

1.1 グリーンな社会実現に向けた技術 Technologies for Realization of a Green Society

液体水素で冷却する高効率な高温超電導発電機



High-Temperature Superconducting Generator with High Efficiency Cooled by Liquid Hydrogen

液体水素は、水素の輸送形態として注目される一方、液体水素の持つマイナス253℃の冷熱を有効利用する方法が、カーボンニュートラルの観点から探索されている。

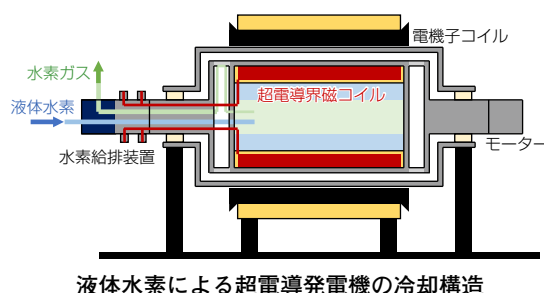
超電導発電機は、界磁コイルに超電導線材を使用することで発電効率が向上する効果がある。しかし従来は、超電導線材を冷凍機を用いて液体ヘリウムや液体窒素で冷却するためコストが課題であった。

そこで当社・関西学院大学・東京大学・国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構(JAXA)・上智大学のチームは、液体水素で冷却する高温超電導発電機の実現に向けた技術開発を行った。発電機内部の水素槽に超電導界磁コイルを配置し、超電導界磁コイルを含めた水素槽全体を回転して発電する構造を想定する。超電導界磁コイルは、将来目標の600MW発電機の回転応力50MPa

に耐える金属ケースによる補強構造にした。また、超電導界磁コイル単体を液体水素に浸漬(しんじ)した状態で通電試験を行い、超電導コイルが一時的に液体水素から露出しても超電導状態を継続できる可能性を明らかにした。

今後、この技術開発を推進することで、液体水素の冷熱利用を促進しカーボンニュートラル実現に貢献する。

この成果は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託事業(JPNP14004)の結果得られたものである。



液体水素による超電導発電機の冷却構造



金属ケースで補強した超電導界磁コイル

ゼロカーボンビルの設計・運用を支援するLCCCO₂シミュレーション技術



Life Cycle CO₂ Simulator for Supporting Design and Operation of Zero Carbon Building

カーボンニュートラル実現のため、ビルの建設・運用・改修・解体のライフサイクルで排出されるCO₂(LCCCO₂)の収支がゼロ以下になるゼロカーボンビル(ZCB)の普及が進んでいる。ZCB実現には、太陽光発電と蓄電池での再生可能エネルギー活用によって、電力会社からの買電で排出するCO₂を削減するだけでなく、余剰再生可能エネルギーを売電し他物件のCO₂も削減して、建設等で排出したLCCCO₂を相殺する必要がある。

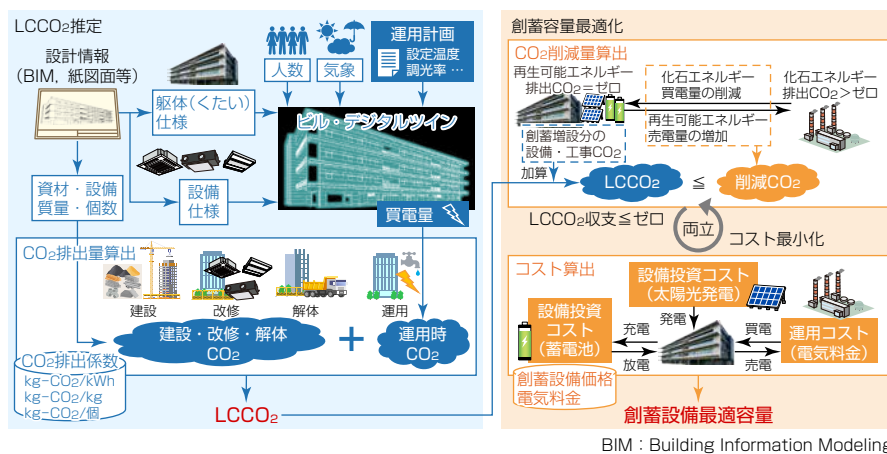
そこで、設計情報からLCCCO₂を推定し、推定したLCCCO₂の相殺に必要な創蓄容量を最適化して、ZCBの実現を支援するLCCCO₂シミュレーション技術を開発した。

LCCCO₂の推定では、ビル・デジタルツインを基に運用計画変更時の空調・照明等の時間単位の消費電力の変化を再現し、買電量を推定する。また、設計情報から資材の質量等を抽出する。そして、個々のCO₂排出係数を基に買電量から運用時CO₂を、資材の質量から建設・改修・解体時CO₂を算出し、

合算してLCCCO₂を推定する。

創蓄容量の最適化では、創蓄増設による電力売買量の変化や将来の創蓄設備価格・電気料金を想定し、CO₂削減量と設備投資・運用コストを算出する。そして、LCCCO₂収支がゼロ以下でコストが最小になる創蓄容量を算出する。

今後は、当社のZEB(net Zero Energy Building)関連技術実証棟“SUSTIE”にこの技術を適用し、ZCB化に向けた改修計画を立案・評価する。



BIM : Building Information Modeling

LCCCO₂シミュレーション技術

ヒートポンプ式空調機に適用可能な鉛直アルミニウム扁平(へんぺい)管熱交換器を開発した。空調機に用いられる熱交換器には、冷媒使用量の削減と伝熱性能の両立が求められる。これらの両立には、伝熱管を細径化しながら熱交換器を高密度実装することが有効である。しかし、従来の熱交換器では、鉛直に配置される冷媒分配器に密度が異なるガス冷媒と液冷媒が重力に逆らって流動するため、ガス冷媒と液冷媒が不均等に分布・流動することが課題であった。

今回開発の熱交換器は、鉛直上向きに延びるアルミニウム扁平管(VFT)(図1)を採用することで、冷媒ガスと冷

媒液の流れが冷媒分配器(図2)で重力によって偏る現象を抑制した。さらに冷媒分配器を二重管構造にし、内パイプに設けたオリフィスで冷媒ガスと冷媒液を混合させた。これによって、従来の熱交換器と比べて4倍になる100本以上のアルミニウム扁平管を実装しながら、冷媒を均等に行き渡らせることに成功した。

VFTは、従来の熱交換器に比べて伝熱性能を最大40%向上させながら、熱交換器の内容積を最大20%削減し、2024年9月に発売されたビル用マルチエアコンに搭載された。

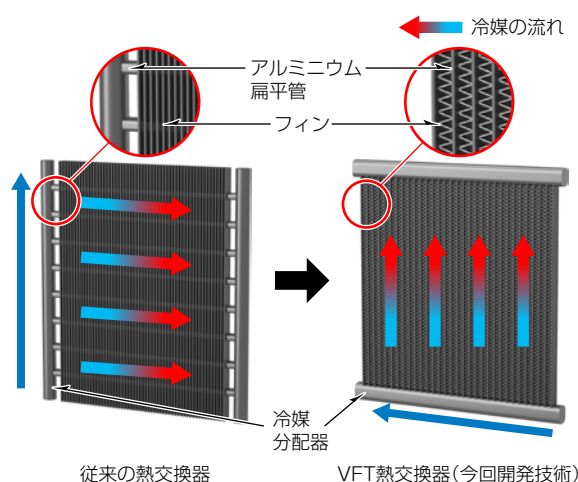


図1-従来の熱交換器とVFT熱交換器の比較

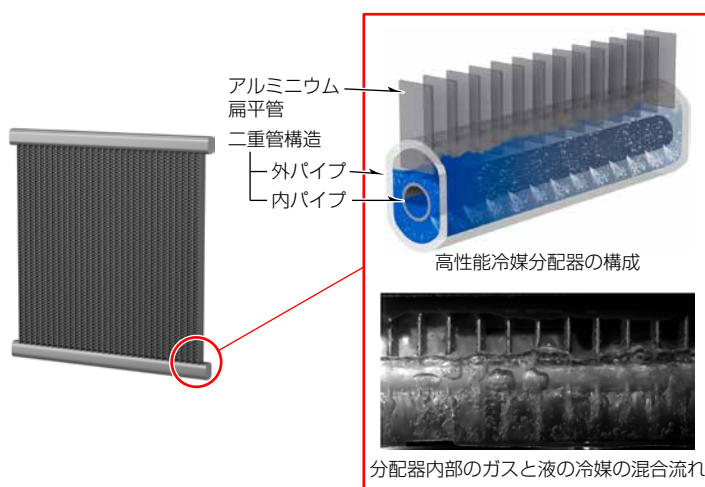


図2-高性能冷媒分配器

SiCパワーデバイスの耐湿性向上技術

近年、電力損失を大幅に低減できるSiC(シリコンカーバイド)パワーデバイスへの期待が高まっている。SiCパワー半導体は従来のSi(シリコン)パワー半導体と比べて半導体チップに生じる電界強度が高くなり、信頼性基準を満たすために要求される技術レベルが高くなる。

今回、高温高湿環境で高電圧を印加した際のSiCチップの劣化メカニズムを明らかにするとともに、電界緩和領域の再設計でSiCパワーモジュールの長寿命化を実現した。

(1) 高温高湿環境でのSiCチップの劣化メカニズム

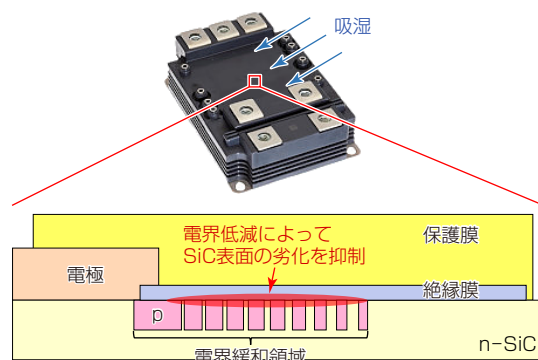
高温高湿環境による吸湿状態でSiCチップに高電圧が印加された場合、チップ外周に設けられた電界緩和領域のSiC表面にSiO₂(酸化シリコン)が析出して、上部の絶縁膜や保護膜との間に剝離が生じることを明らかにした。またこの析出はこれまで注目されていたSiC内の電界強度ではなく、SiC表面上の電界強度に依存することを実証した。

(2) SiCパワーモジュールの長寿命化

シミュレーションを用いて電界緩和領域のp型SiCの数、

幅、間隔を再設計し、SiC表面上の電界強度を従来比66%に低減することで、高温高湿環境でのSiCパワーモジュールの破壊寿命を従来の2.8倍に改善した。

今後、この技術を製品適用することで、SiCパワーモジュールの耐環境信頼性の向上に貢献する。

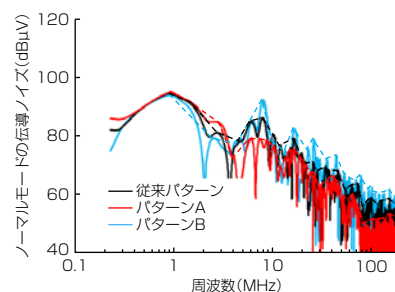
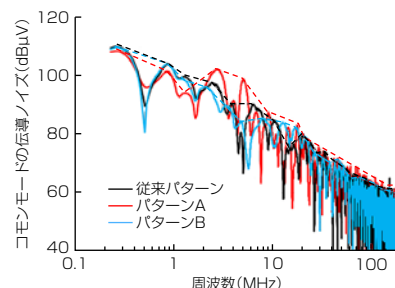
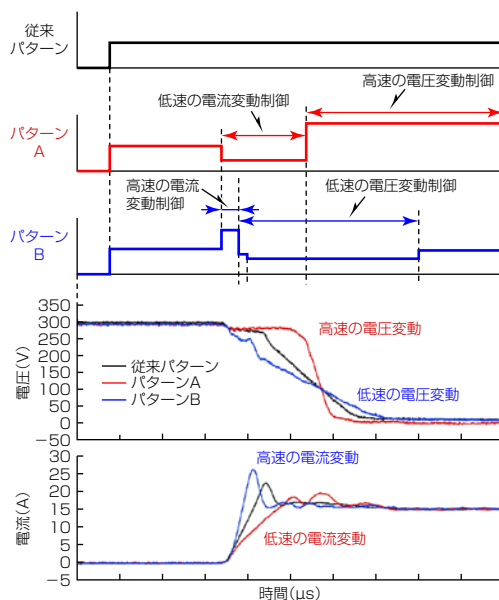


高温高湿環境でのSiCチップの劣化抑制

デジタルゲート駆動によるパワー半導体の伝導ノイズの制御

Active Selection of Conduction Noise in Power Semiconductors by Digital Gate Drive

パワー半導体のスイッチング動作では、電圧、電流の変動に起因した伝導ノイズが発生する。この伝導ノイズは対地を循環するコモンモードと、パワーモジュールが搭載される電力変換器内部を循環するノーマルモードに区分され、それぞれ異なる対策が必要である。従来のゲート駆動方式は両方の伝導ノイズを発生させるため、必然的に双方への対策が必要であり、開発の長期化、製品コストの増加といった課題があった。この課題に対して、東京大学との共同研究で開発したデジタルゲート駆動技術を用いて電圧変動と電流変動を個別に制御した場合の伝導ノイズを評価した。この評価では、図1に示すように高速の電圧変動と低速の電流変動のパターンAと、その逆(低速の電圧変動と高速の電流変動)のパターンBを準備した。その結果、パターンAではコモンモードノイズ(図2)、パターンBではノーマルモードノイズ(図3)が顕著であった。この結果は、デジタルゲート駆動技術によって一方の伝導ノイズの発生を制限でき

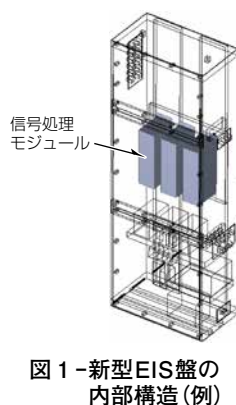


小型炉への適用に向けた現場型デジタル炉外核計装システム

Local Digital Ex-core Instrumentation System for Small Modular Reactor

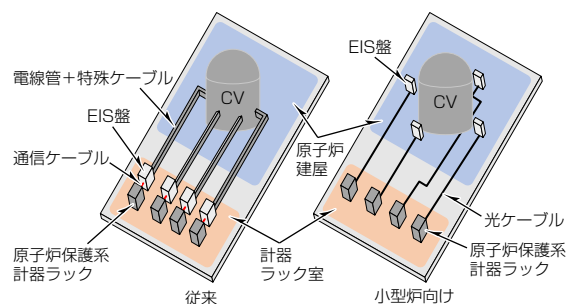
当社は米国Holtec International社が進める次世代原子炉である小型モジュール炉“SMR-300”の開発に参画し、計装制御システムの設備設計を担当している。小型炉市場では安全性の維持を前提にしつつ、初期コストの低減が重要な要素になることから、小型炉への適用に向けた新たなコンセプトの下、新型炉外核計装システム(新型EIS(Ex-core Instrumentation System))の開発を実施している。

新型EISの開発コンセプトはデジタル化範囲の拡大による盤の小型化と保守工数低減、及び格納容器(Containment Vessel: CV)近傍に盤を設置する現場型化による初期コストの低減である。新型EISでは従来複数のアナログ回路で実現していた機能を新たに開発した信号処理モジュールに統合することで盤の占有面積を従来比で約1/3に削減する(図1)。また、信号処理モジュールの適用によって信号処理回路数が削減されることでシステムの保守工数低減にも寄与する。さらに、



小型化の実現によって盤の設置場所に対する制約が緩和され、初期コストの増加要因になっていた耐ノイズ特殊ケーブルと専用電線管の敷設量を大幅に削減可能になる(図2)。

今後は基本設計段階である新型EISの詳細設計や検証計画を具体化していくとともにHoltec社と共同でSMR (Small Modular Reactor)開発を推進していくことで、原子力発電の発展を通じたカーボンニュートラルの実現に貢献していく。



■ 電流脈動低減のためのモーター磁束に基づくPWMパルスモード切替え法

PWM Pulse Mode Switching Method Based on Motor Flux for Reduction of Current Pulsation

モーター制御モード切替え時のショックを低減する新たな切替え法を開発した。インバーターによるモーター駆動はパルス幅変調(PWM)制御が用いられ、モーター回転速度に応じてPWMのパルスモードを切り替えて制御することで、制御性と損失抑制を両立している。しかし、パルスモードの切替えショックでモーターのトルク電流が脈動し、モーターの振動が大きくなることが問題であった。また、例えば、電気鉄道ではレールに流れる高調波電流に規制があり、従来は切替えショックで高調波規制を超えないよう大型のフィルター回路で抑えていたが、回路損失が大きく、銅などの資源を多く使用するため、小型のフィルターが求められていた。

今回、パルスモード切替えによる電流脈動の振幅がPWM電圧の時間積分で表されるモーター磁束差に比例することを突き止めた。切替え前後のモーター磁束差が小さなタイミング

(図1のB)でパルスモードを切り替えることで、小型フィルターでも高調波規制に対応可能にした。今回の切替え法を実際の電気鉄道で実証した結果、従来に比べて電流脈動が小さく、高調波電流を抑えることができた(図2)。

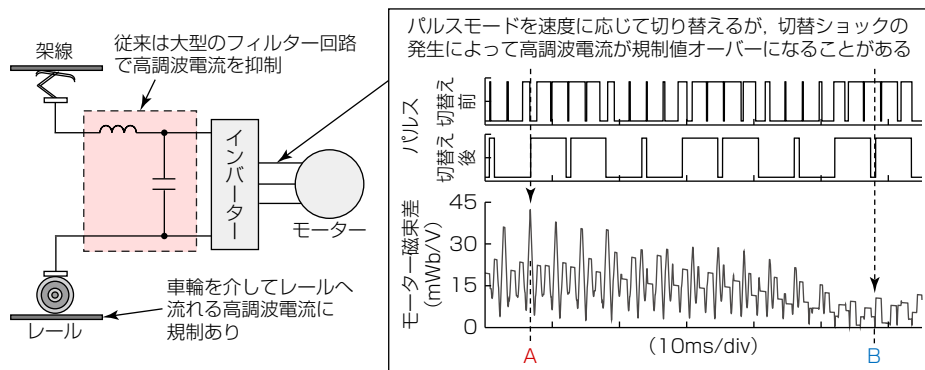


図1-電気鉄道の主回路とパルスモード

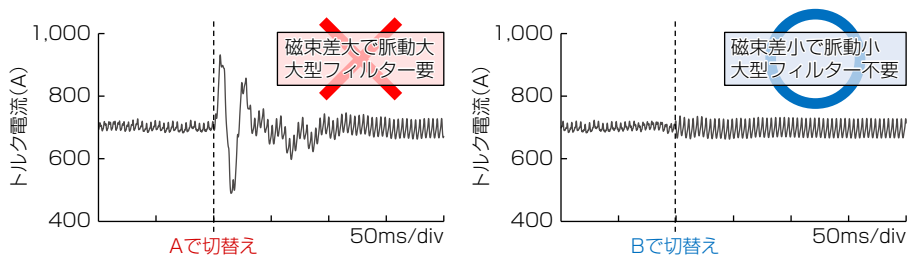


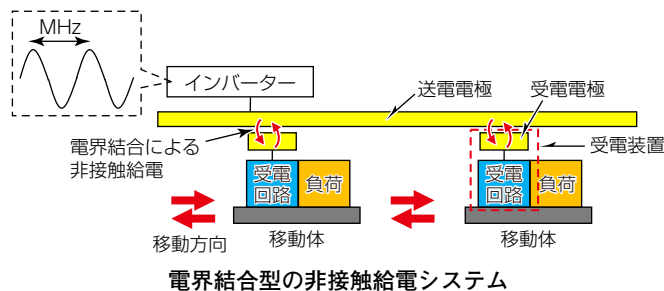
図2-パルスモード切替えによって発生するトルク電流の脈動

■ 移動体上の負荷給電に適した小型・軽量の電界結合型非接触給電システム

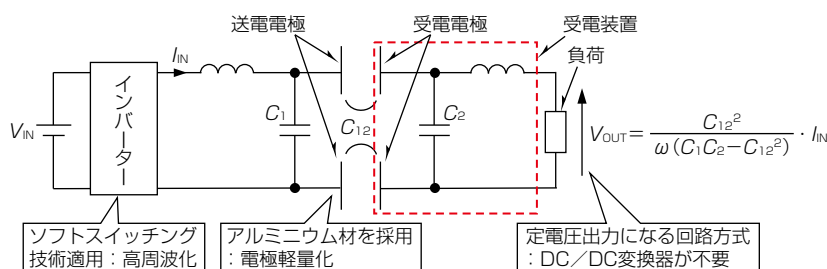
Small and Lightweight Capacitive Wireless Power Transfer Systems Suitable for Supplying Loads on Carrier

電気自動車や搬送機のような移動体上の負荷に定電圧の給電が可能で、受電装置を小型・軽量化できる非接触給電システムを開発した。

今回の開発では、アルミニウム電極による電界結合方式を採用することで、受電電極の軽量化を実現した。また、ソフトスイッチング技術適用MHz級インバーターの開発によって、インバーターのコストアップを抑えつつ共振周波数の高周波化が可能になり、受電電極を含む受電装置の小型化を可能にした。さらに、負荷によらず出力電圧が一定となる回路方式を構築し、DC/DC変換器を不要とする小型・軽量の受電装置を実現した。これらの施策を反映した実機実証を行い、電力変換効率80%以上で数百W級の移動時安定給電を達成した。



電界結合型の非接触給電システム



負荷に定電圧出力する回路方式

マグネシウム合金の高速・高精度積層造形技術の確立

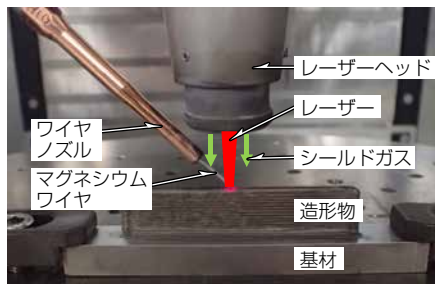
Establishment of High-Speed & Precision Additive Manufacturing Technology for Magnesium Alloys

実用金属中最も軽いMg(マグネシウム)合金は、昨今の輸送機器等の更なる軽量化要求に対応する高強度・高剛性かつリサイクル性に優れた材料として注目されている。

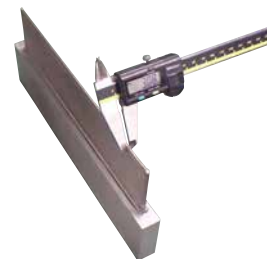
今回、当社は熊本大学、東邦金属㈱、JAXAと連携して、ワイヤ・レーザーDED(Directed Energy Deposition：指向性エネルギー堆積法)(※1)方式金属3DプリンターによるKUMADAI耐熱Mg合金(※2)の3mm幅での高精度かつ高速な積層造形を実現した。積層造形物は常温で約250MPa、高温(200℃)で約220MPaの引張強度があり、ロケットタンク等に活用すると最大で約20%の軽量化効果がある試算を得た。またこの技術では造形時のシールドにAr(アルゴン)ガスを用いており、Mg铸造加工で従来用いられているSF₆

(六フッ化硫黄)ガスが不要なことから温室効果ガスの大幅な排出削減にもつながる。

- ※1 集束させた熱エネルギーを利用して材料を溶融、結合、堆積させて造形する手法
- ※2 熊本大学が開発した“KUMADAIマグネシウム合金(注)”の中でも、高い強度と耐熱性を併せ持つ合金



マグネシウム合金の積層造形原理



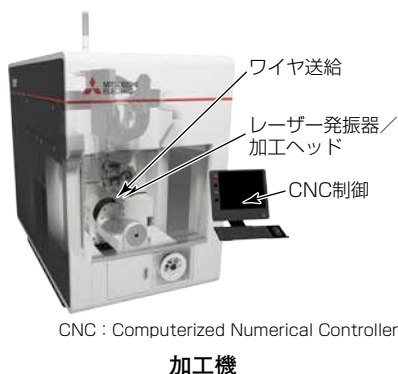
マグネシウム合金の積層造形サンプル

ワイヤ・レーザー金属3Dプリンター“AZ600”向け広域シールドガスノズル

Large-area Shield Gas Nozzle for Wire-Laser Metal 3D Printer "AZ600"

ワイヤ・レーザー金属3Dプリンター“AZ600”用の広域シールドガスノズルを開発した。AZ600は様々な材料に対応できるが、チタン合金は酸化しやすく、シールド範囲の拡大が課題であった。今回、フラウンホーファー研究所との共同研究によって、従来と比べて約25倍のガス噴射領域を持つノズルの開発に成功した。広域から噴射されるガスを乱さず供給するために、ガスの分配構造や多重スリット構造を考案した。また、複数ガス種の組合せやガス流量探索などのプロセス開発を行った。その結果、引

張強度、耐力、伸び、酸素含有量で、鍛造規格を満たす結果を得た。チタン合金は特に航空宇宙分野での需要が高く、今回開発品の速やかな製品搭載を目指して開発を推進する。



チタン合金造形サンプル (燃料タンクを模擬)

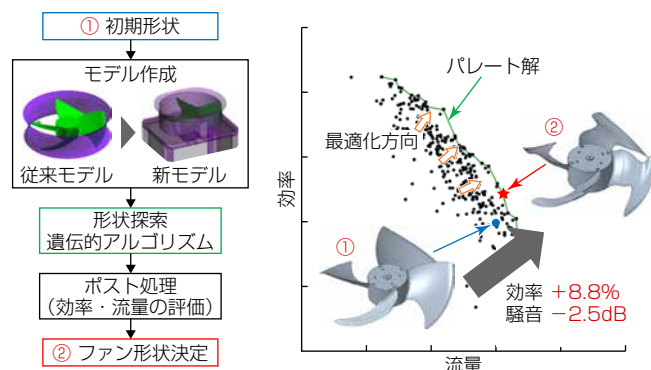
ノズル、チタン合金造形サンプル

ビル用マルチエアコン室外機に搭載されるファンの最適化技術

Fan Design Optimization on Outdoor Units of Multi Air Conditioners for Buildings

室外機のプロペラファンは、周囲の筐体(きょうたい)形状による気流の乱れや偏りのない流れ場の下で設計されてきた。それらを考慮するためには室外機全体の大規模な流体計算が必要になるため、高速・高精度な性能予測が困難であった。そこで、気流への影響が大きな熱交換器とモーター周辺構造をモデル化した流体計算と最適化手法を組み合わせる翼形状探索技術を開発した。モデル作成からポスト処理までを自動化し多並列化計算することで、大規模な流体計算にもかかわらず、従来同等の計算時間でファン形状を最適化できた。この手法を適用したビル用マルチエアコン室外機“グランマルチシリーズ”で、ファン効率を

8.8%、ファン騒音値を2.5dB改善し、量産化に貢献した。



従来手法と新手法

800V対応SiCインバーター搭載EV実験車“EMIRAI 800”

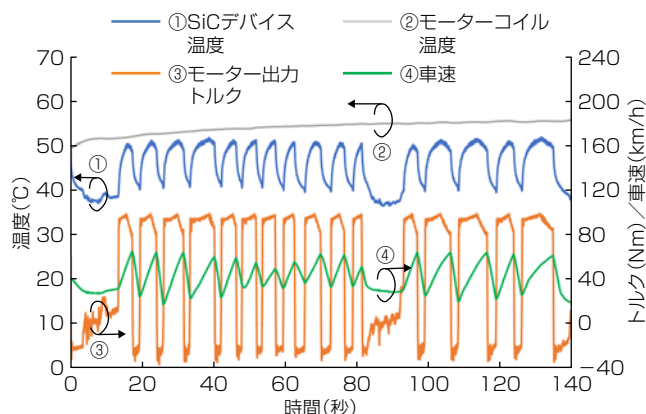
EV Test Vehicle "EMIRAI 800" Equipped with 800V Compatible SiC Inverter

EV(Electric Vehicle)の課題である充電時間短縮のため、大容量電池を搭載する車の電池電圧は800Vに高電圧化される傾向にあり、高電圧域で高効率なSiCデバイスを適用した車載インバーターが注目されている。EV実験車“EMIRAI 800”は、800Vの電池と、当社で開発中の800V対応SiCインバーターを搭載し、自走できるように仕上げ

た。開発品を最終形である車に搭載することで、走行時にインバーターがどのように使われているかを実測し、車に必要なとされるインバーターの性能や品質を評価・分析できるようになった。これらの結果を設計やシミュレーションにフィードバックし、車全体の視点からSiCインバーターの製品価値向上を図る。



EV試験車“EMIRAI 800”



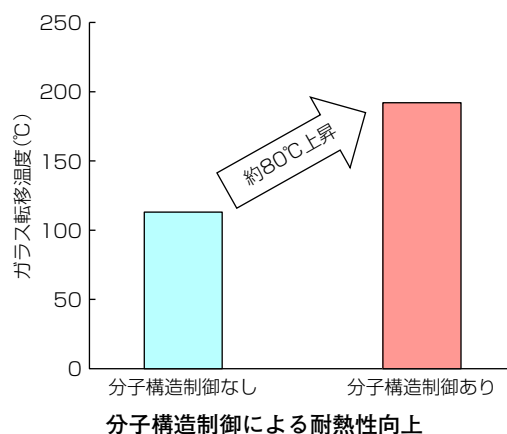
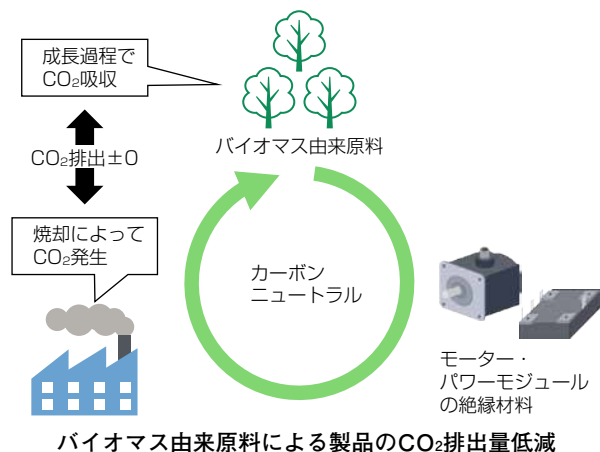
走行時の温度上昇確認試験

バイオマス由来原料を用いた高耐熱絶縁材料

High Heat Resistant Insulating Materials Using Biobased Resins

バイオマス由来のエポキシ樹脂を用いて、材料設計及び分子構造制御によって、75%以上のバイオマス度を持ちつつ、ガラス転移温度192℃の高耐熱性を発現する絶縁材料を開発した。製品のライフサイクルでのCO₂排出量低減のため、バイオマス原料の絶縁材料への適用を検討している。バイオマス樹脂は耐熱性が低いものが多く、絶縁材料

に適用するには耐熱性の向上が課題になる。そこで、剛直なメソゲン骨格を含む硬化剤と組み合わせて、配合割合や硬化条件を最適化して硬化物の分子構造制御を図った。その結果、高密度な硬化物が得られ、バイオマス樹脂の高耐熱化を実現した。今後はモーターやパワーモジュールに用いられるモールド樹脂への適用に向けて開発を進める。



■ 気候変動データの体験型可視化・可聴化作品“Climatic Reflector”

"Climatic Reflector": Climate Data Artwork with Visualization and Sonification

気候変動の問題が毎日のようにニュースになっているが、それを自分事として捉えることができていないのか。

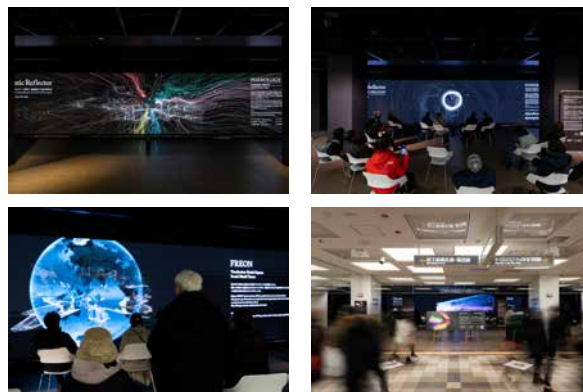
“Climatic Reflector”はこのような問題意識に基づいて、気候変動に関するオープンデータを可視化した五つの作品群である。

季節の風物詩を可視化した作品では、うぐいす初鳴やさくら開花など生物季節観測データの変遷を視覚的に分かりやすく表現することで、気候変動が風物詩の在り方に影響を与えた軌跡を捉えることができる。ほかにも海面シミュレーションのデータや、海中に蓄積された特定フロンのデータ、オゾンホールデータのデータ、IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル)の2300年シナリオに基づく海面上昇シミュレーションデータという、五つの異なる切り口から作品を制作した。数値に色や形、動き、音を与えることで、気候変動の問題を視聴覚的に感じ取ることを可能にした。

さらに、鑑賞者もリアルタイムにセンシングされた点群データとして作中に登場させ、データに向き合う自分自身

を客観視する体験を提供した。

これらの作品は“人々の気候変動への能動”を可視化する装置として慶應義塾大学 脇田玲研究室と札幌国際芸術祭(SIAF2024)に出展した。さっぽろ地下街オーロラタウンの没入型大型ビジョンに展示し、多くの市民や観光客に視聴され、自分事として捉えた上での感想を共有した。



三菱電機 統合デザイン研究所+慶應義塾大学 脇田玲研究室 (Climatic Reflector)
Photo by MOMMA Yusuke

展示中の様子

■ サークュラーエコノミーに資するプラスチック高度選別技術

Advanced Plastic Sorting Technology for Circular Economy

当社では家電プラスチックリサイクル事業で培ってきた静電選別技術の社外展開を検討している。プラスチックの帯電特性の違いを利用して選別する静電選別は汎用性に優れるが、リサイクルプラスチックの原料変動に対応した選別条件の最適化が普及の課題になっている。そこで選別条件の自動制御技術の確立に向けて、原理検証を行うためのラボ装置の作製を開始し、各種センサーとAIを活用する要素技術の検討を行った。その結果、原料・回収組成と帯電量のセンシングシステムの正常動作確認、及びAIアルゴリズムの構築と性能検証が完了し、原料変動の対応の目途が立った(図1)。今後、この技術を搭載したラボ装置を完成させ、家電以外のプラスチックも含めた原理検証を行う。

この研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)“サーキュラーエコノミーシステムの構築”(研究推進法人: 独立行政法人 環境再生保全機構)(JPJ012290)によって実施した。

