

環境ビジネスにむけ新たな研究開発体制を



東京大学大学院 工学系研究科

教授 橋本 和仁

1 ボルケイノカーブからスマイルカーブへ

優れた開発力・企画力を有するセットメーカーが、高い技術力を保持する素材メーカーと連携し、消費者に魅力ある最終製品を世界に先駆けて販売し利益を得るといふいわゆる垂直連携ビジネスモデル。これがわが国では終焉しつつあるようだ。このようなビジネス環境は第1図のように縦軸に付加価値を、横軸に市場を上流から下流にとったとき、点線で示したカーブで表わされることが多い。この形が火山に似ていることからボルケイノ(火山)カーブと呼ぶことにする。一方で近年は、他社の追随を許さない性能をもつ材料・部品メーカーや、また、単なる製品売りだけではなく特徴あるソフトやサービスと融合させたソリューションを提供する企業が大きな利益を得ることができるというビジネス環境が出現している[1]。この様子は同図の実線で表わすことができ、スマイルカーブと呼ばれる。このようにビジネス環境はボルケイノカーブからスマイルカーブにいつの間にか変わってしまったのである。

実際、携帯電話がゼロ円(!)で売られて(?)いることは如実にこのことを示しているといえよう。「タダ」では利益が得られないのは誰でもわかる。それでも「販売」されているのは、どこか別のセクターが大きな利益を得、その一部をセットメーカーが受け取っているのだということを示している。ゼロ円の携帯電話が店

頭に並びだしたのは10年以上前である。その時点でわれわれはビジネスモデルの変化を認識し、対応すべきであった。

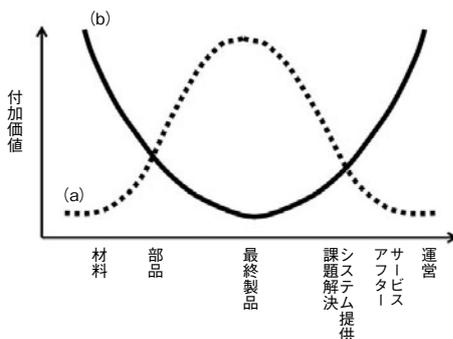
技術力に優れているはずのわが国のセットメーカーが、韓国や台湾、さらに中国に製品の性能の点で追いつかれ、かつ価格で負けるということになったのは、技術のデジタル化に大きな原因があると言われている。すなわち、部品がデジタル化することにより、誰が作っても同じ性能が得られるようになった。その結果、人件費が高く、かつ円高で悩むわが国セットメーカーの国際競争力は低下し、得られる利益は小さくなってしまった。

今やこのスマイルカーブで示される産業の事例は枚挙にいとまがない。例えばコンピュータ産業ではカーブの左側に位置するIntel Corp.と右側に位置するGoogle Inc.が大きな利益を出し、真ん中の代表Dell Inc.は安売り競争に四苦八苦である。環境産業もしかりである。例えば今後ますます世界市場の拡大が予想される水ビジネスでは、左側に位置する逆浸透膜などのメーカーは高い技術力を背景に素材ビジネスでは高付加価値を得ているが、真ん中の水処理装置販売ビジネスではたいした利益を上げることはできていない。巨額の利益の大半は、カーブの右側、施設の建設から運営管理までを手がける企業が得ている。

2 日本の強みはアナログ技術、アナログ的感覚

さて、ビジネス環境がスマイルカーブで表現されるようになった今、わが国産業は付加価値の高い左右の領域、すなわち機能部材・部品製造ビジネスと、さらにソリューションビジネスなどいくつかの製品を組み合わせた総合サービスビジネスに狙いを定めるべきであるのは明白である。

特にわが国の機能素材分野は極めて強い国際競争力をもっている。経済産業省の調査[2]によれば、例えば偏光板保護や反射防止用などの機能フィルムではわが国企業がほぼ100%近い世界シェアを占めている。また半導



第1図 付加価値獲得分野の変化

体用封止材料やセラミックコンデンサ、シリコンウェハ、偏光版光学レンズ、高張力鋼、ワイヤーハーネス、自動車用無段変速機などでも60%～80%以上の世界シェアを保持している。これらのデータはこれまで日本に利益をもたらしてきた2大産業であるエレクトロニクス産業と自動車産業は、技術力で高い世界シェアを誇っている素材、部品産業により支えられてきたという構造を示唆しているといえよう。最近になり売上高では韓国に抜かれたと報道されたリチウムイオン電池でも、それを構成する4大基本部材である、正極、負極、セパレーター、電解質は、未だわが国企業が高いシェアを誇っている(第2図)。

そのうえ、これら最先端材料を支える学術、ナノテク・材料科学、化学、物理学、いずれもわが国の国際競争力は極めて高い。例えば、つい先日、学術情報を扱う米国のトムソン・ロイター社から発表された2001年から2011年までの学術論文引用回数の多かった研究機関のランキングによれば、材料科学では東北大学が3位、(独)物質・材料研究機構が4位、化学では京都大学が4位、東京大学が5位、物理学でも東京大学が3位と世界のトップ5に日本の研究機関が数多くランクインしている。基礎分野での学術研究競争最前線にいる(と少なくとも自分では思っている)筆者の研究者としての実感でも、わが国研究者の国際的プレゼンスは、米国、ドイツなどと並んで間違いなくトップに位置している。

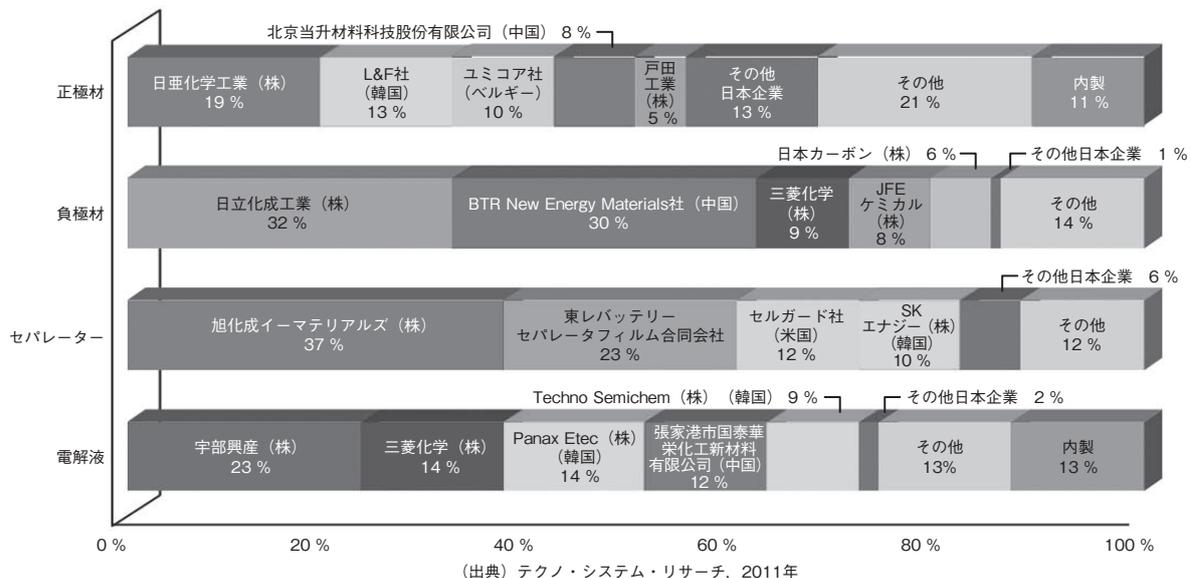
一方、スマイルカーブの右側を支えるサービスに関しても、心配りが行き届き、相手に合わせてなされる日本のサービス精神の優れていることは、世界中の人々が認めるところであり、その優位性は揺るぎのないところで

ある。わかりやすい例が国際線飛行機でのサービスである。外国系飛行機会社に比べ、わが国の飛行機会社の乗務員の行き届いた心配りのいかに優れていることか。このようなサービスに対する感覚は、四方を海に囲まれた自然豊かな領土に住む民族に、長い歴史の中で生まれ、遺伝子として組み込まれてきた特質に基礎を置くものなのであろう。この日本人、日本文化の特質はソリューションビジネス展開に大いなる戦力をもたらすに違いない。

視点を変えてみると、機能素材もサービスも、実は画一的なマニュアルでは捉えきれないアナログ技術、アナログ的感覚により支えられているという点に共通項があることに気づく。スマイルカーブで高い付加価値を生み出す左右の領域、いずれもが日本が得意とする、いわゆるすりあわせ型技術、感覚が有効であるといえよう。まさに日本に大きなビジネスチャンスがあるように思える。

3 いかに優れた先端材料・技術でも必ず追いつかれる

デジタル技術に比べアナログ技術は追いつかれにくい。これは確かであろう。しかし、永遠に追いつかれないことはあり得ないということもまた強く心に留めるべきである。ターゲットが明確であれば、それが特別な材料、部品、技術であっても、いつかは他者も必ず到達するのである。筆者はこのことは体操競技の「技」の進展とよく似ていると思っている。たとえ話になって恐縮だが、体操競技の「月面宙返り」という技を考えてみよう。これが最初に披露されたのは1972年のミュンヘンオリンピック、日本の塚原光男選手の鉄棒競技であった。この

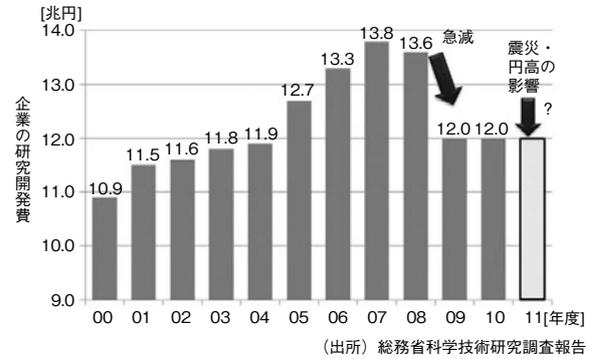


第2図 二次電池部材のシェア

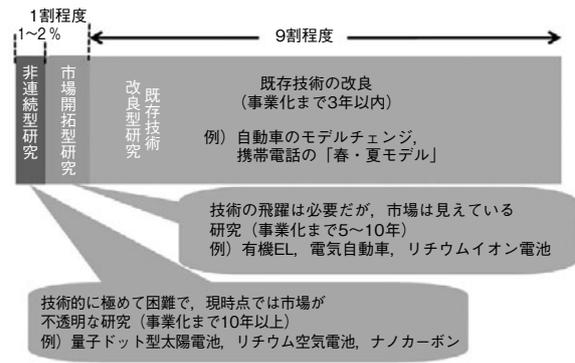
ように難易度の高い技が最初に試みられるのは、ほとんどの場合で高さの稼げる鉄棒であるようだ。しかし、それらは徐々に跳馬、吊り輪、平行棒と行われる競技が広がり、ついには床運動でも達成されるようになる。今では、高校選手権程度の競技会でも、床運動で月面宙返りが行われているようである。床運動はただの平らな床の上で、裸足の選手が行う演技であるから、この間の進展は道具の改良に依存しないことは明白である。人間のもつ基本能力も20年や30年で変わるはずがない。するとこの進展は「できる」ということがわかっている「技」に向かって、選手が繰り返し反復練習をしたことの賜物なのであろう。筆者のように鉄棒の逆上がりも難しくなってきた人間には想像もできないことではあるけれども・・・さまざまなノウハウと知識が注入され得られた機能材料、部品、技術も、その付加価値が高く、大きな利益を得るものであるならば、必ず韓国、中国、台湾に追いつかれることを覚悟しなければならないのであろう。しかもこれらの国のレベルが急激に上がっていることは改めて言及するまでもない。

さらに心配なことに、最近、経済産業省より出された報告書[3]によれば、リーマンショック以降、日本企業の開発投資額は急減しているようだ(第3図)。そのうえ、第4図に示すように研究開発投資の9割が、事業化まで3年以内を見込んだ既存技術の改良型研究が対象で、かつ第2図のリチウムイオン電池部品開発で見られるように同じ分野において、日本の企業同士で競争している場合が多いのである。第2図の場合はまだシェアの高い企業間での争いであるが、第5図に示したパワー半導体のように、シェアの高くない分野でも多くの日本企業がひしめき合っているのを削って競争しているといったことも

多いようである。誰もが将来性高そうと気づく分野に、皆が同じように参画してくる。競争は技術発展の糧となるという側面はあるが、しかしわが国の産業力強化と



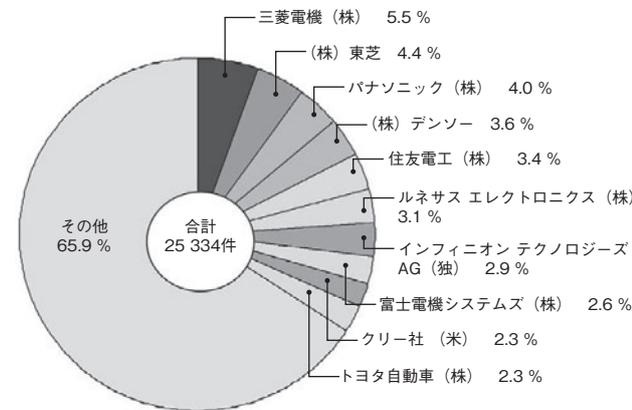
第3図 日本企業の研究開発投資年次推移 (参考文献[3])



※研究開発費の多い企業約50社の技術担当役員から上記のように3分類した場合の構成比を聞きとった結果から推定したおおよそのイメージ

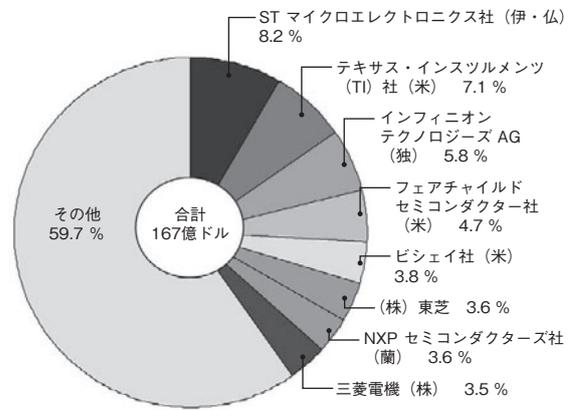
第4図 企業の研究開発の内訳 (参考文献[3])

パワー半導体の特許出願人別ランキング



(2000年~2008年に日欧米中韓への出願されたもの)
(出所) 2010年度特許出願技術動向調査報告書

パワー半導体のメーカー別世界市場シェア (2009年, 金額ベース)



(出所) 2010年度特許出願技術動向調査報告書

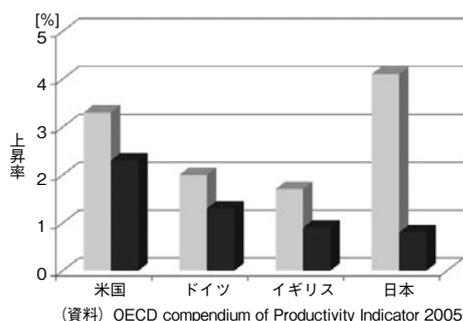
第5図 同業他社との重複投資：パワー半導体の事例 (参考文献[3])

いった視点で眺めると、いかにも効率の悪い重複投資といえよう。

さらに事業化まで5～10年をイメージした比較的先の市場への研究開発投資は全体の1割弱、技術的に極めて困難で市場もまだ不透明な研究に対してはわずか1%～2%に過ぎないそうだ（第4図）。これでは後開発グループになかなか追いつかれる心配のない画期的な先端材料、先端技術を開発するのは極めて厳しいと言わざるを得ない。この方向は民間だけでなく、わが国としての研究開発投資である国家プロジェクトにおいても同様である。以前のサンシャイン計画などの投資方式に比べて、近年の国家プロジェクトは皆小粒化・近視眼化しているのが現実である。

スマイルカーブの右側はもっと心許ない。わが国民のサービスは最高であるにもかかわらず、それを利益に結びつけることにかけては実に不得手であるようだ。例えば、第6図に示すように労働生産性の上昇率は、製造業に比べサービス産業は著しく低い。また欧米諸国と比較してみても、製造業はわが国の方が労働生産性上昇率は高いのに対し、サービス産業は、米国だけでなくイギリスやドイツよりも低いのである。小泉政権以来、政権が変わってもずっとわが国のサービス産業労働生産性向上の必要性が言われているにもかかわらず、この傾向は現在も一向に改まっていない。

また前述のようにソリューションビジネスにおいて、素材（膜）で優れる水ビジネスが、施設の建設からオペレーションまで含めたトータルシステムでは欧州水メジャー企業ヨーロッパ系企業に一方的に負けていることはよく知られている。スマートフォンやタブレットPCでも、圧倒的なソフト環境の充実や、それらを組み合わせる独自の世界を創造できるといった夢（サービス）の提供というトータルビジネス戦略に優れるアップルの一人勝ちである。優れた技術をもつ素材メーカーはそれなりに利益を得ているようであるが、しかしアップルの下請けとなっている感が否めない。



第6図 製造業とサービス産業の労働生産性上昇率(1995～2003年)

4 環境ビジネスはアナログ型

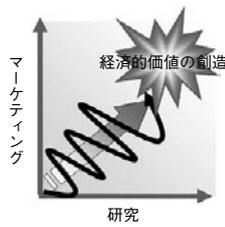
さすがにこのままではまずいと、目下利益を得ている韓国や台湾企業の戦略を学んで取り入れようという動きが見られる。しかし、冷静に考えてほしい。韓国や台湾のビジネスモデルに新しい考えはほとんどないのではありませんか。彼らは昔の日本型ビジネスモデル（ボルケイノ型）をベースに、為替安と財閥企業意思決定の早さを武器に戦っているとみるべきである。日本企業が再びその戦略をとって浮き上がることはあり得ない。今必要なのは日本の得意なアナログ型技術、アナログ型感覚を生かした新たなビジネスモデル、さらにそれを達成するための研究開発システムの構築であろう。

どのようなビジネスモデルがわが国の強みを発揮できるのか、さまざまな提案が期待される場所である。筆者が考えるのは、優れた新素材、部品を、製品やサービスに複雑に（アナログ的に）組み込むことにより、容易に追いつかれない、総合的な付加価値を提供するビジネスの創成である。これを達成するのは決して容易ではない。しかし、最先端の素材や部品の開発を得意とする研究者や企業が、その研究の初期段階からソリューションビジネスやサービス産業といったトータルシステムを提供する企業、さらに社会学や未来学といった新たな社会システム、ライフスタイルを検討する専門家と一緒にチームを組んでいくという研究開発システムを構築することにより決して不可能ではないと考える。重要なのは研究の初期段階からこの体制を作動させる点にある。

そのためには研究開発に加え、情報交換や知識創造、価値創造を、市場との対話を通じて進めていくイノベーションの場が必要である（第7図）。特に筆者の経験では、研究者、技術者のマインドとマーケティングやサービスの専門家のマインドは直交している場合が多い。今必要なのは第8図に示すように研究と市場という2つの直交軸上を、研究者、技術者やマーケッター、デザイナーが、社会学者や未来学者とともに、頻繁に行き来することにより、技術やサービスがアナログ的に組み込まれた他者の容易に追いつけない新たな価値創造である。これがわが国の目指すひとつの方向であろう。



第7図 イノベーションに向けたプラットフォーム

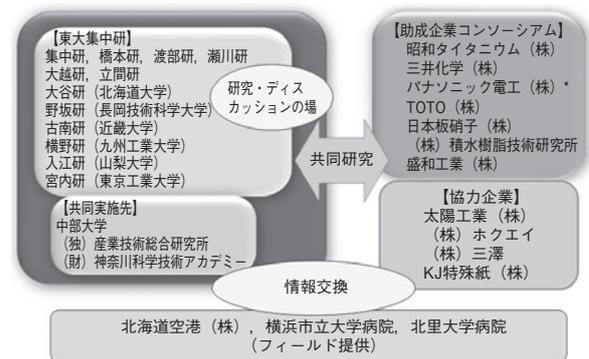


第8図 新たな経済・社会的価値創造のために

このようなアナログ的機能品部材、部品を核とするソリューションビジネス、これが最も当てはまる分野のひとつが環境産業ではなかろうか。すなわちこのビジネスでは解決しなければならない課題が同じでも、必要とされる技術や性能は対象案件ごとに異なることが一般的である。そのため規格化された技術や製品を作り出すのが困難であることが多く、課題対象に合わせて、複数の製品や技術を組み合わせて提供し、オペレーションしていくことが必要となる。まさに他者の追いつけない技術やサービスをアナログ的に組み込んだビジネスとなるのである。このような観点をもとに機能材料や環境材料の開発を研究対象とする筆者が、現在、産業化を目指して産学連携を核として進めている2つの研究開発事例を以下に紹介する。

5 可視光型光触媒による環境建材

紫外光エネルギーを吸収して化学反応(酸化還元反応)を起こし、表面に存在するさまざまな有機物を分解、無害化し、さらに表面の水ぬれ性が著しく増大する機能をもつ材料が酸化チタン光触媒である。これを外装建築材料にコーティングし、セルフクリーニングや、NO_x除去の機能をもたせたものがすでに商品化されている。同じように室内建材においても、表面で酸化還元反応を光誘起することができれば、抗ウイルス、抗菌、抗アレルギー、さらにシックハウス原因物質(揮発性有機物)を分解する機能を付与することができる。しかし、室内光に含まれる程度の紫外光では、上述のような機能を発現させるに十分でなく、室内建材へ展開するためには可視光に応答する光触媒材料の開発が必要である。そこで、可視光応答型光触媒材料を作り、それを核とした新たな産業分野を創造することを目的として、2007年より本年8月までの予定で(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「循環構築型光触媒産業創成プロジェクト」が進められている(第9図)。ここでは筆者らアカデミアに属する研究者と、川上の素材メーカー、および川下の建材メーカーが一体となって、極めて頻繁に意見交換、



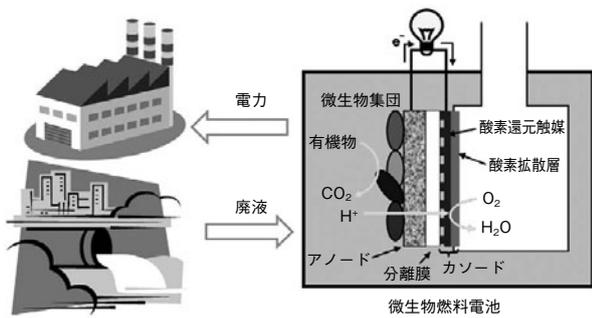
第9図 NEDO「循環社会構築型光触媒産業創成」プロジェクト

情報交換を行いながら研究開発が進められている。さらに特徴的なのは、病院や空港といった公共機関も研究開発、製品開発の段階から協力をしてくれている点にある。すなわち、アカデミアで開発された最新の材料が、すぐに素材メーカーによりパイロット生産され、それが川下メーカーに提供されて建材製品の形が出来上がる。さらに、その建材は、病院や空港といったパブリック空間でフィールドテストに供される。そこでのデータはすぐにアカデミアでの基礎研究現場に戻され、改良が行われるという体制が構築されている。その結果、単一種の可視光型光触媒をコーティングした製品というのではなく、使用される場所によって異なる最適組成の素材が決定され、さまざまなグレードや機能をもった製品群を得ることができる。すなわち、目的や使用環境に応じたさまざまな製品が得られるわけである。

このビジネス展開としては、各社が個々に製品を売るのではなく、空間およびその用途に応じて最適製品の組み合わせで、すなわちソリューションビジネスとしてトータルな形で提供するというのが望ましい。もしこのような体制ができれば、後発組は決して簡単に追いつけない、国際的に強いビジネス体制が得られるに違いない。

6 微生物発電による廃液処理

廃液中に含まれている有機物をエネルギー源として、電力を製造することのできる電流生菌と呼ばれる微生物がいる。この菌を用いると、廃液を処理しながら、同時に電力を得ることができる(第10図)。工場廃液に使用すれば、計算上は廃液処理に必要な電力を80%近く削減することができる。原理的にはそうなのだが、処理速度やコストの面で実用化にはほど遠いと思われてきた。しかし、最近、筆者らは水田土壌に存在する微生物群衆をアノード電極の触媒として用いることにより処理速度を大



第10図 微生物発電を活用した革新的廃液処理プロセス

幅に上げ、また炭素系のカソード電極触媒を開発することによりコストの大幅な低下の見通しを得ることができるようになった。ここで重要なのは、廃液の成分に応じてそれを処理するのに適した微生物種の組み合わせが異なるということである。すなわち、元々の微生物群衆は、数千、数万種類以上のさまざまな菌からなるが、菌の種類によってエネルギー源として用いるのに適した有機物が異なるのである。そこで、廃液の種類に応じて微生物の生育条件を選び、さらにシステムの運転条件を変化させることにより、それに適した微生物種の組み合わせが成長し、初めて安定的で効果的な廃液処理が可能となる。言い換えるならば、微生物を育てながら装置を運転する必要がある。つまり、ビジネスとしては単に処理システムを売るだけでなく、必然的にその運転、保守点検を一括で行うという形にならざるを得ない。これも処理システムを物まねで作っただけでは決して成立しないビジネスになるであろう。

工場廃液には製品自体や製造プロセスに関わる秘密情報が隠されていることもあり、各社、自社内でさまざまな工夫を凝らして処理している場合が多いようである。その結果、必ずしもこれまで十分に先端技術開発がなされているわけではなく、処理コストが高く、また多大な電力を消費している。まさに今、低コスト、低電力の技術開発が強く望まれおり、国内だけでなく国際的にも大きなビジネスの期待できる環境分野として成長していくものと予想される。

7 終わりに

本稿では、後発組が簡単には追いつけないビジネスを構築することを目的に、スマイルカーブの左側に位置する素材、技術を、右側のサービス、ソリューションビジネスに複雑に組み込むという研究開発システム、ビジネスモデルを提案した。また環境技術はまさにこのような取り組みにより、国際的に強いビジネスとして成長できる

であろうことを述べた。一方、このような視点で見たととき、太陽電池ビジネスや次世代のテレビビジネスはどうあるべきなのだろうか？高機能でかつ安価な製品を目指すというものでないのは明らかである。また、いくつかの製品やソフトを組み合わせるといった単純なものでもあるはずがない。研究者、技術者、市場情報精通者だけでなく、超一流の社会学者などの参画を得た、総合的な研究開発（＝製品開発）システムの構築が必須であろう。それを行った者が市場を制するという気がしてならない。

参考文献

- [1] 経済産業省，“化学ビジョン研究会報告書（平成22年4月）”。
- [2] 経済産業省，“2010年度「日本企業の国際ポジションの定量的分析事業」報告書”。
- [3] 産業構造審議会，“産業技術分科会・研究開発小委員会報告書（平成24年4月）”，経済産業省。

《プロフィール》

橋本 和仁（はしもと かずひと）

1978	東京大学 理学部 卒業
1980	東京大学大学院 修士課程修了
1980-1984	分子科学研究所 文部技官
1984-1989	同上 助手
1985	東京大学 理学博士
1989-1991	東京大学 工学部合成化学科 講師
1991-1997	同上 助教授
1997-現在	東京大学先端科学技術センター 教授
2004-2007	同上 所長
2004-現在	東京大学大学院 工学系研究科応用化学専攻 教授
2011-現在	日本学術会議会員

専門技術分野：

物理化学，エネルギー・環境化学

主な著書：

- TiO₂ photocatalysis fundamentals and applications (BKC, 1999)
- 光触媒のしくみ（日本実業出版社，2000）
- 材料概論（岩波書店，2005）

主な編書：

- 図解光触媒のすべて（工業調査会，2003）
- 光触媒 基礎・材料開発・応用（NTS，2005）
- 光触媒応用技術（日本教育出版，2007）