

## 製品開発における上流設計の重要性とその方法

Importance of Upstream Design in Product Development and Its Methodologies

大富 浩一

■ OHTOMI Koichi

製品の全ライフサイクルコストの80%が商品企画と設計段階で決まってしまうとされている。したがって、製品開発において設計は非常に重要な役割を担っている。一方で、設計は設計者の能力に大きく依存し、いわゆる標準化が遅れている分野でもある。製品開発を戦略的かつ効率的に行うために設計段階で何をすべきか、具体的な指針、環境、仕組み、手法を提案する時期に来ている。

そこで、戦略的製品開発のための設計を具体化するために、デザインフォーエックス(DfX)の考え方を導入する。DfXとは、製品開発において企画から設計に移行する際、論理的にプロジェクトの性質を解析し、それを踏まえて焦点を定め、以降の開発活動に有効な個々の設計手法(DfXのX)を選択し、投入計画を立てる活動である。

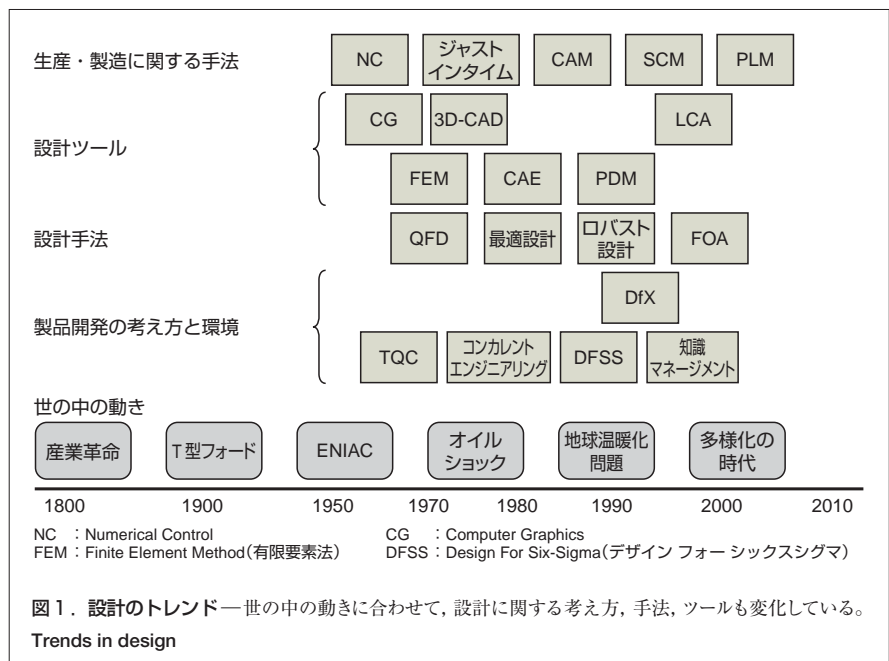
It is said that 80 % of all life-cycle costs of a product are fixed at the product planning and design stages. Design is thus an important element of product development. On the other hand, the design greatly depends on the designer's abilities, and so-called standardization is insufficient. It is therefore necessary to clarify what the requirements are at the design stage in order to develop a product strategically and efficiently.

This paper introduces the Design for X (DfX) methodology for strategic product development. DfX is a systematic activity at the planning to conceptualization stages of product development that (1) analyzes the nature of the project, (2) identifies effective design tools and activities (the "X" in "DfX"), and (3) guides the deployment of these tools in the subsequent development stages.

### 設計のトレンド

設計とは、ある目的を具体化するための作業であり、その具体化作業の結果を図面などで明示することである。この作業は工学的に行われる部分と、非工学的に行われる部分がある。工学的に行われる部分は一般には形式知と呼ばれているものであり、非工学的に行われる部分は暗黙知と呼ばれている。できるだけ形式知化することが望ましいが、設計が本来、人を中心とした行為であることを考えると、ある程度の暗黙知の部分が残ることは必然の理である。したがって、設計においては、人が暗黙知的に決定する行為を可能なかぎり形式知化した設計情報で支援するのが現実的であり、最善といえる。

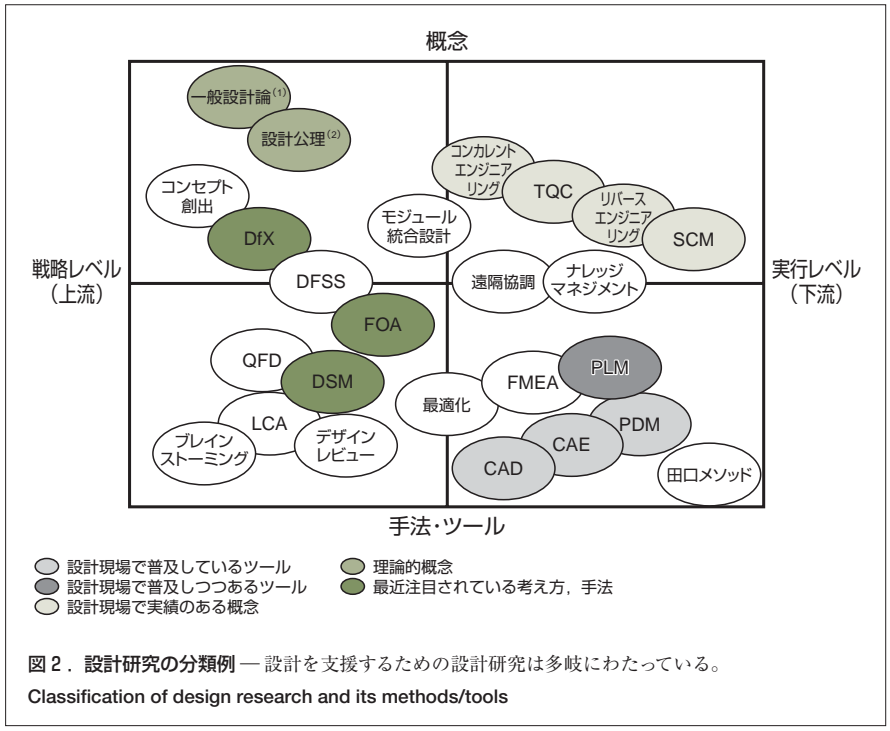
設計の歴史をひもとくと、約20万年前の狩猟用の矢じりに始まるといわれる。それまでは、その辺りにある石などをそのまま使っていたのに対し、目標と



する形状に向けて、石、骨などの原材料を道具で加工したのである。ピラミッドなどもスケールの差はあるが同様である。一方、ガリレオの時代になると

設計を工学的に考えるようになり、この流れが現代にまでつながっている。

この間に、産業革命、フォードにおける車の大量生産、トヨタの生産方式



Control), リバースエンジニアリング, SCM (Supply Chain Management) がある。これらはまったく独立の考え方というよりは、目的は同じで切り口が異なると考えたほうがいい。手法・ツールとしては設計上流での QFD (Quality Function Deployment : 品質機能展開), 設計下流での CAD, CAE, PDM (Product Data Management : プロダクトデータマネジメント) が代表的である。また、設計環境の仕組みとしての遠隔協調技術や、設計ノウハウの再利用を目的としたナレッジマネジメントも重要である。設計研究では個別の手法、ツールに加えて、これらをいかに組み合わせさせて使うかにも重点が置かれている。

**製品ライフサイクルと製品開発プロセス**

(ジャストインタイム)と、製品開発手法は飛躍的に進歩した(図1)。一方で、設計のやり方もコンピュータ (ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) に始まる) の普及により、CAD (Computer Aided Design) /CAM (Computer Aided Manufacturing) /CAE (Computer Aided Engineering) を実用的なものにした。20世紀後半は、設計の効率化という意味で非常に重要な時期であった。

示す。横軸に戦略レベル(製品開発上流)から実行レベル(製品開発下流), 縦軸に概念から手法・ツールをとり、いくつかの設計研究をマッピングした。設計論としては、吉川の一般設計論<sup>(1)</sup>, Suhの設計公理<sup>(2)</sup>が有名である。製品開発の考え方としては、コンカレントエンジニアリング, TQC (Total Quality

製品開発プロセスは一般に図3のようになっている。製品イメージを検討する企画・構想(コンセプト設計), 企画での仕様に基づいて製品イメージを具体化する概念設計, 更に、より詳細な設計, 部品や材料などの調達, 製造・組立てを経て製品として完成する。製品は出荷, 据付け・調整され, 稼働

一方で、オイルショック、環境問題、顧客ニーズの多様化などにより、製品開発のやり方も大きく変ぼうしようとしている。これに伴い、設計も効率優先から、効果を優先させる方向に変わりつつある。これに合わせて、従来のCAD/CAEをベースとした個別型の設計ツールから、PLM (Product Life-Cycle Management : プロダクトライフサイクルマネジメント) など統合型へ発展している。これに加えて、設計を質的かつ戦略的に行うための設計手法が必要となっている。

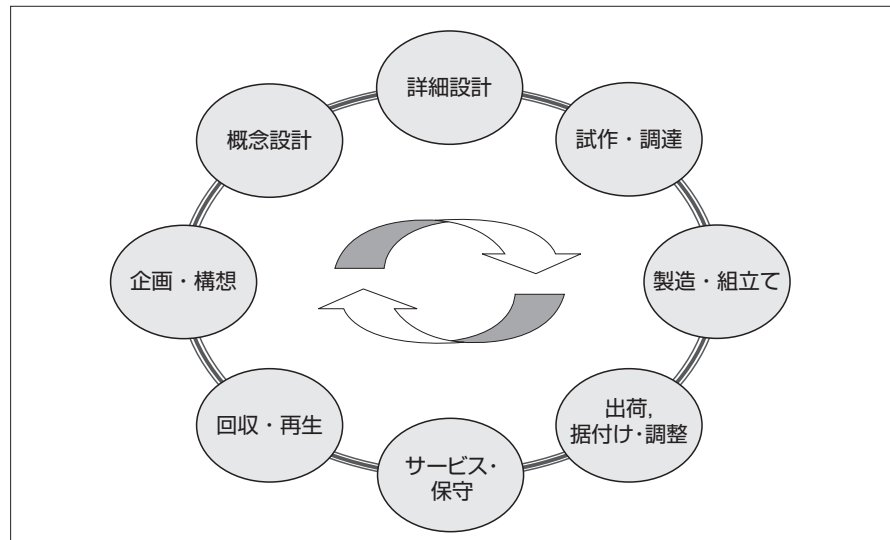


図3. 製品開発プロセス — 製品開発は設計、製造から回収、再生を経て、次製品へとライフサイクルを描いている。  
Product development process

設計を支援するための、いわゆる設計研究の成果を分類したものを図2に

状態となる。稼働後もサービスやメンテナンスにより、常に最適な状態で稼働できる状態を保つ必要がある。寿命を全うした製品は一部が廃棄され、また一部は回収・再生されて、更に新規製品開発に供される。このように、製品開発はライフサイクルを描いている。

### 製品開発における 上流設計の重要性

製品開発のライフサイクルコストは、製品開発の進行とともに図4のように決まってくる<sup>(3)</sup>。すなわち、設計終了段階で、製品の全ライフサイクルコストの80%が確定してしまう。これは試作・調達や製造・組立て以降の変更は大きな

後戻り(バックトラック)を発生し、コストとスケジュールの両面で製品開発に甚大な影響を与えることを意味する。したがって、設計を戦略的かつ効率的に実施し、それ以降のプロセスでの後戻りを減少させることが、製品開発において非常に重要であることがわかる。設計でも、詳細設計となると作業的にも負荷が大きくなり、設計のやり直しは製品開発全体に少なからぬ影響を与えるため、できれば、より上流の概念設計段階で、可能なかぎり種々の側面からの検討を行うことが重要である。

ここで、企画・構想と概念設計を指す上流設計の重要性を、ある機械システムの開発を具体例として考えてみる。機械システムを開発する場合に、最初

に方式を検討し、次に構造を考えるのが一般的である。方式検討が上流設計、構造設計が詳細設計と考えられる。ここでは、説明を簡単化するために、方式として2方式、構造として各方式に2構造ずつあるとすると、設計問題は二者択一問題に置き換えられる。この結果、最終的にA, B, C, Dの4種の製品が可能性として考えられる。ここで、各製品はA, B, C, Dの順に優れた機械システムと仮定する。このような場合、二者択一の段階で何も考えずに選択すると、二者のそれぞれを選択する確率は50%, 50%となる。一方、二者択一の段階でいわゆる設計作業を実施することによって、選択確率が80%, 20%になると仮定する。

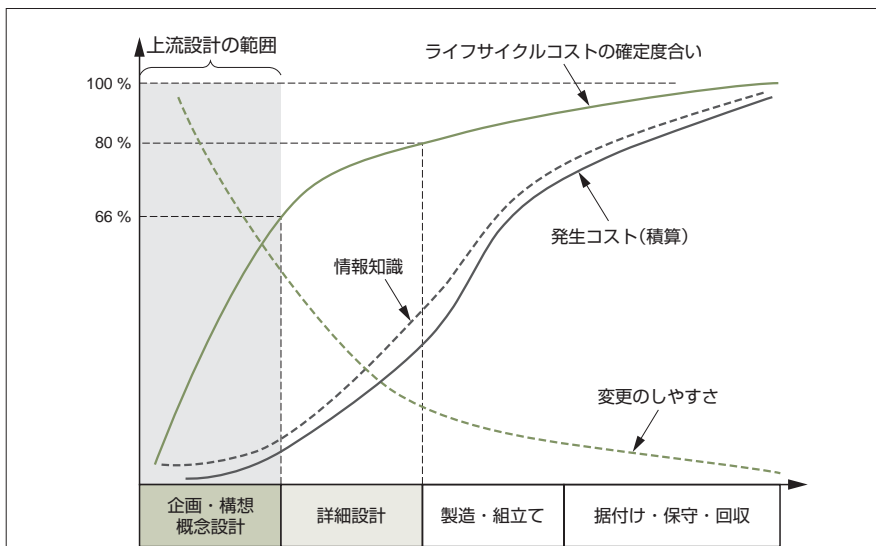


図4. 製品開発における設計の重要性 — 製品の全ライフサイクルコストの80%が設計段階までで決まってしまう(文献(3))。

Importance of design in product development

図5(a)は、いわゆる設計作業を行わなかった場合で、もっとも優れた機械システムAに到達する確率は25%となる。

図5(b)は、いわゆる詳細設計に注力する従来の設計の場合で、機械システムAに到達する確率は40%で、機械システムCに到達する可能性も40%となる。したがって、機械システムCに到達した場合には、これがもっとも優れた機械システムであると判断してしまう。また、この段階でほかにもいい解があるので、はと気がついて、方式検討の段階まで戻る必要があり、大きな後戻りが発生する。すなわち、図5(b)の場合には、大きな後戻りの可能性が50%ある。

一方、図5(c)に示すように、詳細設計だけでなく上流設計にも注力する場

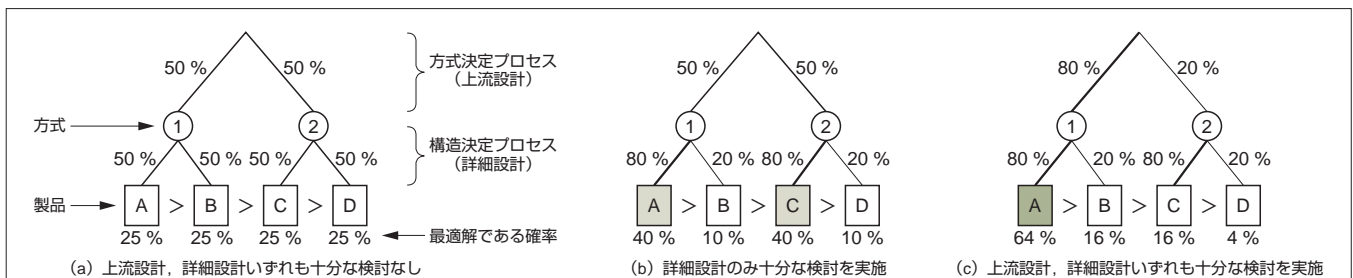
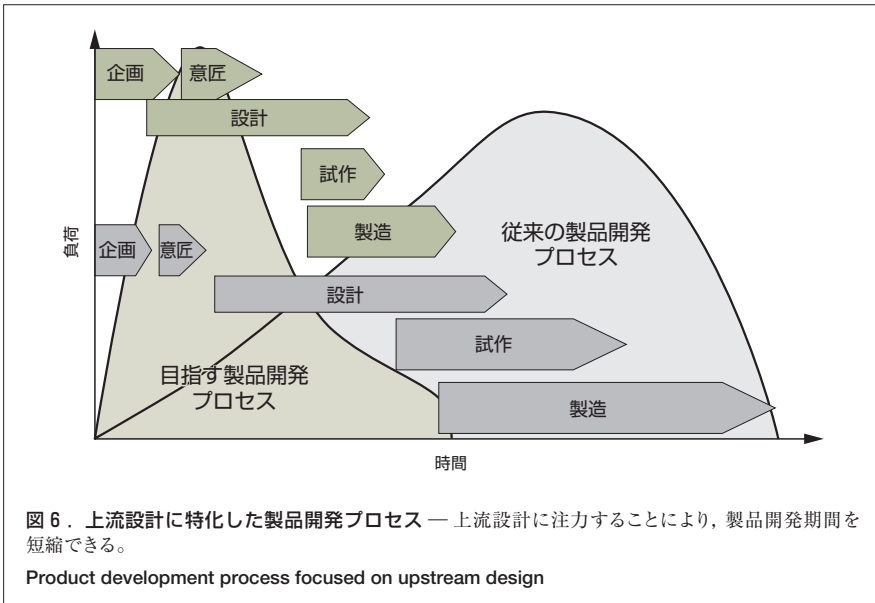


図5. 上流設計の重要性 — 設計の上流段階で十分な検討を行うことにより、効率的に最適解を得ることができる。

Importance of upstream design



合には、最適な設計解である機械システム A に到達する確率は 64% と飛躍的に高まる。このことは、最短時間で最適解に到達できることを意味する。また、大きな後戻りが発生する可能性も 20% と激減する。このように、詳細設計だけでなく上流設計にも同様に注力することの重要性が定量的に理解できる。

図5では二者択一問題として設計をとらえているが、実際の設計では多くの選択肢がある。特に上流設計では大きな後戻りがないために、多くの設計解に対して検討と選択が容易であるというメリットもある。

上流設計に重点を置いた製品開発プロセスを、従来の製品開発プロセスと対比して図6に示す。ここで重要なことは製品開発の期間短縮であり、期間短縮のためにある程度のコスト(負荷)が発生することは容認している点である。この点は、最近の製品開発が顧客の要求をいかに迅速に製品として具体化するかに重点が置かれていることから理解できる。

**上流設計を具体化するための考え方 DfX**

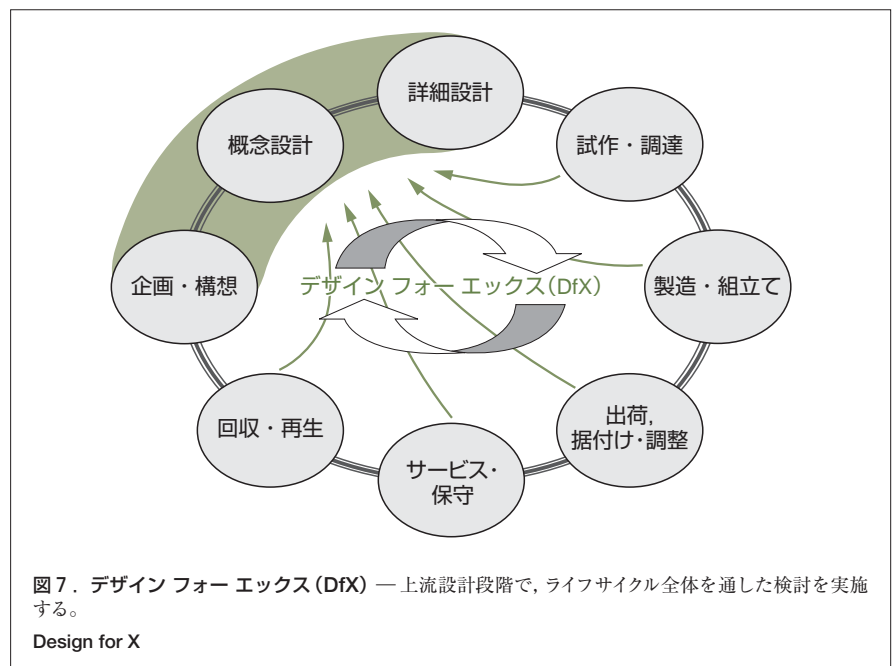
上流設計を具体的に実施する考え

方としてデザイン フォー エックス (DfX) がある<sup>(4)</sup>。DfX は、製品のライフサイクルを通して発生すると想定される諸問題を、上流設計の段階で検討することによって、詳細設計以降の製品開発後半での後戻りを極力減らす考え方である。この特集に巻頭言をいただいたスタンフォード大学の石井教授の定義によると、「DfX とは、製品開発において企画から設計に移行する際、論理的にプロジェクトの性質を解析し、それを

踏まえて焦点を定め、以降の開発活動に有効な個々の設計手法 (DfX の X) を選択し、投入計画を立てる活動である。」とある。

DfX の概念を図7に示す。性能検証のための設計だけでなく、製造・組立て・保守性を考慮した設計、環境にかかわる解体性やリサイクル方法を考慮した設計、更には使いやすい、飽きがこないといった顧客要求満足度に関する項目も評価対象となる。DfX の X は評価する項目を意味する。例えば、製造性 (Manufacturability) 評価のための設計は DfM、環境 (Environment) 評価のための設計は DfE などといったぐあいである。

DfX は製品によってもアプローチのしかたが異なる。ある製品 (Y) に関するものを、DfX of Y と呼ぶことがある。例えば、ノートパソコン (PC) の開発では、性能面では冷却を考慮した設計、環境面では廃却やリサイクルの容易な材料選定及び解体のしやすさを考慮した設計法が必要となる。一方、宇宙機器の場合には、極力トラブルが発生しない設計や、不幸にして発生しても対応できる仕組みや構造を考慮した設計が必須となる。



DfXは製品開発の考え方の総称である。この実現のためには、図2で示した設計研究で培われた手法やツールを用いる。DfXという考え方のもと、具体的な製品に対して、これらの手法やツールをいかに組み合わせて効果的に活用するかがポイントである。

### DfXを具体化する手法

製品ライフサイクル及び設計過程と、DfXを具体化するための設計手法の関係を**囲み記事**に示す。囲み記事に示した手法は代表的なものであり、目的に応じて複数の手法を結合して使用することもあり、また、新たに開発することも多い。具体的な事例に関しては、この特集の論文を参照されたい。

ここで筆者が注目しているCAE(シミュレーションによる性能評価)の新しい考え方として、FOA(First Order Analysis)<sup>(6)</sup>を紹介する。これは、計算機を用いたシミュレーションが全盛のなか、ほんとうにそれで設計がうまくい

くのかという疑問から、ミシガン大学の菊池教授が提案している考え方である。菊池教授の示唆に富んだFOAの考え方を原文のまま以下に紹介する。

「昔ながらの設計者には当たり前のこと。それを若い設計者に使って貰い(もら)いたい。FOA。対象が複雑であればあるほど、使える機器が精密であればあるほど。中り(あたり)を上手く(うまく)つけることが出来なければ、意味の無いデータの山。その中りを、個々の勘や経験だけではない方法でつけたい。多くの勘と経験を積み重ねたい。組織化したい。そのためのFOA」

FOA実現のポイントは、物理現象を損なわないでいかに簡略なモデルを作るかにある。“簡易すぎない簡易モデル”が目標であり、DfXにおける性能評価手法として重要な考え方である。

### DfXがうまく機能するためには

DfXがうまく機能するには二つのポイントがある。

一つは対象とする製品分野に応じて最適な手法を選択することである。製品分野をその製品開発の特徴から形態別に分類した例を図8に示す。このように、製品ごとに開発規模や対象とする顧客が異なっている。したがって、製品開発を行うにあたっては、製品定義を明確にすることである。石井教授の巻頭言にあるように、下記の4項目を明確にすることが重要である。

- (1) 開発の戦略的目的
- (2) 顧客構造と要求項目
- (3) 製品差別化の焦点
- (4) 開発優先項目

これを行うことにより、DfX本来の効果が期待できる。また、製品開発を行う手法は製品ごとに異なるが、共通的な技術も多く、ある製品分野で効果のあった手法がほかの製品分野でも役にたつケースは少なくない。このあたりは総合電機メーカーである当社の強みといえる。

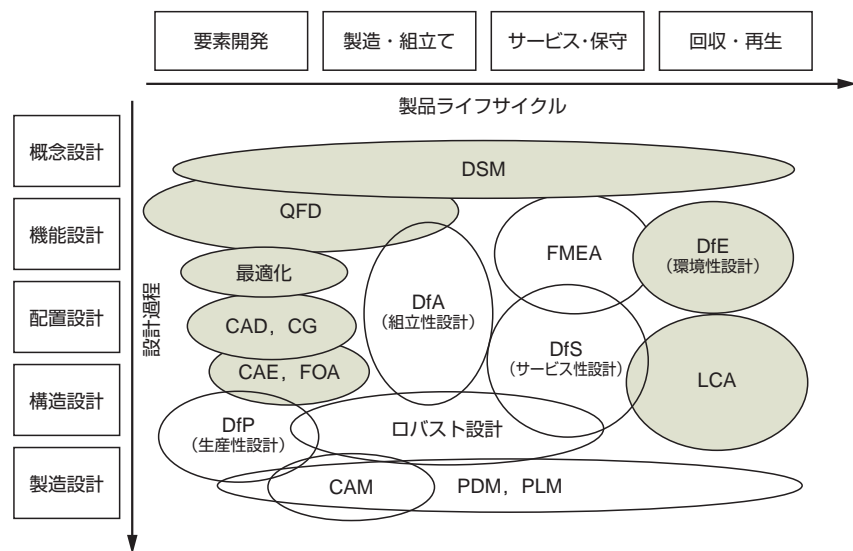
二つ目は、組織とマネジメントの問題である。いくら良いシステムを構築して

## 製品ライフサイクル及び設計過程と設計手法の関係

図は、DfXを具体化するために、設計過程の各段階で製品ライフサイクルの各項目をどのような手法で評価するかを示したものである。

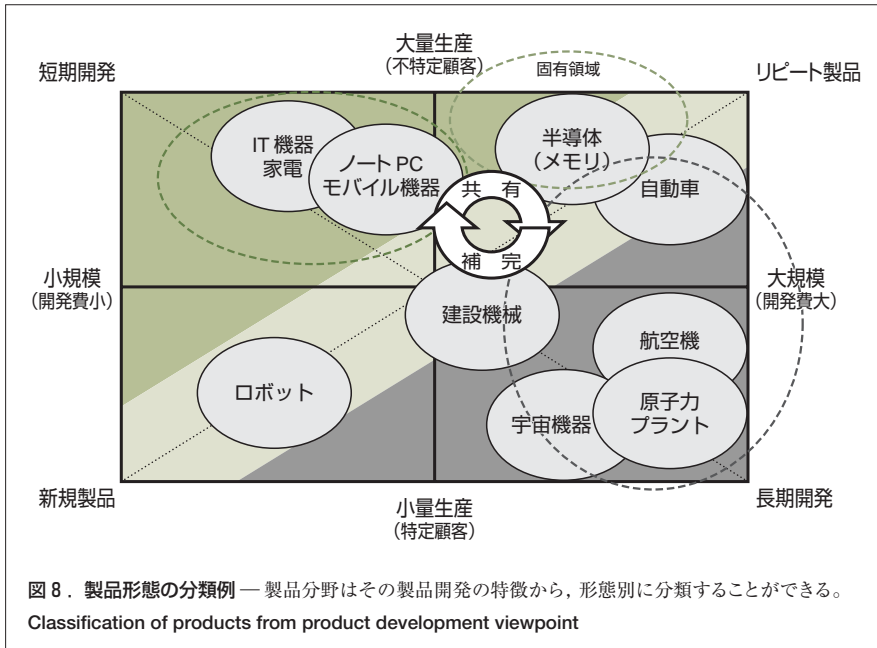
CAD, CAM, CAE, PDMなど従来型の製品開発手法と、DSM(Design Structure Matrix), QFD, FMEA(Failure Mode and Effect Analysis:故障モード影響解析), LCA(Life Cycle Assessment:ライフサイクルアセスメント)など今まで設計とは違った目的で使用されていた手法を、DfXという一つの考え方のもと、共通的に扱うことによって大きな効果が期待できる。実際には、設計の過程、目的とする製品ライフサイクルの項目に応じて最適な手法を適用する。

なお、着色部分はこの特集で取り上げている手法である。



出典：文献(5)の43ページ、Fig.2に追記

製品ライフサイクル、設計過程と設計手法の関係 — DfXを具体化するための手法を、製品ライフサイクルと設計過程の軸上にマッピングしたものである。



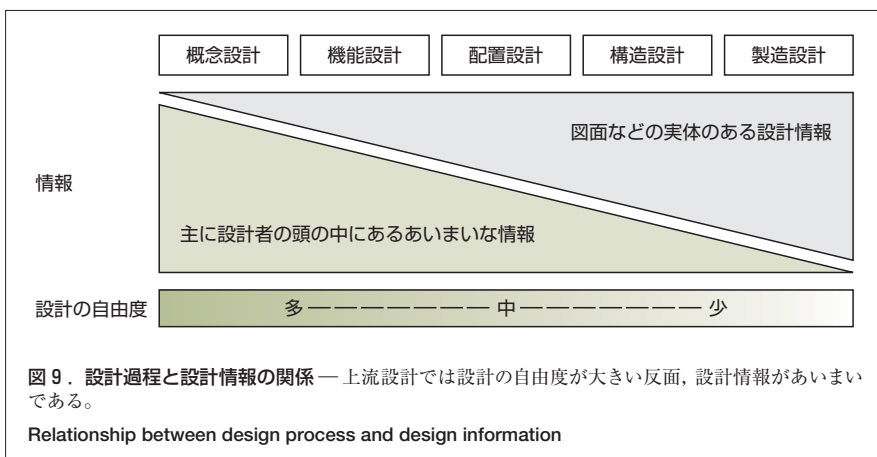
も、実際に使用するのは生身の人間であり、人間系がうまく機能する仕組みを構築する必要がある。実は、組織やマネジメントの最適化にもDSMなどのDfXツールが適用されているのは興味深い<sup>(7)</sup>。このことは、製品開発を効果的に行うには、従来の性能やコストだけでなく、組織論、プロジェクト管理、リスク管理などの考え方や手法も活用して、全体最適を考える必要があることを示唆している。

### 上流設計の課題

製品開発における上流設計の重要

性と、上流設計を具体化するための考え方としてのDfXについて述べた。上流設計が重要であるとの認識は直感的には理解できるが、これを実現することが容易でないことは、図4に示すように、設計情報が上流段階では不足していることから理解できる。

設計過程と設計情報の関係を図9に示す。ここでは囲み記事で示した分類に従って、設計を上流の概念設計から下流に向かって順次、機能設計、配置設計、構造設計、製造設計と定義している。概念設計段階では、設計情報の多くは設計者の頭の中にあいまいな情報として存在する。その後、設計者間



の協調を通して設計は具体化し、設計情報もポンチ絵レベルや手計算レベルのものから、三次元CAD (3D-CAD) やCAEへと詳細化していく。情報が3D-CADやCAEレベルまで具体化すると設計も詳細検討が可能となるが、その反面、設計自由度が少なく、設計の効果が減少してしまうというジレンマが発生する。DfXという考え方は、設計の上流段階で製品開発の焦点を論理的に定め、それ以降の製品開発の計画を立てようというものであり、図9の上流設計の設計者の頭の中にあるあいまいな情報を、できるだけ早期にかつ正確に、設計者間で共有可能な情報に置き換える作業であるということもできる。

### 文献

- (1) Yoshikawa H. General Design Theory. Proceedings of IFIP WG 5.2-5.3 Workshop Conference. 1980.
- (2) Suh N. P. The Principles of Design. Oxford University Press. New York, 1990.
- (3) Fabrycky, W. J.; Blanchard, B. S. Life-Cycle Cost and Economic Analysis. Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering. 1991.
- (4) Gatenby, D. A.; Foo, G. Design for X (DFX): Key to Competitive, Profitable Products. AT&T Technical Journal. 69, 3, May/June 1990, p.2-13.
- (5) Ishii, K. Life-Cycle Engineering Design. Transactions of the ASME. Special 50th Anniversary Design Issue. 117, 1995, p.42-47.
- (6) 菊池 昇. ファーストオーダーアナリシス. 豊田中央研究所R&Dレビュー. 37, 1, 2002.
- (7) 圓川隆夫, ほか. 製品開発論. 日科技連. 1998, p.66-69.



大富 浩一  
OHTOMI Koichi, Ph.D.

研究開発センター 機械・システムラボラトリー 研究主幹, 工博。機械システム機器の開発, 設計支援技術の研究・開発に従事。日本機械学会, 日本計算工学会, 日本設計工学会, ASME, Design Society 会員。

Mechanical Systems Lab.