

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

No. 516

製品開発における部品点数削減とコスト削減
—三木博幸著『良い製品開発—実践的ものづくり現場学』を読む—

東京大学大学院経済学研究科
藤本隆宏

2020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>

製品開発における部品点数削減とコスト削減

—三木博幸著『良い製品開発—実践的ものづくり現場学』を読む—

The Impact of Parts Numbers Reductions on Cost Reduction in Product Development

東京大学大学院経済学研究科

藤本隆宏

E-mail: fujimoto@e.u-tokyo.ac.jp

要約: 本稿は、三木博幸著『良い製品開発—実践的ものづくり現場学』で示された3つの論点について、技術・生産管理の実証研究者の立場から考察を加える。論点は3つである。第1に、三木氏の実践的な主張である「機械製品を構成する部品の点数を削減すればその1個当たり製造原価も比例的に低減する」との命題に対し、それが成立する条件を示唆する。具体的には、簡単な費用式の分析により、当該製品が製品専用部品から成るインテグラル型(擦り合わせ型)製品であり、部品加工の生産設備が巨額でない場合、部品点数削減が製造費用(特に加工費)の削減につながりやすいことを示す。第2に、開発プロセスのデジタル化(3次元CADなど)がもたらす副作用である、設計現場の統合型組織能力(チームワーク)の長期低下傾向の懸念に対しては、検図(drawing inspection)が開発パフォーマンスや設計人材育成に対して持つ機能に改めて注目すべきであることを示唆する。第3に、三木氏が主に農業機械の製品開発で実践してきた、製品コンセプトを起点とする一気通貫のプロジェクト開発体制は、世界の自動車産業の新製品開発の比較調査から抽出された「重量級PM制」と類似していることを示唆し、産業を超えた製品開発マネジメント手法の相互学習の可能性を示唆する。

キーワード: 製品開発、部品点数削減、費用削減設計(DTC)、3次元CAD、検図、重量級プロダクトマネジャー制

Abstract: This paper examines three practical discussion points that Mr. Hiroyuki Miki pointed out in his book, *Design to Cost (DTC) Development for Top Managers and R&D Managers* (in Japanese, 2019, Nikkei Publisher) from the point of view of Technology and Operations Management (TOM). First, by applying simple cost formulas, it argues that the design improvement method of reducing the number of parts in a product, given its product functions, has significant cost reduction effects particularly when the product is architecturally integral. Second, it points out that digitization of

product development (e.g., 3-dimensional CAD), despite its positive impact on faster and better product development processes, may have a certain side-effect – it may make drawing inspections by leaders, seniors and colleagues of the same design organization more difficult, which may have negative long-term impacts on the organization’s product development performance and capability-building. Third, this paper suggests that the product development practices that Mr. Miki carried out as a practitioner in a leading manufacturer of agricultural machines were, in many aspects, similar to those identified as Heavy Weight Product Manager (HWPM) System, which suggests a similarity of product development practices between different products with similar architectures.

Keywords: product development, reducing the number of parts in a product, design-to cost (DTC), 3-dimensional CAD, design inspection, Heavy Weight Product Manager (HWPM).

1 三木博幸氏の実践的業績と筆者の学術的経験

はじめに: 本論は、三木博幸著『良い製品開発—実践的ものづくり現場学』(三木 2020)で主張される幾つかの論点、とりわけ、機械製品を構成する部品点数の削減によって製造費用が低減するという主張、および日本の製造企業の設計現場の調整型組織能力が低下しているのではないかとの説について、技術・生産管理論の立場から考察を加えることを目的とする。

三木博幸氏は、株式会社クボタの技術部長他として、またクボタ機械設計株式会社の社長として、日本の有力製造企業の製品開発を統括した経験を持つ技術者・経営者であり、設計の達人ともいべきプロフェッショナルである。また、設計という職務領域を超えて、氏は製品開発論全体に関する伝道者としての顔も持つと筆者は考える。この点について所見を述べる。

前掲書における氏の主張は、大きく三つあると筆者は考える。第一に、製品設計の合理化、とりわけ部品点数の削減によって製品コストのほぼ比例的な削減が可能だとの氏の従来からの主張である(三木 2011、2014)。第二に、近年の日本企業の設計組織が過度の分業等により劣化していないかとの懸念である。第三に、顧客ニーズを起点とする一気通貫のプロジェクト型製品開発の勧めである。この三点について、実証社会科学者の立場から考察したい。

まず、前提となる予備的考察を行う。一般に「設計」とは、人工物の機能と構造の関係を生産に先立って考え、決めることである。機能は主に付加価値向上に貢献し、構造は主に費用や重量・容積の低減に関連する。いずれにせよ、設計の巧拙がコスト低減や品質向上に与える影響は大きい。

筆者の製品開発研究: 筆者は、1980年代から製品開発力の研究をしており(藤本・クラーク 1993、藤本 1997、他)、世界中の企業の新車開発組織を訪問して、開発工数、リードタイム(LT)、プロセス、組織体制、開発リーダーの行動などを比較研究してきた。そこでは、設計と生産技術や製造、設計と試作や実験、あるいは設計と商品企画の連携調整の重要性が、実証調査とデータ分析で明らかになった。すなわち、製品コンセプト創造から責任を持つ重量級プロダクトマネジャー、製品

エンジニアリングと工程エンジニアリング(生産準備)の重複的・同時並行的な問題解決、試作や金型生産や立ち上げなど開発プロセス内の製造活動のジャストインタイム化、サプライヤーとの部品共同開発、フロントローディング(3次元デジタル技術などを用いた設計問題解決の前倒し)など、優良な開発プロジェクトとそうでない所の違いを、統計的に有意に説明するファクターを見出した。その結果、1980年代後半において、自動車産業では、平均的に開發生産性やLTは日本勢が優位にあり、また一部の日本企業は総合商品力(Total Product Quality)でもトップ集団を形成することが分かった。

筆者は2000年代以降も、世界の自動車産業やその他の業種の製品開発マネジメントの研究を続けたが、自動車産業の開發生産性や開発LTにおける日本勢の優位は続いた。また近年においても、日本の自動車企業は、世界の新车販売台数(2020年には1億台に近づく)の約3割を占めており(国内生産約1000万台、海外生産約2000万台)、一部のデジタル産業の国際競争力低下とは対照的に、日本の自動車企業は「設計の比較優位」を40年以上維持してきた。これには、高性能・低燃費型の自動車が、概して機能と構造の関係が錯綜し、製品特殊部品(カスタム設計部品)を多く用いた最適設計を要求される、複雑な「擦り合わせ型」(インテグラル型)アーキテクチャの製品であることが関係している(藤本2003)。

一般に、歴史その他の経緯により、日本企業の方が欧米企業より、相対的にチームが少数で、一人の仕事の受け持ち範囲が広く、分業は抑制的で、多能的設計者のチームワークが強みである傾向が知られている。例えば米国企業の照明設計担当者は、後部コーナーランプといった単位で分業するが、日本企業の設計者は照明系全般を受け持つと、米国の日系自動車企業のR&Dセンターで聞いたことがある。また、1980年代の我々の調査では、日本で約500人の設計チームで行う新车開発が、米国企業では約1000人を必要としていた。

我々のハーバード自動車製品開発研究チームが、このように世界規模での実証的・統計的調査をしていたのは、主に1980~90年代である。その後、3次元CAD(コンピュータ支援設計ソフト)などにより開発業務のデジタル化が進んだ1990年代後半以降の展開についても、その後の実態調査や関係者インタビューを通じて概要を把握している。しかし、個々の設計室の内部の実態の詳細までは、必ずしもフォローしきれていない。その意味でも、設計業務の中核的な組織やプロセスに長年関与してこられた三木氏の論考は、筆者にとっても大変参考になる。

前述のように、三木(2019)において、三木氏は、大きく3つの主張をしていると筆者は考える。第1は、前著から一貫した「部品半減・コスト半減」法の実例を交えた解説と提案である。第2は、設計現場におけるデジタル開発の普及の功罪と、チームワーク重視の製品設計への回帰の勧めである。第3に、顧客ニーズと製品コンセプトを起点とする部門横断的なプロジェクト型製品開発である。以下、この3つを順次見ていこう。

2 DTCと部品統合化

部品点数半減 DTC の成果と得意領域: 三木氏のDTC(Design to Cost)、特に氏のトレードマークともいえる「部品半減・コスト半減」の設計法は、氏の長年の実践経験に裏打ちされている。機

能を所与とした場合、構造の合理化は、DTC 開発であれ、VE (Value Engineering) であれ、低コスト・フルーガルイノベーション (frugal innovation) であれ、コスト低減に大きな威力を発揮する。三木氏はその道の達人であり、いろいろな所でその指導をしておられる。

三木氏は、機能を所与とした場合の部品点数削減による DTC を強力に推進し、各所においてその成果も顕著であるため、特に機械系を中心に、多くの設計実務家の間で人気がある。先日も、和歌山県のある優良な中小企業を訪問したところ、近々、三木氏が設計指導に来られるとのことであった。三木氏はこのように、「良い設計」の指導のために全国を飛び回っておられる。

一般に、設計合理化によるコストダウンには、①部品の共通化・標準化でコスト低減か、②部品の統合化・点数削減、という 2 つのアプローチがありうる。三木流の部品半減設計は明確に後者である。そしてそれは、後述のように、日本企業が「設計の比較優位」を持つ傾向のある、複雑なインテグラル型設計の製品、例えば高機能型の自動車その他の機械製品で特に威力を発揮すると考えられる。この点は後で分析する。

筆者はかつて、中国ローカル自動車企業の低コスト車(多くはコピー部品寄せ集め設計的)と、インドの低コスト車であるタタ社のナノ(標準部品も使いつつもかなり独自設計的)の比較分析をしたことがあるが、このインド車は部品の統合化・集約化を多用し、設計品質も中国製の同類車より良かった。例えば、車体補強用のビームをシートの剛性確保にも使っており、2 機能の 1 構造化で部品点数の削減に貢献していた。(Lim and Fujimoto 2019)。

高機能自動車のように、製品のアーキテクチャ(設計思想)がインテグラル型(擦り合わせ型)に近い場合、モデルごとに特殊設計のカスタム部品が機能部品の半分以上を占める。この点で、業界標準部品を多用する一部のデジタル製品(例えばパソコン)とはかなり設計思想が異なる。デジタル家電製品でも、回路設計部分は標準部品を多用するが、物理的な高機能を要求される製品の躯体や機構の部分は、やはり専用部品による最適設計になりやすい。

一般に、物理法則の支配下で、要求機能も制約条件も厳しい加工組立系の製品は、インテグラル型(擦り合わせ型)の最適設計となりやすい。したがって、そうした製品を構成する部品は、その製品専用のカスタム設計の部品になりやすい。多能工のチームワークや濃密なサプライヤー関係を持ち味とする日本の開発・生産現場が得意とする、こうした擦り合わせ型製品では、部品共通化よりは部品点数削減がコスト削減に効く。安全・燃費・環境性能の要求が厳しい高機能自動車がそうだし、柔らかい土や繊細な作物が相手の高機能農業機械も、ペットボトルなど柔らかい物体の正確な繰り返し処理が要求される自動販売機もそうだ。

こうしたタイプの製品の場合、比較的大きな粒度での部品の共通化・標準化を無理に行えば、最適設計が崩れて、全体システムの機能が低下する恐れがある。粒度を下げたレベルでの部品共通化は幾分容易になるが、そうすると今度は、組立加工費が増加する。逆に言えば、組立工程数が減少する部品点数削減はコスト低減にストレートに効くのである。

部品半減設計の経済学: このことを、ある種の機械製品に関する簡単な費用モデルで考えてみ

よう¹。ここでは、製品 1 個当たり製造原価を C とし、全て「個当たり」で計算する。単純化のため、全ての部品は内製で、素材を直接材料費 (V) として購入するものとする。それを除く製造原価は、個当たりの部品加工費 (C_p) と組立加工費 (C_a) に分かれるものとする。つまり、

$$C = V + C_p + C_a \cdots (1)$$

また、この機械は N 点の単体部品 (それ以上分解できない部品。ただしボルトなど締結部品は除く) で構成されるものとし、単純化のため、 N 点の構成部品の単価はすべて同一とする。

N 個の部品のうちの第 i 部品の固定費 (主に機械設備の償却費) を Fp_i 、その当期部品生産量を Xp_i 、変動費 (主に直接労務費) を Vp_i とするなら、 i 部品の個当たり加工費は、当期固定費 Fp_i を当期生産量 Xp_i で除し、変動費 Vp_i を加えることにより、

$$C_p = \sum (Fp_i / Xp_i + Vp_i) \cdots (2)$$

となる。ここで単純化のため、 N 点の部品のコスト構造が全て同一 ($Fp/Xp + Vp$) だと仮定するなら、単に、

$$C_p = N(Fp/Xp + Vp) \cdots (3)$$

となる。

次に、組立加工費 (C_a) だが、部品点数が N なら、それらを一つずつ結合する組立作業の数は $N - 1$ 回と考えられる。したがって、部品加工費と同様、第 j 組立工程の固定費を Fa_j 、当期製品生産量を Xa 、変動費を Va_j とするなら、個当たりの組立加工費は、

$$C_a = \sum (Fa_j / Xa + Va_j) \cdots (4)$$

となる。部品加工の場合と同様に、仮に全組立工程のコスト構造が同一だと単純化するなら、

$$C_a = (N - 1)(Fa/Xa + Va) \cdots (5)$$

となる。三木氏の指摘通り、機械製品の組立工程は加工工程より手作業への依存度が高い傾向があるのであれば、個当たりの変動費 Va は加工の変動費 Vp より大きい傾向があると言える ($Va > Vp$)。逆に、部品加工に高価な専用工作機や金型・治工具を使う傾向が大きいならば、加工の固

¹ 本節の妥当性検討においては、東京大学大学院経済学研究科博士課程・RAである菊地宏樹氏より貴重なコメントをいただいた。

定費 F_p が組立の固定費 F_a より高い傾向があると言える($F_p > F_a$)。

以上をまとめるならば、この製品の個当たり製造原価は、上記の単純化を仮定した場合、式(1)、式(3)、式(5)より、

$$C = V + N(F_p/X_p + V_p) + (N - 1)(F_a/X_a + V_a) \cdots (6)$$

となる。

ここで、これ以上ばらせないところまで部品を分解した時の部品点数(ボルトなど締結部品を除く)を偶数 N とし、三木氏流の部品半減の設計改善により、その部品点数 N を半分の $N/2$ にするとしよう。このとき、1 回に 1 部品ずつ結合するなら組立工程数は $N - 1$ なので、部品半減後の組立工程数は $N/2 - 1$ 、つまり半分以下になる。また、製品の生産量は原価企画により X_a^* と事前に決め、三木氏の想定通り、これが実現するものと仮定しよう。

ここで、現状の部品点数 N での個当たり費用を C 、機能を所与とした設計改善により部品点数を $N/2$ に半減させた後のそれを C' とする。またその時の個当たり直接材料費を V' 、部品生産数を X_p' とする。すなわち、

$$C' = V' + N/2 (F_p/X_p' + V_p) + (N/2 - 1)(F_a/X_a + V_a) \cdots (7)$$

とすると、部品点数半減によるコスト削減幅は、式(6)から式(7)を引くことにより、

$$C - C' = (V - V') + N F_p(1/X_p - 1/2X_p') + (N/2)V_p + (N/2)(F_a/X_a + V_a) \cdots (8)$$

となる。

仮に素材費用の半減($V' = 2/V$)が達成され、また当該製品がインテグラル型の最適設計製品で、この製品を構成する全ての部品がその製品専用の部品であるなら、製品生産数(X_a)と部品生産数(X_p と X_p')は同一なので($X_p = X_p' = X_a$)、コスト削減幅は

$$C - C' = 1/2\{V + N(F_p/X_p + V_p) + N(F_a/X_a + V_a)\} \cdots (9)$$

となる。つまり、単位コストは半分を少し下回る程度にまで削減される。この場合、三木氏が提言する「部品半減・コスト半減」が、実際に費用モデルで再現できる。

しかし、仮に、 N を半減する前の部品が極めて大量生産の標準部品であり、部品の一体化・統合化による点数削減により、その部品自体が専用部品化する場合、一体化による部品点数の削減の結果、部品生産量が大幅に減少する可能性がある($X_p > X_p'$)。

仮に、元々使用していた標準部品の生産量(X_p)が半減後のそれ(X_p')と比べ相当に大きく、かつそれにかかる固定費(F_p)も相当に大きい場合、上式(8)の第2項はマイナスの大きな数字にな

り、その結果、全体の費用削減額 $C - C'$ も負、つまりコスト増になる($C < C'$)。つまり部品半減でかえって単位コストが高くなる可能性が出てくる。

しかし、このようなこと、つまり部品統合化・点数削減によりコスト増が起こる可能性は、例えば、元々この製品が標準部品を多用するオープン・モジュラー型アーキテクチャのデジタル製品であり、部品統合化によりそれらの部品が専用部品(カスタム設計部品)に変わる場合に限定される。

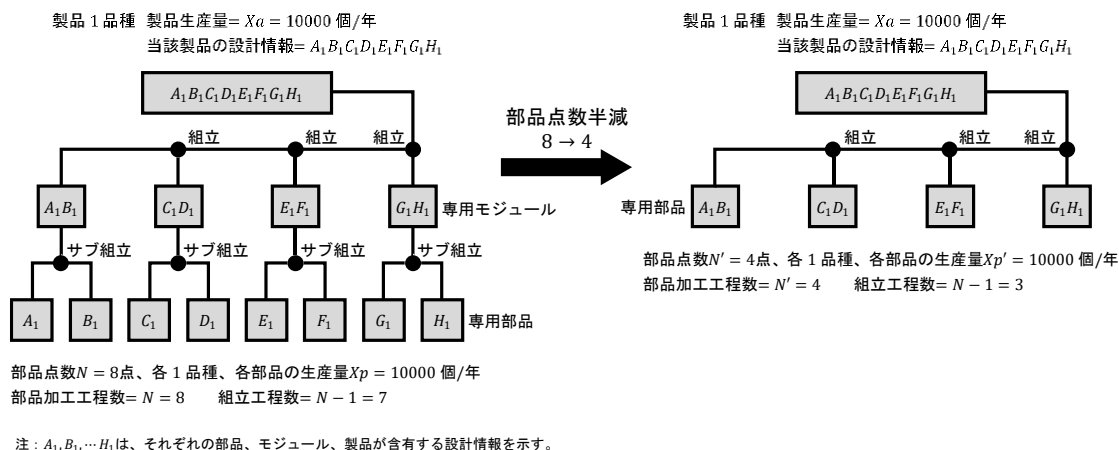
逆に言うなら、日本企業が得意とする擦り合わせ型アーキテクチャの機械製品(例えば自動車や建設機械や農業機械)の場合は、製品生産数と部品生産数があまり変わらないので($Xp \cong Xp' \cong Xa$)、このようなことは起きず、三木氏の主張と実績が示すように、部品点数半減によりコスト半減が概ね達成される可能性が大きい。

以上をまとめるならば、①素材の直接材料費 V を半分の $V/2$ 、あるいはそれに近い水準まで削減でき、②部品統合化の結果、共通部品の専用部品化が起こることによる部品生産量の縮小率(Xp'/Xp)が極端に小さくなく、③個々の部品生産の製造固定費 Fp が極端に大きくない限り、部品点数の削減は製品コストの削減に効き、 N を半減すれば C も概ね半減となると予想される。以上が、部品点数半減策がコスト半減的効果をもたらす条件である。

数値例:以上の分析を簡単な数値例で示そう。仮に、もともとの製品設計では部品点数が 8 点で、これを 4 工程でサブ組立して 4 モジュールをまず作り、それらを 3 工程で最終組立する形であったとしよう。つまり、部品 N は 8 点、組立作業($N - 1$)は 7 工程である。また製品の 1 品種当たりの生産数(Xa) は年間 10000 個としよう。また、部品加工は組立より機械化が進んでいるものとし、1 部品の機械加工の変動費 Vp は 100 円、1 組立工程の変動費 Va は 1000 円とする。逆に、機械加工の固定費 Fp は 1000 万円、組立の固定費 Fa は 100 万円。以上を数値例の前提としよう。

次に、これら 8 点の部品を、DTC 設計改善によって 4 点の部品に統合化するとしよう。改善後の部品 N' は 4 点、組立作業($N' - 1$)は 3 工程である(図 1)。また同時に、三木氏の指摘するように、素材の変動費(V)も工夫により、半分とは言わずとも、30%は低減できるものとしよう(ここでは $V = 5000$ 円 $\rightarrow V' = 3500$ 円とする)。

図 1 インテグラル型製品の部品点数半減(専用部品→専用部品)



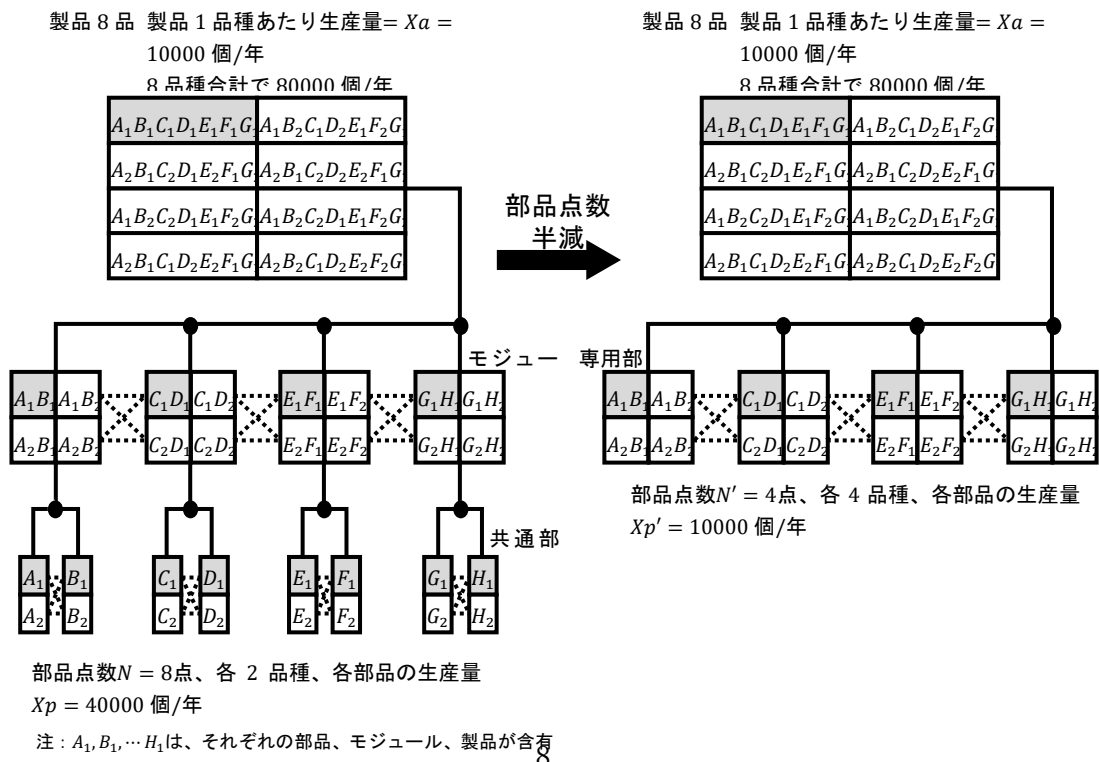
この時、部品半減の DCT 活動がコスト半減を達成するかは、前述のように、製品のアーキテクチャのインテグラル度と、工程の生産技術の資本集約度に拠る。

(i) この製品が、高機能の自動車や農業機械や自動販売機のように、最適設計に近いインテグラル型(擦り合わせ型)アーキテクチャの製品であるなら、各部品は、図 1 で示すように、当該製品の専用部品である可能性が高く、したがって部品生産数(Xp)は製品生産数と同じだと仮定できる($Xp = Xp' = 10000$ 個)。

以上の数値を、前述の(8)式および(9)式に適用するなら、個当たり製造費用は、部品点数8の時に $C = 21500$ 円だったものが、部品点数が4に半減された後には $C' = 11200$ 円と、実際に概ねコスト半減となる。つまり三木氏の主張通り、コストハーフという結果が予想される。

(ii) 一方、この製品が標準部品から構成されるモジュラー型(組み合わせ型)アーキテクチャである場合、この製品を構成する部品は、他の製品にも使われるため、部品生産数は当該製品の生産数より大きくなる($Xp > Xa$)。さらに、それらの部品が、固定費 Fp が大きく、従って量産効果が大きく効く部品である場合、部品点数の削減によって構成部品が標準部品から専用部品に変わってしまうことによる部品生産費用 Cp の増加が、組立費用 Ca の低減効果を相殺する、あるいは上回ってしまう可能性が高まる(図 2)

図 2 モジュラー型製品の部品点数半減(標準部品)



例えば、仮にこの製品がモジュラー型で、他製品にも使われ(図 2 では 8 製品が共用)、それゆえ生産量の多い標準部品($Xp = 40000$ 個)を使用していたのが、部品の一体化・点数半減の後に専用部品化し($Xp' = Xa = 10000$ 個)、かつその部品加工が資本集約的で、工程当たりの固定費(Fp)が前述の 1000 万円ではなく 3000 万円だったとすると、個当たり製造原価は、改善前が $C = 19500$ 円、改善後は $C' = 19200$ 円となる。つまり、組立費 Ca の低減分を部品加工費 Cp の増加分で相殺してしまう形となり、部品点数半減のコスト低減効果がほぼ消えてしまう。

(iii)さらに、当初の標準部品の生産量(Xp)あるいは部品加工固定費(Fp)が、この水準を超えて大きくなれば、部品点数削減のコスト低減効果よりも部品の共通化・標準化のそれが大きくなる。例えば、当初の標準部品の生産量が $Xp = 40000$ 個ではなく $Xp = 80000$ 個だとすると、個当たり製造原価は、部品点数半減の前が $C = 16500$ 円、後は $C' = 19200$ 円となり、部品点数削減により個当たりコストはかえって上昇する。

擦り合わせ型製品で特に効果的:このように、当該製品の個当たりコストが、部品点数 N の半減($N \rightarrow N/2$)によって大幅に下がるかどうかは、製品のアーキテクチャ(部品の標準度・専用度)や部品加工工程の生産技術(資本集約度)などの条件にもよる。しかし、当該製品がインテグラル型アーキテクチャに近く、また部品加工設備が(例えば半導体製造装置のように)極端に高価ではない、という条件下では、設計情報量が同一の製品の部品点数を N から $N/2$ に減らしたとき、実際にコスト削減が実現する可能性が高くなる。

戦後の日本の開発・製造現場が得意としてきた、複雑でインテグラル型の機械製品の場合、この条件が概ね当てはまる。よって、三木流の部品半減設計法は、特に日本が元来、高い国際競争力を持ってきた製品群において、さらなる競争力アップに大きな貢献があると予想できるのである。

3 設計現場の能力再構築

製品開発現場は進化したか:さて、第 2 のテーマである設計現場の組織能力に目を転じよう。日本の設計現場は多能的な技術者・作業者が多く、調整能力の高い協業型・統合型であるため、インテグラル型の製品で「設計の比較優位」を発揮する傾向があると、筆者は長年主張してきた(藤本 2003、2004、2012、2017、藤本編 2013、藤本・安本編著 2000、藤本・武石・青島編 2001、藤本・桑嶋編 2009、他)。また本稿では、三木氏が推進する部品点数半減による設計合理化は、特に、日本の現場が設計の比較優位を持つ、そうした調整集約型つまりインテグラル型(擦り合わせ型)アーキテクチャの製品において、製品の競争力をさらに高める可能性が高いと予想した。

しかし、こうした議論の大前提は、上記のような協業型の設計・生産現場が今後も維持されることである。この点は大丈夫だろうか。

ものづくり経営学を研究する筆者は、国内外で 1000 か所以上の生産や開発やサービスの現場を見てきたが、その印象を一言で言うなら、生産における優良な国内現場、つまり工場を見る限り、「多能工のチームワークで付加価値(設計情報)の良い流れを作る」という日本型ものづくりの基本

形は、冷戦終結後、平成期の約 30 年間、ほとんど崩れず、むしろ逆境の中で着実に進化を続けたと考えられる(藤本 2004、2012、2017)。実態観察でも産業統計でも、このことをサポートする証拠には事欠かない。

その結果、平成末期(2010 年代末)においても、日本の製造業は GDP の 20%超、付加価値は約 100 兆円、就業者数は 1000 万人という、平成前期に匹敵する規模を維持している。一時騒がれた「日本製造業消滅論」や「全製造業空洞化論」が、理論的にも実証的にも根拠のない誤りであったことは、今や明らかであろう。

それでは、ものづくりのもう一つの核である開発の現場、とりわけ設計現場はどうだろうか。生産現場と比べた場合、製品開発、とくに製品設計の現場においては、そこで開発される新製品の進化、あるいは CAD、CAM、CAE、PLM、3 次元プリンターなどに代表される設計・開発支援の情報技術の進化は目覚ましい。しかしながら、人間系の設計組織の進化は、生産部門に比べて遅い傾向があったのではないかと筆者は見る。

一つには、製品開発組織は、新製品の技術やコンセプトの進歩についていくのに精いっぱい、自らの開発組織の継続的な能力構築には、意外にも手が回っていなかったと、筆者は懸念するのである(藤本=クラーク 2009、増補版、序章)。むろん、自動車など競争優位産業においては、この間も優れた開発プロジェクトや開発組織改革が行われてきたことは事実であるが(藤本 1997、延岡 1996、藤本編 2017、藤本・安本編著 2000、藤本・桑嶋編 2009、他)、そうした成果が着実に次世代の組織に引き継がれ、製品開発組織自体の継続的な進化を生んでいたかという点、必ずしもそうは言いきれないというのが、この分野を 30 数年見てきた筆者の率直な感想である。

この点、三木氏は、設計現場に限って言えば、技術進歩の陰で、設計現場の組織能力はむしろ退化している側面もあったのではないかと鋭く指摘する。非常に重要な論考である。

学習する設計組織と検図機能: 三木氏は、2 次元 CAD(コンピュータ支援設計)が日本企業に本格的に入る 1970 年代から開発現場を一貫して見てきた経験から、このころから普及したパソコンの導入による開発実務の形態の変容が、開発組織のある種の弱体化、とくに集团的ままとりの弱体化の第一の要因としてあるのではないかと指摘する。そして、こうした設計現場における「統合型組織能力」の弱体化は、3 次元 CAD、CAM(コンピュータ支援金型製作)、CAE(シミュレーション)などが次々に普及した 1990 年代以降、さらに顕著になったのではないかと述べる。これは、21 世紀の今日に通用する、きわめて重要な警鐘だと筆者は考える。

三木氏によると、「学習する設計組織」の原点は、ドラフター(製図機)を使って紙の原寸大設計図(原図)を手書きで作図していた時代に遡る。むろん三木氏は、単に「昔は良かった」とノスタルジックに言っているのではなく、その分析は機能合理的である。ここでのキーコンセプトの一つは「検図」であると筆者は見る。

一般に、製品開発における設計の評価サイクルとしては、開発の節目ごとにデザインレビュー(DR;設計審査会)があり、また製品エンジニアリング段階の大きなサイクルとして設計・試作・実験サイクル(Design - Build-Test Cycle)があるが、設計部署内におけるより頻繁な評価サイクルは検図(drawing check)である。

検図は、製図後の図面を自己チェックの上で上司に説明し、抜け漏れのない評価基準で最終検図を受けるという手順が基本と考えられるが、それ以前の日常的なルーチンとして、上司や先輩が設計現場を巡回し、作図中の設計図(多くは原寸大)を一覧し、その場で気付いた問題点をどんどん指導していくという、いわば設計品質向上と設計者教育を兼ねたインフォーマルな検図がある。これが機能していて初めて、設計の PDCA がしっかり回っていると言える。部屋全体が一覧できるドラフター時代の設計現場であれば、どの設計者が悩んでいるかも直ぐわかり、指導や助言も頻繁に行われていたと三木氏は指摘する。また、こうした指導には、その場で図面の余白に書く手書きの「ポンチ絵」がコミュニケーションツールとして多用され、設計者相互の評価も頻繁に行われていたと、氏は当時を振り返る。

設計支援情報技術の功罪:しかしながら、CAD が普及し、ドラフターが設計室から消えるに従い、こうした日常的な検図やポンチ絵を通じた教育や設計的一体感の醸成は次第に難しくなると三木氏は述べる。2次元CADのころはそれでも、事後的な三面図のチェックはできたが、3次元CADになると、設計部署内での設計品質の日常的な改善はいよいよ難しくなった。多くの場合、部品等の機能構造関係を決める設計者と、それを幾何学的に表現するCADオペレータが分業化し、その間のコミュニケーションが問題になった。設計者と図面工が分業化していたかつての米国の設計現場を想起させる分業である。また、設計者同士も別々のブースと画面に籠り、相互の仕事が「見えない化」し、検図しやすい(意図の分かりやすい)設計図や設計書類を作る設計者の能力も低下し、上司もタイムリーな検図や指導が難しくなると三木氏は危惧する。

要するに、設計現場の空間が協業促進型から分業促進型へと変容し、顧客も生産も分かる多能的な設計者が減り、設計者が製品全体のコンセプトを共有する機会も減り、全体として、日本が得意とした調整型設計能力が減退し、個人が個室やブースに籠って仕事をする米国式の分業型のづくりに近づいていないか、との懸念が、今の日本の多くの設計部門にあるというわけだ(藤本・朴編著 2015)。

さらにこうして、いわば孤立無援状態で、複雑化する人工物を設計する若手の現場設計者は、設計失敗の恐怖から、顧客満足・機能・コスト・製造性などを重視した大胆な設計を避け、前例重視・流用設計など、安全運轉的な指向を強める可能性が高い。これは「学習する設計組織」として良い姿には見えない。

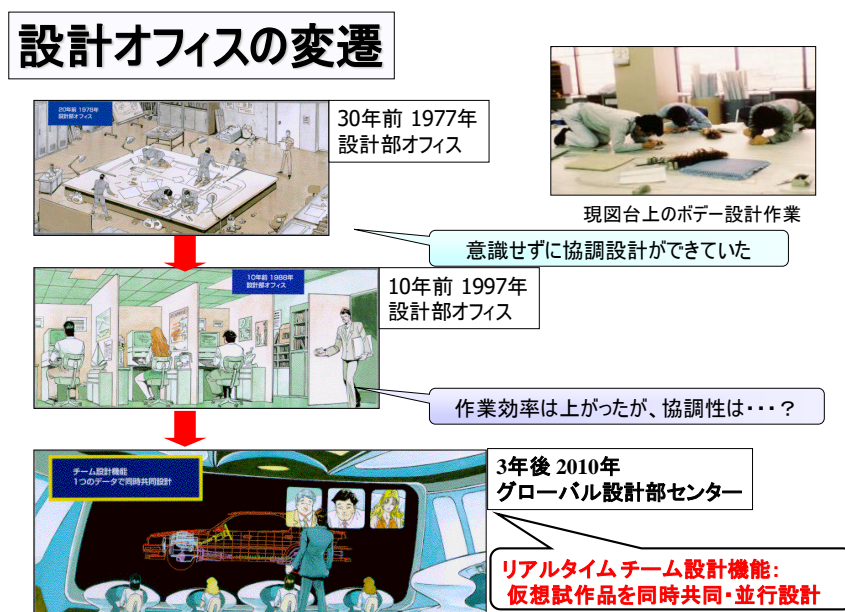
確かに、3次元CADを中心とする設計業務のデジタル化は、例えば設計・試作・実験のフロントローディング(問題解決の前倒し)を促進することで開発リードタイムを大幅短縮する、製品設計→金型設計→金型加工の設計情報変換を自動化・高速化する、設計マスターファイルを電子化することで転写誤差の累積を防ぐなど、製品開発の高速化・効率化・高精度化などに大きく貢献してきた(Thomke and Fujimoto 2000)。今更ドラフターと紙の図面の時代に戻れるわけではない。

しかし我々は、設計製図の旧技術の時代に存在した組織能力、とくに学習する多能的設計者の集団としての能力構築能力を維持しようとするのであれば、設計作業がデジタル化する環境の中で、原図・製図時代の設計現場が持っていた組織能力を維持するような工夫を、考えていく必要がある — 設計組織に関する三木氏のメッセージは、そのように解釈できると筆者は考えている。

トヨタ系の CAD 企業、トヨタ・ケーラムの社長であった新木廣海氏は、2007 年の自身の講演資料の中で、図 3 のような構想を示した(新木 2007)。すなわち、自動車の製品開発においても、かつては原寸大の原図上に設計者が乗って、お互いの仕事を見ながら、サッカーチームのように設計を進めていたのであるが、高度な3次元CADの登場で、オペレータがブースに籠る分業型になり、優秀な設計者個人を個室に入らせて行う伝統的欧米式の分業設計組織に近い形になってきた。これが、2007 年当時の状況認識である。これに対し新木氏は、皆が自分の作業の CAD 画面を見ながら、同時に全体設計の進捗状況もリアルタイムで(例えばビューワーの活用などにより)相互に見られるようにすることで、原図時代の統合型設計現場の良さを、デジタル設計時代に再現する構想を持っていた。2010 年以前の話で、その先見性は特筆に値する。

それから十年以上たった 2010 年代末の現在、こうしたデジタル・チーム設計がフルに実現している設計現場はあまりないと思われるが、本格的なデジタル・マニュファクチャリングの時代となり、ようやく新木氏の構想を実現できる技術的条件はそろってきたと筆者は考える。あとは、こうした日本の設計現場の強さとデジタル設計のパワーを両立させる組織革新を、社内でだれが推進するかどうかであろう。三木氏の上述の論考は、日本のものづくりの競争力に大きく影響するこの重大なテーマに、多くのヒントを与えてくれるものと筆者は考える。

図 3:トヨタ・ケーラム新木廣海社長(2007 年当時)のデジタル・チームワーク設計構想



新木廣海氏(当時トヨタケーラム社長)2007年1月30日講演資料「日本のモノ・コトづくりとCAD/CAM」より。東京大学・安田講堂「IT ともものづくり：デジタル設計開発の課題と展望」発表会。東京大学ものづくり経営研究センター・日本経済新聞社共催。

4 プロジェクト型製品開発の再評価

重量級プロダクトマネジャー制:最後に、第 3 のテーマである、顧客コンセプト重視、部門横断的、

一貫通貫的、プロジェクト体制の製品開発についての、三木氏の論考について筆者なりに考えてみよう。

三木氏の製品開発論は、自身の出身企業(クボタ他)での経験に根差し、確固たる信念をもって主張されているが、実はそれは、複雑な擦り合わせ型製品、例えば高機能自動車などの新製品開発において高い成功率と結びつくことが確認されてきた「重量級プロダクトマネジャー (PM) 制」「重量級プロジェクト制」と、ほぼパターンが一致する。その意味でも、三木流のプロジェクトマネジメント論は、実に理にかなっていると筆者は考える。

「重量級 PM 制」の特徴は、概ね以下のとおりである(藤本=クラーク 2009)。(i) 外部統合: 各製品の開発リーダーであるプロジェクトマネジャーが、自ら当該製品の製品コンセプト創造に責任を持つ(例えばトヨタの主査構想); (ii) 内部統合: 製品開発部門のみならず、当該製品に関する生産技術、製造、調達、営業、サービス、主要サプライヤーなどの諸部門の当該プロジェクト担当者にも、製品コンセプトを通じて大きな影響を持ち、これら全体を統括する。(iii) こうした外部統合と内部統合を通じて、当該新製品の概念的・設計的な首尾一貫性、すなわちプロダクト・インテグリティを確保し、製品を相対的に高い確率で成功に導く。

例えばトヨタの場合、重量級 PM に相当する開発リーダーは、かつての主査、現在のチーフエンジニア(CE)である。本田であればラージプロジェクトリーダー(LPL)あるいは RAD である。トヨタとホンダは、社風は大いに違うが、事実上、重量級 PM 制を採っている点では、意外に共通点がある。こうした組織の開発リーダーは、開発等の機能別組織(例えばボディ設計部、シャシー設計部、エンジン設計部、試作部、実験部)を横断する形で新車開発を統括する(両社の製品開発組織の過去と現在については、碓 1985、1986、前間 1993、トヨタ自動車株式会社 2001、下川編著 2013、安達 2014、野村 2015、小林 2017、他を見よ)

したがって重量級 PM 制は、組織構造的には、プロジェクト組織と機能別組織が交差するマトリクス組織であるが、それでは A 製品開発プロジェクト担当のボディ設計者は、A の開発リーダー(プロジェクト組織)とボディ設計部長(機能組織)、どちらの言うことを優先すべきか。

例えば重量級 PM を採用する上記の 2 社の場合、人事権は設計部長(機能部門)にあり、その意味で重量級 PM はプロジェクトメンバーに対して正式の命令権限は持たない。しかしそれでも、重量級 PM は、自身が責任を持ち経営トップの承認を得た製品コンセプトを根拠に、設計者の認識や行為に大きな影響を与え、プロジェクトを強力に統括し推進することができる。その背後には、以下のような、公式ではないが暗黙の了解があるものと推定される; (i) 製品の設計は究極的には経営者の専管事項である; (ii) その経営陣が任命し製品コンセプトを承認することによって、重量級 PM は、本件に関してはいわば「社長の分身として新製品開発を推進する」ことが暗黙裡に認められる。

筆者は、実際に多くの重量級 PM に直接会う機会があった。彼らの個性やリーダーシップのスタイルは多様であったが、過去に多かった強烈個性派の重量級 PM の中には、千枚を超える部品図をすべてチェックし、自分が作成した製品コンセプトに合わない図面があれば設計部に出かけていき、設計部長が在席の中で「コンセプトに合わないから書き直せ」と命じていた。

前述の人事権等の公式ルールからすれば、これは設計部長を差し置いた越権行為かもしれないが、そこでは黙認されていたようである。おそらく、「製品コンセプト企画書は当該新製品のいわばバイブルであり、それを実行する限りにおいて重量級 PM は社長の分身である」といった暗黙の了解がそこにあったのだろう。逆に言えば、そうした行為や認識が実際に存在しない企業は、「重量級 PM 制」が存在しない企業である。これは、組織図だけを見ても分からないことである。

デザイン思考と重量級 PM:ちなみに、近年、米国のシリコンバレーを中心に、デザイン思考 (design thinking) と呼ばれる、主にコンセプト段階の概念設計を促進する設計手法が急速に普及しているが、この源流は、実はトヨタ、ホンダ、ソニーなどに数十年前からあったコンセプト作成手法だと言われる。例えば、トヨタ自動車の往年のヒット車、初代カローラの主査であった長谷川龍雄氏の主査構想 (製品コンセプト企画) は、カローラに乗って人生の一日を楽しむ山の手の奥様の一日を描いた短編小説のようなものであり、製品よりそれを使った生活が先に描かれる。デザイン思考の基本的な発想法を、既に半世紀も前に先取りしていたと言える。

しかし、こうした手法を天才設計者の奥義と見なす傾向のある優良日本企業の閉じた製品開発組織に対し、企業を超えたオープンな環境下で、地域全体から続々とイノベーションが生まれるシリコンバレーは、いわばこうした顧客志向・実験指向の概念設計手法を標準化・パッケージ化し、誰もが共有できる知的資産とした。これらにより、シリコンバレーには、新奇なアイデアを持つ者、その管理ができる者、実装に貢献する者、資金を出す者などが短期プロジェクトの集散離合を繰り返すという、独特のイノベーション・スタイルが出来た。そこでプロトタイプ (試作) として流通している意思疎通手段は、三木氏の言葉で言えば「ポンチ絵」であることが多い。

こうしてシリコンバレーで発展した短期集散離合型のチーム設計は、重さのない電子や論理で駆動する、オープン・モジュラー型アーキテクチャのデジタル物財・サービスの世界においては威力を発揮する。日本の産業・企業も、こうした分野では、改めてデザイン思考を学ぶ必要がある。

しかし、物理法則に支配され、エネルギー・環境・安全制約の厳しい、複雑なインテグラル物財 (例えば高機能型の自動車や産業機械) の場合は、日本の優良企業で発達したような、少数精鋭の安定的なメンバーによる、多能的技術者のチームワークに頼る製品開発が依然として重要である。そして、その中心には、市場直結の強力なコンセプトで開発プロジェクトを牽引する「重量級 PM」が存在する。

いずれにせよ、三木 (2019) で三木氏が示した、顧客の「ナマの声」の収集に基づき、顧客の「感動」と「問題点」を抽出し、顧客視点と企業視点をバランスさせる「製品開発企画書」作りの方法論は、重量級 PM 制の考え方も、デザイン思考とも親和性のある、いわば王道的な製品企画論だと言える。

三木流製品開発論の論理:さて、この観点から、改めて三木氏の製品開発論を見てみよう。そのキーワードは、製品別開発組織、プロジェクト体制、一気通貫体制、社長・事業部長直轄プロジェクト、開発目標の共有、製品開発企画書などである。要するに、(1) 「顧客の感動」第一の製品コンセプトを通じた外部統合と、(2) 製品別プロジェクト体制による内部統合を同時に実現する、(3) 少数精鋭で練度の高い多能的開発チームを、(4) 重量級 PM (かつての三木氏自身を含む) が強力

に統括し、(5) 社長直轄・一気通貫・現場現物主義によって製品開発チームと経営陣、研究部門、営業部門、製造部門、原価管理部門等との距離を縮め、(6) プロダクト・インテグリティとコスト競争力を兼ね備えた強い新製品の開発を、(7) 問題解決の前倒し(フロントローディング)や同時並行化(オーバーラッピング)により高生産性・短リードタイムで推進する。これは、日本の他の優良企業においても見られた「重量級 PM 制」そのものといっても過言ではない(藤本=クラーク 2009)。

三木氏がここで提唱する DTC 開発手法は、真空状態の中に存在するのではなく、こうした効果的な製品開発体制の中に埋め込まれた形でこそ存在するのである。

三木(2019)で述べられているように、三木氏は実際に、所属企業(クボタ)の小型トラクター、田植え機、自動販売機、浄化槽、産業用空調機、コンバイン等の製品開発プロジェクトに参加し、あるいはそれらを指導・統括してきたが、そこで適用されたのは、DTC による部品半減・コスト半減の取り組みに留まらず、上記の(1)~(7)の要素を含む、三木流の製品開発マネジメント法であったと言えよう。そして、三木(2019)において展開されたこの製品開発論の全体像は、戦後の日本の優良企業が得意としてきた、つまり一貫して「設計の比較優位」を維持してきた、複雑な擦り合わせ型アーキテクチャの機械製品の開発手法としては、まさに王道的なものであると言って過言ではなからう。

三木氏は、農業機械の設計にあたり、「ものづくり現場学」の一環として、異業種である自動車の注目モデルを分解して研究するリバース・エンジニアリングを行っている。しかし、その背後にある日本の有力自動車企業の開発プロセスや開発組織の詳細までをコピーしたわけではないだろう。だが、結果として、三木氏の手法が、独自の展開にもかかわらず、こうした日本の優良異業種企業の「重量級 PM 制」と多くの共通点を持ったということは、特筆に値する。

要するに、自社の製品の市場特性、技術特性、設計思想などを踏まえて、あるべき製品開発の姿を、独自のアイデアでとことん考え抜いた場合、それと特性の類似した製品群を開発する異業種で模範とされる製品開発手法と、結果的に似てくるということは、ある意味で自然なことであるのかもしれない。三木(2019)で展開された、三木氏の DTC 製品開発手法は、こうした、より広い歴史的あるいは産業的な文脈の中で語られるべきものではないかと筆者は考える。

参考文献

- 安達瑛二(2014)『ドキュメント・トヨタの製品開発』白桃書房
- 新木廣海(2007)「日本のモノ・コトづくりと CAD/CAM」、2007 年 1 月 30 日「IT とものづくり: デジタル設計開発の課題と展望」(東京大学安田講堂)発表資料
- 藤本隆宏(1997)『生産システムの進化論』有斐閣
- 藤本隆宏(2003)『能力構築競争』中公新書
- 藤本隆宏(2004)『日本のもの造り哲学』日本経済新聞社
- 藤本隆宏(2012)『ものづくりからの復活』日本経済新聞出版社
- 藤本隆宏(2017)『現場から見上げる企業戦略論』角川新書

- 藤本隆宏編(2013)『「人工物」複雑化の時代』有斐閣
- 藤本隆宏=キム・B クラーク(1993)『製品開発力』田村明比呂訳、ダイヤモンド社
- 藤本隆宏=キム・B クラーク(2009)『増補版・製品開発力』田村明比呂訳、ダイヤモンド社
- 藤本隆宏・桑島健一編(2009)『日本型プロセス産業』有斐閣
- 藤本隆宏・朴英元編著(2015)『ITを活かすものづくり』日本経済新聞出版社
- 藤本隆宏・武石彰・青島矢一編(2001)『ビジネス・アーキテクチャ』有斐閣
- 藤本隆宏・安本雅典編著(2000)『成功する製品開発』有斐閣
- 碓義朗(1985)『トヨタ対日産:新車開発の最前線』ダイヤモンド社
- 碓義朗(1986)『燃えるホンダ技術者集団』ダイヤモンド社
- 小林英幸(2017)『原価企画とトヨタのエンジニアたち』中央経済社
- Lim, C. and T. Fujimoto (2019) “Frugal innovation and design changes: expanding the cost-performance frontier : A Schumpeterian approach” *Research Policy* 48 1016-1029.
- 前間孝則(1993)『マン・マシンの昭和伝説』講談社
- 三木博幸(2011)『部品半減』日本経済新聞出版社
- 三木博幸(2014)『コストは必ず半減できる』日本経済新聞出版社
- 三木博幸(2020)『良い製品開発—実践的のものづくり現場学』日本経済新聞出版社
- 延岡健太郎(1996)『マルチプロジェクト戦略』有斐閣
- 野村俊郎(2015)『トヨタの新興国車 IMV』文眞堂
- 下川浩一編著・藤本隆宏・出水力・伊藤洋共著(2013)『ホンダ生産システム』文眞堂
- Thomke, S. and T. Fujimoto (2000) “The Effect of ‘Front-Loading’ Problem Solving on Product development Performance.” *Journal of Product Innovation Management* 17:128-142.
- トヨタ自動車株式会社(2001)『トヨタをつくった技術者たち』トヨタ自動車株式会社技術管理部