

Title	構成学(シンセシオロジー)の論文分析による技術の社会導入に向けた方法論(II)
Author(s)	赤松, 幹之; 小林, 直人; 岡路, 正博; 富樫, 茂子; 原田, 晃; 湯元, 昇
Citation	年次学術大会講演要旨集, 27: 220-223
Issue Date	2012-10-27
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/11009
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

2B04

構成学(シンセシオロジー)の論文分析による技術の社会導入に向けた方法論(II)

○赤松幹之(産総研)、小林直人(早大)、岡路正博(チノー)、富樫茂子、原田晃、湯元昇(産総研)

1. はじめに

「シンセシオロジー(構成学)」は、研究開発の成果を社会で使われる形にするための、個別要素的な技術や科学的知見の統合の実践に関する研究論文を掲載する学術誌であり、研究の目標とその社会的な価値、そこに至るシナリオ、そのための要素技術の選択と統合などが記述された論文が掲載されている。これらは個別の研究開発の実践例であり、そこからそれぞれの研究開発におけるシナリオおよび統合プロセス構築における論拠を読み取ることができる。その論拠は読者である研究者の研究開発の進め方に参考になると考えられる。しかし個別の研究の実践例を並べただけでは、構成学としての知の形になるわけではない。これらの研究論文の蓄積により構成的な研究方法についての知識が集積され、それらが社会に浸透してイノベーションに寄与することができれば、新しい型の論文誌として大きな役割を果たすことができると考えられる。構成学の目的は研究開発のシナリオを構成するための方法論を構築することであるが、それが実現可能であるかも含め、まだ未知のことが多い。そこで、構成学としての第1歩としての実践例の積み上げが進められてきたことから、次のステップとして、我々は研究開発における構成のパターン分類に着手した。小林らはシンセシオロジー1巻1号から3巻4号までの約70編の論文を対象として、各専門分野を背景として構成的研究の方法を分析し、さらに共通的な方法論の抽出を試み、要素技術の構成方法の基本型によって研究開発実践例を分類し、分野ごとの構成方法の特徴を示した[1]。本論文では、それに続いて、分野ごとの特徴の定量的比較を行い、分野での研究開発の特性とその傾向との関係を論じる。さらに、シンセシオロジー誌に掲載された論文の中には、研究開発によって得られた技術的成果のための構成についてだけでなく、それを社会に導入するための実践についても記載されていることから、社会へ導入における構成の仕方の分類を行い、研究開発対象の持っている性質と社会導入との関係について論じる。

2. 研究開発分野による構成的方法の特徴

要素技術の構成の基本型として、①アウフヘーベン型(二つの相反する命題を止揚し、新概念を創出する方法)[3]、②ブレークスルー型(重要要素技術に周辺技術を結合させ統合技術に成長させる方法)、④戦略的選択型(要素技術を戦略的に選択し構成を行う方法)、③螺旋型(第1種、第2種基礎研究、製品化研究を行き来して技術を成長させる方法)の4つを用いて(図1)、分野ごとの研究開発事例がこれらのうちのどれに当てはまるかを検討した。これらの構成方法の基本型は研究開発プロセス全体からみると、要素的な研究開発の基本型であり、研究開発プロセスはこの組合せからなっている場合が少なくない。そのために、小林らの論文の分類においては、基本型の組合せたものも構成の型の一つとし、合わせて10個の類型によって分類した(本要旨集2B03参照)。

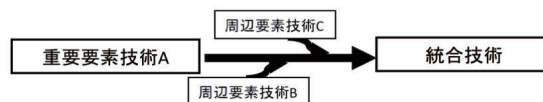
しかしながら、定量的分析を行うためには、本研究の対象とした論文の数では10の類型では多く、特徴が見えにくくなる。そこで、組合せ型については、その組合せに用いられた2つあるいは3つの類型に分解して、それぞれを重複させて分類をし直した。その結果を図2に示す。分野ごとの論文数が10から15程度であり、定量的な議論をするには十分な数ではないものの、分野による特徴がみられる。

要素技術を組み合わせてみたときに、当初期待していた以上のものが生まれて研究が進展したというアウフヘーベン型は全体としても数は多くなく、ナノテク・材料・製造分野に3件、環境・エネルギー分野に2件、その他は人間生活技術と情報技術点エレクトロニクスにそれぞれ1件があるのみであった。こういったブレークスルー型

1. アウフヘーベン型



2. ブレークスルー型



3. 戦略的選択型



4. 螺旋型

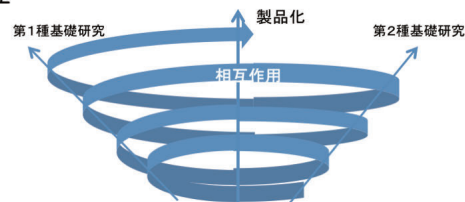


図1. 構成方法の基本型

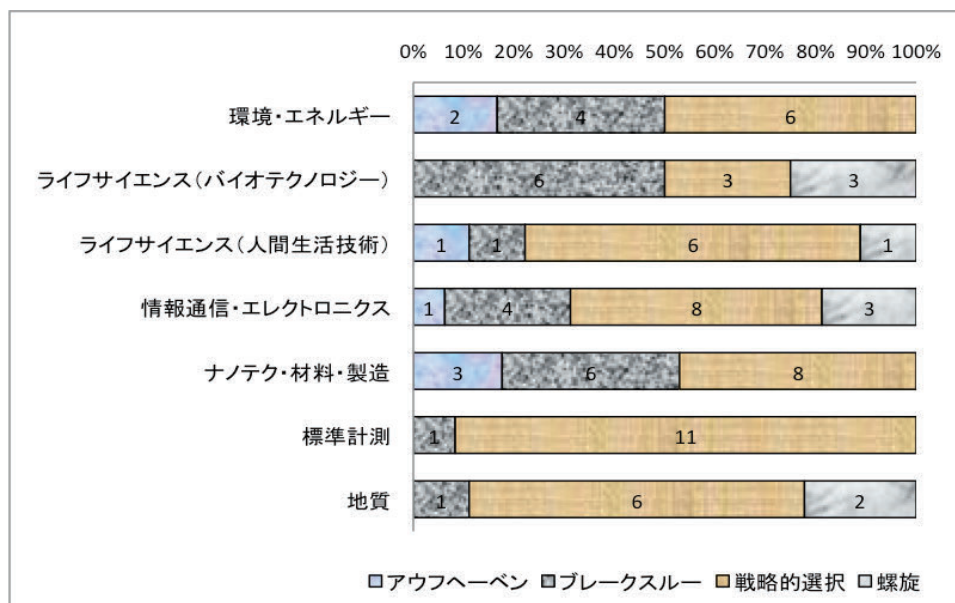


図2. 分野ごとに4類型で分類した結果

は、化学・材料の分野では予想外の化学反応として伝統的に存在していたものであるが、新しい材料の発見・発明によって大幅な性能向上が期待されているナノテクノロジーやエネルギー技術の構成の形として行われている。

あるコアテクノロジーを中心にして、必要な周辺技術を整備することで研究を達成するブレークスルー型の占める比率が高いのは、ライフサイエンスのバイオテクノロジー分野とナノテク・材料・製造分野、そして環境・エネルギー分野のなかでも低環境負荷技術の研究開発である。いずれも、良いコア技術があるとブレークスルーがおきる分野であるといえる。特にライフサイエンスのなかのバイオテクノロジー分野においては、半数がブレークスルー型であり、コアテクノロジーによって解決できる研究課題が多いことを示唆している。

一方、ライフサイエンスでも人間生活技術分野では戦略的選択型が多く、また地質分野も同様であるが、これらは一つのブレークスルー技術では課題が解決できない分野であるためであると考えられる。さらに、1例を除く全ての研究において戦略的選択による構成が行われているのは標準・計測分野である。標準・計測分野においては、計量標準のエンドユーザである企業等が正しく計量ができるようにトレーサビリティ体系を構築する必要があるが、そのためには既存のトレーサビリティ体系がどのようになっているか、標準物質や計測装置を導入できる体制がどこまで整っているのかなど社会の状況を正しく把握して、それに対応するためには何が必要かなど多くの要素を考慮する必要があることが分かる。人間生活技術についても、最終製品として人間に使ってもらう時の課題を解決する分野であることから、生活の実態や製品提供のための社会構造などを十分に考慮して、必要な技術を戦略的に選択する必要があるといえる。全体としてみても、戦略的選択型は半数以上を占めている。研究開発成果を受け入れてもらえるためには社会における様々な制約条件あるいは促進条件を考慮して進める必要があり、戦略的選択型は研究成果の社会導入を目指す構成学の基本であるといえよう。

一方、螺旋型が見られるのは、バイオテクノロジー、人間生活技術、情報通信エレクトロニクスそして地質分野である。一度導入したら簡単には変更できない計量のトレーサビリティ体系への導入の場合には、戦略的選択型ですすめることになるが、人間生活技術や情報技術などはユーザがどのようにそれを使うかを事前に戦略的選択型で把握することに限界があり、実際に使用してもらって問題点を抽出して改良していくプロセスも適用する必要がある場合があると考えられる。バイオテクノロジー研究の多くは研究成果のユーザは研究者であるが、バイオテクノロジーの場合には研究が極めて多様であり、研究開発成果が研究者であるユーザに何をもたらすものであるかを予測することが容易ではない。そのために成果を活用する、あるいは活用したいユーザからのフィードバックによって、開発要素を定めて行く必要があると考えられる。

3. 分野の特徴と構成的方法の特徴との関係

以上のような構成の形に研究分野による特徴が存在するのは、各分野での研究の対象の性質によると考えられる。材料、電子・光デバイスや製造技術の分野、化学的・物理的な標準・計測分野などでは、対象が物理学の法則が成立するものであり、要素技術が物理学的に明確に定義され構成方法も比較的明快なものが多い。物理学では構成要素を細かく突き詰めて行くとクォークやレプトンに至るが、それらが相互作用を媒介して原子核、原子・分子へと上の

階層に向かって構成的に物質を作り上げている。化学では、電子間の複雑な相互作用がさまざまな反応とそれによる多様な物質を作り出して行くのが特色である。工学の中で代表の一つの機械工学では、相互作用は力学的または電磁的相互作用が主となるが、その要素は巨視的であり要素数は限られたものになる。もちろん未知の物理現象があることから、こういった分野でもアウフヘーベン型の構成もあるが、コアテクノロジーができあがった場合に、コアテクノロジーを使えるものにするための周辺技術は物理学的に明確化できるといえる。

その一方で、標準計測、地質分野、人間生活技術、情報分野などでは、研究対象はそれが使われる人間や社会と繋がっており、考慮すべき要素技術が多様になり、その意味で複雑性が増すことになる。この複雑な対象を整理して、必要な要素技術の開発を選択することが必要であり、戦略的選択型を採用することになる。これらの分野であっても、特に実際の生活や社会において使われる場合には、複雑系としての生活や社会に対応する必要があり、そのためには試用などによるフィードバックを得ることで開発方針が明確化される。バイオテクノロジーの場合は研究対象自身も複雑系であり、研究成果が与えるインパクトの予想が難しく、成果を世に出しながら研究方向を定めて行くという螺旋型の方略をとることになるといえる。

4. 社会導入に向けた構成

上述のように、物理学的現象が支配する要素的技術の領域から、それを組み合わせて製品の形にして社会導入をはかる領域に至るまでに、対象の性質によって構成的方法が異なることが分かった。これは、いわばマイクロからマクロといった対象のスケールという観点である。しかしながら、社会導入といっても最終製品のレベルになって初めて社会に導入されるのではなく、素材、部材、部品、デバイス、モジュール、製品といったそれぞれのスケールに対応した産業構造が存在する。素材メーカーは材料研究の成果を期待しており、デバイスメーカーはデバイス製造技術を必要としているなど、そのスケールにおいても社会導入は存在する。そこで研究開発のシナリオという観点だけでなく、社会導入という観点からもその方法論を分析した。

4.1. 戦略的選択型の構成としての製造技術の開発

物理学が支配するエレクトロニクス分野においても、例えば記憶容量のように社会的なニーズが具体的な性能指標として明確化されている場合には、そのニーズに応えられる技術であれば迅速に技術が導入されることになる。湯浅らによる研究[2]に見られるように、このときの社会導入の課題としては生産技術も重要になる。産業化のためには製造技術は必須であるが、既存の製造技術のままで新しいデバイスや新しい材料を扱うことは困難なことが多い。従って、単に性能の高いデバイスや素材を提供するだけでなく、その特性を良く理解した研究者自身が製造技術の開発にも寄与することで、研究成果の社会導入を促進することができる。大串らの再生医療の研究に関しても同様であり、それを産業化することを念頭におくことで、細胞の再生技術と平行して、製造技術や製品評価技術としての標準化なども整備することで、導入が促進される。素材レベルであっても、材料としての性能が高くとも、それが大量製造に結びつかないと産業化には至らない。

有機ナノチューブはその構造上幅広い応用が期待されているが、それが大量製造が可能であることを同時に示していないと、興味が持たれても産業化への動きとは成らない[4]。同様に、不凍タンパクの研究において、従来 mg 単位でしか研究されてこなかったが、冷媒への利用を考えるとトン単位の製造が必須である。大量製造という観点から不凍タンパクを見直すことで、実は極地生物に頼ることなく不凍タンパクが得られることを見いだした西宮らの研究もその例である[5]。また、高機能光学素子をガラスインプリント法で製造するための研究も同様である[6]。素材あるいはデバイス等の持つ性能の向上が社会から希求されているのであれば、その性能に対して社会的価値を見いだす必要はない。このような場合には産業化に必須な製造技術への取り組みを戦略的に行うことで、社会導入が促進されるといえる。

4.2. 試用等による社会導入促進

素材の研究において、それがデバイスにとって顕在化しているニーズであれば、製造技術が確立されれば社会導入は促進される。しかしながら、材料として持つポテンシャルが高いことが分かっても、それがデバイス側にとって大きなメリットになるかは分からないことも多い。顕在化されているニーズは、多くの場合は既存技術の延長によって性能向上をさせたいというものであり、既存技術を転換させる可能性のある技術は顕在化したニーズとはなっていない。有機ナノチューブには様々な可能性があるが、ニーズが顕在化しきれていない状態では、その可能性を研究者サイドで網羅的に検証することは現実的には困難である。そこで、実際に使える技術になるかを評価してもらう方法としては、サンプルを提供したり、展示会での展示などによる試用が多く行なわれる。浅川らの研究[4]では、大量製造技術を実現したことによって、微量ではなく大量のサンプルを提供できるようにして、工業化を含めた可能性を検討できるようにした。また、展示会等の場において、こんなことができるか、といった技術的なインパクトが一目で分かることもニーズの顕在化に貢献する。石川[7]や大場[8]の研究に見られるように、持ち運びができる長さ標準器や実時間全焦点顕微鏡などはその例である。

実際のニーズを研究者サイドでは把握できないことは、マイクロマクロのどのスケールにおいてもみられる。産業界で使われる技術だけでなく、人間生活の中で使われる製品においても同様である。佐藤の電動車いすの研究[9]では、エ

エンドユーザは障がいをもつ人達であり、その人達の生活のニーズを健常者である研究者が事前に十分に把握することは困難である。このように開発者とユーザが同一ではないときには、開発サイドでは想定していなかったニーズの吸い上げを展示会等を通じた試用によって行なうことができる。

また中島[10]の研究に見られるように、ソフトウェアはフィールドでの長期に渡る試用が製品としての信頼性などの技術課題の抽出に有効である。こういった試用によるフィードバックは、製品化を実現するために必要な技術開発を定めるステップとなる。ソフトウェアの無償提供は容易に実行できるが、ハードウェアやネットワーク等も含めて、実際の社会で使ってみるためには、ステークホルダーを巻き込む必要がある。来見田らによる光通信ネットワークの実証実験[11]、武内による市庁舎の空調システムの省エネルギー化実験[12]などがこれらの例である。

4.3. フィールドに参加することで技術の価値の理解

展示会に参加する人やサンプル提供を希望する人は、積極的に技術を取り込む態度で臨んでいる。その一方で、現場では大きな変革を望まない場合など、課題解決の必要性を理解しながらも新技術の積極的でない場合もある。その例として、システムの信頼性を高めるための技術移転において、積極的にフィールドの中に入り込んで現場を巻き込みながら一緒になって進めるという方法が木下らによって行なわれている[13]。また、技術として優れていることは理解できても、十分に自分達への価値が分からず、その技術の導入を躊躇してしまうこともある。山本によるオープンサービスフィールドにおける行動計測技術の導入においても、システムを導入して終わるのではなく、持続的に旅館、土産物屋、市役所などのステークホルダーと関わり、そのシステムの可能性を理解してもらいながら定着をはかっている[14]。システムのフィールドへの導入だけでなく、要素技術であっても性急な導入はしばしば抵抗を生むことから、むしろ時間をおいて、その技術の価値をじっくりと理解してもらって、自律的に導入が進むようにした方が良く高尾らは主張している[15]。

4.4. ステークホルダーの拡大による導入の定着

コンシューマプロダクトのように普及させる規模が拡大する際には、技術的インパクトだけではなく、感性的なインパクトが拡大を促進する。久保らによる IH 調理器の論文[16]では、マスメディアや感性的リードユーザと呼ばれる消費者に先行した感性をもった人達が製品の新しい使い方を提案することで製品価値の向上させてきたことが示されている。また、インフラも含めた総合的なシステムによって構成されている場合には、産業界間での連携も重要である。池田らの研究[17]が示すように、カーナビの実用化のプロセスにおいては、競争部分と共同開発や標準化などの共通部分とを明確化することで、性能向上とコスト削減を両立させて社会への導入を進めた。

5. まとめ

分野による構成的方法の特徴を分析するとともに、社会導入の方法の類型について述べた。研究開発の対象は素材レベルから生活製品レベルや社会インフラまで様々なスケールのものがある。研究開発の構成の型の分析から、物理学的法則が成り立つような対象の場合と、要素が多数で複雑な場合、予測が困難な複雑系の性質を持っているような社会が対象の場合によって構成の型に傾向が異なることが分かった。また、対象のスケールによって産業化あるいは製品やシステムの導入などの社会導入の仕方が異なるが、それに応じた導入促進の方策があることが分かった。構成の方法論の分析はまだ端緒についたばかりであるが、さらに知見を蓄積して方法論を確立につなげていきたい。

参考文献

- [1] 小林他:シンセシオロジーにおける構成方法の分析, *Synthesiology*, 5 (1), 36-52 (2012).
- [2] 湯浅他:スピントロニクス技術による不揮発エレクトロニクスの創成, *Synthesiology*, 2 (3), 211-222 (2009).
- [3] 大串:実用化をめざしての再生医療技術開発, *Synthesiology*, 1 (3), 170-175 (2008).
- [4] 浅川他:実用化へ向けた有機ナノチューブの大量合成方法開発, *Synthesiology*, 1 (3), 183-189 (2008).
- [5] 西宮他:不凍蛋白質の大量精製と新たな応用開拓, *Synthesiology*, 1 (1), 7-14 (2008).
- [6] 西井:高機能光学素子の低コスト製造へのチャレンジ, *Synthesiology*, 1 (1), 24-30 (2008).
- [7] 石川:誰でも作れて携帯できる長さの国家標準器, *Synthesiology*, 2 (4), 276-287 (2009).
- [8] 大場:実時間全焦点顕微鏡の開発・製品化, *Synthesiology*, 2 (4), 264-275 (2009).
- [9] 佐藤他:安心・安全な次世代モビリティを目指して, *Synthesiology*, 2 (2), 113-126 (2010).
- [10] 中島他:サービス工学としてのサイバーアシスト, *Synthesiology*, 3 (2), 96-111 (2009).
- [11] 来見田他:超高精細映像送受信を支える光通信ネットワークの実証実験, *Synthesiology*, 4(2), 100-110 (2011)
- [12] 武内:札幌市庁舎ビルの空調システムの省エネルギー化実証実験, *Synthesiology*, 4(3), 132-139 (2011)
- [13] 木下他:臨床情報学のための野外科学的方法, *Synthesiology*, 3(1), 36-46 (2010).
- [14] 山本:観光地の集客施策に対する効果測定を試み, *Synthesiology*, 5 (3), 179-189 (2012).
- [15] 高尾他:紫外線防御化粧品と評価装置の製品化, *Synthesiology*, 3(2) 127-136 (2010)
- [16] 久保他:2タイプのリード・ユーザーによる先端技術の家庭への導入モデルの提案, *Synthesiology*, 2(3)201-210 (2009).
- [17] 池田他:いかにしてカーナビゲーションシステムは実用化されたか, *Synthesiology*, 3 (4), 292-300 (2010).