SiC-MOSFETインバータによる3.7kW定格モータ駆動

SiC-MOSFET Inverter with Successful 3.7kW Motor Operation

半導体シリコンカーバイド(SiC)は次世代パワー半導体材料として期待されており，SiCを用いたパワーデバイスとそれを応用したインバータの実現が切望されている。当社では，SiCパワーデバイスの研究開発を進めてその基本特性の向上を目指すとともに応用技術開発を行い，SiCデバイスの実用化を目指した研究開発を進めている。

低損失性とスイッチング駆動の容易さを両立できることから，SiC-MOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)はインバータへの適用に理想的である。しかし，SiC-MOSチャネル部の抵抗が高く，また，高温のプロセスが必要なため，インバータに必要な性能を得ることが困難であった。

今回，MOSFETの構成単位であるセルサイズの縮小などにより，1,200V耐圧10A級SiC-MOSFETのオン抵抗率を低減し，1,200V 10A級のSiCインバータモジュールを試作することが可能になった。

試作したSiC-MOSFETモジュールは，1,200V耐圧10A級のSiC-MOSETとSiC-SBD(Schottky Barrier Diode)をそれぞれ6チップ用いた6in1モジュールである。モジュールのパッケージ及び冷却フィンなどは従来のSiインバータ駆動用のもので，SiCデバイスに適したパッケージ又は冷却システムの開発は今後の課題である。

試作したSiC-MOSFETモジュールを用いて，3.7kW／400V定格モータのインバータ駆動に成功した。**図1**に，駆動試験の様子を示す。線間電圧のPWM(Pulse Width Modulation)動作とほぼ正弦波に制御された相電流を明確に確認することができた。**図2**に，出力3.7kW時の出力電流波形を示す。

SiCモジュールに取り付けた空冷冷却フィンの吸気温度と排気部のフィン温度差を比較して，モータ駆動時のSiCモジュールの電力損失評価を行った。**図3**に，モータ駆動時のSiCモジュール損失とSiモジュール損失のキャリア周波数依存性を示す。キャリア周波数が14.5kHzでは損失低減効果は54%であった。**図3**のモジュール損失のキャリア周波数に対する傾きはスイッチング損失に対応し，スイッチング損失の低減がモジュール損失の低減に大きく寄与していることが分かる。スイッチング損失の大きな低減は，SiCインバータが高周波化に適していることを示し，リアクトル等の受動素子の小型化が可能になる。

SiCインバータの電流波形解析を行って，モータ駆動時に使用したゲートドライバの見直しを行った。電源入力の絶縁カップリングの改良を行うことにより，スイッチング損失の低減を図った。**図4**に，ドライバ見直し前後のスイッチング試験結果を示す。主にスイッチングオン損失が減少することにより，スイッチング損失全体が約15%低減することが分かる。

今後，SiC応用技術開発で得られる知見をSiC-MOSFET及びSiC-SBDの更なる高性能化，高信頼性化に生かしていくとともに，SiCデバイスに適したインバータ開発と駆動技術開発を行い，SiCインバータの実用化を目指す。

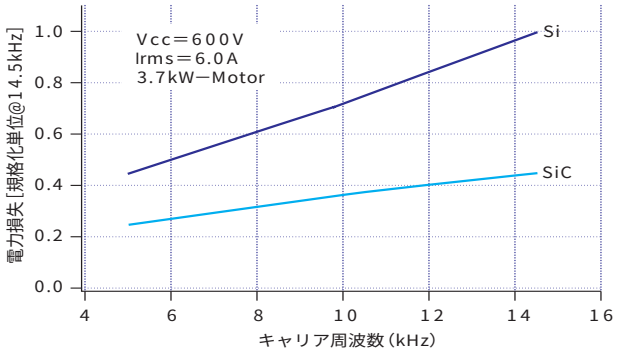


図3．モータ駆動時のSiCモジュール損失とSiモジュール損失のキャリア周波数依存性

図1．SiC-MOSFETインバータによる3.7kW定格モータ駆動の様子

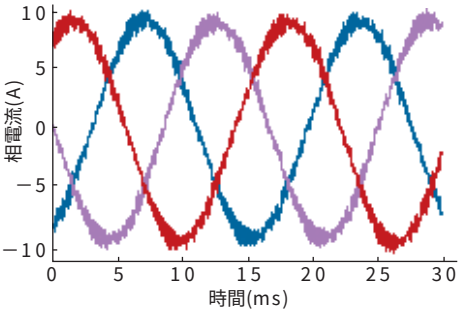


図2．出力3.7kW時の出力電流波形

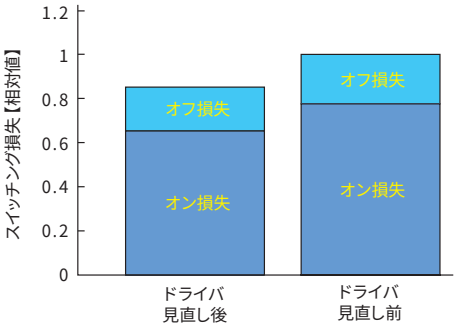


図4．改良したゲートドライバを使用したときのスイッチング損失比較

40Gbps波長多重光伝送装置

40Gbps Multiple-wave Length Optical Communication Transport Equipment

近年の光通信トラフィックの急増を受けて，現在の主力である１波長当たり10Gbpsを40Gbpsに高速化した波長多重光伝送装置の要求が高まっている。信号速度の上昇はネットワークの大容量化のみならず，信号帯域当たりの装置数が減るために，装置コスト，保守運用コストの軽減を実現する。本稿では，１波長当たり40Gbpsを伝送する技術，キーデバイス及び都市部を結ぶ大容量光通信ネットワークへの適用を目指した40Gbps波長多重光伝送装置について述べる。

1．多値位相変復調方式

１波長当たりの速度上昇に伴い，原理的に送受信特性・伝送特性が劣化するという問題がある。この問題を解決するために，これまでの光通信システムでは２値強度変復調方式(OOK：On-Off Keying)が用いられてきたが，今回の開発では，４値位相変復調方式(Differential Quadrature Phase-Shift Keying：DQPSK)を採用した。４値方式は２値方式に比べてパルス幅が倍に広がるために波形ひずみ耐力に優れる。また，位相変調方式は強度変調方式よりも雑音に対してビット誤りが生じにくいという特長がある。DQPSK方式によって，40Gbps信号の伝送特性の制約要因となる光ファイバの偏波モード分散(Polarization Mode Dispersion：PMD，偏波によって伝送遅延時間が異なる現象で波形ひずみを引き起こす)に対する制約を四分の一とし，伝送距離を４倍に延伸化することが可能となり，主要都市間伝送に必要な数百kmクラスの伝送を電気再生を用いることなく実現できる。

2．特徴的なデバイス技術

以下の２つの特徴的なデバイスを開発し，40Gbps波長多重光伝送装置に搭載した。

(1) 40Gbps VSR(Very Short Reach)規格光送受信モジュール：クライアント装置と接続する40Gbps光インタフェースに用いる。集積化デバイスと熱設計の工夫により業界最小サイズを実現した。

(2) 多波長一括可変分散補償モジュール：光ファイバの波長分散による波形ひずみの補正に用いる。ファイバグレーティングと独自のヒーターアレー構造により±400ps/nmの波長分散を補償し，また，DQPSK方式固有の課題を解決するため，プリコーディング方式，変調器安定化方式を開発済みである。

3．波長多重光伝送装置

開発した40Gbps×40波長多重光伝送装置の主な特長は次のとおりである。

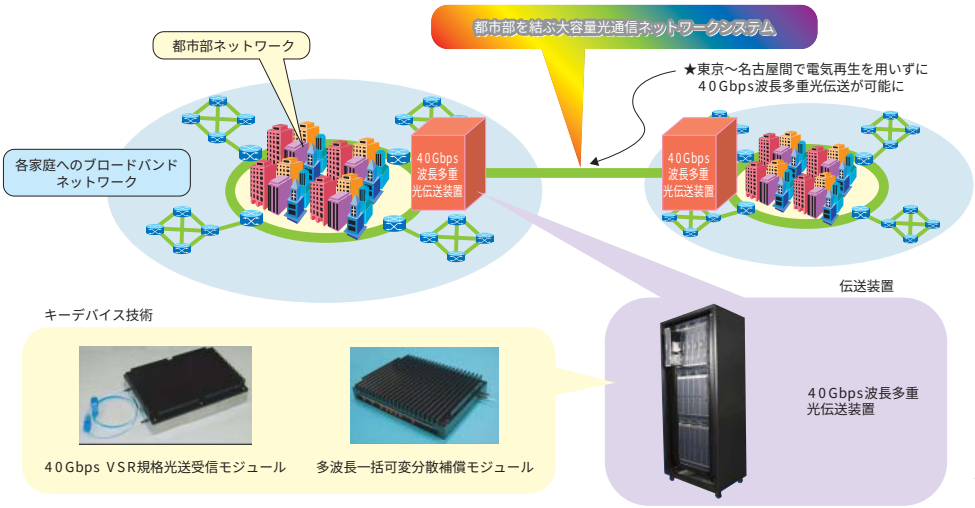
(1) ファイバ１本当たり1.6Tbps(40波長×40Gbps)の大容量伝送

(2) DQPSK変復調方式と低雑音光増幅技術による数百kmクラス長距離伝送の実現

(3) 可変分散補償モジュールを用いた自動分散補償によるルート変更作業の自動化，季節変動の吸収

(4) 伝送路損失偏差の自動補償による設置，移転作業の自動化

40Gbps信号伝送技術，装置は国内外の通信キャリヤが構築を進めている次世代ネットワーク(Next Generation Network：NGN)における幹線系伝送網構築に貢献すると期待される。



大容量光通信ネットワークシステム

MPEG-4 AVC／H.264 4:4:4高品質符号化技術

High Quality Video Coding〈MPEG-4 AVC／H.264 4:4:4〉

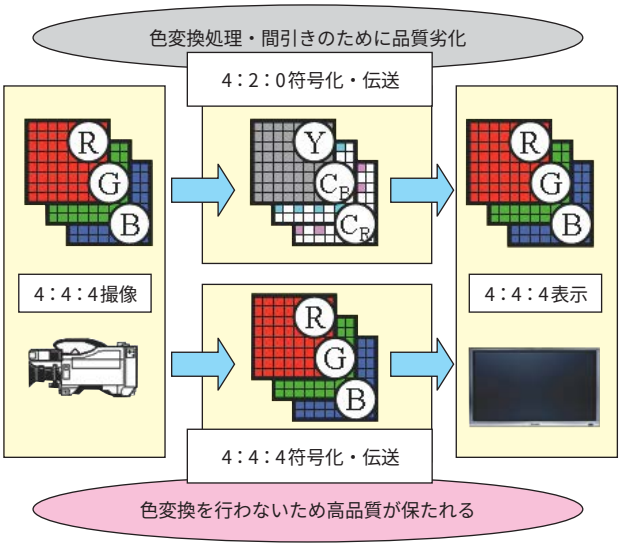
高品質な映像符号化処理を実現する4:4:4符号化方式を，ISO／IEC及びITU－Tで国際標準化を進めているMPEG-4 AVC*1／H.264に対して技術提案を行い，当社提案方式がFPDAM*2に採用された。

AVC／H.264では，2005年7月から4:4:4符号化方式の標準化を開始し，2007年春完了を目標に作業を進めている。4:4:4符号化方式は，映像信号の3成分(例えば赤・青・緑)を対等に扱うものであり，デジタル放送やDVDで採用されている4:2:0符号化方式よりも高い色再現性を実現する方式である。放送局や映画製作者など映像素材を扱う分野や，医療・美術・芸術など，臨場感を得るために高い品質が要求される分野への適用が想定されている。また，近年のテレビモニタのデジタル化と高精細化，通信の広帯域化や蓄積メディアの大容量化に伴い，近い将来には家庭への普及も期待されている。

当社が提案した方式は，各色成分独立に符号化モードや符号化パラメータを選択できるものであるためより高品質な映像を得る際に高い符号化効率が得られるとともに，並列化処理を可能とする方式であるため特にHDTV以上のような高い解像度の符号化に適したものである。

この技術開発は，文部科学省の委託研究「デジタルシネマの標準技術に関する研究」の一部として実施している。

*1：Advanced Video Coding。正式にはISO／IEC 14496－10
*2：Final Proposed Draft Amendment(最終委員会草案)



4:4:4符号化(開発技術)と4:2:0符号化(従来技術)の比較

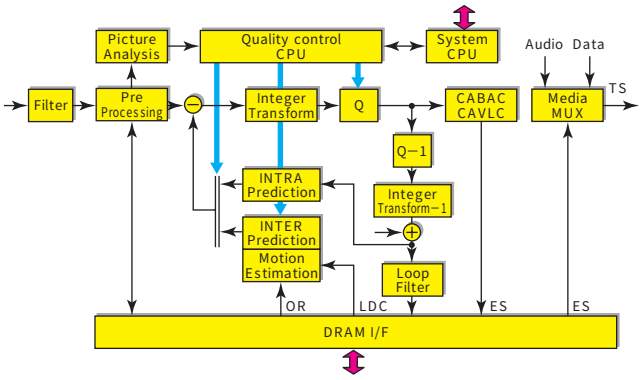
MPEG-4 AVC／H.264 HDTVビデオコーデック技術

MPEG-4 AVC／H.264 HDTV Video Codec Technology

既に1セグ放送や次世代DVDなどに採用され，今後MPEG-2に代わる方式として普及が期待されているH.264 HDTVコーデック実現技術について述べる。

H.264は，MPEG-2と比較して2倍とも言われる高い圧縮能力の反面，演算量が10倍にもなることが知られている。特に，ブロックサイズ及び予測機能が多様化したことで最適予測モードの判定条件が複雑になりハードウェア化を困難にさせている。当社では，放送業務用途向けとしてHigh 4:2:2 Profile@Level4.1に準拠したソフトウェアモデルでシミュレーションを繰り返し，画質評価値(PSNR)と主観画質の統計データに基づいたツリー形式の予測モード判定アルゴリズムを開発した。このアルゴリズムに加え，並列処理構造が不要な独自のアーキテクチャにより，H.264本来の性能をほぼ維持しながら当社MPEG-2比2倍程度のゲート規模で実現可能である。

画質を左右する符号化制御については，長年の放送業務用コーデック開発で培った高画質化アルゴリズムに加え，各種予測判定条件を極力ファームウェア化したことや，画面内できめ細かな情報量配分を行うことで，用途に応じた画質調整の範囲を広げている。シミュレーションによる画質検証では10Mbps以下で十分なHDTV品質を実現しており，今後更なる圧縮性能向上を図り実用化を目指す予定である。



H.264 Encoder Block Diagram

手ぶれ補正技術

Image Stabilizer

カメラ付き携帯電話などのモバイル画像機器向けの技術として，動画／静止画対応の手ぶれ補正技術を開発した。この技術は，カメラで撮影した手ぶれ画像を画像処理のみによって補正する技術であり，動きを検出するセンサ，特殊なレンズなどを必要とせず，画像メモリと画像処理アルゴリズムを実現するCPUによって実装可能である。

1．動画手ぶれ補正の特長

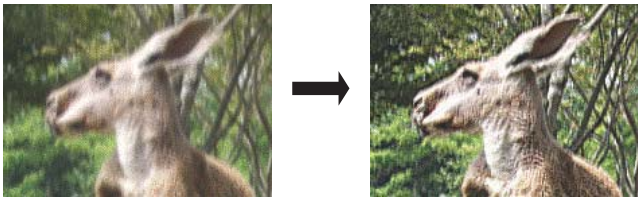
(1) 画像の特徴的な点を追跡して手ぶれを検出しているため，輝度変化やランダムノイズに強い高精度の手ぶれ補正を行うことが可能

(2) 従来は複雑な演算が必要であった動きベクトル検出部を非常に少ない演算量で実現

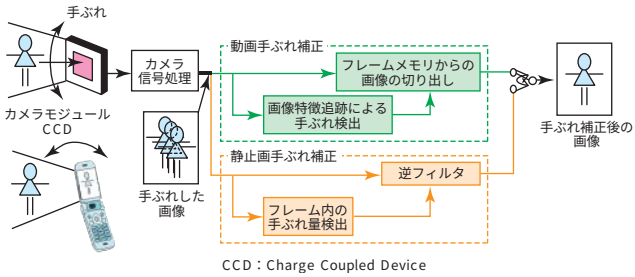
2．静止画手ぶれ補正の特長

(1) 手ぶれ画像から手ぶれの方向及び量を検出し，個々の手ぶれ画像に対して最適な手ぶれ補正を実現

(2) １枚の手ぶれ画像のみから補正処理を行うため，撮影画像のみでなく，保存されている手ぶれ画像の補正も可能



手ぶれ画像　　静止画手ぶれ補正画像



CCD：Charge Coupled Device

動画及び静止画手ぶれ補正技術

Ethernet OAM／プロテクション切換え技術

Ethernet OAM／Protection Switching

近年，キャリア網へのEthernet(注)の適用が積極的に検討されている。キャリア網では，障害や性能の監視，冗長通信経路への高速な切換えといった高信頼機能が要求されるため，ITU−T(International Telecommunications Union −Telecommunication standardization sector)ではEthernet(注)の障害監視・性能監視を実現するOAM(Operation, Administration and Maintenance)(Y.1731)と，高速な冗長通信経路切換え(G.8031)の標準化が行われた。当社は，ITU−T G.8031のエディタを担当するなど，両標準勧告の策定に貢献するとともに，これらに準拠したOAM機能，冗長通信経路切換え機能を備えたキャリア網向けＬ２(Layer2)スイッチを開発した。この装置では，VLAN(Virtual Local Area Network)単位に50ms以下で動作完了する高速な冗長通信経路切換えを実現している。

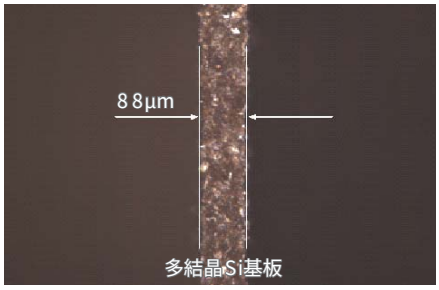
キャリア網向けＬ２スイッチ

多結晶シリコン太陽電池セルの薄肉・高効率化

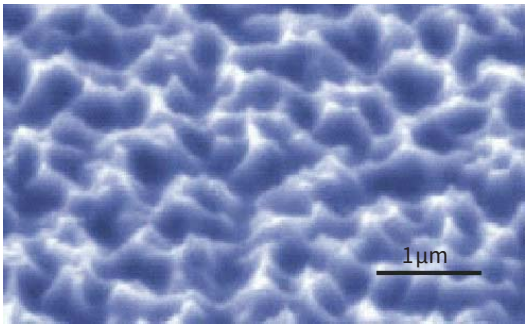
Ultra-Thin，Multi-crystalline Si Solar Cells with High Efficiency

太陽光発電システムでは，NEDO(New Energy Development Organization)ロードマップ（PV2030)に示されているように，発電コストの低減が重要な課題であり，多結晶シリコン系セルでは，シリコン基板の薄肉化，セルの高効率化が必要である。基板の薄肉化としては厚さ100μm程度の極薄スライスが必要となるが，これを実現する新しい手法として，放電加工によるスライスを世界で初めて原理実証した。この方法は，従来の機械的スライス法と比べ，砥粒を使用せず，非接触加工であるため，基板への応力を低減でき，切りしろも半分程度まで低減できる可能性がある。今回，放電条件の最適化により，10mm角の小片サンプルにおいて厚さ88μm，切りしろ150μm以下の極薄スライスを達成した。また，セルの高効率化についても，光閉じ込め効果を付与する基板表面の反射防止凹凸構造(テクスチャ)の形成に，インクジェット塗布によるナノサイズマスクと反応性イオンエッチングを用いた簡便で効率的なテクスチャ形成法を初めて開発した。これにより，従来のアルカリウエットエッチングと比べ，全波長領域で反射率を低減でき，セル変換効率向上を実現した。

この研究は「革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発」プロジェクト(委託元：NEDO)の一環として行われた。



放電スライスによる基板加工例



ナノマスクテクスチャ形成基板

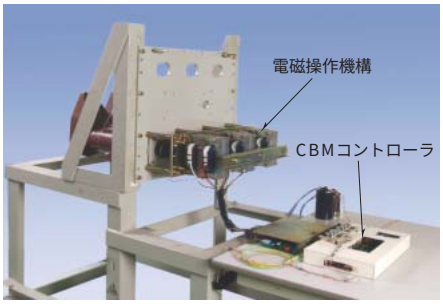
電磁気特性を利用した電磁操作遮断器機構部のCBM技術

CBM Technology for Mechanical Section of Electromagnetically Actuated Circuit Breaker Based on Electromagnetic Phenomena

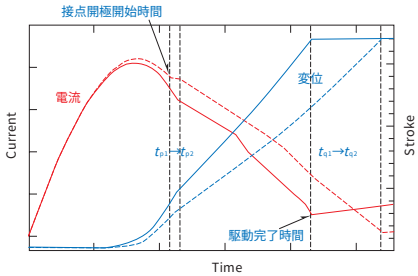
CBM(Condition Based Maintenance)は，従来の定期点検による保守方式に対し，機器状態を常時監視し機器状態の変化に応じて保守を行う方式であり，LCC(Life Cycle Cost)の削減をねらった重要な技術である。

真空遮断器は，国内外を問わず電力供給というライフラインを維持・保護する重要な装置であり，従来，一定期間ごとに保守点検を行うことで安定した動作を保証してきた。今回，世界で初めて，電磁操作真空遮断器の駆動用コイルに流れる電流波形に現れる電磁気特性の変化から，真空バルブ内の接点の損耗状態，機構部の摩擦変化，駆動コンデンサの容量変化を常時監視するCBM技術を開発した。この技術及び部分放電監視による絶縁診断技術を搭載したCBM機能ユニットにより，電磁操作真空遮断器の事故や故障の未然防止と，保守の省力化によるLCCの削減が可能となる。

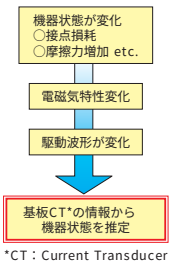
開発したCBM機能ユニットを搭載した72kVクラスの密閉形低ガス圧ドライエア絶縁スイッチギヤを市場展開中であり，今後，幅広い電圧定格品へ展開する予定である。



CBM搭載電磁操作真空遮断器(試作器)



開極時の駆動電流波形
(実線：正常時，破線：機器状態変化後)



電流波形分析技術

磁気支持型アクチュエータによる微細放電加工モジュール

EDM Module with Magnetically Levitated Actuator

放電加工の電極を磁力を用いて浮上支持・高速駆動することで，従来比約２倍の加工速度，電極消耗率10～20%減で，金属材料へのバリのない微細穴加工が実現可能な微細放電加工(EDM)モジュールを開発した。*

業界最高の500Hz(従来比10倍以上)の応答周波数を活用し，放電の間隙を0.2μmの精度できめ細かに素早く制御し，最適な放電状態を保つことができる。その結果，例えば，従来の機械ドリルでは生産性が低下する直径100μm以下，穴径と深さの比(アスペクト比)10以上の微細穴も，高速，かつ高精度に加工できる。

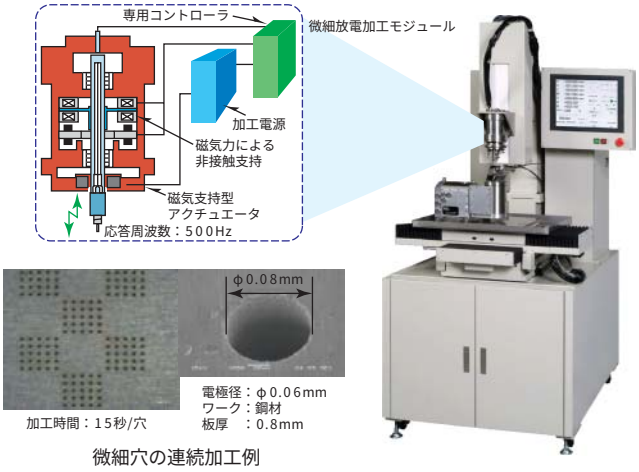
このモジュールは次の特長を持っている。

(1) 磁気支持型アクチュエータとボールねじ駆動を組み合わせ，微動と粗動により放電の間隙を協調制御することで，数百穴の高精度な連続加工が可能

(2) 消耗品の電極は，治具単位でワンタッチ交換可能な構造とし，操作性や補給・メンテナンス性を向上

(3) コンパクトなサイズで生産ラインへの組み込みも容易

＊ 第25回(2005年度)㈳精密工学会技術賞受賞



微細穴の連続加工例

微細放電加工モジュールを搭載した小型放電加工機と微細穴加工例

三次元パーツピッキングロボット

Parts Picking Robot System using 3-D Information

工場における組立て工程の自動化を促進するため，従来の二次元画像情報による認識手法ではハンドリングが不可能であった対象物に対して，三次元形状情報を利用した高度なパーツハンドリング機能が求められている。今回，小型三次元センサと三次元位置姿勢認識技術によるパーツピッキングロボットを開発した。

開発技術は次の特長を持っている。

(1) 小型ロボットアームに取付け可能な小型三次元センサ(約10×10×５cm，約700g)

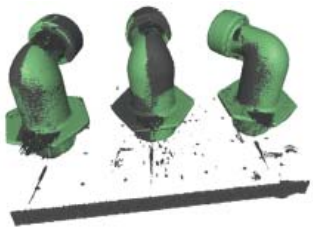
(2) パーツの形状解析を行い，候補となり得る姿勢仮説のみを限定的に検証することで高速な位置姿勢認識

(3) 約30万点からなる密な三次元情報を用いることにより，高精度な位置姿勢認識(奥行き平均誤差±0.8mm以下：計測距離400mm時)

(4) 対象パーツを数シーン計測するだけの簡便な作業で，認識用モデルデータの登録が可能

(5) 複数種類・複数個のパーツの同時認識が可能であり，対象物が積み重なった状態でのハンドリング機能を実現

三次元パーツピッキングロボット



三次元位置姿勢認識結果例
濃い灰色：計測データ
薄い灰色：認識結果
両者を重ね合わせて表示

システム写真と認識結果例

ETC用SiGe-MMIC

SiGe-MMIC for ETC Terminals

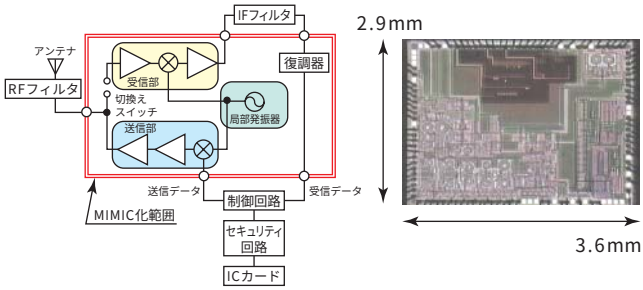
ETC(Electronic Toll Collection System)車載器の5.8GHz帯無線機に必要となるアナログ部分を１チップに集積した送受信システムSiGe-MMIC(Monolithic Microwave IC)を開発した。ETC車載器は，携帯電話機に比べ送信(空中線）電力が小さいため，送信用電力増幅器を含めた無線機の１チップ化が期待されていたが，１～２GHz帯を使用する携帯電話機に比べETC車載器の周波数帯は5.8GHzと高く，送信波がチップ内部を伝搬して生じる干渉問題により，その実用化が遅れていた。今回のシステムSiGe-MMICはこの問題を解決したものであり，以下の特長を持っている。

(1)　MMICチップ内干渉抑圧技術の開発

送信系の出力が数十mWを超えるとSi基板を介して送信信号が局部発振系とチップ内で干渉してしまう問題に対し，Si基板の厚さを従来の数百μmから100μm程度に薄くすることにより，この干渉問題を解決した。これにより送信系と局部発振系の１チップ集積を実現した。

(2)　１チップ集積化送受信システムSiGe-MMICの開発

従来，別のモジュールや部品に分けていた送信用電力増幅器，送受信切換えスイッチや中間周波回路などの無線機のアナログ回路をSiGeのMMICとして１チップに集積化した。これにより，フィルタ回路を除くほぼすべてのアナログ回路を１チップに集積化するので，周辺部品を含めた無線機の実装を簡素化し，小型化を可能とした。



ETC用車載器の構成と送受信システムSiGe－MMIC

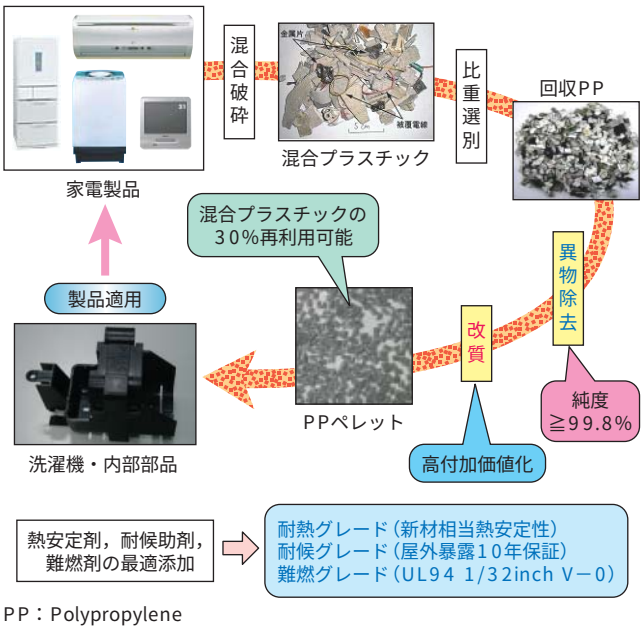
混合プラスチックの自己循環リサイクル技術

Advanced Plastic Recycling Technology for Household Appliances

家電リサイクルにおいて，プラスチックの再商品化が課題となってるが，使用済み家電品の破砕処理により得られた混合プラスチックから高品位のポリプロピレンを選別回収し，自社家電品へ再利用する自己循環型リサイクル技術を開発した。従来，混合プラスチックは高炉還元剤や雑貨品用素材として再利用されたり，埋立て処分されていたが，今回の技術により，使用済み家電品全体の約30%のポリプロピレンが自社家電品に再利用可能となる。

新開発の技術は，自動選別・高純度回収技術及び異物除去技術で，99.8%の高純度でポリプロピレンを回収する。さらに，金属不活性剤による酸化防止効果に着目した長寿命化技術，耐候性や難燃性の付与による高付加価値化技術により，新材を混ぜることなく家電品に使用できる。

2006年度から，洗濯機及び冷蔵庫の一部の部品からこの再生ポリプロピレンの適用を開始している。今後，適用部品の拡大を図るとともに，ポリスチレンやABS(アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン)樹脂の選別回収技術を開発し，再生プラスチックの自己循環による環境配慮型製品作りを展開していく。



ポリプロピレン樹脂の自己循環リサイクルシステム