

宇宙・防衛分野への適用に向けた プリント配線板

菅原 正広 豊倉 康夫

近年、宇宙事業は、開発のフェーズから、利用のフェーズに移行しつつある。宇宙ビジネス市場には、新規メーカーが参入を始め活況を呈してきている。その中で、我が国でも「宇宙活動法」が成立し（2016年11月）民間事業化への道が開けてきた。また、昨今国際情勢の変化があり、防衛装備品の高度化に伴い、先端化する電子機器を整備しなければならない。

OKIサーキットテクノロジー（以下、OTC）は、OKIグループEMS事業部の中でプリント配線板の設計・開発・製造を行っている会社である。OKIグループの中で、唯一JAXA及び防衛省両方の認定を受けている会社である。日本に約280社ある、プリント配線板のメーカーの中で、両方の規格を持っている会社は、わずかに数社に過ぎない。さらにJAXA規格のすべて及びMIL規格を取得している企業はいない。

OTCは両規格のフルスペック取得及び高密度化、低熱膨張化など独自の取組みにより「宇宙・防衛両分野の信頼性要求に応えることができる日本で唯一の企業」になるべく、モノづくり力を強化している。

本稿ではJAXA・MIL両規格の詳細及び規格取得状況、今後の取組みを述べる。

JAXA認定プリント配線板の仕様書体系は、このなかで、一般的には個別仕様書が要求事項に対して最も優先される。上位にある共通仕様書や付則で規定できない事項が、個別仕様書には詳細に記載している。また、適用データシート（ADS）は、設計仕様、認定試験結果及び使用上の注意点などを規定した仕様書であり、実装前のベーキング（脱湿）条件なども含まれている。プリント配線板一つとっても、細かい使用条件を設けて、品質を保つようにしている。

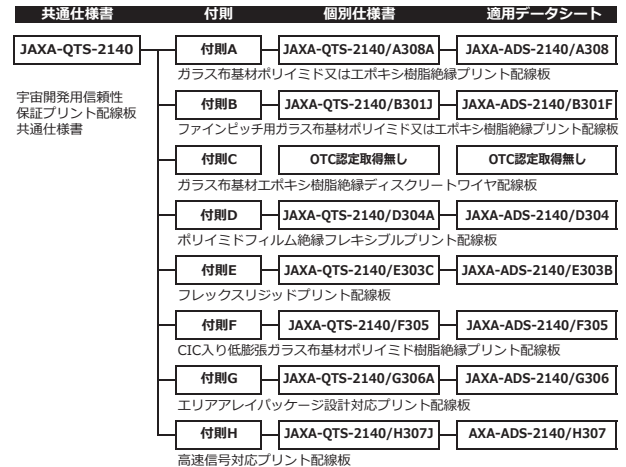


図1 JAXA 共通仕様書 体系

JAXA規格

(1) 全体体系と特徴

JAXAは、2003年に宇宙科学研究所（ISAS）、航空宇宙技術研究所（NAL）、宇宙開発事業団（NASDA）の3機関が統合して誕生した。

OTCはQML認定（Qualified Manufacturers List）を取得している。この認定が無いと宇宙用部品としてフライトモデル（認定試験に合格した同一の設計及び製造方法で製作されたモデルで、実際に宇宙に打ち上げるモデル）への適用ができない。

プリント配線板の仕様は、宇宙開発用信頼性保証プリント配線板共通仕様書体系（JAXA-QTS-2140）となる（図1）。

(2) 付則の概要

付則はA～H（Cは廃番）の7種類あるが従来OTCは2種類を取得している。各構造には、信頼性の結果に基づき材料毎に板厚・穴径・めっき厚・線幅の各種寸法が細かく記載されている。

各付則にはプリント配線板に必要な仕様（材質、層数、板厚、貫通ドリル径、SVHドリル径、IVHドリル径、VIPドリル径、穴内めっき厚、ランド径、ライン幅、スペース幅、表面処理など）を規定する必要がある。その仕様に基づいたプリント配線板でJAXAの定める信頼性評価試験を行わなければならない。上記内容・構造に違反する基板はQML認定の対象外となる。

各種構造を簡単に説明する。
（特別な構造は、断面図を表示する。）

①付則A

材質は、GI、GFの2種類。

構造は、貫通のみで材質により板厚とドリル径の仕様が異なる。

②付則B

材質は、GI、GFの2種類。

構造は3種類

- 貫通、SVH、IVH
- 貫通、多層SVH、多層IVH
- メタルフォイル、貫通、多層SVH、多層IVH

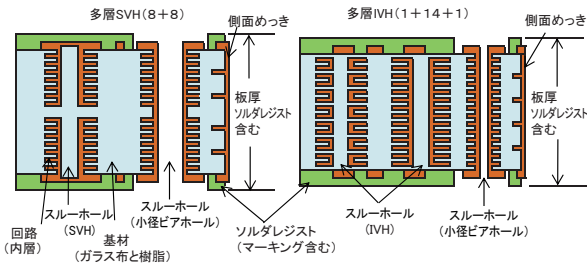


図2 多層IVH断面図

③付則D

材質は、GIの1種類。

構造は、フレキ材へ補強板を貼り付ける構造となる。

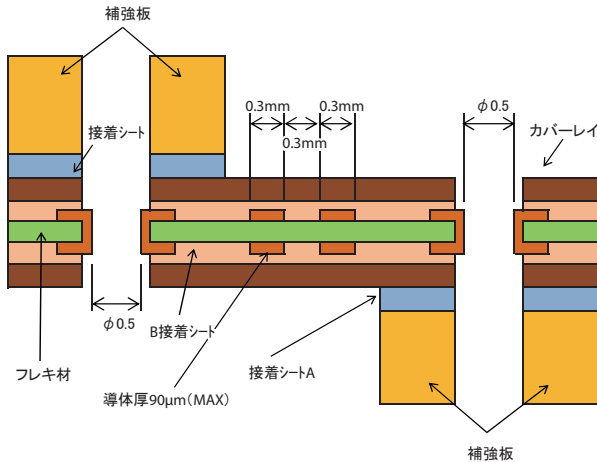


図3 フレキシブルプリント基板断面図

④付則E

材質は、GIの1種類。

構造は、フレックスリジッド(フレキシブルプリント基板とリジッド基板)層数と板厚により2種類の仕様がある。

図4は最大仕様記載

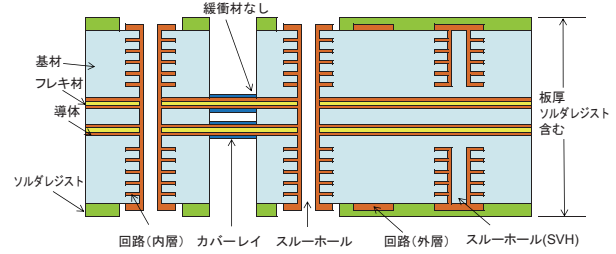


図4 フレックスリジッド断面図

⑤付則F

材質は、GIの1種類。

構造は、CIC材を内部へ入れX、Y方向への熱膨張変化を最小限に抑えた一般プリント配線板には使用されない。

宇宙空間は、温度差が大きく長期稼働を要する装置にて使用されている。

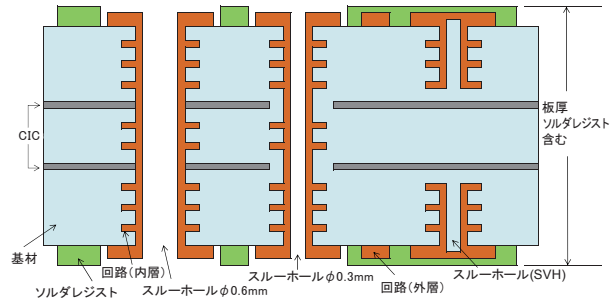


図5 CIC基板断面図

⑥付則G

材質は、GI、GFの2種類。

構造は、貫通、多層SVH、VIP

⑦付則H

材質は、PPE(ポリフェニレンエーテル)1種類。

PPEは、誘電率、誘電性正接が低く高周波用途

構造は、貫通、多層SVHがある。

(3) 規格取得に向けた取組み

①プリント配線板の高信頼性確保

宇宙開発向けプリント配線板の高密度高機能化に対して特殊な環境下での開発要求が課せられるようになってきた。特に宇宙開発用プリント配線板では、地上では考慮されない熱サイクルや高真空下での材料挙動、放射線耐性及びアウトガス(化学汚染物質)制御など高度で厳しい評価要求がある。

熱衝撃試験は、高温/低温のサイクル試験を行うが、一般の通信・産業用装置では100~300サイクルレベルの要求に対し、JAXA認定では1000サイクルが必須となる。さ

らに1200サイクルまで実施し1000サイクルに対するマージンを確認する。また、各付則の各構造全てに対して断面観察試験を立ち会いで行い認定される。

高信頼性を確保するための認定範囲は、プロセスの管理状態も、付則毎に工程の監査を実施し維持管理を要求される。

OTCでは、この信頼性を確保するために品質保証プログラムで定めた規定に従い対応している。

②宇宙環境下での材料の信頼性確保

耐放射線試験は、日本原子力研究開発機構 高崎量子応用研究所(TIARA)殿にて実施している。γ線(コバルト60)を10kGy/hで1h照射後ミーズリング(熱ストレスによるガラス繊維剥離)、デラミネーション(層間剥離)、ウィーブテクスチャー(ガラス繊維が露出)などの欠陥が無いこと及び耐電圧試験後に絶縁破壊が無いことが要求されている。アウトガスは、ASTM595(米国アウトガスレート測定試験規格)によって試験を実施し質量損失比(TML)及び再凝縮物質質量比(CVCM)を測定している。判定はNASA推奨値(TML:1%以下、CVCM:0.1%以下)を参考にJAXA殿として基準を定めている。

このような通常とは異なる環境下での試験をパスした材料が使用され信頼性を確保している。

MIL規格 (Military Standard)

MIL規格はアメリカ合衆国防総省が制定した米軍の調達規格である。内容としてはミサイルからコーヒーメーカーまで、国防総省が調達するあらゆる物品を規格化したものである。

現在では多くがIPC(エレクトロニクスをつなぐ協会*)に移行されているが、日本では防衛省をはじめMIL規格に準拠するケースが多く見受けられMIL仕様書(Military Specification)が適用される。防衛装備品では、MIL規格の適用要求されることもあるため、防衛省仕様書認定が必須となっている。適切なテストクーポン(品質適合試験用の回路の一部)をプリント配線板に配置し、それぞれの検査要求事項に従い確認する必要がある。

OTCはMIL規格の最新版規格認定を取得し防衛省認定を維持する方針である。

宇宙・防衛向けプリント配線板への取組み

(1) 規格取得状況

表1にJAXA及びMIL両規格の取得状況を示す。

表1 規格取得状況

規格	区分	内容	認定計画
JAXA QTS-2140	付則A	ガラス布基材ポリイミドエポキシ樹脂絶縁プリント配線板	取得済み
	付則B	ファインピッチ用ガラス布基板ポリイミドエポキシ樹脂絶縁プリント配線板	取得済み
	付則E	フレックスリジッドプリント配線板	取得済み
	付則G	エリアレイアウトパッケージ設計対応プリント配線板	取得済み
	付則H	高速信号対応プリント配線板	取得済み
	付則D	ポリイミドフィルム絶縁フレキシブルプリント配線板	取得済み
MIL PRF-55110	付則F	CIC入り低熱膨張ガラス布基材ポリイミド樹脂絶縁プリント配線板	取得済み
	F版	—	取得済み
	F版変更 G版	はんだヒューズング工程変更 最新版Revアップ	18年度取得見込 18年度計画

これにより、国内全ての宇宙・防衛に対応するプリント配線板の供給が可能となる。

(2) 更なる向上に向けた取組み

①高密度化

宇宙用プリント配線板は、1.0mピッチBGA(BallGridArray)までの部品を採用可能であるが民生機器で使用されている0.5mピッチに比べると高密度化への取組みは遅れている。高密度化を実現するためには、プリント配線板のドリル径を小径にする必要があり、信頼性の確認試験と小スペースへ回路を配線するためのライン幅、スペース幅も見直しする必要がある。

現在、図6に示すロードマップのように、0.8ピッチBGA採用を2022年までに実現できるよう取り組んでいる。

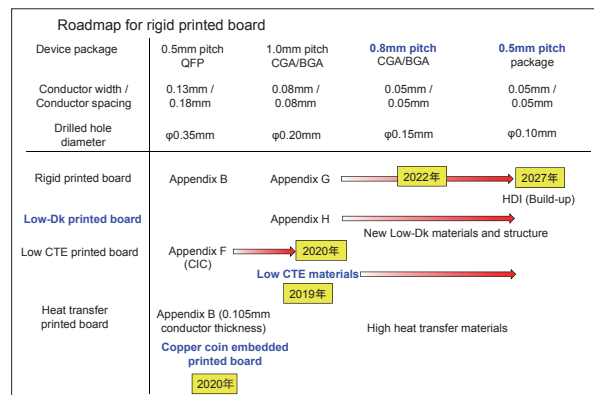


図6 技術ロードマップ

②低熱膨張化 (Low CTE)

低熱膨張化とはプリント配線板の熱膨張によるX、Y、Z方向の伸縮を抑制し熱応力の差による接続部のクラックを抑制することである。

宇宙環境下でより高い信頼性及び高密度の進める上で、従来の材質では限界の領域へ来ており、今後は更に信頼

*1) Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits

性基準要求の見直しが進む背景もあり新たな低熱膨張材の採用を2019年度から検討を進める（図7）。

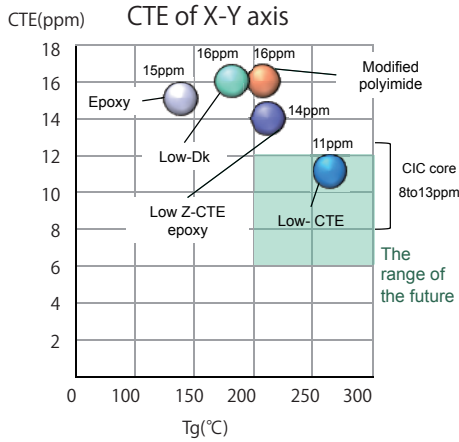


図7 材料毎の熱膨張率

あとがき

JAXA規格全て及びMIL規格を認定取得する日本で唯一の企業となった。今後は日本の宇宙・防衛用プリント配線板の更なる伸張が期待できる。

OTCとして更に独自の取組みを推進しQCDのより一層の向上を図り、日本の宇宙・防衛産業へ貢献していく。◆◆

参考文献

- 1) 宇宙開発用信頼性保証 プリント配線板 共通仕様書 JAXA-QTS-2140D 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構、平成26年1月14日制定
https://eeepitnl.tksc.jaxa.jp/jp/info/Spec/QA_2140D.pdf
- 2) Printed Wiring Board, Rigid, General Specification for - Revision G, MIL-PRF-55110G

筆者紹介

菅原正広：Masahiro Sugawara. OKIサーキットテクノロジー株式会社 製造本部 品質保証部
豊倉康夫：Yasuo Toyokura. OKIサーキットテクノロジー株式会社 技術本部 技術開発部

TIP 【基本用語解説】

GF

ガラス布基材エポキシ樹脂（基板材料種類）。

GI

ガラス布基材ポリイミド樹脂（基板材料種類）。

IVH (Interstitial Via Hole)

多層プリント配線板の2層以上の導体間を接続するビアホールで、プリント配線板を貫通していない穴を指す。ビアホールは、接続・導通用の穴を意味する。

SVH (Surface Via Hole)

多層プリント配線板の表面から2層以上の導体間を接続するIVH。

VIP (Via In Pad)

基板のVia（層間接続穴）を樹脂充填して、表面にパッドを形成する構造Viaの上にパッドを形成できるので、高密度化が可能。

フレキシブルプリント基板

薄い絶縁材（プラスチックフィルム）を使い、曲げることができる構造のプリント配線板（基板）。

フレックスリジッド配線板

フレキシブルプリント基板の上にリジッド配線板を積層し、コネクタを使わずに、配線板間の接続をとる構造。（振動、衝撃に対しての信頼性が高い。）

CIC基板 (Copper-Invar-Copper)

x,y方向の熱膨張率を抑えるため、熱膨張率の低いInvar（鉄とニッケルの合金）を中に入れた配線板構造。

CTE (Coefficient of Thermal Expansion)

熱膨張係数 部品と熱膨張率の差が少ない材料ほど、信頼性が向上する。

メタルフォイル

プリント配線板の放熱又は使用電流を向上させるため、導体厚（銅厚み）を厚くした構造のものを指す。本内容では導体厚105μmを指す。