

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

MMRC-J-32

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

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(2)

—日本触媒「アクアリックCA」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：

日本触媒が1983年に上市した高吸水性ポリマー「アクアリック CA」は、国内市場において紙おむつの普及を促した原料である。現在は欧米市場でも高いシェアを獲得している。しかし、もともとは紙おむつ用途を念頭に置いて開発されたものではなく、上市までの道程は決して平坦なものではなかった。本ケースから、技術開発や供給契約、ライセンス契約などにおける様々な偶然や失敗を成功に結びつけてきた様相が伺えよう。またその過程で、「顧客システム」を念頭に置いた評価技術の蓄積などが有効である可能性も示唆される。

キーワード：製品開発、顧客システム、評価技術の蓄積

¹ 本事例は、株式会社日本触媒の高吸水性ポリマーの開発を担当された下村忠生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：会田(1999)、下村(1990)、下村(1991)、下村(2003a)、下村(2003b)、下村(2004)。資料：日本触媒社内報(2003)。ヒアリング当時の下村氏の職位は下記の通りである。下村忠生氏：研究開発本部調査役(2004年12月3日ヒアリング)。

1. はじめに

紙おむつは第二次大戦中に布おむつの代替品としてスウェーデンで生まれた。戦後、米国に渡った紙おむつはパンツタイプとなり発展した。欧米では豊富な木材資源を生かして綿状パルプが紙おむつ用吸水材として用いられた。また、女性の社会進出が早くから進んだことから、布おむつの代わりに紙おむつを使用することで時間の節約が図られた。こうして欧米では早くから紙おむつの普及が進められていったのであるが、日本国内では普及が遅れており、1980年頃まで布おむつの使用がほとんどであった。

こうした中、株式会社日本触媒（以下、「日本触媒」と略）が1983年に上市した高吸水性ポリマー「アクアリック CA」は吸水性に優れかつ安価であることから、紙おむつの原料として用いられるようになった。これを機に国内市場では紙おむつの普及が進み、同時に普及の進んでいた欧米市場でも高吸水性ポリマー（Super Absorbent Polymer、以下「SAP」と略）の使用が増えていった。

アクアリック CA を始めとする SAP は現在、世界中で 100 万トンを超える量が使用されている。100 万トンといえば、仮に子供用紙おむつ 1 枚に 10 グラム使用すると考えると 1000 億枚に上る。これは赤ん坊一人が一日平均 4 枚、年間平均 1500 枚使うとして 6500 万人分もの消費量である。

このようにして、今日 SAP は紙おむつの原料として主流を占めるに至っているが、その代表格である日本触媒のアクアリック CA はもともと紙おむつを念頭に置いて開発されたものではなかった。開発から上市に至るまでの道程は決して平坦なものではなかった。同社は技術開発にしても、開発後の供給契約やライセンス契約にしても、幾つもの偶然や失敗を成功に結びつけてきたのである。

以下では、このアクアリック CA を開発した日本触媒と SAP の歴史的発展の経緯を明らかにするとともに、アクアリック CA 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も検討してみよう。

2. 製品／市場概要

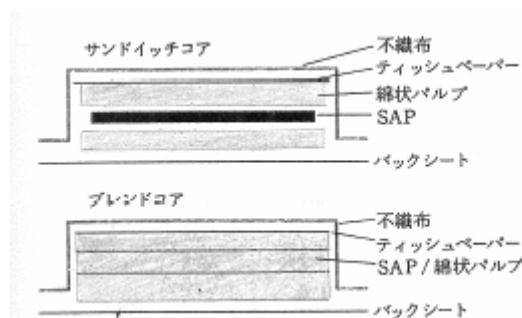
（1）製品概要

1983年、「アクアリック CA」は日本触媒により、高吸水性ポリマー（SAP）として上市された。アクアリック CA はアクリル酸を主原料とする粉末状の樹脂で、世界初の大規模水溶液重合法により製造されている樹脂である²。現在その 9 割は紙おむつに用いられている³。

² それまでも 1978 年、三洋化成が澱粉・ポリアクリル酸グラフト系の SAP の開発に成功していたが、「品質、量産性、価格に問題があったため、それほど普及しなかった」（下村氏）とのこと。

紙おむつは、基本的には表面材（不織布）、吸収コア（綿状パルプと SAP の複合体で、サンドイッチコアとブレンドコアの 2 種類がある）、裏面材（バックシート）からなる。アクアリック CA は吸収コアの部分に用いられている（図 1 参照）。

図 1 紙おむつの構成図



出所：下村(1991)

アクアリック CA の特徴の一つは、水を数百倍も吸収して膨潤する（吸水性が高い）が、手で押しても水が出てこないという点である。このため、おむつに用いると、赤ん坊の尿漏れを防ぐ、お尻が濡れにくくなるなどの機能を発揮する。

二つ目の特徴として挙げられるのは、液の拡散性が高いという点である。拡散性を高めるためには、ポリマーの吸水倍率が高すぎても、吸収速度が速すぎてもいけない。もし吸水倍率が高すぎると、膨潤したゲルが目詰まりを起こして、尿がおむつに浸みこまなくなる。また、吸収速度が速すぎると、尿が接触した箇所だけで吸収してしまうので、長持ちしなくなる。アクアリック CA は、これらのバランスをきちんと考慮し、おむつ全体に尿を拡散させて吸収できるようにした樹脂である。

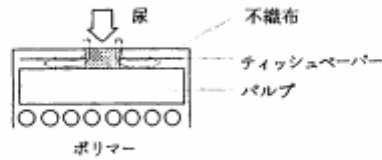
三つ目の特徴は、綿状パルプの吸尿機能を補完する（吸引力が高い）という点である。吸尿したパルプからさらに SAP が吸引することで、パルプを乾燥させ、再利用可能にするのである（図 2 参照）。

四つ目の特徴は、量産性に優れるため安価であるという点である。従来の製法（懸濁重合法や静置ゲル重合）では、重合後の作業性が悪かったり、乾燥が困難であったり、大量生産が困難等の問題があった。日本触媒が独自に開発した重合装置と製法により生産性が格段に向上した。

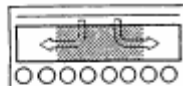
³ 紙おむつは生産量ベースで子供用 79%、大人用 11%に用いられ、生理綿にも 1%ほど使われている。その他にはペット用品（猫砂代替品、ペットシート）、食品関連（ドリップ吸収シート）、家庭用品（使い捨てカイロ）、ケーブル（光ケーブル用止水テープ）、土壌用保水材などとしても用いられている。

図2 紙おむつの吸収の仕組み（サンドイッチコアの場合）

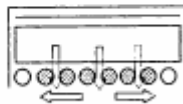
①不織布を通じて尿が紙おむつ内部に入り、不織布やティッシュペーパーが尿を一部拡散させる。



②次に綿状バルブが素早く尿を吸収する。この時尿の拡散も一部行なわれる。



③吸収した綿状バルブからポリマーが尿を吸収し、バルブを乾かす。また拡散も同時におこなわれる。



④2回目の尿が来て①に戻る。このパターンを数回繰り返す。

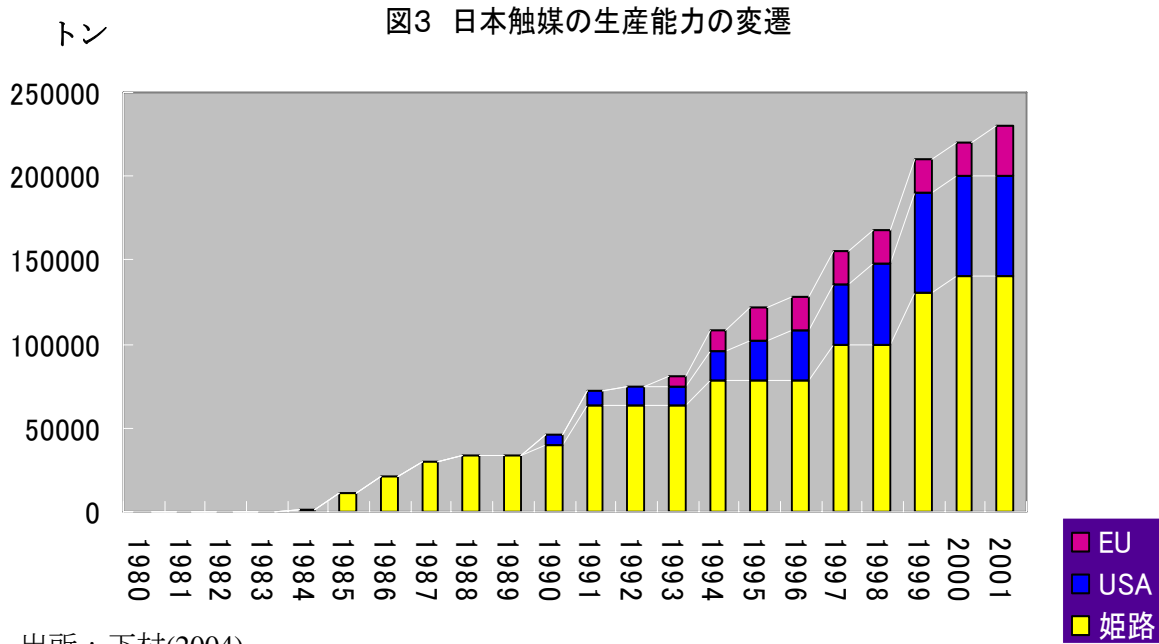
出所：下村(1991)

(2) 市場概要

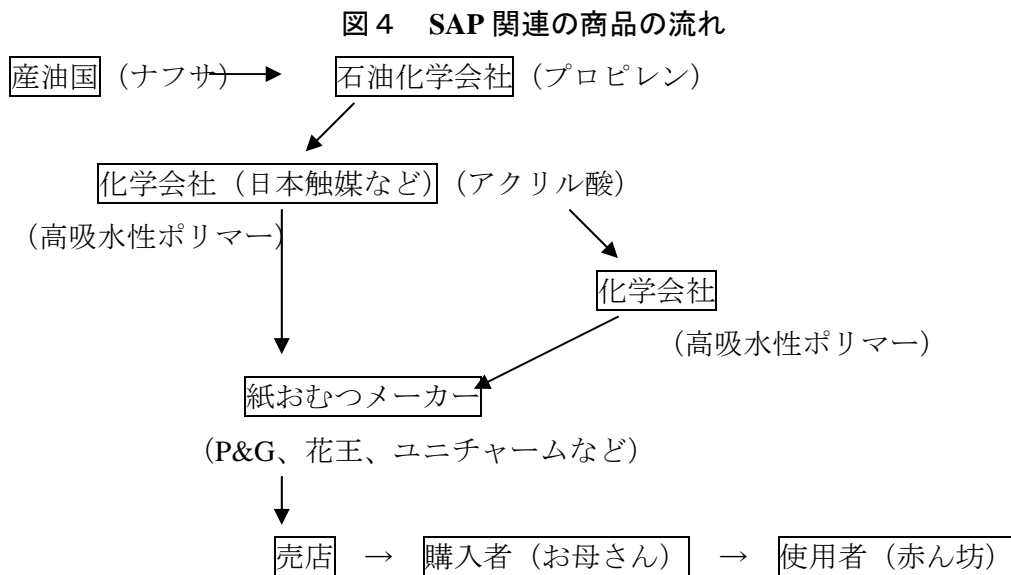
以上の優れた特徴を持つが故に、アクアリックCAは2004年現在、世界SAP市場において約25%とトップクラスのシェアを持つ⁴。市場規模は世界全体で約100万トとも言われており、単価150円/kgで換算すると約1500億円になる。

またSAPの需要は、ここ10数年間で世界全体で年率10%を上回る伸びを見せており、日本触媒もそれに応じて生産能力を増強してきた(図3参照)。2005年には中国でも年産3万トの能力を持つ新工場を稼働させる予定である。

⁴ 独BASFとトップ争いを繰り広げている。独BASFは生産能力で見ると(表1)、日本触媒よりも高いが、「生産能力と同じ分だけ市場で売れているとは考えにくいので、日本触媒とほぼ同等のシェアだと思われる。」(下村氏)



SAP 関連の商品の流れは図4のようになっている。まず産油国からナフサを輸入して石油化学会社がエチレンやプロピレンを作る。日本触媒は、それを原料に酸化エチレンやアクリル酸を作り、SAP（高吸水性ポリマー）を作る化学会社に売ると同時に、自ら SAP を作り、紙おむつメーカーにも販売している。つまり顧客である化学メーカーと競合している。さらに言えば、紙おむつメーカー自身がアクリル酸を購入して SAP を作っていて日本触媒と競合しているケースもある。このように、日本触媒の競争状況は非常に複雑である。



SAPメーカー各社の2004年1月現在の生産能力は表1の通り。SAPメーカー全体の生産能力は130万ト弱である。最大の生産能力を誇るのは年産30万ト強の独BASFである⁵。次いで、日本触媒、DOW、ストックハウゼンの順となっている。国内では三洋化成と三菱化学の合弁会社サンダイヤが二番手で、住友精化（旧製鉄化学）が三番手となっている。

表1 SAPメーカーの生産能力（2004年1月現在）

BASF（欧州12.5、米国16、タイ2）	30.5万ト
日本触媒（日本17、米国6、欧州3）	26万ト
サンダイヤ（日本）	12.5万ト
DOW（米国8、欧州7）	15万ト
ストックハウゼン（米国13.5、欧州11.5）	25万ト
住友精化（日本4.7、シンガポール3.5）	8.2万ト
東亜合成	1万ト
花王	1万ト
アトフィナ（欧州）	1.5万ト
台湾ブラ	2.4万ト
ソンウォン（韓国）	0.5万ト
ユーロン油化（韓国）	4.0万ト
	合計 128.6万ト

出所：下村(2004)

3. SAPと紙おむつの開発の歴史

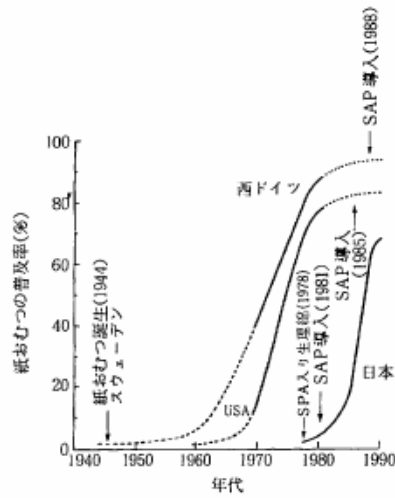
SAPは子供用紙おむつの開発とともに発展を遂げてきた。紙おむつは、第二次大戦中に布おむつの代替品としてスウェーデンで生まれた。当時スウェーデンでは布と洗剤が不足していたことから、豊富な木材資源のおむつへの利用可能性が見いだされたのである。ティッシュペーパーを用いた紙おむつがその原型と言われる。

戦後、米国に渡った紙おむつはパンツタイプとなり発展した。欧州・米国ともに豊富な木材資源を活用して、紙おむつの吸水材として綿状のパルプが使用されるようになった。また、欧米では女性の社会進出が早く進んだことなどから、布おむつの洗濯の手間を省くために紙おむつの使用が増えていった。こうして欧米では紙おむつの普及が早くから進められていったが、国内では普及が遅れており、1980年頃までは布おむつの使用がほとんどであった（図5参照）。

⁵ BASFは1993年、日本触媒との合弁会社設立によりSAP生産を開始した。「技術提携は数年間続いたが、2000年にBASFは合弁を解消して自前生産に踏み切り、その後幾つかのSAPメーカーを買収して世界最大のSAPメーカーとなった」（下村氏）とのこと。

機能性化学の製品開発・顧客システム（2）

図5 子供用紙おむつの普及率（推定）



出所：下村(1991)

表2 SAP と紙おむつの開発の歴史

年	ヨーロッパ	アメリカ	日本	日本触媒化学
1944	紙おむつ誕生(スウェーデン)			
1961		パンツタイプ紙おむつ(P&G) 土壌用SAP特許(DOW)		
1970	紙おむつ普及率 37% (西ドイツ)	紙おむつ普及率 10%		アクリル酸企業化 (直接塩化法 世界初)
1972		衛材用SAP特許 (DOW, J & J)		ポリアクリル酸ナトリウム企業化
1973				高分子量ポリアクリル酸ナトリウム企業化
1974		デンプングラフトポリマー特許(USDA)		
1975	紙おむつ普及率 63% (西ドイツ)	紙おむつ普及率 48%		
1977			パンパース発売(P & G)	
1978			SAP入り生理剤発売(第一衛材)	
1979			デンプン系SAP企業化(三洋化成) アクリル系SAP生産(花王)	
1980	紙おむつ普及率 93% (西ドイツ)	紙おむつ普及率 75%		
1981			SAP入り成人用紙おむつ発売(大三、第一衛材) SAP入り乳幼児用紙おむつ発売(ユニ・チャーム)	
1982			紙おむつ普及率 6%	
1983				SAP企業化
1984			紙おむつ普及率 15%	世界最大SAPプラント完成
1985		SAP入り紙おむつ本格化	すべての紙おむつにSAP使われる、紙おむつ普及率23%	
1987			紙おむつ普及率 40%	
1988	SAP入り紙おむつ本格化			
1989			紙おむつ普及率 60%	
1990				USでSAP生産開始

出所：下村(1990)

さてSAP自体の開発は1960年代の米国に遡る。当時米国では土壌用保水剤としてSAPの研究が進められていた。その後、1972年に米国で初めてSAPを紙おむつに応用するという特許が出された。1974年には米国農務省研究所で、澱粉を利用した澱粉-アクリロニトリルグラフトポリマーがSAPとして有用であるという論文が発表された⁶。

すると、この論文をベースに三洋化成がSAPの研究を開始し、1978年に企業化し、第一衛材が生理綿として使用開始した。また、時期を同じくしてP&Gが日本に進出し、紙おむつ「パンパース」の販売を開始した。この時点ではまだ紙おむつにSAPは使われていなかったが、国内でもSAPの応用研究が進められていった。

こうした中、1981年にユニチャームがSAP入り紙おむつを発売した。SAPの使用量は少なかったが、これを機に国内でもSAP使用の気運が高まっていった。1983年、日本触媒がSAPを企業化し、翌1984年に年産1万トンのプラント立ち上げに成功すると、ユーザーであったP&Gが花王に追随してSAP多量使用紙おむつの販売を開始した⁷。SAPが大量生産されて安価になると、綿状パルプよりも単位コストあたりの吸収能力が大きくなり、ますますSAPの使用量が増加していった。以後、国内における紙おむつの普及率は急速に高まり、同時に欧米でもSAP入り紙おむつの使用が広がっていった（図3参照）。

現在、SAPの90%以上は紙おむつなどの衛生材料に使用されているが、そのほとんどがアクリル酸を原料としたポリアクリル酸塩架橋体である。ポリアクリル酸塩架橋体は紙おむつ用に適した性能を持ち、かつ低コストであることから、SAPの主流を占めるようになった。その他の種類のSAPは工業的な用途に一部限定的に使用されている。

4. アクアリック CA 開発の背景

(1) アクリル酸ナトリウムポリマー (PSA) の開発

日本触媒は、社名にもあるように、触媒関連の技術が得意な会社である。会社設立以降、触媒を用いた気相酸化技術により、ナフタリンから無水フタル酸（1941年）、ベンゼンから無水マレイン酸（1952年）、エチレンから酸化エチレン（1959年）などを製造してきた。

そして1970年には世界で初めてプロピレンからアクリル酸を開発することに成功した。研究開始当初は酸化プロピレンを作ることを目標にしていたのであるが、実際には作ることが出来ず、その代わりにアクリル酸が出来たのだという。ポリマー（高分子）の研究者であった椿本・下村の両氏は、こうした偶然をきっかけにして試作と改良を繰り返し、ポリアク

⁶ これは、「事後的に見ればSAP発展の歴史の中で、エポックメイキングな出来事だった。」（下村氏）

⁷ 「当時、国内最大のSAPメーカーであった三洋化成が年産数百トンのプラントしか保有していなかったことを考えれば、年産1万トンというのは相当大きな量産プラントであったことが分かる。」（下村氏）

機能的化学の製品開発・顧客システム（2）

リル酸ナトリウム（PSA）の開発を成功させた。

アクリル酸は今日では簡単に入手可能な原料とされているが、日本触媒が工業化する以前は非常に手間がかかる製法によって作られていたため、高価な原料とされていた。具体的には、まずアセチレンとアルコールを用いてアクリル酸エステルを合成する（これを改良レップ法と呼ぶ）。そしてこの化合物を加水分解してアクリル酸を得るという製法である。当時はローム&ハースや東亜合成などがこの製法を採用していた。

これに対して、日本触媒が新たに開発した製法は、安価でアクリル酸を作ることができた⁸。また、当時国内では脱リン・ブーム、例えば洗剤に含まれるリン系化合物を減らそうといった機運が高まっており、水溶性リン酸系化合物の代替原料としてポリマー系が注目されていた。こうした中、同社は 1972 年、低分子量アクリル酸ナトリウムポリマー（PSA、商品名「アクアリック L」）の開発に成功し、洗剤ビルダーや顔料分散剤として販売するようになった（表 3 参照）。

さらに翌 1973 年には高分子量 PSA の開発に成功し、凝集剤や増粘剤、食品添加物などにも使用されるようになった。この高分子量 PSA の技術蓄積がその後の SAP 開発につながっていく。後に明らかになることであるが、高分子量 PSA は当初量産化の問題を抱えていたものの、SAP と作り方がほぼ同じだったのである。同社はその後も 1976 年に超低分子量 PSA、1982 年に中分子量 PSA を開発し、アクアリックシリーズの販売量を増やしていった。

表 3 日本触媒のアクリル酸ナトリウム（PSA）ポリマー開発史

1969 年	アクリル酸ポリマー研究開始（椿本、下村）
1970 年	アクリル酸企業化
1972 年	低分子量 PSA 企業化「アクアリック L」（椿本、下村）
1972 年	初めて洗剤ビルダー、セメント分散剤のテストをした（下村）
1973 年	高分子量 PSA 企業化「アクアリック H」（椿本、下村）
1976 年	超低分子量 PSA の発明「アクアリック OP」（下村）
1982 年	中分子量 PSA 企業化「アクアリック OM」（下村、初田、入江）

出所：下村(2004)

（2）生理綿用ポリマーの開発

高分子量 PSA（HPSA）の企業化後、上記の用途以外の用途を開拓するため、開発担当の吉田氏がサンプルワークを行ったところ、ある衛材メーカーから「水に流せる生理綿（防漏シート）が欲しい。防漏シートに HPSA を使用してみたい」という要望が寄せられた。従来生理綿はプラスチックフィルムを使っているため、そのままではトイレに流せないという

⁸ SAPの原料であるアクリル酸を安価で内製していることも日本触媒の強みの一つである。

問題があった。

下村氏はHPSAとポリアクリル酸架橋体の混合物を塗った試作品開発を開始した⁹。同氏は防漏性のテストを被験者を妻にして実施した結果、一応の性能のシートが開発できた¹⁰。しかし、生理綿用のシートとしては製法上の問題点が判明したため、結局工業化には至らなかった（表4参照）。

工業化には至らなかったが、この試作品は「経血を吸収する（Catamenial Absorbent）」という意味の頭文字を取って「アクアリックCA」と名付けられ、「高吸水性ポリマー（SAP）」として研究が続行された¹¹。研究を続行したのは、「自社原料（アクリル酸）、自社技術（HPSA）の有効利用」という日本触媒の研究方針（ドメイン）にも合致していたからである。

なお、吸水性に着目したのは次のような経験に基づいているという。HPSA開発時代に水に不溶で膨潤する失敗作がたくさん出来たことがあった¹²。そこで、下村氏はこの性質を利用すれば、防漏剤としてだけでなく吸水剤としても使えると考えたのである。

下村氏は吸水剤としての用途について吉田氏に相談したところ、「紙おむつの綿状パルプの置き換えに使えるかもしれない」と言われ、紙おむつ用途を念頭に置いたアクアリックCAの開発がスタートした。

当時、国内では10社あまりが各々の原料、各々の製法でSAP企業化を検討していた¹³。日本触媒も既にアクリル酸の外販を始めており、ユーザーの一部がSAP開発を進めていたために、社内でも「ユーザーと競合する」とSAP企業化に反対する声が多かった。そこで、研究陣はできるだけ競合しない新しいユーザーを探す、あるいは自社製品が競合品に比べて優れていることを示してユーザーの側から選択してもらえる方法を探るようにしたという。

⁹ 当時研究を担当していたのは、下村氏を含め3名であった。下村氏以外の2名は入社一年目と五年目のポリマー研究者である。

¹⁰ 「HPSAだけを用いるとアルカリ性が強いため、肌に合わない。そこで、アクリル酸の架橋体と混ぜることで中性にした。」（下村氏）

¹¹ ただし、「後におむつ用途としての生産量の方が大きくなったため、「Chemical Absorbent」や「Crosslinked Acrylate Polymer」といった意味も持たせるようにした」（下村氏）とのこと。

¹² 伊丹(1986)は、イノベーションのプロセスで出てきた偶然をきっかけにしてその背後の論理を解明していく（必然を作り出す）ことがイノベーションにつながると指摘する。高吸水性ポリマーの開発もこのケースに該当するものと思われる。

¹³ しかし現在、国内で研究を続けているのは日本触媒の他にサンダイヤと製鉄化学の2社だけである。

機能性化学の製品開発・顧客システム（2）

表4 日本触媒の高吸水性ポリマー（SAP）開発史

1972年	高分子量PSA企業化（下村）
1977年	ポリアクリル酸架橋体の研究開始（研究員3名）
1977年	生理綿用途研究を開始（CAの始まり）
1978年	ポリアクリル酸ソーダ架橋体研究開始（研究員3名） 「アクアリックCA」静置重合
1978年	食品添加物内添重合の発明
1980年	画期的な生産性の良い重合方法開発
1980年	ベンチプラント（研究員4名）
1981年	表面架橋法の開発
1981年	医薬部外品（厚生省）認可（研究員5名）
1983年	連続プロセス開発（研究員6名）
1983年	パイロットプラント（1000 ^ト ）（研究員7名）」
1984年	1万 ^ト プラント完成
1989年	米国での生産開始
1991年	欧州での生産開始

出所：下村(2004)

5. アクアリックCAの開発プロセス

（1）有用な新製法の発明

紙おむつを念頭に置いたアクアリックCAの開発は、1978年、下村氏を含め研究員3名体制でスタートした（表4参照）¹⁴。この3名は、前年にポリアクリル酸架橋体の開発を手がけた研究者と同じメンバーである。当時彼らが在籍していたのは、30人ほどの中央研究所第三研究室であった。研究員のバックグラウンドは学卒または修士卒で、全員が化学専攻であった。研究テーマも他の高分子関連の研究が主流となっていたため、SAPは所内でも傍流の研究テーマとされていた¹⁵。

当初SAPは、紙おむつの中で綿状パルプと混ぜて使う方法も採用されていた。最初は椿本室長のアイデアで、特殊混合機を用いて、綿状パルプにアクリル酸モノマーを含浸する方法が提案された。しかし工程上、うまくいかなかった。そこで、下村氏は他の目的に使うこの特殊混合機を用いてモノマー水溶液だけで重合してみたらうまくいき、ご飯が炊けたような状態の樹脂が得られたのである。1980年のことである。同年ベンチプラントを立ち上げ、研究員も一名増やして4名体制とした。

¹⁴ 当時は「正式なテーマ承認はなかった」（下村氏）という。ただし、下村氏は1973年までの間に既に2件の企業化を果たした実績があったことから、「研究については比較的自由に任されていた」（下村氏）とのこと。

¹⁵ 「現在はSAP（アクアリックCA）が主力事業に成長したので、研究員40名ほどの陣容の「吸水性樹脂研究所」が設置されている」（下村氏）。

この水溶液重合法は、これまでのSAPの生産性を格段に向上させる画期的な製法であった。従来の「静置ゲル状重合」と呼ばれる製法では、重合したゲルはそのままだと乾燥しにくい
ため、細かく切ってやる必要があった¹⁶。また、重合熱で温度が上がると性能が落ちるため、
ゆっくり重合させ、しかも厚さを薄くして熱を逃がしてやる必要があった。このため、生産
性が著しく低かった。

これに対して、下村氏が開発した製法を用いれば、最初からご飯の粒のように細かい状態
の樹脂が得られるので、切断する必要がない。また、粒子が細かいので除熱も簡単にできる。
このため、量産性に適している¹⁷。こうして、従来の製法が抱えていた問題を一挙に解決し
たわけであるが、吸水の仕方に問題があることが分かった。すなわち、赤ん坊の体重がかか
っている状態では吸尿するとベトベトしてしまい、きちんと尿を吸ってくれなかったのであ
る。きちんと吸尿させるには、尿をおむつ全体に均一に拡散させる必要がある。

そこで、下村氏はゲルの粒子の表面を「卵の殻を作るように」固くすればよいのではない
かと考え、重合後の粒子に食品添加物を加えて架橋するという方法を思いついた。水で膨潤
したゲルの表面が硬いと隙間をつくりやすいので、均一に拡散させやすい。また食品添加物
を用いるという発想は、以前の生理綿用SAPの開発にあった。すなわち、生理綿用SAPの
開発の際に食品添加物のHPSAを合成したことがあり、その時に別の食品添加物の存在下で
重合して架橋化に成功したという経験があった。

また、生理綿は医薬部外品であるので、上市前に厚生労働省から認可を取得する必要があ
る。その際に食品添加物を用いれば、認可も下りやすいと考えたのである。この表面架橋法
を入江氏らの部下に指示して作らせてみたところ、表面架橋化に成功して飛躍的に吸水性が
向上した。さらにその後の別の研究で入江・増田の両氏は、水のみで造粒する事に成功し、
見栄えを向上させることにも成功した。

こうして、新しい水溶液重合法による生産性向上と表面処理による物性向上で、SAPの製
品競争力は高められた。また、これらの発明は後のSAP業界にとっても非常に有用なもの
であった。しかし前述のように、生理綿用としてSAPを販売するためには厚生労働省から
医薬部外品としての認可を取得する必要がある。そこで、大学や病院などを訪問して各種安
全性、安定性、分析方法などのデータを収集し、厚生労働省に足繁く通って折衝を重ね、1983
年認可を取得した。

¹⁶ 現在は逆相懸濁重合法と水溶液重合法の2種類の製法が現存している。逆相懸濁重合法は、球状の粒子が得ら
れる、表面処理が容易である、超微粉が少ないなどの特長がある一方で、有機溶媒を大量に使う、粒子を大きく
できない、量産化に不向きであるなどの問題もあるといわれている。

¹⁷ 水溶液重合法は超微粉が発生する可能性があるといった問題も指摘されているが、量産性に優れることなどか
ら現在では世界のSAPメーカーの9割以上がこの製法を採用している。

（2）開発中止の危機と大型契約の機会

こうした中、ある大手衛材メーカーがアクアリック CA に興味を持っているという話が寄せられた。下村氏ら研究員は期待を膨らませながら開発を続けたのであるが、約半年後にその衛材メーカーは SAP を自社生産すると発表したのである。この発表を受けて社内でも開発中止の声が強まった。しかしこの時、下村氏ら研究員が反対して上司の説得を図った。その結果、人員を縮小しながらも研究を続けられることとなった。

その後、国内大手化粧品メーカーから生理綿にアクアリック CA を使いたいという要望が寄せられた。この要望を受けて、社内でもアクアリック CA をより積極的にサンプルワークし企業化していこうとの経営判断に至り、同年 1000 トンのパイロット・プラントを建設した。しかし当初はサンプルの引き合いが少なく、プラントの操業度は著しく低かった。

1983 年の暮れに入ると、別の世界的な大手衛材メーカー P 社から「SAP を 1 万ト、欲しい」との要望が入った。年産 1000 トンでも多いと言われている機能性ポリマーの世界で、1 万トというのは相当大きな大型商品である。

下村氏ら研究員は生産性をさらに上げるべく製法を模索した。そんな中、上司の椿本研究所長から良いヒントが得られた。それまではバッチで重合していたのであるが、それを連続にするというアイデアであった。下村氏は連続重合を実現するために、機械を改良したり、食品工業展や食品工場を見学したりするなど様々な工夫を試みた。その中で、自動すしロボットを応用してみてはどうかと思い立ち、実際に重合装置を試作してみたところ、有用であることが分った。連続重合なので、研究員を 6 名に増やし、3 名ずつ昼夜二交代で生産システムの構築に望んだ。その結果、連続重合システムが完成した。

なお、このとき対応にあたった 6 名は、研究員でありながらネタ探しからユーザーアプローチまですべての工程に携わっていた。もちろん、実際に製造するのは現場作業員だが、製造条件や品質を決めるのは研究員である。こうした経験を積んだ研究員は、専門の研究分野ではなく、調査、ユーザー、製法、特許など広範囲にわたり知識を身につけることができたという¹⁸。

（3）大量納入契約のリスク

1984 年 2 月には、アクアリック CA の連続重合品の性能評価を受けるために P 社にサンプルを送ったところ「スペック OK」の返事が得られた。そして翌 3 月には 1 万トンの納入契約を

¹⁸ 「ユーザーとの密接な連携が求められる機能化学品の場合、こうした開発の進め方が有効であるかもしれない」（下村氏）とのこと。

結び、姫路工業所でプラント建設を開始した¹⁹。下村氏ら研究員は社内表彰も受けた。

すると今度は6月に、P社の方から「さらに1万ト追加して計2万ト欲しい」との要望が得られた。この要望に対して、社内役員の半数以上が「リスクが高すぎる」と反対した。清水研究所長と下村氏も役員会で呼ばれ、石川社長から「どう思うか」と聞かれている。そのとき、下村氏は「大丈夫です。やるべきだと思います」と強調したという。石川社長は役員会の合意を得て、9月には追加1万トの契約が成立した。

姫路工業所の1万トプラントは10月にほぼ完成した。そして10月31日、月末の技術報告会に出席していた椿本氏と下村氏は呼び出された。P社からTELEXがあり、重大な問題が発覚したという。「ライバル品に比べて日本触媒のSAPは性能が悪い」とのクレームだった。椿本、下村、入江氏ら研究陣は急遽渡米した。先方の窓口のアンディ・スコットによれば、スペックは合格しているが、おむつでの性能が悪いということだった。ここで言うスペックとは、あくまでも物性のことであって、おむつとしての性能ではなかったのである。ただし、このことはP社側もSAPをおむつに使用してみるまで分らなかった。

このままでは1万トプラントへの投資が無駄になり会社の命運に係わる²⁰。上司からはプラントを変えずに連続法の改良で性能を向上させるようにと至上命令が下った。しかし下村氏ら研究陣は、「連続法だとSAPが膨潤した時にゲルの感触がバッチ法の時と違う」と感じていたという。そこで、上司には内緒でバッチ法により生産性を上げるという方法も同時並行で試した²¹。研究陣は吹田の研究所と姫路の工場を行き来して製造部門と連携を図り、11月・12月は土日なし、「月月火水木金金」のペースで改良にあたった。

その結果、最初に手がけていたバッチ重合法に戻すことで生産性を上げられるという目処がたった。年末にその報告をプロジェクトの最高責任者であった中島副社長に行き、1月8日にはサンプルを持って再び渡米した。P社は現地で赤ちゃんを使ったサンプルテストを実施してくれたという。その結果、アクアリックCAは競合品に比べて性能面で圧倒的に優れていることが証明された。この時、下村氏ら研究陣はようやく成功を実感したという。

日本触媒は1985年中旬に契約より半年遅れでP社に納入契約を開始した。契約内容は、期日までに未納入もしくは未購入の場合には、お互いにペナルティを払うというものであったが、納入当初は双方に品質問題や生産ラインの不具合などがあったため、幸運にも多額のペ

¹⁹ 「事後的にみればこの時の経営陣の投資決断が大きかった。しかし、機能化学製品の場合は大型の専用プラントへの投資が必要になるケースも多く、商品が売れないとプラントも無駄に終わってしまうのでリスクが高い」（下村氏）とのこと。

²⁰ これは、大手ユーザーと大量納入契約を結んでしまったことで招いたリスクであるが、そもそも連続重合法を開発していなかったらP社と契約できなかった。

²¹ Iansiti(1993)でも、メインフレーム・コンピュータ（プロセッサ構成ユニット）の開発に際して、量産性を考慮した複数の素材の同時並行開発が有効であると指摘している。

ナルティを払わずに済んだ²²。8月頃からは順調に納入・生産が行われるようになった。

（4）評価技術蓄積で先行

その後、後述するように、需要拡大とともにアクアリック CA の生産量は増加していったわけであるが、その背後には競合に先駆けた評価技術の蓄積があった。紙おむつの一番簡単なテストは「ティーバッグ法」である。紅茶のティーバッグの中身を捨て、代わりに試作品のポリマーを入れ、水に浸して重さを量ることで吸収倍率を測定する。この測定法は日本触媒が考案し、後に世界中に広まった。

しかしより重要なのは、「加圧下における吸収倍率テスト」であるという。実際に赤ん坊が寝ている状態でおむつを使用すると、圧力がかかる。その状態でもきちんと尿を吸ってくれないと困る。それも吸ってから液が移動して均一に広がるようにする必要がある。日本触媒では、こうした機能を開発当初から重視しており、おむつメーカーから要望が出される前に表面処理技術を開発した。

また、この加圧下のテストに関連して、ユーザーから要求のあった「高吸水スピード」は日本触媒の分析では誤りであることを指摘していた。吸収速度は、常識では尿の吸収速度は早ければ早いほど良いと考えられがちである。しかし、瞬間的に固まるポリマーを用いると、尿が当たる一カ所だけで集中的に吸ってしまう。これではいくら吸収速度が早くても、長持ちしない。むしろおむつ全体にじわっと染み込んでから乾くタイプのものが必要であることが分かったのである。

もう一つ後に誤りであることが分かったのは、「1000倍吸収」と言われる吸収倍率である。これも常識では、わずかな樹脂で大量の水分を吸収できる方が良いと考えがちである。しかし、吸収倍率の高いポリマーは、仮に尿を吸収して膨らんだとしても豆腐みたいな柔らかいゲル状のものになってしまう。すると、目詰まり起こして、液がおむつに染み込んでいかないという問題が起きる。このため、日本触媒では吸収倍率を300～400倍に抑えるようにしたという²³。

以上の例からも分かるように、仮に樹脂としてのスペックを満たしていても、それが必ずしもおむつとしての性能を満たしているとは限らない²⁴。おむつというのは一晩中使うもの

²² このように「双方にペナルティを義務づけるというのはあまり見られない契約形態である。」（下村氏）

²³ このように、「SAP開発当初は常識であると考えられていたことが次々と覆されていった。逆に言えば、それだけおむつメーカーも未熟であり、おむつに本当に必要な機能は何かということが分っていなかった。だからこそ日本触媒の新しい技術（考え）の入り込む余地があったとも言える。」（下村氏）

²⁴ これは顧客の階層性を考慮する「顧客の顧客」戦略（桑嶋, 2003）や「顧客システム」（富田, 2005）という視点が重要であることを示唆している。すなわち、日本触媒はSAPメーカーであるからといって単に直近の顧客であるおむつメーカーの要望を聞き入れるだけでは十分ではなく、最終顧客である赤ん坊の使用条件下でおむつ

なので、一回目の尿の吸収がよくても二回目以降が悪ければ使い物にならない。スペックというのは一時点での数値に過ぎないので、長時間のデータ収集が必要になるのである。

(5) デファクト化

さて世界最大の衛材メーカーP社が日本触媒のSAPを採用したことで、その後の世界中の大手化学メーカーは日本触媒のやり方に追随することとなった。原料はアクリル酸で、水溶液重合法で、表面架橋を施すといった具合である。これにより、アクアリックCAは製品面でも製法面でもデファクトスタンダードとなった²⁵。

1985年以降、アクアリックCAは国内で順調に生産量を増やしていった。1988年まで毎年1万トンのペースで増設している²⁶（図1参照）。1990年に入ると、海外進出を始め、同年には米ALCO社と合弁会社（NAII社）を設立し、米国テネシー州にプラントを建設した。1993年には独BASFと合弁設立し、ドイツでSAP生産を開始、2000年にはベルギーにSAPプラントを建設し自社生産を開始している。この間、世界のSAP需要は年間10%以上の伸びを見せ、同社もそれに対応する形で生産能力を増強してきた。現在建設中の中国プラントや国内、欧米の増設分を合わせると年産32万トンの生産能力で、世界第一位の生産能力を誇る。

このように、海外で自社製造プラントを持てたことがその後の日本触媒の生産能力拡大に寄与している。この点に関してこんなエピソードがある。1万トンプラント建設中の1984年に、米国の大手アクリルポリマーメーカーR社から日本触媒に対して、技術導入の申し入れがあった。当時、日本触媒のSAPと同等の競合品は世界中を見渡してもなかったことから、大手ユーザーのP社が日本触媒に技術輸出してもらおうようR社に依頼した。R社とはオプション契約（仮契約）まで進んだが、前述の量産化に伴う品質問題を察知されたためか、契約不成立で終わった。もしこの時、契約が成立して技術輸出をしていたら、その後の日本触媒の米国進出（ALCO社との合弁設立）はなかったのである。

時を同じくして、仏の大手化学会社のN社からも技術導入の申し入れがあったが、同社は最終的に競合の製鉄化学からの技術導入（逆相懸濁重合法）を選択した。もしこの時、日

としての性能を發揮できるかどうかまで考慮に入れた製品開発を行う必要があると考えられる。

²⁵ なお「P社はその後、アクアリックCAを10年間は黙って買ってくれた。その間、性能が良いとか悪いとか一切言われなかった。競合品が出て「同等」と言われるだけであった。しかし、競合品は表面架橋を施していなかったため、当社の研究陣は性能でアクアリックCAには及ばないことを確信していた。10年経って他社がキャッチアップしてくると、P社は初めてSAPのスペックにアクアリックCAが有していた長所を入れてSAPメーカーにスペック変更を依頼してきた。今から思うと、それまでのSAPではアクアリックCAのみが最高の性能であったことは明らかだった。」（下村氏）

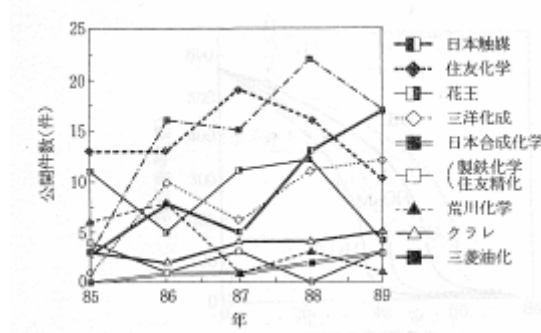
²⁶ 「この数年間の間は、品質もプロセスも同じままでSAPが売れ続けた。これを見て、上司は『売れるんだから研究しなくても良いのではないか』と言い、研究人員も減らされた。しかし、機能商品は改良に改良を重ねてこそ売れる。『より高性能でより安く。』SAP事業の順調な成長の陰には、研究に対する上司の無理解もあった」（下村氏）。

機能性化学の製品開発・顧客システム（2）

本触媒が技術輸出していれば、その後の欧州進出（BASF との合弁設立やベルギーでの自社生産）はなかった。

さらに、同時期に日本触媒はある欧州メーカーと特許係争の問題が起きたのであるが、このことをきっかけにして特許戦略の構築を図っている。ビジネス上必要な特許を取得していくことで、他社を牽制したのである。図6はその一部であるが、1985年から1989年にかけて同社における吸水樹脂関連の特許公開件数は伸びていることが見て取れる。こうした取り組みの結果、「現在日本触媒はSAPの特許保有数でも世界でトップである」（下村氏）という²⁷。

図6 吸水性樹脂関連特許公開件数（1985-1989）



出所：下村(1991)

現在SAPは、子供用おむつ1枚に10グラム程度使用されている。仮にアクアリックCA、20万²⁸が子供用紙おむつに使われるとすれば200億枚に使用されていることになる²⁸。赤ん坊一人が一日平均4枚使うとして年間1500枚の使用となる。これは赤ん坊1300万人分の消費量になる。

SAPの紙おむつ以外の用途としては、砂漠緑化、農園芸のための保水剤、使い捨てカイロや食品保冷剤、ペット用吸尿剤などにも使われている。また、耐塩性のアクアリックCSも開発され、トンネルの水漏れ防止ゴムに添加する水膨潤ゴムとしてドーバー海峡や東京アクアラインのトンネルにも用いられている。さらにH形鋼や鋼矢板の引き抜き摩擦低減材としても使用されている。

²⁷ 下村氏個人の出願特許件数だけでも219件に上っている。

²⁸ 「紙おむつ用SAPはユーザー別に品種がある。基本原料は同じであるが、ユーザー毎に機能を付加してバリエーションを持たせている。例えば、あるユーザーには消臭機能を持たせるといった具合である。消臭機能は最近でこそニーズのトレンドになっているが、自分が20年前にこの機能を付加したSAPを開発した時はほとんど売れなかった。」（下村氏）

6. おわりに

本ケースでは、日本触媒の高吸水性ポリマー「アクアリック CA」の製品開発プロセスについて記述した。アクアリック CA は日本国内の紙おむつの普及を促した原料であるが、現在は欧米市場でも高いシェアを獲得しており、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, 2005)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、技術開発や供給契約、ライセンス契約などにおける幾つもの偶然や失敗を成功に結びつけてきた日本触媒の姿が浮かび上がってきた。またその過程で、顧客システムを念頭に置いた評価技術の先行蓄積などが有効である可能性も示唆された。伊丹(1986)によれば、ほとんどすべてのイノベーションの事例には偶然と必然が同居しており、どちらが欠けてもイノベーションは生まれないと指摘しており、本事例からもその様相が伺えよう。

謝辞

本稿を作成するにあたり株式会社日本触媒の下村忠生氏(研究開発本部調査役)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

- 会田健二 (1999) 「技術立社を軸にファイン・シフトを進める」『化学経済』9月号, pp.2-9.
- 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.
- Iansiti, Marco (1998) *Technology Integration*. Harvard Business School Press, Boston, Mass. (NTTコミュニケーションウェア株式会社訳『技術統合』NTT出版, 2000)
- 伊丹敬之 (1986) 「イノベーションにおける偶然と必然」今井賢一編『イノベーションと組織』東洋経済新報社, pp.33-72.
- 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>)
- 下村忠生 (1990) 「高吸水性ポリマーの開発」『化学と工業』43(7), pp.1127-1129.
- 下村忠生 (1991) 「高吸水性ポリマー」『表面』29(6), pp.495-506.
- 下村忠生 (2003a) 「世界の標準品となったアクアリック CA」『化学経済』9月号, pp.5-7.
- 下村忠生 (2003b) 「高吸水性ポリマーの開発」『未来材料』3(7), pp.79-82.
- 下村忠生 (2004) 「高吸水性ポリマーの技術と開発物語」石油学会「触媒シンポジウム」講演資料, 2004年12月3日.
- 富田純一 (2005) 「顧客システムのマネジメントーサプライヤーの製品開発戦略ー」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

- 日本触媒社内報 (2003) 「しょくばい」.