

Implicit Geometrical Method による物体表面スプライン・ネットの生成

児玉 良明
船舶技術研究所

Generation of Body-surface Spline Net Using the Implicit Geometrical Method

Yoshiaki Kodama
Ship Research Institute

ABSTRACT

Body geometries are generally expressed by a spline net covering the body surface. At points between the spline curves, the geometry is interpolated using spline interpolation functions, thus the body geometry is defined continuously all over the surface. In this paper, a method is shown to generate a spline net based on the offset data given at discrete points. The method is an extension of a grid generation method called the implicit geometrical method. The smoothing, clustering, and orthogonality requirements are imposed, and the spline net is generated to satisfy those requirements with suitable balance. In the first half of the paper, it is shown that the fourth-differencing operator used as the smoothing operator has characteristics quite similar to cubic Ferguson splines. In the second half, a spline net generated on a ship hull form is shown as an example. The generated spline net satisfies not only the imposed requirements, but also the constraint that the net passes through the offset spline points.

1. はじめに

物体まわり流れの精密な CFD 計算のためには、物体形状の精密な表現が必須である。B-spline 等が用いられる (CAD) によって物体形状が与えられる場合には、形状は連続曲面として最初から定義されており、物体表面格子の生成では、その情報を利用できるが、既存船型のように物体形状が離散的なオフセット点の集合として与えられる場合には、オフセット点を通るスプライン曲線をメッシュ状に生成し(つまりスプライン・ネット)、平滑曲面に拡張する必要がある。

ここでは、スプラインネットの生成法の一つとして Implicit Geometrical Method(以下 IGM)¹⁾を用いた例を示す。IGM は著者によって開発された格子生成法で、平滑性・直交性等の観点からメッシュを反復的に改良する方法である。まず、スプラインネット生成の主要オペレータである平滑化オペレータが、3 次スプラインである Ferguson spline と極めて類似の点列を生成することを示す。次に、生成スプラインネットの 1 例として、船体まわりのスプラインネットを示す。そして、それが、与えられたオフセットデータによく一致していることを示す。

2. Implicit Geometrical Method の平滑化 operator と Ferguson spline の類似性

2.1 Implicit Geometrical Method (IGM)¹⁾

IGM は格子生成法の 1 種で、格子点の幾何学的配置情報を基に、平滑化・直交化・Clustering・Minimum spacing の 4 つの要請を適当な重みづけの下に組み合わせ、格子点の運動方程式を作り、time-implicit に積分し、定常解として格子を生成する。

平滑化(Smoothing)の要請では、CFD で振動の除去によく用いられる数値散逸項、すなわち 4 階差分項を x, y, z 座標に適用する。すなわち、点列 P_i は定常状態で

次式を満たす。

$$-P_{i-2} + 4P_{i-1} - 6P_i + 4P_{i+1} - P_{i+2} = 0 \quad (1)$$

このとき解 P は i (あるいは連続変数化した ξ) の離散的な 3 次関数であるといえる。

2.2 Ferguson spline

隣り合う 2 点 Q_j 、 Q_{j+1} 間において、Ferguson spline²⁾ は区分 3 次関数で、次式で与えられる。

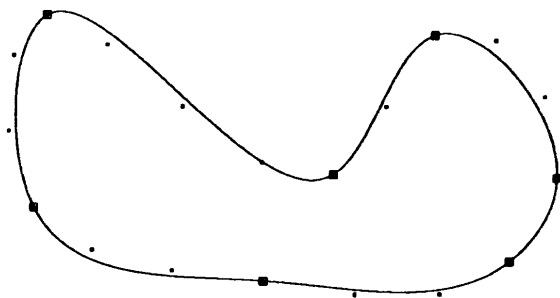
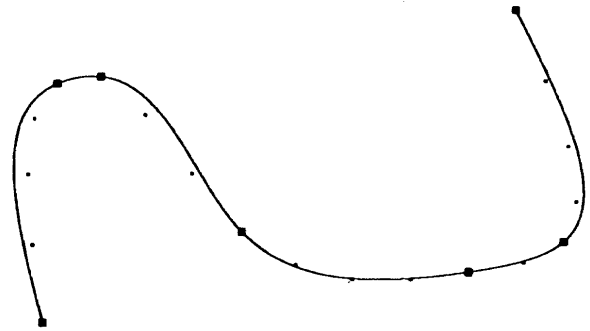
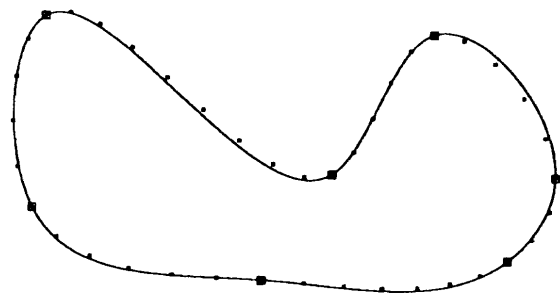
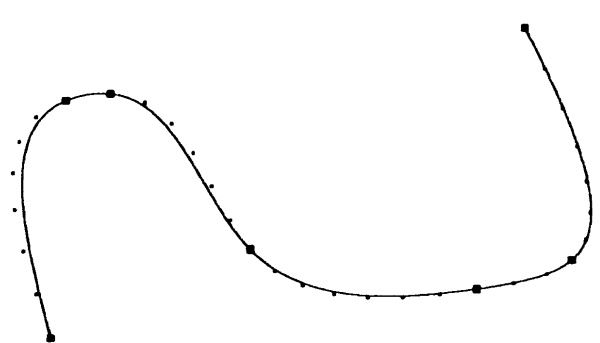
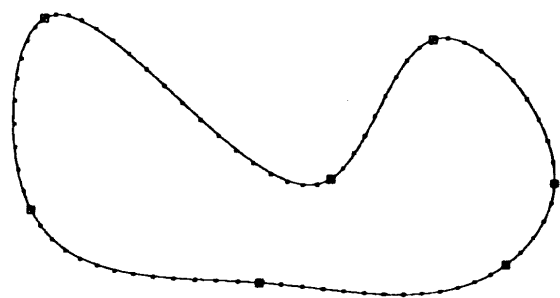
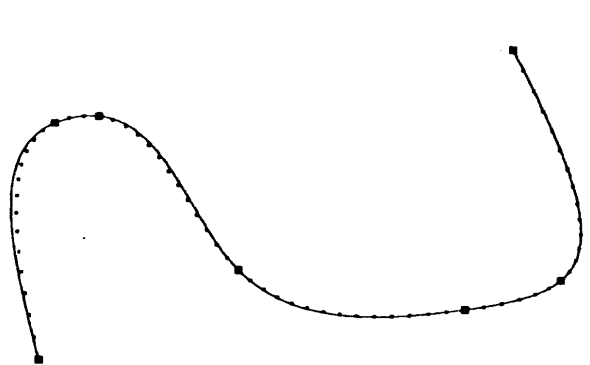
$$Q_j(\xi) = H_{0,0}(\xi)Q_j + H_{0,1}(\xi)Q_{j+1} + H_{0,1}(\xi)\overset{\circ}{Q}_j + H_{1,1}(\xi)\overset{\circ}{Q}_{j+1} \quad (0 \leq \xi \leq 1) \quad (2)$$

ただし

$$\overset{\circ}{Q} \equiv \frac{d}{d\xi}$$

$$\text{Hermite 補間関数} \begin{bmatrix} H_{0,0}(\xi) \\ H_{0,1}(\xi) \\ H_{1,0}(\xi) \\ H_{1,1}(\xi) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & -3 & 0 & 1 \\ -2 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi^3 \\ \xi^2 \\ \xi \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

図 1 に周期解の例を示す。実線は Ferguson spline であり、四角形印で示した 7 個の固定点の間を (2) 式で表し、隣り合う区間の接続点では区間の不等性を考慮した 2 階微分まで連続性を要求した。小さな印の点は、(1) 式の平滑化 operator を適用して定めた。 Δs は固定点間の点列の基準間隔で、点の数にほぼ反比例する。図 1(a)、(b)、(c) と点の数が増えるに従って両者の一致度は高くなる。図 2 は非周期解の例で、両端で moment-free、すなわち 2 階微分 = 0、の境界条件を与えた。この場合は Ferguson spline 曲線と平滑化 operator による点列との一致度は図 1 の場合ほど高くないが、両者の類似は明かである。

(a) Case A. 20 点 ($\Delta s = 0.08$).(a) Case A. 19 点 ($\Delta s = 0.08$).(b) Case B. 41 点 ($\Delta s = 0.04$).(b) Case B. 32 点 ($\Delta s = 0.04$).(c) Case C. 79 点 ($\Delta s = 0.02$).(c) Case C. 65 点 ($\Delta s = 0.02$).(d) Case D. 157 点 ($\Delta s = 0.01$).

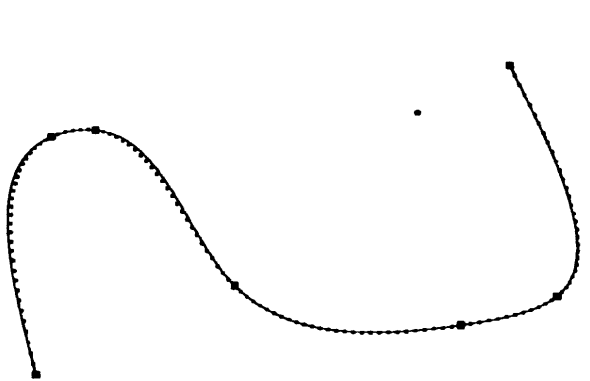
実線 : Ferguson spline

大四角点 : 固定点

小四角点 : (1) 式で決定

図 1 Ferguson spline と平滑化 operator の比較 1。

周期解。

(d) Case D. 131 点 ($\Delta s = 0.01$).

実線 : Ferguson spline

大四角点 : 固定点

小四角点 : (1) 式で決定

図 2 Ferguson spline と平滑化 operator の比較 2。

非周期解。

3. 船体表面 spline net の Implicit Geometrical Method による生成

前章で示したように、IGM の平滑化 operator による点列は spline curve と類似の性質を持っている。このため、IGM で生成した船体表面格子は spline net としても好ましい性質を有している。ここでは、IGM を用いて生成した船体まわりの spline net の例を示す。

3.1 オフセットデータによる船型表現

船型は、図3に示すように、離散的な x (船首尾) 方向の位置で与えられた点列とプロファイル (側面形状) 点列によって表現される。曲線は点列を通る Ferguson spline であり、この曲線が船型を定義すると仮定し、offset spline と呼ぶことにする。なお、図の船型はタンカーなどの肥大船型を模式的に表したものであり、実際の船型は船体中央平行部が長く、与えられるオフセット断面の数もずっと多い。図のデータは、特に形状が大きく変化する船首尾でオフセット断面がまばらであり、spline net 生成スキームの優劣がよりはっきり出るものとしている。

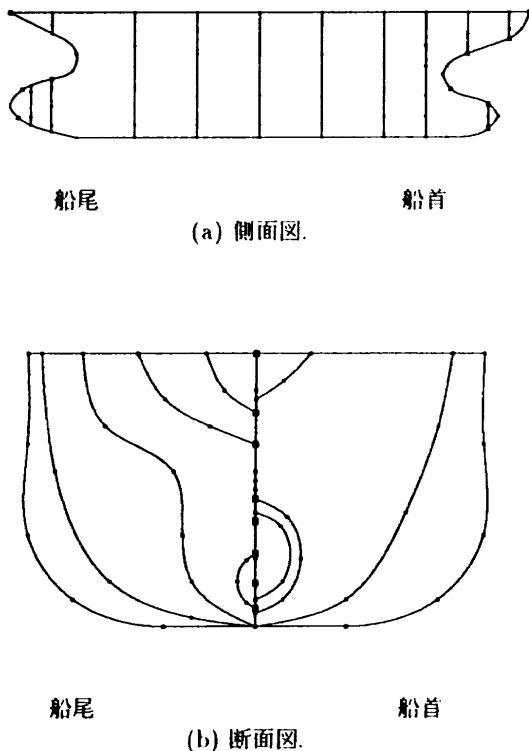


図3 オフセット点と内挿 Ferguson spline.

3.2 初期 spline net の生成

船首尾 profile 及び各 x 断面 spline を与えられた点の数に分割し、図4に示すように、対応する点列を結んで横方向の spline を生成する。これを horizontal spline とよぶことにする。

次に、各 horizontal spline を与えられた点の数に分割し結ぶことによって、図5(a)、(b)に示すように、spline net が生成される。(a)の側面図では明かでないが、(b)の正面図から船首尾で kink (曲線の折れ曲がり) があることが分かる。

Kink の影響は図5(c)に示す x (船首尾方向座標) = 一定断面での内挿曲線に一層顕著に現れる。なお、(c) 図中

に現れる小さな印の点は、horizontal spline と offset 断面との交点で、初期 spline net の場合は、当然、offset spline curve 上にある。

図5(d)は深さ方向の座標 z = 一定断面での内挿曲線で、やはり船首尾で kink の影響が現れている。

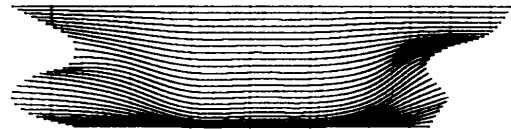
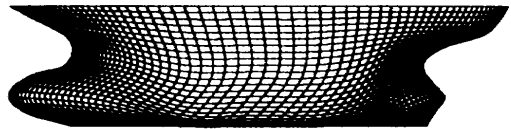
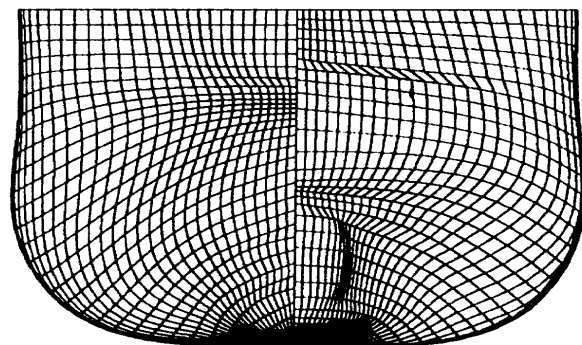


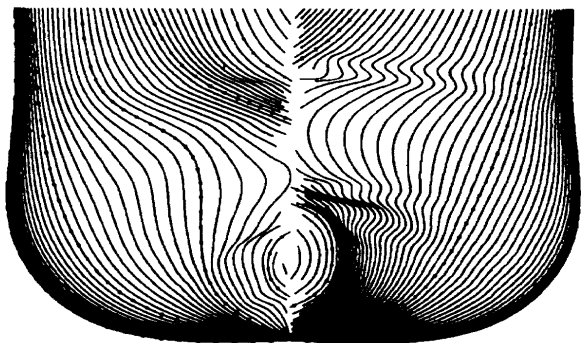
図4 Horizontal splines.



(a) 側面図.



(b) 正面図.



(c) x = 一定断面内挿曲線。 $\Delta x/L = 0.01$

点列: Horizontal spline とオフセット断面との交点

図5 初期 spline net.

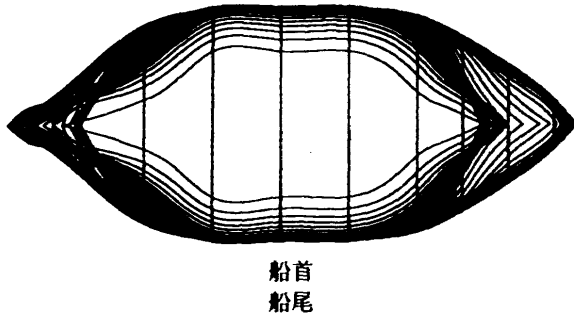


図 5(d) z (深さ方向座標)=一定断面内挿曲線。
 $\Delta z/L = 0.01$

3.3 IGM による spline net の変形

図 5 に示した初期格子から出発して、物体表面格子用 IGM によって直交性・平滑化・集中化・最小間隔の確保の要請を課して 100 ステップの変形を行った。各ステップでの処理は下記の通り。

- (1) IGM を用いて、各格子点で、物体表面の垂直方向の変位がゼロであるとの拘束条件を隠的に入れて、新しい格子点位置を求める。
- (2) 新しい格子点を横に結んで新たな horizontal spline を生成する。
- (3) 一般的に新たな horizontal spline は offset 断面位置で offset spline から僅かにずれるので、ずれが戻るように補正量を加える。なお、補正量も spline で定義され、得られた horizontal spline の滑らかさが確保される。

このようにして、各ステップで horizontal spline が船型を定義する offset spline から外れないようにする。

100 ステップ後の spline net を図 6 に示す。(a) 図が側面図、(b) 図が正面図である。初期 net に比べて滑らかになっており、直交性も改善されている。滑らかさの改善は、図 6(c) に示す x =一定断面での内挿曲線で一層顕著に現れる。また、図中に点列で示される horizontal spline と offset 断面との交点は、offset spline curve 上を保持しており、生成 spline net が与えられたオフセットデータに忠実であることを示している。図 6(d) は深さ方向の座標 z =一定断面での内挿曲線で、やはり滑らかである。

4. 今後の課題

IGM による生成 net は、滑らかになったが、船首尾で未だ改善の余地があるように見える。この原因はいくつか考えられる。

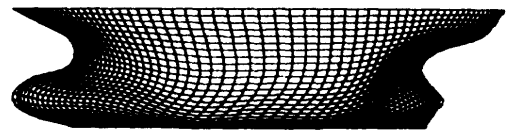
- (1) 与えられた offset データが十分滑らかなものではない。
- (2) 与えられた x 断面 offset 情報と profile offset 情報との間の consistency がとれていない。
- (3) 船首尾では船体形状が大きく変化するにも拘わらず、offset 情報が少なく、spline が暴れ易い。
- (4) 船首尾 profile 上の点は初期位置のまま固定されており、滑らかさを損なっている可能性がある。

以上の点を考慮して、今後下記の課題に取り組む予定である。

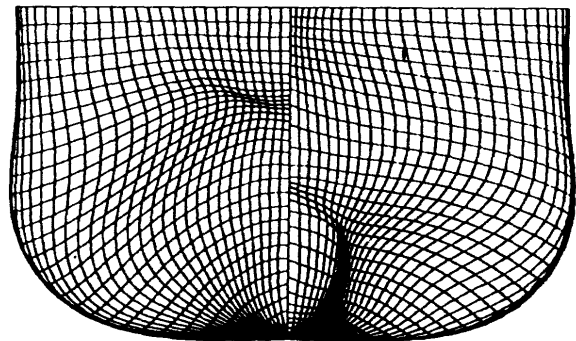
- (1) 滑らかさが保証された既存船型の offset データを入力して検討する。
- (2) 船首尾 profile 上の点を curve に沿って動けるようにする。
- (3) 平面等の表現を可能にする。

参考文献

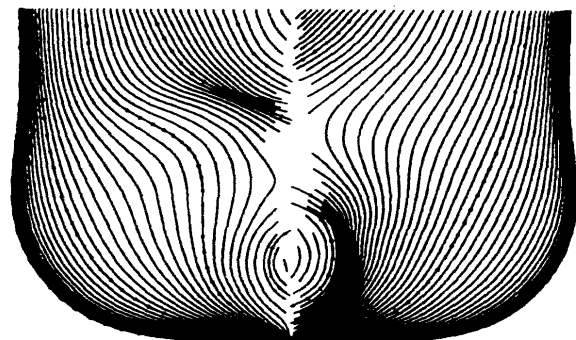
- [1] Kodama, Y.: "Generation of 2D, 3D and Surface Grids Using the Implicit Geometrical Method", AIAA 95-0218, 1995.
- [2] 三浦曜「CAD・CG 技術者のための NURBS 早わかり」、工業調査会、1994 年。



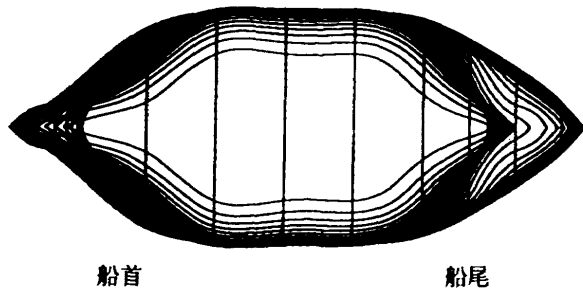
(a) 側面図



(b) 正面図



(c) x =一定断面内挿曲線。 $\Delta x/L = 0.01$
点列：Horizontal spline とオフセット断面との
交点



(d) z (深さ方向座標)=一定断面内挿曲線。 $\Delta z/L = 0.01$
図 6 IGM で 100 ステップの変形後の spline net.

