

# TOCに関する学術的研究状況のサーベイ

01506240 (株)日立製作所 生産技術研究所  
01013414 関西大学 工学部

\* 船木謙一 FUNAKI Kenichi  
荒川雅裕 ARAKAWA Masahiro

## 1. 緒言

TOC(Theory Of Constraints)は、生産システムのアウトプットを妨げ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(OP T:Optimized Production Timetables 後に Optimized Production Technology)に遡る。その後TOCは、生産システムに限らず、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、対象範囲を広げている。

TOCは、主に米国において多くの適用効果が報告されているが、TOCに対する科学的、客観的な分析、検証が十分に行われているとは言い難い。しかし、TOCがどのような場合に有効か、効果がどのような形で現れるのかなどを明らかにすることは、TOCを適用、実践する際の指針にもなり、重要なことである。そこで本発表では、TOCのうち生産管理・改善手法について、現在までに公表された学術的論文をサーベイし、どのような研究が行われているかを分類、整理する。また、未だ解決されていないと思われる問題を提示する。

## 2. TOCの構成要素

図1にTOCの構成要素を示す。但し、図1の分類は発表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[1]参照)。これらのうち、本発表では5段階改善ステップと生産管理・改善手法の各要素を中心に議論する。スループット会計については、会計学の分野において是非を含めて多くの議論があるので、それらに任せる。

### (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、以下のステップから成る。

- [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) DBR (Drum-Buffer-Rope)

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ものでなければならず、CCR以外の設備における生産や部品・材料の投入は、全てCCRのスケジュールに合わせれば良い。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喩え、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。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良いという立場をとる。

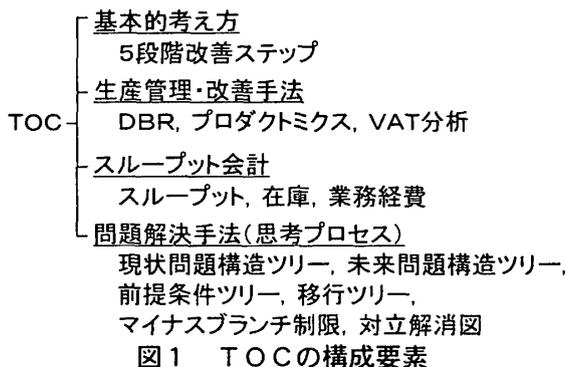
なお、DBRをソフトウェアとして最初に実現したものがOPTであるが、そのロジックは公開されなかった。その後、ロジックを公開しているGS(Goal System)というソフトウェアが開発されている。

### (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の能力を越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良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なければならない。

### (4) VAT分析

TOCでは、製品の工程フローをV型、A型、T型の3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。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も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あてはまる。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、工程フローの合流点も重点管理ポイントである。

### 3. 現在までの研究状況

TOCに関する研究テーマを分類し、代表的論文を挙げると表1ようになる。なお、表1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。

#### (1) OPT

OPTの内容は公開されなかったため、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ている。最初に Jacobs (1983,1984) が機能構成を示し、その後 Goldratt 自身(1988)がOPTの処理を概念的に説明している。さらに、Fryら(1992)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。

#### (2) CCRの特定

TOCの生産管理・改善手法ではCCRの特定が重要であるが、どのようにCCRを特定すれば良いかについての議論は少ない。CCR特定の難しさについては Lawrenceら(1994)や Fung(1999)が述べている。

#### (3) DBR

Schrageheimら(1990)はDBRのアルゴリズムを数値例を用いて検証している。また、Simons, Jr.ら(1996, 1997, 1999)はDBRアルゴリズムを詳細に分析、定式化し、得られたスケジュールの有効性の検証や他アルゴリズムとの定量的な比較をしている。特に複数のCCRが存在する場合の処理方法について詳細な分析がある。

#### (4) バッファ設定・管理

DBRでは、CCRの前に設定するバッファを考慮して先頭工程での部品・材料投入タイミングを決めるので、バッファの設定と管理は重要である。Duclosら(1995)や Hurleyら(1999)はシミュレーションによってバッファ設定の効果を分析した。一方、Schrageheimら(1991)は運用におけるバッファ管理方法を示している。

#### (5) プロダクトミクス

プロダクトミクスは最も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。元々の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(1997)や Hsuら(1998)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(1992)、Patterson(1992)、Plenert(1993)、Leeら(1993)などがある。

表1 TOCに関する研究テーマと代表的論文

研究テーマ	代表的論文	年
OPT	F. R. Jacobs	Prod. Inv. Manage. 1983
	F. R. Jacobs	Ind. Eng. 1984
	R. R. Lundrygan	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
DBR	E. Schrageheim, 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
バッファ設定・管理	E. Schrageheim, et.al.	Prod. Inv. Manage. J. 1991
	L. K. Duclos, et.al.	Int. J. Prod. Econ. 1995
	S. F. Hurley, et.al.	Int. J. Prod. Econ. 1999
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
	VAT分析	A. Lockamy, III, et.al.
生産方式比較・融合	M. M. Umble	Prod. Inv. Manage. J. 1992
	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

#### (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(1991)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(1992)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。

#### (7) 生産方式比較・融合

TOCをMRPやJIT生産方式など他の生産方式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生産方式がMRPより優れていることを示している。また、Grunwaldら(1989)や Larsenら(1993)は適切な生産方式を選択するための考え方を整理している。一方、Spencer(1991)や Miltenburg(1997)はTOCの考え方をMRPに導入することを提案している。

### 4. 解決されていない問題

TOCの生産管理・改善手法に関し、未だ研究が不十分であると思われる主な問題を以下に列挙する。

- (1) CCRの特定方法(複数CCRへの対応、CCRの移動可能性の考慮)
- (2) TOCの目標(スループット最大化)とDBRアルゴリズムとのギャップ
- (3) DBRにおけるロープ長さの設定方法(バッファサイズや搬送ロットサイズとの関係、リードタイム短縮要求との齟齬)
- (4) 複数CCR存在時のDBRアルゴリズム(ジョブを割り付けるCCRの選択順序)
- (5) DBR運用に合わせたレイアウト設計・変更(バッファエリアの考慮)

#### 参考文献

- [1] M.S. Spencer and J.F.Cox, III, "Optimum production technology(OPT) and the theory of constraints(TOC): analysis and genealogy," *Int. J. Prod. Res.*, vol.33, no.6, pp.1495-1504 (1995)