

97-J-1

トヨタ自動車におけるボデー・バッファー管理の変遷
— 日野自動車補会長口述記録 —

東京大学大学院経済学研究科

藤本隆宏

松尾隆

1997年1月

このディスカッション・ペーパーは、内部での討論に資するための未定稿の段階にある論文草稿である。著者の承諾なしに引用・複写することは差し控えられる。

Abstract

"A History of Body Buffer Management at Toyota - Interview with Mr. Kaneyoshi Kusunoki, Chairman of Hino Motors, Ltd. -"

Takahiro Fujimoto
Takashi Matsuo
University of Tokyo

This note is based on an interview with Mr. Kaneyoshi Kusunoki, who worked closely with Mr. Taiichi Ohno, the creator of so-called Toyota Production System. An interview with him was conducted on April 17, 1996 by the authors. First, there was a brief interview on Mr. Kusunoki's involvement in the evolution of Toyota Production System.

The interview then focused on how body buffer management between Toyota's assembly, paint, body and press shops changed over time. For example, it was revealed that the main functions of painted body storage (PBS) between assembly and paint shops changed as the company automated upstream processes (e.g., welding) in the 1960s and then expanded exports in the 1970s. It is obvious from this interview that Toyota did have certain minimum levels of buffers between its production processes, and that the function of the buffers changed as the situations and the firm's capabilities changed historically.

東京大学経済学部

藤本隆宏

松尾隆

はじめに

本稿は、1996年4月17日、日野自動車工業で行われた、同社楠兼敬（くすのき・かねよし）会長へのインタビューの内容を出来るだけ正確に再現したものである。楠氏は、トヨタ自動車顧問・元副社長でもあり、トヨタ自動車の生産技術・製造技術・生産管理部門の中心的存在であったとともに、トヨタ生産方式の創始者と言われる大野耐一氏から直接指導を受けた経験をもつ人物として知られている。今回、筆者は同氏の御厚意により、直接にインタビューの機会を得た。

今回のインタビューのテーマは、トヨタ自動車における、ボデー・バッファ管理の変遷についてである。このような比較的狭いテーマに限定したのは、限られた時間の中で一貫した生産システムのロジックについての口述記録を得るためには思いきったテーマの絞り込みが必要だったこと、ボデー・バッファを何故持つかというロジックを聞くことによってその企業の生産経営に関する構想が浮き彫りになるという筆者なりの予想があったこと、またボデー・バッファについての分析が従来のトヨタ生産方式関連の文献や正式の社史などにおいてあまり取り上げられてこなかったこと、などによる。結果的には、楠氏から非常に体系的な話を伺うことが出来たこともあり、このようなテーマの絞り込みは

成功だったと考える。ただし、このテーマに立ち入る前提として、本稿では、楠氏の経歴と、大野氏およびトヨタ生産方式との関係についてまず聞いている。その上で、主にボデー・バッファース在庫に関する具体的な内容をお聞きした。

記録の方法としては、特にテープレコーダーなどで逐語的に口述筆記することはせず、筆者のノートをもとに口述記録を作り、楠氏御本人の修正・承認を得て本稿としてまとめた。逐語的な口述筆記としなかった理由は、本稿の目的が「生の声」を残すことではなく、むしろその背後にあるロジックの変遷を追うことであることが一つである。また、口述内容の中には、現段階ではまだ公表を控えねばならない理由のある箇所もあるため、楠氏自身による内容のチェックを御願いした次第である。しかし、今回の調査目的に照らして考える限り、こうした手続きによっても本稿の資料価値は実質的に全く変わっていないと筆者は判断する。

以上を前提に、以下、(1)～(7)まで、楠氏の口述内容を紹介する。口述内容の構成は概ね以下のとおりである：

- (1) 楠氏の経歴とトヨタ生産方式
- (2) 塗装完了ボデー（塗完）のバッファースの持ち方
- (3) 溶接完了ボデー（ボ完）のバッファースの持ち方
- (4) プレス（パネル）在庫の持ち方
- (5) 組立ラインサイドの在庫について
- (6) まとめ

(1) 楠氏の経歴とトヨタ生産方式

トヨタ生産方式は、実践が先にあるのが特徴である。そもそも大野耐一氏（トヨタ生産方式の創始者）は理屈が大嫌いで、現場本位の人であった。トヨタ方式自体も、生産管理の学問として新味があるわけではなく、基本的にはテイラリズムである。それを、実践の試行錯誤の中で改善し、一つのシステムとして築き上げてきたのである。

いわゆる「スーパーマーケット方式」が始まったのは、今から40年くらい前のことであるが（トヨタ自動車の社史を見よ）、楠氏は入社以来20年間、生産技術開発（生技開発）部門に所属しており、その当時も生技開発にいた。生産技術に関しては、当時は戦後アメリカに没収されていた「PBレポート」が、軍需部門から民間部門に広まってきていた時期である。これは、昭和30年代半ばに日本に広がり、新生産技術の導入をもたらした。しかし、単なる導入ではなく、日本的なものを加味する工夫をした。例えば、最初のトランスファーマシンは昭和20年代末から30年代初めに導入したのであるが、当時は生産量が少ないため、構成も簡単なもので、台数もわずかで、主力はもっと簡単な自動機から始めることにした。

昭和30年発売の初代クラウンは、それまで三菱重工と関東自動車に委託していた乗用車ボデーを自社開発生産にしたので、そこで苦労した。当時、乗用車のボデーやプレスに関する技術がトヨタにはなかったのである。ボデーの研究を通じて、プレス型などの技術が身に付いた。楠氏もその時、「ボデーの勉強をせい」との指示を受け、プレス型の造型技術を勉強し、倣い型彫り方式の新工場をつくった。さらに冷間鍛造ダイキャスト、樹脂成形などをつづいて勉強している。

昭和35～6年に、トヨタで初めての本格的なプレスラインを元町工場に入れた。輸銀の融資を受けてのことだが、プレス型込みでアメリカより2ライン（ダンリーとクリアリング各1）しか買えなかった。このラインでいろいろ技術的に勉強したが、トヨタは多種少量を生産するため、型の段取り変えの画期的短縮（120分→10分以下）に挑戦し

た。

楠氏の入社時（1946年）は、トラックを月産1000台（月に25日操業として日産40台）生産するのが目標であったが、それすらも現実には達成できないような状況だった。当時、月産1万台まで行けば、自動車メーカーとして生き残れると考えていたが、それが達成できたのはようやく1960年のことである。

それ以降は、生産規模がどんどん大きくなり、量産技術が中心になっていった。例えば、本格的トランスファーマシンの増加、切削加工からチップレスマシニング、鋼板のトランスファープレス、アルミ・ダイキャストへの切り替えなどが進んだ。

楠氏は、生産技術者として入社以来20年くらいやってきた後に、昭和47年（1972年）に48歳で役員になった。1970年12月、マスキー法（米国の排出ガス規制）ができ、日本もこれになった。生産技術部門としても新しい対応が必要になった。例えば、触媒などを生産しなければならなくなるからである。そこで、「特殊部品製造企画室」を3年間の時限的な部署としてつくり、楠氏が室長となった。ちなみに、このときの副室長は、大西利美氏（現トヨタ自動車副社長）であった。1973年頃には、実験室レベルでの対応の準備は出来てきた。しかし、排ガス規制への対応は、部品レベルのみで済むものではなく、製品トータルで考えねばならない。例えば、エンジンだけでなく、車輛全体として技術的にまとめる必要があり、製品別、工場別に生産切替えを正確に行う必要がある。

こうしたことから、楠氏は1973年夏、生産管理部も担当することになり、トヨタの工場全体を見ることになった。このときの生産統轄専務が大野耐一氏である。生産技術畑の楠氏は、生産管理、工場現場を歩いてきた大野氏とは同じ生産関係でも別系統であった。大野氏は個室をもたない主義で、従業員と同じ大部屋にいた。楠氏は、大野氏の隣に机を並べて、3年間実地にトヨタ生産方式を学ぶ機会を得たのである。大野氏は、生産ラインで新しいアイデアを試行するタイプで、そのためにラインが止まることを恐れず、説

明はあまりしないで試行錯誤をしていく。自分の意図通り担当者が動かないと叱り、やるまでそれを中止しない。楠氏は、それを横で見ていたのが非常に勉強になったという。この3年間、楠氏は、大野氏から、いわばマンツーマンで教育を受けたわけである。1974年夏よりはすべての生産技術部門も併せて担当した。排気対策も終了したので、1976年より「工場長をやれ」ということになり、楠氏は、堤工場以下田原工場まで5つの工場長と3つの工場建設をやった。1979年から、また生産管理部の担当も併せもった。

総じて、楠氏が生産技術を担当した1955年から70年代は、自動車の生産技術が華開いた時期（伸びた時期）であり、その意味で幸運であった。生産技術に関していえば、その後、技術進歩という意味では踊り場を迎えたといえよう。

ところで、大野氏は、理論式ではなく、現物を通じてトヨタ生産方式を構築してきたが、最初は、社内でも反対派の方が多かった。反対派と戦っていくには、宗教の教祖の様に思想を徹底し、「そこまでやらなくとも」というところまで実践せざるをえなかった。妥協したり、基準をゆるめたりすると、成功しない、という考えがあったようである。

大野氏が常に挑戦し、時にラインが止っても結論を得るまで実験を中止しないことには、社内でも強い反対の声があった。それでも大野氏がやれたのは、豊田英二氏と斉藤尚一氏の後ろ盾があったからといえる。それでも、英二氏が大野氏に中止する様に言ったことが2～3度あったといわれる。大野氏も英二氏のいうことは素直に聞いて中止し、再考した。

以上のように、トヨタ方式には当初は体系がなかった。楠氏がこのことに危機感を持つようになったのは、オイルショックのころ、すなわち1975年ごろである。このころから、トヨタの生産のやり方が注目を浴びるようになり、内外から「カンバン視察団」が来るようになった。外国からの視察者もふえた。しかし、これだけ有名になったにもかかわらず、それまでは事例集のようなものしかなかったので、学者からも、外国人からも理解されなかった。楠氏は、トヨタ方式が社外で理解されず、特に海外から、「カミカゼ特

攻隊」的な滅茶苦茶をトヨタが行っていると誤解されるのではないかという危惧を抱いた。そこで、世界の人に解ってもらえるようにトヨタの生産方式を体系化しようということになったのである。

この体系化作業の担当者は、生産管理部生産調査室（生産調査部の前身）で当時次長クラスだった張（東大法）、池淵（阪大）、内川（京大経）、杉森（名大経）、好川（徳島大工）の各氏で、事務屋と技術屋の混合部隊であった（彼等の上にはいたのは、当時部長だった鈴木氏と間宮氏である）。早稲田大学の村松林太郎氏と名古屋大学の小川英二氏の指導を受けて、体系化作業を行い、学会で発表することを目指した。

大野氏は、このようなデスクワークをする時間があるなら現場に行け、という考えだったので、生産管理部ではこの作業ができなかった。しかし、楠氏は生産管理部とともに、生産技術部門も担当して居り、ここは設備計画、投資計画もするので、秘密保持のため個室をもつことを認められていた。そこで生産技術側にある楠氏の個室で、村松氏らが指導し、研鑽という形で作業をすることにした。この体系化の成果は、まず第4回経営工学会で発表された。これが、トヨタが自身の生産方式を外部に公式に発表した最初である（補足資料1 = Sugimori・Kusunoki・Cho・Uchikawa 論文参照）。

このとき、 $y = [D(Tw + Tp)(1 + \alpha)] / a$ （ y = カンバン枚数、 D = 時間あたり後工程需要、 Tw = カンバンの待ち時間、 Tp = 加工時間、 a = コンテナ収容数、 α = ポリシー・バリエブル）という式でカンバン枚数を表現したが、この α がポイントであった。大野氏は、カンバン枚数とは「単に生産を維持する必要枚数ではなく、リーンな流れを最も細くするため、回転を早め1枚でも減らす努力が重要」であり、「それが現場リーダーの役目」と考えていた。したがって、 α がなくては単なる事務屋の計算式となってしまうので、大野氏はこのレポートは認めないと思われた。結果として、管理者の裁量項（ポリシー・バリエブル）として α 項をいれる、という考え方を大野氏に説明し、同氏の了解を得てレポートの学会提出が出来たのである。

第2回目の発表は、同じく経営工学会のアムステルダムでの会議だった。そこでは、村松教授の指導の下で、現在セントラル自工社長の木村氏と主査をしている寺田氏が論文をまとめ、発表した（補足資料2＝Kimura・Terada 論文参照）。

このように、トヨタ生産方式の体系化は、トヨタの生産方法が対外的に「カミカゼ特攻隊方式」との誤解を受けるのではないかという楠氏の危機意識を一つのきっかけとして行われたのである。

（2）塗装完了ボデー（塗完）のバッファの持ち方

塗完（車体塗装工程と組立工程の間に置く塗装済の車体）のバッファ在庫台数の決め方については、乗用車専門の元町工場が完成したころ（1960年前後）は、これといった方法はまだなかった。そのころはまだ、大野氏に全権委任というわけではなかった。当時は生産技術と工場建設は分かれており、大野氏と工場、生技の3者で相当やりとりがあった。ちなみに楠氏は当時、生産技術開発をしていた。

1966年に完成した高岡工場の場合、すでに塗完バッファは有った（筆者注：トヨタ自動車の社史にも、高岡組立工場は塗完バッファを持ったとの記述がある）。楠氏が大野氏と出会ったのは昭和40年代末（1970年代前半）なので、楠氏は1960年代の塗完バッファについては直接関与していないが、当時生産管理部にいた中山清孝氏（現生産調査部長）や林南八氏（現生産調査部主査）も同意見である。

トヨタにおいては、塗完バッファを持つことには二つの理由があった。第一は、ある工程で設備が故障した時に他の工程がストップしないように置く、安全在庫としてのバッファである。自動車の組立（後工程）は人海戦術で行う労働集約工程なので、機械故障によるラインストップはほとんどなく、部品欠や作業未習熟によるものである。但しラインが止まると労務費のロスが大きい。一方、上流工程（塗装、車体溶接など）は、1960年代には機械化が進んできており、設備故障によるラインストップも多く発生するよう

になった。したがって、前工程で設備故障が起きたために後工程の組立ラインが止まることを避けるために、一定のバッファー在庫が必要だったのである。このような、上流の設備故障に対する安全在庫という考え方は、本社工場や元町工場の時からあったが、昭和40年代初頭までは、塗完バッファーを持つ理由はこれだけだった。

塗完バッファーを持つ第二の理由は、塗装と組立の間でボデーを流す順序を切り替えるために塗完バッファーを使うというものである。この発想は、品種の増加と品種間の工数差（所要作業量の差）の拡大に伴って、いわば自然発生的に出てきたものである。例えば、クーラーを搭載するかしないかで、組立工数は相当に違う。クーラー搭載車が続けて組立ラインを流れると、作業が追い付かなくなってラインが止まってしまうので、組立作業量を平準化するために、組立ラインを混流とし、工数の大きい車と小さい車を混ぜて、よい順序で流す必要がある。上流の塗装や溶接における最適順序がこれと異なる場合、塗完バッファーを利用してボデー順序を切り替えないと、良い組み合わせで流すことができない。こうした発想がはっきりしてきたのは、対米輸出が本格化した時期、つまり昭和45年（1970年）頃からである。対米輸出モデルの増加が、品種間の工数差の拡大をもたらしたのである。

以上をまとめると、1960年代（昭和34年の元町工場完成から昭和40年代初期まで）は、塗完バッファーを持つ理由はもっぱら上流のラインストップに対する安全在庫という第一のものだけであったが、1970年代、輸出が増えるにしたがって、車種、車型間の工数差を吸収する（平準化する）ために塗完バッファーを使うという第二の機能が重要になってきたのである。

第二の機能を重視する場合、塗完のボデーを置くストレージを何列にするかが問題となる。例えば、高岡工場（1966年完成）では、経験的に、まず3列で各列10台分（合計30台分）のストレージを持った。1時間約60台の組立ラインなので、これは大体30分位のバッファー在庫に相当する。また、各列を工数の大小によって、赤白黄と色

分けした。高岡工場でも、増産時には、少しでもバッファ在庫を増やそうと、建屋の2階に余分のバッファ・ストレージを持つといった事もしたが、基本は3列、30台分であった。

楠氏が大野氏の下で働くようになった40年代末（1970年代前半）になると、大野氏は、塗完ストレージになるべく多くの列を作り、そのかわりに1列あたりの台数を減らせと指示するようになった。その結果、昭和40年台末には、塗完ストレージは最大で5～7列となり、また、各列の奥行きは短くなった。とはいえ、このような塗完ストレージの変更は新規工場設立の時にしか出来ないものである。

一方、安全在庫の面からみれば、全体で30分くらいの塗完バッファを持つというのは、30分までの設備故障は塗完バッファで吸収する、ということでもある。それ以上復旧に時間がかかる故障は、故障を起こす前工程の方に問題があると考えるのである。現在の生産調査部でも、そのように考えていると思われる。

海外組立工場の場合（例えばケンタッキー工場）、設備故障や工程内不良の問題が特に大きかった。設備故障によるラインストップは、ボデー溶接ラインが一番多い。一方、塗装の場合は、塗装不良が最大の問題である。例えば、ケンタッキー工場（カムリを生産）で、黒の塗装がどうしてもうまく出来なかった時があり、親工場である堤で当時工場長をしていた中村克郎氏に頼んで、黒のボデーのみ完成車輸出をしてもらったこともあった。

総じて、海外の現地工場は、事後保全（修理）や予防保全（PM）の能力が十分でないので、例えば日本の工場ならば10分で復旧する故障でも、30分、1時間とかかってしまう。そのため、トータルコストの観点から、とりあえずは安全在庫としてのバッファを比較的大きく持つ必要が出てくる。その後、塗装が安定するに連れて、バッファをつめていく、というやり方をとったのである。

歴史的に見れば、トヨタ自動車本体でも、塗完バッファをゼロにして塗装工程と組

立工程を直結する実験を国内の工場でも1年くらい行ったことがあるが、これはうまくいかなかった。1970年代末のことである。前述のように、溶接工程での作りやすいボデー順序と、組立工程での作りやすいボデー順序は異なるので、溶接工程が自分に都合のよい順序でボデーを流し、塗完バッファー無しで、そのままの順序で組立ラインに流すと、組立工程に入ってから工数の大きな車型が続いてしまうことになり、組立ラインが頻繁に止まってしまうのである。

ちなみに、塗装工程は組立工程ほど工数差がないので、ボデー順序の問題は生じなかった。また、塗装不良も減って直行率が上がったので、この面でも塗装工程は問題があまり無くなっていったのである。

これと同様の結果はトヨタのカナダ工場でも初期におこった。カナダ工場では、米国及びカナダ向けの製品を生産していたが、米国向けはエアコン装備、カナダ向けはエアコン無しであるため、この両者を組立ラインで混流にした場合、工数差は相当に大きい。ところが、カナダ工場では、当初、塗装工程の工程能力が低く、リワーク（塗装の手直し）が多かったため、それが原因で塗完バッファーをおく場所はあったが、塗完車が殆んど無くなってしまふことがあった。つまり、塗完車がストレージにたまらなかつた。また、ボデー工場の設備故障も多く、その割には「ボデー完」のパイプライン在庫（車体溶接工程と塗装工程の間のホワイト・ボデー）が5～6台と少なかつたため、溶接ラインがストップすると、ボデー欠（パイプライン在庫がなくなってしまうこと）で塗装工程もストップする傾向があつた。しかも、設備が故障した場合の保全対応能力も弱かつた（海外工場はすべて弱い）。修理に手間取つて車体溶接工程が長時間止まってしまうこともあつた。このため塗装工程内の車が空になつてしまひ、塗完車が溜らず、ストレスか、時には無くなることさえあつた。そうなると、塗装が出来た車をそのまま組立ラインに流すしかないので、組立工程での工数平準化ができず、組立ラインが止まってしまうのであつた。ラインストップは組立工程でおこるが、原因は組立工程ではない。

第1期の米国ケンタッキー工場のカムリのように、全て4ドアセダンでエアコン付きといった具合に主な仕様が揃っていれば、車型間の工数差が小さいので、それほど問題は生じない。一般的に、外国にしる、日本にしる1本のラインで工数差のある多くの車種、車型を混流せざるを得ない場合にこの問題が起こる。

工数差吸収のためのバッファは、ボデー完（溶接工程と塗装工程の間）か塗完（塗装工程と組立工程の間）のどちらで持ってもよい、というのは、理屈からいえばその通りだが、実際には、なるべく組立に近いところ（塗完）で持つのがよい。確かに、塗装の直行率がよい（工程能力が高い）という前提が置けるならば、理論的にはボデー完と塗完のどちらでバッファを持っても良いということになるが、実際には、塗装工程はたまに荒れることがあり、リワーク（塗装手直し）によってボデー順序が狂ってしまうので、塗装工程が終わった後でボデー・バッファを持つ方が合理的なのである。一般に塗装は変化に敏感で、アメリカでは女性作業者の使うコンパクトが変わっただけで塗装不良が多発した事例もあるし、塗料メーカー（日ペ、カンペ、デュポン、PPGなど）によっても品質が微妙に違う、手の指紋が出ることもある、特定の色（例えば黒）で原因不明の塗装不良が出るなど、難しい工程なのである。

（3）溶接完了ボデー（ボデー完）のバッファの持ち方

トヨタでは、塗完バッファ（塗装・組立間）のみならず、ボデー完バッファ（溶接・塗装間）も持つ。ボデー完バッファは、上流工程の設備故障によるラインストップの影響を吸収するために持つのである（つまり、安全在庫である）。そもそも、ボデー溶接工程はロボットや搬送機械などが多く、このため設備が故障する頻度のもっとも高い工程である。

ボデー完バッファのレベルについては、部門間で常に論争がある。ラインストップ比率（ダウンタイム率）は、故障頻度に1回あたりのライン・ストップ時間をかけ合わせた

ものであるが、現場や生産技術部門の人間は溶接工程のライン・ストップ時間分のボデー完バッファーを持ちたがる。他方、トヨタ生産方式を指導する生産管理部生産調査室は、こうしたバッファーをなるべく減らそうとする。バッファーを持つと、溶接工程が根元的な修理努力を怠るおそれがある、というのがその理由である（大野耐一氏曰く、修繕＝繕って直す、修理＝道理によって直す、であり修繕でなく修理でなければならない）。

このように、ボデー完バッファー在庫については、工場、生産技術、生産調査などの各部門の間で論争があった。投資効率、稼働率など経理的発想をする人は、いわゆる安全在庫をもってラインを止めないようにするべきだと考える。一方、生産調査室はラインストップの危険をおかしても改善をすすめるという考えであった。生産調査室の見解は、1分タクトの工場で30分以上のボデー完バッファー在庫は必要ないし、さらに減らして行くべきである、というものだった。

楠氏が生産技術と生産管理の長を兼ねるようになるまでは、両者のトップは別で、まとめる人間がいなかった。それが楠氏の時から両者が一本化され、以後、大西氏、現在の高橋氏とつらなっている。

ただし、生産変動があって、台数を出したい時（増産時）には、カチオン電着塗装工程の後のボデー・ストレージ（ナイト・ストレージと呼ばれる）を利用してボデー在庫を増やしても良いことになっている。大野氏や鈴木氏も、増産時には台数が欲しいので、その場合は塗装工程内のナイト・ストレージを利用するという運営で対処することを認めていた。

トヨタはボデー完バッファーを認めているが、基本的には「必要悪」の考えをとり、塗装完バッファーの様に堂々とバッファー置き場をつくらず、パイプライン（ボデー溶接工程と塗装工程をつなぐ天井のコンベア）で対処させている。堂々とボデー完在庫場所もつくっている工場の多い外国メーカーと根本的な考えのちがいがあがる。

また、海外工場では、従業員がラインストップのため台数が出来ないときは、責任を

追及されることをおそれる傾向が強い。したがって、バッファーク容設備についても、工場建設時、余裕のあることを要望する。「実際に故障するのだから、装置は余裕を持って作ってくれ」と抵抗される。工場を作り直す機会も多くはないので、余裕を持ったバッファーク設備を作り、これを運営面で追い込んでバッファーク総数を、従業員を納得させながら減らす方法が現実的である。

実際に、前述のカナダ工場では、保全能力が低い割にはボデー完バッファークのストレージ（ライン）が短すぎたので、年産5万台能力の工場を8万台能力に拡張した際に、ボデー完ストレージ（パイプライン）も長くして対処した。他方、NUMMI（GMとの合弁工場）は、当初は既存のGM工場の配置をそのまま使っており、そこでは溶接工程と塗装工程の間が長すぎるぐらい長かったので、十分なボデー完バッファークのスペースが取れた。しかしこれは長すぎたので後の改修時に短くした。

生産調査部の基本原則は、ボデー完バッファークの上限は30分以内というものである。理屈から言えば、ボデー完バッファークの上限を厳しく設定すれば、現場は逃げ場が無いので必死に対策を考え、工程能力の改善に繋がる。これがトヨタ生産方式の正論であり、日本の工場ではこれでうまくいっている。日本の工場では、ボデー完在庫は30分相当であり、それで足りない場合は塗装工程内のナイト・ストレージを臨時に使う。これで結果的にはうまくいっている。しかし、アメリカでは、これではうまくいかず、バッファークは日本より多くなりがちである。またバッファークを縮める努力も熱心ではないと思う（台数主義）。

ちなみに、トヨタの生産調査部は、現在30分のボデー完在庫をさらに20分に減らすことを考えている。これは、制御装置などの技術力のアップにより可能になることである。

(4) プレス（パネル）在庫の持ち方

プレス在庫の持ち方についても、元町工場建設（1959年）の時は、定まった方針はなかった。元町工場では、輸出入銀行から100億円を借りて、新しいプレスラインを輸入したが、2ラインしかなかったので、どうしても段取り替えが必要になった。しかし、工場建設の時は、段取り替え時間を画期的に減らし、小ロット生産をするという大野氏の考えはまだ社内には広まっていなかった。当初の元町工場では、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。しかし、その後元町工場長になった大野氏は、その倉庫を使わず、4日分のパネル在庫を上限として設定した。高岡工場完成（1966年）の頃も、上限は4日在庫のままだったが、それ以後減らしていった。

プレス工程では、いわゆる三角カンバンが使われていた。品種数が少なく、品種間のロットサイズの差も小さかったころには、こうしたカンバンで管理ができた。しかし、車種が増え、バリエーションによる生産台数の差（ロット差）が大きくなるにつれ、少量車種のプレスの生産指示を創立期のカンバン運用の定義だけでは入れることが困難になった。実際には、少量車種用のプレスの生産指示は、工長が暗算で計算し、大量車種のカンバンを途中で切って、その間に入れていたのである。つまり、在庫量の上限など、総和では原則を守っていたが、カンバンは形骸化していた。そこで、大量生産車の大ロットもカンバンを小ロットカンバンに分け、ロットサイズを例えば200台から50台に減らすよう指示した。こうしてロットサイズを小さくして少量車種も入れられるようにした上で、その適正な組み合わせ管理のためにパソコンを導入した。生産指示は、パソコンのモニター上に「今日はこの組み合わせ」という具合に出るようになった。即ちカンバンの運用にパソコンが使われた。

(5) 組立ラインサイドの部品在庫について

組立ラインへの部品供給の管理に関しては、この2～3年でパソコンの活用が進んだ。これは、車種増加に対応したことであるが、現場の班長クラスがパソコンを使えるという事で生き生きするという効果もあった。

例えば、高岡工場では、もともとはカローラを大量生産する少品種ラインとしてライン設計されたが、そこでも車種が増加しているため、ラインサイド部品が増え、ラインの両側に部品を置くようになった。このため、ライン間の通路が狭くなり、部品搬入用のトロリーが一方通行しかできなくなった。その結果、カンバン通りに部品をトロリーにつんで送ると、バッテリーなど重い部品が来たときにラインサイドに下ろすのに時間がかかり、トロリーが1ヶ所に止っているため、定ピッチ時間で発車したトロリーが団子運転になったり、つまって止ることもおこった。そこで、ラインサイドへの輸送ロットをさらに小さくし、パソコンでトロリーが長く止らない最適量を計算して指示を出すことが出来るようにした。工程間カンバンとパソコンの併用である。これは導入してよかったと思っている。パソコンを動かしているのは主に30代の班長クラスであり、彼等はいきいきとしてパソコンを使っている。

組立工場の部品在庫は4時間分が原則である。これは、日本坂トンネル事故でトヨタの組立工場がストップした教訓から、道路の混雑化と、事故の確率、在庫増の不利益を計算した結果である。ところが高岡工場の如く、工場内には在庫を持つスペースはもはや無い所もあり、古い工作機械の一時置場になっていた工場外の建物を使って、不測の事態に備えた部品倉庫にしている。現在は、アメリカから輸入した部品の倉庫としても使っている。また冬期、名神高速道路は関ヶ原付近で積雪のため閉鎖又は徐行することが多く、ここをってくる部品は11月～3月は雪のための特別在庫をもつことにもした。雪の部品欠のため、多額の設備投資をしたラインが止ることはトータルコスト低減にはならない。

(6) まとめ

プレス在庫：元町工場の完成した1960年前後には、在庫に対する社内の考え方は統一されていなかった。パネル在庫を収容する社外の倉庫もあった。大野氏が元町工場長になってから、こうした倉庫は使用させず、在庫は4日以内という上限を設定した。この上限はその後、努力により短縮されている。また、その管理には当初はカンバンだけでよかった。

しかし、その後、品種が増えて品種間のロットサイズ差も大きくなっていくにしたがって、カンバンの原始的な運用方則では生産が動かなくなった。そこで、さらなる小ロット化とともに、カンバン運用にパソコンによる管理が導入された（前述）。今のところ、こうした取組みは成功している。

ボデー完バッファ：一般に、ボデー溶接は機械化が進んでおり、故障率が一番高い。従って、現場は安全在庫を持ちたがるが、トヨタとしては30分という上限を決めている。大きな故障に対する一時的なフレキシビリティためには、塗装工程内（電着塗装完）のナイト・ストレージをボデー完の代用とみなして持てばよい。大規模な故障が起きるのは数年に一度であるから、そのためのバッファ設備をわざわざ持つことはないのである。

もっとも、楠氏の経験では、海外工場にこれを納得させるのは容易でない。そこで、海外では、設備には余裕を持たせるが、運営面で在庫をだんだんと減らしていくようにする。

塗完バッファ：塗装は品質管理が不安定な工程なので、塗装工程の後、つまり塗完でバッファを持つべきである。塗完バッファは、1960年代前半のころまで（元町工場完成の前後）は、塗装・溶接等の故障や不良発生に備えた安全在庫としての機能が強調されたが、その後、輸出などに伴う品種の増加と品種間の工数差の拡大に対応して、工数差吸収（平準化のためのボデー順序変更）という機能も強調されるようになった。こ

れに伴い、1975年前後には、塗完バッファーストレージの列数は、3列から5列、7列へと拡大していたが、一列あたりの台数（奥行き）は減らすことにより、塗完バッファーストレージの総在庫数は増やさない方針だった。1978年頃に、一度だけ塗完在庫を無くす実験をしたが、現在は、30分程度の塗完バッファーストレージを持つ方針が維持されている。

今後も方向としてはバッファーストレージ在庫をへらす努力をする。これを可能にする要因としては、技術進歩、PM（予防保全）の普及、さらに電算機活用によるコンカレントエンジニアリングの発達による車種・車型間の工数差の縮小などがある。一方、バッファーストレージ低減を困難にする要因としては、市場の変動や、客の好む車種が個性化・多様化することが考えられる。

おわりに

以上が、楠兼敬・日野自動車会長（トヨタ自動車顧問）の、主にボデー・バッファーストレージ管理の変遷に関する口述記録である。なお、楠氏からは、今回のテーマに即した具体的な口述の他に、トヨタ自動車の社風等について、次のようなより一般的なコメントが聞かれた：

- * トヨタの特徴として、トップは、新しいアイデアを産む努力をせず、新しい挑戦をしない者を叱るが、努力し、挑戦したが、失敗した者は叱らない、ということがある。上役の役目は、部下のアイデアや挑戦を批判するのではなく、助けることだといわれたし、そうつとめてきたつもりである。そのため試行錯誤が出来るのである。
- * 戦後、資金のなかった時代があった。給料が分割払いになり、それも遅配になり、欠配になった。その時には、従業員が農家に日雇いにいたりもした。そして最後に人員整理があった。しかし、こういう時代でもトライ・アンド・エラーを許す社風があった。
- * 金のない時にもうけるには、物流をよくするしかない。物流をよくするには設備投資が

いない。それで浮いた資金で設備投資をする。物流を良くするには、細かい流れをつくることである。

*トヨタ生産方式をバックアップしたのは豊田英二氏である。英二氏は、生産管理は大野氏、生産技術は野口氏、経理は花井氏にまかせた。彼等の間ではすごい議論もあったが、それをまとめたのが英二氏である。

*トヨタは物事が決まるまでが長いが、決まってからの実行力はすさまじい。これもトヨタの伝統である。

大野耐一氏にある時期に直接に接し、トヨタ生産方式の実践や体系化に深く関与した楠氏の口述記録は、それ自体、トヨタ生産方式の構築過程を知る上で貴重な資料である。しかし同時に、以上の口述記録からは、トヨタ生産方式を紹介する従来の著作や、トヨタ自動車自体の正式な社史の中では、必ずしも強調されてこなかった側面が浮き彫りになっているともいえよう。

第一に、多くの実験と、時にはその失敗を通じて、生産方式の構築を進めてきた、トヨタ自動車の製造技術者・生産技術者の試行錯誤の過程が、楠氏の話から明らかである。トヨタ生産方式については従来、出来上がったシステムの持つ合理性と、その構築過程における理路整然とした筋道が強調される傾向があったが、本稿ではむしろ、ボデー・バッファの量と機能の決定という具体的なシステム作りの事例を通じて、実験と試行錯誤を通じて「学習する組織」(learning organization)としてのトヨタの特徴が強調されていたといえよう。従来、トヨタのこうした側面があまり語られてこなかった理由の一つは、正式の社史やトヨタ生産方式の教科書で、過去の失敗談があまり取り上げられない傾向があった、ということではなかろうか。しかし、正史にはあまり書かれていない、こうした試行錯誤の過程にこそ、トヨタ自動車の組織風土・組織能力のある重要な部分が隠されているのではなかろうか。一言でいえば、それはトヨタ自動車という企業が持つある種

の動態能力 (dynamic capability) であろう。

第二に、トヨタ生産方式について一般に広く知られている言説と、現実に運営されているシステムとは、基本思想のレベルでは一貫しているものの、具体的な実行システムのレベルでは、微妙な違いがあるといえよう。例えば、トヨタ方式の一つの原則はボデーや部品のバッファーを出来るだけ減らすことであり、言説としては「ゼロ・バッファー」「在庫ゼロ」といった概念が広く知られているが、実際にはゼロという状況はほとんど存在しない。たしかに在庫ゼロは究極の理想として追求すべきこととして意識されているかもしれないが、実際のシステム構築に際しては、楠氏の口述でも明らかなように、その時々々の状況や能力に応じた最適のバッファー・レベルを試行錯誤で探り当てようとする努力がなされているわけであり、場合によっては、臨機応変に在庫の増加や在庫スペースの拡大を実行することもあるのである。トヨタ生産方式に関する言説においては、もっぱら在庫の負の側面のみが強調される傾向があるが、具体的な実施レベルでは、ボデー在庫の持つ正の機能（安全在庫機能、ボデー順序のディカップリング機能など）も勘案した上で、それらのバランスが考慮されているのである。

第三に、こうしたボデー・バッファーに関する意思決定過程においては、社内の部門間、あるいは個人間の意見の対立が往々にして表面化し、ある種の社内政治過程の産物として、バッファーに関する具体的な行動や言説が生み出される傾向があるのである。こうした社内での部門間コンフリクトは、どの会社でも多かれ少なかれ観察される一般的な現象と言えるだろうが、トヨタ自動車という企業に関しては従来、「一枚岩」「金太郎飴」といった特徴付けが印象論的になされる傾向があったことは否定できない。しかし、楠氏の口述から読み取れることの一つは、トヨタ自動車にも部門文化や社内政治過程は存在する、という、ある意味では当然の事実ではなかろうか。特に重要なポイントは、大野耐一氏のトヨタ社内での地位が（特に1960年代）必ずしも強固なものではなく、大野氏の言動が時に極端な形をとる（例えば「在庫ゼロ」）傾向があるのも、一つには、こうした

社内での反対派を意識した結果ではないか、ということである。反対派の多い状況の中で動こうとすればある程度極端な言動をせざるをえない、ということである。

以上のように、今回の楠氏の口述記録は、これまで文献としてあまり残っていなかったトヨタ生産方式のある側面、すなわちボデー・バッファーに光を当てるものであると同時に、トヨタ自動車という組織の持つ動態的かつ社内政治的な側面、あるいはトヨタ生産方式の基本理念と具体的実行の関係など、トヨタおよびその生産方式に関する、より一般的なテーマに関しても、一定の洞察をもたらす貴重な資料だといえよう。

THE 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE
ON PRODUCTION RESEARCH

ICPR

INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCTION RESEARCH

Secretariat: Kyoritsu Bldg. 3-1-22 Shiba-Koen, Minato-ku, Tokyo, Japan
U.S.A. Office: HIRACHI TORYO, Tokyo, Japan 227-2189 HIRACHI 306, Phone: Tokyo 03-2721810

このたび、第4回 経営工学-IE国際会議(The 4th International Conference on Production Research)が1977年(昭和52年)8月、日本において開催されることになりました。

この会議は、世界の経営工学-IE関係者が一堂に会し、研究成果を発表し、討議する機会として今日にいたるまで隔年ごとに、第1回は1971年に英国、第2回は1973年にデンマーク、第3回は1975年に米国で開催されてきました。そして、第4回が本1977年に、社団法人日本経営工学会主催のもとにわが国で開催されるわけです。

経営工学-IEは、もとより、企業あるいは一般の組織体の経営管理の効率化を目的とする技術であり、戦後の日本の急速な発展に大きな貢献をしてきたと思います。今回、この国際会議の日本における開催は、わが国経営工学-IEの成果を世界に発表する絶好の機会であり、又この会議を通じてわれわれも更に一步前進する契機をつかむことができるものと信じております。

わが国の関係学協会ならびに産業界におかれましてもこの国際会議を実りのあるものにするために、是非とも多くの方にご参加いただけるようご高配を賜わりたく、ここにご案内労々お願い申し上げます。

第4回 経営工学-IE国際会議
組織委員会 委員長 土光敏夫

I 第4回 経営工学-IE国際会議の概要

1. 会 期： 会 議 1977年（昭和52年）8月22日(月)～25日(木)
工場見学 8月26日(金)～30日(火)
2. 会 場： 東京・新宿 京王プラザホテル（4階および5階会場）
3. 会議テーマ： 経営工学-IEの将来の発展と役割

Production and Industrial Systems

— Future Development and Role of

Industrial and Production Engineering —

4. 公用語 日本語および英語（同時通訳つき）

5. 会議および関連諸行事スケジュール

月 日	時 間	第1会場	第2会場	第3会場	第4会場
8月21日(日)	18:00～20:00	参加登録(1)			
8月22日(月)	9:00～10:00	参加登録(2)			
	10:00～12:00	開 会 式			
	13:30～17:00	テクニカル・セッション	テクニカル・セッション	テクニカル・セッション	テクニカル・セッション
	18:00～20:00	レセプション			
8月23日(火)	9:00～12:00	テクニカル・セッション	テクニカル・セッション	テクニカル・セッション	テクニカル・セッション
	13:30～17:00	プレナリー・セッション			
8月24日(水)	9:00～12:00	テクニカル・セッション	テクニカル・セッション	テクニカル・セッション	テクニカル・セッション
	13:30～17:00	テクニカル・セッション	テクニカル・セッション	テクニカル・セッション	テクニカル・セッション
8月25日(木)	9:00～12:00	テクニカル・セッション	テクニカル・セッション	テクニカル・セッション	テクニカル・セッション
	13:30～17:00	閉 会 式			
	18:00～20:00	サヨナラ・パーティ			
8月26日(金)	9:00～16:00	工場見学 1（富士写真工機・大宮工場）			
		工場見学 2（ソニー・本社及び大崎工場）			
8月29日(日)	9:00～16:00	工場見学 3（松下電器産業・門真工場および			
8月30日(火)	9:00～16:00	トヨタ自動車工業・堤工場）			

Toyota production system and Kanban system —materialization of just-in-time and respect-for-human system

Y. SUGIMORI, K. KUSUNOKI, F. CHO and S. UCHIKAWA
Production Control Department, Toyota Motor Co., Ltd., Japan.

The 'Toyota Production System' and 'Kanban System' introduced in this paper was developed by the Vice-President of Toyota Motor Company, Mr. Taiichi Ohno, and it was under his guidance that these unique production systems have become deeply rooted in Toyota Motor Company in the past 20 years. There are two major distinctive features in these systems. One of these is the 'just-in-time production', a specially important factor in an assembly industry such as automotive manufacturing. In this type of production, 'only the necessary products, at the necessary time, in necessary quantity' are manufactured, and in addition, the stock on hand is held down to a minimum. Secondly the System is the respect-for-human system where the workers are allowed to display in full their capabilities through active participation in running and improving their own workshops.

1. Starting point of concept—making the most of Japanese characteristics

The starting point of the concept of Toyota Production System was in the recognition of Japan's distinguishing features.

The most distinctive feature of Japan is the lack of natural resources, which makes it necessary to import vast amounts of materials including food. Japan is placed under a disadvantageous condition in terms of a cost of raw material when compared to the European and American countries. To overcome this handicap, it is essential for the Japanese industries to put forth their best efforts in order to produce better quality goods having higher added value and at an even lower production cost than those of the other countries. This was the first thing that Toyota recognized.

The second distinctive feature is the Japanese concept toward work such as consciousness and attitude differed from that held by the European and American workers. The Japanese traits include: (1) group consciousness, sense of equality, desire to improve, and diligence born from a long history of a homogeneous race, (2) high degree of ability resulting from higher education brought by desire to improve, (3) centering their daily living around work.

Such Japanese traits have also been reflected in the enterprises. Customs such as (1) lifetime employment system, (2) labour unions by companies, (3) little discrimination between shop workers and white-collar staff, and (4) chances available to workers for promotion to managerial positions, have been of great service in promoting the feeling of unity between the company and workers. Japan also does not have the problem of foreign workers unlike European countries.

As related above, from the standpoint of labour environment, Japan is much better off than the European and American countries. In order to make full use of the Japanese advantages, it is of importance that the

industries have their workers display their capabilities to the utmost. This was the second thing that Toyota recognized.

2. Toyota production system and its basic concept

Upon recognition of the matters related above, Toyota is planning and running its production system on the following two basic concepts.

First of all, the thing that corresponds to the first recognition of putting forth all efforts to attain low cost production is 'reduction of cost through elimination of waste'. This involves making up a system that will thoroughly eliminate waste by assuming that anything other than the minimum amount of equipment, materials, parts, and workers (working time) which are absolutely essential to production are merely surplus that only raises the cost.

The thing that corresponds to the second recognition of Japanese diligence, high degree of ability, and favoured labour environment is 'to make full use of the workers' capabilities'. In short, treat the workers as human beings and with consideration. Build up a system that will allow the workers to display their full capabilities by themselves.

2.1 Cost cutting by thorough removal of waste

For materialization of this system, Toyota has attached special importance to 'just-in-time production' and 'Jidoka'.

2.1.1 *Distinguishing features of automotive industry.* In order to have an efficient production system in the automotive industry, it is required that the following three distinguishing problems be solved.

(1) The automotive industry is a typical mass production assembly type where each vehicle is assembled from several thousand parts that have undergone numerous processes. Therefore, a trouble in any of the processes will have a large overall effect.

(2) There are very many different models with numerous variations and with large fluctuation in the demand of each variation.

(3) Every few years, the vehicles are completely remodelled and there are also often changes at a part level.

The ordinary production control system in such an industry consists of fulfilling the production schedules by holding work-in-process inventory over all processes as a means of absorbing troubles in the processes and changes in demand. However, such a system in practice often creates excessive unbalance of stock between the processes, which often leads to dead stock. On the other hand, it can easily fall into the condition of having excessive equipment and surplus of workers, which is not conformable to Toyota's recognition.

2.1.2 *Just in time production.* In order to avoid such problems as inventory unbalance and surplus equipment and workers, we recognized necessity of schemes adjustable to conform with changes due to troubles and demand fluctuations. For this purpose, we put our efforts in development of a production system which is able to shorten the lead time from the entry of materials to the completion of vehicle.

The just-in-time production is a method whereby the production lead time is greatly shortened by maintaining the conformity to changes by having 'all processes produce the necessary parts at the necessary time and have on hand only the minimum stock necessary to hold the processes together'. In addition, by checking the degree of inventory quantity and production lead time as policy variables, this production method discloses existence of surplus equipment and workers. This is the starting point to the second characteristic of Toyota Production System, that is, to make full use of the workers' capability.

(1) *Withdrawal by subsequent processes*

The first requirement of just-in-time production is to enable all processes to quickly gain accurate knowledge of 'timing and quantity required'.

In the general production system, this requirement is met as follows. The production schedule of the product (automobiles in the case of automotive plant) is projected on the various parts schedules and instructions issued to the various processes. These processes produce the parts in accordance with their schedules, employing the method of 'the preceding process supplying the parts to its following process'. However, it can be seen that this kind of method will make it vastly difficult to attain production adaptable to changes.

In order to materialize the first requirement, Toyota adopted a reverse method of 'the following process withdrawing the parts from the preceding process' instead of the 'the preceding process supplying the parts to the following process'.

The reason for this is as follows: Just-in-time production is production of parts by the various processes in the necessary amounts at necessary timing for assembling a vehicle as a final product of the company. If such is the case, it can be said that only the final assembly line that performs the vehicle assembly is the process that can accurately know the necessary timing and quantity of the parts.

Therefore, the final assembly line goes to the preceding process to obtain the necessary parts at the necessary time for vehicle assembly. The preceding process then produces on the parts withdrawn by the following process. For the production of these parts, the preceding process obtains the necessary parts from the process further preceding it. By connecting up all of the process in chain fashion in this way, it will be possible for the entire company to engage in just-in-time production without the necessity of issuing lengthy production orders to each process.

(2) *One piece production and conveyance*

The second requirement of just-in-time production is that all processes approach the condition where each process can produce only one piece, can convey it one at a time, and in addition, have only one piece in stock both between the equipment and the processes.

This means that no process for any reason is allowed to produce extra amount and have surplus stock between the processes. Therefore, each process must approach the condition where it produces and conveys only

one piece corresponding to the single unit that is coming off the final assembly line. In short, all the shops are withheld from lot production and lot conveyance.

Toyota has succeeded in reducing the lot size through greatly shortening the setup time, improving production methods including the elimination of in-process inventory within the process resulting from ordering of multi-purpose machining equipment in accordance with the processing requirements for a product line, and improving conveyance resulting from repetitive mixed loading. All of these have been carried out, including large numbers of subcontractors.

(3) *Levelling of production*

Provided that all processes perform small lot production and conveyance, if the quantity to be withdrawn by the subsequent process varies considerably, the processes within the company as well as the subcontractors will maintain peak capacity or holding excessive inventory at all times.

Therefore, in order to make a just-in-time production possible, the prerequisite will be to level the production at the final assembly line (the most important line that gives out the production instructions to all processes). A degree of this levelling is determined by top managers.

(1) Final assembly lines of Toyota are mixed product lines. The production per day is averaged by taking the number of vehicles in the monthly production schedule classified by specifications, and dividing by the number of working days.

(2) In regard to the production sequence during each day, the cycle time of each different specification vehicle is calculated, and in order to have all specification vehicles appear at their own cycle time, different specification vehicles are ordered to follow each other.

If the final assembly line levels the production as related above, the production of all processes practising subsequent process withdrawal and one piece production and conveyance are also levelled.

The second significant point in levelled production is to observe the basic rule of just-in-time; to produce only as much as possibly sold, on the one hand adjusting its production level according to the change in market, on the other hand producing as smoothly as possible within a certain range. Even after the monthly production schedule has been decided, Toyota will still make changes among the different specification vehicles on the basis of daily orders, and even when it comes to the total number, if there is necessity to meet the changes in market conditions, Toyota will make revisions in the monthly schedule so as to reduce the shock of market fluctuation as much as possible.

When the production system related above is compared with the generally adopted scheduled production system, the former system can operate with smaller production changes than the latter system. Consequently, it will be possible to do with the less equipment capacity and more stable number of workers. (This is specially important to Japanese companies that have lifetime employment system).

A production control system which has been developed to practice the above three general rules; (1) withdrawal of parts by subsequent process, (2) small lot production and conveyance, (3) levelling of production, Kanban System.

(4) *Elimination of waste from over-producing*

The underlying concept in just-in-time production systems is that the value of existence of inventory is disavowed.

In the conventional production control system, existence of inventory is appreciated as a means to absorb troubles and fluctuations in demand and to smooth fluctuations in load of processes.

In contrast to this, Toyota sees the stock on hand as being only a collection of troubles and bad causes. We consider that virtually most of the stock on hand is the result of 'over-producing' more than the amount required, and is the worst waste that can raise the production cost.

The reason why we consider inventory resulting from over-producing is the worst waste is that it hides the causes of waste that should be remedied such as unbalance between the workers and between the processes, troubles in various processes, workers' idle time, surplus workers, excessive equipment capacity and insufficient preventive maintenance.

Such latency of waste makes it difficult for workers to display their capability and it even becomes obstructive of an ever-lasting evolution of a company.

2.1.3 *Jidoka*. The term 'Jidoka' as used at Toyota means 'to make the equipment or operation stop whenever an abnormal or defective condition arises'. In short, its distinctive feature lies in the fact that when an equipment trouble or machining defect happens, the equipment or entire line stops, and any line with workers can be stopped by them.

The reasons for 'Jidoka' being so important are as follows:

(1) To prevent making too much. If the equipment is made to stop when the required amount is produced, making too much cannot arise. Consequently, the just-in-time production can be accurately carried out.

(2) Control of abnormality becomes easy. It will only be necessary to make improvements by directing attention to the stopped equipment and the worker who did the stopping. This is an important requirement when making up the system of 'full utilization of workers' capabilities' related next.

Toyota has made countless number of improvements to realize 'Jidoka'.

2.2 *Full utilization of workers' capabilities*

This is Toyota's second basic concept of making the best use of Japan's favoured labour environment and excellent workers. It has built up a system of respect for human, putting emphasis on the points as follows; (1) elimination of waste movements by workers, (2) consideration for workers' safety, and (3) self display of workers' capabilities by entrusting them with greater responsibility and authority.

2.2.1 *Elimination of waste movement by workers*. Workers may realize their work worthy only if the labour of diligent workers is exclusively used to raise added value of products.

Then what are the waste movements that lower added value and which we must eliminate? The first of these is workers' movements accompanying the waste of making too much. The movements of material handling operations between the equipment and between the processes due to large inventory are all waste movements. It has become possible for Toyota to effect large reductions of this waste by making up a system that allows thorough just-in-time production.

However, even though the waste of making too much is reduced, it will be of no avail if the waste of worker's waiting time is created as a result. In the just-in-time production, even when there is surplus capacity in the equipment, only as much as the subsequent process has withdrawn is produced. Thus, if the equipment and workers are tied together, workers are subject to idleness. To prevent such waste of waiting time being created, various improvements have been made such as (1) separating the workers from the equipment by assigning a worker to multiple equipments, (2) concentration of workers' zones at the automatic lines, and (3) making up lines that do not require supervisory operation.

The second waste is to have the workers perform operations that are by nature not suitable for men. Operations involving danger, operations injurious to health, operations requiring hard physical labour, and monotonous repetitive operations have been mechanized, automated and unmanned.

The third waste is workers' movements as a result of troubles of defects. Thorough 'Jidoka' by Toyota has greatly reduced this kind of waste.

2.2.2 Considerations to workers' safety. Workers of Toyota are diligent and enthusiastic about attaining production. Thus, he may not stop operation if the trouble is not of a serious nature and will take non-standard methods just to keep the line running. If waiting time occurs, he will become impatient and eventually start doing something extra. However, such kinds of unusual operation or extra work are often accompanied by accidents, troubles, or defects.

The 'Jidoka' and elimination of waiting time now being advanced by Toyota is not only for reducing the production cost, but also effective as a measure for safety.

The results have been reflected in the fact that from an international standpoint the frequency rate of injury at Toyota is low.

Note: Comparison with the frequency rate of injury in American automotive industry shows that against the 1.5 shown in the United States (ILO 1974 statistics), Toyota had 0.8 or about one-half lower.

2.2.3 Self-display of workers' ability. Nowadays, it has become an international interest to respect humanity of workers in production shops. Toyota firmly believes that making up a system where the capable Japanese workers can actively participate in running and improving their workshops and be able to fully display their capabilities would be foundation of human respect environment of the highest order.

As the first step in this method, all workers at Toyota have a right to stop the line on which they are working.

Even in a long line like the final assembly line, if any abnormality comes up such as the worker finding himself unable to keep up or discovering an incorrect or defective part, he can stop the entire line by pressing the stop button near at hand. It is not a conveyer that operates men, while it is men that operate a conveyer, which is the first step to respect for human independence.

As the second step, at all shops in Toyota, the workers are informed of the priority order of the parts to be processed and the state of production advancement. Therefore, the actual authority for decisions of job dispatching and overtime is delegated to the foreman, and this allows each shop to conduct production activities without orders from the control department.

As the third step, Toyota has a system whereby workers can take part in making improvements. Any employee at Toyota has a right to make an improvement on the waste he has found.

In the just-in-time production, all processes and all shops are kept in the state where they have no surplus so that if trouble is left unattended, the line will immediately stop running and will affect the entire plant. The necessity for improvement can be easily understood by anyone.

Therefore, Toyota is endeavouring to make up a working place where not only the managers and foremen but also all workers can detect trouble. This is called 'visible control'.

Through visible control, all workers are taking positive steps to improve a lot of waste they have found. And the authority and responsibility for running and improving the workshop have been delegated to the workers themselves, which is the most distinctive feature of Toyota's respect for human system.

3. Kanban system

3.1 *Aim of Kanban System*

A production control system for just-in-time production and making full use of workers' capabilities is the Kanban System. Utilizing Kanban System, workshops of Toyota have no longer relied upon an electronic computer. It is shown in Fig. 1.

The reasons to have employed Kanban System instead of computerized system are as follows:

(1) Reduction of cost processing information. It calls for huge cost to implement a system that provides production schedule to all the processes and suppliers as well as its alterations and adjustments by real time control.

(2) Rapid and precise acquisition of facts. Using Kanban itself, managers of workshops may perceive such continuously changing facts as production capacity, operating rate, and man power without help of a computer. Hence, data of schedules corresponding to the change are accurate, which urge workshops to found responsibility systems and to promote activities for spontaneous improvements.

(3) Limiting surplus capacity of preceding shops. Since an automotive industry consists of multistage processes, generally the demand for the item (the part) becomes progressively more erratic the further the process point

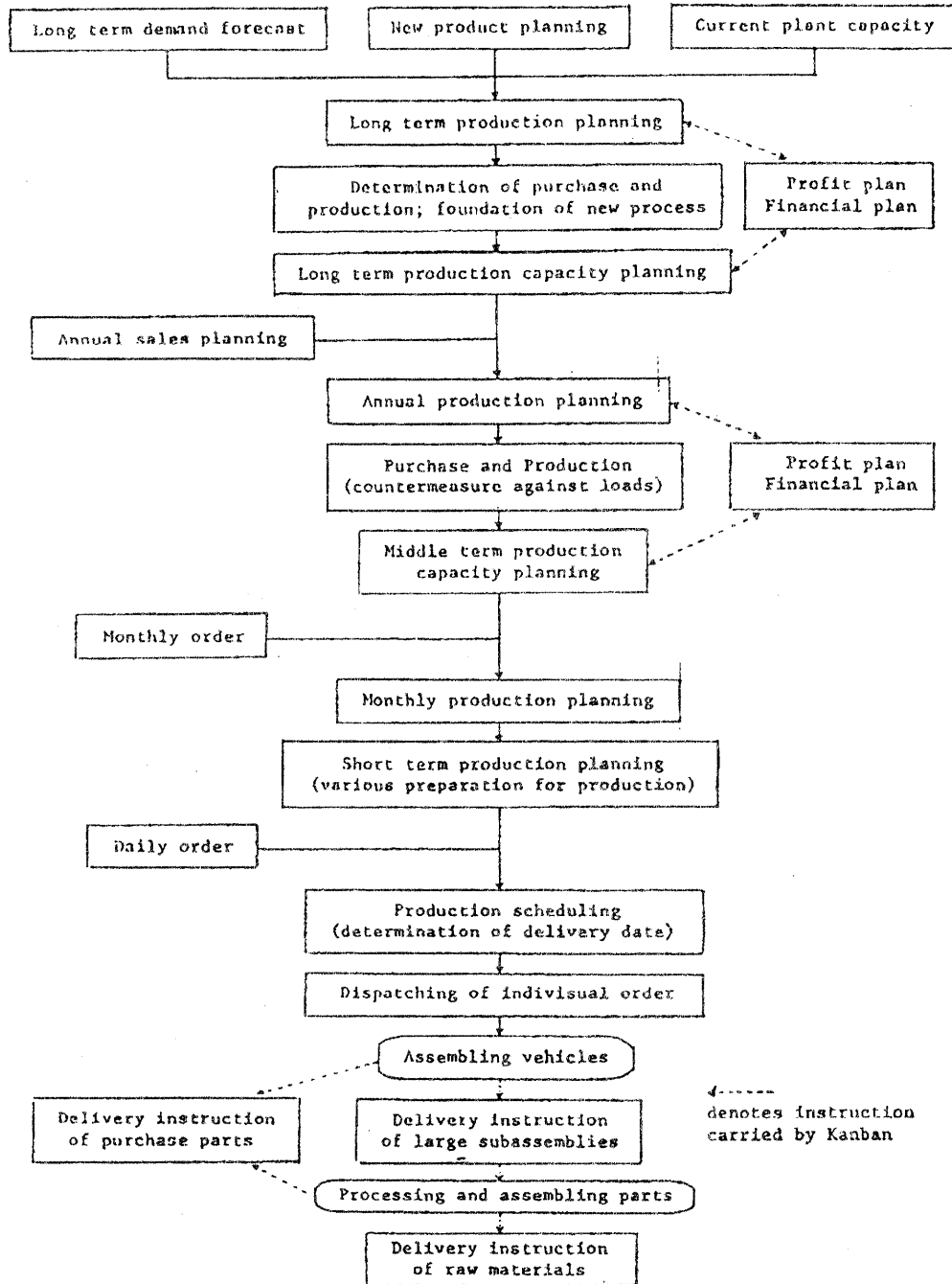


Figure 1. Structure of production planning.

is removed from the point of the original demand for finished goods. Preceding processes become required to have surplus capacity, and it is more liable to have waste of over-producing.

3.2 Description of Kanban system

(1) In the Kanban System, a form of order card called Kanban is used. These come in two kinds, one of which is called 'conveyance Kanban' that is carried when going from one process to the preceding process. The other is called

'production Kanban' and is used to order production of the portion withdrawn by the subsequent process.

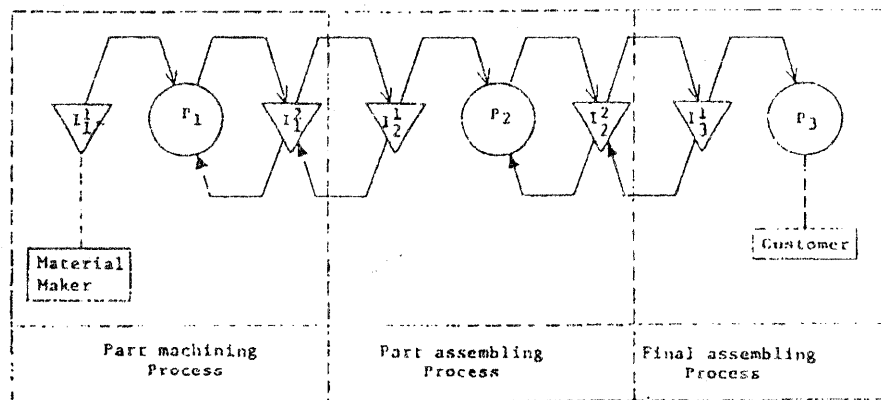
These two kinds of Kanban are always attached to the containers holding parts.

(2) When content of a container begins to be used, conveyance Kanban is removed from the container. A worker takes this conveyance Kanban and goes to the stock point of the preceding process to pick up this part. He then attaches this conveyance Kanban to the container holding this part.

(3) Then, the 'production Kanban' attached to the container is removed and becomes a dispatching information for the process. They produce the part to replenish it withdrawn as early as possible.

(4) Thus, the production activities of the final assembly line are connected in a manner like a chain to the preceding processes or to the subcontractors and materialize the just-in-time production of the entire processes.

The flow of parts and Kanban are as shown in Fig. 2.



P_i : Operation of process i

I_i^1 : Part inventory for process i

I_i^2 : Finished good inventory for process i

\longleftarrow : Flow of Kanban-

\longrightarrow : Flow of parts

Figure 2. Flow of parts and Kanban.

The equation for calculating the number of Kanban that play the most important part in this system is as follows:

Let, y = Number of Kanban

D = Demand per unit time

T_w = Waiting time of Kanban

T_p = Processing time

a = Container capacity (not more than 10% of daily requirement)

α = Policy variable (not over 10%)

$$\text{Then, } y = \frac{D(T_w + T_p)(1 + \alpha)}{a}$$

3.3 Notable points of operations of Kanban System

—Meaning of the equation computing number of Kanban—

In order to materialize Toyota production system through Kanban System, we do not accept each factor as a given condition, but we attach importance to modify each by means of positive improvements.

(1) α is a policy variable which is determined according to workshop's capability to manage external interference.

(2) D is determined with a smoothed demand.

(3) Value of y is rather fixed despite variation of D . Therefore, when D increases, it is required to reduce the value of $(Tp + Tw)$, that is, a lead time. At a workshop with insufficient capability of improvement, they cannot avoid overtime for a while. They might even cause line-stops. However, the ultimate objective of Toyota Production System is to visualize such wastes as overtime and line-stop, and to urge each workshop to become capable in improvement. Incapable shops might have to cope with the situation by means of increasing α , that is, number of Kanban for the time being. Hence, the top managers consider the value of α as an indicator of shop capability in improvement.

(4) In the case that demands decreases, the lead time becomes relatively larger. Consequently waste of increasing idleness becomes visible, which is an object of improvement called 'Syojinka'—to decrease the number of workers as demand (production) decreases.

(5) Work-in-process inventory could become much less by conducting an improvement to reduce the value of a , α , and $(Tp + Tw)$.

What Toyota considers as a goal through Kanban System related above is total conveyor line production system connecting all the external and internal processes with invisible conveyor lines. Because, a set of values of α , a , and Tw is 0, 1, and 0, respectively, which means nothing but attributes of a conveyor line. All the parts that constitute a vehicle are processed and assembled on a conveyor line, raising its added value. Finally they come out as a completed vehicle one by one. On occurrence of troubles, the whole line may stop, but it begins to move again immediately. Toyota Production System is a scheme seeking realization of such an ideal conveyor line system, and Kanban is a conveyer connecting all the processes.

4. Expansion of just-in-time production by reduction of setup times of pressing dies

In applying the concept of just-in-time production for reduction of lead times and work-in-process inventory, we faced difficulty in press shops practising lot production. After discussing a solution of this difficulty in lot production, we concluded that lead time was proportional to setup times, using the following illustration.

Let, T = Operation time a day or 480 minutes

S = Total setup time for all products, assuming that S is independent of sequence of products

t_{mi} = Unit processing time for the i th product

d_i = Demand for the i th product per day

x = Lead time for all products (in number of days)

Q_i = Lot size for the i th product

Then, $T \cdot x = S + \sum_i t_{mi} \cdot d_i \cdot x$

$$\text{Hence, } x = \frac{S}{T - \sum_i t_{mi} \cdot d_i}$$

Lead time is proportional to setup times for a given set of t_{mi} and d_i for all $i = 1, 2, \dots, n$. And lot size for each product Q_i is;

$$Q_i = d_i \cdot x \quad \text{for all } i = 1, 2, \dots, n$$

Improvements in production engineering have been made so as to reduce setup times since 1971. We have succeeded in reducing setup time down to ten minutes at 800 ton-line pressing hood, fender and others, while it used to take one hour. (Under the present condition of western countries, four to six hours as shown in Table 1).

Table 1. Press plant productivity characteristics (hood and fender).

	Toyota	A (U.S.A.)	B (Sweden)	C (W. Germany)
Setup time (hour)	0.2	6	4	4
Number of setups a day	3	1	—	0.5
Lot size	1 day-use*	10 days-use	1 month-use	—
Strokes per hour	500-550	300	—	—

* For less demanded products (below 1,000 units per month), as large as 7 days-use.

5. The result = the present condition of Toyota

As related above, Toyota has built up a unique production system through its history of more than 20 years. The results are as follows:

(1) Labour productivity is the highest among automotive industries of major countries. (Table 2).

(2) Turnover rate of working asset is also extremely high. (Table 3).

(3) Number of proposals and rate of acceptance in a proposal system shows the condition that workers positively participate in improvement. (Table 4).

Table 2. Man-hours for completion of a vehicle in automotive assembly plants of major countries.

	Takaoka plant of Toyota	A (U.S.A.)	B (Sweden)	C (W. Germany)
Number of employees	4,300	3,800	4,700	9,200
Number of outputs a day	2,700	1,000	1,000	3,400
Man-hours for completion of vehicle	1.6	3.8	4.7	2.7

Table 3. Turnover ratio of working assets in automotive companies of major countries.

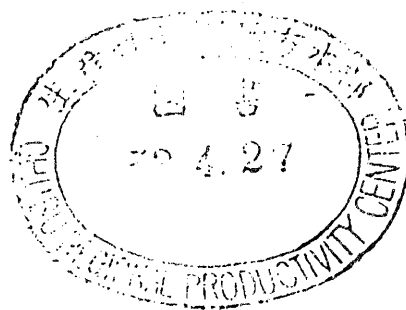
	Toyota	A (Japan)	B (U.S.A.)	C (U.S.A.)
1960	41	13	7	8
1965	66	13	5	5
1970	63	13	6	6

Table 4. Transition of number of annual proposals per capita and acceptance rate.

Year	Total number of proposals	Number of proposals per capita	Acceptance
1965	9,000	1.0	39%
1970	40,000	2.5	70
1973	247,000	12.2	76
1976	380,000	15.3	83

REFERENCES

- JAPAN INDUSTRIAL MANAGEMENT ASSOCIATION, 1975, *Handbook of Industrial Engineering* (in Japanese), (Tokyo: Maruzen).
- MURAMATSU, R., 1977, *Production Planning and Production Control* (in Japanese) (Tokyo: Kigyo-Shindan-Tsushin-Gakuin).
- MURAMATSU, R., 1976, *Production Control* (in Japanese) (Tokyo: Asakura-Shoten).
- TOYOTA MOTOR Co., LTD., 1973, *Toyota Production System* (in Japanese) (unpublished).



補足資料 2 : トヨタ生産方式に関する第 2 回目の英文発表論文

DESIGN AND ANALYSIS OF PULL SYSTEM,
A METHOD OF MULTI-STAGE
PRODUCTION CONTROL

OSAMU KIMURA
HIROSUKE TERADA

TOYOTA MOTOR CO., LTD.

ABSTRACT

We classify production control systems for a multistage production process into two species, namely Push System and Pull System.

The former is a conventional method in which inventoried parts at each stage are forecast, considering the total flow time to the completion of the process at the final stage. Production and inventory control is done, based on the forecast value.

The latter is a proposed system in ^{this} ~~the~~ paper in which certain amount of inventory is held at each stage and replenishment of that is ordered by the succeeding process at the rate it has been consumed.

We formulated the Pull System and gave the model simulation of fluctuation in production and inventory through the whole process in terms of system parameters like lot size, lead time, etc.

1. Introduction

1.1 Conventional Production Order System and Its Problems In general, a multi-stage manufacturing process calls for prospective production on account of the longer flow time than the allowance for delivery lag. We may classify production control systems of such a series of processes into a couple of species as follows.

- (1) Push System: They forecast the demand of inventoried parts or material in-process at each stage, considering the flow time up to the final stage. Based on this forecast value, they control the whole multistage by justifying inventory of final products and parts in each process. We call this Push Type Production Order System, Push System in brief.
- (2) Pull System: There is certain amount of inventory at each stage. A succeeding process orders and withdraws parts from the storage of the preceding process only at the rate and at the time it has consumed the items. We call this Pull type production order system, Pull system in brief. Most of conventional production control systems belong to the former species. The larger a system becomes, the more the following problems are inherent.
 - ① In case that drastic changes in demand or troubles in production happen, it is virtually not possible to renew production plan for each process. Therefore it is likely that they cause excess inventory or even dead stock.
 - ② It is practically impossible for production control staff to scrutinize all the situations related to production rate and inventory level. Hence, a production plan must be with excess safety stock.
 - ③ Improvement with regard to lot size and timing of processing could not make progress, because it is too cumbersome to compute

optimal production plan in detail.

Pull system has been devised as a measure to solve such problems.

We may achieve improvement, provided that it is possible in a simple and dependable manner to replenish, at a proper rate, the item as much as the succeeding shop has consumed.

1.2 Aims of Pull System

In multi-stage production process including outside suppliers:

- (1) Prevention of transmitting amplified fluctuation of demand or production of a succeeding process to the preceding process.
- (2) Minimization of fluctuation of inventory in process so as to provide a situation simplifying inventory control.
- (3) To raise the level of shop control through decentralization: to give supervisors or foremen of the shop a role of production control as well as inventory control.

1.3 Objectives of This Research.

The objective of this research is to prove that Pull System actually satisfies the aims noted above. We especially analyse influence of fluctuation of demand or production in a succeeding process on production and inventory fluctuation in the preceding Process in terms of characteristics of relevant system parameters such as ordering unit and lead time from ordering to delivery.

2. Outline of Pull System.

2.1 Methodology of Pull System.

As defined before, Pull system is:

- (1) They hold inventory of a certain level at each stage.
- (2) A Succeeding process gives the preceding process orders as it has consumed in order to replenish material.

In order to practice this system, they follow the procedures as follows:

- ① To establish standard re-order point and standard lot size.
- ② To know inventory level and back order all the time.
- ③ To give continuous inventory level check and replenishment order of the items below re-order point.

The system must satisfy all the requirements mentioned above.

It is although quite difficult to design a system to meet all the above conditions in a complex multi-stage production process, because cost and performance to acquire the condition (2) do not go together.

In Toyota Motor Co., Ltd., we have approached this problem by means of Kanban, a sort of tags.

2.2 Kanban

Kanban carries information as below.

- (1) Part name, Part number
- (2) Quantity designated usually equals to a container capacity. Re-order point and ordering quantity are as much as container size multiplied by an integer.
- (3) Preceding process: manufacturing shop, assembly line or storage location.
- (4) Succeeding process; (same as above.)

Other information like type of packing and the number of identical Kanban issued are also specified as reference. A typical format of Kanban is shown in Fig 1.

Figure 1. KANBAN layout

Production Line Number: F	Succeeding Stage: 4K Address: A-12
No. of KANBAN Issued: 7/12	
Part Number: 33331-35010	
Part Name: Gear Reverse	
Container Type: 6	Address: C-8
Container Capacity: 50	Preceding Stage: YA

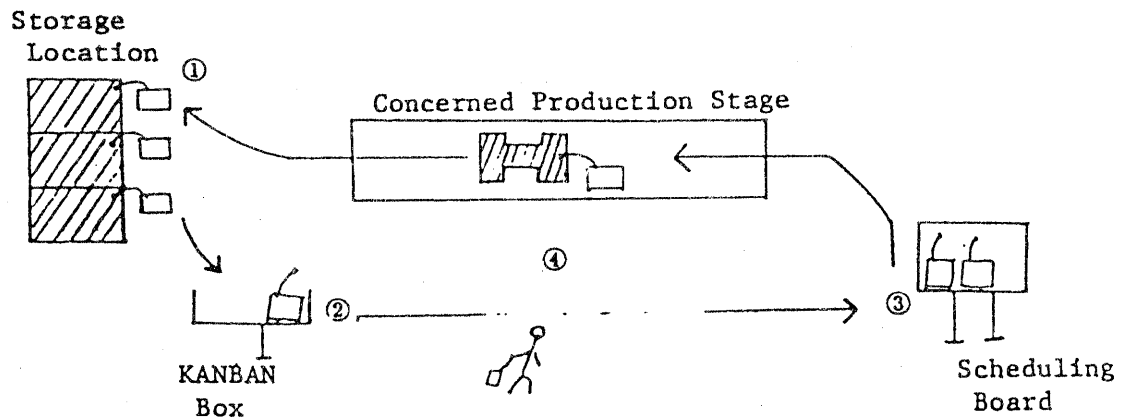
2.3 Procedure of Handling

(1) in-process Kanban

Parts processed at a certain stage are put in a container.

A Kanban is attached or hung on the container and then stored at the location designated by the Kanban. (See Fig 2. ①)

Figure 2. Recurrent Procedure of In-process KANBAN



When succeeding process withdraws this part or material, a worker lifts off the Kanban and he puts it into kanban box. Kanbans are collected from the box at regular intervals and they are hung on hooks on a schedule board. The sequence of various Kanbans on the board plays role of showing workers dispatching order of jobs in the process. (Fig 2. ③)

A worker produces various items, in accordance with the sequence of the various Kanbans on the board, as much as indicated by the Kanban, at the rate as set in advance. Kanban itself moves in the process with the first unit of the batch (Fig 2. ④)

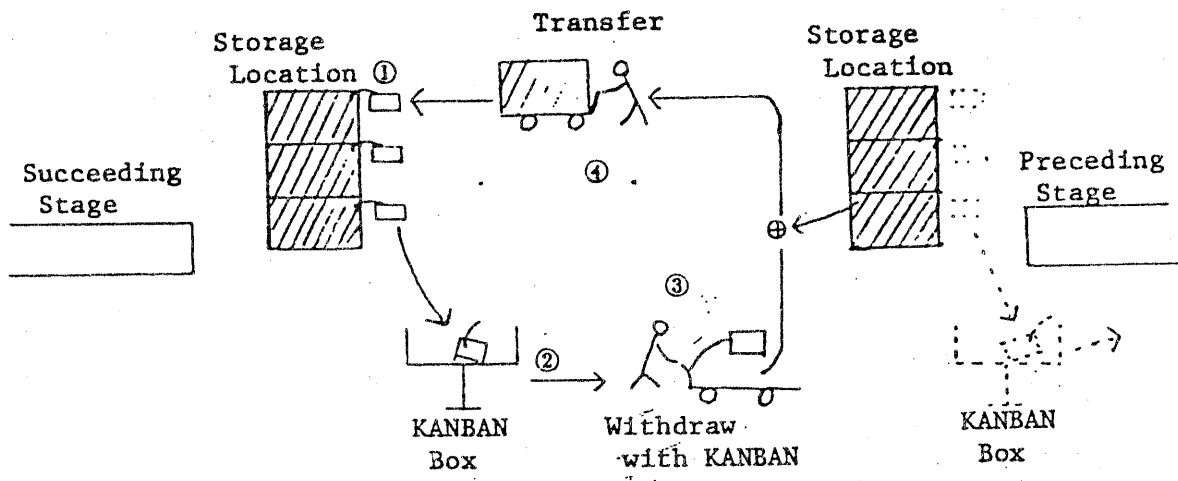
They repeat procedure ① Through ④ and then production is effectively continued.

What we should keep in mind here is a probable fact in the procedure ② ; If the succeeding process never withdraws material from the preceding process, neither Kanban is collected from Kanban box nor Kanban is hung on a hook of the schedule board. Consequently, the item is never processed at this shop.

(2) Inter-process Kanban

A procedure to handle inter-process Kanban is counted just the same as that of in-process Kanban, considering transportation as a sort of operation like manufacturing. (Fig 3.)

Figure 3. Recurrent Procedure of Inter-process KAMBAN



What we should keep in mind is also the rule that they withdraw as much as what Kanban indicates but nothing without Kanban in the box.

In the Fig 3. broken lines imply in-process Kanban and its movement in the preceding shop. When material or parts are withdrawn from the storage, in-process Kanban on the container is exchanged with inter-process Kanban. The removed in-process Kanban will be transferred to in-process Kanban box.

As we have illustrated above, a rate (quantity) of production of the succeeding process is transmitted to the preceding process through in-process Kanban and inter-process Kanban. All the Kanban in such a multistage production process maintain wholeness of production of all the stages.

2.4 Production Plan for Adjusting Facility, work-force, and raw material.

We give a detailed production plan only to the final stage as we employ Pull System.

However what we call here a detailed production plan is a daily schedule,

but not a long range production plan to adjust facilities, work-force and raw material which require longer lead times for provision. We release such a plan to each stage ¹for in advance, considering necessary lead times.

3. System Formulation

We formulate Pull system to clarify the system characteristics. We illustrate it as follows. We here consider the system simply as multistage series process with a single item.

3.1 Notation

t ; period

O_i^n ; production (transportation) order quantity for the n-th stage in the t-th period.

P_i^n ; production quantity for the n-th stage in the t-th period.

I_i^n ; finished good inventory at the n-th stage in the end of t-th period.

M^n ; order unit (number of units indicated by a Kanban)

Z_i^n ; remainder of division of I_i^n by M^n

C^n ; production capacity of the n-th stage

L_i^n ; a flow time between the moment when Kanban gets removed from a container and the moment when production (or transportation) begins.

L_i^n ; a flow time between the moment when production begins and the moment when the operation is completed.

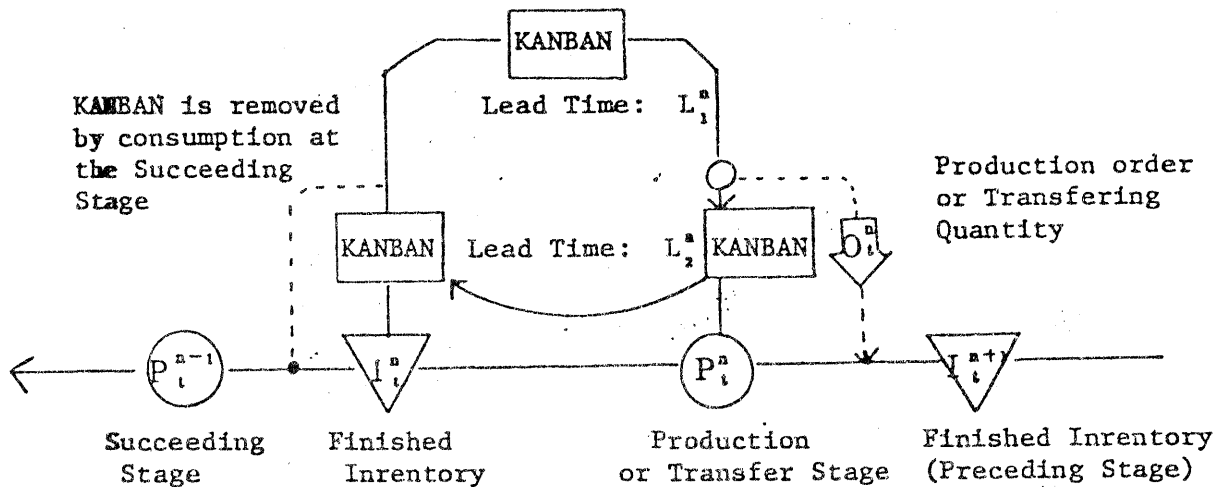
D_t ; demand of final product in the t-th period.

$\hat{D}_{t,t+L}$; demand forecast at the end of t-th period for the (t+L)th period.

3.2 Flow Chart of Information and Materials.

Information and materials' flow of the Pull System are illustrated in Fig 4.

Figure 4. Flow Chart of Pull System



- Note
- ← : Flow of Materials
 - : Flow of Kanban
 - - -> : Flow of ordering information via Kanban

3.3 Basic Equations of the System

In Pull System, Kanban is removed from a container when the first piece of the content has been used. Therefore, in every inventory station, one container holds content partially used, from which the Kanban has been already removed off. The other containers are filled with the full content, with Kanban attached. Let Z_i^n be the number of the content partially used and it would be written as

$$Z_i^n = \text{Mod} (I_i^n, M^n)$$

where the symbol Mod (A, B) signifies remainder of A/B. The Number of Kanban removed from containers at the n-th inventory is determined by the production quantity P_i^{n-1} of the succeeding stage.

But the portion of P_i^{n-1} , which corresponds to Z_{i-1}^n at most, could be covered by the material of the container from which Kanban is already removed.

Therefore

$$X = P_t^{a-1} - Z_{t-1}^a \quad (P_t^{a-1} \geq Z_{t-1}^a)$$

or

$$X = 0 \quad (P_t^{a-1} < Z_{t-1}^a)$$

are the amount of material which is indicated by the number of Kanban removed in this period. Then the number of the Kanban removed in the t-th period is

$$\left[\frac{X}{M^a} \right]_+ = \left[\frac{\max(0, P_t^{a-1} - Z_{t-1}^a)}{M^a} \right]_+$$

The symbol $[A]_+$ signifies Gaussian Symbol raising A to a unit.

After the period L_1^a , those removed Kanban are added to the orders to the n-th production stage. So the production order O_t^a is

$$O_t^a = \left[\frac{\max(0, P_{t-L_1^a}^{a-1} - Z_{t-L_1^a-1}^a)}{M^a} \right]_+ M^a + O_{t-1}^a - P_{t-1}^a \quad (3.3)$$

where $O_{t-1}^a - P_{t-1}^a$ is the backorder at the end of the preceding period.

Production quantity is

$$P_t^a = \min(O_t^a, C^a, I_{t-1}^{a+1} + P_{t-L_2^a}^{a+1}) \quad (3.4)$$

where $I_{t-1}^{a+1} + P_{t-L_2^a}^{a+1}$ signifies the restrictions of inventory worked at the preceding stage.

The n-th inventory level is given by

$$I_t^a = I_t^{a-1} + P_{t-L_2^a}^a - P_t^{a-1} \quad (3.5)$$

The above (3.3) (3.4) (3.5) are the basic equations of Pull System.

4. The Analysis of Production and Inventory Fluctuations

4.1 With a Relatively Small Unit Ordering Quantity

4.1.1 Production Fluctuations

When unit ordering quantity M^a is relatively small enough compared with production quantity P_t^a , we may let

$$\left[\frac{\max(0, P_{t-L_1^a}^{a-1} - Z_{t-L_1^a-1}^a)}{M^a} \right]_+ M^a = P_{t-L_1^a}^{a-1}$$

then from (3.3)

$$O_t^a = P_{t-L_1^a}^{a-1} + O_{t-1}^a - P_{t-1}^a \quad (4.1)$$

When there are no restrictions as for production capacity C^a and the inventory of the preceding stage I_i^{a+1} , (3.4) would then be written as

$$P_i^a = O_i^a \quad (4.2)$$

from (4.1) (4.2)

$$P_i^a = P_{i-L_i^a}^{a-1} \quad (4.3)$$

$$= P_{i-(L_i^a+L_i^{a-1})}^{a-2}$$

$$= P_{i-(L_1^a+L_2^{a-1}+\dots+L_1^1)}^1 \quad (4.4)$$

As the result:

In Pull-System, when unit ordering quantity is relatively small enough compared with production quantity, the production fluctuation in the succeeding stages is transmitted to the preceding stages in the identical shape of the original pattern. The timelag between them equals to the summation of flow time between the moment when Kanban gets removed from a container and the moment when production begins.

Especially when the production series of the final stage $\{P^1\}$ are mutually independent, variance of $\{P_i^a\}$ is

$$V(P^a) = V(P^{a-1}) = \dots = V(P^1) \quad (4.5)$$

Under the definition of amplification ratio;

$$\text{Amp}(P^a) = \frac{V(P^a)}{V(P^1)}$$

from (4.5)

$$\text{Amp}(P^a) = \text{Amp}(P^{a-1}) = \dots = 1 \quad (4.6)$$

4.1.2 Inventory Fluctuation

From (4.3)

$$P_{i-L_2^a}^a = P_{i-(L_1^a+L_2^a)}^{a-1}$$

Hence from (3.5)

$$I_i^a = I_{i-1}^a + P_{i-(L_1^a+L_2^a)}^{a-1} - P_i^{a-1}$$

By solving this equation, we obtain

$$I_i^a = A - \sum_{R=i-(I_1^a+L_2^a)+1}^i P_R^{a-1} \quad (4.7)$$

Where $A = I_0^a + \sum_{R=0}^{R_0} P_R^{a-1}$ is the initial condition.

When $\{P_i^1\}$ are mutually independent, we get from (4.7)

$$V(I^a) = (L_1^a + L_2^a) V(P^{a-1}) \quad (4.8)$$

Substituting (4.5) into (4.8), we obtain

$$V(I^a) = (L_1^a + L_2^a) V(P^1) \quad (4.9)$$

Let

$$\text{Amp}(I^a) = \frac{V(I^a)}{V(P^1)}$$

then from (4.9)

$$\text{Amp}(I^a) = L_1^a + L_2^a \quad (4.10)$$

$L_1^a + L_2^a$ means that the flow time between the moment when Kanban is removed from a container and the moment when production of the stage is completed.

Hence

In Pull System, when the fluctuation of $\{P^1\}$ is mutually independent, the inventory fluctuation at each stage is amplified in comparison with the fluctuation of final stage $\{P^1\}$. The degree of amplification becomes larger in proportion to the flow time between the moment when Kanban is removed from a container and the moment when production of the stage is completed. Although, the amplification does not increase by going farther up the stream of production.

So far, we have assumed that there are no restrictions in the production capacity and inventory level. If there are these restrictions, the upper values of series $\{P_i^a\}$ are constrained under the level of C^a or $I_i^{a+1} + P_{i-L_2^a+1}^{a+1}$, (See eq. (3.4)) so the fluctuations become smaller in this case than in the case of no

restrictions. But on behalf of the smaller fluctuations, there happens the increase of back orders and production delay.

In any case, these are different management problems from the objectives of our research.

4.2 With a Relatively Large Unit Ordering Quantity.

In case that unit ordering quantity M^n in n -th stage is relatively large as compared with production quantity P_{i-1}^n , the equation (3.3) giving production quantity Q_i^n cannot be regarded as the equation (4.1) approximately. Therefore it is difficult to analyze theoretically. Thus, here we try an analysis by the method of simulation as follows.

4.2.1 Notation

Q_i^n ; order quantity of transportation from the n -th stage to the $(n-1)$ th stage in the t -th period.

R_i^n ; quantity of transportation from the n -th stage to the $(n-1)$ th stage in the t -th period.

B_i^n ; inventory quantity carried from the $(n+1)$ th stage, awaiting to be processed in the n -th stage at the end of the t -th period.

$L_{P_1}^n$; the same meaning of L_i^n defined in 3.1

$L_{P_2}^n$; the same meaning of L_i^n defined in 3.1

$L_{H_1}^n$; a flow time between the moment when Kanban is removed from a container and the moment when transportation begins.

$L_{H_2}^n$; a flow time between the moment when transportation begins and the moment when the operation is completed.

S^0 ; safety stock of the final product.

The other symbols except above defined refer to the definitions in 3.1

4.2.2 Simulation Model

(1) General figure of model; illustrated as Fig 5.

This is the single item multi-stage process which consists of n producing stages and n transporting stages from each stage to the succeeding stage.

- (2) Demand of final product D_t ; normal distribution of average \bar{D} , variance σ_D^2 , both of which are already known.
- (3) Timing of Production and transportation; production and transportation start at the beginning of each period.
- (4) System Equation

Inventory quantity of the final stage

$$B_t^0 = B_{t-1}^0 + R_{t-1}^1 - D_t \quad (4.9)$$

Shipment of product

$$R_t^1 = I_{t-1}^1 \quad (4.10)$$

Inventory quantity before shipment

$$I_t^1 = P_{t-L}^1 \quad (4.11)$$

Production ordering quantity in the first stage.

(We adopt Push System only for the final stage.)

$$O_t^1 = \hat{D}_{t-1, t+L} + \hat{D}_{t-1, t+L-1} - P_{t-1}^1 - B_{t-1}^0 + S^0 \quad (4.12)$$

Where $L = L_{P_2}^1 + L_{H_2}^1$

The equations of production, transportation and inventory from the 2nd stage are led by the method mentioned in 3.3.

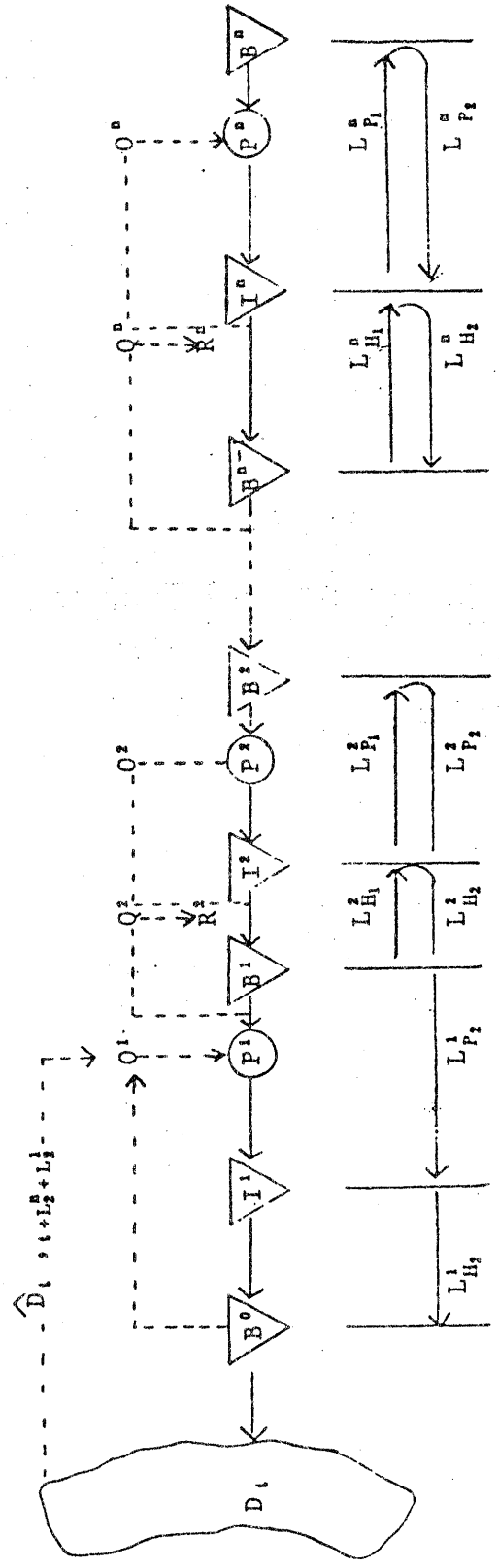
4.2.3 Value of Input Data and Parameter

- (1) t ; 1, 2, 3, -----, 100
- (2) D_t ; $\bar{D} = 100$ $\frac{\sigma_D^2}{\bar{D}} = 0.1$
- (3) \hat{D} ; \bar{D}
- (4) n ; 5
- (5) I_0^a, C^a ; very large number
- (6) $L_{P_1}^a = L_{P_2}^a = L_{H_1}^a = L_{H_2}^a = 0$ ($n = 1, 2, \dots, 5$)

4.2.4 Experiment Result

Under these conditions mentioned above, the experiment with order unit M^a changing, resulted as Fig 6. and Fig 7.

Figure 5. Conceptual Chart of Simulation Model



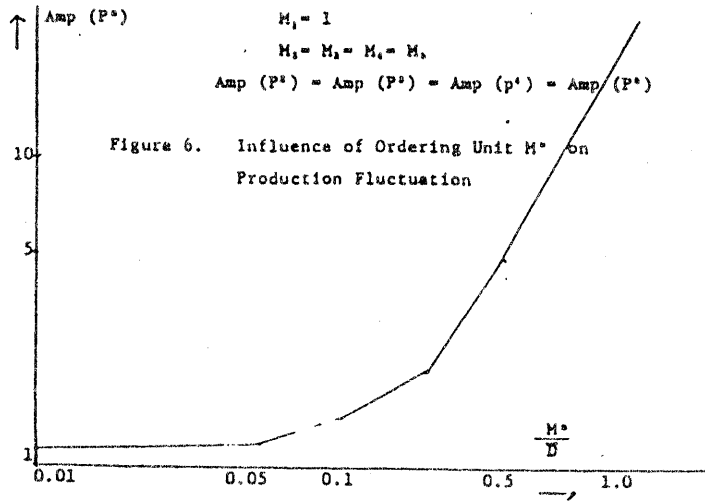
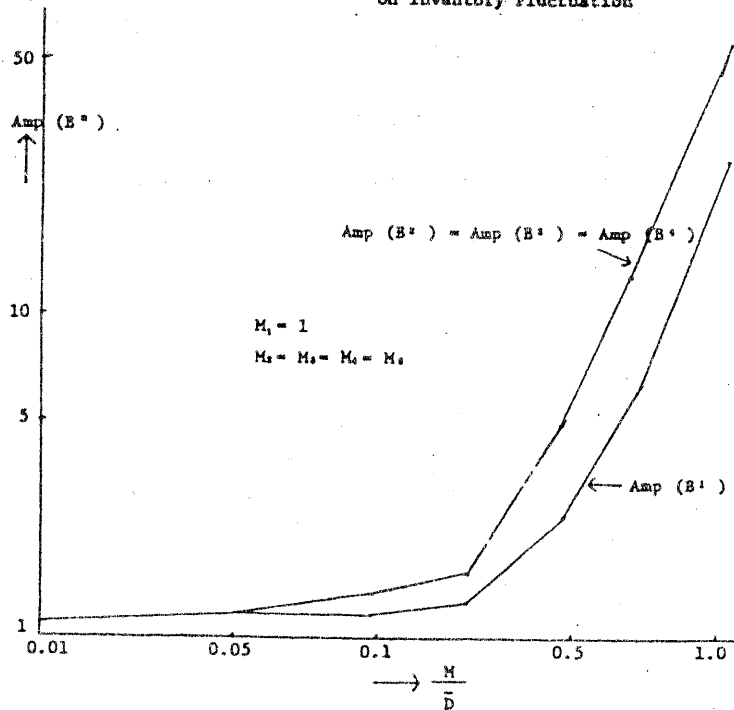


Figure 7. Influence of Ordering Unit: M^* on Inventory Fluctuation



In case of Pull System, Production and inventory fluctuations become larger as unit order quantity becomes larger compared with producing quantity level. Although, the fluctuation is not magnified as going up to the farther preceding stages.

4.2.5 Comparison with Push System

In order to compare between Push and Pull System about the

influence of Production fluctuation of succeeding stages to those of the preceding stages, the experimental result of Push System which has been done by Mr. Y. Tanaka and T. Tabe in Waseda Univ. and the result of Pull System in this research are illustrated as Fig 8. and Fig 9.

Figure 8. Amplification Rate of Production Fluctuation

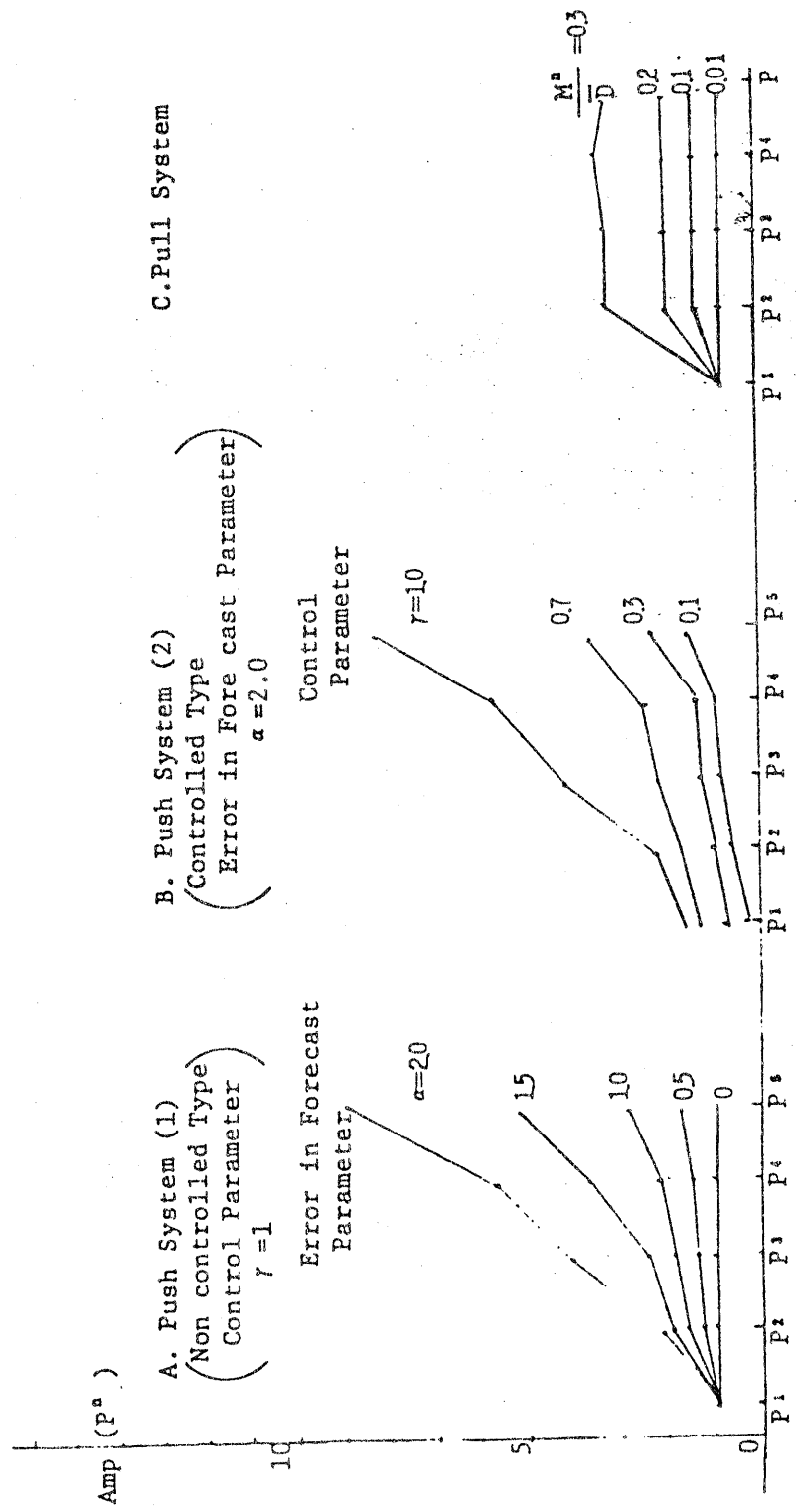
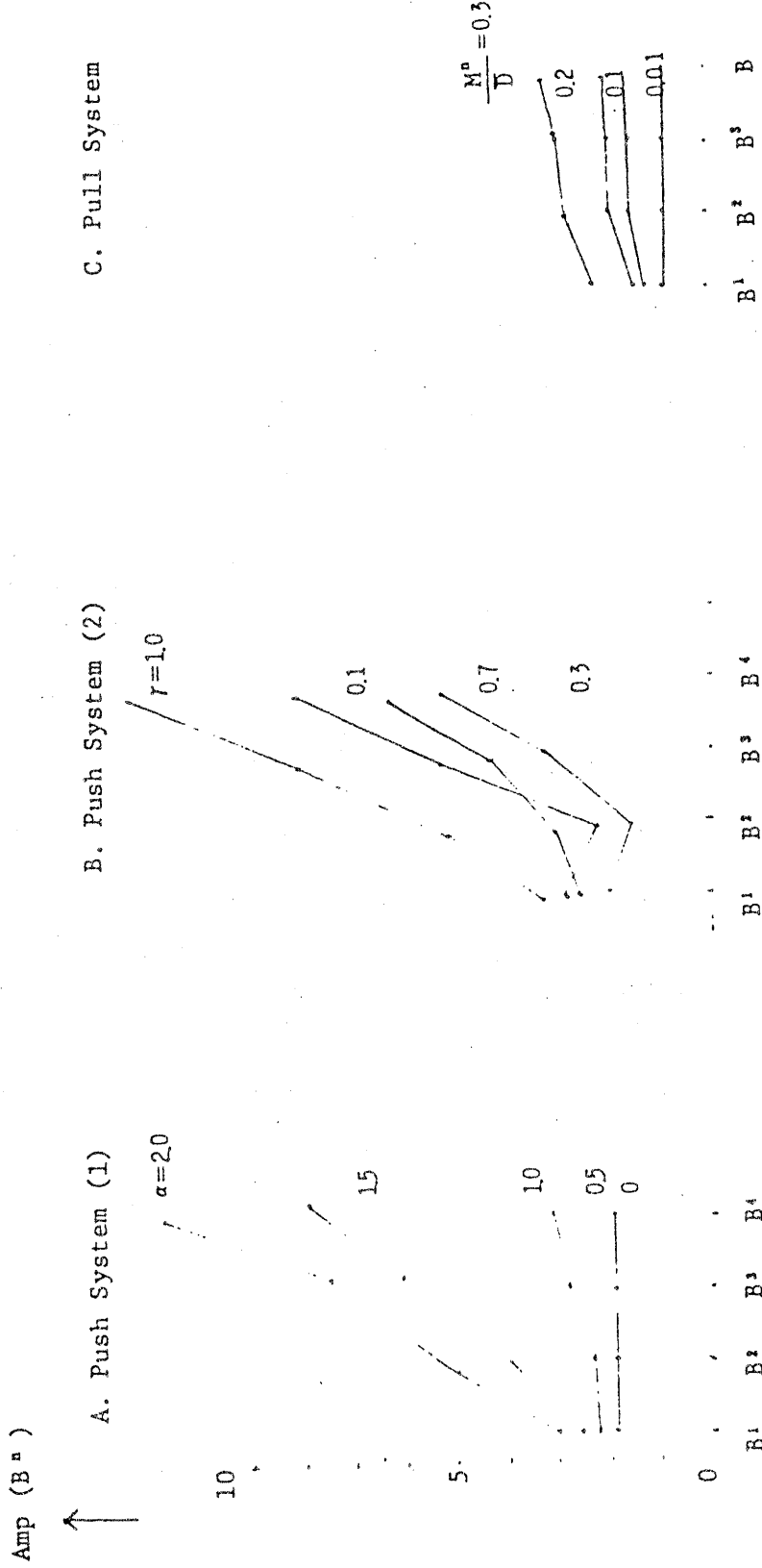


Figure 9. Amplification Rate of Inventory Fluctuation



The value of input data and parameter in both systems are the same as those of 4.2.3 except $L_{P_1}^a = 0$, $L_{P_2}^a = 1$, $L_{H_1}^a = 1$, $L_{H_2}^a = 0$ and the unit order quantity M in case of Push System is always "1". The detail of Push System Model is shown in the reference 1.

As these figures show, in the case of Push System, the fluctuation is more amplified in the father preceding stage. This is a consequence of errors in forecasting. Therefore, it is necessary to keep the control parameter at the proper level in the case of Push System. On the other hand, in the case of Pull System, amplification ratio becomes larger as order unit becomes large. Thus, it will be necessary to attempt to minimize the ordering unit.

5. Conclusions

- (1) In the case of Pull System, size of the order unit has much importance. In the case that the size is small enough compared with the production quantity level, production fluctuation won't be amplified in the preceding stage. Amplification will be brought about when the size is rather large. Although, also in this case, the amplification is not farther magnified in farther preceding stages.
- (2) In the case of Push System, amplifications of production and inventory fluctuations occur under the influence of errors in forecasting. As far as amplification is concerned, the choice between Push and Pull System is determined by the degree of errors in forecasting.
- (3) The other factor in the system parameters of Pull System, which affects to amplification ratio is "Lead-Time" from the moment when Kanban is removed from a container to the moment when production of

the stage is completed. The longer the lead-time is, the larger the amplification ratio becomes.

Finally, we would like to express our sincere gratitude to Dr. Rintaro Muramatsu in Waseda Univ. for his considerable instruction and advice.

Reference

- ① "Analysis of Production Order and Inventory Fluctuations"

R. Muramatsu, Y. Tanaka and T. Tabe

Vth ICPR Free Paper Sessions

- ② "Toyota Production System and Kanban System"

K. Kusunoki, Y. Sugimori

IVth ICPR Free Paper Sessions

- ③ "Production Planning and Inventory Control"

John F. Magee