

電動化に向けた次世代ギヤ加工ラインの構築

井上 裕太* 日置 秀和* 夏目 雅彦*

抄 録

近年、自動車業界は従来のガソリン車から電気自動車やハイブリッド車などの電動化へ急速にシフトしており、環境変化が著しい。この変化に対応するため、従来の生産方式に代わり、工程単位で行うショップ生産方式を導入した。これにより、生産台数の変動に柔軟に対応できるほか、設備投資の効率化と生産準備期間の短縮を実現した。本論文では、その取り組みについて報告する。

1. はじめに

自動車産業の電動化シフトに伴い、ギヤトコにおいても既存のCVT中心の生産体制から、電動化（EV、HEV）への転換を進めてきた。電動化の進展に伴う環境規制や政策支援などの外部環境の変化に加え、多くの企業による新規参入が見られることから、トランスミッション（駆動系部品）生産においては、生産台数の変動への対応、多様化する顧客仕様への適応、そして従来とは異なるコスト競争力の確保が求められている。

ギヤトコの実生産方式は、競争力を向上させ、収益に貢献することを目的としたJEPS（JATCO Excellent Production System）⁽¹⁾に基づいている。JEPSでは、従来の生産方式（同期生産ライン）を理想の生産方式として位置づけているが、生産台数の変動に柔軟に対応しにくいという課題がある。その結果、投資計画や納期などの顧客ニーズに十分に対応することが困難である。また、従来のCVT部品加工に用いていた設備を有効活用することで、コスト競争力を高める必要がある。これらの課題を解決するため、新たな生産方式の構築・適用を行った。

2. 同期生産ラインが抱える問題点

同期生産ラインが抱える課題をFig. 1およびFig. 2に示す。縦軸は生産台数、横軸は年次、黒線は従来の計画台数、赤線は電動化部品の供給変動による予測台数、青線は従来のライン能力をそれぞれ示している。

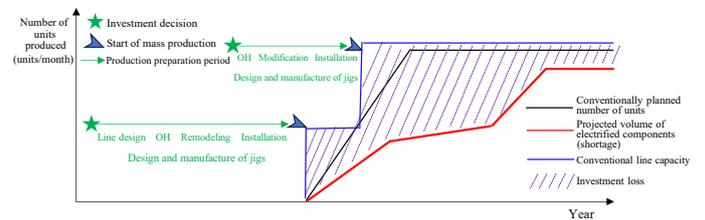


Fig. 1 Demand v.s. Line capacity (Demand decrease)

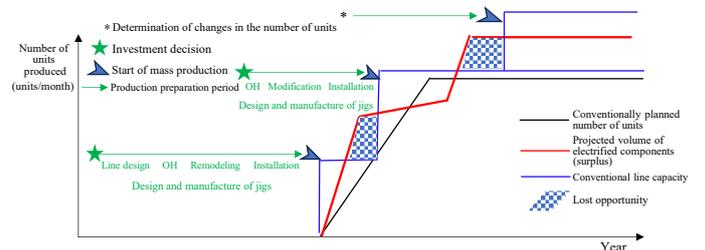


Fig. 2 Demand v.s. Line capacity (Demand increase)

同期生産ラインは、生産準備期間（緑線）が長く、また1ラインあたりの生産台数が多い。このため、台数が下振れした場合（Fig. 1）にはライン能力に余剰が生じ、投資ロス（斜線部）が発生する。一方で、台数が上振れした場合（Fig. 2）には、ライン能力の増強が間に合わず、機会損失（網掛け部）が発生する。これら問題点に対応するため、余剰ライン能力を最小化し、生産準備期間を短縮可能とする生産方式の検討を行った。

*第二加工技術課

3. 新たな生産方式の検討

電動化に対応するため、JEPSでは同期生産の理念を維持しつつ、その運用を柔軟化し計画的に在庫を持つ仕組みへと刷新を進めてきた。これにより、変動環境下においてもライン能力と安定性を両立できる生産方式の選択が可能となった。

この方針に基づき、工程の特性（旋削加工、歯切り加工、研削加工など）が近い工程を一括りにし、その最小単位を「ショップ」と定義する。それらショップ間に在庫を設ける生産方式により、能力増強を細かく刻むことができると考えた。従来の同期生産ラインと、今回検討を行ったショップ生産ラインの概要をFig. 3にまとめる。

同期生産ラインは、各工程が直列に接続されているため、在庫はほぼなく工程間の流れがスムーズである反面、工程単位の能力を揃える必要があることから1ライン毎の能力は大きい。また、増産対応時は同様のラインを1式追加する必要がある。この時のライン全体の能力 N は、ラインの中で最も能力の小さな工程の値に一致する。(Fig. 3では仕上げ工程)

一方、ショップ生産ラインは、工程間に在庫を設け、各工程を独立したショップとして構成するため、ショップ単位での能力増強が可能である。ここでは、仕上げショップの能力が $0.5N$ であるため、能力 $0.5N$ の生産ラインとして立ち上げることができる。

次に仕上げショップ $0.5N$ を追加することで、能力 $0.75N$ の旋盤ショップがライン能力となる。このようにショップ生産ラインではショップ単位の追加で能力増強することが可能であるため、増強時のライン能力を細かく刻むことができ、余剰能力を抑制できる。また、増強時はショップ単位での増設が可能となることから、生産準備期間の短縮も期待できる。

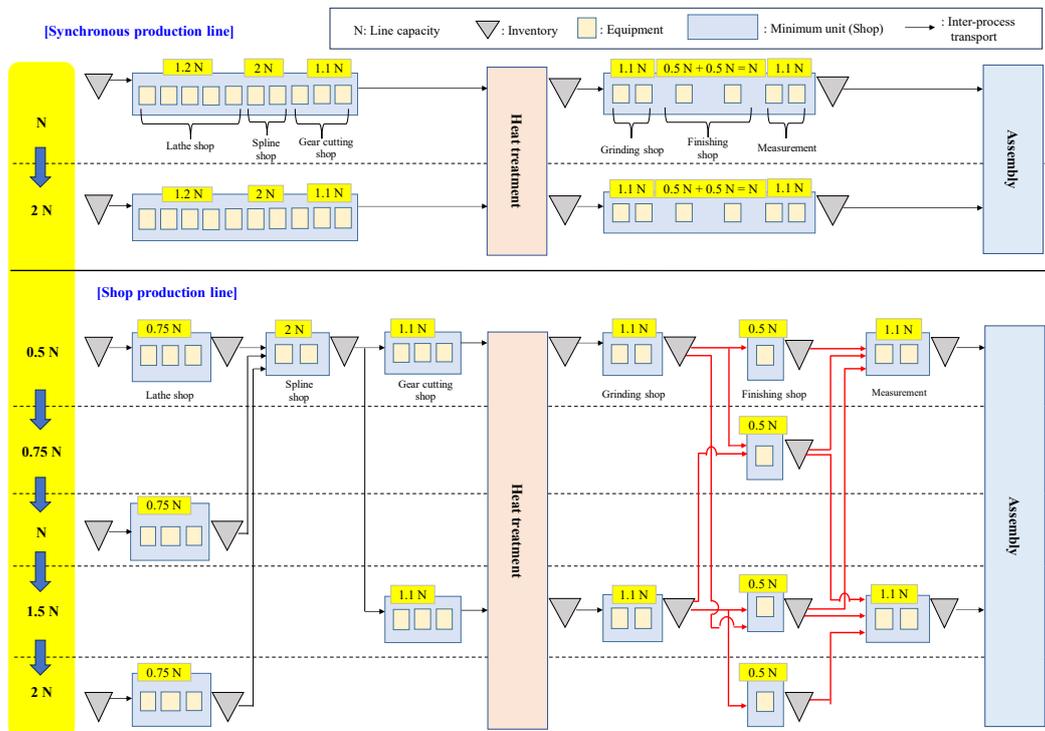


Fig. 3 Differences between Synchronous Production Lines and Shop Production Lines

4. ショップ生産ライン採用に向けた取り組み

ショップ生産ラインは、設備、ショップ単位での増設が可能であることから、能力を細かく増強することが可能であることを3章で述べた。しかし、採用にあたっては在庫管理の複雑化や、工程間搬送の作業量が増えるなどの課題を解消する必要があり、その取り組みを本章で紹介する。

4.1 在庫の設計・管理と運用

同期生産ラインは、在庫は最終工程にのみ存在するが、ショップ生産ラインでは各ショップ間に在庫を持つことになるため、本事例での在庫発生個所は約3倍となり (Fig. 3)、在庫管理が複雑化する。この課題に対応するため、新たな在庫管理方法の導入を検討した。

(1) 適正在庫数の設計

ショップ生産ラインはサイクルタイムが最も長いショップ (ネックショップ) を停止させないことが重要である。そのためには前工程に在庫を持つ必要がある。適正在庫の考え方をFig. 4を例に説明する。

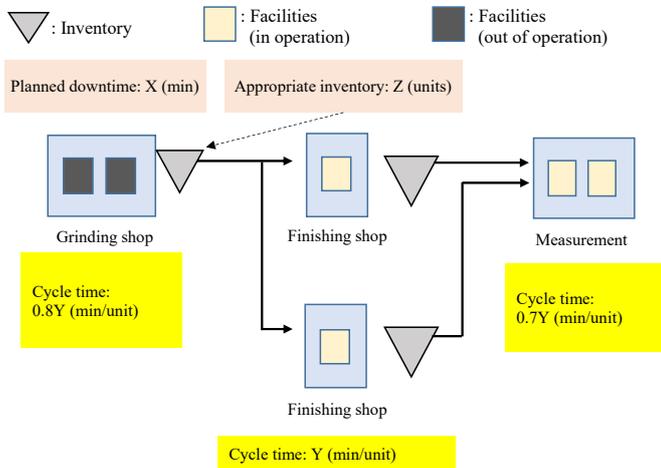


Fig. 4 Model for calculating the optimal inventory

ネックショップである仕上げのサイクルタイムをY (min/台)、その前工程である研削ショップの計画停止時間をX (min)、適正在庫をZ (台) とし、以下のように関係式を求められる。

$$Z \text{ (台)} = X \text{ (min)} / Y \text{ (min/台)}$$

停止時間X (min) は、機種段取りや工具交換などの計画停止のうち、最も長い時間とした。研削ショップが停止している間は、この在庫を切り出して仕上げラインに供給することで、ネックショップである仕上げは停止しない。また、ネックショップ以外の必要在庫数は、台車の出荷梱包単位 (SNP: Standard Number of Package) とした。台車運用に関しては(2)で述べる。

(2) 在庫の運搬方法

ショップ生産ラインは生産順序や工程が多岐にわたるため、搬送動線は複雑になる (Fig. 3の赤線部)。したがって、同期生産ラインで採用されているコンベア搬送では、経路設定・現場運用が困難である。これらを解消するために台車による運搬を検討した。台車による運搬方式のメリットは、以下の通りである。

- 柔軟性：台車は経路設定に制限がなく、変更も容易
- 投資、コスト：コンベアに比べて初期投資、ランニングコストともに抑えられ、また、生産準備期間が短縮可能
- 在庫管理効率：台車上での在庫管理が可能のため、詰め替え作業が不要で、容易に運搬可能

(3) 適正在庫数の管理方法

在庫管理においては、在庫数が適正数を超えると、在庫コストが増加し、逆に下回るとネックショップが停止して生産性が低下する。このため、常に適正在庫数を維持することが重要である。台車の数を管理することで適正在庫数の維持が容易になるため、適正在庫数は台車SNPの倍数となるようにZ (台) を切り上げて設定した。各台車はショップ間で定量・定位置で管理され、設定された台車数に達した場合には研削ショップが停止することで在庫過多を防止できる。

4.2 自動搬送システムの導入

4.1節で述べたように、シヨップ生産ラインでは各シヨップ間に在庫を設けるため搬送動線が複雑になり、従来の人手による台車搬送では作業効率の低下や労務費の上昇、部品混入などの品質リスクが懸念される。そこで、搬送作業の安定化と効率化を図るため、自動搬送システムの導入を行った。

(1) 搬送方法の選定

台車の自動搬送仕様は、自律走行搬送ロボット（AMR：Autonomous Mobile Robot）タイプ、無人搬送車（AGV：Automated Guided Vehicle）タイプの双方で検討を行った。台車運搬は、台車の下にもぐりこみ、牽引あるいはリフト上昇により台車を運搬し、シヨップ間を行き来する仕様とした。AMRは決められた経路に縛られず自由に移動可能だが、センサーおよびAI制御搭載や統合システム導入が必要である。今回の検討では、搬送先経路が固定化できたため、AGVで経路設計が成立することと、社内で既に保有しているAGVを転用することで、新規導入費用を抑えられることから、コストメリットが高いAGVを導入することとした。

(2) AGVの経路設計

(1)の通り、シヨップ間の在庫を台車に搭載し、その台車はAGVによる運搬とした。切れ目のない生産を継続するためには、部品が載っている台車が常に下流シヨップ側にいる必要がある。加えて、台車が1台では入替時にシヨップ停止が発生するため、シヨップ間に2台分の台車スペースを確保する設計とした。また、ネックシヨップを停止させないことが重要であり、そのためのAGVの移動経路をFig. 5のように設計した。仕上げシヨップの台車が空になったら、AGVが研削シヨップの台車との入替を実施する（Fig. 5 ①）。また、仕上げシヨップに部品を載せた台車が2台いる場合、研削シヨップの台車は計画在庫置き場へ運搬する（Fig. 5 ②）。この在庫は、研削シヨップが計画停止した場合に、仕上げシヨップへ供給される（Fig. 5 ③）。こうすることでネックシヨップである仕上げシヨップの停止リスクは最小にでき、切れ目のない生産と在庫確保を可能にする。

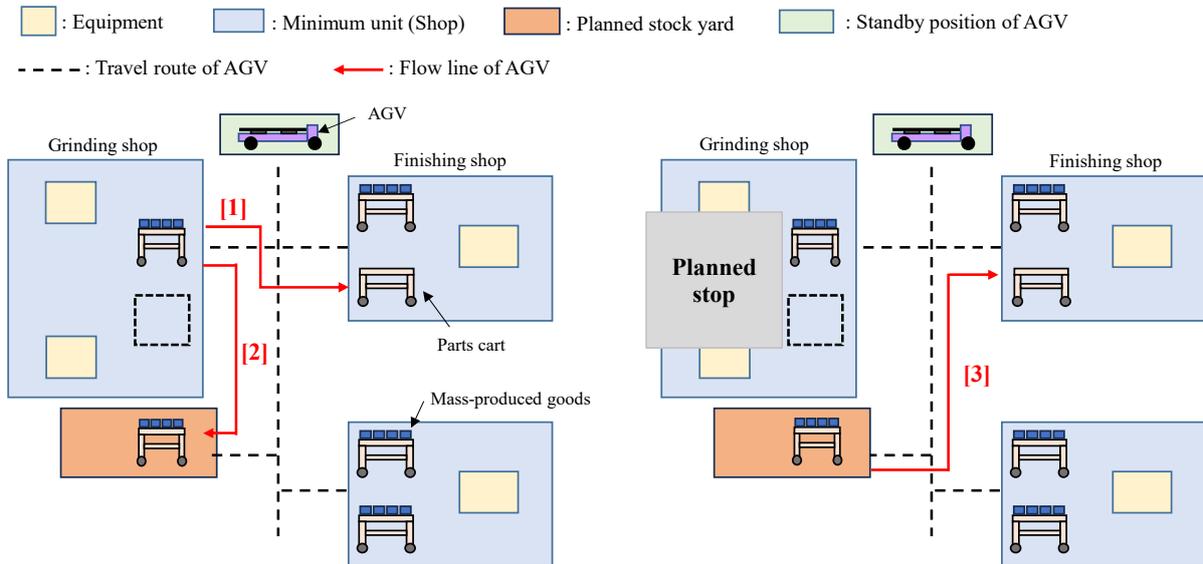


Fig. 5 Diagram of AGV and inter-shop parts cart

(3) AGVとロボットの連動

切れ目のない生産を継続するためには、ネックショップ側の台車を空にしないことが必要である。したがって、AGVは台車の状態（満杯、空など）を自動で検知し、ショップ内搬送ロボットと連動させる必要がある。台車の状態を検知するため、台車の上部に撮像機器を設置し、台車上の部品をロボットが1つ取る度に、台車の状態を撮像することで、台車が空になった際にその情報をショップ内搬送ロボットからAGVに送信し、ネックショップの台車が空になることを防いでいる。

さらに、台車入替時の停止ロスを抑制するために、ショップ内搬送ロボットには産業用ロボットではなく協働ロボットを採用した。産業用ロボットは、ショップ内にAGVが進入した際に作業者とAGVの区別がつかず、安全上の理由でショップ内の設備が停止するため、台車入替時に停止ロスが発生する。一方、協働ロボットは台車入替時も生産を継続できるため、停止ロスの抑制が可能である。

実際に導入した自動搬送システムを以下に紹介する。Fig. 6は、「(1) 搬送方法の選定」で述べた台車運搬仕様、Fig. 7は、「(3) AGVとロボットの連動」で述べた撮像機器および協働ロボットである。

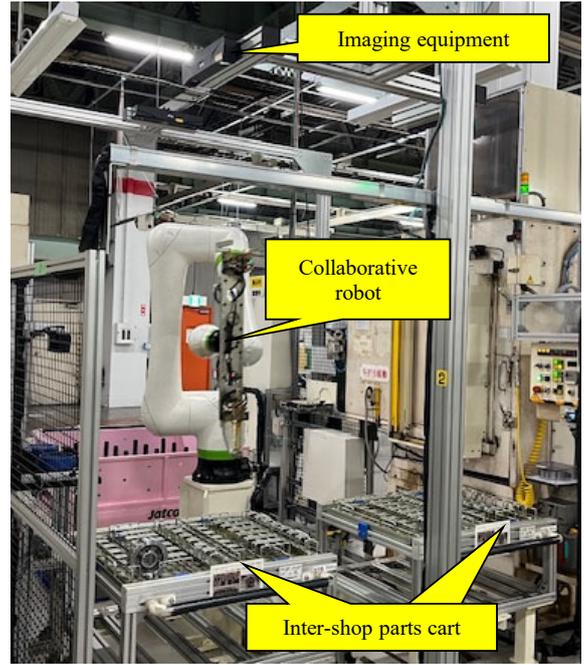


Fig. 7 Parts cart detection camera and collaborative robot

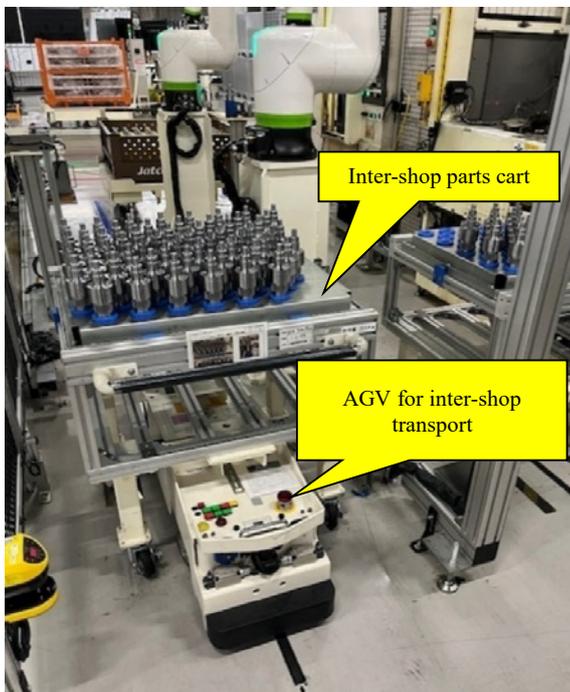


Fig. 6 Parts cart transport using AGV

5. 効果の確認

同期生産ラインでは、台数が下振れした場合にはライン能力に余剰が生じ、投資ロス（斜線部）が大きかったが、ショップ生産ラインを採用することで、台数変動に追従できるため、投資ロス（斜線部）を小さくすることが可能となった（Fig. 8）。

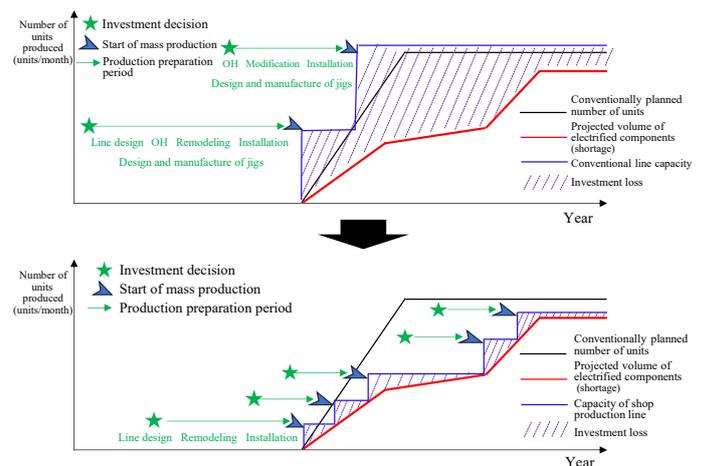


Fig. 8 Effect of shop production line, when the number of units decreases

また、台数が上振れした場合には、ライン能力の増強が間に合わず、機会損失（網掛け部）が発生していたが、ショップ生産ラインを採用することで、生産準備期間を短縮し、機会損失のリスク低減が可能となった（Fig. 9）。

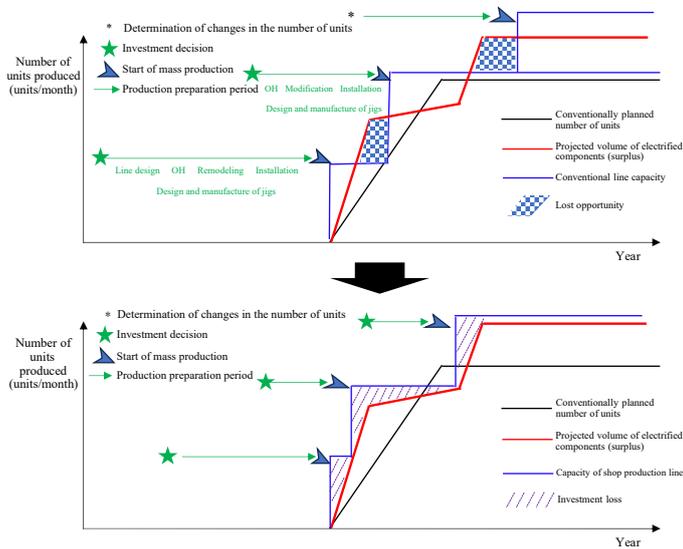


Fig. 9 Effect of shop production line, when the number of units increases

6. 所感

本論文では、同期生産ラインが抱えていた生産台数変動への対応力不足という課題を克服するため、ショップ生産ラインを導入し、柔軟な能力の増強および生産準備期間の短縮を実現した。これにより、電動化シフトに伴う環境変化に対応可能な生産方式の基盤を構築できたと考える。

新部品の立ち上げにおけるパイロットラインとして一定の効果を得られる一方で、量産拡大時にはパイロットラインで生産変動を吸収できる。そのため、同期生産ラインでも大きな問題は生じないことから、ショップ生産ラインが常に最適な生産方式であるとは限らない。今後は、生産方式を適切に選択できる仕組みの構築を課題として取り組んでいく。

7. 参考文献

- (1) 渡辺 浩児, 松本 昌浩: JEPS のグローバル展開について, JATCO Technical Review No.14, pp.65-70, (2015)

■ 著者 ■



井上 裕太



日置 秀和



夏目 雅彦