

新たな顧客要求の発見過程の数理的解明の試み

A Mathematical Approach to Discovering Novel Customer Requirements

○梅北佳士（東京都立大学大学院）*1 森島大貴（東京都立大学大学院）*2
吉田優馬（東京都立大学大学院）*3 下村芳樹（東京都立大学）*4

*1 Keishi Umekita, Tokyo Metropolitan University, 6-6 Asahigaoka Hino-shi Tokyo, 191-0065, umekita-keishi@ed.tmu.ac.jp

*2 Morishima Taiki, Tokyo Metropolitan University, 6-6 Asahigaoka Hino-shi Tokyo, 191-0065, morishima-taiki@ed.tmu.ac.jp

*3 Yuma Yoshida, Tokyo Metropolitan University, 6-6 Asahigaoka Hino-shi Tokyo, 191-0065, yoshida-yuma2@ed.tmu.ac.jp

*4 Yoshiaki Shimomura, Tokyo Metropolitan University, 6-6 Asahigaoka Hino-shi Tokyo, 191-0065, yoshiaki-shimomura@tmu.ac.jp

キーワード：概念設計，一般設計学，顧客要求

1. 序論

生産技術の発展や技術の平準化に伴い、顧客要求を一定水準に充足する製品を生産することが広く可能になった¹⁾。一方で、これに伴う製品のコモディティ化の進行により、製造業による競争優位性の獲得は一層困難となっている。かような状況下で、製造企業が競争優位性を再獲得するために、既存製品との差別化を可能とする新製品の開発が求められている。

既存製品との差別化を図る1つの方法として、新たな顧客要求を発見し、当該要求を設計の上流に位置する概念設計段階に反映させることが挙げられる²⁾。多くの既存研究においては、所与要求から設計解を導く過程が数理的に論じられている³⁾。一方で、当該過程以前の、要求そのものの発見過程に関する説明は十分でなく、新たな要求の発見は依然として設計者の経験と技量に大きく依存する不可侵の領域にある。以上の課題を踏まえ、本稿では、新たな要求を発見する思考過程の数理的な解明を試みる。

2. 既存研究と本研究のアプローチ

本章では、設計過程を説明する理論及びモデルに関する既存研究とその課題について述べる。その後、これらを踏まえた本研究のアプローチを示す。

2.1.1. 公理的設計論⁴⁾

公理的設計論では、最適な設計を導くための条件が公理として定められている。本理論では、当該公理を前提とし、所与の要求から設計解を導く過程を、顧客領域、機能領域、実体領域、プロセス領域へと続く写像の連続として説明する。ここで、顧客領域は顧客が製品に期待すること、機能領域は顧客が製品に求める機能（要求機能）、実体領域は要求機能を満たす設計解、プロセス領域は設計解の生産条件を整理したものをそれぞれ表す。特に、機能領域からプロセス領域までの写像は行列演算により表現されている。さらに、各領域間の写像に関しては、逆方向の写像も存在を認めており、双方向の写像を繰り返し行うことで各領域は詳細化されると説明している。

2.1.2. 一般設計学³⁾

一般設計学では、主体の思考過程について、位相数学を用いて位相空間と写像により説明する。また、要求された機能を満たす設計解を探索する過程を、機能概念、属性概念を取り扱う位相空間への写像と捉えることで数理的な設計モデルを構築している。

2.1.3. C-K理論⁵⁾

C-K理論では、革新的な設計の過程を、概念空間(C)と知識空間(K)の相互作用としてモデル化する。知識空間(K)は、既存の科学的、技術的、および文化的知識の集合であり、真偽を判定可能な命題で構成される。概念空間(C)は、知識空間(K)から未だ導かれていない設計対象の特性やアイデアの集合であり、真偽を判定困難な命題で構成される。本理論は、これらの空間を用いることで以下の4種類の主要な操作のサイクルとして設計過程を表現する。

知識の拡張 (K→K)：知識空間(K)内での推論や探索を通じた新たな知識の生成。

概念の生成 (K→C)：知識空間(K)における制約やリソースに基づく知識から未分化な概念の生成。

概念の分解 (C→C)：概念空間(C)における概念の部分的な概念への分解。

概念の具体化 (C→K)：概念空間(C)の概念の、知識空間(K)の知識を用いた具体化、および検証可能な知識としての知識空間(K)への統合。

本理論は、設計を単なる既存知識の再構成ではなく、知識と概念の共生成による創造的で発散的な過程として捉え、特に制約が厳しくない初期段階の設計を説明するのに有用である。

2.2. 本研究のアプローチ

既存の設計論は、設計過程のモデル化を行っているが、どの理論も顧客要求を所与のものとして出発しており、要求そのものを発見・創出する過程については十分に論じられていない。これが、「新たな顧客要求を発見する」という創造的な思考過程の数理的解明を阻害する主な課題である。

例えば、公理的設計論⁴⁾は、「所与の要求」を起点として最適な設計解を導く過程の効率化・形式化に焦点を当てているが、要求の出発点である顧客領域から機能領域への写

像については形式化されておらず、新たな要求が生まれる契機の説明は十分ではない。また、機能領域から顧客領域への逆写像によって顧客領域が詳細化・拡張される可能性を示唆しているものの、その具体的なメカニズム、すなわち新たな要求の発見過程については詳述されていない。

一般設計学³⁾は、設計仕様から設計解を導く過程における主体の思考過程を、位相数学により数理的に説明している。一方で、設計仕様を形成する過程、すなわち要求の発見過程については未言及である。

また、C-K理論⁵⁾は、知識と概念の相互作用による革新的な発想の創出過程を定性的に見事に捉えている。一方で、顧客要求を特定する前の、より上流に位置する「要求の種」を発見する過程は述べられていない。さらに、当該モデルは定性的な記述に留まっており、主体の思考過程を数理的に分析・表現するには至っていない点も課題である。

このように、既存の設計研究では、要求の発見過程がブラックボックスとして扱われているのが現状である。本稿では、上記の課題を踏まえ、新たな要求を発見する思考過程の数理的な解明を試みる。

3. 理論的基盤

本研究では、理論的基盤として、主体の思考過程を数理的に記述可能な一般設計学³⁾を採用する。これを基に、公理的設計論⁴⁾では形式化が困難であった顧客領域の拡張過程や、C-K理論⁵⁾が定性的に示した設計過程に該当する過程を、写像の連鎖や空間の構造変化として数理的に表現する理論の構築を目指す。これにより、主体の経験と技量に依存してきた新たな要求を発見する過程を、より客観的かつ体系的に説明することが期待される。

3.1. 一般設計学³⁾

一般設計学では、設計者は実体概念 s と抽象概念 T を操作する主体と捉えられる。実体概念 s は人間が実体を体験することで成立する概念、抽象概念 T は意味付けや価値認識のために実体概念 s を分類した際の各類に関する概念を意味する。抽象概念のうち、実体の有する機能に対応するものを機能概念、実体の有する物理的・化学的性質に対応するものを属性概念と呼称する。

また、本理論は3つの公理、およびこれらから演繹される定理群から構成される。公理の1つである「概念の操作公理」では、実体概念集合 S に部分集合系として抽象概念集合 T を与えた概念空間 (S, T) を導入し、抽象概念の集合演算を認める。これによって抽象概念が生成される動的な過程を集合論により説明可能としている。ここで、実体概念集合 S に、属性概念集合 T_0 を導入した空間を属性空間 (S, T_0) 、機能概念集合 T_1 を導入した空間を機能空間 (S, T_1) と呼称する。加えて、設計は「機能空間 (S, T_1) の点を属性空間 (S, T_0) の点へと移す写像」と定義される。本定義により、設計を可能にするための条件は、抽象概念空間間の写像が成立する条件に基づき規定される。

かように、本理論では公理、定義、定理を与えることで、主体の思考過程を数理的に議論することを可能とした。

3.2. 現実の設計における設計者の思考過程⁶⁾

畠村らによれば、設計における設計者の思考過程は、機能空間と属性空間を行き来しながら、実体概念の持つ抽象概念を具体化・詳細化していくプロセスとして説明される。まず、理想的な思考の展開として、設計者は与えられた設

計仕様を分析し、仕様を充足する上で必要な機能概念を特定する。次に、特定した機能概念を実現するための機構（属性概念）を選定し、選定した機構を総合して1つの構造（属性概念）を得る。かように設計者の思考は、機能概念→機構（属性概念）→構造（属性概念）の順に展開される。一方で、現実の設計においては、この一方向の展開だけでなく、設計者は機能概念から直接構造（属性概念）を想起したり、機構（属性概念）や構造（属性概念）から機能概念を想起したりする往還的な思考が発生する。本知見に基づき、畠村らは、現実の設計における設計者の思考は、機能空間および属性空間の間を自由に行き来しながら進行し、本過程を通じて実体概念が有する抽象概念を詳細化していると述べている。

4. 提案内容

本章では、まず新たな要求を発見する思考過程に関する理論の構築に向け、一般設計学³⁾の定義に倣い要求空間を定義する（4.1節）。次に、所与の要求から設計解を導く過程について、要求空間に関する理論と一般設計学を接続することで整理する（4.2節）。さらに、異なる要求空間間の写像、および要求空間、機能空間、属性空間の3空間間の写像を用いて、主体による新たな要求の発見過程を説明する（4.3節）。

4.1. 要求空間に関する諸定義

主体が新たな要求を発見する思考過程を説明するために、要求概念および要求空間を定義する。まず要求概念は、「抽象概念 T の1つであり、成立が求められる事柄に注目するときに成立する概念」と定義する。例えば、「飲み物を持ち運びたい」や「飲み物の温度を保ちたい」などである。次に要求空間は、「実体概念集合 S に要求概念集合 T_2 を導入した空間 (S, T_2) 」と定義する。さらに、本稿における要求空間は、対象とする顧客が成立を求める事柄を、主体が想定することで形成される抽象概念空間とする。

ここでは、一般設計学³⁾に倣い、单一の主体の概念空間に限定して理論構築を行う。このとき、各概念空間の実体概念集合は同一であり、その実体概念集合間の写像は全単射となる。よって、单一の主体の各概念空間間では、双方の写像が常に可能である。

4.2. 要求発見から設計解導出までの過程

本稿で提案する理論は、吉川が提唱した一般設計学³⁾を基盤とし、その設計過程モデルを顧客要求の発見段階へと拡張することを目的とした試みである。

一般設計学³⁾では、設計を「機能空間 (S, T_1) の点を属性空間 (S, T_0) の点へと移す写像」と定義している。これは、与えられた機能的仕様（要求機能）から、それを満たす具体的な設計解（属性概念の組み合わせ）を導出する過程を数理的にモデル化したものである。一方で、その出発点となる「要求機能」、すなわちこれまで存在しなかった要求の発見そのものは、いわば主体固有の思想として扱われていた。この要求の発見過程を説明すべく、本稿では、提案する理論の最上流に「要求空間 (S, T_2) 」という概念空間を導入する。設計は抽象から具体に進むという考え方のもと、本要求空間は、機能空間よりもさらに抽象的で、顧客の価値観や要求を扱う空間として位置づける。これにより、設計過程全体を、「要求空間 (S, T_2) の点を機能空間 (S, T_1) の点、属性空間

(S, T_0) の点へと移す写像」という、より包括的な写像の連鎖として捉え直すことができる。

4.3. 新たな要求の発見過程に関する理論

4.1 節を踏まえ、各概念空間間の写像を伴う、新たな要求の発見過程に関する理論構築を行う。理論構築に際し、本節では、異なる複数の顧客の要求を比較して、新たな要求を発見する過程を説明する写像 I と、機能や属性の観点で既知の製品との違いを抽出し、その結果から新たな要求を発見する過程を説明する写像 II を導入する。

写像 I : 要求空間間の写像

本写像は、单一の主体が想定する複数の顧客の要求空間間を行き来する写像である。

顧客ごとに設計解に対する要求は異なるため、主体は各顧客に応じた要求空間をそれぞれ個別に定義する必要がある。このとき、異なる顧客を想定したそれぞれの要求空間において、空間内の要求概念の数やその組合せを比較することで、单一の顧客の要求空間内では見出せない新たな要求が発見される。

写像 II : 3 空間間の写像

本写像は要求空間、機能空間、属性空間の 3 空間間をそれぞれ行き来する写像である。

要求空間、機能空間、属性空間をそれぞれ行き来し、抽象概念の組合せが変化することで、各概念空間の位相構造が変容する。その結果、要求空間内の概念操作のみでは想起し得なかった新たな要求の組合せが発見される。当該発見過程には、以下の類型で示される写像が存在する。

a. 要求空間から機能空間への写像

要求を満たし得る機能を特定するための写像

b. 要求空間から属性空間への写像

要求を満たし得る属性を特定するための写像

c. 機能空間から属性空間への写像

機能を実現し得る属性を特定するための写像

d. 機能空間から要求空間への写像

機能が満たし得る要求を特定するための写像

e. 属性空間から要求空間への写像

属性が満たし得る要求を特定するための写像

f. 属性空間から機能空間への写像

属性が実現し得る機能を特定するための写像

ここで、新たな要求の特定に寄与する写像は d および e の要求空間への写像である。その他の写像 a,b,c,f は、直接的には要求の特定に寄与しないが、その一方で各概念空間の位相構造の変容に寄与する写像である。したがって、主体が新たな要求の発見に至るまでには、前述の写像 a~f を組み合わせ的に、繰り返し行うものと考える。

また、本節の写像 I と写像 II は、新たな要求を発見するための思考の類型を示したものである。実設計における要求の発見過程においては、これらの写像は独立しておらず、主体の思考は両者の写像形態を動的に行き来する。例えば、異なる顧客の要求空間を比較する中で（写像 I）、ある「要求の種」が発見される。次に、主体はその要求の種を具体的な機能や属性へと落とし込むために、3 空間を行き来する思考（写像 II）を行う。そして、機能や属性を検討する過程で得られた知見を、再び元の要求空間にフィードバックし、要求概念をより洗練させる、あるいは全く新しい顧客像の必要性に気づき、再び写像 I の思考を行う。

このように、写像 I と写像 II は、新たな要求を発見し、それを具体化していくための、相互補完的かつ反復的な思考のサイクルを形成する。本稿で提案する顧客要求の発見過程に関する理論では、当該思考のサイクルを含む設計過程のモデル化を試みる。

5. 例 証

5.1. 例証概要

国内食品メーカー⁷⁾および多国籍テクノロジー企業⁸⁾の製品を題材とし、顧客要求の発見過程に対する本理論の説明能力を検証した。これらは、従来想定されていなかった要求を発見し、当該要求を満たす製品や追加機能を開発することで、市場における競争優位性を獲得した。このことから、当該企業の製品は、新たな要求の発見過程を例証する上で適した事例であると考えた。

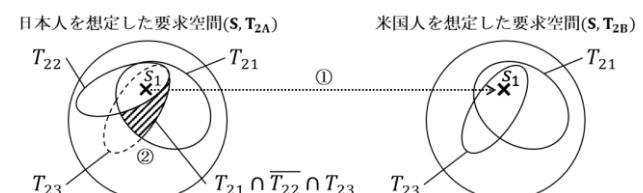
例証では、2通りの新たな要求の発見過程（4.3 節）を説明するため、カップ式即席麺（日清食品）およびスマートウォッチ（Apple 社）のパーソナライズされた健康管理機能に着目し、これらの開発の契機となった要求の発見過程の説明を試みた。

5.2. 例証結果

写像 I (要求空間間の写像) による新たな要求の発見過程

図 1 に、主体が従来の顧客（日本人）を想定した要求空間 (S, T_{2A}) から、別の顧客として米国人を想定した要求空間 (S, T_{2B}) への写像により、新たな要求を発見する過程を示す。本過程は以下の通りに説明される。

要求空間 (S, T_{2A}) において、主体が従来想定していた消費者（日本人）の要求は、要求概念 T_{21} および要求概念 T_{22} として表現された。これに対し、別の顧客として想定した米国人は、箸を使用する文化を持たず、紙コップのような使い捨て容器を多用する文化を持っていた。故に、米国人の要求空間 (S, T_{2B}) を、要求概念 T_{21} および要求概念 T_{23} によって特徴づけた。主体は新たな要求を発見するために、実体概念 s_1 を元とし、要求空間 (S, T_{2A}) から要求空間 (S, T_{2B}) への写像を行った（図 1, ①）。ここで、主体は双方の要求空間を比較し、要求概念 T_{22} を排除して、米国人に注目することで得られた要求概念 T_{23} を要求概念 T_{21} と統合した（図 1, ②）。その結果、新たな要求概念 $T_{21} \cap \overline{T_{22}} \cap T_{23}$ を発見した。そして、主体は当該要求を満たす製品として、麺、スープ、容器が一体となった自己完結型の製品であるカップ式即席麺を開発した。



s_1 = (即席ラーメン)

T_{21} = (簡便かつ美味しく食べたい)

T_{22} = (食器と箸を使って食べたい)

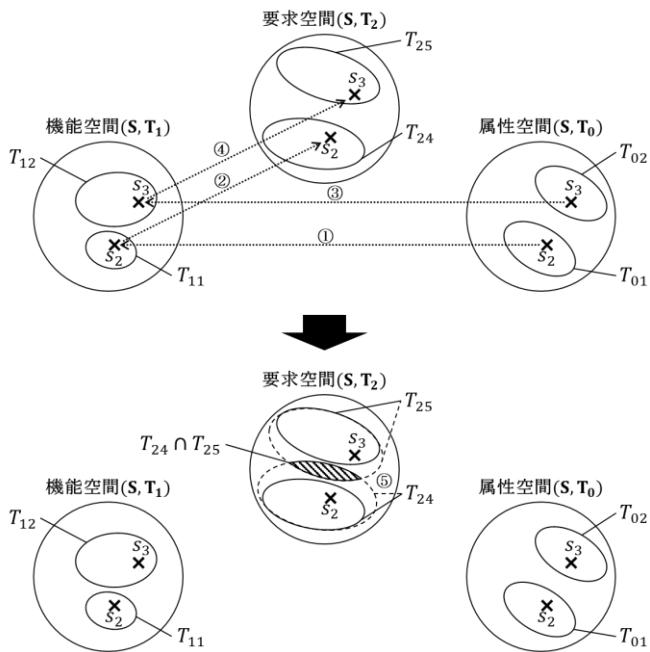
T_{23} = (フォークと使い捨て容器で食べたい)

ただし、破線で示す抽象概念は概念操作後の抽象概念である。

Fig.1 The process of discovering novel requirements through mapping between requirement spaces

写像 II (3 空間間の写像) による新たな要求の発見過程

図2に、要求空間、機能空間、属性空間の3空間の写像により新たな要求を発見する過程を示す。まず、写像fにより、既存の実体概念 s_2 が有する属性概念 T_{01} が実現する機能概念 T_{11} を特定した(図2, ①)。次に、写像dにより、実体概念 s_2 が有する機能概念 T_{11} は、要求概念 T_{24} を満たしていることを特定した(図2, ②)。続いて、写像fにより、既存の実体概念 s_3 が有する属性概念 T_{02} が実現する機能概念 T_{12} を特定し(図2, ③)、写像dにより、その機能概念 T_{12} は、要求概念 T_{25} を満たしていることを特定した(図2, ④)。これらの要求概念 T_{24} および要求概念 T_{25} を組み合わせた結果(図2, ⑤)、これまで存在しなかった新たな要求概念 $T_{24} \cap T_{25}$ を発見した。そして、主体は当該要求を満たす製品として、高精度の複数センサを用いて利用者のバイタルデータを手首で集め、当該データを携帯端末で処理し、パーソナライズされた健康管理を行う新しいスマートウォッチの機能を開発した。



s_2 =(従来のスマートウォッチ), s_3 =(スマートフォン)
 T_{01} =(搭載センサ:光学式心拍センサ),
 T_{02} =(ハードウェア仕様:高性能プロセッサ)
 T_{11} =(心拍数をモニタリングする), T_{12} =(大量のデータを処理する)
 T_{24} =(自分の活動を数値化したい),
 T_{25} =(データを一目でわかる形で見たい)
ただし、破線で示す抽象概念は概念操作後の抽象概念である。

Fig.2 The process of discovering novel requirements through mapping between three spaces

6. 考察

本稿では、一般設計学³⁾を基底として、要求空間を新たに定義し、要求空間間の写像と、要求空間、機能空間、属性空間の3空間間の写像による新たな要求の発見過程を説明する理論構築を試みた。既存の設計研究が所与の要求から設計解を導く過程を形式化したのに対し、本稿で提案した理論は要求そのものが発見される過程をも含めてモデル化することで、設計の最上流における知的活動の解明を試みた。本理論を一般設計学と接続することで、顧客の新たな要求の発見から概念設計段階における設計解の獲得に至

るまでの一貫した設計過程の説明が可能になると期待される。

また、本稿では一般設計学³⁾に倣い、位相数学を用いて单一主体による要求の発見過程を論じた。新たに定義した要求空間について、他空間と同一である実体概念を元とした写像を導入することで、抽象度の高い要求という概念と機能概念および属性概念との関係を定式化した。

さらに、過去の設計事例を用いた例証により提案した理論の説明可能性を確認した。詳細は以下の通りである。

写像Iによる新たな要求発見に関する例証では、主体が従来の顧客の要求空間と別の顧客の要求空間を比較した結果として、新たな要求が発見される過程を説明した。本写像は、主体が市場の分析により、新たな顧客を獲得する際に有効であると考える。写像Iによる要求発見では、想定する別の顧客の属性が、従来の顧客の属性と近いほど要求空間の位相構造が類似し、遠いほど異なると考える。したがって、顧客の属性の選び方により、要求発見の容易さや、発見される要求の新規性に影響を与える可能性があると考える。

続いて、写像IIによる新たな要求発見に関する例証では、既存製品の有する機能および属性を分析した結果として、新たな要求が発見される過程を説明した。本写像は、主体が既存製品の分析により、既存製品に新たな価値や性質を与える際に有効であると考える。写像IIによる要求発見では、各概念空間の位相構造が詳細化されるほど、概念の数が豊かになり、その結果要求概念の組み合わせのパターンが増えることで新たな要求の組合せの発見可能性が高まると考える。したがって、概念空間間の写像a~fを繰り返し行うことが重要であると考える。

一方で、提案した理論では、主体が行った写像や概念操作の動機、着目した実体概念や抽象概念の選択理由などを説明できないという問題が挙げられる。今後は、機能や属性の観点に基づく概念の類似性についても考察を行い、当該課題に対するアプローチを検討する。

また、単一主体に閉じた理論であることに起因して、本理論に基づいた設計支援手法を構築する際、単一主体での設計にしか適用できないという不都合が生じる可能性が挙げられる。今後は複数主体間の写像等のやり取りについて検討し、理論の拡張を目指す。

7. 結論と展望

本稿では一般設計学³⁾における概念空間間の写像に基づき、新たな要求の発見過程を説明する理論の構築及び設計解導出までの理論への拡張を行った。また、例証では、提案した理論が当該発見過程を説明する理論として一定の有効性があることを確認した。今後は、哲学や教育学、心理学の知見なども参照し、より現実に則した理論になるよう補強・改善し、さらには本理論の設計教育、設計支援への具体的応用方法についても検討する。

謝辞

本研究はJSPS科研費JP24K15194及びJ25K03409の助成を受けた。

文 献

- 1) 吉川弘之, テクノグローブ –「技術化した地球」と「製造業の未来」-; 1993.
- 2) 桑嶋 健一, 新製品開発における"顧客の顧客"戦略: 化学産業の実証分析を通して; 2004.
- 3) 吉川弘之, 一般設計学序説, 精密機械, (1979);Vol.45, No.536, pp.906-912.
- 4) Suh N. P., 公理的設計 複雑なシステムの単純化設計. 森北出版株式会社; 2004.
- 5) Hatchuel, Armand, Le Masson, P. and B. Weil, A new approach of innovative Design: an introduction to C-K theory, INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN; 2003
- 6) 畑村洋太郎, 設計者が欲しい設計支援システムの開発, 会誌「情報処理」, (2000);Vol.41, pp.862-867.
- 7) Nissin Foods Holdings Co. Ltd., 安藤百福クロニクル.
- 8) Apple Inc., ヘルスケア-Apple Watchと健康.