

平成 14 年

知能機械システム工学科卒業論文

3D - CAD 比較 と プロペラ設計

高知工科大学

知能機械システム工学科

環境機械・材料強度研究室

1020130

中山陽介

目次

第 1 章	序章	2
1 - 1	3D - CAD のメリット	
1 - 2	3D - CAD の現状	
1 - 3	研究目的	
第 2 章	比較方法	4
2 - 1	CAD 比較方法	
2 - 2	プロペラ製作方法	
第 3 章	比較結果	5
3 - 1	例題図形の比較	
3 - 2	それぞれのソフトの特徴	
3 - 3	測定	
3 - 4	プロペラ設計	
第 4 章	終章	16
4 - 1	結言	
4 - 2	今後の予定	
謝辞		17
参考文献		
付録		18
1	BRT Apex 1200 本体仕様	
2	倣いプローブ MPP - 4	
3	3次元測定データ	
4	3D 比較表 全体	

第1章 序章

1 - 1 3D - CAD のメリット

現在、機械設計の分野では、2D - CAD から 3D - CAD が主流になっている。主な理由としては、近年工業製品のほとんどが 3 次元自由曲面形状になってきていることが挙げられる。この 3 次元自由曲面形状の丸みをデザインし、設計・製作までを正確に進めるかどうかの鍵をにぎるのは、3D - CAD である。2次元の世界から抜け出したことで、機械設計の可能性は大きくふくらんだということはいうまでもない。

その他の理由として、

- ・ モデルが完成すれば自動的に 3 面図ができる。
- ・ モデルを視覚的に捉えられるので、プレゼンテーションに活用できる。
- ・ 形状モデルデータを CAE や CAM 工程で利用できる。
- ・ 設計段階で、実際に成立しない形状が確認できる。
- ・ ソリッドモデルなら、重量・重心・断面 2 次モーメントなどが自動計算できる。

などがあげられ、開発から製造まで総合的な能率向上が実現できる。

1 - 2 3D - CAD の現状

実際には、3D - CAD の利用率は、図 1 - 1 より 2001 年に 3D - CAD を使っている企業は全体の 78.2% である。2000 年では、71% で 7.2% も増している。特に図 1 - 2 の機械業界では、2000 年の 54.2% から 75.3% へ 20.1% も増している。図 1 - 3 に示すように、自動車業界では、98% のほとんどの企業が 3D - CAD を利用している。最近 1 年の間に何らかの形で 3D - CAD を利用しはじめた企業が急増して、3D - CAD が設計・製造に定着しつつあることがわかる。2 ~ 3 年後は、図 1 - 1 でも分かるように利用度は増していくと思われる。

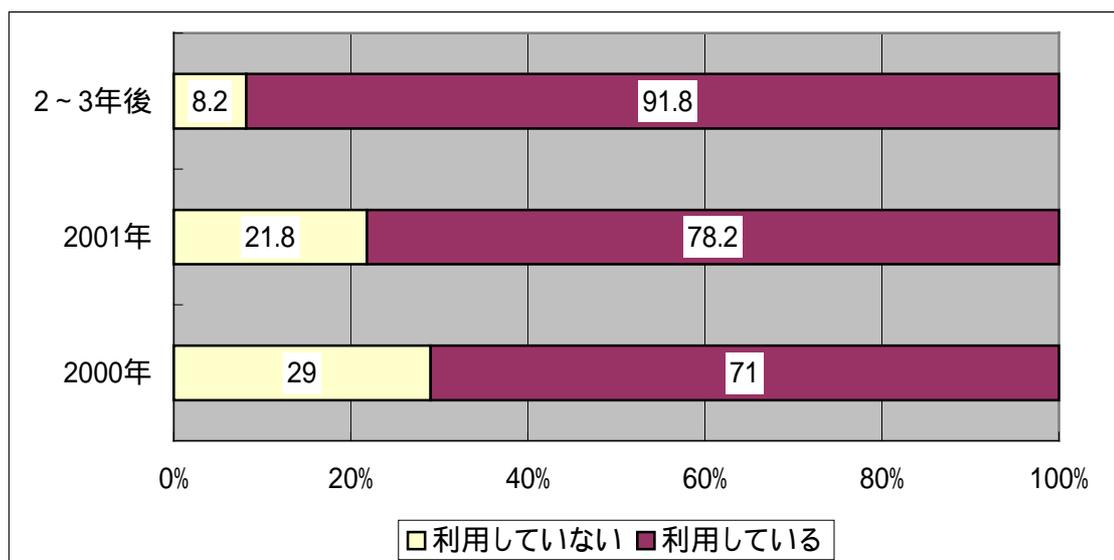


図 1 - 1 全体 (3D - CAD 利用率)

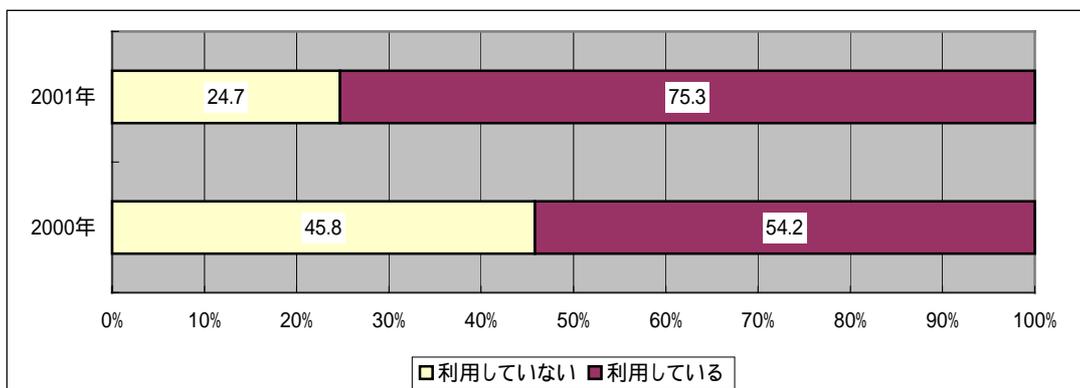


図 1 - 2 機械 (3D - CAD 利用率)

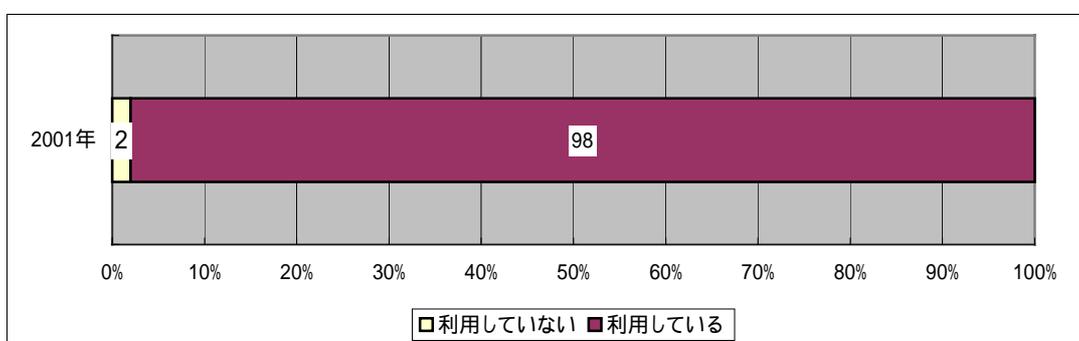


図 1 - 3 自動車 (3D - CAD 利用率)

3D - CAD ソフトの方は大別するとハイエンド、ミッドレンジ、ローエンドに分類でき、現在では、充実して 50 種類を越すソフトが流通している。

1 - 3 研究目的

現在、3D-CAD は部品設計や建築関係のみならず多くの現場で活躍している。すなわち、3D-CAD を上手く使いこなすことが仕事をスムーズに、かつ効率よく進める鍵になるといえるだろう。CAD には用途に応じた特徴があり、その特徴に合わせて使いこなすことが理想である。しかし、1つのソフトをマスターするのには、相当な時間がかかる。そのため、多くの企業では、1種類または2種類程度の利用にとどまっている。このことが仕事を滞らせていることはいうまでもない。無駄な作業を省き、時間を有効利用するためにも、CAD の特徴をしっかりと把握することが必要ではないだろうか。

現在、本研究室では風力発電機の研究開発を行っている。風力発電を起こすためにはプロペラが必要であり、プロペラを製作するのに高度な3次元自由曲面の設計が必要である。そのため3D-CAD の存在は欠かせない。そこで、各種3D-CAD の違い、操作方や特徴などを調査することで最適なソフトを選び、プロペラ作成を進めていくことにする。

第2章 比較方法

2-1 CAD 比較方法

比較は共同研究で行うこととし、同じ研究室の竹村雄介君と分担した。3D - CAD の 4 つの異なるソフトを調査した。ミッドレンジの Solid EdgeV.02 と Solid Works2000、ハイエンドの Solid Designer2000+と UnigraphicsV16.0 のソフトである。共同で、Solid Edge、Solid Designer を比較し、報告者は Unigraphics を担当する。比較方法は、図 4 の例題図形をそれぞれのソフトで描いて、やりやすい点やりにくい点の調査する。また、ソフトの機能と特徴を調べる。



図 2-1 例題図形

2-2 プロペラ製作方法

CAD 比較結果を用いてプロペラを 3D - CAD で設計するために最適なソフトを選び、3次元測定機を使いプロペラの形状を測り図面を描く。プロペラの加工を行う場所は高知県工業技術センターであり、インターネットで CAD のデータを送付する。その後、製作の予定である。



図 2-2 プロペラ

第3章 比較結果

3-1 例題図形の比較

それぞれのソフトの基本的な図形の描き方の手順は次の通りである。

Solid Edge は、プロファイル平面という基準平面をクリックすることで、その平面上に2Dを描くことが出来る。2次元では枠を描いていくことで、押し出しを行い3Dにする。2Dでは、1度に描くことの出来る枠は1つしかできない。

Unigraphics は、基準平面がなくてもかくことができる。2Dの基本的な描き方はX、Y、Z、長さ、角度などの値を入れて、書いていく。最初の原点を決めるのが非常に大事である。

Solid Designer に関しては、2Dはワークプレーンと呼ばれる基準平面上に描く。選択の指定ができないため下書き線を使うことによって交点、端点、中心点を選択して図を描いていく。

表3-1は、4つのCADで図2-1の例題を描くのに必要な項目をまとめたものである。

表3-1 CAD比較表

番号	項目	Unigraphics	Solid Works	Solid Edge	Solid Designer
1	重なりの表示				×
2	カーソルの横にマークが出る	×			×
3	オフセット				
4	画面上にあるパーツ・基準平面が表示	×		×	
	3D編集				
5	開始点を決めて押し出し				
6	2つのパーツ同時に押し出し		×	×	
	製図				
7	図面の余計な線を非表示	×			×

1番の項目……Solid Designerは出来なかった。重なりの表示ができないと2重なったときや隣接している線を間違えて選択することがある。

2番の項目……この項目内容は、円の中心などに近づくと中心のマークが表示され、線の端に行くと端点のマークが表示される。表示されることでどこを選択するのか分かる。ハイエンドのCADソフトUnigraphics、Solid Designerは表示されない。Unigraphicsは、指示のコマンドを入力することによって選択していく。Solid Designerは、下書き線を使って選択する。

3番の項目……Solid Edgeは、オフセット出来る範囲が限定されているために三角の評価である。

4番の項目……画面で使われているパーツ、基準平面の一覧が表示され確認ができる。Solid Designerでは、一覧の横にあるチェックマークを外したりすることで表示させたり隠したり出来る。

5番目の項目……Unigraphics ができる、他のソフトは基準平面の位置を変えることによって出来る。

図 2-1 の図形は簡単な操作で描くことが可能である。2番の項目にある表示があれば、選択が簡単になりすぐに描く事ができる。ミッドレンジの Solid Edge と Solid Work のソフトが描きやすい。

3-2 CAD の特徴

CAD の機能の特徴について表 3-2-1、3-2-2、3-2-3 で示す。

表 3-2-1 CAD 比較 (直線など)

番号	項目	Unigraphics	Solid Works	Solid Edge	Solid Designer
	直線の描き方				
1	平行線				
2	垂直線				
3	非有界 (無限)		×	×	
4	2等分線			×	
5	直線を2分割			×	
6	連続線				
7	円に接する線				
8	角度のある線				
9	長さの数値代入				
10	編集				
11	2つの円に接する線				×
12	輪郭線		×	×	
	フィレット				
13	単純				
14	3曲線		×	×	×
	トリム				
15	コーナ				
16	直線				
	2D 移動複写				
17	平行移動				
18	点まわりの回転				
19	円形配列			×	
20	長方形配列			×	
21	ひし形	×	×		

3番の項目は、基準の線を書く時に便利な機能である。

14番の項目は、3つの線を円弧のようにする機能であり、Unigraphicsで出来る。

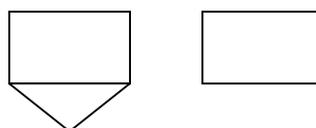
表 3-2-2 3D - CAD 比較 (穴・その他)

	項目	Unigraphics	Solid Works	Solid Edge	Solid Designer
	穴				
22	座ぐり				×
23	皿座ぐり				×
24	皿の径を変える	×	×		×
25	貫通				
26	角度			×	
	その他				
27	ブランク(非表示)			×	
28	2次元で寸法			×	
29	作業を完了するために言葉の指示				
30	図形の分割			×	
31	図形の結合	×	×	×	
32	図形の延長				
33	点			×	
34	変換(下書き線から図形線に)		×	×	
35	長方形				
36	原点位置を変える				×

(× は出来る範囲が限定される)

23、24、25番項目が出来るのは、Solid Edge だけで出来る穴は、単純穴、座ぐり、皿座ぐり、皿付き平座ぐりなどがある。

Solid Edge の座ぐりは、径、深さを決めることが可能、範囲は次の要素まで・全部・開始/終了・止まり穴(指定)ができる。止まり穴で、底面の形が V字形 フラット形 に変えることが出来る。



先を細くすることもでき、比率か角度で決める。ねじの種類、高さの調節方法、ねじの高さも設定できる。V字形の角度も決めることが可能である。

31番の項目……分割した線を1つの線に出来る。

表 3-2-3 C A D 比較 (3 D 編集)

番号	3D 編集	Unigraphics	Solid Works	Solid Edge	Solid Designer
37	回転ボディ				
38	物体が重なる部分を残す			×	
39	3Dの物体をトリムで形状カット		×	×	
40	可変半径			×	
41	サーフェス作成				
42	形状くり抜き(シェル)				
43	テーパ			×	
44	フェースの置き換え		×	×	×
45	対称に押し出し				
46	曲げる		×	×	
47	アニメーション			×	
48	2つの異なる距離での面取り			×	
49	角度指定の面取り				
50	フェースを投影		×	×	×
51	フェースを抽出		×	×	
52	2つの2Dを3Dにする		×	×	

37 番の項目…… 2次元で描いた図形を回転させて3Dにする機能である。

39 番の項目…… 図 3-2-1 のように形状をカットする。



図 3-2-1 3Dの物体をトリムで形状カット

40 番の項目…… 丸みづけの機能の一部であり、図 3-2-2 のように異なる半径を滑らかにつなげる。これによりなめらかな曲線が可能になる。

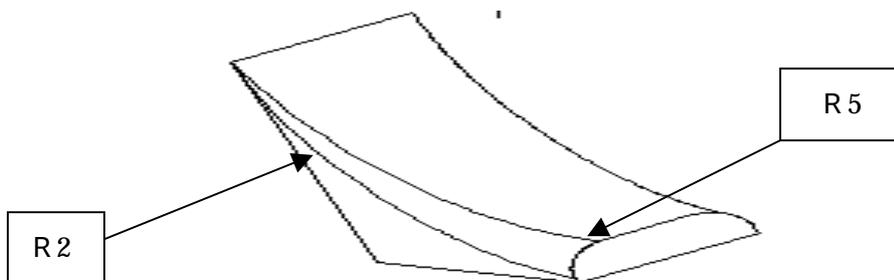


図 3-2-2 可変半径

42番の項目……シェルとは、図3-2-3のように薄い壁の作成である。

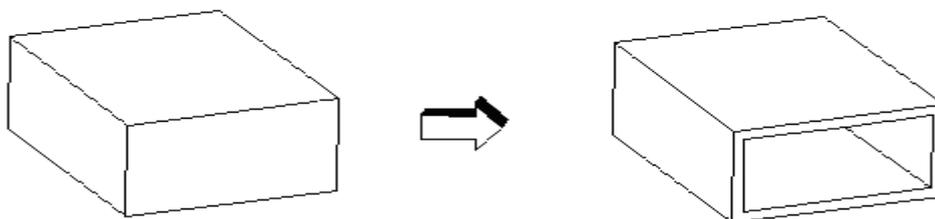


図3-2-3 形状くり抜き

43番の項目……テーパとは、図3-2-4のように先が細くなっていく機能である。

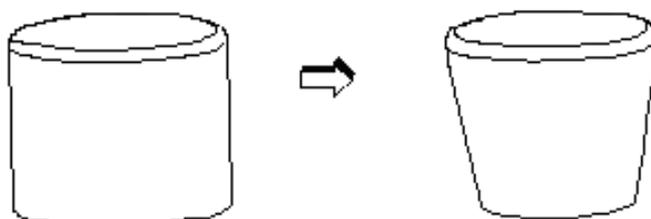


図3-2-4 テーパ機能

46番の項目……図3-2-5のように3Dの物体を曲げることができる。

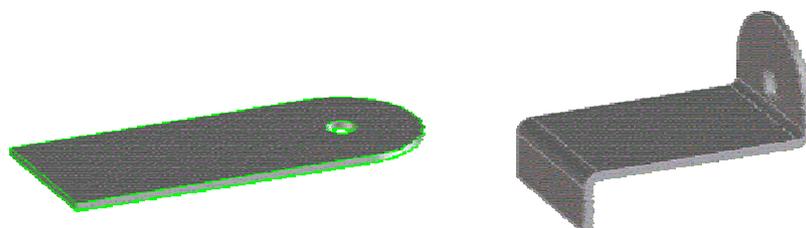


図3-2-5 曲げる

51番の項目……図3-2-6のように面を選択して、抽出する。

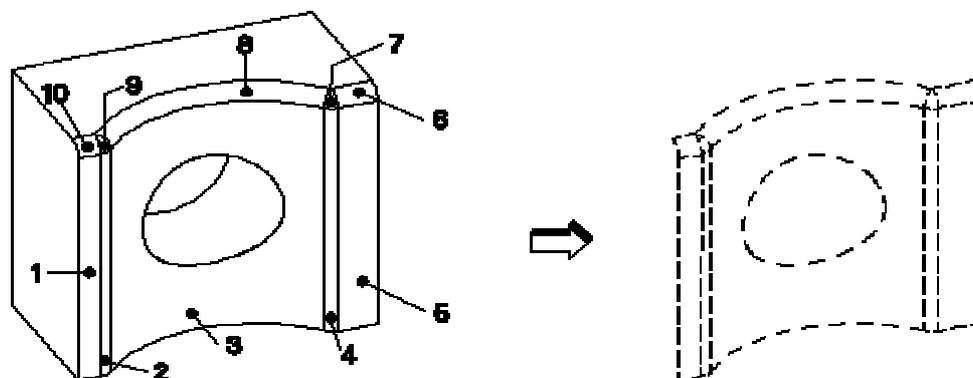


図3-2-6 面の抽出

52 番の項目……2つの2Dの頂点を合わせることで、図3-2-7のようにつなげて3Dにする。

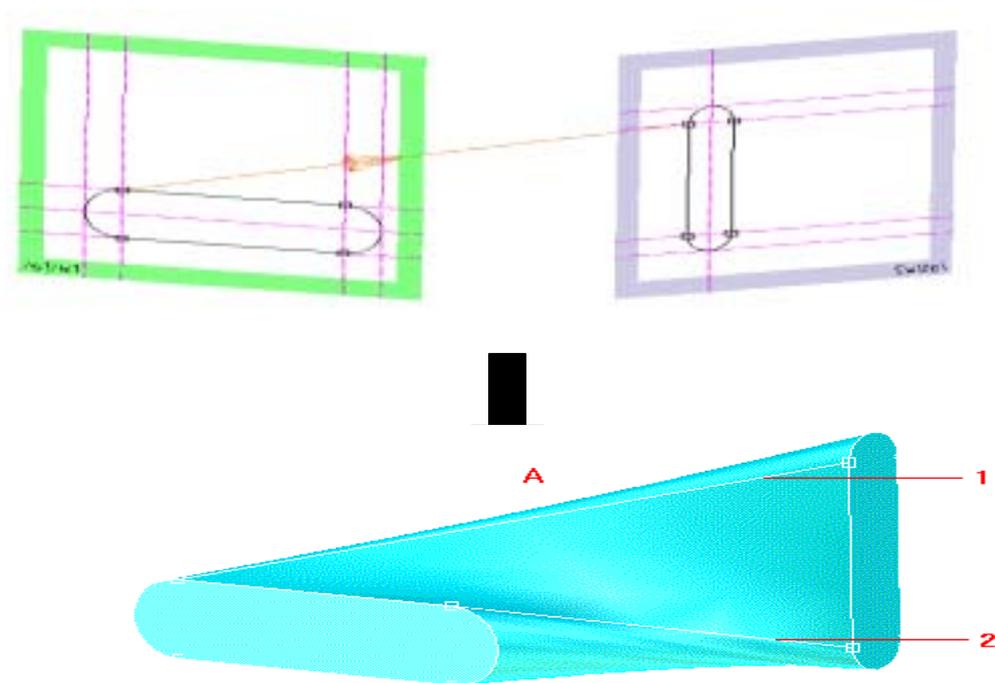


図3-2-7 2つの2Dをつなげて3Dにする

その他のソフトの特徴

Solid Edge

- ・すでに書いた線分を選択すると長さや角度が表示されるため、編集しやすい。
- ・線分が重なったりすると、どれを選択したのかツールで表示されハイライトしてくれる。
- ・ピンポイントをアクティブにする…要素の配置・移動・修正を精密に行うのに役に立つ機能である。
- ・ピンポイントは、すべての要素作図コマンドと要素修正コマンドとともに使用できる。
- ・ターゲット位置変更によって、原点を決めることができる。

Solid Designer

- ・キーボードとマウスを操作で簡単にズームイン、ズームアウト、X、Y、Z軸移動(視点移動)
- ・楕円は、一定数36個の制御点を持つスプライン曲線を使用して任意の大きさの楕円を作成する。
- ・図形の分割の方法は、中間、個数、長さで分ける事が可能である。
- ・パーツの切断…1つのパーツを2つ以上のパーツに分割することができる。

・図 3-2-8 のように、2 つの面のシェル化も可能である。

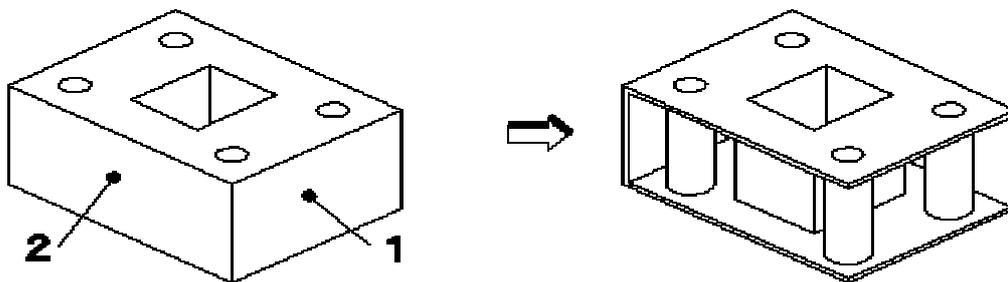


図 3-2-8 高度なくり抜き

スパイラル…上下に移動しながら図 3-2-9 のように回転していき形状を作る。回転しながら削除もできねじ穴も作ることが出来る。

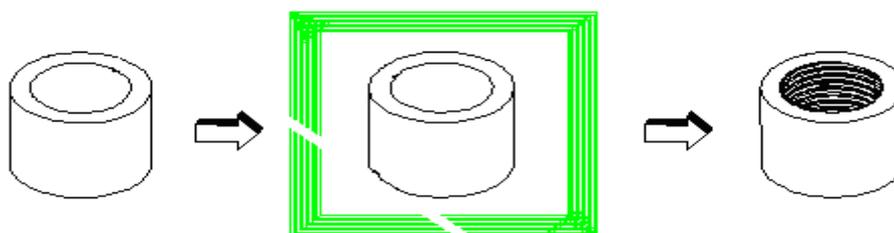


図 3-2-9 回転削除

図 3-2-10 のように面パーツの追加が出来る。

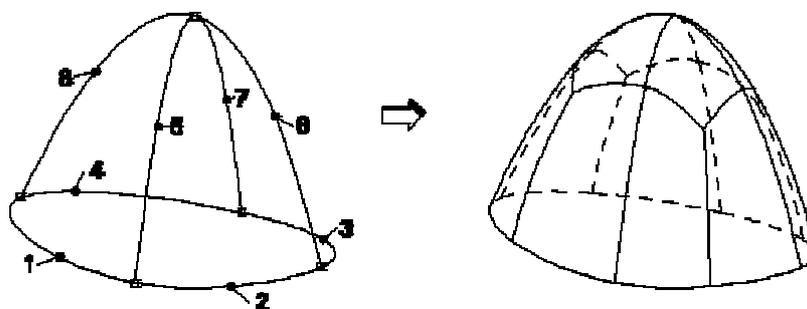


図 3-2-10 面の追加

Unigraphics

スケッチ機能…スケッチは、パートに連携するプロファイルの 2 次元表現の作成に使用するツールである。曲線の大きなアウトラインを作成してから拘束条件と呼ばれる条件を指定し、形状をより正確に定義することで設計意図を表現が出来る。スケッチを変更するとその変更内容に従って形状が変更される。

フェースブレンズ…この機能は指定した複数のフェースに接するブレンドを作成することができる。また、ソリッドまたはシート間でもブレンドをおこなう事ができ、離れている場合には自動的にトリムまで行うことができる。

パッド機能・・・形状をフェースに投影して浮かびあがらせる。

ビューイング機能・・・作成したモデルを任意の平面で切断し、形状の干渉を視認できる。また、画面上部のアイコンメニューから直接、拡大縮小、回転、シェーディングなどのビューイング機能を行うことができる。

曲面のデホルメーションは、図 3-2-11 のように細かい曲面が可能である。

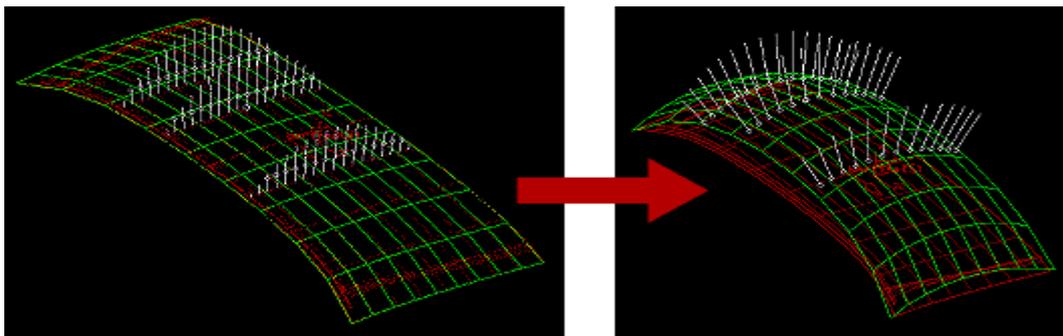


図 3-2-11

曲面作成機能では、次のような機能がある。

- フェースのエッジ間に、勾配を制御し面を作成する機能
- 通過する曲面と断面となる曲面を指定してフェースを作成する機能
- ベースとなる曲線をシートボディに投影させてトリムする機能

それぞれのソフトの特徴・機能を調べるとハイエンド Solid Designer と Unigraphics は機能が多いことが分かったが、簡単な図形を描くにはミッドレンジのソフトが適していることが分かった。

3-3 プロペラ測定

高知県工業技術センターの3次元測定機 Bright Apex 1220(図3-3-1、付録1)を使い測定をおこなった。

倣いプローブ MPP-4(図3-3-2、付録2)の分解能は $0.1\mu\text{m}$ である。測定は、断面16個を調べ、形状に沿って0.5mm間隔で行った。測定機は、プロペラの裏を測ることは出来ないため、プロペラの表と裏を分けて測定しなくてはならない。そのために表と裏の座標の位置を合わせるためにも誤差を計算した。計算した結果が付録3に示す。



図 3-3-1 三次元測定機



図 3-3-2 測定場面

3-4 プロペラ設計

プロペラの最適なソフトを選ぶために、まず、プロペラをCADでどのように描いていくかを考えた。

一番描きやすい方法は、2Dで描いた断面をつなげていくことによって3Dにする方法であった。

次に、どのような機能が必要であるか考え、表3-4-1に項目をまとめた。

プロペラは、曲面が非常に強くないと3Dに出来ないため3,4,5の項目ができれば、プロペラ曲面を描くことが出来る。この機能があるのはUnigraphics・Solid Designerである。

6番の項目は、異なる半径を滑らかにつなげる機能である。7番の項目はプロペラを描くのに適した方法で、この機能が使えるソフトはUnigraphics・Solid Designerであるが、操作方法がそれぞれ違う。Unigraphicsのほうは頂点を合わせて断面の線を1つずつ選択していかなくてはならない、Solid Designerは頂点を合わせるだけで3Dにすることができる。頂点を合わせるために必要な機能は表3-4-1の項目1、2である。両方備えているのはSolid Designerである。

プロペラの形状を描くのに適したのはSolid Designerと結論され、Solid Designerで描くことに決定した。

表3-4-1 3D-CADの比較（プロペラに関する項目）

番号	項目	Unigraphics	Solid Works	Solid Edge	Solid Designer
1	図形の分割			×	
2	図形の結合	×	×	×	
	スプライン（曲線）				
3	補間スプライン(点)				
4	点の追加		×	×	
5	制御方法（線等によって）		×	×	
	3D編集				
6	可変半径			×	
7	2つの2次元を3次元にする		×	×	

3-5 プロペラ完成

Solid Designer を用いて、3次元測定機の測定データから作製した結果が図 3-5-2 である。

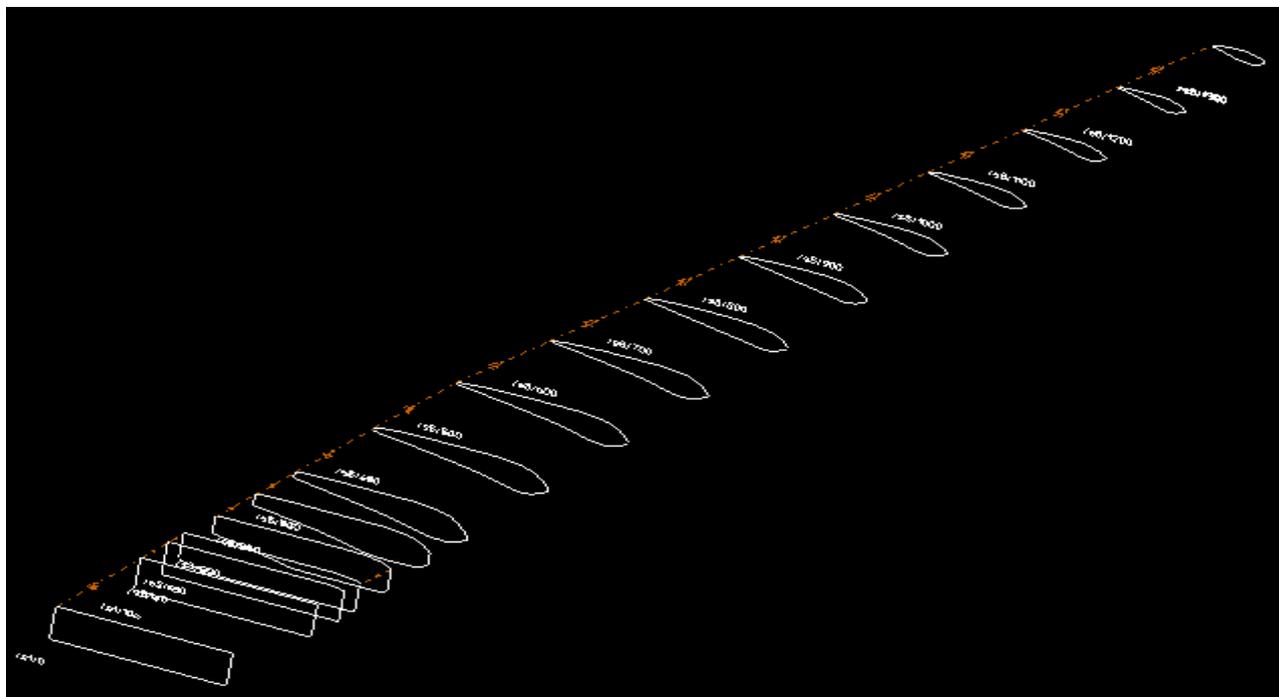


図 3-5-1 プロペラ断面 3D にする前

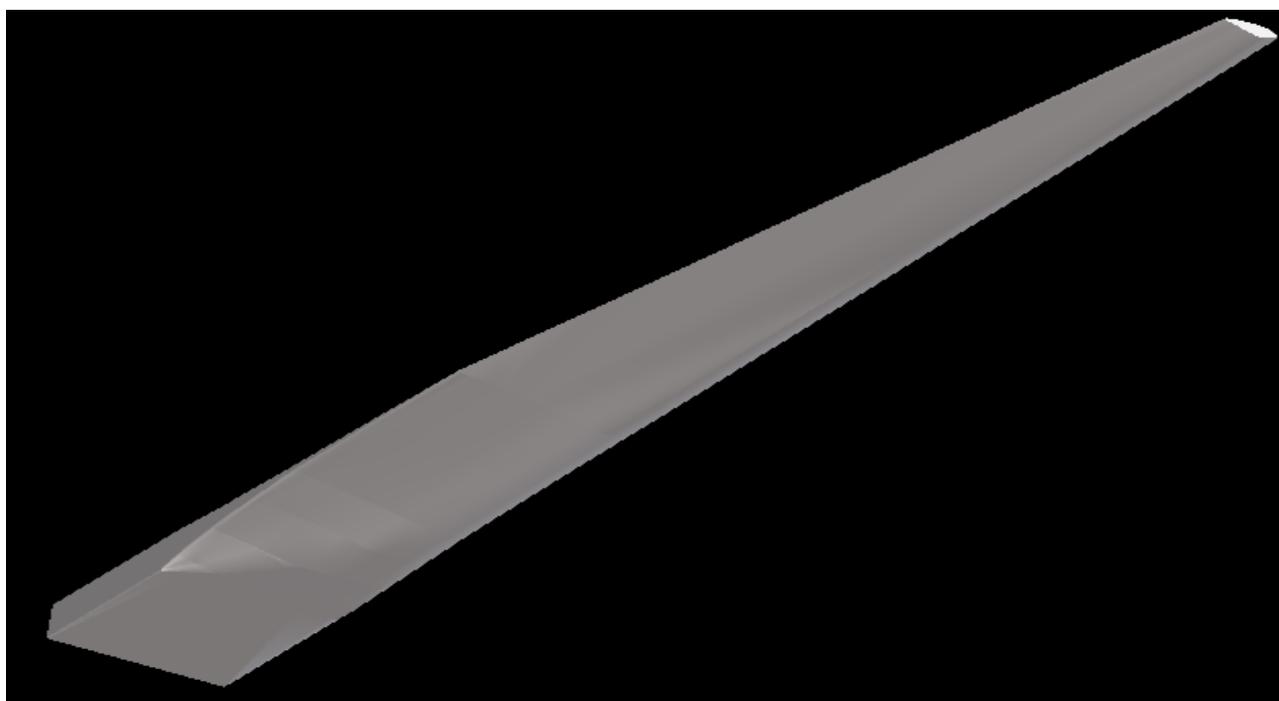


図 3-5-2 完成プロペラ

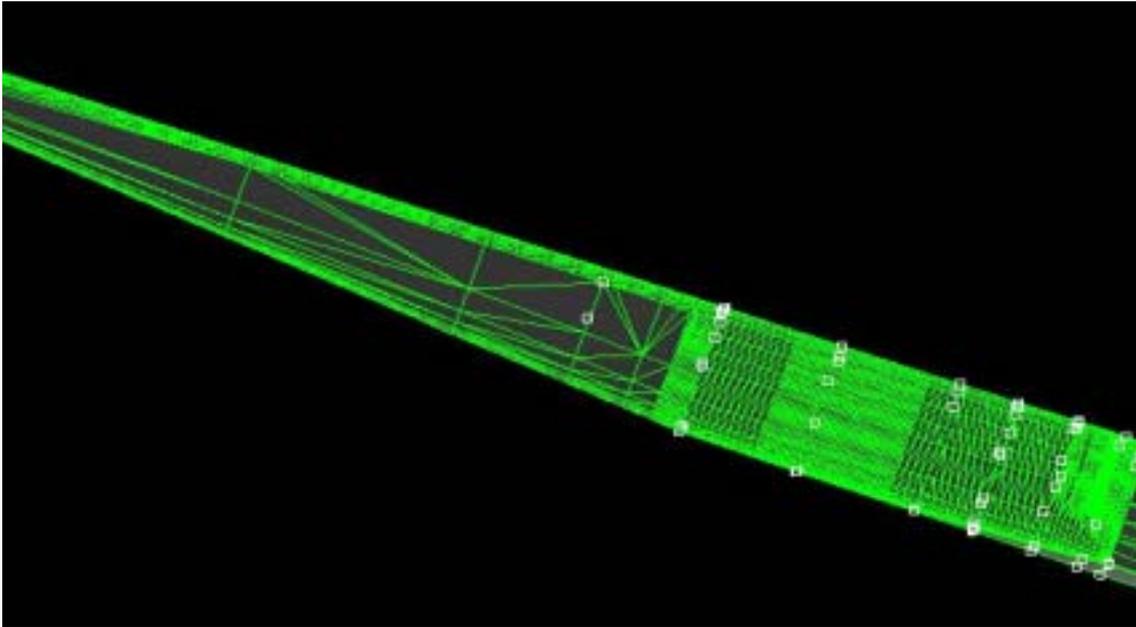


図 3-5-3 ワイヤフレーム

第 4 章 終章

4 - 1 結言

今回 3D - CAD ソフトとして Solid Edge、Unigraphics、Solid Designer の特徴、使いやすさなどの比較を行った。その結果、次のことになった。

- 1、Solid Edge は、比較した中でも簡単に使うことができたが、機能が少なく曲線をもちいる物や、複雑な図形には不向きであることが分かった。簡単な部品を作るときに使うと効率よく設計できる。
- 2、Unigraphics は、基準平面が無いので自由に描くことが出来る。自由度が高いため、簡単な図形には不向きである。曲面は、図 3-2-11 の曲面のデホルメーション機能があり細かい曲面部分も描くことが出来るため、車のボディーなど曲面の製品には最適である。
- 3、Solid Designer は、編集が簡単に出来るため複雑設計に最適である。
- 4、それぞれのソフトを比較して、プロペラ製作に適したソフトは、Solid Designer であることがわかった。
- 5、Solid Designer を用いて、風力発電のプロペラを再現ができ、この技術を用いることによって縮小・拡大することから、目的の発電力に応じたプロペラ設計と製作が可能となった。

4 - 2 今後の予定プロペラ

プロペラを実際に製作する。曲線加工が可能な機械加工を用いて、木材を加工してプロペラを製作する予定である。

謝辞

本研究において、CAD 比較の相談及びプロペラ測定していただいた高知県工業技術センタ - 山本主任研究員、保科研究員 及び 関係者各位に厚く感謝いたします。

学会発表

中山陽介、坂本東男、澤田達郎、竹村雄介

3D - CAD 比較とプロペラ設計

日本機械学会中国四国支部講演会、2001 年 3 月、発表予定

付録 1 に概要を記載

参考文献

1. CAD 攻略マガジン 2001 年 10 月別冊
日刊工業新聞社 図 1-1 図 1-2 図 1-3
2. はじめての CAD/CAM
著者 武藤 一夫

付録 1

BRT Apex 1220 本体部仕様 (図 3-3-1 より)

項目		BRT Apex 1220
測定範囲	X	1205mm
	Y	2005mm
	Z	1005mm
案内方式		各軸共ベアリング
駆動方式		移動速度各軸 8 ~ 300mm/s
	CNC モード	(最大合成速度 500mm/s)
		測定速度 1 ~ 3mm/s
	ジョイスティック モード	移動速度 0 ~ 80mm/s 測定速度 0 ~ 3mm/s
駆動加速度		最大各軸 750mm/s ² (最大合成加速度 1299mm/s ²)
測長方式		リニヤエンコーダ
最小表示量		0.0005mm
測定テーブル	材質	班れい岩
	大きさ(載物面)	1400 × 2980
	測定物固定方法	M8 × 1.25
測定物	最大高さ	1140mm
	最大質量	2000kg
本体主要寸法	高さ	3585mm
	幅	2320mm
	奥行	3230mm
機械質量 (設置台を含む)		5388kg
使用空気条件	使用空気圧	0.4Mpa(4kgf/cm ²)
	空気消費量	100L/min(標準状態において) (空気源としては、150L/min 以上)

付録 2

倣いプローブ 仕様 (図 3-3-2 より)

	機種	倣いプローブ MPP-4
	ストローク	±1.5mm (全方向)
	分解能	0.1 μm
	測定方向	全方向 (±X、±Y、±Z)
	測定力	約 0.2N (変位量 1mm)
	クランプ機能	各軸独立 (クランプ力 0.5N 以上)
	応答周波数	X、Y、3Hz、Z、6Hz
	使用温度	10 ~ 30
	測定子最大長さ	101mm
	測定最大質量	50g
	空気流量	30NL/min 以上
	プローブ寸法	85 × 129mm (シャンク及び測定子部除く)
	プローブ質量	約 1.3kg
精度	各軸の指示精度	±1 μm
	倣い測定精度	±3 μm
	ポイント測定の繰り返し精度	0.5 μm
	データ処理輪郭形状測定プログラム	Scanpak 2900

(注) 精度は 20 μm、標準測定子のみを使用したとき(ミットヨ検査規格による)

付録3 3次元測定機データ

表

160		200		250		300		400	
X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
-118	-6.6081	-118	-13.5	-118	-18	-118	-21.8	-118	-22.5
-117	-5.6081	-117	-12.519	-117	-17.0083	-117	-20.7729	-117.5	-21.8858
-116.4633	-5.3337	-116.0425	-12.1753	-113.8915	-16.3242	-115.6458	-20.3044	-115.5271	-21.272
-110.4448	-3.9684	-110.2415	-11.0865	-106.7081	-15.3199	-109.3189	-19.3265	-109.0069	-20.2711
-108.005	-2.9292	-104.8044	-10.1107	-99.7302	-14.3204	-102.8281	-18.2739	-102.4548	-19.3479
-101.6209	-1.8173	-89.3282	-8.0837	-83.731	-13.3631	-87.3696	-17.3275	-85.8552	-18.3571
-86.8113	-0.8939	-84.8058	-8.1637	-87.7636	-12.3448	-81.4218	-16.2912	-89.7958	-17.4068
-92.8892	-0.3976	-90.4439	-7.161	-81.7959	-11.305	-85.464	-15.264	-83.731	-16.4221
-87.0393	0	-85.0108	-6.1285	-76.8518	-10.3715	-80.0057	-14.284	-78.1713	-15.486
		-82.0641	-5.1553	-71.8621	-9.3485	-74.545	-13.2806	-72.1282	-14.458
		-78.1438	-4.1402	-67.4199	-8.3321	-69.5812	-12.3362	-67.1862	-13.5764
		-74.2558	-3.1242	-63.4873	-7.3613	-64.1388	-11.3846	-61.7091	-12.6163
		-70.3524	-2.1227	-59.5749	-6.3498	-59.1788	-10.2754	-56.1223	-11.5958
		-66.0831	-1.1682	-55.6633	-5.3173	-54.7274	-9.2525	-51.6844	-10.675
		-59.8073	-0.4019	-52.2785	-4.418	-50.7827	-8.2659	-47.2288	-9.8909
		-57.8421	-0.2949	-48.3878	-3.3764	-46.8778	-7.26	-43.2922	-8.7322
		-54.3679	-0.1	-44.5361	-2.3731	-43.442	-6.3398	-39.8275	-7.7945
				-40.2138	-1.3742	-40.0281	-5.3703	-36.4414	-6.7831
				-36.4422	-0.8225	-36.6311	-4.3639	-33.094	-5.7709
		0	-2.8	-30.5787	-0.4	-33.2786	-3.3514	-29.758	-4.8111
		-1	-1.9447			-29.4918	-2.3272	-26.3907	-3.8766
		-1.6037	-1.4867			-24.2217	-1.323	-22.6131	-2.896
		-2.3549	-1.0166	0	-5.5	-19.846	-0.8452	-19.3031	-2.4491
		-3.0085	-0.672			-17.95	-0.8	-17	-2.3
		-4.0655	-0.3549						
		-7.2181	-0.1	-4.1913	-2.3065				
				-5.4311	-1.7065	0	-7.93	0	-10.15
				-7.0829	-1.0794	-1.042	-6.9272	-0.5044	-9.6
				-8.3084	-0.7751	-2.1153	-5.8102	-1.5943	-8.5908
				-10.1033	-0.5756	-3.609	-4.658	-3.1178	-7.3775
				-11.07	-0.5017	-5.6213	-3.3915	-4.7736	-6.2612
				-12.5261	-0.4	-8.221	-2.2081	-6.5375	-5.2321
						-11.8235	-1.2265	-8.7708	-4.1011
						-15.0235	-0.8483	-11.4755	-2.9858
						-17.95	-0.8	-13.7551	-2.4737
								-17	-2.3

500		600		700		800		900	
X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
-117.1	-23.9	-107.375	-23.62	-97.75	-23.13	-88.125	-23.3	-78.5	-23.4
-116.5995	-23.41	-103.2096	-22.7202	-93.4217	-22.3027	-84.0904	-22.44	-74.6944	-22.7007
-113.04843	-22.6496	-96.795	-21.7184	-87.4455	-21.3404	-77.6074	-21.4162	-68.2306	-21.6776
-106.5586	-21.6546	-89.8449	-20.6501	-81.5074	-20.355	-71.6962	-20.4562	-62.3001	-20.7013
-100.0494	-20.6754	-84.3773	-19.7439	-75.6303	-19.4276	-65.8029	-19.4688	-56.8782	-19.7368
-93.5879	-19.6854	-78.4533	-18.7399	-69.2268	-18.4015	-60.3737	-18.5374	-51.487	-18.7483
-87.5256	-18.7204	-72.473	-17.7515	-63.3047	-17.4425	-54.5054	-17.5151	-46.5315	-17.7601
-81.5445	-17.8989	-67.0016	-16.7982	-57.8816	-16.4816	-49.0681	-16.5231	-42.0854	-16.7292
-75.543	-16.672	-61.5137	-15.7836	-52.9396	-15.5799	-44.5883	-15.5513	-38.1298	-15.7161
-70.0777	-15.7161	-56.1144	-14.7764	-47.9618	-14.6043	-40.6682	-14.5675	-34.6884	-14.6879
-64.5982	-14.7462	-51.1549	-13.8048	-43.499	-13.591	-37.2128	-13.6306	-31.7806	-13.7551
-58.6357	-13.7046	-46.6616	-12.8568	-40.0551	-12.7251	-33.8122	-12.6189	-28.4485	-12.6415
-53.627	-12.7736	-42.2181	-11.7391	-36.6223	-11.7902	-30.9182	-11.6913	-25.6111	-11.739
-49.1384	-11.8186	-38.7858	-10.7846	-33.2167	-10.7507	-28.0465	-10.7517	-21.8875	-10.7607
-45.1332	-10.8506	-35.4038	-9.7928	-30.3422	-9.8405	-24.7906	-9.7756	-19.7146	-10.3018
-41.2012	-9.7907	-32.4676	-8.8741	-27.0107	-8.8232	-20.0842	-8.7894	-14.9	-9.8
-37.7653	-8.8039	-29.1615	-7.774	-23.7511	-7.9154	-16.425	-8.3		
-34.3715	-7.7589	-25.8483	-6.8362	-19.0082	-6.9335				
-31.485	-6.8441	-20.6737	-5.7763	-16.3	-6.8			-1.5	-15.95
-28.1421	-5.8376	-15.975	-5.3			-1.125	-14.69	-1.6438	-16.0946
-24.8105	-4.8378					-2.3039	-13.3617	-2.9457	-14.512
-22.4446	-4.4328			-0.75	-13.63	-3.3811	-12.5853	-4.1234	-13.7031
-18.6564	-3.8836	-0.375	-12.3	-0.8856	-13.3435	-4.908	-11.563	-5.7228	-12.687
-16.8	-3.8	-1.0773	-11.5288	-1.8665	-12.4382	-6.4735	-10.6791	-7.7192	-11.5891
		-2.1253	-10.6199	-2.957	-11.5873	-8.5567	-9.7307	-9.7741	-10.6822
		-3.5827	-9.5133	-4.4471	-10.618	-11.8947	-8.7117	-10.992	-10.2981
-0.1	-11.45	-4.7542	-8.7287	-6.0104	-9.6832	-16.425	-8.3	-14.9	-9.8
-0.6114	-10.9381	-6.3364	-7.7915	-8.0447	-8.6517				
-1.56	-10.0168	-8.4006	-6.8004	-10.0822	-7.806				
-3.025	-8.794	-11.8708	-5.7697	-14.5118	-6.8946				
-4.1376	-7.9685	-15.975	-5.3	-16.3	-6.8				
-5.7502	-6.9436								
-7.8494	-5.8133								
-9.9822	-4.9076								
-11.7544	-4.3767								
-14.9392	-3.8914								
-16.8	-3.8								

1000		1100		1200		1300	
X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
-68.875	-23.4472	-59.25	-23.27	-49.625	-23.83	-40	-23.29
-66.1678	-22.592	-58.1185	-22.9109	-48.429	-23.4305	-39.7607	-23.1462
-60.5225	-21.6213	-55.1449	-22.3991	-45.499	-22.9023	-38.1751	-22.652
-54.986	-20.6454	-49.7497	-21.4709	-40.532	-21.8221	-34.1753	-21.5764
-49.3499	-19.6047	-44.3443	-20.4408	-36.5771	-20.8217	-30.6738	-20.557
-44.7669	-18.6631	-39.8789	-19.4566	-33.1528	-19.8456	-27.662	-19.5574
-40.1839	-17.5998	-36.4765	-18.5857	-29.7414	-18.7934	-24.7939	-18.5544
-36.621	-16.6562	-33.0839	-17.6218	-26.8271	-17.8457	-23.3861	-18.0877
-33.1147	-15.6374	-29.7207	-16.6196	-24.0076	-16.8567	-21.4978	-17.5283
-29.6465	-14.57	-26.4477	-15.6309	-20.8955	-15.6963	-19.6601	-17.0892
-26.6806	-13.6367	-23.476	-14.7905	-17.5251	-14.8351	-16.7691	-16.5836
-23.326	-12.6541	-19.9126	-13.7044	-13.425	-14.3	-13.5	-16.3
-18.5848	-11.5922	-18.4061	-13.3046				
-14.675	-11.3	-14.35	-12.8				
				-2.625	-18.62	-3	-20.09
				-3.7179	-17.7596	-3.112	-19.3814
-1.875	-16.55	-2.25	-17.47	-5.4663	-16.8064	-4.4509	-18.8183
-3.0757	-15.668	-2.3355	-17.2835	-6.7035	-16.1401	-5.4523	-18.3337
-4.7113	-14.5833	-3.6111	-16.3833	-7.508	-15.7542	-6.8496	-17.6785
-6.4145	-13.5805	-5.1607	-15.4801	-8.3906	-15.3634	-8.2562	-17.1128
-8.5203	-12.5405	-6.7798	-14.6805	-10.0115	-14.7683	-10.1036	-16.6119
-11.0861	-11.6538	-8.9128	-13.7749	-12.1599	-14.3272	-13.5	-16.3
-14.675	-11.3	-10.4644	-13.253	-13.425	-14.3		
		-14.35	-12.8				

裏	140		160		200		250		300	
	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
0	-27.0754	0	-25.7163	0	-22.03	0	-15.86	0	-7.93	
-1	-28.0754	-1	-26.7163	-1	-23.03	-1	-16.86	-1	-9.5617	
2.0098	-28.4067	-1.7848	-27.3793	-2.0885	-24.0329	-1.7853	-18.0057	-1.8494	-11.1608	
-2.8896	-28.7355	-3.0073	-27.7449	-4.0036	-25.053	-4.7879	-20.8332	-4.0127	-14.2854	
-3.8507	-28.9375	-4.8838	-28.2358	-6.182	-25.9511	-7.9726	-23.0137	-5.8501	-16.4882	
-4.7797	-29.1227	-6.7758	-28.6487	-7.0725	-26.2744	-10.9247	-24.6009	-7.8495	-18.5648	
-5.7381	-29.2901	-9.1417	-29.083	-7.9712	-26.5721	-16.8094	-26.489	-9.974	-20.4283	
-6.7162	-29.4503	-12.0606	-29.4711	-9.8259	-27.1031	-23.0627	-27.7074	-11.8687	-21.8382	
-8.1465	-29.7632	-13.0283	-29.5756	-15.061	-28.1288	-26.982	-28.1996	-13.8448	-23.0497	
-10.0679	-29.8575	-13.9925	-29.6653	-18.0135	-28.5492	-31.854	-28.5623	-15.8953	-24.0114	
-11.035	-29.9304	-14.9682	-29.7387	-21.9255	-28.956	-41.3458	-28.6459	-21.407	-25.7422	
-12.0468	-30	-15.9471	-29.7989	-27.3154	-29.1884	-61.9712	-28.6515	-25.719	-26.6944	
		-16.9177	-29.842	-60.9911	-29.2088	-68.0122	-28.6557	-33.0114	-27.7215	
		-29.4249	-30	-67.8963	-29.2199	-77.0533	-28.6567	-36.9198	-28.0205	
				-79.09	-29.23	-91.1	-28.66	-47.8598	-28.159	
								-59.5	-28.19	
					-118	-27.33	-118	-26.36		
					-117.0007	-28.33	-117	-27.3517	-118	-25.49
					-115.0704	-28.8076	-115.8169	-27.7822	-117	-26.5066
					-105.2132	-29	-113.6024	-28.02	-115.8591	-26.8469
					-92.16	-29.1	-111.6168	-28.1506	-114.1433	-27.1411
					-79.09	-29.23	-93.133	-28.6434	-110.2255	-27.4271
							-91.1	-28.66	-101.5298	-27.819
								-92.0055	-28.0582	
								-86.0713	-28.1142	
								-74.9484	-28.128	
								-65.9527	-28.1633	
								-59.5	-28.19	

400		500		600		700		800	
X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
0	-10.15	-0.1	-11.45	-0.375	-12.3	-0.75	-13.63	-1.125	-14.69
-0.5	-11.1447	-0.6	-12.0255	-0.5908	-13.0606	-1.0473	-14.4142	-1.5508	-15.1522
-1.4303	-12.7208	-1.6329	-13.6117	-1.3893	-14.2084	-1.8953	-15.466	-2.4764	-16.2392
-2.2183	-13.8573	-3.027	-15.4825	-3.1071	-16.3708	-2.4938	-16.2026	-3.4247	-17.3129
-4.3311	-16.3827	-4.277	-16.9532	-4.0796	-17.501	-3.3897	-17.2491	-4.4111	-16.3169
-5.3195	-17.4125	-5.5797	-18.2845	-5.0492	-18.4845	-4.3372	-18.2237	-5.4373	-19.2629
-7.4251	-19.3117	-8.0491	-20.3833	-6.0665	-19.4293	-5.3472	-19.1669	-6.5349	-20.1646
-9.2795	-20.7128	-11.2529	-22.4336	-8.2721	-21.172	-6.4061	-20.0514	-8.023	-21.2275
-12.5427	-22.7159	-18.7058	-25.3768	-9.8493	-22.1258	-7.8651	-21.1065	-9.6584	-22.2048
-20.4766	-25.7011	-23.9296	-26.4463	-11.5038	-22.9712	-9.5106	-22.0771	-11.3406	-23.0983
-26.242	-26.794	-32.2543	-27.4168	-15.8307	-24.8218	-11.6795	-22.9694	-13.4802	-24.0776
-34.0737	-27.6331	-41.6506	-27.7032	-18.9958	-25.6956	-14.9801	-23.8992	-17.0622	-25.1232
-38.5272	-27.8632	-48.2014	-27.71	-24.2193	-26.572	-18.9675	-24.9612	-21.7238	-26.0585
-54.0614	-27.95			-38.5156	-27.4669	-23.6523	-25.8784	-30.9575	-26.8445
				-43.5419	-27.47	-32.3859	-26.7506	-33.4006	-26.9306
		-117.1	-23.9			-42.75	-27.23	-42.325	-26.99
-118	-24.5659	-116.3436	-24.4						
-116.7497	-25.0659	-112.0197	-25.2662	-107.375	-23.62				
-115.3618	-25.563	-104.9294	-26.1154	-103.8958	-24.5425	-97.75	-23.13	-88.125	-23.3
-113.561	-25.9551	-92.7892	-26.961094	-97.5402	-25.4935	-97.6489	-23.682	-87.8399	-23.6773
-111.1859	-26.2606	-83.9397	-27.3844	-86.1086	-26.5243	-96.6822	-24.3916	-85.5878	-24.4994
-108.2413	-26.5316	-73.9274	-27.589	-77.644	-27.0961	-92.6342	-25.2159	-80.4936	-25.3139
-105.2309	-26.7573	-57.8382	-27.6882	-66.1165	-27.3669	-85.0962	-26.0322	-69.6066	-26.1519
-100.2441	-27.111	-49.3205	-27.71	-43.5419	-27.47	-72.5424	-26.86	-56.7209	-26.7406
-95.2505	-27.3857					-62.618	-27.1406	-42.325	-26.99
-81.2243	-27.7339					-42.75	-27.23		
-54.0614	-27.95								

900		1000		1100		1200		1300	
X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
-1.5	-15.95	-1.875	-16.55	-2.25	-17.3911	-2.625	-18.62	-3	-20.09
-3.1898	-17.7778	-2.1592	-16.9048	-3.3459	-18.7166	-3.5081	-19.4671	-3.1295	-20.7808
-5.261	-19.6868	-2.9726	-17.8065	-4.4154	-19.7163	-4.5951	-20.4391	-4.0674	-21.6119
-6.3539	-20.5507	-4.0706	-18.84	-5.4711	-20.6088	-5.6817	-21.3085	-5.6035	-22.6556
-7.8993	-21.5798	-5.5187	-20.0857	-6.9177	-21.6599	-6.8758	-22.3352	-7.5817	-23.7224
-9.4794	-22.5087	-6.6422	-20.946	-8.4984	-22.6085	-9.269	-23.3484	-9.674	-24.5607
-11.6008	-23.529	-8.1755	-21.9686	-10.6846	-23.63	-11.594	-24.2462	-13.8636	-25.6552
-13.7732	-24.4267	-9.8265	-22.87	-12.9089	-24.5095	-14.8157	-25.2139	-16.618	-26.0732
-18.353	-25.5056	-11.9967	-23.9014	-16.9033	-25.5506	-17.6351	-25.7271	-21	-26.29
-26.4891	-26.436	-15.0541	-25.0072	-21.5267	-26.0017	-24.625	-26.03		
-35.8	-26.75	-21.2373	-25.9406	-29.25	-26.27				
		-28.6772	-26.4253					-40	-23.29
		-33.675	-26.51			-49.625	-23.83	-39.9021	-23.2164
-78.5	-23.4			59.25	-23.7063	-47.3429	-24.4823	-39.4812	-24.1198
-78.1576	-23.8826			-56.9001	-24.496	-43.4981	-25.037	-38.948	-24.6127
-74.8767	-24.7454	-68.875	-23.4	-53.6375	-25.033	-35.3188	-25.6654	-34.8008	-25.3784
-66.6092	-25.5768	-68.1237	-23.9781	-47.6866	-25.5211	-24.625	-26.03	-31.1167	-25.7062
-51.2794	-26.4386	-64.7537	-24.9293	-40.2179	-26.0007			-27.3507	-25.9923
-44.7812	-26.6301	-51.5322	-25.9223	-29.25	-26.27			-21	-26.29
-35.8	-26.75	-43.3545	-26.3327						
		-33.675	-26.51						

付録 4

CAD 比較表 (まとめ)

番号	項目	Unigraphics	Solid Works	Solid Edge	Solid Designer
	直線の描き方				
1	平行線	○	○	○	○
2	垂直線	○	○	○	○
3	オフセット	○	○	△	○
4	非有界(無限)	○	×	×	○
5	2等分線	○	○	×	○
6	直線を2分割	○	○	×	○
7	連続線	○	○	○	○
8	円に接する線	○	○	○	○
9	角度のある線	○	○	○	○
10	長さの数値代入	○	○	○	○
11	編集	○	○	○	○
12	2つの円に接する線	○	○	○	×
13	輪郭線	○	×	×	○
	フィレット				
14	単純	○	○	○	○
15	3曲線	○	×	×	×
	トリム				
16	コーナ	○	○	○	○
17	直線	○	○	○	○
	2D移動複写				
18	平行移動	○	○	○	○
19	点まわりの回転	○	○	○	○
20	円形配列	○	○	×	○
21	長方形配列	○	○	×	○
22	ひし形	×	×	○	○
23	拡大コピー	○	○	○	○
24	縮小コピー	○	○	○	○
	円弧				
25	3点指示	○	○	○	○
26	2点を通り要素に接する	○	○	○	○
	円形				
27	3点	○	○	○	○
28	中心 & 半径(長径)	○	○	○	○
29	同心円	○	○	×	○
30	3接線	○	○	○	○
	指示				
31	任意な位置	○	○	○	○
32	端点	○	○	○	△
33	制御点	○	○	○	△
34	交点	○	○	○	△
35	円の中心	○	○	○	×
36	円の4分点	○	×	×	×
37	フェースの選択	○	×	○	○
	スプライン(曲線)				
38	補間スプライン(点)	○	○	○	○
39	点の追加	○	×	×	○
40	制御方法(線等によって)	○	×	×	○
	穴				
41	座ぐり	○	○	○	×
42	皿座ぐり	○	○	○	×
43	皿の径を変えることができる	×	×	○	×
44	貫通	○	○	○	○
45	角度	○	○	×	○

	その他	Unigraphics	Solid Works	Solid Edge	Solid Designer
46	重なり表示	○	○	○	×
47	カーソル横にマークの表示	×	○	○	×
48	画面上にあるパーツ・基準平面表示	×	○	×	○
49	ブランク(非表示)	○	○	×	○
50	2次元でも寸法をかける	○	○	○	○
51	作業を完了するために言葉の指示	○	○	○	○
52	図形の分割	○	○	×	○
53	図形の結合	×	×	×	○
54	図形の延長	○	○	△	○
55	点	○	○	×	○
56	変換(下書き線から図形線に)	○	×	×	○
57	長方形	○	○	○	○
58	原点位置を変える	○	○	○	×
	3D編集				
59	回転ボディ	○	○	○	○
60	開始点を決めて押し出し	○	△	△	△
61	2つのパーツ同時に押し出し	○	×	×	○
62	物体が重なる部分のみを残す	○	○	×	○
63	3次元の物体をトリムで形状カット	○	×	×	○
64	可変半径	○	○	×	○
65	サーフェス作成	○	○	○	○
66	形状くり抜き(シェル)	○	○	○	○
67	テーパ	○	○	×	○
68	フェースの置き換え	○	×	×	×
69	対称に押し出し	○	○	○	○
70	曲げる	○	×	×	○
71	アニメーション			×	○
72	2つの異なる距離での面取り	○	○	×	○
73	角度指定の面取り	○	○	○	○
74	フェースを投影	○	×	×	×
75	フェースを抽出	○	×	×	○
76	2つの2Dをつなげて3D	○	×	×	○
	製図 寸法				
77	水平	○	○	○	○
78	垂直	○	○	○	○
79	平行	○	○	○	○
80	直径	○	○	○	○
81	半径	○	○	○	○
82	半径から中心	○	○	○	○
83	円弧長	○	○	○	○
84	円筒角度	○	○	○	○
85	自動法	○	○	×	×
	切断				
86	回転切断	○	×	×	×
87	半面切断	○		×	
88	階段切断	○		×	
	その他				
89	正投影ビュー	○	○	○	○
90	補助ビュー	○	○	○	○
91	詳細ビュー	○	○	○	○
92	図面の余計な線を非表示	×	○	○	×