

# 3D技術の統合化による 総合的モノづくり支援システムに関する研究 (第1報)

— デジタルモックアップによる製品開発プロセスの合理化・効率化 —

中川 賢一・秋本 梨恵・荒井 潤一・萩原 茂・阿部 治  
阿部 正人・佐野 正明・矢崎 徹\*・森 信也\*・吉田健太郎\*

## Research on construction of product development support system by integration of 3D equipment (1st Report)

— Rationalization and efficiency improvement on product development by digital mock-up —

Ken-ichi KUSHIDA, Rie AKIMOTO, Jun-ichi ARAI, Shigeru HAGIHARA, Osamu ABE,  
Masahito ABE, Masaaki SANNO, Toru YAZAKI\*, Shinya MORI\* and Kentaro YOSHIDA\*

### 要 約

3次元でのモノづくりの起点となるCG⇔CAD間におけるデータ交換ルートを確立すべく、統計処理により「代表性」「他のシステムとの親和性」をキーワードに絞り込んだ3種のアプリケーション間におけるデータ交換について、33種類のモデルデータを使用し通しテストを行なった。

データ交換前後における形状等変質のチェックは、ファイルサイズの変化、Ascii Nurbsデータ (Knot, cv座標値)の解析、表面積値の比較及びコマンドチェックに加え、法線の裏返りや面抜け等の観察によって行なった。

その結果、検証対象とした3種のアプリケーション間においてはSTEP形式を中心にデータ交換を行ない、交換できないモデル等についてはアプリケーション同士が相互に補完し合うことで高効率なデータ交換を行うことが可能であることが分かった。

### 1. 緒 言

迅速かつ高品質な製品開発に対応する3次元ツールの代表的なものには次に示すようなものがある。

- ・CG (製品デザイン制作～シミュレーション)
- ・CAD (製品設計)
- ・CAM (工作機への加工データ出力)
- ・CAE (解析)
- ・RP (3次元モデル出力)

これらのツールは、企業・業種・工程等の別によって様々に使い分けられており、モノづくりの現場では異種ツールの混在環境が定常化している。

しかしながら、形状の表現形式やデータベース構造の違い等の要因から、これらのツール間ではデータの互換性が確保されていないため、工程のいずれかで一度完成された3次元データの相互活用が不可能で、それぞれのツールの利点を相乗的に発揮させたモノづくりができていない。

異なる3次元アプリケーション間でデータ交換が可能となると、モノづくりの実務上では次のような具体的効果が考えられる。

- ・各ツールが得意とする形状生成方法を利用して3次元モデルを融通することで作業の効率化が図れる
- ・各ツールの特性を生かすことで複雑な形状設計、正確な曲面設計、設計から曖昧さを排除するなどが期待できる
- ・デザイン～設計～試作～解析等の各工程間でデータ共有が進むことで開発時間の短縮化が期待できる
- ・多様な開発の局面で様々にシミュレーションを行うことができ、試作回数の低減が期待できる

モノづくりが3次元化されたことで開発プロセスに質的变化が起きたことは言うまでもないが、今後は、3次元ツールを開発・設計工程の中において局所的に活用するのではなく、他の3次元機器といかに連携させ高度に使いこなしていくかが競争力を強化していくための鍵となってきている。

\* 株式会社スタジオスリーディー

そこで本研究は、迅速かつ高品質な製品開発に対応

するCG・CAD/CAM・CAE等の3次元ツールの横断的な活用を可能とするデータ交換技術を確立することにより、設計～デザイン～試作～解析・評価等の工程を一本化した足腰の強い3次元モノづくりを支援することを可能とし、中小製造業のモノづくり活動の高度化に資することを目的として実施した。

## 2. 実験方法

### 2-1 データ交換検証についての考え方

現在、市場に出ている3次元アプリケーションは少なくとも100種以上あり、これら全ての間のデータ交換について検証を行なうことは不可能である。

そこで、今年度は3次元モノづくりの起点となるデータ作成作業を担っているCG・CADアプリケーションの中から代表的な数種類のアプリケーションを抽出し、この間におけるデータ交換について交換が確実な道筋(データ交換ルート)を構築することとした。

これにより、検証作業自体を単純・簡略化するとともに、結果的に今後のデータ交換範囲の拡大等を図ることのできる柔軟性のあるシステムとすることをねらいとした。

2-2 検証対象となるアプリケーションの抽出～特定抽出～特定作業は各アプリケーションのモデリングカーネル、形状表現方式、入出力ファイル形式数等に代

表される機能・能力等の質的データを基に行なった。

上記のデータは平成18年6月現在で市場に出ている主要な3次元CG・CAD/CAMアプリケーションについて取りまとめたもの<sup>1)</sup>を使用し、数量化Ⅱ類により「代表性」「他のアプリケーションとの親和性」等を基準とした分類を行なった(n=76)。

なお、この分析データには通常モデリング業務を行なうことのないCAM等の3次元アプリケーションも含まれているが、これは、統計的検定を行なうことのできないクラスタリング結果を最終的に判断するうえでの参考とするため、あえて分析データとして採用している。

数量化Ⅱ類によって得られたサンプルスコアに対しクラスター分析(Ward Method)を適用し、クラスター数を3～9まで変化させながら凝縮工程を観察する中から図1のとおり6つのクラスターに分類することが適切であると判断した。

次に各クラスターを構成しているアプリケーションを観察する中から第4～第6クラスターが代表性を示すものであると判断し、今回の検証主旨、シェア等の要素から総合的に判断し、3種のアプリケーションを検証対象として特定した。

ここで、この3種のアプリケーションについて図2のとおり簡単にその特徴を比較しておく。

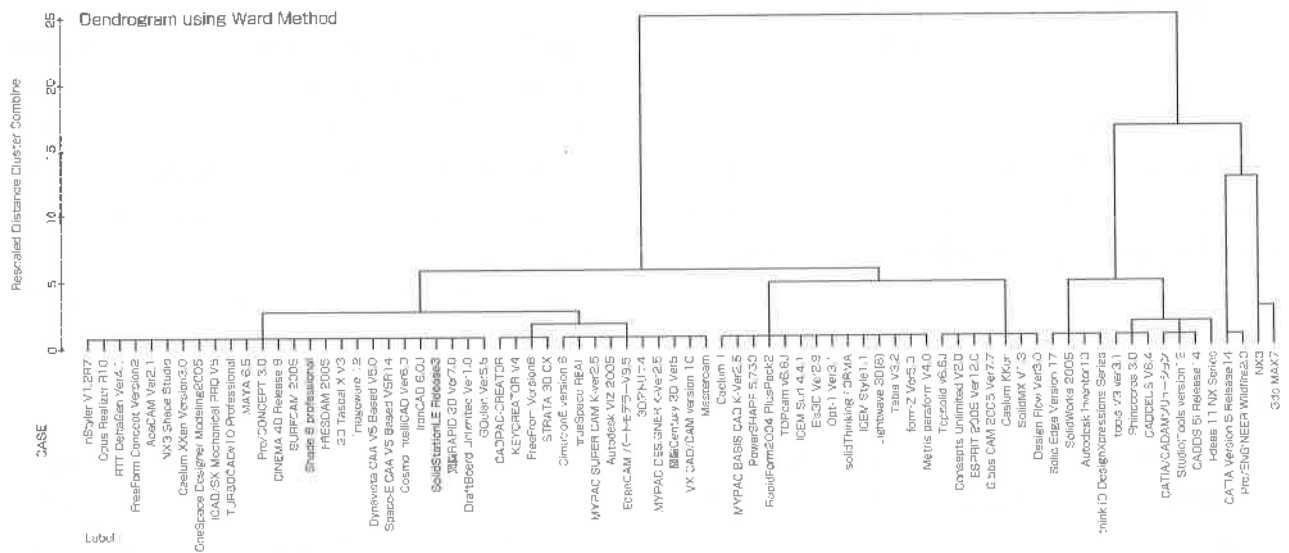


図1 クラスタ分析による3次元アプリケーションのデンドログラム

	アプリケーションの 特徴	モデリング カーネル	ソリッド モデリング機能	サーフェース モデリング機能	曲面表現方式	パラメトリック 変形機能	トランス値
CATIA V5	CAD(ソリッド)	独自	○	○	Nurbs	○	0.001(トランスモードモデリング対応)
Rhinoceros	CAD(サーフェース)	独自	○	○	Nurbs	×	可変(ユーザー指定)
3ds max	CG	ACIS, Solid++	△(※1)	○	ベジェ、B-スプライン、Nurbs	△(※2)	可変(モデルサイズの0.00001倍)

(※1)サーフデータのパラメータにより可能 (※2)デフォルトではポリゴンのみ可能、Nurbsはソリッドパーティのプラグインにより可能。

図2 検証対象としたアプリケーションの比較

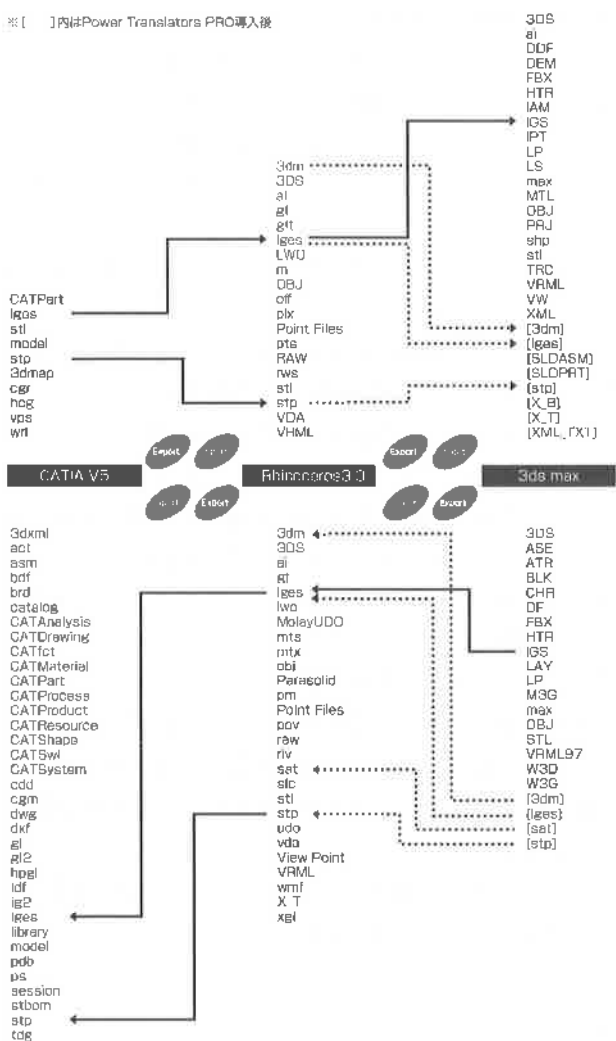


図3 検証対象アプリケーション間におけるファイルフォーマット対応

### 2-3 検証方法

3次元モデル形状を他のアプリケーションに渡すことのみを目的とする場合、ポリゴンメッシュデータを利用すれば形状自体に特に大きな問題がなければほぼ問題なく渡すことができる。

しかしながら、一旦ポリゴンメッシュデータに変換してしまうと、CAD側でどんなに高度にコントロールされ慎重に作成されたモデルデータであっても多面体近似での形状表現となってしまうことから面の連続性や滑らかさが損なわれたり、以降の形状のコントロールが困難になる。

そこで本研究では、CG⇔CAD間においてNurbsデータのままデータ交換を行うことを基本とし、先に特定したCG⇔CAD間においてNurbsによるデータ交換が可能かどうか、また、可能である場合、交換によって形状データがどの程度変質するか等について通しテストにより検証することとした。

3次元アプリケーション同士でデータ交換を行なう場合、一般的には各アプリケーションの中間地点に位置

する「中間ファイルフォーマット (IGES (.igs/.iges), STEP (.stp/.step), ACISSAT (.sat))」等の規格を使用して間接的なデータ交換が行われる。このため、アプリケーションはいくつかの入出力フォーマットを備えている。これを今回検証対象としている3種のアプリケーション間で比較したものが図3である。これに基づき、様々な特徴をもつ3次元モデルデータを33種用意し、検証対象とした3種のアプリケーション間の共通の中間ファイルフォーマットであるIGES, STEP形式 (Rhinoceros⇔3dsmax間はRhinocerosのネイティブファイル形式を併用) を使用してデータ交換し、交換の前後におけるデータの変質を確認することとした。検証に使用した3次元データの抜粋を図4に示す。

厳密な意味での「正確なデータ変換」は、データを出す側と受け取る側のアプリケーションが同じコンポーネント (同構造・同アルゴリズム) で動いている環境下で行うことが最も望ましいと言える。

しかしながら、両方のアプリケーションが同じベンダーで作られているもの以外では、これを望むのは難しいのが現実であり、こうした状況下におけるデータ交換前後の誤差の確認は難しい課題である。

本研究では、データ交換前後におけるNurbsデータの変質確認は、データ交換前後のKnot (ノット) の数・パラメーター及びcv (制御点) 座標値、次数を解析するとともに、表面積値を出力し併せて比較することで判断した。

Knot及びcv座標値、次数の解析によるデータ変質の検証は、検証対象となる3次元モデルデータを所定の中間ファイルフォーマットに出力した後に2つのアプリケーション間においてデータ交換し、交換前後における当該モデルのAscii NurbsデータをWinmargesを用いて一対比較する方法で行なった。

なお、Ascii Nurbsデータは基本的にテキスト形式であり、一つひとつのファイルのボリュームが大きく全文掲載が困難であるため、本稿では割愛した。

また、RhinocerosはAscii Nurbs出力機能を持たないため、出力のためのプラグインを新規開発、3dsmaxはPower Translators PROによる拡張エクスポートオプションを使用、CATIA V5はRhinocerosと3dsmaxへの入出力時にそれぞれからAscii Nurbs出力し比較を行なった。

この検証作業について、単純な曲面を用いての検証を例として図5に示す。

上段が3次の曲線からタブシル面を生成しKnot及びcvを表示させたものである。この例では、u方向に5つ、v方向に3つのcvが見て取れる。中段は形状をそのままに、次数を3次から5次に上げたものである。下段は次

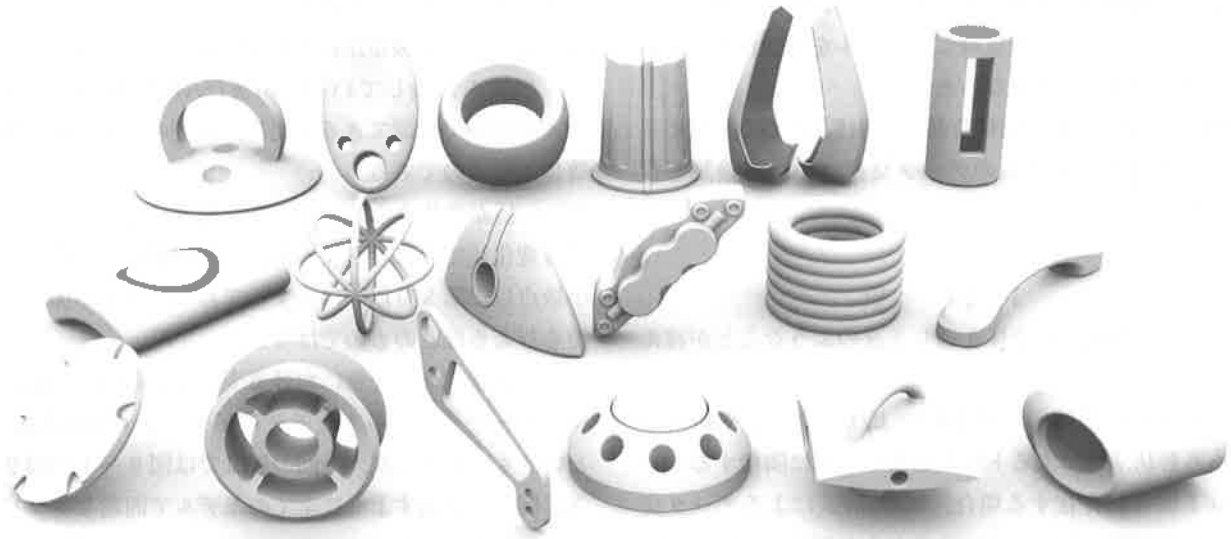


図4 検証に使用したモデル (抜粋 (ソリッドモデル18種))

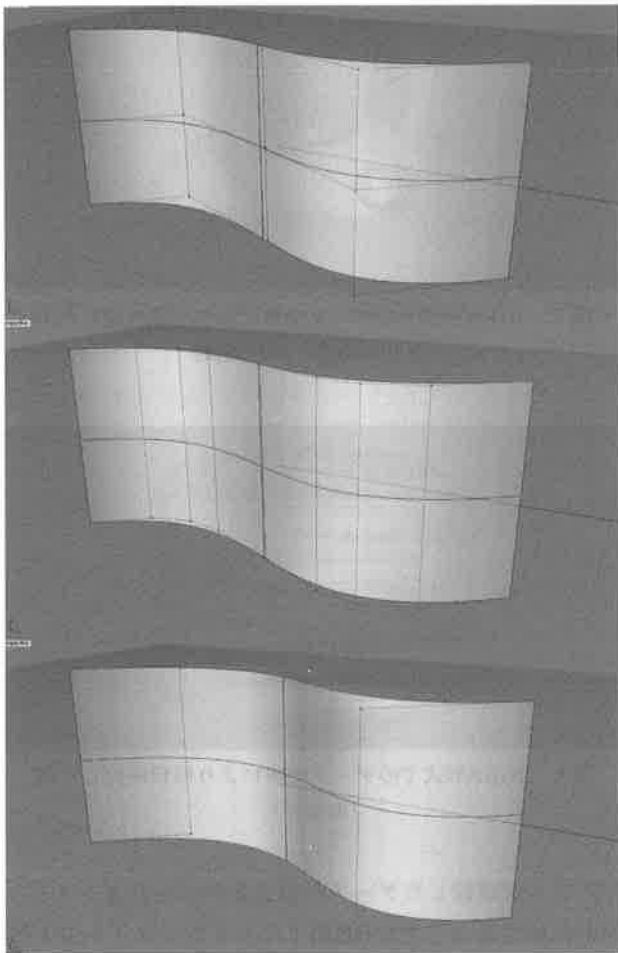


図5 様々なタブシル面

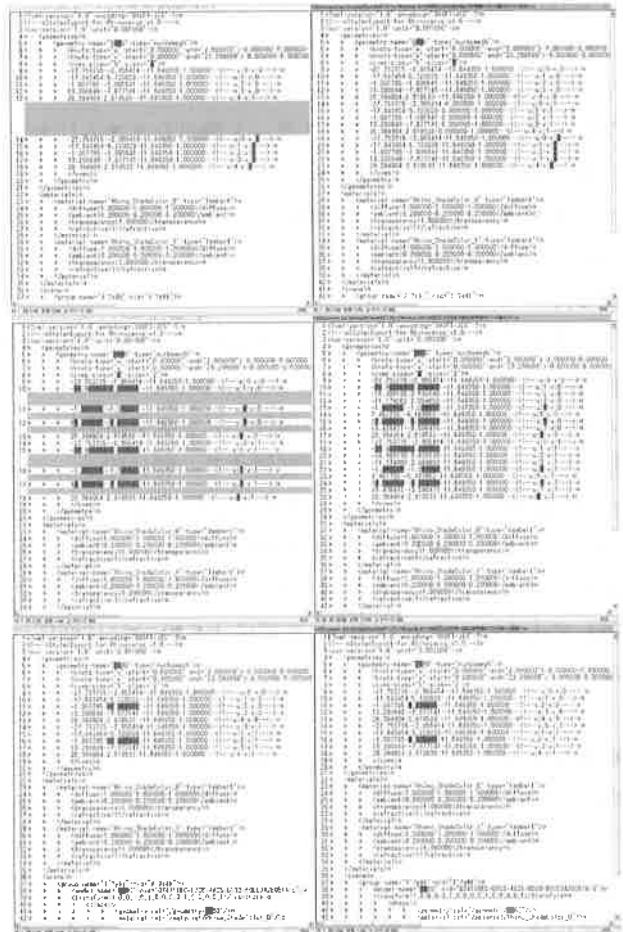


図6 WinmargesによるAsciiデータの対比較

数をそのままに、中央付近のcvを移動し形状を変形させたものである。

生成したタブシル面及び編集を施したそれぞれのタブシル面についてAscii Nurbs形式で出力し、Winmargesにおいて一対比較したものが図6である。双方のデータが異なっている部分が反転表示されており、Knotやcv

が増加している様子を一覧することができる。

なお、表面積値及びKnot、cv座標値の比較だけでは判断することのできないサーフェース法線の裏返りや面抜け、微小エッジの生成、モデル形状の破綻、アイソパラムの変化・不良、ソリッド化の可否等については、コマンドによるチェック及び日視によってこれを行なった。

また、形状破綻が著しかったファイル形式及びモデルについて、その特徴を反映したモデルを別途作成しデータ交換の追加検証を行なった。

以上から得られた知見を基に、面数が2,000を越えるような大規模ファイルのデータ交換について検証を行なった。

### 3. 結 果

データ交換検証の全体を通して次のようなことが言える。

1) モデルに円筒形・円錐形のようにシームや特異点がある形状、球によるトリム面及びこれに隣接するフィレット面等が存在する場合、IGES形式によるデータ交換において図7及び図8に示すような面抜け、もしくは、モデル再生が困難な破綻が起こるケースが顕著である。これは、3つのアプリケーション間における形状表現方式が特に異なる部分であるためだと推察される。

STEP形式によるデータ交換では、ほとんどのモデルでデータの再現状態が良好であった。

2) エクスポート時にエクスポート側のシステムにおいてあらかじめソリッド化をしている・していないの別はデータ交換によるデータ変質に大きな影響を及ぼさない(トレランス値の範囲内でモデリングされている場合に限る)。

3) トリム面が存在しないモデルにおけるデータ変質の割合は計算誤差の範囲とみなせるほど小さい。しかし、トリム面が存在するモデルの場合、データ交換を行った際にトリムラインのデータが変質する。特にRhino⇔3dsmax間では、ネイティブファイル形式(.3dm)でのデータ交換が最も変換効率が良いものの、トリムラインデータの変化量は他の中間ファイルフォーマットに比較して大きい。ただし(u,v)を構成するKnotには変質はない。

4) これに伴って起きるAscii Nurbsファイルサイズの変化はモデルによっては3~5倍になるケースもあるが、これは形状自体が変化している訳ではなく、各アプリケーションにおいてトリムラインを構成しているcvを補完する、あるいは、間引くことによる増減である。この変化は、データ交換を繰り返す中で収束し、完全一致していく傾向にある。

5) アプリケーション間のトレランス値が合致していないモデルデータの場合、ソリッド化できないだけでなく、面抜け等が起こるケースがあり、これが原因で形状破綻につながる場合がある。

6) 読み込んだモデルの再生状態及びcv座標値の変化から見て、座標系は変換されないものと判断できる。

7) データ交換前後において、見た目のデータサイズが

大きく異なるケースがある。これは、アプリケーション固有のシーン情報が保存されていることによるものであり、形状を定義しているKnot及びcv座標値のファイルサイズ比較で確認できる変化は、前述のとおりcvの補完等によるものである。

8) cv値が変化することにより、厳密に言えばモデル形状は変化していると言えるが、表面積値における変化は小数点以下第3位以下に止まっており、実際の加工に影響を与えるほどのものではない。

9) 3次元データ交換における大きな問題点に「他のアプリケーションから来たモデルがソリッド化できない」というものがあるが、今回の検証では図9-1~図9-3に例として示すように全てのモデルで問題なくソリッド化を行なうことができた。

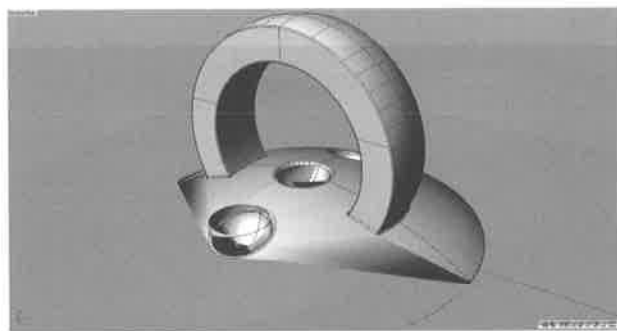


図7 IGES形式でのデータ交換により形状破綻した例  
(トリム不良~形状破綻)

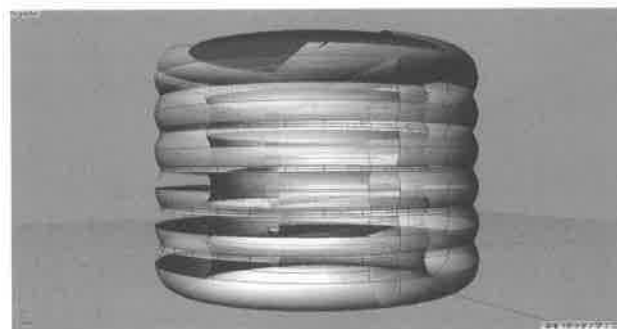


図8 IGES形式でのデータ交換により形状破綻した例  
(面抜け)

モデルが破綻したケースが最も多かったのは「ベースが回転体であること」「曲面上にトリム~フィレット処理が施されていること」を共通点とするデータであり、いずれもIGES形式においてのデータ交換であることから、こうした特徴を持つモデルを対象を絞って追加検証を行なった。

Rhinoにおいて3次の曲線からZ軸を中心軸とした回転体を作成し、シームが一つの2次の球体でプリアン処理を行ない、これにより生成されたエッジ部分に単純円弧のフィレットを施したモデル図10を作成した。

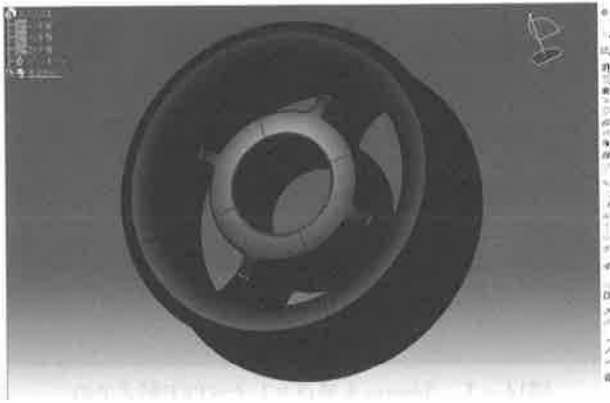


図9-1 CATIAにおいてサーフェース状態でインポート

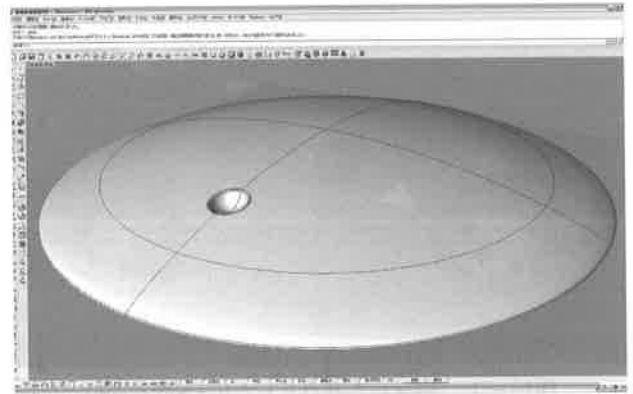


図10 Rhinocerosによる回転体 (IGES形式でエクスポート)

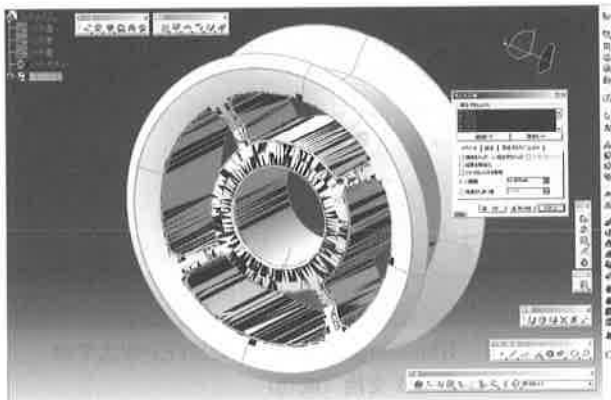


図9-2 モデリング許容差0.001でエッジのソーイング (エラーなし)

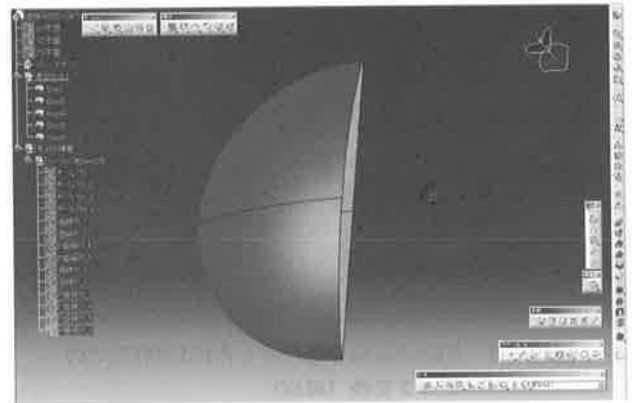


図11 CATIAでのインポート結果 (IGES形式)

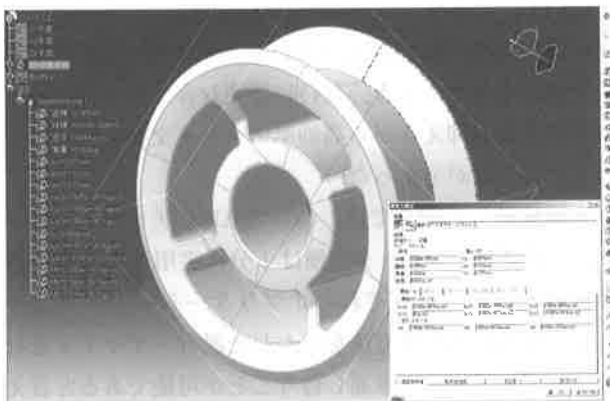


図9-3 ソリッド化 (ソリッドとしての各種測定値の出力可能)

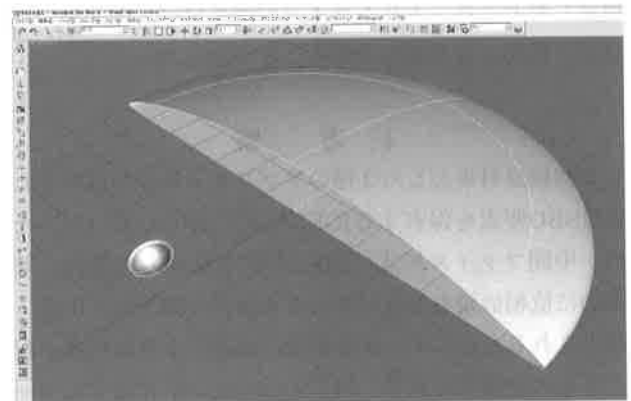


図12 3dsmaxでのインポート結果 (IGES形式)

なお、トレランス値はCATIA V5のデフォルト値に合わせ0.001としている。

これをIGES形式 (フレーバリング=CATIASolid, CATIA Surfaceの2種) 及びSTEP形式でエクスポートしCATIA V5及び3dsmaxでインポートしてみた。

IGES形式では、図11及び図12に示すように、いずれのフレーバリングにおいてもトリム抜けによるモデルの破綻が確認され、これを無編集のままIGES形式、STEP形式でエクスポートしてもRhinocerosでインポートすることはできなかった。同データを使用してSTEP

形式で行なったデータ交換では、問題なく交換を行なうことができた。

インポートできたSTEP形式のモデルを無編集のままCATIA V5, 3dsmaxからそれぞれIGES形式、STEP形式でエクスポートすると、IGES形式の場合にのみRhinocerosでモデルが破綻することが確認された。なお、CATIA V5から出力されるIGES形式ファイルは3dsmaxで、3dsmaxから出力されるIGES形式ファイルはCATIA V5でそれぞれ問題なくインポートできることが確認された。

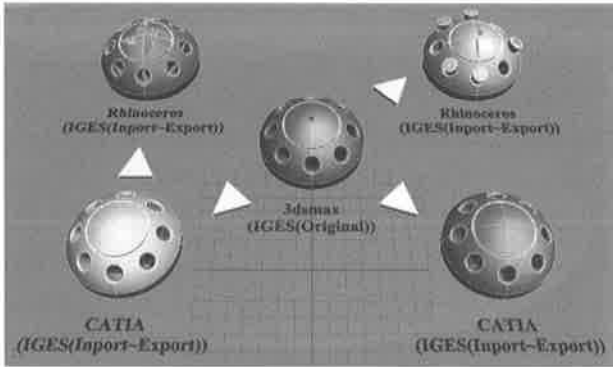


図13-1 3dsmaxを基点としたIGES形式でのデータ交換 (破綻)

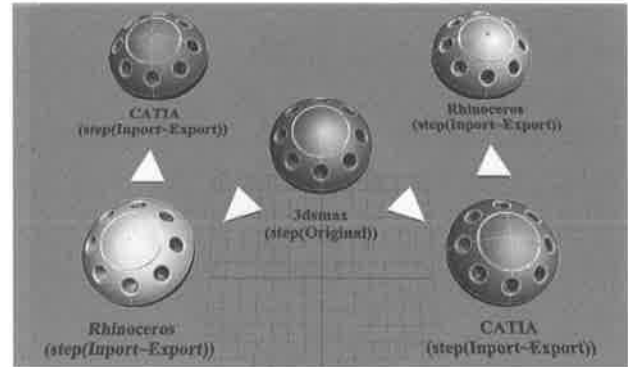


図14-1 3dsmaxを基点としたSTEP形式でのデータ交換 (成功)

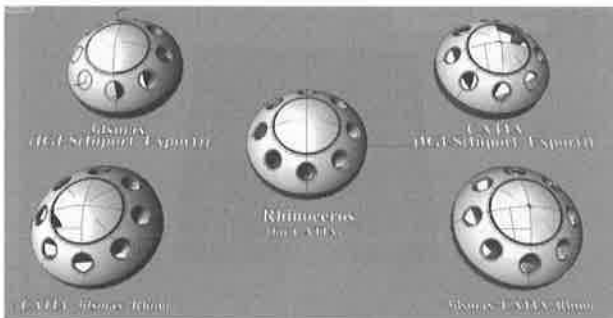


図13-2 Rhinocerosを基点としたIGES形式でのデータ交換 (破綻)

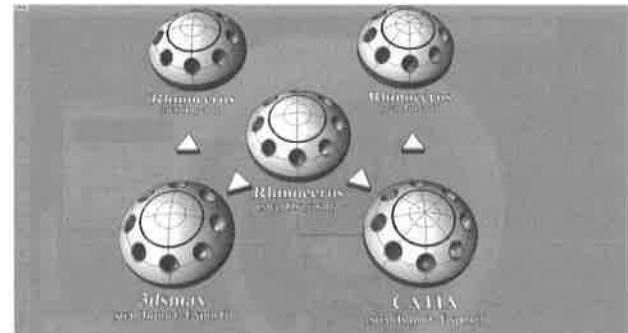


図14-2 Rhinocerosを基点としたSTEP形式でのデータ交換 (成功)

データ交換により破綻したIGES形式データの内容を検証したところ、トリムラインの関連付け、閉曲線の端点不一致が大きな原因であることが分かった。

#### 4. 考 察

今回検証対象とした3種のアプリケーションはいずれもMSBO要素を保有するIGES形式に対応していないため、中間ファイル形式にIGES形式を使用した場合、基本的に位相情報を保有しないまま面が分割されて生成・出力されるためにデータ交換時に前述のような現象が起こるものと推察される。特にRhinocerosが介在するデータ交換では図13-1及び図13-2に示すようにこの傾向が顕著である。

STEP形式を使用したデータ交換では、図14-1及び図14-2に示すように、データ交換により一部アイソパラムに変化が見られるケースがあるが、データそのものを変質させずにデータ交換を行なうことができる。

これは、STEP形式がファイル中に位相情報を保有していることが効果的に作用しているからであると推察される。

これらのことを念頭においてIGES、STEP形式を混在させて行なったサーフェスデータ、ソリッドデータそれぞれの大規模ファイルのデータ交換については図15及び図16に示すとおり良好な結果が得られた。

#### 5. 結 言

CATIA V5⇔Rhinoceros⇔3dsmax間におけるNurbsデータの交換は図17に示すとおり、基本的にはSTEP形式を使用するとともに、互いに補完し合うことでデータの変質を極力抑えながら高効率にデータ交換を行える手段であることが分かった。

今回検証した限りでは、CG・CADアプリケーション間におけるNurbsデータ交換は十分に実用性のあるものであると言え、それぞれのアプリケーションの特徴や得意とする形状生成方法を生かした設計・デザインを行ないモデルデータを融通し合うことが可能であると言える。

ただし、トリムラインのデータ変質については、トリム面の再現は元データの情報が保持された状態においてデータが移行し、アプリケーション側でその都度計算が行なわれることに起因するものであり、アプリケーション固有のアルゴリズムが適用される結果として起こる問題であることから俄かな回避は困難である。このため、データ交換を行なうことにより、極めて微少ではあるが必然的にデータが変質してしまうことは承知しておく必要がある。

#### 謝 辞

検証のために貴重な車両デザインデータの提供並びに

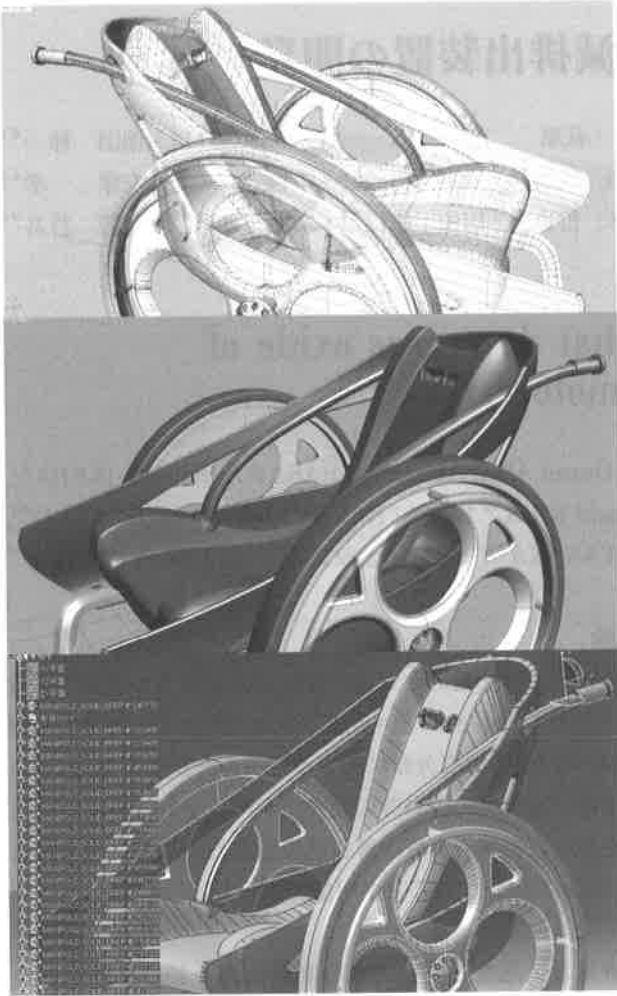


図15 大規模ソリッドデータのデータ交換例

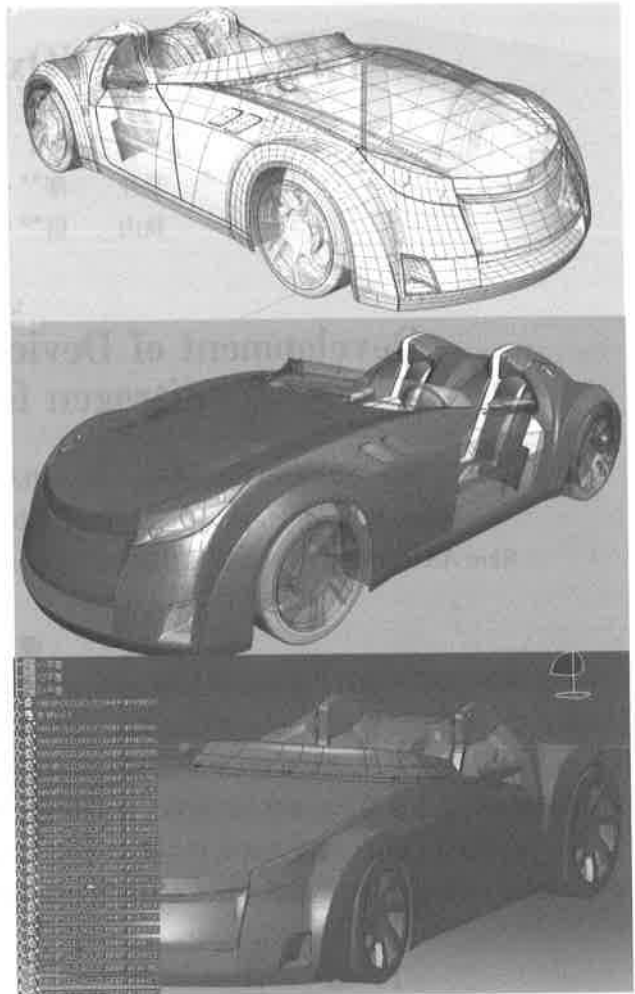


図16 大規模サーフェースデータのデータ交換例

ご指導をいただいた片山次郎氏に深謝します。

参考文献

- 1) 日経BP社編：3次元のモノづくり徹底解説CAD・'05-'06年度版 (2005)
- 2) 三浦曜,望月一正：CAD・CG技術者のための実践 Nurbs,工業調査会 (2001)

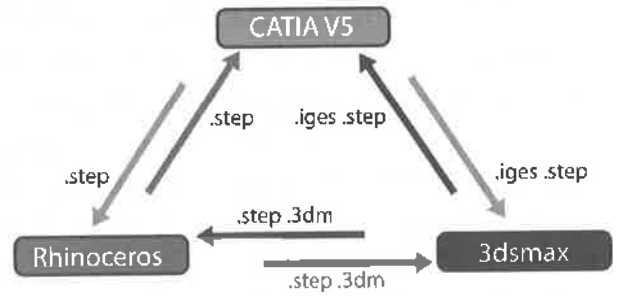


図17 変換効率の高いデータ交換を実現する中間ファイル対応図