

# 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2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 —

中田 賢一・秋本 梨恵・荒井 潤一・萩原 茂・阿部 治  
宮本 博永・佐野 正明・矢崎 徹<sup>\*1</sup>・森 信也<sup>\*1</sup>・吉田健太郎<sup>\*1</sup>

## Research on Construction of Product Development Support System by Integration of 3D Equipment (2nd Report)

— Rationalization and Efficiency Improvement on Product Development by Digital Mock-up —

Ken-ichi KUSHIDA, Rie AKIMOTO, Jun-ichi ARAI, Shigeru HAGIHARA, Osamu ABE,  
Hironaga MIYAMOTO, Masaaki SANNO, Toru YAZAKI<sup>\*1</sup>, Shinya MORI<sup>\*1</sup> and Kentaro YOSHIDA<sup>\*1</sup>

### 要 約

モノづくりにおける三次元機器の高度利用促進のため、平成18年度に引き続きCG⇔CAD間におけるデータ交換について検証を行うとともに、交換したデータのCAM, CAE等へのデータ出力についての検証及びモニタ上でのシミュレーションと立体造形出力のリンクを可能とすることを目的としたマテリアルライブラリの構築に向け検討を行った。

その結果、CATIA (V5), Rhinoceros (3.0sb5), 3dsmax (8.0) の3つのアプリケーション間において三次元データをシェアしながらモデリングを行うことが可能であることを確認し、データ交換及び他の三次元機器へのデータエクスポートの成否に影響するモデルデータ作成の留意点について6項目24点にまとめた。

マテリアルライブラリについては、デジタルカメラでのテクスチャ撮影～画像処理によるテクスチャ作成を行うことで、良好な試料再現が可能であることがわかり、試験的に20サンプルの作成を行った。

### 1. 緒 言

本研究は、中小製造業に求められる迅速かつ高品質なモノづくりに欠かすことのできない様々な三次元機器の横断的活用を可能とすることで、設計～デザイン～試作～解析・評価等の各工程を一本化(直結)した足腰の強い三次元モノづくりを行うことを可能とし、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平成18年度から実施している。

平成18年度は、三次元機器間でのデータ交換の中核をなすCG⇔CAD間でのデータ交換について、データ交換を行うことが可能な確実な一本の交換ルートを確立することを目的とし、市販されているCG, CADアプリケーションのうち76種を統計処理する中から代表性が高いと判断される3種のアプリケーションを特定し、これらの間におけるデータ交換の通しテストを行った。

この結果、CATIA (V5), Rhinoceros (3.0sb5),

3dsmax (8.0) の3つのアプリケーション間では、主としてSTEP (AP203) 形式を介するデータ交換を行うことによって幾何情報・位相情報を保持した良好なデータ交換ができること、また、不具合のあるときには互いに補完しあうことで変換効率を上げられることが確認できた<sup>1)</sup>。

しかしながら、これはキャッチボールのようにデータ交換を行ったものであり、交換した三次元データに各アプリケーション固有のモデリングコマンドで編集を加えることができるかどうか、また、編集を加えたデータが再度交換できるかどうか等については未検証のままであった。

そこで本報では、一つのモデルデータに対して複数のアプリケーションで編集を加えながらデータ交換を行い、モデリング業務をシェアしあうことができるか、また、この過程において面質評価、加工性・安全性等の検討、試作等が行なえるよう、他の三次元機器へデータを出すことができるかどうかについて検証を行った。

\*1 株式会社スタジオスリーディー

また、これに合わせ、CG分野では従来標準化されていなかった工業製品の表面仕上げをシミュレートするようなマテリアライブラリについて、日本インダストリアルデザイナー協会（JIDA）から発表されているサンプル集を基礎とし、この構築に向け検討を行った。

## 2. 検証方法

### 2-1 データ交換検証

「PC用マウスの外装設計」をモデルケースとし、一つのモデルデータに対して複数のアプリケーションで編集を加えながらデータ交換を行い、この作業過程におけるNurbsデータ・構造の変化等を観察した。また、この作業中途において適宜CAM、CAE等の三次元機器へデータを出力し、交換したデータが機能するかどうかについて確認を行った。

データ交換検証の対象となるCG・CADアプリケーションは、前報に引き続きCATIA（V5）、Rhino（3.0sb5）、3dsmax（8.0）の3種とし、データ交換用の中間フォーマットは主としてSTEP（AP203）形式を使用した。

その他の三次元機器については当センターで保有しているものを使用することとし、Cimatron E（CAM）、Ansys（CAE）、Magics・光造形機（ディーメック社JSC-2000）（RP）、N-Styler（リアルタイムレンダラー）を採用した。

作成を行ったPC用マウスは、フィレットの複雑な合流や面質の変化等、なるべく多くの形態要素を持ちうるよう、市場に出ている製品を参考としながら図1に示すようなモデルの作成を計画した。

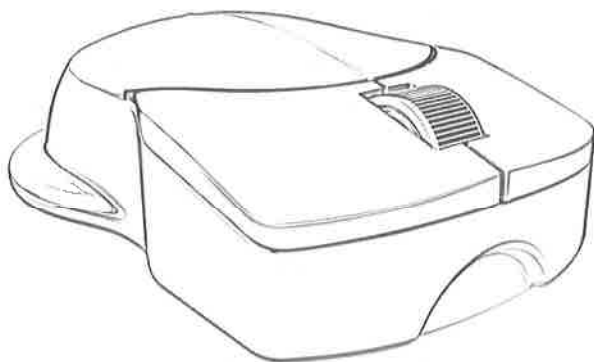


図1 作成を目指したPC用マウス

#### 2-1-1 モデルデータ作成

モデリング作業は前出のアプリケーションを筆者らの都合で使い分けるのではなく、あくまでもフラットな関係性の中で、これらをあたかも一つのソフトウェアのように使いながら最終的な形状生成を目指した。

なお、モデリングはトレランス値0.001、3～5次の

Nurbsを用い次の順序で行った。

- ① モデル構成線のラフスケッチ
- ② モデル構成線の整理
- ③ 面の構成（ラフ構成）
- ④ 面の構成（トリム、ブーリアン等処理）
- ⑤ 面の再構成（連続性確保、再構築）
- ⑥ 面の構成（ソーイング、フィレット処理）
- ⑦ ソリッド化（ソーイング）
- ⑧ ソリッド化（オフセット、シェル化）

#### 2-1-2 CG・CAD間におけるデータ交換の検証 検証は次のとおり行った。

- ① CATIAにてモデルデータ作成・編集～Ascii Nurbs出力
- ② STEP（AP203）形式でエクスポート
- ③ Rhinocerosにてインポート
- ④ Rhinocerosにてモデルデータ作成・編集～Ascii Nurbs出力
- ⑤ STEP（AP203）形式でエクスポート
- ⑥ 3dsmaxにてインポート
- ⑦ 3dsmaxにてモデルデータ作成・編集～Ascii Nurbs出力
- ⑧ CATIAにてインポート

以降、①～⑧の繰り返し

データ交換の成否についての検証は、前報と同様に三次元モデルのAscii Nurbs出力～Winmargeを使用したデータ交換前後におけるNurbsデータの対比較及びインポート後のモデル再生の目視を中心に、微小凶形の生成等の目視で判断できないモデルデータの破損等についてはコマンドチェックにより確認を行った。

なお、先に示した検証手順はモデルを構成するパーツごとに使用するアプリケーションの順序を変えているため、データ交換の流れは必ずしもこれと一致しない。

また、今回のような複雑なモデルデータのデータ交換前後における変化の比較ということになると、Ascii Nurbsはかなり大きなテキストデータとなり比較が困難となるため、検証作業の後半においては、交換したデータの一部のパーツや面等を選択的にAscii Nurbsに出力して比較を行った。

#### 2-1-3 他の三次元機器へのエクスポートによる検証

上記のデータ交換中におけるモデルデータを所定の中間フォーマットへ適宜出力し確認を行った。ここでは、出力先の取り扱いデータ形式がポリゴンメッシュとなるケースもあり、この場合、出力元であるNurbs形式と直接的に比較できる形式とはならない。このような場合、データ交換の成否に関しては、データ交換先のアプリケ

ーションでのモデルの再現状態の観察及びシミュレーションや造形に使用できるデータになっているかどうかを確認することで判断した。

それぞれの三次元機器が取り扱える中間フォーマットと本報で使用しているCG・CADとの対応関係は図2のとおりである。

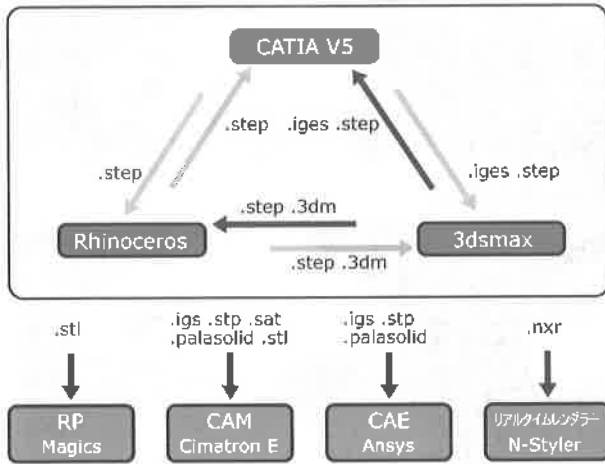


図2 CG・CADと他の三次元機器との中間フォーマット対応図

2-2 マテリアルライブラリの作成

CG分野では従来標準化されていなかった工業製品の表面仕上げを再現するマテリアルライブラリの構築を図るため、日本インダストリアルデザイナー協会 (JIDA) から発表されているサンプル集を基礎とし検討した。

なお、構築に当たっては、将来的にモニタ上でのシミュレーションと立体造形出力のリンクを可能とすることを考慮した。

三次元モデルのシミュレーションにおける材質的な特徴再現の大半は基本色、拡散反射、鏡面反射等とテクスチャ設定で賅うことができる。このうち、テクスチャ以外についてはアプリケーションに標準搭載されている標

準的なシェーダーの使用及びシェーダー固有のパラメータ調整である程度まで行うことができる。

そこで本報では、マテリアルライブラリ構築のうち、テクスチャ再現に注力することとし、試料のスキャンニングとデジタルカメラでの撮影による再現性について検討した。

テクスチャは、試料を直接スキャンニングしたデータとデジタルカメラで撮影したデータについて比較検討を行い、その後、グレースケール化～画像補整、シームレス処理を施し、徐変フィレットを有する曲玉型をした三次元モデルにマッピングしモニタ上での再現性を観察した。

なお、レンダリングコストの関係から、テクスチャサイズはレンダリングサイズを350dpiでA5サイズで最適化することとし、2480pixel×2480pixelとした。

3. 結果

3-1 データ交換検証

データ交換作業結果については、図3のとおりとなった。この詳細となるデータ交換中途の様子は図4にモデルが仕上がっていく過程として示す。

一般的に、異なる三次元アプリケーション間でのデータ交換が困難となる理由は、1) 曲面表現方式の違い、2) 位相表現の差異 (シームの問題) があり、モデルデータ編集～データ交換により面の構成や形状等が複雑になるほど問題が生じやすいが、CATIA (V5)、Rhinoceros (3.0sb5)、3dsmax (8.0) 間においては良好な関係性があると言える。

平成18年度に実施した通シテスト同様、CATIA (V5)、Rhinoceros (3.0sb5)、3dsmax (8.0) 間においては、STEP (AP203) 形式を介することで、三次元データに各アプリケーション固有のモデリングコマンドで編集を加えたモデルデータについても、ソリッド化等の過程

モデリング工程	出力元	出力先			Ascii Nurbsの変化	
		CATIA V5	Rhinoceros	3dsmax	(knot値 (≦0.001))	(cv値 (≦0.001))
① 構成線のラフスケッチ	CATIA V5	—	○	○	○	○
	Rhinoceros	△	—	△	○	○
	3dsmax	○	○	—	○	○
② 構成線の整理	CATIA V5	—	○	○	○	○
	Rhinoceros	△	—	△	○	○
	3dsmax	○	○	—	○	○
③ 面の構成 (ラフ構成)	CATIA V5	—	○	○	○	○
	Rhinoceros	○	—	○	○	○
	3dsmax	○	○	—	○	○
④ 面の構成 (トリム、ブーリアン)	CATIA V5	—	○	○	○	○
	Rhinoceros	○	—	○	○	○
	3dsmax	○	○	—	○	○
⑤ 面の再構成 (連続性確保、再構築)	CATIA V5	—	○	○	○	○
	Rhinoceros	○	—	△	○	○
	3dsmax	○	○	—	○	○
⑥ 面の構成 (ソーイング、フィレット処理)	CATIA V5	—	○	○	○	○
	Rhinoceros	△	—	△	○	○
	3dsmax	△	○	—	○	○
⑦ ソリッド化 (ソーイング、シェル化)	CATIA V5	—	○	△	○	○
	Rhinoceros	△	—	△	○	○
	3dsmax	△	○	—	○	○

図3 データ交換検証結果 [○:問題なし (または規定値以内) △:一部問題あり (微修正) ×:データ交換不可]

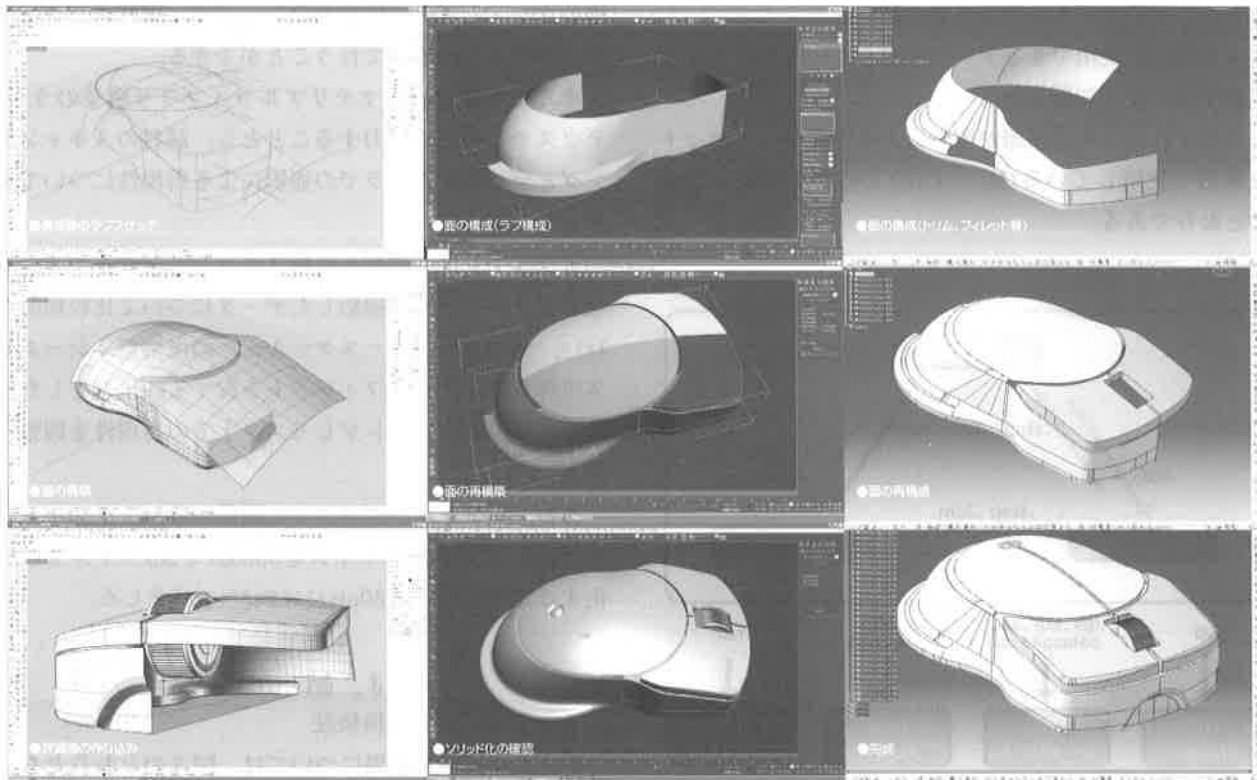


図4 データ交換を繰り返しながらのマウス作成の様子 (左列Rhinoceros, 中央列3dsmax, 右列=CATIA)

対象	内容	定義	推奨 (値)	問題の発生が予想される対象				
				データ交換	設計	GAM	GAE	その他
線・曲線	直線・曲線の自己干渉	直線・曲線がそれ自体と交差していないかどうか	0.01mm内で交差なし	●	●	●	●	
	直線・曲線の最大次数	多項式直線・曲線の次数 (N)	$N \leq 5$	●	●			
	最大セグメント数	1本の直線・曲線内のセグメント数 (N)	CAD, モデルにより異なる	●				
面	サーフェスパッチの接離	隣接するサーフェスパッチの共有すべき辺間の距離の最大値 (d)	$d \leq 0.01\text{mm}$	●	●	●	●	●
	サーフェスパッチの折れ	隣接するサーフェスパッチの共有すべき辺上での法線ベクトル間の角度 ( $\theta$ )	$\theta \leq 0.01$ 度	●	●	●	●	●
	微小曲面	曲面, サーフェスパッチの面積 (S)	$S \geq 0.0001\text{mm}^2$	●	●	●	●	●
	縮退した曲面	縮退した曲面, サーフェスパッチの境界線の長さ (L)	$L \geq 0.01\text{mm}$	●	●	●	●	●
	曲面の自己干渉	曲面の自身の内側で交差を持たないかどうか	0.01mm内で交差なし	●	●	●	●	●
	曲面の最大次数	多項式曲面の最大次数 (u, v)	$u \leq 5$ かつ $v \leq 5$	●	●			
	曲面のねじれ	1枚のリーフェスパッチ・曲面内での法線ベクトルの最大変化角度 ( $\theta$ )	$\theta$ 未使用されるCAD間で変化	●	●	●	●	●
	狭い曲面・近接したノット	曲面の1つのパラメータ方向で相対する辺間, 連続したノット間の距離 (d)	$d \geq 0.01\text{mm}$	●	●	●	●	●
	微小曲率半径	1枚の曲面の中での曲率半径の最小値 (R)	$R \geq \text{CAD}$ , モデルにより異なる	●	●	●	●	●
	曲面の隣接辺の最小角度	曲面の隣接辺の共有する端点における隣接辺の角度 $\theta$	$\theta \geq \text{CAD}$ , モデルにより異なる	●	●	●	●	●
エッジ	微小エッジ	エッジの長さ (L)	$L \geq 0.01\text{mm}$	●	●	●	●	●
	エッジ間の隙隔	隣接するエッジ間で共有頂点間の距離 (d)	$d \leq 0.01\text{mm}$	●	●	●	●	●
フェース	エッジループの向き	エッジループを構成するエッジの向きとエッジループの向きが一致するか	すべてのエッジが一致 (満足)	●	●	●	●	●
	微小フェース	フェースの面積 (S)	$S \geq 0.01\text{mm}^2$	●	●	●	●	●
	狭いフェース	1枚のフェースの中で, 狭いパラメータ方向におけるフェースの最大幅 (L)	$L \geq 0.1\text{mm}$	●	●	●	●	●
ソリッド	エッジループ間の干渉	エッジループが同じフェースのエッジループと交差を持たないかどうか	トランスラップ0.01mm内で交差なし	●	●	●	●	●
	重複フェース	フェースが他のフェースに完全に含まれていないかどうか	トランスラップ0.01mm内で含まれない	●	●	●	●	●
その他	接触ボリュームからなるソリッド	ソリッドの中に独立したボリュームが1つしかないかどうか	単一ソリッドのみ	●				
	内部空洞のあるソリッド	ソリッドを構成するインナーシェルがないかどうか	インナーシェルなし	●		●		
その他	シェルの自己干渉	フェースが同じシェルの他のフェースと交差しないかどうか	トランスラップ0.01mm内で交差なし	●	●	●	●	●
	過剰な頂点共有	一つの頂点を共有しているエッジの数 (N)	$N \leq 3$	●				●

図5 データ交換を困難にする要因 [6項目24点]

で一部問題があったものの, 概ね安定して良好なデータ交換が可能であることが確認できた。

検証中, 面抜けやモデル破損が起こったケースについては, Ascii Nurbsを比較検討するとともに, 再現されたモデルを観察する中から特に問題のありそうな箇所を探索・特定し, モデルデータの修正を行ったところ問題なくデータ交換を行うことができた。

この作業から推察されたデータ交換成功率を高めるための方策 (データ作成上の留意点等) について, 図5のとおり6項目24点にまとめを行った。

これらのことは, データ交換の場面ではトリム外れや微小図形の生成, CAMでは削り込みや削り残し, 加工パス計算の不具合, CAEではメッシュが切れない, メッシュに穴が開く, 設計の場面では肉眼では判別できない線・面のうねりの生成, 投影やオフセットの不具合等, 様々な工程に直結する共通した問題として挙げられる。

なお, これらの項目以外にも, 例えばエッジや曲面の曲率不連続等はモデルデータとしては不適切で品質の悪いものであると言えるが, データ交換の観点からは必ずしも不具合を引き起こす要因ではないため, これらにつ

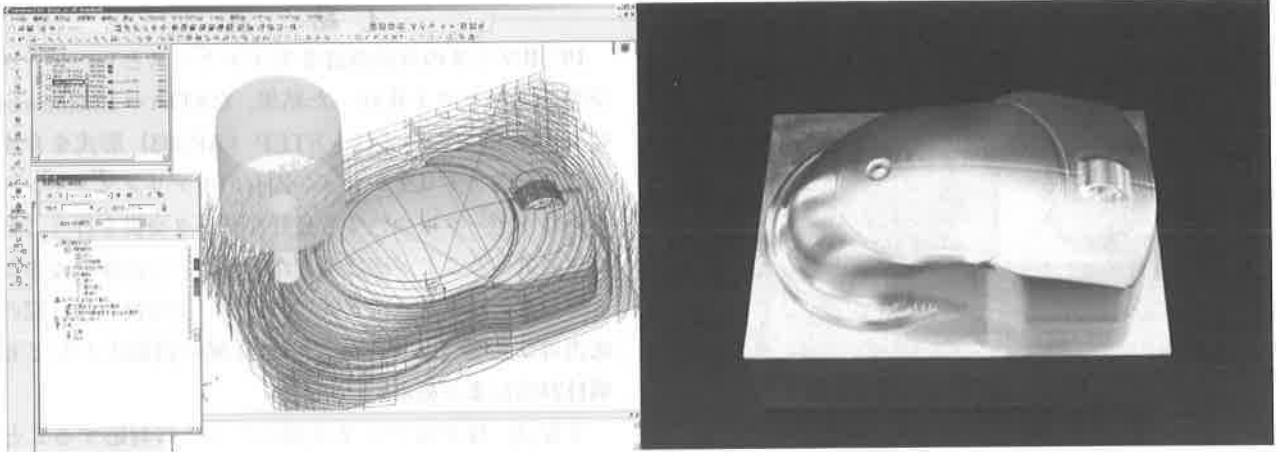


図6 STEP形式によるデータエクスポート～CAMによる加工パス設定(左)～加工結果(右)

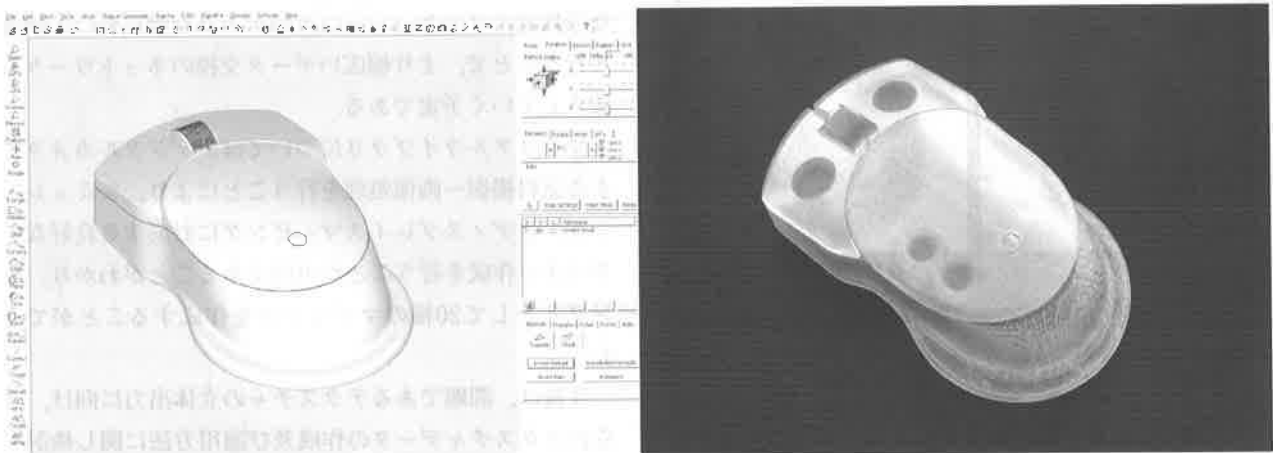


図7 stl形式によるデータエクスポート～RPによる造形設定(左)～光造形結果(右)

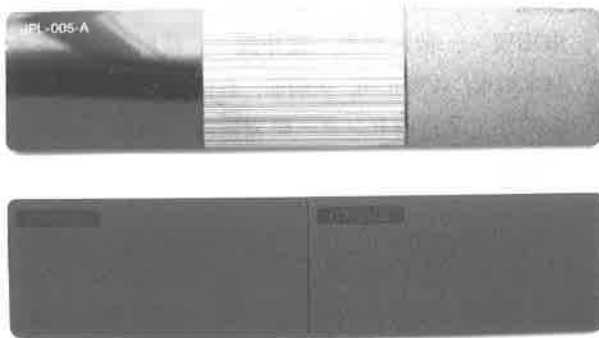


図8 テクスチャ試料 (JIDAサンプル)

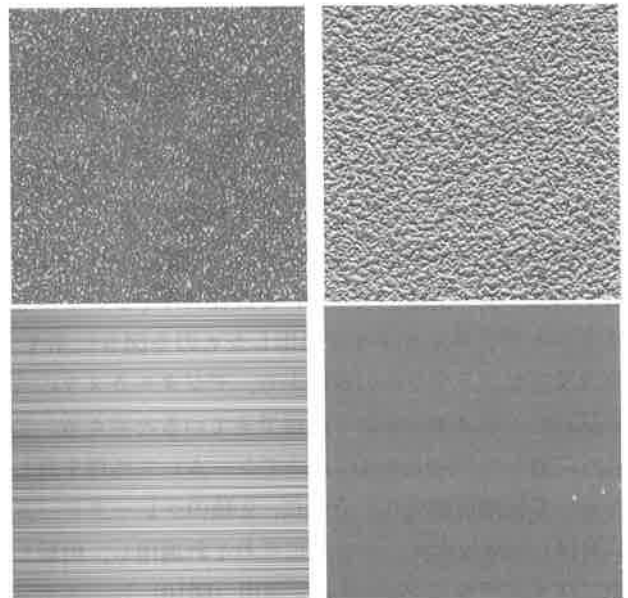


図9 テクスチャの取り込み(左列:デジタルカメラ/右列:スキャナ)

いては本報では特に触れていない。

データ交換作業の途中においてCAM, CAE, RP, リアルタイムレンダラーにデータ出力したものについては、問題なくデータを取り扱うことができた。それぞれにおいてインポートしたデータを加工した一例を図6, 図7に示す。

留意点としては、次のことが言える。

- (1) CAEへのPalasolidエクスポートではRhinocerosからのモデルに難がある。一旦CATIAもしくは3dsmaxにエクスポートして対応する方が確実である。

- (2) RPへのstlエクスポートはいずれのアプリケーションからも行うことが可能だが、メッシュの編集に長けている3dsmaxをエクスポートに使用することで、stl出力後のメッシュの破綻等のエラーを極力少な

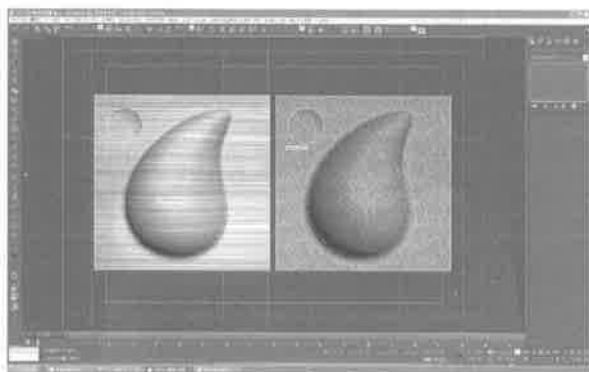


図10 PlaneMapでのテクスチャ適用

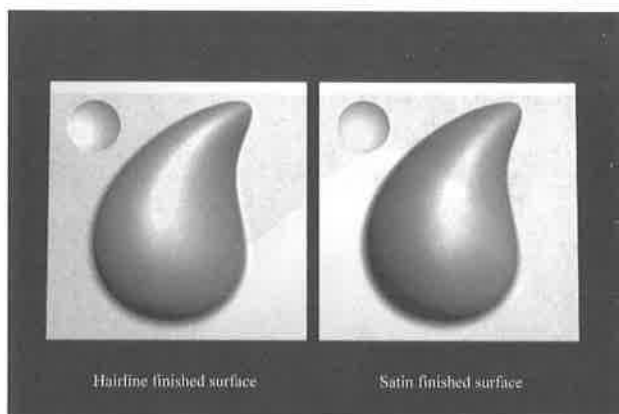


図11 スポット3灯によるスキャンラインレンダリング結果

くすることが可能であるとともに、ポリゴンメッシュでのモデル細部の詳細な再現についてコントロールすることができる。

- (3) リアルタイムレンダラーへのエクスポートは、現状ではRhinoからしか行うことができない。CATIA, 3dsmaxからのモデルは一旦Rhinoへ持ち込んで処理を行う必要がある。

### 3-2 マテリアライブラリの作成

例として図8に示す試料（メッキ色調・ヘアラインJPL-005, 黒・梨地JTX-010）を直接スキャンしたものやデジタルカメラで撮影したものを図9に示す。画像及びヒストグラムの観察から、デジタルカメラの方が試料のテクスチャをよく再現できていると言える。これらに対してPhotoshopにおいてシームレス処理を施したものを拡散反射光に、さらに、2種のグレースケールに変換し鏡面反射光、バンプにそれぞれ適用し、用意した三次元モデルにPlaneMapで適用（図10）し、スポット3灯による標準的なスキャンラインでレンダリングしたものが図11である。デジタルカメラで撮影したものがテクスチャの再現がモアレもなく良好であることが分かる。

この要領で試料サンプル20種のテクスチャをデータ化した。

## 4. 結 言

PC用マウスの外装設計をモデルケースとし、データ交換の通しテストを行った結果、CATIA⇔Rhino⇔3dsmax間においては、STEP（AP203）形式を介することで各アプリケーション固有のモデリングコマンドを施したデータについても良好なデータ交換を行うことが可能であることが確認できた。また、この作業の中から得られた知見を三次元機器間でデータ交換を行う際の成否等に影響するモデルデータ作成の留意点として6項目24点にまとめた。

今後は、様々なデータ交換のケースに対応することができるようさらに追加検証を行い事例を増やすとともに、CATIA⇔Rhino⇔3dsmaxを核として他の主要な三次元アプリケーションとのデータ交換について検証を行うことで、より幅広いデータ交換のネットワークを確立していく予定である。

マテリアライブラリについては、デジタルカメラによる試料撮影～画像処理を行うことにより、シミュレーションとディスプレイマッピングに対応する良好なテクスチャ作成を行うことが可能であることがわかり、サンプルとして20種のマテリアルを作成することができた。

今後は、課題であるテクスチャの立体出力に向け、さらにテクスチャデータの作成及び適用方法に関し検討を行う予定である。

### 参考文献

- 1) 申田賢一、秋本梨恵、荒井潤一、萩原茂、阿部治、宮本博永、佐野正明、矢崎徹、森信也、吉田健太郎：山梨県工業技術センター研究報告、No.21, p.38-45 (2007)