一般口演 5

歯牙滑走運動経路の機能印象を用いた咬合器シミュレータの自動調整

Automatic Adjustment of a Virtual Articulator Using Functional Impression of Tooth-Glide Trajectory

○丸山智章*, 中村康雄**, 林 豊彦***, 風間龍之輔***, 加藤一誠***

Tomoaki MARUYAMA*, Yasuo NAKAMURA**, Toyohiko HAYASHI***,
Ryunosuke KAZAMA***, Kazumasa KATO***

*新潟大学大学院自然科学研究科, **新潟大学工学部福祉人間工学科,
***松本歯科大学総合歯科医学研究所

** Graduate School of Science and Technology, Niigata University,*

*** Department of Biocybernetics, Faculty of Engineering, Niigata University,*

**** Institute of Oral Science, Matsumoto Dental University*

I. 目的

歯科補綴物の製作工程の簡単化と製造品質の均一化を目的として、その設計・製作のCAD/CAM化が進められている。しかし、市販の歯科用CADシステムは、必ずしも詳細には咬合面設計ができないという問題が残っている。その解決のために我々は、簡単な操作でかつ咬合面の詳細設計ができる歯科用3次元CADシステム”Vocs-1B”の開発を進めている。そのために先行研究では、咬合器の数値シミュレーション（土田，1999）¹⁾や上下歯列間の離開量を用いた咬合接点の設計支援（丸山，2004）²⁾などに取り組んできた。残る重要課題のひとつに、患者個人に合わせた咬合器の調整がある。

咬合面の設計には、咬頭嵌合位だけでなく、患者固有の歯牙滑走運動を考慮しなければならない。そこでVocs-1Bには、まず咬合器の数値シミュレーションで滑走運動を再現する機能を与えた¹⁾。しかし、咬合器の調節機構は平均値に設定されていた。残る課題は、患者固有の顎運動に合わせた調整機構の設定である。そこで本研究では、咬合器の調節機構を、前方滑走運動の機能印象を使って自動調節するVocs-1Bのサブシステムの開発を目的とする。

II. 方法

Vocs-1B 内蔵の咬合器シミュレータを用いれば、対合歯列の歯牙滑走運動を算出できる。この運動中に歯列が存在した空間の3次元形状、すなわち運動経路の外形は、歯列形状と咬合器パラメータ（矢状切歯路角 I 、矢状顎路角 C ）によって決まる。これらのパラメータの値を最適化するためには、患者の前方滑走運動経路形状を印象採得し、その形状とシミュレートされた運動経路形状ができるだけ一致するように、 I と C の値を決定すればよい。そこでVocs-1Bでは、患者から採得した運動経路形状を入力し、上記の方法で咬合器を自動調整するサブシステムを試作した。

運動経路形状の重ね合わせには、長谷川ら³⁾の方法を用いた。このような3次元形状マッチングは一般に最適化問題となり、その評価関数はいくつかの局所最適解をもつことが多い。それを避けるために長谷川らは、確率的最適化手法を用いた。

最適化の評価関数について述べる前に、2つの運動経路形状の“近接度”と“食い込み度”の2指標を定義する。まず近接度について述べる。患者より採得した経路形状を S_m 、顎運動シミュレーションにより作成した経路形状を $S_v(I, C)$ とする。 S_m 上の任意の点 $P \in S_m$ に対して、その点 P と $S_v(I, C)$ との最短距離を対応付ける距離写像を

図1 前方滑走運動時の経路形状（ノイズなし）
(a) 経路形状データ, (b) 経路形状データと上顎歯列との位置関係（咬頭嵌合位）

$D(P)$ とする. その $D(P)$ が $\alpha \geq D(P) \geq 0$ を満たす点 P の集合, すなわち S_m の部分集合を考える (α は閾値パラメータ). この部分集合は一般に閉領域を含むため, その面積を $s^+(\alpha)$ とし, “近接度”と呼ぶ. 次に食い込み度について述べる. 両形状を接近すると一部が互いに食い込むようになる. $S_v(I, C)$ の内部に存在する点 $P \in S_m$ の集合, すなわち S_m の食い込み部分を $A \subseteq S_m$ とする. その領域内で $D(P) / \beta$ を二乗積分し,

$$s^-(\beta) = \int_A (D(P) / \beta)^2 dP \quad (1)$$

とする. ここで β は $D(P)$ の規格化パラメータである. この $s^-(\beta)$ の値を“食い込み度”と呼ぶ. 最後に最適化のための評価関数 $J[I, C | \alpha, \beta]$ について述べる. 2つの経路形状が最大面積で重なり合うとき, $s^+(\alpha)$ は最大となり, $s^-(\beta)$ は最小となる. そこで, 重ね合わせの程度を s^+ と s^- の差:

$$J[I, C | \alpha, \beta] = s^+(\alpha) - s^-(\beta) \quad (2)$$

で評価する.

提案したサブシステムの有効性を確認するために, シミュレーション実験を行った. 実験データは, 上顎右側臼歯部 (第2小臼歯, 第1大臼歯) のサーフェスモデル (Bezierパッチ表現) とした. Bezier曲面の次数は, 大臼歯で 4×8 次, 小臼歯で 4×4 次, 曲面パッチの枚数は, 上顎第一大臼歯で6枚, それ以外の大臼歯および小臼歯で4枚とした. 咬合器と歯列との位置関係は, 実際に歯列模型を咬合器に装着して計測した.

まず, 咬合器シミュレータの調節機構を $I = 38.0 [^\circ]$, $C = 38.0 [^\circ]$ に設定し, 4 mm前方滑走運動をさせ, 運動経路形状 S_m を作成した (図1). ノイズの影響を調べるために, S_m のすべての点 P にガウシアン・ノイズ (SD = 0.1 mm) を加えたモデルも作成した. この2つの S_m をサブシステムに入力し, 咬合器パラメータを決定した. 評価関数 J を最大にする $\{I, C\}$ の探索にはシンプレックス法を用いた. I と C の初期値はともに $38.0 [^\circ]$ とし, 評価関数のパラメータは, $\alpha = 0.2 [\text{mm}]$, $\beta = \alpha / 3 [\text{mm}]$ とした.

図2 評価関数 J の分布（ノイズあり）

III. 結果および考察

ノイズを加えない場合, 咬合器の調節機構の値は矢状切歯路角 $I = 38.00 [^\circ]$, 矢状顆路角 $C = 38.00 [^\circ]$ となり ($J = 800.7 [\text{mm}^2]$), 加えた場合は, $I = 38.65 [^\circ]$, $C = 38.18 [^\circ]$ となった ($J = 473.6 [\text{mm}^2]$). 探索時間とともに20秒であった. ノイズを加えたときの評価関数 J の2次元分布を図2に示す (I と C の分解能は $0.1 [^\circ]$, 等高線間隔は $10.0 [\text{mm}^2]$).

評価関数 J は, 今回加えたノイズレベル程度では最適解以外に局所最適解をもたず (図2), 単峰性の分布を維持した. そのためパラメータの真値からの誤差は $\Delta I = 0.65 [^\circ]$, $\Delta C = 0.18 [^\circ]$ に過ぎなかった. 従って, 最適解は加法性ノイズによる影響は少ないものと考えられる. 以上より, 提案した方法を用いれば, 運動経路の機能印象データから咬合器パラメータを自動調整できる可能性が示唆された. 今後の課題は, 実際に採得した歯牙の運動経路形状を用いて実験することである.

IV. 文献

- 1) 土田淳, 林豊彦, 加藤一誠: 咬合器シミュレーションを用いた咬合面設計支援システム, 信学技報, MBE99-109, pp.45-52, 1999.
- 2) 丸山智章, 中村康雄, 林豊彦, 加藤一誠: 歯科CADシステムにおける咬合接触点の最適化支援, 第25回バイオメカニズム学術講演会 SOBIM2004 講演予稿集, pp.81-84, 2004.
- 3) 長谷川英司, 林豊彦, 藤村哲也, 宮川道夫: 確率的最適化手法を用いた上下顎歯列形状データのかみ合わせアルゴリズム, 信学技報, MBE95-120, pp.69-74, 1995.