

D&S 年次技術活動報告書（2022年度）（案）

技術委員会 2023年3月31日

委員： 北山哲士（委員長）、竹澤晃弘（幹事）、加藤健郎、木下裕介、
小木曾望、下村芳樹、山崎慎太郎、山崎美稀、米倉一男

1. はじめに

技術委員会では、当該年度の部門活動状況を概観し、部門内で中心となる研究動向や、部門が中心となって行っている行事（国際会議や研究会、講習会等）の概要等についてまとめることになる。

COVID-19の影響により、完全対面実施が難しく、対面とオンライン併用のハイブリッド開催になったD&S2022（岡山県立大学）では、前年度に比べ、登録者数・発表件数ともに増加した。特に設計工学・設計方法論・設計学の講演件数が増加しており、この分野の研究活動が活発化していると考えられる。また、最適設計に関しては本部門が牽引している一分野であるが、毎年、多くの研究報告がなされており、この傾向は今後も続くと考えられる。

2022年度年次大会では、他部門との企画セッションが多くなるが、多くの研究発表が行われており、これは他分野・他部門との協調が継続的に成されていることを象徴する結果となっている。年次大会は部門講演会と異なり、様々な分野からの研究発表がされ、多様な交流が図れるといった利点がある。今後も研究のみならず人的交流の活性化が期待される。特に本部門の研究会が行っている活動を対外的に宣伝する場にもなりうるため、今度も研究会からの企画を期待したい。

シンポジウム関係では、特定の研究テーマに沿って毎年、もしくは数年に1度開催されるものであり、本年度は1DCAEと最適設計に関するシンポジウムが開催された。両研究分野とも、本部門が積極的に活動しているものであり、また、産業界の関心も高く、継続的な開催が期待される。

講習会については、1DCAEに関する講習会が活発に開催されており、参加者も多い。講習会では、社会人を対象にしたものが多いため、講習会の参加者や内容等を踏まえると、社会ニーズの高い内容が開催されていると考えてよい。今後も、1DCAEに関する講習会は継続的に開催されることが望まれる。

論文誌では、本部門は毎年、特集号を発刊しており、今年度は「設計工学とシステム工学の新展開2022」として、2022年10月号に9件の論文が掲載された。いずれも通常の査読プロセスを経て掲載されているため、質の高い論文が掲載されている。

最後に、本部門講演会で特徴的な研究テーマと考えられるものについて、各分野の研究者に研究動向等をまとめていただいた。

2. 部門活動実績

2. 1 講演会

【2022 年度設計工学・システム部門講演会】

2022年9月20～22日にかけて岡山県立大学で開催された D&S2022 の講演件数を表1に示す。

表1 D&S2022 の講演件数

部門の主たるキーワード (日本機械学会論文集より)	OS	件数
【設計工学・設計方法論・設計学】	製品設計開発のためのモデリング・方法論・マネジメント	32
	設計理論・方法論, 多空間デザインモデル	
	創発デザインの理論と実践	
	デジタルエンジニアリング	
【最適設計】	設計と最適化	37
	多目的設計最適化・設計探査と実問題への適用	
【設計知識】	設計とAI・知識マネジメント	9
【設計組織】	グローバルデザイン	5
【人工物工学の展開】	ライフサイクル設計とサービス工学	10
【ヒューマンインタフェース】	ヒューマンインタフェース・ユーザビリティ	17
	感性と設計	
	楽しむ工学	
【システム工学】	情報・知能・システムデザイン	12
	設計教育・学習	
【部門講演会】	一般セッション	5
	コンテスト	8
	特別講演	3
	パネルディスカッション	1
	ワークショップ	1

COVID-19 の状況から、対面およびオンライン併用のハイブリッド方式で開催され、D&S2021 との比較を以下に示す。基本的には増加傾向にあり、徐々にではあるが、大学等教育機関や企業の活動が戻りつつあると思われる。特に、設計工学・設計方法論・設計学の講演件数が32件とD&S2021と比べて9件増加しており、この分野の研究が活発にされていることが特徴的である。

	D&S2022	D&S2021	増減
講演件数	139	115	増
登録者数	217	189	増
会員 (学生員含む)	191	149	増
非会員	12	23	減
招待	14	17	減

大学等教育機関	168	150	増
公的研究機関	6	4	増
企業	42	35	増
その他	1		

ワークショップでは、「機械工楽ビジネスへ向けて」が企画された。

講師： 福田収一（慶應義塾大学）

また以下のような3件の特別講演が行われた。

講演タイトル	講師
ソフトウェア工学の進展と設計工学の関わり	細野繁（東京工科大学）
パラダイム・アーキテクチャ・テクノロジー	富山哲男（東京国際工科専門職大学）
信頼される社会システムの事業設計展開	小山嘉紀（株式会社両備ヘルシーケア）

【2022 年度年次大会】

表2 年次大会における企画セッションと特別行事企画

セッション名	企画部門	件数
1DCAE・MBDのためのモデリング	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	17
解析・設計の高度化・最適化	計算力学部門 設計工学・システム部門	14
交通・物流機械の自動運転	交通・物流部門 機械力学・計測制御部門 技術と社会部門 設計工学・システム部門 機械材料・材料加工部門 流体工学部門 産業・化学機械と安全部門 熱工学部門 法工学専門会議 ロボティクス・メカトロニクス部門 スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス部門 生産加工・工作機械部門 生産システム部門 情報・知能・精密機器部門	8
特別行事企画（基調講演：アフターコロナにおける設計工学）	設計工学・システム部門	1
特別行事企画（本能を活用した機械工学）	設計工学・システム部門	1
特別行事企画（1DCAEの考え方によるひとつづくり）	設計工学・システム部門	5
特別行事企画（成長適応型設計・製造法の構築に向けて）	設計工学・システム部門 バイオエンジニアリング部門 生産加工・工作機械部門	1

年次大会は2022年9月11～14日にかけて、富山大学（五福キャンパス）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を表2に示す。「1DCAE・MBDのためのモデリング」では17件、「解析・設計の高度化・最適化」では14件の発表が行われており、本部門として継続的に年次大会への貢献ができていると考えられる。特に、1DCAEに関しては、講習会も頻繁に開催されており、参加者も多いことから、社会ニーズを踏まえた分野と言えよう。また、「成長適応型設計製造法の研究開発」研究会では、3部門合同の企画が行われており、他部門との情報共有も積極的に行われていることが伺われる。

【シンポジウム関係】

本部門が関連するシンポジウム関係の実績を表3に示す。

表3 シンポジウム関係の実績

シンポジウム名	部門	一般講演件数	基調講演・Keynote等	参加者数
1DCAE・MBD シンポジウム2022	設計工学・システム部門	28	3	101
最適化シンポジウム2022	設計工学・システム部門 計算力学部門 バイオエンジニアリング部門 機械力学・計測制御部門	87	2	173

「1DCAE・MBD シンポジウム 2022」では、参加者数が101名に上がり、大きな関心を集めていると考えられる。このシンポジウムでは、パネルディスカッション2件と情報共有セッション1件が開催された。

種別	タイトル	モデレータ	パネリスト
パネルディスカッション 1	業種による適材適所の 1DCAE・MBDに関する パネルディスカッション	大富浩一 (Ohtomi Design Lab.)	落岩崇(日本製鋼所) 菅原貴弘(日本製鋼所) 山岸義弘(京セラドキュメントソ リューションズ) 平野豊(Woven Planet Holdings)
パネルディスカッション 2	ボーダーレス1DCAE教 育パネルディスカッショ ン	山崎美稀(日立ハ イテク)	大富浩一(Ohtomi Design Lab.) 鈴木弘之(SOLIZE:元日野自動車) 福江高志(金沢工業大学) 寺本ゆう莉(金沢工業大学大学院) 大西琢也(大阪電気通信大学大学 院)
情報共有セッション	大学における1DCAE・ MBD・ものづくり設計関 連研究	福江高志(金沢工 業大学)	伊藤優(東京大学) 中山穰(横浜国立大学) 浦正広(金沢工業大学) 野間口大(大阪大学) 脇谷伸(広島大学) 長沼要(金沢工業大学)

また、「最適化シンポジウム 2022」は2年に1度の開催予定であったが、COVID-19の影響のため、4年ぶりの対面開催となったが、非常に多くの参加者を集めている。このシンポジウムにおける基調講演は以下の通りである。

講演タイトル	講師
奥行き錯視の仕組みと不可能立体の設計原理	杉原厚吉（明治大学）
折り紙の最適化を考える	川畑文昭（日本折紙学会）

【国際会議】

ACSMO（Asian Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization）は2年に一度、アジアで開催される最適設計の国際会議であり、今年度は島根県・松江市で2022年5月22日～26日で開催された。海外からの渡航規制等も鑑み、ハイブリッド開催であったが、日本からは多くの研究者が対面で参加した。

開催日	会議名	開催形態	参加者数
2022年5月22日～26日	Asian Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization 2022	Kunibiki Messe	281

2. 2 論文誌

本部門では毎年開催される講演会において、座長推薦等を含む講演に対し、論文の投稿を呼び掛けている。今年度は「設計工学とシステム工学の新展開 2022」として、2022年10月号に9件の論文が掲載されており、日本機械学会への学術的貢献は大きいと判断できる。本年度開催された部門講演会についても、「設計工学とシステム工学の新展開 2023」が企画されているので、積極的な投稿を期待したい。

5部門（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）合同で発刊している「Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing」については、2022年はVol. 16, No.1～No.6まで発刊され、64編の論文が掲載された。特に、Vol. 16, No. 5においては、International Conference on Design and Concurrent Engineering 2021 & Manufacturing Systems Conference 2021 (JSME iDECON/MS2021)の特集号が生まれ、17編の論文が掲載されている。

上記の通り、本部門は、日本機械学会論文集や英文ジャーナル Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing に対して大きな貢献をしており、今後も継続的な貢献が求められる。

2. 3 研究会

本部門では、以下の5つの研究会と1つの分科会を設置し、設計工学を中心に、学術活動の深化と啓蒙活動を続けている。特に、「成長適応型設計製造法の研究開発」では、年次大

会で特別行事企画をしたり、HPで研究活動を公表するなど、積極的に「研究活動の見える化」に努めている。

種別	名称	開催回数
A-TS12-05	設計研究会	4
A-TS12-12	デザイン科学研究会	6
A-TS12-13	タイムアクシスデザイン研究会	1
A-TS12-15	様々な角度からデザインを考える研究会	0
A-TS12-17	設計工学フロンティア研究会	6
P-SCC II-8	成長適応型設計製造法の研究開発分科会	4

2. 4 講習会

本年度は、本部門主催の講習会を16回実施している(表4)。COVID-19の影響のため、すべてをオンラインで開催したが、多数の参加者があった。これまでの対面の講習会とは異なり、オンラインにすることで、企業からの参加者の都合がつきやすく、参加者増につながったものと考えられる。

表4 講習会の実績

行事番号	開催日	タイトル	開催形態	参加者数
No.22-23	2022年4月28日(木)	1Dモデリングセミナー第1回:1Dモデリング概論と基礎,方法	オンライン	69
No.22-24	2022年6月17日(金)	1Dモデリングセミナー第2回:ファン・モータ,音振動のモデリング	オンライン	64
No.22-25	2022年7月22日(金)	1Dモデリングセミナー第3回:材料,熱流体のモデリング	オンライン	68
No.22-26	2022年9月22日(木)	1Dモデリングセミナー第4回:バッテリー,機構系のモデリング	オンライン	52
No.22-27	2022年11月17日(木)	1Dモデリングセミナー第5回:性能・コスト・リスク,制御系のモデリング	オンライン	50
No.22-28	2023年1月27日(金)	1Dモデリングセミナー第6回:ひとのモデリング,1Dモデリングの勘所,活用	オンライン	44
No.22-32	2022年5月20日(金)	Modelica セミナ 第1回:はじめてのModelica	オンライン	21
No.22-33	2022年8月19日(金)	Modelica セミナ 第2回:Modelica 入門	オンライン	30
No.22-34	2022年10月21日(金)	Modelica セミナ 第3回:Modelica 応用	オンライン	21
No.22-35	2023年1月20日(金)	Modelica セミナ 第4回:Modelica 活用	オンライン	22
No.22-65	2022年7月7日(木),8日(金)	デザイン演習(2022年度)第1回:『エネルギーと環境』	オンライン	8
No.22-69	2022年8月25日(木),26日(金)	デザイン演習(2022年度)第2回:『熱を活かす』	オンライン	13
No.22-124	2022年12月22日(木),23日(金)	デザイン演習(2022年度)第3回:『音振動を活かす』 ～音振動のエネルギーフローを可視化することにより新たな気付きを～	オンライン	12
No.22-119	2022年10月13日(木)	自動車における3次元設計の現状と課題	オンライン	14
No.22-112	2022年11月25日(金)	「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	27
No.22-122	2022年12月22日(木)	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	24

2. 5 その他(対象とする分野とキーワードの更新)

最適設計は本部門が発足して以来、精力的に情報発信を続けている研究分野である。しかし、部門HPや日本機械学会論文集のキーワードには、陽に示されていなかった。そこで、本年度、本部門が最適設計を中心に扱っていることを周知するため、部門HPにおける「対象とする分野および領域」及び日本機械学会論文集キーワードに記載した。

最適設計	構造最適化, システム最適化, 最適化手法, トポロジー最適化, 形状最適化, 多目的最適化, 応答曲面近似, 逐次近似最適化, ロバスト設計, 信頼性設計, データ駆動設計
------	---

また、論文査読システムにおいて、すでに退職された研究者等の氏名が残るなど、査読候補者リストが更新されていない。論文の質の維持・向上を目指すためにも、査読者リストの更新が必要であるとの認識で一致した。

3. 主要技術分野の状況

3. 1 最適設計

シミュレーション技術の高度化、計算機の低価格化や性能向上、企業での製品開発におけるモデルベース開発の重要化、機械学習・3D プリンティング等の関連研究テーマの発展等を要因として、最適設計は依然として活発な研究分野を成している。

その傾向は2022年に日本でオンライン開催された世界最大級の計算力学に関する国際会議である、WCCM-APCOM YOKOHAMA 2022 (15th World Congress on Computation Mechanics & 8th Asian Pacific Congress on Computation Mechanics)における最適設計関連のテーマ数から窺い知ることができる。同会議では330件以上のミニシンポジウムが企画されたが、発表件数が最多であったのはMS1305: New Trends in Topology Optimizationであった¹⁾。本セッションは設計工学・システム部門でもご活躍の京都大学の西脇眞二先生をはじめとした、ソウル大学のYoon Young Kim先生、サンパウロ大学のEmilio Silva教授等の名だたるトポロジー最適化の研究者によって企画されたセッションである。発表内容は、アプリケーションが最多であり、トポロジー最適化という技術が成熟期に入ったことを示していたが、最適化アルゴリズムに関する基礎研究や並列計算、マルチスケール最適化といった方法論の研究も依然盛んであり、分野の多様性が伺えた。

また、それに先んじて最適設計に関するアジア地域の国際会議である the Asian Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization 2022 (ACSMO 2022)が5月に島根県松江市にてハイブリッド開催され、多くの日本人研究者は対面で参加し久々の対面での議論を楽しんだ²⁾。発表内容としてはトポロジー最適化関連に限れば前述のWCCMと同様の傾向が見られたが、最適設計全体としては、データ駆動形設計や機械学習、サロゲートモデルを活用した研究が全体の発表件数222件の2割強である47件を占め、一大研究分野を形成していた。これらのいわゆる機械学習関連分野が盛んに研究されているのは周知であるが、以前より最適設計では近似モデルが活用されており本来相性の良い分野といえ、このような研究の流行は極めて自然であるといえる。また、アジア圏で最適設計が盛んな国というと20年前は韓国であったが、現在は中国が完全にその地位に取って代わっている。日本の最適設計の発展のためには、単に競争相手と見なすのではなく、強調して学ぶべきところは学べるような良好な関係を築いていくことが賢明であると考えます。

更に、9月に第32回D&S講演会が岡山県立大学にてハイブリッド開催され、この会議にも多くの参加者が対面参加した。前述の二つの国際会議と参加者が重なることもあり、研究動向としては類似のものであったが、若い研究者や学生の発表が多く見られ、今後の発展

が期待できる内容であった。

以上より、本年度の最適設計分野においては、トポロジー最適化が依然として大きな研究分野を構成しつつも、機械学習の活用という新たな分野が台頭し、ある意味変革期にあるとも言える。最適設計分野における日本のプレゼンスを高めるためには、同分野の研究者が多く所属する設計工学・システム部門の果たす役割は大きい。

【参考文献】

1. Proceedings of the 15th World Congress on Computation Mecchanics & 8th Asian Pacific Congress on Computation Mechanics, Yokohama, Japan, Jul. 31–Aug. 5, 2022.
2. Proceedings of the Asian Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization 2022 (ACSMO 2022), Matue, Japan, May 22-26, 2022.

(早稲田大学 竹澤晃弘)

3. 2 デザイン科学

デザイン科学は「デザイン行為における法則性の解明およびデザイン行為に用いられる知識の体系化を目指す学問」とされており、近年の研究内容の傾向としては、デザイン思考に基づくワークショップに関する研究報告が多いことに加えて、AI やシミュレーション技術を応用したジェネラティブデザインの研究報告も増加している。

研究報告の場として、本部門講演会では、設計理論・方法論、多空間デザインモデル、創発デザインの理論と実践、タイムアクシスデザインなどのオーガナイズドセッションが挙げられる。その他の定常的な研究報告の場として、日本デザイン学会春季大会におけるデザイン科学研究部会およびタイムアクシスデザイン研究部会のテーマセッションや、日本設計工学会春季大会におけるデザイン理論・方法論およびタイムアクシスデザインのオーガナイズドセッションなどが挙げられる。これらに加えて、2022 年度においては、UMTIK2022 (The 19th International Conference on Machine Design and Production) においても Special Session が行われている。2023 年度には Design シンポジウムや国際デザイン学会連合 (International Association of Societies of Design Research, IASDR) が開催する IASDR 2023 Conference が計画されていることに加えて、日本機械学会の本分門、日本デザイン学会、日本設計工学会の研究会の共催イベントであるデザイン塾も開催予定である。

このように、デザイン科学に関しては今後も多くのイベントが企画されており、それらの展開に注目していく必要がある。

【参考 2021 年度】

デザイン科学は「デザイン行為における法則性の解明およびデザイン行為に用いられる知識の体系化を目指す学問」とされており、近年の研究内容の傾向としては、d.school によるデザイン思考に基づく実践的な研究報告が多いことに加えて、AI 技術を応用したキーワードや形状生成などのジェネラティブデザインの研究報告も増加している。また、時間軸を

考慮したサービスや最適化などのタイムアクシスデザインの研究報告も増えてきている。

研究報告の場として、本部門講演会では、設計理論・方法論、多空間デザインモデル、創発デザインの理論と実践、タイムアクシスデザインなどのオーガナイズドセッションが挙げられる。その他の定常的な研究報告の場として、日本デザイン学会春季大会におけるデザイン科学研究部会およびタイムアクシスデザイン研究部会のテーマセッションや、日本設計工学会春季大会におけるデザイン理論・方法論、タイムアクシスデザインのオーガナイズドセッションなどが挙げられる。これらに加えて、2020年度においては、ICDES2020 (The 5th International Conference on Design Engineering and Science) や KEER2020(The 2020 International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research)などにおいても報告がなされている。2021年度には Design シンポジウムや国際デザイン学会連合 (International Association of Societies of Design Research, IASDR) が開催する IASDR 2021 Conference が計画されていることに加えて、日本機械学会の本部門、日本デザイン学会、日本設計工学会の研究会の共催イベントであるデザイン塾も (2019-2020年度のコロナ禍による開催自粛期間を経て) 2021年度より開催予定である。

このように、デザイン科学に関しては今後も多くのイベントが企画されており、それらの展開に注目していく必要がある。

【参考 2010 年度】

2010年度におけるデザイン科学に関する主な研究成果報告の場としては、先述の IDETC&CIE, 本部門講演会, Design シンポジウムに加え、本学会の年次大会や日本設計工学会主催の ICDES (International Conference of Design Engineering and Science) などが挙げられる。年次大会においては、本部門の Design 理論・方法論研究会の企画により、横断型基幹科学技術研究団体連合の会長である木村英紀氏を招聘し、ワークショップ「デザインを科学する」が催された。また、ICDES においては、「Design methodology」のセッションにて、デザイン科学の構築に向けた基調講演や多くの報告がなされた。

デザイン科学に関しては、従来の設計工学とデザイン学の両領域間における知の統合というひとつの潮流として様々な動きを見せている。例えば、2013年8月には、国際デザイン学会連合 (International Association of Societies of Design Research, IASDR) が開催する IASDR 2013 Conference (東京にて) にて国際シンポジウム「デザイン知の統合がもたらす新たな社会 – デザイン統合に向けたデザイン科学と、それが可能にする新パラダイム“タイムアクシスデザイン”」が計画されている。このように、デザイン科学に関しては今後も多くのイベントが企画されており、それらの展開に注目していく必要がある。

(慶応義塾大学 加藤健郎)

3. 3 デジタルエンジニアリング

デジタルエンジニアリングは、計算機上の形状処理に関する技術、特に製造応用に向けた技術の発展を目的に活動している。昨今はものづくりのデジタルトランスフォーメーショ

ン (DX) という言葉が浸透し、製造における計算機処理の必要性・有用性が社会全体に広く知られるところとなった。デジタルエンジニアリングで対象としている計算機上の形状処理はまさにその一翼を担うものであり、実現への期待は高まるばかりである。

形状処理技術の製造業への導入が進むにつれ、理論と現場をつなぐ技術の必要性も高まっている。また、既存の技術をいざ適用してみると、思いもつかなかった活用例や気づかなかった課題などが出てくる。こういった点に対応できるような、実用化を見据えた手法の必要性は、ともすれば見過ごされがちであるが、2022年度の部門講演会では、形状処理技術を製品設計に適用するための手法が多数提案された。社会に役立つ工学の姿勢を体現しており、好ましく感じる。

もう一つ見過ごせない風潮に機械学習がある。既に生活の様々なところで用いられている技術であるが、形状モデリング分野でもこれを取り入れた手法の提案が増えつつある。データ間の複雑な対応関係をうまく定められる点が機械学習の魅力であるが、デジタルエンジニアリング分野では、この技術をどう活かすかも興味深い研究対象となっている。部門講演会でも、機械学習に関して複数件の発表があった。既存の形状モデルにグラフベース深層学習を適用することの提案、形状に基づいた機械学習で応力を予測する手法の構築、3次元形状データの位置合わせへの適用などがあり、登壇者と聴衆とで活発な議論がなされた。

また、デジタルエンジニアリングの入力となる3次元形状データ取得法として、X線CTスキャンが昨今注目を集めている。CTスキャンは非破壊3次元観察・計測技術であり、1970年代に医療分野ではじめて実用化された。その後、検出器の高解像度化・計測装置の高精度化・ソフトウェアの高度化・計算リソースの増加といった複数の分野における不断の技術向上の結果、着実に計測精度と分解能が向上し、2022年現在、一般的な装置でも数〜数十マイクロメートルの分解能を達成する高精度な形状計測が可能になった。医療以外を応用先とするX線CTは産業用X線CTと総称され、2000年代あたりから、論文数・製造現場における導入事例数ともに増加しつつある。この動きは近年顕著になっており、日本でも大型CT装置の開発の動きが見られるなど、産業用CTの需要は今後ますます高まると予想される。近年、部門講演会では継続してX線CTスキャン関連の講演があり、本セッションがCTデータも含め形状処理技術の発展の一端を担うものと期待される。

(東京都立大学 長井 超慧)

3. 4 ライフサイクル工学

国連による持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goals; SDGs)、パリ協定のもとでの脱炭素(カーボンニュートラル)、ESG投資などに見られるように、製造業ではサステナビリティの考え方に基づいた企業経営・生産活動がますます重要になってきている。2015年頃から欧州を起点として世界に広まってきたサーキュラー・エコノミー(循環経済、CE)のコンセプトならびに欧州連合(European Union; EU)の政策は、今後のものづくりのあり方を大きく変えつつある[1][2]。CEは製品の売り切りを主体としたリニアエコノミー(線形経済)から、製品・資源の循環を主体としたビジネス

への転換を図る考え方である。CE 型のビジネスモデルとして、シェアリング、リペア、リファービッシュといった様々な事例が挙げられる[3]。ドイツは、2021 年に CE に向けたロードマップ (Circular economy roadmap for Germany: Industry 4.0) を発表しており、ビジネスのデジタル化を推進しながら、デジタル化と CE の考え方を組み合わせることによって資源効率の向上を目指す戦略を立てている[4]。CE を実現するためには、政策による後押しやデジタル技術などを活用しながら、ビジネスモデルを含めたシステムの転換 (transformation) が不可欠とされる[5]。日本では 2000 年前後から循環型社会への転換を目標として、家電リサイクル法や自動車リサイクル法を始めとする各種の法整備が進み、2022 年 4 月にはプラスチック資源循環促進法が施行された。しかし、EU の CE 政策に比べると CE に向けた日本の政策的な動きは周回遅れの状況にある。

ライフサイクル工学の分野では、1990 年代からライフサイクル設計やライフサイクルマネジメントといった方法論の開発が活発に進められてきた[5]。日本の製造業ではリサイクルを主体とした資源循環のシステムがそれなりに構築できたことによって、2015 年頃までは一段落した感があった。しかし、上記のとおり、脱炭素および CE に対する社会的関心が急速に広まったことにより、ライフサイクル思考やライフサイクル工学分野の方法論に対するニーズが産業界で再び高まってきている状況にある。このことは、技術的なブレークスルーだけでは脱炭素や CE の実現はほぼ不可能であり、要素技術開発に加えて、ライフサイクル思考に基づいてシステム全体を設計・評価するための方法論が必要であることが再認識されたとも言える。

ライフサイクル工学やサステナビリティ設計と呼ばれる研究分野の最新動向は、日本機械学会設計工学・システム部門講演会では「ライフサイクル設計とサービス工学」などのオーガナイズドセッションで発表が行われている。国際会議では、EcoDesign 国際会議、EcoBalance 国際会議、CIRP Conference on Life Cycle Engineering (CIRP LCE) など最新の研究発表がなされている。最近では、ライフサイクル設計、ライフサイクルマネジメント、ライフサイクルシミュレーション、ライフサイクルアセスメント (LCA) 等の手法を様々な実システム・実ビジネスに適用したケーススタディが産学連携のもとで行われるとともに、人工知能 (AI)・機械学習をはじめとするデジタル技術を活用した新たな研究テーマも発表されつつある。CE をデジタル革命 (digital transformation; DX) によって実現するためのコンセプトや方法論に関する研究プロジェクトも国内外でいくつか立ち上がっている。さらに、日本機械学会技術ロードマップ委員会では、バックキャストिंगの考え方をを用いて持続可能なものづくりに向けた技術ロードマップを作成する取り組みを進めている[7][8]。このように、技術ロードマップや将来シナリオといった、フォーサイト (foresight) の手法を用いた方法論の開発・実践も進められている。今後の展開が注目される。

【参考文献】

- [1] Ellen MacArthur Foundation, Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition, (2015), <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>
- [2] Kara, S., Hauschild, M., Sutherland, J., McAlone, T., Closed-loop Systems to Circular Economy: A Pathway to Environmental Sustainability?, CIRP Annals-Manufacturing Technology,

Vol. 71, No. 2, (2022), pp. 505-528.

- [3] 経済産業省, 循環経済ビジョン 2020, (2020).
- [4] acatech, Circular economy roadmap for Germany, Circular Economy Initiative, (2021).
- [5] World Economic Forum, Circular Transformation of Industries: Unlocking New Value in a Resource-Constrained World, White Paper, (2023).
- [6] Umeda, Y., Takata, S., Kimura, F., Tomiyama, T., Sutherland, J.W., Kara, S., Herrmann, C., Dufloy, J.R., Toward integrated product and process life cycle planning—An environmental perspective, CIRP Annals, Vol. 61, No. 2, (2012), pp. 681-702.
- [7] 日本機械学会技術ロードマップ委員会 <https://www.jsme.or.jp/technology-road-map/> (参照日 2022 年 12 月 27 日)
- [8] 木下裕介, バックキャストリングによる技術ロードマップ設計, 日本機械学会誌, Vol. 126, No. 1251, (2023), pp. 46-48.

3. 5 設計と AI

人工知能(Artificial Intelligence: AI)は、人間のように思考や判断をするコンピュータシステムであり、設計分野でも活用されている⁽¹⁾。IoT(Internet of Things)により取得したデータを AI により分析し、予測や最適化を行ったり、機器にフィードバックしたりすることで、製品品質の向上や予防安全などの効果が見込まれる。収集データの可視化により現状を把握し、AI により将来の状況を予測することができる。例えば、高レベルの自動運転システムにおいて、車載カメラなどのセンシング情報から危険な状況を認識し、ブレーキなどの操作を事前の学習によって生成した AI モデルを自動運転車に搭載することにより、データの送受信を介さずに、状況認識・操作を実行することで高い制御性・応答性などの高性能化により、高い安全性を実現している。AI 適用事例としては、機器に適用するだけでなく、複数のシステムや企業内外で共有することによる価値創出にも期待され、画像解析による外観検査・部品検査、工場内の作業監視によるヒューマンエラーの防止、製造設備のセンシングデータを分析した異常検知・予防安全、設計・製造のスマートファクトリー化などで活用されている。

デジタルツイン(Digital Twin)の活用により、製造業におけるスマートファクトリー化も進展している。工場内の機器やシステム、作業員などの人の情報も取り込んだデジタルツインを構築する取り組みも出始めている。膨大なセンシング情報をもとにした製造・製品検査情報を集約・構造化・分析し、人の作業履歴や意思決定、設計・製造関連のデータや文書情報を組合せてデジタルツインを作成している。また、AI を用いたデータ分析やシミュレーションによって、不良になりそうな状態の事前検知・欠陥の原因特定にデジタルツインを活用し、生産性や品質の向上に寄与している。

設計の構想設計段階において、IoT や AI 技術を活用することにより、市場や顧客要求を素早く製品仕様を意志決定することにも活用されつつある。IoT 技術によりネットワーク経由で製品から顧客の使用履歴を取得・蓄積し、AI により分析することで市場や顧客要求を把握することができる。蓄積したデータで教師なし学習を行うことで、AI により潜在的な顧客要求を見える化したり、市場

や顧客には受け入れが困難な機能を把握したり、データ駆動型で製品の仕様決定や意思決定が可能であり、不確実性が高く、将来の予測が困難な状況(Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity: VUCA)、新たな生活様式が求められている時代において、AI 活用の必要性が高まってきている。

設計の構想設計段階における AI 活用の 1 つとして、ジェネレーティブ・デザイン(Generative Design)がある。ジェネレーティブ・デザインとは、設計者が所望の機能、空間条件、材料、製造方法、コストなどの設計制約の各種パラメータを入力することにより、AI 技術を活用したソフトウェアにより各種パラメータから要件に適合した 3D 設計モデルを自動生成されるものである。この 3D 設計モデルは可能性のある設計案を多岐に渡り生成され、コンピュータと技術者やデザイナーが共同して設計開発を行いながら、最終の設計案を検討し、最適な製品設計を生成することができる技術である。ジェネレーティブ・デザインの利点は、設計の初期段階にて、先入観にとらわれない新しい設計案を短時間で検討できることである。設計要件を満たした設計パターンを自動的に多数生成でき、経験豊富な技術者・デザイナーは、先入観にとらわれない、革新的なアイデアが現れる可能性がある。トポロジー最適化のように、与えられた制約条件に基づき、最適な設計形状を導き出すシミュレーション技術がある。この技術により、設計者が発想できないような合理的な形状を生み出すことが可能であるが、最適化を行うための条件設定が煩雑であり、設計者自身が最適な条件を探して試行錯誤する必要がある。この条件設定に対して、AI を活用し、既存の解析データを学習し、最適な条件を回帰分析で推定することで、トポロジー最適化を行うことが可能となる。ジェネレーティブ・デザインやトポロジー最適化など、設計対象や状況に応じて、設計最適化の手法を使い分ける必要がある。

設計の詳細設計段階において、CAE に深層学習(Deep Learning)などの AI 活用が期待されている。複雑な構造物の設計検討で不可欠な有限要素解析などによる CAE 解析において、コンピュータ内でシミュレーションを行うことで、部品の強度や変位を計算して最適な形状を導出できる。この際、CAD データとそれまでに蓄積された CAE 解析データを使用して深層学習することで、短時間で解析解を導出可能し、設計の迅速化・効率化が期待されている。

健康・医療・介護分野におけるシステム設計にも、AI が活用されつつある。超高齢社会の到来に伴い、最適な健康管理・診療・介護を持続的にかつ効率よく受けられる環境を支えるシステム構築が求められている。AI の実用化が比較的早いと考えられる領域として、ゲノム医療、画像診断支援、診断・治療支援、医薬品開発(創薬)があり、AI の実用化に向けて段階的に取り組むべきと考えられる領域として、介護・認知症、手術支援が挙げられる。

第 32 回設計工学・システム部門講演会では、「設計と AI・知識マネジメント」のオーガナイズド・セッションにおいて、異常値検知手法を用いた液体搬送ラインの異物混入事前予測⁽²⁾、階層分析法と機械学習によるデザイン評価データの低次元マッピング⁽³⁾、AI を用いた原子力プラント内の配管、空調ダクト、ケーブルトレイの自動設計システムの開発⁽⁴⁾、水稻の収穫予測とその応用⁽⁵⁾、などの講演があった。日本機械学会論文集においては、機械学習を用いた設計上流段階支援に関する研究(エンジン及び電動バイク走行データからの「快」の要因抽出)⁽⁶⁾、ヒーター加熱による型温

加熱冷却成形の開発とプロセスパラメータの最適化⁽⁷⁾, 機械学習を用いた車両ドライバビリティ性能の自動評価法⁽⁸⁾, リアルタイムシステム同定法に基づくモデル構築(制御系の異常検知に適したモデル構築手法の提案)⁽⁹⁾, デジタルツインによる機器の健全性管理を実現する階層型構造ヘルスマモニタリング⁽¹⁰⁾, 深層学習を活用した構造ヘルスマモニタリングシステムの検討(弾塑性地震応答解析に基づく有効性の検証)⁽¹¹⁾, などが公表されている. 設計分野において AI 活用の有用性が示され, 今後の設計・製造の高度化が期待される.

【参考文献】

- (1) AI 白書編集委員会編:AI白書 2022, (2022), 角川アスキー総合研究所.
- (2) 大西 貴, 綿貫啓一:異常値検知手法を用いた液体搬送ラインの異物混入事前予測, 日本機械学会第 32 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, No.22-20, (2022), Paper No. 3205.
- (3) 林 和希, 太田裕通:階層分析法と機械学習によるデザイン評価データの低次元マッピング, 日本機械学会第 32 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, No.22-20, (2022), Paper No. 3207.
- (4) 井上智靖, 高橋志郎, 黒崎通明, 山田諄太, 行田将之佑, 若林英祐, 奥山圭太:AIを用いた原子力プラント内の配管, 空調ダクト, ケーブルトレイの自動設計システムの開発, 日本機械学会第 32 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, No.22-20, (2022), Paper No. 3208.
- (5) 鈴木麻央, 北 栄輔:水稲の収穫予測とその応用, 日本機械学会第 32 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, No.22-20, (2022), Paper No. 3209.
- (6) 崔 帆圭, 村上 存:機械学習を用いた設計上流段階支援に関する研究(エンジン及び電動バイク走行データからの「快」の要因抽出), 日本機械学会論文集, Vol. 88, No. 910, (2022), p. 21-00230. <https://doi.org/10.1299/transjsme.21-00230>
- (7) 釣田祥吾, 北山哲士, 高野昌宏, 山崎祐亮, 久保義和, 合葉修司:ヒーター加熱による型温加熱冷却成形の開発とプロセスパラメータの最適化, 日本機械学会論文集, Vol. 89, No. 917, (2023), p. 22-00311. <https://doi.org/10.1299/transjsme.22-00311>
- (8) 田島尚史, 新谷浩平, 尾越敦貴, 北野翔太, 岩田基史:機械学習を用いた車両ドライバビリティ性能の自動評価法, 日本機械学会論文集, Vol. 88, No. 915, (2022), p. 22-00219. <https://doi.org/10.1299/transjsme.22-00219>
- (9) 箱田文彦:リアルタイムシステム同定法に基づくモデル構築(制御系の異常検知に適したモデル構築手法の提案), 日本機械学会論文集, Vol. 88, No. 914, (2022), p. 22-00099. <https://doi.org/10.1299/transjsme.22-00099>
- (10) 竹田憲生, 亀山達也:デジタルツインによる機器の健全性管理を実現する階層型構造ヘルスマモニタリング, 日本機械学会論文集, Vol. 88, No. 910, (2022), p. 22-00095. <https://doi.org/10.1299/transjsme.22-00095>
- (11) 深沢剛司, 藤田 聡, 饗庭天暉:深層学習を活用した構造ヘルスマモニタリングシステムの検討(弾塑性地震応答解析に基づく有効性の検証), 日本機械学会論文集, Vol. 88, No. 910,

3. 6 設計教育

政府の教育未来創造会議において、リカレント教育（もしくはリスキルリング教育）は主要なテーマの一つであり、新聞紙上でもその重要性が議論されている。文部科学省が公表しているデータ¹⁾によると、社会人がリカレント教育を受ける目的として、(1) 資格を取得できること、(2) 現在の職務を支える広い知見・視野を得ること、(3) 学位や修了証を取得できること、(4) 現在とは違う職場・仕事に就くための準備をすること（転職・副業等）、(5) 現在の職務に必要な基礎的な知識を得ること、が多い。社会人エンジニアの場合、この中でも、技術士のような国家資格であったり、博士の学位の取得、職務に直結するような内容を学ぶため、学びなおす者が多いと考えられる。一方、別のデータ²⁾によれば、従業員が大学等で学ぶことを認めていない企業において、「本業に支障をきたすため」「教育内容が実践的ではなく現在の業務に生かせないため」といったことが主な理由として挙げられており、企業の8割が外部教育機関として民間の教育訓練機関を利用しており、大学を活用している企業は極めて少ない（1%程度）。特に「大学でどのようなプログラムを提供しているかわからない」「他の機関に比べて教育内容が実践的ではなく現在の業務に生かせないため」という結果は、大学の本来あるべき姿が社会に十分伝わっていないことを端的に表した結果である。近年では、令和3年度補正予算で「DX等成長分野を中心とした就職・転職支援のためのリカレント教育推進事業」も行われており³⁾、リカレント教育の重要性が増している。コロナ禍において、講義や会議はオンラインで行うことが多くなっている。オンラインの課題は多々あると思われるが、利点を考えて積極的に活用するほうがよい。第32回設計工学・システム部門講演会では最適設計に関するオンラインリカレント教育の実践や⁴⁾、サービスシステム全体の構造を設計する際に、検討に関わるメンバーで経験知を援用しつつ、多様な情報・制約を考慮して設計を進める工夫するため、ヒトとAIが協調し、チームの知識創造活動を支援するAIワークショップシステムが提案されている⁵⁾。

オンラインリカレント教育もAIによるワークショップシステムも、ICTの利点を最大に利用した設計教育を積極的に行っている好例であり、他にも様々な設計教育を行っていると考えられる。情報・課題を共有しながら「よりよい教育」を実践していくことが重要であり、各方面で取り組んでいる設計教育やリカレント教育の報告を期待したい。

【参考文献】

1. 文部科学省, https://www.mext.go.jp/content/20200731-mxt_syogai03-100000261_1.pdf
2. 文部科学省, https://www.mext.go.jp/content/1422060_017.pdf
3. 文部科学省, https://www.mext.go.jp/content/20220325-mxt_syogai03-000156944_1.pdf
4. 北山哲士, 最適設計に関するオンラインリカレント教育の実践, 第32回設計工学・システム部門講演会, 1301

5. 細野繁, 設計教育における AI ワークショップシステムの開発と応用, 第 32 回設計工学・システム部門講演会, 1207

(金沢大学 北山哲士)