

リアルタイム・ビジュアル・デザインレビュー・システムの設計と実装

橋本昌嗣^{1,2} 耿春¹ 平田哲也^{1,5} 柿本正憲^{1,3} 中村維男^{2,4}

概要 三次元モデルを用いた視覚的なデザインレビューは直感的で分かり易く、製造業に浸透しはじめている。その一方で、巨大なデータをインタラクティブに操作できない、複雑なモデルのどこをレビューしてよいか分からないといった問題も起きている。本稿において、私たちは、インタラクティブに3Dモデルを操作でき、漏れのないレビューを実現するリアルタイム・ビジュアル・デザインレビュー・システムを提案している。レビュー時間の短縮化のために、巨大なデータを高速表示するためのデータフォーマットを定義し、そのデータを用いた事前オクルージョンカリング処理について述べる。また、高い品質の製品設計における管理手法確立のために、2つの3Dモデルを比較し、設計変更箇所の自動検出を行い、表示する手法について述べる。

Design and Implementation of a real time visual design review system

Masatsugu HASHIMOTO,^{1,2} Chun GENG,¹ Tetsuya HIRATA,^{1,5} Masanori KAKIMOTO,^{1,3}
and Tadao NAKAMURA^{2,4}

Abstract Visual design review using 3D models is intuitive for reviewers and getting more and more common in the manufacturing industry. On the other hand, reviewers cannot either operate huge 3D full assembly model interactively or find review points for complicated 3D model. In this paper we propose a real time visual design review system, which realizes interactive operations of huge 3D full assembly models and check of every review point on design change. For interactive operations of huge 3D models, we define a unique data format and propose a method of previous processing of occlusion culling. In addition, for management of high quality product design, we propose an automatic design change detection algorithm, which finds every difference between current and previous models, and discuss visualization techniques of the detected differences and recognition of the detail of the differences using spread sheet type output.

1. はじめに

デザインレビューは、設計・企画段階に潜在する問題を、その組織内外の技術、情報を最大限に活用して、検出・予防する活動である。製品開発は、企画、設計、試作、製造という一連の工程をたどり[1]、デザインレビューはその経過途中および節目で行われる[3,4]。デザインレビューは、次の工程段階に移行するのに問題がないかを検証する[5]。どの工程段階で行われるかによって、重点とする検討項目に違いがあるため、各工程段階で異なった特徴を持つ[2]。

- 1 日本 SGI 株式会社
SI 事業本部 ビジュアルライゼーション・コンサルティング
Visualization Consulting, Solution Integration, SGI Japan, Ltd.
- 2 東北大学 大学院 情報科学研究科
Graduated School of Information Sciences, Tohoku University,
- 3 東京大学 大学院 情報理工学系研究科
School of Information and Technology, The University of Tokyo
- 4 米国スタンフォード大学、計算機システム研究所
Computer System Laboratory, Stanford University
- 5 NEC ソフト株式会社より日本 SGI 株式会社へ出向中
Temporary transfer from NEC Soft, Ltd. to SGI Japan, Ltd.

本研究では設計、開発段階のデザインレビューを取り上げる。設計・開発段階でのデザインレビューでは、設計者により提案された設計が、企画段階で出された要求事項を満足しているかを検討し、確認を行う。そして、設計内容に対して行われた種々の解析や計算、試験結果について検討する。

2 では提案するビジュアル・デザインレビュー・システムが従来から持つ機能について述べ、3 ではビジュアル・デザインレビューの課題を述べ、4 では、今回提案するビジュアル・デザインレビュー・システムの設計と評価について述べる。5 ではまとめを行う。

2. 現状のデザインレビュー

本章では、デザインレビューの流れを述べ、本研究で取り扱う設計・開発段階のデザインレビューを示す。また、私たちが提案するビジュアル・デザインレビュー・システムが従来から持つ機能を述べる。

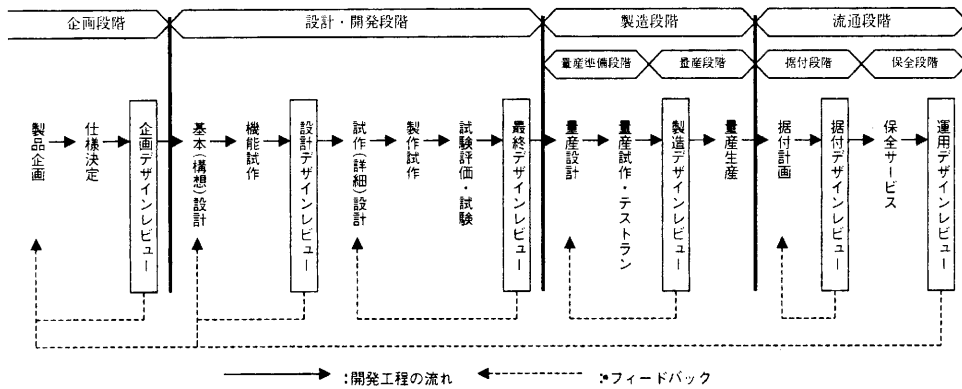


図 1. デザインレビューの流れ

2.1 デザインレビューの流れ

占部[2]はデザインレビューを次のように分類している。デザインレビューの流れを図1に示す。

(1) 企画・計画段階のデザインレビュー

顧客の要求事項や製品開発プロセスに対する要求事項について各レビューの理解をおおぎ、評価、同意をする。また、製品に盛り込む機能を達成する手順を確立し、その方法を確認する。そして、開発、設計、工程の計画について検討し、確認を行う。

(2) 設計・開発段階のデザインレビュー

設計者により提案された設計を、企画段階で出された要求事項に満足しているか検討し、確認を行う。そして、設計内容に対して行われた、種々の解析や計算、試験の結果を検討し、製品に盛り込まれた機能とコストのバランス評価を行う。

(3) 最終段階のデザインレビュー

要求事項を十分に満足しているか最終的な確認を行い、製品の製造、安全性、据え付け、運転及び保守に関する項目を検討する。そしてライフ・サイクル・コストについて評価する。

(4) 製造段階のデザインレビュー

製造プロセス、材料の取り扱い、サンプリング計画、検査、試験期間、組み立て手順など、製造計画に関する確認を行う。

(5) 据え付けデザインレビュー

製品の据え付け、輸送時の梱包、保管、輸送方法・手順、製品使用の環境条件、法的な規制条件などに対し、評価・検討を行う。

(6) 運用デザインレビュー

具現化された製品の機能などが顧客要求事項を満足しているか確認する。また、今後の製品の改造についてその改造効果とコストのバランス評価を行う。

これらは標準的な分類である。各企業が製造する製品の特徴に応じて、ある段階のデザインレビューが省略されたり、他段階のデザインレビューと融合されたり、また、簡略なもので済まされることがある。本研究では設計、開発段階のデザインレビューを取り上げる。

2.2 ビジュアル・デザインレビュー・システムの既存機能

デザインレビューには、製品の設計を担当した設計者のほかに、製造、資材購買、品質管理といった品質に影響を与える様々な部門の代表者が参加する。この参加者は、レビューと呼ばれ、それぞれ独自の立場から見て問題のある点や不具合を明確にし、改善提案をする。設計者は、レビューから出されたコメントや改善提案を参考にし、改善が必要であると判断すれば設計を修正する。

その際、設計意図を明確に伝達するためには、文字情報だけでは不十分である。そのためビジュアルなデザインレビューが必要とされている。NASAのスペースシャトルの作業が、3Dデザインツールの利用によって、効率的になったと報告されている[2,3]。ビジュアルなデザインレビューでは、三次元CADで作成されたデータを表示し、レビューの指摘を受け、改善点に関して、設計意図を明確にするコメントと共に保存し、共有する。

私たちが従来から開発してきたビジュアル・デザインレビュー・システムの主要機能は、以下のとおりである。従来機能について図2に示す。

(1) モデルの表示

三次元モデルの外観、形状のレビューを行う。

(2) 断面の表示

三次元モデルの断面をとり、モデル内部のレビューを行う。

(3) 部品間の寸法測定

三次元モデルの部品間の寸法測定を行うことが可能である。本機能を用いて、よりコンパクトな製品の開発の実現や、発熱する部品を配慮した部品の配置を実現する。

(4) 部品同士の干渉チェック

CADで設計後、部品同士が干渉している箇所をチェックする。

(5) 注釈の記入

レビュー時、三次元モデル上に、矢印を指し、コメントを記入、記録する。

(6) 議事録の作成

レビュー内容を三次元空間に保存した独自フォーマットのDRファイルに保存する。また、レビュー結果の画面キャプチャとコメントが含まれたhtmlファイルも保存する。htmlファイルで保存することによって、レビューは、容易に情報共有できる。

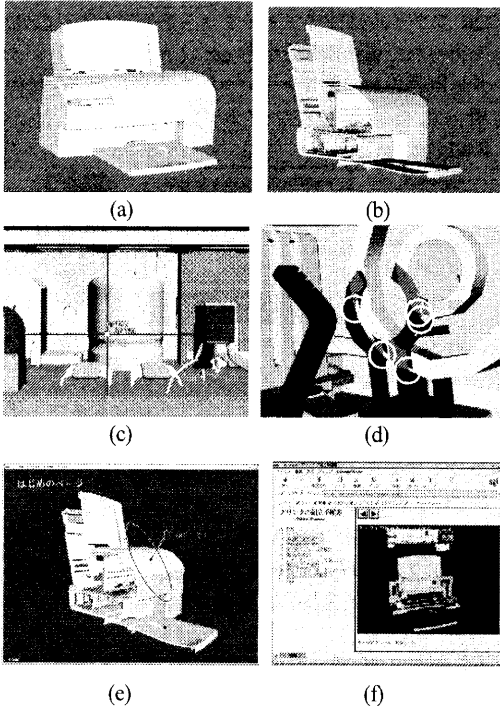


図2. 提案するビジュアル・デザインレビュー・システムの従来機能

- (a) 三次元モデルの表示
- (b) 断面の表示
- (c) 部品間の寸法の測定
- (d) 部品間の干渉のチェック
- (e) 注釈の記入
- (f) 議事録の作成

3. ビジュアル・デザインレビューの課題

三次元モデルを用いた視覚的なデザインレビュー

は分かり易く、製造業に浸透しはじめている。その一方で、PCのグラフィックス性能向上は、著しく、CADを用いて数万ポリゴンの部品を容易につくれるようになった。しかしながら、部品モデルを組み立て、製品全体つまりフル・アセンブリ・モデルを表示しようとすると、そのロード、回転といった操作をインタラクティブにできないことがある。また、部品点数の多いフル・アセンブリ・モデルは、どこが設計変更されたのかわからないこともある。本章では、このような課題を議論する。

3.1 三次元モデルのインタラクティブな操作

製造業の設計・開発段階において、パーツはCADで設計する。三次元パーツモデルを組み合わせた完全なモデルは、フル・アセンブリ・モデルとよばれる。このデータ量は、数百MB～数GBにもなる。しかしながら、CADではインタラクティブな操作は実現できていない。レビューが、フル・アセンブリ・モデルを用い、会議時間内に効率よく、ストレスのないスムーズな操作を行い、大局的な視点からのデザインレビューを行うことは、重要である。

その解決策として、ラティステクノロジー社は、軽量の三次元フォーマットXVLを開発している[5]。インターネットの普及に伴い、XVLを利用し、電機メーカーと金型メーカーは、円滑な情報共有を行っている[5]。しかしながら、デザインレビューに必要なCADで入力された必要な情報がコンバートできていない。つまり、データ量の大きな三次元モデルのインタラクティブな操作と、CADで入力された必要な情報の保持は両立しなかなければならない課題である。

3.2 チェック箇所の見落とし防止

三次元モデルを利用することによって、二次元モデルでは見逃したミスを検出したと報告されている[3]。しかしながら、ビジュアルなデザインレビューを実施する場合、抜けなく、効率的にどの部分をチェックするのは困難である。また、三次元モデルの表面から見えない内部、2つのモデル間で、目視だけでは見つけることができない寸法の違いなどはチェック作業を見落とす可能性が高い。それに対し、確認のために、文字情報による、適切なチェック項目のリストは効率的である。

つまり、3Dモデルからデザインレビュー箇所のチェック項目リストの自動生成を行い、そのリストと3Dモデルの対応を示せると、効率的なデザインレビューが実現できる。

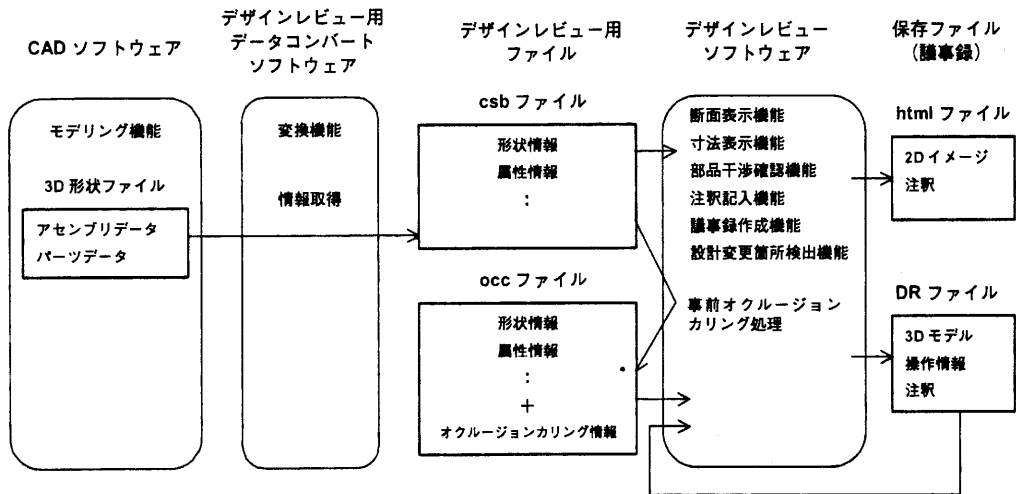


図3. ビジュアル・デザインレビュー・システムのアーキテクチャ

4. システム設計と評価

3章で示した課題を解決するためにビジュアル・デザインレビュー・システムの設計の際、以下の機能を盛り込んだ。

1. データ量の大きいフル・アセンブリ・モデルを高速表示するため、データ構造と事前陰面消去検出の実現
2. デザインレビューすべき箇所を列挙するため、モデルの設計変更箇所自動検出の実現

4.1 システムの設計概要

本研究で対象としているデザイン・レビュー・システムのアーキテクチャを図3に示す。

CADソフトウェアでは三次元形状ファイルを作成する。これらのデータをデザインレビューに適した高速に表示可能なファイル形式にコンバートソフトウェアで変換する。ここで生成されるファイルは、形状情報や属性情報を保持した三次元の形状のcsbファイルである。後述するが、csbファイルにオクルージョンカリング情報を付加し、高速表示を実現するファイルがoccファイルである。デザインレビューソフトウェアは、csbファイルまたはoccファイルを読み込み、断面表示機能や寸法表示機能を提供し、デザインレビューを実現する。レビュー結果は、コメントを加え、後日再編集可能な三次元モデルで保存されたDRファイルと、レビュー結果の画面キャプチャを含んだhtmlファイルで保存できる。

本研究では、データコンバートソフトウェア、デザインレビューソフトウェアは新たに開発をし、

DRファイルは独自フォーマットを作成した。CADで得られた属性情報を含むcsbファイル、occファイルは既存のデータフォーマットを改良した。今回利用した市販CADソフトウェアはPTC社のPro/Engineerである。

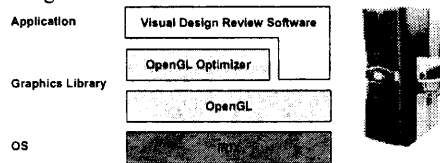


図4. デザインレビューソフトウェアの構成

今回実装したビジュアル・デザインレビューソフトウェアの構成を図4に示す。ハードウェアプラットフォームは米国Silicon Graphics社(以下SGI)のOnyx IR Seriesとする。ソフトウェアの構成は、SGIのUNIX OSであるIRIX上で、グラフィックスライブラリであるOpenGL、OpenGL Optimizerを利用し、C++とJavaを用いて実装した。

4.2 巨大な3Dデータの高速表示の実現と評価

ここでは、巨大な3Dデータの高速表示を実現するために、データフォーマットとオクルージョンカリングについて議論する。

(1) データフォーマット

CADソフトウェアは、インタラクティブなオペレーションには対応しておらず、複数人のレビューが集中して議論するようなデザインレビュー作業には向いていない。そのため、私たちはデザインレビュー用のフォーマットとして、SGIが策定したcsb

(Cosmo Software Binary)ファイルを採用した。

csbファイルの特長は、製造業で扱うデータを正確に表現しつつ、高速に表示すること目的としている。そのデータ構造は、汎用性の高いVRMLに準拠し、メモリーイメージに近い構造のバイナリファイルになっており、ディスクからメモリーへの読み込みが高速である。また、SGIの提供するグラフィックスライブラリOpenGL Optimizerを併用することにより高速な描画を実現している。

しかしながら、デザインレビューを行う上で、既存のcsbフォーマットにおいて、2つの不具合が生じた。1つはCADデータで保持している属性情報が保持できないことである。2つ目は、製造業で使用される数百MB以上のフル・アセンブリのモデルデータは、csbのデータの特性とOpenGL Optimizerを併用しても、デザインレビュー実施時、スムーズな操作を実現しているとは言えなかった。そのため、私たちはcsbのデータフォーマットの改良を行った。今回利用したCADソフトウェアのPro/Engineer上でのデータ構造は図5のようになる。CADソフトウェアのPro/Engineerでは、属性情報と座標情報を保持しているのが分かる。

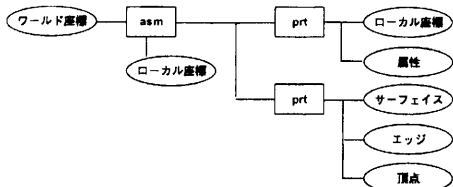


図5. CADソフトウェアのPro/Engineerのデータ構造

それに対し、オリジナルのcsbファイルは、座標情報を保持していたが、属性情報は保持できるデータ構造になっていなかった。そのため、デザインレビュー時に必要な属性情報は、Pro/Engineerからcsbファイルにコンバート時に取得し、csbファイルに新たに設けたデータのツリー構造中に保持することにした。更に、高速表示を実現するため、switchノードを設け、事前にオクルージョンカリングを行い、その情報を保持するようにした。そのオクルージョンカリングについては次に詳しく述べる。図6が今回利用したcsbファイルのデータ構造となる。新たに付加したのが、太い線で囲んだSwitchノードと属性ノードである。

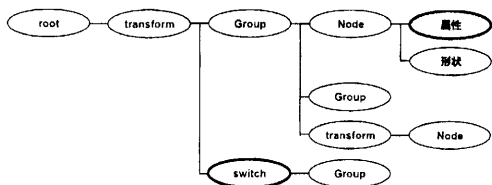


図6. csbファイルのデータ構造

(2) 事前オクルージョンカリング

数百MB以上のフル・アセンブリ・モデルを高速に表示するために、オクルージョンカリングは事前に行い、その結果は、保持することとした。オクルージョンカリングとは、表面に隠れた部分の描画を省略する手法で、これにより高速な描画を実現する。

今回は、csbファイルを読み込み時、オクルージョンカリングの前処理を行った。その処理は、読み込んだモデルを6方向(x直視, y直視, z直視, -x直視, -y直視, -z直視)から正投影し、表面に隠れて描画を省略する部分を検出する。そして、検出したオクルージョンカリング情報は、csbファイルのswitchノードに保存した。私たちは、この付加情報を持ったcsbファイルをoccファイルと定義した。

モデルを回転する際、一番近い直視のオクルージョンカリング情報を利用し、描画処理を省略し、高速描画を実現した。その結果、ファイルサイズ400MBのあるデータの描画フレームレートは、2フレーム/秒から15フレーム/秒に向上した。

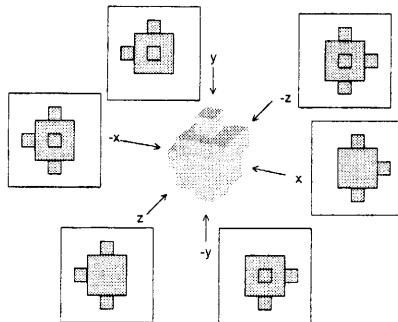


図7. 事前オクルージョンカリング処理

4.3 モデルの設計変更箇所自動検出の実現と評価

デザインレビュー時、設計変更箇所は注意すべき点である。ここでは、その設計箇所の検出方法と表示方法について議論する。

(1) 設計箇所検出方法

視覚的に2つのモデルを比較してデザインレビューを行う場合、その違いは一見して分かるケースもある。しかしながら、2つのモデルの間違い探しを見つけるようにいつまでたってもその回答が得られない。あるいは分からないことも考えられる。

そこで、プログラミングをする際のデバッグの手法を考えてみた。コードを変更したソースとそれ以前のソースをdiffというコマンドを使って比較する。その箇所に影響されるプログラムのふるまいを確認し、そのコードを正しいものに修正する。CADのモデルにおいても、モデルの形状が変化した部分の全

てを確認することは、デザインレビューにおけるチェック箇所の見落としを防止できる。そのため、csbファイルの持っている以下の情報を比較することによって、設計変更前のモデルと設計変更後のモデルの変更箇所を自動検出する。

■データ構造

- ・ノードの種類(transform, shape, group node)
- ・ノードの名前
- ・属性情報
- ・transform(部品の移動情報)

■形状

- ・シェイプ
- ・バウンディングスフィア
- ・ジオメトリ
- ・バウンディングボックス

(2) 検出された設計変更箇所の表示方法

設計変更前、設計変更後の2つのモデルを読み込み、2つのモデルの差分が検出される。検出された差分の状態は、「全く新しい部品の追加(add)」、「以前あった部品の削除(delete)」、「既存の部品の変更(change)」の3つに分類した。

それをテーブル形式の一覧表にするとともに、設計変更が検出された部品に着色を施した。この一覧表に従って、漏れのない、全ての設計変更箇所の確認を実現した。

設計変更が行われた部品は常に見える位置にあるとは限らない。そのため、該当部品を図8のようにピン表示し、三次元モデルの内部にある場合にも分かるようにした。また、一覧表の個々のリストをクリックすると、該当する部品がピン表示され、対応が確認できる。

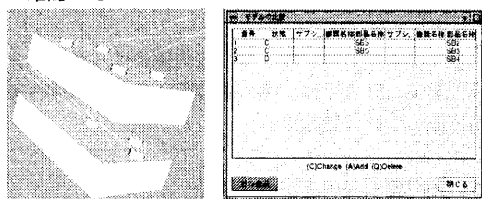


図8. 設計変更箇所の表示方法

5. まとめ

本稿では、製造業の設計・開発段階において、数百MB～数GBのファイルサイズの複雑な三次元モデルを利用したビジュアル・デザインレビューが快適に実施できるように、インタラクティブに3Dモデルを操作でき、漏れのないレビューを実現したシステムの設計と実装を示し、評価した。本システムを用いることにより、従来のビジュアル・デザインレビューと比較し、レビュー時間の短縮化と製品の

高い品質管理を両立した。

まず、レビュー時間の短縮化のために、必要なデータを保持しつつ、高速描画に適したデータフォーマットを定めた。また、事前のオクルージョンカリングを行い、従来に比べて、5倍から20倍の高速な描画を実現した。これにより、限られた会議時間内に、巨大なデータをストレスなく操作し、効率的な会議が開催されている。

次に、高い品質の製品設計における管理手法確立のために、2つの3Dモデルを比較し、設計変更箇所の自動検出を実装した。つまり、3Dモデルからデザインレビュー箇所のチェック項目リストの自動生成を行い、そのリストと3Dモデル上の対応部位を示し、漏れのない効率的なデザインレビューを実現した。

この2つの手法により、漏れなく設計変更箇所のチェックができ、快適な操作により短時間のデザインレビューが実施可能となった。

現在、航空宇宙分野の設計・製造段階において、本設計思想に基づき開発されたシステムが利用されている。

謝辞 本研究にあたり、宇宙航空研究開発機構の神吉誠志氏、NEC 東芝スペースシステム株式会社の三好弘明氏、株式会社 東芝の安達徹氏には、航空宇宙分野の設計・開発段階における問題点、その解決策など多大な御助言を頂いた。

本研究にあたり、日本 SGI 株式会社 和泉法夫社長・松木誠志本部長に御支援頂いた。また、本設計思想のもと、同社の椋林氏、横沢智彦氏、阿部菊代氏、加藤茂氏はシステムの実装に多大な貢献をした。

参考文献

- 1) GPahl W.Beitz. The Design Council, Engineering Design
- 2) 占部大輔. デザインレビューにおける情報のモデル化と計算機支援に関する研究. 大阪大学 大学院 工学研究科 平成13年度修士論文(2002)
- 3) Michael.J.Potel. 3D Design Tools Speed NASA Space Shuttle Work, IEEE Computer Graphics And Application May/June 2003 pp14-19 (2003)
- 4) Julian E Gomez, Paul J. Keller. The Digital Space Shuttle, 3D Graphics, and Knowledge Management, Sketch & Applications SIGGRAPH 2003 (2003)
- 5) Hiroshi TORIYA. Digital Process Innovation Based on Casual 3D - Innovative 3D data Utilization through XVL-, Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers Vol.106 No.1013 pp20-23,(2003)
- 6) <http://www.xvl3d.com>