

# 第2種基礎研究を軸とした 本格研究の展開

[第15集]



---

● オープンラボによせて

産業技術総合研究所 理事長  
吉川 弘之 3

---

● 座談会：企業との連携における本格研究の展開

10

---

● 本格研究事例

■ 持続可能な21世紀型産業構築のための本格研究  
ミニマル生産システムを創造する

エレクトロニクス研究部門  
原 史朗 18

■ 環境との調和を目指すガラスの本格研究  
古くからのガラスの技術で新しい環境問題を解決

環境化学技術研究部門  
赤井 智子 20

■ 製造業のIT化推進を目指す本格研究  
設計製造支援システム開発実行ツール：MZ Platform

デジタルものづくり研究センター  
澤田 浩之 22

# オープンラボによせて

独立行政法人 産業技術総合研究所  
理事長 吉川 弘之



## 1. 本格研究の成果

2008年10月21、22日、産業技術総合研究所のつくばセンターで行われたオープンラボは、非常に意義深いものであった。それは産総研の現在の諸研究を社会に、特に、研究成果を使用する可能性のある産業の方々に見てもらうというだけでなく、発足以来およそ8年を経過した産総研が、その間に遂行した本格研究の成果を世に問うという意味を持っていたからである。

2001年の発足時に、産総研は組織の大きな改編を遂げるとともに各研究ユニットは本格研究を行うことを決意した。それは第1種基礎研究、第2種基礎研究、製品化研究という、従来は異質のものとして別々に行っていた研究を研究ユニットとして統合して行うものであったから、研究者にとっては新しい方法であり、研究ユニット長にとっては未踏の研究管理を実施することとなった。その実施にはいろいろな問題もあったが、研究者はもちろんのこと、管理関連部門に携わる者も積極的に本格研究を推進し、問題を解決しながら、

着実に成果を上げてきたと思う。オープンラボはその成果を世に問うものであったが、同時に私たち自身が、これまでに行ってきたことをまとめて考え、これからの方針を改めて立てる機会でもあった。各研究ユニットをはじめ、各部門でそれを考えたであろうし、その内容はさまざまであろう。しかしそこに浮上した一つの大きな共通の課題がある。

それは、本格研究の成果を社会に、産業に、実際に「出す」ことにかかわる課題である。もちろんそれは、産総研発足以来の課題でもあり、最近の何年かにわたり、しだいに重要な課題として議論されるようになってきたものであった。そしてそれは、今回のオープンラボの意図そのものでもある。この課題は個々の研究分野によって異なる内容を持ち、一概にまとめて論じることができないものではあるが、この機会に産総研全体を通し研究分野を超える共通の問題として共有する必要がある、といま私は考えている。

その理由は、この「出す」過程を個別の行為として認

めるだけでなく、一般的な理解によって、研究成果を社会が使用するという、現代の研究に不可欠な部分を研究の定義に加えることによって、科学的研究が社会性を獲得すると考えるからである。言い換えれば、本格研究の成果が社会によって使用されることまで視野に入れることによってはじめて、本格研究という概念が完結するということである。

このことは、本格研究が、研究の結果得られる新知識を現実使用し社会的価値を生み出す可能性を第2種基礎研究において示し、さらに既存の産業への適用可能モデルを示す製品化研究を終えても、まだ産業は使おうとしないという多くの研究者の経験と重なっている。それはまた、それを超えるための第4種の研究“実証化研究”が必要だという指摘(一村、本格研究ワークショップ、2008年7月17日)に対応している。

私たちはすでに、研究成果の産業適用、すなわち「本格研究の社会化」の現実的努力の経験を通じて、多くの超えなければならない問題があることを知ることになった。それは、財政や特許に関する法的あるいは制度上の問題であったり、企業の経営思想や新技術導入のリスク評価基準の問題であったり、さらには社会的慣習、科学と社会の間のコミュニケーションの問題であったりする。当然のことであるが、産業の最終判断は経済的視点による。そしてここで忘れてならないことは、この過程で改めて研究成果は試練を受け、社会的受容のための社会側の変化と並行して技術も洗練されてゆくことである。

これらの経験を通じて、一つの問題に気付く。これらの問題は上述のように、私たちが研究している科学技術の範囲内では解決しない。扱う対象は科学技術の成果であるが、それを扱う過程は社会的なものである。法律、経済、経営、慣習、コミュニケーションなど、それらは対象を扱う科学技術とは違う課題である。したがってそれらを、対象として扱っている個々の科学技術課題の特殊性に対応して個々の方法を考案して解決するだけでなく、一般的なものとして対処しようとするなら、そこに共通する基礎的枠組みは、社会科学や人文科学でなければならないことになろう。ここに、社会技術が登場する。

## 2. 技術の持続的進化

社会技術について、筆者は社会科学に基礎をおく技術と定義したが<sup>[1]</sup>、それは科学技術が自然科学に基礎をおく技術を意味するのに対応する定義であった。この定義のもとで研究の社会化を論じることについて、ここでやや詳しく述べておかなければならない。それは、従来は技術とは必ずしも縁の深くなかった社会科学と、現代では著しく技術と関係を深めてしまっている自然科学とを重ねて考えることの中に含まれる問題を、ここで抽出しておく必要があるからである。この二つのことは、いずれもたまたま現代の特徴になっているが、それらは社会科学にとっても、技術にとっても、いずれも本来の姿を表していないと考えるのが筆者の出発点である。すなわち社会科学の知識は現実の社会において技術として使用されるべきであるし、一方技術はその基礎として、社会科学も自然科学と同じ重要性を持つと考える。

最初に強調しておくべきことは、技術にとって、その基礎となる自然科学も社会科学も、前者が自然を、後者が社会を対象にするという違いはあるが、いずれも知識の作り方が科学的方法という共通のものによって以上、特別に知識利用の方法に差があってはならないということである。このことについては、歴史的に驚くべき変遷があった。典型的な社会技術の例として弁証法的唯物論の作り出す知識によってあるべき現実社会が設計され現実に社会に使用されたが、それは私たち科学技術(工学)の世界にいる者にとっては不思議なことであった。事実その使用は成功しなかっただけでなく、大きな損失を残したのであった。私たち科学技術の中にいる者にとっては、一つの(矛盾を含まない)理論体系で現実の社会全体を設計しそれを社会に適用することはできないことであるしまたしてはいけないこととされている。私たちは、自然界を理解する完成度の高い理論、例えばニュートン力学がどんなに立派でも、それだけで実際に自然を作ることができるものではないことを知っている。そしていま、科学的知識を現実適用するための道筋として、本格研究という独自の知識生産が必要であることを認識するようになってきているのが私たち自身の課題である。こ



の認識は、実在するもの（人工物）を作るためには、第2種基礎研究と呼ぶ、領域を超えた思索が必要であり、しかもまだ科学的に解明されていない要素を必ず扱わなければならないので必ず新知識創出を必要とし、したがって完全性を持つ解は決して存在しないことを知る謙虚さが、科学的知識を創出する者と使用する者との両者にとって不可欠であることを要請している。

謙虚にしているだけでなく、このことを積極的に社会における仕組みとして実現しようとしたのが“持続的進化”を可能とする情報循環<sup>[2,3]</sup>である。そこでは、自然科学にしても社会科学にしても、それが単なる現象の説明を超えて、社会における行動者が使用し社会的状況に影響を与えるとするなら、知識生産の全体に対し生産者と使用者がそれぞれ固有の役割を果たし、しかも責任を持つ。それは例えば図1のように描ける。社会には、多くの行動者がいて、行動することによって社会あるいは自然に影響を与える。その影響が持続性を乱すものでなければ受け入れられるが、乱す場合は修正が必要である。ところで社会における行動者の行動は、現代では科学的知識を根拠とするものが多い。とすれば、行動の良否は、その根拠である科学的知識およびその使用法に依存する。そこには知識創出者と使用者の連帯があり、それぞれが行動を目標とした助言と意思決定という役割を果たす。行動の評価は観察型科学者によって行われ、その結果の良否に基づいて設計型科学者が新しい助言を創出し、社会に送り出す。それが行動者の行動の根拠になるのである。このよう

に、ここには情報の循環がある。この循環は言語が循環によって進化するというFerdinand de Saussure<sup>[4]</sup>によって明らかにされた仕組みに対応し、循環に従って社会が保有する知識も進化する。この仕組みにおいては、だれも上に立って人々に行動を指示する者はいない。循環を駆動するのは個々の人の考案や考察であり、それはCharles Sanders Peirce<sup>[5]</sup>が人の知識の創出過程の中心においたアブダクション（abduction）によって行われる。アブダクションの結果は仮説であるが、それがこの循環によって検証される。循環が繰り返行われた人類の長い歴史を通じて蓄積した科学的知識と英知とは人類共通の財産であり、人々はこれに基づいて行動するのであり、特定の個人が指示するのではない。科学的知識は科学者という専門家が保有し責任を待ち、英知は万人がよりどころとするものである。その結果、進化はときどきの飛躍を含むことがあるにせよ、基本的には連続的に、少しずつ起こる。このことが、持続的進化を可能にするのであり、またその進化が継続的な連鎖となることを約束している。

この図において、観察型科学者と呼べるものは自然科学分野にとどまるものではなく、社会科学でも一般に存在する。それどころか、観察による現象の説明は社会科学の本来の姿である。情報循環を考えるとときに注意深く考えるべきなのは、設計型科学者である。自然科学の場合、それは広義の工学者であるが、工学者は、観察者の主役である理学的な科学が獲得する知識とよく連結している。一方社会科学の場合、両者の間に必ずしもよい連結があるといえないのが問題である。前述のように、社会科学の場合、一つの学説は一つの固有な社会像を描き出し、その実現がその学説に属する科学者の至上命令になる可能性がある。これでは観察型科学者の分析結果が一方的に行動者に流れ、それに基づいて行われた行動者たちの行動の結果がもたらした効果が再び観察型科学者に届くことがない。ここには情報循環が存在せず、したがって持続的進化はあり得ない。

ここで、歴史主義批判としてKarl Popperが主張する“漸次的技術”（piecemeal engineering）と出会うことになる<sup>[6]</sup>。彼は、歴史主義が政策提言をホーリステ

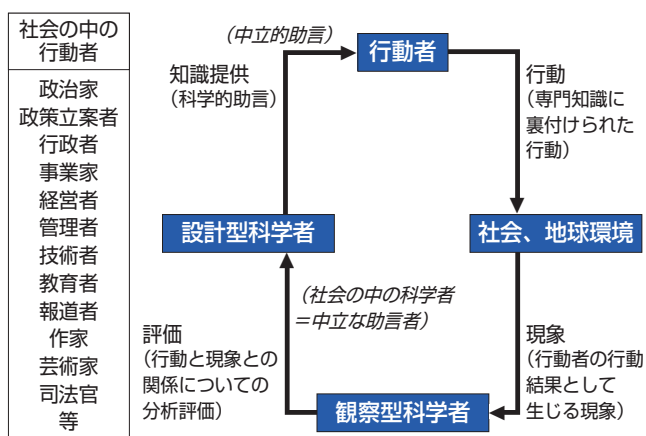


図1 持続可能な進化のための情報循環

イックに、そしてユートピアとして提出することを批判し、現実には技術者がとる方法、すなわち外からの批判に耳を傾けながら、大きな目標として人々の福祉を考えながらも決してそれを一気に解決する政策を考えるのではなく、目前の技術的改良に努力する方法が、人の行為が現実社会の全体に効果して社会に有意義な結果をもたらす唯一の方法であることを主張する。

実はここでPopperに言及するのは、彼がこのことを漸次的な“社会技術（social engineering、social technology）”であると言っているからである。彼の社会技術の定義はのちに述べる我々の定義と完全に同じものではないが共通点が多く、社会技術が社会理論のホーリスティックな適用であると解釈されていることを批判する彼の主張は我々にとっても重要である。彼は社会技術における技術も、科学技術における技術の特徴づける漸次性を持つべきだと主張したのである。すでに1957年に述べられたこのことは、いま改めて重要な意味を持ってきたと考えられる。以下に、社会技術という概念を使うために必要な項目を若干検討しておく。

### 3. 科学技術と社会技術

たとえば鉄道の敷設を考えると、その基本は鉄道技術であり、諸設備の制作、敷設可能な場所の選出などは科学技術でできる。しかしながらそれは必要条件であって、実際に敷設するかどうか、そしてどこにどのような鉄道を敷設するかを決めるのは社会的条件による。利用方法、社会的効果の発揮、経済的効果創出などを詳細に考えながら建設のための仕様を決めなければならない。そこで必要となるのは社会科学的知識である。ここで明らかなように、科学技術的知識は建設のための必要条件であり、社会科学的知識は十分条件である。したがってこれらを併置して考えては問題を正確に扱うことができない。このことを厳密に考察するために、ややなじみのない分類ではあるが次のような分類を与えて考察を進めることにしよう。

科学的知識の分類をPeirceに従って行くと、図2のようになる。Peirceは、それから知識を抽出する現実

の対象としての現象を、科学が自然存在と人間存在に二分していることを指摘する。ここでの例は行動であり、従うべき慣習と、作るに際して用いる物質を取り上げ、それが記述、分類、法則性という方法で抽象化されてゆくものとする。慣習の抽象化体系を精神科学と呼び（psychical science）、物質の抽象化体系を物理科学と呼んだ（physical science）。実は両者は、科学としては自立しそれぞれ完結するが、現実には相互に深く関係している。Peirce が言っているわけではないが、例えばナイフとフォークを考える。これを使用する礼儀が定められているが、それは社会学の対象であり、礼儀はある種の言語であり、またより基本的には心理学的基盤を持っているに違いない。一方ナイフとフォークを作ることを考えると、それは鍛造と研磨であるが、その方法は物質の性質に基礎を置いており、性質は記述的なものから分類学的な化学、そして法則的な物理学によって基礎づけられる。このようにして、技術は科学と関係なく歴史的に存在するものであるが、Peirceの抽象化に従って作られる抽象化された一般的知識としての科学によって存在根拠が合理的で正当なものとなる。このように科学的知識に裏打ちされた技術が現代の技術なのである。Peirceによれば、精神科学と物理科学とは統合して形而上学となり、数学に至って知識が完結するが、ナイフとフォークの形而上学や数学はここではとりあえず考えない。

ここでの関心は、現代の技術と上で呼んだ、抽象化された知識を使用して創出した現実の技術的結果を提

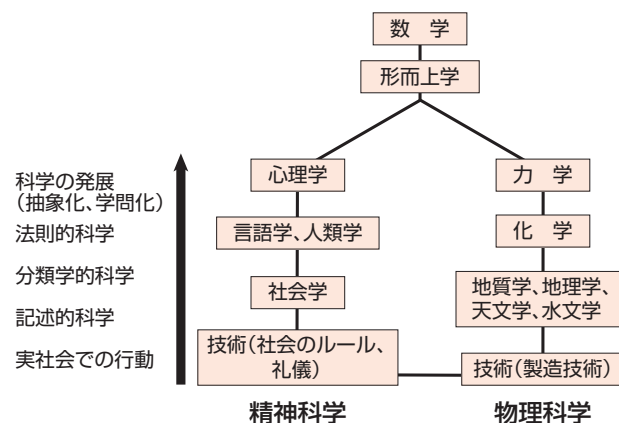


図2 Peirceによる科学の分類

供しようとするときに、精神科学に属する知識と物理科学に属する知識とが同時に必要になるという事実である。Peirce でなく私の例である簡単なナイフとフォークでも、それを正しく使用者に提供しようとしたら、製造技術を使って作り、そのうえで使い方を教えなければならない。さらに洗練された提供のためには、物理学と心理学の理論が使われるであろう。この提供は社会的現象であるから、それを正当に行う基礎としての技術は社会技術と呼ぶのがふさわしい。このようにして社会技術は、精神科学と物理科学との両者を基礎とする技術なのである。ここで対応をわかりやすくするために、精神科学を基礎とする技術を精神技術、物理科学を基礎とする技術を物理技術と呼んでおくが、一般的な呼び名では前者は狭義の政策技術、後者が科学技術に対応するといってもよいかもしれない。

このようにして、(線型の考察の範囲内で)社会技術とは、精神科学を基礎とする精神技術と、物理科学を基礎とする物理技術の統合されたものとして理解される。概念図を図3に示す。

#### 4. 社会技術の状況

より厳密に議論するためには、この二者に、図3に示すように生命科学を基礎とする生命技術を加えて考える必要があるのであるが、ここでは便宜的に生命技術を物理技術に含めて考えることにしよう。さて、社会技術が精神技術と物理技術の統合であるとして、現

実にそれはどのような状況にあるのであろうか。結論を先にいえば、精神技術に比べて物理技術が不均衡に進みすぎたために、正当な社会技術が成立していない状況である。

ここで大まかに定義した精神技術は、精神科学に基礎をおいているとしたのであった。したがってここで言う精神科学とは、図2に示したように、社会学、人類学、言語学、心理学などであり、人間の精神的な側面についての科学である。これらは長い歴史を持ち、大きな成果を持っている。しかし、ここで気付くことは、物理科学を基礎とする構成行為である物理技術と、精神科学を基礎とする構成行為である精神技術を見たとき、基礎と構成行為との関係が両者で異なっていることである。物理科学を基礎とする構成行為、すなわち意味を持つ物理的人工物の産出は、少なくとも歴史的に人類に安全と豊かさをもたらしたのであった。一方、精神科学を基礎とする構成行為、すなわち精神的に意味を持つ精神的人工物を精神科学に依拠して作り出してゆく場面を考えると、それは必ずしも一般的に使われているものとしては豊富な内容が思い浮かばない。教育心理学は体系化が進んでいる分野であるが、例えば物理学の進歩によって高度な材料技術が発達したのに比べると、教育現場での教育心理学の使用は控えめであるといわざるを得ない。むしろ思い起こすのは催眠誘導、世論操作、民族浄化などの、異常な悪用であるのは不思議なことである。前述の、イデオロギーによる社会革命もこの範疇である。こんなはずはない。知識の増大は人類に良きものをもたらすはずである。この原因として、何か知識使用に関する基本的問題があるからと考えるべきであろう。そこで、次のような考え方によって考察を進めることにする。

私たちは工業製品が社会に受け入れられ、しかもその性能が向上進歩していくのを体験している。工業製品は物理科学に基礎をおく物理技術によって生み出された人工物であり、それが人類の安全と豊かさをもたらしたのは、持続的進化のループが作動していたからである。すなわち工業製品は、作られ、すでに確立した市場に出て、購買者によって選択される。この市場が十分に成熟し、人々の合意を得て経済的な仕組み

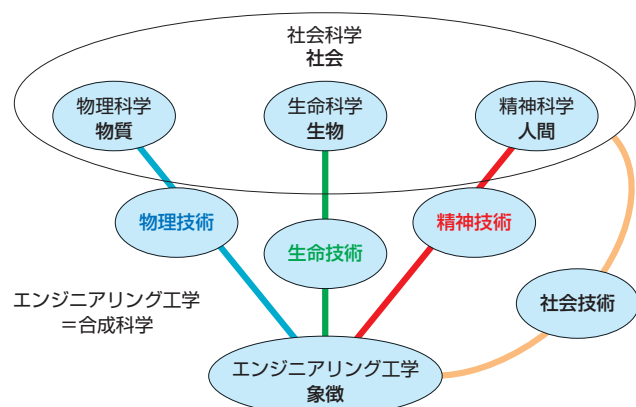


図3 社会科学と社会技術



として認知されているのが一般の工業製品の特徴である。購買者の選択過程および使用過程は、販売状況、使用済み製品などの調査によって明らかにされ、それが工業製品設計者へと送られる。それは設計変更される新製品に反映される。これは持続的進化である。

それでは精神科学に基礎をおく精神技術によって生み出される“製品”に持続的進化があるのであろうか。ここで便宜的に、この製品を“文化製品”と呼んでおくが、それは教育、学習支援、専門的助言、心理治療、芸術作品、娯楽などであろう。これらが、工業製品の場合のように、「ピースミールなアブダクションによって駆動される情報が循環しているかどうか」を検討する必要がある。私の結論は、これが文化製品については未成熟であるということである。

たとえば大学教育で提供する教育の質の評価を考えると、努力が続けられている公的な仕組みによる評価が、教育を受けるものから見た評価と一致しているとはまだ言えないであろう。また、大学ランキングなども一面的である。初等中等教育では、評価はより難しい。教育では、工業製品で循環を駆動するために重要な役割を果たしている市場が未成熟なのである。しかしながら、バウチャー制度などといい、工業製品の評価システムの擬態を持ち込む愚劣な提案に惑わされてはならない。それは教育を経済に従属させる愚行であって、経済にとっても迷惑である。教育では、その成果が社会全体に対して何十年も後に現れることを熟慮しながら教育者と学習者(あるいは保護者)とが社会の支援を受けつつ協調する固有の評価が必要であり経済と関係がない。教育の経済学はもちろん必要であるが、それを個々の教育の評価と連動させてはならない。そしてこのような評価に基づく改変は完成した理論によるのではなく、関係するものの参加により、ピースミールに行われるのでなければならない。しかも改変は、当事者の発案すなわちアブダクションによることが条件である。ここでは詳述しないが、このいずれも十分とはいえない。

持続的進化によって重要な、選択機構の中心にある評価だけでなく、ピースミール、アブダクションの観点から見ても、このように文化製品では未成熟である。

教育に限らず、芸術作品、娯楽などの状況を考えると、芸術や娯楽を正当に進化させる社会的仕組みが確立されているとは言えず、それぞれに固有の仕組みの確立が期待される。

ここで指摘しておくべきことがある。それは、前述の工業製品の持続的進化を可能にする重要な要因としての市場を可能にした技術は、物理技術ではなく精神技術に属すると思われる。したがって市場の完成は精神技術の成果である。精神技術の成果としての文化製品の市場は未成熟といったが、物理技術の成果である工業製品の市場は精神技術であるにもかかわらず成熟している。私たちはこの点から学ぶものが多い。

3節に述べたように、社会技術が精神技術と物理技術の統合したものであると考えるのであったから、両者の状況から社会技術の問題点を抽出することが次の課題である。上に述べた議論によって言えることは、精神技術の成熟度が物理技術の成熟度より著しく低いということである。その結果として社会技術にどのような問題があり、それをどのように解決できるかを以下に考察することにしよう。

## 5. 本格研究の社会化

私たちはまだ社会技術一般について述べる段階には来ておらず、我々の直面する問題を解く過程でそれを明らかにしていくしかないと考える。過去の歴史を見ても、現実の問題を解きつつ理論が完成してゆくのが技術を体系づける工学の発展形態であったのだから、ここでもその形態をとるのがよい。したがってここで、すぐさま体系的な“社会工学”を考えるのではなく、社会技術を対象として、その態様、効用、要素などを現実の例に即して考え、可能であればそれと並行して一般化体系を考えてゆく。

ここで現実には即した課題とは、すでに述べたように本格研究の社会化である。私たちは本格研究によって産業で使用可能な科学技術知識を作り出した。しかし、使用可能という必要条件の充足段階からさらにすすみ、産業化が実際に起こる十分条件を満たすことは決して容易でないことを知ったのであった。この必要



十分条件が社会技術によって生み出されると考えるのがここでの論旨である。物理技術が必要条件を満たすために使われ、精神技術が十分条件を満たすために使われるが、実は両者は独立でなく複雑に関係している。しかしここで簡単のために以下のように考える。

産総研での研究成果は物理技術を基本としていると考えることにする。本格研究であるから、そこでは決して物理的側面のみを考えているのではなく、実際に産業への適用を第2種基礎研究や製品化研究で考えていて、すでに産業のさまざまな精神的側面も考えている。しかしここで、第2種基礎研究、製品化研究に次ぐ社会化においては主要な側面が精神技術にあるといえるから、大まかに（線形的思考で）精神技術を社会化にまとめて考えるのである。このようにして、私たちのすべての研究が、その内容が明らかでないばかりでなく、持続的進化という観点からも未成熟な精神技術によって社会化を実現するという課題を持つことになる。

さてここで、工業製品の市場が精神技術によって成熟していることを思い出す必要がある。私たちは本格研究の成果を“製品”と呼んでいるが、それは工業製品なのだろうか、あるいは文化製品なのだろうか。ここで論理的には難しい問題に直面するが、この問題を論じることはここでは保留しておこう。それは、そのどちらであっても、本格製品の成果という製品は、新しい人工物であって少なくとも確立して社会的に認知された市場が存在しないという点がまず重要だからである。まだ認知されていない市場に出ていくという宿命は、従来にない新しいことを本質とする本格研究が持っている本質的性質からいって避けられない。

このことから結論が導出される。あたかも市場の確立していない文化製品を社会に出すのと同質の問題を本格研究の社会化が持つ、ということである。そしてまたそれは、ピースミールであり、アブダクションによらねばならぬ。

簡単にいえば、本格研究の社会化は、従えばうまくいくような既存の一般的方法はなく、それを個別の場合ごとに創出していかなければならないということである。それは、各研究者はもちろんのこと、産学官連携、知財、ベンチャーなどの研究関連部門ですでに現在行われている努力そのものである。したがって、そ

れらの努力が個別特殊なものとして蓄積されることがなくその都度行われながら、進化するものとして位置付けられていないという点が問題なのである。それを可能にするために、問題に対する理解と、蓄積の方法の確立、そして現実的な組織の設置が必要である。ここには、産総研の全員参加が求められる。

その中で、社会技術の一つの典型がサービス工学であることを考えると、昨年設置したサービス工学研究センターがこの本格研究の社会化という課題で重要な役割を果たすことが求められていると思う。私たちにとって最も身近なこの重要課題を放置してただ広く外に社会問題だけを追っているのは、かつての技術と社会研究センターの轍<sup>てつ</sup>を踏むことになってしまうであろう。

## 文献

- [1] 社会技術研究開発に関する研究会報告、科学技術庁(2000).
- [2] 吉川弘之: 科学者の新しい役割、岩波書店(2002).
- [3] 吉川弘之: Science, Technology, Human Values and Actions toward Sustainability, International Symposium on Science, Technology and Human Values, Athens (2007), 人工物観を作るロボット、日本ロボット学会誌、25 (1) など.
- [4] Ferdinand de Saussure, Cours de Linguistique Generale, Charles Bally et Albert Sechehaye (1949). (一般言語学講義、中村英夫訳、岩波書店(1972)).
- [5] Charles Sanders Peirce, Collected Papers of Charles Sanders Peirce, Charles Hartshorne, Paul Weiss (eds), Thoemmes Press, Vol.1 (1931).
- [6] Karl R. Popper, The Poverty of Historicism, Routledge & Kegan Paul, London (1957). (歴史主義の貧困、久野、市井訳、中央公論社 (1961)).



座談会：

# 企業との連携における本格研究の展開



吉川 弘之

理事長

原 史朗  
赤井 智子  
澤田 浩之

エレクトロニクス研究部門  
環境化学技術研究部門(現、企画本部)  
デジタルものづくり研究センター

小野 晃  
矢部 彰  
小林 直人  
赤松 幹之  
内藤 耕

副理事長  
理事・広報部長(司会)  
理事  
人間福祉医工学研究部門長  
サービス工学研究センター次長

**矢部** それでは、第14回となる理事長との本格研究座談会を始めさせていただきます。今日は、企業と密接に関係をとりながら苦勞してこられた3人の方です。新技術を実際に社会に持ち込んでいく上で、どのような問題や関係性が生じるのか、いろいろお話をうかがいたいと思います。

最初は、エレクトロニクス研究部門の原さんです。よろしくお願いします。

## 次世代の半導体産業を見据えた技術の新体系

**原** 私はミニマルファブの創造という仕事をしています。大学時代は半導体デバイスの基礎問題を研究しました。具体的には、半導体に電極を付けて電気を流すとダイオード特性になるのですが、それがどうばらつくかを研究していました。

ばらつきというのは製造の基本問題みたいなものですが、当時の私はそれを意識せずに、物理の立場から、それをもたらし物性要素を特定したいと一生懸命にやっていました。ところが、実験するたびに違った値が出てくる。皆さんも経験されていると思うのですが、やればやるほど違う。「ああでもない、こうでもない」と、年に何百回も電極を蒸着してつくった数万個分の電

極データをとっていました。

理化学研究所でのポストク任期をおえて旧電子技術総合研究所に入った後も、この問題が頭にこびりついていたので、ショットキー電極で追究を続けました。不安定要素を徹底的に排除しようと、ナノテクノロジーの最先端技術をどんどん取り込み、また自らそれを生み出しながら、原子レベルでの精緻で完全な構造づくりに取り組みました。これが結果的にはうまくいって、ステップ1として、「不純物を徹底的に排除して界面の電子状態を完全に制御すること」ができるようになりました。

ところがそこで、はたと考え直しました。そもそも、誰もできないようなハイレベルの制御をやったとして、本当に世の中の役に立つのだろうか。私がやってきたことは、結局は、原子レベルで界面をきれいにする環境制御です。ということは、もしそれがもともときれいなものだとしたら、汚くならないような方法をとれば、つまり環境をきちんと制御してやれば、こんなに苦勞なくて済むのではないかと強く認識するようになりました。

そこで、「実験環境を完全に制御する」というステップ2に仕事を移したのです。このシステムをつくったところ、いとも簡単に、物性のばらつきが消えてなくなったのです。1年間やって平

均値を求めている作業が要らなくなり、自分でも画期的な成果だと思いました。これは使ってもらえると思っていたいろいろ試みたのですが、皆さんの理解がそこまで行かず、5年、10年と苦しい時代を過ごしていたのが、ちょっと前までです。

そうこうするうちに、ようやく半導体産業界でも、工場内の微粒子を局所的に制御するシステムを導入しはじめたのです。これは私がやってきたことと本質的に同じで、工場では微粒子しか制御しないのですが、私のほうはガス分子もきちんと制御する。そのぶん進んでいて、結果的に、次世代のシステムになっていました。「原さんがやっている仕事はいいね」と皆が言うようになりました。

そんな時に、局所クリーン化の本を書いてくれませんかという依頼が来て、一般向けの技術書を書きました。それがステップ3です。執筆に当たって、工場のことも調べる必要があり、一生懸命に勉強することになりました。工場のことはもちろん、会社にも、開発の死の谷、生産の死の谷、市場化への死の谷があることが見えてきました。

突き詰めると、結局は半導体産業自体が巨大化していることに問題があるのではないかと、それゆえに、やりきれない部分があるのではないかと、という



ことなのです。そこで「ミニマルファブ」という概念に到達しました。つまり工場の製造装置を全部小さくしてしまう。極端に言えば、それぞれを30 cmくらいの装置にして、ウエハーサイズもずっと小さくして、扱う単位も小さくしてやる。そうすると、私たちがつくっているような小型装置でも、そのまま生産に移行できる。投資額が5億円くらいで済むような産業を想定してやれば、すべての死の谷は浅くて幅の狭いものになるはずだ、と考えました。それがステップ5という最終形のイメージです。

しかし実際に最終形に到達するのは簡単ではない。製造工程というのはシステムであって、要素技術を集積したものが工場だからです。工場には工場としてのコア技術があるのです。それが、私は搬送系だとにらんでいます。そこを整えさえすれば、おそらく死の谷は相当容易に渡ることができるはずだと考え、実際、すでに微粒子とガスの両方を遮断できる新しい搬送システムを開発中です。しかし、それでもなお、それだけで済むほど世の中は甘くない。そこに至る過程で、業界ときちんとすり合わせをしていかなければいけません。コア技術を開発しつつ、想定ユーザーとの議論の仕組みを作ること。それが、ステップ5の最終形に向けて現在進めているステップ4です。

巨大化する半導体産業の問題を解決するため、装置もウエハーも扱う単位も小さくする「ミニマルファブ」を提案し、実現をめざす。

原 史朗  
はらしろう

## 企業との研究会を組織化

原 まず産総研の中で「半導体システムイノベーション検討会」をつくって、志を同じくする有能な研究グループ長10数人に集まっていただき、ミニマル・マニファクチャリングのテクノロジーをどんどん取り入れていくことを始めました。もちろんそれだけでは足りないので、「ファブシステム研究会」を16企業・2大学とともに組織しました。

半導体メーカー、製造装置メーカー、部品メーカー、建設メーカー、ソリューションビジネス会社など、あらゆるジャンルの会社が入りました。企業同士というのは横並びの近いところはお互いによく知っているのですが、大きなスキームになると、知らない部分が多いのです。結果として、とてもよい研究会になり、この半年で非常に有効な議論がなされ、将来のシステムについて多くの議論ができました。

応援もたくさんいただきました。一例を紹介させていただきます。

「ファブシステム研究会には期待しています。ロジックLSIのような多品種少量を製造するラインや、研究開発用の試作ラインにはミニファブが必要であるという要求が、近々出てくるものと予想しています。その日に向けて、産総研を中心とした研究開発活動を継続していくことはとても重要だと思います。環境対策も含めての半導体技術立国・日本の力を国内外に示したいと



産総研では、経済・社会ニーズへ対応するために異なる分野の知識を幅広く選択、融合、適用する研究(第2種基礎研究)を軸に、「第1種基礎研究」から「製品化研究」にいたる連続的な研究を「本格研究」として推進することを組織運営理念の中心に捉えています。

# 新しい研究と開発の定義

―第2種基礎研究を軸に本格研究へ―

	定義	活動	成果物
「第1種基礎研究」	未知現象を観察、実験、理論計算により分析して、普遍的な法則や定理を構築するための研究をいう。	発見・解明	学術論文
「第2種基礎研究」	複数の領域の知識を統合して社会的価値を実現する研究をいう。また、その一般性のある方法論を導き出す研究も含む。	融合・適用	手法論文 特許 実験報告書 データベース
「製品化研究」	第1種基礎研究、第2種基礎研究および実際の経験から得た成果と知識を利用し、新しい技術の社会での利用を具体化するための研究。	実用	事業価値

思います。」こうした企業の意識を受けて、彼らと相談しながらイメージをつくっていけば、「ハズレない開発」ができるのではないかと考えています。現状はそこまでできています。

**小林** 具体的には何をつくるのですか。

**原** 主に集積化デバイスですが、数で言えば、10万個くらいまでのものであれば、おそらくこのミニマルファブが最適だと思います。大量生産を否定しているわけではなくて、それに向いていないものを大量生産工場で作っているのです、問題が生じているという認識です。

**小林** 地球温暖化対策やエネルギー低減という課題もありますね。全体をクリーン化するより、局所、局所をクリーン化する。世の中のトレンドはどうですか。

**原** その方向に進んでいます。局所クリーン化は解決策の1つですが、重要な柱であるという認識は、私たちより企業の方から強く出ています。技術としてはすでにあるので、それをどう進歩させるかという段階に来ています。

**小林** 今後の半導体工場はどのようなイメージになりますか。

**原** 相当に省エネ型に進んでいくと思います。現状では、24時間すべてを稼働しているために待機電力を膨大に浪費しており、業界はこのようなところに取り組むべき重大な課題がたくさんあることにやっと気がついたところです。例えばモノが入ってくる時だけ真空引きすることによって、消費電力が数10分の1になったという例があって、簡単などころから工場での取り組みが始まっています。

**小林** 本当の研究・開発・製品化のラインから考えたときに、もっと別のやり方があるという話がありますか。

**原** いろいろ出てきています。1つは「レトロ・フィット」と言って、古い世代の装置（レトロ）に適合する（フィットする）工場です。今後は、300 mmとか450 mmといった大口径ウエハー用の工場は投資額が膨大となってしまう、結局は建設不可能だというのが、私たちの研究会の共通認識としてあります。つまり、大規模な工場を建てずに、業界は装置メーカーも含めてどうやって利益を確保していくのか。「今の工場をピカピカにしていくんだ」というのが、私たちの半年間の議論から出てきた重要な結論です。既存の半導体工場は、4、5、6、8インチのウエハーを扱っています。そこで局所クリーン化とか省エネを進める。また、温度を1000℃まで上げるのに30分かかかるハーネスはやめて瞬間的に加熱するとか、いろいろな方法で消費電力は減らせるので、そうした試みをどんどん進めていく。

**理事長** 現実の工場で、それらをどういうふうに持っていくかがポイントですね。大きな流れで見たら、今までの生産技術は自動化とか量産化でコストダウンしてきたわけです。今度はエネルギーのコストを下げるために、製造システムの原理が変わってくる、ということですね。その中で、今おっしゃったレトロ・フィットが主流になるのでしょうかね。しかし、レトロ・フィットは日々の革新です。なかなか進まない。併せて、飛躍的な革新につながるミニマルファブを創造することはとても大切です。そのために、当然のことに新しい技術も必要になります。これはもちろん企業側にもあるのだけど、やっぱりプロトタイプは産総研がつくったほうがよいと思う。メーカーだけにまかせておくと、機能、安全性、環境性

能などが、どうしても甘くなるように見えるからです。

**原** 本当にそう思います。現実的な夢を詰めるために、ファブシステム研究会では、互いに批判し合いながら洗い出しを進めています。研究課題は何か、技術課題やいろいろな意味でのビジネス課題は何か。私たちの間違いや独りよがりもなくなってくると考えています。

実は皆さんに秘密や本音を語ってもらうために、ちょっと苦労しました。つまり、ただ集まるだけでは、お互いに疑心暗鬼になって話してくれない。そこで、産総研と18組織がすべて、1対1の秘密保持契約を結びました。そうすると普通、A社との契約についてはB社とは話せないことになるのですが、契約書に「秘密保持内容は別途協議する」と書いておいたのです。その上で、「オープン事項はこれ、クローズ事項はこれ」と最初に皆さんにあらかじめ約束ごととして提起しました。具体的には、企業の皆さんがお困りの現場課題はクローズで議論する。しかし、その議論から共通課題が引き出されてくる。これはもう一般的な課題です。その一般課題と解決策を考える。その成果を、名簿付き提言レポートとしてオープンにするという仕組みです。皆さんでこうしたい、ということの総意を得たのですから、それを世間に知ってもらえば、仕事が進みますので、オープン化は歓迎すべきことです。

このように周到に仕組みを整えたおかげで、他社には話せないようなことも次々に話してくれるようになり、私たちは本当の現場の問題を知ることができました。しかも、これまではお互いに知らなかったけれど、「こんなに同じ問題を抱えていたのか」と皆が共通の現実を知ってびっくりし、「産総研さん、ありがとうございます」となったのです。何か問題が生じたとき、A社



からB社には直接は話せないものですから、私たちのところに必ず相談にこられ、交通整理をすることになるので、この研究会はシステム上、自然と産総研主導になっています。これはわりと簡単な仕組みなので、ほかでも応用できるのではないかと思います。

**小林** 秘密の多い分野だとは思いますが、公開できる情報にはどんなものがありますか。産総研として出していきたいと思うのですが。

**原** 構想自体は私たちが生み出したものです。まず、基本的なコンセプトを260ページの研究会レポートの一部として掲載して公開しました。ただ、詳細の重要技術のところは、特許に近いものになってくるので、そこは中にとどめておくことにしています。

**小林** 論文はどうですか。

**原** これについて論文は一切書いていません。コンセプトと技術的詳細を英語で出してしまうと、たぶん日本より10年くらい早くやられてしまうからです。意志決定スピードの遅い日本の会社には本来的に技術があり、彼らと一緒に進めたくて、一生懸命に今やっているのですから。

**矢部** 日本の半導体産業の将来はどうですか。

**原** 幻想を追って大量生産技術を進めるのではなく、現状をきちんと認識するように変わってきつつあります。そういう意味からも、まだまだ日本は行けると思います。

**関西センター伝統のガラス研究から環境技術を目指す**

**矢部** 次に、環境化学技術研究部門の

赤井さん、よろしくお願いします。

**赤井** 環境ガラスの研究についてお話しさせていただきます。現在の関西センターの前身である大阪工業技術研究所というのは、伝統的にガラス研究の強いところなんです。昔から重金属のガラス固化とか、多孔質ガラスなどのユニークな研究や技術が培われてきました。私自身は2000年くらいまではNMRを用いたガラスの構造解析という、応用とは全く無縁の基礎研究をやっていました。ただ、独法化を迎えて、このまま基礎研究だけを続けることに限界を感じ、思い切ってテーマを変え、実用に近いところの材料研究を始めました。当時は着色ガラスのリサイクル研究が多くとりあげられていました。技術で何とか解決しようと、JST（独立行政法人 科学技術振興機構）から予算をいただき、まずガラスから着色金属を抜く技術の研究を一生懸命行いました。

しかし、リサイクルのコストというのは1 kg当たり5円程度が目安であるという壁に当然ぶつかりました。つまり、まともな化学的なプロセスはリサイクルには使えない。私自身、これにはものすごく悩みました。そこでコストの壁を越えるためには、リサイクルをすると同時に新しいものをつくるという技術の方向性を考えました。この時に偶然見つかったのですが、重金属を脱離して得られた多孔質ガラスに少しかけ金属を混ぜて適当な条件で焼き

ますと、高機能な蛍光ガラスになることです。普通は発光させようとして添加剤をたくさん入れてしまいましたが環境リサイクルということで、この逆のアプローチをとっていたので、数100 ppmというわずかな濃度を入れただけで、こうした新しいガラス材料が得られたのでした。

この成果を発表すると、廃材を処理すると同時に今までにない新しいものをつくるという発想がおもしろい、とかなり評判になりました。ところが、環境と言いながらも、性能が安定しないのではないかと。テストしてみるとそんなに不安定ではないのですが、企業の方からは「不安定でしょう」と言われて使ってもらえないということになりました。実はこれはガラスそのものの性能が面白いので、今もバージン材料を用いて研究は進められていますが、リサイクル研究としては最終的には失敗に終わりました。当時ほかにもあったガラスのリサイクル研究はすべてコストの問題から事業化しないことになってしまい、打ち切られることになりました。

ただ、この失敗から、リサイクルを含めた環境技術にはいくつかの原則があるのではないかとことを学びました。例えば、この技術であれば、ペイするだけの有価金属を回収できるようなケースと、廃棄した場合に許容できない環境リスクがある有害金属を脱離するケースの2つしかありません。

ブラウン管用鉛ガラスの処理技術、  
有価資源の回収技術、  
新しい照明用蛍光ガラスの開発に  
継承されてきた技術を活かして  
取り組み中。

赤井 智子  
あかい ともこ



最初から考えればわかるような話ではあるのですが、失敗という体験から得たものは全く身につけ方が違うように思います。

やみくもに研究を始めても前の二の舞になると考え、どういうテーマに取り組めばよいかという問題抽出を考えました。ガラスリサイクルの研究が終了した時期と材料開発に關した冬の時期が重なり、これから3年くらいの期間は大きな研究資金も途切れるし、正直なところ、非常につらい時代でした。ただ、この間に企業と共同研究をさせていただいたりして、何が今後必要なかが、少しずつわかってきました。製品化ということでいえば、いろいろ難しい面もあります。企業が製品化する場合市場化までは秘匿することになります。市場規模の大きい製品ですと4～5年はかかります。(公的機関の)研究者にとってはこのような長い秘匿は耐えられないところがあります。一方で導入が難しくない市場規模が小さいものを市場化するとそれはそれで評価される面もあるのですが、反面、研究者社会では「そんな小さなことをやっているんですか」と評価が下がる面もあり、数多くはできない。難しいところです。

このように収益にかかわる部分に關与する一方で、工業会でRoHS (Restriction of Hazardous Substances) 対応のための分析方法の規格化や、産技連ガラス材料技術部会の設立などにかかわらせていただき産総研が公的機関として期待されている面も強いことも感じました。

さまざまな情報を元にテーマを設定していく上で、私たちはガラスというマイナーな研究分野ですので、皆さんがよくわかる必ず解決せねばならない大きな課題をまずとりあげ、次に、それを解決するためにはこういう方法しかないことを提示し、その中で、私たちの技術がとても重要なポイントを占

めていることを示すということも考えてつつ次のテーマを設定しました。

### 環境に関する新しい研究課題

**赤井** 現在、私たちが環境とガラスという点でできることとして3つを考えて実行を始めました。まず、第1は有害物質の脱離です。ブラウン管テレビのガラスには鉛が入っています。日本ではブラウン管テレビは販売されなくなっていますが、中国や発展途上国ではまだブラウン管テレビが販売されています。今はその原料のガラスとしてリサイクルされていますが、次第に薄型テレビに移ってきてブラウン管テレビの廃ガラスが余ってきています。もう1つ、わが国では2011年に地上デジタル放送への全面移行という大問題が控えています。これまでのブラウン管テレビが大量に廃棄されるので、その時に鉛ガラスをどうするのか。これについては、今答えはありません。私たちは、鉛ガラスから鉛を抜く技術を開発していますが、鉛を抜くとコストがかかります。もし、鉛を抜かずにガラスのままどこかに保管した場合どの程度のリスクがあるのかを評価して、その上でコストをかけるかどうかについて判断する必要があります。それがないと情報としても意味をなさないわけです。私たちはガラスから鉛を抜くとか、ガラスからの鉛浸出量を検討するのは得意ですが、環境への拡散リスク評価となると全く素人です。ただ、産総研が強いと思ったのは、異分野の研究者がたくさんいることです。地質分野に環境リスクを専門とするグループがあり、一緒に研究することで、社会に必要とされる情報を提供できる研究体制が整い、3年以内にはデータを提供することを目的としています。

第2の課題は有価資源の回収です。蛍光灯やディスプレイのバックライトには蛍光体が使われていて、紫外

線を当てて光らせています。テルビウムという希土類元素は、一番輝度の高いグリーン<sup>①</sup>の蛍光体に使われていますが、近いうちに供給不足になるともいわれています。そこで、回収した蛍光体から先ほどの抽出法で回収できるのではないかと考えて研究を始めました。異分野融合の場でもある産総研のレアメタルタスクフォースでリサイクルの専門家と話をすることで、さまざまな技術が組み合わさりテーマ化を検討しています。また、リサイクル研究で見出された蛍光材料は希土類の使用量が少なくなる可能性やこれまでの結晶材料とは異なっているということから期待感もあり、用途展開が見えてきています。

第3の課題は、水銀フリー光源への対応も含めた先ほど出てきました蛍光ガラス製品の開発です。ある材料を使ったデバイスをつくるということは時間がかかる。まず、見ないと発想が浮かばないところもあるので中間的なデモデバイスをつくって見せることは重要です。やっとデモデバイスができたところですが、「はまった」使い方をこれから見だしていくところです。その先には、生活快適型の省エネに対する応用など大きく開けるものもあるように思いますが、時間もきましたので、このあたりにしておきます。

**理事長** 失敗からの学習ということですが、これらの技術がリサイクル方法が製造の問題も含めて解決していくのでしょうか。これまで、実際の製品製造に対して、廃棄物処理コストは入っていませんでした。ところが環境問題の意識の高まりで、処理コストを最小化するためにもととの製造を変える必要性が出てきているということです。これからはリサイクルをしないものが見つからない時代になる。

**赤井** 最近、リサイクルできないもの



はつくらないようになっていきますので、5～10年後には有害物質などは表舞台から消えていき、いずれはこういう問題はなくなっていくたぐいのものと思っています。

**理事長** なくなっていくとすれば重要なことですね。廃棄物をどうするかということが、製造物そのものに依存しているわけだから、製造と廃棄が組みになって初めて解決できる。そう考えていくと、何も下請けで廃棄物の処理をやっているわけではないのですね。独自の視点に立って、新しい製造法を支援している、デザインしているとも言えると思います。そういう背景は、多くの人々がもっと認識すべきですね。いずれにせよ、廃棄するのに困るような工業製品はつくらないという流れは、もうできているのですね。

**赤井** そうですね。ガラスについては進みつつありますが、液晶ディスプレイなどは、リサイクルしなければいけないと言っているのですが、まだ難しい問題も多くあるようです。ただ、将来的にはリサイクルする方向に行くのは必然だと思います。

**理事長** とにかく低コストを争うというところがあって、廃棄物処理の話がどうしても出てしまう。それが社会コストになる。

**赤井** そうです。

**理事長** 自動車のフロントガラスも、何かやられているのでしょうか。あれは中に何か入っているようですね。

**赤井** フィルムのようなもので接着しています。

**理事長** あれだって、もっと扱いをしやすくすればよいですね。最先端の

ものはどんどん性能はよくなるけれど、廃棄物として処理しやすいかどうかは、だいたいそれと逆になるということですね。丈夫で壊れにくく、デリケートな性能が入るというのは、やっぱり廃棄物処理しにくい。そこを解決するのが大革命ではないですか。

**赤井** 今それが始まりつつあります。例えば、レアメタル代替の材料開発に見られるようにできるだけ資源を使わないようにしてつくるとかです。また、今までと同じ性能を保ったままりサイクルしやすいものにしていく。つまり、成熟した既存分野に新しく技術開発要素が生まれるということです。

**理事長** そこはガラスに限らず重要な課題なのですね。それについても、明快に打ち出さないといけないかなと思いますね、社会に対して。今の経済学でも、そのあたりについて当然考えつつあるのだけど、1つ1つ違うでしょう。ガラスのつくり方にしても。そのへんの詳細な議論を詰めていって、いずれ法律化していくことになる。そういう時代になるだろうと思っているのです。

## 製造業のIT化を支援する MZ プラットフォームを開発

**矢部** 次はデジタルものづくり研究センターの澤田さんです。

**澤田** 私たちは製造業のIT化を支援しています。ものづくりの重要性はよく言われていますが、それを下から支えている中小企業では、IT化は進んでいません。昨今、短納期や多品種への対応が必要となっています。また、品質保証の責任も求められている。そして、トレーサビリティも確保していかなければならない。ところがいろいろな情報のやりとりを紙の帳票や伝票に依存していたのでは、これをやっていく

のがつらい。そうするとどうしてもIT化していく必要がある。これはどの企業でも認識しています。

ところが、IT化しようとしても、市販のソフトにはなかなか合ったものがありません。そこで、ソフトウェアベンダーにオーダーメイドでつくってもらおうとすると、数百万、数千万と莫大な値段になってしまいます。また、最近よく聞くのが、昔使ったシステムを今の仕事の状況に合わせて修正したいのだけれど、修正ができないということです。結局、新たにお金がかかってしまうのです。

それなら、全部自社でつくればいいのかと言いますと、ITシステムの専門知識が不足していてできない。そこで私たちは、特に高度なITの知識がなくてもシステム開発できるようなツールを提供して、自社開発を実現させようとしているのです。

具体的にどういうものかという、これまではITシステムをつくるにはプログラムを書かなければなりませんでしたが、それをやめて、ソフトウェアの部品、コンポーネントというものをいくつも用意しておいて、組み立てブロックを組み上げるようなイメージでつくり上げていく形にする。そうすれば、あまり負担なくつくれるのではないか、というのがそもそもの発想でした。

このコンポーネント方式のシステム開発技術を確立するために、開発当初の課題として、本当にコンポーネント方式でよいのか、実用システムをつくれるのか検討しました。組み立てブロックのようなものではないかという懸念がありました。もう1つは、その有用性が立証できたとして、コンポーネントとしてどういうものを用意すればよいのかです。汎用性と多様性は確保しなければならない、どの企業のシステムにも対応できるようにしなけれ

ばならない。そうすると、たいへん細かい機能を持ったコンポーネントを多数用意するほうが有利になりますが、それでは開発の効率は上がらない。通常のプログラムを書くのと同じになってしまうので、どの程度のものを用意すればよいのかという問題です。

この解決のためにどうしたかという  
と、実際に企業に行き、その会社のシステムをつくってみました。企業では、特に先ほどのトレーサビリティの確保という点から、工程管理とか生産管理の面でかなり大きな問題を抱えていることがわかりました。聞き取り調査を行い、仕事の内容を教えてもらって、現状の仕事にどういう問題点があるのかといった業務分析を行うなど、ほとんど経営コンサルタントみたいなきことをしたわけです。しかし、実際に、システム設計、プログラム作成などを行って、コンポーネント方式で実用システムがつかれることを例証することができました。

次に行ったのが、コンポーネントの標準化です。最初のシステムはコンポーネント方式がきちんと使えることの検証用でしたので、それぞれの企業に固有のコンポーネントをつくって開発を行いました。つまりほかの企業では全く使えないコンポーネントを使ったのです。その後で改めて、その中で標準機能として抽出できるものはどれか、また標準機能をどのように組み合わせればよいかを検討しました。

例えば、最初は企業固有のデータを扱うためのコンポーネントをつくったわけですが、それをやめて、一般的なデータベースを活用するコンポーネントと、そのデータを整理するためのコンポーネントを用意してやれば、さまざまな仕事に対応できることがわかりました。そういった形で汎用性を高めて、標準のコンポーネント約180種を整備し、さまざまな事例を通じて必要な機能のほぼすべてがカバーできることを確認しました。

このように実用システムをつくる機能は整ったのですが、ここで壁にぶつかりました。せっかくつくったシステム、例えば技術情報の管理、工程管理のシステムをつくったのですが、それらは使ってもらえなかったのです。そこで、どういう問題があるのか、企業への聞き取り調査を行いました。つくったシステムの機能は実用レベルにあるという評価はいただけたのですが、このシステムの維持管理、業務展開、運用を担う企業内の人材の確保や体制の整備ができなかったのです。

結局、私たちはオーダーメイドした場合の問題点と同じ轍を踏んだわけです。つまり、オーダーメイドでシステムをつくった場合には、企業内での維持管理ができないということです。この問題は認識していたつもりだったのですが、自分たちがやってみたときに、やはり同じ落とし穴にはまってしまった。そこで、やっぱり企業内で人材を

育成しなければならないと考えました。その後は啓発活動、サポート体制の構築、人材育成の重要性を認識して進めています。

## 啓発・サポート体制・人材育成こそが大事

**澤田** 啓発活動というのは、企業の経営者の方に、IT化したいのなら、まず社内の仕事の仕方を考えなければなりません、ときちんと伝えることです。次がサポート体制。私たち産総研だけでは全国の企業をカバーできませんので、なるべく地元の公設研などと協力して、地域に密着したサポート体制をつくっていく必要があります。

残りが人材育成。これは2つあります。企業内の人材もそうですし、実際に企業の指導ができる人材をそれぞれの地元で育成する。そのための私たちの基本的な立場は、質問には答えるが手は出さない、というものです。「こういうことをやりたいのですが、どうしたらよいでしょうか」と言われたときには答えますし、必要であればサンプルを提供することもあります。でも、「こういうものをつくってください」という要請には応じない。ヒントを与え、助言はするが、つくるのは自分でやってくださいということです。そうしないと人材が育たないからです。

実際の成果の例ですが、大分県のプラスチック射出成形企業があります。ここは大分県産業科学技術センターの研究員の方が指導して、社内のシステムをつくり上げました。そのシステムで昨年度、九州経済産業局の賞を授与されています。

長崎県の企業では、工業技術センターの紹介で、ソフトウェアベンダーのサポートにより工程管理のシステムを開発しました。システム開発をするときにはきちんと社内の体制を整えてください、と最初に伝えてあり、4名ほど

中小企業のIT化を  
助けるために、  
コンポーネント方式の  
システム開発技術を作成。  
啓発・サポート・人材育成に  
全力を注いでいる。

澤田 浩之  
さわだ ひろゆき





の社内のチームでメンテナンスやその後のシステムの拡張をしています。

佐賀県の金型製造企業は、社長の息子さんが産総研で技術研修を受けて、そこでシステム開発のスキルを身につけ、その後は1人で全部、システムの維持管理、開発をしています。最初は1つのラインのシステム開発だったのですが、現在はそれを複数のラインに展開されているそうです。この場合も、LANなどのハードウェア部分の整備はどうしても知識が追いつきませんので、ソフトウェアベンダーのサポートを受けながらやっているとのこと。現在、このMZプラットフォームは、商売をする場合にはTLO（技術移転）契約を結ぶことが必要で、契約締結済みのソフトウェアベンダーは7社です。

**理事長** すばらしいですね。いつから始めたのですか。

**澤田** 2001年から始めて、2004年から公開しています。

**小林** コンピューターの知識がない小企業にも使ってもらいたいということですか。

**澤田** そうです。これはプログラミングのツールですので、ユーザーが全てを自力で作りに上げるのが究極の目標にはなっています。ただ、実際にはそれは難しいので、ソフトウェアベンダー

のサポートですとか、あるいは公設研究機関の方が少し手伝う形で開発して、ある程度できあがって土台<sup>どだい</sup>ができてしまえば、あとはエンドユーザーがうまく利用していくのが現実的です。

**小林** こっちで全部つくってあげてはいかがですか。

**澤田** そうしたら、使ってもらえなかったということです。

**理事長** 理想的には、最初のお話のようにサポートがあって、コンポーネントはブラックボックスになっている。ITセンスがなくても、そのコンポーネントを組んでいけば使えるというのが理想なのですね。それを理想としたのだけど、なかなか難しいという話。

**澤田** 結局、コンポーネントはブラックボックスなのですが、考え方の問題なのです。システムをどうつくっていくかという考え方に慣れていないのです。

**理事長** コンポーネントを使いこなせない？

**澤田** そういうことですね。

**理事長** それを企業自身にやらせるほうが、プログラミング能力を持たせるよりはいい、ということかな。

**澤田** そうです。ただ、まだシステムの構成を考える力、すなわち設計能力のサポートまではできていません。最初は、プログラム作成の負担を軽くすればよいと思っていたのですが、そうではなくてむしろ、設計能力の欠如が見えてきたのです。

よく例えに使っているのが、ウッドデッキをつくる話です。ホームセンターで製作キットを売っていますし、ドライバーがあればつくれるのですが、では誰でも理想的なものをつくれるかというと、それはもう設計能力にかかっているわけですね。家の庭を見て、こういうのが欲しいから、これとこれを買ってきてこう組み合わせればよい、というのが設計能力。これがないとつけれない。単にのこぎりを使えとかのレベルではない。そのことがかえって明らかになったのです。

**矢部** 今日のお三方の話を聞いて共通するのは、企業との連携の実際の体験における死の谷の経緯ということですね。そのフェーズに今日の皆さんは入ってきていると思います。例えば澤田さんは、コンポーネントをつくること自体はある意味でできたけれど、実際にそれを本当に使ってもらわないと製品にならないわけですね。原さん、赤井さんも同じだと思います。そうした経験をぜひ「Synthesiology」に書いていただきたいと思います。今日はどうもありがとうございました。



ものづくりの基本を  
産総研から提案していきたい。  
リサイクルを考えれば、  
廃棄物処理しやすい  
設計・製造法が新たに  
生まれる。

吉川 弘之  
よしかわ ひろゆき

# 持続可能な21世紀型産業構築のための本格研究 ミニマル生産システムを創造する

## 最小単位の製造により、産業を持続可能に革新する

消費の無限拡大が破たんした今の時代、生産規模拡大を前提とせず、必要なものを必要な時に必要なだけ生産する、持続可能な生産システムが求められています。そのソリューションの1つは、生産規模が最小単位の小さな工場～ミニマル生産システム～であると考えてきました。特に、大規模な過剰生産システムに苦しんでいる半導体製造システムは、それを応用するのにふさわしい産業であるといえます。

モノの生産単位を最小化するということは、半導体の場合、商品である集積回路チップ1個が作れるハーフインチサイズのウエハーを用いて製造することに帰着します。

では、この公理とも言うべき基本概念をどのように実現すれば良いのでしょうか。まずは、製造装置を開発することでしょう。扱うものがハーフインチですから、装置はそれぞれ30 cmくらいの大きさが良いということになります。

## ミニマル型装置

ミニマル生産を担う装置は、大変ローコストになります。なぜなら、量産システムでコストの大部分が費やさ

れている大口径均一製造のために装置内に仕組まれた複雑な構造を一切排除できるからです。ですから、新しい製造技術でなくても、量産均一化のための機能を省いた既存製造技術は、導入価値のあるミニマル技術として機能します。例えば、露光工程では、露光対象がハーフインチサイズなので、ステッパーという高精度で超高価な露光スポット移動の機械技術は不要になります。また、初めからチップサイズなので、ウエハーダイシングやウエハーバックグラインドの工程は不要になり、前工程と後工程が統一されて、工程数が大幅に削減されます。このように、まず既存量産装置をシンプル化・スモール化し、装置を安くすることで、ミニマル装置1セットを開発できます。

しかし、それだけでは生産単位あたりの資源やエネルギーの利用効率はさほど上がるわけではありません。そこで、インクジェット技術やマイクロプラズマ技術、デスクトップファーンネスなど、よりミニマル性能の高い、産総研が提唱するミニマルマニュファクチャリング技術群を第2種ミニマル型装置として、ミニマル生産仕様に合うように実用機能性を高める研究開発を行うべきでしょう。この準備として、

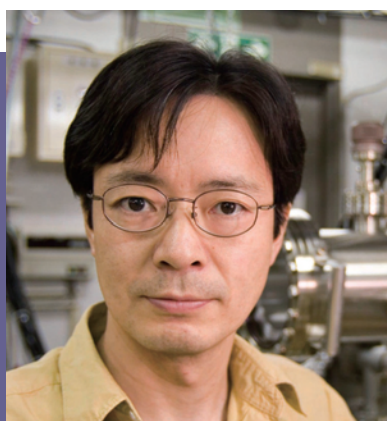
所内でミニマル技術を持っている方々やミニマルファブコンセプトに共感する方々に分野を問わず声を掛け、半導体システムイノベーション検討会をつくりました。

## 局所クリーン化搬送システム

ミニマル型装置は、それらを並べれば実用ミニマルシステムができ上がるというわけではありません。例えば、ミニマル露光装置で加工したウエハーを洗浄装置へ持って行く際、人がピンセットでウエハーを取り出して運んでいるのは、汚染が進んでしまいます。半導体集積回路工程は約600工程もあるので、1工程ではわずかな汚れの可能性でも数100工程を経ると、ほぼ100%不良品と化してしまいます。これまでは、それをスーパークリーンルーム技術で回避していました。しかし、これ自体巨大投資の象徴であり、ミニマル思想と相いれません。そこで、革新的なコアシステム技術となるのが、ウエハー回りの局所空間だけを清浄化し、その製造物環境を人環境から完全に分離する局所クリーン化搬送システムです。



ミニマル型装置や研究装置を生産装置として機能させる、開発中のPLAD1号試作機



早稲田大学理工学部助手、理化学研究所基礎科学特別研究員を経て、1993年、電子技術総合研究所入所。ショットキーダイオードの特性ばらつきの根源を追い求め、その原因究明のために、局所クリーン化リサーチシステムを開発。2001～2002年 財団法人 新機能素子研究開発協会 研究開発部統括部長兼企画室長。著書「局所クリーン化の世界」。ファブシステム研究会代表。

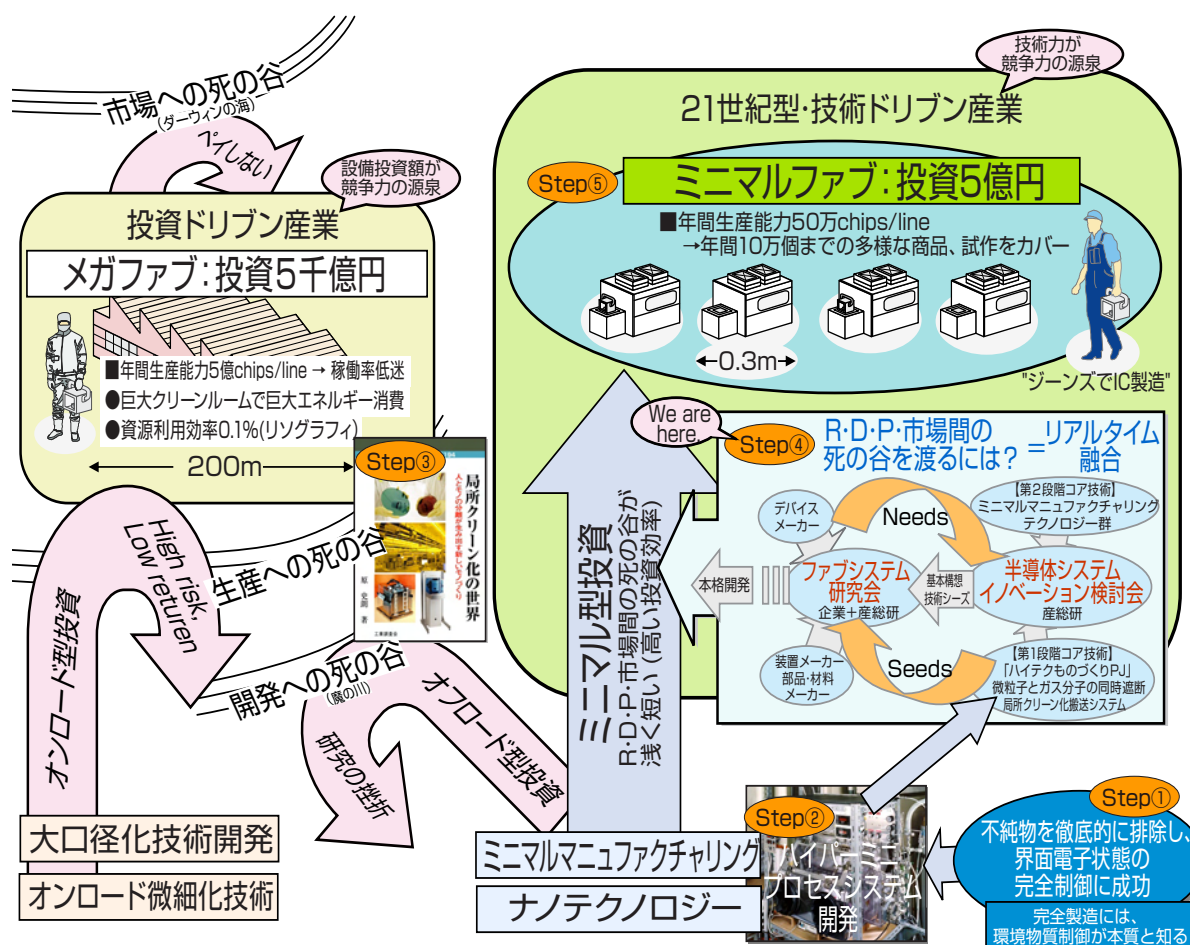
原 史朗（はら しろう）

shiro-hara@aist.go.jp

エレクトロニクス研究部門

先端シリコンデバイスグループ





ミニマルファブの創造

幸運にも、私たちのグループでは、90年代後半には局所クリーン化リサーチシステムを開発しており、野放しだった製造環境物質濃度を人為的に制御することで、不良特性の象徴であるリーク電流のばらつきを排除できることを突き止めていました。ここで培った基本技術を応用して、それぞれのミニマル型装置には、完全密閉型の前室を付けて、密閉搬送容器で運んでやれば良いのです。

今年から、この搬送技術開発を始めています。Particle Lock Air-tight Docking: PLAD システムと名付けた、微粒子とガス分子を同時に遮断する新しいテクノロジーです。写真は、その第1号試作機です。

### ファブシステム研究会

これらの取組みの妥当性を探る上で、将来ミニマル生産システムを活用するであろう想定ユーザーとの対話が欠かせないと考えています。2008年6月から、ファブシステム研究会を、産業構造の各階層から集った企業16社2大学と組織しました。ここで肝心なことは、生産上の悩みや課題をたくさん抱えている生産工場のプロフェッショナルの方々にお集まりいただいたことです。このような集まりは過去見られたことがなく、研究会では、生産に関する多様で具体的でありながら本質的な課題が、せきを切ったように論議されました。研究と生産が遠くなった現在、生産現場との直接対話は最も意義深い行動の1つといえます。

### 生産現場との対話から得られたもの

研究会での議論から、製造業の真の課題、すなわち、投資額の制約、環境問題への現実対応の困難さ、仕掛かり在庫制御の問題、量産品の伸び悩みなど、生産上の共通課題が浮かび上がってきました。それと同時に、ミニマル生産システムが未来のあるべき製造モデルの1つであることを企業委員が認識するに至ったことはとても重要です。研究会の成果は、21世紀型生産システムの提言レポートとしてウェブ発信しました。(http://unit.aist.go.jp/nano-ele/fabsystem/fabsystem.html)

今後は、これをさらに強力な組織として改造し、本格開発の段階へ進んで行きたいと考えています。

## 環境との調和を目指すガラスの本格研究

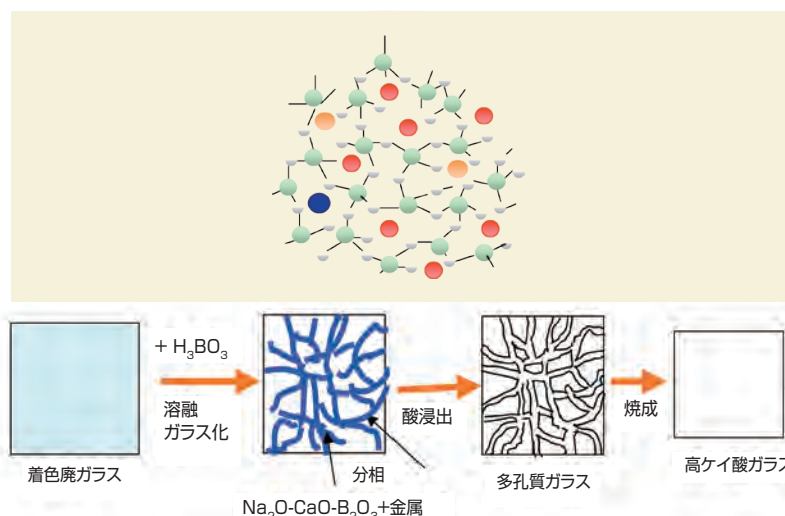
# 古くからのガラスの技術で新しい環境問題を解決

### 環境とガラス

昨今、CO<sub>2</sub>削減、レアメタルなどに代表される資源制約、RoHS (Restriction of Hazardous Substances) に見られる有害物質使用規制など「環境」が産業に大きな影響を与えるようになってきています。私たちは、関西センターに長年継承されてきた多孔質ガラス作製技術、ガラスの重金属処理技術を切り口としてこれらの環境問題を解決する技術の開発に取り組んでいます。

### ガラスのリサイクル技術とコスト

この研究のきっかけは約10年前に行った着色ガラス瓶のリサイクルの研究でした。着色ガラス瓶には多種多様な着色金属が少量（～1 %程度）含まれているので再利用が難しく、廃棄物問題になっていました。当時はコストを考えずにリサイクル技術の開発をしようという楽観的な雰囲気があり、ガラス中の金属を脱離する技術への要望が強くありました。そこで多孔質ガラスの製造法を応用して廃ガラスにホウ酸を加えて再熔融し、アルカリホウ酸相とシリカ相に金属を濃縮させてその相を酸処理で溶かしだすことで抽出する技術を開発しました。また、高温・高圧の水蒸気処理による金属脱離法も開発しました。しかし、その後コスト



ガラス中の重金属と分相法を利用した脱離例

の壁にぶつかったため、リサイクルによって得られた多孔質ガラスの高付加価値化を試みました。偶然、再処理問題を起こさない程度の微量の金属をドープして焼成することで高輝度な蛍光ガラスとなることが見いだされ、壁が乗り越えられたかに見えました。しかし、リサイクル材料は品質が安定しないため機能性材料には使えないという強い先入観が障壁となって最終的に実用化には至らず、研究は停止せざるを得なくなりました。

### 新しい展開を探して

幸いその多孔質ガラスを用いた蛍光ガラスについて水銀フリー光源用の材

料としての応用が期待されたため、省エネルギーを主目的とした環境ガラスの研究として再スタートすることができました。しかし材料研究の真冬の時期と重なり、すぐに厳しい状況に陥りました。企業、工業会、団体などを訪ねてニーズを聞いて歩きましたが、逆風の中では研究資源も乏しく、大きな成果は生まれませんでした。次第に、この状況を切り抜けるには現在自分だけがもっているものを生かすしかないと考えようになりました。分相を利用した多孔質ガラス、ガラスからの重金属浸出評価の2つは長期間の蓄積と最近の集中的な研究で優位性のある独自技術になっていましたので、当面これらの改良のみに集中し、これらを使うことによってのみ解決可能な社会的に重要な研究テーマを立ち上げることになりました。過去数年にわたって情報が蓄積されていたため、すぐにいくつかのテーマが思いあたりました。実行するには複数の技術が必要でしたが、産総研には異分野の研究者が多数いるので、共同して取り組むことで解決できるのではないかと考えました。



1991年大阪工業技術研究所入所。以来ガラス材料に関連する研究に携わってきました。米国留学の際人工的な構造モデルに違和感を覚え、帰国直後に周辺で見たガラスが分相や水で構造が崩れ、何かの拍子に規則化する複雑な現象に魅力を感じたのが今の研究のきっかけでした。泥臭いものの中にある美しさを引き出すような研究を目指したいと考えています。

赤井 智子（あかい ともこ）

t-akai@aist.go.jp

環境化学技術研究部門 高機能ガラスグループ  
企画本部



## ニーズ対応への展開

まず、鉛を含む廃ブラウン管ガラスのリサイクル問題に着手しました。この鉛ガラスは再溶融して新しいテレビのガラスに再生されてきましたが、全世界で薄型テレビが普及し始め、リサイクルが困難な廃棄物になると予測されています。特に日本では地上デジタル放送に切り替わる2011年以降に大量にブラウン管テレビが廃棄されることが予測されており、その対策が急務となっています。私たちは着色ガラス瓶で開発したリサイクル技術を改良することでガラスから鉛を脱離する技術の開発を行っていましたが、鉛の用途が減っており、ガラスという安定な形で保管するという選択肢とあわせて総合的に解決法を提示せねばならないとわかってきていたので簡単な浸出試験は始めていました。しかし最終的には浸出だけではなく、ある環境で保管した場合の鉛の拡散や環境リスクを評価する必要がありますがありました。これについては全くの専門外だったため、地圏資源環境研究部門 地圏環境評価研究グループに引き受けていただき、2011年問題の解決に向けた議論に総合的なデータを提供するための研究を2008年度に開始しました。

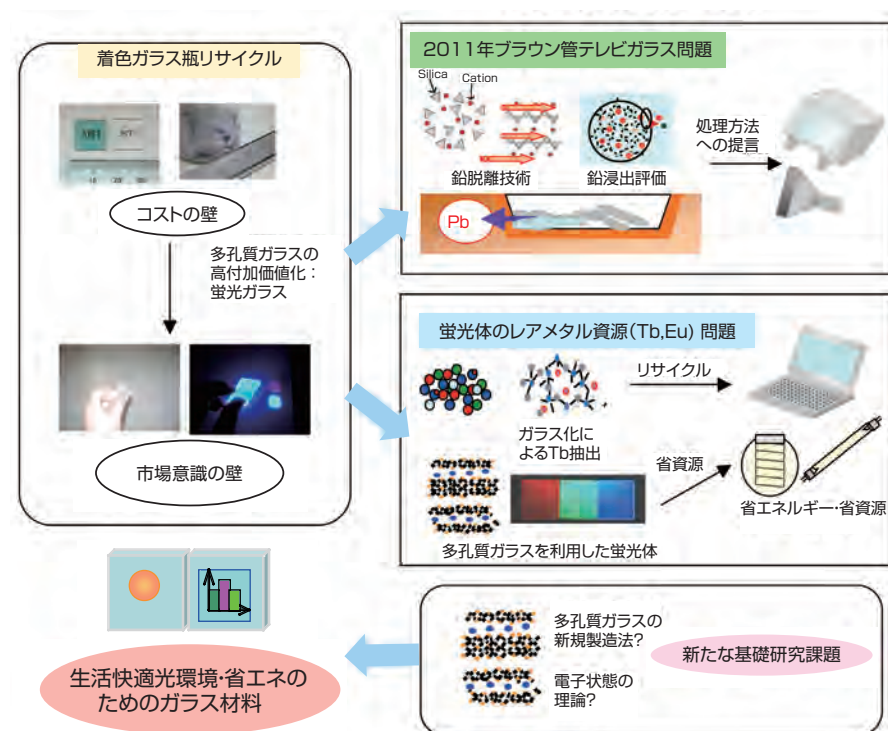
次に、蛍光体のレアメタルのリサイクル技術と省資源型材料技術の開発に取り組みました。最近の高品位のランプには高価な希土類を多量に使用した蛍光体が使われています。今後照明分野への省エネ要請から電球型蛍光ランプの導入が進みますが、その結果、希土類蛍光体の使用量が急激に増大します。希土類、特にテルビウム (Tb) は供給量が限られており、急激に需要過多となることが予測されます。リサイクルを進めるにしても、使用済み蛍光体は多種の蛍光体が混ざっているた

め、再利用がほとんど行われていません。また蛍光体から希土類を抽出して回収するにも、一番高価な Tb を含む緑色の蛍光体は酸に溶けないことから抽出困難とされていました。そこで、着色ガラス瓶のリサイクル技術に少し工夫を加え、Tb の抽出方法を開発しました。これには大きな反響がありました。さらに環境管理技術研究部門の物理分離、溶媒抽出などのリサイクルの専門家と議論をすると、蛍光体リサイクルに関係したさまざまな技術が産総研内で開発されていることがわかりました。それらに組み入れていただくことで、オリジナリティーの高い技術シーズの1つとなっていました。また、以前にリサイクル技術の過程で見いだされた蛍光ガラスは希土類の使用量が低減できる可能性があり、省資源型の材料開発として新たな展開を見せました。現在、これらの内容を総合し

て、企業の方とも議論をしつつ実用化への検討を始めています。

## 今後の展開

最近やっと蓄積されていたものがつなげて動き始め、冬の終わりが近くなってきたような気がします。冬の時期はつらくはありましたが、自分の本質が何かを考える重要な時期であったように思えます。現在は近未来のニーズ研究に集中していますが、ガラス材料が将来的に目指すべきものは、人の生活にとって快適かつ省エネ型の光環境をつくることだと考えています。ニーズ研究を行っていると、不思議なことに将来のために必要な基礎研究がぼんやりと見えてきます。今後はその研究内容を明確にし、新しい技術開発に十分な力を費やせる日が来れば、新たな発展を求めて挑戦していきたいと考えています。



重要な社会ニーズへの対応

## 製造業のIT化推進を目指す本格研究

# 設計製造支援システム開発実行ツール: MZ Platform

### 研究開発の背景

製造業において、業務改革を推進し競争力の維持向上を図るためには、IT化への取り組みが不可欠であると広く認識されています。しかし、特に中小企業では、ITシステムの開発や導入、運用のための負担が非常に大きく、IT化を進められないというケースが多く見られます。このような問題を解決するために、中小製造業の技術者が高度なIT知識を必要とせずに、自らITシステムを構築・運用できるようなツールMZ Platformの研究開発を進めています。

MZ Platformは、コンポーネントと呼ばれるソフトウェアの部品を組み合わせるITシステムを作り上げるツールです。これまで、ITシステムを開発するためには、IT知識を身につけてプログラムを書くことが必要でした。MZ Platformでは、さまざまな機能を持ったコンポーネントがあらかじめ用意されているので、プログラムを書くことなく、従来よりもはるかに容易にITシステムを開発できます。

### 技術的課題

MZ Platformの研究開発における主な技術的課題は以下の2つです。

- (1) コンポーネント方式の有用性立証
- (2) コンポーネントの整備

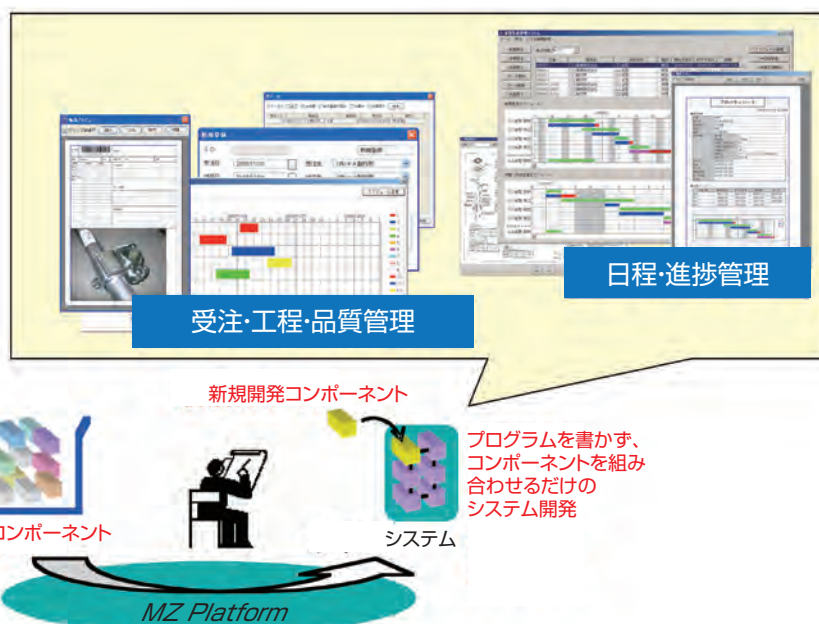


1989年機械技術研究所入所。1990年から1992年まで財団法人 新世代コンピュータ技術開発機構へ研究出向。その後、数式処理技術の設計工学への応用に取り組み、2001年から現在のテーマに従事しています。MZ Platform 普及活動のため、あちこちを飛び回っています。

澤田 浩之（さわだ ひろゆき）

h.sawada@aist.go.jp

デジタルものづくり研究センター  
システム技術研究チーム



コンポーネントの組み合わせによるシステム開発

(1) は「コンポーネントを組み合わせることで本当に実用システムを作れるのか？」ということであり、(2) は「さまざまなシステム開発を効率化できるようにコンポーネントを用意できるのか？」ということです。

私たちは、まず中小製造業数社の協力を得て、工程管理システムなどの実用システムを実際に開発してみるところから始めました。その手順は以下の通りです。

- ① 企業への聞き取り調査実施
- ② 業務分析と開発するシステムの仕様策定

- ③ 必要なコンポーネントの新規作成
- ④ システム開発

この作業により、コンポーネント方式による実用システムの開発が可能であることを例証しました。ここで作成されたコンポーネントには、それぞれのシステムでしか使うことのできないものも多く含まれています。

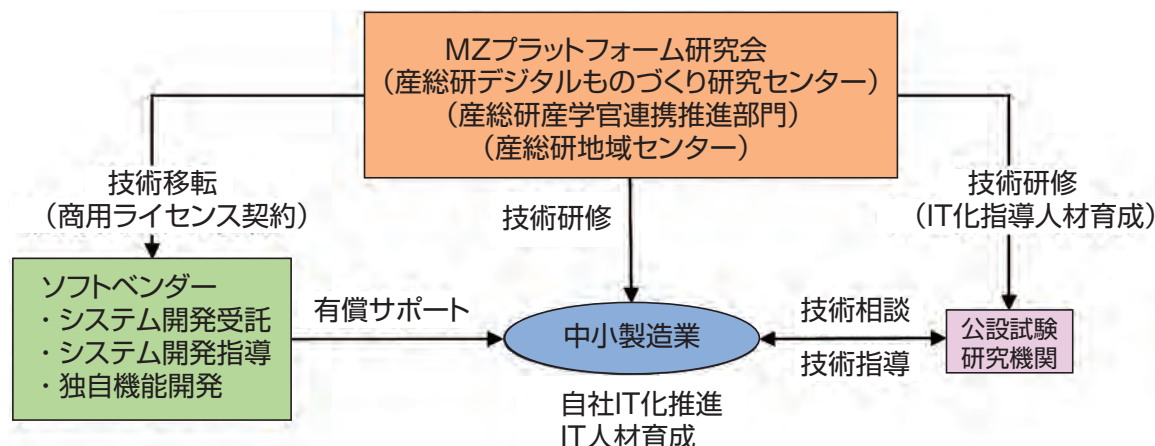
次に、開発したシステムの機能を分析し、それらを汎用的な標準機能の組み合わせとして再構成しました。この作業は、各システム固有の機能をサブ機能へと分解して基本となる標準機能を抽出すること、機能の実現方法を見直してより汎用性の高い方法で置き換えることにより行われました。

現在では約180種類のコンポーネントが標準で用意され、プログラム作成期間はこれまでの半分以下、実用システムで必要とされる機能の95%以上が実現可能との検証結果が得られています。

### 成果普及活動

MZ Platformで実用ITシステムを開発する機能は整いましたが、当初、開発し





サポート体制の構築

たITシステムは企業で使われませんでした。あらためて企業への聞き取り調査を行ったところ、以下のことが分かりました。

- ・開発したITシステムの機能は実用レベル
- ・ITシステムの維持・管理、業務展開、運用を担う人材の確保や体制整備が困難

ここで私たちは人材育成を含めた成果普及活動の重要性を認識し、以下の活動を開始しました。

#### (1) 成果普及セミナーの開催 (2004年～)

産総研地域センターや公設試験研究機関などの協力を得て、これまでに44都道府県でセミナーを開催しました。

#### (2) コンソーシアム活動 (2004年～)

産総研コンソーシアム「MZプラットフォーム研究会」を設立し、MZ Platformの配布や講習会の開催、メールサポートを行っています。年会費は1000円で現在の会員数は440、講習会はつくばで週2日のほか、これまでに22都府県で出張講習会を開催しています。

#### (3) サポート体制の構築

各地域の中小製造業に対するIT化指導人材育成のため、公設試験研究機関へのMZ Platform導入に取り組んでいます。一方、恒久的な普及にはMZ Platformのビジネスへの活用が不可欠との認識から、TLO契約（商用ライセンス契約）を通じたソフトベンダーへの技術移転を

進めています。現在、TLO契約締結済みソフトベンダーは7社です。

#### 現在の状況と将来

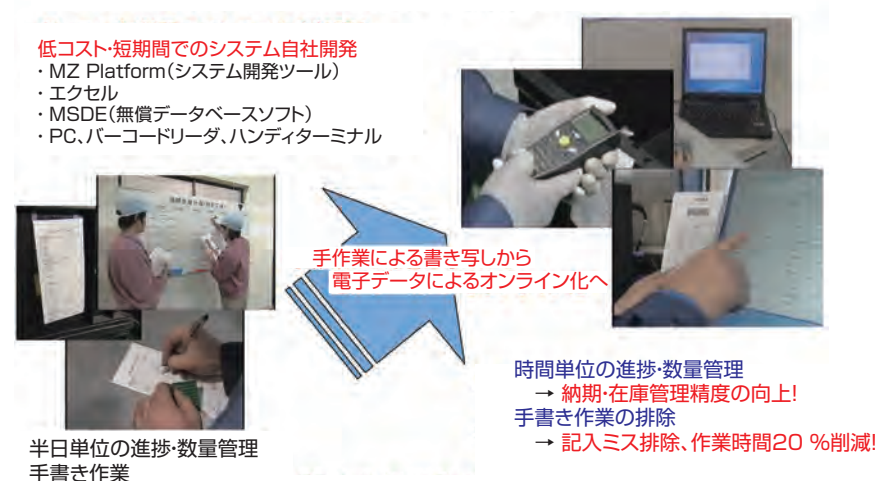
現在、MZ Platformを導入しITシステムを構築している中小製造業は10数社で、普及が進みつつあります。大分県の企業は、MZ Platformを利用したIT化により、九州経済産業局IT経営力大賞特別賞を受賞しました。また、TLO契約を締結した長崎県のソフトベンダーは「MZ SUPPORT SYSTEM」というビジネスを開始しました。これは、従来の丸投げ・丸請けのシステム開発ではなく、

発注側の製造業も開発に参加し、最終的に自社で維持・管理ができる状態にした上で納品するものです。一方、栃木県のものづくりIT化パイロット事業や大分県の中小企業IT化モデル事業など、地方自治体におけるMZ Platform利用の動きも広まりつつあります。

MZ Platformの活用により、ユーザーである製造業と開発者であるソフトベンダーとの距離を縮めることで中小企業のITスキルの向上を促し、企業の体質・競争力の強化に貢献していくことが将来の目標です。

#### ITシステム開発事例

ープラスチック射出成形企業における作業実績収集システムの開発(大分県)ー



平成19年度九州経済産業局IT経営力大賞特別賞受賞

ITシステム開発事例 (資料提供: 大分県産業科学技術センター)



技術を社会へーIntegration for Innovation

独立行政法人

産業技術総合研究所

〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2

広報部 出版室

Tel : 029-862-6217

Fax : 029-862-6212

E-mail : prpub@m.aist.go.jp

産総研ホームページ <http://www.aist.go.jp/>

このパンフレットは、「産総研 TODAY」2009-1, 2号の掲載記事をもとにして作成しました。  
2009. 2 発行

