インダストリアルデザインと エンジニアリングデザインの「あいだ」* —Design 統合に向けた多空間デザインモデル—

Relationships between Industrial Design and Engineering Design
—Multispace Design Model for Design Integration—

松岡由幸**
Yoshiyuki MATSUOKA

Key words industrial design, engineering design, design integration, framework, multispace design model

1. Design 統合の文脈

人工物のデザインが、現在のインダストリアルデザイン (Industrial Design, 以下 I.D.) とエンジニアリングデザイン (Engineering Design, 以下 E.D.) の二つに実質的に分業化されたのは、19 世紀半ばといわれている。図 1 には、これら二つのデザインの変遷をまとめたデザインの文脈を示している¹⁾。

18 世紀には、産業革命によって物づくりにおける効率性を優先し、「機械化」が推進された。その結果、多くの製品が生み出されたものの、美しさに欠ける粗悪な人工物が数多くあふれるようになってしまった。

19 世紀には、ウィリアム・モリス (William Morris) によるアーツ・アンド・クラフツ運動のように、機械化が引き起こした問題を受けて、芸術的な観点から人工物に意匠を施すことが始められた。その結果、人工物のデザインは、芸術に視座を置き、使用者や使用環境と人工物との関係性に注目する I.D. と、科学や工学に視座を置き、主に機能や人工物の性能に注目する E.D. に「分業化」された。

20 世紀には、I.D. と E.D. が独自の発展を遂げ、それぞれの「専門化」が進められた。I.D. は、ドイツの教育機関、バウハウス (Bauhaus) の誕生によって大きく進展した。バウハウスにおいては、芸術と工学を統合した工業生産のためのデザイン教育が行われ、その後の I.D. に多大な影響を与えた。一方、E.D. は、20 世紀中のシステム工学の誕生によって大きく進展した。計算機の急速な進歩とも相まって、構造解析や最適化の手法が具現化され、E.D. における有効なツールとして活用されていった。

なお、このシステム工学は、I.D. にも大きく影響を与えている。1960 年代には、J.C. ジョーンズ (John Christopher Jones) のデザイン手法をはじめとして多くの方法および方法論が生まれたが、それらの多くに共通する特徴は、デザイン問題を多くの要素が集合するシステムと捉え、そのシステムの分析を行うことで新たなデザイン解を導こうとする立場をとっていることは興味深い。

その後、I.D. と E.D. はさらなる分業化と専門化を推し進め、さまざまな専門領域へと細分化されていった。例えば、I.D. においては、車の内装デザインと外装デザインなどの部位や部品ごとへの細分化、E.D. では電子設計や機械設計などの各専門領域への細分化が挙げられる。このようなデザインにおける分業化と専門化は、その高効率化をはじめとする多くの利点をもたらし、人工物の高性能化・多機能化が図られ、主として物質的充足という面において人々の生活を豊かにした。

しかしながら、デザインの分業化と専門化は、それぞれが同じ土俵をもてなくなっていったことから、言語や概念、価値観などにおける差異を生じさせ、各領域の情報共有や協調・共創における難しさという新たな副産物を生み出すに至っている。特に、20 世紀以降の物づくりは、高機能化や多機能化を実現させるために、人工物を大規模化・複雑化させ、それに利用する科学知識も高度化とデザインの細分化を進めてきた。その結果、先の協調・共創の難しさはより顕著になった。

大規模人工物における人為的事故、資源・エネルギー問題、地球規模の環境問題など、デザインは今日多くの問題を抱えている。そのため、それらの諸問題に対し、細分化された各デザインは今こそ一丸となって、統合的な対応をなすべきであろう。しかしながら、細分化されたデザインはそれとしっかり対峙できない、もどかしい現状にあるといえる。

このような背景より、分業化・専門化されたデザインの巧みな連携による Design 統合 (本稿では、本特集の表現に合わせ、I.D. と E.D. の両者を統合するデザイン・設計を“Design”と呼ぶことにする) の必要性が指摘されてお

*原稿受付 平成 23 年 9 月 8 日

**慶應義塾大学大学院理工学研究科総合デザイン工学専攻 (神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1)

松岡由幸

専門はデザイン科学。デザイン塾主宰、日本デザイン学会理事、横幹連合理事、機械工業デザイン賞審査員、インダストリアルデザイナー协会会员。主な著書は「DESIGN SCIENCE」, 「もうひとつのデザイン」, 「最適デザインの概念」, 「形状設計ノウハウハンドブック」。

図1 デザイン統合の文脈

り、I.D. と E.D. における対象領域の拡大をはじめとして、統合に向けた動きが進みつつある。例えば、近年の精神的充足を求めるユーザの欲求や環境への配慮から、人間中心のデザインや環境との親和性が求められるようになり、I.D. が対象とする領域が、従来までのものと比較して拡大しつつある。一方、E.D. においても、人工物に対してより高い評価を要求される時代背景から、従来の機能性に加えて人の認知や感性も考慮されるようになり、その対象領域の拡大が進んでいる。そして、I.D. と E.D. における対象領域の拡大に伴い、近年では、これら二つのデザイン間の重複部分が急増しており、その結果、両者の境界が曖昧になりつつあるといえる。

しかし、本来 I.D. と E.D. は、芸術と工学という異なる専門分野を基点として発展してきたものであり、それぞれが扱う対象、デザイン展開におけるアプローチ、デザインプロセスなど、さまざまな面での相違があると考えられる。そのため、これら二つのデザインを統合するうえでは、両者の特徴を包含し、包括的な観点から二つのデザインを扱うことのできる新たな基盤が必要となる。

以上に述べた Design 統合の文脈を受け、以降では、分業化・専門化された二つのデザインの統合に向けた枠組みとしての新たなデザインモデルを紹介する。そのために、まず、両デザインの特徴比較を行うことで、I.D. と E.D. の「あいだ」(関係性)について論考し、新しいデザインモデルを提案するうえでの指針を得る。次に、同指針に基づき、吉川らにより提唱されている一般設計学²⁾に基づいて、新たなデザインモデルを提案する。

2. インダストリアルデザインとエンジニアリングデザインの「あいだ」

ここでは、Design 統合に向けた枠組み構築のため、まず、それらの二つのデザインにおけるデザイン対象、デザイン思考、デザイン過程、およびデザインマインドの特徴を示し、もって、I.D. と E.D. の「あいだ」(関係性)を論考する。なお、ここで示す特徴は、あくまでデザイン現場

における一般的特徴であり、デザイン分野や企業による差異やデザイナー・設計者の個人差を含め、これに該当しない場合も多いことは言うまでもない。また、デザイン現場とは異なり、デザイン研究領域においては、両デザイン間における差異が近年特に少なくなっており、Design 統合が先行していることも付記しておく。

2.1 デザイン対象

I.D. においてはデザイン目標が不明確であることが一般的である。そのため、デザイン対象の機能やイメージなどを表す意味と、その価値との関係に注目することで、デザイン目標を徐々に明確化しつつ、デザイン解を導出する傾向がある。一方、E.D. においては、デザイン目標を明確にして、対象の定量化を行うことを基本とし、それを目指している。また、デザイン解の材料や寸法などを表す属性と、場に依存する力学特性や電気特性などを表す状態との関係に注目しつつ、それらと機能との関係からデザイン解を導出することが一般的である。すなわち、I.D. は価値や意味の心理特性を、一方、E.D. は状態や属性の物理特性を重視することから、両者は、注目する主な空間(デザイン対象が有するこれらの特徴の集合)が異なるといえる。そして、このことは二つのデザインの相対的かつ相補的关系を示しているといえる。

2.2 デザイン思考

I.D. においては、デザイン目標が抽象的に表現されることから、デザイン対象におけるデザイン変数や詳細なデザイン条件の定性的な決定が一般に行われる。また、物理法則を使用した論理的な推論を行うことが比較的になく、人文科学や社会科学の知識を使用した推論や、直観や経験に依存した主観的知識による推論が行われる場合が多い。一方、E.D. においては、要素還元論に基づきデザイン対象をデザイン変数に分解し、デザイン目標とデザイン条件を定量的に設定することで、デザイン解の決定を進めることを基本的立場とする。そのため、物理法則などの自然科学の知識を用いた論理的な推論により、付与されたデザイン条件のもとでの最適解を導くことが多い。このように、

デザイン展開で用いられる推論においても、二つのデザインの相対的かつ相補的關係が認められる。

2.3 デザイン過程

I.D. では、デザイン目標や条件が不明確なため、多様なデザイン候補の導出と評価をくり返すことで、ヒューリスティックにデザイン解を導出する場合が多い。これは、I.D. の上流過程における典型的な特徴である。I.D. の上流過程ではアイデアスケッチやラフスケッチなどを通じて、基本的なデザイン解を決定する。これは、デザイナーの感性に依存して多峰性問題や位相間の問題を解くことに相当する。そして、この基本的なデザイン解が最終的な人工物の評価を大きく左右することから、I.D. にとって重要な過程である。また、I.D. の下流過程においては、最終デザイン解の決定に向けて、上流で決定された形の基本的な解に対する微調整などが行われる。この下流の過程においては、その多くが実質的に単峰性問題や同一位相内の最適化問題となり、デザイナーの感性に基づいて最終デザイン解の決定が進められていく。

一方、E.D. においても、概念設計や基本設計などの上流過程では、多峰性問題や位相間の問題などの大域的解探索問題をヒューリスティックに解く場合が多い。その際、現状におけるデザインの多くが設計者の経験や直観に依存しており、数理的な解の導出はまだ少ない。近年、遺伝的アルゴリズムやシミュレーティッド・アニーリングなどによる多くのヒューリスティックな数理手法が研究されてきたが、現時点における実際のデザイン実務においては、その利用は主流となっておらず、今後のさらなる研究が望まれる。また、E.D. における詳細設計などの下流過程においても、実際には定量化されておらず、設計者の直観などに依存する問題がいまだに多い。しかし、特に重要な問題に関してはデザイン目標や制約条件を定量的に明示して解を求めていく³⁾。この場合、デザイン問題に単峰性問題や同一位相内の問題が多く現れ、最適化法にのっとり、トップダウン的に最適解を決定する。現在までにE.D. が方法論的に最も効果を発揮しているのは、この下流過程であるといえる。

2.4 デザインマインド

I.D. と E.D. におけるマインドには違いが存在する。

概して、I.D. においては、「創（はじ）める」マインドに重きをおいているのではないだろうか。一般に、デザイナーは、従来の人工物とその場との関係性に注目する。そして、その人工物と場との関係性に関して、従来とは異なる新たな関係性を創発しようとしているように見受けられる。つまり、新たな人工物を社会に投入することで、場との新たな関係性を目指す立場である。これは、一つの山を極める前に、まず新たな山を目指すことに相当する。このことをデザイン論でいえば、やや難しい表現になるが、多峰性問題において新たな位相を目指す、いわゆる「創発デザイン」型のマインドに相当する。

一方、E.D. においては、相対的ではあるが、「極める」

マインドに主眼が置かれているように見受けられる。人工物を開発する際、まず設計者はユーザや人工物が使用される環境などの場をしっかりと把握する。なぜなら、製品の機能性は場に依存するためである。そして、その場を前提に、それに適した新たな人工物のデザインを行おうとする傾向が認められる。これを山登りに例えるならば、一つの山に注目し、その山頂を極めようすることに相当するのではない。デザイン論でいえば、いわゆる「最適デザイン」型のマインドといえ、製品デザインの完成度に関与する。

I.D. と E.D. の「あいだ」には、このマインドの違いが多々見受けられる。決して、設計者が「創める」マインドをもたず、デザイナーが「極める」マインドを軽視しているわけではない。しかしながら、あくまで相対的な関係としてそのような傾向が見受けられ、そのマインドの差異の相補關係が、人工物デザインの質に大きく関与していることは事実であろう。

2.5 デザインモデル提案における指針

前節までに、デザイン対象、デザイン思考、デザイン過程、デザインマインドという四つの観点に基づく、I.D. と E.D. の特徴比較について述べ、両デザインの「あいだ」を論考した。この比較結果を概観すると、二つのデザインは、その対象、思考、マインドにおいて相対的かつ相補的關係にあるものの、デザイン過程の大枠に関しては、基本的な特徴は類似していることがわかる。具体的には、両者ともに上流過程では主に多峰性問題や位相間の問題をヒューリスティックに探索し、下流過程では主に単峰性問題や同一位相内の問題において解の最適化を行う点である。ただし、I.D. では前者が代表的な特徴となっており、E.D. では後者が代表的な特徴となっている。このことは、両者の方法論の差異として注目すべき特徴であり、二つのデザインを統合する枠組みとしてのデザインモデルの構築の際に考慮すべき点である。

3. 多空間デザインモデルの提案

本章では、デザイン統合に向けた共通の枠組みの一つとして、多空間デザインモデルを提案する。なお、その方法としては、先に示したI.D. と E.D. の特徴比較に関する論考に基づき、一般設計学およびその一連の研究におけるデザインモデルからの変換・拡張を図る。

3.1 Design 統合の視点

一般設計学およびそれに関わる一連の研究のデザインモデルにおいては、デザイン解としての実態概念、実態概念の記述に必要な抽象概念としての属性概念および機能概念が定義されている。そして、デザインを、機能概念の集合としての空間（機能空間）上における点から、属性概念の集合としての空間（属性空間）上における点へ写像する行為として記述している。以下に、このデザインモデルから、Design 統合に向けた新たなデザインモデル構築のための七つの視点について述べる。

図2 デザイン統合に向けた枠組みとしての多空間デザインモデル

1. 公理的集合論からシステムモデル論への変換：集合論としての扱いから、より簡便なシステムモデルとしての扱いを可能にするために、要素と要素間の推論としてデザイン行為を記述するよう変換した。
2. 空間間の推論における双方向性の導入：上位の空間から下位の空間への推論である発想のみならず、下位の空間から上位の空間への推論である評価も扱えるようにするため、空間間の推論に双方向性を導入した。
3. 機能空間から意味空間への拡張：E.D.における物理的な機能のみならず、I.D.における心理的な機能（印象、イメージなど）も扱えるようにするため、機能空間を、心理的・物理的な機能を包含可能な意味空間へと拡張した。
4. 価値空間の追加：使用者や製造者にとっての価値に加え、社会的な価値、文化的な価値などさまざまな価値やそれらの価値間の関係性の議論を可能とするとともに、それらの価値を生み出す心理的・物理的な意味との関係を扱えるようにするため、意味空間の上位に価値空間を追加した。
5. 場の再定義：I.D.が対象とする場と人工物の関係性、およびE.D.が対象とする人工物そのものの機能を記述できるようにするため、状態空間を導入し、人工物の周辺である使用者、使用環境、他の人工物の組合せを場として再定義した。
6. 知識空間と思考空間への分離：デザイン行為を、知識（価値観や暗黙知などの主観的知識を含む）に基づく推論として記述するため、デザインに用いられる知識で構成される知識空間と、要素と推論から構

成される思考空間へ分離した。さらに、推論による知識の蓄積と思考への利用も扱えるようにするため、思考空間から知識空間への推論である分析も導入した。

7. 客観的知識と主観的知識の導入：科学に基づく推論のみならず、直観に基づく推論も扱えるようにするため、一般性を有する客観的知識と特殊性を有する主観的知識へ分離した。

3.2 多空間デザインモデル

図2に、前節で述べた七つの視点に基づいて提案する多空間デザインモデル（Multispace Design Model）を示す⁴⁾⁵⁾。本モデルは思考空間（thinking space）と知識空間（knowledge space）から構成され、デザイン行為を、知識空間の知識に基づく思考空間の推論（reasoning）として定義している。

思考空間は、社会的価値、文化的価値、個人的価値などの多様な価値が含まれる価値空間（value space）、機能やイメージが含まれる意味空間（meaning space）、人工物の周辺（環境、ヒト、他の人工物）におけるさまざまな要素である場（circumstance）および場に依存する対象の特性が含まれる状態空間（state space）、場に依存しない対象の特性が含まれる属性空間（attribute space）の四空間から構成される。そして、価値空間と意味空間から心理空間（psychological space）が構成され、状態空間と属性空間から物理空間（physical space）が構成される。

知識空間は、自然科学、人文科学、社会科学などに基づく一般性を有する客観的知識（objective knowledge）、デザイナーや設計者の個人的な経験や地域性などに基づく一般性を有さない主観的知識（subjective knowledge）の二

つから構成される。

思考空間における推論は、論理学における帰納推論 (induction)、仮説推論 (abduction)、演繹推論 (deduction) の三つから構成される。帰納推論は、仮説推論、演繹推論に用いるモデル構築の際や、推論行為によって得られた知見を知識空間に蓄積する際に、仮説推論は、結果としての上位空間要素から原因としての下位空間要素を導出する際に、演繹推論は、原因としての下位空間要素から結果としての上位空間要素を導出する際に、それぞれ用いられる。

4. 多空間デザインモデルの応用

多空間デザインモデルは、すでに実務面、研究面、ならびに教育面において多く応用され、成果をあげるとともにその有効性を示している。以下に、紙面の都合上、実務面と研究面における応用事例を一部紹介する。

4.1 デザイン実務における応用事例

実務面においては、例えば、本モデルに基づき構築された多空間デザイン法が多く適用されている⁶⁾。このデザイン法は、デザインの「上流」と「下流」の両特徴を有することから、創発性と最適性の両立を図ることができる。また、上流過程から下流過程の一連の流れにおいて連続的に適用できることも特徴であり、新規性を有し、かつ的確で効率的な開発を可能とし、開発期間の短縮や開発費の削減にも貢献する。すでに、オフィス家具システムやアイウェアなどのプロダクトからモビリティシステム、家庭用ロボット、造園のデザインなど多様な対象に適用され、デザインコンペティションにおいてグランプリや最優秀賞を受賞するなどの成果にもつながっている。

4.2 デザイン研究における応用事例

研究面においては、従来のデザイン研究の特徴分析にされている⁷⁾⁸⁾。具体的には、多空間デザインモデルの観点に基づき、I.D. を主な研究対象としているデザイン系学会の論文と、E.D. を主な研究対象としている工学設計系学会の論文のそれぞれ 10 年間の時系列変動について特徴比較を行った。その結果、デザイン系学会では、知見の確実な伝承と蓄積のために、今後状態量に主眼を置いた研究を強化する必要があること、一方、工学設計系学会では、価値や意味にも注目する研究の新たな可能性などを、定量的な解析結果に基づき示すことができた。

さらに、プロダクトデザイン系と建築デザイン系の各 10 年間の論文比較から、今後のプロダクトデザインにおいては、プロダクトをシステムとして捉えたシステム境界の最適化に関する研究の必要性や、建築デザインにおいては、「分析」、「発想」、「評価」のうち、特に「評価」に関する研究を強化する必要性など、両領域における今後の研

究指針を得ており、研究面における本モデルの有効性を示している。

5. 結 言

本稿では、I.D. と E.D. の「あいだ」に関して、その分業化・専門化の文脈、両デザインの特徴比較、さらに Design 統合のための視点を論考することで、その統合に向けた一つの枠組みとしての多空間デザインモデルを提案した。また、本モデルをデザインの実務面や研究面へ応用した事例を紹介することで、そのモデルの Design 統合における枠組みとしての有効性を論説した。

深刻化する環境問題、一向に減少しない大規模事故。今日のデザインは、いまだ多くの諸課題に自ら苦悶する事態となっている。また、その一方で、物質的価値のみならず精神的価値を含めた新たな価値の創生に期するところは大きく、デザインの果たすべき社会的役割はますます増大している。

これらの諸課題や期待に応えるべく、現在までに専門化され、細分化されたさまざまな領域のデザインは、今こそ一丸となり、総力で取り組むことが望まれている。そして、その実行ために、各領域のデザインに共通の基盤となる枠組みの構築が不可欠であろう。また、それに基づくことで、時代の閉塞感を打破する、新たな価値創生に向けたデザインの新たなパラダイムも待望されているのではないだろうか。

参 考 文 献

- 1) 松岡由幸ほか：もうひとつのデザイナー—その方法論を生命に学ぶ—、共立出版、(2008)。
- 2) 吉川弘之：一般設計学序説、精密機械、45, 8 (1979) 20-26。
- 3) 松岡由幸ほか：最適デザインの概念、共立出版、(2008)。
- 4) Y. Matsuoka: Design Science "Six Viewpoints" for the Creation of Future, Maruzen, (2010)。
- 5) Y. Matsuoka: Multispace Design Model as Framework for Design Science towards Integration of Design, Proceedings of International Conference on Design Engineering and Science 2010, Published by CD-ROM, (2010)。
- 6) T. Asanuma, J. Kawashima, Y. Ujiie and Y. Matsuoka: A Proposal of Classification and Guideline of Selection for Design Modeling Methods, Proceedings of 2007 ASME International Design Engineering Technical Conference & Computers and Information in Engineering Conference, Published by CD-ROM, (2007)。
- 7) M. Tochizawa, Y. Nomura, Y. Ujiie and Y. Matsuoka: A Grasp of Study Characteristics of Design and Engineering Design Based on Multispace Design Model, Proceedings of International Design Congress-IASDR 2007, Published by CD-ROM, (2007)。
- 8) Y. Nomura, Y. Ujiie and Y. Matsuoka: A Design Method That Integrates the Early and Late Process of Design, Proceedings of 16th International Conference on Engineering Design, Published by CD-ROM, (2007)。