

## 太陽観測衛星“ひので”の短期指向安定化技術

## Technologies for Excellent Short-term Pointing Stability of the Solar Observation Satellite “Hinode”

## 1. 開発の背景及び概要

太陽観測衛星“ひので”(SOLAR-B)は、宇宙航空研究開発機構(JAXA)宇宙科学研究本部と国立天文台を中心に開発された衛星で、2006年9月にM-Vロケットによって打ち上げられた。“ひので”には、日米英3国によって開発された可視、X線及び紫外の3本の望遠鏡が搭載され、現在も順調に科学観測を続けている(図1)。この衛星プロジェクトで、当社は衛星本体のシステムと可視光磁場望遠鏡の開発を、国立天文台、JAXA宇宙科学研究本部と共同で担当した。

この衛星の最大の技術的特徴は、太陽表面の微細構造を調べるという観測目的から、わが国の衛星では過去に類を見ない極めて高い指向精度が要求されたことである。具体的には、例えば可視光磁場望遠鏡の短期指向安定度(露光時間に相当する、ある規定時間内での指向方向の変動)の仕様値は、10秒間で0.03秒角(1°)以内、すなわち約10万分の1度以内であった(目標値は0.013秒角、1°)。これ以外に、他の望遠鏡の短期指向安定度や、約10分~1時間の時間スケールの長期指向安定度、3本の望遠鏡の指向軸間の一貫性等についても、非常に高い精度が求められた。

## 2. 主な開発成果

画像のボケに直結する短期指向安定度の向上に対して最も大きな課題となったのは、衛星内に搭載された姿勢制御用ホイール、ジャイロ、望遠鏡内の多くの可動機構から

発生する内部擾乱(じょうらん)〔衛星内で発生する多くは微小な外乱力や外乱トルクで、衛星の姿勢や望遠鏡の指向方向の変動を引き起こすもの〕によって、特に高周波域(およそ10~200Hz)で指向安定度が劣化することと、これらの内部擾乱よりは低周波であるが衛星本体の姿勢制御系によって除去できない姿勢変動によって生じる指向安定度の劣化の2つであった。このため、衛星内の多岐にわたる擾乱を系統的に管理する手法(設計・解析手法や微小振動測定手法)と、可視光望遠鏡の画像をピエゾアクチュエータの駆動によって能動追尾する可動鏡(図2)を新規に開発した。

“ひので”の打ち上げ後、軌道上での取得データを分析した結果、目標としていた短期指向安定度0.013秒角が十分達成されていることが確認できた。これは、太陽観測衛星として世界最高性能である。その結果、ボケのない極めて鮮明な太陽観測画像の取得につながった。“ひので”の観測画像は、人類がこれまでに見たことがない画期的な観測画像とされている。例えば、図3の写真は太陽の周縁部をとらえた画像であるが、表面から吹き上がるコロナの磁力線に対応する一本一本の細い筋が鮮明に映し出されている。

このほか、長期指向安定度や望遠鏡間指向安定度の要求の実現のため、世界最高性能の低熱膨張性を持つ炭素繊維複合材料を開発し、望遠鏡本体や望遠鏡支持構造に使用した。

## 3. 今後の展開

上述の擾乱管理手法は、衛星のコア技術として、当社が開発にかかわった運輸多目的衛星新2号(ひまわり7号)や技術試験衛星8号(きく8号)に適用したほか、今後打ち上げる温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT)等の各種衛星にも適用していく予定である。

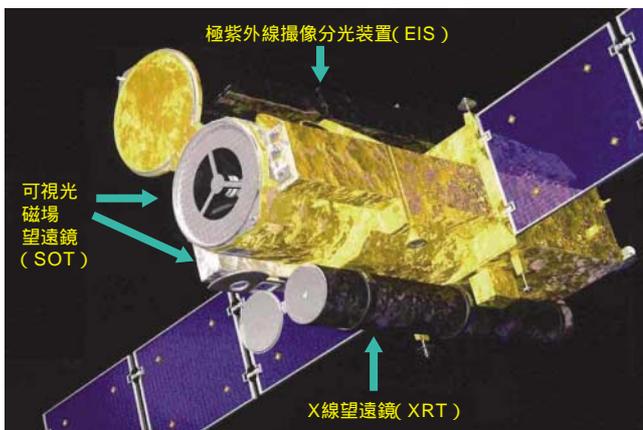


図1.“ひので”の外観(国立天文台提供)

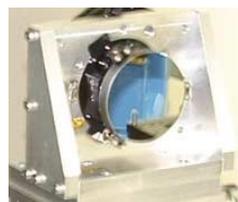


図2.可動鏡

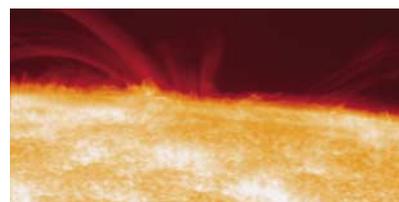


図3.太陽周縁部の可視光画像(国立天文台提供)

# 10Gbps 超高速VPN装置

## Ultrahigh-Speed 10Gbps VPN Equipment

構内網や広域網で広く普及しているイーサネット<sup>(注)</sup>の速度は、現在100Mbps～1Gbpsが主流だが、10Gbpsの規格が策定され、さらに高速化が検討されている。一方、日々高度化、悪質化する攻撃に対処するため暗号アルゴリズム等のセキュリティ技術の研究も継続して進められている。

当社では、ネットワークの高速化と暗号アルゴリズムの進化に柔軟に対応できる暗号処理アーキテクチャとして、階層型並列処理方式を確立した。この方式は暗号・認証処理を階層接続することによって、暗号・認証アルゴリズムの処理速度に依存せずに高スループットを実現することが可能である。今回、この方式をネットワーク上でデータの暗号化を行うIPsec (Security Architecture for Internet Protocol) VPN (Virtual Private Network) 装置に適用し、世界で初めて10Gビットイーサネット上でのワイヤスピード (ネットワークの持つ最大通信速度) を達成した。

### 1. 階層型並列処理方式

FPGA (Field Programmable Gate Array) 等のLSIで暗号・認証を高速化するためには、一箇所からの入力情報を複数の並列化した処理部へ分散し、処理後のデータを一箇所に収集して出力するような並列処理方式が一般的である。しかし、このような並列処理方式では、LSIのピン数や基板間配線等の物理的な制限によって、暗号・認証部の並列数増加に限界がある。

図1に示すとおり、この方式は、パケット分配部と同収集部、及び暗号・認証部を1モジュールとして階層接続するとともに、階層間のパケット転送経路と暗号・認証経路を分離することによって、並列処理の高速性と階層接続の拡張性を両立している。

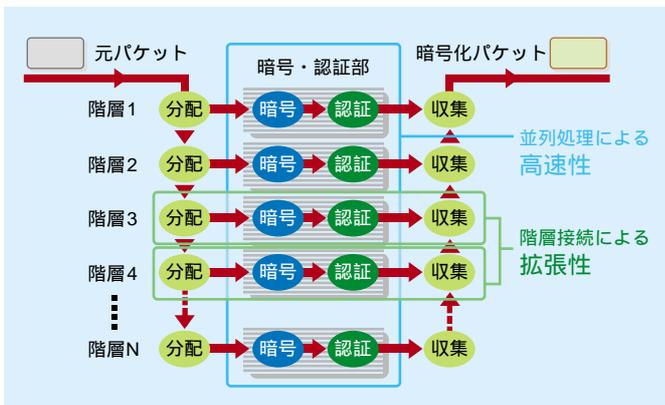


図1. 階層型並列処理方式

### 2. 10Gbps超高速VPN装置の特長

#### (1) 装置の構造

階層型並列処理方式を適用した10Gbps超高速VPN装置内部の階層接続イメージを図2に示す。今回は16階層で10Gビットイーサネットのワイヤスピードを実現した。この装置の外観を図3に示す。この装置では暗号・認証部の処理性能や装置としての目標性能に応じて階層を増減することが可能であり、現在規格化が進められている40Gbpsや100Gbpsなどの、より高速なネットワークに対応するVPN装置を実現することもできる。

#### (2) アルゴリズムとパケット長

この装置は、高スループットを実現しやすいロングパケットだけでなく、暗号化対象となるデータの割合が小さく、高速化が難しいショートパケットでもワイヤスピードでの通信が可能である。なお、IPsec通信を行う場合、10Gビットイーサネットのワイヤスピードは約856万PPS (パケット/秒) である (64バイトショートパケット, ESP (Encapsulating Security Payload) 認証オプションありの場合)。今回は次の4つの暗号・認証アルゴリズムの組み合わせ (暗号 + 認証) でワイヤスピードの達成を確認した。  
Camellia + SHA256, Misty + SHA256, AES + SHA256, 3DES + SHA1

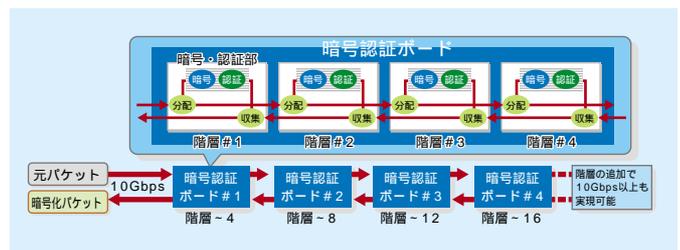


図2. 10Gbps超高速VPN装置内部の階層接続



図3. 10Gbps超高速VPN装置の外観

### 光ファイバ型屈折率センサ

#### Refractive Index Sensor by Using Optical Fiber Bragg Gratings

液体の屈折率計測としては、プリズムを液体に浸して両者の屈折率差による屈折角を測定する方式や、観察面に金属膜を蒸着し表面プラズモン共鳴を測定する方式などが提案されている。最近では、光ファイバに屈折率変調を形成したファイバグレーティングセンサを使用して周囲液体の屈折率を波長スペクトルのシフトとして光スペクトルアナライザで測定する方式も提案されている。しかし、いずれの方式も計測装置が大きく高価となるため、簡便かつ低コストなセンサが求められていた。

今回、周囲の液体の屈折率によって変化するファイバグレーティングセンサの波長スペクトルで、ファイバグレーティングの角度と屈折率変調度を最適設計することによって、光強度のみを測定して周囲液体の屈折率を評価できる検出原理を世界で初めて見出した。これによって、LED (Light Emitting Diode)光源, PD(Photo Diode)受光素子, 制御回路とファイバグレーティングセンサで構成し、屈折率を電圧出力することができる安価で小型の光ファイバ型屈折率センサを開発した。

このセンサの特長は、ファイバグレーティングセンサの周囲液体の屈折率を光スペクトルの波長シフトではなく、光強度として測定できることである。これによって、高価な光スペクトルアナライザを使用せず、安価な光部品のみで検出するため、小型化と低コスト化が期待できる。図1に光ファイバ型屈折率センサを配管に実装する場合の断面模型写真を示す。光ファイバグレーティングセンサの部分は、直径125 $\mu$ mのファイバ細線であり金属配管を横切るように気密封止実装する。これにLEDとPDのドライブ回路を組み合わせ、数センチメートル四方の大きさでセンサが構成できる。図2に、このセンサの原理と透過光スペクトル(横軸:波長, 縦軸:光強度)の関係を示す。ファイバ周囲の被測定液体の屈折率が小さい場合、ファイバグレーテ

ィングによってコアから漏れた光は、クラッド伝搬光(緑色)となり光強度は離散的な波長スペクトルとなる。逆に屈折率が大きい場合、ファイバからの漏洩(ろうえい)光(黄色)となり光強度は連続的な損失特性の波長スペクトルを示す。周囲の屈折率の大きさによって、この連続的な損失特性の波長範囲が変化することから、透過光の光強度から屈折率を判定することができる。図3に、試作した光ファイバ型屈折率センサによって、屈折率1.36から1.43の各種液体を測定した結果を示す。なお液体の屈折率測定では、極性溶媒、非極性溶媒にかかわらず混合された成分比率に応じた屈折率を検知できることから、蒸気圧の高い成分が揮発して蒸気圧の低い成分が多くなった状態も判別できる。

このセンサの用途としては、食品品質管理(飲料物, 食用オイル), 環境監視(水質, オイル)及び化学反応監視を目的として、工場での液体材料配管のインラインモニタや自動車への応用が考えられる。

今後、信頼性を確立し、屈折率センサとして実用化を目指す。

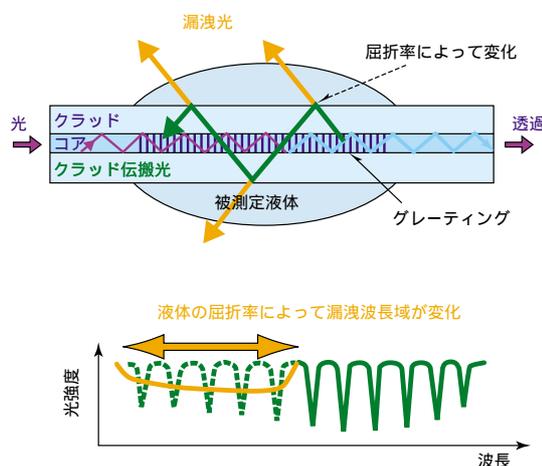


図2. 光ファイバ型屈折率センサの原理及び屈折率とスペクトルの関係

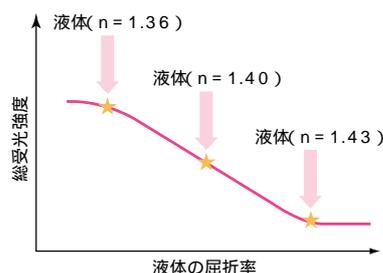


図3. 光ファイバ型屈折率センサの屈折率と光強度の関係

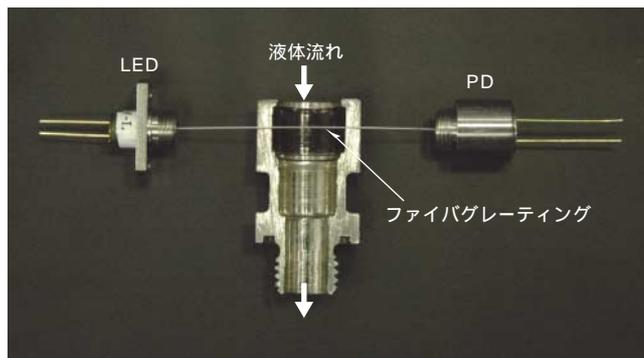


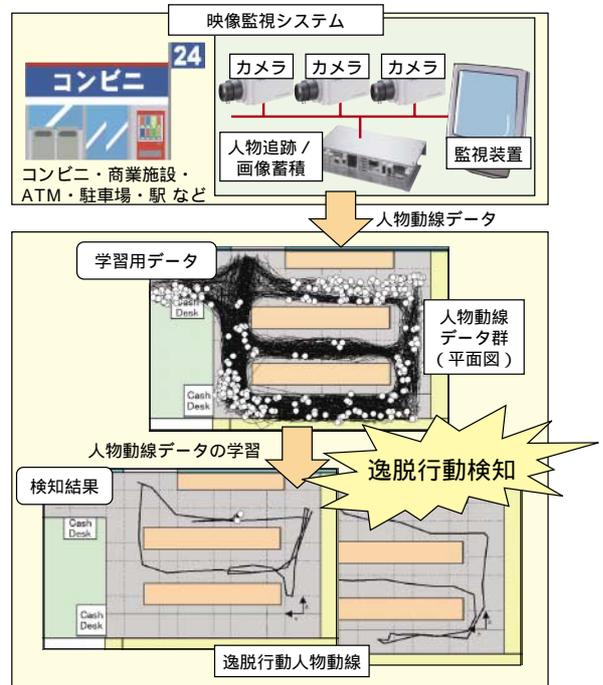
図1. 光ファイバ型屈折率センサの実装例写真(断面模型)

# 逸脱行動検知技術

## Anomaly Detection by Human Trajectory Analysis

この技術は、画像センサ等を用いて検出した複数人物の移動軌跡情報群で一般の行動パターンから逸脱した行動をとっている人物を検知するものである。時系列データの統計的分析手法の一つである隠れマルコフモデルを用いて人物移動軌跡の特徴パターンを自動的に学習し、学習済みパターンに当てはまらない人物行動が現れた場合に、逸脱行動人物として検知する。従来技術では、特定の箇所の通過や滞留などの条件を不審行動に関する特徴量として事前に定義する必要があった。しかし、この技術では逸脱行動人物を検知する際に不審行動に関する特徴量及び環境情報の事前定義が不要であるため、オペレータの技量・経験に依存しないという特長がある。また、この技術は代表的な人物行動パターンを用いた顧客行動分析などマーケティング用途への応用も可能である。

この技術の主な適用先は、コンビニエンスストアなどの商業施設・ATM・駐車場・駅などの公共空間向けの多カメラ映像監視システムである。



逸脱行動検知技術を用いた映像監視システム

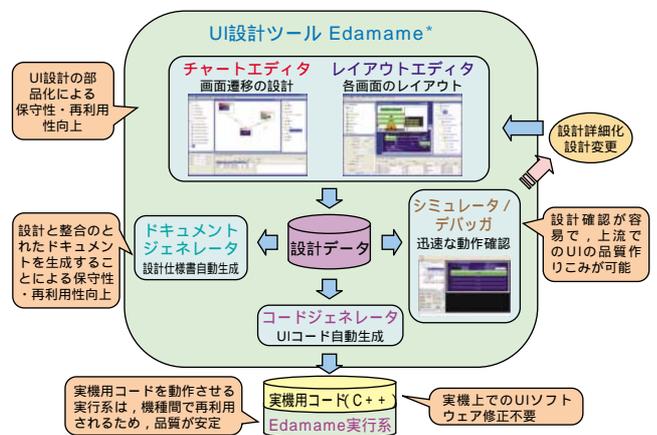
# UI設計ツール “Edamame”

## UI Design Tool “Edamame”

携帯電話やカーナビゲーション等の組み込み機器では、ユーザーインターフェース(UI)が高度化する一方で、開発期間が短縮化している。そこで、設計の再利用を軸としてUIのソフトウェア開発を効率化するUI設計ツール“Edamame”を開発した。Edamameの特長を次に挙げる。

- (1) UIの状態遷移設計を部品化し、複数の画面での再利用を可能にすることで、重複した設計を回避。また、仕様変更、機能改善による影響を局所化でき、変更が容易
- (2) 設計の成果物を画面デザイン(レイアウト)と制御ロジック(SCO: State Chart Object)に分離することによって、並行開発を促進
- (3) 各画面で、画面上の部品の表示状態や動きなどに応じた、様々な表示パターンを作成することを可能とし、表示制御設計を効率化
- (4) シミュレータに加えデバッガも提供したことによって、設計の確認・修正が容易となり、早期に品質向上が可能
- (5) レイアウトやSCOからのドキュメント自動生成機能を提供しており、情報共有や変更の把握が容易

- (6) コード自動生成によって実装時のバグ混入を防止  
これらの特長を持つEdamameで、カーナビゲーションソフトウェアの一部を再設計したところ、再利用がない場合と比較して設計量が5割弱削減されるという結果を得ている。



\* Embedded system Design Architecture with Model-based Approach and Middle-ware Environment

UI設計ツール “Edamame”

### 小型端末向け高画質化エンジン

#### High-Quality Picture Engine for Digital TV Receivers with Small-Size LCD

デジタル放送を受信できる小型端末が急速に増えるなか、“単に見せる”ことから“きれいに見せる”ことが求められている。“きれいに見せる”ための技術課題は、拡大したときの解像度感の向上、受信画像自体のコントラスト感・鮮鋭感の向上、ノイズの低減であり、これらを解決する高画質化エンジンを開発した。

(1) 解像度感の向上

拡大処理時、補間点ごとに輪郭の傾きを推定し、最適な補間方向に処理することによって、元の画像に近い滑らかな輪郭を保持し、その後に輪郭を強調することで、画像を視覚的にすっきりと引き締める。

(2) コントラスト感・鮮鋭感の向上

画面全体と小さい領域ごとの明るさ分布を解析し、分布に偏りがある画像に対して階調を伸縮させ、黒つぶれや白つぶれのないメリハリのあるきめ細かな画像を実現する。

(3) ノイズの低減

画素ごとに周囲の画素や前フレームの画素と相関をとり、受信画像に見られるブロック状のノイズや、暗い部分で目立つざらざらと

したノイズを検出し、ノイズと判断した画素を周囲の画素や前フレームの画素で補正する。

この高画質化エンジンによって、受信画像を高画質表示できる“きれいに見せる”製品を提供することができる。

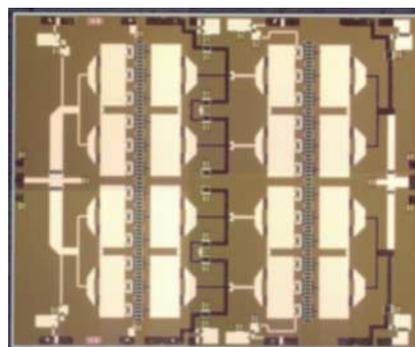


高画質化エンジンのブロック構成図と処理画像

### Ka帯6W MMIC高出力増幅器

#### Ka-band 6 W MMIC High Power Amplifier

ミリ波帯は未使用の広い周波数帯域があるため、近年、電波資源拡大の観点から注目が集まっている。しかし、ミリ波帯では回路損失やアンテナから放射された電波の伝播損失が大きいため、増幅器には高利得化、高出力化が要求される。これらの要求に対処するために、Ka帯6W MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) 高出力増幅器を開発した。この増幅器はFET (Field Effect Transistor) の合成数を増やしても電力の等分配・合成を実現できるマルチ給電電力分配器を適用し、高利得化、高出力化を図った。また、形バイアス給電整合回路を用いることによってループ発振を抑圧し、安定した高出力動作を実現した。トランジスタには放熱性に優れ、高出力化に有利なSIV (Source Island Viahole)-TUB構造FETを用いた。開発した増幅器は、従来の増幅器に比べて約2倍の出力電力を実現しており、世界トップクラスの出力特性を得た。



Ka帯6W MMIC高出力増幅器

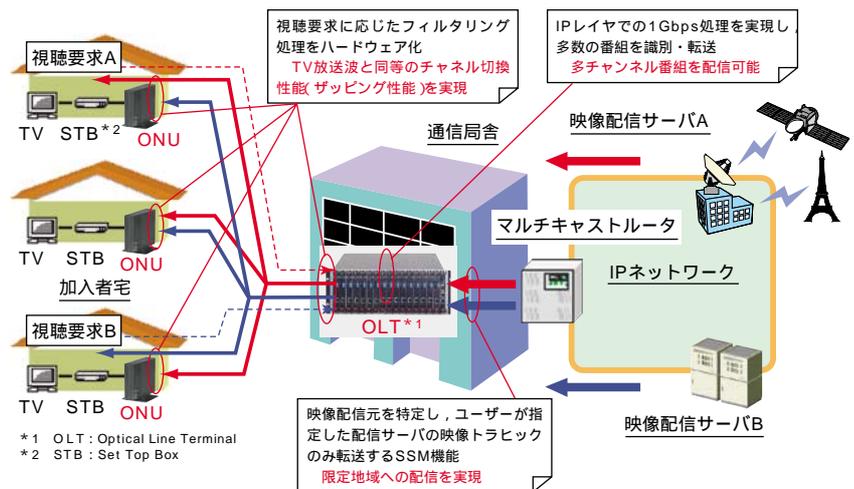
# GE-PONシステムを使ったIPマルチキャスト

## IP Multicasting Using Gigabit Ethernet-PON System

IP(Internet Protocol)放送の実現に向けて、GE-PON(Gigabit Ethernet Passive Optical Network)を使ったIPマルチキャストの開発を進めている。IP放送では、番組配信サーバから一斉配信される全番組を効率良く転送し、各ユーザーが要求番組のみを選択的に視聴できる仕組みが重要となる。GE-PONでは、多分岐構成を利用して全ONU(Optical Network Unit)へ効率良く同報配信し、ONUにフィルタ機能を設けてユーザーの要求番組に応じてフィルタリング処理するマルチキャスト制御が必要となる。それに加えて、放送対象地域への限定配信方法や視聴要求を素早く処理してチャンネル切換時間を短縮する課題があるため、SSM(Source Specific Multicast)によるマルチキャスト方式を採用した。主な特長は次のとおりである。

- (1) 配信元を指定した視聴要求を認識し、該当サーバが配信する番組のみ転送するよう制御。地域限定配信を実現

- (2) ユーザーの視聴要求に応じてフィルタリング処理を実施する際、ハードウェアによる高速処理を実現することでTV放送波と同等のチャンネル切換時間を達成
- (3) IPレイヤでの1Gbps処理を実現し、多数の番組を識別して転送可能。100チャンネル以上の映像配信を実現



SSM対応マルチキャスト配信方式

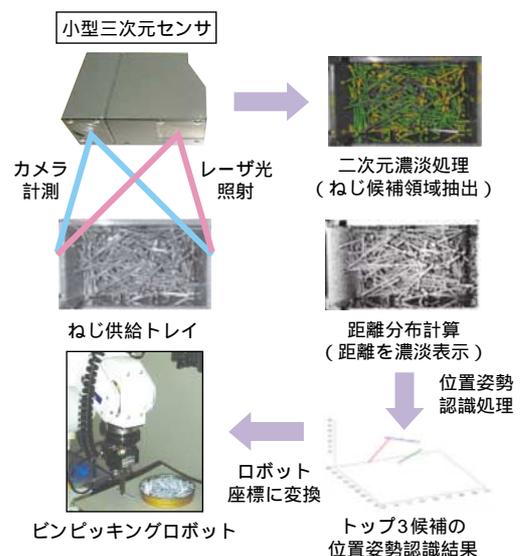
# 小型電機製品組立て部品の三次元認識技術

## 3D Pose Recognition of Small Parts for Bin-Picking and Assembling

組立てロボットのアームに取り付け可能な小型三次元センサから二次元濃淡画像情報と三次元奥行き画像情報を取得し、これらを効果的に組み合わせることによって、コネクタやねじなどの小型電機製品組立て部品の位置、姿勢を高速かつ高精度に認識する技術を開発した。これは専用パーツフィーダーが不要なピンピッキングや組み付け作業を実現するための基盤技術である。

三次元センサは、シーンに照射するレーザ光をカメラ入力と同期させて制御することによって奥行き情報を得るもので、従来の濃淡画像にプラスして画素ごとに奥行き情報が付加された三次元情報が得られる。二次元濃淡画像上で対象部品の候補領域を抽出し、その三次元姿勢を奥行き情報を用いて計算することによって、最上部にある部品の把持位置と把持方向を直接算出することができる。

センサのサイズは12×10×5cm。ねじ認識における処理性能は、平均距離誤差±0.8mm(距離400mm時)、認識処理0.15秒(パソコン処理時)である。



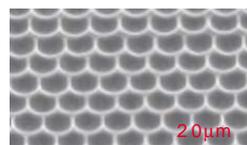
ロボットによるねじのピンピッキング

### 次世代太陽電池セル用低反射テクスチャ

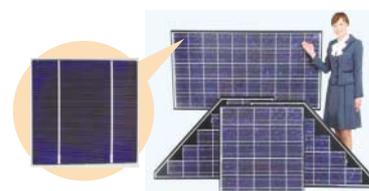
#### Low-Reflection Textured Structure for Next Generation Solar Cells using High-Efficiency Polycrystalline Silicon

太陽光発電システムの一層の普及には、変換効率の向上による発電コスト低減が必要である。そのためには、基板表面に形成したテクスチャ(表面凹凸構造)による低反射化が重要である。これまでに、プラズマエッチングによって低反射構造を形成する手法などを適用したセルで世界最高レベルの効率18%を実現しているが、さらに優れた低反射テクスチャ形成法として、レーザパターニングと湿式エッチングの組み合わせによるハニカムテクスチャ形成技術を開発した。これは、レーザパターニング(355nmビーム)でエッチングマスクの高速穴あけ加工を行い、フッ硝酸による湿式エッチング加工で、お椀(わん)状のアレー構造を基板全面に形成するものである。この構造によって、プラズマエッチングテクスチャ比で、反射率の差分として1~2%の低減、及び表面積減少による不要な結合損失低減によって、変換効率として+0.2~0.4%の向上を実現できた。

この研究は“未来型超薄型多結晶シリコン太陽電池の研究開発”プロジェクト(委託元: NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構))の一環として行われた。



次世代セル用  
ハニカムテクスチャ表面の走査型電子顕微鏡像



変換効率18%のセル(15cm角)外観  
及びモジュールイメージ

次世代セルとモジュールイメージ

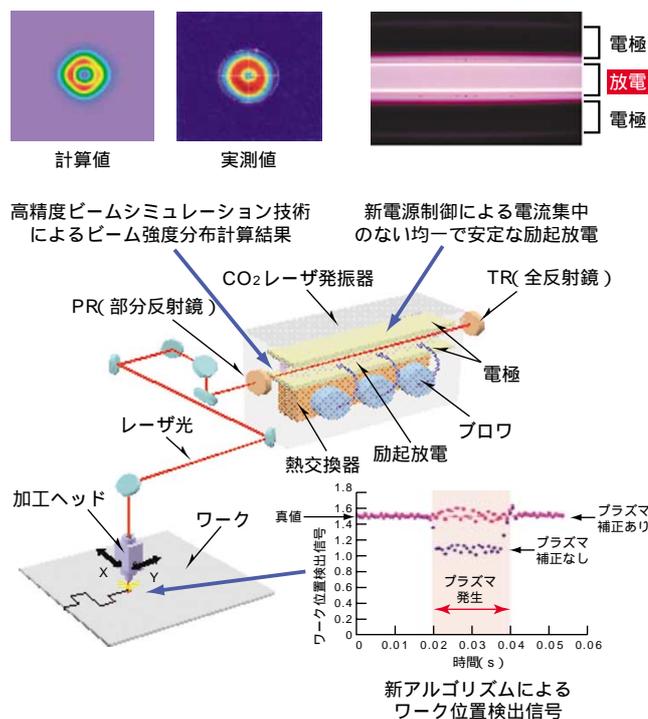
### 板金レーザ加工機技術

#### Advanced Technologies for Sheet Metal Laser Processing Systems

板金レーザ加工機の性能向上を目的として、光学設計技術、電源技術、加工制御技術を基盤とする要素技術開発を行っている。加工性能の向上には、ビーム特性の詳細把握に基づく最適化に加え、レーザ光をより安定に発生し、常に加工点の正確な位置へ、正確にビームを供給することが極めて重要である。これらの要求にこたえるため、次の技術を開発した。

- (1) レーザ媒質内の利得空間分布を考慮した高精度ビームシミュレーション技術を開発し、ロバスト性に優れた新型共振器を設計することで、高出力と高ビーム品質を両立
- (2) 電流スイッチング損失を低減する新電源制御技術の開発によって励起放電を安定化し、発振開始時の出力立ち上がりを高速化することで、加工品質を改善
- (3) 加工時に発生するプラズマや温度上昇の影響を排除し、ワークの位置を正確に検出する新アルゴリズムを開発することで、微加工を安定化

これらの技術は2007年に製品化した新型二次元レーザ加工機ML3015NX-60CF-Rに搭載し、世界最高レベルの加工性能を実現している。



板金レーザ加工機の要素技術

# パワーモジュール製品の簡易集合包装

## The Simple Packing of the Power Modules

一般産業機器向けパワーモジュール製品の包装で、物流JIT(Just In Time)活動の一環として包装VA(価値分析)を推進し、低コスト(包装費46%削減)と低環境負荷(段ボール材使用量37%削減)を両立した新包装を開発した。

従来包装は、段ボールシートを数枚重ねてくりぬき製品を収納していた。剛性の低い積層方向で製品を支持する構造であったため、端子保護のための底付き防止用空隙(くうげき)が大きく、包装容積に対して製品容積比が低くムダな空間が多かった。

新開発した包装は、製品を収納するトレー部分と蓋(ふ

た)を一体化した包装箱で、段ボールシート1枚の折り込みで、製品の固定支持を可能にするとともに、形状の異なる複数の製品を簡単かつ容易に収納できる簡易・軽量・コンパクト化(製品容積率50%向上)を実現した。さらに、端子部分は静電破壊防止用の樹脂部材で保護していたが、段ボールシートの表面に導電機能を付加したことで、静電破壊防止用の樹脂部材をなくすことができた。また、1枚の段ボールシートを接着レスで組み立てるので、組立て、開梱(かいこん)後の保管スペースの削減、使用後の処理も容易となった。

