

研究開発 Research and Development

電磁開閉器のカドミウムフリー化

Cadmium Free of Magnetic Contactor

産業用モータ、パワーコンディショナなどの自動制御に用いられている電磁開閉器での電気接点のカドミウムフリー化を業界最小クラスの筐体(きょうたい)サイズで実現した。

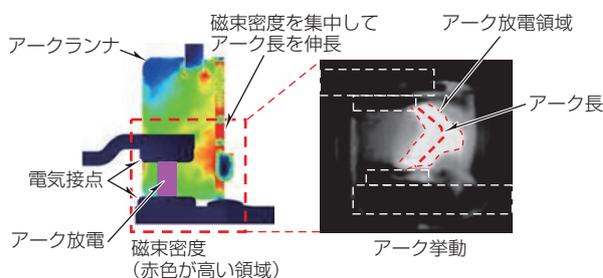
電磁開閉器の電気接点には、電流遮断時に発生するアーク放電の遮断性能に優れた銀酸化カドミウムが使用されていたが、欧州RoHS(Restriction of Hazardous Substances)指令を受けてカドミウムフリー材料へ変更する必要があった。また設置スペース縮小化の要求があり、小型化が求められていた。

今回、電気接点で発生したアーク放電を素早く消すため、磁性体でできたアークランナと呼ばれる部品の形状を最適化し、アーク放電を吸引する電磁力を従来品に比べて20%以上強化してアーク長を伸張した。この結果、接点をカドミウムフリー化できるとともに、筐体サイズを従来品に対して40%小型化(50A機種)でき、業界最小クラスのサイズでカドミウムフリー化を実現できた。新たにカドミウムフリー化した電磁開閉器によってカドミウムの使用量を1年間に約0.6t削減可能で、これは国内で電気接点等に使用されるカドミウムの約14%に相当する。この開発

で2017年度環境賞(優秀賞)を受賞した。



カドミウムフリー化と小型化を実現した電磁開閉器



アークランナの磁束密度解析結果とアーク挙動

HEV用超小型SiCインバータ

World's Smallest SiC Inverter for HEVs

フルSiC(シリコンカーバイド)と高放熱構造の採用によって、世界最小(*1)の体積5Lを実現したHEV(Hybrid-Electric Vehicle)用超小型SiCインバータを開発した。

近年、自動車市場は燃費規制強化が進んでおり、EV・HEVの需要が拡大している。一方、HEVでは電動化のための機器設置空間が必要となり、車内空間を確保するためにインバータの小型化が求められている。

今回、低損失なSiCチップをパワー半導体として採用することで、インバータの小型化と燃費向上を両立させた。また、パワーモジュールと冷却器をはんだで接続する高放熱構造を採用することで、熱抵抗を従来のグリース接続モジュールより43%低減し、インバータを小型化しても十分な放熱性を確保した。また、チップ上部に熱応力を緩和させる構造を採用することで各接合部の長期信頼性も確保した。

これらの技術の適用によって、世界最小の体積5Lと世界最高レベルの電力密度86kVA/Lを達成した。開発品は2モータ方式HEV向けであるが、開発した要素技術はEV等にも適用可能である。

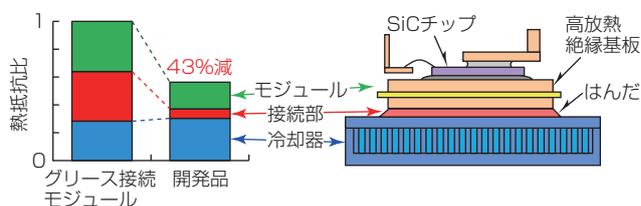
なお、今回の開発の一部は、国立研究開発法人新エネルギー

ギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託研究として実施したものである。

*1 2017年3月9日現在、当社調べ。2モータ方式HEVに対応した2つのインバータユニットと1つのコンバータユニット構成のインバータにおいて



HEV用超小型SiCインバータ



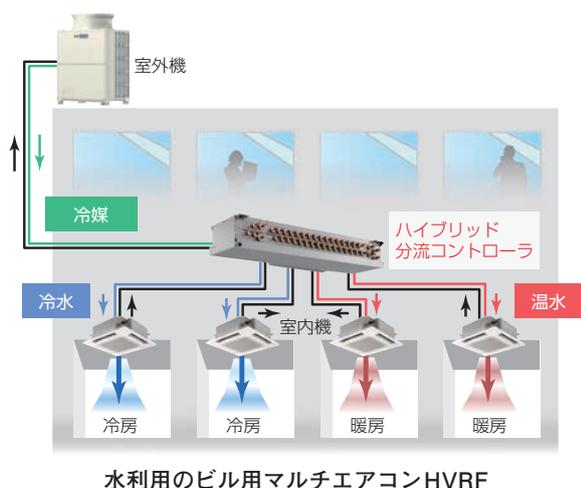
熱抵抗比較とパワーモジュール断面

水利用のビル用マルチエアコン

Water-based Multi-split Air Conditioner for Buildings

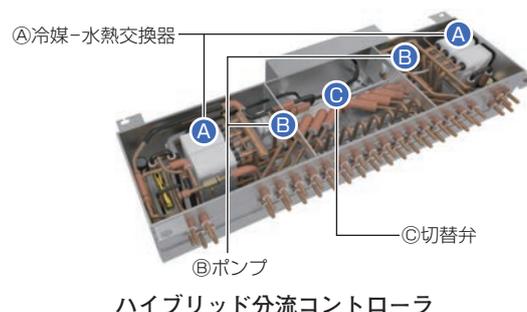
ボイラやチラーによる水空調が主流であった欧州で、地球温暖化防止の観点から、省エネルギー性に優れたヒートポンプ式空調機が普及しつつある。ヒートポンプ式空調機には、冷媒で熱搬送する直接式と、水で熱搬送する水方式がある。水方式は、室温変化が小さく快適性に優れるが、直接式に対して省エネルギー性が劣ることが課題であった。

そこで、室外機から天井裏までを冷媒で熱搬送し、天井裏から室内までを水で熱搬送することで、省エネルギー性と快適性の両立を実現する業界初^(*)の水利用のビル用マ



ルチエアコン“HVRF”を製品化した。開発したハイブリッド分流コントローラによって、冷媒と水とを熱交換し、複数の室内ごとに冷・温水を供給することで、水方式での個別空調を実現した。また、室内での冷暖房の運転状況に応じて、必要な冷・温水を同時に生成しながら、冷房で回収した熱を暖房に再利用することで、省エネルギー性に優れた冷暖房の同時運転を実現した。この技術によって、従来のボイラやチラーでは、室内機ごとに4本必要であった配管を2本に半減でき、空調機器の施工性にも貢献できる。この製品は、RAC Magazine社主催のRAC Cooling Industry Awards 2016、Datateam Business Media社主催のACR News Awards 2017を受賞した。

*1 2017年8月3日現在、当社調べ



発電機用薄型点検ロボット

Smart & Rapid Inspection Robot for Generators

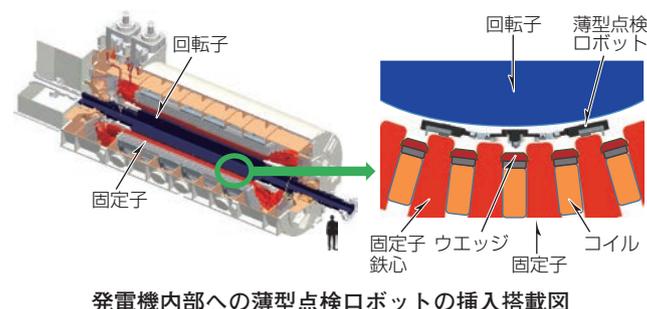
従来の発電機保守点検作業は、通常4年ごとに回転子を発電機から引き抜き、精密点検を実施している。このような精密点検には1~2か月を要していたため、発電機の稼働率を向上させるためには、精密点検の周期延長が課題であった。精密点検の周期を延長しつつ、信頼性を維持するためには、短時間で高精度な発電機点検の実現が求められていた。

今回、回転子と固定子の隙間に挿入することで回転子を引き抜かず簡易点検期間(約1週間)で高精度に発電機内部を点検できる厚み19.9mmの薄型点検ロボットを開発した。これによって、当社製の中・大容量発電機全機種でのロボットによる点検(カメラ目視点検、固定子鉄心の欠陥検出、ウエッジ



(くさび)の緩み検査)が可能になった。また、発電機コイルを固定するウエッジを打診検査するタッピング機構を独自開発し、振動解析技術と組み合わせることで、ウエッジ緩みの高信頼評価を実現した。

この発電機用薄型点検ロボットの簡易点検によって、簡易点検に基づく精密点検要否判定と補修部材の事前準備が可能になり、発電機の総点検コストの抑制・信頼性確保・稼働率向上に貢献する。2017年2月から市場投入を開始しており、当社製発電機の点検に順次適用していく。



研究開発 Research and Development

モノクロレーダ画像の擬似カラー化

Pseudo-colorization of Grayscale Radar Images

レーダは雲等を透過する周波数帯の電波を送信し、目標からの反射波を受信して物体を観測するため、昼夜天候によらず観測が可能である。特に、衛星等に搭載される合成開口レーダでは分解能の高いレーダ画像を得ることができ、近年は災害や海洋、インフラ等の監視に利用されている。

一方、レーダ画像は受信した反射波の信号強度が画素値となるため、モノクロのグレースケールで表現される。そのため、光学画像のようなカラー画像と比べ視認性が低く、利用するには専門知識が必要であり、一般のユーザーにとっては利用が難しい。

今回、レーダ画像での反射波の信号強度分布の平均・分散などの統計量が、反射した対象物によって異なる特性を示すことを利用し、レーダ画像の擬似カラー化を行った。あらかじめ各対象物のサンプル画素から、反射波の信号強度分布の統計量を求めておき、新しく入力された画素の統計量が最も近いものをその対象物として推定する。さらにその推定された確率に応じて対象物ごとに適切な彩色で着色を行う(図1)。対象物を建物、森林、水域とした場合、

レーダ画像から光学画像に近く視認性が高い画像が得られることを確認した(図2)。これによって、レーダ画像の利用拡大が期待される。

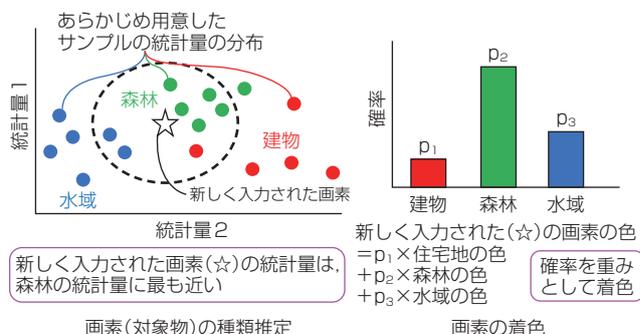


図1. 擬似カラー化の処理手順

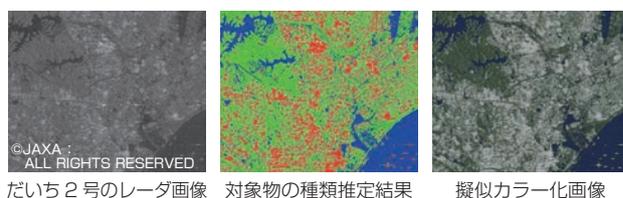


図2. シンガポールの観測画像

深層強化学習での学習時間短縮技術

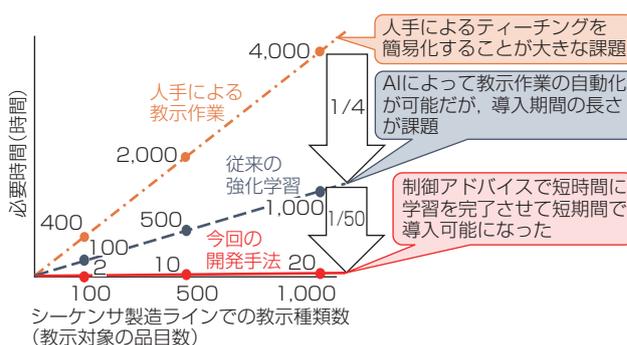
Extra-efficient Smart-learning Technology in Deep Reinforcement Learning

深層強化学習は、機器自身が試行錯誤を通じて適切な動作(制御)を獲得する人工知能(AI)の一種である。深層学習による画像認識技術を活用することで、画像から適切な動作を機器が直接獲得できる。深層強化学習は、試行を重ねることによって、報酬が高くなる動作を選べるが、適切な動作を獲得するまでには膨大な試行数を必要とするため、機器が設置された環境下で試行して学習する際の課題となっていた。

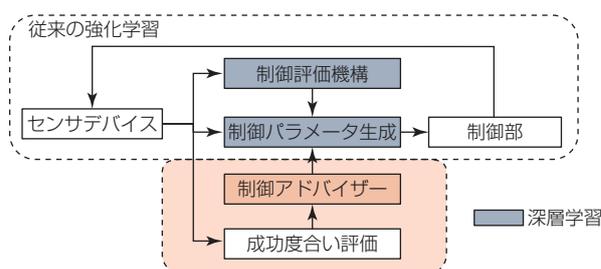
今回、機器の操作知見を用いて、得られたセンサーデータから各試行を評価し、うまくいかなかった試行に対してもセンサーデータに基づいて、どの程度うまくいったのか評価(成功度合い評価)を与え、良い行動を導き出すアルゴリズム(制御アドバイザー)を開発した。従来は、機器の操作知見がなく失敗した試行に対しては評価をできない場合が多いが、このアルゴリズムによって適切な行動を獲得するための試行数を大幅に削減できるようになった。

この手法をロボットアームによるコネクタ嵌合(かんごう)作業に適用した結果、カメラ画像と力覚センサを用いることによって、適切な動作をランダムに探索する従来手法に比べ、試行回数を約1/50程度に削減した。これに

よって、製造ラインでのロボット立ち上げ時間を大幅に短縮でき、生産性が向上する。



ロボットのティーチングに適用した場合の効果



開発した手法の機能ブロック図

“ディープクラスタリング”を用いた複数話者の音声分離技術

Speech-separation Technology with Proprietary AI Method "Deep Clustering"

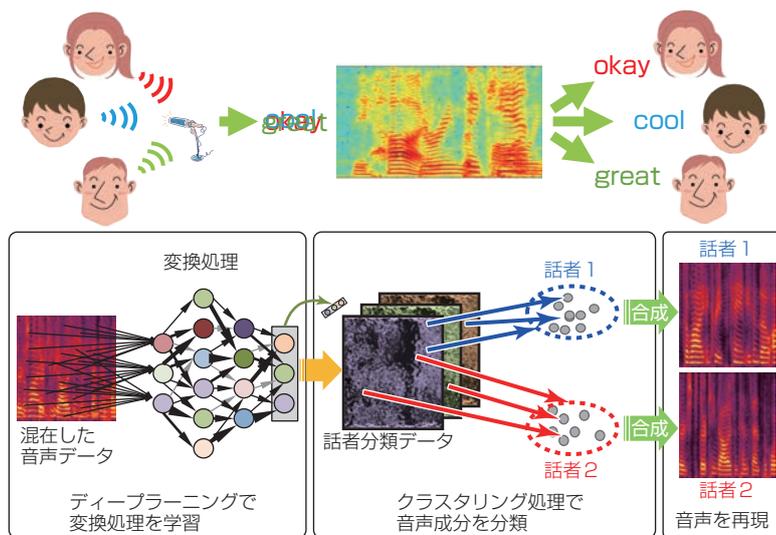
音声と雑音が混在したデータから雑音を除去する技術は、カーナビゲーションなどに搭載されているハンズフリー通話機能などで実現されている。従来、同時に話す声を聞き分けて再現する技術は、複数マイクを使い話者の位置情報を基に音声を分離・再現する技術と、マイク1本で録音した音声を聞き分けて再現する技術があるが、マイク1本の場合の原音再現率は51%と低く、更なる改善が必要であった。

今回“ディープクラスタリング”という独自のAI技術を用いることで、世界で初めて^(*)マイク1本で録音した複数話者の同時音声の分離・再現を実現した(原音再現率90%以上)。この手法では、ディープラーニングを用いて音声成分の特徴から話者を分類する変換処理を学習する。次に、学習した音声変換処理を入力信号に適用し、データの類似度に従って幾つかのグループに分けるクラスタリング処理を行い音声成分を分離する。最後に、分離した音声成分を合成して各話者の声を再現する。

この手法は、女性同士や男性同士に加え、異

なる言語の同時音声にも対応可能なことが特長である。また複数マイクを使用して更なる性能改善も可能である。複数人が同時に話す環境下でも各話者の声を抽出できるため、より聞き取りやすい音声通話や高性能な音声認識の実現に貢献できる。

*1 2017年5月24日現在、当社調べ



ディープクラスタリングを用いた複数話者の音声分離技術

三次元モデルARを用いた保守点検作業支援技術

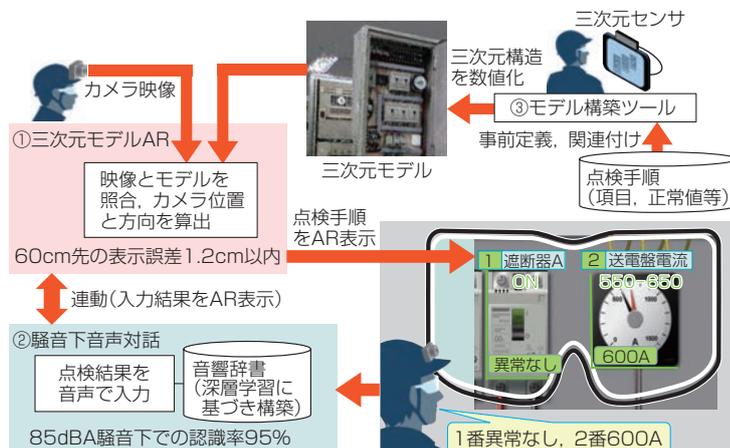
Maintenance-support Technology Using Augmented Reality Based on Three-dimensional Model

保守点検作業のペーパーレス化・効率化・漏れ防止などを目的として、点検手順等をタブレットパソコンやスマートグラス上にAR(Augmented Reality: 拡張現実)表示する作業支援システムの実用化が進んでいる。しかし、従来システムにはAR表示の精度向上や点検手順データベース構築の簡易化に課題があった。

今回、スマートグラス上にAR表示した点検手順に従い、ハンズフリーで点検結果を音声入力できる三次元モデルARを用いた保守点検作業支援技術を開発した。点検対象機器の三次元モデルを用いてAR表示の位置を計算する三次元モデルAR(図①)によって、写真データを用いる従来方式と異なり、点検対象との距離や角度にかかわらず正確な位置に表示できる(60cm先の表示誤差が1.2cm以内)。また、非常騒音下であっても音声区間を正しく検出し、多様な騒音を考慮した深層学習に基づき構築した音響辞書を用いる騒音下音声対話(図②)によって、現場の高騒音下でもAR表示と連動した音声対話で点検結果を正

確に入力できる(85dbAの騒音下で認識率95%)。さらに、モデル構築ツール(図③)によって、点検対象の撮影、点検手順との関連付けなどの事前準備が容易になる。

今後はこの技術の実用化を進め、当社システムの付加価値向上及び社会インフラやビル設備などを始めとする保守ビジネスの拡大を目指す。



開発した技術を適用した配電盤の保守点検作業支援

研究開発 Research and Development

海洋レーダによる津波検出アルゴリズム

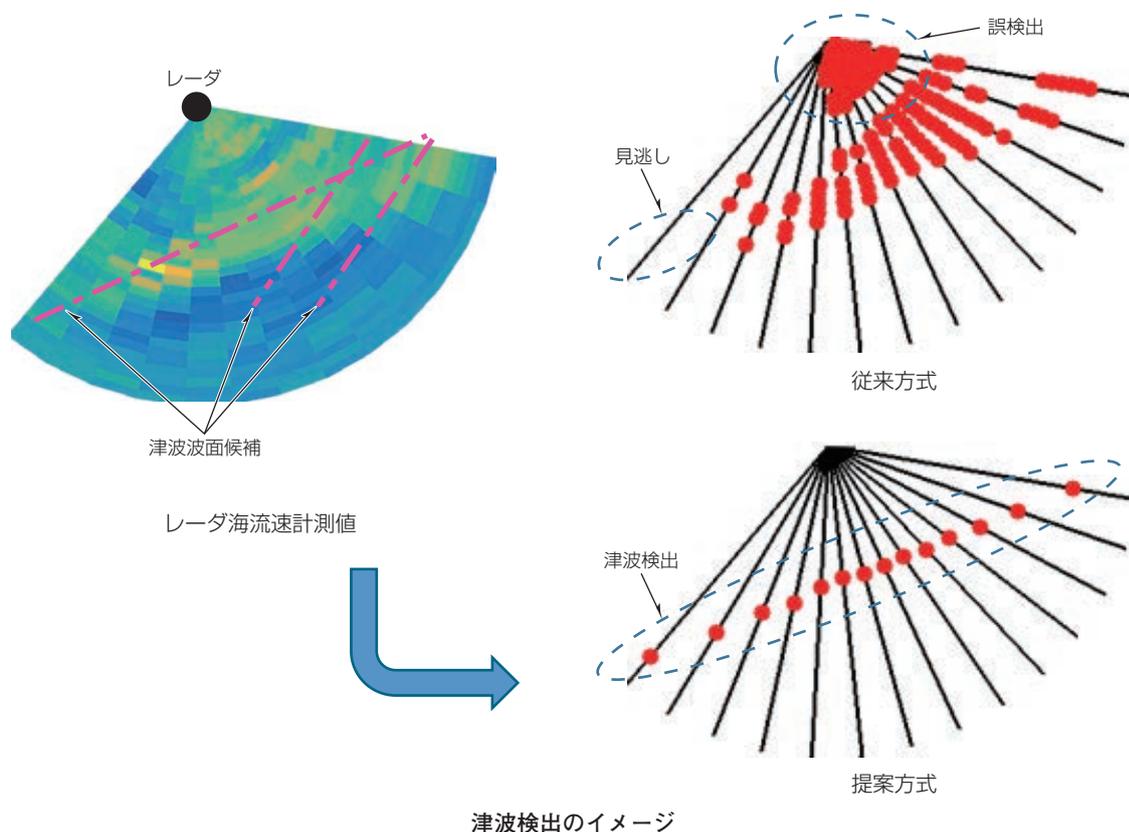
Tsunami Detection Algorithm by Ocean Surface Radar

津波を観測する手段として、動画撮影やマイクロ波帯のレーダでは観測できない地平線以遠の見通し外領域での海洋表面の流れである表層流の速度(海流速)を観測できるHF(High Frequency)帯の電波を使用する海洋レーダが注目されている。HF帯は、波長が長いので回折しやすく、海洋表面は、大気中に比べて導電率が高いことによって、地平線以遠の領域まで電波が到達するという特徴を持つ。

このレーダでは、潮汐(ちょうせき)や海流等の成分が含まれる海流速から、津波の流速成分を抽出する機能を備えている。

津波の視認性を向上させるため、津波の流速成分から沖合遠方の津波を波面として検出する技術を開発した。

従来方式では、レーダ覆域を距離・方位方向に分割した各セルで海流速の大きさから津波の有無を判定していた。しかし、レーダで計測した海流速には誤差が含まれるため、この方式では津波以外の海流速を津波と誤検出したり、津波を見逃したりする可能性が高かった。今回、波面として到来するという津波の特徴を利用し、レーダ覆域内で津波波面候補を探索後、波面上の海流速計測値を平均化して誤差を抑圧するアルゴリズムを開発した。従来に比べて誤検出、見逃しを抑え、正確に津波を検知できる。



冷蔵庫の消費電力量を削減する冷却器構造

Structure of Refrigerator Evaporator for Energy Saving

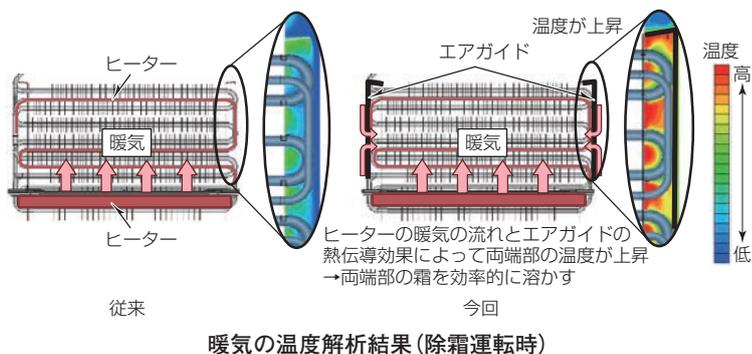
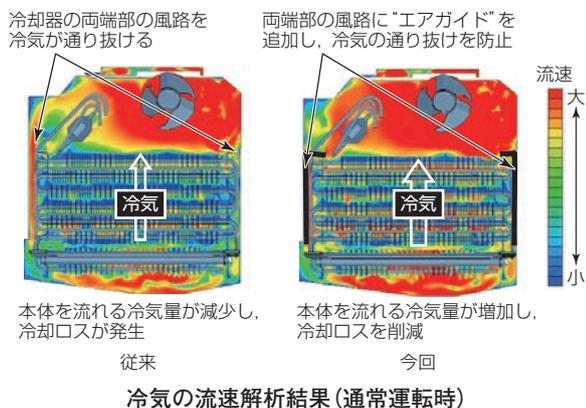
冷蔵庫内を循環する冷気や、霜を取るための暖気の熱伝導を数値解析で可視化して冷気と暖気の流れを明確にすることで、冷却ロスの低減と確実な霜取りを実現する冷却器構造を開発した。

冷却器は、低温の冷媒が通る管と放熱面積を増やすための多数の薄板状のフィンで構成され、ファンを使って庫内の空気を冷却器に送り、冷却器で冷やされた空気を循環させることで庫内を冷却している。また、冷蔵庫には庫内の湿気が冷却されることで冷却器に発生する霜をヒーターで定期的に溶かす除霜運転が組み込まれているが、この運転

で冷却器の霜を溶かしきれないと冷却ロスが発生する。

そこで、冷却器周囲の風速分布を熱流体解析モデルで可視化し、冷却器の両端部の風路を冷気が通り抜けることで発生していた冷却ロスを明確にした。この冷気の通り抜けを防止する“エアガイド”の形状と寸法を解析で求めて冷却ロスを削減するとともに、ヒーターの暖気の流れとエアガイドの熱伝導効果によって冷却器両端部の霜を効率的に溶かす設計を実現した。

これら冷却器の冷却ロスを抑制する構造によって、冷却効率を5.2%向上させる高効率冷却器を実現し、冷蔵庫の消費電力量を1%削減した。



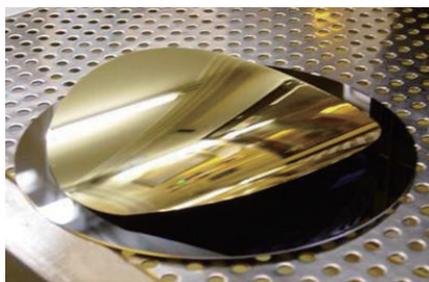
モノづくり力の革新・高度化によるパワーエレクトロニクス製品事業の拡大

Business Expansion of Power Electronics Products by Innovative Manufacturing Technologies

代表的なパワー半導体チップのIGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor) は、単純なSi (シリコン) 単結晶基板ではなく、厚み数百 μm のP型のSi単結晶基板の上に厚み数十~百数十 μm のN型層をエピタキシャル成長させた基板を用いていた。これに対しFZ (Floating Zone) 法で作製した低コストなN型のSi単結晶基板の裏面に、イオンを注入後レーザを照射してイオンを活性化させ、数 μm の浅いP型層を形成する裏面レーザアニール技術を開発し、量産化した。必要なN型層の厚みはデバイスへの要求特性から数十~百数十 μm であるため、裏面P型層はN型基板を薄板化した後に作り込む必要がある。ところが薄板化に伴いウェーハのそりが増大し、取扱い性が量産上の課題となった。これに対して、薄板化したウェーハに対応できる独自のウェーハプロセス・装置技術を開発し、量産化した。この技術を適用した第7世

代IGBTは、第6世代IGBTに対して損失を22%低減した。

さらにウェーハを切断した後、半導体チップをピックアップする技術、半導体チップを基板にはんだ付けする際にはんだ層内のボイドを低減する技術、モジュールの熱応力を低減する硬質樹脂封止技術及びヒートシンクとパワーモジュールを一体化する接合技術を開発し、低損失な第7世代IGBTを適用したパワーモジュールを、家電向け、一般産業向け、自動車向けに幅広く開発し、量産展開を図った。



薄板化したウェーハ



開発品