

# ユーザ向けAIアプリ開発ツールPRINTEPSによる ロボット喫茶店の実装と評価

中村高大<sup>†</sup> 八馬遼<sup>†</sup> 森田武史<sup>‡</sup> 山口高平<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 慶応義塾大学大学院 理工学研究科

<sup>‡</sup> 慶応義塾大学 理工学部管理工学科

## 要旨

本稿では、PRINTEPSの喫茶店業務というタスクに焦点を当てて、構築した多重知識ベースと環境センシングの組み合わせによって、実世界の情報から取得される物理信号と知識による記号を相互に対応づけるシステムを提案する。また、ケーススタディでは人と協働して実世界におけるロボットの作業環境を設定し、ロボットによるマニピュレーションのサービスを実現する。

## 1. はじめに

現在、知識推論、音声対話、人と物体の画像センシング、動作という4種類の要素知能を統合した総合知能アプリケーション開発プラットフォーム PRINTEPS (Practical INTElligent aPplicationS) [1]の研究を進めている。PRINTEPSでは、開発者ではなく、エンドユーザがソフトウェアモジュール結合により知能アプリケーションを容易に開発できることを目指している。本稿では、PRINTEPSを用いたケーススタディとして、ロボット喫茶店における飲料準備の実装と評価について述べる。

## 2. オントロジーとマニピュレーションの統合

ロボットの動作は、物理パラメータによってどの関節をどのように動かすのかを別々に制御することにより実装する。ロボットは言葉の理解能力が低いことから、言葉による動作変更の指示が困難であるため、動作変更をするたびに物理パラメータを変更する必要が生じる。ロボットが人の業務を代替するためには、人がロボットの動作作成、実行、確認、修正というサイクルを何度も行う必要があり、修正をするたびに物理パラメータの変更が生じ大きなコストがかかる。本稿では、直接コーディングされたプログラムを、宣言的知識と手続的知識に分離する。宣言的知識はオントロジー、手続的知識はソフトウェアモジュールとして用意し、それらを統合することで低コストで環境の変化に対応させること、人とロボットの言葉によるインタラクションを可能とすることを考える。宣言的知識は、オントロジーにより記述されるため修正が容易であり、手続的知識はソフトウェアモジュールとして用意するため、モジュールの組み換えだけで変更が可能となる。また、人とロボットが言葉によりインタラクションを取ることで、ロボットやカメラのセンシングだけでは取得できなかった情報を、人が発話しロボットに教示することで、ロボットのマニピュレーションを変更させることも可能となる。

## 3. システム概要

PRINTEPSにおける多重知識ベースの一部としてロボットサービスを実現するために利用している2種類のオントロジーとそれらの関連付け、及びPRINTEPSのモジュールとして開発した4つのモジュールについてについて説明する。

### 3.1. 食器・調理器具オントロジー

食器・調理器具オントロジーは、ロボットが扱う食器・調理器具に関する領域オントロジーである。本稿ではPRINTEPSによるマルチロボットの喫茶店業務への適応ということで、ロボットのハンドリングによる制約と実世界での喫茶店で想定されるメニューから飲み物メニューに限定して情報を構造化した。クラス階層は、実世界で行われるメニューにどのようなものがあるかといった質問に回答できるように弁別を行った。また、ロボットは詳細な物理パラメータを制御しなければ動作実行できないので、イン

スタンスには食器や調理器具の視認・把持を行う上で 必要な詳細なパラメータやオブジェクト情報がプロパティで関連付けられている. プロパティには, 視認に必要な情報である色や点群情報, 把持に必要な 3 次元座標, 把持方法などの方法が記述されている(表 1). そしてこのプロパティの値をもとに, センシングの結果 (信号) とそのオブジェクトが何であるか (記号) の結び付けを行う.

表 1 インスタンスに属するリテラル

coordinate_x	x 座標
coordinate_y	y 座標
coordinate_z	z 座標
volume	体積
isUsage	使用中であるかどうか
weight	重さ
grasp	把持方法
pointGroup	点群データの相対パス
handWidth	把持する際のハンドの幅
color	オブジェクトの色

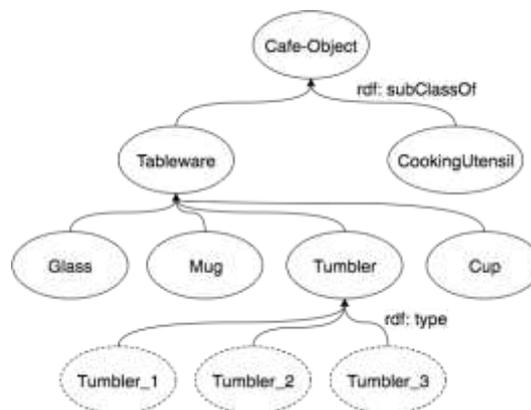


図 1 食器・調理器具オントロジーの階層(一部)

### 3.2. 飲み物オントロジー

飲み物オントロジーは, ロボットが接客サービスを行うために構築した飲み物に関する領域オントロジーである. 本稿では PRINTEPS の喫茶店業務への適応ということで, ロボットのハンドリングによる制約と実世界での喫茶店で想定されるメニューから飲み物メニューに限定して情報を構造化した. また, クラス階層としては大まかな分類を行うことで, 実世界で行われるメニューにどのようなものがあるかといった質問に回答できるように弁別を行った.

### 3.3. 食器・調理器具オントロジーと飲み物オントロジーのアライメント

前項までに紹介した食器・調理器具オントロジーと飲み物オントロジーの関連付けについて説明する. 2 つのオントロジーのそれぞれのインスタンスについて飲み物と対応する食器が 1 対 1 で UsedTableware というプロパティによって関連付けられている (図 2). これによってメニューと対応する食器をロボットが選択することを実現している. また, このプロパティの対応付けは SWRL (Semantic Web Rule Language) で記述されたルールによって対応づけられているため, ルールの書き換えによって容易に変更することが可能となっている. 本研究で使用した SWRL の IF 文の一部を表 2 に示す. この条件が満たされた食器と飲み物が UsedTableware というプロパティで結びつけられる. 異なるオントロジーのインスタンス同士をひとつずつ手動で対応付けると膨大な時間がかかってしまう. また, 対応付ける容器を変更したい場合や新しいサイズ・容器・飲み物を追加したい場合にもおおきなコストが発生する. SWRL を用いてオントロジーを関連付けることにより, このような場合でもルールの追加・変更のみで対応することが可能となり, 飲み物と食器の関連付けを容易に変更することが可能となる. 本来, 飲み物は複数の原料から構成されるものであり, 注文された飲料がどの原料から構成されるかによって, ロボットが扱う際に使用する食器の数や扱う順番などが変化すると考えるのが自然であるが, 本稿では簡単のため, 各メニューは既存の飲料を注ぐだけと考え, 各メニューに対応付けられる食器は必ず 1 種類としている. そして, 多くの喫茶店ではサイズが大きくなると大きな容器を使うが, 本稿では, ロボットのハンドの制約上, 使う容器はタンブラーとカップの 2 種類のみとし, サイズと色を対応付けるものとする.

表 2 SWRL ルールの IF 文の一部

IF	THEN	ルール内容
Juices(?s), size(?s, 'M'), Tumbler(?d), Color(?d, 'red')	UsedTableware(?s, ?d)	あるジュース類のサイズがMであれば, 色がredのタンブラーと対応付ける
Teas(?s), size(?s, 'L'), Tumbler(?d), Color(?d, 'yellow')	UsedTableware(?s, ?d)	ある紅茶類のサイズがLであれば, 色がyellowのタンブラーと対応付ける

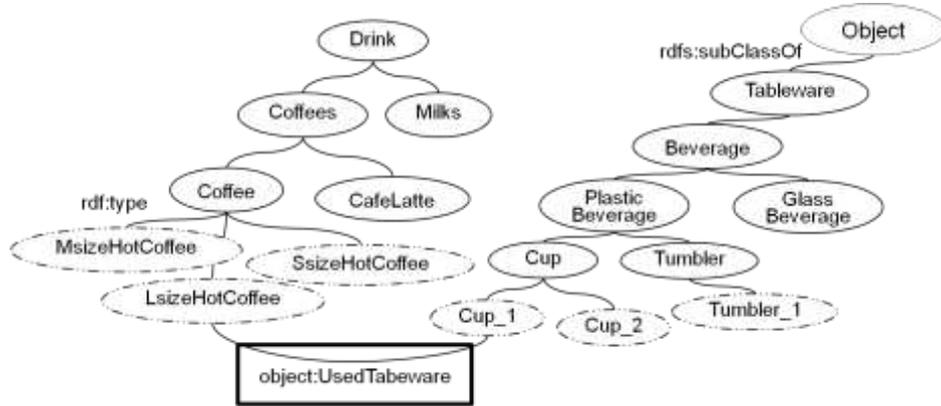


図1 食器・調理器具オントロジーと飲み物オントロジーのアライメントの例

### 3.4. モジュール

本稿では, 物体認識モジュール・動作計画モジュール・音声認識・合成モジュール・オントロジー検索モジュールを作成した。

物体認識モジュールは, 実環境で食器を把持するために必要なロボット座標系からみた3次元座標を取得する処理を行う。入力として事前に準備した点群モデルを与え, カメラに映るオブジェクトの中からモデルと一致する点群を取得して, その重心座標を結果として出力する。動作計画モジュールは, 動作計画のオープンソースソフトウェアとして認知されている OMPL を利用して, 入力された3次元座標に対しアームを移動させるモジュールである。オントロジーに記述している食器の詳細情報を取得し, 掴み方やカメラから取得した座標の補正パラメータなどを活用して食器の把持を実行する。音声認識・合成モジュールは, 既存の API を用いて構築した。認識部は Google Speech API, 合成部は voicetextAPI や NAOqi など使用するロボットに合わせたものを使用した。オントロジー検索モジュールは, オントロジーに対してクエリをかけて, 必要なデータを取得するモジュールである。

## 4. 片付けタスクと喫茶店における飲料準備タスク

3節で説明したオントロジーとモジュールを使用して, 片付けタスクと飲料準備タスクを実現した。本節では, これら2つのシステムについて説明する。

### 4.1. 片付けタスク

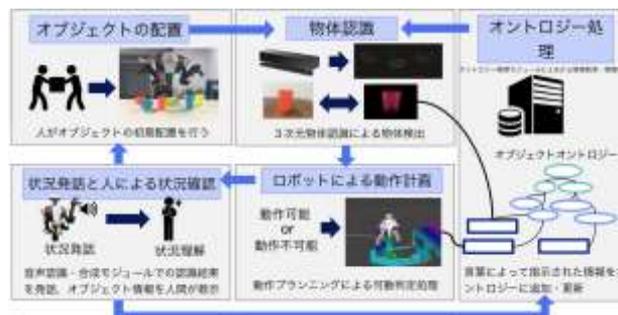


図3 片付けタスクのシステムフロー

図3に片付けタスクのシステムフローを示す。システムの主な役割としては, 人間と機械の認識理解の擦

り合わせによってロボットがテーブル上のオブジェクトをすべて扱えるような環境を人間が構築するのを可能にするというものである。つまり、ロボットが認識したオブジェクトに対してアームを伸ばせるかどうかを判定して結果を発話することで、人間が配置したオブジェクトをロボットが正常に認識できているのかを人間が共有理解し、動作をすることなくオブジェクト配置の修正箇所を特定して改善することを実現する。これにより、以前のオブジェクトを配置して動作させて修正箇所を特定・改善といったプロセスを踏まえることなく、ロボットの作業環境の設定に関する PDCA サイクルを短縮して回すことができ、オブジェクト配置を設定するコストを削減することを可能にしている。また、オントロジーを用いることにより機械からの認識理解だけでなく、機械が理解できる共通語彙を利用することで一部ではあるが、人間の理解をロボットに教示するということも実現している。以下に処理フローを示す。

1. 人間がオブジェクトを配置する
2. オントロジーのすべてのインスタンスに対し PCD を取得
3. デプスセンサから点群を取得して平面除去、クラス タリングを行う
4. PCD(点群データ)を入力して物体を検出、検出された点群にラベルを関連付ける
5. 検出されたオブジェクトに関してオントロジーからオブジェクトの持ち方情報取得
6. 持ち方を考慮して検出座標に対して動作可能かプランニングを行う
7. 検出し、ラベルを付けられたオブジェクトを発話
8. ラベルが付けられたオブジェクトを発話
9. 人間が発話内容を聞いて、ロボットの認識状況を理解
10. クラスタリングされた個数と実際に配置したオブジェクト数が異なる場合は認識結果を踏まえてオブジェクト配置を変更
11. クラスタリングされ個数と実際に配置したオブジェクトが一致する場合は対話でオブジェクト情報を与えてオントロジーの情報を更新

#### 4.2. 喫茶店における飲料準備タスク



図4 飲料準備タスクのシステムフロー

喫茶店における飲料準備を実現するロボットサービスを行うシステムを構築した。これによりメニューという記号から実際の制御する座標である信号への変換、検出できなかった際の信号から記号である別のオブジェクトという記号への変換といった双方向の変化を実現している。以下に処理フローを示す。

1. ロボットとの対話によって注文をとる
2. 決定した注文内容データを用いて知識検索にかける
3. メニュー内容と対応するオブジェクトを検出してラベルを与える
4. PCD を用いて、オブジェクトを検出してラベルを与える
5. 検出したオブジェクトのロボット座標系3次元座標を計算
6. メニューの分だけ座標を取得できた場合、オントロジーから把持情報取得

- 7.検出した座標に対して,アームを制御してオブジェクトを把持する
- 8.メニューの分だけ座標を取得できなかった場合は,メニューと対応するオブジェクトのサブクラスを参照して代用する
- 9.代用によってメニューの数だけ座標を確保できたら,6と7の要領でオブジェクトを把持

## 5. ケーススタディと評価

本節では, PRINTEPS として構築した食器・調理器具オントロジー及び飲み物オントロジーとモジュールの活用によって現実世界のサービスにおいてロボットがどのように働くかをケーススタディで示し,最後に PRINTEPS を使用して開発した場合とそうでない場合を比較し, PRINTEPS の有用性について述べる.

### 5.1. 使用ロボット

本稿で使用するロボットの説明をする. 今回のシステムでは, ハンドリングに優れている大型のアームとハンドグripperを備えた河田工業製の双腕上半身ロボットである HIRONX を使用した. ロボットの本体仕様としては, 両腕6軸, 首3軸, 腰1軸の合計15軸を備えており, ハンドグripperの最大可搬重量は1.5kg までとなっている.

### 5.2. シナリオ

ここでは, 人とロボットが対話を通じてロボットが作業可能な環境を作り上げるタスクをおこなう. 全体のフローは以下の通りである.

<<人がオブジェクトを適当に置く>>

HIRO 「左手前に黄色いカップがあります. 認識できなかったオブジェクトはなんですか. どのような状態ですか.」

人「赤いカップが倒れている状態です.」

HIRO 「了解しました.」(その後食器を把持)

<<事前に教えた状態によって把持方法を変更し動作を実行>>

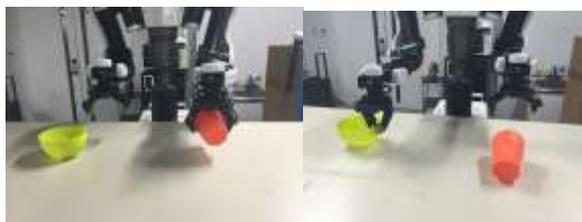


図5 事前に教えた情報による把持方法

この動作は4節で説明した片付けタスクによるものである. ロボットの認識は常に正しいとは限らない. また, 実際の喫茶店を考えると, 常に同じ状態で食器が置かれているということは考えにくい. そのような場合に, ロボットが人間に現在の状況を聞くことで, どのような食器がどのような状態であるかをロボットが理解し, 作業可能となる. 本稿では, 食器が倒れているという単純な状況となっているが, 今後, 認識精度の向上とともに, より多くの状況(形状の情報, どの方向に倒れているかなど)をロボットに伝えることができるようになることを目指している.

### 5.3. 評価

本研究で開発したシステムの有用性を示すため,熟練者と初級者が同じ動作の構築を行い,その開発時間を計測した. 熟練者はすべての動作をハードコーディングで構築し, 初級者は本研究で作成したモジュールを繋ぎ合わせることで動作構築した.

表 3 開発時間の比較

	開発時間	把持された個数
熟練者	1 時間 07 分 33 秒	3
初心者	19 分 04 秒	2

表 3 に開発時間の比較を示す。

表 3 に示すように、開発時間が 1/3 以下に短縮され、モジュールプログラミングの効果が確認できた。特に、モジュール結合によって構築したオブジェクトの最適な配置を人間と協働して設定できるシステムを利用することで、オブジェクトをロボットがどのように認識しているのか、ロボットの可動域の判定を人間とロボットが共有することができる。これにより、認識できないオブジェクト配置、ロボットのアームが届かないオブジェクト配置を設定しなくなるので、「動作を実行して確認し、オブジェクトを再配置する」といったプロセスを排除することが可能になるために、オブジェクトの配置を設定するコスト削減とともに、アプリケーション実行時に把持する精度に効果をもたらしたと考えられる。把持精度については、熟練者によってハードコーディングされたアプリケーションの方が 3 個を正確に把持できたのに対して、初級者のアプリケーションでは 1 つ把持できなかった。これはロボットの把持動作に関してオントロロジー側で定義した物理パラメータの定義が最適ではなかったことと、画像認識モジュールによる物体認識の結果が悪くなかったことが原因として挙げられる。本研究で構築した動作計画モジュールでは、把持できなかったオブジェクトに対して、オントロロジーに定義している物理パラメータを変更することで容易に動作させる位置を微調整することが可能であるが、ロボット開発初級者がオントロロジーの変更をすることは現実的ではないために実験では物理パラメータの変更は行わなかった。しかし、このような微調整が簡単に行えるような仕組みを導入しているためにオントロロジーを変更する方法を理解すれば、把持することも可能であったと考えられる。

## 6. おわりに

本稿では、PRINTEPS の喫茶店業務というタスクに焦点を当てて、構築した多重知識ベースと環境センシングの組み合わせによって、実世界の情報から取得される物理信号と知識による記号を相互に対応づけるシステムを設計した。また、ケーススタディでは人と協働して実世界におけるロボットの作業環境を設定し、ロボットによるマニピュレーションのサービス実現までを確認し、PRINTEPS の有効性を示した。今後の課題としては、ハンドリングに関する情報を記述したマニピュレーションオントロロジーや作業タスクの情報を構造化したタスクオントロロジーの構築などによる作業タスクの変更に応じたより知的な振る舞いの実現などが考えられる。

## 参考文献

- [1] [山口 15] 山口高平, 中野有紀子, 斎藤英雄, 森田武史, 青木義満, 萩原将文, 斎藤俊太: 知能共進化のための実践知能アプリケーションプラットフォーム PRINTEPS, 第 29 回人工知能学会全国大会, 114-2, 2015