

# Teledyne e2VのEV10AS940は「特効薬」 RF/マイクロ波ADC

2024年9月



## 概要

RF/マイクロ波システムレベルの各設計エンジニアは、すべての性能要件を満たすための「特効薬」となるコンポーネントソリューションを求めています。「特効薬」とは、多くの複雑な問題に対する唯一の完璧な解決策と定義できます。今日のRF/マイクロ波受信機システムの設計エンジニアにとって、Teledyne e2VのEV10AS940 10ビット、12.8 GSPS ADC(内部にDDCを実装)は究極の「特効薬」です。

このADCにより、デジタル信号処理のためのマイクロ波の取り扱いが劇的に変わります[1]。EV10AS940(10ビットADC)は、LバンドからKaバンド(1~40GHz)までのRF/マイクロ波信号を直接入力(アナログミキシングは不要)してアナログ・デジタル変換することができ、更には本来ならDSPエンジンが演算処理を行う必要がある、デジタル・ダウン・コンバージョン(DDC)、直交検波、周波数ホッピング、ビーム形成といった様々なデジタル処理を行うことができます。



RF/マイクロ波システムは、コンシューマー、コマーシャル、インダストリ、ミリタリ、宇宙といった5つの品質水準のいずれかを満たすように設計される必要があります。これらの各品質水準は、要求が高い順に、より高い性能、信頼性、耐久性、より長い寿命が要求され、それに伴ってコンポーネントのコストも上がります。さらに、RF/マイクロ波アプリケーションごとの品質水準が上がるにつれ、システムは通常、その場でソフトウェア化/再構成できる能力がますます向上し、その結果、システム全体のコストを劇的に下げることができます。それゆえに、EV10AS940は、サイズ、重量、電力(SWaP)の制約の範囲内でのコスト最小化を含め、上記のすべての検討事項に対する「特効薬」と言えます(2.5Wで16×17.6mmのFCBGAパッケージ(F<sub>samplemax</sub> = 12.8 GSPSの場合))。

Teledyne e2VのEV10AS940 ADCは、防衛(航空宇宙、アビオニクス、レーダー/SAR、EW、通信)、宇宙(衛星、SATCOM、宇宙船、地球観測、エッジコンピューティング、ナビゲーション(GNSS)、次世代GPS)、電気通信/セルラー、産業/製造、医療/ヘルスケア、オシロスコープ/デジタイザー、電波天文学、エネルギー、量子ナビゲーションおよび量子コンピューティング、自動車などのすべてのRF/マイクロ波アプリケーションに対応するよう設計されています。ここに挙げたアプリケーションは、EV10AS940が対応可能なアプリケーションのほんの一部に過ぎません(すべて前述の要求品質水準で対応可能です)。

## RF/マイクロ波受信機システムの開発

従来、RF/マイクロ波受信機システムには、アンテナ、フィルター、ミキサー、発振器、さらには最重要なコンポーネントであるADCといった、すべてのアプリケーションに共通する基本電子コンポーネントが常に必要とされてきました。RF/マイクロ波信号はアンテナによって受信され、フィルタリング処理、ミキシング処理されて、DSPがシステム演算を実行できるようデジタルコードに変換されます。アンテナとDSP間の信号処理は、ダウンコンバージョンと呼ばれます。(アンテナからの)受信信号がRFからIF(中間周波数)、さらにベースバンドへと周波数変換されるときに受信機による信号変換が行われます。処理できるRF周波数の範囲は、実に様々なファクター(関数)で決まります。IF周波数はかなり変動が大きく、周波数選択性を向上させるために必要な多くの要因(伝送路、フィルター/ミキサー/発振器の仕様など)に基づいて選択されます。ベースバンド周波数は、ADC入力サンプリング帯域幅の関数です。ダウンコンバージョンに加えて、瞬時値(一定時間あたり)を2つの実数(Iは同相信号の振幅を表し、Qは直交信号(90°オフセット)を表す)から成る単一の複素数で指定できる2次元信号に信号を復調するために直交検波がよく使用されます。図1(下)は、従来のデュアルダウンコンバーターのRF受信機を示しています。この受信機は、基本的に狭帯域アナログシステムであり、最大限の回路を必要とし、その結果、ベースバンドのチャンネル不整合と位相歪みが生じます。ソフトウェアにより再構成できる機能も非常に限られています(周波数ホッピング、ビーム形成など)[2]。

# Teledyne e2VのEV10AS940は「特効薬」 RF/マイクロ波ADC

2024年9月

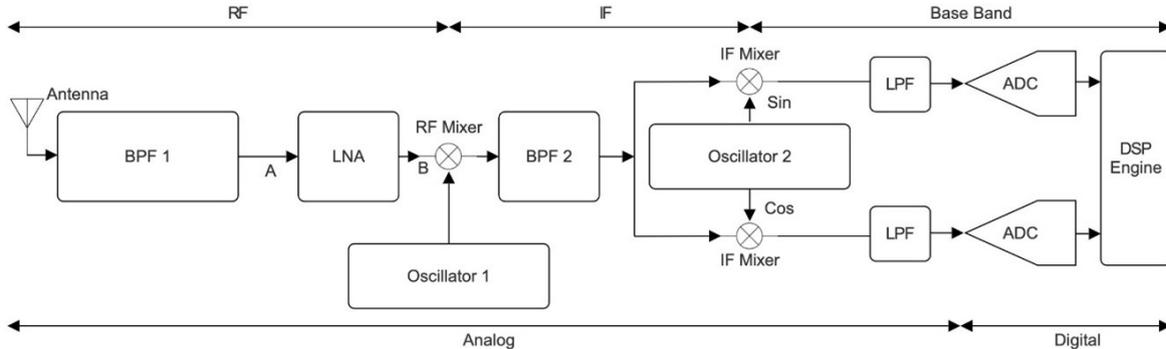


図1: 従来のデュアルダウンコンバーター

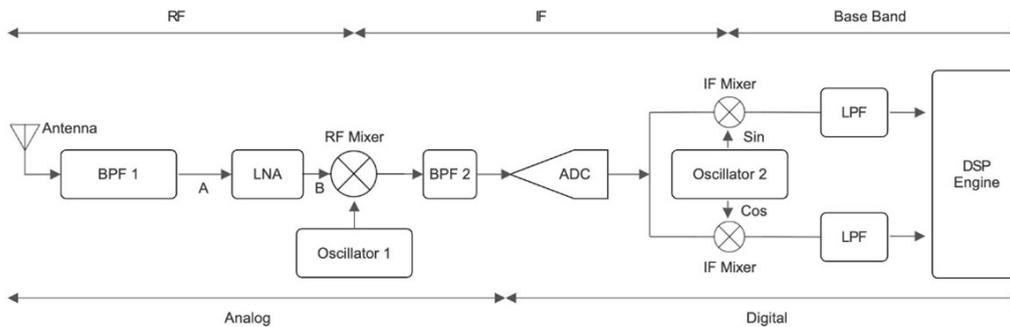


図2: 外部DDC付きIFダウンコンバーターの場合

図2(上)は、図1を大幅に改善したものです。ここでは、ADCに指定されたIFの範囲で信号を処理できる、より大きな入力信号帯域幅とそれに対応するサンプルレートを果たせる必要があります。さらに、IFからベースバンドへの周波数変換、直交検波、フィルタリングは、ADCの外部のデジタルダウンコンバーター(DDC)によって実行されます。DDCは、I/Qチャンネルの不均衡を解消し、その場で簡単にプログラムおよび再構成できます。DDCをDSPエンジンに組み込むこともできます。

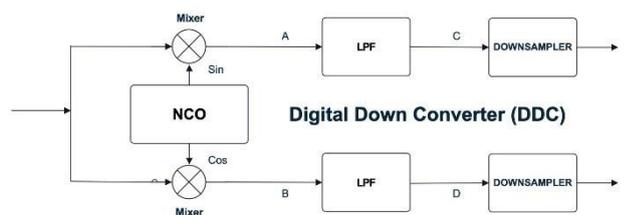


図3

ただしこの場合、オフボードのDSPコンピューターが必要になるので、ボード・デザインが複雑になり、DSPのソフトウェアも開発することが必要になります。そのため、DDC機能(図3を参照)をADCに組み込むことで、可能な限り最高の総合性能とソフトウェア化オプションが確保されます。

図4は、L~Kaバンド(1~40 GHz)のRF入力信号を2.5 Wの消費電力で直接サンプリング/処理できるTeledyne e2vの

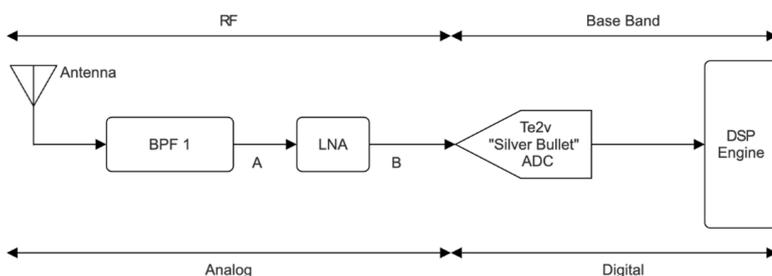


図4: 内部DDCを備えたダイレクトサンプリングRF ADC

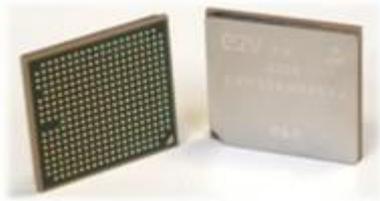
EV10AS940 10ビット、12.8GSPS、シングルチャンネルADCを利用するRF/マイクロ波受信機設計者向けの「特効薬」となるソリューションです。小型フォームファクター、シングルエンドRFおよびクロック入力、内部のプログラム可能なDDCと数値制御発振器(NCO、I/Q検出、高速周波数ホッピング、ビーム形成用)により、EV10AS940は、内部同期機能を備えたマルチチャンネルADCアレイに実装するために、アンテナと同位置に設置することが可能です。

# Teledyne e2VのEV10AS940は「特効薬」 RF/マイクロ波ADC

2024年9月



## EV10AS940を利用したRF/マイクロ波受信機システムの信号管理



高度なRF/マイクロ波受信機システム、レーダー、ソフトウェア定義マイクロ波無線 (SDPR)などを開発する上で、Teledyne e2vのEV10AS940 ADCは単なるコンポーネントではなく、未来を切り拓く製品です。EV10AS940のソフトウェア定義による柔軟性と俊敏性(その場で機能)により、L~Kaバンド(1~40 GHz)の同時サンプリング/マルチバンドおよびクロスバンドのサービス運用を含む動的な周波数対応プランが可能になります。EV10AS940の33 GHz-3 dB入力帯域幅(12.8 GSPS、消費電力2.5 W(0.195 mW/GSPS))は、直接RF/マイクロ波受信機アーキテクチャに最適で、アンテナとADCの間に専用ミキサーを実装する必要がありません。デジタル処理の面では、確定的データ転送を実現するため、サンプリングクロックに同期して動作する11本のESIstream出力シリアルリンクも備えています。ADCのオンボードデジタル・ダウンコンバージョン機能では、最大4つの独立したNCO(4つのDDCチャンネル)に対して複数の間引き率(2~1024)を選択して指定でき、マルチバンド運用における確定的なI/Q検出、高速周波数ホッピング(RTZモード、連続モード、コヒーレントモード)などのマルチチャンネル管理を行えます。非整数デジタル遅延により、ビーム形成が可能となり、EV10AS940をフェーズアレイアプリケーションに使用できます。コヒーレント周波数ホッピングとビーム形成は、各NCOの複数の位相アキュムレーターによるデジタル遅延と、確定的な専用ホッピングトリガーI/Oによって実施できます。その他の機能としては、バックグラウンド校正と温度校正、温度モニタリング、ESIstream 62/64b、HSSLリサーチ、HSSLインピーダンス制御(2×50±20)が挙げられます。

### 広範なデジタル機能

- ・ DDC 2~1024
- ・ X4 NCOによりマルチチャンネル管理が可能
- ・ 高速周波数ホッピング
- ・ ビーム形成/デジタル遅延
- ・ 自動バックグラウンド校正
- ・ 簡単なマルチチップ同期



図4(上)は、EV10AS940をRF/マイクロ波受信機に実装した場合に実際にどれだけ簡潔に、わかりやすくなるかを表しています。同時サンプリングマルチバンド/サービス受信機システム(性能については後述)の場合、すべてはRFアンテナから始まります。直線偏波アンテナは一平面でのみ信号を受信しますが、一般に読み取り距離が長くなっています。円偏波アンテナは、あらゆる平面で信号を受信します。

そのため、受信信号が同一平面上にある場合は直線偏波アンテナを使用し、それ以外の場合は円偏波アンテナを選択する必要があります。アンテナ出力(LバンドからKaバンド)は、特定の周波数領域についてアンテナが受ける干渉の除去のためにフィルタリング(BPF1)がされます。これにより、EV10AS940のシングルエンド入力を駆動するRF低雑音増幅器(LNA)で増幅する場合の直線性要件が緩和されます。LNAは、アンテナからの非常に低い出力のRF信号を変換、増幅します。この増幅により、ADCが寄与する雑音は所定の信号に比べて減少します。これにより、受信機は、LNAより後の雑音段の影響を受けにくくなります。LNAは、ADCの50オームシングルエンド入力を駆動するため、差動バランは必要ありません。バランには固有の帯域幅の制限がありコストが高く、バランを使用することでプリント基板のサイズと重量の問題も出ます。バランを使用しない設計により、一体型DCブロッキングと50オーム実効入力インピーダンスも有するADCに、超広帯域の入力帯域幅が確保されます。これによってフロントエンドが大幅に強化され、より密度の高いデザインレイアウトが可能になります。もちろん、ADCクロック入力も、RF入力と同様(シングルエンド、DCブロッキング、入力インピーダンス50)に構成されます(図5を参照)[3]



# Teledyne e2VのEV10AS940は「特効薬」 RF/マイクロ波ADC

2024年9月



サンプルクロックの周波数が高くなるにつれて、特にビーム形成システムでは、信号サンプルクロックのエッジがシステム全体に確定的に適用されることで、システムの空間精度範囲が確立されることが重要となります。サンプルクロックの位相精度を確保するには、クロックシステム（特にSARシステムなど）の精度を確保することが強く求められます。この点で、EV10AS940はTeledyne e2vが言うところの「同期チェーン」機能を搭載しています。これにより、同期チェーン上の各デバイスが受信した同期信号がタイミング調整チェーンの下流の他のすべてのADCによって後に共有されるようにその「タイミングを再調整」するため、整相列の個々のADCがデジタル準安定状態を解消できます。この方法により、各デバイスがある正確な瞬間にサンプリングすることが保証されます。その結果、無制限のチャンネル並列化が可能になり、チャンネル位相のずれの問題が本質的に解消されます。

## システム性能

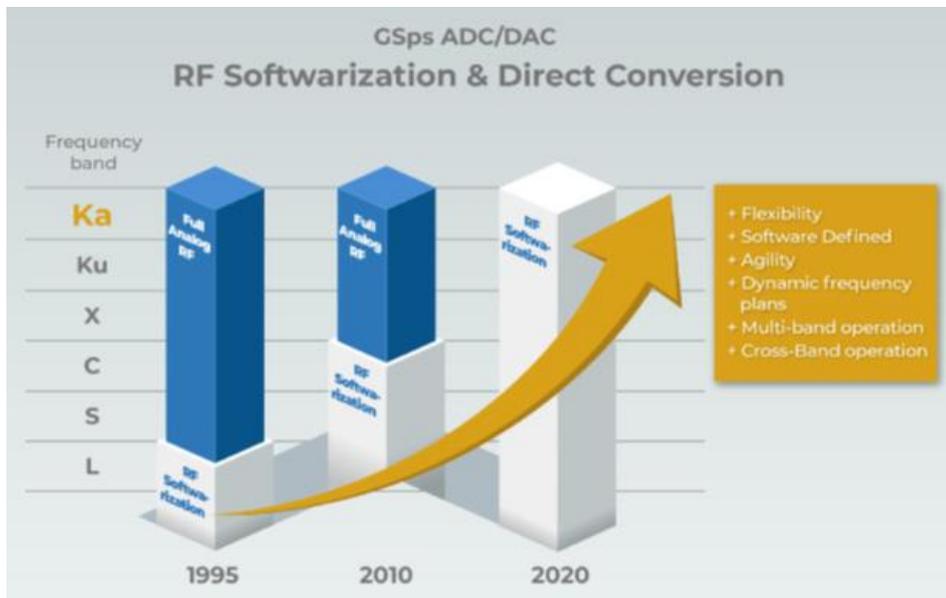


図7

Teledyne e2vは、1995年以来29年以上にわたりマイクロ波RF受信機製品を提供しています。RF処理周波数が数十年にわたって上昇し、業界全体で(Kaバンドなどのように)より一般的になるにつれ、システムのソフトウェア化機能も段階的に強化する必要がありました。やがて頂点に達すると、システムは単にソフトウェア化可能な受信機になります(図7を参照)。Teledyne e2vのEV10AS940 ADCは、完全にソフトウェア化可能(ソフトウェアで動的に再構成可能)な受信機を実現する「特効薬」です(前掲の図4を参照)。このシングルチェーン受信機は、マルチバンド(L~Ka/バンド)を(逐次ではなく)同時に変換して、ハンドオーバーを含むシームレスな接続によるマルチサービス運用(LEO/MEOなど)を実現できます。この受信機は、その場で再構成可能(周波数調整可能)です。直接RF変換(ミキシングなし)機能のおかげで、受信モジュールを、デジタル周波数変換、I/Q検出、周波数ホッピング、ビーム形成に必要なすべての回路とともにアンテナに併設できます。RF受信機PCB上でのデジタルデータの転送は、マルチサービスシステム機能を実現する上で大きな障害となるため、最小限に抑える必要があります[6]。図8は、XバンドとKuバンドの出力信号を同時に送信したときにTeledyne e2v EV12DD700 DACによって駆動される代表的なRF送信機出力スペクトルを示しています。DACは同時にマルチバンドを送信し、EV10AS940 ADC RF受信機(図4)は同時にこれらの信号を受信して処理します[7]。

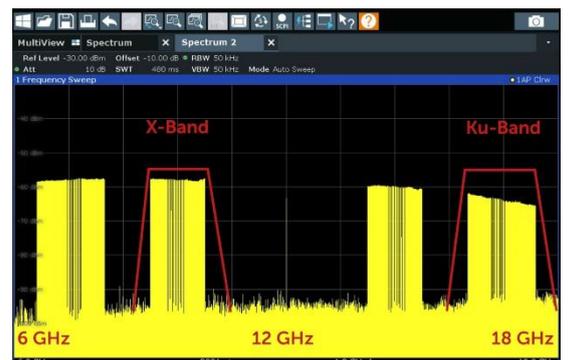


図8

# Teledyne e2VのEV10AS940は「特効薬」 RF/マイクロ波ADC

2024年9月



## EV10AS940の主な動的特性 のスナップショット

- ・ 33 GHz (-3 dB)アナログ帯域幅
- ・ SFDR with  $F_s = 12.8\text{GHz}$ , POUT = -6dBFS
- ・  $F_{in} = 4.1\text{GHz} \rightarrow -54.5\text{dBc}$
- ・  $F_{in} = 14.1\text{GHz} \rightarrow -50.2\text{dBc}$
- ・  $F_{in} = 17.4\text{GHz} \rightarrow -50.4\text{dBc}$
- ・  $F_{in} = 28.4\text{GHz} \rightarrow -50.5\text{dBc}$
- ・  $F_{in} = 40.5\text{GHz} \rightarrow -32.1\text{dBc}$

図9

最適なマルチバンドSFDRと位相/雑音性能も実現可能です(図9と図10を参照)。受信機システムの周波数計画に関しては、ハードウェアの実装(アンテナ、BPF1、LNA、EV10AS940)が定まれば、(ソフトウェアの再構成以外に)設計するのはサンプルクロック周波数だけとなります。そのため、完全にソフトウェア化可能なシステムでは、(最終的にはAI技術を活用して)継続的に動的なRF/マイクロ波システムの再構成を行います。

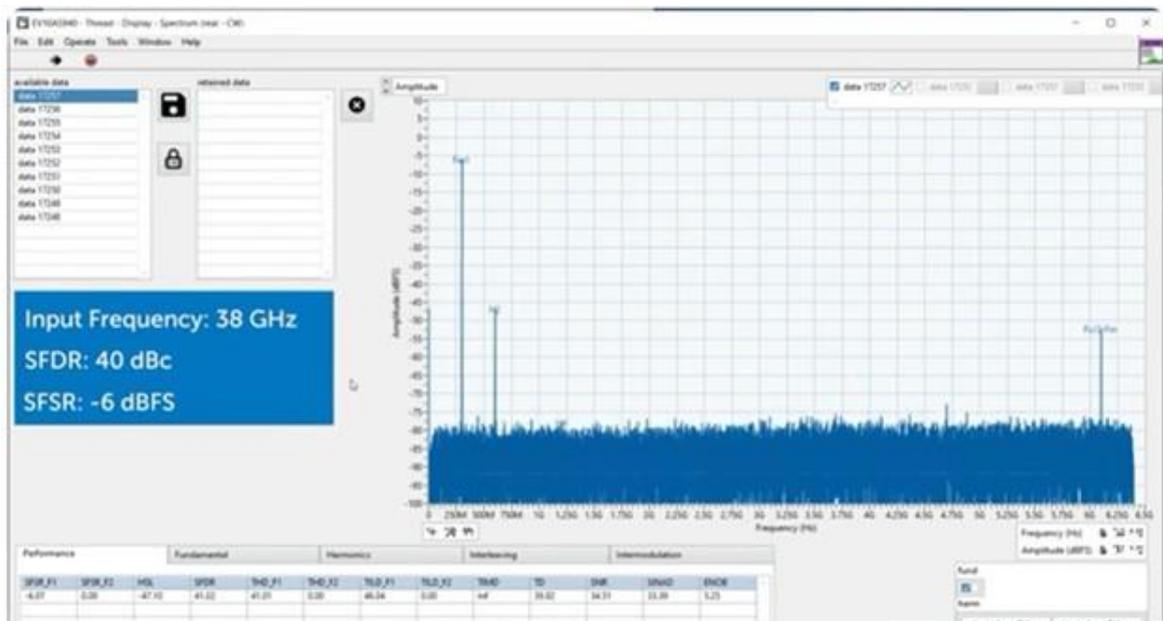


図10

雑音電力比(NPR)テストでは、隣接するチャンネル/バンドが通電しているときにマルチバンドシステム内で未使用のチャンネル/バンドでどれだけ雑音が少ないかを測定します。NPRは、指定周波数帯域をエミュレートするさまざまなノッチフィルターとともに、(すべてのマルチバンド周波数を表す)ガウス雑音源でRF受信機を駆動することによって測定されます。ノッチフィルターを外した状態で、ノッチ帯域幅内の信号の実効雑音電力が受信機によって測定されます。その後、ノッチフィルターが切り替わり、ノッチ内部の残留雑音が測定されます。この2つの測定値の比をdBで表したものがNPRです。図11は、EV10AS940 ADCを利用した同時サンプリングマルチバンドRF/マイクロ波受信機の性能の評価に役立つ予備的なNPR測定を示しています。

Parameter	Test Level	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>Noise Power Ratio (NPR) @ -14 dB LF (with 5.1GHz pattern width, 50MHz notch located at <math>F_c/4</math>)</b>						
1 <sup>st</sup> Nyquist		NPR		35.5		dB
2 <sup>nd</sup> Nyquist			35.0			
3 <sup>rd</sup> Nyquist			35.0			
4 <sup>th</sup> Nyquist			34.5			
5 <sup>th</sup> Nyquist			34.0			
6 <sup>th</sup> Nyquist			33.5			
7 <sup>th</sup> Nyquist			33.0			

図11: EV10AS940の代表的なNPR性能仕様

# Teledyne e2VのEV10AS940は「特効薬」 RF/マイクロ波ADC

2024年9月



## 結論と次のステップ

RF/マイクロ波システム開発者は、以下のブロードバンド受信機システムを設計したいと考えています。

- L~Kaバンド/直接RF同時サンプリング
- マルチバンド
- マルチサービス/アプリケーション
- シングルエンド(バルンなし)
- 低コスト
- 低電力
- 小型フォームファクター
- 確定的位相サンプリングにより、無制限のマルチチャンネル実装に拡張可能
- ソフトウェア化可能(その場で動的にソフトウェアによる再構成が可能)
- 内部DDC:I/Q検出、トリプルモード高速周波数ホッピング、ビーム形成
- 各アプリケーション(消費者用から宇宙用まで)に対応する品質水準で利用可能

これは実現不可能な希望リストのように思えますが、Teledyne e2VのEV10AS940 10ビット、12.8 GSPS ADCはまさにこれを実現します。これは、すべてのRF/マイクロ波システムレベルの開発者にとっての「特効薬」となるソリューションです。



では、次のステップは何でしょうか？Teledyne e2Vの EV10AS940のデータシートをダウンロードし、世界市場における他のRF ADCと比較して、それが「特効薬」であるかを御確認頂き、評価ボード(図12を参照)の提供についてTeledyne e2Vまでお問い合わせください[8]。お客様の次世代RF/マイクロ波受信機開発の次のステップで、一緒にできることを楽しみにしております。

## 参考文献

- [1] Rebecca Cohen-Hirsch, "Why Ka-Band Best Supports the Modern Military Mission," MilsatMagazine, Sept. 2015.
- [2] Dr. Steven Arar, "Basics of Digital Down-Conversion in DSP," All About Circuits, June 2018.
- [3] Stephane Breyse, "ADC Performance in multiple frequency bands up to Ka with only 195mW/GSPS and single ended inputs," Teledyne e2V You Tube.
- [4] Nicolas Chantier, Heline Barneoud, "Direct microwave conversion capabilities now made possible deep into the Ka- band," White Paper: Teledyne e2V Semiconductors, December 2023.
- [5] Nizar Bouzouita, "EV10AS940 Digital features: Frequency hopping & Beamforming," Teledyne e2V YouTube.
- [6] Frederic Deviere, Nicolas Seller, Jane Rohou - Teledyne e2V, Saint Egrève, France, "Making History: Advanced System in a Package Technologies Enable Direct RF Conversion," Microwave Journal, Jan. 2021.
- [7] Stefano Lischi (1), Riccardo Massini (1), Romain Pilard (2), Daniele Stagliano (1), Nicolas Chantier (2), (1) Echoes s.r.l, Cascina (Pisa), Italy, (2) Teledyne e2V, Saint Egrève, France, "Feasibility Study of a Fully-Digital Multi-Band SAR System operating at L, C, X and Ku Bands," 7th Workshop on RF and Microwave Systems, Instruments & Sub-systems + 5th Ka- band Workshop. 10-12 May 2022.
- [8] Heline Barneoud, "State of the art microwave capable ADC: a demonstration of EV10AS940 FMC Board, Teledyne e2V YouTube.



詳細については、以下宛てにご連絡ください。

**Nizar Bouzouita**  
信号およびデータ処理  
ソリューション担当アプリケーションエンジニア  
[Nizar.BOUZOUITA@Teledyne.com](mailto:Nizar.BOUZOUITA@Teledyne.com)



詳細については、以下宛てにご連絡ください。

**Heline Barneoud**  
信号処理ソリューション担当  
アプリケーションエンジニア  
[Heline.BARNEOUD@Teledyne.com](mailto:Heline.BARNEOUD@Teledyne.com)

