

労働力不足に対する、CPSを基盤とした IoT、AI、ロボットの活用

Utilization of IoT, AI and Robots within the
framework of cyber-physical systems in response to
labor shortages

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
インダストリアルCPS研究センター

研究センター長

谷川 民生

社会課題解決に向けた取り組み



社会課題に対して、7領域の枠を越えた研究開発を実施する融合研究テーマを設定し、全所的なシナジー発揮を促進



対象とする社会的課題

- 我が国の生産年齢人口（15～64歳）は、1995年の8,726万人をピークに、2040年にはおよそ6,000万人まで減少する見込み
- 人手不足、技術・ノウハウの伝承の困難化等は、全ての産業に共通する社会課題
- また、新型コロナウイルス対策のためにも働き方変革は待ったなしとなる中、労働集約型の職場ではテレワーク等への対応が十分にできない問題が顕在化



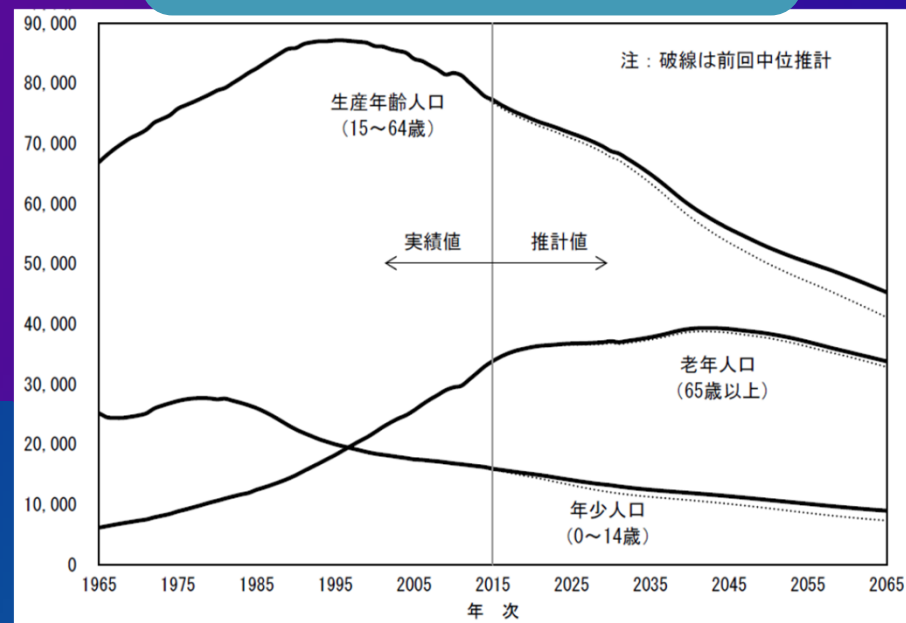
生産年齢人口半減

2035 団塊の世代のジュニアが退職
2060 国民の40%が高齢者に



生産活動ならびに
消費活動の縮小

我が国の将来推計人口（中位推計）



世界的にも2030年から大幅減

各社会課題に対応する技術課題

一人あたりの生産性を向上させる

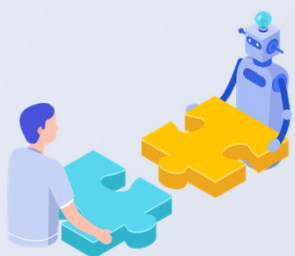


人の柔軟性と機械の高い生産性を組み合わせた人・機械協調技術

➤ 一人の人間をAI・ロボットに代替する（完全自動化）ではなく、二人のうち一人をAI・ロボットに代替する人・機械協調技術

生産労働者を増加させる

働きやすさの向上



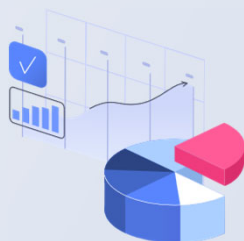
遠隔操作技術の高度化による時空間を超えた労働の実現

高齢化による体力低下、障がいによる就労制限、子供・親の介護による時間的制約といった就労を制限する要因を低減し、潜在的就労者を就労に参加させる

➤ ロボットの遠隔操作技術を高度化した物理作業のテレワーク化

熟練者のノウハウの効率的な技術伝承

人材育成



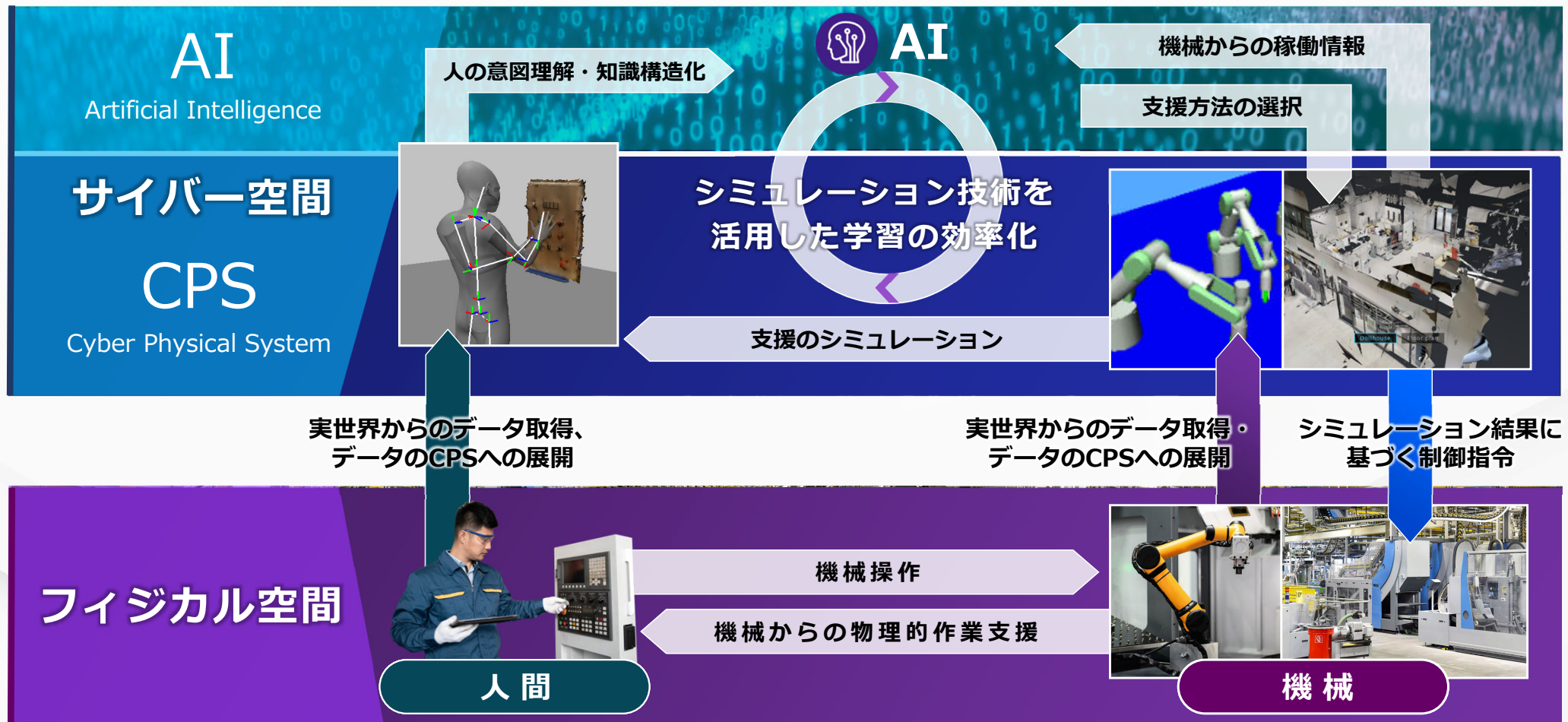
DXによる技能伝承

IoT、AI、ロボティクス等を応用した人作業の見える化や、OJTのしくみなど新たな技能伝承・融合・発展のしくみの構築

➤ 知識とデータの融合による知識構造化

AI、IoT、ロボット技術連携の基盤となる サイバーフィジカルシステム

- AI学習に必要なデータ取得のためのIoT技術
- 学習データを増やすためのサイバー空間を活用したシミュレーション技術の活用
- 人とのインタラクションを高度化するための作業者のサイバー空間でのモデル化



社会課題に対応する技術課題

一人あたりの生産性を向上させる

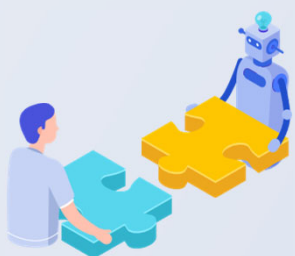


人の柔軟性と機械の高い生産性を組み合わせた人・機械協調技術

➤ 一人の人間をAI・ロボットに代替する（完全自動化）ではなく、二人のうち一人をAI・ロボットに代替する人・機械協調技術

生産労働者を増加させる

働きやすさの向上



遠隔操作技術の高度化による時空間を超えた労働の実現

高齢化による体力低下、障がいによる就労制限、子供・親の介護による時間的制約といった就労を制限する要因を低減し、潜在的就労者を就労に参加させる

➤ ロボットの遠隔操作技術を高度化した物理作業のテレワーク化

熟練者のノウハウの効率的な技術伝承

人材育成



DXによる技能伝承

IoT、AI、ロボティクス等を応用した人作業の見える化や、OJTのしくみなど新たな技能伝承・融合・発展のしくみの構築

➤ 知識とデータの融合による知識構造化

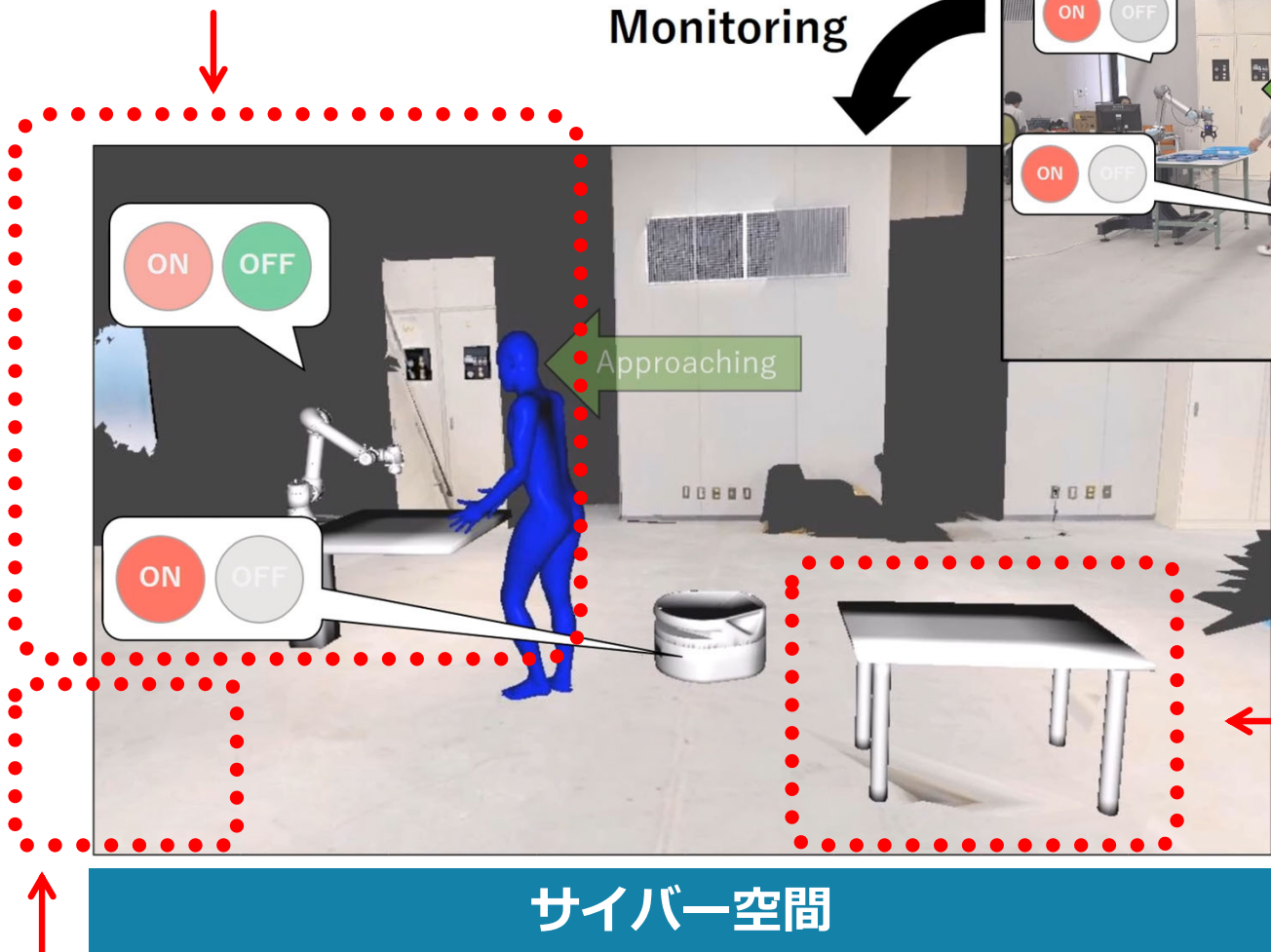


人と機械協調のコンセプトデモ

ロボットによる部品準備

Monitoring

フィジカル空間



Feedback

人による部品組立

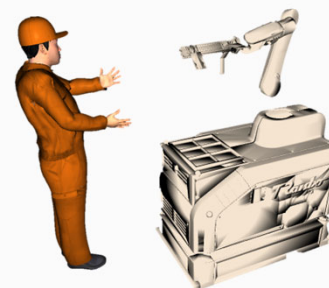
搬送ロボット

サイバー空間

生産現場における人と機械の協調

■ 空箱の発生に伴う作業計画の変更

- 空箱の検出
 - LEDの点滅で空箱の発生を可視化
- 作業計画の更新
 - 空箱の取り替えを作業者にアサイン
 - 作業負担が高いパーツをロボットにアサイン



トヨタ自動車、デジタルヒューマン研究チームとの共同開発

社会課題に対応する技術課題

一人あたりの生産性を向上させる

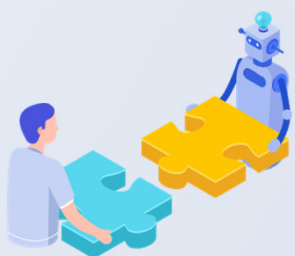


人の柔軟性と機械の高い生産性を組み合わせた人・機械協調技術

➤ 一人の人間をAI・ロボットに代替する（完全自動化）ではなく、二人のうち一人をAI・ロボットに代替する人・機械協調技術

生産労働者を増加させる

働きやすさの向上



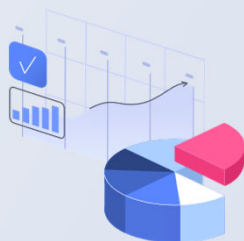
遠隔操作技術の高度化による時空間を超えた労働の実現

高齢化による体力低下、障がいによる就労制限、子供・親の介護による時間的制約といった就労を制限する要因を低減し、潜在的就労者を就労に参加させる

➤ ロボットの遠隔操作技術を高度化した物理作業のテレワーク化

熟練者のノウハウの効率的な技術伝承

人材育成



DXによる技能伝承

IoT、AI、ロボティクス等を応用した人作業の見える化や、OJTのしくみなど新たな技能伝承・融合・発展のしくみの構築

➤ 知識とデータの融合による知識構造化

CPSを活用し、サイバー空間を介した物理的な遠隔作業の実現



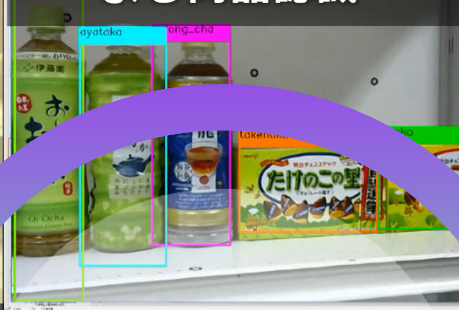
CPSを介した遠隔操作による商品棚卸

小売店舗
ピッキング作業

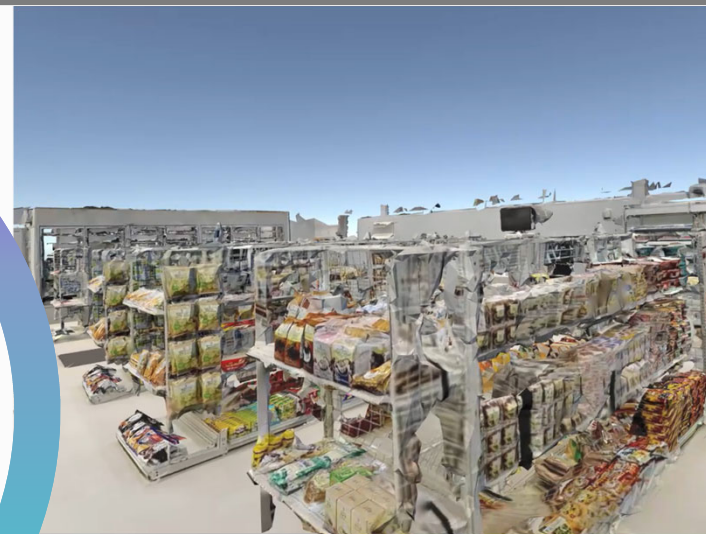
フィジカル空間



3Dデータベースによる商品認識



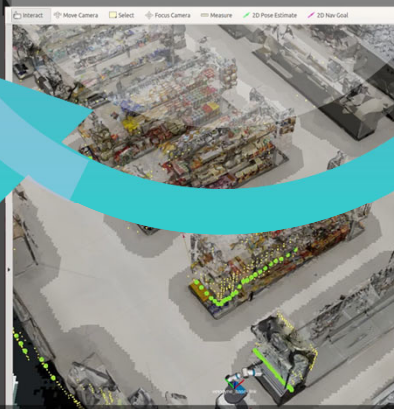
サイバー空間での指示



4x speed



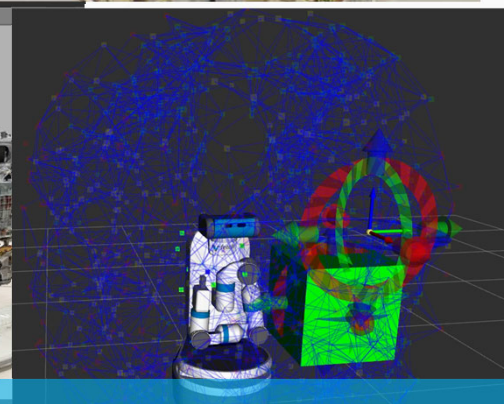
環境変化に応じた自律制御動作



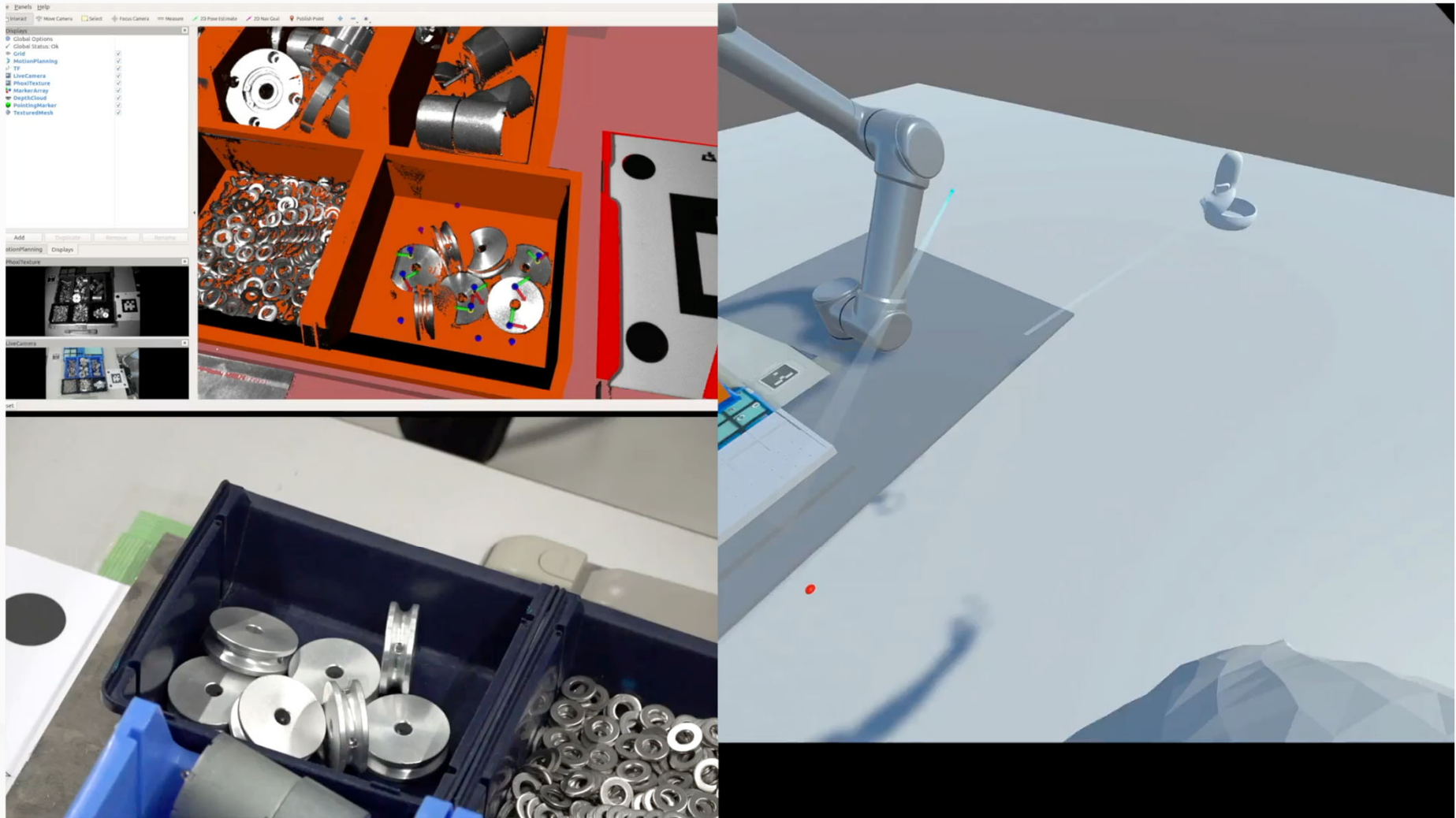
サイバー環境でのシミュレーション解析



サイバー空間



遠隔操作によるエラーリカバリー



左上：工場側ROS環境，左下：工場側映像，右：VR側HMD映像

社会課題に対応する技術課題

一人あたりの生産性を向上させる



人の柔軟性と機械の高い生産性を組み合わせた人・機械協調技術

➤ 一人の人間をAI・ロボットに代替する（完全自動化）ではなく、二人のうち一人をAI・ロボットに代替する人・機械協調技術

生産労働者を増加させる

働きやすさの向上



遠隔操作技術の高度化による時空間を超えた労働の実現

高齢化による体力低下、障がいによる就労制限、子供・親の介護による時間的制約といった就労を制限する要因を低減し、潜在的就労者を就労に参加させる

➤ ロボットの遠隔操作技術を高度化した物理作業のテレワーク化

熟練者のノウハウの効率的な技術伝承

人材育成



DXによる技能伝承

IoT、AI、ロボティクス等を応用した人作業の見える化や、OJTのしくみなど新たな技能伝承・融合・発展のしくみの構築

➤ 知識とデータの融合による知識構造化

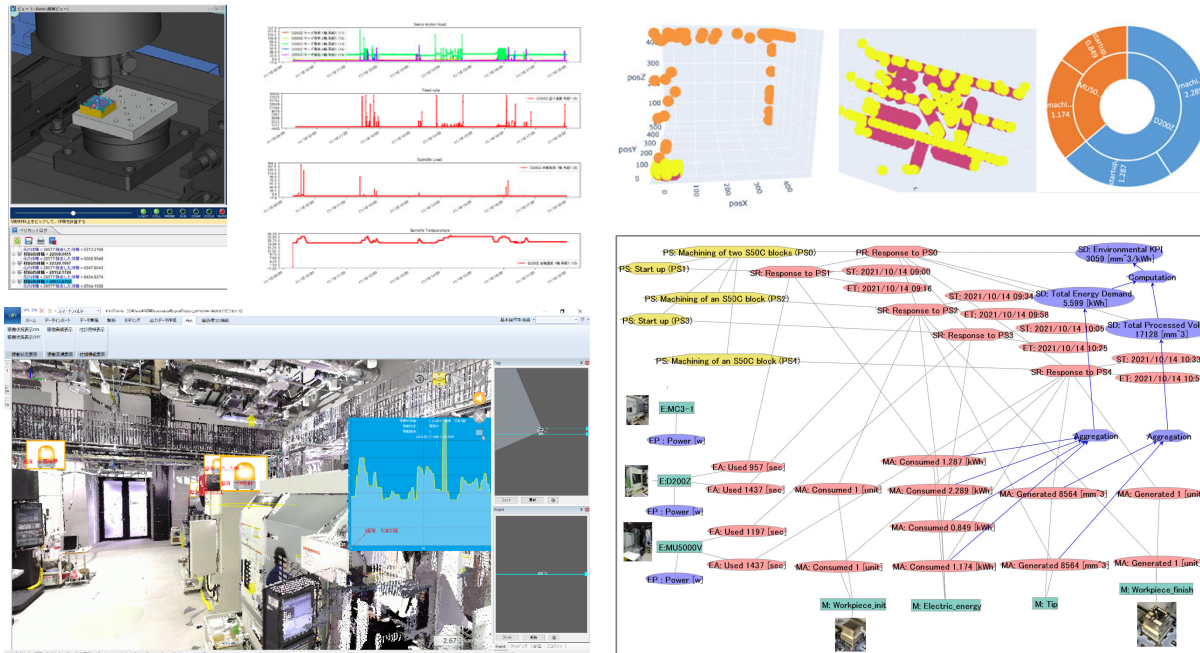
熟練技術の知識構造化および生産技術のDX化による生産性向上

成果

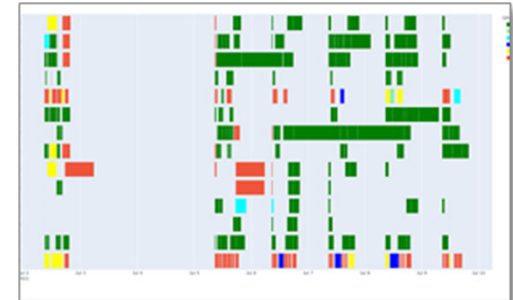
製造現場の知識抽出に基づいた
CPS構築による労働生産性向上の
実現可能性を示す

- ・ 臨海つながる工場模擬環境を活用し作業支援CPSの研究開発
 - ・ 模擬環境設置機器のモデル化と稼働データの分析環境開発
 - ・ 知識記述・可視化ツールによる実現場での知識活用
- 実際の製造現場での計画・運用に関する暗黙知を組み込んだ
生産システムシミュレータを開発し有効性を検証

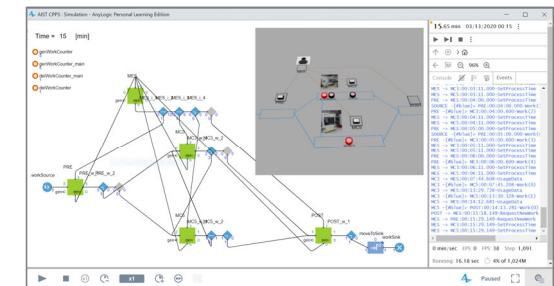
1 模擬環境のデータ分析環境と知識記述・可視化ツール



2 生産計画・実績データ



3 生産システムシミュレーション



模擬環境で各分野への実現場適応を検証

- 労働生産人口低下で影響を大きく受ける**労働集約型の産業**として「工場」「物流」「創薬」の3つの環境を模擬環境として構築
- 模擬環境からAIの学習データ取得するため、各模擬環境のサイバーフィジカルシステムを構築
- 模擬環境をテストベッドとして活用し、ここで開発された仕組みを実際の現場へ展開

<p>1 バイオ研究 創薬</p> <p>AIロボットバイオサイエンティスト開発により創薬研究生産性の向上を実証</p>  <p>AIにより複数台の協調作業を実現</p>	<p>2 小売店 物流</p> <p>AIxロボットによるマテリアルハンドリングを実施</p> 	<p>3 小型半導体製造 工場</p> <p>半導体製造ラインを小型化してAIで最適制御</p> 
<p>4 機械加工工場 工場</p> <p>工場の生産ラインを模擬しAI技術を用いて一連の行程で様々なロボットを連携させて、モノと情報の流通の先進モデルを実証</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  ×  </div> <p>「つながる工場」の検証を可能とする 我が国共有のテストベッド</p> 		

「人」が主役となるものづくり革新推進コンソーシアムで活動

少子高齢化における労働生産人口減少に対し、ものづくりにおける労働生産性向上のため、産学官連携でオープンイノベーションを目指すためのコンソーシアム組織

主な活動内容

- 1 「人」が主役となる新たなものづくりに関する研究開発・実証・評価の推進
- 2 研究開発・実証・評価を通じて収集するデータなどの管理や産業利用促進
- 3 社会実装・事業展開促進に向けた技術導入支援および人材育成
- 4 関連事項の研究・調査・検討などを行う研究会などの運営
- 5 認知向上・普及啓発に向けた情報発信・情報共有 など

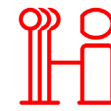
【正会員】 **16** 社・団体

(順不同・敬称略・2022年1月現在)

正会員A 2社: 三菱電機・日鉄ソリューションズ
正会員B 10社: 旭化成・沖電気工業・O2・IBUKI・イネーブラー・中野冷機・
日本薬理評価機構・丸三池内・東研機械・アシックス・小野薬品工業
正会員C 3社: アールティ・バルカー・ヤマハ

【特別会員】 **11** 大学・団体 (順不同・敬称略・2022年1月現在)

京都大学・慶應義塾大学・東京大学・同志社大学・
筑波技術大学・北海道大学・神戸大学・OSIsoft・
茨城県産業技術イノベーションセンター・
兵庫県立工業技術センター・NPO 産学連携推進機構



HCMIC ロードマップ報告

2021年4月2日

HCMICコンソーシアム 運営委員会ロードマップ検討会東京

大学 太田 順、青山 和浩

京都大学 松原 厚、岩崎 隆至

三菱電機 吉川 勉、加藤 嘉明

NSSOL 南澤 吉昭

産総研 増井 慶次郎、加納 誠介、澤田 浩之、谷川 民生(運営委員長)、岩井 匡代(事務局長)

目指す姿

2030 Society5.0 時代のものづくり

8 働きがいも 経済成長も
世界に先立ち SDGs 目標③達成モデル構築
「働きがいも 経済成長も」

働く人は消費者(納税者)

人の柔軟さ、成長性は競争力

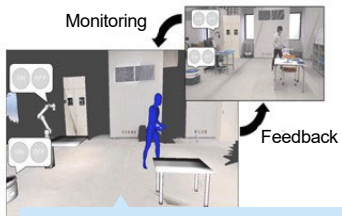
「生産年齢人口」は半減するが 機械が製造、人はサポートから
生産人口は増大へ

人と機械がパートナーへ

社会保障に依存しない
消費者層の増強

労働生産性向上
変種変量対応力強化

協調型協働技術確立



人間を計測、状態を推定して、
物品輸送ロボットへの動作指示

遠隔協調型協働技術確立



働き方改革
遠隔就労支援

VRと高速通信活用による遠隔指示ア
バター活用による柔軟指示



工場作業者

在宅熟練者

QoW 指標を活用した
マルチタレントマネジメント



目指す姿(案)環

境を守りながら
持続可能な
経済発展へ

12 つくる責任
つかう責任



持続可能な消費と
生産のパターンを
確保する

発展

発展

2050 beyond Society5.0 人が主役となる循環経済社会のものづくり

日本型の循環経済社会の新たな産業モデル構築

取り巻く環境(生産年齢人口減、自然災害感染症リスク、資源
枯渇)課題を乗り越えた持続可能な産業振興

データシェアリングによる経済の革新

多様な人材・グローバル生産人口活用

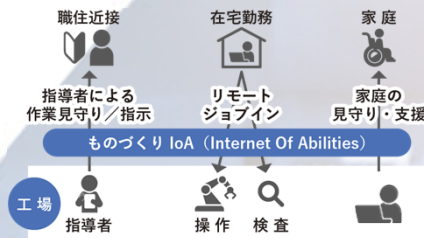
ことづくり・ものづくりの両輪で世界
のニーズに応える

労働生産性向上、変種変量対応力強化

循環経済ベースの DX 革新の進化

ものづくり IoA 基盤確立
(現場作業の遠隔協調実現)

二極化するものづくりに適した
ものづくり IoA 基盤モデル構築



- QoW ベースでダイバーシティ・インクルージョンの実現
- 時間・空間の制約軽減しリアル&バーチャルでの協調作業の実現



循環経済ベースに発展

世界の一員として循環経済に貢献
動脈・静脈融合した、ものづくり IoA 基盤へ発展させることから始め産業横通し循環のメカニズム構築→高効率循環の実現に寄与
→新たな産業・雇用創出へ高度技能者集積をめざす

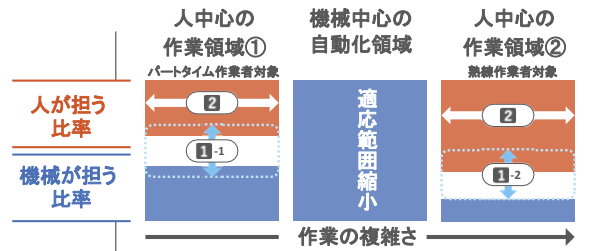
NEXT 健康経営 QoW [Quality of Working] 経営

- 労働集約型→パーソナルケア型と組織能力向上の両立
- Wellbeing、さらに能動的な社会参加意欲を向上する→豊かな市場形成

2030年までのロードマップ・取組テーマ関連

課題

一人当たりの生産性向上+働きやすさ向上
/ 人と多数のロボットとの協働作業



課題

ライフサイクルを見据えた広視野の熟練知識の創造

1-1

多様な人材が
多様な働き方で活躍する
基盤

協調型協働技術確立

遠隔協調型協働技術確立

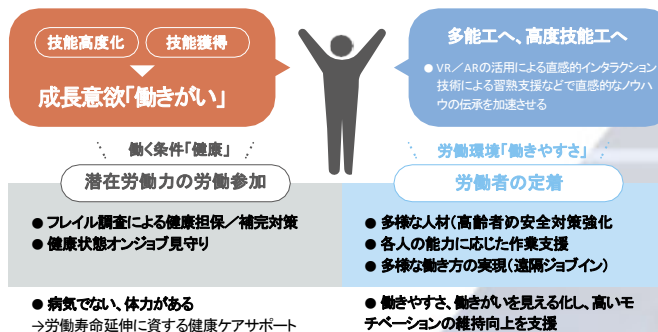
変量への対応力

資源循環産業への
ユースケース拡大から

資源循環型社会
(共通倉庫、材料再生)

多様な人材活用に向けた考え方

QoW (Quality of Working) を活用した労働能力向上への考え方



1-2

バーチャルな高度技能の
集積と技術融合基盤の構
築

協調型協働技術確立

遠隔協調型協働技術確立

変種への対応力

2

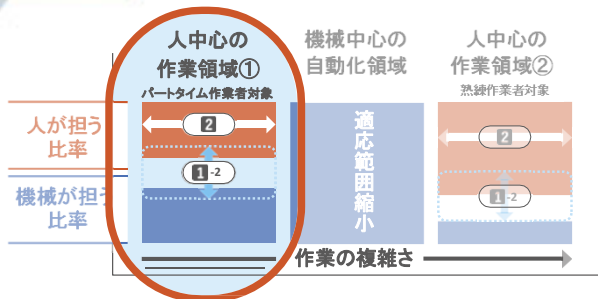
QoW 指標を活用した
マルチタレントマネジメント

ものづくり IoA

働きがい・
成長意欲

取組みテーマ別ロードマップ（1）

① 協調型協働から遠隔協調型協働へ
多様性と生産性向上の両立



- ▶ 多様な作業にロボットを適用するための AI を活用したロボット知能化技術
- ▶ 人とロボットが協調するための 作業者の行動解析、人-ロボット協調技術遠隔
- ▶ 操作/指示技術を加え、時空間を超えた人-ロボット協調技術

Phase3

時空間を超えた人-ロボット協調技術

一人が多数のロボットを遠隔操作/指示 ▶ 一人当たりの生産性向上+働きやすさ向上/人と多数のロボットとの協働作業

セキュリティ対策・通信制御対策強化要

Phase2

作業者の行動解析、人-ロボット協調技術

作業者とロボットとの協働作業の実現 ▶ 一人当たりの生産性向上

新たな Safety 規格ガイドライン
評価技術確立要

Phase1

AI を活用したロボット知能化技術

ロボットの利用用途の拡大



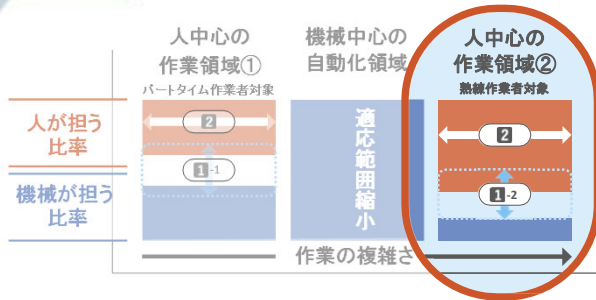
Phase1 (～2022)

Phase2 (～2025)

Phase3 (～2030)

取組みテーマ別ロードマップ(1)

② 協調型協働から遠隔協調型協働へ
組織的集合知を備えた
熟練技術者集団の構成

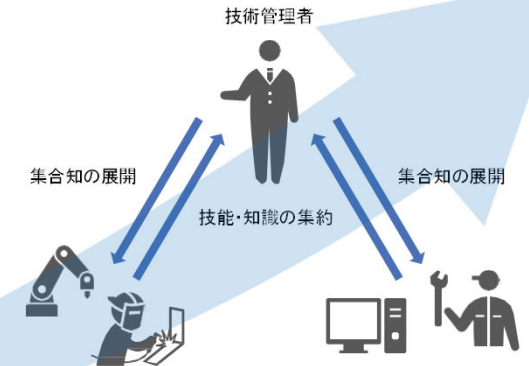


- ▶ 定型的な熟練作業にロボットを適用するための AI を活用した技能転写技術
- ▶ 人とロボットのインタラクションによる熟練知識の構造化とスパイラルアップ 広範な技能・知識を集合知化して展開するための知識処理・遠隔共有化技術

Phase3

知識処理・遠隔共有化技術(ものづくり IoA)

広域・広範な技能・知識の集約による集合知化 ▶ ライフサイクルを見据えた広視野の熟練知識の創造



Phase2

熟練知識の構造化とスパイラルアップ(適応的熟練作業)

作業者とロボットのインタラクションによる知識の構造化

技術 PF と情報活用のインセンティブ設計要

- 状況判断 ● 知識の蓄積・更新
- ロジックの移植



- 適応的熟練作業の実施(再現性確保)
- 作業評価

Phase1

AI を活用した技能転写技術

定型的熟練作業の転写



Phase1 (~2022)

Phase2 (~2025)

Phase3 (~2030)

取組みテーマ別ロードマップ(2)

QoWを活用した

マルチタレントシステムによる

多様な人材の活躍

Phase4

NeXT 健康経営として QoW 経営の社会実装: 労働生産性が高く、労働寿命延伸と世界中の優秀な人材集積
社会導入のための施策推進: QoW 推進企業表彰(CSR、E.S.G. 評価向上)/ QoW 機器/システム認定制度(導入補助制度)

Phase3

ものづくりIoA型マルチタレントマネジメントシステム手法確立

人の状態(推定)モデル導入 生産人口拡大: 労働参加条件の見える化と主観/客観両面の状態変化に応じたマネジメント
組織労働生産性向上: 組織内コミュニケーション充実・適材適所、能力開発・相乗効果支援

Phase2

パーソナルマネジメント手法確立

人の行動(推定)モデル導入 多様な人材が自己の能力を発揮しやすくなり、労働生産性向上労働寿命延伸のための主観/客観両面からのセルフマネジメント強化

人のモデル化

- ・筋骨格動作モデル→行動推定モデル
- ・各人各状態モデル(QoW 指標(主観指標あり))→状態推定モデル

Phase1

QoW 各指標の設定と測定法の確立

労働生活能力分類の策定(世界標準ベース)
→作業指示書に、労働生活能力分類を導入

指標の標準化・活用ガイドラインと
適用環境の認定制度整備要

QoW(Quality of Working)を活用した労働能力向上への考え方

技能高度化 技能獲得
成長意欲「働きがい」

働く条件「健康」

潜在労働力の労働参加

- フレイル調査による健康担保/補完対策
- 健康状態オンジョブ見守り

●病気でない、体力がある
→労働寿命延伸に資する健康ケアサポート

多能工へ、高度技能工へ

- VR/ARの活用による直感的インタラクション
技術による習熟支援などで直感的なノウハウの伝承を加速させる

労働環境「働きやすさ」

労働者の定着

- 多様な人材(高齢者の安全対策強化)
- 各人の能力に応じた作業支援
- 多様な働き方の実現(遠隔ジョブイン)

●働きやすさ、働きがい見える化し、高いモチベーションの維持向上を支援

Phase1(～2022)

Phase2(～2025)

Phase3(～2030)

Phase4(～2050)

循環経済への貢献に向けたアプローチについて

Phase1 (～2022)

循環活動団体と連携による方向性議論

Phase2,3 (～2030)

人協調技術の静脈産業ユースケースに拡大
動脈・静脈連携の部材調達革新

Phase4 (～2050)

ものづくり IoA 基盤を循環経済ベースに発展

※協調型協働・遠隔協調型協働の技術を用いて phase に応じて適用してユースケースを作る

静脈産業へ智能化ロボット展開模索

- ▶ 物品仕分け作業の生産性向上
- ▶ 廃棄物からの危険物の回収への適用
 - 自動認識技術による分別
 - 遠隔操作による人の代替



静脈産業生産性向上・3K 改善に寄与

- 人・ロボット協調 / QoW 技術の展開 -

- ▶ 動脈・静脈連携した部材・データ流通と資源循環のしくみやインセンティブ設計の方向性検討
(産業共通倉庫の概念など部材調達革新要)



動脈・静脈融合した、ものづくり IoA 基盤へ

- ▶ 産業横断し循環のメカニズム構築
 - 高効率循環の実現に寄与
 - 新たな産業・雇用創出へ、高度技能者集積をめざす



※智能化加工技術や材料技術の再生材料を見据えた拡張を進める

素材複合材加工技術革新・資源効率の高い新ナノデバイスの活用技術・試作シミュレーション技術

再生材料利用技術革新

※破碎機はドイツ製が市場独占 日本は人機械協調で分解・仕分け技術で勝負してはどうか

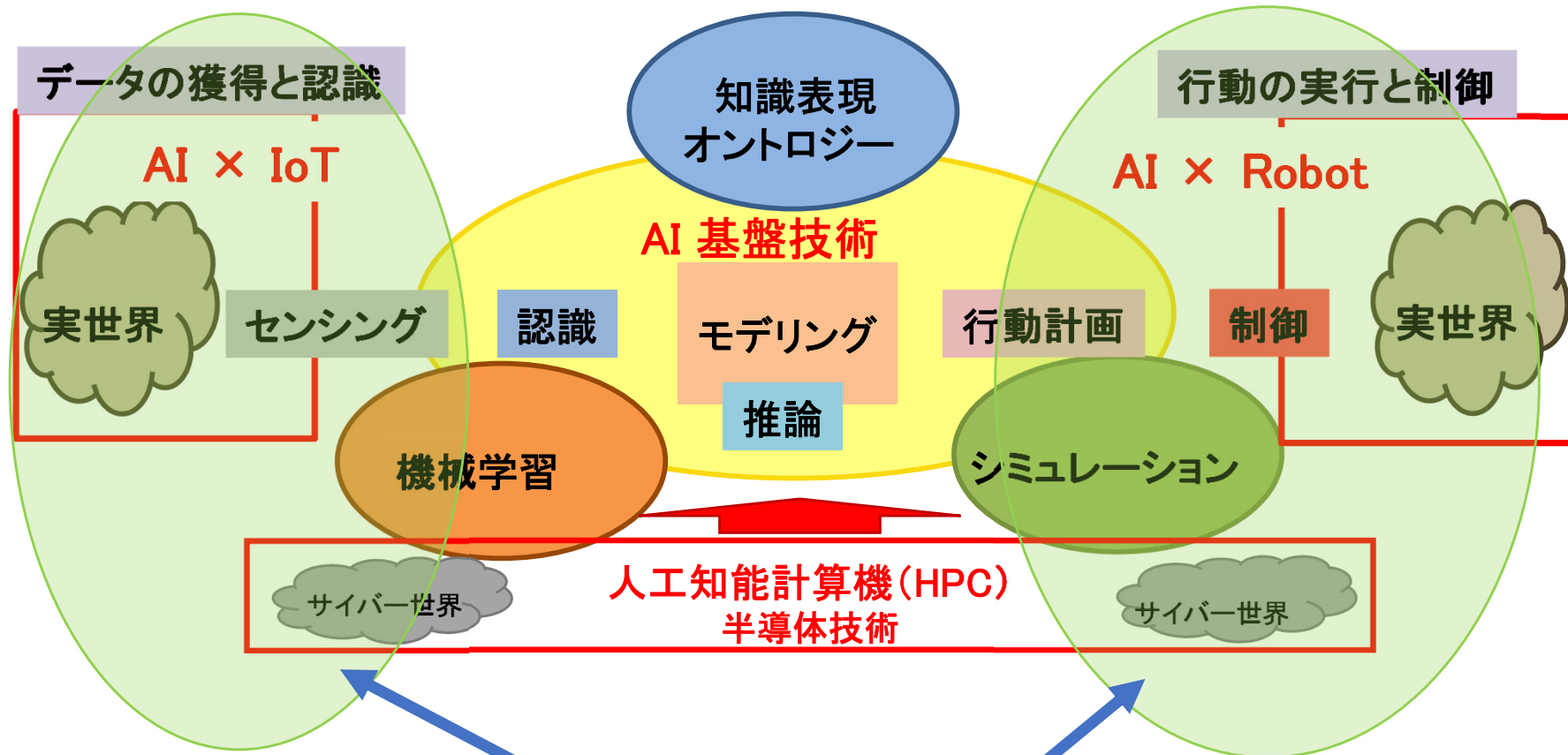


これからのAI技術の活用に向けた戦略

- GAFに代表される米国企業のAI技術における強みは、検索エンジンやSNS等の技術を活用したデータ収集
→**どれだけ多くのデータを持っているかが強み**
- 我が国の強みとなるデータは生産技術等の実現場データ
→**実現場のデータを取る仕組み**を作ることが必須
- 情報的なAI活用サービスから物理的なAI活用サービスへ
→**IoT技術、ロボット技術との連携**

実世界に埋め込まれるAI

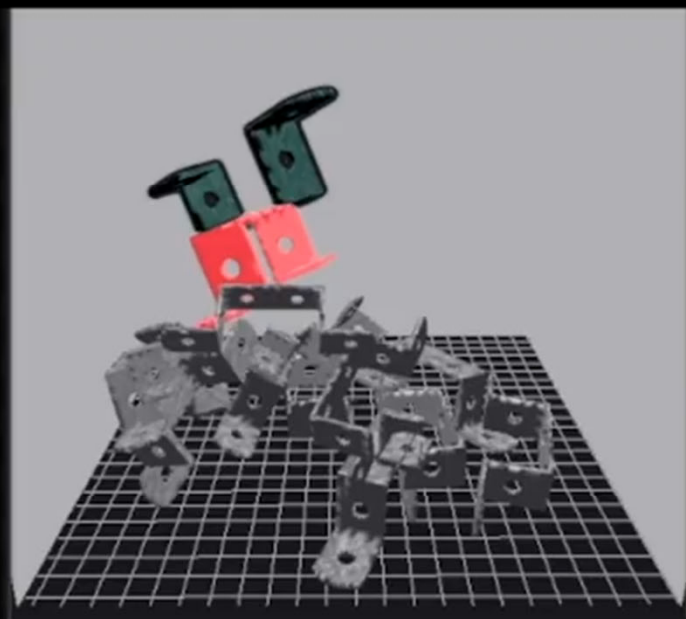
～インターネットから実世界へ～



実世界にAIを埋め込むには、AIと、IoTおよびRobotの間をつなぐ研究の強化が必要



物理シミュレータ



距離画像シミュレータ



ばら積みされた物品の摘み上げシミュレーションを繰り返し、絡みの判定に必要となる大量のデータを収集する。