

|              |                                                                                                                                             |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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(I)                                                                                                      |
| Author(s)    | 小林, 直人; 赤松, 幹之; 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: 216-219                                                                                                                    |
| Issue Date   | 2012-10-27                                                                                                                                  |
| Type         | Conference Paper                                                                                                                            |
| Text version | publisher                                                                                                                                   |
| URL          | <a href="http://hdl.handle.net/10119/11008">http://hdl.handle.net/10119/11008</a>                                                           |
| 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                                                                                                                                      |

## 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(I)

○小林直人(早大)、赤松幹之(産総研)、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、個別要素的な技術や科学的知見を統合し、研究開発の成果を社会で使用するための、科学的知の統合の実践に関する研究論文を掲載する学術誌である[注1参照]。具体的には、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、結果の評価と将来展開などを論文の中に記述することが求められている[1]。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貢献が期待できる。著者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、共通的な方法論の抽出を試みた[2]。本論文では、まず要素技術の構成方法の基本型を示したのち、分野ごとの構成方法の特徴を示す。

### 2. 要素構成の基本型

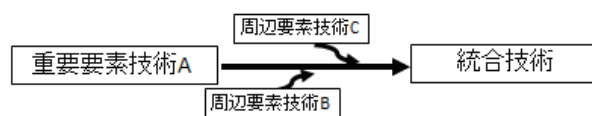
要素技術の構成の基本型として小林が以前提案した、①アウフヘーベン型(二つの相反する命題を止揚し、新概念を創出する方法)[注2参照][3]、②ブレークスルー型(重要要素技術に周辺技術を結合させ統合技術に成長させる方法)、③戦略的選択型(要素技術を戦略的に選択し構成を行う方法)がある[4]。図1にその概略を示す。

①アウフヘーベン型の典型例としては、ガラスモールド法とインプリント法を組み合わせた研究が挙げられる[5]。②ブレークスルー型の例では、熱電材料の発見が1つのブレークスルーとなり、それに周辺技術要素を付随させて統合技術が形成される例が挙げられる[6]。さらに、③戦略的選択型の例では、化学物質のリスク評価と言う研究の目標に至るために幾つかの技術要素をシリアルに選択して行くという研究が、構成のプロセスの典型的な例として挙げられる[7]。これらは、構成方法の中の基本的な素過程と言うべきものであり、実際にはこれらを並列的にあるいは多段に組み合わせて、実環境との相互作用の中で改良していく多くの過程の例が見られる。

#### 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

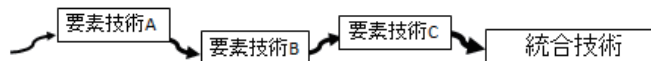


図1. 構成方法の基本型

### 3. 分野ごとの構成的方法の分析

#### (1) 環境・エネルギー分野

環境・エネルギー分野の研究は、環境アセスメントやリスク評価などの評価技術から、再生エネルギー技術、省エネルギー、生産効率化など極めて幅広い範疇に及び、方法論も多様である。しかし、①環境負荷物質の低減、CO<sub>2</sub>の排出抑制への貢献、社会的・行政的な規制への貢献など、社会ニーズが明確である特徴を持っており、これを果たすため、②すり合わせ型や科学に裏打ちされた要素技術の多段的結合などの多元的技術の統合を行い、③要素技術の見直しやエンジニアリングの立場からの統合技術によって既存技術をさらに高度化している等の特徴を持っている。

環境負荷物質の低減を図る技術開発の例には、「輸送用クリーン燃料の製造触媒の開発」がある[8]。軽油の硫黄分の大幅な低減が必要という社会的ニーズの達成ために、脱硫触媒を高性能化する必要があるが、このためのブレークスルーポイントは触媒調製技術にあると定直し、さらに課題をブレークダウンして、鍵と

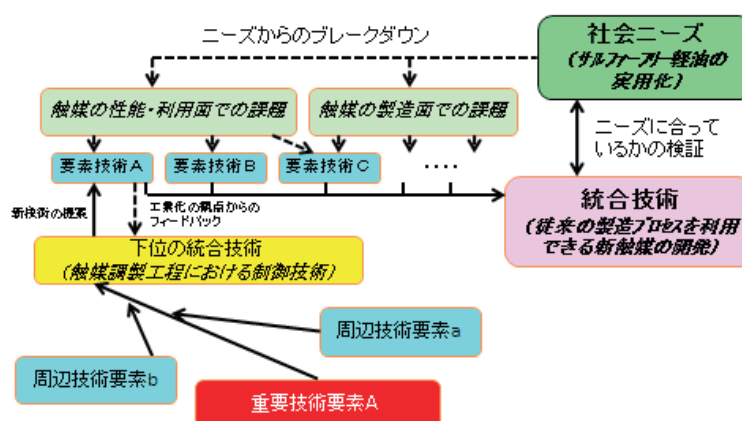


図2. 環境・エネルギー分野の戦略的選択+ブレークスルー型の構成方法

なる重要要素技術としてラボレベルの調製法を完成させ、触媒メーカーとの共同研究により工業化を実現している。社会ニーズからブレークダウンした必要な要素技術が、さらに細かな要素技術の集まりになった多段的構造を持っており、下位の要素技術をブレークスルー型の研究で解決した上で統合化していくので、全体のシナリオとしては「戦略的選択+ブレークスルー型」の構成であると言える（図2）。

環境エネルギー分野においては、必要な要素技術を統合して社会ニーズを満たすことから、ニーズに対応するための統合が不可欠であり、それを目的に合わせて改良して用いる場合には、全体として戦略的選択型のシナリオをとることが多い。一方、要素技術の中に実現に大きな課題があるものが含まれている場合には、それに対するブレークスルー技術が必要となり、それが実現すると社会ニーズに応えられることになる。このような場合、全体として「戦略的選型構成+ブレークスルー型構成」というシナリオで進めることになる。

## （2）ライフサイエンス分野

ライフサイエンス（バイオテクノロジー）分野における特徴的な構成の方法論として、「循環的發展」があげられる。一例として、バイオインフォマティクスにより創薬ターゲット遺伝子の網羅的機能解析技術の開発では、第1種基礎研究〔注3参照〕として、遺伝子同定・機能解析ツール等の要素技術開発、第2種基礎研究として、要素技術の組み合わせによる遺伝子同定・機能解析パイプラインの構築、製品化研究として、細胞膜受容体 GPCR の網羅的 DB の公開までが一つのコア技術が構成され、これが次の発展の第1種基礎研究となり、新たな機能予測プログラムの開発として結実している〔9〕。

このような循環的發展は他分野でも見られるが、バイオ産業では、特に他の産業にはない特徴に由来していると考えられる。ピサノによれば〔10〕、バイオ産業はサイエンスに軸足があるにも関わらず、基盤となる学問である生物学は物理や化学に比べてはるかに成熟しておらず、基盤テクノロジーの不確実性が極めて高いことが特徴である。また、第二の特徴として、バイオ産業では製品化するまで使えるかどうかわからない、という不確実性が他分野よりも大きいため、小さいものでも製品化することが重要と考えられる。筆者らは、このような構成方法を生物の基本情報である DNA の二重螺旋にちなんで螺旋型と名付けた。

ライフサイエンス（ヒューマンライフ）

分野においては、最終的に製品を使う人の特性を考慮した製品設計を行うことが研究開発の目的である。そこでは、まず人間の特性を科学的に理解・把握する第1種基礎研究が基本になるが、このとき人間特性がどのように使われるかを明確化して、そのために必要な研究を構成していく必要がある。

具体的に「個別適合メガネフレームの設計・販売支援技術」の研究開発の例では、個人にあった形のメガネフレームを提供することを念頭に、さらに客自身に自分の好みのフレームデザインを選ぶのを助けるために必要な技術を開発した〔11〕。第1種基礎研究としては、頭部形態に適合したメガネ枠の形状設計技術があるが、さらにユーザにそれを適用するために必要な要素技術を選定して、それを統合して構成している。この研究の特徴は3次元形状モデル（頭部相同モデル）を開発したことで、簡易計測にも、形状のパターン分類にも、また感性的評価にも使うことができ、効率よくこの全体のゴールを達成できたと言え、全体のシナリオとしては、戦略的選択+ブレークスルーによる構成である。（図3参照）

理解された人間特性をどのようにして製品設計につなげるのかについても、総合的な研究シナリオの設定が必要である。メガネフレームの研究例では、簡易な形状計測と感性的評価ができる装置を店頭で置くことで、個人に適合するメガネ枠を選定するというシナリオをして採用している。最終的に人に使ってもらうものを構成するこの分野においては、最終的にどのようにしてユーザ（エンドユーザあるいは製品設計者）に使われるかを想定して、それをゴールとして設定して、それに必要な要素技術を事前に考えて、それを戦略的に選択して全体を構成することが基本的な方法となっている。

## （3）情報通信・エレクトロニクス、ナノテク・材料・製造分野

情報通信・エレクトロニクス分野では、エレクトロニクスやフォトンクスなどのデバイス技術分野と、ソフトウェア分野では構成方法がやや異なる。デバイス分野の構成の方法論は、個々の要素技術が他の要素技術と独立してほぼ明確であり、その中に特に全体のブレークスルーとなる主要要素技術があり、それが幾つか組み合わせられて技術が構成されていくという型が見られる。

特徴的な例として、「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」の研究が挙げられる

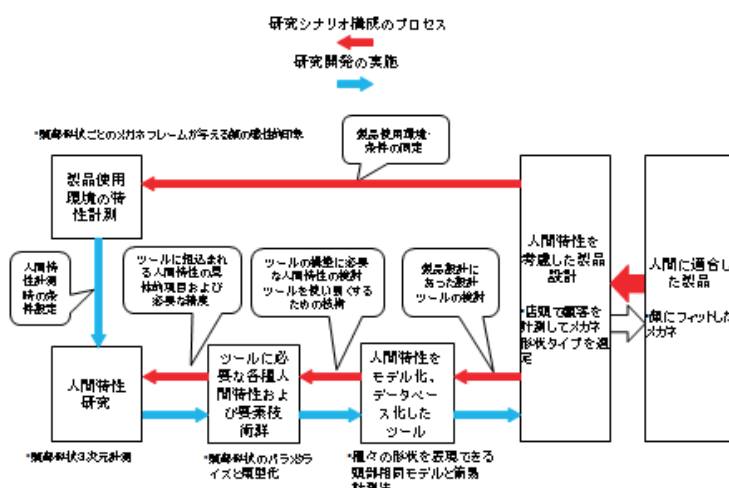


図3: ライフサイエンス(人間生活技術)分野における戦略的選択の構成プロセス

[12]。ここでは MgO（酸化マグネシウム）結晶のトンネル障壁により巨大 TMR（トンネル磁気抵抗効果）を実現したという非常に大きなブレイクスルー技術に加えて、極めて特殊な結晶成長様式を用いた CoFeB/MgO/CoFeB 構造の MTJ（磁気トンネル接合）素子の実現による量産技術の達成という二つ目のブレイクスルー技術が重なって実用化に成功しており、これらの連続した大きなブレイクスルー技術が効果を発揮した。これは科学的ブレイクスルーと革新的創造技術が連なった、連続的ブレイクスルー型といえる。

一方、ソフトウェア分野やシステム分野の論文では、要素技術の選択とその構成が行われる過程で実社会との相互作用が大きな鍵となる。Grid システムのようなミドルウェア活用のシステム構築にあたっては戦略的選択的な要素技術の選別と組合せが示されており、ハードウェアシステムとも共通して比較的システム構築が明確である[13]。「大規模データからの日常生活行動予測モデリング」の研究[14]では、ベイジアンネットを人間行動のモデル化に用い、それを中核技術としてさらにセンシング技術やインタビュ技術をつけ加えて行くという意味でブレイクスルー型ではあるものの、ユーザとの相互作用が「社会循環」として大きな意義を持っているという点で、ブレイクスルーと螺旋型の組合せによる構成と言うことができよう（図4参照）。ハードウェア分野では要素技術の定義と選択とそれらの構成方法が比較的

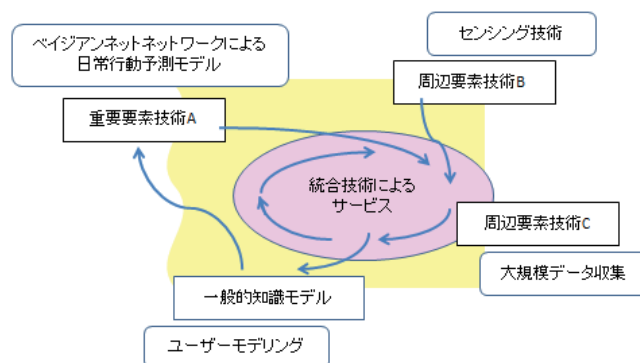


図4. 社会循環型の構成方法

シンプルで明確であり、ミドルウェアの構成においてもほぼ似通っているものの、人間や実環境との相互作用が増えて大きな意味を持つソフトウェアやアプリケーション分野では、定義され選択された要素技術が一方的に統合されていくのではなく、社会環境との相互作用の中で進化して行くことが特徴である。

ナノテク・材料・製造分野では、「有機ナノチューブの大量合成方法」を構成例の一つとして挙げる事が出来る[15]。この技術はシーズ主導ブレイクスルー型の典型例の一つであるといえるが、さらにこれを作るために非常に詳細な分子設計とその統合技術でこの量産化に至って、その後さらに用途開拓をいろいろな企業と共同して実用化に向けて進んでいる。一方、「大型単結晶ダイヤモンド・ウェハの技術開発では、マイクロ波プラズマCVD法、異常成長粒子発生の抑制、大型化などの要素技術を戦略的に選択・統合しており、全体として戦略的選択によって構成が進められている[16]。

ナノテク・材料分野の構成方法の特徴は、電子デバイスなどのハードウェア技術の構成方法と大きく異なることはない。材料などはその研究成果物がそのまま市場に完成品として出るという面が少なく、後の要素技術として使われる場面が多いため、ある性能仕様を満たすことが主として要請される場合は、比較的構成法が明確である。一方、種々のニーズ側との相互作用がある場合は、そのフィードバックがそのまま構成法にも反映される可能性が高い。一方、製造技術の場合も構成法に大きな変化はないが、1つの革新的な要素技術が全体の構成法を大きく変えてしまう場合があり得るのは特徴の一つであろう。

#### （4）標準・計測分野と地質分野

標準・計測分野の特徴として、特に計量標準においては、エンドユーザの手元に確実に高い信頼性を有する計量標準（物理標準、化学標準・標準物質）が到達することが大前提である。また、それらの標準は国際的にも相互に承認されていることが基本である。そのため、3つの必須要件、①SI（国際単位系）トレーサブルな国家計量標準の確立、②国際整合性の確保（国際的に認知された測定方法、国際比較）、③産総研、認定事業者、エンドユーザを結ぶトレーサビリティ体系の構築、のもとにシナリオが組み立てられて研究開発が実施されている[18, 19]。この3要件を境界条件として研究開発のシナリオと実行プロセスが組み立てられており、典型的な“戦略的選択型-s”（-sは、Standard=標準の意味）に分類されるといえる。一例として、1000℃～1550℃付近の温度範囲での熱電対校正のための温度標準のトレーサビリティ体系の構築に関する研究がある[18]。この温度領域での国家計量標準は国際度量衡総会で合意、決定されたものであり[要件①]、諸外国の標準研究所との国際比較でトップレベルの高い信頼性を達成した[要件②]。また、トレーサビリティ体系の構築のため、高い信頼性を有する白金パラジウム熱電対とR型熱電対が開発されている[要件③]。

一方、地質分野の研究の特徴は、地質現象の総体としての理解を進展させる観点から、総合的な戦略が構成され、変化する多様な社会のニーズへの対応による相互作用を通じて、螺旋構造に展開していくという特徴がある[20, 21]。過去に遡る自然へ理解の深さがどこまで進んだかが、産業立地、資源・環境、防災等に関する社会の対応を律速しているといっても過言ではない。これらの個別の戦略は、変化する社会の特定のニーズに対応してとして、ターゲットを絞って取り組むことが多く、その基盤として国土の基本情報や技術に関する総合な戦略に基づく研究が不可欠である。地質分野は戦略的選択型の構成をとることが多いが、これらの研究活動を通じて、地質現象の経験的モデルの深化とともに、決定論的モデルに関連づけることにより地質現象の理解を深めることができ、社会の期待に応える事のできる予測精度向上を実現できる。地質分野の研究は、複雑系としての地質現象の理解が、変化する多様な社会ニーズと対応して、螺旋構造の相互作用

を取り込みながら進展している。

#### 4. 全体分析

表1に各分野での分析から得られた構成の型の類型分類を示す。特徴的なこととして、全分野にわたって戦略的選択型が多いことが特徴である。これは、この学術誌の研究の特徴として目標が明確であり、その達成に向けて要素技術を選択していくというスタイルが基本になっているからだと考えられる。この傾向は、上記のように標準計測分野で特に顕著である。一方で、ブレークスルー型は研究開発の基本とも言え、多くの例が見られる。また、これらの分析により、2章で示した3類型に加えて、螺旋型という実社会との相互作用が次の段階への大きなステップになるという過程がきわめて重要であるということが明確になった。今後、社会での製品の試用が進むにつれて、螺旋型に見られるフィードバックプロセスが構成の中で大きな役割を果たすことが予想される。

|                     | アウフヘーベン | ブレークスルー | 複素的選択 | 螺旋 | アウフヘーベン+戦略 | ブレークスルー+戦略 | ブレークスルー+螺旋 | 複素的選択+螺旋 | ブレークスルー+戦略+螺旋 |    |
|---------------------|---------|---------|-------|----|------------|------------|------------|----------|---------------|----|
| 環境・エネルギー            | 2       | 1       | 3     | 0  |            | 3          |            |          |               | 9  |
| ライフサイエンス(バイオテクノロジー) |         | 4       | 2     | 2  |            | 1          | 1          |          |               | 10 |
| ライフサイエンス(人間生活技術)    | 1       |         | 4     |    |            | 1          |            | 1        |               | 7  |
| 情報通信・エレクトロニクス       | 1       | 2       | 8     |    |            |            | 1          | 1        | 1             | 12 |
| ナノテク・材料・製造          | 2       | 4       | 3     |    | 1          | 2          |            |          |               | 14 |
| 標準計測                |         | 1       | 11    |    |            |            |            |          |               | 12 |
| 地震                  |         |         | 3     |    |            | 1          |            | 2        |               | 6  |
|                     | 7       | 12      | 34    | 2  | 1          | 7          | 2          | 4        | 1             | 70 |

表1: 分野ごとの構成の類型分類

#### 注

1. シンセシオロジー(構成学): 2008年に発刊された学術ジャーナル。研究の目標の設定と社会的価値を含めて、具体的なシナリオや研究手順、また要素技術の統合のプロセスが記述された論文が掲載されている。[1]。
2. アウフヘーベン: ヘーゲルが弁証法の中で提唱した概念。ひとつの命題(テーゼ)と、それと矛盾する別の命題(アンチテーゼ)との二つの相反する命題を統合し、より高次元の段階である総合命題(ジンテーゼ)を導くこととされ、日本語では「止揚」と訳される[4]。
3. 第1種基礎研究、第2種基礎研究、製品化研究: 第1種基礎研究は未知現象を観察、実験、理論計算により分析して、普遍的な法則や定理を構築するための研究をさす。第2種基礎研究は、複数の領域の知識を統合して社会的価値を実現する研究をいう。さらに、製品化研究とは第1種・第2種基礎研究および実際から得た知識を利用し、新しい技術の社会での利用を具体化する研究を指す。

#### 参考文献

- [1] シンセシオロジー編集委員会: 新ジャーナル「Synthesiology - 構成学」発刊の趣旨 *Synthesiology*, 1 (1) i (2008).
- [2] 小林直人、赤松幹之、岡路正博、富樫茂子、原田晃、湯元昇: 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).
- [3] ルネ・セロー: ヘーゲル哲学、白水社 (1973).
- [4] R.K. レスター、小林直人: シンセシオロジーへの期待, *Synthesiology*, 1 (2), 139-143 (2008).
- [5] 西井準治: 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).
- [6] 舟橋良次、浦田さおり: 熱電発電を利用した小型コジェネシスシステムの開発, *Synthesiology*, 1 (2), 94-100 (2008).
- [7] 岸本充生: 異なる種類のリスク比較を可能にする評価戦略, *Synthesiology*, 1 (1), 31-37 (2008).
- [8] 葭村雄二、鳥羽誠: 輸送用クリーン燃料の製造触媒の研究と開発, *Synthesiology*, 1 (3), 176-182 (2008).
- [9] 諏訪牧子、小野幸輝: 循環発展的なプロジェクト構造を生むバイオインフォマティクス戦略, *Synthesiology*, 2 (4), 299-309 (2009).
- [10] ゲイリー・P・ピサノ: サイエンス・ビジネスの挑戦、日経BP社 2008年。
- [11] 持丸正明、河内まき子: 個別適合メガネフレームの設計・販売支援技術, *Synthesiology*, 1 (1), 38-46 (2008).
- [12] 湯浅新治、久保田均、福島章雄、薬師寺啓、長浜太郎、鈴木義茂、安藤功児: 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).
- [13] 田中良次: グリッドが実現するE-サイエンス, *Synthesiology*, 2(1), 32-41(2009).
- [14] 本村陽一: 大規模データからの日常生活行動予測モデリング, *Synthesiology*, 2(1), 1-11(2009).
- [15] 浅川真澄、青柳将、亀田直弘、小木曾真樹、増田光俊、南川博之、清水敏美: 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).
- [16] 茶谷原、奎野、坪内、山田: 単結晶ダイヤモンド・ウェハの開発, *Synthesiology*, 3 (4), 272-280 (2010).
- [17] 明渡純、中野禅、朴載赫、馬場創、芦田極: エアロゾルでポジション法, *Synthesiology*, 1(2), 130-138 (2008).
- [18] 新井優、小倉秀樹、井土正也: 1550℃に至る高温度の計測の信頼性向上, *Synthesiology*, 3(1), 1-15 (2010).
- [19] 井原、齋藤、杉本: 食品・環境中の有害成分分析のための有機農薬物質の拡充, *Synthesiology*, 2(1), 12-22 (2010).
- [20] 寒川旭: 遺跡が語る巨大地震の過去と未来, *Synthesiology*, 2 (2), 91-100 (2009).
- [21] 吉岡敏和: 活断層研究による地震発生予測, *Synthesiology*, 2 (3), 194-200 (2009).