

制約条件の理論 (TOC) における複数目標の 取り扱いの提案

八木 英 一 郎

Proposition of Dealing with Multi-Objectives on Theory of Constraints

Eiichiro YAGI

Abstract

Theory Of Constraints (TOC) is management philosophy proposed by E.M.Goldratt in 1984. TOC initially focused on the fields of production control and management accounting. Later it is extended to the fields of project control and thinking process. Now TOC covered not only operations management but also management in general. Therefore, many books on TOC are available for general readers, although theoreticalground of TOC is not clear. As for theoretical ground of TOC, in order to maximize benefits, excluding constraining condition is considered improvement of TOC. However, in reality, many corporations do not solely aim to maximize benefits. Rather, they considered corporate social responsibility and competitive edge seriously. Therefore, corporations maintain multi-objective system.

This paper will discuss constraining conditions and its improvement procedure that is one of the central elements of TOC. Comparing with application of multi-planning problem, this paper will explore application of multi-objective system. One of the characteristics of TOC is the improvement which remove the construction that the arrest the growth of benefit. But the real company has some objective, i.e. CSR (corporate social responsibility) , competitive edge, shows the multi objective system. This paper proposes the sequence of TOC to apply the multi objective system.

1 研究目的

制約条件の理論 (Theory Of Constraints : 以下 TOC) はエリヤフ・ゴールドラットがその著書「The Goal」[1] の中で提唱した考え方で、当初は生産管理や意思決定会計 (管理会計) の分野を中心に構成されていたが、その後、プロジェクト管理や思考プロセスなどが付加され、現在ではオペレーション・マネジメント全般を包含するような形で広がっている。しかし TOC は考え方を啓蒙するための小説やビジネス書による解説が中心となっており、その理論的な根拠は必ずしも明確化されていない。その基本的な考え方としては、企業を利益を上げるためのシステム (Cash Machine) と捉え、利益の増大を目的として、その目的を妨げるものを制約条件としてとらえている。しかし、現在の企業活動は必ずしも利益の増大のみを目的としているわけではなく、CSR (Corporate Social Responsibility : 企業の社会的責任) を始めとする様々な要因を考え、これらを企業の目的として掲げている例も多く、現在の企業は多目的システムとみなされている。従って、本研究においては TOC の理論の原点となっている制約条件とそれによる改善手順についての多目的システムにおける適用について多目的計画問題と対比しながら考察し、その取り扱い方を提案する。

2 TOC とは

2.1 概要¹⁾

TOC は1970年代後半にエリヤフ・ゴールドラットが OPT (Optimized Production Technology) という生産管理のためのスケジューリングソフトウェアを開発し、それを導入した工場では生産性が大幅に改善し、生産リードタイムが劇的に減少するという効果が出て注目されるようになったことから始まる。その後、ゴールドラットは OPT の普及のために、その基本的原理をわかりやすく説明した小説「The Goal」を出版し、その小説がベストセラーになった。ところが、小説を読んだ読者の手紙の中に、自社工場で小説にあるような改善を実施したところ、小説と同様に劇的な成果が出たという事例があったことをきっかけに、OPT が成果の源ではなく、OPT の背後にある原理を理解しないと、その効果は上がらないことに気づき、この原理を TOC と名付けた。

TOC に基づく生産部門の改善活動を進めるにあたり、企業における方針上の制約条件が大きな障害になることがたびたび生じ、また TOC により生産能力が余剰が生まれた場合、それに対応して売り上げが伸びないなどの問題に対処するために、思考プロセス

(TP: Thinking Process) と呼ばれる手法が提案された。これは根深い対立のある複雑な問題に対して妥協案ではないブレイクスルー案を考え出す手法である。これらの手法は1980年代後半から開発され始め、これを機に TOC は製造業における生産以外の問題に対しても用いられ始めた。現在、TOC は次のような分野から構成されている。

- TOC の基本的な考え方と改善の5ステップ
- TOC スループット会計
- TOC 生産管理
- TOC 思考プロセス
- TOC プロジェクト管理

TOC は日本においては1990年代後半からその紹介が始まり、2001年以降に、ゴールドラットの小説の邦訳が出版される²⁾ など、本格的な普及が始められた。

・ 本研究で取り上げる TOC

本研究では TOC の中でも、特にその基本的な考え方と改善の5ステップを対象とする。TOC では企業の目的を「将来にわたって金を儲けること」と定義し、そのための評価尺度をスループット (単位期間当たりの利益) としている。そしてスループットの増大を妨げているものを制約条件と認識し、この制約条件を取り除くという考え方により改善を進めている。

具体的に改善を進めるプロセスは次に示す改善の5ステップとなる。

1. システムの制約条件を見つける
2. 制約条件を徹底的に活用する
3. 制約条件以外のすべてを制約条件に従属させる
4. 制約条件の能力を高める
5. 制約条件が解消されたら、最初のステップに戻る。しかし惰性が制約条件とならないようにする。

としている³⁾。

本研究ではこの TOC の基本的な考え方と改善の5ステップを多目的システムに適用する場合、どのような取り扱うべきかを多目的計画問題の枠組みを用いて考察し、提案する。

3 TOC と最適化問題

3.1 線形計画問題としての定式化⁴⁾

最適化問題の最も基本的な形として、目的関数、制約条件を線形の数式で表すことがで

きる場合、線形計画問題として表すことができる。線形計画問題は、目的を T 、操作可能な変数を x_j (ただし $1 \leq j \leq n$)、モデルにおける定数を a_{ij}, b_i, c_j とすると

目的関数

$$\text{Max } T = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

制約条件

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\leq b_i \quad i = 1, \dots, m_1 \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &= b_i \quad i = m_1 + 1, \dots, m \\ x_{ij} &\geq 0, j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

と表すことができ、その最適解は現在では単体法などを用いて求めることがほぼ可能となっている [11]。

以上のような線形計画問題により TOC と改善の 5 ステップの考え方「利益の増大を目的として、それを増やすことにより生じる制約を見つけ、その制約の改善を図る。」をモデル上で表現できる。すなわち企業システムを次のような線形計画モデル

目的関数

$$\text{Max } T = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

制約条件

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\leq b_i \quad i = 1, \dots, m_1 \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &= b_i \quad i = m_1 + 1, \dots, m \\ x_{ij} &\geq 0, j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

で表すと TOC の改善の 5 ステップは

1. システムの制約条件を見つける
→ 制約となる制約条件式 (i) $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i$ を特定する
2. 制約条件を徹底的に活用する
3. 制約条件以外のすべてを制約条件に従属させる

この 2 つのステップは合わせて次のようになる

→ ステップ 1 で特定された制約条件式 (i) を満足する内で最良の T となるような $x = (x_1, \dots, x_n)$ を選定する

4. 制約条件の能力を高める

→ T をより大きくするように、ステップ 1 で特定された制約条件式 (i) を規定している事柄の改善を行う

5. 制約条件が解消されたら、最初のステップに戻る。しかし惰性が制約条件とならないようにする。

→ ステップ 1 に戻り新たな制約となる制約条件 (i^*) を特定する。その際に、これまでの手順にとらわれないようにする。

線形計画法として定式化される場合は、スラック変数の値で制約条件の余裕のある・なしが判断できる。

4 多目標問題

4.1 多目標問題とは⁵⁾

複数の評価項目を持つ代替案を評価する問題は多目標問題 (多目的問題, 多属性問題と呼ばれる場合もある) と呼ばれる。一般に多目標問題とは, m 個の代替案 ($X_i : i \in \{1, 2, \dots, m\}$ で表す) を, n 個の評価項目によって評価する。このとき, 評価項目のそれぞれについては代替案の選好関係を定めることができるものとし

1. 比較可能性: 任意の X_i, X_j に対し $X_i > X_j$ または $X_j > X_i$ が成り立つ
2. 推移性: 任意の X_i, X_j, X_k に対し $X_i > X_j$ かつ $X_j > X_k$ ならば $X_i > X_k$ が成り立つ

の 2 つの性質を満たすものとする。

前者は, どちらがよいか比較できないことも世の中には少なくないが, 特定の評価項目に限れば比較可能であるが可能であることを表している。言い換えれば, 比較可能になるまで評価項目を分解することを表している。後者は, 同様に特定の評価項目に限れば推移性が成り立つものとし, 推移的にならないのは比較のたびに評価の視点が異なるからと考える。

このとき, 評価項目ごとの選好順序から, 代替案の総合的な選好関係を次の規則により構成することができる。

「すべての評価項目に対して $X_i > X_j$ が成り立つなら, 総合的な選好関係は $X_i > X_j$ とする」

この規則は最も単純でありかつ決定者にとっても納得のいくものであるが, この規則により生成される総合的な選好関係は半順序となるため, この規則により生成される最も選好される代替案の集合の要素は単数であるとは限らない。そのため, この規則により生成

される最も選好される代替案の集合の要素はパレート最適解（または非劣解）と呼ばれる。ここで“最適”というのはある1つの評価項目についてよくしようと思えば必ず他の評価項目が悪くなるという意味での最適である。パレート最適となっている要素は先の規則では比較不能となるが、現実にはこの中から特定の1つの解を選択しなければならないことが多い。そのため、

$$X_i \succ X_j \Leftrightarrow u(X_i) \geq u(X_j)$$

となる関数 u を定め、関数 u により代替案の総合得点を求めることで、総合的な選好関係を求める。

・ 多目的問題における解の求め方

多目標問題における解の求め方としては次の方法が提案されている [14]

1 効用関数または無差別曲線を利用する方法

信頼度の高い選好関数を同定するには前提条件の検証及び効用の測定において高度の技術を必要とする。評価項目数が増大するにつれて無差別曲線の同定が非常に困難になる。

2 パレート最適解より直接選好解を選択する方法

3 評価規範を導入して選好解を求める方法

決定者の選好構造を分析し、最も適当と考えられる評価規範を導入して、目的関数をスカラー化することで選好解を求める。

4 局所的選好情報に基づいて選好解を対話的に求める方法

決定者より局所的な選好情報を引き出し、数理計画法の支援の元に選好解を対話的に見いだす。

3で示したTOCの定式化、「一つの目的関数を定め、それを増やすことによって生じる制約条件を見つけ、改善を図る」という考え方に合致させるには、目的関数を定めなければならない。上記の中で目的関数を明示的に定めるのは「3評価規範を導入して選好解を求める方法」となるため、この方法を選ぶことになる⁶⁾。通常、この評価規範を導入し目的関数をスカラー化する方法として広く用いられているのは評価項目の重要度とその得点を加重和する方法である。すなわち、代替案 i の評価項目 j の値を x_{ij} とし (x_{ij} の値は大きいほどよいとする)、評価項目 j に対する重要度を w_j で表すものとする (w_j は大きいほど重要であるとする)、代替案 i の総合点を

$$\sum_{i=1}^n w_j x_{ij}$$

で計算し、これを目的関数とすることになる。

なお、ウェイトの総計を $1(\sum_{i=1}^n w_i = 1)$ 、あるいは評点の総計を $1(\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1)$ などの方法で基準化を行う場合もある。

5 提案する複数目標の取扱法

5.1 多目標計画問題としての定式化の問題点⁷⁾

重み付け評価法の意味を図で考える。今、評価項目が2、代替案が3の例を平面にプロットすると図1のようになる。どの評価項目も評点は大きければ大きいほどよいとすると、重み付け評価の総合評価 ($\sum_{i=1}^n w_i x_{ij}$) は図1では等価値直線 (破線で示す) として表され、右上側の等価値直線上に乗っている代替案ほどよい代替案となる。等価値直線の傾きはウェイトの比となり、どの点を選ばれるかはウェイトの比により異なってくる。この例の場合、傾きが0から「線分 $X_i X_j$ の傾き」の場合代替案 X_i が、「線分 $X_i X_j$ の傾き」から「線分 $X_j X_k$ の傾き」の場合代替案 X_j が、「線分 $X_j X_k$ の傾き」から $-\infty$ の場合代替案 X_k が選択される。注意しなければならないのは、ウェイトの比と代替案の集合の形状 (傾き) の両者により選択される案が定まる、という点である。

また、加重和ではすべての評価項目のウェイトを等しくしても必ずしも各評価項目の値が同等の案が選ばれるとは限らない。先の図1に示されるような凸性がある代替案の集合の場合は重みを等しくすることによりどちらの評価項目もそこそこよい代替案 X_j が選択

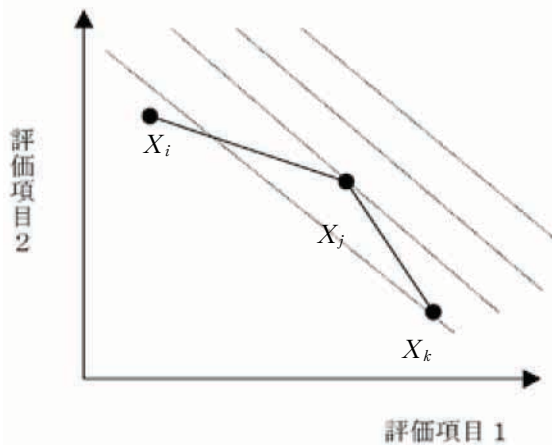


図1：重み付け評価の図的な意味

される可能性もあるが、図2のような凸性がない（非凸）代替案の集合の場合、加重和ではどちらかの評価項目の値が極端により代替案 X_i または X_k が選ばれ、どちらもそこそこの代替案 X_j を選択することはできない（詳細については [18]）。このような状況が生じるのは代替案の集合が、評価項目の選好とは無関係に、現実の制約により定まるためである。

一方、ウェイトによる加重和を行う方法の問題点として認識しておかなければならないことは、ウェイトをつける際の困難性である。例えば、数件の新規商品開発計画がありこのときの評価項目として売上、利益、シェア、企業イメージなどを考えるとする。この評価を重み付け評価法で行うとするならば、先に述べたように、売上・利益・シェア・企業イメージの1単位に対するウェイトを求めなければならない。そして、そのためには売上・利益・シェア・企業イメージ1単位はどの程度になるかを定めなければならない。当然、これらを定めることは困難であり、得られたウェイトの信頼性も低いことが想定される。このような場面に代替案に対して得られた結果が僅差である場合、感度分析を行って、さらに細かい分析を加え、再評価を試みなければならない。

また、加重和において総合評価をよくしようとする場合は、各評価項目の値をよくしなければならないが、各評価項目の値を独立に定めることができる場合は少なく、ある評価項目をよくすると、他の評価項目の値が悪くなる（あちらを立てれば、こちらがたたず）ことが多いため、特に現実の企業のような複雑なシステムにおいてはこれをコントロールすることは難しい。

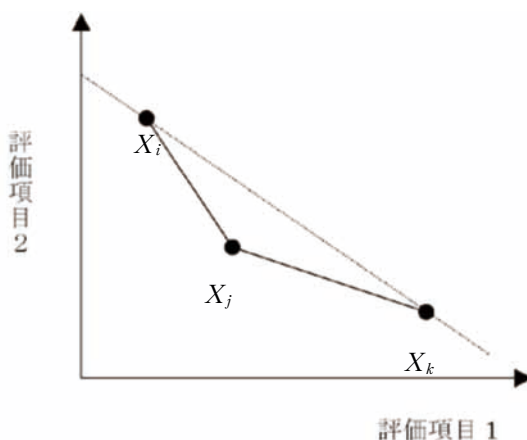


図2：重み付け評価では選択されない代替案が生じる例

5. 満足化

一方、各評価項目についてある水準以上ならばよしとする代替案を選ぶ満足化の考え方がある [19]。しかし TOC においては目的を最大化させるときに生じる制約条件に対して、改善などのアプローチをとるため、満足化された状態が得られれば、それ以上の改善を行うことはできない。このため、単純な満足化では不十分となる。

5. 提案する取扱法

多目的問題において、最も重要な評価項目を TOC における目的関数と定める。その他の項目についてはある水準を満足していればよいとする満足水準を定め、その満足水準を満足しているならばよしとする制約条件として扱う。

すなわち、先の TOC の定式化を多目的線形計画問題として表現すると

目的関数

$$\text{Max } z_k(x) \quad k = 1, \dots, n$$

制約条件

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i \quad i = 1, \dots, m_1$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = b_i \quad i = m_1 + 1, \dots, m$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

となる。ここで TOC を適用するための準備として、「 n 個の多目的目的関数の中から TOC 目的関数となる目的関数の一つを定め、その他の目的に関しては満足となるレベルを示す満足条件を追加し、制約条件に変換する。」という措置を取る。従って上記の多目的問題を

目的関数

$$\text{Max } z_l(x)$$

制約条件

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i \quad i = 1, \dots, m_1$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = b_i \quad i = m_1 + 1, \dots, m$$

$$z_k(x) \geq c_k \quad k = 1, \dots, l-1, l+1, \dots, n$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

という形に変換する。

ここで TOC の改善の 5 ステップを次のように適用する。

1. システムの制約条件を見つける
→ 制約となる制約条件式を特定する
2. 制約条件を徹底的に活用する
3. 制約条件以外のすべてを制約条件に従属させる
この 2つのステップは合わせて次のようになる
→ ステップ 1 で特定された制約条件式を満足する内で最良の T となるような $x = (x_1, \dots, x_n)$ を選定する
4. 制約条件の能力を高める
→ 目的関数をより大きくするように、ステップ 1 で特定された制約条件式を規定している事柄の改善を行う
5. 制約条件が解消されたら、最初のステップに戻る。しかし惰性が制約条件とならないようにする。
→ ステップ 1 に戻り新たな制約となる制約条件を特定する。その際に、これまでの手順にとらわれないようにする。

線形計画法として定式化される場合は、スラック変数の値で制約条件の余裕のある・なしが判断できる。

多目的モデルにおいては利益も目的の一つとして扱われるため、利益以外の目的を最重要の目的とみなし、利益を制約条件と考えることで、NPO などの非営利目的の組織の改善にも応用することができる。

5. 適用例

本節では前節の TOC と改善の 5 ステップのモデル化を行うために、次のような例題を用いて考える⁸⁾。

営業部門と製造部門の 2 部門からなる次の会社において次のデータがある。利益（粗利益）を最大化したいという希望と、製品 B は新製品のため販売に力を入れたいと考えている。2つの製品 A と B の販売をどのようにすべきか。

営業部門からのデータ

製品	A	B
販売価格	9000 (円/個)	10000 (円/個)

需要	100 (個/週)	50 (個/週)
製造部門からのデータ		
製品	A	B
原材料価格	4500 (円/個)	4000 (円/個)
製造時間	15 (分/個)	30 (分/個)
工場の稼働時間：週5日間，1日8時間で週40時間 (=2400分)		

共通データ

業務費用 (販売量により変動しない費用)：60万円/週

先に述べた会社をモデル化すると次のようになる。

製品 A の販売数を x_1 ，製品 B の販売数を x_2 とすると，

目的関数

$$\text{Max } T_1 = 4500x_1 + 6000x_2 - 600000$$

$$\text{Max } T_2 = x_2$$

制約条件

$$15x_1 + 30x_2 \leq 2400 \quad (1)$$

$$x_1 \leq 100 \quad (2)$$

$$x_2 \leq 50 \quad (3)$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

となる。

TOC を適用する準備段階として，目的関数として粗利益 T_1 をとり，製品 B の販売量 T_2 は制約条件とする。このため，製品 B の販売量については40個/週以上を満足条件とする。このための定式化は次のようになる。

目的関数

$$\text{Max } T_1 = 4500x_1 + 6000x_2 - 600000$$

制約条件

$$15x_1 + 30x_2 \leq 2400$$

$$x_1 \leq 100$$

$$x_2 \leq 50$$

$$x_2 \geq 40$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

これを線形計画法で解く際には、スラック変数 $x_3, x_4, x_5, x_6 \geq 0$ を導入し、次のように定式化される。

目的関数

$$\text{Max } T_1 = 4500x_1 + 6000x_2 - 600000$$

制約条件

$$15x_1 + 30x_2 + x_3 = 2400 \quad (1)$$

$$x_1 + x_4 = 100 \quad (2)$$

$$x_2 + x_5 = 50 \quad (3)$$

$$-x_2 + x_6 = -40 \quad (4)$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geq 0$$

これを解くと、 $x_1 = 80$ 、 $x_2 = 40$ の時に目的関数の最大値が0となり、製品Aを80個、製品Bを40個製造・販売したときの粗利益が0万円となる。さらにスラック変数の値は $x_3 = 0$ 、 $x_4 = 20$ 、 $x_5 = 10$ 、 $x_6 = 0$ となり、このスラック変数の値より、製品Aの販売数 x_1 の制約条件である式(2)には20の余裕が、製品Bの販売数 x_2 の制約条件である式(3)には10の余裕があり、工場能力の制約条件である式(1)と製品Bの販売数 x_4 の満足制約の条件である式(4)に余裕がなく、この2つが目的関数を制約する制約条件となっていることがわかる。目的関数の値を増やす(利益をさらに増す)ためには、目的関数を制約する制約条件を緩和しなければならないが、この場合は2つの制約条件のどちらかを緩和することが必要となる。

工場の能力に関する制約条件(1)を緩和する場合はそれを規定する3つの定数を変更する3通りの方策(①製品Aの製造時間15分/個を短縮、②製品Bの製造時間30分/個を短縮、③稼働時間2400分の増大)がある。満足制約の条件(4)を緩和する場合は、製品Bの販売数量を下げ、その代りに製品Aを販売することになる。決定者はこれらの中で最も効果的な方策を選択することになる。

以上を図示すると図3のようになる。点線が目的関数であり、右上側の線上の点の方がより大きな目的関数値となる。図中の(1)(2)(3)(4)は制約条件式の番号であり、(0,40)、(0,50)、(60,50)、(80,40)で囲まれる部分が制約条件を満足する範囲となる。現状における解、製品A:80個、製品B:40個は図1の点(80,40)で表される。先に述べた制約条件式(1)を緩和する3つの方策、「①製品Aの製造時間15分/個を短縮」は図の制約条件式(1)の切片を変えず傾きを増やす(傾きは負のためその絶対値は減る)ことになり、「②製品Bの製造時間30分/個を短縮」は傾きを減らし切片を増やすことになり、「③稼働時間2400分の増大」は切片を増やすことになる。制約条件式(4)の緩和はグラフを下側に移動させることとなり、このとき x_2 は減少するが、目的関数は

x_3 減少分より x_1 の増加分の方が多いため全体としては増加する。

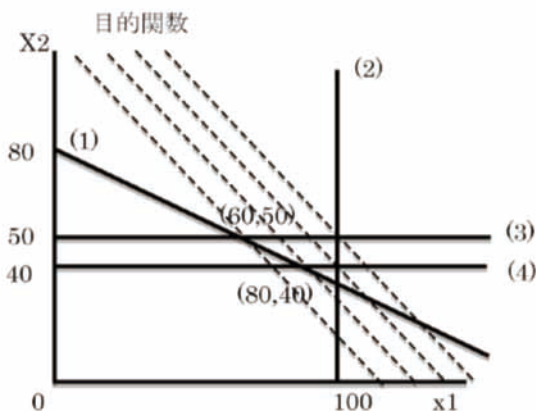


図3：図による解釈

6 結論

本研究では、企業を利益を上げるためのシステムと捉え、利益の増大を目的として、その目的を妨げるものを制約条件としてとらえている TOC における改善に対して、現在の企業活動で考慮されている利益以外の要因を取り入れるための取り扱い方法を考察し、提案した。

註

- 1) 主として参考文献 [2, 3] に基づいた [12] の記述を引用している
- 2) 邦訳されたものには [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10] などがある
- 3) TOC の改善の 5 ステップについては文献により若干の表現の違いがみられるが、ここでは [8] による
- 4) この節は [12] を参考としている
- 5) [13, 14, 15, 16 など] に基づいた [17] による
- 6) 「1 効用関数または無差別曲線を利用する方法」はその同定が困難なため、ここでは扱わない
- 7) [13, 14] に基づいて記述された [17] による
- 8) [12] で示した事例をもとに作成した

参考文献

1. Goldratt M Eliyahu, CoxJef, 「The Goal : A process of ongoing Improvement」, North River Pr., (1992)

2. McMullen B Thomas, 「Introduction to the Theory of Constraints (TOC) Management System」, St. Luioe Press / APICS Series on Constraints Management, (1998)
3. 加藤治彦, 竹之内隆, 村上悟, 「TOC 戦略マネジメント」, 日本能率協会マネジメントセンター, (1999)
4. ゴールドラット著, 三本木亮訳, 「ザ・ゴール」, ダイアモンド社, 2001
5. ゴールドラット著, 三本木亮訳, 「ザ・ゴール 2」, 思考プロセス, ダイアモンド社, 2002
6. ゴールドラット著, 三本木亮訳, 「チェンジ・ザ・ルール」, ダイアモンド社, 2002
7. ゴールドラット著, 三本木亮訳, 「クリティカルチェーン」, ダイアモンド社, 2003
8. ゴールドラット著, 三本木亮訳, 「ゴールドラット博士のコストに縛られるな」, ダイアモンド社, 2005
9. ゴールドラット著, 三本木亮訳, 「ザ・チョイス」, ダイアモンド社, 2008
10. ゴールドラット著, 三本木亮訳, 「ザ・クリスタルボール」, ダイアモンド社, 2009
11. 今野浩, 「線形計画法」, 日科技連, 1987
12. 八木英一郎, “制約条件の理論 (TOC) に基づく改善に対する一考察”, 東海大学紀要政治経済学部, No.44, pp265-275, 2012
13. ラルフ・L・キニー, ハワード・ライファー共著, 高原康彦, 高橋亮一, 中野一夫, 監訳, 「多目標問題解決の理論と実例」, 構造計画研究所, 1975
14. 市川惇信編, 「多目的決定の理論と方法」, 計測自動制御学会, 1975
15. 伏見多美雄, 福川忠昭, 山口俊和, 「経営の多目標計画」, 森北出版, 1987
16. J・P・イグナチオ, 高桑宗右エ門訳, 「単一目標・多目標システムにおける線形計画法」, コロナ社, 2000
17. 八木英一郎, “重み付け評価法に関する考察”, 東海大学紀要政治経済学部, 第30号, pp195-204, 1998
18. 中山弘隆, “対話型多目的計画法—方法と応用”, オペレーションズ・リサーチ, Vol.33, pp.375-381, 1988
19. 宮川公男, 「意思決定論—基礎とアプローチ」, 中央経済社, 2010