1. はじめに

ここ数年、日本の教育現場や企業においてデザイン思考を活用する取り組みが広がっており、その適用先は、工学的な製品デザインだけでなく、WEB サービスやまちづくりなど多岐にわたっている。本稿では、「ものづくり」に関わるテーマを広く探求する精密工学の分野との関連性が高く、工学教育の流れをくむ、スタンフォード大学におけるデザイン思考の教育および研究を中心に解説を行う。

2. Professor John E. Arnold と Creative Design

スタンフォード大学のデザイン思考およびそれを世界に発信する d. school (正式名: Hasso Plattner Institute of Design) を語る上で、その創設に大きな影響を与えた John E. Arnold の功績は欠かすことができない。d. school の入り口には d. school と Arnold が設立に関わった機械工学科のデザイングループとのつながりを示すロゴが表示されている(図1)。また、建物の一番奥の壁には、下記のメッセージと共に Arnold の写真が飾られている。

A Stanford Professor from 1957-1963, John was the founder of the Design Division (now the Design Group) and created the undergraduate and graduate Product Design programs. We are indebted to John's multidisciplinary approach to design and his work on human creativity. We would not be here without his work.

Arnold は MIT の Creativity Engineering Laboratory の設立者およびディレクターであり、ブレインストーミングや自身が学部時代に心理学を学んだ経験などに基づいて、公式を用いて問題解決を行う典型的な理系的な思考の学生に

衝撃を与えるような教育手法を考案実施していた¹⁾。その代表的な例は、Case Study on Arcturus IV と呼ばれる宇宙人向けの商品開発の講義で、1952 年の『Popular Science 誌』10 月号に、携帯用孵卵器やメタニアン²⁾の体格にあった椅子など Arcturus IV 星に住むメタニアンと呼ばれる宇宙人に学生がデザインした製品の例が紹介されている²⁾³⁾。

「シリコンバレーの父」と呼ばれる、スタンフォード大学工学部長であった Frederick Terman は、“突出した才能の尖塔づくり”の考え方⁴⁾の下、半導体やマイクロウェーブ電子工学および航空工学に力を入れ、その分野のトップの研究者を戦略的に集め大学を活性化しようとした⁴⁾。一方、Terman は工学教育のカリキュラムにおいてデザインの重要性も認識しており、1957 年に MIT から Arnold をデザイン教育の責任者として迎えた⁵⁾。そして、これまでの工学教育と異なる新しいプログラムは、Design Program と呼ばれ、Arnold は人間を中心に捉えた創造工学を科学や工学を学ぶ工学部の学生に教え始めた。また、Design Program では工学部と美術学部との連携から始まり、その後コンピュータ・サイエンス、経営学部、教育学部、メディカルスクールなど各学部との連携に広がっていき、スタンフォード大学の強みの一つである学際的な教育・研究のスタイルが確立していった⁶⁾。1963 年、Arnold はサバティカルイヤー中にこの世を去ってしまうが、Robert McKim⁷⁾や James Adams⁸⁾などによって機械工学科を中心とした“Creative Design”の教育は引き継がれていった。

3. デザイン思考

「デザイン思考とは」という問いには、さまざまな解答があり限られた紙数で説明することは簡単ではない。そこで本稿では、前章で述べた Creative design の考えの下、スタンフォード大学やシリコンバレーで工学とデザインを学んだり実践したりする人々から生まれたイノベーション創出のための効果的な方法論として説明を行う。

デザイン思考は、一般的には図2に示すように、人間を中心に捉えて技術的要因とビジネス的要因を総合的に捉えて問題発見、問題解決を行っていく方法である。そのプロセスの効果的な実現を目指し、まず専門性のバイアスを取り除くためにデザイン、社会科学、ビジネス、工学など

図1 M.E. Design Group と d. school

図2 デザイン思考の基本的な考え方（利用者を最優先に考えデザインをおこなう（Inclusive design））

の複数の専門分野による学際的なチームを構築する。次に、創造的な思考によりこれまでの考え方の延長線上にない複数の解決案をみつけるための発散的思考と、具体的な解決方法を決定する収束的な思考を使いわけながら最終的には、ユーザの潜在的なニーズの発見・解決を行っていく

① Empathize, ② Define, ③ Ideate, ④ Prototype, ⑤ Testの五つのステップは、デザイン思考の基本的なプロセスとしてよく知られている⁹⁾。Larry J. Leiferらは、曖昧さを楽しむ（Dancing with ambiguity）という表現で、デザイン思考を活用して課題の曖昧性の中でイノベーションを模索するための効果的な方法について述べている¹⁰⁾。Leiferの研究グループは、より効果的にデザイン思考を活用するためにさまざまな学術研究を行っている¹¹⁾。d. schoolの創設者であるDavid Kelleyは、Arnoldによる創造性（Creativity）とデザイン（Design）、McKimのニーズ発見（Need finding）と人間中心（Human-centeredness）、そしてd. schoolの学際チーム（multidisciplinary teams）へという、スタンフォード大学のデザイン思考教育の進化について述べている¹²⁾。同じく、d. schoolの設立者の一人であるGeorge Kembelは、スタンフォード大学のd. schoolを最も素晴らしいデザインスクールにするためのマニフェストにおいて、学際チームによるデザイン思考の活用や学生、ファカルティー、産業界とのコラボレーションの精神を育成することの重要性について述べている。

4. CDR（Center for Design Research）¹¹⁾

CDRは、アップルコンピュータや東芝などの支援により、1984年にLeiferによって設立されたスタンフォード大学のデザインに関する研究機関である。現在、CDRでは、デザインに関する理論研究だけでなく、ロボット、リハビリ技術、工学設計教育、STEM教育、ビジネスイノベーションなどさまざまな研究テーマに取り組んでいる。CDRのデザイン研究は、デザインチームのパフォーマンス、メンバーどうしのコミュニケーション、知識の習得・再利用などについて、研究・論文発表を行っている。CDRの教員や研究者が運営に関わっているME310や、その他のスタンフォード大学のPBLスタイルの講義を

図3 CDRの研究とME310との関係

“デザインのシミュレーション環境”と捉えて研究の実践・検証をするのがCDRの主な研究手法であり、多くのPhDを輩出している（図3）。ME310の講義は、これまでの研究知見に基づき、分野融合やグローバルなメンバーで講義が実施されており、このときのチームメンバー間の意見の対立も重要な研究テーマになっている。

5. 工学教育におけるデザイン思考

近年、科学技術、グローバル化、社会変化などにより、エンジニアは科学的原理の範囲を超えて、さまざまな社会的・技術的役割をこなすことがより複雑で予想できないような問題に対応するため求められている。国家や企業が有能なエンジニアを適切に準備しないことは、製品やシステムの開発に明らかにマイナスの影響であると考えられる¹³⁾。その原因の一つは、エンジニアが目の前にある本当の問題について考えるよりも特定の解決策に固執していることである¹⁴⁾⁻¹⁶⁾。より良い社会を構築するために必要なもの¹⁷⁾と既存の工学教育との隔たりをエンジニアが埋めるために、工学教育のカリキュラムを見直すことは急務である。

この課題の解決案の一つとして、人間中心のデザイン教育は工学教育の分野で積極的に活用されており、学部や大学院教育ではデザイン思考の考え方を取り入れたコースが増えている。スタンフォード大学では、この20年間で、デザイン思考を取り入れたキャップストーンプロジェクトや製品開発のカリキュラムを再設計する工学系の学部が増えてきた。具体的には機械工学科（ME310）、バイオエンジニアリング学科（BIOE374）、土木工学科（CEE224）がよく知られているが、そのほかにも学内の多くの講義でデザイン思考が活用されている。さらに、マイクロロボット研究の第一人者であるMark CutkoskyのBiomimetics and Dexterous Manipulation LabやCDRのInteraction Design Labのように、デザインを通じた研究という考え方を採用している研究グループもある。

一方で、デザイン思考の活用が広がっているにもかかわらず、多くの問題と新しい課題も指摘されている。Lee Vinselは、デザイン思考に関する間違った理解による、イノベーション・トレーニングサービスの課題について注

意を喚起している¹⁸⁾。大きな課題の一つは、工学の教育者はデザイン思考を魔法のような即効薬として扱うべきではないという点である。例えば、シリコンバレーのような一つの文化的な背景において協調される、遊び心、テンポの速い動作、独特の身体的な表現は、デザイン思考が何であるかを定義するものではない。例えば3日間のデザイン思考ワークショップのようなスムーズな学習体験は楽しいかもしれないが、必ずしも効果的ではないかもしれない。Kees Dorst の言葉を借りれば、クールなデザインのトリックやテクニックの適用は、開放的で刺激的であっても、実際に必要な結果が得られることはあまりないといえる¹⁹⁾。反対に、デザインは複雑で分かりにくい内容であり²⁰⁾、デザインのカリキュラムの構築は、スタンフォードの d. school や ME310 などの成功事例の講義を参考にして、別の大学での活用を考える場合には、講義内容のコピー & ペーストだけでは十分でない。

工学教育におけるデザイン思考で最も重要な点は、工学教育の教員に教育的な思い込みを変えることが求められていることである。具体的には、これまでの演繹的思考、分析的思考、科学的思考を教えることだけでなく、仮説からの推論思考、創造的思考、複雑さと曖昧さに対処する能力を育てることである^{21)~25)}。この能力は、今後の技術者が現実世界の問題を効果的に、協調的に、創造的に扱うために欠かすことができない能力である。そのため、最終的には工学教育の教員は、教育の現場を取り巻く“文化的な”文脈において、教育に関する思い込みをどのように変えるかという問題に答える必要がある。現在、世界中で、賢人はまだ舞台に立っており、規範的教育が今でも教育と学習の主な方法である。

Leifer はかつて、「より良い教育方法は教えないこと」だと述べていた。筆者らは、伝統的な教育方法が、デザイン思考の学習方法に対する障壁になっていると考えている。デザイン思考は、教員が世界の不確実性や不安定性を学生に見せること²⁶⁾を求めることで、学生は知識の境界を広げ、新しい考え方や振る舞いをする機会に出会うことができる。ここで重要な点は、学生が自分の認知バイアスや工学的思考の限界を認識し、文化的／感情的／認知的な障害を克服し、目の前にある状況についての理解を再構築するように指導するために、コーチやティーチングフェローからの十分な支援体制をつくることである。何人かの設計研究者が議論しているように、“リフレーミング”はデザイン思考の核心である^{27)~29)}。なぜエンジニアリングの実践が人間中心でなければならないのか、なぜ失敗が成功を生み出すのか、なぜ優れたチームワークがパフォーマンスの中核であるのか、そしてそれに関連したデザイン思考の能力をどのように開発するのか、という考えを習得するには、教育者と学生の双方の思考の転換が必要である。

6. 文化的背景によるデザイン思考の相違

筆者らが研究を行っている、特にアジアにおける現在の

図4 Creativityに関する西洋文化（左側）と東洋文化（右側）と比較（文献33)37)42)~45)に基づき Xiao Ge 作成）

工学教育に焦点を合わせて考えると、文化的背景（cultural context）は、デザイン思考教育の構築の中核であるといえる。筆者の一人は、中国において技術者や研究者を教育するために、デザイン思考のプロセスをどのように適応させるかについて実践し、研究してきた。³⁰⁾異なる文化背景の中でデザイン思考を教える上で重要なことは、マクロ社会からミクロ心理に至るあらゆるレベルにおいての、文化的背景の深い共感的理解である。例えば、中国の研究者チームの性質を見越して、デザイン思考を厳密なツールセットを用いた体系的プロセスとしてフレーム化した。また、内気な中国の参加者向けの教育的なツールも作成した。異なる文化への適応は、現地の言語への翻訳だけでなく、現地の文化的価値観の評価や、現地の文化的背景に合った目標、目的、具体的なステップの再構築にも関係する。Ge は最近の継続中の研究で、文化によって創造性の概念が際立って異なることを発見した。西洋の創造性は伝統を破り³¹⁾、群衆に逆らう³²⁾ことによる“前進”として表現され、また、実行されるため、欧米人は創造的な仕事に構造的・社会的自由を求める傾向がある³³⁾。それとは対照的に、東洋の創造性は、伝統を築き、群衆とつながることによって、“原点復帰”によって活性化され³¹⁾。東洋人は、より高い単純さと同一性の状態に到達することによって、創造的な精神^{34)~39)}を育成する（図4）。この創造性の異文化間のフレームワークに照らし合わせると、ある種のアメリカの教育モデルは、独立精神を大きく反映している⁴⁰⁾⁴¹⁾。一方で、日本など他の国でアメリカの教育モデルを用いた場合には、文化的な違いからエンジニアが既存の枠組みを超えて創造性を学習し評価することを妨げる可能性がある。われわれは、どうすれば日本の工学系学生の創造性を十全に発揮させることができるのかという視点で研究⁴⁶⁾を行っている。

7. ま と め

本稿は、見崎が2015年度に客員准教授として滞在したスタンフォード大学 Center for Design Research での議論および研究に基づき、Ge の協力の下工学教育および精密

工学の分野でデザイン思考はどう活用できるかという視点で執筆した。平成から令和の時代にかわり、イノベーションの創出がわが国の最も重要な課題になっており、われわれの研究が少しでもその役に立てればと考えている

参 考 文 献

- 1) B.M. Katz : Make It New : The History of Silicon Valley Design, The MIT Press, (2015) 119.
- 2) H.E. Howe : 'Space Men' Make College Men Think, Popular Science, Bonnier Corporation, **161**, 4 (1952) 124-127.
- 3) J.E. Arnold : The Arcturus IV Case Study. Edited with an introduction by John E. Arnold, Jr. Stanford University, Engineering Case Program (1948-1972), Case Files, Stanford Digital Repository, (2016).
- 4) 川嶋瑤子 : 飛躍する大学スタンフォード, (1985).
- 5) C.S. Gillmor : Fred Terman at Stanford : Building a discipline, a university, and Silicon Valley. Stanford University Press, (2004).
- 6) W.J. Clancey : Creative engineering : Promoting innovation by thinking differently, by John E. Arnold. Edited with an introduction and biographical essay by William J. Clancey, (2016).
- 7) R.H. McKim : Experiences in visual thinking, (1972).
- 8) J.L. Adams : Good Products Bad Products : Essential Elements to Achieving Superior Quality, McGraw-Hill, (2012).
- 9) Hasso Plattner Institute of Design at Stanford : An Introduction to Design Thinking PROCESS GUIDE.
- 10) L.J. Leifer and M. Steinert : Dancing with ambiguity : Causality behavior, design thinking, and triple-loop-learning, Information Knowledge Systems Management **10**, 1-4 (2011) 151-173.
- 11) W. Ju, L. Aquino Shluzas and L. Leifer : People with a Paradigm : The Center for Design Research's Contributions to Practice. In : Chakrabarti A., Lindemann U. (eds) Impact of Design Research on Industrial Practice. Springer, Cham, (2016).
- 12) M. Camacho : David Kelley : From design to design thinking at Stanford and IDEO., Journal of Design, Economics, and Innovation **2**, 1, (2016).
- 13) L.L. Bucciarelli and S. Kuhn : ENGINEERING EDUCATION AND ENGINEERING PRACTICE : IMPROVING THE FIT. Between Craft and Science : Technical Work in the United States, **210**, (2018).
- 14) F. Baird, C.J. Moore and A.P. Jagodzinski : An ethnographic study of engineering design teams at Rolls-Royce Aerospace, Design Studies, **21**, 4 (2000) 333-355.
- 15) R.J. Youmans : The effects of physical prototyping and group work on the reduction of design fixation, Design Studies, **32**, 2 (2011) 115-138.
- 16) L. Leifer and C. Meinel : Looking Further : Design Thinking Beyond Solution-Fixation in Design Thinking Research, Springer, (2019) 1-12.
- 17) L.L. Bucciarelli : An ethnographic perspective on engineering design, Design studies, **9**, 3 (1988) 159-168.
- 18) L. Design : Thinking Is a Boondoggle. Retrieved April 22, 2019, from <https://www.chronicle.com/article/Design-Thinking-Is-a/243472>, (2018).
- 19) K. Dorst : Frame Innovation : Create New Thinking by Design, MIT Press, (2015).
- 20) C.L. Dym et al. : Engineering design thinking, teaching, and learning, Journal of engineering education **94**, 1 (2005) 103-120.
- 21) N. Cross : The nature and nurture of design ability, Design studies, **11**, 3 (1990) 127-140.
- 22) N.F. Roozenburg : On the pattern of reasoning in innovative design, Design Studies, **14**, 1 (1993) 4-18.
- 23) A.D. de Figueiredo : Toward an epistemology of engineering, in 2008 Workshop on Philosophy and Engineering, The Royal Academy of Engineering, London, (2008).
- 24) K. Dorst : The core of 'design thinking' and its application, Design studies, **32**, 6 (2011) 521-532.
- 25) L.J. Leifer and M. Steinert : Dancing with ambiguity : Causality behavior, design thinking, and triple-loop-learning, Information Knowledge Systems Management, **10**, 1-4 (2011) 151-173.
- 26) D.A. Schön : The reflective practitioner : How professionals think in action. Basic Books, (1983).
- 27) K. Dorst : The core of 'design thinking' and its application, Design studies, **32**, 6 (2011) 521-532.
- 28) S. Beckman and M. Barry : Framing and re-framing : Core skills for a problem-filled world, Rotman Magazine, (2015) 67-71.
- 29) X. Ge and L. Leifer : Design Thinking at the Core : Learn New Ways of Thinking and Doing by Reframing, in ASME 2017 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, (2017) V007T06A025-V007T06A025.
- 30) X. Ge and B. Maisch : Industrial Design Thinking at Siemens Corporate Technology, China. In Design Thinking for Innovation (pp. 165-181), Springer International Publishing, (2016).
- 31) T.I. Lubart : Creativity Across Cultures. Handbook of creativity, (1999) 339.
- 32) R.J. Sternberg and T.I. Lubart : Defying the crowd : Cultivating creativity in a culture of conformity, Free Press, (1995).
- 33) A.F. Osborn : Your creative power : how to use your imagination, Dell Publishing, New York, (1961).
- 34) Y.Y. Kuo : Taoistic psychology of creativity. The Journal of Creative Behavior, **30**, 3 (1996) 197-212.
- 35) C. Chung-Yuan : Creativity and Taoism : A Study of Chinese Philosophy, Art, and Poetry. (1963).
- 36) S.B. Paletz, K. Peng and S. Li : In the world or in the head : External and internal implicit theories of creativity. Creativity Research Journal, **23**, 2 (2011) 83-98.
- 37) I. Nonaka and H. Takeuchi : The knowledge-creating company : How Japanese companies create the dynamics of innovation, Oxford University Press, (1995).
- 38) L. Sundararajan and M.K. Raina : Revolutionary creativity, East and West : A critique from indigenous psychology. Journal of Theoretical and Philosophical Psychology, **35**, 1 (2015) 3.
- 39) H. Yukawa : Creativity and Intuition a Physicist Looks at East and West. Translated by John Bester. Kodansha International [Distributed in the U.S. By Harper & Row, New York], (1973).
- 40) H.R. Markus and S. Kitayama : Cultures and selves : A cycle of mutual constitution. Perspectives on psychological science, **5**, 4 (2010) 420-430.
- 41) A.P. Fiske S. Kitayama, H.R. Markus and R.E. Nisbett : The cultural matrix of social psychology, (1998).
- 42) R.R. McCrae : Creativity, divergent thinking, and openness to experience. Journal of personality and social psychology, **52**, 6 (1987) 1258.
- 43) R.E. Nisbett K. Peng I. Choi, and A. Norenzayan : Culture and systems of thought : holistic versus analytic cognition. Psychological review, **108**, 2 (2001) 291.
- 44) K. Peng, J. Spencer-Rodgers and Z. Nian : Naïve dialecticism and the Tao of Chinese thought. In Indigenous and cultural psychology (pp. 247-262), Springer, Boston, (2006).
- 45) M. Csikszentmihalyi : 16 implications of a systems perspective for the study of creativity. Handbook of creativity, (1999) 313.
- 46) D. Misaki, A. Sekiguchi and X. Ge : Embedding Design Thinking into Traditional Japanese Engineering Design Education, Extended Abstract 05 2019, Clive L. Dym Mudd Design Workshop XI, (2019)