



ものづくり分野のアカデミック・ロードマップ

新井 民夫*¹, 大倉 典子*²Academic Roadmap for Production Engineering
(MONODZUKURI)Tamio ARAI*¹ and Michiko OHKURA*²

Abstract— This paper summarizes an academic roadmap for production engineering, which is globally called Monodzukuri in Japan. This roadmap was completed by a dedicated working group, consisting of scientists and engineers with different backgrounds from different member societies of the TRAFST. The paper deals with scenarios of production systems in 2040 and their necessary technologies. A key concept in future may be “prosumers,” i.e., the fusion of producers and consumers. The technical roadmap is generated to represent the technical progress up to 2040.

Keywords— roadmap, production engineering, manufacturing, prosumer, service, innovation, monodzukuri

1. はじめに

ロードマップは技術の進展を可視化する道具である。ものづくり分野の特徴として、たとえばすばらしい技術であっても社会的・経済的選択を経なければ採用されないという大原則があるので、製品技術に比較して技術の変化速度は速くない。それゆえ、既存技術の延長上に未来を描くほうが容易でかつ予測的中率が高くなることであろう。しかし、このアカデミック・ロードマップでは、持続性社会の構築など現代社会がもつ問題点を解決する方向に社会が変化すると仮定して、そのために必要なものづくり技術を志向した。同時に、「日本のものづくり競争力を強化（あるいは維持）する」ことを目標とした。なお、本ロードマップの作成にあたった委員を Table 1 に示す。

ロードマップを作成するにあたっては、以下のようないくつかの枠組みを設定した。

(1) 時間軸の設定

技術ロードマップでは、時間軸上で技術の発展を示す必要がある。時間軸としては、2000 年を基準年として、過去と未来にそれぞれ、8 年、12 年、20 年の区切りを置いた。すなわち、2000 年、2008 年、その 12 年

*¹ 東京大学大学院工学系研究科 東京都文京区本郷 7-3-1*² 芝浦工業大学工学部 東京都江東区豊洲 3-7-5*¹ The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo*² Shibaura Institute of Technology, 3-7-5 Toyosu, Koto-ku, Tokyo

Received: 11 September 2008, 20 September 2008

Table 1: Committee members

主査	新井民夫	東京大学	精密工学会
幹事	鈴木宏正	東京大学	精密工学会
委員	竹内芳美	大阪大学	精密工学会
	木下佳樹	産業技術総合研究所	国際数理学協会
	中野一夫	(株) 構造計画研究所	スケジューリング学会
	木野泰信	筑波大学	プロジェクトマネジメント学会
	新 誠一	電気通信大学	計測自動制御学会
	帯川利之	東京大学	精密工学会
	松浦 執	東海大学	形の科学会
	遠藤 薫	学習院大学	日本社会情報学会
	大倉典子	芝浦工業大学	日本バーチャルリアリティ学会
	廣田 薫	東京工業大学	日本知能情報ファジー学会
	船橋誠壽	(株) 日立製作所	
	花井利通	(株) 日産自動車	

後である 2020 年、その 20 年後である 2040 年のそれぞれの時のものづくり技術の姿を考える。過去を振り返れば、1960 年は日本の製造業が高度成長期に入り始めた時、1980 年は日本の製造業が世界的競争力をつけた時、そして 1992 年は大量生産技術において日本が成功を収めた時である。

(2) 技術対象

伝統的なものづくり技術は設計・生産だけを指すが、本論では、製品のライフサイクル全体をものづくり技術が管理すると考え、消費、リサイクルを含むすべての過程を検討対象とする。想定する製品としては、物質的製品に限定することなく、ソフトウェア、コンテンツなどを含むとする。すなわち、サービスを含む「コト」については、“もの”に付随するコトづくりを含む。

(3) ものづくりに関する主要な仮定

次の3点の傾向が強まると仮定した。

[A] 部品は機能的に統合される。同時に、機能と外形とは分離される。

[B] 製品は個人へのサービスを指向する。

[C] 持続性社会の構築は必須であり、物質的供給から非物質的供給へ移行する。

[A]は産業革命以降、継続して検証されている。メカトロニクスで代表される機能と構造との分離は、情報処理の進展と共にいっそう顕著になる。[B]もまた大量生産を離脱する以前から指摘されてきたことで、それが環境問題と組み合わせたり、一層進展する。特に、サービス科学・サービス工学の研究が個人の要求、個性、個人的な満足度と集団の満足度などを明らかにしていくであろう[1]-[4]。一方、[C]は人類的選択であるが、少なくとも先進工業国では競争力の源となりうる。

以上の枠組みのもと、主として2040年の生活シナリオを想定することで、製品イメージ、ものづくり方法を導出する。

2. 2040年のものづくりの姿

現在、緊急の課題である持続性社会の構築については、2040年までにはその結果が明確に出ているであろう。あるいはまた日本の製造業の位置づけも大きく変わっているかもしれない。人口動向推定によれば、2040年に総人口110百万人、労働人口45百万人になるという[5]。そこで、まず2040年における“もの”のイメージ、技術のイメージをシナリオとして表現してみよう。

2040年9月、精密工学会秋季大会が開催される。1933年にスタートしたこの学会は100周年記念行事として「除去加工の歴史」を展示した。今年の学会の発表構成を見ると、機能部品設計生産技術が約50%、医療、生命、生活への応用が20%、社会的な価値生産システム10%が大きな分野である。

形状創成技術を見るに、切削加工をはじめとする除去加工はその重要性が低下し、代わりに、樹脂金属のレーザー硬化技術と印刷技術が中心である。波長特異

性がある材質や多段階硬化性の樹脂材料の発達により、CADデータから部品を作り出すまでが今までの100分の1になった。このことは完全な注文生産を可能にした。表面の機能創成には材料のナノ構造から手がつけられるようになり、部品一つ一つの機能が格段に高まった。このことで、機械部品も電子部品と同じような機能モジュールになり、大量生産が続いており、日本は高機能機械部品に関する世界の供給基地になっている。

持続性社会の構築のために、「不必要な製品（情報も含まれる）を世の中に出さない」という大原則が10年前に国際的に制定された。よって、ほとんどの製品は、機能、使い勝手、他の人工物との関係、顧客満足度がシミュレーションで調べられるようになった。しかし、すべてシミュレーションで評価できるわけもなく、今でも多くの試作品が生産される。それらの多くがWEB上に提示され、消費者の代理人として新製品を検索している製品選択エージェント（過去の行動から、要求を詳細化してくれるコンピュータソフトウェア）によって注文される。その結果、最低生産単位に達する注文が集まったときに、生産・販売される。

昨日、天井組みのエアコンが壊れたので、エージェントに買い替えを依頼した。このエアコンは古すぎて、寸法も性能も分からず、現物測定・現物融合技術で寸法を測り、エージェントがエアコン機能サービス社に購入依頼を出した。いまやエアコンは装置を買うのではなく、機能を購入し、Pay-by-useが一般化している。……

このような社会におけるものづくり技術はどのような要素技術からなるのであろうか。また、それらの要素技術はいかなる手順で開発されるのであろうか。本論では、ものづくり技術の中核として、製品設計の上流過程である要求仕様の決定と、製品生産の出口を決定付ける製品評価技術の2つから議論を始める。

3. プロシューマ¹社会のものづくり

3.1 持続性社会への対応と価値の変化

20世紀に起きたものづくりにおけるイノベーションで最大のものはフォードによる大量生産方式であろう。それまでは職人による手作りが中心であった。このため、職人ごとに品質も納期も大きな違いがあった。それに対し、流れ作業で自動車を作る仕組みは生産の分業化とマニュアル化を浸透させた。もっとも、多人数による流れ作業は、生産における問題点の隠蔽化にも繋がった。それは生産における品質の責任を曖昧化するとともに、納期遅れの責任も曖昧化した。前工程に問題がある場合、

1. 注 アルビン・トフラーが著書の『第三の波』で使った造語。生産者（プロデューサー）と消費者（コンシューマー）が一体となったもの。

後工程は在庫を積み増すことで自分の仕事への影響を軽減していた。このため、各所で在庫が積みあがり、問題の所在は在庫の山に埋もれる結果となった。

その問題に対する解答はトヨタ自動車を始めとする日本企業が与えた。一つはカンバン利用による在庫削減である。これは JIT(Just-In Time) と呼ばれる活動であり、在庫を削減することで、工程の問題を炙り出し、カイゼンを継続的にかけるものである。このカイゼンを持続させることで短納期、低コスト、品質向上を達成していく仕組みである。このカンバンとカイゼンの両輪に加えて、日本式生産システムの特徴として情報共有化も挙げなければいけない。これは各設備機器の表示灯であるアンドンを用いて稼動状態を公開する。これは問題発生を周知するだけでなく、発生時に周囲の作業員も含めてカイゼン作業を行う仕組みである。

さて、20 世紀は大量生産と日本式生産システムに加え、情報技術が発達した時代でもある。特に、後半はコンピュータの発明、ネットワークの出現、大規模記憶装置の開発と世界を大きく変えてきている。情報技術は情報処理、情報通信、情報蓄積の三つの技術に細分化できるが、この三つともものづくりに大きな変化を与えている。

処理技術は生産機械の自動化や設計支援ツールという形でものづくりに影響を与えている。実は、コンピュータが理解できるものは数式しかない。そのため、ものづくりにおける数学モデル利用が活発化している。生産でいえば、コンカレントエンジニアリングである。作業を並列化することで短納期化が図られているといわれているが、実態は数学モデルに基づく設計、生産である。最初は数学モデルベースで設計し、次第に実機に置き換えていく SILS (Software In the Loop System) から HILS (Hardware In the Loop System) へシームレスにつなぐ手法と、数値データに基づく加工である CAM (Computer Aided Manufacturing)、そして生産システム全体をモデル化する CATIA や NX と呼ばれる CAD (Computer Aided Design) ツールの出現は 21 世紀のものづくりを経験と勘ベースから数学と解析ベースへと変えている。

加えて、通信技術の発達は情報共有の範囲を拡大している。孤立していた生産設備が連携し、さらに分散された工場が連携し、そして企業群が連携した SCM (Supply Chain Management) が実現されている。ここでは大規模になった蓄積技術が全ての情報を記録し、必要に応じて情報を提供する環境を整えている。

情報技術の発達はものづくり側だけでなく、消費者側も享受している。インターネットを閲覧することで、製品情報の取得だけでなく、価格や納期の比較も容易に行われるようになった。加えて、品質や使い勝手情報も消費者間で瞬時に共有できる環境となっている。このよう

に消費者間でも情報共有が進んだことで、生産者側にはさらに短納期、低コスト、高品質の圧力が強まっている。

3.2 欲求実現手段としてのものづくり

この生産者と消費者両者の情報化の進展の中で、両者の間でも情報共有が進みつつある。それは 20 世紀型の大量に同じ商品を供給するという形ではなく、消費者が個別に求める商品を提供するという形である。簡単にいえば、19 世紀の巧みの技を 20 世紀の大量生産のコストで提供することを消費者は望み始めた。

しかし、商品開発期間の短縮は生産者と消費者との間隙を顕在化した。それは生産者側が消費者の望みを知らないということであり、そして消費者は自分自身が欲する商品を知らないことである。昔は、マーケットリサーチが有効であったが、開発サイクルの短縮はこの手法を無意味なものに変えようとしている。この短縮化と商品の多様化の狭間にあって生産者も、消費者も売れ筋商品が見えなくなっている。消費者という大きな枠ではなく、個人の要求という細かい枠組みで商品を提供していくと商品が多様化することを避けられない。商品が多様化し、開発サイクルが短いと売れ筋は短期間に大きく変化する。

これは企業側から見ると、会社の浮沈に関わる由々しき問題である。つまり、大きなシェアを保有していても、明日には覆る恐れがある。逆に、新興企業には下克上のチャンス到来でもある。このような先が読めない環境下では、開発サイクルをさらに短縮することで常に売れ筋を追いかけることが必要である。それは、売れ筋を外したときの被害を最小化し、売れ筋の販売機会を最大化する効果がある。

一方、消費者は新しい商品を生み出す技術を知らない。それどころか何が自分に必要かを商品登場前には認識できない。このため、商品が売れ筋か否かは市場に出されて初めて評価されることになる。

この両者の間隙を埋めるためには、生産と消費の垣根を下げていくしか方法がない。実際、消費者の意見を製品開発に反映するという従来のやり方に留まらず、試作品を消費者に評価してもらうところまで進んでいる。これを加速化すると、開発中の商品を消費者が使用することになる。いいかえれば、消費者の手中の商品を継続的にカイゼンしていくことになる。すなわち、消費者の手元で成長する商品であり、生産者から見ると出荷後も維持管理を続ける商品である。

3.3 所有願望の崩壊と共有指向設計

現在はインターネットや携帯電話が発達し、継続的にソフトウェアを更新することは容易だ。問題はハードウェアである。これを継続的に更新していくためには、

モジュール化が不可避である．それに加えて，ハードモジュールの自動統合化も不可欠である．これらを実現していくためには，部品の入出力から始めて最終的には設計図を公開していく必要がある．それも部品単体の設計図だけでは不十分である．その部品がシステムの中でどのように使われているかが分かる必要がある．つまり，最後には部品が含まれるシステム全体の設計図を共有していくことが必要になってくるであろう．

このようにシステム全体の設計図を各部品が個別に持っているシステムとして生体システムがある．生体の設計図はDNAであり，そのDNAには神経や筋肉などの部品に相当する部品の設計情報だけでなく，生体というシステム全体の設計図が含まれる．そして，どの部品にもなれる万能細胞が生体の始まりの基礎となっている．加えて，違う設計図を持っている部品を排除する免疫系の仕組みも生体は持っている．

20世紀後半は工学が生体に習うという観点から，ニューラルネット，遺伝子アルゴリズム，免疫系，自律分散システムなどの概念を生み出した．これらの概念は計測，制御，スケジューリング，最適化などのものづくりに大きな影響を与えてきた．ものづくりの原点に設計図があるなら，この設計図情報の共有化も生体システムに倣うべきものがある．生体システムは，新陳代謝を繰り返し数ヶ月間で細胞が入れ代わっている．しかし，生体全体は一見不変のまま数十年以上の寿命を誇っている．生体は常に生産し，消費している．プロシューマの究極の姿の一つが生体にあり，その生体は設計情報の共有化，アミノ酸という形で基本モジュールの共有化を図っている．

以上，未来の製品として生体的特性を想定するなら，設計図の公開，共有設計図による異分子の排除，合法的設計図改変による成長，非合法的設計図改変による致死性の導入などがプロシューマ的なものづくりには不可欠だろう．

3.4 感性価値による競争力

経済産業省は，2007年5月22日に「感性価値創造イニシアティブ」を発表した[6]．ここでは，人口減少に伴う量的需要減，近隣諸国の追撃などに直面した我が国の産業が競争力を維持・向上させていくために不可欠な差別化やイノベーションの要素を考える上で，生活者の感性に働きかけ，感動や共感を得ることで顕在化する価値として「感性価値」を定義し，従来のものづくりの価値観である機能・信頼性・コストに加え，感性を第4の価値軸として提案している（[7]より一部改変して引用）．

1998年に発行されたD．A．ノーマンの著書[8]によれば，テクノロジーの発達の初期段階において顧客が望むのは高機能化や高性能化だが，その成熟期において大

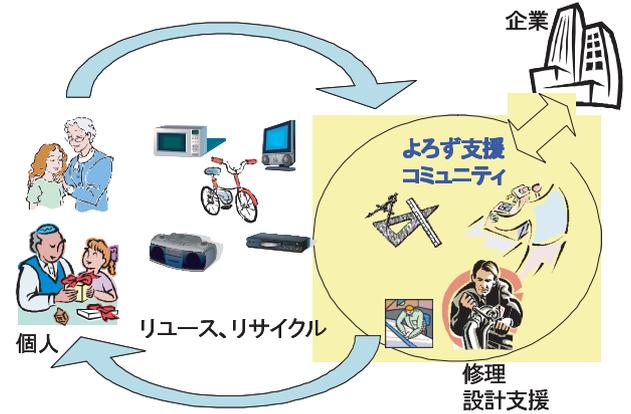


Fig. 1: Local community

多数の顧客が望むのは，もはや機能や性能ではなく，製品の利便さや優れたユーザーエクスペリエンス²である．

日本のように国土が狭く資源が乏しく科学技術創造立国せざるをえない国が，これからもものづくりにおいて国際的競争力を持続するためには，このような感性価値を有するものづくり，ユーザーが使って楽しいものづくり，加えて，ユーザーが自ら経験して楽しいもの，すなわち「わくわくするものづくり」を行っていく必要があると考えられる．このようなものづくりは既にもう始まっている[9, 10]．さらに世界に先駆けて超高齢化社会へと突入している日本では，高齢な消費者を満足させるためのものづくりが，より高機能・高性能志向ではなく，人生を楽しみながら豊かに暮らすことができるような高ユーザービリティ・高ユーザーエクスペリエンスなものづくりへと，世界に先駆けて変換していく必要があることは自明である．このような日本の利点を積極的に活用し，感性価値の創造を競争力としていくことが，今後の日本のものづくりの方向になるだろうと考えられる．

4. ものづくり技術の進展の方向

プロシューマがものづくりの基本にあると仮定しても，ものづくり技術はどのように適用されるのであろうか．ものづくりの主体がコミュニティに戻り，利用者参加が広まることで，製造者と利用者との連携関係が高まる未来のものづくり社会（Fig. 2）を想定する．

4.1 ものづくりコミュニティ

「よろず支援コミュニティ」と呼ぶ地域コミュニティ（Fig. 1）の役割は，そこで暮らす人々の生活面のあらゆる

2. 製品やサービスの使用・消費・所有などを通じて，人間が認知する（有意義な）体験のこと．製品やサービスを利用する過程（の品質）を重視し，ユーザーが真にやりたいこと（本人が意識していない場合もある）を「楽しく」「面白く」「心地よく」行える点を，機能や結果，あるいは使いやすさとは別の“提供価値”として考えるコンセプト（@IT 情報マネジメント用語事典より引用）．

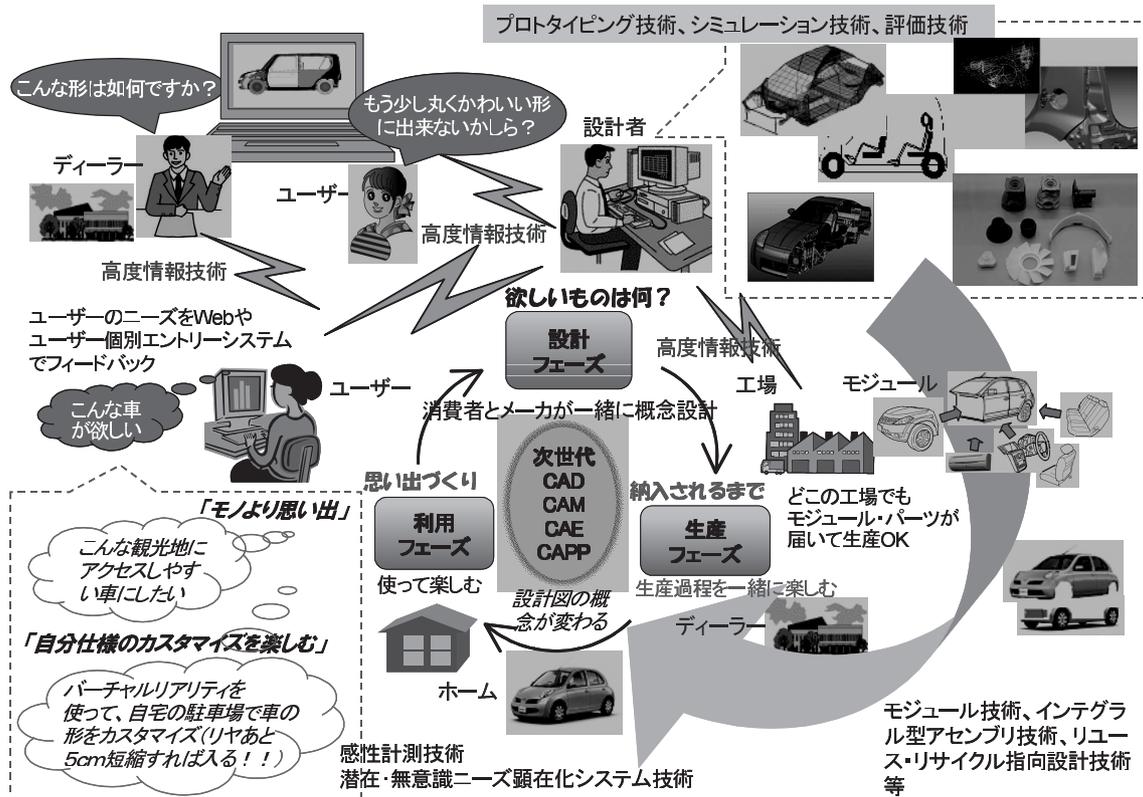


Fig. 2: Manufacturing in future

る困りごとの相談に乗ったりサービスを提供したり支援したりすることである。そのためにはソフト・ハード両面から必要なインフラを整備すると共に、地域に多数存在する人的資源（有用な技術や知識をもった高齢者）を活用し、コスト面やきめ細かな対応などで利用者のニーズに応えることが必要となる。特に、メーカーの退職者などの有用な人材を活用して、消費者の支援を行う。コミュニティにおけるものづくりの支援は、必ずしもコミュニティ内で自己解決できるとは限らないが、製品メーカー側へのスムーズな橋渡しの役割を果たしている。

このような地域のよろず支援コミュニティにおけるものづくり支援を実現するための技術課題としては、以下の点があげられる。

- ・ リユース・リサイクル指向設計技術
- ・ 共有指向設計技術
- ・ 顧客と設計者の対話型 CAD システム
- ・ 潜在的あるいは無意識的ニーズ顕在化システム
- ・ 質感までわかるバーチャルプロトタイピング
- ・ わくわく感などの感性計測技術
- ・ モジュール化技術
- ・ インテグラル型アセンブリ支援技術

4.2 利用者参加のものづくり

製造者と利用者の関係を Fig. 2 でより詳しく見てみよう。社会のなかに、ものが遍く行き渡って、量的な不足を感じる事が少なくなった。しかし、利用者をいかに

満足させるか、いかに楽しませるか、利用者の利益をいかにして生み出すかなどを考えるなら、設計 - 製造 - 保守 - 廃棄（再利用）という、もののライフサイクルの各段階に関して、利用者の参加によって、利用者自身に楽しんでもらうことができる。消費社会から持続可能社会へ戻っていくためには、ライフサイクル全体にわたる利用者への支援を本格化させることが必要である。

4.3 利用者参加の概念設計

利用者の多様な要求に応えるためには、製造者が提供する選択肢の中から利用者が好みのものを選ぶのではなく、はじめから利用者の好みに合わせた製品を提供するものづくりの仕組みが望まれる。製造者と利用者が一緒になったプロシューマが、概念設計の段階から手掛けるのである。利用者各々の好みは多様で、統一した方向を見定めることはできない。そこで、利用者参加の概念設計を可能にする技術は、利用者の要求をうまく汲み取るための、聞き取り技術、インタビュー技術とその派生であろう。聞き取りの難しさは、製造者と利用者との間で、知識や技能が非対称に保有されていることが原因である。その意味で、社会学や文化人類学で扱う異文化交流の手法も有効であろう。

Table 2: Academic roadmap in manufacturing

大分類	中分類	1960	1980	1992	2000	2008	2020	2040
社会背景	エネルギー	-	石油危機	多様化	←→	燃料電池の普及と開始、CO2の分解・固定化技術の実用化、再生可能エネルギーによる分散的エネルギー供給システムの普及と開始	燃料電池普及、水素エネルギー利用の実用化開始、住環境・ワークスペース環境の調節と、省エネ・低排出のための知能を持つ建築物の実用化と普及が始まる	分散的エネルギー供給システム併用の定着、再生可能エネルギー、水素エネルギー利用の定着
	都市などの環境・交通	市電	マイカー	←→	←→	国土緑化、人工地盤などによる、コンクリート被覆層から土壌層への転換の普及と開始、人工物の安全、ライフサイクルなどに関する情報は公開、事故や障害情報は国民に常時公開される	用済み・物の移動)に普及した交通手段選択、インテリジェント移動体の実用化、移動・輸送コストを下げる産業システムへの移行、鉄道のハイブリッド化、喜びと賢みとしての旧式鉄道の動態保存	高齢者などのモビリティ支援と健康な食事のできる街づくり、高齢者が生きがいをもって生活するものづくりの普及
	製造業の動向づけ	高度成長	No. 1	失われた10年	情報元年	製造業従事者19%、GDP23%、加工立国	製造業従事者15%、GDP22%、高品質立国	製造業従事者は約8%、インフラ(建設)4%、製造業は第3次産業のハンクヘッド、モノサービスを提供するための媒体
	規範	-	-	-	-	省エネ、リサイクルが基礎的な価値観へ Personalization	ローカルな生活を、グローバルな意識の見地から認識 Prosumerの台頭	設計知、感性価値の成熟、教育の変革の定着 製品長寿命化→所有の破壊、Prosumer化
消費者	行動・消費利用	団地	←→	バブル崩壊	←→	物中心の生活スタイルだが、省エネ、3Rを認識	探索技術と評価技術の高度化と普及、環境への配慮、安全技術の定着、日本のスタイルの再構築	もてなしの享受、尊重、再構築された日本的スタイルでの生産、消費活動 個人情報取扱いに関する社会意識の再形成
	行動・探索	-	-	-	-	アンビエント・フィタビリティ関連技術の多様化、実験的段階、フィタビリティ技術の普及とともに、subject-centricな生活感覚、感性価値の認識が定着 欲しい時に欲しい物を直接工場に伝える	人工物や生物などに埋め込まれたアンビエント・インタフェースを通じた知識や知識の探索が可能になる、アフォーダンスの中に埋め込まれた知識の再構築	人工物、アート、自然に関係性のデザインが導入される 欲求確定ユーザー意識、無意識行動の解析、要求機能の登録 ユーザーの結合、自己形成型ユーザーセグメント、設計情報のユーザーによる再構築、物的負債削減(共有、長寿命化、所有の破壊)
仲介者	評価産業	-	-	-	-	消費者コミュニティと専門家によるアドバタイズ、生産者との仲介で構成される価値共創のためのprosumerネットワークの普及(具体例「空想生活」(lego factory))	感性価値、エネルギー効率、再利用性、産業持続性への適応度での評価の定着 ユーザーによる再編成製品の品質評価	認可制的評価からの脱却、伝説的な生活の知恵の再構築 製品評価産業:機能評価、Compatibility評価、格付け(呼び、寂び、萌え、カワイイ)、環境評価指標
	産業構造	重厚長大産業	軽薄短小	自動車	情報産業	大企業中心生産コミュニティ:アウトソーシングとアウトタスキングをもつ仮想企業 インテグラルアークテックチャイモジュラーアークテックチャイモ共存	SMBによる仮想企業の形成:擦り合せ自動化による超インテグラルアークテックチャイモジュラーをベースとしながら擦り合わせの統合を実現(モノの移行)	機能部品設計製造産業:機能単位(Primitive)で作成、表面的な属性(Design)で独立化、機能組立産業とProsumer支援産業 製品評価産業:機能評価、Compatibility評価、格付け(呼び、寂び、萌え、カワイイ)、環境評価指標 動的仮想企業:設計生産サービス資源のグローバルな効率的活用、製品開発までの対応範囲拡大
供給者	製品イメージ	-	-	-	-	高品質大量生産	機能性部品 環境低負荷製品	構造性部品、機能分解技術、再構成技術 環境低負荷部品、製品トータルソリューション、部品、製品DNA、急速に腐る製品、画像認識、機能認識による知財保護 2040年型冷蔵庫:隣江スーパードア、食品有効利用率向上、新原理の冷蔵・温蔵 ササビヒートポンプ:バスターバルブグループ+放射ロボット
	ものづくり技術	-	-	-	-	ラビトプロトタイプベンディング ストックデータベース確立(誰が、どこで、どのような製品を使用しているか) 履歴管理(トレーサビリティ)、新生産管理・スケジューリング 3DCAD/CAE、光造形、加工技術、ICタグ、刻印	機能分解・再構築 部品単位のaeng記録 PLM(Product Life cycle Management)技術の確立 マルチユーザー・ジェネラタブル・リテラシー 3D自由構築技術、骨格構築技術、自動モデリング	部品単位の材質のDNA管理、GPSニーズ、超アトローデザイン設計 ラビトプロトタイプによる構造材:次付、硬化材料、生物型充填材料・構造剤 ハイパーメカトロニクスによる機能部品:情報ネットワークへの接続+個人情報への接続(部品レベル)、学習型+共創型機能 機能自己再生機能組立部品、GPS内蔵タグ
設計・生産技術 & 持続性社会構築技術	3R指向・共有指向設計	-	-	-	-	メカ対応、レンズつきフィルム、コピー機	メカ対応、基本性能重視、長寿命化	ユーザー対応、部品情報(性能、履歴等)公開 コミュニティでの共有促進
	対話型CADシステム	誕生	2D	PC化	3D	←→	主に高齢者用アイテムに多用(生体計測システムと併用)	テララード製品の設計支援(広く適用) 潜在的、無意識的ニーズ顕在化システム
	バーチャルプロトタイプ	-	-	-	-	←→	質感、光沢、触感(温かさ、滑らかさ、やわらかさ)、CGによる提示	CG+デバイスによる品位の提示
	感性計測技術	-	-	感性工学開始	←→	←→	デザイン感覚の顕在化、作る喜びを定量化	設計・生産に広く普及
	設計サイクル	-	2年	消費センター	1年	10ヶ月 設計図のデータ互換性	メタ指向設計生産、モジュール化、設計と生産との融合	3日 モジュール化:ユニット化の細分化、改造の検証と認証
	ユーザーの介入	-	消費者	オープン	選択	選択	ユーザーオープンション、設計段階への介入	参加 ユーザーオープンション、製品の機能変更
製品サイクル	大量生産	大量生産・大量廃棄	LCA	LCA	廃棄	リサイクル モジュール化の促進、長寿命設計	リユース ライフサイクルに合わせたアップグレード、新技術の迅速な導入	
生産情報の変化	生産管理	CAD/CAM/CAE	データベース	コンカレントエンジニアリング	設計生産の連携 工場内の情報統合、設計ニーズが生産システムとつながる	販売連携 マーケットの連携、市場ニーズが生産システムにつながる	消費連携 個別イベントソリューション、個人ニーズが生産システムと一部つながる	
ものづくりの現場の変化	-	-	-	-	工場仕上げ CAE/CAD	販売店仕上げ CAPT-POS	消費者仕上げ 設計システムの開放	
儲かる仕組み	-	-	-	-	売り切り	点検改造	維持管理	

一方、利用者の意図を本当に汲み取ったかどうかを製造者が確かめる方法として、迅速にプロトタイプ(雛型)を作ってみせる rapid prototyping があり、シミュレーション技術とともに、一層の発展が求められる。

4.4 思い出づくり

製造者と利用者の両方で概念設計を作り上げたら、あとは製造者に詳細の設計と製造、生産を任せることになる。製造、生産には設備や専門的な技術も必要なことから、一般の利用者が生産工程の詳細にまでは手をだせない。そしてその後は、保守が必要となる。ものに関する情報のトレーサビリティを確保することによって、個人履歴を有する製造物ができる。使って楽しみ、思い出を作り、個人履歴が残って価値が生まれる。さらに利用者間での商品評価の流通、あるいは、利用者自身による改造を容易にするようなオプション選択など、ものづくり情報の流通活性化による新しいものづくり像も描ける。

4.5 ライフサイクル期間の短縮

Rapid prototyping が可能にするのは、ライフサイクルの各段階で必要とする期間の短縮である。特に製造過程短縮のためには、CAD, CAM, CAE, CAPP などの自動化技術が有効である。それによって、利用者がさまざまな形で製造工程に介入することが容易になり、設計図と現場の整合性をより高めることもできる。また、たとえ利用者が改造しても、改造の検証や認識をコンピュータが行えるようになる。自動化には、情報工学における形式技法が必須である。ものづくりの技能はともすれば暗黙知として伝承されるが、形式知化すれば自動的な設計・生産を実現できる。さらに、製造方法、製品の検証も自動的に行うことができる。より進んで、パターン認識(画像認識、音声認識など)技術を用いて暗黙知を伝承していく方法も進むであろう。

4.6 部品化による再利用・循環利用

持続性社会の中ではモジュール化技術や、部品を組み立てるアセンブリ技術を適用して、ものの再利用(reuse)や循環利用(recycle)をうながすことも効果的である。CADをはじめとする自動化技術と、統合的なアセンブリ技術を含むモジュール化技術の進展により、消費者の参画、納期の短縮化、製品サイクルの変化が起こり、環境にやさしいものづくりの実現が図られ、工業(第2次産業)と情報産業(第3次産業)にまたがる新たなものづくりの活動が実現することが期待される。

5. アカデミック・ロードマップ

近未来の環境、消費者像を描くことで、ものづくりの将来像を検討してきた。持続性社会が実現できていると

の仮定の下で、ものづくり社会は Fig. 2 にみられるような個人的要求と高度情報技術の総合化で実現することを明らかにした。

ロードマップ構築の目的は、

- ・ 技術マップとして、必要技術の構造と重要性を明らかにすること
- ・ 技術ロードマップとして、時間軸に沿って技術の進展を明らかにすること

である。それらをひとつの表に統合して、Table 2 に示す。ものづくり技術と社会技術は相互に関連しあう。それゆえ、ものづくり技術の重点化評価項目は、将来のあるべき社会を構築するために必要な技術として選ばれる。ここではその基準として次の6種を選択した。

- (A) 持続性社会の構築：必須でかつ喫緊の目標である。同時に、今後の技術競争の要となるとの社会的コンセンサスができています。
- (B) 高齢社会への対応：消費構造としては重要であるが、2040年にはほぼ解消する。ただし、高齢社会への対応技術はその後の世界での製品技術として50年ほど継続する側面を持つ。
- (C) 価値作りの高度化：本論で議論した主題である。
- (D) 生活の質の向上：人類の進歩の目標であり、すべての技術の根本的な目標である。しかし、物質的な質の向上から精神的な質の向上へと移行しつつある。一方で、将来は環境の劣化で、生活の質が極端に悪化することも予想される。
- (E) 日本の製造業競争力強化：もっとも重要な目標である。ただし、グローバル時代の日本があつての製造業の競争力である。
- (F) 生産科学の強化：2040年に至った時に、2080年までの競争力保持のために必要な目標である。

本ロードマップ策定作業では、我が国でもサービスを主体としたいいわゆる第3次産業が中核となり、第2次産業はそのバックヤードとしてのものづくり産業として、機能が前面に出た産業へと変容すること、また消費者もいわゆるプロシューマと変貌して「所有の破壊」が起こり得ること、それによって物的負荷の軽減が図られることが議論された。また、環境低負荷製品が進展して、トレーサビリティが必須技術となることや、消費者が設計に参加する「もの育て」の機運が生まれて、製品の維持管理が儲けの主流となる可能性も指摘された。全体としては、ものを大切に社会、よろず支援コミュニティの実現へと向かうものと推測された。この予測実現には、

消費者の進化を必要とする。逆に、製造者は情報開示から始まり消費者教育への参画まで強い社会的責任を果たすことが要求される。

6. おわりに

本ロードマップでは、近未来社会を先に描き、その未来社会に到達する道を示すことで技術の進歩の手順を示した。2040年の社会の推定においては「成長の限界」で用いられた World Model3 のようなシミュレーションモデル [11] に基づくわけでもなければ、多数の専門家によるデルファイ法を用いた科学技術予測のような一定の方法論 [12] を採用しているわけでもない。それゆえ、アカデミアが供給する技術ロードマップとしては、根拠が弱いとの批判が存在するであろうことはやむを得ない。しかし、WG 内での多数回に亘る討議の結果、この報告書にあるような方向性の定まった技術が描けたということは、ある程度高い信憑性を確保したといっても良いであろう。

参考文献

- [1] 小特集: サービス・サイエンスの出現, 情報処理, 47(5), pp. 457-472, 2006.
- [2] 新井民夫, 下村芳樹: サービス工学 - 製造業製品のサービス化 -, 一橋ビジネスレビュー, 2006 年秋号, AUT., 54 (2), pp. 52-69, 一橋大学イノベーション研究センター編集, 東洋経済新報社, 2006.
- [3] サービス産業におけるイノベーションと生産性向上に向けて, 経済産業省編 07 年 10 月 (07 年 4 月報告書).
- [4] 特集: 「サービス・イノベーションと AI」, 人工知能学会誌, 22 (6), pp. 747-780, 2007.

- [5] <http://www.ipss.go.jp/pp-newest/j/newest02/newest02.html>.
- [6] 経済産業省: 「感性価値創造イニシアティブ」について 報道発表, 2007, <http://www.meti.go.jp/press/20070522001/20070522001.html>.
- [7] 経済産業省: 「感性価値創造イニシアティブ」, 経済産業調査会, 2007.
- [8] D. A. Norman: The Invisible Computer, The MIT Press, 1998. D・A・ノーマン (岡本他訳): パソコンを隠せ, アナログ発想でいこう!, 新曜社, 2000.
- [9] 坂井直樹: EMOTIONAL PROGRAM BIBLE エモーションナル・プログラム バイブル - 市場分析, ブランド開発のためのマーケティング・メソッド, 英治出版, 2002.
- [10] 小阪裕司: そうそう, これが欲しかった! 感性価値を創るマーケティング, 東洋経済新報社, 2007.
- [11] ドネラ・H・メドウズ他 (枝廣訳): 成長の限界 人類の選択, ダイヤモンド社, 2005.
- [12] 文部科学省科学技術政策研究所: 科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査: デルファイ調査 報告書, 2005.

新井 民夫



1970 年東京大学工学部精密機械工学科卒業。同大大学院博士課程修了, 工学博士。自動組立, 自律分散システム, ロボティクスなどの研究に従事。この間, 自動化推進協会会長などを歴任。現在, 精密工学会会長。製造科学技術センターでのものづくり技術ロードマップ作成委員会委員長。

大倉 典子



1976 年東京大学工学部計数工学科卒業。1978 年同大大学院修士課程修了 (株) 日立製作所中央研究所等を経て (この間 1995 年東京大学大学院後期博士課程修了, 博士 (工学)), 1999 年より現職。「人にやさしい情報の提示法」, 「感性情報処理」等の研究に従事。現在, 医薬品医療機器総合機構専門委員, 計測自動制御学会理事。
