

Title	製品設計のモードと設計工学の課題
Author(s)	藤田, 喜久雄
Citation	設計工学. 2008, 43(11), p. 577-582
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/3213
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

解説

製品設計のモードと設計工学の課題*

Design Engineering under the Modes of Product Design and Development

藤田 喜久雄**
(Kikuo FUJITA)

1. はじめに

社会や生活は様々な機器や装置などの製品によって支えられているが、科学技術の高度化、産業活動のグローバル化、環境制約の顕在化、豊かさの成熟などは製品の内容に多面的な影響を及ぼしている。そのような製品の内容は設計という営みを通じて計画されることから、設計そのものの内容やそのプロセスの有り様にもいろいろな意味で変化が及んでいたり求められたりしている。

本稿では、上記の変化や要請を念頭に置きつつ、まず、製品設計における変化¹⁾と設計工学の展開²⁾を概観する。続いて、製品系列統合化設計^{3), 4)}でのそれらの具体的な内容を論じ、さらに、一連の変化やそれらのもとの課題が関係性という視点のもとで包括的に整理できる^{5), 6)}ことを紹介する。

2. 製品設計のモード

設計の対象をどのような範囲でとらえるかについては様々な考え方があり得る。道具あるいは人工物をつくり出すことをその特質であるとするれば、その起源は太古にまで遡ることができる一方、何らかの明示的な方法に基づくようになってきたり、あるいは、産業や社会生活に大きな影響を及ぼすようになった段階を見据えて設計を位置付ければ、20世紀初頭の時期を一つの転換期とすることができる。工学という学術面からはその前後にエポック的な指標を見出すことは難しいが、今日における様々な工業製品にはその時期に何らかの起源を持っているものも多い。意匠設計に関連する方面あるいは製品設計という方面からは、1920年前後の時期は、1919年に設立されたBauhausを象徴として、合理的で機能的な

設計が推進され、科学技術を要素技術の糧として製品の革新が進み始めた時期であると言える。

これに対して、1960年前後は、明示的ではないものの、エンジニアリングサイエンスの潮流とも呼応しながら、製品の範囲が巨大なものにまで拡大したり、システムとしての効率が高度化していった時期であると言える。別の言い方をすれば、設計のプロセスとしての合理性を向上させることによって成果物の質についての革新が進み始めた時期である。工学としての設計においても、当時は、どちらかと言えば造形や建築に比重のある動きではあったが、デザイン方法を提唱しようとする動き⁷⁾が盛んであった時期でもある。その趣旨は、概ね、設計を数理的な意味での問題解決プロセスとみなし、その各段階における合理的な決定の理論化を通じて、優れた設計を導こうとするものであった。この種の観念は機械関連分野におけるドイツ流の設計方法論⁸⁾にも見出され、当時における動向は何らかの同時性が伴っていたものと考えられる。

以上のような2つの節目に対して、製品設計を取り巻く昨今の動向は、それを象徴する製品の具体例はともかくとして、抽象的には、産業活動の視点からはイノベーション⁹⁾、科学技術政策の視点から収れん技術(Converging Technologies)¹⁰⁾などにより特徴付けられている。前者は、今後の製品がシーズのみから創出されるものではなく、価値の創出に向けてはシーズとニーズとを結びつける変革とそれを促進する環境が重要であるとするものである。後者は、いわゆるナノテクノロジーやバイオテクノロジー、情報技術などの最先端科学技術を社会における価値として具体化する上で、技術と社会との連鎖が複雑になったことを受けて、それらをまとめるためのメタ技術が不可欠であるとする論点であり、その内容は人文社会科学にまで広がっている。また、意匠系の設計に関する視点からも、革新

* 原稿受付 2008年5月31日

** 大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻
(〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

的な製品を創り出す上で顧客ニーズと技術を結び付けることやそれを駆動するコンセプトを操作したり共有したりする上での言語の重要性が指摘されている¹¹⁾。

以上の変遷に関連して、Crossは、設計のルネッサンスについて、1920年前後、1960年前後、2000年前後を節目とした40年周期説を唱え、特に、最近の変化を*Knowing*というキーワードのもとに捉えている¹²⁾。彼が*Knowing*という言葉に意図しているところは、概ね、設計そのものが知識をつくり出す過程であり学習を行う過程であるとして、より動的で柔軟なものとして設計や設計プロセスをとらえようとするところにある。この視点には、例えば、経営学における知識の取り上げ方¹³⁾、科学技術社会論におけるモード論¹⁴⁾、システム論における創発や自己言及¹⁵⁾などとも共通性を見出すことができる。それらを総合すれば、設計が40年周期で新たなモードに移ってきているとの説には一定の意味が伴っているようにも思える。

3. 設計工学のモード

前節に示した製品設計の変遷に対して、それを支えるべき設計工学については、そもそも、設計は技術や工学の中核的課題であるにもかかわらず、それが普遍的な工学の一領域として位置付けられるようになったのは、比較的最近のことである。設計工学が今日の姿に至るまで変遷は粗く以下のように理解することができる²⁾。

設計工学と称される技術分野は、設計が典型的な情報処理過程であることを受けて、コンピュータ技術の発展に呼応しながら、1960年頃以降、設計における様々な情報を効率的に操作するための技術が生み出されたことに、その端を発している。CADの基盤技術である形状処理、数理計画法を基盤とした最適設計などの技術はその典型である。学術面においても、1990年頃までは、それらの方面での研究が主流を占めていて¹⁶⁾、それらの流れを汲むデジタルエンジニアリング¹⁷⁾は今日の設計や開発において不可欠なツールとなっている。一連のコンピュータ利用技術は今後も設計工学における重要な領域であり続けるはずである。しかしながら、概念設計・実体設計・詳細設計、あるいは、概念設計・基本設計・詳細設計・生産設計などとして理解される設計プロセスのシーケンスを改めて考えてみれば、一連の内容は、設計対象の内容が比較的明らかになった後段の過程では有効であるものの、要求仕

様や設計概念を操作する前段の段階での内容に完全に適合したものではなく、それらだけでは設計が完結しないことも明らかである。

一方、設計を汎用的に考えようとする試みは一部ではそれら以前から行われてきている。例えば、Simonによる試み¹⁸⁾は先駆的であり、後に様々な影響を及ぼしている。また、前出のいわゆるドイツ流の体系的方法論⁸⁾は欧州では一つの流れを古くから形成していた。一方、我が国においては、一般設計学¹⁹⁾のほか、実践面でも品質機能展開やタグチメソッドなどの方法論が早い時期に考案されている。しかしながら、各方法論の意義が広く認識されるのは後になってからのことであり、それについては、当時においては設計工学の必要性そのものが広くは顕在化していなかったのではないかと思われる。

以上のような経緯や状況に対して設計を汎用的に考えることが一定の潮流をなすには何らかの誘引が必要であり、それについては1980年代の人工知能ブームの影響は大きい²⁰⁾。これは、設計における従来からのコンピュータ利用技術が比較的下流についてのものに限られていたことに対して、人工知能に基盤をおく知識処理技術やエキスパートシステム技法が設計の上流における知識をモデル化したり処理したりするための有効な手段になるとの期待によるものであり、インテリジェントCADや設計エキスパートシステムについての様々な試みが進められた。この期待には過度のものも含まれてはいたものの、設計そのものについてのより本質的な理解に向けた動機付けになるなどして、結果的には設計研究の裾野を拡大して今日に至っている。さらに、一連の動きのなかで、知識というものを明示的に認識して問題解決を考えていくというある種のパラダイムが設計関連分野に根付いたことは、暗黙的であるにせよ、設計工学の考え方に様々な影響を及ぼしている。

1980年代の国際的な製造業の状況を受けた1990年頃以降からの欧米でのコンカレントエンジニアリングの動向²¹⁾は設計工学より本質的な変貌をもたらした。具体的には、製造業における日本脅威論²²⁾のもと、製品競争力の質的な向上に向けて、機能や品質、コストなどの統合性を改善するべく、例えば、設計と生産との融合を図ったり、開発や設計におけるチーム内での関係を効率的で合理的なものにするためのしくみや情報システムを導入したりすることが展開された。一連の動きに共通する着眼点は設計

プロセスにおける上流の重要性であり、様々な要因についての多角的な検討をたとえ内容が曖昧であっても早い段階で行うことによって総合的に優れた設計を実施しようとしたことにある。そのような総合性に向けた設計方法の一分野がいわゆるライフサイクルエンジニアリングであり、それに向けた具体的な方法論が DFX (Design for X)^{23) 24)} ということになっている。

一連の動向のもと、設計工学そのものを特徴付ける標語は、前節に示したような変遷とも呼応しながら、工学設計 (Engineering Design) から製品設計 (Product Design) に移ってきている。その変容は国際会議や学術論文などにみられる傾向にも明確に現れている²⁾。また、設計工学そのものの対象も、上述のコンカレントエンジニアリングやライフサイクルエンジニアリングが意図している範囲を超えて、さらに種々の方面や様々な視点によるものへと広がってきている。

4. 製品系列統合化設計にみる新たな様式

設計工学の対象が拡大してきている様式の一つは、抽象的には、製品の意味するところが個々のシステムからそれらを支配しているメタシステムにまで広がっている動向にみるができる。何らかのコンセプトを共有する製品群を統合的に設計する製品系列統合化設計^{3), 4)} はその典型である。

冒頭でも述べたように、今日の製品設計は高度化した技術基盤や多様化する顧客ニーズなどの相反する要請のもとにあり、特に、後者についての要請はマスカスタマイゼーションと称されている。例えば、技術の高度化は個々の製品に盛り込むべき内容をより複雑なものにする一方、ニーズの多様化は複雑化した設計を繰り返して行うことを要請しており、旧来の枠組みに従い個々の製品に焦点を当てたのでは両者を同時に解決することは見込めない。これに対して、製品を階層的なシステムとしてみることを前提としつつ、何らかのモジュール構造を想定した上で、モジュールを単位として設計を展開し、ある範囲のモジュール群を異なる製品間では共有化する一方、個々の製品を特徴付ける部分については専用のモジュールを用いることができれば、両者を同時に解決することが期待できる。このような製品設計の考え方は、欧米ではプロダクトファミリーやプロダクトプラットフォームなど⁴⁾ として、我が国でも、共通化・共有化・モジュール化などの標語のもとで²⁵⁾、また、経営学の方面からもアーキテクチャ

論²⁶⁾ として広く関心を集めている。

個別の製品を設計する場合には、何らかの形で具体的な顧客やニーズが想定されていることが期待でき、その結果として、設計すべき内容を比較的明確に規定することができ、その優劣も動作時の性能や経済性により評価することが可能である。これに対して、製品系列統合化設計では、そもそも、製品間でどの部分を共通にし、どの部分で差別化を行うかを定め、それに適合したアーキテクチャを想定することが求められる。また、何らかのアーキテクチャを想定できたとしても、個々のモジュールに関してどれだけの種類のものを用意すべきか、それらを内容をどのようなものにすべきか、さらに、個々の顧客ニーズに対してどのようなモジュールを組み合わせることにより各製品を構成すべきか、などの多岐に渡る内容を決定することが求められる。また、それらの決定に際しては、一群をなす製品群のすべてのユニットに係わる総合的な指標を評価することが求められ、その内容は行き着くところ、企業活動における収益性ということになるが、それを判定するにしても、顧客ニーズの動向についての予測や競合他社との対立や棲み分けなどの不確定な要因をも何らかの形で考慮することが求められることになる。

以上のような製品系列統合化設計問題に対して、様々な設計方法の中でも明確なモデルと合理的な計算に基づいた枠組みである最適設計を適用する場合には、それが複雑な因子間に潜んでいる関係を操作して数理的には最も優れた解を導出できるという合理性に期待する面と、数理的に表現されない部分については何の操作も評価も行われないうという面とに注意を払うことが不可欠となる²⁷⁾。例えば、事前にアーキテクチャが明確に定めることができ、顧客ニーズの内容を設計段階で具体的に想定することができ、さらに、製品系列を構成する製品群の内容を一括して決定するとした場合には、複雑な組合せ問題となることから遺伝的アルゴリズムなどのメタヒューリスティクスによる計算手法をそれぞれに構築する必要があるものの、その範囲内での最適設計を行うことはできる²⁸⁾。しかしながら、最適設計の結果が顧客ニーズを始めとして様々な仮定に立脚していることから、少なくとも、複数の想定ケースに対して最適設計を行って、設計者自身が一連の結果を俯瞰した上で、それらの傾向をもとに何らかの意志決定を行うことが不可欠となる。

また、製品を構成するモジュールを様々な製品 (製品群) を長期に渡って展開していくための基盤と

する考え方は様々な製品分野において適用可能な考え方であり、上記のような最適設計の考え方はそのような方面へも拡張していくことが求められる²⁹⁾。その場合には、製品のある部分が不確定な状態のまままで他の部分を設計することが求められ、さらに、事前に共通基盤として設計しておくモジュールの部分と個々の要求に応じて個別に設計することになる部分とをどのように切り分けるかについてのアーキテクチャの設計が不可欠となる。すなわち、何らかの形で設計問題の部分的なところに関して最適設計に基づく合理的な問題解決を行う場合であっても、その前提となる内容をどのように定めるかが重要であるということになる。それに当たっては、共通化の方策・カスタマイゼーションの方策・品揃えに向けた方策などを切り分けるための指針そのものの選定が重要な意味を持ち、その円滑な選定のためには、指針の選定が製品系列の最終的な優劣に及ぼし得る影響を何らかの形で操作したり評価したりできるようにすることが求められることにもなる。

以上の2つの段落で論じた製品系列統合化設計における例は、いずれも、設計において検討の対象とする範囲を拡大していけば、ある設計の課題として取り上げられる内容はその全体像に対して部分的になることを回避することはできず、さらに、その程度は、対象範囲を製品群の範囲やそれらを展開する期間などを拡大すればするほど、大きくなってしまふことを意味するものでもある。また、後者においては、ある設計の結果が別の設計の可能性を規定したり、後続する設計の可能性を念頭に置きつつ一定の範囲の設計を行ったりすることになっており、それぞれの設計がお互いの部分として関係し合っている構造を伴っている。そのような傾向は、最適設計を製品系列に適用しようとする場合に限らず、設計における対象をより広く捉える場合には一般的なものである。

すなわち、設計と設計との間にある関係を認識したり操作したりすることの必要性は従来は明示的なものではなかったものの普遍的なものであり、それらを適切なものとするためには、メタレベルの因果関係を操作して何らかのシナリオを描き出すことが求められるという構図があらわになる。このシナリオに対応する内容は、2節で述べたCrossによる*Knowing*という視点¹²⁾、各方面から指摘されている知識の重要性^{13)~15)}などとも通じるものである。さらに、3節で論じた設計工学の展開において上流段階が重視され、また、それに際して知識という視

点が本質的になってきている傾向^{1), 2)}とも符合するものでもある。

5. 関係性から考える設計工学の課題

さて、前節での議論においてみられた設計と設計とをつないでいる関係性を考えることの重要性については、そもそも設計が開放系の問題であり、個々の課題解決がその部分に対して行われていることを認識すれば、むしろ、至極当然のことである^{5), 6)}。また、個々の課題解決を連結させてより統合的な設計を目指せば、関係性への注視は本質的な課題となる³⁰⁾。

日本学術会議に組織されていた人工物設計・生産研連絡委員会の設計工学専門委員会は、第17期において、未来における人工物の意味を模索しつつ設計についての課題を論じ³¹⁾、第18期において、それらの課題に対峙していく上での指針としてデザインビジョンを提言している³²⁾。さらに、第19期では、この提言の具体的な実施に向けたロードマップを策定すべく関係性という視点から今後の設計における課題を整理している⁵⁾。

本来、設計において、環境や周囲との関係を考えることは、境界条件や制約条件を考えることと等価であり、関係を考えない設計はあり得ない。しかしながら、従来の設計において関係を考えることには、関係はややもすれば厄介なものとして位置づけられ、そのものを再構築していくという意識は薄い。関係性を明示的に設計の対象とすることは、この再構築をも含めて設計を考えていくということになる。上記の設計工学専門委員会での議論⁵⁾においては、そのことを明確にするために、個々の単位としての設計行為とそれらをつないでいく設計行為との2つの設計を認識し、両者は以下のように整理している。

- オブジェクトレベルの設計…これまでの意味での個々の人工物の設計
- メタレベルの設計…オブジェクトレベルでの設計と設計とをつないでいくための設計

例えば、工業製品や設備、建物の設計は前者に相当するものであり、後者については、例えば、自動車の設計開発では多品種(製品系列)展開の基盤となるプラットフォームを設計すること、分散化したエネルギー供給においては電力売買のしくみを設計することが相当する。ただし、両者の関係は、システム論における部分と全体の関係に相当するものであり、観点を定めることによって様々な視点を構成す

ることができる。いずれにしても、両者は、前者は後者のもとで行われ、後者は前者を規定することを通じて、あるいは、前者における成功例を増幅させたり失敗例を補完したりすべく後者が設計されることを通じて、相互に作用していくことになっている。

以上のことを踏まえれば、今後は、オブジェクトレベルの設計を考えるだけでなく、メタレベルの設計を考えることによって、関係性を育てながら、一連の連鎖のもとで、設計を位置づけていくことが求められているとみることもできる。これにあたっては、製品に対する社会や生活の場での評価を設計そのものに結び付けることが不可欠であることから、使用者の視点を、また、広範な内容を設計するには組織構造を伴って様々な立場にある多くの設計者が連携することが不可欠であることから、設計者の視点を関係性の中に入れていくことも求められる。それらの中でも、特に、前者については、例えば、職能としての技術者や設計者のみが設計に関与する人材ということではなく、使用者や市民、政策立案者なども含めて、多方面の人材の関与が不可欠となってくるなど、関係性を念頭に置けば、設計についての認識そのものにも変革が迫られることになる。

なお、前出の設計工学専門委員会の第19期活動報告⁵⁾は、関係性のもとでの設計工学の課題を、啓発に向けた設計倫理の提示、実践を促進するための理論、実践のための方法論、実践のための支援環境、実践を支える社会的環境への貢献の5つの方面に分類して整理して示している⁶⁾。

6. まとめ

本稿では、社会の急速な変化のもとで変容しつつある設計の意味に関して、設計工学の対象が工学設計から製品設計へと移ってきた背景とそれを受けた現状について概観した。また、製品系列統合化設計の例を引いて、拡大した設計の意味が関係性のもとに理解できることを示し、また、それについてのより一般的な解釈とそのもとで想定される課題について紹介した。それぞれの内容は断片的なものに留まっているが、新たな展開に向けて、本稿が何らかの参考になれば、幸いである。

参考文献

1) 藤田喜久雄：製品設計のモードと最適設計の課題についての試論，第7回最適化シンポジウム2006(OPTIS 2006)講演論文集，06-48(2006)，

117-120.

- 2) 藤田喜久雄：設計工学とその展開，日本機械学会誌，108，1034(2005)，43-46.
- 3) Fujita, K. : Product Variety Optimization under Modular Architecture, *Computer-Aided Design*, 34, 12 (2002), 953-965.
- 4) Simpson, T. W., Siddique, Z., and Jiao, J., (ed.): *Product Platform and Product Family Design: Methods and Applications*, Springer, (2005).
- 5) 日本学術会議人工物設計・生産連絡委員会設計工学専門委員会報告「人工物の設計・生産における関係性の意味と設計工学が果たすべき役割」(2005)，
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-19-t1030-3.pdf>
- 6) 藤田喜久雄：関係性から考える設計工学の課題，日本機械学会第15回設計工学・システム部門講演会講演論文集，05-27(2005)，9-14.
- 7) 吉田武夫：デザイン方法論の試みー初期デザイン方法を読むー，東海大学出版会，(1996).
- 8) Pahl, G. and Beitz, W. : *Engineering Design – A Systematic Approach –*, Second Edition, (Translated by Wallace, K. et al.), Springer, (1996).
- 9) *Innovate America: Thriving in a World of Challenge and Change*, Council on Competitiveness, (2004).
- 10) Bainbridge, W. S. and Roco, M. C. (ed.): *Managing Nano-bio-info-cogno Innovations: Converging Technologies in Society*, Springer, (2006).
- 11) Utterback, J. M., et al. : *Design-inspired Innovation*, World Scientific Pub., (2006).
- 12) Cross, N. : *Designerly Ways of Knowing*, Springer, (2006).
- 13) 野中郁次郎・竹内弘高：知識創造企業，東洋経済新報社，(1996).
- 14) Gibbons, M, et al. : *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*, Sage Publications, (1994).
- 15) 河本英夫：オートポイエーシスー第三世代システムー，青土社，(1995).
- 16) 特集：デザインテクノロジー，日本機械学会誌，91，833(1988)，293-378.
- 17) 特集：デジタルエンジニアリング，日本機械学会誌，106，1013(2003)，229-280.
- 18) Simon, H. A. : *The Sciences of the Artificial, Third Edition*, The MIT Press, (1998).
- 19) 吉川弘之：一般設計学序説ー一般設計学のため

- の公理的方法－, 精密機械, 45, 8(1979), 906-912.
- 20) 村上存・富山哲男: 設計と人工知能: 設計シンポジウムの20年の歩みから, 人工知能学会誌, 17, 1(2002), 84-90.
- 21) 特集: コンカレントエンジニアリング－21世紀に向けた製品開発－, 日本機械学会誌, 98, 916(1995), 172-208.
- 22) Dertouzos, M. L., et al.: *Made in America – Regaining the Productive Edge* –, MIT Press, (1989).
- 23) 特集: 作りやすい設計, 壊しやすい設計, 日本機械学会誌, 101, 954(1998), 348-389.
- 24) 藤田喜久雄: 設計工学と Design for X方法論, 経営システム, 15, 2(2005), 95-100.
- 25) 日本機械学会, 機械工学便覧: β 1 編, 設計工学, (4.4 製品系列の統合化と設計), 丸善, (2007), β 1-177-186.
- 26) 藤本隆宏・青島矢一・武石彰(編): ビジネス・アーキテクチャー製品・組織・プロセスの戦略的設計, (2001), 有斐閣.
- 27) 藤田喜久雄: 複雑な設計問題のためのモデルに基づいた最適設計－製品系列統合化設計での展開－, 日本機械学会誌, 109, 1050(2006), 389-391.
- 28) Fujita, K. and Yoshida, H.: Product Variety Optimization Simultaneously Designing Module Combination and Module Attributes, *Concurrent Engineering – Research and Applications*, 12, 2 (2004), 105-118.
- 29) Fujita, K. and Akai, R.: Optimal Design of Product Family throughout Commonalization, Customization and Lineup Arrangement, *Proceedings of the 2008 ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, (2008), Paper No. DETC2008-50023.
- 30) 藤田喜久雄: 設計における統合とその拡大, 第1回横幹連合コンファレンス予稿集, (2005), Paper No. A2-15.
- 31) 日本学術会議人工物設計・生産研究連絡委員会設計工学専門委員会報告, 未来に調和した人工物設計・生産学術研究の推進, (2000), <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-17-t935-10.pdf>
- 32) 日本学術会議人工物設計・生産研究連絡委員会設計工学専門委員会報告, 21世紀における人工物設計・生産のためのデザインビジョン提言, (2003), <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-18-t996-34.pdf>

藤田 喜久雄



平成2年大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了。大阪大学助手、講師、助教授を経て、平成14年より大阪大学教授(大学院工学研究科機械工学専攻)。平成11年 ISPE Best Paper Award。平成12年 TMCE 2000 Best Paper Award。平成17年および20年日本機械学会教育賞。平成17年日本機械学会設計工学・システム部門部門賞(業績賞)。