

MISH TECH JOURNAL (ミッシュ・テックジャーナル) は、最新の情報をいち早くお届けする技術情報誌です。

MISH TECH JOURNAL

2019 Summer

Vol.12

Powered by



<https://www.mish.co.jp>



令和改元記念特集

MIL-STD-810G RUGGED SFF RECORDER

MILスペックの耐環境仕様データレコーダ

CONTENTS

MIL-STD-810G — P.2-4

MIL-STD-810Gとは
Method (方法)
Procedure (手順)

RUGGED SFF RF信号データレコーダ - P.5-8

XMCモジュールの重要性
小型GNSS受信機による精密タイムスタンプ
ドライブバックによる大容量ストレージ
独自の熱管理技術
軍事規格のための設計
なぜSWaPにこだわるのか
使いやすさの考慮事項
SFF RF信号レコーダのアプリケーション

デジタイザシステムの問題と解決 — P.9-13

デジタイザセットアップの問題
標準化定理 (サンプリング定理)
周波数領域 (FFT) でのエイリアシング
エイリアシング (折り返し雑音) の認識
不十分な分解能
振幅レンジの選択
不適切なカップリング
不適切なターミネーション
トリガ設定
ノイズと干渉

FPGAはシステムデバイスに変わる - P.14-17

RFSocとは
SWaPとコストの改善
ザイリンクスのZynq UltraScale MPSocとRFSoc
データ変換インタフェース
RFSocによるハードウェア設計
ソフトウェアとIP設計

ミリタリ向けコンピュータにおける空冷 - P.18-21

オフィスコンピュータとの違い
ファンの風量
実装されたカードからのシャーシ温度上昇
ファンとブローワ
シャーシノイズ
ファン障害検出とファン速度制御

新製品ピックアップ — P.22-23

Pentek社製 Model 5950
Alpha Data社製 ADM-PCIE-9H7
Alpha Data社製 ADM-PCIE-9H3
CP Technologies社製 M1U2012
Pentek社製 Model RTX 2586



最近ではスマートフォンやタブレットPCなどのモバイル端末でMIL-STD-810G準拠を謳って耐衝撃性をアピールする広告を目にするようになりました。ミルスペックと言っても漠然と「耐環境仕様になっていて頑丈なもの」と思いがちですが、ここでMIL-STD-810Gがどのような規格なのか解説します。

MIL-STD-810G

MIL-STD-810Gとは



MIL-STD-810Gとは、米国国防総省が定めた温度 / 湿度 / 高度 / 振動 / 衝撃など過酷な環境条件の為に軍用装備品の試験規格です。戦闘機、輸送機、ヘリコプタ、艦船、潜水艦、戦車、車両など非常に過酷な環境での利用を要求されるためその試験も厳しい条件下での耐久性を求められます。但し、この試験規格は設計や試験レベルの仕様を定義するものではないという事に注意してください。

MIL-STD-810Gでは29種類の試験方法(Method)を定義しています。

その機器がどのような環境で使用される事を意図しているかによって、実施する試験方法が変わります。例えば、航空機への搭載を意図している場合はMethod 500.5の低気圧(高度)試験が必要となります。以下にその試験方法(Method)の概要を説明します。

Method (方法)

1. Method 500.5

Low Pressure (Altitude) : 低気圧(高度)

低気圧(高度)テストを行い、機器が低気圧環境に耐えることができ、また急激な気圧変化に耐えることができるかどうかを評価します。

2. Method 501.5

High Temperature : 高温

高温テストを行い、機器の安全性および性能に対する高温条件の影響を評価します。

3. Method 502.5

Low Temperature : 低温

低温テストを行い、機器の安全性および性能に対する低温条件の影響を評価します。

4. Method 503.5

Temperature Shock : 温度衝撃

温度衝撃テストを行い、機器が物理的な損傷や性能の低下なく周囲の気温の急激な温度変化に耐えることができるかどうかを評価します。

5. Method 504.1

Contamination by Fluids : 流体による汚染

一時的、間欠的、または長期間にわたる汚染流体(液体)によって機器が影響を受けるかどうかを評価します。

6. Method 505.5

Solar Radiation (Sunshine) : 日射量

直射日光の機器への加熱の影響を評

表1 MIL-STD-810GのMethod

Method	Test	Method	Test	Method	Test
500.5	Low Pressure (Altitude)	510.5	Sand and Dust	520.3	Temperature, Humidity, Vibration, and Altitude
501.5	High Temperature	511.5	Explosive Atmosphere	521.3	Icing / Freezing Rain
502.5	Low Temperature	512.5	Immersion	522.1	Ballistic Shock
503.5	Temperature Shock	513.6	Acceleration	523.3	Vibro-Acoustic / Temperature
504.1	Contamination by Fluids	514.6	Vibration	524	Freeze / Thaw
505.5	Solar Radiation (Sunshine)	515.6	Acoustic Noise	525	Time Waveform Replication
506.5	Rain	516.6	Shock	526	Rail Impact
507.5	Humidity	517.1	Pyroshock	527	Multi-Exciter
508.6	Fungus	518.1	Acidic Atmosphere	528	Mechanical Vibrations of Shipboard Equipment
509.5	Salt Fog	519.6	Gunfire Shock		

価、また直射日光の化学線（光分解）の影響を評価します。

7. Method 506.5 Rain : 雨

雨、水噴霧、水滴のテストにより、機器の防水効果、材料の物理的劣化などを評価します。

8. Method 507.5 Humidity : 湿度

暖かく湿気のある環境でテストを行い、機器がそれに耐えられるかを評価します。

9. Method 508.6 Fungus : 真菌

真菌のテストにより、機器が菌の影響を受けるか、また菌の増殖を促進するかなどを評価します。

10. Method 509.5 Salt Fog : 塩霧

塩霧テストにより、保護コーティングの効果と、塩分が物理的および電氣的側面に及ぼす影響を評価します。

11. Method 510.5

Sand and Dust : 砂とほこり

砂またはほこりのテストは、隙間や接合部に入り込んだときの機器への影響を評価し、フィルタの有効性を評価します。

12. Method 511.5

Explosive Atmosphere : 爆発性雰囲気

爆発性雰囲気テストは、機器が発火を引き起こさず動作することを評価します。

13. Method 512.5 Immersion : 液浸

液浸テストは、機器が水中への浸漬または部分的な浸漬に耐えることができるかどうかを評価します。

14. Method 513.6

Acceleration : 加速度

加速度テストは、運用環境でのプラットフォームの加速、減速、操縦によって引き起こされる定常状態の慣性荷重に材料が構造的に耐え、機能することを評価します。

15. Method 514.6 Vibration : 振動

振動テストは、機器が運用環境での振動に耐え機能することを評価します。

16. Method 515.6

Acoustic Noise : 音響ノイズ

音響ノイズテストは、機器の性能または構造を容認できないほど低下させることなく、特定の音響環境に耐えることを評価します。

17. Method 516.6 Shock : 衝撃

衝撃テストは、輸送、搬送、運用環境における衝撃による機器への影響を評価します。

18. Method 517.1

Pyroshock : 火工衝撃

火工衝撃テストは、火工装置の爆発により起こる衝撃が機器に影響するかどうかを評価します。

19. Method 518.1

Acidic Atmosphere : 酸性雰囲気

酸性雰囲気テストを行い、腐食性雰囲気に対する材料および保護コーティングの耐性を評価し、必要に応じて運用上の性能への影響を評価します。

20. Method 519.6

Gunfire Shock : 砲火衝撃

砲火衝撃テストは、一時的な高速反復衝撃に機器が構造的および機能的に耐えることができるかを評価します。

21. Method 520.3

Temperature, Humidity, Vibration, and Altitude : 温度、湿度、振動、および高度

温度、湿度、振動、高度テストは、航空機搭載の機器の温度、湿度、振動、高度の複合による影響を評価します。

22. Method 521.3

Icing/Freezing Rain : 着氷/凍結雨

着氷テストは、機器が着氷により影響を受けるか評価し、除氷装置等の有効性を評価します。

23. Method 522.1

Ballistic Shock : 弾道衝撃

弾道衝撃テストは、2つ以上の物体間（液体、固体、気体）の運動量交換により起こる弾道衝撃が機器に与える影響を評価します。

24. Method 523.3

Vibro-Acoustic/Temperature : 振動音響/温度

振動音響/温度テストは、輸送機の飛行中に発生する振動、音響ノイズ、温度の相乗効果による機器への影響を評価します。

25. Method 524

Freeze/Thaw : 凍結/解凍

凍結/解凍テストは、凍結と解凍を繰り返す環境で機器が耐えることができるか評価します。

26. Method 525

Time Waveform Replication : 時間波形複製

TWRテストは、航空機や車両で発生する繰り返し振動が機器に影響するかどうかを評価します。

27. Method 526

Rail Impact : 鉄道衝突

鉄道衝突テストは、鉄道車両の衝突時に起きる衝撃が機器に影響するかどうかを評価します。

28. Method 527

Multi-Exciter : マルチエキサイター

マルチエキサイターテストは、複数の特定の環境（静止状態、非静止状態、衝撃状態等）の自由運動環境で器材が耐える事ができるかどうかを評価します。

29. Method 528

Mechanical Vibrations of Shipboard Equipment (Type I-Environmental and Type II-Internally Excited)

: 船上機器の機械的振動 (タイプI-環境およびタイプII-内部励起)

船上機器の機械的振動テストは、船舶に設置された機器の加振による影響を評価します。



また、各MethodにはそれぞれProcedureが定義されており、動作時・非動作時の試験方法が異なります。どのProcedureでテストを行っているかも重要な要素となります。

Procedure (手順)

ここでProcedureの概要をMethod 516.6 Shockを例に説明します。

Method 516.6 Shockには以下8項目のProcedureが定義されています。その機器(材料)が意図する使用環境でどのProcedureでテストするかを選択します。

- a. Procedure I - 機能衝撃
- b. Procedure II - 包装用材料
- c. Procedure III - 壊れやすさ
- d. Procedure IV - 運搬落下
- e. Procedure V - 衝突危険衝撃テスト
- f. Procedure VI - 作業台ハンドリング
- g. Procedure VII - 振り子衝撃
- h. Procedure VIII - カタパルト発艦/着艦

a. Procedure I - 機能衝撃

Procedure Iは、機能モードで機器(機械的、電気的、油圧、電子的を含む)をテストし、衝撃に対する機器(材料)の物理的完全性、継続性および機能性を評価することを目的としています。一般に、機器(材料)は、衝撃中に機能し、運用中に遭遇する可能性のある衝撃において損傷することなく機能することが要求されます。

b. Procedure II - 包装用材料

Procedure IIは、機器(材料)が輸送用コンテナを必要とする場合に使用されます。取り扱いの落下高さに対する最小衝撃抵抗レベルを指定します。衝撃レベルの定義は設計基準としてパッケージ設計者に提供されます。この手順は、ミサイル誘導システム、精密整列試験装置、ジャイロ、慣性誘導プラットフォームなど、非常に壊れやすい機器(材料)の試験を目的としていません。耐衝撃性の定量化が必要とされる非常に壊れやすい材料については、Procedure IIIを検討してください。

c. Procedure III - 壊れやすさ

Procedure IIIは、梱包材をその機器(材料)用に設計する、または輸送または取扱い要件を満たすように再設計することができますように、機器(材料)の耐久性または壊れやすさを決定するために使用されます。この手順は、構造的または機能的なシステム劣化の可能性がある限界衝撃条件を決定するために使用されます。最も現実

的な基準を達成するために、限界温度で手順を実行してください。

d. Procedure IV - 運搬落下

Procedure IVは、運搬ケース/組込ケース外またはケース内、あるいはフィールド使用に準備された機器(材料)(人、トラック、鉄道などによって運ばれるもの)を対象としています。この手順は、(1)運搬/組込ケース外、例えば定期的なメンテナンスでラックから取り外されるとき、運搬ケースに入れられるとき。(2)運搬/組込ケース内にあるとき。など通常の積み降ろしで発生する衝撃に耐えることができるかどうかを判断するために使用します。このような衝撃は偶発的ですが、機器(材料)の機能を損なう可能性があります。この手順は、輸送用コンテナ内の通常の物流環境で発生する衝撃は対象としていません。

e. Procedure V - 衝突危険衝撃テスト

Procedure Vは、衝突時に、据え付け/結束/格納構成から外れて車両の乗員およびその近くに居る人に危険をもたらす可能性がある航空機または地上車両に搭載された機器(材料)を対象としています。この手順は、シミュレートされた衝突状態の間の機器据え付け/結束/格納構成の構造的完全性を検証することを目的としています。このテストで、機器(材料)の全体的な構造的完全性、すなわち機器(材料)の一部が衝撃を受けても外れないことを検証する。この手順は、Method 513.6 Acceleration、またはMethod 514.6 Vibrationを適用する貨物として輸送される機器(材料)を対象としていません。

f. Procedure VI - 作業台ハンドリング

Procedure VIは、作業台取り扱い、作業台メンテナンス、梱包中に発生する衝撃レベルに耐える機器(材料)の能力を判断するために使用されます。このような衝撃は、機器(材料)修理中に発生する可能性があります。この手順は、機器(材料)全体に対する大きな衝撃を考慮せずに容易に損傷を受ける可能性がある突出部を有する機器(材料)の試験を含みます。この試験の性質は非常に特殊化されており、取り扱い、

メンテナンス、梱包などの作業中の機器(材料)の突起形状や損傷の状況に注意しながら、ケースバイケースで実行する必要があります。この手順は、運搬ケースまたは組込ケースの中で最大約23cm(9インチ)を超える中型から大型の機器(材料)に適しています。一般的に、小型の機器(材料)はProcedure IVの「運搬落下」においてより高いレベルでテストされます。

g. Procedure VII - 振り子衝撃

Procedure VIIは、大型の輸送用コンテナが水平方向の衝撃に耐える能力をテストし、梱包および梱包方法がコンテナに衝撃を与えたときに内容物を保護する能力を判断することを目的としています。このテストは、偶発的な取り扱いによる影響をシミュレートすることを目的としており、最終的に偶発的な影響を受けやすいコンテナに対してのみ使用されます。振り子衝撃テストは、機械的に扱われる可能性がある大型または重量のある輸送用コンテナ用に特別に定義されています。

h. Procedure VIII - カタパルト発艦/着艦

Procedure VIIIは、カタパルト発艦/着艦の対象となる固定翼航空機内またはその上に搭載された機器(材料)を対象としています。カタパルト発艦の場合、機器(材料)は初期衝撃とそれに続く搭載プラットフォームの最低周波数付近の周波数成分を持つある期間の低レベルの過渡振動の組み合わせを経験し、カタパルト事象シーケンスに従った最後の衝撃を受ける可能性があります。着艦では、機器(材料)は最初の衝撃を受けた後、取り付けプラットフォームの最低周波数付近に周波数成分を持つある期間の低レベルの過渡振動を経験する可能性があります。

このようにMIL-STD-810Gでは軍用の装備品についての試験方法を規定しており、概略はご理解いただけたと思います。MIL-STD-810Gは誰でも参照することができますのでご興味ある方はダウンロードしてご確認いただければと思います。

参考資料：

MIL-STD-810G 31 October 2008
DEPARTMENT OF DEFENSE TEST
METHOD STANDARD



RUGGED SFF RF信号データレコーダ

ここでは、PENTEK社のSFFデータレコーダの説明を元に、非常に広帯域なRF信号を取得し処理可能なスモールフォームファクタ (SFF) 堅牢型データレコーダの開発に使用されたエンジニアリング上の考慮事項と設計技術について説明します。

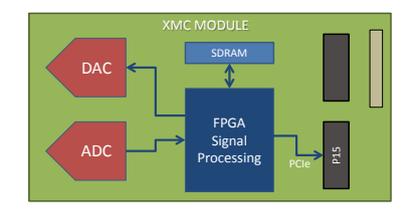
XMCモジュールの重要性

広帯域のRF信号をリアルタイムで記録する機能は、レーダ、シグナルインテリジェンス、ビームフォーミング、および電子戦システムの開発において重要な機能です。広帯域RFダウンコンバータは、優れたダイナミックレンジで、ギガヘルツのRF帯域幅を中間周波数 (IF) に変換することができます。これらの信号には、帯域全体をサンプリングするために十分に高いサンプリングレートと分解能を備えた高性能なA/Dコンバータが必要です。

最新のFPGAテクノロジーとXMCフォームファクタを組み合わせたPENTEK社のA/Dコンバータは、スモールフォームファクタ (SFF) レコーダに適した、小型パッケージで非常に高い変換レートでアナログ信号をサンプリングできるA/D変換および信号処理エンジンを提供します。このXMCモジュールはレコーダのフロントエンドインターフェースとして機能し、システムを介して数GByte/secのデータを移動するために使用されます。



図1. XMCモジュールの概略ブロック

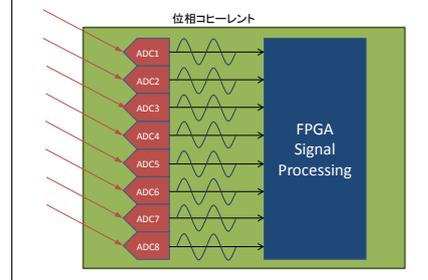


XMCモジュールは、200 MS/s (2億サンプル/秒) から6.4 GS/s (64億サンプル/秒) の範囲の最大サンプルレートを持つA/Dコンバータが利用可能です。A/Dコンバータのサンプルレートは、記録できる最大RF信号帯域幅を決定します。たとえば、80%のアンチエイリアシングフィルタを備えた200 MS/s A/Dコンバータは80 MHzの信号帯域幅を記録できますが、同様の形状のフィルタを備えた6.4 GS/s A/Dコンバータは2.5GHz以上の信号帯域幅を記録できます。非常に広い帯域幅の信号を記録する必要があるアプリケーションもあれば、狭帯域の信号の複数チャンネルを記録する機能を必要とするアプリケーションもあるので、SFF信号レコーダをサポートするXMCフォームファクタでA/Dコンバータ製品を提供することが重要です。

XMCモジュール上のA/Dコンバータと接続されたFPGAは、レコーダのための優れたデジタル信号処理エンジンを提供します。デジタルダウンコンバータ、信号検出、レーダゲート、およびタイムスタンプは標準的なFPGA IPデザインで提供される一般的な処理機能です。開発された一連のFPGA IPモジュールは、RF信号レコーダの機能を大幅に強化します。

ユーザが取得した信号の再生 (送信)、またはレーダパルスの生成のために、一般的にXMCモジュールに搭載されたD/Aコンバータを使用します。マルチチャンネルA/DおよびD/Aを搭載したXMCモジュールは、すべてのチャンネルに渡って位相コヒーレントを提供します。これは、リアルタイム信号レコーダに欠かせない機能です。

図2. 8ch ADCの位相コヒーレント



小型GNSS受信機による精密タイムスタンプ

Galileo、GPS、およびGlonassシステムのサポートにより、超小型全地球航法衛星システム (GNSS) 受信機がここ数年で登場しています。これらの小型受信機は、ナノ秒の精度で取得データのタイムスタンプをサポートします。レーサは10 MHzの基準クロックとPPS信号をレコーダのXMCモジュールに提供し、ユーザがゲートイベントまたはトリガイベントの正確なタイミングを捉えることを可能にします。

GNSS受信機はまた、システムが必要に応じて飛行経路、車両の移動、または

静的な地上位置を記録するためにレコーダの緯度、経度、および高度を記録することを可能にします。GNSS受信機は、急速な加速時の時間と位置の正確さを改善するために、広範囲の温度で動作するためのオープン制御発振器と加速度計のためのオプションを提供します。



も重要な問題です。A/Dコンバータは10W以上の消費電力を必要とし、FPGAは殆どの場合25W以上を消費します。CPUの消費電力は通常35～90Wです。高性能RAIDコントローラは約15～25Wを消費します。そしてドライブパックは数十Wを消費します。これらの消費電力を最小限に抑えることも重要ですが、熱管理はデータレコーダの設計上、最も重要な要素です。

多くのRF信号レコーダは、航空機のポッド、艦船、その他屋外環境にほとんど保護されずに設置されています。あらゆる環境で動作するためには、水、湿気、砂、ほこり、塩霧などの環境要素からすべての電子機器を保護することが重要です。気密封止されたシャーシが理想的ですが、それは同時に内部に取り付けられた電子機器の熱問題をもたらします。



SSDアレイを含む小型ドライブパックは、個別に取り外し可能なSSDでしか利用できなかったストレージ速度と容量を提供します。ドライブパックへのストレージアレイのパッケージングを設計することによって、ドライブ数の多いシステムを管理する作業は、単一のドライブパックを管理する作業に置き換えられ、非常に使いやすい利点が提供されます。

レコーダのシャーシの壁面に伝導性の放熱経路を提供する、カスタムデザインのヒートシンクを利用することは熱問題を解決する方法の一つです。しかしシャーシの壁面から効果的に放熱するためには十分な気流(風量)を必要とします。

ドライブパックによる大容量ストレージ

ギガバイト/secの速度でリアルタイムにデータをストリーミングすることは、複数のSSDのRAIDアレイ上でデータをストライピングすることによって実現可能です。高性能RAIDコントローラは、超高速の書き込み速度を提供するだけでなく、運用中に発生する可能性があるディスク障害から保護するための冗長性も提供します。RAIDコントローラはSSD機能を利用してデータの暗号化と安全な消去機能を提供します。

データレコーダに通常備えているもう一つの機能は、フロントパネルのリムーバブルドライブです。スロットに取り付けられた最大48台のドライブのアレイを、システムの正面から取り外しできます。これにより、ユーザはレコーダをラックに取り付けたままで、記録されているすべてのデータを持ち出すことができます。また、運用中のダウンタイムを最小限に抑えるために、ユーザは複数セットのドライブアレイを保有し必要に応じて交換することもできます。



写真は Model RTX 2586 のドライブパック「QuickPac」を取り外した状態です。上部中央の細長いモジュールはOS用SSDドライブです。

「QuickPac」は写真の小型パッケージに最大30TBのSSDを内蔵しており、高信頼性のコネクタで挿抜が可能です。

大型ラックマウントレコーダの機能と性能を小型SFFレコーダに維持するという課題は、データセンターによって推進されるソリッドステートストレージの需要の高まりによって促進されています。V-NANDフラッシュテクノロジーにより、SSDの容量と書き込み速度は、非常に小さなパッケージサイズでも増え続けています。ソリッドステートテクノロジーにおけるこれらの進歩は、データストレージアレイを小型化するための道筋を提供し、大型システムと同等の性能と機能を備え、シンプルでより小さなデザインを可能にします。

「QuickPac」に使用している高挿抜サイクルコネクタは、ラックマウントシステムで一般的に利用可能な標準のSATAコネクタよりもはるかに信頼性の高いリムーバブルストレージメディアのメカニズムを提供します。適切に設計されたドライブパックは数十テラバイトのデータを保持することができ、ギガバイト/secの記録速度が可能です。このようにドライブパックは、レコーダを車両や航空機に取り付けたまま、簡単に取り外せるように設計する必要があります。

独自の熱管理技術

データ記録媒体のパッケージサイズの小型化における問題の1つは、ドライブパックがその最高性能で機能することを可能にする熱環境を維持することです。温度環境が適切に管理されていない場合、SSDメモリコントローラはアクセス速度を抑制します。この問題は、記録媒体だけでなく、SFFレコーダのすべての電子機器にとって



この場合、プレナムチューブを使用することで、シャーシ全体に空気経路を作り、より効率的な冷却効果を実現できます。プレナムチューブの壁に統合されたカスタムヒートシンクは、電子機器のすべてのヒートシンクを通して空気を直接流すことで、最高レベルの冷却を実現します。これにより、すべてのシステム電子機器を適切に冷却しながら外部環境から密閉されたままにすることができます。



ファンをプレナムに組み込むことでヒートシンクを通る空気の流れが確実になり、優れた冷却ソリューションが得られます。これは、駐機場でアイドリングしている航空機や、砂漠を走っている軍用車両など、暑い環境で動作するシステムに適しています。しかし、低気圧での航空機ポッドや北極圏を飛行する無加圧UAVなど、寒い環境はどうでしょうか。RF信号レコーダが非常に低い温度で動作することも同様に重要となります。

すべてのシステム電子機器を外部環境から密閉することの利点の1つは、電子機器が低温環境に直接さらされている場合よりも、電子機器が自己発熱しやすいことです。プレナムチューブ内のファンがヒートシンクに冷たい空気を送っている場合、こ

の自己発熱プロセスは機能しなくなります。そのため、このファンを制御することが非常に重要です。

周囲環境を監視し、自己発熱を可能にするためにファンをオフにし、コンポーネントが高温になったときにファンをオンするために、内蔵ファンコントローラを利用する必要があります。高温と低温のバランスは簡単に制御でき、最終的に広い温度範囲で動作できる記録システムを実現します。このような温度管理対策は、レコーダの電子機器に理想的な環境を提供するのに有効ですが、インダストリアルグレードの部品を利用することも重要です。

軍事規格のための設計

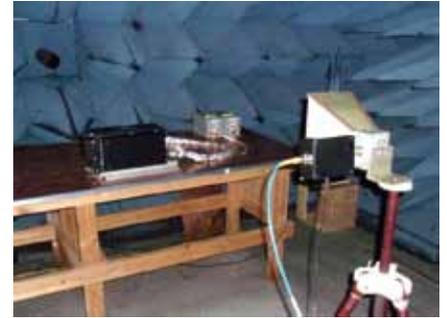
MIL-STD-810 ENVIRONMENTAL ENGINEERING CONSIDERATIONS AND LABORATORY TESTSは、耐用年数を通して経験する環境条件に合わせて機器の環境設計および試験方法を定義する米国の軍事規格です。この規格はまた、環境自体を模倣するのではなく、機器に対する環境の影響を再現するテストチャンバ方式を確立しています。

MIL-STD-810規格のできるだけ多くの基準を満たすことは、信頼性が高く堅牢な製品を提供するために不可欠です。定位ガスケットを備えた陽極酸化処理された金属は、雨、湿気、真菌、塩霧、砂やほこりにさらされないように密封され保護を可能にします。CADソフトウェアは、熱設計と構造の完全性を支援するためのシミュレーション解析ツールを提供します。適切に実行された設計技術でスムーズな実験室試験プロセスの保証を助けます。

MIL-STD-461は、RF信号レコーダ用のもう1つの一般的な軍事仕様の要件です。MIL-STD-461は、国防総省(DoD)の活動および機能による使用のために設計または調達された電磁干渉(EMI)エミッションおよび電子機器、電気機器、電気機械機器およびサブシステムの感受性特性の制御に関する要件を規定しています。

RFテストラボでは電波暗室を使用して、放射エミッション、放射感受性、伝導放射、および周波数レンジに対する伝導感受性を含む一連のMIL-STD-461テストを実

行しています。電源リード線では、18 GHzまでの放射範囲と10 MHzまでの伝導範囲をカバーするのが一般的です。



反復的な実験室試験は非常に高価になるため、MIL-STD-461準拠を満たすために適切な設計手順を実行することが重要です。EMIを制御するために使用される設計技術は、放射された電磁放射および感受性を防止するためのRF放射フィルタおよびRFガスケットの使用を含みます。さらに、内部電源用に設計されたEMIパワーフィルタを使用して、電磁放射エミッションと感受性から保護することができます。

なぜSWaPにこだわるのか

SWaPという用語は、サイズ、重量、および消費電力が小さい電子システムの要件を説明するために一般的に使用される流行語となりました。なぜSWaPにこだわるのか?その多くは、無人車用に十分に小さく洗練された電子機器と関係があります。もう1つは、コンピュータの電源、ディスプレイ、通信、およびセンサーを、負担の大きい歩兵に配備することです。今日、省電力で小型軽量の電子システムに焦点を合わせているのは、可能な限り多くの機能を最先端の戦闘にもたらすことに関係しています。



RF信号レコーダのサイズを小型化することに焦点を当てていますが、軽量化と電力削減のための設計には更なる対策が必要です。幸いなことは、重量と電力が直接の関係にあるということです。それは、消費電力が少ないほど、システムによって消費される熱量が少なくなるからです。伝導によってシステムの電子機器から熱を除去するには、アルミニウムや銅などの導電性材料が必要です。銅は熱伝導にはより効果的ですが、その密度はアルミニウムよりはるかに大きいため、レコーダに望ましくない余分な重量が加わります。

軽量化の設計には、システムの消費電力を最小限に抑え、システム内に設計された冷却チャンネルへの効率的な熱経路を備えたアルミニウムのような軽量材料を使用する必要があります。高速記録システムは、莫大な処理能力を必要としないことが多く、ハードウェアDMAコントローラがディスクへの書き込みに使用されるので、通常、プロセッサはデータフローを単に「管理する」ために使用されます。

Intelの最新のCore i7プロセッサは現在、低クロックレートと低消費電力バージョンで提供されています。2.4GHzのクロックで動作する第8世代のCore i7は、最大消費電力を35Wに制限し、最小限25Wまでに設定することができます。

使いやすさの考慮事項

SWaP係数はSFF RF信号レコーダの開発における重要な設計上の考慮事項ですが、システムがハードウェアとソフトウェアの両方の観点から使いやすいように設計されていることも同様に重要です。標準的なフォームファクタでシステムを設計すると、一般的で実績のある設置面積で使い慣れた取り付けメカニズムを提供することで、設置プロセスを簡素化するのに役立ちます。ARINC 404は、航空機内のLine Replaceable Unit (LRU; ライン交換可能ユニット)とそのラック収納システムの機械的寸法を規定した航空規格です。ARINC 404では、いくつかのサイズのATR (Air Transport Racks) の寸法を規定しており、レコーダの標準的な設置面積を選択できます。



航空機または車両には恒久的に設置することができるが、それでもユーザにアクセスしやすいシステムを設計することが重要です。ファン、ドライブ、およびレコーダ内の不揮発性メモリやその他、交換が容易なモジュール式コンポーネントにより、システムのメンテナンスが容易になり、機密データやその他のデータを消去することができます。すべての取り外し可能なコンポーネントは、特別なツールを必要とせずに、システムの前面パネルからアクセスできる必要があります。

ソフトウェアには、システムを制御するための簡単でシンプルなアプリケーションプログラミングインターフェイス (API) と、ユーザが記録データを即座に分析できるようにする一連のRF信号分析ツールが含まれています。RF信号レコーダは通常、外部コンピュータからユニットを制御するためのギガビットイーサネットインターフェイスを提供しています。このインターフェイスは、データを記録する前、記録中、記録後にユーザがRF信号を監視できるようにデータを取得することにも使用できます。

無人環境でレコーダを操作できるようにするには、レコーダをリモート制御できることが不可欠です。このような環境では、多くの場合、ユーザが専用の制御インターフェイス(API)を作成する必要があります。ユーザが箱から出してすぐにシステムを操作できるようにするため、完全に機能的なグラフィカルユーザインターフェイス (GUI) を提供することも望ましいです。この場合、GUIもリモートで実行できます。

SFF RF信号レコーダのアプリケーション

RF信号の記録は、レーダ、シグナルインテリジェンス、ビームフォーミング、または電子戦システムの重要な構成要素です。適切に設計されたシステムは、小型、軽量、低消費電力、そして広範囲の動作環境で動作可能な優れたRF信号集録ハードウェアを提供します。ドライブパックやその他の保守可能なモジュール式コンポーネントなどの機能により、RF信号レコーダを狭いスペースに簡単に設置および保守できるため、超広帯域のRF信号記録をこれまで不可能だった場所に配置することができます。



超広帯域RF信号レコーダにより、エンジニアは広帯域レーダシステムとSIGINT機能に必要な大量のRFスペクトルを捉えることができます。ギガヘルツ以上のRF帯域幅のリアルタイム記録は19インチラックマウント型システムで一般的に利用可能ですが、UAV、航空機ポッド、またはその他の限られたスペースに適したフォームファクタにこの機能を縮小することは業界にとって困難でした。小型で頑丈なパッケージは、大規模システムで提供されるのと同様のストレージ容量とデータレートを提供しながら、あらゆる環境で動作できなければなりません。



デジタイザシステムの 問題と解決

デジタイザ (A/D ボード) を使用する
場合、正しい使用方法で使用すること
で期待する結果を得ることができます
が、間違った使用方法で使用すると
それは時間を浪費することになり、
期待する結果が得られないこと
になります。ここでは、デジタイザ
を使用する場合の一般的な問題点
とその解決方法を解説します。

デジタイザセットアップの問題

デジタイザを使用して測定を行う際には、データ劣化により時間を費やす可能性のある一般的なセットアップの問題に注意することが重要です。発生する可能性があるセットアップ問題には、

1. エイリアシング (折り返し雑音)
2. 分解能が不十分
3. 振幅レンジ設定が正しくない
4. カップリングが適切でない
5. 終端処理が適切でない
6. トリガ設定が適切でない
7. 過剰ノイズとスプリアス

があります。ここでは、これらの各問題を調べこれらのエラーの発生を防ぐ方法について説明します。

標本化定理 (サンプリング定理)

デジタイザ (A/D コンバータ) ができて以来、入力信号のサンプリングによるエイリアシングは、標本化定理 (サンプリング定理) として知られており、原理的に発生する現象です。デジタイザやデジタルオシロスコープなどのサンプリングデータ機器では、標本化定理に基づいて入力に存在する最高周波数成分の2倍以上の周波数でアナログ信号をサンプリングする必要があります。この基準が満たされていないと、エイリアシング (折り返し雑音) が発生する可能性があります。

現在のデジタイザ設計は一般に、アナロ

グ帯域幅を大幅に超えるサンプリングレートの A/D コンバータを組み込んでいます。これを大容量の取得メモリと組み合わせることで、このエイリアシングを最小限に抑えます。しかしながら、サンプリングレートを低く設定した場合は、エイリアシングに注意する必要があります。

サンプリングシステムは入力アナログ信号をサンプリングし、デジタルの数値データを保存します。サンプルレートが標本化定理を満たしている場合は、情報を失うことなく信号を再現できます。アナログ入力

波形が最大周波数の2倍未満でサンプリングされた場合、デジタルデータは再現できず、オリジナルよりも低い周波数の波形をもたらします。図3は33MHzの正弦波を500MS/sでサンプリングした場合と、31.25MS/sでサンプリングした場合の波形を示しています。

周波数領域 (FFT) でのエイリアシング

周波数領域 (FFT) でも同じ効果が見られます。これを図4に示します。

図3. 33MHz 正弦波を 500MS/s と 31.25MS/s でサンプリングした例

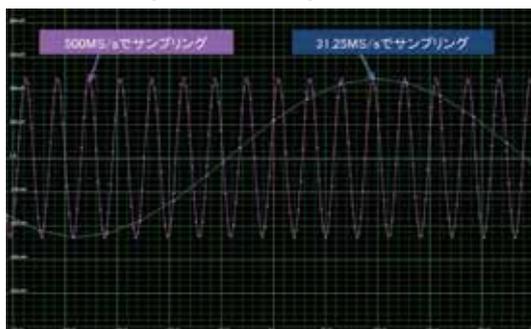
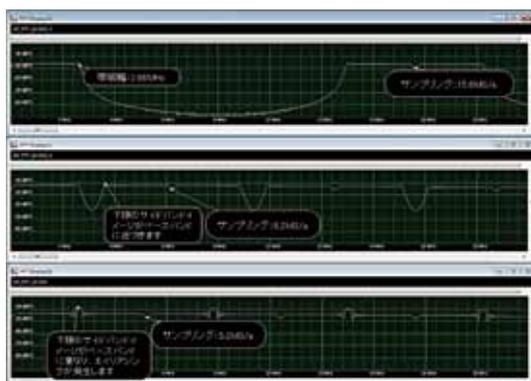


図4. エイリアシングを周波数領域で確認



入力信号は、最大周波数2.66MHzの正弦波掃引です。サンプリングはミキシングプロセスであり、ベースバンド信号(0 ~ 2.66 MHz)はサンプリング周波数の倍数に複製(折り返し)されます。そのため、一番上の計測では、15.6MS/sでサンプリングされた入力信号が右側と左側に確認できます。ベースバンド信号は、15.6MHzのサンプリング周波数を中心にした上側および下側にイメージとして複製されます。中央の計測のようにサンプリングレートが6.2MHzに低下すると、下側のイメージがベースバンド信号に近づきます。一番下の計測では、サンプリングレートがナイキスト限界(最大入力周波数の2倍、つまり5.2 MS/s)まで引き下げられています。このサンプリング周波数では、サンプリング周波数の下側イメージがベースバンド信号と干渉しエイリアシングが発生することがわかります。

エイリアシング(折り返し雑音)の認識

エイリアシングは通常、元の信号よりも低い周波数の波形になります。測定された信号の周波数を知り、それがエイリアスされていないことを確認するために検証するのは良い手法です。デジタイザが入力信号でトリガされた場合、エイリアス信号も不安定に見えます。これは、デジタイザが入力信号でトリガされ、エイリアスの周波数が低いと複数のトリガポイントが発生して不安定になるためです。

利用可能な最大サンプリングレートですべての信号を取得し、必要に応じてサンプリングレートを下げるのが良い手順です。エイリアシングが発生した場合は、サンプリングレートが低いため取得信号の周波数が低下します。

不十分な分解能

デジタイザは、アナログ/デジタル変換器(ADC)を使用して、アナログ信号をサンプリングしてデジタル値に変換します。

ADCの分解能は、入力サンプルをデジタル化するために使用するビット数です。nビットADCの場合、生成される離散デジタルレベルの数は2のn乗です。したがっ

て、12ビットデジタイザは4096レベルに分解することができます。最下位ビット(lsb)は検出可能な最小間隔を表し、12ビットデジタイザの場合は1/4096です。LSBを電圧に変換するにはデジタイザの入力範囲をデジタイザの分解能で割ります。

分解能は測定の精度を決定します。デジタイザの分解能が高いほど、測定値はより正確になります。8ビットのADCを備えたデジタイザは、入力信号の垂直レンジを256の離散レベルに分解します。1Vの垂直レンジでは、8ビットADCの場合 $1 \div 256 = 3.91\text{mV}$ となり3.91mVより小さい電圧差を検出できません。一方、65,536の離散レベルを持つ16ビットADCの場合、 $1 \div 65,536 = 15\mu\text{V}$ となり15 μV の電圧差を検出することができます。

高分解能デジタイザを使用する1つの理由は、微小信号を測定することです。最小電圧レベルの計算方法に基づいて、低い電圧を測定するために低分解能の機器と低入力レンジを使用することができますが、多くの信号は小さな信号成分と大きな信号成分の両方を含んでいます。したがって、大きな電圧成分と小さな電圧成分の両方を含む信号の場合、高いダイナミックレンジと小信号と大信号を同時に測定するデジタイザの機能を備えた高分解能の機器が必要です。

異なる分解能のデジタイザを利用した場合の波形の形状を調べてみましょう。図5は、減衰した正弦波で、12ビット、14ビット、16ビットのデジタイザ出力波形を比較したものです。

入力信号は減衰しており振幅が小さくなっています。14ビット(赤)と16ビット(青)のデジタイザは依然として信号を正確に表現するのに十分な分解能を持っていますが、100 μV の分解能($\pm 200\text{mV}$ のフルス

ケールレベルに基づく)の12ビットデジタイザは100 μV より小さいレベルを分解することができません。読み取り誤差は、どの分解能でも信号振幅が小さいほど大きくなります。但しこれは理想的なケースであることに注意してください。現実の世界では、ノイズが正確さと精度を制限します。

また、フィルタリングやアベレージングなどの信号処理ツールはデジタイザの分解能を向上させることができますが、デジタイザを選択する前に測定のダイナミックレンジの要件を考慮してから、適切な分解能のデジタイザを選択することが重要です。

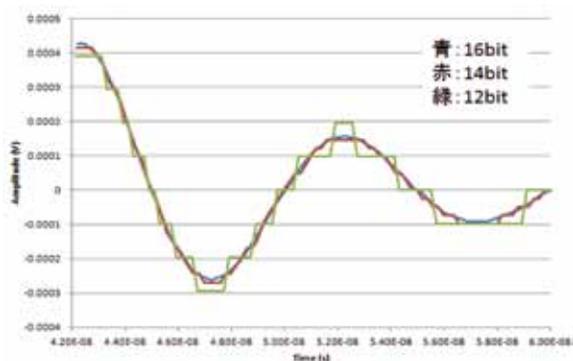
振幅レンジの選択

高性能のデジタイザは、複数の測定要件に対応するために幅広い入力電圧レンジを提供します。使用する振幅レンジを選択する際を守るべき一般的な規則は、入力信号がデジタイザのフルスケールレンジの大部分を占めるようにすることです。可能であれば、利用可能な範囲の90 ~ 95%で利用することをお勧めします。そうすることで、利用可能なダイナミックレンジと信号対雑音比(S/N比)が最大になります。

ここで最も一般的な誤りは、デジタイザのダイナミックレンジのごく一部しか使用しないことです。たとえば、 $\pm 2\text{V}$ の入力信号を、 $\pm 5\text{V}$ のフルスケールレンジで使用することです。図6を参照してください。

入力信号は $\pm 2\text{V}$ の減衰正弦波です。この信号を、 $\pm 2\text{V}$ 、 $\pm 5\text{V}$ 、 $\pm 10\text{V}$ のレンジで取得します。 $\pm 2\text{V}$ レンジを使用したフル信号波形は左のウィンドウに表示されています。カーソルの位置(赤と青の垂直線)を拡大したのが右側のウィンドウに表

図5. デジタイザの分解能比較



示されています。±2Vレンジで取得された波形(赤)は、最も低いノイズレベルであることに注目してください。±5V(黄)と±10(青)のレンジで取得した波形は、ノイズレベルが高くなります。

アッテネータが信号経路内にあるときに発生する問題の1つは、フロントエンドのアッテネーションに合わせて、機器の内部ノイズ振幅が(アッテネータの入力に対して)増減することです。したがって、ノイズレベルが58uV rmsのデジタイザがあり、10:1の減衰器を追加すると、入力を基準としたノイズレベルは580uVになります。ノイズレベルは、減衰させたフルスケールレンジの相対比率と同じですが、低い信号レベル(10Vレンジで5V信号など)を使用する場合は、ダイナミックレンジを半分だけ使用することで6 dB減少し、S/N比を減少することができます。

もう1つの一般的なセットアップの誤りは、低いレンジで信号を取得することです。信号がフルスケール範囲を超えるとクリッピングが発生します。過大入力デジタイザの最大電圧範囲を超えると、デジタイザが損傷する可能性があります。過大入力領域では情報が不足しているため、波形のこの部分は役に立ちません。高速フーリエ変換(FFT)やデジタルフィルタリングなどの一部の信号処理機能は、過大入力データに基づいて誤った結果を生成します。

デジタイザの過大入力リカバリ機能によっては、範囲内の波形が歪むことがあります。この機能を使用して、大きな信号がある状態で小さな信号を確認したい場合は、図7に示すように低レベルの信号が歪んでいないことを慎重に確認する必要があります。

入力信号は、50mVの正弦波を含んだ1Vの方形波です。1Vレンジでのデジタイザの出力は、基準波形(白)として示しています。500mVレンジの出力(赤)は、わずかな初期遅延を示していますが、約70 nsですぐに回復しています。入力が5:1(200mVのレンジ、青)で過大入力になると、初期遅延は約8nsになり、リカバリに70nsかかっています。測定された波形はデジタイザの過大入力リカバリ期間中に歪み、歪みは過大入力の程度に依存します。デジタイザのフロントエンドを過大入力にするよりも、より広いダイナミックレンジを持つデジタイザを使用し、ズーム機能を使

用して取得信号を拡大することをお勧めします。

不適切なカップリング

Spectrum社のM4iシリーズのようなデジタイザの入力カップリングは、入力信号をACまたはDC結合する機能を提供します。DC結合は、DCオフセット(ゼロ以外の平均信号)を含む信号全体を表します。AC結合は、定常状態の平均値(DC)を排除します。AC結合は、DC電源出力のリップル測定などの計測に役立ちます。AC結合がないと、DC出力に大きな信号減衰が必要になり、リップルを正確に測定することが難しくなります。AC結合では、より

高い入力感度を使用することができ、その結果、リップル成分の測定が向上します。

AC結合の主な仕様は、AC結合周波数応答の低周波数カットオフ(-3dBポイント以下)です。これは、AC結合によって低周波信号がどれだけ減衰されるかを決定します。これは機器に適用されるDCレベルが変化した後に入力レベルが安定するのにかかる回復時間にも関係しています。一般に、カットオフ周波数が低いほどカップリングコンデンサは大きくなり、回復時間は長くなります。

AC結合に関する問題は、一般にデジタイザのAC結合のカットオフ周波数の近くまたはそれより低い周波数成分を有する信号を測定しようと試みることに関連します。図8を参照してください。

図6. 異なる振幅レンジで取得した例

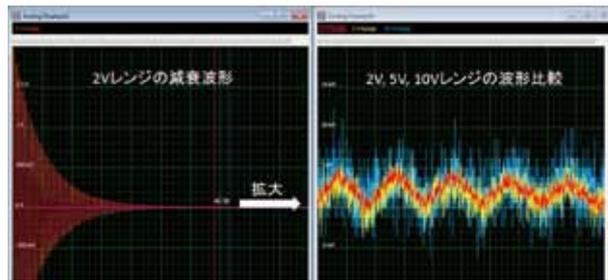


図7. クリッピングによる波形歪みの例

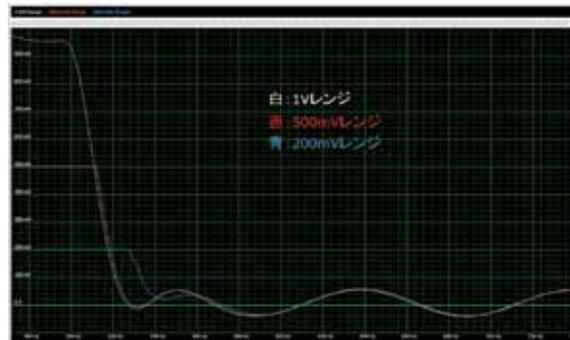
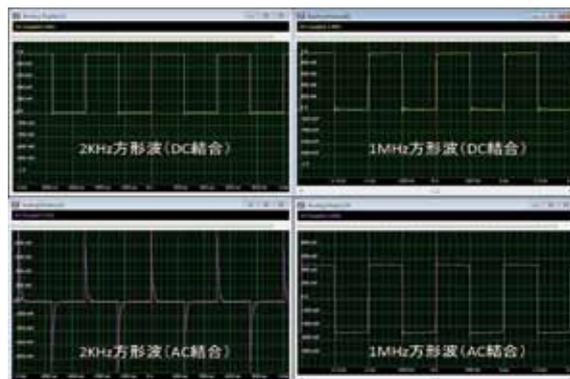
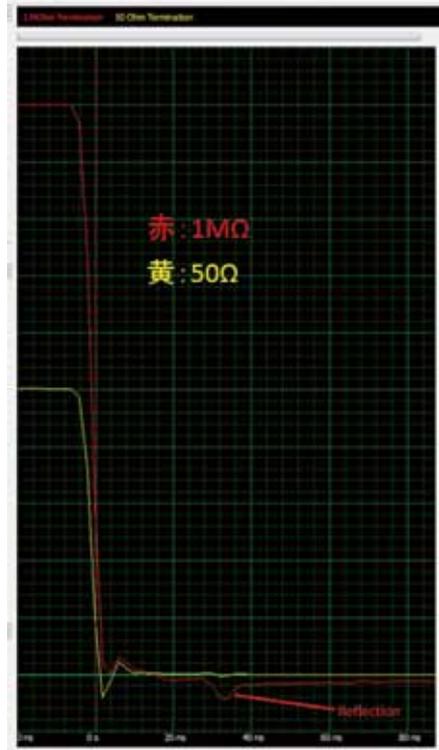


図8. DC結合とAC結合



入力信号は、ゼロ以外の平均値を持つ2つの方形波です。1つは2kHzの周波数(左上)、もう1つは1MHz(右上)です。どちらもデジタイザのAC結合入力に接続します。ここで、デジタイザは30kHzの低いカットオフ周波数を持っています。右下のウィンドウに示すように、AC結合を使用すると、1MHzの方形波からDCオフセットが除去されます。一方、左下のウィンドウに示すように、30kHzのカットオフ周波数より低い2kHzの方形波は微分されます。結合回路は高周波成分のみを通過させ、信号のエッジのみを通過します。信号周波数が高くなると、AC結合の影響は減少します。下側カットオフ付近の周波数は「傾き」を示します。方形波の上部が右下に傾斜します。そのため、デジタイザのAC結合のカットオフ周波数を知ることが重要です。1メガオーム(M Ω)の入力終端を使用するデジタイザのカットオフ周波数は2Hzであり、これにより良好な信号忠実度でより優れた範囲の信号周波数が得られます。

図9. 終端の違いによる歪み



不適切なターミネーション

測定器は電源を正しく終端する必要があります。ほとんどの無線周波数(RF)測定では、一般的に50 Ω 終端が使用されています。終端整合は、反射による信号損失を最小限に抑えます。50 Ω マッチングの性能指数は、リターンロスまたは電圧定在波比(VSWR)です。これらの性能指数のどちらも、インピーダンス整合の品質を示しています。

信号ソースの出力インピーダンスが高い場合は、1M Ω の高インピーダンス終端とより適切に整合されているため、回路負荷が最小限に抑えられます。1M Ω 終端では、負荷インピーダンスをさらに増加させるハイインピーダンスプローブを使用することもできます。

ビデオ用の75 Ω やオーディオ用の600 Ω など、その他標準的な終端とのインピーダンス整合は、1M Ω の終端と適切な外部終端を組み合わせることによって実現できます。

誤った終端を選択すると、図9に示すように、波形歪みが生じる可能性があります。

この例の信号源は、50 Ω の出力インピーダンスを持つ任意波形発生器(AWG)です。デジタイザで50 Ω 終端(黄)が選択されていると、入力には1Vから0Vまでのステップ電圧が表示されます。これはAWGで選択された信号振幅です。1M Ω 終端が選択されている場合(赤)、振幅は2倍になり(50 Ω ソースが終端されていないことから予想されるように)、負のステップの後32nsで反射が発生します。この反射は、測定のデジタイザ側の不一致によるものです。1M Ω 終端を選択すると、2つのシグナルインテグリティエラーが発生します。これは、経験の浅いエンジニアが遭遇すると、不要なトラブルシューティングの原因となる可能性があります。測定している信号を常に正しい負荷インピーダンスで試して終端することをお勧めします。

トリガ設定

トリガは、信号を取得してデジタル化する機器にとって不可欠な機能です。最も一般的なトリガ方法は、デジタイザチャンネルの1つに入力される信号を使用します。基本原理は、波形上の定義されたポイントが検出され、この「トリガイvent」が取得

データ上の既知の位置としてマークされることです。トリガ機能は、時間測定値を特定の既知の時点にリンクすることです。繰り返し信号の場合、ある集録の測定値を他の集録のものと比較できるようにするには、トリガが安定している必要があります。

信号波形、レベル、タイミングは様々であるため、デジタイザのトリガ回路は非常に柔軟である必要があります。主なトリガ入力ソースはデュアルトリガレベルコンパレータを含み、複数のトリガモードをサポートします。Spectrum社M4iシリーズのような最新のデジタイザはすべて、シングルおよびデュアルスロープエッジトリガ、リアーム(ヒステリシス)トリガ、ウィンドウトリガを備えています。マルチソーストリガには、関連するトリガゲートジェネレータがあります。トリガモードと設定が多数あることを考えると、適切なトリガ条件を選択することは困難です。最も一般的な問題は、誤ったトリガレベルを使用していること、および波形内の複数のトリガイventを処理できないことです。これらの問題は両方とも、実際にトリガ信号を見ることで対処できます。Spectrum社のSBench 6ソフトウェアは、トリガレベルがトリガ波形の上に重なって表示されるようにすることで、トリ

が設定を支援します。さらに、図10に示すように、トリガ設定はそれを詳細に説明するポップアップウィンドウによって文書化されています。

トリガソース波形を表示すると、適切なトリガレベルを選択できます。この場合、ポジティブアームまたはヒステリシストリガモードが使用されています。トリガソースはノイズの多いパルス波形です。目的は、ノイズの影響を最小限に抑えながら、信号でデジタイザをトリガすることです。このトリガモードには2つのトリガレベルがあります。最初のTrigLvl1がトリガを有効にします。波形が立ち上がりでこのレベルを超えると、2番目のTrigLvl 0がデジタイザの集録をトリガします。これは、図に示すチャンネルトリガポップアップで説明されています。リアームトリガは、ノイズがある場合に確実にトリガするために使用されます。2つのトリガレベルの違いはトリガヒステリシスで、これは波形上の標準的なノイズスパイクよりも大きくなるように設定されています。この場合、デジタイザはアームレベルとトリガレベルの間のノイズスパイクを無視します。デジタイザのトリガは低いトリガレベルで作動しますが、ノイズスパイク振幅

はヒステリシスを超えていないため、波形の立ち上がりが再開したときにデジタイザがトリガします。

ノイズと干渉

高分解能デジタイザは内部ノイズを最小限に抑えるように設計されており、ダイナミックレンジが大きいいため、外部ノイズや干渉信号が混在しないようにすることが重要です。干渉信号は、信号ケーブルまたは放射信号により測定値に影響します。

伝導ノイズは一般的に、2つ以上の回路要素が異なるグラウンドを基準としているグラウンドループによるものです。正確な測定には適切な接地が不可欠です。グラウンドループは50/60 Hzとそれに関連する高調波をシステムに誘導します。これらはフィルタすることができますが、可能な限りそれを避けることを試みることをお勧めします。その他の伝導経路は、電源バスから結合されたスプリアス信号が含まれます。このタイプの干渉の例を図11に示します。

10 MHz発振器の出力が右下のウィンドウに表示されています。発振器出力の

FFT(左ウィンドウ)を見ると、10 MHzの搬送波から1 MHzの間隔でサイドバンドが見られます。これは、発振器の出力が1 MHzのソースによって変調されていることを示しています。発振器に供給する5Vの電源が右上のグリッドに表示されていますが、振幅40mV、1MHzp-pのリップルがバスに乗っていることがわかります。これがオシレータ出力の1MHz変調の原因となります。

放射ノイズは、容量結合、誘導結合、またはRF結合によるものです。干渉は、信号源から被試験回路の配線に直接放射されます。この干渉の影響は、結合の性質と回路構造によって異なります。

外部ノイズや干渉はデジタイザ側の問題ではありませんが、測定のセットアップが計測の不確かさの原因となる可能性があることに注意してください。測定システムでノイズとスプリアスを低減するための手法を以下に示します。

- 可能な限り低インピーダンス終端(50 Ω)を使用する
- 正確な測定に必要な最小帯域幅を使用する
- 測定器側で低ノイズのアースに接続されたシールドケーブルを使用する
- 低周波信号には、差動入力を備えたデジタイザ及び差動ケーブルを使用する
- 被試験回路からできるだけ離れた場所に放射源を配置する
- 磁気シールドを使用してモーターやその他の電磁装置の放射ノイズを減らす
- すべての測定器を共通の低ノイズのアースに接地する
- 高品質、低損失のケーブルを使用する
- ケーブルが動いたり振動したりすることがないようにケーブルを固定して摩擦電気の発生を減らす
- 被試験回路内のすべての電源接続を適切にフィルタリングする

ここでは、デジタイザベースの測定システムにおける一般的なエラーの原因をいくつか紹介しました。デジタイザ製造元のWebサイトを参照して、デジタイザをより効果的に利用する方法の詳細については、アプリケーションノートを参照してください。ここでご説明した内容が、少しでもお客様の問題解決のヒントとなれば幸いです。

図10. トリガ設定ポップアップウィンドウ

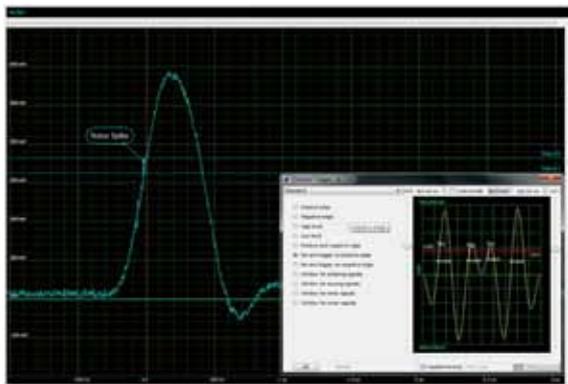
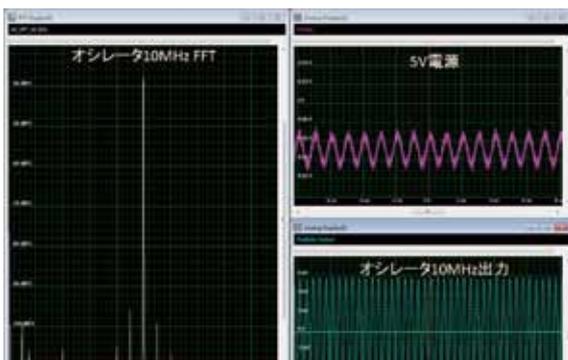


図11. オシレータのノイズ干渉



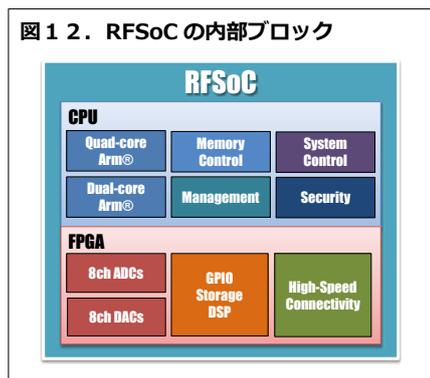


FPGAは システムデバイスに変わる

RFSocとは

RFSocとはRF System On Chipの略で、8ch A/D及び8ch D/AとArm CPUコアを内蔵したFPGAデバイスです。

図1 2. RFSocの内部ブロック



Xilinx社のZynq UltraScale+のシリーズで、以前のシリーズZynq UltraScale+ MPSoCをベースにしています。MPSoCは、UltraScale+ プログラマブルロジックに統合された最大4つのARM Cortex-A53アプリケーションプロセッサと2つのARM Cortex-R5リアルタイムプロセッサを含む、システムオンチップ(SoC)アーキテクチャです。このソリューションは、1つのICにFPGAのハードウェアプログラマビリティとプロセッサのソフトウェアプログラマビリティの柔軟性を提供します。

RFSocはMPSoC基盤の上に構築され、プログラマブルデジタルダウンコンバータ(DDC)を装備した8chの4 GSPS 12ビットA/Dコンバータと、デジタルアップコンバータ(DUC)を装備した8chの6.4 GSPS 14ビットD/Aコンバータを内蔵して

います。シリーズにはその他のA/DおよびD/A構成もありますが、ここでは8chのA/Dおよび8chのD/A構成について説明します。

SWaPとコストの改善

軍用用途における一般的な用語「SWaP」ですが、これはSize(サイズ)、Weight(重量)、Power(電力)を表し、通信、偵察、レーダその他さまざまな種類の信号取得/処理システムについて、これらを軽減するための継続的な要件を指します。システムが配備される場所を考えると、より小さく、より軽く、より少ない電力で使用する必要性が明らかになります。無人航空機(UAV)や無人水中車(UUV)のような無人機は、任務を達成するためにしばしばステルス(隠密)を必要とします。より小さく、より軽く、より少ない電力を使用することがステルス(隠密)を意味し、これらのシステムがより効果的になることを可能にします。

通信機器または方向探知機器およびそれに関連する電源が人員によって着用されるマンパック(またはウーマンパック)システムも、SWaP削減の対象となります。実用的で携帯型のシステムを作るためには、より小さく、より軽く、より少ない電力の使用が必要とされます。

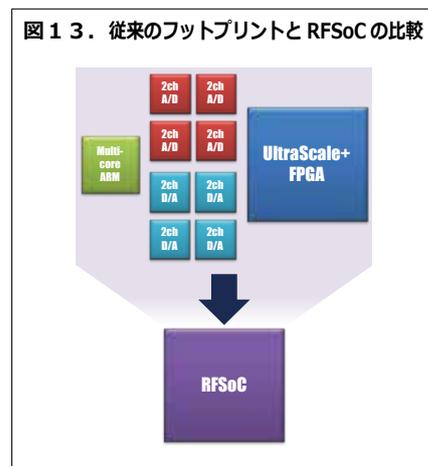
ザイリンクスのZynq UltraScale MPSoCとRFSoc

RFSocの高レベル統合により、ディスクリット部品を使用して同じ機能を設計する

半導体チップの集積技術/積層技術の進歩により、複数のチップ(機能)を1つのパッケージに実装することができるようになりました。昨年、Xilinx社はCPU、ADC、DACを内蔵したZynq UltraScale+ RFSocプログラマブルロジックデバイスをリリースしました。ここではその概要とRFSocデバイスを搭載した製品を紹介します。

場合と比較して、SWaPを大幅に削減することができます。図13は、コンポーネントのフットプリントを比較した図です。

図1 3. 従来のフットプリントとRFSocの比較



比較では、各部品はほぼ一定の縮尺で配置されており、PCBレイアウトはIC部品の実装のためにIC間にスペースが必要となります。RFSocは、ディスクリットアプローチに比べて全体サイズを50%以上削減できます。

また、RFSocは部品レベルで重量が減りますが、10個のICの総重量と比較するとそれは明らかです。消費電力に注目するとそれは更なる軽量化をもたらします。システムの電力が1W増えるごとに、金属製または複合ヒートシンク、あるいは液体冷却や蒸気冷却などの方法により冷却ソリューションの重量が決まります。RFSocは、通常のディスクリットソリューションと比較して30%から40%以上の電力節約を容易に実現でき、それによって冷却ソリューションの複雑さと重量を軽減します。そして携帯用システムでは、省電力で、軽

い電池により長時間動作を実現できます。

RFSocの消費電力が削減された主な理由は、さまざまなICを個別のソリューションで接続するために必要なインタフェースが不要になったことです。1GHzまたは2GHz以上でサンプリングするほとんどのA/D・D/Aコンバータは、コンバータとFPGAの間でデジタルデータを移動するためにシリアルインタフェースを使用します。これらのインタフェースは、コンバータ側とFPGA側の両方でシリアライザとデシリアライザ(SerDes)回路に電力を消費します。コンバータに使用される最も一般的なシリアルインタフェースプロトコルはJESD204です。

コンバータを直接FPGAに統合することにより、シリアルインタフェース、およびSerDesプロセスとプロトコルがもたらすデータ転送レイテンシが排除されます。

SWaPに関連するもう1つのパラメータはコストでありSWaP-Cとも呼ばれます。ここでも、RFSocがその要件に貢献しています。RFSocの機能をディスクリート部品として実装するのに使用した同じ比較から、部品コストは次の結果が得られます。

ARM プロセッサ + (4 × 2ch 4GSPS A/D) + (4 × 2ch 6.4GSPS D/A) + Kintex UltraScale+ FPGA
 ≙ RFSoc × 2

さらに、多チャンネルのA/D・D/AシステムではRFSocを利用するメリットが良くわかります。大規模多ch入出力(MIMO)アンテナは、WiFiからLTE, 5Gまでのアプリケーションを対象としています。大規模MIMOアンテナは通常8×8構成(8ch受信と8ch送信)をベースに、その構成の倍数となります。これはRFSocのコンバータに最適です。もう1つの多チャンネルアプリケーションはフェーズドアレイレーダです。多機能フェーズドアレイレーダ(MPAR)は、いくつかの国内レーダネットワークの機能を航空機および気象観測用にシステム統合したものです。これらのアンテナアレイが64個以上の素子で構成されることは珍しくありません。各素子は受信、送信および制御処理と組み合わせられたA/DおよびD/Aを必要とします。これらのシステムと、軍用監視/ターゲットシステムは何百もの素子が必要となる可

能性があり、RFSocの統合ソリューションですぐに節約することが可能になります。

データ変換インタフェース

これまでのところ、RFSocの利点は、すでに利用可能なソリューションを改善することにあります。ディスクリート部品ソリューションと比較して、サイズ、重量、電力、コストを削減します。しかし、データコンバータをFPGAに統合することによって、RFSocは既存の技術では利用できないソリューションを提供します。これを理解するためには、まずデータコンバータがどのようにFPGAに接続されているのかを理解する必要があります。例としてA/Dを使用する場合(これはD/Aも同様です)、パラレルインタフェースを使用して12ビットA/DをFPGAに接続すると、図14のようになります。各ビットはLVDSペアで接続されます。その他のペアはデータレディまたはクロックに使用されます。

場合によっては、インタフェースはデータがクロックの立ち上がりエッジと立ち下がりがエッジで転送されるダブルデータレート(DDR)テクノロジーを使用して、1クロックサイクルで転送されるデータ量を2倍にする

ことができます。しかしDDRを使用しても、パラレルインタフェースは、FPGA上のLVDSインタフェースの速度制限により、サンプルレートが約1.5GHzを超えるデータコンバータには問題となります。これを克服するための1つの解決策は、データを2つのパラレルインタフェースを介して送信する1:2逆多重化インタフェース(DeMux)を使用することです。各インタフェースはサンプルレートの半分で動作します。12ビットA/Dコンバータの例では、コンバータが2GHzでサンプリングしている場合、DeMuxに続く12ビットパスはそれぞれ1GHzで動作します。これにより、各12ビットインタフェースはFPGA LVDSインタフェースで許容される最大クロックレートより低く保たれますが、2GHzのサンプルレートをサポートするのに必要なデータは供給されます(図15)。

しかし、この解決法も高速では問題になります。これと同じ手法を使用すると、4GHz A/Dでは1:4のDeMuxが必要になります。必要なペア数を考慮し、ペア間の厳密な長さのマッチングを維持するためにこれらの信号を厳密に配線する必要があります。配線の問題に加えて、12ビットA/Dコンバータは、FPGAとのインタフェースをとる

図14. A/DコンバータとFPGAのLVDS接続

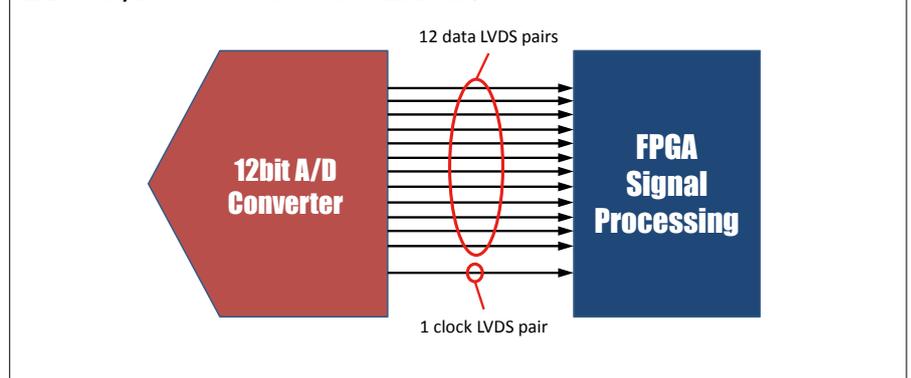
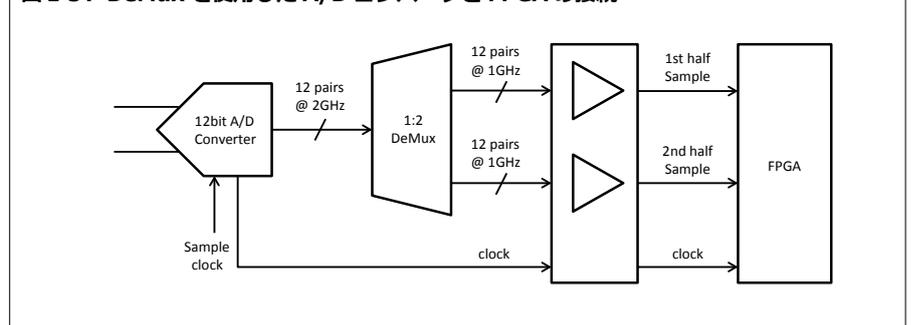


図15. DeMuxを使用したA/DコンバータとFPGAの接続



ために4組の12ペア(または96本の個別I/Oピン)を必要とします。A/DおよびD/Aコンバータやメモリなどのすべてのパラレルデバイスとのインタフェースに400~600のI/Oピンを使用できる大規模のFPGAデバイスでも、ピンの半分を2つの4GHz A/Dコンバータの接続で使用してしまいます。

多ピンインタフェースの代替ソリューションは、シリアルインタフェースを使用してデータコンバータを接続することです。この目的のためにJESD204が作成されました。JESD204は、LVDSの代わりにFPGAギガビットシリアルインタフェースを使用します。図16に、パラレルLVDSを介して接続された1GHz 12ビットA/D用に配線されたPCBと、JESD204を使用して4つの高速シリアルインタフェース(レーン)を介して接続された同じ1GHz 12ビットA/D用に配線されたPCBを示します。4レーンは、信号数の削減と、すべてのレーンの長さを厳密に一致させる必要性を排除するクロックおよびデータリカバリ機能を備えているため、PCB設計上の問題は少なくなります。

そのため、JESD204は多くの高速データコンバータアプリケーションに適したソリューションですが、完璧なソリューションではありません。JESD204 IPおよびギガビットシリアルインタフェースは、4レーンごとに約1Wの消費電力を必要とします。また、JESD204は独自のIPコアであり、使用するには有料ライセンスが必要です。さらに、JESD204を使用すると、FPGA IPデザインが複雑になる可能性があります。複数のICにまたがる複数のコンバータを同期させる必要があるアプリケーションでは、JESD204には、パラレルインタフェースよりも複雑なクロック調整を考慮する必要があり、回路設計が複雑になります。こ

れらの障害が、電力、コスト、複雑さ、サイズの増大を招く可能性があります、いずれも劇的に改善するものではありません。

一部のアプリケーションにとってJESD204が真の障害になるのは、リンク待ち時間です。パラレルバッファインタフェースがローカルバッファリングのために多くの場合、数サンプルクロックサイクルのデータ遅延が発生し、それをサポートするのにJESD204プロトコルとSerDesはデータが変換されてから80サンプルクロックサイクル以上の待ち時間が必要となります。A/Dコンバータの場合はFPGAに渡す時間で、D/Aコンバータの場合は逆方向にこれが発生します。データを取得してから、処理結果をリアルタイムで要求しない一部のアプリケーションでは、これは問題になりません。サンプルを失うことなくデータがFPGAに到達すれば、到達するまでの時間は重要ではありません。しかし、高速で厳密な制御ループシステム、一部のレーダシステム、およびデータの取得、処理、転送に要する時間が非常に短い電子戦などの多くのアプリケーションでは、この待ち時間によってJESD204ベースのソリューションは排除されます。

これらすべての問題はRFSocとどう関係があるのでしょうか。パラレルインタフェースを使用してデータコンバータを直接FPGAに統合することで、ディスクリットパラレルインターフェースコンバータに必要な多ピンの外部接続を必要とせず、1つのFPGAでより多くのコンバータチャンネルをサポートすることができます。さらに、JESD204シリアルインタフェースで発生するレイテンシはありません。これにより、RFSocは、多チャンネルでローレイテンシのアプリケーションにとって魅力的なソリューションになります。

RFSocによるハードウェア設計

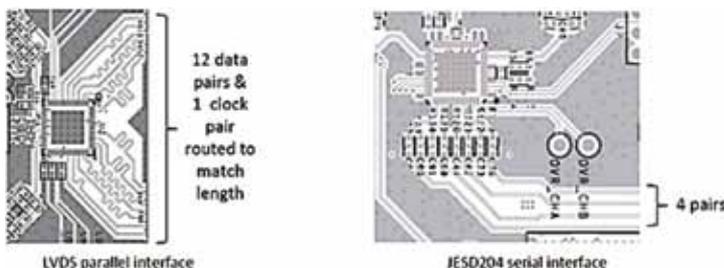
高密度で小型のRFSocは、FPGAを使用してシステムを設計する際に、回路設計者とPCB設計者にとっていくつかの固有の課題をもたらします。16チャンネル(8ch A/Dと8ch D/A)を含むアナログインタフェース用のPCBの設計とレイアウトには、信号品質を維持しクロストークを低減するために、細部まで細心の注意を払う必要があります。同様に、RFSocのGTY(ギガビットシリアルインタフェース)は32Gb/s以上で動作します。これは、これら高速の信号品質を維持するために、PCB設計にレイアウトと配線の課題をもたらします。一部の動作モードでは、RFSocは最大9つの異なる電源電圧を必要とします。それに加えて、周辺回路用に4つまたは5つの電源が必要で、電源管理設計が非常に複雑になる可能性があります。これらの課題はそれぞれ個別の要求事項ですが、RFSocが最大の利益をもたらすことができるアプリケーションの多くはスペースが限られた過酷な環境にあり、設計の課題を悪化させることを考慮する必要があります。

Pentek社は、RFSocの機能をお客様に提供するために独自のアプローチを取っています。QuartzXM Expressモジュールは、2.5インチ×4インチ(6.35×10.16cm)の小型ボードで、Zynq UltraScale + RFSoc FPGAと、サポートおよび操作に必要なすべての周辺回路および電源回路を含んでいます。



QuartzXMのコンセプトはシンプルです。必要に応じてさまざまなアプリケーションの特定のインタフェース要件を満たすためにさまざまな異なるキャリアボードで使用でき、高密度の設計技術で設計された小型モジュールでRFSoc機能を提供することです。QuartzXMでRFSocを提供することで、Pentek社はRFSoc機能だけでな

図16. パラレルとシリアルのPCB配線比較



く、最も要求の厳しい回路の課題および小型化の課題を解決したソリューションを提供しています。



Pentek社のQuartzファミリには、3U VPX(写真)やPCIeなどのフォームファクタによる標準のボード製品があり、すぐに導入できるターンキーソリューションを提供します。これらの製品は、コマーシャル版および耐環境のコンダクションクール版があり、ほとんどの場合は運用システムへの利用が可能です。

また、QuartzXMのモジュール設計により、標準的なフォームファクタボードはアプリケーションの開発用プラットフォームになり、その後QuartzXMモジュールをカスタムキャリアプラットフォームに移行することができます。

ソフトウェアとIP設計

FPGAファミリが新しくなる度に、より強力な処理ソリューションへの絶え間ない進歩がありました。それぞれの新しいファミリは、より高いロジック密度、より高速なロジックファブリック、より多くのDSPリソース、より多くのオンチップメモリ、より高速なインタフェースを、そして現在RFSoc、高サンプルレートA/DおよびD/Aコンバータを内蔵しています。これらの新機能により、ますます複雑なアプリケーションを可能にしますが、それらはまた新しいIPの複雑さとサイズの増大に対処するため、より高性能な設計ツールへの要求を高めます。

ザイリンクスは、Vivado® Design Suiteを使用して設計ツールの課題を解決しました。それはデザインサイクルの全てのツールを含みます。最新バージョンでは、配線が高速化されFPGAリソースをより効率的に使用できるようになり、パフォーマンスが向上しています。Vivadoでは、C言語で

処理IPを作成するためのツール、ARMプロセッサをターゲットとした統合ソフトウェア開発キット、およびプラグアンドプレイブロックダイアグラムベースのIPインテグレータとのIP統合により、設計が複雑化するという課題にも対処します。これらすべてのツールの改善はソフトウェアエンジニアとIPエンジニアの双方に大きく貢献しますが、FPGAベースのハードウェア製品の製造業者が、ハードウェアの特定機能をサポートするIPおよびソフトウェアライブラリを提供するとき、システムソリューションの作成を加速できます。

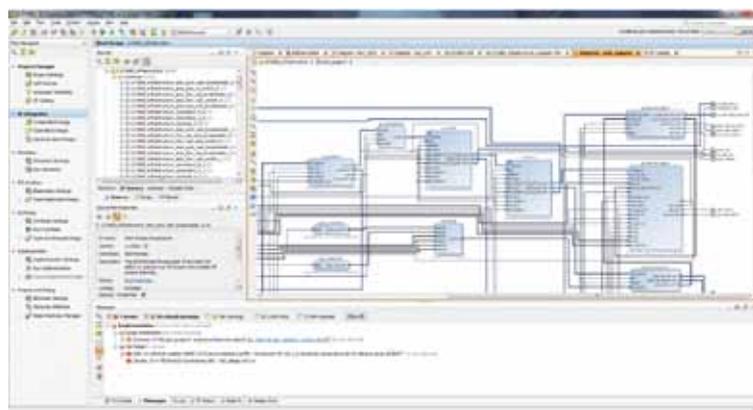
すべてのPentekハードウェア製品には、FPGAベースの機能一式が含まれているため、FPGA IPを作成することなく、さまざまなアプリケーションでこの製品をすぐに使用できます。A/DまたはD/Aベースの製品では、データ収集および波形生成エンジン、データタグ付け、メタデータ作成、VITA-49パケット作成、デジタルダウンコンバータ、マルチチャンネルおよびマルチボード同期、特定のアプリケーションをターゲットにしたIPに加えて、PCIeまたは10GigEを介してデータをオンボードで移動させるために最適化されたDMAをサポートしています。

RFSocは、A/DおよびD/Aコンバータのフロントエンドにより膨大な量のデータと、タイムクリティカルなアプリケーションにおける最小レイテンシインタフェースというソリューションをもたらします。Pentek社のQuartz製品は、追加のIP設計を必要とせずすぐに使用できる内蔵IPを使用して、RFSocをターゲットとするアプリケーションの最も一般的な要件のいくつかに対

処します。これらには、フルバンド幅4GHzサンプルレートをサポートし、オンボードメモリへのデータのスナップショットまたはデュアル100GigEインタフェースを介したストリーミングオプション、多チャンネルアプリケーションでのデータ削減のために最適化されたx16デシメータ、および拡張100GigEインタフェースまたはオンボードメモリにロードされた波形から供給されるD/Aデータを出力するための波形ジェネレータエンジン。いずれの場合も、Pentek社のNavigator FPGAデザインキット(FDK)を使用して構築された場合、インストールされた機能は最終的なソリューション、またはカスタムソリューションのベースとなります。

Navigator FDKは、ザイリンクスのVivado IPインテグレータで使用できるブロックとしてPentekのすべてのIP機能のライブラリを提供し、IP設計者はブロック図として製品全体のFPGAデザインに即座にアクセスできます。アプリケーションの処理要件を満たすために、個々のIPブロックを削除、変更、またはカスタムIPに置き換えることができます。設計者がVHDLソースコードを直接操作する必要がある場合は、いつでもソースウィンドウからアクセスできます。また、すべてのPentek IPコアの完全なオンラインドキュメントも利用できます。Navigator FDKはVivadoの機能を活用しているため、エンジニアは新しいソフトウェアツールを習得する必要なくすぐにFDKを使用して設計を開始でき、カスタムIPを構築するための基盤を提供することで最終的なアプリケーション開発を加速します。

図17. IP Integratorを使用したPentek社のFPGAデザインキット





ミリタリ向けコンピュータ における空冷

オフィスコンピュータとの違い



ミリタリ用コンピュータとオフィス用コンピュータとの主な違いの1つは冷却です。ミリタリ用コンピュータは通常、電源内のファンに加えて、1~4個の空冷ファンを装備しておりフロント側のエアフィルタで砂や埃の進入を防ぎます。一方、一般的なオフィス用コンピュータは、冷却のためのファンは電源内に1つだけです。ミリタリ用コンピュータは、砂や埃の侵入を抑えるためにシャーシ内に正の圧力をかけていますが、オフィス用コンピュータは、負の内部圧力で動作しているため、埃が内部に入りやすくなります。

温度やノイズが問題にならない場合は、ここで説明する内容を考慮する必要はありません。それ以外の場合はここで説明する内容により、ミリタリ用コンピュータが安全に動作する最高周囲温度を提示し、シャーシのノイズ低減を助けます。

適切な冷却により、より高い電力の基板を使用することができ、部品がさらされる最高温度を制限することによって部品の寿命を延ばすことができます。一般的に、-10℃の温度低下は2倍のMTBF値をもたらします。

ファンの選択方法には2つあります。1つ目は、使用可能な最大風量のファンをでき

るだけ多く取り付けることです。コストとノイズが問題にならない場合、これが最良です。一般的にサイズに関係なく、1台のファンの価格は約20ドル(約2000円)になります。また、4インチのファンは、3インチのファンよりも約5ドル(約500円)高くなります。これはシステム全体のコストと比べて重要ではありません。4台のファンの価格は約80ドル(約8000円)ですが、システムコストのごく一部です。内蔵カードが最高動作温度を超えないようにするために、システムの冷却性能を決定する必要があります。ただし、ノイズ(騒音)はシャーシの選択を制限する要因となることが多く、動作温度とノイズは反比例します。これは、デュアルXeonのようにマザーボードだけに200Wを必要とする高速プロセッサではますます顕著になっています。

通常動作でノイズ制限を規定しているシステム仕様は数多く見受けられます。例えば1台のシャーシで大音量になることはありませんが、6台のシャーシを1つのラックに収納し複数のラックを室内に配置すると、複合ノイズで聞こえなくなることがあります。大型ファンの問題は、小型ファンよりも多くのノイズが発生することです。ここで言う「大型」とは、ファンの速度と風量を意味します。多くの場合、大型のファンは単に空気をかき混ぜるだけで、実際には冷却効果が上がることはありません。シャーシの圧力インピーダンス曲線(空気の移動に必要な圧力)は非線形なので、ファンの風量を2倍にしても空気の供給量は2倍にはなりません。物理的に大型ファンの方が、同量の空気が流れるためファンのRPM(回

ミリタリ向けコンピュータと言ってもコンピュータとしての機能は一般のオフィスコンピュータと同じIntel CPUとWindowsやLinuxのOSを使用するのが一般的になっています。ミリタリ用途がオフィス用途と大きく異なる部分は使用環境です。ミリタリ用途の場合は過酷な環境で使用されることが多い為、冷却性能は非常に重要なファクタとなっています。ここではその冷却方法について説明します。

転数)が低くなり通常は静かです。そのRPM(回転数)がノイズを生成します。

以下の説明は、ノイズが懸念されるアプリケーションを対象としています。ノイズ(騒音)の制限がない場合、最大風量のファンを設置することで、内部温度上昇の抑制と共に部品の長寿命が保証されます。ただし、どのシャーシにも最大許容電力負荷があり、これは簡単に計算できます。

ファンの風量

ミリタリ用シャーシの冷却ファンの選択は非常に簡単です。インストールされたボードは熱を発生するため、シャーシ内から除去する必要があります。最大許容内部シャーシ温度は、使用されている部品の一番低い動作温度スペックによって決まります。シャーシ内部の温度上昇は、インストールされているボードのみに依存します。つまり、取り付けられているボードの温度が上昇し、それが吸気温度に加算されて、シャーシ内部の温度が決まります。したがって、室温でシャーシ内部の温度を測定すると、内部温度は外部温度の上昇と同じだけ上昇します。シャーシ内部温度が38℃で、外気温度が21℃である場合は+17℃の内部上昇、周囲温度が48℃である場合、内部温度は65℃になります。65℃は一般的にインストールされているドライブおよびボードの動作温度をはるかに超えていることとなります。この様に、予めオフィスにおけるシャーシ内の温度を室温で測定しておけば、シャーシを現場に設

置したときの内部温度を計算することができます。

但し、この場合の注意点は、空気密度は高温でより低くなるので、ファンは高温でより効率が悪くなるということです。このように、ファンは高い温度ではより少ない風量となります。計算で予想される動作温度で最大温度を示した場合は、シャーシを高温で動作させて実際の内部温度を測定する必要があります。

発熱に関して、デジタル熱と抵抗熱に違いはありません。最大容量の300Wの電源を備えたシステムは、300Wの熱を発生させます。さらに、電源装置は本来非効率であるため、追加の熱を発生しています。電源は通常約70～75%の効率であるため、全負荷時の300W電源は416Wの熱を発生します。比較として、1000Wのヘアドライヤーの発熱量を考えた場合、電源容量が発熱に比例していることがわかります。

UL認証の場合、シャーシには定格出力と等しい負荷で各電源出力に抵抗負荷抵抗が取り付けられます。したがって、シャーシ内部で300ワットの熱が発生します。この説明で重要な考慮事項は、ULおよびその他の安全機関の評価です。ULでは、システムを全電源定格および定格最大動作温度でテストする必要があります。次の説明から、シャーシの内部温度が電源装置の定格を超え、シャーシがULテストに合格しないことがわかります。唯一の代替策は、限られた高い周囲温度を指定するか、または電源を低下させることです。

必要な空気の量は、インストールされているカードの発熱、吸気の空気温度、許容される最大内部温度によって異なります。特定のファンは、シャーシ内の流動抵抗によって制限されて、シャーシ内にあまり多くの空気を通過させることができません。

システム抵抗に多大な影響を与える1つの項目はエアフィルタです。アプリケーションが比較的クリーンな環境にある場合は、おそらくエアフィルタは必要ありません。一方、外部に導電性のほこりが浮遊している場合は、その進入を避ける必要があります。フィルタしようとしているもの、メンテナンスの有無、許容可能な耐性に基づいてエアフィルタを選択する必要があります。

注意すべき最後の項目は、発熱部品のシャーシ内の位置です。シャーシ内のエアフローが比較的滑らかであると仮定すると、高温の部品を通過するときに気温が上昇します。したがって、プロセッサがシャーシの前面に配置されている場合、その下流にある部品はすべて熱風に晒されます。逆に、プロセッサがシャーシの背面にある場合、ほとんどの熱はシャーシから直接排出されます。したがって、ドライブなどの敏感な部品は、発熱部品の上流に配置する必要があります。その一方で、新しい高速のドライブは熱を発生させる要因となります。

電源の位置は慎重に検討する必要があります。たとえば、シャーシの内部前面に取り付けられている場合、電源の効率が悪くなると予熱された空気が他の部品に吹き込まれます。高効率電源でも80%の効率しかありません。したがって、600Wシステムの場合、電源はさらに120Wの廃熱を発生します。この熱は直接シャーシから排出することをお勧めします。

熱コントロールに代わる良い方法は、デュアル3.06MHz Xeon プロセッサを搭載したCP Technologies社のXPTシングルボードコンピュータにあります。このボードにはエアトンネルが付いているので、プロセッサからの熱はシャーシの背面から直接排出されます。このテクノロジーの説明については、CP Technologies社ホワイトペーパーを参照してください。

実装されたカードからのシャーシ温度上昇

シャーシ内の必要なエアフローの式は次のとおりです。

$$CFM = Q / (Cp * r * DT)$$

ここで、

CFM = Cubic Feet per Minute
(毎分の立方フィート流量)

Q = Heat Transferred (kW) 熱伝達率

Cp = Specific Heat of Air 空気の比熱

r = Density 密度

DT = Change in Temperature 温度変化

となっています。

冷却流の要件についての単純で伝統的なルールである、シャーシ壁からの熱損失、層流対乱流などの影響を無視し、海面での比熱と密度の定数の計算は次のようになります。

$$CFM = 3.16 \times \text{Watts} / \text{allowed temp rise deg F}$$

$$CFM = 1.76 \times \text{Watts} / \text{allowed temp rise deg C}$$

これはファンの定格ではなく、必要なエアフローです。いくらかの放射冷却があり、乱流が部品から熱を除去するのにより効果的であるので、これは控えめな数値です。

たとえば、500Wの負荷、38℃の環境で最大54℃の内部温度を持つ一般的なシャーシ(16℃の温度上昇)の場合、

$$CFM = 1.76 \times 500 \text{ watts} / (54 - 38) = 55 \text{ CFM}$$

シャーシを通過する55 CFMの風量は、内部温度上昇を16℃に制限します。

高温環境の場合、負荷を800Wで計算してみます。同じ54℃の最大内部温度(一般的な市販部品の場合)で、49℃の環境(通常のシャーシ仕様)で動作した場合、

$$CFM = 1.76 \times 800 \text{ watts} / (54 - 49) = 282 \text{ CFM}$$

内部温度を54℃に制限するには、シャーシ内を282CFMにする必要があります。または、風量を指定して負荷を計算することもできます。

$$\text{Watts} = 282 \text{ CFM} \times (54 - 49) / 1.76 = 801 \text{ watts}$$

ファンを選択する際の難しい部分は、シャーシのフローインピーダンス、または特定のファンがシャーシ内をどの程度の量の空気を移動させるかを決定することです。このインピーダンスは、空気が前面パネルのスロット、エアフィルタ、内部構造を通過し、後部スロットと電源装置を通過するときに発生する摩擦です。シャーシの設計を見てこの数値を経験的に推定する方法はありません。システムインピーダンスは、シャーシ内の実際の流れを、その流れを発生させるのに必要な圧力に対して測定することによってのみ決定できます。図18をご参照ください。

この関係が決まったら、一方の軸を風量、もう一方の軸を圧力としてシャーシのインピーダンスをプロットすることができます。この曲線の上にさまざまなファン曲線を配置して、シャーシを通過する実際のCFMのエアフローを決定できます。

シャーシインピーダンスプロットは、ファン曲線とシャーシインピーダンス曲線との交点を見つけるために使用されます。ファンカーブは、各ファンのファンメーカーの資料に記載されています。CP Technologies社 Model 417-MB の例では、1つの45CFMファンで、実際には27CFMの空気が移動します。2つの45CFMファンの場合は42CFMを移動します。

インピーダンス曲線の終端が上昇しているため、ファンを追加してもシャーシ内の流れが2倍になることはありません。流量が増加すると、シャーシ内の圧力が増加します。1つのファンだけで動作した場合よりも、各ファンの出力が多少制限されることとなります。

システムの電力負荷と最大内部温度が決まったら、上の計算に示すように、CFMの軸に最大周囲温度とラベルを付け換えることができます。さまざまなファンの曲線とシャーシのインピーダンス曲線との交点が、最大許容周囲温度を示します。

ここでのポイントはノイズコントロールであることを覚えておいてください。シャーシファクタを決定した後、ファン曲線を使用して、冷却要件を満たすエアフローを持つファンを見つけることができます。このファ

ンがおそらく最も静かなファンとなります。

ファンのスペックは、ファン全体の差圧がゼロの場合の定格であり、曲線は実際の流量対差圧を示しています。ファンを通る実際の流量は、機械的開口部(前面および背面パネルの開口部)およびエアフィルタ(面積、厚さ、効率、汚れの負荷)によって発生する圧力降下によって異なります。各シャーシには、デルタPに対するエアフローのシステム抵抗曲線があります。デルタPは、ファン全体で測定された圧力降下です。差圧は風量または風量(CFM)の2乗に依存するため、風量が2倍になると、差圧は4倍になります。したがって、元のファンの2倍の自由気流でファンを取り付けても、システムの冷却は2倍にはなりません、1.4倍になります。

この2乗効果を見る別の方法、シャーシの電力使用量を2倍にすること(100Wを200Wに増やす)では、温度を同じに保つために4倍の自由空気流量定格のファンが必要です。

ファンとブロー

一般的なシャーシで使用されているファン、通常は「筒状(tubeaxial)」ファンは、ファンから空気を移動させるためにブレード(回転翼)の空力揚力を使用します。「筒状(tubeaxial)」という用語は筒(tube)の形状から来ており、空気はファンモーターの軸方向または軸に沿って移動します。



ミリタリ用やインダストリアル用コンピュータ市場で、比較的新しく導入されているのがブローです。ブローは空気を動かすために空気力学的揚力と遠心力の組み合わせを使用します。空気が中央に流れ込み、そこでブレード(回転翼)がそれをつかみ、放射状に送り出します。



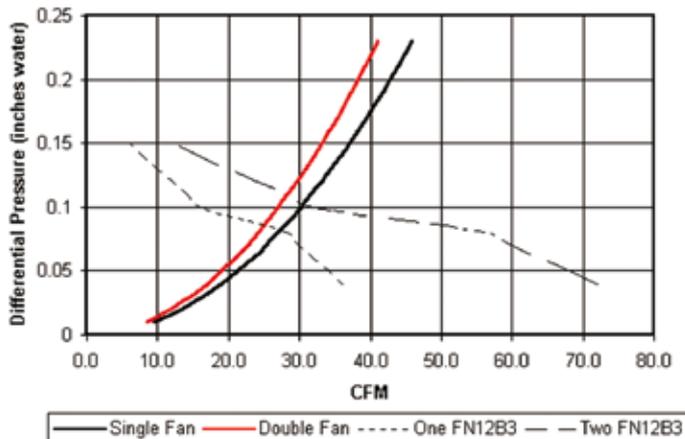
ブローは30×10mm 1.66CFM 0.370インチの小型のものから159×40mm 61.8CFM 1.4インチの大型のものまで利用できます。ここで、120 x 38 mmのファンと120 x 32 mmのブローを比較してみましょう。

表 2

	Fan (120x38mm)	Blower (120x32mm)
CFM	190	39.55
Pressure	0.7	1.299
Noise(dB)	59	56.5
RPM	4000	3100
Power(W)	24	15

厚みの違いを無視すると、ファンはブローに比べて4倍以上も多くの空気を流せることがわかります。その一方で、ブローははるかに高い静圧を生成します。このことから、用途に適したデバイスを選ぶ必要があります。4Uシャーシのように高さのスペースが十分にある場合は、シャーシのインピーダンスが低くファンがより多くの空気を流します。一方、1Uなどの高さが制限されているシャーシの場合は、シャーシのインピーダンスが高いため、ブローを使用するのが適しています。

図 1 8





先に述べましたが、シャーシのインピーダンスつまり通気抵抗は、エアフィルタと出入り口の開口部の数、およびそれらのサイズと形状によって大きくなります。標準的な1Uシャーシでは、40CFMを確保するために40mmファンを4個搭載するスペースがありますが、最大圧力はわずか0.25インチです。シャーシインピーダンスでは、その流量はシャーシを通過して15～20CFMに低下します。一方、97x33mmのプロワーは1.00インチで25CFMを流すので、実際の空気流は約20CFMとなります。風量は殆ど同等ですが、プロワーは安価で静かになります。40mmファンには、このような用途のため良好な圧力を提供するものもありますが、非常にうるさくなります。

シャーシノイズ

それでは、何故最大風量のファンを搭載可能最大数実装しないのはなぜでしょうか？

どのようなシステムでも動作温度限界が規定されており、また多くの仕様では設置された機器のノイズ限界が規定されています。これら2つの要件は相反します。シャーシが高い周囲温度で動作するには、大量の空気で空冷する必要があります。これには、騒音の要因となる高速動作の大型ファンが必要です。

この相反する温度とノイズを考慮して、現実的な動作温度を決定する必要があります。シャーシを許容温度範囲内に保つために適切な量の空気を移動させるファンを見つけるために、ファン曲線で分析することができます。ファンのスペックを確認して、特定のエアフローに対して最もノイズが少ないファンを見つけます。この手法で、シャーシノイズを最小限に抑えることができます。産業用シャーシが49℃で動作することを想定するのは必ずしも現実的ではありませんが、その温度でも40dBのノイズ

に抑えることが可能となります。下表は一般的な騒音のレベルです。この表から40dBは冷蔵庫よりも静かであることがわかります。

表3

一般的な騒音のレベル	
冷蔵庫	45dB
通常会話	60dB
食器洗い機	70dB
掃除機	85dB
並みの騒音	40-60dB
大きな騒音	60-80dB
非常に大きな騒音	80-100dB

シャーシのノイズ(騒音)は、ファンの羽根とファンへの気流の乱れによって発生します。高速のファンは、高速ブレードと高流速のため、低速のファンよりもかなり多くのノイズを発生します。2倍の風量のファンは、2倍以上の知覚ノイズを生成します。

2つのデバイス間の知覚ノイズ比率を得るための公式があります。

$$x = \text{ファン\#1のベル見積り(ノイズが大きい)}$$

$$y = \text{ファン\#2のベル見積り}$$

知覚ノイズの相対雑音レベルは、つぎのように定義されます。

$$(3^x)/(3^y) = \text{ノイズ比率}$$

たとえば、ファン(x)が40dB(4.0bel)でファン(y)が25dB(2.5bel)の場合、 $(3^{4.0})/(3^{2.5}) = 5.2$ となりファン(x)はファン(y)の5.2倍のノイズになります>(*1ベルは10デシベルです。)

高温動作が必要な場合、一般的に温度制御ファンを使用します。このファンは、通常のファンと同じサイズですが、温度検出装置を使用して低温時にはファン速度を下げ、高温時にファン速度を上げます。高温ではファンの速度が上がリ、冷却効果が高まりますがノイズが増加します。ファンの中

にはセンサーが内蔵されているため、外部温度が上昇するとファン速度が上がります。

シャーシの排気口やシャーシ内部の高温な場所に搭載して、実際の部品温度を監視できるリモートセンサーを内蔵したファンもあります。これにより、実際の部品温度を監視することができます。

ファン障害検出とファン速度制御

ミリタリ用シャーシのその他の機能は、ファン障害検出と動的な速度制御です。CP Technologies社は、自社のミリタリ用およびインダストリアル用コンピュータに標準のSysCoolインテリジェントアダプティブファンコントローラを提供しています。SysCoolシステムは、シャーシの温度とファン速度を監視し、過熱アラームとファン障害アラームを提供します。



ファンの速度を調整すると、さまざまな利点があります。ファンの回転数を下げると、ファンの寿命が延びるだけでなく、フィルタの清掃のためのサービス間隔も長くなります。また、ファンの速度を遅くすることでシステムのノイズがはるかに少なくなります。

ここで説明した通り、使用する温度環境やノイズ(騒音)制限の条件を考慮して適切な空冷方法を選択する事でそのシステムを最高温度条件で安全に動作することができます。また、ここで紹介した、CP Technologies社のミリタリ用・インダストリアル用コンピュータは適切に空冷を考慮した製品となっております。



新製品

ここでは今年の新製品をピックアップして紹介します。

- Pentek社製 Model 5950
- Alpha Data社製 ADM-PCIE-9H7
- Alpha Data社製 ADM-PCIE-9H3
- CP Technologies社製 M1U2012
- Pentek社製 Model RTX 2586



Pentek社製 Model 5950



Pentek社のModel 5950はZynq UltraScale+ RFSocを搭載した3U VPXタイプのFPGAボードです。RFSoc FPGA内に4.0GHz 12bit 8ch A/Dと6.4GHz 14bit 8ch D/Aを内蔵しています。更に、

Model 5950仕様	
A/Dコンバータ	4.0GSPS, 12bit, 8ch
D/Aコンバータ	6.4GSPS, 14bit, 8ch
FPGAプロセッサ	Xilinx Zynq UltraScale+ XCZU27DR-1
オンボードメモリ	8GByte, DDR4 SDRAM
PCI Express	Gen. 1,2,3/x4,x8
光インタフェース	VITA-66.4 (オプション)
LVDSインタフェース	12ペアGPIO (VPX P2) (オプション)
フォームファクタ	3U OpenVPX
耐環境仕様	コンダクシオンクール対応

RFSocにはARMプロセッサを内蔵していますので、1ボードで送受信機を構築することが可能となります。オプションでVITA-66.4 光インタフェースをサポートします。

気象レーダ、合成開口レーダ、フェーズドアレイレーダ、デジタルビームフォーミング等の多チャンネル広帯域信号処理アプリケーションに最適です。

Alpha Data社製 ADM-PCIE-9H7



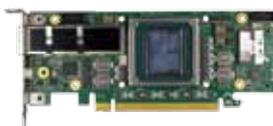
Alpha Data社のADM-PCIE-9H7はVirtex UltraScale+ FPGAを搭載したデータセンターアプリケーション向けのFPGAアクセラレータボードです。フロント入出力用にQSFP28ケージを4つ実装しており、100G Ethernet、150G Interlakenなどの高速インタフェースオプションもありま

ADM-PCIE-9H7仕様	
FPGA	Xilinx Virtex UltraScale+ XCVU37P-2
通信用インタフェース	QSFP28 × 4 ケーজ Ultraport SlimSAS × 2 (OpenCAPI) Firefly × 8
ホストインタフェース	PCI Express Gen3 x16/Gen4 x8 (CCIX サポート) OpenCAPI
その他インタフェース	JTAG (Micro USB) GPIO (ユーザプログラムブル)
フォームファクタ	PCI Express x16 (ダブルスロット)
動作温度	0 ~ +55°C

す。また、最大8つのFireflyインタフェース(各4x 28Gbps)、および超低遅延通信用に2つのOpenCAPIインタフェースを備えています。高速通信ハブ、データセン

ター、ネットワークアクセラレータ、ハイパフォーマンスコンピューティング(HPC)、システムモデリング、金融取引など高速通信データ処理の用途に最適です。

Alpha Data社製 ADM-PCIE-9H3



Alpha Data社のADM-PCIE-9H3はVirtex UltraScale+ FPGAを搭載したデータセンターアプリケーション向けのFPGAアクセラレータボード(ロープロファイル)です。フロント入出力用にQSFP-DDケージを実装しており、100G Ethernetな

ADM-PCIE-9H3仕様	
FPGA	Xilinx Virtex UltraScale+ XCVU33P-2E
通信用インタフェース	QSFP-DD × 1 ケージ Ultraport SlimSAS × 1 (OpenCAPI)
ホストインタフェース	PCI Express Gen3 x16/Gen4 x8 OpenCAPI
その他インタフェース	JTAG (Micro USB)
フォームファクタ	PCI Express x16 (ロープロファイル、1/2 レングス)
動作温度	0 ~ +55°C

どの高速インタフェースオプションもあります。また、超低遅延通信用にOpenCAPIインタフェースを備えています。高速通信ハブ、データセンター、ネットワークアクセ

ラレータ、ハイパフォーマンスコンピューティング(HPC)、システムモデリング、金融取引など高速通信データ処理の用途に最適です。

CP Technologies社製 M1U2012



CP Technologies社のM1U2012は、ミリタリグレードの1Uラックマウントコンピュータです。温度範囲は0～40℃に対応し、輸送時の振動や衝撃に耐えられるよう独自の筐体設計を行っています。フロントベゼルには防塵フィルタが装備されていますので軍事車両への搭載にも適しています。また、独自の熱管理システム「SysCool®」により、計算機の寿命を延ばし消費電力を削減することができ、同時にシステム全体のノイズレベルを下げます。航空機、陸上車両、艦船、監視システム、UAVなどの用途に適しています。

M1U2012仕様

CPU	Intel Xeon E5-2658 又は E5-2648L
チップセット	Intel C606
メモリ	最大 512GB DDR3
ドライブ	2.5" x 3 (ショックアイソレート対応)
RAID オプション	JBOD, RAID 0, 1, 5
光学ドライブ	Slim Slot DVDRW
OS	Windows 32/64bit, その他オプション
サイズ	482.6 x 44.5 x 508 mm
質量	8.9kg (内部構成により変わります)
動作温度	0 ~ +40℃
保存温度	-40 ~ +70℃

Pentek社製 Model RTX 2586



Pentek社のModel RTX 2586は、200 MHz, 16bit, 4chのA/Dコンバータを搭載した1/2 ATRタイプのデータレコーダです。記録容量は最大で30TBのSSDをサポートしています。サイズは195x124x359mmで、重量は約10kgとなっており非常にコンパクトな設計となっています。動作温度は-40～+60℃をサポートしていますので過酷な環境で使用することができます。航空機、艦船などへの搭載や無人機(UAV, UGV, UUV)への搭載用途に適しています。

Model RTX 2586仕様

アナログ入力	200MSPS, 16bit, 1-4ch, SMA
アナログ出力 (Option)	250MSPS, 16bit
記録レート	最大 4GB/s
記録容量	最大 30.72TB
RAID レベル	RAID 0, 5, 6 サポート
電源	+12 ~ +28VDC, 130W max
高度	60,000 feet (18,288 m)
サイズ	195 x 124 x 359 mm
質量	10kg (オプションにより変わります)
動作温度	-40 ~ +60℃
保存温度	-65 ~ +85℃

地球温暖化を考える 4



「珊瑚礁が白化している」という言葉をテレビやインターネットで聞いたことがありますか？ 沖縄やオーストラリアのグレートバリアリーフの珊瑚礁が白化しており、その原因の1つが温暖化と言われています。珊瑚は約25℃～28℃の環境で生息していますが、海水温が30℃以上になった場合白化が起こります。この状態が長く続くと珊瑚は死滅してしまうそうです。また、大気中のCO2が増えることにより海水が酸性化することもその要因とされています。それは珊瑚礁だけではなく、海に生息する全ての生き物に影響を与えることとなります。これは自然現象ではなく、人間の活動による事が原因であり人間が自ら地球を破壊しているという事実を認識することが重要です。私たちの生活環境は高度な技術で日々進歩しており便利な世の中になるのは良い事と思いますが、本当に必要なものは何かもう一度考えてみる必要があると思います。

受託開発

弊社ではソフトウェア・ハードウェア及びFPGAの受託開発も承っております。お困りの事がございましたらお気軽にご相談ください。
✉ sales@mish.co.jp

おわりに

テックジャーナルでは、これからも出来る限りお客様に有効となる情報を提供していきたいと思っております。今後ともどうぞよろしくお願いたします。



RUGGED MILITARY COMPUTERS



CP Technologies社は、1997年にアメリカ・サンディエゴに設立されたミリタリ向け及び産業用コンピュータの専門メーカーです。耐環境仕様のMIL-STD-810に準拠したラックマウントコンピュータやサーバー、LCDディスプレイのサプライヤとして20年以上米国国防総省（DoD）や産業市場に供給しており、その堅牢性において信頼を得ています。



株式会社ミッシュインターナショナル

〒190-0004 東京都立川市柏町 4-56-1 TEL : 042-538-7650 FAX : 042-534-1610
e-mail : sales@mish.co.jp URL : <https://www.mish.co.jp>