

一般設計学と抽象設計論に関する考察

(A Note on General Design Theory and Abstract Design Theory)

菊池 誠 (Makoto Kikuchi)

神戸大学工学部情報知能工学科

(Department of Computer and Systems Engineering, Kobe University)

mkikuchi@kobe-u.ac.jp

1 はじめに

論理学とは推論の科学である。数学とは最も典型的な、ある種の形式を持つ推論の体系であり、19世紀末から20世紀初頭にかけての数学の基礎についての論争を通して、真理、定理、証明といった推論と関わる概念が数学的ないし哲学的な観点から考察された。述語論理はその結果得られた形式的な推論の体系であり、そこでは知識や情報は論理式という記号の有限列によって、推論は論理式の有限列によって表現される。ここで推論とは演繹的推論、すなわち正しい命題から新たな正しい命題を導く関数とされ、推論は推論規則と呼ばれる基本的な推論の組み合わせによって得られるとされた。このとき証明とは公理もしくは仮定から始まる推論規則の有限列のことに他ならず、定理が証明の最後に現れる命題として形式化されることで、真な命題と定理の区別が与えられた。

設計とは推論が重要な役割を果たす人間の典型的な活動の一つである。もしも道具を作るときには設計があるとすれば、設計は人間の存在と同等の長さの歴史を持つであろうが、設計それ自身が科学的ないし哲学的な考察の対象として見られるようになったのは極めて最近のことである。1969年に Simon [18] が人工物に関する科学を提唱してから、現在までに幾つもの設計や人工物に対する理論が相次いで提案されてきた。1977年には設計の方法論への体系的な取り組みとして Paul and Beitz [16] が現れ、1979年に吉川弘之 [31, 34] は設計についての公理的理論として一般設計学を提案した。より最近では、1990年の Suh [21] による設計の原理原則についての議論や、1991年の柳生孝昭 [29] による論理学ないし論理プログラミングを背景に持つ設計論、Braha and Maimon [1] の集合論に基づく設

計論がある。こうした流れの背景には 20 世紀の科学および工学の成熟と、その結果としての無視できぬ困難さの出現と共に、特に Simon の議論に顕著に見られるように、論理学に基礎を持つ計算機科学の発展に基づく人工知能への試みがあることは明らかであろう。

柳生 [29] は設計論が設計対象のモデル化と設計過程のモデル化から成ることを示唆する。この二種類のモデル化の区別は、述語論理における論理式による知識や情報の表現と推論の形式化の区別と対応し、種々の設計論の位置付けの理解に役に立つ。設計対象のモデル化は、広範な領域に対象を持つ工学設計においていかに統一的な枠組みを設けるかという問題であり、容易な作業ではない。そうした広範な領域に対処するために設計対象のモデル化は抽象的ないし数学的方法に拠ることになり、半ば必然的に設計論は数学的な装いを持つ。例えば、柳生 [29] は論理学を設計対象のモデル化の道具に用い、Braha and Maimon [1] は集合論を用いた。一方、設計過程とは設計における推論そのもののことであろうが、そのモデル化は容易ではない。たとえ設計対象の数学的な記述が得られても、それが自身は真偽のような概念との対応を持たない以上、述語論理における推論の形式化と同じように設計対象のモデルを並べるだけでは設計過程がモデル化されたとは考えにくく、述語論理の考え方をそのまま設計論に応用することはできない。そもそも発見的推論が重要な役割を持つ設計と、演繹的推論に特化した述語論理は折り合いが悪く、たとえ論理学が推論の科学であるとしても、未だ設計は論理学の対象とは成り得ていない。

吉川弘之の一般設計学は人工物のモデル化それ自身には全く興味を示していないという点で、他の設計論とは大きく性格が異なる。一般設計学では設計に現れる概念を実体概念と抽象概念に分類し、その概念自身の構造を議論するのではなく、そうした概念間の関係を公理として記述することで設計を論じる。この意味で一般設計学は、その原典 [31] が副題として「一般設計学のための公理的方法」と掲げるように、設計についての公理的な理論を目指すものであり、その公理の記述には位相空間論が用いられた。この一般設計学が目指したことは工学の領域に依存しない一般的な設計学の構築にあると言えようが、これは具体的な言語に依存しない、一般的な言語の性質を明らかにしようとしたソシュールの一般言語学の影響があろう。こうした一般設計学の考え方は工学の外からも関心を持たれることが少なくない。

さて、一般設計学は位相空間論を用いるなど、他の設計論と比較しても数学的な色合いが強いが、一般設計学それ自身が数学として展開されている訳ではなく、[28, 11] での分析にも見られるように、数学的には曖昧な主張も含まれる。角田讓 [4, 5, 8, 9] によって提唱された抽象設計論は、情報の流れについての数学的理論で

あるチャンネル理論 [2] に基づき、まず、一般設計学の数学的な基礎付けを目指すものであった。この抽象設計論は、数学的な設計論なのではなく、数学としての設計論であることに大きな特徴を持つが、設計を意識と実世界の間の情報の流れと見る新しい設計論の提示でもあり、特に角田譲による最近の展開はその方向を明確に打ち出している [6, 7]。また、三木大史 [14, 15] による抽象設計論に基づく規範的教育論の形式化など、抽象設計論の応用の試みも始まっている。この小論では一般設計学と初期の段階の抽象設計論を比較しながら、こうした設計論が何を、どのように論じようとしているのか考察したい。

2 一般設計学の公理

一般設計学は設計についての公理的理論である。一般に公理的理論は、理論が対象とする基本的な概念の決定と、その語彙に関する基本的な命題を公理として公理の選定から始まり、その理論の基本的な考え方は定義と公理の選び方に反映される。こうした形の理論が成り立つとすることは、概念と命題に関する還元主義的な立場に立つことでもある。

一般設計学では基本的な概念として「実体」、「実体概念」、「属性概念」が選ばれており、それが何であるかは以下の定義によって与えられる。

定義 1. 実体集合とはすべての実体を元とするような集合である。すべての実体とは、存在するもの、存在したものの、存在するであろうものを含む。これを集合 S' とする。

定義 4. 実体概念とは、人間が実体を体験することによって成立させた概念である。これはその実体や属性や機能などのように、抽象化の結果得られる抽象概念とはまったく独立である。しかし、抽象概念はこの実体概念から発生する。

定義 5. 抽象概念とは、人間が意味ないし価値に導かれて実体概念を分類したときに、その各類に関する概念を言う。

哲学的な立場からも、工学的な立場からもこの定義には議論が多い。最も議論が多いのが定義 1 であろう。果たしてそのような集合 S' が存在するのか、そのような集合の存在を認めることは設計を論じる上で余りにも強い仮定ではないか。数学的な立場からは、こうした語彙に対応する集合が与えられれば、問題とすべき事柄はその集合にどのような性質を仮定するのかであって、とりあえず今の段階でこうした問題は保留しても構わない。

定理 2, 定理 3 では属性と機能という語彙が導入され, それに応じて抽象概念はさらに属性概念, 形態概念, 機能概念に分類される.

定義 6. 属性概念とは抽象概念の一つであるが, 実在するものの属性は, 人間が認識可能であり, 従って属性を知ることによって実体を想定することができる. これは特に価値という側面は陽に意識はされない. むしろ意図としては没価値的あるいはできるだけ客観的に実体を分類しようとするときに採用される類で, 自然科学の態度に近いものである.

定義 7. 形態概念とは, 属性概念の一つであるが, 属性のうち特に形態に注目すると形態概念が成立する.

定義 8. 機能概念とは, 抽象概念の一つであるが, 特に実体の持つ機能的価値に注目するとき成立するものである.

機能や属性, 形態がいったい何なのかは哲学的な観点からはやはり議論が尽きないが, ここでは三種類の概念の区別が与えられれば十分である.

一般設計学では知識を理想的知識と現実的知識とに分類し, 理想的知識のもとでの実体, 実体概念, 抽象概念に関する公理として以下の三つの命題を導入する. これが一般設計学の公理であり, 設計はこの公理のもとで議論される.

公理 1 (認識公理). 実体は属性 (あるいは機能, 形態などの抽象概念) によって認識あるいは記述することが可能である.

公理 2 (存在物と概念との対応関係). 実体集合と (理想的な) 実体概念集合とは 1 対 1 に対応する.

公理 3 (概念に関する位相公理, または概念の操作公理). 抽象概念集合は実体概念集合の位相である.

公理 1 は一般設計学の立場表明のようなものであって, 実際には後の議論では公理として用いられることはない. 哲学的にはこれもまた議論が多い. 公理 2 によって定義 1 で導入された実体集合 S' は早々と役割を終える. この公理の後に話題になるのは実体概念であって, 実体ではない.

数学的な意味で公理として実際に機能するのは公理 3 である. この公理には明記されていないが, この公理の意味することの一つは, 一つの抽象概念は実体概念集合上の開集合となることである. 数学的な観点からはここで多くの疑問が生じる. 開集合の特徴は抽象概念のどのような性質に対応するのか. 開集合における和集合と積集合に関する有限性の条件の違いは抽象概念のどのような性質に根

拠を持つのか．抽象概念の補集合は必ずしも抽象概念とはならないのか．おそらく，公理 3 が意図したことは（直接的にであれ，間接的にであれ）抽象概念が実体概念集合上に位相を与えるということ，すなわち，実体概念間の近さないし類似性を与えるという見方であり，その文面そのものが数学的に意味することではなからう．しかし数学的には，この曖昧さが後の議論の曖昧さに繋がる．

設計論の多くでは，設計とは与えられた設計仕様に対して設計解を与えることとされている．一般設計学では設計仕様は機能概念の集合によって，設計解は属性概念の集合によって表現されると仮定され，設計は次のように定義される．

定義 12．設計とは，抽象概念空間上に示された領域に対応する属性（概念）空間上の領域を指定することである．

この設計の定式化には機械設計を考えることの影響が見られ，例えばソフトウェアを考える際には，この定式化によって設計を考えることには色々な疑問がありえる．また，設計対象は仕様と実現の組みによって表現されるとする柳生孝昭の提唱にも見られるように，そもそも機能や属性と実体の存在を独立に仮定し，その関係によって設計を考えることへの問題提起もある．

3 一般設計学の逆理

一般設計学の定義と公理の選び方の背景の一つには，明示的にであれ，非明示的にであれ，いかにして『ならば』を形式化するかという問題がある．言うまでもなく『ならば』の理解は哲学においても論理学においても古典的で重要な，難しい問題である．設計においても，例えば機械の設計であれば設計仕様と設計解は物理的な因果に基づく『ならば』によって結び付けられ，『ならば』の解釈の問題は避けて通ることができない．工学においては物理的な因果であったり，計算の過程であったりと分野ごとに『ならば』の背景は大きく異なり，このことが設計の一般論の構築を難しくする．一般設計学の定義や公理は，この『ならば』を形式的に，集合論の部分集合によって解釈するために選ばれていると考えられ，この『ならば』に対する態度が，場合によっては位相空間論を用いていること以上に，一般設計学を強く特徴付けることになる．

一般設計学の枠組みは，形式的には次のように要約できる．まず，1対1対応のつく二つの集合として実体集合 S' ，実体概念集合 S が用意され，次に，抽象概念集合 T ，属性概念集合 T^0 ，機能概念集合 T^1 が，いずれも S の部分集合の族（すなわち S の冪集合 $\mathcal{P}(S)$ の部分集合）として導入される． $\langle S, T \rangle, \langle S, T^0 \rangle, \langle S, T^1 \rangle$ は位相空間であると仮定され，それぞれ抽象概念空間，属性概念空間，機能概念

空間と呼ばれる．以上の定義のもと，一般設計学では設計仕様は機能概念の集合 $F \subseteq T$ によって，設計解は属性概念の集合 $A \subseteq T^0$ によって与えられるとされ，設計とは与えられた $F \subseteq T$ に対して $\cap A \subseteq \cap F$ を満たす $A \subseteq T^0$ を求めることとして定式化される．

$$\begin{array}{ccc}
 T^1 & \xrightarrow{\text{id}^{-1}} & T^0 \\
 \left| \begin{array}{c} \in \\ \in \end{array} \right. & & \left| \begin{array}{c} \in \\ \in \end{array} \right. \\
 S & \xleftarrow{\text{id}_S} & S
 \end{array}$$

この一般設計学の枠組みは，設計を上のような四角形の図式で議論することと， T^0, T^1 を与えられた集合 S の部分集合の族として定式化するという二つの特徴を持つ．後者の特徴を富山と吉川は [24, 25] で抽象概念の「外延的」表現と呼ぶが，この外延的表現が選ばれたこと理由は，[24, 25] での議論からは，本来「ある実体が A に属する属性を全て持つ『ならば』，その実体は F に属する機能を全て持つ」と書かれるべき A と F の関係において『ならば』という概念の分析を回避し， \subseteq という集合間の二項関係で置き換えようとしたことにあると考えられる． S が「過去に存在したもの，現在存在するもの，未来に存在しうるもの全て」を含む実体集合と 1 対 1 対応を持つという，一般設計学の定義と対応公理から導かれる強い条件は，この『ならば』と \subseteq の同値性の保証のために必要な仮定とみると分かりやすい．

こうした選択の結果として，一般設計学では定理として「理想的知識での設計は仕様を記述したときに完了する」，すなわち「理想的知識では設計は不要である」と語られることになる．同時に別の定理によって「現実的知識では，機能概念集合系の元と属性概念集合系の元との間に，実体概念を媒介としない何らかの直接的な対応が見い出されるとき，またそのときに限り設計が可能である」と主張されるが，この主張は「現実的知識では一般設計学の公理は放棄せざるを得ない」と読める．理想的知識のもとでは設計は不要であり，現実的知識のものでは公理を放棄しなければならないのであれば，これは設計論としては逆理的な状況であり，この状況を [12] では「一般設計学の逆理」と呼んだ．

現実的知識のもとでの公理を回復するために，[23, 24, 25] では現実的な知識として S の部分集合 \tilde{S} を導入することで一般設計学の拡張が試みられている．すなわち，一般設計学の公理は S の上では成立しないが， \tilde{S} の上では成立するという．しかし，この拡張では一般設計学の逆理は完全には解消できない．設計解が \tilde{S} の中に存在する場合には S の場合と同様，設計は仕様を記述したときに完了し，設計は不要となる．一方，設計解が \tilde{S} の中には存在しない場合には，たとえ \tilde{S} の上で一般設計学の公理が成立したとしても，そのことと設計解の間には直接の関係

はなく，一般設計学の公理が本来の役割を果たすことは難しい．

4 チャンネル理論と抽象設計論

数学的な観点からは，こうした逆理的な現象に一般設計学の問題がある訳ではない．いくつかの主張や証明が数学的に曖昧なのが問題なのであり，これは一般設計学の中での位相空間論の役割の曖昧さにも繋がる．角田譲によって提唱された抽象設計論は，まず，位相空間論よりも一般的な数学的な枠組みであるチャンネル理論を用いて一般設計学の基本的な考え方を数学的に厳密に記述し，その後，その枠組みと位相空間論が関係するかを論じることで，一般設計学の数学的基礎付けを試みるものであった．現在までに，この当初の目的は大方達成されていると考えられるが，後に見るように，抽象設計論によって結果として一般設計学の逆理的状況も解消されることとなった．

チャンネル理論は Dretske の情報の流れについての哲学的考察 [3] に基づいて Barwise と Seligman によって提唱された，情報の流れについての数学的理論である [2]．チャンネル理論の最も基本的な構造として，情報を表現するための数学的な構造である分類と，二つの分類を射である情報射が導入される．分類 A とはトークンと呼ばれるものの集合 $\text{tok}(A)$ ，タイプと呼ばれるものの集合 $\text{typ}(A)$ ，その間の二項関係 \models_A の三つ組みから成る．トークンは情報を担うものを，タイプとは担われる情報を意味する． A から B への情報射 $f: A \rightrightarrows B$ とは二つの関数 $f^{\wedge}: \text{typ}(A) \rightarrow \text{typ}(B)$ と $f^{\vee}: \text{tok}(B) \rightarrow \text{tok}(A)$ の組みであり，全ての $\alpha \in \text{typ}(A)$ と $b \in \text{tok}(B)$ に対して $f^{\vee}(b) \models_A \alpha$ と $b \models_B f^{\wedge}(\alpha)$ が同値となるものである．

$$\begin{array}{ccc}
 \text{typ}(A) & \xrightarrow{f^{\wedge}} & \text{typ}(B) \\
 \left| \vphantom{\begin{array}{c} \text{typ}(A) \\ \text{tok}(A) \end{array}} \right. \models_A & & \left| \vphantom{\begin{array}{c} \text{typ}(B) \\ \text{tok}(B) \end{array}} \right. \models_B \\
 \text{tok}(A) & \xleftarrow{f^{\vee}} & \text{tok}(B)
 \end{array} \tag{1}$$

二つの情報射 $f: A \rightrightarrows C$ ， $g: B \rightrightarrows C$ の集合は (二項) チャンネルと呼ばれ，チャンネルを介して A から B へと情報は流れる．

位相空間はその台集合の元をトークン，開集合をタイプ， \in をその間の二項関係とみることで分類の一種と考えられる．このとき，位相空間の間の連続写像 f は， f と f^{-1} の組みによって，この二つの位相空間の間の情報射を与える．この意味で分類と情報射は位相空間と連続写像の一般化である．抽象設計論とは機能概念空間と属性概念空間を分類として，その間の関係を情報射として定式化するものである．情報射によって結ばれるこの二つの分類という図式を角田譲は機能

スキームと呼んだが、この図式は一般設計学において恒等写像によって結ばれる二つの位相空間の一般化と言える。ここで、機能スキームにおける属性概念空間は一般設計学と同様のものであり、そのトークンは(実体と同一視された)実体概念と考えてよいが、機能概念空間においては、タイプ集合上にタイプ間の導出関係を意味する「理論」が与えられていることが仮定され、機能概念空間のトークンは、この理論に対して無矛盾で完全なタイプの集合のこととされた。この条件は一般設計学にはない抽象設計論独自のものであり、一般設計学と抽象設計論の違いを論じるときに重要である。

機能スキームによって一般設計学の基本的枠組みはチャンネル理論の上に再構築された。角田譲は分類から生成される位相空間の定義を与えているが [4, 5]、それによって一般設計学上の位相空間に関する議論、例えば「設計仕様とは機能概念空間上のフィルターである」という主張などの機能スキームの上での解釈が可能になっている [9]。

角田譲はチャンネルの考え方をもとに、媒体空間という機能概念空間と属性概念空間を結ぶ空間の存在を仮定したが、これは一般設計学におけるメタモデルの考え方と対応を持つ。メタモデルとは、一般設計学の初期においては、機能概念空間と属性概念空間を結ぶための中間的な構造とされていたが、後に、機能概念空間と属性概念空間を人工物に関する異なるモデル化の枠組みと考え、そうした異種のモデルを統括するための、より抽象度の高い人工物のモデル化のための枠組みと考えられるようになった [22, 13]。このメタモデルの考え方はチャンネルの考え方と極めて近い。メタモデルという概念の獲得は一般設計学の最大の成果の一つとされたが、抽象設計論においても、一般設計学の数学的基礎付けという問題から離れ、設計を情報の流れとみる数学的な設計論であろうとしたときに、チャンネルという概念はより重要になっている。

なお、現段階の抽象設計論 [6, 7] では、設計は機能と属性の対立という構図によってではなく、設計者の欲求と人工物の挙動の関係によって議論されている。ここでは、機能スキームにおける機能概念空間のタイプは機能から欲求に、属性概念空間のタイプを属性から挙動に置き換えられた。この見方は一般設計学の考え方よりも、設計対象と設計仕様と実現の組みで考える柳生孝昭の立場に近い。

5 実体概念の形式化について

そもそも抽象設計論は、一般設計学で選ばれた実体、機能、属性という基本的な用語とそれらが置かれる図式を保ちながら、一般設計学を数学的に基礎付ける試みから始まっている。従って、抽象設計論と一般設計学は基本的な枠組みを共有

しており、二つの理論の違いは数学的な表現方法にしかなく、思想的には抽象設計論は一般設計学に対して新しさは無いとの見方も可能であろう。特に初期の抽象設計論では、設計を機能概念と属性概念を結ぶ行為とするという一般設計学の基本的な考え方は、そのまま踏襲されている。しかし一般に、表現の違いは考え方の違いを反映し、必ずしも一般設計学の思想の全てが抽象設計論に引き継がれている訳ではない。[12] で論じたように、抽象設計論と一般設計学の最も大きな違いは、実体概念の捉え方にあると言えよう。

抽象設計論では、設計を機能概念空間と属性概念空間という二つの空間の関係という図式で議論することと、属性概念空間の定式化において S の存在を仮定することに関しては一般設計学の枠組みを踏襲されている。しかし、機能概念空間においては、 T^1 を与えられた集合とし、対応する実体概念集合を S ではなく（単純化してしまえば） T^1 の冪集合 $\mathcal{P}(T^1)$ とされ、つまり富山と吉川が「内包的」と呼ぶ表現が選ばれている。その結果、一般設計学で機能空間と属性空間を結んでいた id_S でこの二つの空間を繋ぐことはできず、二つの写像の組み f, g を考える必要が生じる。その結果として、抽象設計論では一般設計学の逆理は回避される。

$$\begin{array}{ccc}
 T^1 & \xrightarrow{f} & T^0 \\
 \left| \begin{array}{c} \in \\ \in \end{array} \right. & & \left| \begin{array}{c} \in \\ \in \end{array} \right. \\
 \mathcal{P}(T^1) & \xleftarrow{g} & S
 \end{array}$$

一般設計学では一種類の实体概念集合しか用いられなかったが、抽象設計論では二種類の实体概念集合が用いられている。この点に二つの理論の最も大きな違いがあると言えよう。一般設計学では常に実体集合と実体概念集合の同一視が可能であるが、抽象設計論では属性概念空間においてのみその同一視は可能である。機能概念空間の実体概念は実体ではなく、あくまで実体概念であり、写像 g を実体から実体概念への抽象化の写像と考えることもできよう。

実体のタイプを e 、真理値のタイプを t とする。実体の集合とは特性関数を考えることで $\langle e, t \rangle$ のタイプを持ち、実体の集合の集合は $\langle \langle e, t \rangle, t \rangle$ のタイプを持つ。抽象設計論では機能概念空間の実体概念は機能概念の集合として形式化されるが、このとき機能概念はタイプ $\langle e, t \rangle$ を持ち、従って機能概念空間の実体概念のタイプは $\langle \langle e, t \rangle, t \rangle$ となる。さて、モンタギュー文法では名詞句とは $\langle \langle e, t \rangle, t \rangle$ のタイプを持つものとされる。これは任意 \forall 、存在 \exists という量子子を一般化した概念である一般量子子と呼ばれるものでもある ([17, 10, 26, 19, 20])。つまり、通常の述語がタイプ $\langle e, t \rangle$ を持つ関数（タイプ e をもつ対象を変数の値にとって真理値を返す関数）であるのに対し、量子子とは述語を変数の値にとって真理値を返すタイプ

$\langle\langle e, t \rangle, t\rangle$ の関数である．この意味において，抽象設計論の機能概念空間における実体概念は，言語学における名詞句（もしくは一般量子）と対応すると考えられる．抽象設計論における属性概念空間の実体概念が実体のタイプ e を持つとするならば，実体から実体概念への抽象化の写像 g とは， e のタイプを持つ対象から $\langle\langle e, t \rangle, t\rangle$ のタイプを持つ対象への写像であり，このとき設計は言語的对象と実体とを結び付ける行為と考えられる．

一般設計学では設計仕様，設計解はいずれも抽象概念の集合として，すなわち実体概念（＝実体）の集合の集合として形式化された．このとき，一般設計学における設計仕様や設計解はいずれも名詞句であると考えられ，従って，一般設計学における設計とは，機能概念のみを用いて書かれた名詞句を，属性概念のみを用いて書かれた名詞句に変換する過程であると言うこともできよう．このとき設計とは実体に即した活動ではなく，より言語的な活動であると考えることができ，設計仕様も設計解も適当なタイプを持つ記号列であると考えられることで，実体概念を参照することなく，直接，設計仕様と設計解の関係を論じることが可能になる．これは吉川弘之自身によって初期の段階でその可能性と必要性が既に指摘されていたことであり，実際，一般設計学はそうした方向で発展したとも考えられようが，そもそも一般設計学では，属性概念空間と機能概念空間の実体概念集合にタイプ e を持つ元から成る共通の集合を割り当て，その二つの集合の間を恒等写像で結び付けており，その結果，この二つの空間の関係の多くは自明なものに陥ってしまった．その結果が一般設計学の逆理であったと言えよう．

実体概念とは実体，すなわち人工物のモデルである．名詞句とは実体を指し示す表現であり，これもまた実体のモデルである．設計仕様や設計解もまた，実体のモデルであると考えられ，結局，一般設計学でも初期の段階の抽象設計論でも，そうした人工物のモデル化のための枠組みを提示することはないが，多様な人工物のモデルの間関係を論じることが主題であったと言えよう．タイプ e を持つと考えられる実体概念は実体に関する固有名詞であり，それに対して設計仕様や設計解は普通名詞と対応する．属性概念空間の実体概念に固有名詞を，機能概念空間の実体概念に普通名詞を割り当てたことに，一般設計学とは異なる抽象設計論の特徴がある．

6 おわりに

ここで論じたことは一般設計学と抽象設計論を対象とした分析であり，その意味で，理論に関する理論として，メタ設計論と呼ぶことができよう．この小論では最初に，発見的推論が設計において本質的であると触れたが，結局は最後までそ

のことについては何も論じることはなかった。もしかしたら設計に関する数学は、このまま発見の周囲を回りながら最後まで発見的推論そのものについては何も語られることはないのかも知れないが、もしも発見的推論について何らかの見識が得られれば、それは論理学にとっても新たな視点と成り得るものであろう。そのためには工学的応用や論理学との関係という視点に留まらず、幅広い問題意識と共に設計が論じられることが必要であろう。

なお、ここで論じた事柄は神戸大学の数理設計論グループや、2000年より半年ごとに神戸にて開催してきた設計論と機能論に関する研究集会での議論、特に角田譲、柳生孝昭との議論に負うことが多い。また、この小論は基本的に長坂一郎との共同研究に基づき、一般設計学の公理の分析と実体概念と名詞句の関係についての議論は [12] において、柳生 ([27, 29]) によってアリストテレス的世界観対仏教的世界観と名付けられた対比の構図の中で論じられている。柳生孝昭は [27, 29] や [30] で、この小論や [12] で論じた話題について大変に興味深い議論を展開しており、それは数学と設計論の関係そのものについても示唆に富む。

References

- [1] Braha, D. and Maimon, O., *A Mathematical Theory of Design: Foundations, Algorithms and Applications*, Kluwer, 1998.
- [2] Barwise, J. and Seligman, J., *Information Flow: The Logic of Distributed Systems*, Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
- [3] Dretske, F. *Knowledge and the Flow of Information*. *MIT Press*, 1981, reprinted by *CSLI Publications*, 1999.
- [4] Kakuda, Y. A mathematical description of GDT: A marriage of Yoshikawa's GDT and Barwise-Seligman's theory of information flow, handout in Workshop on General Design Theory, Cambridge, UK, 1999.
- [5] Kakuda, Y., A mathematical definition of synthetic emergence, In: *Proceedings of IWES'99*, 13–20, 1999.
- [6] 角田譲「設計と情報の流れ」, *科学基礎論研究*, Vol. 29, No. 1, 1–5, 2001.
- [7] 角田譲「抽象設計論 –情報の流れの理論と設計–」, *数学基礎論シンポジウム 2002 講義録*, 2002.

- [8] Kakuda, Y. and Kikuchi, M., Abstract Design Theory, *Annals of the Japan Association for Philosophy of Science* 10 (3), 19–35, 2001.
- [9] Kakuda, Y. and Kikuchi, M. Topology on Classifications in Abstract Design, In: *Proceedings of IWES'01*, 123–130, 2001.
- [10] Keenan, E.L. and Westerstahl, D., Generalized Quantifiers in Linguistics and Logic In: *Handbook of Logic and Language*, van Benthem, J. and ter Molen, A. (eds.), Elsevier, Amsterdam, 837–893, 1997.
- [11] 菊池誠「吉川の一般設計学序説を読む」, 一般設計学勉強会資料, 神戸, 1999.
- [12] Kikuchi, M. and Nagasaka, I., On the Three Axioms of General Design Theory, In: *Proceedings of IWES'02*, 69–76, 2002.
- [13] 桐山孝司, 富山哲男, 吉川弘之「設計対象モデル統合化のためのメタモデルの研究」, 人工知能学会誌, Vol. 6, No. 3, 426–434, 1991.
- [14] 三木大史「抽象設計論による教育の数理的形式化」, 学位論文, 神戸大学, 2003.
- [15] 三木大史「教育における抽象設計モデル」, 科学基礎論研究, 掲載予定.
- [16] Paul, G. and Beitz, W., Engineering Design: A Systematic Approach (2nd ed.), Springer, 1996. (邦訳: ポール, バイツ (翻訳: 設計工学研究グループ) 「工学設計 – 体系的アプローチ」, 培風館, 1995.)
- [17] Partee, B.H. and Hendriks, H.L.W. Montague Grammar, In: *Handbook of Logic and Language*, van Benthem, J. and ter Molen, A. (eds.), Elsevier, Amsterdam, 5–91, 1997.
- [18] Simon, H.A., The Science of Artificial (3rd ed.), MIT Press, 1996. (邦訳: サイモン (翻訳: 稲葉元吉, 吉原 英樹) 「システムの科学 (第3版)」, パーソナルメディア, 1999.)
- [19] 白井賢一郎「形式意味論入門 言語・論理・認知の世界」, 産業図書, 1985.
- [20] 白井賢一郎「自然言語の意味論 モンタギューから「状況」への展開」, 産業図書, 1991.
- [21] Suh, N.P., The Principles of Design, Oxford University Press, 1990. (邦訳: スー (翻訳: 畑村 洋太郎) 「設計の原理 – 創造的機械設計論」, 朝倉書店, 1992.)

- [22] Tomiyama, T., Kiriya, T., Takeda, H., Xue, D. and Yoshikawa, H., Meta-model: A Key to Intelligent CAD Systems, Research in Engineering Design, Vol. 1, No. 1, 19–34, 1990.
- [23] 富山哲男, 吉川弘之「一般設計学の展開(第1報) - 概念空間のコンパクト化 - 」, 精密機械 51 (4), 809–815, 1985.
- [24] 富山哲男, 吉川弘之「一般設計学の展開(第2報) - 概念空間の距離付けとCADへの応用 - 」精密工学会誌 52 (8), 1406–1411, 1986.
- [25] Tomiyama, T. and Yoshikawa, H. Extended General Design Theory, In: *Design Theory for CAD*, Yoshikawa, H. and Warman, E.A. (eds.), 95–130, North-Holland, Amsterdam, 1987.
- [26] van Benthem, J., *Language in Action: Categories, Lambdas and Dynamic Logic*, North-Holland, Amsterdam, 1991.
- [27] Yagi, T., *Modeling Design Objects and Processes*, Springer-Verlag, 1991.
- [28] Yagi, T., Problems with the General Design Theory and the Proposal for an Alternate Theory, handout in Workshop on General Design Theory, Cambridge, UK, 1997.
- [29] Yagi, T., *Modeling Design Objects and Processes*, handout in 3rd. Workshop of Design and Function, Kobe, Japan, 2001.
- [30] 柳生孝昭「近代科学・技術における抽象化の原理と功罪」, 総合知学会誌, 知的文明研究会報告, 2002.
- [31] 吉川弘之「一般設計学序説」, 精密機械 45 (8) 20–26, 1979.
- [32] 吉川弘之「一般設計過程」, 精密機械 47 (4) 19–24, 1981.
- [33] Yoshikawa, H. General Design Theory and a CAD system, In: *Man-Machine Communication in CAD/CAM*, Sata, T. and Warman, E. (eds.), 35–58, North-Holland, Amsterdam, 1981.
- [34] 吉川弘之, 富山哲男「設計学 –ものづくりの理論–」, 放送大学教材, 2000.