

抜粋編

資 料 集

電動車搭載イーアクスルに現在使用されている
高機能樹脂と、今後の採用チャンス

(有)カワサキテクノリサーチ

〒541-0047 大阪府大阪市中央区淡路町4丁目3-8 TAIRIN ビル6階

目次

はじめに	6
まとめ	7
第1章 e-Axle と高機能樹脂	16
1) e-Axle とは	16
2) e-Axle 化することのメリット	17
3) e-Axle 化がもたらす自動車設計上のメリット	18
4) e-Axle の主要プレイヤー	20
5) e-Axle 化の樹脂への影響	23
①樹脂へのニーズ(動向)	23
②消えた樹脂部品と現れた樹脂部品	24
6) X in 1 と樹脂	25
①2 in 1 (4 代目プリウス、3 代目ノート)	25
②4 in 1 (シェフラー)	26
③5 in 1 (日産 e-POWER)	26
④6 in 1 (ヴァレオ)	27
⑤7 in 1 (ニデック)	28
⑥8 in 1 (BYD)	28
7) e-Axle の技術動向	29
①小型化	29
②低背化	29
③高電圧化(直流)	31
④高電圧化(交流)	32
⑤半導体の高効率化(SiC 化) ■	32
⑥モーターの高回転数化	35
⑦インホイールモーター	35
8) e-Axle マイルストーン	37
①テスラ・モデル3	38
②トヨタ・アクア	39
③ポルシェ・タイカン	40
④日産・アリア	42
第2章 インバータの変化と樹脂	43
1) xEV インバータとは	43

1) xEV 用インバータ(PCU)の位置づけ	45
2) xEV インバータと使用樹脂	46
①半導体モジュールのモールド型とケース型	47
②両面冷却半導体モジュール(パワーカード他)	49
③ケース型半導体モジュールの封止材(シリコン、エポキシ)	54
④放熱・絶縁シート(エポキシ)	55
⑤インバータウォータージャケット(PPS)	56
⑥油冷チューブ(PPA)	57
3) コンデンサと使用樹脂	57
①xEV インバータ用コンデンサ(パナソニック、ニチコン)	57
②これまでのコンデンサ用フィルム(東レ、王子エフテックス)	58
③これからのコンデンサ用フィルム(東レ、SABIC)	60
④コンデンサ筐体(PPS)	62
4) インバータ用バスバー	62
5) SiC 化の効果	64
第3章 モーターの変化と樹脂	66
1) 主機モーターに使用する樹脂(主要部材)	66
2) モーターの種類	67
①モーターの種類	67
②なぜ xEV で同期モーターを使うか	69
③同期モーターの中でも IPMSynRM	70
④IPMSynRM 使用の具体的事例	71
⑤マグネットワイヤ(巻線)がヘヤピン巻に	74
3) マグネットワイヤの絶縁被覆用樹脂	76
①マグネットワイヤとは	76
②xEV 主機モーターのマグネットワイヤサプライヤー	76
③平角線ヘアピン巻のマグネットワイヤ(エナメル+PEEK)	77
④平角線ヘアピン巻のマグネットワイヤ(PEEK)	79
⑤平角線ヘアピン巻のマグネットワイヤ(フッ素樹脂)	81
⑥海外のモーター例	82
4) モーターの冷却	83
①空冷	84
②水冷(液冷)	84
③油冷と、油冷に使用される樹脂	85

④巻線絶縁被覆材	86
⑤巻線機メーカー	87
⑥絶縁被覆の二次加工	87
5) 相間絶縁紙	88
①従来の相間絶縁紙と課題	88
②新しい相間絶縁紙	90
6) スロットライナー	91
①従来のスロットライナーと課題	91
②新しいスロットライナー(PEEK、LCP、PEI、フッ素樹脂)	92
7) 封止材	95
8) バスバーの絶縁被膜	97
9) バスバーの接続コネクタ(PPS)	99
10) シール	99
11) モーターの油冷関連部品	100
①コイルエンドバッフル(ポリエステルエラストマー)	100
②ステーターオイルガイドリング(PPA、PPS)	100
③油冷チューブ(PPA)	101
12) モーターのロータースリーブ(CFRP)	103
第4章 ギヤの樹脂化へのチャレンジ	104
1) 樹脂化のニーズ	104
2) (参考) バランスシャフトギヤ	104
①レゾナック(アミノフェノール)	104
②日本ガasket(フェノール)	106
③エボニック(PEEK)	107
3) (参考) ステアリング用ギヤ(PA410、PA66)	108
4) プラネタリキャリア(PPS)	109
第5章 その他の e-Axle 用樹脂部品	111
第6章 各社の e-Axle 化動向	112
1) BluE Nexus	112
2) 日産自動車	113
3) Astemo	114
4) ニデック	115
5) ジャトコ	115
6) IJTT	116

7) 明電舎	116
8) 三菱電機	117
9) ユニバンス	117
10) TOP	118
11) 住友ベークライト	119
第7章 樹脂の長期耐熱性	120
1) なぜxEVで長期耐熱性を重視するか？	120
2) 樹脂の長期耐熱性は必ずしも短期耐熱性と一致しない	122
3) 長期耐熱性の評価尺度	123
① 樹脂として	123
② 電気絶縁物として	124
③ 半導体として	125
第8章 樹脂の絶縁性	126
1) 長期耐熱性	126
2) 耐トラッキング性	127
3) 耐部分放電、耐コロナ放電	129

図表分量紹介
図...185点
表...33点

はじめに

e-Axle(イーアクスル)が電動車の基幹部品であり、高機能樹脂の有望なターゲットであることに疑いの余地は無い。

我々は、樹脂マンのための e-Axle 資料集を作りたいかった。

樹脂合成、樹脂コンパウンド、樹脂成形加工、それらの流通に携わる技術者、ビジネスマンを対象に、現在、e-Axle にどのような樹脂が使用されているか、今後どうなるのかを、わかりやすくお伝えすることを第一とした。

だから、e-Axle、インバータ、モーターそのものに関する説明は最小限にとどめ、その代わりに樹脂視点の充実を図った。

思い起こせば、著者にとっては以前から書きたいテーマであった。

4年前から調査を始め、社外主催の講演を3回、KTR 主催の講演を1回重ねる中で、樹脂ビジネスのターゲットとして e-Axle を見つめる熱い熱意を感じ取った。それが、本資料集編集の原動力になったと思っている。

この資料集は、忙しい方、e-Axle が専門ではない方にこそ、お届けしたいと思った。だから、「わかりやすく」を第一とした。

加えて、ぜひ社内共通で活用していただきたい。だから、取材で集めた情報は既に文字で発表されていないかチェックし、されているのを見つけた場合は引用先を明記した。もっと詳しく勉強したい方が引用先を参照できるように工夫した。

なお、弊社ではお客様のニーズに応じて「資料集」、「マルチクライアント調査」、「カスタム調査」のラインナップを揃えている。

この資料集をはじめとする資料集は、全体像を俯瞰することを目的に、弊社に蓄積された知見をもとに執筆したものである。基本的に新規の取材活動を行わないので、迅速に、かつ経済的にお客様に提供できるというメリットを訴求している。

ご参考までに、マルチクライアント調査は、原則 10 社のお客様を事前に募り、数カ月のお時間をいただき、お客様の最大公約数のニーズに応じて取材活動を行い、調査・解析結果をお客様に報告するものである。

また、カスタム調査は、まさに特定のお客様のニーズをお聞きし、そこにフォーカスして取材活動を行い調査・解析するものである。

本書は、「資料集」であり、全体像を俯瞰することを目的にしたものであるが、これまでに当社が取材等で得た知見を可能な限り盛り込んだ。

本書が皆様の開発のお役に立てることを、カワサキテクノロジーリサーチのスタッフ一同祈念しております。

2025 年 5 月

カワサキテクノロジーリサーチ

まとめ

xEV の「進化」が e-Axle、そしてそれに使われる樹脂に大きな影響を与えている。xEV の樹脂へのニーズは、軽薄短小化と絶縁性能向上であるが、e-Axle に関しては絶縁性能向上のニーズが大きい。

xEV のうち BEV では欧米が先行。欧州ではアウトバーンでの高速走行で、米国では大型車嗜好で、欧米 BEV のモーターは大型で消費電力が大きく、電池容量の節約のためにインバータには Si よりも効率が高い SiC のニーズが高い。

また、BEV が普及する欧米では課題である急速充電時間短縮を目的に従来の 400V から 800V への高電圧化を推進中だが、Si では耐圧が不足するので、800V では SiC インバータの採用が進む。

ア) 電圧が高くなれば絶縁材料としての樹脂に要求される絶縁性能の要求は厳しくなる。

エンジン車の電子部品は走行時のみ稼働・発熱するのに対して、BEV では走行時に加え充電時にも、さらにグリッド接続時にも稼働・発熱する。イ) 発熱時間が長くなれば、絶縁材料としての樹脂に要求される長期耐熱性の要求は厳しくなる。

eEV では e-Axle 化が進むが、そもそも e-Axle 化の主目的は軽薄短小なので、e-Axle に使われる各部品にも軽薄短小化が求められる。部品の軽薄短小化が求められれば、ウ) 絶縁距離も短くなり同じ電圧でも樹脂に要求される絶縁性能の要求は厳しくなる。また、エ) 軽薄短小化で熱がこもりやすくなるため樹脂に要求される長期耐熱性は厳しくなる。

上記、ア) からエ) により、樹脂に対する絶縁性能と長期耐熱性の要求は今後厳しくなる。

一方、xEV のうち、HEV の需要が高い日本では、欧米より小型の車体にエンジンとモーターの両方を搭載する必要があるため、小型化のニーズはさらに強い。そのため、両面冷却インバータと平角線ヘヤピン巻モーターで欧米より先行し、これらを実現する樹脂ニーズも早く顕在化した。インバータでは低背化よりも小型化のニーズが高く、欧米で多いケース型よりもトランスファーマールド型が進化し、樹脂に対する要求も異なる結果となっている。

HEV では BEV 対比でモーターの稼働時間が短く、消費電力も小さい。だから、インバータには電力ロスを少なくできるが高価な SiC よりも、安価な Si を使い続けた方が HEV ではコスト・パフォーマンスが良いという場合もある。

また、HEV では当然、通常充電、急速充電は無く、グリッド接続も無いので、絶縁材料としての樹脂に対する絶縁性能や長期耐熱性要求も異なる。

樹脂に要求される長期耐熱性を考慮する時に、将来と見通す必要がある。

現在、インバータの各部品のうち、最も耐熱性が低いのは PP フィルムを使用するコンデンサーの約 120℃である。だから、インバータの半導体が Si から SiC に代わって耐熱性（＝冷却温度）が上がっても水冷が継続され、ラジエーターが必要である。

ところが、最近、PP よりも高い耐熱性フィルムを使用した耐熱約 150℃のコンデンサーが開発され、インバータ冷却の脱水冷化に道を拓いた。

もし、インバータを油冷化できれば、そして油冷モータと冷却システムを共用化でき、ラジエーターを廃止できれば、スペース的にも重量的にもコスト的にも大きなメリットになる。オイルは電気絶縁性のためモーターの巻線（マグネットコイル）に直接かけることができ、モーターのアルミ合金ケースを冷却する水冷よりも冷却効率が高い。

油冷化が実現するためには、耐油性と耐熱性を兼ね備えた樹脂が配管等を含め必要となる。さらに将来を展望し、空冷化を実現するには、樹脂の長期耐熱性がポイントとなる。

インホイールモーターは、ラジエーターやオイルクーラーを使用することが困難なので、将来商業量産化されるであろうインホイールモーター用 e-Axle は空冷化が大きなメリットになると思われる。

自動車用の先行指標と我々が見ている新幹線では、既に SiC インバーターの空冷化が実現している。

e-Axle の樹脂化による軽量化は、他部品に比べて技術難度が高い。日産アリアではじめてインバータの冷却ケースが樹脂化された。めっき技術も向上していて、将来が楽しみである。また、モーターの高回転化による振動・騒音軽減を目的に、従来無理と思われていたギヤの樹脂化も水面下で研究開発が進んでいると聞く。

このように e-Axle およびその構成部品が今後変化していくと予想され、樹脂に対するニーズもますます高度化している。e-Axle では特に長期絶縁性能と長期耐熱性、つまり、長時間による性能劣化が少ないことが求められており、これまでの研究開発の成果が実ると共に、今後の研究開発による差別化にチャンスがあると考えられる。

表 4 e-Axle の主なプレイヤー

(株)BluE Nexus	2019/4、デンソーとアイシン精機(現アイシン)折半出資で設立
	2020/7、トヨタ自動車が 10%出資、デンソーとアイシンは各 45%
	2022/4、デンソー、アイシンと開発した初の e-Axle がトヨタbZ4X に搭載
	2025/1、デンソー、アイシンと開発した e-Axle がスズキ eVITARA へ搭載
(株)アイシン	トヨタ・MIRAI、レクサス UX300eに e-Axle を供給 ¹⁹
	2024/3、SUBARU と e-Axle の共同開発、分担生産を発表
ニデック(株)	旧日本電産(株)、中国集中展開を推進
	2025/3、トヨタが中国向け bZ3X に採用と報道 ²⁰
ジャトコ(株)	日産 75%、三菱自工 15%、スズキ 10。自動変速機で世界首位
	2025/1、英国に工場建設し英国日産に供給と報道 ²¹
(株)明電舎	2023/4 販売活動開始 ²² 、2026 年度量産予定 ²³
(株)ユニバンス	2019/7 GLM と協業し、e-Axle を開発と発表
独ボッシュ	世界最大の自動車部品メーカー。e-Axle の名称は「eAxle」
米ボルグワーナー	例えばフォードのマスタング Mach-E に供給
米 AAM	例えばジャガーの BEV、i-PACE に供給 ²⁴
加マグナ	カナダの自動車部品メーカー。e-Axle の名称は「eDrive」
独 ZF	パワートレインとシャシーコンポーネントの世界的メガサプライヤー
独シェフラー	独コンチネンタルから独立したウィテスコが 2024/1 にシェフラーに吸収(合併)
仏ヴァレオ	フランスの独立系自動車部品メーカー
英 GKN Automotive	駆動系部品、全輪駆動システム、PHEV システムの大手

なお、マレリの持株会社であるマレリホールディングスが 2022 年 6 月東京地裁へ民事再生法の適用を申請したので、マレリは上表から省いている。マレリはカルソニックカンセイが、2017 年日産グループから離脱、2018 年にフィアット・クライスラー・オートモービルズの自動車部品部門マニエッティ・マレリを買収、2019 年に社名をマレリに変更したものである。

¹⁹ アイシン https://www.nextmobility.jp/car_parts/aisin-toyota-mirai-e-axle-production-co2-free20220329/

²⁰ 日本経済新聞 <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC0569I0V00C25A3000000/>

²¹ 日刊工業新聞 <https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00737045>

²² 明電舎 https://www.meidensha.co.jp/news/news_03/news_03_01/1243262_10499.html

²³ 日経 XTECH <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/news/18/15221/>

²⁴ AAM <https://www.aam.com/media/story/aam-uses-design-expertise-innovative-tools-to-bring-electric-drive-technology-to-market>

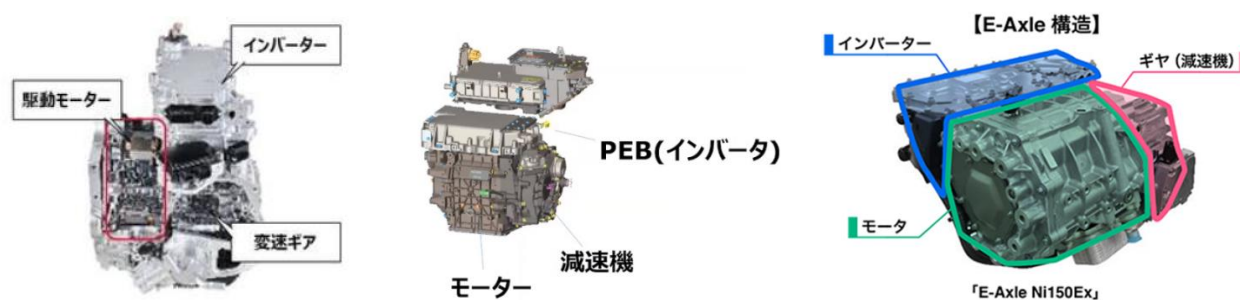


図 24 インバータを上部に置く e-Axle の配置例 (左)アイシン⁵⁵、(中)日産アリア⁵⁶、(右)ニデック⁵⁷

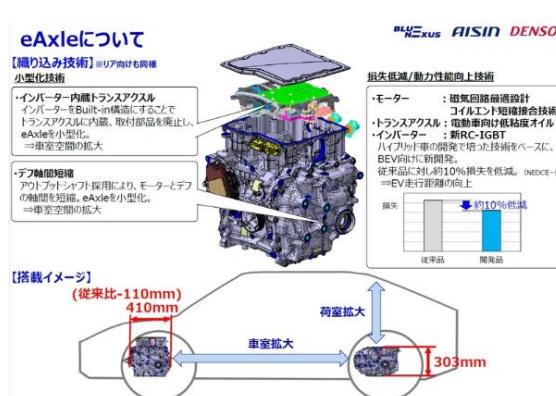


図 25 インバータ上部配置で低背化が求められる具体例⁵⁸

なお、古河電工と米 Superior Essex 社との合併会社である Essex Furukawa Magnet Wire Europe GmbH は、ソルベイ(現サイエンスコ)と共同で、カナダの大手自動車部品メーカーMagna から、エナメル被覆の上に PEEK 等のエンブラ樹脂を押出被覆した平角線で「2017 年 Innovation Award 最優秀賞」を受賞している。

⁵⁵ アイシン <https://www.aisin.com/jp/aithink/innovation/blog/005721.html>

⁵⁶ Carwatch https://car.watch.impress.co.jp/img/car/docs/1370/491/html/014_o.jpg.html

⁵⁷ ニデック https://www.nidec.com/jp/technology/new_field/e-axle/

⁵⁸ ブルーイーネクス <https://car.watch.impress.co.jp/docs/news/1402659.html>

耐高電圧平角巻線でInnovation Award 最優秀賞を受賞

2018年3月15日

～欧州製自動車の電動化にも寄与～

当社と米国Superior Essex社との合併会社であるEssex Furukawa Magnet Wire Europe GmbHは、当社が開発した耐高電圧平角巻線（以下、HVWW[®]）で、Magna社パワートレイン部門の「2017年Innovation Award最優秀賞」を化学メーカーであるSolvay社と共同で受賞しました。

近年、世界的に自動車の電動化の要請が高まっており、欧州においても自動車メーカー、部品メーカーともに高出力モーターの開発が進められています。

HVWW[®]は、当社が開発したエナメル被覆の上にPEEK等のエンブラ樹脂を押出被覆した平角線であり、非常に優れた特性を持ち、EV自動車などの高性能化に大きく貢献します。今回、Magna社の「2017年Innovation Award最優秀賞」を受賞したことで、欧州製自動車の電動化にも寄与してまいります。

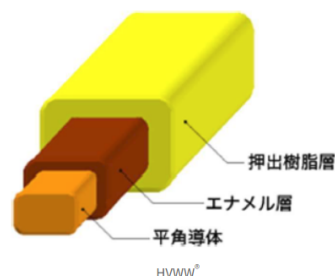


図 41 PEEK メーカーのソルベイ(現サイエンスコ)と受賞 ¹⁰²

なお、上記で述べた初代アクア（2011 年から 2021 年）は、インバータ(PCU)が別であり ¹⁰⁴、e-Axle ではない。

¹⁰² 古河電工 https://www.furukawa.co.jp/release/2018/ele_180315.html

¹⁰⁴ トヨタ <https://global.toyota/jp/powertrain/thx/>

④日産・アリア

量産車初のインバータ筐体の一部樹脂化を達成したのは、2022 年発売の日産アリアで、インバーター下部のウォータージャケットを樹脂化した。



図 45 樹脂製インバータウォータージャケット ¹⁰⁹

2) xEV インバータと使用樹脂

家電用よりは大容量で、風力発電よりは小容量に位置づけられる xEV インバータであるが、xEV の中でも適材適所の使い分けがされている。そして、それが樹脂にも影響している。

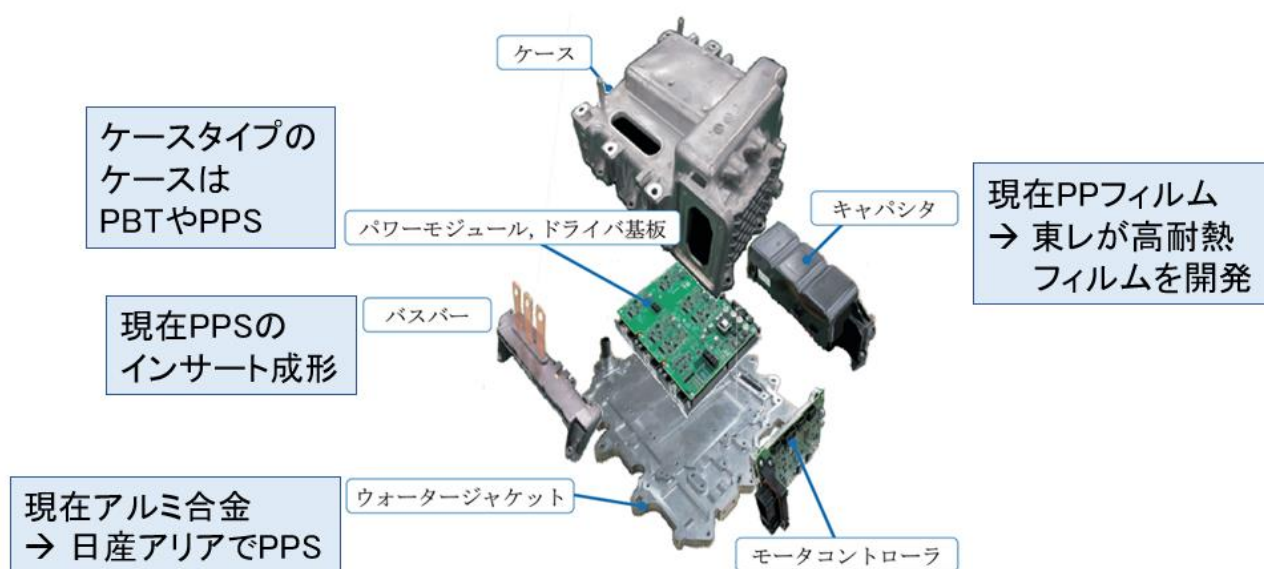


図-7 日産リーフ用インバータ内部構造

図 52 インバータの内部構造と主な使用樹脂の例 ¹¹⁹

¹⁰⁹ 名古屋大学山本真義教授 https://www.youtube.com/watch?v=B4GrMjP8gsQ&ab_channel=MasayoshiYamamoto

¹¹⁹ 図の出所: 日産技報 https://www.nissan-global.com/JP/TECHNICALREVIEW/pdf/NISSAN_TECHNICAL_REVIEW_76.pdf

図 59 に車載インバータ用ケースの具体例を示す。メーカーは出荷先を明らかにしなかったが、KTR は PPS 製で Astemo 向けと推定している。

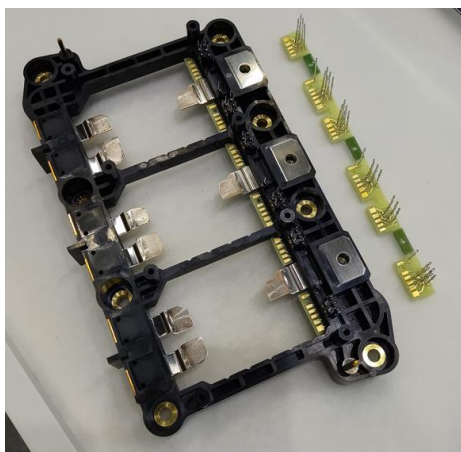


図 59 車載インバータ用ケース(PPS のインサート成形)の例(アテックスの許可を得て KTR 撮影)



【外観編】レクサス・RZ450eのパワエレ分解解説！SiCインバーター（デンソー製）

図 88 コンデンサへのバスバー使用例(名古屋大学・山本真義教授) ¹⁵⁷

¹⁵⁷ 名古屋大学山本真義教授 <https://www.youtube.com/watch?v=k1bvZ2cwn1g>

③平角線ヘアピン巻のマグネットワイヤ(エナメル+PEEK)



図 102 モーターのステータ (左)平角線ヘアピン巻、(右)丸線分布巻 ¹⁸⁵

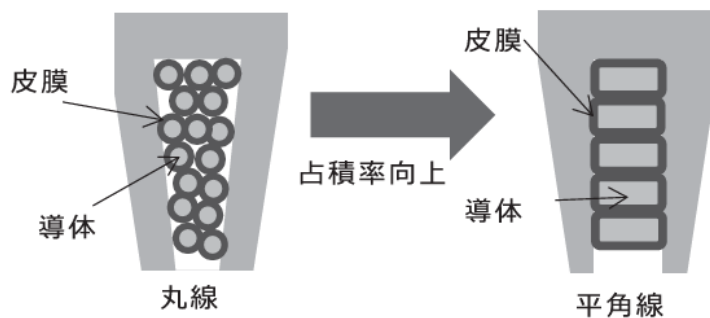


図3 モータコアのスロット断面模式図

図 103 (左)丸線分布巻と(右)平角線ヘアピン巻 ¹⁸⁶

¹⁸⁵ The Motor Weekly <https://autoprove.net/japanese-car/honda/180923/>

¹⁸⁶ 住友電工 <https://sei.co.jp/technology/tr/bn196/pdf/196-04.pdf>

電動車搭載 イーアクスル に現在使用されている高機能樹脂と、今後の採用チャンス

(有)カワサキテクノロジー

資料集体裁：A4判120ページ、ハードコピー(PDF版はオプション)、発行：2025年5月23日

販売価格 KTRコンサル会員：180,000円(税抜)、非会員：210,000円(税抜)

オプションPDF価格 KTRコンサル会員・非会員ともに プラス30,000円(税抜)

e-Axle(イーアクスル)が電動車の基幹部品であり、高機能樹脂の有望なターゲットであることに疑いの余地は無い。

我々は、樹脂マンのためのe-Axle資料集を作りたかった。

樹脂合成、樹脂、モーターに関する説明は最小限にとどめ、その代わりに樹脂視点の充実を図った。コンパウンド、樹脂成形加工、それらの流通に携わる技術者、ビジネスマンを対象に、現在、e-Axleにどのような樹脂が使用されているか、今後どうなるのかを、わかりやすくお伝えすることを第一とした。

だから、e-Axle、インバータ、モーターに関する説明は最小限にとどめ、その代わりに樹脂視点の充実を図った。

思い起こせば、著者にとっては以前から書きたいテーマであった。

4年前から調査を始め、社外主催の講演を3回、KTR主催の講演を1回重ねる中で、樹脂ビジネスのターゲットとしてe-Axleを見つめる熱い熱意を感じ取った。それが、本資料集編集の原動力になったと思っている。

この資料集は、忙しい方、e-Axleが専門ではない方にこそ、お届けしたいと思った。だから、「わかりやすく」を第一とした。

加えて、ぜひ社内共通で活用していただきたい。従って、取材で集めた情報は既に文字で発表されていないかチェックし、されているのを見つけた場合は引用先を明記した。もっと詳しく勉強したい方が引用先を参照できるように工夫した。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・切り取り線・・・・・・・・・・・・・・・・・・

お申込みは、下記内容について記載したテキスト、pdfファイルによるメール(ktr@kawasaki-tr.com)、またはFAXのご送信にて承ります。

<申込書> 電動車搭載 イーアクスル に現在使用されている高機能樹脂と、今後の採用チャンス

KTRコンサル会員販売価格：() 180,000円(税抜)

非会員販売価格：() 210,000円(税抜)

オプションPDF：() 購入 30,000円(税抜)(会員・非会員とも)

※①該当する()に○をご記入ください。※②送料は弊社負担

貴社名

部署名

お名前

TEL

FAX

所在地 〒

Email

申込日

年

月

日

※当資料集を知ったきっかけをお教えてください。

()弊社からのメールマガジン ()弊社ホームページ ()弊社スタッフからの紹介 ()その他

申込先：(有)カワサキテクノロジー ktr@kawasaki-tr.com, FAX：06-6232-1056

連絡先：〒541-0047大阪市中央区淡路町4丁目3番8号TAIRINビル6F TEL：06(6232)1055