学術誌「Synthesiology(シンセシオロジー)」 のこれまでとこれから イノベーション創出のための構成型研究をめざして

The past and future of the academic journal "Synthesiology"

Aiming to the synthetic research for the innovation

小林 直人¹ | 赤松 幹之² | 内藤 耕³ | 藤田 茂⁴ | 小野 晃⁵

KOBAYASHI Naoto¹; AKAMATSU Motoyuki²; NAITO Koh³; FUJITA Shigeru⁴; ONO Akira⁵

.....

- 1 早稲田大学 研究戦略センター (〒162-0041 東京都新宿区早稲田鶴巻町513) E-mail: naoto.kobayashi@waseda.jp
- 2 産業技術総合研究所 ヒューマンライフテクノロジー研究部門 (〒305-8566 茨城県つくば市東1-1-1 中央第6) E-mail: akamatsu-m@aist.go.jp
- 3 産業技術総合研究所 サービス工学研究センター (〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2) E-mail: naito-koh@aist.go.jp
- 4 産業技術総合研究所 イノベーション推進本部 (〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2) E-mail: shigeru-fujita@aist.go.jp
- 5 産業技術総合研究所 (〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2) E-mail: ono.akira@aist.go.jp

- 1 Center for Research Strategy, Waseda University (513 Wasedatsurumaki-cho Shinjuku-ku, Tokyo 162-0041)
- 2 Human Technology Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (Tsukuba Central 6, 1-1-1 Higashi Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8566)
- 3 Center for Service Research, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (Tsukuba Central 2, 1-1-1 Umezono Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8568)
- 4 Research and Innovation Promotion Headquarters, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (Tsukuba Central 2, 1-1-1 Umezono Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8568)
- 5 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (Tsukuba Central 2, 1-1-1 Umezono Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8568)

原稿受理 (2012-11-13)

情報管理 55(10), 722-734, doi: 10.1241/johokanri.55.722 (<http://dx.doi.org/10.1241/johokanri.55.722>)

著者抄録

2008年に第2種基礎研究を中心とした原著論文を掲載する学術誌「Synthesiology (シンセシオロジー)-構成学-」が創刊された。Synthesiology (シンセシオロジー)に掲載される研究論文は、研究開発がめざした目標、それを実現するためのシナリオ、シナリオを実践するための要素技術の選択と統合の方法、研究成果などを明確に述べることが求められている。本稿では、この学術誌がめざした理念や、発刊に至った経緯、発刊の趣旨などを述べた後、実際に掲載された70編の論文を対象にして、構成の方法論を分析した結果を紹介した。全体として、共通の構成方法として、「技術的な構成」とも呼ぶべき方法論が重要であり、さらに研究成果を社会に導入していくためには、「社会導入に向けた構成」と呼ぶものを連続して起こす必要があることが明らかになった。また、今後はさらにシナリオの構成方法とその使用、役割についても詳細に分析を進めていくことの重要性が認識され、これらを含む本学術誌の今後の課題についても言及した。

キーワード

シンセシオロジー, 構成学, シナリオ, 要素技術, 第2種基礎研究, 技術的な構成, 社会導入に向けた構成

1. はじめに

2008年（平成20年）1月に産業技術総合研究所（以下、産総研と略記）から、「Synthesiology（シンセシオロジー）-構成学-」という新たな学術誌が創刊された。これは従来の学問の専門領域（discipline）を越えて、要素となる知識や技術を選択・統合し、研究開発成果の社会における価値の実現をめざす「構成的な研究」に関する原著研究論文を掲載する学術誌である。すでに創刊から5年を経て、掲載された論文は約120編となった。研究分野も環境エネルギーからサービス工学まで多岐にわたり、産総研以外からの投稿も徐々に増えている。従来からある学術誌が事実的な知識を論文として掲載しているのに対し、シンセシオロジーでは研究のシナリオすなわち「研究において何をどのように進めるのか」という知識を論文として掲載するという、これまでにはない試みを行っている。

本稿では、創刊5年目の節目を契機に、この学術誌のめざしてきたもの、発刊の経緯や趣旨、この間に掲載された論文の内容とそれらの意義について振り返り、さらに加えて将来の課題について考察を行う。

2. 第1種、第2種基礎研究と製品化研究、そして本格研究

産総研の初代理事長を務められた吉川弘之氏（現産総研最高顧問）は、第2種基礎研究^{注1)}の重要性を提唱された^{1),2)}。第1種基礎研究^{注2)}が、未知現象を観察、実験、理論計算などにより分析的に研究して、普遍的な法則の発見や定理の構築をするための研究を指すのに対して、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、およびそのための一般的方法論を指している。また、これら第1種基礎研究および第2種基礎研究をもとに、実際の経験から得た成果と知識を活用し、新たな知識や技術の社会での利用を具体化するための研究を製品

化研究^{注3)}と呼んだ（ここでいう「製品」は必ずしも形ある工業製品や医薬品などの「モノ」を指すだけでなく、情報・デザイン・規格・理論・学説などの「コト」も含み、社会で利用できることが必要である）。

そして、これらの第1種基礎研究から製品化に至る研究を同時（concurrently）に一貫して（coherently）行うことが重要であり、これを「本格研究^{注4)}」と名づけた。

図1に第1種基礎研究、第2種基礎研究、製品化研究を含む本格研究の概要を示す。科学的な発見・発明が、それを成し遂げた「夢の時代」からなかなか進展せず、社会的な支援も得にくい「悪夢の時代」を乗り越えて、社会に浸透していく「現実の時代」へと進んでいく様子を示している^{注5)}。

また表1には、第1種基礎研究と第2種基礎研究の対比を示す³⁾。このように明確に異なった特性の対比

図1 悪夢を越えて-本格研究の推進

表1 第1種基礎研究と第2種基礎研究の方法論

	第1種基礎研究	第2種基礎研究
手法	分析	構成・統合
行為	発見、解明	発明、作成
対象の範囲	単一領域	複数領域
解の一意性	唯一解	複数の同等解
駆動力	学術的な好奇心	社会的な価値の実現
重視する性質	論理の整合性	解の有用性
オリジナリティー	解の飛躍性	方法の固有性
新規性	解の新規性	方法の新規性
評価の方法	ピアレビュー	メリットレビュー
評価の視点	整合性、飛躍性	有用性、固有性

ができるとは必ずしも言えないが、それぞれの代表的な特性をあえて強調して示してある。特に第2種基礎研究においては、「駆動力」における「社会的な価値の実現」、「重視する性質」における「解の有用性」などは、研究方法論の違いだけではなく、研究がめざす目的や価値が大きく異なることが示されている。

現在、世界的に経済的な停滞が著しい中で、技術を社会での活用に結びつけ新たな価値を生み出すイノベーションが求められている。そのイノベーションの方法論としては図1に示す「悪夢の時代」をどのように乗り越えて、「夢の時代」と「現実の時代」をつないでいくかが重要であり、このような第2種基礎研究を中心とした本格研究の実践が求められていると言えよう。

しかし第2種基礎研究（製品化研究を含む）における研究アプローチを確立するためには、その方法論をきちんと理論化し共有する必要がある。そのためにも、それらの論文を掲載し議論をしていくためのこれまでにない学術誌が必要であるとわれわれは考えていた。

3. シンセシオロジー誌創刊までの課題と経緯

上述の経緯から筆者らはそれぞれの思いで学術誌創刊の夢を描いていたが、その一方で、産総研は2003年（平成15年）頃より毎年つくばセンターや各地域センターにおいて「本格研究ワークショップ」を開催し、特徴ある第2種基礎研究の発表や本格研究に関する議論を行ってきた。この過程で研究所内において次第に本格研究の理解が進むとともに、2006年（平成18年）夏頃からは広報部を中心に学術誌創刊の環境や組織が整いだして、同年12月から2007年（平成19年）2月頃までに吉川氏と筆者らを中心に新学術誌創刊に向けた集中的な議論が行われた。その課題は以下のようなものであった。

(1) シンセシオロジー誌の論文が記述する2つのポイント

①研究者の夢とそれを実現するための仮説：著者が実現したいと思った目的・目標（言い換えれば、実現しようとする「製品」）を記述し、それを実現するために設定した仮説（科学技術の言葉で書かれた目標へのアプローチ、シナリオ）を記述する。

②構成の方法：著者は目的・目標を実現するために、必要な要素技術をどのように選択し、どのように組み合わせさせて統合を行ったか、その研究のプロセスを記述する。

(2) 目的・目標となる「製品」とその実現へのアプローチ、シナリオの記述

研究の目的・目標を記述するということは、それを実現するための具体的な「製品」を記述することになる。さらにそこに至るアプローチやシナリオを記述することが求められる。例えば、交通事故の低減という目的のためにどのようなシナリオを著者は考えたのか、そのためにどのような要素を選択し組み立てたのか、その要素と要素の関係はどう設定したのかなどを記述する。その上で、どのような論理的連鎖と道筋によりその目標の実現が可能になると考えたのか、数多くある選択肢の中でなぜその道筋を選択しシナリオを描いたのかなどを記述する。

(3) 要素技術の選択・統合による構成的方法の記述

目的・目標となる「製品」を実現するために要素技術をどのように選択し統合していくか、なぜその組み合わせを選択したのかを書くことに意義がある。そこに第2種基礎研究の本質があるのではない。「製品」の実現のために必須の要素技術であれば、著者にはそれを全部書いてほしい。また、社会的価値を持つ「製品」を目標として設定した場合、通常は単一の技術領域内だけでは解決できないことが多い。そのとき研究者は、自ずといくつかの技術領域にわたる構成的方法を取らざるを得ない。著者にはそれを書いてほしい。それら要素技術を統合していく具体的な方法論を記述することが重要であり、そ

れを一般化できるとさらに大きな意義がある。

(4) 要素技術の中のコア技術

通常研究者はコアになる要素技術を開発することをめざし、それを第1種基礎研究の学術誌に発表する。第2種基礎研究の論文を書くに際して複数の要素技術を組み合わせるが、それらの要素技術すべてが同等の重みで寄与しているわけではなく、コアとなる要素技術があり、それに他の要素技術を足して統合したという構成の方法もありうる。なお選択した要素技術の中に自己のオリジナルな技術でないものも含まれることは当然であり、それは問題ではない。

(5) 科学技術の言葉で「製品」の社会的価値を語り、要素技術は第1種基礎研究の論文を引用

「製品」の問題意識が明記されること、つまり、著者にはなぜその「製品」を実現しようとしたか、「製品」の社会的価値を書いてほしい。そのときは科学的根拠に基づいて記述することが必要である。必須の要素技術の説明は第1種基礎研究の論文を参考文献として引用する。

(6) 第2種基礎研究の論文のオリジナリティー

個々の要素技術の研究成果は、それぞれの第1種基礎研究の学術誌に発表し、それを第2種基礎研究（あるいは製品化研究）のシンセシオロジー誌の論文で引用してよい。このとき、シンセシオロジー誌の論文は何が価値なのかを表現できていないといけない。要素技術の組み合わせのオリジナリティーはその1つである。2つ目のオリジナリティーとしては、「製品」あるいは研究の目標に至る科学技術的なアプローチがある。また目標設定そのものにもオリジナリティーはありうる。ただし、そこには見解の違いが生じることもありうる。例えば地球温暖化では、論文として事実を客観的に書き、ある前提の下にこうなるだろうと書くのが第1種基礎研究の論文である。しかし第2種基礎研究では、シナリオの妥当性が大きな意味を持つ。また、目標については現在の価値と将来の価値がある。研究者としての直感的な判断が問われるだろう。しかし基本的には科学技術の言葉

で表現された論理的な道筋が重要である。この点については論文の査読者の力量も問われることになる。

(7) 読んで面白いジャーナル

「有益な情報を提供できるジャーナル」、つまり読んで面白いジャーナル、面白い論文、専門分野外の人にとっても興味あるものをつくりたい。いままでの第1種基礎研究の論文では、研究者にとって面白くことをあえて書かない場合が多いのではないか。研究者としての動機や目標に対する到達度など書いてあった方が興味がわく。

(8) 選択における研究者の意図と意思の尊重

要素技術の選択や構成の方法には客観的・演繹的な考えだけではなく、研究者の意図とか意思が入ってくるので、それを書いてよい。現在の第1種基礎研究の論文には、なぜそれらの要素技術を選んだかがほとんど書かれていない。論理ではなく、「直感」かもしれないが、著者にはできるだけどういう直感なのか書いてほしい。問題は、それらを選ぶことと最適化することであろう。

(9) 使用する言語について

論文の言語を日本語にするか英語にするかで、かなり濃密な議論を行った。日本人にとっては日本語でないと目標の意義や、シナリオ、要素の選択・統合方法などの細かい記述をするのは困難であろうし、何より日本人の読者が読んでくれないのではないかと考えられた。一方で、英語の論文でないと世界中の読者に読んでもらうことは不可能である。そこで両方の利点を活かす策として、オリジナルの論文の言語は日本語（日本人の場合）とし、数か月後に英訳版を発行することとした。もちろん日本語を母国語としない人は、初めから英語での投稿も受け付けることとした。

(10) 発行形態について

シンセシオロジー誌「Synthesiology」およびその英訳版「Synthesiology English Edition」の発行形態は、印刷版を基本としつつも、産総研のWebサイトおよびJ-STAGE上で電子ジャーナル版としてWeb公開を行

うこととする。

(11) ジャーナルの名称について

ジャーナル名を、統合という意味を持つSynthesisと学を意味する-logyをつなげたSynthesiology（シンセシオロジー）とした。これは造語である。Synthesisはギリシャ語由来の語で、Syn（一緒に）＋the（置く）＋sis（こと）であり、-logyはやはりギリシャ語であるlogos（神の言葉）から来た語で、logic（論理）などと同じ語源である。科学的理解を社会に活かすためには、要素技術的な科学的知見をいかに統合するかが重要であるという考えからSynthesisという語を基にし、その研究開発成果を社会還元するための統合的・構成的な営みをジャーナル上に蓄積することによってその論理や共通原理を見いだすことを目的としていることから-logyをつけて、「Synthesiology－構成学－」とした。

以上の課題を踏まえつつ、いよいよ新ジャーナルの創刊準備に入った。重要なのは、このような学術誌に投稿してくれる研究者がいるかということである。そこで産総研内では、第2種基礎研究で顕著な成果をあげている研究者に集まってもらい理事長を含んだ座談会を行ったり、インタビューなどを通して執筆者を発掘し論文作成の依頼や勧誘を行った。以上のような議論を踏まえていよいよ創刊に結びつけることができた。

4. 発刊の趣旨

学術誌の意義を述べた発刊の趣旨（抜粋）を、次に掲げる⁴⁾。また創刊号の表紙を図2に示す。

研究者による科学的な発見や発明が実際の社会に役立つまでに長い時間がかかったり、忘れ去られ葬られたりしてしまうことを、悪夢の時代、死の谷、と呼び、研究活動とその社会寄与との間に大きなギャップがあることが認識されている。300年あまりの近代科学の歴史を振り返れば分かるように、基礎研究の成果が社会に活

図2 Synthesiology創刊号（2008年1月）

かされるまでに時間を要したり、埋没してしまうことが少なくない。

大きな社会投資によって得られた基礎研究の成果であっても、いわば自然淘汰にまかせたままでは、その成果の社会還元を実現することは難しい。そのため、社会の側から研究成果を汲み上げてもらうという受動的な態度ではなく、研究成果の可能性や限界を良く理解した研究者自身が研究側から積極的にこのギャップを埋める研究活動（すなわち本格研究）を行うべきであると考えます。

これまでの学術雑誌は、科学的発見といった基礎研究（すなわち第1種基礎研究）の成果としての事実的知識を集積してきた。これに対して、研究成果を社会に活かすために行うべきことを知として蓄積する、すなわち当為的知識を集積することを目的として、ここに新しい学術ジャーナルを発刊する。自然についての知の獲得というこれまでの科学に加えて、科学的知見や技術を統合して社会に有益なものを構成するための学問を確立することが、持続的発展可能な社会に科学技術が積極的に寄与するための車の両輪となる。

この「Synthesiology」と名付けたジャーナルにおいては、成果を社会に活かそうとする研究活動を基礎研究（すなわち第2種基礎研究）とし

て捉え直し、そ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、また要素技術の構成・統合のプロセスが記述された論文を掲載する。どのようなアプローチをとれば社会に活かす研究が実践できるのかを読者に伝え、共に議論するためのジャーナルである。

なお、発刊の趣旨は各号の表紙裏に必ず掲載して、どの号を手にとってもこの学術誌がめざしている理念がわかるようにしてある。

5. 執筆要件と査読について

執筆要件と査読基準を表2に掲げる。すでに前章までに掲げたいくつかの必須条件、すなわち研究目標、研究目標と社会のつながり、研究目標を達成するためのシナリオ、要素の選択と統合などの記述を備えた研究論文であることを要請した。

論文の査読は通常、2名の査読者で行うこととし、さらに最終的に編集委員会で掲載の可否を決定することとした。査読者には、産総研内の研究者を中心にあらかじめ二十数名に依頼した。査読者は必ずしも著者と同じ研究分野の人だけを当てているわけではなく、他の研究分野であっても横断的な俯瞰力を持つ人に査読を依頼している。筆者らもかなりの数の論文の査読を行った。査読者が自己と異なる研究分野の論文を適切に査読できるかどうか当初懸念されたが、驚いたことに異なる研究分野の論文でも十分に理解し、意見を提出できることがわかった。これはシンセシオロジー誌の論文が個別分野における深

掘りの論文ではなく、構成の方法論を中心に記述する論文であり、分野を横断した共通性を有しているからであろう。

また本学術誌の査読の大きな特徴は、査読者の名前を公表することと、著者と査読者との間の議論を論文の最後に掲載することである。これは、論文の記述だけからではわかりにくい側面や著者自身が気づいていなかった点などを査読者が指摘し、それらを基に進めていく議論をベースに読者の理解を助けようとの期待から行ったものである。これによって、他の研究者が研究シナリオをどのようにとらえようとしているかがわかり、その研究を理解するのに大きな助けとなるものである。まず査読者との議論を読んで、面白そうだったら本文を読むという読者もいるようである。一例として図3に「Synthesiology 論文における構成方法の分析」⁵⁾の論文に関する著者と査読者の議論の一部を示す。

6. イノベーションに向けた構成方法

最近、シンセシオロジー 1巻1号から3巻4号に掲載された約70編の論文を対象に構成的研究の方法を分析した論文がシンセシオロジー誌に掲載された⁵⁾。分析対象とした論文の内訳は、環境・エネルギー分野9編、ライフサイエンス分野17編、情報通信・エレクトロニクス分野12編、ナノテク・材料・製造分野14編、標準・計測分野12編、地質分野6編である。これらの6つの分野は、産総研が従来から重点を置いている研究分野である。その際、筆者の1人（小林）が以前提案した①アウフヘーベン型（2つの相反する命題を止揚し、新概念を創出する）、②ブレークスルー型（重要基幹技術に周辺技術を結合させ統合技術に成長させる）、③戦略的選択型（要素技術を戦略的に選択し構成を行う）を構成方法の基本型として考慮した⁶⁾（図4参照）。

全体としては、これまでシンセシオロジー誌に掲載された論文はかなり学際的で共通点があるものの、

表2 論文の執筆要件

1	研究目標の設定
2	研究目標の社会的価値
3	シナリオの提示と要素の選択
4	要素間の関係付けとそれらの統合・構成
5	結果の評価と将来の展開
オリジナリティ	・設定したシナリオ、選択した要素、統合・構成の方法
参考文献	・第1種基礎研究の成果は参考文献で引用

査読者との議論

議論1 全体評価

コメント (上田 完次:産業技術総合研究所)

シンセシスの科学としての構成学の確立を、実践を通して目指した論文であり大変興味深く意義のある論文と考えます。

議論2 論文のタイトルと目的

質問・コメント (上田 完次)

この論文の目的は、研究成果を社会につなげるための構成学を目指す(副タイトル)のために、*Synthesiology* の掲載論文における構成方法の分析(主タイトル)を行うと理解できます。既存論文のアナリシス(という方法)により、構成学という新しい“学”をシンセシス(創出という目的)する、すなわち、この論文のポジショニングは、「シンセシス by アナリシス」であると理解してよろしいでしょうか。もし、そうであれば、そのように言及するのがよいと思われます。

回答 (小林 直人)

とても明確な示唆を有難うございます。ご指摘のとおりで、この論文の目標は副タイトルにある「新たな構成学を目指す」ことにありますが、そのために主タイトルの「構成方法の分析」を行ったと理解いただければと思います。その意味では、まさに「シンセシス by アナリシス」であると言うことができます。その趣旨を、第1章の最後に付け加えました。

議論3 「統合」と「構成」:用語の定義と使い方

コメント (小野 晃:産業技術総合研究所)

シンセシオロジーでは「統合」と「構成」は中心的概念となっています。これら二つの用語はこの論文でも多く用いられていますので、定義と使い分けについてコメントします。

「統合」と言うときは、もともと別々であった要素を統べて一つにまとめ合せる過程とその事実に至る関心があります。まとめ合せた結果どのようなものができ上がったかへの関心は従たるもののように思えます。なお「統合する」という動詞の直接目的語には要素がきます。

一方、「構成」と言うときは、結果としてでき上がったものの方に視点がおり、それがどのような構えをしており、どのような要素から成り立っているかに主たる関心があります。他方、要素をまとめ合せる過程への関心は従たるもののように思えます。なお「構成する」という動詞の目的語にはでき上がったものがきます。

以上のような用語の定義でよろしければ、この論文の「統合」と「構成」の用語の使い方を見直していただければと思います。

回答 (小林 直人)

興味深いご指摘ありがとうございます。確かに「統合」は要素を合わせていく「過程」に中心があり、一方、「構成」は、「ある目的に向けて」「統合」と並行しつつ各要素の相互作用をより「精密に調節」していくと考えられます。その観点から語の使い方を見直すとともに「構成・統合」と言う時は順序を逆に、「統合・構成」という言葉に改めました。

議論4 構成要素間の関係とフラクタル構造

コメント (小野 晃)

シンセシオロジーの構成方法の3つの基本型が図1に提示されています。要素技術と統合技術とを関係付けるこれらの図式は、互いの論理的関係を示しているものであり、必ずしも時間軸上の前後関係(矢印の方向に時間が経過すること)を示しているものではないようにも見えます。一方、図3の「螺旋」、図6の「循環」、図9と図12の「フィードバック」は、時間軸上の前後関係を示す概念に見えます。

また図2に示されているように、技術体系は一般に多層構造になっており、下位の階層での統合技術は、上位の階層にいくと改めて要素技術として位置付けられることがあります。図12の「フラクタル構造」とは、このような要素技術と統合技術の関係が事象の大小によらず互いに相似形で、同じ論理構造をもっていることが、また図3では小さな本格研究が螺旋的に展開して上位の階層でのより大きな本格研究に展開することが主張されているように見えます。

筆者も以上のような見解と考えてよろしいでしょうか。

回答 (小林 直人)

およそご指摘のとおりだと思います。図1の関係図も、時間軸上の前後関係を表していないわけではなく、例えばブレークスルー型の場合は、ある重要要素技術ができた後に、それに周辺技術を付け加えて統合技術になります。ただし、その場合でも周辺技術がすでに存在している場合もあり、「フィードバック」ほどの明確な時間的な流れの構造を示しているわけではありません。また、フラクタル構造はまさにご指摘のとおりで、下位の階層での統合技術は、上位の階層にいくと改めて要素技術として位置付けられることを示しています。さらに本格研究の場合でも同様の構造を示していると言えます。

図3 査読者との議論の例。文献5)より

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4 構成方法の基本型

以下のとおりそれぞれの分野固有の特徴もあった。

(1) 環境・エネルギー分野では、クリーン燃料の開発⁷⁾

のように明確な社会ニーズからブレークダウンした課題を戦略的に選択しつつ、要素技術が鍵となってブレークスルーとなる重要技術を生み出し周辺技術との統合技術が生み出されるという「戦略的選択型+ブレークスルー型」の構成が主として見られた。

(2) 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方法論として、循環的発展ということがあげられる。例えばバイオインフォマティクス⁸⁾ではコア技術が構成され、それが次の発展段階のホップ、ステップ、ジャンプとしてつながり、さらに、この本格研究が次の段階のホップとして循環的に発展する螺旋(スパイラル)型が特

徴と言える。

- (3) ライフサイエンス（人間生活技術）分野では、要素技術の統合と、コア技術を分類して新知見に持っていく、顧客の満足度に応じて製品を提供するシステムを作ったことが特色となっている。特徴的な研究には、個人に相応しいメガネフレームの開発⁹⁾ などがある。
- (4) 情報通信・エレクトロニクス分野では、特徴的な例として、酸化マグネシウム (MgO) のトンネル磁気抵抗 (TMR) 素子を使用した不揮発エレクトロニクスの創成¹⁰⁾ がある。これは新材料・新デバイスの開発と、実用化・商品化の鍵となる量産技術という2つの連続したブレークスルー技術が、低電力消費をめざした新たなデバイスの製品化を実現した「連続ブレークスルー型」と言える。この研究開発の成果は、実際に企業においてMgO-TMR磁気ヘッドおよびそれを搭載した超高密度ハードディスクが製品化されていることから、すでに「死の谷」を越えた研究成果といえることができるであろう。
- (5) 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¹¹⁾ が例としてあげられる。これは完全なシーズ主導ブレークスルー型であるが、同時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り、さらに用途開拓を今いろいろな企業と共同して実用化に向けて進んでいるという特徴がある。
- (6) 標準・計測分野には、計量の国家標準を確立しそれを国際単位系にトレーサブルとすること、国際的に合意した方法により国家標準の国際整合性を検証すること、社会の末端までトレーサブルな標準供給体系をつくるというミッションがあり、そこでの技術開発は主として「戦略的選択型-S (スタンダード)」と名づけることができる。そこでは研究成果の出口が明確であり、その達成のために必要な要素技術を選択・構成していくというのが特徴である¹²⁾。

- (7) 地質分野では、全体として「総合戦略型」ということができるが、他にも個別戦略型、個別戦略・分野融合型、また時間とともに型が変化して発展するブレークスルー型から分野融合型にいくものなどがある¹³⁾。変化する社会ニーズによって研究が進展し、複雑系としての地質現象が理解され、螺旋構造の相互作用をしていくという特徴がある。

構成方法に共通する第1の課題は、「技術的構成の方法」である。構成学の研究には戦略とシナリオ→要素選択と組み合わせ→社会での試用というプロセスが考えられるが、これに加えてさらに重要な要素として社会からの「フィードバック」があることが判明した。そのため要素の選択と組み合わせの例としては、前述のアウフヘーベン型、ブレークスルー型、戦略的選択型に加えて実社会との擦り合わせを重視する螺旋（スパイラル）型が重要であることも明らかになった。

なお、構成方法における分野の特性として、物理や化学、機械、デバイス技術や計測標準のように要素技術がほぼ明確に定義され構成方法も比較的シンプルなものから、環境・エネルギー、地質のような複雑系、さらにはバイオロジー、人間生活技術、情報システムのように社会との関わりを含めた複雑相互作用系になると、構成方法が変化し、複雑性が増していくということも判明した。この特徴が構成方法の分野の特性にも表れており、材料の分野ではブレークスルー型が多いのに対して、目標やシナリオがより重要で構築可能な分野では戦略的選択型が多くなっている（図5参照）。

構成方法に共通する第2の課題として「社会導入に向けた構成」がある。社会導入には、技術開発とは独立・並立的な社会的な行為が要素に入ってくること、機能性以外の感性などの別の価値の付与やインパクトあるコンセプトの必要性、などがあげられる。また短期的利益を断念して必要な要素の種をまいて自律的構成を促すことも求められる。そして、技術

図5 構成方法における分野的特性

- 「産業技術の社会受容」ー既存の3モデルを統合した環境製品普及評価モデルの構築ー 松本他, 2(1) 2009
- 「PAN系炭素繊維のイノベーションモデル」ー励振モデル; ー研究者の活動とマネージメントの相乗効果ー 中村他, 2(2) 2009
- 「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」ーIH技術に対する調理システムの開発と普及ー 久保他, 2(3) 2009
- 「臨床情報学のための野外科学的方法」ー技術移転の方法論に向けてー 木下他, 3(1) 2010
- 「サービス工学としてのサイバーアシスト」ー10年早すぎた? プロジェクトー 中島他, 3(2) 2010
- 「紫外線防御化粧品と評価装置の製品化」ー産総研の論理・戦略的方法と工業技術院の経験・試行錯誤的方法を組み合わせた地域連携型の製品化研究ー 高尾他, 3(2) 2010
- 「研究戦略の形成とそれに基づいた構成的な研究評価」ー創造的営みとしての研究プログラム評価にむけてー 小林他, 4(1) 2011
- 「人の認知行動を知って製品やサービスを設計する」ー構成的研究のための認知的クロノエスノグラフィ法の開発ー 赤松他, 4(3) 2011

図6 社会導入に向けた構成法に関連した論文例

だけの問題ではなく、社会からのフィードバックにどう応えるかということが重要になる。図6に「社会導入に向けた構成」に関連する論文の例を示す。

7. 外部からの反響について

シンセシオロジー誌には外部からの反響を得るために、巻末に「Synthesiology」読者アンケートというハガキが添付されている。またWebサイトにも読

者アンケートのページがあり、これらにより読者からの意見を多く得ることができた。1巻および2巻でのアンケートの返送は全部で約90通あったが、産業界から65%、官公庁・公共機関から7%、大学等教育機関から9%、法人・団体から8%、その他10%の意見があり、圧倒的に産業界の方々の関心が高いことがわかる。その特徴的な意見の例をあげると、「研究内容の専門性が高い点は理解することに壁となるが、実用性、事業性としての社会、生活、人へのメリッ

トとの連続性を意識する研究スタイルを確立するすばらしい試みと考える（マスコミ）」、「最新の研究開発と実社会とのクロスポイント（関わり合い）がよく示されている内容と思い、高く評価している（自営業）」、「新しい技術を、産業界レベルの人間に興味を持てるように解かり易く書いている点及び応用、適応例、分野を書いている勉強になる。このような新しい有望な情報に接する事は楽しい!!（企業・技術職）」、「構成学という今までの研究者にはレベルが低いとされていた世界に日を当てた点には評価したい。産業界では常識であったことが研究界でも認識されたことは、今後の科学技術の発展が身近なものとなりそうで大いに期待している（企業）」、「査読者との議論やコメントがあるのは論文内容を理解する上で、助けになり非常に良い。今後の課題、今後の展望があるのも通常の論文と異なり実用性重視の取り組みが特色として見受けられて良い（企業・研究開発職）」、「編集方針が述べられており、中でも「研究論文の記載内容」「査読について」に興味を引かれた（企業・事務職）」などであり、編集委員会のねらいが概ねよく理解されていることに注目したい¹⁴⁾。また海外からも反響があり、特に米国IEEE経営評議会G.H.Gaynor会長は、「この論文誌は異なる分野の知識を統合する機会になり、アカデミアにおいて広い基盤を持つ工学とマネジメント教育に立ち返る機会を与えてくれる」という意見を寄せられた¹⁵⁾。

8. 今後の課題

ここでは、今後のシンセシオロジー（構成学）の課題と発展について考えてみる。

第1の課題は、「目標の設定とそれに向けたシナリオの構成」である。明確な目標を設定すると同時にそれを実現するためにどのようなシナリオを構築するかがポイントである。このシナリオの分析については、筆者らのグループで現在取り組み始めたところであるが、シナリオを作るにあたっても構成的な

考えが必要であろう。ここでは、目標に至るいくつかの道筋の中から研究者が最適なものを選択しその道筋に沿って、要素を積み重ねていく際の直感性と論理性が必要である。この場合、当然ながら技術的な要素だけではなく、研究開発を取り巻くさまざまな要素が影響を与える。そして、限られたリソースと時間と環境の制約の中で、どのような道筋を選ぶかという戦略が重要になってくる。その際、論理展開としては演繹（Deduction）、帰納（Induction）に加えて仮説的推論（Abduction）の方法の採用も重視すべきである¹⁶⁾。特に、研究に着手したときのシナリオ構築においては、十分な知見が集まっていないことから、仮説的推論がむしろ中心になっているといえる。

第2の課題は、すでに述べた「技術的な構成」である。6章でこれまでのシンセシオロジー誌に掲載された論文の分析を紹介したが、その大半はこの「技術的な構成」の方法論の提示が主であった。その中では、いくつかの基本型とその線形的な構成に加えて、各プロセスへのフィードバック、特に現実社会との関わりからのフィードバックの重要性が明らかになった。今後は、この方法論の事例をさらに収集して分析を行い、その特徴を明らかにすることが重要である。

第3の課題は、最重要な「社会導入に向けた構成」である。これは、「技術的な構成」よりも格段に難しい。研究成果を社会に導入していくためには、研究開発以外の要素がもつ役割も大きい。その際、社会ニーズが明確になっている場合とそうでない場合、産業としての確立・拡大を図る場合などで、それぞれ異なったアプローチが求められる。この課題においても今後は、さらに事例を収集・分析することによって、より明確な方法論を明らかにしていきたい。

最後の課題は、シンセシオロジーの普及である。まだ産総研内部からの投稿が80%以上を占める。外部からは大学からが主であるが、企業関係者からも数件の投稿があった^{17),18)}。今後は広く国内外からよ

り多くの投稿を期待したい。さらに重要なことは、シンセシオロジー誌に掲載された論文を読んだ読者が、それらに触発されて構成法を自分の研究開発に応用したり、あるいは独自の構成法による研究開発を行い、その成果を社会において実践に役立てることである。研究開発の成果をイノベーションに結びつけるのは決して容易ではないが、シンセシオロジーの研究論文が契機となってそれが実現できれば極めて意義深い。そのイノベーションの成果をまた論文にしていいただければ一層有益であろう。

9. おわりに

創刊から5年間を経て、シンセシオロジーの来し方行く末を考察してみた。5年は長いようでも、あっという間であった。シンセシオロジーは、離陸はしたものの、まだまだ上昇中でとても安定飛行に入ったとは言えない状態である。第2種基礎研究はかなり進展しているものの、社会的な成果に結びつけるには、研究開発以外の要素も含んだ地道な研究が欠かせな

い。シンセシオロジーが、第2種基礎研究を社会になげるにあたっての構成学の方法論を提示できれば大きな意義があり、それをイノベーションにつなげることができれば、われわれにとって望外の喜びである。今後は、世界中からの論文投稿を受けて大きく飛躍することを目指し、さらなる努力を続けていきたいと考えている。ご関心のある方々からの、厚いご支援ご協力を頂ければ幸いである。

謝辞

第2種基礎研究を含む本格研究の考え方を提唱されて本学術誌創刊の契機を与えていただき、その後も常に重要な示唆を頂いている吉川弘之先生には、深甚の感謝の意を表します。また本誌を無事創刊に結びつけその後も安定的な編集・出版事業を担っている編集委員および事務局の皆様にも大きな謝意を表します。また、これまで投稿された多くの論文著者の皆様、議論に参加してシンセシオロジーの発展を支えていただいた査読者、研究者、読者の皆様に心から御礼を申し上げます。

本文の注

- 注1) 第2種基礎研究：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。また、その一般性のある方法論を導き出す研究も含む。
- 注2) 第1種基礎研究：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いう。
- 注3) 製品化研究：第1種基礎研究、第2種基礎研究および実際の経験から得た成果と知識を利用し、新しい技術の社会での利用を具体化するための研究。
- 注4) 本格研究：研究テーマを未来社会像に至るシナリオの中で位置づけて、そのシナリオから派生する具体的な課題に幅広く研究者が参画できる体制を確立し、第2種基礎研究を軸に、第1種基礎研究から製品化研究を連続的・同時並行的に進める研究を「本格研究 (Full Research)」と呼ぶ。
- 注5) 「悪夢の時代」は吉川弘之と歴史学者ヨセフ・ハトバニーが命名。「死の谷」は米国連邦議会 下院科学委員会副委員長であったバーノン・エーラーズが命名。ハーバード大学名誉教授のルイス・ブランソムはこのギャップのことを「ダーウィンの海」と呼んだ。

参考文献

- 1) 吉川弘之. 本格研究. 東京大学出版会. 2009, 288p.
- 2) 吉川弘之. 第2種基礎研究の原著論文誌. Synthesiology. 2008, vol. 1, no. 1, p. 1-6.
- 3) 小野晃, 赤松幹之. シンセシオロジー (構成学): 構成的研究の方法と記述. Synthesiology. 2010, vol. 3, no. 2, p. 164-168.
- 4) 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. 2008, vol. 1, no. 1, p. i.
- 5) 小林直人, 赤松幹之, 岡路正博, 富樫茂子, 原田晃, 湯元昇. Synthesiology論文における構成方法の分析. Synthesiology. 2012, vol. 5, no. 1, p. 36-52.
- 6) R. K. レスター, 小林直人. シンセシオロジーへの期待. Synthesiology. 2008, vol. 1, no. 2, p. 139-143.
- 7) 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. 2008, vol. 1, no. 3, p. 176-182.
- 8) 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. 2009, vol. 2, no. 4, p. 299-309.
- 9) 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. 2008, vol. 1, no. 1, p. 38-46.
- 10) 湯浅新治, 久保田均, 福島章雄, 薬師寺啓, 長浜太郎, 鈴木義茂, 安藤功兒. 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. 2009, vol. 2, no. 3, p. 211-222.
- 11) 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. 2008, vol. 1, no. 3, p. 183-189.
- 12) 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. 2010, vol. 3, no. 1, p. 1-15.
- 13) 脇田浩二, 井川敏恵, 宝田晋治, 伏島祐一郎. シームレスな20万分の1日本地質図の作成とウェブ配信. Synthesiology. 2008, vol. 1, no. 2, p. 82-93.
- 14) シンセシオロジー編集委員会. 読者フォーラム. Synthesiology. 2010, vol. 3, no. 1, p. 93-94.
- 15) シンセシオロジー編集委員会. 読者フォーラム. Synthesiology. 2009, vol. 2, no. 1, p. 90.
- 16) 小林直人, 中村修, 大井健太. 研究戦略の形成とそれに基づいた構成的な研究評価. Synthesiology. 2011, vol. 4, no. 1, p. 11-25.
- 17) 伊藤肇. 自動車用ナビゲーションの総合的開発. Synthesiology. 2011, vol. 4, no. 3, p. 157-165.
- 18) 西岡潔, 水谷泰, 上野博則, 川崎博史, 馬場靖憲. 鉄鋼厚板製造プロセスにおける一貫最適化に向けて. Synthesiology. 2012, vol. 5, no. 2, p. 98-112.

Author Abstract

A scientific journal named Synthesiology (kouseigaku) which includes original papers based on the type 2 basic research was newly published in 2008. In the research paper to be published in Synthesiology, authors are requested to show the clear objective of the research, the scenario which leads to the realization of the objective, and the selection and integration of the elemental technologies according to the scenario. In this paper, we have introduced the philosophy of the journal, the circumstances and purpose of the publication,

and the results of the analysis of synthetic methodology revealed in the 70 papers which were published in the journal. A kind of methodology called “technological synthesis” has been found to be important, and a continuous follow-up process called “synthesis for social introduction” is also found to be necessary to introduce the research results to society. Precise analysis and the development of the synthesis, use and role of the research scenario are recognized to be necessary in the near future.

Key words

Synthesiology, synthetic study, scenario, elemental technologies, type 2 basic research, technological synthesis, synthesis for social introduction