

[1]-1: 「全てのもの」の賢さを増す人工知能、自動運転はその序章

今、「自動運転」の話題性が急激に高まっている。自動運転技術は1980年代には既に試験的に行われていたものである。ところが技術的に非常に難易度が高く、その実現はなかなか見られていた。その「常識」を打開したのは、DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency: アメリカ国防高等研究計画局)が2004~2007年にかけて開催したロボットカーレースである。初年度のDARPA Grand Challenge 2004では、240kmの砂漠のコースをカーネギーメロン大学チームが11.78km 走ったのが最長であった。その結果、自動運転車実現までには、まだまだかなりの時間が必要という「常識」が再認識された。ところが翌2005年には、参加した23台すべてが前年の記録を上回り、内5台が完走したのである。1位のスタンフォード大学の記録は6時間54分(平均時速37.8km)であった。2位にカーネギーメロン大学が入った。わずか1年間で自動運転技術は飛躍的・画期的に高まったのである。第3回のレースは、2007年に市街地を想定した総延長96kmのコースで行われた。11チーム中6チームが完走し、今度は1位がカーネギーメロン大学、2位がスタンフォード大学だった。このうち、2005年のレースで優勝したスタンフォード大学のメンバーなどがGoogleに入社し、同社の自動運転プロジェクトを牽引しているのである。

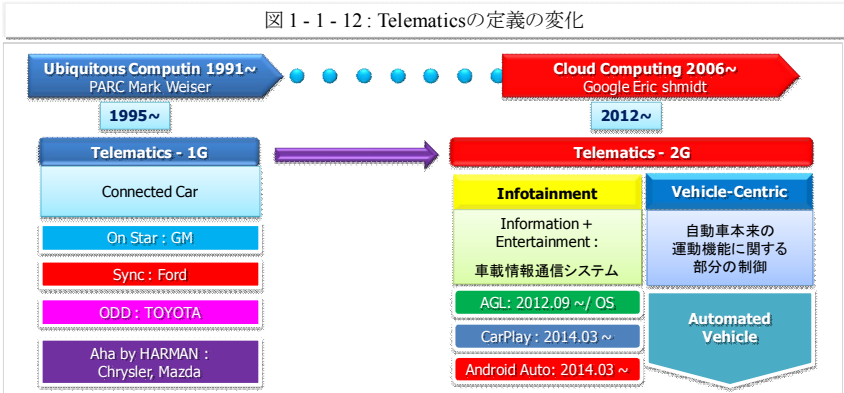
ロボットカーレースがわずか1年で急激に進化した背景には、人工知能(AI: Artificial Intelligence)技術の進歩が挙げられる。2000年初頭頃から急激に普及したインターネットにより「ビッグデータ」の入手が容易になり、さらにサーバーの処理能力の向上ともない、大量のデータを処理する必要がある統計的AIの活用が可能になった。ロボットカーレースでは、統計的AIの一種Bayesian Network(ベイズ統計手法)を採用した画像認識技術の高度化により、わずかの期間で急速な進歩を遂げたのである。現在、自動運転Level 2までのほとんどの車種は、サーバー側でビッグデータ処理して得られた画像認識などのTemplateを基にしたプログラム(人の手による)で制御されている。しかし、自動運転技術をより確実なものにするためには、人間が介在する現行方式では限界が見えている。そこで注目されているのが、2006年に登場したDeep Learning{多層ニューラルネットワーク(Dep Neural Network)}を採用した機械学習方式技術である。この方式を量産製品に初めて搭載したのは、AppleがiPhone 4Sから搭載し始めた音声認識技術「siri」である(2011年)。これはCloud型Deep learning技術の一種である。Deep Learningが従来の統計的AIと異なるのは、ビッグデータを基に学習する際、独自(プログラム自身が)に何らかの「特徴量」を見つけ出す能力を有する点にある。従来のAIがあくまで人の手によるプログラムによって結果を導き出していたのに対し、自分で考える能力を保有しており『本物のAI』と期待されるゆえんである。ただし、統計的AIに比べ、より複雑で膨大なデータを扱って「学習」するため、端末からの吸い上げたデータをCPUより高速なGPUやFPGAなどのプロセッサを使用したServerで処理する方式が一般的である。一部の自動運転技術ではServer側にDeep Learningを採用したものもあるが、Templateを作成して人の手によるプログラムで自動車を制御する点は、統計的AI方式と同様である。しかし、この方式では自動車メーカーにより自動運転精度に差が生じ

【第一章】AIが加速する自動運転技術 [1] IT企業参入がもたらしたもの

ないが、それが意識的なのか、意図的なのかは分からない。両者は2年間の遅れをものともせず、図1-1-11のように2015年には市場シェアの25%、2016年には50%と急激にシェアを拡大しており、Mirrorlink™が淘汰されるのは時間の問題のようである。いずれにしても、Apple、Googleは絶妙なタイミングでこの市場に参入したようである。車載への転換行動がもう1年遅れたら彼らはInfotainment機器とのMirroring市場に上手く参入できたかどうか分からなかったのである。

「Telematics」という概念は、1995年GMにより提唱された。インターネットが普及し始めた時期ではあったが、インフラが十分整っている段階ではなかった。GMは独自のTelematics

図1-1-12: Telematicsの定義の変化



Service「On Star」を前述のように1996年から開始した。当初は、運転者による緊急信号発生、オペレーターによる運転支援などであった。そして、2000年以降、HONDA、TOYOTA、NISSANなども各社独自の同様なServiceを開始したのである。初期のTelematics(1st Generation)では、主に通信機能を保有する車載器および付帯するサービスを意味する言葉であった(図1-1-12)。しかし、ADASが普及し自動運転の実現が間近に迫

図1-1-13: Telematics/ Infotainmentの進化



全性を高める技術、などを実現するため、図1-2-2のように多数のセンサ搭載が推奨された。そのため、カメラモジュールはじめ各種センサの車載市場規模急拡大が大きいと期待された。ところが、国土交通省は、どのような機能を搭載するかは自動車メーカーに一任し、搭載に対し若干の補助金を出す程度の政策を実施するに止まり、法制化を進めなかった。しかも、世界的に ADAS の重要性が認識され、自動運転技術開発が活性化している現時点でも具体的な法律は作られていないようである。その要因は、ASV 推進計画と同時期に始まったインフラと車載器の連携による「ITS (Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム)」にあると推察する。当初、ITS は渋滞予測、ETC による高速料金自動徴収などを目指したものであったが、その後路車間通信により走行安全性を高める機能なども追加されている。自動車自体の安全性が高まることで、インフラの普及を阻害するとも考えたのであろうか。いずれにしても法制化が進まなかったため、研究開発費が潤沢な大手メーカーでは駐車支援システムの搭載、研究開発費があまり十分でない中堅以下のメーカーは Rear-View Monitor、前方監視衝突回避システムの搭載など、「一般ユーザーに販売価格アップを認知して貰える一部のシステム」が普及するに止まった。その結果、ASV 機能の市場への浸透は遅々として進まなかった。ASV 推進計画は世界で最も進んだ仕組みだったが、搭載機能の選択を「自動車メーカーの自主性に任せた」ため、その進捗が非常に緩慢だったのである。第1期から第5期まで25年にも渡る長期間の活動(もちろん税金で)の成果は AEBS (Advanced Emergency Braking System: 自動ブレーキシステム)、駐車支援システム (Surround View)、ACC(Auto Cruise Control)、LKA(Lane Keep Assist)など僅か(ASV HP より)であった。しかも、AEBS、駐車支援システムは、上述のように自動車メーカーが自社のリスクで搭載したものである。さらに、ACC、LKA は下記欧州の法制化により搭載が必要となった Front Camera の副次効果の感が強く、ASV 推進計画の成果とするのは疑問である。それにも関わらず、先述のように「特定の機能」で自動車の安全性を評価する試験を『当事者』が行ったわけである。何をかいわんや、である。

またインフラ整備も覚束ない段階で開始した ASV 推進計画は時期尚早だった感が否めない。さらに「あれも、これも」と機能を欲張った結果、Concept が不明確になってしまったことも滲透を阻害した要因の一つと考えられる(ADAS 版「Newton」である)。加えて「絶対成功させる」という強い意志と責任感を持ったリーダーが不在だったこともあり中々本格化しなかった。これに対し欧米では、インフラ、技術が成熟してきた 2010 年ころから、図 1-2-3 のように「法制化」により一気に安全機能を普及促進させようとする動きが活性化した(日本はこの段階

図 1-2-3 : 欧米の安全機能の法制化状況

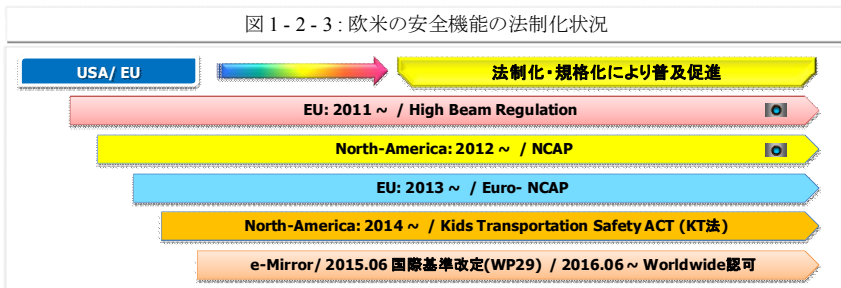
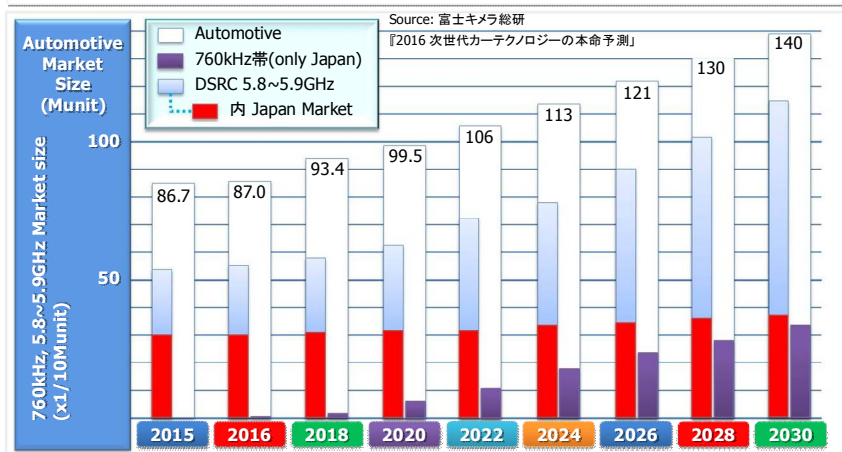


図 1-2-12: 路車間・車車間通信の市場規模推移予測



理をしなければならぬのである。また、ETCと同じ周波数を使用しておけば、ETCに機能を追加すれば事足りる。しかし別になってしまったため受信機が2つ必要との問題も発生する。自動運転技術で覇権を取ることは、自動車メーカーにとって今後非常に重要であるのは確かである。しかし、ここは絶対覇権を取らなければ自社の存在が危くなるものと、どちらにころんでも自社の将来の存在には影響があまりないものとは、区別して考える必要があると思う。後者は他社との「協調」を優先的に考慮すべきだと考える。ITS Connectは日本の中ですら、業界の賛同が得られているとは言い難い点が危うさを物語っている。「特定メーカーのつかみ取り」は国際的に忌避されることは、前述のAndroid Autoでも起こっている。それを非難しつつ自社も同様なことをするのは、他社をどうこう言う資格はないような気がする。また「身内を大切にすること」を優先とし、全体の利益を考えず調和を乱すようなやり方を万が一でも進めようとしているのであれば、それは時代錯誤も甚だしい。世界は「物理的インフラ」によるADASや自動運転技術を望んでいないことは、図1-2-12の市場予測からも明白である。「物理的なインフラ」のみへの拘泥は、変化のスピードが急激に上がった昨今ではマイナスにしかかからないように感じる。

【2】-4: ADAS用カメラSystemでDe facto化が進む「Mobileye」だが・・・

SUBARUのEyesightはAEBS用として世界的にも有名であるが、第2世代で図1-2-1のように、車線逸脱防止を支援する機能(LKA)や、前車を認識して車間を等間隔に制御して走る機能(ACC)などが付加されて進化している。さらに「ぶつからないのは前方のみ」という評価を打開するため第3世代では、後方認識用Radarやサイドモニターカメラなどを追加して安全性を高めている(後方衝突防止緊急ブレーキシステムの搭載義務について各国で検討が開始されている)。しかし、EyesightのStereo Camera方式は世界的にはマイナーなも

表 1-3-1: SAE分類の特殊用語解説

語句	定義
DDT: Dynamic Driving Task (動的な運転タスク)	<ul style="list-style-type: none"> 道路交通において、車両を操縦するために必要な全てのリアルタイムの運転の又は機能的な機能であり、行程のスケジューリング、先行や経路の選択などの戦略的機能を除く。 具体的には、左右方向の動き(ハンドル)、前後方向の動き(加速、減速)、運転環境の監視、機動プランニング、被視認性の強化(ライトなど)などを含むが、限られない。
OEDR: Object and Event Detection and Response (対象物・事象検知・反応)	<ul style="list-style-type: none"> 運転タスク(DDT)のサブタスクであり、運転環境の監視(対象物・事象の検知、認知、分類と、必要となる反応への用意)とそれらの対象物・事象に対する適切な反応の実行を含む。
ODD: Operational Design Domain (運行設計領域)	<ul style="list-style-type: none"> 当該運転自動化システムが機能すべく設計されている特有の条件。運転モードを含むが、これに限らない。 注1: ODDには、地理、道路、環境、交通状況、速度や一時的な限界を含む。 注2: ODDには、一つあるいは複数の運転モードを含む(高速道路、低速交通など)

参考: 内閣官房総合IT戦略室資料

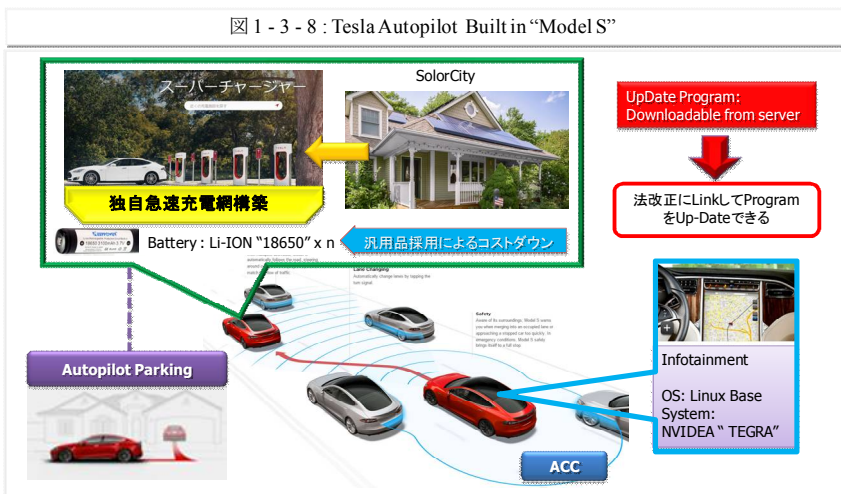
(System 自体あるいは環境の影響によるパフォーマンス低下)が起きた際は、System が運転を運転者に委ねる(Override)機能があり、Level 4 は「Fallback」は起きないが Switch off が可能であり、運転者の意思で簡易自動運転 (Level 2) に切り替える機能があるものを指すと推察する。Level 5 は「完全自動運転」であり、運転者が存在しない(運転席も必要ない)。

現在「自動運転」と一括りで議論されているが、SAE の分類からみると「保有する満足、走る楽しみ」と言った従来の「自動車」の Concept を踏襲するのは Level 0~3 である。特に、Level 3 は Intelligence 性があるため所有者の走行の癖を覚えることも可能であり、所有者向けに「Customize された自動車」になれる。Level 4 は自動運転が基本であるが、手動運転もできるものであり、「Ride Share」に適したものである。Level 5 では、搭乗者は免許証が不要で単なる「乗客」でしかない。これは、自動車と呼べるものではなく、「自動運転車」とは別の乗り物として扱った方が混乱を招かない。自動車メーカーが進める自動運転開発は Level up していく Concept であるのに対し、Waymo はいきなり Level 5 を実現しようとしている。このように、世の中で『自動運転』と呼ばれるものには、『**運転の自動化の促進**』と『**自動走行車の実現**』の 2 種類の流れがある。それを一緒にするのは妙なことである。前者を「Automated Car」後者を「Self Driving Vehicle」とした方が分かり易くてよいと思う。

【3】-1-1: Level 3、4の公道走行が可能になったウィーン道路交通条約加盟国

自動運転をどの Level まで認可するかは各国の道路交通法によるが、その基本となるのは多くの国が加盟している「国際道路交通条約」である。日本は「ジュネーブ道路交通条約」を批准しており、その改正を注視している。ところが、国際道路交通条約には、もう一つ日本が加盟していない「ウィーン道路交通条約」がある。海外勤務や海外旅行で自動車を運転した経験のある方の中には、国際免許が通用する国と通用しない国があるのを経験した人もあるかと思う。これは、上述 2 つの国際道路交通条約(国対国で個別に契約されている場合を除き)が存在するためである。道路交通条約が 2 つあっても、両者の内容が同じであるなら何ら問題ない。2016 年の始めまでは両者の内容は、ほぼ同一で公道での走行は「Level 2」までしか認められていなかった(州法などの条例で認可した場合は除き)。ところが、2016 年 03 月 24 日ウィーン道路交通条約のみが条件付きで Level 3、4 の公道走行を認めた。その条件が先述した「Override」と「Switch off」機能の搭載である。ウィーン道路交通条約批准国が自国内での自動運転車の走行を認めるか否かは各国の判断に委ねられることになるが、

図 1 - 3 - 8 : Tesla Autopilot Built in “Model S”



る可能性は十分あるかと思う。Teslaの Business Modelの説明が長くなってしまったが、ここで説明したい本題はその点ではない。実は、TeslaのEV車は独自のTelematics機能(Infotainment & Vehicle Centric)およびADAS機能を搭載している(Teslaはこれらを総称して「Autopilot」と呼称)。その特徴は、Internetを通じてそれらの機能をUp Dateできることである。まさに、「走るSmartphone」である。Googleの自動運転車も同様な機能はあると思うが、市販車ではTeslaが初めてではないだろうか。2015年10月リリースのv7.0では、最新ACC機能、Auto Lane Change、Emergency Steering Control、Auto Parkingなど(ただし、現行Model SにはSurround Camera Systemは搭載されていないためRear-viewの映像のみ表示。とはいえ、「全自動駐車」可能なので「見る」必要はないが、エンタテインメント性を高めるためAlpine-SMKが同機能の共同開発を進めているとの噂あり)、自動運転Level 3 Levelの幾つかの機能を先取りしたものである(ただし、手放し運転はしないように、との注意がある)。

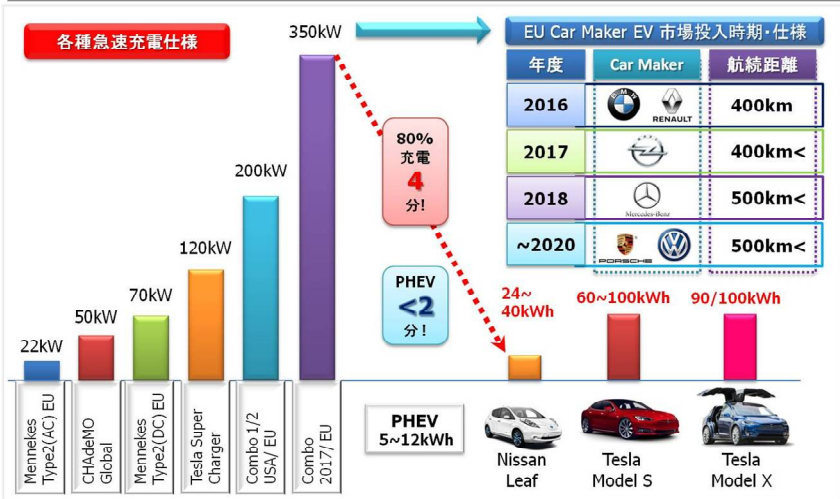
[3]-3-1: Mobileyeと決別、Real Time AI機能で新ステージに突入したTesla

2016年5月、晴天のアメリカのHighway(日本の高速道路に相当するのは「Freeway」)を走行中のTesla Sが交差点(Highwayには信号も交差点もある)を左折してきたトレーラーを認識できず衝突、運転者が即死する事故が起きた。この事故の反響は大きく、「自動運転時期尚早」などという意見も出た。結果的にはSystemの不具合(Teslaは事故後プログラムを修正)より、他のことに夢中になり前方に全く注意を払わなかった運転者の責任ということで決着がついた。しかし、その後2016年7月、Teslaは当初から採用していたMobileyeとの契約を打ち切った。その直後、ある自動車会社の自動運転車開発取組を特集番組で見た。『何かおかしい』と感じた。というのは、自動運転試験中あるカーブで白線をはみ出してしまう

【第一章】AIが加速する自動運転技術 [3] 現実味を増す自動運転への動き

Combo の 200kW 版が登場したため、それへの対応も検討しているもようである。Combo 仕様であれば Tesla 車でも 30 分程度でフル充電可能である。今回、新たに設置を決めたのは、現行仕様をはるかに上回る 350kW 版である。NISSAN Leaf クラスの EV 車なら 4~5 分でフル充電できる。Tesla 車クラスの航続距離が長い EV 車でも 20 分

図 1-3-14: 各種急速充電仕様の比較、欧州自動車メーカーのEV投入計画



以内にフル充電する能力がある。CHAdEMO 委員会のように「EV 車の Battery の大容量化に合わせて充電仕様も進化していく必要がある」、などと悠長なことは言っていない。まず、インフラを作ってしまう EV 車は後からついてくる戦略のようだ。田中角榮の「列島改造論」に通じるところがある。この急速充電設備の設置発表後、欧州大手自動車メーカーは、同図のように航続距離が 400km 以上の本格的な EV 車を 2020 年までに市場投入すると発表している。

[3]-4-1: 石橋を叩いて進む、CHAdEMO の急速充電出力 Up の取組み

欧州の EV を本格的に普及させようとする姿勢に対し、CHAdEMO の戦略はよくわからない。そもそも『茶でも』飲んでる間に充電できるという Concept がユーザーの利便性を無視した姿勢である。また、この仕様がガソリンスタンドに設置できない理由の一つでもある。では、どこに設置するのか。電気自動車を販売しているディーラーのサービスセンターなどである。充電しに行くたびに『お茶でもどうぞ』と言って商談されたら、気が弱い人など車検の度に新車を購入してしまうことにもなりかねない。

『カップ麺の 3 分』は人間がそれ以上「待つ」とストレスを感じるころから来ているようなので、本来なら 3 分で 100km 以上走る分は入ります、という目標設定が必要だったように思う。電池のサイクル寿命、安全性、充電設備の金額、などから「冷静」

Sony の DVC、DSLR 用 Lens の 1st Supplier でもある)。

また Viewing カメラ市場では Tier 1 の Panasonic、Kyocera が、Sensing カメラ市場では Denso にカメラモジュールを供給する部品メーカーになっている。Sensing カメラシステムを構築する中での一部品という扱いだと思う。しかし自動車部品の世界 Top 5(Bosch、Denso、Continental、ZF/ TRW、Magna)の中でカメラモジュールを自社開発していないのは、図 2-1-11 のように Denso だけである。Sensing カメラは ADAS の Sensor Fusion の中核を占める部品であるとともに、自動運転を実現する上でも非常に重要な部品である。そのため、自社開発することが重要と Denso を除く Top5 の他の 4 社は判断していると思われる。Sensing カメラの市場規模が小さかった時期には、一部品としてカメラモジュールを専門メーカーから購入するのは事業効率的に正しい判断だったかもしれない。しかし、それが今後各社の事業の生命線となる ADAS や自動運転技術を実現する上で重要な役割を果たす部品となった現時点では、自社開発が正しい選択のように感じる。もちろん Denso はその辺りは十分承知しており、すでに自社でカメラモジュールの開発を進めているものと推察する。

さらに、Sensing カメラは種類別にプレーヤーは前述図 1-2-13 および図 2-1-12 のように大

図 2 - 1 - 12 : Viewing+Sensing Camera & FIR Cameraの数量シェア (CY 2015)

View + Sensing Camera	Market size	Sony	Magna	Valeo	* Clarion(7.6)/ Pana(6.2)
	3,270kpcs	31.5	17.1	15.9	13.8* Others: 21.6
FIR Camera	Market size	Autoliv			Others(1.1)
	190kpcs	98.9			

* Monocular Camera, Stereo Camera, SoCのシェアは図1-2-13参照

きく異なる点も、Viewing カメラとの差異である。とくに Stereo Camera では Continental が市場の 2/3 を占め(図 1-2-13)、図 2-1-12 の FIR カメラでは Autoliv が市場をほぼ制圧している。ただし、Monocular Camera、Stereo Camera、FIR Camera の市場規模比は約 120:10:2 と Monocular Camera の数量が圧倒的に多い。また、SoC 市場では Monocular Camera System の Mobileye が半数近くのシェアを確保している(図 1-2-13)。今後 ADAS では Sensor Fusion が一般的になるため同社のシェアはさらに増加すると見込まれている。

【1】-3: 設置個所により異なる車載カメラへの要求特性

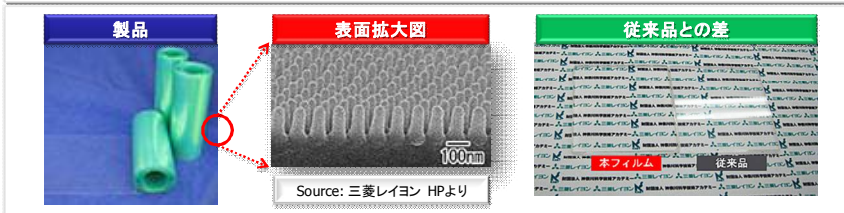
Smartphone 用では Rear Camera と Front Camera の 2 種類のカメラモジュールが搭載されている。双方に画素数、機能の違いはあるが、カメラモジュールの Lens を保護するための Cover Glass の外は外界である点はどちらも共通である。一方車載カメラの取り付け方法は一元的ではない。図 2-1-13 の①のように Smartphone 用カメラモジュールと同じように Cover Glass の外は外界であるものもある。たとえば Driver 監視、後部座席監視、後方監視、e-mirror、Night Vision などがあるが、車載用としては少数派の取り付け方法である。車載用で最も一般的な取り付け方法は同図②の Front あるいは Rear Window を介して車外を撮影するものである。この取り付け方法では入射光の

ることになる。そのため、「光学的な表面」が存在しない状態になり反射は起こらない。

そこで、カメラモジュールの Cover Glass、Lens、IRCF、Image Sensor の屈折率が変化する面に SWS を形成することにより反射率の大幅な低減が可能となる。しかも Plastic Lens では金型から転写することができるため、コストアップは僅かで済む。他の光学部品でも、表面に UV 硬化樹脂などを転写する手法が考えられる。

このようなナノ構造形成には一般的に半導体技術による方法がとられる。しかしコストを考えると適切な解とはいえない。大量生産されるものでは、コストの低減が可能な手法の選択が非常に重要である。ナノインプリント型を低コストに作成する手法の一つに、KAST(神奈川科学技術アカデミー)が開発した「陽極酸化ポラスアルミナの自己

図 2-1-16: 三菱レイヨンのモサアイシート



組織化による規則構造」技術を採用する方法がある。これは、早い話が「ピッチ精度の高い封孔前のアルマイト作成技術」である。三菱レイヨンでは、この技術をナノインプリントの金型として採用し、大サイズ反射防止フィルム「モサアイシート」の連続加工 (Role 転写) を実現した(図 2-1-16)。同図の表面拡大写真で見ると SWS 構造が規則正しく並んでいる。この構造の効果は、同図右の従来品との比較で明らかである。反射率は 0.1% 以下と驚異的である。「高度な技術」を使用して「廉価に物を製造する」ことが大きな差別化になるのである。「高度な技術で高価なものを製造する」ことにはなんの工夫もない。さらに、今の市場はそのようなものを欲してはいない。SWS を応用した技術が今後車載カメラにも展開していくことで、ADAS の精度をより高めることができると考える。

【1】-4: FIR (遠赤外線) カメラの概要およびコストダウン技術

Euro-NCAP2016 で昼間の歩行者検出機能が加算対象になった。この機能は ADAS 用に搭載されているカメラで兼用できる。さらに Euro-NCAP2018 では、夜間の歩行者検出 (PD) も加算対象に加えられた。夜間の歩行者検出機能については、後述する Sony の高感度センサや RGB+IR センサを使ったカメラと NIR(近赤外線)照明の併用でも可能である。しかし夜間の自動車道での人や大型野生動物との突然の遭遇を回避するためには、「長距離」で「無照明(0lx)」でもこれらを検出する機能が必要になる。また、そのような機能が搭載されなければ夜間の安全性を高めることは難しい。Euro-NCAP2018 は PD を対象としているが、このような理由により NVS(Night Vision System)も対象になるとの考え方が大勢を占めている。ライトの届く範囲しか見られない NIR カメラでは、NVS の検出距離には遠く及ばない。

ら Apple、Samsung も追従したことから、同図のように 5MP 以上の比率が急伸し、2017 年以降は 8MP 以上が市場の半分以上を占めると予測されている。Smartphone の薄型化を実現するためにはカメラモジュールの低背化が必要である中、市場の要求とは相反するカメラモジュールの高さが高くなる光学サイズの拡大傾向も進んでいる(画素数は一律増加傾向でなくなっており、画素数だけでは判断できなくなっているため、光学サイズで議論した方がよい)。その厳しい要求をクリアするため、Smartphone 用 Lens では、車載用 Lens からみれば非常識な Height Rate 75(Height Rate については【第二章】[4]-5 で説明する)以下の超低背光学設計実現が必須である。この領域になると、Lens 設計だけで良好な光学特性を実現することは無論不可能であり、ISP(Image Signal Processor)で画像補正が必要になる。

次に Smartphone の市場規模が飽和傾向にある中、急激に増加している Dual Camera について解説する。

[2]-1-1: 一眼レフ並の「ボケ味」も実現可能な Dual Camera

世界初の Dual Camera は、2014 年に HTC が市場投入した One M8 である。これは、2 μ m の「巨大 Cell」の 4MP Primary Camera と 5MP Secondary Camera を縦に配置したものである。このうち、Secondary の 5MP は被写界深度情報を取得するものであり、Sensing 用である。この構成で全画素の被写界深度を測定することで、AF の高速化、After Focus(撮影後任意のポイントにピント設定をし直すことができる)などができる画期的なものであった。しかし、「なぜ Steve Jobs が「8MP」に拘ったのか」理解していなかったようである。「4MP あれば写真として十分な解像度が得られる」と正論を言ってみたところで、ユーザーが「イメージ的に画素不足と感じるのであれば購入しない。しかも、Apple 以外は 13MP の搭載を初めていた時期でもあり、商品企画面では失敗作と言わざるをえない。まるで日本の『消費者不在』的発想の家電メーカーのようである。

Dual Camera の本格市場を生み出したのは、2016 年初頭に登場した Huawei P9 である。こちらは 12MP/ 1.25 μ m のカメラを 2 つ搭載していた。画素数も十分であり、大き目の Cell Size の Image Sensor を使用することで高画質化も図っている。また Leica のライセンスを受け、光学系が優れている点をアピールしている。さらに、iPhone 6 で断念してしまったカメラ部の出っ張りが無い「Full-Flat Design」を踏襲しており、外観の質感の評価も高い。商品企画とはどんなものかを徹底追及している。Huawei はその後、次々と Dual Camera 搭載機種を市場投入した。先述のように、画素数増加 Trend は収まりつつあり、「画質重視」が Trend になりつつある。しかし、多くのユーザーにとってそれらは中々分かり難いものである。一方、カメラが 2 つついていると一見して他社との違いが分かる。

そのため、Huawei に追従して Dual Camera を搭載するメーカーが増加、そして 2016 年秋に iPhone 7 Plus が登場するに至り、本格化が始まった。Apple は、2015 年 4 月にイスラエルの Multi Camera 技術のベンチャー Lynx を買収し、Dual Camera の量産に向けた準備をしていた。Dual Camera の効用は、HTC が目指した機能の他、図 2-2-3 のように感度向上、光学ズーム機能、3D 撮影、ボケ味の付与などさまざまな機能を実現できる。どのよ

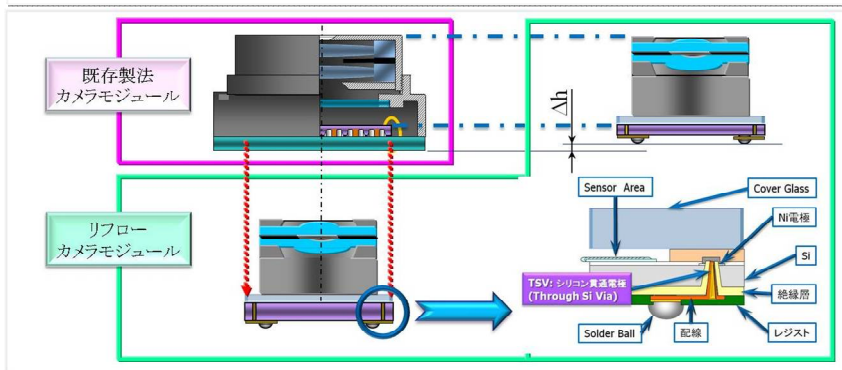
品メーカーとの共同プロジェクトが進められ、そこで登場した「小型・薄型」部品は後々他の製品の Innovation に大きな影響を与えた。また、Steve Jobs は iPhone 4 の大きな厚さを「Jonathan Ive の Design」からの逸脱を一切許さなかった。その実現のため、Aluminum をインゴットから削り出す製法が確立され、後の iPhone の基本構造となる「モノコック構造」が生まれた。さらに日本メーカーが「歩留まりの悪化、大幅なコストアップ」の心配から採用を躊躇していた 0402 超小型 SMD を本格的に採用し、Mother Board の面積を従来品の 1/3 にした。そして iPhone 4 の構造設計思想は、それ以降の薄型 Smartphone の業界 Reference になっている。

新たな部品が製品からの要望により作られ、そして製品メーカー、部品メーカー、その部品に部品を供給するメーカー、これらの「Collaboration」により技術が確立されていく。そしてそれが業界の標準を作り、他の製品の Innovation のネタになっていく。この手法は今では『Apple の専売特許』のようになってしまったが、そのルーツは 1980~1990 年の日本の Audio 業界にあったのである。Apple は Steve Jobs が古き良き Sony から学んだこの手法を、いまだに頑なに守っているだけなのである。日本の製造業も「古き良き時代の有益な開発 Spirits」を改めて学んだ方が良いのかもしれない。

【2】-2-6: リフロー化により実現する小型車載カメラ

車載カメラは可動部がない FF(Fixed Focus:固定焦点)仕様が一般的である。FF カメラモジュールはリフロー仕様により大幅に小型化できる上、低背化でも他のどんな実装方式をも凌駕する。リフローカメラモジュールは図 2-2-17 左下のように、CSP 仕様 Image Sensor のサイズがそのままカメラモジュールサイズになる。そのため同図上の既存製法に対し、カメラモジュールの一辺が約 1.5mm 程度小さくなり大幅に小型化できる。縮小寸法は既存製法のカメラモジュールの大きさに依存するが (モジュールサイズが大きくなると Housing の厚さが若干厚くなるため)、小型カメラモジュールほど縮小率は高くなる。たとえば、4.5 x 4.5mm の Image Sensor を使用した 6.0 x

図 2-2-17: 既存製法とリフローのカメラモジュールサイズ・高さの差異



ール製造方式である。この方式を、F-WLCM(Full Wafer Level Camera Module)と呼ぶ。S-WLCM と F-WLCM は製法だけでなく形状も若干異なる。前者が CSP より Lens が若干小さくなる(実装精度が高ければ Size を合わせた方が遮光はし易い)のに対し、後者では CSP と Lens は同時に Dicing するので完全に同じ大きさになる。さらに、F-WLCMはWLOのSizeとCSP WaferのSizeが同一でなければならぬが、S-WLCMでは必ずしも同じでなくてもよい。つまり、CSP Wafer が 12 in の時、WLO は 8 in でもよい。いや WLO でなくても良い。S-WLCM では、「Lens を個片化してから搭載する」のであるから円形にこだわる必要は全くない。円形では、個片化する際に周辺に三角形の無駄な部分が発生する。四角にすれば、無駄は発生しない。NOKIA が『WLO で検討せよ!』と言ったため、「何も考えず」円形で検討しただけなのである。この業界の想像力の欠如には呆れるばかりである。この例からも、何も考えずに「VOC」を聞くことは事業判断を誤ることになることが理解できるだろう。S-WLCM では、SLO (Square Level Optics : 四角形の集合 Lens) が無効材料の発生がないため、はるかに効率が良い。しかも、Hybrid WLO のように Wafer 形状の Core Glass を四角い大判 Glass から切り出している仕様では尚更である。ここまでの説明で F-WLCM が最も先進的・効率的と感じたと思う。しかし、現実的にはこの方式での量産は当面ないと判断する。なぜならば、WLO と CSP Wafer の歩留りの掛け算が総合歩留りになり、さらには WLO 搭載時に Skew が発生すると「全滅」につながりかねない。超高精度組立を実現すれば可能という考え方もあるだろう。しかし、高生産性と同時に低コストも実現しないと、ユーザーは見向きもしない。一本 100 万円の Lens 型を 1 億円の精密旋盤 (ナノ加工機) で 1 日 4 型しか加工できなくても採算は合うが、1 本 5 銭のネジを同様な手法で造る人は誰もいない。この方式では採算がとれないため成り立たないのである。そのような『事業を顧みず、無意味に高尚なことをしよう』とする考えの人たちの行動が、今の日本製造業凋落の要因になっているのである。廉価なもの「程度が低い」と考えたら大間違いなのである。それは、「高度な技術の集大成」の結果からしか生まれぬ。象の足だけさずって「象とは大きな柱のような動物だ」と悦に入り、「象とは大きな団扇のような動物だ」と言う人の意見を聞く耳持たず、ただ蔑んでいるだけでは駄目なのである。相手の意見を信用し、「双方が正しい」と考えることができれば、もっと広い視野で物事の真相が見えるようになると思う。

次にリフローカメラモジュールを実現する上で最も重要な、Image Sensor を CSP 仕様にする Si 貫通電極 : TSV(Through Si Via/3 次元配線技術)について解説する。

[2]-2-6-5: TSV 技術により実現した Image Sensor の CSP 仕様

既存製法カメラモジュールは PCB に Image Sensor を Die attach して Wire Bonding で接続する。一方、リフローカメラモジュールは図 2-2-23 のように PCB を使用しない。そのため Image Sensor 面とは逆側に接続用の Pad を設け CSP 仕様にする必要がある。CSP 仕様の Image Sensor は Tessera/ SHELLCASE®OP、OC(図 2-2-24)が 10 年以上前に既にあった。しかし、これはリフロー化ではなく Dust-Proof を目的としたもので

に従って1つの視神経に接続する視細胞の数を増やす工夫をしてやり繰りしている。網膜周辺では1つの視神経に1000個以上の桿体細胞がつながっていると言われている。いずれにしても人間の目で「視力が高い」のは眼の中心3~4度の極狭い立体角範囲でしかないのである。そのためDisplayを「注視」しない場合は、図2-3-4の錐体細胞数の分布特性から類推できるように視力は急激に低下する。Smartphone、PC、TVなど『Displayを注視して使うApplicationであるため、視力1.35が計算上は過剰・適正のボーダーラインになる。これ以上の視力を有する人が存在するのはモノクロの単純な線分では、判別能力が上がる特性があることによる。とはいえ世界的にみても視力2.0を超えるのは極一部の民族だけであるため、視力2.0の分解能を必要とする表示は過剰と判断しても良いのではないかと考える。一方自動車では運転中Displayを「注視」するのは非常に危険である。となると車載Displayでは、過剰となる分解能は視力2.0よりさらに低い値ということになる。

本題とは関係ないがヒトの網膜構造は図2-3-4のように網膜奥一番近い部分(奥)に視細胞があり、その上に信号をやりとりするさまざまな細胞があり、一番上に視神経があってそれが盲点から眼の裏側に出て脳に繋がっている。光が視細胞に届くまでに視神経やその他の細胞の中を通過してくるわけである。これはImage SensorでいうとFSI構造である。これに対しイカやタコなど視細胞が最表面にある軟体動物がいる。これはまさにBSI構造であり、タコやイカは「目が良い」と言われる裏付けになる。さらに今後Trendになると予測されているDualカメラなどは昆虫の複眼の機能を参考にしている。さまざまな生物の眼を研究することでカメラの新たな機能の発想が生まれるかもしれない。もっともヒトではFSI Image Sensorとは異なり、中心部分だけ凹んだ状態になっており(草むらでものを探するときのように、錐体から視神経への繋がりが倒れている)極力光の減衰が少なくなる構造をしている。

[3]-2 : 視認距離により異なる適正解像度

Display 解像度の適正・過剰を判定するために「視力」を活用すれば良いのではないかと考え、ここまで視力に関する説明を行った。では具体的にそれをどのように活用すれば良いのだろうか。人間の視力は「空間分解能1分を視力1.0とする」と定義されている。そこでDisplayの画素ピッチから空間角度を計算し、その角度がどの程度の視力に相当するのかを算出し、それを判断基準にするのが良さそうである。とはいえ、製品によって適正な視認あるいは視聴距離は異なるため、まずその距離を決めなければ相当視力は算出できない。

視認距離(L)、解像度(Rs)、相当視力(Es)の関係式をもとめると、 $Rs=2.54/Lx \tan(1/Es)$ となる。この式を元に横軸に視認距離、縦軸に解像度、パラメータとして相当視力をプロットしたものが図2-3-5である。まずSmartphoneの視認距離は、年齢・性別・環境などにより異なるが、おおよそ20~30cm程度と想定できる。そこでL軸の20~30cm部分をエリアとして囲う。次にAppleが「Retina Display」とした330ppiを水平に延長する。このラインとL軸20~30cmの範囲の交点の相当視力を読み取る。その結果、視認距離20cmでは視力0.8程度、30cmでは視力1.2程度と読み取れる。またエリアセンターの25cmではちょうど視力1.0くらいになる。そのためSteve Jobsは「視力1.0に相当する解像度のDisplayを

また、表示用ではなく有機 EL を光源としたテールランプも 2016 年に BMW で採用が始まり、2017 年から Audi でもオプションで有機 EL 光源の採用を始める。有機 EL 光源は、消費電力が少なく、また軽量化できるため、EV や PHEV には最適な照明である。このように、Display 用だけでなく光源としても有機 EL は車載用として普及し始めているのである。

このような市場の動きがある中、2017 年 1 月 JDI からプラスチックペースの「曲げられる LCD」が発表された。ターゲットは Smartphone 市場だが、ここまで説明してきたように、既存の韓国勢に加え、中国、台湾メーカーも続々 AMOLED 市場に参入する中、戦術意図がよく見えない動きである。というのは、「もし本当に優れたものであったとしても」複数の供給者がいない部品を採用する顧客はいないからである。このような事業判断は、1990 年代後半の PC 業界で既に「常識」になっていた考え方である。そのため、「優れた部品」を開発したメーカーの中には、取替えて競合と「技術交流会」(事業交流会は「談合」と判断される懸念があるため)を開催し同時に互換性のある部品を顧客に提案した事例もあった。また、「曲げられる」と言うことも LCD のメリットであり、Back Light が必要な以上制約があるはずである。逆に P-OLED のメリットが際立ってしまうだけの様な気がする。これは、古くから「藪蛇」と言われていた行為ではないだろうか。視力 2.0 以上の「4K TV」をも凌駕する超解像度に走ってみたい、「唯我独尊」の仕様を作ってみたり、全く何を持って「Sustainability」としたいのか、方向性が見えない。

【3】-6: 静電容量式 Touch Panel の種類と車載用への展開

情報家電製品用 Touch Panel は、IBM の Tablet PC ThinkPad 700T が最初の本格搭載品である(1992 年秋)。OS には Go Corporation が開発した「PenPoint OS」が採用された。一方、図 1-1-2 の Touch Panel 搭載 PDA の Concept を 1992 年の初頭に発表した Apple であったが製品化では IBM の後塵を拝した。Apple「Newton」が翌年発売されると、その後 Touch Panel 搭載の PDA が各社から続々発売され、Touch Panel 市場は一時おおいに盛り上がった。しかし PDA のタッチペンが必要な「抵抗膜式」Touch Panel は、反応が良くない、使っているうちに表面に傷がつく、など評判が悪く、PDA の衰退とともに市場から消えていった。それを打開したのが、iPhone である。タッチペンが不要な『片手で操作できる』「静電容量式」Touch Panel の採用に加え、「マルチタッチ」、「ジェスチャー」など斬新な UI(User Interface/ 実は Interaction)を開発した。その登場は衝撃的であり、「静電容量式」Touch Panel が情報家電用だけに止まらず他の製品にも急激に展開していった。現在、静電容量式が Touch Panel 市場の 80%以上を占めるに至っている。

静電容量式 Touch Panel には図 2-3-10 の 4 種類があり、Out-Cell type(Touch Panel が独立した部品)が一般的である。OGS(One Glass Solution)は Cover Glass に Touch Panel 機能を Hybrid 構成したものである。OGS は薄型化、低コスト面で優れるが、Cover Glass に使用される後述図 2-6-37 の化学強化 Glass(ソーダ Glass の Na イオンを K イオンに置換して表面強度を高めたタイプ: Corning®, Gorilla® Glass が圧倒的シェア)を強化後に加工する必要があり従来技術(機械加工、nanosec. や picosec. Laser 加工)では歩留まりの

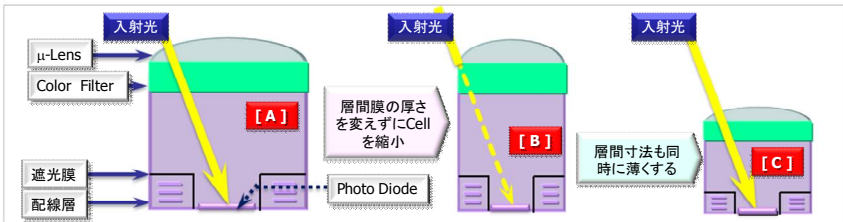
世の中で広く使われている Image Sensor には、CCD(Charge Coupled Device) CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor) の2種類である。このうち、CCD Image Sensor は1969年にベル研究所で発明された。歴史的には CMOS Image Sensor よりはるかに古い。当時、放送用機器で主流だった撮像管より格段に扱い易かったため、その市場に浸透していった。しかし量産性が低かったため、民生品用は中々登場しなかった。1980年代の後半、Sony が量産技術を確立し Video Camera に採用したことから、ようやく民生品市場でも広く使われるようになった。そして、1990年代後半から DSC に採用され始めると、「固体撮像素子イコール CCD Image Sensor」というイメージが巷に広がっていった。

一方、CMOS Image Sensor は、その前身となる MOS Image Sensor が1970年代の前半には発明されていたが、CCD Image Sensor の画質に遠く及ばず消滅してしまった。CMOS Image Sensor が登場したのは、1990年代に入ってからである。最初のものは CCD と同じ電荷転送方式の PPS(Passive Pixel Sensor) CMOS Image Sensor であった。しかし、この方式では高画質の実現が難しく CCD Image Sensor に対抗できるものではなかった。その状況を打開するきっかけとなったのは、1993年に NASA の研究所で発明された APS(Active Pixel Sensor) CMOS Image Sensor である。これは、Photo Diode(以降 PD)で発生した電荷を直ちに電圧に変換して転送する方式である。CMOS Image Sensor は CCD Image Sensor と異なり、汎用半導体製造プロセスで量産できるのが大きな特徴である。さらに「増幅回路」を内部に取り込んだことで、後々 CCD Image Sensor を駆逐できる下地が実現できたのである。ところが民生品市場では、CCD Image Sensor に主要製品を押さえられてしまっていたことに加え、当初は画質も CCD Image Sensor より劣っており本格普及には至らなかった。そこで、CCD Image Sensor より低価格な点を活かし、光学マウス市場に食い込み巨大市場を形成した。一方、撮像用では画質面で CCD Image Sensor の後塵を拝し、その普及は遅々として進まなかった。この状況を打開する発端となったのは、2000年11月に登場した「カメラ付き携帯電話」である。カメラ機能が携帯電話の市場規模拡大を加速すると期待され、とくに日本市場では普及が急速に進んだ。日本ではそれを『DSC機能』と捉えたため、画質が良好、複数の供給源がある、数量確保が容易などの面から CCD Image Sensor が採用された。しかし、世界のほとんどの国では、それが「売りに繋がる単なるおまけ機能」としか見なされなかった。そのため画質よりコストが優先され、画質は若干劣っても価格が安い CMOS Image Sensor が主に選択された。その後、海外市場でも『DSC機能』の重要性が徐々に認識され始め、CMOS Image Sensor に高画質化が求められるようになった。それに応え高画質化を実現した CMOS Image Sensor が登場したことから、携帯電話用カメラでは海外市場を中心に CMOS Image Sensor のシェアが急拡大していった。「CCD Image Sensor 同等の画質でありながら安い」となると、日本市場でも徐々に CMOS Image Sensor のシェアは増加し、2003年前後には両者の世界市場規模は対抗するまでになった。その後も CMOS Image Sensor のシェアは増加の一途をたどり、2008年には日本市場の2機種を除きすべて CMOS Image Sensor が占めるに至ったの

する。以前、良好な画質を確保するためには50%以上のRIが必要と言われていた。ところが、低背化が進むにつれ40%以下が当たり前になり、最近では30%そこそこなどというまでである。そこで、画像処理で周辺部のみを増幅して「見かけのRI」を改善するわけだが、増幅率を高くするだけではノイズも同時に増加してしまい「画像周辺がざらついた」画質になってしまう。その点、iPhoneの光学設計はゆとりがある(iPhone 7まで継続)。Appleはカメラモジュールの「低背化」は目的ではなく「手段」である点を完全に理解している。目的である「Smartphoneの薄型化」をPartnerと協力して、光学性能に影響を及ぼさない筐体の薄型化を中心とした手法を採っている。とはいえ、この方式はコストの低減が難しい。それでも、『Brand戦略』を推し進めるAppleは、デザイン、質感を落としてまでコストを低減する手法は採らない。「価格勝負市場」の規模がいくら大きくても、そこへの参入は最初から放棄しているのである。

そして、3つ目は図2-4-9のImage SensorのCell内部の層間膜の薄型化である。この技術はRIの改善を主目的としたものではなく、Cell Sizeの微細化を進める中で感度

図2-4-9: Cell Pitch 縮小化に伴う層間膜の薄膜化



を確保するために、1.4 μm Cellに到達するまで継続して行われてきた技術である。たとえば、同図[A]で示すサイズのCellに対し、ある角度を持った光が入射した場合、光はPDに到達する。膜厚はそのままでCell Sizeを小型化した場合は、[B]のように同じ角度の光がPDに到達しない。そこで、[C]のように層間膜を薄くすると、PDに光が効率良く到達するようになる。また、この技術は、より大きいCRAのLensにも対応できるため、RIの改善にも効果がある。しかし、層間膜の薄膜化で対応可能なCRAは30°程度と言われていたため、より低背なカメラモジュール実現には、新たな構造のImage Sensorの登場が待たれていたのである。

[4]-3-1:「色シェーディング」を抑制する高CRA対応 IRCF

IRカットフィルター(正確にはIR&UV Cut Filter: 以降「IRCF」)は赤外領域や紫外領域の不要な光をカットし、色再現性を良好に保つと共に、不要な反射を防止するために使用される。白板Glass(White Glass/ BK7、D263など)やFilm基材の片面に反射防止膜(ARコート膜)、別の面にIRCF用多層膜を蒸着する図2-4-10の構造が一般的である。光学部品に光が入射する場合、表面で、同図の式で示される反射が起こる。空気中からの入射の場合には、同式の n_1 を1として計算する。屈折率 $n=1.5$ の基材の場合

【4】-5-2: 車載カメラにも効用がある Cell 縮小化

図 2-4-16 で説明したように、携帯電話の画素縮小は『S/N を悪化させない』前提条件で進展してきた。5.4 μm から 1.4 μm までの Cell Size の連続した縮小は、回路設計の工夫、プロセスの工夫でその目標を達成してきた。すなわち、「CCD の画質と同等になった」と評価された 2004 年ころの 5.4 μm Cell の CMOS Image Sensor と比較して、現在の 1.4 μm Cell の CMOS Image Sensor は同等以上の画質なのである。さらに 1.1 μm Cell 品では、BSI 技術を導入したことにより、1.4 μm Cell 品と同等以上の画質を実現したのである。一方、車載カメラは「大きな Cell の方が感度は高い」という常識から、小さくても 4 μm 程度のものを使い続けているのが一般的である。ただ、その「大きな Cell」は Cell の微細化の流れの中で行われた S/N 向上施策を取り入れていないものなのかもしれない。もし、そうであれば大きな Cell であっても、現行のより小さい Cell のものより画質は劣るかもしれない。もしそうであるならば、「大きくて、価格が高く、画質は劣る」ものを使用しているのかもしれない。ADAS が本格化し搭載カメラ数が急増する中、「小型カメラを採用し、できるだけ目立たなくすること」がユーザーに対する配慮として非常に重要になってきているのではないだろうか。このような背景を加味し、車載用であってもやはり Cell Size の小さい Image Sensor を採用することが望ましいと感じる。感度劣化に対する不安があるのであれば、先にあげた BSI 技術や素子分離型技術を取り入れれば良いことだと思う。さらに、Image Sensor の小型化はコストダウンにもつながる。今後数量増加が確実な車載カメラでは、継続したコストダウンが可能な Cell Size 縮小化は必須戦略となると考える。また車載カメラでは一部の Application を除き、今後画素数増はあまり期待できないため、その面でもコスト低減に最大の効果がある Cell Size の微細化を進める必要があるのである。

ここまで説明した Cell Size の縮小が、なぜカメラモジュールの小型化や低背化の実現につながるのか理解するためには「光学サイズ」という概念の理解が重要である。そこで、次に「光学サイズ」とは何かを解説する。

【4】-5-3: 光学サイズの定義

ここまでの説明の中、何度か「光学サイズ」という言葉が登場した。これは、Image Sensor のイメージサークルを表す単位であり、カメラモジュールの Lens 設計をする上で非常に重要な役割を果たすものである。また、カメラモジュールの高さや大きさの概要が把握できる単位でもあり、その概要について理解しておくことが非常に重要である。

光学サイズは「インチ(Opt inch: in)」で表わされる。しかし、これは長さの単位の「インチ」とは異なるため混同しないよう注意が必要である。光学サイズとは、もともとは撮像管の大きさを表す単位であった(図 2-4-18 参照)。なぜそれがいまだに使われているかと言うと、固体撮像素子(CCD)の黎明期、専用 Lens を開発できるほどの市場規模がなかったため、撮像管用のものをそのまま転用したことに端を発している。そのためか 2005 年ころまでは、1/2 in 以上は 1 Opt in=16mm、1/3 in 以下は 1 Opt in=18mm、とここまでは良いとしても、1/2~1/3 in の間ではどちらでも良いという「基が撮像管時

感度 Up を求めるのであれば、Smartphone 用低背カメラモジュールのために開発された素子分離型の BSI/FSI (Front Side Illumination) Image Sensor が選択肢に加わる。一般に、車載用 Image Sensor で「高感度」と言われるのは、満月の月明りの照度とされる 0.1lx でも画像が確認できるレベルである。

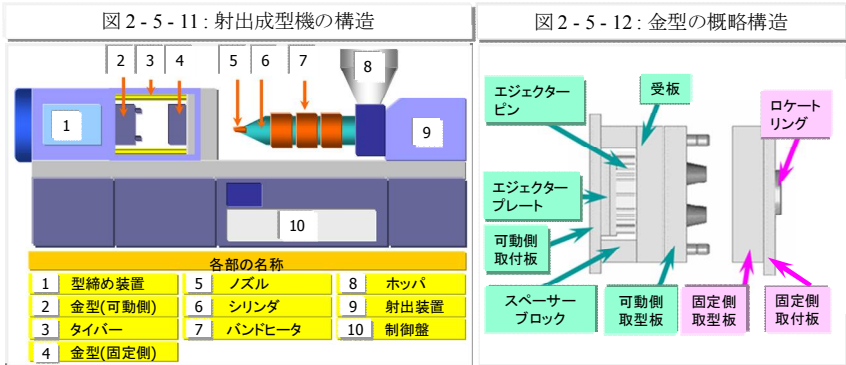
しかし、今後 e-mirror が普及すると、より暗い「星明り」でも画像が確認できないと、十分な役割を果たせない。Sony は、この要求に応えるため、星明りの明るさに相当する 0.005lx でも Color 画像出力が可能な車載用超高感度 CMOS Image Sensor を 2014 年 10 月 16 日に発表した (図 2-4-24)(量産は 2016 年)。とはいえ、いくら高感度で昼夜兼用だとしても図 2-4-24 の左側の低照度時の画質では Viewing 用としては不十分である。そこで、夜間は高感度 Sensing 用が主であると考えられる。そうであるなら、低照度時はモノクロ画像でも良いので、さらなる高感度を目指した方が良いかと思う。また、昼間用は一般の Image Sensor、夕方は近赤外線 Image Sensor を使った方がどちらも高画質が期待できる。しかし、それでは 2 つのカメラが必要になってしまうのが欠点である。一つの Image Sensor で昼も夜も対応できれば言うことはない。この要望をかまえるべく開発されたのが、RGB + IR(Infrared: この場合は近赤外線)Image Sensor である(図 2-4-25)。これは、一般的な Image Sensor では 2 つある Green の Color Filter のうちの 1 つを IR pass Filter に変えたものである。RGB 出力だ

図 2-4-25: RGB + IR Image Sensor の事例



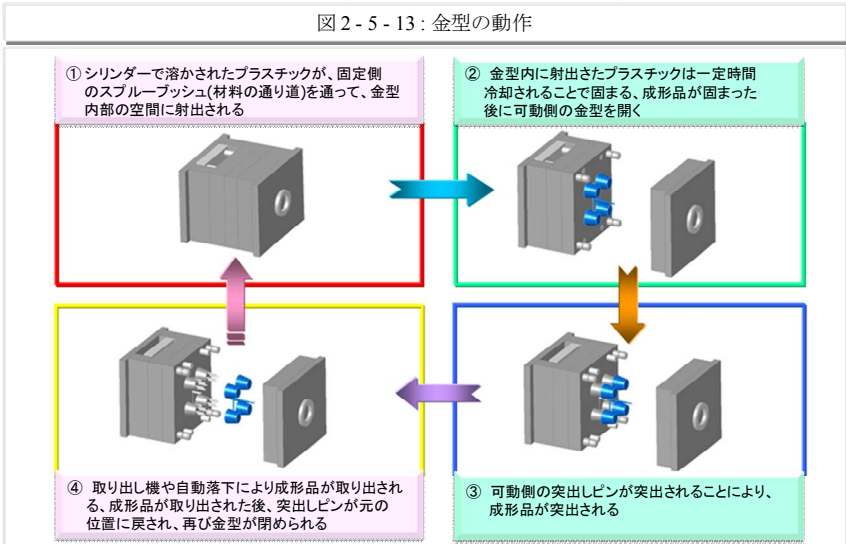
け使用すれば昼間用にも、NIR (Near Infrared:近赤外線)光源を照射し IR 出力を得ることで夜間用にも使用できる。ここでは、OmniVision の例を挙げたが他の Image Sensor メーカーも保有している技術である。

ただし、一般の Image Sensor は IR 感度が低い(もともとこの領域の使用を想定していないため)、Color Filter を変えただけではこの仕様の Image Sensor を作ることは難しい。そこで、RGB + IR Image Sensor では近赤外線の感度を向上させる PD (Photo Diode)構造を採用する。その結果、近赤外線照明を併用することにより闇夜でも画像出力が可能となるのである。Si はエネルギー Gap が 1.17eV であるため吸収端波長は 1111nm である。そのため可視光に対しては不透明である。しかし、それは「透過率が 0 になる」というわけではなく、図 2-4-26 のように、表面からの深さ方向のエネルギー吸収度合いは波長に依存する。青い光は 0.35 μm 、緑の光は 1.0 μm 、赤い光は 3.2 μm の深さまでに 50%のエネルギーが吸収される。よって、Image Sensor の光を吸収する部分である PD は深ければ深いほど光のエネルギーを沢山取り込めることになる。しかし、ただ闇雲に PD を深くすると製造プロセスが難しくなり歩留まりが悪化し、さらにノイズが増加し S/N も低下する。そこで、赤い光まで効



Cavity(キャビティ:複数個取の金型で何番 Cav と表現する)可動側を Core(コア)と呼ぶ。溶融した成型材料は、シリンダから押し出されロケートリングからスプルーブッシュ→スプルー→ランナー→ゲートを通り、製品が金型内部の空間に注入される。図 2-5-13 に製品が成型されるまでの金型の一連の動作を示す。この動作を繰り返すことで製品が量産される。

成型品のコストは、設備投資の早期償却が重要である。成型機は一般に 1 台 2,500~3,000 万円はする。よって、成型品の場合、コストのかかなりの部分を償却費が占めていると考えてもよい。これを低減するためには、成型サイクルをいかに短縮するかにかかっている。また、成型を中断させるとその時間が無駄になるので、いかに段取り回数を減らすかの工夫も必要である。さらに、一度成型条件を決めたら連続して成型した方が



550 nm 付近の e 線:546 nm の分解能は $1.86\mu\text{m}$ (CCD Image Sensor の $2\mu\text{m}$ 以下の最初の製品は、この Cell Size であった)である。ただし、分解能は波長に比例し、人間の眼が感度を持つ 400~700 nm の間では、分解能は同図から $1.4\sim 2.4\mu\text{m}$ の間で変化することが分かる。また、分解能の逆数の $1/2$ を解像力と言い $R=1/2r=1/(2 \times 1.2196 \lambda F)$ (lp/mm) で表される空間周波数となる。また、Airy Disc をフーリエ変換すると空間数端数に対する伝達関数が求められる。図 2-5-27 に無収差 Lens の伝達関数を、F 値をパラメータとして示す。同チャートは映像情報メディア学会誌から引用したものをベースに、200lp 以上は MTF データを延長して作成した。F 値が小さい程、コントラストが大きくなり回折限界解像度は上がる。ところが、明るい Lens は像高が上がると収差が増加し、周辺部では MTF が著しく劣化する可能性がある。また、焦点深度が浅くなるため、高精度のフォーカス調整が必要である。AF 機能が標準搭載された DSC でも、F 2.8 が主流である点を考えると、カメラモジュールで F2.8 以下のものはあまり賢い選択ではない。図 2-5-27 に Cell Size ごとの解像度を併せて示すが、Cell Size が $1.75\mu\text{m}$ の Image Sensor は、F2.8 の Lens の解像限界を超えていることが同図からも分かる。また、同図では F 値を小さくすると分解能が高まるように見える。しかし、F 値を開口率で表現しなおすと $F=1/2NA$ となり、NA を大きくすれば F 値は小さくなるが、 $NA=n\sin\theta$ とも表わされるので空気中の NA は理論的に最大 1 である。たとえば、DVD は NA が 0.6 であり、650 nm の単波長に対して F0.83 になる。また、半導体製造に使われるステッパでは、NA が 0.8 を超えるものも存在するが、使われる波長は 365 nm、248 nm、さらに短波長と紫外線領域の光である。しかも、単波長が使用されるこれら製品には「像高」の概念は不要である。波長が短ければ、Airy Disc が小さくなるのは図 2-5-24 から明白である。これらの事例も踏まえ結論を言うと、F 値を下げて分解能を高める工夫をすることは Smartphone 用カメラモジュールに限っては愚策である。しかし、最近は「愚策」が増えており、F2.0~2.2 が当たり前になっている。これが「手ぶれ機能」が突然必要になった一因と思われる。本来であれば、Cell Size を縮小したことによる多画素化、Image Sensor の小型化のメリットのみ享受し、理論的解像度を究極まで追求しないことが現実的な事業戦略だと思う。

[5]-7-1: Image Sensor とカメラモジュールの MTF

前項では、Lens の伝達関数について解説したが、カメラモジュールの伝達関数は、Lens と Image Sensor のそれぞれの伝達関数を総合した特性になる。Image Sensor では、Cell Size がサンプリング周波数となる。サンプリング周波数の半分の周波数をナイキスト周波数という。伝達関数がナイキスト周波数以上まで伸びていると、ナイキスト周波数を折り返しにしてそれ以上の周波数のスペクトル成分が信号領域に混入しモアレとなる。カメラモジュールの伝達関数は、Lens の伝達関数と図 2-5-28 の Image Sensor の伝達関数の積算より算出される。カメラモジュールの伝達関数が同図のようにナイキスト周波数で解像限界になっているのが、画質的には最も望ましい(解像限界は MTF:10%以下)。図 2-5-29 に、Cell Size をパラメータとして、図中の計算式で算出し

NOKIA が、なぜ WLO にこだわったのか。それは、図 2-2-23 の F-WLCM(東芝 US 特許)を非常に気に入ったからである。そこで NOKIA が WLO 以外は認めないと言ったため、業界こぞって WLO の開発に走ったのである。しかし、F-WLCM は現状の組立技術の精度では歩留まりが著しく低いいため量産の可能性は低い。そこで CSCM、S-WLCM(図 2-2-23)の量産しか行われていないのが実態である。東芝が F-WLCM を考案したのは、組立工程を最小限にすること、「集合 Lens」でコストを下げたいこと、従来工法では不可能な小型化を実現することであった(図 2-2-28 の超小型品は Hybrid WLO を使用した S-WLCM でも可能である)。ところが現状は F-WLCM の実現は無理なのだから、「集合 Lens」によるコストダウンのメリットだけ享受できればいいのである。よって、メニスカスが作り難い、周辺の歩留まりが悪化する、などの問題がでない Core Glass の大きさ、形状にすればいいのである。丸型 Glass は加工費が高いため四角形にすればよい。装置の改造が可能であるなら、今から対応しても遅くはない。

Hybrid WLO は集合 Lens 仕様であるため、「個片化」プロセスが必要になる。しかし Hybrid WLO メーカーは、個片化技術を「Lens 設計の範疇ではなく、製造技術の一部である」と判断していた節がある。個片化することも重要な設計プロセスの一部であり、性能・品質・コストに影響する点を忘れていたようである。Hybrid WLO の個片化には、Blade Dicer が使用されているため、切断時にチッピングが発生する。そこで、切断時のチッピングを洗い流すため純水洗浄が併用される。チッピングのほとんどは除去されるが、一部は WLO に付着してしまい不良の原因になる。本来、Lens は湿式洗浄しないのが基本なのである。

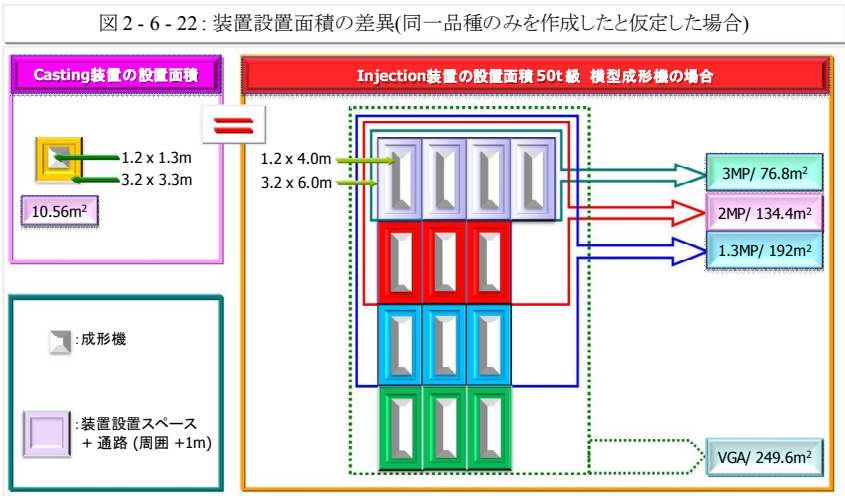
湿式洗浄が不要な Dicer としては Laser Dicer があるが、一般的なものは発熱がともなうアブレーション方式である。そのため、結晶質の Si は真っ直ぐ切断できても、非晶質の Glass を切断すると「蛇行」してしまう(理論は後述する)。Hybrid WLO を開発したメーカーは、当然 Laser Dicer も検討したと思う。しかし、真っ直ぐに切断できない当時のものは採用できないため、諦めて Blade Dicer を採用したのだと推察する。ところが個片化は上述したように、Lens 性能や寸法精度を決定する非常に重要なプロセスである。ここで諦めたのは、未完成な設計のまま量産に入ってしまったということになる。なぜ蛇行してしまうのか？それを理論的に追求しさえすれば解はあったのである。その面では、「物造り」に対する「執着心」が不足していたと言わざるをえない。これでは本命になれないのは当然の帰結であり、この方式を『大本命』などと唱えた多くの人々の目は曇っていたとしか思えない。

このように、Hybrid WLO は画期的な「アイデア」ではあったが、「物造り」を十分理解しないで、多々懸案事項を抱えたまま拙速な形で量産を開始してしまったわけである。本来、アイデアを発展させ「物造り」「事業性」も含めて熟考するのが「設計業務」であるはずなので、Hybrid WLO は「設計」されなかった Lens ということになる。そして、結果的に「筋の悪い Lens」になってしまった。一方、MSG® Lens は Hybrid Lens の範疇に入るものだが、製造プロセス、事業性も含め十分設計された「筋は悪くはない」Lens である。ここまで説明した Lens の中では、性能・コストは最も優れているものだと思う。しかし、残念ながら『神の声が WLO しかない!』と言っている時期に登場し

すると 648kp/台となる。横軸の 360 は WLO(8in)からの取り数に換算した数値で特に意味はない。Casting WLO では個片 Lens サイズによって 1 WLO からの取り数が変わってくる。たとえば 4 x 4mm の 3MP Lens では、1 WLO からの取り数は、1,500p 程度になる。この考え方で、他の Image Format の取り数を算出すると、2MP 品で約 2,500p/Wafer、1.3MP 品で約 3,500p/Wafer、VGA で約 4,500p/ Wafer となる。この数字は Image Sensor の Cell Size に依存するため、あくまで現行品での目安である。Cell Size の縮小化がさらに進めば、同じ条件でより多くの Lens が取れることになる。

これら Image Format ごとの取り数を、熱可塑性樹脂の成型装置の生産能力と比較すると図 2-6-21 のように、3MP 品で 4.2 倍、2MP 品で 6.9 倍、1.3MP 品で 9.7 倍、VGA 品で 12.5 倍と非常に大きな生産性の差があるのが分かる。また、実際の Lens では本章 [2] で説明したように、熱可塑性樹脂 Lens は複屈折の程度が良くないため、枚数の多い多面素品の歩留りが悪化すると見込まれる。よって、上記の生産効率より現実的には差は大きいと予測される。

この生産性の差を別の切り口でみてみたい。図 2-6-22 に両製法の装置の設置面積の差



を示す。装置の周り 1m 四方を通路として確保した場合、AJI の Casting WLO 製造装置の Working Space は、10.56m² と 7 畳分程度である。これに対し、TP プラスチックの Injection Mold 装置の設置面積は、同図右に示すように非常に大きな値になる。さらに、Injection Mold 装置は非常に重いため、しっかりした基礎工事が必要であるのに対し、AJI の装置は基礎工事を要するほどの重量はないため設置は容易である。それにしても、ちょっとした和室程度のスペースがあれば、3MP カメラモジュール用の Lens が月に 2,500kp もできてしまうのである。

また、精密加工装置は「重たいほど精度が高い」というイメージがある。精密加工装置では、厚手の石定盤を内蔵させるのが常套手段である。重量を増す目的は、外部から

は二重結合を持たない type が望ましい。一方、前述 3 種類の WLO 用樹脂のリフロー前後の透過率変化は、図 2-6-26 から問題がないことが分かった。しかし、熱硬化性樹脂は硬化後の反応がほとんど進行しないのに対し、UV 硬化性樹脂はカメラモジュールに搭載された後も、太陽光や照明に含まれる UV の影響でわずかながら反応が進行する。実際どの程度の差がでるのか 100 H の UV 耐候試験をした結果が、図 2-6-27 である。Hybrid WLO 用樹脂、Monolithic 樹脂共に高アッペ品同士の比較である。差異は如実に出ており 400nm での透過率の変化をみると、Hybrid WLO 用樹脂では試験前後で 40% 程度透過率が低下しているのに対し、Monolithic 樹脂の試験前後の透過率変化は 1~2% の低下にすぎない。100 H の加速試験は、太陽光の下の 1 年に相当すると言われており、Hybrid WLO(一例)は 1 年で黄変がかなり進んでしまうと考えられる。一方、Monolithic 樹脂は 100 H では全く問題がないため、連続試験を行った。1,000H までの変化を図 2-6-28 に示す。1,000H でも 400nm の透過率が 87~88%あり、非常に良好な特性を継続している。これは、10 年の加速試験に相当する。

ここまでの説明で Monolithic 樹脂の透過率、耐候性の Advantage は理解できた。しかし、光学樹脂を理解している人なら、表 2-6-3 で気になる特性があるはずである。代表的な光学熱可塑性樹脂である COP の体積吸水率が <0.01%、低アッペ材の PC が 0.2%で両者の差異は 20 倍以上ある。この差でも相当大きいと感じると思うが、Monolithic 樹脂はなんと！1.43%と PC よりさらに 1 桁上がる。よって、光学用樹脂に詳しい人は、『今までの常識』からこの樹脂は精密光学 Lens には使えない、と即断するかもしれない。確かに、吸水した際の屈折率変化が大きいので、精密光学 Lens には使われていない PMMA と同程度の数字である。Hybrid WLO 用の樹脂も同等である。Casting WLO の量産実績は少ないが Hybrid WLO は 6 年以上前から量産している。『常識人』は、精密光学 Lens には到底使えないものを強引に使っていると、誤解しているかもしれない。しかし、この『常識の根拠』は何なのか。確かに、1 種類のポリマーで構成されている Lens は吸水すると体積が変わったり、水分が分子構造の中に取り込まれたりするため、屈折率は吸水率が大きいほど変化(下がる)するのは当然である。しかし、Monolithic 樹脂や Hybrid WLO 用に採用されている樹脂の多くは有機・無機ハイブリッド材という複合樹脂なのである。よって、従来とは構造が全く異なるものなのである。構造の違うものに『同じ土俵の常識』を持ち込むのは、技術者として非常に危険な判断基準である。よって、このようなケースでは、「測定してみないと分からない」という判断が正解なのである。その結果、屈折率の変化が予測通り大きい場合は「常識」はハイブリッド材にも通用できるとして常識の範囲を広げれば良いし、予測に反して屈折率の変化が少ない場合には「常識」はハイブリッド材には通用しない、という新たな『常識』ができるのである。そこで、85°C-85% RH の高温・高湿環境で屈折率が長時間経過とともに、どのように変化するかを測定した結果が図 2-6-29 である。同程度の吸湿

図 2-6-28 : UV aging-2/ Monolithic Resin

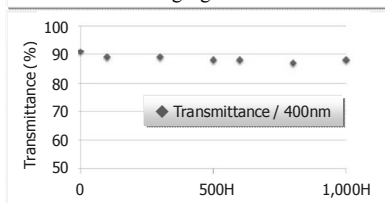
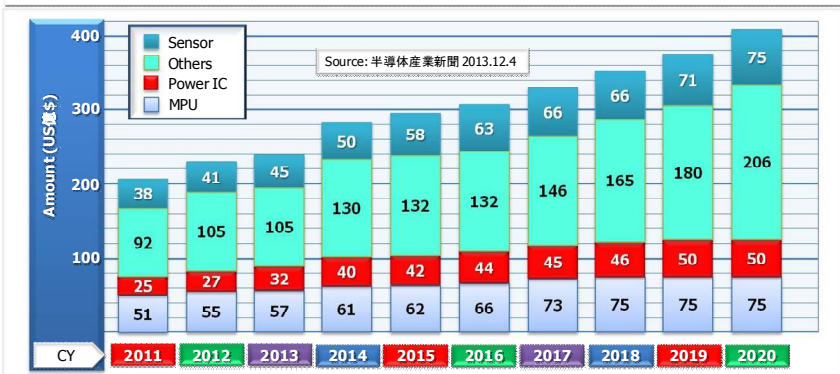


図3-1-3: 車載用半導体の市場規模推移・予測



MOST は今後画像認識技術の高度化などにもない、高速データ伝送が必要となり、現在主流の POF(Plastic Optical Fiber)に加えて GOF(Glass Optical Fiber)が増加すると見込まれている。一方、制御系の CAN の通信速度 500kps~1Mbps は、今後自動運転制御用としては速度不足になる可能性がある。さらに CAN は国際規格で安定した品質が確保されているが、主要特許は Bosch がほとんど抑えている。より高速な制御用の規格として FlexRay がある。これは 2.5Mbps~10Mbps と CAN よりはるかに高速である。しかし対応部品がまだ高額ということから、採用を躊躇する自動車メーカーも多いようである。とはいえ、FlexRay はさまざまな機能の制御を油圧ではなくアクチュエータやモーターで行う x-by-wire との親和性が高いこともあり、自動運転に向けては必須の技術である。

[1]-1-1-1: M&Aによる勢力図の変化

表3-1-1に挙げた2015年に行われたM&Aで、半導体業界勢力図にどのような変化があったのだろうか。InfineonによるIR(International Rectifier)の統合では、Power IC市場で大きな変化が起きた。業界1位のInfineonが同6位のIRを買収したことにより、2位の三菱の倍以上の売上金額となり圧倒的優位となった。30億ドルの巨額な投資をしても間尺に合

図3-1-4: 車載半導体上位メーカー売上高(2014)

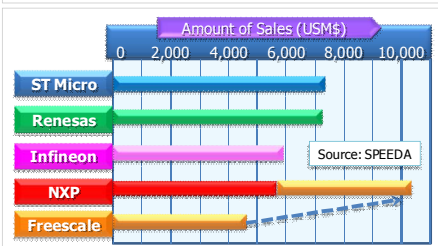
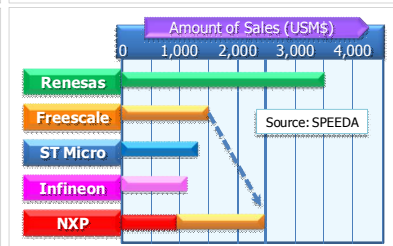


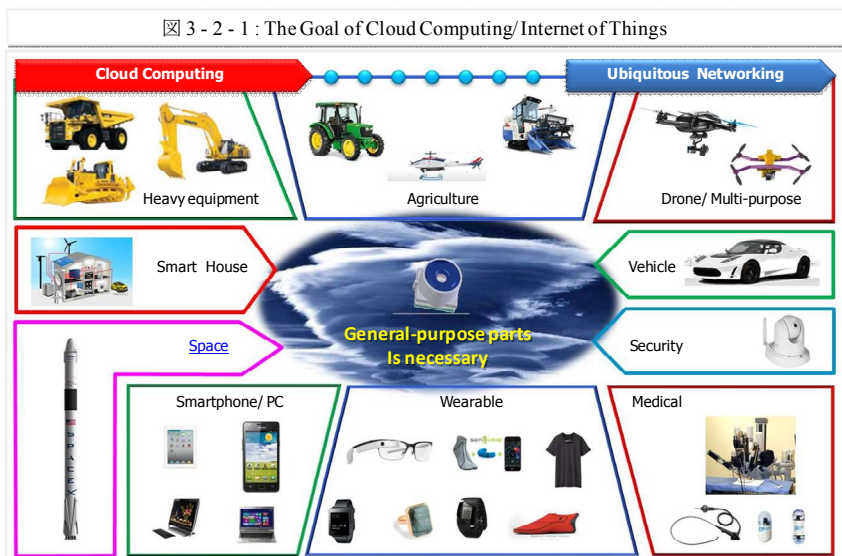
図3-1-5: 車載MPU上位メーカー売上高(2013)



【第三章】IoT 本格化に向けた業界動向 [2] ますます高まるカメラの役割

[2]-1: そしてすべての『もの』が Cloud につながる

携帯電話の「再発明」だったはずの Smartphone は、Cloud Computing 環境を具現化した。その結果巨大化した Sever 能力を活かす先は自動車産業だった。IT 企業が突然 Infotainment OS 市場に参入した結果、特定のメーカーが細々と仕組みを構築していた「Connected Car」が一気に本格化し始めた。そしてその流れはすべてのものに展開し、図

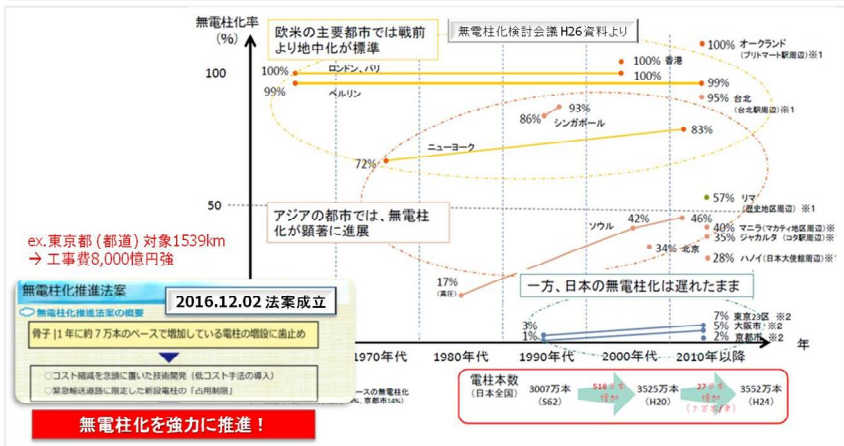


3-2-1 のように IoT(Internet of Things) 時代の到来に向け世界は急激に動き始めたのである。これは、「いつでも、どこでも、なんでも」インターネットにつながる『Ubiquitous Networking』時代の到来と言い換えることもできる。

[2]-1-1: Cloud Deep Learning 対応に向け加速する Server の性能向上施策

自動車が Cloud につながる手段を保有したことにより、以前のスタンドアロンな存在ではなくなった。それは今後 Cloud への接続が本格化する Drone、Security、Medical、Wearable、Agriculture、Smart House……についても同様である。これら非常に多くの製品が収集する膨大なデータは、今後「大きな価値を生む」と期待が高まっている。これら膨大なデータを処理する方法としてはベイジアンネットワークなどが確立されていた。しかし、実用に供する処理速度、性能を手に入れたのは Deep Learning が発案されてからである(図 1-1-18)。しかも、それが実用に供するようになってきたのは、ここ 4、5 年である(図 1-1-19)。

図3-2-7: 世界主要都市の無電柱化率の推移



導で行ってきたものである。法案が成立したと言っても、電柱の5倍とも10倍とも言われる地下埋設工事費用を考えると、急ピッチで進むものとは思えない。まずは、2020年の東京オリンピックに向け、東京都の工事が優先的に進むものと思われる。しかし、東京の電柱全てを地下に埋設するためには、8,000億円以上かかると見積もられている。公的機関の「以上」は「異常に高額」でも「いじょう」なので注意が必要である。いずれにしても、日本もようやく「景観」を重要視するようになったのは好ましいことである。しかし、裏を返せば最初から「計画的」に物事を進める欧州の国と異なり、無計画に進めてから「計画的」に修正する事項が多く、無駄の尻拭いをする国民は大変である。

これで、日本の空も「Drone が安心して飛行できるようになる」とはいえ、それは大分先の話である。しかし、解がないわけではない。SZ DJIの最新鋭機種 PHANTOM 4は、図3-2-2のIntelが買収した Movidius 社の Vision Processor を搭載している。そのため、「自分で障害物を認識し回避する」機能がある。日本市場も SZ DJI に制圧されそうである。

[2]-1-5: 急変するIoT時代に向けた家電系IT標準化覇権争い

家電系でも ALLSEEN ALLIANCE (Qualcom 主導)、Open Interconnect Consortium (Intel 主導)、Thread Group (Google 主導)、Home Kit (Apple 主導) などが、Cloud につながる家電製品の Interface やプロトコルの業界標準化を進めている。この中、前3社団体は図3-2-8のように協力関係を築いており、中核となるのが ALLSEEN ALLIANCE である。Apple は独自の HomeKit を進めているが、前者とは対立関係にあり、旗色は悪そうである。日本では、この活動はあまり話題になっていないが、「Smart House」などの Concept はよく耳にする。しかし、それを真剣に実現しようとするのであれば、これら団体の活動に積極的に参加する必要がある。例えば、「Tread」の設立会社 Nest は現在 Google 傘下になっているが、元 Apple の関連会社だった。同社の製品は「サーモスタット」という日本ではあまり馴染

2017 車載カメラ徹底解説 **【改定版】**



Co-Creation Value Planning

Sample

定価 29,800円(税込)