

## D&S 年次技術活動報告書(2021 年度)

技術委員会 2022 年 9 月 20 日

委員(敬称略):野間口大(委員長)、野中朋美(幹事)、泉井一浩、加藤健郎、  
古賀毅、坂本博夫、下村芳樹、柳澤秀吉、山崎美稀

### 1. 序文

設計工学・システム部門においては、第 69 期(1991 年度)の部門発足時に 2 つの技術委員会を組織している。その後、72 期には総数 15 の技術委員会を内包するに至ったが、第 80 期(2002 年度)の改組に伴い、その活動は一旦役割を終えたものとされ、その後、88 期まで技術委員会の活動は中断されていた。一方、日本機械学会本部は、社会的存在意義を高め、その学際および個別分野的活動の更なる活性化を図るために、各部門に対し部門活動実績報告書の提出を求めるに至った。この動向を受け、設計工学・システム部門では、第 86 期(2008 年度)総務委員会における協議を実施し、「部門活動で取り上げる技術分野の適正化を図るとともに、新規発展分野の開拓を促進するための課題を中長期的な視点から部門長および運営委員会に対して答申する」ことを年次技術報告書の作成を通して実行することを目的として、新たに技術委員会の設置を提案した。その後、この新技術委員会の設置も懸かる提案は、第 87 期(2009 年度)第 1 回運営委員会にて承認されている。

2021 年度(第 99 期)は、2020 年度(第 98 期)に引き続き、新型コロナウイルス感染症の世界的な流行の影響が生じた年となった。対面での交流が大幅に制限された状況によりコミュニケーションが質と量ともに不足し、人びとの孤独感や不安感が増長された。一方で、オンラインによる活動はオンライン会議やビデオ通話、リモートワークなど急速に浸透し、デジタル技術も活用に拍車がかかる一年となった。学会活動においても、特に講習会などでは移動に伴う時間・経費が不要のため参加者の利便性が高いことが指摘されており、コロナ禍が終息してもオンライン形式の活用は続くと推測される。その影響は、設計分野に関しては少なくとも数年単位で見ていく必要がある。一方で、学会の重要なミッションである「人的ネットワークの構築」という面ではまだまだ発展の余地があることも実感された。D&S 部門でもこうした社会的な潮流・課題に対応した研究を推進することが望まれる。

2020 年度の技術委員会においては、「新型コロナウイルス感染症の流行による影響、特にオンライン化による影響を調査するとともに、デジタル化を含めた D&S 部門への将来ニーズについて調査・議論」を継続して行うことが答申されている。2021 年度の技術委員会ではこの方針を引き継ぎ、D&S 部門に関連する分野の中長期的な方向性・見通し、ならびに、D&S 部門のあるべき姿について議論した。その議論を踏まえ本技術活動報告書では、D&S 部門における部門活動実績を概観するとともに、主要技術分野の活動動向を概観する。

## 2. 部門の活動実績

### 2.1. 講演会

#### 1) 2021年設計工学・システム部門講演会 (<https://www.jsme.or.jp/dsd/dsdconf21/>)

2021年9月15～17日にかけて、第31回設計工学・システム部門講演会が開催された。当初、会場は日立協創の森の予定であったが、新型コロナウイルス感染症の影響によりオンライン開催となった。開催実績は以下のとおりである。昨年度に引き続きオンライン開催となり、講演件数は17.3%増となったが、参加者数は1.0%減にとどまった。

- 発表件数: 115件(前年比17.3%増)
- 参加者数: 189名(前年比1.0%減)
- 参加者の内訳: 会員149名、非会員23名、招待17名
- 参加者の内訳: 大学等教育機関150名、公的研究機関4名、企業35名
- オーガナイズドセッション別発表件数: 表1のとおり

表 1 2021 年度部門講演会におけるオーガナイズドセッションの構成

大分類	オーガナイズドセッション名称		大分類別 講演発表件数
設計学・設計方法論・設計知識・設計プロセス	製品設計開発のためのモデリング・方法論・マネジメント	10	23
	創発デザインの理論と実践	4	
	設計と AI・知識マネジメント	7	
	設計理論・方法論、多空間デザインモデル	2	
設計教育	設計教育	4	4
デジタルエンジニアリング	デジタルエンジニアリング	13	13
グローバルデザイン	グローバルデザイン	7	7
イノベティブデザイン	イノベティブデザイン	2	2
情報・知能・システムデザイン	情報・知能・システムデザイン	6	6
最適設計・設計における解析	設計と最適化	29	35
	多目的設計最適化・設計探査と実問題への適用	6	
ヒューマンインタフェース・感性設計	ヒューマンインタフェース・ユーザビリティ	4	13
	感性と設計	6	
	楽しむ工学	3	
サステナビリティ・サービス工学	ライフサイクル設計とサービス工学	6	6
コンテスト	D&S コンテスト*4)	4	4
その他	一般セッション	2	2
合計			115

講演件数の内訳は以下のとおりである。例年同様、一般講演の多くは大学等教育機関に所属する著者によるものであり、企業等による講演は比較的少数であった。

- 講演件数: 特別講演 3 件: 一般講演 115 件(前年比 17.3%増)
- 一般講演の内訳(筆頭発表者でカウント): 大学等教育機関 99 件、公的研究機関 2 件、企業 14 件

また、本部門講演会では、講演と D&S コンテストに加えて、以下のワークショップも開催された。

- インタラクティブ ワークショップ『身体知 - 機械工学の新天地開拓』

福田 収一(慶應義塾大学)

- ワークショップ『不確実性の時代における人に寄り添った設計・製品開発・人材育成』

司会: 綿貫啓一(埼玉大学)

講師: 不確実性の時代における工学

福田 収一(慶應義塾大学)

不確実性の時代の教育・研究

渡辺 富夫(岡山県立大学)

不確実性の時代における人に寄り添った製品開発・人材育成

綿貫 啓一(埼玉大学)

人に寄り添った設計 DX

小野寺 誠(日立製作所)

人に寄り添った製品開発

渡邊 陽一郎(朝日ラバー)

総合討論

## 2) 1DCAE・MBD シンポジウム 2021 (<https://www.jsme.or.jp/event/21-92/>)

2021年12月8～10日にかけて、1DCAE・MBD シンポジウム 2021 がオンライン形式で開催された。本シンポジウムは、一般講演、Keynote 講演、学生セッションで構成された。開催実績は以下のとおりである。

- 発表件数: 26 件
- 参加者数: 238 名
- 参加者の内訳: 会員 108 名、非会員 58 名、招待 72 名
- 参加者の内訳: 大学等教育機関 39 名、公的研究機関 5 名、企業 194 名
- 講演件数: Keynote 講演 5 件: 一般講演 26 件
- 一般講演の内訳(筆頭発表者でカウント): 大学等教育機関 10 件、公的研究機関 1 件、企業 15 件

## 3) 日本機械学会 2021 年度年次大会 (<https://confit.atlas.jp/guide/event/jsme2021/top>)

2021年9月5～8日にかけて、日本機械学会 2021 年度年次大会がオンライン形式で開催された。設計工学・システム部門による企画セッションと特別行事企画の実績をそれぞれ表 2、表 3 に示す。企画セッションでの講演発表件数 28 件(他部門との合同企画)、特別行事企画 2 件(うち、基調講演 1 件、ワークショップ 1 件)を開催した。

なお、2020 年は企画セッションでの講演発表件数 15 件(うち、単独 3 件、合同 12 件)、特別行事企画 6 件(うち、基調講演 1 件、先端技術フォーラム 2 件、ワークショップ 2 件)であり、本部門として活発な活動を継続できているといえる。

表 2 2021 年度年次大会における設計工学・システム部門企画セッションと講演発表件数

	セッション名	関係部門	講演発表件数	同比率 (%)
合同企画 セッション	デジタル技術とモノづくり	設計工学・システム部門、生産加工・工作機械部門、生産システム部門	4	14.3%
	解析・設計の高度化・最適化	設計工学・システム部門、計算力学部門	20	71.4%
	価値の共創と共存に IDCAE・MBD が果たす役割	設計工学・システム部門、機械力学・計測制御部門、機械材料・材料加工部門、流体工学部門、熱工学部門、計算力学部門	4	14.3%
		合計	28	

表 3 2021 年度年次大会における設計工学・システム部門の特別行事企画

分類	演題／企画名	企画件数
基調講演	オンライン時代の VR と設計工学	1
ワークショップ	マーケットづくりの日本へ	1

## 2.2. 論文誌

### 1) 日本機械学会論文集

日本機械学会論文集、Mechanical Engineering Journal、Mechanical Engineering Reviews、Mechanical Engineering Letters の 4 誌では、設計工学・システム部門、機素潤滑設計部門、生産加工・工作機械部門、生産システム部門、情報・知能・精密機械部門とともに DSM カテゴリを形成して編修業務を行っている。また、特集号「設計工学とシステム工学の新展開 2021」を日本機械学会論文集 2021 年 11 月号(第 87 巻第 903 号)に企画・刊行した。この特集号は、2020 年 9 月にオンラインで開催された第 30 回設計工学・システム部門講演会で発表された 97 件の研究論文から選抜され、査読を経て 6 編の論文が掲載された。2021 年にオンライン開催された第 31 回部門講演会についても同様の特集号刊行を企画している。

## 2) Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing

上記 5 部門が合同で発行する英文ジャーナル JAMDSM (Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing) において英文論文を査読、編修し、公開している。2021 年は、Vol. 15、No. 1 から No. 6 まで(論文数:77 編)を発行した。本英文ジャーナルは、関連部門が主催した国際会議において推薦された論文による特集号など、機に応じて各部門の企画による特集号を追加して刊行している。No.2 では Special issue on Design, Concurrent Engineering and Sustainable Manufacturing for Connected Industry の特集号を発行している。

### 2.3. 研究会

当部門では、以下に示す 7 つの研究会および分科会を継続して設置し、設計工学の体系化、拡大深化を試みると共に、その啓発、普及活動に努めている。なお、A-TS12-05、A-TS12-12、A-TS12-13 では独自にホームページを公開することによって、それぞれの研究活動や関連情報の公表に努めている。多くの研究会で、新型コロナウイルス感染症によって活動に影響が出たことが伺える。

- ✓ 設計研究会 (A-TS12-05、開催回数 3 回)
  - <https://www.jsme.or.jp/dsd/A-TS12-05/>
- ✓ デザイン科学研究会 (A-TS12-12)
  - <https://www.jsme.or.jp/dsd/A-TS12-12/index.html>
- ✓ タイムアクシスデザイン研究会 (A-TS12-13、開催回数 2 回)
  - <http://www.susdesign.t.u-tokyo.ac.jp/timeaxis/>
- ✓ 様々な角度からデザインを考える (A-TS-12-14)
- ✓ 設計工学フロンティア研究会 (A-TS12-17、開催回数 6 回)
- ✓ プロットプラン最適化に関する調査研究分科会 (P-SCD412)
- ✓ 成長適応型設計製造法の研究開発 (P-SCC II -8、開催回数 5 回)

### 2.4. 講習会

本年度は、当部門主催の講習会を 13 件実施した。新型コロナウイルス感染症の影響により、すべてオンライン開催であった。それぞれの講演会のタイトルと参加者数は表 4 に示す通りである。なお、2020 年度は 11 回の講習会があり、2021 年度の方が開催回数はむしろ増加した。オンラインの影響により、イベントの企画がしやすくなったという側面もあると考えられる。

表 4 2021 年度に企画、開催した講習会

行事 №	日にち	講習会タイトル	会場 (開催地)	参加 者数	講師 数
No. 21- 24	2021 年 4 月 22 日	1DCAE スクール：1D モデリング 세미나 (2021 年度) 第 1 回：概論、熱流体のモデリング	オンライン 開催	45	3
No. 21- 37	2021 年 5 月 28 日	1DCAE スクール：Modelica セミナ (2021 年度) 第 1 回：はじめての Modelica	オンライン 開催	21	2
No. 21- 56	2021 年 7 月 1 日	1DCAE スクール：デザイン演習「電気で動く車をデザ インする」(全 2 回) 第 1 回：電気自動車をリバース する	オンライン 開催	40	2
No. 21- 25	2021 年 7 月 30 日	1DCAE スクール：1D モデリングセミナー (2021 年度) 第 2 回：ファン、音振動のモデリング	オンライン 開催	45	3
No. 21- 38	2021 年 8 月 27 日	1DCAE スクール：Modelica セミナ (2021 年度) 第 2 回：Modelica 入門	オンライン 開催	25	2
No. 21- 57	2021 年 9 月 2 日	1DCAE スクール：デザイン演習「電気で動く車をデザ インする」(全 2 回) 第 1 回：電気自動車をリバース する	オンライン 開催	33	2
No. 21- 91	2021 年 10 月 12 日	自動車における 3 次元設計の現状と課題	オンライン 開催	19	5
No. 21- 26	2021 年 10 月 29 日	1DCAE スクール：1D モデリングセミナー (2021 年度) 第 2 回：ファン、音振動のモデリング	オンライン 開催	33	3
No. 21- 97	2021 年 11 月 10 日	「設計力 UP! CAE 活用術」～デジタル技術駆使の開 発設計、現状紹介～	オンライン 開催	28	4
No. 21- 39	2021 年 11 月 26 日	1DCAE スクール：Modelica セミナ (2021 年度) 第 3 回：Modelica 応用	オンライン 開催	18	3
No. 21-	2021 年 12 月 7 日	VE/VR を用いた設計・開発・ものづくりの新しい検討 手法の紹介	オンライン 開催	30	4

93					
No. 21- 40	2022 年 1 月 21 日	1DCAE スクール : Modelica セミナ (2021 年度) 第 4 回 : Modelica 活用	オンライン 開催	17	2
No. 21- 27	2022 年 1 月 28 日	1DCAE スクール : 1D モデリングセミナ (2021 年度) 第 4 回 : モータ、製品システムのモデリング	オンライン 開催	31	3

## 2.5. その他

部門独自の広報活動については、部門ホームページ (<http://www.jsme.or.jp/dsd/>) とニューズレターの発行 (年 3 回) を中心に進めている。また、シンポジウム等のイベント案内については、部門の Facebook や機械学会のインフォメーションメールを通して随時配信している。

2021 年度の贈賞は、部門賞 (功績賞) 1 件、部門賞 (業績賞) 1 件、部門表彰 (フロンティア業績表彰) 1 件、部門表彰 (奨励業績表彰) 1 件、部門表彰 (部門貢献表彰) 1 件、優秀講演表彰 2 件 (第 30 回部門講演会での講演が対象) となっている。

## 3. 主要技術分野の活動動向

### 3.1. 最適設計

材料力学等の主要な 4 力学分野等における「縦軸」の個々の技術の成果を結びつけ、システムとして融合する「横串」の仕組みを具体的に提供する最適設計の分野は、世界的にもすでに極めて大きなコミュニティを形成しつつあるが、2021 年度の世界の研究動向をみても、研究分野の裾野が広がり、かつ深化しているといえる。

2021 年度で最も大きな最適設計に関する会議は、6 月にオンラインで実施された第 14 回構造及び複合領域最適化世界会議 (14th World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization, WCSMO-14) である。この会議は 2 年に一度開催され、世界の最適設計に関する研究者が数多く集結するが、今回も基調講演も含め 472 件の発表が集まる大きな国際会議となった。

部門講演会でも最適設計に関連した OS として「設計と最適化」「多目的設計最適化・設計探査と実問題への適用」として合計 35 件の発表が行われている。

発表内容は、トポロジー最適化・形状最適化の構造最適化への取り組みが全発表のうちの多くを占めている状況は、この 10 年ほど続いている傾向が継続している状況であるといえる。ただし、その応用範囲は、これまでよりもさらに大きく広がりを見せ、構造、熱、流体、電磁波等の多様な物理現象を対象とするだけでなく、よりシステム的に複雑な問題、すなわち、大規模な並列計算を伴う熱流体など複数物理問題や、マイクロ・マクロの両スケールの構造を同時に最適化するマルチスケール設計問題などの問題などに広がっている。また、構造最適化は従来の製造法では成形が困難なほど自由な形状を許容することから、付加製造技術の活用法の議論も活発であり、また従来

の製造法を対象としても、その際の製造条件の考慮は重要な課題として認識されており、引き続き多数の発表を集めていた。構造最適化以外にも、数多くの設計要件を同時に考慮するなど、先進的な実設計問題の意思決定に対応可能な最適設計法を展開するための技術に関する報告が目立った。

さらに、新しく特記すべき話題として、データサイエンスや人工知能、ディープラーニングの手法を最適設計問題へ積極的に活用するための方法についても急速に注目が集まっており、急速に伸びている分野であると言える。その活用法として、従来の数理的な手法やメタヒューリスティクスよりも大幅に探索の性能を向上させるための最適化問題の代理モデルの構築や収束性の向上の議論などが中心となっているが、その他にも、物理場の高速代理法や、最適化問題の低次元化の処理などの活用方法など、多くの斬新なアイデアが議論されており、これからさらに大きな発展が期待される話題である。

以上のように、従来から熱心に議論されてきたトピックについての深掘りされた研究報告だけでなく、新規の話題が数多く見られ、新しい参加者も増加傾向にある。今後も最適設計の分野はさらに裾野が広がっていくと予想される。

〔京都大学 泉井一浩〕

### 3.2. サステナビリティに向けた企業の取り組み

サステナビリティに向けた企業の取り組みは欧米企業が先行していたが、ここ数年、我が国の企業も積極的に取り組み始めてきた。この要因として、対岸の火事としての EU の積極的な法規制に向けた動き、これとも関連するが ESG 金融（環境、社会性、ガバナンスの点で模範生でなければ、投資、融資、保険サービスなどの金融サービスを受けられない）のグローバルな活性化が大きな要因となっている。コロナ・パンデミックやウクライナ危機も短期的な変化としての部品や資源、エネルギー確保の必要性を高め、省エネルギー、サーキュラー・エコノミーを後押ししている。

以上のような傾向を「サステナビリティ経営」と呼ぶことも多いが、それは、従来の環境対策と 3 つの点で異なっている。1 つ目は、従来の CSR (Corporate Social Responsibility) のように製造業の本業とは別に植林や環境保護活動を行うのではなく、中心にサステナビリティを組み込んで企業経営を行うことが求められている。例えば、ESG 金融に関連して、企業は様々な情報開示を求められているが、投資家は、積極的にサステナビリティをビジネスにつなげて行くというビジョンがあるか、企業が変革に対応する体制になっているか、長期にわたって生き残っていけるか、を読み取る[1]。2 つ目は、ゴミを減らそう、できるだけリサイクルするという漸進主義では許されず、Absolute Sustainability (絶対量ではかる持続可能性)が求められていることである。いわば結果が求められていることであり、端的な例は、2050 年に CO2 排出量をゼロにする目標設定である。3 つ目は、1 つ目に触れたようなビジョンを社員、顧客、その他ステークホルダーと共有し、企業価値を高めることが求

められている。

企業が取り組み始めているトピックはおもに3項目である。第一に、カーボン・ニュートラルの実現、特に、製品使用時の飛躍的なCO<sub>2</sub>排出削減、Scope3と呼ばれる、自社から見てサプライチェーン上流、および、出荷後の使用、廃棄段階でのCO<sub>2</sub>排出削減、および、TCFD(気候関連財務情報開示タスクフォース)[2]に代表されるような、カーボン・ニュートラル実現に向けたガバナンス体制構築と運用などである。第二は、昨年辺りから急速に注目を浴びている、サーキュラー・エコノミーへの対応。これは、従来のリサイクル、3Rの延長線上と捉えられがちであるがそれは一面的な理解であり、本質的には、資源が循環することを前提とした経済社会へ移行し、資源消費とQoL向上のデカップリングを実現することにある。大量生産・大量消費型のビジネスは排除され、サービス化、シェアリングなどの脱大量生産型ビジネスへの移行が求められている。これらの方向に日本企業も動き始めている。第三は、自然資本や生物多様性の問題であり、これは、有害化学物質不使用、拡散防止などが関連する企業活動である。

これらの企業活動を支える当部門の強みとして、設計、サービス工学、デジタル技術の融合が挙げられる。これらの課題は、部門講演会オーガナイズドセッション「ライフサイクル設計とサービス工学」において継続的に議論されてきた。端的な例が、カーボン・ニュートラルとサーキュラー・エコノミーを実現するための柱の1つとして位置づけられるEUの「エコデザイン規則案」(2022年3月公表)[3]である。ここでは、長寿命化設計、補修性設計、アップグレード設計などのいわゆる製品レベルのエコデザインが求められていると同時に、製品ライフサイクル全体を通じた循環の実施とサービス提供、および、トレーサビリティの確保、解体方法、カーボン・フットプリントなどの情報をデジタル製品パスポートとして一貫して管理、公表することが求められている。これはまさに上記3つの視点の融合が求められている事例である。

#### 【参考文献】

- [1] 持続可能な調達の推進×ESG情報の開示と信頼性, グリーン購入ネットワークニュース, No. 126, pp. 1-6, 2022.
- [2] 塩村賢史: “TCFDとSDGsからみた日本企業の現状と課題,” 資本市場, No. 435, pp. 4-11, 2021.
- [3] European Commission: “The proposal for a Regulation on Ecodesign for Sustainable Products,” <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0140&from=EN>, 2022.

[東京大学 梅田靖]

### 3.3. 設計教育

#### 3.3.1. COVID-19による遠隔化が設計教育に対して与えた影響

設計教育は、2020 年度に続き 2021 年度も、COVID-19 により大きな影響を受けた。対面によるコミュニケーションが出来なくなり、世界中の多くの学校でキャンパス閉鎖といった状況が発生した(1)。チームで行う設計において、顧客ニーズに深く切り込み、独創的なコンセプトを考え、効率的にこの世に表す行為は、メンバ間での深い議論が必要であるため、遠隔で成し得るものなのか？という問いが投げかけられている。この問いに対して、マレーシア工科大学と共同で PBL 型設計教育を実践(2)する者としてだけでなく、同様の国際 PBL 設計教育を行う方々から、遠隔化が設計や教育に与えた影響について情報収集し実践した結果を、以下に整理したい。

### 3.3.2. 座学や演習型の設計教育における遠隔化のメリット・デメリット

遠隔化が与えた設計教育に対する影響は、座学、演習、PBL など、その形態に大きく依存する。ここでは、COVID-19 以前の設計教育と比較し、メリット・デメリットを整理する。

座学に対する影響は、どちらかというと軽微な部類に入る。むしろメリットも大きい。教材がオンデマンド化され、いつでもどこでも世界において一流の教育を選択的に受講できるようになった。実際、座学教育がコンテンツ化され、それ自体が切磋琢磨されることで、洗練されていく事例が見られた。ただし試験においては、公平性や不正防止が担保できず、遠隔化は難しいままである。

演習に対する影響は、デメリットが大きかった。例えば設計製図など技能が重要な教育は、明らかに遠隔化によって質が落ちた。原因として、検図修正を例に挙げると、対面指導ではすぐに済む内容が、遠隔では電子化→アップロード→連絡→修正指示を記載した電子データ作成→アップロード→音声映像で指導、という本質的ではない無駄な作業のために多くの時間が必要となることが挙げられる。筆者が担当する製図演習で計測したところ、同じ検図修正の作業に対して、遠隔は対面に比べ少なくとも3倍以上の時間を要した。今後は時間だけでなく、即座に直接的なフィードバックが得られる対面と、時間空間的に離れ伝達情報量も少ない遠隔との、質的観点での比較検証が待たれる。

### 3.3.3. PBL 設計教育における遠隔化のメリット・デメリット

PBL(Project Based Learning)型の設計の実践を伴う教育に対しては、大きな影響があった。顧客のニーズ発掘やコンセプト着想のプロセスでは、現場で現物・現象を確認することで気づきが得られることが多いが、それが全く出来なくなった。実際に困っている人や物に直面せずに、新しい発想やアイデアを得ることが如何に難しいことなのか、深く認識させられた。一方で、AI やデータ駆動に代表される遠隔でも着想可能なアイデアは、広く先行して取り組みが進んだ。チームワークに対しては、特に遠隔では言語文化専門が異なるメンバーとの深い議論が難しくなった。たとえば英語しか共通言語が無いチーム内でのメンバーシップの醸成は、遠隔コミュニケーションのみでは対面に遠く及ばなかった。原因は、異なる意見をぶつけあい交換し、進化させるプロセスは、お互いの性格の深い理解や信頼に立脚しており、それらは対面でなければ醸成が難しいためである。一方で、遠隔化で他国の人と英語で会話する気軽さや容易さは、格段に向上した。効率面では、対面のように現地に赴く移動時間は不要になり、遠隔ソフトウェアを起動するだけで話せるという時間

短縮のメリットがあった。一度も対面で会ったことのないチームメンバと遠隔で高頻度に接触するという、以前には見られなかったチームの結束の形態が観察された。この新形態において醸成されたチームメンバの関係が、設計においてどのように寄与するのかは、今後の理解が待たれる。

#### 3.3.4. アフターコロナ時代における設計教育の展望

展望として、いちど利便性を認識してしまえば元に戻ることは難しいため、アフターコロナ時代においても残る可能性が高い遠隔化も考えられる。遠隔でも可能な設計教育は遠隔のまま残り、遠隔ではどうしても不可能な設計教育が主に対面に戻っていくことが予想される。特に移動コストが大きいグローバル設計に対しては、遠隔が前提で、一部のみ対面に戻るという方向になると筆者は考える。仕様書に従いプログラムを作成したりといった並列分散化できる設計プロセスは、高度に遠隔化され、一方で現場に飛び込んでニーズを発掘したりといった現物・現象確認を必要とする設計プロセスは、対面に戻ると考えられる。今後、設計プロセスが遠隔化できる要件、遠隔化できないタスクの要件を議論し整理することが必要となると展望する。

#### 【参考文献】

- (1) Loganathan T, Chan ZX, Hassan F, Kunpeuk W, Suphanchaimat R, Yi H, et al. (2021) Education for non-citizen children in Malaysia during the COVID-19 pandemic: A qualitative study. PLoS ONE 16(12): e0259546.
- (2) 岡手 貴政, 古賀 毅, 上西 研, アジア創造設計プロジェクトにおける自動追尾型荷物キャリアのプロトタイプング, 日本機械学会 第 22 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, 2507, 2013 年 10 月 23-25 日, 読谷村, 沖縄.

〔山口大学 古賀毅〕

#### 3.4. 人を中心とした設計

我が国の科学技術政策が掲げる Society5.0 は、誰もが快適で活力に満ちた質の高い生活を送ることのできる人間中心の社会を意味する。そのための技術としてのサイバー・フィジカル・システム、AI、ロボティクスなどが注目される。しかし、目指すべき人間中心社会の実現には、人を理解し、快適、活力、生活の質といった人が認識する精神的な価値の設計が求められる。そのための設計技術として感性設計がある。

設計工学・システム部門は、感性設計に 90 年代から取り組んできている。当部門講演会では「感性と設計」の OS を毎年開催し、活発な研究発表と議論が行われている。最近では、2019 年度、および 2020 年度の日本機械学会年次大会において、当部門の企画により先端技術フォーラム「感性認知工学の新潮流とその可能性」を開催し、当部門からの講演と多くの参加者による活発な議論があった。2020 年度の年次大会では、計算力学部門、生産システム部門、および当部門の共同企画で先端技術フォーラム「Society5.0 を支える計算情報科学基盤の深化と進展」を開催した。講演の中で、人・社会の不確かさを含めたモデリング、感

性の数理モデリング、ユーザ体験を考慮した発想創出といった人間中心の計算技術、設計支援に関する技術、研究の活性化が伺えた。このフォーラムの内容を発展させ、オンライン開催された 14th World Congress on Computational Mechanics(WCCM2021)にて Society 5.0 に関するシンポジウムが開催された。15th WCCM2022 では、これをさらに発展させ、Real World Modeling and Simulation for the realization of Human-centered Society 5.0 と題したシンポジウムが開催された。日本の Society 5.0 と欧州の Industry 5.0 における共通性として人間中心の重要性が指摘され、人間中心社会の実現に向けた設計、製造のためのモデリング技術に関する活発な議論がなされた。このように、設計工学、計算力学の分野においても、ヒトをモデル化しヒトを含むシステムのシミュレーションに向けた技術開発に期待が高まっている。

人間中心社会の実現に欠かせない要件として安全・安心がある。安全は古くから工学で扱われ、安全工学として研究、応用されてきた。機械設計においても、安全率や信頼性などの考え方が定着している。また、いわゆるヒューマンエラーと呼ばれる人的なエラーに起因する安全性の問題は 20 世紀後半から検討され、フルプルーフやフェースセーフといった設計のガイドラインとして広く応用されている。しかし、安全と併記されることの多い安心については、心の問題であるため定量的に扱うことが難しく、これまで工学研究や設計の対象となる機会は多くなかった。しかし、真に人間中心の社会を実現するためには、安全の担保だけでなく安心をもたらす人工物の設計が必要である。たとえば、自動運転や AI などの新しい技術に対する社会受容性においては、安全が担保された上での安心の実現が必須となる。さらに、2014 年の ISO/IEC ガイド 51 によって「許容不可能なリスクがないこと」と定義されると、どこまでリスクを下げたら安全といえるかは、決定に関与した関係者の価値観に基づき決められ、主観から離れられない。こういった問題意識から、日本学術会議の第 24 期では、総合工学委員会・機械工学委員会合同 工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会に、「工学システムに対する安心感等検討小委員会」を新しく立ち上げ議論されている[1]。ここでは、安心=安全×信頼というモデルが仮定され、工学システムの社会安全目標の体系化に向けた検討がなされている。日本学術会議が主催する、毎年開催の安全工学シンポジウムにて、安心感に関するセッションが企画され、上記委員会の議論が発表されている。(筆者は第 25 期から当委員会の委員(幹事)を務めている。)

感性設計と関連の深い分野である感性工学は、日本発祥の学問であり、世界的に見て我が国に一日の長がある。他学会ではあるが、筆者が理事を務める日本感性工学会では、欧州およびアジアの感性工学関連学協会と連携して 2007 年より国際会議 International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research(KEER)を隔年で開催している。2020 年度は、日本がホストとなって KEER2020 をオンラインで開催した。2022 年度はスペイン・バルセロナで開催予定である。感性工学は学際領域であり、多様な分野からの研究発表がある。最近の技術動向として、機械学習をはじめとした AI 技術を活用して感性をモデル化し応用する研究が増えている。また、中国からの参加者が増加し、中国大陸における感性工学研究の高まりと勢いが伺える。

このような AI 技術を用いたデータドリブンとは異なるアプローチとして、最近、感性の原理の究明とその演繹にもとづく一般法則化の研究が急速に発展しつつある。データドリブンのアプローチは、データが存在する範囲での内挿は得意であるがデータが存在しない解空間への外挿は原理的に苦手である。設計は、従来に無い解を計画する事であるから、内挿だけでは不十分である。また、データドリブンアプローチでは、データからのパターンとしての法則性を帰納的に抽出することは出来るかもしれないが、その法則性が異なる設計対象に転用できる保証はない。言い換えれば、法則に一般性が保証されない。さらに、AI によるモデル化は、モデルの中身がブラックボックスであり、人によるメカニズムの理解が困難である。

さて、機械工学の基礎である力学は、ニュートンのプリンキピアを原理として編み出された法則群からなる。これらの法則群は原理からの数学的な演繹により導出されるため万人がその機序を理解できる。また、外挿が可能である。このような知識体系の蓄積があるからこそ、力学、ひいては今日における機械工学の学問としての発展があったと言えよう。力学の様に、感性のプリンキピアが書けるか。これが、学問として感性設計が今後発展するか否かを左右する重要課題と考える。その糸口として、計算論的神経科学や計算生物学などの最近の研究は大いに参考になる。筆者らの研究グループでは、神経符号化原理[2]にもとづく知覚の一般モデルや、自由エネルギー原理[3]にもとづく感情のモデルなど、脳や生命の原理から、感性の一般法則の定式化を試みている[4,5]。そして、モデルによる未踏の心理現象の予測とその実験検証により、モデルの法則としての妥当性を立証する研究を進めている。今後、これらの基礎研究を、感性設計やヒューマンインタフェース設計などに広く応用し、真の人間中心社会の実現に貢献する。

#### 【参考文献】

- [1] 日本学術会議 工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会工学システムに対する安心感等検討小委員会報告書「工学システムに対する安心感と社会」, <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/kohyo-24-h200825-abstract.html>
- [2] Wei, X.-X., & Stocker, A. A. (2015). A Bayesian observer model constrained by efficient coding can explain anti-Bayesian percepts. *Nat. Neurosci.*, 18, 1509.
- [3] Friston, K. (2010). The free-energy principle: a unified brain theory? *Nat. Rev. Neurosci.*, 11, 127.
- [4] 柳澤秀吉, 感性のプリンキピアを目指して ～知覚の相対論とその数理, 日本機械学会誌, Vol.122, No.1208, 2019, pp.12-15. <https://www.jsme.or.jp/kaisi/1208-12/>
- [5] Yanagisawa, H. (2021). Free-energy model of emotion potential: Modeling arousal potential as information content induced by complexity and novelty. *Front. Comput. Neurosci.*, 15, 107.

[東京大学 柳澤秀吉]

### 3.5. イノベーションデザイン

サービス工学は、当初、物理的な製品を中心とする社会と経済の閉塞を解消し、価値提供という俯瞰的な視点から設計と生産を再構成することを基点として、サービスを対象にした工学的アプローチの適用を目指してきたが、20余年を経て、その初期目標はほぼ達成されたと考えられる。その一方で、社会においては、製品サービスシステム(Product-service system:PSS)をはじめ、サイバーフィジカルシステムや社会技術システムなど、設計するシステムの対象は、概念的、物理的に拡大し、サービスもそれらの構成要素の一部であることを前提にした設計や生産のあり方を今後再検討する必要がある。そこで本年度は、上記の設計対象を包括し、それらシステムの革新を目指すことの必要性から、タイトルを「イノベーションデザイン」に改め、サービス工学の発展と派生を俯瞰する。

上記のシステムの対象の拡大の背景には、主に(1)国連による SDGs, EU による Circular Economy 等のサステナビリティ課題解決への国際的注目、(2)IoT, ビッグデータ解析, デジタルツイン, 機械学習等のデジタル技術の進展が挙げられる。前者の観点では、ここ数年で発表された PSS 研究の大半が環境関連のキーワードを含んでいる。一方、サービス工学の文脈で取り上げられる社会問題は、環境問題だけではない。貧困や難民, ホームレス, ヘルスケアといった社会問題に着目する Transformative Service Reseach では、そうした社会問題が生じる背景を現行のサービスシステムに求め、それを変革するイノベーションのあり方が探究されている。また、前述した社会問題にコミットする姿勢や、後述するデジタル技術の革新によって、考慮すべきシステムの大規模化・複雑化が進んでいる。そのようなシステムは、境界を明確に定義することができず、要素還元主義に基づく古典的な開発方法では限界があることが認識され始めている。特に PSS 研究においては、PSS とより包括的な技術システムや社会システムとの関係性の精緻化が試みられている。具体的には、System of systems, Socio-technical system, Large technical system など、元来他分野で扱われていたシステム概念と PSS の関係を検討する研究が取り組まれている。

後者の観点では、デジタル技術を統合した新たなビジネスモデルである Smart PSS, Cyber-physical systems の設計、デジタル技術を活用したデータ駆動のサービス設計に関する注目が急速に高まっている。前者においては、Smart PSS という新たな概念の精緻化やその構成要素に関する議論など、研究分野における共通理解の確立に向けた動きが見られる。後者においては、顧客の利用データ解析の高度化による潜在的な顧客価値の抽出や、使用時のセンサデータを扱い環境変化に適応する動的な設計変更手法の開発、従業員の位置情報や動作解析に基づくサービスの改善や技能継承などが見られる。また、設計対象システムの拡大と関連して、デジタル技術を活用して、都市の経済・社会・環境面の持続可能性を実現し、公共サービスの利便性や生活環境の居住性を向上するスマートシティのデザイン方法についても議論され始めている。

本分野の最新動向は、2021年度の本部門講演会では、「ライフサイクル設計とサービス工学」のOSにて発表が行われている。国際会議では、2021年度に開催された ICED (International Conference on Engineering Design)では、PSS や社会技術システムのデザイン方法や、Circular Economy とデジタル技術の関連性についての議論がなされた。また、2022年5月に開催された Design conference 2022では、「Circular economy: Design for longevity」, 「Data-driven methods for

early design phase」, 「Sustainability transtion」など, 上記 2 つの潮流に関連するセッションが立ち上がり, 社会変革に寄与するイノベーションデザインの議論が今後一層深まっていくことが期待される.

[産業技術総合研究所 三竹祐矢, 横浜市立大学 根本裕太郎, 産業技術総合研究所 赤坂文弥]