

MMRC-J-160

生産技術部門はシステムの「統合者」なのか？
—トヨタ自動車におけるドア設計・
組み立てに関する研究ノート—

マサチューセッツ工科大学 技術・政策・産業開発センター

ダニエル・E・ホイトニー

横浜国立大学経営学部 助教授

ダニエル・A・ヘラー

東京大学大学院経済学研究科 博士課程

東秀忠

東京大学大学院経済学研究科 博士課程

福澤光啓

2007年4月



東京大学21世紀COE [整備済]
ものづくり経営研究センター

生産技術部門はシステムの「統合者」なのか？

—トヨタ自動車におけるドア設計・

組み立てに関する研究ノート—

マサチューセッツ工科大学 技術・政策・産業開発センター

ダニエル・E・ホイットニー

横浜国立大学経営学部 助教授

ダニエル・A・ヘラー

東京大学大学院経済学研究科 博士課程

東秀忠

東京大学大学院経済学研究科 博士課程

福澤光啓

2007年4月

1. はじめに

これまで、多くの研究者によって、トヨタの生産方式や製品開発マネジメントが研究対象にされてきた（藤本, 1997 ; 日野, 2002; Liker, 2003; Morgan, 2002; Spear & Bowen, 1999; Sobek, 1997 等参照）。本研究ノートの目的に照らしてみると、トヨタ自動車は以下の点で注目に値すると筆者らは考える。

1. トヨタは、システムエンジニアリング（“System Engineering” 航空宇宙産業でよく使われる用語）を上手く実践できている企業であると思われる。この手法を自動車メーカーに用いることの主要な効果は、個別の部品よりもむしろ、諸システム¹に焦点を当てていることである。優れた部品を用いれば、優れた自動車を作ることができる信じこんでいる自動車メーカーも存在しているようである。システムに注目するためには、おそらく全従業員のうち5%くらいが、自分の直接的に関係している領域を超えて、その他の関連している部品や活動にも広く進んで注目する必要がある。
2. トヨタは、注意深く内外製区分を決めている。ホイットニーの過去の観察では、高い技術及びスキルを必要とする自動車部品や生産プロセスの場合には、基本的には内製されていることが示された。これに対して、多くの自動車メーカーでは、技術的に挑戦的な部品やプロセスの多くは、アウトソースされ、サプライヤーに依存されることになる(Fine & Whitney, 1996)。しかしこれらのサプライヤーは、自社のやっていることに関しては上手くこなすことができるのだが、自動車メーカーや他のサプライヤーとの統合活動についてはなかなか上手くできない。
3. トヨタは、設計ソフトウェアや工場設備に関する、最も先進的な技術を採用せずに、一般的な現場のベテランやエンジニアが使いこなせる技術を利用する傾向があるように見える。その結果、トヨタでは他の自動車メーカーよりも設計ソフトウェアや設備に関する技術では一歩劣っているように見えるかもしれないが、不足しがちの専門家を必要とすることなく、仕事を行えるのである。

ホイットニーが行ってきたドアの設計プロセスに関する研究のなかから、次の点が明らかになった（Whitney, 2004 参照）。

ドアはそれ自体、パワートレインを除く自動車のほぼ全ての要素を含んだ複雑なシステムであ

¹ システムとは、重要な機能を実現する部品の集合体である。

生産技術はシステムの「統合者」なのか？

る（すなわち、外装、内装、ガラス、塗装、操作機構、安全性、エンターテインメント、空調である）。そして、シートやハンドル、インストルメントパネル以外で、ドアほど顧客と接触するものはない。

ドアは、多くの技術的な構成要素を含んでいるからだけでなく、顧客にとって直接関心のある多くの商品属性を提供することを目的として設計される必要があるため、複雑なシステムである。商品属性の中でも、安全性以外で最も重要なのは、開閉力や風切り音、水漏れ、パネルの合わせ面、隙間である。これらの領域それぞれについて厳しい目標を達成したドアを設計することすら困難であるが、その上これらの商品属性が互いに影響を及ぼしたり、対立したりするために、問題が一層複雑になってしまう。具体的には、騒音や水を漏らさないためにシール性を高めようとすると、ドアを閉めることが難しくなってしまうといったことが起こる。ドアやボディが実際に存在する以前にこれらの領域について、ドアがどのように振る舞うのかということを実験的に予測するのは難しい。試作車が目標値を満たせないことが判明した場合、設計の遅れが生じてしまい、関係する金型や他の治工具を変更しなければならなくなってしまう。

本研究における主たる目標は、いかにしてトヨタ自動車が、ドアの設計と組み立ての両方において、システムや商品属性レベルでのドアの設計を実現できているのかということを探ることであり、トヨタのアウトソーシングに関する意思決定についての理解を補うことにある²。

本研究において明らかとなったことは、トヨタの製品開発アプローチに関して既に知られていることが裏づけられたことに加え、特にドアに関しては、事例に触れることによって、より詳細に深く理解することができている。Morgan (2002) では、トヨタの開発プロセスの主要なタイムラインや、板金部品や金型の設計手法が示されており、スタイリング段階以降でのこのプロセスにおける生産技術の重要な役割について説明されている。Sobek (1997) の博士論文では、いかに、トヨタが「システムシンキング」に価値をおいており、それを上手に行える社員が昇進できているのかということについて示されている。日野 (2002) では、トヨタ自動車が設立された 1930 年代当初から、標準化されたプロセスが、いかにトヨタの業務原則の核心であったのかということが説明されている。本研究は、これらの慣習が、2007 年においても生きているということを確認させるものである。

2. 調査の概要

2004 年に、ホイットニーは、米国ケンタッキー州ジョージタウン市にある Toyota Motor

² 筆者らは全員、多くの自動車企業や工場に訪問してきた経験がある。1991 年には、ホイットニーは日本の多くの産業の企業を訪問した中で、トヨタにも訪問した(Whitney 1991a, b)。

Manufacturing, Kentucky, Inc.のボディ溶接工程と最終組み立てラインを訪問した。そこでは、塗装前のドアの溶接を観察することができたことに加え、塗装前のボディへのドアの組み付け工程や、最終組み立てラインの終わりの近くで行われているドア建付の最終調整工程を観察できた。一方、今回（2007年2月）の調査では、塗装前のドア組み立て工程を観察することはできなかったが、元町工場の最終組み立てラインにおいて、ドア付属部品（ラチェットやガラス、シール、内装トリムなど）を塗装済みのドアに組み付ける工程を観察し、加えて増し打ち溶接ラインを観察できた。今回の見学では、ミニバンやワゴンなどを含む8種類のモデルが、同一の増し打ち溶接ラインで生産されているということ、及び同一最終組み立てラインで8つのモデル（Crown, Crown Majesta, Crown Estate, Mark X, Estima, Mark II Blit, Progres, Brevis、もし Crown Athlete と Royal を別の車種と見れば9つのモデル）の混流生産が行われていたことが明らかとなった。工場見学の他に、ドア設計部門と生産技術部門のマネジャーやエンジニアとのディスカッションを行った。今回の調査は、2日間で延べ9時間に及んだ。

生産技術に関するトヨタ側のインタビューとして、生産技術部門の O 氏（生技管理部シニアマネージャー）、I 氏（生技管理部事務統括室主幹）、Sa 氏（車両生技部長）、Su 氏（車両生技部内外装技術室グループ長であり、Sa 氏に報告義務のある人である）、Um 氏（車両生技部内外装技術室主幹であり、Su 氏に報告義務のある人である）、G 氏（Um 氏のグループで働いている新人の若いエンジニアであり、ヨーロッパから日本に研修に来ている）にご参加頂いた。また、ドア設計のエンジニアとして、レクサスセンターから Ue 氏（ボディ設計部門のグループ長）と Y 氏（車両性能開発部門のグループ長）の2名にご参加頂いた。

3. ドアの設計と生産

a. 設計標準と標準開発手順の役割

トヨタの製品開発において特に重要なフィーチャーの一つが、「チーフエンジニアが定義したコンセプトを生産ラインに流れる車両へと転化させるスピード」である。世界中の自動車メーカーがこの活動のスピードを速めているが、トヨタは常に依然として同業他社より速いように見える。しかも品質を落とさずにペースを上げられているのである。ドア開発の手法は、トヨタにおける製品開発プロセスの特徴を保持している。トヨタにおける製品開発プロセスの特徴については、長らく藤本や Sobek、Morgan、日野らにより議論されている。その主な特徴は以下の通りである。

- ・プロセスと設計の標準化

生産技術はシステムの「統合者」なのか？

- ・キーコンポーネントや素材、形状（エクステリアデザイン以外）の選択肢を限定し、共通化を促進する
- ・デザイン・設計部門、生産技術部門、製造部門の緊密な連携
- ・各部署で4年から6年以上の経験を積みながらローテーションを行うことで育成される高いスキルを持ったエンジニアと技術に明るいマネジャー
- ・ドア（やその他のシステム）に関する膨大な知見の蓄積に基づく挙動予測と、それによる不確実性の低減、やり直しの削減
- ・膨大な知識、データ、設計手法が設計標準の選択肢や設計手順に関する書類上に埋めこまれている
- ・設計段階での予測と実際の挙動との間の乖離が生じた場合、設計標準の更新を綿密に行う

たとえばドアの基本設計が数種類しか存在せず、ヒンジ、ドアミラー、ドアハンドルが数種類という具合に限定されており、その組み合わせでドアの基本設計を決めている。ドアフレームの基本種類は少なく、違いは外観にしかない。そして設計者が設計寸法を変えた場合（例えば、シール部品の追加、圧縮幅の縮小など）性能がどのような変化を示すかを推定できるようになっている。

ドアを含む各種部品に対してこのような設計アプローチを採用することで、品種の過剰や手法の不統一、試作品の不具合によるやり直しといった製品開発上の問題を避けることができる。のみならず、不要な作業をせずにすむことでエンジニアのスキルを高めることも可能となる。加えて、トヨタでは常時10車種程度の新車開発プロジェクトが動いている。このため既存の基本設計や設計標準に従った開発活動を行わねば現在の組織規模ではそれだけの車種を開発できないと考えられる。

設計ノウハウは、設計したドアが実際の使用状況においてどのように振る舞うかに関するものから、生産現場におけるもっとも効率的な生産手法のあり方にまで幅広く蓄積されている。一般的に複数の商品属性を持った複雑なシステムを開発する際に多くの時間を取られるのが、DFM（Design For Manufacturing）の目標を含む、商品属性間のトレードオフの克服である。すなわち、どちらの属性をより重視したりするかの決定である。しかし、トヨタのドア設計では基本的なトレードオフの選択は、おそらく現在の設計基準が形成された5~10年前に行われた。インタビューによれば、基本設計やその製造法は年々に少しずつしか変わらないため、試作を作る段階では、もはや想定外のことはあまり起こらないという。

日野(2002)により指摘され、本調査でも同様に確認されたのが、標準を維持するために2つの方法が採られていると言う点である。大がかりな変更を行う際には幹部によって主催される委員

会がそれを認めなければ変更できない事となっており、この様な形での変更は稀である。一方、コンピュータによる予測と実測値に違いがあった場合には、予測精度を上げるための標準改訂が行われる。加えて、一旦学習したことが維持される上、サプライチェーンの中での学習が促進されるため、一旦採用された部品が複数のプロジェクトで共用される傾向があり、そしてこれが既存サプライヤーに有利に働きやすいことで、品質改善のチャンスが増えるのである。

技術者をサポートする計算式は、ドアを閉める時に発生するエネルギーの換算式など、どちらかと言えば基本的な曲線への当てはめや、一つの式による回帰に近い。複雑な CAE も利用可能であるが、毎日技術者によって使われている、というものではない。これは 1991 年にホイットニーがトヨタの調査を行った際に観察された、プレス成形性の評価に関する手法と整合的な事実である。プレス成形性の評価をする際に、他社では複雑な洗練された CAE 手法などを活用していた一方、トヨタでは CAE を用いていなかったのである。その代わりに、簡明な手法を利用していた。その理由としては、その方が一般のエンジニアが理解できるため、彼らがそれを信頼し、活用するのだということが強調されていた。同時にトヨタには「評価部門」があり、シールや開閉力などのスペシャリストがそろっている体制がある。評価部門は通常の予測では不十分な部分の検証、新たな設計を採用する際の予測式の検証・変更などを行っている。ホイットニーは、今日のトヨタでは洗練された CAE 手法をプレス成形性の評価において活用しつつも、日常業務ベースではあまり使わず、むしろ強力な設計標準が技術者のミスを防いでいると推測している。

今回インタビューを行った Ue 氏は上述のようなドアに関する設計標準の設定と、予測精度の向上活動は 1990 年代半ばごろから始まったとしている。しかしながら日野 (2002) はトヨタにおける「標準」によって運営を行うという伝統は 1930 年代から始まったと指摘している (この点については後のセクションで改めて議論をしたい)。1990 年代半ば以降、ドア設計における知識ベースと設計標準の見直しのために大きな努力が行われた。2000 年からはその知識が活用され、少しずつ改良が加えられているのである。しかしながら根本的な変更は行われてはいない。現在使用されている設計標準には、ものによっては 20 年以上に渡って実際の車両開発プロジェクトによって蓄積されてきた実験、検証に基づく知識が集約されている。つまり、1995 年から 2000 年の間は全く新しい標準を設定したと言うよりむしろ、それまでのノウハウを改めて整理していた時期と捉えられるだろう。

b. ドア設計のプロセス

1. 設計手法

Morgan (2002) によれば、トヨタの設計プロセスにおいては CAD データが金型設計部門に対して渡される以前に主要な評価プロセスが数回繰り返される。その後、金型は何度かの「チュ

生産技術はシステムの「統合者」なのか？

ーニング」を受ける。これは公差や形状が設計図に合うように金型を微調整することを指している。アメリカの自動車メーカーが「functional build」と呼ぶような、不完全な部品が最終製品に採用されることはトヨタではまずない。なぜならば、設計段階で探索される形状はすでに設計標準として設定されている範囲内であり、設計されたものの挙動が想定可能なものであるためである。このような形状の採用は、設計標準をさらに強固なものとする働きを持つ。設計標準からの逸脱は混乱を招き、確立された標準を弱体化させ、そして最終的に採用された不完全な部品の記録や整理における問題を引き起こす。予想された挙動が実際とずれていた場合には、標準が改訂される。

トヨタ自動車における、製品開発プロセスの流れ

先行開発

新部品・新機構・プラットフォーム開発

製品開発

コンセプト(含むデザイン)

製品企画

製品設計

製品エンジニアリング(試作、性能・機能評価)

生産準備

生産企画

工程計画

設備計画・調達

号試(号口試作の略称。一般的には量産試作のこと。)

工程整備

生産

量産開始

日野(2002)やMorgan(2002)では、トヨタにおいては試作部品・試作車は近年量産部品・量産車と同じ金型で製造していると指摘されている。今回の調査ノートでもこの指摘が傍証されている。

製品開発の各ステージに要する期間については様々な推測がなされているが、日野(2002)、Morgan(2002)、藤本(1997)によると、プロダクトマネジャーによるコンセプトの承認からエクステリアデザイン決定までが1年強、エクステリアデザイン決定から金型部門へのCADデータ受け渡しまでが6ヶ月弱、金型製作開始から量産開始までが最短で8ヶ月、通常1年強であるとされている。

設計段階においては、設計者は彼らの設計による性能が目標値に達しない場合、設計標準がそれを示すために事前に把握できるようになっている。基本的に、設計者は性能が目標値に達しないような設計は提案しない。設計者またはデザイナーによる何らかの新しいチャレンジをしたい場合には評価部門により特別な実験や性能計算が行われる。先行開発部門はもっと思い切った新技術や探索的設計の検証に特化しており、試したことのない技術や設計が新型車両にそのまま採用されることは起こらないようである。

3回開かれる評価会は、デザイン、設計、生産技術の各部門が共同して行われる。工場の製造部門も必要に応じて評価会に参加するが、多くの場合彼らの要求は生産技術部門が代表してとりまとめて評価会にかけるという形を取る。プロセスが進むにつれ、サプライヤーの参加も増える。評価会における主たる活動内容は、製品を生産する際に生産性とコストの面でいかに要求水準を満たせるかという点の議論になる。なぜなら設計標準のおかげで、その製品や部品がねらい通りの性能目標を達成できることはほぼ確認できているためである。

このため、トレードオフは要求性能水準ではなく、むしろ製造性に関して起こる。今回インタビューを行った技術者たちも、性能の達成が最優先で、次は外見の品質、それから生産性・製造性を高めるという優先順位を取ると語っていた。「1にユーザー、2にディーラー、3にメーカー」なのである。トレードオフが存在する場合、一貫した優先順位を設定しておくことは非常に有用である。性能は顧客にとって最も目につく部分であり、それを実物のものとして実現して顧客に届けることを保証するのが生産技術部門の任務である。同時に、パネルの合わせ面や隙間など、外見の品質にも責任を持っている。このため、生産技術部門は設計やスタイリングに対して少なからぬ影響力を持っているのである^{*3}。

すべての企業において、各部門の影響力の強さは時代と共に変遷するものである。本調査では、重要な内外製区分に関する意志決定がこのような影響力の関係を考慮に入れて行われている場合があることを発見できた。トヨタがインストルメントパネルやドアのような重要な部品を内製し続けている理由の1つには、ものづくりの技術力を高める為の人材育成がある。もし設計者の主たる役割がサプライヤーに対する指示や監視であったならば、サプライヤーはトヨタの設計技術者の言いなりとなり、設計者が影響力を持ちすぎてしまうであろう。重要部品の設計・生産を社内で行うことで、設計部門をトレードオフの一角に据えて生産技術部門や製造部門との議論に巻き込み、部門間のバランスの維持に助力するのであると考えられる。

*3 Morgan はトヨタと匿名の北米競業者 ("North American Car Company (NAC)") を比較し、NACにはこのような役割を果たす車両生産技術者がいないと指摘している。筆者らが知る限り、このような組織形態や能力が存在するのは半導体産業以外ではレアケースである。半導体産業では設計と生産が本質的に同じプロセスである。

生産技術はシステムの「統合者」なのか？

生産技術部門や工場の製造部門の技術者は、常に製造性やコスト上の問題点を指摘し、問題解決のための妥当性のある変更案を提示する努力をしている。このようなことが可能なのは、設計と挙動の関係を生産技術者が把握しているためである。このような、生産技術者が持つ2重の能力については後節で議論したい。

そして、主要な金型が元町工場・貞宝工場にある工機部門や周辺のサプライヤーで製作されている。これにより、金型のチューニングが素早く行えるのである。海外工場で用いる金型の場合、長い輸送期間を考慮に入れる必要があり、海外生産工場でのチューニングを減らす必要がある。ホイットニーが1991年にトヨタを訪問した際には、金型の精度はCADデータに対して20マイクロメートル以内に追い込まれているとのことであった。今回インタビューした技術者の一人であるI氏は、現在は金型に対する手仕上げをほとんど行っていないと語っている。このため、今日ではその精度はさらに高まっていると推察される。

以上のことは1991年にホイットニーが行った調査によって指摘されたトヨタや他の日本企業における内外製区分の決定方法に関する知見と整合的である。即ち、戦略的に重要な技術知識や技能を要する製品開発活動や生産活動(Whitney 1991a,bではこれを「製品開発インフラストラクチャー」と称している。)については内製を貫くというものである。

2. 人材開発

Sobek (1997) はトヨタにおけるキャリアパスのあり方が、トップマネジメント層の持つ高い技術スキルと「connection knowledge」を実現していると指摘している。「Connection knowledge」とはつまり自動車を「サブシステム同士が連携して動く複雑なシステム」として理解する能力である。また、トヨタでは技術者が一つの業務に4~6年以上という他の自動車メーカー、特に米国の自動車メーカーよりも相対的に長い期間継続して携わる。今回の調査により、これらの知見はより強く支持されることとなった。

生技管理部のO氏はトヨタに入社して以来ずっと生産技術畑を中心に歩んできているが、設計部門の経験もしている。入社して6年間程を生産技術部門で過ごしてから、設計部門で樹脂部品やプレス部品の製品設計を経験し、また生産技術部門に戻って内製樹脂部品の生産準備や生産技術開発業務で10年間程を過ごした。その後は生産技術管理部門で車両原価企画や生産企画等の業務を経験している。

Su氏はトヨタ入社後製造部門であるエンジン工場に10年間配属され、その7年間鑄造をメインとしつつエンジンプロックの機械加工や品質改善に取り組んできた。その後車両組立工場に配属されてライン管理や設備管理を3年間行ってから生産技術部門に移動し、5年間ライン設計に携わった。そしてこの7年間はドアの生産技術担当をつとめているのである。

Su氏は自身を「プレイングマネジャー」と評している。そして、彼と同ランクのマネジャーまでは実際の作業を行うと同時に若手を指導するという二つの役割を果たさねばならないという。このポリシーがマネジャーの技術的能力の高さを裏付けている*4。

O氏によれば、トヨタでも10年ほど前にマネジャーをより「マネジャー的」にする試みが行われたものの、マネジャーが技術的能力をやや失ってしまったために「プレイングマネジャー」システムが復活したという。Su氏の上司のランクになると「プレイングマネジャー」を続けるか、マネジャー的な管理職へとシフトするかの選択を迫られる。技術部門の製品開発チーフエンジニアは「プレイングマネジャー」の道を選んだ人である。

Su氏は自身を含め8名のトヨタの技術者、8名のゲストエンジニア、3人の派遣技術者と何名かの技能者を統括している。他に彼と同格のマネジャー5名は、それぞれ自動車ボディの各部位を担当している。Su氏は車両生技部の中でも内外装技術室におり、ここには40名の技術者と20～30名のゲストエンジニアが働いている。内外装企画室には5つのグループがあり企画、外装、ドア、インパネ、内装Gに分かれている。

車両生技部は車両系の生産技術部門の中核をなす部門の一つで、約600名からなる組織である。約180名がトヨタのエンジニア、約170名がトヨタの技能員、約260名がゲストエンジニアである。しかしながら、車両生技部にはほかにない特別な役割が与えられているようである。それは、新車に関わる他の車両系生産技術部の意見を統合し、設計やスタイリングの活動と統合することである。トヨタは豊田市内だけで約8000人の生産技術者を擁している。のみならずおそらく1000名近くをアメリカに、数百名を欧州に配置しているのである。少なくとも欧州ではこの数を増やす方向にある。

*4 Spear & Bowen (1999) は「マネジャーが若手に対して技術教育の責任を負う」という特色がトヨタの「DNA」の一部であると指摘している。日野 (2002) も同様に DNA のメタファーを用いてトヨタを説明し、その DNA の構築プロセスの歴史を描写している。

生産技術はシステムの「統合者」なのか？

トヨタにおける生産技術部門の組織（2室23部で構成）

	工程革新推進室
	安全健康推進部
	プラントエンジニアリング部
	生技管理部
	生技開発部
	パートナーロボット開発部
	生産物流システム生技部
	計測技術部
(車両分野)	車両生技部
	プレス生技部
	ボデー生技部
	組立生技部
(ユニット分野)	要素生技部
	ユニット試作部
	エンジン生技部
	ドライブトレイン生技部
	シャシー生技部
(HV・電子分野)	HVユニット生技部
	広瀬企画管理室
	電子生技部
	電子ユニット製造部
(工機分野)	工機管理部
	メカトロシステム部
	スタンピングツール部
	ダイエンジニアリング部

c. 生産技術部門の役割

車両生技部の役割は、製品を造り易くすると同時に、ドアの開閉力や水漏れなど、顧客が要求する商品属性を達成することにある。これは、一般的に非常に難しい仕事とされている。なぜならこれは「顧客のための開発・設計」と「低コスト・高生産性のための生産」というメーカーにおいて通常全く分断された二つの領域にまたがる作業だからである。のみならず、生産技術部門はどちらの機能も直接的には担当していない。生産技術部門では自動車を設計せず、車両や部品を日々生産してもいないのである。製品開発プロセスにおいては、上述のように顧客の商品属性の目標を達成できる設計図ができあがるという期待をされているが、作り易さやコスト、生産性の目標を実際に現物として達成することが必要である。

プレスや溶接工程の担当者は彼らの工場が抱える問題を探索している。たとえばプレスできない部品はないか、溶接設備の制限上溶接できない部分がないか、といった具合である。CAD データが決定するよりも前から生産技術に関するディスカッションが設計部門との間で頻繁にかつ徹底的に行われている。

先に論じたとおり、問題点の指摘には解決策の提示がセットになっている。それが「顧客のために皆で協力する」という「トヨタの文化」の一部であるとインタビューを行った技術者は語っていた。別の企業においては「目標水準は生産段階で切り下げられる」であるとか「性能目標を達成せずに生産が開始される」といった話が聞かれる。しかしトヨタではこのようなことは起こらないという。

様々なクラスの車両が開発されているが、それぞれがそれぞれに適した目標を設定されている。この目標値は、トヨタが「当該市場の顧客が最低限要求してくると推定される水準」としているものよりもはるかに高く設定されている。このため、トレードオフ解決のための余裕が存在しているのである。しかし基本的には目標は達成必須条件であると見なされている。

目標達成は、最高級車と低価格車においてもっとも難しくなる。前者においては新しいフィーチャーが多く導入される上に顧客の要求が厳しく、後者においては問題解決のために使えるコストへの制約が大きい。これらのモデルを開発するにはリソースと叡智を結集させねばならない。しかしトヨタの技術者たちは長年目標を達成し続けており、それに自信を持っている。コストや重量の増加が究極的な解決策となりうるが、それはあくまで最終手段である。

常に商品属性同士が矛盾していることに加えて目標そのものが高まっているため、製品開発のプロセスは常に厳しくなり続けている。顧客の商品属性の目標を達成するために、製造性等を犠牲にしなければならない場合がある。このような「痛み」が生産に関する各部門で共有されている。生産技術部門はこれらの各生産部門の間で交渉を行い、設計部門に対する設計変更提案をとりまとめる。生産技術部門がこの任務を負うのが適切であると考えられる。なぜなら、生産技術部門の主たる仕事は生産上のばらつきが性能に与える影響を最小化することにあるためである。ばらつきはどの生産領域でも起こりうる。このためある問題が生じた際、それぞれの領域の利害関係から一步離れた立場で解決策を模索する必要がある。このような任務によって生産技術部門は、生産部門と設計部門との間のインターフェースという役割を果たすにふさわしい部署となるのである。生産技術部門がいつどのようにしてこの役割を得たかについては本調査では明らかにならなかった*5。

*5 このような分業体制が構築された歴史は重要な側面である。日野（2002）や藤本（1997）はトヨタのこの側面だけでそれぞれ1冊の本を書き上げている。

生産技術はシステムの「統合者」なのか？

まとめると、ドア設計は主に以下の2つの方法で管理されている。

- 1)設計標準、チェックリスト、限定された選択肢に基づく設計ガイドラインの設定によって、設計図をはじめから最適解に近づかせる。
- 2)生産技術部門の強力な代表者が設計プロセス、レビュー、問題発見、解決案の提示など設計の最終段階まで補足する。

このような責任は金型チューニングのプロセスから新車の量産開始まで広く活用されている。トヨタは主要な技術とスキルを内製化することで維持し、技術者やマネジャーに深い技術知識を身につけさせている。

4. 考察

a. トヨタにおける標準化の歴史

日野（2002）は上述のプロセスが持つ特徴が、1930年代初頭に豊田喜一郎によってトヨタが設立された時以来続くものであると指摘している。豊田喜一郎はその10年前にアルフレッド・スローンがGMで行ったことに類似したことを行った。すなわち、会社の組織構造および経営理念を打ち立てたのである。トヨタの諸施策（JITや標準化を含む）は、品質確保、コスト削減、納期短縮の要請から始まって生まれたものであったが、それがこの数十年間の戦略的価値を生み出し続けている。トヨタは設計や品質、生産に関する能力を育て続けてきた。品質は当初耐久性の高さとして表現されていたが、その後を追うように性能や外観の品質も高まっている。知識を文書化し、それを標準として展開するという活動が企業活動の根幹をなす手順を構成している。本調査や本稿が引用している学術研究の提示している知見は、主に製品開発活動や生産活動における文書化と標準化の实在に関するものである。のみならず、標準は「正しい行動」の模範をも示している。すなわち文書化された知識を身につけたり、積極的に改善案を提示したり、そして標準を積極的に活用する一方で、より良いやり方が検証されたら標準を更新するのである。

トヨタにおいては1980年代に一旦、上記のプロセスに対する指向が弱まっていた可能性がある。当時は「重量級プロダクトマネジャー」による製品開発アプローチが非常に強力であった。クラーク・藤本(1991)は、重量級プロダクトマネジャーは各自の担当する車種が特徴的でありかつ性能的に高度に最適化されたものにしようとする傾向が強かったことを指摘している。このため、プロダクトマネジャーは担当する製品ごとに特殊設計の部品を新規に開発する傾向があり、過剰設計や部品バリエーションの過多が生じてしまったのである^{*5}。そして1991年に日本の国

*5 延岡(1996)は、1990年代の日本自動車メーカーによる、バリエーション過多に対するシステムティックな対処としての部品共通化について議論している。また、1980年代にトヨタが直面した「過剰設計問題」については藤本(1997)を参照のこと。

内自動車市場が縮小に転じ、輸出の急速的な伸びも止まってしまったことにバブル崩壊後の円高が重なって問題が顕在化し、コスト削減が叫ばれるようになったのである。この際主として取られた手法が設計の標準化に基づく部品種類削減や設計簡素化であった。このため、本調査でインタビューを行った技術者たちはドア設計標準の策定が1995年頃から始まったとコメントしている。しかしこれはより古い伝統へと回帰したととらえることも可能であろう。

Morgan (2002) が2000年～2001年頃の調査に基づいて記した論文で、設計標準に基づく製品開発プロセスが淀みなく進んでいることが描かれている。2007年に行った本調査では「1995年からの5年間は標準の策定とその有効性の確認に費やされ、その後の6年間で成果を収穫し、さらに洗練を加えている」ということが明らかになった。

b. 統合者としての生産技術部門

今回の調査に際して設定した仮説は、一部についてはそれが実証されたが、棄却されたものもある。主たる仮説は「トヨタはシステムエンジニアリングに強みを持つ」というものである。これはこれまで行ってきた調査や訪問、Morgan や Sobek、藤本らの研究から得られた印象であるが、不変であった。派生的なものとして、「相互に対立する商品属性や高い目標が多く設定されているドア開発に対してはシステムアプローチが必要である」という仮説を設定した。こちらについても傍証されたといつてよいが、もう一つの派生的仮説と同時に分析する必要がある。それは「トヨタは商品属性間のトレードオフ関係をバランスさせるための明確かつ意図的な手法を適用している」というものである。この仮説は事実との齟齬があるようだ。存在するトレードオフは10年以上前、現在の設計標準を採択し始めた当初に、基本的な意思決定が既に行われていた。そして、その決定が設計標準や生産現場における相互調整の方法に埋め込まれている。しかも、その標準は要求された目標を常に満たすことができる（無論、ディスカッションや協力関係、創意工夫も不可欠であろう）。

ゆえに、トヨタでは「システム思考」という用語自体が一般的なものであるとはいえないけれども、システムエンジニアリングのプロセスは顧客第一主義や協力の文化、標準の遵守という風潮によって実現されている。DFA⁶や田口メソッド、QFD（品質機能展開）などの諸手法は明示的には行われていなかった。その代わりに様々な試みや文書化プロセス、改善活動等を通じて、良い製品を生み出す、きちんと機能する設計手法や設計標準の束が創発的に作り上げられたのである。

生産技術部門、特に車両生技部は少なくともトヨタの製品開発プロセス内でのボディ設計部分でシステム統合者の役割を果たすようになったといえる。ホイットニーが長年続けてきた組立に

*⁶ DFA は「Design-For-Assembly」の略で詳細は Whitney (2004) 参照のこと。

生産技術はシステムの「統合者」なのか？

関する研究は、アセンブリーの設計と組立プロセスの設計が製品開発における統合者的役割を果たすことができるということを示している(Nevins & Whitney, 1989 ; Whitney, 2003)。このような動きをトヨタで観察できたことは興味深い。車両生技部は二つの仕事を同時に行う立場にある。プレスや塗装などのそれぞれ独立した生産技術領域に対して意見をとりまとめ、もっとも効果のある提案を設計部門に示す。設計部門に対して、生産段階で起こりうる問題点を早期に指摘する。これにより、設計と生産の双方が満足できる解決策を模索できるのである。

インタビューを通じて明らかにされた、トヨタにおける管理の原則が持つ特徴は、「特定の役割や責任が特定の部署や担当者に厳密に配置するべきだ」という通常のそれとの相違点にある。すなわちトヨタでは「Aさんが設計技術者で、Bさんが生産技術者」という、明確に役割が分担された一般的な形をとりつつも、責任の境界が不明確で、特に目標達成に関する責任は共有しているという状態となっているのである。

「全員に責任を持たせたら、誰も責任を取らなくなる」という言葉があるが、これは誰もが非難する相手を見つけられるという側面から生まれた言葉であり、管理の原則たり得ない。一方トヨタでは「全員に責任を持たせたら、誰もが責任を取る」のである。このコンセプトは、システムアクシデントを研究している社会学者が発見した「高信頼性組織：High Reliability Organization (HRO)」に通ずるものがある(Weick et al., 1999)。そこには、「複雑性は明確な手順の設定のみでは管理できず、関与する全員が起こりうる問題を考慮し、それらから他者を守る意識を持たねばならない」という考え方が横たわっている。

トヨタは「標準化と文書化」を複雑な環境に対する第一の防衛線に設定し、それを裏支えする第二の防衛線として「責任の共有」という文化を設定しているのである。HROも、このようなトヨタのあり方と全く同じである。トヨタはHROという概念に関わる用語を一切用いていないが、ホイットニーが未公開の調査資料(Whitney, 2003)で指摘している通り、このような考え方を製品開発に対して適用することは可能であろう。

5. おわりに

本研究ノートは、トヨタが数十年に渡って行ってきた製品開発インフラストラクチャーに関する基本的な戦略的意思決定と施策を実行しつづけている、ということについて議論したものである。これらの技術や人々に対する見方は、社内での深い知識や、複雑な製品の部品間での相互依存関係を理解することの重要性を認識することを養ったり、そのような複雑性に対応するために、実績のある手法にこだわるようにしているのである。これらの施策によって、トヨタは信頼性の高い自動車を迅速に供給することのできる強力な企業となることができている一方で、保守的な文化をも創り出している。これは、自動車産業における唯一の成功モデルではないが、マスマー

ケットを獲得するための最良の方法であろう。トヨタにとっての大きな挑戦は、数十年のスパンでの学習プロセスを用いながら、世界規模で急速に成長していくことであると考えられる。

6. 参考文献

クラーク K.B.・藤本隆宏(1993)「製品開発力」ダイヤモンド社、(原典：Clark & Fujimoto (1991) “Product Development Performance”)

延岡健太郎 (1996) 「マルチプロジェクト戦略」 有斐閣

Fine, C.H. and Whitney, D.E. (1996), “Is the Make-Buy Decision a Core Competence?” Working paper (http://esd.mit.edu/esd_books/whitney/pdfs/make_buy.pdf)

藤本隆宏 (1997) 「生産システムの進化論」 有斐閣

日野 (2002) 「トヨタ経営システムの研究—永続的成長の原理」 ダイヤモンド社

Liker, J.K. (2003), *The Toyota Way*, New York: McGraw-Hill

Morgan, J.M. (2002), “High Performance Product Development: A Systems Approach To A Lean Product Development Process,” PhD Thesis, University of Michigan

Nevins, J. L. and Whitney, D. E., eds, (1989), *Concurrent Design of Products and Processes*, New York: McGraw-Hill

Sobek, D. K., II, (1997), “Principles that Shape Product Development Systems: A Toyota-Chrysler Comparison,” PhD Thesis, University of Michigan

Spear, S. J. and Bowen, H. K. (1999), “Decoding the DNA of the Toyota Production System,” *Harvard Business Review*, September

Weick, K. E., Sutcliffe, K. M., and Obstfeld, D. (1999), “Organizing for High Reliability: Processes of Collective Mindfulness,” *Research in Organizational Behavior*, v 21, pp 81-123

Whitney, D. E. (2004), *Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development*, New York: Oxford University Press.

Whitney, D. E. (2003), “Combating System Problems in Complex Product Development,” unpublished working paper, MIT

Whitney, D. E. (1991a), Toyota Visit

http://esd.mit.edu/esd_books/whitney/pdfs/toyota1.pdf

http://esd.mit.edu/esd_books/whitney/pdfs/toyota2.pdf

Whitney, D. E. (1991b), Japan Final Report

http://esd.mit.edu/esd_books/whitney/pdfs/final-j.pdf