

Title	システムズエンジニア育成に繋がる対話型鑑賞VTSを用いたシステム思考の訓練手法の提案
Sub Title	Proposal of a method to foster systems thinking using visual thinking strategies for training systems engineers
Author	北原, 章広(Kitahara, Akihiro) 五百木, 誠(Ioki, Makoto)
Publisher	慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
Publication year	2021
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2021年度システムデザイン・マネジメント学 第489号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002021-0030

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文

2021 年度

システムズエンジニア育成に繋がる
対話型鑑賞 VTS を用いた
システム思考の訓練手法の提案

北原 章広

(学籍番号 : 82033223)

指導教員 准教授 五百木 誠

2022 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
システムデザイン・マネジメント専攻

論 文 要 旨

学籍番号	82033223	氏 名	北原 章広
論文題目： システムズエンジニア育成に繋がる 対話型鑑賞 VTS を用いたシステム思考の訓練方法の提案			
(内容の要旨) 日本の製造業は技術の高度化や変化の速さに、専門性を高めた縦割り組織で対応してきた。しかし、近年のデジタルトランスフォーメーション (DX) に代表される新しい価値創造の場面では、異なる分野のシステム同士を繋げるなど分野横断的な活動が求められる。そのような状況に対し、複数の専門分野を束ねて新しい価値を実現する人材、システムズエンジニアの重要性が高まっている。システムズエンジニアには、対象をシステムとして捉えて分析する思考法であるシステム思考が求められる。システム思考は、分野横断的な業務経験を通じて獲得されるとされるが、近年の縦割り組織下にあるエンジニアは、組織の壁、分断された業務、厳しい納期・コスト要求にさらされ、専門分野を越えた行動を取ることが難しい。このような状況において、エンジニアのシステム思考を育成するには、今まで以上の支援が必要である。 先行研究では、専門分野を越えてシステム思考を用いる行動を選択させるためには、知識だけでなくシステム思考に対するエンゲージメントが必要であると指摘されている。そこで本研究では、エンジニアのシステム思考へのエンゲージメントを向上させ、業務に対しシステム思考を用いる行動を促す方法を提案することを目的とする。 提案手法では、システム思考と親和性が高く、思考訓練に適した手法として、美術教育分野の手法 Visual Thinking Strategies (VTS)を採用し、エンジニア向けに(1)絵画をシステムとして認識させる工程、(2)絵画の目的分析と改善を検討する工程、(3)分析結果を図式化する工程、さらに、(4)業務へ応用する工程を加え再構築した。エンジニアは、絵画がシステムであることを理解した後、全体や部分など多視点からの観察や、構成要素間の相互作用の分析といった、システム思考の訓練を繰り返し行い、図式化により思考過程を内省する。それにより、エンジニアはシステム思考を用いることへの自信である自己効力感を高め、エンゲージメントを向上させる。さらに、同じプロセスを用いてエンジニアが担当するシステムの分析を行うことで、業務へのシステム思考の適用イメージを掴む。 本提案の効果を確認するため、2社21人の中堅エンジニアに対し実証実験を行い、エンジニアの態度変容を評価した。その結果、システム思考に対する自己効力感が大きく向上し、システム思考へのエンゲージメント尺度のシステム全体に関わる業務への参加意欲が向上した。また、分野横断的な業務へシステム思考を適用するための具体的な行動提案が被験者から得られた。本提案手法により、システム思考の育成、ひいてはシステムズエンジニアの育成に貢献できる可能性が示唆された。			
キーワード (5語) システムズエンジニアリング、システム思考、対話型鑑賞、VTS、アート思考			

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	82033223		Akihiro Kitahara
<p>Title</p> <p>Proposal of a Method to Foster Systems Thinking using Visual Thinking Strategies for Training Systems Engineers</p>			
<p>Abstract</p> <p>For the rapid changes associated with the sophistication of technology, Japanese manufacturers have been dealing with through a vertical organization, top-down structure. However, in recent years, those companies are demanded cross-disciplinary activities such as connecting systems in different fields, in the scene of new value creation represented by the digital transformation. Responding to this situation, systems engineers, who can realize new value by uniting multiple fields of expertise, is important. Systems engineers handle systems thinking, which is a way of thinking that views and analyzes an object as a system. Systems thinking is acquired through cross-disciplinary work experience. On the other hand, engineers from vertical organization have been exposed to organizational barriers, fragmented work, and strict deadlines and cost demands which leads them keep away from acting beyond their field of expertise. Under these circumstances, more support than ever is needed to foster systems thinking among engineers.</p> <p>Previous studies have pointed out that engagement with systems thinking as well as knowledge is necessary to make engineers choose behaviors that use systems thinking. Therefore, the purpose of this study is to propose a method to improve engineers' engagement with systems thinking and to encourage them to use systems thinking on the job.</p> <p>Visual Thinking Strategies (VTS) is a method to tackle this situation. VTS is from the field of art education, as a method that has a high affinity with systems thinking and suitable for thinking training. We reconstructed the method for engineers by adding (1) a process to make them recognize the painting as a system, (2) a process to analyze the purpose of the painting and to consider its improvement, (3) a process to diagram the result of the analysis, and (4) a process to apply the method to their work.</p> <p>After engineers recognized that a painting is a system, they repeatedly practice systems thinking, such as observation from multiple viewpoints and analysis of interactions among elements and reflect on their thinking process through modeling. By doing so, engineers increase their self-efficacy, which is their confidence in using systems thinking, and improve their engagement. Furthermore, by using the same process to analyze the systems that the engineers are in charge of, the engineers will obtain ideas of how to apply systems thinking to their work.</p> <p>In order to confirm the effectiveness of this proposal, we conducted a demonstration experiment with 21 mid-career engineers from two companies and evaluated their attitudinal changes. As a result, the self-efficacy for systems thinking improved significantly, and the engagement with systems thinking scale that leads to participation in the system-wide work improved. In addition, specific behavioral ideas that lead to the application of systems thinking to work were confirmed. It was suggested that the proposed method may contribute to the fostering of systems thinking and, ultimately, to the training of systems engineers.</p>			
<p>Key Word (5 words)</p> <p>systems engineering, systems thinking, visual thinking strategies, VTS, art thinking</p>			

目次

第1章	緒言	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究の目的とスコープ	3
1.3	本論文の構成	4
第2章	先行研究と用語の定義	5
2.1	システムズエンジニア育成に関する先行研究	5
2.1.1	システムズエンジニアに必要な能力	5
2.1.2	システムズエンジニアの育成方法	5
2.2	システム思考に関する先行研究	7
2.2.1	システム思考の定義	7
2.2.2	システム思考の能力の定義	8
2.2.3	システム思考の育成方法	8
2.2.4	システム思考に対するエンゲージメント	9
2.3	アートを用いた手法に関する先行研究	9
2.3.1	システム思考を育む芸術的アプローチ	9
2.3.2	対話型鑑賞 VTS	11
2.4	本研究の新規性	12
第3章	日本の製造業の実態調査	13
3.1	調査目的	13
3.2	調査対象者	13
3.2.1	調査対象者の属性	13
3.2.2	調査対象者の所属企業の特徴	14
3.3	調査方法	15
3.4	調査結果	16
3.4.1	システム設計人材に期待される能力	16
3.4.2	システム設計人材の不足の構図	17
3.4.3	システム設計人材育成の取り組み	19
3.4.4	現状のシステム設計人材育成に対する要求	20
第4章	本研究の提案	21
4.1	提案内容	21
4.1.1	提案の目的	21
4.1.2	提案手法の考え方	22
4.1.3	プロセス実現のためのワークショップ概要	24

4.1.4	対象者と実施方法	26
4.1.5	ワークショップ詳細 VTS for Systems Thinking	27
4.2	提案の構築	40
4.2.1	提案構築の全体像 ～提案構築の流れ～	40
4.2.2	要求定義	41
4.2.3	システム設計	48
4.2.4	プロトタイピング	59
第5章	提案の評価	73
5.1	評価の全体像	73
5.2	評価方法の設計	76
5.2.1	評価用ワークショップの設計	76
5.2.2	検証のためのアンケート・評価設計	81
5.2.3	妥当性確認のためのアンケート・評価設計	88
5.3	評価結果	95
5.3.1	評価結果まとめ	95
5.3.2	検証の結果	96
5.3.3	妥当性確認の結果	114
5.3.4	ワークショップの実施結果	126
5.4	専門家による評価	135
5.5	考察	136
5.5.1	提案システムの機能に関する考察	136
5.5.2	システム思考への自己効力感に関する考察	137
5.5.3	システム思考へのエンゲージメントに関する考察	139
5.5.4	システム思考へのエンゲージメントと自己効力感の関係に関する考察	140
5.5.5	内省的思考傾向に関する考察	140
5.5.6	システム思考の分野横断的な業務への適用に関する考察	141
第6章	結言	142
6.1	結論	142
6.2	研究の限界	143
6.3	今後の展望	143
	謝辞	144
	参考文献	145

図目次

図 1-1 IPA 組込み/IoT に関する動向調査 不足している人材	2
図 3-1 インタビュー結果から得られたシステム設計人材像	16
図 3-2 インタビュー結果から得られたシステム設計人材不足の構図	18
図 3-3 インタビュー結果から得られたシステム人材育成に必要な取り組み	19
図 4-1 提案手法が提供するプロセス	22
図 4-2 Kolb の経験学習モデル	23
図 4-3 自己効力感とエンゲージメント	23
図 4-4 提案手法の概念図	25
図 4-5 ワークショップの実施単位	27
図 4-6 事前学習資料：システムグラフの書き方説明	28
図 4-7 VTS 資料：絵画と問い (Ilya Yefimovich Repin 作「They Did Not Expect Him」)	30
図 4-8 説明資料：絵画はシステムである (葛飾北斎作「神奈川沖浪裏」)	31
図 4-9 参加者が作成したシステム図 (体裁は筆者が修正)	33
図 4-10 参加者が作成した担当システムのシステム図	35
図 4-11 提案手法に適した作品例：Félix Vallotton 作「The Ball」	37
図 4-12 参加者が作成したシステム図と捉えたイメージの再現図	38
図 4-13 提案手法に適した作品例：小村雪岱作「青柳」	39
図 4-14 提案構築の全体像	40
図 4-15 提案システムの目的【要求図】	43
図 4-16 提案システムのライフサイクルとエンジニアに与える影響	44
図 4-17 提案システムのユースケース【ユースケース図】	45
図 4-18 提案システムのシステム要求【要求図】	47
図 4-19 絵画と担当システムの図的外化の概念図	50
図 4-20 提案システムのアーキテクチャ【ブロック定義図】	50
図 4-21 提案システムの振る舞い【アクティビティ図】	51
図 4-22 標準 VTS とシステム思考の説明の振る舞い【アクティビティ図】	52
図 4-23 目的分析と改善を行う VTS と図的外化の振る舞い【アクティビティ図】	53
図 4-24 担当システムの分析と図的外化の振る舞い【アクティビティ図】	54
図 4-25 事前準備作業の振る舞い【アクティビティ図】	55
図 4-26 Edouard Monet 作「Chez le Père Lathuille」	61
図 4-27 画面の切り出しによる視点の誘導	62

図 4-28 葛飾北斎作「富嶽三十六景 神奈川沖浪裏」	64
図 4-29 Alma Tadema 作「Spring」の俯瞰と詳細	65
図 4-30 Georges de La Tour 作「The Fortune Teller」を多視点で捉える	66
図 4-31 Félix Vallotton 作「The Ball」	67
図 4-32 絵画をシステムとして扱うことへの共感性	68
図 4-33 システムの捉え方を体験する手法としての有効性	69
図 4-34 ワークショップの満足度	69
図 5-1 評価全体の流れ	73
図 5-2 被験者の美術への関心	76
図 5-3 評価に使用した作品一覧	80
図 5-4 対話側鑑賞 VTS 機能(F1.1)の評価結果	98
図 5-5 VTS とシステム思考の関係説明機能(F1.2)の評価結果	99
図 5-6 絵画の目的の分析と改善を行う VTS 機能(F1.3)の評価結果	99
図 5-7 思考過程の図的外化機能(F2)と事前準備機能(F0)の評価結果	100
図 5-8 担当システムを用いた VTS と図的外化機能(F3)の評価結果	101
図 5-9 担当システムを用いた VTS と図的外化機能(F3)の評価結果 2	102
図 5-10 「システム思考への関心が高まったか」の確認結果	103
図 5-11 「様々なシステムで4つのシステムの捉え方ができるか」の確認結果	106
図 5-12 「担当するシステムで4つのシステムの捉え方ができるか」の確認結果	107
図 5-13 「絵画作品をシステムとして捉えられるか」の確認結果	108
図 5-14 対象による自己効力感変化の比較	108
図 5-15 自己効力感の個人別変化の比較	112
図 5-16 精神的な負担感の確認結果	113
図 5-17 精神的な負担感の確認結果	113
図 5-18 Engagement with Systems Thinking 尺度の因子別合計値の推移	116
図 5-19 ワークショップのネットプロモータスコア NPS®	124
図 5-20 Félix Vallotton 作「The Ball」(再掲)	127
図 5-21 被験者 ID_A12 が作成した絵画のシステム図	128
図 5-22 被験者 ID_A15 が作成した絵画のシステム図	129
図 5-23 小村雪岱 作「青柳」(再掲)	129
図 5-24 被験者 ID_A23 が作成した絵画のシステム図	131
図 5-25 被験者 ID_A25 が作成した絵画のシステム図	132
図 5-26 被験者 ID_A12 が作成した担当システムのシステム図	133
図 5-27 被験者 ID_A23 が作成した担当システムのシステム図	134

表目次

表 3-1 調査対象者	13
表 3-2 インタビュー項目	15
表 4-1 ワークショップの構成	28
表 4-2 システムの機能一覧.....	56
表 4-3 システム機能の物理構成への割り当て表	58
表 4-4 ワークショップ実験 1 実験概要	59
表 4-5 標準的な VTS の実施内容.....	60
表 4-6 システム思考要素を組み込んだ VTS の実施内容.....	61
表 4-7 ワークショップ実験 2 実験概要	63
表 4-8 VTS のデモンストレーション内容.....	64
表 4-9 絵画のシステムとしての整理	65
表 4-10 VTS Session1 の実施内容	66
表 4-11 ワークショップの目的	70
表 4-12 プロトタイピング実験の被験者.....	71
表 4-13 プロトタイピングのワークショップ構成	71
表 5-1 評価方法概要：検証.....	74
表 5-2 評価方法概要：妥当性確認.....	75
表 5-3 被験者の属性	77
表 5-4 被験者の Big Five 性格特性.....	78
表 5-5 対話側鑑賞 VTS 機能(F1.1)を評価する質問.....	81
表 5-6 VTS とシステム思考の関係説明機能(F1.2)を評価する質問	82
表 5-7 絵画の目的の分析と改善を行う VTS 機能(F1.3)を評価する質問	82
表 5-8 思考過程の図的外化機能(F2)を評価する質問	83
表 5-9 担当システムを用いた VTS と図的外化機能(F3)を評価する質問.....	83
表 5-10 「システム思考への関心が高まったか」を確認する質問.....	84
表 5-11 「システム思考を実践したかどうか」を確認する質問.....	84
表 5-12 「様々なシステムを対象として4つのシステムの捉え方ができるか」を問 う質問	85
表 5-13 「担当するシステムを対象として4つのシステムの捉え方ができるか」を 問う質問.....	86
表 5-14 「絵画作品をシステムとして捉えられるか」を問う質問.....	86
表 5-15 精神的な負担感を確認する質問.....	87
表 5-16 工数的な負担感を確認する質問.....	87

表 5-17 Engagement with Systems Thinking 尺度(Camelia and Ferris 2018)	89
表 5-18 現場で期待される思考傾向	90
表 5-19 The Self-Reflection and Insight Scale(Grant, Franklin, and Langford 2002)	91
表 5-20 Critical Thinking Disposition Scale(Sosu 2013)	92
表 5-21 今後の業務への適用が促されたかを確認する質問	93
表 5-22 評価結果概要：検証	95
表 5-23 評価結果概要：妥当性確認	96
表 5-24 「システムの機能要求を満たしているか」の評価まとめ	97
表 5-25 ワークショップの成果物による評価の個別の評価結果例	102
表 5-26 システム思考を実践したかどうかの確認結果	104
表 5-27 対象別の自己効力感変化量 (Day3 後-初期) の相関分析結果	109
表 5-28 個人属性と自己効力感変化量 (Day3 後-初期) の相関分析結果	109
表 5-29 様々なシステムを対象としたシステム思考の自己効力感評価の検定結果	110
表 5-30 担当するシステムを対象としたシステム思考の自己効力感評価の検定結果	111
表 5-31 Engagement with Systems Thinking 尺度評価の Friedman 検定結果	115
表 5-32 Engagement with Systems Thinking 尺度評価の Bonferroni 法で調整を行う多重比較結果	115
表 5-33 Engagement with Systems Thinking 尺度評価の Bonferroni 法で調整を行う多重比較結果 (Day1 後除去)	115
表 5-34 現場で期待される思考傾向評価の Friedman 検定結果	117
表 5-35 現場で期待される思考傾向評価の Bonferroni 法で調整を行う多重比較結果	117
表 5-36 システム思考への自己効力感の変化とエンゲージメントの変化の相関分析結果	118
表 5-37 The Self-Reflection and Insight Scale 評価の Friedman 検定結果	119
表 5-38 Critical Thinking Disposition Scale 評価の Friedman 検定結果	120
表 5-39 Critical Thinking Disposition Scale 評価の Bonferroni 法で調整を行う多重比較結果	120
表 5-40 今後の業務への適用が促されたかを確認する質問への回答の評価結果	121
表 5-41 担当システムに対する視点の変化	122
表 5-42 今後の業務への活かし方	123

第1章 緒言

本章では、本研究の社会的背景と、研究の目的、本論文の全体構成について説明する。

1.1 研究の背景

内閣府の第6期科学技術・イノベーション基本計画(2021)によれば、「科学技術・イノベーション政策を振り返ると、Society 5.0¹の前提となるデジタル化については、あらゆる分野でIT化を進めていたものの、既存の業務の効率性の向上を目指す取り組みが中心となり、諸外国のようなデータ連携・活用による新たなビジネスモデルの創出などは十分に行えず、ICTの持つ本来の力を十分に生かし切れていなかった。～(中略)～。各組織が異なるシステムでネットワークを閉鎖的に利用している現在の状況では、分野を跨いだリアルタイムでのデータ収集・分析・活用を行う環境が整っていないなど、Society 5.0の実現に向けた基盤整備へのスピード感や危機感が欠如していた」とある。また、日本経済新聞(2020)によれば、「企業がデジタル化を進める際、組織の縦割り化によるデータの共有や連携面での障害が問題となる。縦割り組織とは、専門化が行き過ぎたり、部門間に壁が生まれたりして、連携ができなくなる組織病理である。これによりタコツボ化²した『分断組織』が生まれる。～(中略)～。経営学でも近年、国際的に見直されている研究課題だ」とある。かねてより問題視されていた縦割り組織は、Society 5.0の実現の阻害要因にもなっている。

Society 5.0の実現を支えるIoTやAI技術の開発に関連して、松本(2017)は、「IoT時代を迎え、多様・複雑に連動するシステムの設計に、システムズエンジニアリングが有効であると言われるようになってきた」としている。システムズエンジニアリングとは、INCOSE³の定義によれば、「システムを成功させるための複数の専門分野にまたがるアプローチと手段である」である。ここでいう「システム」は、コンピュータシステムにとどまらず、機械、電気機器、人間系(操作者)、環境など広い意味を持っている(IPA独立行政法人情報処理推進機構 2017)。システムズエンジニアリングを推進する人材はシステムズエンジニアと呼ばれる。これまでの日本の製造業においても、明示的にシステムズエンジニアとは呼ばれな

¹ 内閣府が提唱する、狩猟社会(Society 1.0)、農耕社会(Society 2.0)、工業社会(Society 3.0)、情報社会(Society 4.0)に続く、新たな社会を指すもの。サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムによって開かれる未来の社会。

² 組織の中に閉じこもって他の部門や人に関心がなくなる状態を、蝸壺になぞらえて表現した言葉。

³ INCOSE: The International Council on Systems Engineeringは、非営利会員組織として1990年に設立された。INCOSEは学際的なアプローチの実践応用と複雑なシステムの実現を可能とする方法を進展させることを目的とし、また、産業界、学際組織、政府機関における世界規模のSEの定義、理解、実践を進めているシステムズエンジニアのための国際的な専門組織である。

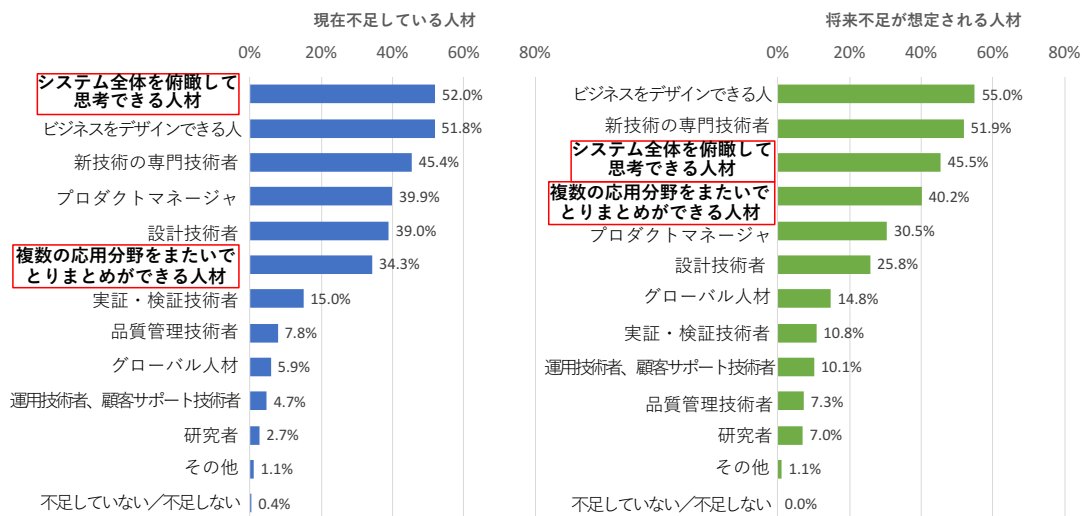


図 1-1 IPA 組込み/IoT に関する動向調査 不足している人材(資料をもとに筆者が作成)

くとも、開発リーダーやプロジェクトマネージャーと呼ばれる人のなかに、実質的にその役割を担う人材が存在していた。しかし、システムが大規模化・複雑化し、組織も専門化が進むなかで、システムズエンジニア人材の不足が顕在化している。独立行政法人情報処理推進機構 IPA⁴によれば、組込みソフトウェアが搭載されたシステムを開発している企業に対する調査で、現在・将来の不足している人材の上位に「システム全体を俯瞰して思考できる人材」「複数の応用分野をまたいでとりまとめができる人材」というシステムズエンジニアに相当する人材があげられている(IPA 独立行政法人情報処理推進機構 2019) (図 1-1)。

システムズエンジニアの育成に関しては、欧米において研究が進んでいる。詳しくは第2章で述べるが、Davidz and Nightingale (2008)によれば、シニアシステムズエンジニアへのインタビュー調査の結果、システムズエンジニアはシステム思考を持っていることが理想であり、システム思考の育成を加速させることができれば、システムズエンジニアの育成を加速させることができるとしている。また、システム思考の育成を可能にする主なメカニズムは、「経験学習」「個人の特性」そして「支援環境」であり、「経験学習」では分野横断的な業務経験が重要となるとしている。ここでいう「支援環境」とは、研修やメンタリングなどのことである。システム思考の発展を阻害する要因としては、「スケジュールとコストの制約」「組織の境界・構造」「領域の狭い仕事」などの業務環境における制約条件であり、阻害要因に対しては、エンジニアの支援環境を強化する取り組みが必要であるとしている。「組織の境界・構造」「領域の狭い仕事」という制約条件は、まさに先に述べた縦割り組織で起きている問題である。

⁴ IT 人材育成、情報セキュリティ対策などの課題に取り組んでいる団体。システムズエンジニアリングの推進活動も積極的に行っている。

支援環境の強化において、Camelia and Ferris (2018)は、システムズエンジニアは、システムズエンジニアリングのあらゆる段階でシステム思考を使用する能力と意欲を兼ね備えている必要があり、知識だけではなく、システム思考のエンゲージメント、つまりシステム思考に価値を感じ、使いたいと思う感情的な側面を向上させる必要があるとしている。しかし、その課題に対し先行研究のなかでは経験的な学習方法が望ましいという方向性は示されているものの、具体的な方法までは示されていない。専門化が進む組織におけるシステムズエンジニアの育成に向けたエンジニアの支援方法、特にエンジニアのシステム思考へのエンゲージメントを高める方法の検討は、日本に限らず解決すべき課題であると言える。

1.2 研究の目的とスコープ

本研究の目的は、専門化が進む組織におけるシステムズエンジニアの育成に向けたエンジニア支援強化の要請に応えるために、①エンジニアのシステム思考へのエンゲージメントを高めるための具体的な方法と、②専門分野を越えてシステム思考を用いることを促すための方法を提案することである。

①エンジニアのシステム思考へのエンゲージメントを高めるための具体的な方法においては、前段階として自分がシステム思考を使うことができると認知する感覚、システム思考への自己効力感を高め、エンゲージメント向上に繋げる方法を提案する。

②専門分野を越えてシステム思考を用いることを促すための方法においては、概念的なシステム思考を業務などに実際に使用する際に必要な、具体的な適用イメージを掴ませる方法を提案する。

本研究では、提案手法の実証実験まで行い、上記①②を満たしているかを評価する。評価では主に被験者による主観的な評価とし、特にシステム思考力に関して客観的な評価は行わないものとする。これは、主に対象とするシステム思考へのエンゲージメントは、主観的な感情的側面であり、必ずしもシステム思考力に依存するものではないからである。

1.3 本論文の構成

本論文の第 2 章以降の構成を説明する。第 2 章では、システムズエンジニア・システム思考の育成に関する先行研究と、提案手法に関連するアートとシステム思考に関する先行研究について説明する。また、本研究の新規性を述べる。第 3 章では、システム設計人材に関する日本の製造業の実態調査について説明する。第 4 章では、提案手法の詳細及び提案手法の構築過程を説明する。第 5 章では、提案手法の実証実験の結果を説明し考察を述べる。第 6 章では、結論と今後の展開について述べる。

なお、本論文に掲載する絵画作品はすべて、作者の死後 70 年以上経過しており、著作権が発生しない公有の財産、パブリックドメインとなっている。

第2章 先行研究と用語の定義

本章では、システムズエンジニア及びシステム思考の育成に関する先行研究、次に、手法に関連するアートとシステム思考に関する先行研究について説明する。最後に本研究の新規性について述べる。

2.1 システムズエンジニア育成に関する先行研究

2.1.1 システムズエンジニアに必要な能力

システムズエンジニアに必要なコンピタンス（職務や役割において優秀な成果を発揮する行動特性）を定義し評価するための研究や取り組みが多くなされている。Kasser et al. (2010)は、複数の研究や取り組みをレビューし、システムズエンジニアに必要なコンピタンスを、「知識」「認知スキル」「個人の特性」という3つの分野に集約している。ここでいう「知識」とは、システムズエンジニアリングと、それが適用されるアプリケーションドメインに関するものであり、「認知スキル」とは、システム思考とクリティカルシンキングを含み、「個人の特性」とは、コミュニケーションや影響力、誠実さなどであるとしている。

Davidz and Nightingale(2008)は、シニアシステムズエンジニアへのインタビューから、システムズエンジニアに求められる能力はシステム思考だけではないが、シニアシステムズエンジニアはシステム思考を持っていることが理想であり、システム思考の育成を加速させることができれば、システムズエンジニアの育成を加速させることができるとしている。また、システム思考の発展を可能にする主なメカニズムは、「経験学習」「個人の特性」そして「支援環境」であるとしている。阻害要因としては、「スケジュールとコストの制約」「組織の境界・構造」「狭い仕事」などの業務環境における制約条件であり、システムトレーニングを受けた後に組織に戻ると、より大きなシステムを考えることへの組織の抵抗、システムの理解を妨げる組織の境界、システム全体を考えられない非常に狭い仕事、といった環境に戻ってしまう可能性があるという問題を提起している。

2.1.2 システムズエンジニアの育成方法

システムズエンジニアの企業内の育成に関して、約20年前と古いデータではあるが、Watts and Mar (1997)は、INCOSEの会員である米国の企業を中心に広範囲に調査を行った結果、様々なスキルに対応した教育訓練が行われており、スキル内容で分類したところ、スキルによって平均14時間から66時間の教育訓練が行われていたとしている。システム

ズエンジニアリングプロセスに関しての教育訓練は、平均 44 時間であった。教育訓練の方法に関しては記述されていないが、システムズエンジニアの教育には多くの時間を要することが分かる。

具体的な育成方法に関して、Jansma and Derro(2007)は The Jet Propulsion Laboratory (JPL)⁵における OJT(On the Job Training)を中心とした組織的かつ計画的な育成事例を紹介している。このなかで、コンピタンスとして技術知識、プロセス知識、行動特性が定義されており、行動特性のなかでは、リーダーシップ、性格的な属性、コミュニケーション、課題解決とシステム思考を定義している。参考にすべき点は多いが、OJT の参加者を 3 ヶ月間かけて選抜するなど、一般的な日本企業でそのまま実施することは難しい部分も多い。

Bishop and McDermott (2012)は、工科大学で実施されている、航空宇宙産業の実例によるケーススタディーを用いた育成プログラムを紹介している。このプログラムは、Kolb の経験学習モデル(Kolb 1984)にもとづいた学習効果を得るために、学生は小人数のグループを作り、それぞれがケースのなか役割を担うなど、ケーススタディーを効果的に活用することで、受講者にそれぞれのケースに関連するシステムズエンジニアリングの課題を迅速に「体験」させることができるとしている。企業においても比較的实施しやすい方法である。

Project Based Learning による育成は、多くの大学や企業で取り入れられているが、例えば Mo and Tang (2017)は、学生がプロジェクトを通じてシステムズエンジニアリングプロセスを学ぶ際に、3D プリンティング技術を用いて実物を使って検証活動を経験できるようにしたことで、学習効果が高まったとしている。

新しい技術を用いた試みとしては、Squires et al.(2011)が、システムズエンジニアの学習プロセスを、仕事の中で自然に行われる学習に比べて大幅に加速するために、シミュレータ技術を使って学習者に経験的で感情的な状態を作り出し、反省的な学習を行うことで、時間を効果的に圧縮する方法を開発中であることを報告している。この方法が実現すれば、学習者のコンピタンスと学習の好みに関する自己評価や、学習者の進捗に基づいてカスタマイズすることができるとしている。

システムズエンジニアに重要なのはシステム思考であるという研究が多くあるなかで、システムズエンジニアの育成では、エンジニアリングプロセスの教育に多くの時間が使われており、システム思考の育成の焦点を絞ったものは少ない。

⁵ NASA の無人探査機等の研究開発及び運用に携わる研究所。アメリカ合衆国カリフォルニア州パサデナにある。

2.2 システム思考に関する先行研究

2.2.1 システム思考の定義

1987年に「システム思考」という言葉を作ったことで知られている Barry Richmond は「システム思考とは、根本的な構造をますます深く理解することによって、行動について信頼できる推論を行うための技術と科学である」(Richmond 1994)と定義している。この分野のもう1人のリーダーである Peter Senge は、システム思考を「全体を見るための規律であり、物事ではなく相互関係を見るための枠組みであり、静的なスナップショットではなく変化のパターンを見るためのものである」(Senge and Others 1990)と定義している。

Arnold and Wade (2015)は、前記2人を含めた多くの筆者により提案されたシステム思考の定義をレビューした上で、システム思考自体をシステムとして定義することを目指し、「システム思考とは、システムを識別・理解し、その動作を予測し、望ましい効果を生み出すためにシステムの修正を考案する能力を向上させるために用いられる一連の相乗的な分析スキルである。これらのスキルはシステムとして機能する」と定義している。

Cabrera, Cabrera, and Powers(2015)は、システム思考は様々な手法やアプローチがあるのが特徴であるが、根底には、DSRP (distinctions, systems, relationships, and perspectives, それぞれ2つの共起要素を含む)と呼ばれる4つの普遍的なルールがあるとしている。DSRPの定義について、Cabrera, Cabrera, and Powers(2015)の詳細な記述をもとに、筆者が理解し要約したものを記述する。

- Distinctions 区別：物事やアイデアを議論する際に、対象とそれ以外を区別すること。
- Systems システム：部分と部分から構成される全体としてのグループを認識すること。
- Relationships 関係性：様々なタイプの相互依存の関係性を深く理解すること。
- Perspectives 視点：自分の視点を持ちそれ以外の視点の存在を認識すること。

本研究および提案手法では、Arnold and Wade(2015)におけるシステム思考の定義と Cabrera, Cabrera, and Powers(2015)におけるシステム思考の4つの普遍的なルールをシステム思考の定義として用いる。また、「実践」システム・シンキング(湊宣明 2016)に記述されている「システム・シンキングとは、対象をシステムととらえて分析する思考技法である」という定義も簡潔で明快であり、適宜用いている。

2.2.2 システム思考の能力の定義

システム思考の習熟度を評価するための研究では、Arnold and Wade(2017)は、さまざまな分野で用いることができる定義として、システム思考のドメインを Mindset(How to approach systemic problems), Content(What's in the system), Structure(How's it organized), Behavior(What happens when content and structure interact)の4つとし、さらに3~5の細項目ごとに5段階の習熟度を提案している。

Frank(2010)は、工学分野に必要なシステム思考の能力を、Capacity for Engineering Systems Thinking (CEST)として定義している。CESTでは、4つのカテゴリー「成功するシステムプロフェッショナルの一般的な認知的特徴」「成功するシステムプロフェッショナルの能力」「成功するシステムプロフェッショナルの個人的特徴」「成功するシステムプロフェッショナルの知識と背景」と、35項目の能力を定義している。また、システムズエンジニアの採用時などに使用可能な複数の質問で構成される CEST 尺度（未公開）を開発し、妥当性の確認をしている。

2.2.3 システム思考の育成方法

システム思考の育成の研究において、Hung (2008)は、システム思考が、高度な学習において最も重要な高次の思考スキルの1つであり、習得するのが最も難しいスキルでもあるとしている。また、システム思考の難しさは、システムの本質的な部分と因果関係は目に見えず、抽象的であるため、システムを視覚的に表現することで、抽象性や知覚できない性質や関係性を扱う難しさを克服することができるとして、システムモデルを用いる方法の有効性を主張している。実証実験において、「人口増加」や「都市の成長」「獲物や捕食者」をシステムとし、システムモデルを作成する学習方法により、システム思考を向上させることができたとしている。

Kordova(2020)は、組織の品質管理の課題や業務プロセスの課題を、組織をシステムとして捉えて解決策を検討する Project Based Learning により、工学分野に必要なシステム思考の能力 CEST(Frank 2010)を向上させることができたとしている。

Davidz and Nightingale(2008)は、シニアシステムズエンジニアへのインタビュー調査により、システム思考の発展を可能にする主なメカニズムは、「経験学習」「個人の特徴」「支援環境」であるが、経験学習では仕事の経験だけでなく「人生の経験」も重要であるとしている。

先行研究において、システムズエンジニアリングとシステム思考は密接な関係性があることが示されているが、システム思考の育成のためには、必ずしも工学的なシステムを対象とする必要ではないことが示されている。

2.2.4 システム思考に対するエンゲージメント

Camelia and Ferris (2018)は、システム思考の育成研究において、「システム思考へのエンゲージメントの向上が重要である」という主張を加えている。システムズエンジニアは、システムズエンジニアリングのあらゆる段階でシステム思考を使用する能力と意欲を兼ね備えている必要があり、知識だけではなく、システム思考のエンゲージメント、つまりシステム思考に価値を感じ、使いたいと思う感情的な側面を向上させる必要があるとしている。さらに、システムズエンジニアリング教育において、学生のシステム思考の学習成果を情動領域と関連づけて測定するための尺度として、**Engagement with Systems Thinking**を開発している。この尺度は、工学的システム思考能力 (CEST) (Frank 2010)をもとに、システム思考に対する感情や態度を測定可能にしたとしている。

また、Camelia, Ferris, and Behrend (2020)は、大学の教室での講義と課題で構成される従来型のシステムズエンジニアリングコースがシステム思考の認知領域と情動領域の両方で効果があるかを評価した結果、認知領域での能力向上はみられたが、情動領域での効果はなかったとしている。Camelia and Ferris(2017)では、システムズエンジニアリングを学ぶ学生(実務経験者を含む)の調査結果から、職歴とエンゲージメントに関係性があったとしている。さらに、それを根拠に、エンゲージメントを高めるには、経験的な学習環境として**Project Based Learning**の学習アプローチが、感情的な動機付けの背景を提供するため適切と考えられるとしている。

2.3 アートを用いた手法に関する先行研究

2.3.1 システム思考を育む芸術的アプローチ

McDermott and Salado(2017)は、アートとシステム思考、またシステムズエンジニアリングの一部であるアーキテクチャ設計の思考方法と学習過程には「分解と再構成を学ぶ」などの共通点が多く、例えば美術作品制作で対象から作品をどう切り出すかの境界を探ること「フレーミング」は、アーキテクチャ設計を担うアーキテクト⁶のシステムの捉え方のトレーニングになるとしている。その他にも、対象を詳細まで分析した後に、全体をひとまとめとして捉え単純化する行為や、意図する視点を誘導するために、対比や対称性などを用いる行為などを共通点として挙げている。また、複雑な社会工学的なシステムのためのシステム思考を発展させるためには、工学と芸術を結びつけることが有効であるとしている。

McDermott and Salado(2019)では、工学と芸術の学習プロセスを結びつける具体的な学

⁶ システムズエンジニアリングプロセスにおける、アーキテクチャ設計を担う役割。システムズエンジニアの役割の中の1つ。

習方法として美術教育で用いられるスタジオ形式で、成果物を共有し議論しながらアーキテクチャ設計を学ぶ手法を提案している。その中で「アートを使ってシステムモデルを効果的に伝えることは、工学における構想力、構成力、コミュニケーション能力を高めるための基本であると考えている。工学教育では、分析力、方法論に重点が置かれ、これらの本質的な能力に到達できないことがある。一方、芸術分野や建築分野では、まず構成力を身につけ、その後に分析力や方法論的な能力を身につける。このように、芸術分野の教育方法と工学（特にシステム工学）を明確に結びつける方法を模索している」としている。

システム思考の育成に芸術を用いたアプローチとして、Molderez and Ceulemans (2018) は、システム思考の育成に直接絵画作品を用いている。持続可能な開発のための教育の一環として、持続可能性に関連して、課題や対象の中で境界線を見つけること難しさと重要性を伝えるために、Rene Magritte⁷と Maurits Escher⁸の絵画作品を選択している。MBA と MIBEM⁹のコースで講義を行い、持続可能性とシステム思考の理解を高めることができたとしている。

Cortes Acosta(2013)は、大学生のリーダーシップ教育のなかで、システム思考を身につけるための手段としてイメージシアターという芸術をベースとした教育的アプローチを実践し、学部生に「全体像」と「交差する社会システム」の相互関係をよりよく理解させることを目指している。

Danielson et al. (2020)は、STEM¹⁰リテラシーを強化する方法の一つとして、システム思考が注目されており、芸術をSTEMに統合することで、社会科学的な問題に関するシステム思考を支援できるかを検討しているとしている。その中で、小学生向けプログラムとして「人獣共通感染症と生態系のダイナミクスに焦点を当てたプログラム」を紹介している。

本研究で提案手法として用いている対話型鑑賞VTSはシステム思考を意図した手法ではないが、Moeller et al. (2013)は、参加者はVTSで部分と全体の相互作用を分析するためにシステム思考を使用しているとしている。

以上のように、様々な目的を背景として、システム思考の育成にアートを用いる試みが多くなされている。

⁷ ベルギー出身のシュルレアリスムの画家。不可思議な作風が特徴。1898生-1967没。

⁸ だまし絵で知られるオランダ出身の版画家。1898生-1972没。

⁹ Master of Science in International Business Economics and Management

¹⁰ STEM : Science, Technology, Engineering and Mathematic

2.3.2 対話型鑑賞 VTS

本研究で提案手法として用いる対話型鑑賞 VTS の定義について説明する。

Visual Thinking Strategies (VTS)はニューヨーク近代美術館（略称：MoMA）の教育部部長をしていた Philip Yenawine と認知心理学者 Abigail Housen らが開発した手法である。美術館で行われていたギャラリートーク¹¹の参加者が、プログラムが提供している内容を終了直後ですら記憶していないという調査結果の反省から生まれ、小学校の教師向けに発展させた手法である(Yenawine 2013)。教師が進行役を務めながら、鑑賞者主導で美術品について話し合うことに重点を置いている。特定の鑑賞者に関連するテーマを提供するためにアート作品は慎重に選ばれるため、参加者は既存の知識・興味・能力を使って始めることができる。また、作品には好奇心を刺激するような十分な曖昧さがあり、不可解なものを探求する動機を生むものが選ばれる。VTS のプロトコルは、「厳選されたアート作品」「観察」「調査で検証された以下の 3 つの質問」「特定のテクニックにもとづくファシリテーション」で構成されている。実施する際は、1 つの作品に対して 30 分程度の時間をかける(Hailey, Miller, and Yenawine 2015)。VTS は美術教育だけではなく、数学など他の教科への教育効果もあることが報告されている(Yenawine 2013)。

- この絵の中では何が起こっていますか？
- 何を見てそう思ったのか？(解釈的なコメントがなされるたびに尋ねられる)
- 他に何かありますか？(意味探求の幅を広げたり深めたりするために、話し合いの中で頻繁に質問される)

Moeller et al.(2013)の「参加者は VTS で部分と全体の相互作用を分析するためにシステム思考を使用する」という指摘は、特に VTS の「この絵の何が起こっていますか？」に対応している。VTS は参加者に、絵の中に何があるかではなく、何が起きているかを考えさせることで、絵画の全体構成や、絵の中の要素間の相互作用を捉えさせる。

VTS は、R. C. Campbell, Nguyen, and Kim (2021)において、内省的思考能力を高めるというシステム思考育成とは異なる目的ではあるが、理工学系大学院生に適用され、教育手法として好意的に受け入れられたことが報告されている。

芸術的アプローチの 1 つである対話型鑑賞 VTS は、システム思考の育成方法として適用した場合、エンジニアリング教育を含まないシステム思考の育成に焦点を絞った手法となり得る。また、実施方法がシンプルで、実施時間も短く、エンジニアの時間的余裕がないという状況に合致する。また、工学的なアプローチと組み合わせることで、より有効なシステム思考の育成方法の 1 つとなる可能性がある。

¹¹ 作品の前で美術館のスタッフによって行われる作品解説。

2.4 本研究の新規性

本研究の新規性として以下の2点を主張する。

1つ目の新規性は、システム思考育成のために対話型鑑賞 VTS を組み合わせたという点である。本研究では Camelia and Ferris(2018)の主張にもとづき、システム思考へのエンゲージメントを高めることを目的している。Camelia and Ferris(2018)では、具体的な教育手法の提案はされておらず、本研究では具体的な手法として、Yenawine(2013)らによって開発された芸術教育手法である対話型鑑賞 VTS を組み合わせた。Moeller et al.(2013)は VTS とシステム思考の親和性を主張しているが、システム思考の育成を目的として VTS を用いた研究は見つかっていない。

2つ目の新規性は、VTS という手法における新規性であり、VTS をシステム思考育成に適した形態とするために、VTS のプロトコルに工学的なアプローチを含む以下の修正を加えたという点である。

- 講義：システム思考及び、VTS との関連性を説明する。(工程の追加)
- 作品の選択基準：システム思考の DSRP の定義(Cabrera, Cabrera, and Powers 2015)に対応した要素を含む作品を用いる。
- 観察：作品の目的を分析することを意識した観察とする。
- 質問：3つの質問(Yenawine 2013)に加えて、作品の目的を問う質問、改善案を求める質問を行う。
- 図式化：対話の内容をシステム図に表現する。(工程の追加)
- 業務への応用：利用者の担当するシステムのシステム図を作成する。(工程の追加)

第3章 日本の製造業の実態調査

本章では、日本の製造業開発部門のマネージャーを中心に行ったシステム設計を行う人材の育成課題に関する調査結果を示す。なお、本章の記述では、インタビューのなかで用いたシステム設計人材という用語を、システムズエンジニアという用語に置き換えることなくそのまま使っている。

3.1 調査目的

本調査の目的は、欧米中心で実施された先行研究のなかで指摘されているシステムズエンジニア育成における課題が、日本の製造業の実態と整合しているかを確認した上で、より具体的な育成手法への要求を抽出することである。

3.2 調査対象者

3.2.1 調査対象者の属性

製造業 4 社の開発部門に所属し、エンジニアの人材育成に携わるマネージャーを中心とした 12 名を対象とした。12 名の属性を表 3-1 に示す。

表 3-1 調査対象者

ID	所属	役職	専門分野	性別	年代	
A1	A社	x事業	開発マネージャ	物理	男	40代
A2			開発マネージャ	機械	男	40代
A3		y事業	開発マネージャ	電気	男	40代
A4			開発マネージャ	電気	男	40代
A5			開発マネージャ	ソフト	男	40代
A6			開発マネージャ	ソフト	男	40代
A7			開発マネージャ	ソフト	男	40代
A8			SE推進担当	電気	男	50代
A9		人事	R&D人事担当	電気	男	50代
B1	B社	開発マネージャ	機械	男	40代	
C1	C社	元開発マネージャ	機械	男	50代	
D1	D社	中堅エンジニア	物理	男	40代	

SE：システムズエンジニアリング

3.2.2 調査対象者の所属企業の特徴

今回調査を行った4社は、いずれも東証一部上場企業で、従業員1万人を越える、製造業において日本を代表する企業である。業種はそれぞれ異なるが、いずれも完成品の設計開発から製造までを行っているという点で共通している。

システム設計人材の課題に関しては、A社・B社・C社では概ね類似しており、D社のみ異なっていた。各社の特徴に関して記載する。

(1) A社特徴

専門分野別組織で開発が行われており、システム設計人材の不足を課題としている。システムズエンジニアリング研修などの人材育成や、システムズエンジニアリングの試行プロジェクトなどに取り組んでいる。

(2) B社特徴

専門分野別組織で開発が行われており、システム設計人材の不足を課題としている。システム設計人材の育成に関しては、まだあまり具体的な取り組みはなされていない。

(3) C社特徴

4社のなかでは開発部門の規模が最も大きい。専門分野別組織で開発が行われており、システム設計人材の不足を課題としている。システムズエンジニアリング研修などの人材育成や、システムズエンジニアリングの試行プロジェクトなどに本格的に取り組んでいる。ただし、システム設計人材の育成では広く育てるというよりも選抜色が強い。

(4) D社特徴

専門分野別組織の中にシステム開発部門があり、システム設計はその部門で行われている。OEM製品が多く、アーキテクチャもあまり変更がないためシステム設計人材の不足は顕在化していない。しかし、将来に向けて新しいアーキテクチャを設計できる人材がないという課題は提議されている。

3.3 調査方法

オンライン面談による半構造化インタビューを行った。インタビューに要した時間は1時間から1.5時間であった。半構造化インタビューの質問項目を表3-2に示す。全体の構成としては、まずシステム設計人材と育成に関する現状確認を行った後、今後のシステム設計人材の育成に向けて検討しているアイデアや意見を聞いた。

現状確認では、まずシステム設計を行う人材像の確認を行い、認識合わせをした後、システム設計を行う人材が不足しているかどうか、不足しているのだとしたらそれはいつ頃からで、何が原因と考えるかなど、過去から現在までの経緯などを確認した。その後、人材不足に対して行っている取り組みを、組織観点、プロセス観点、育成施策観点で確認し、取り組みがうまくいっているか、うまくいっていない場合はその原因は何だと考えるかを確認した。さらに、独自で実施している取り組みがあれば、その内容と状況に関して確認した。

今後に向けたアイデアや意見では、研修やメンタリング、OJT(On the Job Training)等のような方法から着手すべきか、そこではどのような効果が期待されるか、そうなる為には何が必要だと考えるかなどの意見を求めた。また、マインドセットや知識、経験等の観点では、システム設計人材育成では何が重要で、特にマインドセットに関しては、どのようなマインドセットが理想的で、それはどうしたら獲得できると考えるかなどの意見も求めた。

表 3-2 インタビュー項目

現状確認	
システム設計人材は不足しているか？	
システム設計人材とはどんな人材か？	
不足はいつ頃から？	
何が原因と思うか？	
システム設計人材不足に対して、何か取り組みをしているか？（組織観点、プロセス観点、育成施策観点）	
取り組みはうまく行っているか？	
うまくいっていない要因は？	
システム設計人材育成に関して、独自で、何か取り組みをしているか？	
取り組みはうまく行っているか？	
うまくいっていない要因は？	
今後に向けた意見・アイデア	
システム設計人材育成のどこに手をつけるのが良いと思うか？（研修、メンタリング、OJTなど）	
そこでは、どのような効果が期待されるか？	
その為には何が必要なのか？	
システム設計人材育成の何が重要か？（マインドセット・知識・経験）	
どのようなマインドセットが理想的か？	
そのマインドセットがあると何が起きるのか？	
どうしたらそのようなマインドセットが獲得できるのか？	

3.4 調査結果

3.4.1 システム設計人材に期待される能力

インタビューの中で語られた、不足しているシステム設計人材に期待される能力をグルーピングし、整理したものを図 3-1 に示す。システムの目的や上位目的を捉えて、それにもとづいて行動できるという期待が最も多く現れた（8 件）。次に多かったのは、専門分野や、製品横断的にシステムや技術を見ることができる人材（5 件）と、システムの外側を考慮する、ライフサイクルを捉えられるといったシステム思考要素への期待（5 件）であった。リーダーシップなどのビジネススキルも期待されている（4 件）。

これらの能力は、先行研究にも記載されている項目と共通しており、前提としているシステムズエンジニアに必要な能力は共通であることが確認できた。

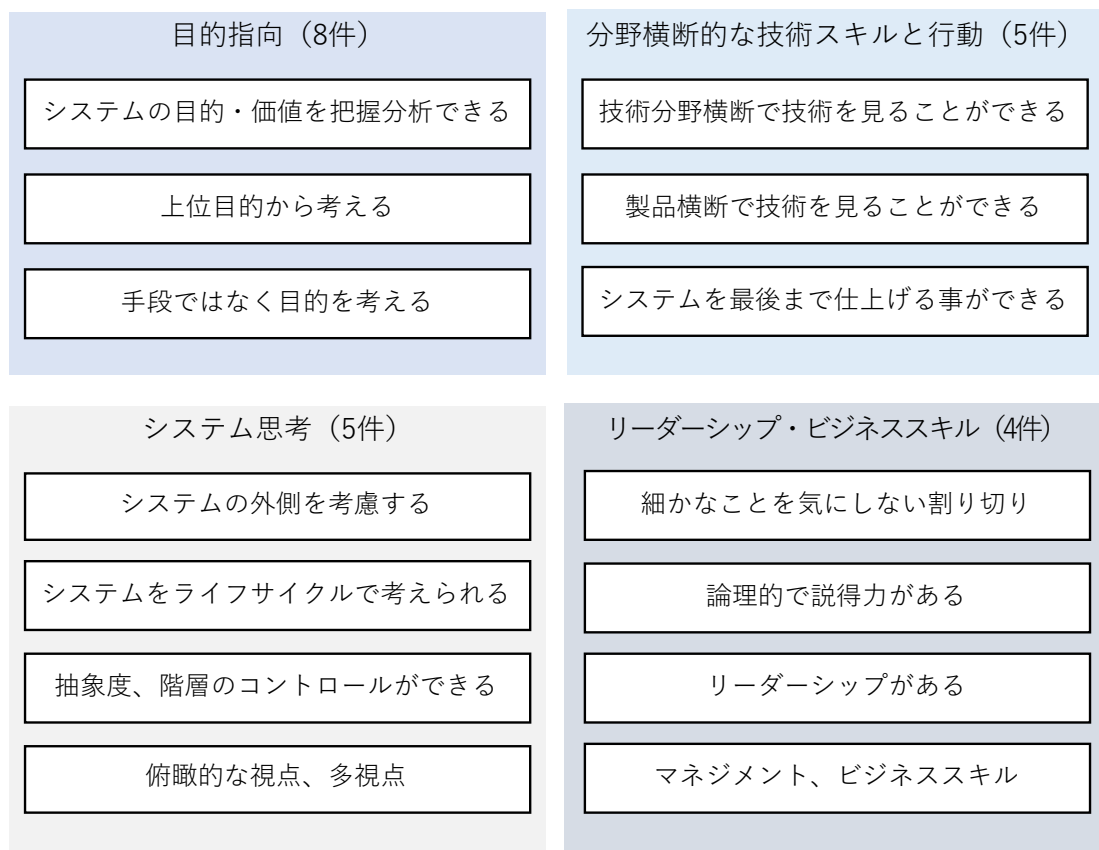


図 3-1 インタビュー結果から得られたシステム設計人材像

3.4.2 システム設計人材の不足の構図

システム設計人材の不足の原因や背景に関してのインタビューコメントをラベル化し親和図法でグルーピングした後、関係性を整理したものを図 3-2 に示す。

大きくは、社会の環境変化 → 企業内で発生する課題 → 課題への対応 → 対応による弊害 → システム設計人材の課題という構造となっている。社会の環境変化に対して、それを受けて企業内で発生する課題、課題への対応は、企業により異なるはずであるが、今回の調査の範囲ではおおよそ共通していた。特に影響を強く及ぼしているのは、技術の高度化による専門技術強化の必要性に対応する為に進展した専門分野別組織であり、これにより、システムに関わる業務が減少し、組織優先でシステムに関わる業務への慎重な態度や、優秀な人材の組織内への囲い込みなど、重大な弊害を生んでいる。これらはさらに、システムに関わる業務経験の不足につながり、システム設計能力の不足やシステムに関わる業務への関心の低下を生んでいる。特にシステムに関わる業務への関心の低下は、システムに関わる業務への慎重な態度をさらに進めるループを形成している。また業務管理の強化に伴って、システム視点のマインドセット醸成の不足を生んで、さらにシステムに関わる業務への関心の低下を引き起こしている。システム設計能力の不足と、システムに関わる業務への関心の低下は、2つのシステム設計人材、複雑・大規模なシステムを設計する人材、新しいシステム・価値を実現する人材の不足につながっている。この状況は、Davidz and Nightingale (2008)において、システムズエンジニア育成の阻害要因は「スケジュールとコストの制約」「組織の境界・構造」「狭い仕事」であり、研修などの「支援環境」の充実が必要であるとしている状況と共通している。また Camelia and Ferris(2018)が主張する、システムズエンジニアは、システムズエンジニアリングのあらゆる段階でシステム思考を使用する能力と意欲を兼ね備えている必要があり、知識だけではなく、システム思考のエンゲージメント、つまりシステム思考に価値を感じ、使いたいと思う感情的な側面を向上させる必要があるという状況とも共通している。

2つのシステム設計人材のうち複雑・大規模なシステムを設計する人材は、システムの規模がさほど大きくなかった時代には、自然発生的に生まれていた。しかし、その後の日本の企業では対処が遅れたばかりか、技術の高度化への対応を優先した専門分野別組織の弊害により、ますます生まれにくい状況を作ってしまった。さらに、デジタルトランスフォーメーションなどの世の中の大きな変化に対応するための人材への対応も必要となっており、非常に困難な状況となっている。

本研究では、先行研究でも指摘されておりまだ十分な解決策が準備されていない、図 3-2 の橙色の部分、システム視点のマインドセットやシステムに関する業務への関心の低下、つまりシステム思考へのエンゲージメントに着目して解決を目指す。

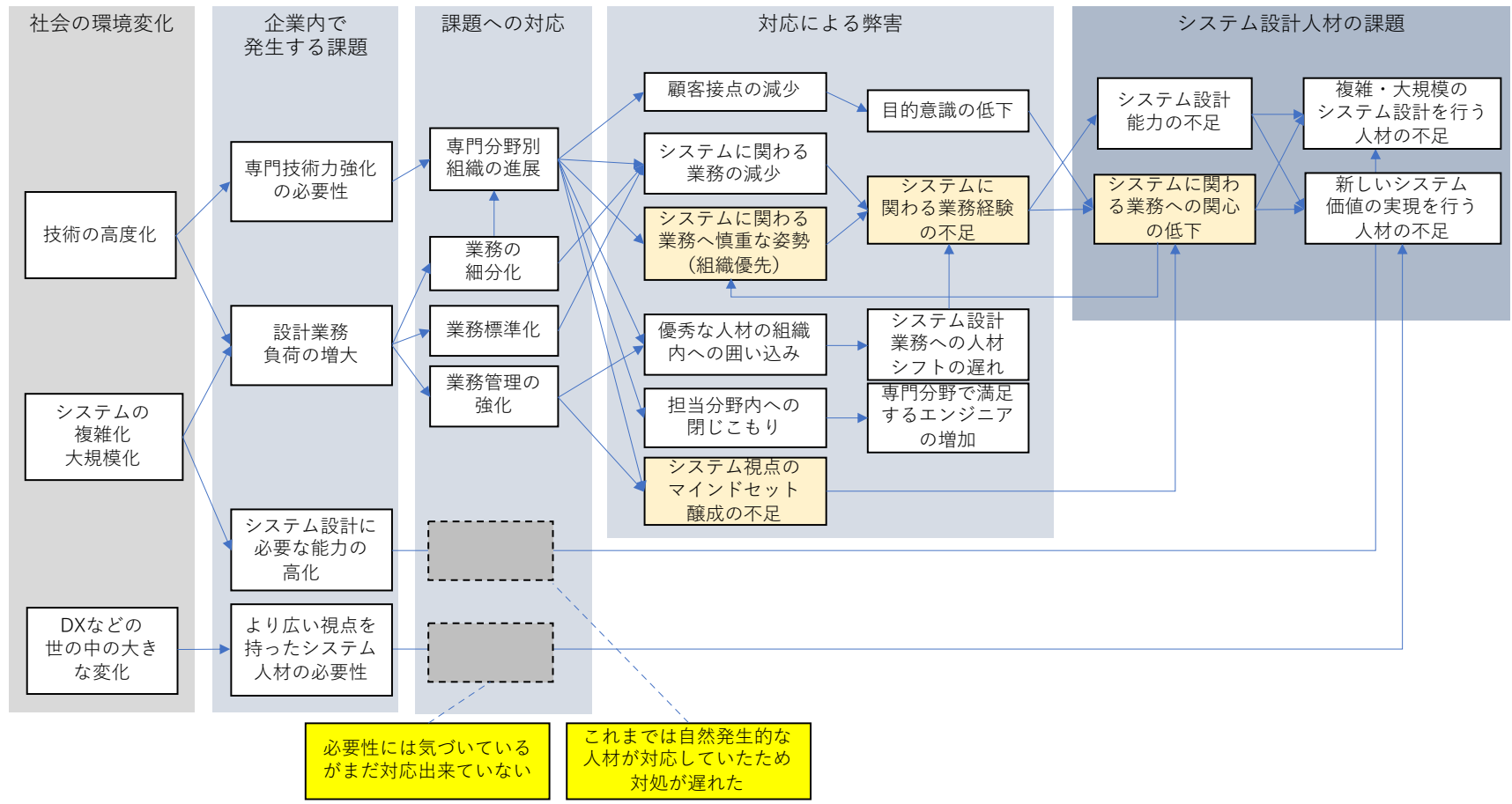


図 3-2 インタビュー結果から得られたシステム設計人材不足の構図

3.4.3 システム設計人材育成の取り組み

インタビューから得られた、開発マネージャーが考えているもしくは実施している、システム設計人材の育成に必要な取り組みや工夫のアイデアをグルーピングし整理したものを図 3-3 に示す。

大きくは、業務設計の見直し、組織的な育成体制の必要性、研修・OJT の強化と工夫に分けられた。業務設計の見直し、組織的な育成体制の必要性の項目は、実現すれば効果は大きいと考えられるが、簡単ではない。研修・OJT の強化と工夫は直ぐにでも対応すべき内容であり、本研究の中で特に考慮するものとする。

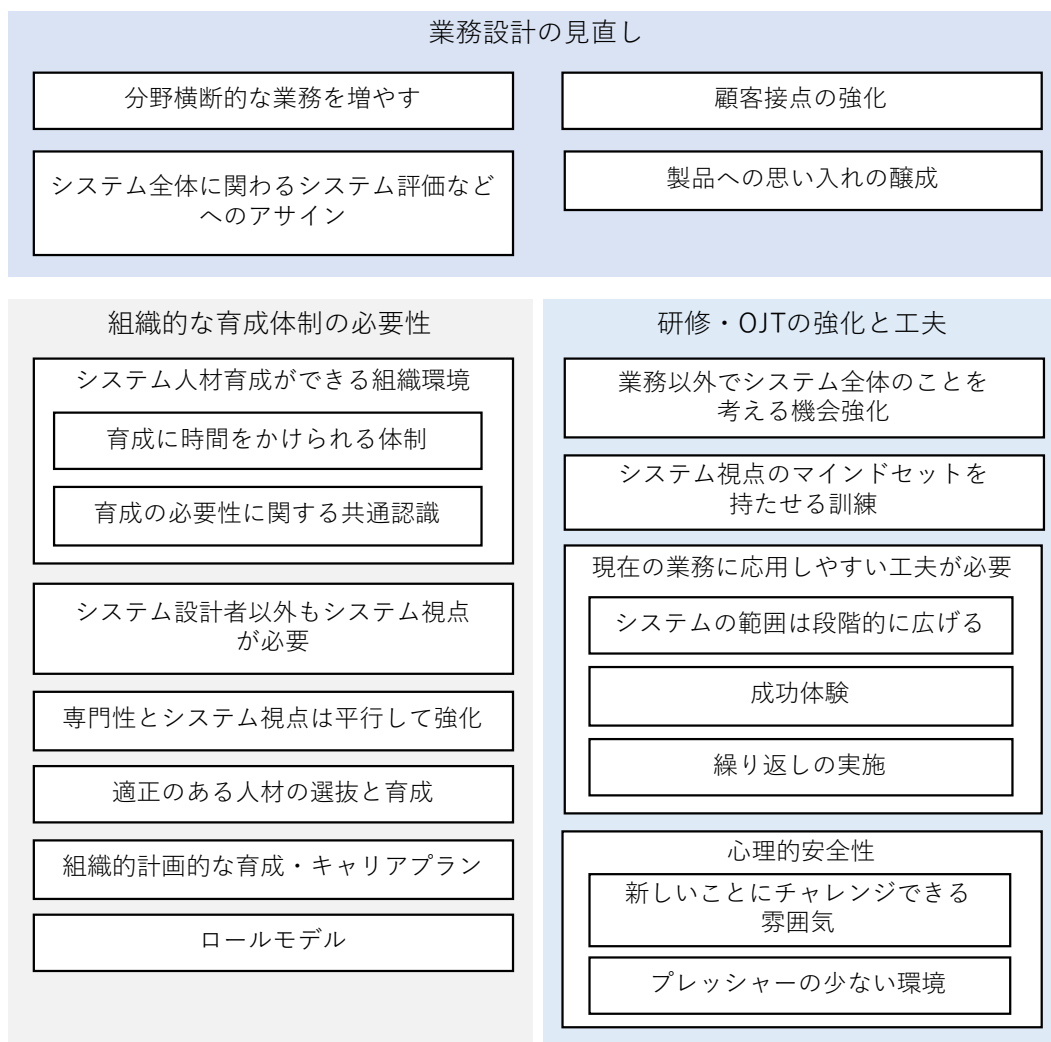


図 3-3 インタビュー結果から得られたシステム人材育成に必要な取り組み

3.4.4 現状のシステム設計人材育成に対する要求

調査結果から得られた、システム設計人材に期待される能力、システム設計人材不足の構図、システム設計人材育成に必要な取り組みから、本研究で検討対象とする要求事項を抽出した。提案検討では、以下の事項を要求として取り込む。

日本の製造業における開発現場では、分野横断的なシステムに関わる業務の機会が不足しているエンジニアに対し、業務以外でシステム全体のことを考える機会を提供すること、それにより業務や要求の上位目的が捉えられること、システム思考が育成されることが求められている。分野を越えて思考し行動する姿勢、モチベーションや、システム設計への関心を高めることも求められている。さらに、育成にあたっては、エンジニアの置かれている状況から、時間をあまり要さず、失敗が気にならず萎縮しない環境が求められている。また、業務へ適用しやすい工夫や、システム設計を担当する予定の人材以外も含め幅広い層を育成対象とすることが求められている。

① 思考・視点に関する要求

- システム全体を考える機会を提供すること
- 上位目的を捉えられるようになること
- システム思考を育成すること

② マインドセットに関わる要求

- 分野を越えて思考し行動する姿勢、モチベーションを高めること
- システム設計への関心を高めること

③ 育成方法に関する要求

- 育成には時間をさけない
- 失敗が気にならならず萎縮しない環境
- 業務へ適用しやすい工夫
- 育成土壌として幅広いメンバーにシステム視点が必要

第4章 本研究の提案

本章では本研究の目的を満たすためのシステムの提案について説明する。4.1 では提案手法の具体的な内容、4.2 では、提案手法の設計について説明する。なお、提案手法は、「VTS for Systems Thinking (VTS for ST)」と名付けた。

4.1 提案内容

4.1.1 提案の目的

第2章の先行研究、第3章の日本の製造業の実態調査から、専門化が進む組織下のエンジニアは、分野横断的なシステムに関わる業務が少なく、目的指向や、対象をシステムとして捉えて分析する思考法であるシステム思考が育ちにくい環境にある。また、システムに関わる業務、つまり分野を越えた思考や行動への関心、システム開発におけるエンゲージメントも低いことがわかった。

本提案では、そういったエンジニアに、システムに関わる業務に代わる、システム思考経験の場を提供するために、絵画作品をシステムとして捉えて分析する機会を提供する。それにより、システム開発におけるシステム思考へのエンゲージメントを高める。さらに、絵画の分析過程を内省する機会と自らが設計を担当しているシステムをシステム思考で捉え直す機会を提供する。これによって、内省的思考傾向を高め、システム思考の業務への適用イメージを獲得させる。

以上により、エンジニアの専門分野を越えた思考や行動が促され、業務を通したシステム思考の育成や、システムズエンジニアの育成に繋がることを最終目的とする。

なお、本提案は既存のシステムズエンジニア育成手法（例えばシステムズエンジニアリングプロセス研修）の置き換えとなるものではなく、それら育成の前段階、準備として実施することを想定する追加的手法である。

4.1.2 提案手法の考え方

(1) 経験学習

本提案手法は、図 4-1 に示したプロセスを、ワークショップを実施形態として利用者に提供する。プロセスは、「経験学習モデル (experiential learning model)」（Kolb 1984）（図 4-2）を参考としている。「仮想システム¹²でシステム思考を経験する」は経験学習モデルの「具体的経験」対応しており、「システム思考経験を内省する」は「内省的観察」、「経験を設計業務に応用する」は、「抽象的概念化」と「能動的実験」に対応している。

「仮想システムでシステム思考を経験する」では、業務外の仮想システムを対象としてシステム思考を用いる経験を提供する。次に「システム思考経験を内省する」では、利用者自身に、システムをどのような視点や考え方で捉えたかを内省させることで、自身が実行したシステム思考の経験的理解を促す。「経験を設計業務に応用する」では、「仮想システム」を「利用者が業務で担当しているシステム」に置き換えて、「仮想システムでシステム思考を経験する」と「システム思考経験を内省する」を実施し、利用者による実務へ応用可能性を高める。このようにして、エンジニアに不足している「システムに関わる業務」に代わる、システム思考の経験学習機会を提供する。ただし、本提案で提供する経験学習の機会、あくまで実務を通じた経験学習を促すための補完的な位置付けであり、本提案だけで十分なシステム思考の学習機会が提供できる訳ではない。

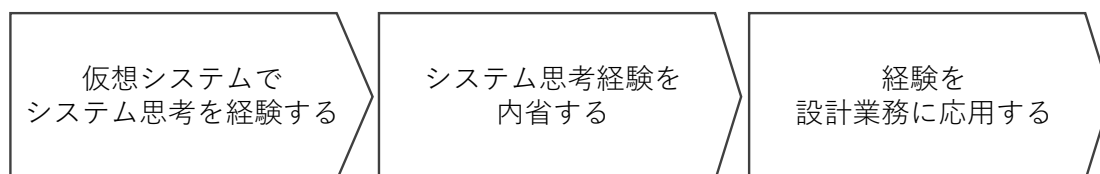


図 4-1 提案手法が提供するプロセス

¹² 学習のために用意した題材としてのシステム。世の中に実在するものである場合もそうでない場合もある。

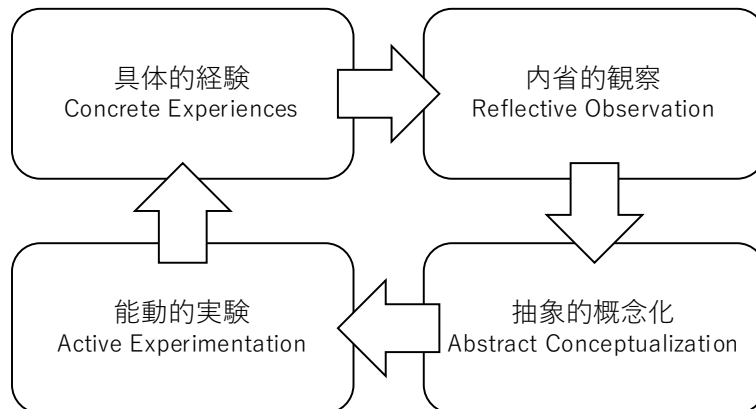


図 4-2 Kolb の経験学習モデル((Kolb 1984)をもとに筆者が作成)

(2) 自己効力感とエンゲージメント

本提案手法は、学習における自己効力感とエンゲージメントの関係性を示した梅本・伊藤(2016)の研究を参考にした仮説(図 4-3)に基づいている。システム思考へのエンゲージメントを向上させるために、システム思考を使うことができると思うシステム思考への自己効力感を向上させる。

システム思考への自己効力感を向上させるために、提案手法では Bandura (1994)に沿って、前項で示した「仮想システムでシステム思考を経験する」「システム思考経験を内省する」を、繰り返し提供する。

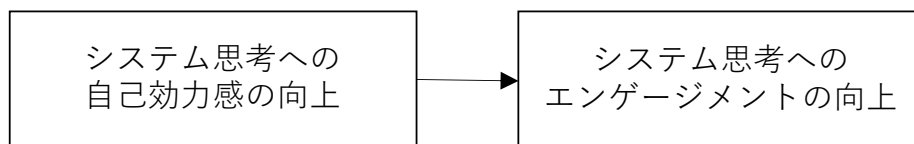


図 4-3 自己効力感とエンゲージメント

4.1.3 プロセス実現のためのワークショップ概要

図 4-1 に示した 3 つのプロセスを実現するためのワークショップ概要を説明する。なお、ワークショップで用いる手法の導出過程は 4.2.3 に詳しく記載している。

(1) 仮想システムでシステム思考を経験する

提案手法で提供するシステム思考経験について説明する。システム思考とは、対象をシステムとして捉えて分析する思考技法であり(湊宣明 2016)、仮想システムで経験させるシステム思考は、Cabrera, Cabrera, and Powers (2015)がシステム思考の普遍的なルールとして提唱している DSRP (Distinctions, System, Relations, Perspectives) に基づいた、次の 4 つのシステムの捉え方とする。

- (i) システムの中と外、境界を捉える
- (ii) システムの全体と部分、階層を捉える
- (iii) システムの要素間の相互作用、機能や動きを捉える
- (iv) システムを多視点で多面的に捉える

次にシステム思考経験をどのように提供するかを説明する。上記の 4 つのシステムの捉え方を経験させるために提案手法では美術教育手法である対話型鑑賞 VTS (Yenawine 2013)を基本手法とし修正を加えたものを用いている。大きくは「対話型鑑賞 VTS」「VTS とシステム思考の関係説明」「絵画の目的の分析と改善を行う VTS」の 3 つのパートで構成される。

「対話型鑑賞 VTS」で行われる絵画観察と対話のなかでは、手法の特性上 4 つのシステムの捉え方が経験可能である。ただし、参加者への説明はなく経験としては無意識であるため、「VTS とシステム思考の関連性説明」によりシステム思考経験として認識させる。その上で、「絵画の目的の分析と改善を行う VTS」のなかでは、意識的にシステム思考を使う経験をさせる。さらに提案手法では、標準的な VTS に対し、4 つのシステムの捉え方を実践しやすい絵画作品を選択し、システムの捉え方を意識させ実施を促すように、説明や問いに工夫を加えている。次項 4.1.4 で詳しく説明する。

(2)システム思考経験を内省する

VTS にも内省要素が含まれるが、さらにシステム思考を使った経験、思考過程を振り返りさせ、どのような経験であったかを言葉などで表出させる外化まで行わせる。外化の方法としては、図を用いて表現させる「思考過程の図的外化」を用いる。

(3)経験を設計業務に応用する

このプロセスでは、「仮想システムでシステム思考を経験する」と「システム思考経験を内省する」プロセスで経験したことを、設計業務へ応用する。前の2つのプロセスで用いたVTS と図的外化を、対象を絵画から、利用者が実際に設計を担当している担当システムに置き換えて適用する「担当システムを用いたVTS と図的外化」を行う。

提案手法全体の概念図を図 4-4 に示す。システム思考を用いる行為を「絵画をシステムとして分析するVTS」で経験し、内省過程を経て、経験したことを、対象を担当システムへ置き換えて適用するというのが、提案手法の考え方となっている。

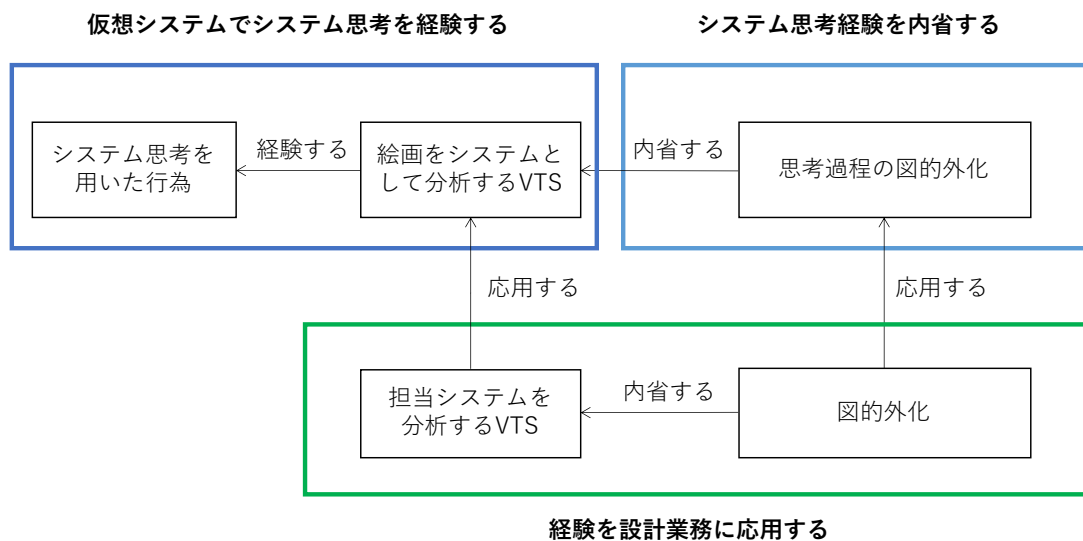


図 4-4 提案手法の概念図

4.1.4 対象者と実施方法

(1) 対象者

本提案の実施対象者は、主に将来的にシステムズエンジニアを担う可能性のある、専門技術分野での業務経験年数が3年から10年程度の中堅エンジニアとする。また、システムズエンジニアと協力してシステム開発を行うエンジニアも対象に含める。なお、特に専門化が進んだ機能別組織で設計業務に従事するエンジニアを想定しているが、その限りではない。

(2) 実施方法

ファシリテータと、4~6名のグループによるワークショップを繰り返し実施する。繰り返し回数は規定しないが、3回以上実施することが望ましい。繰り返し間隔は2週間から1ヶ月を想定している。これは、本研究の実証実験では2週間おきに1.5時間、3回の実施で一定の効果が得られたことに基づいている。なお、本提案のもととなっている手法において、Hausenが小学生向けに実施した実証実験では、月に1回1時間で10回の実施により十分な効果が得られた(Yenawine 2013)としている。また、Hausenはインターバル期間を、学びが消化される期間として「孵化期間」と呼んでいる(Yenawine 2013)。

実施はオンライン、対面のどちらでも可能であるが、本研究における実証実験はオンラインで実施した。

(3) 繰り返し実施の実施単位

繰り返し実施の実施単位は、各回の実施時間に合わせて4.1.4で説明するUnitを図4-5エラー! 参照元が見つかりません。のように部分的に組み合わせての実施が可能である。なおUnit3に関しては単独での実施は想定しておらず必ずUnit2と連続で実施する。実施時間は各Unitで30分から45分程度であり、図4-5エラー! 参照元が見つかりません。に記載のパターンの場合、各ワークショップは約1時間から1.5時間で実施が可能である。これにより、利用者の業務負荷など合わせて実施方法を調整できるようになっている。

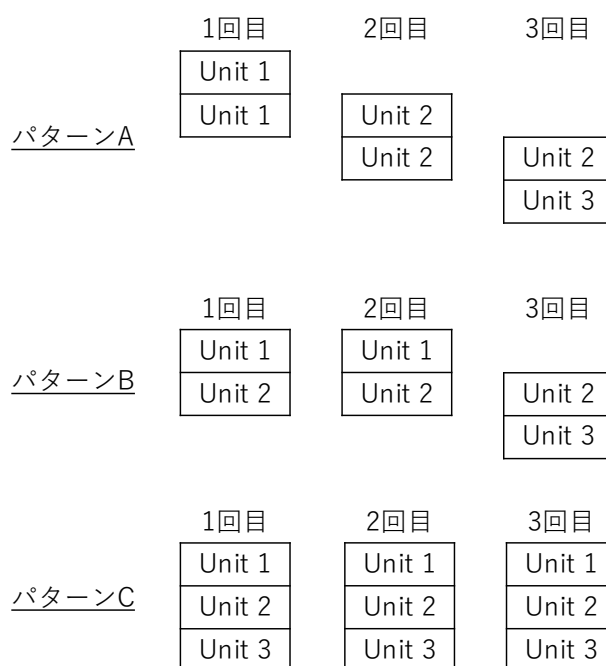


図 4-5 ワークショップの実施単位

4.1.5 ワークショップ詳細 VTS for Systems Thinking

本提案手法の実勢形態であるワークショップに関して詳しく説明する。

(1) ワークショップの構成

ワークショップの構成を表 4-1 に示す。ワークショップは **Unit 0** から **Unit 3** までの 4 つの **Unit** で構成される。4.1.3 に記述した「対話型鑑賞 VTS」と「VTS とシステム思考の関係説明」は **Unit 1**、「絵画の目的の分析と改善を行う VTS」と「思考過程の図的外化」は **Unit 2**、「担当システムを用いた VTS と図的外化」は **Unit 3** に対応している。**Unit 0** は、ワークショップの準備作業という位置付けで、**Unit 2-②**、**Unit 3-①**で行うシステム図作成で用いる図法の習得と、**Unit 3-②**の準備を行う。

(2) ワークショップ **Unit 0**

Unit 0 は、準備作業としてワークショップの時間外で各自での実施を想定している。**Unit 2,3** で用いるシステムグラムの書き方の習得と、**Unit 3** での気付きに繋げるため、ワークショップ実施前に参加者の担当している製品、サービス、コンポーネントなどのシステムのシステム図の作成を行う。

表 4-1 ワークショップの構成

Unit 0	① システム図の書き方の習得 ② 担当システムのシステム図作成
Unit 1	① 標準的な VTS ② VTS とシステム思考の関連説明
Unit 2	① 絵画の目的の分析と改善を行う VTS ② 絵画作品のシステム図作成
Unit 3	① 担当システムの観察とシステム図作成 ② システム図作成による気づきの確認

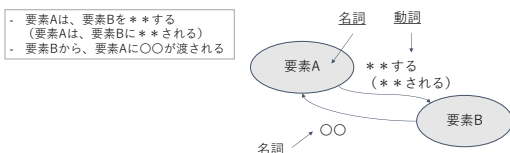
①システムグラムの書き方習得

提案手法では、記述ルールを緩和したシステムグラム(Sauser and Boardman 2015)を用いてシステム図を作成する。システムグラムは、Checkland によるソフトシステム方法論(SSM) で用いられるシステムモデル図が自然言語表現と対応しやすいことに着目し、より明確に自然言語による文章と対応する図式として Boardman により提案されたものである(山本修一郎 and Others 2014)。ワークショップの Unit 2 の②では、VTS の対話をもとに絵画のシステム図を作成するため、自然言語表現を表現しやすい図法として採用した。

図 4-6 は、事前学習用資料の一部であり、参加者には、このような事前学習資料と簡単な例題により、記述ルールを緩和したシステムグラムの書き方を習得してもらう。

図の書き方 (1)

- 複数の要素間の関係性を、楕円と矢印で表現します。
- 要素間を矢印で繋ぎ、関係を動詞で記載します。
- 要素間でやり取りされる「物」などを名詞で記載しても良いです。



図の書き方 (2)

- 要素間の矢印は何本でも繋ぐことが出来ます。
- 見にくくならないように交差はさせないようにしてください。
- 要素は大きな楕円で囲むことで階層化(入子)にできます。
- 入子になった要素同士は矢印で繋がなくてもよいです。

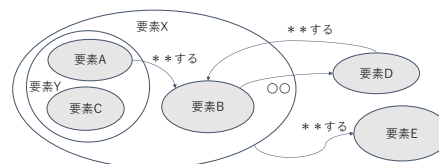


図 4-6 事前学習資料:システムグラフの書き方説明

②担当システムのシステム図作成

参加者が業務で担当している、もしくは担当していた製品やユニット、コンポーネントなどをシステム図により図式化させる。この際、製品やユニットの目的が分かるように表現することを指示する。作業時間は15分程度を目処とする。

(3)ワークショップ Unit 1

Unit 1では、標準的なVTSを実施した後に、VTSとシステム思考の関連性を説明する。VTSを体験した後に説明を加えることで、アハ体験¹³として参加者に印象づける。

①標準的なVTS

標準的なVTSは、以下の手順で進められる(Yenawine 2013)。

- 作品の観察
作品を表示し、じっくりと観察してもらう。観察時間は1分程度とする。
- 3つの問いかけ
参加者に対して、ファシリテータは以下の3つの問いかけを行う。
 - (a) 「この絵のなかで何が起こっていますか？」
 - (b) 「どこからそう思いますか？」
 - (c) 「新しい発見はありますか？」

複数の参加者に対する問いかけ順は規定されていないが、本提案手法においては、対話の機会を均等にするため、参加者を指名しながら順番に周回しながら行うこととする。(a) 「この絵のなかで何が起こっていますか？」と (b) 「どこからそう思いましたか？」は、関連する質問のため、同一周回で実施し、全部で2周しながら問いかけを行う。各参加者との対話時間は1.5分から2分程度とし、大きな偏りが発生しないように気を配る。

図 4-7 のように作品の横に問いかけを表示することで、参加者に答える準備をする時間を与え、また、今は何を聞かれているのかが分からなくなるようにする。

その他、この時に行われるファシリテータと参加者との対話におけるファシリテーション方法に関しては、「(6) ファシリテーション」で詳しく説明する。

¹³ アハ体験とは、新たな情報を獲得したときには、嬉しい、あるいは楽しいというようなポジティブな反応が見られることがあり、特にその強度が高い場合をいう(石川哲朗 et al. 2014)。



図 4-7 VTS 資料: 絵画と問い (Ilya Yefimovich Repin 作「They Did Not Expect Him¹⁴⁾)

②VTS とシステム思考の関連性説明

VTS とシステム思考の関連性説明では、以下の順で段階的に説明を行う。VTS を実施した後に説明を行うことで、無意識で経験したことがシステム思考経験であったことを認知させる。

- システムの定義

INCOSE¹⁵⁾の Systems Engineering Handbook¹⁶⁾に記載されている以下の定義を引用し説明する。

「システムとは、定義された目的を成し遂げるための相互に作用する要素を組み合わせたものである」

意外なシステムの事例として例えば箸を用いて説明する。

- 絵画はシステムである

具体的な絵画の作品を事例として用いながら、説明したシステムの定義によれば、絵画はシステムであるということを説明する。図 4-8 では、葛飾北斎作の富嶽三十六景 神奈川沖浪裏を用いて説明している。絵画も「伝えたいこと」という目的があり、そのために様々な要素を構成し表現している。富嶽三十六景 神奈川沖浪裏の例では、波への偏愛を伝えるために、大波と富士を極端にデフォルメした形で配置しているといった説明を加える。

¹⁴⁾ Ilya Yefimovich Repin 《They Did Not Expect Him》1884 年 - 1888 年、油彩、キャンバス、160.5 cm × 167.5 cm、トレチャコフ美術館、モスクワ

¹⁵⁾ 同 p.1

¹⁶⁾ INCOSE が発行する、学生および実践を行うプロフェッショナルのためにシステムズエンジニアリング (SE) の学問分野および実践を定義したもの。



定義された目的

富士もいいけど、この波を見て！
(波愛を伝える)

相互に作用する要素

- 大波と小さな富士
- 波と3艘の船
- 波と背景、空、雲

図 4-8 説明資料: 絵画はシステムである(葛飾北斎作「神奈川沖浪裏」¹⁷⁾)

● システム思考の定義

システム思考には様々な定義があることを説明した上で、共通する定義として以下の定義を説明する。

「課題解決のために、対象をシステムとして捉えて分析する思考法」

この定義は湊(2016)から引用しているが、例えば Arnold and Wade (2015)による、主要なシステム思考の定義をレビューし導出された定義「システム思考とは、システムを識別・理解し、その動作を予測し、望ましい効果を生み出すためにシステムの修正を考案する能力を向上させるために用いられる一連の相乗的な分析スキルである」を非常に簡単に表現したものとも言える。

● システムとして捉えるとは

システム思考の定義における、「対象をシステムとして捉える」として、(Cabrera, Cabrera, and Powers (2015)に基づく、以下の4つのシステムの捉え方を説明する。

- (i) システムの中と外、境界を捉える
- (ii) システムの全体と部分、階層を捉える
- (iii) システムの要素間の相互作用、機能や動きを捉える
- (iv) システムを多視点で多面的に捉える

● システム思考と VTS

システム思考と VTS の関連性の説明として、VTS とシステム思考の4つのシステムの捉え方の関係を以下のように説明する。

¹⁷ 葛飾北斎《神奈川沖浪裏》1831-33年、多色刷木版画、25.7 cm × 37.9 cm、東京国立博物館

VTSの3つの問いかけのうち、(a)「この絵のなかで何が起こっていますか？」は、絵画のなかに何が描かれているか、表現されているかではなく、描かれている要素もしくは要素間で何か起きているかを聞いている。これは、システムの捉え方の「(iii) システムの要素間の相互作用、機能や動きを捉える」を直接的に促している。(c)「新しい発見はありますか？」では、他の参加者の意見を参考にしながら、自分自身の言葉として発見したことを答えることを求めている。これは、他の参加者の視点を借りて「(iv) システムを多視点で多面的に捉える」ことを促している。さらに、作品の観察のなかでは「(i) システムの中と外、境界を捉える」「(ii) システムの全体と部分、階層を捉える」を行うことができる。

ただし、実際にこれらのシステムの捉え方を実現させるためには、それに適した絵画を用意することが肝要である。絵画の選択方法に関しては4.1.5 (7) で説明する。

(4) ワークショップ Unit 2

Unit 2 では、システム思考を意識的に使う VTS を行う。また、絵画作品のシステム図の作成を行う。

① 絵画の目的の分析と改善を行う VTS

絵画の目的の分析と改善を行う VTS では、標準的な VTS に対して、システムの目的とシステムの改善を意識させることで、目的を持ってシステムを分析し、システム思考を使わせる構成としている。

● 作品の目的を意識した観察

作品が何を伝えようとしているのかを考えながら観察をすることを伝えてから、作品を表示し、じっくりと観察してもらう。観察時間は1分程度とする。また、作家の意図を探るのではなく、作品自体が何を伝えようとしているのかを参加者自身で考えてもらうように指示を与える。

● 5つの問いかけ

参加者に対して、ファシリテータは以下の5つの問いかけを行う。標準的な VTS に対して、(c)「この絵は何を伝えようとしていますか？」、(e)「もっとよく伝えるためにはどうしますか？」の2つの質問を追加している。また、(b)「どこをどのように見たときにそう思いますか？」、(d)「新しい見方や視点の発見はありましたか？」では、標準的な VTS の「どこからそう思いますか？」と「新しい発見はありますか？」に対して、より視点を意識させるように表現を変えている。

- (a) 「この絵のなかで何が起こっていますか？」
- (b) 「どこをどのように見たときにそう思いますか？」
- (c) 「この絵は何を伝えようとしていますか？」
- (d) 「新しい見方や視点の発見はありましたか？」
- (e) 「もっとよく伝えるためにはどうしますか？」

Unit 1 と同様に周回しながら問いかけを行う。1 周目に(a)(b)、2 周目に(c)、3 周目に(d)(e)の質問を行う。また、2 周目と 3 周目の間に②の絵画作品のシステム図作成を行い、(d)(e)は図を共有しながら答えてもらう。図式化することで考えを整理し、さらに図式化のなかで新しい視点を見つけてもらう。また、思考を視覚化したものを共有することで、互いの考えや視点の違いをより明確に感じてもらう意図もある。

②絵画作品のシステム図作成

絵画作品のシステム図作成では、Unit 0 で習得した記述ルールを緩和したシステムグラムを用いて、作品について(a)「この絵のなかで何が起こっていますか?」、(c)「この絵は何を伝えようとしていますか?」が分かるように表現してもらう。作業時間は 8 分間程度とする。前述した通り、絵画の目的の分析と改善を行う VTS の一連の流れのなかで実施する。

エラー! 参照元が見つかりません。は、実際の参加者が図 4-11 の作品を鑑賞した後に作成したシステム図である。

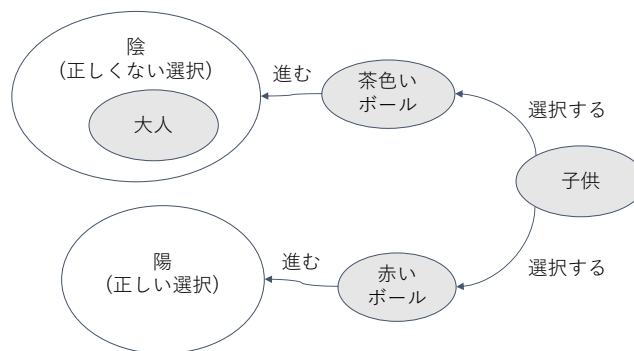


図 4-9 参加者が作成したシステム図(体裁は筆者が修正)

(5)ワークショップ Unit 3

Unit 3 では、Unit 0 で実施した、参加者の担当している製品、サービス、コンポーネントなどのシステムのシステム図作成を再度行う。ただし、Unit 3 では Unit 2 で実施した、システム思考を使って作品を観察し、思考結果も含めて図式化するというプロセスをトレースする形で実施する。システム図作成後、得られた気づきの確認を行う。

①担当システムの観察とシステム図作成

- 目的を意識した担当システムの観察

参加者の担当している製品、サービス、コンポーネントなどのシステム (Unit 0 でシステム図を作成したものと同一システム) を頭の中で観察してもらおう。観察前にはシステムの目的を意識するように指示を与える。さらに目的を意識する際には、間違っても良いので自分がどう思うかを大事にするように指示する。それによって、担当システムを自分ごと化しやすくすることを意図している。

この作業は絵画作品を用いた VTS における作品の観察に相当する。観察時間は 2 分程度とする。

- 5つの問いかけを意識しながらのシステム図作成

次に、観察したシステムを、システムグラムにより図式化させる。図式化にあたっては、以下の VTS の中で用いられた問いかけを提示し意識を促す。

- (a) 「あなたのシステムでは何が起こっていますか？」
- (b) 「あなたのシステムの目的はなんですか？」
- (c) 「どのように見たときにそう思いますか？」
- (d) 「他の見方・視点はありますか？」
- (e) 「もっと良いシステムにするにはどうしますか？」

②システム図作成での気づきの確認

作成したシステム図を共有しながら、以下の 2 つの問いかけを行い、システムの目的と、Unit 0 と比べて得られた気づきなどを確認する。この対話をもってワークショップのワーク部分は完了となる。その後全体の振り返りなどを行い、ワークショップを完了する。

- (a) 「あなたのシステムの目的はなんですか？」
- (b) 「新たな視点の発見や気づき、改善点はありましたか？」

図 4-10 は、ワークショップの参加者が実際に作成したシステム図（体裁は筆者が修正）である。図下側のシステム図では、要素数が増え、赤字でハイライトした本質的な機能に関する記述が増えており、図を作成した本人もその部分を気付きとして発言していた。

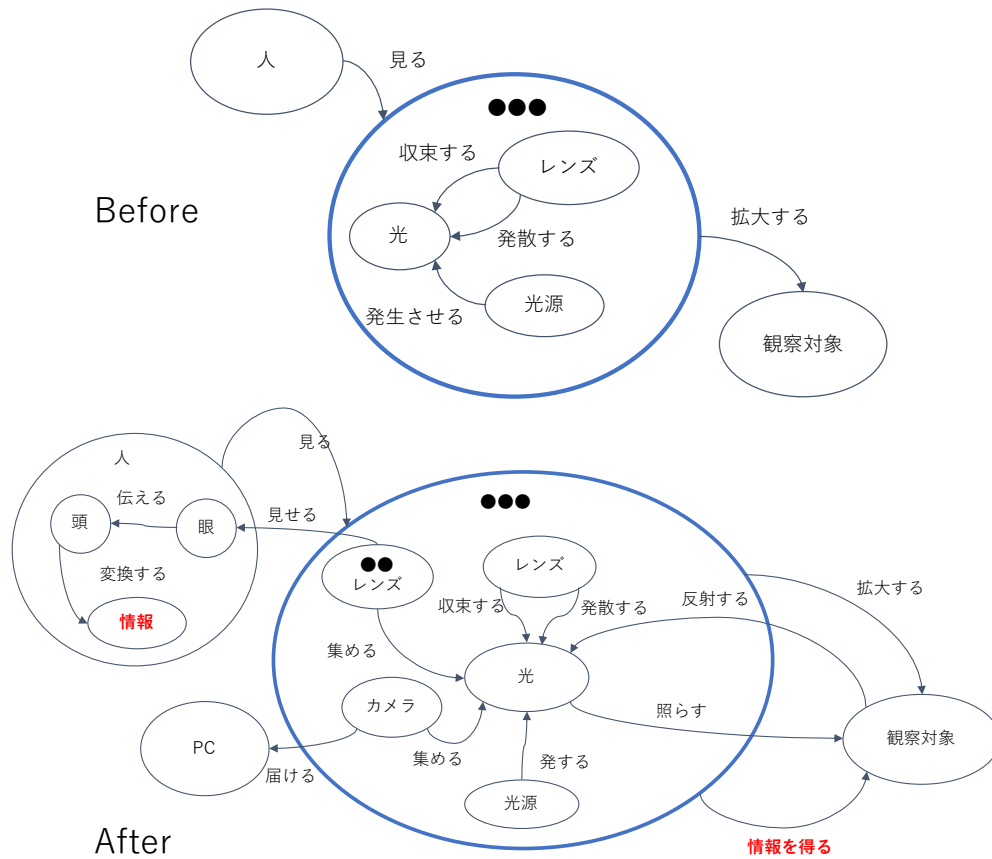


図 4-10 参加者が作成した担当システムのシステム図

(6) ファシリテーション

VTS のファシリテーションでは、次に示す 3 つのテクニックを用いる(Yenawine 2013)。

①ポインティング(指差し)

ファシリテータは、参加者が絵画のどの場所に関して話しているかを、スクリーン上でポインターを置きながら確認する。これにより、ファシリテータと参加者、対話を聞いている他の参加者が共通の認識を持てるようにガイドする。ポインティングは、動きを抑える、不必要なポインティングはしないなど、観察の妨げにならないように注意する。

②パラフレーズ(言い換え)

ファシリテータは、参加者の発言を適度に言い換えて繰り返す。これは発言者に対して、発言をきちんと聞いているというメッセージとなり、発言しやすい環境をつくる。また、この際ファシリテータは、「～かもしれない」「～のようだ」といった暫定的な表現を意識して用いることで、作品の解釈には正解がないという前提を伝える。

③リンク(発言をつなげる)

ファシリテータは参加者同士の発言を、共通点や相違点などを使ってリンクする。これによって参加者の多様性や、他の参加者から影響を受けていることなどを感じさせる効果がある。

(7) システム思考を経験させるための作品選択

提案手法における VTS では、以下の 4 つのシステムの捉え方を経験させる為に必要な要件を満たす絵画作品を選定する。VTS の対象としては、一般的に彫刻や写真も含まれるが、後述する理由から本提案では絵画に限定する。

- (i) システムの中と外、境界を捉える
- (ii) システムの全体と部分、階層を捉える
- (iii) システムの要素間の相互作用、機能や動きを捉える
- (iv) システムを多視点で多面的に捉える

(i) システムの中と外、境界を捉える、に対応する要件としては、空間的、時間的に切り取られた作品であり、作品の外側の要素が想像できるものとする。彫刻作品はこの観点から対象としない。

(ii) システムの全体と部分、階層を捉える、に対応する要件としては、作品は複数の要素で構成され要素によっては細部まで書き込みがある、もしくは複数の要素でグループや領域が構成されているものとする。単純化された要素だけで構成されていないこととする。

(iii) システムの要素間の相互作用、機能や動きを捉える、に対応する要件としては、(ii)と同様に複数の要素で構成され、さらに各要素自体は何が描かれているかが理解しやすく、要素の配置、関係性により作品の文脈の一部を表現していると感じられるものとする。また、短時間で観察で把握できるように、構成要素数は多すぎないものを選定する。

(iv) システムを多視点で多面的に捉えるに対応する要件としては、単純な風景画や静物画ではなく、構成要素が象徴的や暗示的に何かを表現している作品とし、参加者によって多様な解釈が発生しやすいものとする。特に(iv)は、作品の批評情報などから判断する。写真作品は基本的には写実的であり、多様な解釈が発生しやすい作品を選択することが難しいため対象としない。以下、いくつかの作品で例を示す。



図 4-11 提案手法に適した作品例:Félix Vallotton 作「The Ball¹⁸」

¹⁸ Félix Vallotton 《The Ball》1899年、油彩、木材/厚紙、480 mm×610 mm、オルセー美術館

図 4-11 では、A 部を見ると、ボールの配置と少女の姿から、少女がボールを追いかけていると捉えることができる。また、B 部の小さな人を対比的に大人と認識し、大人同士が会話しているという見方をすることができる。明るい色調の C 領域にある A 部と暗い色調の D 領域にある B 部の関係から、大人達が少女に対して悪い企みをしているという見方もできる。このように(iii)の要素間の相互作用を捉えながら、(ii)の階層を捉えることができる。さらに E 部の木の影のようなものに気が付くと、絵の外側に大きな木の存在が想像され、その意味に関心を向けることができる。これは(i)のシステムの外を捉えるに相当する。この作品が伝えようとしていることが何かと考え始めると、主に C 領域を捉えて、幸せな日常を伝えようとしていると捉えることもできるし、C 領域と D 領域、A 部と B 部の対比から幸せな子供時代としがらみのある大人時代への時間の流れを表現していると捉えることもできる。このように、(iv)多視点で多面的に捉えるが成立する。

図 4-12 は、ワークショップの参加者が作成したシステム図(図右側)と、参加者が捉えたイメージを、システム図とワークショップ中の対話から、筆者が再現した図である。参加者が実際に構造的に絵画を捉えている様子が分かる。

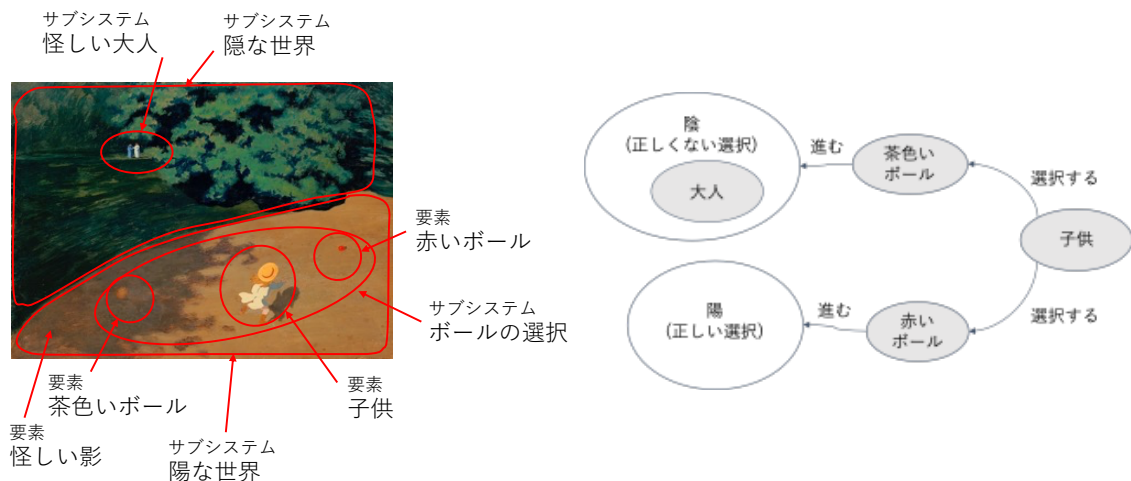


図 4-12 参加者が作成したシステム図と捉えたイメージの再現図

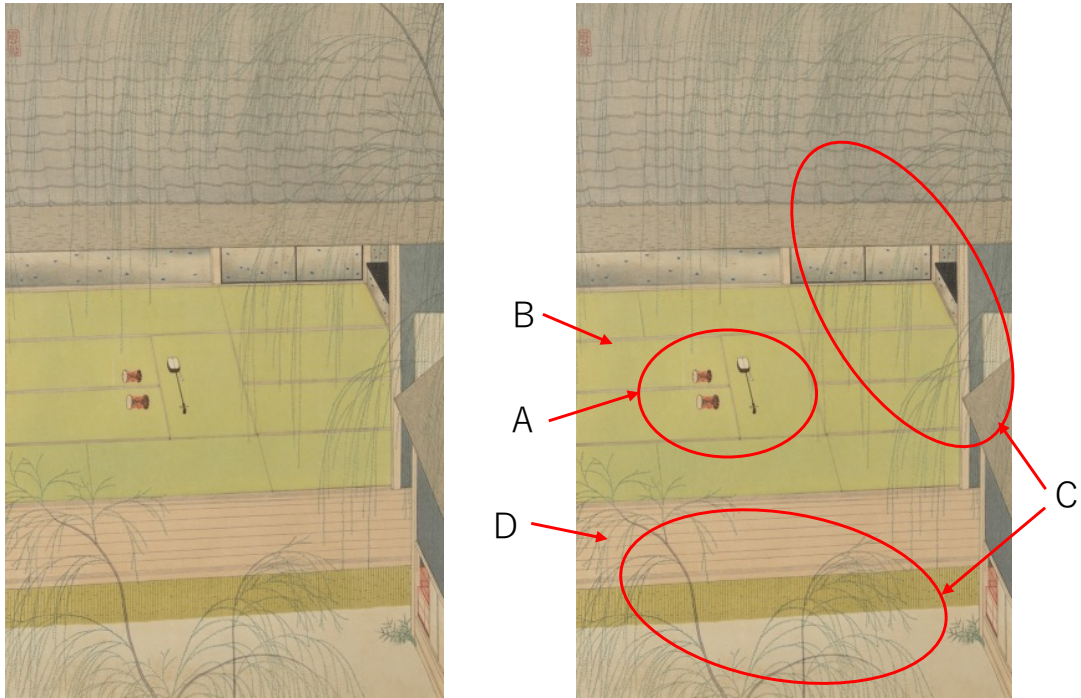


図 4-13 提案手法に適した作品例:小村雪岱作「青柳¹⁹」

図 4-13 では、A 部の三味線と鼓が B 部の家屋の中心に置かれている様子から、この絵には描かれていない楽器を使う人が想像され、楽器を使う前なのか後なのかと想像が促される。これは、この絵が描いているシーンが、空間的、時間的にどのように切り出されているのかを捉えようとしている行為であり、(i)のシステムの捉え方に相当する。また、A 部の楽器、B 部の家屋、C 部の木々が奥行き方向かつ放射状に 3 階層に配置され、この構成を順番に見ていくことで、このシーンを手前から見ている「何か」の存在を想像させる。(ii)の部分から階層を捉えながら全体俯瞰に至る捉え方そのものである。(iii)の要素間の相互作用の観点では、A 部の鼓と三味線の配置が、例えば師匠と弟子がこれから来るのを待っているという見方を生み出す。D 部の両方向が絵の外側に繋がっている廊下もまた、楽器を使う人が通るのを待っているといった、動きはないが「振る舞い」を見出すことができる。(iv)の多視点の観点では、特に時間的視点でこの楽器は使われる前なのか後なのか、どちらと捉えるかで絵の解釈が大きく変わり多様性を感じることができる。

¹⁹ 小村雪岱 《青柳》1924 年、彩色、絹、w35 x h45 cm、埼玉県立美術館

4.2 提案の構築

4.2.1 提案構築の全体像 ～提案構築の流れ～

本研究における、提案構築の全体像を図 4-14 に示す。システムズエンジニアリングのプロセスに基づき、まず要求定義を行い、第 3 章で抽出した要求と先行研究から導出した要求から、実現するシステムを「仮想システムを用いたシステム思考経験と内省機会を提供する経験学習型の研修システム」として定義した。さらに、そのシステムへの要求事項を先行研究や、既存の手法である **Project Based Learning (PBL)** の課題から抽出し、システム要求として定義した。

次に、システム要求を実現するためのシステム設計では、先行研究を参考にして、「絵画をシステムとして分析する **VTS**」をシステムアーキテクチャの主要部に採用することとした。「絵画をシステムとして分析する **VTS**」の採用にあたっては、システム思考体験を提供可能かどうかの実現性確認を目的としたプロトタイピングを行った上で決定している。

方式決定の後、アクティビティ設計による詳細機能設計を経て、物理設計として具体的なワークショップの設計を行った。基本的なシステム設計が定まったところで、プロトタイピングとしてワークショップを 3 回実施し、ワークショップ設計の基本構成や利用性、実施時間などを確認した結果を詳細設計に反映し、最終提案とした。

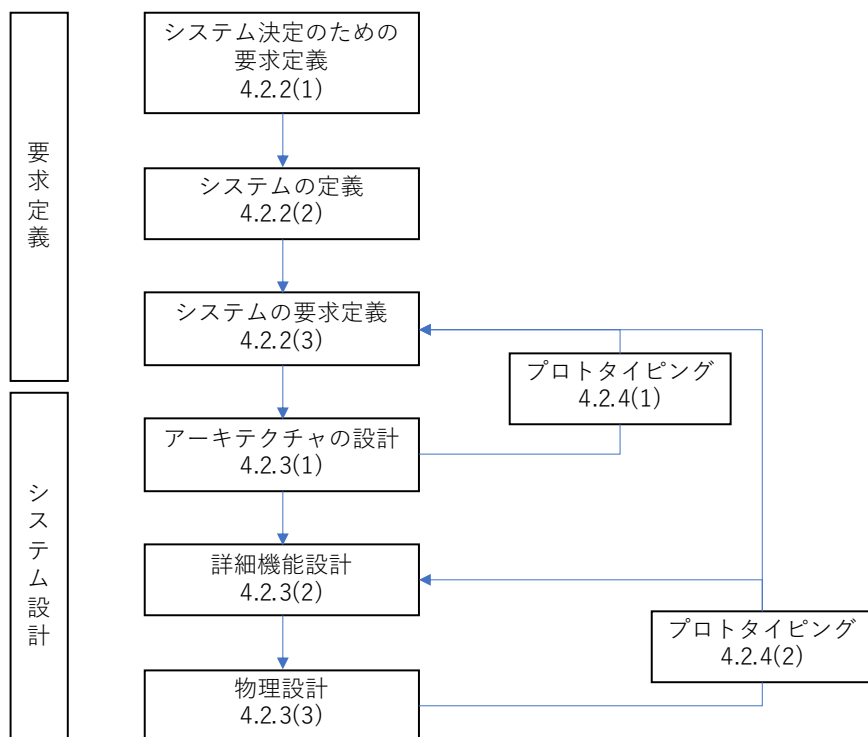


図 4-14 提案構築の全体像

4.2.2 要求定義

先行研究と日本の製造業の実態調査結果から提案システムで実現すべき要求を定義する。

(1)システム決定のための要求定義

日本の製造業の実態調査からは、①思考・視点に関する要求として、以下の3項目が抽出された。

- システム全体を考える機会を提供すること
- 上位目的を捉えられるようになること
- システム思考を育成すること

先行研究において、Kasser et al. (2010)は、システムズエンジニアに必要なコンピテンシーは、知識、認知スキル、個人の特性という3つの分野に集約され、知識とは、システムズエンジニアリングと、システムズエンジニアリングが適用されるアプリケーションドメインの知識であり、認知スキルとは、システム思考とクリティカルシンキングを含み、個人の特性とは、コミュニケーションや影響力、誠実さなどであるとしている。Davidz and Nightingale(2008)は、シニアシステムズエンジニアへのインタビューから、システムズエンジニアに求められる能力はシステム思考だけではないが、シニアシステムズエンジニアはシステム思考を持っていることが理想であり、システム思考の育成を加速させることができれば、システムズエンジニアの育成を加速させることができるとしている。また、システム思考の発展を可能にする主なメカニズムは、経験学習、個人の特性、そして支援環境であるとしている。製造業の実態調査から抽出したシステム全体を考える機会の提供で期待されるのは、まさに経験学習であり、上位目的を捉えられることをシステム思考に含めれば、完全に一致する。

次に、②マインドセットに関わる要求として、以下の2項目が抽出された。

- 分野を越えて思考し行動する姿勢、モチベーションを高めること
- システム設計への関心を高めること

「経験学習モデル (experiential learning model)」(Kolb 1984) (図 4-2) によれば、まず、システム思考を使う「具体的経験」が必要であるが、困難な状況でも、システム思考を学習し使うことができるようになるためには、知識だけではなく、システム思考に対するエンゲージメントが重要である(Camelia and Ferris 2016)とされており、上記要求の2項目に関連する。さらに、経験学習モデルのなかの欠くべからざる認知的機能である(Moon

2004)「内省的観察」は、「ある個人がいったん実践・事業・仕事現場を離れ、自らの行為・経験・出来事の意味を、俯瞰的な観点、多様な観点から振り返ること、意味づけること」をさす(中原淳 2012)。しかし、エンジニアは、従来の工学教育では、技術的な問題解決に重点が置かれていたため、内省的な思考によって賢明な判断を下すためのスキルが不足しているとされる(R. C. Campbell, Taraban, and Kim 2017)。エンジニアの内省的思考力を高める必要もある。

最後に、③育成方法に関する要求では、以下の4項目の要求が抽出された。

- 育成には時間をさけない
- 失敗が気にならず萎縮しない環境
- 業務へ適用しやすい工夫
- 育成土壌として幅広いメンバーにシステム視点が必要

Davidz and Nightingale (2008)は、システム思考の発展を可能にする主なメカニズムを阻害する要因としては、スケジュールとコストの制約、組織の境界・構造、領域の狭い仕事などが上位に挙げられたとしており、製造業の実態調査から見出された「システム設計人材の不足の構図」と合わせてみても共通点が多い。

業務へ適用しやすい工夫に関しては、経験学習モデルの「抽象的概念化」と「能動的実験」当てはめて考えてみる。「抽象的概念化」とは、経験を一般化、概念化、抽象化し、他の状況でも応用可能な知識・ルール・スキーマやルーチンを自らつくりあげていくことをさす。「能動的実験」では、新しい状況下でつくりだした知識、ルール、ルーチンを実践することが試みられる(中原淳 2012)。とすれば、ある状況下で得られたシステム思考経験を、異なる設計業務へも適用できるように概念化し実際に試してみることが必要である。

以上より、日本の製造業の実態調査から抽出された要求と先行研究から集約した本研究で提案するシステムの目的となる要求を図 4-15 に示す。システムズエンジニアの育成のためには、システム思考の育成が重要であり、専門分野を越えた思考や行動を通じたシステム思考の経験学習がなされるためには、具体的経験に繋がる「システム開発におけるシステム思考へのエンゲージメント」、「内省的省察のための内省的思考力」、抽象的概念化と能動的実験に繋がる「システム思考の設計業務への適用イメージと実践への促し」が必要である。

また、専門分野別組織に所属するエンジニアが対象となり、「失敗が気にならず萎縮しない環境」「少ない工数負担」での実現が要求される。

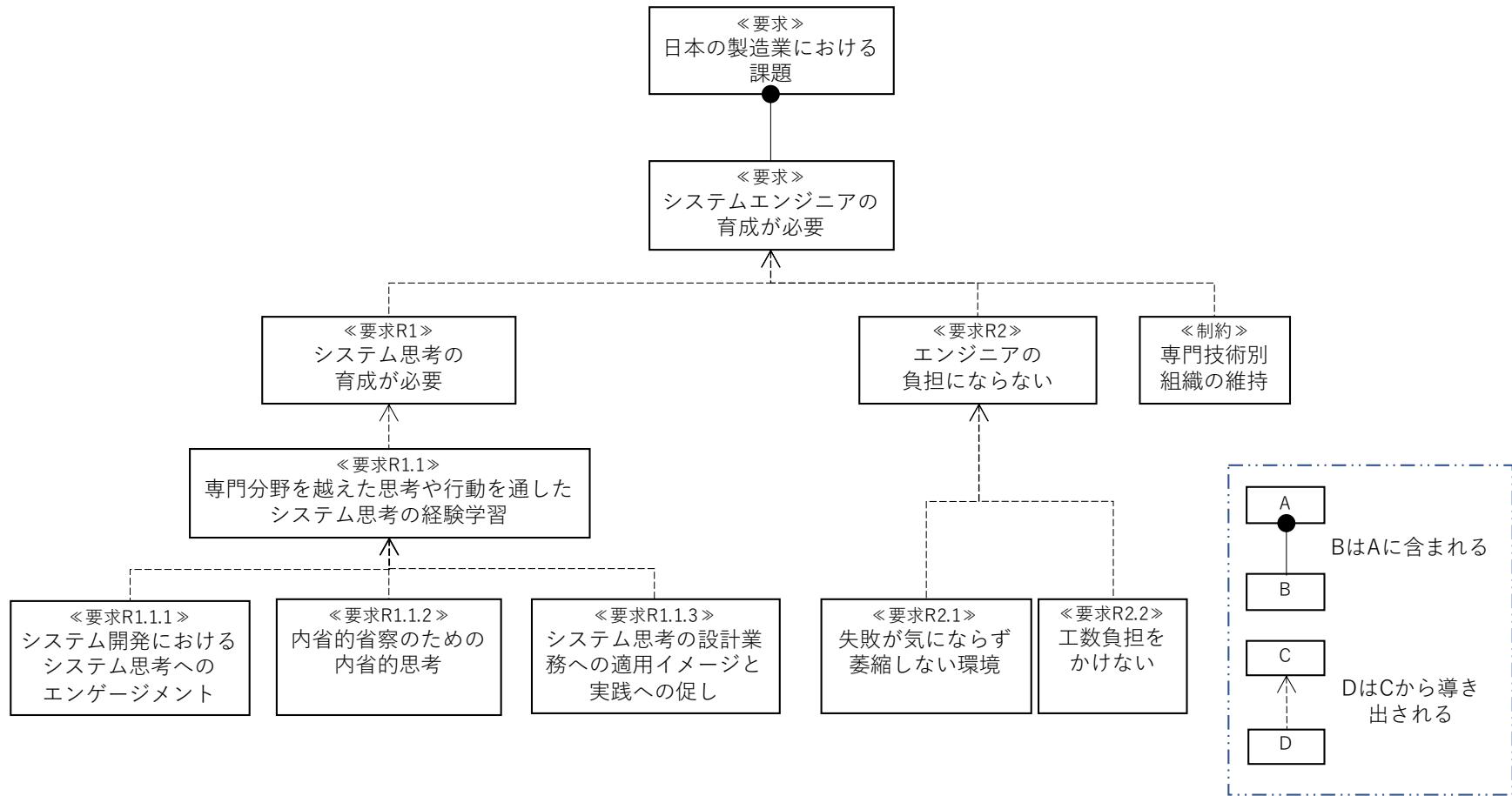


図 4-15 提案システムの目的【要求図】

(2)システムの定義

まず、定義された要求を実現するためのシステムは、業務を離れた環境で、失敗が気にならず萎縮しない環境を実現可能な、Project Based Learning (PBL)型の研修システムとする。PBL 型の研修は、それ自体が経験学習となることを目指して行われるものが多いが、提案システムも同様とする。

提案するシステムのライフサイクルとエンジニアに与える影響を図 4-16 に示す。担当システムに対して専門分野視点の思考や行動しか取れなかったエンジニアは、研修システムに参加することで、システム思考の経験学習を行い、その学習経験をもとに、担当システムに対して専門分野を越えたシステム視点の思考や行動を取るようになる。

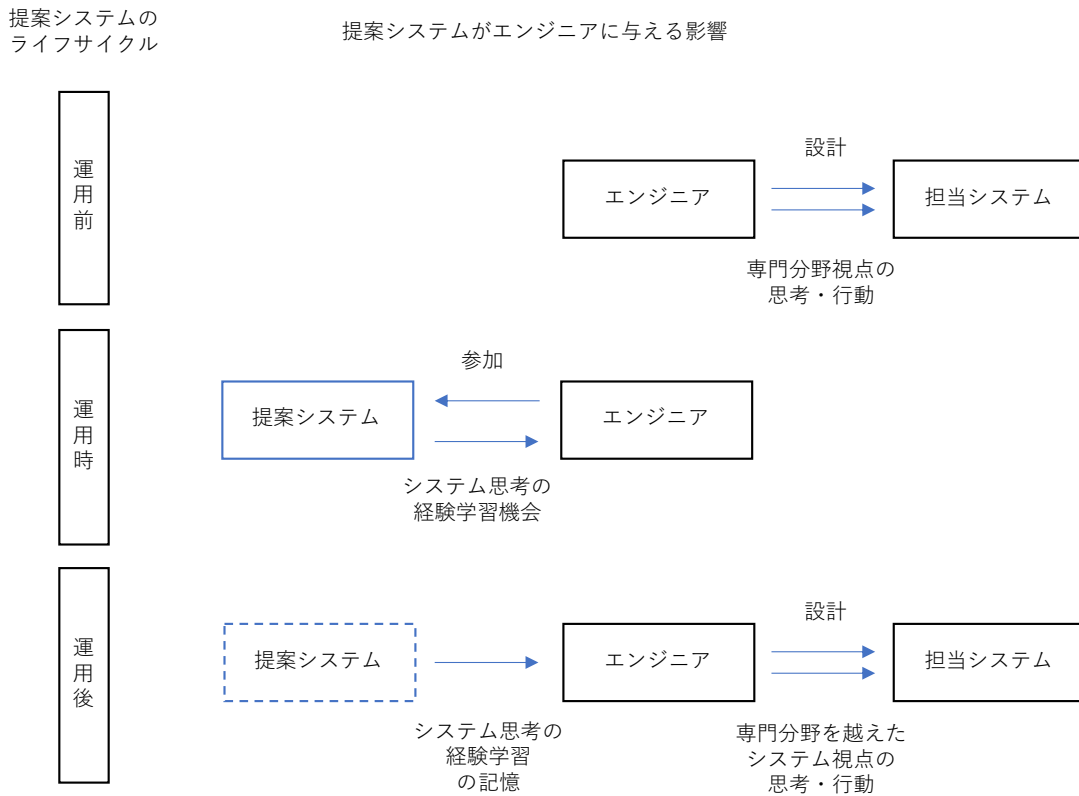


図 4-16 提案システムのライフサイクルとエンジニアに与える影響

(3)システム要求定義

①提案システムのユースケース

提案システムである、PBL 型研修システムのユースケースを図 4-17 に示す。エンジニアは、提案システムを用いて、仮想システムによりシステム思考を体験し、システム思考経験を内省し、経験を設計業務へ関連付けする。

②システム要求の定義

ユースケースごとの要求を、既存のシステムズエンジニアリング研修の課題、先行研究から抽出する。

A) ユースケース「仮想システムによりシステム思考を経験する」の要求抽出

システムズエンジニアリング研修では、仮想システムとして既存の工業製品などを用いる。これは、担当する設計業務への適用を容易とするが、一方で、作業結果はエンジニア経験や知識の影響を受けるため、経験の浅いエンジニアは萎縮しやすく、積極的な参加を妨げる場合がある。また、システムズエンジニアリングプロセスを、経験を通して学ぶが、プロセスやツールなどを説明、指導するために研修は長時間を必要とする。参加者も知識の習得に精一杯となり、システム思考の学びが疎かになりやすい。提案システムは、よりエンジニアに失敗を気にさせないシステムを題材とし、時間的にも負担をかけず、新しい知識の習得は可能な限り不要とする。

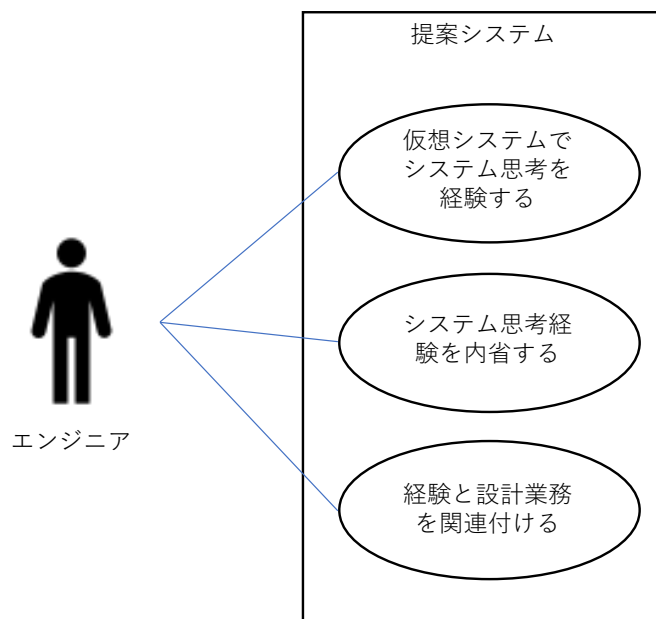


図 4-17 提案システムのユースケース【ユースケース図】

次に、経験させるシステム思考は、Cabrera, Cabrera, and Powers (2015)にて、システム思考の普遍的なルールとして提唱している DSRP (Distinctions、System、Relations、Perspectives) にもとづく 4つのシステムの捉え方とする。課題解決や目的達成のために 4つのシステムの捉え方でシステムを分析する経験をさせる。

- (i) システムの中と外、境界を捉える
- (ii) システムの全体と部分、階層を捉える
- (iii) システムの要素間の相互作用、機能や動きを捉える
- (iv) システムを多視点で多面的に捉える

これらのシステム思考の経験によるエンゲージメントの向上は、システム思考に関心を持たせ価値を感じさせる、システム思考を使うことができると思う自己効力感を高めることによって実現する可能性がある(梅本 and 伊藤 2016)。そこで、提案システムでは、システム思考への関心を高めるような印象的な経験を、Bandura (1994)に沿って段階的に繰り返し提供する。

B) ユースケース「システム思考経験を内省する」の要求抽出

既存のシステムズエンジニアリング研修では、振り返り等により内省の機会を得ることができるが、企業の現場ではないがしろにされがちである。また、中原(2012)は、内省において外化が最も難しいとしている。提案システムでは、内省の機会を確実に持ち、外化まで実施することとする。

C) ユースケース「システム思考経験を設計業務へ関連付けする」の要求抽出

既存のシステムズエンジニアリング研修では、前述したように既存の工業製品などを用いるため、担当する設計業務への適用は行い易いと思われるが、実際には似て非なる具体的なシステム同士では簡単には適用が難しい。研修の中で個別の設計業務に実際に試してみることがなされず、適用イメージが十分に得られないことも多い。提案システムでは、参加者各自が設計業務を担当するシステムに対してシステム思考を実際に試し、気づきを得ることで、適用のイメージを得られることとする。

D) システム要求のまとめ

抽出されたシステム要求を図 4-18 に示す。

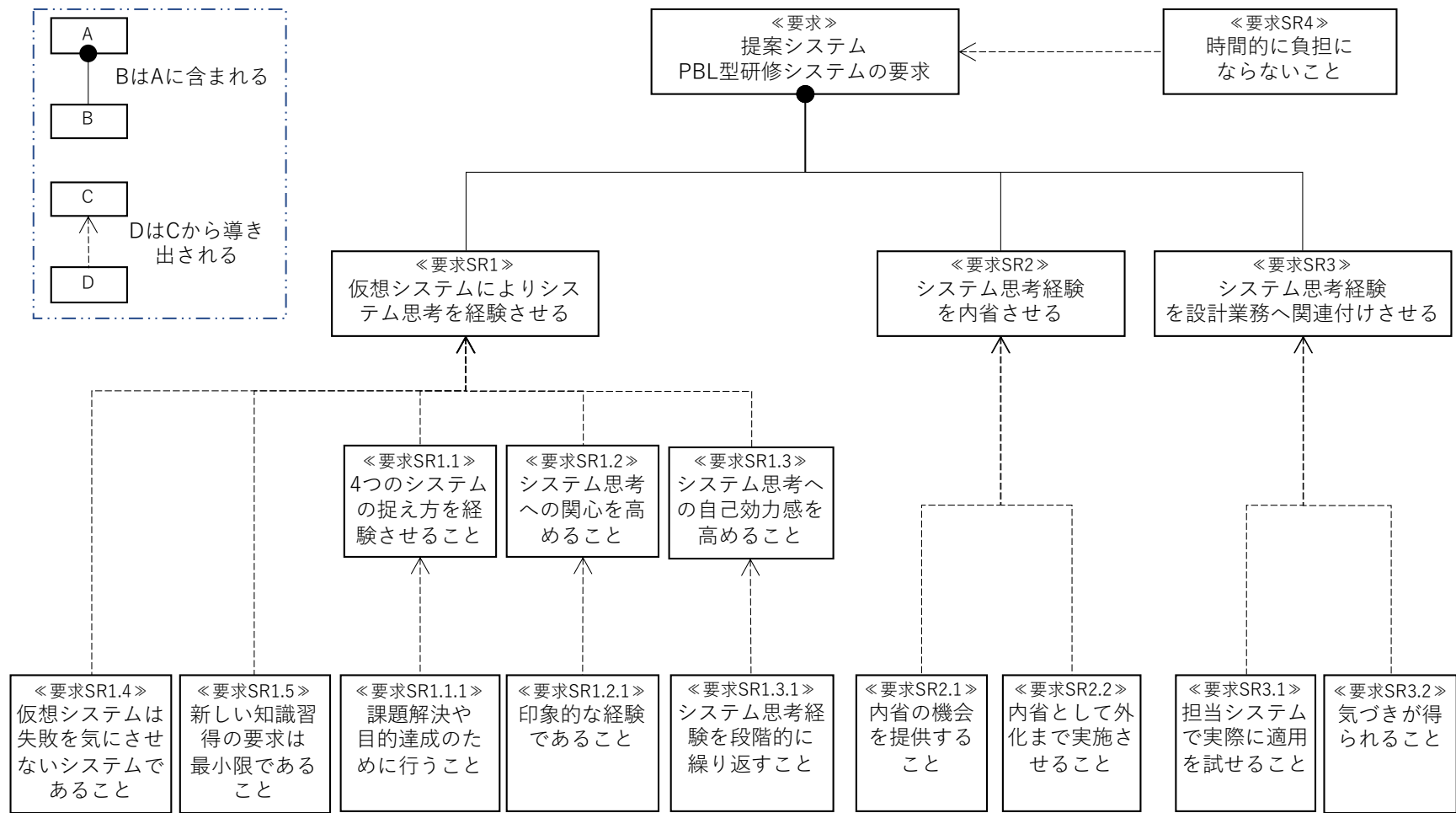


図 4-18 提案システムのシステム要求【要求図】

4.2.3 システム設計

(1)アーキテクチャの設計 ～VTS 方式の選択～

システム要求を実現可能なアーキテクチャ、基本手法の選択を行う。

①ユースケース「仮想システムによりシステム思考を経験する」の実現方法

工学的なシステムを対象としてシステムズエンジニアングを体験しながら学習を行う既存の PBL 型システムズエンジニアリング研修の課題は既に述べた通りである。先行研究などから、新しい手法を構築する。

ここで、Davidz and Nightingale (2008)によれば、シニアシステムズエンジニアへのインタビュー調査では、シニアシステムズエンジニアの多くは仕事以外の人生経験からシステム思考を身につけたと回答している。システム思考の育成は必ずしも、工学的な要素を含める必要がないとも言える。

工学的な方法とは異なるアプローチとしては、持続可能な開発のための教育として絵画を用いてシステム思考を育成する手法が提案されている(Molderez and Ceulemans 2018)。この手法では、持続可能な開発に関連するシステム思考の概念を説明するために絵画を用いており、システム思考の育成に一定の成果が確認されている。また、McDermott and Salado (2017)では、芸術とシステム思考、システムズエンジニアリングの一部であるアーキテクチャ設計の学習過程には「分解と再構成を学ぶ」などの共通点が多く、例えばアートで境界を探ることは、アーキテクチャ設計を担うアーキテクトのシステムを捉え方のトレーニングになるとしている。さらに、これまでになくシステムを生み出すための創造的思考力を身につけるためには、従来は無関係だった複数の多様な領域から得られる手法や実行スキルを学び、実践することが賢明であるとしている。

エンジニアの内省力を育成する方法として、美術教育のための手法である対話型鑑賞 Visual Thinking Strategies (VTS) (Yenawine 2013)を用いた研究が報告されている(R. C. Campbell, Nguyen, and Kim 2021)。この研究では工学系大学院生に対し実施した幾つかの手法の中で、VTS が最も内省力向上に効果を示したとしている。VTS を通して参加者は、システム思考を用いて全体における部分の相互作用を分析する、という報告もある(Moeller et al. 2013)。

VTS は美術作品を題材にして、作品の自分なりの理解という課題に取り組み、体験的に学びを得るという観点では、PBL の一つであると言える。美術作品を仮想システムとしてシステム思考経験の対象とした場合、「アートに正解はない」という考え方は広く一般的に

普及しており、失敗を気にさせないシステムという要求を満たす可能性が高い。エンジニアとしての経験の差が影響することもない。また、経験させる4つのシステムの捉え方に関して、多くのVTS実施経験を持つ国際美術展プロデューサーにインタビューしたところ、4つのシステムの捉え方は、VTSに限らず美術鑑賞における作品の捉え方そのものであるという意見が得られた。

以上より、仮想システムによりシステム思考を経験させる方法として、対話型鑑賞VTSを候補とし、要求に合わせて修正を加えることとした。

②ユースケース「システム思考経験を内省する」の実現方法

VTSではファシリテータからの問い「どこからそう思いますか？」などにより内省力を高める効果がある(R. C. Campbell, Nguyen, and Kim 2021)と言われており、VTSをシステム思考を経験する方法として採用したことで、対話という形で要求の一部は実現されている。さらに明確に内省し、外化まで行う機会を設ける。

外化の方法として、システム思考の理解を促進する方法としては、図的外化が効果的であるとされている(Hung 2008)。また、ブロック教材という誰にでも容易に使えて、かつ巧拙の差がでない学習材を「1次的外化」として用いて、できたオブジェクトを使って参加者に自己説明を求めることで「2次的外化」を可能にする方法がある(中原淳 2012)。これらの方法を参考に、ブロック教材の代わりに、記述が簡単な図法を用いて図的外化をさせ、さらにその図を使って対話をする方法を採用した。なお、図的外化は、システム思考体験を設計業務へ関連づける際の「橋渡し」の役割も担う。

③ユースケース「システム思考経験を設計業務へ関連付けする」の実現方法

提案システムでは、仮想システムとして設計業務とは関連の無い美術作品を用いる。美術作品を通したシステム経験を設計業務へ関連付けることは簡単ではない。そこで、参加者が設計を担当している製品やユニット、コンポーネントなどを直接題材にして、その場で実際にシステム思考の適用を試みる機会を設ける。美術作品を対象に実施したプロセスをトレースする形で、担当システムを分析し、図的外化とそれを用いた対話まで行う。概念図を図4-19に示す。

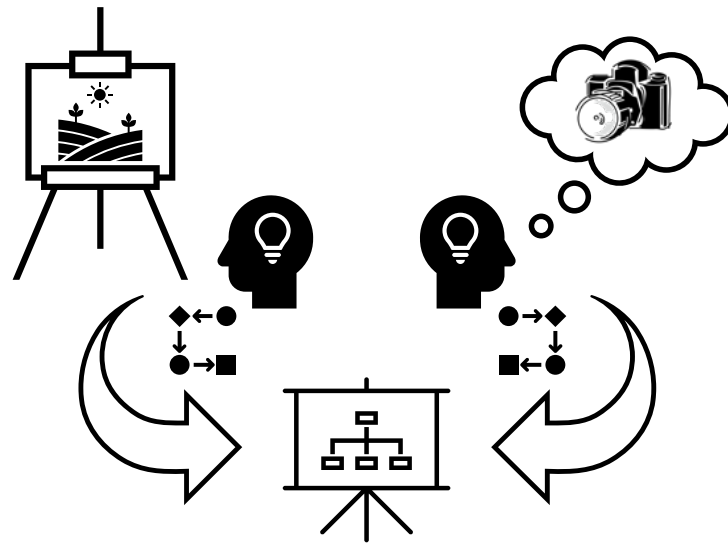


図 4-19 絵画と担当システムの図的外化の概念図

④アーキテクチャの全体像

設計したアーキテクチャの全体像を図 4-20 に示す。提案システムである PBL 型システム思考研修システムは、「絵画をシステムとして分析する VTS」「思考過程の図的外化」「担当システムを用いた VTS と図的外化」で構成される。アーキテクチャの決定にあたっては、対話型鑑賞 VTS によるシステム思考経験が成り立つかどうかをプロトタイピングで確認している。プロトタイピングに関しては、4.2.4 (1) で詳しく説明する。

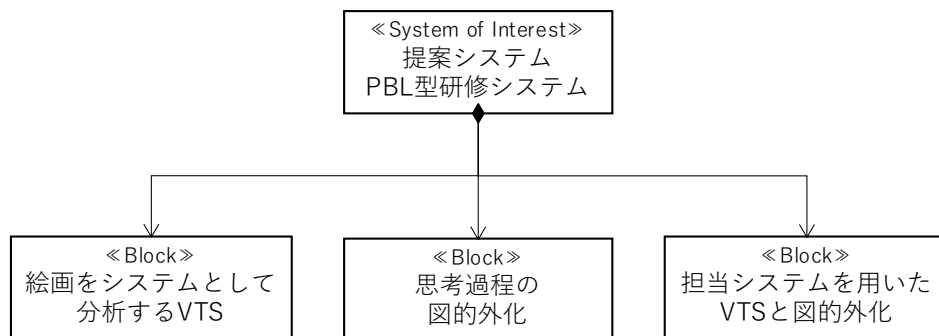


図 4-20 提案システムのアーキテクチャ【ブロック定義図】

(2) 詳細機能設計 ～振る舞い設計～

システム要求を満たすためのシステムの振る舞いを設計し、システムの機能を定義した。まずは、大まかに振る舞いを検討し、段階的に詳細化を行った。

①システムの振る舞いのアウトライン

システムの振る舞いのアウトラインを図 4-21 に示す。提案システムは、利用者に対して「VTS を経験させる」「VTS をシステム思考として認知させる」を行い、次に「目的分析と改善を行う VTS を経験させる」「システム思考経験の図的外化と対話をさせる」を行う。最後に「担当システムの分析と図的外化と対話をさせる」と「システム図から気付きを引き出す」を行う。グレーの範囲ごとにさらに振る舞いを詳細化する。

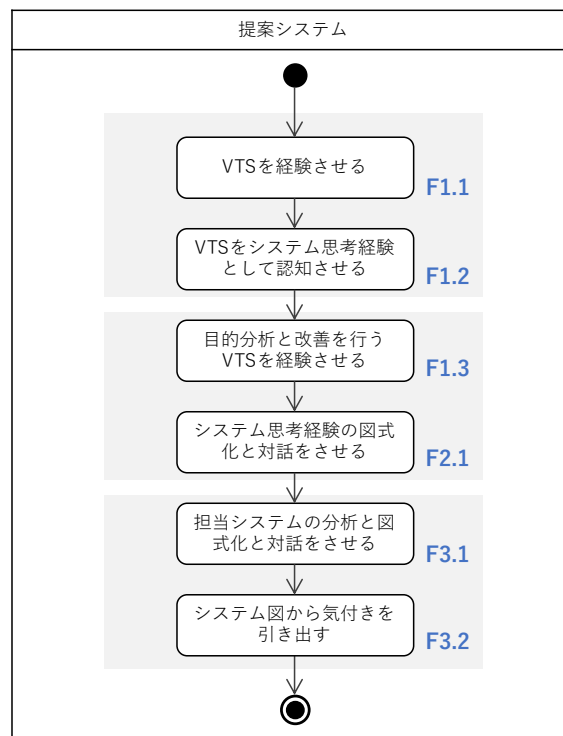


図 4-21 提案システムの振る舞い【アクティビティ図】

②標準 VTS とシステム思考の説明

振る舞い「VTS を経験させる」「VTS をシステム思考として認知させる」を詳細化したものを図 4-22 に示す。提案システムは、ファシリテータと作品や説明資料などのツールに分けられる。利用者の振る舞いも合わせて記載している。

「VTS 経験させる」の詳細の振る舞いは、標準的な VTS に沿ったものとした。この段階ではシステム思考との関連性は説明せずに参加してもらい、VTS に備わっている機能により多様な意見から驚きや刺激を得てもらう。まず「観察の仕方の指示を出す」「作品を表示する」を行い、利用者に作品を観察してもらった後、「質問を表示する」を行いながら「システムを捉えさせる質問をする」を行う。

その後「VTS をシステム思考として認知させる」では、説明資料を用いてシステム思考およびシステム思考と VTS との関連性を説明し、VTS の対話のなかで経験したことが、システム思考におけるシステムの捉え方そのものであったことを理解させる。「システムの定義を説明する」「絵画はシステムであることを説明する」「4つのシステムの捉え方を説明する」「システム思考と VTS の関連性を説明する」と同時に「説明情報を表示する」を行う。

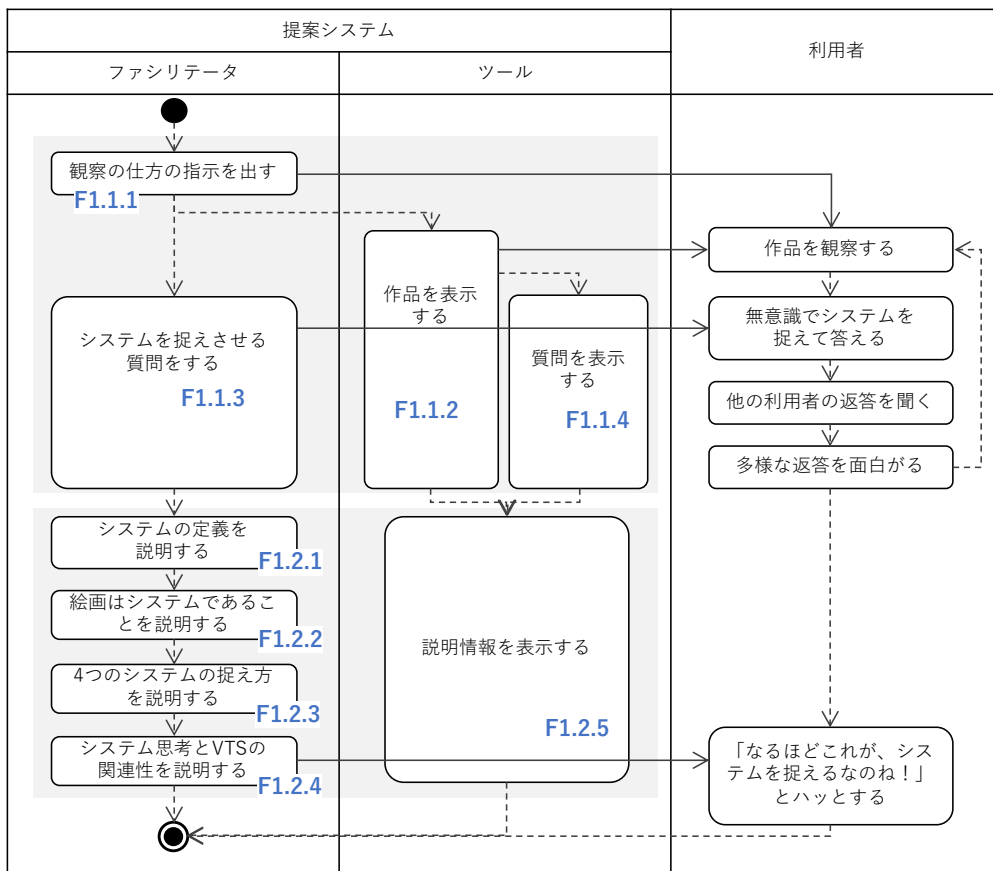


図 4-22 標準 VTS とシステム思考の説明の振る舞い【アクティビティ図】

③目的分析と改善を行う VTS と図的外化

振る舞い「目的分析と改善を行う VTS を経験させる」「システム思考経験の図的外化と対話をさせる」を詳細化したものを図 4-23 に示す。「目的分析と改善を行う VTS を経験させる」の振る舞いの構造は、標準 VTS と変わらず、指示や質問の内容のみが異なる。ただし、利用者は既に VTS とシステム思考との関連性を理解しており、ファシリテータからの指示も受けながら、4 つのシステムの捉え方を意識的に用いる。「観察の仕方の指示を出す」「作品を表示する」を行い、利用者に作品を観察してもらった後、「質問を表示する」を行いながら「目的の分析と改善のためにシステムを捉えさせる質問をする」を行う。

その後、「システム思考経験の図的外化と対話をさせる」では、利用者はファシリテータの指示で、VTS の中で考えたり回答したりした内容を、ツールを用いてシステム図に表現し、作成されたシステム図を用いて対話をする。「捉えた内容のシステム図作成の指示を出す」「絵画のシステム図を表示する」「システム図の質問をする」を行う。

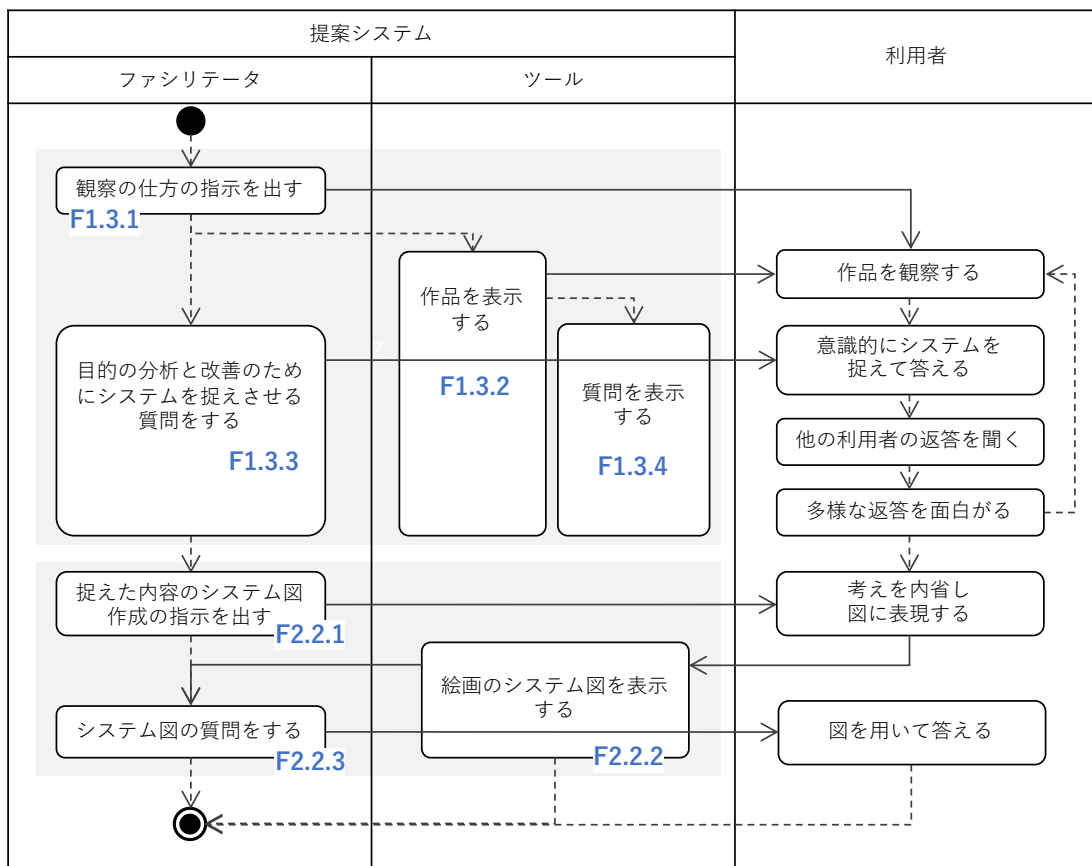


図 4-23 目的分析と改善を行う VTS と図的外化の振る舞い【アクティビティ図】

④担当システムの分析と図的外化

振る舞い「担当システムの分析と図的外化と対話をさせる」「システム図から気付きを引き出す」を詳細化したものを図 4-24 に示す。「担当システムの分析と図的外化と対話をさせる」では、絵画の代わりに担当システムを用いて VTS を行うが、担当システムの観察と問いへの返答は、利用者の頭の中で行なってもらう。その後、頭の中で考えたことを図に表現してもらい、その図を用いて対話を行う。「担当システムの観察の仕方の指示を出す」

「VTSの問いを表示する」を行い、利用者の観察の後、「捉えた結果のシステム図作成を指示する」を行い、「担当システムのシステム図を表示する」を行いながら「システム図の質問をする」を行う。

「システム図から気付きを引き出す」では、「視点の変化を確認する質問をする」を行い、利用者が最初に作成したシステム図との違いから、担当システムのシステムとしての捉え方の変化の気付きを得てもらおう。

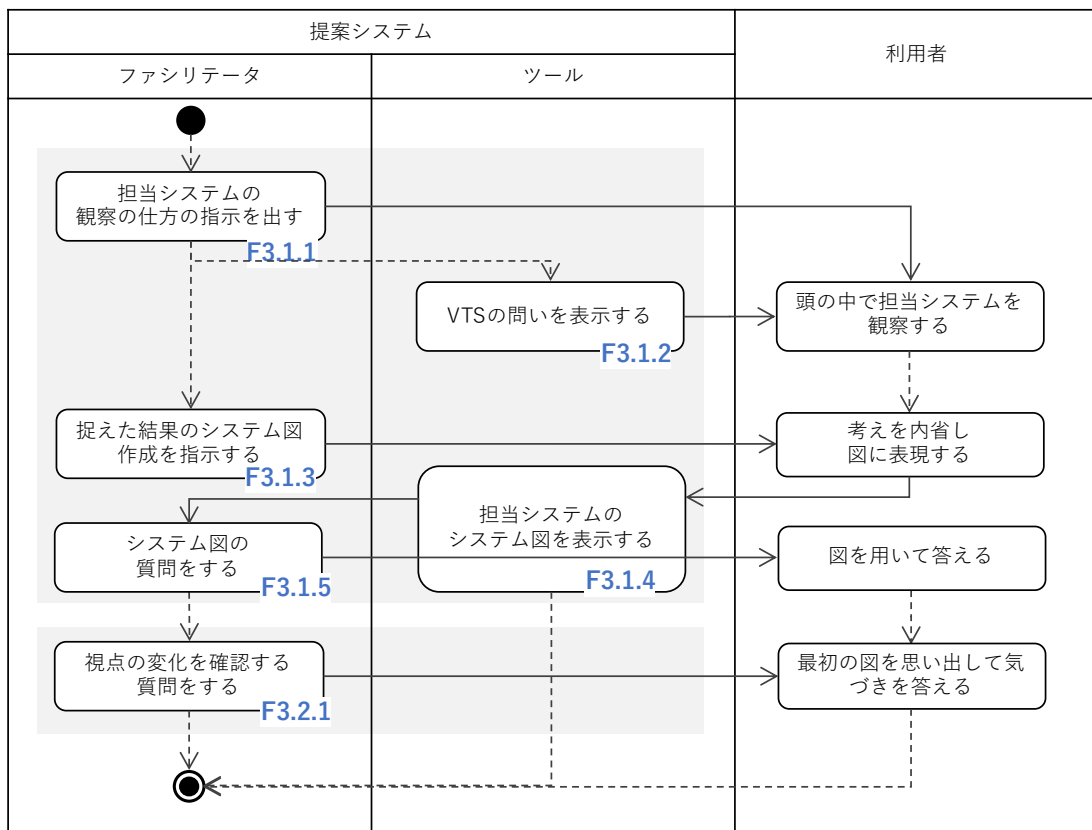


図 4-24 担当システムの分析と図的外化の振る舞い【アクティビティ図】

⑤事前準備作業

システムの振る舞いのアウトラインでは記述されていないが、提案システムに求められる「事前準備作業」の振る舞いを検討したものを図 4-25 に示す。まず図の書き方を利用者各自で習得してもらうために、「図の学習の指示を出す」「図の書き方を説明する」「例題を出す」を行う。その後、利用者に担当システムのシステム図を作成してもらうために、「担当システムのシステム図作成を指示する」「担当システムのシステム図を表示する」を行う。

⑥システムの機能の定義

システムの振る舞い検討結果を用いてシステムの機能を定義し、機能名、ID を付与したものを表 4-2 に示す。機能は関連のある機能ごとにグルーピングしている。また、付与した ID は、図 4-21～図 4-25 の中に追記している。

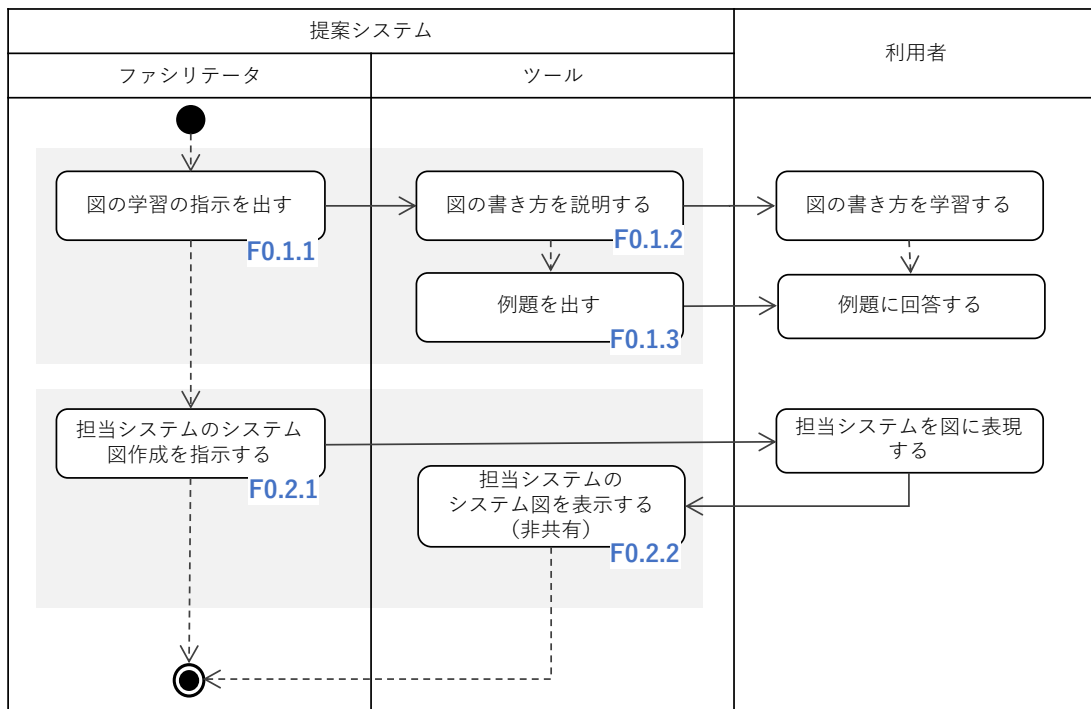


図 4-25 事前準備作業の振る舞い【アクティビティ図】

表 4-2 システムの機能一覧

ID	機能名
F1	絵画をシステムとして分析するVTS機能
F1.1	対話型鑑賞VTS機能
F1.1.1	観察の仕方の指示を出す機能
F1.1.2	作品を表示する機能
F1.1.3	VTSの質問をする機能
F1.1.4	質問を表示する機能
F1.2	VTSとシステム思考の関係説明機能
F1.2.1	システムの定義の説明機能
F1.2.2	絵画はシステムであること説明機能
F1.2.3	4つのシステムの捉え方説明機能
F1.2.4	システム思考とVTSの関連性説明機能
F1.2.5	説明情報を表示する機能
F1.3	絵画の目的の分析と改善を行うVTS機能
F1.3.1	観察の仕方の指示を出す機能2
F1.3.2	作品を表示する機能2
F1.3.3	VTSの質問をする機能2
F1.3.4	質問を表示する機能2
F2	思考過程の図的外化機能
F2.2	システム思考経験を図的外化させる機能
F2.2.1	システム図作成を指示する機能
F2.2.2	システム図を表示する機能
F2.2.3	システム図の質問をする機能
F3	担当システムを用いたVTSと図的外化機能
F3.1	担当システムの分析と図的外化をさせる機能
F3.1.1	担当システムの観察の仕方の指示を出す機能
F3.1.2	VTSの問いを表示する機能
F3.1.3	担当システムのシステム図作成を指示する機能
F3.1.4	担当システムのシステム図を表示する機能
F3.1.5	担当システムのシステム図の質問をする機能
F3.2	担当システムの図的外化から気づきを引き出す機能
F3.2.1	視点の変化の質問をする機能
F0	事前準備機能
F0.1	システム図の書き方を習得させる機能
F0.1.1	図の学習の指示を出す機能
F0.1.2	図の書き方を説明する機能
F0.1.3	例題を出す機能
F0.2	担当システムのシステム図を事前に作成させる機能
F0.2.1	担当システムのシステム図作成を指示する機能2
F0.2.2	担当システムのシステム図を表示する機能2

(3) 物理設計 ～ワークショップ設計～

定義したシステムの機能を、ワークショップの形式に実装する。実装結果は、「4.1.5 ワークショップ詳細 VTS for Systems Thinking」で、詳しく記載しているので、ここでは定義した機能とワークショップの物理設計への割り当て関係のみ表 4-3 を用いて示す。行はシステムの機能展開表となっており、列が物理設計の構成を示している。●印は、機能の物理構成（ワークショップ構成）への割り当て関係を示している。また、ワークショップ実行の構成であるファシリテータ、ツールへの割り当ては○印で示している。

表 4-3 システム機能の物理構成への割り当て表

物理設計 機能設計		VTS for Systems Thinking														
		Unit 0		Unit 1		Unit 2		Unit 3								
		①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②			
		ファシリテータ	ツール	担当システムの書き方習得	システム図の書き方習得	担当システムのシステム図作成	3つの問いかけ	システムの定義	絵画はシステムである	システム思考とVTS	作品の目的を意識した観察	5つの問いかけ	絵画作品のシステム図作成	担当システムの観察	システム図作成	気付き確認
F1	絵画をシステムとして分析するVTS機能															
F1.1	対話型鑑賞VTS機能															
F1.1.1	観察の仕方の指示を出す機能	○				●										
F1.1.2	作品を表示する機能	○	○			●										
F1.1.3	VTSの質問をする機能	○				●										
F1.1.4	質問を表示する機能	○	○			●										
F1.2	VTSとシステム思考の関係説明機能															
F1.2.1	システムの定義の説明機能	○						●								
F1.2.2	絵画はシステムであること説明機能	○						●								
F1.2.3	4つのシステムの捉え方説明機能	○							●							
F1.2.4	システム思考とVTSの関連性説明機能	○								●						
F1.2.5	説明情報を表示する機能	○	○					●	●	●	●					
F1.3	絵画の目的の分析と改善を行うVTS機能															
F1.3.1	観察の仕方の指示を出す機能2	○									●					
F1.3.2	作品を表示する機能2	○	○								●					
F1.3.3	VTSの質問をする機能2	○										●				
F1.3.4	質問を表示する機能2	○	○										●			
F2	思考過程の図的外化機能															
F2.2	システム思考経験を図的外化させる機能															
F2.2.1	システム図作成を指示する機能	○												●		
F2.2.2	システム図を表示する機能	○	○											●		
F2.2.3	システム図の質問をする機能	○												●		
F3	担当システムを用いたVTSと図的外化機能															
F3.1	担当システムの分析と図的外化をさせる機能															
F3.1.1	担当システムの観察の仕方の指示を出す機能	○													●	
F3.1.2	VTSの問いを表示する機能	○	○												●	
F3.1.3	担当システムのシステム図作成を指示する機能	○													●	
F3.1.4	担当システムのシステム図を表示する機能	○	○												●	
F3.1.5	担当システムのシステム図の質問をする機能	○													●	
F3.2	担当システムの図的外化から気付きを引き出す機能															
F3.2.1	視点の変化の質問をする機能	○														●
F0	事前準備機能															
F0.1	システム図の書き方を習得させる機能															
F0.1.1	図の学習の指示を出す機能	○				●										
F0.1.2	図の書き方を説明する機能	○				●										
F0.1.3	例題を出す機能	○				●										
F0.2	担当システムのシステム図を事前に作成させる機能															
F0.2.1	担当システムのシステム図作成を指示する機能2	○				●										
F0.2.2	担当システムのシステム図を表示する機能2	○	○			●										

4.2.4 プロトタイピング

(1)アーキテクチャ決定のためのプロトタイピング

システムアーキテクチャの基本構成として対話型鑑賞 VTS の採用可否を判断するために、プロトタイピングにより以下の確認を行った。プロトタイピングはワークショップ形式で2回実施した。

- システム思考経験を目的とした VTS が構成上成り立つのか
- VTS の本来の魅力である多様性の発見が損なわれないか
- システム思考を学ぶ者にとって美術作品をシステムとして扱うことが受け入れられるか
- 体験が印象的であるかどうか

①ワークショップ実験 1

A) 実験概要

ワークショップ実験 1 の実験概要を表 4-4 に示す。B) 項以降に実施内容を記載する。

表 4-4 ワークショップ実験 1 実験概要

目的	・ システム思考の経験を目的とした VTS が構成上成り立つかの確認 ・ VTS の本来の魅力である視点の多様性の発見が損なわれないかの確認 ・ 業務との関連付けを行う方法、その他のアイデア探索
被験者	対話型鑑賞 VTS の参加経験のある、美術教育家、美術愛好家 4 名
実施形態	オンラインワークショップ
実施時間	150 分 (インタビューを含む)
評価方法	ワークショップ後にグループインタビューを実施
構成	標準的な VTS を実施の後、システム思考要素を組み込んだ VTS のプロトタイプを実施し、比較可能とした。

B) 構成 1 : 標準的な VTS

標準的な VTS は、表 4-5 に記載の内容を実施した。

C) 構成 2 : システムの定義に関する講義

システム及びシステムズエンジニアリングに関する知識が全くない方々が、絵画もシステムであることという説明が理解可能かどうかを確認した。慶應義塾大学 SDM 研究科「SDM 序論」の講義資料を用いて、システムの定義に関して講義を行った。

D) 構成 3 : システム思考要素を組み込んだ VTS

システム思考要素を組み込んだ VTS は、表 4-6 に記載の内容を実施した。

表 4-5 標準的な VTS の実施内容

作品	Georges de La Tour 作「The Fortune Teller」
観察時間	2 分間
対話	1 周目 : 「この絵の中で何が起こっていますか?」「どこからそう思いましたか?」 2 周目 : 「さらなる気づきや発見はありますか?」

表 4-6 システム思考要素を組み込んだ VTS の実施内容

作品	 <p style="text-align: center;">図 4-26 Edouard Monet 作「Chez le Père Lathuille²⁰」</p>
俯瞰観察	1 分間
対話 その 1	<p>1 周目は標準どおりであるが、2 周目に絵画の目的に関わる問いかけを実施。</p> <p>1 周目「この絵では何が起こっていますか?」「どこからそう思いましたか?」</p> <p>2 周目「この絵は何を言いたいのでしょうか?」「コンセプト、テーマは?」</p>
詳細観察	<p>1 分間×5 領域</p> <p>詳細観察では、図 4-27 のように部分的に切り出して拡大した画像を観察させた。</p>
対話 その 2	<p>3 周目は標準的な問いかけとしたが、4 周目では改善を考えさせる問いかけを試した。</p> <p>3 周目「あらたな気づきや発見はありましたか?」「コンセプトやテーマの見立ては変わりましたか?」</p> <p>4 周目「コンセプト実現の為にこの絵をもっと良くしようとしたら、あなたならどうしますか?」</p>
対話 その 3	<p>業務との関連付けを行う方法として、自分自身の業務を絵画に投影する方法を試した。</p> <p>「あなたの携わっているシステム（業務）を投影してみます。あなたの携わっているシステムや、プロジェクト、製品、組織などが、この作品だとしたら、あなたの担当部分はどこになりますか?絵を見ながら考えてみてください」・・・3分間</p> <p>5 周目「この絵の中であなたの関わり部分はどのあたりですか?」</p> <p>「それはどのような役割をしていますか?」</p> <p>6 周目「これからの関わり方は?」「範囲を広げたいですか?」</p>

²⁰ Edouard Monet 《Chez le Père Lathuille》、1879 年、油彩／キャンバス、92×112cm、トゥルネー美術館、ベルギー



図 4-27 画面の切り出しによる視点の誘導

E) 実験結果

- システム思考の経験を目的とした VTS が構成上成り立つかの確認結果

被験者はシステムやシステム思考に関する知識はなかったが、システム思考に関する説明と VTS との関連性の説明は違和感なく理解できたと答えた。対話その 2 で試した改善を考えさせる問いでは、美術愛好家ならではの大胆な答えが返ってきたが、一方で一般の人だと難しいのではないかという意見が挙がった。

視点を誘導した観察では、被験者からの指摘は特になかったが、運用上時間を要する一方、視点を誘導することによる特別な効果はあまり感じられなかった。
- VTS の本来の魅力である視点の多様性の発見が損なわれないかの確認結果

特に魅力は損なわれず、十分に楽しめる内容であったと全員が回答した。
- 業務との関連付けを行う方法、その他のアイデア探索結果

対話 3 のなかで、被験者の回答はかなり発散した内容となり、ワークショップとしては楽しめる内容となり、被験者としての気づきは多くあったようであるが、システム思考の業務への適用イメージを持たせる目的に対しては不適切であった。絵画作品を対象としてそのまま使う方法は難しいことが分かった。

②ワークショップ実験 2

A) 実験概要

ワークショップ実験 2 の実験概要を表 4-7 に示す。B) 項以降に実施内容を記載する。


B) 構成 1 : VTS のデモンストレーション

参加者を 3 名募り、標準的な VTS を実施し、デモンストレーションとした。

表 4-7 ワorkshop実験 2 実験概要

目的	<ul style="list-style-type: none"> ・システム思考を学ぶ者にとって美術作品をシステムとして扱うことが受け入れられるかの確認 ・体験が印象的であるかどうかの確認
被験者	システムズエンジニアリング、システム思考を学ぶ者として、SDM Methodology Lab の参加者（学生、修了生、教員）27 名（内エンジニアリング経験有り 10 名）。全員が VTS の参加は未経験であった。
実施形態	<p>オンラインワークショップを実施し、合同での講義と、5～6 名のグループでの作業を行った。グループでは、ファシリテータ不在となるため、図に示したように、被験者が順番にファシリテータ役を担当するようにした。「問いかけ」用にはスクリプトを用意し鑑賞用画像に併記した。</p>
実施時間	90 分
評価方法	オンラインアンケート及び、アンケート結果から回答が特徴的であった 3 名にインタビューを実施した。
構成	標準的な VTS のデモンストレーション実施の後、講義、システム思考要素を組み込んだ VTS のプロトタイプを実施 2 回実施した。

表 4-8 VTS のデモンストレーション内容

作品	 <p>図 4-28 葛飾北斎作「富嶽三十六景 神奈川沖浪裏²¹⁾」</p>
観察時間	1 分間
対話	1 周目：「この絵の中で何が起こっていますか?」「どこからそう思いましたか?」 2 周目：「さらなる気づきや発見はありますか?」

C) 構成 2：講義（絵画はシステムである）

絵画はシステムであるということの根拠を説明する講義を実施した。講義内容は以下の通りである。

- システムの定義

INCOSE(International Council on Systems Engineering) Systems Engineering Handbook¹⁶⁾よりシステムの定義「システムとは、定義された目的を成し遂げるための、相互に作用する要素 (element) を組み合わせたものである。」を引用し、この定義からすれば絵画もシステムであるということを説明した。例として、レオナルド・ダ・ヴィンチ作「モナ・リザ」を示し、目的は謎とされているが議論され続けていること、さまざまな構成要素が物語を生み、謎を深めていることを説明した。

- 絵画のシステムらしさの説明

システムズエンジニアリングで議論される、システムのライフサイクル、利害関係者などを絵画に当てはめた例（表 4-9）を示し、絵画システムの“システムらしさ”を説明した。

²¹⁾ 同、p26。

表 4-9 絵画のシステムとしての整理

ライフサイクル	構想 - 習作 - 制作 - 評価 - 個人所有 - 公開
利害関係者	作家・購入者・ギャラリー・鑑賞者・支援者・・
コンテキスト	額・照明・展示空間・鑑賞者・提供情報
アーキテクチャ	表現（構図、配色、技法） 画材（絵の具、キャンバス）

- 絵画をシステムとして捉える

絵画をシステムとして捉えた場合の例を紹介して、絵画鑑賞とシステムとして捉えることの類似性を説明した。図 4-29 では、「俯瞰と詳細」を Alma Tadema 作「Spring」を例に示しており、図 4-30 は「多視点」を Georges de La Tour 作「The Fortune Teller」を例に示した。



図 4-29 Alma Tadema 作「Spring²²」の俯瞰と詳細

²² Alma Tadema 《Spring》1894年、キャンバス・油絵、178×80cm、J. Paul Getty Museum, Los Angeles



システムとして捉える
 さまざまな視点

- ・ 視線・表情
- ・ 衣装や髪の色
- ・ 人物の位置・手の動き

図 4-30 Georges de La Tour 作「The Fortune Teller²³」を多視点で捉える

D) 構成 3 : VTS Session1

ワークショップ実験 1 の「iii) システム思考要素を組み込んだ VTS」概ね同じ構成であるが、対話その 3 は含んでいない。また、問いかげごとに「振る舞いと根拠」など、問いかげの意味合いも合わせて提示し、違和感を持たれないかどうかを確認した。

表 4-10 VTS Session1 の実施内容

作品	Edouard Monet 作「Chez le Père Lathuille」(図 4-26)
俯瞰観察	1 分間
対話 その 1	1 周目：振る舞いと根拠 「この絵では何が起こっていますか?」「どこからそう思いましたか?」 2 周目：作品の目的 「この絵は何を言いたいのでしょうか?」「コンセプト、テーマは?」
詳細観察	30 秒間×5 領域 詳細観察では、図 4-27 のように部分的に切り出して拡大した画像を観察させた。
対話 その 2	3 周目：創発 「あらたな気づきや発見はありましたか?」 「コンセプトやテーマの見立ては変わりましたか?」 4 周目：新しいアイデア 「コンセプト実現の為にこの絵をもっと良くしようとしたら、あなたならどうしますか?」

²³ Georges de La Tour 《The Fortune Teller》1630 年代、キャンバス・油彩、101.9 x 123.5 cm、Metropolitan Museum of Art

E) 構成 4 : VTS Session2

作品の表示は変えずに、視点・見方を言葉で伝えて観察させる方法を試した。対話のなかでの問いかけは Session1 と共通である。

作品	 <p style="text-align: center;">図 4-31 Félix Vallotton 作「The Ball²⁴」</p>
俯瞰観察	1 分間
対話 その 1	<p>1 周目：振る舞いと根拠</p> <p>「この絵では何が起こっていますか?」「どこからそう思いましたか?」</p> <p>2 周目：作品の目的</p> <p>「この絵は何を言いたいのでしょうか?」「コンセプト、テーマは?」</p>
詳細観察	<p>視点を意識した観察：30 秒間×4 視点</p> <p>視点を意識した観察では、以下の 4 つの見方を指示し作品を観察させた。</p> <p>「人・ボール・木などの構図・配置に着目してください」</p> <p>「影・コントラスト・色に着目してください」</p> <p>「時代・季節・時間に着目してください」</p> <p>「動き・音・声に着目してください」</p>
対話 その 2	<p>3 周目：創発</p> <p>「あらたな気づきや発見はありましたか?」</p> <p>「コンセプトやテーマの見立ては変わりましたか?」</p> <p>4 周目：新しいアイデア</p> <p>「コンセプト実現の為にこの絵をもっと良くしようとしたら、あなたならどうしますか?」</p>

²⁴ 同、p31。

F) 実験結果

- システム思考を学ぶ者にとって、美術作品をシステムとして扱うことが受け入れられるかの確認結果

アンケートの結果を図 4-32、図 4-33 に示す。「『絵画はシステムである』への共感」は、エンジニア経験があり、なし両方で「少しそう思う」以上の回答が 80%以上となった。「システムズエンジニアリングとの共通性」は、エンジニア経験ありでは「少しそう思う」以上の回答が 50%と少ない値となった。「全くそう思わない」と答えた 2 名に追跡インタビューをしたところ、システムズエンジニアリングの設計的要素が含まれていないことが理由で、分析的要素のみであれば同意であると答えた。以上より、美術作品をシステムとして扱い分析することに関しては、概ね受け入れられたと判断した。また、システムの捉え方を体験する手法としての有効性を確認した質問に対して「少しそう思う」以上の回答が 60%以上となっており、VTS をシステム思考の訓練として用いることへの可能性が確認できた。また、ポジティブな回答を得たエンジニア経験ありの参加者への追加インタビューを行い、良かった点、改善点などを確認した。視点の誘導などはあまりせずに、むしろ参加者に任せた方が気づきが多いのではなど、有用なコメントが得られた。

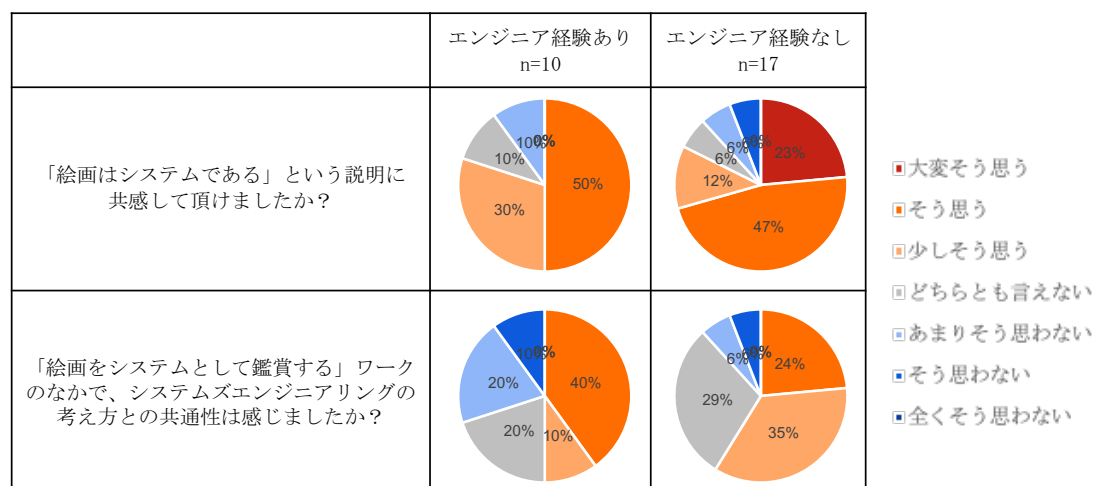


図 4-32 絵画をシステムとして扱うことへの共感性

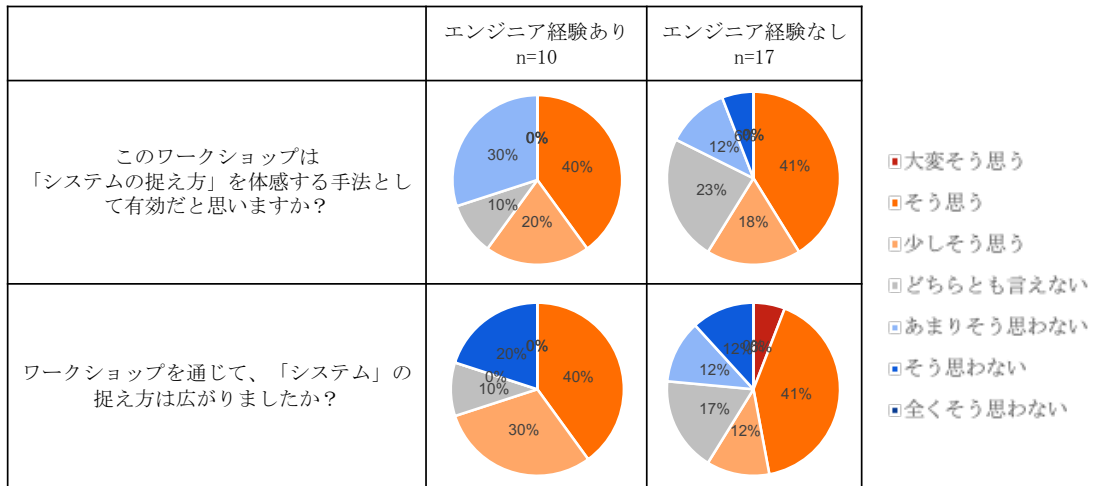


図 4-33 システムの捉え方を体験する手法としての有効性

- 体験が印象的であるかどうかの確認結果

印象的だったかどうかに関しては、またやってみたいかどうかの質問で評価した。評価結果を図 4-34 に示す。「少しそう思う」以上の回答が 90%以上と高い数値を示した。少なくとも参加者にとっての体験としての価値は高いことが確認できた。

③プロトタイピングの結論

2 回のプロトタイピング実験より、絵画をシステムとして扱うことに関しては、システムに関する知識を問わず受け入れられる可能性が高く、対話型鑑賞 VTS を用いてシステム思考を経験させる方法の実現性も十分あると判断した。

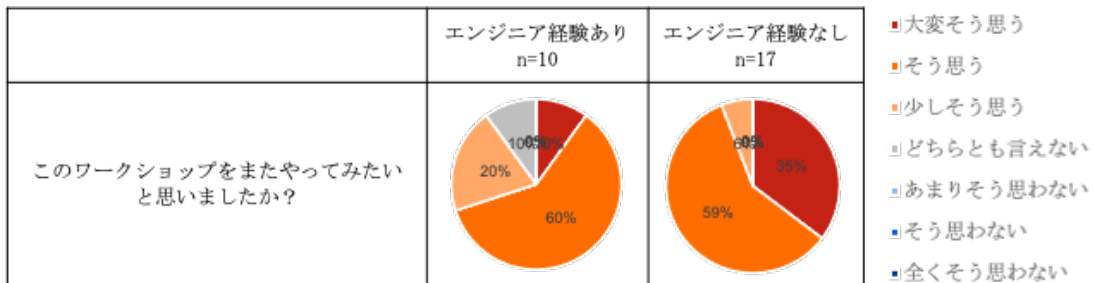


図 4-34 ワークショップの満足度

(2) 詳細設計確認のためのプロトタイピング

ワークショップの詳細設計結果に対して、検証実験が実施可能なレベルであるかどうか、修正点はないかの確認のためにプロトタイピングを行った。また、評価で用いるアンケートのテストも実施した。実験はワークショップを3回実施した。

①目的

3回のワークショップの目的を表 4-11 に示す。

②被験者

被験者の一覧を表 4-12 に示す。本評価の協力者募集時にプロトタイプへの参加可否も確認しプロトタイプに参加可の方の中から選出した。主にエンジニア経験年数が本評価の対象外となる方をプロトタイピングの被験者とした。

③実験方法

各回の目的に合わせてワークショップを構成し、資料、ツールは本評価と同様のものを準備した。評価は、被験者の反応、感想より判断することとした。同時に行ったアンケートのテストでは、評価感度の確認のみとし、実験の評価には使用していない。

表 4-11 ワークショップの目的

ワーク ショップ	目的
1	<ul style="list-style-type: none">・ワークショップを Unit1 から Unit3 まで通して実施し、全体の時間配分が妥当かどうかを確認する。・各パートが問題なく実施可能か、特に図式化は問題なく作業できるかを確認する。
2	ワークショップの部分実施、Unit2 と Unit3 のみの実行が可能か確認する。
3	ワークショップ Unit2 の修正点の効果を確認する。

表 4-12 プロトタイピング実験の被験者

ワークショップ	被験者	エンジニア経験年数	専門分野	役職	年代	性別	美術への関心	VTSの経験
1	P11	25	光学	開発マネージャー	45～54歳	男性	2	2
	P12	21	電気	電気系リーダー	45～54歳	男性	2	1
	P13	25	ソフト	開発マネージャー	45～54歳	男性	3	2
	P14	25	電気	人事	55～64歳	男性	4	1
2	P21	16	ソフト	エンジニア	35～44歳	男性	2	1
	P22	35	電気	R&D戦略	55～64歳	男性	2	1
	P23	13	機械	開発支援	45～54歳	男性	2	2
	P24	20	電気	エンジニア	35～44歳	女性	2	1
3	P31	7	機械	エンジニア	25～34歳	男性	—	—
	P32	0	デザイン	デザイナー	45～54歳	男性	2	1
	P33	20	ソフト	ソフトウェアアーキテクト	35～44歳	男性	1	1
	P34	0	デザイン	デザイン評価	35～44歳	男性	3	1

美術への関心

- 1：美術に興味はなく、美術館はほとんど訪問しない
- 2：美術に興味はあるが、美術館はあまり訪問しない
- 3：美術に興味があり、美術館は年に数回程度訪問する
- 4：美術に興味があり、美術館もよく訪問する

VTSの経験

- 1：今回はじめて知った
- 2：聞いたことはあった
- 3：参加したことがある

④ワークショップ構成

ワークショップ各回の構成を表 4-13 に示す。Unit 0 は各回とも事前に各自で実施してもらった。ワークショップ 2 回目は Unit 1 の「VTS とシステム思考の関連説明機能(F1.2)」のみ実施後、Unit 2, 3 を実施した。3 回目は、Unit 2 の「観察の仕方の指示を出す機能 2 (F1.3.1)」の効果を確認するために、その機能を改造した実験用 Unit 2' を組み込んだ。ワークショップの前後で「システム思考に対する自己効力感」と「Engagement with Systems Thinking」のアンケートを実施した。

表 4-13 プロトタイピングのワークショップ構成

ワークショップ	構成	実施時間
1	Unit1 + Unit2 + Unit3	1.5時間
2	Unit1の一部 + Unit2 + Unit3	1時間
3	実験用Unit2' + Unit2 + Unit3	1.5時間

⑤実験結果

A) ワークショップ 1 回目

ワークショップは概ね設計通り進捗し、1.5 時間での実施が可能であることが確認できた。各パートの難易度も問題なく、図式化に関しても、事前課題 **Unit 0** の内容含めて、問題なく実行可能であることが確認できた。担当システムのシステム図作成では、ベテラン設計者であっても、VTS の実施により視点の変化を促す効果が確認された。

問題点としては、**Unit 2** の「絵画の目的の分析と改善を行う VTS 機能(F1.2)」において、「絵画の目的」というのが、作家の目的なのか、作品の中の人物の目的なのか等、混乱することが分かった。修正版では「作品が伝えようとしていること」という表現に修正した。

B) ワークショップ 2 回目

ワークショップの部分実施、**Unit 2** と **Unit 3** のみの実行が問題なく実施できることが確認できた。1 回目の結果を反映した修正点も問題ないことが確認できた。

C) ワークショップ 3 回目

Unit 2 の「絵画の目的の分析と改善を行う VTS 機能(F1.2)」の修正点の効果を明確にするため、あえて効果が出にくい方向への修正したもの（実験用 **Unit 2'**）を実施し比較することで、修正の方向性に問題ないことが確認できた。

この回は、非エンジニアであるデザイナー2名が参加したが、そのうち1名はVTSで実施した観察の仕方が、普段の絵画の鑑賞方法と同じであり特別な視点の変化は起きなかったとした。本手法は、美術教育を受けた人にとっては当たり前であり、しかしエンジニアにとっては当たり前ではない思考過程を再現できている可能性が確認できた。

D) アンケートの評価

「システム思考に対する自己効力感」のアンケートは十分な感度があることが確認できた。一方「Engagement with Systems Thinking」のアンケート結果は、ベテランのエンジニアが多かったこともあり、高い値になる傾向が強かった。感度が不十分な可能性もあるため追加の尺度の検討も必要であると判断した。

⑥プロトタイプングの結論

提案手法であるワークショップは、検証実験は可能であると判断した。一方、エンゲージメントの評価尺度には工夫が必要であると判断し、本評価では、「現場で期待される思考傾向」のアンケートを作成し追加した。

第5章 提案の評価

本章では第4章で提案したシステムの評価について説明する。5.1で評価の全体像を後、5.2、5.3で評価方法の設計及び、結果を説明する。最後に5.5で考察を述べる。

5.1 評価の全体像

本研究では、提案したシステムを評価するためにワークショップ形式での実験を実施し、主に被験者からのアンケートを用いて評価を行った。ワークショップは、図4-5エラー! 参照元が見つかりません。で提示したパターンAを基準に、実験用に一部設計変更を行った。パターンAは、提案システムの3つのUnitを独立して評価可能であることから選択した。図5-1に示すように、ワークショップは被験者グループ毎に3回実施し、実施前後の合計4回のアンケートによりデータを取得した。ワークショップは各回1.5時間、ワークショップ間のインターバルは約2週間とした。被験者は21人で、4グループに分けてワークショップを実施した。

評価は、大別すると「提案システムがシステム要求を満足しているか」を評価する「検証」と、「提案システムはシステムの目的を実現しているか」を評価する「妥当性確認」から構成されている。それぞれの評価方法概要を表5-1、表5-2に示す。「検証」は、「図4-18提案システムのシステム要求【要求図】」、「妥当性確認」は「図4-15提案システムの目的【要求図】」に対応した評価になっており、評価項目の目的欄に対応する要求のIDを記載している。

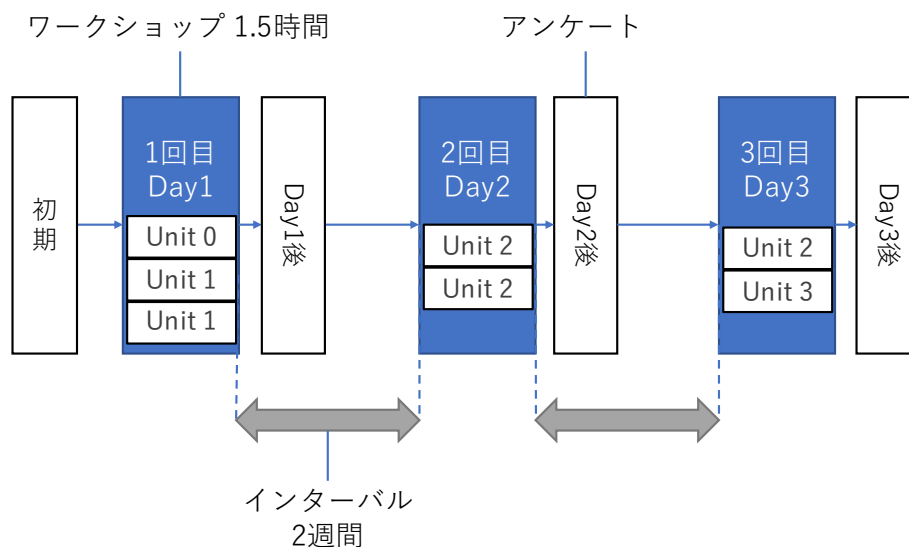


図 5-1 評価全体の流れ

表 5-1 評価方法概要:検証

No.	評価項目 対応する要求ID	評価指標	データ取得・分析方法
1	システムの機能要求を 満たしているか SR1, SR2, SR3 SR2.1, SR2.2 SR3.1, SR3.2	絵画をシステムとして分析するVTS機能の要求適合性	・アンケート調査 Day1,2,3後調査 5件法による度数分布評価 【定量】
		思考過程の図的外化機能の要求適合性	
		担当システムを用いたVTSと図的外化機能の要求適合性	・アンケート調査 Day3後調査 5件法による度数分布評価 【定量】 ・手法内成果物と対話評価 Day1,3内の成果物と対話の分析 【定性】
2	4つのシステムの捉え方は経験させられたか SR1.1, SR1.1.1	システムの捉え方の認知度	No.4の自己効力感の結果を用いる
3	システム思考に対する関心を高められたか SR1.2, SR1.2.1	システム思考への関心度	・アンケート調査 Day3後調査 5件法による度数分布評価 【定量】
		インターバル期間でのシステム思考の実践	・アンケート調査 Day1,2後調査 実施回数の度数分布評価 【定量】 実践内容のコメント分析 【定性】
4	システム思考に対する自己効力感を高められたか SR1.3, SR1.3.1	Guide for Constructing Self-Efficacy Scales (Bandura and Others 2006)に基づくシステム思考に対する自己効力感	・アンケート調査 初期、Day1,2,3後調査 11段階評価の個人間比較 【定量】
5	負担が少なかったか SR1.4, SR1.5, SR4 R2, R2.1, R2.2	精神的負担感 時間的負担感	・アンケート調査 Day3後調査 5件法による度数分布評価 【定量】

表 5-2 評価方法概要:妥当性確認

No.	評価項目 対応する要求ID	評価指標	データ取得・分析方法
1	システム開発におけるシステム思考へのエンゲージメントが向上したか R1.1.1	Engagement with Systems Thinking尺度 (Camelia and Ferris 2018)	・アンケート調査 初期、Day1,2,3後調査 7件法による個人間比較 【定量】
		現場で期待される思考傾向	
2	内省的思考傾向が高まったか R1.1.2	The Self-Reflection and Insight Scale (Grant, Franklin, and Langford 2002)	・アンケート調査 初期、Day1,2,3後調査 6件法による個人間比較 【定量】
		Critical Thinking Disposition Scale (Sosu 2013)	・アンケート調査 初期、Day1,2,3後調査 5件法による個人間比較 【定量】
3	今後の業務への適用が促されたか（イメージ出来たか） R1.1, R1.1.3	フーコーの3つの内省 (Foucault 2005)に基づく評価	・アンケート調査 Day3後調査 自由記述のコメントの採点 【定性+定量】
4	利害関係者から総合的に評価されたか	被験者の評価 ネットプロモータスコア NPS®	・アンケート調査 Day1,2,3後調査 NPSの変化度合いを評価 【定量】
		育成責任者の評価	・インタビュー調査 Day3後調査 インタビュー結果のコメント分析 【定性】

5.2 評価方法の設計

5.2.1 評価用ワークショップの設計

(1) 被験者

被験者は、日本の製造業 2 社から協力者を募り、本提案システムの対象である、専門技術分野での業務経験年数が 3 年から 10 年程度の中堅エンジニアを中心に表 5-3 に示す 21 名とした。被験者 G15、G41 は経験年数が 16 年と 15 年で対象範囲を超えているが、業務上の立場は設計担当者であり、提案システムの対象であるため、本評価の被験者に含めた。また、被験者 G11、G21、G26、G31 は経験年数が 1 年もしくは 2 年と短い、経験年数が短い場合の影響も確認するため、対象者に含めた。

各グループは 5～6 名とした。A 社のグループ分けは、経験年数、専門分野がグループ間で偏らないように注意して行った。

また、提案システムの基本手法である対話型鑑賞 VTS との相性に影響する要素として、美術への関心と、VTS への参加経験の確認を行った。美術への関心の有・無は、おおよそ 6 : 4 であったが、VTS の参加経験のある被験者はいなかった。

日本語版 Ten Item Personality Inventory(小塩 and 阿部 2012)による Big Five 性格特性も測定し測定結果を表 5-4 に示した。測定は評価実験完了後に実施した。

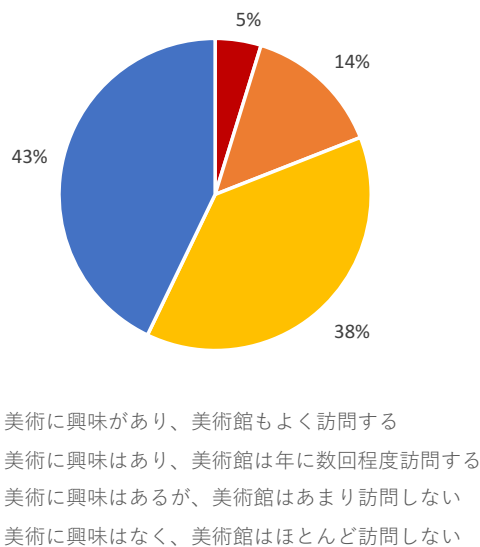


図 5-2 被験者の美術への関心

表 5-3 被験者の属性

会社	グループ	被験者	エンジニア 経験年数	専門分野	年代	性別	美術へ の関心	VTSの 経験
A	1	A11	2	機械	25～34歳	男性	3	1
		A12	3	機械	25～34歳	男性	1	1
		A13	5	電気	25～34歳	男性	2	1
		A14	7	電気	25～34歳	男性	1	1
		A15	16	ソフト	35～44歳	男性	1	1
	2	A21	1	ソフト	25～34歳	男性	2	1
		A22	4	ソフト	25～34歳	男性	2	1
		A23	5	機械	25～34歳	男性	3	2
		A24	7	機械	25～34歳	男性	2	2
		A25	10	ソフト	25～34歳	男性	1	1
		A26	1	光学	25～34歳	女性	1	1
	3	A31	1	電気	18～24歳	男性	3	1
		A32	4	機械	25～34歳	男性	2	1
		A33	5	機械	25～34歳	男性	4	1
		A34	7	機械	25～34歳	女性	1	1
A35		10	ソフト	25～34歳	男性	1	1	
B	4	B1	15	不明	45～54歳	男性	1	1
		B2	9	機械	25～34歳	男性	1	1
		B3	8	ソフト	25～34歳	男性	2	1
		B4	5	ソフト	25～34歳	男性	2	1
		B5	7	機械	25～34歳	男性	2	1

美術への関心

- 1：美術に興味はなく、美術館はほとんど訪問しない
- 2：美術に興味はあるが、美術館はあまり訪問しない
- 3：美術に興味があり、美術館は年に数回程度訪問する
- 4：美術に興味があり、美術館もよく訪問する

VTSの経験

- 1：今回はじめて知った
- 2：聞いたことはあった
- 3：参加したことがある

表 5-4 被験者の Big Five 性格特性

被験者	日本語版TIPIによるBig Five特性				
	外交性	協調性	勤勉性	神経症傾向	開放性
A11	4.0	4.5	3.0	4.0	3.5
A12	2.5	4.0	3.0	3.0	3.5
A13	2.5	6.0	4.0	2.5	4.0
A14	2.0	3.0	2.5	5.0	4.0
A15	3.5	3.0	3.0	5.5	3.0
A21	3.0	4.5	4.0	3.0	4.5
A22	4.5	4.0	3.5	4.5	4.0
A23	2.5	5.0	4.0	3.5	5.5
A24	2.5	5.0	3.5	4.5	4.5
A25	4.5	6.5	3.5	4.5	4.0
A26	3.5	5.0	5.0	3.0	2.5
A31	2.5	3.5	5.0	2.5	4.0
A32	3.5	5.0	3.0	4.0	5.0
A33	5.5	5.5	3.5	4.0	6.0
A34	4.5	3.5	2.5	6.0	3.5
A35	6.0	5.0	5.0	2.5	3.0
B1	3.0	4.0	3.5	5.0	4.0
B2	6.0	5.0	6.0	3.5	5.5
B3	4.5	4.5	5.0	5.0	5.0
B4	2.0	3.5	2.5	5.5	4.5
B5	2.0	5.5	3.0	3.0	2.5

(2) ワークショップの構成

評価のために実施したワークショップは、図 5-1 に示したように、1 回目 Day1 は Unit0 と Unit 1 を 2 回、2 回目 Day2 は Unit 2 を 2 回、3 回目 Day3 は Unit 2, 3 を組み合わせて実施した。Unit 0 は本来ワークショップ外で事前課題として実施する設計であるが、②担当システムのシステム図作成のパートのみ、作業時間を確実に揃えることと、作成している様子を観察するためにワークショップ内に取り込んだ。また、Unit 1 の 2 回目は②VTS とシステム思考の関連性説明は省略している。また、それぞれの回では、ワークショップの冒頭にアイスブレイクとして自己紹介などを実施している。

実施時間は、各回とも 1.5 時間で設計し、実際の実施時間は±5 分程度の範囲で収まった。

(3) ファシリテーション

今回の評価にあたり筆者は、対話型鑑賞 VTS の専門家が開催している 4 時間×2 回の「対話型鑑賞のファシリテーター養成講座」を受講し、5.2.1 (3) に記載の基本的なファシリテーションテクニックを学んだ。また、グループによるファシリテーションのばらつきを防ぐため、詳細の SCRIPT を用意し、極力差が出ないように注意した。

VTS の中では被験者に順番に質問していくが、答える順番が同じにならないように、各回あらかじめ順番を決めてこちらから指定した。また、回答時間はすべてストップウォッチでモニターし、被験者間の回答時間がばらつかないようにコントロールした。

(4) 使用した作品

使用した絵画作品と選択基準の概要を図 5-3 以下に示す。いずれの作品も著作権が発生しない公有の財産、パブリックドメインとなっている。

Day1 の作品は、絵画鑑賞を楽しめることを観点に選択している。Day2、Day3 の作品はシステムとして捉えるという観点で、徐々に難易度が上がるように選択している。なお、作品の選択にあたっては、対話型鑑賞 VTS の専門家、VTS 経験のあるアート教育者、アート愛好家に、選択基準を提示し候補作品の助言を得た。






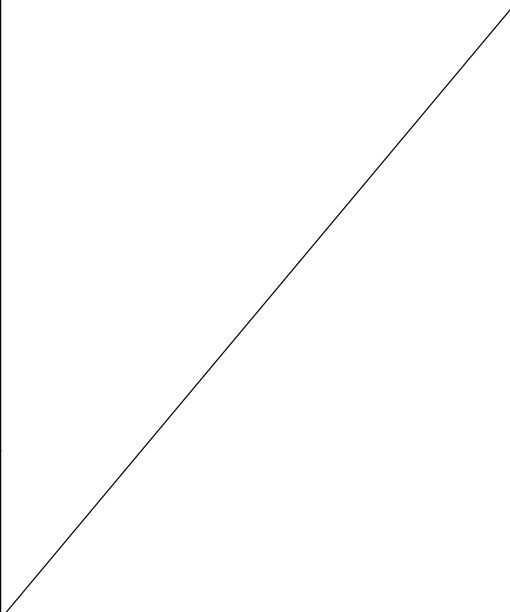
Day1		
	<p>Ilya Yefimovich Repin作 「They Did Not Expect Him」 初回のため「起きていること」を出来るだけ回答しやすい作品を選択した。</p>	<p>Gustav Klimt作「The Kiss」 各要素の表現は具象であるが全体的に抽象的な象徴主義を代表する作品。解釈が多様になりやすい。</p>
Day2		
	<p>Félix Vallotton作「The Ball」 上下の領域で、色調、要素が対比的に使われており、階層、相互作用を捉えやすい。作品の目的も多様に捉えられる。</p>	<p>Henri Rousseau作 「La Bohemienne endormie」 獣と旅人の部分がそれぞれ複数の詳細な要素で表現されており階層感がある。空間的時間的にフレーミングされている。</p>
Day3		
	<p>小村雪岱作「青柳」 奥行き方向に向かって要素が階層的に構成されている。動きのない要素で、描かれていない人も含めた振る舞いを表現している。</p>	

図 5-3 評価に使用した作品一覧^{25, 26, 27, 28, 29}

5.2.2 検証のためのアンケート・評価設計

検証のために実施したアンケートの質問項目及び評価設計について説明する。

(1) システムの機能要求を満たしているか

① 絵画をシステムとして分析する VTS 機能の要求適合性

絵画をシステムとして分析する VTS 機能(F1)が、理解性・利用性・有効性を満たしたかを評価した。

3 つの下位機能、「対話側鑑賞 VTS 機能(F1.1)」「VTS とシステム思考の関係説明機能(F1.2)」「絵画の目的の分析と改善を行う VTS 機能(F1.3)」を評価するための質問を作成した。それぞれの質問を表 5-5、表 5-6、表 5-7 に示す。評価 No. は連番としている。回答は、それぞれリッカート尺度 5 件法 (5: 強く同意する 4: 多少同意する 3: どちらでもない 2: あまり同意しない 1: まったく同意しない) で求めた。アンケートは、ワークショップの Day1 後、Day2 後、Day3 後に実施した。要求適合性は、回答結果の度数分布の程度により評価した。

表 5-5 対話側鑑賞 VTS 機能(F1.1)を評価する質問

No.	評価項目	質問 次の文について、ワークショップでの体験としてどの程度同意するか、正直にお答えください
1	理解性・利用性	思ったことを発言しやすかった
2	理解性・利用性	他の人の意見をしっかりと聞くことが出来た
3	利用性・有効性	他の参加者と自分の視点の違いを楽しむことが出来た
4	有効性	自分のものの見方、考え方の特徴に気づくことが出来た

²⁵ 同、p25。

²⁶ Gustav Klimt 《The Kiss》1907-1908 年、油彩・金箔・キャンバス、180×180 cm、ベルヴェデーレ宮殿オーストリア絵画館

²⁷ 同、p31。

²⁸ Henri Rousseau 《La Bohemienne endormie》1897 年、油彩・キャンバス、130×201cm、ニューヨーク近代美術館

²⁹ 同、p32。

表 5-6 VTS とシステム思考の関係説明機能(F1.2)を評価する質問

No.	評価項目	質問 次の文について、ワークショップでの体験としてどの程度同意するか、正直にお答えください
5	理解性・有効性	対話型鑑賞の中でシステム思考を使うということが理解できた
6	利用性・有効性	対話型鑑賞の中でシステム思考を体感した実感がある

表 5-7 絵画の目的の分析と改善を行う VTS 機能(F1.3)を評価する質問

No.	評価項目	質問 次の文について、ワークショップでの体験としてどの程度同意するか、正直にお答えください
7	理解性・利用性	作品の目的・意味を意識しながら観察が出来た
8	利用性・有効性	視点を意識し、意識的に視点を変えながら観察することが出来た
9	有効性	自分自身にとっての作品の目的・意味を見つけることが出来た

②思考過程の図的外化機能の要求適合性

思考過程の図的外化機能(F2)が、理解性・利用性・有効性を満たしたかを評価した。

作成した質問を表 5-8 に示す。評価 No.は機能評価全体で連番としている。回答は、それぞれリッカート尺度 5 件法 (5:強く同意する 4:多少同意する 3:どちらでもない 2:あまり同意しない 1:まったく同意しない) で求めた。アンケートは、ワークショップの Day1 後、Day2 後、Day3 後に実施した。要求適合性は、回答結果の度数分布の程度により評価した。

ただし、Day1 では、思考過程の図的外化機能(F2)を実施しておらず、Day1 後の評価は、図的外化機能の準備としての、事前準備機能(F0)の評価に相当する。

表 5-8 思考過程の図的外化機能(F2)を評価する質問

No.	評価項目	質問 次の文について、ワークショップでの体験としてどの程度同意するか、正直にお答えください
10	理解性	図の書き方は理解できた
11	利用性・有効性	図のなかに思ったことが表現できた
12	有効性	図に表現することで考えが整理出来た

③担当システムを用いた VTS と図的外化機能の要求適合性

A) アンケートによる評価

担当システムを用いた VTS と図的外化機能(F3)が、理解性・利用性・有効性を満たしたかを評価した。

作成した質問を表 5-9 に示す。評価 No.は機能評価全体で連番としている。回答は、それぞれリッカート尺度 5 件法 (5: 確実にそうだ 4: おそらくそうだ 3: どちらでもない 2: おそらく違う 1: 確実に違う) で求めた。アンケートは、ワークショップの Day3 後に実施した。要求適合性は、回答結果の度数分布の程度により評価した。

B) ワークショップの成果物による評価

アンケートと合わせて、ワークショップ Day1、Day3 で被験者が作成した担当システムのシステム図と、ワークショップ内でのファシリテータとの対話から、表 5-9 の質問 No.14, No.15 が出来ているかどうかをアンケート結果とも比較しながら評価した。

表 5-9 担当システムを用いた VTS と図的外化機能(F3)を評価する質問

No.	評価項目	質問
13	理解性・利用性	担当システムを頭の中で観察し、システム思考をいて捉えることは出来ましたか
14	利用性・有効性	担当システムに対する捉え方、視点に変化がありましたか
15	有効性	担当システムを捉えた際に、改善点や無駄に気がつきましたか

(2) 4つのシステムの捉え方を経験させられたか

4つのシステムの捉え方を経験させ、システムの捉え方の認知がされたかの評価は、システム思考の経験が前提になる、システム思考に対する自己効力感の評価結果をもとに判断する。

(3) システム思考に対する関心を高められたか

提案システムにより、被験者のシステム思考に対する関心度が向上したかを評価する。

作成した質問を表 5-10 に示す。回答は、リッカート尺度 5 件法 (5: 確実にそうだ 4: おそらくそうだ 3: どちらでもない 2: おそらく違う 1: 確実に違う) で求めた。アンケートは、ワークショップの Day3 後に実施した。向上効果は、回答結果の度数分布の程度により評価した。

さらに、ワークショップのインターバル期間に、システム思考でシステムを捉えることを試みたかどうか、試行回数と試行対象、得られた気づきを質問した。作成した質問を表 5-11 に示す。アンケートは、ワークショップの Day2 後、Day3 後に実施した。

表 5-10 「システム思考への関心が高まったか」を確認する質問

No.	質問
1	ワークショップを通じてシステム思考への関心は強くなりましたか
2	システム思考をより深く学びたいと思いますか

表 5-11 「システム思考を実践したかどうか」を確認する質問

No.	質問
1	前回と今回のワークショップの間に、生活の中で様々な対象をシステムとして捉えることを試してみましたか (7回以上試してみた・4~6回試してみた・2~3回試してみた・1回は試してみた・試してみなかった)
2	どのような対象をシステムとして捉えようとしてみましたか (自由記述)
3	システムとして捉えようとする中で、何か気づきはありましたか、どのような気づきがありましたか (自由記述)

(4)システム思考に対する自己効力感を向上させられたか

提案システムにより、被験者のシステム思考に対する自己効力感が向上したかを評価するために、Guide for Constructing Self-Efficacy Scales (Bandura and Others 2006)に基づいて質問を作成した。対象の異なる「様々なシステムを対象として4つのシステムの捉え方ができるか」と「担当するシステムを対象として4つのシステムの捉え方ができるか」及び、本提案システムの前提となる、「絵画作品をシステムとして捉えられるか」、で作成した質問を表5-12、表5-13、表5-14に示す。

回答は、それぞれ0から100までの11段階の数字（0：全くできない 100：確実にできる）で求めた。アンケートは、ワークショップの実施前（初期）、Day1後、Day2後、Day3後に実施した。自己効力感が向上したかの評価は、個人間比較により分析した。

表 5-12 「様々なシステムを対象として4つのシステムの捉え方ができるか」を問う質問

No.	質問 次の文について、あなたが現在実行できるかどうか、あなたの自信の度合いを0から100までの数字で表して評価してください (0：全くできない、100：確実にできる)
1	様々なシステムの、中と外の要素、システムの境界を捉えることができる
2	様々なシステムの、全体と細部、階層を捉えることができる
3	様々なシステムの、要素間の相互作用、機能や動きを捉えることができる
4	様々なシステムにおいて、対象を色々な視点で捉え直すことができる
5	様々なシステムにおいて、目的を捉えて、改善のためにシステム思考を使うことができる

表 5-13 「担当するシステムを対象として4つのシステムの捉え方ができるか」を問う質問

No.	質問 次の文について、あなたが現在実行できるかどうか、あなたの自信の度合いを 0から100までの数字で表して評価してください (0：全くできない、100：確実にできる)
1	担当するシステムにおいて、システム全体を捉え、その外側の要素を列挙することが出来る
2	担当するシステムにおいて、担当範囲とシステム全体それぞれの要素と階層を説明することが出来る
3	担当するシステムにおいて、担当範囲の機能や動きが、システム全体としての機能や動きにどのように影響するか説明できる
4	担当するシステムにおいて、担当範囲やシステム全体を色々な視点で捉え直すことができる
5	担当するシステムにおいて、担当範囲の上位の目的を捉えて、改善のためにシステム思考を使うことができる

表 5-14 「絵画作品をシステムとして捉えられるか」を問う質問

No.	質問 次の文について、あなたが現在実行できるかどうか、あなたの自信の度合いを 0から100までの数字で表して評価してください (0：全くできない、100：確実にできる)
1	絵画作品をシステムとして捉えることができる

(5)負担は少なかったか

提案システムは、精神的、工数的な負担が小さく、参加のハードルが低いかどうかをアンケートにより評価した。

精神的な負担感を確認する質問を表 5-15 に示す。回答は、リッカート尺度 5 件法 (5：強く同意する 4：多少同意する 3：どちらでもない 2：あまり同意しない 1：まったく同意しない) で求めた。次に、工数的な負担感を確認する質問を表 5-16 に示す。回答は、5 段階 (5：かなり長い/多い 4：少し長い/多い 3：適切だ 2：少し短い/少ない 1：かなり短い/少ない) で求めた。アンケートは、ワークショップの Day3 後に実施し、回答結果の度数分布の程度により評価した。

表 5-15 精神的な負担感を確認する質問

No.	質問
1	ワークショップは失敗の心配がなく参加のハードルが低いと思いますか
2	エンジニアの経験や年齢を問わず参加のハードルが低いと思いますか

表 5-16 工数的な負担感を確認する質問

No.	質問
1	1回の時間1.5時間は適正だと思いますか (かなり短い・少し短い・適切だ・少し長い・かなり長い)
2	3回の実施回数は適正だと思いますか (かなり少ない・少し少ない・適切だ・少し多い・かなり多い)
3	2週間のインターバルは適正だと思いますか (かなり長い・少し長い・適切だ・少し短い・かなり短い)

5.2.3 妥当性確認のためのアンケート・評価設計

妥当性確認のために実施したアンケートの質問項目及び評価設計について説明する。

(1) システム思考に対するエンゲージメントが向上したか

① Engagement with Systems Thinking 尺度

提案システムにより、被験者のシステム開発におけるシステム思考へのエンゲージメントが向上したかを評価するために、Engagement with Systems Thinking 尺度(Camelia and Ferris 2018)を用いた。質問リストを表 5-17 に示す。質問は DeepL 翻訳³⁰を用いて日本語に翻訳し、用語の揺れを補正した後使用した。質問の順番は、「②現場で期待される思考傾向」の質問と混ぜた後ランダムに入れ替えて使用した。

回答は、リッカート尺度 7 件法 (7: 強く同意する 6: 同意する 5: 多少同意する 4: どちらでもない 3: あまり同意しない 2: 同意しない 1: まったく同意しない) で求めた。アンケートは、ワークショップの実施前 (初期)、Day1 後、Day2 後、Day3 後に実施した。エンゲージメントが向上したかの評価は、個人間の比較により分析した。

② 現場で期待される思考傾向

システム思考へのエンゲージメントの向上効果の評価を補足するために、第 3 章の日本の製造業の実態調査結果を踏まえて、現場で期待される思考傾向を評価する質問を作成し追加した。質問はシステム思考の 4 つのシステムの捉え方と、目的指向に対応している。質問リストを表 5-18 に示す。質問は「① Engagement with Systems Thinking 尺度」に混ぜてアンケートを実施、同様の分析を行った。

³⁰ DeepL GmbH が提供しているオンライン翻訳サービス。 <https://www.deepl.com/ja/translator>

表 5-17 Engagement with Systems Thinking 尺度(Camelia and Ferris 2018)

因子	No.	質問 次の文について、あなた自身の態度としてどの程度同意するか、 正直にお答えください	逆設問
システム全体を俯瞰する 視点へのこだわりや傾向 Preference or inclination towards whole of system perspectives	1	私は開発プロジェクトにおいて、他の技術分野の人たちの活動には 興味がない	*
	2	私はプロジェクトで開発された最終的な製品やシステムがどのよう にサポートされ、維持されるのかには興味がない	*
	3	私は開発プロジェクトに参加するとき、メインのタスクと周辺のタ スクの相互関係や影響を見て、自分のパートがどのようにタスク全 体と相互作用し、貢献しているかを考えることには興味がない	*
	4	私は将来の方向性を決める戦略的な計画に参加することは楽しくない と思っている	*
	5	開発プロジェクトでは、自分が担当する部分がプロジェクト全体の中 でどのように機能しているかを見るよりも、自分のタスクに集中 したいと思う	*
	6	私はシステムの実体やその関係、システムの階層や境界線など、シ ステム全体の構造を理解するのは苦手だ	*
検討・開発中のシステム 全体の目的や用途への関心 Interest in the intended purpose or application of the whole system under consideration or development.	7	私は自分が責任を負う部品やプロセスに変更を加える必要がある場 合、その変更でもたらされる技術的および非技術的な結果を確認す る	
	8	私の考えでは、工学設計は、技術的な検討事項に加えて、内部の組 織的な検討事項や外部の政治的、経済的、社会的な検討事項を考慮 する必要がある	
	9	私はお客様や市場のシステムに対するニーズを見つけ出して分析し、 そのニーズを製品やシステムの技術仕様に「翻訳」することに喜び を感じられると思う	
	10	私は自分が手がけている製品やシステムが実際にどのように機能す るのかに興味がある	
	11	期待した結果と実際の結果の違いから学び、結果を改善するために 自分の行動を変えることが重要である	
一貫性のある全体的な システムソリューションを 求める傾向および参加 Inclination towards and participation in seeking a coherent, whole, system solution.	12	私が開発プロジェクトに参画するときは、自分のゴールだけに集中 するのではなく、プロジェクトの何を改善すればいいかを継続的 に考える	
	13	私にとって自分の専門分野以外の工学分野（電気・機械・その他の 工学）の知識を得ることは重要である	
	14	私が開発プロジェクトに参画するときは、他の人が決めたことをそ のまま受け入れるのではなく、自分から積極的に行動したいと思っ ている	
	15	開発プロジェクトに参画するとき、私は他のメンバーが全体の課題 を解決させるために貢献してくれることを大切にしている	
	16	開発プロジェクトに参画するとき、私は全体を見直してプロジェク トにフィードバックするのが楽しい	

表 5-18 現場で期待される思考傾向

No.	質問 次の文について、あなた自身の態度としてどの程度同意するか、 正直にお答えください
1	システムの課題に取り組む際には、担当システムの内側の要素だけでなく外側の要素のことが知りたくなる
2	複雑な課題を単純化して全体像を捉えることが好きだが、細部へのこだわりも捨てない
3	複雑なシステムの要素間の相互作用や因果関係を分析し、解きほぐして理解することが楽しい
4	自分自身や他のメンバーの様々な視点からシステムを捉えて解決策を見つける作業にワクワクする
5	システムの課題に取り組む際には、与えられた目的よりも上位の目的を捉えてから解決策を探したくなる

(2) 内省的思考傾向が高まったか

提案システムにより、被験者の内省的思考傾向が向上したかどうかを評価するために、工学系大学院生を対象に VTS を含む芸術及び人文科目により内省的思考傾向と能力が高められるかを実験した研究(R. Campbell et al. 2020)で用いられた幾つかの尺度から、The Self-Reflection and Insight Scale(Grant, Franklin, and Langford 2002)と、Critical Thinking Disposition Scale(Sosu 2013)を用いた。

①The Self-Reflection and Insight Scale

The Self-Reflection and Insight Scale の質問リストを表 5-19 に示す。質問は DeepL 翻訳³⁰を用いて日本語に翻訳し、用語の揺れを補正した後使用した。質問の順番はランダムに入れ替えて使用した。

回答は、リッカート尺度 6 件法 (6 : 強く同意する 5 : 同意する 4 : 多少同意する 3 : あまり同意しない 2 : 同意しない 1 : まったく同意しない) で求めた。アンケートは、ワークショップの実施前 (初期)、Day1 後、Day2 後、Day3 後に実施した。尺度の評価は、個人間の比較により分析した。

表 5-19 The Self-Reflection and Insight Scale(Grant, Franklin, and Langford 2002)

因子	No.	質問 次の文について、あなた自身の態度としてどの程度 同意するか、正直にお答えください	逆設問
内省への エンゲージメント Engagement in self- reflection	1	私は自分の考えについて考えることはあまりない	*
	2	私は自分を振り返る時間をほとんど持たない	*
	3	私は自分の気持ちをよく吟味する	
	4	私は自分がなぜそのような行動をとるのかについて あまり考えない	*
	5	私は頻繁に自分の考えを振り返る時間をとる	
	6	私は物事に対する自分の感じ方についてよく考える	
内省の必要性 Need for self-reflection	7	私は自分の行動を分析することにあまり興味がない	
	8	自分がやったことを評価するのは重要なことである	
	9	私は自分が考えていることを検証することにとっても 興味がある	
	10	自分の感情が何を意味するのかを理解しようとする ことは、私にとって重要である	*
	11	私は自分の心の働きを理解する必要があると思う	
	12	私にとっては、自分の考えがどのようにして生じる のかを理解できることが重要である	
インサイト Insight	13	私は普段から自分の考えを意識している	
	14	自分の本当の気持ちに戸惑うことが多い	*
	15	私は通常、なぜ自分がある行動をとったのかについ て、非常に明確な考えを持っている	
	16	自分が何かを感じていることにはよく気づいている が、それが何なのかはよく分からない	*
	17	自分の行動はよく自分を悩ませる	*
	18	自分の考えについて考えると、さらに混乱する	*
	19	自分が感じていることの意味を理解するのが難しい ことが多い	*
	20	自分がなぜそのように感じるのか、たいてい分かっ ている	

②Critical Thinking Disposition Scale

Critical Thinking Disposition Scale の質問リストを表 5-20 に示す。質問は DeepL 翻訳³⁰を用いて日本語に翻訳し、用語の揺れを補正した後使用した。質問の順番はランダムに入れ替えて使用した。

回答は、リッカート尺度 5 件法 (5 : 強く同意する 4 : 多少同意する 3 : どちらでもない 2 : あまり同意しない 1 : まったく同意しない) で求めた。アンケートは、ワークショップの実施前 (初期)、Day1 後、Day2 後、Day3 後に実施した。尺度の評価は、個人間の比較により分析した。

表 5-20 Critical Thinking Disposition Scale(Sosu 2013)

因子	No.	質問 次の文について、あなた自身の態度としてどの程度同意するか、 正直にお答えください
批判的 開放性 Critical Openness	1	私は通常、議論の際には全体像を考えようとする
	2	自分のやり方を変えるために、新しいアイデアをよく使う
	3	自分で情報を得るために、複数の情報源を利用する
	4	私はよく新しいアイデアを探している
	5	自分の確固たる信念を覆すような正論を見つけることがある
	6	ある問題に対する他の人の視点を理解することは重要である
	7	自分の選択を正当化することは重要である
内省的 懐疑性 Reflective Scepticism	8	自分の経験を再評価して、そこから学ぶことが多い
	9	判断を下す前に、情報源の信頼性を確認する
	10	私は通常、行動を起こす前に意思決定の幅広い意味合いについて考える
	11	私は自分の行動を改善できるかどうかよく考える

(3)システム思考の分野横断的な業務への適用が促されたか

提案システムにより、被験者のシステム思考の分野横断的な設計業務への適用が促されたかを評価するために、フーコーの3つの内省形態（記憶：起きたことの振り返り、熟慮：影響の理由の振り返り、方法：経験からどのように自分を変化させたいか）(Foucault 2005)を基に質問を作成した。質問リストを表 5-21 に示す。

回答は自由記述とし、アンケートはワークショップの Day3 後に実施した。回答結果のコメント分析を行い、期待する回答が得られたかどうかの割合で評価した。

表 5-21 今後の業務への適用が促されたかを確認する質問

No.	フーコーの3つの内省形態	質問
1	記憶・熟考	担当システムに対する捉え方、視点にどんな変化がありましたか その変化はなぜ起きたと思いますか
2	記憶・熟考	担当システムを捉えた際に、改善点や無駄に気がつきましたか その気づきはどのように得ましたか
3	熟考	ワークショップを通じて得た経験により、今後の業務にどのような 良い影響が起きそうですか なぜそのような影響が起きると思いますか
4	方法	ワークショップを通じて得た経験を、今後の業務にどのように活か したいと思いますか

(4)利害関係者から総合的に評価されたか

①被験者の評価

被験者からの総合的に評価されたかどうかを、ネットプロモータスコア NPS³¹で評価した。アンケートは Day1 後、Day2 後、Day3 後に実施した。

②育成責任担当者的評価

評価実験を行った企業より、A 社の R&D 系人事担当者、B 社の開発部門マネージャーにインタビューを行った。インタビューでは、提案手法、評価方法及び評価結果を説明し、以下の観点で意見を伺った。

- 課題、目的に対して手法は妥当か
- 評価方法は妥当か
- 評価結果の判断は妥当か

³¹ ネット・プロモーター、ネット・プロモーター・システム、ネット・プロモーター・スコア、NPS、そして NPS 関連で使用されている顔文字は、ベイン・アンド・カンパニー、フレッド・ライクヘルド、サトメトリックス・システムズの登録商標又はサービスマークです。 <https://www.bain.com/ja/consulting-services/customer-strategy-marketing/about-nps/>

5.3 評価結果

5.3.1 評価結果まとめ

評価結果のまとめを、検証結果は表 5-22、妥当性確認結果は表 5-23 に示す。詳細な結果は、5.3.2、5.3.3 で説明する。5.3.4 ではワークショップの実施結果の一部を紹介する。

検証では、すべての評価項目において期待通りの結果が得られ、システム要求を満たしたと言える。妥当性確認では、No.1, 2 の評価では十分な結果は得られなかったが、その他の項目では期待通りの結果が得られ、提案システムの目的は概ね達成できたと言える。

表 5-22 評価結果概要:検証

No.	評価項目 対応する要求ID	評価指標	評価結果概要
1	システムの機能要求を満たしているか SR1, SR2, SR3 SR2.1, SR2.2 SR3.1, SR3.2	絵画をシステムとし分析するVTS機能の要求適合性	○ 全ての項目で要求を満たした
		思考過程の図的外化機能の要求適合性	
		担当システムを用いたVTSと図的外化機能の要求適合性	
2	4つのシステムの捉え方は経験させられたか SR1.1, SR1.1.1	システムの捉え方の認知度	○ 4つのシステム思考の捉え方が認知された
3	システム思考に対する関心を高められたか SR1.2, SR1.2.1	システム思考への関心度	○ システム思考の関心が高まり、自発的な実践も確認された
		インターバル期間でのシステム思考の実践	
4	システム思考に対する自己効力感を高められたか SR1.3, SR1.3.1	Guide for Constructing Self-Efficacy Scales (Bandura and Others 2006)に基づくシステム思考に対する自己効力感	○ 自己効力感は段階的かつ大きく向上した
5	負担が少なかったか SR1.4, SR1.5, SR4 R2, R2.1, R2.2	精神的負担感 時間的負担感	○ 負担感是与えなかった

表 5-23 評価結果概要:妥当性確認

No.	評価項目 対応する要求ID	評価指標	データ取得・分析方法
1	システム開発におけるシステム思考へのエンゲージメントが向上したか R1.1.1	Engagement with Systems Thinking尺度 (Camelia and Ferris 2018)	・アンケート調査 初期、Day1,2,3後調査 7件法による個人間比較 【定量】
		現場で期待される思考傾向	
2	内省的思考傾向が高まったか R1.1.2	The Self-Reflection and Insight Scale (Grant, Franklin, and Langford 2002)	・アンケート調査 初期、Day1,2,3後調査 6件法による個人間比較 【定量】
		Critical Thinking Disposition Scale (Sosu 2013)	・アンケート調査 初期、Day1,2,3後調査 5件法による個人間比較 【定量】
3	今後の業務への適用が促されたか（イメージ出来たか） R1.1, R1.1.3	フーコーの3つの内省 (Foucault 2005)に基づく評価	・アンケート調査 Day3後調査 自由記述のコメントの採点 【定性+定量】
4	利害関係者から総合的に評価されたか	被験者の評価 ネットプロモータスコア NPS®	・アンケート調査 Day1,2,3後調査 NPSの変化度合いを評価 【定量】
		育成責任者の評価	・インタビュー調査 Day3後調査 インタビュー結果のコメント分析 【定性】

5.3.2 検証の結果

検証の結果に関して説明する。

(1)システムの機能要求を満たしているか

「システムの機能要求を満たしているか」の評価まとめを表 5-24 に示す。5 件法による上位 2 段階（強く同意する、多少同意する）の割合が 80%以上であった場合を合格（○）とした場合、思考過程の図的外化機能(F2)の No.11 の評価が不合格であったが、以下の理由により全体評価としては合格と判断する。

思考過程の図的外化機能(F2)の No.11 は、「図の中に思ったことを表現できたか」を質問した評価であり、特に初めて絵画を見て考えたことを図にさせた Day2 後の値が 48%と低

くなっている。思考過程の図的外化機能(F2)の No.10「図の書き方は理解できたか」では90%、No.12「図に表現することで考えが整理できたか」では80%を越えており、No.11は表現の「出来映え」が結果に反映されてしまったと考えられ、図的外化をさせる機能(F2)としては総合的に合格と判断する。

表 5-24 「システムの機能要求を満たしているか」の評価まとめ

評価した機能		評価No.	強く同意する・多少同意するの割合				評価
			Day1後	Day2後	Day3後	平均	
絵画をシステムとして分析するVTS機能(F1)	対話側鑑賞VTS機能(F1.1)	1	100%	100%	100%	100%	○
		2	95%	100%	100%	98%	○
		3	100%	100%	100%	100%	○
		4	71%	95%	95%	87%	○
	VTSとシステム思考の関係説明機能(F1.2)	5	95%	100%	100%	98%	○
		6	81%	100%	100%	94%	○
	絵画の目的の分析と改善を行うVTS機能(F1.3)	7	—	95%	100%	98%	○
		8	—	76%	90%	83%	○
		9	—	100%	100%	100%	○
思考過程の図的外化機能(F2)		10	—	90%	95%	93%	○
		11	—	48%	71%	60%	△
		12	—	86%	95%	90%	○
担当システムを用いたVTSと図的外化機能(F3)		13	—	—	90%	—	○
		14	—	—	90%	—	○
		15	—	—	90%	—	○
事前準備機能(F0)		16	95%	—	—	—	○
		17	95%	—	—	—	○
		18	90%	—	—	—	○

①絵画をシステムとして分析する VTS 機能(F1)の要求適合性

絵画をシステムとして分析する VTS 機能(F1)の下位機能、対話側鑑賞 VTS 機能(F1.1)、VTS とシステム思考の関係説明機能(F1.2)、絵画の目的の分析と改善を行う VTS 機能(F1.3)の詳細の評価結果を図 5-4、図 5-5、図 5-6 に示す。

対話側鑑賞 VTS 機能(F1.1)の評価結果は、全体を通じて「強く同意する」の割合が非常に高い。また、他の被験者の意見の傾聴に関する質問 No.2, 3 は初回が非常に高く、Day2以降は少し下がっている。一方、自分のものの見方への気付きを問う No.4 は回を重ねるごとに「強く同意する」の割合が上昇している (図 5-4)。

No.	評価項目	質問 次の文について、ワークショップでの体験としてどの程度同意するか、正直にお答えください	結果		
			Day1後	Day2後	Day3後
1	理解性・利用性	思ったことを発言しやすかった			
2	理解性・利用性	他の人の意見をしっかりと聞くことが出来た			
3	利用性・有効性	他の参加者と自分の視点の違いを楽しむことが出来た			
4	有効性	自分のものの見方、考え方の特徴に気づくことが出来た			

図 5-4 対話側鑑賞 VTS 機能(F1.1)の評価結果

No.	評価項目	質問 次の文について、ワーク ショップでの体験として どの程度同意するか、正 直にお答えください	結果		
			Day1後	Day2後	Day3後
5	理解性・有効性	対話型鑑賞の中でシステ ム思考を使うというこ とが理解できた			
6	利用性・有効性	対話型鑑賞の中でシステ ム思考を体感した実感 がある			

図 5-5 VTS とシステム思考の関係説明機能(F1.2)の評価結果

VTS とシステム思考の関係説明機能(F1.2)は、初回 Day1 に実行され、その後 Day2、Day3 で、実際に試すことで理解が消化されることを期待している。評価結果では、VTS と No.5 システム思考の関連性の理解と No.6 システム思考の体感の両方で「強く同意する」の割合は回ごとに上昇し、特に Day3 後の上昇が大きくなっている (図 5-5)。

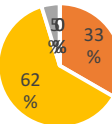
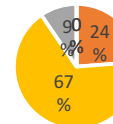
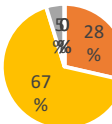
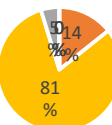
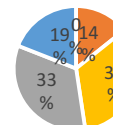
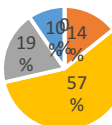
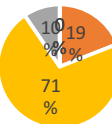
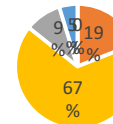
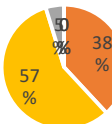
No.	評価項目	質問 次の文について、ワーク ショップでの体験として どの程度同意するか、正 直にお答えください	結果		
			Day1後	Day2後	Day3後
7	理解性・利用性	作品の目的・意味を意識 しながら観察が出来た			
8	利用性・有効性	視点を意識し、意識的に 視点を変えながら観察す ることが出来た			
9	有効性	自分自身にとっての作品 の目的・意味を見つける ことが出来た			

図 5-6 絵画の目的の分析と改善を行う VTS 機能(F1.3)の評価結果

絵画の目的の分析と改善を行う VTS 機能(F1.3)は、Day2 と Day3 で実行される。この評価結果では、No.7 の「理解」は、「強く同意する」の割合は Day2 後から高いが、「できたかどうか」を問う No8, 9 の結果は Day2 後で少し低く、Day3 後で大きく上昇が見られる(図 5-6)。

②思考過程の図的外化機能(F2)の要求適合性

思考過程の図的外化機能(F2)は、Day2 と Day3 で実行され、Day1 ではその準備となる、事前準備機能(F0)が実行される。図 5-7 はその両方の評価結果を示している。No.10 「図の書き方の理解」は Day1 後からあまり変化がなく、Day1 で十分理解されたと言える。No.11 「思ったことが表現できたか」は回ごとに大きくばらついており、対象の違いを反映している。No.12 「考えが整理できたか」は、「強く同意する」の割合が Day3 で大きく上昇しているのが特徴である。絵画の目的の分析と改善を行う VTS 機能(F1.3)の影響を受けていることが予想される。

No.	評価項目	質問 次の文について、ワークショップでの体験としてどの程度同意するか、正直にお答えください	結果		
			Day1後	Day2後	Day3後
10	理解性	図の書き方は理解できた			
11	利用性・有効性	図のなかに思ったことが表現できた			
12	有効性	図に表現することで考えが整理出来た			

※ Day1:図の書き方練習、Day2:絵画を図式化、Day3:担当システムを図式化

図 5-7 思考過程の図的外化機能(F2)と事前準備機能(F0)の評価結果

③担当システムを用いた VTS と図的外化機能(F3)の要求適合性

A) アンケートによる評価

担当システムを用いた VTS と図的外化機能(F3)の評価結果を図 5-7 に示す。担当システムを用いた VTS と図的外化機能(F3)は、Day3 のみで実行した。「強く同意する」の割合は他の機能の評価結果と比べると低いが、「多少同意する」まで含めると遜色のない結果となっている。No.15「改善点や無駄に気付いたか」では、対象である担当システムの状況にも依存するため、有効性の評価を纯粹には評価できていない。

B) ワークショップの成果物による評価

担当システムを用いた VTS と図的外化機能(F3)の実行結果をワークショップの成果物である担当システムのシステムグラム（システム図）と対話から評価した結果を図 5-9 に示す。図 5-8 の No.14 ,15 に対応する評価となっている。値は異なっているが、傾向は似通っており、アンケートによる評価結果を裏付けている。

個別の評価結果例を表 5-25 に示す。Day1 と Day3 の担当システムのシステムグラムを比較しながら、記述の変化やワークショップ内でのコメントを参考に評価した。

No.	評価項目	質問	結果		
			Day1後	Day2後	Day3後
13	理解性・利用性	担当システムを頭の中で観察し、システム思考を用いて捉えることは出来ましたか			
14	利用性・有効性	担当システムに対する捉え方、視点に変化がありましたか			
15	有効性	担当システムを捉えた際に、改善点や無駄に気がつきましたか			

図 5-8 担当システムを用いた VTS と図的外化機能(F3)の評価結果

No.	評価項目	確認内容	結果 ■ 読み取れた ■ 読み取れなかった
14 -2	利用性・有効性	システムミigramの変化や対話から担当システムに対する捉え方、視点に変化が読み取れたか	
15 -2	有効性	システムミigramの変化や対話から担当システムを捉えた際に、改善点や無駄への気づきが読み取れたか	

図 5-9 担当システムを用いた VTS と図的外化機能(F3)の評価結果2

表 5-25 ワークショップの成果物による評価の個別の評価結果例

	Day1	Day3
担当システムのシステムグラム		
記述の変化	<ul style="list-style-type: none"> ・システムの外部要素の追加 ・システムの外要素間の関係の記述 ・上位目的の記述 	
システムの捉え方、視点の変化	○	
改善点や無駄への気づき	○	

(2) 4つのシステムの捉え方を経験させられたか

4つのシステムの捉え方を経験させ、システムの捉え方の認知がされたかの評価は、5.3.2 (4) のシステム思考に対する自己効力感の評価の中で、4つのシステムの捉え方すべてにおいて自己効力感が向上していることから、要求を満たしていると判断する。

(3) システム思考に対する関心を高められたか

「システム思考への関心が高まったか」の確認結果を図 5-10 に、「システム思考を実践したかどうか」の確認結果を表 5-26 に示す。

「システム思考への関心が高まったか」の確認結果では、No.1「システム思考への関心」No.2「より深い学びへの関心」それぞれで、「確実にそうだ」「おそらくそうだ」の割合が90%以上となった。「システム思考を実践したかどうか」の確認結果では、インターバル期間に自発的に身の回りのものをシステムとして捉えることを確認したかの確認の結果、2回のインターバル期間の累計では75%以上の被験者が1回以上の実践をしたと回答した。また、対象としたシステムは、業務関連、生活周りの製品、絵画・音楽などの作品、家族や子育てなど、幅広い回答があった。さらに、気付きのコメントでは、それぞれ関心を持って実践をしてみたことが伺えた。

以上より、提案システムは、被験者のシステム思考への関心を高められたと判断する。

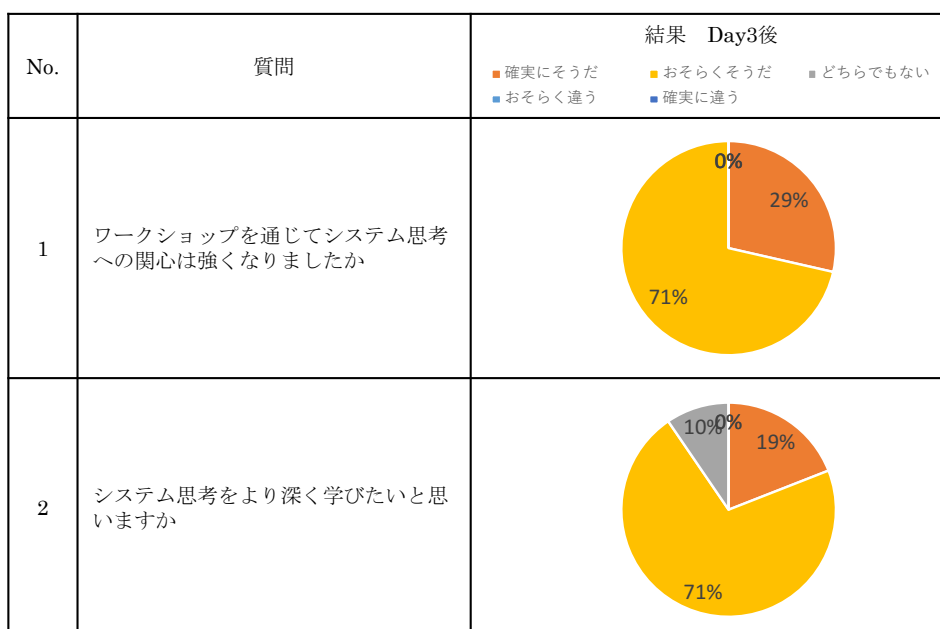
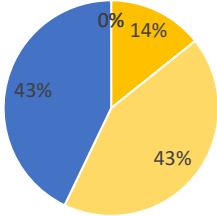
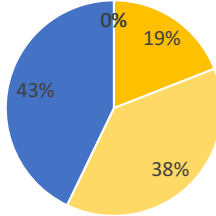
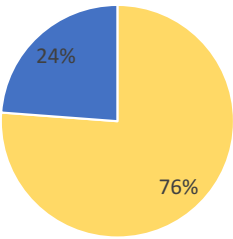


図 5-10「システム思考への関心が高まったか」の確認結果

表 5-26 システム思考を実践したかどうか」の確認結果

No.	質問	結果	
1	前回と今回のワークショップの間に、生活の中で様々な対象をシステムとして捉えることを試してみましたか (7回以上試してみた・4~6回試してみた・2~3回試してみた・1回は試してみた・試してみなかった)	Day1~Day2	Day2~Day3
			
		Day1~Day3	
			
2	どのような対象をシステムとして捉えようとしてみましたか (自由記述)	業務管理	担当製品：5件 担当業務：3件
		身の回りの製品	家電・家具：4件 ゲーム：2件 スマートフォン：1件
		芸術作品	絵画：4件 音楽：3件
		生活	家族：1件 子育て：1件
3	システムとして捉えようとする中で、何か気づきがありましたか、どのような気づきがありましたか (自由記述)	代表的なコメント	
		担当製品：目的をどう設定するかによってシステムの見え方が変わるのだという気づきがあった。	
		身近な家電：目的の捉え方によって、システム図は変化すると感じた。	
		スマートフォン、プリンター：構成要素の多さ、それぞれの関連性の複雑さを改めて実感した。	
		身の回りの家電等：設計・デザインの意図などがざっくり想定できた。	
		アニメの主題歌：構成する要素を分解してみると、要素1つ1つは特別ではなく、よく使われている音楽理論の組み合わせであることに気づいた。	
		絵画：自分の感じたことを構造化すること＝システムを捉えること、という認識が深まった。	
		家族：それぞれのものが持つ役割や意味を改めて考えることができた。忘れていた役割や機能を思い出すことができた。	
子育て：要素の数が圧倒的に多いと感じました。			

(4)システム思考に対する自己効力感を向上させられたか

「システム思考に対する自己効力感を向上させられたか」の評価では、「様々なシステムを対象として4つのシステムの捉え方ができるか」「担当するシステムを対象として4つのシステムの捉え方ができるか」で確認した全10項目の自己効力感において、平均値の上昇と、個人間比較（対応のある検定）において有意な結果が得られた。提案システムは、被験者のシステム思考に対する自己効力感を高められたと判断する。

以下、詳細の結果を示す。自己効力感の確認結果の箱ひげ図を図5-11、図5-12に示す。項目により若干の傾向の差が見られるものの、全ての項目において平均値が段階的に上昇している。また、提案システムの前提となる、「絵画作品をシステムとして捉えられるか」の確認結果を図5-13に示す。初期は非常に小さい値だったものがDay1後で大きく上昇し、それ以降も上昇が見られた。

対象による自己効力感変化の比較を図5-14に示す。「様々なシステム」、「担当するシステム」を対象として対応する項目ごとに比較すると、「担当するシステム」の方が常に値が高い傾向にあるが、変化の傾向に大きな差はなかった。対象別の自己効力感変化量（初期とDay3後）の相関分析の結果を表5-27に示す。同じ番号同士が対応する自己効力感の質問であるが、No.1, 2は低い相関係数となっている。また絵画をシステムとして捉えられるかの自己効力感と、様々なシステムを捉える自己効力感は全項目で相関係数が高いが、担当システムとの間では1項目を除き低い値となっている。また、個人属性と自己効力感変化量（Day3後-初期）の相関分析結果を表5-28に示す。エンジニアの経験年数との相関は低く、美術への関心度合いも相関は低かった。Big Five性格特性では、外交性との間に中程度の相関が認められた。

No.	質問 次の文について、あなたが現在実行できるかどうか あなたの自信の度合いを0から100までの数字で表して 評価してください (11段階) (0 : 全くできない、100 : 確実にできる)	結果 数値は 1/10に変換 (0:全くできない → 0、100:確実にできる → 10)																														
1	様々なシステムの、中と外の要素、システムの境界を捉えることができる	<table border="1"> <caption>Item 1: Box Plot Data (Approximate)</caption> <thead> <tr><th>時期</th><th>最低</th><th>第1四分位</th><th>中央値</th><th>第3四分位</th><th>最高</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>初期</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>3.5</td><td>4.5</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>Day1後</td><td>3.0</td><td>4.5</td><td>5.5</td><td>6.0</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>Day2後</td><td>3.0</td><td>4.5</td><td>6.5</td><td>8.0</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>Day3後</td><td>4.0</td><td>6.0</td><td>7.5</td><td>8.0</td><td>9.5</td></tr> </tbody> </table>	時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高	初期	1.0	2.0	3.5	4.5	7.5	Day1後	3.0	4.5	5.5	6.0	7.5	Day2後	3.0	4.5	6.5	8.0	8.0	Day3後	4.0	6.0	7.5	8.0	9.5
時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高																											
初期	1.0	2.0	3.5	4.5	7.5																											
Day1後	3.0	4.5	5.5	6.0	7.5																											
Day2後	3.0	4.5	6.5	8.0	8.0																											
Day3後	4.0	6.0	7.5	8.0	9.5																											
2	様々なシステムの、全体と細部、階層を捉えることができる	<table border="1"> <caption>Item 2: Box Plot Data (Approximate)</caption> <thead> <tr><th>時期</th><th>最低</th><th>第1四分位</th><th>中央値</th><th>第3四分位</th><th>最高</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>初期</td><td>1.0</td><td>2.5</td><td>4.0</td><td>5.0</td><td>6.5</td></tr> <tr><td>Day1後</td><td>2.0</td><td>3.0</td><td>5.0</td><td>6.5</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>Day2後</td><td>3.0</td><td>5.0</td><td>6.0</td><td>8.0</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>Day3後</td><td>3.0</td><td>5.5</td><td>6.5</td><td>8.0</td><td>9.0</td></tr> </tbody> </table>	時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高	初期	1.0	2.5	4.0	5.0	6.5	Day1後	2.0	3.0	5.0	6.5	7.5	Day2後	3.0	5.0	6.0	8.0	8.0	Day3後	3.0	5.5	6.5	8.0	9.0
時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高																											
初期	1.0	2.5	4.0	5.0	6.5																											
Day1後	2.0	3.0	5.0	6.5	7.5																											
Day2後	3.0	5.0	6.0	8.0	8.0																											
Day3後	3.0	5.5	6.5	8.0	9.0																											
3	様々なシステムの、要素間の相互作用、機能や動きを捉えることができる	<table border="1"> <caption>Item 3: Box Plot Data (Approximate)</caption> <thead> <tr><th>時期</th><th>最低</th><th>第1四分位</th><th>中央値</th><th>第3四分位</th><th>最高</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>初期</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>4.0</td><td>5.0</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>Day1後</td><td>1.0</td><td>4.0</td><td>5.5</td><td>6.5</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>Day2後</td><td>4.0</td><td>5.0</td><td>6.5</td><td>7.0</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>Day3後</td><td>2.0</td><td>5.0</td><td>6.5</td><td>8.0</td><td>9.0</td></tr> </tbody> </table>	時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高	初期	1.0	3.0	4.0	5.0	7.0	Day1後	1.0	4.0	5.5	6.5	8.0	Day2後	4.0	5.0	6.5	7.0	8.0	Day3後	2.0	5.0	6.5	8.0	9.0
時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高																											
初期	1.0	3.0	4.0	5.0	7.0																											
Day1後	1.0	4.0	5.5	6.5	8.0																											
Day2後	4.0	5.0	6.5	7.0	8.0																											
Day3後	2.0	5.0	6.5	8.0	9.0																											
4	様々なシステムにおいて、対象を色々な視点で捉え直すことができる	<table border="1"> <caption>Item 4: Box Plot Data (Approximate)</caption> <thead> <tr><th>時期</th><th>最低</th><th>第1四分位</th><th>中央値</th><th>第3四分位</th><th>最高</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>初期</td><td>1.0</td><td>2.5</td><td>3.5</td><td>5.0</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>Day1後</td><td>2.0</td><td>3.0</td><td>4.5</td><td>6.0</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>Day2後</td><td>2.0</td><td>4.0</td><td>5.5</td><td>7.0</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>Day3後</td><td>3.0</td><td>4.5</td><td>6.0</td><td>8.0</td><td>9.0</td></tr> </tbody> </table>	時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高	初期	1.0	2.5	3.5	5.0	7.5	Day1後	2.0	3.0	4.5	6.0	7.0	Day2後	2.0	4.0	5.5	7.0	8.0	Day3後	3.0	4.5	6.0	8.0	9.0
時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高																											
初期	1.0	2.5	3.5	5.0	7.5																											
Day1後	2.0	3.0	4.5	6.0	7.0																											
Day2後	2.0	4.0	5.5	7.0	8.0																											
Day3後	3.0	4.5	6.0	8.0	9.0																											
5	様々なシステムにおいて、目的を捉えて、改善のためにシステム思考を使うことができる	<table border="1"> <caption>Item 5: Box Plot Data (Approximate)</caption> <thead> <tr><th>時期</th><th>最低</th><th>第1四分位</th><th>中央値</th><th>第3四分位</th><th>最高</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>初期</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>3.0</td><td>4.0</td><td>5.5</td></tr> <tr><td>Day1後</td><td>1.0</td><td>2.5</td><td>4.0</td><td>5.0</td><td>6.5</td></tr> <tr><td>Day2後</td><td>3.0</td><td>3.5</td><td>5.0</td><td>7.0</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>Day3後</td><td>3.0</td><td>5.0</td><td>6.5</td><td>7.0</td><td>8.0</td></tr> </tbody> </table>	時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高	初期	1.0	2.0	3.0	4.0	5.5	Day1後	1.0	2.5	4.0	5.0	6.5	Day2後	3.0	3.5	5.0	7.0	8.0	Day3後	3.0	5.0	6.5	7.0	8.0
時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高																											
初期	1.0	2.0	3.0	4.0	5.5																											
Day1後	1.0	2.5	4.0	5.0	6.5																											
Day2後	3.0	3.5	5.0	7.0	8.0																											
Day3後	3.0	5.0	6.5	7.0	8.0																											

図 5-11「様々なシステムで4つのシステムの捉え方ができるか」の確認結果

No.	質問 次の文について、あなたが現在実行できるかどうか あなたの自信の度合いを0から100までの数字で表して 評価してください（11段階） （0：全くできない、100：確実にできる）	結果 数値は 1/10に変換 （0:全くできない → 0、100:確実にできる → 10）																														
1	担当するシステムにおいて、システム全体を捉え、その外側の要素を列挙することができる	<table border="1"> <caption>Item 1: System Overview</caption> <thead> <tr><th>時期</th><th>最低</th><th>第1四分位</th><th>中央値</th><th>第3四分位</th><th>最高</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>初期</td><td>1.5</td><td>2.5</td><td>4.5</td><td>6.5</td><td>9.0</td></tr> <tr><td>Day1後</td><td>2.0</td><td>5.0</td><td>6.0</td><td>7.0</td><td>10.0</td></tr> <tr><td>Day2後</td><td>3.0</td><td>5.5</td><td>6.5</td><td>7.0</td><td>9.0</td></tr> <tr><td>Day3後</td><td>3.0</td><td>6.5</td><td>7.5</td><td>8.0</td><td>10.0</td></tr> </tbody> </table>	時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高	初期	1.5	2.5	4.5	6.5	9.0	Day1後	2.0	5.0	6.0	7.0	10.0	Day2後	3.0	5.5	6.5	7.0	9.0	Day3後	3.0	6.5	7.5	8.0	10.0
時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高																											
初期	1.5	2.5	4.5	6.5	9.0																											
Day1後	2.0	5.0	6.0	7.0	10.0																											
Day2後	3.0	5.5	6.5	7.0	9.0																											
Day3後	3.0	6.5	7.5	8.0	10.0																											
2	担当するシステムにおいて、担当範囲とシステム全体それぞれの要素と階層を説明することができる	<table border="1"> <caption>Item 2: System Elements and Layers</caption> <thead> <tr><th>時期</th><th>最低</th><th>第1四分位</th><th>中央値</th><th>第3四分位</th><th>最高</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>初期</td><td>1.0</td><td>2.5</td><td>5.0</td><td>7.0</td><td>8.5</td></tr> <tr><td>Day1後</td><td>2.0</td><td>4.0</td><td>5.5</td><td>7.0</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>Day2後</td><td>3.0</td><td>4.5</td><td>6.0</td><td>7.0</td><td>8.5</td></tr> <tr><td>Day3後</td><td>4.0</td><td>6.0</td><td>7.5</td><td>8.0</td><td>9.0</td></tr> </tbody> </table>	時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高	初期	1.0	2.5	5.0	7.0	8.5	Day1後	2.0	4.0	5.5	7.0	8.0	Day2後	3.0	4.5	6.0	7.0	8.5	Day3後	4.0	6.0	7.5	8.0	9.0
時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高																											
初期	1.0	2.5	5.0	7.0	8.5																											
Day1後	2.0	4.0	5.5	7.0	8.0																											
Day2後	3.0	4.5	6.0	7.0	8.5																											
Day3後	4.0	6.0	7.5	8.0	9.0																											
3	担当するシステムにおいて、担当範囲の機能や動きが、システム全体としての機能や動きにどのように影響するか説明できる	<table border="1"> <caption>Item 3: Impact of System Elements</caption> <thead> <tr><th>時期</th><th>最低</th><th>第1四分位</th><th>中央値</th><th>第3四分位</th><th>最高</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>初期</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>5.0</td><td>7.0</td><td>9.0</td></tr> <tr><td>Day1後</td><td>3.0</td><td>4.5</td><td>5.5</td><td>6.5</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>Day2後</td><td>3.0</td><td>5.5</td><td>6.0</td><td>7.5</td><td>8.5</td></tr> <tr><td>Day3後</td><td>4.0</td><td>6.0</td><td>7.0</td><td>8.0</td><td>9.0</td></tr> </tbody> </table>	時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高	初期	1.0	3.0	5.0	7.0	9.0	Day1後	3.0	4.5	5.5	6.5	8.0	Day2後	3.0	5.5	6.0	7.5	8.5	Day3後	4.0	6.0	7.0	8.0	9.0
時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高																											
初期	1.0	3.0	5.0	7.0	9.0																											
Day1後	3.0	4.5	5.5	6.5	8.0																											
Day2後	3.0	5.5	6.0	7.5	8.5																											
Day3後	4.0	6.0	7.0	8.0	9.0																											
4	担当するシステムにおいて、担当範囲やシステム全体を色々な視点で捉え直すことができる	<table border="1"> <caption>Item 4: Multiple Perspectives</caption> <thead> <tr><th>時期</th><th>最低</th><th>第1四分位</th><th>中央値</th><th>第3四分位</th><th>最高</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>初期</td><td>1.5</td><td>3.0</td><td>4.5</td><td>6.0</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>Day1後</td><td>2.0</td><td>3.0</td><td>5.0</td><td>6.0</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>Day2後</td><td>2.0</td><td>5.0</td><td>6.0</td><td>7.0</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>Day3後</td><td>3.0</td><td>4.5</td><td>6.5</td><td>7.0</td><td>9.0</td></tr> </tbody> </table>	時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高	初期	1.5	3.0	4.5	6.0	8.0	Day1後	2.0	3.0	5.0	6.0	7.0	Day2後	2.0	5.0	6.0	7.0	8.0	Day3後	3.0	4.5	6.5	7.0	9.0
時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高																											
初期	1.5	3.0	4.5	6.0	8.0																											
Day1後	2.0	3.0	5.0	6.0	7.0																											
Day2後	2.0	5.0	6.0	7.0	8.0																											
Day3後	3.0	4.5	6.5	7.0	9.0																											
5	担当するシステムにおいて、担当範囲の上位の目的を捉えて、改善のためにシステム思考を使うことができる	<table border="1"> <caption>Item 5: System Thinking</caption> <thead> <tr><th>時期</th><th>最低</th><th>第1四分位</th><th>中央値</th><th>第3四分位</th><th>最高</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>初期</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>4.0</td><td>5.0</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>Day1後</td><td>1.5</td><td>3.0</td><td>4.5</td><td>5.0</td><td>6.5</td></tr> <tr><td>Day2後</td><td>3.0</td><td>4.0</td><td>5.5</td><td>7.0</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>Day3後</td><td>3.0</td><td>6.0</td><td>7.0</td><td>8.0</td><td>9.0</td></tr> </tbody> </table>	時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高	初期	1.0	2.0	4.0	5.0	8.0	Day1後	1.5	3.0	4.5	5.0	6.5	Day2後	3.0	4.0	5.5	7.0	8.0	Day3後	3.0	6.0	7.0	8.0	9.0
時期	最低	第1四分位	中央値	第3四分位	最高																											
初期	1.0	2.0	4.0	5.0	8.0																											
Day1後	1.5	3.0	4.5	5.0	6.5																											
Day2後	3.0	4.0	5.5	7.0	8.0																											
Day3後	3.0	6.0	7.0	8.0	9.0																											

図 5-12「担当するシステムで4つのシステムの捉え方ができるか」の確認結果

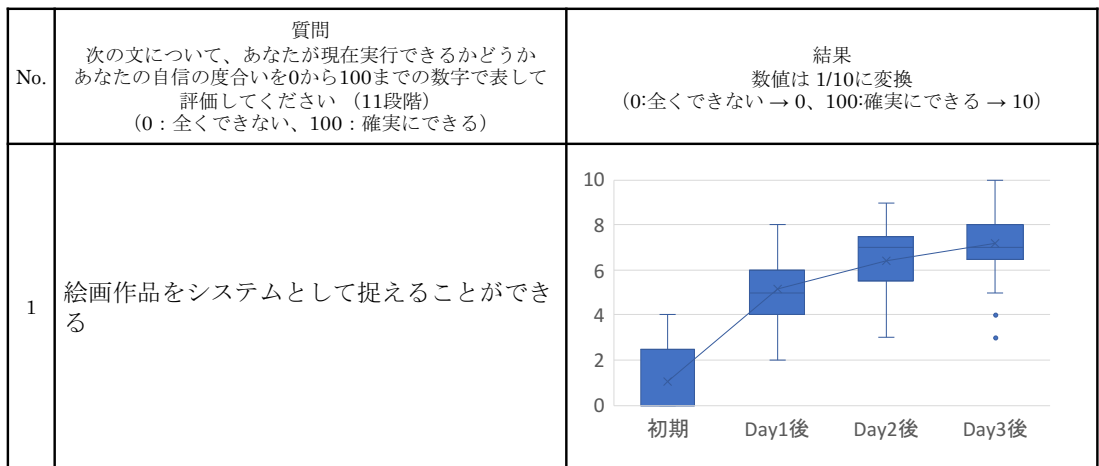


図 5-13 「絵画作品をシステムとして捉えられるか」の確認結果

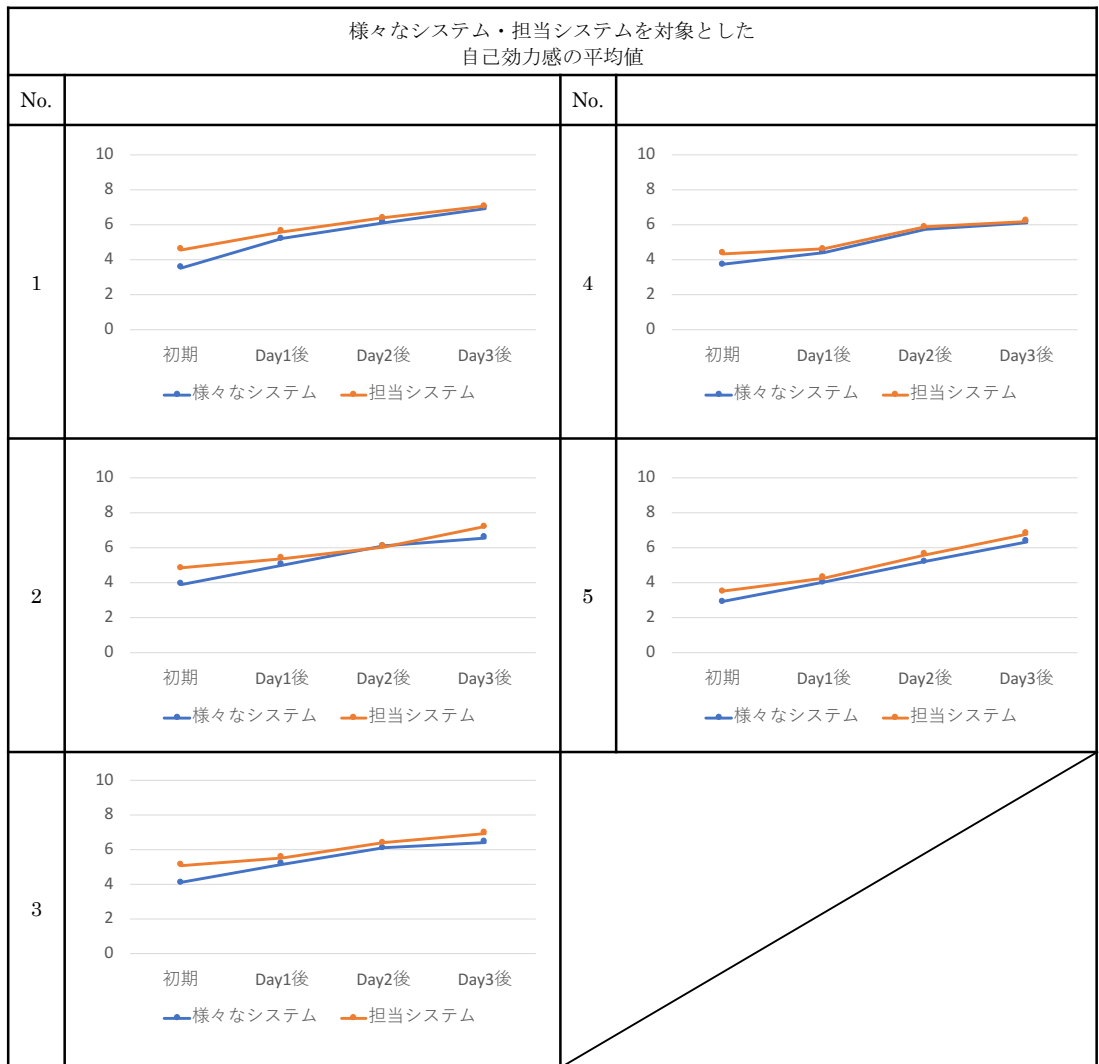


図 5-14 対象による自己効力感変化の比較

表 5-27 対象別の自己効力感変化量(Day3 後-初期)の相関分析結果

相関係数		担当システム					絵画システム
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	
様々なシステム	No.1	0.28	0.175	0.186	0.354	0.351	0.601**
	No.2	0.348	0.423	0.545*	0.489*	0.294	0.605**
	No.3	0.445*	0.414	0.582**	0.411	0.416	0.710**
	No.4	0.387	0.061	0.257	0.665**	0.552**	0.749**
	No.5	0.399	0.166	0.402	0.492*	0.518*	0.598**
絵画システム		0.395	0.144	0.343	0.443*	0.373	1

表 5-28 個人属性と自己効力感変化量(Day3 後-初期)の相関分析結果

			エンジニア経験年数	美術への関心	Big Five性格特性				
					外交性	協調性	勤勉性	神経症傾向	開放性
自己効力感変化	様々なシステム	相関係数	0.204	-0.141	0.434*	0.116	0.102	0.046	0.058
		有意確率	0.374	0.543	0.049	0.618	0.66	0.844	0.804
	担当システム	相関係数	-0.023	0.216	0.039	0.095	0.138	-0.247	0.265
		有意確率	0.921	0.346	0.867	0.682	0.552	0.28	0.245

次に統計分析の結果を説明する。

本評価では、標本数が 21 と少なく母集団の正規性の確認が難しいため、母集団の正規分布を前提としない、ノンパラメトリック手法を用いた。自己効力感は個人での変化を評価するため、対応のある検定とし、初期・Day1 後・Day2 後・Day3 後の 4 群を比較するために、まず Friedman 検定により 4 群間に何かしらの差があるかどうかを確認した。差が確認された場合は、多重比較検定として、Bonferroni 法で調整を行う方法を用いて、群同士の比較を行った。評価結果を、表 5-29、表 5-30 に示す。なお、Friedman 検定の結果は、全ての項目において、有意確率 0.001 以下で有意であり、群による差があることが認められた。

表 5-29 様々なシステムを対象としたシステム思考の自己効力感評価の検定結果

No.	質問	実施回	平均値	実施回同士の比較 標準化検定統計量①、Bonferroni調整済み有意確率②					
				vs Day1後		vs Day2後		vs Day3後	
				①	②	①	②	①	②
1	様々なシステムの中と外の要素システムの境界を捉えることができる	初期	3.5	1.977	0.292	3.645	0.002	5.139	0.000
		Day1後	5.2	-	-	1.673	0.566	3.167	0.009
		Day2後	6.1	-	-	-	-	1.494	0.811
		Day3後	7.0	-	-	-	-	-	-
2	様々なシステムの全体と細部、階層を捉えることができる	初期	3.9	1.912	0.335	3.765	0.001	4.841	0.000
		Day1後	5.0	-	-	1.853	0.384	2.928	0.020
		Day2後	6.1	-	-	-	-	1.076	1.000
		Day3後	6.6	-	-	-	-	-	-
3	様々なシステムの要素間の相互作用機能や動きを捉えることができる	初期	4.1	1.614	0.640	3.765	0.001	4.422	0.000
		Day1後	5.1	-	-	2.151	0.189	2.809	0.030
		Day2後	6.1	-	-	-	-	0.657	1.000
		Day3後	6.4	-	-	-	-	-	-
4	様々なシステムにおいて対象を色々な視点で捉え直すことができる	初期	3.7	0.359	1.000	3.108	0.011	4.422	0.000
		Day1後	4.4	-	-	2.749	0.036	4.064	0.000
		Day2後	5.8	-	-	-	-	1.315	1.000
		Day3後	6.1	-	-	-	-	-	-
5	様々なシステムにおいて目的を捉えて改善のためにシステム思考を使うことができる	初期	2.9	1.431	0.909	4.004	0.000	6.275	0.000
		Day1後	4.0	-	-	2.570	0.061	4.841	0.000
		Day2後	5.2	-	-	-	-	2.271	0.139
		Day3後	6.3	-	-	-	-	-	-

表 5-29 において、初期を基準としてみたときには、Day1 後では有意差は見られず、Day2 後以降では全項目で有意差が見られる。Day1 後を基準とした時は、No.4 のみ Day2 後以降で有意差がみらるが、それ以外の項目は Day3 後で有意差が生じている。

表 5-30 では、概ね表 5-29 と同じ傾向であるが、No.2, 3 は初期を基準としたときに Day3 後まで有意差が認められない。また、No.2 では Day2 後と Day3 後との間にも有意差がある。これは、Day3 で担当システムを用いた VTS を実施していることが影響している可能性がある。

表 5-30 担当するシステムを対象としたシステム思考の自己効力感評価の検定結果

No.	質問	実施回	平均値	実施同士の比較 標準化検定統計量①、Bonferroni調整済み有意確率②					
				vs Day1後		vs Day2後		vs Day3後	
				①	②	①	②	①	②
1	担当するシステムにおいてシステム全体を捉えその外側の要素を列挙することが出来る	初期	4.6	1.853	0.384	3.526	0.003	5.139	0.000
		Day1後	5.6	-	-	1.673	0.566	3.287	0.006
		Day2後	6.4	-	-	-	-	1.614	0.640
		Day3後	7.0	-	-	-	-	-	-
2	担当するシステムにおいて担当範囲とシステム全体それぞれの要素と階層を説明することが出来る	初期	4.8	1.076	1.000	2.092	0.219	4.781	0.000
		Day1後	5.4	-	-	1.076	1.000	3.765	0.001
		Day2後	6.0	-	-	-	-	2.689	0.043
		Day3後	7.2	-	-	-	-	-	-
3	担当するシステムにおいて担当範囲の機能や動きがシステム全体としての機能や動きにどのように影響するか説明できる	初期	5.1	0.179	1.000	1.793	0.438	3.526	0.003
		Day1後	5.5	-	-	1.614	0.640	3.347	0.005
		Day2後	6.4	-	-	-	-	1.733	0.498
		Day3後	7.0	-	-	-	-	-	-
4	担当するシステムにおいて担当範囲やシステム全体を色々な視点で捉え直すことができる	初期	4.3	0.478	1.000	2.988	0.017	3.944	0.000
		Day1後	4.6	-	-	2.510	0.072	3.466	0.003
		Day2後	5.9	-	-	-	-	0.956	1.000
		Day3後	6.2	-	-	-	-	-	-
5	担当するシステムにおいて担当範囲の上位の目的を捉えて、改善のためにシステム思考を使うことができる	初期	3.5	1.076	1.000	3.884	0.001	5.797	0.000
		Day1後	4.3	-	-	2.809	0.030	4.721	0.000
		Day2後	5.6	-	-	-	-	1.912	0.335
		Day3後	6.8	-	-	-	-	-	-

自己効力感の個人別変化の比較を図 5-15 に示す。一部、自己効力感が向上していな被験者が見られるが、いずれも初期値を高く評価しているためと考えられる。

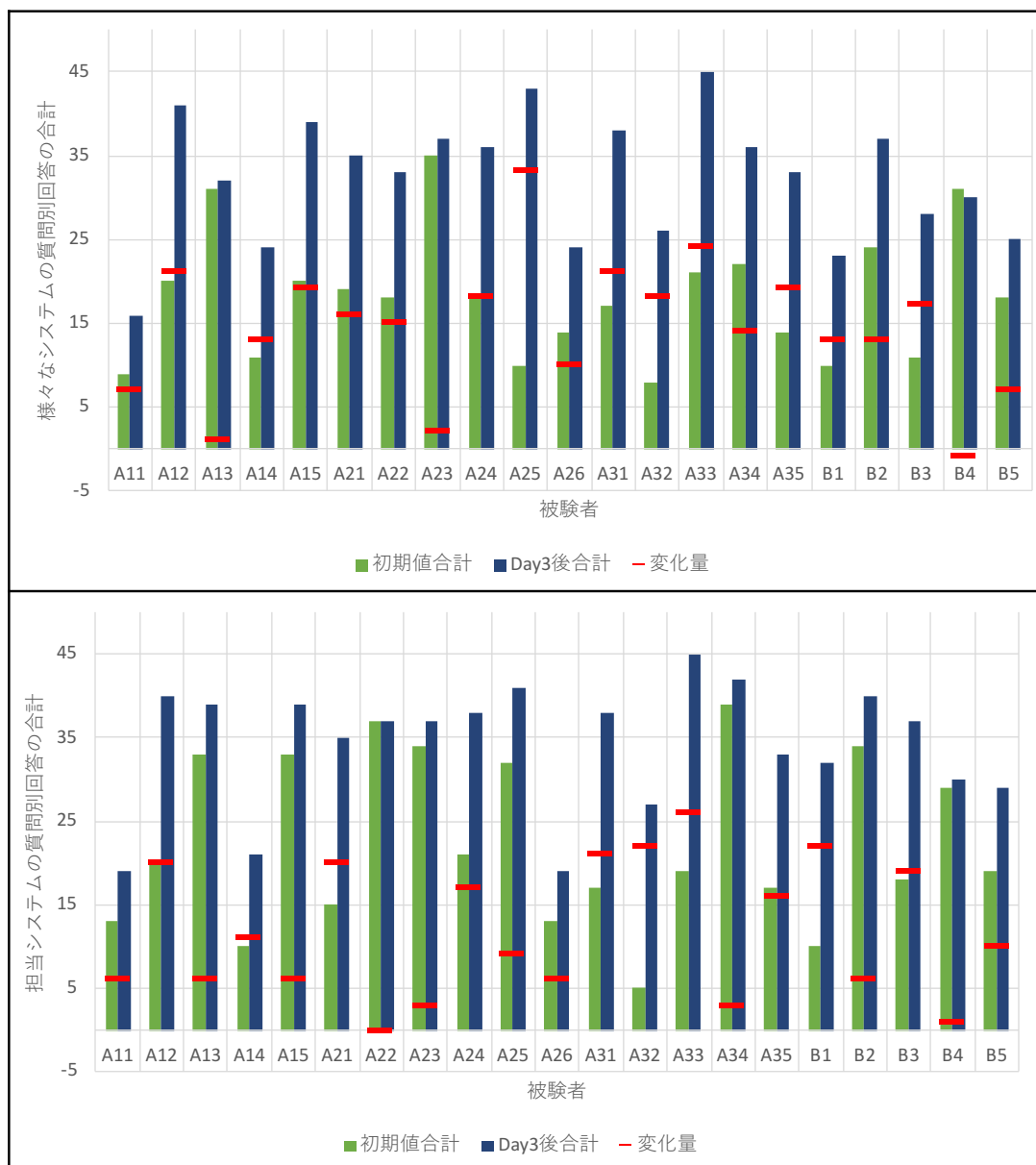


図 5-15 自己効力感の個人別変化の比較

(5) 負担は少なかったか

精神的負担感の評価結果を図 5-16 に、工数的な負担感の確認結果を図 5-17 に示す。精神的な負担に関しては、「失敗の心配がない」、「エンジニア経験や年齢を問わない」という観点でいずれも「強く同意する」「多少同意する」の合計は90%以上であった。工数的な負担に関しては、1回の時間と3回の実施回数に関して、80%以上で適正だと答えた。インターバル期間に関しては、「2週間より短い方が良い」と「適正だ」を合わせて90%以上となった。

以上より、精神的にも工数的にも、提案システムは負担にならない内容であることが確認された。

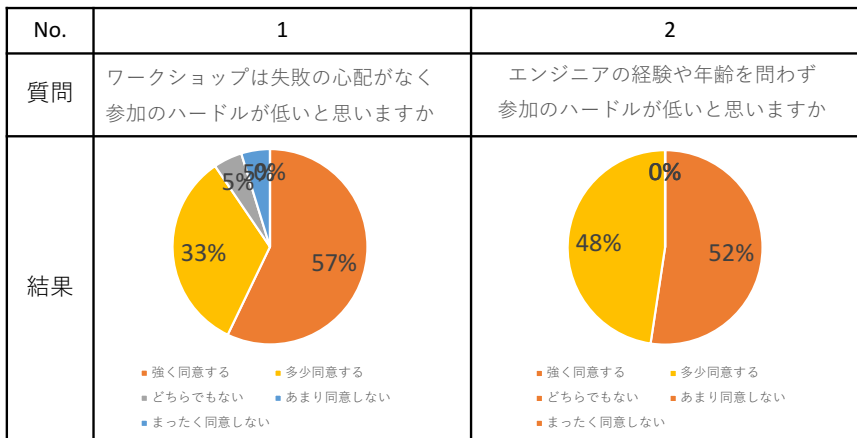


図 5-16 精神的な負担感の確認結果

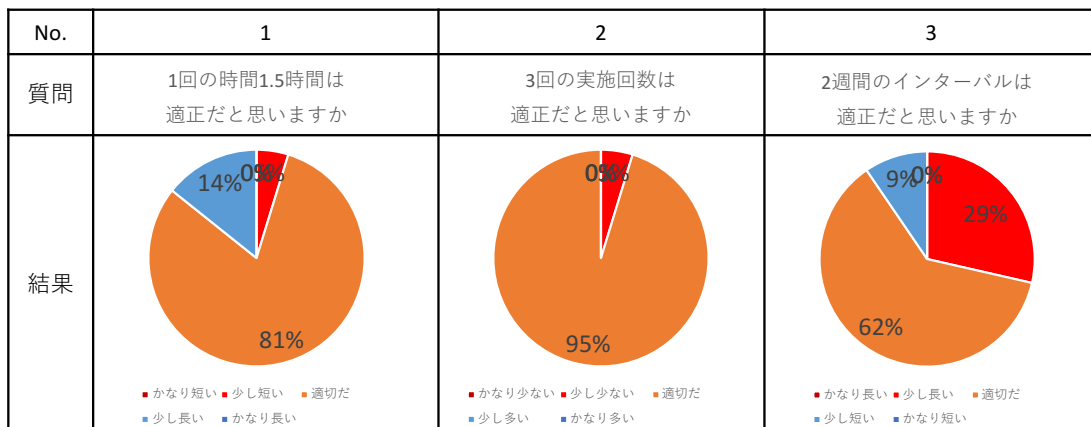


図 5-17 精神的な負担感の確認結果

5.3.3 妥当性確認の結果

妥当性確認の結果に関して説明する。

(1) システム思考に対するエンゲージメントが向上したか

提案システムにより、被験者のシステム開発におけるシステム思考へのエンゲージメントが向上したかを評価するために、Engagement with Systems Thinking 尺度(Camelia and Ferris 2018)と、独自で作成した「現場で期待される思考傾向」を評価した。それぞれ、「一貫性のある全体的なシステムソリューションを求める傾向および参加」因子と、「現場で期待される思考傾向」質問の合計点において、初期と Day3 後で検定量の増加と有意差が確認された。

① Engagement with Systems Thinking 尺度の評価結果

Engagement with Systems Thinking 尺度(Camelia and Ferris 2018)で定義されている 3 つの因子それぞれの合計点の変化を統計的に評価した。

本評価では、標本数が 21 と少なく母集団の正規性の確認が難しいため、母集団の正規分布を前提としない、ノンパラメトリック手法を用いた。個人での変化を評価するため、対応のある検定とし、初期・Day1 後・Day2 後・Day3 後の 4 群を比較するために、まず Friedman 検定により 4 群間に何かしらの差があるかどうかを確認した。差が確認された場合は、多重比較検定として、Bonferroni 法で調整を行う方法を用いて、群同士の比較を行った。評価結果を、表 5-31、表 5-32 に示す。3 つの因子のうち「一貫性のある全体的なシステムソリューションを求める傾向および参加」因子で有意差が確認された為、多重比較を行ったが、いずれの群間にも有意差は確認されなかった。

Bonferroni 法で調整を行う方法の場合、群数が増えると検出力が低下する場合があるとされる為、追加の検定として Day1 後のみ検定対象から除去して同様の評価を行った。検定の結果、初期と Day3 後の間に検定量の増加と有意差 ($p=0.033^*$) が確認された。

図 5-18 に Engagement with Systems Thinking 尺度の因子ごとの合計値の推移を示した。これをみても「一貫性のある全体的なシステムソリューションを求める傾向および参加」因子のみで合計値が上昇している傾向が確認できる。

表 5-31 Engagement with Systems Thinking 尺度評価の Friedman 検定結果

No.	因子	合計点の平均				Friedmanの検定結果		
		初期	Day1後	Day2後	Day3後	検定統計量	漸近有意確率 (両側)	
1	システム全体を俯瞰する視点への こだわりや傾向 Preference or inclination towards whole of system perspectives	30.52	29.76	30.14	31.00	6.133	0.105	
2	検討・開発中のシステム全体の 目的や用途への関心 Interest in the intended purpose or application of the whole system under consideration or development.	28.24	28.05	27.95	28.38	0.932	0.818	
3	一貫性のある全体的なシステム ソリューションを求める傾向および参加 Inclination towards and participation in seeking a coherent, whole, system solution.	26.81	27.29	27.76	28.33	8.949	0.03	*

表 5-32 Engagement with Systems Thinking 尺度評価の Bonferroni 法で調整を行う多重
比較結果

No.	因子	実施回	実施回同士の比較 標準化検定統計量①、Bonferroni調整済み有意確率②					
			vs Day1後		vs Day2後		vs Day3後	
			①	②	①	②	①	②
3	一貫性のある全体的なシ ステムソリューションを 求める傾向および参加	初期	0.538	1.000	1.434	0.909	2.570	0.061
		Day1後	-	-	0.896	1.000	2.032	0.253
		Day2後	-	-	-	-	1.135	1.000

表 5-33 Engagement with Systems Thinking 尺度評価の Bonferroni 法で調整を行う多重
比較結果(Day1 後除去)

No.	因子	実施回	実施回同士の比較 標準化検定統計量①、Bonferroni調整済み有意確率②					
			vs Day1後		vs Day2後		vs Day3後	
			①	②	①	②	①	②
3	一貫性のある全体的なシ ステムソリューションを 求める傾向および参加	初期	-	-	1.389	0.495	2.546	0.033
		Day1後	-	-	-	-	-	-
		Day2後	-	-	-	-	1.157	0.741

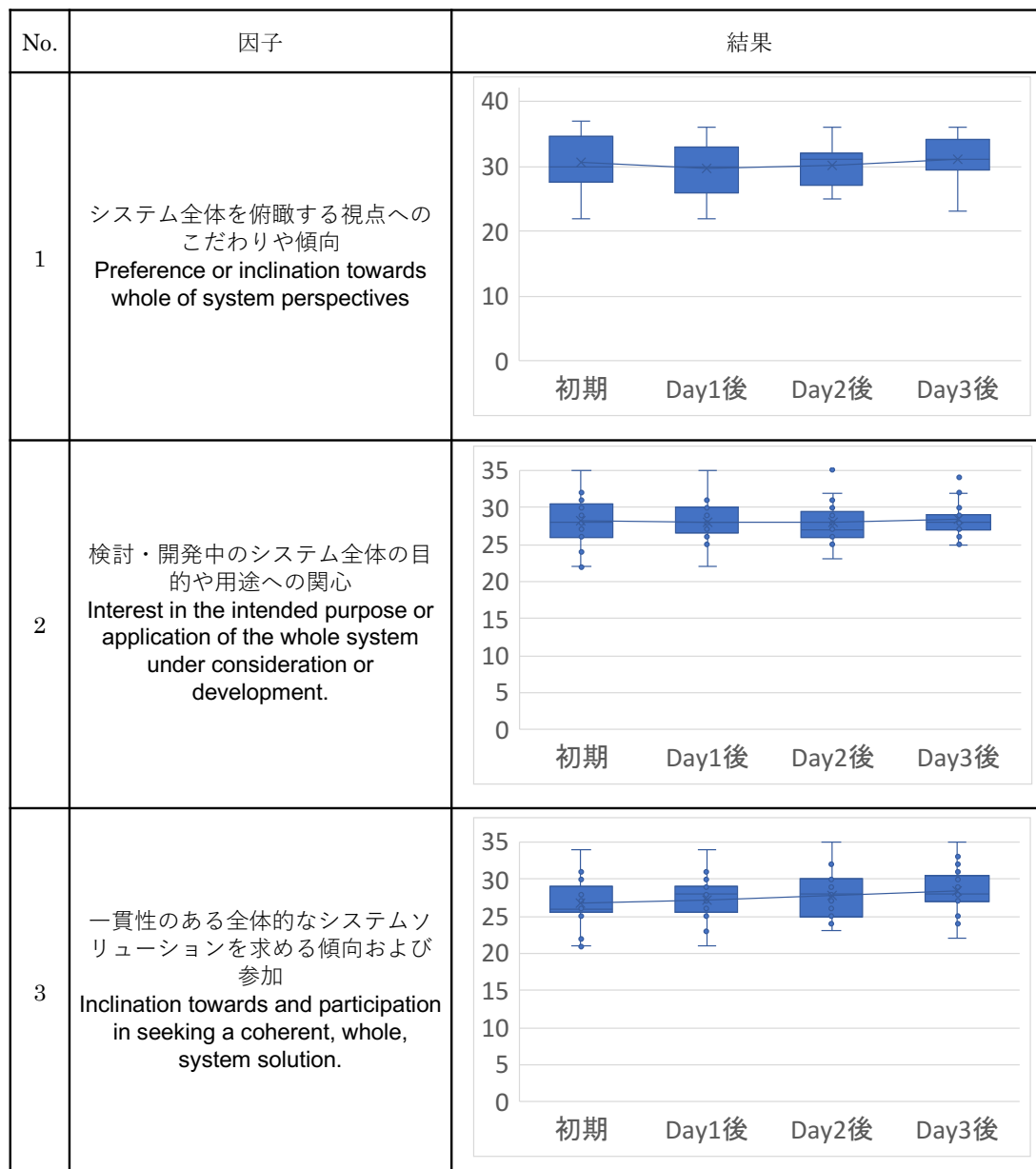


図 5-18 Engagement with Systems Thinking 尺度の因子別合計値の推移

②現場で期待される思考傾向の評価結果

現場で期待される思考傾向を評価する 5 つの質問それぞれの点数と合計点の変化を統計的に評価した。

本評価では、標本数が 21 と少なく母集団の正規性の確認が難しいため、母集団の正規分布を前提としない、ノンパラメトリック手法を用いた。個人での変化を評価するため、対応

のある検定とし、初期・Day1後・Day2後・Day3後の4群を比較するために、まずFriedman検定により4群間に何かしらの差があるかどうかを確認した。差が確認された場合は、多重比較検定として、Bonferroni法で調整を行う方法を用いて、群同士の比較を行った。評価結果を、表5-34、表5-35に示す。質問No.2,5及び合計で有意差が確認された為、多重比較を多なつた。No.2,5は、いずれの群間にも有意差は確認されなかった。合計点の初期とDay3後には検定量の増加と有意差(p=0.036*)が確認された。

表 5-34 現場で期待される思考傾向評価のFriedman検定結果

No.	質問	平均値				Friedmanの検定結果		
		初期	Day1後	Day2後	Day3後	検定統計量	漸近有意確率(両側)	
1	システムの課題に取り組む際には、担当システムの内側の要素だけでなく外側の要素のことが知りたくなる	5.43	5.67	5.43	5.76	6.704	0.082	
2	複雑な課題を単純化して全体像を捉えることが好きだが、細部へのこだわりも捨てない	4.67	5.38	5.00	5.43	14.382	0.002	**
3	複雑なシステムの要素間の相互作用や因果関係を分析し、解きほぐして理解することが楽しい	5.00	5.24	4.95	5.48	5.386	0.146	
4	自分自身や他のメンバーの様々な視点からシステムを捉えて解決策を見つける作業にわくわくする	5.48	5.33	5.43	5.57	1.205	0.752	
5	システムの課題に取り組む際には、与えられた目的よりも上位の目的を捉えてから解決策を探したくなる	5.48	5.19	5.24	5.62	8.948	0.030	*
0	現場で期待される思考傾向合計	26.05	26.81	26.05	27.86	9.821	0.020	*

表 5-35 現場で期待される思考傾向評価のBonferroni法で調整を行う多重比較結果

No.	評価指標	実施回	実施回同士の比較 標準化検定統計量①、Bonferroni調整済み有意確率②					
			vs Day1後		vs Day2後		vs Day3後	
			①	②	①	②	①	②
0	現場で期待される思考傾向合計	初期	1.554	0.721	0.717	1.00	2.749	0.036
		Day1後	-	-	-0.837	1.00	1.195	1.000
		Day2後	-	-	-	-	2.032	0.253

③システム思考のエンゲージメントと自己効力感の相関関係

自己効力感及びエンゲージメントそれぞれの初期から Day3 後までの変化量に相関があるかどうかを分析した結果を表 5-36 に示す。様々なシステムに対する自己効力感のうち、システムの中と外・境界(No.1)、システムの全体と部分・階層(No.2)、要素間の相互作用(No.3)と Engagement with Systems Thinking の「一貫性のある全体的なシステムソリューションを求める傾向および参加」因子との有意な相関があることが確認された。自己効力感・要素間の相互作用(No.3)と現場で期待される思考傾向とも有意な相関が確認された。その他、有意ではないが弱い相関がいくつか確認された(表中青塗り部)。

表 5-36 システム思考への自己効力感の変化とエンゲージメントの変化の相関分析結果

			Engagement with Systems Thinking			現場で期待される思考傾向	
			Factor1	Factor2	Factor3		
自己効力感	様々なシステム	1	相関係数	0.206	0.379	0.634**	0.361
			有意確率	0.37	0.09	0.002	0.108
		2	相関係数	0.253	0.303	0.488*	0.265
			有意確率	0.268	0.181	0.025	0.246
		3	相関係数	0.13	0.245	0.599**	0.449*
			有意確率	0.573	0.284	0.004	0.041
		4	相関係数	-0.081	-0.049	0.206	0.079
			有意確率	0.726	0.832	0.371	0.733
		5	相関係数	-0.094	0.1	0.403	0.197
			有意確率	0.687	0.667	0.07	0.393
	担当システム	1	相関係数	0.041	-0.133	0.033	-0.1
			有意確率	0.859	0.565	0.888	0.666
		2	相関係数	0.242	-0.173	-0.039	0.051
			有意確率	0.29	0.453	0.867	0.825
		3	相関係数	0.119	-0.028	0.026	0.064
			有意確率	0.609	0.905	0.912	0.781
4		相関係数	0.085	-0.06	-0.042	-0.118	
		有意確率	0.715	0.795	0.857	0.612	
5	相関係数	-0.143	-0.074	0.186	-0.075		
	有意確率	0.535	0.751	0.419	0.746		

※自己効力感とEngagementはDay3後-初期の変化量

(2) 内省的思考傾向が高まったか

提案システムにより、被験者の内省的思考傾向を高められたかどうかを評価するために The Self-Reflection and Insight Scale と、Critical Thinking Disposition Scale の 2 つの尺度を用いた。評価の結果、有意差が確認されたのは Critical Thinking Disposition Scale の「批判的開放性」因子のみであった。

① The Self-Reflection and Insight Scale

Reflection and Insight Scale(Grant, Franklin, and Langford 2002)で定義されている 3 つの因子それぞれの合計点の変化を統計的に評価した。

本評価では、標本数が 21 と少なく母集団の正規性の確認が難しいため、母集団の正規分布を前提としない、ノンパラメトリック手法を用いた。個人での変化を評価するため、対応のある検定とし、初期・Day1 後・Day2 後・Day3 後の 4 群を比較するために、まず Friedman 検定により 4 群間に何かしらの差があるかどうかを確認した。評価結果を表 5-37 に示す。検定の結果、いずれの因子でも有意差は確認されなかった。

表 5-37 The Self-Reflection and Insight Scale 評価の Friedman 検定結果

No.	因子	合計点の平均				Friedmanの検定結果		
		初期	Day1後	Day2後	Day3後	検定統計量	漸近有意確率 (両側)	
1	内省へのエンゲージメント Engagement in self-reflection	21.71	21.90	21.81	21.71	1.323	0.724	
2	内省への要求 Need for self-reflection	25.29	24.48	25.33	24.76	5.122	0.163	
3	インサイト Insight	30.38	30.81	31.24	32.29	4.963	0.175	

②Critical Thinking Disposition Scale

Critical Thinking Disposition Scale(Sosu 2013) 定義されている2つの因子それぞれの合計点の変化を統計的に評価した。

個人での変化を評価するため、対応のある検定とし、初期・Day1後・Day2後・Day3後の4群を比較するために、まずFriedman検定により4群間に何かしらの差があるかどうかを確認した。評価結果を表5-38に示す。検定の結果、「批判的開放性」因子に有意差($p=0.011^*$)が確認されたため、多重比較検定として、Bonferroni法で調整を行う方法を用いて、群同士の比較を行った。評価結果を、表5-39に示す。初期とDay3後で検定量の増加と有意差($p=0.024^*$)が確認された。

表 5-38 Critical Thinking Disposition Scale 評価の Friedman 検定結果

No.	因子	合計点の平均				Friedmanの検定結果		
		初期	Day1後	Day2後	Day3後	検定統計量	漸近有意確率(両側)	
1	批判的開放性 Critical Openness	26.75	27.05	27.95	28.81	11.207	0.011	*
2	内省的懐疑性 Reflective Scepticism	15.05	15.52	15.95	15.9	4.447	0.217	

表 5-39 Critical Thinking Disposition Scale 評価の Bonferroni 法で調整を行う多重比較結果

No.	因子	実施回	実施回同士の比較 標準化検定統計量①、Bonferroni調整済み有意確率②					
			vs Day1後		vs Day2後		vs Day3後	
			①	②	①	②	①	②
1	批判的開放性 Critical Openness	初期	1.301	1.000	2.396	0.099	2.876	0.024
		Day1後	-	-	1.095	1.000	1.575	0.692
		Day2後	-	-	-	-	0.479	1.000

(3) システム思考の分野横断的な業務への適用が促されたか

提案システムにより、被験者のシステム思考の分野横断的な設計業務への適用が促されたかを、フーコーの3つの内省形態（記憶：起きたことの振り返り、熟慮：影響の理由の振り返り、方法：経験からどのように自分を変化させたいか）（Foucault 2005）を基に作成した質問への回答で評価した。期待する回答が得られたかどうかを合否で判定し割合を評価した結果を表 5-40 に示す。フーコーの3つの内省形態を用いた評価は、VTS による内省的思考力の向上を目指した(R. C. Campbell, Nguyen, and Kim 2021)の評価で使用されており、その方法を参考とした。

各質問に対し、No.2 を除き 80%以上の被験者が具体的内容を記述しており、No.1, 3 では理由まで記述できている。最も重要な分野横断の思考・行動に繋がりそうな記述になっているかどうかは 12/21 人、57%が合格であった。なお、No.2 の担当システムへの無駄・改善点は、担当システムの状況に依存するため評価の対象外とする。

また、No.1 担当システムに対する視点の変化に関する回答結果を4つのシステムの捉え方と目的指向の観点で集計したものを表 5-41 に示す。代表的なコメントも併記している。「システムの目的を捉える」の回答が最も多く6件、続いて、「システムの境界を捉え直す」が5件、「要素間の相互作用を捉える」が5件となっている。専門分野を越えた思考・行動に繋がりやすい項目が上位となっている。

表 5-40 今後の業務への適用が促されたかを確認する質問への回答の評価結果

No.	質問	合格率	被験者の回答の評価結果																								
			A11	A12	A13	A14	A15	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A31	A32	A33	A34	A35	B1	B2	B3	B4	B5				
1	担当システムに対する捉え方の変化を具体的に記述出来たか	95%	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	理由まで記述できたか	81%	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
2	担当システムの無駄・改善点を記述できたか	43%	○	×	○	×	×	×	○	○	○	○	○	×	×	×	×	○	○	×	×	×	○	×	×		
	理由まで記述できたか	43%	○	×	○	×	×	×	○	○	○	○	○	×	×	×	×	○	○	×	×	×	○	×	×		
3	業務へどのような良い影響がありそうか記述できたか	95%	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	理由まで記述できたか	62%	○	○	○	○	×	×	×	○	○	○	○	○	×	○	×	○	○	×	×	×	○	○	○		
4	業務への活かし方が具体的に記述できたか	86%	○	○	×	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○		
	分野横断の思考・行動に繋がりそうか	57%	×	×	×	○	×	×	○	×	×	○	○	○	×	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○		

表 5-41 担当システムに対する視点の変化

主に得られた視点	人数	代表的なコメント	
		視点の変化	変化した理由
システムの目的を捉える	6	システムの構成だけでなく、目的や関係者も含めたより広い視野でシステムを把握できるようになった。	図に表現することで考えが可視化できたため。
		より大きな目的に対して寄与するものは何なのか、考えることが出来た。	絵画の目的と要素の関係性をシステム図で表現する訓練ができたため。
		担当システムの目的を果たすのに、現状構成する要素は、本当に必要かという視点を持つことができました。	図に表現することで考えが可視化できたため。
システム境界を捉え直す	5	システムから外への視点の他に、外からシステムに向けての視点を意識したほうがよいと感じた。	他の人の視点から影響を受けた。
		価値や提供するデータなどを俯瞰してみる事が出来た。	概念的な情報も含めて関係性を図示したため
要素間の相互作用を捉える	5	各構成要素に関して、つながりやフローを頭の中で簡単につくるようになった。	実際に手を動かして図示することで感覚が掴めた。
		担当システムの要素間の繋がりに対して、より上位概念化して捉えることができた。	絵画の伝えようとしていることと、絵画の要素をつなげることが上位概念化の訓練になった。
多視点で捉える	3	限定的なアプローチで作業効率向上を図っていたので、他のアプローチがあるのではないかという視点が得られた。	図示をしたことで理解が深まったため。
全体と細部、階層を捉える	1	担当システムについて素早く分解できるようになった。	要素間の結びつきを考える力がついたため。

表 5-42 では、No.4 業務への活かし方の回答結果を、活用方法・シーン別に分類し集計したものを示している。「設計以外の課題も含めてシステムとして整理する」が6件と最も多く、「システムの目的の明確化に活用する」が4件で続いている。なお、併記した代表的なコメントは、前記合否判定で合格と判定したコメントである。ワークショップ内では特に示唆していない設計以外の業務への活用を幅広くイメージしている被験者が最も多かった。

表 5-42 今後の業務への活かし方

活用方法・シーン	人数	代表的なコメント
設計に限らず課題をシステムとして整理する	6	一見複雑そうな担当業務をシステム化することで目的・他部署他者とのつながりや負担が簡潔に見える化する。
システムの目的の明確化に活用する	4	「上位概念化して捉える」、「間違っているけど良いのでシステムの目的を仮設定する」と、また新たな気づきが得られることが分かったので、開発業務にてシステム設計を考える際に活用してみたい。
設計時の思考の整理や思考を拓げるために活用する	3	自信の担当モジュールで完結するのではなく、周囲のモジュールへの影響を、「要求されているインターフェースに限らず」意識していきたい。
チームで多視点を活用する	3	個人での考えでは視点の移動などは限界があるため、よりよいシステムにするためにチームで協力して多角的な視点を持って業務を進めていくようにしたい。
担当者間の認識合わせ、説明に活用する	2	各機能の担当者間で同一システムや実現すべき機能に関する意識合わせに活用できる。

(4) 利害関係者から総合的に評価されたか

① 被験者の評価

被験者のワークショップに対する総合的な評価として、ネットプロモータスコア NPS®³¹ のアンケート評価を行った。評価結果を図 5-19 に示す。サンプル数が少ないため、各回の値そのものは評価対象とせず、変化量のみ評価対象とした。評価の結果、回を重ねるごとに批判者が減少し推奨者が増えることで、NPS®は、-33.3%、-23.8%、9.5%と推移した。Day1後、Day2後の評価は様子を見ながらの評価であったと思われるが、最終評価としてのDay3後の結果で、推奨者が大きく増えている。

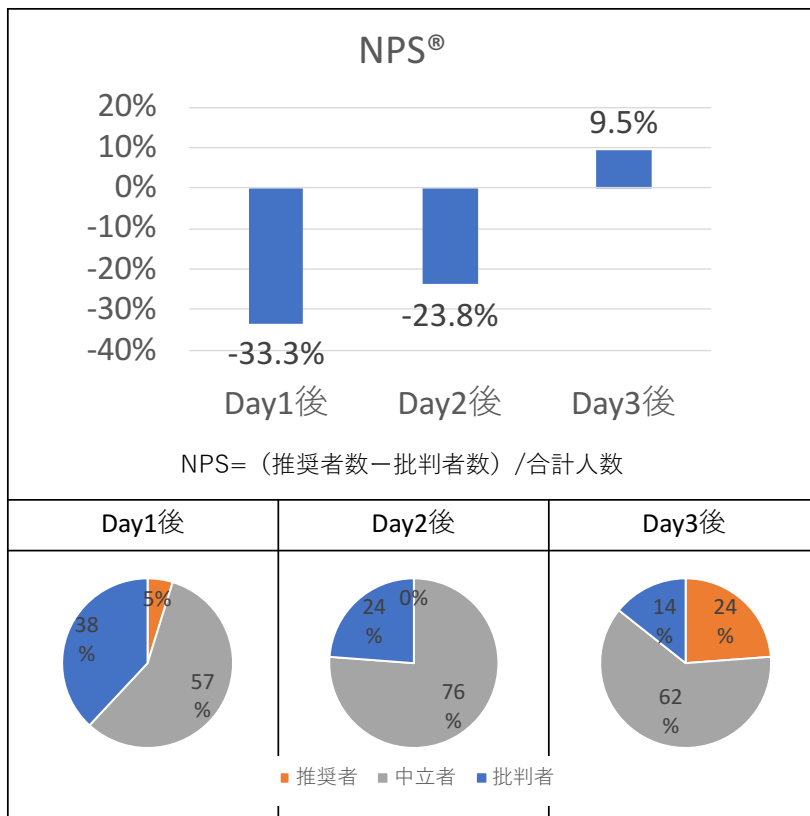


図 5-19 ワークショップのネットプロモータスコア NPS®

②育成責任者の評価

課題目的に対して手法は妥当か、評価方法は妥当か、評価結果の判断は妥当か、の3つの観点でインタビューを行い、妥当であるという評価を得た。以下、インタビュー結果の概要を示す。

- A社：R&D系人事担当者

システム思考の自己効力感向上効果は予想していなかったが、効果が認められる。システム思考は出来てしまうと当たり前で自転車に乗るようなものである。そういった意味で良いトレーニングになっているのかもしれない。

評価そのものは、十分であると考えているが、被験者は偏りがある可能性がある。新しいこと好きが集まっている可能性が否定できない。対象外かもしれないが、ベテランの頭の硬い人でも実験してもらいたい。

来年の新人研修で実験的に実施してみたい。

- B社：開発部門マネージャー

製品以外のものや、業務課題など物理的なもの以外もシステムとして捉えたというコメント結果は、注目に値する。家族などもシステムと捉えるなど、システム概念を拓げる効果は面白い。

評価人数も必要十分であり、今回参加したメンバーは希望したメンバーであるが、みな特別新しいもの好きというわけではなく、評価結果は信用できる。他のメンバーにも実施してみたい。

5.3.4 ワークショップの実施結果

ワークショップで行われた対話、システム図の作成結果に関して報告する。

(1) 絵画の目的の分析と改善を行う VTS

① 絵画の目的の分析と改善を行う VTS とシステム図作成の1回目 (DAY2)

絵画の目的の分析と改善を行う VTS の1回目(Day2)と3回目(Day3)に関して報告する。グループ1から被験者2名の事例を紹介する。なお、段階的に難易度を上げる為に、この回のパートでは絵画の目的は確認しているが改善の問いは実施していない。

図 5-20 の作品に対する被験者 ID、A12・A15 の対話を以下に示す。上下の対比関係などは同じように見出しているが、それによって絵画が表現しようとしていることに関しての意見は大きく異なっている。図 5-21、図 5-22 は、被験者が実際に作成した絵画のシステム図を筆者が体裁のみ修正したものである。被験者 A12 は、対話の内容が概ね表現できているが、A15 はコメントにあるように十分に表現が出来ていない。

被験者 ID_A12 との対話 (F はファシリテーター)

1 周目 「この絵のなかで何が起こっていますか？」

「どこをどのように見たときにそう思いますか？」

ちょっと喋りながらまとめる形になって申し訳ないんですが、ええとまあ、子供がええとまあ楽しげに遊んでいる、一方でええと大人達がまあ、それをまあ、遠くで見ているっていうのが、まあ引き起こっていることかなと思ってます。それでええとまあ、結構対局なイメージを持ちまして、子供がその楽しく遊んでいる一方で、大人側はその楽しいイメージは持ってないです。あのまあ、暗いイメージを暗い感情を持っているのかなというふうに思っています。大人側は、なんでそう思ったかっていうのが、明らかな境界線が、子供が居る側と大人がいる側に、その明確な境界線があるように見えたからです。その茶色い部分と、緑の部分です。

(F) ここですか？

そう、その境界線を見たときに、そのなんか対比みたいなところを感じました。

(F) 楽しげというのは、どこから？

子供が居る側に、赤いボールとあとはバスケットボールっぽい、そのボールが2種類、そのおもちゃがあって、それを追いかけしているような図になっているので、子供が遊んでいるのかなというふうに思いました。



図 5-20 Félix Vallotton 作「The Ball」(再掲)

2 周目 「この絵は何を伝えようとしていますか？」

大きいところで、世の中の陰と陽と言うか、人、影の対比なのかなっていうふうに感じました。で、それをそのまま抽象化してというか、子供を陽の方にたとえて大人を陰の方に例えた絵なのかなというふうに感じました。というのも、先ほどあの説明をして、ちょっと真ん中にその境界線があって、その明らかに明暗の差がついてるような感じたからですね。でなんか加えて、その今ずっと絵を見ていて思ったのが、そのようにいる子どもとその陰にいる大人なんですけど、陰のその勢力が増しているというか、その影がああ落ち込んできていることとか、あ、そこですね、あとそのまあ、色温度というか、その夕焼けっぽい色に見えたので、そのように子供がいる方も、陰の落ち方とかでその夕方っぽいイメージも受けたので、そっち側もどんどん暗くなっていくような、あの今後そうなるんじゃないのかというようなイメージも受けたので、その陽に対して陰がそのより勢力を増して行く風刺みたいな伝えようとしていると思いました。

3 周目 「新しい見方や視点の発見はありましたか？」

そうですねと、まあ〇〇さんと●●さんの意見を聞いてっていうのもあるんですけど、ええとまあ、影からあの子供が逃げているとか、ボールを赤い方を選んだとかっていう話もあって、それを受けて、個人的に追加で思った事としては、2個あるボール、ボールが2個あって、片方があの茶色い方は影の中に置いてあって、赤い方は影のない日向に置いてあるっていうところに何か意味があるんじゃないのかって思ってたですね。2個あるうちの影じゃない赤い日向の方に子供が向かっているというところが、やっぱり意味があると思っていて、で、影がその陰に近いっていう話もあの先程、僕から話したんですけど、まあその影があるボールを選択するっていうのと、影のない日向の明るいボールを選択するっていうところの対比も含まれているのかなと思っていて、言うなれば、その日向の方が正しい選択で陰にあるボールを選ぶと正しくない選択で、結果的にその陰の方にいる大人の道に進むということを示してるんじゃないのかなっていう風に追加で思いました。この子は正しい道を歩めるんじゃないのかなと思いました。

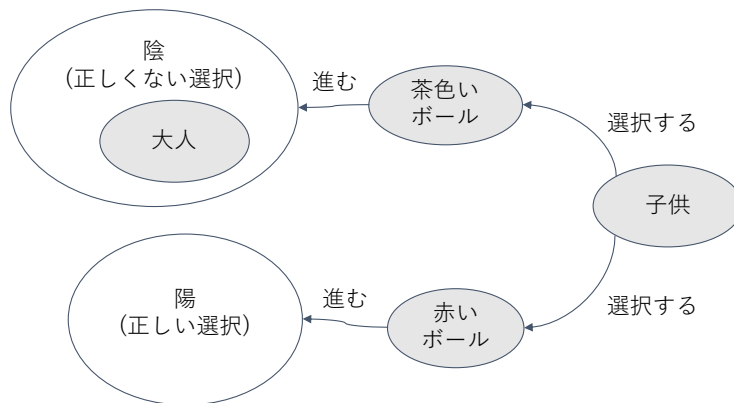


図 5-21 被験者 ID_A12 が作成した絵画のシステム図(体裁は筆者が修正)

被験者 ID_A15 との対話 (F はファシリテーター)

1 周目 「この絵のなかで何が起こっていますか？」

「どこをどのように見たときにそう思いますか？」

ええまず子供が明るいところを楽しそうに走っているなどというので、ボールを取りに行っているように見えました。特に2人の大人がいて、なんか僕にはこれがロングスカートに見えたので、白い方は左手がこっち側に出ているような影が見えて、まあ子供を見守っている婦人がなんか歓談しながら見守っているのではなからうかと思いました。で、なんとなく感じたのは、子供が公園かなんかで走ってるっていうさまを見て、なんか夏の思い出みたいなほがらかな雰囲気を醸し出してるのかなという風に感じました。

2 周目 「この絵は何を伝えようとしていますか？」

僕はちょっと、もう全然皆さんと違ってたんですけど、もう本当に昔の夏の楽しかった頃の思い出みたいなので考えて、まあそうですね暖色のところで、あの、ちょっと何だろう？この橙色のちょっと茶色っぽいようになるのが、なんか昔のセピア色の思い出みたいな風に、でまあ躍動感っていうところの、子供の時代に楽しかった頃で、コントラストがっていうのみなさんが言ってるので聞いて、もう後ろに遠くで見守ってくれた人たちはもういないんじゃないかってそんな風な方向でイメージを終わらせてしまいました。

～中略～

(F) 思い出を何かこうパッケージしたようなイメージですかね？

顔も疲れてないような感じなので、昔そういう優しかった人たちみたいな、頭の中にあるんだけど、なんかちゃんと思い出せないみたいな、そんな感じ。

3 周目 「新しい見方や視点の発見はありましたか？」

そうですねちょっとコントラストだとか、ちょっと図にしてみようと思うと全然できなかったって、ちょっと混乱してしまいました。そうですね、ちょっとあと、もう池とかっていう発想もなく、ちょっと僕にはあの暗いところが草原みたいな感じで他の木々で影になってるんだなって思ってたんでちょっと池とかっていうのも新しい視点で出てきてしまったので、ちょっといろいろ頭が混乱してしまいました。

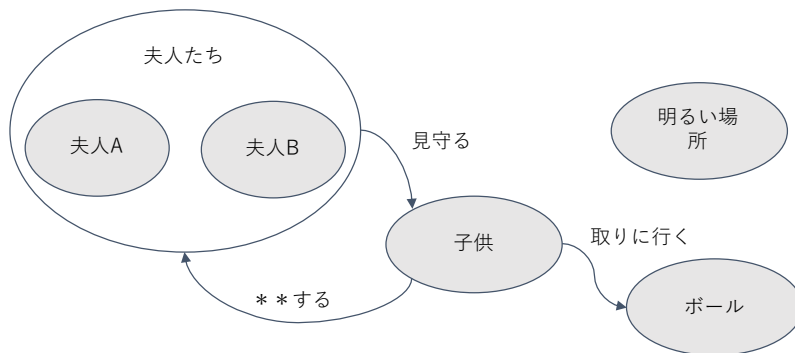


図 5-22 被験者 ID_A15 が作成した絵画のシステム図(体裁は筆者が修正)

②絵画の目的的分析と改善を行う VTS とシステム図作成の 3 回目 (Day3)

グループ 2 から被験者 2 名の事例を紹介する。図 5-23 の作品に対する被験者 ID、A23・A25 の対話を以下に示す。3 回目は、あえて動きを見出しにくい作品を選択したため、1 周目の「何が起きているか？」の質問には苦労している。しかし、2 周目の「何を伝えようとしていますか？」では、描かれていないものも含めて、いろいろな関係性を見つけ出し、描写している。また、改善点もそれぞれ何とか見つけ出している。図 5-24、図 5-25 被験者が実際に作成した絵画のシステム図を筆者が体裁のみ修正したものである。それぞれ、表現したいことは表現できているようであるが、改善に関しては、図に落とし込むところまでは出来ていない。



図 5-23 小村雪岱 作「青柳」(再掲)

被験者 ID_A23 との対話とシステム図 (Fはファシリテーター)

1 周目 「この絵のなかで何が起こっていますか？」

「どこをどのように見たときにそう思いますか？」

私はあのこういう楽器の習い事が始まる前なのかなっていうのを見て思いました。なんとなく整然と並べられている楽器を見て、何かこれから楽器のそのお稽古みたいなが始まるのかなっていうのを見て感じましたね。それで、特にこの辺の木とかが何をしてるわけでもなくて、本当に静かな日常の1コマを写したいのかなというのがあるからと、なんかあと右下の草が生えているっていうのもよく、何て言うんでしょう雑然としてるといふか、よくすごい整った場所ではないっていうのを示しているのかなと。

(F) なんかお稽古だよなあっていうのは、どういう所からそう思われた？

ああ、なんでしょう、これからまあ何かの前っていうのは間違いなくあって、こういう日常風景を写そうとするのなら、あのまあ、こういう、お稽古っていうのが日常の中にあるのかなと。

2 周目 「この絵は何を伝えようとしていますか？」

この日常の中のなんというかごちゃごちゃしたものと整った者の対比みたいなのを、そのレイヤー構造でうまく示したいのかな、みたいな。そこを美しいみたいな言い方をしたいのかなと思って、何かもし建物とかのきちっとした部分だけ伝えたかったら、手前のうねうねした木とかはいらなと思うので、なんというか自然と人工物のその融合みたいなのを伝えたいのかな。この植物ですかね、この前にかぶっているものと、この建物とか、まあ色々楽器とかの関係性は結構意味がある、そこに意味を持たせているかなと。その人工物かその自然のものからその規則性があるやつとない者の対比みたいなことを、そして美しさとか美とかを示しているのかなっていう。

3 周目 「新しい見方や視点の発見はありましたか？」

「もっとよく伝えるためにはどうしますか？」

あのまあ先ほど話した通り、人工物の規則性と自然の不規則性っていうのを見て美しいというのを連想させたいっていうのが言ってるのかなと、で、その背景として雑草で高級じゃないよっていう日常だよっていうのを表現してたり、後、あの絵を見て書いてみて気づいたのが、柳とその機能部分がああ楽器は一切かかってなくて、むしろ集中線みたいに強調しているなって思ったので、あの先程〇〇さんが言ってた通り、楽器が鳴ってないっていうのをより強調してあげることでこの対比の美しさみたいなのを引き立てているのかな。

(F) なるほど何か改善ポイントはありますか？

そうですね、日常感を出すとなると何か静かな動かないものもうちよつとあってもいいのかもしれない、んーなんというか、隅っこに花瓶とかあったりしても。そのもうちよつと何かあると背景がわかりやすくなるかなと。

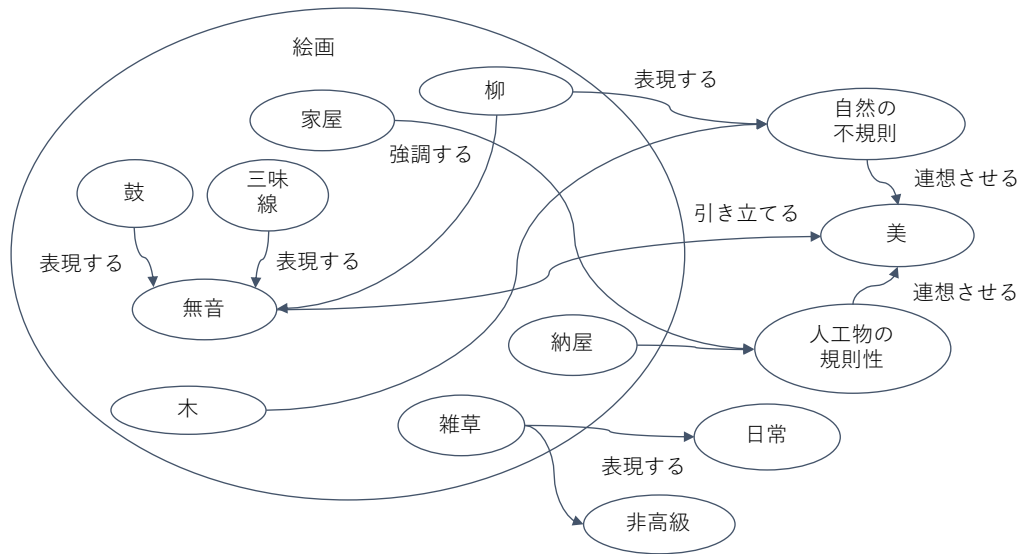


図 5-24 被験者 ID_A23 が作成した絵画のシステム図(体裁は筆者が修正)

被験者 ID_A25 との対話とシステム図 (F はファシリテーター)

1 周目 「この絵のなかで何が起こっていますか？」

「どこをどのように見たときにそう思いますか？」

皆さんのおっしゃる通り、情報量が少なくて難しかったんですけども、私はええとそうですね、あの和太鼓だったりとかの稽古の前の下準備なのか、もしくは使い終わった後にわりとこういうなんか和太鼓とか、そのあたりってあの何ですかねその湿気のあるところを嫌うので、ここにまさにあの風通しの良いところに置いて、しまう前に一旦乾燥させたりとかのかなっていうふうになんかちょっと感じましたね。

2 周目 「この絵は何を伝えようとしていますか？」

なかなか自分の中でもまとまらない感じではあるんですけど、えっとまあ、お稽古にせよ、友人との楽曲にせよ、ここに少なからず3人の人たちがいたんだよっていうなんかそういったところのメッセージがあるんじゃないかなと感じましたね。和太鼓2つとそうですね、今ひとつあるところを見てまあ3人で何かしらのセッションをしてたりとか、もともとこの部屋には3人の人がいたんだよっていうのを表してるんじゃないかなっていうところを感じました。
(F) こう人の名残みたいなの？
そんなイメージです。

3 周目 「新しい見方や視点の発見はありましたか？」

「もっとよく伝えるためにはどうしますか？」

その静寂を表す、表現したいところを念頭に置くと、ええと今、その使われてない楽器が置かれている話ですけど、あと例えばなんですか鹿威しみいなこう静寂の中に何か1つを入れることで、より静寂が際立ってられるのかなっていうのは、ちょっと思いました。たまに鳴る絵のなかに響くようなこう静寂を強調するような要素みたいなのをあえて書くと際立つんじゃないかな、イメージがしやすいくなるのかもしれない。

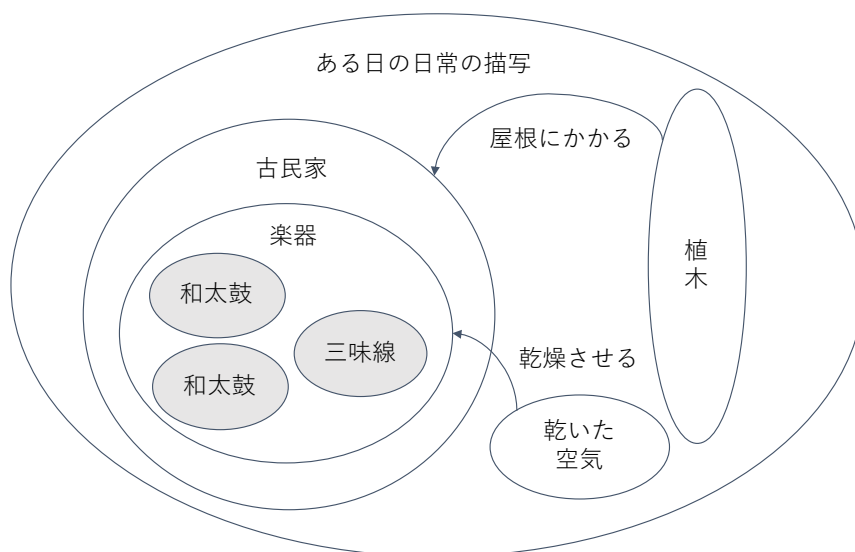


図 5-25 被験者 ID_A25 が作成した絵画のシステム図(体裁は筆者が修正)

(2) 担当システムのシステム図作成

被験者 ID_A12 と、A23 が作成した担当システムのシステム図を図 5-26、図 5-27 に示す。筆者が体裁と秘匿情報除去の修正をしている。いずれも Day1 と Day3 に作成したものを併記している。

図 5-26 では、青丸部分が同じ範囲を示しているが、Day3 では赤字でハイライトした作業効率というシステムの目的を実現する仕組みまで表現されている。被験者の説明でも、意識が担当システムの外側に広がったことを指摘していた。

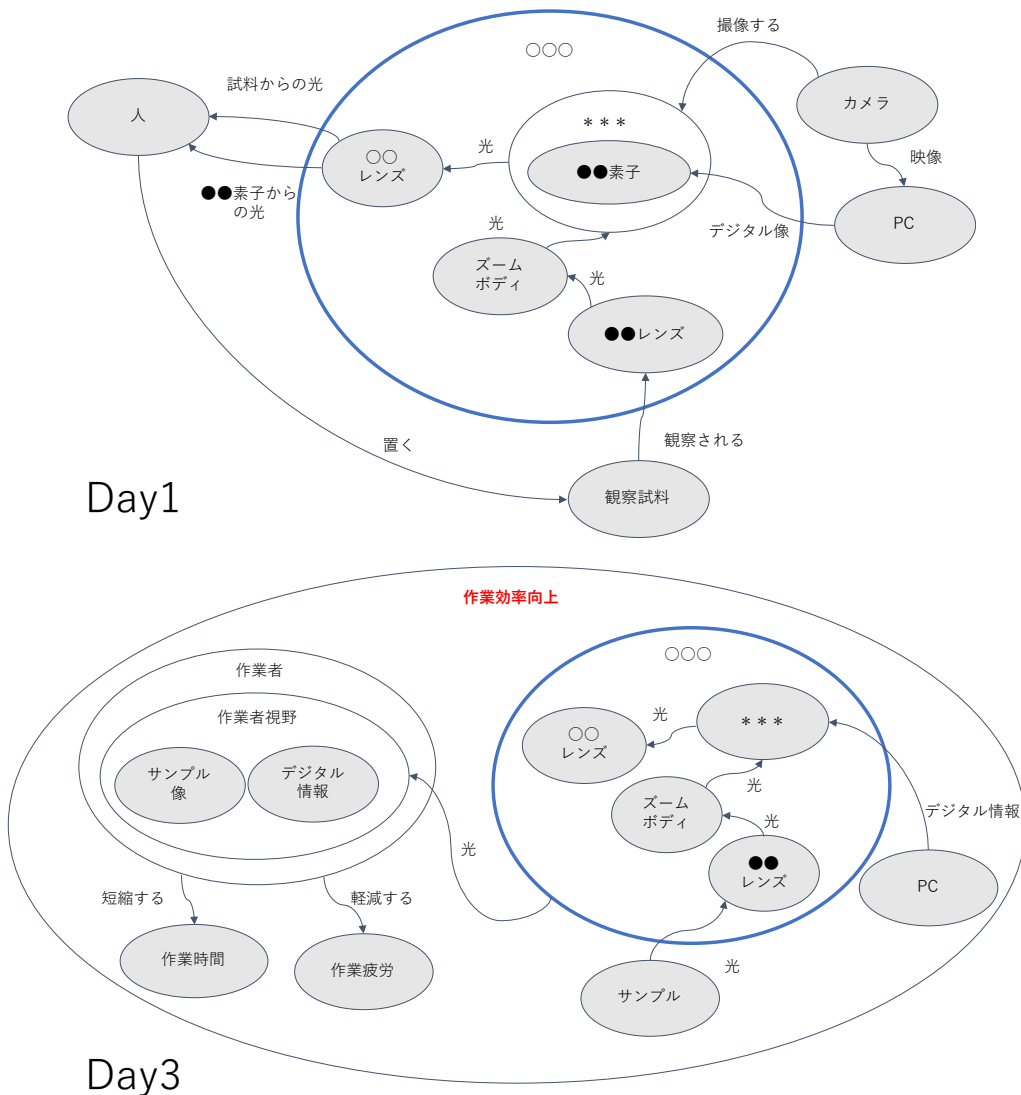


図 5-26 被験者 ID_A12 が作成した担当システムのシステム図

図 5-27 では、まず要素数が増え詳細な記述となっている。赤字でハイライトした、情報及び情報を得るとというのが、担当システムの本質的な機能であり、それが出来れば別のシステムでも良いということに気づいたと指摘していた。

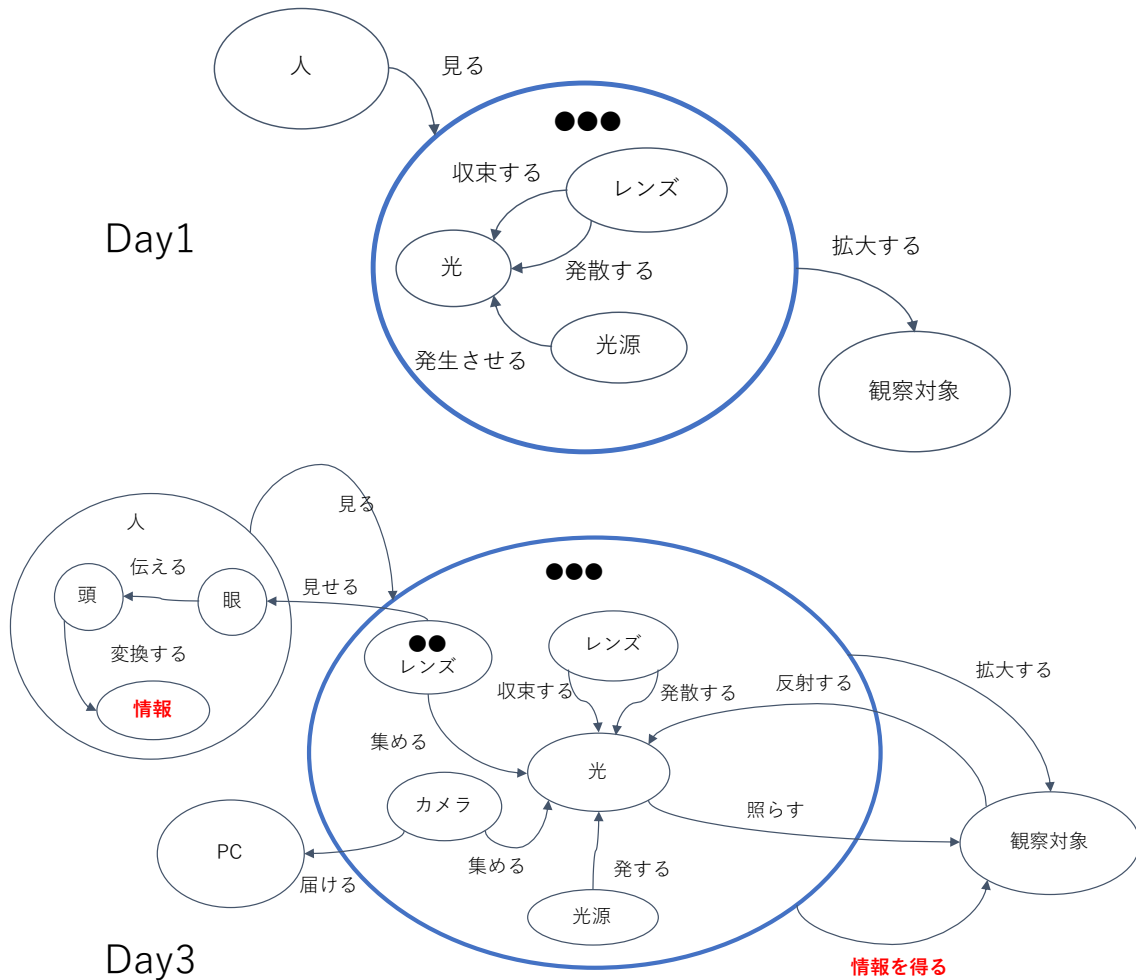


図 5-27 被験者 ID_A23 が作成した担当システムのシステム図

5.4 専門家による評価

企業向けにシステムズエンジニアリング導入支援を行なっているコンサルティング会社の、システムズエンジニアリング支援部門のマネージャーに、提案手法、評価方法及び評価結果を説明し、以下の観点で意見を伺い、それぞれ妥当であるという評価を得た。

- 課題、目的に対して手法は妥当か
- 評価方法は妥当か
- 評価結果の判断は妥当か

以下、インタビューの結果の概要を示す。

視点を変えさせるのに普段と異なる経験をさせるのは有効であると考えており、今回の手法は妥当である。紙飛行機的设计をさせるという研修の成功事例を知っているが、それに近いかもしれない。より振幅が大きいと言える。デザイナーの思考過程を MBSE³²により表現する取り組み事例があるが、この手法はその逆と言える。モチベーションの低い担当者への指導は課題に感じている。この手法が持つ「楽しい」という要素は非常に重要である。他の手法との優劣は判断できないが、評価方法及び、評価結果の判断は妥当だと考える。

³² Model Based Systems Engineering. モデルを用いてシステムズエンジニアリングを進めるための手法。

5.5 考察

本提案の評価結果に関して考察する。

5.5.1 提案システムの機能に関する考察

提案システムの機能に関する評価は、アンケートによる被験者の主観評価によって行った。回ごとに異なる機能の影響を確認するために、アンケートは3回のワークショップすべての回に対して実施した。5件法によるアンケートの結果上位2段階（強く同意する、多少同意する）の割合（3回の平均値）が80%以上であった場合を合格とすると、1項目を除き合格であった。80%を下回った1項目に関しては、「図の中に思ったことを表現できたか」という質問が、被験者の作業の出来映えを問う質問になってしまっており機能評価としては不適切であった。以上から機能評価を合格としたが、実際にはほとんどの項目で上位2段階の割合は90%以上であり、機能の詳細の効果を分析するために、最上位項目「強く同意する」の推移を評価した。

対話側鑑賞 VTS 機能(F1.1)評価においては、発言のしやすさ(No.1)は3回とも70%程度で安定しており、VTS のフォーマットに則ったファシリテーションがうまく機能していたと言える。傾聴(No.2)や傾聴を楽しむ(No.3)は、Day1 後は76%と非常に高く、Day2 後、Day3 後で少し下がる。これは、絵画に対する意見が人により大きく異なることへの最初の驚きを反映していると考えられる。驚きに関しては、被験者からの感想コメントのなかに多く確認されている。一方、自分の視点の発見(No.4)は、Day1 後は19%と低いが、Day2 は28%、Day3 は43%と段階的に上昇している。これは VTS のなかで絵画について考え、それを発言し、他の参加者との違いを知る、というプロセスが影響していると言える。

VTS とシステム思考の関係説明機能(F1.2)評価においては、VTS とシステム思考の関連性の理解(No.5)は、Day1 後14%、Day2 後19%であったのが、Day3 後に43%と大きく上昇する。これは Day3 で実行する担当システムを用いた VTS と図的外化機能(F3)が大きく影響していると考えられる。実際に業務へ適用する試みを経験することで、納得感が向上したと思われる。システム思考の体感(No.6)に関しては、Day1 後10%、Day2 後33%、Day3 後43%と段階的に上昇している。これは VTS を繰り返し実施していること、Day2 からは図的外化で実際に手を動かしていることが影響していると考えられる。

絵画の目的の分析と改善を行う VTS 機能(F1.3)は、Day2 以降の実行となる。作品の目的を意識した観察(No.7)は、Day2 後52%、Day3 後62%と高い値で安定しているが、作品の目的の仮説を立て、視点を変えて検証する、視点を変えながらの観察(No.8)は、Day2 後では9%と非常に低い。しかし、Day3 後は38%と大きく上昇しており、繰り返し実施の効果

が出ていると考える。自分にとっての作品の目的発見(No.9)も Day2 後 29%、Day3 後 57%と Day3 後の上昇が大きい。これは、自分の視点の発見(No.4)と同じ傾向を示しており、繰り返し実施により内省が進んでいると考えられる。

思考過程の図的外化機能(F2)では、被験者がほとんどはじめて目にすると思われるシステムグラムの書き方が理解されるかがポイントであったが、実際に作成を行う Day2 以降で、図の書き方の理解(No.10)は Day2 後 24%、Day3 後 28%となり十分に理解されたと考える。図による考えの整理(No.12)は、Day2 後 19%、Day3 後 38%と、担当するシステムの捉えた方がシステムグラムを作成することで、整理されたと思われる。図による考えの整理の効果に関しては、感想コメントでも多く記述されているが、一方でエンジニアが普段如何に「考えるために図を描く」ことが出来ていないかが推察できる。設計業務において設計図面等の図を書く行為は、結果を記録するための作業になってしまっていると考えられる。

担当システムを用いた VTS と図的外化機能(F3)は、Day3 のみでの実行となる。アンケート評価も 1 回のみとなるため、合わせてワークショップの成果物の評価も実施した。担当システムをシステム思考で捉える(No.13)は、24%とまずまずの結果であったが、担当システムへの視点の変化(No.14)は 5%と低い値であった(「多少同意する」を含めれば 95%)。被験者は Day1 の冒頭と、Day3 で同じ担当システムのシステムグラムを作成しているため、研究者により、視点の変化によると思われる記述の変化を確認し、90%の被験者で大小何かしらの視点の変化が起きていると評価した(No.14-2)。無駄・改善点への気づき(No.15)は 9%、「多少同意する」を含めても 66%と低い値であった。同様にシステムグラムとワークショップ中の対話を確認し、48%の被験者が無駄・改善点への気づきまで辿り着けていることを確認した(No.15-2)。約半数と必ずしも高い値ではないが、担当システムの現状に依存する評価であり、十分妥当な結果であると考えられる。

5.5.2 システム思考への自己効力感に関する考察

自己効力感の評価項目は、4つのシステムの捉え方に対応する 4項目と、目的を捉え改善のためにシステム思考を使うことができるかの 1項目とし、「様々なシステム」と「担当するシステム」を対象にそれぞれ質問を作成している。「担当するシステム」は被験者にとって具体的な質問であるが、「様々なシステム」は被験者の捉え方によって変わる抽象的な質問となっている。システム概念を広げることが、本提案の目的の 1つであるので、あえて「様々なシステム」とし被験者に解釈を委ねた。表 5-27 を見ると、対応する質問同士の間が必ずしも高くないこと、絵画をシステムとして捉え方の自己効力感に対する相関度合いが異なることから、別々の評価項目として成立していると言える。相関の低い、システム

の中と外・境界(No.1)と、システムの全体と部分・階層(No.2)は、システム全体を捉えるという観点で共通しており、システムの対象の違いの影響を受けやすいと言え、そのため相関が低くなっていると考えられる。また、絵画システムの捉え方の自己効力感と、様々なシステムの捉え方の自己効力感の全項目との相関が高く、「様々なシステム」において、システム概念を広げられている可能性を示している。

自己効力感の変化に関しては、平均値の変化、統計的な個人間の比較それぞれにおいて明確かつ段階的な変化が確認された。項目ごとの変化の傾向は若干異なるが、違いは小さくあまり明確なことは言えない。しいて言えば、担当システムが対象のシステムの全体と部分・階層(No.2)が Day3 後の上昇が大きいのは Day3 に担当システムの VTS と図的外化を実行した影響であり、Day2 後に多視点で捉える(No.4)の上昇が大きいのは、Day2 の絵画の目的的分析と改善を行う VTS の影響であると考えられる。

統計的には、Day1 後では有意差は認められず、Day2 後では、様々なシステムを対象とした全項目、担当システムを対象とした3項目で有意差が確認された。Day2 までは担当システムを対象とした実践はないので、妥当な結果である。Day3 後では全項目に関して有意差が認められた。次に、Day1 後を基準に確認していく。システム思考を感覚的には理解していても、言葉の理解をしていない人がいた場合、その人にとってはシステム思考の説明を受けた Day1 後が初期値であるとも言える。Day1 後からは、Day2 後では、有意差が認められたのは様々なシステム、担当システムでそれぞれ1項目のみであるが、Day3 後では全項目で有意差が認められた。担当システムが対象のシステムの全体と部分・階層(No.2)は、初期、Day1 後どちらを基準としても Day3 後まで有意差は認められず、一方 Day3 後は Day2 後に対しても有意差が認められた。これは、当たり前ではあるが、前述の平均値変化の傾向からの考察と一致する。

個人の属性との相関分析では、エンジニアの経験年数に負の相関が見られることを予想したが、今回の評価では相関は認められなかった。これは、今回対象とした被験者の範囲では、専門分野内のエンジニア経験だけでは、経験年数に関わらずシステム思考が十分に育まれないということを示唆している。「図 3-2 インタビュー結果から得られたシステム設計人材不足の構図」に示した、「システムに関わる業務経験の不足」が「システム設計能力の不足」に繋がるという状況とも合致する。

Big Five 性格特性では、外交性との中程度の相関が認められた。提案システムの対話を通して学びを得るという特性上、社交性などを示す外交性との相関は納得できる。一方、高い好奇心などを示す開放性との相関は認められず、意外な結果であった。新しいもの好きなど特別強い開放性は不要であると捉えることもできる。また、美術への関心度合いとの相関も認められなかったが、今回の被験者には特別美術の知識が深いといったレベルの人は含ま

れておらず、その点で今回の結果では判断がつかない。

以上より、幅広いエンジニアを対象として、システム思考への自己効力感の向上には、繰り返しかつ段階的にシステム思考トレーニングを行う本提案システムの方法が有効であったとすることができる。

5.5.3 システム思考へのエンゲージメントに関する考察

今回の評価では、エンゲージメントの評価に **Engagement with Systems Thinking** 尺度 (Camelia and Ferris 2018) を用いた。3つの因子「システム全体を俯瞰する視点へのこだわりや傾向」「検討・開発中のシステム全体の目的や用途への関心」「一貫性のある全体的なシステムソリューションを求める傾向および参加」は、Camelia and Ferris (2017) では、「システム思考理論に対する嗜好」「システム思考の方法論への関心」「システム思考実践への傾倒」と表現されている。本提案システムでは、当初の仮説としては、第1因子と第2因子がまず向上し、その後、第3因子が向上すると考え、今回実験では第3因子の向上までは到達しないと予測していた。評価の結果は予測と反し、第3因子「一貫性のある全体的なシステムソリューションを求める傾向および参加」のみで、統計的有意差が認められた。因子に対する期待としては、実践に最も繋がりやすい第3因子の上昇が最も望まれるので、その点では今回の結果は望ましい結果であった。

ここで図 5-18 をみると、第1因子は他の2つの因子と比べて4分位範囲の幅が2倍程度と明らかに大きい。構成される質問は他の因子と比べて特別回答がばらつく内容にはなっていない。ただし、質問形態が逆質問になっており、被験者によっては間違っただけで回答してしまった可能性を疑うことができる。第1因子は正確に測定できていない可能性がある。次に第2因子であるが、満点が35点のところ、平均値は初期より28.2点と高い値で、満点の被験者もいた。第2因子は上昇の余地がなかったとも言える。また、Camelia and Ferris (2017) で行われた調査では、被験者の業務経験との有意な相関が確認されたのは第3因子のみであったとしている。第1因子、第2因子は、経験学習による向上効果は見込めない可能性がある。

次に、現場で期待される思考傾向の評価に関して考察する。現場で期待される思考傾向評価のための質問は、**Engagement with Systems Thinking** 尺度は主に大学生向けに開発された尺度であるため、社会人向けに実施した場合合計点が高くなりすぎてしまう可能性を危惧し、別途筆者が作成したものである。5つの質問は、**Engagement with Systems Thinking** 尺度に混ぜて実施した。5つの質問の合計点は、初期26.1と**Engagement with Systems Thinking** 尺度の第3因子26.8点(設問数は同じ)より少し低い値となっており、設計意図通りとなった。個別の因子ごとでは有意差は認められなかったが、合計値に関しては有意差が認められ、現場で期待される思考傾向は向上したと考えられる。

5.5.4 システム思考へのエンゲージメントと自己効力感の関係に関する考察

システム思考への自己効力感の向上の変化量と、エンゲージメントの変化量の相関分析では、有意な変化があった、Engagement with Systems Thinking の第3因子「一貫性のある全体的なシステムソリューションを求める傾向および参加」と、「現場で期待される思考傾向の合計点」に対して有意な相関があることが認められた。特に Engagement with Systems Thinking の第3因子に対しては、様々なシステムの捉え方の自己効力感の3項目で有意な相関が認められた。以上により、提案システムはエンジニアのシステム思考への自己効力感を高めることと同時に、システム思考へのエンゲージメントを高めることができたと言える。因果関係は、明確に断言はできないものの、システム思考への自己効力感を高めることにより、システム思考へのエンゲージメントを高めることができた可能性がある。

様々なシステムの捉え方の自己効力感の3項目「システムの中と外の要素、システムの境界を捉える」、「システムの全体と細部、階層を捉える」「要素間の相互作用、機能や働きを捉える」は、相関が低い「対象を色々な視点で捉える」「目的を捉えて改善のためにシステム思考を使う」と比べると、システムを捉えることそのものに関する自己効力感である。担当システムの捉え方の自己効力感5項目とはいずれも相関が見られなかったことも合わせると、3項目の自己効力感の向上は、システムに対する概念の広がりやを反映しており、その結果として「一貫性のある全体的なシステムソリューションを求める傾向および参加」の向上に繋がったと考えることができる。

一方、担当システムの捉え方の自己効力感は全て向上しているにも関わらず、エンゲージメントとの相関は見られなかった。これは、担当システムという言葉が狭い範囲の仕事に対しての自己効力感を向上させても、システム全体に対してシステム思考を用いるエンゲージメントには繋がらない可能性を示している。そうであるならば、今後システム思考をより育てていくには、今回向上したシステム思考に対するエンゲージメントを活かし、担当システムとして捉える対象範囲の幅を広げていくことこそが肝要であると言える。これは、当初より目指していた姿である。

5.5.5 内省的思考傾向に関する考察

一般的な対話型鑑賞 VTS には、内省的思考傾向を高める効果があると言われている。本評価では、工学系大学院生を対象に VTS を含む芸術及び人文科目により内省的思考傾向と能力が高められるかを実験した研究(R. Campbell et al. 2020)で用いられた幾つかの尺度から、The Self-Reflection and Insight Scale(Grant, Franklin, and Langford 2002)と、Critical Thinking Disposition Scale(Sosu 2013)を用いた。

先行研究では、**The Self-Reflection and Insight Scale** の因子のうち **Insight** 因子に有意差が認められ、**Critical Thinking Disposition Scale** の **Reflective Scepticism** 因子で、有意差は認められないものの平均値が大きく変化したとしている。先行研究では、主にこの結果をもとに、提案手法が内省的思考傾向を高めることができる可能性を示唆しているとしている。今回の評価では、**The Self-Reflection and Insight Scale** の3つの因子で有意差は認められず、**Critical Thinking Disposition Scale** の2つの因子のうち **Critical Openness** 因子に有意差が認められた。先行研究では統計手法としては、対応のある t 検定を用いているため、比較のため本評価結果に対しても t 検定を適用した。その結果、**Insight** 因子に有意差 ($p=0.047<0.05$) が認められた。また、**Reflective Scepticism** 因子の平均値の変化は、先行研究が設問あたり 0.18 に対し、本評価では 0.21 であった。

以上より、本評価では、先行研究以上の内省的思考傾向への影響が確認できたと言える。本提案システムによりエンジニアの内省的思考傾向を高めることができる可能性が示唆されたと考える。

5.5.6 システム思考の分野横断的な業務への適用に関する考察

本評価で用いた、フーコーの3つの内省形態（記憶：起きたことの振り返り、熟慮：影響の理由の振り返り、方法：経験からどのように自分を変化させたいか）（Foucault 2005）は、学習の定着と活用に繋げるための手法であるが、自由記述のアンケートの回答として、どの程度具体的に根拠をもって記述できるかを評価することで、今後の業務への適用の促進程度を評価できると考えた。

評価の結果、多くの被験者の回答から、ワークショップの中で起きた視点の変化と、その変化をワークショップのどの要素が影響しているのかの具体的な記述が確認できた。絵画の目的を捉えること、図に表現すること、繰り返し行うということなどが変化の要因として多く記述されていた。図に表現することの効果の記述が想定外に多く、エンジニアは、図面は多く書いていても、考えるために図を用いることが出来ていない可能性を示している。

今後の業務への活かし方に関しての具体的な記述は、ほとんどの被験者(86%)の回答で確認できた。設計業務以外の課題解決などへの活用シーンを記述する人が予想外に多く、本提案のシステムの概念を広げる効果の一端を示している。専門分野を越えた思考・行動に繋がる可能性まで見出されるものに限定すると 57%となったが半数を越えており十分高い値であると考えられる。

以上より、本提案システムによりシステム思考の分野横断的な設計業務へ適用のイメージと実践への促しが与えられたと考える。

第6章 結言

6.1 結論

本研究では、専門化が進む組織におけるシステムズエンジニアの育成に向けたエンジニア支援強化の要請に応えるために、①エンジニアのシステム思考へのエンゲージメントを高めるための具体的な方法と、②専門分野を越えてシステム思考を用いることを促すための方法を提案した。

本研究のポイントは、美術教育分野という他分野の手法 **Visual Thinking Strategies (VTS)** を応用した手法 **VTS for Systems Thinking** が、果たしてエンジニアのシステム思考育成に効果を出せるかどうかであった。提案手法では、**VTS** が本質的に有しているシステム思考の要素を、絵画はシステムであると明確に定義することで表面に引き出し、さらに、絵画をシステムとして分析し改善するという方法で、**VTS** をシステム思考の訓練手段の1つとすることに成功した。さらに、システム図というエンジニアにも馴染みやすい工学的なツールを介して、絵画を対象にして得たシステム思考経験をエンジニアの設計業務へ適用させることにも成功した。

実証実験において、提案手法を利用したエンジニアは、絵画システムを対象にシステム思考を繰り返し訓練することによって、システム思考への自己効力感を高めた。自己効力感の向上は、エンジニアの「一貫性のある全体的なシステムソリューションを求める傾向および参加」つまり、システム思考を用いてシステム全体に関わる業務への参加意欲を示すエンゲージメントの向上を促した。また、提案手法における対話や図的外化による内省訓練は、業務の振り返りに繋がる内省的思考傾向を若干ではあるが高めた。さらに、エンジニアからは、分野横断的な業務へシステム思考を適用するための具体的な行動提案が得られた。

なお、実証実験に参加したエンジニアは、機械系、電気系など、異なる専門分野で設計業務を担当する経験年数1年から16年のエンジニアで、これらの属性と提案手法の効果の相関は見られなかった。

提案手法は、専門分野で設計業務を行うエンジニアに対し、絵画をシステムとして捉えさせることで、システムに対する認識に変化を与え、対象をシステムとして捉えることへの自信を持たせ、システム思考を用いてシステム全体に関わる業務へ参加したいと思う感情を促す手法であると言える。

6.2 研究の限界

本研究で行った実証実験の被験者は、専門分野やエンジニア経験年数に関しては、ばらつきを持たせているが、希望者を中心に構成されているため、新しい手法に対する受容性が高いメンバーが集まっている可能性は否定出来ない。より正確な評価のためには、実運用のなかで、評価データを蓄積していく必要がある。

ワークショップの実施回数に関しては、評価期間を1ヶ月程度に抑えるために最小限の回数としたが、評価結果からもさらに回数を重ねることでより効果が見込める可能性がある。長期的な実施による効果を確認のためには、インターバル期間も調整しながら、長期的かつ繰り返しの実施を行い、効果を確認する必要がある。また、長期的な評価を行う際には、本研究ではスコープ外としたシステム思考力向上の評価も実施する必要がある。

本研究の評価では、提案手法の効果の有無の確認を目的としたため、他の手法との比較評価は行っていない。従来型の手法との置き換えを狙った手法ではないが、必要に応じて比較評価をすることが望ましい。

一方、実証実験という性格上、ワークショップ中にワーク結果に対して筆者からのフィードバックなどは一切行っていない。実際の実施にあっては当然フィードバックを行い、それにより、より効果を高めることができる。

6.3 今後の展望

今後の展望としては、①システムズエンジニア育成の支援方法の実践による展開と、②対話型鑑賞 VTS の手法研究としての展開の2つの側面で検討している。

①システムズエンジニア育成の支援方法の実践による展開：企業内での試行実施などの実践を通して、繰り返し実施の効果やシステム思考力向上の効果測定を行っていく。

また、現在の手法はファシリテータのスキルに依存するため、実施人数が5~6名までに限定される。新人研修など集団研修を想定し、多人数での実施形態として、プロトタイプングで可能性が見えたファシリテーションをツールによりガイドする方法の検討を進める。

②対話型鑑賞 VTS の手法研究：VTS は他の分野の人材育成ツールとしても用いられている。本研究に対して意見を頂いた医療従事者向け VTS の実務者に対して、本研究結果をフィードバックし、異なる分野の人材育成における VTS の受け入れられ方、効果、工夫などの意見交換を行い、双方の手法、研究の発展に繋げる。

また、対象年齢に関して、例えば高校生に対して実施することも十分に可能であると考えられる。幅広くシステム思考の育成方法としての研究も検討したい。

謝辞

本論文の執筆にあたり、多くの方々にご支援いただきました。

はじめに、指導教員としてご指導いただいた慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科の五百木誠准教授に、心から感謝申し上げます。研究相談は、ついに最後までオンラインでの実施となりました。PC上の録画を眺めるに、非常に多くの時間を拙い研究への相談に充てていただいたことが分かります。本当にありがとうございました。

副査の谷口尚子教授は、なぜアートなのかという本質的な問いを何度となく問うていただきました。十分に応えられているかは分かりませんが、論文の中では言い尽くしたつもりでおります。統計手法に関しても明確な指導をいただきました。ありがとうございました。

谷口智彦教授には、マルト研にて多くの学びに繋がる言葉をいただきました。修論審査会では、質問と合わせて、ユニークであるとの感想を頂きました。ありがとうございました。

田子學特別招聘教授には、提案手法への共感と具体的なアドバイスを頂きました。厳しい研究活動のなかで励みとなりました。ありがとうございました。

白坂成功教授には、M-Lab という場を提供いただきました。M-Lab のメンバーとは、発表練習などで互いに学びあうことが出来ました。また、夏の M-Lab で実施した予備実験で私の研究はスタートしました。機会をいただき感謝しています。ありがとうございました。

提案構築にあたり、ご意見やご指導をいただいた研究者や実務家の皆様に感謝を申し上げます。皆様のおかげで提案手法にたどり着くことができました。ありがとうございました。

予備調査、実証実験にご協力いただいたエンジニアの皆様、多忙のなか時間を割いていただきありがとうございました。本研究結果が少しでも皆様のお役に立てればと思います。

五百木研究室修了生の皆様には、多忙のなか研究相談や、論文チェック、発表練習にお時間を割いていただき、有益なアドバイスをいただきました。修士 1 年の皆様にも多大なサポートをいただきました。ありがとうございました。

同期のみんなにも感謝します。大学院の 2 年間はコロナ禍と共に始まり、最後まで平常に戻ることはありませんでした。お互いの不遇を慰めあいながら過した 2 年間は、これからの始まる新しい生活の序章として記憶しておこうと思います。ありがとう。

最後に、多くの時間を学業に費やす私を、さしたる文句も言わずに見守ってくれた妻、娘には感謝しかありません。ありがとう。

参考文献

- Arnold, Ross D., and Jon P. Wade. 2015. "A Definition of Systems Thinking: A Systems Approach." *Procedia Computer Science* 44 (January): 669–78.
- . 2017. "A Complete Set of Systems Thinking Skills." *Insight* 20 (3): 9–17.
- Bandura, Albert. 1994. "Self-Efficacy." [happyheartfamilies.citymax.com](http://happyheartfamilies.citymax.com/f/Self_Efficacy.pdf). 1994. http://happyheartfamilies.citymax.com/f/Self_Efficacy.pdf.
- Bandura, Albert, and Others. 2006. "Guide for Constructing Self-Efficacy Scales." *Self-Efficacy Beliefs of Adolescents* 5 (1): 307–37.
- Bishop, Carlee A., and Thomas McDermott. 2012. "Case Studies in Systems Engineering--Central to the Success of Applied Systems Engineering Education Programs." *IMCIC-2012, Orlando, FL, USA*. http://www.iiis.org/CDs2012/CD2012IMC/IREPS_2012/PapersPdf/IR670PC.pdf.
- Cabrera, Derek, Laura Cabrera, and Erin Powers. 2015. "A Unifying Theory of Systems Thinking with Psychosocial Applications." *Systems Research and Behavioral Science* 32 (5): 534–45.
- Camelia, Fanny, and Timothy L. J. Ferris. 2016. "Systems Thinking in Systems Engineering." *INCOSE International Symposium* 26 (1): 1657–74.
- . 2017. "Undergraduate Students' Engagement with Systems Thinking: Results of a Survey Study." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 47 (12): 3165–76.
- . 2018. "Validation Studies of a Questionnaire Developed to Measure Students' Engagement with Systems Thinking." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 48 (4): 574–85.
- Camelia, Fanny, Timothy L. J. Ferris, and Monica B. Behrend. 2020. "The Effectiveness of a Systems Engineering Course in Developing Systems Thinking." *IEEE Transactions on Education* 63 (1): 10–16.
- Campbell, R. C., N. T. T. Nguyen, and J. H. Kim. 2021. "Visual Thinking Strategies (VTS) for Promoting Reflection in Engineering Education: Graduate Student Perceptions." *2021 ASEE Virtual*. <https://peer.asee.org/visual-thinking-strategies-vts-for-promoting-reflection-in-engineering-education-graduate-student-perceptions>.
- Campbell, R. C., R. Taraban, and J. H. Kim. 2017. "Exploring the Effects of a Visual Thinking Strategies Workshop on the Reflective Thinking of Undergraduate

- Engineering Students.” *2017 ASEE Annual*. <https://peer.asee.org/exploring-the-effects-of-a-visual-thinking-strategies-workshop-on-the-reflective-thinking-of-undergraduate-engineering-students>.
- Campbell, R., D. Reible, R. Taraban, and J. H. Kim. 2020. “Fostering Reflective Habits and Skills in Graduate Engineering Education via the Arts and Humanities.” *Proceedings of the 2020*. <https://par.nsf.gov/servlets/purl/10204994>.
- Cortes Acosta, Valeria. 2013. “An Arts-Based Approach to Facilitating Systems Thinking in Student Leadership Programs.” dspace.library.uvic.ca.
<http://dspace.library.uvic.ca/handle/1828/4534>.
- Danielson, Robert, Elizabeth Grace, Molly Kelton, Alison White, Anamaria Martinez, Jeb Owen, and Patricia Butterfield. 2020. “Promoting Systems Thinking through Arts-Based Science Activities,” June. <https://doi.org/10.22318/icles2020.917>.
- Davidz, Heidi L., and Deborah J. Nightingale. 2008. “Enabling Systems Thinking to Accelerate the Development of Senior Systems Engineers.” *Systems Engineering and Electronics* 11 (1): 1–14.
- Foucault, M. 2005. “La Hermeneutica Del Sujeto/The Hermeneutics of the Subject: Cursos Del College De France, 1981-1982/Lectures at the College De France, 1981-1982.”
https://books.google.ca/books?hl=en&lr=&id=LchtmFBo7JkC&oi=fnd&pg=PA5&ots=_fIKRPv8U7&sig=8AOHHuQ3TTOI4QP8gs8iorQ98pA.
- Frank, M. 2010. “Assessing the Interest for Systems Engineering Positions and Other Engineering Positions’ Required Capacity for Engineering Systems Thinking (CEST).” *Systems Engineering and Electronics*.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sys.20140>.
- Grant, Anthony M., John Franklin, and Peter Langford. 2002. “THE SELF-REFLECTION AND INSIGHT SCALE: A NEW MEASURE OF PRIVATE SELF-CONSCIOUSNESS.” *Social Behavior and Personality: An International Journal* 30 (8): 821–35.
- Hailey, Dabney, Alexa Miller, and Philip Yenawine. 2015. “Understanding Visual Literacy: The Visual Thinking Strategies Approach.” In *Essentials of Teaching and Integrating Visual and Media Literacy: Visualizing Learning*, edited by Danilo M. Baylen and Adriana D’Alba, 49–73. Cham: Springer International Publishing.
- Hung, Woei. 2008. “Enhancing Systems-Thinking Skills with Modelling.” *British Journal of Educational Technology: Journal of the Council for Educational Technology* 39

(6): 1099–1120.

- IPA 独立行政法人情報処理推進機構. 2017. “開発者のためのシステムズエンジニアリング導入の薦め.”
- . 2019. “2018 年度組込みソフトウェア産業の動向把握等に関する調査事業 「組込み/IIoT に関する動向調査」 調査報告書.”
- Jansma, P. A. “trisha,” and Mary Ellen Derro. 2007. “If You Want Good Systems Engineers, Sometimes You Have To Grow Your Own!” In *2007 IEEE Aerospace Conference*, 1–15. ieeexplore.ieee.org.
- Kasser, Joseph, Moti Frank, Yang Yang Zhao, and Others. 2010. “Assessing the Competencies of Systems Engineers.” In *Proceedings of the 7th Bi-Annual European SE Conference (EUSEC), Stockholm, Sweden, May 23*, 26:2010. therightrequirement.com.
- Kolb, David A. 1984. *Experiential Learning: Experience As The Source Of Learning And Development*. Vol. 1. Prentice-Hall.
- Kordova, S. 2020. “Developing Systems Thinking in a Project-Based Learning Environment.” *Education*. https://www.researchgate.net/profile/Sigal-Koral-Kordova/publication/342234210_Developing_systems_thinking_in_a_Project-Based_Learning_environment/links/5f3b18d8a6fdcccc43d0ea19/Developing-systems-thinking-in-a-Project-Based-Learning-environment.pdf.
- McDermott, Tom, and Alejandro Salado. 2017. “Improving the Systems Thinking Skills of the Systems Architect via Aesthetic Interpretation of Art.” *INCOSE International Symposium 27* (1): 1340–54.
- . 2019. “A Perspective on Systems Thinking, Architecting, and Art.” *Systems Research and Behavioral Science* 36 (5): 648–55.
- Mo, John P. T., and Y. M. Tang. 2017. “Project-Based Learning of Systems Engineering V Model with the Support of 3D Printing.” *Australasian Journal of Engineering Education* 22 (1): 3–13.
- Moeller, Mary, Kay Cutler, Dave Fiedler, and Lisa Weier. 2013. “Visual Thinking Strategies = Creative and Critical Thinking.” *Phi Delta Kappan* 95 (3): 56–60.
- Molderez, Ingrid, and Kim Ceulemans. 2018. “The Power of Art to Foster Systems Thinking, One of the Key Competencies of Education for Sustainable Development.” *Journal of Cleaner Production* 186 (June): 758–70.
- Moon, Jennifer A. 2004. *A Handbook of Reflective and Experiential Learning: Theory and Practice*. London, England: Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203416150>.

- Richmond, Barry. 1994. "System Dynamics/Systems Thinking: Let's Just Get on with It." *System Dynamics Review* 10 (2–3): 135–57.
- Sauser, Brian, and John Boardman. 2015. "Systemigram Modeling for Contextualizing Complexity in System of Systems." In *Modeling and Simulation Support for System of Systems Engineering Applications*, 273–302. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Senge, Peter M., and Others. 1990. "The Art and Practice of the Learning Organization." New York: Doubleday. <http://www.seeing-everything-in-a-new-way.com/uploads/2/8/5/1/28516163/peter-senge-the-fifth-discipline.pdf>.
- Sosu, Edward M. 2013. "The Development and Psychometric Validation of a Critical Thinking Disposition Scale." *Thinking Skills and Creativity* 9 (August): 107–19.
- Squires, A. F., D. A. Bodner, M. Okutsu, and D. Ingold. 2011. "Investigating an Innovative Approach for Developing Systems Engineering Curriculum: The Systems Engineering Experience Accelerator." *2011 ASEE Annual*. <https://peer.asee.org/investigating-an-innovative-approach-for-developing-systems-engineering-curriculum-the-systems-engineering-experience-accelerator>.
- Watts, Jerry G., and Brian W. Mar. 1997. "Important Skills and Knowledge to Include in Corporate Systems Engineering Training Programs." *INCOSE International Symposium* 7 (1): 776–83.
- Yenawine, Philip. 2013. *Visual Thinking Strategies: Using Art to Deepen Learning Across School Disciplines*. Harvard Education Press.
- 中原淳. 2012. 経営学習論: 人材育成を科学する. Tōkyō Daigaku Shuppankai.
- 内閣府. 2021. "第6期科学技術・イノベーション基本計画."
- 小塩真司, and 阿部晋吾. 2012. "日本語版 Ten Item Personality Inventory (TIPI-J) 作成の試み." *パーソナリティ研究* 21 (1): 40–52.
- 山本修一郎, and Others. 2014. "7人の侍フレームワークとシステムigramの関係について." *SIG-KSN* 15. https://jsai.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=repository_action_common_download&item_id=11211&item_no=1&attribute_id=1&file_no=1.
- 日本経済新聞社. 2020. "縦割り組織打破は対話から," December 16, 2020.
- 松本隆明, ed. 2017. "IoT時代におけるシステムズエンジニアリングの重要性." IPA 独立行政法人情報処理推進機構.
- 梅本貴豊, and 伊藤崇達. 2016. "自己効力感, 内発的価値, 感情的エンゲージメントの関連-交差遅延パネルモデルによる検証." *日本教育工学会論文誌* 40 (2): 75–84.

湊宣明. 2016. 実践システム・シンキング 論理思考を超える問題解決のスキル. 講談社.

石川哲朗, 戸嶋真弓, 岡本里夏, 茂木健一郎, 神門典子, and Others. 2014. “情報発見におけるポジティブおよびネガティブな感情の分類と認知メカニズムの考察.” 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (*HCI*) 2014 (5): 1-6.