

知識の共有による段取り替え時間の短縮：トヨタグループを中心に

馮, 全

<https://doi.org/10.15017/3000365>

出版情報：経済論究. 121, pp.55-71, 2005-03-31. 九州大学大学院経済学会
バージョン：
権利関係：

知識の共有による段取り替え時間の短縮

——トヨタグループを中心に

馮 全

目次

1. はじめに
2. 段取り替え時間の定義および短縮の歴史
3. 段取り替え時間短縮に関する先行研究
4. トヨタグループにおける段取り替え時間の短縮
5. 終わりに

1. はじめに

Piore and Sabel (1984) は『The Second Industrial Divide』の中で、世界に3つの生産システムがあることを論じている。すなわち、クラフト的生産システム、大量生産システム、リーン生産システム¹⁾である (Piore and Sabel, 1984, pp.47-50)。リーン生産システムは大量生産システムを発展させているとみられている。

大量生産時代は、需要より供給の方が少なく、作れば、売れる時代であった。受注機会を失わないために、見込み在庫を行い、同種同型の部品をまとめて作っていた。つまり、ロットを大きくまとめ、段取りを替えないで、なるべく同じ作業をやり続けるという、フォード方式に代表される大量生産システムである。この大量生産システムによって、アメリカは20世紀における経済的成功を達成した。そして、計画的な大量生産がコスト・ダウンに最大の効果があることをアメリカの自動車企業は証明し続けてきたのである。

しかし、1960年代末になると、大量生産システムは衰退過程に入り、これまでの高い生産性向上率が徐々に低下し始め、市場から得られる顧客ロイヤリティは減少していった。また、顧客ニーズの多様化によって、デザインや品質などといった製品バリエーションを多品種化させることがますます重要になっていった。そのため、従来の大量生産による製品の標準化と低価格競争は、もはや市場に受け入れられなくなっていった。勿論、生産のフレキシビリティを高める努力が、大量生産を行う企業でなされてこなかったわけではない。しかし、製品を標準化させ、価格の低下を狙った大量生産システムでは、顧客ニーズの多様化に十分対応することができず、徐々に企業競争力を失っていった。その結果、1980年代中頃には、米国の自動車産業は外国企業に対する競争力を低下させていった。例えば、米国の自動車市場における輸入車のシェアは、1970年代半ばまでは緩やかに上昇していたが、1978年から1979年にかけて18%から28%へと急激に上昇した。その後、短期的には外国輸入車のシェアは落ちた年もあったが、1987年には米国における新車購入に占める輸入車の割合が、全体の約三分の一にまで拡大した。そのうち、日本車の輸入増加がもっとも大きな割合を占め、1987年には輸入車の70%

以上が日本車であった。日本企業が国際的に競争優位性を持つに至った原因は、多品種少量という日本のリーン生産システムによるものである(Womack, 1990, p.62)。リーン生産システムの代表であるトヨタ生産方式の基本思想は「徹底したムダの排除」である。そのムダとは①つくりすぎのムダ②手待ちのムダ③運搬のムダ④加工そのもののムダ⑤在庫のムダ⑥動作のムダ⑦不良を作るムダのことを指している(大野, 1978, p.38)。トヨタ生産方式の管理手法はセル生産方式、品質に対する操作者の責任、製造しやすい設計、継続的な改善、かんばんによる資材管理、段取り替え時間の短縮、全社的品質管理、統計的工程管理、QCサークルなどがある。その内、かんばん方式はトヨタ生産方式の最も重要な管理手法である。一方で、日産も1974年からトヨタの「かんばん方式」に相当するAPM²⁾(Action Plate Method)を実施したが、1984年にはAPMの実施を中止している。その理由は「かんばん方式」の前提条件として不可欠な「生産の平準化」が日産では達成できなかったからである(門田, 1991, p.530)。「かんばん方式は平準化された生産を前提とするが、平準化を行うときの障害になるのは段取り替えである。一般に、段取り替えにより機械やラインの稼働率は低下し、それゆえ生産単位を大口にする。かんばんは平準化と小ロット生産の必須の条件とする。このようにして段取り替え時間の短縮はかんばんの定着の不可欠の条件になる」(佐武, 1998, pp.103-104)。つまり、段取り改善をして、段取り替え時間を短縮する目的は、小ロット生産の実施によって、必要なものを、必要なときに、必要な量だけ作ることににより、作りすぎの無駄を排除し、コストを低減することにある。この小ロット生産ができるためには、金型をはじめとする機械設備の頻繁な段取り替えが可能でなければならない。この段取り替え時間を短縮できるかどうか、この小ロット生産の効率性を実現する重要な鍵となる。そして、段取り替えを完了するのにかかった時間は、生産工程がどれだけフレキシブルなのかを決定する。段取り替えにかかる時間が短ければ、同じ時間内により多品種の製品またはより多数のユニットを生産することが可能となり、顧客の要望により素早くまたはより少ない経済的ロット・サイズで応えることが可能となる。そのため、段取り替え時間の短縮と、それに伴うコスト削減が重要な作業目的となるだろう。本稿ではトヨタグループにおいてどのように段取り替え時間の短縮活動を実施したのかについて分析する。

2. 段取り替え時間の定義および短縮の歴史

2.1 段取り替え短縮の定義

2.1.1 段取りと段取り時間

関根(1982, p.11)によれば、段取りの語源は、反取りである³⁾。段取り時間はリードタイムの一部分であるので、まずリードタイムと段取り時間の関係を明確する必要がある。リードタイムについては門田(1991, pp.198-199)が以下のように分かりやすく説明している。まず多段階の工程の連鎖(図1)を次のように描く。それぞれの記号は次の通りである。

P_i = 生産活動そのものを行う工程 i (あるいはワークセンター i) ($i = 1, \dots, n$)

I_i = 工程 I の生産活動によって生み出された生産物の在庫 i ($i = 1, \dots, n$)

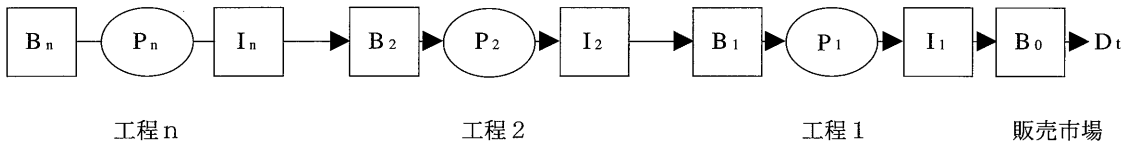
B_i = 工程 I において加工すべき素材 I のラインサイド在庫 i ($i = 1, \dots, n$)

D_t = 市場における第 t 期の需要量

B_0 = 市場における販売店の在庫量

従って、 B_1 , P_1 , I_1 いずれも工程1に存在するのである。また $I_1 + 1$ から B_1 へと品物が運搬されることになる。

図1 多段階の生産工程の連鎖

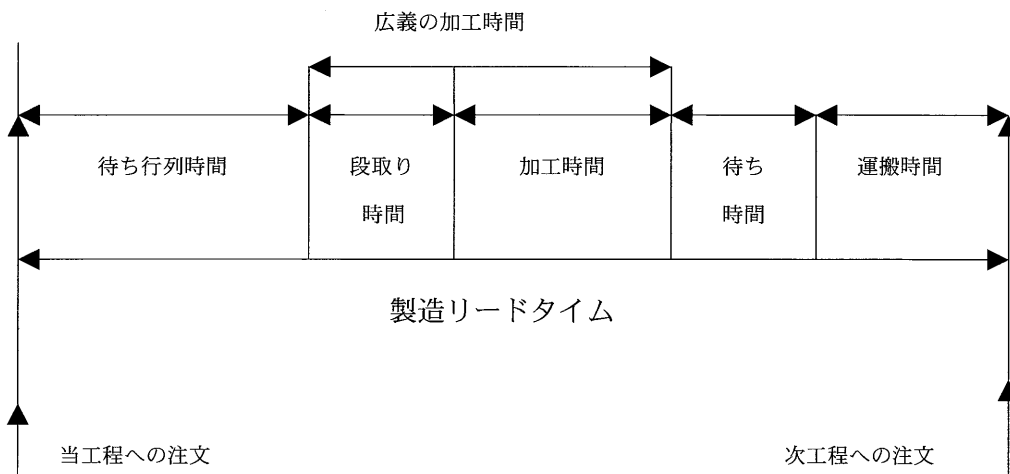


出所) 門田安弘 (1991) 『新トヨタシステム』, 講談社, p.199に基づき加筆作成。

工程2を例にしてリードタイムの構成要素をみると、狭義の製造リードタイムは、加工前の待ち行列時間 (queue time before processing), 段取り時間 (setup time), 加工時間 (run time), 加工後の待ち時間 (wait time after processing) および運搬時間 (move time) から成り立っている (図2)。これらのリードタイムの構成要素のうち、加工前の待ち行列時間は前期の B_2 に対応している。段取り時間と加工時間は、 P_2 に対応している。加工後の待ち時間は I_2 に対応している。そして最後の運搬時間は I_2 から B_1 に品物が移動する矢印に対応している。

ここで「加工前の待ち行列時間」というのは、ラインサイドに置かれた加工すべき素材が加工を受けるまでに待っている時間である。「加工後の待ち時間」とは、加工済みのアウトプット在庫が次工程に運搬されるまで待っている時間である。広義の待ち時間には、このように二種類のものがあるが、ひとまず両者を「待ち時間」として包括的にとらえておこう。ここで段取りとは、加工作業を行うた

図2 製造リードタイムの構造



出所) 門田安弘 (1991) 『新トヨタシステム』, 講談社, p.199に基づき加筆作成。

めの準備・後始末作業である（新郷，1983，p.362）。その準備・後始末作業にかかる時間は段取り時間という。段取り時間と加工時間はこの両者を包括して広義の加工時間としてとらえる。そうすると製品の生産リードタイムは、三つの要素で構成される。すなわち製品の加工時間、待ち時間および運搬時間である。これら生産リードタイムを構成する三要素について、それぞれを短縮することがはジャスト・イン・タイム（JIT）生産にとって必要になる。

2.1.2 段取り替えと段取り替え時間

製品が変わり、作業条件が変化することにより、これまでの段取りを変える必要がある。これを段取り替えという。つまり、段取り替えとは1つの製品の生産過程からもう1つの製品の生産過程への転換に関する活動である。その転換にかかる時間を段取り替え時間という。つまり、段取り替え時間とは現在の製品の加工が終わったときから次の製品の加工をして良品ができるまでの時間という。つまり、段取り替えのために機械を止めている非稼働時間のことである。そして、段取り替えのためにかかるコストを段取り替えコストという。段取り替え時間は内段取り時間と外段取り時間からなる。内段取りとは機械を止めて行う段取りを指し、外段取りとはあらかじめ機械の外で行う段取りをいう（新郷，1987，p.25）。

2.2 段取り替え時間短縮の歴史

段取り替え時間短縮の必要性は、トヨタ生産方式の発展とともに生まれた。段取り替え時間短縮が正確にいつから行われ始めたのかは不明であるが、下記の大野耐一の記述から、昭和20年代後半から始まったと推測できる。「昭和20年代、トヨタ自工の生産現場では、大型プレスの金型の段取り替えに2～3時間を要した。……（中略）昭和30年代になって、トヨタ自工内の平準化生産を進める段階で、段取り替えの時間は1時間を割り込んでいき、15分にもなった。そして昭和40年代の後半には、わずか3分にまで短縮されたのである」（大野，1978，p.177）。トヨタのエンジニア兼コンサルタントとしてJIT生産方式の発展に重要な役割を果たした新郷重夫が、初めて段取り時間短縮との出会いは1950年であった（新郷重夫，1987，p.498）。それから35年、段取り替え時間短縮について観察と研究を重ね、1985年に正式にシングル段取り（SMED）⁴⁾という段取り替え短縮法を紹介した。それ以前までは長い段取り替え時間は当たり前のことだと思われていたが、1985年にトヨタのJIT生産システムにもSMEDを導入したことで、トヨタの生産がよりフレキシブルになった。

トヨタ自動車の「シングル段取り」化の手法は、JITの普及と歩調を合わせて1970年代に多数の日本企業にも普及し、数年の間に「数千例」の事例において段取り替え時間が平均して1/20に短縮された（新郷，1980，pp.228-229）。表1はその具体例として、マツダ、三菱重工、ヤンマーにおける段取り替え時間短縮を示している。JITシステムの要請による段取り替え時間の大幅な短縮の結果、頻繁な段取り替えによるロット・サイズの縮小にもかかわらず、段取り替えコストでも国際優位が実現された。

一方で、日本の産業競争力が高まるにつれて、トヨタ生産方式は海外からも注目を集めるようになった。そのため、アメリカではJIT革命が起り、それと同時期に段取り替え時間の短縮の成否と価値が意識されるようになった。そして、彼らは素早い段取り替えがJIT生産の証明である小ロット・サイズ

を達成する決定的な要素であることを理解するようになった。チェーンソーのサプライヤーである Omark社は、北アメリカで最も早く日本の生産技術を取り入れた企業の一つである。その結果、従来 4 時間かかっていた段取り替え時間を 2 分 40 秒まで改善することに成功した。それによって、リードタイムが 3～4 週間程度から 2 時間程度までに短縮され、在庫を 94% からわずか 6 % 程度にまで削減することができた。一連の合理化活動によって、年間 1 億ドル程度の利益が増加した（新郷，1987，p.17）。この経験は、段取り替え時間の短縮が JIT 生産の目標達成と強く結び付いていることを理解させるのに重要な貢献を行った。

イギリスの自動車用の電気部品企業であるルーカス・エレクトリカル社（LE社）は、1980年代に入り、サプライヤーとの関係の再構築や生産工程の再編成、労使関係や従業員そのもの見直しを行う中で、1980年代半ばに日本的生産方式を導入した（川上，2002，p.25）。Oliver と Wilkinson（1992）が 1991年にイギリスの企業 27社を対象に実施した調査によると、初めて段取り替え時間の短縮を行ったのは 1973年であった。そして、これ以降の導入時期は、1973年～1977年が 4 %，1978年～1982年が 11%，1983年～1987年が 22%，1988年以降が 63% となっている。さらに、段取り替え時間の短縮という技法を利用している会社は、1991年の時点で 65% に達している（Oliver and Wilkinson，1992，p.138）。また段取り替え時間の短縮を導入して大成功と思っているイギリス企業は 8 %，かなり成功と思っている企業は 89% を占め、不成功の企業はわずか 3 % しか占めない（同上，p.143）。段取り替え時間短縮の有効性が有力に証明された。

3. 段取り替え時間短縮に関する先行研究

3.1 日本における段取り替え時間短縮をめぐる研究

新郷（1987，p.40）は段取り替え時間短縮の必要性について例を挙げて説明した。表 2 に示すように、段取り替え時間 4 時間の場合、1 個あたりの正味加工時間が 1 分として、ロット・サイズ⁵⁾=100個 を 1000個に増加させれば、見かけの加工工数 3.4 分を 1.24 分に減少する。比率は 100 : 36 となり、実に 64%

表 1 段取り替え時間の短縮の具体例

企業名	設備	段取り替え短縮前の段取り替え時間（時間）	短縮後の段取り替え時間（分）	短縮に要した期間（年）
トヨタ	ボルト・メーカー	8	1（58秒）	1
マツダ	リング・ギア・カッター	6.5	15	4
	ガイカスト機	1.5	4	2
三菱	8 軸ボーリング・マシン	24	2.7（2分40秒）	1
ヤンマー	アルミニウム・ダイカスト機	2.1	8	2
	シリンダ・ブロック生産ライン	9.3	9	4
	連接棒生産ライン	2	9	4
	クランク・シャフト生産ライン	2	5	4

出所）新郷重夫（1980）『トヨタ生産方式のIE的考察』，日刊工業新聞社，p.47，p.63により加筆作成。

表2 段取り替え時間とロット・サイズの関係(1)

	段取り替 え時間	1個あたり主 作業時間	ロット・ サイズ	見かけ作業時間	比率
A	4時間	1分	$L_1=100$	$1分 + \frac{4 \times 60}{100} = 3.4分$	100
B	4時間	1分	$L_2=1,000$	$1分 + \frac{4 \times 60}{1000} = 1.24分$	36
C	4時間	1分	$L_3=10,000$	$1分 + \frac{4 \times 60}{10000} = 1.024分$	83

出所) 新郷重夫 (1987) 『ノン・ストック生産方式への展開』, 日本能率協会, p.40により抜粋。

の工数低減になると主に、段取り替え回数の低減による稼働率の向上を期待できる。

しかし、加工ロットを1,000個から10,000個に増加させた場合は、100:83というように17%の工数低減にしかならない。このように、低減率が鈍化することになり、ストックの増加によるデメリットが大きくなるために、経済的ロットを持つ意義が、極めて高いことになる。

一方で、表3に示すように、段取り替えを4時間から3分に短縮させる場合は、見かけの加工工数は1.03分から1.003分となり、比率100:97になり、低減率はわずか3%にすぎない。そのとき、ストックの増大によるデメリットの方が、大きな影響力を持つことになる(同上, p.41)。

現実には段取り替え時間の短縮など、段取り替え費用そのものを小さくすることがロット・サイズを小さくし、在庫削減の本質的な対策であるばかりでなく、総費用も低くなる。

鈴木(1994)はJIT生産方式と労働生産性やコスト低減との関連性について研究した。それによると、多くの無駄な運搬、移動、動作が行われ、それによって多くの停滞(仕掛品、在庫品)が発生するため、有効な加工時間の割合は生産工程全体の20%ほどに過ぎないことが明らかになった。逆に、段取り替え時間を短縮することで仕掛品を削減でき、製造期間の短縮、滞在が発生する問題点の顕著化、保管スペースの減少、稼働率の向上(仕掛品の取り扱いの低減)、計画的生産の実現、運転資金の節減という効果が期待できる。段取り替え時間の短縮による労働生産性に与える効果は、ロット・サイズを一定とすれば、段取り替え時間の短縮は、そのまま設備稼働率の増加となり、労働者一日あたり生産量、つまり労働生産性を大幅に引き上げることができる。一方で、ロット・サイズを小さくして頻繁な生産品目の切り替えを行うので、段取り替え時間の短縮がそのまま設備稼働率の上昇と直結しないと指摘した。しかし、大幅な段取り替え時間の短縮は、段取り替えの頻度を増やしてもなお稼働時

表3 段取り替え時間とロット・サイズの関係(2)

段取り替 え時間	1個あたり主 業時間	ロット・ サイズ	見かけ作業時間	比率
3分	1分	$L_1=100$	$1分 + \frac{3}{100} = 1.03分$	100
3分	1分	$L_2=1,000$	$1分 + \frac{3}{1000} = 1.003分$	97

出所) 同上, p.41により加筆作成。

間の増加、労働生産性の上昇の余地を十分に残すのである（鈴木，1994，p.95）。

鈴木（1994）は、リーン生産システムと大量生産方式とを比べて、日本の生産システムであるリーン生産システムが伝統的なアメリカ型の大量生産方式と対比して、圧倒的に在庫レベルを低減させる効果があることが分かった。在庫は、一般に原材料(部品や、エネルギー源としての燃料を含む)、仕掛品および完成品と分類され、需要の変動に対する供給量の調整をする。在庫保有の最大の利点は、在庫品の品切れコストの排除ないし節約である。品切れコストには、品切れに起因する販売機会の損失額のほかに、品切れ品の緊急発注費が含まれ、飛び込みの仕事に伴う複雑な製造工程の段取り替えなどの中断時間を含む生産時間・労働時間の損失である。在庫を保有することでの利点もあるが、他方で不確実性の高い市場では在庫に伴う保管費、陳腐化や劣化に起因するリスク負担といった在庫費用も発生する。そこで、次に生産システムの違いが日米自動車メーカーの部品・仕掛品の在庫水準にどう現れているかを示す。表4に示すように、ユニット部品、加工工程内仕掛かり在庫のいずれにおいても、アメリカ企業の在庫水準は日本企業の数倍から数十倍であることが分かる。また、自動車1台あたりの仕掛かり在庫額も7－8倍にのぼる。このような在庫水準の相違は、同一売上高の下では在庫費用の差となって現れ、最終的には生産コストの差となって現れる（鈴木，1994，pp.90-93）。

藤本（2001，pp.209-211）は情報システムの観点から、段取り替え時間短縮と在庫との関係を解釈し

表4 日米自動車メーカーの在庫水準比較

		日本企業	アメリカ企業
1	アSEMBリープラントにおける構成部品の在庫水準 (生産規模同等として)		
	ヒーター	1時間分	5日分
	ラジエーター	2時間分	5日分
	ブレーキトラム	15時間分	3日分
	バンパー	1時間分	na
2	前輪駆動車用トランスファー（補助変速機）ケース 生産者工程における仕掛り部品在庫水準		
	フライス加工 (mill)	7 (部品個数)	240 (部品個数)
	穴あけ (drill)	11	200
	穴拡大 溝きり	13	196
	穴あけ	24	205
	フライス加工 洗淨 検査	10	40
	組立	6	96
	完成	7	87
	小計	79	1064
3	組立メーカーにおける自動車1台あたり仕掛り在庫額		
	1979年	\$ 802	\$ 5365
	1980年	\$ 742	\$ 5843

原典) National Academy of Engineering (1983). *Committee on Technology and International Economic and Trade Issues*. Automobile Panel, The Competitive Status of the U.S. Auto Industry, National Academy Press, Washington D.C., p.106.

出所) 鈴木良始 (1994) 『日本の生産システムと企業社会』, 北海道大学図書刊行会, p.94により加筆作成。

た。生産期間は、①材料が工程にストックされた製品設計情報を受信している時間（付加価値を吸収している時間）と、②製品設計情報を受信していない時間（付加価値を吸収していない時間）とに分けられる。工程から材料・仕掛品に製品設計情報が流れている時間とは、情報発信側、つまり「作業」の側から見れば、「正味作業時間」に相当する。一方、製品設計情報を受け取る側、つまり工程の側から見れば、「情報受信時間」（付加価値を吸収している時間）が正味作業時間に対応する。一方、価値を吸収していない時間は、多くの場合、材料・仕掛品が在庫となっている状態である。従って、生産期間を短縮する方法は、①情報の受信そのもの（正味作業）をスピードアップすることと、②情報を受信していない時間（在庫時間・停滞時間）を減らすことの2つに大別される。しかしながら、工程が完全に連続化した装置産業系の生産工程を除けば、実際に生産期間のほとんどを占めるのは情報を受信していない時間、つまり在庫時間である。従って、生産期間短縮のためには、「材料・仕掛品が製品設計情報を受信していない時間」を短縮することが需要である。つまり、生産期間短縮の鍵は、在庫システムの改善と在庫削減にある。

3.2 段取り替え時間の短縮をめぐる理論的研究

3.2.1 経済的発注量モデル (Economic Ordering Quantity:EOQ)

経済的発注量モデルは、もともと発注サイズを決めるモデルであった。製品の変動費用は在庫費用と発注費用からなる。在庫費用とは製品または部品を一定期間在庫として持つことによってかかる費用である。発注費用は1回の発注に必要な費用（発注量に無関係）である。それによって、経済的発注量（EOQ）は、1回発注期あたりの在庫費用と発注費用の和を最小にするロット・サイズのことを指す。Schonberger (1982) が経済的発注量（EOQ）モデルを参考にしながら、 T を総費用、 Q をロット・サイズ、 D を連続的な需要率、 A を段取り替え費用、そして h を1ユニットあたりの費用とすると、図3に示すように、量適在庫と段取り替え費用の等式は

$$T = \frac{hQ}{2} + \frac{AD}{Q}$$

であたえられる。そして、 T を最小にする Q を求めるためには、上記の式を Q で微分して0とおいたものを、 Q について解けばよい。すなわち、

$$\frac{dT}{dQ} = \frac{h}{2} - \frac{AD}{Q^2} = 0$$

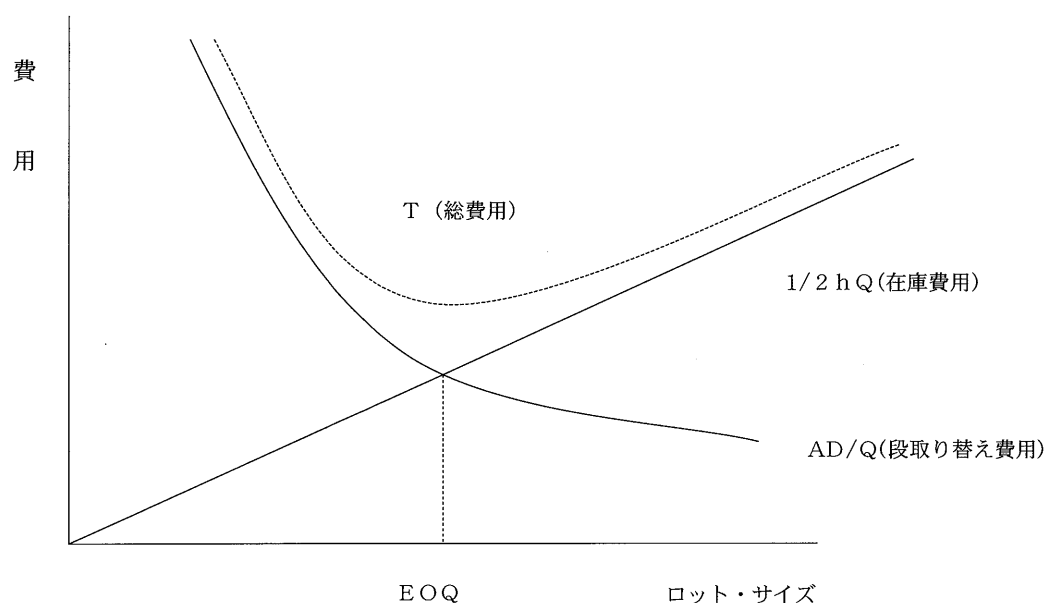
となるので、経済的発注量（EOQ） Q は

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}}$$

となる。

総費用を段取り替え費用の減少関数としてプロットするならば、段取り替え費用の減少は限界的には増加する収益を生み出すことが明白になる。段取り替えがはじめの段取り費用から0まで減少する時に、総費用関数が凹面の形であることに注意されたい。この動きの意味するところは重要である。それは、段取り替えにおける個々の限界的改善は前の改善より価値があり、段取り替え時間の短縮を継続することのインセンティブを与えると意味する。これらの利益は、より低い替え段取り費用とよ

図3 段取り費用、在庫費用とEOQの関係



出所) Schonberger, R. D. (1982) *Japanese Manufacturing Techniques*, The Free Press, New York, p.19.

り小さい最適のロット・サイズとの相互作用から発生する。より小さなロット・サイズは段取り替えの回数を増加させるが、総段取り替え費用は各段取り替え費用の低下及びより小さいサイクル在庫費用によって相殺されてあまりある。

3.2.2 段取り替え時間の短縮への限られた予算の割り当て

Lescnke及びWeiss (1997, pp.890-894) は、多数ある段取り替え時間短縮の機会に対して、限りある予算をどのように割り当てるかという問題を考察した。彼らは限界分析が広範囲の凸面の投資関数のための複合製品の問題に適用することができることを実証する。限界分析は、経営者が段取り替えを最も大きな限界費用の節約と識別し、この段取り替えに予算の部分を割り当てるべきことを示唆している。その段取り替えがその限界利益が二つ目の製品と等しくなるような点に短縮されたとき、二つの段取り替え間に予算を同時に割り当てるのが最も効果的である。すべての段取り替えが短縮され、すべての限界利益が等しくなるまで同時的な割り当ては勧められる。実際にはこれは次のことを示唆している。経営者にとって一つの段取り替えに注目し、次の製品の段取り替えに移る前にそれをできるだけ短縮するのではなく、いくつかの製品にわたる段取り替えを短縮するほうが良いということである。

4. トヨタグループにおける段取り替え時間の短縮

4.1 トヨタにおける段取り替え時間の短縮

4.1.1 段取り替え時間短縮という知識の形成

段取り替え時間の短縮という知識の形成は、プレスの金型交換から始まったのである。段取り替え時間短縮の歴史でふれたように、昭和20年代、トヨタ自動車工業(株) (以下トヨタと称する) の生産現場では、大型プレスの金型の段取り替えに2～3時間を要していた。段取り替えはなるべくしないという習慣が身に付いていて、速やかな段取り替えを実施することに対して生産現場から強い抵抗を受けた。昭和35年8月には、2期計画を分けて完成した本町工場は組立工場、塗装工場、車体工場、プレス工場、機械工場の5部門を持ち、当時日本で最大の乗用車量産専門工場であった。そのうち、プレス工場は、ボデー専門のプレス工場として、設計当初からあらゆる面で欧米の最も進歩した設備を取り入れるようになった。当初、なるべく段取り替えを少なくするため、パネル在庫を収容する倉庫を、近くにあった運送会社に作らせたりしていた。企業の採算上、プレスラインの稼働は最も高能率に行わなければならないので、各々のプレス機械は高速作業と、短時間での型取り替えが可能で、しかもラインを止めるような故障を起こさないことが要求される。そのため、元町プレス工場には、QDC (Quick Die Change Press)を採用することにした。このプレスは、フェンダーなどの深絞部品の加工に適した長ストロークを持ち、安定のよいアンダードライブ型プレスである。プレス作業中でもプレス外に出ているもう一つのボルスタ上に次の型を準備しておき、作業が終わり次第、ボタン操作で型を乗せたままボルスタを入れ替え、スライドに対する型の取り付けを行うことができる。このプレスの導入の結果、従来、大型絞りプレス1台につき2.5時間以上にかかっていた型の取り替えが、わずか1時間でライン全体(1ラインは5～8台のプレス機械で編成される)の型の取り替えを完了できるようになった。その結果、プレス機械の稼働率は飛躍的に向上した(トヨタ自動車, 1967, pp. 413-477)。そこから、段取り替え時間の短縮によって、ロット・サイズを縮小でき、また、製品並びに中間製品の在庫を縮小できることが分かっていたのである。したがって、既存のプレス機械の段取り替えを短縮するというアイデアを湧いてきた。昭和45年、プレスの段取り替え時間が4時間から1時間半に、さらに数ヵ月後3分にまで短縮された。その技法としては①内段取りと外段取りの分化。②内段取りを外段取りに転化する。この考え方はシングル段取りの最も決定的な考え方である。例えば、プレスや成形機のダイハイトを当板にして一定することによって、シャット・ハイトの調整が不要にする。③機能的標準化の採用。例えば、型の形状及び寸法をできるだけ標準化する。④機能的締付具の採用。例えば、ネジの変わりに、パネでストッパーが引き出されないようにする。⑤仲介治具の採用。⑥平行作業の採用。⑦調整の排除。⑧機構化の採用。例えば、型の取付けを油圧や空気圧を利用して、数箇所をワンタッチで締付けるなどがある(新郷, 1980, pp.68-77)。段取り替え時間短縮の知識をトヨタ全社の範囲まで広めるのはQCサークルと呼ばれる小集団活動であった。QCサークルは、班長と部下の作業員からなる。場合によって、ほかのサークルメンバーが合流する。各工場や部門には、それぞれQCサークル活動推進委員会がある。各工場の最高責任者のバックアップを受ける。そして、表5に示すように、トヨタは段取り替え時間の短縮によって、ロット・サイズを1970年の5000

表5 トヨタ自動車における段取り替え時間の短縮化とロット・サイズの縮小化

		1970年	1975年	1980年
プレス部門	段取り替え時間 (分)	40-150	20-30	5-15
	ロット・サイズ (品目数)	5,000	1,500	500
鍛造部門	段取り替え時間 (分)	100-200	20-50	10
鋳物部門	段取り替え時間 (分)	60	20	4

原典) 1984年, トヨタ自動車がOECD・OERIに提出したレポート, p.34

出所) 岸田尚友 (1988)「最近の技術変化と職務内容・職場組織—日本の自動車産業の場合」ベルリン科学センター雇用職業総合研究所編『技術革新と労働の新時代—日本モデルと西ドイツの選択』, 第一書林, p.127。

から1975年の1500に、さらに1980年の500にまで著しく縮小させた。

4.1.2 内段取りと外段取りというコンセプトの表出化

内段取りと外段取りという概念の表出化は、段取り替え時間短縮という知識を伝播することが可能となったことを意味する。段取り替え時間の定義 (2.2.2) で述べたように、内段取りとは機械を止めて行う段取りを指し、外段取りとはあらかじめ機械の外で行う段取りを指す。例えば、外段取りの作業においては、金型、工具、および材料は、機械のそばに用意しなければならない。金型の修理は事前にやっておかなくてはならない。内段取りにおいては、金型の取り外しと取り付けだけをしないでなければならない。門田 (1991) は、段取り替え時間を短縮するには、以下の4点について正しく認識しなければならないと述べている (門田, 1991, pp.223-228)。①多くの企業が内段取りと外段取りの作業の違いを認識出来ず、しばしば機械が止められている間に外段取りの作業を行っているので、内段取りと外段取りとの違いを理解し、両者を分けて考えるべきである。②機械を止めて行う内段取りをできるだけ減らし、予め機械の外で行う外段取りに転換していく。そうすることで、段取り替えに必要な費用を30~50%削減できると推定される。③段取り替え作業における調整の過程は、全段取り替え時間の約50~70%を占めるのが普通である。例えば、リミットスイッチの位置を移して試行してみたが、巧ないので前後に位置の修正を何回する。従って、このような調整の過程を一切排除すべきである。この調整時間を減らすことは、全段取り替え時間の短縮にとってきわめて重要である。④切り替えることの一番早い方法は、切り替えないことである。例えば、ねじを使うより使わない締め付け方法にかえたら、極めて大きな効果を発揮することになる。したがって、段取り替え作業そのものをなくすべきである。

表6 は自動車産業プレスの段取り替え時間の国際比較である。そこから、アメリカのA社、スウェーデンのB社、西ドイツのC社の段取り替え時間はそれぞれトヨタの60倍、27倍、27倍である。段取り替え回数はトヨタが一番多いのに対して、ロット・サイズは一番小さいと分かる。

4.2 トヨタの一次サプライヤーに対する段取り替え時間短縮の知識伝播

トヨタは自社で積極的に段取り替え時間短縮活動を展開するだけでなく、一次サプライヤーに対しても指導を行った。トヨタの創始者である豊田喜一郎氏は、部下によく「協力工場は自分の手足と思いなさい」、「協力工場はトヨタの分工場です」と言った (日刊工業新聞社, 1980, p.69)。「トヨタ自工

表6 自動車産業のプレス段取り替え時間の国際比較

	トヨタ	A社 (アメリカ)	B社 (スウェーデン)	C社 (西ドイツ)
段取り替え時間	9分	6時間	4時間	4時間
段取り替え回数	3回/日	1回/日	—	1回/2日
ロット・サイズ	1日分*	10日分	1ヵ月分	—

注) *月1,000台以下の少量車の場合でも7日分以下

出所) 新郷重夫 (1980) 『トヨタ生産方式のIE的考察』, 日刊工業新聞社, p.167により加筆作成。

は自社に定着し、効果を挙げている改善手法を協豊会まで拡大し、一丸となってコスト・ダウンの推進をした。昭和37, 38年ごろがその出発点であった。VA (Value Analysis) 講習会, 部品検討会などを頻繁に開き、協豊会の浸透を図る。そして、工数低減、自動化を含めた具体的な手法の教育, 研究会を始め、車種別の原価改善運動の思想徹底へと輪を広げ、開花させた」(日刊工業新聞社, 1980, p. 143)。ただ、伝授の押し売りをトヨタはせず、サプライヤーの自発的な改善意欲の盛り上がりを待つ。例えば、荒川車体工業(株) (以下荒川車体と称する) は、昭和22年の創立以来トヨタグループの一員として発展を続け、現在ではトヨタ系の主力ボデーメーカーとなっている。主な生産品目は、ランドクルーザーをはじめ、マイクロバスのコースター、ハイエース・コミューターの生産と、各種乗用車の内装品生産という二本柱の経営を展開している。名古屋市で創業し、昭和37年豊田市で本社工場を操業するようになって以来、急速な発展を遂げてきた。生産は、本社工場が自動車ボデー、寿工場と豊橋工場が乗用車内装品、猿投工場がシートフレーム、シートトラックなど金具内装部品および特装車と品目別専門生産を行っている。荒川車体は、昭和52年初期にトヨタの指導を受け、トヨタ生産方式を導入し始めた。そして、トヨタ生産方式の前提条件として、まずシングル段取り替え時間の短縮を実施した。

ここで挙げたのは猿投工場の500 t プレス金型のシングル段取り替え時間短縮の実施例である(新郷, 1983, pp.256-262)。まず、段取り替え短縮の必要性から見てみよう。500 t フランクプレスは、使用金型62面で月間約7万個の内装部品のプレス加工を行っていて、その型の替え回数は80~100回、1回当たりの所要時間は25~30分を費やしていた。このような作り過ぎの無駄を表7のように改善することで、シングル段取り替え時間の短縮を実現した。そのうち、供給材料のセンターと金型センターを確実に合わせる事が最も多く時間を要した。改善後、プレスボルスター上に金型位置決めガイドを埋設し、使用金型に位置決めプレートを設けることによって、ワンタッチで位置決めを完了する一発嵌合方式とした。当初、1回当たり段取り替え時間は平均27分要していたが、昭和57年下期には4.5分までに短縮され、大幅に低減することができた(同上書, p.262)。

トヨタの指導の下で、豊田合成(株)⁶⁾、トヨタ車体(株)⁷⁾、ダイハツ工業⁸⁾など一次サプライヤーでも段取り替え時間短縮の改善活動を行った。

4.3 トヨタの二次サプライヤーに対する段取り替え時間短縮の知識伝播

トヨタは一次サプライヤーだけでなく、二次サプライヤーにも熱心かつ厳しい段取り替え短縮の指

表7 荒川車体におけるシングル段取り替え時間の短縮

		改善内容	結果
内段取り			
1	金型上下締め付けボルトの取り外し	使用ボルトの専用化とボルト保管方法の変更	ボルト取り出し、取り付け調整時間の短縮
2	型運搬	型保管取り出し方法の改善(記名, 色分け)	プレス機側への運搬作業を外段取り化
3	金型上下取り付け	金型に取り付け用U溝を設定, 松葉ブロックの撤去	
4	ストローク調整	ダイハイト統一	ストローク調整作業の調整
5	材料の送りセンター合わせ	素材別カセット幅ゲージの設置	材料送りセンター合わせ調整作業排除
6	プレスコイル材給油調整	給油コックを3段階(多量, 中量, 少量) 給油方法に改善し, 油量の微調整作業を容易にした	給油調整作業時間短縮
7	シュートセット	分割式によるワンタッチ化	取り付け時間短縮
8	エアホース取り付け	エアホースの集合化	取り付け時間短縮
外段取り			
1	コイル運搬	コイル保管取り出し方法の改善(記名, 色分け)	保管のための取り置きコイル選択時間短縮
2	コイル処理	使用済みコイルの端末処理にスピードバイス使用	コイル処理時間短縮
3	アンコイラーセット	回転式コイル仮置台を設け, アンコイラーの手元に置き, コイル交換運搬作業の廃止	コイル処理時間短縮 コイル置場からアンコイラーまでのコイル運搬内段取り廃止
4	コイルレベラーにセット	レベラー板厚調整ハンドルダブルをチェーン連結によるシングル化	レベラー板厚調整時間短縮
5	スクラップ処理	リフト呼出しランプ取付け	運搬待ち時間解消

出所) 新郷重夫 (1983) 『シングル段取りへの原点的志向』, 日本能率協会, p.257より抜粋。

導を行った。例えば、東海理化電機製作所は、昭和23年8月に創立された自動車用スイッチ、ロックキー、シートベルトを生産する企業である。東海理化電機製作所は昭和35年VA、VE(Value Engineering)を取り込んだ。昭和36年の東海協豊会の研究会にも参加した。部品検討会で重点車種の指定から外れ、指導を受けた。東海理化電機製作所は総合価値向上委員会を新設し、その下部組織としてVA分科会を置いて、全社あげてVAに取り組む体制を整えた。改善の成果として、従来45分掛かっていたプラスチック成型の金型段取り替え時間が、2分台まで改良された(日刊工業新聞社, 1980, pp.143-146)。また、東海電線でもトヨタからの指導によって仕掛品の削減、生産期間の短縮、工程間の連絡の簡素化などに多いに役立っている。無駄な在庫電線が延べ310万メートルがあると判明した。ジェコーの成果(導入前=100)を見ると、在庫金額は24.5%、生産性217%、損傷24%となっている(同上, p.154)。

さらに、石田製作所の板金工場が行った段取り改善を例にすると、表8に示すように、生産性が2倍になったことが分かる(関根, 1987, p.207)。まず、従来448個あった仕掛数が3個まで激減している。また、1ロット数が224個だったのが14個まで削減されて、小ロット生産が実現された。段取り替え時間も30分から10分へと従来の3分の1にまで削減された。そして、小ロット生産によって、工程内不良率は5%から0.2%にまで減少した。必要人員も5名から3名に削減できた。その結果、1日あたりの出来高は305個から従来の1.6倍である494個まで増加した。一人当たりの生産高も、1日61個であったのが従来の2.7倍である165個まで増した。

4.4 一次サプライヤーの二次サプライヤーに対する段取り替え時間短縮の知識伝播

一次サプライヤーは、トヨタの指導から学んだ知識を二次サプライヤーにも伝えた。上で述べた荒川車体は、自社がトヨタから学んできたトヨタ生産方式の知識を協力工場に教えた。荒川車体の購買部内に購買管理室があり、おもに協力工場の日常における管理・生産の技術的指導を行っている。そして、協力工場育成指導のニーズに基づき、ソフト面の指導は主に管理室が行い、ハード面については生産改善室の実践指導の両面の形を取り、生産性向上に努めた。さらには協力工場グループの協栄会では、プレス板金部会(20社)、内装部品部会(10社)が結成されている。また、部会ごとで5~6社にグループ化され、各会社持ち回りによる生産性向上活動を月1回実施し、技術レベルの向上に努めている。この会合には、荒川車体の購買管理室・生産改善室のメンバーも参加し、実践的な改善指導を積極的に行っている。その成果として段取り替え時間を44.1分から4.7分まで短縮した。その中で、金型の取り外し作業はもともと12.4分かかったが、改善してから僅か0.5分になり、最も時間を節約した。改善前、型を取り外すためにまず締め付け具、エアーホースを取り外してラムをあげて金型を取り出してリフトに載せる。改善後、締め付け具、エアーホースを取り外して金型を取り出してリフトにのせていい。従来の高さ調整スペーサーボルトからTスロットを利用した締め付け具を製作して作

表8 石田製作所の板金ラインでの段取り替え時間の短縮

項目	改善前	改善後	効果
仕掛数	448個	3個	2/149
1ロット数	224個	14個	1/16
リードタイム	6日	15分	1/576
段取り替え時間	30分	10分	1/3
工程内不良率	5%	0.2%	1/25
人員	5名	3名	2名
出来高/日	305個	494個	1.6倍
生産高/人, 日	61個	165個	2.7倍
移動距離	17.4m	4.0m	1/4
専有スペース	75.8m ²	40m ²	約1/2

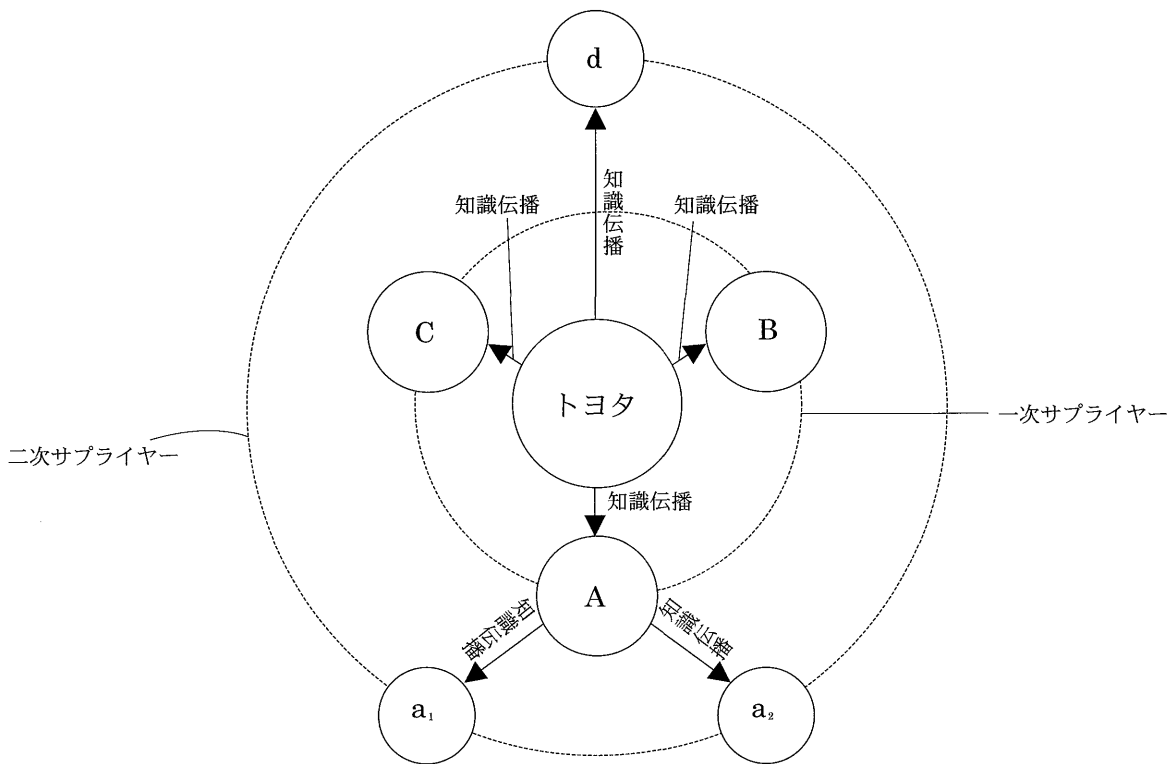
出所) 関根憲一(1987)『ゼロ段取り改善手順』, 日刊工業新聞社, p.207により加筆作成。

業を簡易化したからである。この方法は荒川車体のプレス機の段取り替え短縮の改善活動にも使われた（新郷，1983，pp.262-269）。

5. 終わりに

本稿はトヨタグループにおける段取り替え時間短縮の改善活動について考察した。繰り返しであるが、トヨタ生産方式の最も重要な考え方は必要なもの、必要な時、必要な量だけ引き取るという考え方である。サプライヤーにとって、何が、何時、どれくらいの量が要求されるかが分からない。したがって、トヨタに対応できるように、サプライヤーが本来の生産方式を改善しなければならない。トヨタは自社のプレス機の段取り替え時間の短縮から得られた知識を暗黙知から形式知にした。その知識とは、内段取りと外段取りを識別し、分離させて、できるだけ内段取りを外段取りに転換させ、内段取りの時間を短縮するという技法である。図4はトヨタグループにおける知識の共有による段取り替え時間短縮の概念図である。トヨタはその知識を一次サプライヤー（A，B，C：任意の一次サプライヤー）および二次サプライヤー（d：任意の二次サプライヤー）に伝授する。一次サプライヤー（A）はトヨタから学んできた知識を自社のサプライヤー（ a_1 ， a_2 ：Aのサプライヤー）に教える。そうすると、段取り替え時間の短縮という知識はトヨタだけでなく、一次サプライヤー、二次サプライヤー

図4 トヨタグループにおける知識の共有による段取り替え時間短縮の概念図



までに広がっていた。つまり、グループのメンバーがその知識を共有して段取り替え時間の短縮を実現した。トヨタが段取り替え時間の短縮によって、ロット・サイズを縮小でき、小ロット生産が可能になった。それを通じ、各種製品の生産リードタイムを短縮でき、会社としては顧客の注文や需要の変動に迅速に適応できる。自動車のタイプと納期が変化しても、素早く対応できる。その意味で、製品及び中間製品の在庫を減らすことができる。トヨタの強さの真髓について、藤本(2004, p.84)は三層の組織能力にあると論じている。つまり、第一にトヨタ生産方式に代表される生産・開発現場の「統合能力」、第二に生産性や品質を継続的に向上させる「改善能力」、そして第三はそうした組織能力そのものを長期にわたって進化させる学習能力、すなわち「進化能力」である。日本の自動車メーカーは部品の外製率が高いので、サプライヤーは自動車メーカーの生産ラインの延長上にあると見ればいい。本稿の考察を通じ、トヨタは知識の共有によって信頼関係を維持しながら、サプライヤーをトヨタとともに改善させる能力もトヨタの強みの一つであるといえるだろう。また、はじめに書いたように、1984年頃から日産は生産の平準化が難しいという理由で「かんぱん方式」に相当するAPM(Action Plate Method)の実施を中止した(門田, 1991, p.530)。その中止の理由及び深層の分析を今後の課題とする。

注

- 1) リーン生産方式：MITの国際自動車研究プログラム(IMVP)の報告書では、日本の生産方式をリーン生産方式(Lean Production)と名付けた。リーンと言葉は、一般には「やせた」とか「不毛な」という意味だが、自動車の場合には「燃料を食わない」「低燃費の」という意味で用いられる(Piore and Sabel, 1984, p.380)。
- 2) AMP：生産システムに内在するムリ・ムダ・ムラを徹底的に排除し、人・物・設備のもっとも有効な活用を図ることによって、生産性向上、在庫削減、不良減少、及び管理水準向上を達成するものである(日産自動車社史, 1985, p.104)。
- 3) 昔、江戸時代に田畑の収穫力からみて、上、中、下、下下の4段階に分け、それぞれ1反あたり何升何合何分何厘という税金を取っていた。税率は、上の反の方が優遇された。庶民は有利な上の反を反取りしたいという発表から反替えを申し出るのである。反当たり税は一度には支払えないから前もって支払金額、時期、順序、方法を工夫して、準備すると税務所はおふれを出したのである。「この考えのための準備」がなまって反取り税となり、反取り税がさらになまって段取りになったのである(関根, 1982, p.11)。
- 4) SMED：Single Minute Exchange of Die(シングル段取り)、1桁(つまり10分未満)へ段取り替えを完成するために分の数短縮する考えからその名前をとる。
- 5) ロット・サイズ：周期的に作る生産量。
- 6) 新郷(1983, pp.185-204)を参照されたい。
- 7) 同上(pp.237-243)を参照されたい。
- 8) 門田(1991, pp.235-250)を参照されたい。

参考文献

- Daniel Roos, James P.Womack and Daniel Jones (1990) *The Machine That Changed the World*, Macmillian Publishing Company (沢田博訳(1990)『リーン生産方式が、世界の自動車産業をこう変える。——最強の日本車メーカーを欧米が追い越す日——』, 経済界)。
- 藤本隆宏(2001)『生産マネジメント入門』, 日本経済新聞社。
- 藤本隆宏(2004)『日本のもの造り哲学』, 日本経済新聞社。
- 門田安弘(1991)『新トヨタシステム』, 講談社。

- 川上義明(2000)『生産システムの国際移転——ジャパンイゼーション論とイースターナイゼーション論の検討』, 税理経
理協会。
- 岸田尚友(1988)「最近の技術変化と職務内容・職場組織——日本の自動車産業の場合」ベルリン科学センター雇用職業
総合研究所『技術革新と労働の新時代——日本モデルと西ドイツの選択』, 第一書林。
- Leschke, John P and Weiss (1997) “The Multi-Item Setup-Reduction Investment-Allocation Problem with Continu-
ous Investment-Cost Functions.” *Management Science*, vol.43. No6, pp.890-894.
- 日刊工業新聞社編(1980)『トヨタを支える企業群』, 日刊工業新聞社。
- 日産自動車株式会社(1985)『日産自動車社史1974~1983』。
- 大野耐一(1978)『トヨタ生産方式』, ダイアモンド社。
- Oliver, N. and Wilkinson, B. (1992) *The Japanization of British Industry*, Blackwell Publishers (2nd ed).
- Piore, Michael J. and Sabel, Charles F. (1984) *The second industrial divide : possibilities for prosperity*, New York:
Basic Books (山之内靖他訳(1993)『第二の産業分水嶺』, 筑摩書房)。
- 佐武弘彰(1998)『トヨタ生産方式の生成・発展・変容』, 東洋経済新報社。
- 関根憲一(1982)『ゼロ段取りの技術』, 日刊工業新聞社。
- 関根憲一(1987)『ゼロ段取り改善手順』, 日刊工業新聞社。
- Schonberger, R.D. (1982) *Japanese Manufacturing Techniques*, The Free Press, New York.
- 下川浩一・藤本隆宏(2001)『トヨタシステムの原点』, 文真堂。
- 新郷重夫(1980)『トヨタ生産方式のIE的考察』, 日刊工業新聞社。
- 新郷重夫(1983)『シングル段取りへの原点的志向：段取り時間の革命』, 日本能率協会。
- 新郷重夫(1987)『ノン・ストック生産方式への展開——トヨタ生産システムの真の意義』, 日本能率協会。
- 鈴木良始(1994)『日本的生産システムと企業社会』, 北海道大学図書刊行会。
- トヨタ自動車株式会社(1967)『トヨタ自動車30年史』。