

第2回ロボフレ委員会講演内容 ～業界初の惣菜盛り付け自動化ロボット実用化の試み～

講師：日本惣菜協会 荻野武、記録：RRI 西垣戸貴臣

概要：本稿では、製造業で最も人手がかかっている食品製造業に注目し、さらにその中で最も機械化が遅れている惣菜・寿司弁当をターゲットとしてこの分野の人手不足を解消すべく、業界初の惣菜（ポテトサラダ）盛り付けロボットシステムを、半年という短期間で実用化に成功した例を述べる。そのポイントは、以下の3点に集約される。1) 惣菜の盛り付けには高い重量精度と見た目の良さが求められるため、現状技術では採算ベースのロボット化は困難と言われていた課題に対し、「直近の利益では無く業界全体の利益のため」という強いリーダーシップの元に集まった各種企業集団のチームワーク、2) そこで生み出されたロボフレノウハウの集積（ディジタルツイン活用によるシステム構築のフロントローディング・最適化・低価格・低容積化・シフト計画、用途向け番重など）、3) 重量計を具備した食品を扱う手袋材質の2指ハンド、4) 盛り付けた容器を確実にラインに送り出すメカニズム、5) 完全自動化ではなく“水すまし”と呼ばれる全体管理を実施する人を残した点にある。4台のロボットを稼働させることによって当初7人の人手で実施してきたラインの3人分の省人化が可能になった。

1. はじめに

少子高齢化の波は確実に訪れており、人手不足の解消は喫緊の課題となりつつある。図1に産業別従業員数を示す。食品製造業に最もたくさんの方が従事していることが分かる。図2に従業員一人当たりの年間付加価値額を示す。惣菜、寿司・弁当の付加価値が最も低い。これはこの分野の機械化が最も遅れていることを示している。総菜の盛り付け作業は、ロボット導入の一丁目一番地であるとの認識で、これに取り組んだ。図3に惣菜の盛り付け工程を示す。前工程である洗浄・カット等の工程は専用機を使った機械化が比較的進んでいる。検査やラベラー等の後工程も同様に比較的機械化は進んでいる。しかし中間の盛り付け工程は、図3の写真に示すように、未だに多くの人々による人海戦術によって成立している。また前工程は、素材が入荷する朝の時間に稼働するのみであるが、盛り付けは、場合によっては24時間稼働となる過酷な工程になっている。

この分野は慢性的な人手不足の中、外国人労働者、派遣人材が多い。一般に派遣人材は人を指名することはできない。しかし、総菜の盛り付けには比較的ノウハウが多く、毎度教育が必要になる一方、離職率が高いという課題もある。そういう意味でもロボット化は惣菜分野の悲願であった。以上の理由により、本プロジェクトでは、惣菜の盛り付け作業のロボット化にとりくんだ。

本稿では、マックスバリュー東海の惣菜盛り付けラインに投入したロボットシステムの開発例を以下に述べる。この業界初の惣菜盛り付けロボット、より具体的にいえば、ポテトサラダの盛り付け作業ラインに投入したロボットシステムはロボット大賞を受賞した。稼働して1年半近くが経過するが、常にラインの改善がなされているため、一度もクレームは無いと認識している。

マックスバリュー東海社長の「ここで競争する必

要は無く、普及拡大することでさらに低価格化を図り業界全体の生産性を上げて行きたい」という利他の精神が成功の一つの要因である。また今回のケースは、半年で仕上げるという突貫工事となった。あらゆる分野をまとめ上げる荻野フェローの人柄と、利他の心に裏打ちされるリーダーシップがもう一つの成功要因。あらゆる分野の担当者の知恵とロボフレノウハウによって実現した。

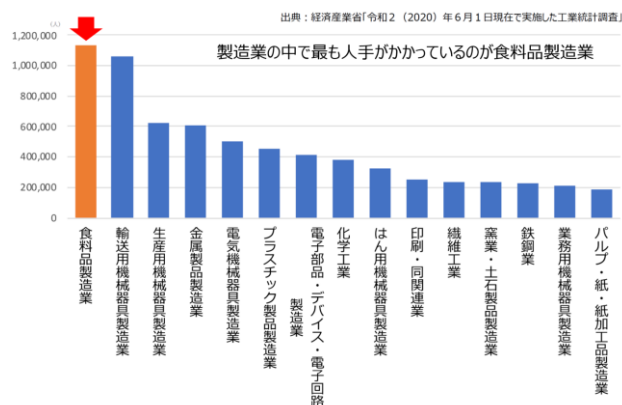


図1 産業別従業員数

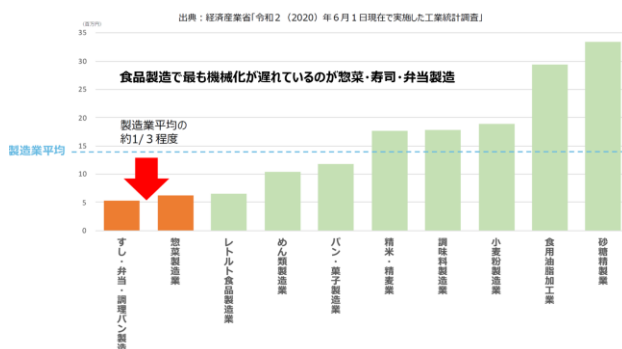


図2 従業員一人あたりの年間付加価値額



図3 惣菜盛り付け工程

本稿の構成は、以下の通りである。第2章では、惣菜盛り付けロボットの課題と概要を述べ、続く第3章以下では、これらを実現した技術の詳細を述べる。最も技術的ハードルが高かったポテトサラダの把持の詳細(第3章)、容器・番重の工夫(第4章)、デジタルツイン/ロボットシステム(第5章)。デジタルツイン/全体工程(第6章)。最後の第7章は、まとめである。

2. 惣菜盛り付けロボット

マックスバリュートー東海の惣菜の中で最も生産量が多いのはポテトサラダである。今回のロボットではこのポテトサラダに挑戦した。

ポテトサラダのラインには7人の作業員が従事していた。内4人がサラダの盛り付け、一人が盛り付け完了後の容器の蓋閉め、一人が容器の出荷番重への移載、最後の一人がみずすましと呼ばれる人で、ラインを周回して不足の物品を補充したり、トラブルを解消したりする役目を負う。今回はこの中で4人のサラダ盛り付け要因を全てロボットで置き換え、7人から3人への少人化を実現した。ロボットの盛り付けに要する時間目標を人と同一とし、4台のロボットで4人を代替した。一台当たりの処理速度を250食/時間とし、4台で1,000食/時、10時間稼働することで、10,000食/日の要求をカバーした。なお、このことが実現できた要因の一つに、ユーザー側として、ある特定の時期に生産数を急に増加させる特売設定をしない等、要求数量の変動を無くし、ロボットの一定稼働で必要数量をさばく体制としたことも指摘しておきたい。



図4 惣菜盛り付けロボットの外観

図4が惣菜盛り付けロボットの外観である。このロボットが4台並んで人を代替する。図5に一連の盛り付け動作を示す。図5①ではハンドは紙面奥のサラダが入った番重の上空に配置されている。この後、ハンドが降下してサラダを把持する。この時、手前には図の左側から容器が自動的に搬送され、サラダの投入を待っている。図5②ではロボットアームの回転によってハンドが紙面手前の容器上空に移動してサラダを容器上に落下させる。この落下を確実に成功させるために、サラダを把持したハンドが、単に開閉するのではなく、上下にゆらす動作が挿入されている。また、把持したサラダの量は、ハンドに取り付けられた重量センサにより計測され、規定条件を満たさない場合は、重量誤差が小さくなるためのロボットモーションを計算し、リトライをする。サラダを容器に移し替えたのち、図5③ではハンドは再び紙面奥のサラダが入った番重上空に戻り、サラダが投入された容器は紙面手前に押し出される。図5④に示すようにロボットから押し出された容器はベルトコンベアに乗って、紙面右上方向に搬送される。ロボットは4台直列に配置されており、それぞれのロボットから押し出されたサラダが入った容器は合流して、紙面右上方向に搬送される。

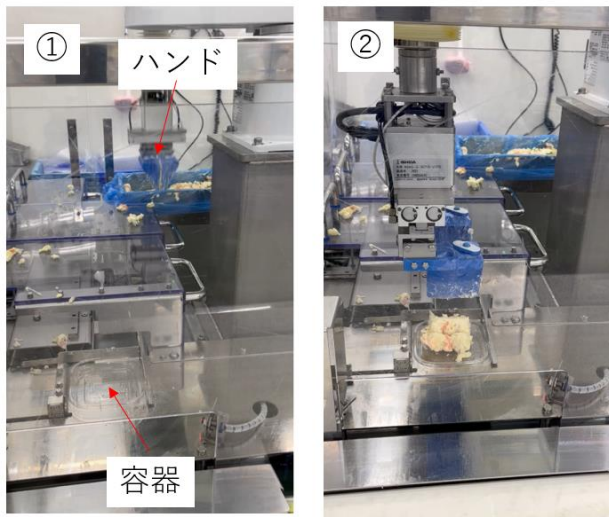


図5 盛り付け動作

図6は盛り付けをサポートする人々を示す。図6①は、状態を検査して、状況に応じてサラダの位置をずらすなどの修正をし、最後に容器の蓋をする人である。図6②はコンベア上を流れて来た完成品の容器を出荷用の番重に移載する人である。この2名と前記した水すまし(さん)が、残った人になる。次のステップは、蓋閉め部分の自動化(22年度開発)、移載の自動化(22年度開発)。これらが完了すれば、当初7人だった作業者が1人まで減ることになる。



図6 盛り付けをサポートするワーカー

図6③は、これまで述べて来た7名とは違う助っ人的な人である。ポテトサラダが入った番重と計りを携えてラインに途中参加し、ロボットの仕事を補充する役目。こういう工夫でトラブル等による工程の遅れ等を挽回している。

3. ポテトサラダの定量把持

ポテトサラダを盛り付ける場合、不定形物体であるサラダを一定の重量取り出して、高い計量精度で、見た目よく盛り付ける必要がある。食品の中でも最も把持が難しい。期せずして、最初に最も難しいものに最初にチャレンジする事になった。

事前に3DカメラとAIによる制御も試行したが、今回、基本設計の段階で、AIを使った画像処理は極力利用しない方針とした。AIを使った場合事前の学習が必要となり、半年の開発期間に間に合わなくなる可能性があること、実運用において、レンズの曇り等による予期せぬトラブルを避けるため、というのがその理由である。

定量性を確保するため、試行錯誤を繰り返し、最終的に以下の方針でシステムを設計した。ハンドには計量のための荷重センサを付け、これを接触センサとして利用した。ハンドがサラダの表面に接触すると荷重センサが反応する。この位置を表面高さとし、その位置から一定量掘り下げた位置までハンドを挿入してサラダを把持することで、定量性を確保した。番重上のサラダ表面の、どの部分からサラダを取り出したかは、ソフト的に覚えている。これによって、サラダ表面からまんべんなくサラダを取り出す工夫をした。サラダの取り出し(把持)が完了すると、ハンドは一旦上空に上がる。この位置でサラダを計量する。この位置でハンドは一旦停止するが、その後、変位は小さいが下向きの加速度を加える動きをする。これによってハンドの内側側面に付着したサラダをハンド内の下部に落として、計量を安定化させている。サラダの量が閾値の範囲外であった場合は、外れ値に応じてリトライし、取ったサラダの量が閾値に入るまでこれを繰り返す。サラダの量が閾値内に入ったら、前述のようにロボットアームの回転動作で、ハンドは容器上空まで移動し、

サラダを容器に落下させる。

この繰り返しによって、サラダの表面をどんどん掘り進むと、最後は底に達する。底に達する前にアラームを出し、水すまし（さん）にサラダを新たに供給していただくことで、作業を継続する。

ハンドの材料にも工夫が施こされている。簡単に滑って落ちてしまっただけでは困る。逆に、最後に容器に落下させる際は、簡単に滑って落ちてもらわないと困る。丁度良い摩擦係数の材料を模索し、最終的にはワーカーが使っている手袋の素材をロボットハンドに装着するのが最も良いと結論付けた。また、サラダを容器に落下させる際は、ハンドを急停止させてマイナスの加速度を加えることで、確実に落下させる工夫も行った。

ハンドは磁石を使った着脱容易な構造とし、食材が変わった後もアレルギーを引きずらない配慮をした。

ハンドの形状は、3Dプリンタで各種試作して試行錯誤したが、最終的には比較的シンプルな構造に落ち着いた。また洗浄性を考慮して、ステンレスのシンプルな構造体とした。

4. 番重、容器

ポテトサラダを入れる番重にも工夫を施した。ロボットアームの動作領域を考えると番重の開口部は狭い方が良い。またアームが底まで着いた際のサラダの補充回数を減らすためには番重は深い方が良い。これらを考慮して、最適なロボフレ番重を試作した。

次のステップである自動蓋閉めに備え、容器メーカーとの間で、サイズ・形状・嵌合方式を試し、ロボフレ容器を試作した。

5. デジタルツイン（ロボットシステム）

ロボットの動作の確認、冗長性の確認、処理速度（タクトタイム）の確認のため、ロボットシステムをCAD化し、デジタルツインを構築した。図6①はロボット単体での動作を確認するためのデジタルツインであり、図6②は、4台のロボットを並べた際の全体の動作を確認するためのデジタルツインである。このように、ロボットハードの完成後の手戻りを防止し、半年での開発を成功させた。

また、これらのデジタルツインは、装置全体の小型化にも活用した。これまでは1セルあたり1,200×1,200mmであったフットプリントを最小化し、1セルあたり600×600mmのロボットシステムの開発を完了し、現場導入を完了した。

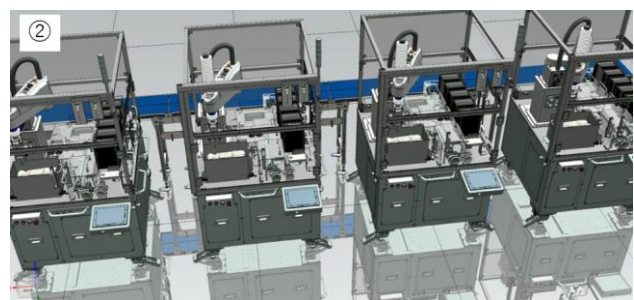
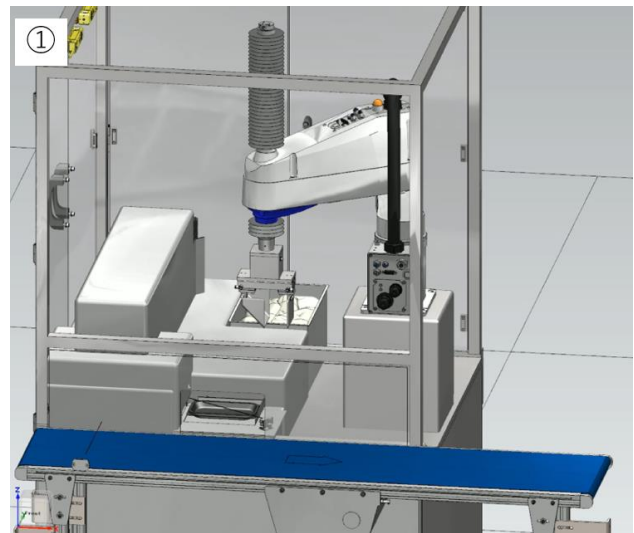


図7 ロボットシステムのデジタルツイン

6. デジタルツインによる全体工程最適化、量子コンピュータによるシフト計算

ロボットシステムだけでなく、生産工程全部のデジタルツイン化にもトライし、全体工程の最適化を行った。惣菜製造工場では、多いところでは数百種類の惣菜を製造し、決められた数量を決められて出荷時間に合わせて製造する。日々変わる注文に合わせた製造プロセスの最適化は、人手では難しく、今回、デジタルツインを用いて全体工程をバーチャル上に実現し、遺伝子型アルゴリズムのAIを用いて最適化を試みた。

また、ロボットと人が混在する中でのシフトの作成は非常に難しい。例えば、ロボットを含めた個々の従業員の力量や、それぞれの従業員の休日や残業に関する時間制約等は全て管理者の頭の中にあり、これらをパズルのように組み合わせて、熟練の技によってシフトは完成する。この計算は制約条件が増えると、通常のコンピュータで行うと数万年かかるため、ここには量子コンピュータを活用したシステムを構築し、約10分でシフト計算ができるようにした。

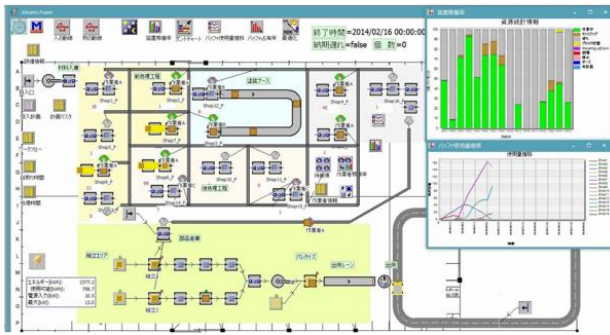


図8 惣菜製造工程全体のデジタルツイン

これら、デジタルツイン、量子コンピューターを用いたシステムは完成したものの、継続的に現場で運用するには、アップデートした必要な現場のデータが必要となる。この中には、管理者の頭の中にある情報もあり、これらを如何に合理的にデータ化するかが、今後の課題である。

7. まとめ

製造業のなかで最も自動化が遅れている惣菜盛り付け分野において、業界で初めてロボット化を成功させた。その成功要因は、次のように整理される。

(開発コンセプト関連)

1) 利他の心に裏打ちされたリーダーシップでチーム全体をまとめ上げ、半年という驚異のスピードで稼働開始したこと。稼働後一年が経過しているが、こまかな改善作業が継続されているため、未だに決定的なクレームは一件もない。

(ロボフレの工夫関連)

2) 最も困難と言われたポテトサラダの計量把持に挑戦したにも関わらず成功した要因は、下記のように整理される。a) なるべくカメラを使わないことで安定化が実現できたこと。b) 3Dプリンタであらゆるハンドをトライし、最終的にはシンプルな形状に落ち着いたこと。c) サラダのハンドへの固着を防止するために素材選びも苦労したが、最終的には現在作業者が使っている手袋の素材をハンドにはめることで解決したこと。D) ロボットが扱いやすい番重や蓋閉めが容易な容器等、周囲の環境にもロボフレの考え方を随所に取り入れたこと。

(デジタルツイン関連)

3) 現場調査、構想設計から現場での実稼働開始まで半年という驚異的なスピードが実現できたのは、デジタルツインを多用した効果である。具体的には、a) 複数のロボットシステム全体をデジタルツイン化することで、手戻りを防止し、タクトタイムを最小化できた。b) 次のステップである小型化にもデジタルツインを活用した。さらに、c) 全体工程もデジタルツイン化し、複雑な組み合わせ問題であったこれまで熟練のリーダーの頭の中で実施していたシフ

ト表の作成を自動化できた。

将来的には、さらなる小型化、多品種対応、システム化が直近の課題である。コストの課題も、まだ残っている。仲間を増やして低コストを実現し、総菜ロボットシステムがもっと広がり、利他の心が日本国内に浸透して、日の丸惣菜ロボットシステムが海外を含めた食品加工の世界を席捲することを期待したい。



ロボット革命・産業IoTイニシアティブ協議会
Robot Revolution & Industrial IoT Initiative