

高屈折率メガネレンズ材料の製品開発と競争優位

三井化学「MR-6」

富田 純一

東洋大学経営学部

[E-mail: tomita@toyonet.toyo.ac.jp](mailto:tomita@toyonet.toyo.ac.jp)

要約：三井化学が1987年に上市した高屈折率メガネレンズ材料「MR-6」は、国内のプラスチックレンズの普及を促した材料である。現在は高屈折率レンズの普及が遅れていた欧米市場でも後続品が市場シェアを伸ばし、競争優位を獲得している。こうした成果の背後には、新しい材料コンセプトの創出やユーザーとの緊密な連携、連携を通じた評価技術の蓄積など製品開発の取り組みと、スイッチング・コストや特許網構築、後続品の継続的投入などによる参入障壁形成といった戦略的取り組みがあった。

キーワード：製品開発、評価技術の蓄積、競争優位

1. はじめに

視力矯正用プラスチックメガネレンズは、米国PPG社が1942年にガラス代替材料としてCR-39®（アリルジグリコールカーボネート、ADC）を開発したのがきっかけで生まれた。その後、同社は約40年にわたりADCを独占供給し、特に米国においてメガネレンズのプラスチック化が進んだ。¹

しかし、このレンズは材料の屈折率が低いために分厚くなりやすく、ユーザーにとっての見栄えが悪くなるという問題があった。日本人は近視の人が多く、こうした悩みを抱えていた人は多かったものと推察される。² こうして国内ではレンズを薄くできる高屈折率のレン

¹ 木田 (1988).

² 1990年時点でメガネレンズの国内需要は推定で3200万枚、その後毎年需要が伸び、1995年時点では4600万枚まで伸びている（シーエムシー、1996）。

ズ材料が待望されていた。

1987年、三井化学株式会社（旧三井東圧化学、以下「三井化学」と略）が上市した高屈折率メガネレンズ材料「MR-6」は屈折率が高くかつ成形加工性や染色性にも優れることから、広く用いられるようになった。これを機に国内市場ではプラスチックレンズの普及が進み、高屈折率レンズの普及が遅れていた欧米市場でも次第に市場シェアを伸ばしていった。³

MR-6を始めとするMRシリーズは現在、高屈折率レンズ材料の世界市場で約70%のシェアを誇り、市場において競争優位を獲得している。こうした成果の背後には、新しい材料コンセプトの創出やレンズメーカーとの緊密な連携、連携を通じた評価技術の蓄積など製品開発における様々な取り組みと、スイッチング・コストや特許網構築、後続品の継続的投入などによる参入障壁形成といった戦略的取り組みがあった。

以下では、このMR-6を開発した背景を明らかにするとともに、MR-6の開発から上市、競争優位獲得に至るまでのポイント（成功要因）がどこにあったのかについて検討してみよう。

2. 製品／市場概要

(1) 製品概要

1987年、MR-6は三井化学株式会社により、世界初のポリチオウレタン型の視力矯正用メガネレンズ材料として上市された。通常、視力矯正用プラスチックレンズ材料は素材メーカーからモノマーの形態でレンズメーカーに納品される。これをレンズメーカーで重合・成形し樹脂とし、さらにコーティングなどの加工を施してレンズとした後に、一般消費者に供される。MR-6は、高屈折率のレンズ用モノマーに分類される。⁴メガネレンズ用モノマーは、それより得られる樹脂の光学物性（屈折率、アッベ数、光線透過率など）や熱機械特性（耐熱性、引っ張り強度、曲げ弾性率、耐衝撃性など）、比重、さらには切削研磨性、耐薬品性、染色性などの性能を決定する。中でもMR-6を重合して得られる樹脂の特徴のひとつは、屈折率が高い点である。屈折率はレンズの厚さに影響を及ぼす。すなわち、屈折率が高いほどレンズが薄くて済むため、ファッション性を重視するユーザー、例えば近視や遠視でレンズが厚くなることを嫌がるユーザーなどに好まれる（図1参照）。メガネレンズの縁の厚さと屈折率の関係を表したグラフを図2に示す。

³ 国内市場でプラスチックレンズが普及した背景には、レンズメーカーが開発したコーティング技術の進歩もあったとされている（シーエムシー, 1996）。

⁴ 世界初の高屈折率レンズ材料は、1982年にトクヤマ（旧徳山曹達）とセイコーエプソン（旧諏訪精工舎）によって共同開発されたビスフェノールのハロゲン誘導体をベースとした共重合体（商品名：TS-26）である（木田, 1988; 四方, 酒井, 1983）。

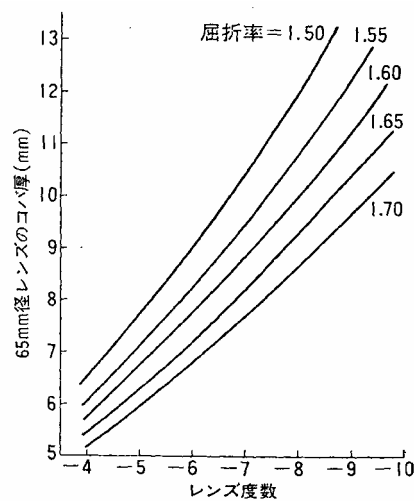
図1 高屈折率レンズと低屈折率レンズ (写真)

高屈折率レンズ (左) と低屈折率レンズ (右)



出所) 谷 (2003).

図2 メガネレンズのコバ厚 (縁の厚さ) と屈折率の関係



出所) 四方・酒井 (1983).

同樹脂の二つ目の特徴として挙げられるのは、屈折率と他の物性値のバランスが良いことである。経験上、屈折率とその他のレンズの代表物性を示すアッベ数、比重との間にはトレードオフの関係があることが明らかになっている。つまり、屈折率を向上させると、アッベ数が低下し色収差が大きくなる (像の縁が黄色く滲んで見える)。また、一般に屈折率を向

表 1 レンズ素材の物性と遠視用レンズ外観（直径 65mm、+4 ジオプタレンズでの比較）

素材	光学物性		比重 (g/cm ³)	耐衝撃性 (kgfcm/cm ²)	レンズ外観		
	屈折率	アッペ数			中心厚 (mm)	重量(g)	染色性
クラウンガラス	1.523	56	2.54	-	4.9	20.8	不可能
”CR-39®”	1.498	58	1.32	13.0	5.9	15.6	良好
”TS-26”	1.595	32	1.37	-	-	-	悪い
”MR-6”	1.594	36	1.34	27.0	4.4	13.4	良好

出所) 笹川 (1994a)、谷 (2003) に基づいて筆者作成

上させると比重が大きくなるため（レンズが重くなるため）、レンズのかけ心地に影響を及ぼす。⁵ MR-6 を重合させた樹脂は、これらのトレードオフがうまくコントロールされている。すなわち、アッペ数や比重に関しては従来の物性値を可能な限り維持しつつ、高屈折率を実現したのである。

三つ目の特徴は耐衝撃性が高い（割れにくい）という点である。MR-6 を用いたレンズは「メガネレンズの耐衝撃性に関する FDA（米国食品医薬局）規格」（通称ドロップボールテスト）に合格した。この規格は、メガネレンズの耐衝撃性で最も厳しいとされる米国で 1972 年に制定されたもので、危険防止の観点から「すべてのメガネレンズは高さ 127cm より、直径 19mm、重さ 16.2g の鋼球を自然落下させて破壊しないこと」が要求される。⁶ その他の特徴として挙げられるのは、開発当初から意図されたものではなかったが、結果的に MR-6 を重合させた樹脂はレンズメーカーにとって成形加工しやすく、染色もしやすかったという点である。これは、三井化学が高屈折率メガネレンズ材料市場の開拓を図る際の重要な要素のひとつでもあった。以上の特徴を整理したものが表 1 である。

(2) 市場概要

これらの優れた特徴を持つが故に、MR-6 を始めとする MR シリーズは 2004 年現在、世界

⁵ ただし、屈折率を向上させることにより、レンズを薄くできるため、比重が大きくなった場合でもレンズ全体の重量は下がる可能性もある。

⁶ 米国では FDA 規格制定を機にメガネレンズのプラスチック化が進んだ（笹川, 1994c）。

高屈折率メガネレンズ材料の製品開発と競争優位

表 2 メガネ用プラスチックレンズ材料市場（1995）

屈折率	用途	需要量（出荷ベース、推定）			
		数量（トン/年）	構成比（%）	金額（億円/年）	構成比（%）
1.50	低屈折率レンズ	800	50.0	6.4	22.2
1.56	中屈折率レンズ	250	15.6	5.0	17.3
1.60	高屈折率レンズ	400	25.0	12.0	41.5
1.66 ～ 1.67	（超）高屈折率レンズ	150	9.4	5.5	19.0
合計		1600	100.0	28.9	100.0

出所) シーエムシー (1996) を加筆・修正

の高屈折率プラスチックメガネレンズ材料市場において約7割のシェアを持つ（売上規模は数十億円）。⁷ 表2は1995年のメガネ用プラスチックレンズ材料市場を示したものである。表より、屈折率1.60以上の高屈折率レンズ材料の占める割合は出荷数量ベースでは34.4%とそれほど大きくないが、出荷金額ベースでは60.5%となり、最大の材料市場であることが見てとれる。こうした傾向は、近年のレンズ材料メーカー各社の「高屈折率化」競争を鑑みれば、より顕著になっているものと考えられる。

なおMR-6とその改良品MR-7は1993年、第26回日本化学工業協会技術賞を受賞している。

3. 開発の背景

メガネレンズのプラスチック化は、1962年にセイコーエプソン（旧諏訪精工舎）が仏のエシロール社より製品を輸入販売したのが国内で最初である。プラスチックレンズは、ガラスレンズに比べて軽量かつ染色が容易であることから、需要拡大が期待されて国産化が進められた。まず、1972年にHOYAが国内で初めてCR-39®（アリルジグリコールカーボネート、

⁷ 国内市場全体に占めるプラスチックレンズの割合は9割を超えており、うち高屈折率レンズは6割以上を占めている。しかしながら世界市場全体で見れば、高屈折率レンズの占める割合はそれほど大きくはなく、ニッチな市場であると言える。例えば、レンズ枚数にして日本の約4倍の市場を持つ米国では低屈折率レンズが主流となっており、同レンズに用いられるモノマーは、ADC（アリルジグリコールカーボネート）である。また、日本の約3倍の市場を持つ欧州では古くからガラスレンズが多く用いられている。ただし、最近では欧米を中心に高屈折率レンズの需要は大きな伸びを見せている。

ADC) によるプラスチックレンズ (以下、ADC レンズと略) の生産を開始し、1977 年までの間にセイコーエプソン、ニコン、旭光学なども国産化を果たした。

三井化学でもこうしたレンズメーカーの動きに追随する形で、レンズ材料市場への参入を果たした。1970 年代後半、同社では主力の肥料事業や染料事業などが不振に陥っており、それに代わる事業の柱として「機能製品事業の拡充」が掲げられていた。そこで、主力工場のひとつである大牟田工業所を「ファインケミカルの集中生産拠点」と位置づけたのである。同工業所では当初、「ファイン全般で儲かる製品を探すように」というトップからの指示に基づいて、農薬や医薬中間体など様々なファインケミカル製品の探索が行われた。

そうした中、同社精密薬品開発室の担当者は、「当社の大牟田工業所のホスゲンを使って新製品を開発したい」と考えていたという。その後、同氏は『プラスチックスエージ (Plastics Age)』という雑誌で、テレフタル酸ジクロライドの誘導体をレンズに応用する、というベンチャー企業 (光エネルギー応用研究所) の記事を読んで興味を持ち、同社を訪問した。同社のレンズはメガネ用ではなかったが、透明な光学用レンズで、同氏がレンズに関心を持つきっかけとなった。

業界内でも、前述の ADC レンズは軽量かつ染色が容易なことからガラスレンズの置き換えが進むものと見られていた。ただしその一方で、ADC レンズにはいくつかの欠点があるとも認識されていた。ひとつ目はガラスに比べて表面に傷が付きやすいという問題。二つ目は、ガラスよりも屈折率が低いために、同じ度数のレンズであればガラスレンズよりも ADC レンズの方が肉厚になってしまい、ユーザーにとっての見栄えが悪くなるという問題。日本人は近視の人が多く、こうした悩みを抱えていたユーザーは比較的多かったものと推察される。三つ目は、CR-39®は米国からの輸送中に中身が固まって使い物にならなくなることがあるといった問題である。⁸

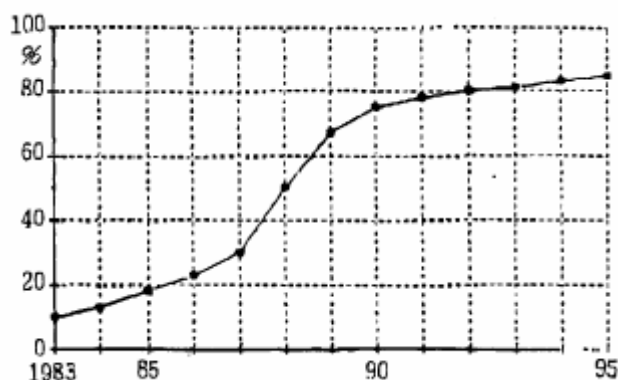
ひとつ目の問題に関しては、レンズメーカー各社は 1980 年代半ば頃からレンズ表面の傷を防止するコーティング技術を開発することで対応していった。実際、これがきっかけとなってレンズのプラスチック化が急速に進んだと言われている (図 3 参照)。

また、コーティング技術開発と同時並行で、レンズメーカー各社は二つ目と三つ目の問題にも取り組んだ。高屈折率レンズ材料の国内調達である。メガネレンズは素材の屈折率が高ければ高いほど焦点距離が短くなり、それだけ薄くすることができる。しかも、その原料であるモノマーを国内調達できれば輸送中に固まる問題も起こりにくくなる。

そこで、まず高屈折率レンズ材料の開発が進められることとなった。1982 年、セイコー

⁸ 当時アリルジグリコールカーボネート (ADC、商品名「CR-39®」) を生産していたのは米 PPG 一社のみであった。

図3 メガネレンズのプラスチック化率の推移



出所) シーエムシー (1996).

エプソン (旧諏訪精工舎) は化学メーカーのトクヤマ (旧徳山曹達) と共同で新しいレンズ材料 (商品名 TS-26) とレンズを開発し、世界初の高屈折率プラスチックレンズ (商品名 Seiko Hi-Lord) を発売した。このレンズは ADC レンズ (屈折率 1.498) に比べて屈折率が 1.595 と高いため、コバ厚で約 15% 薄く、重さで約 10% 軽くなっている。発売後は市場にも受け入れられ、着実な伸びを示した。

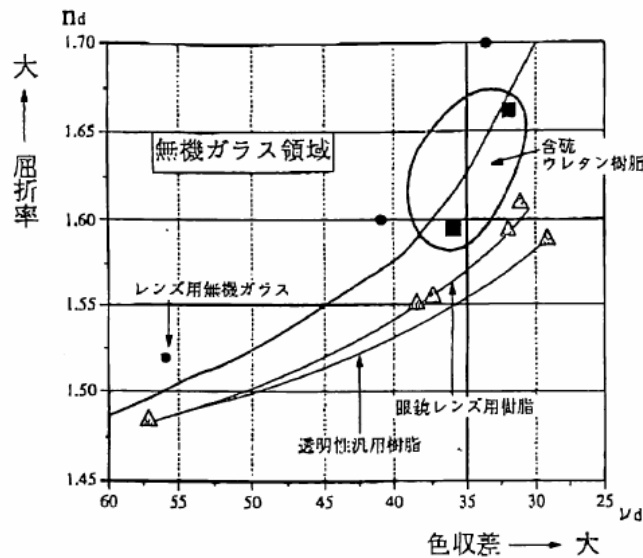
しかし、このレンズはセイコーエプソンとトクヤマの共同開発であったため、セイコーエプソン以外の HOYA やニコンなど他のレンズメーカーはこのレンズ材料を入手できなかった。そこで、これらのメーカーは三井化学にもレンズ材料の開発を依頼してきたという。依頼を受けた同氏は 1982 年、正式に研究開発テーマとして上申し、一人の研究者に指示して研究開発をスタートさせた。

4. MR-6 の開発

(1) 屈折率向上へのアプローチ

レンズの素材である樹脂の屈折率を上げるには、分子構造内に ① 芳香環 (ベンゼン環)、② フッ素を除いたハロゲン原子 (塩素、臭素、ヨウ素)、③ 硫黄原子、④ 重金属原子を導入すればよいことが理論的に知られている。このうち、④は樹脂の比重を極度に高めてしまう欠点があったために採用されず、①②③の手段が試みられてきた。

図4 樹脂の屈折率とアッベ数



出所) 笹川 (1994c).

図4は1994年までに実用化されたメガネレンズ用樹脂を示したものである。まず、1942年に米PPG社が開発したCR-39®から得られる樹脂は酸素原子を含む脂肪族系化合物であり、屈折率は1.50（アッベ数58）である。これに対して、屈折率が1.52～1.56の領域に入る樹脂は、脂肪族環、芳香環の導入により屈折率を向上させたものである。例えば、米PPG社は芳香環のみ（①）を導入することで屈折率1.56（商品名HIRI®）を達成している。屈折率が1.58以上の領域に入る樹脂は、ハロゲン原子の導入により屈折率をさらに向上させたものである。前述したセイコーエプソンとトクヤマも芳香環（①）と臭素原子（②）を同時に用いることで、屈折率1.595のレンズ材料（商品名TS-26）の開発に成功している。⁹

三井化学でもこうした動きに追随するため、1982年から開発担当1名と総合研究所の研究者1名が開発を手がけることとなった。彼らは①と②の手段を用いて屈折率を上げるべく、

⁹ その他にも、透明性汎用樹脂であるPMMA（ポリメチルメタクリレート）、PC（ポリカーボネート）、PS（ポリスチレン）、TPX®（ポリメチルペンテン）などがメガネレンズ材料として上市されているが、加工性や透明性などに欠点があり、サングラスやスキー用ゴーグルなどの用途に限定されており、矯正用レンズにはあまり用いられていない。ただし、ポリカーボネートに関しては、近年米国で特殊な研磨機とハードコートが開発されたため、矯正用レンズ素材として使用されている。

高屈折率メガネレンズ材料の製品開発と競争優位

試行錯誤を重ねた。しかし、3年経っても物性面や製造面で満足のいくものができなかったことから、社内では「中止すべし」との声があがっていた。「最後は俺が責任を取るから続けよ」とサポートしてくれたのは精密薬品開発室の上司だった。2名は「あと半年やってみて何も出なければ止める」覚悟で臨んだ。

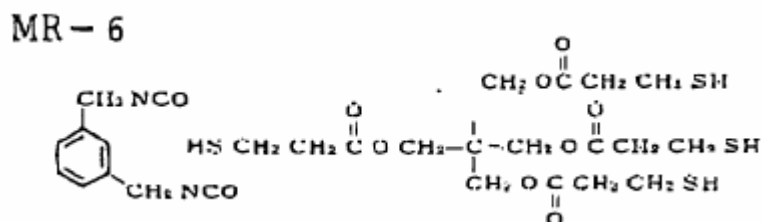
(2) チオウレタン系コンセプト

その頃、大牟田工業所では1名の研究者が転勤を前にして、研究成果を特許化しようとしていた。三井化学が長年にわたり技術蓄積をしてきたウレタン樹脂をメガネレンズに応用するという研究である。ウレタン樹脂を使えば、他の樹脂よりも耐衝撃性に優れるという特長を持っているので、メガネレンズに要求される強度も十分に確保できる。ただし、高屈折率メガネ用レンズに用いるためには、無色透明であること、屈折率を上げることの2点が必須である。こうした課題に対して、担当研究者は上司の着想のもと以下の対応を図った。¹⁰

まず前者に関しては、モノマーに黄変性のないモノマーを使用する(①)、つまり脂肪族イソシアネートを用いることで無色透明性を確保し、後者に関しては、モノマーに硫黄原子を導入する(③)、つまりポリチオールを用いることで屈折率を向上させようとしたのである。「チオウレタン系」というメガネレンズ用樹脂の新しいコンセプトはこうして生まれた。

一方、従来のアプローチ(①②)に基づいて開発を進め、行き詰まっていた総合研究所の研究者らは、この新しいコンセプトの樹脂に着目し、再びレンズメーカーへのアプローチを開始した。結果、下記の構造式を有する「キシリレンジイソシアネート」と「ペンタエリスリトールテトラキスメルカプトプロピオネート」の二つのモノマーの組み合わせからなる樹

図5 MR-6の化学構造



出所) 笹川 (1994a).

¹⁰ 屈折率の向上など目標とするメガネレンズ用樹脂を開発するには、単独のモノマーを重合するよりも、複数の混合物を重合するケースの方が多く見られる (笹川, 1994a).

脂が最適であることを見いだした（図5参照）。

「チオウレタン系」という新しい材料コンセプトは、より技術的な発展可能性のあるコンセプトとして選択されたものと考えられる。このことは、後に（1991年頃に）セイコーエプソンが「（トクヤマのTSシリーズは）バランスの良さでは（MR-6に）引けをとらない」が、TSシリーズは臭素という（比重が）重い元素を用いて屈折率を向上させているので、「1.6を越す屈折率のレンズを作るときは、（比重の小さい）ウレタンが優位に立つかもしれない」（光学開発部長 最上隆夫氏）と懸念していたことから裏付けられる。¹¹ 実際、TSシリーズはその後撤退を余儀なくされている。

(3) 市場開拓

1987年、こうして見出された高屈折率メガネレンズ材料はMR-6と名付けられ、まず大手レンズメーカーの評価を受けることとなった。レンズメーカー数社にサンプル供給したところ、1.594という屈折率の高さが評価されて、次第に売れるようになった。後発にも関わらず、MR-6が受け入れられたのは屈折率の高さだけでなく、アッベ数や耐衝撃性など他の物性とのバランスが良かったからである。この点に関して、当時HOYAの五日市工場技術部長であった青山昌弘氏は次のように語っている。「MR-6は屈折率とアッベ数のバランスが良いうえ、ウレタンの持つ衝撃吸収力を生かして強度もある。」¹²

前出の表1はMR-6と競合品の物性等を比較したものである。高屈折率レンズの先発品のTS-26と比較すると、屈折率はほぼ同じであるが、アッベ数が36と大きく上回っていることが見て取れる。また、耐衝撃性で見てもそれまで強いと言われてきたCR-39®の13.0を大きく上回っている。その他にも染色性や成形加工性に優れることなどから、非常にバランスの良い素材であると言える。

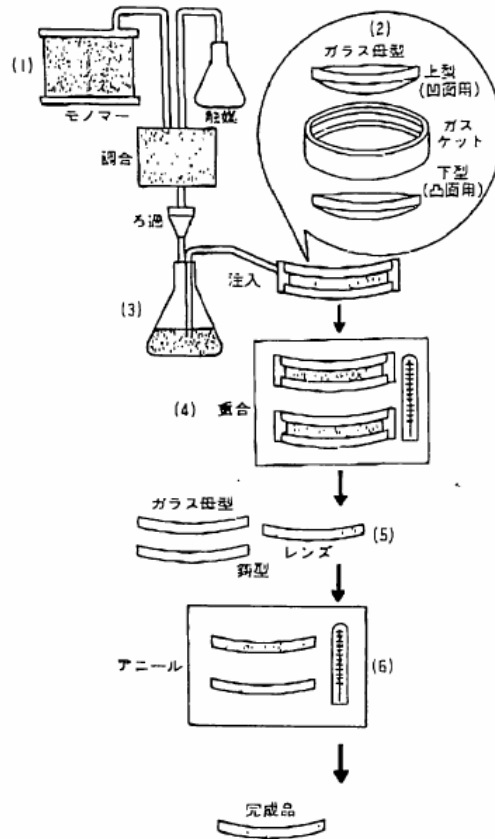
このように、MR-6は物性面などで非常に優れていたが、最初はレンズ製造上のトラブルが頻繁に起こった。このため、歩留まりはなかなか向上しなかった。MR-6からレンズを製造する場合、CR-39®と同様に、図6に示すような注型重合¹³が用いられていたが、化学特性がCR-39®と異なるためにレンズを作る上での注意点も大きく異なっていたのである。例えば、CR-39®は水に対して特段の注意をする必要はないが、MR-6は少量の水が混入しても

¹¹ 日経産業新聞（1991年12月9日）。

¹² 日経産業新聞（1991年12月9日）。

¹³ メガネレンズ材料には、熱硬化性または光硬化性のものと熱可塑性のものに大別される。熱可塑性の樹脂（ポリカーボネート樹脂など）は、樹脂の射出成形により成形されるため、成形時間が短くコスト面で優れるが、成形時に光学的な歪みが生じやすい。これに対し、熱硬化性樹脂は型の中で重合と成形が行われる（注型重合）ため、成形時間はかかるものの、光学特性で優れている。

図6 プラスチックレンズの製造工程



出所) 笹川 (1994c).

レンズ内に気泡を発生させるという問題があった。また MR-6 は、重合触媒との調合工程でガラス母型に液を注入し終わる前に液性が変化してしまう、ガラス母型との接着力が強いので注型重合後にレンズを取り出せないなどの問題も抱えていた。

三井化学はレンズメーカー各社と個別に評価契約を結び、MR-6 のサンプル供給と先方からのフィードバックにより知識を蓄積し、次の三つの工夫により、問題を解決し、新しい注型重合システムを確立した。¹⁴ 第一に、レンズの製造時に水分混入を防ぐことで泡発生を防

¹⁴ MR-6 の上市後数年間は、毎年のように大きなレンズ製造上のトラブルが発生していたが、「レンズ

止する。第二に、重合促進効果が比較的マイルドな特殊な化合物を重合触媒として使用することで、調合工程でガラス母型に液を注入し終わるまで液性を十分安定に保持する。第三に、特殊な内部離型剤を MR-6 に加えて重合することで、離型工程で容易に生レンズを取り出すことが可能となった（図 6 参照）。この注型重合システムの確立で、大手レンズメーカーはレンズの量産が可能となった。

(4) 評価技術の蓄積¹⁵

前述のように、三井化学はレンズメーカーとのやりとりを通じて評価技術の蓄積を図ったわけであるが、最初は三井化学にはレンズの成形に関する知識・ノウハウがなく、どの点に注意したらよいかということが分からなかった。¹⁶ そこで、レンズメーカーへのサンプル供給とフィードバックを繰り返すことで評価技術を蓄積していった。その際の窓口は事業部であったが、化学の話は研究者でないと分からないことも多いので、研究者が直接レンズメーカーに訪問することもあったという。

また、最終製品としてのレンズの評価は出来なくてもその手前の樹脂の段階での評価技術を蓄積していくことは可能であった。¹⁷ そこで、樹脂の物性評価（光学物性など）、「にごりがないか」「黄色がかっていないか」「光学的に均一か」といった評価を社内で実施していった。さらにレンズメーカーとのやりとりからレンズを作るのに必要な要件を学習し、新材料開発にフィードバックしていった。これにより、レンズメーカーとの連携の質が高められたのだという。

(5) 販路拡大：国内から海外へ

三井化学では、開発当初から MR-6 を幅広くレンズメーカーに提供していくことを狙いとっていた。当時の国内メガネレンズ市場は競争が激しく、レンズメーカーは他社が最高品質の高屈折率レンズを市場に投入すれば、自社もそれに追随せざるをえない状況にあったため、

材料としての性能が優れていたためにレンズメーカーもつきあってくれた」のだという。

¹⁵ 化学製品における評価技術の重要性については Barnett (1991) が指摘しており、また我々の機能性化学品の調査結果でも同様の指摘がなされている (桑嶋, 2005a; 富田, 2005a)。

¹⁶ 一方レンズメーカーにはチオウレタン系樹脂に関する知識・ノウハウがなかった。

¹⁷ この評価のために作られる樹脂は、素人目にはメガネレンズと変わらないが、実際には似て非なるものであるという。レンズにするためにはモノマーから重合・成形して、さらに二次加工（染色、研磨、コーティング等）を行う必要がある。したがって、例えば樹脂の段階で十分な光学特性や耐衝撃性が得られたとしても、レンズメーカーがコーティングを施すと、「波線が出る」とか「はがれやすくなる」「耐久性が低下する」といった問題が生じる。このような問題は樹脂の段階では評価できない。

高屈折率メガネレンズ材料の製品開発と競争優位

顧客を限定した市場開発は現実的ではなかったからである。

その他にも先行していた TS-26 の事例から学習した教訓もあった。上述のように、TS-26 はセイコーエプソンとトクヤマの共同開発であり、トクヤマはセイコーエプソン以外のレンズメーカーには販売できないという制約を抱えていた。これに対し、幅広くレンズメーカーに販売できれば量産によるコスト低減効果も期待できる。

そこで三井化学は、MR-6 が大手レンズメーカーに採用されると、それ以外のメーカーにも営業攻勢をかけていった。こうして、MR-6 は国内における市場シェアを拡大したのである。

また三井化学は、海外でも販路拡大を図った。1990 年当時、米国のメガネレンズ需要はレンズ枚数にして日本の約 4 倍、欧州は約 3 倍もあった。米国では、PPG 社の CR-39® によるプラスチックレンズがすでに 80% 程度のシェアを占めており、汎用樹脂のポリカーボネート製レンズも専用研磨機とハードコートの開発により、矯正用レンズ素材として使用され始めていた。一方の欧州はガラスレンズ全盛の時代であり、光学特性に優れるガラスレンズが最も良いと信じられていた。したがって、これらの市場に新たに高屈折率プラスチックレンズを普及・浸透させるには時間がかかると見られていた。

それでも三井化学の欧米駐在の営業マンは、レンズメーカーに足繁く訪問し、MR-6 の光学特性と熱機械特性のバランスの良さをアピールして回ったという。評価してくれるレンズメーカーも徐々に現れ、日本から開発担当や研究者が供給条件やレンズの成形方法などの説明に訪れた。すると、欧州市場ではガラスの代替素材としてプラスチックが注目を集めるようになった。

こうして、欧米の有力レンズメーカーでも MR-6 のサンプルが受け入れられ、レンズの試作が行われるようになった。その際、国内の時と同様、レンズが濁る、色が付く等々の問題が再発したが、開発担当者らが現地に泊まり込みで対応した。こうした対応の結果、レンズの歩留まりが向上してレンズメーカーの商業生産が可能となり、MR-6 は欧米での市場シェアを次第に伸ばしていった。

(6) 競争優位の獲得：高屈折率化競争を勝ち抜く

三井化学は 1987 年に MR-6 を上市した後、1991 年にはその後続品としてさらに屈折率を 1.67 に向上させた MR-7 を、1998 年にはアッベ数を改善した MR-8 などを立て続けに市場に投入し、MR シリーズの地歩を固めていった。

また、国内ではちょうどその頃、チタンを用いた軽量フレーム・ブームが起り、それに応じた軽くて薄いレンズが求められていたこともあり、MR シリーズに代表されるチオウレタン系材料を用いたレンズの市場が拡大した。その結果、高屈折率レンズ材料の世界市場に

における MR シリーズは約 70%のシェアを獲得した。¹⁸

高屈折率レンズ材料のような機能性化学品の場合、ニッチ市場であることが多いため、いかに高シェアを獲得するか、そしていかにそれを持続させるかが事業の成否を左右する。¹⁹ こうした課題に対して、三井化学は幅広く MR-6 をレンズメーカーに提供していく方針を採用した。当時先行していた競合品 TS-26 が共同開発契約の制約により、特定レンズメーカー一社にしか供給されなかったことと比べれば、同社の方針はシェア拡大に大きく寄与したものである。さらに、幅広く材料を提供できれば量産によるコスト低減効果も期待できるので、ユーザーであるレンズメーカーにとっても原料調達面でのメリットがあったと考えられる。

また、同社には以下に挙げる競争優位の源泉もあった。ひとつ目は、製品自体の優位性である。表 1 ですで見たとおり、MR-6 開発当時は、他にも高屈折率を実現するレンズ材料は存在していたが、MR-6 はアッベ数などその他の物性とのバランスが良く、また染色性・加工性にも優れることからレンズメーカーに採用されたのである。

二つ目は、高いスイッチング・コストである。競合に先駆けて、レンズメーカーから MR シリーズ専用の製造設備投資を勝ち得たのである。通常、レンズメーカーは購入するレンズ材料の種類が変わると、既存の設備の改良もしくは新設備の建設のいずれかで対応を迫られる。

MR-6 の場合、既存の材料とは全く異なる分子構造を持っていたため、レンズメーカーは後者で対応せざるをえなかった。「逆に言えば、それだけ投資価値のある新材料と評価された」（三井化学関係者談）とも言える。新規の設備投資は高額なので、一度特定のレンズ材料向けに専用投資を行ってしまうと、よほどインパクトのある材料が出てこない限り切り替えるインセンティブがない。²⁰ このことが競合への参入障壁となった。

三つ目は、特許網構築である。同社は MR シリーズの開発にあたって、物質特許や製法特許など 200 以上の特許を出願し権利化していった。これにより、競合他社は同社の特許を回避して材料開発を進めざるをえず、その結果、開発スピードが遅れたものと考えられる。

しかし、特許だけで防衛できる部分には限界がある。そこで、三井化学は MR-6 の改良品を継続的に投入していった。高屈折率レンズ材料のような機能性化学品の場合、評価技術が

¹⁸ ただし、チオウレタン系レンズの競合が全くないわけではない。1997 年、三菱ガス化学が当時最高屈折率 1.71 の材料を開発した。これはエポキシ樹脂に硫黄原子を導入することで高屈折率を実現した。三井化学でも、こうした競合の動きに対抗するため、2000 年、さらに高屈折率 1.74 の「MR-174」を開発した。このように、新たな高屈折率化競争が繰り広げられている。

¹⁹ 桑嶋 (2005b)。

²⁰ こうしたケースは、他の機能性化学品や FPD (フラットパネルディスプレイ) 用ガラス基板でも見られる。

高屈折率メガネレンズ材料の製品開発と競争優位

不足するケースがほとんどである。このため、ユーザーとの緊密な連携を通じた評価技術蓄積が重要となる。三井化学は、そうした取り組みにおいても競合に先行し、開発にフィードバックして継続的に改良品を投入することで、競争優位性を持続させていったと考えられる。

三井化学では現在、メガネレンズ材料事業を電子材料事業、情報材料事業などと並んで戦略的に重要な事業と位置づけており、今後も続くと思われる国内の高屈折率化競争とアジア市場の拡大に備え、日々開発活動に注力している。²¹

5. おわりに

本ケースでは、三井化学の高屈折率レンズ材料「MR-6」の製品開発プロセスについて記述した。MR-6は日本国内のプラスチックレンズの普及を促した材料であるが、現在は高屈折率レンズの普及が遅れていた欧米市場でも後続品が市場シェアを伸ばしており、近年国際競争力があるとされる「機能性化学品」のひとつである。（機能性化学品の定義については機能性化学産業研究会（2002）や藤本・桑嶋（2002）を参照されたい。）近年の製品開発研究では、機能性化学品の分野でも加工組立型製品における「きめ細かいマネジメント」（桑嶋，2005a）や、「顧客の顧客」戦略（桑嶋，2003）、「顧客システムのマネジメント」（富田，2005b）が有効である可能性が指摘されている。

ケース分析の結果、新しい材料コンセプトの創出やレンズメーカーとの緊密な連携、連携を通じた評価技術の蓄積など製品開発における様々な取り組みが重要である可能性が伺えた。特に、評価技術の重要性については先行研究（Barnett, 1991）や、今回の我々の機能性化学品の調査結果（桑嶋，2005a；富田，2005a）からも同様の指摘がなされており、製品開発マネジメントにおける重要な論点のひとつであると言えよう。

また、競争優位の獲得においては、スイッチング・コストや特許網構築、後続品の継続的投入などによる参入障壁形成といった戦略的な取り組みが重要である可能性が示唆された。機能性化学品の市場はニッチな市場であることが多いため、いかに高シェアを獲得するかが事業の成否を左右する。したがって、単に製品の開発を成功させるだけでなく、開発した製品をいかに高シェアに結びつけるか、そしてそれをいかに持続させるかといった戦略的な「仕掛け」や「ビジネスモデル」の構築が必要となる（桑嶋，2005b）。MRシリーズにおける戦略的な取り組みは、まさにそうした持続的競争優位構築のためのものであったと考えられる。

²¹ ただし、国内市場では高屈折率が依然として重要であるという見方がある一方で、最近では薄さよりもレンズに傷や汚れが付かない、曇りにくいといったコーティング技術に開発の重点が移りつつあるという声も聞かれる。今後のレンズ材料開発は屈折率のみならず、表面性能なども含めた、より広範囲にわたる総合力の競争になっていくものと見られる。

謝辞

本稿を作成するにあたり三井化学ファイン株式会社の坂井勝也氏、三井化学株式会社の三浦徹氏、金村芳信氏、上原与志一氏、伊藤基氏からインタビュー調査等で多大なご協力をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 阿部 修 (1998) 「特許からみた眼鏡プラスチックレンズ材料の開発動向」『機能材料』 18(11), 5-11.
- Barnett, B. D. (1991). *Product development in process industries*. (Working Paper No. 02163). Boston, MA: Harvard Business School.
- 藤本隆宏, 桑嶋健一 (2002) 「機能性化学と 21 世紀の我が国製造業」機能性化学産業研究会 編『機能性化学』 (pp. 87-143). 化学工業日報.
- 川内哲也 (1997a) 「新規メガネレンズ用モノマーMR シリーズ」『化学と工業』 50(6), 825-827.
- 川内哲也 (1997b) 「最も屈折率の高いポリマーは」『高分子』 46(3), 150-151.
- 木田泰次 (1988) 「プラスチックメガネレンズ用樹脂材料」『高分子加工』 37(6), 37-41.
- 機能性化学産業研究会 編 (2002) 『機能性化学』 化学工業日報.
- 桑嶋健一 (2003) 「新製品開発における “顧客の顧客” 戦略」『研究 技術 計画』 18(3-4), 165-175.
- 桑嶋健一 (2005a) 「機能性化学の製品開発・顧客システム (1)—日本ゼオン「ゼオネックス」—」(MMRC Discussion Paper No. 30). 東京大学ものづくり経営研究センター .
http://www.ut-mmrc.jp/DP/PDF/MMRC30_2005.pdf
- 桑嶋健一 (2005b) 「液晶用光学補償フィルムの製品開発とビジネスモデル—富士写真フイルム『ワイドビュー・フィルム』—」『赤門マネジメント・レビュー』 4(7), 343-364.
<http://www.gbrc.jp/GBRC.files/journal/AMR/AMR4-7.html>
- 永田 章 (1991) 「レンズ用プラスチック材料」『化学と教育』 39(4), 13-16.
- 笹川勝好 (1994a) 「眼鏡レンズ用含硫ウレタン樹脂の開発と工業化」『日化協月報』(1994年2月), 8-11.
- 笹川勝好 (1994b) 「高屈折率光学材料」『高分子』 43(4), 290.
- 笹川勝好 (1994c) 「眼鏡レンズ用プラスチック材料」『熱硬化性樹脂』 15(4), 185-194.
- 笹川勝好, 梶本延之 (1991) 「眼鏡用プラスチックレンズ」『PETROTECH』 14(8), 66-68.
- シーエムシー 編 (1996) 「メガネ用プラスチック材料」『機能材料』 16(9), 60-64.
- 四方和夫, 酒井保雄 (1983) 「高屈折率プラスチックメガネレンズ」『化学と工業』 36(11), 92-95.
- 高橋文男 (2002) 「軽い眼鏡の動向」『新しい眼科』 19(2), 173-178.
- 谷 和功 (2003) 「高屈折率メガネレンズ用モノマーの開発」『化学経済』 (2003年11月), 9-11.
- 富田純一 (2005a) 「機能性化学の製品開発・顧客システム (2)—日本触媒「アクアリック CA」—」

高屈折率メガネレンズ材料の製品開発と競争優位

(MMRC Discussion Paper No. 32). 東京大学ものづくり経営研究センター.
http://www.ut-mmrc.jp/DP/PDF/MMRC32_2005.pdf

富田純一 (2005b) 「顧客システムのマネジメント—サプライヤーにおける製品開発戦略—」 (MMRC Discussion Paper No. 36). 東京大学ものづくり経営研究センター.
http://www.ut-mmrc.jp/DP/PDF/MMRC36_2005.pdf

参考資料

『化学工業日報』

三井化学「成長への施策」(アナリスト向け説明会資料、2001年5月13日)

『三井東圧化学社史』(1992).

『日刊工業新聞』

『日経産業新聞』

『日本経済新聞』

[2005年8月9日受稿; 2005年8月15日受理]

赤門マネジメント・レビュー編集委員会

編集長 新宅 純二郎

編集委員 阿部 誠 粕谷 誠 片平 秀貴 高橋 伸夫 藤本 隆宏

編集担当 西田 麻希

赤門マネジメント・レビュー 4巻8号 2005年8月25日発行

編集 東京大学大学院経済学研究科 ABAS/AMR 編集委員会

発行 特定非営利活動法人グローバルビジネスリサーチセンター

理事長 高橋 伸夫

東京都文京区本郷

<http://www.gbrc.jp>