

二輪車用スタイリングCADシステム 「RAM」の開発

Development of Styling CAD System "RAM" for Motorcycles

渋井 和彦* 斎藤 久人*
Kazuhiko SHIBUI Hisato SAITOH

吉田 誠* 横田 勝成*
Makoto YOSHIDA Katsunari YOKOTA

要 旨

二輪車外観部品のマスタモデルや金型製作の工数削減と外観品質向上のために、複雑な意匠曲面形状や多機種・短期間開発に適合するスタイリングCADシステムを開発した。本システムはオブジェクト指向のデータ構造と処理アーキテクチャを基盤とする半自動曲面生成・修正機能により、クレイモデルの高速・高品質曲面データ化を実現した。この曲面データは二輪車開発の源流データとしてレイアウト設計やCAE解析にも活用され、三次元データ連動による開発効率向上に貢献している。

ABSTRACT

The styling CAD system capable of coping with a complex curved shape in a short term development of many models was developed to shorten a production period of master model and metallic mold for exterior parts of motorcycles, and to enhance their appearance. The high speed and high quality numerical data processing for curved surfaces of the clay model was realized by the semi-automatically forming and modifying method for curved shapes based on the data structure and processing architecture of object directional. The curved shapes data was also used for layout design and CAE analysis as basic data in motorcycle development, and contributes to enhance the development efficiency by linking three dimensional data.

1. まえがき

二輪車外観部品の金型基準となるマスタモデルは、クレイモデルに直接石膏を貼ることで反転型を作り、そこに樹脂を流し込む「石膏反転方式」により製作されていた。しかしこの方法では、石膏のひずみによる意匠形状の再現性の問題、左右対称部品の対称寸法精度や部品の合わせ誤差の発生など外観品質向上には限界があった。

このため、近年のコンピュータ技術の進歩に伴い、CADによりクレイモデルを曲面データ化し、NC加工でマスタモデル製作を行う「CAD線図方式」へと移行した。これにより、マスタモデルの品質向上は図られたものの、以下の新たな問題が生じた。

- ・データ化には多くの工数がかかり短期間の二輪車開

発日程に適用できない

- ・複雑な二輪車の外観形状を正確に数値データで表現するのが困難
- ・操作にはかなりのノウ・ハウが必要なため、専門知識を有する専任オペレータが必要

これらの問題を解決するため、複雑な二輪車の外観形状を容易に短時間でひずみや折れのない高品質な曲面の数値データ化ができる独自のスタイリングCADシステム「RAM」(Related Automatic Modeling)を開発した。

本稿では高速・高品質曲面データ化を実現するRAMの機能的特徴とシステム構造における自動計算アルゴリズムについて述べる。

*朝霞研究所

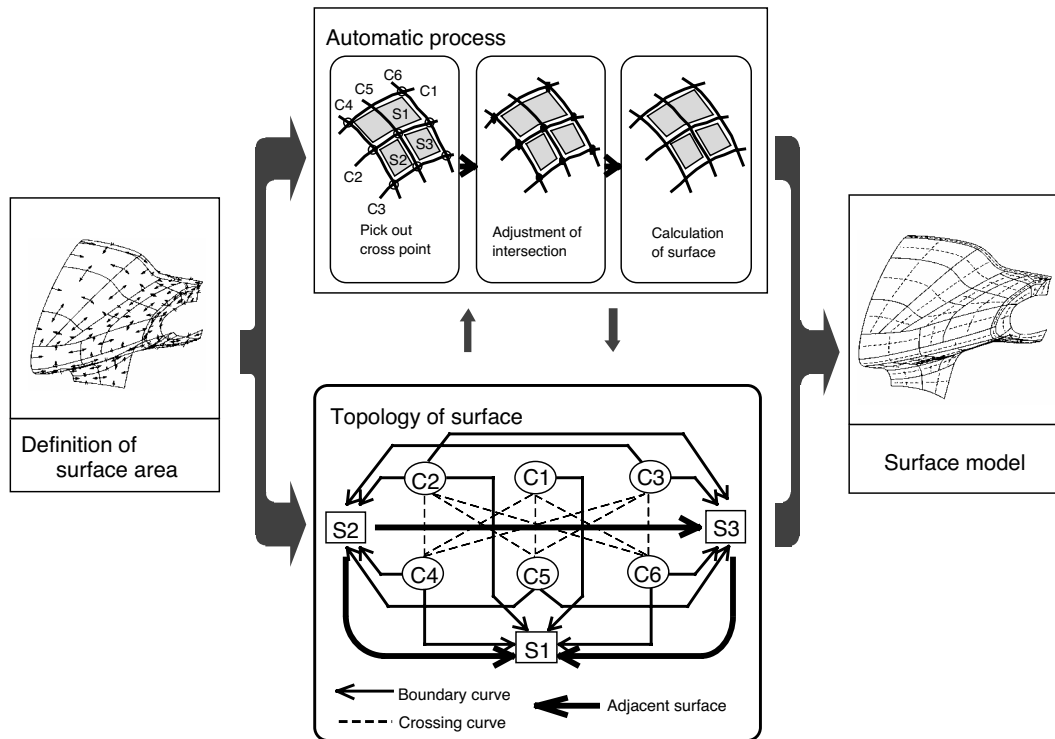


Fig.1 Automatic calculation process

2. システム要件

システム開発にあたり以下をその要件とした。

(1) 自動化処理

人間の意志を要する作業領域以外を徹底して自動化し、データ化に要する工数を削減する。

(2) 高精度な曲面表現

複雑な外観形状を高精度で表現できる曲面アルゴリズムを創出し、後工程のCAD/CAM/CAEシステムで利用可能な数式表現とする。

(3) 簡易操作性

効率的に配置された階層メニュー体系とユーザーにとって抵抗感の少ないGUI (Graphical User Interface) を提供する。

これらを基盤として

- ・ 三次元CADとして必要な汎用図形処理機能
- ・ 自由曲線と曲面の処理に特化したスムージング機能や曲面の評価および制御機能
- ・ データベースや各種インターフェース機能

をすべて包括することを本システム開発の目標とした。

3. 機能的特徴

3. 1. セミオートマチック曲面生成

曲面は通常四本の境界曲線から定義されるが、前提として各境界曲線は交差する頂点部分において“交る”ことが必要となる。しかし、クレイモデルの測定曲線は測定誤差を含んでいるため、曲面生成に必要なすべての曲線間の交点合致とそれにより生じる曲線形状のひずみの修正を事前に行う必要がある。特に、二輪車外観形状のような複雑な曲面は多くの細かな曲面単位で構成されるため、曲線前処理のための作業には多くの工数を要する。

RAMではFig.1に示すように、“曲面領域”の指定により部品単位で曲面構成のトポロジが内部データとして構築される。このデータを元に曲線前処理から曲面生成に至る全プロセスを一括自動処理することで、短時間での曲面データ作成を実現している。

3. 2. 曲面品質評価

作成された曲面は、以下の精度基準により品質が評

価される。

- ・元データ（クレイモデルの測定）に対し誤差内であること
- ・曲面内部にひずみ（不良変曲点）がないこと
- ・隣接する曲面間に“折れ”が無く滑らかに接続していること
- ・曲面全体でハイライトがきれいに通っていること

これらの評価は、曲面の断面曲線の曲率ベクトルか、Fig.2に示す“ZEBRA”と呼ばれる縞状のグラデーションにより曲面にレンダリング処理を施したCG画像により行う。ZEBRAは曲面法線の変位を連続的に表現するもので、曲面のひずみや、曲面間の接続部などの微小な折れを厳密に確認できる。また、リアルタイムにモデルを回転・拡大・縮小しながら画像表示できるので、効率的な形状評価作業が可能である。

3. 3. 高速曲面修正

品質評価基準を満たしていない曲面に対しては修正のための変更条件を指示する。これには大別して以下の三つの手法があり、指示された変更内容に応じて、既に内部データとして構築されている曲面構成トポロジを利用した曲面修正計算が行われる。



Fig.2 Surface evaluation by “ZEBRA”

（１）曲面設定領域の変更

正確な形状表現のためには適切な四辺領域の定義が必要であり、最適な曲面構成が得られるように設定領域を変更する。変更指示後は、曲面構成トポロジが自動再編成され、修正部の曲線前処理および曲面生成の自動計算が行われる。

（２）境界曲線形状の修正

曲線形状はそれを境界とする曲面品質に大きく影響する。RAMでは、曲線形状品質を判断する指標となる曲率ベクトルを表示しながら曲線をダイナミックに変形して、意図する形状へと修正することができる。

Fig.3に曲線の曲率ベクトルによる形状品質評価を示す。

修正後は、曲面構成トポロジが参照され、修正した曲線形状の影響を受ける交差曲線および曲面の抽出と一括自動修正計算が行われる。

（３）曲面のダイレクト修正

曲面計算時のパラメータを変更しリアルタイムに曲面形状を変更したり、ラバーバンド的に曲面形状をダイナミックに制御（押す／引っ張る等）することで微修正を行う。この場合は曲面構成トポロジの参照・自動再計算は行われないが、直接的に曲面形状を操作することで、曲面領域や境界曲線形状の変更では修正し

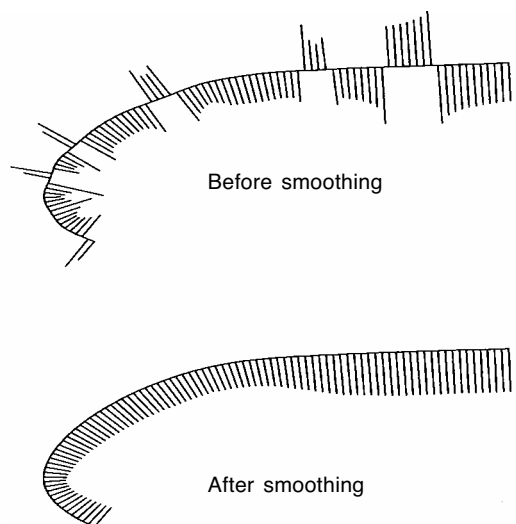


Fig.3 Curve evaluation by curvature vector

きれいな複雑な曲面のひずみや折れを減少させ、品質を高めることが可能である。

4. システム構造

4. 1. データ構造

曲面モデル一括自動計算および修正計算の際には、R (Relational) - S E Tと呼ばれるRAM独自のオブジェクト指向データベースが参照される。これは、

- ・曲線と曲面（設定領域）間のトポロジ情報
- ・曲線と曲面（設定領域）の属性情報
- ・曲線形状および曲面設定領域・形状データ

を一つの部品単位で構造化したものであり、曲面モデルの構成を表現し、すべてのプロセスにおけるデータ処理の単位となる。

Fig.4に示すようにR - S E Tの構成要素および構造は大きく分類すると以下になる。

①C-node index/Parameter

全曲線とその属性情報の管理(Index)と各曲線—交差曲線関係(Parameter/C-topology)および各曲線—境界使用曲面関係(Parameter/S-topology)の管理・制御を行う。

②S-node index/Parameter

全曲面とその属性情報の管理(Index)と各曲面—境界曲線関係(Parameter/C-topology)および各曲面—隣接曲面関係(Parameter/S-topology)の管理・制御を行う。

③各Curve geometry

④各Surface geometryまたは曲面設定領域

これらの各データ要素は*refおよび*fehdパラメータにより互いにアドレス連鎖されており、いかなるkey情報からでも必要なデータを高速走査することが可能である。また、①C-nodeおよび②S-nodeにおける関係表現により曲線・曲面（領域）の各図形要素がモデル構成情報として関連付けられ、自動計算時に処理の対象図形と制御情報が抽出される。

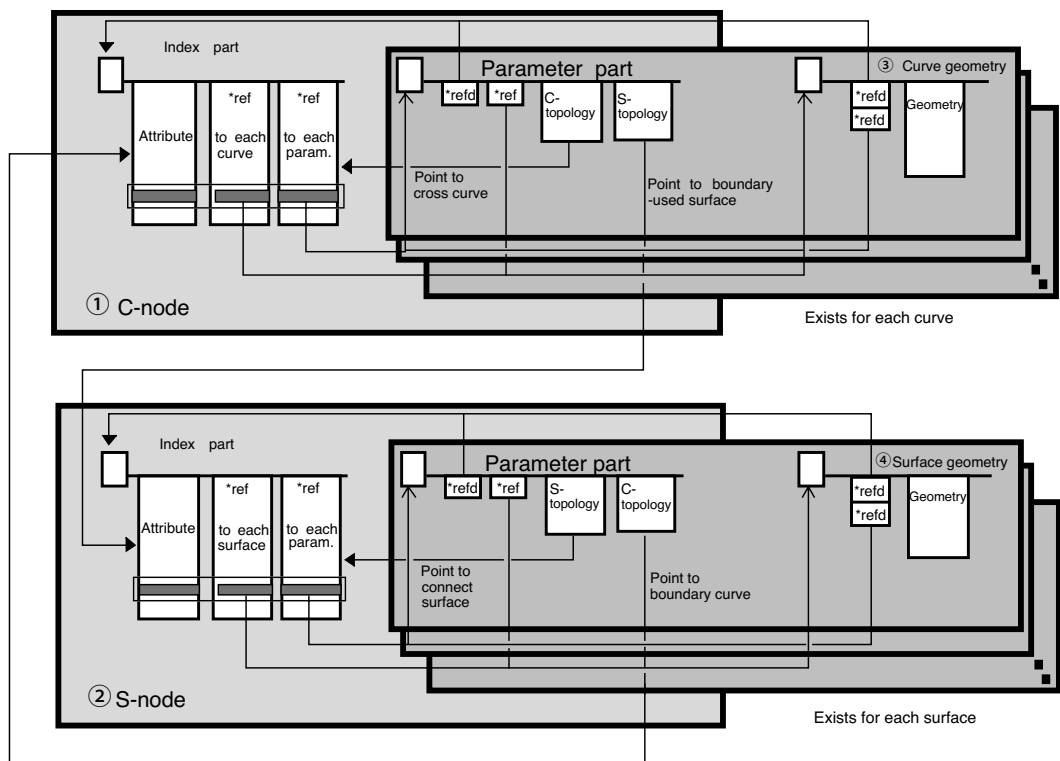


Fig.4 Structure of R-SET

4. 2. 自動計算アルゴリズム

曲面の一括自動計算のフローチャートをFig.5に示す。ここでは①～③が曲線処理プロセス、④～⑥が曲面生成プロセスとなる。

ステップ②では、クレイモデルの断面形状を表すセクション線はその平面的特性を維持するよう通過点が決定される。これは三次元的な曲線形状のひずみによる曲面形状への悪影響を防ぐためである。

また、ステップ③の曲線形状変更では、全体的規模での形状制御により曲率傾向変動を最小化している。

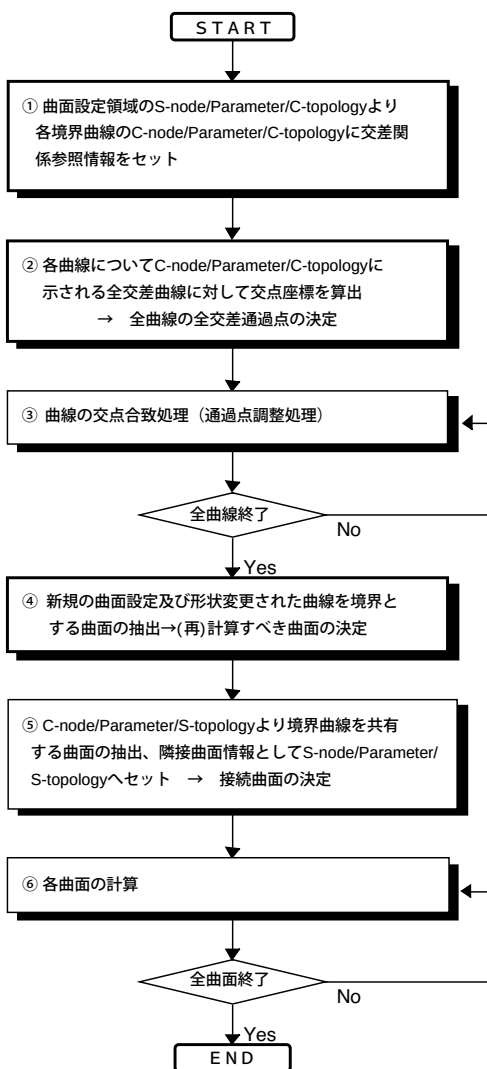


Fig.5 Flow chart of automatic calculation

4. 3. 曲面計算ロジック

曲面・曲線表現にはNURBS (Non-Uniform Rational B-Spline)を採用した。

NURBS曲面 $Q(u, v)$ は次式で表される^{1)、2)}。

$$Q(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^{Nu-1} \sum_{j=0}^{Nv-1} w_{i,j} \cdot Q_{i,j} \cdot N_{i,Mu}(u) \cdot N_{j,Mv}(v)}{\sum_{i=0}^{Nu-1} \sum_{j=0}^{Nv-1} w_{i,j} \cdot N_{i,Mu}(u) \cdot N_{j,Mv}(v)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$Q_{i,j}$: 制御点 ($i=0, \dots, Nu-1, j=0, \dots, Nv-1$)

$w_{i,j}$: ウェイト ($i=0, \dots, Nu-1, j=0, \dots, Nv-1$)

Mu, Mv : U, V 方向の階数

$U=[u_0, u_1, \dots, u_{Nu+Mu-1}]$: U 方向ノットベクトル

$V=[v_0, v_1, \dots, v_{Nv+Mv-1}]$: V 方向ノットベクトル

$N_{k,m}(t)$: $T=[t_0, \dots, t_n]$ をノットベクトルとする

Bスプライン関数

$$N_{k,0}(t) = \begin{cases} 1 & (\text{if } t_k \leq t < t_{k+1}) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

$$N_{k,m}(t) = \frac{u - u_k}{u_{k+m} - u_k} N_{k,m-1}(t) + \frac{u_{k+m+1} - u}{u_{k+m+1} - u_{k+1}} N_{k+1,m-1}(t)$$

NURBSを選択した理由は

- ・ 区分的多項式表現のため局所形状操作性に優れていること
 - ・ フィレット曲面のような断面が円弧形状となる曲面を少ないデータ量で正確に表現できること
 - ・ 数学的幾何処理アルゴリズムが確立しており汎用性があること
 - ・ Open GLやPHIGSなどのグラフィックス・ライブラリが標準でサポートしていること
- などがあげられる。

境界曲線からNURBS曲面を生成するフローチャートをFig.6に示す。

ステップ②では元の境界曲線に対して1/100以下の誤差で再編成が行われ、 U, V 各ノットベクトル

$$U=[u_0, u_1, \dots, u_{Nu+Mu-1}], V=[v_0, v_1, \dots, v_{Nv+Mv-1}]$$

$$(0 \leq u_i, v_j \leq 1)$$

が決定される。

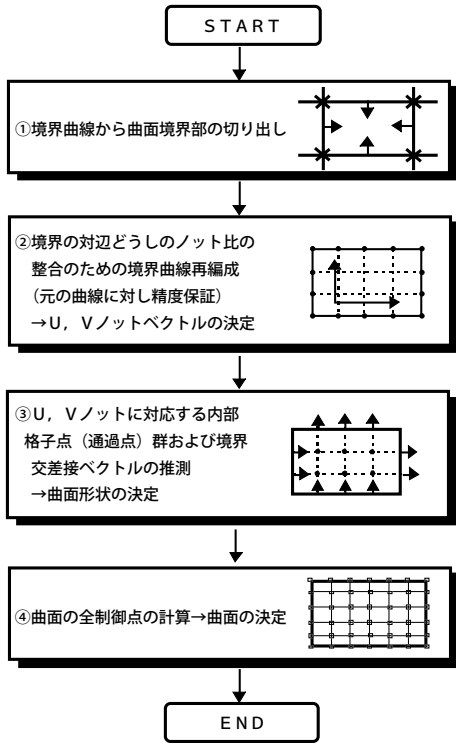


Fig.6 Flow chart of surface calculation

ステップ③では、四辺形の形状に応じて以下の

(a) または (b) の内部補間形式³⁾を仮定し

$$Q(u_i, v_j), Q(u_0, v_j), Q(u_1, v_j), Q(u_i, v_0), Q(u_i, v_1)$$

(Q_u, Q_v はそれぞれ u, v 方向の接ベクトルを表す)

を決定する。

(a) 三次Hermite補間関数

$$H_{0,0}(t) = (t-1)^2(2t+1)$$

$$H_{0,1}(t) = t^2(3-2t)$$

$$H_{1,0}(t) = t(t-1)^2$$

$$H_{1,1}(t) = (t-1)t^2$$

による双三次Coonsマトリックス形式

$$Q(u, v) = \begin{bmatrix} H_{0,0}(u) & H_{0,1}(u) & H_{1,0}(u) & H_{1,1}(u) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Q(0,0) & Q(0,1) & Q_v(0,0) & Q_v(0,1) \\ Q(1,0) & Q(1,1) & Q_v(1,0) & Q_v(1,1) \\ Q_u(0,0) & Q_u(0,1) & Q_{uv}(0,0) & Q_{uv}(0,1) \\ Q_u(1,0) & Q_u(1,1) & Q_{uv}(1,0) & Q_{uv}(1,1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_{0,0}(v) \\ H_{0,1}(v) \\ H_{1,0}(v) \\ H_{1,1}(v) \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (2)$$

(Q_{uv} は相互偏導関数でtwist vectorと呼ぶ)

この第二マトリックスの成分はステップ②で決定された境界曲線より求める。

(b) $C_0=(0,0), C_1=(P_x, P_y) (0 \leq P_x, P_y \leq 1), C_2=(1,1)$ を制御点とする (x, y) 座標系における階数3のBスプライン曲線

$$B(t) = \sum_{j=0}^2 N_{j,3}(t) \cdot C_j \quad \dots\dots\dots (3)$$

を x を定義域とする関数 $By(x) (0 \leq x \leq 1)$ と考え、これより定義される u, v 各パラメータについての関数を By_u, By_v (ブレンディング関数)として次式で表される。

$$Q(u, v) = \begin{bmatrix} 1 - By_u(u) & By_u(u) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q(0, v) \\ Q(1, v) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Q(u, 0) & Q(u, 1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 - By_v(v) \\ By_v(v) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 - By_u(u) & By_u(u) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q(0,0) & Q(0,1) \\ Q(1,0) & Q(1,1) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 - By_v(v) \\ By_v(v) \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式(2)は矩形に近い整った四辺形の場合に隣接面と滑らかに接続する曲面が得られる。また式(4)は、(P_x, P_y)の変更による形状の操作性に優れた特性をもつため、鋭／鈍角の頂点を有するひずんだ四辺形でも良質な曲面を生成することが可能である。

最後のステップ④ではテンソル積補間曲面⁴⁾により、最終的に次のマトリックスの関係式を導く。

$$P = MQ \quad \dots\dots\dots (5)$$

Q : 全制御点 $Q_{i,j}$ (未知数) マトリックス

P : ステップ③で求めた格子点群および接ベクトルによるマトリックス

M : ステップ③で求めた格子点群および接ベクトル条件を満たすための U, V 方向への曲線補間により得られるBスプライン関数値マトリックス

これより

$$Q = M^{-1}P \quad \dots\dots\dots (6)$$

を解くことで曲面制御点を決定する。

こうして求めた制御点ベクトルは容易に微調整することができる。制御点 $Q_{i,j}$ を変更した場合の影響領域は

$$u_i \leq u < u_{i+Mu}, \quad v_j \leq v < v_{j+Mv}$$

に限られるため、局所的な形状制御が可能である。

5. 適用例と効果

新型スクータJoker (Fig.7) にRAMを実務適用した例をFig.8に示す。

Jokerの場合、全外観部品の曲面数は700面以上に及ぶが、これは四輪車ボディの平均的曲面数の倍以上に相当する。複雑な二輪車外観形状を正確に表現するためには、それだけ多くのデータ量が必要となる。

また、Fig.9にはJokerのフロントフェンダを例に

各作業工程での工数比較を示す。従来のCAD線図方式と比較すると全工程でデータ化工数の約60%の低減が図られた。



Fig.7 Exterior view of HONDA Joker

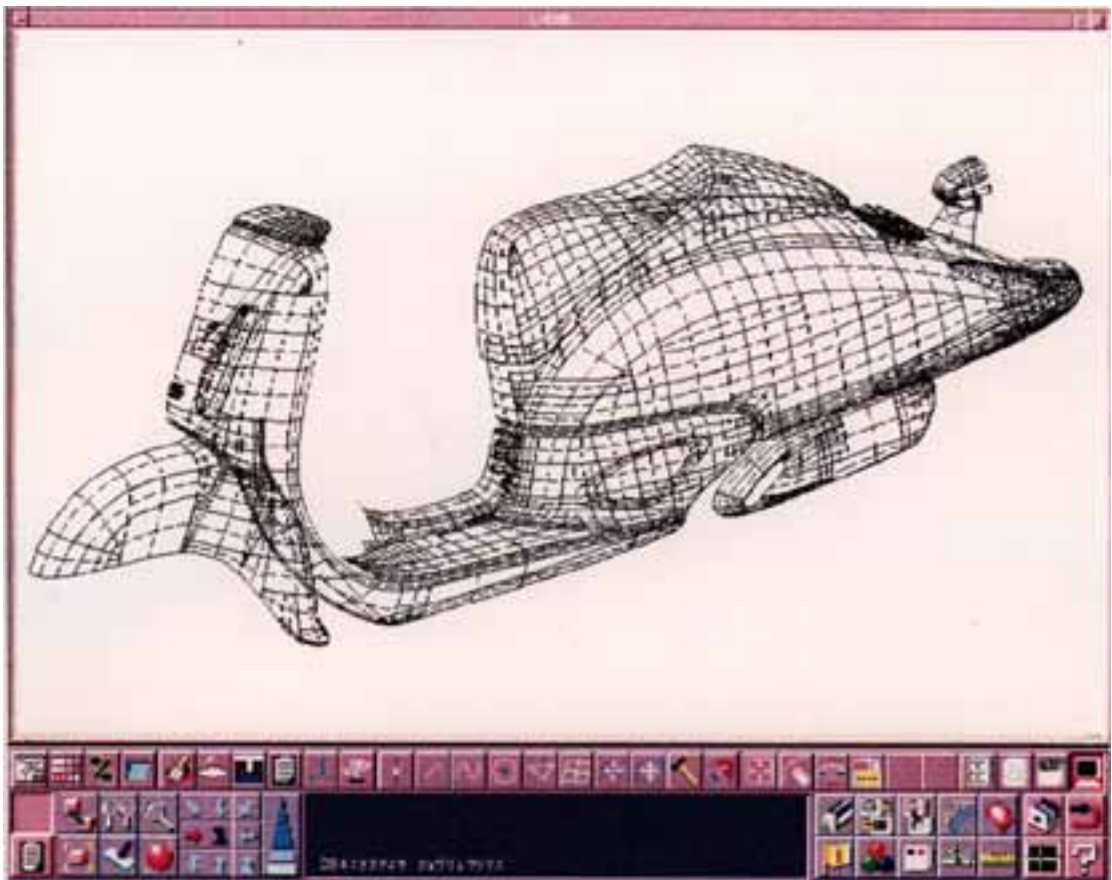


Fig.8 Surface model by RAM

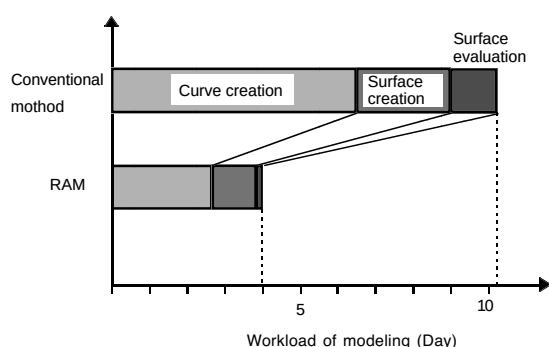


Fig.9 Comparison of workload

このように高速・高品質曲面データ化が可能になったため、開発機種の全外観部品にRAMが適用され、以下の効果を得た。

- (1) マスタモデル製作工数の削減と品質の大幅向上
- (2) 金型直彫り可能な高品質データ支給による金型製作コスト・工数の削減
- (3) レイアウト設計や樹脂流動・空力などのCAE解析へのデータ活用による図面の初期熟成

6. 結論

二輪車開発におけるスタイリングCADシステム「RAM」の成果は以下のとおりである。

- (1) オブジェクト指向のデータ構造と処理アーキテクチャにより、曲面データ作成および修正作業の大半を自動化し、高速データ作成が可能となった。
- (2) 独自アルゴリズムのNURBS曲面は、複雑な形状の高精度なデータ化を実現した。特に、ブレンド関数や制御点の変更による優れた曲面制御性は、微妙な形状修正を容易にし、短時間でデータの品質向上を実現した。
- (3) シンプルな機能体系と使いやすいGUIデザインにより、曲面データ作成作業の簡易化が計られた。

今後は、高品質な曲面データ作成のさらなる高速化のために、クレイモデルの粘土感覚で自在に曲面をデザイン（形状制御）できるアナログ的手法と曲面精度を保証するデジタル技術とのハイブリッド化が研究課題と考える。

参考文献

- 1) L.Piegl and W.Tiller, 「Curve and Surface Constructions Using Rational B-Splines」, Computer Aided Design, Vol.19, No.9, Nov.1987, pp.485-498
- 2) W.Tiller, 「Geometric Modeling Using Non-uniform Rational B-Splines:Mathematical Techniques」, Siggraph tutorial notes, ACM, New York, 1986
- 3) 山口富士夫, 「形状処理工学 [I] 」, 日刊工業新聞社、1982
- 4) G.Farin, 「Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design」, Academic Press, Inc., pp.228-231, 1990

■ 著 者 ■



伊井 和彦



斎藤 久人



吉田 誠



横田 勝成