



化学工学会エレクトロニクス部会ニュース増刊号をお届けします。内容は、2022年12月16日に開催されたエレクトロニクス部会主催 先端技術シンポジウムの概要です。

モビリティの電動化を牽引するエレクトロニクス

～電池・モータ・半導体と環境対応～

2022年度エレクトロニクス部会シンポジウム（エレクトロニクス先端技術シンポジウム）を、12月16日に会場・オンライン並行で開催いたしました。今回のシンポジウムでは、電動化という過去最大の変革期を迎えている自動車をターゲットに、モータや電池、パワー半導体に加え、充電環境や素材のリサイクルまで多岐にわたる内容の講演をいただき、好評のうちに終了しました。

ご参加いただいた参加者の皆様方と講師の先生方、ならびに協賛いただいた電子 SI 連絡協議会(ESIC)、表面技術協会、エレクトロニクス実装学会(JIEP)、日本電子回路工業会(JPCA)、スマートプロセス学会 エレクトロニクス生産科学部会(MSTE)、よこはま高度実装技術コンソーシアム(YJC)、NPO 法人サーキットネットワーク(C-NET)、IEEE EPS Japan Chapter、化学工学会関西支部の各機関関係者に、この場を借りて御礼申し上げます。

■シンポジウムプログラム

講演題目	講師	所属
EV用パワーユニットの将来展望	赤津 観 様	横浜国立大学工学研究院 知的構造の創成部門
全固体電池の高効率化	一杉 太郎 様	東京大学大学院 理学系研究科
EV用DC充電の規格と展望	丸田 理 様	一般社団法人CHAdeMO協議会
モータの消費電力削減に貢献する磁性材料の技術開発	尾崎 公洋 様	産業技術総合研究所 磁性粉末冶金研究センター
パワー半導体 SiC 技術の進展と自動車への応用	松波 弘之 様	京都大学名誉教授
自動車リサイクルの現状と今後の課題	阿部 知和 様	公益財団法人 自動車リサイクル促進センター (JARC)

開催日 2021年12月16日（金）

場所 会場（東工大蔵前会館）＋オンライン（Zoom Webinar）併用開催
オーガナイザ 石川 有紀（サンユレック）、林 太郎（ローム）、吉野 雄信（フジクラ）

■各講演の概要

EV 用パワーユニットの将来展望

横浜国立大学 赤津 観 様

モータの出力はトルクと回転数の積で定義される。トルクはコイルに流す電流と磁束密度、及び容量（回転子外径×積厚）と極数の積で決まる。言い換えると、モータの特性は、ステータとロータのギャップ間にどれだけ高い磁束密度を実現し、どれだけ電流を流すか、さらにこれらを如何に低損失で実現できるか、にかかっている。ギャップは市販のモータでは 0.7mm 程度であり、これをさらに縮めることで出力の向上が可能である。しかしながら現実的な公差を考えるとギャップをこれ以上大幅に狭めることは現実的ではなく、従い強力な磁石を用いることが高い磁束密度の実現に不可欠となる。モータの発展の歴史は磁石の発展の歴史とも言え、Nd-Fe-B 系の磁石の登場により磁石性能は飛躍的に向上してきた。もちろん鋼板透磁率や巻き線の構造、設計技術の発展によることも大きく、これらの相乗効果により自動車用モータは、ここ 20 年でトルクは 2 倍、パワーは 3 倍に特性が向上している。最近では重希土類フリー磁石の研究が盛んとなる一方で、磁束密度を高めることによるアプローチにも限界が近づきつつある。そこで、大電流を流して出力密度を上げ、モータを高速回転させることが次のアプローチとなる。この場合、高速回転に対応したベアリングの開発に加え、大電流化に伴う発熱への対応が技術的な課題となる。冷却については効率を高める検討が進む一方、電流密度をコントロールして発熱源を分散する検討も盛んに行われている。エレベータに用いられるモータでは、そのために既に三相のモータを五相にするなどのアプローチが採られており、自動車でもこの方式が取り入れられつつある。講演では将来的な展望として、材料に限らないモータの高性能化を実現するキーワードとして右図に示す “かきくけこ” が紹介された。

パワーユニットの将来は
“かきくけこ”で材料に頼らずモータの高性能化が可能

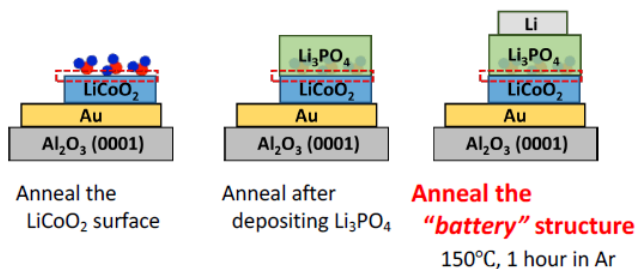
- ・ か：可変モータが数社から
- ・ き：100kW級機電一体のモータが普及
- ・ く：クラスターリング
- ・ け：検出技術の発展（特に B_p 、振動）
- ・ こ：コントロール技術（FEAとの融合）

全固体電池の高効率化

東京大学 一杉 太郎 様

全固体電池を構成する材料は、正極と負極、電解質の三種である。正極と負極の間でどれだけ速く、大量のリチウムイオンを動かすことができるのか、が、固体電池効率化の鍵となる。固体電池の構造をよく見ると、半導体の MOS 構造によく似ていることがわかる。すなわち MOS 構造では半導体とゲート絶縁膜の界面制御が重要であると同様に、全固体電池でも、電極と電解質の界面が重要となる。これは電解質と電極の界面抵抗を下げる必要があることを意味しており、そのためには界面抵抗の発生するメカニズムを解明して取り組む必要がある。真空一貫の理想的な環境で試作・検証した全固体電池は、むしろ液体よりも特性が良く、繰り返しの充放電や、高電流密度でも安定していることがわかった。すなわち界面制御が理想的であれば全固体電池の高効率化は可能である。しかし真空一環での製造は現実的ではないため、現実の粉体で、且つ大気中で作製される実際の全固体電池に、界面の重要性をどのようにフィードバックするか、がポイントとなる。

全固体電池の劣化モードの一つである正極材料の劣化について、プロセス中の大気暴露により水分（プロトン）が付着することが原因であると考えて、これを修復する方法を検討した。当初水の付着であることを踏まえて、プロセス途中にアニールによる水の脱着を試みたが効果はみられなかった。そこでプロトンの付着した材料を使用して電池構造を試作し、電池構造のままアニールを行ったところ、特性が大幅に改善した。これは、試作した構造が「プロトン電池」として動作し、その「プロトン電池」の自己放電により、付着したプロトンを効果的に脱着することができたため、と考えられる。このとき、アニールは



The low interface resistance recovers after annealing the full battery structure

Kobayashi, Hitosugi et al., ACS Appl. Mater. Interfaces 14, 2703 (2022)

自己放電を促進する役割があると考えられる。

このほか、講演では研究室のDX化についての紹介が行われた。これは、機械学習で得た結果からコンピュータが次に何をすべきか判断し、AIやロボットを駆使して自動的・自律的に膨大な量の実データを取得するものである。道具や設備を人が動かすのではなく、ロボットが動くため、人間は人間にしかできないことに集中することが可能となる。

EV用DC充電の規格と展望

CHAdeMO 協議会 丸田 理 様

自動車の急速充電の規格には、日本発のCHAdeMOの他、欧州・北米のCCS、中国のGB/T、米国のTesla提唱の規格など、5つの規格が混在している。技術の進歩で搭載する電池容量が大容量化するにつれ、充電出力の要求も大きくなってきている。急速充電では、日常生活では扱うことのない大電流を扱うことから、コネクタの安全性は最優先事項であり、絶対条件である。充電方法にはAC普通充電とDC急速充電の2つがあり、オフィスや自宅か、一般道か高速道路か、など充電シーンに対応して使い分けられている。このうち急速充電では、電池が受け入れ可能な電流に上限がある点を考慮する必要がある。近年は、Liイオン電池の性能向上に伴う大出力化のニーズの高まりに応じ、次世代規格であるChaoJiを中国と共同で開発をすすめている。中国が持つ世界最大の電気自動車マーケットとCHAdeMOが蓄積してきた技術を持ちよった形である。ChaoJiは、日中のCHAdeMOとGB/Tのほか、欧州のCCSとも後方互換性を担保することを目指している。

CHAdeMOでは、この他にも自動車のみならず、二輪車など小型車両向けから大陸横断トラックや航空機、船舶向けのメガワット級出力充電規格まで、あらゆるモビリティの電動化を支えていく予定である。またCHAdeMOの特徴として5つの規格の中で唯一、双方向給電に対応している点が挙げられる。この特徴により、CHAdeMOは災害時の電源供給や、電力系統との協調によるピークシフトの実現なども可能である。現在実際にこの用途での有用性を検証しており、社会貢献をすすめながらの規格の普及をすすめている。

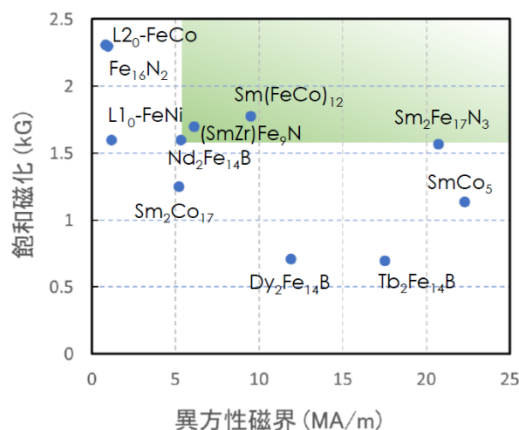


モータの消費電力削減に貢献する磁性材料の技術開発

産業技術総合研究所 尾崎 公洋 様

モータを構成する材料の一つである永久磁石の材料開発では、保磁力に関する異方性磁界と残留磁束密度に関する飽和磁化、高温特性に影響するキュリー温度が重要なパラメータとなる。モータ用の永久磁石材料は、NEDOのプロジェクトや文科省の元素戦略プロジェクトなどで研究され、NEDOプロジェクトでは、高効率モータ用磁性材料に関する技術研究組合(MagHEM)で実施された。MagHEMにおける材料開発では、単に永久磁石としての特性を高めるだけでなく、資源リスクの高い希土類の使用を抑制することも重要課題として検討した。CeやLaを使用した省ネオジウムを経て、究極的には希土類フリーの磁石の社会実装を目指している。

モータの鉄心に用いられる軟磁性材料には、高エネルギー密度・小型化などの要件が求められ、適用周波数は数百Hz程度とな



る。モータ用の軟磁性材料には、保磁力が小さく、飽和磁化の大きな領域が求められる。課題は鉄損を下げることであり、ナノエリート粒子を水素還元して得られる Fe-X 系の新規軟磁性材料を中心に検証をすすめている。

パワー半導体 SiC 技術の進展と自動車への応用

京都大学名誉教授 松波 弘之 様

エレクトロニクスのパラダイムシフトは、初期の単一のトランジスタから、IC、LSI（プロセッサ）へと集積化がすすみ、超高速・高密度のプロセッサやメモリへと進化している。Si よりもバンドギャップの大きな SiC は、Si に比べ高電圧で駆動することができ、また高温高周波で低損失での動作が可能なのが特徴である。1950 年代、当時の Ge 半導体は 60°C 以下でのみ動作可能であったが、SiC の研究は既にこの頃からはじまっていた。その後 Si の出現に伴い SiC の研究は下火となったが、青色 LED の開発との名目の下、京都大では輸送現象などの物性研究が中心に行われていた。当時の SiC 結晶は、

Acheson 法により得られるごく小さな試験片を用いていた。しかし 200 種ともいわれる結晶方位の異なる多形混入がデバイス作製を困難にしていた。このような状況の中、ステップ制御エピタキシの発見はこの状況を大きく改善し、4H-SiC を用いたショットキーバリアダイオード(SBD)は、パワーデバイス界に大きなインパクトを与えた。

現在、SiC ウェハは 8 インチサイズが主流となりつつあり、大量生産も進められている。Infinion による SBD の実用化や、ロームによる大電流トレンチ MOSFETs も実現された。SiC インバータを使用した鉄道車両では電車全体の電力損失が 40%低減され、また自動車への搭載もすすんでいる。課題として、高品質バルク成長と低価格化、MOS 界面制御などが挙げられる。

自動車リサイクルの現状と今後の課題

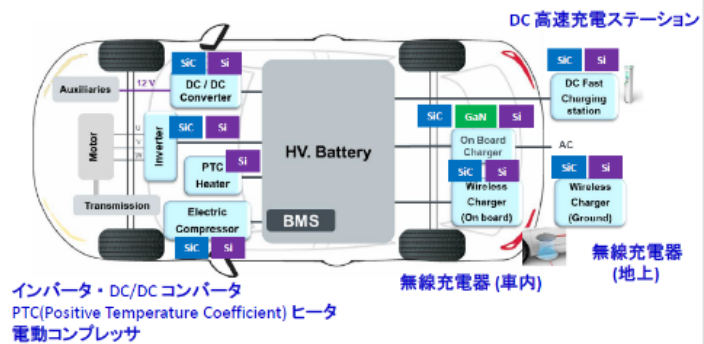
自動車リサイクル促進センター 阿部 知和 様

自動車のリサイクルは以前から比較的進んでおり、解体業者→シュレッダ業者という流れができていた。しかし埋め立て処理の必要なプラスチックやガラス、ゴムは不法投棄が顕在化しており、また廃車の野積みやこれに伴うオイルやバッテリーからの環境汚染などが社会問題となっている。さらには最終処分価格の高騰や鉄スクラップ価格の不安定な変動に伴う不法投棄の増加もあり、2004 年には 22 万台が放置されている状態であった。この解消に数百億円単位の税金が必要となったこともあり、2005 年の自動車リサイクル法制定につながった。自動車リサイクル法には、既存の産業基盤を活かしつつ、ユーザを始めメーカー、引取業者、解体業者、破碎業者など関係者の役割を明確にし、廃棄物の削減と資源の有効利用を目指した仕組みがある。ユーザは自動車購入時にリサイクル料を負担し、また電子マニフェストによる適正処理の管理システムが構築されている。さらに違反者への罰則強化や処理事業者の登録・許可取り消しなどの仕組みを導入している。これらの取り組みにより、不法投棄台数は大幅に減少した。

自動車の素材については、以前より売れるものは売るといのが基本的な考え方であり、エンジンなどの部品や、素材のリサイクルは積極的に進められてきた。またシュレッダダストと呼ばれるゴムやプラスチックは燃料として再利用され、またガラス屑などは路盤材に使用される。最終処分場に搬入されるのは、大半はサーマルリサイクル後の残渣であるが、この中からも、金属カスなどが回収されている。

EV化に向けてのSiCパワーデバイスの応用

EV化に向けてSiCパワーデバイスは各種の応用がある。



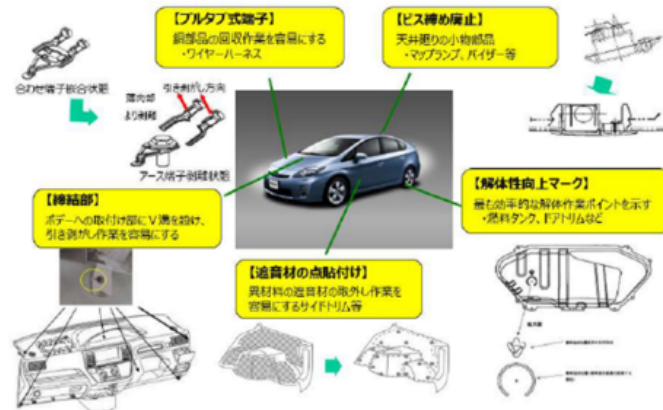
最近の自動車リサイクルでは、たとえばバッテリーなどは、クルマで使えなくなっ
た後でも他用途で活用される他、自動車
自体も、リサイクルしやすい構造で設
計される。ただしEV中古車の海外輸出
に伴い、希少なバッテリー材料が国外に
流出してしまうのが課題である。また海
外に輸出した中古車から部品だけ取り
外して放置されるケースも多く、新たな
課題となっている。

自動車リサイクルの技術面における
最大の課題は、軽量化に伴い使用量
が増加している炭素繊維強化プラスチ
ック（CFRP）のリサイクルである。CFRP
は粉碎してもサーマルリサイクルが困難

（燃えにくい）であり、また導電性があるため電気集塵による分別もできない。このため、CFRPはサーマルリサイクルする材料とは別に回収する必要があるが、現状ではリサイクルはほぼされていない。これら素材のリサイクルは、ESGの観点から材料メーカの存在意義にもつながると言え、また自動車メーカにも、リサイクル性に合わせた製品仕様や設計が求められる。

リサイクルしやすい車両構造の開発

* 解体業者との意見交換によって設計段階からリサイクル性を考慮する取り組みを実施



* リサイクル性に優れたPPやPEなどのオレフィン系材量の適用を拡大

出所：トヨタ自動車

■あとがき

シンポジウム「モビリティの電動化を牽引するエレクトロニクス」、いかがでしたでしょうか。自動車に搭載される「エレクトロニクス」が年々増加する中、今は、まさにそのエレクトロニクスが自動車のパラダイムシフトを起こそうとしています。裾野の広い自動車産業の構造をも一変させるとも言われるこの大変革、純粋な技術面だけではなく、材料のリサイクルや、充電などの社会インフラの整備も急務であり、まだまだそこにも課題とチャンスが混在していることがよく理解できたと思います。一個人としては、次を買うクルマを「最後の内燃機関」とするか、「トレンドの最先端である電気」とするか悩ましいところではありますが、同時並行ですすんでいる「自動運転」も含め、動向を注視して決めたいと思います。

シンポジウムご参加の皆さま、講師の先生方に、あらためて御礼申し上げます。

★ご案内

例年ですとシンポジウム後に交流会（懇親会）を催して参加者の方と講師の方の交流の場としていますが、コロナ影響を受けて今回も見送りとしています。講師の方にご挨拶やご質問・ご提案等のご希望がある場合、お気軽に事務局までメールにてご連絡ください。

化学工学会 エレクトロニクス部会 div_electro@scej.org
<https://scej-ele.org/>