

身近な題材で学ぶ 自由曲面のモデリング



機械設計 CAD攻略マガジン 2000年10月臨時増刊号

西川@龍菜 (にしかわ@りゅうな)
1956年、奈良県生まれ。日本各地で3次元CADを活用した設計コンサルティングを行っている。
龍菜 Ryuuna Design and Engineering
<http://www.page.sannet.ne.jp/gah01300/>

リモコン

CDラジカセに付属していたリモコンが手元にあったので、これを題材にして、自由曲面のモデリングを練習してみましょう。

改定 2004.12/03 | 2004.11/24 | 2004.11/22
作成 2004.11/10

Pro/ENGINEER 2001 対応
Pro/ENGINEER Wildfire1.0 / 2.0 徐々に対応予定

1. モデリングのポイント

- 意匠外観面が重視される製品は、部品ごとに考えるのではなく、製品全体を1個の固まりとしてモデリングします。このようなモデルを「Profile Model＝プロファイルモデル」と呼びます。射出成形品の放電マスターに相当すると考えればよいでしょう。
- リモコンや携帯電話などの様に中心面「CTR」に対称な製品形状の場合は、片側だけをモデリングします。最終的には対象面に対して全体をミラーして完成させます。Pro/ENGINEERでは「ジオメトリミラー」と呼ばれるコマンドを使用します。
- 意匠外観面が優先される製品は、サーフェスの連続性や稜線(いわゆる、R尻線)を優先させます。また、サーフェスの数も出来る限り少なくするようなモデリングテクニックが必要です。
- Pro/ENGINEERで自由曲面を作成する時に多用するコマンドは「可変断面スイープ」です。角Rやフィレット、徐変Rなどは意匠面として扱われる部分に使用してはいけません。
- 可変断面スイープの軌道には、「円錐曲線」や「スプライン」を使用します。円弧は使用しません。
- サーフェスのなめらかさは「曲率」をチェックします。曲率の変化率が連続であればOKです。



図 1-1. モデリングの題材に使ったリモコン

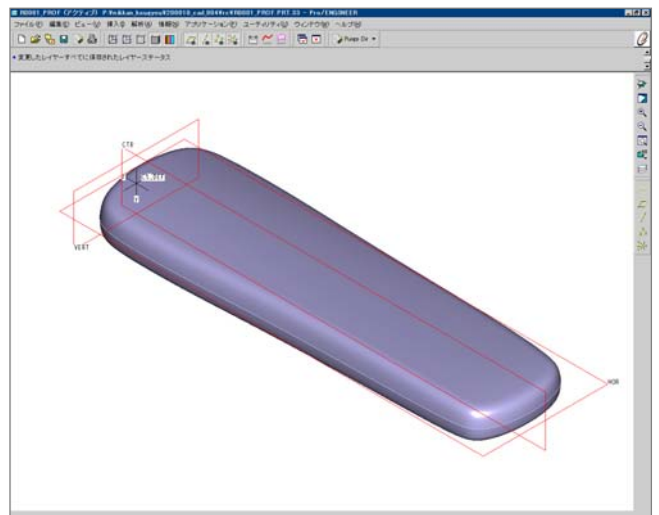
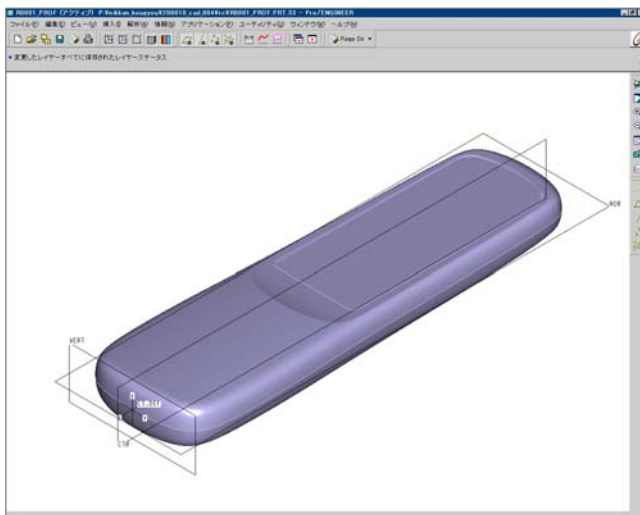


図 1-2. 完成したリモコン(部品ごとにモデリングするのではなく、全体をひとつのプロファイルモデルとして作成する)

2. モデリング手順

今回のリモコンはデータ面「CTR」に対称ですから、実際のモデリングは片側だけとし、反対側は「CTR」に対して全体をミラーすることにより完成させます。Pro/ENGINEERの「ジオメトリミラー」コマンドを使用します。

図 2-1 を見ると、片側だけを先に完成させてから、「CTR」に対してミラーしたように思われるかもしれませんが、実際の手順は最初にジオメトリミラーコマンドを使っておき、必要なフィーチャを挿入するモデリング手順になります。

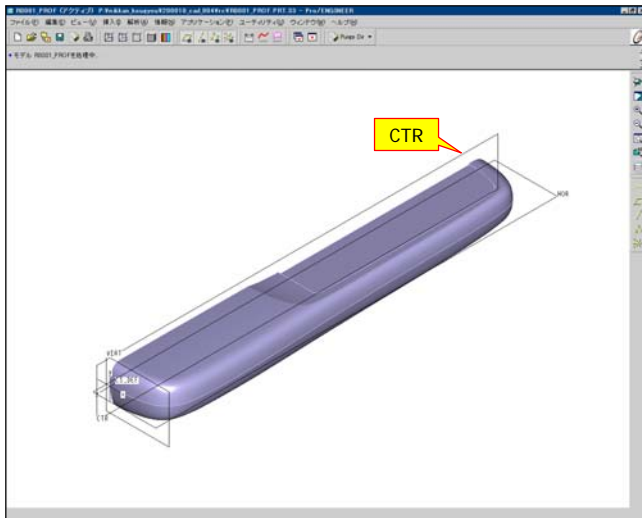


図 2. 対称形状のモデリング

Step.01 ベースソリッドの作成

設計基準となる、中心面「CTR」、水平面「HOR」、鉛直面「VERT」を決定したら、ベースソリッドとなる直方体を作成します。

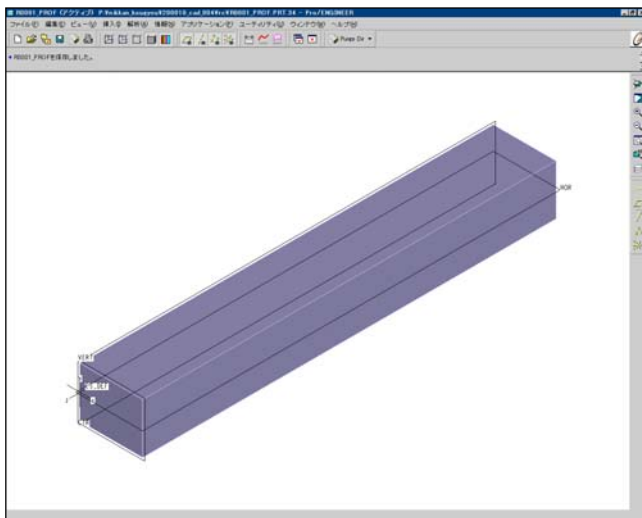


図 2-1. ベースソリッドの作成

Pro/ENGINEER 2001

部品メニューから、「フィーチャ」→「作成」→「ソリッド」→「突起」

Pro/ENGINEER Wildfire

「挿入」→「押し出し」

Step.02 ジオメトリミラー

ベースソリッドをデータ面「CTR」に対してミラーさせます。ここで使用するジオメトリミラーは、それ以前のフィーチャを全てミラーさせるコマンドです。

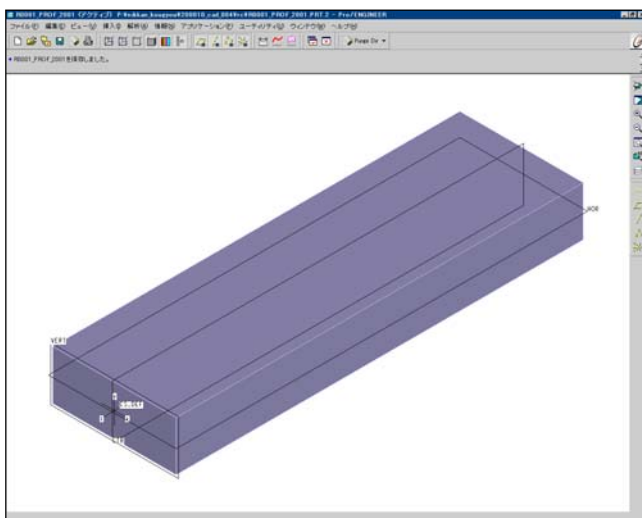


図 2-2. ジオメトリミラー

Pro/ENGINEER 2001

部品メニューから、「フィーチャ」→「ジオメトリミラー」

Pro/ENGINEER Wildfire

モデルツリーでモデル全体を選択してから、「編集」→「ミラー」

Step.03 スイープ軌道の作成

基本はPro/ENGINEERの「可変断面スイープ」で作成しますが、この時に使用する軌道をデータムカーブで作成しておきます。

Pro/ENGINEER 2001

部品メニューから、「挿入」→「データム」→「スケッチカーブ」

Pro/ENGINEER Wildfire

「挿入」→「モデルデータム」→「スケッチカーブ」

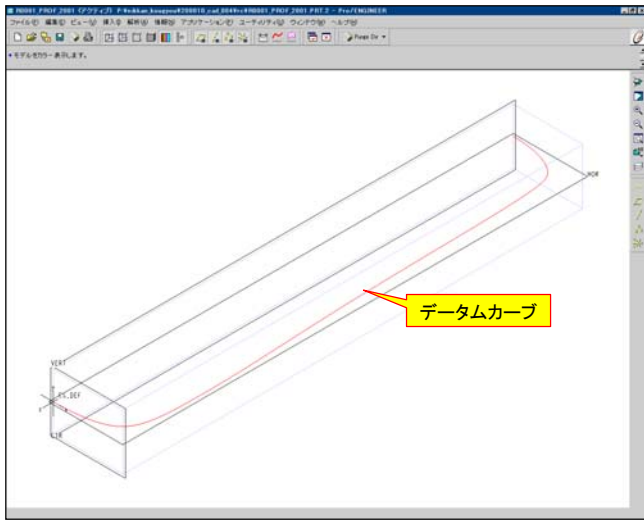


図 2-3-1. スイープ軌道の作成

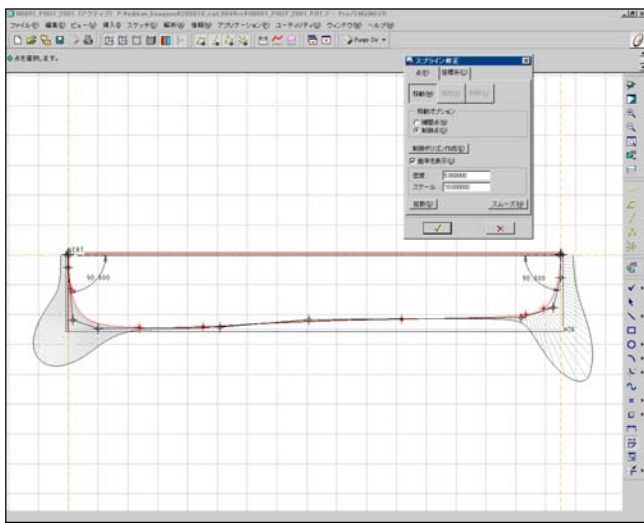


図 2-3-2. データムカーブのスケッチ

データムカーブのスケッチにはスプラインを使用します。今回はフリーハンドでスプラインを調整していますが、リモコンの最大幅や最小幅を寸法で指示したい場合は、別のやり方があります。(別途、説明する予定です)

スプラインを修正する場合は必ず曲率を表示させながら、補間点ではなく制御点で調整しましょう。このとき、曲率の変化が滑らかになるように制御点を徐々に動かしていきます。

補間点が多すぎると、きれいなスプラインになりませんので、補間点は極力少なくします。補間点が無くても、制御点で調整可能です。図 2-5 の場合はいささか、補間点が多すぎますので、最終的にはスプラインのスケッチを複数に分割するなどの対策をやらうと考えています。

スプラインの修正で気をつけたいといけなのは、データムCTR面に対して90°の角度を付けておくことと、曲率の変化曲線もジオメトリマーした場合のことを考えて、(目分量になりますが)データムCTRに対して垂直に終わるようにしておきます。

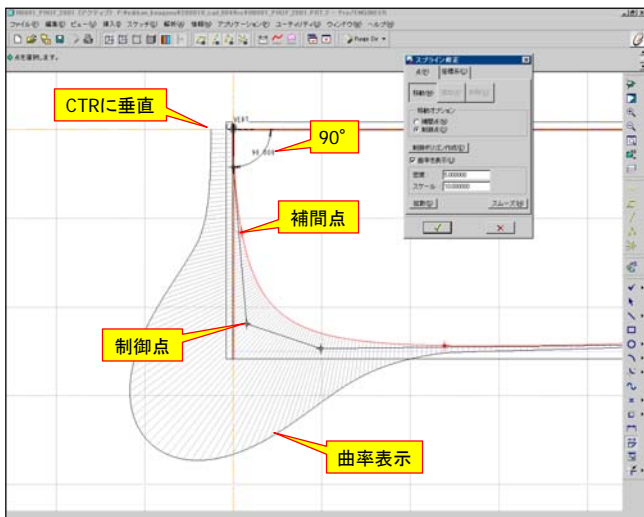


図 2-3-3. 制御点の修正

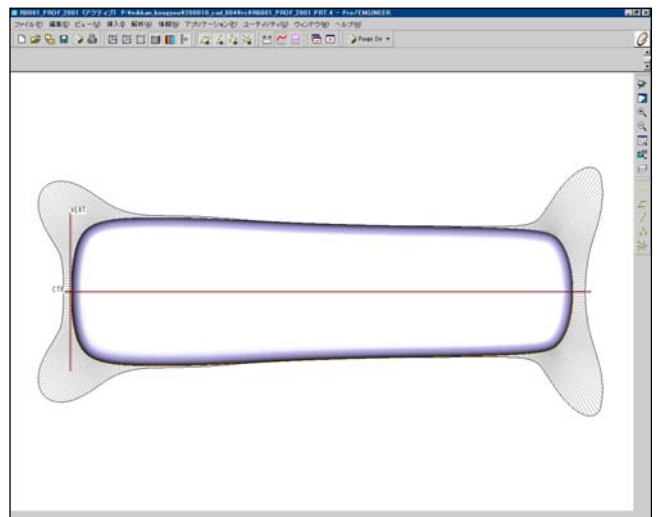


図 2-3-4. ジオメトリマー後の曲率変化

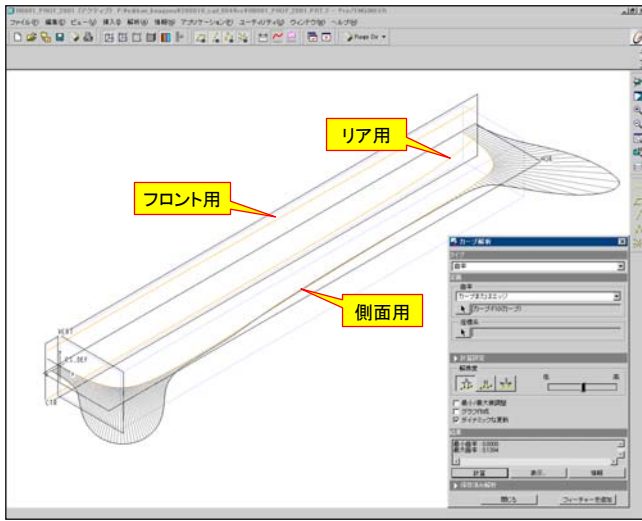


図 2-4. スイープ軌道の曲率チェック

Step.04 スイープ軌道の曲率チェック

可変断面スイープに使用する軌道自体がなめらかでないと、それを使用したサーフェスもなめらかになりません。出来あがったデータムカーブの曲率を確認しておきましょう。ここで手を抜くと、きれいな曲面が作れません。

同様に、フロントサーフェス用、リアサーフェス用のスイープ軌道も作成しておきましょう。(Step.03～Step.04の作業)

Pro/ENGINEER 2001
「解析」→「カーブ解析」→「曲率」

Pro/ENGINEER Wildfire
「解析」→「カーブ解析」→「曲率」

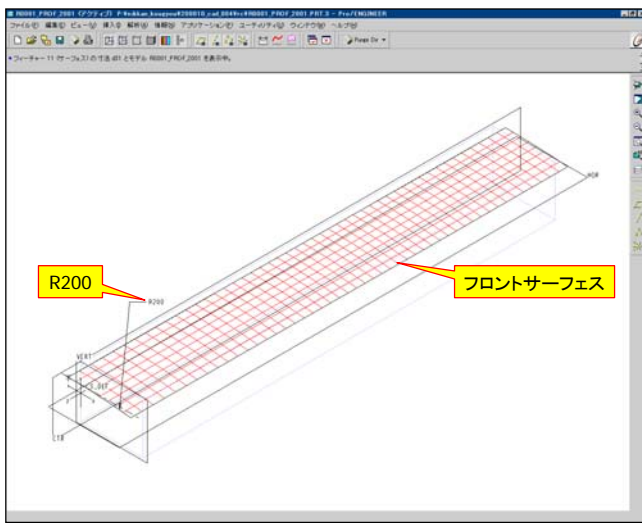


図 2-5-1. 可変断面スイープ

Step.05 フロントサーフェスの作成

ここまでの作業で作成したデータムカーブを「可変断面スイープ」の軌道にして、フロント側のサーフェスを作成します。

可変断面スイープは英語メニューで、Variable Section Sweep と表示されるように、スイープしながら断面スケッチをリレーションやグラフで制御することができます。ここではフロントサーフェスの断面をR200からR300まで、2次曲線で変化させていますが、他のCADにはなかなか見られない強力なコマンドです。

Pro/ENGINEER 2001
「フィーチャ」→「作成」→「サーフェス」→「新規」→「アドバンス」→「実行」→「可変断面スイープ」

Pro/ENGINEER Wildfire
「挿入」→「可変断面スイープ」

Pro/ENGINEER 2001
「可変断面スイープ」→「実行」→「回転軸方向」→「実行」→「平面」
→「CTRをピック」→「方向OK」→「軌道選択」→「データムカーブをピック」

Pro/ENGINEER Wildfire
「」

Pro/ENGINEER 2001
「スケッチ」→「リレーション」→(例) $sd4=100+200*trajpar^2$

Pro/ENGINEER Wildfire
「」

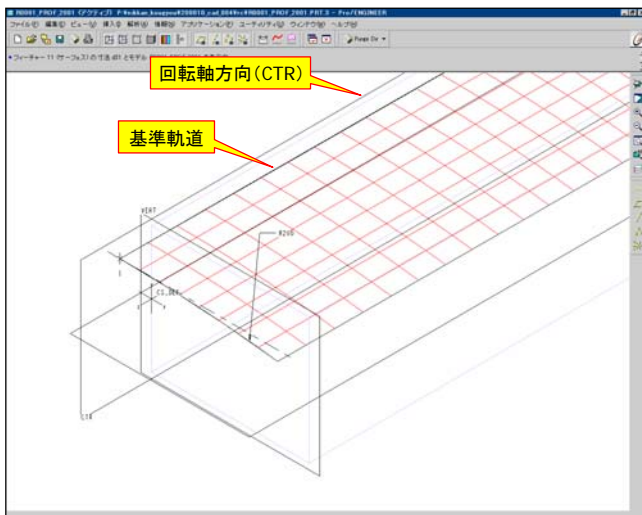


図 2-5-2. 可変断面スイープのオプション

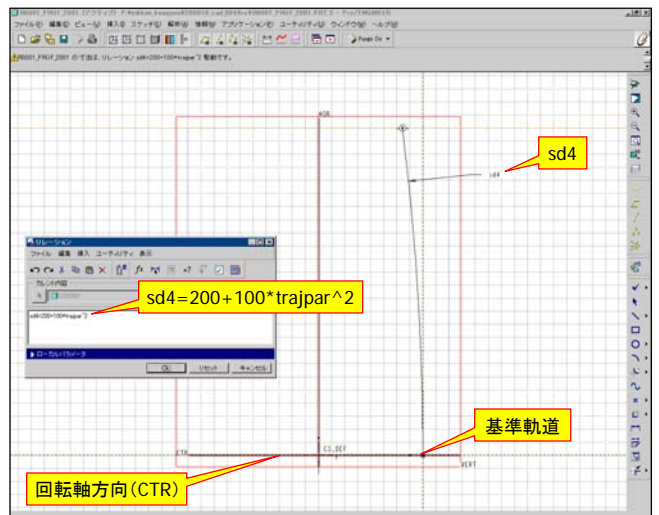


図 2-5-3. 断面のリレーション

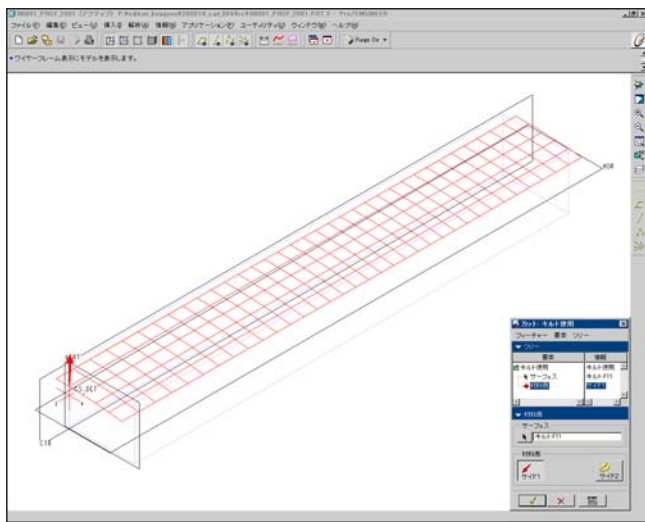


図 2-6. キルトを使用してソリッドをカット

Step.06 フロント側ソリッドのカット

作成したサーフェス(Step.05)でソリッドをカットします。サーフェスを介さずに直接カットしても良いのですが、デザイン変更や設計変更に耐えられないモデルになってしまいます。

メニューに「サーフェス」や「キルト」などの用語が出てきますが、1枚の面を「サーフェス」、サーフェスの集合体を「キルト」と呼んでいます。

Pro/ENGINEER 2001

「フィーチャ」→「作成」→「ソリッド」→「カット」→「キルト使用」→「実行」

Pro/ENGINEER Wildfire

カットに使用するキルトを選択してから、「編集」→「ソリッド化」

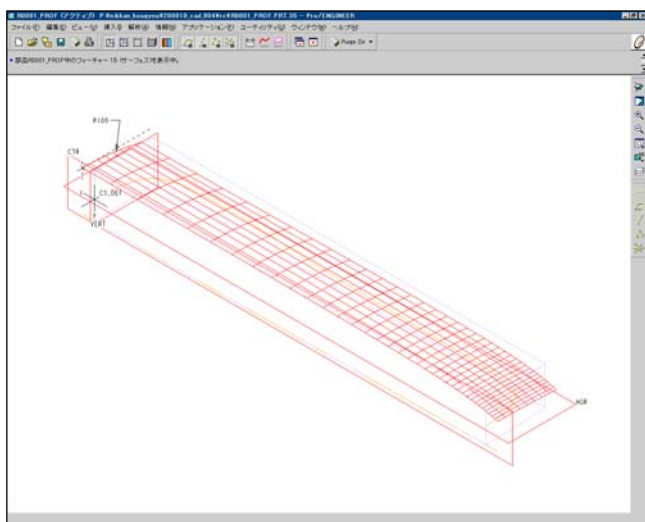


図 2-7. リア側のサーフェス作成

Step.07 リアサーフェスの作成

フロントサーフェスと同様に、リアサーフェスも作成します。

Pro/ENGINEER 2001

「フィーチャ」→「作成」→「サーフェス」→「新規」→「アドバンス」→「実行」→「可変断面スイープ」

Pro/ENGINEER Wildfire

「挿入」→「可変断面スイープ」

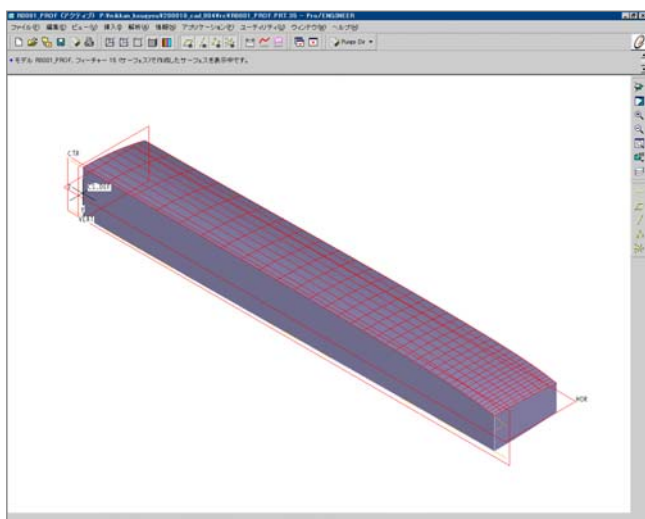


図 2-8. キルトを使用してリア側のソリッドをカット

Step.08 リア側ソリッドのカット

フロント側と同様に、徐変断面スイープで作成したサーフェスでリア側のソリッドをカットします。

Pro/ENGINEER 2001

「フィーチャ」→「作成」→「ソリッド」→「カット」→「キルト使用」→「実行」

Pro/ENGINEER Wildfire

カットに使用するキルトを選択してから、「編集」→「ソリッド化」

Step.09 フロント側面サーフェス

側面は抜き勾配が必要です。デザインモデルの時点から考慮しておかないと、後工程で役に立たないモデルになってしまいます。ここでは稜線を決めて、フィレット部を含めた断面をスイープさせています。

Pro/ENGINEER 2001

「フィーチャ」→「作成」→「サーフェス」→「新規」→「アドバンス」→「実行」→「可変断面スイープ」

Pro/ENGINEER Wildfire

「挿入」→「可変断面スイープ」

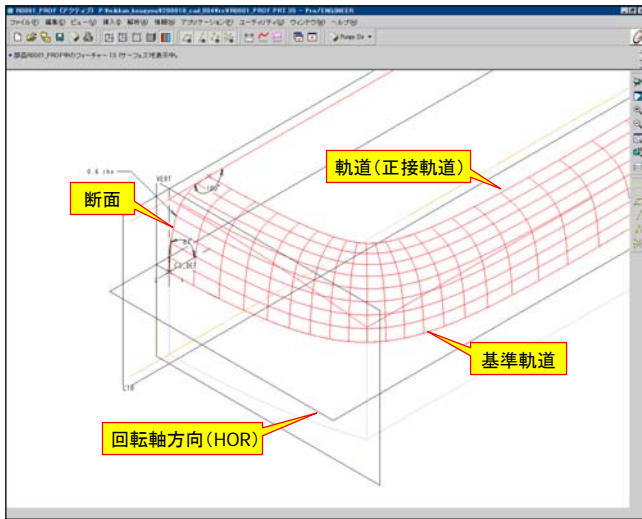


図 2-9-1. フロント側面サーフェスの作成

側面サーフェスのスイープ軌道は基準軌道以外に、フロント面に投影したデータムカーブを正接軌道として用います。投影に使用するスケッチは外形のデータムカーブをオフセットしています。

Pro/ENGINEER 2001

「挿入」→「データム」→「カーブ」→「投影」→「実行」→「スケッチ」→「実行」

Pro/ENGINEER Wildfire

「編集」→「プロジェクト」→「スケッチを投影」

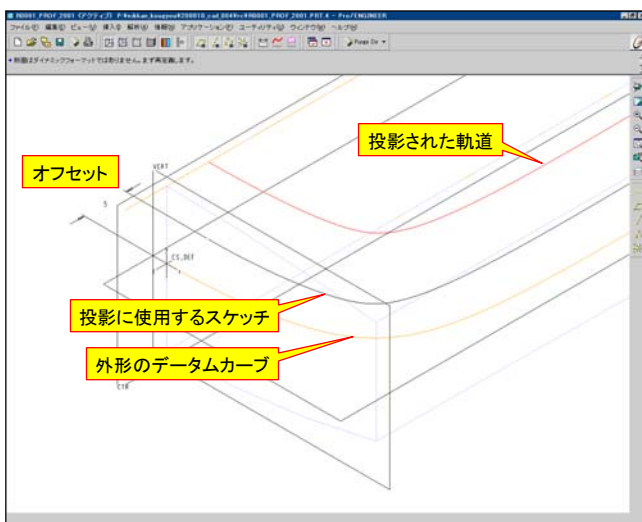


図 2-9-2. スイープ軌道の作成

可変断面スイープの断面スケッチには円錐曲線を用いて、抜き勾配を含んだ側面サーフェスを作成しています。

形状によっては出来あがったサーフェスの自己交差を避けるために、基準軌道と正接軌道を逆にすることもあります。また、円錐曲線のrhoを大きな値にすればフロントサーフェスとの接続部は綺麗になりますが、フィレット部のエッジ感が強調されることになります。

Pro/ENGINEER 2001

「スケッチ」→「円弧」→「円錐」

Pro/ENGINEER Wildfire

「スケッチ」→「円弧」→「円錐」

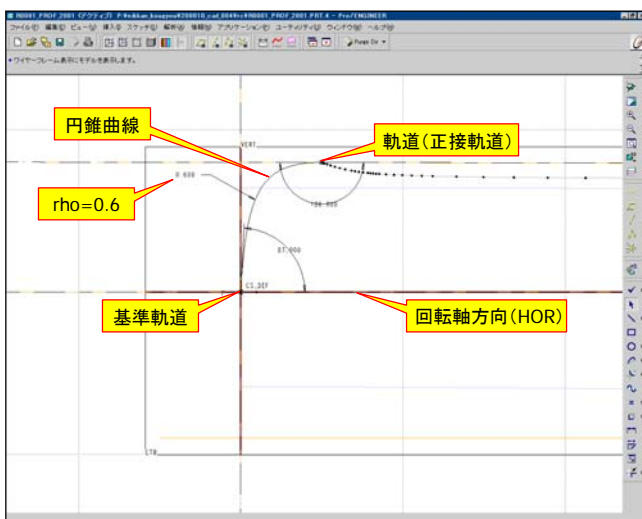


図 2-9-3. 円錐曲線のスケッチ

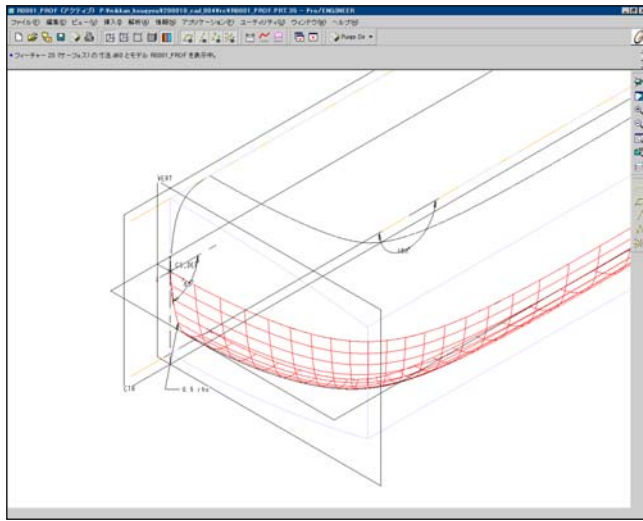


図 2-10. リア側面サーフェスの作成

Step.10 リア側面サーフェス

フロント側面サーフェスと同様に作成します。
今回は側面サーフェス(フロント、リアとも)を一気に作成していますが、意匠形状によっては分割して作成しなければならない場合も多いです。

Pro/ENGINEER 2001
「フィーチャ」→「作成」→「サーフェス」→「新規」→「アドバンス」→「実行」→「可変断面スイープ」

Pro/ENGINEER Wildfire
「挿入」→「可変断面スイープ」

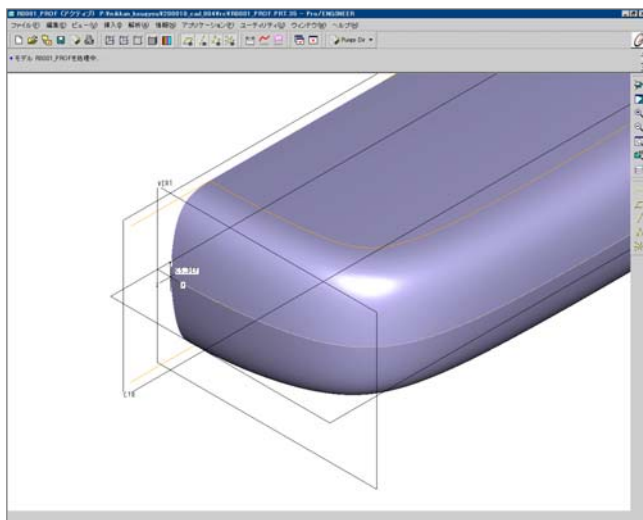


図 2-11. 側面をカットした状態

Step.11 側面ソリッドのカット

フロント側面とリア側面のサーフェスをマージしてから、側面ソリッド全体をカットします。
マージのオプションには「要素分割」と「結合」があります。二つのキルトが完全に交差している場合は「要素分割」、ひとつのキルトのエッジが別のキルト状にある(接している)場合は「結合」オプションを使います。

Pro/ENGINEER 2001
「フィーチャ」→「作成」→「サーフェス」→「マージ」※結合オプションを使用

Pro/ENGINEER Wildfire
マージするキルトを選択して、「編集」→「マージ」※結合オプションを使用

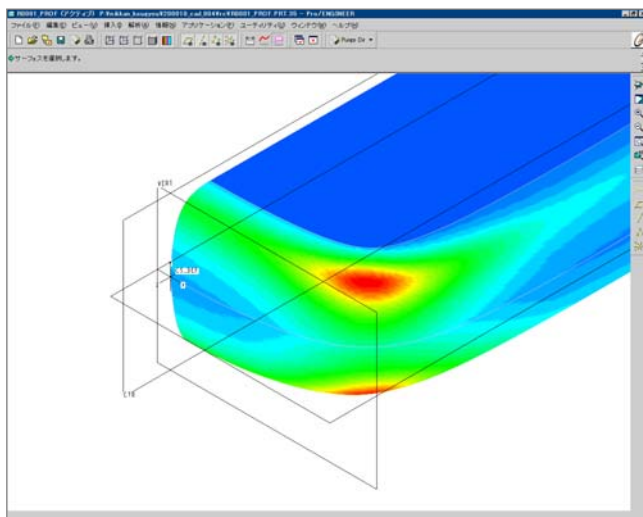


図 2-12. ガウス曲率

Step.12 曲率の変化を確認する

作業の都度、曲率の変化を確認しておきます。不具合が発生した時点で対処しておかないと、最後のほうでは対処出来なくなることがあります。
ここで使用した「ガウス曲率」は面全体としての曲率を視覚的にチェックするのに最適です。青色から赤色まで、連続的なグラデーションになっていれば、曲率もなめらかに変化していることになります。

Pro/ENGINEER 2001
「解析」→「サーフェス解析」→「ガウス曲率」

Pro/ENGINEER Wildfire
「解析」→「サーフェス解析」→「ガウス曲率」

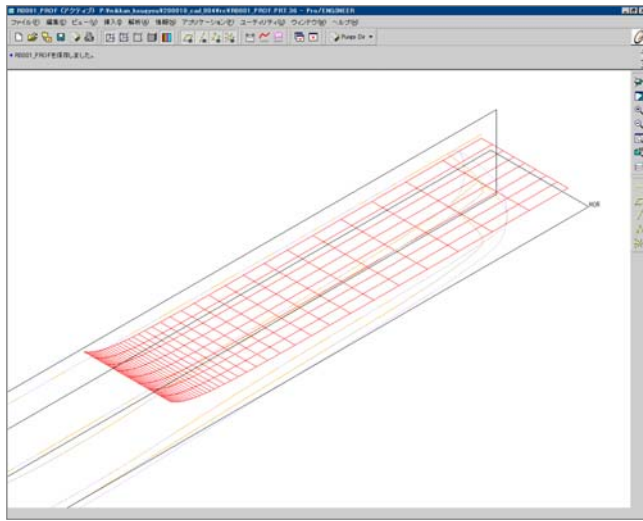


図 2-13. 操作表示部作成用のサーフェス

Step.13 操作表示部の形状

操作キーや表示板の部分は新たなサーフェスを作成しておきます。今回は通常のカットでも作れるような形状なんですが、設計変更のことも考えて、可変断面スイープで作成したサーフェスを作っておきます。

Pro/ENGINEER 2001

「フィーチャ」→「作成」→「サーフェス」→「新規」→「アドバンス」→「実行」→「可変断面スイープ」

Pro/ENGINEER Wildfire

「挿入」→「可変断面スイープ」

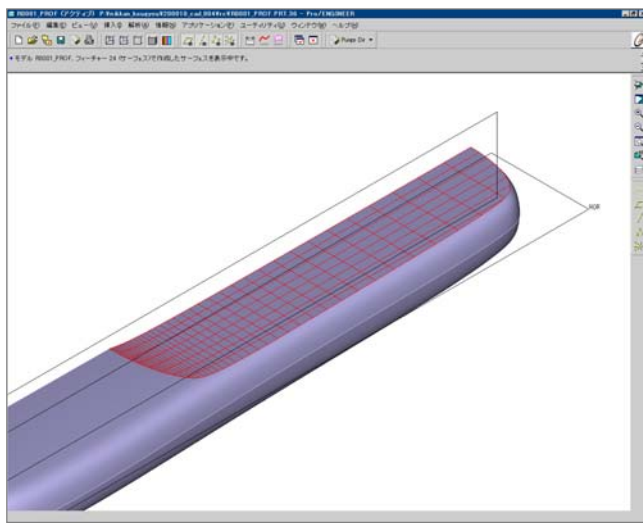


図 2-14. 操作表示部の作成

Step.14 操作表示部のカット

前項のサーフェスでソリッドをカットして、操作表示部の形状を作成します。カット用のサーフェスを作るのは手間がかかるように思っていますが、意匠デザインの変更などが発生した場合は絶大な威力を発揮します。

Pro/ENGINEER 2001

「フィーチャ」→「作成」→「ソリッド」→「カット」→「キルト使用」→「実行」

Pro/ENGINEER Wildfire

カットに使用するキルトを選択してから、「編集」→「ソリッド化」

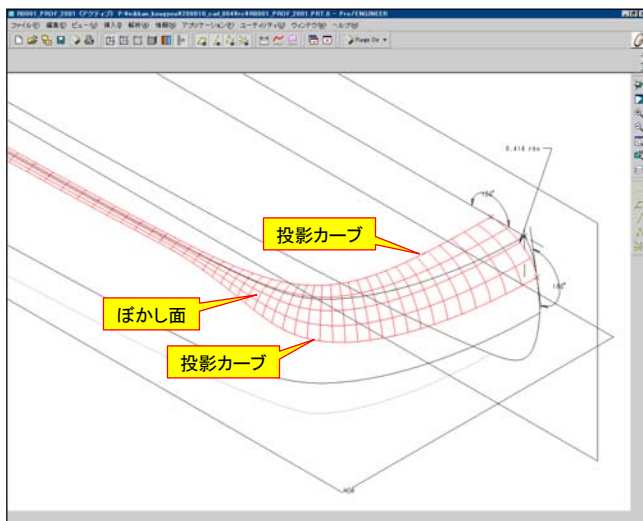


図 2-15. 稜線部のぼかし

Step.15 操作表示部のぼかし

ぼかし部分は、サーフェスの流れと稜線のつながりを考慮しながら、ぼかす範囲を投影カーブで作成します。

このカーブを軌道にして、ぼかし部分のサーフェスを可変断面スイープで作成します。既に作成してある稜線エッジ部のフィレット稜線となめらかにつなぐのがポイントです。詳細な手順は、15-1以降を参照して下さい。

Pro/ENGINEER 2001

「挿入」→「データム」→「カーブ」→「投影」→「実行」→「スケッチ」→「実行」

Pro/ENGINEER Wildfire

「編集」→「プロジェクト」→「スケッチを投影」

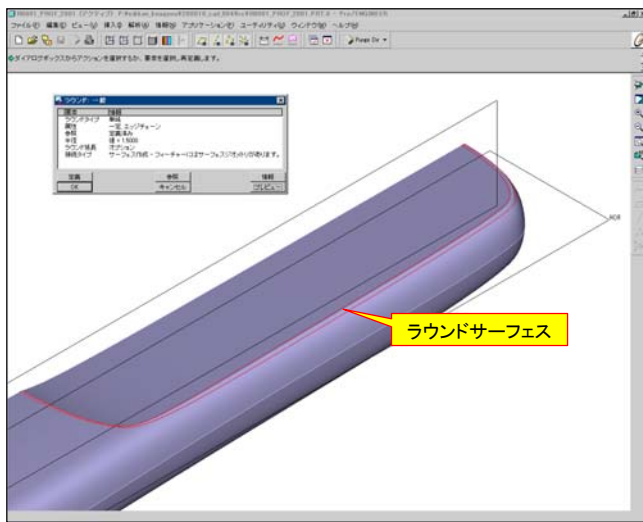


図 2-15-1. ラウンドサーフェスの作成

15-1 ラウンドサーフェスの作成

まず、ぼかし部分以外のラウンドサーフェス(R1.5)を稜線エッジ部に作成しておきます。使用するコマンドは「角R」ですが、サーフェスを作成するオプションを指定します。

Pro/ENGINEER 2001

「フィーチャ」→「作成」→「角R」→「単純」→「実行」→「一定」→「エッジチェーン」→「実行」
「接続タイプ」→「サーフェス作成」

Pro/ENGINEER Wildfire

「挿入」→「ラウンド」
「オプション」→「接続」→「サーフェス」

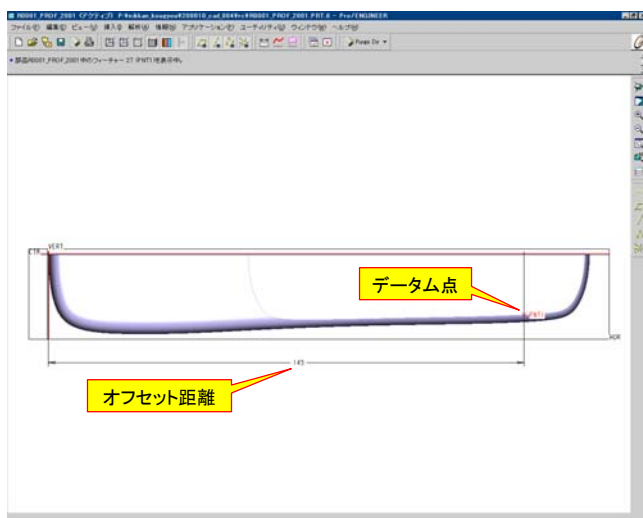


図 2-15-2. データム点の作成

15-2 データム点の作成

ぼかしを始める位置を決めるため、稜線エッジ部にデータム点を作成しておきます。基準平面VERTからのオフセット距離で指示します。

Pro/ENGINEER 2001

「挿入」→「データム」→「点」→「カーブ上」→「オフセット」

Pro/ENGINEER Wildfire

「挿入」→「モデルデータム」→「点」→「点」

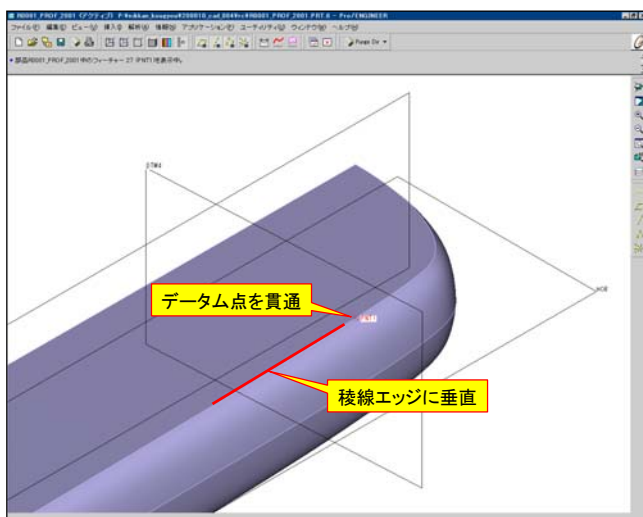


図 2-15-3. データム平面の作成

15-3 データム平面の作成

先に作成したデータム点を貫通し、稜線エッジに垂直(法平面)なデータム平面を作成します。

Pro/ENGINEER 2001

「挿入」→「データム」→「平面」→「貫通」→「点を選択」→「垂直」→「稜線エッジを選択」

Pro/ENGINEER Wildfire

「挿入」→「モデルデータム」→「平面」

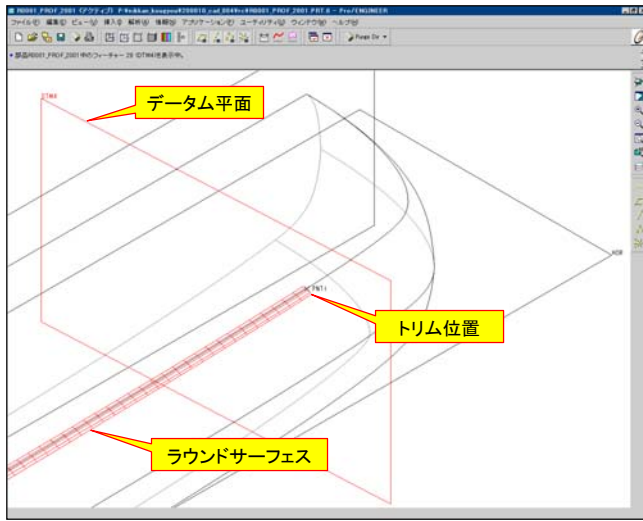


図 2-15-4. サーフェスのトリム

15-4 ラウンドサーフェスをカット

ぼかす部分のラウンドサーフェスを、データム平面(15-3)でトリムします。これで、ぼかさな部分のサーフェスだけを残します。

Pro/ENGINEER 2001

「フィーチャ」→「作成」→「サーフェス」→「トリム」→「キルト使用」→「実行」
→「ラウンドサーフェスを選択」→「データム平面を選択」

Pro/ENGINEER Wildfire

ラウンドサーフェスを選択してから、「編集」→「トリム」→「データム平面を選択」

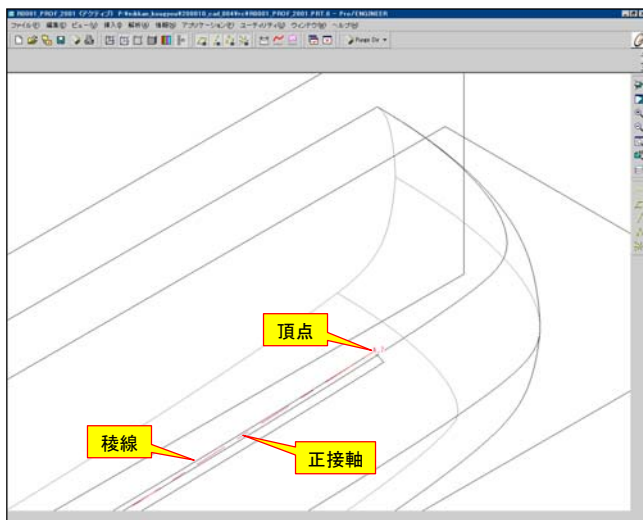


図 2-15-5. 正接軸

15-5 正接軸を作成

ラウンドサーフェスの頂点を通り、稜線に正接するデータム軸(正接軸)を作成します。

Pro/ENGINEER 2001

「挿入」→「データム」→「軸」→「正接カーブ」
→「ラウンドサーフェスの稜線を選択」→「ラウンドサーフェスの頂点を選択」

Pro/ENGINEER Wildfire

「挿入」→「モデルデータム」→「軸」
→「ラウンドサーフェスの稜線を選択」→「ラウンドサーフェスの頂点を選択」

15-6 投影カーブ(フロント面)を作成

ぼかしの稜線に使用するカーブを、フロントサーフェスに投影します。基準面HORにスプラインでスケッチし、スケッチ面に垂直に投影します。スプラインの端点はラウンドサーフェスの稜線と正接させるため、先に作った正接軸を利用して角度寸法(180°)を指定します。

Pro/ENGINEER 2001

「挿入」→「データム」→「カーブ」→「投影」→「実行」→「スケッチ」→「実行」

Pro/ENGINEER Wildfire

「編集」→「プロジェクト」→「スケッチを投影」

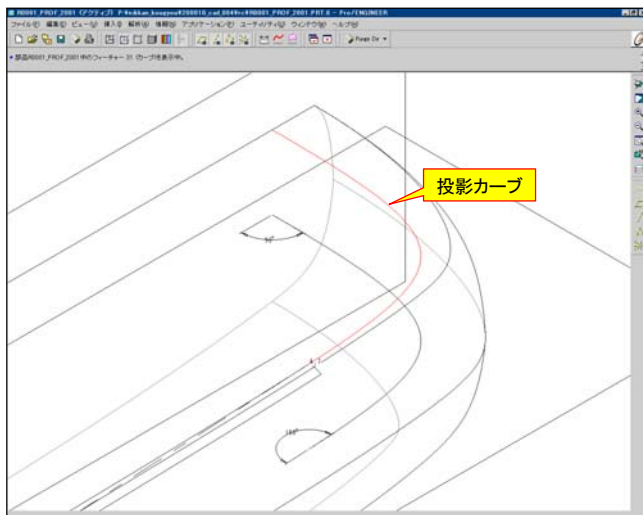


図 2-15-6. 投影カーブ

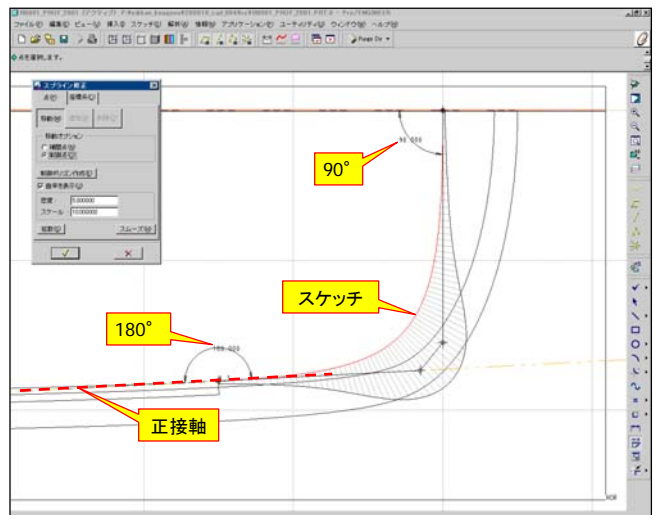


図 2-15-7. 投影カーブのスケッチ

15-7 投影カーブ(側面)を作成

側面サーフェス側の投影カーブも、ラウンドサーフェスの頂点を通り、稜線に正接するデータム軸を作成してから、ぼかしの稜線に使用するカーブを側面サーフェスに投影します。

Pro/ENGINEER 2001
「挿入」→「データム」→「カーブ」→「投影」→「実行」→「スケッチ」→「実行」

Pro/ENGINEER Wildfire
「編集」→「プロジェクト」→「スケッチを投影」

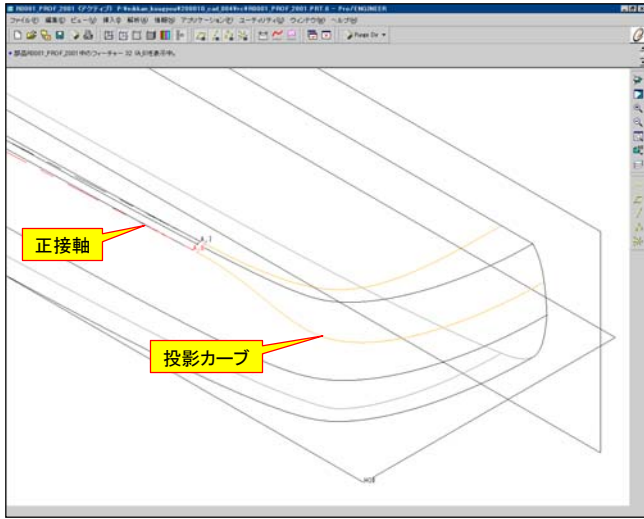


図 2-15-7. 側面の投影カーブ

基準面CTRにスプラインでスケッチし、スケッチ面に垂直に投影すればよいでしょう。

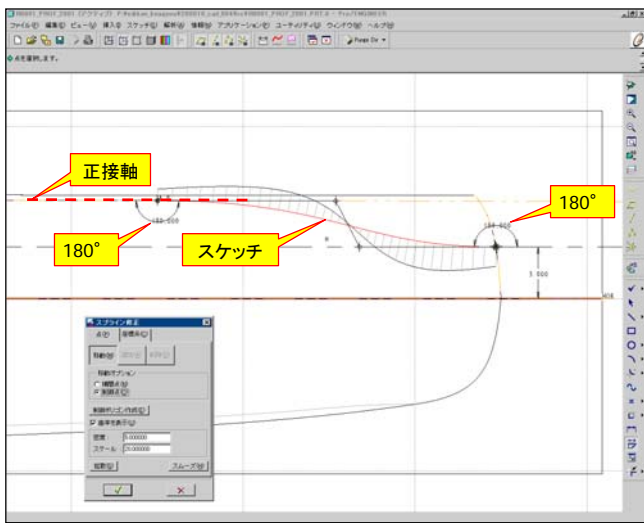


図 2-15-8. 投影カーブのスケッチ

15-8 ぼかし面を作成

フロントサーフェスと側面サーフェスに投影したカーブを正接軌道にして、可変断面スイープでぼかし面を作成します。このとき、ラウンドサーフェスの稜線も軌道に含めてしまいます。

スイープの断面スケッチは円錐曲線を使っていますが、ラウンドサーフェスの端面とぼかし面の断面を一致させるためには、 $\rho = \sqrt{2} - 1$ としなければなりません。

Pro/ENGINEER 2001
「フィーチャ」→「作成」→「サーフェス」→「新規」→「アドバンス」→「実行」→「可変断面スイープ」

Pro/ENGINEER Wildfire
「挿入」→「可変断面スイープ」

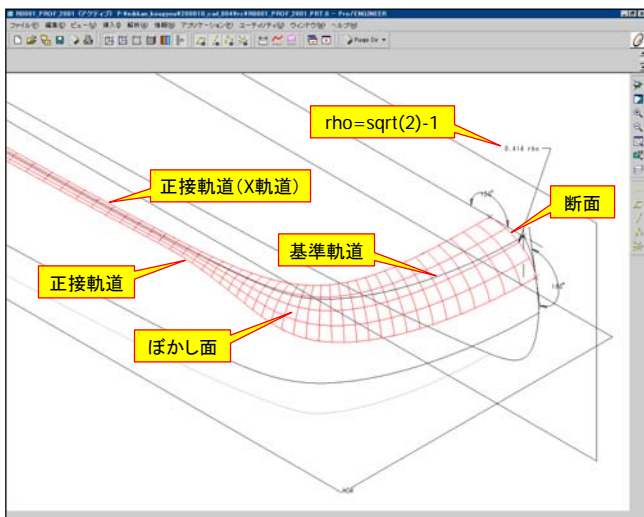


図 2-15-9. ぼかし面

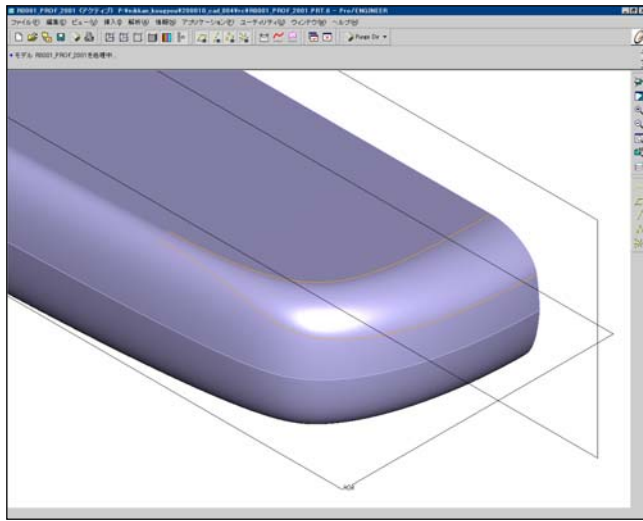


図 2-16. ぼかし面のカット

Step.16 ぼかし面のカット

作成したぼかし面で、既存のソリッドをカットします。

Pro/ENGINEER 2001

「フィーチャ」→「作成」→「ソリッド」→「カット」→「キルト使用」→「実行」

Pro/ENGINEER Wildfire

カットに使用するキルトを選択してから、「編集」→「ソリッド化」

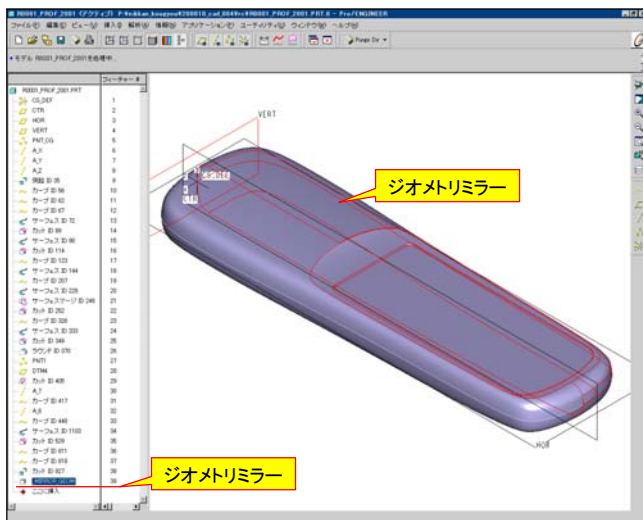


図 2-17. ジオメトリミラー

Step.17 ジオメトリミラーの使用

Pro/ENGINEERの「ジオメトリミラー」コマンドは、それ以前のフィーチャを全て反転させる機能があります。実際には、Step.02 の段階で使用し、Step.03 ~ Step.16 は挿入モードで作成します。

Pro/ENGINEER 2001

部品メニューから、「フィーチャ」→「ジオメトリミラー」

Pro/ENGINEER Wildfire

モデルツリーでモデル全体を選択してから、「編集」→「ミラー」

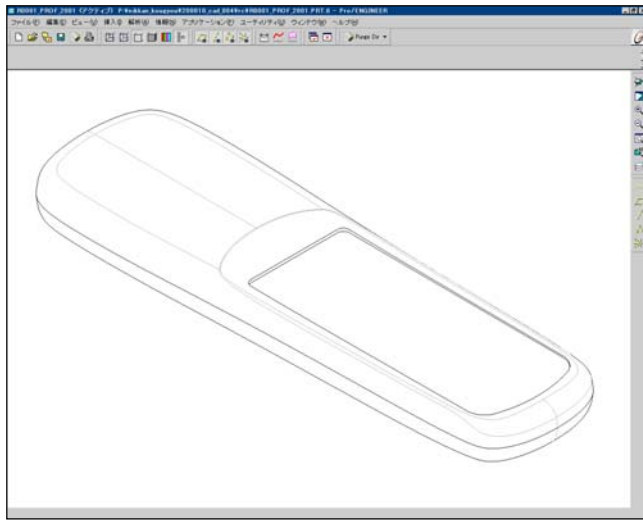


図 2-18. フロントサーフェス

Step.18 フロントサーフェスの接合線

サーフェスの接合部分はデータ変換や後工程で、トラブルの元になりますから、極力少なくする(つまり、サーフェスの数を少なくする)のが、使える自由曲面を作るコツだと言えるでしょう。

世の中には、細かなサーフェスの集合体で作成された自由曲面モデルも多いのですが、後工程では何の役にも立ちません。

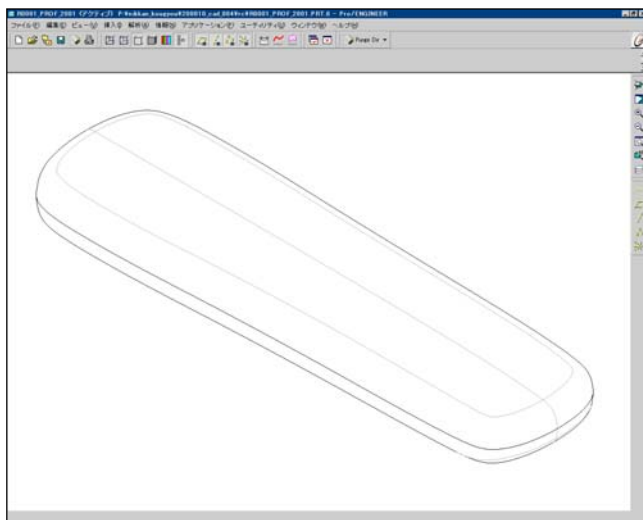


図 2-19. リアサーフェス

Step.19 リアサーフェスの接合線

リアサーフェスの接合線もチェックしてみましょう。ジオメトリマラーを使用すると、マージした部分に接合線がでますから、非常にシビアなモデリングを要求される時は注意が必要です。

しかし、実務では時間的な制約もあって、通常は曲率の変化に注意しながら、ジオメトリマラーを使用すれば問題はありません。

Step.20 最終チェック

完成したら、ガウス曲率とシェーディング状態で意匠面の最終チェックをしておきましょう。みなさんも、がんばって作ってみて下さいね。

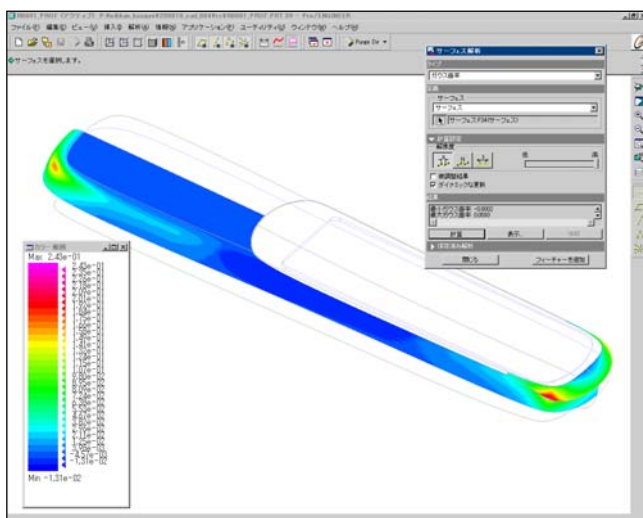


図 2-20-1. ガウス曲率

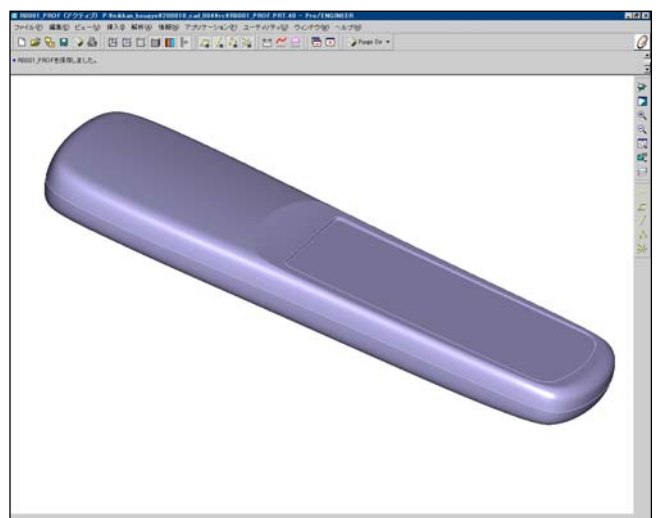


図 2-20-2. シェーディング