

# WLO

## 技術・応用・市場 徹底解説

Cambrian explosion in the IoT era



共創企画 代表  
中條 博則 著

## 発刊にあたって

登場から10年も経ずしてSmartphoneは世界中に浸透しました。そして、それが作り出したCloud Computing環境は自動車市場に広がり、「Connected Car」の本格化が進んでいます。さらに、「ぶつからない車」のインパクトにより自動車の安全性を高めるADASが急激に普及し始めました。これらに加え、高度なAI技術「Deep Learning」の自動車への搭載も始まりました。その結果、自動運転の公道走行がよいよ始まります。そして、それら技術の集大成は全ての「もの」に展開し、Ubiquitous Networkingが現実のものとなり、IoT社会の実現は間近です。

このような市場のドラスティックな変化の中、撮像機能、画像データによるインフラ造り、センシング用など、カメラモジュールの果たす役割はますます高まっています。

主要市場のSmartphone用では、小型化や超低背化はもちろんのこと、オートフォーカスや光学ズーム、手ブレ補正など、Compact DSCの代替品として、高画質化とカメラ機能の高性能化などが求められています。このため、Image Sensorやカメラモジュールの設計・製造は、ますます高度なものとなっています。

また、車載カメラは「ぶつからない車」実現のための最重要部品として認知され、全周囲の画像情報取得、死角部のセンシングなどに活用されており、さらに今後はドアミラーを置き換える検討が始まっています。また、大きな明暗に対応したHDR機能、超高感度化など車載用として以前から必要とされていた機能の高度化に加え、昼夜利用できるRGB+IRセンサや暗闇でも人・動物を確認できるFIRなど「赤外線」を有効活用する事例も増えています。

Ubiquitous Networking確立に向けて動き出した市場では、すべてのものに「眼」の機能が搭載されることが重要です。一部のカメラモジュールでは、その製品の仕様に適用したカスタマイズ品である必要がありますが、大多数は低コスト、高生産性、入手・取り扱いの容易さ、が要求されます。それを効率よく実現できるのがWLOリフローカメラモジュールです。すべてのものに付加される「眼」の機能がAIの急激な進化を促し、カンブリア紀に起こった「生物の爆発的な多様化」に匹敵する「製品・技術の爆発的な多様化」がIoT社会でも起こるかもしれません。

今、カメラモジュールを取り巻く製品市場ではどのような変化が起きているのか、WLOが激変する製品市場にどのように応用され恩恵を与えられるのか、WLOに適した光学材料、設計技術、製造技術、コストダウン戦略などについて、徹底解説しました。

2017年 9月 9日

著者 共創企画 代表  
中條博則

◆ 発刊にあたって

◆ 【第一章】市場動向

[1] IT企業が加速した自動運転実現への道 ..... 1~38

[1]-1:「革新的 AI 技術」採用により公道自動運転間近 ..... 1

[1]-2: Smartphone の源流と事業を成功に導いた 3 つの Key Word ..... 2

[1]-2-1: iPhone の源流「Apple Newton」 ..... 3

[1]-2-2: 事業成功の 1 つ目の Key Word『独自インフラ構築』 ..... 5

[1]-2-3: 事業成功の 2 つ目の Key Word『Localize Free の実現』 ..... 6

[1]-2-4: 事業成功の 3 つ目の Key Word『User Interaction と Design の融合』 ..... 7

[1]-2-4-1: 「3 次元 Interaction」の本命に躍り出た Amazon「Alexa」 ..... 9

[1]-3: Apple が構築した独自 Cloud Computing 環境に倣った競合 ..... 11

[1]-4: 巨大 Server を背景に Infotainment 市場に突如参入した IT 企業 ..... 13

[1]-4-1: 車載器を経由してハッキングされた FCA「Cherokee」 ..... 16

[1]-4-2: 『邪悪』に反発、独自の仕組みを推進する自動車業界 ..... 17

[1]-4-3: 車載市場に参入した IT 企業、その真の狙いとは ..... 20

[1]-5: 自動運転技術開発を加速する欧州勢 ..... 22

[1]-5-1: SAE 方式に統一、自動運転の分類と関連国際法の動向 ..... 22

[1]-5-2: 『走る Smartphone』を具現する Tesla ..... 24

[1]-5-2-1: Mobileye と決別、新ステージに突入した Tesla ..... 26

[1]-5-2-2: Tesla が構築した進化し続ける「Fleet Learning」 ..... 27

[1]-5-2-3: Mobileye を買収する Intel の狙いは ..... 29

[1]-5-3: 激化する「Over Level 3」自動運転システム覇権争い ..... 29

[1]-5-4: 自動運転整合性が高い PHEV/ EV に大きく舵を切った欧州勢 ..... 30

[1]-5-4-1: 消費者不在、RISC 抑制で普及するのか、CHAdemo ..... 32

[1]-5-4-2: 疲弊するガソリンスタンドを放置して良いのか ..... 34

[1]-5-5: 2017 年は自動運転「元年」、ただしそれは「諦めが早い」もの ..... 35

[1]-5-5-1: SAE Level 3 運転に必要と思われる運転技能認証制度 ..... 36

[1]-6: 全ての「もの」は Cloud につながる IoT 社会の到来 ..... 36

[1]-6-1: IoT は視覚センサと AI が生み出す「技術のカンブリア爆発」である ..... 37

[2] Smartphoneの市場動向 -----	39 ~ 68
[2]-1: カメラ機能はより高度に、Dual Camera 搭載急増 -----	39
[2]-1-1: なぜ、SmartphoneはCompact DSCを駆逐できたのか -----	41
[2]-1-2: 高度な画像後処理が可能なDual Camera搭載機急増 -----	42
[2]-2: 益々勢力を拡大する中国 Smartphone Vender -----	45
[2]-2-1: 2014年、Samsung 中国市場で失速 -----	46
[2]-2-2: Smartphoneが2か月で量産できるReference Programの威力 -----	47
[2]-3: Smartphone用カメラ画素数に影響するDisplayの動向 -----	49
[2]-3-1: カメラ画素数に影響を与えたDisplay画素数増加Trend -----	52
[2]-3-2: Display解像度の適正・過剰を判定する「視力」の基礎知識 -----	55
[2]-3-3: 視認距離により異なる適正解像度 -----	56
[2]-3-4: AMOLED普及拡大に向けた萌芽を見落とした日本のLCDメーカー -----	59
[2]-3-5: AMOLEDの市場動向、Keyとなる製造装置 -----	61
[2]-4: 薄型化がさらに進むSmartphone -----	62
[2]-4-1: iPhone 5から採用されたTouch Panelの薄型化技術 -----	63
[2]-4-2: iPhone 5sから採用された薄型 Gorilla® Glass -----	64
[2]-4-2-1: 平田機工のGorilla® Glass切断用 Laser Dicer -----	66
[2]-5: AMOLED採用はiPhone 7企画時に決まっていたのか -----	67

◆ 【第二章】WLO 待望の背景

[1] 各種製品用カメラモジュールの動向 -----	69 ~ 108
[1]-1: カメラ機能が重要な役割をはたす製品の数々 -----	69
[1]-1-1: 各種製品用 Image Sensor 市場動向(数量&金額) -----	69
[1]-2: Cloud Computing 環境内の PC 用カメラモジュール -----	73
[1]-3: 自動運転に向け搭載率が高まる車載カメラ -----	75
[1]-3-1: 国際的な交通安全目標の策定 -----	75
[1]-3-2: 日本の交通事故低減への取組み -----	76
[1]-3-3: Telematics 1 <sup>st</sup> Generation で最も進んでいた日本の取組み -----	79
[1]-3-4: 欧米の法制化推進により標準搭載が進む車載カメラ -----	80
[1]-3-5: 進化するADAS~ 自動運転で車載カメラが果たす役割 -----	83
[1]-3-5-1: Sensor Fusionが進むADAS、Frugal Innovationが重要 -----	84
[1]-3-5-2: 自動車安全立法、ADAS普遍化により急拡大する車載カメラ市場 -----	85
[1]-3-6: 車載カメラの製品分類・市場動向 (e-mirror 解禁) -----	86
[1]-3-6-1: 主な車載カメラの搭載箇所と課題 -----	89
[1]-3-6-2: Viewingカメラの市場動向と Supply Chain -----	90
[1]-3-6-3: Sensingカメラの市場動向と Supply Chain -----	91

[1]-3-7: 小型化、数量削減に最適なWLOリフローカメラの車載への展開	93
[1]-3-7-1: 複数のリフローカメラモジュールで広角カメラシステム実現	94
[1]-3-7-2: 複数のリフローカメラモジュールで多機能モジュール実現	95
[1]-3-7-3: ZDを目指すBackup機能付きe-mirrorシステムのアイデア	95
[1]-3-7-4: 量産中のWLOリフローカメラモジュールの実例	96
[1]-3-8: 設置個所により異なる車載カメラへの要求特性	97
[1]-3-8-1: 車載カメラLensに要求される特性	98
[1]-3-9: FIR(遠赤外線)カメラの概要およびコストダウン技術	100
[1]-3-9-1: FIRカメラの市場動向	100
[1]-3-9-2: FIRカメラ用Lensの種類と特徴	101
[1]-3-9-3: Si-WLOを採用、FIRカメラのコストダウン手法	102
[1]-3-10: 医療用に最適、超々小型WLOリフローカメラモジュール	107

[2] Smartphone用カメラの技術動向 ----- 109~136

[2]-1: カメラモジュールメーカーの競合状況	109
[2]-2: 多機能化が進むRear Camera	111
[2]-2-1: AFは必須、OIS搭載率が急激に高まるRear Camera	112
[2]-2-2: AFの高速化技術採用が進むRear Camera	114
[2]-2-3: 一眼レフ並の「ボケ味」も可能、Dual Camera搭載機の急増	117
[2]-2-4: Front Cameraにも展開するDual Camera、究極の4 Camera登場	118
[2]-3: 低背化が定着したRear Camera	120
[2]-3-1: 薄型Smartphoneの構造設計ReferenceとなったiPhone4	120
[2]-3-2: Full Flat Smartphoneの薄型設計事例	122
[2]-3-3: Full Flat設計でも5mm以下のSmartphoneは可能	123
[2]-3-4: カメラモジュールの低背化度合いを表す「指標」の考案	125
[2]-3-4-1: 光学サイズの定義	125
[2]-3-4-2: 光学サイズと光路長の関係から低背レベルを表すHeight Rate	128
[2]-4: カメラモジュールの超低背設計手法	130
[2]-4-1: AFカメラモジュールの超低背化設計手法	131
[2]-4-2: FFカメラモジュールの超低背・超小型設計手法	135

[3] Image Sensorの技術動向 ----- 137~172

[3]-1: CCD Image SensorとCMOS Image Sensorの差異	138
[3]-2: Image Sensorの市場動向	142
[3]-2-1: Smartphone用CMOS Image Sensorの市場動向	142
[3]-2-2: 車載用Image Sensorの市場動向	145

[3]-3: 車載用/IoTにも展開可能、高CRA Lens対応 Image Sensor技術	147
[3]-3-1:「色シェーディング」を抑制する高CRA対応IRCF	149
[3]-3-2: 車載用/IoTでも感度向上に有効なBSI Image Sensor	151
[3]-3-3: 車載用/IoTでさらなる感度向上に寄与する素子分離型 Image Sensor	153
[3]-4: カメラモジュールの低背化実現に貢献する Image Sensor技術	154
[3]-5: Smartphone用 CMOS Image Sensorの Cell Size微細化Trend	155
[3]-5-1:『Big Cell』への回帰、D-PDAF Smartphoneでも採用	156
[3]-5-2: 車載カメラにも効用があるCell微細化	158
[3]-6: 車載カメラに必要な Image Sensor機能	158
[3]-6-1: Image SensorのHDR(High Dynamic Range)機能	159
[3]-6-1-1: 光学系のDR拡大に必須、不要反射光低減の工夫	160
[3]-6-2: Global Shutter	161
[3]-6-3: LEDフリッカ抑制	161
[3]-6-4: 夜間歩行者検出用「超高感度」、「RGB+NIR」Image Sensor	162
[3]-6-4-1: 夜間補講者検出精度をより高めるFIRカメラとのFusion	165
[3]-7: FIR(遠赤外線) Image Sensor	166
[3]-8: 特殊構造の Image Sensor	168
[3]-8-1: PD多層配置、垂直色分離型 Image Sensor	168
[3]-8-2: 研究・開発は進んでいる有機 CMOS Image Sensor	170
[3]-8-3: 究極の超小型Lens-less Image Sensorの概要	171

### ◆ 【第三章】WLO 関連技術

[1] Lens設計・製造の基礎知識	173 ~ 200
[1]-1: Lens性能を決める収差の種類と、今も生きる「基本設計」	174
[1]-2: さまざまなLens材料とその特徴	176
[1]-3: 熱可塑性樹脂Lens設計上の注意	177
[1]-4: 熱可塑性樹脂Lensの製造プロセス	181
[1]-5: 特定メーカーの強さが際立つSmartphone用Lens	185
[1]-6: Lens仕様要求上の注意点	187
[1]-7: 微細Cell Image Sensor用Lens設計のあり方	194
[1]-7-1: Image SensorとカメラモジュールのMTF	196
[1]-8: Lensが解像可能なCellの微細限界	198

[2] 各種耐熱 Lens の特徴 -----	201 ~ 220
[2]-1: 耐熱 Lens の分類 -----	201
[2]-2: 各種耐熱 Lens の製法と特徴 -----	203
[2]-2-1: 移動金型式GMO の製法と特徴 -----	203
[2]-2-2: Injection Mold 方式熱硬化性樹脂 Lens の製法と特徴 -----	205
[2]-2-3: Hybrid Lens の製法と特徴 -----	206
[2]-2-4: 「超々薄型化」が可能な Casting WLO の製法と特徴 -----	210
[2]-2-4-1: Casting WLO の金型製法の特徴と他方式との比較 -----	212
[2]-3: Hybrid WLO と Casting WLO メーカーの導入装置 -----	215
[2]-4: WLO の非球面測定法 -----	217
[2]-5: 複屈折が解像度に与える影響と各種 Lens の複屈折の実力 -----	218
[3] 各種 Lens 設備投資額・コスト比較 -----	221 ~ 228
[3]-1: 各種 Lens の材料費比較 -----	221
[3]-2: 各種 Lens の設備投資額比較 -----	224
[3]-3: 熱可塑性樹脂 Lens コストを凌駕する Casting WLO -----	225
[3]-4: 各種 Lens の Bench Marking -----	227
[4] Casting WLO 用 Monolithic 樹脂の特徴 -----	229 ~ 236
[4]-1: Monolithic 樹脂特性検証 -----	229
[4]-1-1: Monolithic 樹脂の耐熱特性 -----	229
[4]-1-2: Monolithic 樹脂の光学特性 -----	232
[4]-2: Monolithic 樹脂採用 Casing WLO、設計値との誤差 -----	235
[5] リフローカメラモジュールの動向 -----	237 ~ 248
[5]-1: リフロー実装技術の歴史 -----	238
[5]-2: リフロー化の難度を押し上げた RoHS 指令 -----	239
[5]-3: リフローカメラモジュールの分類 -----	242
[5]-3-1: TSV 技術により実現した CSP 仕様 Image Sensor -----	244
[5]-3-2: CSP 仕様リフローカメラモジュールの製造フロー -----	246
[5]-3-3: 既存製法とリフロー仕様のカメラモジュール比較 -----	247

[6] S-WLCM 製造設備 -----	249 ~ 256
[6]-1: Disk Master 製造装置・Casting WLO 成形装置 -----	249
[6]-2: WLO 積層装置-----	250
[6]-3: 超短Pulse Laser DicerによるWLO個片化技術 -----	251
[6]-3-1: Hybrid WLO 個片化技術の問題点 -----	251
[6]-3-2: 非熱加工を可能にする超短Pulse Laser Dicer -----	253
[6]-4: S-WLCM組立装置 -----	256

◆ 【 著 者 】



### [1]-1: 「革新的AI技術」採用により公道自動運転間近

「2017年」は『自動運転元年』として歴史に刻まれるかもしれない。2017年末までには、「世界初」SAE Level 3の自動運転車が、いよいよ欧州市場で市販される見込みである。

自動走行実験は、1980年代すでに行われていた。インフラ協調型では、ほぼ「自動運転」と呼べる技術も確立されていた。しかし、インフラ協調型は「想像を絶する巨額の投資」が必要と認識され、現実味がないと判断された。そこで自動車自体の「知性」を高め、「自主的に自動運転する技術の研究が始まった。ところが、それは技術的難易度が非常に高く、実現までには50年以上の年月を必要との見方が当時の常識であった。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。この結果、やはり自動運転車実現は、かなり先になるだろうという「常識」が再認識された。ところが翌2005年には、参加23台すべてが前年の記録を上回り、内5台が完走した。1位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位はカーネギーメロン大学だった。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、同社の完全自動運転車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もともない、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、従来の「If-Then」プログラム方式ではなく、機械学習方式のAIを新たに取り入れたことにより格段に精度が向上したのである。

現在、SAE 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)により制御されている。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ある。「全ての不測の事態」を人間が想定することは、不可能だからである。そこで注目されているのが、2006年に登場したDeep Learning技術(多層ニューラルネットワーク(Deep Neural Network)を採用した機械学習方式)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(プログラム自体が)に何らかの「特徴量」を見つけ出す能力を持っている点にある。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、この点が『本物のAI』と期待される

## 【第一章】市場動向 [2] Smartphone の市場動向

自動運転車市場投入間近の中、車載カメラの話題性が高まっている。しかし、それはここ 2、3 年の Trend である。一時の勢いは大分衰えたとはいえ、いまだにカメラモジュールの主な市場は Smartphone 用である。とはいえ、画素数の増加、低背化、Front Camera の画素数増加など、ここ数年急激に進んだ Trend は大分落ち着いている。これらの仕様はもはや「訴求点」にはならなくなっているのである。最近の Rear Camera では、Dual Camera によるさまざまな画像処理、PDAF(Phase Detection AF)、Dual PDAF による AF の高速化、OIS(Optical Image Stabilizer: 光学手振れ補正)による高品位の撮像性能確保、従来の Trend とは逆行した高画質を追求する Cell Size の拡大(「Big Cell」と称する)など、撮像機能の高度化、高品位化を目指す Trend に変化している。一方、Front Camera では Selfie(自撮り)の画質向上、特殊効果付与、高感度化を追求した Dual Camera 搭載、16MP~20MP の多画素品の採用、binning 技術による「見かけ上の Cell Size の拡大」による感度 Up など、こちらも撮像機能の向上を目指す方向に変化している。これらの技術の中には、車載用を含む IoT 用に転用可能なものもいくつかある。自動車の開発期間は、IT 企業の参入や自動運転技術の急進にともない、以前より大幅に短縮されつつある。そのため、「既存技術を応用して新たなものを作り出す手法」の確立は、今後非常に重要になっていくと思う。また、将来 IoT 社会が本格化した暁には、今までのように「その製品に合った部品を開発する」手法では、スピードの変化に追従することは難しい。既存のものを利用して「その製品に合った仕様を作り出す」考え方が重要である。そのためには、「汎用的な撮像部品」仕様のカメラモジュールの実現が必須である。それは、VRP(Variety Reduction Program)開発という考え方である。Tesla が「自動車用に特化した Custom Battery」を使用せず、汎用リチウム電池を束ねて短期間で Battery 開発を済ませたのも、この手法の一つである。

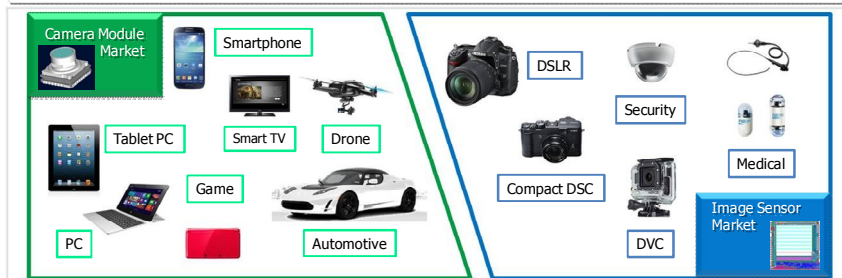
### [2]-1: カメラ機能はより高度に、Dual Camera 搭載急増

Smartphone は市場投入から早 10 年、図 1-2-1 のように 2016 年には携帯電話市場の 80%弱を占め、2018 年は 80%を超えると予測されている。しかし、その規模拡大があまりにも急だったため、図 1-1-8 のように 2015 年末ころから急激に飽和し始めている。とはいえ、図 1-2-1 のように Rear Camera に加え Front Camera の標準搭載が進んでおり、カメラモジュールの市場規模は今後も堅調な伸びが予測される。さらに、2015 年に Huawei が初めて採用した Dual Rear Camera を Apple も 2016 年の iPhone 7 Plus で採用したことから、カメラモジュール市場はさらなる規模拡大が期待される。一方、成長著しい中国の Smartphone Vender では、中位メーカーが上位との差別化を図るために、2014~2015 年にかなり熾烈な『超薄型化』競争を繰り広げた。また Rear Camera では、差別化の重要な戦略として多画素化を進め、Apple もそれに追従したことから図 1-2-2 のように 13MP 以上が急激に増加している。しかし、Sony が戦略的に牽引してきた単純な画素数増加競争は終息に向かいつつあるようだ。一時、その流れに乗っていた Samsung も Galaxy S6 で 16MP まで増加させた画素数を Galaxy S7 以降の Flag

### [1]-1: カメラ機能が重要な役割をはたす製品の数々

Smartphone の市場拡大にともない、IT 企業独自のものとはいえ図 1-1-5 のように Cloud Computing 環境は拡大の一途を辿っている。さらに、それらの中で覇権争いが激化している。それにより「Ubiquitous Computing」がますます充実していく傾向にある。現在の Cloud Computing 環境では、「指揮者」となる Smartphone のほか、図 2-1-1 のように Tablet PC、Ultrabook™ (NotePC、NetPC も同義語とする)、自動車、Drone、Smart TV、Game、白物家電(エアコン、冷蔵庫、洗濯機など)(ここまでの製品では、主にカメラモジュールが使われる)、DSC、Security Camera、DVC、医療機器(これら 4 製品では Image Sensor が使われる)など多くの機器が接続される。そして、Cloud Computing 環境に接続された機器間で静止画・動画・音声などの Multimedia Data の相互通信を行ったり、Smartphone で他の機器をコントロールしたりする、さまざまな Application やサービスが登場している。それらを生かす上で Multimedia 情報の共有が必須となるため、これらの機器

図 2-1-1 : Market of Image Sensor/Camera Module



では、目となるカメラ、耳となるマイク、口となるスピーカ、皮膚となるタッチパネルなどの搭載が進んでいる。とはいえ、「百聞は一見に如かず」というように、視覚情報は他の五感と比べて情報が圧倒的に多い。そのため、カメラモジュール、Image Sensor などの撮像部品、撮像素子の Cloud Computing 環境内での役割はますます高まっていくだろう。

#### [1]-1-1: 各種製品用 Image Sensor 市場動向 (数量&金額)

Cloud Computing 環境では、その場に参加することができる Smartphone に標準搭載されているビデオチャット機能などが非常に有益である。そのため、Smartphone の Front Camera が Cloud Computing 環境内での標準仕様となれば効率が良い。従来、Smartphone の Front Camera、Tablet PC の Front Camera、Ultrabook™ の Web Camera、Smart TV の Web Camera などが Cloud Computing 環境につながる主だったカメラであった。しかし、すべての機器が Cloud Computing 環境に接続可能になった今、これらの製品だけに止まらず、創意工夫により他の製品のカメラ機能も、より有効活用できるよ

Smartphone の市場規模が飽和しつつある中(図 1-1-8)、ここ 2、3 年、車載カメラの話題性が高まっている。しかし、Dual Camera の搭載増加などにより、カメラモジュールの主要な市場は Smartphone 用であることに変わりはない。一方、Rear Camera の画素数増加、低背化進展、Front Camera の画素数増加など、ここ数年急激な勢いで進んできた Trend は大分落ち着いている。裏返せば、これらは「訴求点」にならなくなってきたことを意味する。最近の Rear Camera の Trend は、Dual Camera によるさまざまな画像処理、PDAF(Phase Detection AF)、Dual PDAF による AF の高速化、OIS(Optical Image Stabilizer: 光学手振れ補正)による高品位の撮像性能確保、従来の Trend とは逆行した高画質を追求する Cell Size の拡大など、撮像機能としての高度化を追求している。また Front Camera では、Selfie(自撮り)の画質向上、特殊効果付与、高感度化を追求した Dual Camera 搭載、16MP~20MP の多画素品の採用、binning 技術による多画素の 1Cell 化による感度 Up など、Rear Camera と同様な機能を追求している。これらの技術の中には、車載用に転用可能なものも幾つかある。自動車の開発期間は、IT 企業の参入や自動運転技術の急速な進化にともない、以前の 4~5 年から大幅に短縮されている。よって、「既存の使える技術を応用して新たなものを作り出す手法」の確立は、今後重要度を増していくと思う。将来 IoT 社会が具現化した折には、今までのように「その製品に合った部品を開発する」手法では、スピードの変化に追従することは難しい。既存のものを利用して「その製品に合った仕様を作り出す」考え方が重要になると思う。つまり、VRP(Variety Reduction Program:汎用化)に沿った開発手法確立が重要なのである。Tesla が Custom Battery を使用せず、汎用リチウム電池を束ねて短期間で Battery 開発を済ませたのも、この手法の一つである。

### [2]-1 : カメラモジュールメーカーの競合状況

Smartphone の市場が拡大する中、カメラモジュールの勢力関係がどのように変化しているか見てみよう。図 2-2-1 に 2014 年 1H(実績)と 2016 年 2H(予測)のカメラモジュールメーカーのシェアを示す。その中、1) 主に Apple に納品しているメーカー、2)主に Samsung に納品しているメーカー、3) 中国の Smartphone Vender に納品しているメーカー、4) カメラモジュール事業が本業ではないメーカー、のそれぞれの代表として 1) LG-Innotek、2) SEMCO、3) Sunny、4) Foxconn、4 社の期間内半年毎の画素数構成推移を同図に示す。分析の対象としなかったメーカーでは、Sharp、Cowell が 1)、Patron が 2)、Lite-ON と O-Film が 3)に相当する。

まず LG-Innotek は 2015 年 1H までは 8MP の比率が非常に高い。2015 年 2H から 13MP が急増しているが、iPhone 6s が Rear Camera に 12MP を新規採用したためである(同図は 13MP で分類)。Apple への依存度は 70%弱とかなり高い。Apple は、iPhone 6s から Rear Camera のメーカーとして Sony も加えた(Sony のカメラモジュール外販事業は 2016 年末、中国 O-Film に買収された)。これにより、カメラモジュールは Sharp、LG-Innotek、Sony の 3 Vender 体制になるが、Image Sensor は、ほぼ 100%

世の中に普及している Image Sensor には、CCD(Charge Coupled Device)、CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) の2種類の方式がある。CCD Image Sensor は1969年にベル研究所で発明され、歴史的には CMOS Image Sensor よりはるかに古い。当時、放送機器用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。ところが歩留まりが悪く、民生用は中々登場しなかった。1980年代後半、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使われるようになった。その後、1990年代後半から DSC に採用されると、「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。

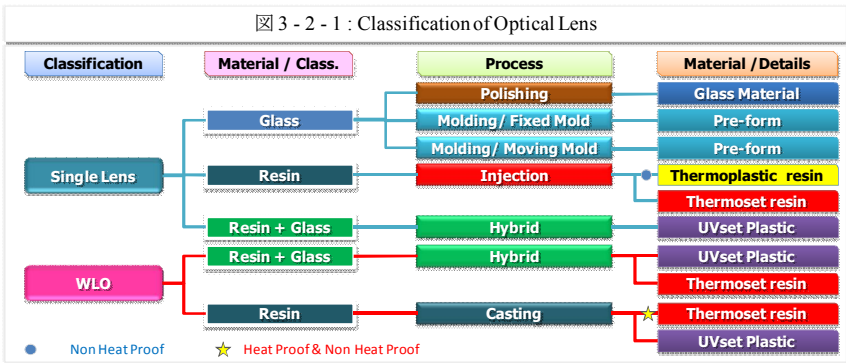
一方、CMOS Image Sensor は、その前身となる MOS Image Sensor が1970年代の前半に発明された。しかし、CCD Image Sensor の画質に遠く及ばず消滅してしまった。CMOS Image Sensor が登場したのは、1990年代に入ってからである。最初のものは CCD と同じ電荷転送方式の PPS(Passive Pixel Sensor) CMOS Image Sensor であった。しかし、この方式は画質が悪く、CCD Image Sensor に対抗できるものではなかった。それを打開するきっかけとなったのは、1993年に NASA の研究所で発明された 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。CCD Image Sensor と異なり、CMOS Image Sensor は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「電圧増幅回路」を内部に取り込んだことが、後々 CCD Image Sensor を駆逐できる下地になったのである。しかしながら、当初の画質は CCD Image Sensor より劣っており、また先行する CCD Image Sensor に主要製品を押さえられていたことから、民生品市場で本格普及するには至らなかった。そこで、CCD Image Sensor より低価格な点を活かし、光学マウス用市場に参入し大きなシェアを確保する程度に止まった。この状況を打開する発端になったのは、2000年11月に登場した「カメラ付き携帯電話」である。日本市場では、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一気に普及が進んだ。ところが、それを『DSC 機能』と捉えた日本市場では、高性能、良好な画質、供給能力の高さ、などから CCD Image Sensor が大多数を占めた。一方、海外のほとんどの国では、それを「売りに繋がるおまけ機能」としか見なさなかった。そのためコストが最優先され、画質が若干劣るが低コストの CMOS Image Sensor が主流であった。その後、海外市場でも『DSC 機能』が徐々に認識され始め、CMOS Image Sensor にも高画質化が求められるようになった。それに応えた高画質 CMOS Image Sensor が登場したことから、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 同等画質の CMOS Image Sensor 登場」は、日本市場でも評価が上がり徐々にそのシェアは高まっていった。そして、2003年前後には両者の世界市場規模が拮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である。Image Sensor 市場では、図 2-1-2 のように携帯電話用が圧倒的なシェアを占めている。その市場が CMOS Image Sensor に制圧されたことにより、2000年代後半から他の製品でも CMOS Image Sensor の採用比率が急激に

Lens の設計技術は特定の Application に依存するものではなく、広範に活用できるものである。とはいえ今まで「強烈」に Lens の業界を牽引してきたのは Smartphone であるのは紛れもない事実である。そこで、まず Smartphone 用 Lens の市場動向を見てみよう。Smartphone は図 1-2-1 のように順調に普及率を高めてきた。ところが、その急激すぎる成長の反動で市場規模は 2015 年末ころから図 1-1-8 のように伸長率が鈍化し始めている。とはいえ、Smartphone では Rear Camera に加え Front Camera も標準搭載されることから、カメラモジュールの市場規模は今後も堅調な伸びが予測される。加えて、2015 年に登場した Dual Rear Camera を iPhone 7 Plus が採用したことから、カメラモジュール市場はさらなる規模拡大が期待される(図 1-2-1)。さらに、Selfie 機能を重視する中国では Front Camera を Dual にする仕様も登場し、ついに Front も Rear も Dual Camera の Smartphone まで登場した。このように Smartphone 市場の成長鈍化は、当面カメラモジュール市場の成長には影響を与えないようである。生存競争段階に突入した Smartphone 市場では、2014~2015 年にかけて中位 Vender が上位との差別化を図るために『超薄型化』競争を激化させた。それが 2018 年以降の AMOLED 急増のきっかけとなった。さらに、同時期 Rear Camera の多画素化が著しく進んだ。その結果、13MP 以上の比率が急激に高まった。しかし、2016 年ころから、上位 Vender は無益な多画素化を鎮静化させ、Rear Camera の画素数 12~13MP に止まっている。一方、中位以下の Vender は差別化のため 16MP 以上の多画素に移行しつつある。このように Rear Camera では、低背化と多画素化の相反する仕様が同時に求められる状況は以前と変わっていない。さらに、Selfie 機能を重視した中国市場の Front Camera は、その役割が Rear Camera と同様になったことから「画素数」の重要性が高まっている。中には、Front Camera の方が Rear Camera より多画素な Smartphone もある。このように、最近では Front、Rear 関係なくカメラモジュール低背化の要望は強まっているのである。その成否は、車載用 Lens からみれば非常識な Height Rate 75 以下の超低背光学設計を物理的に実現できるかに掛かっている。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、Image Sensor と後段の ISP の高度な「画像補正技術」との Collaboration が必須である。とはいえ、少なくとも物理的な Lens 設計・製造ができなければ商機はない。カメラモジュールの厳しい低背化要求にともない、4~6 枚 Lens の特許を多数保有し、さらには膨大な成形装置保有する Largan に注文が集中している。

開発期間が長かった Feature phone 主流時代には、欧米の Vender が Image Sensor や Lens の設計に強い影響力を持ち、自社で設計した Lens をカスタム品として Lens メーカーに製造させることが多かった。ところが Smartphone 市場では、Mobile SoC メーカー(Qualcomm、MediaTek など)が Reference Program をユーザーに提供したことから、開発期間が大幅に短縮された(最短 2 か月)。さらにこのスピードに追従できるのは、限られたわずかな Image Sensor メーカーだけであり、品種が限られている。そのため、主要 Image Sensor、VCM Actuator や OIS に合わせて設計された Lens メーカーの「標準品」が主流を占めるようになってきている。このような状況下では、Lens 設計

【 2 】-1: 耐熱 Lens の分類

現在 Smartphone や民生機器で使われている廉価な Lens はほとんどが熱可塑性樹脂を使用した Injection Mold Lens である。しかし、それらの多くは耐熱性が低く、車載用に使えるものは極一部である。各種 Lens の分類方法はさまざまあるが、本項では耐熱性が高いものを中心に話題を展開する。製法による分類が理解を早めると思うので、業界初の試みとなる個片製法の Single Lens、WLO の 2 通りに分類する。この分類で見ると図 3-2-1 のように、身の回りで数量では大勢を占めている熱可塑性 Injection Mold



Lens 以外のほとんどは耐熱性のあるものであることが分かる。また、成型方法も Injection Mold は少数派であることも分かる。耐熱性のある素材を使用した Lens の話題性が高まったのは、携帯電話の Front Camera を SMT 技術で自動実装できるようにしたいとの要望からである(カメラモジュールのリフロー化)。NOKIA(現 Microsoft)が最も熱心であり 2006 年ころから取り組み、2008 年には本格的に採用し始めた。耐熱性のある素材では、まず Glass が思い浮かぶが、DSC に使われている Polishing や GMO は高額すぎて携帯電話用としては採用できなかった。そこで、GMO でも廉価な製法のもの、熱硬化性樹脂の Injection Mold Lens、平板 Glass のコアに UV 硬化樹脂で Lens 部を形成した Hybrid Lens などが開発された。しかし、前 2 者はコスト対応力が不十分であり、その後採用されなくなった。現在リフローカメラモジュール用に使われているのは、ほとんどが 3 番目の Hybrid Lens である。これには、WLO (Wafer Level Optics) タイプと個片(Single)タイプの 2 種類がある。前者は、本格採用されている耐熱 Lens の中で唯一 WLO が実現できるものである。2007 年に Heptagon が最初にリリースし、続いて Anteryon が量産を開始し、Tessera もライセンス Business を開始した。WLO は熱可塑性樹脂 Lens コストの何十倍もする特殊樹脂を使用するが、材料の無駄がない製法であること、数千個(大きさに依存)の Lens が一括成型できること、などから一時は「リフロー Lens の大本命」と目された。ところがメニスカス形状が非常に作り難い、

### [3]-1: 各種 Lens の材料費比較

ここまでさまざまなリフロー Lens の製法・特徴を解説した。その中に熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂の Injection Mold 製法、Hybrid Lens/ Monolithic 樹脂 Lens の Casting 製法の 2 種類があった。実は、この製法の違いに『Cost Magic の種』があるのである。

家電・IT 製品の筐体などに使われる樹脂のほとんどは熱可塑性樹脂である。ABS、PBT、PS、LCP、PPS、PA-9T など多くの樹脂があるが、製法は Injection Mold が普遍的である。そして、ほとんどすべてがスプルー、ランナーを持った製法である。同一の製法の場合、製品コストの差は当然ながら材料単価の差に比例する。そのため、『高価な樹脂を使うと製品も高価になるという常識』が生まれたのである。しかし、Injection Mold 製法でも、樹脂の使用量を減らして製品コストを下げる工夫に「Hot Runner(熱可塑性樹脂)、Cold Runner(熱硬化樹脂): Runner が無い製法」というものがある。ところが、この製法は非常に高度な金型設計・製造技術と成型ノウハウが必要となるため、あまり一般的ではない。しかも、最近のように「設計」と「製図」の区別がなくなったエンジニアが、あえてリスクを冒して高度な製法にチャレンジすることなど希である。加えて金型が高価になるため、**Total Cost = Initial Cost + Running Cost** の関係式の理解度が低い多くの日本企業では、Initial Cost の高価さに慄き、採用しないケースが多いようである。その結果、「製品コストは材料コストに比例する」という「思い込み」が「常識化」し「常態化」してしまったのである。

それでは、いよいよ各種 Lens のコスト比較を行うわけだが、個片の Injection Mold Lens と Casting 製法の WLO を比較しなければならない。形状・仕様が全く異なり、しかも WLO は Lens の取り数により単価が変化するため比較のしようがない、と諦めてはいけない。また、具体的な設計図で見積もりするなどという、愚かて悠長なこともしてはならない。事業の健全化には、スピードが最も重要なのである。Lens コストは、材料費、加工費、それと設備投資額でほぼ決まる、と考えて良いかと思う。単品 Lens の場合は、加工費の Weight が小さいと考えられるため、材料費と設備投資額だけに着目しても、概略 Lens コストの高低の判断に適用できると思う。材料費の比較を行う際、製法の違いを排除する工夫が必要となるが、これは **8 in WLO を基準** にし、仮に Injection Mold 製法で 8 in WLO を成型した場合の材料費を算出すればよいと考える。

これで、比較するためのベースはできたが、各 Lens の仕様を決めないと材料費は算出できない。まず、Injection Mold 製法の Lens では、スプルー・ランナーの比率を 97% (樹脂の有効利用率 3%)、Lens の平均厚さを 0.7mm と見込むことにする。厚さは、高圧成型であるため、極端に薄くはできない。ここまでの説明が「Magic」のポイントなのである。しかし、言葉だけの説明では、この内容を理解できる人が少ないようなので、図 3-3-1 に Injection Mold Lens と Casting WLO の実例を示す。同図から分かるように、Injection Mold が「Lens 以外の構造物はすべて無効材料になる」のに対し、Casting WLO はすべてが Lens であり、「無効材料がない」のである。また、Injection Mold Lens



### [ 4 ] - 1 : Monolithic 樹脂特性検証

低コスト、低投資額、高生産性、低複雑折による高解像度、超薄型成型が可能、これら Casting WLO の理論的優位点については、ここまでの説明で十分理解頂けたと思う。

しかし、現在 Casting WLO に使用されている Monolithic 樹脂がリフローLensとして本当に優れたものなのか、さまざまな観点から検証してみないと最終結論は出せない。

まず、Monolithic 樹脂はリフローLensとして開発されたものなので、その仕様で望まれる特性を列挙する。

- 1) 耐熱温度が高く 4 回以上リフローを行った後、寸法・性能を満足していること
- 2) 樹脂のみで WLO を形成できる硬度があること
- 3) 透過率が高く、リフローや UV 耐候性が高く、初期特性を継続すること
- 4) リフローや吸水による屈折率変化が少ないこと
- 5) AR コート膜の密着性が高く、リフロー後はがれないこと
- 6) IRCF 膜の密着性が高く、リフロー後はがれないこと

などが要求される。また、撮像系 Lens として必要な一般特性としては、

- a) 色収差低減のため、アッペ数が異なる材料が複数選択できること
- b) 高解像度を実現するため、低複雑折であること
- c) 設計性能を実現するため、金型転写性が高いこと
- d) カメラモジュールが要求する環境試験をクリアすること

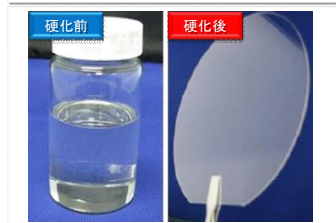
なども併せて要求される。

#### [ 4 ] - 1 - 1 : Monolithic 樹脂の耐熱特性

Monolithic 樹脂の硬化前後の状態を図 3-4-1 に示す。硬化前の Monolithic 樹脂は、非常に粘度の低い無色透明の液体である。硬化後は 3~7H の硬度となるため、上述 2) の要求は十分クリアできている。リフローLens と名が付く以上、最も重要なのは耐熱性の高さである。樹脂の耐熱性を表す指標として Tg (Glass 転移点温度) があり、TMA、DMA、DSC などさまざまな測定法があるが、どの測定法も樹脂の耐熱性を表すのには不適なようである。そのため、樹脂の耐熱性を判断する場合には、温度変化に対する素材の伸び率、つまり熱膨張率：CTE (Coefficient of thermal expansion) の変化を観察するのが最も適しているようである。

Monolithic 樹脂は UV 硬化性、熱硬化性の 2 種類の樹脂が開発された。しかし、先述したように UV 硬化性樹脂全般の特徴として、外光により硬化後も反応がゆっくり進み短波長領域が減衰する

図 3-4-1 : Monolithic 樹脂/硬化前後



15年前カメラモジュール事業に携わった際、最初に感じたのは「電気部品であるにも関わらず、なぜリフロー仕様が話題にもなっていないのか」ということであった。【第一章】[1]で触れたように、iPhoneの事業的(製品の魅力とは別)な成功の秘訣はLocalize Freeにあった。つまりハードキーがほとんどないため、製品そのものは「世界共通」にすることが可能なのである。Localizeはソフトウェアを入れ替えるだけで可能である。その結果、「キーボードが付いている」Feature Phoneではなしえなかった「世界同日発売」も可能になったのである。さらに仕向け地ごとの販売計画すら不要になった。というのは、特定地域向けに在庫が発生しても、ソフトウェアを入れ替えれば他の地域への転用が可能だからである。iPhoneのBusiness Modelは一見「斬新」に見えるが、実は「汎用化」(VRP設計: Variety Reduction Program Design)であり、電気部品業界では以前から常識的に行われていたBusiness Modelの製品への展開なのである。

14年前、カメラモジュールのリフロー化を思いついたのは、汎用化による効率的なBusinessの可能性追求なのである。しかし、当時は耐熱光学部品が非常に高価であったため、カメラモジュールをリフロー化すると価格が3倍以上になってしまう状況であった。そこでできるだけVRP設計に近づけるために発想したのが図3-5-1のソケット仕様なのである。当時のカメラモジュールは、真四角もあれば長方形もあり、サイズもメーカーによりさまざまであった。ソケット仕様にするにより、少なくともソケットの種類にカメラモジュールのサイズが集約できる、というのが狙いであった。2003年に10 x 10mm VGAのカメラモジュールが登場し、2004年には世界最小の6 x 6mm VGAカメラモジュールが登場した。6 x 6mm以下



のカメラモジュールは容易に製造できなかったため、Front CameraではDe-factoサイズとなった。ソケットの効用は外形寸法を規定するだけにとどまらず、カメラモジュールのCustomizeを抑制し汎用化を進める点にもあった。一般的なカメラモジュールはFPC仕様であるため全品種Custom品といってもよい。これでは生産数量が増えても事業の健全化は図れない。ソケットにすることにより、ユーザーがソケットを採用してさえくれれば汎用品のカメラモジュールを販売することができ、事業効率率は大幅に改善できる。これがソケット仕様の大きな目的であった。ちなみに汎用ソケットを最初に開発したのは、ミツミ電機、SMK、ヒロセ電機、ALPS電気の4社であり、他社は「市場実績のないもの」の市場調査を行い、「出ない結論」に行動することもままならず動向を観察していただけた。その後、NOKIAがSMIAと同様なコンセプトで標準ソケットを採用するに至り、多くのソケットメーカーが市場に参入したのである。

とはいえソケット仕様はあくまでつなぎであり、リフローカメラモジュールが従来品と同等画素数、同等コストで実現したあかつきには不要になるものである。しかし、現時点ではVGA、1.3MPの一部カメラモジュールのリフロー化が実現しているに過ぎず、それとてコストについては目標を達成できていない状況である。

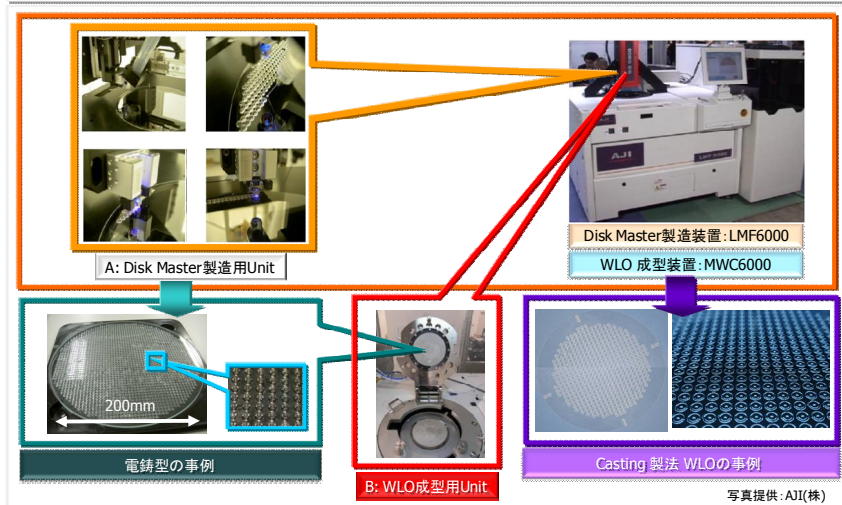
## 【 第三章 】 WLO 関連技術 [ 6 ] S-WLCM 製造装置

本項では、Casting WLO を使用した S-WLCM を製造するための一連の装置について説明する。製造フローについては、図 3-5-6/ 図 3-5-9 を参照願いたい。

### [ 6 ] - 1 : Disk Master 製造装置・Casting WLO 成型装置

まず、Disk Master 製造装置(LMF-6000)と Casting WLO 成型装置(MWC6000-P(UV 硬化性樹脂用) / MWC6000-H(熱硬化性樹脂用))の 3 種類の装置のベースは共通である。Disk Master (AJI では Replica と呼んでいる)製造の際には、図 3-6-1 の Disk Master 製造用 Unit を装置に搭載する。Disk Master の作成方法は本章[2]項で詳細に説明したが、同図左上の写真で示すように、最初に Glass Disk 上に UV 硬化樹脂を塗布し、次に「原器」となるコマを樹脂に転写し、最後に UV 照射して硬化させる。Step & Repeat でこの動作を繰り返し Glass Disk 上に必要な Cav 数を構成する。すでに説明したよう

図 3 - 6 - 1 : Casting Lens Master Disk & WLO 製造装置



に、Casting WLO の場合は 1 回の成型で両面 Lens を成型するため、上型、下型の 2 種類の Disk Master を製造する。完成した Disk Master に電鍍技術で厚 Ni めっきを施し、図 3-6-1 の右下に示す電鍍型を作成する(Hybrid WLO の場合は、PDMS で Stamper を作成する)。図 3-2-12 では、電鍍を数回繰り返すプロセスを紹介したが、熱硬化性樹脂 type で極端に数量が少ない場合は、Disk Master から転写した電鍍型を Stamper として使用する場合もある。また、UV 硬化性樹脂の場合は、この段階の電鍍型で透明樹脂を成型して Stamper にする場合もある。ここで紹介したケースでは、熱硬化性樹脂用と UV 硬化樹脂用の「原器」はネガ・ポジが反転したものになる。