

# 宇宙技術を支える基盤技術や開発プロセス

岡 慎司・竹村 浩司  
岩崎 正明・丸家 誠

## 要 旨

NECの宇宙技術は、広範な基盤技術により支えられています。生産革新活動は、これまで匠の技能や技術に依存していた宇宙技術を、生産革新の最前線へと変貌させました。また、宇宙技術は材料開発と表裏一体をなしています。光学ミラー材料として世界最先端の反応焼結型SiCを開発し、軽量、高強度なミラーを可能としました。搭載用ソフトウェアは、ミッション要求の多様化や高精度化に対応する技術開発を行っています。リモートセンシングデータをより高度に利用するための画像処理技術の開発は、ユーザであるデータ利用者の要求に直接応える技術です。本稿では、以上の宇宙技術を支える基盤技術や開発プロセスについて紹介します。

## キーワード

●TPS ●生産革新活動 ●太陽電池パネル ●光学ミラー ●材料  
●SiC ●宇宙機搭載ソフトウェア ●高信頼性 ●ミッションの多様化 ●開発プロセス ●画像処理

## 1. はじめに

宇宙で使用される機器やシステムを開発し、関連するサービスを提供するためには、裾野の広い基盤技術を保有することが不可欠です。本稿では、NECの宇宙機器及びシステムの開発を支える幅広い技術の一部として、生産革新活動とセンサコア技術のミラー材料、すべてのシステムを支えるソフトウェア、データ利用の要である画像処理技術を紹介します。

## 2. 生産革新活動

### 2.1 活動の背景

日本及びNECの技術力の高さを国内外にPRすることになった探査衛星「はやぶさ」や、太陽光圧を推進力として飛行中の「IKAROS」など、NECが手がけた宇宙機器やシステムは数多くあります。これらは、各ミッションの達成という視点ではすばらしい成果を上げているのですが、その開発設計から製造試験にいたる「ものづくり」プロセスの観点では、匠の技術や技能に依存するところが多い、といった課題がある

ことも事実です。

「ものづくり」を担う会社として、それらの課題解決を進めることが急務であるとの認識の下、まずは商用太陽電池パネル生産現場における生産革新活動を開始しました。

### 2.2 商用衛星向け太陽電池パネルから活動を開始

商用太陽電池パネルの生産は、カバーガラス付きの太陽電池素子（CIC<sup>1</sup>）の製作から始まり、電池としての回路（ストリングス）を形成後、最終的には1枚のパネルに約2,000枚のCICを実装することになります（図1）。

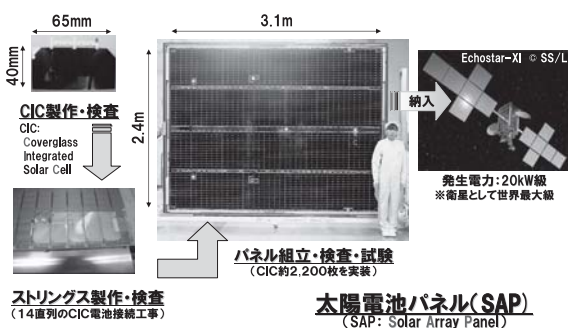
最初は、赤札作戦<sup>2</sup>による整理・整頓（2S）、次に3定（定位・定品・定量）の徹底というところから始め、VSM<sup>3</sup>を整理し、大まかな流れの同期化を進めました。ここで言う「流れ」とは「工程の進行に従って、規則正しく（タクト）移動するものの列」を意味しています。作業分析結果に基づいて、

(1) 作業の平均化を進め、(2) 見通しの良いレイアウトに変更し（図2）、(3) タクトを決めて、(4) それを守るように工程を進めることに注力しました。これら一連の活動のなかで、次第に全体最適という視点で取り組みを見つめられ

<sup>1</sup> CIC : Coverglass Integrated solar Cell

<sup>2</sup> 赤札作戦 : 要るもの、要らないものを警告札（赤札）で分別して、不要なものを廃棄する方法

<sup>3</sup> VSM : Value Stream Map（モノと情報の流れ図）

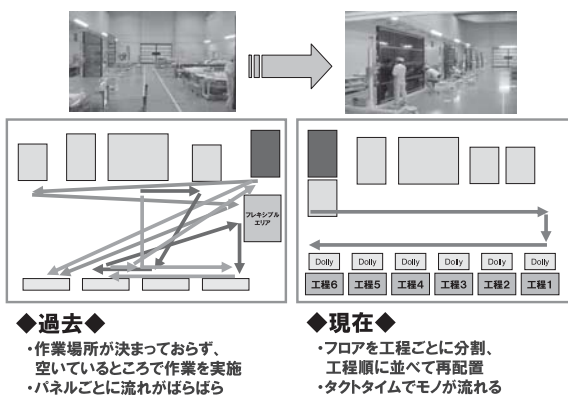


ストリングス製作・検査  
(14個列のCIC電池接続工事)

太陽電池パネル(SAP)  
(SAP: Solar Array Panel)

壊れやすい太陽電池を取り扱う細かな手作業の繰り返しと  
大物のハンドリングの両方を必要とする生産

図1 商用太陽電池パネル生産の概要



◆過去◆

- ・作業場所が決まっておらず、空いているところで作業を実施
- ・パネルごとに流れがばらばら

◆現在◆

- ・フロアを工程ごとに分割、工程順に並べて再配置
- ・タクトタイムでモノが流れる

図2 大まかな流れづくり

るようになりました。

太陽電池パネル生産現場での取り組みを受け、衛星搭載機器の生産現場に拡大し、生産革新活動を展開中です。既に「2S-3定」を皮切りに、大まかな流れを作るためのレイアウト変更を進めてきており、モデルラインにて生産リードタイム短縮による生産量増大を目指して活動を推進しています。

### 2.3 衛星標準化とともに全社のプロセスを改善

開発設計部門では、小型衛星（NEXTAR：NEC Next Generation Star）での標準化に向けた取り組みが進められています。汎用的な基本機能を持つバス部品を標準化して、種々のミッション機器を組み合わせ、低コスト、短納期、高い柔軟性、リスク軽減といったメリットを生かし、グローバルな

衛星マーケットでの事業化を図ろうとしています。

この標準化の取り組みを生産革新活動と組み合わせることで、全社における開発設計から生産・納入までの「ものづくり」プロセス全体の改善に取り組んでいます。

### 2.4 今後の展望

宇宙事業を産業化するために、ワールドクラスのQCDを早期に実現する必要があります。まだまだ「生産革新」の入り口の段階ですが、全体最適化を目指したOne NECとしての活動を進めるなかで、自律的に改革を担う人材を育てるとともに、経営革新へつなげていきたいと考えています。

## 3. ミラー母材開発技術

### 3.1 人工衛星搭載用光学ミラー

人工衛星搭載光学センサでは、詳細な情報を取得するために、空間分解能の向上が求められています。そのため大口径反射型光学系が採用されており、光量増加による感度の向上と細かい空間構造の観測の実現を図っています。

一方、大型の光学ミラーは、その自重による面形状の劣化を極小化し、ロケット打ち上げ環境における厳しい振動・衝撃荷重に耐えるために、軽量かつ高い強度・剛性が求められます。更に衛星軌道上環境における温度変化に対して、熱的な形状安定性が要求されます。

### 3.2 SiCセラミックス

従来一般的なミラー母材であるガラス材に対し、SiC（炭化ケイ素：Silicon Carbide）は比較的小さい熱膨張係数と高い熱伝導率による熱的な安定性や、高い強度・剛性を有しています。図3にガラスとSiCの性能比較を示します。こうした特長を生かして、近年、海外では既に1mを超える高精度鏡や3.5mの赤外用冷却光学系採用母材として実用化されています。

### 3.3 高強度反応焼結SiC「NTSiC」

NECでは、純国産技術<sup>※</sup>を使用した高強度反応焼結SiCを、

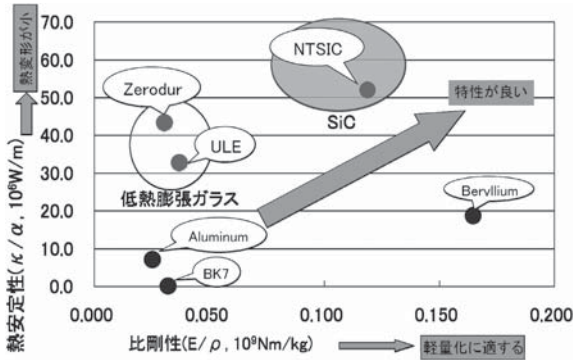


図3 ミラー母材の特性比較

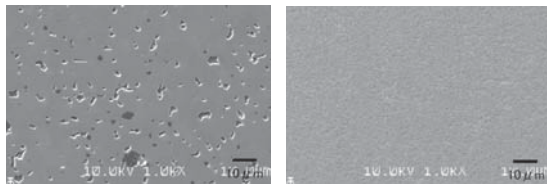


写真 研磨面顕微鏡写真 焼結SiC (左) とNTSiC (右)

NTSiC (New-Technology SiC) という商品名で販売及び開発を行っています。

NTSiCは他のSiCと比較して、以下のメリットがあります。

**1) 気孔の無い緻密な構造**

NTSiCは、製造工程における焼結時にシリコンを溶浸し、材料粉のカーボンシリコンと反応させてSiCとします。同時に余剰のシリコンで気孔を埋めることで、緻密な構造となります。

通常の焼結SiCでは、写真左に示すように気孔があるために面が粗い、またはSiC以外の組成物による非一様性により研磨が困難であるため、鏡面を研磨する前に表面にSiCなどを別途コーティングする必要があります。しかし、NTSiCでは写真右に示すように、緻密な構造となるため、直接表面を研磨することで鏡面に必要な形状と面粗さの面が得られます。これにより研磨前のコーティングを必要としないため、コストを低減し、リードタイムを短縮できます。

**2) 高強度**

曲げ強度はSiCの2倍、ガラスの15倍以上あり、大型の軽量

化ミラーの材料として優れた特性を有しています。ハッブル宇宙望遠鏡の主鏡サイズ (直径2.4m、質量828kg) で比較すると、NTSiCを使用することで、ミラー質量を600kg以上削減することができます。

**3.4 今後の展望**

現在開発中である先進的宇宙システム「ASNARO」の光学センサ主鏡を始め、他の光学センサのミラー母材にもNTSiCは採用され始めています。更に、より大型の反射鏡を作るためにセグメント鏡を接合する研究や、より軽くするために薄い構造とする研究に取り組んでおり、NEC独自の基盤技術として競合他社との差別化を進めております。

**4. 大規模ソフトウェア開発**

**4.1 背景**

宇宙機へのミッション要求の多様化、高精度化に伴い、ソフトウェアも複雑及び大規模となり、ソフトウェアの検証に十分な時間が取れなくなるなど課題が出てきました。これに対してNECが取り組んでいる複雑かつ大規模なソフトウェアを開発するための基盤技術を紹介します。

**4.2 大規模ソフトウェア開発の基盤技術**

宇宙機搭載ソフトウェアは、軌道上での誤動作が許されない、容易に変更できないなどの制約から高い品質が要求されます。以下に、大規模ソフトウェア開発を睨んだ基盤技術や開発プロセスについて示します。

**(1) RTOSの利用**

16ビットMPUが搭載されたコンピュータの時代から、μITRON仕様のRTOS (Real Time OS) を利用しています。64ビットMPUとなった今でも、TOPPERSやT-EngineのカーネルをベースとしたRTOSを採用し、大規模なソフトウェアの開発へのスムーズな移行を考慮しています。

**(2) ミドルウェア**

64ビットMPUでは、プロセッサの取り扱いが一段と難しく

<sup>4</sup> 本技術は株式会社東芝 電力システム社 電力・社会システム技術開発センター殿、日本ファインセラミックス株式会社殿との共同開発によります。

なっています。宇宙機のミッションを遂行するための主要な部分はアプリケーションプログラムに集約されるため、ハードウェアを直接制御する部分はアプリケーションプログラムとは別に準備し、共通化を図っています。このような考え方は以前から採用していますが、アプリケーションへの適用と範囲を広げ大規模ソフトウェアの開発を容易にします。

### (3) 開発プロセス

ソフトウェアの複雑化かつ大規模化に伴い、システム要求の獲得やソフトウェアの要求仕様が確定するまでの期間が長くなっており、これまでのウォーターフォール型開発ではソフトウェアの開発期間を十分に確保することができません。そこで、ソフトウェア開発プロセスの枠を超えた、サブシステム（またはセンサシステムやコンポーネント）要求分析からサブシステム試験までを一巡とする繰り返し開発を採用することで、複雑で、なかなか決まらない要求に対応でき、また、一巡の結果を反映できるプロセスへと見直しをしています（図4）。

また、要求分析プロセスにおいても、新たに宇宙機システムまたはセンサシステムなどの利用要求を加味した運用シナリオの検討を実施することを進めています。利用者の観点からの必要な機能を漏れなく実現することで、高い品質のソフトウェアを開発できることが期待できます。

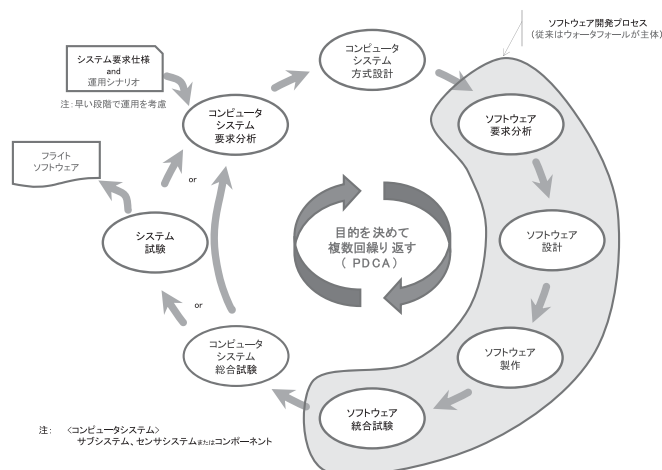


図4 開発プロセスの見直し

## 4.3 今後の展望

大規模なソフトウェア開発では、従来のようにスキルの高いエキスパートがすべてのプロセスを担うのではなく、既開発ソフトウェアの利用やハードウェア（プロセッサ）を意識しない開発、及び従来の開発プロセスの見直しや上位プロセスの見直しを行うことで、高品質のソフトウェアが開発できることを目指します。現在開発中の小型衛星などでは、このような考えの下に開発を進めています。

## 5. 画像処理技術

### 5.1 画像処理の役割

地球観測衛星などが軌道上で取得した画像データは、いくつかの装置を経て最終的にはデータ利用者に届けられます。データ利用者にとっては以下が重要です。

- (1) 十分な数のデータが提供されること
- (2) 高品質なデータが提供されること
- (3) 目的にあったデータが提供されること

NECでは、データが利用者に届くまでのさまざまな場面で独自の画像処理技術を適用することにより、利用者の満足度を向上させるべく取り組んでいます。以下では、光学画像に関する圧縮処理、補正処理（レベル1処理）、高次処理を紹介いたします。SAR画像処理に関しては「リモートセンシングデータの向上を実現するSAR画像処理技術」をご覧ください。

### 5.2 画像圧縮処理

衛星が撮像した画像データを地上に送る際、あらかじめ衛星側で圧縮することにより、限られた回線容量でもより多くのデータを地上に伝送できるようになります。NEC独自の画像圧縮方式StarPixelは、JPEG2000よりも計算量が少ないので素早く圧縮処理を行うことができ、かつ圧縮率はJPEG2000とほぼ同等という特徴があります。処理速度が速いので、JPEG2000のように専用LSIをわざわざ開発しなくとも、ソフトウェアで十分処理できます。StarPixelの利用実績には、金星探査機「あかつき」などがあります。



### 5.3 画像補正処理 (レベル1処理)

衛星が撮影した画像データは、そのままではノイズ (画素間感度偏差などによる縞) や幾何学的な歪などがあるため、使いやすいものではありません。このような画像に対してノイズの軽減を行い、更に画像が地図などと重なるように幾何的な補正を行うのが画像補正処理です。NECは「みどり」「だいち」など多くの衛星の画像補正処理を手がけてきました。高精度な補正により、高品質な画像を生成することに貢献しています。また、「いぶき」など大気センサの補正処理も手がけています。

### 5.4 画像高次処理

データ利用者が求めるのは、必ずしも単なる画像とは限りません。画像を加工して得られるデータ (高次データと呼びます) に対する需要もあります。NECではいくつかの高次データも提供しており、その1つが三次元データです。図5は「だいち」のPRISM画像から作成した三次元地形の例です。<sup>1)</sup>このような三次元データは、地図を作製したいと考える利用者などに役立ちます。

図6は、小惑星探査機「はやぶさ」が撮影した画像から作成した、小惑星イトカワの三次元モデルです。<sup>2)</sup>

### 5.5 今後の展望

画像処理の技術は、中央研究所を始めとして多様な部門で研究開発が行われています。これらの部門と連携を取ることにより技術力を高め、利用者に満足いただけるような画像データを提供していきます。

## 6. おわりに

各種先端技術から生産革新まで、NECの宇宙技術を支える広範な基盤技術の一端を紹介しました。この他、紙面の都合で掲載できなかった多くの基盤技術が有機的に絡み合うことで、「はやぶさ」を始めとするプロジェクトを成功に導くことができたと考えます。今後とも継続して開発、革新を進めてまいります。

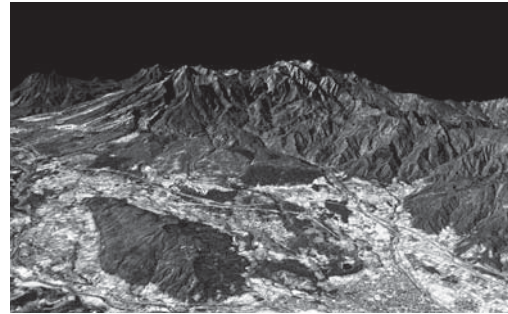


図5 高次データの例 (三次元地形)

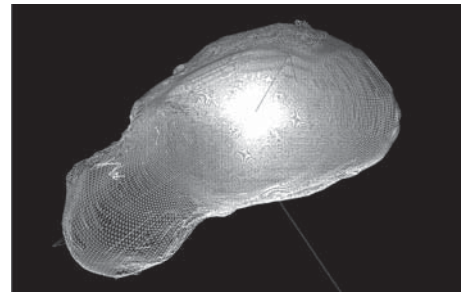


図6 高次データの例 (イトカワ三次元モデル)

#### 参考文献

- 1) Makoto Maruya, Hiroshi Ohyama, "Accurate DEM and Ortho-Rectified Image Production from ALOS/PRISM", IEEE IGARSS 2008
- 2) M.Maruya, et.al. "Navigation Shape and Surface Topography Model of Itokawa", AIAA Guidance, Navigation, and Control. Conference 2006

#### 執筆者プロフィール

岡 慎司  
NEC東芝スペースシステム  
生産本部  
シニアエキスパート  
日本機械学会会員

岩崎 正明  
NEC東芝スペースシステム  
技術本部  
ソフトウェアグループ  
グループマネージャー  
情報処理学会会員

竹村 浩司  
NEC東芝スペースシステム  
技術本部  
光学センサグループ

丸家 誠  
航空宇宙・防衛事業本部  
宇宙システム事業部  
マネージャー  
日本リモートセンシング学会会員  
日本写真測量学会会員

# NEC 技報のご案内

NEC 技報の論文をご覧くださいありがとうございます。  
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご覧ください。

NEC技報WEBサイトはこちら

NEC技報(日本語)

NEC Technical Journal(英語)

## Vol.64 No.1 宇宙特集

特別寄稿：宇宙ソリューションで社会に貢献する時代へ  
宇宙特集によせて  
宇宙事業ビジョンとロードマップ  
NECのグローバルな宇宙ソリューション事業への取り組み

### ◆ 特集論文

#### ロードマップ実現に向けた取り組み

宇宙技術とIT・ネットワーク技術の融合  
宇宙分野におけるグローバル市場への参入戦略  
「宇宙利用」のためのサービス事業の推進  
先進的宇宙システム「ASNARO」の開発

#### ロードマップの実現を支える技術と製品(人工衛星/宇宙ステーション)

国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう(JEM)」の開発  
金星探査機「あかつき」の開発  
小型ソーラー電力セイル「IKAROS」の開発  
月周回衛星「かぐや」の開発  
地球観測衛星(陸域観測技術衛星)「だいち」の開発  
超高速インターネット衛星「きずな」の開発  
総合宇宙利用システムの普及を促進する小型SAR衛星技術

#### ロードマップの実現を支える技術と製品(衛星地上システム)

衛星運用を支える地上システム  
衛星データの利用を促進する画像処理システム

#### ロードマップの実現を支える技術と製品(衛星バス)

リモートセンシング事業を迅速に立ち上げる標準プラットフォーム「NEXTAR」  
衛星機器を構成する標準コンポーネント

#### ロードマップの実現を支える技術と製品(通信)

衛星通信を支える通信技術  
世界で活躍する衛星搭載用中継機器

#### ロードマップの実現を支える技術と製品(観測センサと応用技術)

観測衛星「いぶき」を支えた光学センサ技術と展望  
全地球上の雨と雲を観測する電波センサ技術  
リモートセンシングデータの向上を実現するSAR画像処理技術  
衛星画像を活用した産業廃棄物監視システム

#### ロードマップの実現を支える技術と製品(基盤技術)

宇宙技術を支える基盤技術や開発プロセス  
月惑星探査を支える軌道計画と要素技術  
宇宙用耐放射線性POL DC/DCコンバータの開発  
宇宙開発向けプリント配線板の認定状況と今後の展開

#### ロードマップの実現を支える技術と製品(誘導制御計算機)

ロケット用誘導制御計算機の変遷と展望

#### 小惑星探査機「はやぶさ」

小惑星探査機「はやぶさ」の開発と成果

### ◆ NEC Information

#### NEWS

NEC C&C財団25周年記念賞表彰式開催



Vol.64 No.1  
(2011年3月)

特集TOP