

TOC思考プロセスを活用した 循環システムに関する考察

正会員 土井 裕 文* 正会員 篠田 岳 思**

Study on an Approach on Circulate System Characteristic Analysis by TOC Thinking Process

by Hirofumi Doi, Member

Takeshi Shinoda, Member

Key Words: Circulate system, TOC thinking process, Environment, Holistic improvement

1. 緒言

自然は循環システムであると言われている。水や風(空気)の循環や生物の連続する生死による生体系のリレーなど循環システムは生きることそのものとも思える。我々がこの世界で生き続けるためには循環システムが恒久的に存続することが前提条件と考えられる。よって、循環システム(自然)の異常という環境問題は何よりも優先して解決すべきことになる。「生態系と生物多様性の経済学 中間報告(TEEB)」¹⁾に現状が詳しく報告されている。

企業を部分最適から全体最適化を実施すると企業/システムの生産性は向上する。TOC^{2) 3)}では制約に集中した改善方法でこの全体最適ロジックを紹介され、多くの企業での成功例がある。しかし、市場のなかでは1企業も1つの工程であり市場システムから見ると企業の全体最適は市場の中の1つの部分最適である。現在の市場経済社会はこの部分最適を企業が繰り返し成長したが、一方で自然資本の毀損が伴っていたということになる。世界の全体最適とは自然循環システムを健全にすることである。これを実現するためには循環システムの特性を学ぶことが重要である。この学びが十分であれば思い込みや市場経済主義の偏りによる環境対策が減退するリスクを回避できると考える。

TOCでは繋がりと揺らぎがあるシステムでは制約に集中することがそのシステムの生産性を最大化する。循環システムでもこの制約理論は適用されると仮定をして循環システムの特性検討を行った。コロナ問題や自然災害など自然の驚異は我々人類に環境問題を警鐘しており、問題解決には待ったなしの状況である。対策実行には準備が整うことが重要である。この循環システムの特性理解が環境問題への動機に繋がることを期待する。

2. 循環システム

2.1 循環システム

自然界は循環しているのでFig. 1³⁾のように整理をした。表1は身近な循環システムをまとめたものである。Fig. 2は循環システムの特徴を示した図である。定量のものを繰り返し循環させていることが特徴である。また、油圧循環システムではポンプが過大でオイルの量が過少であるとポンプは油温が上昇しポンプの焼付き等を起こし油圧

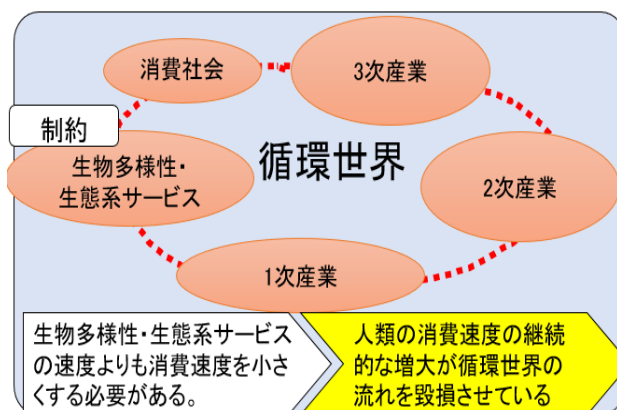


Fig. 1 Nature circulation system described by TOC

Table 1 Various circulation systems

循環システム	付加価値 (流れるもの)	投入 (制約)	A	B	C	D
1 化石エネルギー	石油(天然ガス) 保持エネルギー	自然(埋蔵地)	採取企業	輸送 (ロジスティクス)	精製企業 加工企業 (発電)	消費市場
2 食物(植物)	植物 保持エネルギー 栄養源	自然*(農耕地、山林)	農業	輸送 (ロジスティクス)	食品工業 小売り 飲食店	消費市場
3 植物(海産物)	海産物 保持エネルギー 栄養源	自然*(海)	漁業	輸送 (ロジスティクス)	食品工業 小売り 飲食店	消費市場
4 食物(食用動物)	食用動物 保持エネルギー 栄養源	自然*(牧場・養豚場等)	畜産業	輸送 (ロジスティクス)	食品工業 小売り 飲食店	消費市場
5 自然(生物多様性等々)	宇宙に存在するもの	自然	地形・地球	風水(気象)	生物多様性	生態系
6 体	食物・空気・気温・光	自然*(生態系サービス)	消化器系・呼吸器系	循環系(動脈・静脈)	細胞での栄養交換	排泄

* 三井 E&S 造船株式会社 / 九州大学大学院工学府

** 九州大学大学院工学研究院

原稿受付 令和2年9月18日

公開日 令和2年11月9日

秋季講演会において講演 令和2年11月16, 17日

©日本船舶海洋工学会

循環システムが崩壊する。自然循環システムで自然資本の過剰搾取や毀損が起きると異常気象、災害多発等は循環システムの崩壊現象と考えるべきであろう。Fig. 3は循環システムが継続する理由を思考プロセスで整理したものである。

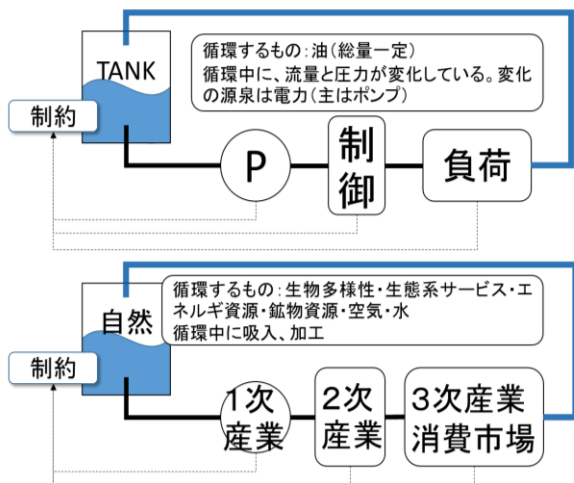


Fig. 2 Characteristic of circulating system

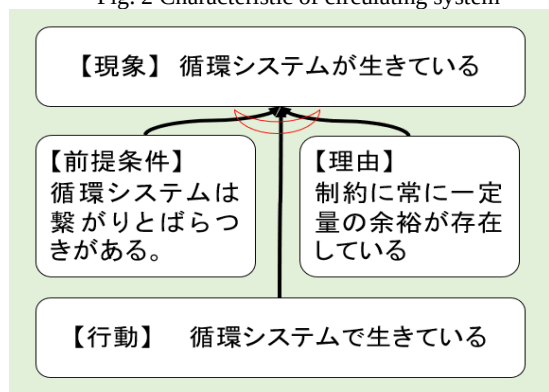


Fig. 3 Reason of everlasting circulating system

2.1.1 循環システムのモデル化

循環システムは繋がりと揺らぎがあるモデルと考える。個々の工程のキャパシティはアダムスミスが自然価格で述べているように、世の中は自然に調和をしようと考えると同じキャパシティとした。自然循環システムは自然資本が起点になり、市場で順々に付加価値が加えられ消費市場で消費・廃棄され自然に帰るという循環である。Fig. 4は需要があれば生産をする行動に基づいたシステムの現象を整理したものである。目の前に餌があると食べてしまうという行動ロジックである。図中のダイスの絵は不確実性をダイスで表現している。Fig. 5は循環システムに於ける制約の行動ロジックを示したものである。制約は能力分しか供給しない行動である。Fig. 6は一般的な企業のシステムを示したものである。企業は十分な市場が存在することが成立する前提条件があるので、企業の意思によって投入量をコントロールできるというロジックである。

2.1.2 循環システムのシミュレーション計算

(A) 市場の成長の影響

循環システムは繋がりと揺らぎのあるモデルである。不確実性を含むのでモンテカルロ法を用いて計算を行った。環境問題は継続的な市場の成長（生産量の増大、開発の拡大）により問題化してきた。Fig. 7は循環システムの制約以外のキャパシティを成長拡大するシナリオで計算を行ったものである。投入数が自然のキャパシティに近づくまではシステム内の仕掛品が漸減している。投入数が自然のキャパシティに到達すると投入数は当然抑えられる。そしてシステム内の仕掛品が急激に減少している。極めて激しい変化を示している。システムが仕掛品を突如奪い合う現象と推察できる。

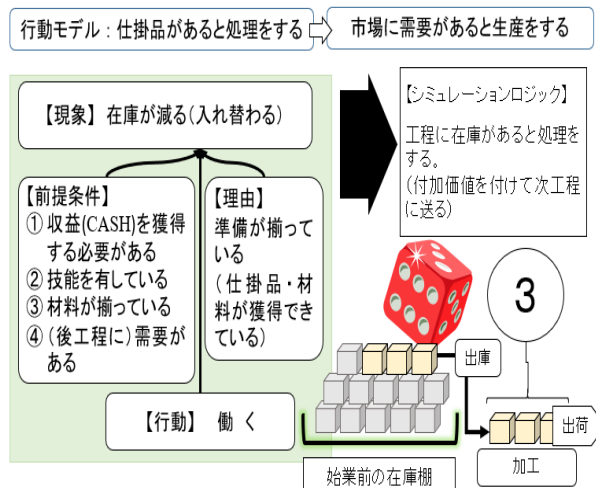


Fig. 4 Logic of each stage action

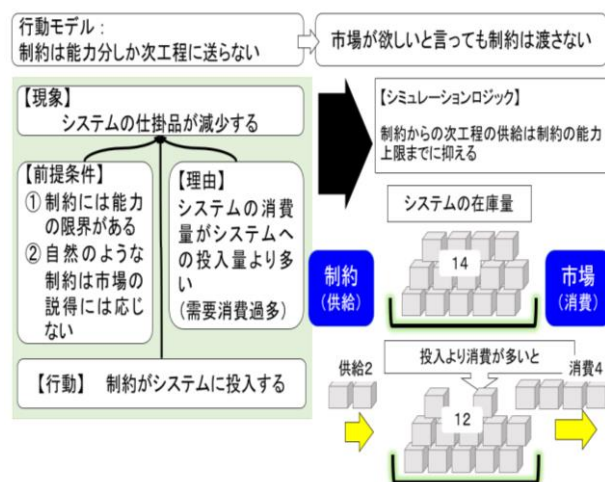


Fig. 5 Logic of constraint's action in circulating system

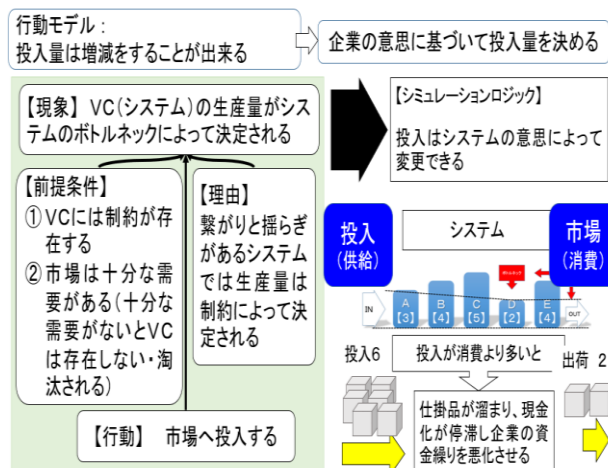


Fig. 6 Logic of company system having talent of control on injection

(B) 自然キャパシティと市場キャパシティの相関

Fig. 7では次第にシステム内の仕掛品が減少している。キャパシティ比が同等になると急激に仕掛品が減少した。平衡状態を失いシステムが激変している。これは自然と市場のキャパシティ比に何かしらの相関があると思われる。Fig. 8はキャパシティ比とシステム内の仕掛品の数の相関をグラフ化したものである。1.2~1.3倍で大きな変化を示している。Fig. 9では自然が60%毀損する

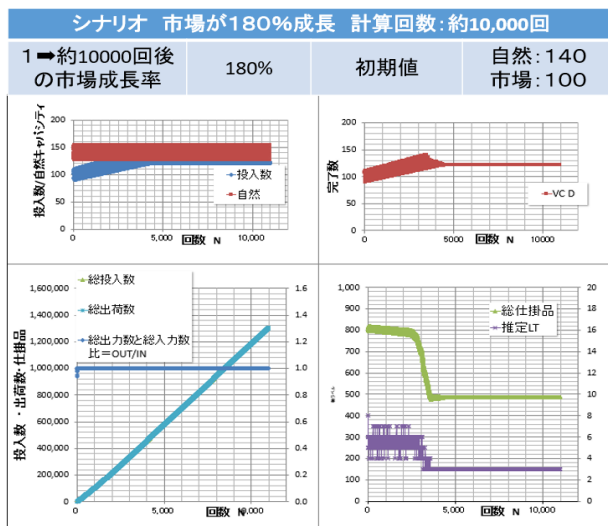


Fig. 7 Simulation results in case of increasing market capacity

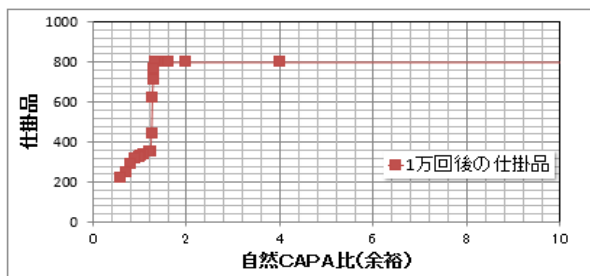


Fig. 8 Relationship of Nos of WIP in the system VS proportion of capacity (Nature vs market)

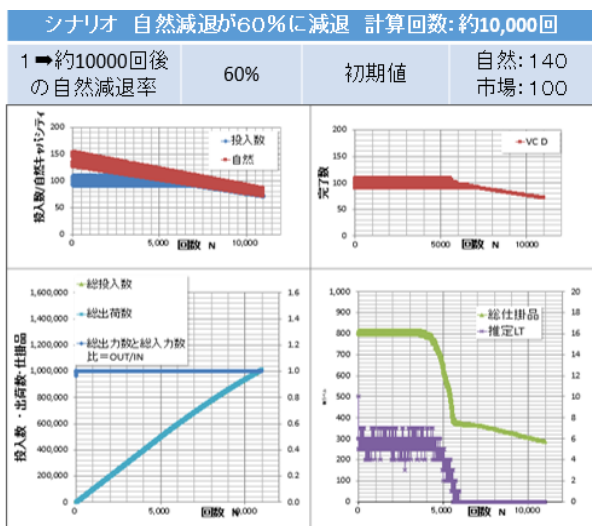


Fig. 9 Simulation results in case of decreasing nature/constraint capacity

というシナリオを計算したものである。制約の自然がシステムを支配していることが分かる。循環システムは制約に合わせざるを得ないことになる。

(C) 市場の揺らぎの影響

揺らぎの大きい市場と小さい市場での自然の必要キャパシティとの相関を計算した。Fig. 10に計算結果を示す。キャパシティ比が小さくなると制約に支配されてシステム内の仕掛品の数が激減している。その収束値は市場の揺らぎとの相関結果から市場システムは揺らぎを小さくすることが望ましいことが分かる。

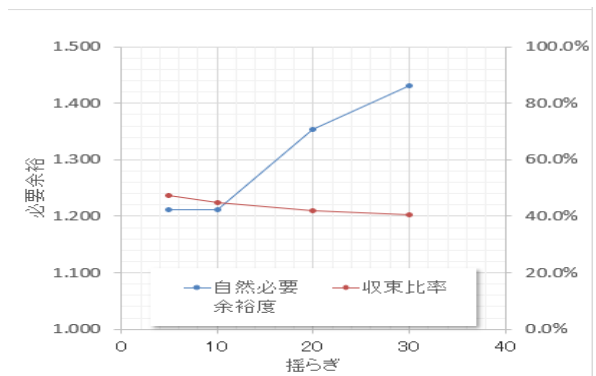


Fig. 10 Relationship between efficiency and fluctuation

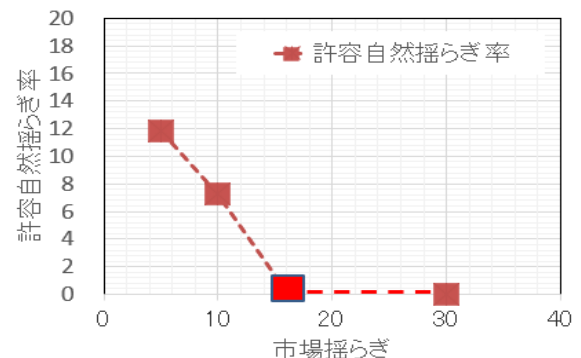


Fig. 11 Allowable constraints fluctuation on non-constraint fluctuation

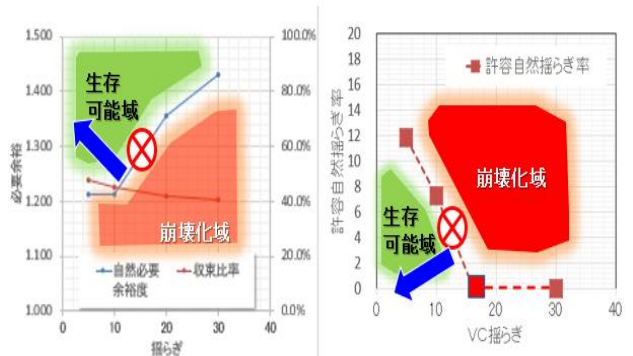


Fig. 12 trade-off diagram on environmental issue

(D) 自然の揺らぎの影響

制約の自然の揺らぎが変化したときの相関について計算した。Fig. 11に計算結果を示す。市場の揺らぎが約16%を超えると制約の揺らぎがシステムに影響を与えることが分かる。自然の揺らぎ率が数値的には分からないが定性的な特性として理解することは有用であろう。Fig. 10およびFig. 11のグラフはFig. 12に示すトレードオフ曲線となっている。

2.2 循環システムが生き続ける条件

シミュレーション計算から見てくる循環システムの継続の条件は以下と推察される。

- (1) 制約 (の速度) に合わせている
- (2) 制約能力が十分な余裕があるように改善している
- (3) 揺らぎが発生しないような行動をしている

Fig. 13 は循環システムのなかで生きることを思考プロセスでまとめたものである。自然資本の消費の減少と修復の重要性が見えてくる。Fig. 14 はこの2つの方向性についての行動マトリックスを整理したものである。経済の常識と対峙する自然資本の消費を右肩下がりにする成長

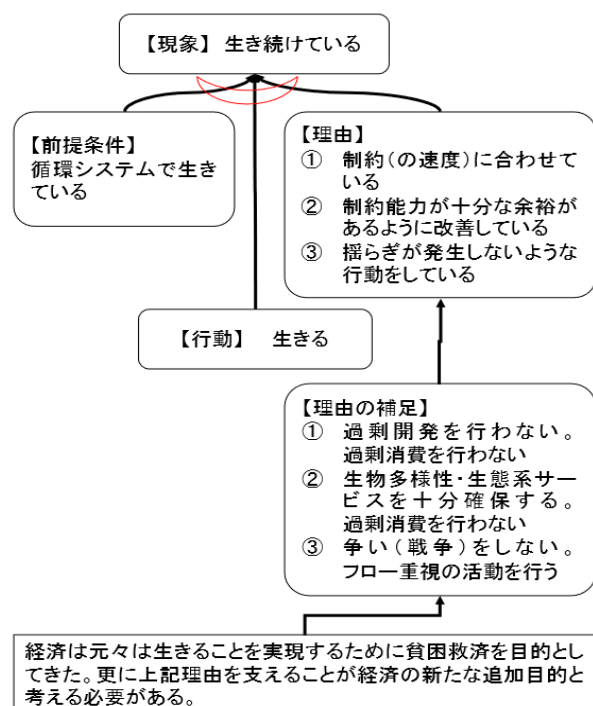


Fig. 13 Reason for everlasting circulating system in TOC thinking process

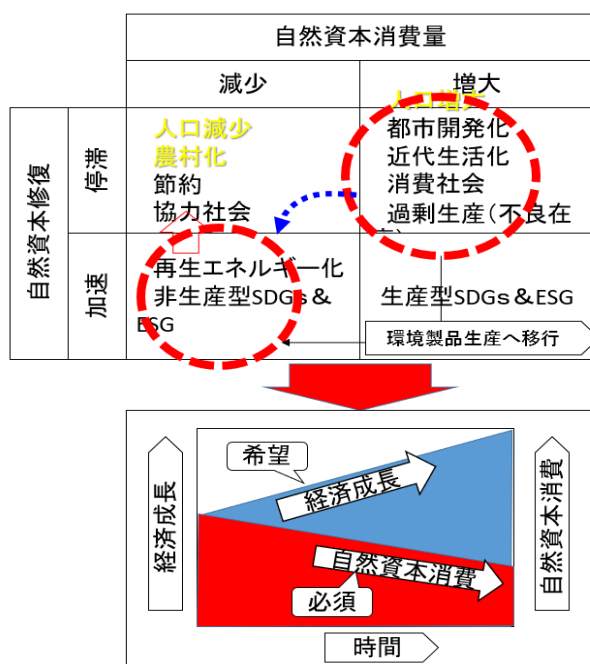


Fig. 14 Activity matrix of nature capital consumption and reviving natural capital

が求められる。自然資本の回復と消費の低減は必須であるが、経済成長は希望的存在となることになる。SDGsやESGが新たなビジネス分野として経済を先導していくことがこの希望的経済成長を実現する重要な方法となることになる。これらのビジネスは自然資本を使うことなく付加価値を生み出すビジネスでなくてはならない。ものづくりから事づくりへのシフトが求められる。ものづくりにおいてはコスト思考が大きなインパクトを与えていたが、価値観や創造力の比重が高くなり思考のパラダイムシフトを生み出す必要がある。

3. 結論

今回は制約理論を活用したシミュレーション計算により循環システムの特性を調べ、望ましい健全化の方向性を検討した。今後の産業の健全化への取り組むべき課題について考察を行った。以下に分かったことをまとめる。

- 1) 循環的な繋がりや揺らぎのある循環システムでは制約と他の比がある数値（シミュレーションでは1.2～1.3倍）付近で急激な状態変化が起こる
- 2) 循環システムに於ける揺らぎの大きさは循環システムの安定性に影響を与える
- 3) 循環システムの健全化には制約キャパシティに十分な余裕を与えることとシステムの揺らぎを低減する方向への改善が必要である
- 4) 循環システムで生存するには過剰な自然資本の消費は避けることが必須である
- 5) 揺らぎの少ない平和な市場の建設を進める

参考文献

- 1) パヴァン・スクデフ 研究リーダー、スタブロス・ディマス 欧州委員会環境総局 環境担当委員、シグマール・ガブリエル ドイツ環境大臣：生態系と生物多様性の経済学 中間報告 日本語版、pp 64、2008
- 2) エリヤフ・ゴールドラット：ザ・ゴール、ダイヤモンド社、pp.552、2001
- 3) エリヤフ・ゴールドラット：ザ・ゴール2、ダイヤモンド社、pp.375、2002
- 4) 土井裕文、篠田岳思：TOC 思考プロセスによる環境問題の課題解決への適用、日本船舶海洋工学会講演会論文集、vol.30、pp.169-172、2020