

新衛星機器生産工場の稼働と衛星機器事業の展望

竹谷 元* 下平久代*
大川義幸*
田島範一*

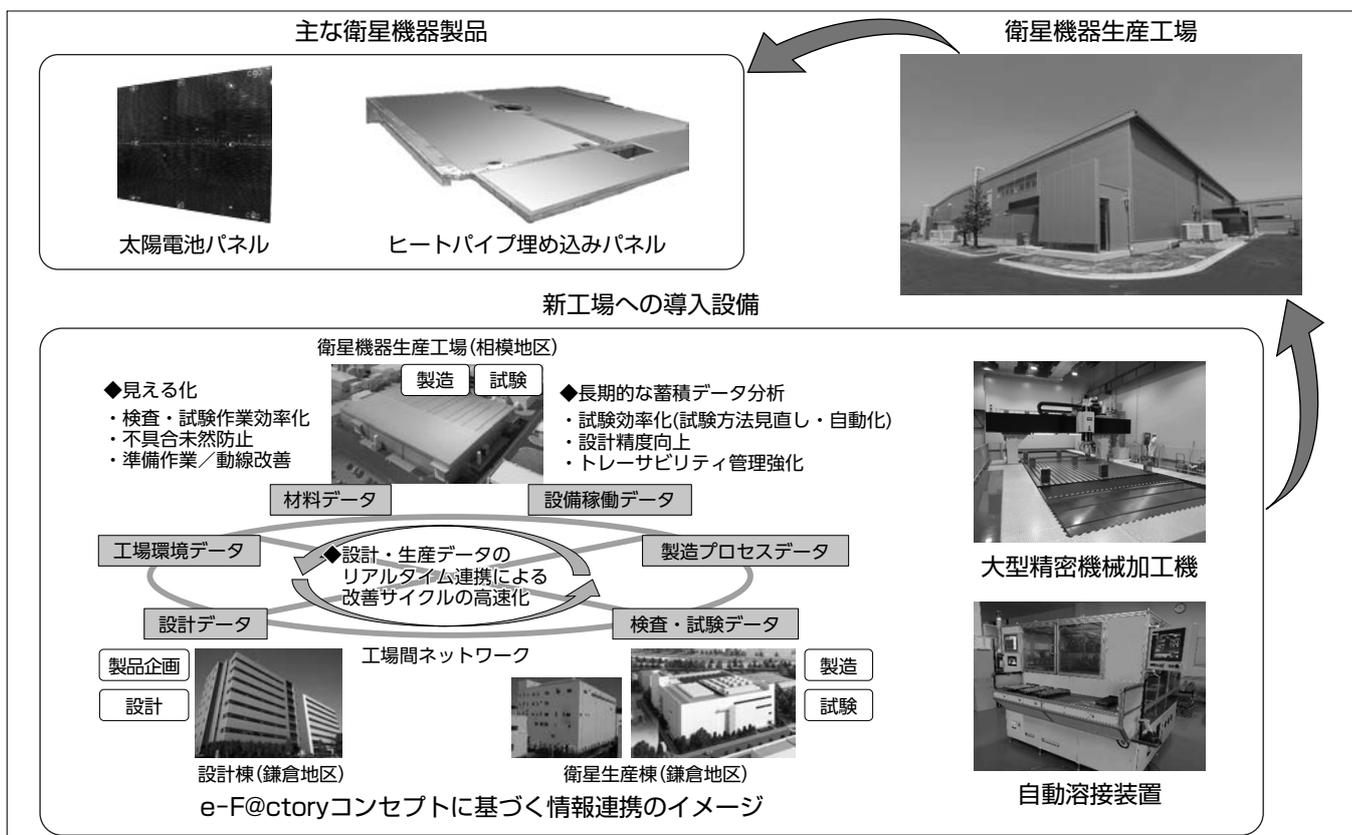
Operation of New Factory for Production of Satellite Equipments and Prospects of Satellite Equipment Business

Hajime Takeya, Yoshiyuki Okawa, Noriichi Tajima, Hisayo Shimodaira

要旨

三菱電機は、太陽電池パネル、ヒートパイプ埋め込みパネル、衛星構体パネル等の衛星機器を鎌倉製作所相模工場で生産し、自社の衛星に搭載するほか海外衛星メーカーにも供給するなど、人工衛星関連事業を国内外で展開している。近年では、衛星利用の拡大に伴う衛星機器の需要の増加と競争の激化から、これまで積み重ねてきた高い品質力に加え、コスト低減、工期短縮も強く求められている。一方、衛星システムへの電気推進の利用拡大や、大電力が必要なHTS(High Throughput Satellite)へ対応するため、衛星機器も大電力化に対応する必要があり、太陽電池パネルやヒートパイプ埋め込みパネルの大型化が求められている。当社は、これらのニーズに対応するため、相模工場内に新たに“衛星機器生産工場”を建設し、2017年10月から

稼働を開始した。これによって部品の製造から各種パネルの製造・試験までを一貫して行う体制を構築した。新工場には、大型パネル生産に向け、大型精密機械加工機や三次元測定機、大型熱硬化炉等を新たに導入した。また、コスト低減、工期短縮施策の一環として自動溶接装置などの自動生産設備も導入した。さらに、当社のFA統合ソリューション“e-F@ctory”コンセプトに基づくIT技術を導入し、改善サイクルを高速化し、工期短縮、コスト低減、品質向上を推進する。これらの施策によって、生産能力を従来比最大2倍に増強し、衛星システムメーカーとしての競争力強化を図るとともに、衛星機器事業の発展と衛星関連事業全体の拡大に貢献していく。



新衛星機器生産工場の特徴と主要製品

新工場では、太陽電池パネル、ヒートパイプ埋め込みパネル・衛星構体パネルなどの衛星機器を生産する。大型パネルへ対応した大型精密機械加工機や、自動溶接装置などの自動生産設備を導入し、さらに各種改善サイクルを高速化し、工期短縮、コスト低減、品質向上を推進するためe-F@ctoryコンセプトに基づくIT技術を導入した最新の工場である。

*鎌倉製作所

1. ま え が き

当社は、人工衛星に搭載される太陽電池パネルを始めとする衛星機器を鎌倉製作所相模工場で生産し、自社の衛星に搭載するほか海外衛星メーカーにも供給するなど、人工衛星関連事業を国内外で展開している。しかし近年は、衛星利用の拡大に伴う衛星機器需要の増加や競争の激化から、衛星機器には極めて高い品質だけでなく、コスト低減、工期短縮も強く求められる状況にある。そこで今回当社は、これらのニーズへ対応するため、相模工場内に、新たに“衛星機器生産工場”を建設し、2017年10月から稼働を開始した。図1に工場の外観を、表1に概要を示す。

新工場は、大型精密機械加工機や自動溶接装置などの自動生産設備導入で、生産能力を従来比最大2倍に増強するとともに、これまで相模工場内に点在していた製造・試験エリアを集約することで、部品の製造から各種パネルの製造・試験までを一貫して行う体制を構築している。また、生産性向上のため、e-F@ctoryコンセプトに基づくIT技術を積極的に導入している。

本稿では、まず新工場で生産される主な製品として、太陽電池パネル、ヒートパイプ埋め込みパネル、衛星構体パネルについて述べ、次いで新工場とその新規導入設備の特徴、最後に衛星機器事業の展望について述べる。

2. 新工場で生産される主な衛星機器

2.1 太陽電池パネル

太陽電池パネル(Solar Array Panel : SAP)は、人工衛星の搭載機器へ電力供給をする製品である。常に放射線や紫外線にさらされ、かつ60～-170℃の温度変化が加わる過酷な宇宙環境で運用されるが、運用期間中は確実に電



図1. 鎌倉製作所相模工場内に新設された衛星機器生産工場

表1. 衛星機器生産工場の概要

所在地	神奈川県相模原市中央区宮下一丁目1番57号
建築面積	約7,430m ² (延床面積:約9,940m ²)
構造	鉄骨造, 2階建, 高さ11m
主な生産品目	太陽電池パネル, 衛星構体パネル, アンテナ, ほか
竣工・稼働開始年月	2017年5月竣工, 2017年10月稼働開始
環境・省エネルギー対策	太陽光発電システム(発電容量56kW), ヒートポンプ式空調システム, LED照明(約1,000台), 電力設備監視システム

力供給を継続できる寿命と、高性能、高品質、及び軽量化が要求される。図2に代表的なSAPの外観を示す。図に示すように、SAPは主に構造部であるサブストレート(SuBSTrate : SBST)と太陽電池セルにカバーガラスが接着されたCIC(Coverglass Integrated Cell), 及びこれらを電気的につなぐインターコネクタから構成されている⁽¹⁾。前述のような厳しい要求に答えるための技術として、SBSTは、高剛性のCFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic : 炭素繊維強化プラスチック)材料によって製造された、厚さ約0.1mmの表皮材と低密度のハニカムコア材を組み合わせたサンドイッチ構造とすることで、高剛性、かつ世界最軽量級の質量を達成している。また金属部品であるインターコネクタには、人工衛星の運用期間中の環境温度変動から、材料の熱膨張差によって生じる熱応力が数千サイクル負荷されるが、この環境下でも熱応力で破断しない高い信頼性が求められる。このため、まずインターコネクタ形状は、詳細な熱応力解析と部品に対する熱サイクル試験を繰り返すことで慎重に決定され、さらに、冗長系を持たせる設計とすることでインターコネクタの破断による発生電力低下を防いでいる。また製造時でも、インターコネクタは厚さ0.1mm以下の非常に薄い金属箔(はく)をエッチングで加工し、溶接性を上げるため表面にめっき処理を行った後に曲げ加工でストレスリリーフを設けているが、傷や凹(へこ)み、欠陥があるとそこから破断が起こることから、製造プロセスを厳しく管理している。

このように多くの厳しい製造要求が課せられるSAPは、大型の複合材の高精度成形・加工技術や、CICの量産技術が必要となる。当社のSAPは近年では打ち上げられた全商用衛星の約30～40%のシェアを占める世界的に信頼されている製品であり、これまで1,000枚以上の製造実績がある。現在、衛星の大電力化が進行しつつあり、太陽電池パネルには大電力化のための大型化が求められる状況にある。3章で述べる新工場では、製造技術の改善に加え、大型化への対応を行った。

2.2 ヒートパイプ埋め込みパネル

ヒートパイプ埋め込みパネル(HPP)は、搭載機器の発熱をパネル面内に均一に広げる機能を持つ構造体であり、アルミ表皮、アルミコア材を用いたハニカムサンドイッチパネルに多数のヒートパイプが縦横に埋め込まれたパネル

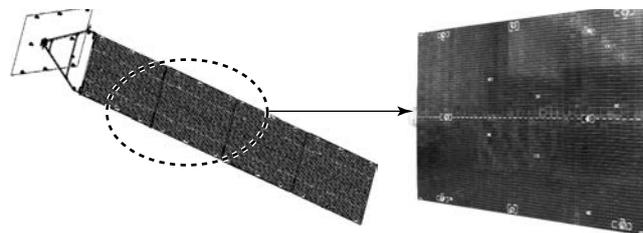


図2. 太陽電池パネル

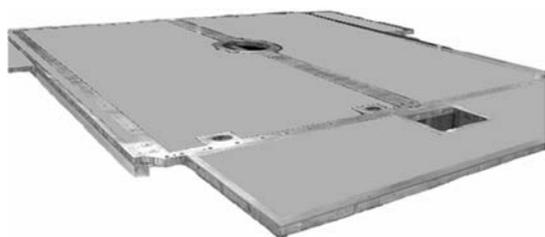


図3. ヒートパイプ埋め込みパネルの外観

構造である⁽²⁾。図3に外観を示す。ヒートパイプ外付け型と異なり、埋め込むための高度な成形技術が必要であるが、搭載面に凸凹がなく機器の配置に制約がないことが特長である。

当社はこれまでに、国内外衛星向けに30年以上のHPP事業経歴があり、国内外の衛星100機以上の搭載実績がある。海外市場でのシェアは約25～35%で推移している。またパネルとしては累計900枚以上が軌道に打ち上げられている。これに加えて、社内でヒートパイプの設計・製造・試験が可能なることから、品質・工程管理面に強みがあり、製品サイズもこれまでの最大5.5m級から、新工場の大規模設備導入によって最大7mのパネルまで製造可能となった。

2.3 衛星構体パネル

衛星構体パネルは、衛星の箱型構造を構成するパネル部材であり、打ち上げ時に搭載機器を支持し、軌道上での寸法安定性が要求される。表皮材には熱膨張の小さなCFRPが主に採用されており、1980年代半ば以降、海外への納入実績も多数ある。これらのパネルについても大規模設備導入によって7m級のパネル製造が可能となっている。

3. 新工場と新規導入設備の特徴

衛星機器需要の増加から、2018年度以降のSAP、HPP、衛星構体パネル生産数の増大が見込まれており、生産能力確保と合わせ生産性向上が必要となった。今回、新たに衛星機器生産工場を建設することで必要な生産スペースを確保するとともに工場間移動の排除や自動機などの新生産設備導入、e-F@ctory コンセプト(PDCA(Plan Do Check Action)サイクルを高速化できるIT等の技術活用によって、改善効果を最大化し、トータルコストを削減する考え方)導入による生産性向上を企図した。

3.1 新工場

新工場の計画時には、SAP・HPP・衛星構体パネルそれぞれの製造工程で製品の流れや作業者の配置、リードタイム等を分析し、ムダ作業を排除し、必要な作業スペースを算定するとともに、作業時に要求される天井高さやクレーン等の付帯設備を調査して工場仕様に反映した。物流動線計画では、図4に示すように前工程となる既存の衛星機器材料工場と隣接させ、専用の渡り廊下を設けて屋外移

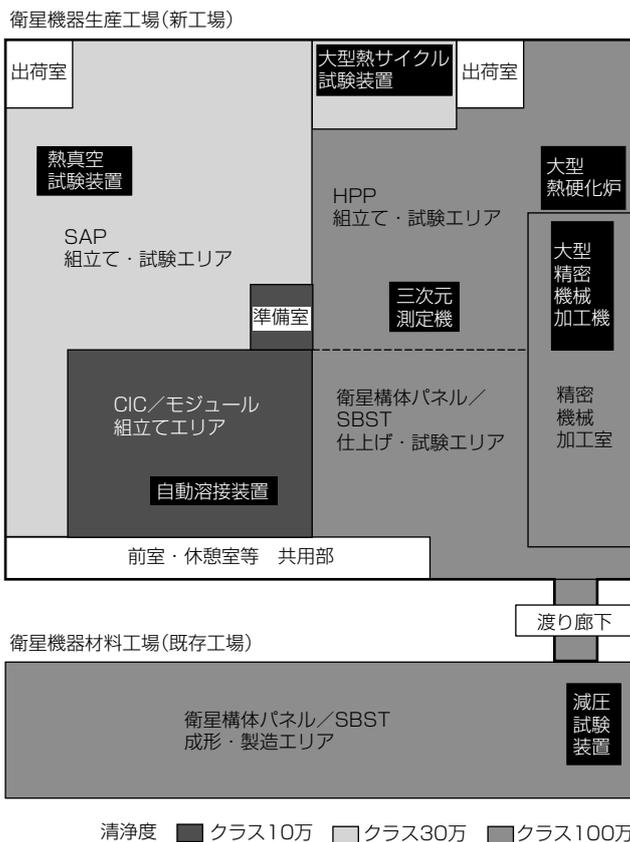


図4. 新工場のレイアウト

動を廃止することや、大型製品の取扱いが容易に行えるよう柱間隔を15mと大きくし、作業性の向上を図った。また、異なる3つの製造環境に対応したエリア(クラス10万、30万、100万)の清浄度管理では、エポキシ系接着時の汚染原因となるシリコン系の雰囲気のほかの製造エリアに入り込まないように給排気バランスを検討し、製造環境が製品品質へ悪影響を及ぼさないようにした。さらに精密機械加工室では、室温の変化による加工精度への影響を避けるため、清浄度管理に加えて室温の変化を±1℃に抑えるとともに、装置や製品へ当たる風速を考慮して設計した。

3.2 新規導入設備

衛星の高機能化に伴い衛星の電力消費量は増加傾向にあり、客先・市場動向からはSAP及びHPPの大電力化(大型化)が要求されている。新工場建設とともに製品の大型化に対応するための製造・試験設備を計画した。図5に示す7m×5mの大型パネルを高精度で加工できる大型精密機械加工機や、寸法・平面度を測定できる三次元測定機、HPPの成形や部品接着後の硬化を行う大型熱硬化炉、製品のスクリーニングを行う大型熱サイクル試験装置を新たに導入した。

また、従来の生産能力を最大2倍に向上させるため、図6に示す太陽電池のインターコネクタを自動で溶接する自動溶接装置の導入や、衛星構体パネルへ部品を自動で接着する自動充填装置など、多点数の繰り返し作業や人手依存作

- ・各種パネルの穴あけや外形加工を高精度に加工する装置
- ・将来の大型化に対応し、7m×5mの加工が可能



図5. 大型精密機械加工機

- ・太陽電池(CIC)にインターコネクタを自動で溶接する量産対応装置



図6. 自動溶接装置

- ・人工衛星打ち上げ時の減圧環境を模擬し、パネルの成形品質を確認する装置
- ・減圧能力 1.0気圧→0.2気圧/40秒 (打ち上げ時の2倍速相当)



図7. 減圧試験装置

業を自動化し、省力化・品質向上を図った。

新工場では、衛星機器の性能・品質を保証するため各種試験も実施しており、SAPの宇宙空間での品質確認を行う熱真空試験装置に加え、図7に示すような衛星打ち上げ時に発生する大気圧から真空状態への急激な変化を模擬し、パネルの成形品質を確認する減圧試験装置を導入した。なお、この試験装置は大型パネルを試験できる国内唯一の設備である。

3.3 e-F@ctoryコンセプトに基づく生産性向上

CFRPに代表される複合材製品は、材料やプロセス個々の基準値を満たしていても材料の組合せや製造プロセス内のばらつきによって製品品質が安定しにくい課題がある。そこで新工場では、図8に示すようなe-F@ctoryコンセプトに基づいたIT化を図ることで、日々の管理指標である能率や仕掛け量に加え、製造プロセス管理項目や品質管理等の状況を見える化し、蓄積したデータの分析を行えるようにする。

具体的には、受入れ時の材料の素性・有効期限、製造・試験工程での加工・試験条件、中間検査結果、工場環境(温湿度等)などの各種データを蓄積しながら、品質や製品特性との相関性を分析したトレンド管理を行う仕組みを構築する。さらに今後は、装置稼働状況、現場の作業スペースの占有状況や進捗状況を加味した生産計画の作成を支援し、工場全体での生産最適化を狙っている。この工場で取

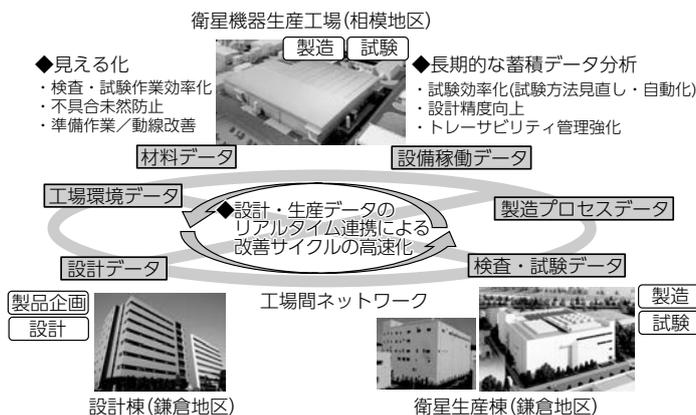


図8. e-F@ctoryコンセプトに基づく情報連携のイメージ

得した情報は、工場間ネットワークを介して鎌倉地区にある設計棟や衛星生産棟とも接続し、設計・生産データのリアルタイム連携を行うことで改善サイクルの高速化を図り、工期短縮、コスト低減、品質向上に寄与していく。

4. 衛星機器事業の展望

世界の衛星システムメーカー各社では、競争力強化のため、衛星プラットフォームのリニューアルを進める時期となっており、衛星システムの低コスト化と、電気推進の採用拡大や大出力搭載機器の増加に基づく大電力化の開発が進められている。このため衛星機器製品に対しても、高品質だけでなく低コスト化と工期短縮や、大電力化に対応した製品の投入が必須になっている。これらのニーズに対応するため、新工場を立ち上げ、大型パネル専用ラインの構築、装置の自動化、e-F@ctoryコンセプト導入に伴うIT化等の生産改革を進める。すなわち、①生産スペースの確保と動線の改善による生産性の向上、②自動溶接装置導入など装置の自動化による量産化、③SAP、HPPともに大電力化に対応する7mサイズ大型パネル向け生産設備・試験装置・専用生産ラインの構築、④IT化による各種改善サイクルの高速化を実現して、生産性及び製品品質の維持・向上を継続して発展させる。これらの生産改革によって、顧客の多面的なニーズへの対応力強化だけでなく、当社の衛星システムメーカーとしての競争力強化に貢献していく。その結果、衛星関連ビジネス全体のリノベーションに遅れることなく、衛星機器事業の発展と、衛星関連事業全体を拡大していく。

参考文献

- (1) 桜井也寸史, ほか: 輸出用衛星搭載コンポーネント, 三菱電機技報, 83, No.3, 191~194 (2009)
- (2) 小林 孝, ほか: 人工衛星用ヒートパイプのロバスト熱性能・質量最適化設計, 日本機械学会, 第12回設計工学・システム部門講演会講演論文集, No.02-31, 194~197 (2002)