

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

MMRC-J-34

機能性化学の製品開発・顧客システム（3）
—三井化学「MR-6」—

東洋大学経営学部
東京大学ものづくり経営研究センター
富田 純一

2005年4月



東京大学21世紀COE [製造] モノづくり
ものづくり経営研究センター

機能性化学の製品開発・顧客システム(3)

—三井化学「MR-6」—¹

東洋大学経営学部

東京大学ものづくり経営研究センター

富田 純一

2005年4月

要旨：

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ている。こうした市場成果の背後には、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様々な取り組みがあった。

キーワード：製品開発、ユーザーとの緊密な連携、評価技術の蓄積

¹ 本事例は、三井化学の高屈折率レンズ材料事業に関わられた坂井勝也氏、三浦徹氏、金村芳信氏、伊藤基氏の四氏へのヒアリング調査をベースに、次の文献・資料を参考にして作成した。文献：四方・酒井(1983)、木田(1988)、永田(1991)、笹川・梶本(1991)、笹川(1994a)、笹川(1994b)、笹川(1994c)、シーエムシー(1996)、川内(1997a)、川内(1997b)、阿部(1998)、高橋(2002)、谷(2003)。資料：三井東圧化学社史(1992)、『日本経済新聞』『日経産業新聞』『化学工業日報』『日刊工業新聞』。四氏のヒアリング当時の職位は下記の通りである。坂井勝也氏：三井化学ファイン株式会社 常務取締役 ヘルスケア材料部長 (2004年10月20日ヒアリング)、三浦徹氏：精密化学事業本部 精密化学事業部課長 (2002年3月13日および2004年10月20日ヒアリング)、金村芳信氏：研究開発部門 機能化学品研究所 新製品開発リーダー (2004年10月20日ヒアリング)、伊藤基氏：精密化学事業本部 精密化学事業部課長補佐 (2002年3月13日ヒアリング)。

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²。

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³。こうして国内ではレンズを薄くできる高屈折率のレン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⁴。

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市場で約 70% のシェアを誇っている。こうした市場成果の背後には、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三井化学における様々な取り組みがあった。

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⁵。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、

² 木田(1988)

³ 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)。

⁴ 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)。

⁵ 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。(四方・酒井, 1983; 木田, 1988)。

機能性化学の製品開発・顧客システム（3）

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一つは、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。

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

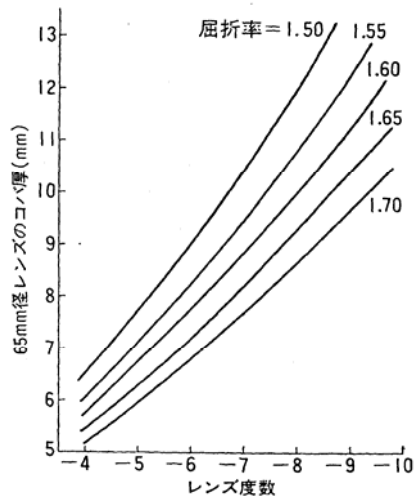


図 2 メガネレンズのコバ厚と屈折率の関係

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⁶。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、アッベ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⁷。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一つでもあった。以上の特徴を整理したものが表1である。

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		染色性
	屈折率	アッベ数			中 心 厚 (mm)	重量(g)	
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。

⁶ 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。

⁷ 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）。

（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、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）⁸。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。

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/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「メガネ用プラスチック材料」（1996）を加筆・修正。

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、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。

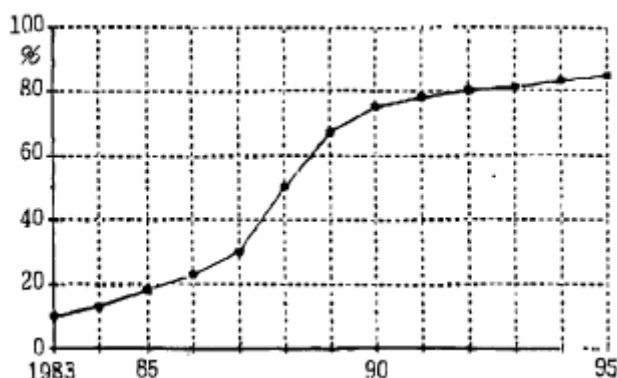
⁸ 国内市場全体に占めるプラスチックレンズの割合は9割を超えており、うち高屈折率レンズは6割以上を占めている。しかしながら世界市場全体で見れば、高屈折率レンズの占める割合はそれほど大きくはない。欧米では主に低屈折率レンズが主流となっており、同レンズに用いられるモノマーは、ADC（アリルジグリコールカーボネート）がデファクトスタンダードとなっている。ただし、最近では欧米を中心に高屈折率レンズが大きな伸びを見せている。

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1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レンズには幾つかの欠点があるとも認識されていた。一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⁹。

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「メガネ用プラスチック材料」（1996）

⁹ 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。

一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

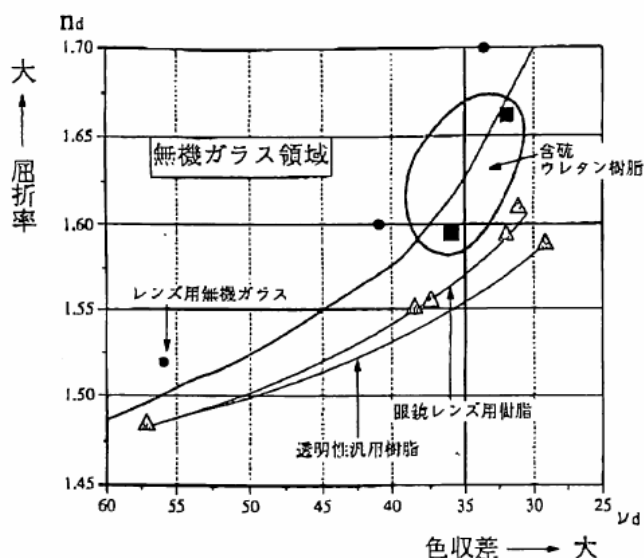
レンズの素材である樹脂の屈折率を上げるには、分子構造内に①芳香環（ベンゼン環）、②フッ素を除いたハロゲン原子（塩素、臭素、ヨウ素）、③硫黄原子、④重金属原子を導入すればよいことが理論的に知られている。このうち、④は樹脂の比重を極度に高めてしまう欠点があったために採用されず、①②③の手段が試みられてきた。

図 4 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、更に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¹⁰。

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、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。

図 4 樹脂の屈折率とアッベ数



出所：笹川(1994c)

(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

¹⁰ 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。

機能性化学の製品開発・顧客システム（3）

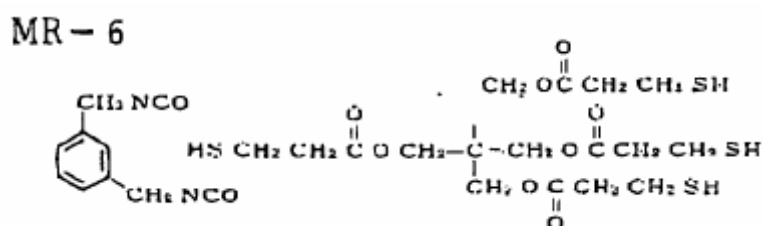
メガネ用レンズに用いるためには、無色透明であること、屈折率を上げることの2点が必須である。こうした課題に対して、担当研究者は上司の着想のもと以下の対応を図った¹¹。

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2つのモノマーの組み合わせからなる樹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¹²。実際、TSシリーズはその後撤退を余儀なくされている。

図5 MR-6の化学構造



出所：笹川(1994a)

（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

¹¹ 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）。

¹² 日経産業新聞（1991年12月9日）

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¹³。」

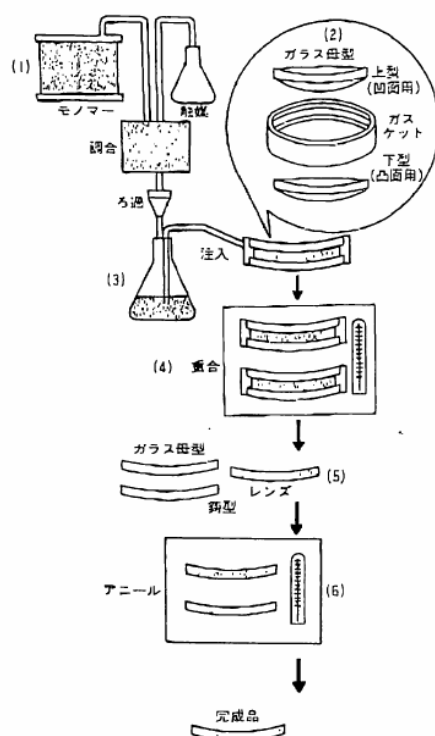
前出(p.1)の表 1 は MR-6 と競合品の物性等を比較したものである。高屈折率レンズの先発品の TS-26 と比較すると、屈折率はほぼ同じであるが、アッベ数が 36 と大きく上回っていることが見て取れる。また、耐衝撃性で見てもそれまで強いと言われてきた CR-39® の 13.0 を大きく上回っている。その他にも染色性や成形加工性に優れることなどから、非常にバランスの良い素材であると言える。

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¹⁴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。

¹³ 日経産業新聞（1991 年 12 月 9 日）

¹⁴ 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)

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3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¹⁵。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¹⁶

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

¹⁵ 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。

¹⁶ 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, 2005; 富田, 2005a）。

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¹⁷。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¹⁸。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していた。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得ない状況にあったため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既に 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

¹⁷ 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。

¹⁸ 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。従って、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。

機能性化学の製品開発・顧客システム（3）

も良いと信じられていた。従って、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、欧州ではガラスの代替素材として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へのサンプル供給が始まり、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、開発担当者が現地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）デファクト化：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。

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ことも大きかった。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得なかった。「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。

ただし、こ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。従って、レンズメーカーのMRシリーズ専用の設備投資自体がある種の参入障壁を形成していたとも言える。

それ以外にも、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と、加えて継続的にMR-6の改良品を投入していったために、他社がその改良品を上回るスペックの代替品を開発するのが困難な状況にあったことなども参入障壁形成の一因となっていたという。

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。高屈折率レンズ材料市場におけるMRシリー

ズのシェアは約 70%であり、デファクトスタンダードを確立したと言える¹⁹。

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²⁰。

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」の一つである。(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, 2005)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, 2005; 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一つであると言えよう。

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。

¹⁹ ただし、チオウレタン系レンズの競争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、こうした競争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。

²⁰ 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。

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. Harvard Business School Working Paper02163, Boston, Mass.
- 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』化学工業日報, pp.87-143.
- 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), pp.165-175.
- 桑嶋健一 (2005)「機能性化学の製品開発・顧客システム(1)ー日本ゼオン「ゼオネックス」ー」MMRC-J-30 ディスカッション・ペーパー. (<http://www.ut-mmrc.jp/DP/default.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・梶本延之(1991)「眼鏡用プラスチックレンズ」『PETROTECH』14(8), 66-68.
- 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』2月号, 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.
- 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』11月号, 9-11.
- 富田純一 (2005a)「機能性化学の製品開発・顧客システム(2)ー日本触媒「アクアリック CA」ー」MMRC-J-32 ディスカッション・ペーパー. (<http://www.ut-mmrc.jp/DP/default.html>)
- 富田純一 (2005b)「顧客システムのマネジメントーサプライヤーにおける製品開発戦略ー」MMRC-J-36 ディスカッション・ペーパー. (<http://www.ut-mmrc.jp/DP/default.html>)

参考資料

三井化学「成長への施策」(アナリスト向け説明会資料、2001.5.13)

三井東圧化学社史 (1992)

日本経済新聞

日経産業新聞

化学工業日報

日刊工業新聞