

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 14 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760120

研究課題名(和文) オプション理論に基づくアダプティブな設計開発プロジェクト計画とその多目的最適化

研究課題名(英文) Option-based Adaptive Planning of Product Design Project and its Multi-objective Optimization

研究代表者

野間口 大 (Nomaguchi, Yutaka)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90362657

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、アダプティブな設計開発プロジェクト計画手法の基盤となるタスクオプション理論を構築し、プロジェクト計画問題を多目的最適化問題として定式化してその解を効率的に探索する手法を確立した。設計プロジェクトにおけるタスクのオプションを考慮したリスクマネジメントを想定し、プロジェクト計画案の評価指標として、プロジェクト目標が達成された場合に期待できる製品性能の高さと、知識・経験不足による目標達成失敗のリスクの2つの視点に着目し、その下での最適な解を得るためのプロジェクト計画手法を提案した。学生フォーミュラプロジェクトの計画問題を通じた検証を行い、優れた計画案を導出できることが確認できた。

研究成果の概要(英文)：This research proposes a new project planning method that aims at a Pareto-optimal of the potential product performance of designed product and adaptability for project failure risk. A task option model is introduced for risk assessment of option-based project management. As its planning includes a number of various design variables and various evaluation indices, in order to solve such a complicated problem with a reasonable computation cost, this research separates the optimization problem into two phases, i.e., (i) defining of process architecture and organization structure and (ii) scheduling of resource allocation into activities. This paper demonstrates its application to a student formula design project. A proposed optimization method facilitates a project manager to explore various process plans with assessing their risks.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：設計工学 プロジェクト計画 プロセスモデリング オプション 多目的最適化

1. 研究開始当初の背景

設計工学の分野では従来、設計開発プロジェクトの計画手法が研究されている。そこでの重要な課題の一つは、知的創造行為であるために内容の把握が困難な設計プロセスを表現し、操作するためのモデルの確立である。近年では、当初の計画通りにプロジェクトを進められない場合に計画の内容を切り替えて柔軟な対応することを見越した、アダプティブなプロジェクト計画の立案の手法が求められている。その有望な手段の一つとして注目されているのがアーキテクチャオプション(AO)の概念である。AOは、金融工学におけるオプション理論を拡張して、プロジェクトで開発される技術要素の代替案(オプション)の価値を判断するために提案されたものであり、経営工学の分野でプロジェクト計画に応用する研究も行われている。

一方でオペレーションズ・リサーチ(OR)の分野では、設計最適化のための数理的基盤理論およびそれに基づく最適解探索アルゴリズムの開発が進められている。その研究トレンドの一つは、複数領域の多くの要因が関係する大規模な対象の多目的最適化である。本研究で対象とする設計開発プロジェクト計画問題も多く、その最適化には最新の知見を踏まえた何らかの工夫が必要となる。すなわち、アダプティブなプロジェクト計画の最適化手法は、設計工学、経営工学、ORの各分野の最新の研究成果の融合によって展開されるものである。

2. 研究の目的

本研究では、アダプティブな設計開発プロジェクト計画手法の基盤となる設計プロセスオプション理論を先行研究における知見と具体的な事例の分析に基づいて構築するとともに、プロジェクト計画問題を多目的最適化問題として定式化してその解を効率的に探索する手法を確立する。最適化問題を数理的に構成するにあたり、本研究では、プロジェクト計画を、プロジェクトの技術的成果とその実施リスクのトレードオフ問題として捉える。すなわち、資源の量が一定ならば、成果目標が高いほど必要とする資源が多くなり、限られたリードタイムの下でプロジェクトの目標を達成できなくなるリスクも高まる。その問題理解のもとで、研究代表者の先行研究とアーキテクチャオプション(AO)理論を発展的に展開することにより、設計プロセスオプションによるリスクヘッジを考慮して成果目標のリスク評価を行うための数理モデルを構築する。

3. 研究の方法

以下の4つの課題を設定して研究を進めた。

(1) 課題 1. 計画問題の構成とその最適化に向けた戦略の策定:

設計プロセス計画の構造を考慮した上でその最適化問題を(1)PAの計画問題、(2)プロセスにおける各々の活動への資源配分の計画問題、の2つのフェーズに分解し、両者を連係して解く方法を提案する。フェーズ1で得たパレート解n個を選択し、それぞれを与条件としてフェーズ2のn回の最適化計算を行う。得られた解全体の中から計画問題全体のパレート解を選ぶ。

(2) 課題 2. タスクオプションの理論的基盤の構築と最適化問題における評価指標の構築:

AO理論を基礎とし、研究代表者が提案しているタスクオプションとマイルストーンの管理による計画支援手法を多角的に発展させた上で、プロジェクト計画案の評価指標を次のように構成する。まず、各タスクの成果目標とその実施計画の代替案を複数定義しておく。フェーズ1における代替案とは、個別のタスクの内容やプロセスを実施する組織構造に関するものであり、フェーズ2における代替案とは、プロセスにおける各活動に配分する人的・物的資源のスケジューリングに関するものである。リスクの大きな高い計画に挑戦する際に、よりリスクの小さい計画の代替案によるリスクヘッジを考慮する。

(3) 課題 3. 部分問題の数理モデルの構築:

上記課題2で構築したタスクオプション理論を踏まえ、フェーズ1に対してDSM(Design Structure Matrix)を、フェーズ2に対してファジィ数を用いた成長曲線モデルを利用して問題の数理モデル化を行う。多目的最適化問題の具体的な計算に際しては、各種のパッケージソフトの活用を試みるが、必要に応じて独自のプログラムを開発する。

(4) 課題 4. 実例題への展開とフィードバック:

手法の検証、および検証結果のフィードバックによる手法の洗練化を具体的に進めるにあたり、産業界などの設計開発プロジェクトの計画問題に着目し、その分析を行うとともに、提案手法を適用してその検証を行う。

課題1,2,4に関しては研究代表者が研究を行い、適宜、学界や産業界における研究協力者と密接に情報交換を行って助言を得た。課題3に関しては、研究代表者の主導の下で、3名程度の大学院生と共同で行った。

4. 研究成果

(1) 計画問題の構成とその最適化に向けた戦略の策定:

課題1に対応するため、本研究では下記の

計画問題を設定する。

設計変数: 各タスクにおけるオプションの採用の可否, タスクの担当設計者, タスクグループの編成, タスクとミーティングの実行時間と実行のタイミング

制約条件: タスク, タスク代替案, 設計者, 各タスクの到達度とタスク間の整合度の目標, 設計期間

目的関数: プロジェクト全体の性能ポテンシャル, 到達度の目標達成確率, 整合度の目標達成確率

計画問題の設計変数に着目すると, 各タスクのオプション採用の可否と担当設計者の配分, タスクグループの決定は組織構造についての計画問題に関する変数, タスクとミーティングの実行時間と実行のタイミングはスケジューリングについての計画問題に関する変数である。そこで, それぞれの計画問題に対応する2つのフェーズを設定し, その連携により全体の計画問題を解くことを考えた

フェーズ1 (設計組織の計画問題): タスクのオプションの選択, 設計者の担当タスクとタスクグループを決定する。

フェーズ2 (時間配分の計画問題): タスクとミーティングの実行時間とそのタイミングを決定する。

計画問題の性質上, 2つのフェーズには包含関係が存在しており, フェーズ2の解はフェーズ1の解を与条件として決定されることになる。フェーズ1で得たパレート解n個を選択し, そのそれぞれを与条件として, フェーズ2の最適化計算を行う。n回の最適化計算のそれぞれについて, パレート解の集合を得る。得られた解全体の中でパレート解となっているものを計画問題全体のパレート解とする。

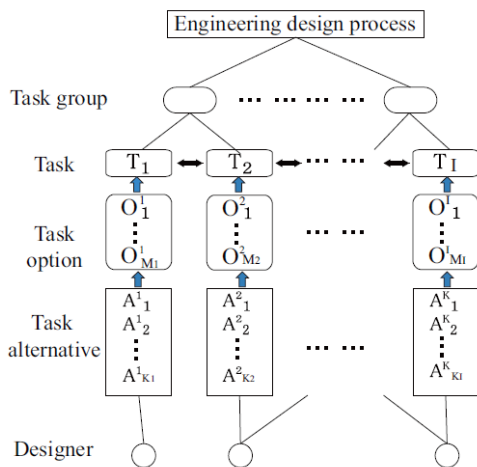


図1. 設計プロジェクトの構造

(2) 設計プロセスオプションの理論的基盤の構築と最適化問題における評価指標の構築:

課題2について, 本研究では設計プロジェクト計画において決定される内容として, オプションを設定するタスクやそのオプションの構成, タスクの担当設計者, ミーティング(DR)を行う単位であるタスクグループの構成, および設計時間とミーティング(DR)時間を考える。これらを踏まえた評価モデルを構築する。

それにあたっては, まず, 設計プロジェクトの構造を図1に示すように想定する。

タスク(Task)は, 設計プロセスを構成する単位である。タスクの定義には様々なアプローチが考えられるが, 本研究では, プロジェクトメンバーの協調作業の側面に着目する。フォーミュラカープロジェクトを例に取った場合, エンジンブロック設計者やフレーム設計者が存在する場合には, エンジンブロック設計, フレーム設計をタスクとする。

タスク代替案(Task alternative)は, タスクを具体的に実行する内容の代替案である。成功すれば大きな成果が見込めるものの, 失敗のリスクも高い代替案, 逆に, 失敗のリスクは高いものの, 一定の成果しか期待できない代替案など, 様々なものが考えられる。本研究では, それらの特徴を定量的に表現するパラメータとして, 性能ポテンシャル, およびタスク難易度, の2つを導入する。また, タスク間の依存関係に基づいて, 各タスクの代替案の間にも依存関係が存在する。その点を考慮して, DSMの様式に従って, タスク依存度のパラメータを導入する。

1つのタスクに対して複数のタスク代替案を考えると, プロジェクト期間中に定期的実施するデザインレビューでタスクの進捗を確認しつつ, 以降の進捗を予測し, 目標を達成できそうになければ, 実行中の代替案を中止して, よりリスクの小さい代替案に切り替えることになる。このようなプロジェクト管理を想定し, すべてのデザインレビュー時点でのタスク代替案の切替・継続の判断の計画をタスクオプション(Task option)と呼ぶ。プロジェクト当初から1つのタスク代替案を実行し続けるオプションをメインオプション, 途中でよりリスクの小さい代替案に切り替えるオプションをバックアップオプションと呼ぶ。

設計者(Designer)は設計プロジェクトにおける人的リソースであり, 1つ以上のタスクを担当する。設計者の能力を定量的に表現するため, 各タスクに対する初期知識レベルをパラメータとして導入する。

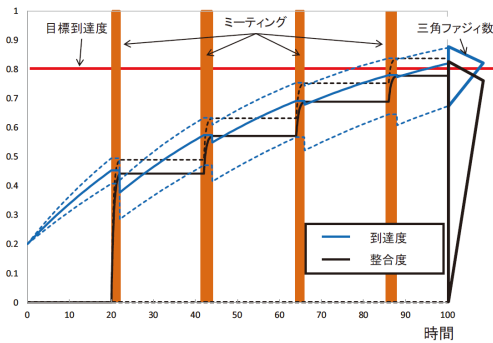


図 2. 到達度・整合度と目標達成確率

タスクグループ(Task group)はプロジェクト組織の構成単位であり、複数のタスクから構成される。設計者は自分の担当するタスクに応じて、1 つ以上のタスクグループに所属することになる。同じタスクグループ内での協調作業の効率は、タスクグループ間での協調作業よりも高くなる。

(3) 数理モデルの構築：

上記(2)で導入した諸概念を踏まえ、数理モデルを構築し、計画問題における評価指標を構築した。なお、本研究では設計プロジェクト計画において決定される内容として、オプションを設定するタスクやそのオプションの構成、タスクの担当設計者、ミーティング(DR)を行う単位であるタスクグループの構成、および設計時間とミーティング(DR)時間を考える。これらを踏まえた評価モデルを構築する。

タスクの進捗を式(1)の成長曲線を用いてモデル化する。計算例を図2に示す。

$$f_i(t) = 1 - (1 - f_{0i}) \exp(-m_i \tau_i(t)) \quad (1)$$

ここで $f_i(t)$ はタスク i の到達度、 m_i は難易度に相当するパラメータで、いずれも三角分布で与える。 f_{0i} は設計者の初期到達度、 $i(t)$ は時刻 t までの設計時間を表す。タスク間の整合度も同様に成長曲線を用いてモデル化する。それぞれのタスクに目標値を設定し、プロジェクト終了時点の到達度の三角分布が目標値を上回る割合を目標達成確率とする。これがプロジェクトのリスクに対応する。

DR で設計者はタスク間の整合度とタスクの到達度の確認を行い、必要に応じてバックアップへの切替判断を行う。つまり、メインオプションが計画通りに進捗していればそのまま続け、逆に、メインオプションに遅れが出て、バックアップオプションに切り替えれば設計が間に合うと判断されれば切替える。しかし、設計方針としてリスクを冒しても難しい事に挑戦する場合は、メインオプションをそのまま続けることも考えられる。以上のことを踏まえ、切替確率をモデル化する。まず、切替の判断基準となる許容達成確率 p_c を設定する。次に式(1)により、DRの時点での到達度の三角分布 $\mu(f); f_{iL} \sim f_{iU}$ を求める。到達度の分布の範囲 $f_{iL} \sim f_{iU}$ において、プロジェクト終了時点での目標達成確率が p_c を超えるために必要な到達度の最低値 f_c を求める。その上で、 $\mu(f)$ の三角分布のうち、 f_c を下回る部分の面積の割合を切替確率とする。つまり、タスク i の k 回目の DR における切替確率 c_{ki} を以下の式で表す。

$$C_i^k = \frac{\int_{f_{iL}}^{f_c} \mu(f) df}{\int_{f_{iL}}^{f_{iU}} \mu(f) df} \quad (2)$$

式(2)により個々のタスクにおいて、各オプションが実施される確率が計算できる。各オプションの到達度達成確率は式(1)で与えられるので、全てのオプションを考慮したタスクの目標達成確率の期待値を以下の式で求め、個々のタスクの計画の評価に用いる。

$$P_i = \sum_k C_i^k p_k \quad (3)$$

ここで、 P_i はタスク i の到達度達成確率の期待値を、 C_{ki} は最終的にオプション k が実施される確率を、 p_k はオプション k の到達度達成確率を表す。整合度の目標達成確立、性能ポテンシャルについても同様に期待値を計算する。プロジェクト計画全体の評価は、全てのタスクに対して各期待値の相乗平均をとったものを用いる。

(4) 学生フォーミュラプロジェクトに

表 1 フォーミュラプロジェクトのタスクデータ (一部)

No.	タスク名	代替案	難易度	性能	目標値
1	燃料タンク設計	(1)円筒型	(0.0193, 0.0405, 0.0748)	0.7	0.6
		(2)箱形	(0.0386, 0.0811, 0.1496)	0.3	0.6
2	ラジエータ設計	(1)ラジエータ設計	(0.0362, 0.0498, 0.1275)	0.5	0.6
4	エキゾーストマニホールド設計	(1)インコネル	(0.0021, 0.0059, 0.0111)	0.7	0.6
		(2)炭素鋼	(0.0041, 0.0118, 0.0222)	0.5	0.5
12	アライメントジオメトリ設計	(1)Rr.ロールセンター変更案	(0.0095, 0.0140, 0.0201)	0.9	0.9
		(2)サスペンションレイアウト変更案	(0.0143, 0.0210, 0.0301)	0.7	0.9
		(3)Rr.キングピン軸変更案	(0.0190, 0.0280, 0.0402)	0.5	0.9

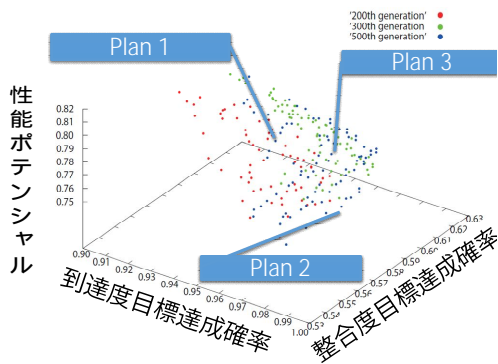


図 3. フェーズ 1 のパレート解

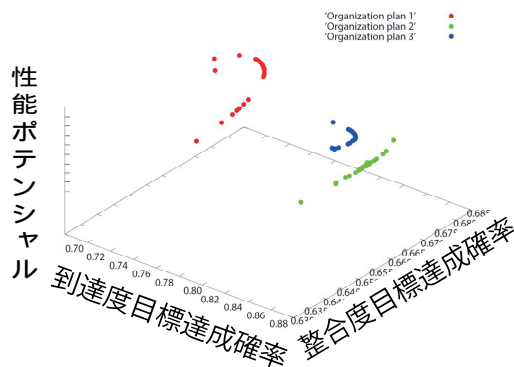


図 4. フェーズ 2 のパレート解

よるケーススタディ

大阪大学学生フォーミュラプロジェクトの計画問題を例として取り上げ、提案手法の有効性を検証する。プロジェクトメンバーは、大阪大学工学部の学部生、大学院生 15 名である。メンバーに 2013 年度のプロジェクトについての聞き取り調査を行い、本研究で提案する計画手法に必要な各種の情報、すなわち、タスクやその代替案、タスクの難易度、タスク間の依存関係、設計者の能力などを収集した。本プロジェクトは 29 個のタスクで構成される。収集した情報のうち、一部のタスクについての代替案、それぞれの難易度、性能ポテンシャル、到達度の目標を、表 1 に示す。

収集したプロジェクト情報のもとで、計画案の最適化を行った。なお、実際の計算にあたっては、多目的最適化に適した遺伝的アルゴリズムである NCGA を用いた。また、許容達成確率は $pc = 0.4$ とした。

フェーズ 1 の最適化計算の過程を図 3 に示す。図 3 より、世代を重ねるにつれてパレート面を形成しながら収束していることが確認できた。本計算例では 500 世代(図の青色の点)でほぼ収束しており、パレート解が得られたと判断した。また、到達度目標達成確率、整合度目標達成確率、および性能ポテンシャルの間にトレードオフの関係が存在することが確認できた。第 500 世代のパレート解のうち、いくつかの特徴的な解を選択し、フェーズ 2 を行った。本計算例では、性能ポテンシャルが高い解(plan 1)、2 つの視点の目標達成確率が高い解(plan 2)、3 つの目的関数値のバランスがよい解(plan 3) の 3 つを選んだ。その最適化結果を図 4 に示す。全体として、3 つの目的関数のもとでのパレート解が得られていることが確認できた。

計算で得られた最適解と、実際に実施されたプロジェクトの内容を比較してみる。表 2 に、フェーズ 2 の目標達成確率が高いスケジューリング案における、各タスク、DR、各タスクグループのミーティングへの配分時間、および各タスクの目標達成確率 p を示す。A ~ O は担当の設計者を示す。比較的難易度の高いタスク(No. 6 パワートレイン補器, No. 12 アラインメント・ジオメトリ, など) に対して、より多くの設計時間を与えられ、また、バックアップオプションへの切り替えの選択(表 2 中で黄色で示した No. 4 排気マニフォールド, No. 6 パワートレイン補器, No. 22 フロントフレーム) が行われていた。その結果、性能ポテンシャルをやや犠牲にしても、リスクが低くなっているものと考えられる。

以上により、本研究で提案した手法により、優れたプロジェクト計画案を導出できることが確認できた。また、3 つの目的関数のもとでの多様なパレート解が導出できることを確認できた。

今後は、本研究の成果を産業界における実際の設計開発プロジェクト計画問題に適用し、提案手法の洗練化を図る予定である。

表 2. 目標達成確率の高いスケジューリング案の内容

Designer	A					B				C		D			E	F	G
Task No.	8	9	12	14	25	5	7	10	18	6	23	15	16	17	11	27	22
Time	0.9	22.5	159.2	22.9	49.9	1.3	24.3	29.7	1.3	209.1	28.8	60.7	44.3	7.5	28.1	163.6	135.1
Designer	H				I	J	K	L	M	N	O	Meeting					
Task No.	20	24	26	28	3	4	13	21	1	29	2	19	DR	DT1	DT2	DT3	DT4
Time	49.9	7.7	39.6	7.3	69.1	93.6	89.4	97.7	38.4	66.6	31.6	41.3	16.6	10.7	11.3	12.9	0

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

Nomaguchi, Y. and Fujita, K., Knowledge Representation Framework for Interactive Capture and Management of Reflection Process in Product Concepts Development, *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 27, No. 4, (2013), pp. 537-554.

野間口大, 松安亮典, 堀之内貴大, 藤田喜久雄, タスクの到達度とタスク間の整合度の多目的最適化による設計プロジェクト計画法に関する研究, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 78, No. 79, (2012), pp. 3812-3828.

Nomaguchi, Y., Tsutsumi, D. and Fujita, K., Planning Method of Creative and Collaborative Design Process with Prediction Model of Technical Performance and Product Integrity, *Concurrent Engineering: Research and Applications*, Vol. 24, No. 4, (2012), pp. 315-334.

[学会発表](計5件)

Dong, C., Horinouchi, T., Nomaguchi, Y. and Fujita, K., Design Project Planning Method with Task Option Model and Two-level Multi-objective Optimization, *Proceedings of the ASME 2014 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE 2014)*, (2014), DETC2014-34827.

Nomaguchi, Y., Horinouchi, T., Dong, C. and Fujita, K., Option-based Risk Management Method of Challenging Design Project, *Proceedings of the ASME 2013 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE 2013)*, (2013), DETC2013-12846.

武田康士, 野間口大, 藤田喜久雄, A2MOSA:アーカイブの適応的調整による多目的シミュレーテッドアニメーリング法, 情報処理学会第88回数理モデル化と問題解決研究発表会, (2012), IPSJ-MPS12088005.

堀之内貴大, 董春祉, 野間口大, 藤田喜久雄, アダプティブな設計プロジェクト

計画のための設計プロセスオプションとその評価モデルに関する基礎研究, 2013年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2013), 131548.

Nomaguchi, Y., Askhoj, A., Madsen, K. F., Akai, R. and Fujita, K., Design Method Selection Matrix for Facilitating Product Platform and Family Design, *Proceedings of the ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference (ASME IDETC 2012)*, (2012), DETC2012-70861.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野間口大 (NOMAGUCHI YUTAKA)
研究者番号: 90362657

研究者番号:

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: