

## 人工物工学研究センターの歴史

高度成長期の日本においては、物質的な豊かさが富の象徴となり、人工物の生産が人々の幸福に直結しているかのごとき考え方が世の中に蔓延していた。しかし、吉川弘之はこのような物質的な豊かさの源泉となるべき生産工学の研究にたずさわるうちに、「つくる」ということそれ自体に対する基本的な問いかけをいただくようになった。すなわち、工学はモノを作る上での指導原理を扱う学問であるが、モノをたくさん作ることが本当に必要であり、果たして良いことなのだろうかという純粋な疑問にぶつかったのである。そして人工物にあふれた環境では、自然の物理学に対応するような人工物の物理学が必要であるとの見方に端を発し、資源やエネルギーの浪費の問題に対しては保全へ視点移すことが必要であること、結局はモノそれ自体の価値などたいしたことはなく、モノを介して受け取るサービスが我々にとっては真に重要であるなど、工学そのもののあり方に迫るいくつもの提言が行われた。1992年の論文「人工物工学の提唱」においては、吉川は、学問の自己完結性について大いなる疑問を呈してみせた。いま学問の範囲を工学に限定すると、これまでに新たな技術により解決し葬り去ってきた、我々の生活を取り巻く「邪悪なるもの」に対比させ、工学の隆盛一特に人工物の大量生産により顕在化した、これまでの工学そのものに内在する負の側面を取り上げてこれを「現代の邪悪なるもの」と呼んだ。「現代の邪悪なるもの」が発生した背景には、それ自体が進化を遂げるにつれて細分化されていく学問の発達様式が深く関連している。このような学問領域の細分化は、複雑な領域間関係をもつ現実の問題に対処するには不都合であったのである。

人工物工学は、このような背景のもと、「現代の邪悪なるもの」を解決することを意図し、複雑に領域分けされた工学の体系を再編し、過去に蓄積された知識を総合して人工物を創造するための学問、ならびに、領域を超えて存在する普遍的な工学概念を打ち立てるための学問として提唱されたものである。このようにある意味では極めて野心的な試みといえる人工物工学研究を推進するために、東京大学人工物工学研究センターは1992年に設立されるに至ったのである。

## 人工物工学研究センターの歩み

1992年4月に東京大学人工物工学研究センター（設置時限2002年3月）は設置された。また、同じく1992年4月から文部省科学研究費補助金創成的基礎研究費（新プログラム）「工学を総合化する知的人工物に関する研究」が同時にスタートした。後者の科学研究費プロジェクトはその後1997年3月まで続き、学内外の多数の研究メンバーの協力のもとに前期の人工物工学研究センターの研究を推進し、新たな工学の姿を模索して、さまざまな試みが行われることとなった。人工物工学研究センターの歴史は、人工物工学の歴史そのものであるともいえるので、ここに人工物工学研究センターにおいて行われてきた人工物工学研究について振り返り、人工物工学研究センターの10年間の歩みを振り返ることとしたい。

### 1. 1992年度-1993年度

人工物工学研究センターと科学研究費プロジェクト（新プログラム）の研究は、「新しいスタイルの工学」すなわち人工物工学の確立と、それを応用した「新しいタイプの人工物」の追求の二つを目的として開始された。先に述べたようにこれらは諸外国においても例を見ない極めて野心的な試みであった

ため、理路整然とした道筋に沿って人工物工学の研究を進めることは難しく、試行錯誤を繰り返しながら、手探りのように研究が進められていった。

まず、研究開始当初のこの時期に、新しいスタイルの工学として意識されたのは、前競争的段階、競争的段階、そして後競争的段階という3つの段階を経て、技術と工学が相補的に進歩していくモデルであった。

これは、次のようなモデルである。まず、新たな科学的研究成果が出ると、これをもとにして何らかの技術が開発される（前競争的段階）。その技術が実用化、商用化されると、産業界で開発競争が行われる（競争的段階）。そのうちに、次第に技術が一般化して陳腐化することで競争は終わりを迎える。その一方で大学などの研究室に技術が持ち込まれ、その体系化がなされ教科書化される。ここで体系化された知識が、次の段階でのイノベーションの種となる（後競争的段階）というモデルである。この3つの段階を、新しいタイプの人工物の設計、製造、そして知能の観点から9つのテーマに関して研究を進めた。この段階では、研究対象は確かに新しいタイプの人工物を目指していたが、研究手法は領域をまだ意識していたとも言える。この立ち上げの期間においては、人工物工学研究センターの主催において、1992年11月26日～27日に新宿センタービル52階大ホールにて第1回人工物工学国内シンポジウムがまず実施されており、設計学、知的機械システム、人工知能、知的CAD、大規模解析などの観点からの講演が行われた。その翌年の、1993年10月26日～28日には、東京大学安田講堂大講堂において、科学研究費（新プログラム）プロジェクトチームの主催で第1回人工物工学国際シンポジウムが開かれ、海外からも著名な研究者を8名招待して議論が行われた。

表1. 科研費新プログラム「工学を総合化する知的人工物に関する研究」班構成

	実験室段階 (Pre-Competitive)	応用化段階 (Competitive)	理論化段階 (Post-Competitive)
設計科学	知的機械システムの設計方法論	知的CAD	設計学
製造科学	微小構造構成法	高速実体形成技術	生産知識の抽出
知能科学	自律分散型知能	人工現実感	知識の体系化

## 2. 1994年度-1996年度

科学研究費プロジェクト（新プログラム）が総括班と次の3つに集約された。すなわち、脱領域をより明確に認識し、シンセシスのメカニズムとして異分野コラボレーションやアブダクション、プロトタイプングなどを研究の手法に据えた。また、「現代の邪悪なるもの」を意識した人工物環境学という視点を設定した。

### (1) 知識創発支援環境

- 異分野コラボレーションの実践とその支援環境としてのネットワークの利用の研究、メンタルブラウザ[4][5]
- アブダクションマシン[6]など

### (2) 知的人工物実現化支援環境

- マイクロマシン設計を模範例にしたプロトタイプングの実践と知識獲得の研究[7][8]

- 新材料設計を対象にしたデータベース融合技術 [9]

(3) 人工物環境学

- プロセス知を中心にした知識表現と設計履歴管理ツール POET[10]
- 環境調和型製品設計のためのグリーンブラウザ[11]

また以上の研究から出てきた諸ツールを WWW のインフラ上で融合する枠組を、RACE 非同期協調環境 (RACE Asynchronous Collaboration Environment, The RACE Project) とした[12]。

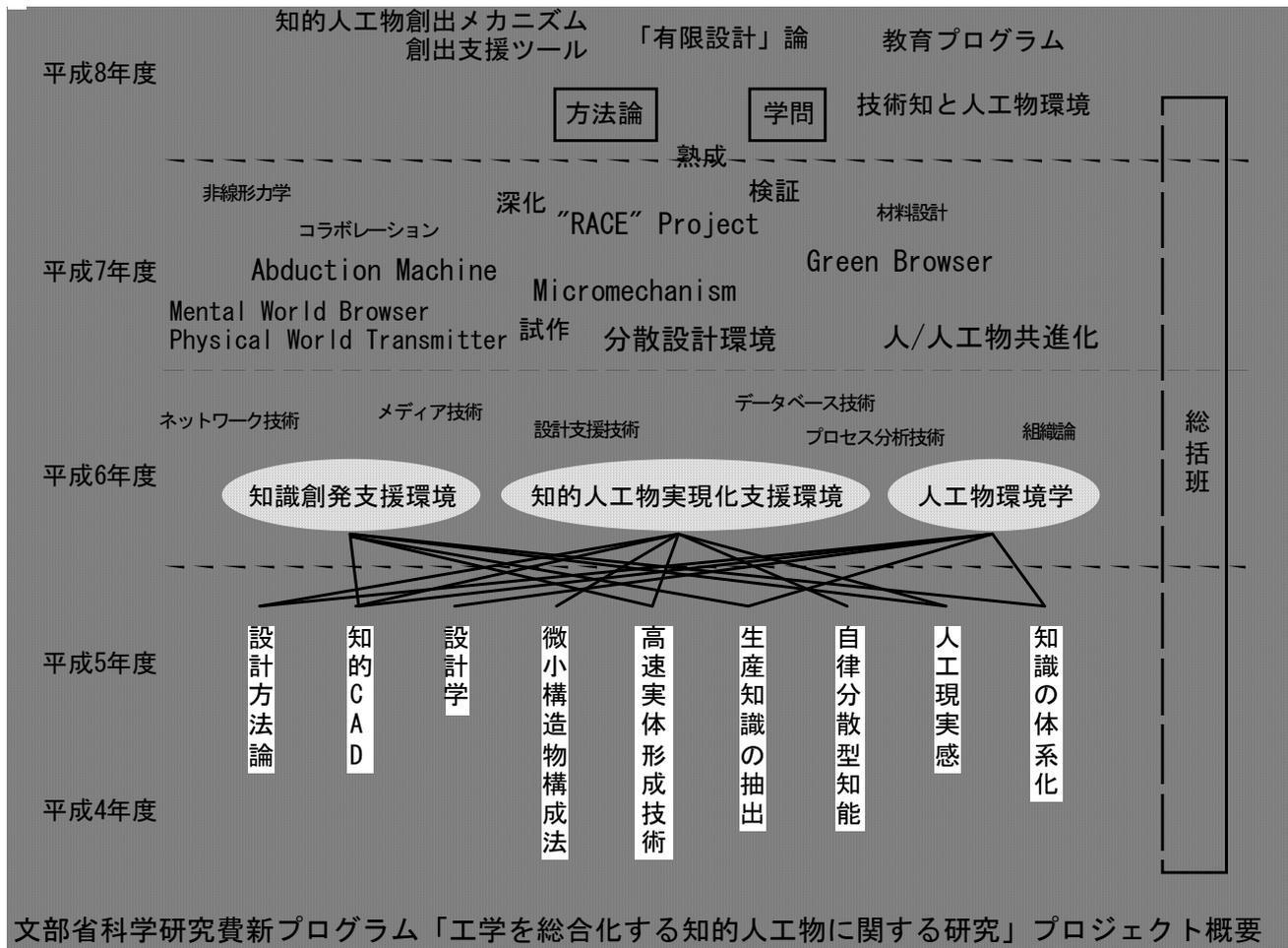


図1. プロジェクト概要図

このように研究体制そのものとしても大きく変貌を遂げながら進んでいった科学研究費プロジェクト(新プログラム)の流れは図1に要約されている通りであり、人工物工学の理念を具体化するための努力が払われ、その全体像をおぼろげながらも提示することができたといえよう。しかし、その一方で、多少批判的な見方を加えるならば、次のようなことがいえる。「行動に対して等価な有効性をもつ融合体系を明確」にし、「アブダクションの操作そのものを中心とする研究」という点では、個々の行動(例えばアブダクションマシンの設計)において、アブダクション実践のためのツール(例えばアブダクション・マシンやさまざまな支援環境)を提供した。しかし、融合体系を提示したわけでもアブダクションの操作を定式化したわけでもなかった。「知識の利用に関する体系」特に「知識適用過程についての理論」については、ある程度、成果を上げたが、それが全体として体系的知識がいかにかアブダクション

に有効な知識表現へと再編されるかについての一般的知見という点では不十分であった。また、ツールのコレクションや工学知に関するコレクションの本[13-15]がある反面、理論が貧弱であり深化がない。そのため理論が外に広まっていく波及効果が出なかった。これは人工物環境学においても同様であり、「現代の邪悪なるもの」に対してどのように対処すべきかという具体的処方箋を提示するには至らなかったのである。このように、個々の取り組みに対して掘り下げが十分でない部分が残されたことの原因の一つとしては、問題そのものの探求が必要であったという点があげられる。本科学研究費プロジェクト（新プログラム）のみならず、人工物工学研究の多くの過程において、通常、一般の研究領域では研究の前提として研究者集団に共有されている問題設定と、その問題に対する前提条件に関する議論が活発に展開された。要するに、人工物工学の構築という解くべき問題の設定プロセスが研究そのものであったともいえる。環境に配慮した設計を議論する情報環境としての「グリーンブラウザー」、発想支援のための仮説形成環境（「アブダクションマシン」と「RACE:RACE Asynchronous Collaboration Environment（異分野コラボレーション）」）、「“プロセス知”を中心にした知識表現と設計履歴管理」等の研究は、この見方に従えば、問題の設定に関する適切なアプローチを探りながら、設定された問題に対して従来からの知見を再編し適正に活用して実現する新ツール開発の試みであったと考えられる。

この期間における人工物工学関連の会議としては、第2回人工物工学国内シンポジウムが1994年11月21日～22日に山上会館にて開かれているが、このシンポジウムは、科学研究費プロジェクト（新プログラム）の成果報告としての色彩が濃く表れ、科学研究費プロジェクトの各班からの発表が4つのセッションのうち、3つを占めた。1995年には、第3回人工物工学国内シンポジウムが1995年10月12日～13日まで、東京大学山上会議大会議室で開かれている。本シンポジウムにおいても、やはり、科学研究費プロジェクト（新プログラム）の、「知的創発支援環境」、「知的人工物実現化支援環境」「人工物環境学」の3分野に対応する3つのセッションを中心とした講演が行われた。1996年には、東京大学安田講堂大講堂および山上会館において、第2回人工物工学国際シンポジウム（1996年11月13日～15日）が開かれた。本国際シンポジウムは第2回目ということもあり、科学研究費プロジェクト（新プログラム）の最終年度として各研究班において得られた成果をもとに主として日本からの情報発信が行われた。なお、これらの成果とともに1996年末をもって、人工物工学研究センター発足以来センター長として尽力された中島尚正センター長が退任された。

### 3. 1997年度～1998年度

科学研究費プロジェクト（新プログラム）も1996年度をもって終了したため、この時期は、人工物工学研究センターとしての一人歩きがはじまった時期であったといえる。中島尚正センター長の後任として岩田修一センター長が1997年1月から就任し、センターのスタッフについても一部入れ替えがあった。人工物工学研究センター創立以来一貫して続けられてきた「マイクロマシン」、「材料データベース」、「材料設計」、「仮想実験」という一連の研究は、人工物工学研究センターにおけるアジェンダ設定に関する既存の議論を踏まえ、関連する科学技術分野の再編と融合によって、誰もがその学問的成果を活用して必要となる人工物の創出に参加できるような技術的枠組みの構築を試みたものである。「マイクロマシン」、「グリーンデザイン」、「環境材料」に関しては、ケンブリッジ大学工学設計センター、松下電器+松下技研、東京大学人工物工学研究センターの3者による人工物工学研究センター創立以来続いてきた6年間の共同研究が、1998年度に一応の終了をみている。「材料データベース」、「材料設計」、「仮想実験」に関しては、人工物工学研究センターは国内外の30余の研究グ

ループを巻き込んだ国際共同研究プロジェクト（ライナス・ポーリングプロジェクト）の核としての役割を果たしてきた。

1998 年からは、科学研究費プロジェクト（新プログラム）を通して緊密な協力関係にあった研究グループがセンターメンバーとして参加し、「ポスト大量生産パラダイム」、「インバースエンジニアリング」、「やわらかい機械」、「サービス工学」という視点から、富の創造のみならず持続可能性という新しいミッションを持つ工学の新しい姿の追求を行った。ポスト大量生産パラダイム[16-17]は、従来の工学が人工物の量的充足を第一義的に追究してきたのに対し、それが概ね達成された時代での質的充足を目指す新しい生産のパラダイムに関わる研究であり、インバースマニュファクチャリング・プロジェクトへの参加、また、ライフサイクル工学の確立へ向けた研究が推進された[18]。また関連する知識集約型工学は、ポスト大量生産パラダイムのもとでの知識の集約によってこそ新たな価値を持つ人工物が生まれるとする工学の新しい方法論である。関連するシンセシスのモデル論は設計あるいはアブダクションをシンセシスという観点から、人工知能、知識処理の手法論で研究を行い、未来開拓学術研究費のプロジェクトとして 2000 年度まで精力的に研究が続けられた[19-20]。「やわらかい機械」は、新しいタイプの人工物の設計に関する研究であり、既に自己修復機械[21]を開発しているほか、細胞型機械[22]にも取り組んでおり、ポスト大量生産パラダイム実現のための具体的な工学的手法を研究する。以上このグループでは、人工物が社会・人間に対してどのような機能を果たすのか、あるいはどのようなサービスを実現するのかを工学的に陽表的に扱うサービス工学の確立を目指している。このように変革をとげた人工物工学研究センター内部からの情報発信の場として、1998 年には、第 4 回人工物工学国内シンポジウムが開催されている。

#### 4. 1999 年度以降

1999 年からはコンピュータグラフィックス（CG）技術の可能性という視点から、人工物工学の研究アジェンダを再検討する試みが始められた。情報技術が普及してコモディティ化してくると、価値創造の中心は技術開発からコンテンツ創出に徐々に移行していく。そのような状況においては、単に技術開発からの視点では時代の要請に応えることは困難である。デジタルコンテンツもまた人工物の一形態であるとするならば、これらも取りこんだ新しい人工物創出の場の構築が必要となる。センターでは視覚的人工物（Visual Artifacts）研究グループを発足し、デジタル価値創造[23]を多面的に検討するための活動を開始した。初年度は、情報系と芸術系を含む 4 大学・9 研究室の研究者や学生を参加メンバーとし、異なる視点からの非定型的な自由討論を通して新しい価値創造のための実験的な場の創出を試みた。1999 年 9 月 20 日～21 日には、上述のデジタル価値創造について焦点をあてた第 5 回人工物工学国内シンポジウムが開催されており、産業化の視点を据えた議論がなされた。また、2000 年 3 月には国内外評価が実施された。

2000 年度からは、岩田修一センター長の後任に新井民夫センター長が就任し、更にセンタースタッフの一部入れ替わりを経て 2001 年 2 月には国際外部評価が実施され、2002 年 3 月 4 日には、第 6 回人工物工学国内シンポジウムが開催される。本シンポジウムは人工物工学研究センターの 10 年間の活動を締めくくるものであり、人工物工学の発祥からはじまり、その理念の浸透、センター 10 年間の活動の総まとめと次期人工物工学研究センターの研究計画の概要発表について、センターからの情報発信が行われる予定である。

## 5. まとめ

人工物工学研究全体の基調として新しい学問の構築、新しい人工物の創出という大胆かつ現実的な要請があったため、研究内容には極めて先見性のある本質的な論点が多い。そのため、産・官・学に加えて教育の枠も超えて社会的に多大なインパクトを与えることに成功し、1992年のセンター設立当時には耳新しかった「人工物」というタームも広く社会に浸透し、様々な場で新たな視点としての「人工物工学」の考え方が広がっていった。現在、センターは人工物工学という文脈で議論される学問的目標を、具体的にどのように達成するか、という大きな課題に挑戦している。センターのこれまでの活動は、我が国において工学が今後も産業の進展に対して責任あるリーダーシップを発揮し、国際的な競争力を維持するための知の生産性向上に関わる研究であり、そのための新しい知の枠組みの構築に関する挑戦であった。つまり、20世紀の工学の指導原理を科学技術の効率的な適用事例としての人工物の大量生産であると敢えて総括するならば、21世紀のそれは人工物の存在を持続的に容認させるための新しい価値観の醸成と普及が中心となる。その背景には知の生産性向上の結果としての知の公共財化があり、そこでは人々にとって知の選択と利用が重要となってくる。すなわち科学技術の成果は専門家によって寡占されるべきものではなく、非専門家による成果の活用とモノづくりへの参加が大きな意味を持つものと考えられる。このような考え方が実践されれば、モノづくりという工学の原点への参加者が増加し、ひいては新しいスタイルの工学に向けた挑戦がより活発に繰り広げられるようになることが期待できよう。

## 参考文献

- [1] 吉川弘之：「人工物工学の提唱」、ILLUME、東京電力、Vol. 4、No. 2、(1992)、pp. 41-56.
- [2] 吉川弘之：テクノグローブ、工業調査会、(1993).
- [3] 上山春平（訳編）：パース著作集、中央公論社、(1968).
- [4] 桐山孝司：持続的設計のための協調支援環境、人工知能学会誌、Vol. 13, No.3, (1998).
- [5] 久保田晃弘，藤井浩美：異分野コラボレーションー視点の交錯から創造へ，ジャストシステム，(1995).
- [6] 久保田晃弘：アブダクション・マシン・プロジェクト，精密工学会誌，Vol. 61, No. 4, (1995).
- [7] T. Kiriya, and T. Yamamoto: “Strategic Knowledge Acquisition: A Case Study of Learning through Prototyping,” *Knowledge-based Systems*, Vol. 11, No.7, pp. 399-404, (1998).
- [8] T. Kiriya, S. Yoshimura, S. Burgess, H. Klauert, J. Daniel, D. Moore, and N. Shibaike: “Study on the Design Process for a Micro Accelerometer,” in *Proc. of the 11th International Conference on Engineering Design (ICED97)*, pp.429-432, (1997).
- [9] S. Iwata: “Integration of Materials Data Systems, Fusion of Knowledge and Data, and Dynamics in Materials Design,” *Industrial Information and Design Issues*, J.E. Dubois and N. Gershon (eds.), Springer-Verlag, (1996) pp.35-44.
- [10] 窪田敦之，田浦俊春：「エンジニアリングヒストリベースの研究」、精密工学会誌，Vol.62, No.3, pp.377-382 (1996)。
- [11] 蔵川圭、桐山孝司、馬場靖憲、梅田靖、小林英樹：「製品ライフサイクル設計支援のためのグリーンブラウザの研究」、精密工学会誌、Vol. 63, No. 12, pp. 1685-1689, (1997)
- [12] 桐山孝司、吉村忍：「協調設計へのAIの応用ー非同期コラボレーション環境ー」、日本機械学会誌，Vol.99, No.928, pp.182-184, (1996)。
- [13] 吉川弘之（監修）、田浦俊春、小山照夫、伊藤公俊（編著）：技術知の位相、新工学知シリーズ、第1巻、東京大学出版会、(1997)。
- [14] 吉川弘之（監修）、田浦俊春、小山照夫、伊藤公俊（編著）：技術知の本質、新工学知シリーズ、第2巻、東京大学出版会、(1997)。
- [15] 吉川弘之（監修）、田浦俊春、小山照夫、伊藤公俊（編著）：技術知の射程、新工学知シリーズ、第3巻、東京大学出版会、(1997)。
- [16] T. Tomiyama: “A Manufacturing Paradigm Toward the 21st Century,” *Integrated Computer Aided Engineering*, Vol. 4, (1997), pp. 159-178.
- [17] T. Tomiyama, T. Sakao, Y. Umeda, and Y. Baba: “The Post-Mass Production Paradigm, Knowledge Intensive Engineering, and Soft Machines,” in F.-L. Krause and H. Jansen (eds.): *Life Cycle Modelling for Innovative Products and Processes*, Chapman & Hall, London, (1995), pp. 369-380.
- [18] Y. Umeda, T. Tomiyama, H. Yoshikawa, and Y. Shimomura: “Using Functional Maintenance to Improve Fault Tolerance,” *IEEE Expert, Intelligent Systems & Their Applications*, Vol. 9, No. 3, (June 1994), pp. 25-31.
- [19] 富山哲男、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業「シンセシスのモデル論」成果報告書

(2001)。

- [20] T. Tomiyama, A. Tsumaya, K.P. Hew, T. Kiriyama, T. Murakami, T. Washio, H. Takeda, Y. Umeda, and M. Yoshioka: “A Model of Synthesis from the Viewpoint of Design Knowledge Operations,” in Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Tools and Methods for Concurrent Engineering (TMCE 2000), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, (2000).
- [21] Y. Shimomura, M. Yoshioka, H. Takeda, Y. Umeda, and T. Tomiyama: “Representation of Design Object Based on the Functional Evolution Process Model,” Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design, Vol. 120, No. 2, (June 1998), pp. 221–229.
- [22] 坂尾知彦・近藤伸亮・南都寛・梅田靖・富山哲男：「細胞型機械の研究（第1報）—細胞型自動倉庫の開発—」，精密工学会誌，Vol. 65, No. 5, (1999), pp. 673–677.
- [23] 馬場靖憲、デジタル価値創造、NTT 出版、(1998)。