

# TOCの生産管理手法に関する世の中の研究状況

船木 謙一

TOC, 特にDBRやVAT分析などの生産管理手法は, 1990年代から多くの適用事例や効果が紹介されてきた. それに比して, 各手法の効果の裏づけとなるような科学的, 客観的分析, 検証結果の紹介はあまり多くない. しかし, 実際にはTOCの生産管理手法に関する学術的な研究も多く存在しているので, これらの内容を整理しておくことは, 各手法を適用, 実践する際の指針にもなり有用であろう. そこで本稿では, TOCの生産管理手法について, 今までにどのような研究が行われているかを分類, 整理し, その成果や課題について紹介する.

キーワード: TOC, 生産管理手法, DBR, VAT分析

## 1. はじめに

TOC (Theory Of Constraints) は, もともと生産システムのアウトプットの限界を決める制約条件に着目して生産管理・改善を行うために提唱された考え方と手法であり, その起源は1979年に開発された生産スケジューリングソフトウェア (OPT: Optimized Production Timetables, 後に Optimized Production Technology) に遡る. その後, 表1に示すような著書や組織活動などを通じて広く普及されると同時に, 生産システムに限らず, プロジェクト管理手法や経営管理全般にわたる問題解決手法 (思考プロセス) を加

え, 対象範囲を広げてきている. したがって, TOCという言葉で表される要素は多岐にわたるが, 本号の特集テーマである資源管理という視点で考えると, DBR (Drum-Buffer-Rope) やVAT分析などの生産管理手法が関連する.

TOCの生産管理手法は, 1990年代から米国において多くの適用効果が報告されており, その後, 日本においてもビジネス書などでその効用や事例が華やかに紹介されてきた. その一方で, 効果の裏づけとなるような科学的, 客観的な分析, 検証結果の紹介は意外に少ない. 実際には学術的な論文も多く発表されているので, その内容を整理しておくことは, TOCを適用,

表1 TOCの普及活動

年	ソフトウェア	著書	普及活動
1979	OPT (Optimized production timetables) 発表		
1980	OPT改訂版 (halt機能追加)		
1982	OPT (Optimized production technology) に名称変更		
1984		The Goal第1版	
1985	OPTバージョン56発表 (スルーブット概念導入)		
1986		The Goal改訂版 (継続的改善概念) The Race (業績評価方法)	AGI設立
1987			TOC提唱
1990	DISASTER™発表	The Haystack Syndrome (スケジューリングシステム)	
1992		The Goal第2版	
1994	Goal System発表	It's Not Luck (思考プロセス)	
1995			APICS普及
1997		Critical Chain (プロジェクト管理) Synchronous Management: Profit-Based Manufacturing for the 21st Century	
1998		The Constraints Management Handbook	
2000		Necessary But Not Sufficient (業務ルール改革とERP導入)	

ふなき けんいち

(株)日立製作所 生産技術研究所

〒244-0817 横浜市戸塚区吉田町292

実践する際の指針にもなり有用であろう。そこで本稿では、TOCの生産管理手法について、どのような研究が行われているかを分類、整理し、その成果や課題について紹介する。

なお、本稿は、TOCの生産管理手法に関する主な研究状況を紹介することが目的であり、網羅的な文献調査を意図したものではない。広くTOCに関する文献調査としては今までにRahman[1]やMabinら[2]がある。Rahmanは1995年までの論文や書籍をサーベイし、研究アプローチのカテゴリ分けを試みている。一方、Mabinらは1990年以降の論文や書籍を網羅的にリストアップし、アブストラクトを載せているので辞書的に活用できて便利である。最近では、IJPR誌が制約管理(Constraint Management)の特集を組んでおり[3]、主に生産管理・改善に関する最近のトピックに触れられる。

## 2. TOCの構成要素と概要

図1にTOCの構成要素を示す。ただし、図1の分類は筆者の考えに基づくもので、TOC主唱者らの分類とは若干異なる(TOC主唱者らによる分類は、例えばSpencerら[4]参照)。また、Mabinら[2]も制約管理手法と思考プロセスに大別して構成要素を独自に整理している。

以下、本稿に関連する5段階改善ステップと生産管理手法の各要素を中心に概要を示す。各手法の詳細については、例えばSrikanthら[5]が参考になる。

### 2.1 5段階改善ステップ

これは生産システムを継続的に改善するための基本的考え方であり、次のステップからなる。

- [ステップ1] システムの制約部分を見つける。
- [ステップ2] 制約部分を最大限有効活用する。
- [ステップ3] 非制約部分は制約部分の活用方法に

従わせる。

[ステップ4] 制約部分の能力を改善する。

[ステップ5] 惰性に気をつけてステップ1に戻る。以上の表現は概念的で、制約部分の定義もあいまいである。そこで、対象を生産プロセスに限定して記述し直すと次のように表現できる。

[ステップ1] 制約設備(CCR: Capacity Constraining Resource)を見つける。

[ステップ2] CCRの能力を精一杯使うようにCCRにおける生産スケジュールを作る。

[ステップ3] CCR以外の設備における生産はCCRのスケジュールに合わせて行う。

[ステップ4] CCRの能力を高める。

[ステップ5] CCR以外の設備において、惰性による能力ダウンを生じないように気をつけながらステップ1に戻る。

### 2.2 DBR

TOCの考えでは、生産スケジュールはCCRの能力を精一杯活用するようにし、CCR以外の設備における生産や部品・材料の投入は、すべてCCRのスケジュールに合わせればよい。CCRにおけるスケジュールをドラム、CCRにおける生産を止めないように設ける余裕をバッファ、CCRのスケジュールに合わせて部品・材料投入タイミングを伝える指示をロープにたとえ、TOCのスケジューリング方法を比喩的に表現した呼称がDBRである(図2)。DBRでは、CCRのスケジュールと先頭工程への部品・材料投入タイミングは決めるが、他の設備におけるスケジュールは明示せず、運用において到着したジョブを次々に処理すればよいという立場をとる。

なお、DBRをソフトウェアとして最初に実現したものがOPTであるが、そのロジックは公開されなかった。その後、ロジックを公開しているGoal Sys-

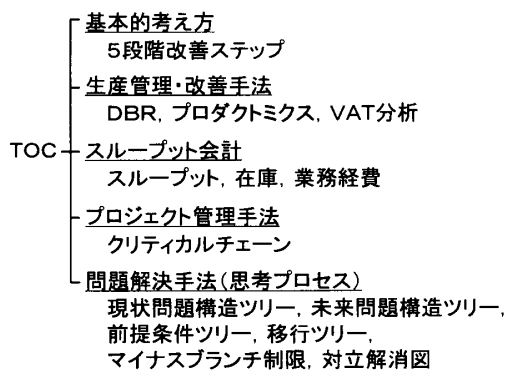


図1 TOCの構成要素

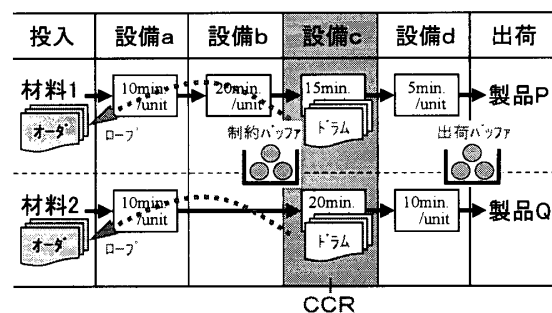


図2 DBR

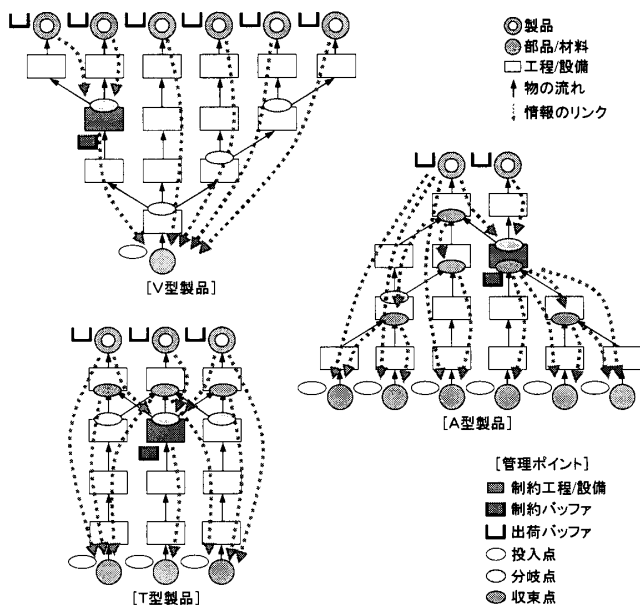


図3 VAT分析

tem というソフトウェアが開発されている。

### 2.3 プロダクトミクス

DBR では CCR のスケジュールに従って生産するが、CCR の能力を超える必要がある場合には、どの製品を優先して生産すればよいかを決める必要がある。これは CCR における MPS (Master Production Schedule) を決める問題であり、その際には TOC の業績評価尺度であるスループットを最大化するプロダクトミクスを求めることが推奨されている。

### 2.4 VAT 分析

VAT 分析は、製品の工程フローを V 型、A 型、T 型の三つの型に分類し、それぞれの型に応じてスケジューリングにおける重点管理ポイントを特定する手法である (図 3)。V 型製品は少種類の部品・材料から多種類の製品が作られるもので、石油製品や鉄鋼製品などが当てはまる。V 型製品では、CCR 以外に工程フローの分岐点が重点管理ポイントである。A 型製品は、多種類の部品・材料から段階的に共通の工程に収束し、複数の製品が作られるもので、自動車や家電製品など多数の部品から組み立てられる製品が典型的である。T 型製品は、少種類の部品・材料から共通の工程を経て多種類の製品が作られるもので、パソコンや家具などが当てはまる。A 型製品や T 型製品では、CCR や工程フローの分岐点に加え、工程フローが合流する収束点も重点管理ポイントである。

### 2.5 TOC における管理のスタンス

以上から分かるように、TOC の生産管理手法では、すべてを詳細に把握して統制するというよりも、全体

のアウトプットに最も影響する部分を重点管理ポイントとして抽出し、その部分の管理に注力するというスタンスをとる。TOC の各手法はこのようなスタンスの下に案出されており、対象を管理可能なレベルに分解、分析し、統制しようとする従来の手法とは本質的に異なる。この点は生産管理手法に限らず、スループット会計の是非を論じる観点でも指摘されており [6]、TOC 全体に横たわる管理のパラダイムであるといえる。

## 3. 研究テーマの分類と研究状況

TOC の生産管理手法に関する研究テーマを分類し、代表的論文を挙げると表 2 のようになる。なお、表 2 の分類以外にも解説、批評を目的とする論文は膨大に存在するがここでは触れない。

### 3.1 OPT

OPT の内容は公開されなかったため、1980 年代を中心に、ロジックや機能構成、有効性の分析、検証などが多く議論された。最初に Jacobs [7, 8] が機能構成を示し、その後 Goldratt 自身 [9] が OPT の処理を概念的に説明している。さらに、Fry ら [10] は機能構成を詳細に示し、例題を用いて実際の処理内容を説明している。今では、DBR のアルゴリズムが広く知られるようになり、OPT が分析対象となることは少ない。

### 3.2 CCR の特定

TOC の生産管理手法では CCR の特定が重要である。CCR 特定の難しさについては Lawrence ら [11] や Fung [12] が述べているが、具体的にどのように CCR を特定すればよいかについての議論は少ない。TOC の主唱者である Cox ら [13] ですら、手っ取り早い方法として「現場を歩いて職長に聞けばよい」と述べている。

元来、この問題は、処理すべきジョブにリソースを割り当てた結果として初めて把握できる CCR を、割り当てる前に特定しなければならないという論理上の矛盾に起因している。この矛盾は自明であり、TOC の主唱者も分かっていることであるが、実際の運用では過去の経験から事前に特定できるというのが彼らの主張である。すなわち、時間が経過してもボトルネック工程およびその原因となる CCR は変わらないという前提に立っている。この前提は、プロダクトミクスが定常的であり、かつ工程間の能力バランスが著しく損なわれているような状況では成り立つ可能性が高い

表2 主な研究テーマと論文

研究テーマ	代表的論文		
OPT	F. R. Jacobs	Prod. Inv. Manage.	1983
	F. R. Jacobs	Ind. Eng.	1984
	R. R. Lundrigan	Prod. Inv. Manage.	1986
	E. M. Goldratt	Int. J. Prod. Res.	1988
	T. D. Fry, et.al.	Prod. Oper. Manage.	1992
CCRの特定	S. R. Lawrence, et.al.	Prod. Oper. Manage.	1994
	K. K. Fung	Sys. Dyn. Rev.	1999
バッファ設定	E. Schragenheim, et.al.	Prod. Inv. Manage. J.	1991
	Y-M. Tu, et.al.	Int. J. Prod. Res.	1998
	S. F. Hurley, et.al.	Int. J. Prod. Econ.	1999
	S. N. Kadipasaoglu, et.al.	Int. J. Prod. Econ.	2000
プロダクトミクス	M. C. Patterson	Prod. Inv. Manage. J.	1992
	R. Luebbe, et.al.	Int. J. Prod. Res.	1992
	G. Plenert	Eur. J. Oper. Res.	1993
	T. N. Lee, et.al.	Prod. Inv. Manage. J.	1993
	L. D. Fredendall, et.al.	Int. J. Prod. Res.	1997
	T-C. Hsu, et.al.	Prod. Plan. Cont.	1998
DBR	E. Schragenheim, et.al.	Prod. Inv. Manage. J.	1990
	S. C. Gardner, et.al.	Int. J. Oper. Prod. Manage.	1993
	J. V. Simons, Jr., et.al.	Int. J. Prod. Res.	1996
	J. V. Simons, Jr., et.al.	Prod. Oper. Manage.	1997
	J. V. Simons, Jr., et.al.	Int. J. Prod. Res.	1999
	鈴木定省 他	日本経営工学会論文誌	2001
VAT分析	A. Lockamy, III, et.al.	Int. J. Prod. Res.	1991
	M. M. Umble	Prod. Inv. Manage. J.	1992
	M. S. Spencer	Int. J. Prod. Res.	1995
生産方式比較・融合	H. Grunwald, et.al.	Int. J. Prod. Res.	1989
	M. L. Ramsay, et.al.	Ind. Eng.	1990
	M. S. Spencer	Prod. Inv. Manage. J.	1991
	A. D. Neely, et.al.	Int. J. Prod. Econ.	1992
	N. E. Larsen, et.al.	Prod. Plan. Cont.	1993
	J. Miltenburg	Int. J. Prod. Res.	1997

が、実際の生産現場では、需要変動に応じたプロダクトミクスの変化や生産ロットの進行によってボトルネック工程が変わりうるのも事実である。

CCR 特定の問題に関しては、上記のような前提がどのような状況下で成り立つか、節 2.5 に示した TOC における管理パラダイムの下でどこまでの厳密性を求めるべきかを明確にすることが課題である。

### 3.3 バッファ設定

バッファは、上流工程での生産のゆらぎにより CCR の稼働が妨げられることがないように設定する余裕であるので、上流工程にある CCR 以外の設備が持つ能力余裕との関係で決まる。DBR では、CCR での処理スケジュールを基に先頭工程の部品・材料投入タイミングを決めるパラメータとして扱われるが、必要以上にバッファサイズが大きければそこでの滞留時間が長くなる。したがってバッファサイズは、CCR の稼働を妨げない範囲で、できるだけ小さくしなければならない。

Tu ら[14]は CCR 以外の設備の故障の発生頻度や修理時間を基に、CCR の前に設けるバッファサイズを求める方法を提案している。また、Hurley ら[15]や Kadipasaoglu ら[16]は CCR 以外の設備に持たせる能力余裕が CCR の稼働にどの程度影響するかをシミュレーションによって分析している。

### 3.4 プロダクトミクスの決定

プロダクトミクスの決定は、問題が分かりやすいこともあり、多くの論文が発表されているテーマである。CCR におけるプロダクトミクスを決めるためのアプローチには、TOC において提唱されているヒューリスティクスを用いる方法と、数理最適化問題として解く方法に分けられる。もともとの TOC のヒューリスティクスでは CCR が複数ある場合に対応できないという問題があり、Fredendall ら[17]や Hsu ら[18]は複数の CCR を扱うための改善法を提案している。最適化問題として扱う場合には、スループット最大化を目的関数とした整数線形計画問題として定式化することが普通であり、Luebbe ら[19]、Patterson[20]、Plenert[21]、Lee ら[22]などがある。しかし、ここでスループットを最大化するプロダクトミクスを厳密に求めても、DBR ではバッファサイズやロット長さ<sup>1</sup>など経験的に決められたパラメータを基にヒューリスティックアルゴリズムでスケジュールリングされるので、期待されたスループットが得られるスケジュールになるとは限らない。プロダクトミクスの決定は、CCR

<sup>1</sup> ロット長さとは、同一のオーダが一つの CCR を複数回通ったり、複数の CCR を通るような場合に、それぞれの CCR での処理タイミングをずらすために設ける時間差のことである。

能力に比して妥当な生産品目と生産数量の目安を決める事前処理であるという位置づけで捉えた場合に、どのような方法がよいのか見極める必要がある。

### 3.5 DBR アルゴリズム

DBRのアルゴリズムについては、Schragenheimら[23]やSimons, Jr.ら[24~26]が数値例を用いて有効性について検証している。特にSimons, Jr.らは、DBRに準拠したスケジューリングソフトウェアパッケージであるGoal Systemのヒューリスティックアルゴリズムを詳細に分析し、定量的な性能評価をしている。また、ジョブショップスケジューリング問題に対し、DBRアルゴリズムを擬似的に組合せ最適化問題として定式化し、分枝限定法で解いた結果と、Goal Systemによって得られたスケジューリング結果とを比較し、納期遅れ最小化という評価関数の下では両者に大きな差がないことを示している。一方、鈴木ら[27]は、メイクスパン最小化という評価の下ではDBRアルゴリズムが良い結果を出さない場合があることを示しており、今後、どのような場合にDBRアルゴリズムが有効であるか、さらに検討する余地があると思われる。

また、DBRアルゴリズム自身に関する未解決の問題としては、以下の事項が挙げられる。

- ・複数のCCRが存在する場合にスケジューリング対象とするCCRを選ぶ順序の決定方法（少なくとも、どのCCRを先に選ぶかによって最終的に得られるスケジューリング結果が大きく変わることが分かっている[24]）
- ・ロッド長さの適切な設定法（スケジューリングにおける評価関数と関係する）

### 3.6 VAT 分析

VAT分析は明快な方法であるので、それ自身に関する研究は少ない。Lockamy, IIIら[28]はJIT生産においてVAT分析を応用した重点管理ポイント抽出方法を提案している。また、Umble[29]はVAT分析を適用する際の注意点などを詳細に述べている。

### 3.7 生産管理手法の比較・融合

TOCの生産管理手法を、MRPやJITなど他の生産管理手法と比較した論文は非常に多い。その多くはシミュレーションにより、スループットや在庫量を評価し、TOCやJITの方がMRPより優れているということを主張している。また、Grunwaldら[30]やLarsenら[31]は適切な生産管理手法を選択するための考え方を整理している。一方、Spencer[32]や

Miltenburg[33]はTOCの考え方をMRPに組み込むことを提案している。

しかし、生産管理手法の是非を論じる際には、表面的な手法の理解だけではなく、その背景にある生産管理に対する考え方を理解しないと、しばしば誤った結論を導く危険がある。例えば各手法を比較する研究の中には、単一の評価関数を用いたシミュレーション結果だけで手法の優劣を論じているものがある。また、個々の企業の事情を無視し、複数の企業に対してアンケートを実施し、使っている生産管理手法と達成しているパフォーマンスの関係を単純な統計分析で求めて、手法の優劣を論じている研究もある。本来、ビジネス環境や条件の違い（製品や市場の特性、経営戦略、経営資源配分や投資行動などの違い）によって採用される生産形態や求められるパフォーマンスのレベルは異なるのが当然であるので、生産管理手法の優劣を論じる際にはそのような背景も含めた慎重な分析が必要である。

また、TOCとJITを比較して、JITでは生産現場のすべてを把握し、詳細に管理する必要があるため、教育、定着などを含めた導入に時間がかかるが、TOCは要所としてのボトルネックリソースを把握、管理するだけでよいので、短期間で導入でき、実用的であると主張しているものもある。しかし、このような主張は、TOCとJITの間にある、リソースに対する本質的な態度の違いを無視した議論のように思われる。JITを含むトヨタ生産方式では、人、設備などのリソースは単に管理される客体ではなく、自ら作り込んでいく（改善・工夫したり、切磋琢磨する）主体であると捉えているのに対し、TOCでは、多くのリソースは統制できない不確実性をはらんだ客体として捉えていると考えられる。すなわち、トヨタ生産方式は、生産プロセスの全体にわたって埋め込まれた自律的改善能力を継続的に醸成、発揮することにより、ボトルネックを生まない（つまりは生産プロセスにおけるものの滞留を生まない）ようにして全体パフォーマンスを上げるというアプローチであり、この部分は無視して手法の導入時間の長短を論じることはあまり意味がないように思われる。

オペレーションの効率や質をコアコンピタンスの一つとして捉える企業が増えている現代においては、断片的な分析による手法の優劣を論じるよりも、各手法の特質を見極めたうえで、個々の企業への適合性を論じる方が現実的であり、世の中に役立つであろう。

## 4. 結言

本稿では、TOCの生産管理手法に関し、今までにどのような研究が行われてきたか、代表的な論文の成果を中心に紹介した。また、筆者から見て未解決と思われる問題や今後の研究の方向性を提示した。

本稿で紹介した論文の掲載誌を見れば分かるように、TOCに関する論文は、理論的というよりは実践的、経験的知見をまとめたものが多い。TOCは広い範囲を対象とした考え方と手法の体系であるが、個々の手法については、まだ理論的な裏づけが不十分な部分があるように思われる。特に、個々の手法の適用可能対象範囲や確実に効果が得られるための条件など、適用の指針となるような研究が進められることが望まれる。

### 参考文献

- [1] S-U. Rahman: "Theory of Constraints: A Review of The Philosophy and Its Applications", International Journal of Operations and Production Management, Vol. 18, No. 4, pp. 336-355, 1998.
- [2] V. J. Mabin and S. J. Balderstone: The World of The Theory of Constraints: A Review of The International Literature, St. Lucie Press, 2000.
- [3] M. Gupta, edit: "Special Issue: Constraints Management: Recent Advances and Practices", International Journal of Production Research, Vol. 41, No. 4, 2003.
- [4] M. S. Spencer and J. F. Cox, III: "Optimum Production Technology (OPT) and The Theory of Constraints (TOC): Analysis and Genealogy", International Journal of Production Research, Vol. 33, No. 6, pp. 1495-1504, 1995.
- [5] M. L. Srikanth and M. M. Umble: Synchronous Management: Profit-Based Manufacturing for the 21st Century vol. 1 & 2, Spectrum, 1997.
- [6] 岩田弘尚: "ABCシステムとTOCにおけるパラダイムの相違—機械論的世界観と自然生命システム論的世界観—", オペレーションズ・リサーチ, Vol. 48, No. 9, pp. 635-641, 2003.
- [7] F. R. Jacobs: "The OPT Scheduling System: A Review of A New Production Scheduling System", Production and Inventory Management, Vol. 24, No. 3, pp. 47-51, 1983.
- [8] F. R. Jacobs: "OPT Uncovered: Many Production Planning and Scheduling Concepts Can Be Applied with or without The Software", Industrial Engineering, Vol. 16, No. 10, pp. 32-41, 1984.
- [9] E. M. Goldratt: "Computerized Shop Floor Scheduling", International Journal of Production Research, Vol. 26, No. 3, pp. 443-455, 1988.
- [10] T. D. Fry, J. F. Cox and J. H. Blackstone: "An Analysis and Discussion of The Optimized Production Technology Software and Its Use", Production and Operations Management, Vol. 1, No. 2, pp. 229-242, 1992.
- [11] S. R. Lawrence and A. H. Buss: "Shifting Production Bottlenecks: Causes, Curse, and Conundrums", Production and Operations Management, Vol. 3, No. 1, pp. 21-37, 1994.
- [12] K. K. Fung: "Followed the Laggard?—Not All Bottlenecks Are Created Equal", System Dynamics Review, Vol. 15, No. 4, pp. 403-410, 1999.
- [13] J. F. Cox, III and M. S. Spencer: The Constraints Management Handbook, St. Lucie Press, 1998.
- [14] Y-M. Tu and R-K. Li: "Constraint Time Buffer Determination Model", International Journal of Production Research, Vol. 36, No. 4, pp. 1091-1103, 2003.
- [15] S. F. Hurley and D. C. Whybark: "Inventory and Capacity Trade-offs in A Manufacturing Cell", International Journal of Production Economics, Vol. 59, No. 1-3, pp. 203-212, 1999.
- [16] S. N. Kadipasaoglu, W. Xiang, S. F. Hurley and B. M. Khumawala: "A Study on The Effect of The Extent and Location of Protective Capacity in Flow Systems", International Journal of Production Economics, Vol. 63, No. 3, pp. 217-228, 2000.
- [17] L. D. Fredendall and B. R. Lea: "Improving The Product Mix Heuristics in The Theory of Constraints", International Journal of Production Research, Vol. 35, No. 6, pp. 1535-1544, 1997.
- [18] T-C. Hsu and S-H. Chung: "The TOC-based Algorithm for Solving Product Mix Problems", Production Planning & Control, Vol. 9, No. 1, pp. 36-46, 1998.
- [19] R. Luebbe and B. Finch: "Theory of Constraints and Linear Programming: A Comparison", International Journal of Production Research, Vol. 30, No. 6, pp. 1471-1478, 1992.
- [20] M. C. Patterson: "The Product-mix Decision: A Comparison of The Theory of Constraints and Labor-based Management Accounting", Production and Inventory Management Journal, Vol. 33, No. 3, pp. 80-85, 1992.

- [21] G. Plenert: "Optimizing Theory of Constraints When Multiple Constrained Resources Exist", *European Journal of Operational Research*, Vol. 70, No. 1, pp. 126-133, 1993.
- [22] T. N. Lee and G. Plenert: "Optimizing Theory of Constraints When New Product Alternatives Exist", *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 34, No. 3, pp. 51-57, 1993.
- [23] E. Schragenheim and B. Ronen: "Drum-buffer-ropes Shop Floor Control", *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 31, No. 3, pp. 18-23, 1990.
- [24] J. V. Simons, Jr., W. P. Simpson, III, B. J. Carlson, S. W. James, C. A. Lettiere and B. A. Mediate, Jr.: "Formulation and Solution of The Drum-buffer-ropes Constraint Scheduling Problem (DBRCSP)", *International Journal of Production Research*, Vol. 34, No. 9, pp. 2405-2430, 1996.
- [25] J. V. Simons, Jr. and W. P. Simpson, III, Jr.: "An Exposition of Multiple Constraint Scheduling As Implemented in The Goal System (Formerly DISAS-TERTM)", *Production and Operations Management*, Vol. 6, No. 1, pp. 3-22, 1997.
- [26] J. V. Simons, Jr., M. D. Stephens and W. P. Simpson, III: "Simultaneous versus Sequential Scheduling of Multiple Resources Which Constrain System Throughput", *International Journal of Production Research*, Vol. 37, No. 1, pp. 21-33, 1999.
- [27] 鈴木定省, 圓川隆夫: "TOC スケジューリング解法の一般化と適用範囲に関する研究", *日本経営工学会論文誌*, Vol. 52, No. 3, pp. 163-171, 2001.
- [28] A. Lockamy, III and J. F. Cox: "Using V-A-T Analysis for Determining The Priority and Location of JIT Manufacturing Techniques", *International Journal of Production Research*, Vol. 29, No. 8, pp. 1661-1672, 1991.
- [29] M. M. Umble: "Analyzing Manufacturing Problems using V-A-T Analysis", *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 33, No. 2, pp. 55-60, 1992.
- [30] H. Grunwald, P. E. T. Strickwold and P. J. Weeda: "A Framework for Quantitative Comparison of Production Control Concepts", *International Journal of Production Research*, Vol. 27, No. 2, pp. 281-292, 1989.
- [31] N. E. Larsen and L. Alting: "Criteria for Selecting A Production Control Philosophy", *Production Planning & Control*, Vol. 4, No. 1, pp. 54-68, 1993.
- [32] M. S. Spencer: "Using "The Goal" in An MRP System", *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 32, No. 4, pp. 22-28, 1991.
- [33] J. Miltenburg: "Comparing JIT, MRP and TOC, and Embedding TOC into MRP", *International Journal of Production Research*, Vol. 35, No. 4, pp. 1147-1169, 1997.