

**製品開発における設計負荷とその低減：
設計プロセスの効率化と改善に関する研究**

早稲田大学大学院
アジア太平洋研究科
4003S321-0
山本靖

1. 研究の目的

半導体やソフトウェアの製品開発において、ガント・チャートや PERT (Program Evaluation and Review Technique)、CPM (Critical Path Method)で代表される従来のプロジェクト・マネジメントの管理手法では解決困難な問題が散見される。それはすなわち、設計情報と設計知識の流れに起因した手戻り修正、無駄、時間とコストのリスクを引き起こす因子、不確実性要因、非効率な工程といった、設計開発工程に直接間接的に影響を及ぼす設計負荷の問題である。

設計学やプロジェクト・マネジメントの分野において、これまでこの問題を解決するための明確な解釈や知識の体系化並びに概念形成が行われてきたとは言えない。しかし近年、製品の設計開発工程が大規模・複雑化する状況下において、設計負荷の低減に向けた議論への要求が高まっている。そして設計負荷の問題は、設計学とプロジェクト・マネジメントにおける一つの中心的かつ現実的な問題となっている。

そこで本研究では、製品開発における設計負荷の問題の解決に向けた議論を行う。以下に示すように、設計負荷の問題は基礎的及び応用的問題として捉えることができる。設計負荷の基礎的及び応用的問題の両面を包含して、設計プロセス管理に関する一つの知見を形成することが本研究の目的である。

- i) 基礎的な問題としては、「設計プロセス上の設計負荷」を解明することにある。設計プロセスは設計情報と設計知識の創造と処理を行う流れであるので、その観点で設計負荷の本質を探究する。
- ii) 応用的な問題としては、「設計プロセスの効率化と改善のための手法」を確立することにある。これは基礎的問題解明に基づき、その応用領域を管理手法に適用することである。そして設計プロセスの管理技術を向上させ、経営的視点による効率化と改善の枠組みを提案することである。

2. 研究の背景

設計を理解することを目的とした学問は設計学である。設計学における設計は人が概念として想定した要求機能を、それを充足する実体へと変換する行為である。この行為は人

間の知的行為であるから、人間の知的行為に関する知識は設計学における研究対象である。ここで体系付けされている設計に関する知識は二つに分けることができる。一つは人間が設計する人工物、すなわち設計対象物に関する知識である。二つ目は設計をどの様に進めていくかという設計過程、すなわち設計プロセスに関する知識である。

今までこの設計プロセスの知識体系は、設計対象物である製品の知識体系に比べて多く議論されてこなかった。現在の工学領域における設計は、工業製品の物理現象に関する知識を体系化するという点に主眼が置かれてきたからである。しかしながら製品の設計開発は単に一般的な自然法則の知識を適時応用すれば良いということではない。設計対象物である製品や製品性能に関する知識に加え、製品の設計開発をどの様に進めるのかという設計プロセスに関する人間の思考がなければ、製品を成果として創り上げることは困難である。つまり製品の設計開発においては人間の思考が関わるのであり、設計プロセスの知識体系についての議論が要求されるのである。

この要求に応える研究の一つは吉川弘之や富山哲男による公理論的集合論に基づく一般設計学である。一般設計学は設計対象物ではなく、設計プロセスを一般化させた論理である。設計とは何か、設計技術向上の方法とは何か、これら基礎と応用の両面を包含した学問分野である。

発見的(heuristic)原理に基づく設計方法論も存在する。システム設計思考という設計の方法論を対象としているワーク・デザイン(Work Design)がその一つである。設計活動が将来に対する適応努力とするなら、現存しない理想を追求しようとする機会があるはずである。この機会を捉えて理想的なシステムを設計しようとするシステム設計思考法は、分析的アプローチとは対極的な手法である。この思考法は吉谷龍一、高橋輝男、黒須誠治によって実際に応用され、設計の方法論として効果的であることが知られている。

他に設計手法を管理的視点で捉えるアプローチもある。プロジェクト・マネジメントである。設計開発の工程管理という視点で捉えるなら、プロジェクト・マネジメントで体系化されている知見を利用することもできる。

しかし冒頭で提起した現実的問題に答えられる知見はまだ決して多くはない。そこで本研究では、上述した設計学とプロジェクト・マネジメントを背景としてこの現実的問題を解決に向けた議論を行う。基礎的問題である「設計プロセス上の設計負荷」の解明は、設計プロセスを設計情報と設計知識の流れとする観点から行う。このことはすなわち、設計学における設計プロセスの知識体系の中での、設計負荷の概念形成につながる。応用的問題である「設計プロセスの効率化と改善」のためには、プロジェクト・マネジメントの管理手法を取り入れ、経営的視点に立った管理の枠組みを提供する。これはプロジェクト・マネジメントを一步前進させることにつながると言える。

3. 研究の方法

設計プロセス管理という知見を形成するには、そこで用いられる方法について厳格な検

討が必要となる。つまり、設計プロセス管理を学問として取り上げるためには、設計プロセス管理並びにその効率化と改善の手法についての主張あるいは仮説が、検証可能性あるいは反証可能性を備えていることが必要条件である。本研究ではその検証を帰納法と演繹法によって行う。

帰納法としてはまず、設計技術者が設計しそしてプロジェクト・マネージャが管理する過程と設計負荷の現象を観察する。次に概念創出から要素還元と数量還元を行い、概念操作を行う。演繹法としてはまず設計プロセスに関して十分と認められる問題点の性質を仮説として設定する。次に数量還元できる概念については数理的モデルで定式化させ、実験を行う。そして実験の結果から客観的な評価を行う。つまり論理と数学を実験データと関連づけて設計プロセス管理を理解することとした。

4. 本論文の構成

本論文は全 10 章から成り、その概要は以下の通りである。

第 1 章 序論：

研究の目的、背景、方法、経緯について述べる。また、研究の焦点となる設計プロセス管理の概要と、本論で取り組む課題を提示する。

第 2 章 設計プロセスにおける問題と先行研究：

第 2 章では、設計プロセスと設計負荷に関する先行研究を概観する。

第 3 章 設計プロセスにおける状況認識と不確実性の源泉：

第 3 章では、まず設計プロセスにおけるリスクの源泉について議論する。次にリスクを引き起こす設計負荷の要因と構造を解明する。

第 4 章 設計プロセスにおけるイタレーションのモデル理論と実践：

第 4 章では、設計の手戻り修正を含めたイタレーション問題をとりあげる。従来のモデル化手法の問題点と DSM (Design Structure Matrix: 設計構造マトリックス) の有用性を示し、一対比較行列によるモデル化の手順を提示する。このモデルにより設計負荷の定量的解析が可能になることを検証する。

第 5 章 設計プロセスにおけるイタレーションとリスク・アセスメント：

第 5 章では、設計プロセスの管理と意思決定に向けた一つのフレームを提案する。本フレームは、イタレーションを含む設計プロセスに定量的リスク・アセスメントを組み込んだものである。多様な設計プロセスのモデルをシミュレーションすることにより、本フレームの有効性を検証する。

第6章 無駄な工程・過剰機能・過剰品質と価値のダイナミック・モデル：

第6章では時間短縮とコスト負荷削減を同時に実現させた事例を通じて、設計工程の効率化・過剰機能・過剰品質について考察する。そして製品開発における製品価値の形成過程と設計工程の効率化の関係を解明するダイナミックな価値モデルを提示する。

第7章 タイム・マネジメントによる設計開発期間の短縮：

第7章では、掛け持ち業務という制約条件のもとに設計開発する状況を取り上げる。短納期化のアプローチとして制約理論の考え方をタイム・マネジメントに応用する。事例の分析を通して本アプローチの実際と有効性を検証する。

第8章 大規模システムの設計プロセスにおける設計知の管理と活用：

第8章では、付加価値の源泉となりつつある設計知のモジュール、すなわち半導体 IP (Intellectual Property) の概念を体系化すると同時に設計プロセスにおける位置付けを明らかにしていく。そしてナノテク時代の半導体設計開発の技術的問題点を指摘し、半導体の IP を利用したシステム LSI の事例で検証する。

第9章 設計プロセスにおける設計知の多様化：

第9章では、設計知の多様化とプロセス・イノベーションに関する問題を取り上げる。それは外部からの知識と情報を新しい設計知として融合させ、その設計知を機動的に知識創造の共同体としてどの様に造り、どう収益追求をしていくのかという問題である。この問題解決に向けて一つのコラボレーションの命題を設定し、経験的データにより検証する。

第10章 結論：

本論文における結論を述べ、本研究における今後の課題をあげる。

5. 本論文の結論

ここで本論文の総括として以下の通り結論をまとめておく。

5. 1 設計負荷の解明

設計プロセス上の設計負荷とは、適切な設計解を得ようとする思考活動に対して影響を及ぼす行為であり、設計プロセス上のリスクを引き起こす原因である。設計プロセス上のリスクには計画納期、計画コスト、計画性能がある。これらリスクを引き起こす因子は、i) イタレーション、ii) 人間の行動特性、iii) 設計知の不十分な活用、iv) 不知の不知等である。これらが複合的に関わり合ってリスクに因果効果を及ぼす。これら四つの因子の概念について以下に述べる。

5.1.1 イタレーション：

イタレーションとは設計知を媒介としたタスク間の反復現象であり、適切な設計解を導出するための手戻り修正並びに設計を改善させようとする行為によって発生する。イタレーションに関する知見はイタレーションの分類とその分類によって進めるイタレーションの低減方法である。これが設計負荷の低減につながる。

5.1.2 人間の行動特性：

人間の行動特性は、設計プロセスの資源を無駄に消耗させ、遅延やコスト増加そして製品性能や設計品質低下を引き起こす原因となりうる。従ってこの特性を低減させることが設計負荷の低減につながる。人間の行動特性は以下の四つの要素で構成される。

①学生症候群的な意識：

納期ぎりぎりまで着手しない意識である。結果として納期が遅延するか又は成果物の品質が低下する。

②自己の予防線の意識：

早期に作業が終了した事実は自己防衛が働く意識である。作業が早く終了して浮いた時間は結果として無駄に消費される。

③掛け持ち作業の同時性の意識：

一人の人間に複数の作業を同時進行させる意識である。リソース競合によってクリティカル・パス手法が効かなくなり、結果として納期遅延を引き起こす。

④パーキンソンの法則に基づく行動意識：

不必要な仕事はいくらでも作り出せるという組織内力学である。計画予算は結果として全て使い尽くすまで消費される。

5.1.3 設計知の不十分な活用：

設計知の不十分な活用とは、企業間、組織内、又は設計者等によって知識ベースの共有化並びに再利用が十分行われていない事態である。設計知は再利用することで、設計作業の効率化と設計品質の安定化が実現できる。従って設計知を活用することが設計負荷の低減につながる。

5.1.4 不知の不知：

不知の不知は自己の不知を自覚していないことである。例えば知ったかぶり、思い込み、勘違い、誤った先入観等の人間の知的行動特性が含まれる。自己の不知を自覚しないまま、その通り行動すると設計プロセス上のリスクを招来する。従って不知の不知を取り除くことが設計負荷の低減につながる。

5. 2 設計プロセス管理の枠組みの提案

本論文では設計負荷を含む設計プロセスのモデル化を行い、設計負荷を低減する設計プロセス管理の枠組みを提案した。この枠組みによって設計プロセスの効率化と改善を図ることができる。この枠組みは計画、実行、評価、改善のサイクルから成り、以下の五つの方式を持つ。

5.2.1 イタレーションを含む設計プロセスの定式化と数値解析の方式：

DSM(Design Structure Matrix)を応用した一対比較行列によって、イタレーションを含む設計プロセスを定式化させた。この定式化により設計プロセスに与える負荷を定量的に解析することができる。そして代替策による設計負荷低減の効果を評価することができる。

5.2.2 リスク評価フレームの方式：

リスク算出式から設計プロセスを評価するフレームである。本フレームを多様な設計工程モデルに適用することで、活動時間と活動コストそれぞれのリスク値のトレードオフ検討が可能となる。イタレーションを定式化できる設計プロジェクトという条件下、本方式は確率論的な意思決定が行えるという点で従来の決定論的な方式より優れている。

5.2.3 価値のダイナミック・モデルの方式：

価値のダイナミック・モデルは設計プロセスの効率化を検討するための指標として、所要時間と所要コスト、そして製品価値に注目したものである。これを運用することで無駄な工程や過剰機能・過剰品質の工程の存在箇所を明確にできる。

5.2.4 タイム・マネジメントの統合アプローチの方式：

本アプローチは設計開発期間を短縮することをねらいとしている。ケジュール管理手法、CCM (Critical Chain Management: クリティカル・チェーン管理)、アウトソース化の三つの手法が統合されている。この方式は限られたリソース問題を解放させ、所要期間を削減させる。

5.2.5 知識ベースの構築の方式：

本論で提示する知識ベースは設計負荷の問題を解決するのに必要な知識を体系的に集約させたものである。設計情報と設計知識の概念形成も含まれる。まず知識ベースの共有化が進展すれば新規からの設計作業を減らす可能性を持つ。次に再利用化が進展すれば設計開発コストの低減と設計開発時間の短縮につながる。そして共有化と再利用が継続されることで機能や性能面の設計品質が安定してくる。知識ベースの構築は構築しない場合と比して、設計プロセスの効率化と設計品質向上の点で有益である。