

ポイント

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

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。

図 1 e-Axle とは	16
図 2 e-Axle 化により 20%小型化(ボッシュ)	17
図 3 e-Axle 化により 20%軽量化(コンチネンタル)	17
図 4 e-Axle 化による小型化	18
図 5 e-Axle(機電一体)化による放射ノイズの低減	18
図 6 電気自動車(BEV)では3列シート化が可能	18
図 7 ID.Buzz LWB	19
図 8 e-Axle 搭載による電池容量アップと荷室の拡大	19
図 9 空調装置をモータールームに移し居住空間の大幅拡大(日産アリア)	19
図 10 e-Axle 小型化によるデザイン性の向上	20
図 11 各社の e-Axle(左からブルー、明電舎、住友ベークライト(模型)	22
図 12 日産リーフ(2代目)の電動パワートレイン(e-Axle)	22
図 13 各社の e-Axle(左からボッシュ、ZF、マグナ、ヴァレオ、シェフラー、ボルグワーナー、 ヴィテスコ、GKN)	22
図 14 高電圧ケーブルが無くなりバスバーへ	24
図 15 欧州車搭載 車載高電圧ケーブルの具体例(BizLink の許可を得て KTR 撮影)	24
図 16 左:第1世代の e-POWER、右:第2世代の(インバータとモーターを一体化)	25
図 17 モータージェネレーター用バスバー具体例(PPS インサート成形)	25
図 18 トヨタ・プリウス(4代目、4WD)のリヤ E-Four	26
図 19 日産ノート 3代目リヤ	26
図 20 日産の次世代電動パワートレイン X-in-1(5-in-1)	27
図 21 ジヤトコの 5 in 1	27
図 22 ヴアレオが発表した 6 in 1	28
図 23 ニデックの 7 in 1	28
図 24 インバータを上部に置く e-Axle の配置例 (左)アイシン、(中)日産アリア、(右)ニ デック	30
図 25 インバータ上部配置で低背化が求められる具体例	30
図 26 インバータを横置きした例・(左)テスラ・モデル 3、(右)テスラ・モデル Y	30
図 27 インバータを横置きした例(明電舎)	31
図 28 インバータを横置きした例・日産・アリア(リヤ)	31
図 29 ポルシェ・タイカンのバッテリーは 800V	31
図 30 ポルシェ・タイカンに搭載されたインバーター	32
図 31 Si パワー半導体と SiC パワー半導体の性能比較・(左)発生損失、(右)出力電流	33

図 32	モーターの高回転数化	35
図 33	インホイールモーター構造の例(英 Protean Electric Ltd.)	36
図 34	薄型インホイールモーターに使用された PES	36
図 35	インホイールモーターの背面カバーに使用された PES	37
図 36	インホイールモーターカバーに使用された PES の出展	37
図 37	テスラ・モデル3に使用された SiC-MOSFET(名古屋大学・山本真義教授)	38
図 38	テスラ・モデル3の e-Axle	39
図 39	トヨタ・アクアのモーター	39
図 40	アクアに採用されたマグネットワイヤ	40
図 41	PEEK メーカーのソルベイ(現サイエンスコ)と受賞	40
図 42	ポルシェ・タイカンの SiC800V インバータ(名古屋大学・山本真義教授)	41
図 43	ポルシェ・タイカンの e-Axle	41
図 44	アウディ・e-tron GT の e-Axle	42
図 45	樹脂製インバータウォータージャケット	42
図 46	インバータ装置とインバータ回路	43
図 47	パワーコントローラー(PCU)をインバータと呼ぶ例 (左)アイシン、(中)ニテック、(右)三菱ケミカル	44
図 48	エンプラの対象となる「インバータ用半導体モジュール」	44
図 49	インバータ用パワーモジュール	44
図 50	新幹線のモーター駆動用インバータへの SiC 採用(2015 年)	45
図 51	パワーデバイスの周波数、出力、用途の中で xEV の e-Axle 用の位置づけ	46
図 52	インバータの内部構造と主な使用樹脂の例	46
図 53	xEV インバータ用パワーモジュールのラインアップと今後の展望	47
図 54	トランスファーモールド型の例(三菱電機 J シリーズパワーモジュール)	48
図 55	両面冷却モールド型の例(デンソー・パワーカード)	48
図 56	ポルシェ・タイカンのインバータと半導体モジュール(名古屋大学・山本真義教授)	49
図 57	ケース型インバータのケース	50
図 58	三菱電機 IGBT インバータ J シリーズはケース型	51
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)	51
図 60	xEV 用インバータのケース	52
図 61	はんだ付工程があったため LCP が採用	52
図 62	半導体モジュールのケースは PPS や PBT	52

図 63 富士電機 IGBT IPM(P629 パッケージ)の材質	53
図 64 インサート成形におけるヒートショック	53
図 65 耐衝撃剤フリーで耐ヒートショック性を高めた PPS の新グレード	53
図 66 シリコンゲル封止のケース型インバータの例	54
図 67 エポキシ封止のケース型インバータの例	55
図 68 高放熱絶縁樹脂シート	55
図 69 日産リーフのウォータージャケット	56
図 70 樹脂製インバータウォータージャケット	56
図 71 車載インバータ用コンデンサ(ニチコン)	57
図 72 車載コンデンサへの要求	57
図 73 コンデンサー用フィルムの蒸着	58
図 74 テスラ・モデル3のインバータのコンデンサ(平滑キャパシタ)(名古屋大・山本真義教授)	58
図 75 OPP フィルムの薄肉化	59
図 76 薄肉化の効果	59
図 77 東レがトップシェア	60
図 78 王子ホールディングスが大手	60
図 79 東レの 150℃耐熱フィルムの開発	60
図 80 東レの狙い	61
図 81 東レの開発した新フィルム(東レの許可を得て KTR 撮影)	61
図 82 SABIC が開発した新フィルム	61
図 83 ニチコンのコンデンサに採用	61
図 84 インバータ用コンデンサの(左)構成図 と(右)実例	62
図 85 コンデンサーハウジング(筐体)のインサート成形の例	62
図 86 インバータに使用されるバスバー	63
図 87 インバータ内バスバーの例(名古屋大学・山本真義教授)	63
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)	64
図 89 Si と SiC ではコンデンサの大きさが異なる(名古屋大学・山本真義教授)	65
図 90 主機モーターに使用される樹脂	66
図 91 xEV 主機モーターと樹脂	67
図 92 テスラモデル S のオーナーズマニュアル	69
図 93 テスラ3(AWD)のオーナーズマニュアル	70
図 94 トヨタ・プリウス・IPMSynRM モーター	72
図 95 トヨタ・プリウスのリラクタンストルク活用の推移	72

図 96 テスラ・モデル3・IPMSynRM モーター	73
図 97 日産リーフ2代目(2017年)のモーター構成図	74
図 98 2代目日産リーフ(2017年)の電動パワートレイン	74
図 99 平角線ヘアピン巻のコイル(モーター巻線)形成方法	75
図 100 平角線ヘアピン巻のコイル(モーター巻線)形成方法	75
図 101 カセット方式ステータの例	76
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	77
図 103 (左)丸線分布巻と(右)平角線ヘアピン巻	77
図 104 平角線ヘアピン巻断面(カットモデル)	78
図 105 平角線ヘアピン巻用エナメルと PEEK(または PPS)の二重被覆マグネットワイヤー	78
図 106 エセックス・フルカワとソルベイ(現サイエンスコ)の共同受賞	79
図 107 単層押出被覆用 PEEK の発売	79
図 108 サイエンスコの PEEK を使用した古河電工のマグネットワイヤ	80
図 109 PEEK とエナメル(ポリイミド)の熱伝導性比較	80
図 110 ビクトレックスのマグネットワイヤー用 PEEK	81
図 111 マグネットワイヤー用フッ素樹脂開発品(ダイキン)	82
図 112 マグネットワイヤー用フッ素樹脂開発品(AGC)	82
図 113 富田電機股份有限公司のヘアピンモーター	83
図 114 青島云路先進材料技術股份有限公司のヘアピンモーター	83
図 115 ハイブリッド車での、モーター水冷	84
図 116 油冷から水冷化による e-Axle の小型軽量化	85
図 117 e-Axle でのモーター油冷の具体例(NIDEC)	85
図 118 e-Axle でのモーター油冷の具体例(4代目プリウス)	85
図 119 プリウス(4代目)の e-Axle	86
図 120 e-Axle でのモーター油冷の具体例(日産・アリア)	86
図 121 分布巻モーターの相間絶縁紙	88
図 122 インバータによるサージ電圧とモーターのマグネットワイヤでの部分放電	89
図 123 現在の相間絶縁紙の具体例	89
図 124 ポリエーテルイミドフィルムの相間絶縁紙	91
図 125 スロットライナー(白い部品)(左)BMW、(右)アウディ	91
図 126 現在のスロットライナーの具体例	92
図 127 現在のスロットライナーの具体例	92

図 128	ビクトレックスが提案する PEEK フィルム	92
図 129	サイエンスコが提案する PEEK フィルム	93
図 130	サイエンスコの LCP 射出成形品	93
図 131	サイエンスコの LCP 射出成形品の採用	93
図 132	LCP 製スロットライナー(住友化学)	94
図 133	PEI フィルムのスロットライナー (左)丸線分布巻、(右)平角線ヘアピン巻	94
図 134	フッ素樹脂コンパウンドのスロットライナー	95
図 135	マグネットコイルとステーターの固定技術(住友ベークライト)	95
図 136	モーターのステータの封止	96
図 137	液状エポキシへのディッピングによる巻線、スロットライナーの固定	96
図 138	液状エポキシへのディッピングによる巻線、スロットライナーの固定	96
図 139	シリコン含侵による巻線の固定	96
図 140	アクサルタが開発した高熱伝導性エポキシワニス	97
図 141	(左)分布巻、(右)ヘアピン巻の巻線端部への液状エポキシ固定	97
図 142	日産リーフで使用されているバスバー	98
図 143	モーター用バスバー	98
図 144	オティックスの端子一体導線とその樹脂被覆品	98
図 145	モーター用バスバー(ポリケトン)	99
図 146	バスバーと基板の接続コネクタ(開発品)	99
図 147	セラニーズのモーターコイルエンドバッフル	100
図 148	ステーターオイルガイド(PPA、PPS)	101
図 149	将来半数のモーターが油冷になるとの予測	102
図 150	主機モーターの油冷チューブ	102
図 151	ロータースリーブ(藤倉コンポジット)	103
図 152	ロータースリーブ(三菱ケミカル)	103
図 153	エンジン車用バランスシャフトギヤ	104
図 154	レゾナックの樹脂製バランスシャフトギヤ(レゾナックの許可を得て KTR 撮影)	105
図 155	レゾナックの樹脂ギヤ素材の振動減衰効果	106
図 156	日本ガスケットの樹脂製バランスシャフトギヤ	107
図 157	PEEK 製バランスシャフトギヤ・(左)ビクトレックス、(右)エボニック	108
図 158	ナイロン 410 のギヤ	108
図 159	パワーステアリング用 PA6 ギヤ(NSK)	109
図 160	パワーステアリング用ナイロンギヤ(三ツ星ベルト)	109
図 161	プラネタリキャリア(PPS)	110

図 162 トヨタ bZ4X 搭載の樹脂部品	111
図 163 BluE Nexus の e-Axle (bZ4X 搭載、150kW)	112
図 164 日産自動車の e-パワートレイン	113
図 165 日産自動車の次世代電動パワートレイン	114
図 166 日立 Astemo 製ホンダ採用のハイブリッド車用モーター	115
図 167 ジヤトコの日産 e-POWER への搭載	116
図 168 明電舎の e-Axle の具体例	117
図 169 ユニバンスの e-Axle の具体例	118
図 170 小型モビリティ用 e-Axle	118
図 171 住友ベークライトのオール樹脂 e-Axle (モックアップ)	119
図 172 日産リーフの「スマートグリッド」	121
図 173 V2G のイメージ	121
図 174 日産自動車の V2G	121
図 175 樹脂の短期耐熱性(熱変形温度)と長期耐熱性(連続使用温度)の関係	122
図 176 樹脂の短期耐熱性(熱変形温度)と長期耐熱性(連続使用温度)の関係	123
図 177 AEC-Q101 準拠の具体例	125
図 178 AQG-324 認証表示の具体例	126
図 179 トラッキング劣化の原理	127
図 180 比較トラッキング指数(CTI)	127
図 181 トラッキングによりガラス・コンポジット基板に生じた痕跡の例	128
図 182 空間距離と沿面距離	128
図 183 比較トラッキング指数(CTI)の評価方法	129
図 184 インバータによるサージ電圧とモーターのマグネットワイヤでの部分放電	130
図 185 部分放電とコロナ放電	130

表 1 xEV	16
表 2 本書での呼び名	16
表 3 ICE(内燃機関車)と BEV(電気自動車)のシート列比較例(KTR 作成)	18
表 4 e-Axle の主なプレイヤー	21
表 5 e-Axle 用インバータ(PCU)の主なプレイヤー	23
表 6 e-Axle 用インバータ(パワー・モジュール)の主なプレイヤー	23
表 7 Si と SiC の具体例(KTR 作成)	34
表 8 主要 xEV(電動車)のモーター出力	47
表 9 両面冷却の具体例	49
表 10 各種コンデンサ用フィルムの特長	59
表 11 大まかなモーターの分類	68
表 12 テスラの主な電気自動車	69
表 13 同期モーター(SM)の分類	70
表 14 日産リーフ初代(2010 年)、2代目(2017 年)のモーター	74
表 15 主な国内マグネットワイヤサプライヤー	76
表 16 PEEK とポリイミドの部分放電電圧の比較	81
表 17 現状の相間絶縁紙の厚み	90
表 18 現状の相間絶縁紙の厚み	90
表 19 PPA とスチール、アルミニウムの材料特性の比較	102
表 20 従来 PPA と耐熱 PPA の比較	102
表 21 レゾナックの樹脂ギヤの軽量効果	106
表 22 日産自動車の電気自動車	113
表 23 日産自動車ノート	113
表 24 本田技研の電気自動車	114
表 25 xEV で車載高電圧素子用樹脂が長期耐熱性を必要とする理由	120
表 26 スマートグリッド	120
表 27 RTI の具体例(Victrex PEEK 150G)	124
表 28 RTI の具体例(住友化学・スミカエクスセル PES 3600G)	124
表 29 温度インデックスの具体例(DIC PPS)	124
表 30 電気用品安全法 電気用品の技術上の基準を定める省令の解釈について(通達) 別表十一	124
表 31	125
表 32 相対温度指数(電氣的)の例(ビクトレックス PEEK・ナチュラル)	127
表 33 耐トラッキング配合による CTI の改善	129