

半導体加工における TPS の概念を用いたシミュレーション分析

市 川 英 孝

多くの製造業にとって、TPS の概念は改善活動を実行する上で非常に効果がある。しかし、必ずしも全ての企業は TPS の概念を有効に活用できていない。そこで本論文では、TPS の概念について説明を行い、製造現場の競争力を高めるプロセスにおける、TPS の概念の根底にある“ムダ取り”の重要性を示す。そして、その“ムダ取り”を有効に活用することで、TPS の導入が困難であるといわれる半導体などの、市場の変化が激しく、正確な受注予測を立てることが困難である産業分野においても作業効率を改善することが可能であり、TPS の概念が有効に活用できることを明示する。またその改善内容について、シミュレーションを使用することで視覚化し、改善活動を行ううえで、シミュレーションを利用することの重要性についても検討を行う。

The Simulation Analysis of Semiconductor Manufacturing with TPS

Kagoshima University Hidetaka ICHIKAWA

Abstract : Toyota Production System(TPS) is a widely accepted production system. It is very effective to put kaizen activities into execution using TPS. This paper explains TPS, and reveals the importance that the elimination of waste at the root of TPS increases competitiveness in the manufacturing floor. The effective utilization of the elimination of waste makes an improvement the operating efficiency in the industry which don't have a long-period informal notice and can't keep abreast of changes in the market easily. Using simulation visualizes the detail of this kaizen. And we consider its importance that implement the kaizen activities.

Keywords : TPS, Simulation, Kaizen, Waste, Productivity Increase

1. はじめに

TPS の概念は、多くの企業が改善活動を実施するうえで、非常に有効な手段である。TPS の概念の中心にあるのは、“ジャスト・イン・タイム”と“自動化”だといわれる (Liker 2003)。“ジャスト・イン・タイム”は「必要なものを、

必要なだけ、必要なときに供給するためのシステム」であり、・継続的な流れ ・プルシステム ・すばやい段取替え ・統合された物流 によって可能になるとされる。そして“自動化”は、「不良品を後工程に流さない」仕組みであり、・自動停止 ・アンドン ・人と機械の分離 ・間違い防止 ・停止することによる品質

管理・真因追求と、問題の視覚化によって可能になる。これらの根本にあるものは“ムダ取り”だと考える。材料から作業にいたるまで、すべてにおいてムダを排除することで、“高品質”，“低コスト”，“短いリードタイム”を可能にする (Womack et al. 1991；Womack and Jones 1996)。TPSの根本にある“ムダ”には、1. つくり過ぎのムダ 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. 不良をつくるムダ の7つがムダとして区分される。

また TPS を遂行するためには、企業レベルにおいて整合性を図り、成果を上げることが重要となる。なぜなら整合性をもつ企業は、ライバルが簡単には追いつけない競争優位を持つことができるからである (Clark and Fujimoto 1990)。TPS を利用した企業の競争力を高めるプロセスは、ムダを取除く⇒生産効率が上昇する⇒企業の競争力が上がる、この繰り返しである。多くの企業がグローバルな競争を勝ち抜くために、TPS やリーン・シンキング、日本的人的資源管理を利用している (Hamel and Prahaland 1989) が、必ずしも十分な成果を挙げているとはいえない。日本の企業でも TPS を活用できていない企業は多く存在する。この理由としては、TPS の起源が自動車産業にあるため、内示の精度が極端に低い、もしくは計画生産を実施できない産業 (代表的なものには半導体産業) には不向きであるため (小嶋 1994)、生産工程において人的資源を必要としないような装置産業では TPS の概念は適応が困難であるため、などが挙げられる。しかし、TPS の根本的概念は“ムダ取り”である。この概念に関しては、どのような製品を製造しようが、どのような生産プロセスにおいても適応可能と考え

る。

これまでの研究では、秋野 (1997) などのように TPS の導入後を導入前と比較する事例研究がほとんどである。そしてその対象は組立産業である。本研究では、これまでの TPS 導入が困難とされ、取上げられてこなかった半導体産業を例に、TPS の概念を用いた、生産性向上の提案を行う。そして半導体産業においても TPS の概念の活用は可能であることを、シミュレーションの分析を通して証明する。また、Standridge and Marvel (2006) の研究においても、TPS を分析するためにシミュレーションを使用する重要性を示しており、シミュレーションによって TPS を活用することの重要性を提示する。

2. 現行モデルのシミュレーション

2.1 現行モデルの分析

本研究における対象となるモデルは、半導体加工である。客先から納入された半製品は、7種類の機械を経て客先へ出荷される。また、各機械における Worker の作業役割は次のようになる。Worker は、Machine に製品をセットし (前半作業)、機械を稼働させ加工を行う。その間 Worker は手待ちの状態になる。Machine の加工が終了すると、Machine から加工済み製品が自動的に Machin 備え付けのコンベヤ上に並び、その製品を Worker が取り出し次工程へ運ぶ (後半作業)。全体の製品の流れを理解するために、工場レイアウトを示す (図 1)。製品は、MachineA→MachineB→MachineC→MachineD→MachineE→MachineBB→MachineF の順で加工される。図 1 から明らかなように、前後工程の機械間隔が離れている。因みに MachineB と

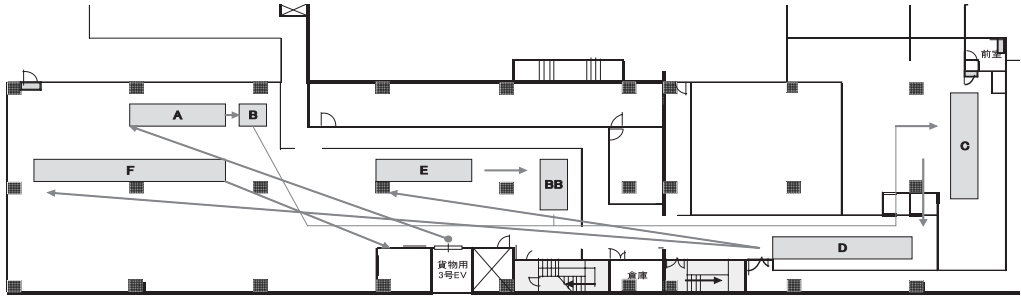


図1 現行工場レイアウト

MachineC の距離は約60mあり (Machine 間の移動距離を表1に示す), 運搬のムダである。本工程は liner なので, 各 Machine を隣接させることで, 運搬のムダを排除することが可能である。このように一連の作業をひとつの流れと理解することで, 作業改善を実行する (Isa and Tsuru 2002)。

また, 前後工程が隣接することで, 各工程が

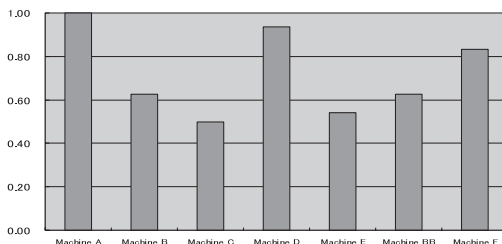


図2 1ロットにかかる作業時間の比率¹⁾(Machine A の生産量を1.00としたときの各 Machine の生産量)

表1 Machine 間の移動距離

	移動距離(m)
Machine A → Machine B	1
Machine B → Machine C	60
Machine C → Machine D	36
Machine D → Machine E	40
Machine E → Machine BB	15
Machine BB → Machine F	40
Machine F → エレベータ	26

前後の工程の状況を観察することができ, それにより工程間のコミュニケーションも増加し, 作業効率の向上が可能と考える (Xie et al. 2003 ; Leenders and Wierenga 2002 ; Sethi and Nicholson 2001)。

また各工程間の作業時間のばらつきは, Output を低下させる要因である。図2は本工程における各 Machine の1ロットにかかる作業時間のデータである。例えば Machine A の作業時間は, Machine C の倍の時間を要している。この図から, Machine A, D はボトルネック工程であることが分かる。

2.2 現行モデルのシミュレーション分析

実際の作業に基づき, 各機械の加工時間, 作業者の段取時間, そして運搬の時間からモデルを作成する²⁾ (加工時間, 段取時間, 運搬時間の各条件は表2に示す)。本モデルでは入荷す

表2 本モデルでのシミュレーション条件

	段取時間(分)	加工時間(秒)	次工程への移動時間(分)
Machine A	tria(0.5, 1.0, 1.5)	40	tria(0.8, 1.0, 1.2)
Machine B	tria(0.5, 0.75, 1.0)	25	tria(4.8, 6.0, 7.2)
Machine C	tria(0.5, 0.75, 1.0)	20	tria(2.4, 3.0, 3.6)
Machine D	tria(0.25, 0.5, 1.0)	28	tria(3.2, 4.0, 4.8)
Machine E	tria(0.5, 1.0, 1.5)	22	tria(1.6, 2.0, 2.4)
Machine BB	tria(0.25, 0.5, 1.0)	25	tria(3.2, 4.0, 4.8)
Machine F	tria(0.5, 0.75, 1.0)	33	tria(1.6, 2.0, 2.4)

表3 現行の Total Output 数と各 Worker の Utilization³⁾

Output数	218.2(個)
Worker A	87%
Worker B	98%
Worker C	98%
Worker D	74%
Worker E	68%
Worker BB	48%
Worker F	51%

る製品の供給量を、対象工場の100%の処理能力を満たす数量とする。また、加工処理1ロットは36枚である。

対象工場の稼働時間が22時間であるので、同様に本モデルでも一日の稼働を22時間とする。また、統計的数値を得るために、10回の反復実行を行う。

このシミュレーションで得られた結果は以下の通りである(表3)。図3では表3の、各 Worker の Utilization の割合を図示する。

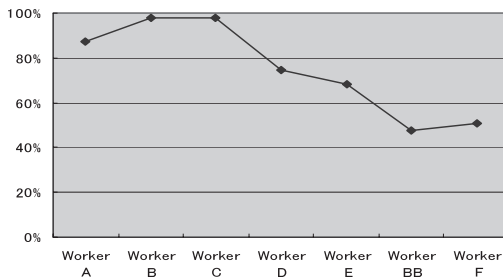


図3 現行 Worker Utilization

3. 改善案のシミュレーション

3.1 3つの改善案

工場レイアウトより運搬のムダと、Worker の Utilization を高めるために、手待ちのムダを排除するモデルを提案する。

Senario1: 現行の作業方法で、機械を隣接さ

せ、製品の運搬には1分[運搬のムダ排除]

Senario2: 各 Worker が手待ちの間には、前後工程を助ける⁴⁾(助ける範囲は、その Worker に対する前工程の後半作業、後工程の前半作業を担当する)[手待ちのムダ排除]

Senario3: Senario1 + Senario2

3つの Senario を実行し、得られた統計数値を、現行のモデルの数値と比較する。もちろん各 Worker, Machine で使用されるパラメータは同じものを使用する。

3.2 改善案の実行

現行モデルを基に、3つの改善案のモデルを作成し、2.2で行った現行モデルのシミュレーションと同様に、一日22時間、10回の反復実行を行う。そしてシミュレーションにより得られた一日の平均 Output 数と Worker Utilization の数値を表4～6、Worker Utilization のグラフを

表4, 5, 6 各 Senario の Total Output 数と各 Worker Utilization

Senario1		Senario2		Senario3	
Output数	259.2(個)	Output数	292.1(個)	Output数	569.6(個)
Worker A	85%	Worker A	100%	Worker A	97%
Worker B	85%	Worker B	85%	Worker B	99%
Worker C	97%	Worker C	100%	Worker C	100%
Worker D	73%	Worker D	95%	Worker D	99%
Worker E	67%	Worker E	90%	Worker E	98%
Worker BB	45%	Worker BB	39%	Worker BB	83%
Worker F	19%	Worker F	68%	Worker F	96%

図4に示す。また、図5では現行モデルと3つの Senario の Total Output 数を比較する。

また、Worker Utilization の上昇と関連し、生産性の増加が可能となった現象を示すものとして、Output の産出間隔が挙げられる。表7に

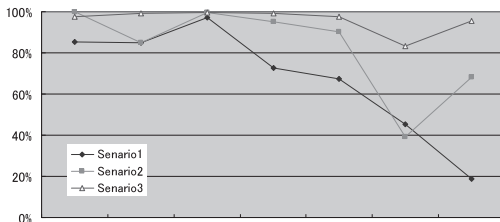


図 4 各 Senario の Worker Utilization

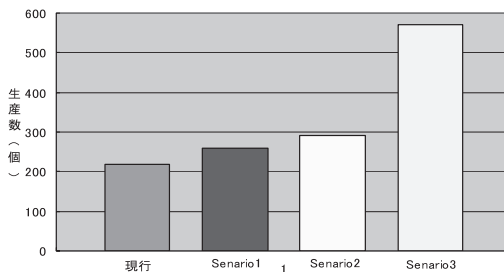


図 5 Total Number Out

表 7 Output の産出間隔(秒)とその現行モデルに対する比率

モデル	産出間隔(秒)	現行モデルに対する減少率
現行	235.68	
Senario 1	204.48	13%
Senario 2	209.07	11%
Senario 3	123.36	48%

その結果ならびに現行モデルに対する産出間隔の減少率を示す。

産出間隔が短縮することによって以下の 2 点がいえる。

- ① 産出間隔の短縮は、生産量の増加を可能にする。
- ② 産出間隔の短縮は、作業性の上昇を可能にする。

3.3 改善案の検討、分析

機械を隣接させ、距離を縮めることで運搬のムダを取除いた改善案 Senario1 と現行モデルを比較すると、Output 数も各 Worker Utilization

においても、若干の数値の上昇が見られる。半製品の移動距離を短縮することにおいて、生産性の上昇は実現できる。次に、各 Worker が手待ちの間にそれぞれ前後の工程を応援する場合の Senario 2 では、Senario 1 同様 Output 数が上昇し、さらに図 4 を比較すると、各 Worker Utilization の割合が増加し、Senario1 よりもさらに改善の結果が現れているといえる。さらに Senario 3 では、Output 数が大幅に増加し、Worker Utilization はほとんどにおいて 100% に近い値を記録し、作業効率の上昇が見られる。そして表 5 でも示している通り、改善活動を行うことによって、完成品の産出間隔も短縮された。この数値と Output 数は必ずしも比例していないが、産出間隔の短縮と Output 数の増加には相関が認められる。よって産出間隔の短縮は作業効率を高め、生産数を増加させる要因であると理解する。表 8 では現行モデルを 100 とした、増加率を図示する。

以上の結果より、TPS の概念が効率化を達成したといえる。これまで TPS の導入が難しいといわれていた企業においても、TPS の概念を用いた改善活動は可能であると証明できる。

表 8 現行モデルの Output 数に対する、各 Senario Output 数の増加率

Senario 1	119%
Senario 2	134%
Senario 3	261%

3.4 作業内容解析

これまでのデータと改善モデルのシミュレーションの実行により、ムダを取除くことで大きな生産性の上昇が可能になることを明らかにした。そこで実際の作業にどのような変化が起こり、大幅な生産性向上の効果がもたらされたの

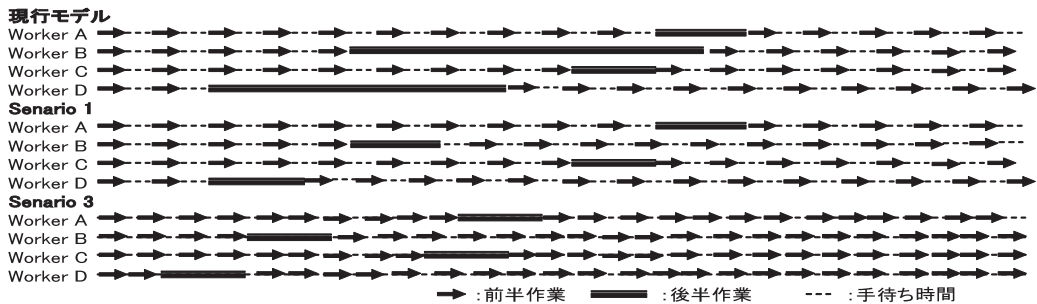


図6 現行モデル，Senario 1, 3 における作業推移

かを明示する。

そのため図6では本モデルの作業（正味作業時間である前半作業と、運搬を含めた後半作業、手待ち時間）が、現行モデル，Senario 1, 3 においてどのように推移していくかを示す。

現行モデルでは、前半作業と手待ち時間が一定で交互に推移し、36ヶ製品の加工が終了すると、後半作業を行う。このサイクルは変わることはない。そのため、各 Worker は大きく作業改善を行う余地はないと考える。Senario 1 では Machine を隣接させ、移動距離を縮めたことで、付加価値を生まない時間を削除できた。その分生産性が上昇すると理解できる。しかし、現行モデルと同様、前半作業と手待ち時間が交互に一定の時間で推移するために、削減された運搬時間が正味作業時間に移行し、作業性の上昇が可能になったと理解できる。さらに Senario 3 では各 Worker が前後工程の作業を手伝うようにした。その結果、現行モデルや Senario 1 と比較すると、手待ち時間の削減が行われ、後半の作業までのサイクルが短縮する。

前後工程を手伝わせることにより、Senario 3 の場合では Machine が稼動している間の手待ち時間を、正味作業時間に移行させた。これにより、全作業時間における、付加価値を生む正味作業時間の比率を高めることが可能になった。

その結果、表4にも示しているように、現行モデルならびに他の改善案と比較しても高い生産性を可能にした、と理解する⁵⁾。

以上より、ムダを省くことで、全作業時間における正味作業時間の比率を高めることができ、それによりスループットタイムは短縮し、高い生産性を実現したといえる。この結果は、セル生産による生産性上昇と同じ仕組みであり、セル生産における工程内のムダを排除するという基本概念が、生産性の上昇を可能にするプロセスと同様であるといえる（市川 2007）。

これらのことから、セル生産，ライン生産という生産方式の違いではなく、工程内のムダを排除するという目的での作業改善が、生産性向上を実現すると考える。

4. おわりに

現行モデルと改善案3つの比較・検討・分析により、従来 TPS の概念を導入することが難しいとされていた半導体加工業においても、その概念を活用することで、大きな生産性の向上がもたらされることが明らかになった。作業においては多くのムダが存在する。それを一つ一つ取除くことで、地道ながらも改善は継続されていく。

TPS における“ムダ取り”では、ムダの種類を体系化することで、改善を行う際の有意義な概念とした。この概念に照らしあわせることで、“ムダ取り”が容易になる。そして、これを実現できる企業こそ、激しい競争に勝ち抜く方法が得られる。TPS の概念を導入するために、シミュレーションを実行し、その結果得られる効果として以下の4点を列挙する。

1. 現行モデルを評価する際に、数値を分析することで問題点を浮き彫りにできる。
2. 実際にプロセス・イノベーションを実行する前に、多くの改善案を評価することができる。
3. 改善案を試すことで、その効果の“見える化”を実現し、企業がそれを採用しようというモチベーションが得られる。
4. TPS でいわれる、7つのムダをひとつ改善するよりも、複数で“ムダ取り”を行う方がより高い改善結果が見られる。

シミュレーションの効果として、可視化を容易にすることを述べてきたが、この点に関しては TPS における“見える化”であり、このことからシミュレーションを使用することの優位点が理解される。

注

- (1) 1ロット(36枚)の製品にかかる Machine A の作業時間を1としたときの各 Machine の割合。
- (2) 本研究は Arena シミュレーション言語を用いた。
- (3) これらのデータは、Arena を実行した上でもたらされる output である。
- (4) Senario2 に関しては、現行モデルのレイア

ウトから実際の作業を通した移動距離の制約を勘案し、助け合うことのできる Worker は、それぞれ $\{A \cdot B \cdot F\}$, $\{C \cdot D\}$, $\{E \cdot BB\}$ の三つに分ける

- (5) ムダに関する分析は、必ずしも TPS に由来するものではなく、IE の分野において古くから研究が行われている(藤田 1973)。しかし TPS では、ムダを体系的に捉え、実践的な手法として確立しているため、本論文においても、分析手法として用いる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、機会を与えていただいた株式会社野田スクリーンの小縣英明社長と、里京一郎課長ならびに同社の皆様に深甚なる謝意を表する。なお本文中の応用例の数値は、実測に基づいて作成した説明のためのものであることを付記する。

参考文献

- [1] 秋野晶二(1996a) “日本企業の国際化と生産システムの変容”, 立教経済学研究, 第50巻, 第1号, pp.51-65
- [2] Charles R. Standridge and Jon H. Marvel: “WHY LEAN NEEDS SIMULATION” In *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, pp.1907-1913. (2006)
- [3] 藤田彰久: 『IE の基礎』 好学社刊 (1973)
- [4] Gary Hamel and C. K. Prahaland: “Strategic Intent”, *Harvard Business Review*, pp.63-76 May-June, (1989)
- [5] 市川英孝: “セル生産における生産性向上をもたらす作業区分の研究”, 日本経営システム, pp57-62, Vol.23, No.2,
- [6] James P. Womack and Daniel T. Jones and Daniel Roos: “THE MACHINE THAT CHANGED THE WORLD” *Harper Perennial* (1991)
- [7] James P. Womack and Daniel T. Jones: 「LEAN THINKING: Banish Waste and Create Wealth in Your

- Corporation (Lean Enterprise Institute)」 *Simon & Schuster* (1996)
- [8]Jeffrey K. Liker : 「The Toyota Way」 *McGraw-Hill* (2003)
- [9]Jinhong Xie, Michael Song and Anne Stringfellow : “Antecedents and Consequences of Goal Incongruity on New Product Development in Five Countries: A Marketing View”, *Journal of Product Innovation Management*, pp.233-250 20(3), (2003)
- [10]Katsuhide Isa and Tsuyoshi Tsuru : “Cell Production and Workplace Innovation in Japan: Toward a New Model for Japanese Manufacturing?”, *Industrial Relations*, pp.548-578, Vol41, 2002
- [11]Kim B. Clark and Takahiro Fujimoto : “The Power of Product Integrity”], *Harvard Business Review*, November-December (1990)
- [12]小嶋健史 : 『超リーマン革命』 日本経済新聞社刊 (1994)
- [13]Mark A.A.M. Leenders and Berend Wierenga “The effectiveness of different mechanisms for integrating marketing and R & D”, *Journal of Product Innovation Management*, pp.305-317, 19(4), (2002)
- [14]Rajesh Sethi and Carolyn Y. Nicholson : “Structural and contextual correlates of charged behavior in product development teams”, *Journal of Product Innovation Management*, pp.154-168, 18(3) (2001)