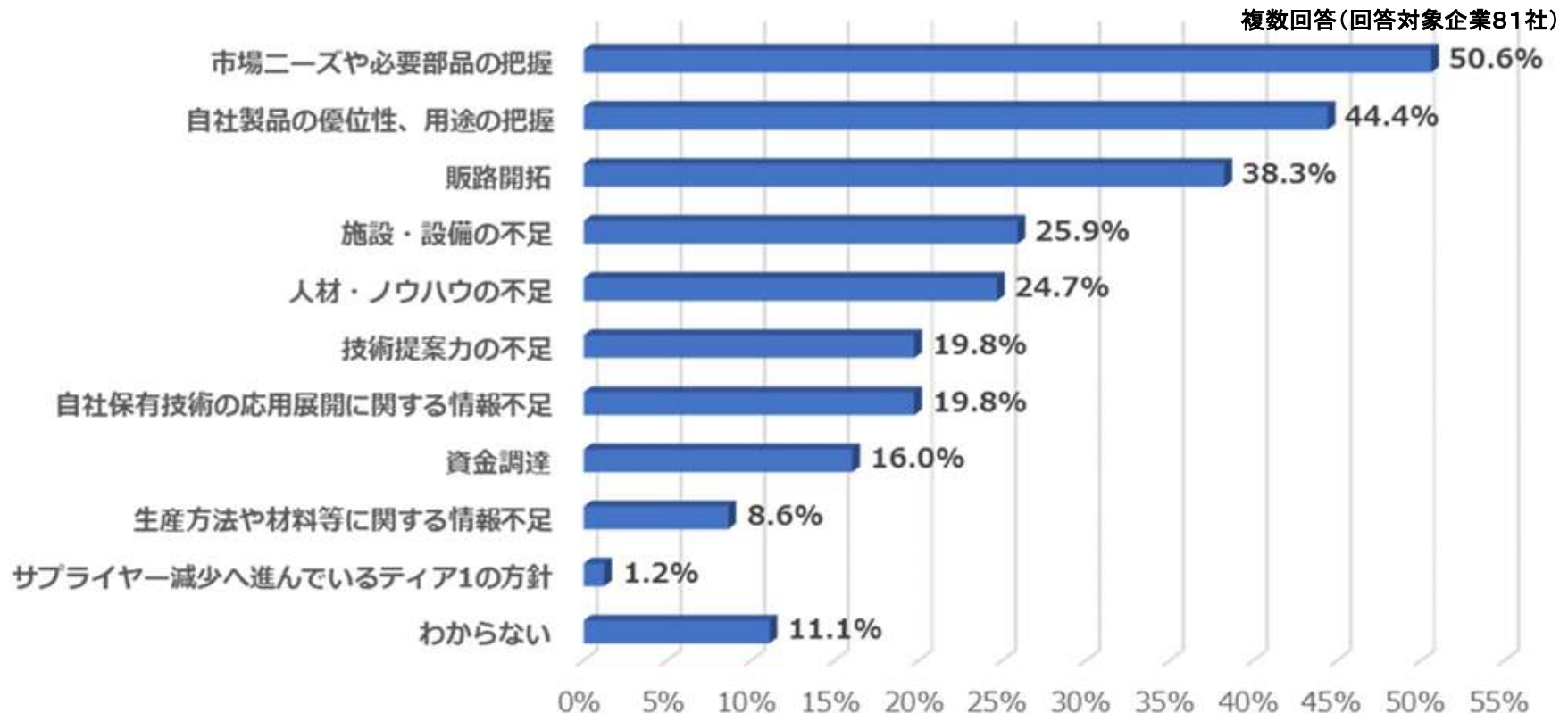
バッテリー関連	バッテリーモニタリング部品、EV関連冷却装置関連部品、センサー(コネクタ、端子)、バスバー、絶縁シート、電池関連、パワーコントロールユニット、駆動用バッテリー、バッテリー固定金具
モーター関連	駆動・車載用モーターのロータマグネットの着磁、リッツ線・コイル、モーター関連の金型、モーターコア(設計)、積層コア
インバータ関連	インバータ関連部品、DC-DCコンバータ、昇圧コンバータ、ヒートシンク、基板実装品
自動運転関連	自動運転技術関連(センサー)、ADAS、DMS関連、V2X通信機器、LiDAR関連
その他部品	HUD(ヘッドアップディスプレイ)、エアコン弁関連、車載カメラ部品、車載用ディスプレイ、表示パネル用ドライバー半導体、電子デバイス関連、回生協調ブレーキ
生産用機械等	半導体関連生産設備、EV用試験機(Eアクスル等の耐久試験装置)
FCV 向け	FCV 関連部品、FCスタック、燃料電池セパレータ
H2ICE 向け	水素燃料電池車用配管部品

§ 15 BEV化への対応

3) 次世代自動車分野への参入にあたっての課題

次世代自動車分野への参入にあたっての課題について、複数回答選択形式で調査した結果、「市場ニーズや必要部品の把握」が最も多く、50.6%の企業が選択した。「自社製品の優位性、用途の把握」が44.4%で続き、個社での情報収集には限界があり、多くの企業が十分な情報を得られていないと推察される。

そのほか、「施設・設備の不足」、「人材・ノウハウの不足」といった生産上のリソースの不足も参入障壁となっている。



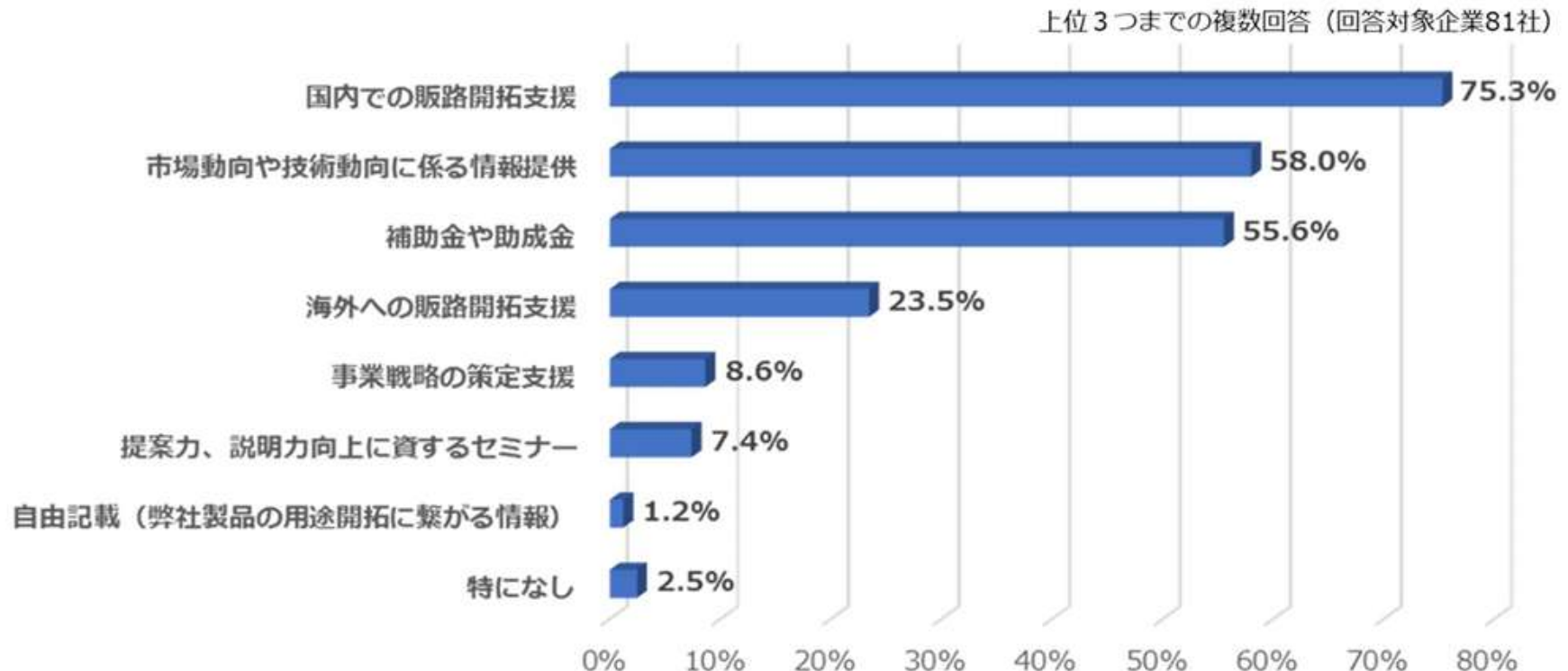
§ 15 BEV化への対応

4) 今後、長野県及び長野県産業振興機構に期待する支援策

長野県及び長野県産業振興機構に期待する支援策として、上位3つまでの複数選択形式で調査した結果、「国内での販路開拓支援」が最も多く75.3%の企業が選択した。「海外への販路開拓支援」も23.5%となっており、中小企業が単独で販路開拓を行うのは、費用や労力の面で負担が大きいことが背景にあると推察される。

次いで多かったのが、「市場動向や技術動向に係る情報提供」であり、参入にあたっての課題で「市場ニーズや必要部品の把握」が回答多数であったことを反映しているといえる。

また、「補助金や助成金」と回答した企業も55.6%となっており、資金面で制約のある中小企業に対しては、補助金や助成金による後押しも必要である。



§ 15 BEV化への対応

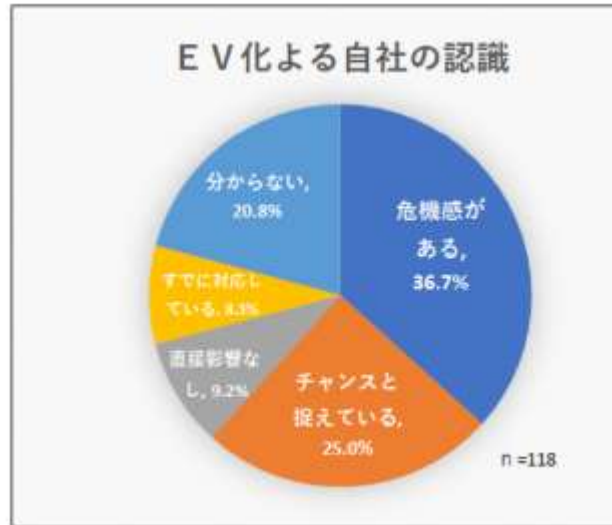
2. 「EVショック」への対応(岐阜県中央会)

岐阜県補助事業「EVシフト対応に関するアンケート調査結果」

【調査概要】

- ◆調査対象: 岐阜県内に本社・事業所を置く自動車関連部材製造を行う中小企業 366社
- ◆有効回答数: 126者(有効回答率 34.4%)
- ◆調査期間: 令和4年4月15日～5月13日 ※調査時点 4月15日
- ◆回答企業属性 従業員規模: 29人以下 42.8%、30人～99人 33.4%、100人以上 23.8% 分野別(複数回答): エンジン関連 45.7%、電装品・電子部品 36.4%、車体部品 36.4%、その他 31.8% 技術分野(複数回答): 機械加工 43.5%、プレス加工 30.6%、プラスチック成形・加工 16.9% 鋳物(鋳造・ダイカスト) 8.9%、設計 10.5%、その他 29.0%

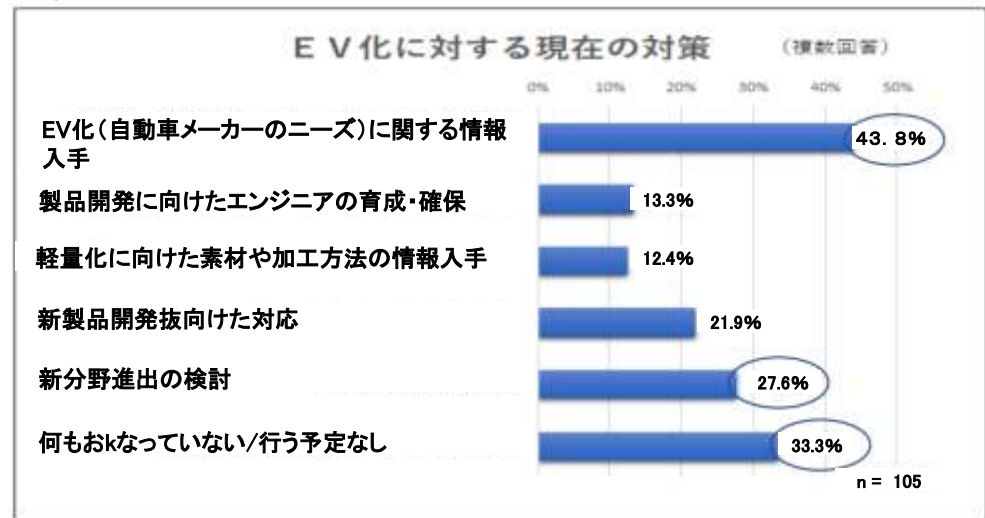
①EV化の進展に対する自社の認識



最も多かった回答が「危機感がある」(36.7%)あり、次いで「チャンスと捉えている」(25.0%)となっている。

技術分野別で見ると、「危機感がある」の回答割合が高いのは鋳造(鋳物、ダイカスト等)で、「チャンスと捉えている」、「すでに対応している」はプラスチック成形・加工となっている。

②EV化に向けた現在の対策

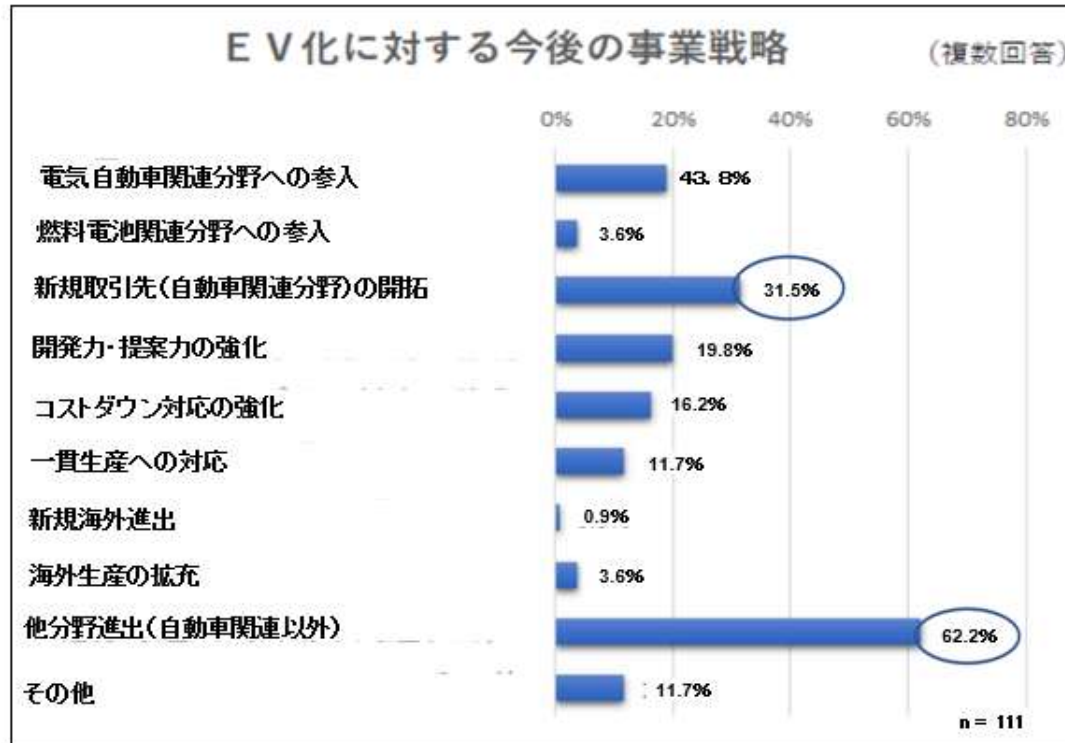


最も多かった回答が「EV化(自動車メーカーのニーズ)に関する情報入手」(43.8%)であり、次いで「何も行っていない/行う予定なし」(33.3%)、「新分野進出の検討」(27.6%)の順となっている。

技術分野別を見ると、「EV化(自動車メーカーのニーズ)に関する情報入手」では製缶鋁金加工を除く、多くの技術分野で回答割合が高い。なお、「新分野進出の検討」では機械加工と鋳造(鋳物、ダイカスト等)、「何も行っていない/行う予定なし」はプラスチック成形・加工と製缶鋁金加工の回答割合が高い。

§ 15 BEV化への対応

③EV化に対する自社の事業戦略



EV化に対する自社の事業戦略について尋ねたところ、最も多かった回答が「他分野進出(自動車関連以外)」(62.2%)であり、次いで「新規取引先(自動車関連分野)の開拓」(31.5%)となっている。

技術分野別で見ると、「電気自動車関連分野の参入」はプラスチック成形・加工、「他分野進出(自動車関連以外)」は、技術分野に関係なく回答割合が高い。

④新たに進出したい分野(複数回答)



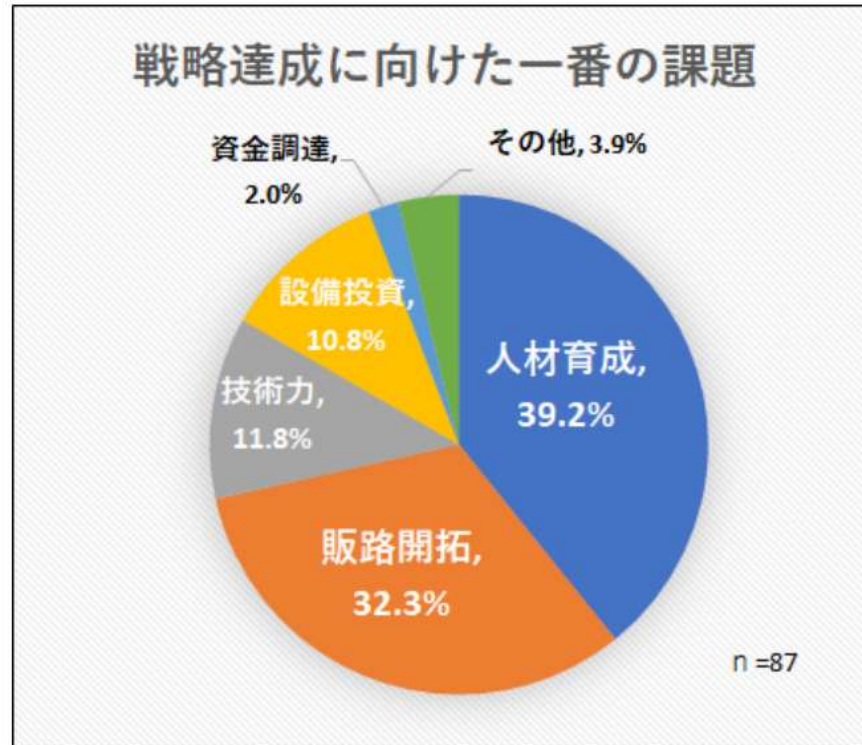
他分野進出(自動車関連以外)」と回答した企業に対して、新たに進出したい分野について尋ねたところ、最も多かった回答が「産業機械・建設機械」(45.5%)であり、次いで「健康・医療」(30.3%)、「その他の製造業」(24.2%)の順となっている。

技術分野別で見ると、「産業機械・建設機械」は、機械加工、プレス加工、製缶钣金加工、「健康・医療」ではプレス成型・加工と基板加工の回答割合が高い

次世代自動車戦略研究所®

§ 15 BEV化への対応

③EV化に対する自社の事業戦略



事業戦略達成に向けて、課題となっていることを尋ねたところ、最も多かった回答が「人材育成」(39.2%)であり、次いで「販路開拓」(32.3%)の順となっている。

技術分野別で見ると、「人材育成」は機械加工、プレス加工、鋳造(鋳物、ダイカスト等)、「販路開拓」はプラスチック成形・加工と製缶鋁金加工の回答割合が高い。

これからのEVシフトの進展について見解を尋ねたところ、最も多かった回答が、「予想より早くEVシフトが進む」(34.4%)であり、次いで「概ね予想どおりEVシフトが進む」(26.9%)であった。回答した約6割の企業が「EVシフトが予定どおり／早く進む」と回答している。

EVシフトに伴い、自社の影響に尋ねたところ、回答者の約6割の企業が「マイナス影響」(59.7%)と受けると予測している。

「影響(プラス、マイナス)を受ける」と回答した企業に対して、その影響を受ける時期について尋ねたところ、最も多かった回答が「2～3年後」(27.3%)であった。「既に影響がある(22.2%)」も含めると、約半数の企業が3年後までにはEV化の影響を受けると回答している。

§ 15 BEV化への対応

3. 埼玉県産業振興公社 埼玉県内の中小企業のEVシフト対応に関する調査結果

■調査期間:2018年7月～8月 ■調査方法:県内で輸送用機械器具に関与する企業および、EVシフトに伴いEV市場への参入が見込まれる調査先1,000社に調査票を郵送。回収数は204社(回収率20.4%)。出典:https://www.saitama-j.or.jp/wp-content/uploads/2019/04/jidosha_evshift.pdf

(1) 自動車以外の他分野への展開を考える企業の内訳

自社で行う加工品	自社が持つ加工技術	新規参入を目指す分野
ゴム成型用金型	機械加工、車体シール部品	医療機器、航空機
自動車部品・電気製品	自動NC版を用いた小物金属切削加工	医療機器
プラスチック成形品	プラスチック樹脂加工、金型製作	医療機器、FA機器(ロボット等)
アルミダイカスト部品	ダイカスト鑄造加工、機械加工	医療機器、介護用品
パワーステアリング製品	冷間鍛造、機械加工	建設機械、医療機器
ねじ、ボルト、シャフト、締結部品	圧造、転造、切削加工	IOT機器向け部品
金属加工部品	切削加工	不動産賃貸
自動車試作板金部品、航空エンジン部品、ガスタービン部品	設計、金型製作から製品生産	航空機
ジオメット処理加工	金属表面防錆処理	建設機械、医療機器
自動車部品(ボルト、ナット、ギヤ)	熱加工処理	キャスター部品
排気管、足回りサブフレーム、ペダル	パイプ加工、プレス加工、溶接など	建材、衛生機器など

(2) 製造業者がEVシフトで伸ばしたいと考えている製品と活かしたい技術

製品名	加工技術	製品名	技術名
	押出成形ほか	防振ゴム	押出加工、配合
砂型アルミ鑄造部品	砂型低圧鑄造技術、砂積層鑄型応用技術	モーター系部品、電池用ケース部品、車体足回り部品	砂型アルミ鑄物の一体成型技術、砂積層鑄型活用での複雑形状製品
自動車部品、電気製品等	自動NC旋盤を用いた小物金属切削加工	モーター、エアコン部品等	小物精密切削技術
ねじ、ボルト、シャフト、締結部品	圧造、転造、切削	センサー、電動車載部品	金属加工技術
金属性スプリング		熱マネジメント関連部品	
整流子	成形、旋削、切削	モーター	メインモーターではないモーター、部品技術
金属ガasket	プレス、塗装、熱処理	シーリング、遮熱技術を必要とする部分	
アルミダイカスト製品		モーター、構造部品、センサー部品、ヒートシンク	
耐熱塗料製造販売		照明器具、電池関連	
自動車部品向け樹脂成型品	熱可塑性樹脂、インサート成型、熱硬化性樹脂成型	電源廻り樹脂成型品、バッテリー・キャパシタ・モーター制御用モジュールケース、センサー関連	熱硬化樹脂成型、熱可塑性樹脂成型
プラスチック成型品	プラスチック射出成型、金型製作	モーター、制御基板ケース等	加工技術
ゴム成型用金型	マシニングセンター加工、車体シール部品		防水加工品、ケーブル保護剤
パワーステアリング部品	冷間鍛造、機械加工		軽量化、アルミ鍛造
オルタネーター、スタートモーターなど自動車部品全般	再生技術	電池(バッテリー)	再生技術

＜今後の事業展開に当たってのヒント＞

1. 長野県の立地



<https://ritchi.pref.nagano.lg.jp/book/uide2020/html5.html#page=3>

2. 所感

長野県は日本列島のほぼ中心に位置することから関東・中部・関西圏につながる高速道路網を有し、物流や人材の交流に優位である。

また、周囲の高山から流れ出る清浄な河川流があり、人口も日本の中位にあることから、戦前の産業や技術の集約を活かし世界・国内シェアトップを競う企業も多い。

技術集約型・加工型の産業が発達しており、現在では顕微鏡、拡大鏡などの光学分野や、電子部品・デバイス・電子回路などで優位にある。

こうした中、今後の自動車産業の部品メーカーにおいての部品開発に当たっては、従来以上に“軽薄短小”に技術集約して行くことが必要である。中国EVメーカーによる7in1のような高度な部品集約が進んでいくと考えられる。このことは、これらの部品メーカーに連なる、あるいは今後つながりを持とうとする中小企業にはより強く求められることとなる。

これに応えるには、一層の情報収集と、この情報を実現できる技術者の育成・確保である。

部品の開発では、中国における現地合併して販売される車両の部品(ユニットを含む)を購入して行うベンチマークが有効であろう。例えば、NISSAN N7、広汽TOYOTA bZ3Xなどの車は、最先端の技術によって造られており、参考になる点は多いと考えられる。

ご清聴ありがとうございました