

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月18日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2012

課題番号：21510151

研究課題名（和文）ジャスト・イン・タイム生産を実現するロット生産ラインの運営方法の革新に関する研究

研究課題名（英文）Research of Operations of Lot Production Lines Realizing just-in-time Production

研究代表者

小谷 重徳 (KOTANI SHIGENORI)

首都大学東京・社会科学部研究科・教授

研究者番号：10404948

研究成果の概要(和文):ロット生産ラインのスケジューリングは古くから多くの研究があるが、トヨタ生産方式で活用されている定時不定量生産方式はあまり知られていない。そこで、この方式について理論的な研究をし、当初のスケジュールが安全在庫に大きく影響するので、安全在庫をできるだけ少なくすることができるスケジュール方法を開発した。また、この方式の稼働特性を明らかにし、安定的な生産ができることや計画生産方式より優れていることを示した。

研究成果の概要(英文): Many papers researched scheduling methods of lot production lines. However, the scheduling method of lot production lines in the Toyota production system is not known widely. Therefore, this method is researched. As a result, we developed scheduling algorithms to reduce the total amount of the inventory of each part to a minimum. Moreover, using numerical examples, the properties of operation of the lot production lines controlled by the schedule based on the developed method are analyzed and are shown that production of the lot production lines is very stable and the inventory of each part is a small quantity.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	300,000	90,000	390,000
2010年度	300,000	90,000	390,000
2011年度	400,000	120,000	420,000
年度			
年度			
総計	1,000,000	300,000	1,300,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学

キーワード：経営工学・スケジューリング

1. 研究開始当初の背景

トヨタ生産方式を導入する企業は後を絶たない。トヨタ生産方式の導入で最も大切なことは、ロット生産ラインにおける生産ロットを、徹底的に小さくすることである。生産ロットが小さくできると、発注点方式で仕掛けができ、信号かんぱんにより仕掛けを容易に

行うことができる。しかし、この方式では発注点にならないと生産すべき部品が分からないので、明日以降の段取り替えが計画的に行うことができないという問題点がある。トヨタでは、この問題を解決し、ジャスト・イン・タイム生産を実現する方式として定時不定量生産方式を開発し、採用している。この方式

は、予め生産のスケジュールを決めておき、スケジュールに従って生産するときは、先回の生産から今回の生産までの間に後工程で使用された部品の量を生産ロットする方法である。要するに、後工程の生産量の変動を、ロットサイズを変更して対応する方法である。この方式についてはあまり知られていない。また、研究もされていないので、この方式について研究する

2. 研究の目的

本研究では定時不定量生産方式を研究し、この方式の課題を明らかにして対応することである。これによって、他企業でもこの方式が利用できるようになる。ロット生産ラインの実際の生産現場での運営では苦労していることが多いので、この方式を理論的に確立し、ロット生産ラインの新しい運営方法として普及させることが狙いである。

具体的な課題としては、定時不定量生産方式の当初のスケジュールを作成するときに、安全在庫を如何に少なくするかである。そこで、安全在庫をできるだけ少なくできるスケジューリングの方法を開発する。また、この生産方式でロット生産ラインを運営したときの稼働特性を解析し、その特徴を理解してロット生産ラインの運営に活かすことである。

3. 研究の方法

研究の目的の1つである安全在庫をできるだけ少なくできるスケジューリングの方法の開発は、厳密な解が求められる方法ではなく、生産現場で容易に活用できる方法を目指し、その普及を図ることとする。

また、定時不定量生産方式で運営したときの稼働の特性を数値実験で明らかにする。数値については、トヨタ自動車(株)のプレスラインの値を参考に設定し、数値結果が実際のプレスラインの値として参照できるようにし、実験結果が理解しやすいようにする。

4. 研究成果

(1) ロット生産ラインのモデル

まず、本論文で取り上げるロット生産ラインを次のように定義する(図1)。

- ①ロット生産ラインの各工程には専用の設備が加工順に隣接して配置されている。
- ②工程間は同期化生産が行われ、ある工程で加工が終われば、次の工程で即加工が行われる。
- ③ロット生産ラインでの1個の生産時間は、各工程の加工時間の和になる。
- ④ロット生産ラインは完成した部品在庫を持ち、後の生産ラインからの部品の引き取りに対応する。
- ⑤ロット生産ラインの後の生産ラインで部

品箱1個分の部品が使用されると、ロット生産ラインの部品在庫から1個の部品箱が後の生産ラインに運搬される。

⑥ある部品の生産が終了すると、内段取り替え時間後には次の部品の生産ができる。また、部品ごとの内段取り替え時間は一定とする。

以上のようなロット生産ラインのモデルを考えるが、議論を簡単にするために次のようなロット生産ラインの運営上の仮定を設ける。

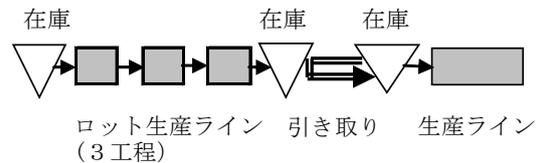


図1 ロット生産ラインのモデル

(2) ロット生産ライン運営の仮定

①ロット生産ラインの負荷はちょうど定時稼働分とし、その後の生産ラインも定時稼働とする。

②生産中に定時の終了時間になった場合は、ロット生産ラインの機械を止め、翌日残りの生産を行うものとする。

この仮定より、生産時間は1日の定時稼働時間が連続しているものとして扱うことができる。この結果、スケジューリングは連続時間上で考えればよく、表現が簡単になる。

③ロット生産ラインの各工程の1個当たりの加工時間は、部品ごとに同じとする。

④ロット生産ラインの部品の生産速度は後の生産ラインの部品の使用速度よりも速いとする。

⑤生産を開始すると即座に後工程からの部品の引き取りに対応できるものとする。

⑥後の生産ラインからの部品の引き取りは、部品箱1個単位であるが、部品箱の部品の収容数はその部品の指定ロットサイズと比較して非常に小さいので、生産間隔時間にける部品の引き取り量は、その時間における後の生産ラインでの部品の使用量と近似的にみなすこととする。

⑦ロット生産ラインの生産に必要な材料や部品は、必要なタイミングで十分あるものとする。

⑧ロット生産ラインの必要な完成品在庫は、後の生産ラインの生産開始時刻までに確保されているとする。

(3) スケジューリングの方法

定時不定量生産方式の当初のスケジュールを作成する方法は、生産現場で容易に活用できるように、比較的簡単で効果的な方法を開発した。具体的には以下のようなものである。

- ①1番目の生産部品は次のように決定する。

すべての部品に対して、その部品を1番目の生産として、2番目以降の生産部品は D_{ij} が最も小さい部品とする。求められたスケジュールの中で安全在庫が最も少ないスケジュールの1番目の部品を、1番目の生産部品として決定する。

② 2番目の生産部品は次のように決定する。1番目の部品は決まっているので、2番目はすべての部品に対してその部品を2番目として、3番目以降の生産部品①と同じように決定する。求められたスケジュールの中で安全在庫が最も少ないスケジュールの2番目の部品を、2番目の生産部品として決定する。

③ 以下同様な方法でスケジューリングを繰り返し、生産終了時刻が指定された時刻以上になれば終了する。

ここで、

$$D_{ij} = q(s_{ij}, i, j) - Q_i$$

$q(t)_{i,j-1}$: 部品 i の $j-1$ 回目の生産の開始時刻 $s_{i,j-1}$ から時刻 t までの後の生産ラインでの使用量 (予測値)

s_{ij} : 部品 i の j 回目の生産開始時刻

Q_i : 部品 i の指定ロットサイズ (目標とするロットサイズ)

である。

(4) 近似解の改善

近似解法では安全在庫の平均は1日の生産量の11%程度であるから、少ない安全在庫で運営できる。しかし、実際の運営では後工程の生産量の安全在庫も必要になるので、近似解法による安全在庫も出来るだけ少ない方がよい。そこで、この安全在庫分を前回の生産時に生産する方法をとれば、初期のスケジュールにおける安全在庫は不要になる。

第1ステップで求めた近似解を次のような考え方で改善を行う。 $D_{ij} > 0$ の場合、安全在庫が少なくとも D_{ij} になる。そこで、部品 i の $j-1$ ($j \geq 2$) 回目の生産のときに、 D_{ij} を生産することにすれば、安全在庫は不要になる。ただし、 $j=1$ の場合は、初回の生産なので生産で対応できないが、すべての部品に対して最初のロットサイズのズレがゼロ以下になるようなスケジュールを作成することができる。以上の方法で正となる D_{ij} がなくなるまで解を改善すると、近似解法で求めたときに必要な安全在庫はすべて生産で対応することができることになる。

(5) 数値実験の条件

ロット生産ラインの稼働特性を数値実験で明らかにする。実験結果が実際のラインにおける値と考えられるように、実験条件はトヨタ自動車(株)の実際のプレスラインの条件にできるだけ合うように設定する。

ロット生産ラインの工程数は5で、18種類の部品を生産しているとする。簡単のためにすべての部品の内段取り替え時間と各工程の1個の加工時間は同じで、それぞれ10分、0.177分/個とする。18種類の部品の指定ロットサイズ Q_i と1日の平均使用量 u_i は表2のとおりである。各部品の1日の使用量の分布は、平均が u_i の正規分布とする。その他の実験の条件は以下のとおりである。

表2 部品の指定ロットサイズと平均使用量

部品	指定ロットサイズ	平均使用量	部品	指定ロットサイズ	平均使用量
1	500	250	10	480	120
2	500	250	11	440	110
3	480	240	12	400	100
4	440	220	13	350	70
5	500	200	14	350	70
6	450	180	15	360	60
7	450	150	16	400	50
8	450	150	17	320	40
9	480	120	18	300	30
				合計	2,410

① 上記の部品の条件では、1日の稼働時間は484.2分になるが、これを1日の稼働時間とし、残業はしない。

② 最初の部品の生産開始時刻は半日後から行う。

③ 通常スケジュールは1カ月分で20日であるが、スケジュールの初期は過渡期なので、50日分計算して評価する。

④ 実験は各部品の変動係数が0.05、0.15、0.25の3つの正規分布で行い、それぞれの分布で5回行う。トヨタ自動車(株)においては、月間の部品の1日の使用量の変動は1割以下を目標としているので、部品の使用量の変動係数は大半の部品で0.05より小さいと思われる。

⑤ 正規分布で発生させた全部品の1日の使用量の合計が2,410になるように修正する。すなわち、④で発生させた部品の使用量に対し、次の数値

$2,410 \div (\text{その日の全部品の使用量の合計})$ をかけ、求めた値を四捨五入により整数化して部品の使用量とする。次に、求めた部品の使用量の合計から2,410を差し引く。この値が正の場合は、部品の使用量の大きい順に、部品の使用量から1を引き、逆に負の場合は部品の使用量の大きい順に1を足すことによって、部品の使用量の合計が2,410になるように修正する。

⑥ ある日の部品 i の単位時間当たりの部品の使用量は、

$$\text{部品 } i \text{ のある日の1日の使用量} \\ \times \text{単位時間} \div 484.2$$

とする。

(6)実験結果

①生産開始時刻の変化

生産開始時刻の変化をみるために、
 生産開始時刻の差=実際の生産開始時刻
 - 当初計画の生産開始時刻

と定義する。部品ごとの生産開始時刻の差の絶対値の平均は表3のようになる。変動係数が0.05と小さい場合は、生産開始時刻の差の絶対値の平均は4.2分であり、当初のスケジュールとほとんど同じとみなすことができ、段取り替えの時刻もほぼ当初の計画どおりに行えることになる。変動係数が大きい0.25の場合は20.8分の差であるが、実際の作業現場では8時間稼働のうちの20.8分なので、生産開始時刻の差はあまり大きくないとみなすことができる。従って、非常に安定的な生産ができることになり、この方式の運営がしやすいことを示している。

表3 部品ごとの生産開始時刻の差の絶対値の平均 (分)

実験 No.	変 動 係 数		
	0.05	0.15	0.25
1	3.4	12.2	18.6
2	4.5	16.8	25.4
3	4.3	13.2	19.6
4	4.5	18.5	21.8
5	4.5	12.3	18.8
平均	4.2	14.6	20.8

③ 全在庫

欠品が起こらない部品ごとの最小の安全在庫(日)を求め、全部品の平均を求めると、表7のようになる。変動係数が大きい0.25の場合でも、欠品が起こらない安全在庫の平均は0.48日分であり、比較的少ない在庫で運営できることがわかる。また、全部品の中で安全在庫が最大値のものを求めると表8のようになる。変動係数が大きい0.25の場合では、欠品を起こさない安全在庫のレベルは、0.99日分程度は必要になることを示している。実際の生産においては、部品の使用量が多くなり、欠品などの問題が発生しそうな場合は、残業時間で生産をするなどの対応をとることになるので、安全在庫のレベルを下げることは可能である。従って、この生産方式では安定的な生産ができることから安全在庫も非常に少ないレベルで運営できることになる。

③定時不定量生産方式の良さを評価するために、当初のスケジュールどおりの時刻やロットサイズで生産する計画生産方式と比較する。

実験条件は定時不定量生産方式と同じとし、部品ごとの欠品を起こさない安全在庫の平均を求めると、表9のようになる。安全在

表7 部品ごとの安全在庫の平均 (日)

実験 No.	変 動 係 数		
	0.05	0.15	0.25
1	0.06	0.26	0.55
2	0.08	0.18	0.53
3	0.06	0.21	0.39
4	0.06	0.35	0.47
5	0.06	0.27	0.44
平均	0.06	0.25	0.48

表8 安全在庫の最大値 (日)

実験 No.	変 動 係 数		
	0.05	0.15	0.25
1	0.21	0.54	0.99
2	0.19	0.43	1.11
3	0.28	0.45	0.84
4	0.17	0.65	0.88
5	0.15	0.44	1.12
平均	0.20	0.50	0.99

庫は定時不定量生産方式より倍以上必要なことがわかる。また、全部品の中で安全在庫が最大値のものを求めると表10のようになる。この場合は定時不定量生産方式と比較して、3倍以上大きい。

以上のように計画生産方式と比較して、定時不定量生産方式はロットサイズを使用量の変動に追随させることによって、少ない安全在庫で運営することができ、また既に述べたように生産開始時刻の変化は比較的小さいと言える。換言すると、計画生産方式と比較して、より少ない安全在庫で当初のスケジュールに近い生産ができることになり、段取り替えも当初計画に近い時刻で可能になる。

表9 部品ごとの安全在庫の平均 (日)

実験 No.	変 動 係 数		
	0.05	0.15	0.25
1	0.19	0.42	1.15
2	0.21	0.55	1.23
3	0.24	0.72	1.14
4	0.25	0.49	1.01
5	0.19	0.54	0.97
平均	0.22	0.54	1.10

表10 安全在庫の最大値 (日)

実験 No.	変 動 係 数		
	0.05	0.15	0.25
1	0.72	1.51	4.00
2	0.63	1.62	3.32
3	0.97	2.47	3.76
4	0.83	1.77	4.99
5	0.56	1.67	3.96
平均	0.74	1.81	4.01

(7)以上の数値実験が示すように、定時不定量生産方式は後工程の生産量が変動しても、当初のスケジュールとあまり変わらない時刻で生産ができる。また、従来の計画生産方式の半分以下の安全在庫で生産ができるなど、非常に優れているので、この方式が広く知られ、普及することが望ましい。

研究者番号：

(3)連携研究者 ()

研究者番号：

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 小谷重徳、トヨタ生産方式におけるロット生産ラインのスケジューリング、日本経営工学会論文誌、査読有、60巻、2009、259-269
- ② 小谷重徳、トヨタ生産方式におけるロット生産ラインのスケジューリングとその稼動特性、日本経営工学会論文誌、査読有、62巻、2012、267-275

[学会発表] (計3件)

- ① 小谷重徳、トヨタ生産方式におけるロット生産ラインの運営、スケジューリング学会、2009年9月17日、岡山大学
- ② 小谷重徳、トヨタ生産方式におけるロット生産ラインのスケジューリング(その2)、日本経営工学会、2010年10月23日、福岡工業大学
- ③ 小谷重徳、定時不定量生産方式におけるロット生産ラインの稼動特性、2011年3月13日、法政大学(震災により論文発表になる)

[図書] (計2件)

- ① 小谷重徳、日刊工業新聞社、トヨタ生産方式で鍛える改善力、2009年、243
- ② 小谷重徳 (編著)、河瀬雅英、(株)日科技連出版社、現場発サービス産業の経営革新、2010年、194

[その他]

ホームページ等

<http://www.comp.tmu.ac.jp/jit.kotani/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

小谷重徳 (KOTANI SHIGENORI)
首都大学東京・社会科学研究所・教授
研究者番号：10404948

(2)研究分担者

()