

人工物工学の新たな教育展開

— 創出のための理解と振り返りを重視したプロジェクト型演習 —

原 辰徳*、ホー バック、白藤 翔平、沖田 泰良、栗山 幸久、越塚 誠一

人工物の構成型教育では、問題解決や創出のみならず、それらがもたらし得る影響の省察が重要である。この論文では、(I) 人工物創出のための共通視点の理解、(II) プロジェクト型演習による実践、(III) 相互評価と振り返りによる省察、から構成される人工物システムの教育方法を構築する。構成型工学のカリキュラムに基づき設定された (I) が、(II) と (III) を通じてどのように獲得・向上するかを明らかにするため、東京大学大学院において集中講義を3年間実施した。各視点の理解度合いには差があり、性能評価・計測と使用・保守は演習を通じて早期に、設計・構成と機能・サービスは振り返りを通じて理解が促進されることがわかった。また (I) の観点での批評的思考の副次効果が見られた。

キーワード: 構成型工学、人工物工学、Project-Based Learning (PBL)、デザイン、サステナビリティ

New educational development of artifactology

—Project-based learning that emphasizes engineering foundation for synthesis of artifacts and reflection—

HARA Tatsunori*, HO Bach Q., SHIRAFUJI Shohei, OKITA Taira, KURIYAMA Yukihiisa, KOSHIZUKA Seiichi

In the synthesis-oriented education of artifacts, not only problem solving and creation but also reflection of their new effects are important. This paper constructs an education method for an artifact system that involves (I) understanding common viewpoints for creation of artifacts, (II) practice by project-based learning, and (III) reflection by mutual evaluation and retrospection. In order to clarify how (I) is acquired and improved through (II) and (III), intensive lectures were conducted for three years at the University of Tokyo. It was shown that there was a difference in the degree of understanding of each viewpoint, and that understanding was promoted through practice in performance evaluation, measurement, use and maintenance, and through retrospectives in design, integration, function and service. The secondary effect of critical thinking from the viewpoint of (I) was also observed.

Keywords: Synthesis-oriented engineering, artifactology, project-based learning (PBL), design, sustainability

1 序論

1.1 人工物工学研究センターと構成型科学

1992年に設置された人工物工学研究センターの目的は「人工物工学に関する研究教育を行う」ことであった^[1]。2013-2019年の第三期では、個のモデリング、人工物創成の社会技術化という観点からアプローチすることで、人工物と個・社会・環境の持続的調和関係の共創的構築の方針が述べられていた^[2]。このセンターの教員による人工物工学に関する研究、ならびに修士・博士課程学生の研究教育では、「現代の邪悪」の発生防止と解決、ならびに設計科学に特徴づけられる。

ここ数十年の間に我々が直面してきた「現代の邪悪」は、人工物と他との調和、あるいは地球持続性に対する評価のための知識等を考慮せずに領域化と細分化が繰り返され

た結果、独立な領域知識に依拠して、相互に調和しない人工物を多く産出し環境を劣化させてしまった状況に起因している。

90年代より議論が行われてきた設計科学は、プログラムの科学、構成型科学とも呼ばれてきた。科学技術振興機構 研究開発戦略センターによる報告書^[3]では、ある対象が社会の中で持続的進化をするための基本ループは、観察者、構成者、行動者、および対象からなり、この4要素間のコミュニケーションによる情報循環の必要性が述べられている。この情報循環と持続的進化のループにおいて科学が重要な役割を果たす時、図1に示されるように、観察者として観察型科学者が、構成者として構成型科学者が存在する。観察型科学者は、先に述べた領域化と細分化によって科学的知識を生成する。一方、構成型科学者は、細分

東京大学大学院 工学系研究科 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1
Graduate School of Engineering, The University of Tokyo 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan
*E-mail: hara@tqm.t.u-tokyo.ac.jp

Original manuscript received June 30, 2020, Revisions received October 12, 2020, Accepted December 3, 2020

化された領域知識を統合し、実社会の行動者に対して新たな知識提供や行動規範を提供する役割を担う。また、対象は、行動者による行為が作用を及ぼす社会・人・自然環境等である。図1では、さらにこれら四要素を、科学／実践の方法軸と解明／創成の目的軸で整理している。そして、ここでの構成型科学者を、特に工学の立場から整理し、備えるべき知識をまとめたものが、後述する吉川による構成型工学^{[4][5]}のカリキュラム案である。

1.2 大学院における問題解決・構成型科学の教育

工学部生に対する工学教育を概観してみると、2000年頃から行われてきたProject-Based Learning (PBL) 型教育^{[6][9]}に加えて、PBLの具体的な進め方として、デザイン思考^[10]を取り入れた教育プログラム^{[11][12]}が近年では多く見られるようになった。そこでは先に述べた構成者、行動者としての問題解決や創出の成否に重点が置かれているが、これはグループワークやワークショップ等の一般的な方法に強く依存している。その成否に依らず、「何を学んだか／何が身についたか」という振り返りをPBL後に行うためには、PBLの実施に必要な創出のための理解、つまり構成型科学に関する知識の事前習得が重要である。図2は、図1で示した解明／創成、科学／実践の軸を用いて、こうしたPBL型教育によく見られる構成と課題を示している。

2010年頃からは、PBLの流れを受けた上で、国内の主要国公立・私立大学において大学院生を対象とした学融合・分野横断型のデザインスクール^[13]やイノベーションスクール^[14]が設置された。これらのデザインスクールでは、1年ないしは2年をかけて、各自の専門性をもった学生がいわば副専攻として構成型科学を学ぶとともに、異分野の学生同士の協働による問題解決と創出に取り組まれている。また、システム工学の領域を拠り所とし、デザインだけでなく、システムのマネジメントにも注目した教育カリキュラムもある^[15]。

1.3 人工物システムの教育に必要なコンピテンス

人工物工学は、構成型科学を志向する点ではデザインスクール等と共通する。ただし、現代の邪悪の観点からすると、分野横断、学融合、知識の不完全さが生み出し得る副作用に対して、どれだけ注意深く取り組み、あらかじめ解決したり組み入れたりできるか、あるいは設計後に省察できるかが極めて重要である。これはすなわち、人工物システムの構想・設計段階において、その持続可能性（サステナビリティ）を検討できる能力にあたる。この能力が具体的に何かを考える上で、持続可能な開発のための教育 (Education for Sustainable Development: ESD)^{[16][19]}が参考になる。Wiekは、ESDに関するさまざまな文献を調査した上で、習得すべき主要なコンピテンスとして、以下の5つをまとめている^{[17][18]}。

- (a) System thinking competence
- (b) Futures thinking, or anticipatory competence
- (c) Values thinking, or normative competence
- (d) Strategic thinking, or action-oriented competence
- (e) Collaboration, or interpersonal competence

これらのうち、(a) (b) (c) を人工物創出に当てはめれば、(a) 人工物システムに関わるさまざまな領域知識や人・社会の行動との関係を的確に捉える能力、(b) その人工物システムが生み出し得る副作用や意図しない効果の中長期に亘って予測する能力、(c) その人工物システムを含む人-社会システムのあるべき姿とビジョンを策定する能力、である。この研究で目指す人工物システムの教育では、これらの能力の習得に注目する。これを促進する上では、多くのデザイン思考の背後にあるように人間中心^[20]に考えるだけでなく、人・社会が利用する人工物システムのさまざまな局面を明示する必要がある。例えば上田らは、創発的シンセシスを方法論的背景として人工物の価値創成クラスモデル（提供価値型、適応価値型、共創価値型）を構築

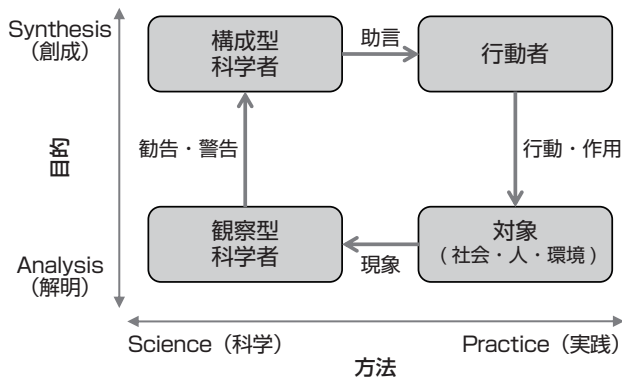


図1 情報循環と持続的進化における2種類の科学者のタイプ

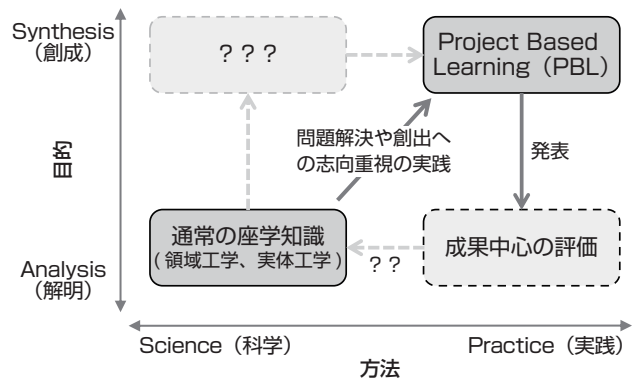


図2 PBL型教育によく見られる構成と課題

しており^[21]、これを人工物ドミナント・ロジック (Artifact Dominant Logic; ADL) とも呼称している^[22]。このモデルは相互作用に基づいた人工物の価値創出方法の理解に有効であるが、人・社会が人工物システムを利用する局面への言及が限定的であり、学部・大学院生に対する演習型教育に落とし込むことは容易でない。

1.4 この研究の目標・シナリオと集中講義の構成

以上を元に、この研究では、人工物がもたらし得る副作用の分析とその解消にあらかじめ取り組むことができるような人工物システムの構想・設計に関する教育方法の構築を目標とする(図3上部)。この実現シナリオとして、従来のPBL型教育に不足していた講義要素を追加した講義体系を描く。具体的には、図3下部に示すように「人工物創出のための共通視点の理解」「プロジェクト型演習による実践」「相互評価と振り返りによる省察」の3つの講義要素を選択する。これらの講義要素は、図1と図2で示した解明/創成と科学/実践の元に位置付けられる。「人工物創出のための共通視点の理解」は、PBLで見落とされがちな創成の科学であり、吉川による構成型工学カリキュラムに基づき設定する。「相互評価と振り返りによる省察」は実践解明(分析)であり、演習による問題解決の成否中心ではなく、学んだ共通視点の深い理解を目指して実施する。

この研究の目的は、これら3つの講義要素がどのように関係し合い、人工物創出のための理解の獲得にどのように貢献するかを明らかにすることである。そのために、構築した教育方法を集中講義として組み立て、2016年から2018年に東京大学大学院工学系研究科「人工物を創出するための理解 I, II」として実施した^{註1}。

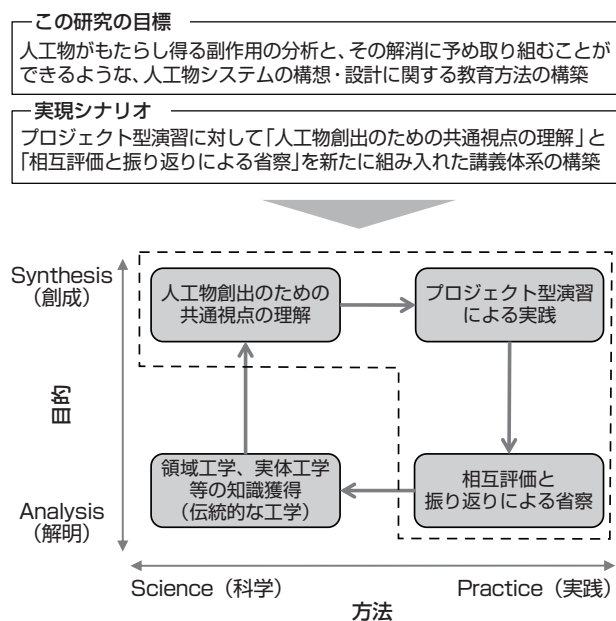


図3 この研究の目標・シナリオと集中講義の構成 (点線枠)

2 構成型工学と人工物創出の共通視点

まず、吉川による構成型工学のカリキュラム案^{[4][5]}について述べる。工学部の一般的なカリキュラムでは、領域別の要素工学(領域工学)や、ある人工物に着目した実体工学の座学を中心に構成される。要素工学が物理学の秩序で体系化されるのに対して、実体工学は操作に注目した体系である。そして、操作とは人間にとっての意味であるから、実体工学は意味の秩序によって体系がつくられている。それらはその人工物を創成したり操作したりする知識項目であり、まずその製品を特徴づける[機能・サービス]があり、次にその人工物に特化した[設計・構成][製造・生産][性能評価・計測][使用・保守]、そしてその社会的問題を論じる[社会技術]がある。これらの操作は製造業等現実世界において共通に見られる行為であるが、実体工学に基づく限り、対象製品(人工物)ごとに特化した形で扱われたり、一部の操作に関する知識が不在であったりする。

対して、構成型工学では、実体工学の操作体系を保持しながらも、対象人工物ごとの特殊性を排除していく。これを実現するためには、人工物の縦の構造の排除が必要であり、図4のように書くことができる。また、ここで想定する人工物は、ある人工物そのものというよりも、他の人工物・人間・環境との関わりも含めた「人工物システム」である。

また吉川は、シンセシオロジー誌に掲載された構成型研究に対する分析を元にして、これらの操作知識を、構成型研究あるいは広義のデザインにおいて実現すべき項目、すなわち要求機能と位置付けている^[23]。そして、これらをテンプレートのように一般化し形式化することで、目標機能の実現とともに、副作用の除去を行為のデザインそのものに埋め込むことが期待できるとしている。そのため、これらの操作知識の整理は、人工物システムの学生教育に限らず、構成型科学者が行うべき構成型研究を確立する上でも重要な役割を担う。

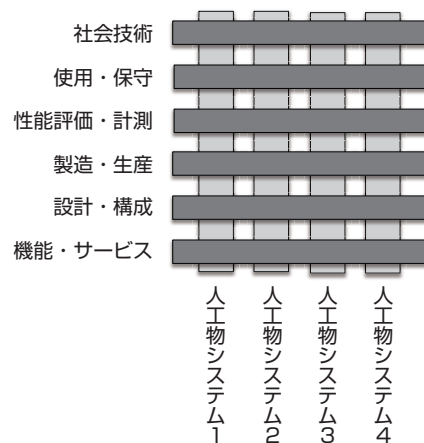


図4 構成型工学の対象

表1 人工物創出における操作・行為としての視点

操作・行為としての視点	説明
社会技術 (社会的問題を論じる)	社会問題を解決し、社会を円滑に運営するための技術を検討する(ここでの技術には、法・経済制度、教育、社会規範を含む)
使用・保守 (使用する・保守する)	劣化・故障を考慮しながら、機能の水準を維持する。使用行為を通じて、機能(便益)を享受する
性能評価・計測 (性能を評価する・計測する)	評価基準を定義し、計測を基に性能を評価する
製造・生産 (製造する・生産する)	設計によって得られた部品形状・性質を物質上に実現し、それらを組み立て、機能発現を確認する
設計・構成 (設計する・構成する)	機能の発現実体をつくりだす(どの領域知識を用いて検討するかを含む)
機能・サービス (機能・サービスを定義する)	対象とする人工物システムの機能要件を決める(言葉で定義をしたり、その性能を決めたりする)

この論文では、人工物システムの具体的な対象に依らず習得すべき共通知識としての[機能・サービス][設計・構成][性能評価・計測][製造・生産][使用・保守][社会技術]を「人工物創出の共通視点」と呼ぶ。構成型工学カリキュラムにおいては、それぞれに対応する体系的な知識の例として、一般機能学/サービス学、一般設計学、一般計測学、一般製造学、一般保全学の存在が挙げられている。これらのうちいくつかは先駆的な研究が行われてきたものの、多くは途上にある。

表1に、人工物創出の共通視点を端的に説明する。これらは操作・行為として捉えると理解がし易いために、動詞を用いて補っている。ここで、「人工物創出の共通視点のうち、ある特定の視点に問題がある」とは「現実世界において行為主体によるその操作・行為の実施が困難」であることを意味する。プロジェクト演習では、この捉え方を元に、問題分析や提案検討を進めていく。

3 集中講義のカリキュラム

3.1 概要

図3の点線枠に示した構造にて、集中講義「人工物を創出するための理解 I, II」のカリキュラムを組み、全3日間の日程で3年間実施した。受講生は、東京大学大学院工学系研究科 精密工学専攻、システム創成学専攻、技術経営学専攻の修士課程・博士課程の学生であり、受講人数は23、22、18人であった。なお、この集中講義は2単位分に相当する。

まず、左下の科学・解明には、2章で述べた領域工学や実体工学の知識習得が該当する。大学院の講義であるた

め、それぞれが専門とするこれらの知識は備わっているという前提であり、集中講義の中では新たに取り扱わない。また、1.2節で述べた様によくあるPBL型教育とは異なり、左上の科学・創成にある「創出のための理解」を学んでからプロジェクト型演習に臨んでいく点が大きな特徴である。

3.2 人工物創出のための共通視点の理解

この集中講義ではまず、1日目の午前を利用して「人工物創出のための共通視点の理解」、すなわち[社会技術][使用・保守][性能評価・計測][製造・生産][設計・構成][機能・サービス]について座学で学ぶ。これは、左上の科学・創成に位置付けられる。これにより、創出の対象となる人工物システム全体を俯瞰しながら、問題解決に必要なさまざまな視点の切り替えを醸成する。

共通視点の座学では、それぞれを専門とする教員による講義を実施した。理想的には先述した一般XX学等の内容に即した講義内容が望ましいと思われるが、プロジェクト演習の時間を十分確保することを考えると、ここでは入門的な内容にせざるを得ない。各15分程度でその概要、そこで用いられる一般的な工学技法、および問題分類を紹介するに留め、事例はそれらを理解するための補助程度に抑えた。ただ、[社会技術]については事例をやや多めにした。あとは、付録も取めた座学テキストを受講生に配付し、演習中にそれぞれを検討する際に適宜参照してもらうようにした。

3.3 プロジェクト型演習のテーマ設定と実践

次に、身につけた共通視点をいながら、2日間をかけてプロジェクト型演習(PBL)に取り組む。これは右上の実践・創成に位置付けられる。プロジェクト型演習では、図4に示したように具体的な人工物システムを選定した上で、その問題解決に取り組んでいく。演習の各区切り(調査、問題定義、アイデア検討、提案まとめ等)では、受講生によるそれまでの討議内容に対し、共通視点に対する補足説明をしながら、教員が助言していく。

プロジェクト型演習は、4、5人程度のグループに分かれて行われた。テーマは、集中講義実施時の人工物工学研究センターの部門構成に沿って、「人工物と人との相互作用」と「社会の中の人工物工学」に関するテーマを毎年設定した。1年目のテーマは、橋梁の社会基盤インフラ維持(社会)、地域空港のあり方・活用(社会)、介護・移乗支援(人)である。2年目は、こころの問題を扱う情報システム(人)、電力需給問題(社会)のテーマに取り組んだ。3年目は、宅配便の再配達問題(人)という新規テーマに加えて、再び橋梁の社会基盤インフラ維持(社会)のテーマに取り組んだ。

「社会の中での人工物工学」に関わるテーマでは、橋梁

の社会基盤インフラ維持（以下、橋梁インフラ維持）を代表として、ライフサイクル（製品寿命）が長い人工物システムを対象に「使用・保守」「性能評価・評価」の近くに問題意識を置いて導入を行った。このテーマの企図は、他の共通視点も活用し人工物システムを組み替えながら解決を図ってもらう、さらには開かれたシステムにおいて社会制度や合意形成を模索してもらうことである。

「人工物と人との相互作用」に関わるテーマでは、新たな技術や利便性と人（利用者）との関係に注目した導入を行うものの、特定の共通視点には偏らせず、各グループで問題設定と解決のアプローチを検討してもらうよう企図した。そこでは、「設計・構成」「製造・生産」「使用・保守」における利用者の変化や能動性・主体性を活かしたアプローチ（例えば宅配便の再配達問題に対する取り組み^{[24][25]}等）が検討される可能性も期待した。

3.4 相互評価と振り返りによる省察

3日目午後には発表会をまず実施する。発表会では、提案内容だけでなく、共通視点を使った論理展開や位置付けの説明も要請する。また、教員による一方向の評価だけでなく、受講生による相互評価も行う。この時、一般のPBLによく見られる「分析・提案内容」「発表方法、スライド構成、質疑応答」に対する評価点に加えて、「共通視点での文献調査～提案の流れ」「共通視点での提案に対する影響分析」についての評価点と、それらに対する意見や批評を記してもらった。

発表会後の振り返りでは、グループ別振り返り、総合討論、個人振り返りの3つのパートに分かれる。はじめに、受け取った評価結果を各グループで確認し、主要な意見や批評に対する回答・対策を協議する。

次の総合討論では、教員が進行しながらグループ毎の成果を相互に理解し合い討論することで、創出のための理解を深めていく。図4の様な様式を用いて、全グループの提案内容(列)を共通視点(行)に沿ってマッピングし、各グループが提案の検討時に注目した視点、および提案内容による影響の評価時に注目した視点を俯瞰できるようにした。これにより受講生は、自分達のグループの特徴、他のグループとの共通点と差異、および自分達が扱わなかった視点に対する理解を深めていくことができる。また、各グループによる演習の進め方についても、シンセシスとアナリシスの観点から教員から解説しフィードバックした。

最後に、受講生自身が個人の振り返りを行い、今回のPBLにおける経験の整理（グループ内での自分の役割、思考・行動）と能力の裏付け（結果と成果、学んだこと、獲得能力（スキル））を各自のシートに記入し提出する。

表2 演習の進め方と準備した様式

	知る	つくる
抽象的	消化する<ジャーナリスト> Step 2. 問題提起	凝縮する<デザイナー> Step 3. アイデア検討
具体的	浸る<旅人> Step 1. 文献調査 Step 5. 影響の評価	かたちにする<エンジニア> Step 4. アイデアの具体化と 解決策の提案

3.5 人工物創出の共通視点を意識づけるための工夫

1, 2年目の総合討論の前には、各グループからなされた提案内容を複数の教員が一丸となって共通視点から短時間で分析し、振り返り資料として提示した。

3日目には、こうした試行錯誤により蓄積された教員側からの助言内容を定型化し、受講生の学習効果を高めるための仕組みとしてプロジェクト型演習の各区切りにあらかじめ導入した。表2は、プロジェクト演習の大まかなステップと各区切りをまとめたものである。これは佐宗の整理^[26]を参考にしており、具体的／抽象的、知る／つくるの軸で整理され、各象限における主要作業とモードが表されている。その時々求められる役割（モード）が示されているため、大学院生にとって分かり易い。受講生は、この整理に沿って Step 1. 文献調査、Step 2. 問題提起、Step 3. アイデア検討、Step 4. アイデアの具体化と解決策の提案、および Step 5. 解決策の評価を行っていく。特に5.は自身の設計物を対象に再び浸るものであり、これにより設計行為は一度きりではなく継続・反復するものであることが強調される。そして、各作業を共通視点から実施しやすくするための、表の指定様式（テンプレート）をステップごとに準備した。表3（巻末に掲載）は、それらの指定様式を横につなげ、1枚に集約したものである。

文献調査のまとめでは、対象とした人工物システムの目的と役割を言語で定義した上で、その現状を共通視点から要約していく。要約では、調査した個々の文献がどの共通視点に注目したものを特定し、さらにそれが調査・分析（アナリシス）と実現のための研究開発（シンセシス）のいずれに該当するか区分する（図5）。

問題提起とアイデア検討では、共通視点に沿って、各視点に存在する問題点や困難さについて調査結果を踏まえて指摘するとともに、その解決に向けた着眼点を列挙していく。

アイデアの具体化と解決策の提案では、文献調査時の人工物システムの言語的定義を元にして、対象とした問題とその視点群、およびそれに対する解決方法とその視点群を要約してもらう。

また、影響評価においては、再びすべての共通視点を対象にし、解決策すなわち提案内容により生じ得る副作用

や懸念事項と、それらに対する対策や考察をまとめていく。

4 結果

4.1 人工物の共通視点を使った提案内容の記述例

以下に、3年目に提案された人工物システムと、その共通視点による記述結果を示す。Sは橋梁インフラ維持、Hは宅配便の再配達問題のテーマに対応する。

S1) インフラ保守財源のための物流向け課金システム

- ・現在の人工物システム「橋等インフラ維持のためのキャッシュフロー」に対して、受益者がインフラの維持管理の費用を負担していない問題【社会技術】【設計・構成】に着目した
- ・【性能評価・計測】視点から、インフラ劣化に寄与する車両重量に着目し、さらに【設計・構成】の視点から、物流会社を介して、ユーザからインフラ保守費を収集するキャッシュフローモデルに取り組む。これにより、インフラ維持コストの財源を確保し、継続的なインフラの運用が可能になる

S2) 持続的な橋梁システムに向けたビジネスモデルと価値評価システムの提案

- ・現代に求められる理想的な橋梁システムとして、【使用・保守】の視点から「橋を中心としたビジネス」、【性能評価・計測】の視点から「橋梁の価値を定義した上での不要な橋梁の廃橋」について指摘【機能・サービス】
- ・それぞれの視点に基づき、価値評価システムと広告サービスの提案を行い、その影響を、費用対効果【社会技術】、収益・橋梁数の偏在性【使用・保守】【製造・生産】、および最終判断の可能性【性能評価・計測】の観点から分析した

H1) 配達回数を削減するIntegrated Logisticsの提案

- ・【製造・生産】に起因する「1回当たりの配達回数の削減の必要性」に着目し、「一定日数、ユーザ単位で荷物をまとめて配達し易い仕組みづくり」【設計・構成】を提案した

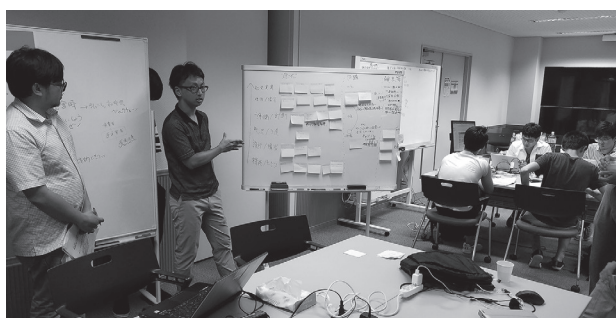


図5 プロジェクト型演習の様子(人工物創出の共通視点を使った対象システムに対する文献調査のまとめ)

- ・各ステークホルダーの活動に与える影響を分析し、その中で、評価軸への影響【性能評価・計測】、価格体系への影響および在庫の適正化【設計・構成】、物流作業への影響【使用・保守】を検討した。最終的に、ユーザ(一般消費者)の物流サービスへの考え方【機能・サービス】への影響についても検討した

H2) プレミアム配送オプションの提案

- ・物流問題の背後にある、配送タスクの複雑化【製造・生産】と運送業者の利益の低さ【使用・保守】の要因を指摘した
- ・一般消費者に対して利用時に配送オプションを提示することを含めた料金調整【設計・構成】と配達員の研修の充実【使用・保守】による、収益構造とサービス構造の改善方法を提案した

4.2 アンケート結果

4.1節で示したように、人工物創出の共通視点を使うことで、プロジェクト演習での提案内容と考察を、現実世界での操作と行為に沿って方向付けできた。この節では、3年目の受講生18名に対する講義後のアンケート結果について述べる。このアンケートでは、共通視点の総合理解、各視点に対する理解度を図6に示す5段階の到達度で、講義方法の効果は図7に示すリッカートの5段階評価で尋ねた。なお、ここでの共通視点の総合理解とは、単に各視点に対する理解度の総合ではなく、そもそもの共通視点の意義・役割をどの程度理解したかを尋ねるものである。

共通視点に対する総合理解[総合理解]では、4と5と高評価を回答した受講生は3割程度であるが、3の回答を含めれば約9割となる。個々の視点に対する理解では、まず[使用・保守]と[性能評価・計測]は、ほとんどのグループで扱われていたこともあり、約半数が4と5を回答する等高い理解が得られた。[設計・構成]もそれに次ぐ高い理解が示された傾向にあるのに対して、[機能・サービス][製造・生産]では、4と5の回答割合、および1と2の回答割合がそれぞれ2割以上あり、個人間で理解に差が見られた。[社会技術]は、5を回答した受講生が0名であり、1と2の回答割合が4割と、他と比べると一番低い結果となった。

次に講義方法の効果について述べる。共通視点の理解に効果的だったものとして「演習中の他メンバーとの議論」「演習中の教員によるアドバイス」「演習中の実テーマを題材にした検討」「発表会後の振り返り」が評価されている。一方、3年目に導入した「演習中の指定様式での整理や思考」は、やや劣るものの一定の効果が見られた。また、シンセシスとアナリシスに対する理解度も尋ねたが、座学であまり触れなかったこともあり、想定される理解度の結果

に留まった。

以上を念頭に置きながら、質問項目間の相関を調べた（Appendix）。[総合理解] は [性能評価・計測] [使用・保守] の他、「演習中の教員によるアドバイス」と有意な相関が見られた（0.698, 0.718, および 0.634. $p < 0.01$ ）。さらには、[性能評価・計測] は、「演習中の指定様式での整理や思考」「演習中の実テーマを題材にした検討」の演習項目との有意な相関が見られた（0.579 と 0.534. $p < 0.05$ ）。一方、[使用・保守] は、「演習中の自省（自己検討）」「発表会での他グループの発表や質疑」の項目との相関が見られた（0.494 と 0.513. $p < 0.05$ ）。

一方、理解度にばらつきが見られた [機能・サービス] [設計・構成] とその他との関係を見ると、ともに「振り返りと総合討論」と有意な相関が見られた（0.509 と 0.552. $p < 0.05$ ）。さらに [設計・構成] は「演習中の教員によるアドバイス」と有意な相関が見られた（0.526. $p < 0.05$ ）。先に述べたように「アナリシスとシンセシスの区分」は想定され

る程度の理解度に留まったが、[設計・構成] と有意な相関が見られた（0.491. $p < 0.05$ ）。

4.3 振り返りの結果

教員および受講生による採点を集計したところ、どの評価項目間にも強い相関は見られなかった。例えば「分析・提案内容」「発表方法、スライド構成、質疑応答」と「共通視点での文献調査～提案の流れ」「共通視点での提案案に対する影響分析」の評価点の相関係数は、0.39 と 0.35 および 0.33 と 0.27 であった。そのため、良いアイデアを早い段階でひらめいたり、いわゆる発表が上手いグループであったりしても、共通視点の使い方について厳しい評価と意見が寄せられることが多々見られた。以下に例を示す。

- ・提案内容はわかりやすかったが、共通視点での理解はあまり進まなかった。
- ・[評価・計測] に関して、物流業における従業員のスキルアップ・キャリアアップの問題があると思った。
- ・1人当たりの配達回数が多い現状の原因を、共通視点を

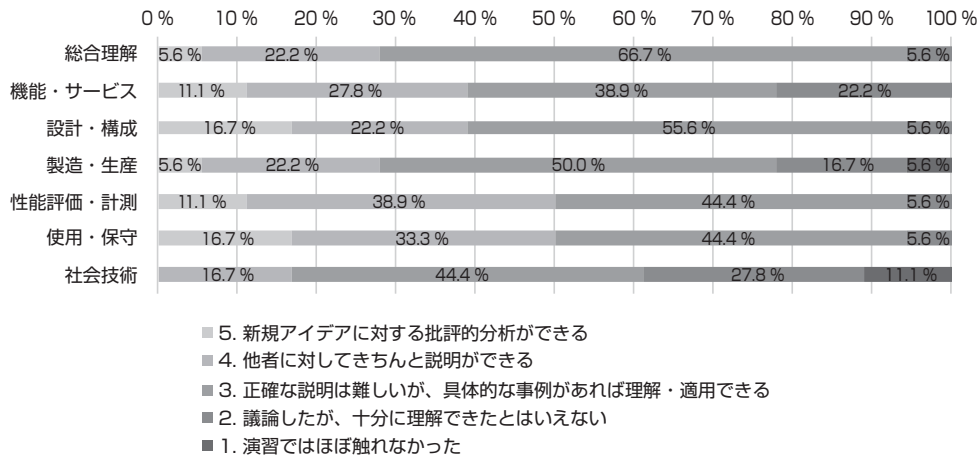


図 6 人工物を創出するための共通視点に対する理解度

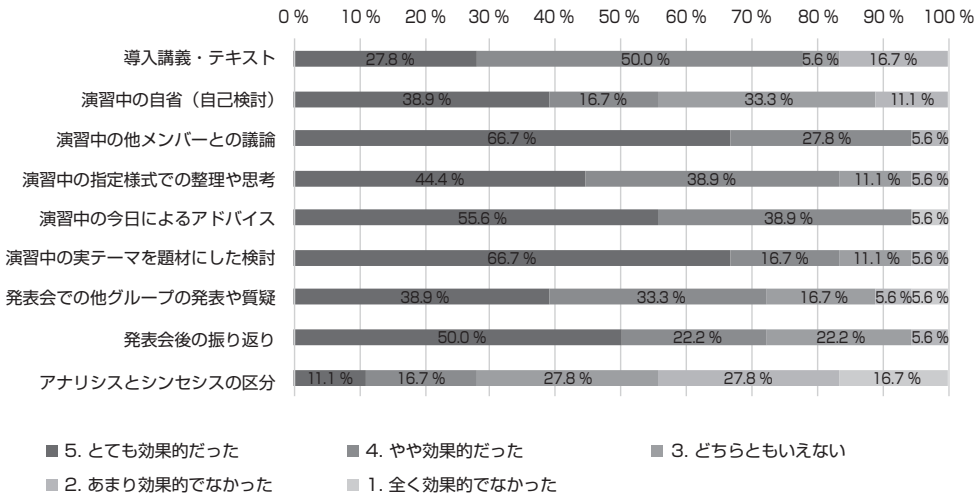


図 7 集中講義による方法の効果

用いて最初にうまく分析できるとより良かった。

- ・提案内容に応じた[機能・サービス]の定義が欲しかった。
 広告やクーポンは地方部の宣伝機能を担う等。

各グループはそれらを要約した上で、奏功した事項と反省事項を文章にまとめ、総合討論の冒頭で教員および他グループに報告した。

次に、総合討論後に受講生が各自で行った振り返りの中から、代表的な記入内容を以下にまとめる。

経験の整理（思考・行動、心がけたこと）

- ・時間をかけた自分のアイデアに対する反省と考察
- ・他の共通視点の立場に立つとどう見えるのかの思考

能力の裏付け（学んだこと）

- ・共通視点とその使い方
- ・共通視点を使った人工物の見方、理解の仕方
- ・共通視点で物事を考える際の難しさと、どのように運用すれば効果的なのかの一端を体験できた
- ・成果物の振り返りによるブラッシュアップ
- ・複雑な問題を絞ったり広げたり、共通視点でみたりというバランス

能力の裏付け（獲得能力・スキル）

- ・共通視点の活用スキル
- ・共通視点の視座を用いて物事を考え直すスキル
- ・一度完成したと思われるものを検証するスキル（と検証しようと思う謙虚さ）
- ・共通視点で影響分析を行いまとめる能力
- ・システムの定義まで立ち返って問題を浮き彫りにするスキル

5 考察

5.1 影響評価に対する効果

この節では、他年度の取り組みも含めて総合的に考察する。2016年度には、2018年度と同じ橋梁インフラ維持を対象としたグループが2つあった。両年度を比較して見ると、提案検討時に注目された共通視点の数と種類はともにほぼ同じであった。一方、影響評価においては、2016年度が[社会技術]のひとつでほぼ捉えられていたのに対して、2018年度では[社会技術]に加えて、提案時の注目如何に関わらず複数の視点から分析がなされていた(4.1節を参照)。このことから、2018年度に導入した演習中の指定様式とそれに沿った教員からの助言によって、共通視点での一貫した思考が可能となり、影響分析をし易くなったと考えられる。その結果として、自身の振り返りにおいても、こうした提案後の自省に関する能力(スキル)の獲得がさまざまな表現でなされていた。

次に、3年度分の振り返りを集約し、各視点が提案検討時と影響評価時にどれだけ用いられたかを集計した。そ

表4 提案時と影響評価時に用いられた共通視点

共通視点	提案時	影響評価時
社会技術	4	7
使用・保守	6	6
性能評価・計測	8	6
製造・生産	4	3
設計・構成	5	6
機能・サービス	6	2

の結果を表4に示す。ただし、2016年度の橋梁インフラ維持の2グループを除いた13グループが対象である。これによれば、[性能評価・計測][使用保守]および[設計・構成]は、提案時と影響評価時の両方で多く言及されている。一方、[社会技術]は提案検討時に比べて影響評価時の言及が多いが、十分な理解につながっていないようである。また、[機能・サービス]は逆に評価時に言及されることが少なく、そこにまで立ち返った影響の検討は少ない様である。

5.2 演習テーマの企図に対する検証と仕掛け

この節では、3.3節で述べたテーマ設定の企図に対応する形で、これまでに述べた結果と考察をまとめる。橋梁インフラ維持のテーマでは、S1・S2ともに[社会技術]の視点から議論を深めていく点はやや不十分であったが、[機能・サービス][設計・構成][製造・生産]を交えた検討がなされており、[使用・保守][性能評価・評価]に限らず学習を進めていく上で概ね有効であった。宅配便の再配達問題のテーマでは、H1・H2ともに複数の共通視点を使い分けつつ、独自の分析と提案を組み立てられており、こちらも学習上概ね有効であった。一方、利用者の変化や能動性・主体性への考慮はやや限定的であったが、利用者の物流サービスへの考え方の適正化が必要として、H1では[機能・サービス]に言及されていた点が印象的であった。

[製造・生産][機能・サービス][社会技術]等、理解度が必ずしも高くなかった共通視点に対しては、これらへの影響が大きい別のテーマを今後意図的に設定していく方策が一般に考えられる。その他の案として、プロジェクト演習の特徴を活かした仕掛けも検討していきたい。例えば[製造・生産][機能・サービス]に関して、S1・S2グループの理解度の間に対称性が見られた。5人グループのS1では[機能・サービス]は低い(3人が2を回答)が[製造・生産]は中程度(4人が3と4を回答)であり、4人グループのS2は逆に[製造・生産]は低い(2人が1と2を回答)が[機能・サービス]は高い(2人が4と5を回答)という結果であった。今回、この理解度の対称性は講義後に判

明したが、仮に振り返りの総合討論時までに浮き彫りにできれば、同一テーマのS1とS2間において、理解が不十分な視点を相互補完していくような討議を事例に則して働きかけることができる。

5.3 人工物創出のための理解の獲得手順

4.1節の結果と5.1節の考察内容を交えると、この研究から示唆される「創出のための理解」の獲得手順は以下のとおりである。手順説明の中で、各視点の獲得において効果的な講義方法と、今後の課題について述べる。

(1) [性能評価・計測][使用・保守]を理解する

これらの共通視点は他に比べて高い理解度が示され、また[総合理解]が高まるための条件（ただし相関であることに注意）である。このことから、受講生にとってイメージが付きやすく取りかかり易いと思われる[性能評価・計測]と[使用・保守]をまず確実にすることで基礎をつくれれば、共通視点の意義・役割に対する抽象的な理解も高まり、他の視点に対する理解も促進されやすくなると期待できる。

この時、[性能評価・計測]では演習による実テーマ検討と指定様式での思考が有効であり、[使用・保守]では演習中の自省と、他グループの発表や質疑が有効である。ともに提案検討と影響評価時それぞれの機会を理解を促し易く、また他グループの事例を通じて補完できる。

(2) [設計・構成]を理解する

この共通視点は進捗と内容に応じた教員による指導と振り返りが効果的であるが、具体的な事例に即せば理解・適用できる、という水準に留まりがちである。すなわち、[性能評価・計測][使用・保守]と同様に提案検討時、影響評価時、および他グループの事例が良い機会になり得るが、そこでの学習効果を高めるためには教員側による一層の意識づけが重要である。[設計・構成]の理解度を高めることは、アナリシスとシンセシスを使い分けた問題解決の方法習得にもつながる。

(3) [製造・生産][機能・サービス]を理解する

これらは、テーマへの取り組み方の違いも含めて、理解度に個人差が見られ易い共通視点である。

[製造・生産]の理解度と十分な相関のある講義方法は特定されず、また提案検討時と影響評価時に注目されないことも多々あった。[製造・生産]は人工物そのものの製造だけでなく、提供者によるサービス活動を含めた生産システムを表すが、前者の理解のままの受講生が多く見られた。そのため、まず座学部分の内容から見直すことが必要と考えられる。その上で、今回の結果には表れていないが、各グループからの提案内容には提供者によるサービス活動が含まれることから、それらに即した総合討論時の解説が有効と考えられる。

一方、[機能・サービス]では、演習の最初に人工物システムの定義を行うため、すべてのグループが意識するようにしているが、その反面、影響評価時に立ち返ることは少ない。したがって、理解度を高める上では、振り返りや総合討論時等に、[機能・サービス]の観点からの影響評価を敢えて促す等が有効と考えられる。

(4) [社会技術]を理解する

この集中講義では論点を絞った説明ができなかった。この理由としては、[社会技術]の座学の時間が充分でない点、教員からの演習後の振り返りにおいても他のグループによるお手本や教員からのアドバイスも十分でなかった点が挙げられる。[社会技術]は提案検討時よりも影響評価時に注目することが多くなるため、そこでのフォローが効果的と考えられる。

5.4 集中講義を構成する要素間の関係

以上を元に、この集中講義で導入した3つの講義要素間に存在する関係をまとめる。図8は、図3下部から講義要素を抜き出したものである。そして、新たに追加した点線は、ある要素の結果、もう一方の要素に対して何がもたらされるかを示している。

「人工物創出のための共通視点の理解」は「プロジェクト

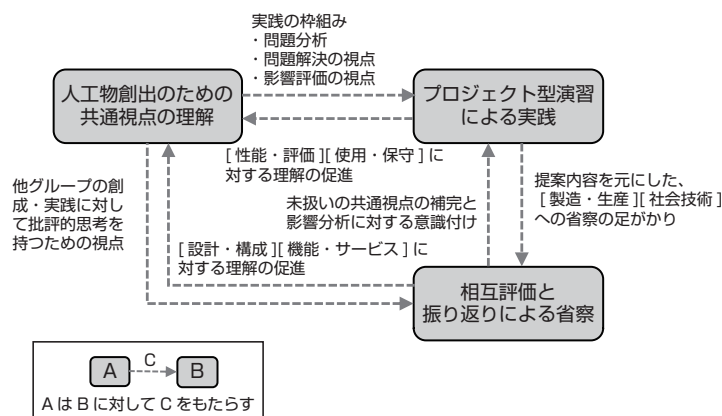


図8 集中講義を構成する要素間の関係

型演習の実践」に対して問題分析・問題解決・影響評価の枠組みを与えるものであり、「相互評価と振り返りによる省察」は「プロジェクト型演習での実践」において未扱いの共通視点に対する補完や、影響分析に対する意識付けの改善をもたらす。逆に、5.3節で述べたように、「人工物創出のための共通視点の理解」に対しては、「プロジェクト型演習による実践」の機会によって[性能・評価][使用・保守]に対する理解が大きく促進される。同様に、「相互評価と振り返りによる省察」の機会によって[設計・構成][機能・サービス]に対する理解が大きく促進され得る。

4.3節の振り返りの結果で述べたように、「人工物創出のための共通視点の理解」をあらかじめ学習しておくことは相互評価と振り返りによる省察」において、他グループの内容を見定め、建設的に批評していく行為につながる。ESDにおいても、持続可能性に関わるコンピテンスとは別に批評的思考能力(Critical thinking)は基礎として位置付けられており^[17]、そこへの寄与の意義は大きい。

また、5.3節(3)(4)でも述べたが、「プロジェクト型演習による実践」を通じて、[製造・生産][社会技術]への省察の足がかりを提案内容から模索することで、「相互評価と振り返りによる省察」を促進できる。

以上の関係は、いずれもこの集中講義にて「人工物創出のための共通視点の理解」と「相互評価と振り返りによる省察」を「プロジェクト型演習による実践」の前後に導入したことによる効果であり、この集中講義の含意である。

6 結論

人工物の構成型教育では、問題解決や創出のみならず、それらがもたらし得る影響の省察が重要である。この論文では、構成型工学カリキュラムの考え方にに基づき実施した、東京大学大学院の集中講義について報告した。この集中講義は3つの要素から構成され、人工物に対する現実世界での操作と行為に沿った「人工物創出のための共通視点の理解」を中心に据え、「プロジェクト演習による実践」と「相互評価と振り返りによる省察」を通じて学習効果を高める。講義の結果から、各視点の理解度合いには差があり、[性能評価・計測]と[使用・保守]は演習を通じて早期に、[設計・構成]と[機能・サービス]は相互評価と振り返りを通じて理解が促進されることがわかった。最後に、3つの構成要素の相互関係について考察し、人工物創出の共通視点に対する理解がもたらす批評的思考の副次効果を示した。

今後は、[製造・生産][社会実装]等不明瞭な部分が残る内容を改善していくとともに、人工物創出の共通視点とシンセシスの問題構造との関わりを整理する。シンセシスの

問題構造としては、環境と目的の状況による人工物システムのクラス分類(完全情報、不完全環境情報、不完全目的情報問題)や価値創成のクラス分類(提供型、適応型、共創型価値)^[21]等がある。この整理ができれば、演習と振り返りでの助言を通じて、人工物工学研究センターが志向してきた、利用者も含めた関係者間の協働による目的確定と解探索とを組み入れた人工物システムの共創的設計方法^[2]への方向付けを期待できる。

7 謝辞

この講義を分担した、東京大学 人工物工学研究センターの鈴木克幸教授、太田順教授、増田昌敬教授、西野成昭准教授、山田知典准教授、愛知正温講師、緒方大樹助教に深く感謝する(2016年当時の所属・役職で、兼任を含む)。

注1) 東京大学の人工物工学研究センターは2019年4月に改組され、現在は工学系研究科の附属施設として本郷キャンパスに設置されている(東京大学大学院 工学系研究科 人工物工学研究センター)。一方、この論文の集中講義は、柏キャンパスの全学センター時に実施したものである。この論文の著者らはそのときに在籍しており、現在の人工物工学研究センターの陣容とは異なる。

表3 集中講義3年目に導入した様式

	Step 1		Step 2	Step 3	Step 4	Step 5
	対象での説明	文献調査の結果				
		調査・分析 (アナリシス)	実現研究 (シンセシス)	調査結果を踏まえた 問題提起	解決に向けた アイデア	アイデアの 具体化と 解決策の提案
機能・サービス						
設計・構成						
製造・生産						
性能評価・計測						
設計・構成						
社会技術						

Appendix: 人工物創出のための共通視点の到達度（5段階）と講義方法の効果（5段階）の相関係数

	v0	v1	v2	v3	v4	v5	v6	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	o1
v0 総理解	1	0.240	0.461	.537*	.698**	.718**	.549*	0.220	.547*	.586*	.489*	.634**	.551*	.475*	0.372	0.286
v1 機能・サービス		1	.537*	0.047	0.017	0.213	0.180	0.093	0.382	0.252	0.272	0.380	0.318	0.279	.509*	.491*
v2 設計・構成			1	.476*	0.175	.525*	0.302	-0.067	0.219	0.263	0.312	.526**	0.149	0.325	.522*	.652**
v3 製造・生産				1	0.436	.545*	0.161	-0.177	0.295	0.276	0.341	0.360	0.310	0.273	-0.074	0.309
v4 性能評価・計測					1	.520*	0.441	0.082	0.387	0.426	.579*	0.392	.534*	0.359	0.254	0.251
v5 使用・保守						1	.508*	-0.053	.494*	0.343	0.280	0.334	0.309	.513*	0.433	0.353
v6 社会技術							1	0.401	0.413	0.193	0.246	.552*	0.117	0.093	0.395	.548*
m1 導入講義・テキスト								1	0.297	0.448	0.422	.575*	0.430	0.193	0.195	0.162
m2 演習中の自省（自己検討）									1	0.251	0.407	0.392	.484*	-0.008	0.082	0.141
m3 演習中の他メンバーとの議論										1	.836**	.775**	.859**	.811**	0.330	0.370
m4 演習中の指定様式での整理や思考											1	.715**	.888**	.589*	0.227	.471*
m5 演習中の教員によるアドバイス												1	.645**	.486*	.478*	.550*
m6 演習中の実テーマを題材にした検討													1	.629**	0.173	0.191
m7 発表会での他のグループの発表や質疑														1	0.420	0.392
m8 発表会後の振り返り															1	0.410
o1 アナリシスとシンセシスの区分																1

*. 相関係数は 5 % 水準で有意（両側）、**. 相関係数は 1 % 水準で有意（両側）

参考文献

[1] 吉川弘之:人工物工学の提唱, <http://www.race.u-tokyo.ac.jp/open/documents/Yoshikawa.pdf>, Accessed 2019-09-30.

[2] 太田 順, 西野成昭, 原 辰徳, 藤田 豊久: 人工物工学研究の新しい展開—個のモデリング・社会技術化へ—, *Synthesiology*, 7 (4), 211–219 (2014).

[3] 科学技術振興機構 研究開発戦略センター: 研究開発戦略立案の方法論—持続性社会の実現のために—, (2010).

[4] 藤田豊久, 太田順 編集: *人工物工学入門*, 東京大学出版会, (2015).

[5] 吉川弘之: *一般デザイン学*, 岩波書店, (2020).

[6] 金子成彦, 渡邊辰郎: 東京大学におけるPBL教育の一事例, *設計工学*, 37 (4), 11–18 (2002).

[7] 長谷川 光司, 渡邊 信一, 高木 淳二, 横田 和隆, 入江 晃亘, 杉山 均: 宇都宮大学工学部における学科横断的必修科目「創造工学実践」の実施について, *工学教育*, 58 (4), 21–27 (2010).

[8] K. Gavin: Case study of a project-based learning course in civil engineering design, *European Journal of Engineering Education*, 36 (6), 547–558 (2011).

[9] K. J. Chua, W. M. Yang and H. L. Leo: Enhanced and conventional project-based learning in an engineering

design module, *International Journal of Technology and Design Education*, 24 (4), 437–458 (2014).

[10] T. Brown: Design thinking, *Harvard Business Review*, 86 (6), 84–92 (2008).

[11] 見崎 大悟, 關口 旺人, X. Ge: 設計教育におけるデザイン思考の活用方法, *設計工学・システム部門講演会論文集*, 28, 1301 (2018).

[12] 川瀬真弓, 浦島邦子: 工学部におけるデザイン思考に関する授業効果について, *設計工学・システム部門講演会論文集*, 28, 2102 (2018).

[13] 十河 卓司: 京都大学デザインスクールでの博士人材の育成, *計測と制御*, 54 (7), 517–522 (2015).

[14] 堀井秀之: 東京大学i.schoolにおけるイノベーション教育の試み, *工学教育*, 63 (1), 37–42 (2015).

[15] 神武 直彦, 前野 隆司, 西村 秀和, 狼 嘉彰: 学問分野を超えた「システムデザイン・マネジメント学」の大学院教育の構築—大規模・複雑システムの構築と運用をリードする人材の育成を目指して—, *Synthesiology*, 3 (2), 112–126 (2010).

[16] E. Frisk and K. L. Larson: Educating for sustainability: competencies & practices for transformative action, *Journal of Sustainability Education*, 2, 1–20 (2011).

[17] A. Wiek, L. Withycombe and C. L. Redman: Key competencies in sustainability: A reference framework for academic program development, *Sustainability Science*, 6 (2),

- 203–218 (2011).
- [18] A. Wiek, M. Bernstein, R. Foley, M. Cohen, N. Forrest, C. Kuzdas, B. Kay and L. Withycombe Keeler: Operationalising competencies in higher education for sustainable development, In: M. Barth, G. Michelsen, M. Rieckmann, I. Thomas (eds.) *Routledge Handbook of Higher Education for Sustainable Development*, Routledge, 241–260 (2016).
- [19] X. Du, L. Su and J. Liu: Developing sustainability curricula using the PBL method in a Chinese context, *Journal of Cleaner Production*, 61, 80–88 (2013).
- [20] ISO 9241-220, Ergonomics of human–system interaction -- Part 220: Processes for enabling, executing and assessing human-centred design within organizations.
- [21] 上田完次: 創発とシンセシス：人工物デザインから価値共創へ, *設計工学*, 42 (10), 574–580 (2007).
- [22] 上田完次: 人工物と価値の共創—インタラクティブ・ソサイエティの時代のドミナント・ロジック—, *設計工学*, 49 (7), 319–327 (2014).
- [23] 吉川弘之: シンセシオロジーの未来, *Synthesiology*, 12 (1), 1–5 (2019).
- [24] B. Q. Ho, Y. Murae, T. Hara and Y. Okada: Consumer experience as suppliers on value co-creation behavior, *Journal of Serviceology*, 4 (1), 1–7 (2019).
- [25] M. Hamano, B. Q. Ho, T. Hara and J. Ota: Service ecosystem design using social modeling to incorporate customers' behavioral logic, *Serviceology for Services, IC Serv 2020*, T. Takenaka et al. (eds.), CCIS 1189, 217–234 (2020).
- [26] 佐宗邦威: *21世紀のビジネスにデザイン思考が必要な理由*, クロスメディア・パブリッシング(インプレス), (2015).

執筆者略歴

原 辰徳 (はら たつとり)

2009年 東京大学大学院工学研究科精密機械工学専攻博士課程修了。博士(工学)。2009年より同専攻助教を経て、2011年より東京大学人工物工学研究センター講師、2013年から2019年まで准教授。現在は、東京大学大学院工学系研究科 品質・医療社会システム工学寄附講座 主幹研究員。慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科 特任准教授、内閣官房 情報通信技術(IT)総合戦略室 IT戦略調整官を兼務。デザイン、ものづくり、観光情報、接客等に関するサービス工学研究に従事。この研究では、集中講義全体の企画・統括、「人工物を創出するための理解」の座学、および論文の執筆を担当した。



Ho Bach Q. (ホー バック)

2017年 北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科 博士後期課程修了。博士(知識科学)。2019年3月まで東京大学人工物工学研究センター 特任研究員。その後、東京大学大学院工学系研究科 人工物工学研究センター 特任研究員を経て、2020年4月より東京工業大学工学院経営工学系 助教。集団生活における相互作用を通じた人の行動変容モデルの研究に従事。この研究では「人工物と人との相互作用」に関するテーマのプロジェクト型演習、および振り返りアンケートの設計と結果分析を担当した。



白藤 翔平 (しらふじ しょうへい)

2014年 大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士後期課程修了。博士(情報科学)。東京大学人工物工学研究センター 特任研究員を経て、2019年3月まで東京大学人工物工学研究センター 特任助教。現在は、東京大学大学院工学系研究科人工物工学研究センター 助教。ロボット工学、機構学等の研究に従事。この研究では「人工物と人との相互作用」に関するテーマのプロジェクト型演習を担当した。



沖田 泰良 (おきた たいら)

2002年 東京大学大学院工学系研究科システム量子工学専攻修了。博士(工学)。米国ローレンスリバモア国立研究所博士研究員等を経て、2019年3月まで東京大学人工物工学研究センター 准教授。現在は、東京大学大学院工学系研究科人工物工学研究センター 准教授。人工物デジタルツイン構築等の研究に従事。この研究では「社会の中での人工物」に関するテーマのプロジェクト型演習を担当した。



栗山 幸久 (くりやま ゆきひさ)

1977年 東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻修士課程修了。最終学歴 2001年 同大学 博士(工学)。1977年 新日本製鉄入社、主に研究所勤務。2011年 横浜国立大学 安心・安全の科学研究教育センター 教授。2013年より2018年3月まで東京大学人工物工学研究センター 教授。現在は、東京大学大学院工学系研究科 システム創成学専攻 特任研究員。この研究では「社会の中での人工物工学」に関するテーマのプロジェクト型演習を担当した。



越塚 誠一 (こしづか せいいち)

1986年 東京大学 大学院工学系研究科 修士課程 修了。同年5月 東京大学工学部 助手。1991年2月 博士(工学)。2019年3月まで東京大学人工物工学研究センター センター長(兼担)。現在は、東京大学大学院工学系研究科 システム創成学専攻 教授。原子力工学および数値流体力学等の研究に従事。この研究では、集中講義における人工物工学の方向付けの助言、およびプロジェクト演習の評価総括を担当した。



査読者との議論

議論1 全体について

コメント(赤松 幹之、持丸 正明:産業技術総合研究所)

社会と調和する人工物を創出するためには、設計・製造・運用・維持等の各段階で社会や他の人工物にどのように影響を与えるかを良く理解した上で人工物を構成することが必要である。これを実行できる人材教育のためには、構成的科学の知見を持ち、それを実践できる能力をつけるカリキュラムが必要であり、この論文はその実践例を示したものである。論文は、構成型科学に関する理論的な系譜に基づいて、その教育の「目的」を提示し、それを実現する教育体系を「仮説」として掲げ、その教育を実践した結果をもって「検証」し、「考察」という論理展開で構成されており、読者に理解しやすく、シンセシオロジー誌として大いに有意義なものとなっている。

議論2 プロジェクト型演習のテーマの設定

コメント(持丸 正明)

プロジェクト型演習による実践課題として、3年間にいくつかのテーマを設定しています。座学を「個別の人工物システムに依存しないもの」として設定したのに対し、プロジェクト型演習は、座学で得られた知識を具体的にグラウンディングさせる位置付けになっていると思いますが、これに適したテーマがあるのだらうと察します。どのような企図でこのテーマを設定したのでしょうか。

回答(原 辰徳)

当時の人工物工学研究センターは「人工物と人との相互作用」と「社会の中の人工物工学」を扱う二つの研究部門から構成されていました。これに沿って毎年、人および社会の観点からテーマを設定していました。

「社会の中の人工物工学」のテーマでは、ライフサイクル(製品寿命)が長い人工物システムを対象に「使用・保守」「性能評価・計測」に近いところに問題意識を置いた導入を行いました。そして、受講生に対しては、他の共通視点も活用し人工物システムを組み替えながら解決を図ってもらう、さらには開かれたシステムとして社会制度や合意形成を模索してもらうことを企図していました。結果として、橋梁の社会基盤インフラ維持のテーマでは、考察で述べた通り「社会技術」の視点から議論を深めていく点はやや不十分でしたが、「機能・サービス」「設計・構成」「製造・生産」を交えた検討がなされており、「使用・保守」「性能評価・計測」に加えてこれらについての学習を進めていく上で概ね有効であったと考えています。

「人工物と人との相互作用」のテーマでは、新たな技術や利便性と人(利用者)との関係性に注目した導入を行いました。特定の共通視点には偏らせず、各グループで問題設定と解決のアプローチを検討してもらうよう企図していました。強い誘導はしませんでした。結果として、宅配便の再配達問題のテーマにおいては、各グループが複数の共通視点を使い分けつつ、独自の分析と提案を組み立てた点は期待通りでした。一方、利用者の変化や能動性・主体性への考慮はやや限定的でしたが、物流サービスに対する利用者の考え方の適正化が必要として「機能・サービス」に言及したグループがあったことが印象的でした。

このように企図と結果を改めて整理してみると、テーマ設定の裏には、一方向の問題解決ではなく、本センターが過去に取り組んできた「共創的な解の探索」の志向が少なからずあったことがわかります。今回の集中講義では主題である共通視点の理解の獲得に注力したため、導入講義では「共創的な解の探索」に関わるコンテンツ、例えば環境と目的の状況による人工物システムのクラス分類(完全情報問題、不完全環境情報問題、不完全目的情報問題)や価値創成のクラス分類(提供型価値、適応型価値、共創型価値)については、最小限の紹介に留めていました。これらはシンセシスに対する理解を深める上で重要であるため、アナリシスとシンセシスの行き来と合わせて、振り返りの中でフィードバックできるように仕組みをつくって参りたいと思います。

議論3 「製造・生産」「機能・サービス」の理解と体得

コメント(持丸 正明)

「製造・生産」「機能・サービス」の理解と体得には個人差が大きくみられたと考察し、その対応として座学の内容からの見直しを提言しておられます。議論2と絡みますが、より製造・生産や機能・サービス提供の影響が大きいテーマを意図的に設定するという方策を検討することも必要なのではないでしょうか。

回答(原 辰徳)

それぞれの影響が大きいテーマの意図的な設定ができれば効果的

と思います。一方で、複数のグループが同一テーマに取り組む場合であってもアプローチの仕方自由度のあるプロジェクト演習ですので、それを活かした仕掛けも有効ではないかと考えております。

例えばご指摘の「製造・生産」「機能・サービス」に関して、橋梁の社会基盤インフラ維持に取り組んだグループ(S1とS2)の理解度の間に対称性がみられました。5人グループのS1では「機能・サービス」は低い(3人が2を回答)が「製造・生産」は中程度(4人が3と4を回答)であり、4人グループのS2は逆に「製造・生産」は低い(2人が1と2を回答)が「機能・サービス」は高い(2人が4と5を回答)という結果でした。今回、各人へのアンケート結果は講義終了後に集計したために、この理解度の対称性を活かせませんでした。振り返りの総合討論時までには明らかにできれば、「自分達が扱わなかった視点に対する理解を、(同一テーマの)他グループの事例を通じて深める」ことを、相互討議によって強化できると考えております。

議論4 シンセシオロジー誌が目指す構成学との関係

コメント(赤松 幹之)

シンセシオロジー誌はこの論文の用語を借りれば「構成型科学」の構築を目指して文書として表現された論文を蓄積しています。共通視点を獲得することが構成型科学の一つの姿と考えると、共通視点の講義とシンセシオロジー誌は極めて近い関係にあると考えます。プロジェクト演習の時間を取るために共通視点の講義は入門的な内容としたということですが、もっと共通視点に関する講義を充実させることによって構成的工学の獲得を促進できる可能性があるのか、それとも、この論文で試みられたようなワークショップ型の教育によって体験的に学習することが必須なのか、この論文での経験からのお考えをお教えください。

回答(原 辰徳)

シンセシオロジー誌の理念と同じく構成型科学・工学の構築を目指す立場から申し上げますと、体験的な学習に過度に依存せずとも、共通視点(≒横断)に関する講義の充実によって構成型工学の獲得を促進していかなければならないと考えております。これが、2次元の図のサイクル左上の座学部分に沿って今回の集中講義の名称を「人工物を創出するための理解」とした最大の理由であります。

3年間の集中講義の経験、特に受講生との振り返りを通じて、座学と演習との関係について様々なことがわかってきました。これらの知見を元に座学部分を強化していくことが今後の方向性のひとつです。ただしそこでは、全ての共通視点について座学内容を一律に充実させるのではなく、考察で述べた内容を踏まえつつ、共通視点ごとに座学と演習による期待効果のバランスを考慮して強弱をつけていくことが重要です。理想的には、全体の2-3割ほどの時間を座学に充てるというイメージを捉えています(座学:2-3割、プロジェクト型演習:4-5割、相互評価と振り返り:3割)。また、この割合にも示されていますが、プロジェクト演習等での体験的学習は、(一般にデザインと呼ばれる)構成・統合に関する高度スキルを身体知として習得していく上で欠かせない過程と考えております。

なお、受講生によっては、自身の専門性(と社会人学生であれば業務経験)に関連して、既に一定の理解を体得している共通視点があることも事実です。本来、座学部分は対面での一斉集合授業の形式に限らず、各人に応じた学習コンテンツの取捨選択やカスタマイズができる仕組みも重要と考えております。その上でも、各共通視点および共通視点間の関係を、(概念だけでも本質論だけでなく)現象論と実体論のレベルで深掘りしてくれる教科書や副読本等の整備がやはり欠かせません。今回は3日間の集中講義でしたが、半期や通年での講義であれば、こうした教科書や副読本を上手く活用しながら、体験的学習の期間において思考が深まっていく(発酵していく)過程を支援していくことが理想と考えております。