

デザイン工程のデジタル化

Digitization of Design Business

大 平 昌 明

要 約 技術革新は、素材改革、工程改革、手法改革の三つに分けられる。自動車業界はその中の、工程改革に取り組んでいると言える。自動車産業は、成熟化に伴って世界的な分業体制に組み入れられ、自立できない国内メーカーが外資系になった。そのようなメーカーは、海外の親会社から赴任した経営者から、強制されたグローバル化で、仕事の工程が変わってきた。その変化の特徴は、デジタル化であり、外資系と国産メーカーで改革の内容に差が出てきた。外資系メーカーのデザイン工程は、CAD 先行が進んでいる。本稿はデザイン工程のデジタル化による明暗を整理し、展望を述べる。

Abstract Technical innovation is divided into three areas, material reform, process reform, and technique reform.

It can be said that the automobile industry is tackling process reform. The auto industry was involved in the global division-of-labor organization accompanying maturation, and the domestic makers who could not operate as a separate business have been dominated under the foreign ownership. Such a maker has changed his process of work by the forced globalization from the management who started for his new assignment from the overseas parent company. The features of the change is the digitization and the difference came out of it by foreign-affiliated and the domestic maker. As for a foreign-affiliated maker's design process, CAD precedence is in progress. This paper arranges the light and darkness by digitization of a design process, and discusses a view.

1. は じ め に

平家物語の書き出しは、「祇園精舎の鐘の声、諸行無常の響きあり」で始まる。「鐘の声」は技術の革新によって、テープやCD（Compact Disc）に変遷する。しかし、「諸行無常の響き」は、テープやCDでも、聞く人の時々気分によって違って聞こえる。人間の気分が同じ心境にないからである。デザイン業務のデジタル化は、デザイナーの立場からは、「鐘の声」が技術革新によって、テープやCDに変遷することで、デザイナーが「諸行無常の響き」を感じる事が変わるわけではない。

また、工業製品を製作している会社のデザイン業務を行っているデザイナーは、商品を購入する顧客が「鐘の声」と同じような「諸行無常の響き」を感じる新しい商品（テープやCD）を開発する立場にいる、とも言える。

本稿で述べるデジタル化は「鐘の声」が「テープやCD」に変遷する話である。無論、「鐘の声」でなければ、「修行無常の響き」が感じられない、と言うデザイナーがいるのも事実である。このような方々には、技術の変遷を眺めていてもらいたい。

「鐘の声」が「テープやCD」になる技術変遷（デジタル化）は、それを利用しなくても、粛々と進んでいる。現在、デザイン業務の環境がデジタル化でどのように変革しているかを、自動車産業を中心に俯瞰して見る。

2. 背景

MIT 国際自動車共同研究 (IMVP: International Motor Vehicle Program) は、リーンの生産方式の調査研究報告を発表したことで、世界的に大きな反響を呼び、自動車産業の改革の魁になった。この共同研究は1981年に始められ、第1フェーズで「自動車産業の将来」、第2フェーズで「リーン生産方式が世界の自動車産業をこう変える」と言う報告書を刊行した。特に、リーン生産方式は世界各国で訳され、自動車産業再生のバイブルと言われ、日本の自動車産業が最もこれに近いとされた。欧米の自動車メーカは、これを学ぶと同時に、自動車産業のグローバル化と情報革命の波に乗り新しい時代を迎えている。

3. 自動車の3大要素技術と技術革新の速度

自動車の3大要素技術はIMVPでは、エンジン設計、ボディ設計、電子技術、としている(図1)。これらの技術革新の速度を比較すると、図1のようになる。

自動車進歩の速度はエンジンと車体と電子部品で成り立つ

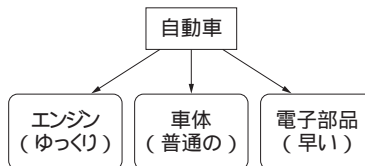


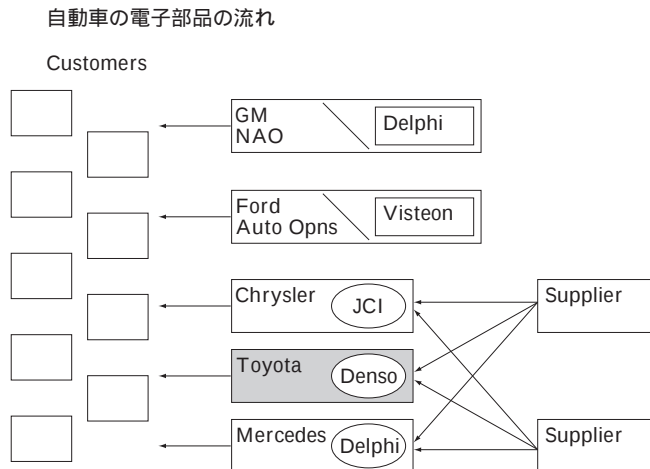
図1 自動車の3大要素技術の革新速度

しかし、自動車の3大技術要素、エンジン、ボディ、電子技術の進歩の速度は、2003年には軒並み速くなってきている(表1)。特に、進歩が遅いと思われていたエンジンが環境問題の対策のため、早くなっている。特に、脱ガソリンの傾向は、日本でより強くなってきている。電気自動車がガソリン車を追い越す時期も予想以上に早まるかもしれない。

表1 3大技術と進歩の速度

3大技術	進歩の速度		理由
	2000年	2003年	
エンジン技術	遅い	早い	環境問題のため公害を減らす
ボディ設計技術	普通	早い	バリエーション増加のため
電子技術	早い	早い	電子部品の増加のため

自動車も、飛行機のように電子化が進むと予想されていた。特に、日本では、インターネットや、携帯電話の急速な普及に伴い、動力以外の部分での電子化が急速に進んでいる。日本の携帯電話の普及や、動力部のハイブリット化は、先進国でも特異な形で進んでいるが、自動車本来の機能でなく、サービス機能であるところが気になる。各自動車メーカは、電子部品製造メーカを自社グループに取り込んでいる(図2)。

図 2 自動車の電子部品の流れ^[1]

4. 自動車産業の変遷^{2[3][4][5]}

日本の自動車産業の変遷を簡単に俯瞰する。日本の自動車産業は、外資系との合併で、業務改革が急速に進んでいる。つまり、外資系から赴任したリーダシップを持った者が業務改革を促し、本社よりも理想的な業務改革が、短期間で実現された。特に、デザイン工程は、実物モデルから線図を作成していた工程が、アイデア工程から CAD で行なうようになってきた。このような改革は、今まで、デザイン部門の同意が得られず改革ができなかった工程なのに、デザイン部門でも、好感を持って受け入れられ、効果も出ているようである。

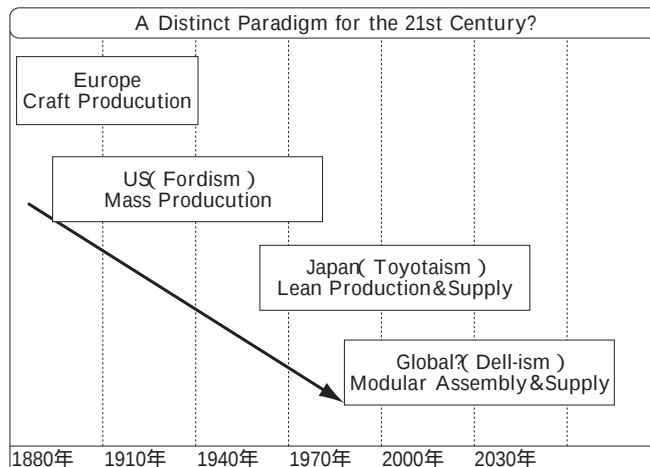
4.1 生産方式のパラダイムシフト

自動車産業は 19 世紀に、クラフトマンが手作りで生産を始めた。20 世紀になると FORD 自動車が流れ作業で、短時間に量産方式を実現し、20 世紀を自動車の世紀にした。20 世紀半ばには、トヨタの「KANBAN (かんばん)」方式に代表される、リーンの生産方式が量産方式を進化させた。この方式は、車を製作する時間だけでなく、車を組み立てる部品の在庫時間を減らすことで、製造原価を下げられることを示した。この方式は、世界中の、多くの工業製品の量産化に取り入れられている。物の流れる時間が短いことが良いとする考え方で、物流を製造に組み込んでいる。20 世紀の後半になると、パソコンメーカの DELL 社が、グローバル化により製品製造価格をさらに押し下げる「DELL 製造方式」を考え出した(図 3)。これは、製造原価のキャッシュフローをよくする方法で、製品が製造されてから、製品が売れ、その代金を会社が回収するまでの時間が、より短いほど良いと言う考えである。これは、物流より資金の流れに重点を置いた考えである。この新しい製造方式が、自動車産業にも及んできた。その一部が、今日のグローバル化である。

4.2 グローバル化でプラットフォームの共有化、モジュール化が促進

グローバル化が進み、グループ内でプラットフォーム(シャシー、ドライブトレイン、パワープラントなど)の共通化が進んだ。

具体的には、

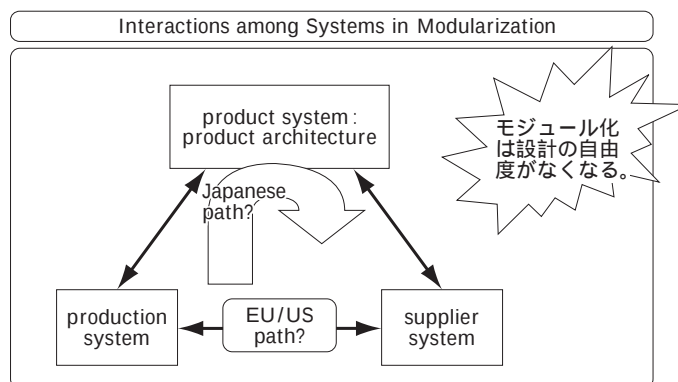
図3 自動車産業のパラダイムシフト^[1]

日産自動車と仏 Renault 社，
マツダと米 Ford Motor 社，
三菱自動車と Daimler Chrysler 社
とグループ化が進んだ．

日産の「マーチ」(2002年)は，Renault と
マツダの「デミオ」(2002年)も，Ford Motor と
三菱自動車の「コルト」(2002年)も，Daimler と
プラットフォームを共通化している．

このグループ化が，今後の日本の自動車産業で，どのような差になるか注目したい．

他社と共同開発を行うには，開発プロセスでのモジュール化と情報共有が不可欠である．情報共有は，CAD データを交換するだけでなく，製品構成情報も含めたものである．欧州と米国のモジュール化と日本のモジュール化は微妙に違っている．欧州と米国は，部品メーカーと製作メーカー間で行い，日本は，部品メーカーと製作メーカー，最終製品製作メーカーを巻き込んでい．系列会社を有効利用していると言える．

図4 モジュール化^[1]

4.3 バリエーションの増加

モジュール化状態が進むと、デザインや設計に自由度がなくなり、似たような製品が市場に送り出されることになる。その制限の中で、色数を増やし、顧客固有の車色や、外装のデザインが少し違う兄弟車種が増加することになる。つまり、プラットフォームが同じで、バリエーションが増加する。バリエーションの増加は、顧客のニーズが多様化した対策としても必要になった。自動車のバリエーションを見てみる。例えば、ホンダは、1982年に8車種で、1車種当りのバリエーション数は約400だったが、2001年には、車種数が約4倍、バリエーション数が4000を超え、予想を超えるバリエーション増に、システムの改善が行われた。また、三菱自動車はバリエーション数が、一億を越えると言われている。

4.4 情報管理と共有

バリエーション増に対応するためには、「情報管理」システムが重要になる。CADデータの交換は頻繁になり、製品構成情報の受け渡しも必要になる。

共同開発をするメーカー間で同じ「情報管理」システムを利用していれば、「情報共有」はネットワーク経由で直接アクセスできる。異なる「情報管理」システムを使用している場合は、ファイル経由になり、容易ではない。

例えば、三菱自動車とDaimlerChrysler社の3社間での「情報共有」状況を見ると、DaimlerとChryslerは、「情報管理」システムは異なっている。

Chryslerは、三菱自動車と同じENOVIAを使用しているが、カスタマイズされている。部品メーカーもENOVIAを使用している。

Daimlerは、部品メーカーもMetaphaseやeMatrixを使用しており、共有化されていない。三菱自動車とDaimlerの間では、構成情報をSTEP (AP 214 CC 6)形式でデータの授受を行っているようである。

このように、自動車産業は

- 1) 合併化によって
- 2) グローバル化され、
- 3) プラットフォームの共有化が、
- 4) モジュール化を進め、
- 5) バリエーションの増大化が促進され、
- 6) 情報の共有化

が進んでいる。この傾向は、自動車産業に限らず、家電、精密機械なども同様である。

4.5 大量生産を超えたカスタマイズ

自動車産業界を例に見ると、自動車は基本的なプラットフォーム（シャシー、ドライブトレイン、パワープラントなど）を、異なる市場に対応するために、異なるパッケージ（ボディ、ボデイスタイリングなど）になるように設計することが多くなっている。

つまり、エンジニアリング工程（プラットフォーム）は同じでも、デザイン工程で異なる市場の要求に応えるバリエーションを製作することができる。これはデザイン工程がエンジニアリング工程の上流で行われる工程だからである。

5. デザイン工程の変遷^{6【8】9【10】}

このような産業の進歩を支える製造工程の進歩と、デザイン工程の変遷を見てみる。デザイン部門の業務の中には、1)コンピュータの支援を積極的に受けた方が良い業務と、2)コンピュータの支援が可能だが、コンピュータの利用を避ける業務、3)コンピュータの支援が難しい業務がある。1)は作業に時間が掛かる、量が膨大、情報の共有化、検索が多い、などのコンピュータの特徴を有効活用できるものが主になる。2)は判断が伴うものや、処理の過程を理解していないと困る業務がこれに相当する。3)コンピュータで処理するには、データの準備が困難な場合などである。

デザイン業務のなかで、1)コンピュータの支援を積極的に受けた方が良い業務を中心に述べる。コンピュータがデザイン工程を支援することを CAID (Computer Aided Industrial Design)^{*1} と称される。デザイン工程はデザイナーの頭に浮かんだコンセプトやアイデアを、コンピュータを用いて具体的なイメージとして形成するまでの工程から、コミュニケーションデザインの要素としての形状や、4次元(動画)創成が含まれる。また、プレゼンテーションで使用する動画機能を用いて、カタログや CM (Commercial Message) や CF (Commercial Film) 製作を支援する販売促進分野まで応用範囲が広がっている。日本では、カタログが CG で製作され、一般の目に触れたのは、1990 年代の初めの、松下電工(株)のバスルームや、サニタリ用品のカタログであった。

特に、コンピュータ処理で画像を生成する方法は CGI (Computer Generated Image) と称されている。CGI の特徴は実在しない物であっても、生成の手順を示した理論やデータがあれば、コンピュータによって、視覚イメージを生成することが容易である。

自動車为例に、製品作成を、デザイナーが関わる工程を中心に俯瞰する。



図5 デザイン工程の流れ

商品の企画段階では、

- 1) (外装や内装の消費者に見える所を) 情報収集 (類似検索など)
- 2) コンセプトデザイン (アイデアやスケッチ構想)
コンセプトが決まると、モデリングが開始される。
- 3) キーライン・ドロウイング (基本的な線が決められる)
- 4) スケールモデル (造形モデル) 製作
- 5) デザイン検討

- 6) フルサイズモデル製作
- 7) モデルの決定
- 8) CAD モデル製作

などの工程で行われ、モデル決定まで、複数回繰り返される。

モデルが決定され、CAD データが、設計工程に渡される。

設計工程では、

- 9) 設計 (内板、機構、部品、電子部品など)

が行われ、生産準備が開始される。

- 10) 生産準備 (素材、組み付けなどの検討)
- 11) 型製作
- 12) 組み立て確認 (試作品の製作など)

さらに、同時並行的に、製造ラインの設計が行われる。

- 13) 生産ラインの設計
- 14) 生産

などが、モジュール毎に組みつけられる。

同時進行的に、デザインは販売促進として、次のような作業にかかわっている。

- 15) カタログ、CF 製作
- 16) 営業販売 (折込チラシ、Web、など)

デザインが絡む仕事は、上記の 1) - 8) , 12) , 15) , 16) である。

販売後の消費者の反応なども、改善の情報収集としてかかわっている。

この工程が、製作時間短縮とバリエーション増加で、変化が起きている。3) のキーライン・ドロウイング工程から、CAD データ化している。一部のメーカーでは、2) のコンセプトから CAD 化している。この場合、モデルも作成しているが、4) , 5) , 8) まで、の繰り返し回数の削減が行われ、時間短縮に大きな効果をあげている。また、1990 年代後半から、11) の型製作用の CAD データから、CG でカタログなどを作成し、カタログ用の試作車削減で、原価削減の効果を出しているところもある。

デザインは、走行性能、快適性、耐久性、安全性、ファッション性、良い車 (定義が難しいが・・・) などの点を重点的に評価している。デザイン工程の改革は、デジタル化を中心に進み、カタログや CF などの出来栄などにも、係わりが深まっている。

5.1 デザインとデジタル技術 (道具) の進歩

1990 年代の半ばに、米国の Business Week 誌が、産業設計優秀賞 (IDEA : Industrial Design Excellence Awards) を支援し、デザインなどを紹介して、工業デザイン (ID : Industrial Design) を認知させた。日本でも 1969 年から、グッドデザイン賞 (Good Design Award) を財団法人日本産業デザイン振興会 (JIDPO : Japan Industrial Design Promotion Organization)^{*2} がデザインの振興活動を行っている。特に、IDEA は世界各国の優秀なデザインを評価し、紹介している。2000 年の Time 誌 (Mar. 20, 2000 Vol 155 no 11)¹¹⁾ で (The Rebirth of Design) 「Function Is Out. Form Is In. From radios to cars to toothbrushes, America is bowled over by style .」 (機能性より、形である。カーラジオから、歯ブラシまで、米国では、スタイルによって掘り起こされる) という見出しをだした。この特集で、米国工業デザイン協会 (IDSA :

Industrial Designers Society of America) の会長が、「デザインは新しい黄金時代にある。業界が同じ価格で、同じ機能性を持った製品で競争している。違いはデザインにある」と言っている。このように、多くの組織や業界、新技術が混在している市場で、工業デザインの重要性が認められ、製品を差別化する要素であると、認識された。1990年代は、米国の製造業が復活してきた時期と一致する。米国の製造業の復活に、デザインの重要性の認識があったと思われる。それは、次のような事実からも認識できる。日本は人口が1.2億人、米国は約2.3億人、欧州は東欧州を加えても約3億人である。デザイナーの人数は、日本が1万から1万5000人、米国が3万人から3万5000人、世界では7万5000人から10万人いると言われる。米国や、欧州は、日本の人口比以上のデザイナーがいることになる。米国は、1990年代の初めに、公立学校の約250校で、ビジュアル関係の学科が新設された。日本のアニメーション製作の盛隆に誘発された、と言われている。その後、日本も1990年代の後半、各地の大学にデザイン系の学科が新設されている。

5.2 大量生産からカスタマイズへ

CAID分野のソフトウェアのリーダは、Alias (旧 Alias/Wavefront) 社と言われ、そのソフトウェアはデザイナーの道具として、家庭用品から自動車まで、各種の製品デザインに使用されている。この会社は1985年頃からCAID分野のソフトウェアの開発・販売を始め、高級CAIDの分野では業界の先端を行っていた。近年、低価格なソフトウェアが出て、様子が変わりつつある。

CAID分野のソフトウェアは、デザイナーがアイデアやコンセプトを具現化する道具として開発・販売されてきた。また、設計サイクルでの早期ビジュアライゼーションとして使われ、「百聞は一見に如かず」的な利用もある。つまり、形状情報を分り易く見せる道具が必要で、「機能より形」を重視する場面が多いことである。これは、職人のノミやカンナのような道具と同じく、CAIDを道具として短時間に習得できても、「使いこなす」には長時間かかることを意味する。

大量生産を行うエンジニアリングの道具 (CAD・CAM など) と、大量カスタマイゼーションを行う、工業デザインの道具 (CAID) を比較すると、CAID分野の製品は、エンジニアリング工程 (プラットフォーム) が同じでも、異なる市場の要求に応えるため、工業デザインでバリエーションを製作できる。これは工業デザインがエンジニアリング工程の上流で行われるからである。携帯電話なども、基本的なエンジニアリング工程 (プラットフォーム) は同じでも、外装色を変更して、バリエーションを増加させて、大人用はクロム色を、子供用はパソル色などで製作している。

工業デザインの道具は、形状創成機能だけでなく、迅速な設計試行に対応し、共同作業を行う機能も重要になる。

CADはエンジニアリング分野の延長として、CAID分野は創造的な部分 (曲面を使った形状やフォームを作り出す工程) を支援するものと言う認識ができています。

工業デザインの道具 (CAID) は、工業デザイナー同士の共同作業とコラボレーションに問題がある。従来、開放的であったデザイン事務所に意思の疎通や対話を拒む仕切られた空間が多くなり、デザイン工程での対話・意思の疎通が減り、作業環境の質が落ちている。このため、デジタルな道具を使う場合も、デザイナー同士の対話と意思の疎通を促進させる環境が必要にな

っている。デザインが開放的・試行的で、共同作業であることは、現在でも変わっていないのである。デザイナーは、孤独では良いアイデアが生まれない人達とも言える。つまり、芸術家とは異なる人達のようなのである。

5.3 デジタル化の意味と実モデルの価値

デジタル化によって、実モデルを削減できるか、と懐疑的な意見があるが、試作車を7台製作していた会社が、デジタル化で、3台に減らした例もある。自動車本体の評価だけでなく、その自動車が走り回る環境も含めた評価をしているところもある。背景と合成された、仮想車（CG車）を走らせて見ることができる。素人には、実車と区別がつかないでさえある。概念設計工程で課題とされている要素は以下の通りである。

- 1) 曲面モデリング機能が十分ではない。
- 2) 全体的な開発時間短縮には、スケッチやモデリング機能の充実が必要である。
- 3) コンピュータは、デザイナーに違和感なく使用できなければならない。
- 4) 自由な対話ができるように、デザイン現場を開放的にする必要がある。
- 5) モデリング、レンダリング、アニメーション、コンボジットを統合的に使える。
- 6) デジタル、実モデルを上手に利用する必要がある。

このような要求を実現しながら、実世界の試行を、仮想世界の試行へ変換している場合が増えている。実体モデルを仮想モデルに変えることは、販売促進部門でも1990年代前半から、行われている。自動車でも1990年代後半から行っている会社が出てきた。

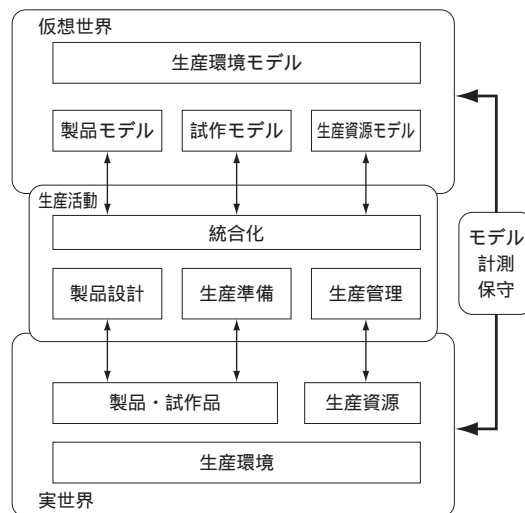


図6 仮想世界と実世界^[12]

5.4 エンジニアリング分野のソフトウェアが参入

工業デザイン分野に、エンジニアリング分野のソフトウェアが参入してきた。つまり、市場で形の美しさが重要になってきたこと、デザインから、エンジニアリング、製造分野までの工程に対応できるソフトウェアが登場してきたことにより、工業デザイン分野にエンジニアリング分野のソフトウェアが参入してきた。道具としての課題であった、「きれいな曲面」を、「製

造可能な曲面」に変換する必要が無くなることで、アイデア（コンセプト）が、直ちに、実現性（形の美しさを保ち、量産が可能な形）が可能かどうかの判断ができることになると言われている。

5.5 スケッチから、CAD への変換の意味

スケッチ（2次元）から、CAD（3次元）への変換は、単純ではない。また、デザイナーとエンジニアの間にも溝がある。スケッチ（2次元）は、誇張された絵であり、CAD データ（3次元）は、ユークリッド幾何学で表現される座標系である。この変換を、操作者の頭脳に求められているからである。この溝を埋めるためには、試作品をデジタルで表現し、工程全体を通して設計意図を伝えられ、形状創成を行う、デザイン道具が必要になる。デザイナーとモデリングの道具が、別な場合は、相互作用を最小限にする必要がある。しかし、この方法では、従来の実体の伴ったモデリングを減少させることはできない。実体モデルは出力、確認、検証、制御、参照のために重要であると思われる。これが、実体モデルと、実体モデル製作が無くならない理由の一つである。しかし、前節で述べたように、最近では、エンジニアリング分野のモデラーがデザイン分野に参入したため、課題のいくつかが実現できるようになってきた。

また、最近では、実体モデルを測定する（実物をデジタル情報に転写する）リバース・エンジニアリングが、進んでいる。「きれいな曲面」を再現するには、いくつかの課題があるが、試みは国内外で増加している。

5.6 収益率向上と工業デザイン

製品は品質だけでは競争できず、良いデザインは製品差別化と、利益率向上に役立つことが解かり、デザイナーが利益率向上に不可欠な存在になってきた。デザイナーは、設計、製造、マーケティングなどの役割を認識し、貢献する必要がある。デザイナーは、データの再利用と相互運用性（インタオペラビリティ）を認識しておく必要がある。作業者の誰もが、製品開発工程間で、互換性のないデータを扱いたくない。

また、デザイナーは、創造的な面だけでなく、技術的な面でも要求が多くなっている。工業デザインの3次元モデルは、デジタル試作品として、最終的に生産、販売する製品を表現することにある。しかし、多くの場合、デザイナーの道具は、設計工程に導入されていない。本来、道具は、デザインの専門家だけでなく、より多くの分野の人が使用できるようになることが必要である。そのためには、習得、操作が短時間にできることが重要である。

いずれにしても、「何のために形状モデルを作るのか」と言う目的が、デザイナー分野とエンジニア分野の間で、共有できれば自ら答がでることである。

5.7 設計意図の維持

デザイナーは、デザインを意図した通りに設計・製造工程に継続することを求める。そのためには、デザインの再解釈を必要最小限にすることである。維持することを求める。デザイナーは、創造的な工程だけでなく、後工程の設計環境との統合をサポートするデザインソフトウェアの道具を必要としている。CAID 分野は、デザインの道具であると同時にコミュニケーションの道具でもある。デザイナーは、CAID 分野のソフトウェアに次のような機能を求める。

- 1) 2次元スケッチ絵と3次元モデリングの統合

- 2) 形状，フォーム，テクスチャの試作
- 3) 想像できるすべての有機体，自由形状の製作
- 4) デザイン・レビューのためのプレゼンテーション，ビジュアライゼーション機能
- 5) データの完全性と設計意図を完全に保持できる MCAD とのインタフェース
- 6) 設計，製造エンジニアリングと円滑にコミュニケーションを図る機能

5.8 人間工学の配慮と仮想世界

自動車の基本性能は，走る，曲がる，止まる，ことである．しかし，操作性や快適性，安全性を重視する顧客も増えている．自動車メーカは，これらを向上しようと取り組んでいる．そこには「人」が関わるので，人間工学を適用し，「人」をデジタル化した検討が広がっている．

助手席・後部座席での乗り心地や，様々なスイッチの操作性・乗り降り易さなど，顧客が自動車に求める価値を仮想的に評価している．また，安全面では，衝突時の乗員保護や，歩行者に対する安全性も考慮している．操作性，乗り心地，安全性の各面で，人間工学(人体モデル)を活用している．そこには，仮想的な道具での検討が増えている．

5.9 環 境 問 題

世界的に，自動車は地球環境問題に対応しなければならない時代になった．燃料消費が少なく，環境汚染への影響を最小限に押さえた車の開発である．これは，主に動力部の改善であり，米国は電気，日本はハイブリッド，欧州はディーゼルエンジンを中心に対応している．いずれも，電子制御で，最適な性能を実現している．電子技術が，自動車の優劣を決めるようになってきた．自動車やバイクの音が出なければ，環境問題に合格点をあげられると言った人がいたが，音が静かなのも重要な環境対策である．さらに，特徴的なのは，車の部品のリサイクル率を 90% 以上にすることが市場の要求になっている．環境問題に配慮していない車や，メーカは淘汰される時代になってきた．ここでも，仮想世界での試行が重要な役割を演じている．

6. 効 果

デジタル化の効果は，デザイン部門と販売促進部門に限定しても，大きい．デザイン部門は，デジタル化を行わなければ，バリエーション増に対応できない．デジタル化の意味は，CAD データの有効利用と，実試行の削減にある．実試行は，環境・資源・公害に影響を与えるが，仮想試行はいくら繰り返しても，実害はない．仮想試行により，品質を向上させ，作業時間短縮させ，労働時間と，労働負荷を減らせることで，労働環境の改善も図られる．

7. 絵画技法とレンダリング技術の進歩

コンピュータグラフィックス (CG) の重要な役割を行うレンダリング技術は，コンピュータで絵を製作する技術である．コンピュータによる着色は，論理的な理論によって，形と (モデリング) と，光の陰影 (シェーディング) を計算し，画像を生成する．レンダリングの理論は，現実を抽象化し，体系化する．一方，画家が自分の意思を具体化し，表現する作業は，感覚的に，頭脳で扱われるため，その理論の正確な記述がされない．レオナルド・ダ・ビンチが，古に述べた記述がある^[13]．以下に，絵画作品を参考に CG 理論が，絵画手法を実現してきていることを確認し，その理論の進歩が論理的に進んでいることを示すことで，デザイナーの CG に

対する違和感を減らせればと思う．表6に絵画技法とCG技法の対比を示した．付録A．「絵画技法とCG技法の対比」も参考にされたい．

表6 絵画技法とCG技法の対比

方式	作者	美術館名	年	絵画	説明	CG	説明
透視図法 透視図法	ハオロ・ウッチェロ (Paolo Uccello) (1397-1475)	ロンドン、ナショナル・ギャラリー (National Gallery)	1456	「サン・ロマーノの戦い」(The Battle of San Romano)【絵画1】	ルネサンス期の透視図法は、透視する絵画で形の構造を描いている	線画	線画で透視図法を表現している。
1							
量感のある表現	ラファエロ・サンツィオ (Raffaello Sanzio) (1483-1520) エジエー・ディ・ラッロア (Eugène Delacroix) (1798-1863)	ピナティ美術館 (Galleria Pinacoteca at Florence, Firenze) ルーブル美術館 (Louvre, Paris) 【絵画2】 【絵画3】	1516 1830	「ラヴェンタータ」(La Donna Velata)とその部分【絵画2】 「民衆を導く自由の女神」(Liberty Leading the People)【絵画3】	柔らかな色彩で、丸みを帯びて描き、ふよやかな体、美しい面立ちを表現 「絵は、形の内部から外部に向かって、円く盛り上がりつつあるように描かなくてはならない」と述べている。	メタボール	点がある周囲に及ぼすエネルギー分布(温度域と考える)によって、形を生成する方法である。形の存在する場合は、煙の濃度分布のように、多量でも定義することが出来る。等しい濃度値が構成する面とし、滑らかな形を生成する。メタボール法によるモデリングは、線画の移動・回転・拡大縮小・座標変換より、豊かな量感を表現できるが、モデリングは直感的でなく、難しい。
陰影法	ラファエロ・サンツィオ (Raffaello Sanzio) (1483-1520)	ブレラ美術館(Brera: ミラノ)	1504	「聖母(マリア)の結婚」(The Betrothal of the Virgin (Sposalizio))【絵画4】	画面中央の16角形の建築物は、右手前からの光で照らされている。背景に描かれているような晴天の白なら、建築物の陰には青空の拡散光が反映して、絵のように単純な暗色にならない。建築物と風景との間に、光の整合性がなく、不自然に見える。	ランバート	物体の表面で反射する光の強度は、入射と表面に対する法線ベクトルとが成す角度の余弦に比例する」としている法則
3							
陰影法 射影幾何学	レオナルド・ダ・ビンチ (Leonardo da Vinci) (1452-1519)	ルーブル美術館 (Louvre, Paris) 【絵画5】	1505	「モナリザ」(La Gioconda (Mona Lisa))【絵画5】	美しい陰影があるが、影は描かれていない。影のない絵は、光学的に不自然である。しかし、彼は、影は画面を汚し、光の反映は対象物固有の色を汚すと考え、広い面積の拡散光源が、最も影を美しく見せると記述している。	ディフューズ 拡散シェーディング	全ての面で相互反射を繰り返して、拡散すると言う。熱伝導の理論を基に間接光を表現する。
4							
光の反射	ファン・エイク (Jan van Eyck) (1390-1441)	グルーニング美術館 (Groeninge Museum: ベルギー・ブルージュ)	1436	「ファンデルバール」(The Madonna with Canon George van der Paele)【絵画6】	光が、角度によって、青や黄色がにじみ出ているのをよく観察して描かれている。	鏡面シェーディング	光が、角度によって、青や黄色がにじみ出ずのには、波動で計算しなければできない。
5							
環境光と陰影	ペーター・パウル・ルーベンス (Peter Paul Rubens) (1577-1640)	アントウェルペン大聖堂(ベルギー・アントワープ)	1614	「キリスト十字架降架」(The Descent from the Cross)と部分【絵画7】	ドラマチックな光の扱い、人間味のあるリアリズムはカラーワッシュの影響が大きい。	レイトレーシング	画面の一点を通して描点に到る一本の光線が何処から来るかを、視線の方向から追跡計算を行う
6							
太陽光と室内の間接光と陰影	ヴァン・デル・ヴェーデル (Vincent van Gogh) (1853-1890) ジョルジュ・ラトゥール (Georges de La Tour) (フランス 1593-1652)	クレラー・ミュージアム 国立美術館 (オランダ・アムステルダム) ルーブル美術館 (Louvre, Paris) 【絵画8】 【絵画9】	1888 1642	「アルルのはね橋」(Pont de Langlois)【絵画8】 「大工の聖セザール」(Christ with St. Joseph in the Carpenter's Shop)【絵画9】	一点、一点が光の反射を表現し、太陽光が黄色を表すことをよく観察した画像である。 デジタルカメラの画像表現 (Christ with St. Joseph in the Carpenter's Shop)	確率論的手法の導入 モンテカルロ法 フォトンマップ (PhotonMap)	光を粒子として計算する。最近加えて、光を波として計算し、現象を再現している。
7							
光輝感や複雑な反射光表現			2003		複数の光源で表現される、デジタルカメラの画像。マシニングタイムや大気の大気散乱による光、雲などの表現	量子論の導入	光を波として計算し、反射などは不確定性の軌道を取る。部分的に粒子のような処理を行う。
8							

8. 今後の展開

どのようなデザインの道具が使用されても、粘土や発砲スチロールなどの実体モデリングには決定的な存在価値がある。デザイナーの多くは状況に応じて、CAID か実体モデリングの選択をしている。言い換えると、デザイナーは

- (1) 造形の困難な物を作図し、
- (2) 作図するのが困難なものを造形している。

それでも、実体モデルはリバース・デザイン、リバース・エンジニアリングでも重要な役割を果たしている。実体モデルは、現在でも、「説明するのが困難な」自由形状の製品に広く使われている。しかし、デジタル化は、社会の要請なので肅々と進歩していくのを止めることはできない。

9. おわりに

『カーデザイナーは、総合芸術作品として「車」を造る。その作品が、その時代に町を走る。あらゆる要素を考え合わせて、一つの新しいモデルを創造する』^[14]。また、『イタリア文化は、カーデザインといえども「美の極致」を表現しきってしまう』^[14]そうである。

デジタル化は、新しい道具による、作業環境の変化である。新しい道具を導入しても、デザインのセンスや感性の向上になるわけではない。道具はデザイン・スキルの代わりにもならない。無論、才能の代わりにもならない。しかし、時代の変遷と共に、作業環境が変わっていくのは避けられない。作業環境に対する、企業の姿勢が、デジタル化時代の「製品情報の密度」に影響を与えていることが見える。時代を経て、どのような差になってくるか注目したい。

付録 絵画技法とCG表現技法の対比

1. 絵画の制作工程

デッサンは、線画で形を読み取り、面の調子（バルール）を付ける。同じように、CG（Computer Graphic）では、モデルの表面上の頂点の3次元座標を入力し、頂点からポリゴン画像を生成する。絵画の制作工程は、形の構造を観察する工程と、形を光の陰影で可視化する工程に別けられる。以下に絵画の表現法をCGと対比させて述べる。CG画像は紙面の都合で省略した。

2. 表現法とCG

15世紀以前は、形が単純な線によって抽象化されて、描かれた。15世紀になると、幾何学による透視変換方法を考えた絵画が増えた。

1) 透視図法や透視投影法と線画

透視図法は、ルネッサンス時代に、確立がされてきた。パオロ・ウッチェルロ（1397—1475）の「サン・ロマーノの戦い」（絵画1）に透視図法を見ることができる。透視投影法は、線束で画を書いている版画に残っている。

2) 量感があり、丸みのある表現とメタボール

ラファエロやドラクロアの表現法を見てみる。ラファエロ・サンツィオ（1483—1520）の「ラ・ヴェラータ」とその部分（絵画2）や、ウジェーヌ・ドラクロア（1798—1863）の、「民衆を導く自由の女神」部分（絵画3）に典型的に表現されている。この絵画に似せて、メタボール表現は



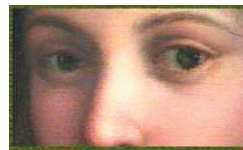
Copyright © 2003 The National Gallery, London. All rights reserved.

絵画1 パオロ・ウッチェルロ (Paolo Uccello)「サン・ローマの戦い」(1456 年頃)

考えられ、滑らかな形を生成し、量感を表現できるようにした。しかし、メタボルでのモデリングは直感的でなく、素人には難しい。

3) 陰影法とランバート (Lambert) 法

レオナルド・ダ・ビンチ (Leonardo da Vinci) (1452—1519) は、光についての記述を多く残している。光が入射角によって明・暗ができることを、陰影法として説明している。この説明は、CG のランバート (Lambert) 法の、「物体の表面で反射する光の輝度は、入射と表面に対する法



絵画2 ラファエロ・サンツィオ「ラ・ヴェラータ」(1516 年) とその部分拡大



絵画3 ウジェーヌ・ドラクロワ作「民衆を導く自由の女神」(1830 年) 部分

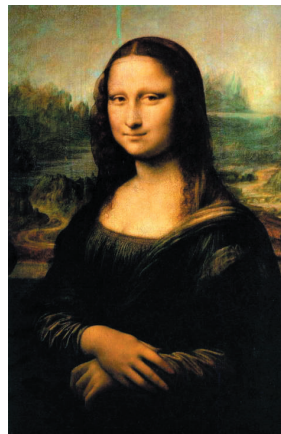
線ベクトルとが成す角度の余弦に比例する」と同じ説明である。しかし、ランバート法は、光の当たらない陰は見えない。したがって、陰の部分を可視化するために、環境光を全体に加えている。同様に、光が当たる物がない背景も、宇宙空間のような闇になるので、適切な背景色を合成している。ニュートン（1642—1727）は、光がプリズムを通ると虹になるのを不思議がり、研究するのはこれから約150年後である。ラファエロ・サンツィオ（1483—1520）の「マリアの結婚」（絵画4）を見ると、画面中央の16角形の建物は、右手前からの光で照らされている。建物は、闇の中に置かれた木型建築模型が、蝋燭の光に照らし出されたような陰影である。背景に描かれているような晴天の日なら、建物の陰には青空の拡散光が反映して、絵のように単純な暗色にならない。建物と風景との間に、光の整合性がなく、不自然に見える。ランバート法による画像も不自然である。



絵画4（口絵1）ラファエロ・サンツィオ「マリアの結婚」（1504年）

4）陰影法，射影幾何学とラジオシティ，拡散シェーディングシェーディング

レオナルド・ダ・ビンチの「モナリザ」（絵画5）には、美しい陰影があるが、影は描かれてい

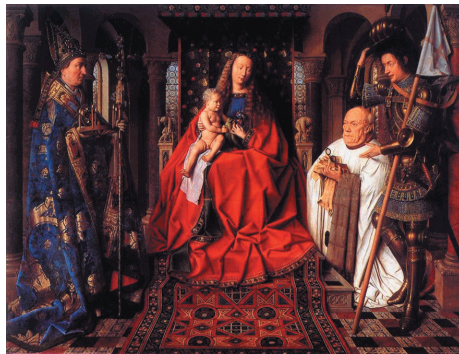


絵画5（口絵2）レオナルド・ダ・ビンチ（Leonardo da Vinci）「モナリザ」（1506年）とその部分拡大

ない。影のない絵は、光学的に不自然である。しかし、彼は、影は画面を汚し、光の反映は対象物固有の色を汚すと考え、広い面積の拡散光源が、最も形を美しく見せると記述している。彼が考える優美で曖昧な陰影法のぼかし（スフマート）に近い理論は、ラジオシティ法（1987年 コーネル大学）で似ることができた。このような影を、写真撮影で実現しているのが、大型特殊ライトのフィッシャーライトである。ラジオシティ法は、面が受ける光量と、その面から発する光量を、全ての面間で相互反射を繰り返して、拡散すると言う、熱伝導の理論を基に間接光を表現する。しかし、現在のラジオシティ法は、単純な平面構成に限られ、曲面を対象にしていない。現在では、フォトマッピング法が、曲面を対象にして、さらに綿密な間接光表現を実現している。この方法も、最近、波長で計算することで、さらに良くなってきている。

5) 光の反射と鏡面シェーディングシェーディング

ファン・エイク（Jan van Eyck）（1390—1441）の「ファンデルパールの聖母」（絵画6）は、光学的に正確な整合性を描いている。金属や宝石の鏡面反射や布の拡散反射は、画面には描かれていない左側の窓の光源を正しく反映しているし、玉の表面における、反射の仕方の違いによる変化を正しくシミュレーションしている。影を描くことは、光源を描くことである。この絵画を拡大してみると、その精密さに身震いする。ルネッサンス時代の絵画には、明確な影が描かれていなく、影のない光によって照らされている。つまり、ルネッサンス期の透視図法は、視点を原点として形を決定するのと同様に、視点から発する光が画面の主要な光となる。当然だが、視点と同じ位置にある光源が投影する影を、視点から見ることはできない。「モナリザ」に典型的に表現されている。初期のCGソフトウェアが、視点と光源の位置を同じくしていたものも同じ理由である。また、その方が計算時間を高速にできた。



絵画6（口絵3） ファン・エイク「ファンデルパールの聖母」（1436年）

6) 環境光と陰影と光線追跡法（レイトレーシング）

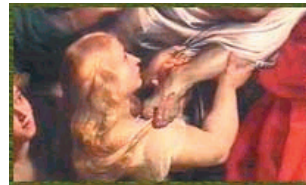
1978年に、コーネル大学で開発された、初期のレイトレーシング（光線追跡）が、視点と同じ位置に光源を仮定して計算していたのは、主に計算量削減のためであった。また、当時はそれで充分であった。通常、投影された影の形は空間の構造を説明し、影の形は空間の構造を説明し、影の陰影は環境光を説明する。これを実現するためには、約20年後の計算機的能力向上を待たなければならなかった。

17世紀になると、絵画は、画素の色、形、位置が明確に決定される。反射の法則である「入射

角と反射面法線と反射角は同一面に存在する」に依り、顔肌の数箇所の白色ハイライトは、太陽光源位置と、肌の曲面の法線と、見る者の視点の位置を、正確に表現している。太陽の光が直接に当たらない顎の下陰は、周辺からの反射光を反映して紫色に表現される。白日下の写実的な人体像は、現実のものではない群青の深遠空間を背景にし、光り輝く効果をあげている。このように現実的な光の効果、ハイライトや、紫色の影の色は、中世の絵画には見られない。ローマ時代の現実的な光が復活するのは、イタリア・ルネッサンスではなく、北方ルネッサンス時代である。環境光の考えが明確に表現されるのは、ペーター・パウル・ルーベンスの人体像画からである。ペーター・パウル・ルーベンス (Peter Paul Rubens) (1577—1640) の「キリスト十字架降架」部分(絵画 7) は、寒色と暖色の二つのリフレクションによって、人物を劇的に描いている。真っ暗な夜の闇に、右からは、月光の冷たい光が照らしている。

人体間を反射する光はフィルター効果で赤味を増し、直接光が当たらない陰の肌を赤く染める。ところが、陰と影の間で、直接光も反射光も当たらない暗い部分に、わずかに青味を帯びた陰影がある。この陰影は、画面上の対象物が太陽と青空の下にあることを暗示しているよく観察された絵画である。

レイトレーシング(光線追跡) 法は、画面の一点を通過して視点に到る一本の光線が何処から来るかを、視線の方向から追跡計算を行う。



絵画 7 (口絵 4) ペーテル・パウル・ルーベンス「キリスト十字架降架」(1614 年) と部分

印象派は、形を描くことよりも、光を描くことに専念し、光線追跡(レイトレーシング) 法を発明した。点描画で書かれた、モネ、マネ、ルノアール、ピサロ、シスレー、ドガなどの絵画にその特徴を見出せる。新印象派のスーラー、シニャックで、手法を確立し、後期印象派のゴッホ、ゴーガン、セザンヌで絵画に画家の心境まで織り込んだ。特に、ゴッホは、強烈な太陽の光を意識し、「アルルのはね橋」(絵画 8) で描かれた「ひなた」の橋脚のように、太陽の光を黄色として表現している。

- ① レオナルド・ダ・ビンチの拡散反射シェーディングシェーディング法, Lambert 法
- ② ファン・エイクの鏡面シェーディング法, Cook - Torrance 法の照明モデルで、熱放射論を用いている。



絵画8 ヴィンセント・ヴァン・ゴッホ「アルルのはね橋」(1888年)

③ ゴッホのレイトレーシング法

このように、CG理論の開発者も、画家たちと同じように、理論を追求している。CGは、一見曖昧な絵画理論に、物理現象を解析した方法論を理論として構築してきた。理論は現在も追及し続けている。

現代は、これにデジタルカメラによる、デジタル画像表現が増えてきた。表現媒体が、絵画だけでなく、銀塩写真、デジタル画像の高精度化、に対応しようとする動きが出てきた。デジタル画像は、劣化が無く、保存性が良いことも特徴である。

7) 太陽光と室内の間接光・陰影と確率論的手法

現在、デジタルカメラが主流になり、銀塩写真とは趣が違う画像が増えている。つまり、デジタル撮影された画像に似せる必要が高まっている。デジタルカメラによるデジタル画像は、劣化が無く、保存性が良いことも特徴である。しかし、それ以上に、影響が大きいと思われるのは次のような理由による。フィルムは化学反応で記録し、デジタルカメラのCCDは、光を感じる半導体が出す電気信号をデジタルデータにして、メモリーに記録する。したがって、16000分の1秒という高速なシャッターが使える。化学反応では出来ない速度である。ちなみに、人間の目は0.1秒以上速いものは裸眼では見られない。残像効果が0.1秒あるためである。デジタルカメラは、



絵画9 ジョルジュ・ド・ラ・トゥール「大工の聖ヨセフ」(1642頃)

すでに人間の目を越えた存在になってきた。ろうそくの炎が止まっているように映せるようになって来たのである。ラ・トゥールの「大工の聖ヨセフ」(絵画 9) の世界がデジタルカメラで写せる時代が来たことになる。室内は副光源という、人口の光を主にしている場合が多く、屋外は通常太陽光線で、電磁波である。デジタルカメラも光の受光部は、光をエネルギーとして取りだす。それを、色に変換している。室内で反射された光は、懐中電灯のような光でなく、反射が繰り返されたやわらかい光になっている。この処理を、確率論を取り入れ、モンテカルロ法などで間接光の表現を可能にしている。

8) 光輝感や複雑な反射・屈折・やわらかい光表現と量子論的手法

自動車の外板のような、複数の層になっていて、表面に塗装斑があるような表面を表現する必要が出てきた。これも、デジタルカメラが、人間の目以上に微細な表現ができるようになってきたからである。映像はより鮮明に、間接光のやわらかく、暖かい感じの光を表現する必要がある。

これは、光を粒子とする古典的な考えから、光は波で軌跡が確率で決まるという、量子論的な計算が検討されている。光は、散乱によって明るさを表現していると言う物理現象を忠実に再現した計算を微細に大量に行う方法である。これは、計算機の能力向上で、実現できる理論である。

CG によって明らかになった理論は、まだ明らかになっていない領分を明らかにし、さらに、新しい理論が生まれると言う循環になっている。今後の開発に期待が膨らむ。

参照資料：絵画の参照 Web アドレス

絵画	参照Webアドレス
「サン・ロマーノの戦い」 (The Battle of San Romano)【絵画1】	www.nationalgallery.org.uk/cgi-bin/WebObjects.dll/CollectionPublisher.woa/wa/work?searchString=Uccello&searchField=Artist%20Name&collectionName=&workNumber=NG583
「ラ・ヴェレータ」 (La Donna Velata)とその部分【絵画2】	sunsite.sut.ac.jp/cgfa/raphael/p-raphael2.htm
「民衆を導く自由の女神」 (Liberty Leading the People)【絵画3】	www.louvre.fr
「聖母(マリア)の結婚」 (The Betrothal of the Virgin ('Sposalizio'))【絵画4】	www.brera.beniculturali.it/archivio/fotogrande.php
「モナリザ」 (La Joconde (Monna Lisa))【絵画5】	www.louvre.fr
「ファンデルパーレの聖母」 (The Madonna with Canon George van der Paele)【絵画6】	www.brugge.be/Musea/m50.htm
「キリスト十字架降架」 (The Descent from the Cross)と部分【絵画7】	http://www.ne.jp/asahi/art/dorian/R/Rubens/Rubens.htm
「アルルのはね橋」 (Pont de Langlois)【絵画8】	www.kmm.nl/index_flash.html
「大工の聖ヨセフ」 (Christ with St. Joseph in the Carpenter's Shop)【絵画9】	http://www.louvre.fr/louvrea.htm

- * 1 CAID (Computer Aided Industrial Design)
コンピュータでデザイン作業を支援すること。デザインには、高い3次元モデリング機能、高品質の画像表示など、CG分野全般にわたる技術が必要となる。最近、CADの自由曲面機能が向上し、操作も容易になってきたことから、3次元CADシステムやCGシステムをCAIDに使っている。
- * 2 JIDPO : (Japan Industrial Design Promotion Organization)
(財)日本産業デザイン振興会の略称。通商産業省のデザイン審議会の答申を受けて、1969年(昭和44年)に設立された「我が国唯一の総合的デザイン振興機関」です。創立以来、行政機関や業界団体そしてデザイナーなどのご協力を得、「デザインイヤー」運動の展開を始め「グッドデザイン賞(Gマーク)」や、季刊「デザインニュース」の発刊などのプロモーション活動を、継続的に展開している。

- 参考文献**
- [1] IMVP 2000&beyond: Assessing the eRevolution in the Automobile Industry (Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Massachusetts 02142 May 2000
 - [2] 源田悦夫編「デジタルイメージクリエイション—デザイン編 CG—」財団法人画像情報教育振興協会 (CG-ARTS 協会)
 - [3] 今道友信著「美について」講談社
 - [4] 折口 透著「自動車の世紀」岩波書店
 - [5] 星野芳郎著「技術と文明の歴史」岩波書店
 - [6] 「カースタイリング別冊 93 クレイモデリング」三栄書房
 - [7] 「カースタイリング別冊 142 号」三栄書房
 - [8] 「カースタイリング別冊 145 号」三栄書房
 - [9] 片山 修著「トヨタの方式」小学館
 - [10] 片山 修著「ホンダの兵法」小学館
 - [11] TIME 誌 The Triumph of Design March 20,2000
 - [12] 穂坂 衛, 佐田登志夫著「統合化 CAD/CAM システム」オーム社 1994
 - [13] レオナルド・ダ・ビンチ「レオナルド・ダ・ビンチの手記」上・下 杉浦明平訳 岩波文庫
 - [14] 山内英子著 トヨタ「イタリアの奇跡」中央公論新社

執筆者紹介 大 平 昌 明 (Ohira Masaaki)

1970 年日本ユニシス(株)入社, CAD/CAM/CG システムの開発・適用, 画像処理 (医療, 新聞など) システム開発などに従事, 現在に至る.