次世代ものづくり
アーキテクチャ

社会連携講座「次世代ものづくりアーキテクチャ」

2021～2022 年度実績報告書

2023 年 9 月 1 日

東京大学大学院工学系研究科人工物工学研究センター

特任教授・代表研究者　梅田　靖

http://nextarch.race.t.u-tokyo.ac.jp

目次

1. 実施状況 1

1.1. 研究概要 1

1.2. 未来ビジョン WG 1

1.3. 共同研究テーマ 1

1.3.1. 共同研究テーマ１「持続可能なサプライチェーンを実現する Transformable Architecture のモデリング」 2

1.3.2. 共同研究テーマ２「強い現場力を進化させ続けるデジタルトリプレット型 CPPS の実現」 3

1.3.3. 共同研究テーマ３「ワークエンゲージメント向上に向けた作業者デジタルツインの実現」 3

1.3.4. 共同研究テーマ４「機械加工のデジタル化技術開発」 4

1.3.5. 共同研究テーマ５「圧縮機組立精度のデジタル評価技術開発」 4

1.4. 教育活動 4

1.5. 公表した成果 5

1. 実施状況

1.1. 研究概要

- ダイキン工業と東京大学の産学協創協定契約に基づいた社会連携講座「次世代ものづくりアーキテクチャ」を2021 年 7 月 1 日から開始した。
- 本講座では、持続可能社会の実現に貢献し、将来にわたって高付加価値型の製造業をもたらす「次世代ものづくりアーキテクチャ」の構築を目指す。そのイメージは、製品アーキテクチャ×スマート工場×バリューチェーン×ビジネスモデルを一体となったシステム・オブ・システムとして捉え、それをデジタル技術に裏打ちされた「デジタルトリプレット」で統合的に支援するものである。ダイキン工業（株）との連携により、このイメージの実現に向けて、研究、産学連携による実践への展開、普及広報活動、さらに、その担い手となる人材育成に取り組んでいく。
- 具体的には、未来ビジョンの論議を主目的とする未来ビジョン WG、共同研究テーマ、教育活動の 3 種類の活動を推進した。
- 本社会連携講座のホームページ（日本語版および英語版）を作成し、社会連携講座白書 2021 および設立シンポジウム等での講演資料、学会発表情報等を公表した。

1.2. 未来ビジョン WG

- 2021 年度は、未来ビジョンの論議を主目的とする未来ビジョン WG 会議を実施し、諸課題の整理と次世代ものづくりのために目指す姿の論議を行い、社会連携講座白書 2021「次世代ものづくりアーキテクチャに向けて」を取りまとめた。
- 2022 年 6 月 20 日に本社会連携講座の設立シンポジウムを開催し、本講座の設立趣旨、本社会連携講座白書 2021 を中心に講演、議論を行った。
- 2022 年度は、白書の改訂を見据え、2 つの課題を抽出して議論を進めた。課題①「価値創出のためのシナリオの具体化」として、本講座がいう「ものづくりアーキテクチャ」が意味する設計構想と、Value Chain における対象範囲、各共同研究テーマの位置づけを整理可視化した。課題②「価値を提供し続けるための未来の工場の具体化」として、未来の工場の姿の検討案を取りまとめた。

1.3. 共同研究テーマ

- 共同研究テーマについては、2021 年度に 4 テーマ（テーマ 1～4）、2022 年度にテーマ 5 を立ち上げ、5 つの共同研究テーマを推進した。本社会連携講座の研究概略と各共同研究テーマの位置づけを図 1 に示す。

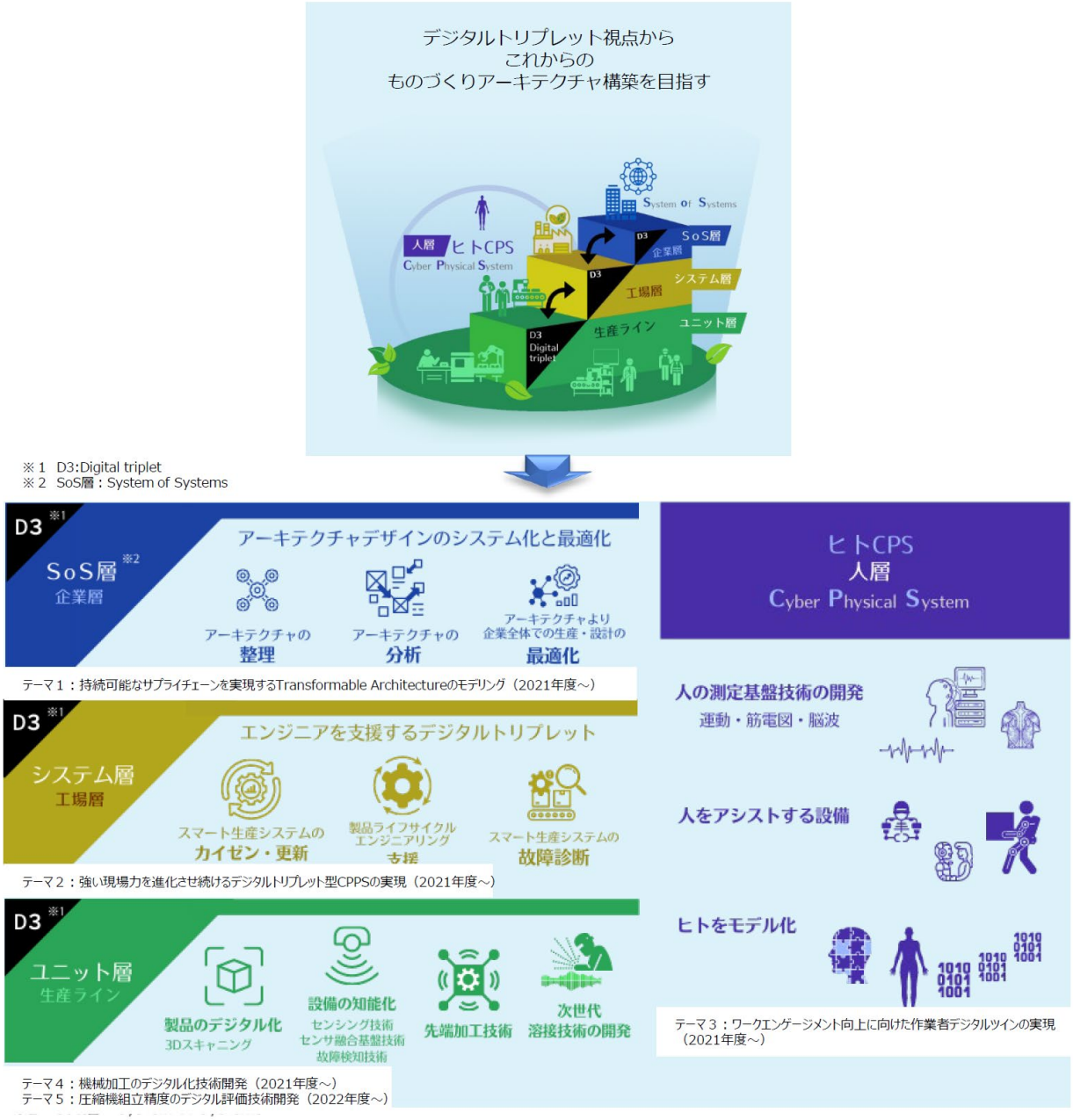

図１　研究概略と共同研究テーマの位置づけ

1.3.1.　共同研究テーマ １「持続可能なサプライチェーンを実現する Transformable Architecture のモデリング」

- サプライチェーンアーキテクチャのトレードオフ関係分析方法の基盤を構築し、例題に適用して効果を検証し、先行研究等で提示されているサプライチェーンにおける主要なトレードオフ関係の評価とその対応策を検討す

ることが可能であることを確認した。それらの流れは次の通りである.

① OPM（Object Process Methodology）などのモデル記述手法を利用して，サプライチェーンのアーキテクチャの AS-IS モデルを記述。

② 上記①のモデルを下地に，サプライチェーンアーキテクチャにおける性能―特製の影響関係を記述。

③ 上記②の性能―特製の影響関係からトレードオフ関係を抽出し，サプライチェーンの変更要求への対応として候補となる戦略をリストアップ。

④ 戦略の効果を定量的に議論できる情報を表示し，サプライチェーンの計画を支援。

- 次年度以降のダイキン工業サプライチェーンを対象としたモデル拡張に向け、性能評価指標として温室効果ガス排出量を追加することを定め、評価範囲・評価方法を検討した。

1.3.2. 共同研究テーマ 2「強い現場力を進化させ続けるデジタルトリプレット型 CPPS の実現」

- 「デジタルトリプレット視点による、人と知識を中心に置いたサイバーフィジカル生産システムの実現」を目指し、製造設備状態監視システム開発プロセスを対象として、エンジニアの問題解決プロセスの見える化と作業支援手法開発に取り組んだ。

① エンジニアのノウハウを汎化プロセスモデルに紐づけて問題解決プロセスの実行ログとして取得する手法の立案

② 設備状態監視システム開発プロセスを対象としたノウハウ再利用システム プロトタイプの完成

③ ノウハウ再利用の効果検証による効果と課題の洗い出し

1.3.3. 共同研究テーマ 3「ワークエンゲージメント向上に向けた作業者デジタルツインの実現」

- 製造工場の作業者のワークエンゲージメント向上のためのセンシング（把握）、モデル化（予測）、フィードバック（制御）のループを回す仕組みのうち、センシング，モデル化について目標通りに以下を達成した。

① 製造工場における作業者の主観情報収集のための質問紙完成と質問紙を用いたストレス・ワークエンゲージメント傾向の抽出
約 150 名の質問紙調査のデータをもとに、心理学的な統計手法に基づいて、工場作業者が受けているストレス要因・ストレス反応に焦点を当て、工場作業者のモデル化を行った。

② 作業者の各関節にかかる負荷を定量評価するプロトシステムの構築
作業者の各関節にかかる負荷を計算するアルゴリズム開発と、インプットデータの計測手段を構築し、それらを統合するプロトシステムを開発した。

③ 作業者状態把握システムの構築と効果検証による課題洗い出し
作業者の状態を生体信号データ（心拍）と主観データの両面で取得するシステムの構築と効果検証による課題洗い出しを行った。

1.3.4. 共同研究テーマ４「機械加工のデジタル化技術開発」

研削加工は、多数の砥粒がランダムに配置された砥石を用いて微細な加工を行うものであり、各砥粒の挙動が確率的であることから、これまでその現象を十分に解明することができないでいた。本テーマでは、各砥粒の配置、表面からの突き出し量、砥粒の間隔，砥粒の形状などを考慮することにより、解析モデルを構築した。そして、実験から定量的に評価することで、解析モデルの有効性を確認した。

具体的な内容を下記に示す。

- 対象とする圧縮機の内径研削加工の解析モデルを構築した。
- 研削加工の加工状態を把握するパラメータとして、加工による砥粒の軌跡（≒表面性状）、研削エネルギー及びそこから研削抵抗、任意の研削点の温度を評価する事ができるようになった。解析モデルによって、砥石の摩耗予測が可能となり、最適なタイミングでのドレッシングが期待される。作成した解析モデルを用いて、摩耗した状態の砥粒形状を用いる事で加工現象の違いを評価した。

1.3.5. 共同研究テーマ５「圧縮機組立精度のデジタル評価技術開発」

精密な機械製品の製造のためには、個々の部品精度評価に加えて、アセンブリ製品の組立精度評価技術が必須となるが、デジタル技術による自動化が進んでいない場面も多い。そこで、本テーマでは空調機において高精度な組立が要求される機構の代表であるスイング型圧縮機構を対象に、3D スキャニング技術を活用した組立精度の自動評価技術の実用化を狙う。本年度の成果は以下の通りである。

- 直接測定が困難な圧縮機の組立後の隙間を予測する手法を選定した。
- 必要な精度(μm ｵｰﾀﾞｰ)を満足する測定機器の選定を行い、大学へ導入した。
- 隙間を予測する為に、デジタル上で組立部品に対し、各部品を勘合する手法の検討を行った。

1.4. 教育活動

- 共同研究テーマ１～5 に対して学生計８名（博士課程１名、修士課程５名、学部２名）が参画し、修士論文５件、卒業論文２件のテーマとして研究を通した教育を行った。
- 講義を通した教育の取組として、大学院講義”設計生産フィールドワーク「Project-Based Learning」”において 2021 年度は 1 課題「いきいき楽しく働ける生産ラインをめざして」、2022 年度は 2 課題「機械加工の加工状態を予測する解析手法」、「資源の循環を考慮した解体し易い空調機」を実施した。それぞれ３，３，２名の合計 8 名が取り組んだ。特に「いきいき楽しく働ける生産ラインをめざして」については、取組成果を学生たちが Youtube 動画に公開するといった活発な教育成果が得られた。共同研究テーマ３の題材としてのスタートアップの位置づけとしても大きな成果と言える。

1.5. 公表した成果

- 社会連携講座白書 2021「次世代ものづくりアーキテクチャに向けて」; http://nextarch.race.t.u-tokyo.ac.jp/library,【本講座の報告書／社会連携講座白書】
- 社会連携講座「次世代ものづくりアーキテクチャ」設立シンポジウム講演資料 7 件; http://nextarch.race.t.u-tokyo.ac.jp/library,【本講座の報告書／シンポジウム講演資料／2022 年 6 月 22 日設立シンポジウム】
- 講演資料「持続可能社会に向けて高付加価値型製造業をもたらす次世代ものづくりアーキテクチャ」; http://nextarch.race.t.u-tokyo.ac.jp/library,【本講座の報告書／シンポジウム講演資料／2022 年 11 月 30 日ダイキン東京大学産学協創フォーラム】
- Project-Based Learning「いきいき楽しく働ける生産ラインを目指して」; http://nextarch.race.t.u-tokyo.ac.jp/library,【本講座の報告書／成果報告書】
- 櫻井悠太朗, 澤井伽奈, 山田周歩, 横瀬清識, 高根沢悟, 青山和浩; サプライチェーンの統合的モデリングによる設計支援システムの構築, 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, 講演番号 2409, 2022
- 新森聡志, 浜靖典, 伊藤愛, 梅田靖; デジタルトリプレット構想に基づく生産システムの DX 支援手法, 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, 講演番号 2512, 2022
- 新森聡志, 浜靖典, 伊藤愛, 梅田靖; Digital Triplet に基づく問題解決プロセスの逐次記述支援手法, 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会 2023 講演論文集, 講演番号 607, 2023
- 山口大貴, 大竹豊, 谷田川達也, 鈴木宏正, 西澤孝行, 松本暢二; アセンブリ品の組立精度評価のための部分形状マッチングの高精度化, 2023 年度精密工学会春季大会学術講演会, 講演番号 E85, 2023