



ヘテロジニアスイнтеグレーション  
ロードマップ  
2019年度版

## 第7章: モバイル

<http://eps.ieee.org/hir>

HIR は、技術評価のみを目的として考案されており、個々の製品または機器に関連する商業上の考慮事項とは無関係です。

このロードマップでは、元のソースから抜粋した資料および図の使用に感謝します。

図と表は、元のソースの許可を得てのみ再利用する必要があります。





## 第7章: モバイル

この章は準備中であり、2019年末に予定されているバージョン1.1のロードマップに統合されます。

その代わりに、次の要約と一連のスライドがあり、モバイルエレクトロニクスの現在の状態と、今後10～15年間に必要な進歩に関連するいくつかの情報が示されています。

### エグゼクティブサマリ

モバイルはエレクトロニクスイノベーションの主要な推進力であり、エレクトロニクス市場の収益の大部分を占め、最先端のノード半導体の最大の消費量であり、おそらく最も重要なこととして、世界人口の75～80%が直接使用しているテクノロジーです..

モバイルの章は、ヘテロジニアスインテグレーションロードマップ (HIR) の6つの市場アプリケーションの章の1つです。モバイルテクニカルワーキンググループ (TWG) の使命は、市場とテクノロジーの展望を明確にし、ヘテロジニアスインテグレーションテクノロジーの課題と障害、およびモバイルデバイスとモバイルインフラストラクチャにおけるヘテロジニアスインテグレーション要件の将来の世代のための潜在的なソリューションを特定することです。HIRモバイルチャプターのこの第1版では、短期的および長期的な視野で将来の方向性を予測するための基礎となる原動力として、推進力と最先端のパッケージング技術を明確に説明することに重点を置きます。作業計画は次のとおりです:

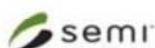
- 市場の状況、推進力、将来の方向性の概要
- モバイルにおけるヘテロジニアスインテグレーションの焦点を確認する
- 重要な実現を可能にするヘテロジニアスインテグレーションテクノロジーを明確に示す
- 全体像を引き出すために、他のHIR支部との連携を説明する
- 将来の方向性、課題、潜在的な解決策を計画する-短期および長期
- 次版の計画

## Heterogeneous Integration Roadmap



# MOBILE

Technical Working Group William  
Chen, Chair  
Benson Chan, Mark Gerber, Brandon Prior

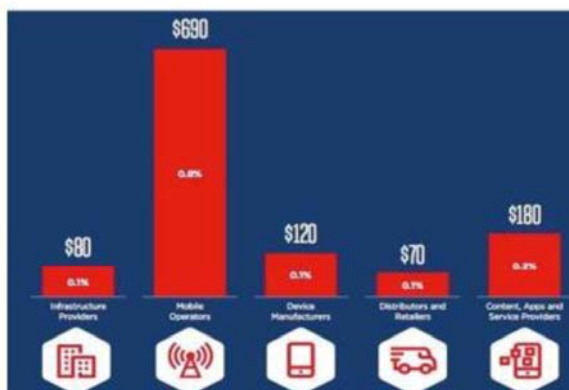


## 概要

- エグゼクティブサマリ
- モバイルテクニカルワーキンググループのミッションと計画
- ビッグピクチャ
  - モバイル経済とグローバルモバイルネットワーク
  - データの増加と5G
- スマートフォン内のヘテロジニアスインテグレーション
  - ダイスタッキングおよびパッケージオンパッケージ (PoP)
  - プレミアスマートフォン内部
- 5G –革新と創造の領域
  - スマートフォンの5G
  - アンテナインパッケージ (AIP)
- モバイルネットワークのヘテロジニアスインテグレーション
- 将来のビジョン
- まとめ
  - 困難な課題
  - サマリ
- 参考文献と謝辞



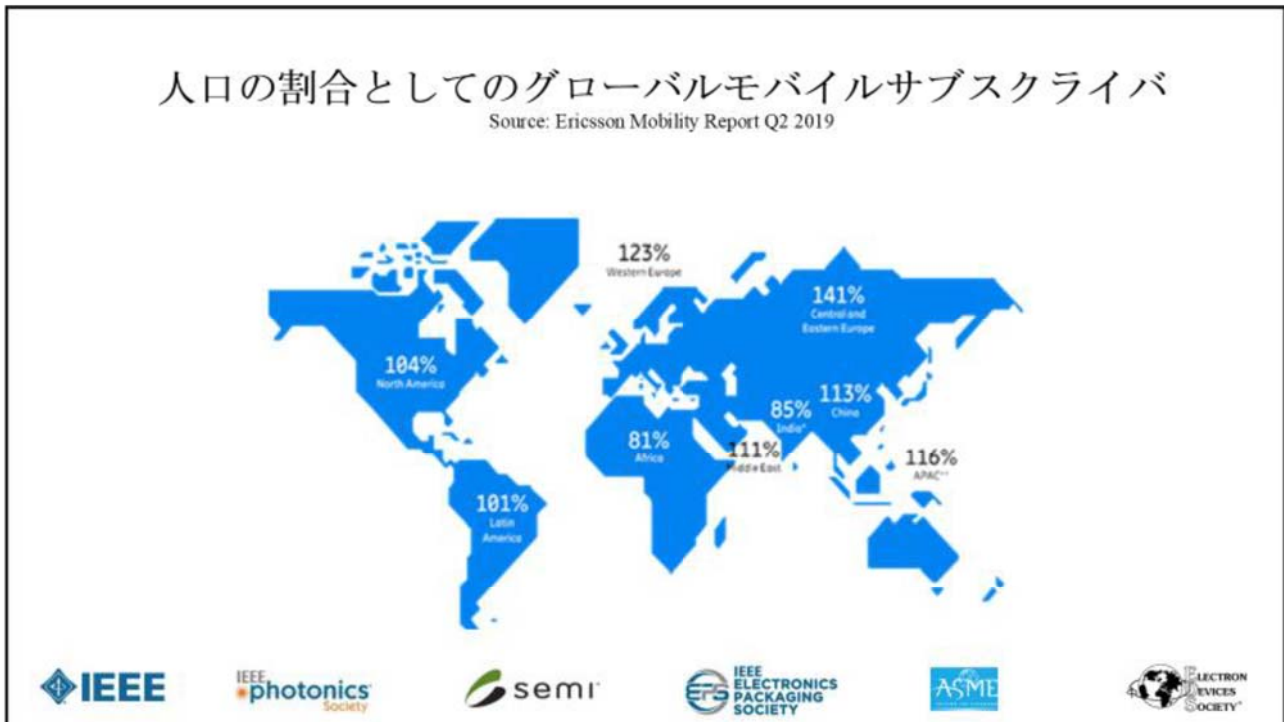
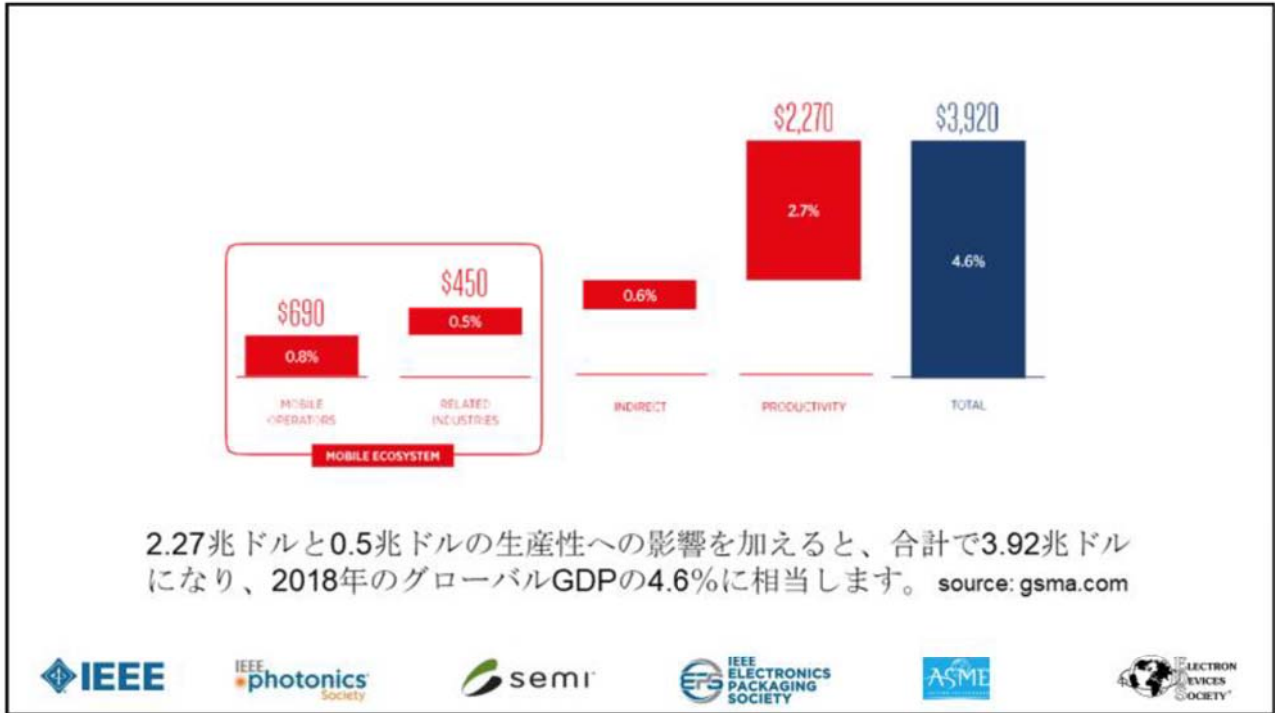
# ビッグピクチャ

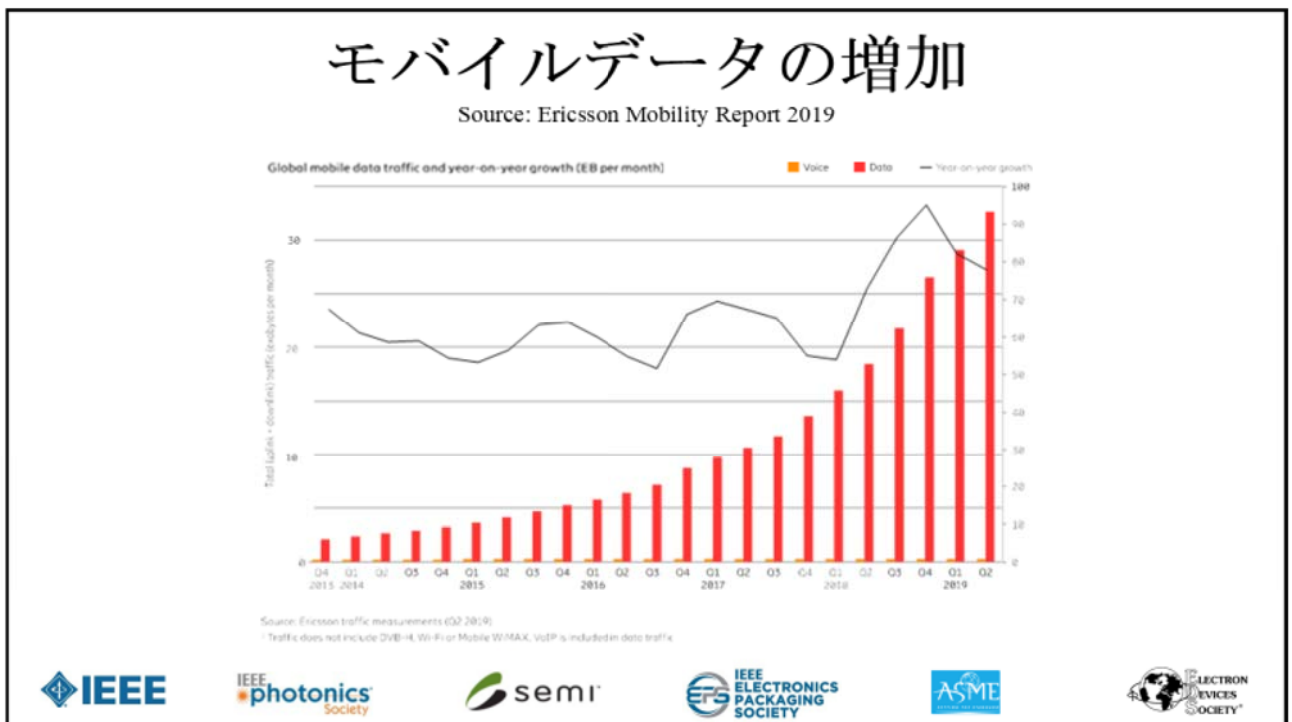
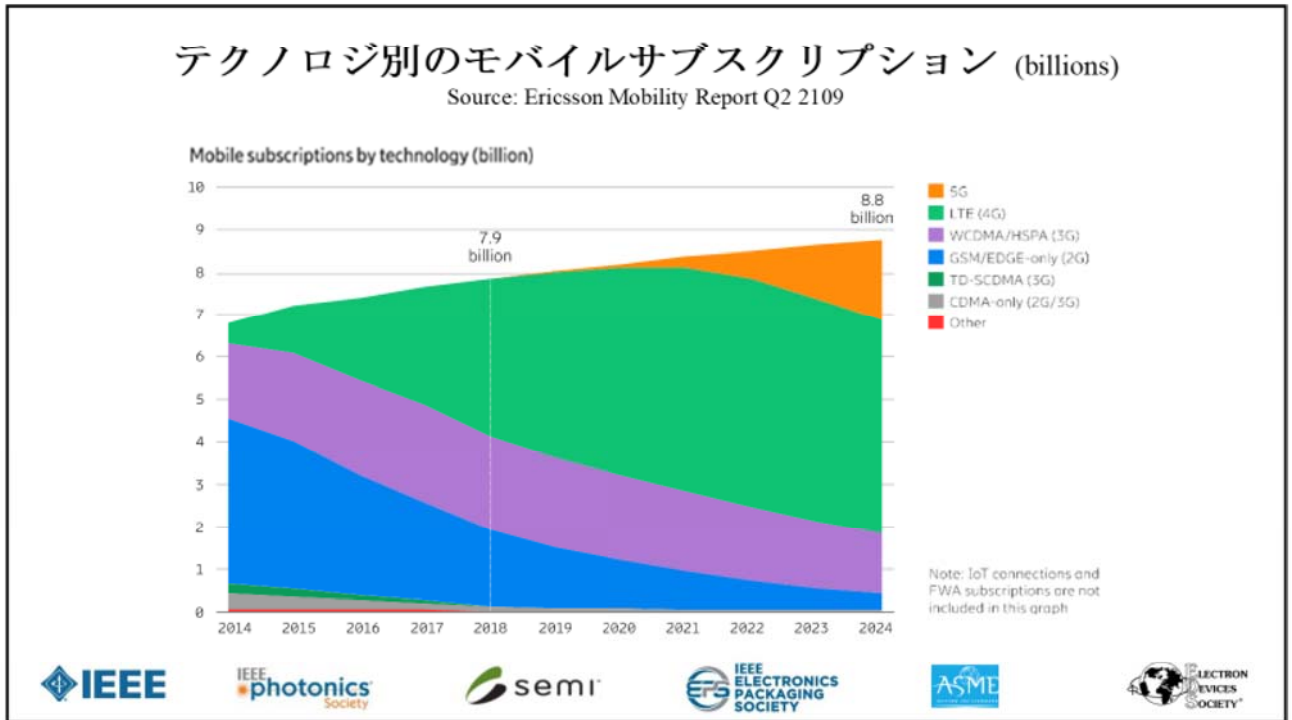


## Mobile Contribution: \$1.14 Trillion to 2018 Global GDP

GSMA ([www.gsma.com](http://www.gsma.com)) は、世界のモバイル通信業界を代表する業界団体です。GSMAのレポート「The Mobile Economy 2019」では、上に示したように、モバイル業界は2018年のグローバルGDPに1兆1,400億ドルを貢献しました。







Segment	2018	2019	2020	2021
5G	612.9	2,211.4	4,176.0	6,805.6
2G	1,503.1	697.5	406.5	285.2
3G	5,578.4	3,694.0	2,464.3	1,558.0
LTE and 4G	20,454.7	19,322.4	18,278.2	16,352.7
Small Cells	4,785.6	5,378.4	5,858.1	6,473.1
Mobile Core	4,599.0	4,621.0	4,787.3	5,009.5
<b>Total</b>	<b>37,533.6</b>	<b>35,924.7</b>	<b>35,970.5</b>	<b>36,484.1</b>

CSPワイヤレスインフラストラクチャの収益予測 (source: Gartner 08-22-2019)

Gartner (2019年8月22日) は、通信サービスプロバイダー (CSP) が非スタンドアロン (NSA) テクノロジを使用して最初に5Gサービスを導入すると予測しています。新しい通信である5G (NR) 機器は2020年にロールアウトを開始します。

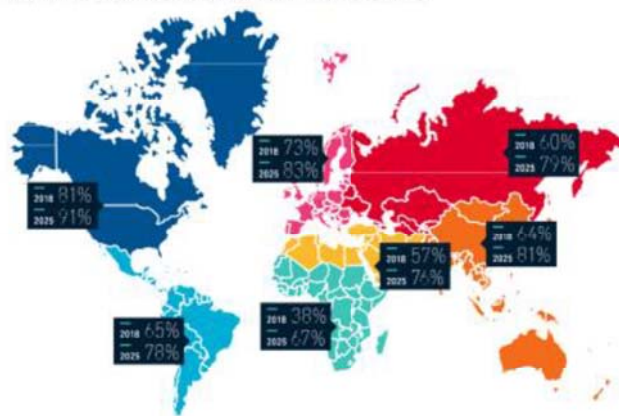


## スマートフォンのグローバルな拡大

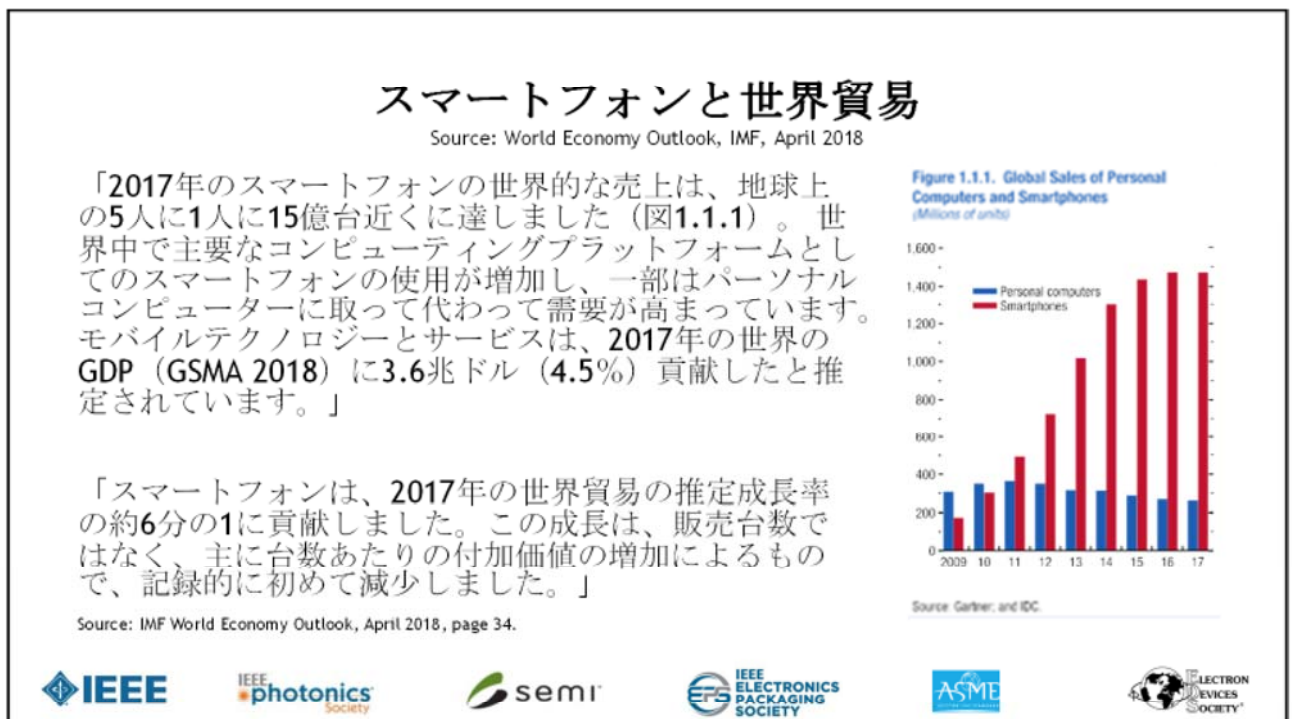
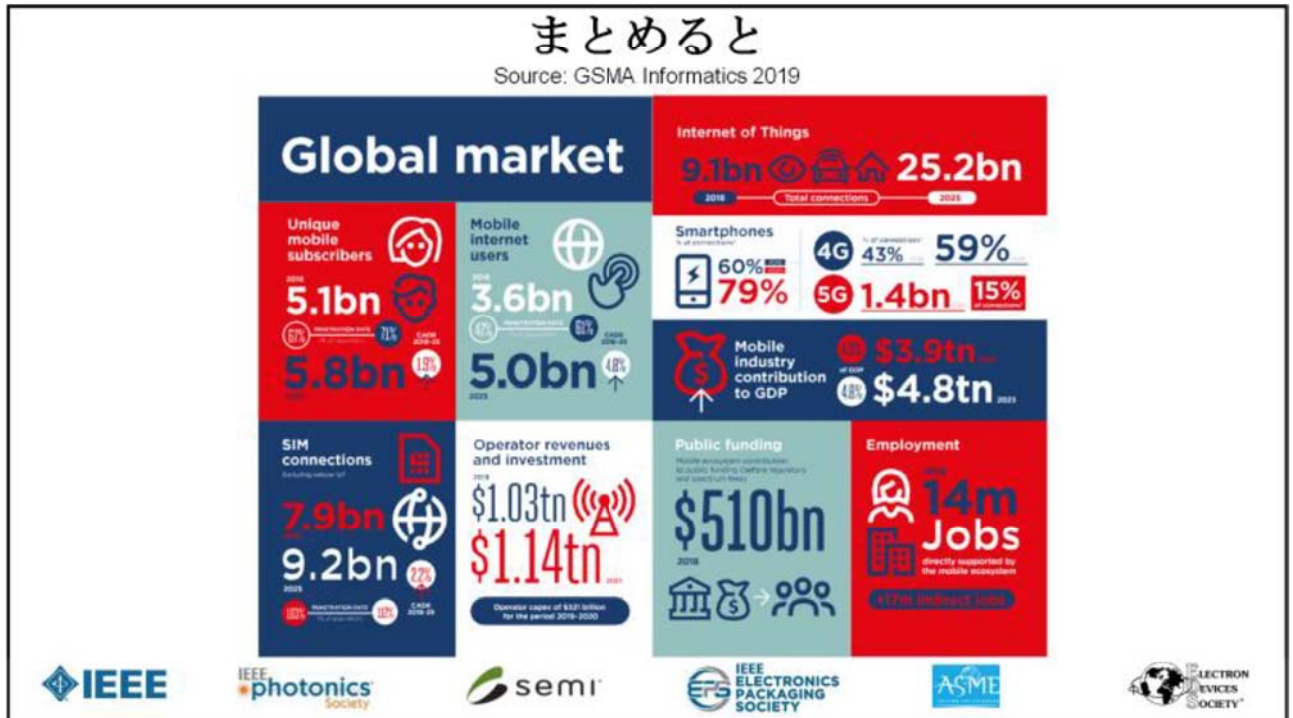
Source: GSMA The Mobile Economy 2019

Global smartphone adoption will reach 80% by 2025

Smartphone connections as a percentage of total mobile connections







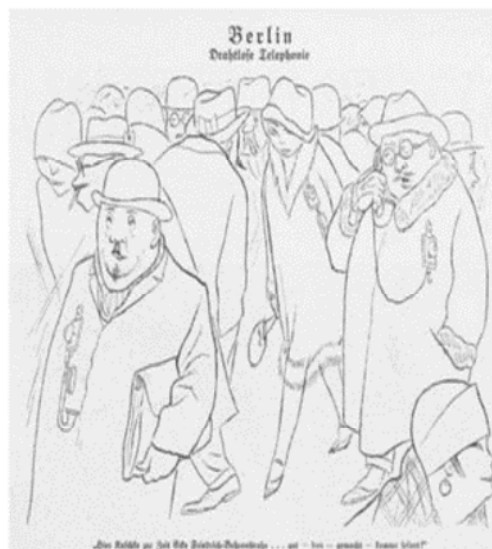
## 携帯電話の内面



## 携帯電話 1926

人々が拘束されていない場所で自由にコミュニケーションをとるという考えは、ずっと前から存在しています。右に示すのは、1926年にドイツの雑誌 **Simplicissimus** で出版されたアーティスト **Karl Arnold** の漫画「ワイヤレス電話」です。

Source: Wikipedia – History of Mobile Phone



## スマートフォン

- スマートフォンは主要なヒューマンマシンインターフェースデバイスであり、**50億台**が設置されています。
- 世界中の人間、機械、環境と対話するために追加されたより多くの機能とインテリジェンス
- これは、消費者の「満たされていない」ニーズを満たすための、最も高度なノードとイノベーションのためのプラットフォームです。

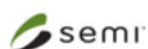


From L to R : Apple iPhone XS Max, Samsung Galaxy S9+, Huawei 20 Pro

## スマートデバイス（電話）（1）

スマートフォンは、人と人、人と機械のインターフェースのための「1つのデバイス」です。これは、テレフォニーに加えて、インターネットとWebアクセス（Webブラウジング、検索、GPSマップ、タッチスクリーン、大型ディスプレイ、適切なバッテリー持続時間、拡張アプリなど）の機能を統合した「社会変革テクノロジー」です。

世代から世代へと定期的に新しい機能（顔認識など）を追加することにより、製造業者は消費者バイヤのアップグレードサイクルを構築します。電子機器に加えて、タッチスクリーンに必要な強化ガラスや十分なバッテリー寿命のためのリチウムイオンバッテリーなど、機械的、熱的、および動作上の設計要件があります。



## スマートデバイス（電話）（2）

今日のスマートフォンは、10～24台のデバイスをSiPとしてパッケージ化できます。20を超えるSiPカウントはフラッグシップスマートフォンで見られる可能性があり、24は5G電話の初期の反復で見られます。SiPは次のとおりです：

- 2および5カメラモジュール
- 1-2光学センサー（単純な近接から完全な顔認識まで）
- 3つ以上のMEMセンサー（アクセラレータ、ジャイロ、圧力）
- コントローラが付いた1～2個のスタックメモリパッケージ
- 1-4パワーアンプモジュール
- 1-3スイッチフィルターモジュール
- WLAN / Bluetoothモジュール
- パワー管理
- PoP-アプリケーションプロセッサおよびベースバンドプロセッサ
- アンテナモジュール-5G電話用のアンテナインパッケージ（AiP）

電話が市場の需要を満たすために機能を追加し続けるにつれて、SiPの使用は増え続けています。



## SiPによるヘテロジニアスインテグレーション

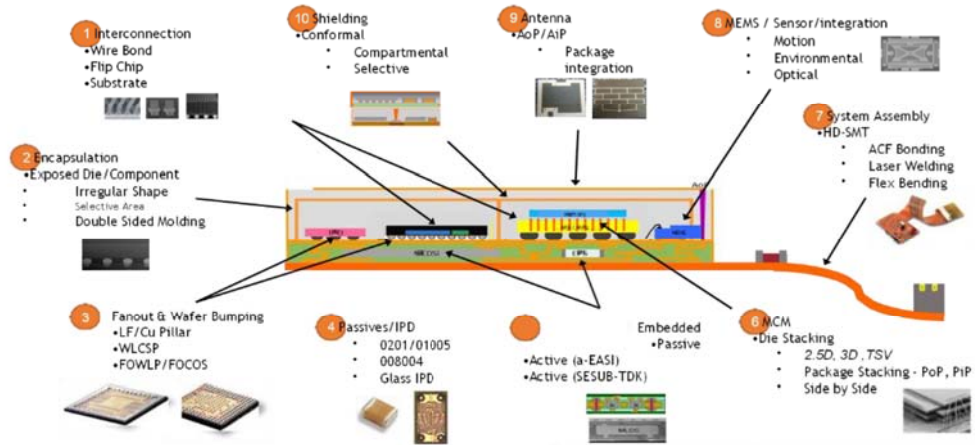
- ゴードンE.ムーアの有名なムーアの法則の論文で、彼は次のように述べています。「別々にパッケージ化され相互接続されている小さな機能から大規模なシステムを構築する方が経済的であることがわかるかもしれません。大規模な機能を利用できることと、機能の設計と構築を組み合わせることで、大規模システムの製造業者は、多種多様な機器を迅速かつ経済的に設計および構築できるようになります。」

Source, "Cramming More Components onto Integrated Circuits," *Electronics*, pp. 114-117, 19 April 1965.

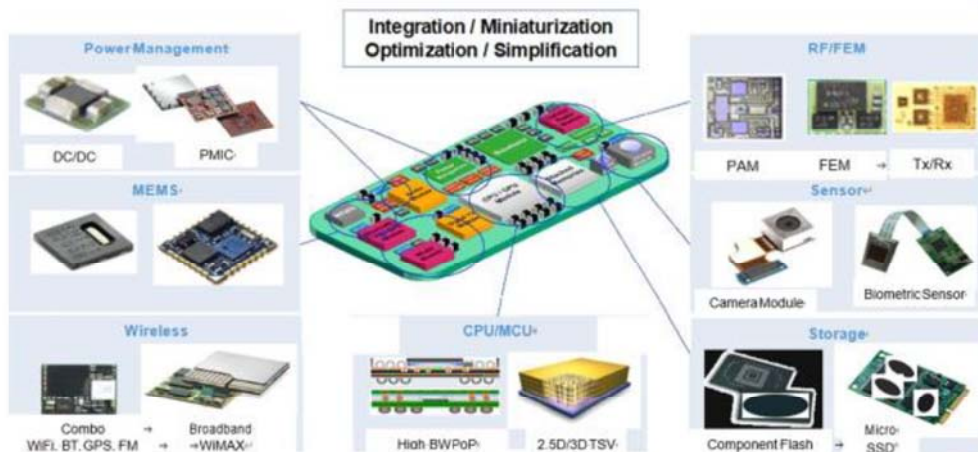
- 私たちは彼の言葉を次のように言い換えることができます：「個別にパッケージ化され相互接続されているSiPとモジュールへのヘテロジニアスインテグレーションにより、小規模な機能から大規模なシステムを構築する方が経済的であると判明する場合があります。大規模な機能を利用できることと、機能の設計と構築を組み合わせることで、大規模システムの製造業者は、多種多様な機器を迅速かつ経済的に設計および構築できるようになります。」

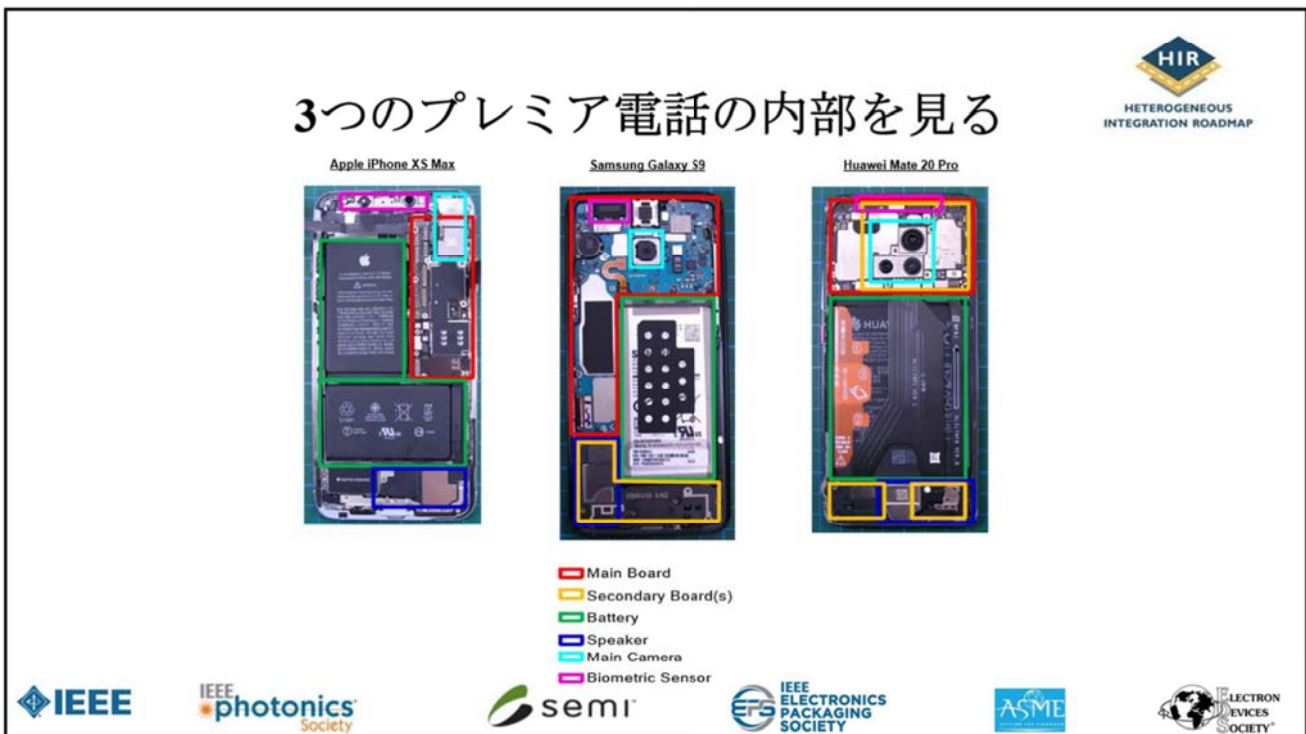
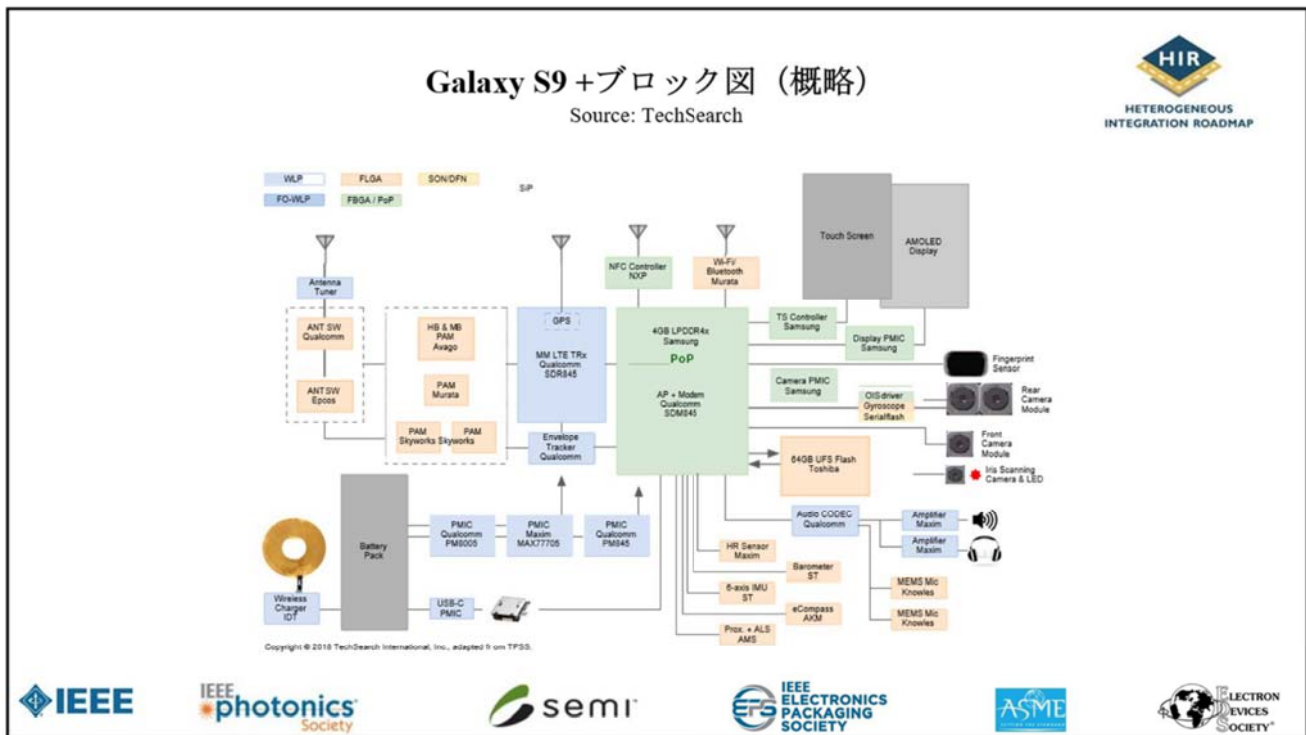


## SiPツールボックス-モバイル向けテクノロジーの実現 source: ASE モバイル向けSiP実現テクノロジー



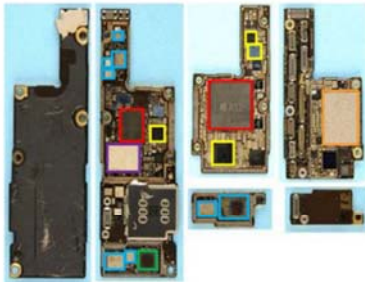
## SiP・SiMモジュールスマートフォンのヘテロジニアスインテグレーション





### 3つのプレミアム電話のメインボードレイアウト

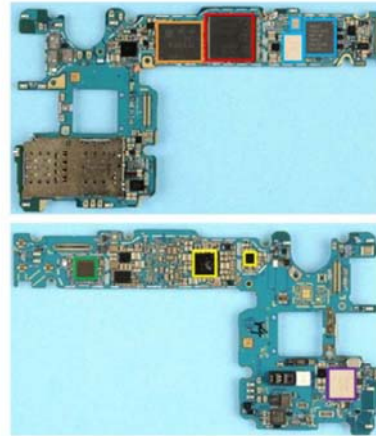
Apple iPhone XS Max



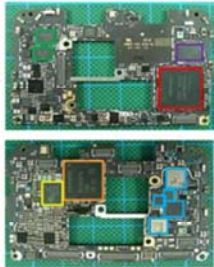
### Main Boards Layout

Source: Prismark

Samsung Galaxy S9



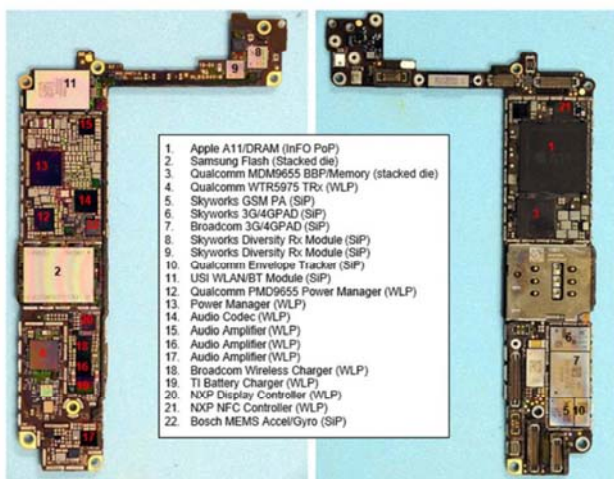
Huawei Mate 20 Pro



- APP/BBP/DDR
- Flash Memory
- PMIC
- RF TRX
- RF FEM
- WiFi



### iPHONE 8メインボードアセンブリのSiP / SiMモジュール



1. Apple A11/DRAM (InFO PoP)
2. Samsung Flash (Stacked die)
3. Qualcomm MDM9655 BBP/Memory (stacked die)
4. Qualcomm WTR5975 TRx (WLP)
5. Skyworks GSM PA (SiP)
6. Skyworks 3G4GPAD (SiP)
7. Broadcom 3G4GPAD (SiP)
8. Skyworks Diversity Rx Module (SiP)
9. Skyworks Diversity Rx Module (SiP)
10. Qualcomm Envelope Tracker (SiP)
11. USI WLAN/BT Module (SiP)
12. Qualcomm PMD9655 Power Manager (WLP)
13. Power Manager (WLP)
14. Audio Codec (WLP)
15. Audio Amplifier (WLP)
16. Audio Amplifier (WLP)
17. Audio Amplifier (WLP)
18. Broadcom Wireless Charger (WLP)
19. TI Battery Charger (WLP)
20. NXP Display Controller (WLP)
21. NXP NFC Controller (WLP)
22. Bosch MEMS Accel/Gyro (SiP)

Device Advanced Node - 10 nm

10 nm Processor/DRAM

FAN OUT SiP	1
SiP	8
WLP (WLCSP)	11
Memory Stacked Die	2

APPLE XSMaxの分解  
Samsung Galaxy S9 + とHuawei 20 Proは  
すべて、最先端のヘテロジニアスイнтеグ  
レーションを採用。

Photo source: Prismark/Binghamton University



## アプリケーションプロセッサ (AP) の パッケージ化



### Sアプリケーションプロセッサとベースバンド プロセッサ用のスタックドダイパッケージ

アプリケーションプロセッサの場合、量産には3つの主要なスタックSiPがあります:

- スタックドダイインパッケージ
- フリップチップCSPに基づくパッケージオンパッケージ (PoP)
- FO-WLPファンアウトウェーハレベルパッケージ (FO-WLP) またはパネルレベルファンアウト (PLP) に基づくPoPP

最初の2つは成熟したアセンブリと材料/ツールを利用し、広く実践されています。Appleは、アプリケーションプロセッサ用のウェーハファンアウトアプローチのシングルユーザーでした。最近、サムスンがPanelLevel Fanout Packageの形式を使用してスマートウォッチプロセッサをリリースしました。

Stacked-Dieは、メモリのパッケージングに広く使用されており、スタックドダイ製品の90%を占めています。Andreas Marteらによる「メモリダイスタッキングの進歩」ECTC 2018を参照してください。





## スタックドダイインパッケージ

以下に示すのは、最下部のパッケージとしてFCCSP形式でパッケージ化されたプロセッサダイを備えたスタックダイインパッケージの例です。FCCSPは、従来のワイヤーボンドCSPパッケージよりも低プロファイル、優れた電気的性能、および高いI/Oを提供します。iPhone XSにあるIntelベースバンドプロセッサは、3層埋め込みトレース基板[ETS]を備えた8x9mm FCCSPにパッケージ化されています。 Source: Prismark & Binghamton

University

INTEL BASEBAND IN IPHONE XS



Photo Source: Prismark/Binghamton University

- 8 x 9mm FCCSP
  - 580 $\mu$ m thick
  - 0.4mm pitch
- 3L ETS substrate
  - 30 $\mu$ m thick
  - 20  $\mu$ m L/S
- Processor is 75 $\mu$ m thick
  - 115 $\mu$ m pitch Cu bump
  - Molded underfill
  - 75 $\mu$ m thick die
  - 20 $\mu$ m Die attach film



## パッケージオンパッケージ (PoP) (1)

Package-on-Package (PoP) はWikipediaで「垂直方向に個別のロジックとメモリアレイ (BGA) パッケージを組み合わせるための集積回路パッケージング手法」として説明されています。2つ以上のパッケージが互いの上にインストールされ、つまりスタックされており、それらの間で信号をルーティングするための標準インターフェイスが付いています。これにより、携帯電話、携帯情報端末 (PDA)、デジタルカメラなどのデバイスのコンポーネント密度を高めることができます。」 Source: Wikipedia

PoPソリューションは、携帯電話のベースバンドおよびアプリケーションプロセッサで一般的に使用されています。ハイエンドの携帯電話では、高いI/Oとパフォーマンス要件を提供するために、PoPパッケージの採用が最も速くなっています。スタック型PoPの主な利点は、デバイスを組み立てる前に個別に完全にテストできることです。

PoPは多くのハイエンド携帯で使用されています。この市場は年間約8億台で継続すると予想されます。Apple、Qualcomm、Samsung、Huawei、MediaTekは引き続きPoPの最大のユーザーであり、他の多くは量産中です。

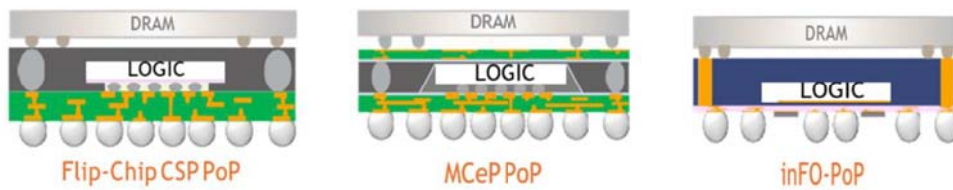


## パッケージオンパッケージ (PoP) (2)

以下の3つの概略図は、スマートフォン、タブレット、スマートウォッチで現在生産されている3種類のPoPパッケージです。

左側は、FCCSPの形で基板上に組み立てられたロジックダイ（アプリケーションプロセッサまたはベースバンド）を備えたフリップチップCSP PoPです。中央の図は、HBWメモリパッケージからの追加のI/Oに対応するための追加の基板を持ち、MCeP PoPを表しています。右側には、Apple Smart PhoneおよびSmart Watch向けのTSMC InFOウェーハレベルテクノロジーと、Samsungスマートウォッチ向けのSamsung Panel Levelテクノロジーで使用されているFan Out PoPがあります。

Source: The 3 figures below are taken from Yole Development Report "Fanout Packaging 2019 Technology & Market Trends"



## 3種類のPoPの例

Source Yole Report



Example of Flip-chip package for APE-Exynos 8 APE in Samsung Galaxy S7  
Source: System Plus Consulting APE comparison report



Example of MCeP package for APE- Qualcomm's Snapdragon 820 APE in Samsung Galaxy S7  
Source: System Plus Consulting APE comparison report

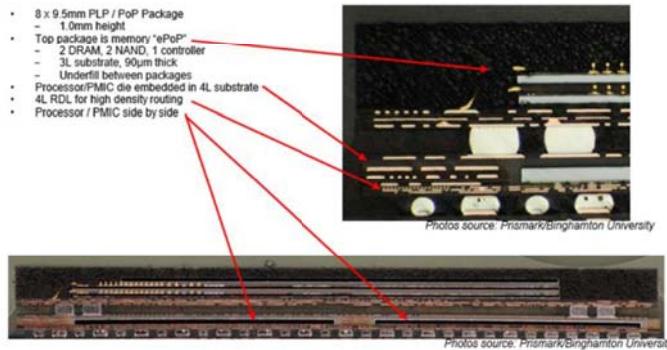


Example of Fan-Out package for APE- Apple's A11 APE in iPhone 8  
Source: System Plus Consulting APE comparison report



## Samsung Smart Watch分解 パネルレベルのファンアウトのアプリケーションプロセッサ

Source Prismark Partners and Binghamton University



### PoP サマリ

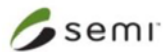
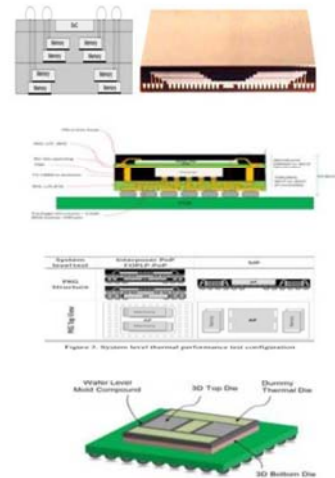
- PoPは、モバイルプロセッサとメモリパッケージの主要なソリューションであり、スペースの制約とコストとパフォーマンスのトレードオフです。
- Apple APは、APおよびメモリのパッケージングにファンアウトテクノロジーを選択しました。
- Samsungは、スマートウォッチにパネルレベルのファンアウトを選択しました。
- Samsung Galaxy S7の例では、Exynos 8 APとQualcomm Snapdragon 820 APが2つの異なるFC CSP PoPソリューションを選択しました。
- 年間8億個が出荷され、業界全体の優れたナレッジベースと製造能力により、革新はこのダイナミックな市場に向けて急成長し続けます。
- 学会のプレゼンテーションごとに、さまざまな形式のPoP FOが開発されています。
- プロセッサとメモリは (PoPのように) 垂直スタッキングまたはサイドバイサイド構成で進化しますか？ いくつかのハイブリッド形式が出現するのでしょうか？



## PoP開発動向

PoPのようなアーキテクチャ、プロセスマテリアル、製造における革新と研究の例:

- 「高度なシステムインテグレーションのための3D MiM (MUST-in-MUST)」 Au-Jhih Su et al (TSMC) ECTC 2019および「マルチスタッキングファンアウトパッケージによる3D異機種統合」 Feng Cheng Hsu et al (TSMC) ECTC 2018。
- 「モバイルアプリケーション用の超薄型FOパッケージオンパッケージ」 Hsiang-Yao Hsiao et al (IME) ECTC 2019。
- 「モバイルアプリケーション用の高度なファンアウトパッケージの研究」 Taejoo Hwang et al (Samsung) ECTC 2018。
- 「Die-to-Wafer (D2W) 処理と高度なノードロジックの3Dパッケージングのための信頼性」 Luke England (GF) & Ping-Jui Kuo (ASE) et al ECTC 2019。



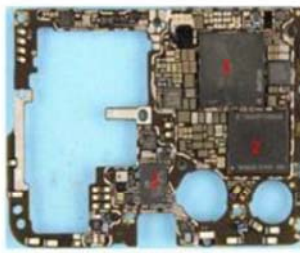
## プレミアム携帯ティアダウン

Huawei P30 Pro

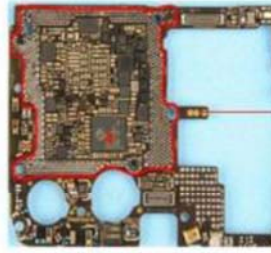
Samsung Galaxy S10 mmWave 5G



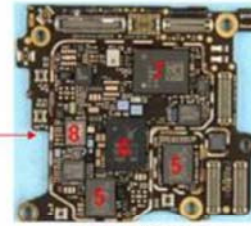
## Huawei P30 Pro 分解 Source Prismark and Binghamton University



MAIN PCB - FRONT FACING  
 1.HiSilicon 980 AP/DRAM MCEP Style PoP  
 2.Flash Memory Stacked Wirebond SiP  
 3.HiSilicon WiFi FCCSP



MAIN PCB - FRONT FACING  
 4. HiSilicon Power Manager FCCSP



RF PCB - REAR FACING

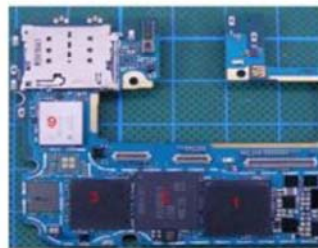
- 5. HiSilicon RF Tranceiver (2x) FCCSP
- 6. Skyworks PA Duplex Module SiP
- 7. Oovo PA Duplex Module SiP
- 8. Diversity Receive Module SiP

上記は、Huawei Pro30メインボードレイアウトです。SiPとFCCSPの豊富さに注意してください

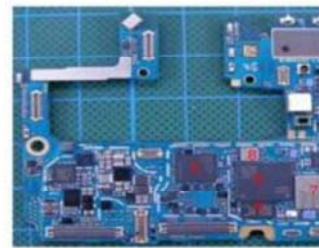


## Samsung Galaxy S10 mmWave 5G (1)

サムスンS10 5Gは5Gミリ波で初めて市場に投入されました。ほとんどのコンポーネントは同じですが、5Gベースバンドコンポーネント、追加のRFモジュール、及びアンテナ/トランシーバモジュール（後で説明します）が追加されています。



- 1. QCOM 855 AP/DRAM: FCCSPPoP
- 2. Samsung UFS NAND: Wire bond stacked CSP
- 3. QCOM 5G Baseband: FCCSP/wire bond DRAM
- 4. QCOM RF Transceiver : FCCSP



- 5. Qorvo PAD: SiP
- 6. Qorvo PA: SiP
- 7. Skyworks PAD: SiP
- 8. Skyworks 2G PA: SiP
- 9. Murata WiFi/BT: SiP



## Samsung Galaxy S10 mmWave 5G (2)

アプリケーションプロセッサは、Qualcomm Snapdragon 855アプリケーションプロセッサに MCEPスタイルのPoP構造を使用します。ツインワイヤーボンドメモリパッケージは、3層の埋め込みトレース基板 (ETS) 10  $\mu\text{m}$  L/Sの上にフリップチップ実装された下部アプリケーションプロセッサの上に実装されます。高さ25  $\mu\text{m}$ 、ピッチ100  $\mu\text{m}$ のCuピラーを備えたアプリケーションプロセッサダイは、NCFアンダーフィル上に熱圧着されます。



Photo source: Prismark/Binghamton University

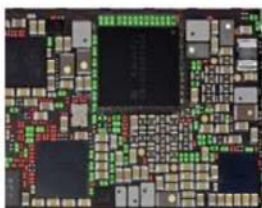
- 12.3 x 12.4mm MCEP<sup>®</sup> style PoP
- 1.3mm height, with 4 die DRAM stack
  - Reduced substrate thicknesses
- Samsung LPDDR4X with 8 (1GB) Die
- Gold wire bonds
  - Die: 50 $\mu\text{m}$  thick, FOW: 50 $\mu\text{m}$
  - 120 $\mu\text{m}$  EMC thickness over die

- Processor Package
- 100 $\mu\text{m}$  thick die; 25 $\mu\text{m}$  Cu bump height
  - TCB with NCP at <100 $\mu\text{m}$  pitch
  - 4 capacitors (0402) between bottom solder balls
  - 2L "Upper substrate": 100 $\mu\text{m}$  thick
  - 3L Embedded Trace Substrate (ETS); 130 $\mu\text{m}$  thick, 10 $\mu\text{m}$  L/S, 55 $\mu\text{m}$  via diameter

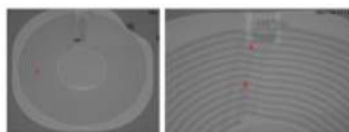


## 最近のスマートフォン (Apple iPhone 8) に見られる最先端の マテリアルとテクノロジーの実装

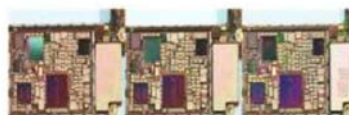
Source: Prismark Partners October 2017



About 1000 Passives:  
smallest 01005



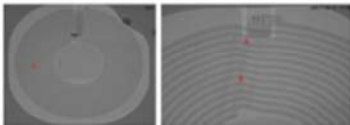
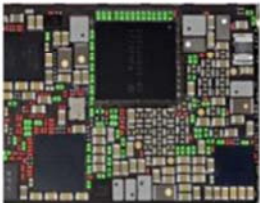

Wireless Charging Coils




Nano Coating Material

最近のスマートフォン (Apple iPhone 8) に見られる最先端の  
材料とテクノロジーの実装


Source: Prismark Partners October 2017



Wireless Charging Coils



About 1000 Passives:  
smallest 01005



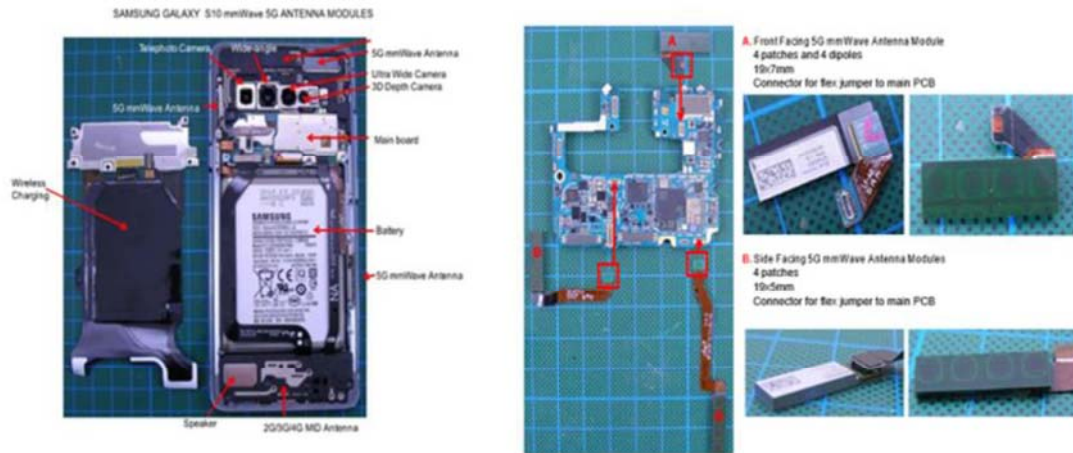
Nano Coating Material

5Gの課題への取り組み  
イノベーションとコラボレーション



### Samsung Galaxy S10 mmWaveのアンテナモジュール(3)

Source: Prismark Partners



### Qualcomm QTM 052のアンテナモジュール

Source: Prismark Partners

QUALCOMM QTM052 mmWave ANTENNA MODULES

- Side Facing 5G mmWave Antenna Modules
- 4 patches
  - 19x5mm module
  - Connector for flex jumper to main PCB
  - 5-2-5 substrate
  - 950µm thick
  - Top 5 built-up layers for interconnect
  - Bottom 5 built-up layers for antenna

- A. mmWave Transceiver
- B. Patch Antenna
- C. Dipole Antenna (not in this module)
- D. Power Manager
- E. Power Inductors
- F. Connector for flex to main PCB
- G. Shielding

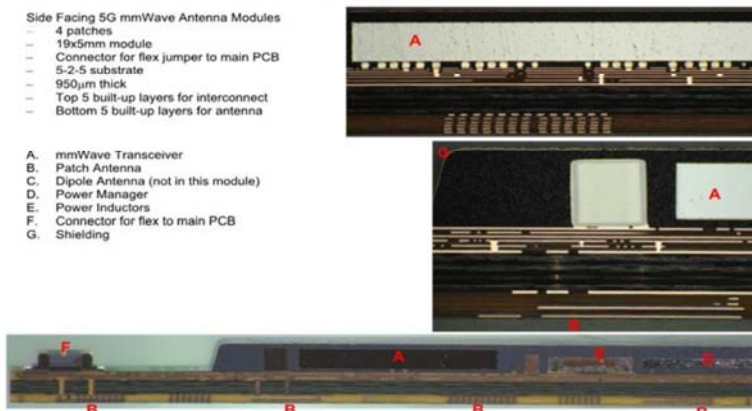


Photo source: Prismark/Binghamton University

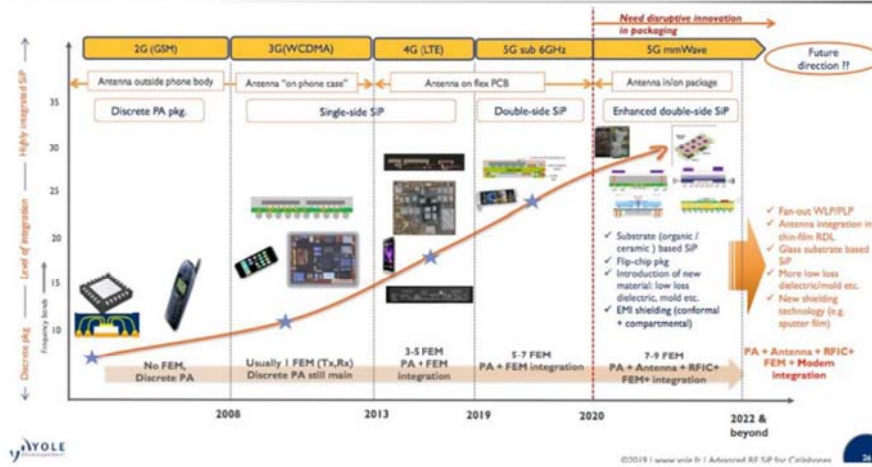




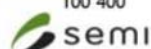
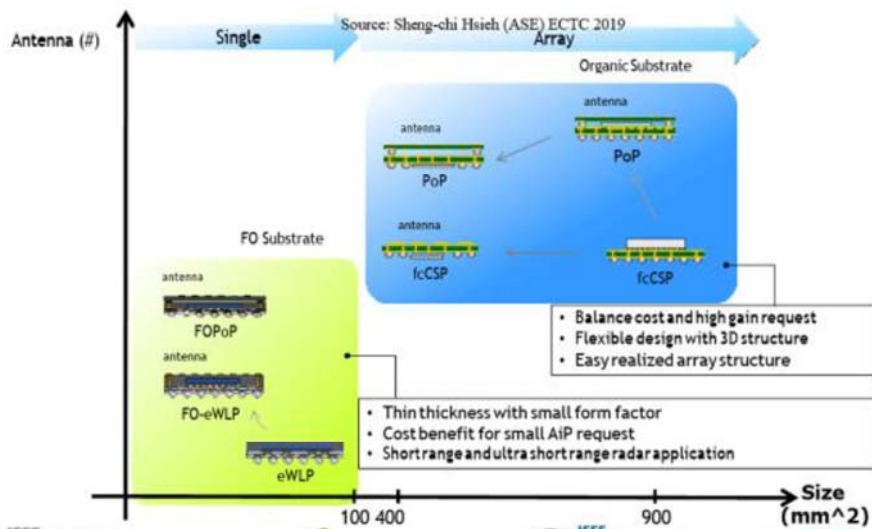
# モバイルフロントエンドモジュールの動向

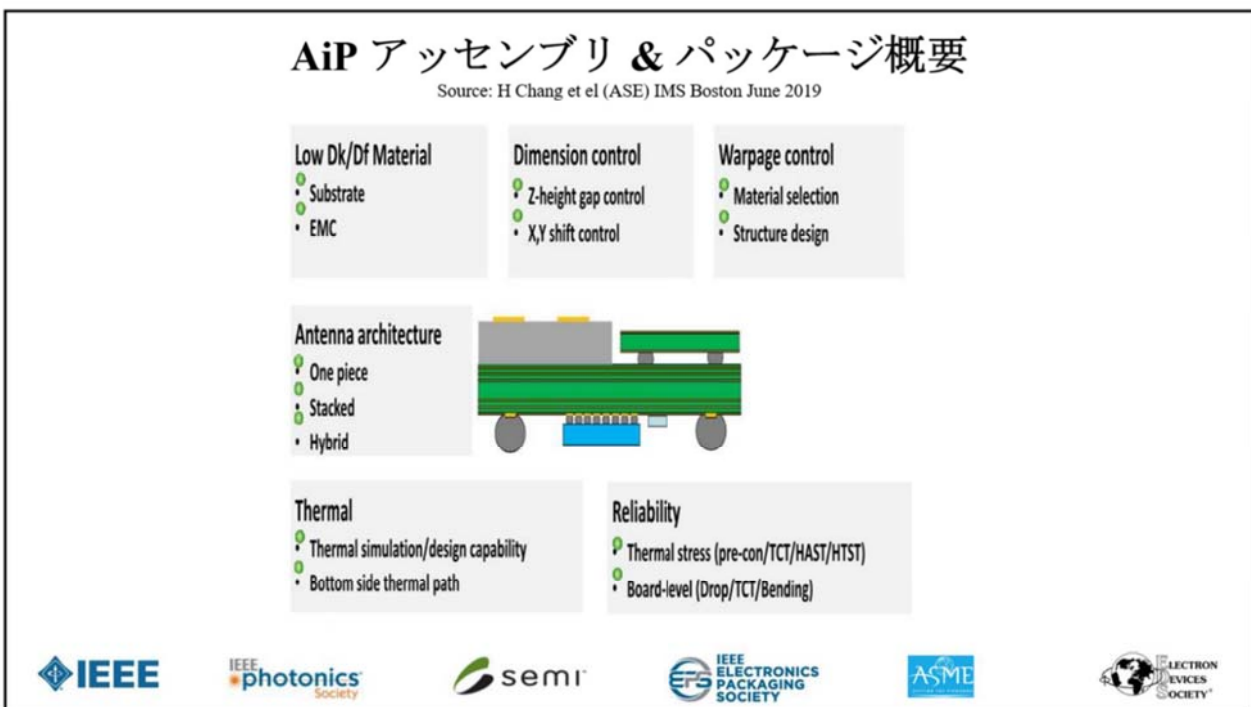
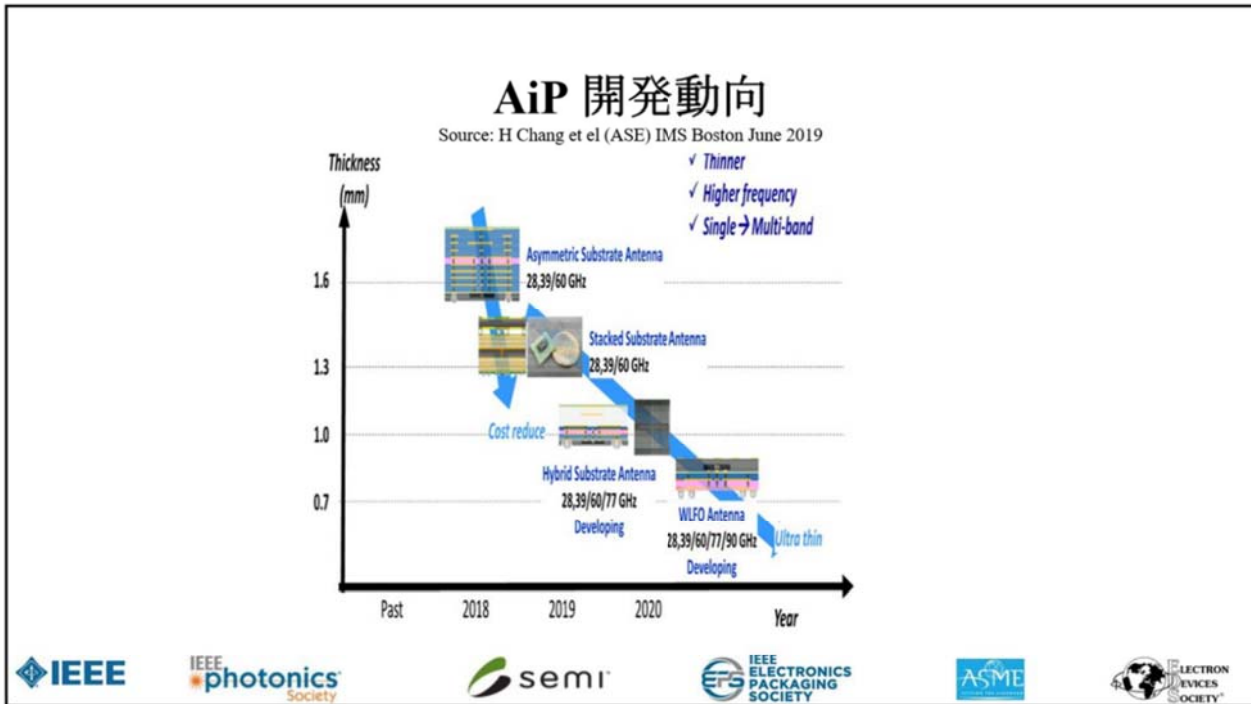
Source: Yole

## MOBILE RF FEM PACKAGE TREND



# パッケージの進化におけるアンテナ





### AiP 基板スタッキング

Source: H Chang et al (ASE) IMS Boston June 2019

**Typical**

- Frequency : 28, 39, 60GHz
- Package size: 11x11mm ~ 44x56 mm
- Technology
  - High accuracy alignment stacking
- Stacking capability
  - Gap control: +/-30um, CPK>1.33
  - X/Y shift: +/-30um, CPK>1.33

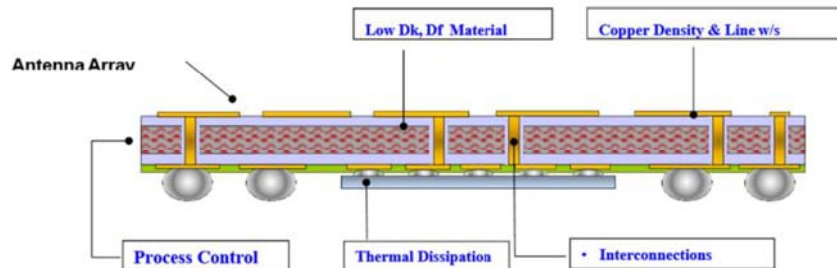
### . 幾つかの最近の論文

- “Advanced Thin-Profile Fan-Out with Beamforming Verification for 5G Wideband Antenna”, Sheng-Chi Hsieh et al (ASE) ECTC 2019
- “Low-Loss Additively-Deposited Ultra-Short Copper-Paste Interconnections in 3D Antenna-Integrated Packages for 5G and IoT Applications”, Atom O Watanabe (GIT), Nabuo Oqura (Nagase) et al, ECTC 2019
- “Novel Multicore PCB and Substrate Solutions for Ultra Broadband Dual Polarized Antennas for 5G Millimeter Wave Covering 28GHz & 39GHz range” Trang Thai et al (Intel), ECTC 2019
- “Mm-Wave Antenna in Package (AiP) Design Applied to 5th Generation (5G) Cellular User Equipment Using Unbalanced Substrate” Ying-Wei Lu et al, ECTC 2018

## アンテナ デザイン要件

Source: Sheng-chi Hsieh (ASE) ECTC 2019

- 堅牢なビームフォーミングと指向性の設計
- ダイとアンテナ間の相互接続の縮小
- 低損失で低誘電率の材料
- 非常に正確なプロセス制御
- 放熱設計、マテリアル、プロセス
- テスト用の設計



## モバイル/スマートフォン：イノベーションの原動力

- 主要なヒューマンマシンインターフェースとして、高速ネットワークとクラウドに接続されたスマートフォン、タブレット、スマートウォッチは、医療と健康、産業IoT、金融、教育など、まだ想像もできない分野の多様なアプリケーションで業界をリードします。
- スマートフォンはSiP / SiMモジュールで構成されており、より広範な電子アプリケーションにわたるヘテロジニアスインテグレーション技術の継続的な革新、高度化、及び実装の道をリードしています。
- スマートフォンは、5G、AR、VR、AIなどの革新的なテクノロジーを推進および開始するプラットフォームであり、これから何年もの間、私たちの世界におけるエレクトロニクスの革新と普及を推進します。
- ヘテロジニアスインテグレーションロードマップは、エコシステムを統合してイノベーションとコラボレーションの精神を育む上で重要な役割を果たします。



## ネットワークとデータセンター システムパッケージング



## モバイルネットワークのヘテロジニアス インテグレーション

*(see Chapter 2)*

モバイルネットワークシステムのヘテロジニアスインテグレーションについては、高性能コンピューティングとデータセンターの章で説明しています。その章からいくつかのスライドを「借用」して、原動力、課題、及び潜在的なソリューションの概要を示します。

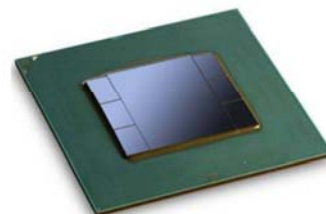
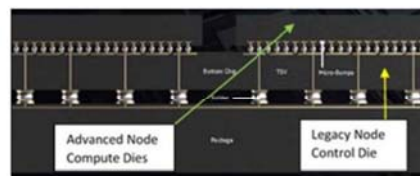
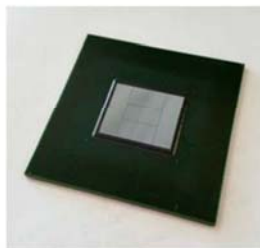
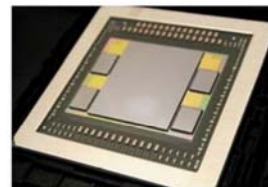
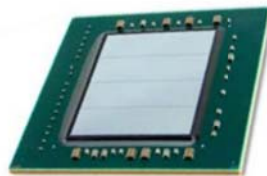
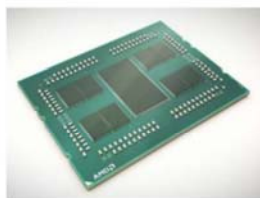
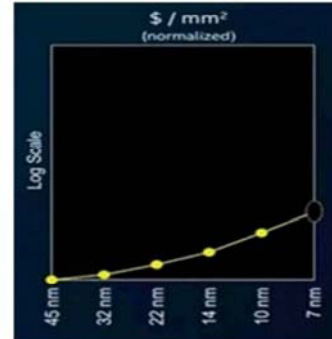
読者は、そのトピックに関するその章のすべての話にアクセスすることをお勧めします。



## HPC / DCセグメントにおけるヘテロジニアス インテグレーションの原動力

Source : K Ghose HIR HPC Data Center TWG

- ノードの縮小と改良（ハイパーノード）に伴って増加する単位面積あたりのダイコスト
- パッケージIO、レイテンシ/帯域幅、電力を制約する単一ダイ基板
  - それはすべてデータの移動に関するものです
  - メモリアクセスのボトルネックがシングルチップソリューションを制限する
- 新しいアプリケーションは、ドメイン固有のアクセラレータを必要とします
- オンデマンド分析/インテリジェンス
- ビッグデータ処理
- IoT
- ブロックチェーン処理
- 新たな処理パラダイム、デバイス



Source : K Ghose HIR HPC Data Center TWG



## ヘテロジニアスインテグレーションの課題領域

Source : K Ghose HIR HPC Data Center TWG

- オンパッケージ相互接続
- オフパッケージの相互接続
- シグナルインテグリティと配信のニーズ
- 配電と規制
- SiPレベルのグローバル電源管理
- セキュリティと信頼性の問題
- 設計およびテストツール
- サプライチェーン

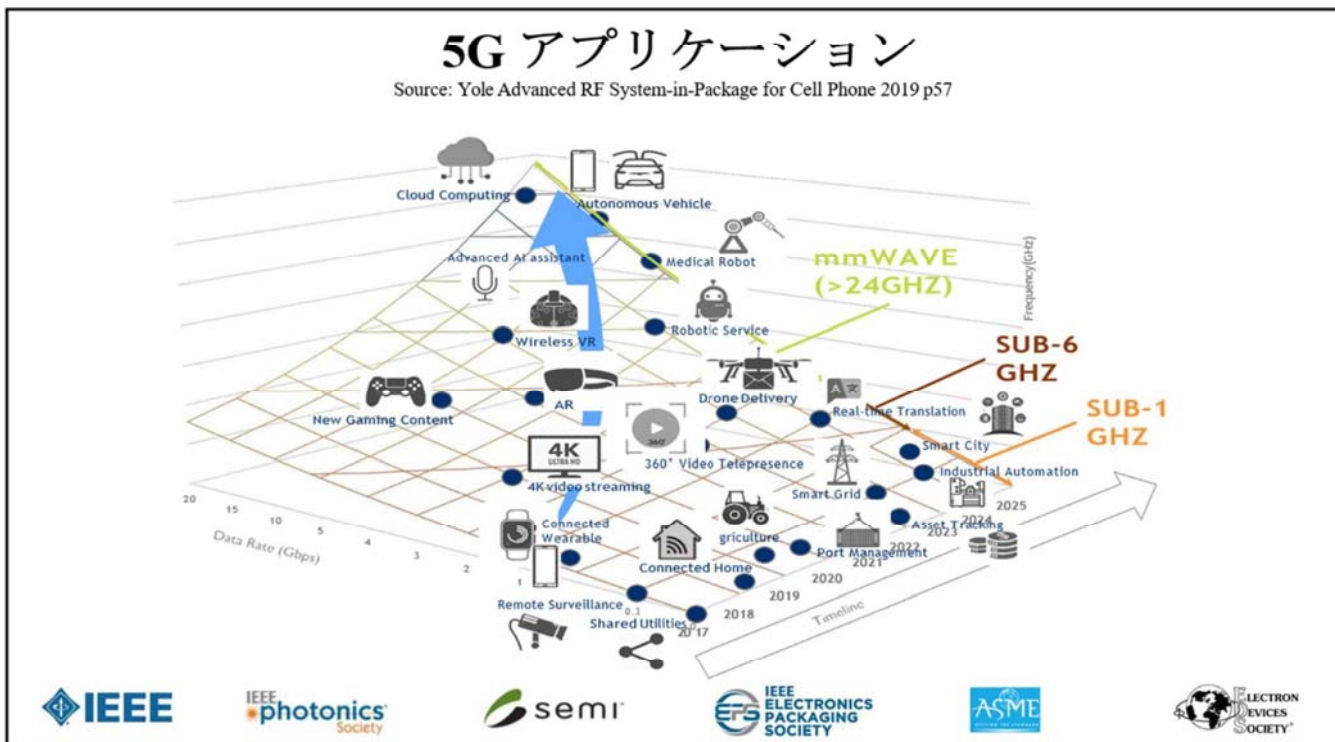
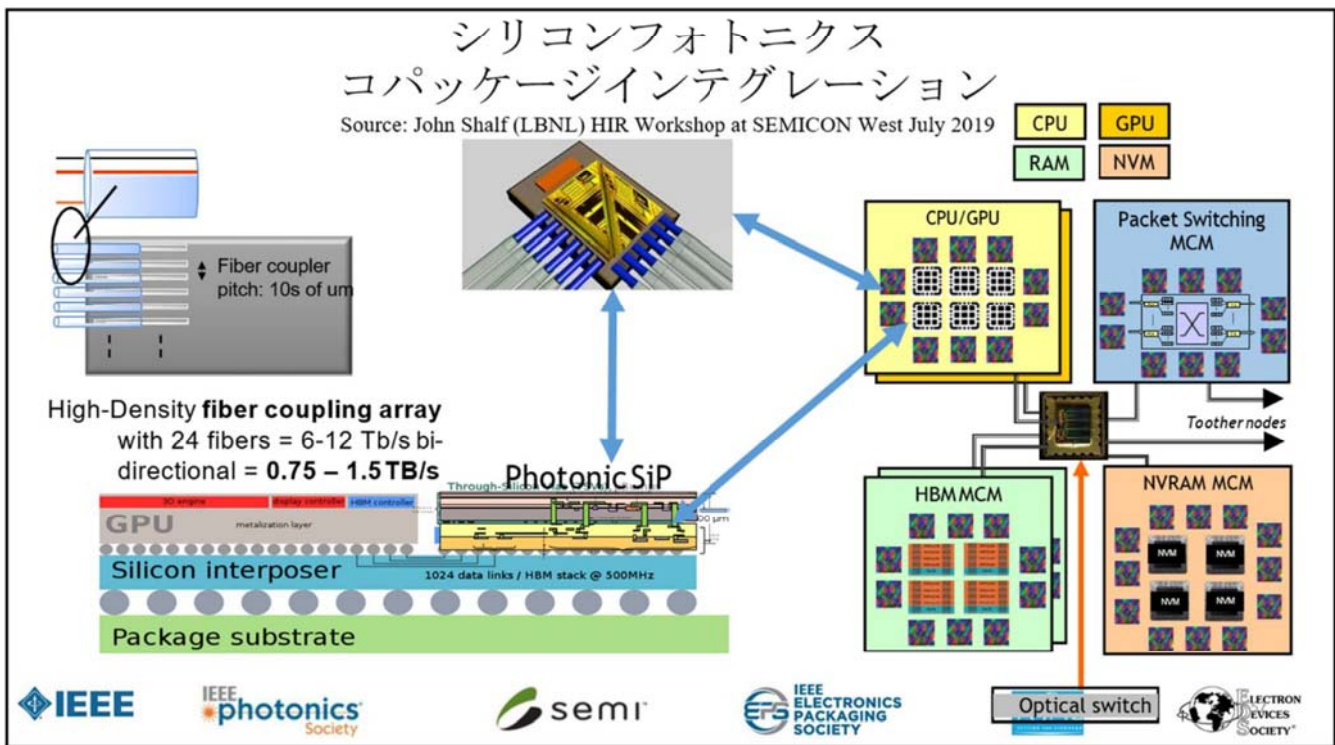


## 考えられるソリューション：60,000フィートのビュー

Source : K Ghose HIR HPC Data Center TWG

- アクセラレータ、汎用プロセッサ、スタックメモリ（HBM、Stacked SRAM、MRAM）のインテグレーション（2.5Dまたは3Dインテグレーションを使用）
  - コンピューティングチップレットのテッセレーション/タイル化 (tessellated/tiled) された実現を含む
- チップレット（シリコンブリッジ、ビア）間の広くて短い接続、IO用のパッケージ内フォトニクス
- すべてのレベルでの積極的な信号エンコーディング-パッケージ内、I/O
- サーマルマネジメントと冷却のための強力なソリューション
  - SiPレベルのグローバル電源管理
  - サーマルビア、マイクロビラー付きダミード、コンフォーマルリッド、水冷、2相冷却、...
- パッケージへの高電圧電源とチップレベルの電圧へのパッケージ内部の分散型変換
- 設計と最適化のためのシステムレベルのツール
- 安全なソリューションと graceful degradation を実現するための手法
- スタンダード
  - CXL、ODSA、その他およびアクティブなインターポーザ
- インテグレートしたSiフォトニクス...、その他





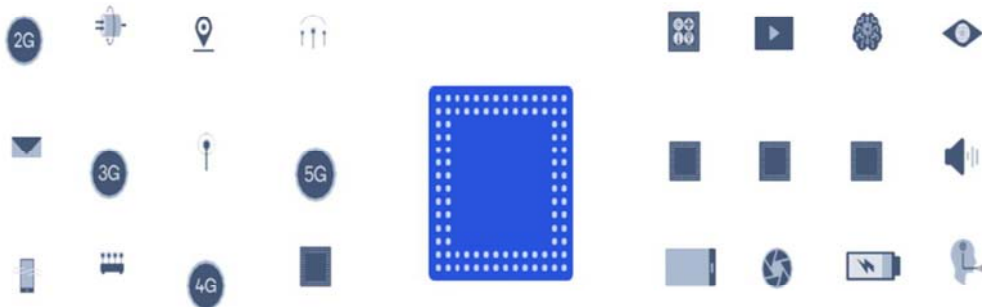


# 今後のビジョン

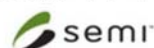


## Connectivity

## Processing

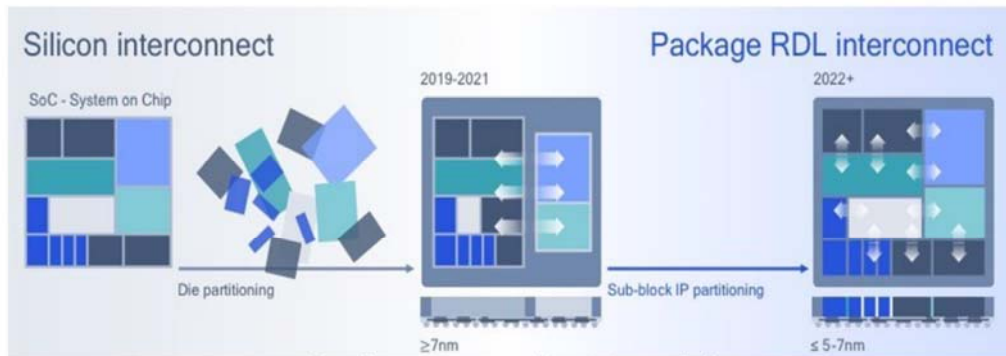


プレゼンテーション「モバイルは未来」  
2019年7月ERIデトロイト, Steve Mollenkopf, Qualcomm



# Next-generation SoC design in the 5G era

Integrates with all package technologies



プレゼンテーション「モバイルは未来」  
2019年7月ERIデトロイト, Steve Mollenkopf, Qualcomm CEO



## Evolution of mobile design architectures



## Evolution of mobile form factors




プレゼンテーション「モバイルは未来」  
2019年7月ERIデトロイト, Steve Mollenkopf, Qualcomm CEO



### AI hardware acceleration research


Example: compute-in-memory AI research

- Analog compute
- New memory design
- Need low bit-width AI models



**Traditional computer architecture**

- Compute and memory are separate and data has to be shuffled back and forth
- Good for general purpose operations



**Compute-in-memory**

- Computations, like add and multiply, are done in memory
- Good for simple math operations and when memory becomes bottleneck

---







**10-100x**

Power efficiency improvement for 1-bit ops\*

A paradigm shift from traditional computer architecture can bring orders of magnitude increase in power efficiency

\* Compared to traditional Von Neumann architectures today

Source: Presentation "Enabling the next industrial revolution with AI & 5G"  
by PR Chidi Chidambaram (Qualcomm) SEMICON West, 9 July 2019

## 次のBig Phonesは10億の人々を オンラインにするかもしれません

Bloomberg Business Week, 10 June 2019  
by Shira Ovide



「アフリカで最大のモバイルオペレーターのうち2社- MTN GroupとOrange SA -は今年、わずか20ドルで準スマートフォンの販売を開始しました。」 「4GはMTNの2億3,000万人の顧客の2/3に到達しないため、3G向けに設計されました」

「アフリカは、インターネットを使用している人々の中で世界で最も低い割合であり、25%未満です。大陸の54か国に広がる8億人のオフラインの人々は若く、急速に増大していますが、収入は低くなっています。」

「貧しい国のモバイルインターネットの利用を10%増やすことは、国内総生産の平均2パーセントポイントの増加と関連します。」

「エネルギーや交通のように、インターネットアクセスはインフラストラクチャ、経済開発、社会的エンパワーメントの不可欠な要素になっています」








## 課題

### モバイルネットワークとスマートデバイス：イノベーションの原動力

- 同じフォームファクタ、バッテリー寿命、ユーザーエクスペリエンスを維持しながら機能性を向上
- 手頃な価格で世界に拡大：すべての人にブロードバンドインターネットアクセスを提供しますか？
- 5Gのすべての可能性を実現するイノベーション
- すべての電話4G - 5Gおよび5G以降の個人セキュリティの向上
- 5Gと人工知能の相乗効果
- グローバルな可用性と持続可能性



## 参考文献 (1)

1. HIR Executive Summary Chapter 2019
2. HIR 5G - A & MS Chapter 2019
3. HIR High Performance Computing & Data Center Chapter 2019
4. The Mobile Economy GSM Association 2-25-2019
5. The Global Trend GSM Association 9-11-2018
6. Mobile Internet Connectivity GSM Association 2019
7. Ericsson Mobility Report, June 2019
8. Ericsson Mobility Report Q2 Update 08-30-2019
9. World Economy Outlook, April 2018, International Monetary Fund (IMF)
10. IMF Working Paper WP/18/22 January 2018 Benjamin Carton, Joannes Mongardini, Yiqun Li.
11. "History of Mobile Phones" Wikipedia.
12. "5G Wireless" 4-1-2019 Investors Business Dailey
13. Prismark Semiconductor & Packaging Report June 2019
14. Prismark Semiconductor & Packaging Report March 2019
15. "Advanced RF System in Package for Cell Phone 2019" Yole Development
16. "Fan-Out Packaging Technology & Market Trend 2019" Yole Development
17. "3D MiM (MUST-in-MUST) for advanced System Integration." Au-Jihh Su et al (TSMC) ECTC 2019



## 参考文献 (2)

18. "3D Heterogeneous Integration with Multiple Stacking Fanout Package" Feng Cheng Hsu et al (TSMC) ECTC 2018.
19. "Ultra thin FO Package-on-Package for Mobile Application" Hsiang-Yao Hsiao et al (IME) ECTC 2019.
20. "Study of Advanced Fan Out Package for Mobile Applications" Taejoo Hwang et al (Samsung) ECTC 2018.
21. "Die-to-Wafer (D2W) Processing and Reliability for 3D Packaging of Advanced Node Logic" Luke England (GF) & Ping-Jui Kuo (ASE) et al ECTC 201
22. "Heterogeneous Integrations", John H. Lau Springer 2019
23. "Scaling Millimeter-Wave Phased Arrays: Challenges & Solution Examples at Ka-band & W band" Xiaoxing (Kevin) Gu (IBM) IMS Boston June 2019
24. "5G Design thru Simulation" Larry Williams (ANSYS) IMS Boston June 2019
25. "Design & Fabrication of SIW at mm-Wave using organic substrate" Atom Watanabe et al (GIT) IMS Boston June 2019
26. "Mode Selective Transmission Line Technology for Ultraband Analog & Super High Speed Digital IC & Systems" Ke Wu et al, (Ecole Poly Montreal) IMS Boston 2019
27. "From Assembly to Testing, Characterization of Low Cost Organic Substrate for mmWave AiP Application" Harrison Chang et al (ASE), IMS Boston June 2019
28. "Thermal & Mechanical Co-Design for Packages in 5G System" Chris Bailey (Greenwich Univ.) IMS Boston June 2019
29. "The Next Big Phones Could Bring a Billion People Online" Bloomberg Businessweek, Shira Ovide, June 2019
30. "Enabling the next industrial revolution with AI & 5G" PR Chidi Chidambaram, July 09 2019 SEMICON West
31. "Drivers and Trends for SiP: From Mobile to High Performance" E Jan Vardamen TechSearch, SEMICON Taiwan, September, 19, 2019.
32. "Our Future is Mobile", Steve Mollenkopf, ERI Detroit, July 16, 2019
33. "Future of Computing Beyond Moore's Law" John Shalf, (Lawrence Berkeley National Lab), HIR Workshop SEMICON West July 8, 2019
34. "Chips with everything. How Internet of things will change the world", The Economists, September 14<sup>th</sup> 2019.



## 謝辞

このモバイルの章の構造を形成するのに役立つ多くの同僚との多くの有益な議論に感謝の意を表します。

Patricia Macleodの貴重な助言に感謝します。

チャプターの完成に貢献したPaul WeslingとDenise Manningの貢献に感謝します。



