

新構造カム&ローラクラッチの商品紹介

New structure cam & roller clutch product introduction

森田 彰^{*1}
Akira MORITA

村上 将^{*1}
Tadashi MURAKAMI

経田 宏和^{*1}
Hirokazu TSUNEDA

近年、世界的に環境に対する注目が高まり、欧州を中心に電動アシスト自転車の市場が拡大している。電動アシスト自転車ユニットにおいては、軽量化のために小型化が課題となっている。本報告では、ユニットの小型化を実現するため、従来のカムクラッチ機構をベースとして、別途ベアリングを配置せずとも、同心性を保つことができかつ薄型化を可能とする新構造カム&ローラクラッチを開発した。

In recent years, the increasing attention paid to the environment globally has led to an expansion of the market for electrically assisted bicycles, especially in Europe. One challenge for the units on electrically assisted bicycles is size reduction for the purpose of weight reduction. This report introduces the new structure cam & roller clutch we have developed to realize a more compact unit. This new structure is based on the conventional cam clutch structure, but can maintain concentricity without bearings and also realizes a thinner profile.

エコロジー訴求点と
顧客メリット

- ①省スペース・小型化
- ②高効率
- ③同心性向上

1. はじめに

近年、世界的に環境に対する注目が高まり、持続可能な社会を目指す取り組みが盛んになっている。その結果、CO₂排出削減のため、図1のように電動アシスト自転車（以下、E-Bike）の市場が欧州を中心に拡大している。また、バッテリーの長寿命化によるE-Bikeの性能向上や健康意識への関心の高まりなどから今後も市場が拡大し続けると予想され、例えば、IMARCグループの調査では、E-Bikeのグローバル市場は、2023年から2028年までで年平均約6.8%成長し、市場規模は232億米ドルから346億米ドルへ達すると報告されている²⁾。

今後、E-Bikeの性能向上、軽量化のため電動アシストユニットの小型化が進むことが予想され、ユニット内に使用されるクラッチの小型化、高機能化のニーズが高まってきている。E-Bikeにおいて、クラッチはアシストユニット内部に搭載され、人がペダルを漕ぐことで発生する駆動力に対して電動モータのアシスト駆

動力を繋いだり、切り離したりする用途として用いられる。

今回、前述のニーズにマッチする新構造の「カム&ローラ」クラッチの開発について報告する。

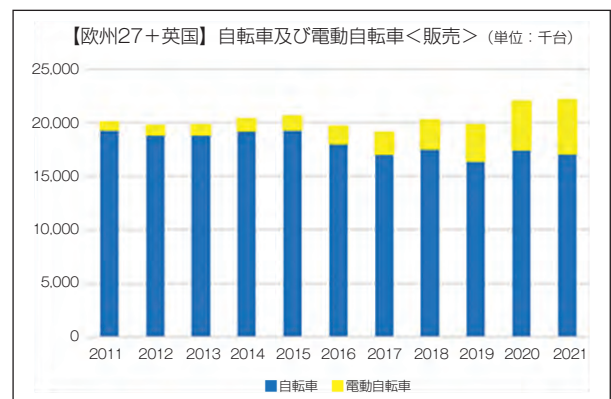


図1. 欧州での自転車および電動自転車の販売台数¹⁾
※図中の電動自転車はフル電動車などは含めておらず、主に電動アシスト自転車を指している。

※1 モビリティ事業部 タイミングシステム統括 技術部

2. ワンウェイクラッチの概要

2.1 ワンウェイクラッチ (以下、OWC) について

OWCとは、入力軸のトルクを出力軸の一方向には伝達し、他方向には伝達しない機械部品である。つまり、①伝達するトルクのベクトルが一方向である。②入力軸と出力軸の相対回転速度 ≥ 0 という二つの力学的特性を持つ。

OWCの基本機能としては入力軸のトルクを出力軸に確実に伝えることおよび片方向へのトルクは確実に遮断することが挙げられる。

2.2 OWCの種類

OWCはカムクラッチとラチェットクラッチ、ローラクラッチの三つに大別される。

カムクラッチは、カムが転がって摩擦によりトルク伝達するため、かみ合い応答性がよく、クラッチは空転時かみ合い時共に静かである。また、空転時のロスが小さく、高速回転でのトルク伝達も可能である。より詳細は2.3節にて述べる。

ラチェットクラッチは、歯車に爪が食い込みトルク伝達をするため、他のクラッチに比べてトルク容量が大きい。一方で空転時にクラッチは大きな音を発し、エネルギーロスも大きい。さらに、歯車と爪の遊びが大きいため、かみ合い応答性が悪い。

ローラクラッチは、ローラとくさび形状の内輪 (または外輪)、単純円筒の外輪 (または内輪) での摩擦によ



	ラチェットクラッチ	ローラクラッチ	カムクラッチ (スラッグクラッチ)
伝達トルク (体格比)	+++	+	++
かみ合い応答性	+	+++	+++
騒音	+	+++	+++
空転ロス小	+	+++	+++
+++ : Excellent ++ : Good + : Poor			

図2. 各OWCの特徴一覧

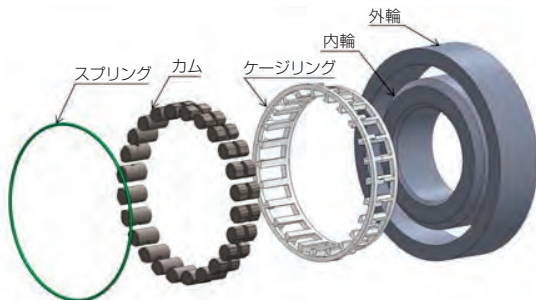


図3. カムクラッチの構成

て、トルク伝達する。また、カムクラッチと同様にかみ合い応答性と騒音性に優れている。一方で、配置できるローラ数は少なく、他のクラッチに比べてトルク容量が小さい。それぞれのクラッチの特徴を図2にまとめる。

2.3 カムクラッチの原理

カムクラッチの代表的な構成の例を図3に示す。カムクラッチの構成部品は、カムとスプリング、ケーシング、内輪、外輪の5種類である。特にカムとスプリング、ケーシングをまとめてカムケージと呼ぶ。それぞれの部品の役割を図4に示す。

図5にカムクラッチの作動原理を示す。カム高さが軌道径差 (内外輪軌道面の間隔) より大きいため、カムが内輪・外輪の間でつかえ棒 (ストラット) となり、トルクを伝達する (図5のかみ合い)。カムクラッチはスプリングによってカムを内輪・外輪に常時接触させるようにモーメントを与えている。したがって、クラッチにトルクが入力されれば瞬時にかみ合うことが可能である。また、内輪と外輪に速度差があれば、カムクラッチは動力を伝達せずに空転する (図5の空転)。

	カムケージ		
	カム	スプリング	ケーシング
形状			
役割	内輪・外輪軌道面の間で、入力トルクを出力軸に伝達する。	かみ合い方向にトルクが作用した時に、瞬時にカムがかみ合える状態にする。	カムを周方向に均等に位置決めする。

	内輪	外輪
	形状	
役割	クラッチへの要求機能により、内輪・外輪が入力軸もしくは出力軸になる。内輪はシャフト、外輪はハウジングと共用されることがある。	

図4. クラッチの構成部品とその役割

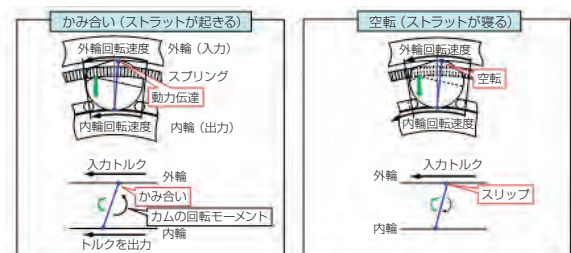


図5. カムクラッチの作動原理

3. カム&ローラ基本構造説明

3.1 カム&ローラについて

本報告のカム&ローラ（ケーシング付き仕様）の部品構成は、カムとスプリング、ケーシング、ローラ（および内輪、外輪）となっている（図6）。言い換えると、図3のカムの一部をローラに置き換えた仕様である。したがって、従来の内外輪付きカム&ローラ（図7）とは異なった構造となっている。図7のカム&ローラではケーシングがなく、多くのカムおよびローラを配置できるため、トルク容量と同心性に優れている。一方、ケーシング付き仕様はケーシングの設計によりカムおよびローラ数を任意の数配置できるため、顧客の要望に応じたクラッチの設計が可能である。したがって、カムクラッチ周辺レイアウトにおける設計自由度が向上する。

現在ケーシング付き仕様のカム&ローラは2種類あり、1つ目は図8(a)のように中央に溝があるタイプ（以降センター溝仕様）のカム&ローラである。センター溝仕様のローラは、スプリングを避けるために円筒面がダンベルのような形状になっている。2つ目は図8(b)のようにカムの溝を片側に寄せ、ローラは溝を無くしたタイプ（以降新構造カム&ローラ）である。新構造カム&ローラはスプリングがカム端面に寄った構造である。

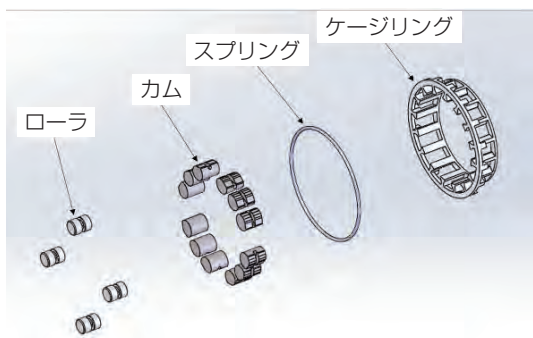


図6. カム&ローラ（ケーシング付き仕様）の構成部品

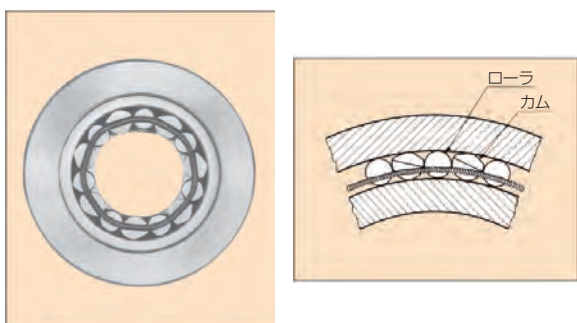


図7. 従来のカム&ローラクラッチ外観と構造

3.2 カム&ローラの利点

カム&ローラはローラがあるため、クラッチの同軸上にベアリングを配置せずとも同心性を確保することができる。カムクラッチやローラクラッチであってもクラッチの横に別途軸受を配置しベアリング機能を持たせることも可能であるが、幅方向が大きくなってしまいます。一方で、カム&ローラでは、カムとローラを同一平面上に配置することで薄型となっており、同等体格かつ同じ伝達トルクのベアリング内蔵の他社製シェル形ローラクラッチと比較して取付幅を約60%低減できる（図9）。また、ベアリングが併設されていない他種クラッチと比較してカム&ローラは同心性が向上している。加えて前述の通り、ベアリングが不要となるため、部品数削減による環境負荷低減にも寄与する。

また、ローラによってラジアル荷重を受けられるため、クラッチそのものにラジアル荷重を受ける機能が備わっている。

3.3 新構造カム&ローラの利点

新構造カム&ローラのカムとローラの形状を図10、図11に示す。カム&ローラの利点である薄型化、性能および生産性をさらに良くするために新構造カム&ローラ



(a) センター溝仕様 (b) 新構造カム&ローラ
図8. カム&ローラ（ケーシング付き仕様）の外観



図9. シェル形ローラクラッチとカム&ローラの幅比較

は、カムの溝がカム端面に寄っており、ローラは溝無し
の単純円筒となっている。この形状変更により、これま
でのセンター溝仕様と比較して新構造カム&ローラは
カムとローラの加工方法の選択肢を増やすことが可能
となった。その結果、材料損失、加工エネルギーを抑
えることで生産性の向上が可能となった。性能面にお
いても、センター溝仕様はローラの円筒面に加工が必
要である程度の長さが必要であったが、新構造カム&
ローラではローラが単純円筒となったため、さらなる
薄型化が可能である。

さらに、図12(a)(b)のように新構造カム&ローラでは
スプリングとローラが非接触のため、部品同士の摺動が
生じなくなった。したがって、センター溝仕様と比べて
新構造カム&ローラはドラッグトルク^{*1}を低減した仕様
となっている。このドラッグトルクの低減がペダルを漕
ぐ力のロス低減に直結している。

新構造カム&ローラは、前述の通りカムの溝が端面に
寄っており、スプリングがローラを加圧しない構造と
なっている。よって、センター溝仕様と同様のケージリ
ングでは、カム片側加圧による姿勢安定性の不充分さが
課題となった。対策として、図13に示すようにカムの
スプリングと反対側の端面にも突起部を設け、カムク
ラッチ単体の状態で図14のようにスプリングの加圧に
よりカムが傾いてしまっても、突起部分とケージリング
が当たることによりカムの傾きを抑制できる構造とし
ている。さらに図15のようにケージリングのスプリング

側にテーパを設けることにより、スプリングがテーパ部
分に干渉することでカムをケージリング側に押し当て
て、カムの姿勢をより安定させて組み付け性を向上させ
た構造としている。

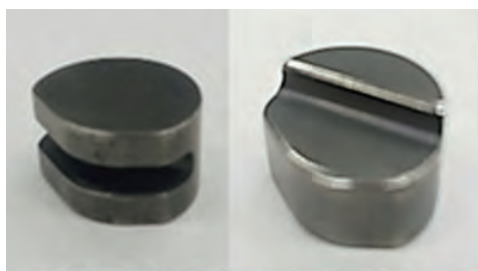
また、ローラとスプリングが干渉しない構造となっ
たため、ローラの組付け性と姿勢安定性を保つために、
ケージリングのローラ組付け箇所を図16のようなスナッ
プフィット形状に変更した。同形状によって、挿入時に
はスナップフィット部分が弾性変形により広がること
で、ローラを挿入できる。一方で、ローラ挿入後はポ
ケットとスナップフィット部によりローラの姿勢を安定
させることができる。



図12(a). センター溝仕様のローラ部分断面図



図12(b). 新構造カム&ローラのローラ部分断面図



センター溝仕様 新構造カム&ローラ

図10. カム形状比較



センター溝仕様 新構造カム&ローラ

図11. ローラ形状比較

スプリング用突起 カム姿勢補助用突起

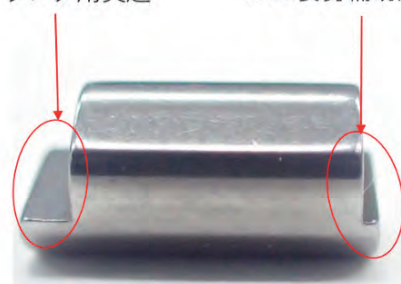


図13. 新構造カム&ローラのカム形状

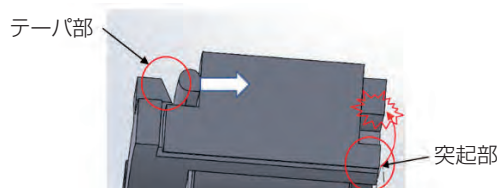


図 14. カム組付け性向上対策概略図

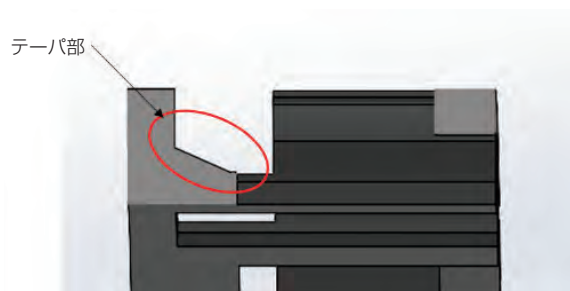


図 15. 新構造カム&ローラのケーシング断面（一部）

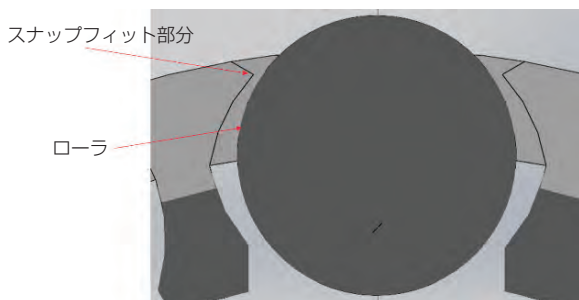


図 16. 新構造カム&ローラのローラ部分断面

4. 評価試験

4.1 評価方法

3.3節で述べたように新構造カム&ローラは、ドラッグトルク低減仕様である。ドラッグトルクの低減効果および構造変更による空転耐久性を確認するため、図17と図18(a)、(b) に示す試験機にてセンター溝仕様と新構造カム&ローラのドラッグトルク評価試験およびラジアル荷重を負荷した空転耐久試験を実施し評価した。試験内容は次の通り。ドラッグトルク評価試験は、グリース潤滑、空転（内輪回転）速度50、130、300r/minで試験を行い、空転耐久試験は、グリース潤滑、空転（内輪回転）速度600r/min、外輪回転速度0r/min、ラジアル荷重300Nm、試験時間200時間で行った。

4.2 評価結果

4.2.1 ドラッグトルク評価試験結果

センター溝仕様と新構造カム&ローラ各回転速度におけるドラッグトルクを比較したグラフを図19に示す。実

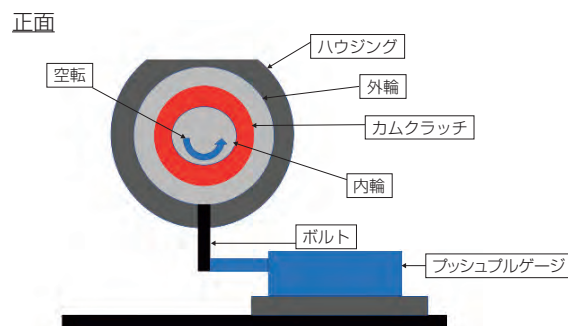


図 17. ドラッグトルク試験機簡略図

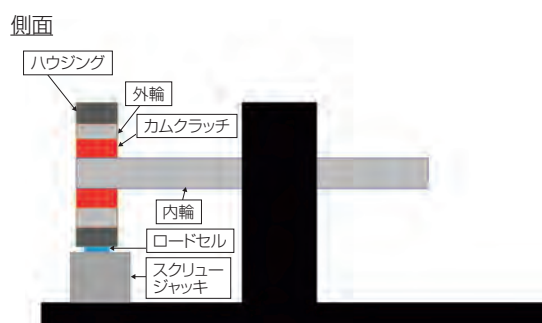


図 18(a). 空転評価試験機簡略図（側面図）

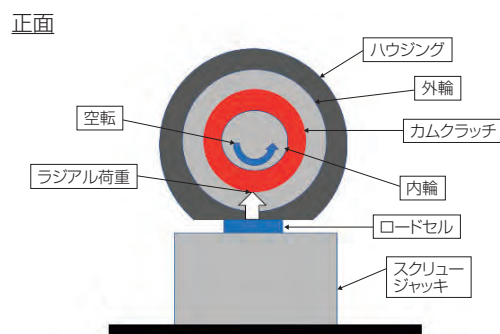


図 18(b). 空転評価試験機簡略図（正面図）

測値（各回転速度でのドラッグトルク平均値）において新構造カム&ローラはセンター溝仕様と比較約8%の低減となった。

この結果より、センター溝仕様に対して、新構造カム&ローラの値）においてに対する優位性を確認できた。

4.2.2 空転耐久評価試験結果

図20、21にセンター溝仕様と新構造カム&ローラ空転耐久後におけるカムとローラの外観写真を示す。続けて図22に空転摩耗試験後の内外輪軌道面摩耗量を示す。カムおよびローラの試験後外観はセンター溝仕様と新構造カム&ローラ共に問題はなかった（図20、図21）。また、内外輪のカムおよびローラとの接触面の摩耗量にも相違はなく、その他部品の外観、円筒度にも両仕様には差はなく、新構造カム&ローラでも空転耐久性に問題がないことが確認できた。

5. おわりに

近年急速に成長している E-Bike 市場では、電動アシストユニットの小型化が進み、クラッチの小型化、高機能化のニーズが高まっている。当社では上記のニーズを満足できる新構造カム&ローラを開発した。新構造カム&ローラは、センター溝仕様カム&ローラに比べて、①ローラを単純円筒にすることで、クラッチを小型化。②ローラを加圧しないため、ドラッグトルクの低下を達成した。

本報告のクラッチを採用することで、E-Bike ユニットの小型化およびドラッグトルクの低下を実現できる。本クラッチは制御装置がなくとも、動力の伝達/遮断が可能な機械部品である。したがって、本稿では主に E-Bike について記載したが、動力源が少なくとも2つ以上あるハイブリッドユニットでも同様の機構が成立する。今後は、多様なニーズに対応できるよう、さらに薄型なクラッチやアキシャル荷重対応のカム&ローラの開発を実施する。

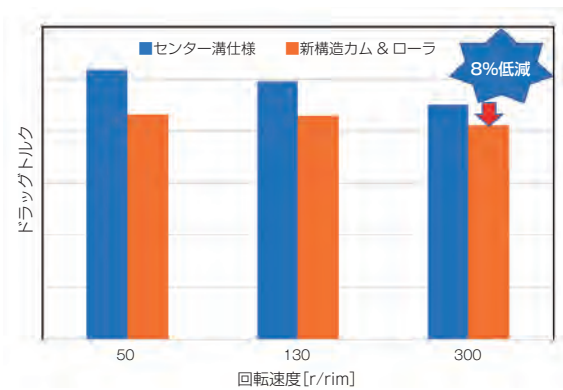


図 19. 回転速度毎のドラッグトルク比較



図 20. 空転摩耗試験後のカムの写真

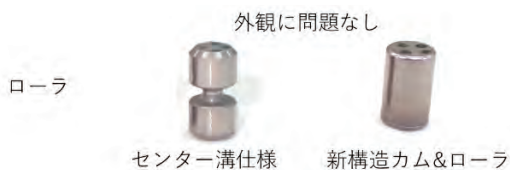


図 21. 空転摩耗試験後のローラの写真

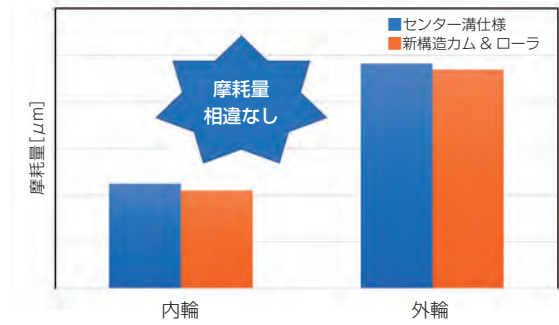


図 22. 空転摩耗試験後の内外輪軌道面摩耗量

参考文献

- 1) 一般財団法人自転車産業振興協会、世界自転車産業協会グローバルマーケットレポート (2023)、p.14
- 2) IMARC Services Private Limited, E-Bike Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2023-2028 (2023)

用語解説

* 1 ドラッグトルク

引き摺りトルク。カムクラッチ空転時に発生する摩擦トルクのこと。

【特許出願中】

工場の現場課題に対するDX改善活動

DX improvement activities for the on-site issues in factories


瀬古 佳彰^{*1}
Yoshiaki SEKO

近石 圭^{*1}
Kei CHIKAISHI

齊藤 優介^{*1}
Yusuke SAITO

製造力（品質・コスト・生産性・リードタイムなど）の向上はもとより、製造業における労働人口の減少は喫緊の課題である。一方、大量のデータを高速処理できるハードウェアの発達や、昨今のデータサイエンスの発展により、DX と一般的に称されるデータドリブンによる生産性向上の方法論は注目を集めている。当社も DX 的手法による改善を推進する組織を設立し、自社工場の現場の課題改善の取組みを遂行している。本論では課題に対する DX 推進組織のアプローチ方法と成果について報告する。

In addition to the need to improve manufacturing capabilities (quality, cost, productivity, lead time, etc.), the manufacturing industry is also facing the urgent issues posed by the shrinking labor force. On the other hand, advances in hardware capable of processing large amounts of data at high speed and the recent progress in data science have meant that a lot of attention is being paid to data-driven productivity improvement methodology, which is commonly referred to as DX. Our company has also established an organization to use DX methods to promote improvements and we are executing initiatives to improve the site issues in our own factories. This paper reports the approaches and results of the organization promoting DX to respond to those issues.

 エコロジー訴求点と 顧客メリット	①ムダ削減による生産性向上
---	---------------

1. はじめに

工場 DX（デジタルトランスフォーメーション）は、課題解決に必要となるデータを集め可視化、分析を行うことで改善の方向性を示す。具体的には生産ラインにおける工作機械などの各種設備をネットワークで接続し、データ収集の効率化やデータによる工場オペレーションの最適化を図ることや、また現場の3M データ分析により、現場課題の解決・改善への方向性にヒント・気づきを与える。結果、従来の IE 的手法や QC 活動にデータという客観的判断軸を提供することにより、DX による改善活動は生産性向上やコスト削減、品質向上、柔軟性の向上、競争力の強化の PDCA を高速に回転させることを可能とする。

当社では工場 DX を推進する IT 技術の経験者を中心とした組織を2021年に設立した。本組織の目的は大きく二つあり、一つはデータドリブンによる自社工場におけ

るモノづくりの改革（例えば生産性向上やリードタイム（以降、L/T）短縮）である。もう一つの目的は自社工場の課題を題材とする改善ノウハウの蓄積および、そのために必要なデータ収集・分析の IT ツールを検討、他社にない技術を開発することにより、DX ソリューションビジネスの早期立ち上げに資することである。この二つの目的を通じ、将来的に自社だけでなく、日本全体のモノづくりの改善に貢献することを目指していく。本稿では、当社のモノづくり DX で、いくつか改善成果がでてきたので、そのアプローチ方法、取組みに活用した IT 技術に関して報告する。

2. DX推進課題

工場 DX を掲げ活動するが、DX 推進組織として設立した当初は中々成果に結びつけることが難しかった。モノづくり DX を推進し始めて大きく以下の2つの課題が見えてきた。

*1 DX・ITセンター DX技術部

2.1 DX推進組織と製造現場のリテラシーギャップ

一般的にモノづくりDXを推進するには、モノづくりに関する知識や経験を踏まえつつ、ITスキル（IoT技術やソフトウェアスキル）により、現場分析を踏まえ改善を検討していくことが求められる。しかし、現実的にはモノづくりとITの両方のリテラシーを兼ね備えた人材は少なく、DX推進の大きな課題となっている。当社においても同様で、このようなリテラシーギャップを抱えながらDXを推進しなければならなかった。

2.2 「現場力」システム化の難易度

日本のモノづくり現場は、一般的に「現場力」が高いと言われるが、DXを推進していくにあたり、当社現場においても、課題の気付きから改善への実行において「現場力」の高さを垣間見ることがあった。また、改善活動だけでなく、日々のオペレーションにおいても、現場担当者が不測の事態や特急品など、計画外の異常時に柔軟に対応しているなどでも、「現場力」の高さを知ることができる。しかしながら、一方で、このような属人的なオペレーションでは、将来、省人化での対応力にリスクを抱えるため、システム化による置き換えが求められるが、現場の複雑な判断をシステムで置き換えることは容易ではない。

3. 課題に対するアプローチ

3.1 現場課題ヒアリング

DX推進組織において、モノづくり経験がないが故に、現場課題を十分に咀嚼できなかった。そのため、現場担当者とのコミュニケーションを密に、知識不足を補い、また、DX組織の勝手な取り組みとならないよう、製造部と方針整合をしながら改善を推進した。具体的には、製造部の各課から課長、係長の抱えている現場課題や悩みごとを繰り返しヒアリングするなどの活動に注力した。

また、現場のオペレーション課題に対し、システム化を通じて解決することは、属人化を排除した強い現場力の構築にも繋がる。このような現場が実現できれば、人による生産性の変動要素を小さくすることができ、例えば自動計画に基づく生産実行の達成にも繋がっていくと考える。従って、我々としては現場で抱える課題こそが重要であり、重点的に取り組んでいくこととした。

本稿では二つのテーマ「ATC (Automatic Tool Changer) ヤードの滞留状況の改善」、「成形工程におけるムダの削減」に関して主に記載する。

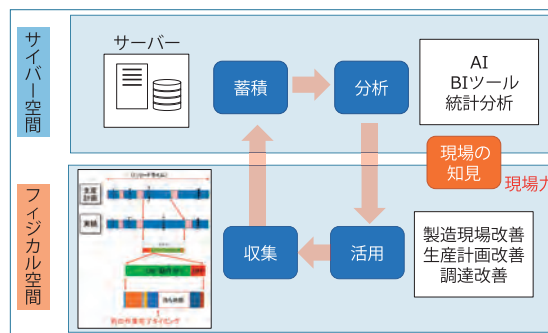


図1. モノづくりDXアプローチ概念図

3.2 課題に対するアプローチ方法

一般的にDX的改善手法は、まず現場の意見を集約し、課題を整理した後で、課題解決に必要な現場の関連データの収集を行い、可視化や分析を行う。データ収集は場合によってはシステム化を行い、効率化を図る。分析結果から、現状の改善点を製造現場に示すことで、現場担当者に気づきを与え、継続的な改善行動に繋げていく。

これを図式化したのが図1である。フィジカル空間とは現場であり、サイバー空間とはデータ取得後の処理のことである。蓄積されたデータを分析する際、AI（機械学習）やBIツール（Business Intelligence ツール：あらかじめ用意された分析に役立つツールの総称）、あるいはカスタムソフトウェアで可視化や統計分析を行う。ここがDX推進組織のスキルが求められる領域である。図1のPDCAループを繰り返すことで、製造現場へのDX活動への理解を醸成し、また、DX推進組織としてモノづくりの知識習得していく。この活動を通じ、相互のリテラシーギャップを埋めることで、DX推進組織の支援による現場主導の改善の実現に繋げていく。次に実際の改善事例を紹介する。

4. 各種取組の紹介と改善事例

4.1 ATC組立工程の取組み紹介

今回対象としたATC組立工程は、Auto Tool Changerのツールポッドを組立てる工程であり、工程内に加工作業が入るなど、他の生産工程と異なり特殊な工程となっている。

現場担当者は日々改善活動に取り組む中で、改善すべき課題については定性的に認知している。しかしながら、実際に行動に移すには定性的認知より、周囲が理解しやすい定量的認知（見える化）であることが望ましい。

ATC組立工程でも現場担当者に漠然とした課題認識があった上で、DX活動（定量的認知）を推進したことが大きなポイントであった。

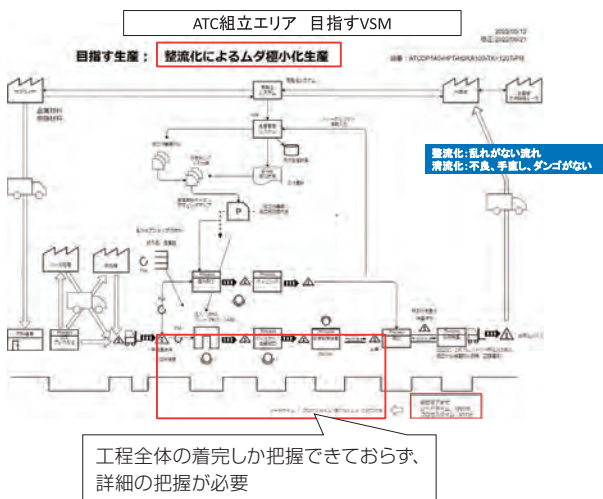


図2. ATC組立エリアのVSM

4.1.1 VSMを用いた現状把握

ATC組立工程のあるべき姿としてL/Tの短縮が掲げられていた。DX推進組織ではあるべき姿に対する現場の理解や課題の可視化のため、現場で使用されている資料類の確認・現場作業の内容確認・現場作業からのヒアリングを実施した。

まず、VSM（バリューストリームマップ）を描くことで、製品を顧客に提供するまでの、モノと情報の流れを把握した。VSM自体は旧来からある方法であるが、DXの取組みを始めるにあたり、何から手を付けるべきか、理想と現実の差が大きい場合の優先度を定める際に有効な手法であり、本手法を採用した。ATC組立工程の簡略化したVSMを図2に示す。

4.1.2 工程時間の取得

VSMを用いて、全体的なモノと情報の流れの概要は把握することができた。しかしながら、モノの滞留の要因を理解するためには、既存の工程の開始、終了時間だけでなく工程内における設備の稼働時間や人の作業の着手時間、完了時間を把握することが必要であると判断した。

設備の稼働時間はPLCで取得できたが、作業毎の詳細な着完時間を取得するためには、新たにシステムを構築することが必要であった。

作業時間を取得するシステムを構築していくにあたり、まずは要件を整理するところから開始した。将来的には様々な工程でも活用することを想定し、システムはコスト面を考慮した。また、現場担当者の作業を追加しないことも要件とし、現場の生産性維持にも配慮した。収集したデータはCSV形式で出力し、データハンドリングを容易にできることを要件の一つとした。

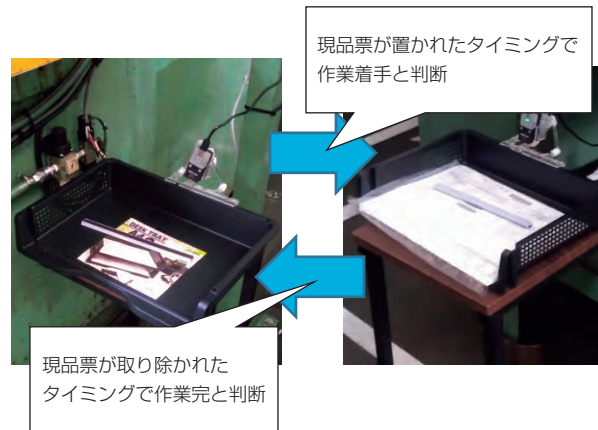


図3. 着完時間取得システム

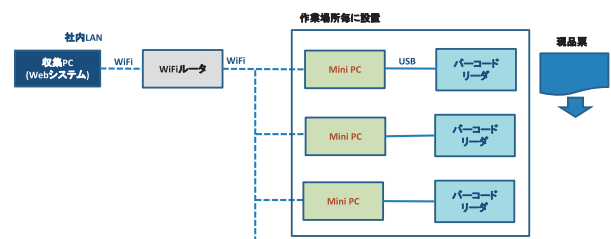


図4. 着完時間取得システムのハードウェア構成

4.1.3 作業時間取得システム構成詳細

上記要件を鑑み、バーコードリーダーを用いた人の段取り作業を取得するシステムを開発した（図3参照）。工程内の各作業でバーコード付き現品票が回覧される運用を活用し、所定の場所に現品票を置くことで、バーコードを読み込んだタイミングで着手と判断し、現品票を取り除き、バーコードが読めなくなれば作業完了とするロジックとした。現品票を所定の場所に置く行為は、従来作業であり、現場担当者に抵抗感はなく、受け入れていただけた。図4に簡単なシステムの構成を示す。

【ハードウェア】

着完時間取得システム

- ・バーコードリーダー（M5stack*¹）※工程内の作業数データ収集システム：

- ・PC（データ集約用）

その他

- ・Wi-Fiルーター

【ソフトウェア】

バーコードリーダー側

- ・着完検知：オーダー番号取得、バーコード読み込み、着完判定

PC側

- ・データ収集：バーコードリーダーの読み込み記録受信
- ・CSV出力：収集したデータをCSV形式で出力

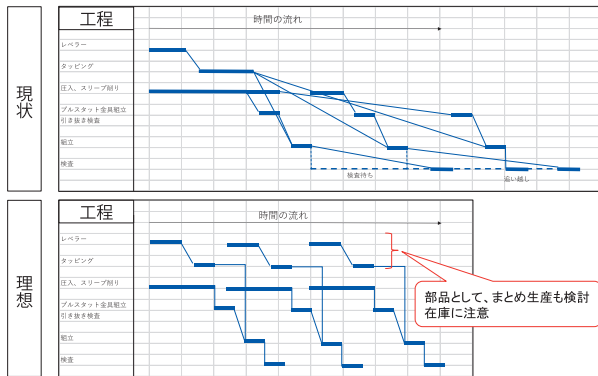


図5. 現状と理想のガントチャート

4.1.4 取得データの分析

上記システムにより、工程内の各作業の所要時間を取得することができた。取得したデータはExcelを用いて、オーダー番号ごとのガントチャートで作業時間を可視化した。改善前の生産方式では異なるオーダーがあっても、同一品番のオーダーはまとめて生産する「まとめ生産」、「ダンゴ生産」でいわゆる「大ロット生産」方式であった。実際ガントチャートで表示してみると、複雑なモノの流れに起因する複数の要因により、モノが滞留していることをデータとして確認することができた。複雑なモノの流れとなるまとめ生産から、単純な「一製番生産」＝「小ロット生産」に変更した場合のガントチャートを机上で検討し、L/Tが短縮されていること客観的に示した(図5参照)。

4.1.5 現場の気づきと改善

前記DX推進組織が示した結果から、現場担当者が気づきを得て、「一製番流し」、「小ロット生産」への切り替えを行った。結果、導入前後で仕掛品の滞留が大幅に削減することに繋がった。仕掛品の滞留削減の改善効果は、L/T短縮のみでなく、現場の写真からも伺えるよう、通路上に置かれていた仮置き仕掛品がなくなり、作業エリアに余裕が生まれ、安全上の改善にも繋がっている(図6参照)。

4.1.6 今後の課題

「小ロット生産」にした場合、現場担当者は複数の設備を受け持つことが必要となる。複数の設備を受け持つためにはスキル向上が求められ、如何に現場担当者を教育、育成するかが次の課題として見えてきた。熟練工の作業を伝承し、スキル向上していくことは他の製造部門でも挙げられている課題であり、労働人口が減少していく中での喫緊の課題であるため、継続した多能工技能者の育成など、改善が必要となる。



図6. 検査待ち仕掛かり置き場の改善

4.2 成形工程におけるムダの削減

次に成形工程におけるムダの削減について記載する。

当社では工程間の仕掛品を運ぶ缶をスキット缶と呼んでいる。スキット缶は加工したワークを格納するため、生産するためには必要不可欠である。製造部門の成形各課との打合せを通じ、スキット缶が不足する課題により、生産に影響を及ぼしていることを把握した。

スキット缶は各工程で置かれる場所が定められているが、成形工程ではスキット缶が不足した際、フォークリフトでスキット缶を探す作業を行い計画に従った生産を維持している。しかしながら、広い工場内を各置場を巡回して探すムダが課題であった(結果、スキット缶がないこともある)。

4.2.1 スキット缶の状況の可視化

上記課題を受け、各スキット缶の置き場の状況をリアルタイムで監視することで、現場担当者がスキット缶を探すムダの削減に繋げていくことを目指した。また、DX推進組織としては得られたデータ情報からその傾向を分析することで、スキット缶不足の真因の追及、さらなるムダを把握し改善に繋げていくことを目標とした。スキット缶の置き場は各工程で定められており、各置場所に対し、定点観測のカメラを設置することから開始した。

定点観測のカメラから、現場のデータとして静止画データを取得することとした。スキット缶の有無が確認できれば課題・ニーズの要望を満たせること、社内のネットワークトラフィック負荷を抑えることを考え、静止画で充分であると判断した。



図7. スキット缶の一覧表示画面

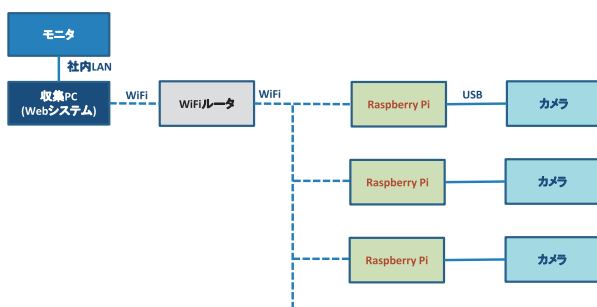


図8. スキット缶可視化システムハードウェア構成

現場担当者がどこの置き場にスキット缶があるのか複数の置き場を集中監視できることが望ましい。また、各担当の作業場所から監視できるよう、PCやタブレットなど複数のデバイスから確認できることが求められた。

一方、DX推進組織としては、スキット缶の静止画データから、各工程のスキット缶数を時系列でカウントし、分析することで、滞留量の最適化を行えることを目指した。

4.2.2 スキット缶可視化システム構成詳細

上記要件を実現するために、スキット缶の置き場所を可視化する仕組みを構築した。各スキット缶置き場にカメラを設置し、各場所の情報を集約してWebブラウザでどこからでも確認できるシステムとした。カメラは複数の場所に設置する必要があるため、RaspberryPiにUSBカメラを接続する安価な方式とした。カメラで撮影した静止画はWi-Fiルーター経由で、一つのPCに送信しデータを集約するようにした。本PCをサーバとし、Webアプリケーションを搭載することで、現場担当者がどこのPCやタブレットのブラウザからでも、一つの画面上で全てのスキット缶置き場の様子を確認できるようにした(図7参照)。また、データ分析できるよう、過去の静止画データも残すこととした。今回のシステム構成を以下に示す(図8参照)。

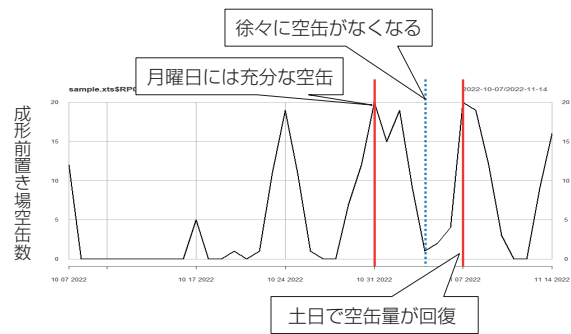


図9. 各置場のスキット缶流動数および空缶数

【ハード構成】

カメラシステム (撮影場所分)

- ・ USB カメラ
- ・ RaspberryPi *2

データ集約および Web アプリケーションシステム

- ・ PC (データ収集、Web アプリケーション)

その他

- ・ Wi-Fi ルーター
- ・ PC、タブレット端末 (確認用)

【ソフトウェア構成】

RaspberryPi 側

- ・ カメラ画像取得：USB カメラから静止画取得
- ・ データ転送：データ収集用 PC に静止画送信

PC (データ収集、Web アプリケーション)

- ・ カメラ画像受信：RaspberryPi 側から静止画受信

取得した静止画を所定場所に格納

- ・ Web 表示システム：静止画サムネイル形式で一覧表示

4.2.3 可視化による現場の変化

上記システムにより、今まで巡回してスキット缶を探していたムダを、効率よくスキット缶を搬送するための運用ルール策定する改善に至ることができた。

今後効果は検証していくが、日々の現場担当者による、スキット缶の朝の状況確認作業 (0.5H/日) の削減、探す作業 (0.5H/日) の定量的な作業の削減が実現できると想定している。加えて、すでに現場では、リアルタイムにスキット缶の状況をシステムの画面で確認しながら、打ち合わせを実施しており、共通認識を持ちながら対策を検討できるといった定性的な効果もすでに現れている。

4.2.4 静止画から滞留状況の分析

DX推進組織として、静止画のデータを元に、各工程の置き場におけるスキット缶数量の推移分析を実施した。静止画データから目視にて、スキット缶の数をカウ

ントし、1週間の推移を折れ線グラフで可視化した。成形工程前のスキット缶の量を確認した結果、金曜日にはスキット缶が不足する傾向にあり、月曜日にスキット缶の数が充分になる傾向であることを、データで示すことができた（図9参照）。

金曜日にスキット缶が不足する要因は、成形工程の後工程となる熱処理工程の処理量が成形工程の処理量より少ないためである。熱処理工程は土日の稼働で処理量の差を対応することで、月曜日時点には、成形工程のスキット缶を充填するという運用となっている。

今回、成形、熱処理両工程の処理差を課題例の一つとして示したが、モノづくりにおいて、工程間の性能差による仕掛品の滞留は生産フローの整流化を阻害する要因となっており、様々なデータを活用して複雑な要因を分析し、整流化実現への糸口をつかむことが求められる。

5. 今後の展開に関して

今回取り組んだ二つのテーマについて、上記で論じた通り、DX推進活動にて、一定の効果を示すことができた。今後、さらに自社工場のモノづくりをDXで改善する活動、および創出した成果事例をビジネスとして他社に展開することで、成果拡大を狙っていく。

5.1 自社工場のモノづくりDX推進

今回取り組んだ二つのテーマでまとめた通り、課題を解決した結果、スキル向上に向けた人作業の伝承や、生産フローの変革など新たな課題が見えてきている。特に生産フローに関してはTOC理論や、リーン生産方式などで幾度となく言及される課題であり、我々DXを推進する組織としては、現場の状態をデータで示し、分析していくことで貢献していかなければならない。

加えて、今回は二つのテーマに言及したが、他の工程でも多くの改善ニーズを伺っており、継続した課題改善の取組みで成果を上げていくことが期待される。

報告したテーマはチェーン事業部で抱えていた課題である。他のモビリティ事業部やモーションコントロール事業部でも同様の課題があり、創出した成果や事例・ノウハウを横展開し効率よく取り組むことで、自社のモノづくりDXを加速していく。

5.2 DXビジネスへの展開

当社のモノづくり現場課題は、他社モノづくり現場でも同様な類型として存在しており、当社でのDX事例を紹介することによる気づきは、他社製造現場の生産性向

上、L/T短縮などの改善に資することができると確信している。このような目論見に基づき、当社では、DX価値創造のビジネスとして新たに、DXソリューション（FabriKonet[®]）ビジネスをスタートしており、自社工場での改善事例獲得を加速することにより、このビジネスの立ち上げ、発展に大きく貢献していく所存である。

6. あとがき

今回、当社のモノづくりDXにおいて成果が得られた内容に関して報告した。モノづくりDXの成功事例はまだまだ少なく、今回のアプローチ方法に関して、成果は出たものの最善であるかはまだ判断できない。様々な方法をトライ&エラーし、模索しながら、成功事例を積み上げていくことが今後も求められている。自社工場を一つの検証フィールドとして、その成果を社内外にビジネスを通じて展開することで、日本のモノづくり改善を成し遂げられるよう、今後も活動を推進・加速していく。

用語解説

*1 M5STACK は、ツェンツェン・ミンヂェン・インフォメーション・テクノロジー・カンパニー・リミテッドの登録商標です。

*2 RaspberryPi は、ラズベリーパイ財団の登録商標です。

セレクトブルクラッチのモード切替機構の開発

Development of a mode switching mechanism for selectable clutches

村瀬 史哉^{*1}
Fumiya MURASE

間瀬 亮太^{*1}
Ryota MASE

中川 栄一^{*1}
Eiichi NAKAGAWA

山田 雅則^{*1}
Masanori YAMADA

脱炭素社会の実現に向けて、運輸産業における自動車の電動化は重要な課題である。当社では電動化に貢献するため、従来のカムクラッチ機構をベースに、電動セレクトブルクラッチの開発を行っている。セレクトブルクラッチの基本機能の1つがモードの切替である。本稿では、モード切替機構と推力の計算手法について報告する。

The electrification of vehicles in the transportation industry is an important issue for the realization of a decarbonized society. To contribute to this electrification, our company is developing an electrically selectable clutch based on the conventional cam clutch mechanism. One of the basic functions of a selectable clutch is mode switching. This paper reports on the mode switching mechanism and on the method used to calculate thrust.

<p>エコロジー訴求点と 顧客メリット</p>	<ul style="list-style-type: none"> ①自動車の電動化への貢献による排出 CO₂ の削減 ②複数のモードに対応したクラッチの提供
------------------------------------	---

1. はじめに

日本における CO₂ 排出量の内17.7%¹⁾ が自動車を含む運輸部門であり、自動車産業ではカーボンニュートラルの実現に向けて電動化が推進されている。

電動車の動力伝達を効率的に行うために、特性の異なる複数の駆動源を用いるケースがある。当社では動力伝達の効率化に貢献するために、コア技術であるカムクラッチをベースにした電動セレクトブルクラッチを開発している。

セレクトブルクラッチには e-Axle^{*1}での使用を想定したブレーキタイプと、2 駆/4 駆や HEV システムの動力切替の使用を想定したクラッチタイプがある。詳細については前報を参照されたい²⁾。

クラッチタイプの特徴は、内外輪が共に回転可能なことや3モード以上の切替が可能なことであるが、これらはモード切替機構にとっての技術課題となる。今回はモード切替機構に着目し、機構の構築結果と、基本機能である推力の設計方法を確立したので報告する。

2. セレクトブルクラッチ

2.1 構成と部品機能

図1にセレクトブルクラッチの構成を示し、表1に部品の機能を示す。

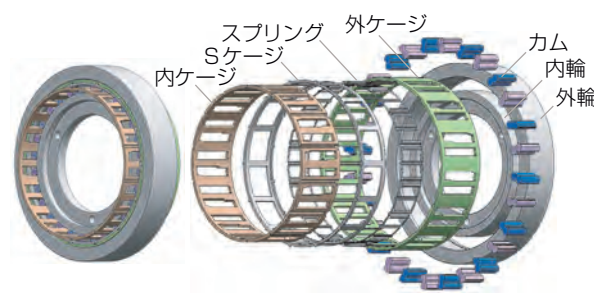


図1. セレクトブルクラッチの構成

表1. 部品機能

部品名	機能
カム	動力伝達部材
内輪および外輪	入出力部材
スプリング	カムの係合可能状態の保持
内ケージおよび外ケージ	カムの係合可能状態の切替
Sケージ	内ケージと外ケージの位相保持

*1 研究開発センター 先端技術部

2.2 モード切替

図2に各モードの説明図を示す。図2(a)の両方向ロックモードでは全てのカムが内外輪に接触し、両方向に係合可能である。両方向ロックモードから図2(b)の片方向ロックモードに切替えるためには、片方のカムを内輪と非接触にする必要がある。図のように内ケージを軸方向に移動させることにより、カム1はケージの傾斜部と接触し自転する。そしてカム1はスプリングによって外輪に押し付けられるため内輪と非接触となる。図2(c)の両方向フリーモードにするためには、もう一方のカム2に対して図2(b)と同様の操作を行う。

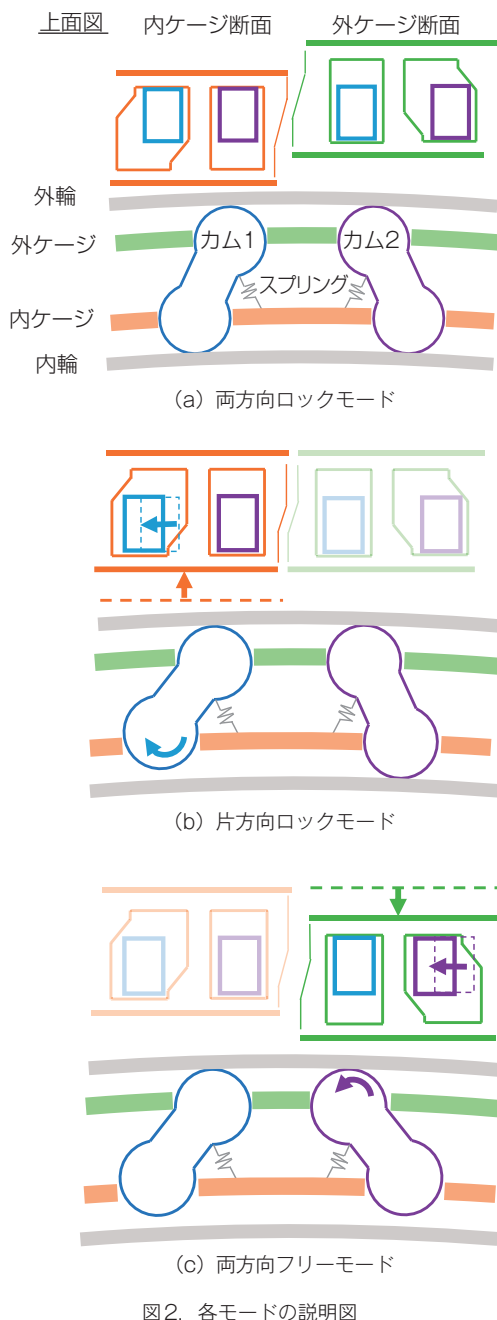


図2. 各モードの説明図

3. モード切替機構の構築

モードの切替機構構築までの開発プロセスとその結果を示す。

3.1 開発プロセス

図3にモード切替機構構築までの開発プロセスを示す。まずセレクトブルクラッチの設計仕様と、搭載アプリケーションの要求仕様をもとに、タイミングチャートなどの設計要件を定義する。次にブレンストーミングを行い複数の機構を構想し、ラピッドプロトタイピングにより機能を検証する。そして性能や実現性などを評価して機構を選定する。

3.2 モード切替機構の設計要件

表2に要求品質と設計要件を示す。表に示すように、アプリケーションとセレクトブルクラッチの仕様をもとに、モード切替機構の設計要件を明確にした。

図4にタイミングチャート例を示す。図のような3モードに対応するためには5区間に各モードと遷移区間を割り付ければよい。

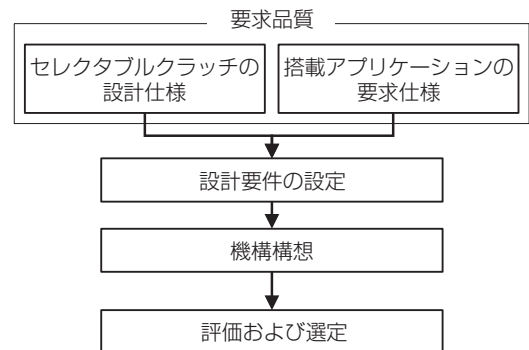


図3. モード切替機構構築までの開発プロセス

表2. 要求品質と設計要件

要求品質	設計要件
1つのモータで各モードに切替可能。	モータの回転動力を並進方向推力に変換する。
	所望のモータ位相で遷移区間と空走区間の設定可能、すなわちタイミングチャートの設定が可能。
	各ケージが同期して駆動する。
内輪と外輪が共に回転する。	ケージとモード切替機構が相対回転可能。
アプリケーションのエネルギー効率を向上する。	モータ OFF 状態で切替状態を保持する。
クラッチの切替推力の要求値を満たす。	発生推力の倍力が可能。
サイズの要求値を満たす。	サイズが小さく、レイアウトの自由度が高い。

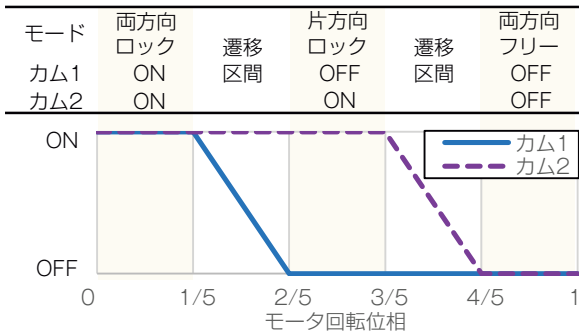


図4. タイミングチャート例

表3. 機構構想案

概略形状	名称および説明
	円筒カム&シフトフォーク 円筒カムとシフトフォークにより回転を並進に変換しつつ、遷移区間と空走区間を設定可能とする。バイクのシフト機構での採用実績がある。
	欠歯ラック&空転機能付きピニオン 空転機能付きピニオンと欠歯ラックを用いた機構。歯車伝達により伝達効率が高い。
	端面カム&スライダ 端面カムを用いた機構。クラッチ同軸に配置可能なレイアウトなため、コンパクトな設計が可能。
	スロット&スライダクランク スライダクランクにより回転を並進に変換し、スロットクランクにより遷移区間と空走区間を設定可能とする。部品をプレス品とすることで安価に構成可能。

表4. 機構の評価結果

名称	効率	サイズ	価格	実現性	総合評価
円筒カム&シフトフォーク	○	○	×	◎	◎
欠歯ラック&空転機能付きピニオン	◎	×	○	×	○
端面カム&スライダ	○	◎	×	×	○
スロット&スライダクランク	×	×	◎	×	×

(◎:非常に良い、○:良い、×:悪い)

3.3 機構構想、評価および選定

表3に機構の構想案を示し、表4に機構の評価結果を示す。構想案の中から、総合評価が高い円筒カム&シフトフォーク機構を選定した。

当機構は円筒カム軸に形成されたカム溝にフォロアを介してシフトフォークを接続したものである。シフトフォークはケーシングが回転可能な状態で取り付ける。円筒カム軸がモータで回転すると、カム曲線に従って各ケーシングが軸方向に並進しモード切替が行われる。

4. 切替推力の設計

モード切替機構の基本性能である切替推力について理論式を構築する。

4.1 円筒カムの圧力角

図5に圧力角の模式図を示す。フォロアとカム曲線において、接点で引いた共通法線と鉛直方向（シフトフォークの並進方向）のなす角は圧力角と呼ばれる。圧力角が小さいほど鉛直力が増加する。

圧力角 α は、シフト量 h と円筒カムの割付角度 θ のそれぞれの微小変化量および円筒カム半径 r を用いて式(1)のように表される。

$$\alpha = \tan^{-1}(dh/(r \times d\theta)) \dots\dots\dots (1)$$

駆動力 F_{in} とフォロアに働く鉛直力 F_I の関係は α およびフォロアと円筒カムの摩擦角 λ を用いて、式(2)で表される。

$$F_I = F_{in} / \tan(\alpha + \lambda) \dots\dots\dots (2)$$

なお摩擦角 λ は摩擦係数 μ より、式(3)で表される。

$$\lambda = \tan^{-1} \mu \dots\dots\dots (3)$$

駆動力 F_{in} はモータトルク T および r を用いて、式(4)で表される。

$$F_{in} = T/r \dots\dots\dots (4)$$

式(2)に式(4)を代入すると、 F_I は式(5)で表される。

$$F_I = T / (r \tan(\alpha + \lambda)) \dots\dots\dots (5)$$

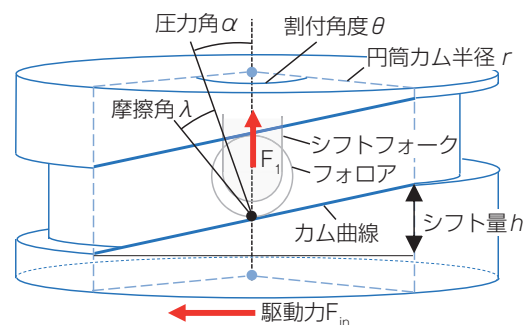


図5. 圧力角の模式図

4.2 カム曲線

シフト量と円筒カムの回転位相の関係はカム曲線によって定まる。当機構では一般的に用いられるサイクロイド曲線、変形正弦曲線および変形台形曲線の中から、圧力角の最大値が最も小さくなる変形正弦曲線を採用した。

図6に変形正弦曲線のシフト量、圧力角および鉛直力と円筒カムの回転位相の関係を示す。カム曲線は、実変位と実時間を割り付けるだけで使用できるように無次元の値で一般化されており、ユニバーサル曲線と呼ばれる³⁾。図のように変形正弦曲線の圧力角は1/2位相で最大となり、鉛直力の値は最小となる。後述の評価試験では最悪条件を検証するため、この最も鉛直力が小さくなる条件を用いた。

4.3 切替推力の理論式

図7に切替推力の計算モデルを示す。図より、 x 方向の力のつり合い式、 y 方向の力のつり合い式および円筒カム軸周りのモーメントのつり合い式は式(6)~(8)で表される。

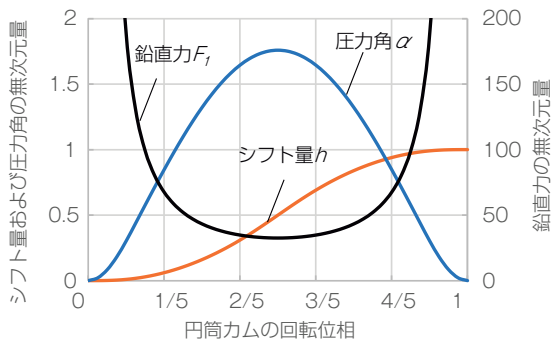


図6. 位相と変位、圧力角および切替推力の関係

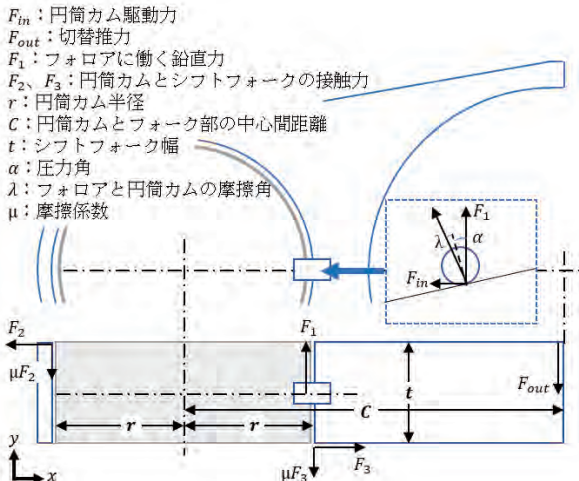


図7. 切替推力の計算モデル

$$0 = F_1 - \mu F_2 - \mu F_3 - F_{out} \dots\dots\dots (6)$$

$$0 = F_2 - F_3 \dots\dots\dots (7)$$

$$0 = rF_1 + \mu rF_2 - \mu rF_3 + (t/2)F_2 + (t/2)F_3 - CF_{out} \dots\dots\dots (8)$$

式(6)~(8)より F_2 および F_3 を消去すると、 F_{out} は式(9)で表される。

$$F_{out} = F_1(2\mu r + t)/(2\mu C + t) \dots\dots\dots (9)$$

式(9)に式(5)を代入して F_1 を消去すると、 F_{out} は式(10)で表される。

$$F_{out} = T \times (2\mu r + t)/(r(2\mu C + t) \tan(\alpha + \lambda)) \dots\dots (10)$$

5. 評価試験結果および考察

各設計パラメータが切替推力に及ぼす影響を実験的に評価し、実験値と理論値の差異を比較することで、理論式の妥当性を検証する。なお理論値の算出に必要な摩擦係数は潤滑状態を0.12、ドライ状態を0.2とした。

5.1 切替推力の評価試験機および評価方法

図8に切替推力の評価試験装置を示し、図9に試験波形を示す。円筒カムをモータで回転し、シフトフォークの軸方向移動量(シフト量)をレーザ変位計で計測する。シフトフォークが当て止めで移動し、接触するとロードセルによって推力が出力される。

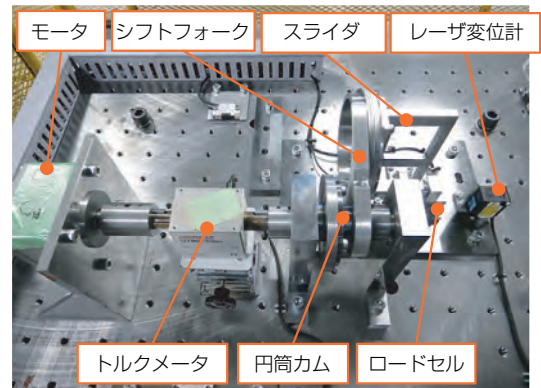


図8. 推力の評価試験装置

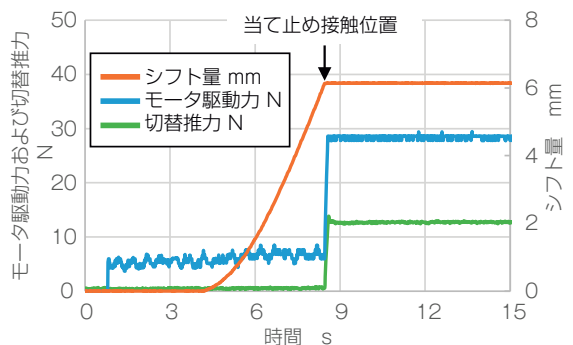


図9. 試験波形

5.2 圧力角の計測

評価試験の事前準備として、円筒カム曲線の形状精度を評価するために、無負荷状態での圧力角を計測する。

4.1で示した通り、円筒カムの圧力角は回転角度とシフト量の微小変化量および円筒カム半径から求められる。そこでモータの回転角度とシフト量の関係を実験的に取得し、データを微分して圧力角を取得する。

図10にモータ位相と圧力角およびシフト量の関係を示す。圧力角の設計値と実験値は良好な一致性を示していることから、カム曲線の計算式は確からしく、また設計通りに円筒カム曲線が形成されていると判断した。

5.3 モータトルクの影響

切替推力はモータトルクに比例するはずだが、外力によってフォロアが変形すると、圧力角が増加し切替推力が低減する可能性がある⁴⁾。そこでモータトルクと推力の関係を取得して検証した。

図11にモータトルクと切替推力の関係を示す。実験値は理論値に差異があるものの、モータトルクに正比例の関係にある。従って今回の条件では、危惧したフォロアの変形はほとんどないといえる。

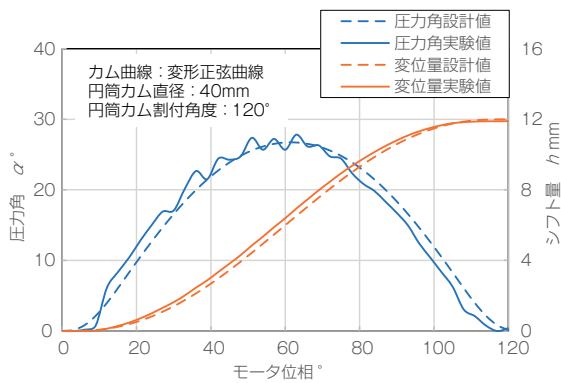


図10. モータ位相と圧力角およびシフト量の関係

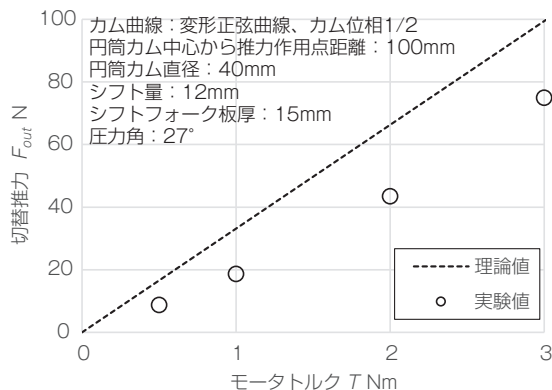


図11. モータトルクと切替推力の関係

5.4 圧力角および潤滑状態の影響

式(10)によれば、圧力角と摩擦係数を低減することで切替推力の増加が可能である。また圧力角がある値を超えると作動しなくなる。この値は臨界圧力角と呼ばれており⁵⁾ 潤滑状態にも依存している。これを検証するため圧力角と潤滑状態をパラメータとして評価試験を行う。

図12に圧力角および潤滑状態と推力の関係を示す。グラフ傾向は実験値と理論値で一致しており、今回の実験条件の範囲内であれば、圧力角を低減することで、設計的に切替推力の増加が可能であると判断した。

ドライ条件では圧力角64°以上が臨界圧力角となった。この状態で無理に円筒カムを回転させようとすると強度が最も低いフォロアが折損すると考えられる。

5.5 シフトフォーク幅の影響

式(10)によれば、シフトフォーク幅を広げることで切替推力の増加が可能である。これらを検証するためにシフトフォーク幅をパラメータとして評価試験を行う。

図13にシフトフォーク幅と切替推力の関係を示す。図より、シフトフォーク幅を広げることで切替推力の増加が可能であるといえる。一方で、理論上シフトフォーク幅を極限まで広くすると切替推力は一定値にサチレートする。図でもその傾向はみられており、シフトフォーク幅20mm以上ではさらに切替推力への感度が低下すると考えられる。

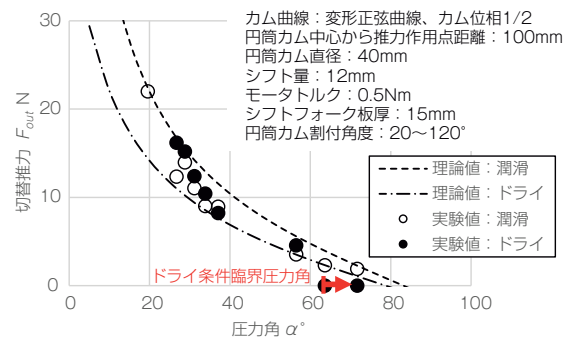


図12. 圧力角および潤滑状態と切替推力の関係

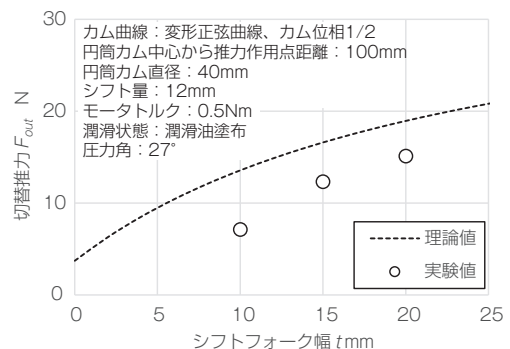


図13. シフトフォーク幅と切替推力の関係

6. 今後の展望

切替推力の設計において今後解決すべき技術課題について示す。課題は切替推力の予測精度向上と、切替推力の増加に対する設計的な背反特性への対策である。

6.1 切替推力の予測精度向上

評価試験結果では理論値と実験値の傾向は同様であったが絶対値には差異がみられた。この技術課題に対して対策案を示す。

6.1.1 試験装置の改良

今回の試験ではシフトフォークを当て止めた状態で推力測定を行った。従って図7に示した μF_2 および μF_3 は静止摩擦力であり、 λ は静止摩擦係数による摩擦角である。これらは図と同様に推進方向に対向して働く場合と、当て止め接触時の反力に対向して働く場合が考えられる。摩擦力の向きを確定するためには、作動状態での動的な推力計測手法の構築が必要である。

6.1.2 摩擦係数の計測

切替推力の理論値は一般的な摩擦係数を代入して算出したが、計算精度を高めるためには確からしい値を用いるべきである。そこで円筒カム、フォロアおよびシフトフォークの表面性状や摩擦状態を想定したサンプルを作成し、摩擦係数を摩擦試験によって計測する必要がある。

6.2 切替推力の設計において生じる背反特性

設計的に切替推力を増加させようとした場合、モータトルクや潤滑状態は要求仕様により定まることが多いため、現実的には圧力角を低減するかシフトフォーク幅を広げることになる。このような場合に生じる背反特性については必要に応じて対策が必要である。

6.2.1 機構の大型化

圧力角を低減するためには、円筒カム半径および割付角度を大きくするもしくはシフト量を低減する必要がある。シフトフォーク幅の拡大も同様であるが、これらはサイズの増大を招く。

6.2.2 切替速度の低下

圧力角は円筒カムの回転による円周長さの微小変化量と推力方向の微小変化量の比である。円筒カムの回転速度を一定とした場合、圧力角を低減すると切替速度が低下する。

7. おわりに

円筒カムを用いたセレクトブルクラッチのモード切替機構について、基本的な設計手法を確立した。今回、明確になった技術課題については解決すべく開発を進めている。

今後も自動車の電動化にともなう様々なニーズに貢献するために、価値の提案と提供を継続的に行っていきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省、運輸部門における二酸化炭素排出量、https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html
- 2) 杉谷翼、TSUBAKI TECHNICAL REVIEW Vol.32 No.1 2022、セレクトブルクラッチ商品紹介、P.9-14
- 3) 牧野洋、ユニバーサル曲線とその応用、精密機械48巻4号、1981、P.64-69
- 4) 小川潔、リンク・カムの設計、株式会社オーム社、1997、P.251
- 5) 小川潔、リンク・カムの設計、株式会社オーム社、1997、P.250

用語解説

*1 e-Axle：電動車の駆動システム。モータ・インバータ・ギヤなどを一体化したもの