

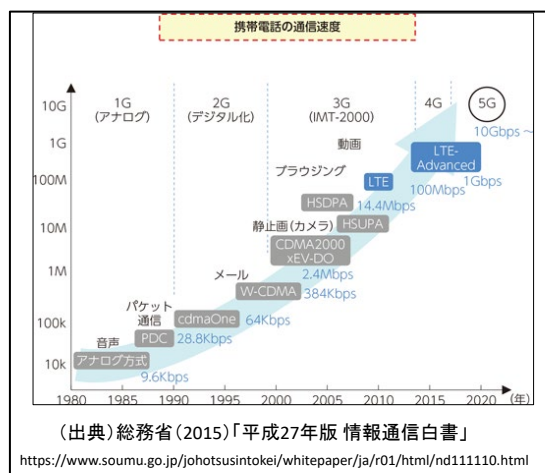
第4章

ハードウェアは半導体に依拠しながら低コスト化して普及を導く基軸となる ——半導体メモリーからの事例分析とこれから

1. 無線通信技術の進歩による半導体産業へのインパクト

1-1. 無線技術の進歩

今、現代社会と呼ぶときに高度に電子化された社会の姿を当たり前のものとして頭に描く。その裏には、サービスの使い手には意識されない半導体技術の劇的な進歩が隠されている。PC産業に比べて進歩的な変化の激しい無線通信の作りだす市場製品（携帯電話、スマホ）では、全世界の一般消費者が単一市場になるため、PCのような技術トレンドに従った産業の発展とは異なる動きが作り出されてきた。無論、無線通信技術のトレンドはその分野で描かれ、そのトレンドに従った産業投資が行われてきたのではあるが、そのサービスを市場に届ける



端末である携帯電話やスマホは世界規模で行われるコンシューマー市場のゆえの製品競争と機能競争にさらされてきた。その規模と発展のスピードは、それまでの半導体産業が見てきた市場とは全く異なるものであった。

その競争は、手のひらに乗るサイズという制約の中で行われてきたため機能の進歩の多くは半導体技術そのものの開発に委ねられた。それまでのPCとそれを支えるインフラ向けに発展してきた半導体産業の進み方とは異なった。半導体の進歩指標であるムーアの法則がPC産業発展の根本原理であったが、携帯電話とスマホはそのムーア則のトレンドを超える微細化と高性能化、大容量化を要求したためムーア則以外でその要求にこたえる道を作らなくてはならない。その道が、半導体 Package による高集積化であった。今の言葉でいうところの“Heterogeneous Integration” Package (以降、HIP とよぶ)である。

この Package による高集積化は 2010 年代では携帯電話とスマホだけで見られた半導体のトレンドであったが、今やこの市場だけで全半導体市場の 2 割程度を占めている。2010 年代の後半に入り、ムーア則そのものの限界が見え始め、携帯電話・スマホ以外の市場で HIP が注目され始めている。事の起ころはムーア則を超える市場の要求をいち早く理解し HIP で対策を講じた無線通信市場であり、携帯電話・スマホであった。

5G に至る無線通信の技術発展とそれをサービスにした携帯電話・スマホの市場変化を半導体産業の観点から考察するのは、今後の 5G の市場検討だけでなく、ムーア則以降の半導体産業全体の発展方向を俯瞰するのも役立つはずである。

1 - 2. 2Gのキラーアプリである携帯電話がもたらした社会生活の変化

1980年代に「もしもし、ハイハイ」の手持ちできる（肩掛けも含め）電話機として「携帯電話」が登場した。これがアナログ方式で「携帯電話」の第1世代（1G）と呼ばれた。「携帯電話」とはいえ今では想像できないほど大きく重いものであった。一部の国では「携帯電話は殺人用の道具だ」などと人々に言われた。「携帯電話」で人を殴るとひどいことになるほどの重さと大きさだということである。電話が人と一緒に移動できるというエポック・メイキングな技術ではあったが、端末費用、通信費用ともに高く、この1Gでは利用者は極めて限定的で、1G「携帯電話」の登場が人々の生活や文化に大きな影響を与えるようなことはなかった。しかし、技術としては大きな一歩を踏み出したのである。



1990年代に入ってから通話用無線通信はデジタル化された。2Gである。2Gにより携帯できる電話を小さく軽くすることができ、「携帯電話」が真の携帯電話に変わったのである。2G技術は先進国で携帯電話を広く普及させ、電話機が家庭単位から個人単位の所有に変わった。少々不便ながらも（今から見れば）簡易なメールも可能となった。端末も「100g、100cc戦争」と言われるほどの小型化競争に突入し、2Gの効果である小型軽量化そして通信料金の低価格化により携帯電話が一般の社会生活に大きな影響を与え、人々のコミュニケーション様態が大きく変わった。通信技術の進化がポケットに入る携帯電話を作り出しその携帯電話が社会を変えたのである。また、同時に2Gの効果による真の携帯電話が産業の形態も大きく変えた。便利さ安さゆえに日本国内だけで1991年からの9年間で0から出発し5千万台/年に近い携帯電話機の市場が立ち上がったのである。1台2万円としても年間で1兆円の新市場が9年で形成されたのである。国内電気メーカーはこぞって携帯端末事業を開始し、半導体もPCに続く大きな市場を得たように感じた。2Gはテレビや自動車、PCの普及のような革命的な社会進歩を生み出したが、これは2Gそのものご利益（りやく）ではなく2Gのキラーアプリケーションたる携帯電話が作り出したものであり、通信というインフラ技術はその効果を具現化できるアプリケーションが必要なのである。しかし、2Gがなければ小型軽量格安のポケットに入る携帯電話は実現できなかったので社会生活に与えた無線通信技術としての2Gの役割は極めて大きかったといえる。

1 - 3. 社会生活に革命をもたらしたスマホの登場

2Gが作り出したポケットに入る携帯電話が作り出した社会変革の波は次に来る大波の序章にしかなかった。本当の大波は3Gの時代にやってきた。2Gの最後のタイミングでi-modeが発明され、掌の上でインターネットが動き始めた。これは3Gにも引き継がれた。しかし、この掌上の小型ディスプレイ上のインターネットだけでは社会生活に革命的な変化は生じない。本当の社会生活の革命的な変化は3Gそのものから来たわけではなくカーナビのタッチパネル技術とi-modeの携帯無線インターネット技術を3Gの高速通信技術で融合させた新しいタイプの携帯電話からもたらされた。iPhoneの登場である。

正しくは2007年1月に2G通信の上でアップル社がiPhoneを発売したが、タイミングよくその1年後に3G高速通信が始まり、それに呼応して発売された次のiPhoneで生活の電子化革命ともいべき「スマホ」による生活の重大変化が始まり、それまでビジネス場面や家庭での固定的環境に縛られていた本格インターネット接続が解放され、文字通り「いつでも、どこでも、どんな情報にでも」アクセスできる環境が作り上げられた。勿論、2007年のiPhone以前にも日本ではi-modeでインターネットに接続できたし、米国を中心にBlackBerryを持つことでよりPCに近いインターネット環境が携帯電話で得られて

いたが、それは iPhone によるスマホ革命の露払いの役割を果たすものであり、あまねく広く世界の人々の生活様式を変えるようなものではなかった。「スマホ革命」は iPhone から始まった。3G が社会生活の革命を起こしたのではなく 3G の高速通信でより利便性の上昇したスマホが社会生活と提供されるサービスに革命を起こしたのである。もし、携帯電話の画面がスマホ以前のものであり操作がタッチパネル方式になっていなければこれほどのインパクトを社会に与えただろうか。また、3G がなくとも社会に張り巡らされた WiFi 網でスマホを使えば縦横無尽な掌インターネットは実現できる。無線通信技術の進歩である 3G がもたらした社会的インパクトは無線通信技術のキラーアプリであるスマホそのものより小さく、2G の果たした役割に比べると見劣りしてしまうように見える。

この傾向は LTE や 4G といった 3G 後の無線通信技術の進歩でより顕著になる。LTE、4G では社会生活に大きなインパクトを作り出す携帯電話、スマホに続くキラーアプリを創出できなかった。無線通信技術の進歩は、単にスマホの作り出す社会生活の変化、掌上のインターネットで次から次へと生み出されるサービスを量的に拡大しただけであった。通信速度が速くなれば人々は喜び、静止画が YouTube や TikTok のような動画に変わることによって時間の使い方が変わる。しかし、社会生活に革命的といえるほどの変化は生じないし、その速度の向上と情報の量的拡大を使ってスマホ以上のキラーアプリは生まれてこなかった。明らかに無線通信技術の進歩は単なる技術トレンドの推移としてしか扱われなくなった。スマホおそるべし。

ここに“5G”や“ポスト5G”の社会的効果を占う市場原理を見ることができる。

1-4. 無線通信技術は黒子

iPhone とその後の Android スマホによる社会生活の変革は無線通信技術の進歩により支えられてきた。iPhone は GSM(2G)からスタートしたが、iPhone の考案者（当時の供給元の CEO）が「電話を再発明する」と述べたように「携帯」電話の進歩系の改良ではなく、それまで「電話」で使っていた通信技術を用いながら「電話」の使い方を全く変えてしまった。質の変化といってよい。その後、通信技術は、3G → 3.5G → LTE → 4G と進歩してきたが、その効果はいわば通信速度という物理量の量的変化を作ったといえる。確かにスマホでインターネットが簡易で身近になり、その利便性を活用した様々な新しい生活文化が生まれ GAFAM や BATX と呼ばれるような巨大な新興企業群が人々の生活に深く入り込むようになってきたが、それらは掌にある「スマホ」なる端末の上でインターネットによる情報処理の速度と通信量を増加させることで作り上げた生活の利便性の量的拡大であった。

3G そして 4G の通信技術に支えられたスマホが、インターネットというインフラを通して人と人、人とサーバー、人と企業を密接につなぎ、世界中の博物館、図書館、大学を集めても及ばないほどの必要十分な情報に、即座に手軽にそして思いついたその場で、それがたとえ路上であっても個人がアクセスできる社会文化を作り上げた。更に、その情報網に接続する形でありあらゆる情報を武器にしたサービスと企業が登場した。人を、住んでいる地域や使う言語、世代そして生きている時代を超えた新しい居場所にいざなうのがスマホの力であり社会生活革命の根源となった。3G や 4G の通信技術はそのために必要であったが、無線通信技術そのものが社会を変えた原動力であったとはいえない。

2G が、携帯電話機（肩掛けや殺人の道具ではない）を生み出しその携帯電話機が人と人のコミュニケーションを家庭や地域から解き放った。3G, 4G は、スマホの登場を後押しし、スマホの活躍場面をより拡大した。そのスマホが人の持つ情報や情報の活用方法を変えることで次の社会生活の革命を起こし

た。通信技術の進歩発展はいわば黒子であって、その黒子に支えられた役者が社会生活革命の舞台をつつたのである。人々は役者に注目し喝采するが、黒子には何も感動しない。スマホという役者が躍動する舞台では無線通信技術なる黒子は地道に技術トレンドの進歩予測をトレースするだけでしかない。

1 - 5. 無線通信技術の活躍場所は個人市場だった

1 G の重くて大きな「携帯電話」から 3 G, 4 G のスマホまで無線通信技術はその時々々の役者を支える黒子であり続けたが、役者が活躍する舞台すなわち市場という点からみるといつの時代（高々 40 年ほどだが）も同じ舞台であり続けた。その舞台の上で演じる役者こそ代われど、同じ舞台、同じ市場で演じられる劇物語であった。すなわち、「個人の遠隔コミュニケーション手段」という設定は全く変わっていない。

殺人道具にもなるほど大きくて重い「携帯電話」は、限られた人々に対してではあるが誰であろうとコミュニケーションする相手と場所を気にすることなく交流する手段を一般に提供した。それまでは、法人の通信手段か趣味人の通信手段であった無線通信を一般の人々に提供したのである。市場対象は費用やサービスの点で恩恵に浴する人は実際には限られていたが、全世界の何十億人という人々の、「個人の遠隔コミュニケーション手段」の市場に打って出たのである。

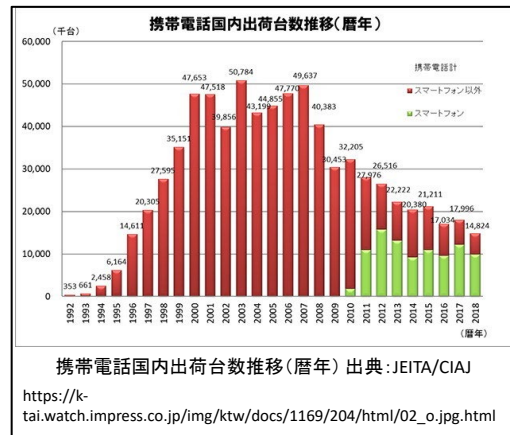
次の段階であるポケットに入る携帯電話は、その新しい「個人の遠隔コミュニケーション手段」を実際に世界中に広げた。潜在的には数十億台の市場キャパがあり、実際に先進国では半数以上の人々が個人の遠隔コミュニケーション手段として携帯電話を手に入れた。日本国内でも年間 5 千万台もの携帯電話が売れることになった。購入者すなわち市場は世界中の個人である。

更に次に登場したスマホは、実際一気に世界中の個人に普及した。携帯電話とは違いスマホは「個人の遠隔コミュニケーション手段」にとどまらず個人、個人の独立した情報コミュニケーション手段となったが、あくまでも購入者・消費者は個人である。目で見ると、耳で聞く、そしてスマホで目にも耳にも聞こえないビット情報を捉える機能を実現し残りの五感で解釈するようになった。第六感とは別に空中に飛び交うビット情報を感じる第七感を得たのである。個人が購入者・消費者であり、市場はあくまでも全世界の個人個人である。

殺人道具と揶揄された「携帯電話」からスマホまで、これらを支えてきた「X」G と呼ばれる無線通信技術は全て個人消費者を市場対象としてきた。今では全世界の 80 億人の個人に対して毎年 10 億台以上のスマホが販売されている状況である。人間は、性別の違い、肌の色の違い、使う言語の違い、年齢などの違いがあっても基本的には他の個人とコミュニケーションしたい、知らない情報を知りたい、面白いものを見てみたいなど行動の指向はさほど大きくは変わらない。従って個人の生活を豊かにするものであればその中で最も新しいものを人は欲する。故に、世界中で同じような機能を持った先端の携帯端末を購買力に見合った価格帯でそれぞれが購入することになる。今やスマホは、高額耐久消費財としては最大市場数量規模を持っており、携帯電話として 1990 年代から市場を作りはじめてから無線通信規格の変遷に合わせて機能と市場を拡大してきている。

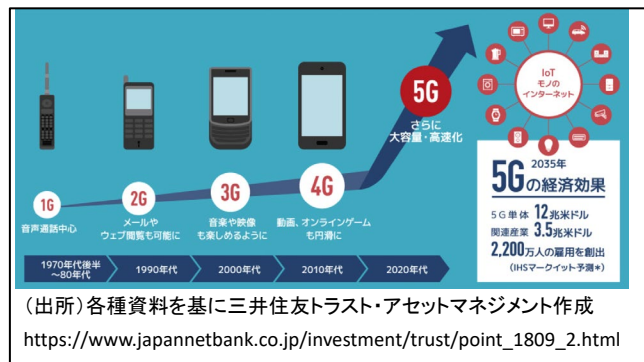
見方を変えると、世界規模の巨大単一機能市場が存在しており無線通信技術の進歩に伴い世界規模で同時に機能が移り変わり、時として iPhone のような想定もしない急激な市場変化が発生したりする。これは供給側にとって大きな魅力を持つ市場である一方で、極めてリスクの高いビジネスとなる。

例えば、年間 5 千万台の市場を狙ってこぞって参入した国内大手電気メーカーの携帯電話事業は iPhone の登場で一気に沈んでしまった（とはいえ 2000 年からの 10 年間だけでも 20 兆円を超えるビジネスは実行できた）。また、2 G 携帯電話の最盛期に世界市場の 70% のシェアを有していたフィンランド・ノキア社は iPhone と Android の席卷、すなわちスマホとの覇権争いに敗れて携帯電話事業を 2016 年に売却してしまった。ことほど左様に巨大規模の単一機能製品市場は技術や機能の変化で一気に様変わりする。個人消費市場は移ろいやすい。

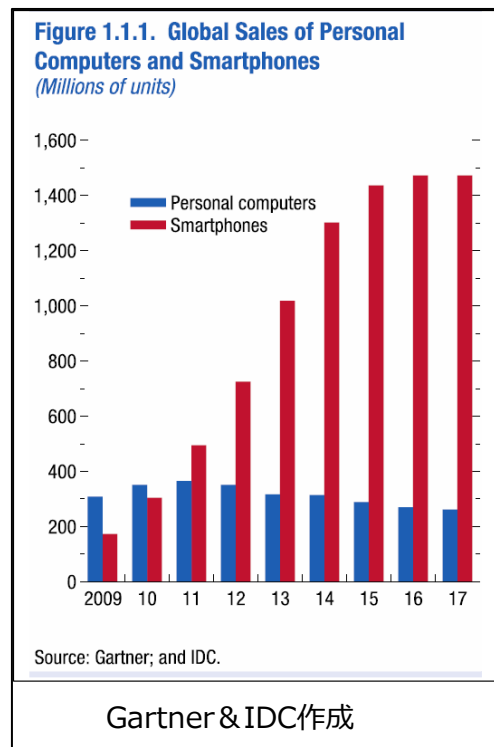


1-6. 5G はスマホにインパクトを与えられるか

さて、この観点から今のスマホを見ると無線通信技術の進歩に伴う今後の市場変化はどのように占うことができるだろうか。つまり 4 G の次の無線通信技術の進歩が携帯端末市場、とりわけスマホ市場にどの



ようなインパクトを与えるかを考える。4 G の次の 5G, ポスト 5G では高速大容量、低遅延、多数同時接続が謳い文句になる。これはきっと今のスマホをより便利に使いやすくするだろう。利便性というものが定量化されるのであれば量的変化として必ず向上する。しかしその量的変化が質を変えるところまで来るだろうか。高速大容量の利点として 4K, 8K 画像の転送が高速になり高画質ビデオプログラムが簡易にスマホで見られるようになる、というのがあがるが果たして手のひらサイズのスマホでじっと座って何時間もの番組を見るだろうか。そもそも小さな画面では 4K, 8K のすごさは伝わりにくい。ほかの用途はどうだろう。スマホゲームのレスポンスが上がりリアリティが向上する、スマホベースの仮想現実 (VR) が低レイテンシでよりリアルになる、などは期待できる。しかしこれらがかつて 2 G の携帯電話が人と人のコミュニケーションに革命をもたらしたように、あるいはかつて iPhone が掌でインターネットを縦横無尽に使いこなせるようにしたように、次世代通信のスマホが生活に革命といえるほどのインパクトを与えることができるかどうかと言えばあまり肯定的には答えられない。すなわち、年間 15 億台近いスマ



ホ市場に次世代通信技術が劇的な変化を持ち込むとは考えにくい。

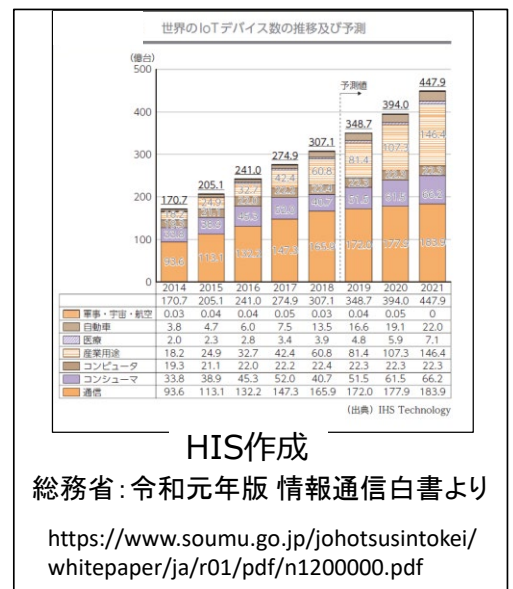
LTE や 4 G が人々の生活にびっくりするような変化を持ち込まなかったように 5 G も個人の携帯端末に革命を起こすような機能を持ち込むのは難しいだろう。勿論、年間 15 億台近いスマホ市場は新興国を中心に益々拡大はする。その上、5 G 技術により様々なサービスが付加されるようになるだろう。しかし、その変化は連続的であり既存の事業者が容易に準備できるものでありそれゆえに新興プレーヤーや Destructive な技術が突如として登場することはない。そして端末事業者は淘汰され益々寡占化が進む。5 G 技術を受けて連続的に進歩するスマホは、半導体デバイスにも大きな革新を要求しない。基本的にはより高速に、より大容量に、そして機能の進歩がムーア則の限界でサイズのまたはコスト的に難しくなった分は HIP が受け持つ。これらはこれまでのムーア則の延長であったり、その限界に備えて準備されている技術の展開で賄われる。

1-7. 5G は森羅万象との作用で革新を興す

当然のことながら 5 G は個人消費者が属する端末市場の規模拡大と掌の中に提供されるインターネットサービスの拡大に寄与する。しかしこの分野で新しい産業の萌芽を作り出すことはないのではないか。むしろ、最新の無線通信技術である 5G は個人消費市場ではなく社会インフラや大きな社会システムの構築へ対象市場を移す。そういう意味でこれまで 1 G から無線技術が作り出してきたキラーアプリケーションの対象が、初めて個人市場から離れ社会システムに移る。

5 G のスマホ以外で明確に見えている用途は自動運転自動車である。そして自動運転自動車も含めて IoT が 5 G のキラーアプリケーションといってよいだろう。これまでも IoT なる市場や技術は存在してきた。しかし、5 G 技術が後押しすることでその効果と期待値は飛躍的に向上する。対象となる Things は狭い世界のものに限られない。宇宙以外の森羅万象(Everything)が IoT の対象となる。IoE (Internet of Everything)である。IoT の対象は実に広い。現在でも 400 億個の IoT デバイスが存在しているということだが、2021 年の予測値は 448 億個でスマホなどの通信機器を除いても 264 億個の IoT デバイスがインターネットを介して接続されることになる。果たしてこれを多いとみるか少ないとみるかと考えると、IoT なるものの本質が把握できる。

世間で IoT の期待が喧伝されればされるほど IoT の対象分野は広がる。一方で、統計予測は現時点で見えるところしか計上できない。図「世界の IoT デバイス数の推移および予測」で示されている IoT 応用分野のカテゴリーは、自動車や医療、産業用 IoT など既存の市場から延長して推測できる範囲にとどまっている。当然である。未だ見えていない分野は計上しようがない。ところが、人工的、自然的にかかわらず地上での森羅万象においてその事物なり事象なりの物理量を経時的に把握、分析しその情報に対して能動的に反応することにより社会的に価値が増えたり、逆に価値の減少を食い止めたりすることができる分野は山ほどある。天気予報は宇宙から地上での天候に関わる森羅万象を把握し、そして通信で受けた情報を地上で分析しこれから起こる未来の気象の変化を予測、予報することで災害という社会



的価値の減少を少しでも防ぐことができる。宇宙からの気象情報把握は 5G にも IoT にもかかわりはないが、森羅万象から情報を取り出し、集約し分析する過程は同じことである。人間が生活するところには常に地震、大雨、洪水、強風、地滑りなどの自然の驚異が存在する。また、橋や道路、高架、トンネル、斜面擁壁、水道、ガス電気など社会インフラの経年劣化による災害対策もますます重要になってきている。こうした物事事象のもつ物理量を IoT (IoE) を通して経時的に把握し、分析することで近未来の危険を予知し災害対策に役立てることができる。第 2 章で論究するが 5G の基地局は国土中に張り巡らされた各電柱に設置される。国土強靱化 IoE デバイスが、そばの電柱の 5G 基地局に接続されエッジ又はセンターで AI により常時監視され防災に役立てられる。このような分野のデータは IoT 市場統計には入っていない。災害大国日本であれば、国内人口の 10 倍や 100 倍はこうした IoT デバイスが必要になる可能性がある。勿論世界でも同じ市場の形成が予想される。

つまり、IoT の市場は今のところどのように発展するかは見通しづらい状況であるが、5G 技術のキラーアプリの一つとして、掌インターネットから分離独立して新しい市場を形成し、社会生活の次なる革新を興す役割を果たす。

この無線通信技術が革新を興す対象市場の移行は、そのキラーアプリケーションに必要となる半導体デバイスのビジネスの仕組みをも一変させてしまうと考えられる。この考察は後述する。

“5G”は、3G→4G の進歩の次の必然であるが、掌の周りで生活を更に便利で興奮に満ちたものに塗り替えてくれる速度とビット情報という物理量の単なる拡大技術ではない。“5G IoT”は 4G の通信技術的延長上にあるだけでなく iPhone が生活に革命をもたらしたと同様に、不連続で新しい社会文化を生み出す革命的な変化のシンボルである。“iPhone”が単なる一企業の商品名にとどまらず「掌の上からの社会生活革命」の始まりを表現するシンボルとなったのと同様に、“5G IoT”という言葉が次世代の“これまでにない”社会の質的变化を作り出すシンボルとなる。

2. 2G と半導体ビジネス

2-1. 半導体産業の礎 ; ムーアの法則がトレンドオリエンテッドな産業を築き上げた

半導体産業は近代社会の発展とともに成長してきた。黎明期から 1990 年に至るまではデジタル半導体は主にコンピュータの進歩と歩調を合わせてきた。大型固定コンピュータから PC への変遷は半導体の微細化、高性能化、大容量化した歴史とリンクしている。むしろ相互作用を及ぼしながら、コンピュータが微細化、高性能化を要求し、その要求にこたえた半導体技術がコンピュータの進化を促進するという循環が発生した。特に PC/AT 規格が業界標準になり、用いられるプロセッサが intel 社によって x86 として事実業界標準化されると intel の MPU の進歩に合わせた半導体業界の進歩がトレンドとして描けるようになった。微細化の方向性はまさに直接の利害関係者である intel 社の幹部により提唱された「ムーアの法則」、すなわち「半導体の集積度は 18 か月で 2 倍になる」(別の表現もある)の経験則で、これが提唱されてから 50 年間半導体の進歩をドライブし、またその法則で半導体業界全体が協力して進歩のトレンドを作った。

6 ムーアの法則 Moore's Law Intelの経営者であったGordon Mooreの言葉 (1980年)

「半導体産業のニーズとそれに答える工場生産においては、1.5年から2年で、集積回路の機能(トランジスタ数等)が倍になる。」

「マイクロプロセッサの性能(クロック周波数×命令数/クロック/秒)は、1.5年から2年で、倍になる。」

○ 1.5年で倍なら: $N = N_0 10^{0.2 \text{ year}} \quad (∵ 10^{0.2 \times 2} \approx 2)$
→ 3年で4倍・10年で100倍

○ 2年で倍なら: $N = N_0 10^{0.15 \text{ year}}$
→ 4年で4倍・10年で30倍

※Mooreの集積度の推計は、1961年時点であり、
[G. Moore, Electronics, vol.38 no. 8, (Apr.19, 1965) 161-173]に基づき、主観的な見解を併記している。

AIST作成 <https://staff.aist.go.jp/shirohara/lecture/moore.html>

コンピュータ、PC のみならずあらゆるデジタル電子機器はこの法則の作り出すトレンドで開発計画を立て、製品設計、コスト企画を実行することができた。今考えてみればある意味、牧歌的な産業であったといえる。トレンドオリエンテッドに投資をし、開発し、生産販売すればよかった。MPU は intel という「ムーア則」の本家本元であるのでムーア則を実行するのは当然であるが、特にこの法則に完全に乗って市場を拡大したのが DRAM である。コンピュータや PC にとって DRAM は不可欠の部品であり、デジタル機器の性能を向上させればさせるほどより大容量なものが必要となるが、一方でムーア則に則った微細化低コスト化で製品価格は引き上げられなかったので DRAM では作り手も使い手も「ムーアの法則」様々であった。その効果もあり、またどの時代でも DRAM をコンピュータ、PC が必ず必要とするためこの法則は経験則ではあったが、期待則、指導則ともなった。これを電子産業の道標とするために米国の DARPA は研究機関や装置業界、半導体製造業などに国としての意図をもってムーア則が維持できるよう継続して働きかけを行ってきた。その効果もあって DRAM は製品が登場して以来、1 容量 1 トランジスタというセル構造は 50 年間変わっていない。材料や工法は進歩し、製造業者の変遷も起きたがムーア則を上手に使いこなし製品開発と製造投資を最も効果的に行った会社だけが生き残っており、今ではそうした企業が寡占化産業のうまみを謳歌している。

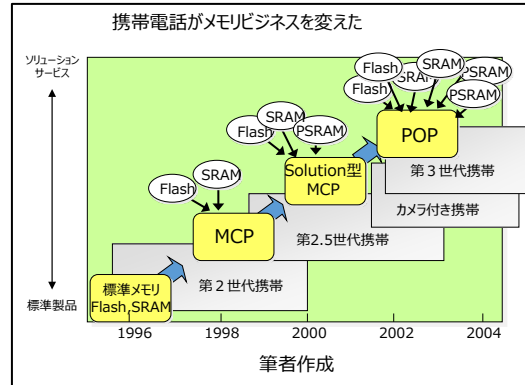
一方、ムーア則で最も恩恵を受けた半導体ユーザー側産業は、PC 業界であった。intel の自社製品消費市場開拓のための独特のビジネスモデルにより、PC 産業育成策とメモリ産業をドライブするムーア則で、PC 産業は台湾の EMS を中心に確実に進歩を続け今では年間 2 億台を超える生産を行う大規模な産業分野になった。現在はこの流れはサーバー業界につながっている。因みにサーバーの出荷数は年間で 300 万台程度であり 1 台当たりの CPU、メモリの使用量と製品の販売金額は大きい数量的には世界的にも大きな数量の産業とは言えない。これらは、基本的には法人ユースが主力である。

半導体産業は、80 年台、90 年代はほぼコンピュータ、PC 産業にドライブされ、MPU と DRAM がデジタル半導体産業のドライバでありムーア則に従った性能とメモリ容量を維持してきた。こうして半導体産業の主力デバイス事業もそれを使う半導体消費ドライバたる電子機器もトレンドオリエンテッドな産業ユースに支えられて伸びてきた。規模は最大でも年間 3 億台（PC）を超えることはない。半導体産業としてはシリコンサイクルの波があるにせよある意味産業用市場として極端な変動の生じない安定した市場であった。

2-2. 2Gの携帯電話が半導体産業のビジネス・プラットフォームを変えた

上述のようにこれまで PC を含む産業用市場で順調に伸びてきた半導体市場に 2000 年以降に新たな市場が加わった。2G の無線通信技術のキラーアプリである携帯電話が登場したのである。携帯電話は半導体の集合体である。半導体の携帯電話市場にはこれまでの電子機器にはない大きな特徴がいくつかあった。それは、①すべての部品が究極の小型化を目指さなくてはならないこと、②数量がこれまでの最大規模の PC をはるかに超えること、そして③市場が個人消費者で機能に対する嗜好が移ろいやすく製品寿命サイクルが極めて短いこと、などである。

このうち特に①究極の小型化については、半導体の産業プラットフォームに大きな革新を求めた。これまでの半導体パッケージは特にメモリについて、PC を始めとするセット側の要求と産業界としての生産融通性を担保するために業界標準団体 JEDEC で規格化したものしか生産できなかった。これがポケットサイズとして 100g, 100cc を狙う携帯電話には全く合わない。また、Flash と SRAM の異種メモリを別々に配置する



ほどのスペースが得られない。そこで、JEDEC 規格にない製品に応じた小型パッケージに異種メモリを複数搭載した。MCP (Multi Chip Package) の登場である。20 年以上たった今、業界で注目されている HIP の始まりである。更に携帯電話の機能が高度化すると、単品のメモリダイでは容量が足りず複数種類のメモリをそれぞれ複数個、1 Package 内に搭載する必要が生じる。チップの設計も汎用品の設計から携帯電話用に変更するだけでなく、Package に搭載しやすい構成に変更されたりもした。これまで Package 技術は半導体開発の下流に属していて、決まりきった JEDEC 標準規格にあわせて設計されたシリコンダイをコスト安く詰め込むだけの仕事であったものが、顧客の組み合わせ要求に対応して顧客に提案する立場にもなった。今では大小含めてすべてのメモリメーカーが唱える「メモリ・ソリューション」なる言葉が業界で初めて登場した。

携帯電話によって半導体の産業プラットフォームが変わったので、事業者間の下克上也起こった。これらの要求にいち早く対応した半導体メーカーが 0% のシェアから 70% のシェアを一気に勝ち取る事例も出てきた。時代が変わるときには新旧のプレーヤーの間で入れ替わりにまつわるエピソードが生じる。あるメーカーでは携帯電話向けメモリ・ソリューションで SRAM では容量が足りないためフレッシュ電流を極限まで下げた DRAM 技術を開発することになった。世界で初めての DRAM 技術によるモバイル向け疑似 SRAM である。この時、このメーカーでは DRAM の事業責任者は「DRAM はコモディティであって、訳のわからない『ソリューション』などには開発できない」と断った。この DRAM 事業はほどなくして他社に売却された。一方、三星電子はそのメーカーのブランド製品向けに疑似 SRAM を開発し、しかも MCP Package まで専用に開発し同業他社ブランド向けに生産出荷した。今では三星電子は、スマホ用モバイル DRAM の雄となっている。さほど規模の変わらなかつた 2 社の DRAM 事業が片や売却、もう一方は何兆円ものモバイル用 DRAM メーカーになっているのは事業判断の難しさと醍醐味を示している。

これらの事象は、三星電子の例だけ除いてすべて日本メーカーで起こったことである。世界初の HIP、非 JEDEC 展開、携帯電話に特化した Flash と SRAM の素早い開発、DRAM をモバイル用に変更 (因みに上記例では三星より早くモバイル用疑似 SRAM が日本の非 DRAM 事業部で量産化され

た)、など携帯電話という半導体の新市場が登場したタイミングで一時的はその後の世界をリードするチャンスをも日本の半導体産業が持っていたということである。因みに 2G の携帯電話では世界市場に対し大なり小なりソリューションを提供し、メモリ・ソリューションはほぼ日本メーカーが独占した。

半導体の携帯電話市場におけるもう他の特徴である②これまでの半導体市場にはない数量規模であることと、③個人消費市場で製品寿命サイクルが短いこと、はムーア則に従って技術トレンドをフォローして産業系市場を相手にしてきた半導体にとっては扱いが極めて難しいものであった。Package 内で複合化されソリューションを構成している製品である一方で、携帯電話はコンシューマー製品であり市場競争での勝ち負けでその個別製品の数量が大きく変動する事業である。ましてや、複合化されたチップには、ファンダリで作ったものや他社から裸のダイで供給を受けたものもある。産業系ビジネスでは考えられないようなサプライチェーンマネジメントとダイナミックな生産管理、加えてコンシューマー系市場は価格の変動も大きく原価管理も厳しくなる。

市場が変化するという事は、チャンスは増えるが同時にこれまでにないリスクも伴っている。しかし、こういうリスクを乗り越えて事業拡大に挑戦しない限りは没落するのみだろう。半導体が動きの速い事業になってくるとことは勝つか負けるかの二つしかない産業になってきたということである。以前は「半導体は投資タイミングが勝負」と言われていたが、今では様変わりしている。半導体は、全ゆる事業判断で Agile でなければ生き残れない産業になっている。もう国内には一定規模の半導体メーカーとしてキオクシア、ルネサス、ロームしか存在しないが更に小規模な事業者であればなおさら俊敏さで勝負しなければ生き残れない。

2-3. 半導体メモリ・ソリューションがなぜ日本で起こったか

2G の携帯電話向けメモリ市場では国内および世界市場に対し日本メーカーが大なり小なりソリューションを提供し、メモリ・ソリューション (MCP) はほぼ日本メーカーが独占した。一瞬とはいえ、なぜ日本がこうしたポジションを得ることができたか。ここに 5G 向けの半導体ソリューション (メモリに限らず) ビジネスへの教訓を見ることができる。

2G 携帯電話では件の 100g, 100cc 戦争において日本メーカーが世界で圧倒的に強みを発揮していた。その成果をもって欧州では三菱が GSM で気を吐いていたし、松下通工は台湾で大人気になっていた。携帯電話の小型化勝負で日本のものづくりが強力な武器になっていた。通信方式こそ違え、日本の携帯電話端末のものづくり技術は世界のトップを走っており、それゆえに半導体に対する要求も世界で最も先端を行くものであった。

また、日本の半導体産業には長年培ってきた Package の技術があった。前述のとおり、半導体 Package 技術は JEDEC という世界基準がありその範囲でしか技術の展開ができなかったが製造コストの削減や JEDEC 新規格の提案など技術力は積み上げていた。日本は当時、半導体産業は IDM (垂直統合開発生産会社) の形態をとっており技術者のレベルも設計、前工程、後工程 (組立およびテスト) で人材的には格差はなかった。

一方、欧米の半導体メーカーは組立技術と生産にほとんど興味がなく、ほぼすべてを台湾と他のアジア地域での外部委託または子会社での下請け開発と生産に任せており Package で付加価値が付くとは考えていなかった。海外からの大規模な下請け生産を一手に引き受けていた台湾の受託産業は前工程 (ウエハプロセス) に力が入っており、Package 技術者の給与待遇には大きな格差があり開発ができ

ような人材は確保できず、更に、薄利多売の組み立て生産であるため JEDEC 標準規格に無い新規案件を引き受けられるような産業形態ではなかった。

こうした状況で、半導体業界での Package の新規技術テーマは一部を除きほぼ日本から出てきており、Package 技術の蓄積は日本に最も豊富にあった。今、ムーア則の限界に直面し、これまでシリコンダイ上で集積していた機能を Package 内での異種チップ統合で実現しようとする技術 = HIP に対する日本の半導体技術への海外から期待の根拠はここから始まっている。

日本の半導体後工程の 2G 携帯電話世代での強みは組立だけではなかった。そもそも JEDEC 標準が存在し、Package の形状が規格化されてきた背景には、高価な Package 金型を共通化してコストを下げるという目的だけでなく Package 後のテスト問題が大きくかかっている。Package 後のテストは機能テストに加え品質テストも含まれる。品質テストは高温（85℃から 125℃）で長時間動作（数時間から 24 時間）確認する Burn-In という工程が含まれるが、これを行うには高温に耐える Package 個片用のソケットとそれを試験装置に配置するための Burn-In ボードが（製品種類）×（Package 種類）×（生産ピーク数量）だけ必要になる。新規 Package を起こせばその都度にこのソケット、ボードの開発工期と開発費が必要になる。携帯電話の短い製品サイクルに間に合わせたメモリ・ソリューションを実現するにはこの問題を軽減する技術対策が必要となる。こうした技術対策に対応できる技術者を日本の半導体メーカーが自社内に有していたことが強みとして発揮された。

2 - 4. 2G 携帯電話向け半導体ビジネスによる 5G 向けへの教訓 ; その 1

2G の携帯電話向けメモリ市場で世界で初めてメモリ・ソリューションを提案し、一時にせよ市場を制覇できた成功に 5G 向け半導体ビジネスへの教訓が、見て取れる。

先ず第 1 の教訓は、市場の大きな転換を素早く見て取り過去の呪縛から逃れて新しい領域飛び込むことである。大きな変化の時には、周りがどう動くかをしっかり観察してから失敗しないように動き始め後追いつめるのか、勿論よく考えることは必要だが Agile に状況に対応して他社に先行して新しい領域を作ってしまうかでその後の市場でのポジションは大きく異なる。巷間言われる「イノベーションのジレンマ」はどこにでも存在する。基本的には既存プレイヤーは動きが遅い。大きな市場を持っていて技術、人材、装置、工場などのアセットが重い。それだけでなく、今あるもの、持っているものを続けたいという保守的心理が強く働く。それ故に大きな市場の変化の時は大チャンスである。GAFA は、2G の時代に誰も市場に登場していないか小さな存在であった。敵がアセットを持っていない領域に市場を引きずりこめれば勝てる。しかし Agile でなければならぬ。新興プレイヤーの俊敏な動きで旧来アセットを多く持っている敵は焦る。5G では、既存のスマホベースの市場や過去のアセットの延長上でもうすでに勝敗の決している市場にリソースを投入しても勝ち目はない。新しいサービスを狙い次の“GAFA”たろうするプレイヤーのいる領域をよく分析し日本の半導体が強みを発揮できる新しい市場にリソースを集中するのが良いだろう。具体的提案は別項で論ずる。

2 - 5. 2G 携帯電話向け半導体ビジネスによる 5G 向けへの教訓 ; その 2

第 2 の教訓は、対象とする市場の最先端プレイヤーの間近に近接することである。間近に近接することで変化の動きを体感し提案が可能となる。頻りに接触することで提案のレベルをどんどん上げることができる。できれば対象市場内で最も競争が激しいところで活動を行う。複数のユーザーで新提案の検証が行われる。

この市場で勝つことができればその他のすべてのユーザーを獲得するチャンスが生まれる。2G の携帯電話では日本が世界の端末機開発の中心地であったので、これまでにないメモリ・ソリューションの検証に最適で半導体産業の新ビジネス・プラットフォームを作ることができた。この意味では、5G による新しい半導体ビジネス機会の創出のためにこれまでにない新しいサービスが日本で始まることを強く期待したい。世界のほかの地域で 5G によるサービスのイノベーションが起こりそれが普遍化しそうであればその地域にどっぷり浸ることが重要であろう。5G への教訓は、まずは誰でも考えそうだが自動車工業の日本の強さに密着することだろう。

しかし半導体の顧客は、電子制御機器開発者であるので必ずしもトヨタやホンダではない。また自動運転の電子制御開発はあまりに参入者が多く、勝算は読めない。むしろ、Woven City などで試験される自動運転ベースのスマートシティーのインフラの半導体市場を攻めることではなかろうか。これならすぐそばにありインフラに関わる電子産業は多い。自動運転のスマートシティー社会実験は既に中国各地で雨後の筍のごとくプロジェクトが進められつつある。しかし、電子産業総がかりのスマートシティーは世界中にも稀である。是非、トヨタを軸とする新プロジェクトではこの分野で新しい市場を作り出してもらいそれに密着して成長する日本の半導体産業に期待したい。特に注目すべきは各種センサーを有した IoT (IoE) であろう。スマートシティーが実運用されればその中には無数のセンサーが必要となる。視覚だけではない。触覚、非接触、温感、モーション、ありとあらゆるセンサーが 5G で連携する。ソニーの CMOS センサーは世界市場を制覇しているが、スマホ、自動車だけでも手一杯と思われる。視覚センサー市場はますます拡大するが、同様に他の 4 感に関するセンサーも爆発的な需要を持つことになるだろう。センサーの信号をデジタル変換するアナログチップも山ほど必要になる。アナログ技術者は世界的にはまだまだ日本が強い（もうほとんどリタイアしているが）。工場も、何兆円もの投資は必要なく、今の日本の半導体工場をリニューアルするだけで大規模な市場を創出できるかもしれない。センサーとアナログデバイス、そしてそれを IoT 化するエッジデバイス。それを集約する MEC（スマホや自動車向けとは異なるかもしれない）。5G とスマート社会には山ほど半導体ビジネスのチャンスがありそうだ。

2-6. 2G 携帯電話向け半導体ビジネスによる 5G 向けへの教訓 ; その 3

第 3 の教訓は、新しい提案には必ず自らのコアコンピタンスを活かすことである。2G 携帯電話メモリビジネスでは日本の持つ後工程（Package、テスト）の技術蓄積を活かしたことで強力なポジションを得た。ビジネス規模や生産力では圧倒的に強い台湾の OSAT（Outsourced Semiconductor Assembly and Test）でも勝てない世界を作れたのは高い技術力を“有効”に活用したからである。JEDEC の呪縛に縛られて衰退の一途であった日本の後工程がその瞬間だけにしても世界をリードできたのは Package を技術者の手による技術オリエンテッドな動きにしなかったためである。市場オリエンテッド、ニーズオリエンテッドな力で技術を制御することで埋没していた技術が光り始めたのだ。コアコンピタンスは使いどころが重要である。技術力の高さばかりを喧伝して潰えていった事業のなんと多いことか。日本の弱さでもあろう。5G への教訓については、第 2 の教訓で述べた日本の技術力アセットの活用である。5G 関連市場にはセンサーとアナログ技術者の活躍余地が巨大に存在していると考えられる。アナログ半導体では経験と勘による技術力が最も重要である。OB も含めた日本のアナログ技術者を活性化する道があれば 5G 産業に大いに貢献できる。

2-7. 2G 携帯電話向け半導体ビジネスによる 5G 向けへの教訓 ; その 4

そして、最後第 4 の教訓は、勝ちたいサービスは複合化することである。確実に他社より効率的、効果的に運用できるのであればサービスは複雑化させた方がよい。なぜなら、よく制御された複雑さ(Well controlled complexity とでもいうか) は敵を混乱させる。2G 携帯電話用半導体メモリは、半導体 Package の中にソリューションを作り出した。単なるメモリ詰め合わせではない。顧客の要求に合わせてコストをさほど変えずに種類の組み合わせや容量の変更が容易にできるようにした。加えてファンダリ生産委託、他社からのダイ購入、組立の外部委託など管理運営を上手にこなせないとコストがとたんに跳ね上がる仕組みの中で最適解を実現するメーカーが存在した。SCM ですら戦いの武器になる。無用の複雑さは自分の首を絞めるだけであるが武器になるビジネスの仕組みが作れば強い。3G 携帯電話用半導体ビジネスではこの点の真逆の事象が起こった。これは後述する。5G で複合化の対象は将に IoT (IoE) そのものではないか。前述の通りセンサー、アナログ制御、通信、メモリ、デジタル制御、究極の低消費電力制御、そして FW。更には個別分野の IoT を統合する MEC。ありとあらゆる電子デバイス技術の統合が必要になる。その上、種類は無数に出てくるだろう。しかし IoT がそのまま社会の需要にこたえようとすると確実に技術が発散し数多の小規模なビジネスばかりが発生することになる。これでは産業は発展しない。こういう時には必ず次の時代の巨人になる象徴的プレーヤーが登場する。PC の intel と Microsoft、無線通信の Qualcomm、携帯電子機器の Arm、スマホの Apple、コンシューマベースのインターネットの GAFA、それぞれの時代のキープレーヤーが花形産業の主役となった。無数の種類の IoT で統合されるスマート社会 (スマートシティだけでなく、IoT で高齢化を乗り越えるスマート田舎もあるかもしれない) の花形キープレーヤーは、IoT 技術の統合、サービスの統合をプラットフォームに仕立て上げられる事業者であろう。そしてそのプレーヤーは決して上記のこれまでの新興巨人ではないだろう。

3. 3G、4G と半導体ビジネス

3-1. 3G の高速大容量通信が半導体メモリの更なる大容量化を要求

2G の最大メモリは NOR 型 Flash 2 ダイ + SRAM 2 台の 4 段重ね(1Package 内に 4 個のメモリを重ねる)であった。2 ダイから始まって、3 ダイ、4 ダイ 1Package まですべて日本の 2G 携帯電話向けに日本半導体メーカーが開発したものである。「ガラパゴスの日本携帯だからだ」など知った風な意見もあるが、現実には米国モトローラや欧州エリクソン、そして携帯電話の雄ノキアもこぞって日本の携帯電話機向けメモリを欲しがった。モトローラは携帯電話向けメモリの開発を日本半導体メーカーと提携した。“Mobile Flash”はモトローラと三菱電機の間共同開発品のロゴである。また、欧州最大の半導体メーカーである ST マイクロエレクトロニクスも同じく三菱電機から Flash の OEM 供給を受けている。更に、三星電子、LG など日本を追いかけて携帯電話の高性能化、小型化に必死で取り組んでいた韓国メーカーは日本製 MCP を確保しようとし、三星電子の半導体事業部は日本から MCP 技術を導入までした。2G では携帯電話市場が求めるメモリと Package 技術の世界の中心地であった。Package についてはそれまで営々と総合半導体メーカーの中で前工程や設計と違わぬ優秀な技術者が縁の下の力持ち的な仕事を進めてきた技術の蓄積があった。これまで PC 半導体市場向けには光の当たってこなかった部隊であったが、携帯電話の半導体市場が沸き起こった時点でその蓄積したものが花開くことになったのである。

今でいう HIP の礎は明らかに日本で作られた。因みに日本半導体メーカーにとっては最先端製品で対

応できる生産量に自ずと限りがあり、しかも日本携帯電話が世界の最先端であったため、もともとノキアとの強力な関係があったシャープ以外は海外への供給はほとんどできなかった。

そうしたなか 2000 年に世界で初めて本格的な 3G 携帯電話が日本で登場した。それまでの 2G は日本では独自の PDC 規格であった（KDDI は CDMA）が、3G の無線通信規格は国際統一規格の WCDMA に切り替わり、通信速度が速くなり通信トラフィックが増大した。この処理をするために携帯電話機プロセッサのプログラムが複雑になった。同時にカメラの解像度も上がり画像も含め記憶するデータ量も増えメモリに対する要求は、ムーア則によるメモリの大容量化スピードを超えて一気に数倍になった。

3-2. 世界初 POP(Package On Package)の登場

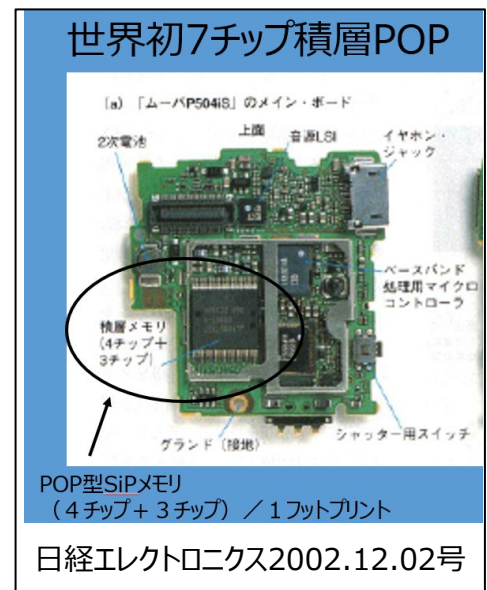
3G 端末では当時のメモリの最大容量をもってしても容量不足で 8 ダイを 1Package に入れる必要が出てきた。当時でも 3 段、4 段の積み重ねは技術的難易度が高く、日本国内でしか生産できなかったがここにきて携帯電話機メーカーは、日本の半導体メーカーの「要求すれば何とかやってしまう」という体質を知っていて 8 段の積み重ねを要求してきたのである。これに対応した技術は 2 種類あった。

あくまでも力業で 8 段を 1Package に積み上げる方式と、4 段重ね Package 2 個を 2 段重ねする方式である。前者は、2G で創出された MCP で、後者は世界初の POP(package On Package)である。何故この 2 種類が生まれたかといえば、最終コストまで含めた事業マネージメントを行ったかどうかの違いである。前者はシェアが低いメーカーが携帯電話端末メーカーから打診されて一発逆転を狙って開発を急いだことで実現したものである。後者は、世界で初めて MCP の生産を始め圧倒的なシェアを持っていた半導体メーカーから提案されたものだ。

携帯端末メーカーでは、1Package の方が少し背が低くなるのでセットの機構上低背を望んだ会社を選択した。前者の 8 段済みを提供した会社はそのことが原因でメモリ事業を分離し他社と統合させることになった。後者は、3G の初期でますますシェアを伸ばした。

当時の MCP に搭載するダイは、システムメモリであったので全て良品ダイでなくてははいけなかった（今の MCP は基本的にはストレージメモリで NAND のほぼ良品ダイ『Mostly Good Memory』で事足りる。）。Package 完成後に Final Test 問われる完成品動作試験と Burn-In などの品質確認試験が行われるが高温長時間の試験ではウエハ状態の試験ではどうしても落とせなかった不良品がはじかれてしまう。当然完成品のコストはその最終試験の歩留まりに大きく左右される。8 ダイの積層 Package 品は 1 ダイごとの最終歩留まりの 8 乗になる。1 ダイでも不良になれば残りの 7 個の良品ダイも連動して不良品の仲間になる。一方、4 ダイ積み上げ Package の 2 段積み品は仮に 1 ダイが不良になっても残りの 3 ダイを連れ子にするだけで、他の良品 4 ダイには影響しない。8 個も複合化すれば全体は当然大きなコストになる。

3G の初期には、端末コストの中でメモリコストが最も高く 4,000 円を超えていた。8 ダイ 1 Package 積み上げ品はその 4,000 円を売るために 1,500 円以上の不良品を出していた。一方の POP 方式は



同じ 8 ダイを基板上に積層しても 800 円ほどのロスで済む。これまで述べた通り携帯電話の生産 Volume はコンシューマー市場故に大きい。月産 100 万個の 8 ダイ搭載製品を作れば単純 MCP 方式は POP 方式に比べて年間で 84 億円のコスト差が生じる。実際のところ単純 MCP 方式を選んだメーカーは大赤字となり他社との合併により本体から外された。

ここに、今の HIP への教訓がある。8 ダイの 1Package 化は今でこそ NAND 製品では当たり前だが（尤も NAND でしか行われていない。）、当時の組み立て技術からすれば極めて難しい課題であった。一方、多段ダイを内蔵したパッケージを更に積み上げる発想はどこにもなかった。しかし岡目八目で、必ずしも Package 技術ではなくコストも含めたマーケティング分野から POP の発想が生まれた。

いったん方向が定まれば後は Package 技術者が何とかする。日本の技術にはそういう力があるとの確信がマーケティングサイドにあり、既に MCP によるメモリ・ソリューションで自分たちの役割と可能性に気づかされた Package 技術者との融合が功を奏いたのである。それまで技術者の立場からは表舞台で光の当たったことのない Package 技術がマーケティングの力で覚醒した。

一方の 8 段積み上げ技術は技術的には果敢なチャレンジで、それに成功はしたがビジネスは没落した。何が奏功し、何が没落の道を開くか。同じ程度の技術があってもドライブのされ方で全く違う結果になる。HIP が技術の立場だけでドライブされたり、マーケティングからの方向付けが海外の「使う側」から示されるものだけで動く残念な結果に陥ったり、単なる下請け開発屋になってしまうのではないだろうか。HIP を必要とするマーケティングの力がなくてはますます技術は部品化し衰退していこう。

3 - 3. POP がロジックとメモリのインテグレーションを実現

3G 携帯電話も進化すると、携帯電話のメインのロジックチップが無線通信を制御する BBIC Base Band Integrated Circuit)とデータの加工と表示をつかさどる AP(Application Processor)に分かれる。特に AP は、データの加工のために大容量の RAM を必要とするようになりこれまでの SRAM や疑似 SRAM の容量では足りなくなってきた。技術力のある DRAM メーカーは PC 用 DRAM とは別に性能を落として消費電力を下げる携帯電話用 DRAM = Mobile DRAM を開発し始めた。問題は、小さな携帯電話の中のどこにこれを配置するかである。

NEC BASEBAND/APPLICATIONS + SAMSUNG MEMORY PoP

- Bottom package: single die baseband/application processor - NEC Medity M2
 - 529 balls at 0.5mm pitch (five rows)
 - ~ 1100 bumps (SnAg) at 225µm pitch
 - 70µm standoff height
 - 8.5 x 8.5mm die is 100µm thick
 - Die is underfilled and overmolded
 - 1+2+1 substrate with 25µm L/S and 75µm vias; 360µm thick
- Top package: Samsung two-die memory stack (SDRAM, One NAND)
 - 152 balls at 0.65mm pitch
 - Top die 70µm thick, bottom die 130µm
 - Preapplied die attach 15 - 20µm thick
 - Two-layer substrate is 130µm
- Total mounted height of PoP 1.55mm, and is underfilled

3/2009 IC PACKAGING: Global Trends, Technologies and Next Generation 3D Solutions 19

NEC/Samsung POP AP+DRAM+NAND
:Prismark Partners資料
<https://www.testconx.org/archive/archive2009/2009prior.pdf>

Mobile DRAM は低消費電力とはいえリフレッシュ動作をするため発熱する。Flash は熱がかかるとデータが消えるので一つの Package の中に入れるわけには行かない。しかし、いかに Package を Mobile DRAM 向けに小さくしてもそれなりに基板上の面積を取る。更に、AP の側は DRAM の信号遅延を極限まで抑えたい。そこで考えられたのが AP と Mobile DRAM を 1 Package に入れる SiP 方式である。

携帯電話用に MCP で始まった複合ダイ Package は携帯電話以外でロジックチップとメモリチップの 1Package 化で SiP と呼ばれる領域を切り開こうとした。System in Package である。しかし、実際にはなかなか成功事例ができない。Package 業界では Package のロードマップに単純複数ダイ詰込みの SiP を入れるが、実際に製品を作るとなると、両ダイの歩留干渉が起こる。メモリと 1Package にしたいほ

どのロジックチップは高性能品であるのでダイコストも高い。そのロジックダイが、メモリの不良で Package 化されてから不良の道連れになるのでコスト的な問題になる。メモリメーカー側は責任を取りたくない。そういったことで一般には SiP の波は広がらなかった。

3G 携帯電話のコアチップの一つである AP のコストは高い。DRAM を携帯に搭載するのは 3G が一番最初であり不安もある。そこで、POP 用下部パッケージで最終試験を終えたロジックチップと同じく POP の上部パッケージで最終試験を終えた DRAM をパッケージの積み上げ POP 方式で積み上げたことにしたのである。主導したのは TI などの AP メーカーであったがこの動きを最も喜んだのは DRAM メーカーの三星電子であった。

三星電子は携帯電話用メモリとして SRAM と疑似 SRAM を MCP 用途向けに Flash メーカーへ出荷していたものの、主導権は全て Flash メーカー、特に日本メーカーに握られていて自社製品では携帯電話機に採用される道がなかったのである。そこに POP 方式ながらメモリ製品については、製造→Package 化→最終試験という流れを自らの製品として実行できる道ができた。ようやく、ダイレクトに携帯電話メーカーへのマーケティングができるようになる（MCP 用部品ビジネスではできなかった）。それだけでなく、ほとんどつながりがなかったロジックチップメーカー（最初は DSP 製品 OMAP の TI 社）と直接会話ができるようになったのである。ここから三星電子の携帯電話向け（スマホ含む）メモリ事業の快進撃が始まるのである。

この時の POP の下パッケージは TI 社が委託した Amkor 社（米国）から供給された。上部は三星電子自ら作った DRAM であり Package は三星電子から供給された。最初の製品は FOMA と言われる三菱電機など日本製の 3G 携帯電話であった。当時は、1 フットプリント（PCB 基板上の 1 個のチップをはんだ付けする領域）の上に POP 用の別々の Package を携帯電話メーカーが個別に購入し、携帯電話アセンブリ工場で POP として接合する方式であった。

既に 3G のメモリでは POP が主流になっており、3G の初期の 70% の機種が POP メモリを搭載していたため POP 方式のそのものの導入バリアは低かったが、構造的には新構造開発が必要であり、日本の携帯電話メーカーがロジック+DRAM の POP 方式の商業化を推進した。一方、POP に搭載される半導体メーカーとしては独自に Package 品を作り最終試験まで完了した完全なチップを提供すればよく、POP に統合した後の不良で相手のチップを殺すことを気にせず済むため SiP としては喜ぶべき方向であった。特に、Mobile DRAM は温度でリフレッシュ特性が変わるため自身の Package で最終試験までできた利点は大きい。

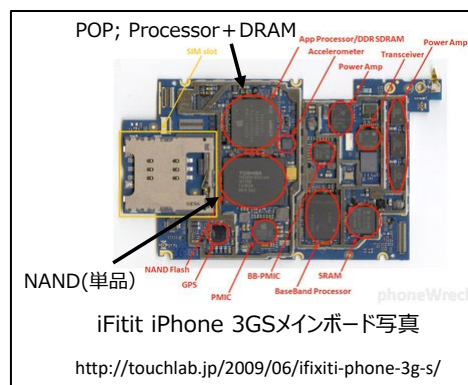
3-4. POP が iPhone に採用され本格市場形成へ

このように POP 方式には、ロジックチップメーカーと DRAM メーカーがそれぞれ自社の製品として独自に最終試験まで含めて製品化したものを組み合わせれば 1Package 製品と同じ効果を発揮できるということで低コスト化と高品質化が同時に追求でき加えて総合的に SCM がより効率的になるなどの利点があった。

POP 方式は、広義の SiP パッケージであり本格的な HIP の始まりであった。3G 携帯電話が端末として高性能化と小型化を求められ、その結果システムの機能、異種チップ実装要求を半導体 Package(1 フットプリント)の中に実現した。これ以前には DRAM とプロセッサを統合する場合、SoC の中に前工程プロセスで組み込み DRAM を搭載するしかなく、非常に高コストになりまた搭載できる DRAM 容量も極めて限られていた。POP によって携帯機器におけるプロセッサと DRAM の組み合わせ方に大きな広がり新しい産業の方向性ができた。

この高性能プロセッサと DRAM の SiP 内組み合わせとして POP 方式が業界に完全に定着する大きな動きが 2007 年にあった。6 月に発売が開始された初代 iPhone(2G) からプロセッサと DRAM が POP で統合されて製品化されたのである。それまでの POP 方式の推進者は、プロセッサ側の TI 社であったが必ずしも携帯電話業界の主導権を握るプロセッサプレーヤーではなかった。また、当時の携帯電話業界のプロセッサの雄、Qualcomm 社は SiP として別方式を選択していた(後述)。

iPhone がスマートフォンという革命的な携帯端末を提案し、特に 2 機種目の iPhone3G で爆発的な世界市場シェアを獲得すると携帯電話機メーカー各社はスマホに舵を切った。大人気の機種として巨大なビジネスを始めた端末で最も重要な部品であるメインプロセッサとメインメモリの位置を築いた Mobile DRAM の組み合わせ方として POP 方式が選択された。これが業界の流れを決定づけた。1990 年代後半からメモリの複合パッケージである MCP が始まって 10 年たち、その時点では数多の SiP 方式が提案されていた。3G の従来型携帯電話では使われ始めていた POP であったが、他にも Qualcomm が選択していた PiP(Package in Package)など新型 SiP パッケージの提案は百花繚乱であった。しかし、巨大ビジネスを作り出した iPhone が選択した SiP 技術が世界のお手本となった。



現在の iPhone においても、InFO(Integrated Fan-Out) という FOWLP(Fan-Out Wafer Level Package)技術による改良はあるにせよ、基本的には POP 構造を継続している。日本の 3G 携帯電話でメモリ POP が始まって以来 20 年、ロジックとメモリの合体型 POP が日本の 3G で始まってから 16 年、そして iPhone が採用して以来 13 年間、SiP の王道は POP 技術によって確立された。

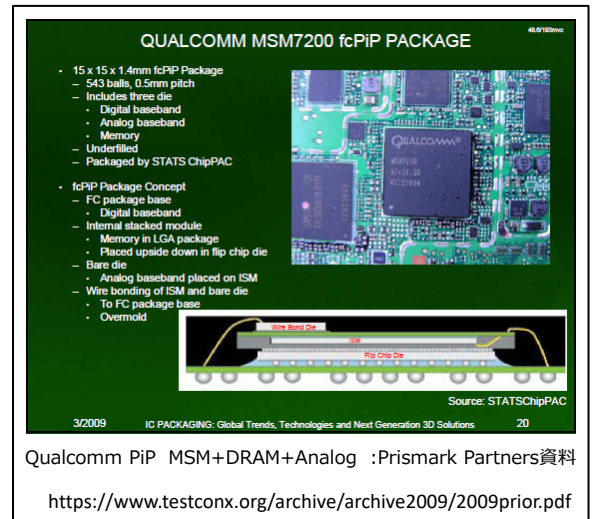
SiP のメインストリームとなる技術の選択は、結局その技術を使う完成品市場を制覇したものが使っているものが生き残るということである。技術的な高さやコンセプトが良くても部品に使われる技術である以上、完成品製品市場の要求と指定によって動かざるを得ない。



TSMC社 InFO POP技術 ; TSMC社資料より
<https://pc.watch.impress.co.jp/docs/column/kagai/1022475.html>

3 – 5. POP 以外のメモリとロジックの SiP 技術

iPhone の登場とそれに採用された POP 技術は 2020 年の現在 SiP の代表選手であるが、POP が出た当時別の SiP 方式が市場の別の流れを作りかけた。PiP (Package in Package)である。3G 開始時の最初の POP は TI 社の OMAP が主導した。その OMAP と携帯電話プロセッサの主導権争いを行っていたのが Qualcomm である。Qualcomm は 2008 年に Snapdragon シリーズをリリースするまで 3G のプロセッサとして MSM7000 シリーズを出していた。3G 向けの高性能化と占有フットプリント縮小のため OMAP と同様に SiP で DRAM と MSM7000 を 1Package (1 フットプリント化) しようとしたが、選択した技術は POP ではなかった。



Qualcomm PiP MSM+DRAM+Analog :Prismark Partners資料
<https://www.testconx.org/archive/archive2009/2009prior.pdf>

DRAM などのメモリをサブパッケージとして通常のシングルパッケージないしはメモリ MCP 工法で最薄化し、それをサブパッケージとしてメインパッケージの中に重ねて入れ込む方式の PiP(Package in Package)である。上下パッケージは通常パッケージ組立で用いられる 0.2 mm 程度のピッチで接続されるため上下の信号接続に自由度が高い方式である。POP 技術では Package の外周部に上下 Package の接続のため接続ボールの配置が必要となり、接続端子間のピッチはせいぜい 0.65um 程度となるため上下サブチップをワイヤボンドで接続する PiP の方が上下間の接続自由度が大きい。また、最終パッケージ全体の高さも PiP の方が低くできる。

PiP では、サブパッケージとなるメモリパッケージを通常のパッケージと同様にメモリ状態で最終高温試験まで実行できるため POP と同様に高信頼性製品が歩留よく提供できる。しかし、POP には PiP に対する決定的な優位点が二つあった。一つは、POP ではメモリ Package についてメモリーメーカーで POP 設計基準に従って自ら製造し直接機器メーカーに納めればよかった。一方、PiP の場合にはサブ Package として製造したものを DRAM メーカーから一度プロセッサ・メーカー (この場合は Qualcomm) に納入し

ロセッサ・メーカーが製品として統合する責任を持つことになる。つまり SCM が複雑化する。

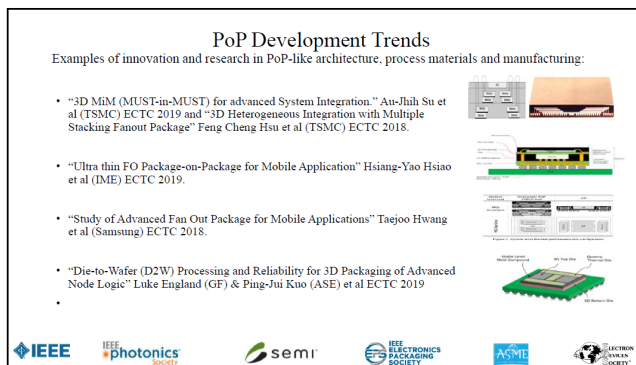
もう一つは、POP の場合は最終完成品のセットメーカーが方式を選択し、PIP の場合は最終完成品の部品を届ける半導体メーカー（Qualcomm）が方式を選択した。最終完成品のセット市場で常に激しい競争が行われていれば技術は優劣で淘汰されたかもしれない。しかし、この POP を選んだ完成セットメーカー（Apple）が市場を寡占したため後を追う他のメーカーは同じ POP 技術を模倣するしかなかった。因みに Apple は世界最大のスマホ・プロセッサ・チップメーカーでもある。

結局、スマホ市場における HIP は現在の 5G の初期端末に至るまでに POP 技術に収斂した。Qualcomm もこの流れに沿って、2010 年からは POP に軌道修正を行っている。POP が今後も HIP の中心であり続けるのは間違いないだろう。その、POP としてどのように上下を接続するか、どれだけの複合 Package を接続するか、そしてどうやって全体を薄く小さくするかに関し

て様々な技術が試され、適用されるであろう。Infineon から出発し TSMC により生産供給されている InFO 技術（Apple が選択）や新光電気工業株式会社が提供し Qualcomm が POP 向けに用いている MCEP (Molded Core embedded Package)などは、POP 技術をさらに強化するものであり今後もこうした改良、革新が POP ベースで進んでくると考えられる。

POP は DRAM 産業にも影響を及ぼしている。DRAM を必要とする 3G 携帯電話が登場するまで三星電子の携帯電話用半導体ビジネスは SRAM ダイを Flash メーカーに MCP 供給するだけであった。2G の後半 2000 年を超えてから DRAM を改良した疑似 SRAM が必要になり、疑似 SRAM の供給とバーターで MCP 技術を日本から導入した。この後、3G が始まるようになり POP 上の Mobile DRAM の供給を TI などの POP 方式プロセッサ・メーカーから要求され直接携帯電話メーカーと取引する関係ができ、携帯電話産業を自社携帯事業以外から学び始めた。そして iPhone の POP ビジネスで Apple と直接の取引をはじめ早く PC 用 DRAM に加え Mobile DRAM を事業の大きな柱に育てた。

日本では、エルピーダメモリが 3G の開始時に Qualcomm から要求を受け PiP 用の Mobile DRAM を開発したが、Package 技術は自社では全く保有せず Qualcomm に納める薄型の単体 DRAM Package 品を委託開発・生産し Qualcomm に供給した。Qualcomm とは密接な関係があったが完成品メーカーとは間接的な関係しかできず、Mobile DRAM に対するマーケティングも十分には展開できなかった。この三星電子との Mobile DRAM に対する差が、後々の業界でのポジションの違いを作り更にはエルピーダの他社に売却される遠因となったのではないだろうか。



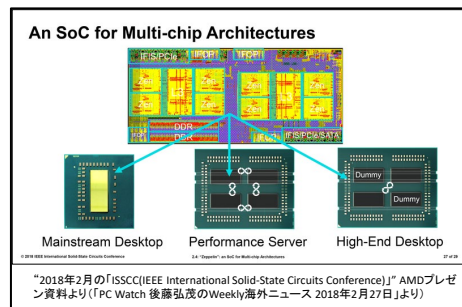
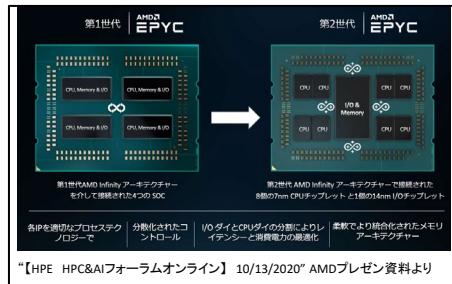
3-6. POP方式と Heterogeneous Integration Package (HIP)

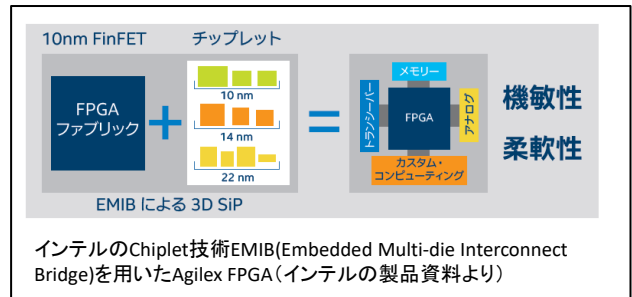
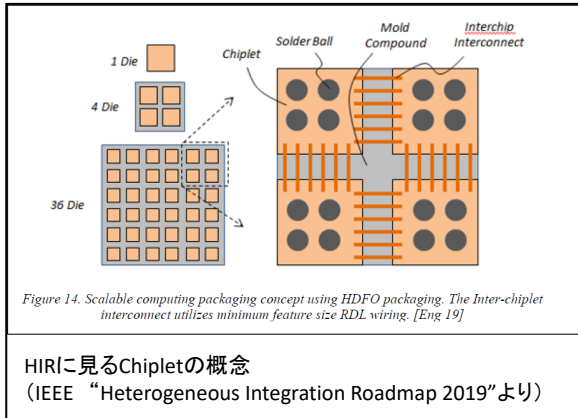
現在のところ、Apple 社が全世界の大規模 HIP の最大の供給者であり、最も多く使うユーザーの内の 1 社である。そして、POP 以外の HIP の種類も殆どが携帯電話・スマホで使われてきた。しかし、5G が登場するタイミングと軌を一にして HIP 技術がほかのメジャーな用途で実用化され始めている。先ず先行したのが AMD の Chiplet である。Chiplet は本来的には MCM(Multi Chip Module)と言われるカテゴリーの技術であり、モールド封止され完成した複数のチップをモジュール基板の上で統合するものである。MCMはMCP以前より随分前に存在し市場で使われてきた。では Chiplet はこれまでの MCM と何が違うのか。

従来の MCM は別の機能を持ったチップを一塊にして一つのモジュール基板上で統合したものであるが、今回の AMD の Chiplet は本来一つのシリコン上で実現されていた機能を、コストを下げるためにあえてダイの機能ごとに分離チップを興し、7nm のプロセスで作る大面積部のコア部複数チップと 14nm で十分に機能を実現できる制御部分チップを別々に製造し、MCM として再統合する技術である。新世代 MCM といえるが、特にモジュール基板上のチップ間通信に工夫を凝らしあたかも一つのシリコンで形成したような性能を発揮できるようにしている。加えてコア部の個数と制御部の組合せをフレキシブルにすることで異なる製品展開ができるようにしている。設計技術は同じだが製品展開する

際にコア部チップと制御チップの組合せを変更することで製品のシリーズ展開が可能となる。AMD は、この技術で製品の出荷を行っている。小さくしたいところはムーア則に則り微細化し、微細化効果の薄いところは旧技術で作って統合するというムーア則を超えた半導体の作り方になる。この技術により製造コストを下げだけでなく、製品展開のための設計及びマスク費用、試作費用を削減することができる。

今後インテルもこうした Chiplet 技術を使おうとしており、コンピュータ技術の最高峰 HPC で HIP の応用が広がると考えられる。しかし、この場合の HIP の目的は開発及び生産コストの削減が目的であり基板上フットプリントの削減ではない。むしろ Chiplet ではダイを分離するため基板上の面積は増える。同じ Heterogeneous Integration でも目的や用途、発展の方向も変わってくる。5G の端末技術である POP と HPC やデータセンターの HIP と 5G の基地局や MEC(Mobile Edge Computing)で連動することになる。





4. Heterogeneous Integration Package を用いた機能モジュール

4-1. eMMC が半導体の大市場を作った

3G、4G 市場で高速大容量データ処理のため DRAM が必要なり Mobile DRAM の巨大な市場が POP を通して形成された。そして同時に NAND メモリ市場が急拡大した。3G 携帯電話では通信が高速化されたため無線通信でやり取りするデータが増え、また 2G の後半で搭載された携帯電話内蔵カメラが“写メ”と言われる撮影した写真をメールで送受信する文化を創り出した。今でいう、Instagram や TikTok の流れはこの写メから始まったといえる。この内蔵カメラの解像度が 3G の機種展開が進む中で次から次へと大容量化した。3G の初期までは携帯電話に搭載される不揮発性メモリは NOR 型でありムーアの限界よりはるか手前でセルのスケーリングが 100nm で止まってしまっていたため大容量化できず写した写真の保存に困る状況が起こった。

そこで既にデジカメで一般化し始めていた SD カードの小型化が 2003 年に miniSD カードとして実現し 3G 携帯電話の外付けメモリとして利用されるようになってきた。デジカメより携帯電話の台数ははるかに多く、miniSD カードとその後の microSD カードを通して携帯電話が NAND のキラーアプリになった。また 3G の進化に伴いプログラムの容量が増え、内蔵の NOR Flash では容量が不足するようになり NAND Flash がプログラム保存用に MCP として搭載され始めた。3G 時代には、NAND ダイを直接内部プロセッサで制御していたが、NAND は信頼性が低く、データが消えやすいため信頼性不良補正動作も内蔵プログラムで処理しなくてはいけなくなりプロセッサのソフトウェア開発負荷が増えた。その上、NAND は世代交代が激しく新機種開発ごとにチップの仕様が変わってしまうためますます開発に手間取るようになり、携帯電話のソフトウェア開発が膨大になりリソースが不足してきた。日本国内の携帯電話メーカー各社はこの搭載 NAND 制御を含め複雑化した携帯電話のソフトウェア開発費に経営が圧迫されるようになり携帯電話から撤退するメーカーが出始めた。

携帯電話メーカーからの強い不満を受けた NAND メーカーは 2007 年に SD カードの機能を半導体パッケージに入れ NAND とコントローラーを 1 Package の SiP にし、eMMC という製品を作った。SD カードと同様に NAND の世代や仕様が変わってもパッケージ端子の入出力は eMMC に規格に従う仕様になっており、NAND の内部で発生する使用中に発生するビット不良も自動で補正する機能を持つようになった。更には初期ビット欠陥がある完全良品でないチップでもコントローラーで補正できるため正規な製品として出荷できるようになった。コントローラー付きの NAND だけに許される Mostly Good

Memory(MGM)という奇妙な名前の製品が登場することとなり歩留が向上しコストは低減した。この eMMC 製品が iPhone をはじめとするスマホに搭載されるようになり NAND Flash の市場が、先行していた NOR Flash を携帯電話市場から駆逐し DRAM に並ぶ巨大な市場を形成するようになった。

eMMC は携帯電話・スマホ向け NAND の数兆円に及ぶ巨大な新規市場を創出しただけでなく、コントローラーと半導体デバイスを組み合わせることで SiP 技術による自立した機能を発揮できる機能モジュール Package の分野を作り出した。スマホ用プロセッサと DRAM の複合化を実現した POP 製品と eMMC は Heterogeneous Integration として双璧をなす大規模市場を作り、その両者の規模を合わせれば世界の半導体需要の 1 割を超えるところまで来ている。つまり HIP は既に市場の 1 割以上の市場を持っているということになる。

4 - 2. eMMC は機能モジュール Package

eMMC は、各メモリアイの機能と性能をコントローラーで制御し、NAND の世代、仕様、工場、メーカーが変わっても eMMC 規格に従った動作を行い、また初期不良のみならず長期間使用の信頼性不良も補正する機能を持つ。そのため eMMC とデータをやり取りするプロセッサは NAND の内部動作を気にすることなくコントローラーの動きさえ知っていればよいということになる。PC に対する HDD や SSD のような独立した機能モジュール・デバイスであり、eMMC はこれを半導体 1Package で実現している。HDD や SSD を PC に接続して使う場合 PC 側は装置内で記憶素子である磁気ディスクや NAND Flash がどのように動かは気にしない。PC 側から論理アドレスとデータ、そしてコマンドを発するだけであとは全て HDD コントローラー、SSD コントローラーがすべてを引き受けて命じられた処理を独自に実施する。

eMMC の場合も SSD と全く同じで、プロセッサから与えられたデータ保存のアドレス = 論理アドレスを勝手に自分で変更して、eMMC 内 NAND の劣化状況などを分析したうえで当該 eMMC の中の都合の良い物理アドレスに変換してしまう。この論理アドレスと物理アドレスの変換には特別の法則などなく、その時のコントローラーのみぞ知る変換となる。そうしたとしてもプロセッサ側には何の不都合も生じない。読み出したいときはそのデータの論理アドレスを eMMC コントローラーに伝えるだけであとはコントローラーが割り当てておいた物理アドレス部からデータを引っ張り出してくるだけである。機能モジュールとはこのように動き、外部からは窓口となっているコントローラーの動きだけが見えることになる。この仕組みを Heterogeneous Integration 技術である SiP を用いて 1 Package 内で実現している。eMMC はデジタル・データ保存の機能モジュール Package である。

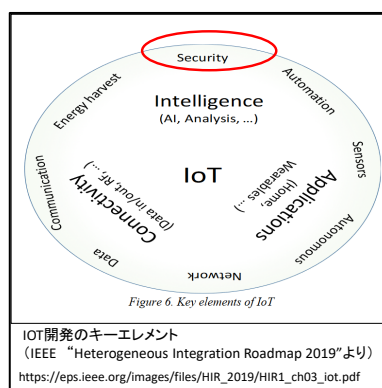
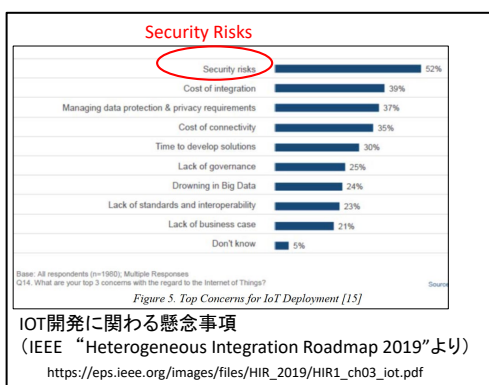
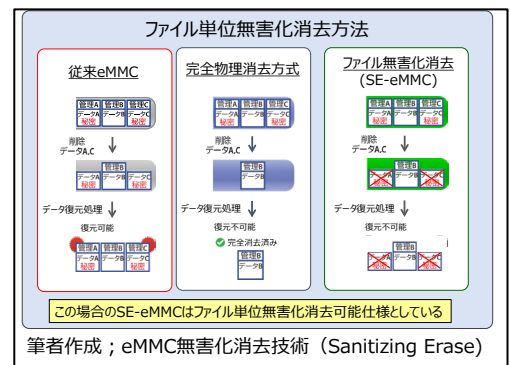
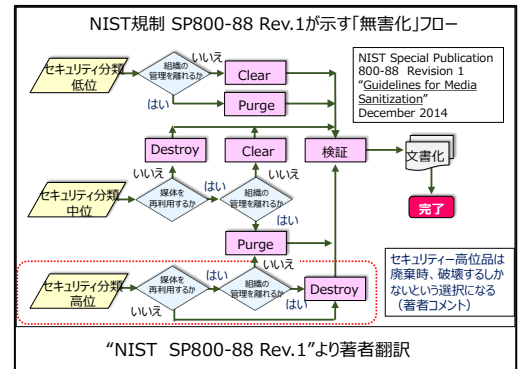
この HIP による機能モジュール Package の概念は、今後 5 G のスマホ以外のアプリケーションで活用できる。以下にいくつか 5 G にまつわる機能モジュール Package の実用化検討を行う。

4-3. SE-eMMC

デジタル情報のセキュリティ管理のために廃棄する電子機器の残存データ問題が深刻になり米国では「NIST 基準」として法制化された。5GでIoT機器が巷にあふれかえることになるが、現在のデジタル・データ処理ではデータの無害化（Sanitizing）は法規制のような人為で行うしか方策がない。規模は違うが神奈川県HDD流出事件はその脆弱性が露わになった事件である。IoTのストレージ（この場合は標準的なeMMCとなるが）にデータ無害化消去制御チップを追加搭載し、SE-eMMC（Sanitizing Erase eMMC）を実現することができる。セキュリティ機能メモリである。SE-eMMCについては、廃棄時の操作のみでSE(Sanitizing Erase)を行う場合と常時ファイル単位の無害化を消去行う仕様が個別に実現できる。自動運転自動車やMEC、IoT機器にeMMCを搭載する場合にはセキュリティを考慮してSE-eMMCの搭載を勧める。5G携帯に更に個人情報保存されたり、AIによる仮想家族が端末内に構成されたり、AIによる個人秘書機能などが搭載されるようになればSE-eMMCが必須になるかもしれない。既にプロトタイプはSE-USBメモリは実現されておりこの機能を現在のeMMCに付加する形でSEコントローラーを追加すればよい。

基本機能は実現できており、製品化は難しくない。最大の課題はマーケティングになる。果たして5G社会がそれほどセキュリティに敏感になるか。メモリ廃棄時の無害化を罰則付きで法制化している米国のNIST基準ですらあまり社会に定着しているようには見えない。市場密着型のマーケティングか、組込セキュリティが必須になるキラーアプリとしてのIoTデバイスとの連携が必要だろう。

IoTの開発者たちは開発にあたっての最大の懸念事項は“Security Risk”であるといっている。



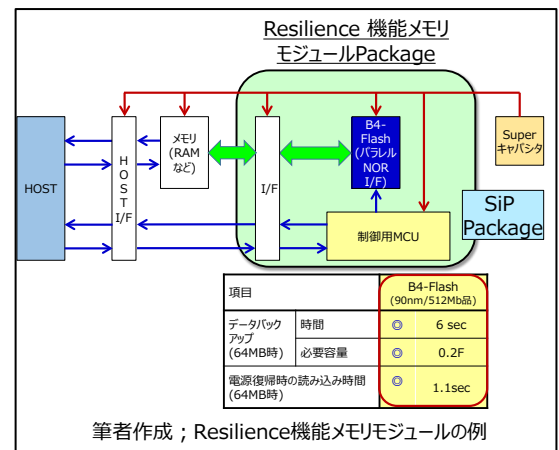
4-4. Resilience メモリ・モジュール Package

自動運転自動車や産業用ロボット、MEC など 5G で利便性を発揮する機器は全て電力で動く。Battery 駆動の瞬断、自然の電力瞬停やサイバー攻撃、各電磁波破壊攻撃などでの電源断対策として Resilience Computing が今後極めて重要になると考えられる。5G 社会にあっては全ゆる社会インフラがデジタル化される。2018 年に発生した北海道のブラックアウトが 5G 社会で起こったとするとその影響は当時の比にならない規模になろうし、東京や大阪で発生すれば甚大な国家的損失を発生させるレベルになることは想像に難くない。5G 社会はデジタルで利便性が向上するが、IoT 含めあらゆるデジタル機器に電源遮断時の自己復元性機能 = Resilience 機能が必要となろう。Resilience もセキュリティに関係している。

電源瞬断時 Resilience に必要なパラメーターをバックアップする。例えば安価なシステムにするために Super Capacitor 1 秒で 8 MB のデータをバックアップすると 8MB/sec の書き込み速度が必要になる。パラメーターは復帰時高速で読み出すことが必要で 100ns 級のレイテンシが要求される。これが実現できる不揮発性メモリは B4-Flash, MRAM, RRAM, FRAM などになるが 8MB=64Mbit を \$1 以下で実現できるメモリは B4-Flash しかない。他のメモリは 10 倍以上のコストになる。例えば MRAM は \$15 である。NAND は読み出しが遅すぎる(50usec)。NOR は書き込みが遅すぎる(1MB/sec)。

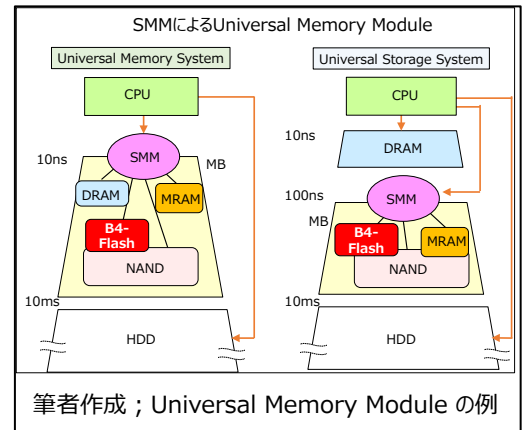
B4-Flash と Resilience コントローラーを 1 Package に入れて Super Capacitor は外付けとする。Resilience システムとして \$2 以下で実現するくらいでないあらゆる機器には搭載できない。このシステム概念は既に HDD の瞬断対策として検討されているが、瞬断データバックアップのデータバスと手順を業界標準化すれば多くの機器のブラックアウト対策ができる。瞬断対策 Resilience 機能メモリである。こうした用途向けの B4-Flash のような新型メモリが必要となる。自動車にも活用できる。

本機能モジュール Package ビジネスについては既に市場要求で技術実現性は確認している。Resilience そのものは社会的要求になるので、市場を作るためには①業界で標準仕様を定める、②HDD のようなキラーアプリと協業することで Defact Standard を確立する、ことなどが必要となる。



4-5. 超低レイテンシ Universal Memory モジュール Package

5G の特長である超低遅延データ処理機能をより高度に生かすために DRAM, NAND と MRAM や B4-Flash を SMM(Smart Memory Management)コントローラーで制御し 1 Package 化することで超低レイテンシ、安価、高速書き込みの理想的なストレージ Universal Memory Module を作る事ができる。1 Package では困難な場合には Chiplet 方式でもより。NVDIMM に似ているが NVDIMM に必要な Super Capacitor は必要ではなく、NVDIMM より安価にできる。現在の NAND ベースの eMMC に代わる eUM(embedded Universal Memory)として活用できる可能性がある。この場合、上述の Resilience 機能や無害化消去のセキュリティ機能の搭載も必要になるかもしれない。eUM は、小規模の IoT デバイスより MEC や自動運転自動車、5G で動く産業用ロボットなどで有効性を発揮できる。



4-6. 国土強靱化 IoT デバイス

上記は全てメモリに関連して提案したが、アナログ素子による 1 Package 機能モジュールにも重要な市場がある。国土強靱化 IoT デバイスである。日本は世界でも群を抜く災害大国である。地震、噴火、洪水、土砂崩れなど災害監視対象区域の国土変異情報の常時監視が求められる。これまでは常時監視は困難で、加えて人里離れた地域や夜間の事象に対する危険予知情報の獲得は極めて限られてきた。

斜面の変位、水量の変化、土地の隆起など自然情報の常時検知を変位検出センサー機能 IoT モジュールのデジタル・データで常時監視することはできないか。また、日本は戦後、高度成長期や日本列島改造計画で高速道路やトンネル、橋、砂防ダムなどの公共事業投資を推進し世界でも有数の社会インフラを整備してきた。しかし、建設以降長い年月が経ち老朽化が進む中、設備の劣化が災害を起こさないか頻度高く監視しなくてはならない状況にある。近年はドローンによる監視手法が導入され始めているが有人でかつ間欠的である。ここに 5G を活用した変位検出センサー機能 IoT モジュールを導入できれば科学的な危険予知が低ランニングコストで可能になる。まさに 5G 技術の威力である。

これまでは国土強靱化のために土木投資、箱物投資をおこなってきたが、それに加えて災害対策投資の一部で 5G を活かすという実例を作ることで世界に先進例を提供できる。日本は国土強靱化 IoT デバイスの需要の高い世界有数の市場で社会実験の機会が山ほどあり、新技術市場投入の鉄則である「市場に密着していること」の条件に最適である。

一方、技術面では変位検出センサー機能モジュールにはアナログ技術が必要であるが、日本にはまだ優秀なアナログ技術経験者が存在している。既に土砂崩れ防止ロックボルト工の変位、あるいは高速道路や橋梁のボルトゆるみ変位は IoT センサーでの常時監視が可能な技術があるようだ。あるいは河川の水位変動などの検出技術などは日本にあるという。これを 5G で機能モジュール化できれば国土強靱化 IoT デバイスになる。加えてかつてのアナログ技術者はリタイヤするくらいの年齢になっているが、アナログ技術において精緻なトリミングなどは経験と勘に頼るところが大きい。リタイヤした優秀な技術者を活用できる

施設名	概要図	写真
アンカー工 鉄筋挿入工 (ロックボルト工)	<p>土壌のすべり面より深い地山にアンカー体を造成し、所定の引張力を与え受圧板を介して土壌を安定させ、急傾斜地の崩壊及び地すべりを防止する</p>	

急傾斜地崩壊防止施設・ロックボルト工例

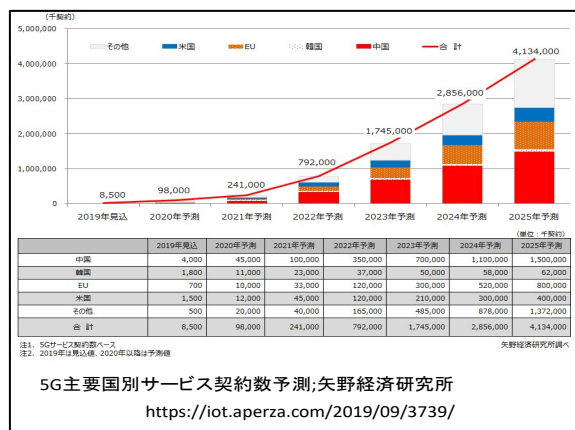
ような道ができれば国土強靱化 IoT デバイスの日本の技術コンピタンスは世界でもトップクラスになることができるのではなかろうか。

5. 5Gの半導体ビジネスチャンス

5-1. 5Gの端末ビジネスの行方

4G 以前の無線通信技術によるサービスは殆ど全てが携帯電話及びスマホを通して一般消費者に対して提供されるものであった。3G, 4G のサービスとしても IoT が期待されてはきたが一定の規模の市場に留まり、個人通信端末が作り出す市場とは比較にならなかった。5G でもこのスマホ一般ユーザー向けの市場は継続し発展もする。そういう点では5G スマホ自身の高性能化が進むためそれに付随する個人向けのサービスはさらに深化するであろう。例えば、スマホを通じて個人に AI 秘書が付く、高齢者向けにスマホの中に AI バーチャルファミリーができるなど、5G でなければできない AI ネタやアバター、AR, VR などを活用したサービスがあれこれ登場し、そのうちのどれかが現在の FaceBook, Twitter, Instagram, TikTok のようなキラー・サービスにつながるだろう。コンシューマーゆえに見通すのは難しいが、5G スマホ自体は5G 世代の新しい世界を作るだろう。それにつれて、iPhone か Galaxy,あるいは Xiami などの中華系か、今まだ認識されていない完全に新しい端末機器メーカーか、何れかが巨大な5G 端末市場を手にするだろう。

2030 年には 40 億台を超える5G 契約を予測しているところもある。キラーアプリか、特定の端末でいち早くキラーになるアプリを端末性能故に実現できたところが主役になる。今のプレイヤーが今後も続くかどうかはわからない。Apple や Samsung が没落する図絵は今では考えられないが、現実に 10 年前までは世界シェア 65%を持ち携帯電話端末トップだった Nokia があつという間に消え去った。OS 戦争で自前の Symbian にこだわりすぎ、またスマホの登場を甘く見すぎた。経営の教科書に書けるほどの「イノベーションのジレンマ」タイプの没落だろう。もう一社、一瞬世界トップに立った Huawei も先行きは極めて不透明である。技術やマーケティングではなく政治的要因であるが、巨大な市場であり、国力や国防に影響の大きい5G では今後、ビジネス遂行上の影響要因として政治が最も大きくなるかもしれない。単一巨大市場故に一つのつまずきが致命傷に十分になりうる。Apple が盤石だとは言いきれない。



5-2. スマホでの Samsung の強みはどこから来たか

Nokia の時代にその後ろを走っていた Samsung がその後の業界の大変動にも盤石のビジネスを実行し、常に上位のシェアを確保して今ではトップシェアの常連になっている。その要因を経営論研究者は研究すべきかもしれない。経営そのものの影響の大きさを示す例としては絶好の題材であろう。単なる企業文化や組織体による経営戦略の正しさ、あるいはそこに勤める技術者、従業員の優秀さ、それを引き出す会社の運営文化、などを考えても解は見つからない。ここで経営論を考究したいわけではない。5G ビジネスの戦略を考えるうえで極めて重要な素材と考えるからである。

世襲であるかどうか、あるいは父か子かというような属人的な議論は別にしてこの会社が特別で強力な経営力を持っていることは間違いない。その経営力で、①携帯電話・スマホの端末ハードビジネスでトップシェア、②スマホに必要な欠くべからざる Mobile DRAM と NAND でトップシェア、③他にもスマホに必須な Display やリチウムイオン電池などで高いシェアを確保、といった強さを強力な経営者が戦略的統合的に運営してきた。特に②と③は自社消費だけでなく競合大手の Apple や Huawei にも必須の SCM に取り込まれていることでスマホ産業の技術とマーケティングを世界で最も知ることのできる立場を持っている。これを三つの分野で相互作用させる経営ができる（経営者は一人）ので全てが盤石になるのは無理からぬことであろう。新しいことをしようとせずともライバルの SCM に組み込まれていることで常に移ろいやすいコンシューマー市場の危険な罠から逃れることができ、絶対に負けない道を歩むことができる。

Samsung は本稿の前半で見た通り、携帯電話の勃興期には半導体での携帯電話での存在感は薄かった。90年代から2000年台の前半、2Gから3Gの初期には自身の携帯電話端末ビジネスはマーケティングと販売力で韓国と発展途上国でシェアを稼いでいたが、携帯電話の先端技術からは離れた位置にいた。SRAM、DRAMは日本から技術導入したが当時Flashの主力であったNORは持っていなかった。2G、3Gの初期には携帯電話向けメモリビジネスとしてはSRAMをシャープや三菱のMCPビジネス向けに供給していただけであった。この当時はシャープ、三菱、富士通、intel、AMD（のちに富士通と統合してSpansion）のNORメーカーだけが携帯電話メーカー向けのブランドを持ったメモリビジネスを行うことができた。その当時の世界トップNokiaにすらシャープのMCPに搭載されたSRAMを供給しただけであった。因みにそれでも市場を寡占していたNokiaはSamsungのメモリビジネスに強い警戒感があった。

Samsungの携帯向けメモリが強くなったのはPOPが登場し、Mobile DRAMで直接市場参入できてからである。そして、携帯電話市場はNANDを使い始めた。SamsungはNANDを東芝から導入し、SanDisk、東芝と一緒に市場作りを始めていた。はじめは携帯電話には相手にされなかったNANDであったが3Gが定着し通信量が増え、同時にスマホが画面に映し出すピクセルも格段に増えた。NORの容量では不足する状況でNANDが携帯電話に採用され始め、スマホのトップランナーiPhoneには最初からNANDがPOPのDRAMと一緒に使われた。同様に、小さな画面の携帯電話から一気にスマホに市場が移るとDisplay市場とBattery市場が活況になった。

こうしてSamsungのスマホ事業は世界で最も早く、Appleや他のスマホメーカーの新製品情報を得ることができるようになり、メモリ、液晶ビジネスとともにスマホビジネスを軸としながら強い経営の環として相互作用させながら相乗的に大きくしてきたのである。

5-3. Samsungは5Gでも盤石か

Samsungの経営は盤石である。①スマホまたはその延長上の端末が無線通信技術のキラーアプリである、②使われるメモリはDRAMとNANDであり続ける、③表示デバイスに破壊的な新規デバイスが表れない、の三つの条件が続く限りは、である。③はそう本質的ではない。①と②が継続し、経営者の問題や地政学的位置の難しさに絡む政治上の問題が起きない限りは盤石であろう（それは本稿の扱うところではない）。もし①、②に変動が起こるとそこに「最も弱い環」が発生し、Samsungモデルは崩れるかもしれない。しかし、現在の5Gの情報から端末ビジネスとして①が大きく変わる要素はないし、②はスマホメモリとしてDRAM、NANDというのは揺るぎそうにない。あるとすればintel、Micronの3DXpoint

Memory が Mobile DRAM の置き換えになるか、本稿の 4 – 5「超低レイテンシ Universal Memory モジュール Package」が本格化した時であるが一朝一夕には変わらないだろう。

それ故に 5G スマホと関連のメモリビジネスに Samsung の「弱い鎖」は存在しないので、結果として 5G スマホで Samsung はますます盤石になるのではないか。ここに（つまり 5G のスマホおよびそのメモリで）勝負を挑めるようなチャンスはなさそうだ。

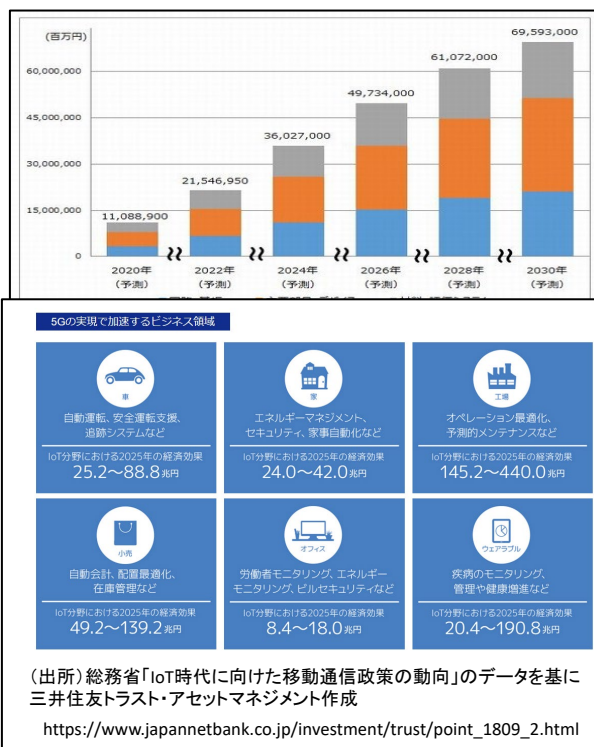
5 – 4. 5G のメイン市場にこそ勝負のチャンスがある

上で見たように、Samsung は今や世界最大のハイテク総合企業であり世界中どこにも類似企業は存在しない。どこにも死角がないように見える。しかし、栄枯盛衰は世の常である。5G という本題から見ると「最も弱い環論」で少し弱点が見えてくる。この弱点こそ、5G が作り出す新市場と考える。

5G で期待されているのはスマホから離れたところにある新しい幅広い市場領域である。「いつでも、どこでも、何とでも」インターネットにつながる機能で社会インフラやスマート・シティ、医療、災害予知、SDGs、環境、産業用ロボット、医療など個人ではなく社会に関わる新たな無線通信アプリケーションが期待されている。半導体を含むこれらの 5G 関連デバイスの市場規模は 2030 年に 70 兆円ほどになるという予想だが、5G が波及して作るサービスは 1000 兆円に近い規模と見込まれている。これを IoT という言葉でくるにはあまりにも範囲が広すぎるが、スマホは「人の掌でつながるインターネット」を提供するサービスだが（いわば IoH; Internet on Hands）5G で期待されているサービスは、全ゆる物と物をつなぐインターネットである。読んで字のごとし IoT=Internet of Things。無線通信技術として 4G の次の技術として 5G 時代が来るわけだが、この 5G が従来の人間ユース、コンシューマー・ユースの市場を離れて新しい市場を開く。新時代が作られるという意味で“エポック・メイキング”な変化がやってくる。Disruptive な変化が無線技術市場に起こる。但し、既存の延長上の市場 = 5G スマホ市場は、なくなりはない。むしろなくなるどころか、4G より大きな市場になる。

それでも 5G による IoT 市場が期待されるのは、スマホ周りの市場よりはるかに大きな市場を作る可能性があること、社会の諸問題を解決する有効な手段になる可能性があること、新産業が勃興するチャンスがあることなどによる。時代の変化に対する期待値である。

こうした時代には、プレイヤーの入れ替わりが起こる。①既存市場はなくなる。むしろまだ伸びしろがある。②既存市場で積み上げた有形無形の資産がある。工場は入れ替えられない、技術者人材も入れ替えられない。③新市場のビジネス上の直近の魅力が少ない（立ち上がるのに時間がかかる）。こう



した条件が整っている時は、既存市場での勝ち組は動きづらい。既存市場にリソースを集中した方がより多くの利益を確保できる。将に、「イノベーションのジレンマ」症候群が生まれる条件が整っている。

5 – 5. 5G IoT は新しいビジネス・ゲームを作り出す

4G までに敗者になった側は、舞台が替わるタイミングでここぞとばかりに新しいチャレンジができる。敗者復活ではない。ゲームのルールが変わるので勝者と同じスタートラインに並びなおすことができる。そしてこれまでのゲームでは役に立たなかった過去の資産、資産価値のなかった道具をもう一度見直せば、今の勝者より道具を沢山持っているかもしれない。

例えば、

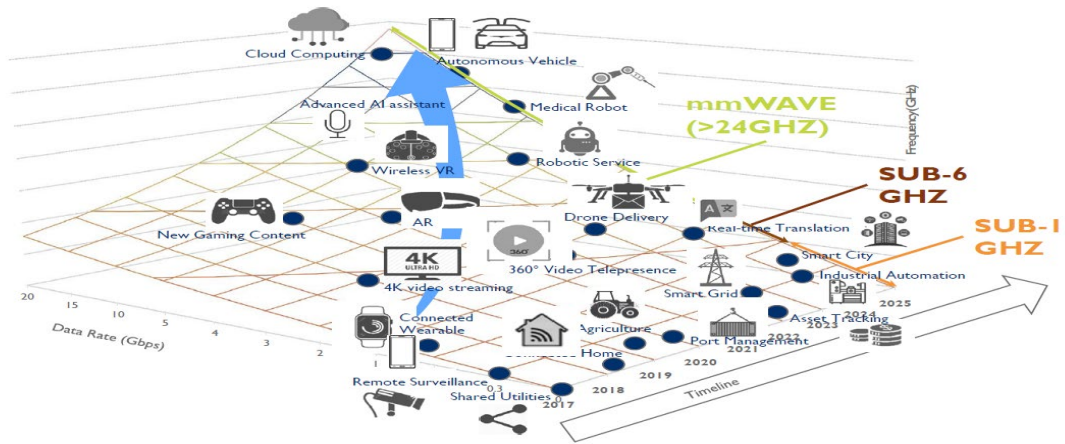
- (1) 5G IoT ビジネスではアナログ技術が役に立つ。日本にはアナログ技術の長い蓄積がある。既にリタイアした技術者が多いが役に立つかもしれない。
- (2) 少量多品種をビジネスハンドリングできる SCM がある。装置メーカー、材料メーカー、小規模デバイスメーカーなど棚卸が必要。
- (3) 多種の技術を融合させなくてはならないので幅広い技術ネットワークが役に立つ。機械工業では東京蒲田や大阪東大阪の産業ネットワークが役に立っているが、半導体ビジネスでの近代的なビジネスネットワークが以前より作りやすくなっているか。
- (4) 既に日本の半導体は大手が廃業や縮小を進めてきたので人材の流動化が進んでいる。新産業の勃興にチャレンジする起業家精神がより強くないか。
- (5) IoT で半導体を機能モジュール化する場合、Heterogeneous Integration する組立技術が必要。未だ日本が強みを持っていると期待したい。
- (6) 一番重要なこととして IoT ビジネスでは、エッジ側は市場の要求が見えなければ形にできない。できれば

市場に密着したい。IoT のように社会システムや社会インフラに強く関連するビジネスは先進社会としての社会課題が見えれば見えるほどソリューションを IoT で提供できる機会は増える。日本国内の IoT 対象市場との“密”なつながりを大切にしたい。

などなど、新ゲームで使える武器は沢山あるのではなからうか。とりわけ、技術人材とネットワーク、そして市場、これらを重視することで新しいゲームたる 5G の IoT 市場に挑むことができるのではないか。

5G Applications

Source: Yole Advanced RF System-in-Package for Cell Phone 2019 p57



HIRに見る“5G Applications”

(IEEE “Heterogeneous Integration Roadmap 2019”より)

* * * * *

以上、第4章は、ADAS進化に必須のダイナミックマップを収納する基地「子局」のデータベースサーバーや、ミリ波5Gの普及を促す動的固定無線メッシュ端末などの技術が普及するために必須となる「低コスト・低価格化」に焦点を当てて、半導体が、いかに機器のコストパフォーマンス向上に寄与してきたかを、メモリーの事例で回顧的に分析・観察した。

半導体が日本で弱った一大要因は、顧客たるアプリケーション機器事業の側が弱ったためでもあったが、それにつれて半導体が弱ると、今度は機器システムの側が奮闘しようと反転攻勢に出ようとするおり、効率良く助けてくれる基盤を欠く結果となる。両者は互いに強め合い、また弱め合う関係にある。

CASEが進展する時代に入り、業種の壁を超えて、技術人材が補完し合わねばならないおり、クルマ業界にとっても、日本の半導体やITの業界が弱っていることは重大な弱みとなりかねないことを危惧するものである。(当然、グローバルな連携も進めるわけだが、コミュニケーションの深さや効率性は、“地理の経済性”を持っている)

(禁無断転載)

20-7

CASE 変革期に問われる異能チーム・異分野技術へのアプローチ調査

2020 年度

—ミリ波 5G 普及時代の V-to-「X」に有望な IT 事例—

令和 3 年 3 月

一般財団法人 機械振興協会 経済研究所

〒105-0011 東京都港区芝公園 3 丁目 5 番 8 号

TEL:03-3434-8251

<http://www.jspmi.or.jp>