

ライフサイクルシミュレータを用いた自動販売機のライフサイクル設計戦略の提案

品質マネジメント研究

3603R024-5 近藤 征人

指導 棟近雅彦 教授

Proposal on Strategies of Life-Cycle Design for Vending Machine Using Life-Cycle Simulator

By Masato KONDO

1. 序論

製品メーカーにおける従来の設計戦略の主な目的は、直接顧客の要求を満たすことであった。しかし、近年の環境に対する意識の高まりとともに、単に直接顧客の要求を満たすだけでは不十分であり、材料の再利用、部品の再使用など製品のライフサイクル(以下、LC)を考慮した設計戦略の実現が必要となってきた。

そのような背景において、各製品メーカーは、最適な LC 戦略の検討を進めてきた。しかし、周囲の環境や製品の機能は常に変化するため、企業における最適な LC 戦略もそれに対応して変化していくことが必要とされる。

そこで本研究では、自動販売機以下、自販機を例にとり、自販機メーカーにおける最適な LC 戦略を、LC 設計戦略手法と、モノの流れを表現する LC シミュレータを活用することで策定し、その効果を環境、コストの両側面から捉える。そして、企業が LC 戦略を立案し改善していくことを目的としたシミュレータの活用方法を提案し、その活用意義について考察する。

2. 現状調査

2.1 自販機業界の現状

自販機は、市場が既に飽和状態であり、置き換え需要が中心である。一般的に、使用されてから 3 年経過時に軽整備、5 年経過時に重整備が実施される。その後、別の設置場所で再使用され、約 7 年使用後に廃棄される。

また、自販機は複数のユニットから構成されており、それらは基本的に独立している。そのため、故障が起きた場合、その場で故障したユニットを交換することが多く、製品の回収は行われない。

2.2 LC 戦略に関する従来研究

2.2.1 LC プランニング手法(以下、LCP 手法)

LC 戦略は製品特性や部品構成などにより異なる。この LC 戦略の選択を支援することを目的とした手法として、LCP 手法が提案されている^[1]。

この手法は、対象製品に QFD- I, II を実施し、顧客要求事項を品質特性、部品へと展開していくことで、各部品の製品に対する相対重要度を求める。続いて、製品の価値劣化要因を抽出し、各要因の価値劣化影響

度を品質特性、各部品へと、関連度合いを用いて展開していくことで、各部品の製品に対する相対価値劣化影響度を求める。次に、求めた相対重要度、相対価値劣化影響度に加え、部品の耐用寿命や相対コストを軸とした LC オプション分析チャートを作成することで、対象部品に最適な戦略を導き出す。このように、定められた手順に従い検討を進めていくことで、部品レベルの LC 戦略の立案を支援することができる。

2.2.2 ライフサイクルシミュレータ(以下、LCS)

LC 戦略の効果を検証する際に、本学科で開発中の、各プロセス間の製品、部品の流れを表す LCS を活用する^[2]。LCS で表現している LC のプロセスを図 1 に示す。

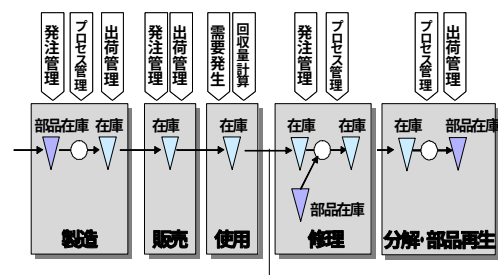


図 1. ライフサイクルプロセス図

シミュレータでは、製品の品質劣化を故障率で、機能低下を陳腐化率で表現する。そして、結果として得られるモノの流量から、環境、コスト両側面に対する影響を算出することで、戦略の効果を検証することができる。

2.2.3 研究課題の整理

従来研究では、製品の LC 戦略立案から効果検証までの、一貫したアプローチ方法は提案されていない。また LCP 手法では、ある時点における戦略の立案方法は示されているが、継続的な戦略の改善までは深く考慮されていない。そこで、LCP 手法と LCS を上手く連携させることで、LC 戦略立案から効果の検証、そして戦略の改善まで考慮した、LCS の活用方法を提案することとする。

3. LC 戦略立案のアプローチ

継続的に LC 戦略を改善するために、軸となる戦略の方向性を定めることとする。はじめに、対象製品に LCP 手法を適用し、現時点における LC 戦略を立案する。ここで導き出された戦略を、継続的な LC 戦略立案

の軸に指定する。

続いて、導かれた LC 戦略を軸として、LCS を以下の手順で活用することを提案する。

- Step1: シミュレーションの重点評価視点の選択
Step2: 評価視点の構造化&戦略判定指標の設定
Step3: シミュレーション実施
Step4: シミュレーション結果の分析(制約因子抽出)
Step5: 制約因子に対する改善案作成 → Step3 へ

Step1: 重点評価視点とは、戦略を考える上で、最も重点を置く評価視点とする。評価視点として、LC 戦略達成度、コスト、環境影響度を取り上げる。LC 戦略を導入する段階では LC 戦略達成度を、改善する段階ではコストまたは環境影響度を重点評価視点に設定する。

Step2: 評価視点の構造化として、評価視点を各評価指標、それを構成するシミュレータのパラメータへと分解する。続いて、評価指標の中から戦略判定指標を設定する。戦略判定指標とは、戦略の良し悪しを判定する際に用いる指標とする。この指標を向上させることを目的として LC 戦略を立案する。

Step3: LC 戦略に対するシナリオの詳細設計を行い、シミュレーションを実施する。

Step4: シミュレーション結果から制約因子を抽出する。ここで制約因子とは、効果指標の向上を妨げている要因(パラメータ)のこととする。また、制約因子の抽出は、構造化した結果を用いることとする。

Step5: Step4 で抽出した制約因子を取り除くことで、戦略の改善案を作成する。Step3 へ戻り、再びシミュレーションを実施する。

4. 自販機の LC 戦略立案

4.1 自販機への LCP 手法適用

LCP 手法を自販機に適用し、各 LC オプション分析チャートを作成した。その結果、自販機において、冷凍機、加熱装置にはアップグレード戦略を、金銭処理を行うコインメック、ビルバリデータ(以下、C/M、B/V)にはスペアパーツリユース戦略を実施すべきという結果を得ることができた。

ここで、C/M、B/V のリユース戦略はまだ検討段階であり、戦略により期待される効果の検証が必要であった。そこで、本研究では C/M、B/V の部品リユースに対してシミュレーションを実施し、最適な LC 戦略について検討することとした。

4.2 自販機への LCS 適用

3 章で提案した Step に従い LCS を適用した。Step3 以降は複数回行われるため、シナリオごとに見る Step3

以降を、Step3-(シナリオ番号)のように説明する。

Step1: ここではリユースを実施した際の効果を検証するという立場であるため、重点評価視点を LC 戦略達成度(リユース達成度)とした。

Step2: 重点評価視点に指定したリユース達成度を構造化した結果を表 1 に示す。

表 1. 構造化結果(一部)

評価視点	評価指標	一次因子	二次因子	三次因子
LC 戦略達成度	寿命活用率	使用中部品の寿命活用率	部品寿命	
			部品使用数	
			部品の使用延べ時間	使用頻度
				使用期間
			部品使用数	
			部品寿命	
			部品残存寿命	使用頻度
				使用期間
			部品廃棄数	部品寿命
				部品使用数
LC 戦略達成度	回収部品の寿命活用率	回収部品の寿命活用率	故障率	
			部品再生能力	
			再生部品数	
			再生部品使用数	
			再生部品寿命	
			再生部品使用数	
			再生部品寿命	
			再生部品使用数	
			再生部品寿命	
			再生部品使用数	

ここでは、部品残存寿命が無駄になっていることが問題として挙げられていたため、寿命活用率をリユース達成度の戦略判定指標に設定した。寿命活用率とは、部品の持つ寿命のうち使用された割合の平均値を表す。

Step3: LC 戦略ごとのシナリオを考える前に、自販機に対するシミュレーションの基本となるシナリオを、以下のように設定した。

【製品定義、スケジュール】

- 製品の使用頻度は、H、M、L(使用頻度=4:3:2)の3パターンを設定

- シミュレーション期間は、01~15 年の 15 年間

【製品構成】

- 各自販機は、本体、C/M、B/V で構成(他の部品故障による製品の廃棄が起らないため)
- 00 年式以前の自販機は C/M、B/V の互換性無
- 01 年式以降の C/M、B/V はすべてリユース対応

【製品、部品の初期設定】

- 各年の需要発生量=市場からの製品回収数(置き換え需要を表現するため)

- 部品の故障率は表 2 のパラメータのワイブル分布で表現

表 2. 部品の初期設定	
各パラメータ	
C/M	m=5 η=103680
B/V	m=6 η=112320

● シナリオ 1: スペアパーツリユース

Step3-1: LC 戦略立案の軸に従い、C/M、B/V のスペアパーツリユースのシミュレーションを実施した。スペアパーツリユースとは、使用済製品から余寿命のある部品を取り出し、修理用部品として用いる戦略である。以下にシミュレーションシナリオを記す。

【スペアパーツリユースシナリオ】

- 使用頻度 L の製品に再使用可能な部品を再生部品として在庫
- 部品故障発生時に再生部品を用いて修理

Step4-1: シミュレーション結果を考察し、制約因子を抽出した。

- 寿命利用率(C/M:38.4%, B/V:35.1%)
- 再生部品の再使用率(C/M:32.0%, B/V:9.3%)
- 再生部品在庫、部品廃棄が大量発生
- 残存寿命の多い再生部品在庫が存在

部品故障によるリユース実施機会に比べ、再生部品が大量に供給されるため、需要不足による在庫過剰、部品廃棄が発生。また、使用頻度の少ない製品に組込まれていた部品が、残存寿命を多く残した状態で在庫されていることが確認できた。したがって、制約因子は再生部品の需要量である。

Step5-1: 残存寿命が多い再生部品への需要拡大を目的とし、製品組込リユースの実施を提案する。

● シナリオ 2: 製品組込リユース

Step3-2: 再生部品を修理用部品としてのみでなく、新造部品と同様に新造製品の部品として組込む戦略である。以下にシミュレーションシナリオを記す。

【製品組込リユースシナリオ】

- ・ 製品製造時に、保証寿命よりも余寿命が多い再生部品を組み込む
- ・ 再使用可能な残存寿命の部品のみを再生
- ・ 使用頻度ごとの保証寿命は表3に従う
- ・ 製品の故障率は、表3のパラメータのワイブル分布で表現

表3. 製品の故障率と保証寿命

	各パラメータ		保証寿命
自販機-1-H	m=8	$\eta=60480$	64800
自販機-1-M	m=8	$\eta=60480$	48600
自販機-1-L	m=8	$\eta=60480$	32400

Step4-2: シミュレーション結果を考察し、制約因子を抽出した。

- 寿命利用率(C/M:41.1%, B/V:39.2%)
- 再生部品の再使用率(C/M:99.8%, B/V:99.9%)
- 再生部品在庫はほぼ未発生、廃棄数はほぼ未変化
- 保証寿命以下の残存寿命の部品廃棄量大

再生部品を使用する機会が増え、再生した部品をほぼ使い切ることができた。一方、残存寿命が多い部品は再使用されたが、保証寿命に達せずに廃棄される部品も多く存在することが確認できた。

廃棄数を削減させるためには、部品残存寿命をできる限り使い切る必要がある。そのためには、再生部品の使用判定に用いている保証寿命を小さくし、現状の保証寿命では廃棄判定となる残存寿命の部品に対して需要を発生させればよいと考えられる。したがって、制約因子は残存寿命、保証寿命である。

Step5-2: 使用判定に用いている保証寿命を短縮し、再生部品の残存寿命をできる限り使い切ることを目的とし、定期回収リユースの実施を提案する。

● シナリオ 3: 定期回収リユース

Step3-3: 製品を一定期間で強制的に回収し、その際にC/M, B/Vを交換することで、部品が市場に存在している期間を短くすることができる。これにより、部品の保証寿命を製品寿命から一定期間の寿命へと短縮し、部品寿命を使い切るというLC戦略である。以下にシミュレーションシナリオを記す。

【定期回収リユースシナリオ】

- ・ 市場に出て3年目と5年目に定期回収を実施
- ・ 回収1前、回収1,2の間、回収2後をそれぞれ世代1~3とし、製品を1-H~3-Lの9種類設定
- ・ 各製品の保証寿命は、表4に従う
- ・ 再生部品は世代3に優先して組込む

表4. 各製品の保証寿命

各製品の保証寿命	使用頻度	世代		
		1	2	3
H		25920	17280	21600
M		19440	12960	16200
L		12960	8640	10800

Step4-3: シミュレーション結果を考察し、制約因子を抽出した。

- 寿命利用率(C/M:87.7%, B/V:91.7%)
- 再生部品の再使用率(C/M:87.9%, B/V:90.3%)
- 再生部品在庫が少量発生、部品廃棄削減大
- 新造部品が削減

保証寿命の短縮により再生可能な部品数が増加し、廃棄数を削減できた。その結果、寿命利用率を大きく向上させることができ、新たな部品の製造を抑制できた。

4.3 3つのシナリオの評価

新造部品数の推移を見ることで、3つのシナリオのリユース達成度を確認した。リユース効果が見られる9年目以降の結果を図2に示す。

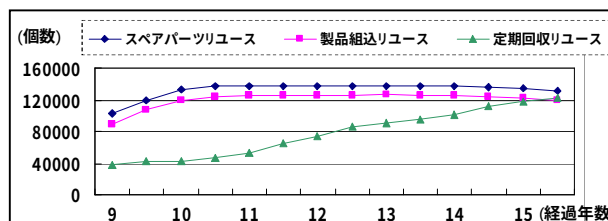


図2. 新造部品数の推移

図2よりリユース実施による新造部品数削減効果が確認でき、定期回収戦略によりリユース達成度を向上させることが可能であることがわかった。

また、3つの戦略について、コスト、環境負荷影響度の評価を行った。その結果を表5に示す。

表5. 3つのシナリオの削減効果比較

	コスト(千円/年)	環境(CO ₂ t/年)
スペアパーツリユース	36706.3	157.9
製品組込リユース	77283.7	803.7
定期回収リユース	88226.5	1366.3

表5より、各シナリオはコスト、環境の両面で効果が得られ、特に定期回収戦略による効果が大きいことがわかった。しかし、ここで取り上げている効果とは、ランニングコストに関するものであり、戦略の導入に必要なイニシャルコストは考慮されていない。そのため、戦略実現を検討する際にはそれも考慮に入れる必要がある。

4.4 結果から導かれる戦略

定期回収の実施は、自販機にとって効果的な戦略であるという結果が得られた。しかし、C/M、B/Vは製品の一部として販売されており、所有権が飲料メーカーに移ってしまう。そのため、定期回収を実現するためには、飲料メーカーとの協力体制を確立する必要がある。

また、定期回収を実現させる戦略として、部品の機能販売戦略が考えられる。金銭処理機能を販売するという立場に立ち、所有権を製品メーカーが持ち続けることで、製品メーカー主導での定期回収が可能となる。この戦略により、製品メーカーには製造コスト削減効果が、飲料メーカーにはメンテナンスコスト削減効果が期待できる。

5. 考察

5.1 LCP手法とLCシミュレーションの有効性

LCP手法は、部品レベルの採択すべきLC戦略の立案を支援することができる手法である。しかし、その戦略を実現するには何らかの方法で戦略の有効性を評価することが必要である。LC戦略の実証による評価は困難であるため、シミュレーションを用いた戦略の評価が有効であるが、この際、モデル、シナリオの妥当性が問題となる。

スペアパーツリユースでは再生部品を修理用として使用した。その際、再使用可能な残存寿命を持つ部品はすべて再生したのだが、部品故障数しか再生部品に対する需要が発生しないため、再生部品の使用率が低い値を示した。

製品組込リユースは再生部品を新造製品に使用する戦略であるため、再生部品の需要は新造製品の需要と等しい。スペアパーツと同様の条件で部品を再生したところ、再生部品の需要量が供給量を上回り、ほぼ使い切ることができた。その結果、再生部品の使用率は100%に近い値を示したが、部品の廃棄数には変化が見られなかった。これは、スペアパーツと製品組込の違いが残存寿命の多い部品に対する需要であるため、残存寿命が少ない部品の廃棄を減らす効果はないためである。

定期回収リユースでは残存寿命が少ない部品に着目し、定期回収を行うことで製品の保証寿命を短縮し、残存寿命の少ない部品に対して需要を発生させた。その結果、従来廃棄されていた部品の再使用が可能となり、寿命活用率が大幅に向上し、廃棄数の削減効果が確認できた。

これらの結果は論理的に考えても成り立つため、作成したモデル、シナリオは妥当だと考えられる。

5.2 戦略立案へのアプローチ

戦略判定指標を指定し、効果指標の向上を妨げている制約因子を解消するという視点を持つことで、改善策立案の方向性を定めることを提案した。その結果、シナリオ1では需要量が、シナリオ2では残存寿命と保証寿命が制約因子として挙げられた。そして、その条件を解消する戦略が有効だという結果を、シミュレーション実施により得ることができた。

これにより、目的を“戦略判定指標の向上”、対象を“効果指標の制約因子”と戦略立案の方向性を示すことが、継続的LC戦略立案の支援に有効であると考えられる。

5.3 LC戦略の立案とLCS開発

制約因子は、LCSのパラメータから抽出する。これは、制約因子に対応して立案するLC戦略を、LCSで表現することを前提としているためである。しかし、シナリオ2で抽出された制約因子を解消するようなシミュレーションは、従来のLCSの機能の範囲外であった。そこで、新たに定期回収を表現できる機能を開発した。

このように、提案されるLC戦略は、LCSの機能によって制限されてしまう。そこで、事例適用を増やすなどによりさまざまな場面に対応可能なLCSを開発していくことが、効果的なLC戦略の立案につながる。

6. 結論と今後の課題

本研究では自販機のLC戦略の立案をとりあげ、LCP手法を適用することで得られた結果に対してLCシミュレーションを実施し、LC戦略の有効性を評価した。そしてその際に、戦略立案の方向性として目的と対象を示すことで、LC戦略の改善を可能とした。

今後は、指標の判定方法を明確にし、どのような場合に、どのような観点で新しい戦略を提案するか関係性を整理するなど、さらなる戦略立案方法の改善が課題となる。

<参考文献>

- [1] 小林秀樹, 春木和仁(2003):環境調和型設計のための製品ライフサイクルプランニング手法, 精密工学会誌, Vol.69, NO.2, pp193-199
- [2] 高橋健一, 木村孝, 村田裕樹, 高田祥三(2002):部品リユースのための部品発注計画と製品分解計画, 日本機械学会 生産システム部門講演会 2002 講演論文集, pp85-86