

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02037

研究課題名(和文) デジタルトリプレット構想に基づく次世代生産システムのためのエンジニアリング支援

研究課題名(英文) Engineering Support for Next Generation Manufacturing System Based on Digital Triplet Concept

研究代表者

梅田 靖 (Umeda, Yasushi)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授

研究者番号：40242086

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、今後のデジタル化された生産システムに対する新たなエンジニアリング活動の姿を明らかにするために、「デジタルトリプレット(D3)構想」を具体化し、エンジニアリング支援方法論を提案することであった。このために、プロセス記述言語PD3 (Process Modeling Language for D3)とプロセス知識記述手順を提案し、様々なケース・スタディを実施し、その有効性を明らかにした。本成果の特徴は、問題解決の手順を明示的に記述することにより、その手順、各アクションの意図、実施上の工夫、活用した知識や道具、ソフトウェアの使い方などを記録し、再利用可能になったことである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カイゼンを中心として人手をかけて進化し続ける生産システムを実現するという日本型ものづくりの考え方に基づくDXの1つの方法論を提案できた。特に、本提案手法により熟練者から非熟練者へ問題解決プロセスが伝達できる可能性を示すことができた。そもそものD3の発想である、人の主観をサイバー世界のデータ、ソフトウェア操作などにグラウンディングするというアプローチの実現可能性と有効性を示すことができた。D3のこのフレームワーク自体はさらに広いものであり、この、記号とデータの対応付の応用範囲は広いものであると考えている。

研究成果の概要(英文)：In order to clarify the image of new engineering activities for next generation digitalized manufacturing systems, the objective of this research is to propose engineering support methodology for manufacturing systems by embodying the concept of "Digital Triplet." As the methodology, we proposed a process modeling language PD3 (Process Modeling Language for D3) and a procedure for describing process knowledge. The feasibility and effectiveness of the proposed method are verified through various case studies. The features of the proposed method include that, by explicitly describing an engineering process, it can represent and reuse the procedure, intention of actions, know-hows, and the way of usage of knowledge, tools, and software.

研究分野：生産システム

キーワード：生産システム デジタル革命 デジタル・トリプレット Learning Factory エンジニアリング支援 デジタル・ツイン Cyber Physical Systems

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

世の中で、いわゆるデジタルトランスフォーメーション(DX)の動きが活発化している。生産分野においても、DXが進み生産システムのエンジニアリング活動の在り方が抜本的に変容する可能性がある。ここで、生産システムのエンジニアリングとは、生産システムの設計、構築、運用管理、メンテナンス、カイゼン、改修、撤収などを指すものとする。

現状では、種々のプラットフォームや IoT 化された工作機械などが販売されているが、これらの「入れ物」をどのように活用し、付加価値を高めたり、作業を効率化したりすべきか、という点については必ずしも十分に議論されていない。この変化に対応した、生産システム工学はまだ生まれていないのではないかと。特に、欧米からの発信が相次ぐ中で、我が国からの発信がないのではないかとというのが問題意識である。すなわち、本研究の学術的「問い」は以下の2つである。

- 1) デジタル化の中で、生産システムのエンジニアリングはどのように変革すべきなのか
- 2) 上記の中で、デジタル化によって得られた情報をどのように活用すれば良いのか

2. 研究の目的

本研究の目的は、今後のデジタル化された生産システムに対する新たなエンジニアリング活動の姿を明らかにするために、「デジタルトリプレット構想」を具体化し、生産システムのエンジニアリング支援方法論を提案することである。

3. 研究の方法

上記、問い1に対して、代表者が提唱している「デジタルトリプレット(D3)構想」(図1参照)を具体化、理論化し、D3支援システムとして具現化した。問い2に対しては、生産システムのエンジニアリング活動支援、および、得られた情報の再利用・知識化を中心に、ケース・スタディを実施し、D3の方法論・システムの有効性と解決すべき課題を明らかにした。両者を車の両輪として複数回繰り返すことにより、目的を達成した。

D3に関連して研究代表者らが関係している各種プロジェクト、例えばNEDO「次世代人工知能・ロボットの中核となるインテグレート技術開発/人工知能技術の適用領域を広げる研究開発/AI技術をプラットフォームとする競争力ある次世代生産システムの設計・運用基盤の構築」、NEDO「Connected Industries推進のための協調領域データ共有・AIシステム開発促進事業/金属切削加工における精度補正システム開発」、東京大学人工物工学研究センター トヨタ社会連携講座「サステナブルなヒューマンセントリック次世代ものづくり」、東京大学人工物工学研究センター ダイキン工業社会連携講座「次世代ものづくりアーキテクチャ」、東京大学・三菱電機共同研究「デジタルトリプレットプラットフォームによる生産工場改善支援」などと連携して研究を進めた。

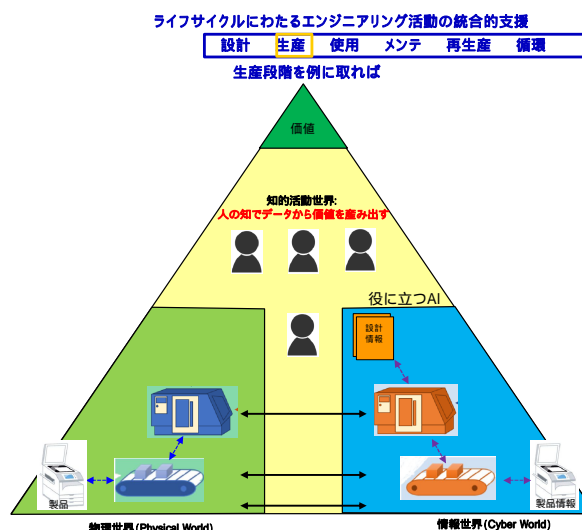


図1 デジタルトリプレット(D3)構想

4. 研究成果

(1)上記問い1に対しては、本研究においては、D3の枠組みの中で、技術者の問題解決プロセスを明示的に記述し、再利用する方法論を構築した。問い2については、この問題解決プロセスの明示的記述を活用して、2つの方向に展開した。すなわち、熟練者から非熟練者へのノウハウの伝承、および、作業手順のDX化を合理的に進める方法論である。

これは、初期のインダストリー4.0に代表されるように、生産システムの自動化、無人化を推進する考え方に対して、技術者と作業者の垣根が低く協力しつつ、カイゼンを中心として人手をかけて進化し続ける生産システムを実現するという日本型ものづくりの考え方に基づくDXの1つの方法論を提案できたと考えている。

(2)技術者の問題解決プロセス(エンジニアリング・プロセス)を計算機上に明示的に記述し、計算可能とすることで再利用可能とする方法論を構築した。まず、エンジニアリング・プロセスを記述する言語PD3 (Process Modeling Language for D3)を開発した。これは、プロセス記述言

語 IDEF0 を拡張したもので、プロセスを行為(アクション)の連鎖として階層的に記述する。PD3 はプロセス知を記述するための以下の3つの特徴を有している。

1. 作業者の意図を明示的に記述するために、各アクションに対して、「アクションの意図」「用いた道具・知識」「情報の導出理由」を記述する。
2. D3 の枠組みに基づき、1つのプロセス記述は、問題解決レイヤー、物理レイヤー、サイバーレイヤーから構成し、問題解決レイヤーのアクションを、物理レイヤー、サイバーレイヤーのアクションに対応づけて記述する。

3. 記述のレベルとして2つのレベル、すなわち、「ログレベルの記述」と「汎化プロセスモデル」を用意する。ログレベルの記述は、作業者が実施したプロセスをそのまま記述するものであり、汎化プロセスモデルは、同一のタスクに対する複数のログレベルの記述を集約、抽象化して、対象タスクに対して汎用的に利用可能なプロセスモデルである。

この PD3 を用いて、エンジニアリング・プロセスを記述する手順を図 2 のように整理した。ここでは、エンジニアリング・プロセスを実施する「フィールド技術者」と、エンジニアリング・プロセスを記述する「ナレッジエンジニア」を想定する。まず、フィールド技術者がエンジニアリング・プロセスを実施し、それをナレッジエンジニアが観察し、ログレベルの記述を作成する(図の A)。次に、ナレッジエンジニアが収集したログレベルの記述から汎化プロセスモデルを作成する(図の B)。この作成手順についても基本的な手順は提案した。熟練者のログレベルの記述から作成した汎化プロセスモデルは、非熟練者へのノウハウ、本研究では具体的には、作業の進め方に関するプロセス知、の伝承に有効であると考えている。図の D に示すように、作成された汎化プロセスモデルを用いて、非熟練者が同様のエンジニアリング・プロセスを実施する。これについてのケース・スタディを(5)に示す。さらに、汎化プロセスモデルを分析すれば、計算機で自動化したり、支援したりすることが有効なアクションを発見することができる。これに従って汎化プロセスモデルをスマート化するのが図の E のプロセスである。作成した全てのログレベルの記述、汎化プロセスモデルはデータベース(DB)に保存し(図の C)、さらなる知識抽出を行う。

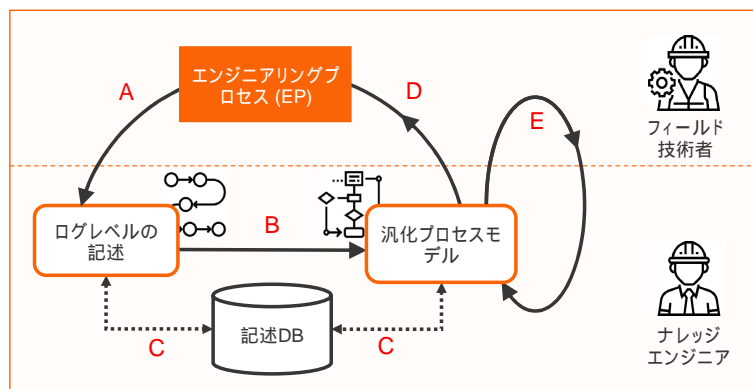


図 2 プロセス知識の記述手順

(3)(2)の方法論を実装する、D3 エンジニアリング支援プラットフォームを構築した。これは、PD3 を実装したプロセス記述作成支援システム、プロセス記述実行支援システム、およびプロセス記述 DB から構成される。このプラットフォームを活用して、当該研究期間中に幾つかのアプリケーション・プロトタイプ・システムを構築した。ここで言う、アプリケーション・プロトタイプ・システムとは、特定の問題解決に向け、プラットフォーム上に追加ソフトウェアを構築し、接続したものを言う。研究期間中に一応の完成を見たものとして以下がある。

- (a) レゴカーの自動組立ラインを対象に、デジタルツインを構成し、さらに上記プラットフォームと接続することにより作成した、D3 型自動組立ライン(人工物工学研究センター ラーニング・ファクトリー)。この実行例は(5)で示す。
- (b) 図 2 の A のログレベルの記述の作成、収集は手間がかかるため、フィールド技術者自らがエンジニアリング・プロセス実行中にログを記述する「ログ逐次記述支援システム」。

また、研究期間中には完成に至らなかったが以下のものを構築する構想を得て、実行中である。

- (c) 生産システムを対象としたカイゼン・コンサルティングに特化した D3 システム
- (d) 図 2 の D の、非熟練者を対象としたエンジニアリング・プロセス実行支援を効率良く行うためには、汎化プロセスモデルを直接利用するよりも、特定のタスクに対する作業支援システムを作成、利用した方が効果的である。そこで、サイバーレイヤーに様々なプログラム部品が用意されていることを前提に、汎化プロセスモデルから作業支援システム(これをエンジニアリング・ナビゲーション・システムと呼ぶ)を作成する過程を支援するシステム

(4)(2)、(3)の実現可能性、有効性と解決すべき課題を明らかにするために様々なケース・スタディを実行した。当該研究期間中においては主として、図 2 のサイクルを活用した、熟練者から非熟練者へのプロセス知の伝承を狙いとした。主なケース・スタディは以下の通りである。

- 生産システムを対象にしたカイゼンのコンサルティング業務
- 人工物工学研究センター ラーニング・ファクトリーを対象にした、不具合の発見と対策案の立案(5)参照)
- サイバーフィジカル生産システムを対象にした、異常検知アラームのためのアプリ開発問

題

- 溶接工程のための基準位置を設定するための生産設計問題
- リーン生産方式に基づく、生産ラインのロス発見、解消問題
- 工作機械を用いた加工工程のパラメータ選定と機械制御プログラム作成支援

表 1: 実験結果

	初級者	遅延原因の発見		導出した改善案の総数	いずれかの熟練者が導出した案と重複した案の数 (割合)
		原因	原因②		
対照群	a	x	x	7	1 (14%)
	b	x	x	9	3 (33%)
学習群	c			10	7 (70%)
	d			12	6 (50%)

(5) (4)のケース・スタディの

うち、人工物工学研究センター ラーニング・ファクトリーを対象にした、不具合の発見と対策案の立案についてその概要を述べる。

本ケース・スタディでは、ラーニング・ファクトリーにあらかじめ不具合を2箇所発生させておき、被験者に対して、ラーニング・ファクトリーを稼働させて、デジタル・ツインを活用しながら観察することにより、この2箇所の不具合を発見し、対策案を立案することを課題とした。

まず、企業の熟練者を図2におけるフィールド技術者として、上記の課題を実施した。梅田研究室の学生がナレッジエンジニアとしてこの過程を記録し、ログレベルの記述を作成した。この実験を4名の熟練者に対して実施した。その後、ナレッジエンジニアがこの4名分のログレベルの記述から汎化プロセスモデルを作成した。その後、本研究に関わっていない東京大学精密工学専攻の学生4名に対して、同じ課題を実施した。被験者全員に生産システムについての最低限の情報提供を行った上で、2名には汎化プロセスモデルを見た上で課題を実施し、残りの2名には見せないで実施した。課題を実施する時間は全て1時間とした。

実験結果を表1に示す。表中で、対照群、学習群はそれぞれ汎化プロセスモデルを見ていない被験者、見た被験者である。「遅延原因の発見」の列には、2つの原因それぞれについて、発見できれば、できなければxと示している。「導出した改善案の総数」は、各被験者が導出した改善案の数であり、導出した改善案のうち、熟練者4名が導出した案と同じものの数と割合を「いずれかの熟練者が導出した案と重複した案の数(割合)」に記載している。この表に示すように、汎化プロセスモデルを見た被験者は原因を2箇所共に発見できたのに対して、対照群は原因を全く発見できなかった。改善案の数も学習群の方が多く、かつ、学習群が導出した案の方が熟練者の案との重複の割合が高かった。これより、汎化プロセスモデルを用いることにより、熟練者から非熟練者へ問題解決プロセスの方法が伝達できる可能性を示すことができた。

(6)本研究の目的は、今後のデジタル化された生産システムに対する新たなエンジニアリング活動の姿を明らかにするために、「デジタルトリプレット構想」を具体化し、生産システムのエンジニアリング支援方法論を提案することであった。支援方法論として、プロセス記述言語PD3、および、図2に示すプロセス知識記述手順を提案し、様々なケース・スタディを実施し、その有効性を明らかにした。このような形で、日本型ものづくりの代表例である「カイゼン」を形式知化する方法を示すことができたと考えている。

本成果の特徴は、問題解決の手順(それを本研究では「プロセス」と呼んだ)を明示的に記述することにより、その手順、各アクションの意図、実施すべき判断とその基準、実施上の工夫、活用した知識や道具、ソフトウェアの使い方などを記録し、再利用を可能にすることである。そもそも熟練者の問題解決プロセスを明示的に記述することにより、熟練者自身が振り返りを行うことができ、また、技術者間で具体的に議論することが可能になった。このようなことはケース・スタディの中でも何度も目撃された。さらには、プロセスを明示的に記述することにより、AIなどのソフトウェアや自動化をどの部分から導入するかの順番を決定することが可能になり、汎化プロセスモデルの逐次スマート化が可能になった。

そもそものD3の発想である、人の主観をサイバー世界のデータ、ソフトウェア操作などにグラウンディングするというアプローチの実現可能性と有効性を示せたと考えている。本研究の範囲では、問題解決プロセスに焦点を当てたが、D3のこのフレームワーク自体はさらに広いものであり、この記号(人の主観を表現する)とデータの対応付けの応用範囲は広いものであると考えている。

本研究を実施することにより新たな問題点を発見することもできた。1つは、当初から想定されたことであるが、ログレベルの記述、汎化プロセスモデルの作成は手間のかかる作業であり、本手法の普及の阻害要因になっている。ログレベルの記述に対しては(3)(b)に述べた「ログ逐次記述支援システム」のアプローチを新たな研究課題とすることができた。また、汎化プロセスモデルに関してはプロセスマイニングの手法の可能性を検討することができ、新たな研究課題を発見することができた。さらには、D3の計算機実装においては、PD3の記述とサイバー世界との対応付けが重要になることが明らかになり、新たな研究課題として取り組みを開始した。

最後に、D3の考え方は産業界からの注目度が高く、3.研究の方法にて述べた通り、様々な産

学共同研究と連携しながら研究を進めた。本研究の成果を中心として、D3に興味を持つ企業を集め、「D3実践研究会」を東京大学大学院工学系研究科人工物工学研究センター内に設置した。

<引用文献>

NIST (National Institute of Standards and Technology): “Announcing the Standard for INTEGRATION DEFINITION FOR FUNCTION MODELING (IDEF0),” Federal Information Processing Standards Publications, 1993.

飯島 正, 田端 啓一, 斎藤 忍: “プロセスマイニング・サーベイ (第 01 回: 概要と基本概念),” 情報システム学会誌, Vol. 11, No. 2, pp. 20-53, 2016.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 後藤潤平, 新森聡志, 近藤伸亮, 武田英明, 梅田靖	4. 巻 -
2. 論文標題 Digital Triplet型エンジニアリング支援のためのプロセスモデリング手法	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本機械学会学術誌	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 KONDOH Shinsuke, KOMOTO Hitoshi, TAKEDA Hideaki, UMEDA Yasushi	4. 巻 17
2. 論文標題 Acquisition and validation of expert knowledge for high-mix and low-volume production scheduling problems	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jamdsm.2023jamdsm0008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Sawada Hiroyuki, Nakabo Yoshihiro, Furukawa Yoshiyuki, Ando Noriaki, Okuma Takashi, Komoto Hitoshi, Masui Keijiro	4. 巻 16
2. 論文標題 Digital Tools Integration and Human Resources Development for Smart Factories	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 250 ~ 260
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/ijat.2022.p0250	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Hara Tatsunori, Tsuru Satoko, Yasui Seiichi	4. 巻 14
2. 論文標題 A Mathematical Model of Value Co-Creation Dynamics Using a Leverage Mechanism	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 6531 ~ 6531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/su14116531	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 梅田靖	4. 巻 29
2. 論文標題 デジタルトリプレットで日本のものづくりの強みを進化させる	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ダイヤモンドクォーターリー	6. 最初と最後の頁 42-45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Komoto Hitoshi	4. 巻 70
2. 論文標題 Design space computation based on general design theory applied to knowledge formulation in simulation-based production planning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CIRP Annals	6. 最初と最後の頁 107 ~ 110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cirp.2021.04.018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Umeda Yasushi, Goto Junpei, Hongo Yuki, Shirafuji Shouhei, Yamakawa Hiroshi, Kim Dongsik, Ota Jun, Matsuzawa Hiroki, Sukekawa Takuji, Kojima Fumio, Saito Masahiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Developing a Digital Twin Learning Factory of Automated Assembly Based on 'digital Triplet' Concept	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SSRN Electronic Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2139/ssrn.3859019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamakawa Hiroshi, Goto Junpei, Nishida Takumi, Kishita Yusuke, Umeda Yasushi	4. 巻 -
2. 論文標題 Developing an Exercise on Design and Production using 3D CAD and LEGO Car Assembly Robot	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SSRN Electronic Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2139/ssrn.3862257	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Umeda Yasushi	4. 巻 24
2. 論文標題 Digital Triplet of Manufacturing Systems Supporting Engineers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of The Japan Institute of Electronics Packaging	6. 最初と最後の頁 333 ~ 339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5104/jiep.24.333	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Umeda Yasushi, Ota Jun, Shirafuji Shouhei, Kojima Fumio, Saito Masahiro, Matsuzawa Hiroki, Sukekawa Takuji	4. 巻 45
2. 論文標題 Exercise of digital kaizen activities based on 'digital triplet' concept	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Procedia Manufacturing	6. 最初と最後の頁 325 ~ 330
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.promfg.2020.04.025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hara Tatsunori, Li Yangxu, Ota Jun, Arai Tamio	4. 巻 69
2. 論文標題 Automatic risk assessment integrated with activity segmentation in the order picking process to support health management	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 CIRP Annals	6. 最初と最後の頁 17 ~ 20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cirp.2020.04.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 HARA Tatsunori, HAMANO Masafumi, CHINO Haruka, SATO Takaomi, KANEKI Yusuke, UMEDA Yasushi, NAKATA Toshiyuki, AOYAMA Kazuhiro, OTA Jun	4. 巻 86
2. 論文標題 Design method of service system that encourages co-creation from the viewpoints of service chains and continuous provision	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transactions of the JSME (in Japanese)	6. 最初と最後の頁 20-00192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.20-00192	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 梅田靖	4. 巻 54
2. 論文標題 デジタル・トリプレットの構想	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 設計工学	6. 最初と最後の頁 403-409
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計31件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Yasushi Umeda
2. 発表標題 Digital Triplet for Recording and Reusing Engineering Processes Executed by Human Intelligence
3. 学会等名 15th World Congress on Computational Mechanics & 8th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Hara
2. 発表標題 Reorganizing Cyber-Physical Configurations using User Activities for Human-in-the-Loop Cyber-Physical Systems
3. 学会等名 IFAC World Congress 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Satoshi Shimmori
2. 発表標題 Supporting Development of Digital Solutions for Manufacturing Systems Based on 'Digital Triplet' concept
3. 学会等名 The 19th International Conference on Precision Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasushi Umeda
2. 発表標題 Digital Triple - Supporting Manufacturing Engineers with Industrial Digital Twin
3. 学会等名 IEEE 8th World Forum on Internet of Things (WF-IoT) 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 近藤伸亮
2. 発表標題 Digital Triplet を用いた人中心型生産システムへ向けて
3. 学会等名 日本機械学会第32回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤隆臣
2. 発表標題 Digital Triplet 構想に基づく生産システムコンサルタントの養成 OJT 教育との比較
3. 学会等名 日本機械学会第32回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新森聡志
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本機械学会第32回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 成宮大翔
2. 発表標題 CAD を用いたエンジニアリングプロセスの動態保存手法の提案
3. 学会等名 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 秋山怜穂
2. 発表標題 Digital Triplet に基づくエンジニアリングのためのデータ基盤の開発
3. 学会等名 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 新森聡志
2. 発表標題 Digital Triplet に基づく問題解決プロセスの逐次記述支援手法
3. 学会等名 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤瑞樹
2. 発表標題 Digital Triplet に基づくエンジニアリングナビゲーションシステム開発手法
3. 学会等名 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 梅田靖
2. 発表標題 日本型デジタルものづくりデジタルトリプレット
3. 学会等名 2022年度関西モノづくり大会, 関西生産性本部 関西IE協会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 梅田靖
2. 発表標題 日本の製造業の現場の強みを活かしながらデジタル化を実現するための「デジタル・トリプレット」
3. 学会等名 製造業DXフォーラム2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hitoshi Komoto
2. 発表標題 Analyzing information flow collected across planning and execution stages of machine tools operations
3. 学会等名 The 10th International Conference on Leading Edge Manufacturing (LEM21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hitoshi Komoto
2. 発表標題 Recording of machine tool operation plan for the generation of the CNC programs of a parametric CAD model
3. 学会等名 The 10th International Conference on Leading Edge Manufacturing (LEM21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takaomi Sato
2. 発表標題 Applying the Concept of Digital Triplet to Production Systems Consulting
3. 学会等名 The 10th International Conference on Leading Edge Manufacturing (LEM21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jumpei Goto
2. 発表標題 Development of a Learning Factory Based on 'Digital Triplet' Concept
3. 学会等名 The 10th International Conference on Leading Edge Manufacturing (LEM21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinsuke Kondoh
2. 発表標題 Acquisition of expert's knowledge for high-mix and low-volume production scheduling problem
3. 学会等名 The 10th International Conference on Leading Edge Manufacturing (LEM21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasushi Umeda
2. 発表標題 Digital Triplet and its Implementation on Learning Factory
3. 学会等名 14th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 梅田靖
2. 発表標題 デジタルトリプレットによる新たなモノづくりとライフサイクル価値創成 ~人の知をCPSへ取り込むデジタル・カイゼン~
3. 学会等名 日本機械学会年次大会 先端技術フォーラム 人を中心とした新産業革命を日本から推進するために(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 後藤潤平
2. 発表標題 デジタルトリプレット構想に基づくラーニングファクトリーの構築
3. 学会等名 日本機械学会第31回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 後藤潤平
2. 発表標題 Digital Triplet 型エンジニアリング支援のためのプロセスモデリング手法
3. 学会等名 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 秋山怜穂
2. 発表標題 車両製造を例題としたDigital Triplet に基づく工程設計支援
3. 学会等名 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤隆臣
2. 発表標題 Digital Triplet 型生産システムコンサルティング手法の提案 (生産システムコンサルティング汎化プロセスモデルの導出)
3. 学会等名 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹内寛樹
2. 発表標題 デジタル・トリプレット構想に基づく生産システムコンサルティング支援 - ケーススタディ
3. 学会等名 精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本郷結希
2. 発表標題 Digital Triplet型CPPSのための意思決定プロセス構造化支援手法の提案
3. 学会等名 精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 梅田靖
2. 発表標題 デジタルトリプレットによる新たなモノづくりとライフサイクル価値創成
3. 学会等名 日本機械学会年次大会 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 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 後藤潤平
2. 発表標題 デジタルトリプレットのためのラーニングファクトリーの構築
3. 学会等名 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本郷結希
2. 発表標題 Digital Triplet 型生産システムのための意思決定プロセス構造化支援システムの構築
3. 学会等名 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasushi Umeda
2. 発表標題 An education program for digital manufacturing system engineers based on 'Digital Triplet' concept
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会, 市民フォーラム "Beyond the paradigm of Industries 4.0 and Society 5.0" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasushi Umeda
2. 発表標題 Supporting human engineering activities by Digital Triplet
3. 学会等名 The Robot Revolution and Industrial IoT International Symposium 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Weiming Shen, Lihui Wang, et al. (eds.)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Int. Coalition of Intelligent Manufacturing	5. 総ページ数 301
3. 書名 Intelligent Manufacturing Report 2020	

1. 著者名 Henning Kagermann and Youichi Nonaka	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Acatech	5. 総ページ数 51
3. 書名 Revitalizing Human-Machine Interaction for the Advancement of Society - Perspectives from Germany and Japan	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東京大学 人工物工学研究センター http://race.t.u-tokyo.ac.jp 東京大学 梅田・木下研究室 http://www.susdesign.t.u-tokyo.ac.jp/index.html</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	原 辰徳 (Hara Tatsunori) (00546012)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授 (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高本 仁志 (Komoto Hitoshi) (30613244)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員 (82626)	
研究分担者	近藤 伸亮 (Kondoh Shinsuke) (40336516)	東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・特任教授 (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関