

いま，そこにある課題の魅力

産官学に見えない壁はあるか

～ 画像認識とロボット動作生成を中心に ～

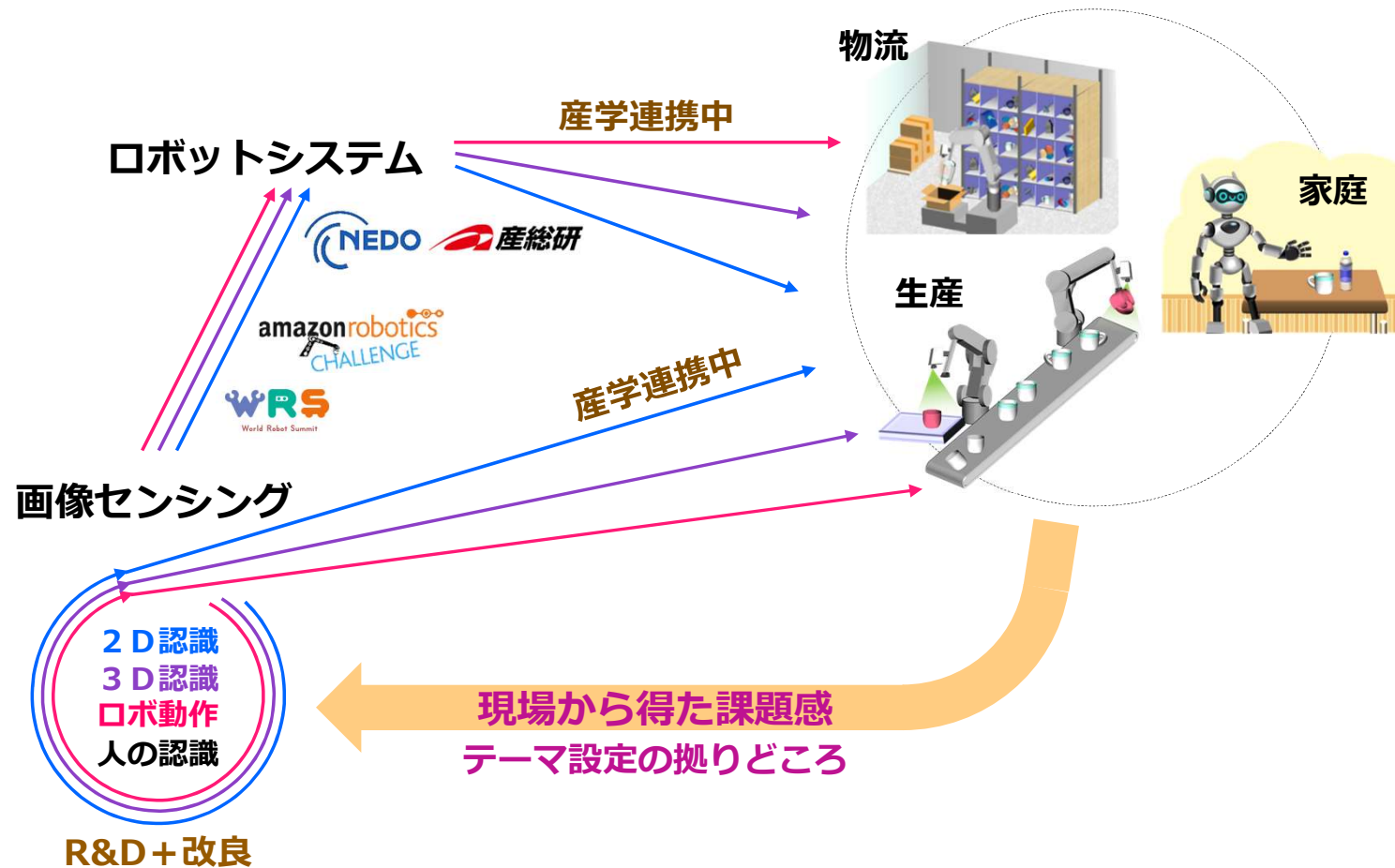
中京大学 工学部 橋本 学

mana@isl.sist.chukyo-u.ac.jp



Advanced Sensing & Machine Intelligence Group,
Chukyo University

本日の話題



本日の話題

1. 古くて新しい実課題への取り組み事例

- 大量学習時代の外観検査
- 画像パターン検出
- 3D物体認識とロボット適用の接点

使われてこそその技術

2. NEDO AI プロジェクト

- “機能” 認識とロボット動作生成
- ロボットティーチングの簡易化

次世代への準備

3. 産官学連携のさらなる促進のために

- 気をつけていること

1. 古くて新しい実課題への取り組み事例

- 大量学習時代の外観検査
- パターン検出
- 3D物体認識とロボット適用の接点

大量学習時代の外観検査

画像処理による外観検査 古くて新しい魅力的な課題

- 無くしたいが無くならない工程
- 一品一様，要求精度が桁違い（見逃しはほぼゼロ，過検出 1 日 1 回以下など）

外観検査に関連する発表 SSII・ViEWでの10年間の比較

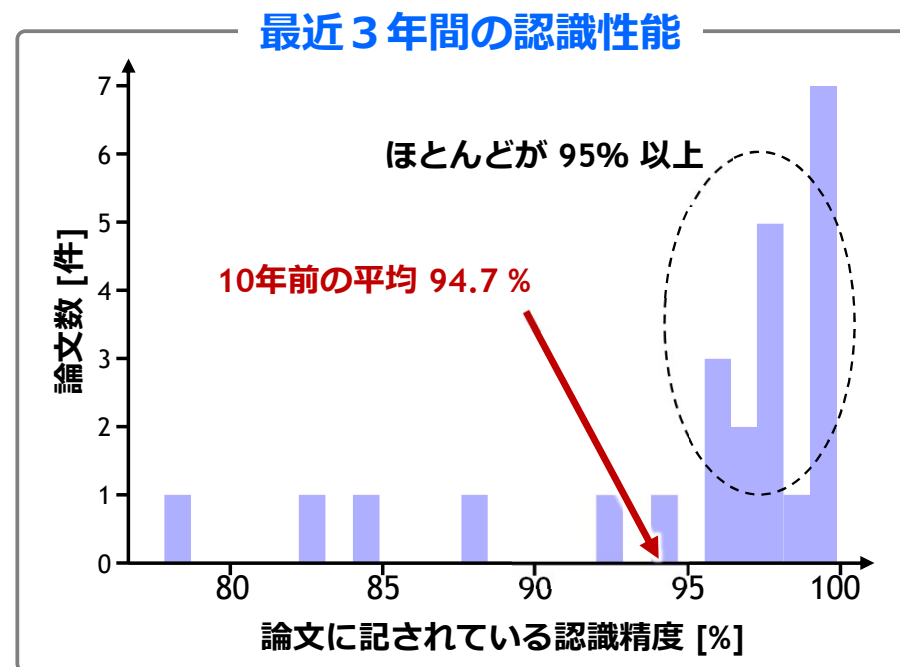
①10年前の3年間（2010～2012）

②最近の3年間（2020～2022）

発表数は着実に増加

	大学	企業	合計
SSII	5 ↗ 18	1 ↗ 4	6 ↗ 22
ViEW	9 ↗ 18	2 ↗ 7	11 ↗ 25
計	14 ↗ 36	3 ↗ 11	17 ↗ 47

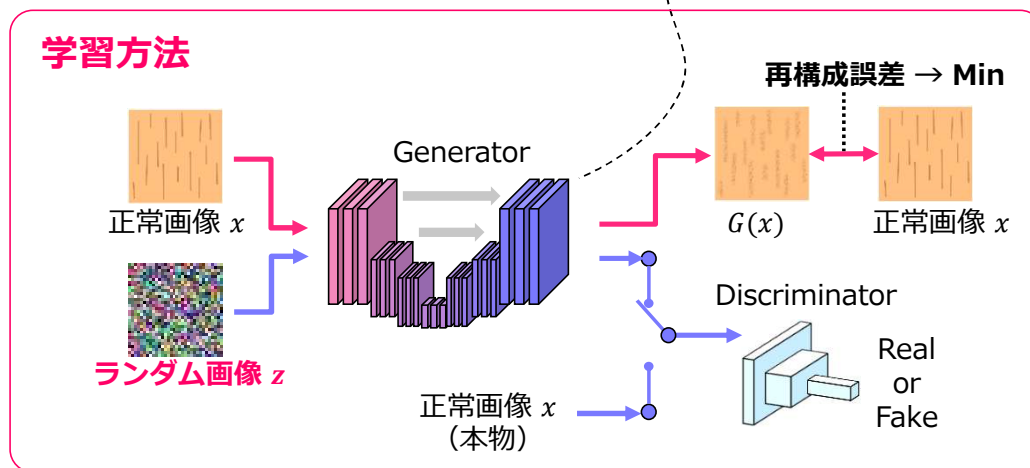
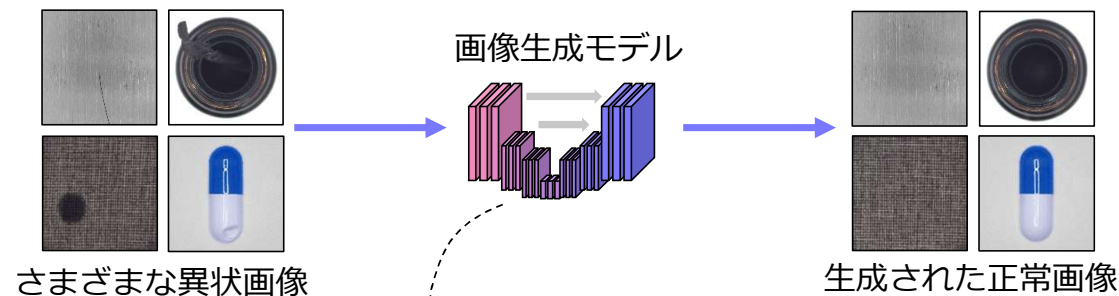
橋本研調べ



- 機械学習への期待 ……現場での異状サンプルは入手困難
- 「リアルで自然な異状サンプルを増産する」，「正常のみを学習する」

多様な異状はどのように表現できるか？

- 異状画像から正常画像を生成し、それらを比較
- 多様な“異状”に対応したい → **ランダムパターンで表現**



性能

	Wood	Tile	Carpet	Bottle
入力				
出力				
AUC[%]	81.1	92.6	62.2	95.4

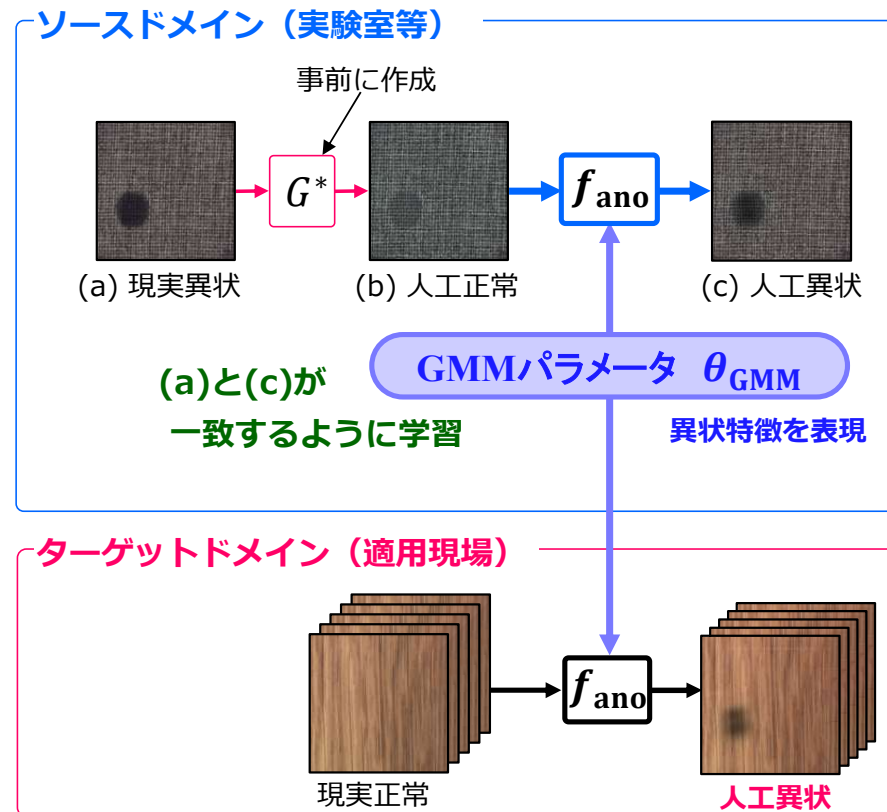
→学習時に実異状画像は不要だが、性能は？

【文献】

Kobayashi, Miyoshi, Hashimoto, Normal Image Generation-Based Defect Detection by Generative Adversarial Network with Chaotic Random Images, ISVC2021, 2021.

異状画像を作る①（画像空間での合成）

- ソース側で模擬的な異状情報を生成し，ターゲット側の正常画像に付加
- 異状情報の表現 → **GMMパラメータを利用**



異状検出性能 AUC [%]

カテゴリ	基本型	提案手法
Carpet	62.2	98.0
Leather	92.8	100.0
Tile	92.6	99.7
Wood	81.1	96.7
Mean	82.2	98.6

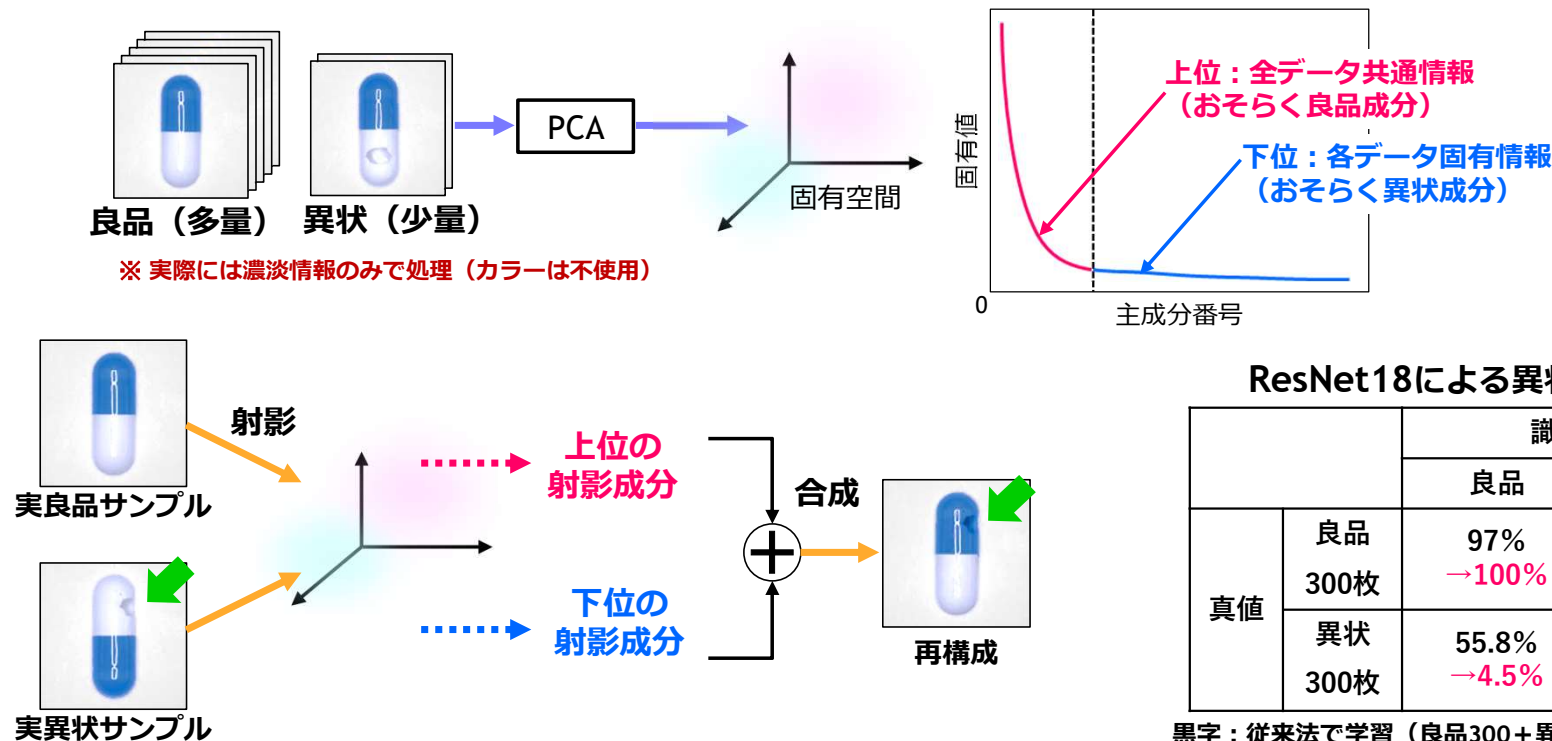
異状表現としてGMMパラメータは有効

【文献】

Kobayashi, Hashimoto, DRepT: Anomaly Detection Based on Transfer of Defect Representation with Transmittance Mask, IJCNN2023, 2023.

異状画像を作る②（特徴空間での合成）

- 多量の良品画像 + 少量の異状画像 → 固有空間
- 現実の良品・不良品を固有空間上で合成



ResNet18による異状検出結果

		識別結果	
		良品	異状
真値	良品 300枚	97% →100%	3% →0%
	異状 300枚	55.8% →4.5%	44.2% →95.5%

黒字：従来法で学習（良品300+異状60）

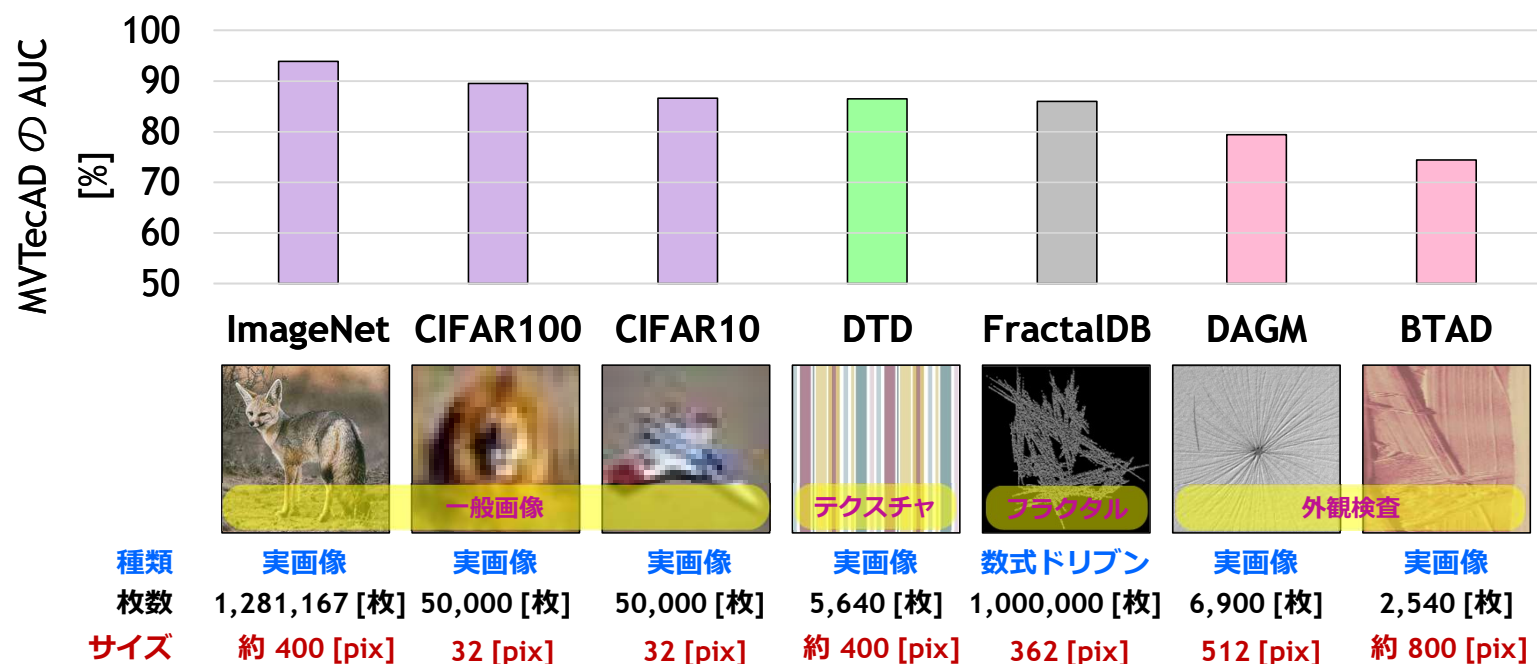
赤字：提案法で学習（良品300+異状60+生成異状240）

【文献】

村上, 平松, 小林, 秋月, 橋本, 主成分分析による画像情報の抽象化に基づく高リアリティ不良品画像生成, SSII2023.

正常のみを利用する（事前学習データセットの効用）

- 適用手法：PaDiM（事前学習済み CNN を利用して正常品分布を精密に生成）
- 近年，事前学習の有用性が実証されている．どのデータセットがよいか？



【文献】

小林，橋本，特徴抽出型ネットワークを用いた異常検知のための事前学習用データセットの実験的性能分析，SSII2023.

T. Defard, et al., PaDiM: A Patch Distribution Modeling Framework for Anomaly Detection and Localization, ICPR, 2021.

人工異状を作り出すか？ 正常のみを利用するか？

1. 人工画像を作る場合, 異状「情報」の抽象化とその表現
 - 正常・異状の適切な表現とは？
2. 正常のみを利用する場合, 事前学習データのあり方
 - 理想的な一般性が本当に重要なのか？
 - 現場情報の適度な反映は不要か？

画像パターン検出

個々の画素が持つ本来のチカラに注目

画像パターン検出

■ 基本目的はシンプル

- ✓ 対象物を正しく，高精度で，短時間で検出したい



■ 現場の要求・制約は多種多様

- ✓ ロバスト性（照明変動，遮蔽，変形，見えの変化，類似物の混在……）
- ✓ 計算リソース（GPUレス，事前学習不要，組み込みCPU……）

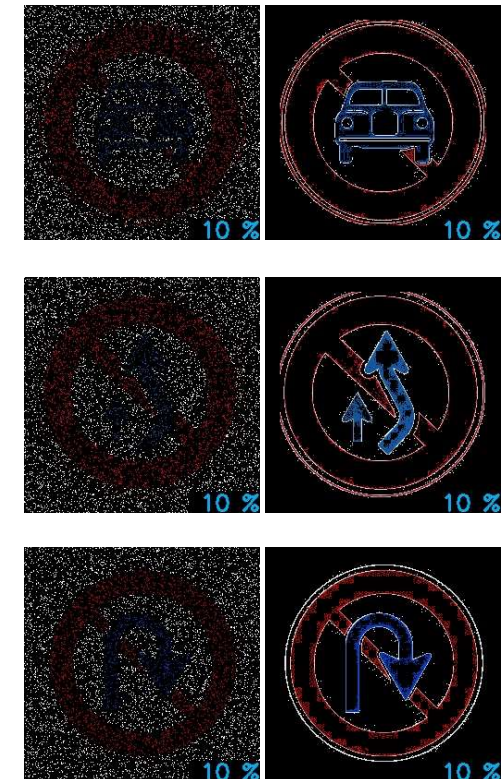
画像パターンの同定に必要な画素

2種類の画素選択手法

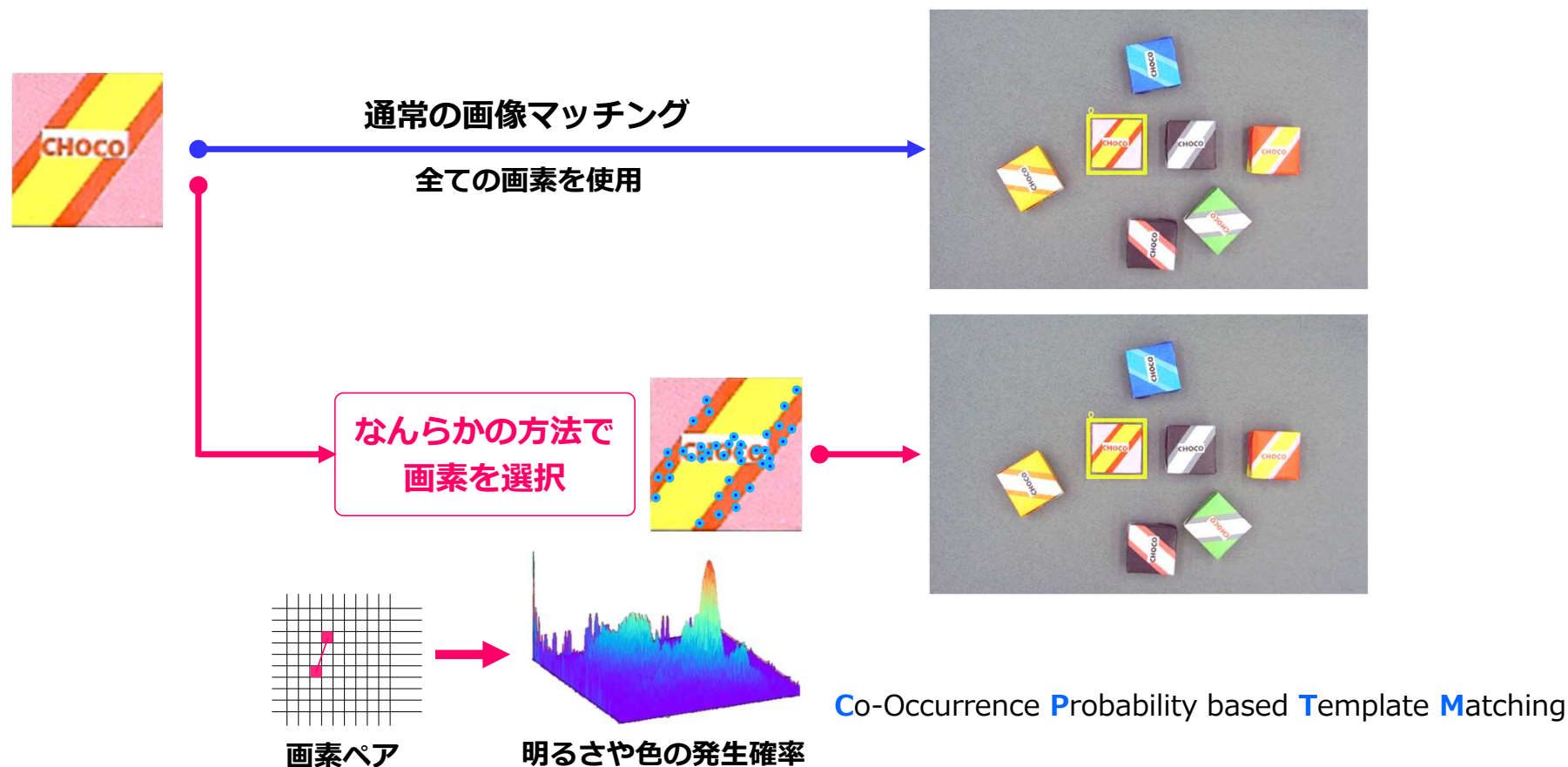


手法 1 で選択した画素
(ランダムに選択)

手法 2 で選択した画素
(提案手法で選択)



選択された画素のみによる画像マッチング



【文献】

Tagami, Hashimoto, et. al, Fast and reliable template matching based on effective pixel selection using color and intensity information, VISAPP2023.

田上, 江場, 小林, 中林, 秋月, 橋本, 画素ペア色相値の発生確率分析に基づく高速カラー画像マッチング, 精密工学会誌2023.

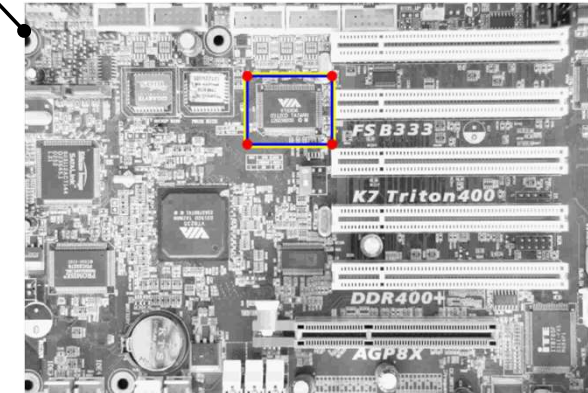
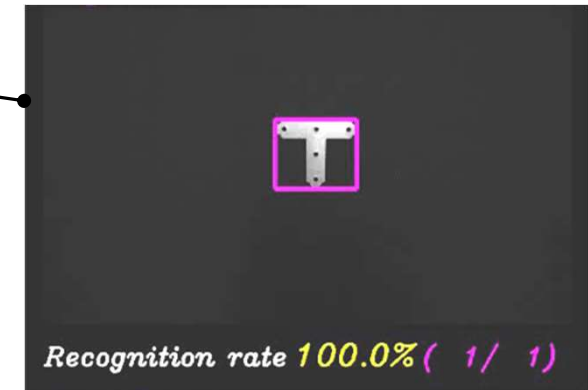
Hashimoto, et al., Extraction of unique pixels based on co-occurrence probability for high-speed template matching., ISOT2010.

橋本, 奥田, 鷺見, 藤原, 興水, 濃度共起確率に基づくユニークな画素群を用いた高速画像マッチング, 電学論2011.

画素選択に関するさまざまな考え方

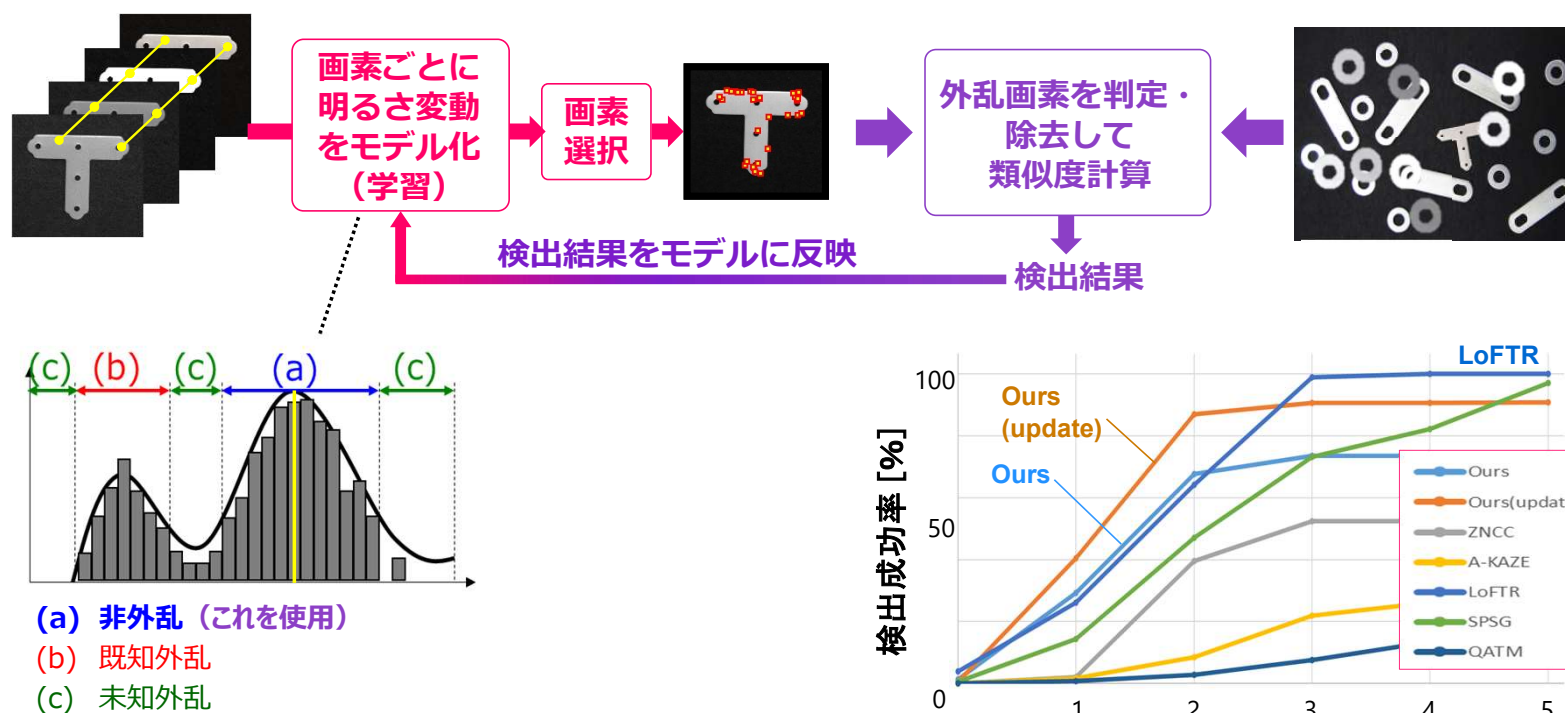
基本型・・・独自性の高い画素を選択 (CPTM)

- 周辺対象物との識別に寄与する画素を選択 (DPTM)
- 照明変動の影響を受けにくい画素を選択 (SCPTM)
- 複数クラスへの分類性能が高い画素を選択 (MCTM)
- 1 スキャンでクラス分類できる画素を選択 (1scanTM)
- 部分的な隠蔽に頑健な画素を選択 (OccTM)
- 回転粗精サーチに適した画素を選択 (Manifold-CPTM)
- 任意の回転許容力を持つ画素を選択 (Rot-TM)
- ユニークな色相を持つ画素を選択 (CoP-TM)
- DNNの中間層分析に基づく画素を選択 (DNN-TM)
- 中長期の画像変動に追従しうる画素を選択 (EvoTM)
- ビュー変化に頑健な画素を選択 (ViPF)
- 回転照合性の均一化に基づく粗サーチの効率化 (Rot-CF)
- 少量の学習データから統計的に観測されやすい画素を選択 (OBTM)
- 濃淡と色の利用比率を最適化した画素を選択 (GCC-TM)
- 画素選択型画像マッチングのFPGA化



最近の取組み① 突発的な遮蔽と長期的な変動への頑健化

- 画素ごとの濃度値変動を事前に学習して，突発的な遮蔽に頑健化
- 検出結果を以降の学習に利用して，長期の変動にも対応

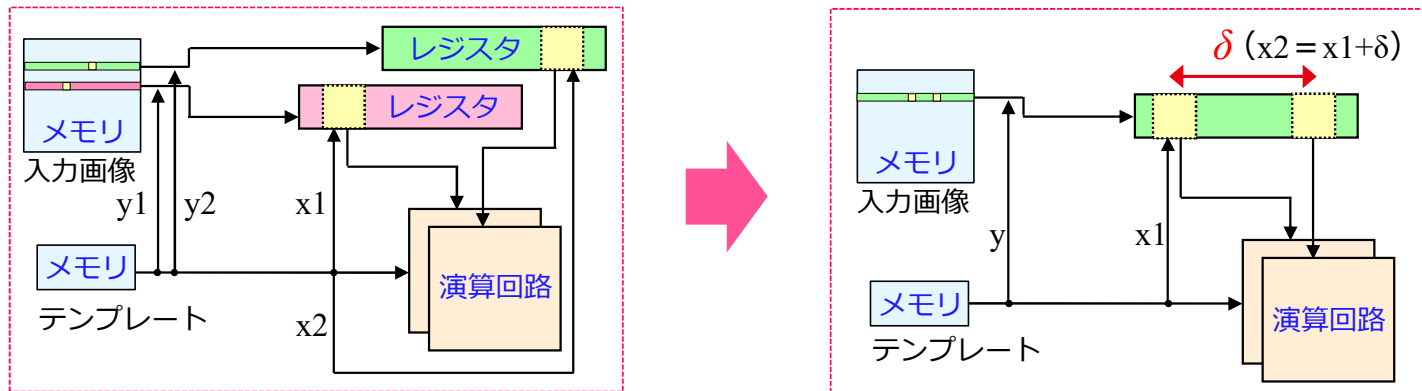


【文献】

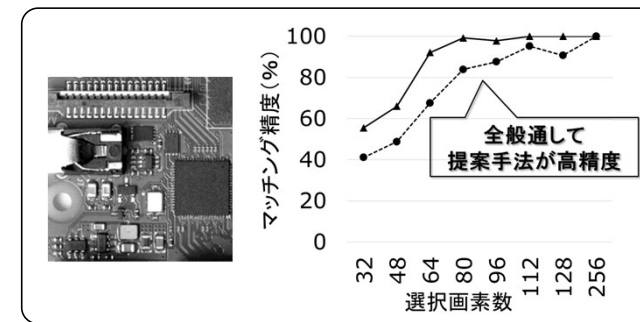
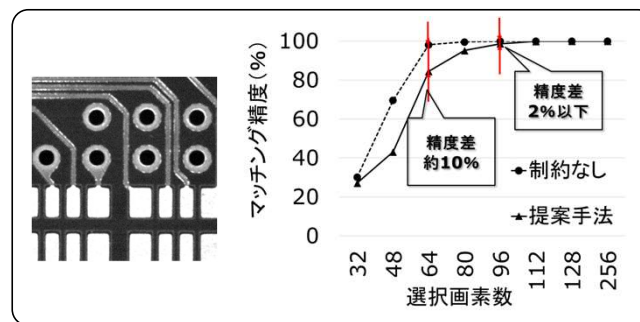
大西, 中村, 鈴木, 橋本, 学習画像と検出結果から生成したテンプレートによる局所的な画素値の変化に頑健な物体検出手法, SSII2023.
大西, 中村, 鈴木, 橋本, 局所的濃度変化に頑健な物体検出のための少量学習データを用いた照合用画素群の生成方法, MIRU2022.
Sun, et., al, LoFTR: Detector-Free Local Feature Matching with Transformers, CVPR2021.

最近の取組み② 画素選択型マッチングのFPGA化

- 読み出す2画素ペアの間隔を水平の固定値に限定することにより，回路規模を簡素化



- 簡素化による性能への影響を検証 → 処理パラメータ最適化の準備



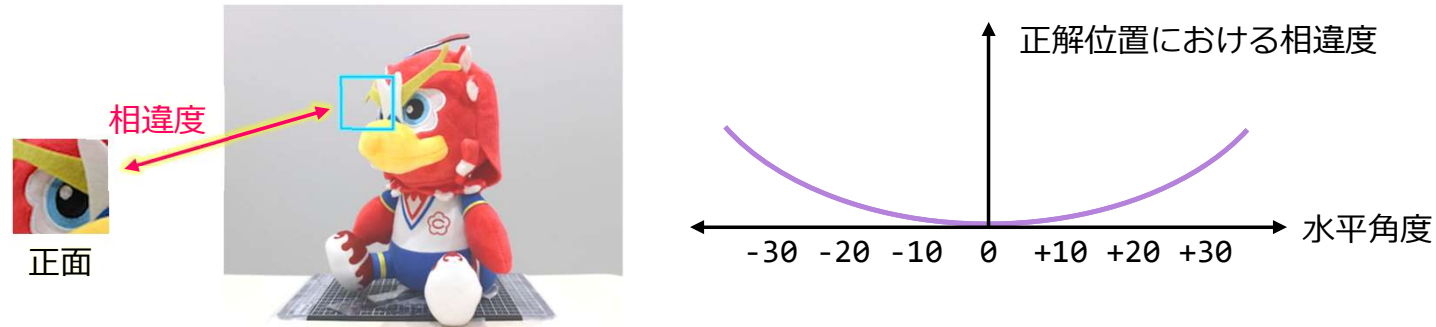
※本結果は，三菱電機株式会社との共同研究により得られたものです。

【文献】

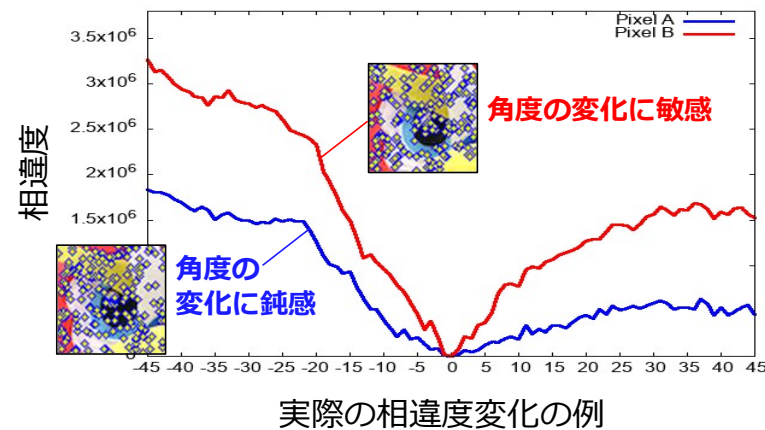
那須，米田，川岸，橋本，画素選択型テンプレートマッチングのFPGA化における回路規模削減手法の提案，SSII2023.
那須，新保，助野，橋本，回転照合性均一化に基づく画像マッチングの高速化，精密工学会誌，2022.

最近の取組み③ 3Dビュー変化への頑健化（≡特徴量）

- 正面パターンとの一致性は、対象物の姿勢変化に伴って低下



- ビュー変化に頑健な画素群



【文献】

加藤, 江場, 小林, 秋月, 橋本, ビュー変化にロバストな極少画素群に基づく超高速画像マッチング手法の提案, DIA2023.
中林, 江場, 小林, 橋本, 任意の回転変動許容力を有する画素選択型テンプレートマッチング, 精密工学会誌, 2022.

画像パターン検出 現状の課題感

難課題への対応 + 機械学習・ロボット連携

1. 普遍課題は「高速，高精度，高信頼」，難課題がクローズアップ
金属光沢，柔軟物，低テクスチャ……
2. 機械学習ベース，非機械学習ベース，どちらにもニーズあり
現場でのGPU利用も緩和傾向
3. 3D的物体認識とロボット連携ニーズが増加中
2Dアプローチで3D対象を認識，4DoF，センサフィードバック

3 D 物体認識とロボット適用の接点

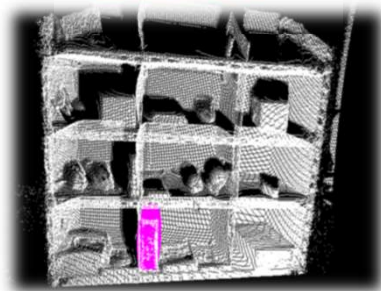
ロボットタスクに必要な3つの基本課題

ロボットタスク

1. **Pick & Place** ……把持して, 置く
2. **Pick & Operation** ……把持して, 操作する

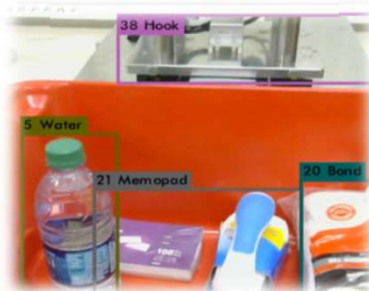
タスク実行に必要な3つの要素

どこにある？



位置と姿勢を知る

なにがある？



モノの名前を知る

どう動く？



動作を作る

amazonrobotics
CHALLENGE

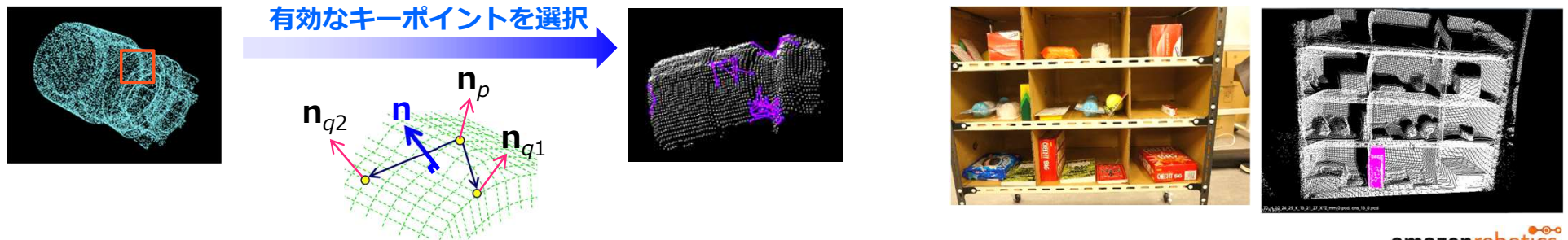
三菱電機, 中部大, 中京大

WRS
World Robot Summit

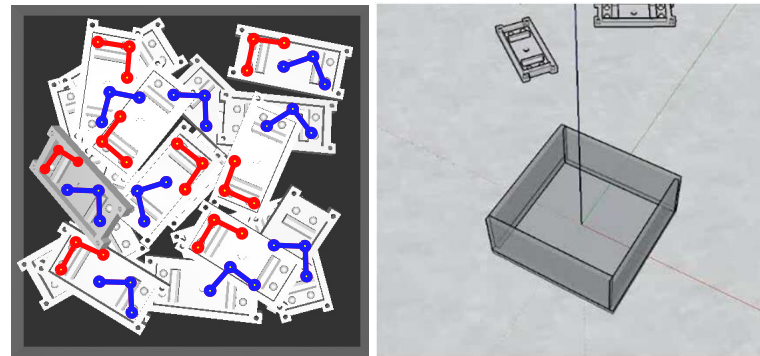
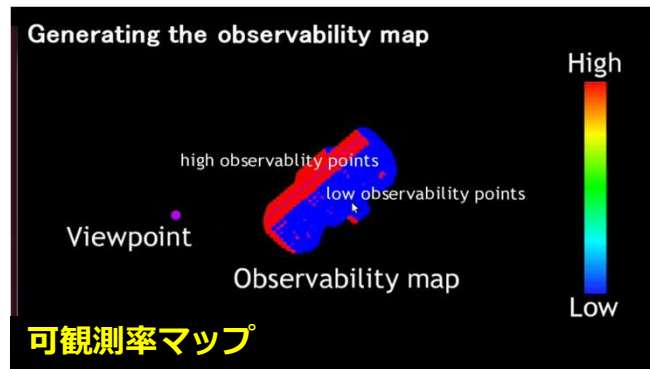
オムロン, オムロンサイニックエッ
クス, 大阪大, 産総研, 中京大

3 D対象物の位置・姿勢認識（モデル利用）

- 独自性の高いキーポイント特徴量に基づく物体検出（Vector Pair Matching）



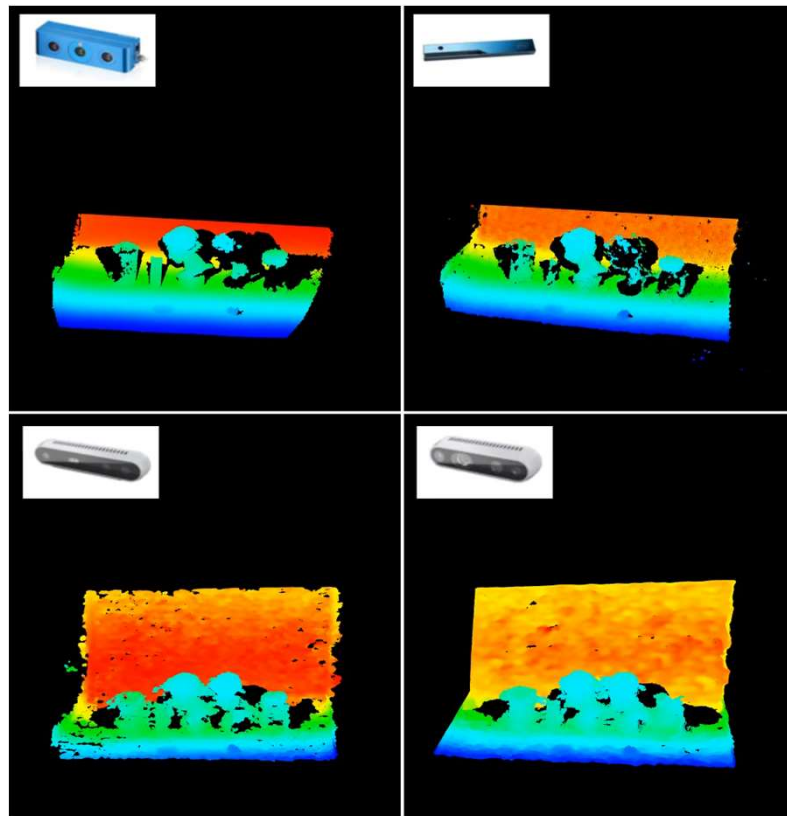
- 可観測性の導入や物理シミュレータの利用など，事前分析によって性能改善



【文献】

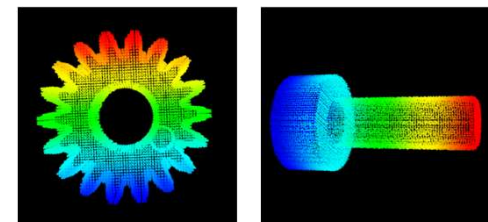
Akizuki, Hashimoto, High-speed and Reliable Object Recognition Using Distinctive 3-D Vector-Pairs in a Range Image, ISOT2012, 2012.
Akizuki, Hashimoto, Position and Pose Recognition of Randomly Stacked Objects using Highly Observable 3D Vector Pairs, IECON2014.
Takei, Akizuki, Hashimoto, 3D Object Recognition using Effective Features Selected by Evaluating Performance of Discrimination, ICARCV2014
武井, 秋月, 橋本, 識別性能の予測に基づく選択的特徴量を用いたばら積み部品の認識, 精密工学会誌, Vol.81, No.4, pp.363-367, 2015.

課題例① 3Dセンサの特性

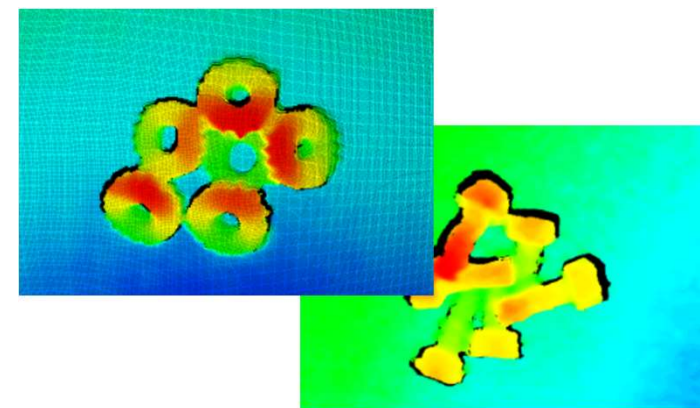


計測困難 ①金属光沢, ②黒色, ③透明, ④小型

モデル点群

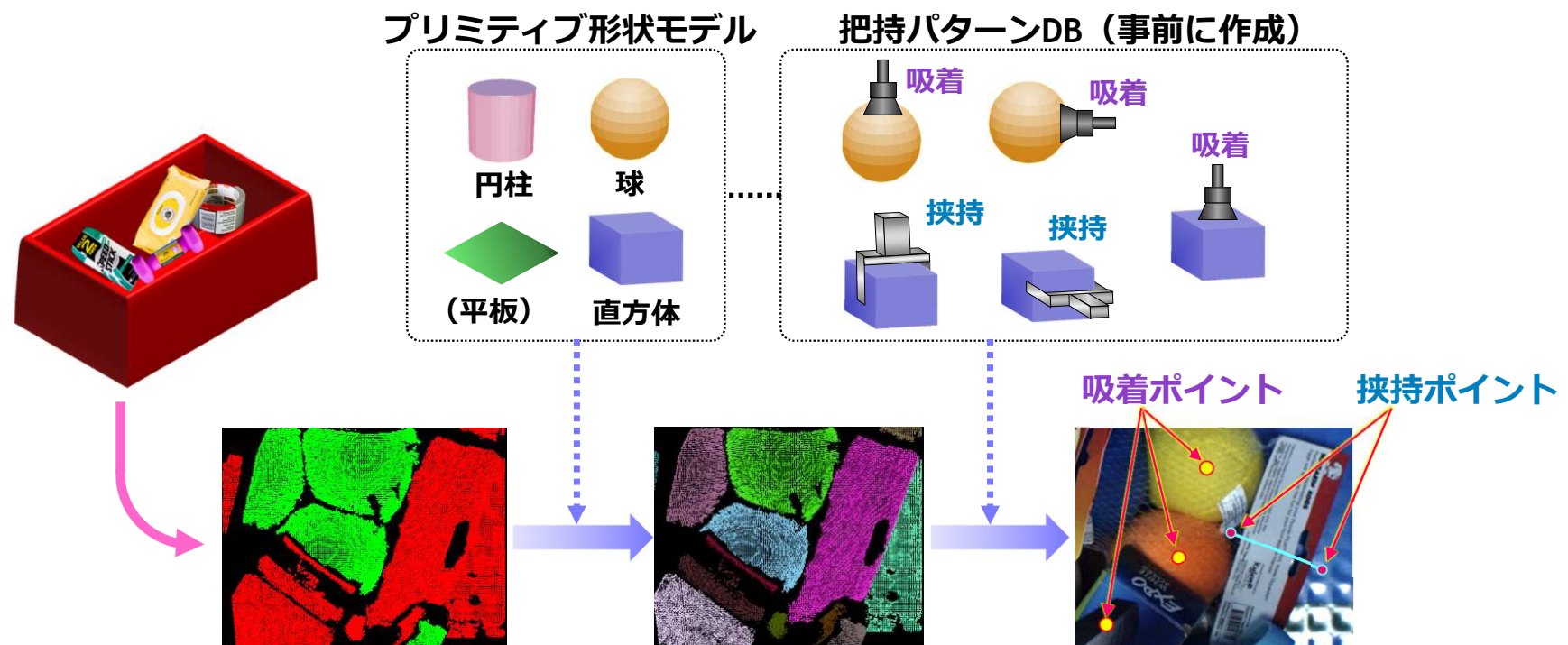


実センサデータ



課題例② モデルレス把持

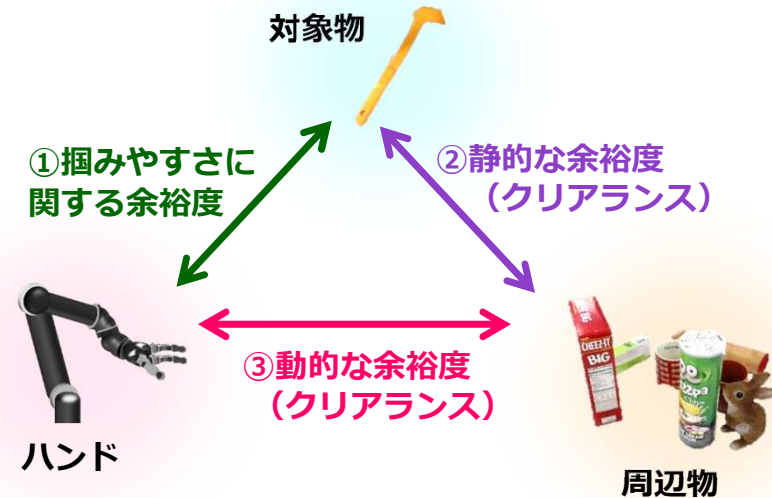
- ロボットは把持パラメータを必要とする。しかもモデルレスで。
- 対象物を4種のプリミティブ形状に（強制的に）近似



【文献】

- 鳥居, 橋本, モデルレス把持パラメータ決定のための3次元プリミティブ近似手法, 計測自動制御学会論文誌, Vol.55, No.1, pp.35-41, 2019.
Torii, Hashimoto, Reliable Primitive Approximation for Estimation of Robot Grasping Parameters Using 3D-Deep Neural Network, 2018.
Torii, Hashimoto, Model-less Estimation Method for Robot Grasping Parameters Using 3D Shape Primitive Approximation, CASE2018, 2018.

課題例③ キレイな Pick 動作



- 3つの余裕度を数値化
- 総合把持余裕度 $P_s(\mathbf{p})$ が最大になる パス $\tilde{\mathbf{p}}$ を生成

$$P_s(\mathbf{p}) = \underbrace{P_{H-O}(\mathbf{p})}_{\textcircled{3}} \{ \underbrace{\alpha P_{H-T}(\mathbf{p})}_{\textcircled{1}} + \underbrace{\beta P_{T-O}(\mathbf{p})}_{\textcircled{2}} \}$$

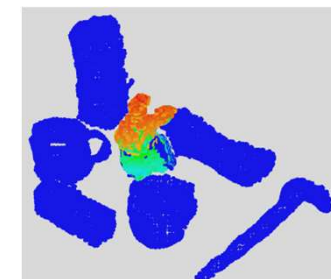
$$\tilde{\mathbf{p}} = \underset{\mathbf{p} \in \mathcal{S}}{\operatorname{argmax}} P_s(\mathbf{p})$$

※ $\mathbf{p}$: 把持パラメータ (把持位置, 姿勢, 開口幅)

【文献】

Kozai, Hashimoto, Determining Robot Grasping-Parameters by Estimating "Picking Risk", IWAIT2018, 2018.

香西, 飯塚, 秋月, 橋本, 障害物を考慮した確率的ピッキングリスク推定モデルに基づく最適パス決定手法の提案, SSII2017, 2017.



総合把持余裕度

3次元物体認識 現状の課題感

好条件では解けている。ロボット動作との接点領域はこれから

1. 姿勢認識： 好条件には適用可だが、積み残し課題は少なくない
対象物の形状（凹凸）や3Dセンサの性能に依存
2. 物流・家庭分野では、モデルレス（形状・画像）が重要に
大規模学習による一般性の確保，言語モデルの利用にも期待
3. 工場のロボット普及を受け，ロボット連携技術はニーズ急拡大
認識系とロボ系のバランス，システム開発視点のエンジニアリング

2. NEDO AI プロジェクト

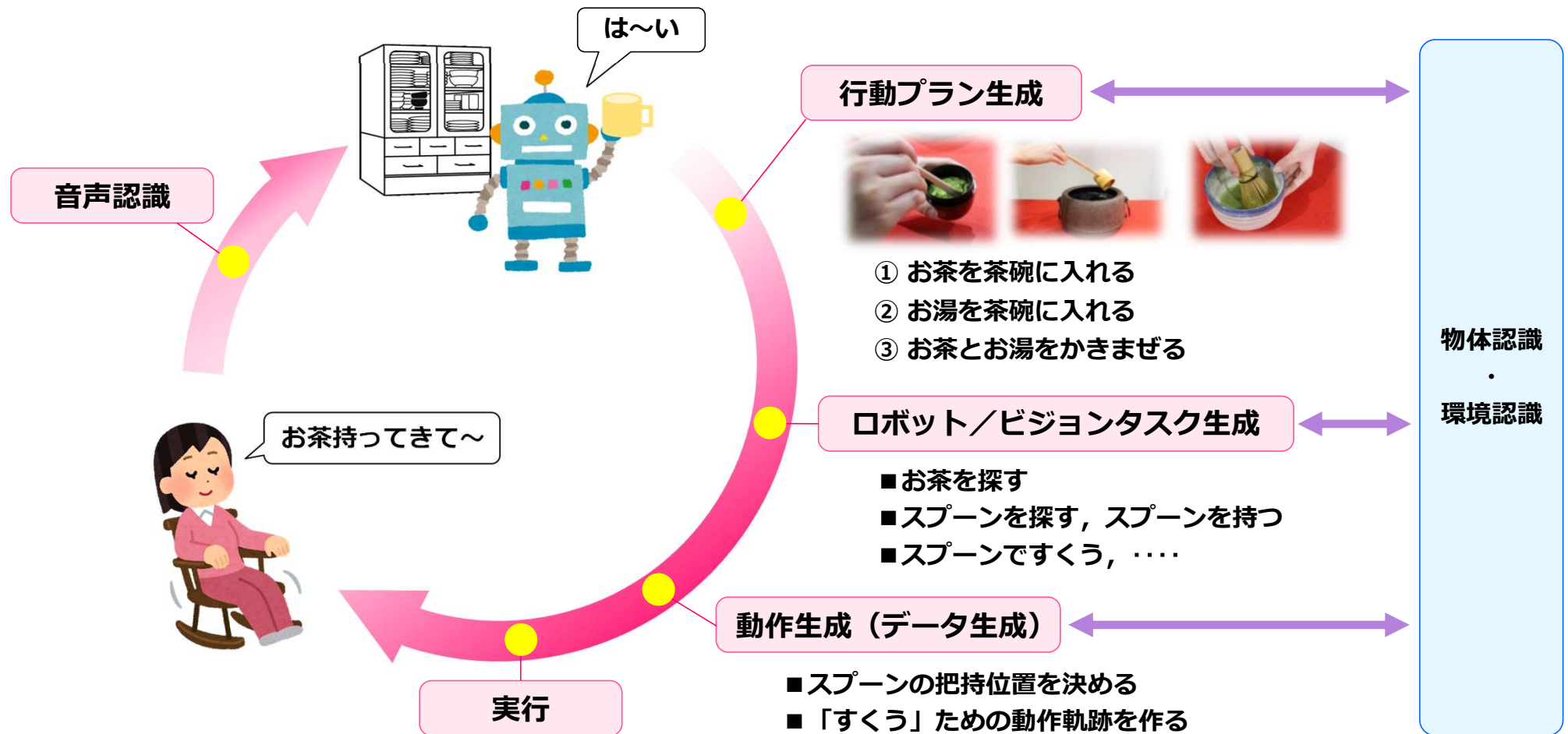
- “機能” 認識とロボット動作生成
- ロボットティーチングの簡易化

この研究成果は以下のプロジェクトによるものです。

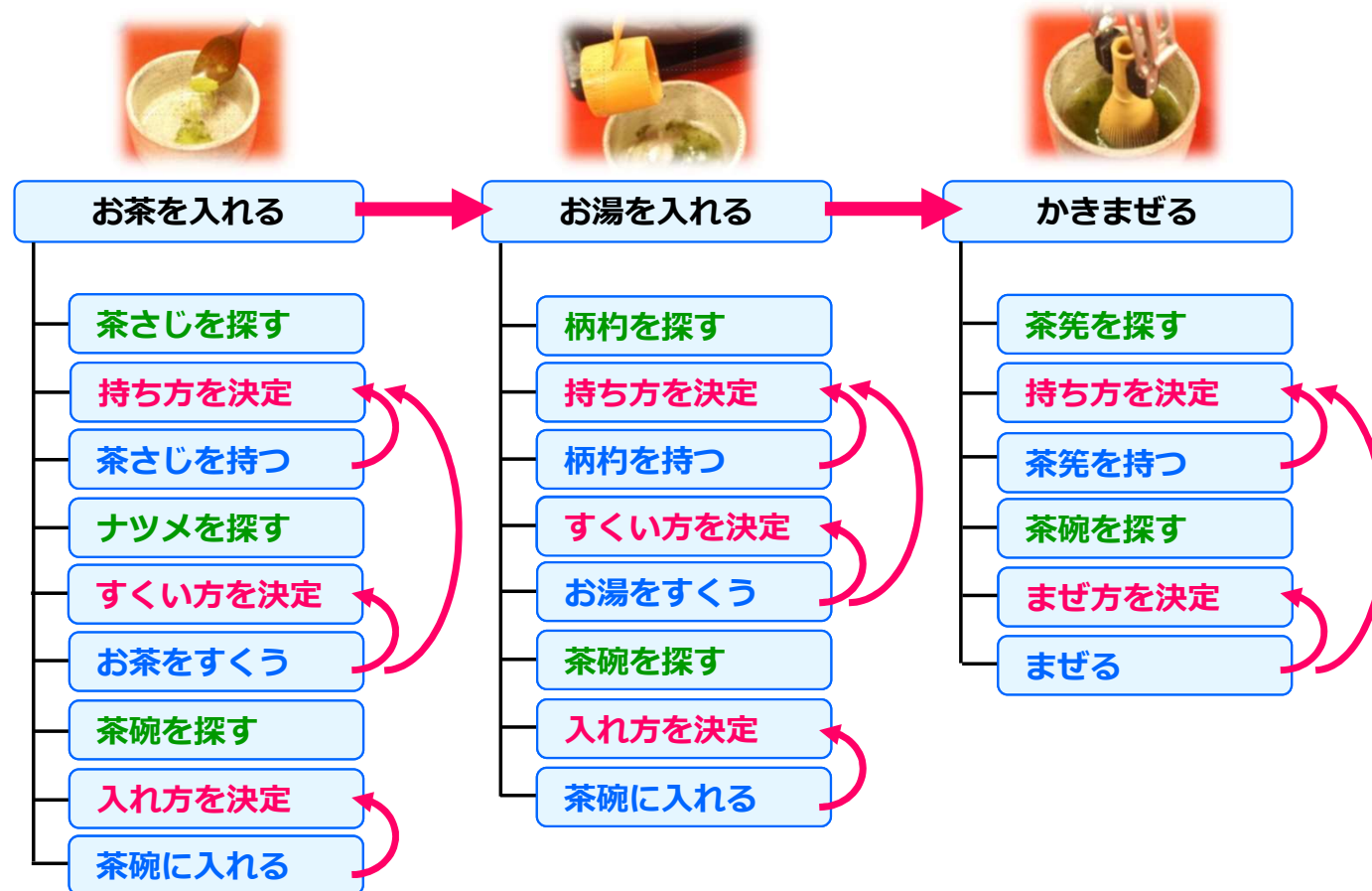
- 次世代人工知能技術分野／人間と相互理解できる次世代人工知能技術の研究開発／認識クラウドエンジンの構築（2015～2019）
- 人と共に進化する次世代人工知能に関する技術開発事業／実世界に埋め込まれる人間中心の人工知能技術の研究開発（2020～）



お茶をもってきてくれるロボット……お茶会を想定

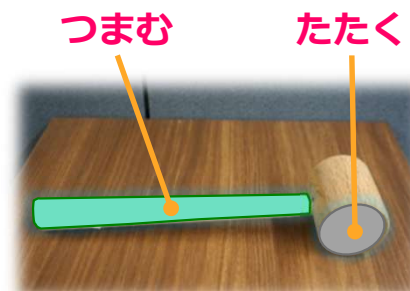
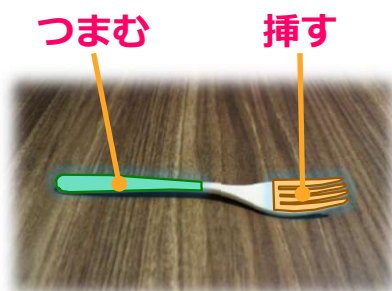
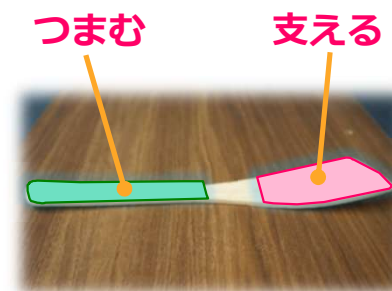
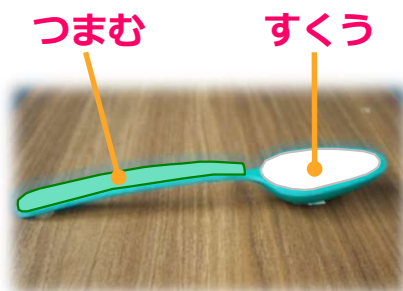


「お茶をたてる」動作の内訳



どうすれば、目的達成のための動作を作れるのか？

道具は“形”に“機能”を持っている



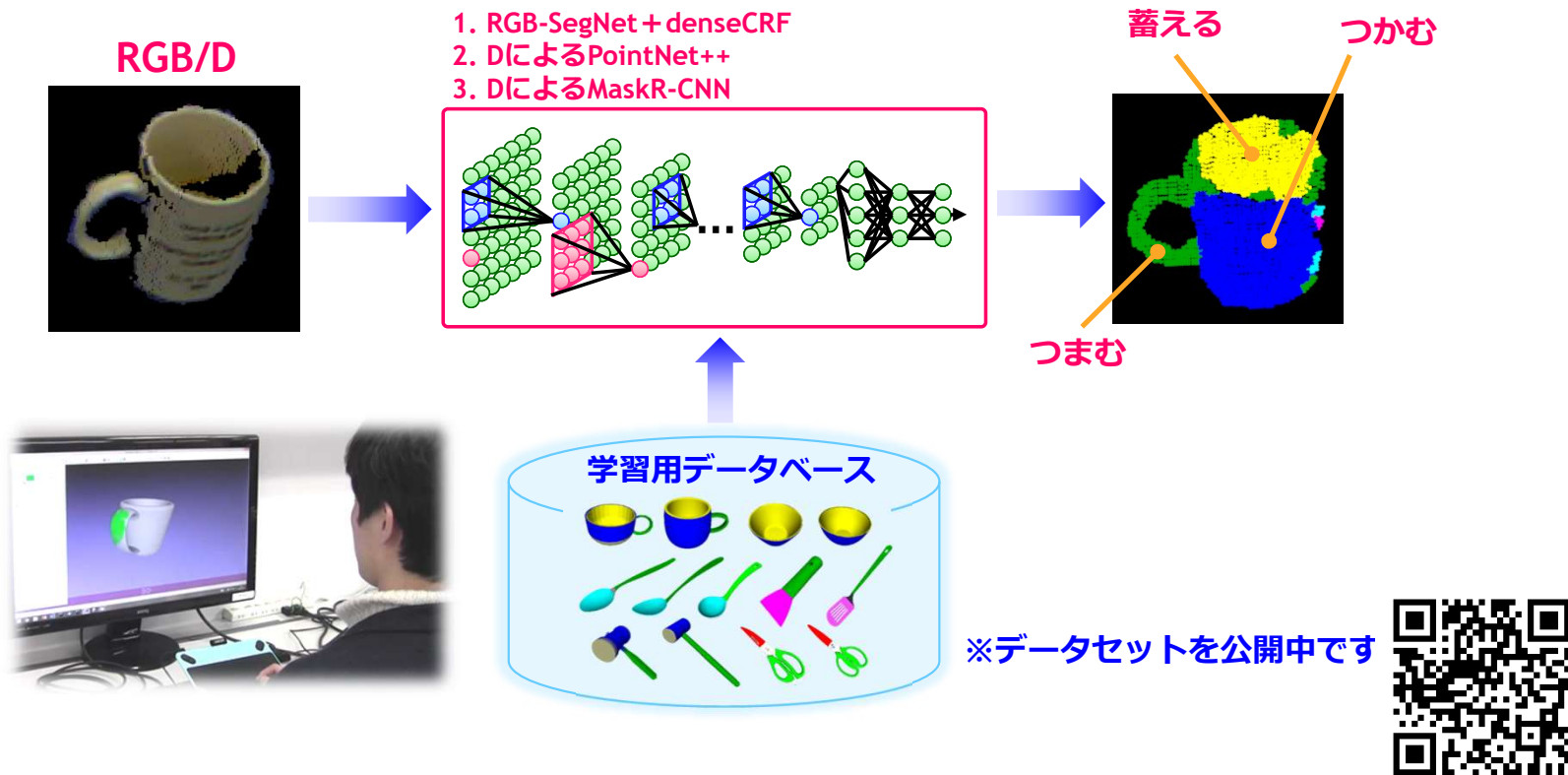
注：材質や動きパターンも
機能の発現に影響を与える。

Affordance, Signifierとその認識に関する研究例

- [1] Yamanobe, et al, A Brief Review of Affordance in Robotic Manipulation Research, Journal of Advanced Robotics, 2017.
- [2] Hermans, J.M. Rehg and A.F. Bobick: "Affordance Prediction via Learned Object Attributes," ICRA2011.
- [3] A.Myers, C.L.Teo, C.Fermuller, and Y.Aloimonos: "Affordance Detection of Tool Parts from Geometric Features", ICRA2015.
- [4] A.Nguyen, D.Kanoulas, D.G.Caldwell, and N.G.Tsagarakis: "Detecting object affordances with Convolutional Neural Networks", Proc. IROS2016.
- [5] A. Roy and S. Todorovic: "A Multi-Scale CNN for Affordance Segmentation in RGB Images", ECCV2016.
- [6] A. Nguyen, et. al, "Object-Based Affordances Detection with Convolutional Neural Networks and Dense Conditional Random Fields", IROS2017.

機能認識の方法

- “機能認識” $\equiv$ 部位ごとに“機能”的な意味をもつラベル名を与える

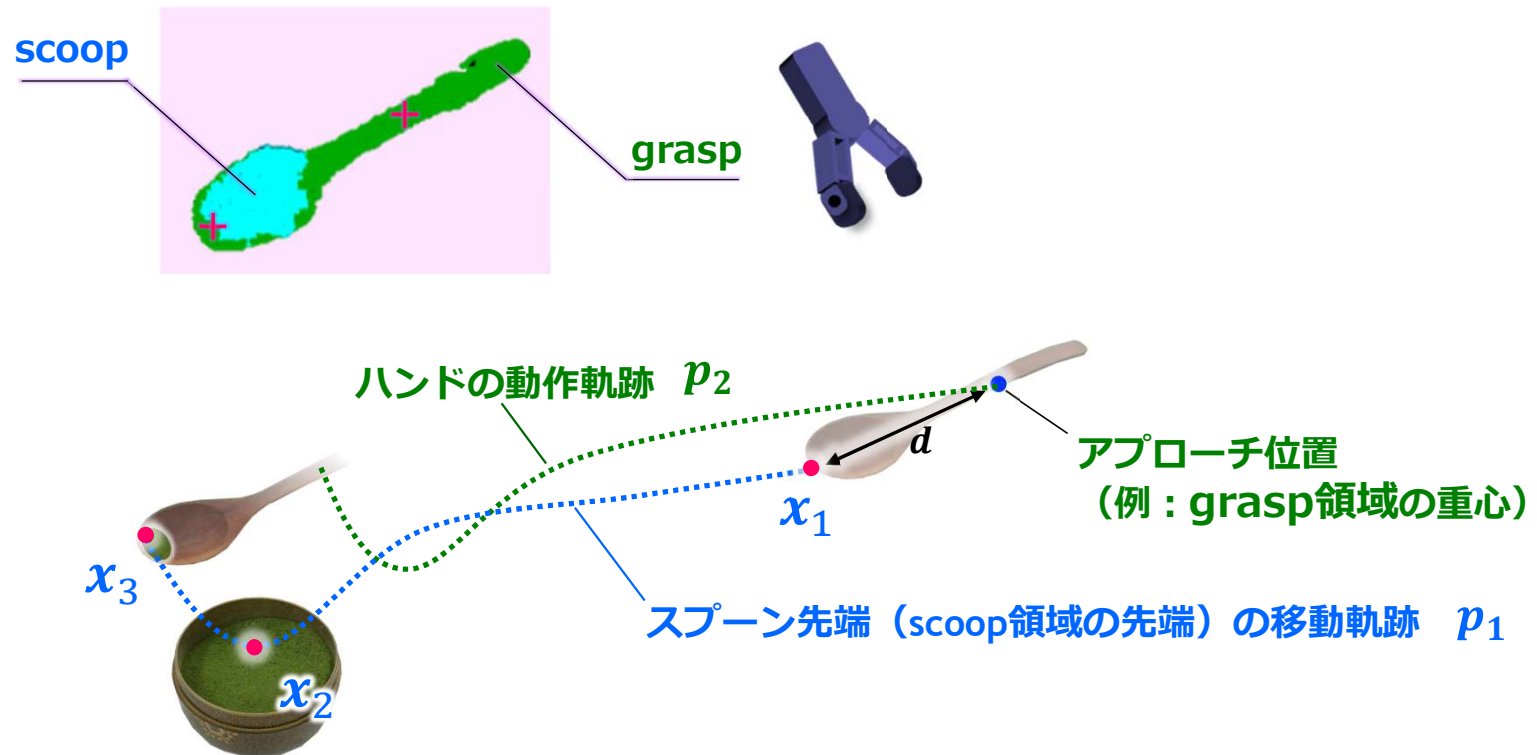


【文献】

Iizuka, Hashimoto, Detection of Semantic Grasping-Parameter using Part-Affordance Recognition, REM2018.
飯塚, 秋月, 橋本, 物体形状を考慮したdenseCRFによる機能属性認識の高精度化, 電学論2018.
Akizuki, Hashimoto, A Multi-purpose RGB-D dataset for understanding everyday objects, VISAPP2020.

“機能” がわかるとなぜうれしいか？ ①

■ 目的を達成するための動作軌跡を生成できる



【文献】

安藤, 鈴木, 秋月, 橋本, 機能情報に基づく共通動作軌跡モデルの具体化によるロボット動作生成, SSII2023, 2023.

安藤, 鈴木, 秋月, 橋本, 標準軌跡モデルと道具の機能情報に基づくロボット動作生成, 第27回知能メカトロニクスワークショップ (IMEC2022), 2022.

Terasawa, Kozai, Hashimoto, Robotic Motion Generation for Realization of the Target Task Using Function and Poses of Objects, IWAIT2020, 2020.

お茶会ロボット 2号



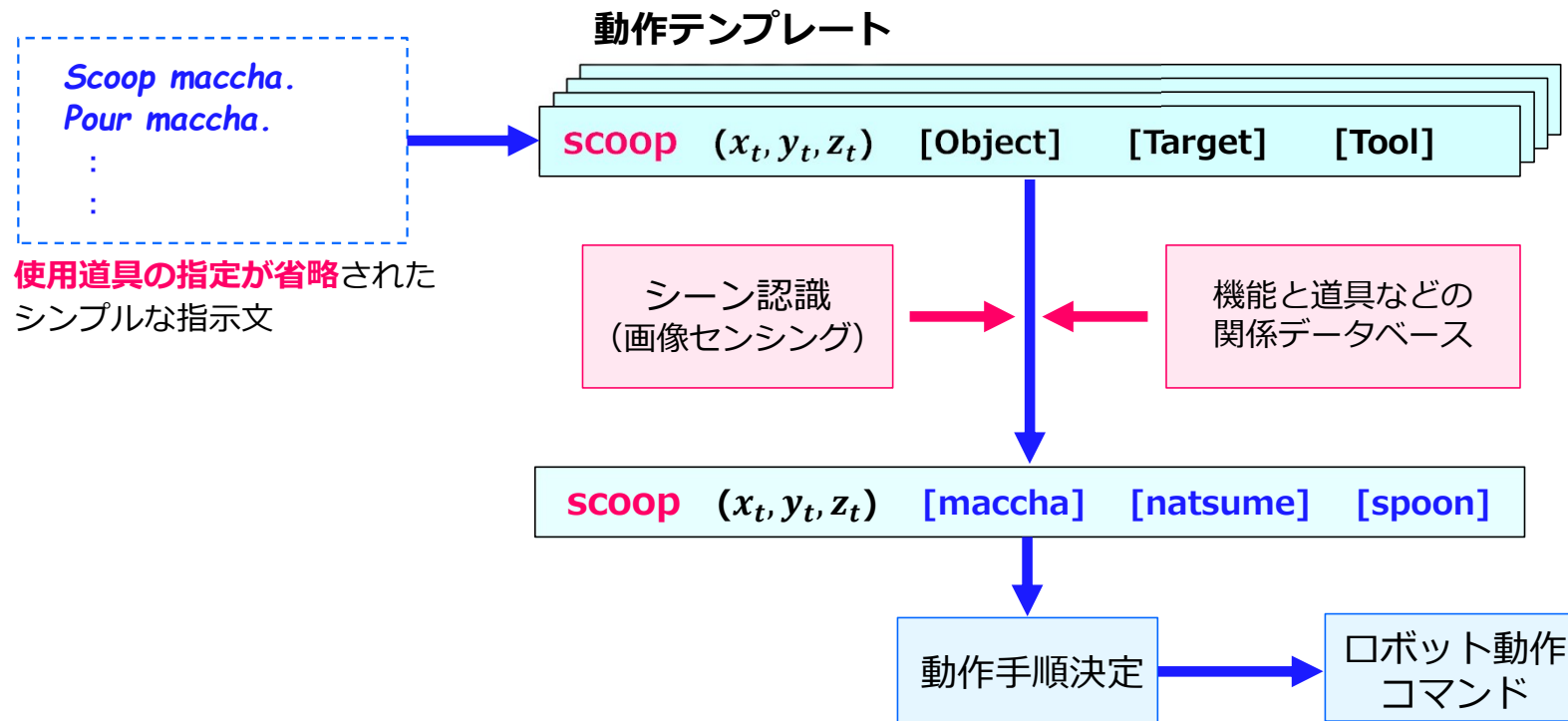
NEDO 産総研 中京大学 金沢大学 (2'03)



Youtube 公開中

“機能” がわかるとなぜうれしいか？ ②

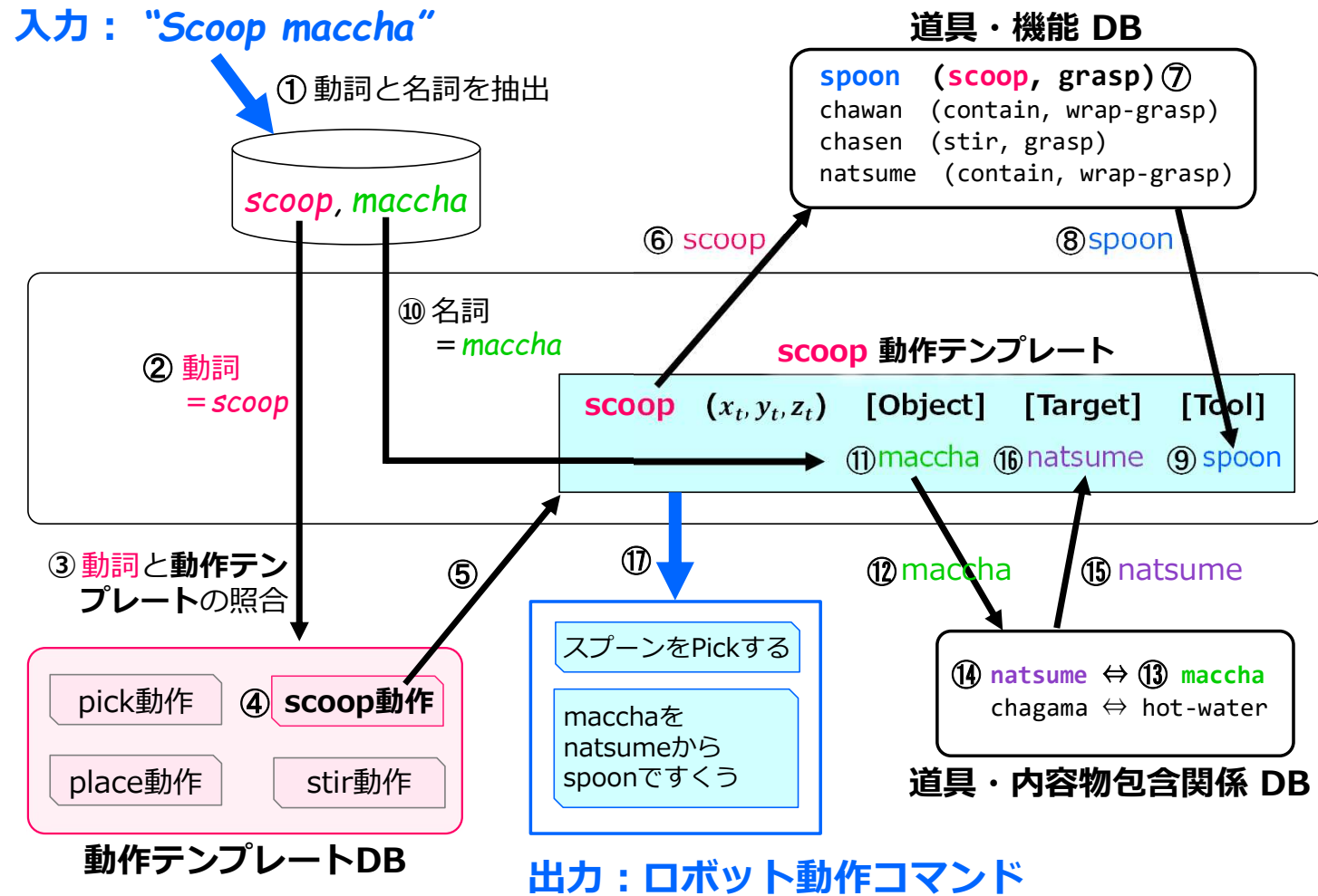
- 「動作テンプレート」を利用し、シンプルな指示文から動作を生成できる
- 機能情報を手がかりにすれば、使うべき適切な道具を補うことができる



【文献】

鈴木, 安藤, 寺沢, 城, 秋月, 橋本, シンプルな指示に基づくロボット動作生成のための機能情報付き動作テンプレートの提案, SI部門講演会 (SI2021), 2021.
鈴木, 安藤, 寺沢, 城, 秋月, 橋本, 機能情報を手掛かりとしたシンプルな指示文からのロボット動作手順生成手法, DIA2022, 2022.
津坂, 岡崎, 小松, 横小路, 人からの手づ たえ教示によるロボットアームのその場動作修正法の開発, 日本機械学会論文集C編, 2012.

指示文から動作を生成する手順



動作生成結果

入力されたテキスト文（道具の指定なし）

L1: Scoop maccha.
L2: Pour maccha.
L3: Scoop hot-water.
L4: Pour hot-water.
L5: Stir them.



生成された動作コマンド列

01 Pick spoon
02 Scoop maccha from natsume with spoon
03 Pour maccha to chawan with spoon
04 Place spoon
05 Pick hishaku
06 Scoop hot-water from chagama with hishaku
07 Pour hot-water to chawan with hishaku
08 Place hishaku
09 Pick chasen
10 Stir chawan with chasen
11 Place chasen

システムが推定した道具



1. Scoop matcha from natsume with small spoon.
2. Pour matcha into big chawan with small spoon.
3. Scoop hot water from chagama with hishaku.
4. Pour hot water into big chawan with hishaku.

【文献】

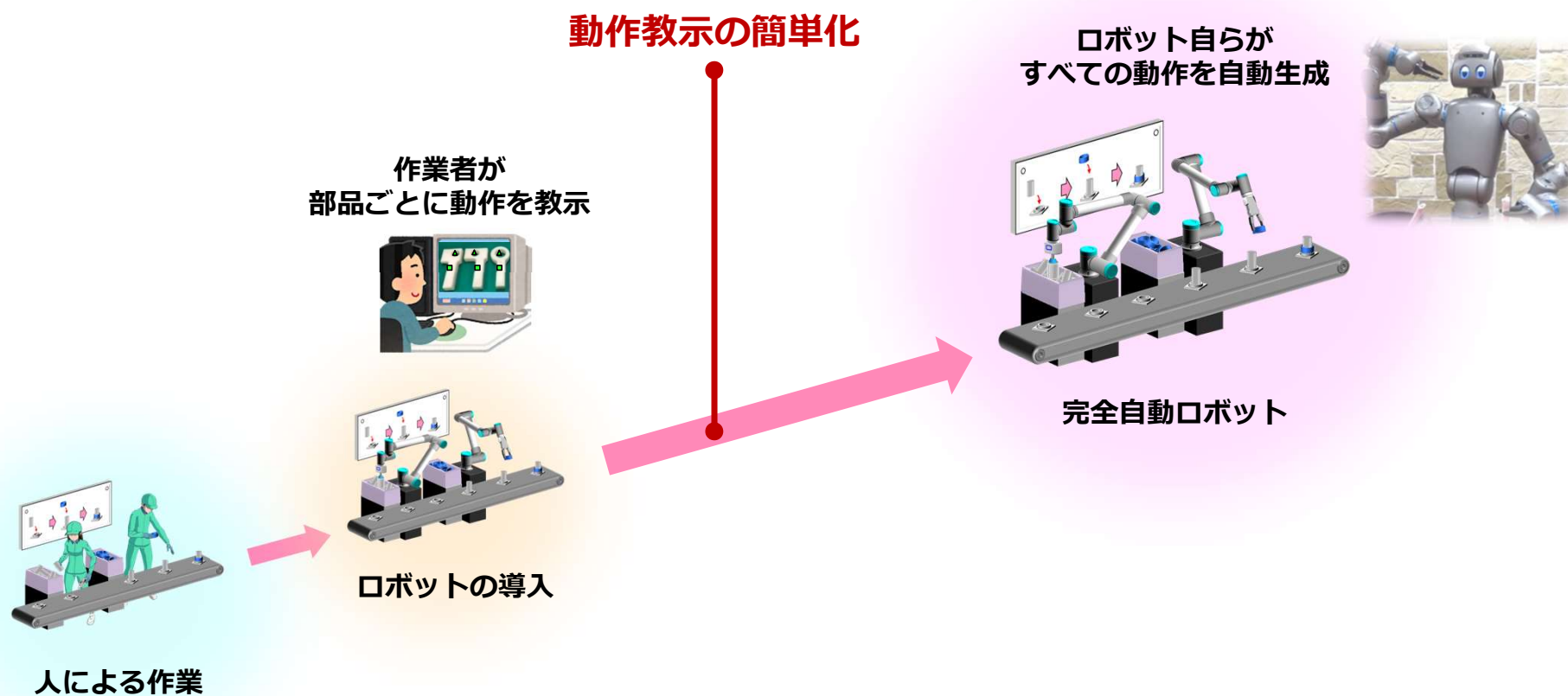
鈴木, 安藤, 寺沢, 城, 秋月, 橋本, シンプルな指示に基づくロボット動作生成のための機能情報付き動作テンプレートの提案, SI部門講演会 (SI2021), 2021.

鈴木, 安藤, 寺沢, 城, 秋月, 橋本, 機能情報を手掛かりとしたシンプルな指示文からのロボット動作手順生成手法, DIA2022, 2022.

“機能” 情報を用いたロボットティーチングの簡易化

“機能” 情報の生産分野への応用

研究の立ち位置

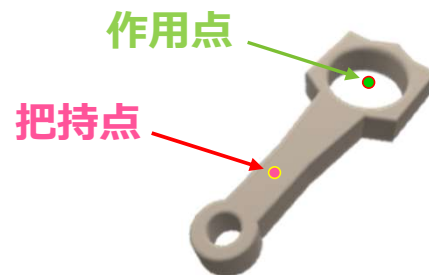


簡単ティーチングの基本的な考え方……お手本を参考に動作を生成

例題 部品挿入工程

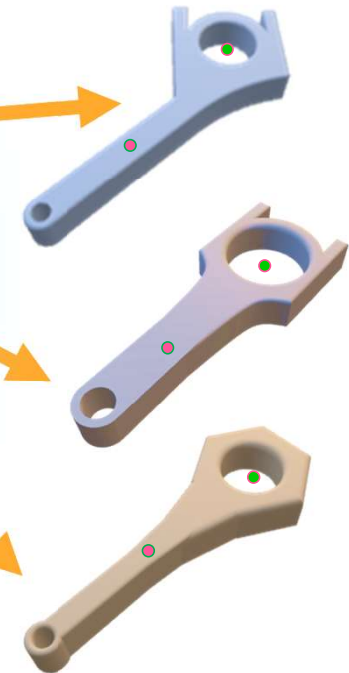


教示内容の例



- ①どこを把持するか（把持点）
- ②どこを挿入するか（作用点）

異形部品



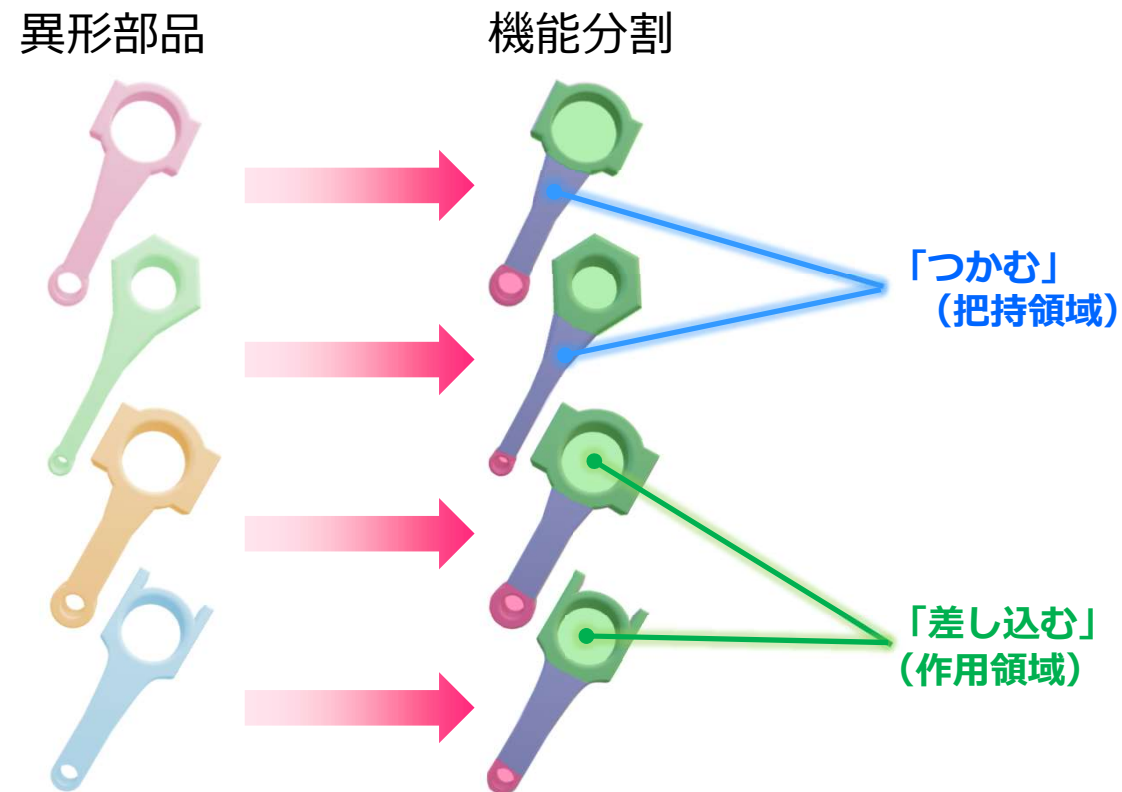
自動転移

人が教示した点を
異形部品に自動転移できないか？

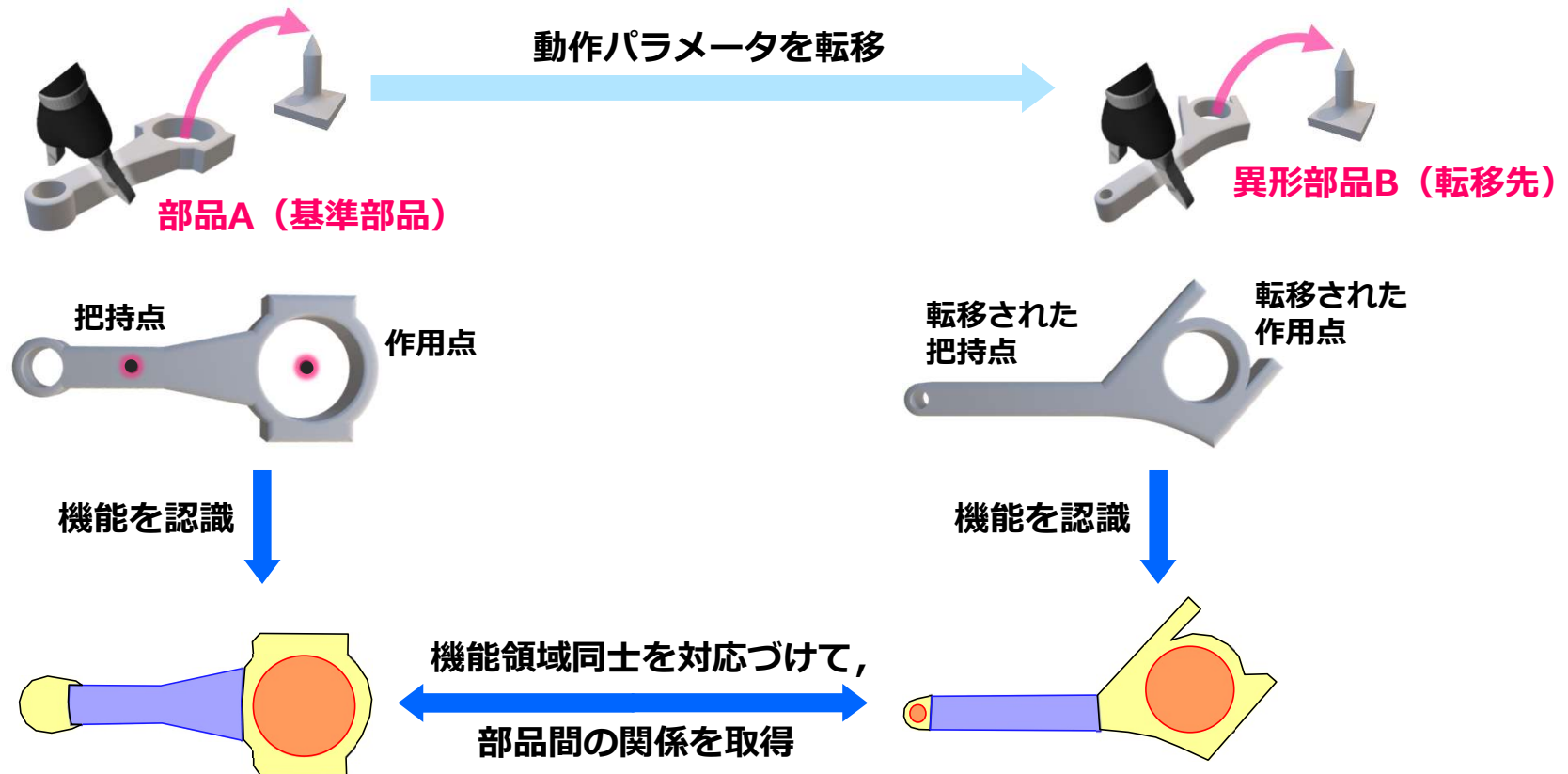
異形部品の共通点は？

アイデア

- 同じカテゴリ内の部品なら、異形部品でも、機能属性は共通している



“機能”を手がかりにした把持点と作用点の転移



【文献】

Suzuki, Hashimoto, A Method for Transferring Robot Motion Parameters Using Functional Attributes of Parts, ISVC2021, Vol.13018, 2021.

Suzuki, Hashimoto, Estimation of Robot Motion Parameters based on Functional Consistency for Randomly Stacked Parts, VISAPP2023, 2023.

鈴木, 橋本, 部品の機能的整合性に基づくばら積みシーンからのロボット組み立て動作生成手法, 第27回知能メカトロニクスワークショップ, 2022.

生成された動作軌跡

(1分10秒)



この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務の結果、得られたものです。

部品の機能認識に基づく ロボット動作パラメータ転移

中京大学 工学部
橋本研究室

【文献】

Suzuki, Hashimoto, A Method for Transferring Robot Motion Parameters Using Functional Attributes of Parts, ISVC2021, Vol.13018, 2021.

鈴木, 橋本, 部品の機能的整合性に基づくばら積みシーンからのロボット組み立て動作生成手法, 第27回知能メカトロニクスワークショップ, 2022.

ロボット動作生成 現状の課題感

まさに変革期 研究テーマの見直しも必要

1. 動作生成への大規模言語モデル（LLM）の利用
 - 現状は高次が中心だが、最近は低次までの一気通貫の研究も（Google等）
 - 生産ロボットでは、低次が重要
 - 「使える」「使うべき」「誰もが使える」 産業利用での得失は？
2. ヒトとロボットの身体性ギャップは意外に大きい
 - 動作指令をロボットの身体性に合わせるための、中間動作表現・変換器
3. ビジョンとロボットの連携効率は、まだ十分ではない
 - ビジョンの追加は面倒で、全体の動作時間には課題が残る
 - ロボット本体は急速に普及 → 教示と保守の簡易化が必須

3. 産官学連携のさらなる促進のために

おわりに……産官学連携のさらなる促進のために

■ 気をつけていること

1. そこにある実課題を大切にしたい。その課題は、たいてい思うほど簡単ではない。
2. 世の中では、“できた”というPR情報であふれている。
できていることを見て、できていないことを想像したい。
3. 大学は教育機関で（も）あるから、研究に関してリスクをとれる。
4. 産学連携では、技術開発と人材育成をセットで進めたい。（企業研究員の制度）

■ その他雑感

1. 産学で業績評価の観点は異なるが、大学でのソーシャルインパクトは低すぎ？
2. 大学の若手研究者： 自己確立の時期に実ニーズに触れる機会を増やせないか？
3. 産業界全体からは、大学に対して、技術や人材の要求を強めてもよいのでは？
4. 博士人材の活用はきわめて重要

Thank you for your attention.