

第39回日本ロボット学会学術講演会 オープンフォーラム

合業 - ロボットと人間が助け合う 未来の生産システムを目指して (第二回)

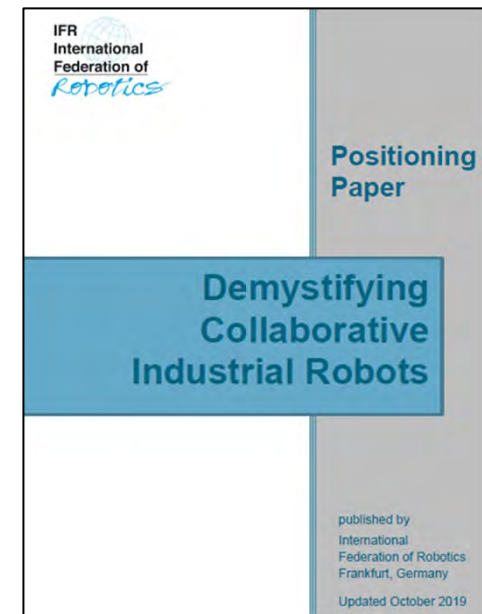
2019年9月8日 (オンライン開催)

RSJ 複雑高精度機械の組立技術研究専門委員会
Xづくり研究会／メガ労働生産性システム研究会
一般財団法人 製造科学技術センター

【Ⅲ-1】 人とロボットの協働の最新動向

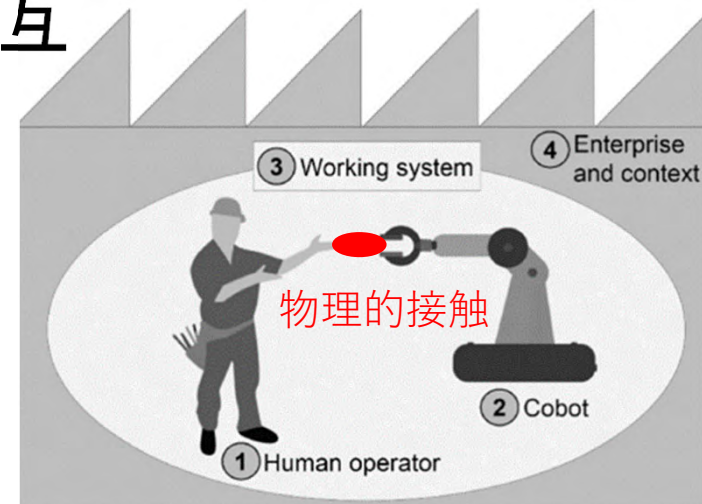
- 国際ロボット連盟 (IFR) の「Responsive Collaboration」と合業の位置づけ

出典：<https://ifr.org/papers/demystifying-collaborative-industrial-robots-updated-version>



- 物理的接触を伴う人間・ロボット相互作用 (Physical Human Robot Interaction ; pHRI) の難しさ

出典：Success factors for introducing industrial human-robot interaction in practice: an empirically driven framework
Tobias Koppl The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2021)
112:685-704 赤い部分はMSTCで追記



IFRによる「人間とロボットの協業のレベル」の分類

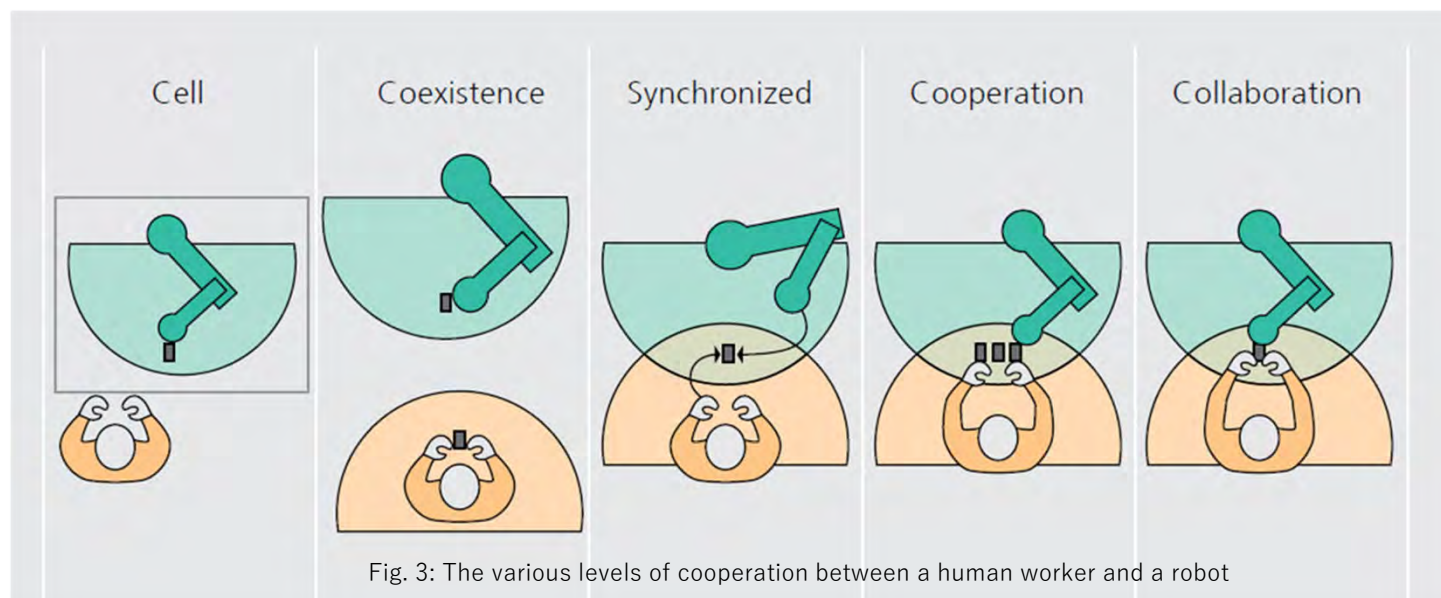
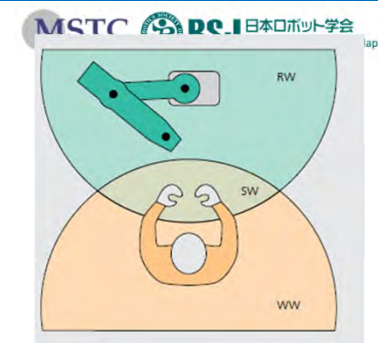


Fig. 3: The various levels of cooperation between a human worker and a robot



RW = Robot's workspace
 WW = Worker's workspace
 SW = Shared workspace

Wilhelm Bauer (Editor) |
 Manfred Bender | Martin Braun |
 Peter Rally | Oliver Scholtz
 Lightweight robots in manual
 assembly – best to start simply!
 Examining companies' initial
 experiences with lightweight
 robots

セル–ロボットは従来の柵の中で操作されるため、真の協業シナリオではない

Cell – Not a genuine cooperation scenario since the robot is operated in a traditional cage.

共存–人間と柵のないロボットは互いに連携して動作するワークスペースを共有しない

Coexistence – Human and cage-free robot work alongside each other but do not share a workspace.

同期–ワークフローの設計は、人間の作業者とロボットがワークスペースを共有することを意味するが、実際には、一度に一人の対話パートナーのみがワークスペースに存在する

Synchronized – The design of the workflow means that the human worker and the robot share a workspace but that only one of the interaction partners is actually present in the workspace at any one time.

協調–両方の対話パートナーは、（共有）ワークスペースで同時に実行するタスクを持っている場合があるが、同じ製品またはコンポーネントについて同時に作業することはない

Cooperation – Both interaction partners may have tasks to perform at the same time in the (shared) workspace, but they do not work simultaneously on the same product or component.

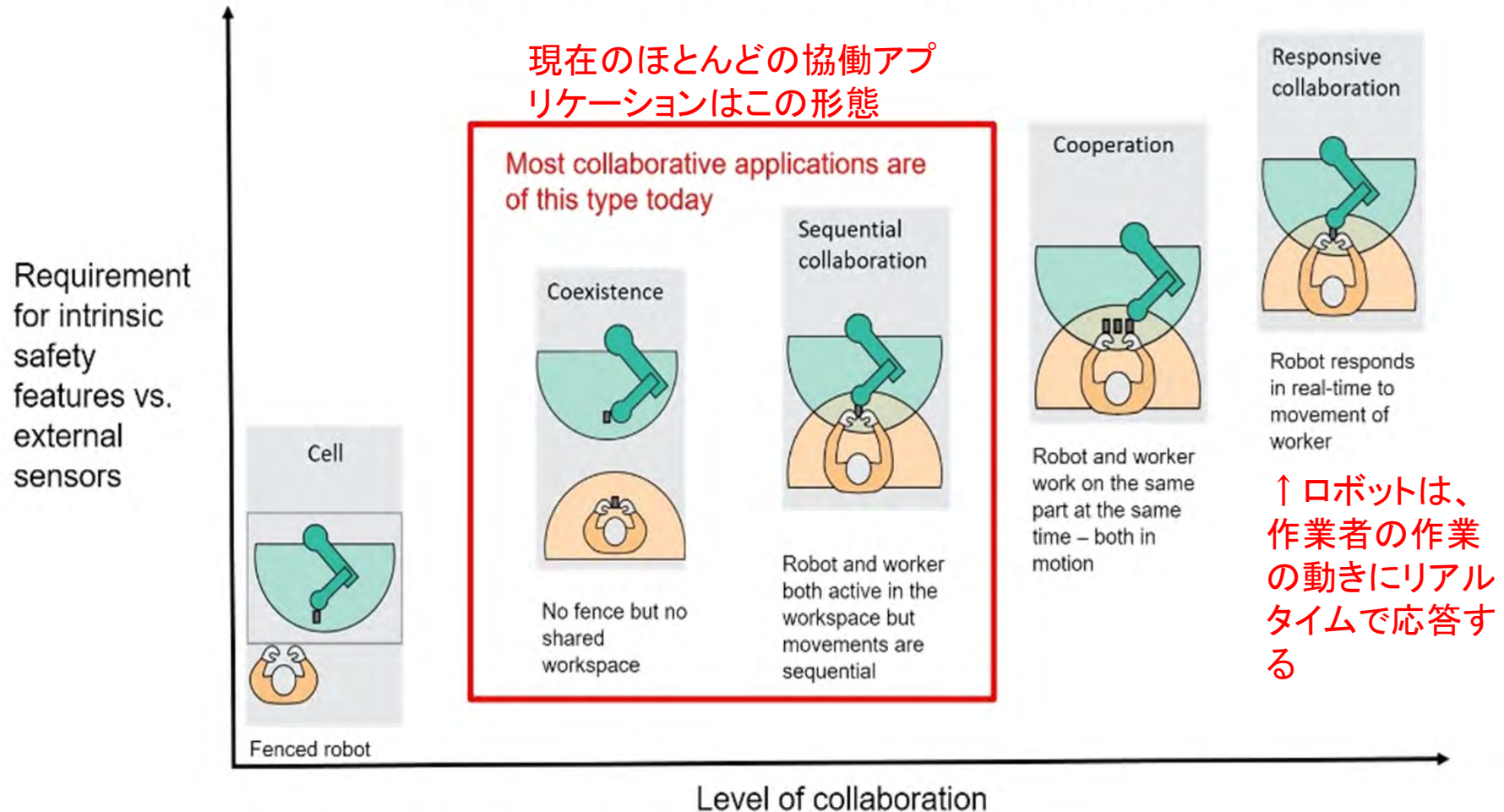
協働–人間の作業者とロボットは、同じ製品またはコンポーネントで同時に作業する

Collaboration – Human worker and robot work simultaneously on the same product or component.

注：日本語はGoogle翻訳

IFRによる「産業用ロボットとの協働の形態」の分類

Types of collaboration with industrial robots



Green area: robot's workspace; yellow area: worker's workspace
Source: IFR (classification), adapted and modified from Bauer et al. (2016).



Robot responds
in real-time to
movement of
worker

受動的（応答的）協働—
ロボットは、作業者の
作業の動きにリアルタ
イムで応答する

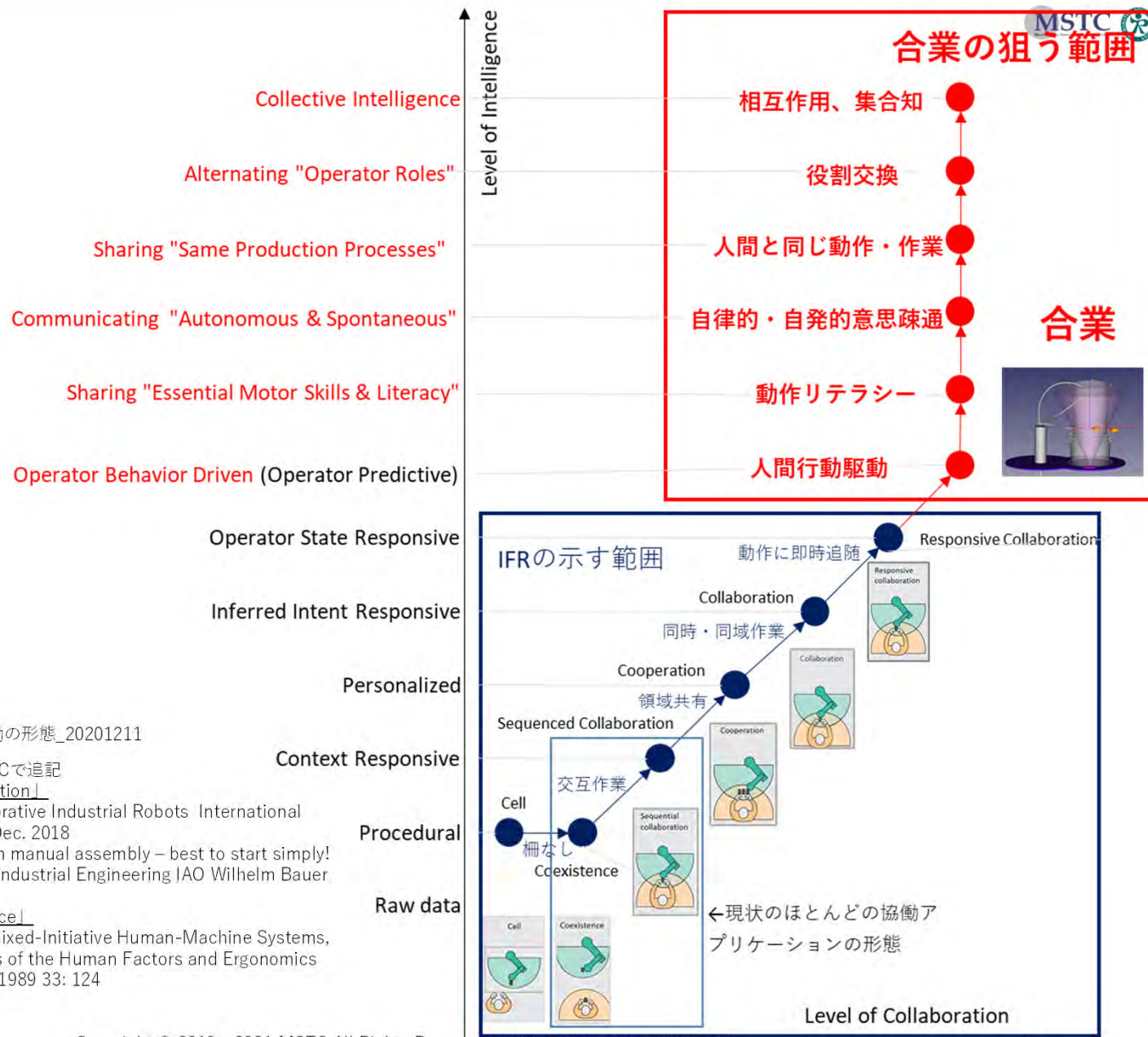
IFRによる「Responsive Collaboration」の説明

- ロボットが作業者の動きにリアルタイムで応答するアプリケーションは、技術的に最も困難です。（たとえば、作業者が部品を提示する角度に一致するようにグリッパーの角度を変更する）
- ロボットは作業者の動きに適応する必要があるが、**作業者の動きを完全に予測することはできません**し、エンドユーザー（作業者）は、潜在的な動作範囲の完全なパラメータが安全要件を満たしていることを確認する必要があります。
- 産業分野（生産性の向上を達成するために精度と再現性を求めるほとんどの製造部門）での「Responsive Collaboration」の事例がすぐに現れる可能性はほとんどありません。

(Google 翻訳による)

原文： Applications in which the robot responds in real-time to the motion of a worker (altering the angle of the gripper to match the angle at which a worker presents a part, for example) are the most technically challenging. Since the robot needs to adjust to the motion of the worker, its movements are not completely predictable and therefore the end-user must be sure that the full parameters of its potential scope of motion meet safety requirements. Examples of responsive collaboration in industrial settings are unlikely to appear soon in most manufacturing sectors, which rely on precision and repeatability to achieve productivity gains.

合業の位置づけ



メガ資料# 53-5_ 産業用ロボットとの協働の形態_20201211

出典：以下の文献にMSTCで追記
横軸「Level of Collaboration」

(1) Demystifying Collaborative Industrial Robots International Federation of Robotics Dec. 2018
(2) Lightweight robots in manual assembly – best to start simply! Fraunhofer Institute for Industrial Engineering IAO Wilhelm Bauer (Editor)

縦軸「Level of Intelligence」

(3) A General Model of Mixed-Initiative Human-Machine Systems, Victor Riley, Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 1989 33: 124

物理的接触を伴う協働 (Physical Human Robot Interaction pHRI)

曲げ加工 (二人作業)



http://blog.livedoor.jp/r_mage_ishikawa/archives/28052609.html

玉掛・クレーン作業



<http://blog18.neec.ac.jp/archives/52116551.html>

リベット作業



<http://blog18.neec.ac.jp/archives/52116551.html>

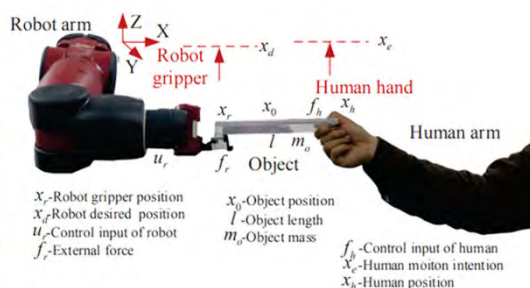
ボルト・ナット締付作業



<https://www.lakenheath.af.mil/News/Article/e-Display/Article/297890/the-benefits-of-teamwork/>

何が難しいのか？

Physical Human Robot Interaction and Collaboration



<https://core.ac.uk/download/pdf/327951313.pdf>

<https://hri.iit.it/research/physical-human-robot-interaction-and-collaboration>

配線作業



Electric Engine PRODUCTION - Audi e-tron MOTOR
<https://www.youtube.com/watch?v=uWBEPspbWI>

物理的・技術的難しさ（ボルト・ナットの締付けを例に検討した場合）

相互作用の問題

- 時間の干渉・協調: 掛け声、プレ掛け声等によるタイミング合わせ
- 力の干渉・協調: 締める／緩める、水平を保つ
- 役割の干渉・協調: 単体移動と合業での主導者の切替
- 空間位置の干渉・協調: 部品の位置合わせ
- 意図の干渉・協調: 現場での動作すり合わせ
- 複数物体: ボルト/ナット、ガスケット/ワッシャ、締付/被締付部品、治具/工具
- 異形状取扱: 相似形、似て非なる形状等の姿勢確保、把持部確保
- 複数操作者: 人間一人以上＋ロボット1台以上

物理的な問題

- 非線形挙動: 人間作業者の腕、指の非線形の動き
- 確率論的過程: 人間の経験に基づく決定論的ではない位置決め動作の動き
- 非弾性変形: 非弾性体に対する緩みを伴う締め付けと適正トルク付加
- 物理的接触: 部品受渡しや人間とロボットによる締付け等の力の干渉を伴う接触
- 動的挙動: 部品の回し始めにおける正回転／逆回転の動的な動き
- 軽重軟取扱: 軽薄短小・重厚長大・軟曲尖粗な部品取扱い

工程の問題

- 複合可動域: 広域移動と局所高精度の両立
- 取付調整: 主作業(取付)＋付随作業(調整)の実施
- 非定型工程: 製品の形態管理に伴う非定常・非定型の作業工程

【Ⅲ-1】 人とロボットの協働の最新動向

● 国際ロボット連盟(IFR)の「Responsive Collaboration」と合業の位置づけ

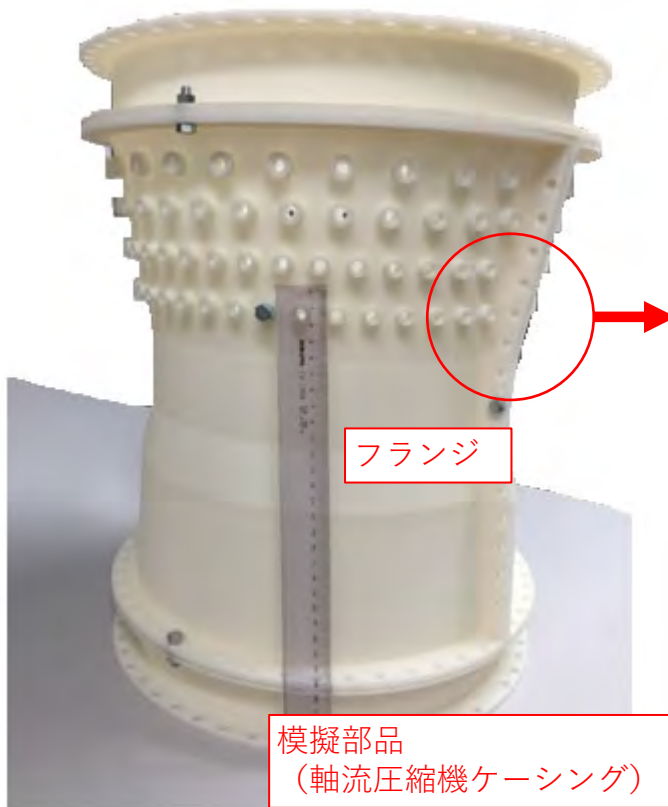
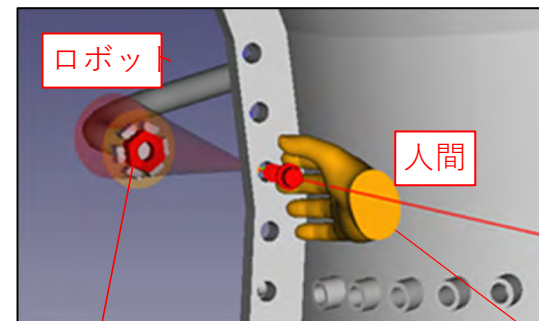
- ✓ 「Responsive Collaboration」は、現在のロボットの発展形で、ロボットが作業者の動きにリアルタイムで応答する協働のことであるが、作業者の動きを予測する等の技術的困難があり実現は難しく挑戦的な位置づけである
- ✓ 「合業」は「Responsive Collaboration」の概念を出発点として、具体的なロボット制御機能として「人間行動駆動」、「動作リテラシー」、「意思疎通」という新しい仕組みを取り入れたもので、未だ実現できていない人間とロボットの新しい協働形態である

● 物理的接触を伴う人間・ロボット相互作用(Physical Human Robot Interaction;pHRI)の難しさ

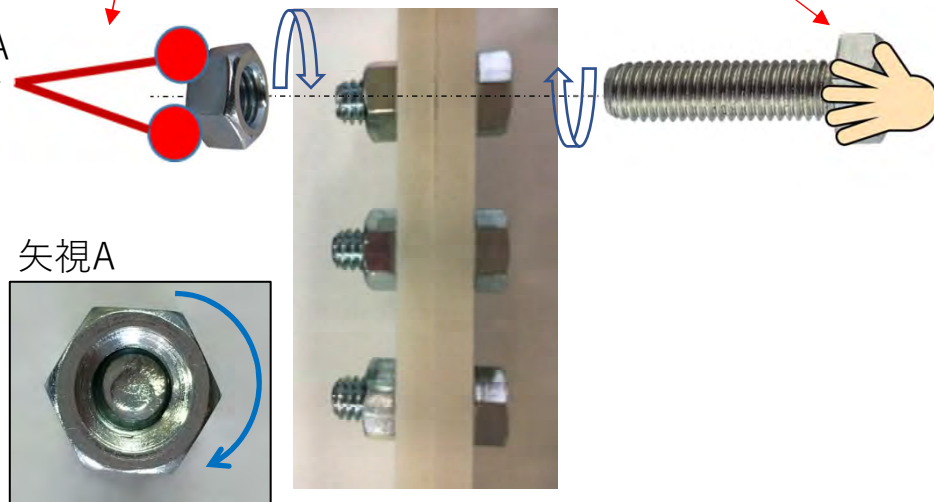
- ✓ 大きな部品を運搬したり、高精度機械を組立てたりする作業を「合業」で行う場合に「物理的接触を伴う人間・ロボット相互作用」が発生する
- ✓ 「物理的接触を伴う人間・ロボット相互作用」には、人間とロボットの「相互作用の問題」、「物理的な問題」、「工程の問題」などが複合的に絡み合っており解決が難しい

(参考) pHRIで実現したい作業; ボルトナット締め付け

ティーチングをしないで、人間とロボットと一緒にボルトとナットの締め付けをやるにはどうすればよいか？



矢視A



矢視A



模擬部品
(軸流圧縮機ケーシング)

2021年9月8日 発行

発行者 一般財団法人製造科学技術センター

連絡先

住所 〒105-0004 東京都港区新橋3-4-1 新橋企画ビルディング4階

電話 03-3500-4891

Fax 03-3500-4895

Eメール info@mstc.or.jp

著作権について

無断転載・使用を禁ずる。

資料中の引用画像は、MSTCメガ労働システム研究会で管理しています。

本資料に記載の情報の著作権は製造科学技術センター（MSTC）メガ労働生産性システム研究会に帰属します。

私的かつ非商業目的で使用する場合、その他著作権法により認められる場合を除き、事前に製造科学技術センター（MSTC）の書面による許可を受けずに、複製、公衆送信、改変、切除、転載等の行為は著作権法により禁止されています。