

多目的シンプレックス法による製品開発プロジェクトの 日程計画立案ツールの開発

金城 慶[†], 鳥羽 弘康[†]

沖縄工業高等専門学校 専攻科 機械システム工学コース[†]

1. 緒論

本論文では、製品の設計・開発・生産準備の工程を製品の開発プロジェクトと見なし、その日程計画問題を多目的線形計画問題(MLP)として解くソフトウェアツール¹を提案する。開発したツールは、プロジェクトマネジメント標準PMBOK¹⁾で定義されたプロジェクトの目標を MLP の目的関数に定式化する。そして、設計審査などの確率的な分岐を有するプロジェクトの工程について、実行回数と審査合格率に基づく平衡方程式を解き、各工程の実行回数を求め、確率的な分岐のない工程に展開した後、MLP の制約式に定式化する。定式化した問題は、Zeleny の多目的シンプレックス法を用いて解く⁶⁾。本ツールは、上記処理を統合し、製品開発プロジェクトの定式化から日程短縮の最適解の立案までの一連の処理をシームレスに実行できる。

2. 製品開発プロジェクトモデルの概要

本研究では、製品開発プロジェクトを、品質保証体系図²⁾における製品のライフサイクルの製品の企画から開発・生産準備までの一連の工程とみなす。Fig.1 (a) は、製品開発プロジェクトの製品企画から量産に至るまでの段階を示す。矢印は次の大工程に至るまでの工程を、小さな矩形は設計審査(DR)を意味し、審査の結果により、前工程に戻ることを示している。Fig.1 (b)は、「詳細設計」から「生産準備」の大工程の間に入る工程の詳細を示す。

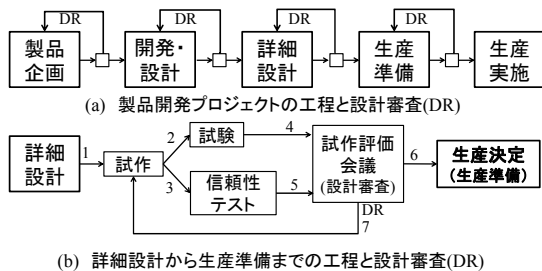


Fig.1 製品開発プロジェクトの工程の模式図

本研究では、プロジェクトの日程計画を多目的線形計画問題(MLP)に定式化を行う際、PMBOK の3つの目標を目的関数として採用する。PMBOK で定義されている、プロジェクトの目標とは「品質」「費用」「期限」の3つである。「費用」や「期限」は工程の作業時間を変数とする線形計画問題に定式化するのは容易であるが、プロジェクトのスケールや完成度を表す「品質」は、非線形の式で定式化する例が多い³⁾。本研究では、品質に関して、設計審査を行う工程で、審査の合格率を設定し、設計審査を含む一連の工程の実行回数が審査工程の合格率と整合が取れるように、工

程の実行回数を変数、合格率を係数とする平衡方程式をたてる。この平衡方程式を解いて、審査を合格しプロジェクトを完了するまでに要する実行回数を求め、これをもとに平衡状態におけるプロジェクトの工程を構成する。この工程は各工程の実行回数が審査の合格率と矛盾なく定まるが、このようなプロジェクト管理が行われた時に「品質」が最適になると定義する。このような品質の最適解はプロジェクトを構成する工程の情報を与え、平衡方程式を解くことで、プロジェクトの工程のモデルとして得ることができる。

本研究で開発したツールは、このようにして得たプロジェクトの工程のモデルに対して、PMBOK で定義されている目標から、「費用」と、「期限」を、目的関数として定義する。これらの目的関数はプロジェクトの各工程の作業に要する標準的な時間と費用(標準時間・標準費用)と、作業時間の短縮限界の時間と費用(限界時間・限界費用)をパラメータとして、線形式で定式化できる。そのため、本ツールは、製品開発プロジェクトの日程計画問題を MLP として扱う。

3. 日程計画立案ツールの概要

日程計画立案ツールの処理の流れと概要を説明する。

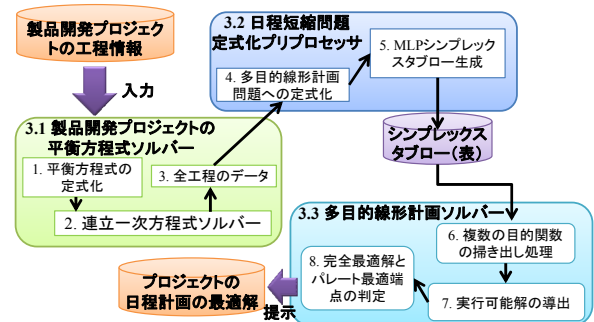


Fig.2 日程計画立案ツール

Fig.2 を参照すると、本ツールは、入力としてプロジェクトの工程の情報を得た後に、1.製品開発プロジェクトの工程の平衡方程式を定式化し、2.その方程式を解き、3.方程式の解から「品質」を最適化する工程のモデルを作成する。次に、4.最適な工程のモデルの情報を得て、5.日程短縮問題の MLP シンプレックススタブローを作成する。最後に、6.多目的線形計画ソルバーで最適化を試み、7.実行可能解を得て、8.全ての目的関数を最適化する解があれば完全最適解を出力し、任意の目的関数を最適化する解があればパレート最適端点として列挙して出力し、終了する。

3.1 製品開発プロセスの平衡方程式ソルバー

製品開発プロジェクトを構成する工程には、単純な分岐・合流に加えて、審査の合否に基づく別工程からの戻りも含まれる(Fig.3)。図中のイベントは、作業活動の開始または終了時点を意味し、矩形で表記する。工程は、作業活動や資材調達期間を意味し、矢印で表記する。図中の「n+1」から「2」へ向かう工程(矢印)は、戻りの工程を示す。

An Integrated Planning Tool for Product Development Project with the Multi-objective Simplex Method

[†] Kei Kinjyo, [†] Hiroyasu Toba

Okinawa National College of Technology Mechanical Systems Engineering Course [†]

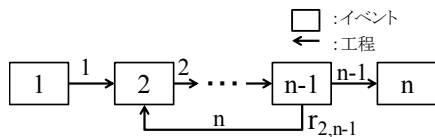


Fig.3 戻りの確率的な分岐を持つ工程のモデル例

そこで、今回、戻り工程を考慮し品質を最適とするプロジェクトの工程を生成する手法を考案した。考案した手法は、プロジェクトを構成する各工程 i の実行回数 x_i を変数とし、分岐工程 i から合流工程 j への分岐確率 $r_{j,i}$ を係数として実行回数と分岐確率の間に矛盾の無いことを示す平衡方程式を定式化し、連立一次方程式として解く。そして求めた解を品質面で最適化された各工程の実行回数と見なし、これをもとに確率分岐のない工程のモデルとして展開する。例えば Fig.3 の工程 i の実行回数 x_i は、次のように定式化できる。

$$\begin{aligned} r_{1,1}x_1 + r_{1,2}x_2 + \dots + r_{1,n-1}x_{n-1} + r_{1,n}x_n &= x_1 \\ r_{2,1}x_1 + r_{2,2}x_2 + \dots + r_{2,n-1}x_{n-1} + r_{2,n}x_n &= x_2 \\ &\vdots \\ r_{n,1}x_1 + r_{n,2}x_2 + \dots + r_{n,n-1}x_{n-1} + r_{n,n}x_n &= x_n \end{aligned}$$

本平衡方程式ソルバーは、実行回数 x_i に関する方程式を、連立一次方程式として解き、求めた x_i に従って、分岐先から分岐元工程の間の一連の工程を展開した後、確率的な要素を排除したプロジェクトの工程のモデルを生成する。本研究では、この平衡方程式を解いて得た工程のモデルを実行することが、製品開発プロジェクトを「品質」面で最適にすると定義し 3.2 節の MLP 定式化で使用する。

3.2 日程短縮問題の MLP 定式化プリプロセッサ

本 MLP 定式化プリプロセッサは 3.1 節の方法で、品質面で最適な製品開発プロジェクトの工程のモデルを得た後、各工程の時間と費用の情報から、日程計画問題を(1)~(6)式で構成される多目的線形計画問題(MLP)に定式化する。ここで、工程の総数を n 、工程の番号 i 、工程の作業開始時刻 ts_i 、工程の作業終了時刻 tf_i 、プロジェクトの完成日 tf_n 、工程の標準時間 $t_{u,i}$ 、工程の限界時間 $t_{e,i}$ を、工程の標準費用 $c_{u,i}$ 、工程の限界費用を $c_{e,i}$ とする。

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^n \frac{c_{u,i} - c_{e,i}}{t_{u,i} - t_{e,i}} (tf_i - ts_i) + \sum_{i=1}^n \frac{c_{u,i} t_{e,i} - c_{e,i} t_{u,i}}{t_{u,i} - t_{e,i}} \quad (1)$$

$$\text{Minimize} \quad tf_n \quad (2)$$

$$\text{Subject to} \quad ts_1 = 0 \quad (3)$$

$$tf_i - ts_i \leq t_{u,i} \quad (4)$$

$$t_{e,i} \leq tf_i - ts_i \quad (5)$$

$$tf_{i-1} - ts_i \leq 0 \quad (6)$$

第1の目的関数の費用は(1)式となり、各工程の標準時間 $t_{u,i}$ 、標準費用 $c_{u,i}$ 、限界時間 $t_{e,i}$ 、限界費用 $c_{e,i}$ から単位時間あたりの費用を計算し⁴⁾、工程の作業時間 $tf_i - ts_i$ を乗じた値の総和として定式化する。第2の目的関数の納期は(2)式となり、最後の工程 n の作業終了時刻 tf_n は、プロジェクトの納期以下となるように定式化する。なお、第3の目的関数の品質は 3.1 節の方法で得た製品開発プロジェクトの工程のモデルとして静的に定める。

作業開始時刻の制約は(3)式とし、1番目の工程の作業開始時刻 ts_1 を0とする。また、各工程の最大時間の制約

は(4)式とし、任意の工程の作業時間は標準時間 $t_{u,i}$ 以下とする。各工程の最小時間の制約は(5)式とし、任意の工程の作業時間は限界時間 $t_{e,i}$ 以上とする。工程間の制約は(6)式とし、工程間の終了時刻と開始時刻の差を0とする。本ツールは、問題の定式化後、多目的シンプレックス法の入力となる MLP シンプレックスタブローを作成する。

3.3 多目的線形計画問題シンプレックスソルバー

本研究では、M.Zeleny が提案したアルゴリズム^{5, 6)}による多目的シンプレックス法ソルバーを新規に作成した。本ソルバーは、プリプロセッサがプロジェクトの基本情報から生成した MLP シンプレックスタブローを入力として得た後、問題を解く。得られた解からは、最適化された日程計画として、平衡状態の工程のモデルと各工程の作業開始時刻 ts_i 、作業終了時刻 tf_i と、費用と、納期を得ることができる。計画を立案する際に使用するこれらの情報は複数のツールの間でシームレスにやりとりし、利用者の手を煩わせることなく一連の処理を実行できるように構成した。

4. 実験

Fig.1 (b)の詳細設計から生産決定までの7工程のモデルを用いて実験を行った。Table 1 に各工程 i の基本情報として、標準時間 $t_{u,i}$ 、標準費用 $c_{u,i}$ 、限界時間 $t_{e,i}$ 、限界費用 $c_{e,i}$ を示す。工程7に分岐する確率を0.5、工程6に分岐する確率を0.5とし、他の分岐確率は全て1.0とする。

Table 1 モデルの入力情報

i	$t_{u,i}$ [日]	$c_{u,i}$ [千円]	$t_{e,i}$ [日]	$c_{e,i}$ [千円]
1	8	450	6	550
2	10	300	8	450
3	9	370	8	500
4	5	100	3	120
5	7	300	6	350
6	8	450	6	550
7	1	5	1	5

平衡方程式を解いて得た実行回数は工程 2,3,4,5 で2回、その他で1回となった。品質面で最適な工程として工程番号 1,2,3,4,5,7,2,3,4,5,6 の11工程を得た。費用を最小化するパレート最適端点を、各工程の ts_i 、 tf_i を対にして示すと、(0,8),(8,18),(8,17),(18,23),(17,24),(24,25),(25,35),(25,34),(35,40),(34,41),(41,49)となり、最小費用 3045(千円)を得た。本ツールでは、多目的問題 MLP に対して、上記のようなパレート最適解を複数挙げる。利用者が重要と考える目的関数に配慮して適切な解を採用すればよい。

5. 謝辞

本研究に関して、ご指導をいただきました鳥羽弘康准教授並びに佐藤聖海氏に深く感謝します。

6. 参考文献

- 1) 広兼修, プロジェクトマネジメント標準 PMBOK 入門, オーム社, 2005年11月
- 2) 真壁肇, 鈴木和幸, 益田照彦, 共著, 信頼性入門, 日科技連出版社, 2002年3月20日
- 3) Philip G. Armour: How we build Things, Communications of the ACM, Jan. 2013, vol 56, no.1
- 4) 岩田一明, 中沢弘, 共著, 生産工学, コロナ社, 2012年3月1日
- 5) 坂和正敏, 線形システムの最適化, 森北出版株式会社, 1984年9月30日
- 6) M.Zeleny: Linear Multiobjective Programming, Springer-Verlag (1973)