



RIETI Discussion Paper Series 09-J-033

# テクノロジーとマーケットの複雑性に挑む JSR : その大いなる変貌要因を探る

中馬 宏之  
経済産業研究所



Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA

独立行政法人経済産業研究所

<http://www.rieti.go.jp/jp/>

## テクノロジーとマーケットの複雑性に挑む JSR: その大いなる変貌要因を探る\*

中馬宏之

(一橋大学イノベーション研究センター・経済産業研究所)

## 要 旨

本論の目的は、90年代に石油化学系の事業会社から石油化学とファインケミカルの両輪を操る事業会社へと大きく変貌を遂げた JSR(旧・日本合成ゴム)の事業・組織戦略上の特徴を、2002年から2007年の長期にわたって実施された実地調査に基づいて、経済学・経営学の視点から分析・検討することである。実地調査は、同社の日本・米国・欧州・韓国・台湾にまたがる研究・開発・プロセス・品質保証技術・製造・人事の拠点に対して行われた。調査の焦点は、同社の非石油化学系の三本柱(電子材料系、ディスプレイ材料系、光学材料系)の中の電子材料系、中でも半導体用フォトレジスト(以下:レジスト)事業である。選択の理由は、同事業が、80年代後半以降、合成ゴム事業で培った同社の高分子合成、構造解析、物性・機能評価技術を基盤にしてファインケミカルの会社に大きく変貌を遂げた際の中核事業であったことによる。

キーワード: イノベーション、ファインケミカル、半導体用フォトレジスト、テクノロジー複雑化、マーケット複雑化、共同研究開発

JEL classification: L1, L2, L6

RIETI ディスカッション・ペーパーは、専門論文の形式でまとめられた研究成果を公開し、活発な議論を喚起することを目的としています。論文に述べられている見解は執筆者個人の責任で発表するものであり、(独)経済産業研究所としての見解を示すものではありません。

\* 本稿は、(独)経済産業研究所におけるプロジェクト「半導体産業に関するイノベーションプロセスの調査・研究—電子顕微鏡・レジスト・パッケージング技術に関するケーススタディ分析」の一環として執筆されたものである。

## テクノロジーとマーケットの複雑性に挑む JSR: その大いなる変貌要因を探る

一橋大学イノベーション研究センター 中馬宏之

### 1. はじめに

JSR という会社は、“プロが気にする卓越した世界的素材メーカー”である。私のような日本の製造業の生成・発展プロセスに興味を持つ社会学者にとって興味深い点は、同社の世界市場における競争力(含む市場シェア等によって示されるプレゼンス)が、テクノロジーとマーケットの複雑性が急増するにつれて急速に高まってきているという興味深い事実である。

日本の企業には、製造業・非製造業にかかわらず、テクノロジーやマーケットの複雑性のレベルがある限界値を超えると急速に競争力を失っていくところが少なくない。ところが、JSR はこのようなステレオタイプな日本企業観を超越した企業と見なすことができ、その意味でも日本企業が 21 世紀にさらなる有意義な世界貢献をしていく際に目指すべきプロトタイプ(原型)の一つを提示してくれている。

テクノロジーやマーケットの複雑性が急増する状況では、知識の創造・融合に従事する人々とそれらの応用・実践に従事する人々とは専門・分化していく傾向が避けられない。創造・融合や応用・実践のために必要な知識の幅と深さが、どちらも特定個人・部門・組織のスタンド・アロン(外部との無接続)状態における情報処理能力限界を頻繁に飛び越えはじめるためである。そして、創造・融合される知識の専門性や複雑性が高まるにつれ、それらを応用・実践するための知識を獲得することの難しさが急増していく。

事実、創造・融合された知識の蓄積量がある限界値を超えると、それらが追加的に増えていく速度に比べ、それらを組み合わせて応用・実践するための知識が遙かに早い速度で増えていく(Mattick and Gagen (2005))。しかも、二つのタイプの知識が蓄積されていく速度は、二つの知識の間でのオープンで緊密な相互交流を素早く実現するための社会的な仕組みによって大きく影響される。

このような社会的な仕組みの重要性を示す事例は、世界史的な脈絡の中でも少なからず見いだすことができる。例えば、Mokyr (2002)によれば、イギリスで18世紀後半に始まった第一次産業革命において、その礎を成す創造・融合された知識(“ $\Omega$  (オメガ)知識”)の多くは、必ずしもイギリス発ではなかった。ただし、当時のイギリスには、他のヨーロッパ諸国に比べ、 $\Omega$ 知識を応用・実践するための知識(“ $\lambda$  (ラムダ)知識”)を広範囲に、しかも素早く吸収・生成する社会的な仕組みが備わっていた。<sup>1</sup> そして、そういう仕組みは、17世紀に花開いた“科学革命”(Shapin (1998))に誘発された $\Omega$ ・ $\lambda$ 知識の比類のないオープン化の賜物(たまもの)だったという。

上記のオープン化の流れは、1990年代後半以降、歴史上類例のない速さで実現されつつある。「人」を含むあらゆる情報媒体間の広範囲なネットワーク化・常時接続化により、即時処理によ

<sup>1</sup> Mokyr (2002)は、 $\Omega$ 知識を Propositional Knowledge (命題型あるいは定理型知識)、 $\lambda$ 知識を Prescriptive Knowledge (処方箋型あるいは実用型知識)と定義している。

る情報伝達、ジャストインタイムでの情報利用、分析視点のズームイン・ズームアウト(拡大・縮小)が自在な情報活用、それらの有効活用によって可能となる幅広く深い情報共有が実現しつつあるためである。そして、そのような環境下でオープン化した $\Omega \cdot \lambda$ 知識が、人・組織・国境を越えて相互かつ頻繁に影響しあい、新たな $\Omega \cdot \lambda$ 知識を“自己再帰的”に生み出す速度を倍加させつつある(Giddens (1990))。

このような新しい時代の流れの中で、JSR は、まるで急増するテクノロジーとマーケットの複雑性を順風とするかのように、“サイエンス・イノベーション”(市場を通じて社会生活に変革をもたらすサイエンス上の創造的な発明・発見・改良)を生み出す事前・事後の確率を高めてきている。本論文の目的は、このような JSR の“サイエンス・イノベーション”を生み出す原動力を、同社の事業・組織経営上の独創性という視点から探ることである。その基礎となっているのは、筆者が2002年から2007年の長期にわたって実施した実地調査である。<sup>2</sup>

この調査は、JSR の日本・米国・欧州・韓国・台湾にまたがる研究・開発・プロセス・品質保証技術・製造・人事の拠点に対して行われた。調査の範囲は、電子・ディスプレイ材料系から石油化学系にわたっている。ただし、大部分の調査は、日本の半導体産業に関する筆者の長年の研究との一貫性を保つために、JSR の非石油化学系の三本柱(電子材料系、ディスプレイ材料系、光学材料系)の中の電子材料系、中でも半導体用フォトレジスト(以下レジストと呼ぶ)事業に対して行われた。したがって、本論でも、半導体用レジスト事業の発展プロセスとその要因に焦点を当てながら、上記の原動力を探りたい。

JSR にとっての半導体用レジスト事業は、80年代後半以降、合成ゴムを主体とする石油化学の会社から、同事業で培った高分子合成、構造解析、物性・機能評価技術を基盤にして、電子・ディスプレイ・光学材料を主体とするファインケミカルの会社に大きく変貌を遂げて行った際の中核事業であった。そして、会社設立50年を迎えた現時点でも、その位置付けには少しの揺るぎもない。この点は、同社経営トップ層に半導体レジスト事業の出身者が多数含まれていることや、研究開発リソースの大半が同事業部門を含む「多角化事業」に注がれていることなどに端的に示されている。<sup>3</sup> したがって、同事業部門に焦点を当てることは、JSR が石油化学系の事業会社から石油化学とファインケミカルの両輪を操る事業会社へと変貌を遂げ得た本質的な諸要因を探り当てる上で極めて重要だと思われる。

## 2. 合成ゴムからファインケミカルへ：大いなる変貌

JSR(旧日本合成ゴム(株))は、1957年に「合成ゴム製造事業特別措置法」によって国策会社として通商産業省(当時)主導により設立された極めてユニークな生い立ちを持つ。詳細は本巻の緒章に明確に述べられているが、設立当初の資本金は6億2500万円、従業員16名であった。

<sup>2</sup> 聞き取りの対象者は、これらの拠点に勤務しておられる延べ70名を越える方々である。この場をお借りして、お忙しい中に御協力を頂いた皆様方に深く御礼申し上げたい。なお、調査は、分析上の中立性を可能な限り確保するため、すべて外部からの研究支援(その多くは経済産業研究所からの支援)を受けた。なお、本稿に残されているすべての誤謬は筆者の責に帰する。

<sup>3</sup> 2007年3月期の有価証券報告書によれば、全社研究開発費の80%弱が多角化事業(電子・ディスプレイ・光学・機能性材料)に注がれている。

その後、1969年に民間会社に移行(資本金 35 億円)、1971年に東京・大阪両証券取引所に一部上場(資本金43億円)している。<sup>4</sup> 現状では、資本金233億円、連結従業員数4693名(2007年3月末)の大会社となっている。

JSR が“多角化事業”と呼ぶ非石油化学系事業は、主に電子・ディスプレイ・光学材料事業の“三本の矢”によって構成されている。第一矢は1979年に放たれた電子材料事業(ネガレジスト販売開始)であり、その後82年の第二矢=光学材料事業(光ファイバー・コーティング材販売開始)、88年の第三矢=ディスプレイ材料事業(液晶用配向膜販売開始)と続き現在に至っている。もちろん、各々の事業の量産開始に際しては、それらの時点より遙か前から先行して地道な研究開発活動が行われた。

電子・ディスプレイ・光学の三つの材料からなる多角化系事業の総売上比率は、2008年3月末で45%(連結ベース)にまで達している。この比率は、1991年3月末時点では、未だ8%(同)に留まっていた。その後、図1に示されているように、93年3月末以降ほぼ直線的に急上昇し、1995年3月末で14.5%、2000年3月末で24.0%、そして2005年3月末には40.1%にまで増大してきた。

JSR の売上高(連結ベース)も、図1に示されているように、2001(決算)年度から急激かつ一直線に増大している。しかも、このような売上高の動きとほぼ並行して営業利益率が急上昇し、2004年度以降は15%台という日本の大企業としては例外的に高い水準を達成し続けている。また、このような好業績を先取りするかのように、同社の株価も98年11月の580円(12ヶ月移動平均値)からほぼ一貫して急上昇し、2006年11月にはその5倍超の3068円(同)という高値を達成した。

図1によれば、このような好業績の原動力が、電子・ディスプレイ・光学材料の三本の矢からなる多角化事業売上高の急成長によってもたらされたものであることが歴然である。しかも、多角化事業の急成長が、現在でも総売上高の過半をしめる石油化学事業売上高の緩やかかつ一貫した成長と共に達成されている。言い換えれば、合成ゴムからファインケミカルへの“華麗なる変貌”プロセスが、合成ゴム・エマルジョン・合成樹脂等の石油化学事業にしっかりと下支えされながら実行されてきた。

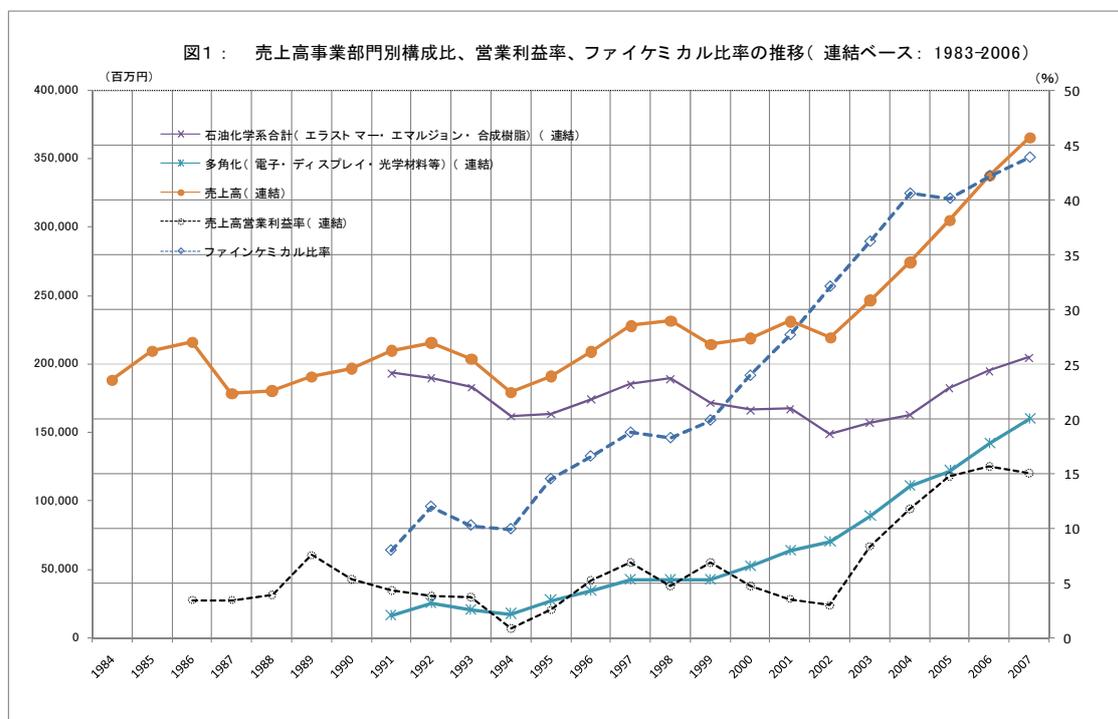
電子・ディスプレイ・光学材料事業の各々の発展プロセスを見ると、まず電子材料事業が80年初頭から90年代半ばに至る日本の半導体産業の急速な発展と共に、他の二事業を大幅に上回る形で急成長している。ただし、96年における汎用 DRAM 価格の大暴落を起点にして、同社の電子材料事業売上高が一転して2000年度まで数年間停滞する。日本の半導体メーカーが、この時期から急速に世界市場における競争力を弱化させていったためである。

ところが、このような電子材料事業の停滞は、第2矢の光学材料事業と第3矢のディスプレイ事業売上高の急速な成長によって補われることになった。特に、96年度以降における TFT 液晶市場の急激な発展の波に乗り急成長を遂げた(特に着色レジスト、配向膜、感光性スペーサー等の)ディスプレイ事業による貢献は絶大であった。加えて、2000年度以降、それまで日本の半導体メーカーに歩調を合わせるかのように停滞していた電子材料(特に半導体用レジスト)事業が、90年代

---

<sup>4</sup> 第二部上場は1970年。

初頭から開始された米国・欧州への直接投資戦略の成果が大きな実を結び、ディスプレイ事業に勝るとも劣らない形で急速な成長を遂げはじめた。



出典：JSRの各年度有価証券報告書

### 3. 大いなるプロセスにおける事業・組織経営戦略

#### 3.1 Something New に固執する社風

JSRの電子材料部門の調査を重ねるにつれて、いくつかの興味深い事実に出会った。中でも印象的だったことは、製品開発に際し、半導体レジストの職場であるか否かにかかわらず、一味異なった有機化学的な意味でのSomething Newな“ひねり”が導入されているという点である。しかも、それらの“ひねり”を編み出すことが、国内外における研究・開発・技術・量産等々の職場で多くの担当者達によって意図的に試みられているようであり、社風のレベルに達しているかのようであった。

このような得難い社風の萌芽は、半導体レジスト分野に関しても顕著に観察される。事実、既存の環化ゴム系レジストと使用方法がやや異なっていた等の理由で市場的な成功には至らなかったとのことであるが、合成ゴムメーカーとしてのJSRの世界的な発明品である環化(ポリ)ブタジエンゴム(CBR)を使った1970年代のネガレジスト開発のSomething Newの度合いはとて高い。<sup>5</sup>

さらに、当時マーケットで支配的であった環化イソプレン(CIR)ゴムを使ったネガレジスト<sup>6</sup>に関しても、新種のポリイソプレンを独自の合成プロセスに基づいたラインで自ら製造し、当時一般的で

<sup>5</sup> 米国特許 3948667、申請:1974、登録:1976。同特許は、「同社のポリブタジエンを使用したネガ型レジストは従来型の環化ゴムを使ったものに比べ10倍以上感光性が高い」としている。

<sup>6</sup> 米国特許 4294908、申請:1980、登録 1981。

あったコンタクト・アライナー<sup>7</sup>に不可欠とされていたスティッキング性の良さ(剥がれやすさ)や熱への強さ(熱耐性)で同業他社に先んじていた。<sup>8</sup>

上記の(高分子)合成・解析と“(配合)評価”<sup>9</sup>に優れた技術力を持つ同社の強みは、市場参入が比較の後発であった(回路基板とウェハの間に一定距離を置く)投影露光のためのi線レジストにもその片鱗を見いだすことができる。<sup>10</sup> ちなみに、“(配合)評価”とは、ユーザーとしての半導体デバイスメーカーが適用するプロセス技術にレジストの物性・機能・性能を適切に合わせ込む等の一連の技術ソリューションを開発・量産段階で提供することを意味する。事実、同社のi線レジストは、解像性(回路基板に忠実な矩形の切れる度合い)に特に優れていたという。

高解像度の実現に貢献したのが、アルカリ溶解速度(レジストが光を受けてアルカリ性の溶剤に溶けていく速さ)に優れた分子量(分子の大きさ)、分子量分布(分子量の散らばり具合)や分子内構造(分子内・分子間の配座・配向など)を持ったノボラック樹脂・感光剤(NQD<sup>11</sup>化合物)の独自合成、当時業界初の試みだったと言われる添加剤によって光化学反応のコントロール性を向上させる試みなどであった。その際には、合成ゴムで培われたJSR特有の高分子合成技術の賜物だったと思われるが、樹脂・感光剤の3次元構造の決定やアルカリ溶解速度のモニターのための高度な測定技術が、同業他社に比べて早くから使われたという。<sup>12</sup>

これらの点に関して、当時の日立中央研究所においてDRAMプロセスの研究・開発で主導的な役割を果たしておられたH氏(主管研究員)の印象は誠に興味深い。

「JSRがレジスト材料分野に入りはじめた頃に、お付き合いをさせていただきました。有機化学技術の面で(同業他社の)一歩先を行っている会社だと感じました。日立中央研究所で微細化の進展に対応してネガレジストからポジレジストに移行するための検討を本格的にはじめた時期です。ただ、武蔵工場に技術移管する際には、他社製のレジストを採用することになったと記憶しています。JSRの強さは、本質的には有機化学に関する技術力の高さにあると理解しています。」<sup>13</sup>

### 3.2 米国・欧州市場への果敢な挑戦

JSRによるi線レジスト開発の成果は、同社開発エンジニア達の国境をまたいだ果敢な開発・マーケティング努力や彼らを不退職の覚悟でサポートした経営層により、米国・欧州市場に不連続的

<sup>7</sup> 回路基板とウェハを密着させたままで転写する形の密着型露光装置のことである。

<sup>8</sup> ネガ型レジストを最初に半導体デバイスのために活用するアイデアを提示したのは、半導体発明者として名高い米国・ベル研究所時代のW. Shockleyである。ただし、ショックレーのアイデアに基づいて1957年に申請された米国特許は、米国ベル研究所でのショックレーの技術補助員(プロの商業デザイナー)であるJules Andrusが発明者となっている(Warner (2001))。

<sup>9</sup> フォーミュレーション(Formulation)とも呼ばれる。

<sup>10</sup> なお、JSRは、失敗には終わったが、g線(ポジ)レジストでも、当初の未だコンタクト・アライナーが数多く使われていた時に、ゴム系の新素材で新規参入を試みている。ここにも、同社特有の“ひねり”が感じられる。

<sup>11</sup> ナフトキノンジアジド(NaphtoQuinoneDiazide)。DNQ(ジアゾナフトキノン DiazoNaphtoQuinone)とも呼ばれる。

<sup>12</sup> これらに関連する論文は国際光工学会(SPIE)で発表され、半導体露光プロセスの定評ある教科書であるSheats and Smith (1998)やNishi and Doering (2000)でも高く評価されている。

<sup>13</sup> 筆者聞き取りに基づく。

に波及していく。具体的には、1990年～91年頃に米国・Motorola(現 Freescale Semiconductor)の当時世界でも最新鋭であった Austin 工場における本格採用が実現した。しかも、日米半導体協定下で Buy-American の強烈な風が吹いていた時代にも拘わらず、米国の有力競合レジストメーカーを置き換える形で排他的な採用を勝ち取ることとなった。

このようにして勝ち得た米国市場における JSR ブランドへの信頼感は、同社が90年代末以降の米国・欧州市場において破竹の大躍進を遂げていく際の大きな足掛かりとなって行った。幸運にも、前節で紹介した高解像度を誇るi線レジストが量産品として完成した直後の出来事である。

果敢な挑戦は欧州市場でも行われた。具体的には、1990年にベルギーの総合化学メーカーである UCB と合弁会社を設立し、g線・i線レジストの現地販売・製造を開始した。そして、この合弁会社設立を梃子(てこ)に、共同で米国市場での販路拡大のための拠点をも構築した。また、それよりも遡る1985、86年には、同じくベルギーにおいて DESIRE (Diffusion Enhanced Silylating Resist)と呼ばれる半導体プロセス技術に大規模な開発人材・資本投資を実施している。より具体的には、DESIRE プロセス実現に必要な三点セット(専用レジスト、シリレーション装置<sup>14</sup>、ドライ(現像溶液不要)現像装置)を独自に開発・販売しようとした。

DESIRE とは、当時の国際光工学会(SPIE)などで一躍注目されることになったベルギー・ルーベン大学内にある非営利の半導体研究開発研究所(IMEC)発の斬新な技術である。ただし、DESIRE プロジェクト自体は、ウェハ加工面を高度に平坦化する CMP (Chemical Mechanical Planarization) 技術やレジストへの転写性を高めるために導入される反射防止膜技術<sup>15</sup>などの急速な台頭もあり、本格量産に至らないままに終わった。ただし、米国・Texas Instruments では、16Mb・DRAM 量産用に一部使用された(Smith and Hanratty (1998, 607 頁))。

1980年代後半における DESIRE への JSR の果敢な人的・物的投資は、結果的には失敗した。ただし、同社のエンジニア達にとって、半導体プロセスの全体像を学習するための貴重な学習機会を提供した。DESIRE プロセスが、専用のレジストやシリレーション装置だけではなく、専用のドライ現像装置・プロセスの開発をも含むものであったことによる。また、DESIRE プロジェクトを通じて構築した上記 IMEC との緊密な関係は、JSR にとって、その後の米国・欧州市場での大躍進を支える際の得難い無形資産となった。盟友としての IMEC が、2000年以降世界のトップに躍り出たオランダの旧フィリップス系半導体露光装置メーカー・ASML との排他的アライアンスを梃子に、90年代末期以降に世界的な半導体プロセスの研究開発拠点と変貌したことによる。

上記の点に関し、90～91年という時期が、奇しくも日本の半導体メーカーが世界で最も輝いていた時代の末期、米国メーカーにとっては過去の栄光が再復活する直前の時期に重なっていたという事実は実に興味深い。そのような状況下、国策会社としての出自を持つ独立系メーカーとしての JSR は、その独立系というハンディキャップにより、日立や NEC 等の強力な系列半導体メーカーを有する国内同業他社に比べ、大きなビジネス上のリスクを覚悟して果敢に米国・欧州市場に

<sup>14</sup> シリル化(レジストの一部に Si(ケイ素)を付けること)を行うための装置。詳しくは、Smith and Hanratty (1998), pp. 597-603 を参照されたい。

<sup>15</sup> 反射防止膜には、レジスト層の上面用(TARC = Top Antireflective Coating)と下面用(BARC = Bottom Antireflective Coating)とがある。

参入する強い動機があった。

事実、ネガレジストやg線レジストでは、日立製作所と緊密な関係にあった東京応化工業 (TOK) が、レジストの覇者 (JSR は2番手) として圧倒的な国内市場シェアを確保していた。また、i線レジストについても、当初は TOK がトップ (JSR は2番手) であったが、最終的な覇者は NEC との緊密な関係にあった住友化学であった。このような意味で、i線レジストまでの時代は、JSR にとって、どちらかと言えば苦難が続いていた。

### 3.3 世界への飛躍を育んだ日本市場

JSR にとって、i線レジスト事業は、前述したように世界に飛躍する契機となった。そのマクロ経済的背景には、日本の半導体産業が独自の最先端微細化技術を駆使して最も輝いていた80年代前半から90年代前半までの時代が大きく影響している。実際、表1に示されているように、日立・東芝・NEC・富士通・三菱電機に代表される日本の有力半導体メーカーは、開発段階を迎えた最先端 DRAM の発表の場であった国際半導体集積回路技術学会 (ISSCC) 等において、上記の時代に圧倒的な存在感を示していた。

表1: 国際半導体集積回路技術学会における日本の半導体メーカーのプレゼンス

DRAM-サイズ (Bit)	1K	4K	16K	64K	256K	1M	4M	16M	64M	256M	1G
ISSCC, JSSC, VLSICでの発表	1970	1972	1976	1978	1980	1984	1986	1988	1991	1993	1995
発表メーカー	イン テル	イン テル	イン テル, 日立	モステッ ク, NEC, NTT, シーメン	NEC, NTT	日立, NEC, NTT	NEC, TI, 東芝	日立, 松下, 東芝	日立	日立, 松下, 三菱, 東芝	日立, NEC
量産開始年	1971	1975	1977	1980	1983	1986	1989	1991	1994	1997	2004

出典: Chuma and Hashimoto (2008)

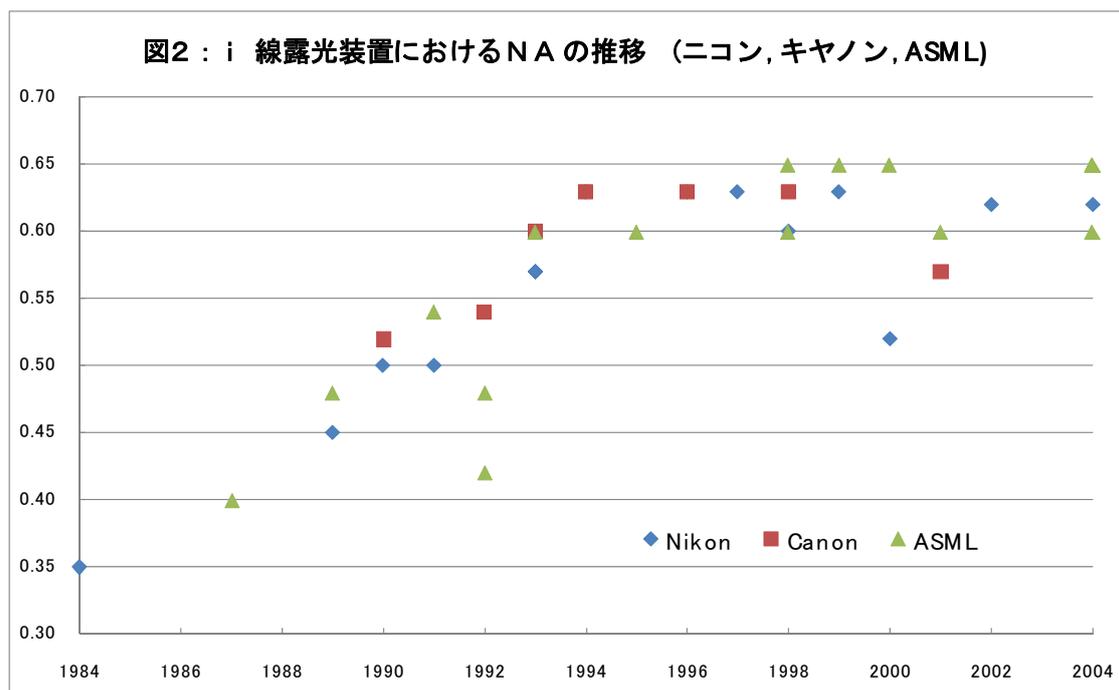
このような日本の半導体産業の隆盛と共に、国内半導体レジスト市場においては、一時期10社を優に超える様々な規模・業態の化学メーカーが、有力デバイスメーカー各社の独自の回路パターンに自社製レジストを木目(きめ)細かく合わせ込む形の激しい競争を繰り広げた。

当時の競争の激しさは、80年代後半から90年代半ばまで続いたステッパーと呼ばれる半導体露光装置のi線用投影レンズに関するNA(開口数)<sup>16</sup>の急速な増大状況からも間接的にうかがい知ることができる(図2参照)。投影レンズのNAが増大すれば、その都度、ふさわしいレジストを、(樹脂・感光剤・添加剤・アルカリ溶剤などから成る)レジスト組成や現像液の膨大な数の組合せパターンの中から、コストパフォーマンスを考慮しながら新たに探り当てる作業が必要となる。したがって、NAの増大傾向が急であればあるほど、新たなビジネスチャンスが次々に生み出され、レジスト

<sup>16</sup> Numerical Aperture. レンズの集光度の大きさを示す指標。

メーカー間の競争が激しくなる。

他方、半導体メーカーにとっては、自社の特定ラインで製造される特定デバイスに適切な組成の安価なレジストや現像液を獲得できればできるほど、一定面積のウェハからより多くの良品を安定的かつ安価に生産できるようになる。そのため、レジストメーカーに対して様々な要求をする誘因がとて高い。なお、このようなレジストメーカーと半導体メーカーが一緒になってすり合わせを行う傾向は、1980年代末から96、7年位まで主流だったi線用レジストで特に顕著に見られたという。



出典：Chuma (2006)

当時のレジスト研究開発者達によれば、このような半導体デバイス・レジストメーカー間の頻繁なすり合わせ作業の結果、i線レジストは“芸術品”とも呼べるレベルの製品に仕上がっていった。実際、感度、解像度、残膜率(溶解抑制能)、耐熱性等の要求を総合的に実現するために、ノボラック樹脂の分子量、その原料となる異性体の混合比、分子量分布や露光前・露光後のノボラック樹脂とNQD(化合物)との立体的な相互依存関係等々に至るまで様々な試みが実行された(岡崎・鈴木・上野(2003、234～240頁))。

JSRのi線レジストの“芸術品”としての威力が米国市場や欧州市場で大いに活かされることになった背景には、このような厳しい競争環境下で培われた高度な合成・(配合)評価技術の蓄積があった。この点は、日本の有力半導体メーカーによって培われた最先端のプロセス技術が、数々の半導体製造装置に組み込まれていく形で世界の半導体メーカーに伝播していった様子にも酷似している。

### 3.4 g線・i線レジスト開発競争の“スタンド・アロン性”

それでは、JSR の大いなる変貌は、i線レジストに示された高度な合成・(配合)評価技術を携えて、米国市場や欧州市場への進出を果敢に図った同社ビジネス戦略の賜物と言い切れるだろうか？おそらく、言い切れないであろう。

もちろん。これらの二つの要因が、同社が急速に発展するための重要な契機を提供してくれたことはまぎれもない事実である。ところが、この二つの要因だけでは、その後半導体産業においてテクノロジーとマーケットの複雑性が桁違いのレベルで急増大していく状況の中で、“サイエンス・イノベーション”を生み出す事前・事後の確率を素早く高めていくことは到底できなかったはずである。それでは、追加的にどのような変貌要因を新たに指摘できるだろうか？

新たな変貌要因を探る際の一つのヒントは、g線・i線レジストに共通に見られる興味深い技術的な特徴に隠されていると思われる。良く知られているように、g線・i線レジストは、基本的には、高分子<sup>17</sup>としてのノボラック樹脂に感光剤である NQD(化合物)が混合された組成物である。そして、日本で熾烈なi線レジスト開発競争が繰り上げられた時期において、ノボラック樹脂と NQD(化合物)の基本構造に関する知識(前述のΩ知識)は国内外で極めてオープンになっていた。

事実、ノボラック樹脂は、ベルギー生まれでドイツ・ゲント大学卒業後に米国に渡った Leo H. Baekeland が遙か昔の1900年代に発明・命名したものである。<sup>18</sup> また、NQD(化合物)の発明も、ドイツ・Hoechst の米国100%子会社である Azoplate によって1962年に特許登録(1955年に出願)されている。その原特許に至っては、ドイツ特許庁に1953年に登録(後年 Hoechst に吸収されたドイツ・Kalle によって1941年に出願<sup>19</sup>)されている。そして、これらの発明の成果は、g線用のノボラック・NQD 系レジストでは、オリジナルな発明品にほとんど手を加えることなく用いられた(岡崎・鈴木・上野(2003、234頁))。言い換えれば、ノボラック樹脂や NQD(化合物)は、当時既に汎用製品(commodity)化していた。

このような状況を反映し、g線・i線レジストでは、commodity としてのノボラック樹脂や NQD(化合物)に関する改良的な研究・開発・量産競争が一般的であった。もちろん、後者のi線レジストは、熾烈な(前述の)λ知識に関する獲得競争の結果、芸術品のレベルにまで高められた。ただし、90年代後半から量産適用が始まる後述の DUV(Deep Ultra Violet:深紫外線)光源用レジストに比べると、依然として改良的なものであった。そのため、レジストメーカーにとって、デバイスメーカーとはある程度の距離を保ちつつ自社内で閉じた形(冒頭の表現を使えば“スタンド・アロン状態”)で研究・開発成果や量産品の評価を行うことができた。<sup>20</sup> この点は、g線・i線レジストについて、レジ

<sup>17</sup> 俊英の JSR 化学者によれば、90年代後半に量産導入される DUV(深紫外)フォトレジストに比べると、ノボラック樹脂/NQD(化合物)は、モノマー(単量体)とポリマー(高分子)との中間体であるオリゴマー(低重合体)のレベルだという。

<sup>18</sup> Baekeland は、このノボラック樹脂(Novo=新しい、lac=樹脂の意味)のさらなる検討の末、プラスチックの元祖と言われるベークライトを発明(1907年)するに至った。なお、Baekeland は、写真用印画紙の製品名であるベロックス(Velox)を発明し Eastman-Kodak 社に譲渡することによって巨万の富を築いたことでも有名である(<http://www.chemheritage.org/classroom/chemach/plastics/baekeland.html>)。

<sup>19</sup> NQD(化合物)の発明者・Oskar Süss については、岡崎・鈴木・上野(2003、270~273頁)が詳しい。

<sup>20</sup> このような状況は、自社のプロセス技術の流出に関して特に敏感なため“レジストの良し悪し”に関する情報提供だけに留めがちであった日本の半導体メーカーにも好都合であったと思われる。

ストメーカーと大学などの研究専門機関との本格的な共同研究があまり見られなかったという事実にも現れている。<sup>21</sup>

その結果、自社内に高度な高分子合成技術やそれらの物性・機能に関する適切な解析・評価技術を蓄積していた各種の化学メーカーにとって、日本の半導体産業の発展と共に急拡大していくと予想されたレジスト市場に新規に参入することは比較的容易だった。実際、1980年代後半には、日本の大手有力化学メーカーによるg線・i線レジスト市場への活発な参入が相次いでいる。その状況は、“市場はまさに戦国時代”の様相を呈したという(『化学工業日報』、1988年11月19日)。ただし、この時期に参入したメーカーの多くが、その後、DUV レジストの開発・量産競争が本格化するにつれて市場から退出することになった

また、レジスト・ベンチャー企業の雄である米国・Shipley は、上記 Azoplate で1950年以来製造されていたレジスト(ノボラック樹脂/NQD(化合物))原液を購入し、それらを半導体メーカー用にチューニングして販売するタイプの“(配合)評価(formulation)”特化型メーカーとしてその名声を築いた(『Chemical Weeks』、1983年4月20日)。ただし、Shipley も、i線レジスト時代の幕開けと共に1982年にはファインケミカルの大企業である米国 Rohm & Haas の傘下に入り、DUV 時代の到来が間近に迫ってきた92年には同社の半導体用レジスト部門として完全統合されることとなった。同一企業内に高度な(配合)評価技術に加えて高度な合成技術を併せて保有することの事業経営上のメリットが急増してきたためだと思われる。<sup>22</sup>

さらに、特定の半導体メーカーとの系列関係を全く持たなかった独立系のJSRが、その卓越した高分子合成と(配合)評価の両方の技術を駆使し、合成ゴム事業の延長としてのネガレジスト事業のみならず、従来事業とはほとんど重ならないg線・i線レジスト事業でも大きなプレゼンスを示せるようになったという事実自体、上記の傾向の反映そのものであったとも言える。つまり、JSRにとっても、ネガ・g線・i線レジストの開発競争時代は、自らの卓越した合成技術、解析・評価、品質保証、量産の技術をかなりの程度までスタンド・アロンの形で発揮可能であったという意味で幸運な時代だった。

### 3.5 DUV 開発競争のネットワーク性：テクノロジー複雑化の帰結

JSRの競争力が一段と発揮されるようになるKrF(フッ化クリプトン)やArF(フッ化アルゴン)のレーザー光源に対応したDUVレジストの場合、g線・i線レジストのプラットフォーム(共通の開発基盤)樹脂であるノボラック樹脂/NQD(化合物)に相当するものがもはや存在しなくなった。また、KrFではg線やi線に比べウェハへの照射量が大きく減少したため、レジスト自体の露光感度を大きく向上させる必要が生じた。そのため、“化学増幅型”<sup>23</sup>と呼ばれる従来とは大幅に異なる感光原理に

<sup>21</sup> JSR 内でのサイエンティスト・エンジニア達への聞き取りに基づく。

<sup>22</sup> Shipley の社名は、2000年代はじめまで使われていた。

<sup>23</sup> KrF の場合、プラットフォーム“樹脂”とは、通常、アルカリ水溶液に可溶性幹ポリマー(主鎖を提供する高分子)としての(ポリ)ヒドロキシステレンとそれを不可溶にするために保護基(protecting group)が付加された形の複雑な高分子化合物をさす。この保護基には、弱酸との反応性が高いものが選択される。このような“樹脂”に光酸発生剤=PAG(光が当たると酸が発生する高分子化合物)を加えておくと、PAGの触媒機能によって幹ポリマーに付加された保護基を外す連鎖的な化学反応(酸触媒脱保護反応)が起き、その結果、“樹脂”の光が当たった部分がアルカ

に基づいたレジスト・プロセス(レジストの塗布・露光・現像に関連する一連の処理・加工プロセス)の量産導入が不可欠となった(Ito(2005)、p.46-47)。

その結果、プラットフォーム樹脂そのものが、半導体デバイスメーカー自身によって新規に探索・設計(含む合成)・開発されなければならなくなってきた。つまり、DUV 時代になると、レジストに関する特定のアーキテクチャ(設計思想)に基づいた発見・発明・改良競争に加えて、アーキテクチャ自体の探索競争すらも、有力半導体デバイスメーカーとレジストメーカーを巻き込んだ形で行われなければならなくなってきた。

実際、化学増幅型レジストは、1980年代初頭における IBM 発の極めて斬新な技術である(Ito, Willson, and Fréchet (1982))。また、その後の KrF レジストや ArF レジストのプラットフォームの多くが、IBM、NEC、富士通、松下、東芝といった半導体デバイスメーカーによって生み出されてきている(Allen, Conley and Kunz (1997), Ueno (1998))。<sup>24</sup> 加えて、DUV レジストでは、g線・i線レジストとは異なり、多様なプラットフォーム樹脂が量産段階でも併存する(“プラットフォーム樹脂の多様化”)状況となった。そして、後述するように、このような状況が、JSR が DUV 時代において急浮揚する順風となっていく。

他方、KrF 以降の時代になると、有力半導体デバイスメーカーですらも、自前でプラットフォーム樹脂の探索・設計・開発を的確かつ迅速に行うことが難しくなってきた。このような傾向は、2000年以降に回路の線幅が 130nm(nm は百万分の1mm)を下回るほどの微細化が進展するにつれてより顕著になってきた。半導体デバイス自体やそれらを造り込むためのプロセス技術上の複雑性が増大するに伴い、レジストの構造・組成・特性や酸触媒脱保護反応(脚注23参照)に象徴されるレジスト・プロセス自体の複雑化が不連続的に進み、研究開発上の考察の系(幅と深さ)が不連続的かつ急速に増大したためである。そのため、プラットフォーム樹脂の探索・設計・開発を行うために半導体デバイスメーカーが負担しなければならないリスクやコストが、事業経営上も無視できないほどに大きくなった。

その結果、KrF 光源を用いた半導体露光装置が量産で使われ始める90年代後半以降になると、半導体デバイスメーカーの多くは、上記の研究・開発上の大きなリスクやコストを避けるために、プラットフォーム樹脂の探索・設計・開発を自前で行うことを次々に断念しはじめた。<sup>25</sup> 代わりに、量産(スケールアップ)段階のみならず探索・設計・開発の段階でも、高分子合成技術やそれらの物性・機能に関する解析・評価技術に優れたレジストメーカーとの緊密な協調を望むようになった。

<sup>26</sup> そして、JSR は、このような緊密な企業間ネットワークの構築に際しても、高分子合成に優れた会社としての過去の栄光によってもたらされた大きな恩恵に浴した。

リ可溶になる。このような酸触媒脱保護反応を利用したフォトレジスが、“化学増幅型”と呼ばれる。化学増幅型レジストの進化プロセスについては、その発明者として世界的に名高い Ito(2005)に詳しい。

<sup>24</sup> これらの有力半導体デバイスメーカーは、トータル・プロセスの視点から最も深くレジストに要求される機能を理解できるし、自社内外の豊富な資金力やトータルなプロセス開発力によって最先端の半導体露光装置や検査装置等に最も速くアクセス可能であるためである。

<sup>25</sup> 実際、現状において、レジスト分野の基礎・応用研究にまたがって100名を越える豊富な研究開発人材を保持しているのは米国 IBM のみだとも言われている。

<sup>26</sup> 事実、DUV 用レジストが一般化してきた2000年以降、レジストメーカーの合成・(配合)評価担当者が半導体デバイスメーカーの研究開発者と一緒になって開発する“オンサイト開発”も希ではなくなっている。

事実、JSR は、日米半導体協定(1986-1995年)の特殊事情下で発足した IBM・Siemens (現 Infineon)・東芝の三社による256Mb(メガビット)DRAM 開発(いわゆる“TRIADプロジェクト”)に関わる幸運を得た。世界の汎用 DRAM 市場を席卷した東芝製1Mb・DRAMを縁(えにし)にして、JSR-東芝の継続的な関係が深まっていたからである。この TRIAD プロジェクトでは、回路線幅0.25ミクロンの KrF 露光プロセスが使用された。また、DUV時代の到来と重なる1996年以降、JSRと東芝との間に現在見られるような緊密な形での共同研究開発協力が始まった。

90年代後半以降 JSR にとって極めて貴重な学習機会を提供してくれることになる米国 IBM との交わりが始まった時期も TRIAD プロジェクトに重なっている。<sup>27</sup> そして、両社間の正式な共同研究が2000年に始まり、2007年末になると、さらに緊密な共同研究開発を推進するため、IBM・Almaden リサーチセンター(米国カリフォルニア州)内に同社の研究開発部隊を常駐させる共同研究契約を締結するに至る。

### 3.6 DUV 開発競争のネットワーク性：マーケット複雑化の帰結

半導体デバイスメーカーにとって、90年代後半以降、科学・技術上の難度のみならず事業・組織経営上の難度も大きく上昇した。難度上昇の主な要因は、Moore の法則<sup>28</sup>に象徴される急速な技術革新スピード、200mm工場(90年代後半以降に本格化)や300mm工場(2000年以降に本格化)建設に象徴される巨額の設備投資や研究開発投資、1年を遙かに越える長い量産工場立ち上げ期間、40~50日を要する長いデバイス製造期間、高価な設備使用費用や材料費、大きく乱高下する半導体需要の変動などである。

このような特徴を持つ巨大装置産業では、大きな固定費用が一端投入されると、それらのほとんどが埋没費用(当該プロジェクト・事業から撤退しても回収が不可能となってしまふ費用)になってしまう。その結果、“将来の頁をめくるまで何が起こるか分からない”という意味での不確実性がもたらす事業経営上のリスクが極めて大きくなる。

そのため、リアル・オプション(実物資産・柔軟選択権)理論の教えるように、このような巨大装置産業に属する経営陣にとって、マーケット動向を最後の最後まで見極めるために事業・組織戦略の決定・実行を先延ばしするリアル・オプション価値が相当に大きくなる(Dixit and Pindyck (1994))。意思決定を長期的に固定化する戦略よりも、将来の頁を慎重に一枚ずつめくりながら逐次決定していく戦略の便益が大きくなりがちなためである。<sup>29</sup>

ところが、半導体マーケットでは、半導体デバイスのライフサイクル短期化傾向や新しいデバ

<sup>27</sup> IBM は、1994年にRohm & Haas 傘下の Shipley と DUV 用レジストに関する共同研究開発協定を結んでいるが (Chemical Week (March 23, 1994))、JSR もその候補として最後の最後まで残ったという。

<sup>28</sup> Intel 創設者の一人 G. Moore によって提唱された「半導体の集積度が 2 年あるいは 3 年で 2 倍になっていく」という経験的な法則。

<sup>29</sup> もちろん、事業・組織戦略の立案・実行を先延ばしする余裕を生み出すためには、将来の頁がめくられた直後に既存の事業・組織戦略を速やかに改訂・実行できる組織能力(=事後柔軟性)を保持しておくことが不可欠である。そういう能力がなければ、先延ばしによる機会逸失コスト(opportunity costs)が大きいのしかかってくるからである。このような構図は、プロ野球の強打者(スラッガー)達が、桁違いに速い速度でバットを振ることができる能力(=事後柔軟性)を持つからこそ、投げられた球種・球筋を最後の最後まで見極める余裕(=事前柔軟性)を持つことができるといふことにほぼ相当している。

イスの急速な値下がり傾向(“生鮮食品化”)が著しい。しかも、それらの傾向が、ロジックとメモリーで共に顕著となってきた(Leachman, R. and S. Ding (2007))。そして、誠にアイロニカルであるが、半導体産業の発展によってもたらされた情報伝達の即時処理化、情報利用のジャストインタイム化、情報共有の広範囲化、その結果としてのマーケット・グローバル化等々によって、インターネット元年と言われる1994年を境にこのような傾向に一層の拍車がかかっていった。

そのため、半導体デバイスメーカーにとって、事業・組織戦略の立案・実行を先延ばしする上記の装置産業型の戦略は致命的なものとなってきた。その結果、大きなリアル・オプション延期価値を持つ巨大装置産業としての半導体産業にもかかわらず、“Speed-to-Market”(マーケット動向を迅速・正確に把握して的確な製品をジャストインタイムに市場投入すること)を事業・組織経営上の最重要課題としなければならなくなった。そして、このようなマーケットからの要請によっても、有力半導体デバイスメーカーとレジストメーカーが研究開発プロセスの初期段階から緊密な協調を行うことの必要性が増大した。

### 3.7 DUV 時代初期における JSR の試行錯誤

前述のように、DUV の時代になると、テクノロジーとマーケットの複雑性が急増してきたため、デバイス・メーカーとレジストメーカーの間で研究開発上のリスクやコストを分担するための緊密な協調関係が必要になった。<sup>30</sup> そして、まさにそのことにより、レジストメーカーにとって、自社内で開発した製品の良否を自社内で閉じた形で迅速かつ適切に評価ができる度合いが、g線・i線の時代に比べて急速に低下していった。

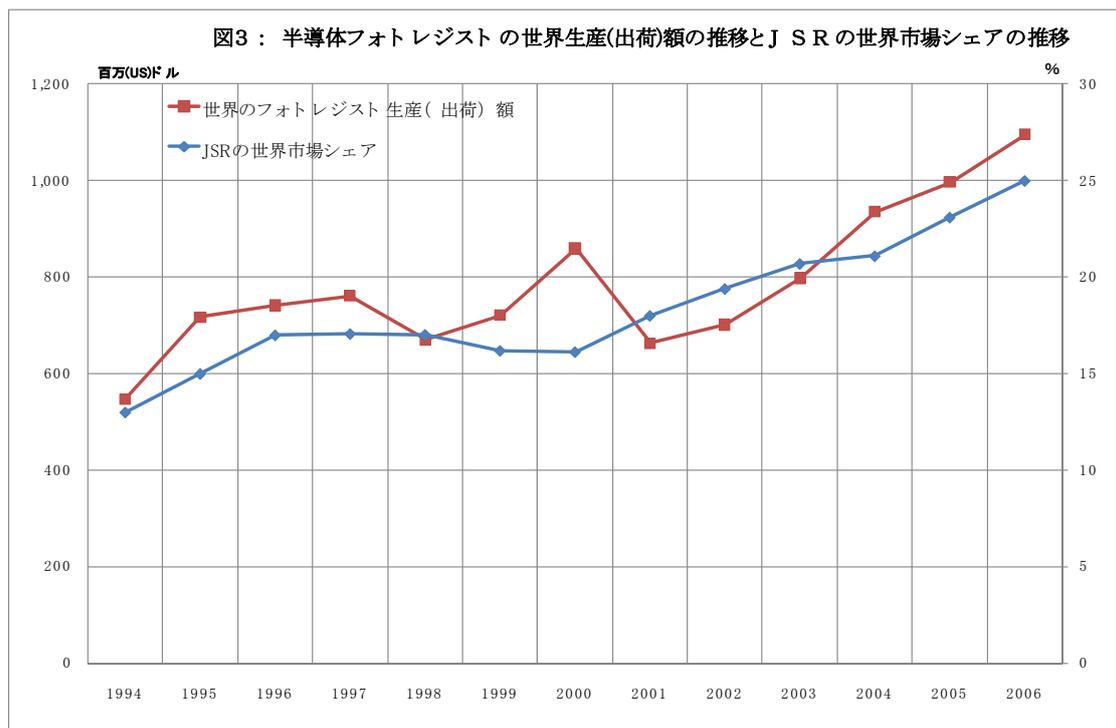
言い換えれば、半導体レジスト市場でも、スタンド・アロン状態におけるレジストメーカーの情報処理能力限界を頻繁に飛び越える競争の形態が一般的となってきた。JSR は、このような新しい市場環境にどのような事業・組織経営的な工夫によって自らの組織能力(特に事前・事後の柔軟性)を急速に高めることができたのであろうか。

まず、最初に言えることは、組織能力強化への道程(みちのり)は、少なくとも DUV 時代初期の同社の実績から見る限り平坦ではなかった。その様子は、世界のレジスト市場における JSR のシェアの動きに明白に現れている。事実、図3に示されているように、(ネガ、g線、i線、DUV レジストのすべての種類を含む)世界の半導体レジスト生産出荷高(ドル表示)は、1998年～2000年にかけて急増している。ところが、JSR の世界シェアは1996年～2000年にほぼ一定の17%台であり、この期間中にはわずかではあるが下降気味である。

レジストメーカー別の長期にわたる時系列データが利用できないので図3には示されていないが、この期間に世界の有力レジストメーカー上位8社の中で市場シェアを伸ばしているのは、前述した米国 Rohm & Haas 傘下の Shipley(97年:16.6%→00年:20.2%)と信越化学(98年:1.

<sup>30</sup> また、レジスト単価の値下がり速度も結構速く、その傾向は最先端製品ほど顕著である。例えば、*Chemical Weeks* に報告されているデータを追ってみると、98年7月時点での KrF 用レジスト単価は8,000ドル～10,000ドル(1ガロン=3.7853リットル当)と報告されているが、2001年9月には900ドル～1,500ドル(1ガロン当)に大幅に低下している。一方、i線用レジスト単価は96年11月時点で平均800ドル(1ガロン当)であるが、2001年9月時点でも500ドル(1ガロン当)と報告されており、ゆっくりとした低下傾向を示している。

6%→00:9.2%)の2社だけである。そして、この状況は、前述の Shipley が IBM との共同研究開発の成果である KrF レジストで先陣を切った事実<sup>31</sup>や信越化学が98年時点にはじめて(特に台湾・韓国の)レジスト市場にアセタール(acetal)系と呼ばれる解像度に優れた KrF レジストで新規参入した事実を如実に反映している。その結果、JSR の KrF レジスト市場への参入は、これらの2社を除く同業他社と同様に遅れてしまった。



出典：94年～99年(JSR提供資料)、その他の年次(『半導体材料データブック2006年版』(電子ジャーナル社)、“Business Wire”などのInternet資料)など

ところが、このような初期の DUV レジスト市場参入の後れによる JSR のハンディキャップは、その後急速に解消されていく。事実、JSR の世界市場シェアは、2000年を底に最近に至るまで一転して力強い上昇傾向を示すようになる(図3参照)。しかも、その勢いは、2007年以降においても衰えていない。そして、力強い上昇傾向には、回路線幅で0.11ミクロンを越えるプロセス・テクノロジーに対応した KrF レジスト市場での急速な伸張(理由は後述)と KrF の次の世代である ArF レジスト市場での圧倒的な強さが反映されている。

### 3.8 DUV 時代における JSR 急浮上の諸要因

JSR の市場シェアが2000年を出発点にして一貫した力強い上昇傾向を示すようになった背

<sup>31</sup> 前述したように、*Chemical Week* (March 23, 1994)は、Rohm and Haas 傘下の Shipley が、線幅0.35ミクロン以下を可能とする IBM 開発の DUV レジスト独占販売権を得ると共に、同最先端レジストに関する共同開発を開始する旨を報告している。

景には、当然のことであるが、同社の最先端 DUV レジストが、米国 IBM、東芝、ドイツ・Infineon（含む傘下 DRAM 専業の Qimonda）、伊仏・ST Microelectronics、米国 INTEL、韓国・Samsung といった世界の有力半導体メーカーによって次々に主採用となっていたことによる。ただし、このような華々しい実績の背後には、臨機応変な JSR 流事業・組織戦略の改変・改訂結果が反映されている。以下では、そのような状況を時代の流れに沿って検討してみたい。

#### A. 米国での果敢な開発型マーケティングと開発・量産体制確立

現時点から振り返って見た時に、同社にとって最も大きなターニングポイントとなったと思われるのは、93年7月に UCB との合弁会社 UCB-JSR Electronics SA（現 JSR Micro NV.）を100%子会社化し、その米国子会社である JSR Microelectronics, Inc.（現 JSR Micro Inc.）を拠点として95年前後に米国有力半導体メーカーからの DUV レジスト受注を狙って展開された開発型マーケティングだった。しかも、その際、国内最精鋭の開発エンジニア達を直接投入した。

そして、この時期以降、現会長（当時事業担当常務）自らによる米国有力半導体メーカーへのトップセールスをも開始されている。ただし、この時点では、今では笑い話だと思われるが、訪問した先々で“JSR Who?”といった白々しい質問が浴びせられることも希ではなかったという。<sup>32</sup>

加えて、1997年には、国内研究開発拠点（四日市）に先立って JSR Micro, Inc. に KrF 露光装置を導入、米国国内の有力なデバイス・装置・材料メーカー等から一線級の開発エンジニアやセールス担当者を採用するなどして、米国市場向けの本格的な開発サポート体制を整えている。しかも、JSR Micro, Inc. には、当初から採用人事や給与等を含む事業・組織経営上の自由度が保証されている点は注記に値する。

同じ1997年には、国内主力工場である四日市工場に勝るとも劣らない最先端レジストの製造能力を持つ工場を竣工、99年には KrF や ArF 用最先端レジストの量産開始に至っている。つまり、JSR が急浮上することになる直近の99年には、既に米国市場でも、本格的な開発・量産体制と有力デバイスメーカーに対する拠点サービス体制が整うに至っていた。

また、開発型マーケティングが実施された95年前後という時期も、歴史の皮肉とも言えるが、米欧市場に軸足を移しつつあった JSR にとっては大きな順風となった。というのは、95年から96年にかけて発生した汎用 DRAM 価格の大暴落が、日本の半導体メーカーが汎用 DRAM ビジネスから大挙して撤退する契機となり、その結果、日本勢による次世代の DUV 露光装置への量産展開が90年代末期までなかなか進まなくなったためである。

実際、国内有力半導体メーカーの多くが、90年代末期まで i 線露光装置を延命させる戦略を採り続けた。<sup>33</sup> そして、国内同業他社である有力レジストメーカーも、系列関係による有力デバイ

<sup>32</sup> 現社長への聞き取りによる。

<sup>33</sup> この点に関し、例えば、当時の日立は99年初頭にチップサイズが 38mm<sup>2</sup> と極めて小さな 64Mb・DRAM を発売した。チップサイズの小ささでは一目置かれていた当時のマイクロン製 64Mb・DRAM のチップ面積が 56 mm<sup>2</sup> であったので、その 68%という小ささであった。この製品には当時の日立の256Mbit（メガビット）用最先端技術が適用されたということであるが、露光装置として DUV ではなく i 線に位相シフトマスク法（露光波長以下での解像を実現するための特殊なマスクを使った露光方法）を適用する形で投入された。以上は、川本・松岡(1999)ならびに当時の日立関係者への筆者聞き取りによる。なお、日本の半導体メーカーの汎用 DRAM ビジネスの盛衰プロセスとその背景要

メーカーとの結び付きの強さもあり、大勢に従った。その結果、90年代後半になると、最先端のプロセス技術を使った微細化は、汎用 DRAM よりも遙かに複雑な回路パターンを多用する MPU (マイクロプロセッサ・ユニット)メーカーとしての INTEL、IBM、Motorola 等の米国勢によって日本メーカーより先に開発・量産適用される状態になってきた。

## B. 果敢な開発型マーケティングを支えた製品開発力

“JSR Who?”という状況下で果敢な開発型マーケティングを支えるには、まず十分な製品開発力に裏打ちされた優れたレジストを半導体デバイスメーカーに示し、自らの製品開発力の高さをアピールすることが不可欠である。この点に関し、90年代末から需要が急進した JSR の KrF レジストには、同社の卓越した製品開発力を背景としたいくつかの“売り”があった。

同社の KrF レジストの開発は1988年から始まっている。当初は、シリコン系に傾注していたという。<sup>34</sup> ただし、製品化に繋がったのは96年時点であり、その時点では世界シェア5%を確保している程度であった。当初の量産品は、上記シリコン系とは異なる高温バーク系と呼ばれるレジスト・プロセス中の環境要因変化に強いレジストであり、主に国内外の有力ロジックメーカー2社向けに販売された。<sup>35</sup>

そして、97年から98年にかけては、高温バーク系に加えて、高解像度を誇る前述のアセタール系と呼ばれるレジストをも DRAM メーカー向けに販売開始している。ただし、前者は当初 Shipley が独占販売していた ESCAP (Environmentally Stable Chemical Amplification Positive Resist) と呼ばれる IBM 発プロトタイプの後発改良版であり、後者は信越化学が満を持して投入したものであった。しかも、後者に関しては、信越化学を含む同業他社が既に当時の市場の70%を占めていた段階での参入であった。

このように後発の市場参入ながら、JSR 製の KrF レジストは、その後毎年5%ずつシェアを増やし、2000年頃には25%を超えるほどになった。それでは、どのような製品差別化戦略の下で同社の卓越した製品開発力が発揮されたのであろうか？ 差別化戦略の“売り”は、やはり前述した同社の社風とも呼べる Something New な“ひねり”であった。そして、この Something New な“ひねり”が、高温バーク系にもアセタール系にも加えられた。

ちなみに、半導体デバイスメーカーは、選定したレジストに合わせる形で量産用マスクを作成する。レジスト特性の一部でも変更すると、マスク設計、エッチング条件等々の広範囲にわたるプロセス条件の変更が不可避となるためである。<sup>36</sup> そのため、後発での市場参入には、先発品に比べて格段に大きな“売り”が不可欠である。

高温バーク系 KrF レジストへの“ひねり”は、IBM 発 ESCAP に習いつつ幹樹脂のヒドロキシル

---

因については Chuma and Hashimoto (2008)を参照されたい。

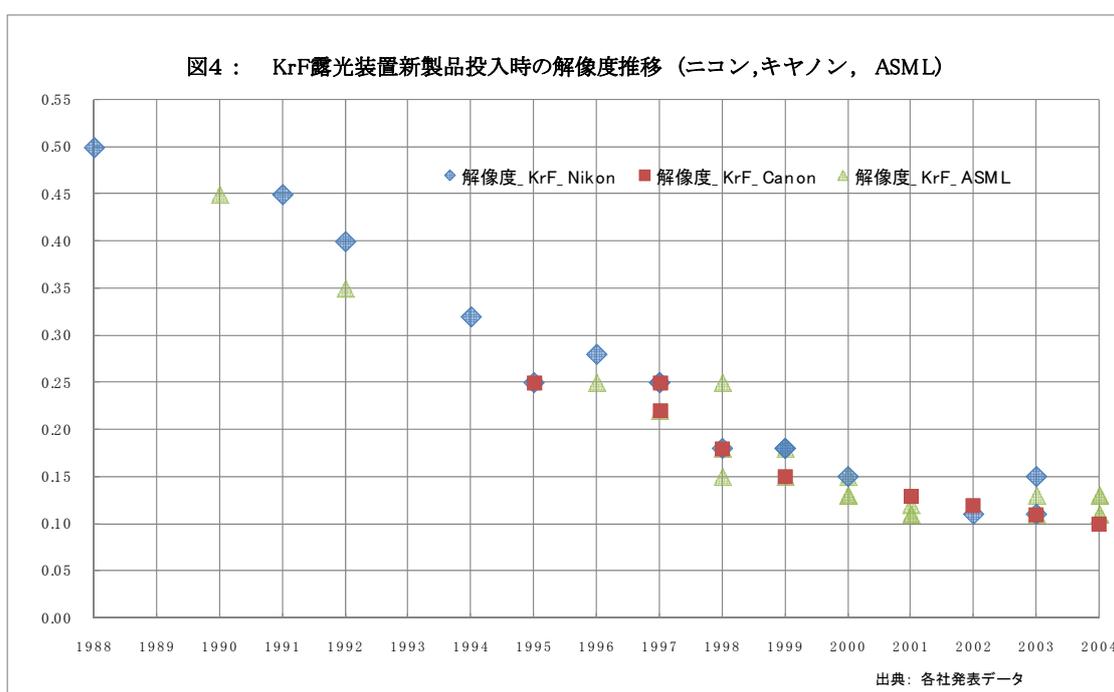
<sup>34</sup> なお、KrF 系レジストでは、骨格となるアルカリ溶液可能な樹脂としてポリヒドロキシルチレン (PHS) がほぼ例外なく使用されている。したがって、以下で何々系と呼ばれるものは、この PHS に保護基として付加された樹脂であることに注意されたい。

<sup>35</sup> 高温バーク系の前に、IBM 発の tBOC (t-ブトキシカルボニル) と呼ばれる低温バーク系レジストのライセンスも受けている。

<sup>36</sup> レジストの途中変更が全体のプロセス条件に変更をもたらす傾向は、最先端であればあるほど強まっている。

チレンに同社独自の保護基を付けることによりレジスト特性<sup>37</sup>に優れたプラットフォーム樹脂を97年に編み出しているという点である。<sup>38</sup> 加えて、同業他社中では極めて希であったが、化学増幅型レジストに不可欠な光酸発生剤(PAG)をもその合成プロセスの複雑さを克服して独自に自社開発し<sup>39</sup>、上記の独自プラットフォーム樹脂に適合させることに成功した。

さらに、当初シリコン系に傾注していたことにより、レジスト特性を向上させるためにアミン系の添加剤(Quencherと呼ばれる)を加えることに同業他社中ではかなり早く気づいたという。<sup>40</sup> JSRは、これらの工夫に基づいて、解像度やエッチング耐性などのレジスト特性に優れた KrF レジストの製品化を行った。同社の高分子合成技術の底力を垣間見させてくれる側面である。



上記のJSR流高温バーク系レジストの比較優位は、KrF露光装置が高いNA(開口数)の投影レンズを装備して0.11ミクロンをも解像できるようになった時点で不連続的に現れた。比較優位が現れはじめる時期を推定するために、図4には露光装置メーカー3社(ニコン、キヤノン、ASML)が新聞等により発表した時点での量産用最先端 KrF 露光装置の解像度が示してある。この図によれば、各社が最先端の KrF 量産装置で0.11ミクロンの解像度を保証しはじめているのは2001年以降である。また、図には明示されていないが、驚くべきことに、これらの3社の露光装置では、すべ

<sup>37</sup> 詳しい説明は割愛するが、レジスト特性としては、解像度、焦点深度、(エッチング)選択比、LER(Line Edge Roughness)・LWR(Line Width Roughness)、最適感度、(回路基板からウェハへの)転写忠実度などがある。

<sup>38</sup> 例えば、日本特許登録 3674243(出願1997年)など。なお、この節の内容に該当する日米特許の出願・登録状況については、JSRの知財部門から情報を提供していただいた。ただし、該当特許内容の確認と取捨選択は筆者の責任で行った。

<sup>39</sup> 例えば、日本特許出願 H11-135030(出願1999年)、US特許 6143460(出願1999年、登録2000年)など。

<sup>40</sup> 例えば、日本特許登録 2991466(出願1998年)など。

てで NA が 0.80 を越えている。

国内外の有力デバイスメーカーには、量産直前の  $\beta$  機が少なくとも 1~2 年前には試験導入されているはずである。したがって、これらのメーカーは、既に 99 年頃には上記 JSR 製 KrF レジストの優位性に気づいていたと推定される。実際、この時期は、JSR が INTEL と IBM によるレジスト選定で、KrF レジスト・ベンダーとして大きなシェアを獲得しはじめた時期とほぼ合致している。

アセタール系 KrF レジストへの“ひねり”も興味深い。<sup>41</sup> 当時の KrF レジスト開発主査によれば、アセタール系は非常に解像度が優れているが、ケミストリーとしては製品差別化が難しく、解像度の上限は競合メーカー間で差が出ない状況が続いていたという。JSR は、そのような制約を打破するために、従来の保護基が取れるか取れないかで幹ポリマーのアルカリ溶解速度を早めるだけでなく、幹ポリマー自体に架橋を施し、(現在では一般化している)保護基と同時に架橋も切れる化学反応メカニズムを考案し溶解速度をさらに早めた。

このような工夫が早期に実現したのは、レジストの合成部門に 96 年頃から石油化学(合成ゴム)系の人材が投入されたためであるという。合成ゴムの会社ならではの成果である。加えて、アセタール系にも、先の独自開発の PAG や添加剤等が最適にすり合わされた。その結果、アセタール系の解像度が、ワンランク他社より向上したという。そして、同社は、この優れたレジスト特性を誇るアセタール系レジストにより、韓・米・欧の有力 DRAM メーカーの主要ベンダーとして逐次受け入れられていった。

なお、有力同業他社の場合、KrF レジストでは、多くが高温・低温ベーク系かアセタール系のレジストのいずれかに特化している。あるいは、市販されているこれらの系のレジストを適当な比率で混ぜ合わせて微調整したものを提供している。ところが、上述のように、JSR はいずれのプラットフォームも独自製品化し、さらに、前述のように、その合成方法の複雑さから同業他社に敬遠されがちな PAG まで独自開発・製造している。この点は、同業他社にとっては驚きに値する戦略だと思われる。

事実、このようなマルチプラットフォーム戦略は、研究開発力に頼るだけでは長期的に維持していくことが極めて難しい。DUV 用レジストの場合、同じプラットフォームに属する KrF レジストでも各種のデバイスメーカーの各種デバイスに併せて様々なグレード品が生産され、しかも、各々のグレード品によって異なる原材料が用意されなければならないからである。言い換えれば、マルチプラットフォーム戦略の実行・維持には、研究開発力に加えて品質保証・製造・調達の能力ならびにこれらの能力を企業組織内外にまたがって素早く統一的に連動させる能力が必要となる。

### C. 加速された”Speed-to-Market”への適応速度

JSR が DUV 時代に急速浮上してきたもう一つの重要な要因は、ArF レジストの量産適用が 2000 年前後に開始されるに及び、デバイス・装置・材料メーカーが研究開発プロセスの初期段階から緊密に協調して”Speed-to-Market”に対応しなければならなくなったという前述した状況に深く関係している。そして、JSR は、このような要請に適合した事業・組織戦略を 90 年代末期以降的確

<sup>41</sup> 例えば、日本特許登録 3669033(出願 1996 年)、同 3700164(出願 1997 年)など。

に選択・適用していった。

### C. 1 研究開発上の比較優位性

ArF レジストの量産化に際しては、レジスト市場において互いに異なる幹樹脂を持つ様々なプラットフォーム樹脂が生み出された。そのため、ArF 用プラットフォームの数は、単一の幹樹脂(ヒドロキシスチレン)が使用される KrF 用のプラットフォーム樹脂に比べて格段に多くなっている(Ito(2005, pp. 88-121))。しかも、現在多用されている NEC・富士通発のアクリル系 ArF レジストの中にも、さらに枝別れしたプラットフォームが少なからず存在している。<sup>42</sup>

加えて、ArF 露光装置では、ArF レーザーの波長が193nmにも関わらず、様々な解像度向上技術(Resolution Enhancement Technology)を適用することによって、90nm、65nm、45nmといった半波長を遙かに下回る微細な回路パターンをウェハ上に結像させることが一般的になってきた。ただし、その副作用として、設計上の回路がウェハ上に忠実に転写される度合い(転写忠実度)が大幅に低下した。そのため、設計回路に忠実なパターンをウェハ上に転写するためには、事前に忠実度の低下を経験則などに基づいて予測しながら、図面上の設計回路パターン形状とはかなり異なるマスク(回路基板)上のパターン形状を考案しなければならなくなってきた。

そのため、極端な表現をすれば、最もプロセス上難しい階層(クリティカル・レイヤ)の場合、満たすべきレジスト特性が、特定のデバイスメーカーの特定デバイス内における特定レイヤーの特定回路パターンによって規定される度合いがかなり大きくなった。また、そのような状況下で、前述したデバイス自体の短ライフサイクル化・生鮮食品化がさらに加速されてきた。その結果、ArF レジストの研究開発に際して、多くのレジスト開発者が一様に認めるように、最先端の高い NA を持つ高価な量産(直前の)露光装置で実際に露光してみることの便益が、KrF の場合に比べて遙かに高まった。<sup>43</sup>

このような要請に対し、JSR は、同業他社に比べて研究開発環境上の比較優位性を相当に発揮できた。その一例は、前述したベルギー・IMEC との長期的な協力関係から得た大きな比較優位性である。具体的には、99年に始まった IMEC の『193nm Optical Lithography』プロジェクトに当初から参画し、国内同業他社に比べいち早く最先端の ASML 製 ArF 露光装置に直接触れながら開発を行う機会を得た。そして、このプロジェクトの成果に基づき、同社の ArF レジストが2000年に IMEC 推奨を勝ち得た。

しかも、ArF 機が有力デバイスメーカーにおいて本格的に量産採用されたのは NA が0.65を越えはじめた辺りからであったが、表2に示されているように、その際に ASML 製露光装置の高 NA 化は相対的に早かった。その意味でも、JSR は、同業他社に比べ、ArF レジストの開発に際して有意な研究開発上の位置取りをすることができたと思われる。

JSR が得たもう一つの研究開発上の便益は、前述した90年代後半に始まる IBM や東芝等と

<sup>42</sup> 加えて、最近では、露光装置の投影レンズとウェハの間に純水を溜めて開口数を 1.0 以上に高めた形で露光を行う ArF 液浸露光装置も実用化されてきている。そのため、多層レジストのなどのさらなる複雑要因が増えてきた。

<sup>43</sup> i線露光装置は5,6億円であったが、KrF では15~20億円、ArF では30億円を越えるに至った。最近の液浸 ArF では50億円にまで近づいている。

の緊密な関係によって、貴重な研究開発上の学習機会と共に、ニコン製などの最先端で高 NA の ArF 露光装置にいち早く触れる機会に接することができたという点である。そして、これらの好環境に助けられ、JSR は、1994年に開始した第一世代 ArF レジストに関連する要素技術開発を、ArF 時代の幕開け時である1999年に完了させ、2000年以降に訪れる ArF 時代の本格的な幕開けに備えることができた。

表2: ASML、キヤノン、ニコン製の ArF 半導体露光装置量産出荷年次と基本スペック

Year	Maker	Product type	Wave length	Contraction rate	Field size (mm)	NA	Resolution (μm)	Wafer size (mm)
1998	ASML	PAS5500/900	ArF	1/4	26 × 33	0.60	0.150	φ200
1999	Nikon	NSR-S302A	ArF	1/4	26 × 33	0.60	0.150	φ200
1999	ASML	PAS5500/950	ArF	1/4	26 × 33	0.63	0.130	φ200
1999	Canon	FPA-5000AS1	ArF	1/4	26 × 33	0.60	0.130	φ300
2001	Nikon	NSR-S305B	ArF	1/4	25 × 33	0.68	0.110	φ300
2001	Canon	FPA-5000AS2	ArF	1/4	26 × 33	0.70	0.110	φ300
2001	ASML	PAS5500/1100	ArF	1/4	26 × 33	0.75	0.100	φ200
2001	ASML	TWNSCAN AT:1100B	ArF	1/4	26 × 33	0.75	0.100	φ300
2002	Canon	FPA-5000AS3	ArF	1/4	26 × 33	0.75	0.100	φ300
2002	Nikon	NSR-S306C	ArF	1/4	25 × 33	0.78	0.100	φ300
2003	ASML	TWNSCAN AT:1200B	ArF	1/4	26 × 33	0.85	0.080	φ300
2003	Canon	FPA-6000AS4	ArF	1/4	26 × 33	0.85	0.080	φ300
2003	Nikon	NSR-307E	ArF	1/4	26 × 33	0.85	0.080	φ300
2004	ASML	PAS5500/1150C	ArF	1/4	26 × 33	0.75	0.090	φ200
2004	ASML	TWNSCAN XT:1250B	ArF	1/4	26 × 33	0.85	0.065	φ300
2004	ASML	TW NSCAN XT:1400	ArF	1/4	26 × 33	0.93	0.065	φ300
2004	Nikon	NSR-S308F	ArF	1/4	26 × 33	0.92	0.065	φ300

出典:Chuma (2006)

## C. 2 多品種・多グレード化を可能とする製品技術力

ArF レジストのテクノロジー上の複雑化とマーケットからの”Speed-to-Market”要請のさらなる強まりは、レジストメーカーに開発リードタイムの短縮だけではなく開発・量産段階における多品種・多グレード化を強く促した。開発段階で事前の意味での合わせ込みがあるレベルまで終了していれば、そうでない場合に比べて量産段階で発生するはずの問題をビフォー・ケアの形で事前に数多く解いておける。その結果、刻々と変化するマーケットに対応するための“事前柔軟性”を高めることができる。<sup>44</sup> しかも、事前の合わせ込みの度合いが高いほど発生したトラブル原因の識別がより容易となるので、トラブル発生時の迅速なアフターケアが可能になり、“事後柔軟性”の向上にも繋がる。<sup>45</sup>

ただし、開発段階において多品種・多グレード化を実行するためには、優れた研究開発力に

<sup>44</sup> 逆に、サイエンティフィックな分析・解析能力に比べて製造能力が十分でないレジストメーカーの場合、デバイスメーカーに提示する品種・グレードを少なくしたいと考えるはずである。その場合、自社内での製造トラブルは少なくなる一方、客先でのプロセスに合わせ込む時間が長くなる可能性も高い。

<sup>45</sup> なお、このようなレジストの多品種・多グレード化は、2000年以降に需要が急増してきた事前・事後の迅速なマス・カスタマイゼーション(顧客の個別要望に応えるカスタムメイドやオーダーメイドの特徴を、大量生産のコンセプトを取り入れながら低コストで実現しようとする考え方)を得意とする半導体デバイスである ASSP(Application Specific Standard Product)や FPGA(Field Programmable Gate Array)を想起させる。

加えて卓越した品質保証(QA)・品質管理能力(QC)を含む製品技術力が求められる。しかも、開発リードタイムと生産リードタイムを共に短縮しなければならないため、企業・組織間ならびに企業内部門間の活動や情報を統一的に連動・共有させるための仕組みが不可欠となる。複雑で多岐にわたる ArF レジストの場合、開発中の樹脂の完成度が不十分で製造方法さえ固まっていない段階から量産ベースに載せる準備をし、仕様が決まり次第すぐに供給するという体制が求められるからである。

しかも、KrF レジストや ArF レジストでは、要請される QA のレベルが信じがたいほどに厳しい。事実、量産・出荷段階ですら、10ppb (=10億分の1%) 以下のレベルで含有金属等による汚染を抑え込むことが要請される(Ito (2005, pp. 90))。そのため、量産段階に至っても、品質安定化のために研究開発部隊や生産・製品技術部隊の動員が必要となり、QA・QC ポイントの改良・改善も頻繁に行われなければならない。

加えて、QA・QC の際には、生産・製品技術の確立のみならず、原材料受け入れ時における QC や原材料メーカーへの生産・製品技術や QA・QC 技術の指導も不可欠となる。それでは、JSR では、どのような組織経営方式によって企業・組織間ならびに企業内部門間の広範囲にわたる活動や情報の統一的な素早い連動が図られたのであろうか。

開発・量産段階における多品種・多グレード化の迅速な達成のためには、研究開発、生産・製品技術(含む QA・QC)、量産、調達・購買などの社内諸部門間のみならず、製品技術・量産部門・調達部門と外注(化学)樹脂メーカーとの間においても、様々な活動や情報を統一的に素早く連動させなければならない。この点に関しては、90年代末までは、JSR でも、日本の製造業で一般的に観察される各部署の自律性を重んじた日本の古き良き伝統である“おまかせ”方式が採用されていた。言い換えれば、旧来の“おまかせ”方式で十分にうまく対処が可能であった。

事実、JSR でも、90年代末期までは、市場に近い事業部サイド(特に営業部門)が非常に強いことにより、研究・開発の方向性が事業部の方針によって規定される傾向が強かった。また、事業部に属する製造部門も、自らが量産(スケールアップ)を引き受ける際に、研究開発部門に対して「製造装置レシピや作業標準、QA・QC の方法が十分に確立した状態の製品しか引き取らない」と主張する傾向が強かった。加えて、調達・購買活動は事務系社員による値段交渉が主で、豊富な技術専門知識を持ったエンジニア達との一体化した開発調達・購買(技術的な必要性や流れをも考慮した調達・購買)はほとんど行われていなかった。

ただし、上記の“おまかせ”方式は、2000年前後を境として根本的に改められはじめた。<sup>46</sup> 必要とされる活動や情報の統一的な連動・共有の幅・深さが急増してきたために、“おまかせ”方式が関係部署の間で深刻な利益相反問題を頻繁に引き起こすようになってきたためである。つまり、大局的な最適化に繋がらない局所最適化によって、必要とされる広範囲な活動や情報を統一的に連動・共有することがなかなか出来にくくなってきた。

このような状況の打開に重要な役割を果たしたのは、99年以降に始まった INTEL や IBM 等と

---

<sup>46</sup> その大きな契機は、品質保証要求が世界で一番厳しいと言われる INTEL との取引開始だと類推される。

の開発・量産にまたがる緊密なエンジニア実戦部隊間の交流関係の開始であるという。実際、これらのデバイスメーカーとの交流関係が急速に深化して行くにつれて、従来国内研究開発拠点に留まりがちであった若手の研究・開発エンジニア達が様々なデバイスメーカーに数多く直接出かけるようになり、刻々と変化していくレジスト市場の臨場感を体得するようになったという。その結果、従来の事業部中心的な事業・組織経営方式が、研究・開発部門からも事業経営戦略の方向性に関する提案が出てくるような双方向型の事業・組織経営方式に変わっていった。<sup>47</sup>

加えて、製品技術(含む QA・QC)部門に関連した大きな組織改革が実施された。まず、従来各拠点工場別に機能していた製品技術部門の一部(特に QA 部門)が、国内外の工場を一括して統括する本社部門として再編され、経営トップ層と直結された。しかも、この製品技術部門と研究開発部門との間に、人事相互交流・異動を機軸にしたより太いコミュニケーションのためのパイプが設けられた。また、同部署と旧来の調達・購買部門との結び付きを強めて、開発調達・購買が行えるような仕組みが導入された。さらに、従来、生産技術部門(同社の反応・攪拌・濾過設備・プロセスなどを担当する開発プロセス部門)との結び付きが強かった製造部門においても、製品技術や研究開発の部門の経験者を製造課長・リーダーレベルで送り込むなどして、製品技術との結び付きが強化された。

また、コストパフォーマンスを考慮した形で量産スピードを加速させるために、プロセス開発部門の生産技術ノウハウを活用する仕組みが導入された。ArF レジストの完成度が不十分で製造方法さえ固まっていない開発段階で同時並行的に量産化を図ることのリスクを軽減するためである。実際、もの造りに関して経験の浅い研究開発者が量産化にも関与しなければならなくなると、量産時のコストパフォーマンスの維持・向上が大きなビジネス上の課題となる。このような課題に対処するため、JSR では、2000年以降、プロセス開発部門のエンジニア達にも研究開発部門に常駐・非常駐してもらい、レジスト開発の段階で量産ノウハウを有効活用する仕組みが導入されている。<sup>48</sup>

最後に、多品種・多グレード化を迅速に実現するためには、レジスト(含むレジスト用の各種原材料)や PAG(光酸発生剤)などの複雑な製品の製造でも、自社工場のみならず協力樹脂メーカーにおいて安定した品質を保ちうる形での量産立ち上げを迅速に行ってもらうことが不可欠である。この点に関しては、日本には優れた開発(試作)・量産能力を兼ね備えた中小規模の化学樹脂メーカーが多数存在し、裾野の広い化学産業クラスターを構成している。<sup>49</sup> しかも、誠に興味深い事実であるが、JSR のような日本のレジストメーカーのフットワークの良さを下支えしている中小樹脂メーカーの多くが、産業分類上は医薬品や食品産業などに属している。このような意味で、JSR の多品種・多グレード化戦略は、日本特有の中小樹脂メーカーをも運命共同体として招き入れた企業間にまたがるスケールでの活動や情報の統一的な連動・共有メカニズムによって支えられているとも言えるのである。

<sup>47</sup> 筆者調査当時に JSR Micro Inc に赴任中の俊英の開発エンジニアによる。

<sup>48</sup> また、最近では、製造部門主導により、四日市工場において高度に自動制御化された製造実行システム(MES)が同業他社に先駆けて導入され、様々なプロセス・ポイントにおいてリアルタイムでのセンシング情報が観察可能となっている。その結果、従来型の Design for Quality のみならず Design for Manufacturing をも実行可能な量産環境が整えられつつある。

<sup>49</sup> これらの中小樹脂メーカーの間には、広範囲な情報ネットワークがクモの巣のように張り巡らされている。

#### 4. おわりに

本論では、石油化学系の事業会社から石油化学とファインケミカルの両輪を操る事業会社へと大いなる変貌を遂げていった JSR の事業・組織戦略上の特徴を、同社半導体レジスト事業の飛躍的な発展プロセスに焦点を当てながら分析・検討した。その際、特に、同社の世界市場における競争力がテクノロジーとマーケットの複雑性が急増するにつれて急速に高まってきているという興味深い事実の背後に、どのような JSR 流の臨機応変な事業・組織戦略の改変・改訂プロセスが実践されてきたかに着目した。

分析から明らかになった要因の一つは、一味異なった有機化学的な意味での Something New な“ひねり”に固執する得難い社風を体化した人々と、そのような社風の沈着を可能にした“有機化学に関する技術力の高さ”に裏打ちされた卓越した製品開発力である。そして、このような製品開発力が、現在から振りかえれば相当にリスクが高かったと思われる90年代初頭に開始された米国市場での果敢な開発マーケティングと本格的な現地開発・量産体制の確立によって大きく花開くことになった。

そこでは、国策会社としての出自を持つ独立系メーカーとして背負っていた日本市場でのハンディキャップを克服したいとする強烈な“負けじ魂”が大いに発揮された。また、誠にアイロニカルではあるが、米国市場における第1段階目の同社の成功は、上記のハンディキャップを背負いながら熾烈な競争にさらされた日本市場において磨き上げられた“芸術品”とも呼べるi線レジストの恩恵によるものであった。

もちろん、JSR の半導体レジスト事業の成功への道程(みちのり)は平坦ではなかった。実際、g線・i線レジストの時代は、同業他社が一目置くような高度な合成・(配合)評価技術を持ちながらも、日本市場特有の系列関係の壁などに直面し、マーケットでは常に2番手、3番手の位置取り状況にあった。また、JSR が急浮上してきたのは DUV レジスト時代以降であるが、同時代の幕開けとなった90年代半ばから末期に至るまでは依然として荊(いばら)の道が続いていた。ただし、このような苦難の時代の中でも、半導体レジスト事業への旺盛かつ継続的な研究開発投資意欲は衰えることがなかった。

それどころか、結局量産にまでは至らなかったが、1990年前後においては、レジスト・プロセスのみならずドライ現像装置・プロセスの領域へも入り込む DESIRE プロジェクトへの大胆かつ大規模な投資すら実行に移した。また、KrF・ArF レジストについても、同業他社とは異なり、ほとんどすべてのプラットフォーム樹脂についての包括的な研究開発を行い、その後に花開く多品種・多グレード化戦略の潜在力を蓄積した。そして、このような旺盛かつ継続的な半導体レジスト事業への研究開発成果の一部(含む QA 技術)は、同社が96年以降に急速に立ち上がってきた TFT 液晶用の着色レジスト市場における覇権を握る際にも重要な貢献をした。

このような逆境に挑む中、独立系メーカーとして背負っていた国内市場でのハンディキャップが、90年代末期以降に突如順風となりはじめる。95年から96年にかけて発生した汎用 DRAM 価格の大暴落が日本の半導体メーカーの投資余力を大きく弱め、最先端のプロセス技術を使った微

細化が日本勢より先に米国の有力半導体デバイスメーカーによって開発・量産適用される状態になってきたためである。その結果、90年代後半に不退転の覚悟で実施された米国市場での果敢な開発型マーケティング(含む経営トップ層による技術マーケティング)と開発・量産体制確立がもたらすビジネス上のメリットが急上昇した。両施策が、日米半導体産業の競争力逆転が顕在化する直前の絶妙なタイミングで実施されたためである。

さらに、90年代後半以降、半導体プロセス技術の複雑化や半導体マーケットにおける短ライフサイクル化・生鮮食品化が加速されるに及び、半導体デバイスメーカーにとって、高分子合成技術やそれらの物性・機能に関する解析・評価技術に優れたレジストメーカーとの緊密な協調が不可欠になった。そして、これらの傾向は、最先端プロセス技術が KrF から ArF の時代に移行していくにつれてさらに顕著になっていった。つまり、DUV 時代になり、同一企業内に高度な(配合)評価技術に加えて高度な合成技術を併せて保有している JSR タイプのレジストメーカーの希少価値が不連続的に増大した。JSR にとって、もう一つの順風が吹きはじめたのである。

ただし、“有機化学に関する技術力の高さ”を誇る JSR タイプのレジストメーカーの希少価値は、有力半導体デバイスメーカーとの緊密な関係の中でこそ十分に生きてくる。この点に関し、JSR は、80年代後半における1Mb・DRAM の覇者としての東芝ならびに日米半導体協定下の特殊状況の中で実現した90年代前半におけるIBM・東芝・Siemens(現Infineon)からなるTRIADプロジェクト(1993-1996年)を通じた IBM との縁に遭遇する幸運に恵まれた。そして、両社との縁が、緊密な共同研究開発体制へのテクノロジー・マーケット双方からの要請の強まりを背景にして、90年代後半以降に急速に深まっていった。加えて、DESIRE プロジェクトを縁にした80年代後半以来の盟友としてのIMECが、90年代末期以降に世界的な半導体研究開発拠点へと変貌するという幸運にも恵まれた。その結果、JSR は、日米欧における有力半導体メーカーとの緊密な共同研究開発のための場を獲得することになったのである。

JSR にとって三つ目の順風は、2000年前後に自らの事業・組織経営改革の結果として内側から吹いてきた。その大きな契機は、ArF レジストのテクノロジー上の複雑化とマーケットからの”Speed-to-Market”要請のさらなる強まりにより、レジストメーカーに、開発リードタイムの短縮だけではなく開発・量産段階における多品種・多グレード化が求められはじめたことによる。

このような高難度な要請に対処するためには、研究開発、生産・製品技術(含むQA・QC)、量産、調達・購買などの社内諸部門間のみならず、製品技術・量産部門・調達部門と外注(化学)樹脂メーカーとの間でも活動や情報を統一的に素早く連動・共有させなければならない。JSRトップ層は、このような“外圧”を、旧組織体制(ancien régime)打破のエンジンとして効果的に活用した。

その一つの現れが、従来の事業部中心的な事業・組織経営方式から、研究・開発部門からも事業経営戦略の方向性に関する提案が出てくるような双方向型の事業・組織経営方式への転換であった。そのような転換は、99年以降に始まった国内外有力半導体デバイスメーカーとの開発・量産にまたがるエンジニア実戦部隊間の緊密な交流関係の開始によって自然発生的に達成されたという。また、研究開発、生産・製品技術(含むQA・QC)、量産、調達・購買、外注樹脂メーカーとの活動や情報の統一的な連動・共有には、製品技術(含むQA・QC)部門に関連した抜本的な

組織改革が大いに功を奏した。

その結果、日本の製造業で一般的に観察される各部署の自律性を重んじた良き伝統としての“おまかせ”方式の弊害(特に部門間の利益相反状況)が是正され、組織内外にまたがる広範囲な活動や情報を統一的に連動・共有させるための仕組みが実践されていった。しかも、その際、日本特有の裾野の広い化学産業クラスターを構成する開発(試作)・量産能力を兼ね備えた中小樹脂メーカーをも運命共同体の一員として招き入れた。その結果、多品種・多グレード化を開発・生産リードタイム短縮を図りつつ実行するための強固な組織体制が整えられたのである。

以上、JSR の大いなる変貌の要因を分析してきたが、そのプロセスでつくづく再認識させられたことは、“イノベーションには、アイデアをつくりだす「人」の要因、環境や社会という「場」の要因、時代や偶然などの「時」の要因の三つの条件が整って共鳴しあわないと成立しない”(宮原(2005)、33頁)という点である。このような三つの条件は、さらなる JSR の50年において、ある時には苦難がある時には恩恵を歴史の常としてもたらし続けるであろう。

#### 参考文献

- Allen, Robert D., Willard E. Conley and Roderick R. Kunz, 1997, “Deep-UV Resist Technology,” in *Handbook of Microlithography, Micromachining, and Microfabrication, Volume 1: Microlithography*, edited by P. Rai-Choudhury, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, pp.321-375.
- Chuma, Hiroyuki and Hashimoto Norikazu, 2008, “Moore’s Law, Increasing Complexity, and the Limits of Organization: The Modern Significance of Japanese Chipmakers’ DRAM Business,” RIETI (Research Institute of Economy, Trade and Industry) Discussion Paper, January 2008, 08-E-001 (<http://www.rieti.go.jp/jp/publications/dp/08e001.pdf>)
- Chuma, Hiroyuki. 2006. Increasing Complexity and Limits of Organization in the Microlithography Industry: Implications for Science-based Industries, *Research Policy* 35(3): pp. 394-411.
- Dixit, Avinash, K. and Robert S. Pindyck, 1994, *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Giddens, Anthony, 1990, *The Consequences of Modernity*, Stanford University Press, Stanford, California
- Ito, Hideshi, Grant C. Willson, Jean M. J. Fréchet, 1982, “New UV Resists with Negative or Positive Tone,” Digest of Technical Papers of 1982 *Symposium on VLSI Technology*, pp. 86-87
- Ito, Hideshi, 2005, “Chemical Amplification Resists for Microlithography,” in *Advances in Polymer Science: Microlithography - Molecular Imprinting*, pp. 37-245, Springer-Verlag

Berlin Heidelberg

- 川本佳史・松岡一彦(1999)、「総合技術力で勝負する日立製作所:浮上のキッカケをつかむ」、日経マイクロデバイス、11月号、126～138頁。
- Leachman, R. and S. Ding. 2007, “Integration of speed economics into decision-making for manufacturing management,” *International Journal of Production Economics*, 107:39-55.
- Mattick, S., and M. J. Gagen. 2005, “Mathematics/computation: Accelerating networks,” *Science*, 307(571):856-58.
- 宮原諄治、2005、『「白い光」のイノベーションーガス灯・電球・蛍光灯・発光ダイオード』、朝日新聞社
- Mokyr, Joel, 2002, *The Gifts of Athena: Historical Origins of the Knowledge Economy*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey
- Nishi, Yoshio and Robert Doering, 2000, *Handbook of Semiconductor Manufacturing Technology*, Marcel Dekker Inc., New York, New York
- 岡崎信次・鈴木章義・上野巧、2003、『はじめての半導体リソグラフィ技術』(工業調査会)
- Shapin, Steven, 1996, *The Scientific Revolution*, University of Chicago Press, Chicago and London.
- Sheats, James R. and Bruce W. Smith, 1998, *Microlithography: Science and Technology*, Marcell Dekker, INC., New York, New York
- Smith, Bruce W. and Maureen Hanratty, 1998, “Multilayer Resist Technology,” in *Microlithography: Science and Technology*, edited by Sheats, James R. and Bruce W. Smith, Chapter 10, pp. 567-614, Marcell Dekker, INC., New York, New York
- Ueno, Takumi, 1998, “Chemistry of Photoresist Materials,” in *Microlithography: Science and Technology*, edited by Sheats, James R. and Bruce W. Smith, Chapter 8, pp.429-514, Marcell Dekker, INC., New York, New York
- Warner Jr., Raymond M., 2001, “Microelectronics: Its Unusual Origin and Personality,” *IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES*, VOL. 48, NO. 11, NOVEMBER, pp.2457-2467