2026 年度　データ活用委員会講演内容（2026 年 9 月 15 日）

ボトルにキャップを締めるシステム（力指令作業実施法）

―8bit の名機 Z80CPU で実現―

講演者：澁谷工業株式会社　村中　志有

まとめ：佐藤知正（東大名誉教授）

概要

澁谷工業株式会社の村中志有氏は、ボトルへのキャップ巻締めを行うスクリューキャッパ（ネジ栓自動巻締機）を、サーボトルク制御キャッパ（ESC）として 1982 年頃に実現した。本講演では、その開発の経緯と技術的解決策を具体的に紹介した。質疑応答では、ここで得られた知見は、今後のヒューマノイドにおける“力指令作業施法”に生かせるものであるとの議論がなされた。

スクリューキャッパの従来機はクラッチの滑りを利用してトルクを制限する方式であり、起動・停止時の回転数変動によってトルクが安定しないという課題があった。講演者は、この課題の解決を、（１）１本あたりの巻めに使える時間の制約、（２）制約時間内で応答できる低慣性・高応答のサーボモータの探索、（３）チャックを含む回転系の慣性モーメントによるトルクが巻締めトルクを上回らないこと、という三つの要件として整理し、（１）と（２）の要件に関しては、プリンタヘッド用に開発されていた特殊な低慣性サーボモータの採用と、チャックの低慣性化（鉄系金属から軽量樹脂・アルミニウムへの変更）によってこれを克服した。さらに、（３）の要件に関しては、巻締め動作を「噛合い」「仮締め」「本締め」の三工程に分割し、回転速度指令値とトルク指令値をミリ秒単位で切り替えて制御するとともに、チャック回転とサーボ電流のモニタリングによってリアルタイムに異常（噛合い異常、本締め終了異常、エンド異常等）を判定する仕組みを構築した。あわせて、回転体であるキャッピングヘッドへの電力・信号伝送（スリップリング）やサーボモータ用電線の耐久性確保など、実装上の課題への対応も紹介された。質疑応答では、樹脂部品の寸法ばらつきへの対応や、噛合いから仮締めへの移行判定方法などが議論された。さらに、司会の佐藤知正から、以前の第 2 回データ活用委員会の講演者等による「力指令」の概念との関連や、本講演の知見がヒューマノイドロボットの力制御に資するとの指摘がなされた。

これにくわえて講演後半では、村中氏が長年の経験をもとに、佐藤が示したA)マニピュレーション関連の分類された動詞群、およびB)工場における間接作業群に関して、a)専用自動機が代替可能な作業に対応した動詞や、ヒューマノイドロボットに適していると考えられる間接作業のそれぞれについて、詳細が補足説明された。

第１章　緒論

ボトルや缶などの容器に充填された製品を市場に届けるためには、内容物を密閉し、品質を保持するキャッピング（打栓・巻締め）工程が欠かせない。とりわけ、容器の口部に成形されたネジにキャップを巻き締めるスクリューキャッパ（ネジ栓自動巻締機）は、飲料・洗剤・薬品など幅広い製品分野で用いられている基幹設備である。巻締めにおいては、キャップが強すぎれば利用者が開けられず、弱すぎれば内容物が漏れ出すという相反する要求を同時に満たす必要があり、締め付けトルクを適切な範囲に収めることが品質保証上の重要な課題となる。

しかし、締め付けトルクを安定して管理することは、非常に難しい。モータの回転力をキャッピングヘッドへ伝える過程では、機構の摩擦や慣性モーメントの影響を受けるため、単純にモータを駆動するだけでは、狙いどおりのトルクを再現性よく得ることができない。従来機では、設定トルクで滑るクラッチを介して回転力を伝達する方式が広く用いられてきたが、キャッピングヘッドの回転数は起動・定常・停止の各局面で大きく変化するため、クラッチの摩擦特性が安定せず、締め付けトルクにばらつきが生じるという根本的な課題を抱えていた。

本講演は、澁谷工業株式会社の村中志有氏が、1982 年頃に着手したサーボトルク制御キャッパ（ESC）の開発を振り返りながら、この課題にどのように取り組んだかを紹介したものである。開発当時、8 ビット CPU「Z80」という、現在からみれば非力な演算資源しか利用できなかったにもか

かわらず、機構・電装・制御を横断する体系的な工夫によって、巻締めトルクの管理という目標が実現された経緯には、モータ制御一般に通じる示唆が多く含まれている。これは、トルクをコントロールすることが求められるヒューマノイドの制御に多くの示唆を与えることが質疑応答で議論された。

本稿では、第１章の緒論に続く第２章において、スクリューキャッパにおける巻締めトルク管理という課題と、その解決を支える三つの要件について概念的に整理する。第３章では、従来機の構造とクラッチ方式の限界を詳述する。第４章では、低慣性サーボモータの採用とチャックの低慣性化という、三要件を満たすための具体的な解決策を示す。第５章では、噛合い・仮締め・本締めの三工程による巻締め制御の実装を詳述する。第６章では、リアルタイムの異常判定と実装上の課題について述べる。最後の第７章は結論であり、本講演の要点をまとめるとともに、将来課題を述べる。

第２章　ｻｰﾎﾞﾄﾙｸ制御ｷｬｯﾊﾟ開発の基本思想

2-1　巻締めトルク管理という課題

澁谷工業株式会社（以下、当社と略称する）は、飲料・洗剤・薬品などを扱うボトリング・パッケージングシステムを主力事業の一つとしており、その中でスクリューキャッパは、ボトルの口部に成形されたネジにキャップを巻き締める装置として重要なである。キャッピングヘッドがキャップを掴み、下方から搬送されてくる容器のネジロへ回転させながら押し当て、巻き締めを行う。

従来機では、モータの回転力を、設定トルクで滑るクラッチ（トルククラッチ）を介してキャッピングヘッドへ伝えており、クラッチの設定トルクによって締め付けトルクを制限する方式が採られていた。しかし、キャッピングヘッドの回転数は、動き始め・定常回転・停止といった局面で大きく変化するため、クラッチの摩擦特性は安定せず、結果として容器に加わる締め付けトルクも安定しないという問題があった。製薬用途などでは、締め付けトルクが一定の範囲内に収まることが強く要求される場合もあり、この不安定さは看過できない課題であった。

こうした背景のもと、1982 年頃、「巻締めトルクを管理したい」という要望に応えるかたちで、サーボモータを用いたトルク制御キャッパ（ESC）の開発が始まった。本章では、この開発の核心にある発想を概説する。

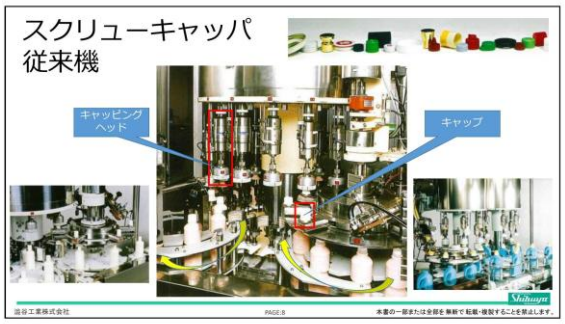


図１　スクリューキャッパ従来機の外観

図１に、従来機の外観を示す。容器はコンベヤ上を搬送されながら回転するキャッピングヘッドの下を通過し、キャッピングヘッドに保持されたキャップが容器のネジロへ巻き締められる。図中のキャッピングヘッドおよびキャップの位置関係は、以降の章で述べる構造の理解の基礎となる。

2-2　開発を貫く三つの要件

ESC の開発にあたり、講演者は課題を三つの要件として整理した。第一は、1 本の容器についてキャップの巻締めに使える時間には実用上の制約があるということである。締め付けに時間をかければ慣性の影響は問題になりにくいが、その分、単位時間あたりの処理本数（生産能力）は低下し、機械も大型化してコストや設置スペースの面で現実的でなくなる。したがって、実用的な時間内で巻締めを完了できることが前提となる。

第二は、その制約時間内で応答できるモータが実在するかという要件である。一般的なサーボモータをクラッチの代わりに単純に用いても、応答性が不足し、狙ったトルクに収束しない。

第三は、チャックを含めた回転系全体が発生する慣性モーメントによるトルクが、巻締め完了時点で要求トルク以下になることである。すなわち、「慣性モーメントで発生するトルク ＜ 巻締めトルク」という関係を満たす必要がある。

この三つの要件をすべて満たすことができれば、クラッチによる不安定な力の伝達を排し、トルクそのものを直接管理する巻締めが実現できる。以降の各章では、この三要件がどのように満たされたかを、順を追って詳述する。

第３章　従来機の構造とｸﾗｯﾁ方式の限界

3-1　従来機キャッピングヘッドの構造

図２に、従来機のキャッピングヘッドの構造を示す。中心には固定された太陽ギアとセンターシャフト、円筒カムが配置され、その周囲を遊星ギアを備えたキャッピングヘッドが公転しながら自転する。回転はモータによって太陽ギアと遊星ギ

アの組み合わせを介して与えられ、上下方向の動きは円筒カムによってキャッピングヘッドをスライドさせることで実現される。容器とキャップが噛み合う際には、最大１回転分の不定な回転（「殻打ち」と呼ばれる）が生じるため、設計上はキャップ１回転分の余裕を見込んだ回転軌道がとられている。

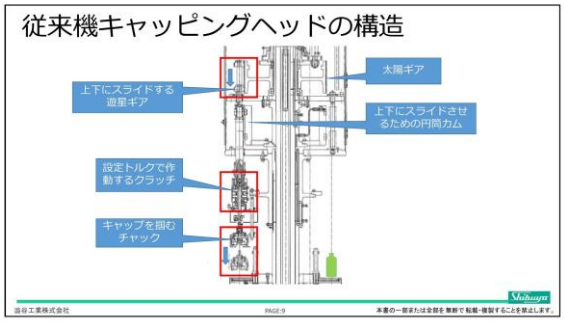


図２　従来機キャッピングヘッドの構造

3-2　チャック構造とクラッチ方式の課題

図３に、従来機で用いられてきたメカエアチャック（キャップを掴む部品）の構造を示す。図３に示すように、大部分が鉄系金属で構成されており、エア圧によってピストン部を駆動し、樹脂製の爪部でキャップを挟み込んで保持する。この構成は堅牢である反面、質量が大きく、回転系全体の慣性ﾓｰﾒﾝﾄが大きくなるという特性を持つ。

従来機では、この重いチャックを含む回転系を、設定トルクで滑るクラッチを介して駆動していた。クラッチは、キャッピングヘッドの回転数が変化する起動時・定常時・停止時のそれぞれで安定した特性を示さず、最終的に容器へ加わる締め付けトルクにばらつきを生じさせていた。すなわち、クラッチより下流にある部品（チャックを含む）すべての慣性モーメントが、締め付け完了時のトルクに影響を及ぼしていたことになる。この慣性モーメントの制御こそが、第２章で述べた三要件のうち、特に第三の要件に直結する技術的な難所であった。

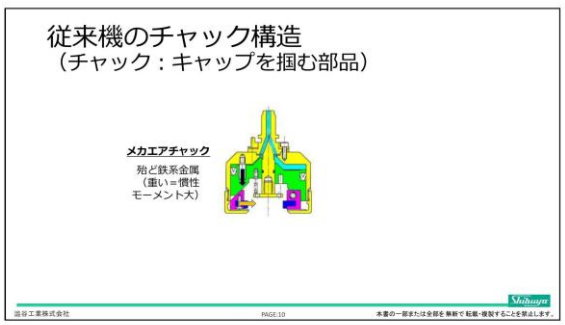


図３　従来機のチャック構造（メカエアチャック）

第４章　低慣性モータとチャックの低慣性化による課題解決

4-1　低慣性・高応答サーボモータの発見

図４に、開発の制約条件と課題を整理したスライドを示す。第２章で述べた三要件のうち、第二の要件（制約時間内で応答できるモータの実在）については、当初その存在が疑問視されていた。一般的なサーボモータをクラッチの代わりに用いても、起動・停止時の応答が追いつかず、慣性の影響を排除できないためである。

検討の結果、講演者らは、当時プリンタヘッドの制御用に開発されていた特殊なサーボモータの転用が可能であることを見出した。このモータは、制御のレスポンスが一般的なモータのおよそ100 倍優れているうえ、回転子がコイルを持たず磁性を帯びた一本のシャフトのみで構成される特殊な構造（講演では「低イナーシャモータ」と説明された）であるため、回転系の慣性モーメントが極めて小さいという特長を持っていた。この発見により、第二の要件が満たされることが確認された。

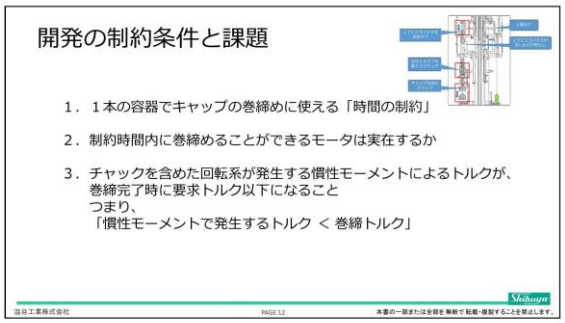


図４　開発の制約条件と課題

4-2　チャックの低慣性化

残る第三の要件（慣性モーメントで発生するトルクが巻締めトルクを下回ること）を満たすため、講演者はチャック自体の軽量化にも取り組んだ。図５に、低慣性化されたチャックと従来機のメカエアチャックとの比較を示す。図５に示すように、従来ほとんど鉄系金属で構成されていたチャックを、アルミニウムと軟質樹脂を主体とした構造へと再設計し、部品点数の削減とあわせて外径もできる限り小さくすることで、回転慣性モーメントの低減を図った。

低慣性サーボモータの採用とチャックの低慣性化を組み合わせることで、第２章に示した三つの要件がすべて満たされ、クラッチに依存しないトルク制御キャッパの実現に至った。

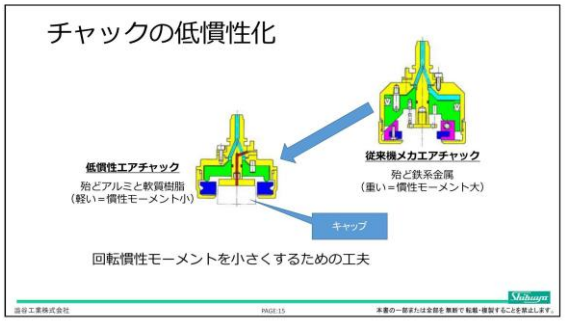


図５　チャックの低慣性化（低慣性エアチャックと従来機メカエアチャックの比較）

第５章　噛合い・仮締め・本締めの三工程制御

5-1　巻締め動作の三工程への分解

講演者は、人が手でキャップを締める際の動作を手がかりに、巻締め動作を「噛合い」「仮締め」「本締め」の三工程に分解して制御する方式を考案した。図６に、この三工程の概念と、キャッピングヘッドを上下させるカム曲線の展開図を示す。図６に示すように、まずネジロへキャップを軽くさぐり入れる「噛合い」工程、次にほとんど力をかけずに素早く回す「仮締め」工程、最後にしっかりと締め上げる「本締め」工程という順序で制御が行われる。人が実際にキャップを締める際も、無意識のうちにこれに近い力の入れ方をしているという。

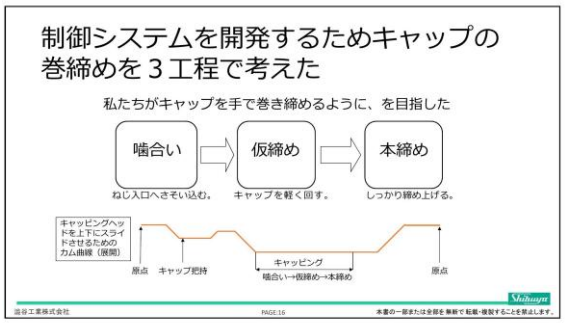


図６　巻締め動作の三工程（噛合い・仮締め・本締め）

5-2　ミリ秒単位のトルク・回転速度制御

図７に、三工程それぞれにおける回転速度指令値・チャック回転・トルク指令値・サーボ電流の時間変化を示す。制御に用いられているのは回転速度指令値とトルク指令値であり、これらがモータへの指令として与えられる。一方、チャックの回転とサーボ電流はモニタリング専用として用いられ、次の工程へ移行する判定に使われる。制御の周期は、最終的に２ミリ秒単位での制御に落ち着いたという。

噛合い工程では、キャップがネジロと確実に噛み合うよう回転速度指令値を高く保つ一方、トルク指令値は低く抑えられる。この工程からの移行は、時間、すなわちあらかじめ設定された１回転分の回転量を基準に判定される。この点について、質疑応答の場で会津大学の屋代眞先生から「噛合いから仮締めへ移行するきっかけはどこで判定しているか」との質問があり、講演者は「時間である。指令している回転速度で１回転分の空打ちを許しており、その１回転を過ぎたら移行する。キャップの品種によって異なるため、パラメータとして設定できるようにしている」と回答した。

噛合いが終わると仮締め工程に移り、チャック回転（サーボモータに付属するタコメータの出力）をモニタリングしながら、キャップが軽く閉まり始めたことを検出する。締まり始めるとチャック回転は低下し、この時点でトルク指令値を最終目標のトルクまで引き上げて本締め工程に移行する。回転がいったん低速で動き出し、最終的に停止した時点をもって締め付け完了と判定し、制御を終了する。本締め工程では、慣性の影響を抑えるため回転速度も同時に低く制御される。

こうした工程ごとに指令トルク値を切り替える制御方式について、司会の佐藤からは、「前回講演で紹介された『力指令』の概念（力制御とは異なり、制御器から直接トルクを指令するという考え方）と関連が深く、力指令を工程に応じて変化させることで目的を達成している点が興味深い。今後のヒューマノイドロボットの力のコントロールを実現するうえでも、根本的に重要な視点になり得る」との指摘があった。講演者はこれに対し、回転速度とトルクの双方を工程ごとに使い分けている旨を補足するとともに、「メンテナンスの増加を避けるため、極力既存の構成要素（サーボモータ内蔵のタコメータ等）を活用する方針をとった」と説明した。

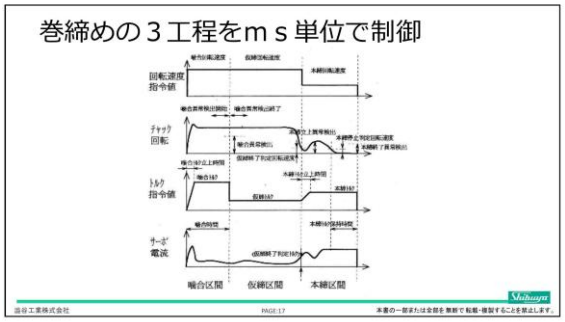


図７　三工程をミリ秒単位で制御する様子

第６章　ﾘｱﾙﾀｲﾑ異常判定と実装上の課題

6-1　モニタリングデータによる異常判定

ESC では、追加のセンサを設けることなく、回転速度指令値・トルク指令値・チャック回転・サーボ電流という四つの信号のみを用いて、巻締め状態をリアルタイムに判定している。主な異常項目として、（1）噛合い異常（キャップが斜めに噛み込む現象で、講演者は「ベレー」と呼んでいる。噛合い工程で検出される）、（2）本締め終了異常（チャックまたはグリッパの不良により、本締め工程でチャックの回転が止まらない状態）、（3）エンド異常（機械的な限界に至る手前で回転が止まらない状態で、チャック不良・グリッパ不良・ノーキャップ〈キャップを掴んでいない状態〉のいずれかが原因となる）が挙げられる。これらのうち、チャック不良とグリッパ不良、ノーキャップの区別は制御系だけでは判別できないため、最終的な判断は現場の作業者に委ねられている。

なお、噛合い異常の原因の一つとして、キャップの成形時に用いられる離型剤の付着量が挙げられる。離型剤が多く残っていると、キャップが手で回すように滑ってしまい、正常な巻締めができない。この点は、キャップ製造メーカー側での管理をユーザーを通じて依頼することで対応しているという。

6-2　回転体への電力伝送と実装上の課題

図８に、サーボキャッパのキャッピングヘッド構造を示す。図８に示すように、従来機で用いられていた太陽ギア・遊星ギアおよびクラッチは不要となった一方、上下スライド機構は容器の高さや有無に対応するため引き続き必要とされ、サーボモータと低慣性エアチャックがクラッチに代わって搭載されている。

この構成を実装するうえでは、公転するキャッピングヘッドに搭載されたサーボモータへ電力と制御信号をどのように伝達するかが課題となった。講演者らは、パンタグラフと架線の関係に類似したスリップリングを利用し、スリップリングメーカーとの繰り返しの検証を経て、通信品質とエラー制御を含めた実用的な伝達方式を確立した。また、キャッピングヘッドは１分間に数十回の昇降を繰り返す必要があり、開発当時の要求生産能力は毎分 600 本であった。この昇降に耐えるサーボモータ用電線の柔軟性・耐久性の確保も課題となり、当時はいわゆるロボットケーブルが一般に普及していなかったため、電線メーカーと試行錯誤を重ね、断線を繰り返しながら実用に耐える仕様を確立したという。

これらの樹脂部品や成形品に起因する特性のばらつきへの対応についても、質疑応答で議論された。参加者のコニカミノルタの大野大野由裕氏から「対象がペットボトルのように容器・キャップとも樹脂製の場合、樹脂の成形ばらつきの影響は大きいのか」との質問があり、講演者は「容器・キャップともに成形品であるため、当社として成形自体を管理することはできず、許容範囲は自ずと生じる。お客様から提供されるサンプルをもとに毎回試験を行い、その許容範囲に適した制御条件を設定している」と回答した。また、対象はペットボトル用の樹脂キャップに限らず、ガラス容器に金属キャップを巻き締める場合や、醤油差しやポンプ容器のように締結後に向きを揃える必要がある場合もあり、いずれもチャックの許容範囲内であればキャップごとにトルクや回転速度などの設定値を変更することで、同一の機械で対応できることが説明された。

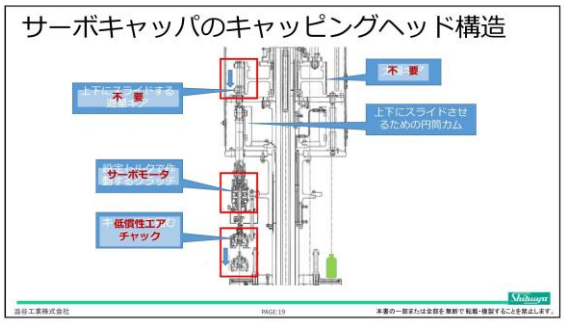


図８　サーボキャッパのキャッピングヘッド構造

第７章　結論

本講演では、澁谷工業株式会社の村中志有氏により、スクリューキャッパにおけるサーボトルク制御キャッパ（ESC）の開発について、その背景、技術的解決策および実装上の工夫が紹介された。従来機では、設定トルクで滑るクラッチを介して回転力を伝達していたため、キャッピングヘッドの回転数が変化する起動・定常・停止の各局面でトルクが安定せず、締め付け品質にばらつきが生じるという課題があった。この課題に対し、講演者は、（1）１本の容器の巻締めに使える時間の制約、（2）制約時間内で応答できる低慣性・高応答モータの実在、（3）チャックを含む回転系の慣性モーメントによるトルクが巻締めトルク以下になること、という三つの要件を整理し、これらをすべて満たすことでクラッチに依存しないトルク管理を実現する方針を示した。

具体的には、当時プリンタヘッド用に開発されていた特殊な低慣性・高応答サーボモータを転用するとともに、チャックを鉄系金属から軽量なアルミニウム・軟質樹脂へと再設計することで、回転系全体の慣性モーメントを大幅に低減した。さらに、人が手でキャップを締める動作を手がかりに、巻締め動作を「噛合い」「仮締め」「本締

め」の三工程に分解し、回転速度指令値とトルク指令値を工程ごとに切り替えながら、ミリ秒単位で制御する方式を確立した。この制御には、サーボモータに付属するタコメータの出力（チャック回転のモニタリング）とサーボ電流のモニタリングが活用され、追加のセンサを設けることなく、噛合い異常・本締め終了異常・エンド異常といった状態をリアルタイムに判定できる仕組みが構築された。加えて、公転するキャッピングヘッドへの電力・信号伝送にはスリップリングが用いられ、サーボモータ用電線の耐久性確保など、実装段階での試行錯誤も紹介された。

質疑応答では、噛合いから仮締めへの移行判定が回転量（時間）に基づいて行われていること、樹脂製容器・キャップの成形ばらつきに対してはサンプルに基づく試験を通じて制御条件を調整していること、キャップの種類（樹脂・金属、締結後に向きを揃える必要があるものを含む）に応じてトルクや回転速度の設定値を変更することで同一機械での対応が可能であることなどが確認された。また、司会の佐藤からは、本講演で示された工程ごとの指令値切り替えという考え方が、前回（第２回ﾃﾞｰﾀ活用委員会）の講演で紹介された「力指令」の概念と関連が深く、ヒューマノイドロボットの力制御を検討するうえでも示唆に富むとの指摘があった。あわせて、講演者が自身の経験に基づき整理した、マニピュレーション関連動詞の分類および工場における間接作業の内容（付録１、付録２参照）は、どの作業を専用自動機に委ね、どの作業を人あるいはヒューマノイドロボットが担うべきかを考えるうえでの手がかりを与えるものであった。

将来課題としては、次の点が挙げられる。第一に、樹脂成形品の寸法・特性ばらつきに対して、サンプル試験に依存しない、より定量的な許容範囲の設定手法を確立することである。第二に、本講演で示されたトルク管理・工程分割制御という考え方を、ヒューマノイドロボットの関節制御や力指令ベースの動作生成など、より広い分野へ応用していくことである。第三に、巡回点検や目視によるメータ読み取りなど、現状人手に依存している間接作業について、ロボット等による自動化・代替を拡大していくことである。第四に、付録の部分とも関連するが、専用自動機とロボットとの作業分担のあり方を明らかにすることである。今回整理されたマニピュレーション関連動詞の分類や工場における間接作業の内容を手がかりに、どの作業を専用機に委ね、どの作業をヒューマノイドロボットなどの自由度や柔軟性に委ねるべきかを見極める枠組みの構築が求められる。第五に、今回のような議論の成果を広く公開し、分野を超えた意見交換を継続していくことである。

付録１　マニピュレーション関連動詞の分類と専用機械による代替可能性

まず付図１に、佐藤より提示された、マニピュレーション（作業）に関連する動詞の分類表（高瀬國克氏によるレベル１～６の分類）を示す。村中氏は、このリストの中から、自身の経験の範囲で専用の自動機械により代替・実行することが可能な作業に該当する動詞を選び、黄色でマーキングしたうえで、講演の後半で、コメントした。以下に、レベルごとに該当する動詞と、村中氏によるコメントを整理する。これらの作業については、専用機械とロボットの役割分担を考えることが大事であると考える。



付図１　マニピュレーション関連動詞の分類（佐藤知正氏原資料・高瀬國克氏分類、村中氏マーキングあ

上図 Etract は Extract の誤りです

●レベル１（ロボットのジャンルに相当する動作）

・Analyze（分析する）：具体的な事例の詳述はなかったが、検査装置による製品判定など、生産ラインにおいてセンサ・画像判定等の形ですでに専用装置が代替している作業である。

・Produce（生産する）：ボトリング・パッケージング・工作加工など、当社の各種生産設備そのものが該当する包括的な作業である。

・Test（試験する）：巻締め後のトルク検査や、あえて不良品を模したものを流して検査装置が確実にリジェクト判定を行うかを確認する試運転時のチェック作業などが該当する。

●レベル３（集合体（液や粉）を扱う動作）

・Pour（注ぐ）：「充填する」と本質的に同じ動作（何かに何かを入れる）と位置づけられており、ほぼ同一の機械（充填機）で対応可能である。

・Spray（散布する）：容器表面に薄い液体（温水・冷水）の膜を形成する技術として用いられている。代表例として瓶内殺菌（パストライザー）における加温・冷却工程が挙げられ、講演者の熱伝導解析の知見をもとに、スプレー量と熱伝達効率の関係を検証するテスト装置を用いて最適化が行われた。

・Fill（充填する）：容器へジュースやお茶等を充填する専用機がすでに確立している。

・Mix（まぜる）：充填前工程として撹拌装置による自動化がほぼ標準化されており、タンク内を均一に撹拌する技術がノウハウとなっている。

・Pump（汲む）：装置としてではなく部品として位置づけられ、液体をタンクへ送る、あるいはスプレーするための原動力として用いられている。

・Clean（掃除する）：無菌充填ラインなどでは、生産の都度手作業で内部を開けて清掃することが現実的でないため、内部を自動で清浄化する専用装置が開発・運用されている。

・Write（書く）：レーザーを用いた印字装置や、各種プリンティング装置が該当する。

・Bottle（瓶詰）：当社のボトリング事業そのものであり、本講演で扱うキャッピングを含む充填・巻締め工程全体を包括する作業である。

●レベル４（柔軟物を扱う作業（両手作業に相当））

・Wash（洗う）：生産品種の切替時に、残留物の混入を防ぐため、ライン内部を自動で洗浄する工程として位置づけられる。

・Wind（巻く）：一升瓶などにおいて、紐や装飾を巻き付ける専用の自動機が開発された事例がある。本数が多く人手では対応できない場合に専用機の出番となる。

・Tie（むすぶ）：上記 Wind と同様、瓶に紐を掛けてノベルティ等を取り付ける専用の結束機が実例として開発されている。

・Fold（折る）：ケース成形など、梱包工程の一部として位置づけられる作業である。

・Wrap（つつむ）：ケースを成形し、その中へ容器を収めて蓋をする梱包機が該当する。

●レベル５（結合状態が変化する動作（マニピュレーションサイエンスの対象））

・Deposit, Pile（積む）：搬送・梱包工程における荷積み動作として、搬送機構に組み込まれている。

・Etract（引き抜く）：具体的な事例の詳述はなかったが、成形・組立工程における取り出し動作として専用機による対応が可能とされた。

・Insert（挿入する）：シリンジ（注射器型）液剤のように、あらかじめ容器と薬液がセットされた製品を扱う工程が該当する。

・Lock（締める）：本講演の主題であるスクリューキャッパによるキャップの巻締めそのものであり、サーボトルク制御キャッパ（ESC）が実現する中核の作業である。

・Pack（つめる）：ケースや箱へ製品を収める「パッキング」工程として位置づけられ、梱包機がこれを担う。

・Transfer（運ぶ）：容器・製品を搬送するすべての搬送機構が該当する包括的な作業である。

・Unpack（取り出す）：上流工程で梱包されて届いた容器を開梱し、取り出して搬送機へ載せる一連の作業を担う専用装置が該当する。

●レベル６（単なる動作（サーボレベル））

・Move（動かす）：搬送・位置決めなど、あらゆる自動機に共通する基本動作である。

・Incline（傾ける）：具体的な事例の詳述はなかったが、容器の姿勢制御などに関わる基本動作として選定された。

・Pull（引っ張る）：搬送・取り出し工程における基本動作として選定された。

・Lift（持ち上げる）：搬送・昇降機構における基本動作であり、本講演のキャッピングヘッドの上下スライド動作もこれに該当する。

・Turn（まわす）：本講演のキャッピングヘッドがキャップを回転させて巻き締める動作そのものであり、サーボモータによる回転制御が該当する。

・Shake（振る）：具体的な事例の詳述はなかったが、撹拌・混合工程等に関連する基本動作として選定された。

・Vibrate（振動する）：具体的な事例の詳述はなかったが、部品供給等に関連する基本動作として選定された。

・Impact（衝撃力を加える）：具体的な事例の詳述はなかったが、打栓・打込み式のキャッピング等に関連する基本動作として選定された。

・Grasp（にぎる）：チャックがキャップを掴む動作そのものであり、低慣性化されたチャック（図５）がこの動作を担う。

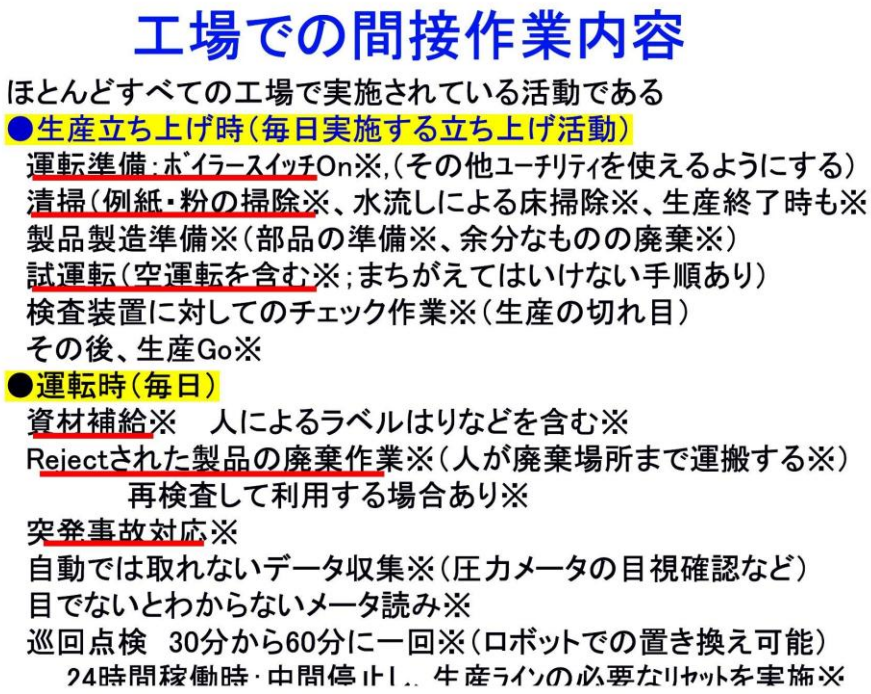
・Pick（つまむ）：Grasp と同様、チャックによるキャップの把持動作に関連する基本動作である。

・Release（はなす）：巻締め完了後、チャックがキャップから離れる動作に該当する。

これらのｺﾒﾝﾄがつけられた動詞にかかわる作業をヒューマノイドロボットが実施する場合には、対応した機械を道具として準備するのが、効果的と考えられる。

付録２　工場における間接作業の内容

佐藤知正氏の依頼により、村中氏は工場における間接作業（直接的な生産作業ではないが、生産を円滑に進めるために必要となる作業）について、付図２に示す一覧をもとに補足説明を行った。以下に、各項目に関する村中氏の説明を整理する。これらの作業を、ﾋｭｰﾏﾉｲﾄﾞﾛﾎﾞｯﾄが担う蓋然性は高いと考えている。



付図２　工場での間接作業内容（佐藤知正氏原資料）

●生産立ち上げ時（毎日実施する立ち上げ活動）

・運転準備（ボイラースイッチ ON 等）：単純なスイッチ操作と、複数の作業が組み合わさった、比較的複雑な準備作業からなる。従来はマニュアルを手に行う作業であったが、新型の大型設備では自動化が進みつつある一方、現存する旧式の機械の多くは依然として人手に依存している。

・清掃（紙・粉の掃除、水流しによる床掃除等）：梱包材の段ボール等から生じる紙粉や、製品落下による内容物の飛散に対応するため、水流しなどによる床清掃等を、生産開始前だけでなく生産終了時にも実施する。

・製品製造準備（部品の準備、余分なものの廃棄）：工場・品種ごとに内容が異なる準備作業である。

・試運転（空運転を含む）：正常に動作することを確認する作業で、多くは空運転として行われる。あえて不良品を模したものを流し、検査装置が確実にリジェクト判定を行うかを確認する、検査装置のチェック作業を兼ねる場合が多い。

・検査装置に対してのチェック作業、その後の生産開始：試運転を経て生産開始（生産 Go）に至る一連の流れの一部である。

●運転時（毎日）

・資材補給：1 日の生産量（大規模工場では日産 80 万～150 万本規模）に相当する資材をあらかじめ一箇所に用意しておくことは現実的でないため、別置きの資材を随時運搬・補給する形がとられている。人によるラベル貼りなどの作業を含む場合もある。

・Reject された製品の廃棄作業：容器等の包材不良を自動検査で検出し排出する仕組みが備わっているほか、目視による人手判断もある。排出された製品は人が廃棄場所まで運搬するのが一般的である。ラベルの貼り直し等、付加価値の高いものは再検査のうえ再利用される場合もある。

・突発事故対応：リジェクトされずにライン上で製品が詰まる突発的な事故が、24 時間稼働のなかで

月に数回程度発生する。発生頻度が低いため常時の監視が難しく、対応が課題となる。部品の故障による突発対応も同様に発生する。

・自動では取れないデータ収集・目視でないとわからないメータ読み：すべてのデータを自動計測しようとするとコストが見合わないため、圧力計等、目視確認で十分な項目については人手による確認に委ねている。

・巡回点検（30 分～60 分に一回）：目視によるメータ読み取り等を兼ねて定期的に実施される。スライド上の注記にあるとおり、ロボットによる置き換えが可能な作業として位置づけられている。

・24 時間稼働時の中間停止・段取り替え：同一品種を長期間作り続けるラインは少なく、容器の大きさ、内容液、ラベル、箱の種類など、次々と品種が切り替わる。品種切替の際には生産を一旦中間停止し、型認識の切り替え（段取り替え）等の作業を行う。

村中氏は、これら間接作業について「ほとんどすべての工場で実施されている活動である」としたうえで、生産を円滑に進めるために必要な位置づけの作業であると総括した。これらの作業こそ、ヒューマノイドロボットが実施すべき作業であり、実施可能であると考えられる。