

サステナブル P2M への展開

ープラント・プロダクト LCM としてのプログラムマネジメントー

The Deployment of Sustainable P2M

- Focusing on the Plant-Product Lifecycle Management (PPLM) in Program Management -

西田 絢子 Ayako NISHIDA¹越島 一郎 Ichiro KOSHIJIMA²梅田 富雄 Tomio UMEDA³

これまで事業ライフサイクルの持続化を課題とし、3S（スキーム・システム・サービス）標準プロジェクトモデルに基づく改善プラス改革型 P2M の具体的な方法論を展開してきた。本報では、事業ライフサイクルを駆動する機能として、3S 標準プロジェクトモデルに基づく改善プラス改革をプロダクトおよびプラントのライフサイクルを統合してダイナミックに展開することで、継続的な状況認知と状況対応をとるライフサイクルマネジメント(LCM)手法について報告する。

キーワード：事業ライフサイクル持続化、サステナビリティ志向型 P2M、改善プラス改革型 P2M

The authors have reported in the previous paper the research results on the method for the deployment of sustainable project and program management (P2M) focusing on the corporate sustainability subject to societal contribution through the environmentally conscious business deployment. The present paper is concerned with the driving function of sustainable P2M activities based on product & plant lifecycle management.

Keywords : sustainable P2M, heuristic evolution (Kaizen) and innovation based P2M. hierarchical decision-making structure, product & plant lifecycle management.

1 はじめに

サステナビリティ志向企業経営は、企業の持続的成長と地球環境保全への対応の二義性が内包されている。地球環境保全を含む企業の社会的責任の達成の必要性に鑑み、サステナビリティ志向のプロジェクトマネジメントに関する組織設計や運用課題、新たなバリューチェーン、行動規範などについて報告[1][2]を行った。次いで関連事業のライフサイクルを持続可能とし、企業の存続を賭けた、新たな事業展開を継続して行う必要性を痛感し、望ましい状況を作り出すためには、効率よく、新製品群が開発できるプラットフォームの再構築など技術課題を解決する必要があること、一方、マネジメントの課題として、事業展開の途上で、つねにプログラムマネジメントの視点から関連プロジェクトを統括する事業継続化を目指して、小変化をもたらす改善および大変化をもたらす、開発・改革型のサステナビリティ志向プロジェクト運営を実施することが必要である。このため既報[3]では、小原らによって開発された我が国独自の KPM-Kakushin Project Management[4]に基づき、事業ライフサイクルの持続化を課題として、

1. (株)アspros ASPROS INC.
2. 名古屋工業大学 Nagoya Institute of Technology
3. 青山学院大学総合研究所 Aoyama Gakuin University Research Institute

課題解決に向けて、改善プラス改革型 P2M をいかに実現するか、標準プロジェクトモデル（スキーム・システム・サービス）に基づき、具体的な方法論を展開した。

ここでは、既報内容を、より具体的にするために、生産システムに焦点を絞り、継続的な状況認知と適切な対応をとるライフサイクルマネジメント(LCM) についての研究結果について報告する。標準プロジェクトモデル—スキーム・システム・サービス—に基づく改善プラス改革をプロダクトおよびプラントのライフサイクルの2軸で構成するフレームワークを提案し、これらを統合してダイナミックに展開する方法について、事例としてプラントの省エネルギー化の課題を取り上げ、具体的な実現可能な手法として有効であることを明らかにしたい。

2 先行研究の概要

既報[3]「事業ライフサイクル持続化を実現するプログラムマネジメント」では、事業ライフサイクルの持続方策（競争優位の持続的保持）として、ダイナミックな状況下での意思決定方策と P2M フレームワークの事業ライフサイクルへの適用方策を議論した。

A) ダイナミックな状況下での意思決定方策

(1) 不確定性下での意志決定方策

不確定性下での状況把握と意思決定に対応するため、P2M における階層構造（プログラムマネジメント階層とプロジェクトマネジメント階層）に対して、以下の機能を与え2レベルアプローチによる最適化手法を適用する。

プログラムマネジメント階層：各プロジェクトを統括する機能

状況変化を認知し、状況対応に必要な経験・学習による適応、自己組織化による新たな行為（選択に資する）ルールなどをプロジェクトに伝達

プロジェクトマネジメント階層：プロジェクトごとの業務遂行機能

状況認知と状況対応行動は、選択可能範囲で決定、実行

(2) 多価値を認めた意志決定方策

自主的管理では全体最適な行動を各要素に反映させない限り、最適な結果をもたらさず、また複数目的の同時追求には妥協解を求めることが必要になる。そこで、各プロジェクトにおける意思決定は、財務的価値と非財務的価値の間のトレードオフ関係を考慮した妥協解を選択する問題となる。なお、図1に財務的価値（例えばコスト）と非財務的価値

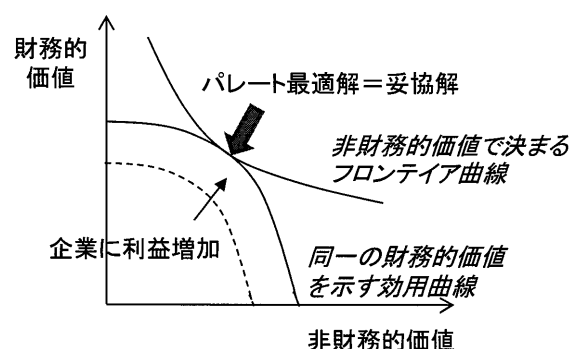


図1 プロジェクトライフサイクルにおける多次元最適化の妥協解

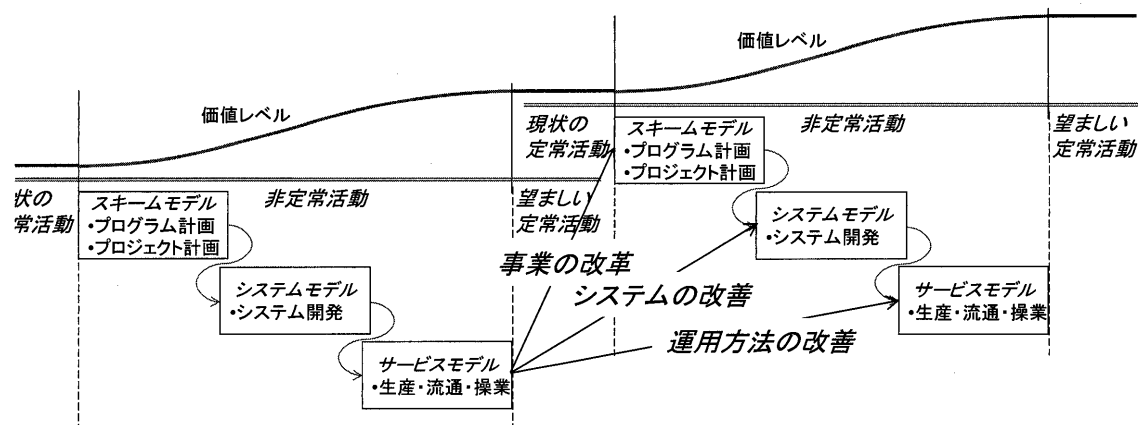


図2 事業ライフサイクル持続化へのP2Mフレームワークの適用

値（例えば環境負荷）への配慮を考慮した妥協解について例示している。

パレート最適解=妥協解は、財務的価値を示す効用曲線と、非財務的価値によって定まるフロンティア曲線との交点として決定される。交点を求める多目的最適化手法については既報[3]を参照のこと。

B) P2M フレームワークの事業ライフサイクルへの適用方策

事業ライフサイクルの持続化のためには、改善・改革による事業フェーズ i から $i+1$ への移行を実施する必要がある。スキーム、システム、サービスモデルプロジェクトから構成される標準プロジェクトモデルに基づく P2M フレームワークを各事業フェーズに適用することで、事業ライフサイクル持続化に関わる移行方策は次の3通りとなる。（図2参照）

1. サービスモデルプロジェクトへの移行： 運用方法の改善
 - スキーム・システム・サービスの全フェーズにおけるタスク実施計画
 - プロファイリングから問題解決プロセス、システム構築、サービスに至る 全タスクの実実施計画
2. システムモデルプロジェクトへの移行： システムの開発、改善
 - 問題解決プロセスに沿ったシステムの開発、改善案の策定、評価、実施
3. スキームモデルプロジェクトへの移行： 事業改革の目標設定・概念化
 - 事業運営管理上の改善案の策定、評価、実施

3 生産システムのライフサイクルマネジメント

3. 1 ダイナミックな状況下での意思決定

特定製品の生産システムについて、次の要件を充たすことが重要である。

- 不確実性への対処が効果的な P2M
- 生産システムの効率化と柔軟性の同時達成
- エコノミックマーヅンを創出する経済的価値連鎖に加え、非経済的価値連鎖によるエコロジカルマーヅンの創出

表1 サステナブル戦略例

段階	主体となる活動	戦略
1	生産システムの設計が主体となって設備の価値を高める改善・改革が必要である。	環境効率性（資源生産性、環境負荷発生量を同時考慮）に基づく生産システムの計画・設計及びこの結果に従う建設において、付加価値と環境効率性の間のトレードオフ関係からパレート解を求め、これに従って生産システムを構築することとなる。
2	生産管理の改善・改革を図ることで、製品の価値を高める必要がある。	資源生産性を増加させることが財務的の付加価値の増加につながる。このため、生産システムの運用は、エコロジカル（サービス）価値を制約条件として財務的な付加価値最大化を目標とすることとなる。
3	設備・製品に関わらず、システムの解体、部品等の再利用・再資源化を図ることで、社会に対する事業価値を高める必要がある。	リサイクルを重視することから、財務的な付加価値を制約条件としてエコロジカル（サービス）価値を最大化する行動を求めることとなる。 ただし、設備価値並びに製品価値に直接結びつく価値創造とはならない。

具体的には表1に示すように、当該事業に関わる経済状況・環境条件変化に対応できる柔軟で効率的な生産システムの計画・構築手法の改善や改革、運用状況に対応した生産システム自体の改善や改革が実施される。

図3に示す製品ライフサイクルに沿った資源配分構造（図3上左）では、企業のアクティビティをマイケル・ポーターに習いサポート活動と主活動に分けている。サポート活動では初期投資された資金並びに各年度ごと積み上げられたマージン（利益や知財、人財等）を企業インフラ、人材育成や研究活動に再投資し、非金銭的価値を積み上げると共に主活動に対してその価値を適正配分（垂直方向の価値連鎖）している。これに対して主活動では製品を生み出すと共に、表2に示すように夫々の事業フェーズに合わせてサポート活動から垂直方向の価値連鎖を受け、水平方向の価値連鎖を可能とすることで事業継続を担保している。

表2 垂直方向並びに水平方向の価値連鎖（化学プラントを例として）

価値連鎖	設計	製造	運用	廃棄
垂直方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ コンパティティブ設計 ・ 分解を考慮した設計 ・ 環境設計（省エネ、省資源、低環境負荷） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ エネルギー消費を考慮したロジスティクス ・ 省エネ、汚染予防運転 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 運用実績記録 ・ 整備実績記録 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 再使用 ・ 分別 ・ 分解
水平方向	<ul style="list-style-type: none"> ・ エキスパートエンジニア ・ 設計手法 ・ ICT ツール ・ 新素材 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 熟練作業員 ・ 高効率・省エネ設備・工場 ・ 省資源・汚染予防運転手方 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 予防保全 ・ ユーザメンテナンス ・ 高運用性、可用性、柔軟性 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 再使用情報 ・ 材質情報 ・ 分解手順情報

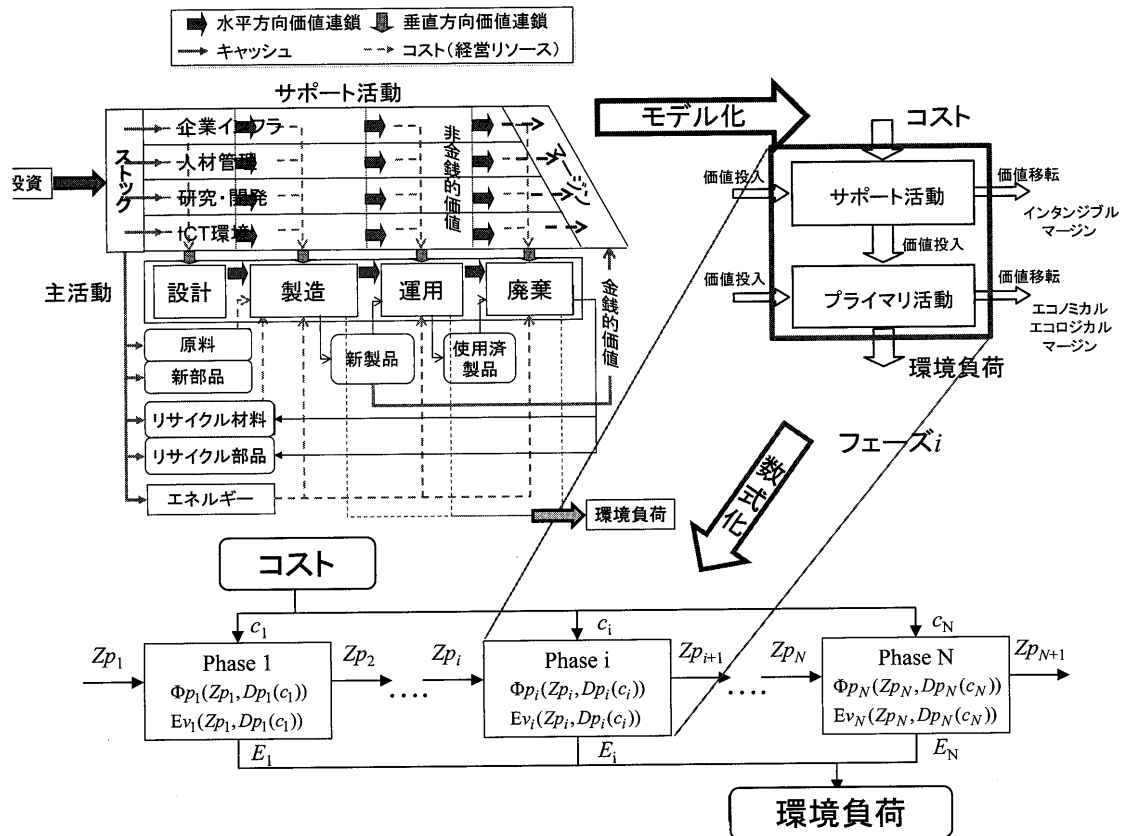


図3 事業フェーズの価値連鎖構造とモデル化

この資源配分構造の各フェーズにおけるサポート活動と主活動を一体とし、表2に示す付加価値とコストを投入することで次のフェーズに引き渡す付加価値とその活動を通して排出する環境負荷を図3上右としてモデル化する。この結果、図3下に示す事業ライフサイクルにおける連鎖モデルを得た。この連鎖モデルでは、コストと環境負荷はトレードオフの関係（例えば、コストをかければ環境負荷は下がる）にある。エコノミカル&エコロジカルマージンは、製品が持つ付加価値に対して顧客が払う対価と投下されたコストの差に源泉がある。従って、如何にコストを抑えて良好な環境対応が成されたとしても、顧客が製品に付加価値を見出さなければ購入はされず、企業として存続することは困難となる。したがって、製品ライフサイクルに沿って、付加価値、コスト並びに環境負荷の間で何らかの妥協を行わなければ、エコノミカル&エコロジカルマージンの最大化は望めない。

ここで、事業のトータルコストは予め定められたとすると、本連鎖モデルは多段階過程を伴う多目的意思決定問題として定式化される。

妥協解：

$$Opt \left[\begin{array}{l} Hp_i(Zp_i, Dp_i(c_i)) + Fp_{i+1}(\Phi p_i(Zp_i, Dp_i(c_i))), \\ E_i + Gp_{i+1}(Ev_i(Zp_i, Dp_i(c_i))) \end{array} \right] \tag{1}$$

制約条件式：

$$\sum_{phase} C_{phase} = C_{Max} \tag{2}$$

ここで Φ_{p_i} は、フェーズ i における入力状態変数ベクトル Z_{p_i} と設計変数ベクトル D_{p_i} から出力状態変数ベクトルを定める伝達関数である。 H_{p_i} はフェーズ i において状態変数ベクトルが持つ付加価値を与える関数である。また、 E_{v_i} は環境負荷を定める関数である。

$$\begin{aligned} Z_{p_{i+1}} &= \Phi_{p_i}(Z_{p_i}, D_{p_i}(c_i)) \\ E_i &= E_{v_i}(Z_{p_i}, D_{p_i}(c_i)) \end{aligned} \quad (3)$$

F_{p_i} と G_{p_i} は、夫々フェーズ i における付加価値と環境負荷の最適値を示し、最適性の原理を適用することで、以下と定義される。

$$\begin{aligned} &F_{p_i}(Z_{p_i}, D_{p_i}(c_i)) \\ &= \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} H_{p_i}(Z_{p_i}, D_{p_i}(c_i)) + \\ F_{p_{i+1}}(\Phi_{p_i}(Z_{p_i}, D_{p_i}(c_i))) \end{array} \right\} \\ G_{p_i}(E_i) &= \text{Max} \{ E_i + G_{p_{i+1}}(E_{v_i}(Z_{p_i}, D_{p_i}(c_i))) \} \end{aligned} \quad (4)$$

この問題は、ダイナミックプログラミングの適用によってフェーズに沿って後段から前段に向けて予め指定した項目別の環境影響度とコストのデータを蓄積して行く方法で解くことが出来る。

予算総額 C_{max} は経営戦略に従って与えられる。このため実際の解法は、以下の手順を採る。

ステップ1：企業ポリシーを策定する。

ステップ2：予算総額 C_{max} を定める。

ステップ3：式(1)を解くこと、妥協解として付加価値最大化と環境負荷最小化を図る。

ステップ4：先に定めた企業ポリシーに合致する解か否かを判定する。合致していなければ、1) に戻りポリシーを再考する。

ここでは、通常のプロジェクトにおける有期性とは異なり、最終的にプロジェクトが終了するまでの過程において行われる改善プロジェクトを対象とする。したがって、後出の図4を参考に、

- ① 現行のサービス活動（第4象限）に改善が必要であるとの状況判断から、
- ② 改善にあたって最初にスキーム（第1象限）の内容を見直し、
- ③ さらに他の象限において必要な検討がなされ、得られた改善事項が以後のサービス活動（第4象限）に反映される。

この間、意思決定方策は、式(1)と同様の定式化のもとで実行され、新たな選好解を求めることになる。

3. 2 プロダクトおよびプラントのライフサイクルマネジメント[5]

従来からプロダクト及びプラントのライフサイクルについては、マーケティングや設備保全などの立場から独自に研究されているが、両者を統合したライフサイクルマネジメントについてはその必要性は論じられていても具体的なフレームワークの提示はなされていない。縦軸にプロダクトライフサイクル、横軸に設備ライフサイクルを、クロスに配置して構成し、製造を基点にした設備保全についての検討は行われているが[6]、これをフレームワークとしてバリュ

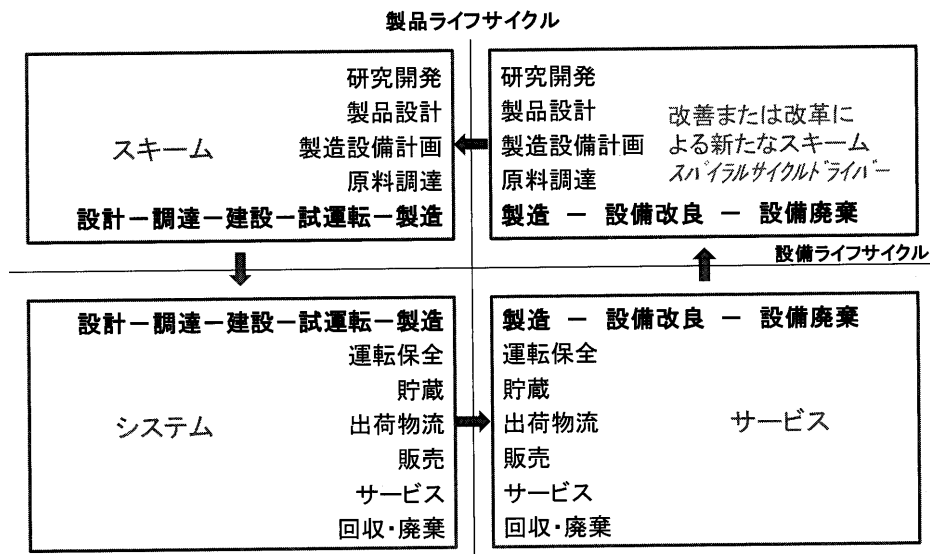


図4 プロダクトライフサイクルとプラントライフサイクルの統合

一チェーンと連動させる形での解析はなされていない。

そこで、標準プロジェクトモデルスキーム・システム・サービスーに基づく改善プラス改革をプロダクトおよびプラントのライフサイクルを統合してダイナミックに展開する方法として、図4に示す両軸をクロスに配置した統合フレームワークを提案する。統合化については、プロダクトライフサイクル関連のコンテンツとプラントライフサイクル関連のコンテンツはもともと若干の関連はあるとしてもそれぞれ独立したものであり、標準プロジェクトモデルをコンテキストとして共有化できることを前提にする。つまり P2M の概念などが相互理解される必要がある。この条件の下で、図4から導かれるインプリケーションとして、プログラムマネジメントの実践の場として構成プロジェクト全体のマネジメントに関わるプラットフォームを提供していることになる。

スキームモデルは製品設計とプラント設計が同時に考慮され、製造のあり方が決定される。システムモデルはスキームモデルの結果を実現し、製造可能な環境、システムを構築する。サービスモデルは構築されたシステムを運用し、製品出荷・販売・サービスを実施する。(回収・廃棄は事業継続が不能になった段階で実行)

この間、各プロジェクトの状況を把握して、上位レベルに情報伝達を行い、状況対応型の意思決定の引き金になる役割を担うドライバーの役割が必要である。図4の第2, 3, 4象限には、それぞれ、スキーム、システム、サービスを当て、プロダクトに関わるスキーム、システム、サービスについて留意しながらプラントのスキーム、システム、サービス(概念構築、システム設計、及び運用)を実施することにする。

第1象限にはドライバーの役割を担う機能を持たせ、現在進行中のサービスの状況を把握し、必要であれば、第2, 3, 4象限のいずれかをリアルな機能、その他をバーチャルな機能として定め、適切な対応を図らせるプログラムマネジメントの協調機能を実施することにする。上位レベルの意思決定に対する引き金役としてプログラムマネジメントオフィスの機能として位置づけることもできる。これらの象限間をスパイラル状に動かしていくことで事業継続の可能

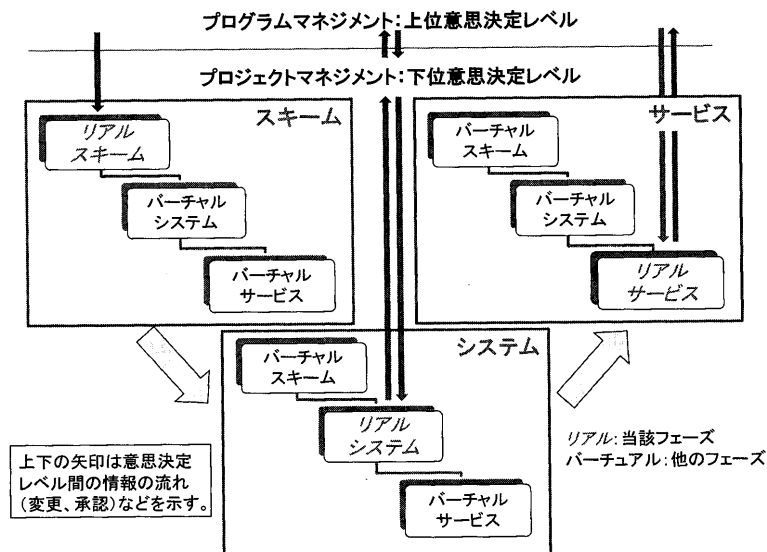


図5 プログラムマネジメントの協調機能（上位レベルの意思決定）とプロジェクトマネジメント機能（下位レベルの意思決定）

性を担保することになる。（図5参照）

第1象限から後続の各象限において、逐次必要な改善策が検討され、第1象限に戻って実施に関わる意思決定がなされる。具体的に、第2象限では、プロダクトの研究開発から製造に至る過程を考慮しながらプラントの設計から製造に至る過程を通して付加価値を創出するスキーム関連プロジェクトの計画・遂行を行う。第3象限では、製造からサービス（最終段階では回収・廃棄）に至る過程を考慮しながらプラントの設計から製造に至る過程を通して付加価値を創出するシステム関連プロジェクトの計画・遂行を行う。第4象限では、製造から設備改良（最終段階では設備廃棄）に至る過程を考慮しながらプラントの運用による製造から販売・サービスに至る過程を通して付加価値を創出するサービス関連プロジェクトの計画・遂行を行う。

3.3 実施事例：プラントの省エネルギー化

オイルショックの発生以降、生産システムの省エネルギー化が促進され、生産性向上に貢献しており、現状では地球温暖化対策または生産システムの低炭素化に向けた動きと同じ方向の努力がなされている。このような問題が顕在化する以前に建設された生産システムは当時の状況を反映しており、その後のサステナビリティに関わる課題解決には、何らかの新たな対応が求められてきた。

例えば、1973年の石油ショック以前の石油・石油化学プラントの設計では、原単位におけるユーティリティ・コストはほとんど問題とならず、製品の質と量の確保が最重要課題であった。しかしながら、石油ショック後の状況を文献[7]は以下のように記している。

1970年代の石油ショックを契機に誕生したピンチテクノロジーは、1980年代では、多くの製油所の大規模熱回収システムを省エネ検討する際に盛んに適用されるようになり、1990年代では新設装置の設計には設計当初から適用されるようになった。

1970年代に設計・建設された石油精製プラントでは熱交換システムの省エネルギーの度合いの指標である最小温度差 ΔT_{min} は 50~70°C程度であったが、最新のプラントでは 30~40°Cへと強化されている。[7]このような改善に関わる意思決定が図4第2,3,4象限で、それぞれスキーム、システム、サービスのプロジェクトで行われる。例えば、

【スキームプロジェクト】

- ① [リアルスキーム] 熱交換ネットワークシステムの設計手法は、1980年代に確立された。[8]
- ② [バーチャルシステム] 1980~90年代のコンピュータ技術の革新が、プロセスシミュレータの高度利用を可能とした。[9]

【システムプロジェクト】

- ③ [バーチャルスキーム] 熱交換ネットワーク設計において、投入エネルギー量と熱交換システムの総伝熱面積とのトレードオフ関係を左右し得る独立変数として最小温度差を利用して、パレート解を求めることができた。
- ④ [リアルシステム] 熱交換システムの総伝熱面積の増加は、投入エネルギー量の削減による環境負荷減少と、個々の熱交換器の大型化と関連する配管の増加によるコスト増加につながる。

【サービスプロジェクト】

- ⑤ [リアルサービス] 図6に、コスト削減と環境負荷削減のトレードオフ関係において求めた改善策（A点で示される初期状態から、B点で示される状態への変換）によって、コストは増加するが、サービスプロジェクトにおける環境対応は以前の状態より促進される状況対応を示している。
- ⑥ [バーチャルスキーム] さらに厳しい環境負荷に関わる規制強化がなされれば、再び改善に向けて次のサイクルを駆動することになる。

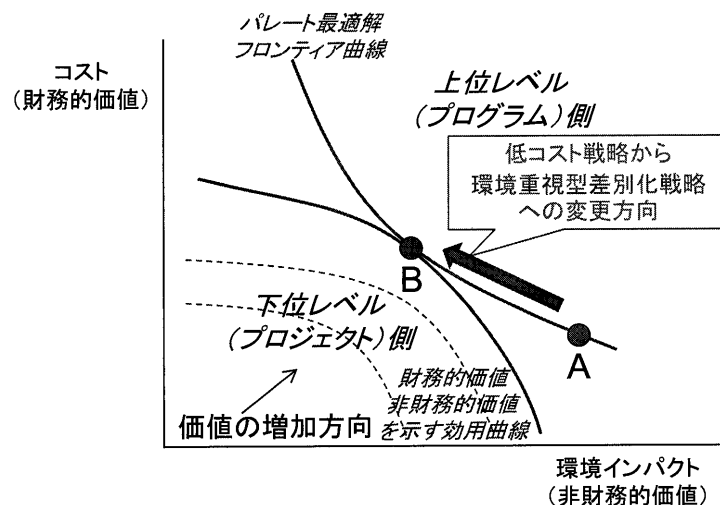


図6 エネルギー回収による省エネルギー化事例

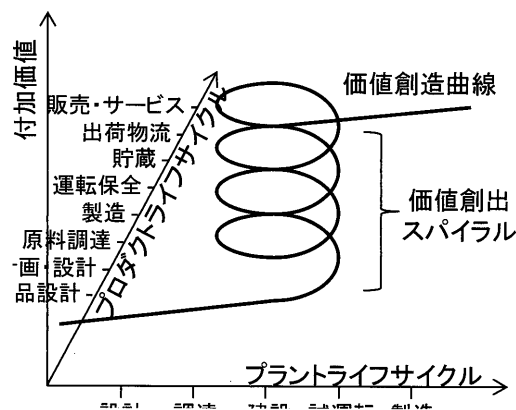


図7 価値創出空間（V・P・P空間）における価値創出活動スパイラル

4 考察

同一事業が継続している状況下において、今まで述べてきたことをプロダクトおよびプラントのライフサイクルを通じて価値を創出する活動（バリューチェーン活動）を一体化して扱うフレームワークとして、図7に示す3次元（V・P・P）空間を提示することができる。この図は研究開発に関わる進化的アプローチについて発表した論文[10]の一部を拡張したものである。

継続して改善プロジェクトを遂行することは、進化的アプローチの観点と同じであり、定常的に生産活動が実施され、図5の第1象限で製造に関わる状況を把握しながら、事業環境（顧客、社会のニーズ、社内外におけるビジネス環境など）の変化が認知されたときに、改善プロジェクトの開始を提案し、実行に移すことになる。図4においてプロダクトライフサイクル軸およびプラントライフサイクル軸によって構成される平面上でのバリューチェーン活動を通して図7に示すようなパレート解を求め、その結果は財務的及び非財務的価値から構成される付加価値軸に投影されることになる。改善プロジェクトを逐次実行することによって生産システムが進化し、スパイラル状に価値が創出されることになる。

5 まとめ

既報[3]において取り上げた、事業ライフサイクルの持続化にあたり、標準プロジェクトモデル・スキーム・システム・サービスに基づく改善プラス改革型 P2M の具体的な方法論を、生産システムに焦点を絞り、継続的な状況認知と適切な対応をとるライフサイクルマネジメント(LCM) に適用し、標準プロジェクトモデル・スキーム・システム・サービスに基づく改善プラス改革をプロダクトおよびプラントのライフサイクルを統合してダイナミックに展開する方法について述べた。

本報告では、サステナビリティ志向のプロジェクトマネジメントとして、生産システムに関わる事業ライフサイクル存続中、継続して、各プロジェクトが適宜、次のプロジェクトへ移行し、経営資源を引継ぐことで事業ミッションの継続性を担保する新たな展開方法について、プロダクトおよびプラントのライフサイクルを2軸とするフレームワークを提案し、事例とし

てプラントの省エネルギー化の課題を取り上げ、関連する対応方法について述べ、具体的な実現可能な手法として有効であることを明らかにした。

謝辞

本研究は、文部科学省平成 20 年度「実践型人材育成プログラムと到達能力開発・保証支援システムの開発」、平成 21 年度 科学研究費補助金 基盤 (B) 課題番号 21310094「製品戦略および製品開発と工場システムの統合化プロセスのリファレンスモデル開発」並びに基盤 (C) 課題番号 21510144「事業継続のためのミッションマネジメントに関する研究」の一環として行われたことを記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 梅田富雄, サステナブルプロジェクトマネジメント : 組織設計・運営課題と解決の方向, 国際 P2M 学会誌, Vol.4, No.1, pp.147-158, 2009
- [2] 梅田富雄, サステナブルプロジェクトマネジメント規範: 最適性の原理に基づくバリューチェーン活動の提案, PM シンポジウム 2009 予稿集, 2009
- [3] 西田絢子, 越島一郎, 梅田富雄, サステナブル P2M への展開 - 持続的改善・改革活動による事業ライフサイクル持続化 -, 国際 P2M 学会誌, Vol.5, No.1, pp.77-88, 2010
- [4] Shigenobu Ohara, Takayuki Asuda (ed.), Japanese Project Management, World Scientific, pp.15-21, 2009
- [5] 梅田富雄, サステナブル P2M のエンジニアリング基盤, PM シンポジウム 2010 予稿集
- [6] 河村幸二, プラント設備管理の技術伝承における I T 活用, 化学装置, Vol.48, No.1, pp.37-44, 2006
- [7] 巽浩之, 松田一夫, ピンチテクノロジー - 省エネルギー解析の手法と実際, 省エネルギーセンター, 2002
- [8] エネルギー変換懇話会編 (第 5 章 梅田富雄・城子克夫 執筆), エネルギー利用工学, オーム, 1980
- [9] 越島 一郎, 仁井田 和雄, ダイナミック・シミュレーションの将来展望, 化学工学, Vol.58, No.3, pp170-173, 1994
- [10] Kaoru Nakamura, Tomio Umeda, An Evolutionary Approach to Value Creation by Multiple Criteria Decision Making in R&D, WDSI 2003 preprint, 2003

査読 2011 年 11 月 10 日

受理 2012 年 1 月 10 日