

## 概要

2019 年後半から 2020 年にかけて 5G インフラが整い、5G 対応デバイスの運用が開始されたことによって、5G 構想が現実化しました。初期の 5G インフラ構築には、ザイリンクスの Zynq® UltraScale+™ MPSoC および RFSoc 製品が大きく貢献しました。5G の大規模運用が始まった今、5G 経済は 3G や 4G と同じ道をたどるのではなく、多様化するユースケースと細分化された市場のさまざまなニーズに対応していく必要があります。

現段階の 5G 運用は、5G カバレッジを既存の 4G 接続に固定してデータ スループットを向上させるノンスタンドアロン (NSA) 構成が主流です。2020 年 6 月のリリース 16 で 5G スタンドアロン (SA) 構成の仕様が策定され、5G をフル活用できる環境が整いました。今後は、NSA と SA の両方の 5G ネットワークをサポートしていく必要があります。

こういった新しい課題を解決するためには、市場ニーズに合わせて進化しながら、複雑で多様な要件に対応できる適応型ソリューションが必要です。そこで登場したのが Zynq RFSoc DFE です。Zynq RFSoc DFE は、ハード化した DFE IP を多数統合しているため ASIC 並みの電力効率を実現できると同時に、適応型ロジックによる柔軟性も備えている唯一のソリューションです。今後の 5G ニーズに応えていくには、ハード IP と適応型ロジックの最適なバランスが不可欠になります。

## 背景と歴史

ザイリンクスは 2018 年に 1 世代目の Zynq RFSoc を出荷し、その後、既存市場と新興市場のニーズに合わせて性能と機能を強化した製品を 3 世代にわたってリリースしてきました。Zynq RFSoc は、RF-ADC と RF-DAC をそれぞれ最大 16 個統合しているため、消費電力の大きい JESD204 インターフェイスをデザインから排除できます。これにより、無線デザインの複雑性が解消されて総消費電力とボード エリアを大幅に削減できます。この効果は、64T64R Massive MIMO (mMIMO) 無線で最も顕著に表れており、最大 60 ワットの総消費電力を節約できます<sup>1</sup>。Zynq RFSoc 製品ポートフォリオに含まれる Zynq RFSoc DFE は、ダイレクト RF サンプリング コンバーターだけでなく、必要な信号処理ブロックをすべて備えた DFE (デジタル フロントエンド) サブシステムを完全なハード IP として統合しています。図 1 に Zynq RFSoc 製品ファミリのロードマップを示します。Zynq RFSoc DFE は、アンテナあたりの信号処理機能を Gen 3 デバイスの 2 倍提供し、同じユースケースでは消費電力を半分に抑えることができます。

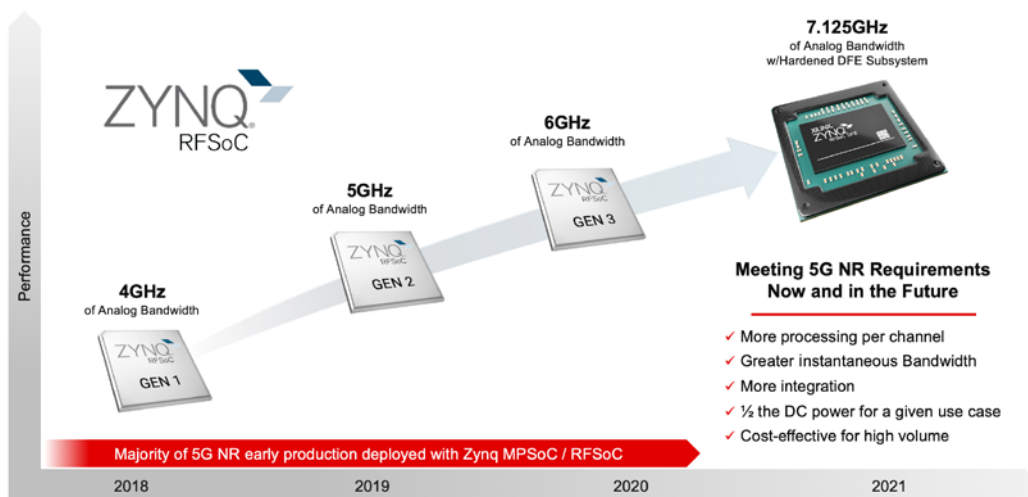


図 1 ザイリンクス Zynq RFSoc のロードマップ

図 1 では、ザイリンクス Zynq RFSoc 製品の進化を示しています。2 年以内に新製品がリリースされ、各段階でユーザー投資 (ハードウェアやソフトウェア) が保護されています。

<sup>1</sup> Mobile Experts 提供。「Semiconductors for RRH 2020」- 2020 年 8 月

## 最先端領域「5G」の課題

通信事業者は、5G 無線の運用を開始する中でさまざまな課題に直面しています。これらは、1) 無線の性能向上と複雑化、2) 5G の多様なユースケースと進化する規格、3) 5G 市場の混乱の 3 つに大別できます。

### 無線の性能向上と複雑化

無線ユニット (RU) に広帯域化が求められるのは、データ レートや性能を向上させるためだけではありません。事業者にとっては既存帯域と新規帯域の複雑で多様な無線構成 (RC) に対応する必要があるからです。各々が独自の無線構成を求めるようになると、膨大なグローバルバンドの管理は難しくなります。これらの要件を満たすために、無線ユニットはできる限り広帯域でランダムなキャリア構成にも対応できるように設計する必要があります。初期の 5G 対応無線ユニットは、最大 200MHz の帯域幅をサポートしていましたが、今では最大 400MHz の帯域幅が求められるようになりました。これらの無線ユニットは複数帯域をサポートするため、マルチバンドと呼ばれています。たとえば、あるベンダーは複数のパワー アンプ (PA) を使用して複数帯域に対応します。また、別のベンダーは、高度な広帯域 GaN PA を使用して複数帯域に対応します。この場合、最先端の広帯域デジタル プリディストーション (DPD) が必要になります。Zynq RFSoc DFE デバイスは、いずれのケースにも対応できます。

新しい周波数帯も例外ではありません。たとえば、2019 年はすべての 5G New Radio (5G NR) 帯域が 6GHz 未満であったため、FR1 (Frequency Range 1) は 6GHz 未満と見なされていましたが、現在、北米では、5G の追加アクセスとして新たに 7.125GHz までの帯域が提供されています。

ミリ波 5G NR (つまり FR2) には、広い瞬時帯域幅をサポートする Zynq RFSoc が中間周波数 (IF) トランシーバーとして使用されています。Zynq RFSoc DFE を使用することで、FR2 で最大 1,600MHz iBW までサポートできるようになりました。

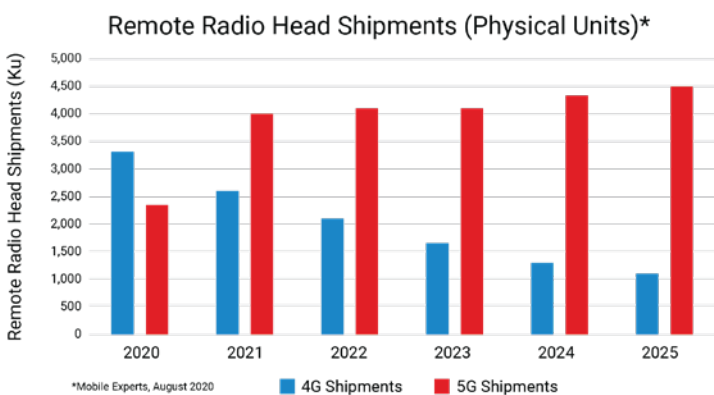


図 2 4G および 5G の無線ユニット出荷台数とオーバーラップ状況

現在、5G はデフォルトの無線規格ではあるものの、図 2 に示すように今後数年間は 4G 製品が多く出荷されます。通信事業者は 5G ネットワークをインストールまたはアップグレードする際に、従来 4G のカバレッジも提供する必要があります。これには回線ごとに独立した RU を使用すれば対応できますが、通信事業者はユニットと重量に応じてタワー スペースを借りているため、1 つの RU に 4G 無線ユニットと 5G 無線ユニットを統合したソリューションを求めています。つまり、4G キャリアと 5G キャリアの両方をサポートするマルチモードと呼ばれる要件です。1 つの無線ユニットに 2 つの無線キャリアを実装することで、設備投資と運用コストを削減できます。

5G 無線のもう一つの課題は、分散ユニット (DU) へのインターフェイスです。5G トランスポート層での標準的な分割が定義されていますが、ベンダーはアプリケーションに応じて異なるオプションを選択できます。5G の場合、代表的な分割オプションは 7.1、7.2、および 7.3 です。柔軟に対応できるように、RU はこれらをすべてサポートする必要があります。

Open Radio Access Network (O-RAN)<sup>2</sup> と Telecom Infra Project (TIP、OpenRAN)<sup>3</sup> が、DU - RU 間の物理的およびソフトウェア インターフェイスの見直しを行い、スプリット 7.2 への標準化が発表されましたが、その後も協議が続いているため、ベンダーには依然として柔軟な対応が求められます。DU-RU 間インターフェイスの標準化に向けてさまざまな努力が続けられていますが、スモール セルなどの実装が多様化し、RU での適応性が重要です。

<sup>2</sup> <https://www.o-ran.org/>  
<sup>3</sup> <https://telecominfraproject.com/openran/>

## 5G の多様なユースケースと進化する規格

5G ユースケースの課題に取り組む前に、3G と 4G の主なユースケースを確認することが重要です。

### 3G、4G、および 5G のユースケース

3G 回線は、音声やテキスト メッセージの送受信に使用されていました。利用者は通話時間と文字数に基づいて事業者に料金を支払います。4G 回線はモバイル データのみを扱います。これによってスマートフォンが急速に普及しました。利用者は 1 か月あたりのデータ通信料を通信事業者に支払います。このモバイル データへの移行がスマートフォンの普及を推進し、リアルタイムの地図ベース トラフィック / ナビゲーションシステム、オーディオ ストリーミング サービスなどの新しいアプリケーションや市場が誕生しました。

一方、図 3 に示すように 5G には eMBB (高度モバイル ブロードバンド)、URLLC (超高信頼超低レイテンシ通信)、mMTC (大規模マシンタイプ通信) という 3 つのユースケースがあります。eMBB は、データ レートを最大 100 倍に高速化します。速度やデータレートのほかに、データの送信と受信の間に生じる固定遅延「レイテンシ」がリアルタイム性重視の高速アプリケーションには重要です。5G ネットワークでは、このレイテンシを 10 倍短縮できます。最後に、スマート シティや IoT をサポートするためには、インターネットに接続できるデバイス数が重要であり、5G では非常に多くのユーザーがサポートされます。これらのユースケースが個別に最適化されていたら、まったく異なるネットワークや無線ソリューションが誕生していたでしょう。5G では、これらを 1 つの規格に統合しています。

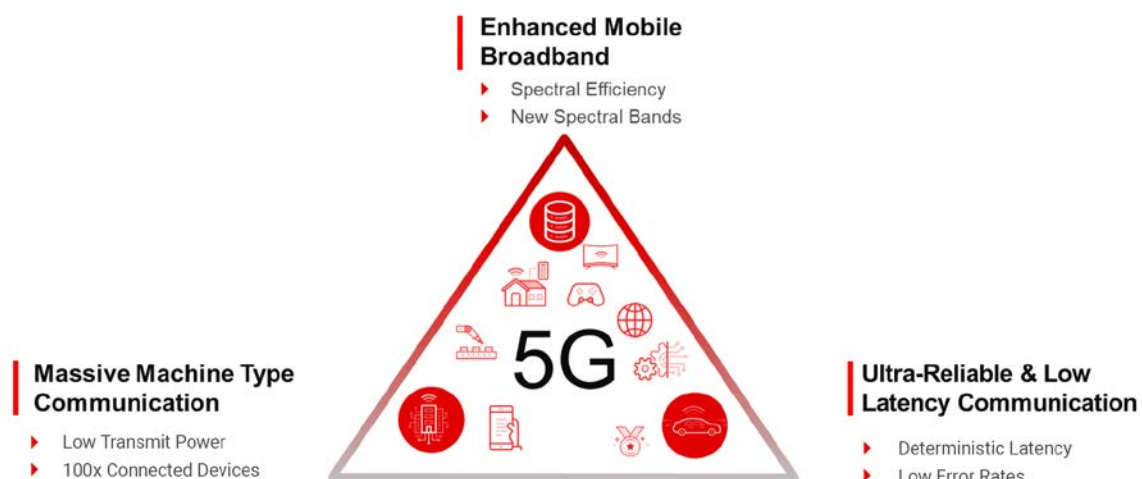


図 3 5G のユース ケース

現段階の 5G は、eMBB であり、通信事業者は競って 5G を展開し、最速ネットワークに顧客を取り込もうとしています。eMBB は既存のネットワーク機能を大幅に拡張できるため、仮想現実 (VR) などの高データ レート アプリケーションに最適です。

URLLC と mMTC は新たに誕生したアプリケーションであるため、現段階でこれらを運用する市場は確立されていません。URLLC の主なターゲット アプリケーションは自動運転ですが、運転中や衝突回避に 5G ネットワークが重要な役割を果たすというものはありません。これらのプロセスは in situ (現場) 動作が必要になります。また、実際に自動車メーカーでは一定レベルの自動運転車の開発が進められています。5G ネットワークを利用することで、特定地域の交通状況をほぼリアルタイムに更新できます。今、注目されている URLLC ユースケースには、採掘や災害時の活動など、オンボード制御が危険な場合に使用する車両や機械があります。

mMTC ユースケースでは、1 平方キロメートルあたり最大 100 万個のコネクテッド デバイスに対応できるという指標が発表されています。家庭用機器など、ほとんどのスマート デバイスは WiFi で十分対応できるため、5G が必要になることはありません。むしろ mMTC は、スマート ファクトリやスマート シティなどの産業、商業、および政府機関向けのアプリケーション開発で活躍すると予想されています。

これらの新しいアプリケーションや市場では、市場への製品投入期間を短縮できる適応性に優れたソリューションが求められています。

**進化する規格**

図 4 に示すように、4G LTE 規格は 2009 年の 3GPP リリース 9 で完成し、その後 8 年間で 5 回の 3GPP リリースが発表されて 4G LTE Advanced へと進化してきました。

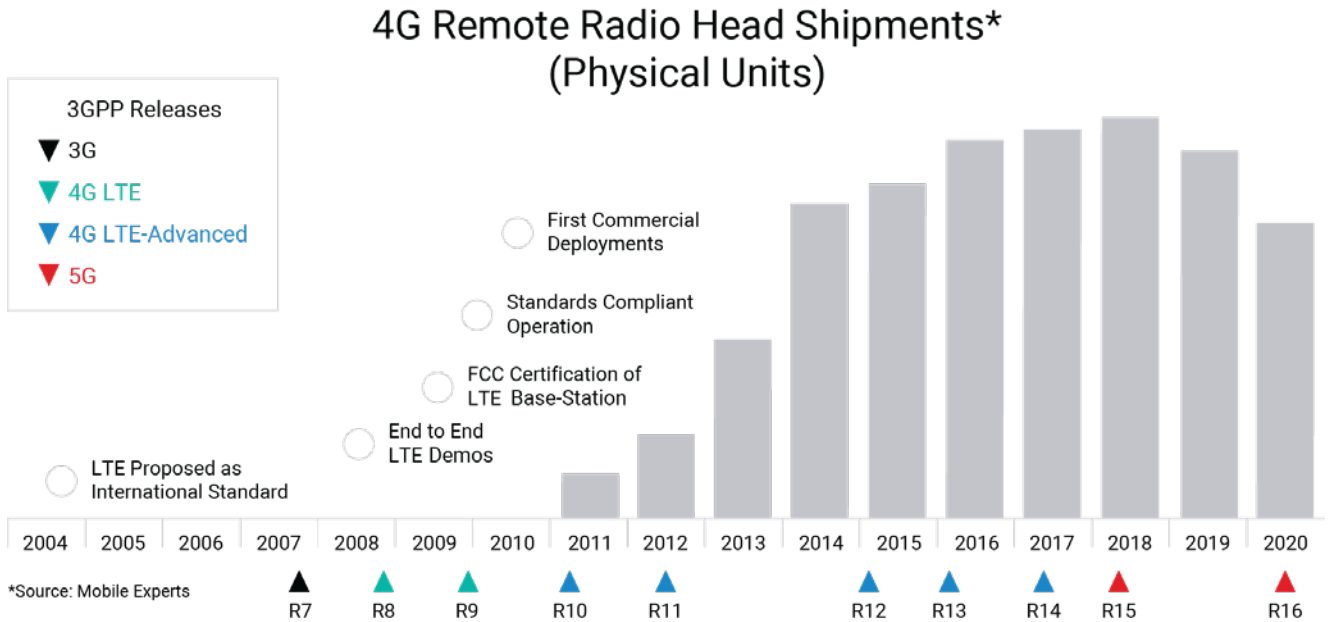


図 4 4G のタイムラインと RRU の出荷数

リリース 10 ~ 14 では、無線ネットワークを大きく変えるキャリア アグリゲーションなどの技術が定義および実装されるようになり、無線ユニットベンダーにはそれらへの適応が求められました。

リリース 15 と 16 では、5G のフェーズ 1 とフェーズ 2 が定義されており、基本的な eMBB、mMTC、および URLLC がカバーされています。現在 リリース 17 の仕様が策定中であり、リリース 18 の計画も進んでいます。5G 規格は市場のニーズに合わせて進化するため、仕様は今後 10 年間でアップデートされると考えられます。そして、5G ソリューションは、今後の 3GPP リリースに合わせて適応していく必要があります (図 5 を参照)。

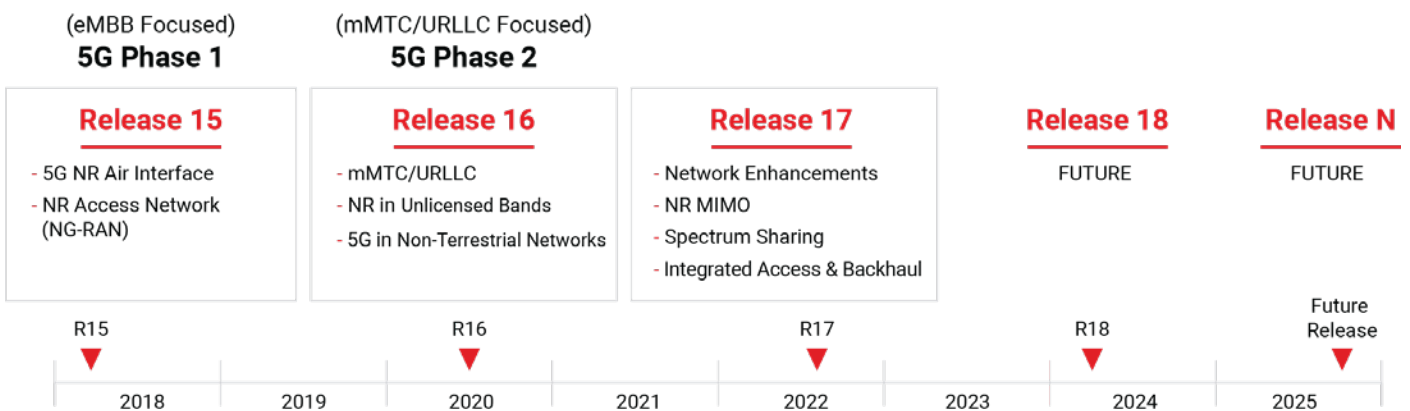


図 5 5G は市場ニーズに合わせて進化する

### 5G 市場の混乱

5G の 3 つ目の課題は市場の混乱です。4G は 1 つのユースケースに最適化された柔軟性を必要としない市場であり、大手の通信事業者がハードウェア OEM からネットワーク インフラを購入して、消費者にデータを販売する構図で市場が成り立っていました。

今日では、O-RAN Alliance や Telecom Infra Project などの新興勢力が台頭し、小規模の多様なサプライヤーと協業してイノベーションを図ることができるため、既存のビジネス モデルが崩壊しています。Dish、楽天、RJIO などの勢いある新規 5G 事業者が、同業他社や既存の大手事業者に対抗しています。一方、Telefonica のような大手通信事業者が、新しいサービスを提供する O-RAN を支援するケースもあります。従来のケーブルや衛星を利用するコンテンツ プロバイダーもスペクトル使用権を取得して通信事業者になっています。その結果、図 6 に示すように、新規の事業者やサプライヤーが参入する新しいダイナミックな 5G 経済が誕生しています。

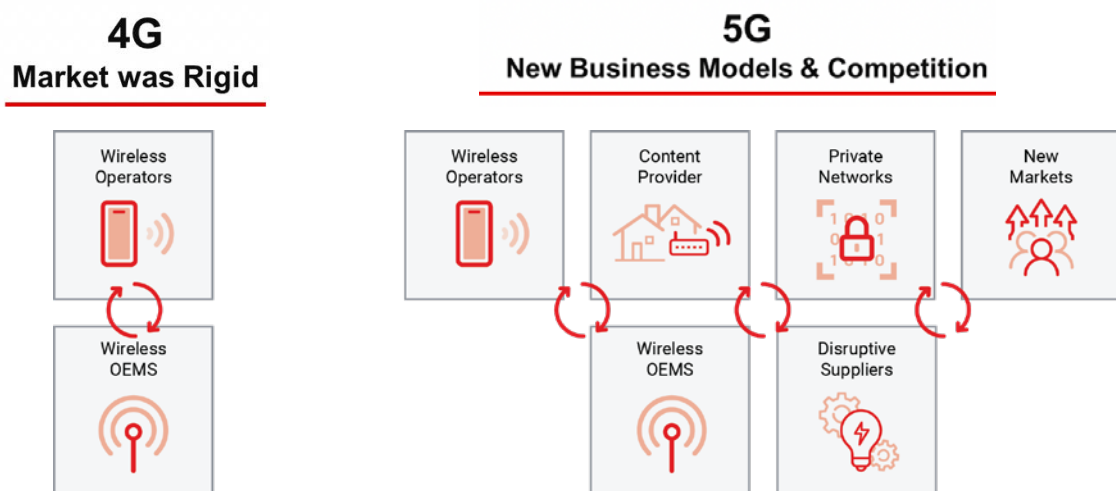


図 6 5G の新しいビジネス モデル、市場、競争相手

5G によるもう一つの市場革新は、プライベート ネットワークの増加です。前述のとおり、5G のユースケースである mMTC と URLLC は規格で定義されていますが、これらのビジネス モデルや市場経済は確立されていません。

大手事業者や OEM ハードウェア プロバイダーが既存の eMBB 市場に固執する一方で、プライベート ネットワークでは 5G ネットワークの真のイノベーションが繰り広げられ、5G ネットワークの mMTC や URLLC 機能を使用して包括的なエンタープライズ ソリューションが実現していくでしょう。事業者は、CBRS スペクトル オークションに参加することで、プライベート ネットワーク用のスペクトルを購入できます。5G ビジネス モデルの崩壊は、新規の無線通信事業者やハードウェア プロバイダーにチャンスをもたらし、独自のビジネス ニーズや市場に合わせた 5G RAN の運用を可能にします。このような新しい市場では、Zynq RFSoc DFE ベースのソフトウェアやハードウェア プラットフォームが増加し、プロバイダーはこれらを活用して最短かつ低コストで市場ニーズに応えることができます。

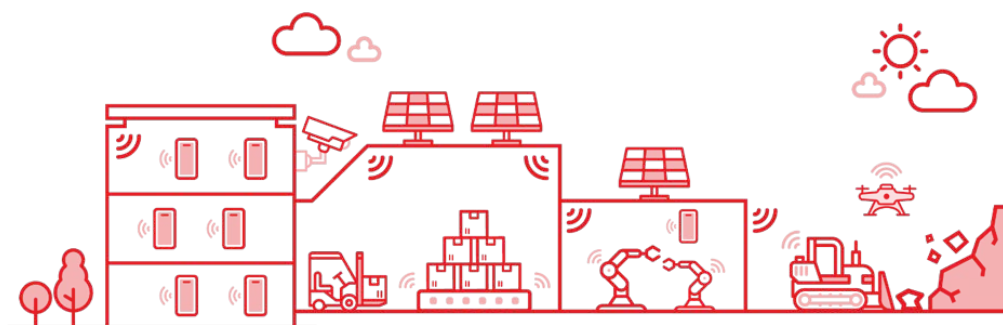


図 7 5G はプライベート ネットワークでのイノベーションを可能にする

5G の運用が開始されて、通信事業者とプラットフォーム ベンダーは多くの課題に直面しています。大規模運用で課題となる高性能、低コスト、省電力に対応しながら、進化する 5G 仕様への適応性と拡張性を備えることができる革新的なソリューションが求められています。

進化する 5G ニーズに対応できる ZYNQ RFSOC DFE



図 8 Zynq RFSoc DFE は DFE サブシステムをハード IP として統合

ザイリンクスの Zynq RFSoc DFE は、ソフト ロジックよりハード ロジックを多く統合しているにもかかわらず、新しい市場の要件、新しいサービス、顧客ニーズに対応できる適応性を備えた新しいクラスのデバイスです。この革新的なデバイスは 2 倍<sup>4</sup> の DFE 演算リソースを提供するため、コストと消費電力を抑えることができ、短い設計期間で製品をいち早く市場へ投入できます。

また Zynq RFSoc DFE は、演算負荷の高い DFE 機能をハードウェアに実装 (ASIC のような構造) しており、4G と 5GNR のいずれの規格にも柔軟に適応できます。

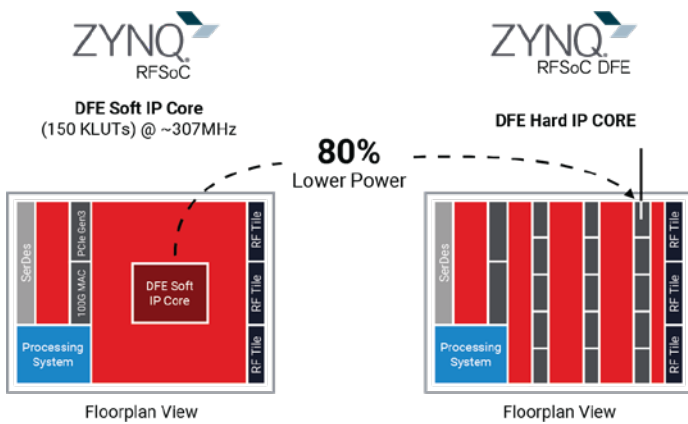


図 9 ハード IP を実装した場合の利点

図 9 に示すように、ハードセルは、従来の FPGA ソフト ロジックよりもシリコン占有面積を削減し、消費電力を最大 80% 削減できます。各ハード IP コアはソフト ロジックよりも物理的に小さいため、Zynq RFSoc Gen 3 よりも多くのコアを配置でき、最終的に大規模な DFE 演算機能を備えることができます。Zynq RFSoc Gen 3 デバイスのリソースを最大限に利用した場合と比較して、Zynq RFSoc DFE は 2 倍以上の DFE 処理機能を提供できます。

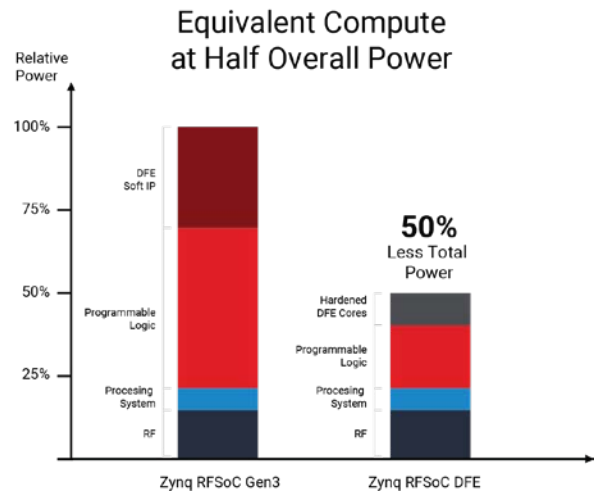


図 10 Zynq RFSoc DFE は消費電力を 50% 削減

図 10 に示すように、Zynq RFSoc DFE デバイスの DFE ハード IP ブロックを最大限に活用した場合の総消費電力は、Zynq RFSoc Gen 3 デバイスに同等機能を実装した場合の約半分となります。

<sup>4</sup>RFSoc Gen 3 と比較

図 11 に Zynq RFSoc DFE のブロック図を示します。濃紺色のハード IP ブロックは、データフローに沿ってデバイス上に物理的に配置されています。各ハード IP コンポーネントは、複数の IP インスタンスを生成して構成されているため、アプリケーションに応じて生成するインスタンス数を調整することでさまざまな大きさに縮小/拡張できます。データパス上の特定ブロックをバイパスしたり、適応可能なロジックを使用して任意のポイントにロジックを追加したりできます。たとえば、DPD などの独自 IP を追加する場合には、ロジックを並列に追加することでザイリンクスの DPD を活用できますが、独自の DPD データパスを挿入することも可能です。

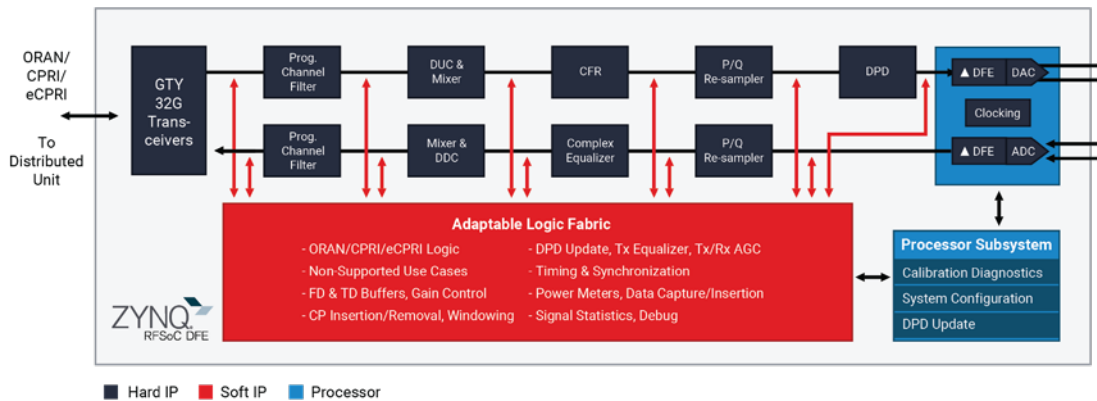


図 11 Zynq RFSoc DFE の機能ブロック

カスタマー IP およびタイミング/同期や DU インターフェイスなどのアプリケーション固有の機能は、適応可能なロジックに実装されます。Zynq RFSoc DFE デバイスは、デバイスのサイズと機能を最適なバランスで提供し、将来的なニーズにも適応できる十分なロジックを備えています。

CFR (Crest Factor Reduction) と DPD は、フィールド実証済みのザイリンクス ソフト IP をベースに構築した機能をハード IP として実装することで、機能を強化しています。この CFR IP ブロックは、キャンセレーション機能が改善されて最大 400MHz の瞬時帯域幅を提供し、DPD IP ブロックは、最大 2GSPS で動作可能で最新の広帯域 GaN PA をサポートするため、最も厳しい無線要件にも対応できます。

ハード化されたチャンネル フィルター、ミキサー、デジタル アップ コンバーター/デジタル ダウン コンバーター (DUC/DDC) は、いかなる無線周波数計画にも対応するよう構成できます。

周波数計画や性能向上に役立つリサンプラーやイコライザーなどのその他の信号処理 IP も統合されています。

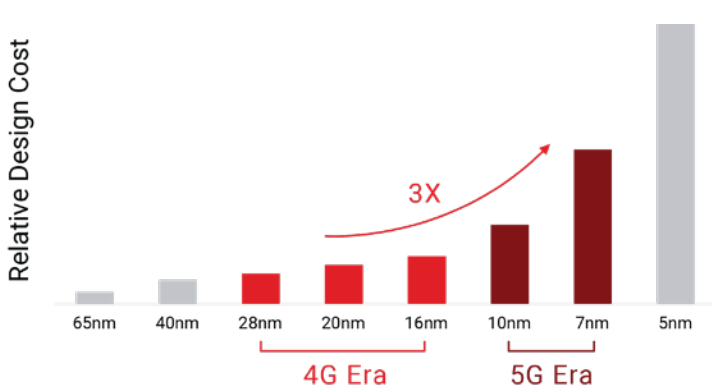
Zynq RFSoc DFE は、FR1 で 5MHz ~ 100MHz (最大 7.125GHz)、FR2 で最大 400MHz のシングルバンド、マルチバンド、マルチモード LTE /5G NR 通信をサポートします。瞬時帯域幅は、FR1 で 400MHz、FR2 で 1600MHz であり、8T8R の周波数分割複信 (FDD) 用に最大 8 つのコンポーネント キャリアをサポートします。

規格に準拠したハード IP と適応性のあるロジックを兼ね備えた Zynq RFSoc DFE は、進化する要件に無線ユニットを最短期間で適応させることができます。NRE コストがほとんどかからない FPGA の特性を維持しながら、完全カスタムの ASIC のような利点を備えている上に、革新的製品をいち早く完成させることができる適応性にも優れています。

つまり、実績ある ZynqRF SoC をベースに構築されたザイリンクスの Zynq RFSoc DFE は、演算負荷の高いデジタル処理ブロックを規格に準拠したハード IP として統合しているため、ASIC のようなメリットをもたらします。また、将来の市場ニーズに応えるために適応可能なロジックも統合しているため、市場への製品投入期間を短縮できます。

### 5G における完全 ASIC 戦略の課題

無線ネットワークでは、最初のハードウェアを出荷した後に FPGA で実現した機能を ASIC に移行するものと考えられていましたが、現実とは違いました。メインラインの ASIC では対応できないアプリケーションが必ず存在し、これらは量産段階でも FPGA を使用します。また、すべてのハードウェアベンダーが RU に ASIC 戦略を採用するわけではありません。4G の成熟期でさえ、FPGA が依然としてすべての 4G 出荷量の 40% を占めていました<sup>5</sup>。4G ではユースケースが 1 つに集中し、ベンダー固有ではあるもののネットワークアーキテクチャとインターフェイスが明確に定義されていたため ASIC のメリットがありました。5G では 4G のようなシナリオが通用しません。



多様なユースケース、複雑なネットワーク、進化する規格に対応するには、複数の ASIC が必要になり、5G 市場のニーズを満たすために反復設計の回数も増加します。

さらに、10nm と 7nm では ASIC 開発コストが急増し、低単価、低消費電力というメリットを享受できないため、選択肢としての価値提案ができません。

図 12 に示すように、5G 時代の ASIC 開発コスト<sup>6</sup> は、4G 時代と比べて約 3 倍増加しています。

図 12 5G 時代の相対的な ASIC NRE (4G 時代と比較)

ASIC 戦略を採る前に、図 13 に示す ASIC と FPGA の総所有コスト (TCO) 損益分岐点を確認する必要があります。4G 時代では、従来の FPGA よりも ASIC へ移行した方が TCO が低いとみなされる損益分岐点が 100K ユニットの<sup>7</sup>でした。5G 時代では、プロセスノードと要件によって異なりますが、この損益分岐点が最大 250K ユニットの範囲で上昇しています。Zynq RFSoc DFE の DFE ハード IP がコスト競争力を高め、TCO 損益分岐点を引き上げています。この分析は、1 個の ASIC で 1 回の反復設計を行った場合の結果です。実際、特に 5G 時代には ASIC デザインのアップデートが必須であり、図 13 の「ASIC Spin」が示すように TCO が増加します。このような場合、適応性のある Zynq RFSoc DFE は、新しい要件に対応するための追加コストが不要であるため、損益分岐点がさらに上昇します。

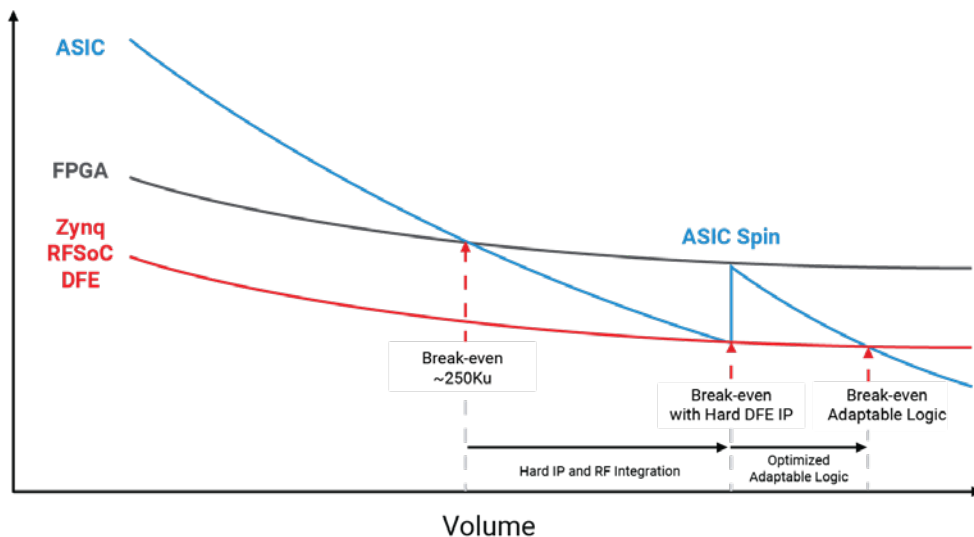


図 13 ASIC、FPGA、Zynq RFSoc DFE の TCO 損益分岐点

<sup>5</sup>サイリンクス提供

<sup>6</sup>「As Chip Design Costs Skyrocket, 3nm Process Node is in Jeopardy」 - 2018 年 6 月 22 日、投稿者: Joel Hruska, Extreme Tech 社 (<https://www.extremetech.com/computing/272096-3nm-process-node>)

<sup>7</sup>Mobile Experts 社、「Semiconductors for RRH 2020」 - 2020 年 8 月



もう一つ特筆すべき点は、図 14 に示すように 5G 製品の出荷数は中国<sup>8</sup> が市場全体の 8 割を占めていることです。ハードウェア ベンダーは、ASIC 戦略を考える際に、この事実を認識しておく必要があります。

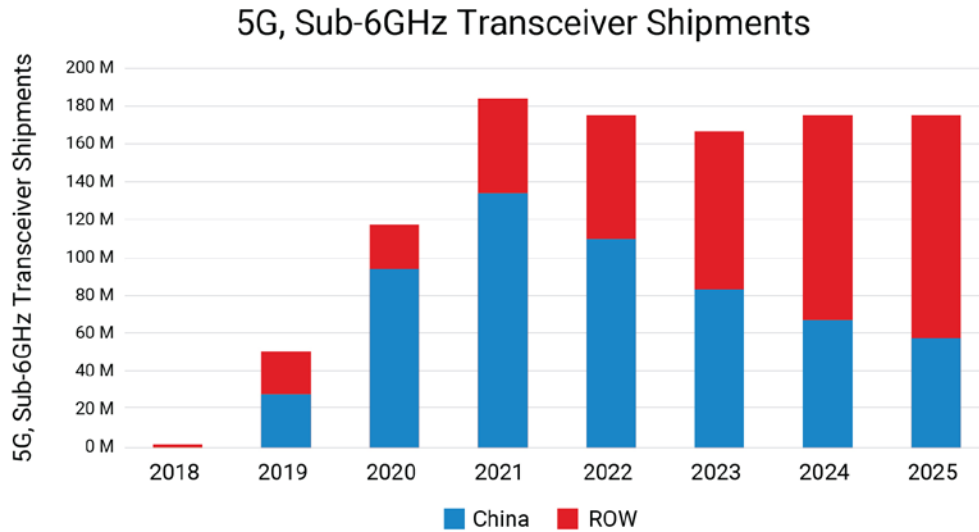


図 14 全世界の 5G 出荷量

実際の TCO は予想を確実に上回り、ASIC を使用するメリットが読めない状況であるため、大手のハードウェア プロバイダー以外は進化する 5G 要件に対応するために ASIC 戦略を継続していくことが難しくなります。そこで、Zynq RFSoc DFE のメリットがより明確になります。Zynq RFSoc DFE は、ASIC 並みまたはそれ以上の低コストと低消費電力を実現できると同時に、進化する規格、複雑な要件、ニッチ市場に対応できる適応性を備えることができます。Zynq RFSoc DFE は、元々 ASIC 戦略を考慮せずに O-RAN や TIP の活動に参画してイノベーションを目指す新規ハードウェア プロバイダーだけでなく、ASIC 戦略を推進してきたハードウェア プロバイダーにとっても、ASIC 数や反復設計回数を減らすことができるため理想的なソリューションと言えます。

詳細は、[xilinx.com/rfsoc-dfe.com](http://xilinx.com/rfsoc-dfe.com) をご覧ください。

<sup>8</sup> Mobile Experts 提供