

アプリケーションノート

AN-00-018-J

宇宙用コンポーネントの 高信頼性アップスクリーニング

Boris Benger, Mini-Circuits
Kit Cox, Mini-Circuits Japan



2023年10月

背景

宇宙環境の極端な動作条件は、修理のためのアクセスの欠如と故障に対するゼロトレランスの組み合わせにより、宇宙ミッションで使用される電子部品の徹底的な品質確認を必要とします。Mini-Circuits には、宇宙用コンポーネントのスクリーニングで成功した実績があり、この分野での経験により、これらのシステムに供給する部品の堅牢な試験および認定プログラムを確立しています。

宇宙用コンポーネントの認定要件は、プログラム、材料、コンポーネントの種類によって異なります。この記事では、宇宙システム用に供給されるコンポーネントの例または「ケーススタディ」を紹介し、宇宙搭載システム用にこれらの各製品グループをスクリーニングするために使用される典型的な認定プロセスについて説明します。

これらの例は、宇宙ミッションでの高い信頼性を確保するための認定要件を満たす Mini-Circuits の高度な技術力を強調していますが、これらは決して当社の技術力を完全に表したものではありません。お客様のプログラムの具体的な要件については、当社の日本支店 [Mini-Circuits Japan](#) にご連絡ください。

ケーススタディ 1: LTCC フィルター

Mini-Circuits の LTCC 受動部品は、堅牢な多層セラミック構造を利用することで、極めて小さなサイズと過酷な環境下での卓越した信頼性の両方を実現し、高信頼性アプリケーションに最適です。

当社の LTCC 製品ラインには、多種多様なフィルター(ハイパス、ローパス、バンドパス)、ダイプレクサ、カプラ、スプリッター/コンバイナー、90°ハイブリッド、バラントランスなどがあり、いずれもスペースレベルのスクリーニングに利用可能です。このセクションでは、特定の宇宙搭載システムのスクリーニング要件を満たすための LTCC ローパスフィルターの認定プロセスのケーススタディを紹介します。

ローパスフィルターのスペースレベルスクリーニング

今回スクリーニングされた LTCC フィルターは、標準モデル **LFCN-8400+** (図 1) を改良したものです。これは 7 セクションのフィルターで、通過帯域は DC から 8400MHz、RF 入力パワーは 8W まで対応できます。このユニットは 1206 セラミック・パッケージに収納され、動作温度は $-55^{\circ}\text{C}\sim+100^{\circ}\text{C}$ です。

この特別モデルは、部品の標準的な電気定格と環境定格を超えて、特定の宇宙飛行プログラムによって定義された一連の特別なスクリーニング要件を満たしています。この特別な要件には、ユニット端子が最小鉛含有量 3% の錫鉛仕上げで構成するという材料制限が含まれます。これは錫ウスカの成長を防ぐための標準的な要件です。この特殊部品はまた、各注文書内の部品は単一の日付コードのものでなければならないという日付コードの制限も満たしています。

この顧客は、構造と端子の構成を検証するために、製造に使用されたロットのサンプルユニットに対して破壊的物理分析 (DPA) も要求しました。またユニットは 3 つの方角からリアルタイム X 線検査を含む信頼性試験の厳格なプログラムを受ける必要があります。プログラム要件を満たすために実施される完全な認定プロセスを以下に要約します:

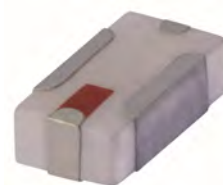


図 1: LFCN-8400+
LTCC ローパスフィルター
通過帯域 DC-8400
MHz、最大入力電力 8W

認定プロセス

破壊的物理分析(DPA)

信頼性試験を開始する前に、無作為に選んだ 3つのサンプルユニットに対して DPA が実施され、製造に使用するロットの構造と端子の構成が検証されます。米国軍用規格文書 MIL-STD-1580B は、被試験ユニットに DPA を実施する一般的なプロセスを確立するために使用されますが、LTCC ユニットの合否判定基準は MIL 規格では定義されていないため、ガイドラインとして使用し、被試験ユニットを比較して明らかに異常があるかどうかを判断します。切断されたデバイスの外部および内部検査の写真を図 2 および図 3 に示します。DPA の合否判定基準を表 1 にまとめます。

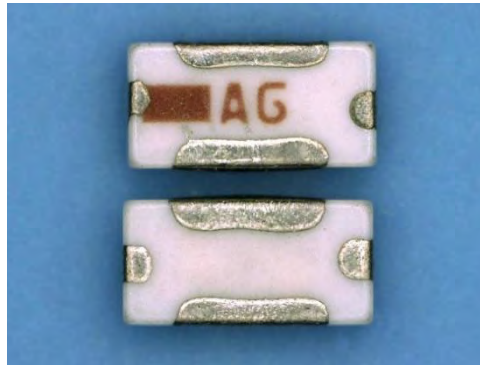
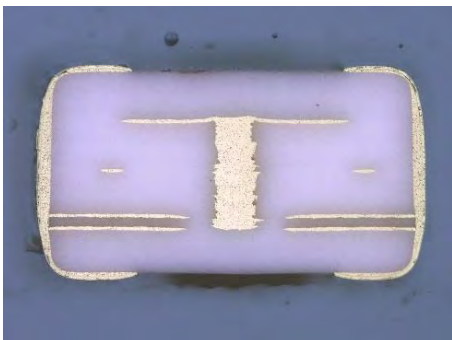


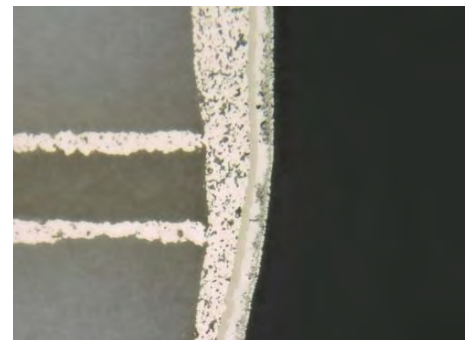
図 2: 全体像 倍率 18 倍



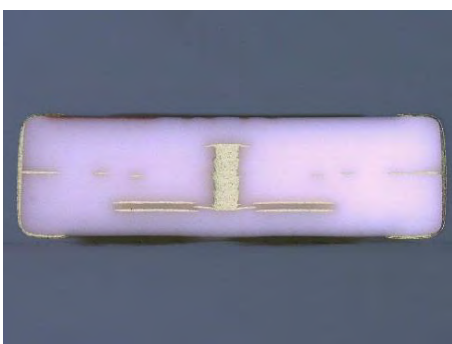
平行断面の全体像 倍率 56 倍



平行断面の詳細 倍率 191 倍



平行断面の詳細 倍率 393 倍



横断面の全体像 倍率 56 倍



横断面の詳細 倍率 191 倍



横断面の詳細 倍率 393 倍

図 3: DPA によるデバイスの断面図

信頼性試験

DPA に続いて、信頼性試験が実施されます。

信頼性試験は、スクリーニング試験と認定試験の 2 段階で行われます。

1. **スクリーニング試験:** まず、顧客に納入されるユニットの 100% がスクリーニング試験を受けます (もちろん、DPA で事前に分析されたユニットは除きます)。私たちがグループ A と呼ばれるこのグループの各ユニットは、飛行に耐えられるかどうかをチェックするために、広範な一連のテストを受けます。たとえば、このプロジェクトでは、スクリーニング フローの一部に、各ユニットのリアルタイムの放射線検査 (X 線) が含まれています。次ページの図 5 は、X 線画像によって検出される内部トレースの不均一性(クラック)の一例を示しています。

スクリーニング試験には、ユニットの飛行適性を低下させたり、ユニットの性能に影響を及ぼす可能性のある、極端な条件への曝露やテスト基板へのはんだ付けなどのテストは含まれません。

2. **認定試験:** スクリーニング試験の後、スクリーニングされたユニットの一部は、認定試験と呼ばれるより広範なテストを受けます。私たちがグループ B と呼ぶこのグループのユニットは、ユニットの飛行適性に影響を与える可能性がある、より厳しいテストを受けることになります。

各ユニットが連続して完全なスクリーニング試験を受けるグループ A のスクリーニング試験とは異なり、グループ B のユニットは複数のサブグループ (サブグループ 1、サブグループ 2 など) にさらに分割され、各サブグループのユニットは 1 つの特定の種類の認定試験を受けます。(顧客の要求に応じて、サブグループごとに独自のテストシーケンスを構成することも可能です。)

スクリーニング試験だけで、認定試験を受けないユニットは、飛行に適したユニットとしてスクリーニングレポートとともに顧客に納品されます。認定試験を受けたユニットは認定ユニットとして顧客に納入されますが、飛行には適しておらず、認定レポートとともに納入されます。どちらの報告書にも、実施された試験の範囲、試験結果、合格と判断された基準の詳細が記載されています。

DPA、スクリーニング試験、および認定試験のテスト パラメーターを以下の表 1 にまとめます。各テストの実行方法の詳細については、各行の参照規格として記載されている米国軍用規格文書 (MIL-STD) を参照してください。



図 4: ニューヨーク州ブルックリンにあるミニサーキットの研究所で実施中の環境試験

内部トレースの不均一性
(クラック)

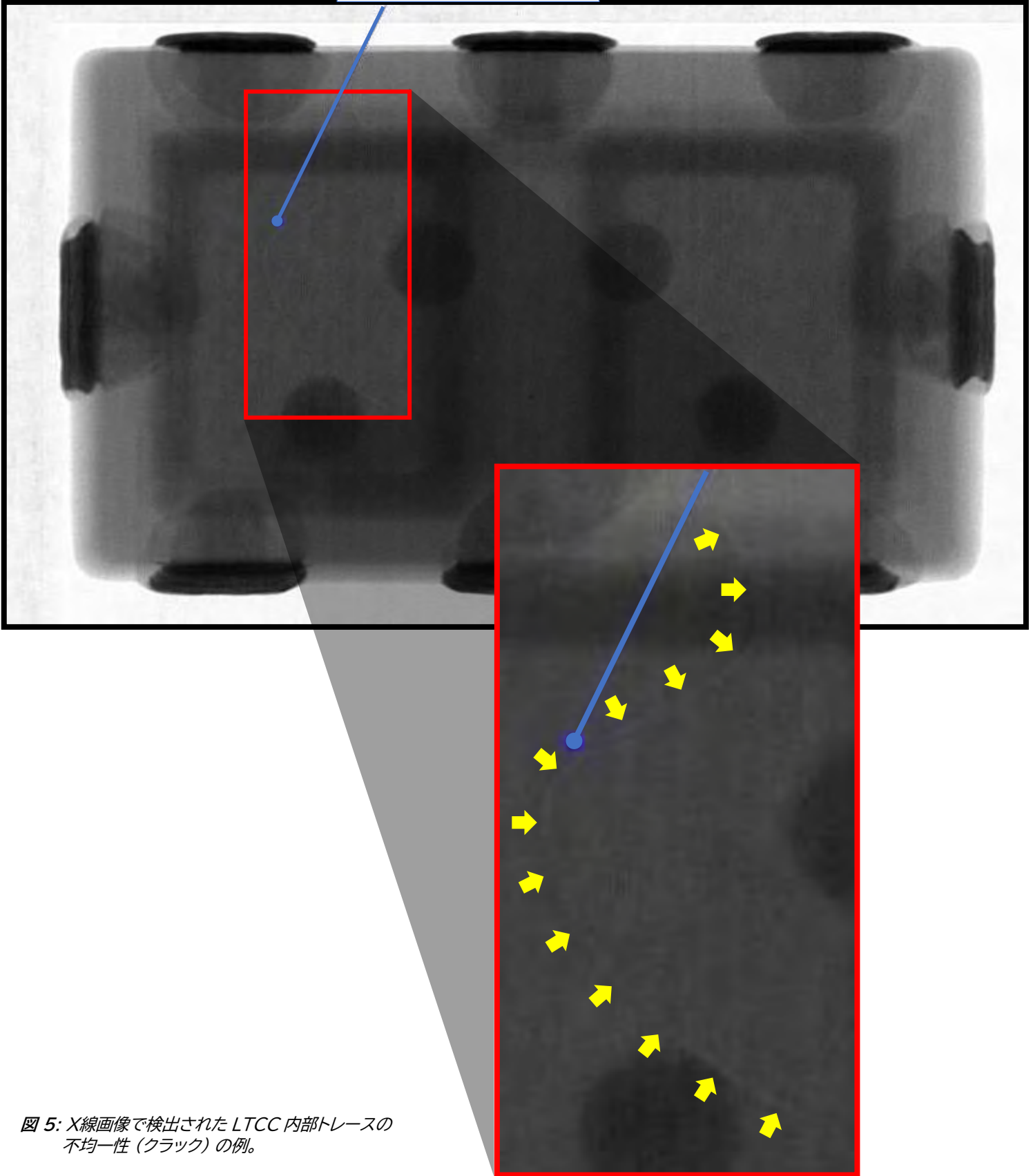


図 5: X線画像で検出された LTCC 内部トレースの不均一性 (クラック) の例。

表 1: LTCC ローパス フィルター の宇宙用 アップスクリーニング プロジェクトのプロセス概要例

DPA					
テスト項目	条件	継続時間とサイクル	参照規格	サンプル数	合否判定基準
DPA	2つの平面(平行と横断)に沿って切断されたサンプルユニット	-	MIL-STD-1580B Para. 14.1.1.1 Para. 14.1.1.3	3 units	a) 外観目視検査 b) 外部表面の禁止物質 分析 c) 切断面の内部目視検査
→ 切断されたユニットは、DPA レポートとともに顧客に届けられる					

グループ A-スクリーニング試験					
テスト項目	条件	継続時間とサイクル	参照規格	サンプル数	合否判定基準
温度ショック	-55/+125°C	10 min., 25 cycles	MIL-STD-202 Method 107	100%	a) 電気的特性 b) 目視検査
バーンイン	100°Cの雰囲気中に 96 時間 放置	96 hrs.	MIL-STD-202 Method 108 Condition A	100%	a) 電気的特性 b) 目視検査
リアルタイムX線透視検査	3 画像	-	MIL-STD-202 Method 209	100%	X線透視画像
最終目視検査および機械的検査	倍率 10 倍; 5 ユニットの寸法検査	-	-	100%	目視検査

↓ ランダムに選択された 42 ユニットが認証テストに供試されます。これらのユニットはグループ B (下記) に進み、異なるテストのサブグループに割り当てられます。

↓ 残りのユニットは、スクリーニングレポートとともに飛行準備完了ユニットとして顧客に配送されます。

グループ B-認定試験					
テスト項目	条件	継続時間とサイクル	参照規格	サンプル数	合否判定基準
耐湿性 (サブグループ 1)	+85°C、85%RH	240 hrs.	MIL-STD-202 Method 103 Condition A	12 units	a) 電気的特性 b) 目視検査
指定温度範囲での電気的特性試験 (サブグループ 2)	-25°C、-55°C および 100°C で標準電気的特性の測定実施 サンプルはテスト基板にはんだ付け	-	-	10 units	a) 電気的特性 b) 目視検査 ※ すべてのテストに提供されるシリアル化されていない個別のユニット データ
はんだ付け性 (サブグループ 3)	ユニットをテスト基板にはんだ付けし、IPC-A-610 に従って検査	-	MIL-STD-202 Method 208	5 units	a) MIL-STD-202 の要求に合致 b) 目視検査
はんだ耐熱性 (サブグループ 4)	+260°Cではんだ付け実施	-	MIL-STD-202 Method 210 Condition I	3 units	a) 電気的特性 b) 目視検査
寿命試験 (サブグループ 5)	100°Cの雰囲気中で最大 RF 電力を印可して 1,000 時間連続動作	1,000 hrs.	MIL-STD-202 Method 103 Condition D	12 units	a) 電気的特性 b) 目視検査

ケーススタディ 2: 高信頼性セラミックミキサー

Mini-Circuits は、高信頼性セラミックでハーメチックシールされた表面実装ミキサーを構築するための、高度に洗練された特許取得済み¹のプロセスを有しています。これらのミキサーは、Mini-Circuits MAC- シリーズの製品ラインナップを構成しています。

MAC シリーズには、LTCC 多層基板に埋め込まれたバランにワイヤーボンディングされた GaAs 上の半導体 IC 技術を利用したダイオード クワッドが組み込まれています (図 6 参照)。ダイオード クワッドは、制御された窒素雰囲気中で、金メッキカバーと共晶 AuSn はんだで気密封止されています。

MAC シリーズ ミキサーは、最高 12 GHz の RF 周波数と最高 2 GHz の IF 周波数をサポートしています。

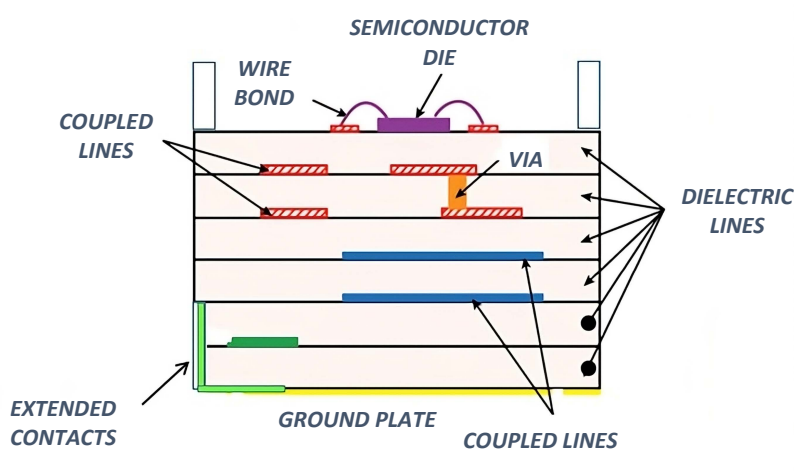


図6: LTCC 多層基板に半導体ダイをワイヤーボンディングした、Mini-Circuits MAC シリーズ ミキサーのパッケージングプラットフォーム。

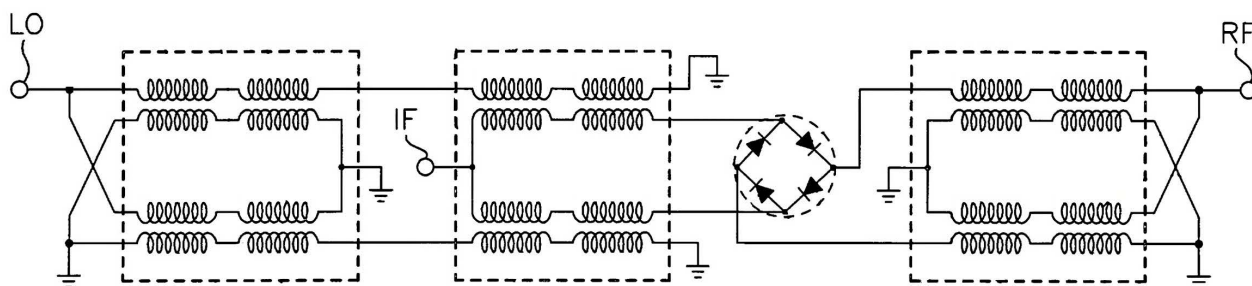


図 7: MAC シリーズ ダブルバランスミキサーの機能回路図。

¹U.S. Patent 7,027,795

MAC シリーズ セラミックミキサーのスペースレベルスクリーニング

以下は、顧客のソース管理図面に従って MAC-42+ セラミック ミキサーを使用して宇宙用アプリケーションに対して実行されたスクリーニングおよび認定試験の例です。

この表は、ウェーハの受け入れから始まるユニットの製造中および製造後にスクリーニング試験が実行される複雑な顧客のケースを示しています。この表には、グループ B として部分的に組み立てられたユニット（実装済みの封止前のダイ）と、グループ C として完全に組み立てられたユニットの認定試験が含まれます。

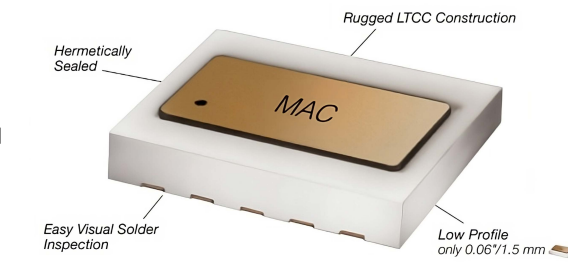


図 8: 広帯域幅(1000 - 4200 MHz)、変換損失 6.2dB (typ.) の Mini-Circuits MAC-42+ セラミック ダブルバランスミキサー

表 2: MAC-セラミックミキサーのスペースレベルアップスクリーニングプロジェクトの一例のプロセス概要

グループ A-スクリーニング試験					
テスト項目	条件	継続時間と サイクル	参照規格	サンプル 数	合否判定基準
個片化前のウェーハ検査 (寸法および電子顕微鏡)	-	-	MIL-STD-883 Method 5007	100%	MIL-STD-883 Method 5007 Table I の要求に合致
—ウェーファアの個片化—					
封止前のダイの目視検査	-	-	MIL-STD-883 Method 2010, Cond. A or B	100%	目視検査
—サブストレイト上に実装されたダイ—					
↓ ランダムに選択されたものを除くすべてのサブ ストレイト上に実装されたダイは、カプセル化と パッケージのアセンブリに進む (次の行に進む)			↓ ランダムに選択された実装ダイは、グループ B の 認定フロー (次のページ) に進む		
—ダイ封止/パッケージアセンブリ—					
ファインリーク	-	-	MIL-STD-883 Method 1014, Cond. A or B	100%	a) MIL-STD-883 Method 1014, Cond. A or B の要求 に合致 b) 目視検査
グロスリーク	-	-	MIL-STD-883 Method 1014, Cond. C	100%	a) MIL-STD-883 Method 1014, Cond. C の要求に合致 b) 電気的特性 c) 目視検査
温度サイクル	-65/+150°C	10 min., 10 cycles	MIL-STD-883 Method 1010, Cond. C	100%	a) 電気的特性 b) 目視検査
一定加速度	Y1 axis only	-	MIL-STD-883 Method 2001, Cond. E	100%	a) 電気的特性 b) 目視検査
粒子衝突ノイズの検出 (パッケージ内に閉じ込めら れた微粒子を検出するため)	-	-	MIL-STD-883 Method 2020, Cond. A	100%	a) MIL-STD-883 Method 2020, Cond. A の要求に合致 b) 電気的特性 c) 目視検査

テスト項目	条件	継続時間とサイクル	参照規格	サンプル数	合否判定基準
バーンイン	250 hrs. at +100°	250 hrs.	MIL-STD-202 Method 108 Cond. B	100%	目視検査
バーンイン後の欠陥許容率 (PDA) の計算	-	-	MIL-STD-883 Method 5004	100%	MIL-STD-883 Method 5004 および customer source control drawingによる
気密性試験 フィンリーク	-	-	MIL-STD-883 Method 1014, Cond. A or B	100%	a) MIL-STD-883 Method 1014, Cond. A or Bの要求に合致 b) 目視検査
気密性試験 グロスリーク	-	-	MIL-STD-883 Method 1014, Cond. C	100%	a) MIL-STD-883 Method 1014, Cond. Cの要求に合致 b) 電気的特性 c) 目視検査
最終目視検査	倍率10倍で検査	-	MIL-STD-883 Method 2009	100%	目視検査

↓ ランダムに選択された 85 ユニットが認定試験に供試されます。これらのユニットはグループCに進みサブグループに割り当てられます。

↓ 残りのユニットは、スクリーニングレポートとともに飛行準備完了ユニットとして顧客に納入されます。

グループ B - カプセル化される前の実装ダイの認定試験

テスト項目	条件	継続時間とサイクル	参照規格	サンプル数	合否判定基準
ワイヤーボンド強度	-	-	MIL-STD-883 Method 2011	22 wires	MIL-STD-883 Method 2011の要求に合致
ダイせん断強度 (ダイを取り付け部分からせん断するのに必要な力)	-	-	MIL-STD-883 Method 2019 or Method 2027	3 units	MIL-STD-883 Method 2019/2027の要求に合致
→ 事前封止された評価用ダイユニットは、グループBの品質レポートとともに顧客に提供されます。					

グループ C - カプセル化ユニットの認定試験

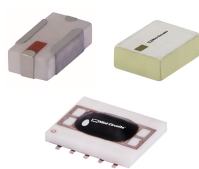
テスト項目	条件	継続時間とサイクル	参照規格	サンプル数	合否判定基準
はんだ付け性 (サブグループ 1)	-	-	MIL-STD-883 Method 2003	3 units	MIL-STD-883 Method 2003の要求に合致
寿命試験 (サブグループ 2)	100°Cの雰囲気中で最大 RF 電力を印可して 1000 時間連続動作	1,000 hrs.	MIL-STD-202 Method 108 Condition D	22 units	+25°C, -40°C, and +95°C の条件下で電気的特性を満たす
寸法精度 (サブグループ 3)	-	-	MIL-STD-883 Method 2016	15 units	MIL-STD-883 Method 2016の要求に合致
端子整合性 (サブグループ 4)	-	-	MIL-STD-883 Method 2004 Condition D	15 units	Meet requirements of MIL-STD-883 Method 2004 Cond. D
耐湿性 (サブグループ 5)	-	-	MIL-STD-883 Method 1004	15 units	電気的特性
機械的衝撃および振動 (サブグループ 6)	衝撃: 1500G 継続時間 0.5ms のパルスを 5 回印可, Y1 軸のみ	-	MIL-STD-883 Method 2002 Cond. B Method 2007 Cond. A	15 units	電気的特性

さらなる能力

この記事で紹介された認定プロセスは、2つの特定の宇宙飛行ミッションで使用されるアップスクリーニングコンポーネントの要件を満たすものであり、Mini-Circuitsの技術力の一例に過ぎません。要件は、コンポーネントの種類、材質、および各フライトプログラムに固有のその他の詳細を含む多くの要因によって大きく異なります。Mini-Circuitsは、ミッション固有の要件に合わせて各アップスクリーニングを調整します。



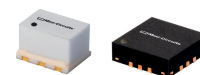
Core & Wire



LTCC



Active & Passive Die



非気密 SMT

上記の2つの例以外にも、[当社のカタログ製品とカスタム製品のほとんどは](#)、EEE-INST-002に準拠したワークフローを使用して、わずか90日でMIL規格または同等の規格に合わせて社内でアップスクリーニングできます。当社の社内スクリーニングによりコストが削減され、お客様のプロジェクト期間を短縮することができます。

テクノロジー	製品	準拠規格
Core & Wire	トランス	MIL-STD-981 for Family 11
	電力分配器	
	カップラー	
LTCC	MCL カタログ内のすべてのLTCC コンポーネント	MIL-STD-202 に準拠し、適用可能な試験方法で実施
ベア ダイ (アクティブ および パッシブ)	MCL カタログ内のすべてのダイコンポーネント	MIL-PRF-38534 Appendix C
非気密 SMT 製品	周波数逡倍器	MIL-PRF-38534 Appendix D
	電力分配器	
	集中定数型フィルター	
PEMs(MMIC)製品	増幅器	NASA-INST-001
	減衰器	
	トランス	
	フィルター(無反射)	

標準的な機能：付随する受け入れ試験手順 (ATP) による、バーンイン、熱衝撃、振動*、放射線検査*、破壊的物理解析 (DPA)*、機械的衝撃、気密性、ガス放出要件、残留ガス分析および水素中毒感受性。

*Mini-Circuitsは、テストとアップスクリーニングのほとんどを社内で行いますが、限られた一部のテストについては専門のパートナーに委託します。

Mini-Circuitsのアプリケーションサポートチームの宇宙スペシャリストは、当社の標準的な機能に加え、ほぼすべてのプロジェクトのカスタムソリューションを開発することができます。

Mini-Circuitsには、初期の政府宇宙ミッションから現代の独立企業に至るまで、宇宙レベルのスクリーニングとテストの長い歴史があり、次のプロジェクトでも喜んでお手伝いさせていただきます。

ご連絡

Mini-Circuits Japan 株式会社

〒222-0033

神奈川県横浜市港北区新横浜 3-6-12

日総第 12 ビル 6 階

電話 : 045-548-5058

Email: kit.cox@minicircuits.com

Web: minicircuits.co.jp

重要なお知らせ

本書は Mini-Circuits に帰属し、著作権、商標、およびその他の知的財産法によって保護されています。

ここに記載された情報は、Mini-Circuits がお客様への便宜を図るために提供するものであり、Mini-Circuits の部品の購入を促進し、それに付随する目的にのみ使用することができます。Mini-Circuits の書面による事前の許可なく、本書を複製、修正、配布、出版、電子データベースへの保存、送信、および本書に含まれる情報をいかなる形式または手段によっても利用することはできません。

本書は、予告なく変更、修飾、変化、調整、修正されることがあり、誤り、省略、不正確さ、間違い、欠陥が含まれることがあります。Mini-Circuits は、上記のいずれについても責任を負わず、またそのことを理由に責任を負うことはありません。従って、本書はガイドラインとしてのみ使用されるものとします。

商標

本書内で引用されているすべての商標は、各所有者に帰属します。Mini-Circuits および Mini-Circuits 製品は、上記の参照商標の所有者と提携しておらず、承認または協賛をしていません。

Mini-Circuits および Mini-Circuits ロゴは、Scientific Components Corporation の登録商標です。



Mini-Circuits[®]