

# CAD データに基づく計算格子の作成

岩宮敏幸<sup>\*1</sup>、吉田正廣<sup>\*1</sup>、山崎裕之<sup>\*1</sup>

## Grid Generation based on CAD data

by

Toshiyuki IWAMIYA<sup>\*1</sup>, Masahiro YOSHIDA<sup>\*1</sup>,

HiroYuki YAMAZAKI<sup>\*11</sup>

### Abstract

With the progress of computer performance, Computational Fluid Dynamics (CFD) is well developed and it is very promising to utilize as a design tool for the development of aircraft and spacecraft. It is usual to define a configuration by using a CAD tool. It is necessary to construct a grid system around it for analyzing the flow field. But this part is a bottleneck since the usual general-purpose CAD software packages do not support the generation of surface grids suitable for CFD analysis.

In this paper we report the preliminary work of surface grid generation based on the CAD data. Conversion format from a CAD tool is the IGES format. We first reconstructing the configuration from the section data so that the isoparametric curves are quite suitable as the grid curves. Then we generate a surface grid by assigning the number of grid points needed.

### 1. はじめに

航空機等の周りの流れの数値シミュレーション解析は、航空機等の設計の有効な手段として利用されるようになってきている。設計においては、形状はCADを利用し、自由曲面として定義されるが、通常使われているCATIA等の汎用CADでは数値シミュレーションによる解析に必要な表面格子を張る作業を十分サポートしておらず、CADのオペレーションを利用しているため、表面格子生成作業に多大な労力と時間を必要としているのが現状である。

本研究では汎用CADで定義された航空機形状データを基に表面格子をインタラクティブに生成していく手法を検討し、アルモニコス社製のCADフレームワークソフトウェア「Axcad」上アプリケーションソフトウェアとしてプロトタイプを開発したので報告する。

### 2. 形状再定義

3次元CADで立体を表現する方法は、ワイヤフレーム、サーフェス、ソリッドに大別される。ワイヤフレーム・モデルは3次元形状を稜線（面の境界線）と頂点のみで表現しているためメモリも少なくすみ、デ

ータへのアクセスも速いが、立体が一意に決まらないという問題点がある。サーフェス・モデルはワイヤフレーム・モデルのデータに加えて面のデータを持っている。現在最もよく利用されているのがこのサーフェス・モデルに基づくCADでサーフェス・モデルと呼ばれる。サーフェス・モデルにおいては面、その境界線、頂点といった幾何情報を持つがそれらの間の関係（位相情報）—ある曲線がある曲面の境界であるとかある点がある曲線上にのっているといった情報—を持たないため、立体は完全に表現されていないことに注意する必要がある。

サーフェス・モデルでは航空機等の形状を幾つかのパッチと呼ばれる自由曲面（SurfaceあるいはFace）の張り合わせとして実現している。パッチの数学的な表現形式は、CADごとに異なるが、ベツェ（Bezier）曲面、クーンズ（Coons）曲面、Bスプライン（B-spline）曲面等が利用されている。これらの自由曲面はいずれも矩型領域あるいはその部分集合をパラメータ空間とするパラメータ表示として表現されており、そのアイソパラメトリック曲線等を適当に利用することにより、各パッチ上に構造格子を張ることは比較的容易である。しかしながら、でき上がる格子をパッチ間で連続に繋げるためにはパッチ間のつながり方を考慮することが必要である。パッチ間で連続になりかつ各パッチ上で独立に表面格子を生成するためには、境界上の通過

<sup>\*1</sup> 航空宇宙技術研究所 National Aerospace Laboratory

点を前もって指定することが必要となるが、現在最もよく利用されているサーフェス・モデラと呼ばれる CAD では自由曲面およびその境界曲線は別の幾何要素として定義されているだけで、位相情報を持たず曲面とその境界として認識されないため境界線と考えられる曲線上に点を指定しても曲面の境界上の点あるいは曲面を表現しているパラメータ空間の対応するパラメータ値を指定したことにはならない。また、オペレーションのやり方によっては曲面の間に隙間ができる場合もある。このため、境界線上の点から曲面へ射影する等位相関係を意識したオペレーションを CAD のオペレータが行う必要があり、表面格子生成の大きな障害となっている。

これを回避するためには、表面格子を生成することが容易な形で内部での表現形式を作り直してやる必要がある。ここでは、最終的にでき上がる空間格子としては複合構造格子を考え、胴体及び翼をそれぞれ一枚の曲面として定義し直す方法を採用するとした。

次に検討しなければならないのはデータの受け渡しの問題であるが、CAD データは一般的に独自のデータ形式で保存されているため CAD 間でのデータの互換性はない。互換性を確保するため、幾つかの標準的形式が定められているが、ここでは多くの CAD でサポートしている IGES (The Initial Graphic Exchange Specification) と呼ばれる形式を採用した。IGES はいろいろな曲線、曲面を表現できるが、CAD ごとに出力される表現形式、精度等が異なるため、汎用性を考慮する必要がある。

また、汎用 CAD は一般に機能の豊富さや操作性には優れているが、専用のオペレータを確保する必要がある、研究者が自由に自分自身のアイデアを表現するためのツールとしては使えない状況にある。通常の航空機の設計ではまず翼の平面形、翼断面形状、胴体断面形状を設計し、それらの断面を滑らかに接続することにより初期形状を決定している。

これらを考慮して、胴体及び翼の断面データを点データの集合として外部から入力し、形状の再構築をする方法を採用することとした。

形状再定義は胴体編集 (図1)、翼編集 (図2)、翼面配置 (図6) の3つの要素から成る。

## 2. 1 胴体編集

胴体編集は以下のメニュー構成となっている。

初期化・・・点データを断面ごとに分類し、順序付けを行う。

Kink 点・・・Kink 点の指定を行う。

曲線化・・・Kink 点指示の結果を基に断面を B ス

プライン曲線で表現するとともにノットベクトルの共通化を行う。

Kink 断面・・・Kink 断面の指定を行う。

曲面生成・・・Kink 断面指示の結果を基に曲面を生成する。

ここで注意すべきは、汎用 CAD から IGES 形式で点のデータを出力するとき点の順序を汎用 CAD 側で制御するのはかなり困難であるという点である。このため、読み込んだ側で順序を決めてやる必要がある。この作業が初期化である。基本となる軸を指定し、その軸への射影により点データを断面ごとに分類し、順序付けを行って、その順序で点をポリラインで結んでいる。この時点で、正しく順序付けがなされているかを確認する必要がある。

また、曲線化の過程では、まず、最初に与えた断面上の点を忠実に通過する B スプライン曲線を生成し、その後、曲面を B スプライン曲面として実現するため各断面のノットベクトルの共通化を行っている。この過程においてトレランス値を設定し、そのトレランス値の範囲内での誤差は許して最初に与えた点を通るようにしている。これは、ひとつにはノットベクトルの数を少なくして CAD としての操作性を向上させることに役立つが、他方、設計の観点から設計パラメータを減らす方法としても役立つと思われる。

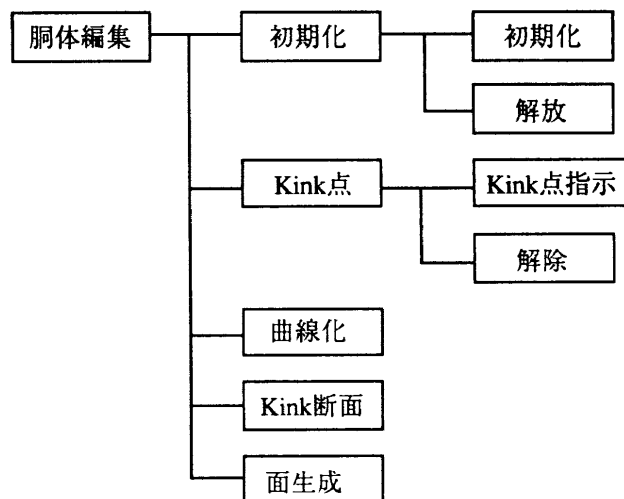


図1 胴体編集メニュー

## 2. 2 翼編集

翼編集についても胴体編集とほぼ同様の機能を持つが、パラメトリックスタディを考慮して、上反角、後退角、局所迎角の変更機能を追加した。また、胴体との交線が確実に求められる様、データが与えられた断面から外挿して新たな断面を作る断面追加機能を付加

した。

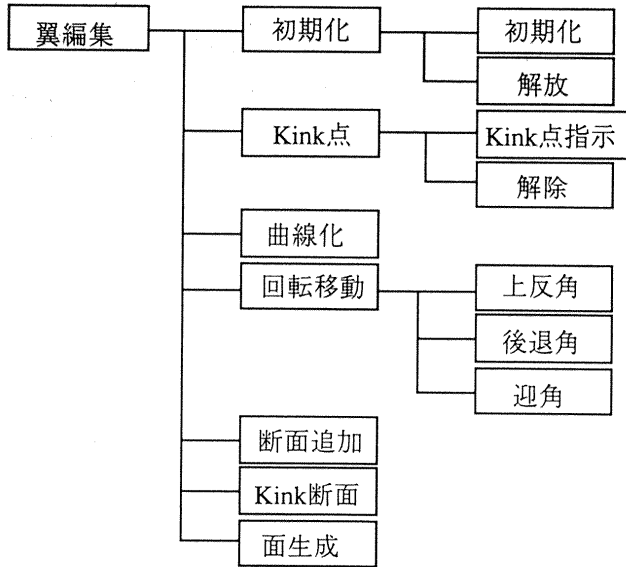


図2 翼編集メニュー

高亜音速航空機の主翼について翼編集の一連の動きを図3～図5に示す。

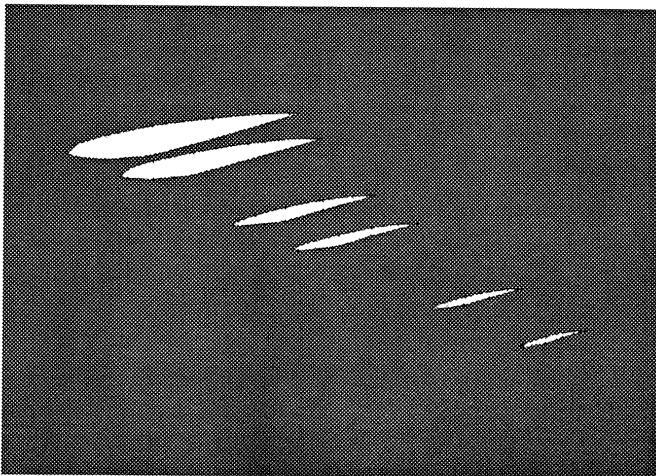


図3 翼編集－初期化

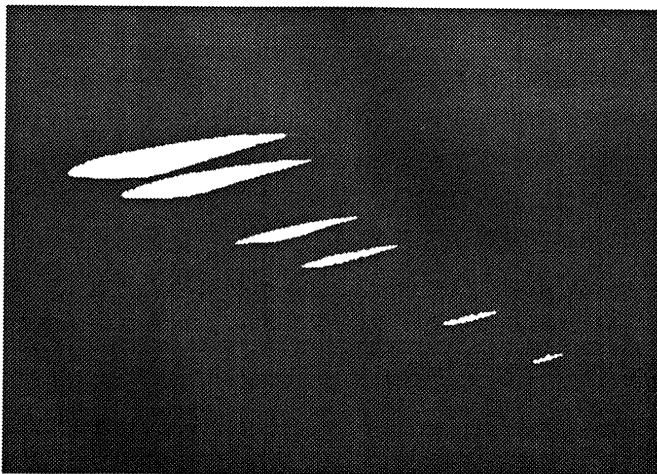


図4 翼編集－曲線化

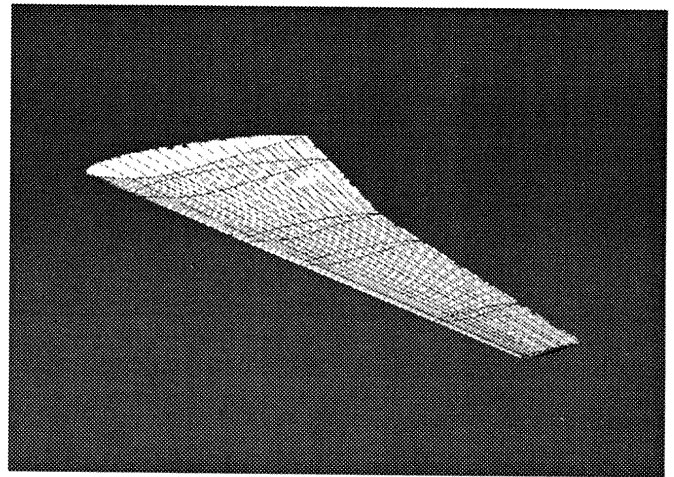


図5 翼編集－曲面生成

翼面配置は胴体編集、翼編集で作られた主翼、尾翼、垂直尾翼等の各翼面の胴体への取付位置を変更するための機能で平行移動、回転移動が可能である。この機能もパラメトリックスタディには有効であると思われる。

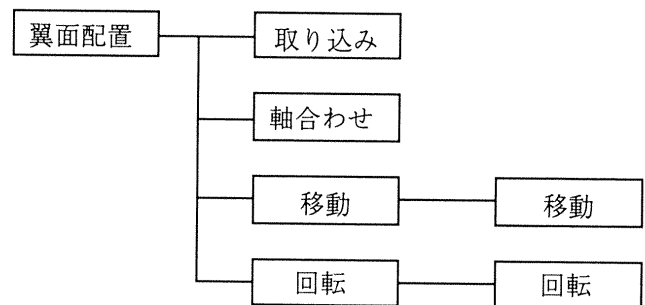


図3 翼面配置メニュー

### 3. 表面格子作成

形状再定義で得られた形状を基に表面格子を生成する。基本的な戦略は曲面のパラメータ空間に格子を張ることである。そのために胴体と翼の交線計算を行い、胴体面のパラメータ空間に主翼、水平尾翼等との交線に対応する内部境界及び垂直尾翼等との交線に対応する外部境界を作成し、それらを境界とする内部領域に格子を張る。曲面の構成の仕方からパラメータ空間は断面方向と断面にほぼ直交する方向から構成されているため、パラメータ空間上に直交格子を生成すれば、直交性のよい表面格子が張られることが予想される。

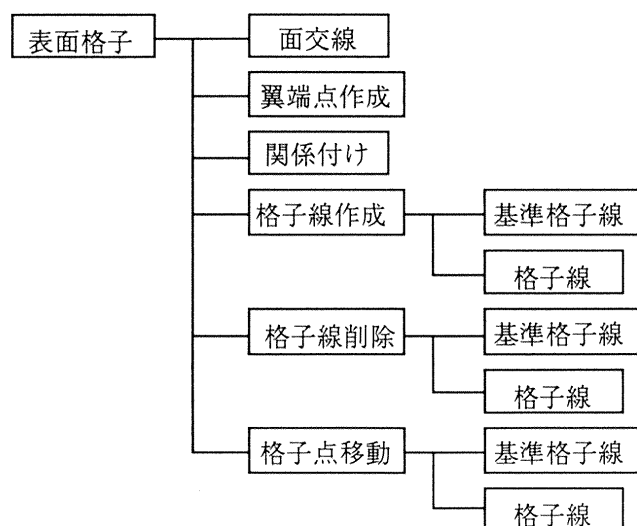


図6 表面格子メニュー

実際の格子生成は以下の手順を踏む。

胴体面上の格子と翼面上の格子とは胴体と翼との交線上で接続される必要があるため、交線を基準としてまず格子枠と呼ぶ幾何学的な構造上必要最小限の格子を張る（格子枠生成 図7）。

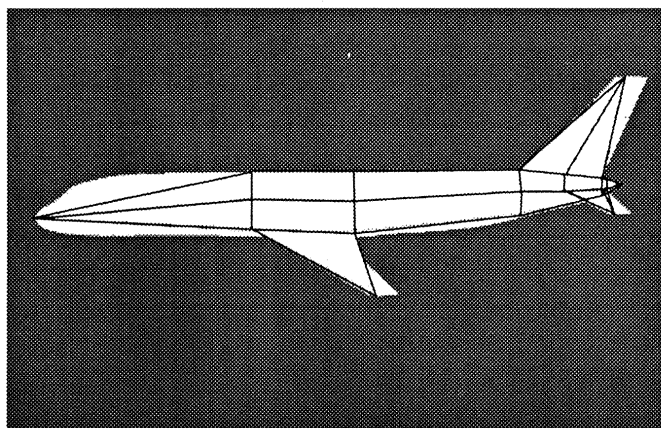


図7 表面格子－格子枠生成

この格子枠を細分化（格子線追加）することにより全体の格子を構成していく。格子線追加においては、胴体と翼の交線を通して格子線（基準格子線と呼ぶ）を追加するには、交線を指示し、点数を指定することにより必要な数の格子線が生成される。

その他の部分については任意の格子線（単に格子線と呼ぶ）上に必要数の点を発生させ、これを基に細分化を行う。

現在のバージョンでは、格子間隔は指定した格子線に対して線長等分割、曲率等分割の二つの方法で分割できる。

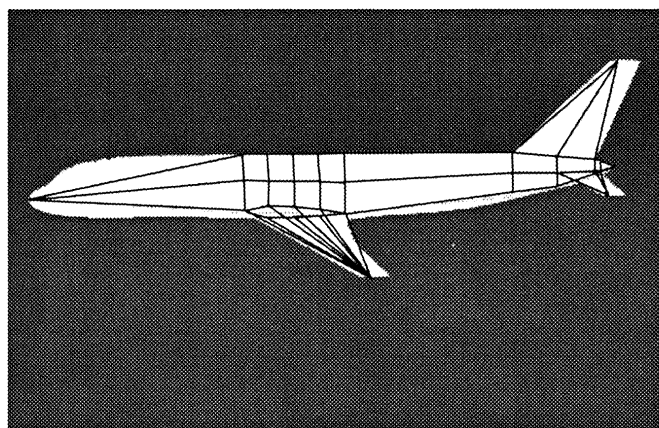


図8 格子線追加－基準格子線

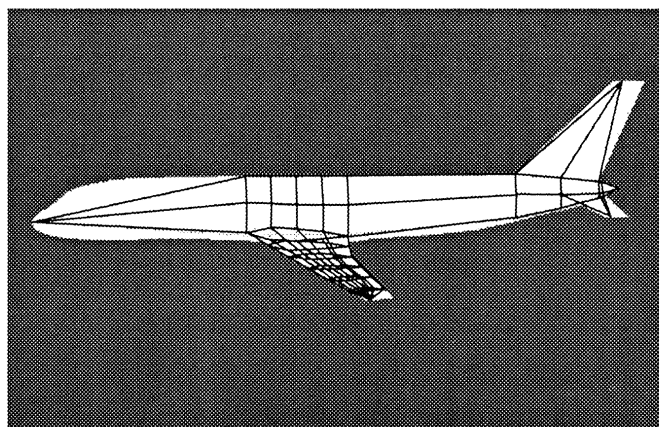


図9 格子線追加－格子線

また、格子線削除機能により不必要な格子線を削除できる。

格子点移動機能では、移動したい格子点、影響範囲、新しい格子点の位置を指定することにより、影響範囲内の格子点を含めて格子点が滑らかに移動する。

以上の機能により、ユーザがインタラクティブに表面格子を生成することになる。

#### 4. 今後の課題

今回作成したプロトタイプで、複合格子に対応する表面格子生成に必要な基本的な機能は実現されている。今後、生成された表面格子の良否を評価するとともに、ソフトウェアの高速化、ストレッチ関数等を利用して格子間隔を制御する機能等、より柔軟な表面格子生成への対応、ユーザインタフェースの改良等を施し、ユーザへの負担が少なく質の高い格子が生成できるものにしていく予定である。