

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

No. 435

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革
—VPM/WP によるトップダウン設計のイノベーション—

PLM/VP-Consulting

吉田 修治

東京大学ものづくり経営研究センター

朴 英元

東京大学ものづくり経営研究センター

阿部 武志

2013 年 3 月

 **MONOZUKURI** 東京大学ものづくり経営研究センター
MMRC Manufacturing Management Research Center (MMRC)

ディスカッション・ペーパー・シリーズは未定稿を議論を目的として公開しているものである。
引用・複写の際には著者の了解を得られたい。

<http://merc.e.u-tokyo.ac.jp/mmrc/dp/index.html>

The reform of the top-down design that reverted to
the origin of the manufacturing
: Innovation of the top-down design by VPM/WP

Yoshida, Shuji

PLM/VP-Consulting

Park, YoungWon

Graduate school of Economics, The University of Tokyo

Abe, Takeshi

Graduate school of Economics, The University of Tokyo

Abstract : The information technology supports the manufacturing in the entire life cycle of a product through marketing, planning, development, production, sales, and service just as it is called PLM. As product development has been supported by CAD/EBOM/CAE/CAT/CBOM/PDM and production preparations by CAM/DF and organization activities by ERP/SCM, PLM have made an effect on efficiency and expedition of recursive works including office works, derivative design, evaluation, production preparations, and the production schedule. On the other hand, when we limit it to the development activity, as PLM mainly supports derivative design, evaluation, production preparations based on a bottom up design, it is not sufficient to support a top-down design process from planning design which is the essence of the design activity to parts design. It is because an information engineer developing PLM does not understand a diagram of the creation that an expert designer makes tacitly in a top-down design process and the essence and existence of coordination in the creation.

To make clear the IT system which fits Japan's integrated manufacturing, Integrated Manufacturing Information System study group has examined the design technique by product architecture and the integration between development process and the organization. It is not sufficient to support the design activity that is the most creative in the manufacturing only by functions of the IT, but rather becomes the urgent business to deeply understand the coordination that a veteran designer does tacitly in a process of planning and parts design.

This paper defines the essence and existence of coordination structurally and suggests "the innovation of the top-down design by VPM/WP" as a measure to support a diagram of the creation that is the essence and existence of the design activities by functions of PLM.

Key words : Top-down design, process of dialectics, ontology, semiotics, SDM (System Design Management), VPM (Virtual Product Model), WP (Work Product), collaborative design

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革 —VPM/WP によるトップダウン設計のイノベーション—

吉田 修治

PLM/VP-Consulting

E-mail: yoshida604@m.jcnnet.jp

朴 英元

東京大学大学院経済学研究科

E-mail: parkezra@yahoo.co.jp

阿部 武志

東京大学大学院経済学研究科

E-mail: abe3255@gmail.com

要約：情報技術によるものづくりの支援は、PLMに代表されるように、マーケティングに始まり、企画・開発・製造・販売・サービスと製品のライフサイクルに跨っている。PLMでは製品を開発する活動がCAD/EBOM/CAE/CAT/CBOM/PDM、生産準備がCAM/DF、更に組織活動がERP/SCMなどで支援され、事務作業・流用設計・評価・生産準備・生産計画など再帰的な作業の効率化・迅速化では効果を上げてきた。

一方、開発活動に限定するとPLMの支援は、ボトムアップ設計技法をベースに、流用設計・評価・生産準備の支援が中心であり、設計活動の本質である構想から部品設計に至るトップダウン設計過程の支援は十分とは言えない。これはPLMを展開している情報技術者がトップダウン設計過程でベテラン設計者が暗黙の内に行っている創作の図式、創作に伴うすり合わせの本質と存在を理解していないことに起因している。

「統合型ものづくりITシステム研究会」では日本固有の「統合型ものづくりとITシステム」を明確化するために、製品のアーキテクチャを区分した設計技法、開発プロ

セスと組織との統合を検討している。ものづくりの中でも最も創造的である設計活動の支援では IT の機能のみでは不十分であり、構想から部品設計に至る過程でベテラン設計者が暗黙の内に行っているすり合わせを多層的に理解することが急務となっている。本稿ではすり合わせの本質と存在を構造的に定義し、設計活動の本質と存在である創作の図式を PLM の機能で支援する施策として「VPM/WP によるトップダウン設計のイノベーション」について提案する。

キーワード：トップダウン設計、弁証法の過程、存在論、記号論、SDM (System Design Management)、VPM (Virtual Product Model)、WP (Work Product)、共創設計

1. はじめに

情報技術者による設計活動の改革の課題は二つに区分できる。第一は情報技術者が情報技術の枠組—IT を利用して業務を改善する際に暗黙の内に採用している視点—と、設計者がものづくりの際に暗黙の内に行っている**すり合わせ**の違いを理解していないことである。第二の課題は第一の課題に起因するが、情報技術者が設計活動を改革する際に暗黙の内に情報技術の枠組を利用していることである。両者の課題は IT の機能以前の問題であり、ものづくりの本質と存在を如何に解釈するか依存する。

顧客ニーズの早期具体化、スマートな設計、QCD の改革、製品のイノベーションには、トップダウン設計技法—全体と部分の関係を段階的に詳細化—の改革が急務であり、設計者が暗黙の内に行っている拡張的な判断—**すり合わせ**—の構造的な理解が不可欠だが、**すり合わせ**の解釈は個人で差があり、空間的・費用的な取り合いで留まっている。SDM では V 字プロセスで判断過程の構造化を進めているが、プロセスと言う概念は、業務工程と情報の因果的な流通のニュアンスが強く、**すり合わせ**の構造は見えない。

一方、情報技術者による設計活動の支援は、ボトムアップ設計技法—要素を積上げて全体を定義—をベースに、流用設計・評価と生産準備など分析的判断・因果的過程・循環的処理の効率化・迅速化が中心となってきた。これは情報技術の枠組で事務作業を自動化する際の視点と同じとなる。創作の結果を流用する作業の自動化を図るため、創作の図式が隠蔽され、設計者が創作の図式を模倣できる環境が縮減している。情報技術者による設計活動の支援は、**すり合わせ**はベテラン設計者に任せ、現状の業務モデル—情報の変換と流通—をベースに、これらを PLM の機能で支援することが中心となってきた。

本論文では、まずトップダウン設計過程でベテラン設計者が暗黙の内に行っている**すり合わせ**と、情報技術者が暗黙の内に採用している情報技術の枠組の違いを明確化した上で、情報技術の枠組による設計活動の改善は、設計結果を流用・再現・複写する作業を効率化・迅速化するため、創作の図式を隠蔽すること、このため設計者が創作の図式を模倣できる環境が縮減し、ものづくりの頹落に繋がっていることを明確化する。

次に設計活動の支援では拡張的な判断—**すり合わせ**—が対象となるが、IT の機能では自動化できないため、IT の機能を拡張的な判断過程で如何に利用するかが課題となる。これを解決するには、設計プロセスを基軸に設計

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

者の判断形式と製品を定義する形式および両者を媒介する PLM の機能の関係を構造的に定義した上で、設計活動をモデル化する枠組を情報技術の枠組—分析的枠組—から記号論の枠組—拡張的枠組—に脱構築し、記号論の枠組を基に PLM の機能を利用する形態を改革する必要があることを明確化する。

2. 開発プロセスの意味と構造

製品のライフサイクルはマーケティング・開発・製造・販売・サービスに至る過程で構成される。開発段階に限定しても、企画：開発目標の設定、計画：機能仮説の設定、構想：形態仮説の設定、設計：製品モデル—製品の理論的なモデルで物理的な形態—の定義、評価：製品モデルの形態を機能で検証の五つに区分できる。情報技術は製品ライフサイクルに沿って定型作業の効率化・迅速化・グローバル化を支援してきたが、新たな価値を創造する活動の中核である設計プロセスの支援は十分とは言えない。

設計プロセスは、図 2.1 に示すように、**トップダウン設計過程**—企画・計画・構想・レイアウト計画・装置設計・部品設計に至る過程で目的を具体化する活動であり**総合的判断**が基軸となる—と、**ボトムアップ設計過程**—トップダウン設計過程で定義した製品モデルの内容と形式の関係を部品・装置・製品に至る過程で評価・変更し目的に至る活動であり、**分析的判断**が基軸となる—で構成される **V 字プロセス** を成している。両者の過程が反復することで製品モデルが熟成する。

製品を創造する活動の本質は前者だが、情報技術者は後者を対象にトップダウン設計で定義した結果を仮固定しこれを評価・変更する作業、ベース製品を流用し類似製品を差分で設計するなど分析的判断・因果的過程の効率化・迅速化を支援し、これでトップダウン設計を代替する展開を繰り返している。この概念錯誤的な展開に終止符を打ち、トップダウン設計過程でのベテラン設計者の判断を支援することが急務となっている。

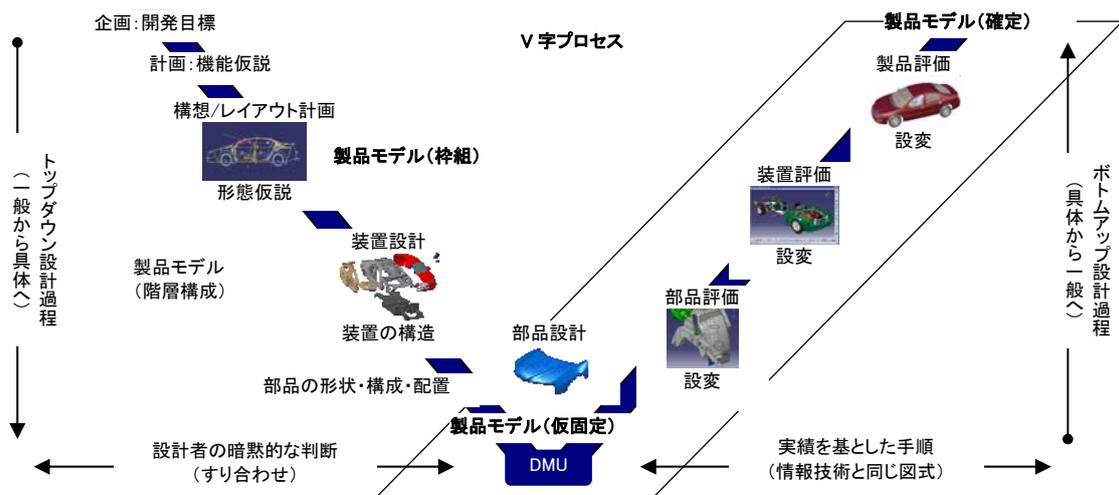


図 2.1 設計プロセスの構図

2.1 絵画の創作と版画の制作

問題意識を何所に置くかで課題は変わり、設計活動を改革する施策も変わるが、情報技術の枠組—分析的判断・因果的過程・循環的処理—で業務をモデル化する限り、設計活動の本質である創作に伴う**すり合わせ**は支援できない。設計活動の支援では**すり合わせ**の過程で如何に情報技術を利用するかを明確化する必要がある。

第2章では、情報技術者による設計活動の改革の課題を確認するため、絵画の創作における画家の判断過程と版画の制作における版画師の判断過程の違いを例に、ベテラン設計者の判断過程と情報技術者が業務改善で利用してきた業務モデル—業務を定型作業と情報の流れで構造化—の違いを明確化し、設計活動の支援では情報技術の枠組による業務のモデル化は制作の図式となり創作の支援は出来ないこと、逆に創作の図式を定型作業の反復にすり替える危険性が高いことを明確化する。

絵画の創作過程に沿った画家の判断と原画の形態および版画の制作過程に沿った版画師の判断と版画の関係を示すと図 2.2 となる。絵画の創作はトップダウン設計過程に対応し、版画の制作はボトムアップ設計過程に対応する。活動の結果得られる作品は同じに見えても、両者では判断過程、判断過程で利用する形状と色彩の利用の仕方が異なることを理解することが重要である。

画家は図 2.2 の左に示すように、描画対象を美の観点で解釈し、対象を構図・レイアウト・部分の輪郭・部分の詳細と多層的に構造化し、作品を段階的に記号—形状と色彩—で描く。この過程は総合的判断—描画対象を記号の内容と形式の関係に置換えて表現—、弁証法の過程—描画対象と作品の反省的評価—、志向的活動—描画対象を段階的に詳細化—となる。描画対象の中に原画の答えそのものはない。部分的なヒントがあるのみである。

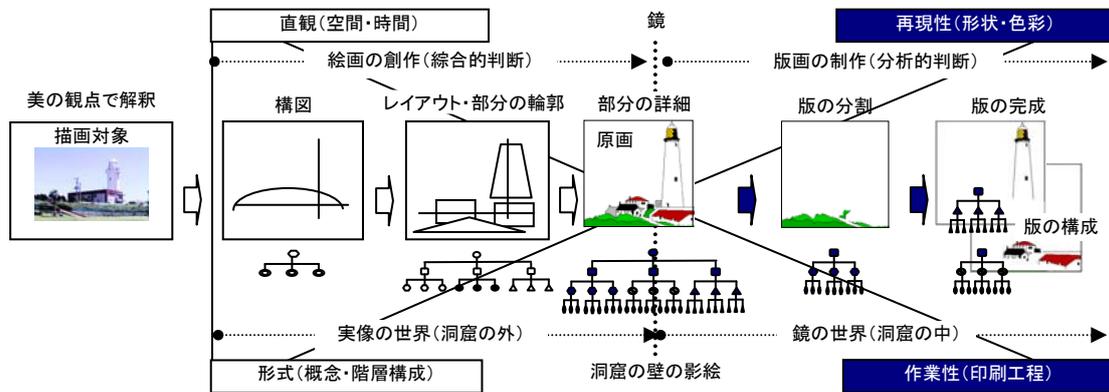


図 2.2 絵画の創作と版画の制作

版画師は、図 2.2 の右に示すように、原画を基に版画の品質（再現性）と印刷効率・工程を考慮し、原画を形状要素と色彩の関係で版に分割し、版の組合せと印刷工程で原画を版画として再現する。版画の版と構成は原画に答えが含まれている。版画の制作は分析的判断—原画を構成する形状と色を分割—、因果的過程—版を印刷する工程—が基軸となる。

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

原画と版画は同じに見えても、画家が原画を創作する際の判断と形状・色彩の利用の仕方は、版画師が版画を制作する際の判断と形状・色彩の利用の仕方とは本質的に異なる。画家は写真のように描画対象を一对一の関係で写像化するのではない。また版画の様に、まず版別に部分の形状と色彩を決め、次に版を重ねて全体を描くでもない。全体と部分の関係を段階的かつ相補的に詳細化することを理解することが重要である。

2.2 情報技術者によるモデル化

情報技術者による設計活動の改革は設計テンプレートに代表されるように、版画の制作を対象に版の制作と印刷を自動化することで版画の制作を効率化・迅速化する支援を行い、更に版画を制作する図式を基に、版の変更と組合せの変更で類似の版画を制作し、これで絵画の創作を代替するような展開を繰り返してきた。この過程で創作の図式が隠蔽され、情報技術者を利用することで設計者の判断力が低下するような環境を拡大している。情報技術者のモデル化は書類をベースとした業務プロセスで留まっている。

情報技術者は自分が暗黙の内に採用している視点－確定した作品を固定し、これを再現する作業を自動化－を意識していないため、設計活動の改革では概念錯誤的な展開を繰り返してきたと言える。設計活動の本質と存在は絵画の創作と同じ図式であり、版画の制作は生産技術・製造に対応するが、類似製品の開発を繰り返す過程で、設計活動が確定した製品の形態を流用・再現・複写する過程－版画の制作過程－に代替されてきた。

設計活動を創作としてモデル化するには、製品の熟成過程－製品が存在を開示する過程－を基軸に、設計者の判断形式と製品を定義する形式を構造的に定義し、設計者は製品を全体と部分の関係で段階的に詳細化することを理解することが重要である。更に設計活動は製品の目的を解釈し記号で定義する活動であり、拡張的な判断過程が介在するため、設計活動をモデル化する枠組を変革することが急務となっている。

MBSE (Model Base System Engineering の略) は設計プロセスを二元的な V 字プロセスで定義し、製品を定義する概念を操作＝機能＝論理＝物理モデルで区分することで、製品が段階的に定義されることを示している。V 字プロセスはカントの総合的判断・分析的判断の弁証論、操作＝機能＝論理＝物理モデルは悟性概念に対応するが、V 字プロセスに沿った設計者の判断過程を、製品を定義する概念と記号で如何に構造化するかが課題となる。

2.3 記号過程

製品機能の検討は MBD (Model Based Development の略) の様に、製品の機能仮説を関数の因果的な連鎖でモデル化し、パラメータを変えて挟み撃ち的に機能を予測することは有効だが、機能仮説を基に形態を定義する過程は総合的判断が基軸となる。情報技術者は総合的判断と分析的判断の違いを理解していないため、設計活動の支援では業務機能を論理・数学的な法則で定型化し、業務プロセスを業務機能の因果的な連鎖とデータの流通でモデル化し、これをトップダウン設計に適用すると言う概念錯誤的な展開を繰り返してきた。

顧客ニーズの早期具体化、スマートな設計、QCD の総合的な改革、製品イノベーションではトップダウン設計の支援が急務だが、この過程は多層的な知識の形態と判断過程で構成され、更に相互に曖昧な状況で平衡検討を行う必要があり、多層的なすり合わせの過程となるが設計者の暗黙知となってきた。ベテラン設計者が暗黙の内に行っているすり合わせを支援するには、すり合わせの構造的な理解が急務となっている。

すり合わせを支援するためトップダウン設計・モジュール設計などの技法、DSM (Design Structure Matrix の略)、MBSE などが提唱され、PLM の機能と連携して実務への適用が試みられてきたが、本質的な支援は十分とは言えない。これは設計活動の支援を行っている情報技術者が、ベテラン設計者が検討過程で暗黙の内に行っているすり合わせを構造的に理解していないことに起因している。

設計活動は、図 2.3 に示すように、「設計者：解釈項」が「製品：指示対象」を「製品モデル：記号媒体」で定義する「記号過程」となる。検討過程はトップダウン設計とボトムアップ設計の区分、検討図の体系と形態に関係し、設計者の判断形式は総合的判断・弁証法の過程・志向的活動と分析的判断・因果的過程・循環的处理に関係する。製品は製品アーキテクチャとしてインテグラル型とモジュラー型などに関連し、記号媒体は製品を定義する形式として文書類と製品モデルに関連する。四者の関係で設計活動の形態が異なる為、設計活動の支援では四者を考慮した改革が必要となる。

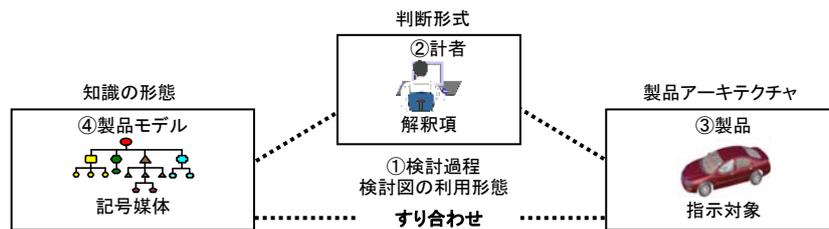


図 2.3 設計活動の共時的な構図

2.4 記号過程のモデル化

芸術活動・設計活動など作品を記号で創作する活動は記号過程となるが、記号過程の本質と存在を理解するには、芸術家の判断（解釈）＝描画対象の意味＝作品の意味と三者を媒介する記号の関係、設計者の判断（解釈）＝製品の目的と仮設＝製品を定義する形式とこれらを媒介する記号の関係を明確化する必要がある。記号過程の代表的な枠組として、ソシュールとパースのモデルがあるが、両者は設計活動の本質と存在をモデル化するための枠組として重要なため、両者の違いをジグソーパズルと絵画の創作で対比する。

(1) ソシュールのモデル

ソシュールのモデルは、図 2.4 に示すように、世界の意味体系を前提に記号体系で分割し、記号を記号表現（形式）と記号内容（内容）の表裏の関係で定義する。ソシュールのモデルはジグソーパズルに近い。記号はピース、

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

形式はピースの型、内容はピースに描かれている絵となる。ソシユールのモデルは記号の単位を確定した所から始まる。新たな記号の定義は記号を組合せて行うことになる。ソシユールのモデルは分析的モデルである。

ソシユールのモデルはデカルトのモデルと同様に、世界の価値（客体）と言語体系（主体）が独立して存在し、記号が両者を媒介（関係付け）する形態となる。ソシユールのモデルではジグソーパズルのようにピースを組合せて絵を再現する過程となる。ピースの組合せを変えることで新たな絵は描けるが、これは要素主義となり、画家が全体と部分の関係で絵を段階的に詳細化する過程は再現できない。

ソシユールのモデルと同様な例としてウィトゲンシュタインの論理絵がある。論理絵は事態を命題体系で分割し、命題と名を定義した上で、両者の演算で事態を論理絵として再現するが、ウィトゲンシュタインは命題体系の演算は何も新たなことは語らないこと、論理絵は同語反復に陥ることを指摘している。

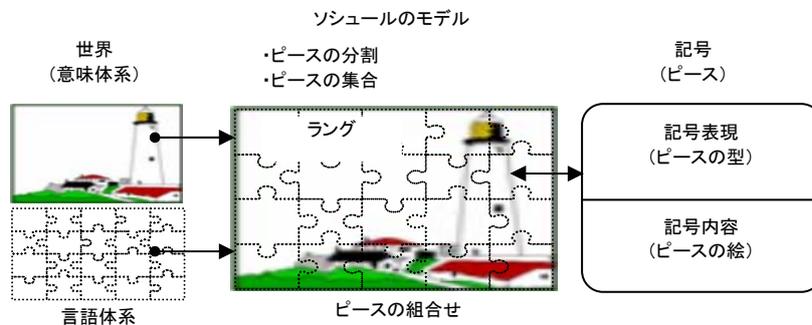


図 2.4 ソシユールのモデル

(2) パースのモデル

パースのモデルは、図 2.5 に示すように、解釈項＝指示対象＝記号媒体で構成され、主体が指示対象を解釈し、解釈結果を記号媒体の記号表現と記号内容の関係に総合する過程となる。パースのモデルは絵画の創作に近い。パースのモデルは記号を確定する過程であり、記号は枠組－記号表現と記号内容の関係が未確定に始まり、拡張的な推論の結果として段階的に確定する。パースのモデルは拡張的なモデルとなる。

パースのモデルをウィトゲンシュタインのモデルに喩えると言語ゲームに近い。言語ゲームではゲームの展開が作品となる。言語ゲームでも命題体系（記号）とルールを利用するが、両者の利用形態は拡張的となり、ゲームの展開に沿って利用する命題とルールは動的に変わる。論理絵はジグソーパズルと同様に確定した事態（絵）を名（ピース）の組合せて再現するのみである。ピースを変えて類似の絵を再現することはゲームに近いが、判断過程は部分を組合せる判断過程となり、全体と部分の関係を段階的に詳細化する判断過程とは異なる。

同じ記号過程でもソシユールとパースのモデルは、記号を定義する過程、判断過程で記号を利用する形態は本質的に異なることを理解する必要がある。両者の違いは版画の制作と絵画の創作、ボトムアップ設計過程とトップダウン設計過程の違いに繋がる。表現された結果、表現過程で利用される記号は同じでも、両者では記号過程を媒介する判断力の質、判断の際の記号の利用形態が大幅に異なる。

画家は風景を写真の様に一对一の関係で写像化するのではない。また画家は風景を眺め、風景のアイデアを完成した作品の表現形態としてイメージし、これを基に部分の版を分割し、版を重ねるように全体を描くでもない。画家は描画対象を美で解釈し、表現に利用する記号を考慮し、作品を全体と部分の関係で段階的に詳細化する。この過程は美（解釈）＝記号内容（風景）＝記号表現（形状と色彩）をすり合わせる過程となる。風景は作品の目的・画家の解釈によってデフォルメされることに注意する必要がある。

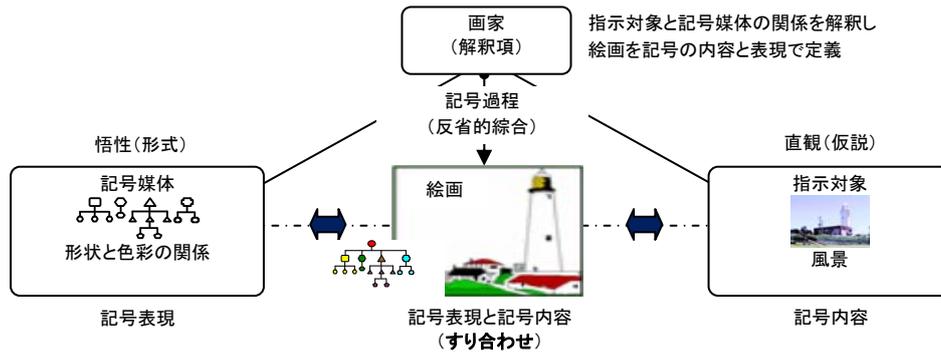


図 2.5 パースのモデル

2.5 記号過程と設計活動の関係

ソシユールとパースでは記号活動を行う際に、記号の利用形態が異なることを見たが、設計活動は種々の形態の記号過程が介在しており、どの過程を対象とするかで対応するモデルが異なる。本論文では設計活動の中でも新規の製品を設計する過程—構想から部品設計に至る過程—を対象とするが、この過程でも流用設計・モジュール設計など種々の設計技法が混在する。ここでは肖像画の創作とモンタージュ写真の制作を例に、トップダウン設計とモジュール設計の違いを明確化する。

(1) 肖像画の創作

肖像画の創作はパースのモデルに対応する。画家は図 2.6 に示すように、全体と部分の関係を多層的に構造化し、作品を構図・レイアウト・部分の描画と段階的に詳細化する。肖像画では全体と部分の関係は段階的に決まる。画家はモデルの顔を美で解釈し、肖像画と言う作品（記号）を記号内容（モデルの顔）と記号表現（形状要素と色彩）の関係で総合する。肖像画の創作は拡張的な判断過程である。

肖像画の創作で押さえる点は、画家が如何にして作品全体を形状要素を利用して段階的に詳細化するかである。画家は風景を写真の様に写像するのも、版画の様に版に分割して版を重ねるのでもないことを前述したが、画家は全体と部分を構図＝レイアウト＝部分の輪郭・詳細化と段階的に詳細化する。画家は全体と部分の関係を絞り込むために形状要素の表現内容を決めていることに注意する必要がある。

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

画家は作品に対する理念を基に描画対象と作品の関係を段階的にすり合わせるが、画家は作品のアイデアー完成した作品の形態ーを基にアイデアを構成する要素を分割し、まず部分を個別に表現し、次に部分を組合せているのではないこと、画家は作品を構図・レイアウト・部分の輪郭・部分の詳細と段階的かつ相補的に詳細化することを理解することが不可欠である。フッサールはこの過程を「志向性」として構造化している。

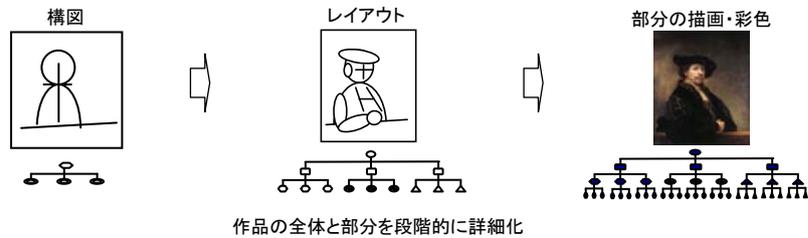


図 2.6 肖像画の創作

(2) モンタージュ写真の制作

モンタージュ写真の制作はソシュールのモデルに対応する。制作者は、図 2.7 に示すように、まず顔の枠組を顔の輪郭・髪形・耳・眉・目・鼻・口で構造化し、次に各部分の素材を整備し、最後に顔の枠組を流用し、各部分の組合せと配置を変えて顔を再現する。モンタージュ写真は全体の枠組を固定し、部分を個別に定義し、全体を部分のコラージュで再現する。モンタージュ写真の制作は分析的な判断過程である。モンタージュ写真も基本的な図式は版画・ジグソーパズルと同じである。両者共に判断過程と判断に利用する記号は事前に決定している。前者は顔の枠組を流用し種々の顔を再現し、仮説と一致させる挟み撃ち的判断だが、後者は同じ絵を再現する分析的判断である。モンタージュ写真はウィトゲンシュタインの論理絵の代表的な事例であり、設計活動ではモジュール設計技法ー計画段階で全体と部分の関係を決め、詳細設計は部分の組合せと配置となるーに相当する。

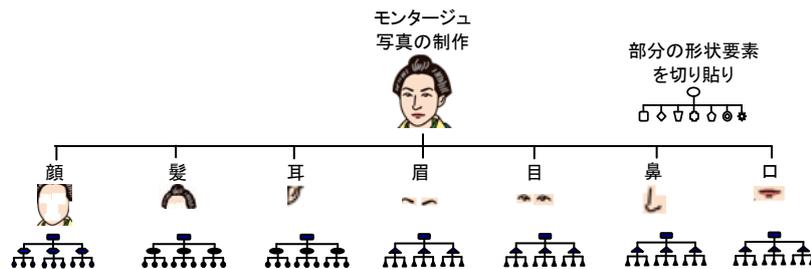


図 2.7 モンタージュ写真の制作

(3) 設計活動との関連

同じ顔の定義でも肖像画の創作とモンタージュ写真の制作では、作品を詳細化する過程、顔を構成する部分の利用形態、全体と部分を詳細化する判断過程は異なる。設計者が製品の目的を段階的に詳細化する過程も同様である。新製品で製品全体の枠組が大きく変わる際は、トップダウン設計過程は肖像画を創作する過程となり、モンタージュ写真の制作過程ではないことを理解する必要がある。

モジュラー型の製品は計画段階で製品の枠組を決めることで、トップダウン設計過程をモニタージュ写真の制作に置換え、部分の検討を並行して実施できる形態にするが、計画段階で全体と部分の**すり合わせ**を短期間で行う必要がある。計画段階での判断過程は肖像画の創作と同じとなる。インテグラル型の製品ではトップダウン設計過程は肖像画の創作と同じ構図だが、流用設計ではベース製品の枠組があるため、モニタージュ写真と同じ図式で設計できる。情報技術者による設計活動のモデル化は後者がベースとなってきた。

3. 設計活動の本質と存在

ものづくりは創作と制作で構成される。新たな価値を創る過程は前者だが、情報技術は創作の結果を流用・再現・複写する作業—制作の図式—を中心に支援し、創作はベテラン設計者に依存してきた。昨今、設計プロセスをV字プロセスで構造化し、設計者の判断形式と製品を定義する形式を構造的に定義する技法が提唱されているが、V字プロセスの解釈—情報技術の枠組で業務機能と情報の流れと解釈するか、記号論の枠組で製品の機能と形態を記号で定義する判断過程と解釈するか—の違いが重要となる。

V字プロセスの中でもトップダウン設計過程は、製品の目的を製品の形態で具体化する過程であり多種・多層的な概念を超越する判断が伴うが、この過程の構造的な分析は十分とは言えない。認知工学・AIなどの開発で部分的な構造化は進み、設計活動との関係ではMBSEなどでV字プロセスの構造的な理解が進んでいるが、構想から部品設計に至る過程で製品モデルを継続的に定義する過程を記号論の枠組でモデル化した例は少ない。

欧米のCADベンダーが**トップダウン設計技法**、日本では**すり合わせ設計技法**が提唱されているが、**トップダウンの判断・すり合わせ**の解釈が曖昧であり、更に設計活動を暗黙の内に情報技術の枠組—分析的判断・因果的過程・循環的処理—で構造化するため、本質的な適用は出来ていない。**すり合わせ**は風景を美で解釈し形状要素と色彩の関係で分節しながら絵画を描く過程であり、これは風景をキャンバスに複写する過程でも、版画で原画を再現する過程でもない。絵画を記号—形状要素と色彩—で創作する過程となる。

3.1 トップダウン設計

設計活動の本質である創作をモデル化するには、トップダウン設計過程で設計者が暗黙の内に行っている**すり合わせ**の理解が不可欠となる。第2章で設計活動は記号過程であること、記号過程をモデル化する枠組としてソシユールとパースで区分し、判断過程をモニタージュ写真の制作と肖像画の創作で対比したが、**すり合わせ**を構造的にモデル化するには、パースの枠組が適している。本論文では**創作に伴うすり合わせ**を**総合的判断・弁証法の過程・志向的活動**で構造化するが、これらを構造的に理解するには情報技術の枠組では不十分であり、歴代の哲学者の種々の視点を応用する必要がある。

カントは直観(作品の仮説)を悟性(概念形式)で分節しながら作品の形態を定義する総合的判断で構造化し、

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

ヘーゲルは即自（風景の内容）と対自（作品の形式）の弁証法の過程で構造化する。フッサールは画家が風景を作品に段階的に充実化する志向的活動で構造化し、パースは、図 2.5 に示した様に、画家（解釈項）が指示対象（風景）と記号媒体（形状要素と色彩）の関係をキャンバスに総合する拡張的な推論過程で構造化する。これらの視点を基に設計活動を構造的に理解することから始める必要がある。

(1) 総合的判断

総合的判断は多義的に解釈されてきたが、設計活動の本質と存在は製品モデルを定義する概念を超越する判断が基軸であり、構想＝設計＝評価で構成され、概念クラス－機能・構造・形状－を超越する「**概念駆動型の判断**」と同一概念の内容を検討する「**科学的探究の過程－仮説＝演算＝帰納－**」で構成される。ここでは $y=f(x_i)$ を定義する過程を例に設計活動の構図を、製品モデルを定義する階層構成との関係で概観する。

① 概念駆動型の判断

構想＝設計＝評価の過程で設計者の判断過程と製品モデルが熟成する過程－製品モデルが $y-p=f-p(x_i-p)$ から $y-d=f-d(x_i-d)$ に変容する過程－を構造的に定義すると以下となる。

● 構想

構想は製品の目的－市場との関係－を製品アーキテクチャに**すり合わせる**過程であり、目的＝機能＝形態を総合的に判断する過程となる。製品に対する総合的な知識が要求される最も創造的な局面となる。構想は概念駆動的な判断が基軸となるため、情報技術の枠組による支援が困難であり、ベテラン設計者の暗黙知に依存してきた。構想は、図 3.1 に示すように、機能仮説 $Y=F(X_i)$ と形態仮説（意匠面） $b=g(s_i)$ を基に、両者を製品種固有の機能構造（命題体系） $y-b=f-b(x_i-b)$ で分節し構想を行う。構想は機能仮説と形態仮説を基に $y-p=f-p(x_i-p)$ を $y-p$ 、 $f-p$ 、 x_i-p の相互関係で検討する総合的判断となる。製品モデルの枠組 $y-p=f-p(x_i-p)$ が階層構成 $-p$ で仮固定される。構想は機能仮説＝意匠面＝製品の枠組の関係を**すり合わせる**過程であり、階層構成の 1 レベルが決定される。

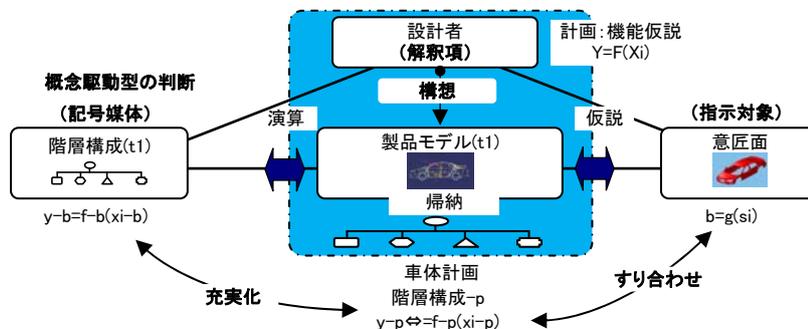


図 3.1 製品モデルによる構想

• 設計

設計はレイアウト計画・装置設計・部品設計と段階的に進むが、装置設計を例にすると、図 3.2 に示すように、レイアウト計画の枠組 $y-l=f-l(xi-l)$ を基に部品の外観形状が検討され、階層構成 $-d$ が仮固定される。装置設計は表現形態と階層構成をすり合わせる過程として、仮説 $(y-u)=$ 演算 $f-u(xi-u)=$ 帰納 $\{y-u=f-u(xi-u)$ の評価 $\}$ が反復する。部品設計では $y-u=f-u(xi-u)$ を基に部品形状が詳細化され $y-d=f-d(xi-d)$ が検討される。設計者は表現形態の仮説と階層構成の枠組をすり合わせし階層構成に内容を充実化する。この過程は内容と形式を綜合する過程であり、関数によるデータの変換とは異なる。設計では装置：階層構成の 2 レベル、ASSY：3 レベル、部品：4 レベルが詳細化され、4 レベルで部品の形状・構成・配置が仮固定され、製品全体の形態が仮固定される。

製品モデルの形態は製品のアーキテクチャに沿って段階的に分節され階層構成の末端で部品形状が詳細化されるが、構想・レイアウト計画・装置設計での中間階層に対応する形態は判断過程を媒介する中間仮説であり、確定した部品形状の集合とは異なることに注意する必要がある。設計者は階層構成を段階的に展開し、各階層に対応する形態で全体と部分の関係を調整し、階層構成が末端まで展開された時点で部品の詳細形状が検討される。階層構成は枠組形式のみで内容は未定に始まり、段階的に階層構成を展開しながら中間仮説が検討され、全体と部分の関係をすり合わせしながら階層構成の内容が充実化される。階層構成は判断過程を導く糸であり、設計者の判断形式であり、製品モデルを定義する形式であり、製品モデルの最終的な形態でもある。設計者は階層構成を拡張的な判断で利用しながら内容を検討する。

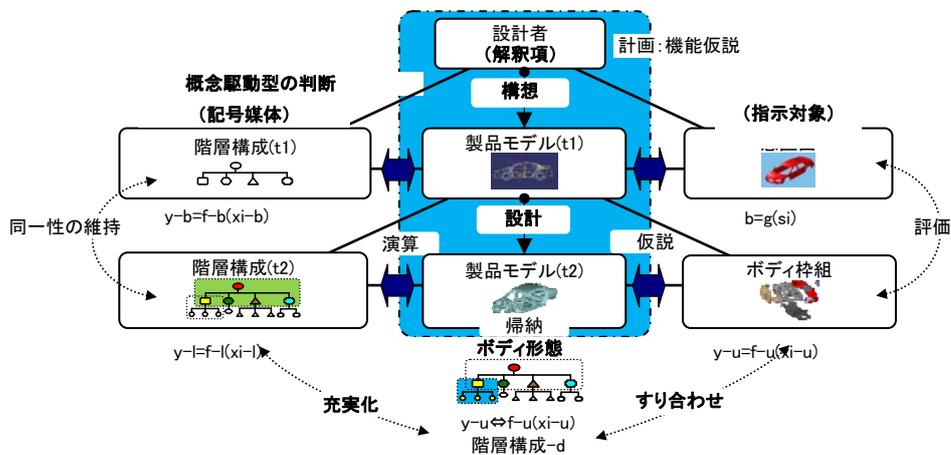


図 3.2 製品モデルによる設計

• 評価

構想から設計に至る過程はトップダウン設計過程に対応するが、トップダウン設計での評価は計画段階での機能モデルの評価、設計段階では装置・部品の設計と平衡した CAE による検証となる。トップダウン設計過程では仮説と設計結果が比較・評価され最終過程で $y-d=f-d(xi-d)$ が仮固定され全体の最終調整が行われる。評価は反省的綜合の過程であり、即自 = 対自 = 即自かつ対自に至る弁証法の過程での即自と対自の綜合に対応する。

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

一方、設計から評価に至る過程はボトムアップ設計過程に対応するが、この過程での評価は設計結果と実績(評価基準)との比較・評価となる。評価は部品・装置・製品とボトムアップに評価される。設計結果を基に試作品が制作され、実験により形状と構造が種々の機能(現象)で評価される。評価結果が製品モデルの階層構成に反映され、製品の評価後に階層構成が確定する。複雑な製品ではV字プロセス=構想=設計=評価=が反復する。

② 科学的探究の過程

構想=設計=評価の過程は機能=構造=形状に至る概念駆動型の判断が基軸となるが、これと並行して各概念の内容を仮設=演算=帰納で充実化する過程が反復する。本論文では概念別に内容を充実化する過程を科学的探究の過程として区分する。本来、構想=設計=評価も科学的探究の過程であり、両者ともに拡張的な推論過程となるが、総合的判断の構造を明確化するために、概念駆動型の判断を縦糸、科学的探究の過程を横糸で区分する。仮設=演算=帰納は目的合理的活動、拡張的な推論過程の時間性に関連する。

• 仮設

仮設は目的(将来)に対応する。形状の定義では製品・装置・部品の形状の仮説となる。設計者は機能仮説を基に直観的に製品の形態仮説を設定し、形態仮説を製品のアーキテクチャに沿って分節し、装置・部品の形状の仮説を設定し段階的に詳細化する。

• 演算

演算は関数によるデータの変換ではなく、ルールを利用した拡張的な推論であり、現在に対応する。仮説を形式(命題と名)で分節しながら内容と形式をすり合わせし、形状を論理・数学的な形式で具体化する。

• 帰納

帰納は評価(過去)に対応する。演算結果と仮設の比較、演算結果と実績の比較で検討結果を反省的に総合する。仮設=演算=帰納は因果的過程ではない。帰納は演算結果と仮説および実績を比較することで科学的探究の過程を拡張的に媒介する。

(2) 弁証法の過程

トップダウン設計は製品モデルが機能仮説⇒形態仮説⇒製品モデル⇒文書類に変容する過程を縦糸、各段階で概念の内容を充実化する過程を横糸に段階的に内容を充実化する。新製品の設計では新機能を実現する多様な表現形態の検討が必要となる。これにはベース製品を定義する文書類の切り貼りではなく縦糸の連続性が重要となる。縦糸は概念駆動型の判断=機能=構造=形状に至る過程で形状を検討=が基軸であり、概念クラスの超越を伴うため、PLMの機能で作業を自動化し、挟み撃ち的判断を支援するのみでは限界がある。

構想=設計は相互に曖昧な状況で相互関係を検討するため、図 3.3 に示すように、①製品全体と部分(地と図)、②装置間の相互関係(フレーム問題)、③内容の詳細化(自己言及)に対応できる検討図の形態と検討過程を媒

介する製品モデルの階層構成が必要となる。検討図が熟成過程（時間）と機能間（空間）で分節され、検討図は階層構成-p から階層構成-d に至る過程を媒介する。すり合わせの支援では設計者と製品モデル、設計者間の弁証法の過程を媒介し、弁証法の収束性を向上する必要がある。これには製品モデルを定義する階層構成の利用形態が重要となるが、階層構成は検討結果を記憶する為の器ではないこと、製品種固有の枠組であり、仮説を設定するために利用することが重要となる。

インテグラル型の製品では、製品が大規模・複雑になるに連れ、多数の設計者で相互に曖昧な状態で継続的に検討を行うため、設計者と製品、設計者間で多層的な弁証法の過程となる。この過程の支援では、設計者が製品全体と部分の関係、部分間関係を反省的に総合出来る設計環境が必要となる。モジュラー型の製品では計画段階で製品の形態を規格化するため、空間的なすり合わせは減少する。製品のアーキテクチャですり合わせの程度と頻度は変わるが、機能＝構造＝形状を検討する際に内容と形式をすり合わせる過程は空間的なすり合わせとは別の問題であり、この過程の支援が重要となる。

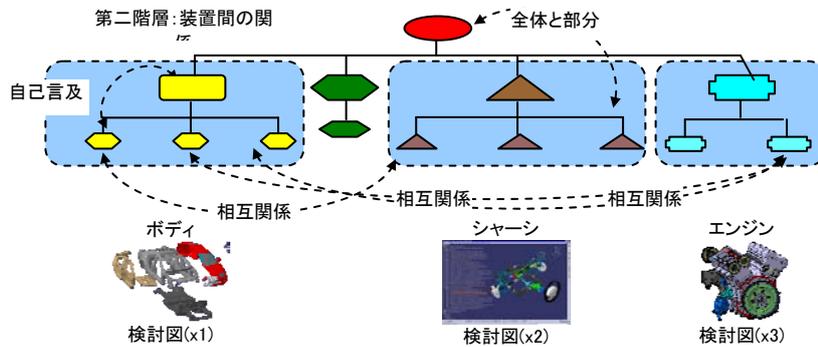


図 3.3 製品モデルによる相互関係の調整

(3) 志向的活動

製品・装置の内部構造の検討は段階的に行われる。自動車では、構想・レイアウト計画・装置設計・部品設計と検討図で段階的に検討するが、検討段階に合せ検討する内容は変わるため、検討段階に合せ製品モデルの形態を定義する必要がある。トップダウン設計では、図 3.4 に示すように、構想図 $y-p=f-p(x_i-p)$ を基に検討の粒度に合わせて中間仮説 $y-l=f-l(x_i-l)$ 、 $y-u=f-u(x_i-u)$ を検討し、最後に部品の形状・構成・配置を検討し $y-d=f-d(x_i-d)$ を定義する。継続的な検討の支援では、検討結果を製品モデルの階層構成で一元的に管理し、継続的な変更管理が必要となる。装置別に検討過程の独立性を向上させるには、検討図別に製品モデルの階層構成から検討する部品の形状・構成・配置を仮想的に参照し、検討結果を個別に階層構成に反映できること、形状・構成・配置を独立して変更し、部品別に変更管理ができることが必要となる。

トップダウン設計は、機能仮説 $Y=F(X_i)$ 、形態仮説 $b=g(s_i)$ を基に、製品モデルの形態が階層構成-p から階層構成-d に変容する過程であり自己言及の過程となる。自己言及には総合的判断・弁証法の過程・志向的活動が伴い、

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

各段階で内容を充実化させる過程は科学的探究の過程—仮説＝演算＝帰納の反復—となる。検討過程の継続性を向上させるには、階層構成-p から階層構成-d に至る過程で階層構成の同一性—検討過程で上位の階層構成に変更が無い—が重要となる。

トップダウン設計過程で形態を詳細化する過程は、版画の制作の様に、まず部品形状を個別に決め、次に部品形状を組立て装置の形状を決め、装置を組立て製品の形状を定義する過程ではないこと、設計者は絵画の創作の様に、車体の枠組、レイアウト、装置構造、部品形状と段階的に全体と部分の関係を相補的に詳細化することを理解する必要がある。これが志向的活動の意味である。完成した製品・装置・部品の形態は同じでもトップダウン設計過程とボトムアップ設計過程では全体と部分の関係を判断する過程が異なるのである。

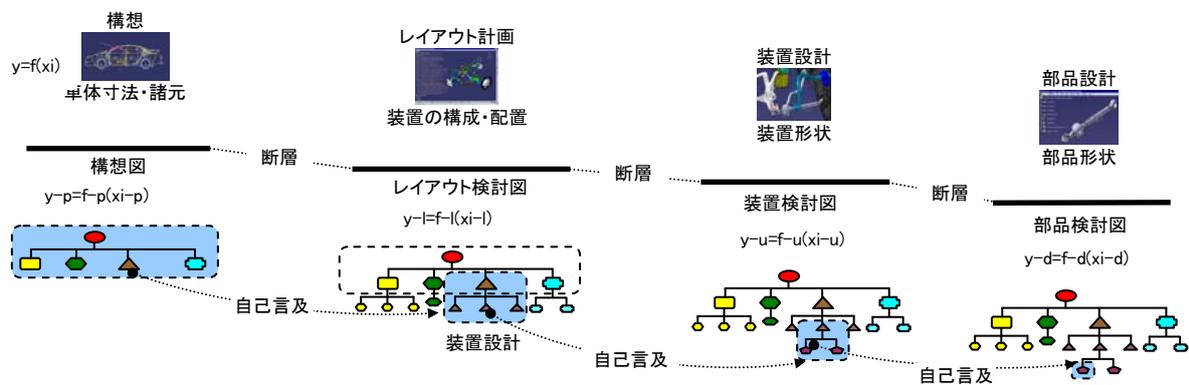


図 3.4 製品モデルによる自己言及の媒介

3.2 ボトムアップ設計の構図

ボトムアップ設計は、図 3.5 に示すように、トップダウン設計で仮固定した製品モデルの階層構成-d と設計手順を基に部品形状を詳細化し、機能評価・量産性評価を行い、階層構成-d を設計変更し、製品モデル $y-c=f-c(xi-c)$ を定義する。ボトムアップ設計は版画師が版を制作する過程に近い。設計者は製品モデルを定義する階層構成-d 内で装置間・部品間の関係を考慮し内容を詳細化し結果を検証する。

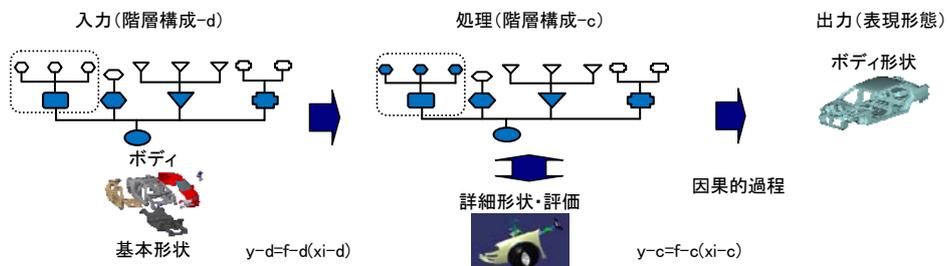


図 3.5 ボトムアップ設計の構図

(1) 分析的判断

ボトムアップ設計は製品モデルの階層構成—設計手順と形態を仮固定—を基に部分を独立して詳細化・評価・変更できるため、**すり合わせ**は大幅に縮減される。製品モデルを基に DMU による全体の後追い調整、3DCAD を利用した部品の詳細設計、CAE を利用した機能評価、CAM/DF による量産性の評価と生産準備の支援は分析的判断となる。ボトムアップ設計の結果として製品モデルの階層構成-c が確定し設計手順が固定される。

(2) 因果的過程

階層構成-c を基に、装置・部品別に文書類 pij(xi)、dij(pij)を作成し、文書類を下流部門へ出図する過程は因果的過程となる。ボトムアップ設計は試作品の作成・生産準備が伴う為、文書類をベースとした作業が中心となる。

(3) 循環的処理

ボトムアップ設計の支援では、図 3.5 に示したように、ベースの製品モデルの階層構成・部品形状・文書類を標準化し、これを流用する過程を情報技術で自動化することが中心と成ってきた。これは絵画の創作を版画の制作に置換え、版の組替えて挟み撃ち的に原画を再現する過程となる。

3.3 熟成過程の意味

第2章で見たように、画家は創作の際、描画対象を美で解釈し、全体枠組・レイアウト・部分の輪郭・部分の形状と多層的に眺め、自己言及的に作品を詳細化する。トップダウン設計過程の本質はモンタージュ写真の制作の様にまず全体枠組を固定し、次に部品形状を決め、最後に階層構成を利用し部品形状を積木する過程ではない。他種・多層的な検討図を利用し段階的に製品モデルを定義する階層構成の内容と形式を**すり合わせる**過程となる。

製品モデルの熟成過程は絵画の創作と同様に、製品の目的を概念と製品アーキテクチャで分節し、製品モデルを定義する記号の内容と表現を綜合する過程だが、自己言及の過程は市場環境（製品の目的）との関係を含み、製品の機能構造の関係のみでは閉じない。製品モデルは、図 3.6 に示すように、多数の設計者で継続的に検討され段階的に熟成する為、検討過程で製品モデル全体の階層構成を共有化し、階層構成を継続的に詳細化する。

階層構成は段階的に枝葉を拡げ、全体と部分の関係を段階的に詳細化する。構想で階層構成の1レベル、レイアウト計画で2レベル、装置設計と部品設計では3レベル以降で部品の形状・構成・配置を検討し、段階的に製品全体と部分の関係を詳細化するため、インテグラル型の製品では多層的—空間的・時間的・原価的—な**すり合わせ**が介在する。

トップダウン設計過程の支援には、製品モデルの熟成過程に沿った多種・多層的な**すり合わせ**の構造的な理解が必要だが、**すり合わせ**の過程は検討図の体系と形態の中に埋もれており、ベテラン設計者の暗黙知と成ってきた。これを開示するには構想・レイアウト計画・装置設計・部品設計で利用する検討図の体系・検討図間の関係・

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

検討図別の検討内容を分析し、検討の際の設計者の判断過程と製品モデルを定義する階層構成の関係および検討の際に利用する PLM の機能の関係を構造的に分析する必要がある。

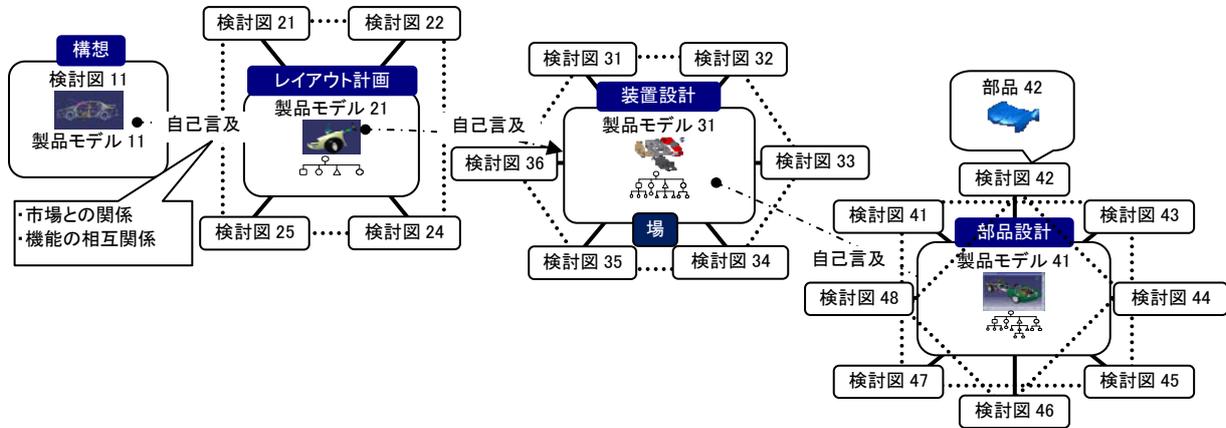


図 3.6 製品モデルが熟成する過程とすり合わせの関係

4. すり合わせの本質と存在

トップダウン設計過程は製品の目的を機能と形態で具体化するため、概念駆動型の判断が基軸となり、検討過程は製品アーキテクチャに沿って内容を分節する為、相互に曖昧な状態で多数の人で並行検討を行う必要がある。設計者は暗黙の内にすり合わせを行うが、すり合わせは多種・多層的な論理関係を超越する判断で構成される。

4.1 検討空間が含む論理的な構造

設計プロセスに沿って検討過程が含む論理的な構造は、図 4.1 に示すように、**地と図**（全体と部分の関係）・**フレーム問題**（部分間の依存関係）・**自己言及**（部分の詳細化）・**同一性の維持**（全体の継続的な詳細化）などがある。前の二つは空間的な関係であり、後の二つは時間的な関係である。設計者はこれらの問題を解決するため多種・多層的なすり合わせを行うが、すり合わせは拡張的な判断過程が基軸となる。

情報技術ではすり合わせの過程を再現できない為、情報技術者はすり合わせの過程を排除し、計算可能かつ因果的な世界にすり替えてきた。設計活動は情報技術の枠組で分析的判断・因果的過程・循環的处理としてはモデル化出来ない。設計活動では「計算出来ない世界を如何にして計算可能な世界しか再現できない情報技術で支援するのか。」が課題となっている。本論文ではすり合わせを**総合的判断**（内容と形式の総合）・**弁証法の過程**（判断の絞込みと利害調整）・**志向的活動**（内容の段階的な充実）で構造化する。

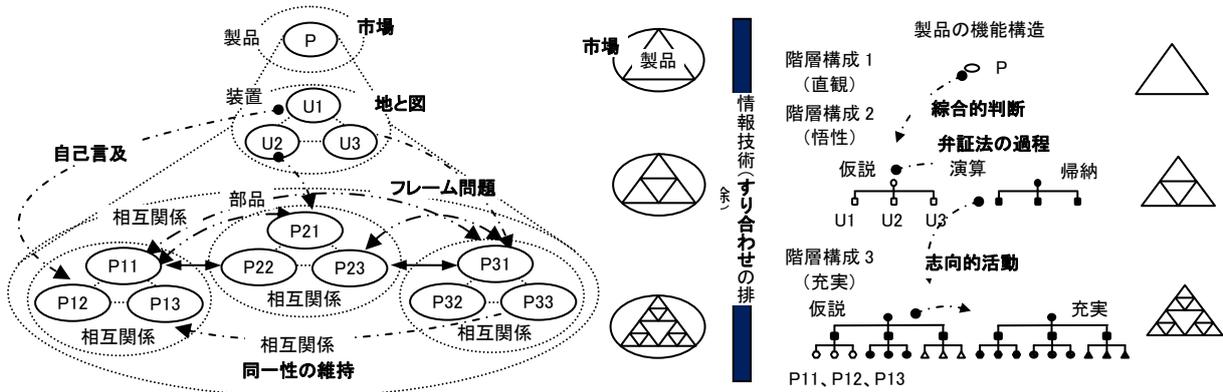


図 4.1 検討空間が含む論理的な構造

(1) 地と図(全体と部分の関係)

完成した製品は多数の機能の線形的な関係で定義できるが、検討過程では設計者は製品全体(地)と部分(図)の関係を段階的に詳細する。全体と部分は、図 4.2 のルビンの杯に示すように相補的な関係となる。これを「地と図」の関係と定義する。地と図の関係は市場環境(製品の目的)と製品の形態の関係を含み、相補的に変動し装置間の相互関係のみでは再現できない。部分から見た全体の関係は個々の部分で異なるため、全体と部分が相補的かつ継続的に見られる設計環境が重要となる。



図 4.2 地と図

(2) フレーム問題(部分間の依存関係)

完成した製品を構成する機能は階層構成で独立して定義出来るが、検討過程では、図 4.3 に示すように、各機能は相互関係の中で決定される。検討過程で機能を検討する際、各装置は相互参照の関係となる。これを「フレーム問題」と定義する。地と図の関係もフレーム問題と言えるが、ここでは部分間の相互関係に限定する。製品規模が大規模・複雑になるに連れ装置間の相互参照に伴う組合せ問題が増加する。各装置は空間・機能・原価など種々の要因で依存関係にある為、検討過程の支援ではフレーム問題は重要な課題となる。設計者は多種・多層的なすり合わせを行うが、すり合わせの支援では相互参照する装置間・装置と部品・部品間の関係が見られる環境が重要となる。

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

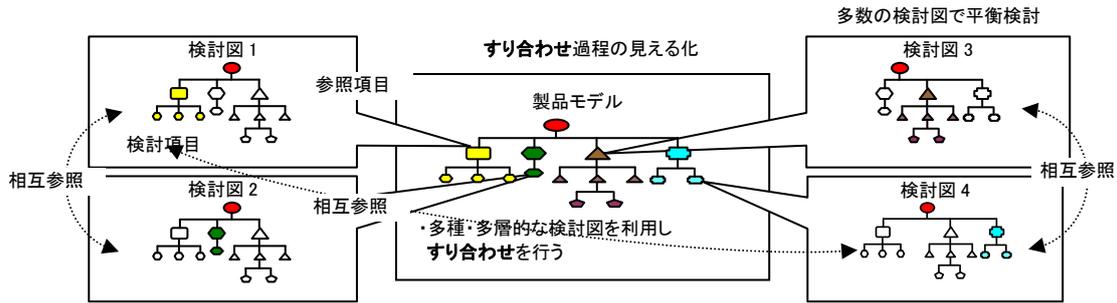


図 4.3 フレーム問題

(3) 自己言及(部分の詳細化)

完成した製品は末端まで枝葉を上げた階層構成を基に、図 4.4 の左に示すように、部分を階層構成に沿ってボトムアップに積上げることで定義出来るが、検討過程では、図 4.4 の右に示すように、階層構成の枝葉を段階的に展開しながら内容を詳細化する。これを「自己言及」と定義する。階層構成の各レベルは検討段階に沿った製品の形態に対応し、詳細化の過程で枝葉を広げながら形態を詳細化する。製品モデルを詳細化する過程は製品⇒装置⇒部品に至る自己言及の過程で相互参照関係が発生する。フレーム問題は自己と他との相互関係だが、自己言及は熟成過程に沿った自分自身の参照関係となる。自己言及はシェルピンスキーのギャスケットを外枠から始まり段階的に内部構造を詳細化する過程に対応する。自己言及の過程では階層構成の同一性－階層構成を段階的に詳細化しながら変更管理できる設計環境－が重要となる。

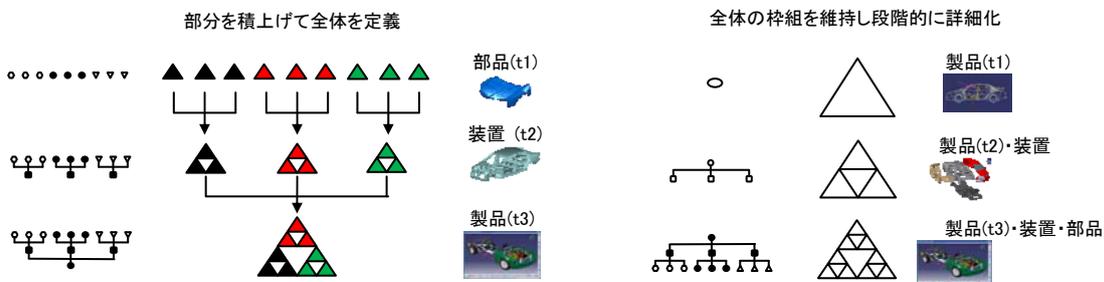


図 4.4 自己言及

(4) 同一性の維持(全体の継続的な詳細化)

設計検討は製品モデルの枠組に始まり、相互に曖昧な状態から段階的に詳細化されるため検討過程の継続性が重要となるが、検討過程は多数の検討図で分断化されていた。検討過程の同一性を維持するため設計者は頭の中で検討過程の継続性を維持し、平衡して検討図別に変更管理を行ってきたが、相互参照関係の最新を把握し変更調整・変更部分の反映を行うために多大の工数を要してきた。

製品が大規模・複雑になり検討過程が長期間になるに連れ、地と図・フレーム問題・自己言及に伴う**すり合わせ**は増加する。三者の関係は共時的・通時的な関係だが、**すり合わせ**を媒介するために製品モデルの「**同一性の維持**」は重要な課題となっている。同一性とは製品モデルの熟成過程に沿った通時的な変容過程を意味する。これには設計者間で製品モデルを定義する階層構成を共有化し、同一の階層構成を継続的に変更管理し、段階的に内容を詳細化できる設計環境が重要となる。

4.2 判断過程の違い

製品モデルの熟成過程は、トップダウン設計とボトムアップ設計で構成される V 字プロセスを成している。両者共に製品モデルの形態を記号で定義するが、両者では判断に利用する記号は同じでも、判断過程で設計者に要求される判断力の質、判断の際の記号の利用形態は異なることを前述した。

トップダウン設計は、図 4.1 に示したように、製品の目的を製品アーキテクチャに沿って分節しながら、製品モデルを階層構成—製品=装置=部品—で具体化する過程となる。この過程は目的・機能・構造・形状に至る過程で概念クラスを超越する判断過程で構成される。設計者は多数の可能性から一つの道を絞り込むために**すり合わせ**を行う。ボトムアップ設計はトップダウン設計で仮定義した製品モデルの階層構成を元に表現形態を定義し評価する過程となる。これはトップダウン設計で仮定義した階層構成を手順に沿って表現・検証する作業となるため、従来の情報技術の枠組—分析的判断・因果的過程・循環的处理—で対応可能である。表現形態の定義は論理・数学的な形式を利用した分析的判断、表現形態の評価には運動方程式を利用した因果的過程が介在し、表現形態を文書類に表現し文書類を処理する過程は循環的处理となる。

トップダウン設計過程の支援では製品の目的を製品の形態で具体化する際に設計者が暗黙の内に行っている超越論的な判断過程—計算不可能な世界—を如何に情報技術—計算可能な世界しか再現できない—で支援するかが課題となるが、情報技術者は暗黙の内に全ての活動を計算可能な世界から見るため、実在の世界での**すり合わせ**を排除してきた。判断過程の違いを区分するにしても何処に着眼するかが重要となる。米長永世棋聖は、コンピュータソフトとの対戦を通しプロ棋士とソフトの違いを、「プロ棋士は大局的にゲームの展開を想定し手を指すが、ソフトは次の手の仮設を既存の棋譜、判断ルールを基に計算し尽くし、次の手を選択する。」と述べている。また「ソフトが本当にプロ棋士に勝つと言うことは、既存の棋譜を参考にしなくなった時だ。」と述べているが、ソフトがどんなに強くても人間はソフトの様には思考しない。両者の違いを理解することが重要である。

芸術活動・設計活動など作品の目的を記号で具体化する活動で芸術家・設計者が行っている判断活動を如何に解釈し構造化するかは、設計活動を情報技術で支援する際の前提となる。情報技術は記号が規定する内容を再現してはくれるが、ゲームの展開に沿った記号の利用の仕方は教えてくれない。プロ棋士の大局観とソフトの論理演算の違いを理解することは重要である。両者の違いを理解させるため、設計活動を登山・将棋に例え、トップダウン設計とボトムアップ設計での判断過程の違いを明確化する。

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

(1) 未登攀の山への登山

トップダウン設計は登山家が未登攀の山に登る際の判断に等しい。山頂は遠くに見え、山の輪郭も見えるが、詳細な構造と地形は見えない。登山家は地図で登攀する山の地形を確認し、ルート of 仮説を想定する。現地では登山家は山=内=存在であり、山の地形の総合的關係でルート of 仮説を修正する。登山家は、図 4.5 に示すように、目標の山頂を確認し、山の輪郭を押さえ、仮想的なルートを想定し、地図でルートを確認する。

登山の実践では目標・地図・地形・体力・状況を総合的に判断し、判断結果と状況を検証しながら、多数ある可能性の中から一つの道を絞込み段階的にルートを決める。ルートは試行錯誤-仮説の設定=地形の確認と歩行=結果の検証-の結果として段階的に確定するが、登山家は山の地形の關係を総合的に判断しルートを決める。

登山家は、まず登攀する山(内容)を決め、地図(形式)で全体の關係を確認するが、これは**総合的判断**に対応する。現地では指示対象(地形)を多層的-頂上・ルートの輪郭・周辺の地形・足元の地形-に解釈するが、これは**志向的活動**といえる。更に登攀の過程では地図と地形の關係を総合し段階的にルートを確定する。ルートを確定する過程は地形と地図を**すり合わせ**ながら選択することであり**弁証法の過程**となる。これらの過程は登山家の能力(判断力・体力・技術)=地図=地形を総合する判断過程となる。

総合的判断は、指示対象(仮説)を形式で分節し、形式の關係を総合する**概念駆動型の判断**を縦系に、形式に内容を充実化する**科学的探究の過程**-仮説=演算=帰納-を横系に構成される。登攀は登山家の体力と技術=山の地形(内容)=地図(形式)を**すり合わせる**過程となる。この過程ではベースの形式-地図-はあるが、状況の解釈で三者の關係は変わるため、**すり合わせ**の過程をナビゲーションシステムで実体化することは出来ない。三者の關係を習得するには**すり合わせ**の過程を反復するしか手はない。**すり合わせ**を模倣できる環境が不可欠となる。

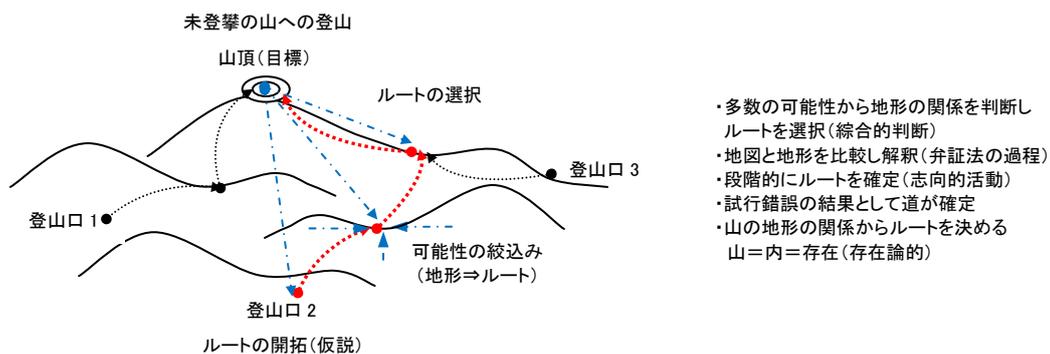


図 4.5 登攀ルートの開拓

登山ルートを開拓する際の判断過程はプロ棋士の大局観に基づく判断過程に近い。プロ棋士は相手の王将を取ることを目的に、まずゲームの展開を大局的にイメージする。これは目的=ゲームの展開=戦略・戦術(概念に相当)に至る概念駆動型の判断に近い。次に戦術を櫓・中飛車などで具体化し、相手の戦術と駒の動きを解釈(弁証法の過程)し、数手先までゲームの展開を想定(志向的活動)し、次の手を指す。

プロ棋士は駒の動きを枱目で追いかけるのではない。駒の関係を総合的に判断し、図 4.6 に示すように、ゲーム=内=存在として駒の動きを決める。プロ棋士はゲームの全体と部分、ゲームの推移を志向的にイメージしゲームを展開する。登攀の結果として登山ルートが決まる様に、ゲームの結果として棋譜一枱目に沿った駒の動きが決まる。枱目に沿った駒の動きがゲームを決めるのではないことに注意する必要がある。

同じ駒の配置パターンでも棋士のゲームを展開する理念で駒の関係の解釈は変わり、どの駒を如何に動かすかの優先順位は変わる。ゲームの展開は因果的ではないことに注意する必要がある。棋譜はゲームの展開結果を駒と枱目の関係で因果的に記述するが、これではゲームの展開は見えない。同じ駒の配置パターンの記述でもプロ棋士がゲームの展開で把握する内容と棋譜で記述する内容は本質的に異なることを押さえることが重要である。

デカルト以降の実証主義はゲームの展開を駒間の関係ではなく、枱目に沿った駒の動きで記述するような展開を繰返して来た。枱目と駒の関係でゲームの結果は再現できるが、これはプロ棋士がゲームの展開で判断している内容とは本質的に異なることを理解することが重要である。枱目に合せた駒の動きの記述でゲームの記述は大幅に簡略化されるが、逆にゲームの展開の本質を理解するには解釈が必要となる。

駒の関係の記述と枱目に沿った駒の動きの記述とは目的が異なる。ハイデッガーはこれを実存論的空間と物理学的空間として区分しているが、設計者の判断過程の支援には棋譜に沿った駒の動きの自動化ではなく、ゲームを展開する際にプロ棋士が如何にルールを拡張的に利用するかを理解することが急務である。

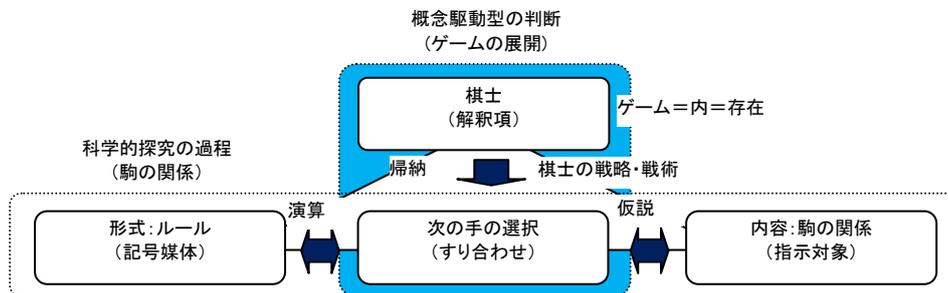


図 4.6 ゲームの展開

(2) トレッキング

トレッキングは同じ山頂を目指すにしても、確定したルートを通りながら登山することが目的となる。トレkkerは、図 4.7 に示すように、地図を頼りにルートを通り、道標を選択し、登山道から周辺の地形を眺めながらトレッキング出来る。トレkkerは目標・地図・地形・体力・状況を総合的には判断しない。確定したルートを道標に沿って通る判断は分析的判断・因果的過程となる。同じルートを通り、同じ風景を眺めるとしても、未登攀の山に登るとトレッキングでは判断過程、判断の際の情報の利用形態は大きく異なる。

情報技術者による支援はナビゲーションシステムに代表されるように、確定した登山道を指示することが中心となる。情報技術は初心者がトレッキング出来るように道標を設置し、ルートを整備し、地図にルートと所要時間を書き込む支援をしてきた。これは原画の創作と版画の制作の違いにも対応する。原画と版画を見ただけで

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

は両者の違いは見えない。情報技術者は版画の制作で原画の創作をすり替える支援をして来たが、創作の支援では両者の違いを明確化した上で、PLMの利用形態を脱構築する必要がある。

トレッカーは山の地形と地図を総合的には判断しない。地図と道標を比較し道標に沿って歩く。これは分析的判断・因果的過程となる。情報技術は登山道を固定し、これを辿る作業—分析的判断—に置換える。作業をIPO (Input=Process=Output) で構造化し、処理過程からすり合わせを排除し処理機能を情報技術で自動化する。データを処理する過程がソフトとして実体化され、登山家とは独立した存在となる。

トレッカーはナビゲーションを利用して分析的・因果的にルートを選択し、地形データを処理するが、処理対象・処理機能に対して何も言及できない。トレッカーは処理を行い結果を確認する作業者となる。ナビゲーションシステムは地形と地図のすり合わせを縮減することで、トレッキングの安全性を上げ歩行を効率化・迅速化するが、逆にトレッカーの判断力—地形を総合的に判断する力—を頹落させることに注意する必要がある。

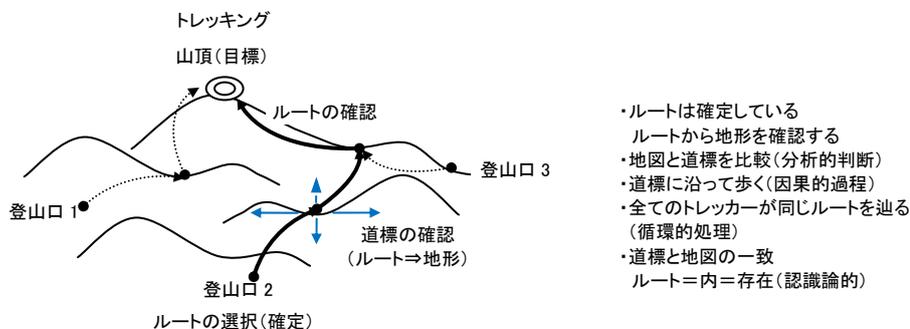


図 4.7 トレッキング

トレッキングは棋譜を基にゲームを辿ることに等しい。名人の対局を楽しむには棋譜に沿ってゲーム盤での駒の配置パターンを再現し、駒間の関係に置換えた上でゲームを辿ることが不可欠である。ゲームの展開を習得するには駒の動きを駒の関係に置換え、ゲームの展開を解釈する必要がある。将棋盤の駒の配置の再現、駒の動きを再現するのみでは意味はないが、情報技術はゲームの展開の解釈は棋士に任せ、駒の動きのみを再現する様な支援を繰返して来たと言える。

デカルトが開始した実体から内容を取り去り、延長のみを対象に数学的に表現する技法、運動を空間の配置の違いで表現する技法は、将棋の展開を枱目と駒の関係で記述する方法に等しい。設計活動の支援では、情報技術者はゲームの展開を支援すると称し、駒の関係把握は設計者に任せ、駒の動きのみを枱目で再現する作業を自動化するような支援を繰返してきた。ゲームの展開が、図 4.8 に示すように、棋譜を入力=将棋盤での駒の配置を処理=将棋盤に表示で置換えられる。

将棋ソフトは将棋の展開を対象に判断過程を再現する。既存の棋譜、ゲームのルール—駒の動き—、駒の配置パターン—槽・中飛車などを参考に次の手の仮説を設定し、駒の配置パターンの推移で次の一手を選択するが、これは名人の大局観とは判断過程が異なることに注意する必要がある。将棋ソフトはまず仮説を設定し、次に既

存のゲームの棋譜とルールを基にボトムアップに仮説を検証し、挟み撃ち的に次の手を演算し、確率的に次の手を決めるのである。

ゲームの展開を如何に解釈するかで、同じ将棋盤、将棋の駒を利用して、ゲームを記述する仕方は異なる。情報技術は棋譜の再現、将棋ソフトの様にゲームの模倣までは再現できるが、プロ棋士の大局観は再現できない。設計活動の支援では、棋譜の再現を行う様な支援が繰返されてきたが、プロ棋士の大局観を再現することは不可能にしても、ゲームの展開過程で、大局的な判断過程を如何に支援するかが求められているのである。これには大局観の構造的な理解から始める必要があるのである。

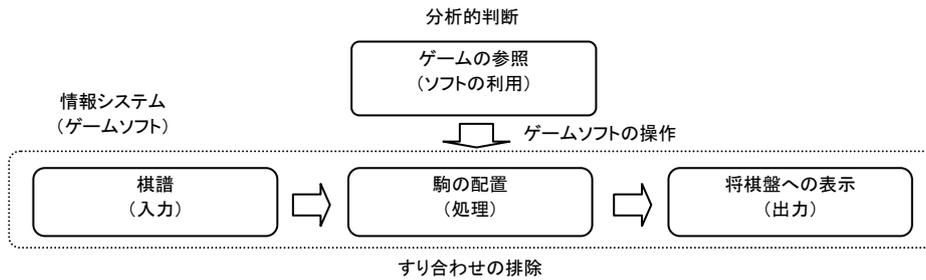


図 4.8 ゲームの再現

(3) 登山と設計活動の関係

判断過程の違いを登山とトレッキング、将棋ゲームの展開と将棋ゲームの再現を例に見てきたが、デカルトが創出した分析的判断、ニュートンの因果的過程は、暗黙の内に情報技術者の視点を拘束し、登山・将棋の対局をトレッキング・棋譜を利用したゲームの再現にすり替えるが、情報技術者はこのすり替えに気付いていない。またゲームを行う際にルールを拡張的に利用する判断過程とゲームで利用するルールを規定することの違いも理解できていない。設計活動を情報技術で支援するには、これらの違いを理解することから始める必要がある。

ハイデッカーが世界＝内＝存在で開示したあるものの見方を理解することが前提となる。製品の形態は山の地形、製品モデルの形態は地図であり、製品モデルを定義する階層構成の枝葉の繋がりには登攀ルートに相当する。登攀過程は製品モデルの熟成過程に対応する。同じ山に登るにしても、目標・地図・地形・体力・状況を総合的に判断しながら登攀するのと、道標を頼りにトレッキングするのでは要求される判断力の質、判断に要する情報、判断で利用する形態は異なる。

情報技術は未登攀の山への登山＝総合的判断・弁証法の過程・志向的活動＝をトレッキング＝分析的判断・因果的過程・循環的処理＝に置換え、道標の整備、登山道の整備、地図の整備などを支援してきた。設計活動の本質は登山だが、これは情報技術の枠組＝形式論理・数学の法則・物理法則＝では再現できない。設計活動の支援には登山とトレッキングの違いを構造的に理解することが不可欠である。

設計者がトップダウン設計で行う判断はルートの開拓であり、多数の可能性から一つの道を決める判断過程となる。設計活動は道標に沿ったトレッキングではないことに注意する必要がある。設計活動ではV字プロセスに

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

沿って、製品を定義する概念が要求＝機能＝論理＝物理モデルとシフトするが、概念クラスを超越する判断が不可欠であり、設計者の超越論的な判断力を考慮した支援が必要となる。

登山家は山＝内＝存在として山の地形を多層的に総合してルートを選択するが、設計者は製品＝内＝存在として製品の目的＝機能構造＝形態の関係を多層的に総合して形態を定義する。トップダウン設計の支援には設計プロセスを、製品を定義する知識の形態の系譜で定義し、知識の形態を製品の機能構造の熟成過程と対応付けることが重要となる。

登山家が登山能力を育成するために段階的に登る山の難易度をあげ、山の地形と状況に対応する能力を育成するように、設計者も部品・装置・製品と段階的に設計能力を育成する。設計能力の育成には、製品の目的を製品の機能と形態で構造的に定義できる能力が必要となるが、自動設計は設計能力を育成する機会を奪うに等しい。

4.3 すり合わせの構造化

登山家は登攀する山を選択し、段階的に難易度を上げ、地形の構造と身体能力を多層的にすり合わせし登攀能力を育成する。登山家は登攀の反復で地形と身体との関係を受肉する。プロの棋士は対局を繰返す過程でゲームの展開と戦略・戦術・ルールを多層的に暗黙知化する。両者ともにすり合わせる過程をカプセル化し、反復する過程で絶対知化する。すり合わせの過程は情報技術では自動化できない。拡張的判断を習得するための王道は無い。経験の過程で受肉するしか手は無いのである。

一方、設計活動の支援は、第一に製品のモジュール化、プラットフォーム・装置・部品の共通化など、製品の枠組を標準化すること、第二に DSM による設計手順の整理、設計テンプレートによる自動設計、既存部品の流用設計など判断過程の枠組を拘束し、検討過程からすり合わせを極力排除した上で情報技術で自動化を行う施策がベースとなってきた。これらの施策は流用・再現・複写では有効だが、市場ニーズが変動し、製品のイノベーションが要求される際は足枷となる。

情報技術者による設計活動のモデル化は、設計者が製品の機能構造を関数の因果的連鎖で定義するように、設計プロセスを業務機能の因果的な連鎖と情報の流れでモデル化するため、分析的・因果的・循環的モデルとなる。事務作業など確定した業務プロセス、製品の機能の評価ではこのモデルは有効だが、V字プロセスに沿って製品モデルを定義する階層構成の内容と形式をすり合わせる過程のモデルとしては不十分である。

創作は作品の目的（意味）を記号で定義する目的合理的活動であり、設計活動では製品に対する市場ニーズで製品の目的を決め、設計活動は製品の目的を記号で具体化する活動となり、記号表現と記号内容をすり合せながら両者の関係を確定する過程となる為、ソシユールのモデルー主体が確定した記号を利用し客体を定義するーをエポケーし、製品の熟成過程に沿って製品を定義する知識の形態の系譜を明確化し、パースのモデルを基に知識の形態を超越する過程で内容と形式をすり合わせし、段階的に内容を充実化する判断過程の構造化が不可欠である。

設計活動の支援では**すり合わせ**を如何に構造化するかが鍵だが、**すり合わせ**の解釈は曖昧であり、巷では空間の取り合い・調整作業など狭み撃ち的判断のレベルで留まっている。創作活動に伴う**すり合わせ**は、これまで見てきたように、多種・多層的となる為、本論文では**すり合わせ**を総合的判断・弁証法の過程・志向的活動で構造化する。設計活動の支援では、**すり合わせ**を排除するのではなく、**すり合わせ**の過程を如何に支援するかが重要となるのである。

(1) 総合的判断(内容と形式の総合)

ボディ設計を例にすると、設計者は、図 4.9 に示すように、製品の仮設—意匠面—を基に、製品アーキテクチャーボディのパネル構造—で分節し、個々のパネルの内容と形式の関係を段階的に総合する。設計者はこれらを暗黙の内に行うが、製品の仮説（内容）を設定し製品アーキテクチャー（形式）で分節し、製品モデルを定義する記号の内容と形式を**すり合わせる**過程は**総合的判断**となる。

カントは『純粹理性批判』で総合的判断を直観＝悟性＝理性の関係で構造化している。人間は、まず現象を直観（内容）で全体的に捉え、次にこれを悟性概念（形式）で段階的に分節し、更に理性が概念の内容と形式を反省的に総合する。これは概念駆動型の判断過程となる。パースはカントの総合的判断を記号過程で敷衍し、拡張的な推論を科学的探究の過程—仮設＝演算＝帰納—で構造化している。

設計は製品の目的を具体化する活動であり目的合理的活動となる。製品の目的（仮説）を段階的に詳細化する過程は目的＝機能＝形態に至る概念クラスを超越する判断が必然的に伴う。この過程は概念駆動型の判断となる。概念別に内容を充実化する過程は、概念を製品アーキテクチャーで分節しながら記号の内容と表現を決定する科学的探究の過程となる。設計者は製品全体と部分（地と図）・部分間の関係（フレーム問題）を検討しながら、製品モデルを定義する記号の内容と表現の関係を自己言及的に詳細化し確定する。

設計活動の改革で重要なことは、設計者が暗黙の内に行っている目的合理的活動・総合的判断を構造的に理解し、この過程を支援することだが、設計者は経験の過程で両者を暗黙知化するため、概念的に説明出来る人は皆無に等しい。設計活動の改革で注意が必要なことは、設計者へのインタビューを如何に行うかである。設計者は暗黙知を説明できないため、暗黙知の結果を手順化して説明する危険性が高い。これらを守るにはカントが開示した目的合理的活動・総合的判断の理解が重要となる。

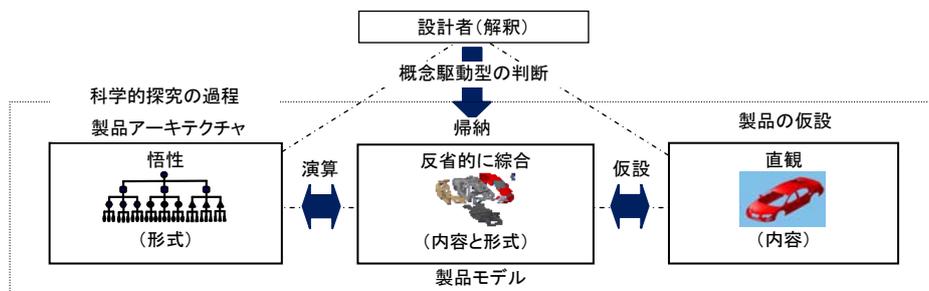


図 4.9 総合的判断と記号過程

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

(2) 弁証法の過程(判断の絞込みと利害の調整)

設計活動は製品の目的を製品モデルで具体化する過程となるが、設計者は、図 4.10 に示すように、製品の目的を製品モデルの枠組で分節し、内容(即自)と形式(対自)の関係を総合(即自かつ対自)する過程を反復する。検討過程は設計者と製品モデルの弁証法の過程であり、設計者は弁証法の過程で設計プロセスに沿った製品モデルの熟成過程を受肉し熟練する。設計者の熟練がない限り製品の熟成はあり得ない。

設計者の熟練と製品モデルの熟成を、製品モデルを定義する記号が媒介する。設計者は製品の目的(内容)を基に、製品モデルの枠組を利用し、製品モデルを定義する記号の内容と形式の関係を総合する。この過程はトップダウンの判断とボトムアップの判断の「**弁証法の過程**」であり、**設計者の熟練と製品の熟成の「弁証法の過程」**ともなる。製品の熟成には、図 4.10 に示すように、設計者の判断の絞込み—検討過程に沿った設計者の自己言及的な熟練—が不可欠である。自己言及には市場環境との関係・状況の解釈が含まれる。自己言及には「**発達論的な時間性**」が介在する。

設計者と製品の関係は記号の内容と表現をすり合わせる弁証法の過程となるが、設計活動は事務作業のように因果的には流れない。製品全体と部分—地と図—、機能間の調整—フレーム問題—では空間・原価・時間などの利害関係が生じる。これも弁証法の過程となる。限られた空間・時間・費用の中で全体と部分を最適化する活動には利害が伴い、両者を調整する過程は弁証法の過程となる。マルクスが唱えた資本家と労働者の弁証法の過程による社会の発達も弁証法の過程となるが、これは利害の調整に近い。

弁証法の過程は因果的過程とは異なり、自己言及に伴う発達論的な時間性が介在する。設計者は自己言及の過程—即自=対自=即自かつ対自—で熟練し、設計能力の絶対知化を目指す。製品は自己言及を繰返す過程で構造を詳細化し内容を充実化する。弁証法の過程は拡張的な自己言及の過程であり、製品モデルがこの過程を媒介する。設計者は弁証法の過程を反復することで設計能力を育成する。弁証法の過程の収束性を迅速化するには設計者の判断形式—検討図の体系と形態—=製品モデルの定義形式を一元化し、検討過程を両者で継続的に媒介する必要がある。

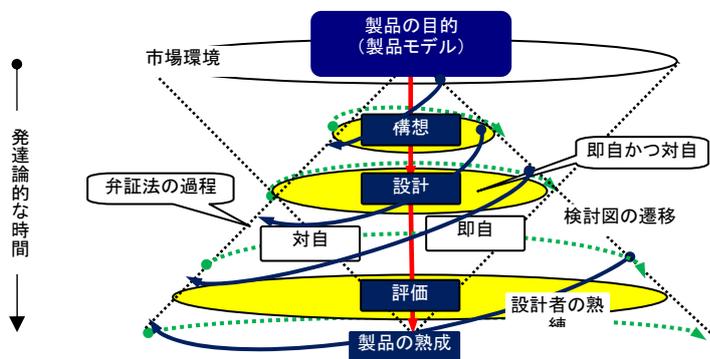


図 4.10 設計者の熟練と製品の熟成の弁証法の過程

(3) 志向的活動(内容の段階的な充実)

設計者は弁証法の過程で熟練し、製品モデルは弁証法の過程で熟成する。設計活動での弁証法の過程は拡張的な自己言及であり、発達論的な時間性が介在するが、フッサールは人間が現象を段階的に内在化する過程を「志向性」として定義している。フッサールは弁証法の過程では見えない、認識過程に伴う段階的な内容の充実を、知覚過程を例に構造的に分析し、内容を充実化する時間性として「現象学的な時間性」を定義している。

フッサールの志向性は、図 2.2 に示した、画家が風景をキャンバスに描く過程に近い。画家は風景を美(意味)で解釈し、絵画の意味を構図・レイアウト・部分の輪郭・部分の詳細と段階的に分節しながら記号(形状と色彩)で表現する。この過程は写真の様に風景を一对一の関係で写像化する過程、版画の様に部分の詳細を重ねる過程ではないことを前述した。設計活動を創作としてモデル化する為に必要なことは、全体と部分の関係を詳細化する過程を如何にモデル化するかである。

製品の目的を具体化する判断過程では、図 4.11 に示すように、製品モデルは枠組形式のみで内容は未定一に始まり、目的を段階的に製品アーキテクチャで分節し内容を詳細化するため継続的な検討が必要となる。内容の充実では確定した部分の積木ではなく、全体と部分を相補的かつ段階的に詳細化するが、これを「志向的活動」と定義する。内容の充実には製品モデルを定義する階層構成を自己言及的に展開しながら継続的に内容と形式の関係を総合する過程となり、現象学的な時間性が介在する。

設計活動の改革で重要なことは、設計者の志向的活動と製品モデルの充実化の過程を如何にモデル化するかである。設計活動は多数の設計者で継続的に実施され、製品モデルは段階的に充実化する。この過程を、製品モデルを定義する階層構成が継続的に媒介する。この過程を実現するには製品モデルの同一性一同一の階層構成を段階的かつ継続的に充実化一が重要となる。これには製品モデルを段階的に定義する過程に沿って検討図の体系と形態を構造的に定義し、検討過程を製品モデルを定義する階層構成で継続的に媒介することが必要となる。検討図の体系と製品モデルの階層構成を一元化し、検討図間で共用化することが必要となる。

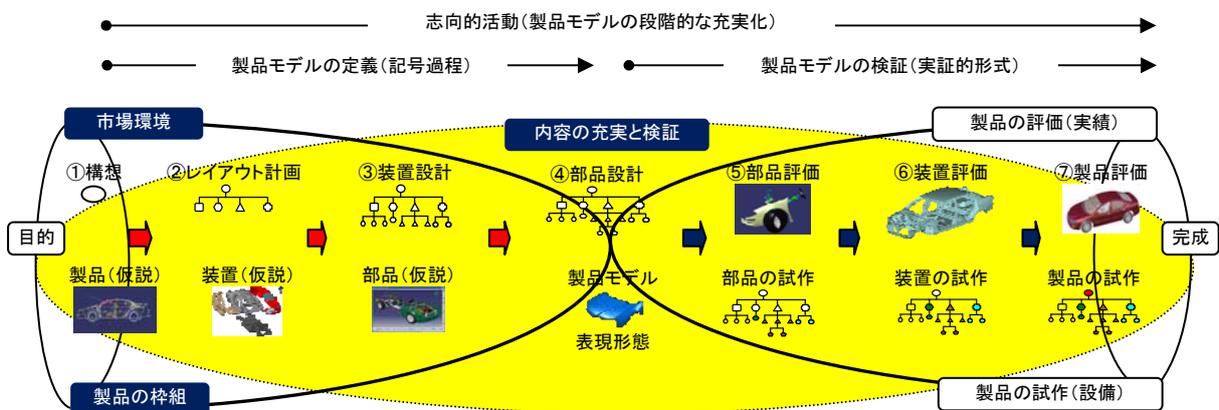


図 4.11 志向的活動

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

4.4 すり合わせの隠蔽

情報技術者は確定した製品の形態と設計手順を固定し、製品の形態を再現する設計手順を情報技術で自動化し、類似製品の再現の効率化・迅速化を支援してきた。これはナビゲーションシステムでトレッキングを支援するのに等しい。設計者が製品の目的を段階的に具体化する創作の図式を、ベース製品を基に流用設計で類似製品を再現する分析的判断・因果的過程に置換え、流用設計を効率化・迅速化する展開が拡大している。

トレッカーが登山家に成れないように、流用設計の図式で育成された設計者は構想が出来ない。ベース製品を差分設計する判断は製品の目的を段階的に具体化する判断とは違うことを理解することが急務である。地図と道標を頼りに道標でルートを選択する判断は分岐点を確認し道標に沿って登山道を迎ればよいが、この判断過程では新たなルートは切り開けない。未登攀の山でルートを開拓するには山の地形を多層的に解釈し、自分の体力と登山技術・装備、天候を総合的に判断することが不可欠である。

情報技術者は両者の違いを理解していないため、前者で後者を置き換え、地形を多層的に解釈する仕方ではなく、ナビゲーションシステムと GPS を与え、ナビゲーションシステムで道筋を確認しながら歩みを進めるような支援をしてきたと言える。ナビゲーションシステムは地形の読み方は教えてくれない。逆に地形を判断する際の多種・多層的なすり合わせを隠蔽することで、登山者の判断力を頹落させる。

トップダウン設計は操作モデルを元に機能モデルを定義し、機能モデル（機能仮説）から物理モデル（製品モデル）に至る過程で製品モデルの内容と形式を総合する活動であり、設計者は機能仮説 $Y=F(X_i)$ を想定し、機能を形態 $y=f(x_i)$ で表現するため、 $y=f(x_i)$: 製品の形態、 f : 全体と部分の関係を総合する判断、 x_i : 部分の形態の解釈が鍵となる。 F は機能の関係、 f は形態要素の関係を判断するが、設計者は $Y=F(X_i)$ を検討する過程で平衡して $y=f(x_i)$ を想定する。 $Y=F(X_i)$ を基に $y=f(x_i)$ を定義する判断は概念駆動型となる。形態の定義では同一概念内で $y=f(x_i)$ の関係を検討する過程は科学的探究の過程となる。

設計者は形態仮説を製品種固有の枠組 $y=f(x_i)$ で分節し $y=f(x_i)$ の相互関係で具体化するが、この過程は地形の相互関係を判断する過程である。トップダウン設計は機能＝構造＝形状に至る過程で総合的判断・弁証法の過程・志向的活動が介在し多種・多層的なすり合わせが伴うため、製品を定義する機能単位 X_i と形態単位 x_i の対応関係をカプセル化することが重要となる。ボトムアップ設計では y は従属変数、 x_i は独立変数、 f は x_i を y に変換する機能（関数）であり、 $y=f(x_i)$ を利用した演算は分析的判断・因果的過程となりすり合わせは生じない。すり合せの縮減でもカプセル化と自動化では目的は本質的に異なる。

検討結果を基に、検討手順と製品モデルの形態を固定し、製品モデルの形態を流用・再現する作業を自動化しても設計活動の本質であるすり合せは支援できない事を理解することが重要である。情報技術者による支援は、実績を基に設計手順を自動化する過程ですり合せを隠蔽し、若手設計者がすり合わせを模倣できない設計環境を拡大し、構想が出来ない設計者を増殖している。誤った知識化・情報技術の利用は設計活動の本質であるすり合わせを隠蔽することに注意する必要がある。

5. 業界の動向

設計活動の形態を創造性と市場対応で区分すると、図 5.1 に示すように、製品のライフサイクルは導入期・成長期・成熟期・衰退期で構成され、製品戦略は独創的製品・類似製品・コラージュ製品・コピー製品と変わる。設計活動は創作・流用・再現・複写とシフトするが、情報技術は創作の結果を基に判断過程を固定し流用・再現・複写に置換え、作業を定型化することで**すり合わせ**を排除し、作業の品質・効率・速度の向上を支援してきた。

市場ニーズの変動が大きく、製品の複雑化への対応、イノベーションの実現には、判断過程の固定は創造性を拘束し、環境変動への適応力を制限し、設計者に要求される判断力の質を低下させることで、逆に設計者の創造能力の育成を阻害する。創造性と効率化のどちらを優先するかは市場環境に影響されるが、環境の変動に対応できない生物が絶滅し、文明が衰退するように、市場環境の変動に対応できない会社は衰退する。

情報技術の枠組による定型作業の効率化・迅速化は活動に必要な判断力の質を頹落させることで、文明を衰退させる図式を強化するため注意が必要となる。環境対応力と効率化を両立させるには、日常的な活動の反復の中で創造性を育成できる環境が不可欠であり、創作の支援では抜本的な枠組の変革が不可欠となっている。情報技術の利用は文明を進化させる側面と衰退させる側面を併せ持っている。情報技術の利用を絶対知への道とするのかウロボロスへの道とするのかは情報技術の語用論に関連する。

情報技術の機能は情報技術の利用形態に影響するが、設計活動の中で設計者が行う判断は超越論的な判断であり、情報技術の機能とは別次元の問題であることを理解することが重要である。情報技術はゲームで利用するルールが規定する形式を計算可能な世界で再現するのみであり、ゲームを展開するシナリオールールの拡張的な利用方法はプレイヤーのゲームに対する理念と相手および状況の解釈に依存することを理解する必要がある。

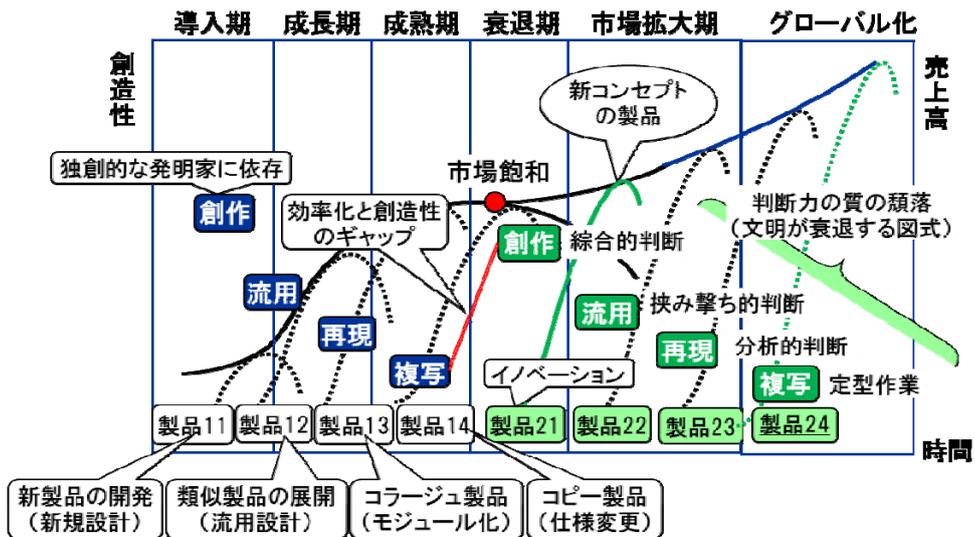


図 5.1 業界の動向

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

5.1 現状の改善施策

文明の進化・技術の進化は判断過程の知識化に依存するが、知識化は、図 5.1 に示したように、創作の結果を段階的に流用・再現・複写の図式に置換え技術で効率化・迅速化を図る道を辿るが、情報技術は複写・再現・流用と判断力の質のクラスが低い方から段階的に支援し、これを段階的に上位の判断過程に適用する支援を行ってきた。これは創造性の頹落に繋がるため注意が必要である。市場成長期でベース製品を基に類似の製品を展開する際はこの方法は有効であったが、成熟期で市場環境の変動が大きく市場対応での質・時間を両立させるには、流用・再現・複写を効率化し、これを創作に適用するのではなく、創作を PLM の機能で支援する取り組みが不可欠である。これには創作の過程で設計者が暗黙の内に行っている**すり合わせ**を、製品を定義する形式と PLM の機能との関係で構造的に定義する必要がある。

(1) 設計活動をモデル化するタイプ

設計活動をモデル化するタイプは創作・流用・再現・複写となるが、各タイプの違いを明確化するため製品の形態： $y=f(x_i)$ を定義する過程の違いで比較すると以下となる。

①創作

新規設計であり製品種別の枠組を基に構想・設計・評価を行う。最も創造的だが迅速性に課題がある。 y_j 、 f_j 、 x_{i-j} の相互関係で $y_j=f_j(x_{i-j})$ を検討する総合的判断—**すり合わせ**が基軸となる。

②流用

流用設計でありベース製品を基に構想・設計・評価を行うが創造性・迅速性は中となる。 $y_j=f_j(x_{i-j})$ を基に f_j を固定し x_{i-j} を変えながら y_j が仮説 y_h と一致するまで処理を繰返す挟み撃ち的判断が基軸となるため、**すり合わせ**は大幅に縮減される。

③再現

自動設計でありベースの製品を基にパラメータの変更・評価を行う。創造性は小、迅速性は大となる。 $y_j=f_j(x_{i-j})$ を基に x_{i-j} を変えて y_j を自動的に出力する。生産準備での型・治具の設計、工程計画は分析的判断となる。再現では目標と結果の**すり合わせ**のみが残る。

④複写

表現形態の利用でありベース製品を基に製品・装置・部品の外徴の利用、文書類の利用を行う。複写では製品モデルの階層構成は不要であり製品に対する判断、**すり合わせ**は生じない。事務作業と同様に処理手順に基づき作業を行うのみである。

(2) 情報技術によるモデル化

情報技術によるモデル化を複写・再現・流用・因果的過程の順で見ると以下となる。

① 複写

文書類の処理に対応する。確定した製品モデル $y_j=f_j(x_{i-j})$ を基に、図 5.2 の左に示すように、概念別に文書類 $p_{ij}(x_i)$ を定義し、文書類をデータベースで管理・再利用する作業 $d_{ij}(p_{ij})$ の支援である。文書類は製品モデルの表現形態を概念別に投影した影画であり、文書類を処理する人は版面師が原画に対して何も言及できない様に製品モデルについては何も言及できない。文書類の複写には製品の知識は必要ない。

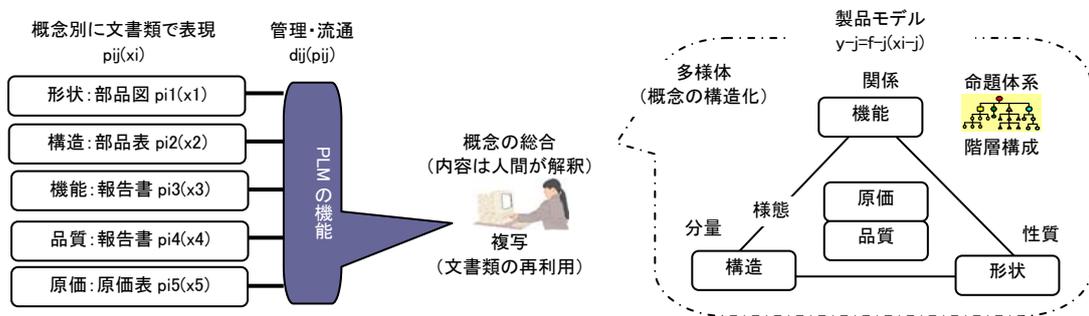


図 5.2 複写の図式

② 再現

自動設計に相当する。確定した製品モデルを再現する機能が関数で定義され、再現する作業が関数の因果的な連鎖となる。製品モデルの表現形態を $y_j=f_j(x_{i-j})$ で固定し、図 5.3 に示すように、入力: x_{i-j} 、処理機能: f_j 、出力: y_j に置換え情報技術で処理を自動化する。処理対象は製品モデルの表現形態だが機能と形態の関係は処理対象とはならない。設計者は製品モデルの表現形態を理解し形態を検討する。 x_{i-j} を変え y_j を出力するが、この過程は f_j に基づく分析的判断となる。設計者は情報システムを利用しパラメータを変えて類似の製品モデルの表現形態を一過的に再現する。

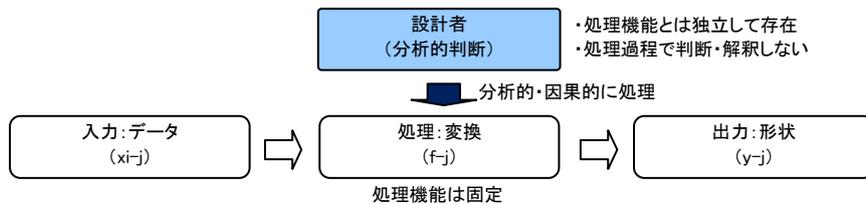


図 5.3 再現の図式

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

③ 流用

流用設計に相当する。処理過程は分析的判断と同様に $y_j = f_j(x_{i-j})$ —処理機能： f_j 、入力： x_{i-j} 、出力： y_j —となるが、図 5.4 に示すように、フィードバックが加味され分析的・因果的過程となる。設計者は y_j の仮説 y_h を決め、 f_j を固定し、 x_{i-j} を変えて f_j で変換し、 y_j が y_h と一致するまで x_{i-j} を変え処理を繰り返す。処理では f_j は固定される。挟み撃ち的判断は既存製品を基に類似製品を差分で設計する過程となる。設計者は製品の機能と形態の関係を把握し、類似製品の設計では設計者は情報システムを挟み撃ち的判断過程で利用する。この形態の情報システムは f_j を固定するため大幅に形態が変わる製品は定義できない。出力は製品の表現形態 y_j であり、処理機能 f_j ではない。挟み撃ち的判断では仮説の設定は行いが、判断過程は版画の制作と同様に原画—既存の手順—に沿った判断となるため分析的判断が基軸となる。挟み撃ち的判断と総合的判断の中間形態として模倣があるが、模倣は確定した表現形態を辿るのではなく作品を創作する過程での総合的判断を辿ることが必要である。

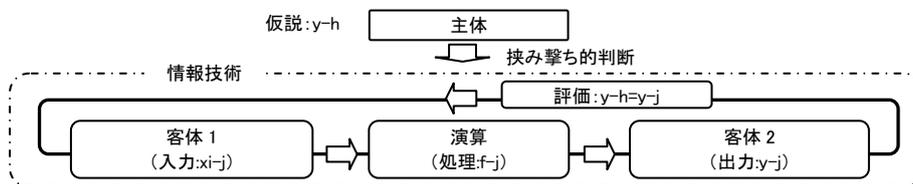


図 5.4 挟み撃ち的判断

④ 因果的過程

創作では設計者は、まず製品の存在—製品の目的から表現形態に至る過程—を開示しながら検討を行うが、この過程は設計者の暗黙知となってきた。次に製品の機能を、図 5.5 に示すように、入力=変換=出力で構造化し評価するが、この過程は形式知化できるため、設計活動は、入力=処理=出力の図式を基に、分析的判断・因果的過程でモデル化されてきた。情報技術者はこの図式を基に設計活動をモデル化してきた。情報技術は計算可能な世界しか再現できないため、処理対象をデータ化—記号の表現と内容の関係を固定—し、処理機能を関数化—論理・数学的な法則で記号の表現を演算—するが、逆に情報技術を利用することで対象がデータの切り貼りとなることに注意する必要がある。R・ローティはこれを「鏡の世界」と名付け、フーコーは規範・規則・体系による支配と述べたが、情報技術の誤った利用は創作の図式を裏返しにする過程で創作の本質と存在を隠蔽することに注意する必要がある。

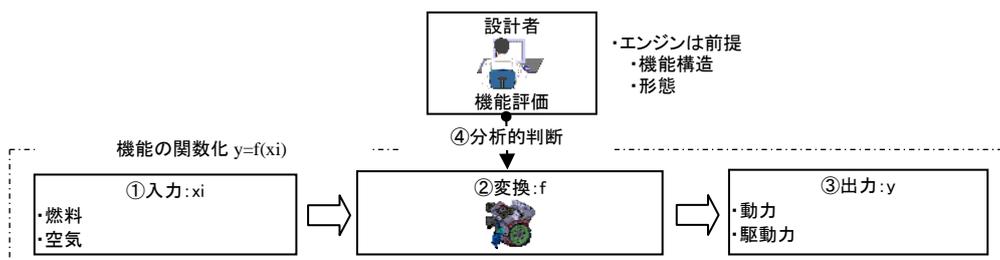


図 5.5 因果的な図式への置換え

情報技術者は設計活動を事務作業・工場のラインと同様にモデル化してきた。業務機能を関数化した上で自動化し、業務プロセスを、図 5.6 に示すように、確定した業務工程（関数）の因果的な連鎖に置換える。工程間を文書類（データ）が因果的に流れフィードバックで修正を行う。ISO9000 での業務プロセスはこの形態である。最終工程で結果が確定するため工程間の調整が少ないことが前提となる。製品種に依存しない共通の業務プロセスとなるが文書類がベースであり、設計者が製品の形態を記号で定義する過程—すり合わせ—とは大きく異なる。

機能モデルを基にシステムの動作を予測する際は、図 5.6 の様にシステムを機能の因果的な連鎖でモデル化し、システム全体の動作を挟み撃ち的に予測することは有効である。MBSE で定義する機能モデル—機能ブロック図—はこの形態のモデルだが、これは CAE と同様に挟み撃ち的判断過程—数値解析では微分方程式を解く過程を行列式の演算に置換え、コンピュータは行列式が解けるまで繰返し計算を行う—となる。

一方、機能モデルを基に製品モデルの形態を記号で定義する過程は、機能を構造と形状の相補的な関係で定義する過程であり、概念駆動型の判断—機能から構造と形状に至る概念クラスを超越する判断—を基軸に、形態仮説を製品アーキテクチャで分節しながら、構造—部品構成と配置—と形状で検討する記号過程となるため、形態仮説—形態の演算—形態の評価に至る仮説検証型の判断を継続的に実施出来ることが必要となる。

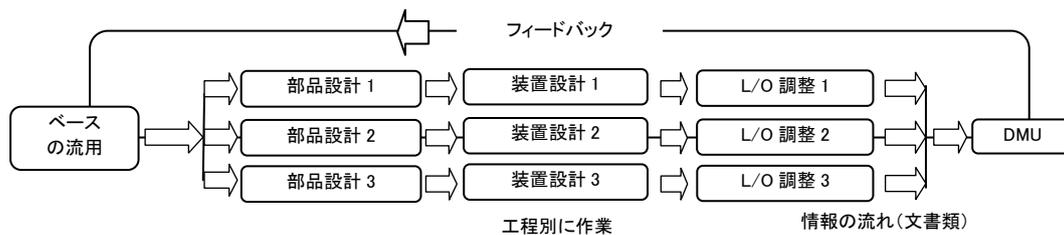


図 5.6 因果的過程

5.2 情報技術による改善の課題

機能モデルの検討は、図 5.6 に示した、因果的なモデルを仮説に MBD を利用した挟み撃ち的判断で検討が可能だが、機能モデルを基に製品モデルを定義する過程は設計者の暗黙知に依存してきた。製品モデルを検討する際の課題は以下となる。

(1) すり合わせの過程が検討図で分断化

機能仮説を基に製品モデルを定義する活動は、デカルトの分析技法を基に、図 5.7 に示すように、製品モデル $y=f(x_i)$ を検討図（ピースの型）で分割し、検討図で x_i を個別に検討する形態となってきた。PLM は x_i の個別検討を支援するが、 f はピースの型を基にピースの操作が中心となる。ピースに描かれている絵の創作は設計者に依存してきた。

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

製品モデルの検討では y 、 f 、 x_i の相互関係を検討するため、検討図の体系－機能構造と検討図の関係－、検討図の形態－階層構成の形式と検討項目の関係－の一致が重要だが、両者共に二元化しており多角的・継続的な検討を阻害している。検討図による検討では、ピースの型（形式）とピースの絵（内容）が二元化しており、設計者は検討図別に検討を行い、製品全体を頭の中で再現することを余儀なくされてきた。

検討過程の支援では手戻りを無くすために DSM を利用し、ピース（検討図）間の関係、ピース内の検討項目間の関係を正規化し、モジュール設計では製品のモジュラー化を進め全体と部分の関係を規格化することですり合わせでの手戻りを縮減しているが、トップダウン設計過程でベテラン設計者が行っているすり合わせの支援は十分とは言えない。

CAD ベンダーがトップダウン設計技法を提唱してきたが、日本では本来の適用が出来ている会社は少ない。これは設計活動の改革を指導している情報技術者がトップダウン設計の際に設計者が行うすり合わせの本質と存在を理解していないことに原因があると言える。

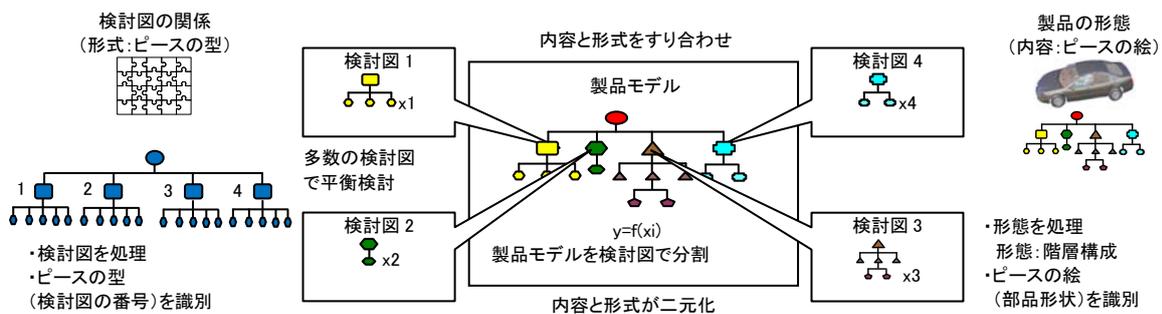


図 5.7 検討図の体系と形態

(2) 影画の切り貼りを自動化

情報技術者による支援は、文書類（影画）を論理・数学的な形式でデータ化し、情報技術を利用して影画の作成・管理・伝達・再利用を自動化すること、影画を基に試作品を作成し機能評価・量産性の評価を効率化・迅速化することが中心となってきた。これらの過程は分析的判断・因果的過程が基軸となるため、すり合わせの程度・頻度は大幅に縮減されるが、これは版画の制作過程であり、絵画を創作する過程とは異なることに注意する必要がある。

設計検討の支援では設計テンプレート、自動設計に代表されるように、実績を基に製品モデルの形態 $y=f(x_i)$ と定義した手順を分析し、図 5.8 に示す、流用設計－入力 x_i ＝処理 f ＝出力 y で構造化し、 f を論理・数学的な演算で定義－の図式に置換え、情報技術で自動化することで流用設計の効率化・迅速化を支援してきた。これは絵画の創作を版画の印刷に代替するに等しい。原画を分析し版の組合せに置換えた上で版の制作と印刷を自動化する。更に版の変更と組合せの変更で類似の版画を制作する過程の支援である。

確定した形状を表現する機能は関数となり、情報技術の機能として CAD で実現されている。確定した形状を CAD で表現する作業は検討過程に依存しないが、構想・レイアウト計画・装置設計・部品設計に至る過程で形状を段階的に詳細化する過程は、全体と部分を相補的かつ段階的に詳細化する一絵画の創作と同じ一か、部分を個別に詳細化しこれを集合して全体を定義する一版画の制作と同じ一かで判断過程は大きく異なる。

情報技術者は両者の違いを理解していないため、後者で前者を置換えるような支援をしてきた。設計者は製品の形態を CAD の機能を利用して定義するが、設計者が製品の形態を段階的に詳細化する過程は製品の目的、機能＝構造＝形状に至る概念駆動型の判断過程、製品アーキテクチャに依存する。これは CAD の機能とは別の次元の問題であることを理解することが急務である。

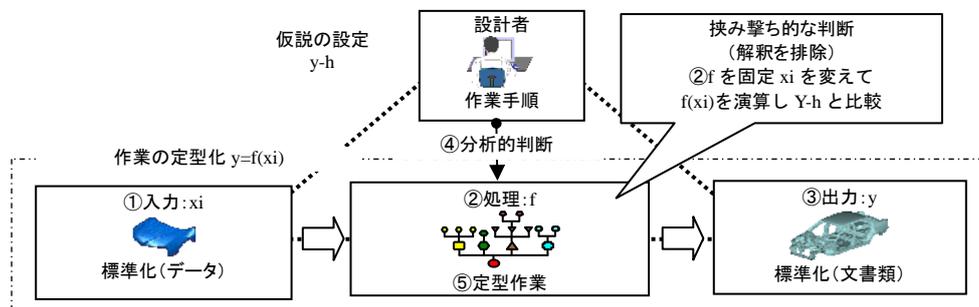


図 5.8 流用設計の図式

(3) 器官の組立

ボトムアップ設計過程での形態定義は工場部品を組立てる図式がベースとなる。身体定義では、図 5.9 に示すように、器官の組立となる。同一の形態の製品を多量に生産するには器官の組立は有効だが活動に要求される判断力は目的を具体化する判断過程とは大きく異なる。生物学は身体を器官の組合せで定義し、進化論は表現形態の差異で進化を定義するが、これは完成した製品を装置の構成一機能の関係一で線形的に定義することに等しい。器官の組合せによる生物の定義はフランケンシュタインを制作する過程となり、生物が遺伝形態から表現形態に発生する過程一翻訳の過程一、植物の表現形態を想定し、交配により新たな品種を開発する過程、生物の進化の過程は説明できない。

設計活動は新製品の表現形態の仮設を基に装置の組合せを変え製品モデルを定義するが、これは新種の開発一表現形態を想定し交配を行う一過程に等しい。設計者が製品の目的を基に仮設を設定し、これを具体化する過程は更に高度な判断過程が介在する。器官の組立モデルは設計活動の本質と存在をモデル化できない。情報技術者による業務改革は器官の加工・組立など制作の図式を対象に作業の効率化・迅速化が中心となってきた。創作では発生の図式に沿った支援形態に脱構築した上で発生過程を基軸に表現形態の仮設を遺伝形態に総合的する判断を加味する必要がある。これは単なる作業性の問題でない。制作と創作では要求される判断力の質が大きく異なり、創作から制作への移行は設計者の判断力の質の頹落に繋がるため注意が必要となる。

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

第2章にて情報技術は肖像画の創作をモンタージュ写真の制作に置換えることを見たが、器官の組立はモンタージュ写真の制作と同じ図式であり、分析的判断・因果的過程・循環的処理となる。器官の組立では器官が事前に定義されるため、環境への適応による進化の図式は説明できない。ベース製品を利用した流用設計のモデルとなり、設計者に要求される判断力の質は挟み撃ち的判断がベースとなる。

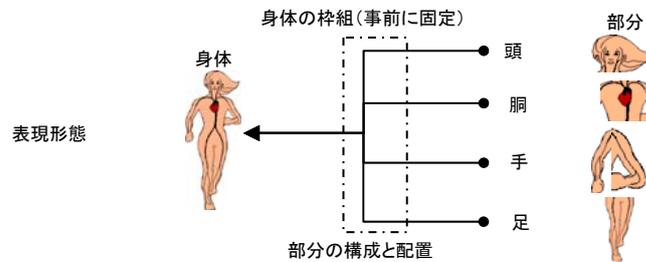


図 5.9 器官の組立

(4) 発生過程

生物は、図5.9に示すように、遺伝形態から表現形態に至る発生過程で形態を形成する。配偶者の選択に始まり交尾による受精・遺伝子の組替え・発生で形態が形成される。発生過程は遺伝形態から表現形態に至るオートマトンであり、発生過程はゲノムに書き込まれている。細胞システムの解釈と翻訳で形態形成が進むが、発生過程の際の環境は形態形成に影響を与える。同じゲノムでも発生環境で表現形態は変わる。同様にトップダウン設計過程では製品は製品アーキテクチャのみでは決定されない。市場環境の影響を受ける。

モジュール設計の理念型は生物の発生過程と言え。装置の組替え—遺伝子の組替え—以降の装置の形態形成は自動設計が目指す姿である。設計者は製品の目的を決め、目的に合せて装置の組替えを行えば設計は完了する。後は情報システムが自動的に装置の形態を再現してくれる。モジュールを事前に独立して定義し、製品にモジュールを組込むインタフェースを標準化すれば自動設計は可能である。これは設計活動の本質と存在だろうか。

情報技術者はソフトを開発する技法を基に設計活動のモデル化を進め、MBSEではシステムの開発技法を製品開発に応用する試みを行っているが、情報システムを開発する際の判断過程を如何にモデル化するかが鍵となる。これを版画の制作・モンタージュ写真の制作と同じ図式でモデル化すると、製品を設計する際にベテラン設計者が暗黙の内に行っている**すり合わせ**の本質と存在を隠蔽する危険性が高い。

トップダウン設計過程で設計者が製品の形態を定義する際の本質を理解するには、解剖学的に器官を組合せる過程、生物の発生過程、画家が絵を創作する過程の違いを理解する必要がある。生物の発生過程は、図5.10に示すように、受精過程—遺伝子の組替え過程—と発生過程—遺伝形態から表現形態へ至る過程—で構成される。受精過程は受精・遺伝子の組替えで新たな遺伝形態が確定し、発生過程はゲノムを段階的に展開し体節・器官・組織と段階的に進む。トップダウン設計過程での形態定義は器官の組立ではなく、発生過程での形態形成に近いが、単なる解釈と翻訳の過程ではない。発生過程と並行して表現形態から遺伝形態に至る判断過程が介在する。

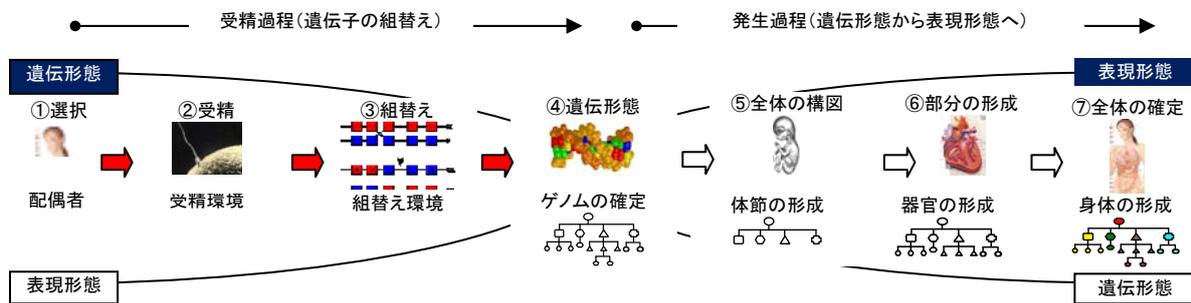


図 5.10 生物の発生過程

5.3 課題の構図

情報技術者が設計活動を改善する際の課題を見たが、**すり合わせ**を支援するには、①設計プロセスの構造的な理解、②設計者の判断形式の構造化、③製品を定義する形式の構造化、④設計活動をモデル化する枠組の改革が必要となる。

(1) 設計プロセスの構造的な理解

設計プロセスは ISO9000、情報技術の DFD、STEP の IDEF などでは構造化されてきたが、基本的な構図は事務作業と同様に業務機能と情報の流れで表現したものであり、図 5.11 の左に示すように、確定した業務機能を IPO (Input=Process=Output の略) の連鎖でモデル化し、文書類 (データ) を定型的に処理する形態でモデル化されてきた。情報技術は全ての活動を確定した作業の循環—ウロボロス—に置換える。

MBSE では設計過程に沿って製品を定義する概念のクラスを要求=機能=論理=物理で区分し、製品アーキテクチャをシステム=サブ・システム=コンポーネントで区分した上で、各概念を定義する機能を PLM との関連で操作 (要求) : SysML、機能 : Simulink/MATLAB、論理 : 設計検討で利用するオブジェクトの関連図、物理 : 各種 CAD と対応付けているが、構想から部品設計に至る過程で概念クラスを超越する判断と検討空間の構造、物理 (製品) モデルを詳細化する過程は特定していない。

MBSE、ISO26262 の様に、設計プロセスをトップダウン設計とボトムアップ設計で構成される V 字プロセスで定義する技法が提唱されているが、プロセスの解釈が因果的であり、製品モデルを記号で定義する過程—記号の形式と内容を**すり合わせる**過程—としてモデル化出来ていない。V 字プロセスは、図 5.11 の右に示すように、製品の目的=製品モデル=製品に至る過程で構成され、概念を超越する過程—構想=設計=評価—で製品モデルが熟成するが、各段階で設計者の判断形式=製品モデルを定義する形式=製品の機能と形態を構造的に分析し、PLM の機能で媒介する形態での利用は十分とは言えない。

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

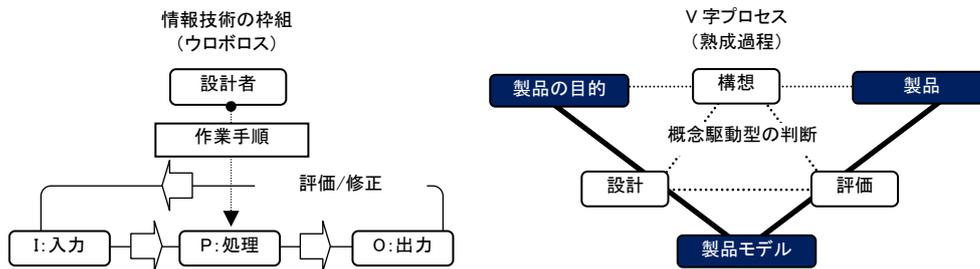


図 5.11 設計プロセスの構造

(2) 設計者の判断形式の構造化

トップダウン設計は製品の目的を具体化する過程であり、製品を定義する形式は製品の目的（操作モデル）・機能仮説（機能モデル・装備仕様）・製品モデル—形態枠組（命題体系）と表現形態（階層構成）—・機能（検証データ）に区分できる。相互に曖昧な状態で目的＝機能＝構造＝形状に至る過程で製品アーキテクチャを製品＝装置＝部品と詳細化しながら内容を段階的に詳細化するため、多層的な知識をすり合わせる過程となる。

トップダウン設計の支援では、このすり合わせを支援することが不可欠となっているが、設計者の判断形式と判断で利用する製品を定義する知識の形態の関係は検討図の中に埋もれており設計者の暗黙知となってきた。これまで検討図の改善では DSM を利用し、検討図の関係と検討図内の検討項目の正規化を行い、検討の手戻りを無くす支援がなされ、MBSE では判断過程を二元的な V 字プロセスで構造化しているが、第 4 章で分析したような検討空間が含む論理的な関係の構造的な分析は十分とは言えない。

トップダウン設計過程は、図 5.12 の左に示すように、総合的判断—構想＝設計＝評価の過程で概念クラスが機能＝構造＝形状へと超越する「概念駆動型の判断」を縦系、機能・構造・形状など同一概念の内容を仮説＝演算＝帰納で充実化する「科学的探究の過程」を横系で構成される一で構造化できるが、判断過程と製品モデルの熟成過程を構造的に理解するには、弁証法の過程・志向的活動を加味する必要がある。設計者は製品モデルの内部観察者として製品を定義する記号の内容と形式の関係を多種・多層的にすり合わせし、製品モデルが段階的に熟成する。

ボトムアップ設計はトップダウン設計過程で定義した製品モデル、またはベース製品を基に差分設計するが、図の右に示すように、既存の製品の形態と設計手順を元に設計できるためすり合わせを大幅に排除出来る。部分の設計を先行し後追いで全体調整が可能である。ボトムアップ設計は情報技術の枠組で分析的判断・因果的過程・循環的処理でモデルできる。情報技術者はボトムアップ設計をベースに、確定した製品の形態を流用・再現・複写する作業を設計テンプレートとして定型化し、設計者は処理機能の外部観察者として設計テンプレートを利用してデータ処理を反復する役割となる。

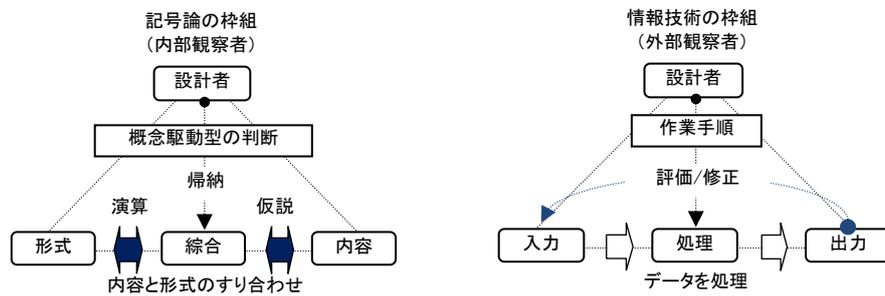


図 5.12 設計者の判断形式の構造

(3) 製品を定義する形式の構造化

設計者は製品の目的を製品の機能と形態で具体化する。検討過程に沿った製品の見方は、製品を定義する概念と製品アーキテクチャに依存する。前者は製品を定義する概念が、製品の目的＝機能＝構造＝形態にシフトする過程に対応する。後者は製品＝装置＝部品に区分できる。製品アーキテクチャは更にインテグラル型とモジュラー型に大別できる。

設計者は製品の目的を基に製品の仮説を設定し、仮説を製品アーキテクチャで分節し、段階的に内容と形式の関係をすり合わせるが、製品は多数の機能で構成され、多数の人の分業で段階的に詳細化されるため、製品を定義する形式は、図 5.13 の左に示すように、継続的な検討を媒介できる階層構成が必要となる。階層構成は枠組を基に、階層構成を段階的に展開し、各階層の内容と形式を開示しながら、設計者の判断過程を媒介し、階層構成が末端まで展開された時点で内容と形式の関係を固定する。

階層構成はこれらの過程を継続的に媒介する必要がある。階層構成は製品モデルが存在を開示する過程であり、設計者の判断過程をガイドし、製品モデルを定義するルールであり、製品モデルの形態でもある。設計活動を創作としてモデル化するには、製品モデルを定義する過程での多種・多層的な見方を階層構成で一元的に媒介することが重要となる。

一方、ボトムアップ設計過程は、トップダウン設計過程で定義した製品モデルを評価し設計変更を行う過程であり、部分を独立して評価・変更出来る為、図面に対応できる。情報技術者は図面類・文書類を処理する過程を対象に、これらを定型的に処理する作業の効率化・迅速化を支援してきた。図の右に示すように、文書類は製品モデルの影画であり、原画に対する版画に相当する。文書類を処理する過程にはすり合わせは介在しない。情報技術者はボトムアップ設計を対象に文書類の処理を支援してきた。

文書類の処理は、器官の組立によるフランケンシュタインの制作と同様に、死体＝設計結果＝を管理・処理する図式となるが、死体管理のために膨大な IT 投資がなされ、更に高度化された IT 機能を死体管理の強化に投資すると言う概念錯誤が繰返されているが、死体管理では設計活動の本質と存在には何も言及できないことを理解させることが急務である。

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

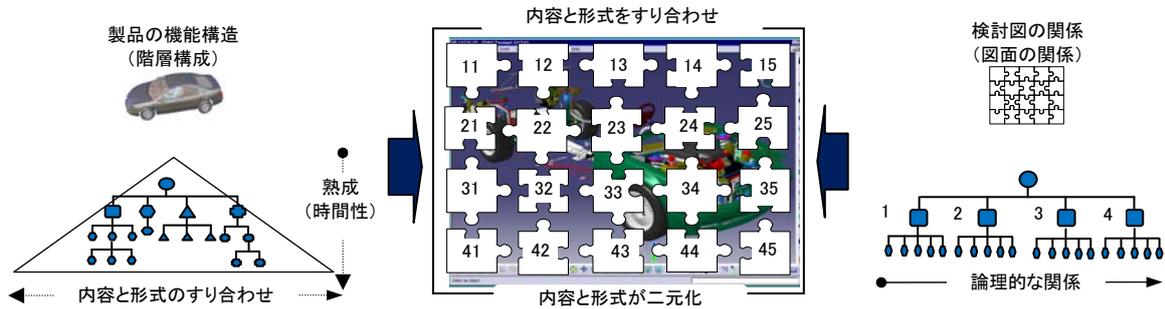


図 5.13 製品を定義する形式

(4) 設計活動をモデル化する枠組の改革

トップダウン設計過程は相互に曖昧な状況で並行検討するため、全体と部分・装置間の関係・装置構造の詳細化・継続的な検討・利害調整・内容の充実などが伴う。この過程のモデル化には、図 5.14 に示すように、**すり合わせ**を含む多層的な判断過程—**総合的判断・弁証法の過程・志向的活動**—を加味する必要がある。これらをモデル化するに拡張的な枠組が必要となる。本論分ではパースの記号論の枠組を応用する。

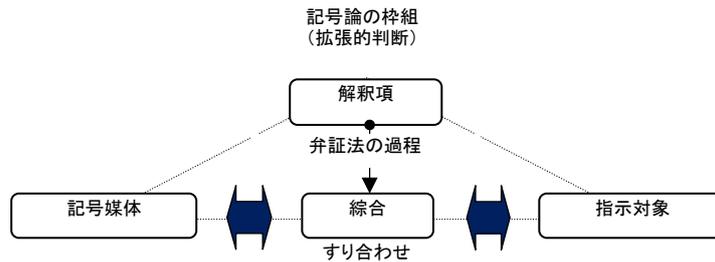


図 5.14 記号論の枠組によるモデル化

一方、情報技術者はボトムアップ設計を対象に、図 5.15 に示すように、情報技術の枠組—**分析的判断・因果的過程・循環的処理**—でモデル化し、事務作業と同様に流用設計・類似製品の設計の効率化を支援してきた。情報技術の枠組は記号論の枠組から解釈に伴う**すり合わせ**排除した限定的な枠組であり、**すり合わせ**の過程はモデル化できない。

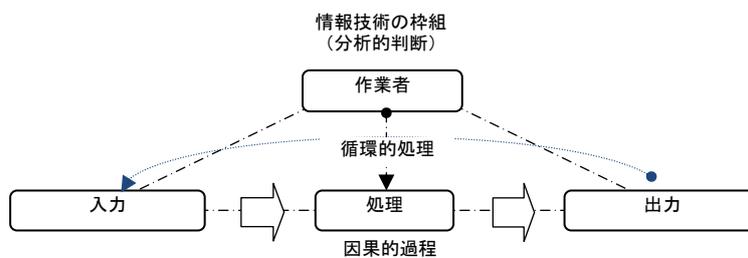


図 5.15 情報技術の枠組によるモデル化

情報技術者が繰返している概念錯誤的な展開に終止符を打ち、設計活動の本質と存在を支援するには、まず情報技術者が暗黙の内に採用している情報技術の枠組をエポケーすることから始め、次に創作と制作の違いを明確化する必要がある。創作の図式をモデル化するには、存在論的な視点と拡張的な判断過程の加味が不可欠となる。本論文ではこれを行うために設計活動をモデル化する枠組を、認識論をベースとした情報技術の枠組から存在論をベースとした記号論の枠組へ脱構築する。

5.4 創作と制作の違い

創作と制作の際の判断過程、判断に利用する情報の利用形態の違いを理解するために、第2章にて絵画の創作と版画の制作を比較したが、情報技術者が創作の図式を複写・再現・流用の図式にすり替えてモデル化する際の課題を総括するため、洞窟の比喩—プラトンが『国家』で記述している喩え話—を利用する。

洞窟の外の世界はトップダウン設計過程に対応する。設計者は図 5.15 の左に示すように、機能仮説と形態仮説を基に製品モデルを概念・製品アーキテクチャで定義される多様体として構造化し、検討結果を文書類に表現する。文書類は製品モデルを概念別に洞窟の壁に映した影画だが、影画を映す過程で多様体が含まれている多様な関係が欠落する。トップダウン設計過程は、製品に対するニーズを製品モデルを定義する記号媒体に総合する記号過程となり、多種・多層的なすり合わせが介在する。洞窟の中の世界はボトムアップ設計過程に対応する。情報技術者は洞窟の外の世界で設計者が製品モデルを検討する過程を見ることが出来ない。洞窟の中の世界で洞窟の壁の影画を分析し、鏡の世界—論理・数学的な世界—に写像化した上で情報技術で影画の再現を自動化してきた。これは文書類 p_{ij} を処理する作業となる。ボトムアップ設計過程は製品モデルの枠組の中で製品アーキテクチャに沿って内容と形式を評価する過程となり、すり合わせは大幅に縮減される。

情報技術者による改革は、トップダウン設計過程は設計者に任せ、影画の分析に始まり、影画の切り貼りの自動化で再現の効率化を図り、影画の組合せを変え類似の製品モデルの表現形態を再現する支援をしてきた。これは版画の制作を効率化することに等しい。情報技術者による改善は画家の判断過程は基より版画師の判断過程も辿っていない。版画師が決めた版の制作と印刷を支援しているのみである。

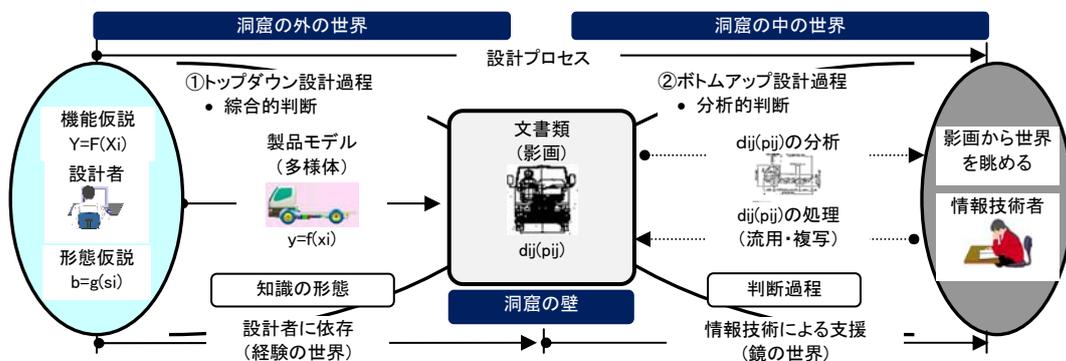


図 5.16 現状の改革の構図

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

(1) 判断力の質の類落

トップダウン設計は創作の図式—製品の目的を基に製品モデルの階層構成を定義する部品（記号）の内容と形式を総合する記号過程—が基軸であり、多種・多層的なすり合わせを含んでいるが、情報技術者は設計プロセスの改革でも、制作の図式を基軸に業務工程に沿って文書類（データ）を分析的・因果的に処理するモデル化を行ってきた。この過程で活動に要求される判断力の質が類落するが、情報技術者はこれに気付いていない。

記号過程は記号の内容と形式を総合する過程であり、言葉では語れない世界を含むが、情報技術による知識の利用は記号が確定した所から始まる。「ミネルバの梟は夕暮れに飛び立つ。」の箴言にあるように、知識化は必然的に判断過程の類落の構図を含んでいる。情報技術の枠組はこの構図から逃れることは出来ない。拡張的な判断過程のモデル化では言葉では語れない世界を含む為、モデル化の枠組を脱構築することが急務と成っている。

創作は洞窟の外の世界であり、機能モデルを解釈し記号で製品モデルを具体化する過程となる。トップダウン設計過程は、図 5.17 の左に示すように、総合的判断・弁証法の過程・志向的活動でモデル化する必要がある。制作は洞窟の中の世界であり、トップダウン設計の結果を流用・再現・複写する作業となる。ボトムアップ設計過程は、図 5.17 の右に示すように、分析的判断・因果的過程・循環的処理でモデル化できる。

情報技術者は創作で確定した設計手順・製品の形態 $y=f(x_i)$ ・文書類 $d_{ij}(p_{ij})$ の関係を固定し、 $y=f(x_i)$ を関数に置換え、 x_i を入力し、 f で処理し、 y を出力する過程を自動化する。更に部品形状 x_i を図面に表現する作業 p_{ij} と文書類を処理する作業 d_{ij} の自動化を中心に行い、誰が処理しても同じ答えを得られることを目的に作業からすり合わせを排除したモデル化を進めてきたが、これは判断力の質の類落に繋がることに注意する必要がある。

定型作業の効率化では、確定した作業を情報技術の枠組—入力＝処理＝出力—でモデル化し、処理を自動化することは有効だが、この枠組では得られる結果が固定されるため、新たな価値は創造することは出来ない。設計活動の効率化では、記号過程の効率化を図る必要がある。これには記号媒体と指示対象の関係を製品モデルで一元化し、判断過程の収束性を迅速化することが必要となる。トップダウン設計とボトムアップ設計の効率化では方法が異なることに注意する必要がある。

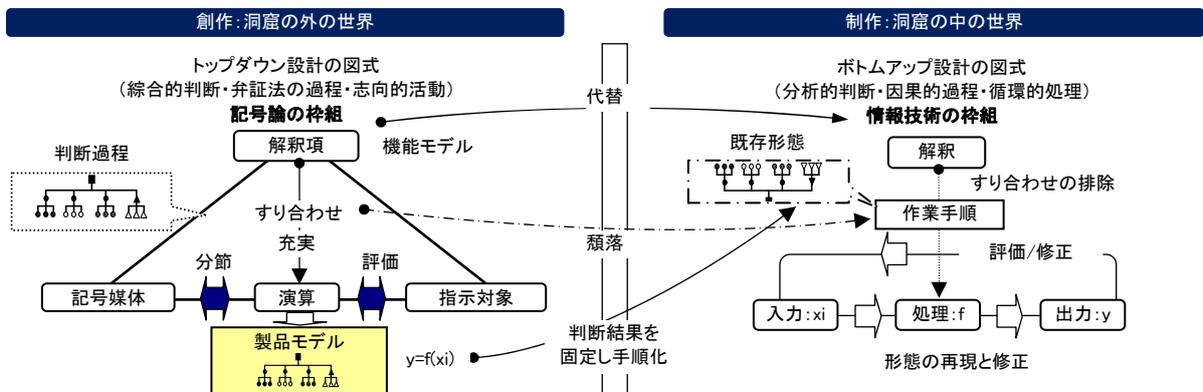


図 5.17 判断力の質の類落の構図

5.5 課題の本質

設計活動を支援する際の課題を設計プロセス＝設計者の判断形式＝製品の定義形式、三者の関係をモデル化する枠組で整理したが、これらは設計活動の本質と存在を如何に構造化するかは課題であり、PLM の機能の外延となる。PLM の機能は製品の機能と形態を論理・数学的に再現するのみであり、設計者が製品の目的を製品の形態に総合－すり合わせる－過程は再現できない。情報技術者はすり合わせの過程は無視し、すり合わせの結果を表現・流用・再現・複写する過程の支援を、PLM の機能を利用して行ってきた。

事務作業・評価作業・生産準備など、ものづくりの中でも定型作業の効率化では上記の施策は有効だが、設計活動の中でも構想から部品設計に至るトップダウン設計過程の支援では上記の施策は役に立たない。この過程の支援では「すり合わせの過程で如何に PLM の機能を利用するか。」が課題となっている。すり合わせの程度と頻度は製品アーキテクチャに依存するが、設計者が製品の目的を製品の形態で具体化する過程は、トップダウンの判断過程であり、必然的にすり合わせが伴う。

トップダウン設計過程でのすり合わせを縮減するために、製品形態の標準化、モジュラー化、プラットフォームの共通化、部品の共通化がなされ、DSM を利用した検討図の体系の整理と設計手順の整理がなされているが、これらの施策はすり合わせの頻度と程度を縮減するための施策であり、すり合わせ自体を支援する施策ではない。トップダウン設計の支援ではすり合わせを避けることは出来ない。

製品イノベーションには製品の枠組自体の変革が必要であり、枠組の変革を伴った製品設計はすり合わせが伴うため、情報技術による自動化は後追いとなる。設計活動の改革ではすり合わせの構造的な理解が不可欠だが、これは判断過程－総合的判断か分析的判断か－の問題であり PLM の機能の問題ではない。両者の違いを理解することが急務だが、設計テンプレートに代表されるように、情報技術者は判断過程の違いは無視し、情報技術の枠組で全ての業務をモデル化し、これを情報技術で自動化し、設計者に利用を勧めてきた。この過程で設計者の判断力の質を頹落させる環境が拡大する。

設計活動における情報技術の支援形態の課題は IT の機能の問題ではない。トップダウン設計過程でベテラン設計者が暗黙の内に行っているすり合わせの本質と存在を如何に理解するかに依存している。すり合わせを挟み撃ち的判断と捉えるか、総合的判断と捉えるかで支援形態は大きく異なる。設計活動の支援で情報技術者に求められていることは「すり合わせ－計算不可能な世界－を如何に情報技術－計算可能な世界しか記述出来ない－で支援するか。」なのである。

設計者は機械システムを機能の因果的な連鎖でモデル化し、情報技術者は事務システムを業務機能の因果的な連鎖でモデル化する。経済学者は経済システムを消費機能の因果的な連鎖でモデル化するが、設計者が暗黙の内に行っている判断過程－総合的判断・弁証法の過程・志向的活動－は消費の図式をベースとした因果的なプロセスでは無い事を理解することが重要である。消費の図式を自動化し、効率化を図っても新たな価値は創造できないのである。

6. 設計活動をモデル化する枠組の脱構築

創作は直観（仮説）を悟性（形式）で分節しながら内容と形式をすり合わせる過程であり、多数の可能性から一つの道を絞り込む総合的判断となるが、知識化は確定した道を辿りながら判断結果を説明する分析的判断に置換える。知識化は総合的判断を認識論に変貌させる宿命を負っている。情報技術は認識論のパラダイムを基に主体が客体を認識する図式をソフトが入力処理し出力する図式に置換え、処理を論理・数学的な法則・関数で代替する。認識機能が実証的形式で代替され情報技術の図式が確立する。

定型作業を効率化する過程で認識過程・作業手順がソフト、処理対象がデータで代替され、形式と内容を総合する判断が形式のみを論理・数学的に演算する機能に代替される。情報技術は総合的判断を分析的判断の反復にすり替えることで創作の図式を隠蔽してきた。作品を記号で創作する過程では形式と内容の二元性と両者を総合する判断が不可欠だが、創作を認識論的にモデル化する限り、対象を客体（データ）化し、主体の認識機能を関数化した上で主体が客体（データ）を関数で処理する形態となる。

設計活動の本質は創作だが、情報技術はこれを流用・再現・複写に置換えることですり合わせを縮減し、後者の作業の自動化で効率化・迅速化を支援して来た。微分方程式の解を求める為に数値解析－微分方程式を行列式に置換え、行列式を繰返し計算で強制的に解く技法－を利用する様に、情報技術の支援は判断過程を単純化し、計算の繰返しに置換える過程で活動に必要な判断力の質を頽落させてきたことを見てきた。

設計プロセスの中でも製品の形態を定義する過程に限定すると、MBSE では、図 6.1 に示すように、機能モデル＝物理モデル（製品モデル）＝製品に至るマクロな V 字プロセスを基軸に各段階での判断をサブの V 字プロセスで構造化し、設計プロセスを二元的な V 字プロセスで定義しているが、プロセスという言葉は情報の変換と流通に逆戻りする危険性を孕んでいる。特に製品の形態を製品モデルで定義する過程は版画の制作の様に、まず版を定義し、次に版を組合せる過程ではないことを明確化する必要がある。製品の全体と部分を相補的かつ段階的に定義する過程は因果的な過程では無い事、書類の流通では全体と部分の関係をすり合わせる過程はモデル化出来ないことを理解する必要がある。

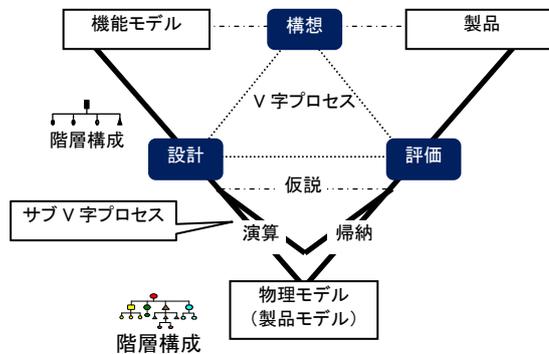


図 6.1 V 字プロセスと判断過程の関係

6.1 存在論へのパラダイムシフト

MBSE では設計者の判断過程を二元的な V 字プロセスで構造化し、次に製品の熟成過程を操作＝機能＝論理＝物理に至る概念クラス、製品アーキテクチャをシステム＝サブ・システム＝コンポーネントで区分し、概念クラスと PLM の機能の関係を定義しているが、これらの構造化のみでは、第 5 章に示したように、分析的判断・因果的過程・循環的処理に逆戻りする危険性がある。製品の機能構造は機能の因果的連鎖で表現できるが、製品の目的を機能構造に置換え、機能構造を形態に置換える過程は概念駆動型の判断となる。

市場環境の変動が激しく、市場ニーズを迅速に製品に反映するには、既存製品の流用・再現・複写を情報技術で支援するのではなく、創作の支援が不可欠である。更に設計活動を通して設計者の創造性を育成するには、設計活動を反復する過程で設計者が自ずと創作の図式を反復できる設計環境が不可欠となる。設計活動の支援では創作の図式を維持した上で**すり合わせ**の過程を PLM で支援することが不可欠となるのである。これには設計活動を、認識論のパラダイムを基に情報技術の枠組でモデル化する形態から、存在論のパラダイムを基に記号論の枠組でモデル化する形態に脱構築する必要がある。

本論文では、設計活動の本質と存在は、絵画の創作と同様に拡張的な判断過程であり、総合的判断・弁証法の過程・志向的活動が基軸であることを明確化するため、まず存在論のパラダイムを基に V 字プロセスを製品モデルの熟成過程－製品が段階的に存在を開示する過程－、判断過程を記号過程と解釈し、設計プロセスを、図 6.2 に示すように、二元的な記号論の枠組でモデル化するが、記号論の枠組は共時的であり、設計者の熟練と製品の熟成と言う時間性が見えないため、存在論的な時間性－仮説＝演算＝帰納の三位一体の関係－を加味する。記号過程を、製品モデルを定義する階層構成が媒介し、階層構成が段階的に熟成－内容と形式の関係を**すり合わせ**ながら確定－する形態でモデル化する。

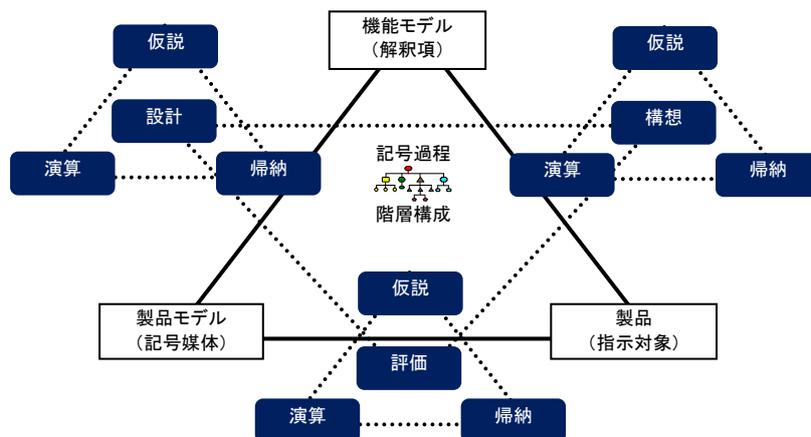


図 6.2 存在論へのパラダイムシフト

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

6.2 記号論の枠組によるモデル化

製品から機能モデルに至る過程は構想、機能モデルから製品モデルに至る過程は設計、製品モデルから製品に至る過程は評価に対応する。マクロな V 字プロセスは構想＝設計＝評価に至る過程で、機能＝構造＝形状を定義する概念駆動型の判断に対応する。ミクロな V 字プロセスは科学的探究の過程 - 仮説＝演算＝帰納を反復し、概念の内容と形式をすり合わせる拡張的な判断過程－に対応する。

マクロな V 字プロセスは大三角形に対応し概念駆動型の判断を媒介する記号過程となる。ミクロな V 字プロセスは小三角形に対応し科学的探究の過程を媒介する記号過程となる。トップダウン設計過程は二元的な記号過程となる。これは製品が存在を開示する過程であり、設計者の判断過程であり、**すり合わせ**の存在構図となる。この過程で製品モデルを定義する階層構成が枠組に始まり段階的に内容と形式の関係を総合し充実化する。

記号論の枠組では製品は指示対象に対応し、目的であり既存製品でもある。製品モデルは記号媒体に対応する。製品種別の理論的な枠組であり、設計ルールであり、設計者の判断過程を媒介し、設計結果の形態でもある。機能モデルは解釈項に対応する。製品と製品モデルの関係を機能（目的と現象）で解釈する。設計者は機能モデルを基に記号を利用し、指示対象を記号媒体に段階的に**すり合わせる**。設計活動は記号過程となるため、記号論の枠組による構造化が不可欠である。

記号論の枠組にはソシュールの枠組－記号の表現と内容の関係を固定し、記号の組合せで記号を定義する－と、パースの枠組－記号を表現と内容の拡張的な推論で定義－があることを前述したが、ソシュールの枠組では版の組合せで版面を印刷するように、確定した記号のコラージュで記号を定義する形態となり、記号の内容と形式を**すり合わせる**過程が見えない。ソシュールの枠組は情報技術の枠組と同様に分析的・因果的・循環的なモデルとなる危険性がある。設計活動は拡張的な推論が基軸であり、記号の内容と形式を**すり合わせる**過程となるため、モデル化ではパースの枠組が不可欠である。

パースの記号論の枠組はカントの総合的判断とヘーゲルの弁証法の過程を記号過程として敷衍したものであり、図 6.3 に示すように、解釈項＝指示対象＝記号媒体の三位一体の関係で構成される。パースの記号過程は絵を描く過程と同じ構図となる。創作の際の**すり合わせ**は、まず暗黙の内に原画の完成形態（アイデア）を想定し、次に原画を基に個別に版を制作し、最後に版の組合せで全体を調整する過程ではない。絵画の創作は全体と部分の関係を構図＝レイアウト＝部分の輪郭＝部分の詳細化と段階的に充実化する志向的活動となることを理解することが重要である。

設計活動のモデル化で記号論の枠組を利用する目的は、製品の形態を記号で定義する過程は記号の内容と形式を段階的に**すり合わせる**過程であり、拡張的な推論がベースとなることを明確化する為である。指示対象と記号媒体の関係を総合する過程は解釈が伴い、判断過程を通して段階的に両者の関係が決定される。指示対象と記号媒体の関係は意味論、解釈項と記号媒体の関係は構文論、解釈項と指示対象の関係は語用論となる。

記号過程の改革では、意味論＝構文論＝語用論の三位一体の改革が必要だが、記号論の枠組は共時的であり因

果的過程になる危険性がある。拡張的な判断過程を明確化するには、時間性—目的合理的活動・弁証法の過程・段階的な充実化などを加味したモデルが必要となる。時間性の考慮では存在論的なパラダイム—製品の目的（将来）を記号で演算（現在）し、実績で評価（過去）して反省的に総合—を加味する必要がある。

設計活動を記号論の枠組に対応付けると、解釈項（設計者）＝指示対象（製品）＝記号媒体（製品モデル）となる。設計者は製品を機能（現象）として解釈し、指示対象である製品を記号媒体である製品モデルに総合する。製品と製品モデルの関係は意味論、製品モデルと設計者の関係は構文論、設計者と製品の関係は語用論となる。設計活動の改革では**意味論・構文論・語用論の三位一体の改革**が必要となる。

意味論は製品を定義する形式であり文書類・製品モデルがある。MBSE では操作・機能・論理・物理モデルで区分している。構文論は製品を定義する機能であり検討図の体系と形態、PLM の機能、両者の利用形態に関係する。MBSE では PLM の機能を SysML/Simulink/MATLAB/各種 CAD で区分している。語用論は製品を定義する活動でありコミュニケーション形態と設計プロセスに関係する。MBSE では二元的な V 字プロセスが対応するが、本論文では、図 6.2 に示した、二元的な記号過程でモデル化する。

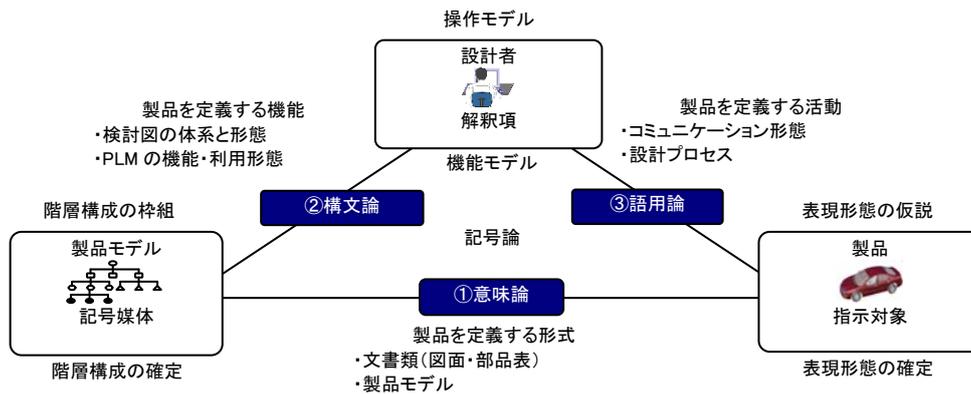


図 6.3 記号論の枠組による設計活動のモデル化

(1) 意味論

意味論の改革の目的は製品モデルの熟成過程—V 字プロセスに沿って製品モデルが段階的に形態を形成する過程を媒介する知識の形態の系譜—を開示し、記号で定義する形式を明確化することで、設計者の判断過程を継続的に支援することである。製品を定義する形式を文書類から製品モデルに脱構築し、製品モデルの熟成過程を階層構成の枠組から階層構成の確定に至る過程で構造化し、製品種別に階層構成の単位と階層構成を定義する判断の枠組を構造的に定義する必要がある。

意味論の改革で重要なことは、V 字プロセスを業務工程と解釈し、判断過程を各工程で定義した内容を記号媒体で表現し、記号媒体を処理する過程・記号媒体を再現する作業としてモデル化しないことである。製品を定義する形式を改革する上で重要なことは、要求＝機能＝論理＝製品モデルに至る過程で設計者の判断過程を継続的に媒介できること、製品モデルをシステム＝サブ・システム＝コンポーネントに至る過程で段階的に詳細化する

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

際に、設計者の判断形式＝製品モデルを定義する形式＝PLM の機能を一元化することで、設計者の判断過程の連続性と収束性を向上させることである。

V字プロセスに存在する概念の系譜は各段階で製品を定義する形式だが、これは設計者の概念駆動型の判断を導くものであり、製品モデルで製品形態の内容と形式が確定する。設計者は概念クラスを超越する過程で目的を概念で分節し、最終的に製品モデルの形態を部品形状の関係で定義することになる。概念クラスを目的から具体的に辿る過程はトップダウンの判断であり、具体から目的へ遡る過程はボトムアップの判断となる。

(2) 構文論

トップダウン設計過程は、製品モデルの熟成段階（時間）と機能構造（空間）に沿って多角的・多層的に並行検討する過程となるが、相互に曖昧な状態で多数の設計者が製品モデルを構成する機能の相互関係を平衡検討するため、判断の収束を迅速化する必要がある。これには製品モデルの熟成過程を実体化し設計者間で「見える化」する必要がある。また検討内容は状況に合わせて遷移するため、検討図を仮想化することが有効となる。

構文論の改革の目的は検討過程の支援だが、まず設計者の判断過程と製品モデルの熟成段階を一元化するために、検討図の体系と形態を改革する必要がある。次に多数の設計者の総合的判断を媒介しコラボレーションするために、製品モデルと検討図を PLM の機能で仮想空間に外在化する必要がある。製品モデルを仮想空間に定義したものを「VPM：Virtual Product Model の略」、検討図を仮想空間に定義したものを「WP：Work Product の略」と定義する。製品種別に VPM と WP を相補的に定義することが鍵である。

(3) 語用論

情報技術の枠組によるモデル化は、創作を流用・再現・複写にすり替え作業の自動化を図るため、PLM の利用が創作の図式を隠蔽する概念錯誤的な展開となってきた。機能モデルの検討では機能の関係を関数の関係に置換え、入力とパラメータを変えることで機能の予測ができるが、製品モデルの定義では形態は段階的に詳細化されるため、製品モデルを定義する階層構成を利用したゲームとしてモデル化することが有効である。

語用論の改革の目的は、創作の図式を維持した上で PLM の機能を利用することで、PLM の機能の利用が自ずと創作能力を育成する設計環境を作ることである。これには設計活動を、製品モデルを定義する階層構成を利用した言語ゲームとしてモデル化し、機能モデルを基に製品モデルを定義する過程を関数の因果的な連鎖から、階層構成－設計ルール－を利用したゲームへ脱構築する必要がある。

設計者は設計活動を繰り返す過程で製品を定義する機能＝構造＝形状の関係をカプセル化し、設計能力の暗黙知化－絶対知化－を行うため、PLM の利用が創作の図式を分断化しないことが重要となる。設計者の判断形式＝製品モデルを定義する形式＝製品の機能と形態の三位一体の関係をカプセル化し、三者の関係を設計ルールとして定義した上でゲームを展開する過程で利用すること、ゲームの展開を PLM の機能で媒介し、製品モデルの熟成過程を見えるようにすることが重要となる。

実務への適用では、製品種別に製品モデルの枠組と熟成段階に合せた形態、これに対応する検討図の体系と形態、秘匿管理、変更管理などの運用ルールを定義し、製品の熟成過程に沿って製品モデルと検討図を利用した設計技法・運用の訓練と検証を行う必要がある。設計プロセスを記号論の枠組でモデル化する目的は、拡張的な判断過程を維持した上で PLM の機能を利用する形態を明確化することである。

記号論の枠組によるトップダウン設計のモデル化は、流用設計の自動化による効率化・迅速化が目的ではない。設計活動での拡張的な判断を明確化するには、言語ゲームとしてモデル化する必要があることを提案したが、ゲームとしてモデル化するにはルールの設定が必要となる。製品を定義する概念の区分、製品アーキテクチャに合わせた階層構成の定義は設計技法・運用ルールの骨格となる。

製品モデルの階層構成の展開はゲームの展開に沿った囲碁の石の配置パターンに相当し、検討図はゲームの展開に沿った設計者の判断過程の遷移を媒介する。多数の設計者で実施されるゲームの支援で重要なことは、ルールの利用を手順化すること、ゲームの結果を再現する作業の自動化ではない。ゲームを展開する際に利用するルールの体系とゲームを展開する過程でのルールの相互関係を見える化し、判断過程を媒介することである。

6.3 言語ゲームとしてのモデル化

トップダウン設計は製品の目的を具体化する過程であり、多数の知識の台座を超越する判断が必要となる。設計者は概念駆動型の判断－構想＝設計＝評価－を縦糸に科学的探究の過程－仮説＝演算＝帰納－を反復する。判断は機能構造の熟成過程に沿って実施されるが、概念クラスの超越には解釈が伴い、多数の設計者間での**すり合わせ**が伴う。この過程の支援では超越論的な判断の図式と知識の形態の関係を構造的に定義する必要がある。

(1) 目的合理的活動の構図

トップダウン設計過程は、図 6.4 の左に示すように、まず製品を取り巻く世界のニーズと製品種固有の枠組を基に製品の目的を決め、次に製品の目的を製品アーキテクチャで段階的に分節しながら、製品の目的を階層構成の内容と形式の関係に総合する過程－製品の形態を全体枠組・レイアウト・装置構造・部品形状と多層的に眺め、自己言及的に詳細化－となる。設計者は世界との関係で製品の形態を段階的に詳細化する。

一方、ボトムアップ設計過程は、図の右に示すように、製品モデルの階層構成の枠内で階層構成を構成する装置・部品間関係を検証し、内容と形式関係を確定する過程であり、検討空間は階層構成の中で閉じ世界との関係は縮減される。製品モデルは両者の過程を媒介するが、両者の過程で階層構成の役割と利用形態が異なる。

意味論の改革では完成した階層構成の形態を定義するのみでは不十分であり、判断過程で階層構成を如何に利用するかが重要となる。トップダウン設計では設計者は最初に部品形状を決め、これを積木して製品の形態を定義するのではない。設計者は製品が存在を開示する過程に沿って段階的に階層構成を展開し、製品モデルの内容と形式を全体と部分の関係で詳細化する。製品モデルはこの過程を媒介する必要がある。

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

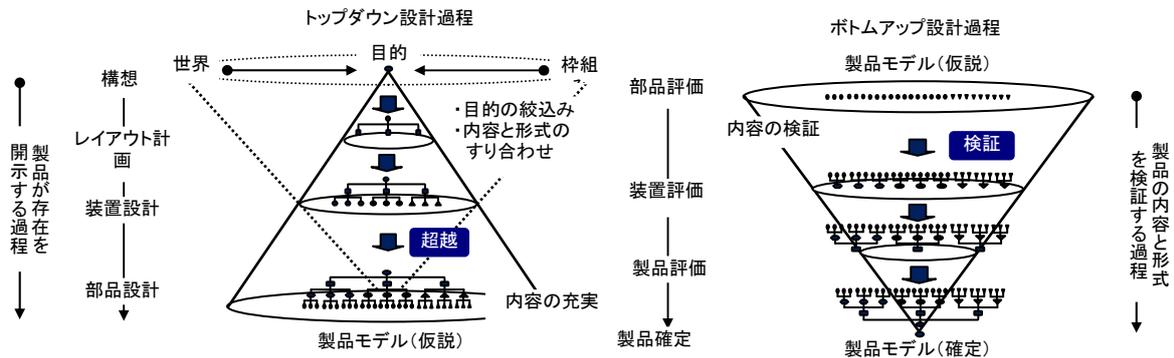


図 6.4 製品が存在を開示する過程

(2) ルールの体系

製品を定義する概念は形状・構造・機能・品質・原価であり、製品アーキテクチャは製品：命題体系、装置：命題、ASSY：命題の単位、部品：名で構成される。設計活動は製品の仮説を命題体系から階層構成に至る過程で定義する言語ゲームとなる。命題体系・階層構成の枝葉の並びは推論の道筋に対応し、製品種固有の命題体系・階層構成を定義し検討過程で利用する必要があるが、これらは検討図の中に埋もれており設計者の暗黙知と成っている。これを設計ルールとして形式知化し設計者間で共有することが重要となる。

製品の機能構造は命題体系、表現形態は階層構成で定義でき、PLM は両者を定義する機能を実現しているが、トップダウン設計とボトムアップ設計では同じ命題体系・階層構成でも利用形態は異なる。現状は後者で VPM の表現形態を評価・流用する作業、文書類に表現し、文書類を処理する作業の効率化が中心だが、前者では拡張的な推論－概念駆動型の判断・科学的探究の過程－での階層構成の利用の仕方が鍵となる。

(3) ゲームの展開

トップダウン設計は、設計ルール－概念・命題体系・階層構成で規定－を利用して製品モデルを描く言語ゲームであり、設計ルール－設計者の判断形式＝製品モデルを定義する形式をカプセル化－で一元的に媒介する必要がある。設計者は設計ルールを利用し、製品の仮説の設定＝命題体系による機能構造の分節＝階層構成による形態の定義＝内容の評価に至る拡張的な推論を行うが、設計ルールは設計者の判断過程と製品の形態定義を媒介することに注意する必要がある。両者を如何に一元化するかが意味論の改革の鍵である。

PLM の機能は、図 6.5 に示すように、概念・命題体系・階層構成で規定される設計ルールを再現するが、設計者はルールを拡張的に利用しゲームを行うため、ゲームの展開シナリオは PLM の機能では規定出来ない。情報技術者はゲームの結果をルールの関係に分割し、ルールの因果的な繋がりゲームを再現するため、ゲームの展開を、結果を再現する作業にすり替えてきたことを見てきた。創作の支援ではルールを拡張的に利用したゲームの展開過程を如何に支援するかが課題となる。

設計活動は設計ルールを利用した言語ゲームであり、PLMはルールを再現する機能を提供するに過ぎない。ゲームを展開するシナリオはゲームで定義する製品の熟成過程に依存しルールの体系にはない。設計活動の支援では情報技術の視点—確定した命題体系を命題と名を利用して再現する—をエボケーすることが不可欠である。設計活動は拡張的な推論過程であり、製品を定義する命題体系・階層構成はゲームを展開するためのルールとして解釈する必要がある。検討図はゲームの展開を媒介する場となるのである。

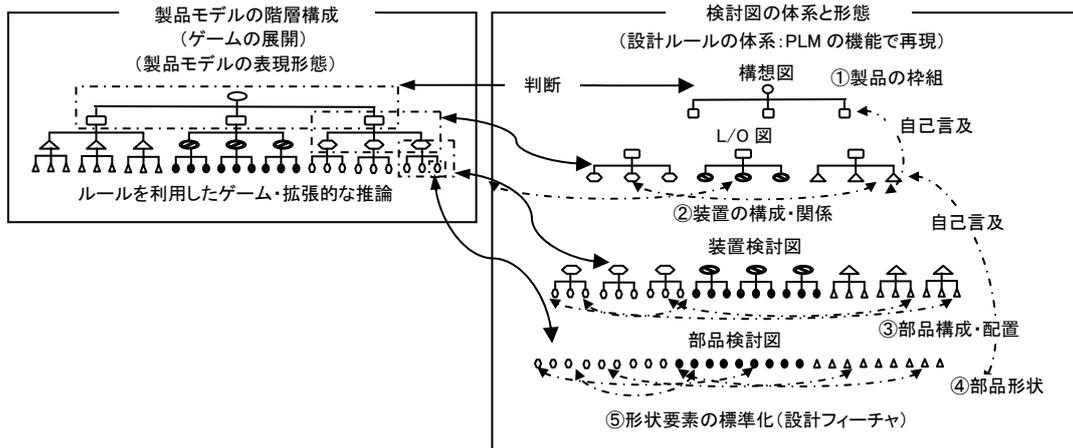


図 6.5 設計活動を媒介する設計ルール

(4) 熟成過程に沿った分節

トップダウン設計過程は仮説が先行し曖昧な状態で相互関係の中で検討するため、図 6.6 に示すように、階層構成の枠組に始まり枝葉を展開しながら段階的に内容を充実化する。階層構成は製品種で固有であり、検討過程も製品アーキテクチャに依存するため、構想=設計の支援では製品種別に判断過程=検討図の体系と形態=階層構成の関係を具体的に定義する必要がある。トップダウン設計の支援では検討図の体系と形態の改革が鍵となる。

検討過程はゲームの展開であり、階層構成は地と図・フレーム問題・自己言及・同一性の維持など多種・多層的な論理関係を含み、設計者は総合的判断・弁証法の過程・志向的活動でこれらを解決するため、階層構成の多角的・多層的な見方が必要となる。ゲームの展開に合わせ階層構成の枝葉が詳細化されるが、各段階の階層構成は各段階での形態を代表する。熟成過程は確定した部品の積木ではないことに注意する必要がある。

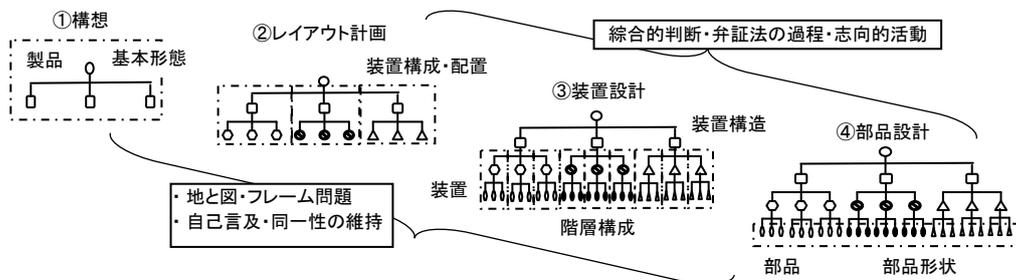


図 6.6 熟成過程に沿ったゲームの展開

6.4 改革のねらい

設計活動の本質と存在を支援するには、まず設計活動をモデル化する枠組を認識論的なパラダイムをベースとした情報技術の枠組から存在論をベースとした記号論の枠組に脱構築する必要があることを見てきたが、情報技術者による改革は、設計活動の本質と存在—製品の目的を製品の形態で具体化する活動—と、情報技術の枠組—製品の形態を記号で定義する活動を支援—の違いを理解していないことである。これはゲームを展開する際の判断過程とゲームで利用するルールを規定することの違いを理解していないことに通じる。ゲームの展開では命題体系とルールを拡張的に利用するが、ゲームの結果を手順化しルール化することで判断過程が規定される。

絵画の創作と版画の制作、肖像画の創作とモニタージュ写真の制作で見てきたように、情報技術者はゲームの展開結果を固定し、これをルールの因果的な連鎖に置換え、ルールの因果的な連鎖でゲームの結果を再現する作業を定型化し、作業でゲームを置換えるような展開を支援してきた。これはウイトゲンシュタインが論理絵の限界—確定した命題体系の演算はトートロジーに陥り、何も新しいことは語れない—として指摘した事態となるが、情報技術者はこれに疑問を抱いていない。効率化という錦の御旗の基にゲームの結果を再現する作業を効率化するために膨大な IT 投資が繰り返されている。

SDM では設計者の判断過程を V 字プロセスで構造化し、ソフトの開発技法を製品の開発技法として応用する試みがなされている。機能の計画では SDM は有効だが、ソフト—機能構造を機能間の線形的な関係で分割できる—の開発と、製品—多種・多層的なすり合わせが介在する—では注意が必要となる。機能の因果的な連鎖は目的を製品アーキテクチャで分節した結果であること、更に機能仮説を基に製品の形態を定義する過程は概念駆動型の判断となり、機能ブロックの因果的な連鎖・機能間の動作を表すシーケンス図では、製品モデルの内容と形式をすり合わせる過程はモデル化できない。機能仮説を基に形態仮説を設定し、形態仮説を階層構成で具体化する過程は記号過程となる。記号の内容と表現をすり合わせる過程のモデル化には記号論の枠組は不可欠である。

AI の開発—判断過程を命題の演算でモデル化—が挫折したように、認識論をベースとした情報技術の枠組では流用・再現・複写が限界であり、創作はモデル化できない。カントはデカルトの分析的判断を抜け出すために『純粹理性批判』で総合的判断を開示し、更に『判断力批判』で芸術活動・目的合理的活動を構造的に分析しているが、設計活動は目的合理的活動であり、設計者は創作の過程で暗黙の内に総合的判断を行っているのである。

設計活動の本質と存在をモデル化するには、デカルト・ニュートンのパラダイム—分析的判断・因果的過程・循環的処理—では無理であり、拡張的な判断過程をモデル化する必要がある。これにはカントの総合的判断を入口に、ヘーゲルの弁証法・パースの記号論・ウイトゲンシュタインの言語ゲーム・フッサールの志向性・ハイデggerの存在論などを応用したモデル化が不可欠である。これらをベースに設計プロセスに沿って製品を定義する論理モデルを定義し、設計者の判断過程を論理モデルで継続的に媒介することが必要となる。現状は判断結果を記述した文書類を因果的に処理するモデルで留まっており、設計者の判断過程の支援は充分とは言えない。抜本的な改革が必要と成っている。

7. 意味論の改革

意味論の改革では、確定した製品の形態を概念別に文書類で表現する形態から、製品が存在を開示する過程を継続的に媒介出来る製品モデルに脱構築する。検討過程の支援では、図 7.1 に示すように、製品モデルが概念の関係から命題体系を経て階層構成に至る過程で内容を充実化する判断過程としてモデル化する必要がある。設計者は製品の仮説を構想し、これを機能構造に沿って命題体系に分節し装置の仮説を設定し、最後に部品間・設計フィーチャ間の相互関係を考慮し部品の仮説を検討するが、各概念の内容は相互依存的であり因果的には決定できない。概念駆動型の判断が基軸となる。

機能構造は製品アーキテクチャに関連し製品＝装置＝部品で区分できる。装置の関係－組合せ－を定義したものを命題体系、部品の関係－形状・構成・配置－で製品モデルの形態を定義したものを階層構成で区分する。トップダウン設計過程では概念間・機能構造間の相互関係を考慮した検討が不可欠であり、両者を統合的に再現できる製品モデルが重要となる。この過程は作業手順に沿った判断ではない。

製品は、図 7.1 に示すように、DMU で製品モデルの表現形態を検証した後、図面・部品表などの文書類（データ）で定義されてきたが、これらは検討結果の製品モデルを概念別に投影した影画であり判断過程は記述できない。概念駆動型の判断を支援するには、製品モデルを定義する概念・命題体系・階層構成を構造的に定義し、更に三者間の関係を超越する判断過程を構造化する必要がある。

PLM の機能は概念別の処理しか出来ないため、概念別の演算、検討結果の表現と管理を支援し、設計者が概念・機能構造の関係を総合してきた。情報技術者は成長が終了した木を基に概念別に形状を CAD・構造を EBOM・機能を CAE・品質を CAT・原価を CBOM で文書類として定義し、文書類を処理する業務を支援してきたが、意味論の改革の狙いは、製品の熟成過程に沿って、設計者の判断形式＝製品モデルを定義する形式＝製品の形態を一元化することである。これまで検討結果を記述した文書類がベースと成ってきた為、検討過程は設計者の暗黙知に依存してきた。これを形式化することが意味論の改革の目的となる。

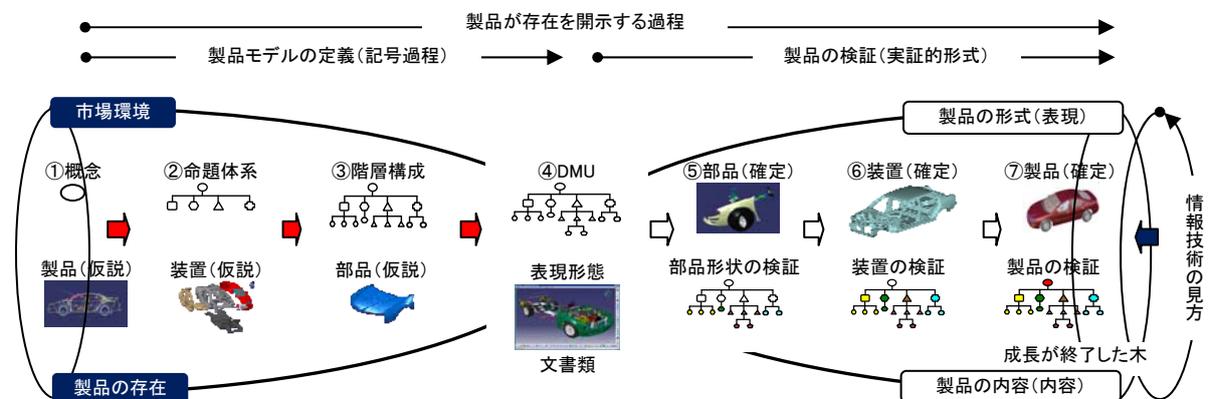


図 7.1 製品モデルを定義する概念の関係

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

7.1 製品を定義する概念

トップダウン設計過程は概念駆動型の判断が基軸となる。カントは悟性概念を性質・分量・関係・様態で定義したが、製品を定義する概念は、図 7.2 の左に示すように、形状・構造・機能・品質・原価となる。品質と原価は様態に対応し、機能は関係、構造は分量、形状は性質に対応する。トップダウン設計では品質・原価を目標に、機能を構造と形状で定義し、ボトムアップ設計では形状と構造を機能で評価し、品質・原価で全体を確認する。

ボトムアップ設計過程はベース製品の形態を基に部分を差分で設計するため分析的判断が基軸であり、概念クラスを下位から上位に辿るため支援は容易である。PLM は形状を CAD、構成を EBOM、機能を CAE、品質を CAT、原価を CBOM で定義する過程の支援と、検討結果を、図 7.2 の右に示すように、図面を CAD、部品表を EBOM、報告書（機能）を CAE、報告書（品質）を CAT、原価表を CBOM など、文書類を表現・管理・伝達・再利用する作業の効率化を支援してきた。

トップダウン設計過程は目的から具体に至る総合的判断過程であり、概念クラスを上位から下位へ辿る為、仮説検証型の判断過程となる。トップダウン設計過程で製品を定義する概念と PLM の関係を見ると、図 7.2 の左に示すように、品質を QFD、原価を CBOM で定義し、機能仮説を MBD/CAE で検討する。機能仮説を基に構造を VPLM、形状を CAD で相補的に検討する。概念の関係を総合する機能が VPM となる。概念クラスの超越を支援するには、製品モデルが機能から形態に至る過程を記号で媒介する必要がある。これが製品モデルを定義する概念・命題体系・階層構成である。

概念駆動型の判断の支援では、製品を定義する概念を演算する過程で PLM の機能を総合的に利用する形態を明確化する必要がある。同一の PLM の機能でも分析的推論と拡張的推論で利用するのでは役割と効果は異なる。製品モデルを中核とした設計活動では、階層構成を設計ルールに、階層構成に内容をすり合わせる言語ゲームを PLM の機能で媒介することがねらいとなる。製品を定義する概念と PLM の機能を対応付けし、概念別に検討結果を文書類に記述する過程の支援ではなく、検討過程で概念間のすり合わせを支援出来る形態での利用が目的となる。概念間の関係を構造的に定義する製品モデルの実現が不可欠となる。

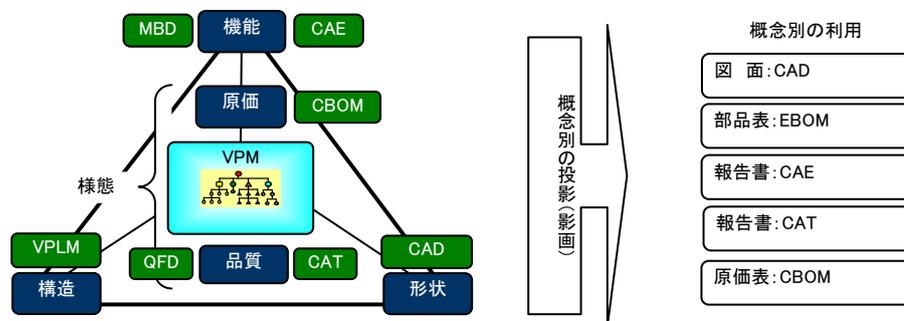


図 7.2 PLM の利用形態の改革

7.2 製品アーキテクチャ

機能モデルを基に製品モデルを定義する過程を支援するには、設計者の判断過程と製品モデルを定義する「命題体系」「階層構成」の関係を明確化し、命題体系から階層構成に至る過程で内容と形式をすり合わせる過程をPLMの機能で媒介する必要がある。

(1) 機能構造の枠組(命題体系)

設計者の判断過程と製品の形態定義を一元化するには、製品の機能構造を命題体系で構造的に定義し、判断形式を命題体系の演算に置換える必要がある。製品モデルを定義する命題体系は、図 7.3 に示すように、階層構成(L)－製品の機能構造の論理的な関係－、内容を定義する概念－形状・構造・機能・品質・原価－で構成される。設計検討では命題体系に内容を充実化する概念駆動型の判断を行うため、命題体系が含む論理関係を製品の機能構造と対応付けて記述する必要がある。

完成した製品の形態は、図 7.3 に示すように、製品⇒装置⇒ASSY⇒部品と階層構成(L)で線形的に定義できる。部品は階層構成の末端に位置し、階層構成の関係は部品の形状・構成・配置を表す。階層構成(L)は製品の機能構造を表すと共に設計者の判断過程と作業手順を含み製品の形態を定義する枠組となるが、概念駆動型の判断の支援では、製品の機能構造と製品モデルの命題体系のギャップを埋めることで、設計者の判断形式と製品の機能構造の定義を一元化し、設計者の試行錯誤を直に媒介出来る形式が不可欠となる。

① 製品は $Pr=F(U1,U2,...,Un)$ で定義され、F は製品を構成する装置 : U_i の関係を定義する。

n は製品を構成する装置の数である。

② 装置は $U_i=Gi(Pai1,Pai2,...,Paim)$ となる。Gi は装置を構成する部品: $Paij$ の関係を定義する。m は装置を構成する部品の数である。

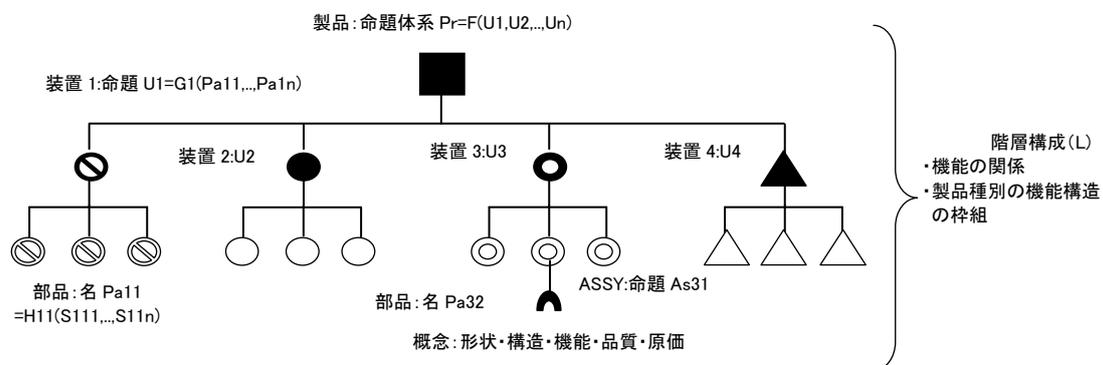


図 7.3 製品モデルの命題体系

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

(2) 表現形態の枠組(階層構成)

製品モデルの機能構造は命題体系で定義されるが、製品の表現形態を再現するには命題と名の内容を論理・数学的な形式に翻訳し、PLM の機能で定義する必要がある。製品の表現形態を定義する階層構成(S)は図 7.4 となる。これは命題体系を構成する命題と名を部品の形状・構成・配置で具体化したものである。部品形状は階層構成の末端に位置し、ASSY・装置・製品の形態は部品の形状・構成・配置を利用し仮想的に表示される。

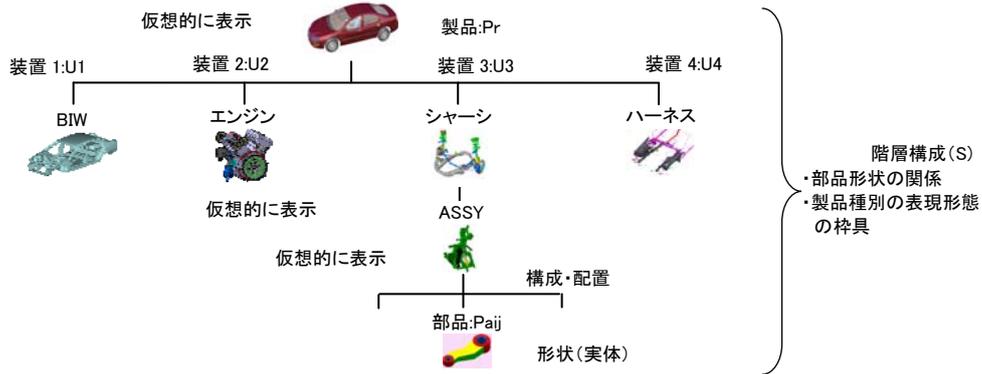


図 7.4 製品形態の階層構成による定義

(3) 部品形状の枠組(設計フィーチャ)

部品形状の枠組は、図 7.5 に示すように、部品を構成する設計フィーチャの階層的な関係で定義され、設計フィーチャに対応する形状フィーチャの形状要素がパラメータで定義される。部品形状は形状フィーチャのブール演算で定義される。設計者は設計フィーチャを対象に検討を行い、形状フィーチャの階層的な関係で部品形状を定義する。

③ 部品は $Paij=Hij(Sij1,Sij2,...,Sijq)$ で定義される。Hij は部品形状を設計フィーチャの関係で定義する。q は部品を構成する設計フィーチャの数である。

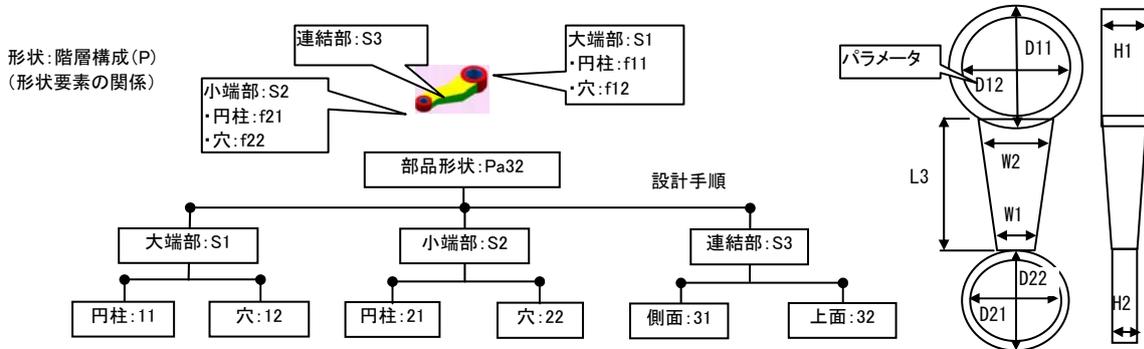


図 7.5 部品形状の設計フィーチャによる構造化

7.3 VPM の実現

トップダウン設計の支援では、**すり合わせ**を設計ルール概念・命題体系・階層構成—を利用した拡張的な推論と捉える必要がある。製品モデルを定義する概念・命題体系・階層構成と推論過程—拡張的な推論と分析的な推論—の関係を開示し、PLM の機能で、図 7.2 に示した概念の関係、図 7.3 に示した命題体系、図 7.4 に示した階層構成、図 7.5 に示した設計フィーチャを考慮し、製品モデルをサイバースペースに総合的に定義する必要がある。これが図 7.6 に示す VPM (Virtual Product Model の略) である。

VPM を定義する機能は VPLM/CAD で実現されているが、VPM を実務で利用するには PLM の機能のみでは不十分である。検討過程で利用するには製品種別に設計ルールとして、命題体系・階層構成・設計フィーチャ・変更ルールなどを定義し、設計過程に沿って検討・変更・維持する訓練が必要となる。

自動車・船舶・飛行機など大規模製品は多数の設計者で長期間に渡り継続的に検討されるため、VPM をサイバースペースで実体化し設計者間で共有化した上で、全体と部分を並行検討できる設計環境が不可欠となる。これが製品モデルの熟成過程である。製品モデルの熟成過程はゲームの展開を映す場であり、実務で利用するにはゲームを展開するためのルールを設定し利用する訓練が不可欠となる。

設計ルールは概念の関係と製品アーキテクチャに沿って製品の形態を定義するルール命題体系・階層構成の定義、設計変更管理、秘匿管理などで構成される。登山家が山の地形を総合的に判断してルートを決めるように、設計者は製品の機能構造と形態の関係を総合的に判断し VPM を定義する。階層構成は VPM の熟成過程であり、設計者の判断形式と VPM の定義形式を媒介する設計ルールであること、VPM の表現形態の変容過程の見える化はゲームの展開を見るための場と捉える必要がある。

自動車会社では、製品全体で部品の隙間干渉を確認する為に、検討結果を集約し、後追いで DMU を作成することは実現できているが、DMU は検討結果を基に作成するため、検討過程で全体と部分の相補的な検討は支援できない。VPM の目的は構想か部品設計に至る過程で全体と部分の相補的な検討を継続的に媒介することが目的であり、製品全体を定義することが重要となる。

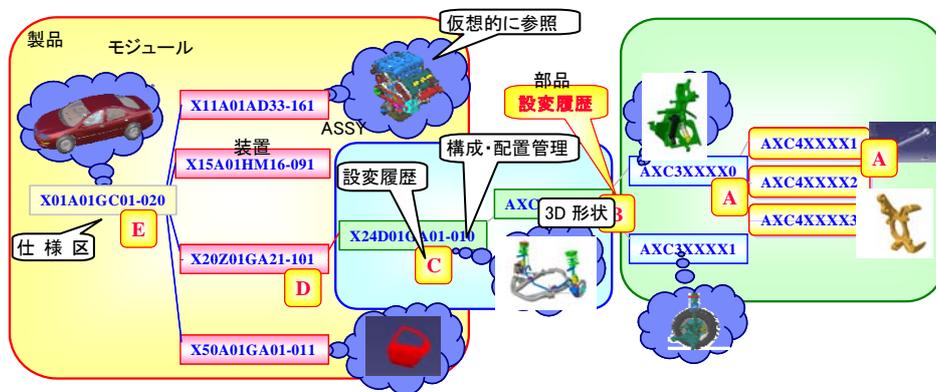


図 7.6 VPM を利用した設計検討

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

7.4 製品の存在構図をオブジェクトとした展開

情報技術がベースとしている認識論的なパラダイム—主体が客体を認識（論理・数学的な形式で処理）—で設計プロセスをモデル化する限り設計者の足跡を追掛ける構図となる。設計対象である製品の存在構図を配慮し、製品モデルの枠組を概念・命題体系・階層構成で構造的に定義し、これに内容を充実化する判断形式と過程を対応付けた上で PLM の機能で媒介することが不可欠だが、これには製品の存在構図を存在論のパラダイムをベースに記号論の枠組でモデル化する必要がある。

設計者は製品が存在を開示する過程に沿って目的⇒機能⇒形態と概念クラスを超越し、VPM の形態を志向的に定義する。流用設計でも設計者は、まず機能仮説を設定し、これを形態仮説に置換え、形態仮説を部品の形状・構成・配置で具体化する。設計者は VPM を定義する概念クラスを超越する過程で判断するため、製品を定義する概念と概念クラスを超越する判断形式をオブジェクト化する必要がある。

製品の存在構図をオブジェクト化するには、まず製品の存在構図を、図 7.7 に示すように、記号論の枠組—機能（解釈項）・構造（記号媒体）・形状（指示対象）でカプセル化—でモデル化し、検討過程を製品の目的（原価・品質）を製品アーキテクチャで分節し、機能の関係を命題体系、表現形態を階層構成（構造と形状）で構造化し製品・装置・部品の各クラスで機能＝構造＝形状の関係をカプセル化し、PLM の機能で媒介する必要がある。

これはヘーゲルが『精神現象学』で分析した絶対知への道となる。絶対知と情報システムによる作業の自動化の違いを理解しない限り、全ての活動のウロボロス化は止まらない。設計活動は多数の設計者で実践されるゲームであり、製品アーキテクチャは製品が存在を開示する過程の基軸であり、設計者の判断過程を媒介する設計ルールであり、製品の形態を定義する。設計活動の支援では PLM の機能はゲームを展開する過程で仮説の設定＝演算の支援＝帰納を行う過程を多層的に見える化し、設計者の判断過程の収束性を迅速化する形態での利用に脱構築する必要がある。無作為な自動化は禁物である。

設計活動の支援で重要な事は、設計活動を実践する過程で自ずと設計能力を育成できる図式を実現することである。定型作業の自動化では設計者は処理過程で設計能力—拡張的な判断過程—を模倣することは出来ない。データを一過的に処理する作業が上手に成るだけである。逆に自動化は判断過程の質を変えることで、設計者が設計能力を育成する環境を縮減する危険性があることに注意する必要がある。

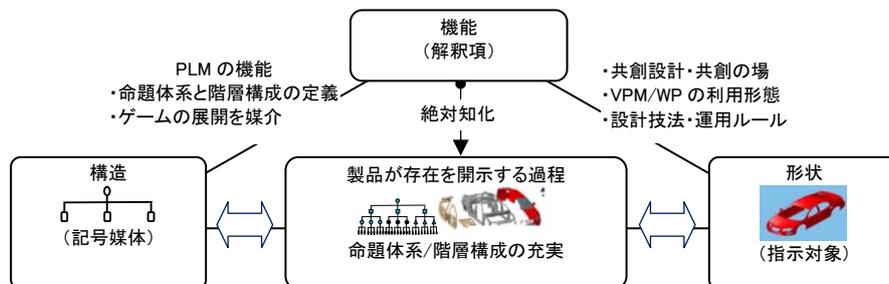


図 7.7 製品の存在構図

8. 構文論の改革

トップダウン設計は形態仮説を部品の形状・構成・配置で具体化する活動であり、相互に曖昧な状況で多数の設計者で並行検討するため、地と図（全体と部分）・フレーム問題（装置間の関係）・自己言及（装置構造の詳細化）・同一性の維持、内容と形式の総合・利害調整・内容の充実など種々の問題が発生する。

これに対応するため図 8.1 に示すように、構想・レイアウト計画・装置設計・部品設計に至る過程を多数の検討図で分割し検討図を変えながら検討するが、検討図では検討過程が検討図で分断化され、検討過程と中間仮説も検討図で分散し検討過程で製品全体が見えないため、後追いの DMU で全体調整を行う必要が生じてきた。また検討結果も正式図で個別に記述されるため、検討過程の最新確認・設変フォローでは図面別の相互調整を余儀なくされてきた。

トップダウン設計を支援するために、コンカレント設計、チーム設計、DMU の作成の早期化などが実施されているが、インテグラル型の製品で全体と部分の最適化によるスマートな設計の支援、モジュラー型の製品で全体枠組を早期に検討するための支援では、VPM の実現と合せ検討機能の改革が必要となる。第一に検討図の体系と検討図別の検討項目の正規化、第二に検討図の形態の改革、第三に検討図と VPM の動的な構造化がある。

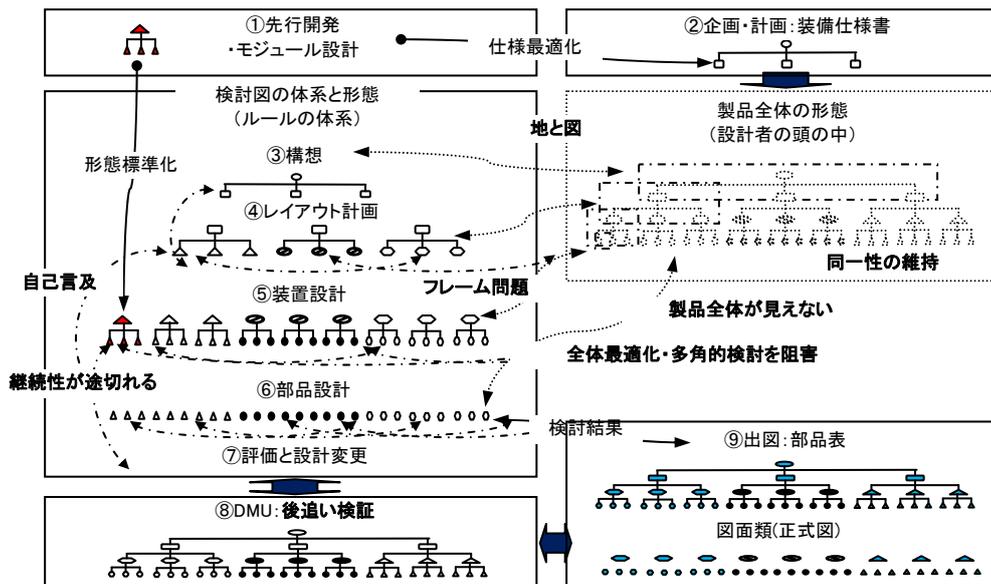


図 8.1 検討図の関係

8.1 検討図の体系と検討図別の検討項目の正規化

検討図では、図 8.1 に示したように、検討範囲が検討図で分離するため、検討手順の手戻り、検討項目の相互参照など種々の課題が生じてきた。これを解消するために検討図の改善として、DSM を利用した設計手順の整理が実施されてきた。DSM では、図 8.2 に示すように、検討図が含む検討項目間の依存関係を整理し、手戻りが

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

少ない設計手順を整理することが目的となる。同様な視点で検討図間の関係を整理し、手戻りが少ない検討図の体系を整理してきた。

部品設計では DSM で検討手順を整理し、PLM の機能で設計ナビゲーションシステムを開発することで、類似部品の設計の支援をしてきたが、未登攀の山への登山ではナビゲーションシステムは役に立たないように、新規設計では部品形状は製品の形態で決まるため設計手順は未確定なこと、また階層構成間の関係、設計フィーチャ間の関係は相補的に定義されるため、設計手順をベースとした改善では役に立たない。

新製品の設計では製品の機能構造、製品全体の形態が変わるため、確定した形態を流用・再現する設計手順では役に立たない。新規設計での流用性を上げるには手順の整理ではなく、製品モデルを定義する階層構成の枠組、部品形状を定義する設計フィーチャの関係の枠組を検討過程に沿って正規化し、仮説の設定で利用する必要がある。同一の技法を利用するにしても、これを如何に利用するかが重要である。

検討図の体系・検討図別の検討項目の正規化は検討空間が含む論理的な課題であり、PLM の機能とは独立した改革が可能だが、これを基に設計手順を整理し若手設計者にベテラン設計者の手順を強要する改善は避ける必要がある。設計者は検討項目間の依存関係を総合的に判断し、弁証法的かつ志向的に内容を充実化する。この結果として設計手順が決まることに注意する必要がある。確定した手順を辿らせることで検討項目間の関係を解釈し、すり合わせする過程を隠蔽しないことが重要となる。

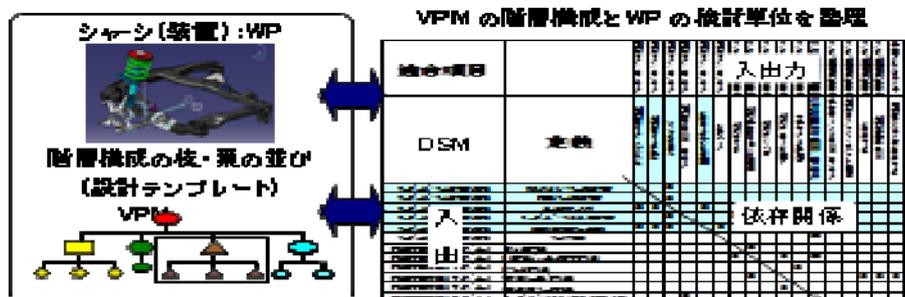


図 8.2 DSM による検討項目の相互関係の整理

8.2 検討図の形態の改革

トップダウン設計では製品の熟成過程（時間軸）－構想・レイアウト計画・装置設計・部品設計－と、製品アーキテクチャ（空間軸）－装置別・部品別－に沿って多数の検討図で検討するが、検討図では製品を検討単位で分断化し個別に検討するため、階層構成が含む論理的な関係への対応では、設計者は検討図を授受し個別に調整を行う必要があった。製品が大規模・複雑になるに連れ相互参照に伴う組合せ問題が生じ調整経路が多岐となる。検討図では全体最適化・相互調整・多角的な検討・継続的な変更管理などが煩雑となり、後追いで DMU を作成し、DMU による全体調整を余儀なくされてきた。

スマートな設計—空間・重量・性能・原価の最適化—の支援には製品全体と部分が相補的に検討でき、仮説＝演算＝帰納の過程を同一のVPMで媒介し、設計者間の利害の調整を継続的に媒介できる設計環境の実現が不可欠である。これには開発初期段階よりVPMを共有化し、全体と部分を平衡検討し、VPMを段階的に詳細化できる検討図の形態が必要となる。これがWPに対応する。WPは、図8.3に示すように、VPMを定義する階層構成の枝葉を任意の組合せで参照し検討に必要な空間を仮想的に定義する。

ボトムアップ設計技法では検討図を実体化し検討図別に検討するため、検討過程では製品全体はベテラン設計者の頭の中に仮想的に存在するのみであり、顧客ニーズの具体化、全体最適が後追いで確認されてきた。VPM/WPでは製品モデルを実体化しWPを仮想化することで、検討過程での地と図—製品全体と部分—、フレーム問題—相互関係—、自己言及—段階的な詳細化—、同一性の維持—継続的な検討—の見える化と多角的な検討を動的に行える設計環境を実現することが目的となるがVPMは検討図を収納する器ではないことに注意する必要がある。

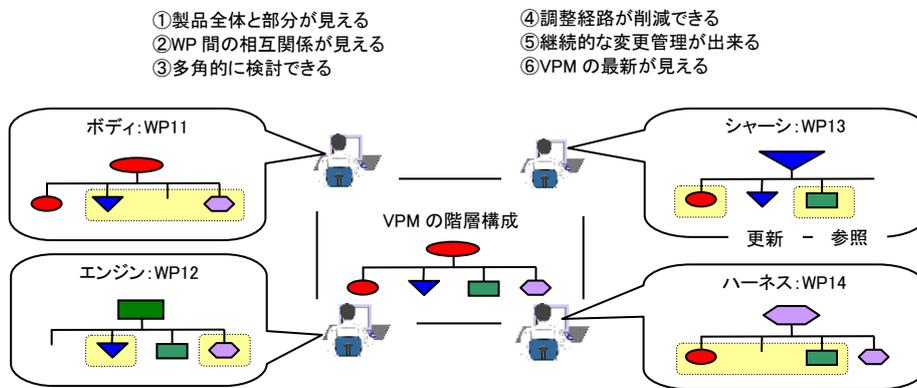


図 8.3 WP の定義

(1) 全体と部分(地と図)の見える化

顧客ニーズの早期具体化、スマートな設計の支援では、トップダウン設計過程で全体と部分(地と図)が見られることが重要となる。図8.4に示すように、VPMを実体化—製品全体の階層構成を定義—し、WPを仮想化—検討に必要な枝葉を任意の組合せで参照—することで、製品全体と部分が見える、多角的な検討・継続的な変更管理が出来、VPMの最新が見られるが実現できる。

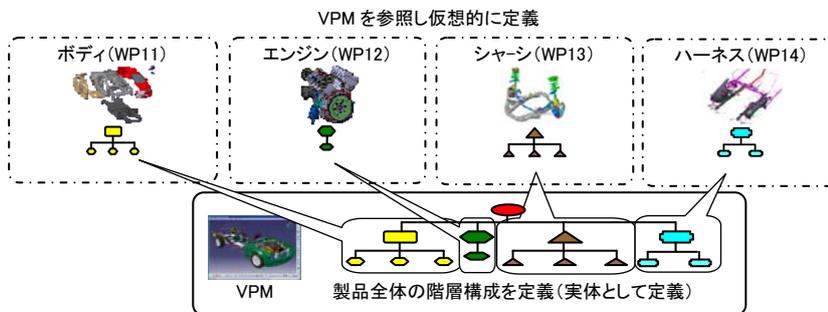


図 8.4 全体と部分の見える化

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

(2) 装置間の関係(フレーム問題)の見える化

検討図での検討で製品を4人で分業し、一人が3つの装置を相互参照して検討すると、図8.5の左に示すように、 $4 \times 3 = 12$ の調整経路と重複情報が発生する。製品が大規模・複雑になるに連れ相互参照関係が増加し、全体最適化・部分間の調整・設変調整が煩雑となる。検討図間の相互参照を最小化するためDSMで参照関係を基に設計手順を正規化しても、新規設計での流用性が低い・後追いとなるなどの課題がある。

検討図別の変更管理では相互参照関係のフォローに手間が掛かるが、これを解決するには、図8.5の右に示すように、VPMを共有化しWPで平衡検討し検討結果をVPMに反映できる設計環境が不可欠となる。検討図間の組合せ問題を排除するには、VPMを実体化しWPを仮想化することでWPの相互関係が見える化し、調整経路は大幅に削減できる。

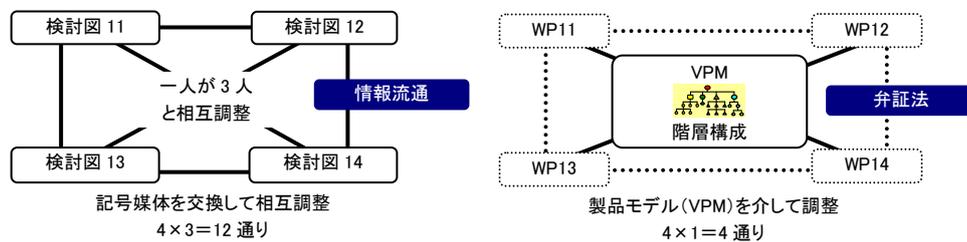


図 8.5 フレーム問題の見える化

(3) 詳細化の過程(自己言及)の見える化

DSMでVPM/WPの静態的な関係は正規化できるが、装置の内部構造の検討は自己言及の過程が段階的に進む。ボディを例に見ると、図8.6に示すように、意匠検討⇒パネル検討⇒部品設計と進む。検討図での設計では検討段階別に検討図が作成されるため、検討図間で情報が分離し、検討の継続性が検討図で分断化されてきた。また詳細化に伴う形態と階層構成の関係は設計者の暗黙知に依存してきた。

設計者は上流から下流に向けて検討図間で3D形状を流用し段階的に粒度を上げるが、上流工程から上流工程に向けて形状と部品構成が段階的に分割されるため、自己言及過程の継続性は設計者に依存してきた。検討図では仮説での見切り検討は変更のリスクが伴い、平衡検討の範囲に制限があった。

自己言及の過程を継続的に支援するには、段階的に形状と構造が詳細化する過程を階層構成で媒介する必要がある。これには、各段階での形態を階層構成で構造と形状の関係で定義する必要がある。検討過程は曖昧な形態に始まり、階層構成を段階的に展開しながら形態を詳細化する過程となる。詳細化の過程をモデル化する際に注意が必要なことは、ボトムアップの判断過程—まず部品形状を決め、次に暗黙の内に階層構成を想定し、階層構成に沿って部品形状を積木する—でモデル化しないことである。

自己言及の過程はトップダウンの判断過程であり、全体と部分が曖昧な状態に始まり、両者が相補的かつ段階的に詳細化する過程となる。これをモデル化するには、図8.6に示すように、各中間段階の形態と階層構成の関

係を定義する必要がある。更に検討の過程では各段階の形態を階層構成で自己言及的に分割し、分割した階層構成に合せ部分の形態を詳細化する過程でモデル化する必要がある。この過程を持続的に行うには、検討過程をVPMの階層構成で継続的に維持し、検討の粒度に合わせ検討図を変える必要がある。

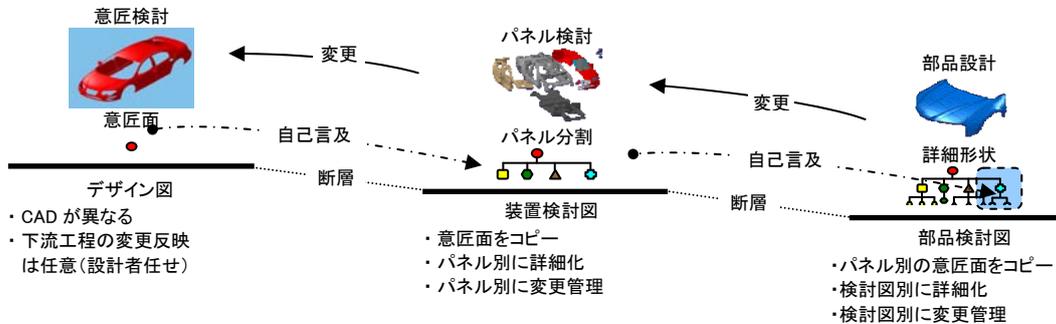


図 8.6 検討図による詳細化の検討

(4) 継続的な検討(同一性の維持)の見える化

検討過程は空間的—地と図・フレーム問題—なすり合せと時間的—自己言及—なすり合せが伴い、継続的に実施されるため、検討過程の持続性が重要となる。両者の過程を持続させるには、階層構成の同一性が重要となる。同一性を維持するには、階層構成を設計変更管理する必要がある。検討図では変更管理が検討図で分割され、設計者は変更過程の同期と整合性を維持する為に設計者間で検討図の授受を余儀なくされていた。

VPM/WP では、図 8.7 に示すように、VPM の階層構成を段階的に展開し、これに合わせて WP を仮想的に定義し、VPM の階層構成を継続的に変更できる。VPM/WP では製品・装置・部品に至る過程で形状・構成・配置が独立して変更でき、かつ階層構成の変更管理が出来るため、仮説での検討、下流工程での変更の全体への反映、全体と部分の継続的な最適化検討、各段階での WP の整合性と最新状態の維持と参照が容易となる。また設計変更に伴う相互参照関係の調整も重複がない状態に対応可能となる。

開発期間が長く開発段階が多数に分割される製品では、検討過程の持続性向上と継続的な変更管理は重要だが、検討段階に合せた階層構成の粒度の標準化が必要となる。装置設計では装置を定義する階層構成の粒度と形態の対応関係、部品設計では設計フィーチャの関係性を定義する階層構成の粒度と形状を対応付ける必要がある。両者の関係は相補的な関係となるため、階層構成の同一性を維持した上で並行検討を行える環境が不可欠となる。

VPM/WP による改革の目的は、検討過程が含む多層的なすり合わせを継続的に媒介し、更に設計者の熟練と VPM の熟成の弁証法の過程をサイバースペースで媒介することで、設計者の判断過程の収束性を支援することである。これは流用・再現・複写の効率化・迅速化とは異なることを理解することが重要である。設計者の判断過程—WP の体系と形態—と、VPM の熟成過程を記号過程として一元化することが重要である。

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

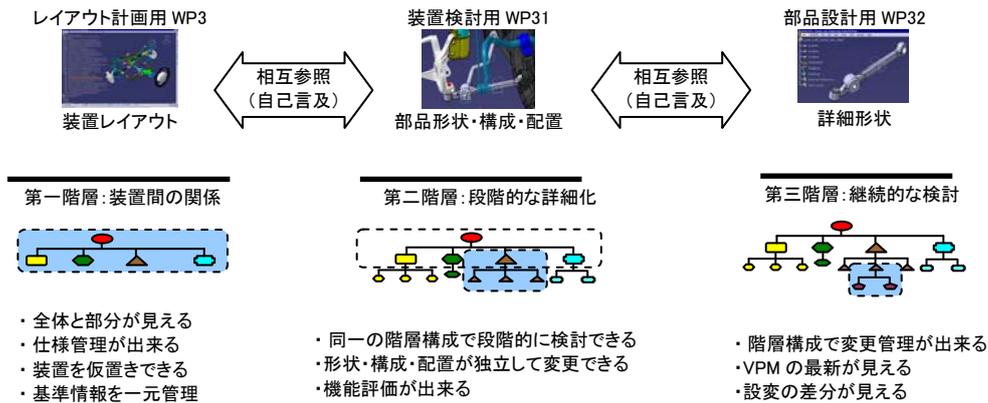


図 8.7 継続的な検討と VPM の階層構成の関係

8.3 PLM の役割の変革

構文論の改革の目的はトップダウン設計過程で設計者が暗黙の内に行っている多種・多層的なすり合わせを支援することである。すり合わせは地と図・フレーム問題などの空間的な問題、自己言及・同一性の維持などの時間的な問題を含み、設計者はこれらを解決するために総合的判断・弁証法の過程・志向的活動を行う。これらの活動は情報技術の枠組—分析的判断・因果的過程を作業手順化し自動化—では再現できない。

情報技術者は設計活動の図式を創作から流用・再現・複写にすり替えることで計算可能な世界に置換え、これらの作業を情報システムで自動化した上で、逆に流用・再現・複写の自動化で設計活動を代替すると言う展開を繰返してきた。情報技術者はデカルトが創りだした鏡の世界で影画を切り貼りする作業を自動化し、これで実在の世界をすり替えるため、実在の世界が含む多種・多層的なすり合わせを隠蔽してきた。この概念錯誤的な展開に終止符を打つには、設計活動の支援では設計活動をモデル化する枠組を脱構築した上で、PLM の利用形態を抜本的に見直す必要がある。

構文論の改革は設計者が検討過程で利用する機能を改革することであり、設計技法と PLM の機能の利用形態に大別される。第一は検討過程を記号過程—製品の形態を記号で定義する過程—としてモデル化すること、第二は設計者の判断形式—WP の体系と形態—と製品を定義する形式—VP を定義する概念・命題体系・階層構成—を設計ルールとして一元化すること、第三は PLM の機能で WP/VP をサイバースペースに外在化し、設計者の熟練と製品モデルの熟成の弁証法の過程を媒介することである。

検討過程の支援では、PLM の機能は確定した VPM の形態を流用・再現・複写する作業の支援ではなく、設計活動というゲームの展開に合わせて設計者がルールを拡張的に利用し、ゲームの展開状況—VPM の階層構成の最新状態—を設計者間で共有化し、ゲームの展開を VPM の形態の変容過程として見られることが重要となる。PLM の役割は設計ルールの再現・設計ルールを展開する過程の媒介・ゲームの展開過程を見えるようにすることである。これは作業の自動化とは本質的に役割が異なることを理解する必要がある。

これと並行して製品種別に VPM を定義する階層構成—判断過程の枠組であり製品形態の枠組でもある—を正規化することが重要となる。DSM を利用し、製品種固有の階層構成の枠組を正規化することは、VPM の仮説の設定、WP の体系と形態の枠組を設定する上で重要である。構文論の改革の目的は PLM の機能による作業手順の自動化ではない。VPM が機能＝構造＝形状に至る過程ですり合わせ—仮説＝演算＝帰納の反復—の収束性を向上させることである。

8.4 PLM の利用が設計能力を育成する

PLM の機能は論理・数学的な法則の集合体だが、これを組合せて自動化しても付加価値は増殖しない。自動化の際に固定した判断過程以上の価値は創造できない。付加価値の創造では設計者の総合的判断が不可欠だが、これは論理・数学的な法則では代替できない。芸術家が創作を反復する過程で創作能力を絶対知化するように、創作の支援では製品の機能構造を命題体系、表現形態を階層構成で構造的に定義し、設計者が仮説＝演算＝帰納を反復する過程を PLM の機能で媒介し、設計者の熟練を媒介するしか手はない。

情報技術はコンピュータの性能を向上させる施策—工程別の処理機能を向上、工程間の情報流通の高速化・大容量化、サイクルタイムの短縮—で定型作業の効率化・迅速化を支援してきたが、この図式は創作の図式を隠蔽する。設計者が暗黙の内に行っている判断は総合的であり PLM の機能では代替できない。創作の支援では「計算出来ない世界を計算可能な世界しか再現できない情報技術で如何に支援するか。」が課題となっている。

カントが『判断力批判』で分析した様に、芸術活動・目的合理的活動は作品の仮説を基に作品を記号で表現する活動であり、記号の内容と形式をすり合わせる過程となる。すり合わせの過程は多層的な知識を超越する判断が伴うが、これは部品を組立てて全体を定義する過程、発生過程—遺伝形態から表現形態への翻訳—とは異なる。ものづくりの原点は創作の図式であり流用・再現・複写の図式ではない。

創作の図式を支援するには、図 8.8 に示すように、設計者の判断形式＝VPM を定義する形式＝製品の機能と形態を記号過程として一元化し、これを PLM の機能で媒介することで設計者が PLM の機能を利用して設計活動を行うことで、自ずと創作の図式を反復できる共創設計を実現すること、更に多数の設計者のすり合わせを媒介できる共創の場を実現することである。VPM/WP の目的は確定した手順の自動化による効率化ではない。

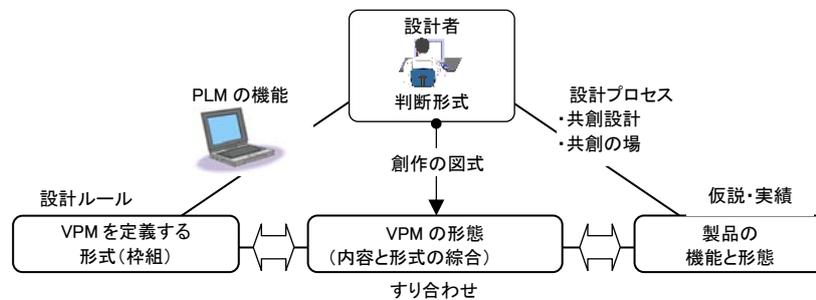


図 8.8 PLM の利用が創作能力を育成する

9. 語用論の改革

語用論の改革の目的は、第一に市場ニーズを迅速に製品に反映し競争力の有る製品を早期に実現すること、第二に設計者が PLM を利用する過程で自ずと設計能力を育成できる環境を実現することである。VPM/WP によるトップダウン設計のイノベーションにより、設計プロセスを製品モデルの熟成過程にパラダイムシフトし、コミュニケーション形態の改革として「共創設計」の実現、設計プロセスの改革として「共創の場」の実現を行う。

9.1 製品モデルの熟成過程

トップダウン設計の第一の課題は検討過程を空間（機能の関係）と時間（熟成過程）の関係で多数の検討図に分割する際に生じる検討図間の論理的な関係と検討図の形態に起因する。トップダウン設計の改革では検討図間で相互参照関係が最小化できる形態と継続的な検討を媒介出来ることが鍵となるが、これまでベース製品の検討図を利用したボトムアップ設計技法－検討図を実体化し、検討図別に個別に検討し、後追いで DMU を定義するため、全体調整が後追いとなる－を対象に改善がなされてきた。

第二の課題は V 字プロセスに沿った検討過程の構造化が不十分であり、検討図別の支援で留まっていることである。MBSE では各段階で定義する概念を要求＝機能＝論理＝物理モデルで区分し、各モデル間を超越する判断過程の意味、判断過程を媒介する各モデルの記述形式・PLM の機能との関係を明確化しているが、オブジェクト間の関係定義のみでは、IDEF/DFD/E-R 図の定義と同様に分析的・因果的な構図となり、設計者の拡張的な判断過程と製品モデルの形態形成の関係が見えないことが課題となる。

顧客ニーズの早期具体化、スマートな設計では相互に曖昧な状態で多数の設計者の平衡検討が必要であり、設計者の総合的判断・弁証法の過程・志向的活動の支援が必要となる。これにはトップダウン設計過程を対象に支援する必要があるが、PLM の機能で自動化することは不可能である。VPM/WP を利用した設計活動の改革は設計者が暗黙の内に行っているすり合わせの収束性を向上させることが目的となる。

設計活動は VPM/WP を利用したゲームとなるため、製品モデルの熟成過程に沿って設計ルールとして VPM の階層構成と形態、WP の体系と形態を定義し、設計者がルールを利用してゲームを展開する訓練が必要となる。PLM による支援は検討過程を VPM/WP で媒介することが中心となるが、これには製品種別に VPM の階層構成を具体化し、VPM の熟成過程に沿って WP の形態と体系を具体化する必要がある。VPM の実現は意味論、WP の実現は構文論で記述したが、語用論の改革では製品モデルの熟成過程のプロセスイメージを明確化した上で、VPM/WP を利用した共創設計、共創の場を具体化する必要がある。製品モデルの熟成過程ではトップダウン設計の改革を基軸にボトムアップ設計の改革へ繋げる。改革イメージを示すと図 9.1 となる。

トップダウン設計過程は構想・レイアウト計画 (L/O)・装置設計・部品設計で構成され、拡張的な推論が基軸となるため、構想から部品設計に至る過程を VPM の階層構成で継続的に媒介し、熟成過程に沿って WP を変え

ながら検討し、VPM で変更管理を一元的に行う必要がある。VPM は製品全体の最新を継続的に維持するため多角的な検討・レビューが容易であり、全体と部分を相補的かつ段階的に熟成化できる。

概念間の最適化には PLM の機能間の相互連携が重要となる。製品の形態定義では、特に機能・構造・形状の依存関係は大きいので、VPM では機能を CAE・構造を VPLM・形状を CAD で相補的に検討できる設計空間を実現する。ボトムアップ設計はトップダウン設計過程で定義した VPM を継続的に評価・設変を行うことで検討過程の持続性、変更過程のトレーサビリティを向上し、設計者の熟練と製品モデルの熟成の弁証法の過程を媒介し、弁証法の過程の収束性を向上させることが可能となる。

製品モデルの熟成過程のねらいは、設計者の判断形式＝製品モデルの定義形式＝PLM の機能をカプセル化し、**すり合わせ**を媒介することだが、これには VPM の階層構成を検討結果の入れ物としてではなく、ゲームの展開－拡張的な推論－を媒介する設計ルールと捉えることが重要となる。これにより VPM/WP を利用することで自ずと設計能力を育成できる環境に繋げることが可能となる。設計ルールの定義では設計者の判断形式＝製品モデルを定義する形式＝PLM の機能のカプセル化が重要となる。

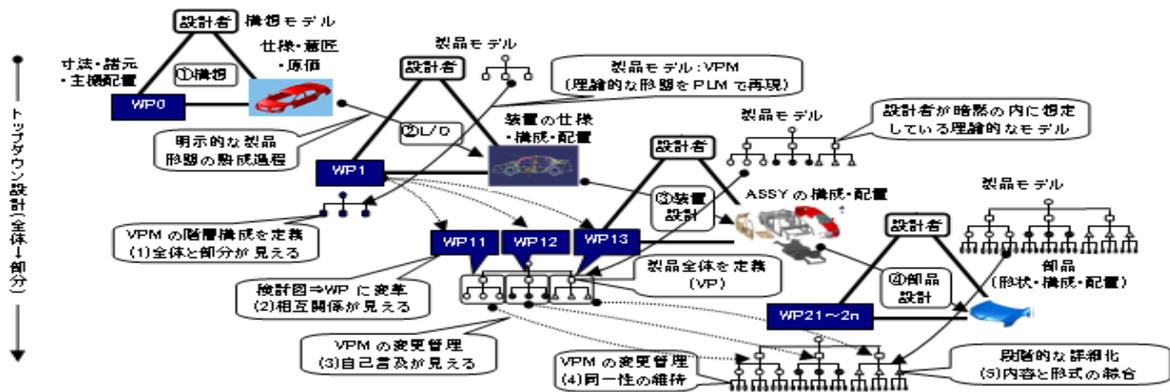


図 9.1 VPM/WP によるトップダウン設計の支援

9.2 共創設計の実現

トップダウン設計過程は仮説が先行し全体が相互関係の中で段階的に詳細化されるため、分析的・因果的には検討は進まない。地と図の関係で全体と部分が相補的に熟成化する。この過程を支援するには、製品モデルを定義する階層構成の相互関係、部品の形態を定義する設計フィーチャの相互関係が見える必要がある。これは検討結果で作成した DMU が見えることとは本質的に異なる。

設計検討は多数の設計者で構成されるゲームであり、ゲームの展開を設計者間で共有化するには、製品モデルの熟成過程と検討図の相互関係を見られるようにする必要がある。検討図によるコミュニケーションでは調整の単位は検討図であり、検討図間の相互関係の調整が限界となる。製品全体の調整が後追いとなり、全体最適化は設計者に依存してきた。また検討図による調整は相互参照に伴う組合せ問題を削減できない。

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

製品が大規模・複雑になるにつれ空間（機能間）・時間（熟成過程）に沿った調整作業は増大するが、VPM/WPを利用することで、図 9.5 に示すように、VPM 全体の最新を見える化し、全体と部分を平衡かつ継続的に検討しながら全体最適化、装置間の相互関係が検証できる設計活動が実現できる。多数の設計者で VPM を共有化し、多数の WP を利用して並行かつ継続的に設計技法を「共創設計」と定義する。設計テンプレート、自動設計などは判断過程を分析的・因果的・循環的な作業にすり替えるが、共創設計では VPM を定義する階層構成を利用し、拡張的な判断過程を基軸に、構想・設計・評価に至る過程で仮説・演算・帰納が段階的かつ継続的に反復出来るため、VPM/WP を利用することで自ずと設計能力を育成できる環境が実現できる。

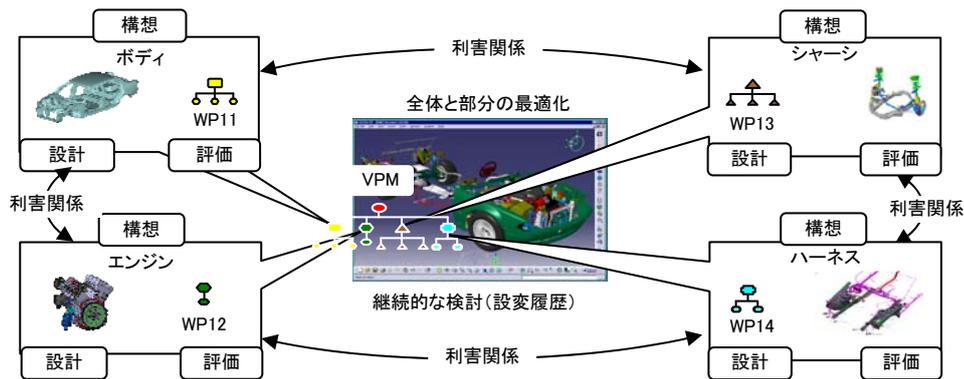


図 9.5 VPM/WP による共創設計の実現

9.3 共創の場の実現

ボトムアップ設計過程では検討範囲が図面別に絞り込まれるため、VPM 全体と部分の相補的な参照は不要となり図面別の変更管理で十分だが、トップダウン設計過程では設計者の熟練—判断内容の絞込み—と VPM の熟成—階層構成の展開と内容の充実—は弁証法の過程と志向的活動が基軸となる。両者を媒介するには VPM の全体と部分の関係を継続的に見えるようにする必要がある。

製品全体と部分の見える化、部分の相互関係の見える化は、階層構成の横の関係—同一レベルの枝葉の組合せ—で再現できるが、VPM の熟成段階に沿った見える化は、同一の VPM の階層構成を段階的に展開し継続的に変更管理することが必要となる。詳細化の過程では同一性を維持—上位の階層の関係を維持した上で段階的に枝・葉を展開—し、各階層で全体と部分を詳細化する必要がある。弁証法の過程・志向的活動の収束性を向上させるには、図 9.6 に示すように、VPM 全体の最新、WP 間の相互関係を見える化し、設計者の熟練と VPM の熟成を媒介できる設計環境が必要となる。これを「共創の場」と定義する。

共創の場の目的は、検討過程の継続性を向上することで設計者の判断と VPM の熟成の弁証法の過程・志向的活動の収束性を向上させることである。これには製品モデルを定義する機能＝構造＝形状の関係をカプセル化し PLM の機能で媒介すること、VPM の構成単位を独立して変更し個別に変更管理が出来ること、VPM 全体の最新と変更過程の差分が見えることが必要となる。

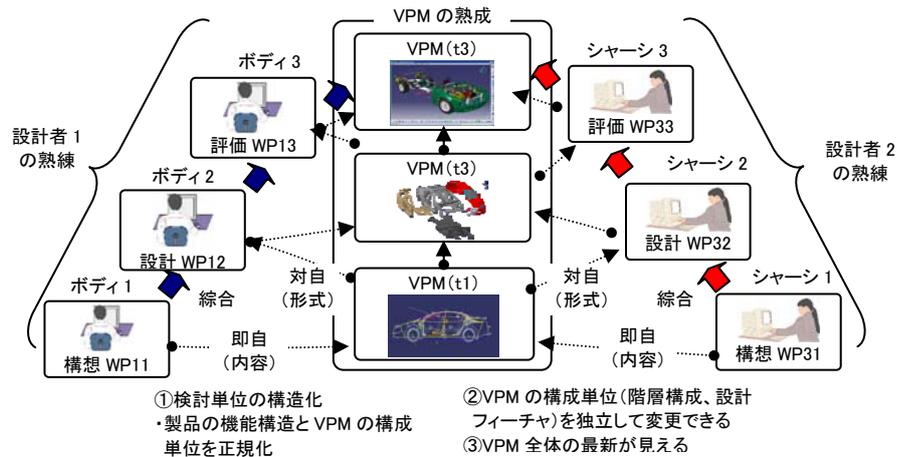


図 9.6 VPM/WP による共創の場の実現

9.4 創作能力を受肉する場

G・ライルは『心概念』でデカルトの心身二元論の過ちを指摘するために、機械の中の幽霊—機械が動く現象を、機械の中の幽霊が機械を操作する形態で説明—を概念化しているが、情報技術は機械の中の幽霊のドグマを確立し世界に広げている。情報技術は処理機能を関数に置換えた上でソフト—機械の中の幽霊—として実体化し、業務機能をソフトの連鎖で代替する。製品の形態を記号で定義する過程をソフトにデータを入力し処理結果を確認する作業に変え、設計者を作業手順に沿ってデータを入出力するデーモンに変える。

情報技術者は創作の結果—製品の形態と形態を定義した手順—を流用・再現・複製する作業をソフトとして実体化してきた。この図式が確立すると設計者は創作を模倣する機会を奪われ、製品の目的を製品の形態に具体化する判断過程を忘れる。情報技術はこのような環境を拡大してきたが、高機能化し高価となっている PLM の機能と実務での適用の乖離は進み、情報技術の利用が逆に設計者の判断力を頹落させる環境の拡大を支援している。

創作活動は総合的判断・弁証法の過程・志向的活動で構成されるが、これは情報技術の枠組—分析的判断・因果的過程・循環的処理—では再現できない。情報技術の誤った利用は、後者で前者を置き換えることで設計活動の存在を頹落させ、設計者に要求される判断力の質を低下させること、創作に必要な判断過程はソフトとしては実体化できないことに注意する必要がある。情報技術による無作為な自動化は、創作の図式を模倣できる環境を枯渇させ、設計者が創作能力を獲得する過程を隠蔽し、狭み撃ち的な判断しか出来ない設計者を増殖させる危険性がある。これは文明を衰退させる図式に繋がる。

フーコーが危惧した規範・規則・体系による支配が拡大している。計算することが出来ない世界—超越論的な判断—が隠ぺいされ、全ての現象が計算可能な世界—論理・数学的な法則—を利用して説明され、世界は規範・規則のジグソーパズルに置き換わる。情報技術の概念錯誤的な展開は、更に知識を獲得する図式を変え、作業手順に従って定型作業を繰返すことしか出来ないデーモンを育成し、構想を行えない設計者の増殖を招いている。

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

情報技術は創作の図式を隠蔽し創作能力を受肉する図式を分断化する。情報技術の概念錯誤的な展開は文明が衰退する図式を強化するため、創作の支援では共創設計・共創の場の実現を PLM の機能で支援することが不可欠となる。PLM の利用と創作能力の育成を両立させるには、設計者の判断形式＝製品を定義する形式＝製品の機能と形態を設計ルールでカプセル化し、これを PLM の機能で媒介できる場が必要となる。これはヘーゲルが『精神現象学』で定義した絶対知への道となるが、情報技術による作業の自動化とは本質的に異なるのである。

9.5 実存論的空間と物理学的空間

ハイデggerは実存を技術－形而上学の末裔で西欧固有のあるものの見方－による支配から解放するために形而上学の系譜を辿り、技術の限界と技術による支配の構図を開示することで、哲学を認識論から存在論に転回する必要性を明確化している。情報技術－技術の完成形態－の概念錯誤的な展開－活動から**すり合わせ**を排除し作業を自動化する－が齎す結果を回避するには、ハイデggerの存在論の理解は重要である。

ハイデggerは世界＝内＝存在と言う概念で実存は実存論的空間での意味に沿って活動すること、技術は物理学的空間で実体と運動を記述することしか出来ないことを区分した上で、物理学的空間の記述では実存論的空間の意味は記述できないことを明確化している。これは設計活動で設計者が製品を定義する際に行っている活動と設計者の判断結果を情報技術を利用して記述する際の違いに対応するが、情報技術者は両者の違いが理解できないため、後者を対象に自動化を行い、これで前者を代替するような支援をしてきた。

情報技術による作業の自動化は**すり合わせ**を排除し、誰が処理しても同じ結果が得られる図式を目指してきた。この過程で創作の図式が隠蔽され、設計者に要求される判断力の質が頹落する。技術は活動に必要な判断力の質を頹落させることで支配を拡大してきた。本論分で記述してきた情報技術の枠組の限界はハイデggerの分析を辿っている。情報技術者による設計活動の改革の最大の課題は実存論的世界と物理学的世界の違いを区分せず、物理学的空間での作業を情報システムで自動化し、これで実存論的空間から物理学的空間へ超越する過程をすり替えてきたことに起因している。このように概念の適用領域を錯誤した展開を G.ライルは「カテゴリー・ミステイク：概念錯誤」と定義したが、設計活動における情報技術の支援は概念錯誤に満ちているが、情報技術者はこれに気付いていない。カントはデカルトの分析的判断から抜け出し、更に理性の暴走に歯止めをかけるために『純粋理性批判』を記述し、拡張的な判断を開示するために、「ア・プリオリな総合的判断は如何にしたら可能か。」を問うているが、設計活動の改革で情報技術者に求められていることは情報技術の語用論である。

「創作－計算出来ない世界－を如何にして情報技術－計算可能な世界しか記述できない－で支援するか。」への回答が求められている。これには設計活動を情報技術の枠組で分析的判断・因果的過程でモデル化し情報技術の機能を追及しても意味はない。設計者は製品の目的－実存論的空間での意味－から製品の形態－物理学的空間での実体－へ至る過程を媒介する。設計活動とは実存論的空間と物理学的空間を橋渡す活動となる。形式の演算ではなく記号の内容と形式を**すり合わせる**過程の支援が重要なことを理解する必要がある。

10. VPM/WP の運用ルール の定義

DMU を実現できている会社は多いが、VPM/WP を利用した共創設計・共創の場を実現できている会社は少ない。これは PLM の機能不足と言うより、設計活動をゲームとしてモデル化し、ゲームを展開するルールとして設計技法・運用ルールを定義できないことに起因している。VPM/WP は設計する製品種、各社の設計ルールに依存する。

運用ルールの基本的な考え方は図面管理（検討図と正式図）・部品表に準ずるが、これらは検討結果を管理するためのルールであるため、検討段階で VPM の階層構成の定義と変更管理、WP の設定と変更管理は新たなルールの定義が必要となる。運用ルールの骨格は、図 10.1 に示すように、Resource : ①秘匿管理、Product : ②部品の登録、③製品の仕様、④製品の構造（構成・配置）、⑤機構・工程、⑥派生管理、⑦その他、⑧設変の履歴、Work Product : ⑨WP の作成と保存、⑩WP の変更管理、Process : ⑪設変の連絡、⑫設計変更の指示、⑬熟成度管理、SOA : ⑭～⑳関連システムの連携がある。

これと平衡して検討過程での公開・非公開の制御、変更管理、変更調整では高度な利用が必要となるため、製品種別に VPM の階層構成と WP の形態を具体化し、CAD/VPLM の操作教育と合わせて設計技法・運用ルールの教育が必要となる。これらのルールは製品種・製品アーキテクチャに依存するため、各社で設定する必要がある。

設計プロセスの標準化は ISO9000 に代表される様に、業務プロセスに沿って文書類を処理する作業の因果的な連鎖でモデル化されており、検討過程の標準化・ルール化は設計者の暗黙知に依存している。VPM/WP の運用ルールの定義では、これらの暗黙知を形式知化する必要があるが、設計者は暗黙知を概念的に説明出来ない為、設計プロセスの改革をリードする人が、設計者の判断過程、改革に利用する PLM の機能を理解した上で運用ルールを定義することが必要となる。

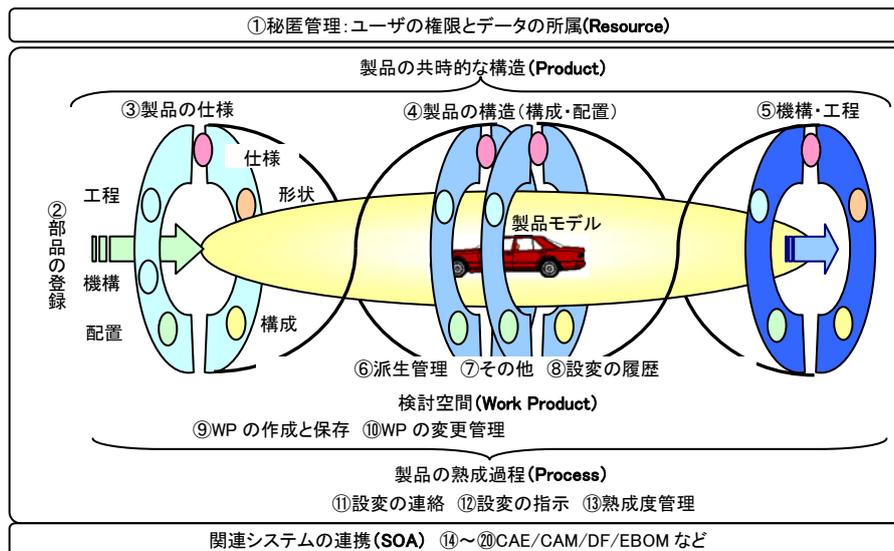


図 10.1 VPM/WP の運用ルールの骨格

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

10.1 Product の運用ルール

共創設計では製品種別に VPM の階層構成の定義が必要だが、階層構成は検討段階に沿って段階的に詳細化されるため、設計段階に合わせた形態の定義が必要となる。後迫いの DMU では EBOM の階層構成を利用することが可能だが、VPM は検討過程で段階的に階層構成を展開しながら内容を詳細化するため、EBOM の構成一確定した製品の階層構成一では役に立たない。また同一部品・装置の配置違い、3D 化の範囲に合わせた定義が必要となるため、VPM としての運用ルールの定義が必要となる。Product の代表的なルールとして部品の登録、製品の構造（構成・配置）、製品の仕様の定義がある。

EBOM/DMU では検討結果の製品の部品構成を定義する為、途中経過の定義は不要だが、VPM を利用した検討では、製品の熟成過程に沿って製品の形態が変わる為、熟成段階に沿って階層構成と製品の形態の対応関係を明確化する必要がある。

(1) 部品の登録

部品は階層構成の単位であり、階層クラスとして製品・モジュール・装置・ASSY・部品で構成される。基本的な考え方は EBOM のルールに準ずるが、VPM では検討過程の階層構成を維持するため、採番ルールは EBOM とは別のルールを加味する必要がある。また VPM では検討過程に沿って中間仮説としての形態を定義するため、この形態を維持するための部品・ASSY・装置の登録が必要となる。更に部品では各種文書類を管理するため、これらの管理形態を考慮する必要がある。

(2) 製品の構造

製品の構造としては階層構成と配置管理が重要である。VPM では同じ部品でも配置違いを考慮した構成の定義が必要となり、配置管理が追加されるため、EBOM より構成管理・変更管理が複雑となる。EBOM では検討結果の構成を維持するため、変更管理は部品単位であり、親子関係の変更管理はしない場合が多いが、VPM では検討過程の管理となるため、構成変更・配置変更に対する変更管理が必要となる。VPM では検討過程に沿って構成を展開するため、自己言及的な構成の定義と形状の分割一Part1 を Product1 に置換え、形状を Part11 と Part12 に分割一が発生する。これを如何に連続的に行うかが重要となる。

(3) 製品の仕様

自動車など同一車種で複数の型式を設定する製品は仕様を定義する。仕様はモジュールまたは装置の組合せで指示する。仕様を定義することで共通の仕様、バリエーションの差分の把握が容易となる。仕様違いの形態を検討するには、仕様別に型式を設定し型式別のツリーを定義する形態から、フィーチャ・バリエーション方式へ切り替えることが有効である。

10.2 Work Product の運用ルール

検討図の作成と変更管理は設計者に任せ、明確なルールを設定していない場合が多いが、WP では検討過程のVPM を設計者で共有化するため運用ルールが重要となる。代表的なルールとして WP の作成と保存、WP の変更管理がある。

(1) WP の作成と保存

WP の作成では検討図の作成ルールを考慮した WP の採番ルールが必要である。WP のツリーは製品ツリー、意匠データ、周辺データを仮想的に参照し、参照データに重複がない形態で作成する必要がある。検討過程をレビューするため DR 用ツリーを定義する。

(2) WP の変更管理

変更管理には WP ツリーの変更管理と検討結果の VPM ツリーの変更管理がある。ここでは WP ツリーの変更管理が対象となる。WP ツリーが含む固有の情報に対する変更—参照する階層構成の変更、検討に必要な情報の変更などは WP ツリーとして変更管理する。

(3) WP の相互関係

WP の定義で重要なことは、図 10.2 に示すように、VPM ツリー、意匠データ、周辺データの管理を一元化し、WP はこれらを仮想的に参照し検討結果を VPM ツリーにタイムリーに反映することである。現状の検討図の体系を WP の体系へ置換える必要がある。WP のルールは VPM のルールと検討図のルールを含むため、高度なルールの設定が必要となる。検討過程で設計者が如何に検討図と階層構成を利用しているかを開示する必要がある。

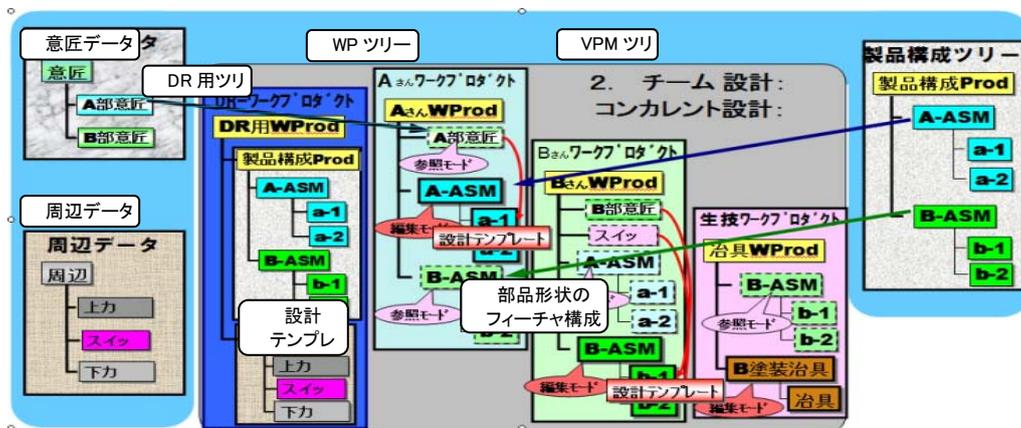


図 10.2 WP の形態

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

10.3 Process の運用ルール

Process の代表的なルールとしては、設計変更の管理、設計変更の連絡、設計変更の指示がある。ボトムアップ設計過程では正式図が出図されるため、変更管理、変更連絡、変更指示は、設変単位別に ECO と図面で実施されるが、トップダウン設計過程では VPM で変更管理、変更調整、変更連絡を行うため、新たな運用ルールの定義が必要となる。

EBOM/DMU などは検討結果の書類を管理する為、プロセスに関連する運用ルールは単純であったが、VPM/WP では検討過程で製品全体の変更管理を継続的に行う必要があり、更に階層構成は検討過程に沿って枝葉を拡げる為、変更管理は複雑となる。特に階層構成を詳細化する過程での変更管理は複雑となる。コンカレント設計を支援する上で重要となる。

(1) 設計変更の管理

正式図の出図以降の変更管理は図面管理システムで行うが、VPM では構想から部品図の出図に至る過程の変更管理が重要となる。この段階では正式図が出図されない状態で変更が進むため、変更管理・進捗管理を VPM の階層構成で行う必要がある。特に変更管理では形状・構成・配置の変更管理を行う必要がある。これらの変更は相互参照している WP に影響するため、VPM で変更管理を行うと共に最新の設変状態と熟成度を管理し、公開・非公開の制御を行う必要がある。また正式出図後に VPM の変更管理をどこまで行うかも重要な問題である。

(2) 設計変更の連絡

検討過程では未確定の情報を相互参照しながら平衡検討するため、公開できる時期の制御は重要となる。VPM を定義する VPLM ソフトの機能に依存するが、変更データを保存するタイミングで相互参照を行っている WP に変更マークを表示することができる。変更連絡で重要なことは相互参照を行っているデータに対する公開・非公開の制御である。

公開時期が遅すぎると平衡検討の効果は薄れ、早すぎると変更調整の増加に繋がる。熟成度管理を考慮した運用ルールが必要となる。VPM/WP を利用した並行検討の可否は設計変更の管理に依存するため、バージョン管理・リビジョン管理をどこまで細かく行うかが重要となる。

(3) 設計変更の指示

VPM では検討過程・検討完了のデータを維持するが、出図データは別途、正式図庫－正式図のデータベースで管理を行う。出図時の設計変更の指示は正式図を管理する図面管理システムで行うが、出図処理時に VPM から図面管理システムへのデータの接続が必要となる。出図形態－ECO・部品図・ASSY 図・部品表データなどのは図面管理システムの運用に順ずるが、VPM ではこれらを考慮した運用ルールの定義が必要となる。

11. 改革の実施

VPM/WP による改革の目的は、顧客ニーズの早期具体化による提案力の強化、スマートな設計の支援、QCD の総合的な改革、製品イノベーションの支援である。

11.1 基本的な効果

トップダウン設計は製品全体と部分、装置間・装置と部品・部品間の関係が未確定のため相互調整の範囲・調整経路は多くなる。効果の基本的な考え方を図 11.1 に示す。

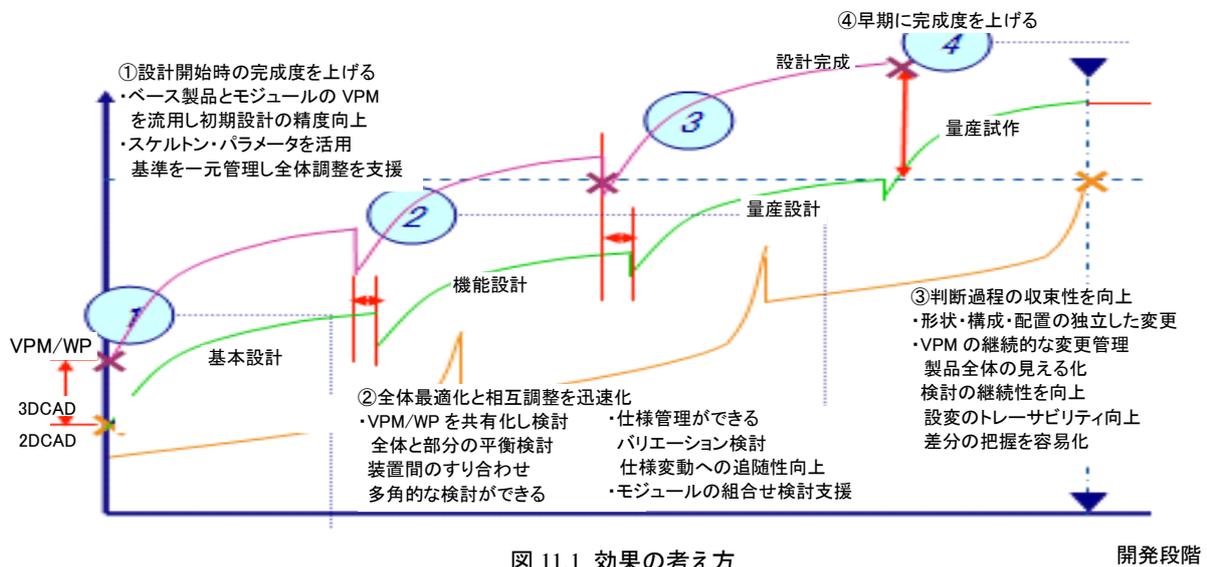


図 11.1 効果の考え方

① 設計開始時の完成度を上げる

ベース製品・モジュール・装置のVPMを流用し、初期設計の精度向上、顧客ニーズの早期具体化を支援する。またスケルトン、パラメータを活用し、基準情報一意匠・寸法・主要装置の配置などを一元管理し、意匠・性能・構造の段階的な全体調整を支援する。

② 全体最適化と相互調整を迅速化

VPM/WPを共有化し検討することで全体と部分の最適化、装置間のすり合わせ、多角的な検討を支援し、スマートな設計を実現する。またVPMの仕様管理でバリエーション検討・仕様変動への追従性を向上する。

③ 判断過程の収束性を向上

VPMを階層構成で定義することで構成要素—形状・構成・配置—の独立した変更が可能となり仮説での平衡検討が容易となる。またVPMの継続的な変更管理を行うことで製品全体の最新が見える化し、相互調整の迅速化・検討の継続性向上・設変のトレーサビリティ向上・差分把握の容易化が図れ判断過程の収束性を向上できる。

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

④早期に完成度を上げる

VPM を介した設計者間のコミュニケーション支援で検討図間の相互参照に伴う調整と設変に伴う調整を迅速化し、製品の完成度を早期に上げることが出来る。大規模・複雑な製品に関連する設計者・サプライヤの数が多く、また開発期間が長期となり開発段階の区分、出図前の変更の数が多い多いインテグラル型製品ほど効果は大きい。VPM/WP による改革の基本的な効果は図 11.1 に示したが、製品の基本仕様・構造・原価はトップダウン設計過程で大方決まるため、この過程での検討の迅速化・精度向上が重要となる。フロントローディングは昔から提唱されているが組織的な対応—因果的過程を基に意思決定の順序と時期を制度化—が中心となってきた。

共創設計・共創の場を実現することで仮説での平衡検討を早期化し、段階的に詳細化しながら全体と部分の調整が出来るため実質的なフロントローディングが出来る。DMU による後追い調整で生じていた手戻りを撲滅することで、図 11.2 に示すように、顧客ニーズの早期具体化、品質と原価の早期達成、開発期間短縮の支援が可能となる。インテグラル型の製品では先行開発した装置・ベース製品を VPM 化し、モジュラー型の製品ではモジュールを VPM 化し、製品の全体枠組をスケルトンで定義することで、更に設計開始時の完成度を上げ、フロントローディングを加速できる。

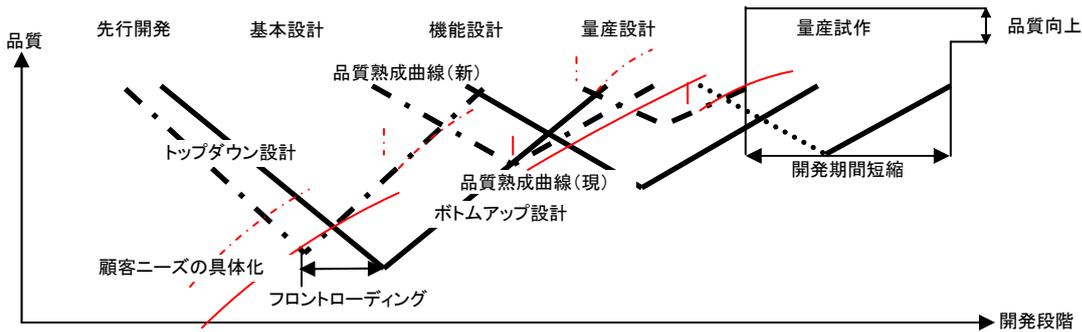


図 11.2 フロントローディングの支援

11.2 進め方

VPM/WP による改革は、第一に設計プロセス改革—VPM/WP を中核とした設計プロセスのイメージ確認と実製品での適用形態の確認および効果の予測—、第二にプロトタイプ検証—設計プロセス改革で定義した改革施策の実務での実現性・操作性・効果などを実機で検証する—toに区分される。進め方を示すと図 11.3 となる。

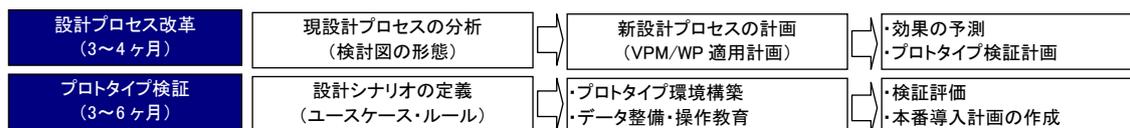


図 11.3 共創設計の導入の進め方

(1) 設計プロセス改革

設計プロセス改革は、製品モデルの熟成管理のイメージを計画するため、構想から部品設計に至る検討過程の課題分析、VPM/WP を利用した設計プロセスの計画、改革施策を計画し効果を予測する必要がある。このため製品種別に設計プロセスが理解でき、更に検討過程で利用する検討図別に検討過程と PLM の機能の関係・課題を構造的に分析し、改革施策を計画できるコンサルタントが必要となる。ヒアリングの相手は設計者が中心となる。

(2) プロトタイプ検証

改革施策の実現性をプロトタイプで検証する。トップダウン設計過程を中心に主要な検討図を選定し、設計シナリオの定義、ユースケースと運用ルールの設定、データ整備—試行用の VPM/WP データの準備、操作教育を行い実機による検証を行う。実務での適用性・操作性、設計技法・運用ルールの骨子の理解、効果の確認を行う。

プロトタイプ検証では効果の確認と合わせ、実務での適用性の確認が重要である。設計の実務に沿って主要な検討図を選定し VPM/WP を利用した検討を行うため、設計シナリオの設定ではベテラン設計者、ユースケースの設定では若手設計者、実機による評価では CAD オペレータの参加が必要となる。これと並行して運用ルールの骨子を検討する。プロトタイプ検証では製品種に合わせ VPM の階層構成を定義し、検討図の形態を WP に変更した上で VPM と WP の検討単位を一元化するなど高度な運用ルールが必要となる。VPM/WP は事務システムと異なり検討過程を支援するため機能の実現と操作確認ではなく、検討過程で利用出来るようにする必要がある。

11.3 実施体制

設計プロセス改革、プロトタイプ検証では分析の粒度が異なるため、各フェーズでプロジェクトに参画するメンバーを選定する必要がある。実施体制を表 11.4 に示す。

表 11.4 プロジェクト体制

項目	参加者	スキル
設計プロセス改革	リーダー	<ul style="list-style-type: none"> ・設計プロセスと検討図による検討過程が理解できる ・検討過程と PLM の機能の関係が分かる
	メンバ 1	<ul style="list-style-type: none"> ・検討過程を PLM の機能で具体化できる ・改革施策の文書化・効果の計画が出来る
	メンバ 2	<ul style="list-style-type: none"> ・PLM ソフト(CAD/VPLM)の機能が理解できる ・PLM ソフト(CAD/VPLM)を考慮した文書作成が出来る
プロトタイプ検証	リーダー	<ul style="list-style-type: none"> ・設計プロセスが理解できる ・設計プロセスを PLM の機能を利用したシナリオに展開できる
	メンバ 1	<ul style="list-style-type: none"> ・上記のシナリオと PLM の機能を基にユースケースが定義できる ・運用ルールの骨子が定義できる

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

	メンバ 2	<ul style="list-style-type: none"> ・PLM ソフト(CAD/VPLM)が操作できる ・関連者に PLM ソフト(CAD/VPLM)の操作指導ができる
	メンバ 3	<ul style="list-style-type: none"> ・PLM ソフトの環境設定とテラリングが出来る

(1) 設計プロセス改革

設計プロセスの本質に関わるため、設計業務に関する知識と PLM の機能でも CAD/ VPLM に関する知識が不可欠である。設計業務では構想から部品設計に至る検討過程の理解が必須であり、PLM の機能でも実務での適用を理解できる知識が不可欠である。お客様の体制としてはベテラン設計者の参画が不可欠である。

(2) プロトタイプ検証

設計シナリオを定義するチームと実機で検証するチームが必要となる。前者は対象とする検討図で検討する内容・課題を確認した上で設計シナリオを定義するため、ベテラン設計者の参画が必要である。後者では設計シナリオに沿って実機での検証を行うため、CAD/VPLM の操作が出来る体制が必要となる。IT 部門の役割は試行環境の整備、操作教育、試行用の VPM/WP の設定、運用ルールの骨子、ユースケースの設定となる。

11.4 業種別の適用状況と課題

3DCAD/PDM の浸透で後追いの DMU は定着しているが、VPM/WP を利用し多数の設計者で製品全体を共有化した上で全体と部分を並行かつ継続的に詳細化する設計環境を実現できている会社は少ない。ここでは自動車・商船を例に適用状況と課題を整理する。

(1) 自動車での適用事例

自動車開発ではトップダウン設計の結果を集約し、EBOM の部品構成を利用して後追いで DMU を作成し、隙間・干渉を確認することで、ボトムアップ設計過程での設計変更を削減する支援は確立し、チーム設計の適用などで段階的に DMU を作成する時期が早期化されているが、DMU 作成の早期化と、構想段階から部品設計に至る過程を VPM/WP で媒介することの違いを理解できている会社は少ない。VPM/WP の目的は製品モデルの熟成過程に沿って VPM/WP を相補的に利用することで、創作の図式を維持した上で、段階的に詳細化する過程を媒介することである。更にトップダウン設計で定義した階層構成を継続的に設変することで検討過程の連続性を向上させ、各段階での V 字プロセスの幅を狭め、高さを押さえることが可能となる。自動車では、図 11.5 に示すように、モデル固定までに意匠面が数回変わり、V 字プロセスが反復するため VPM/WP による支援は有効である。自動車への適用課題は部品の共通化への対応となる。自動車ではモジュール・装置・ASSY・部品と任意の階層で部品の共用化が行われ共用化率も高いため、構成・配置の共有化と設計変更への対応が重要となる。

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

船舶設計の最大の課題は見積設計から基本設計に至る過程で早期に船主ニーズを反映することである。これを支援するために見積設計から基本設計を VPM/WP を利用する改革が進められている。見積設計で船主ニーズを早期に確認することで、基本設計の手戻りを削減し、早期に詳細設計に移行できるが、3D 化の戦略—検討段階に合わせて段階的に 3D 形状の粒度を上げる—が重要となる。課題としては基本設計から詳細設計へ移行する過程で船殻の 3D データを如何にスムーズに船舶専用の CAD に接続するのだが、見積設計から基本設計で船主ニーズの変動を早期に解消できるため、基本設計段階でのデータ変換に伴う作業を十分に吸収できる。残された課題はタイプシップのデータをどの段階・どの CAD で維持するかである。

12. 創造能力の育成

ものづくりの原点は芸術家（解釈項）が作品（指示対象）を記号（記号媒体）で創作する活動であり記号過程となる。創作活動をモデル化する上で重要なことは、設計活動を行う過程で設計者が創作能力を自ずと育成出来る図式でモデル化することである。

12.1 創作の図式

ものづくりの原点は作曲を例にすると、図 12.1 に示すように、作曲家（解釈項）＝楽譜（記号媒体）＝響き（指示対象）で構成される記号過程であり、三者の関係を楽器が媒介する。作曲家は響きを聴き、楽譜を勉強し、楽器を演奏することで楽譜の形式で響きを構想できるようになる。楽譜は響きを正確に再現し、楽器の演奏は響きと楽譜の形式を操作知化し作曲能力の育成には不可欠である。作品を創造する基本的な図式—構想＝表現＝評価—は模倣の反復でしか育成出来ない。



図 12.1 芸術活動の構図

一方、情報技術者は楽器を弾けなくても作曲出来ることを目的に自動演奏楽器を開発し、これを大衆作曲家に与えるような改善を繰り返して来た。自動演奏楽器の過剰な提供は楽譜の切り貼り＝自動演奏楽器への入力＝結果を評価するモグラ叩きしか出来ない作曲家を増殖し、楽譜の形式で曲の響きを構想できる作曲家を根絶にする。自動演奏楽器は楽譜＝楽器＝響きの反復を省略することで、創作の図式—響きの仮説を構想し、仮説を楽譜で表

現し、逆に楽譜の形式で曲を構想する一を分断化する。

創作のモデル化では道具の利用が自ずと創作の図式を模倣し、創作能力の育成に繋がるのが不可欠だが、これには作品の熟成過程に沿って芸術家の判断形式＝作品の定義形式＝描画対象の形態を記号過程としてモデル化し、これを道具で媒介する形態が必要である。設計活動では楽譜は製品モデル、楽器は PLM の機能に対応するが、設計者の判断形式＝製品モデルの定義形式＝PLM の機能の関係は音楽の世界ほど一元化されていない。

12.2 創作能力が頹落する過程

情報技術では総合的判断・弁証法の過程・志向的活動は自動化出来ない為、この過程で定義した結果を再現する作業を分析的判断・因果的過程・循環的处理でモデル化することで、若手設計者に作業手順に沿ってモグラ叩きを行わせる設計環境を拡大してきた。若手設計者は創作の図式を模倣する機会を奪われ、設計テンプレートを利用して入力＝処理＝出力を繰返し、狭み撃ち的判断しかできないデーモンと化す。最終的には設計者の排除を目指すという自己矛盾した展開となってきた。

情報技術者による改善は、図 12.2 に示すように、作曲の図式を演奏の図式にすり替え、演奏を自動演奏楽器に置換えた上で作曲家に自動演奏楽器を与えているに等しい。作曲の過程は楽想－響きの構造－を楽譜の形式で具体化する総合的な判断だが、自動演奏楽器は楽譜を演奏手順と見做し、楽譜を入力に響きを再現し、再現した結果を楽想と比較する。両者では同じ楽譜・楽器を利用するにしても判断形式は本質的に異なる。作曲は響きと楽譜のすり合わせだが、演奏は楽譜を響きに変換するのみである。

PLM の機能は高度化しているが、誤った利用は分析的・因果的・循環的な世界を拡大し情報の消費しか出来ない設計者を増殖する。「構想設計が出来ない設計者が増えている。」と言うベテラン設計者の叫びは拡大しているが、情報技術の誤った利用は創作能力を頹落させる。同じ PLM の機能でも制作の図式を支援するのか、創作の図式を支援するのかで情報技術の役割と利用形態および効果は異なり設計者の位置づけも変わる。情報技術者による概念錯誤的な展開に終止符を打ち、設計者を芸術家・匠の役割に戻すことが、VPM/WP によるトップダウン設計のイノベーションの目的である。これには作曲の図式を維持した上でこれを PLM の機能で支援する環境を構築する必要があるが、これは PLM の機能というより、設計活動を如何にモデル化するかの問題なのである。

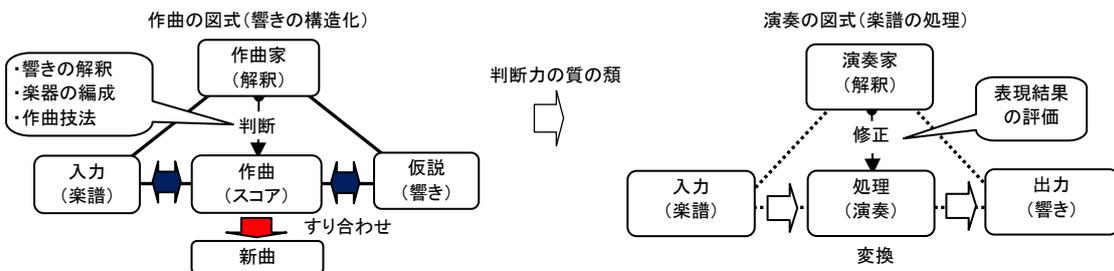


図 12.2 自動演奏楽器への置換え

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

12.3 ゲームを展開する能力の育成

設計活動の頽落を防止するには、設計活動を設計ルール-VPM を定義する単位と設計者の判断形式をカプセル化—を利用して VPM を描く言語ゲームとしてモデル化することが有効となる。製品の目的を階層構成の枠組にすり合わせる過程が含む論理的な関係を継続的に検討し、表現形態の定義では同一概念を仮説検証型の判断で詳細化するため、階層構成は仮説（枠組の定義）＝演算（枠組の詳細化と内容の充実）＝帰納（内容の評価）を媒介する必要がある。階層構成が同一性を維持しながら内容を充実化し変容する。

階層構成の枝葉の関係は、図 12.3 に示すように、将棋盤の駒の関係と同じである。駒の重み付け、駒を動かす優先順位はあるが、駒の動きは将棋盤の相手の駒のパターンと自分の駒のパターンを考慮し、相手の駒の動きに対して次の手を打つ。この過程は因果的過程ではない弁証法の過程となる。将棋の途中経過は仮説＝演算＝帰納の繰返しであり、常に将棋盤の駒の全体の中で一つの駒の動きが決まる。駒間の関係は非線形であり、駒の配置パターンの中で一つの駒が動き、駒の動きは全体に影響する。

トップダウン設計での階層構成の葉（部品）は駒に対応している。棋譜はゲームの展開を将棋盤の駒の配置で記述するが、駒の相互関係を把握するには解釈が必要となる。設計手順に沿った作業は棋譜を基にゲームを駒の配置で因果的に辿る過程と言える。一方、ゲームの展開は確定した棋譜を枱目の座標で論理演算する作業ではない。ゲームを構成する駒は相互依存関係を成しており因果的には動かない。棋士の理念・対戦相手の駒の動き・ゲームの展開と状況の解釈のすり合せの過程となる。

情報技術者はゲームの結果をルールの因果的な連鎖、枱目に沿った駒の配置の移動で説明するため、設計者がゲームを行う際にルールを拡張的に利用する判断過程を隠蔽してきた。ゲームの展開は関数の因果的な連鎖と演算の自動化では表現出来ないこと、設計活動はルールを拡張的に利用した判断過程であり、ルールの定義とゲームのシナリオに沿ってルールを拡張的に利用しゲームを展開することは異なることを明確化する必要がある。将棋ソフトは棋譜を駒の配置パターンの確率を計算する為に利用するが、棋士はゲームを駒の関係で多層的に構造化しゲームを拡張的に展開する。両者ではゲームの展開に対する判断過程が異なることを理解する必要がある。

9	8	7	6	5	4	3	2	1
皇	将	龍	馬					皇
	王		馬				王	
	香	香	香	香	香	香	香	
				龍				
			歩		歩			
歩	歩	銀	歩		銀	歩	歩	
	歩	銀	歩		歩	歩	歩	
	玉	金				飛		
香	桂				金	桂	香	

- ・戦場: 将棋盤(有限な空間)
- ・将棋のルール: 命題体系
規定的に利用されるのではなく構成的に利用される
- ・駒の関係: 駒間の相互関係
- ・相手の駒との弁証法の関係
- ・戦況の把握(予測と駒の展開)
- ・将棋と言う言語ゲーム
- ・将棋盤はゲームの展開を媒介
- ・棋譜は総合的な判断過程の系譜であり、手順ではない

図 12.3 ゲームの展開

勝負に強くなるにはゲームを展開する能力を多層的に構造化する必要がある。ゲームを展開する能力は、表 12.4 に示すように、ゲームの展開シナリオ＝基本戦略＝基本戦術＝基礎力＝ルールで構成される。カントの言葉を借りるとルールは悟性、戦略・戦術は判断力、ゲームを展開するシナリオは理性の役割に対応する。ルールは規範であり、詰め将棋はゲームの展開に合わせた総合的判断・弁証法の過程・志向的活動の訓練であり、棋譜の参照はゲームの展開シナリオと戦略・戦術の関係を習得することに関連する。棋士はゲームを展開する過程でこれらの能力を受肉する。

設計者の能力も棋士の能力と同じ形態でクラス分けする必要がある。設計能力のクラスをボトムアップに見ると、表 12.4 に示すように、基本ルールは製品アーキテクチャの理解、基礎力は部品設計－部品の機能と形態の関係の理解－、基本戦術は装置設計－装置の機能構造と部品の関係の理解－、基本戦略は製品設計－製品と装置の関係の理解－、製品イノベーションは製品種固有の存在を開示しながら、新製品を構想＝設計＝評価を反復しながら創作する過程となる。設計者は段階的に設計能力を育成する。

将棋ソフトはルール・詰め将棋・基本戦術・名人の棋譜などを多層的に利用し、次の手を選択する高度な機能を実現しているが、判断過程は狭み撃ち的判断が基軸である。棋譜を手順として利用することで応用力がない棋士を育てる環境が拡大する。手順はゲームの展開結果を辿るのみだが、情報技術者は設計ナビゲーション、設計テンプレートを開発することでゲームの展開を手順に沿った作業に置換えてきた。

設計というゲームを展開するルールは多種・多層的であるため、ゲームを展開する判断過程をソフトで自動化することは不可能に近い。これまで設計者は OJT でこれらの能力を暗黙知化してきたが、情報技術者はゲームを展開する能力の育成ではなく確定した手順の反復を効率化する支援を繰返してきたと言える。PLM の支援では、名人の棋譜を基に駒の動きをナビゲーションするようなシステムを与えることで、ゲームを展開する能力を模倣する環境を破壊しないことが重要である。

設計能力の育成はボトムアップに基本ルールから進むが、ゲームの展開ではトップダウンに展開する必要がある。創作活動では知識をトップダウンに展開出来る訓練が必要となる。ベテラン設計者は直観的に設計能力をトップダウンに展開出来る。若手設計者はボトムアップに知識を辿ることしか出来ない。情報技術の支援は知識の展開を暗黙の内にボトムアップに辿るため創作活動を隠蔽する危険性を孕んでいるのである。

表 12.4 設計能力の育成

将棋		設計	
基本ルール	駒の配置と動き	基本ルール	製品アーキテクチャの理解
基礎力の育成	詰め将棋	部品設計	部品の機能と形態の関係の理解
基本戦術	樽・中飛車など	装置設計	機能構造と部品の関係の理解
基本戦略	名人の棋譜	製品設計	製品と装置の関係の理解
ゲーム展開シナリオ	対局の繰返し	製品イノベーション	構想・設計・評価の反復

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

12.4 絶対知への道

設計活動は将棋の展開と同じであり、製品の機能構造の関係は将棋の駒間関係となる。将棋の展開は駒間の相互関係のパターンの変容過程となる。自分の駒の配置パターンと相手の駒の配置パターンは、図 12.5 の左に示す、エッセイの描きあう両手関係であり、ゲームの展開は総合的判断・弁証法の過程・志向的活動となる。駒は将棋盤の升目に沿って動き棋譜はゲームの展開を升目で記述するが、棋士はゲームの展開を駒の関係で判断するのである。

ゲームの展開を支援するには将棋盤の升目による駒の配置関係ではなく駒間の依存関係が見える必要がある。駒間の関係は動的に変動する。相互に曖昧な状態で平衡検討を行うには駒間の組合せ問題が伴い、依存関係は動的に変容するため、エッセイの描き合う両手—総合的判断・弁証法の過程・志向的活動—の見える化が必要となる。VPM の熟成は設計者の熟練に依存し、設計者は創作の過程で熟練する。この図式を維持することが重要である。

情報技術者はゲームの結果を、棋譜を基に再現する作業を自動化する。ゲームの展開がソフトに棋譜を入力する作業に置換わる。情報技術者は名人の棋譜を再現するナビゲーションシステムを素人の棋士に与える様な改善を繰り返してきた。ナビゲーションシステムは棋譜を基に次の駒の配置を教えるが、棋士が駒の関係を判断する過程を隠蔽し、多層的な能力を模倣する機会を奪う。また棋譜をベースとした自動化は後追いとなり、結果的にウロボロスとなるが、ウロボロスでは新たな価値は創造出来ない。

VPM/WP の利用で自己言及的に内容を詳細化できる設計プロセスが実現できる。判断の絞込みには設計者の熟練が不可欠である。創作の過程では設計者の熟練と VPM の熟成は必然的に弁証法の過程となる。情報技術は弁証法の過程を部分的な自動化で分断化し絶対知への道を寸断してきた。VPM/WP による支援の目的は弁証法の過程を媒介することだが、ゲームの展開シナリオを基軸に、設計者の判断形式 (WP の体系と形態) = VPM の定義形式をゲームのルールで一元化し、ゲームの展開を VPM/WP で媒介することで設計者が創作能力を絶対知する過程を持続的に維持できる設計環境の実現が不可欠である。

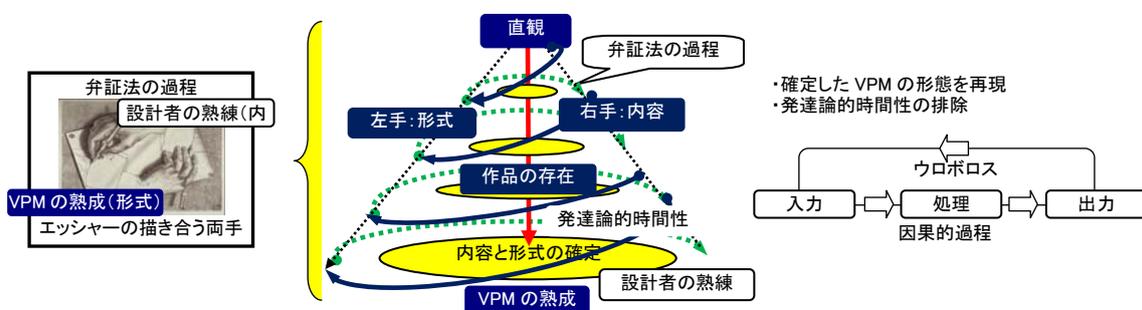


図 12.5 創作能力を絶対知化する道

12.5 デーモン化の防止

ものづくりの世界でもトップダウン設計過程では情報は因果的には流通しない。製品モデルを定義する命題体系から階層構成に至る過程で内容と形式をすり合わせし、志向的に内容を充実化する。これを情報技術の枠組で分析的判断・因果的過程・循環的処理に置換える過程で、総合的判断・弁証法の過程・志向的活動が隠蔽される。情報技術の誤った利用は活動に要する設計者の判断力の質を頹落させ、設計者は情報システムにデータを IO するデーモンと化す。

情報技術による自動化は市場ニーズの変動が少なく製品の形態が大幅に変わらない時代には有効だが、これはもろ刃の剣であることを理解した上で利用する必要がある。自動化は短期的な効果は得られるが、長期的には製品の形態を拘束することで競争力のない商品に繋がり、検討過程を拘束することで設計者の創造能力の育成を阻害する。

トレッカーが登山家、版画師が画家、演奏家が作曲家に成れないように、名人の棋譜を真似して手を指しても名人には成れない。同様にベテラン設計者の設計手順を辿って流用設計を繰返しても構想が出来る設計者には成れない。設計活動の支援では設計者がベテラン設計者の手順を辿ることではなく、製品モデルの熟成過程に沿って内容と形式をすり合わせるゲームを展開できる能力の育成が不可欠なのである。

演奏家は楽譜が読め、楽器が演奏でき、スコアを解釈し理想的な演奏ができるが、有名な演奏家が必ずしも作曲家ではないように、両者の間には大きな断層がある。この断層を理解しない限り創作能力の育成は出来ないし、道具の利用が自ずと創作の支援と創作能力の育成を両立させる環境は構築できない。情報技術者には「**計算可能な世界で計算出来ない世界を隠蔽するのではなく、計算出来ない世界を計算可能な世界しか再現できない情報技術で如何に支援するのか。**」が問われているのである。

情報技術は制作の図式・消費の図式を基軸に、確定した作業を対象に効率化・迅速化・無駄の削減・グローバル化など経済原理に基づいて作業を改善するため、モデル化の枠組はデカルトが確立した分析的判断、ニュートンが力学で確立した因果的時間性がベースとなる。経済と技術は確定した作業を計算可能な世界に置換え、計算可能な世界で効率化・迅速化を図る。コンピュータの性能を向上させる施策が全ての活動に応用され、同じ視点で人間の能力が評価される。

一方、設計者は設計活動の中で解釈項（判断形式）＝指示対象（製品の機能と形態）＝記号媒体（製品モデルを定義する形式）の三位一体の関係をカプセル化し、記号過程を反復することで三者の関係を絶対知化する。この過程はカントが開示した総合的判断・ヘーゲルが開示した弁証法の過程・フッサールが開示した志向的活動が基軸となる。ものづくりの原点に回帰するには、情報技術の視点—制作・消費の図式を自動化し効率化を図る—を「エポケー」し、創作の図式をベースとした設計活動を支援する為に、「カントに帰る」ことから始める必要があるのである。

13. ものづくりの本質と存在を構造的に理解する

ものづくりの本質と存在を理解するには情報技術の枠組では不十分なことを見てきたが、AI の展開で認識論的なアプローチ判断過程を、命題を利用した推論で再現ーが失敗した様に、認識論的なパラダイムは設計者の創作活動の存在を辿れない。創作活動の結果（影画）の外徴をなぞるだけである。設計活動の本質である創作を支援するには設計活動をモデル化するパラダイムをシフトする必要がある。

設計プロセスはトップダウン設計過程とボトムアップ設計過程で構成される V 字プロセスをなし、両者の過程を製品モデルが媒介し、V 字プロセスが反復することで製品モデルが熟成する。トップダウン設計は総合的判断が基軸であり、概念駆動型の判断・弁証法の過程・志向的活動が伴う記号過程である。一方、ボトムアップ設計は分析的判断が基軸であり、データ駆動型の判断・因果的過程・循環的処理が伴う情報処理となる。

両者の過程を PLM の機能で支援してきたが、情報技術者はボトムアップ設計の効率化・迅速化を中心に支援し、トップダウン設計はベテラン設計者に依存してきた。トップダウン設計の支援には**すり合わせ**の存在構図を理解することが不可欠だが、これには情報技術の視点をエポケー—端括弧に入れて利用を停止—し、図 13.1 に示すように、カント・ヘーゲルのパラダイムとデカルト・ニュートンのパラダイムの違いを理解することから始め、設計活動をモデル化する枠組の脱構築から PLM の利用形態の改革へ繋げる必要がある。

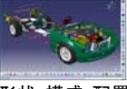
トップダウン設計過程	製品モデル (VPM)	ボトムアップ設計過程
カント・ヘーゲルのパラダイム <ul style="list-style-type: none"> ・ 総合的判断 ・ 概念駆動型の判断 ・ 弁証法の過程 ・ 志向的活動 ・ 記号過程 	概念・命題体系  アーキテクチャ	デカルト・ニュートンのパラダイム <ul style="list-style-type: none"> ・ 分析的判断 ・ データ駆動型の判断 ・ 因果的過程 ・ 循環的処理 ・ 情報処理
PLMの利用形態 <ul style="list-style-type: none"> ・ 構想・設計・評価を支援 ・ 仮説・演算・帰納を支援 	製品モデル  形状・構成・配置	PLMの利用形態 <ul style="list-style-type: none"> ・ 分析的推論の自動化 ・ 演算過程を支援
処理対象 <ul style="list-style-type: none"> ・ 製品形態、製品定義: ・ 階層構成+設計フィーチャ 	設計フィーチャ  形状要素	処理対象 <ul style="list-style-type: none"> ・ 業務で利用する文書類 ・ 製品定義:図面・部品表
ねらい <ul style="list-style-type: none"> ・ 判断過程の支援 ・ スマートな設計支援 ・ QCDの総合的な改革 		ねらい <ul style="list-style-type: none"> ・ 定型作業の支援 ・ 分析的判断の効率化 ・ 因果的過程の迅速化

図 13.1 ものづくりの存在構図と PLM の支援形態

13.1 形而上学の系譜

情報技術の誤った利用が結果的に齎している創作の図式の隠蔽を食い止め、ものづくりの本質と存在を開示するには、情報技術者が暗黙の内に前提としている情報技術の枠組の限界を理解し、これをエポケーする必要がある。これには技術の完成形態である情報技術の本質と存在を理解することから始める必要がある。ハイデッガーは現代社会を支配している技術に対峙するため、形而上学の系譜を分析し、技術は形而上学の末裔であり、ものづくりの客観化はギリシャ哲学に遡ること、情報技術は技術の完成形態であることを開示している。ものづくり

との関連で形而上学の主要な系譜を辿ると図 13.2 となる。本論文ではものづくりが含む多種・多層的な論理関係・判断過程を構造的に理解するためにハイデッガーが辿った道を参考とする。

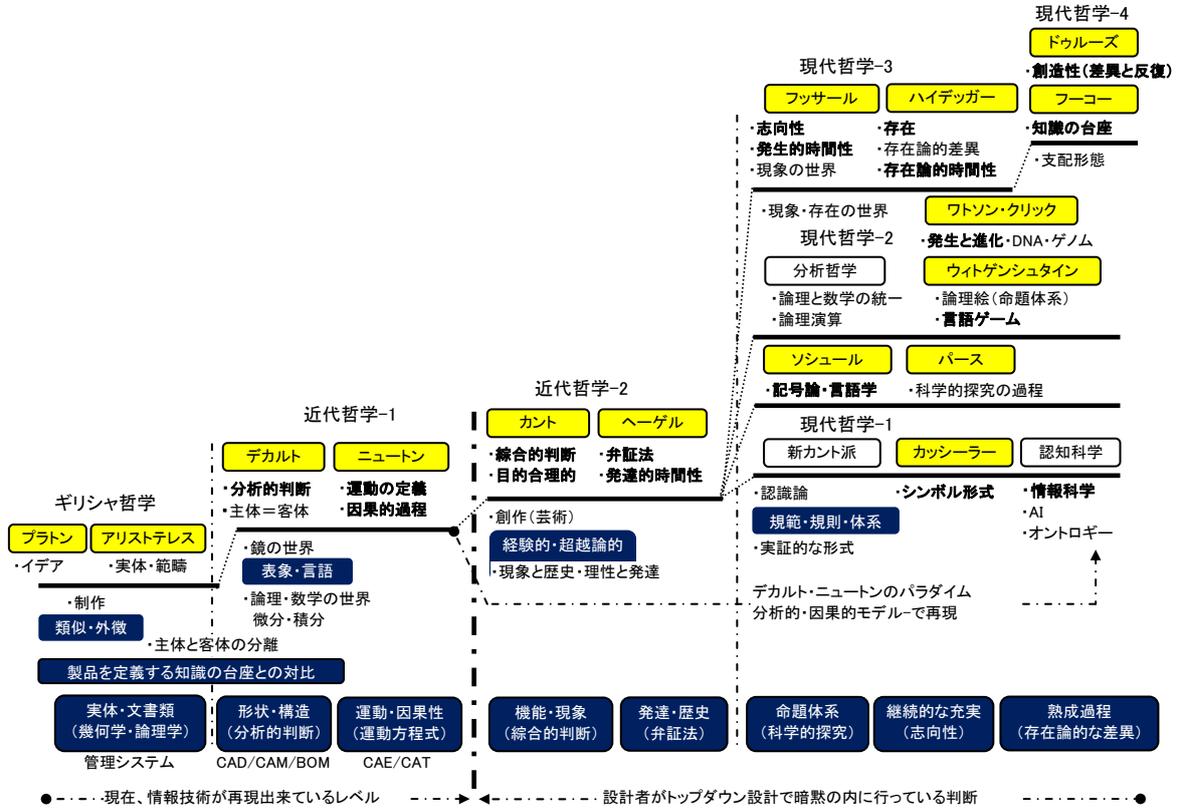


図 13.2 ものづくりと形而上学の系譜の関係

① ギリシャ哲学

ものづくりの原点である「制作」を客観的に把握するには、ギリシャ哲学に遡る必要がある。プラトンは芸術活動をアイデアの模倣と定義し、アリストテレスは在るものを実体として定義し範疇・原因・様態で説明する。ギリシャ哲学は芸術活動を「制作の図式」で説明する。これが技術の起源となる。

② 近代哲学-1

デカルトは実体を主体と客体に分離し主体が客体を論理・数学的な形式で認識する図式を確立する。これが分析的判断の起源である。技術の基本的な図式は分析的判断がベースとなる。またニュートンは運動方程式を確立するが情報の因果的な流通はニュートン力学がベースとなる。技術の図式はデカルト・ニュートンのパラダイム—分析的判断・因果的過程—がベースだが、情報技術は確定した客体を計算可能な世界—論理・数学的な世界—で再現し、逆に計算可能な世界から現象を説明する。情報技術は実在の世界を計算可能な世界に縮減し、判断過程のベクトルを変える。情報技術は制作の図式をサイバースペースに外在化する。

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

③ 近代哲学-2

カントはデカルトの分析的判断—確定した過程を再現—を乗り越えるため、目的を具体化する目的合理的活動、作品を創作する芸術活動、現象を法則で説明する総合的判断を開示する。芸術家は作品を創作する過程で目的（作品の仮説）を設定し総合的判断を行うが、これを理解するにはカントの理解が不可欠となる。ヘーゲルは弁証法の過程で発達論的な時間性を開示するが、作品の創作では全体と部分が曖昧な状態で、相互関係で内容を検討するため弁証法の過程となる。また設計者が判断内容を絞り込む過程を理解するには因果的な時間性では不十分であり、発達論的な時間性の理解が必要となる。

④ 現代哲学-1

カントは主体=客体=関係の構図を確立するが、ドイツ観念論は主体の側面から超越論的な論理を強化する。新カント派はカントの図式を認識論に置換え、主体が客体を認識する図式を確立する。主体の認識—実証的形式—を利用した演算—が全てを決定する。認識論は近代技術の基盤である。情報技術は全てを計算可能な世界に置換え計算できない世界を排除する。情報技術は技術の完成形態であり、全ての存在者をデータに平板化し、実証的形式—論理・数学の法則—で処理する。

⑤ 現代哲学-2

パースはカントの総合的判断・ヘーゲルの弁証法・記号論の視点を総合し、言語活動を記号過程—拡張的な推論過程—としてモデル化し、記号過程を科学的探究の過程—仮説=演算=帰納—で構造化している。記号で作品を創作する過程の理解にはパースの記号論の枠組は重要である。パースは記号を定義する過程を記号表現と記号内容をすり合わせる過程として構造化している。ウィトゲンシュタインは言語活動を、まず論理絵—事態を命題体系で静態的に定義—で分析的にモデル化し、次に言語ゲームで拡張的なモデルに敷衍している。作品を創作する図式はルールを拡張的に利用した言語ゲームとなる。パースの記号論、ウィトゲンシュタインの言語ゲームの応用で、作品を創作する際の主体の判断形式と客体を記述する形式を命題体系の演算に一元化出来る。

⑥ 現代哲学-3

パースの記号論、ウィトゲンシュタインの言語ゲームは判断過程と対象の関係が共時的であり内容と形式をすり合わせる—段階的に内容を充実化する—過程が見えない。フッサールは現象を段階的に認識する過程を志向性で明確化する。芸術家が作品を創作する過程では志向性の理解は重要となる。志向性では内容を充実化する過程は因果的に流れるが、目的合理的活動、創作では目的（仮説）への企投が先行する。ハイデggerは創作に伴う時間性を存在論的な時間性に脱構築する。創作では未来と過去が現在で総合される。ハイデggerは創作を作品が存在を開示する過程—存在論的な差異—で構造化する。芸術活動を主体が客体を定義する作業としてではなく、芸術家の熟練と作品の熟成の相補的な関係としてモデル化するには、ハイデggerの存在論の視点は重要である。

⑦ 現代哲学-4

ハイデッガーは創作の見方を認識論—主体が客体を認識する、関数でデータを変換する—から、作品の熟成過程—作品が道具としての用具性から物理的な形態に至る過程で存在を開示—に脱構築したが、設計者は作品が実存論的空間から物理学的空間へ超越する過程を媒介する。ドゥルーズは創作では存在が差異化する過程が反復することを強調している。ドゥルーズは哲学＝科学＝芸術の三位一体の関係を基に、創造活動を存在論のパラダイムを基に構造化する。設計活動を構造的に理解するには差異と反復は重要である。製品を設計する活動は差異を創り出す活動—構想＝設計＝評価が反復する。

13.2 設計活動との関係

設計活動は V 字プロセスを成し、製品モデルを定義する階層構成が媒介し、階層構成は段階的に内容を充実化する。形而上学の系譜と設計活動の関係を見るとトップダウン設計は目的から具体に至る過程であり、設計者が暗黙の内に行っている判断は、図 13.2 に示したように、形而上学が開示してきた知識の形態の系譜を逆に辿っている。情報技術は知識の形態の系譜を辿る様に実体の定義に始まり、デカルトの分析的判断・ニュートンの因果的過程で留まっており情報技術の枠組で設計者の判断を構造的に理解できないことが分る。

総合はカントの批判哲学、発達はヘーゲルの弁証法、命題体系の演算はパースの記号過程とウィトゲンシュタインの言語ゲーム、継続的な充実はフッサールの志向性、製品モデルの熟成過程はハイデッガーの存在論を理解する必要がある。ボトムアップ設計は実証的な形式化を辿っている。実体・文書類（幾何学・論理）はギリシャ哲学、形状・構造（分析的判断）はデカルト、運動・因果性（運動方程式）はニュートン、現象の概念による把握はカントに対応するが、形式化はデカルト・ニュートンの世界で留まっている。

確定した製品の形態は機能を運動方程式、構造を論理形式（部品表）、形状を数学の法則（解析幾何学）などの実証的形式で定義できるため、これまで設計活動はボトムアップ設計の図式を対象に分析的判断・因果的過程・循環的处理でモデル化されてきたことを見てきたが、活動を知識化する過程で言葉では語れない世界—超越論的な判断過程、存在論的な差異—が隠蔽され、言葉をコラージュした世界に置換わる。ハイデッガーは西欧文明—形而上学から技術に至る歴史—は知識化に伴う存在の頹落の歴史と捉えている。

設計活動における設計者と情報技術の関係は、ハイデッガーが警鐘を鳴らした技術による人間の支配をデフォルメして示している。形而上学の末裔である技術、技術の完成形態である情報技術は、世界を計算可能な世界に縮減し、逆に計算可能な世界から実在を説明する為、計算出来ない世界が隠蔽される。一方、設計者が暗黙の内に行っている創作の本質と存在は、製品の目的を記号で具体化することであり、実存論的空間から物理学的空間へ超越する過程となり、言葉では語れない世界が基軸となる。

情報技術の概念錯誤的な展開は、ハイデッガーが危惧した存在の頹落を加速し、人間の判断力の質を低下させ、文明が衰退する図式を強化する。ソフトの利用は人間を、データを処理する機能に変え、人間はデータを正確・

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

迅速・多量に処理することしか出来ないデーモンと化す。データを多量に処理できることが有能な人材として評価される。映画で描かれた世界が現実のものとなるが、巷はこの事態をニヒリズムとは感じていない。文明の進歩・技術による日常生活のイノベーションと捉えているのである。

13.3 情報技術者の視点と設計者の暗黙知の間隙

情報技術者は設計活動を事務作業・工場のラインと同様に分析的判断・因果的過程でモデル化してきた。MBSEによる機能・論理・物理モデルもオブジェクトの因果的な連鎖がベースとなる。オブジェクトの関連を E-R 図、操作過程をシーケンス図で定義することで現象の分析と構造化は進むが、物理モデルの形態定義は各社の CAD の利用形態に依存するため、製品モデルの形態を定義する過程の本質的な課題は解決されない。映画の切り貼りで類似の製品モデルを再現する形態に先祖がえりする危険性が残っている。

製品モデルの定義では、情報技術は関数によるデータ変換の因果的な連鎖から、機能の関係を命題体系で定義し、命題体系から階層構成に至る過程で内容を充実化し形態を定義する過程としてモデル化し、内容と形式を**すり合わせて**形態を定義する過程の支援に脱構築する必要がある。孫悟空がお釈迦様の掌から抜け出せないように、情報技術者による設計活動の改革は、確定した知識を分析的・因果的に利用する枠組から抜け出せない。設計活動の存在は事務作業・工場のラインとは異なり、記号を利用して作品を創作する芸術活動と同じことを理解し、創作を支援出来る PLM の利用形態を明確化する必要がある。

PLM の機能は設計活動を改革するための必要条件に過ぎない。創作の図式の開示が十分条件となる。日本の製造業の PLM の展開で最も抜けているのが、ものづくりの本質と存在の構造的な理解である。これには情報技術の枠組をエポケーし、**すり合わせ**を理解する活動が必要である。情報技術者によるものづくりの改革は、肖像画を創作する過程ではなく、モンタージュ写真を制作する過程の効率化・迅速化が中心となっている。

情報技術は製品モデルの階層構成を利用し、表現形態の定義と評価、文書類の処理を支援し、更にボトムアップ設計の実績を固定し、流用設計の図式に置換え情報技術で自動化してきた。情報技術者による支援は分析的判断・因果的過程の枠組を抜け出せていない。トップダウン設計の本質と存在は**すり合わせ**—総合的判断・弁証法の過程・志向的活動—であるため、モデル化の枠組を脱構築することが不可欠である。情報技術の枠組自体が分析的・因果的モデルがベースであるため、情報技術の側面から攻める限り、ものづくりの本質と存在—創作—に踏込んだ活動にはならない。

情報技術の視点をエポケーし、創作の図式を開示する活動が不可欠である。山の地形と地図を総合的に判断しながらルートを開拓する過程の支援である。これには道標と登山道の整備ではなく、山の地形と地図を正確に再現し、両者を総合的に判断しながらルートを検討できる支援が必要となる。これには設計活動をモデル化する枠組を、現象学・存在論的なパラダイムをベースに、記号論の枠組に脱構築することが不可欠である。

13.4 啓蒙活動の実施

日常的な生活は分析的判断で十分であり、創作を行っている設計者ですら自分が暗黙の内に行っている総合的判断を概念的に説明できない。両者の違いを理解するには、カントを紐解くことが必要条件となるが、カントの視点は大衆化していない。創作の本質と存在を理解し、PLM の機能で支援するにはカント以降の視点を加味することが十分条件となる。カント以降の視点で代表的なものとして表 13.3 に示すものがある。

表 13.3 設計者の暗黙知の構造的な理解の事例

	主要概念	摘 要	哲学者
1	設計 プロセス	<ul style="list-style-type: none"> 代表的な製品で設計プロセスの構図を理解する V字プロセスの本質と存在を理解する 	
2	分析的判断	<ul style="list-style-type: none"> 情報技術による業務分析の仕方、分析的・因果的モデルを確認 	①デカルト
3	因果的過程	<ul style="list-style-type: none"> 業務プロセスのモデル化の仕方(DFD/IDEF/シーケンス図など) 	②ニュートン
4	総合的判断	<ul style="list-style-type: none"> 分析的判断と総合的判断の違い、目的合理的活動を理解する 製品の目的を形式で具体化する判断過程を理解する 創作と流用・再現・複写での製品モデルの見方の違いを理解する 	③カント
5	弁証法	<ul style="list-style-type: none"> 業務工程(因果的過程)と製品モデルの発達(弁証法の過程)の違い、ソフトの図式と芸術家が創作能力を育成する過程の違いを理解する 	④ヘーゲル
6	記号過程	<ul style="list-style-type: none"> 情報技術の枠組と記号論の枠組の違いを理解する 科学的探究の過程を記号論の枠組でモデル化する方法を理解する 	⑤パース
7	言語ゲーム	<ul style="list-style-type: none"> 論理絵と製品を定義する知識の形態の関係を理解する 言語ゲームを設計活動に応用する際の考え方を理解する 製品モデルを命題体系・階層構成で定義する目的を理解する 	⑥ウイトゲン シュタイン
8	志向性	<ul style="list-style-type: none"> 志向性を構造的に理解する 製品モデルに段階的に内容を充実化する過程を理解する 	⑦フッサール
9	存在論	<ul style="list-style-type: none"> 存在論の基本的な考え方を理解する 設計活動を存在論的にモデル化する目的を理解する 	⑧ハイデッガー
10	創造性	<ul style="list-style-type: none"> 哲学＝科学＝芸術の関係を理解する 構想＝設計＝評価の関係を理解する 原生理論＝原生計算＝原生実験と存在論的観測を理解する 上記の視点を設計活動のモデル化に応用する仕方を理解する 	⑨ドゥルーズ ⑩郡司ペギオー 幸夫

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

13.5 創造的な環境の構築

設計活動の本質と存在を理解するには、設計者がトップダウン設計過程で行っている潜在的な判断過程を紐解くことが重要である。これには、表 13.3 に示した、形而上学の系譜を辿り、あるものの見方を理解することが不可欠である。設計者が潜在的に行っている判断過程の理解ではカント以降が必要と成るが、設計者の明示的な視点はデカルト・カントのレベルで留まっており、情報技術者の視点はデカルトの視点をベースに定型作業の効率化に留まっている。

設計活動とは製品の目的を記号で具体化する活動であり創作の図式が基軸だが、経済的な効率化・迅速化を優先する施策、改革を支援する情報技術者の設計活動に対する無理解で段階的に流用・再現・複写の図式にすり替えられ、これらを情報技術で自動化した上で設計者に利用を強要することが中心となる。設計活動が情報システムを利用し、死体ー完成した製品の形態ーを流用し、器官の組合せで類似の死体を定義する活動に代替される。生物の形態形成がフランケンシュタインを制作する過程にすり替えられる。

設計者はこの環境で製品のイノベーションを要求されるが、情報技術者はこれをニヒリズムとは感じていない。設計活動の進化だと称しているのである。この概念錯誤的な展開を打破するには情報技術の視点をエポケーし、ものづくりの本質と存在を開示し、これを支援することが必要だが、IT ベンダーと情報技術者が IT の機能と適用状況を紹介しても意味はない。創作の存在構図を開示するには学際的な取り組みが不可欠である。SDM では産学・文理を総合した展開となっているが、判断過程の構造化では V 字プロセスとオブジェクト指向の関係定義が中心であり創作過程でのすり合わせの構造は見えない。

設計活動の改革では設計活動自体の批判が必須だが、現状は情報技術の機能と適用形態の改善が中心である。設計者・情報技術者・設計プロセス改革のコンサルタントを交えた設計活動の批判が不可欠となるが、これらの人々は自分が採用している技術的な視点の限界に気付いていない。フッサールは既存の見方を判断停止することを「現象学的な還元：エポケー」と定義したが、情報技術の視点をエポケーし、ものづくりの原点に回帰し、芸術家が暗黙の内に行っている創作の図式を理解することが急務である。

情報技術の機能は高価となり製品の形態の再現性は向上している。情報技術は計算可能な世界の再現性を向上させているが、逆に計算可能な世界で世界を拘束する。情報技術は確定した関数で現象を説明し、関数の組合せで現象を予測し、関数の組合せの整合性を挟み撃ち的に判断する。情報技術は肖像画の創作をモニタージュ写真の制作に置換える。これらの事態を避けるには、現象を関数に総合する判断過程の理解が不可欠となるのである。

カントは現象を認識する過程を開示するために、「ア・プリオリな総合的判断は如何にしたら可能か。」と問うているが、創作活動の支援で情報技術者に求められていることは、「創作一言葉では語れない世界ーを情報技術ー計算可能な世界しか再現できないーで如何に支援するか。」である。このアポリアを解決するには、形而上学の系譜の中でもカント以降を辿ることが不可欠だが、認識論的なアプローチでは本の黙阿弥になる危険性がある。ハイデッガーの辿った道を参考にものづくりの存在を開示することが第一歩目である。

13.6 存在論へのパラダイムシフト

製品が大規模・複雑になり、ボディ・機体・船体などの外枠に合わせて構造設計を行い、平衡して艤装を検討するインテグラル型の製品では有限な空間と費用を装置間で取り合うため、全体と部分、部分間を相補的・継続的に検討出来る設計空間が不可欠となる。一方、電子機器・基盤などのモジュラー型の製品ではレイアウト的な制約が少ないため PLM の狙いは異なる。電子機器では回路図と基板の整合性が重要であり基板の仕様も多数となるため、モジュール化—基板の仕様、回路図、3D 形状を一元的に維持—し、少ないモジュールの数で多様な仕様に対応できることが重要となる。

製品種で PLM の利用目的・形態は変わるが、トップダウン設計過程での本質的な目的は顧客ニーズの早期具体化、スマートな設計、QCD の改革、製品のイノベーションとなる。これと並行して PLM の機能を利用した設計を行うことで、自ずと設計能力を育成できる環境を作ることである。検討結果を静的に維持し、流用設計の効率化を支援することが、VPM/WP によるトップダウン設計のイノベーションの目的ではない。

PLM の機能は進化し、製品の形態を静的に再現し評価する機能は高度化しているが、利用形態は変わらない。高度な機能が宝の持ち腐れとなり、更に悪い事には膨大な IT 投資を行い、設計者の判断力の質を頹落させるような環境を拡大している。PLM の機能を追及してもものづくりの本質と存在は理解できない。閉塞感が漂っている PLM の展開状況を打破するにはものづくりの原点に回帰し、設計プロセスの本質と存在の理解から始める必要がある。次に製品種別に VPM/WP の具体化が急務である。

情報技術者は効率化・迅速化・グローバル化を錦の御旗に、膨大な IT 投資をして作業を改善してきたが、逆に設計者の創造性を頹落させる設計環境を拡大してきた。結果として設計者の情報システム部門と IT ベンダーに対する失望感は大きい。PLM の展開はダブルバンドー利用形態が向上しないためユーザが IT に投資せず、IT ベンダーが PLM に対する投資を回収出来ない—状態となっている。今、ものづくりの改革で求められていることは、設計者が PLM の機能を利用して設計することで、自ずと創作の図式が模倣できる環境を実現することである。これには設計者の判断形式＝製品モデルの定義形式＝製品の機能と形態の三位一体の関係を記号過程として一元化し、PLM の機能で媒介する必要がある。設計活動の支援では、創作の図式を維持した上で如何に PLM の機能を利用するかが問われている。これに答えるには認識論から存在論へパラダイムシフトした上で設計活動を記号論の枠組でモデル化し、PLM の利用形態を脱構築することが急務である。

ハイデッガーは技術—西欧文明があるもの—の見方として培ってきた形而上学の完成形態—による支配に対峙する為に、哲学を認識論から存在論へパラダイムシフトしたが、ハイデッガーが糾弾している認識論は、主体＝客体＝関係でモデル化される。まず主体と客体が独立して存在し、次に主体が客体と関係を結ぶ—主体が客体を処理—する図式となる。これが情報技術の基本的な図式として継承される。

情報技術者は、まず記号（データ）を定義—記号の記号表現と記号内容の関係を固定—し、次に業務をデータを処理する機能に置換えるため。記号表現と記号内容の関係をすり合せながら記号を定義する過程は見えない。

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

情報技術の枠組を利用する限り、作品を定義する活動は確定した記号のコラージュ、関数の因果的な連鎖によるデータの変換と流通となる。情報技術の枠組では**すり合わせ**はフィードバックによる調整のレベルで留まる。

ハイデッガーは認識論の課題を克服する為に、世界＝内＝存在、実存、現存在、存在論的な差異などの概念を創出しているが、設計活動を認識論・情報技術の枠組から救い出すには、ハイデッガーの存在論は重要である。世界＝内＝存在は人間と製品の位置づけを抜本的に変え、実存は設計者の存在を開示している。現存在は**すり合わせ**－実存が世界に企投しながら存在を開示する過程、作品が形態を形成する過程－の理解、存在論的な差異は製品が熟成する過程の理解で重要となる。

ハイデッガーは「**存在**」と言う概念の多層的な構造を基に存在論を脱構築しているが、**すり合わせ**を存在論的に解釈すると、実存が現存在化する過程、存在が存在者に差異化する過程に対応し多層的な構造を含んでいる。情報技術の枠組は**すり合わせ**の多層的な構造を表現できない。ものづくりと情報技術の関係は、ハイデッガーが追求している技術による存在の頽落と人間の支配をデフォルメして示している。情報技術の限界を理解し創作の際の多種・多層的な**すり合わせ**を構造的に理解するには存在論の枠組は重要である。

ウイトゲンシュタインは「言葉の意味はその使用である。」と述べ、G.ライルは「方法を知ることと内容を知るとは別の事柄である。」と述べているが、これはハイデッガーの実存論的空間と物理学的空間の違いに通じ、設計活動における設計者の判断過程と情報技術の機能に関連する。設計者は実存論的空間での製品の意味を基に、製品を企画し、これを計画・設計で物理学的空間での製品の機能・形態に置換える。この過程は製品が存在を開示し現存在化する超越の過程であり、フッサールの言葉では超越論的な判断過程となる。

情報技術者は物理学的空間で製品の機能・形態を定義する作業を支援し、製品が存在を開示する過程の媒介は設計者に任せてきたが、情報技術に求められていることは、製品が存在を開示する過程を如何に支援するかなのである。これには言葉－PLMの機能－の定義ではなく言葉の使用を支援することが重要なのである。

14. おわりに

PLMと言う概念が提唱されて十数年が経つが解釈は多義的であり、経営戦略と製品戦略、製品の開発、製造・販売、これらの活動を支援するITの展開と活動クラスが異なるところで同じ言葉が利用されている。M・ポーターは『競争の戦略』で対外的な活動、『競争優位の戦略』で体内的な活動を区分し、両者で企業活動を構造化しているが、ポーターの視点とPLMの関係は混乱している。これにイノベーションと言う言葉が加わり更に話は錯綜する。製品ライフサイクルの中でも価値連鎖の各セグメントで製品に対する見方は大きく異なり、各セグメントで活動の目的・判断形式・判断内容は大きく異なる。これらを区分した議論が不可欠である。

ITの展開も情報技術の枠組の中で情報を流用・再現・複写する作業の支援が殆どであり、ものづくりの本質と存在であり、設計者が暗黙の内に行っている**すり合わせ**の過程を支援する議論は皆無に等しい。これらの状況で新しい製品イノベーションを実現し、新しいイノベータを育成できるのか疑問である。H・アーレントは『人間の条

件』で活動を活動（政治的な行為）・仕事（作品を創作する行為）・労働（生活の糧を得る行為）に区分しているが、活動のクラスで人間に要求される能力は異なる。これらを区分した議論が重要である。

IT は単なる道具にすぎない。ウィトゲンシュタインは言葉の意味はその使用であると述べたが、IT の意味も如何に使用するかに関わる。同じ IT の機能でも利用形態で役割と効果は異なるのである。ものづくりでの IT の利用形態を改革するには、ものづくりの段階を区分し、各段階での製品の見方＝判断形式＝製品を定義する形式を構造的に分析した上で、IT の機能の利用形態を定義する必要がある。これにはものづくりの各段階で活動の本質と存在に合わせ活動をモデル化する枠組を脱構築し、更に IT の限界を理解した上で、IT を如何に使用するかを議論することが重要である。

本論文では設計活動の改革について提案したが、情報技術者の概念錯誤的な展開に終止符を打つには、言葉の使用－ゲームを展開するシナリオと能力－言葉の定義－ゲームを規定するルールとルールを再現する IT 機能－とは別次元の問題であること、ゲームに強くなるにはゲームの展開に沿ってルールを拡張的に利用する判断力を絶対知化することが重要なことを理解する必要がある。設計活動と言うゲームのモデル化は、認識論のパラダイムを基に情報技術の枠組でモデル化する形態から、存在論のパラダイムを基に記号論の枠組でモデル化する形態への脱構築が必要である。創作の本質と存在を開示しゲームとしてモデル化するには、ハイデッガーの存在論とパースの記号論およびウィトゲンシュタインの言語ゲームは鍵の概念である。

参考文献

- アレクサンドル・コジューヴ（1987）『ヘーゲル読解入門』（上妻精、今野雅方訳、国文社）
イマヌエル・カント（1961）『純粹理性批判』（篠田英雄訳、岩波文庫）
イマヌエル・カント（1964）『判断力批判』（篠田英雄訳、岩波文庫）
イマヌエル・カント（1977）『プロレゴメナ』（篠田英雄訳、岩波文庫）
ウンベルト・エコ（1997）『記号論入門』（谷口伊兵衛訳、而立書房）
ウンベルト・マトラーナ、フランシスコ・ヴァレラ（1987）『知恵の樹』（管啓次郎訳、朝日出版社）
エドムント・フッサール（1968）『論理学研究』（立松弘孝訳、みすず書房）
エドムント・フッサール（1975）『経験と判断』（長谷川宏訳、河出書房跡・新社）
エドムント・フッサール（1979）『イデー』（渡辺二郎・立松弘孝・別所良美訳、みすず書房）
エドムント・フッサール（1997）『受動的総合の分析』（山口一郎・田村京子訳、国文社）
エルンスト・カッシーラー（1979）『実体概念と関数概念』（山本義隆訳、みすず書房）
エルンスト・カッシーラー（1989）『シンボル形式の哲学』（生松・木田・村岡訳、岩波文庫）
エルンスト・カッシーラー（1999）『シンボル・技術・言語』（篠木芳夫・高野敏行訳、法政大学出版局）
オイゲン・フィンク（1995）『超越論的方法論の理念』（新田義弘ほか訳、岩波書店）
ゲオルク・ヘーゲル（1997）『精神現象学』（樫山欽四郎訳、平凡社）
ジャック・アタリ（1983）『情報とエネルギーの人間科学』（平田清明訳、日本評論社）

ものづくりの原点に回帰したトップダウン設計の改革

- ジャン・ピアゼ (1978) 『知能の誕生』 (谷村覚訳、ミネルヴァ書房)
- ジョン・メイナード・スミス、エオルシュ・サトマーリ (1997) 『進化する階層』 (長野敬、シュプリンガー・フェアラー東京)
- ジル・ドゥルーズ (1992) 『差異と反復』 (財津理訳、河出書房新社)
- ジル・ドゥルーズ (1997) 『哲学とは何か』 (財津理訳、河出書房新社)
- チャールズ・パース (1986) 『記号学』 (内田種臣訳、勁草書房)
- チャールズ・モリス (1988) 『記号理論の基礎』 (内田種臣、小林昭世訳、勁草書房)
- テリー・ウイノグラード、フェルナンド・フローレス (1989) 『コンピュータと認知を理解する』 (平賀譲訳、産業図書)
- トーマス・クーン (1971) 『科学革命の構造』 (中山茂訳、みすず書房)
- ハーバー・サイモン (1987) 『システムの科学』 (稲葉元吉他訳、パーソナルメディア社)
- ヒューバート・ドレイファス (1996) 『ミシェル・フーコー』 (井上克人ほか訳、築摩書房)
- ヒューバート・ドレイファス (2000) 『世界内存在』 (門脇俊介監訳、産業図書)
- フォン・ベルタランフィ (1973) 『一般システム理論』 (長野敬訳、みすず書房)
- フランソワーズ・ガデ (1995) 『ソシユール言語学入門』 (立川健二訳、新曜社)
- マイケル・ポーター (1982) 『競争の戦略』 (土岐坤・中辻萬治・服部照夫訳、ダイヤモンド社)
- マイケル・ポーター (1985) 『競争優位の戦略』 (土岐坤・中辻萬治・小野寺武夫訳、ダイヤモンド社)
- マルティン・ハイデッガー (1988) 『時間概念の歴史への序説』 (常俊・嶺訳、創文社)
- マルティン・ハイデッガー (1989) 『物への問い』 (高山守訳、創文社)
- マルティン・ハイデッガー (1989) 『論理学—真性への問い』 (佐々木・伊藤訳、創文社)
- マルティン・ハイデッガー (1994) 『アリストテレス「形而上学」第9巻1-3』 (岩田・天野・篠沢訳、創文社)
- マルティン・ハイデッガー (1995) 『真理の本質について』 (細田亮一訳、創文社)
- マルティン・ハイデッガー (1997) 『カントの純粹理性批判の現象学的解釈』 (石井・仲原訳、創文社)
- マルティン・ハイデッガー (1997) 『有と時』 (辻村公一訳、創文社)
- マルティン・ハイデッガー (2003) 『カントと形而上学の問題』 (門脇卓爾訳、創文社)
- マルティン・ハイデッガー (2009) 『技術への問い』 (関口浩訳、平凡社)
- ミセル・フーコー (1974) 『言葉と物』 (渡辺一民、佐々木明訳、新潮社)
- ミセル・フーコー (1981) 『知の考古学』 (中村雄二郎訳、河出書房新社)
- ヤーコプ・ユクスキュル、ゲオルク・クリサート (2005) 『生物から見た世界』 (日高敏隆、羽田節子、岩波書店)
- リチャード・エヴァンズ (1975) 『ピアジェとの対話』 (宇津木保訳、誠信書房)
- ルートヴィッヒ・ウィトゲンシュタイン (1997) 『哲学的探求』 (黒崎宏訳、産業図書)
- ルートヴィッヒ・ウィトゲンシュタイン (1968) 『論理哲学論考』 (藤本隆志/坂井秀寿訳、法政大学出版局)
- ルートヴィヒ・ランググレーベ (1980) 『現象学の道』 (山崎庸佑ほか訳、木鐸社)
- ルネ・デカルト (2001) 『方法序説』 (野田又夫ほか訳、中央公論新社)
- ロベルト・コワルスキー (1987) 『論理による問題の解法』 (浦昭二監修、培風館)

- ロラン・バルト (1979) 『物語の構造分析』(花輪光訳、みすず書房)
- ワルター・ゲーリング (2002) 『ホメオボックス・ストーリー』(浅島誠監訳、東京大学出版会)
- 伊達邦春他 (1980) 『シュンペーター経済発達の理論』(有斐閣新書)
- 遠藤功監修 (2001) 『MBA オペレーション戦略』(ダイヤモンド社)
- 加藤尚武編 (2001) 『ヘーゲルを学ぶ人のために』(世界思想社)
- 加藤尚武編 (2003) 『ハイデッガーの技術論』(理想社)
- 河上誓作編著 (1996) 『認知言語学の基礎』(研究社)
- 河本英夫 (1995) 『第三世代システムオートポイエーシス』(青市社)
- 丸山圭三郎 (1981) 『ソシュールの思想』(岩波書店)
- 岩城見一 (2006) 『<誤謬>論』(萌書房)
- 吉田民人 (1990) 『自己組織性の情報科学』(新曜社)
- 橋爪大三郎 (1985) 『言語ゲームと社会理論』(勁草書房)
- 郡司ペギオー幸夫 (2002) 『生成する生命』(哲学書房)
- 郡司ペギオー幸夫 (2003) 『私の意識とは何か』(哲学書房)
- 佐藤康邦 (2005) 『カント判断力批判と現代』(岩波書店)
- 細川亮一 (2002) 『形而上学者ウィトゲンシュタイン』(筑摩書房)
- 秋富克哉 (2005) 『芸術と技術 ハイデッガーの問い』(創文社)
- 上田完次 (1994) 『生物指向型生産システム』(工業調査会)
- 信木晴雄 (2007) 『フッサール現象学における多様体論』(人文書院)
- 新田義弘 (2000) 『フッサールを学ぶ人のために』(世界思想社)
- 新田義弘 (2006) 『現象学と解釈学』(ちくま書房)
- 清水博 (1992) 『生命と場所』(NTT 出版)
- 清水博編著 (2000) 『場と共創』(NTT 出版)
- 村上隆夫 (2006) 『同一性の形而上学』(春風社)
- 村田春夫 (1990) 『情報とシステムの哲学』(文眞堂)
- 大須賀節雄 (1985) 『次世代 CAD/CAM のための知識処理の応用』(マグロウヒル)
- 竹田正青嗣・西研 (2007) 『ヘーゲル「精神現象学」』(講談社)
- 内田治 (1995) 『品質管理の基本』(日本経済新聞社)
- 飯田隆編 (1995) 『ウィトゲンシュタイン読本』(法政大学出版局)
- 米盛裕二 (1981) 『パースの記号学』(勁草書房)
- 米盛裕二 (2007) 『アブダクション』(勁草書房)
- 朴英元・藤本隆宏・阿部武志 (2010) 「統合型ものづくりと IT システム」 MMRC ディスカッションペーパー 302
- 門脇俊介・信原幸弘編 (2002) 『ハイデッガーと認知科学』(産業図書)
- 野中郁次郎・竹中弘高 (1996) 『知識創造企業』(東洋経済新報社)
- 野矢茂樹 (2006) 『論理哲学論考を読む』(ちくま書房)