半調節性咬合器の運動経路に関する理論的研究

第1報 運動経路の式

舟 久 保 太

Theoretical Studies on the Movement Paths of Semi-adjustable Articulators

Part 1. Equations of Movement Paths

Takashi Funakubo

<目 次>

I. 緒 言

II. 咬合器におけるコンダイラー・ガイダンスの調節角 と立体解析幾何学における角度表現の関係

1. スロット型コンダイラー・ガイダンスの調節角の
三角関数と方向余弦の関係
2. ボックス型コンダイラー・ガイダンスの調節角の
三角関数と方向余弦の関係
3. 投射角の三角関数と方向余弦の関係
4. 実角の三角関数と方向余弦の関係

III. 咬合器の側方運動経路の式

1. コンダイラー・スロット様式, ハノー・H-2型咬
合器の側方運動経路の式
2. アルコン・ボックス様式, ハノー・テレデザイン咬
合器の側方運動経路の式
3. アルコン・スロット様式, ハノー・ユニバーシテ
ィ・130-28型咬合器の側方運動経路の式

IV. 咬合器の前方運動経路の式

1. コンダイラー・スロット様式, ハノー・H-2型咬
合器の前方運動経路の式
2. アルコン・ボックス様式, ハノー・テレデザイン咬

合器の前方運動経路の式

3. アルコン・スロット様式, ハノー・ユニバーシテ
ィ・130-28型咬合器の前方運動経路の式

V. 任意点の運動経路の式

1. 顎頭間軸上の任意点の運動経路の式
2. 咬合器上の任意点の運動経路の式

VI. 考察, 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11.

VII. 結 論

文 献

I. 緒 言

歯科補綴診療では審美性と機能性を回復し、口腔諸組織の健康を増進させるために、種々な人工物を用いて咬合を再構成する。そこで、この分野では古くから種々な咬合器が考案され使用されてきた¹⁾。近年、歯学の進歩にとともに、人間の顎運動経路を機械的に再現する意味での咬合器の重要性がますます強調されている。現在、顎運動経路を再現する咬合器は、その再現性から平均値咬合器、半調節性咬合器および全調節性咬合器と大きく三つに分類されている。そのなかで、半調節性咬合器は、顎運動経路再現要素のうち特に平衡側顆路要素がかなり調節し得るので、平均値咬合器よりは応用範囲が広く、取扱いも全調節性咬合器に比べて容易であるため広く用いられている。しかしながら、半調節性咬合器においてその調節機構を十分活用したとしても、顎運動経路の完全なる再現は不可能であるといわれている²⁻⁵⁾。したがって、半調節性咬合器の選択および使用

東北大学歯学部歯科補綴学第2講座(主任・指導:根本一男教授)

Second Department of Prosthetic Dentistry, School of Dentistry, Tohoku University (Chief and Director: Prof. Kazuo Nemoto)

昭和52年8月24日受付

にあたって、術者は十分に半調節性咬合器固有の運動として患者の顎頭点が存在する咬合器の顎頭間軸上の点および歯牙の位置に相当する任意点の運動経路、運動方向を示す接線、移動距離、回転軸または回転中心点などを熟知していなければならない。

従来、咬合器固有の運動に関する理論的な研究として Weinberg⁶⁻⁹⁾、野村¹⁰⁾、長谷川^{11,12)}等の業績がある。また、実際の側方咬合位における咬合器の顎位再現性に関する研究として野村²⁾、真柳³⁾、長谷川⁹⁾等の業績がある。これらの研究方法は、二つの顎位を利用する方法と多数の顎位を利用する方法に大別される。前者の場合、簡便さにおいて優れる方法であるが、点としての2点以外の運動経路が不明となる。後者は顎位を増し、立体解析幾何学的方法を用いて、咬合器や下顎運動経路を2点を結ぶ直線の集積として解析するので、精度は前者に比べれば高くなる。しかしこの方法によって、上述の運動経路、運動方向を示す接線、移動距離、回転軸または回転中心点等に関する解析精度をさらに高めるためには、顎位を無限に増やさねばならず、これは不可能である。

そこで著者は理論的な精度を高めるため、従来の立体解析幾何学的方法を用いて、咬合器固有の運動経路をあらわす方程式（以下これを経路の式と呼ぶ）を導き、これに微分幾何学を適用することを検討した。この論文では、咬合器の顎頭部とインサイザル・ピンの運動経路を調節する角度の三角関数と立体解析幾何学で用いられる方向余弦および方向比の関係を明らかにし、この関係を用いて半調節性咬合器の重要と考えられる点に関して、微分幾何学適用可能な経路の式を導いたので、これについて報告する。

II. 咬合器におけるコンダイラー・ガイダンスの調節角と立体解析幾何学における角度表現の関係

半調節性咬合器のコンダイラー・ガイダンスは直線であつて、水平面に対する矢状方向の傾斜角と矢状面に対する側方への傾斜角を調節することによって、この直線の立体的な方向が変化する。そしてこのコンダイラー・ガイダンスの方向を調節する機構が直線的なスロットになつていて、その中を顎頭球が動くものがスロット型コンダイラー・ガイダンス¹³⁾であり、コンダイラー・ハウジングと呼ばれる金属の浅い箱型になつていて、全体を傾けたり回転板によって顎頭球の運動方向を制御するものがボックス型¹³⁾コンダイラー・ガイダンスである。こ

れらの咬合器では、スロット型であつてもボックス型であつても、コンダイラー・ガイダンスの前後方向の角度は矢状傾斜角度で、側方の角度は側方傾斜角度である。しかし、このコンダイラー・ガイダンスの角度は矢状方向と側方方向およびスロット型咬合器とボックス型咬合器では、同じ表現であつてもその内容が異なっている。スロット型咬合器では矢状方向の傾斜角はコンダイラー・ガイダンスが水平面となす実角であり、その角度が目盛してある。これに対して側方の傾斜角はコンダイラー・ガイダンスが矢状面となす角の水平面への投射角であつて、その角度が目盛してある（図1）。一方、ボックス型咬合器ではこれと全く反対の関係となり、矢状方向の傾斜角はコンダイラー・ガイダンスが水平面となす角の矢状面への投射角であり、側方への傾斜角は矢状面

図1 スロット型コンダイラー・ガイダンスの調節角

α : 矢状傾斜角度（実角）
 β : 側方傾斜角度（投射角）

図2 ボックス型コンダイラー・ガイダンスの調節角

α : 矢状傾斜角度（投射角）
 β : 側方傾斜角度（実角）

とコンダイラー・ガイダンスのなす実角であり、それぞれが目盛してある (図 2)。

そこで、コンダイラー・ガイダンスを図 1 および図 2 の三次元空間における原点から P 点 (x, y, z) までの直線 ($\overline{OP}$) とすれば、①、Ⅱ 式となる。

$$\frac{x}{u} = \frac{y}{v} = \frac{z}{w} \dots\dots\dots ①, \text{Ⅱ}$$

この式の u, v, w は方向比で次のような変換式②、Ⅱ によつて、①、Ⅱ 式は ③、Ⅱ 式としても表わされる。

$$\left. \begin{aligned} \cos \lambda &= \frac{u}{d} & \cos \mu &= \frac{v}{d} & \cos \nu &= \frac{w}{d} \\ d &= \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ②, \text{Ⅱ}$$

$$\frac{x}{\cos \lambda} = \frac{y}{\cos \mu} = \frac{z}{\cos \nu} = t \dots\dots\dots ③, \text{Ⅱ}$$

③、Ⅱ 式の $\cos \lambda, \cos \mu, \cos \nu$ は直線 $\overline{OP}$ の方向余弦で、 $\cos^2 \lambda + \cos^2 \mu + \cos^2 \nu = 1$ であり、 λ, μ, ν は図 3 に示すように $\overline{OP}$ と X, Y, Z 軸がなす角度である。t は原点から $\overline{OP}$ 上の任意点までの有向距離¹⁴⁾である。立

図 3 方向余弦を表わすための角度

図 4 投射角

体解析幾何学において、直線と平面に関する数学的処理の多くは①、Ⅱ 式および③、Ⅱ 式で示した方向比や方向余弦を用いて行われる。そこで咬合器で表現されている調節角と運動経路の関係をこれらの式を用いて検討するために、コンダイラー・ガイダンスの調節角の三角関数と方向余弦との関係をまず明らかにする必要がある。次いで、解析結果は投射角 (図 4) または実角 (図 5) で示されるから、方向余弦とこれらの関係を明らかにすれば図 6 のようになる。

1. スロット型コンダイラー・ガイダンスの調節角の三角関数と方向余弦との関係

スロット型コンダイラー・ガイダンスの調節角の三角関数と方向余弦の間には、 $\overline{OP}=1$ とすれば次の関係式が成立する。コンダイラー・ガイダンスの矢状傾斜角度を α 、側方傾斜角度を β とすれば、図 1 および図 3 から

$$\left. \begin{aligned} \cos \lambda &= \overline{OA} = \cos \alpha \cos \beta \\ \cos \mu &= \overline{OB} = \overline{OP}_h \sin \beta = \cos \alpha \sin \beta \\ \cos \nu &= \overline{OC} = \sin \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ④, \text{Ⅱ}$$

となる。

2. ボックス型コンダイラー・ガイダンスの調節角の三角関数と方向余弦の関係

ボックス型コンダイラー・ガイダンスの調節角の三角関数と方向余弦の間には、 $\overline{OP}=1$ とすれば次の関係式が成立する。コンダイラー・ガイダンスの矢状傾斜角度を α 、側方傾斜角度を β とすれば、図 2 および図 3 から、

図 5 実角

図 6

$$\left. \begin{aligned} \cos \lambda &= \overline{OA} = \cos \alpha \cos \beta \\ \cos \mu &= \cos (\pi/2 - \beta) = \sin \beta \\ \cos \nu &= \overline{OC} = \sin \alpha \cos \beta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑤, \text{ II}$$

となる。

3. 投射角の三角関数と方向余弦の関係

投射角の三角関数と方向余弦の間には、 $\overline{OP}=1$ とすれば次の関係式が成立する。コンダイラー・ガイダンスの矢状面、水平面、前頭面への投射角をそれぞれ ρ , σ , τ とすれば、図3および図4から

$$\left. \begin{aligned} \tan \rho &= \cos \nu / \cos \lambda (=w/u) \\ \tan \sigma &= \cos \mu / \cos \lambda (=v/u) \\ \tan \tau &= \cos \nu / \cos \mu (=w/v) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑥, \text{ II}$$

となる。

4. 実角の三角関数と方向余弦の関係

実角の三角関数と方向余弦の間には、 $\overline{OP}=1$ とすれば次の関係式が成立する。コンダイラー・ガイダンスが水平面、矢状面、前頭面となす角度を ρ' , σ' , τ' とすれば、図3および図4から

$$\left. \begin{aligned} \sin \rho' &= \cos \nu \\ \sin \sigma' &= \cos \mu \\ \sin \tau' &= \cos \lambda \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑦, \text{ II}$$

となる。

III. 咬合器の側方運動経路の式

半調節性咬合器は、コンダイラー・ガイダンスが咬合器の上部に付属しているアルコン型および下部に付属しているコンダイラー型に分けられる。また、先に述べたようにコンダイラー・ガイダンスの構造の違いによって、スロット型とボックス型がある。したがって、これらの組合せによって4種類の咬合器が考えられるが、実際にはコンダイラー・スロット様式、アルコン・ボックス様式、アルコン・スロット様式の3種類の咬合器が存在する。そこで、この3種類の代表的なものとして、コンダイラー・スロット様式のハノー・モデル H-2 型咬合器¹⁵⁾、アルコン・ボックス様式のハノー・テレデザイン咬合器^{16,17)}、アルコン・スロット様式のハノー・ユニバーシティ・130-28 型咬合器¹⁸⁾を取上げ、側方運動経路の式を検討した。

1. コンダイラー・スロット様式、ハノー・H-2型咬合器の側方運動経路の式

ハノー・H-2型咬合器¹⁵⁾では、コンダイラー・ガイダンスおよびインサイザル・ガイドが咬合器下部に付属しているから、咬合器上部が運動する状態で経路の式を検

討した。数学的处理によつて式は次第に複雑な形式になるので、小さな数式は出来るだけ英字の大文字で置換して記載することにした。

1) 座標空間の設定

咬合器は図7に示すように、セントリック・ロックされている状態で顆頭間軸をY軸上に置き、咬合器の右側を作業側とし、右側顆頭点を原点と一致させる。さらに、インサイザル・ガイドの傾斜角度およびラテラル・ウィングの角度が0度の時、インサイザル・ガイドがX-Y平面と平行になるように座標空間を設定する。この座標空間により、経路の式は最も簡単となる。作業側顆頭点を W_0 、平衡側顆頭点を B_0 、インサイザル・ピン先端の点を S_0 とし、咬合器各部の角度を次のように条件付ける。

B_0 点 $(0, a, 0)$ $a > 0$

W_0 点 $(0, 0, 0)$

S_0 点 (b, c, d) $b, c > 0, d < 0$

コンダイラー・ガイダンスの矢状傾斜角度

$: 0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$

コンダイラー・ガイダンスの側方傾斜角度

$: 0^\circ \leq \beta \leq 30^\circ$

インサイザル・ガイドの傾斜角度: $0^\circ \leq \gamma \leq 40^\circ$

ラテラル・ウィングの角度: $0^\circ \leq \epsilon \leq 40^\circ$

2) 平衡側顆頭点Bの経路の式

平衡側コンダイラー・ガイダンスは③、II式および

④、II式より

$$\frac{x}{\cos \alpha \cos \beta} = \frac{y-a}{-\cos \alpha \sin \beta} = \frac{z}{-\sin \alpha} = t_B \dots\dots\dots ①, \text{ III}$$

図7 座標空間の設定

咬合器はセントリック・ロックされた状態にある。
 B_0Ic は平衡側コンダイラー・ガイダンスである。

である。この式で方向余弦の符号は、咬合器の調節角を 90 度以下としたので、 x 項の分母が正の値をとるように他の分母の符号を選択する。運動中の平衡側顆頭点 B の座標を (x_B, y_B, z_B) とすれば、B 点は常に平衡側コンダイラー・ガイダンス ①, III 式上にあるから、経路の式は、

$$\left. \begin{aligned} x_B &= t_B \cos \alpha \cos \beta \\ y_B &= -t_B \cos \alpha \sin \beta + a \\ z_B &= -t_B \sin \alpha \end{aligned} \right\} \cdots \cdots \text{②, III}$$

である。①, III 式において各項の分母の総和は 1 なので t_B は B_0 点からの有向距離となる。図 7 に示すように平衡側顆頭点は B_0 から I_c へ向つて移動するから、 $t_B \leq 0$ を用いるのが適当となり、その絶対値は平衡側顆頭点の移動距離を意味する。

3) 作業側顆頭点 W の経路の式

顆頭間軸は平衡側顆頭点が B_0 から I_c 方向へどのように移動しても常に原点を通ること、平衡側の顆頭間軸の肩と顆頭球は常に接触しており、作業側顆頭点と平衡側顆頭点の間の距離 a は運動中も不変であるという二つの条件から、次の二つの方程式が導かれる。

$$\frac{x - x_B}{-x_B} = \frac{y - y_B}{-y_B} = \frac{z - z_B}{-z_B} = t_w \cdots \cdots \text{③, III}$$

$$(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2 + (z - z_B)^2 = a^2 \cdots \cdots \text{④, III}$$

③, III 式および ④, III 式を連立して t_w について解けば、

$$t_w = \frac{\pm a}{\sqrt{x_B^2 + y_B^2 + z_B^2}} = \frac{\pm a}{\sqrt{t_B^2 - 2at_B \cos \alpha \sin \beta + a^2}} \cdots \cdots \text{⑤, III}$$

である。運動中の作業側顆頭点 W の座標を (x_w, y_w, z_w) とすれば、これは常に顆頭間軸 ③, III 式上にあるから、経路の式は、

$$\left. \begin{aligned} x_w &= (1 - t_w)x_B \\ y_w &= (1 - t_w)y_B \\ z_w &= (1 - t_w)z_B \end{aligned} \right\} \cdots \cdots \text{⑥, III}$$

である。 $t_B = 0$ の時の y_w の値より、 $t_w > 0$ を用いるのが適当である。 x_B, y_B, z_B, t_w は t_B の媒介変数方程式であるから、 x_w, y_w, z_w もまた t_B の媒介変数方程式である。

4) インサイザル・ピン先端 S 点の経路の式

図 8 に示すように側方運動中、インサイザル・ピンの平衡側よりの先端隅角部 S 点がラテラル・ウイングと接触する。 $t_B = 0$ の時、 S_0 点の顆頭間軸への垂線は顆頭間軸を二等分しないから、その座標を $(b, a/2, d)$ とせず (b, c, d) と置いた。

S 点の経路の式は、作業側顆頭点より R_w , 平衡側顆

図 8 インサイザル・ピン先端 S 点

頭点より R_B の距離にあるラテラル・ウイング上の点の位置、すなわち二つの球と一つの平面によつて決定される点の位置を t_B の媒介変数方程式として表わしたものである。よつて、二つの球の方程式は、

$$(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2 + (z - z_B)^2 = R_B^2 \cdots \cdots \text{⑦, III}$$

$$(x - x_w)^2 + (y - y_w)^2 + (z - z_w)^2 = R_w^2 \cdots \cdots \text{⑧, III}$$

ただし

$$R_B = \sqrt{b^2 + (a - c)^2 + d^2}$$

$$R_w = \sqrt{b^2 + c^2 + d^2}$$

である。次いでラテラル・ウイングの方程式を求める。センター・グループは X-Y 平面に γ , X-Z 平面に垂直な平面であるから、

$$(x - b) \sin \gamma + (z - d) \cos \gamma = 0 \cdots \cdots \text{⑨, III}$$

である。通常、立体解析幾何学において平面の方向余弦はこれに垂直な直線方向余弦を用いて示されるから、ラテラル・ウイングの方向余弦を λ_s, μ_s, ν_s とすれば、この平面は常に S_0 点 (b, c, d) を通る。したがつて、

$$\left. \begin{aligned} x\lambda_s + y\mu_s + z\nu_s &= M \\ M &= b\lambda_s + c\mu_s + d\nu_s \end{aligned} \right\} \cdots \cdots \text{⑩, III}$$

$$\lambda_s^2 + \mu_s^2 + \nu_s^2 = 1 \cdots \cdots \text{⑩', III}$$

である。センター・グループとラテラル・ウイングの交線は X-Z 平面に平行で S_0 点 (b, c, d) を通るから ⑨, III 式より、

$$\frac{x - b}{\cos \gamma} = \frac{y - c}{0} = \frac{z - d}{-\sin \gamma} \cdots \cdots \text{⑪, III}$$

となり、これがラテラル・ウイング ⑩, III 式に含まれるための条件は、

$$\lambda_s \cos \gamma - \nu_s \sin \gamma = 0 \cdots \cdots \text{⑫, III}$$

であり、センター・グループとラテラル・ウイングの交角 ϵ は、

$$\cos \epsilon = \lambda_s \sin \gamma + \nu_s \cos \gamma \cdots \cdots \text{⑬, III}$$

である。そこで⑩', Ⅲ式, ⑫, Ⅲ式および⑬, Ⅲ式を連立して λ_s, μ_s, ν_s を求めれば,

$$\left. \begin{aligned} \lambda_s &= \sin \gamma \cos \varepsilon \\ \mu_s &= \pm \sin \varepsilon \\ \nu_s &= \cos \gamma \cos \varepsilon \end{aligned} \right\} \cdots \cdots \cdots \text{⑭, Ⅲ}$$

である。ただし、咬合器の左側のラテラル・ウイングを用いて経路の式を検討しているから μ_s の符号は負を用いる。⑭, Ⅲ式を⑩, Ⅲ式に代入すれば、ラテラル・ウイングが立体解析幾何学における平面として表わされる。

以上により、インサイザル・ピン先端S点 (x_s, y_s, z_s) の経路の式は、⑦, Ⅲ式, ⑧, Ⅲ式および⑩, Ⅲ式を連立して x, y, z について解けば求められる。この連立方程式の解法を、咬合器の運動に即して説明すれば以下になる。⑧, Ⅲ-⑦, Ⅲによつて,

$$(x_B - x_W)x + (y_B - y_W)y + (z_B - z_W)z = N \cdots \text{⑮, Ⅲ}$$

ただし

$$N = (x_B^2 + y_B^2 + z_B^2 - x_W^2 - y_W^2 - z_W^2 + R_W^2 - R_B^2)/2$$

となる。⑮, Ⅲ式は顎頭間軸 $\overline{WB}$ を $c: (a-c)$ に内分する点を通り、 $\overline{WB}$ に垂直な平面の方程式である。S点はこの平面⑮, Ⅲ式とラテラル・ウイングの交線上にある。交線の方法比を A_1, B_1, C_1 とすれば、⑩, Ⅲ式および⑮, Ⅲ式より,

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= (y_B - y_W)\nu_s - (z_B - z_W)\mu_s \\ B_1 &= (z_B - z_W)\lambda_s - (x_B - x_W)\nu_s \\ C_1 &= (x_B - x_W)\mu_s - (y_B - y_W)\lambda_s \end{aligned} \right\} \cdots \cdots \cdots \text{⑯, Ⅲ}$$

である。交線は必ず Y-Z 平面と交わるから、その交点 (X_0, Y_0, Z_0) は⑩, Ⅲ式および⑯, Ⅲ式において $x=0$ と置いて y, z を求めれば,

$$\left. \begin{aligned} X_0 &= 0 \\ Y_0 &= \{N\nu_s - M(z_B - z_W)\}/A_1 \\ Z_0 &= \{M(y_B - y_W) - N\mu_s\}/A_1 \end{aligned} \right\} \cdots \cdots \cdots \text{⑰, Ⅲ}$$

である。⑯, Ⅲ式および⑰, Ⅲ式より交線は

$$\frac{x}{A_1} = \frac{y - Y_0}{B_1} = \frac{z - Z_0}{C_1} = t_s \cdots \cdots \cdots \text{⑱, Ⅲ}$$

と示される。よつてS点は交線⑱, Ⅲ式と球⑦, Ⅲ式の交点として求まる。これより t_s を求めれば,

$$t_s = \frac{B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - A_2 C_2}}{A_2} \cdots \cdots \cdots \text{⑲, Ⅲ}$$

ただし

$$A_2 = A_1^2 + B_1^2 + C_1^2$$

$$B_2 = A_1 x_B + B_1 (y_B - Y_0) + C_1 (z_B - Z_0)$$

$$C_2 = x_B^2 + (Y_0 - y_B)^2 + (Z_0 - z_B)^2 - R_B^2$$

である。ただし、 t_s の $\sqrt{\quad}$ の前の $\pm$ の符号は x_s に関して、大きい根が得られるように選択する。⑲, Ⅲ式および⑱, Ⅲ式よりS点の経路の式は,

$$\left. \begin{aligned} x_s &= A_1 t_s \\ y_s &= B_1 t_s + Y_0 \\ z_s &= C_1 t_s + Z_0 \end{aligned} \right\} \cdots \cdots \cdots \text{⑳, Ⅲ}$$

である。 $A_1, B_1, C_1, t_s, Y_0, Z_0$ は t_B の媒介変数方程式であるから、 x_s, y_s, z_s も t_B の媒介変数方程式である。

2. アルコン・ボックス様式、ハノー・テレダイン咬合器の側方運動経路の式

ハノー・テレダイン咬合器^{16,17)}では、咬合器上部にコンダイラー・ガイダンスがあり、下部にインサイザル・ガイドが付属しているので、咬合器下部が運動する状態で経路の式を検討した。

1) 座標空間の設定

座標空間および咬合器の両側顎頭点、インサイザル・ピン先端の点の座標は、H-2型咬合器の場合と同じとする(図7を参照)。コンダイラー・ガイダンスの調節角は次のように条件付ける。

平衡側コンダイラー・ハウジングの矢状傾斜角度

$$: 0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$$

平衡側ベネット・アングル: $0^\circ < \beta \leq 45^\circ$

作業側コンダイラー・ハウジングの矢状傾斜角度

$$: 0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$$

作業側コンペンセーティング・アングル: $0^\circ \leq \omega \leq 55^\circ$

なお、インサイザル・ガイドにおける調節角はH-2型咬合器の場合と同じである。

2) 両側顎頭点 B, W の経路の式

平衡側コンダイラー・ハウジングの矢状傾斜角度とベネット・アングルによつて決定される平衡側コンダイラー・ガイダンスは③, Ⅱ式および⑤, Ⅱ式より,

$$\frac{x}{\cos \alpha \cos \beta} = \frac{y - a}{-\sin \beta} = \frac{z}{-\sin \alpha \cos \beta} = t_B \cdots \cdots \cdots \text{㉑, Ⅲ}$$

である。㉑, Ⅲ式において、方向余弦の符号は咬合器の調節角を90度以下としたので、 x 項の分母が正の値をとるように他の符号を選択する。作業側コンダイラー・ガイダンスについても同様である。各項の分母の二乗の総和は1であるから、 t_B は点 B_0 からの有向距離となる。平衡側顎頭点はX軸に関して正の方向へ移動するから、 $t_B \geq 0$ を用いるのが適当となり、 t_B はその移動距離である。運動中の平衡側顎頭点Bの座標を (x_B, y_B, z_B) とすれば、B点は常に平衡側コンダイラー・ガイダンス㉑, Ⅲ式上にあるから、経路の式は,

$$\left. \begin{aligned} x_B &= t_B \cos \alpha \cos \beta \\ y_B &= -t_B \sin \beta + a \\ z_B &= -t_B \sin \alpha \cos \beta \end{aligned} \right\} \cdots \cdots \cdots \text{㉒, Ⅲ}$$

である。

作業側コンダイラー・ハウジングの矢状傾斜角度とコンペンセーティング・アングルによって決定される作業側コンダイラー・ガイドランスは同様に、

$$\frac{x}{\cos \theta \sin \omega} = \frac{y}{-\cos \omega} = \frac{z}{-\sin \theta \sin \omega} = t_w \quad \text{.....②③, III}$$

である。作業側顆頭点 W (x_w, y_w, z_w) は、作業側コンダイラー・ガイドランス ②③, III 式上にあるから、経路の式は、

$$\left. \begin{aligned} x_w &= t_w \cos \theta \sin \omega \\ y_w &= -t_w \cos \omega \\ z_w &= -t_w \sin \theta \sin \omega \end{aligned} \right\} \quad \text{.....②④, III}$$

である。ところで、平衡側顆頭点と作業側顆頭点の関係は、顆頭間軸の長さを a とすれば、

$$(x_w - x_B)^2 + (y_w - y_B)^2 + (z_w - z_B)^2 = a^2 \quad \text{.....②⑤, III}$$

であるので、②⑤, III 式、②④, III 式および②⑤, III 式より t_w を求めれば、

$$t_w = B_3 \pm \sqrt{B_3^2 - C_3} \quad \text{.....②⑥, III}$$

ただし

$$\begin{aligned} A_3 &= \cos \alpha \cos \beta \cos \theta \sin \omega + \sin \beta \cos \omega \\ &\quad + \sin \alpha \cos \beta \sin \theta \sin \omega \\ B_3 &= A_3 t_B - a \cos \omega \\ C_3 &= t_B^2 - 2a t_B \sin \beta \end{aligned}$$

である。②⑥, III 式において t_w は点 W_0 からの有向距離なので②④, III 式および②⑥, III 式により、作業側顆頭点の経路の式および移動距離は、平衡側顆頭点の移動距離 t_B を媒介変数とする方程式で表わされたことになる。 t_w の $\sqrt{\quad}$ の前の $\pm$ の符号は $t_B=0$ の時、 $t_w=0$ でなければならないから、正の符号を用いるのが適当である。

3) インサイザル・ピン先端 S 点の経路の式

テレダイン咬合器の場合、インサイザル・ガイドは咬合器の下部に付属しているから、下部の運動に従って時刻とその方向余弦が変化する。そこで、 $t_B=0$ の時のインサイザル・ピン先端の平衡側より隅角とインディケーティング・ラインの接点を S 点とし、この点の経路の式を検討する。

運動中のラテラル・ウイングの方向余弦を λ_s, μ_s, ν_s とし、これを $x_B, y_B, z_B, x_w, y_w, z_w$ で表わせば、それは平衡側顆頭点の移動距離 t_B の媒介変数方程式となり、 t_B の変化に対応したそれぞれの瞬間のラテラル・ウイングの方向余弦の値が決定され、それ以降の演算は本章 1 節 4) で述べた“二つの球と一平面の方程式”を連立して解き、インディケーティング・ライン上の点の

経路の式を求めることが可能になる。

$t_B=0$ の時のラテラル・ウイングの方向余弦は、H-2 型咬合器と同様に求められ、これを

$$\left. \begin{aligned} \lambda_0 &= \sin \gamma \cos \varepsilon \\ \mu_0 &= \pm \sin \varepsilon \\ \nu_0 &= \cos \gamma \cos \varepsilon \end{aligned} \right\} \quad \text{.....②⑦, III}$$

とする。 μ_0 の符号の選択も H-2 型咬合器と同様である。ラテラル・ウイングは $t_B=0$ の時も運動中も、常にインサイザル・ピンの先端 (b, c, d) と接するから、

$$(x-b)\lambda_s + (y-c)\mu_s + (z-d)\nu_s = 0 \quad \text{.....②⑧, III}$$

$$\lambda_s^2 + \mu_s^2 + \nu_s^2 = 1 \quad \text{.....②⑧', III}$$

である。平衡側顆頭点とラテラル・ウイング ②⑧, III 式の垂直距離 $|H_B|$ は $t_B=0$ の時も、運動中も不変であるから、

$$\left. \begin{aligned} (x_B-b)\lambda_s + (y_B-c)\mu_s + (z_B-d)\nu_s &= H_B \\ H_B &= -b\lambda_0 + (a-c)\mu_0 - d\nu_0 \end{aligned} \right\} \quad \text{.....②⑨, III}$$

である。 H_B は有向垂線¹⁴⁾と呼ばれ $t_B=0$ の時の平衡側顆頭点 B_0 の座標を ②⑧, III 式に代入して求められ、作業側顆頭点とラテラル・ウイングの関係も同様に、

$$\left. \begin{aligned} (x_w-b)\lambda_s + (y_w-c)\mu_s + (z_w-d)\nu_s &= H_w \\ H_w &= -b\lambda_0 - c\mu_0 - d\nu_0 \end{aligned} \right\} \quad \text{.....②⑩, III}$$

である。②⑧', III 式、②⑨, III 式および②⑩, III 式を連立して λ_s, μ_s, ν_s を求めれば、

$$\left. \begin{aligned} \lambda_s &= A_4 t_D \\ \mu_s &= B_4 t_D + B_0 \\ \nu_s &= C_4 t_D + C_0 \end{aligned} \right\} \quad \text{.....③①, III}$$

ただし

$$\begin{aligned} A_4 &= (y_B - c)(z_w - d) - (y_w - c)(z_B - d) \\ B_4 &= (z_B - d)(x_w - b) - (z_w - d)(x_B - b) \\ C_4 &= (x_B - b)(y_w - c) - (x_w - b)(y_B - c) \\ B_0 &= \{H_B(z_w - d) - (z_B - d)H_w\} / A_4 \\ C_0 &= \{H_w(y_B - c) - (y_w - c)H_B\} / A_4 \\ t_D &= \{B_5 \pm \sqrt{B_5^2 - A_5 C_5}\} / A_5 \\ A_5 &= A_4^2 + B_4^2 + C_4^2 \\ B_5 &= -B_4 B_0 - C_4 C_0 \\ C_5 &= B_0^2 + C_0^2 - 1 \end{aligned}$$

となる。 t_D の $\sqrt{\quad}$ の前の $\pm$ の符号は、 $t_B=0$ の時の λ_s, μ_s, ν_s を ③①, III 式で計算し、②⑦, III 式と同じ値が得られるように選択する。これ以降の演算は、前にも述べたように、⑦, III 式、⑧, III 式および⑩, III 式より ②⑨, III 式を導く過程と同じなので省略する。

3. アルコン・スロット様式、ハノー・ユニバーシティ・130-28 型咬合器の側方運動経路の式

ハノー・ユニバーシティ・130-28 型咬合器¹⁸⁾では、咬合器上部にコンダイラー・ガイダンスがあり、下部にインサイザル・ガイドが付属しているため、テレダイン咬合器同様咬合器下部が運動するものとして考える。

1) 座標空間の設定

座標空間および咬合器の両側顆頭点、インサイザル・ピン先端の点の座標、コンダイラー・ガイダンス、インサイザル・ガイドにおける調節角は H-2 型咬合器の場合と同じとする (図 7)。

2) 両側顆頭点 B, W の経路の式

両側顆頭点の経路の式として、H-2 型咬合器の経路の式 ①、Ⅲ 式～⑥、Ⅲ 式を使用する。ただし、顆頭間距離 a が可変であること、平衡側顆頭球が H-2 型咬合器とは逆方向に移動するから $t_B \geq 0$ を用いることの 2 点に注意しなければならない。

3) インサイザル・ピン先端 S 点の経路の式

$t_B = 0$ の時、インサイザル・ピン先端の平衡側よりの隅角がセンター・グループとラテラル・ウイングの交線と接する点を S 点とする。

ユニバーシティ・130-28 型咬合器はアルコン型で、インサイザル・ガイドは咬合器の下部に付属しているから、運動中のラテラル・ウイングはその方向余弦を変化させる。したがって、S 点の経路の式はテレダイン咬合器の S 点の経路の式に従う。

IV. 咬合器の前方運動経路の式

咬合器の前方運動経路の式を導く際、コンダイラー・ガイダンスの側方傾斜角度が 0 度で、コンダイラー・ガイダンスの矢状傾斜角度が左右で異なる場合を考えると、顆頭間軸と顆頭球の穴に摩擦抵抗がなければ、顆頭間軸の肩と顆頭球は傾斜角度の小さい側で接触しつつ運動することになる。しかしながら、実際には摩擦抵抗があるため、余程大きな傾斜角度の違いがない限り上述のようなことは起きないし、また人工歯が介在する場合においては大きな傾斜角度の違いがあっても、球と肩の関係には多様性がある。そこで、 $t_B = 0$ の時の顆頭間軸 $\overline{W_0B_0}$ を $c : (a-c)$ に内分する点 P_0 とインサイザル・ピンの先端 S_0 点を結ぶ直線が、運動中も矢状面と常に平行であるとして咬合器の前方運動経路の式を考える。この場合 PS と WB は常に垂直である。

1. コンダイラー・スロット様式、ハノー・H-2 型咬合器の前方運動経路の式

1) 両側顆頭点 B, W の経路の式

座標空間の設定は図 7 に従う。そして両側コンダイラー・ガイダンスの矢状傾斜角度を α_B, α_W 、側方傾斜角度を β_B, β_W とすると、両側顆頭球の運動経路は ③、Ⅱ 式および ④、Ⅱ 式より、

$$\frac{x}{\cos \alpha_B \cos \beta_B} = \frac{y-a}{-\cos \alpha_B \sin \beta_B} = \frac{z}{-\sin \alpha_B} = t_B \quad \dots\dots\dots ①, \text{IV}$$

$$\frac{x}{\cos \alpha_W \cos \beta_W} = \frac{y}{\cos \alpha_W \sin \beta_W} = \frac{z}{-\sin \alpha_W} \quad \dots\dots\dots ②, \text{IV}$$

である。 t_B は B_0 点よりの有向距離であり、側方運動の場合咬合器の平衡側顆頭点の移動距離を意味したが、前方運動の場合は顆頭球の移動距離を意味する。咬合器の顆頭点が ①、Ⅱ 式および ②、Ⅱ 式の直線上に存在するのは $t_B = 0$ の場合のみであって、運動中はこれらの直線よりも内側に位置する。なお、側方運動の場合と同様 $t_B \leq 0$ を用いるのが適当である。

$t_B \neq 0$ の時、すなわち運動中の両側顆頭球の座標を $(x_L, y_L, z_L), (x_R, y_R, z_R)$ とすれば ①、Ⅱ 式より、B 側顆頭球の経路の式は、

$$\left. \begin{aligned} x_L &= t_B \cos \alpha_B \cos \beta_B \\ y_L &= -t_B \cos \alpha_B \sin \beta_B + a \\ z_L &= -t_B \sin \alpha_B \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ③, \text{IV}$$

である。両側顆頭球を結んだ直線が顆頭間軸で、これは矢状面に平行な $\overline{PS}$ に直角で交わるから、②、Ⅱ 式より W 側の顆頭球の経路の式は、

$$\left. \begin{aligned} x_R &= x_L \\ y_R &= x_L \tan \beta_W \\ z_R &= -x_L \tan \alpha_W / \cos \beta_W \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ④, \text{IV}$$

である。したがって顆頭間軸は ③、Ⅱ 式および ④、Ⅱ 式より、

$$\frac{x-x_L}{x_R-x_L} = \frac{y-y_L}{y_R-y_L} = \frac{z-z_L}{z_R-z_L} \quad \dots\dots\dots ⑤, \text{IV}$$

と示される。P 点は矢状面と常に平行に運動するから、 $t_B = 0$ の時の座標を $P_0 (0, c, 0)$ とすれば、運動中は $P (x_P, c, z_P)$ と表わすことができ、⑤、Ⅱ 式より P 点の経路の式は、

$$\left. \begin{aligned} x_P &= x_L \\ y_P &= c \\ z_P &= \frac{z_R-z_L}{y_R-y_L} (c-y_L) + z_L \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑥, \text{IV}$$

である。したがって、⑤、Ⅱ 式の顆頭間軸は ⑥、Ⅱ 式

を用いて,

$$\frac{x-x_P}{x_L-x_P} = \frac{y-y_P}{y_L-y_P} = \frac{z-z_P}{z_L-z_P} = t_P \dots\dots\dots ⑦, IV$$

とも表わせる.

咬合器の顆頭点 B (x_B, y_B, z_B) は P 点より $l_B = a - c$ の距離にあるから,

$$(x-x_P)^2 + (y-y_P)^2 + (z-z_P)^2 = l_B^2 \dots\dots\dots ⑧, IV$$

となる. ⑦, IV 式および ⑧, IV 式の交点が咬合器の顆頭点 B の経路の式であり, ⑨, IV 式のように示される.

$$\left. \begin{aligned} x_B &= x_L \\ y_B &= \frac{\pm l_B(y_L - c)}{\sqrt{(y_L - c)^2 + (z_L - z_P)^2}} + c \\ z_B &= \frac{\pm l_B(z_L - z_P)}{\sqrt{(y_L - c)^2 + (z_L - z_P)^2}} + z_P \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑨, IV$$

同様にして, 咬合器の顆頭点 W (x_W, y_W, z_W) は P 点より $l_W = c$ の距離にあるから, 経路の式は,

$$\left. \begin{aligned} x_W &= x_L \\ y_W &= \frac{\pm l_W(y_L - c)}{\sqrt{(y_L - c)^2 + (z_L - z_P)^2}} + c \\ z_W &= \frac{\pm l_W(z_L - z_P)}{\sqrt{(y_L - c)^2 + (z_L - z_P)^2}} + z_P \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑩, IV$$

となる. ⑨, IV 式および ⑩, IV 式において,

$$T = \frac{\pm 1}{\sqrt{(y_L - c)^2 + (z_L - z_P)^2}} \dots\dots\dots ⑪, IV$$

とおく. 符号の選択は顆頭点 B の場合は正を, 顆頭点 W の場合は負を用いる.

⑨, IV 式と ⑩, IV 式によって, 咬合器の両側顆頭点の経路の式は B 側顆頭球の移動量 t_B の媒介変数方程式として表わされた.

2) インサイザル・ピン先端 S 点の経路の式

コンダイラー・ガイダンスの矢状傾斜角度の矢状面投影角度が小さい側のインサイザル・ピン先端の隅角が, 前方運動時センター・グループとラテラル・ウイングの交線上を移動するから, これを S 点 (x_S, y_S, z_S) とし, $t_B = 0$ の時を S_0 (b, c, d) とする.

インサイザル・ガイドの傾斜角度を γ とすれば, S 点は直線 ⑫, IV 式上に存在する.

$$\frac{x-b}{\lambda_s} = \frac{y-c}{\mu_s} = \frac{z-d}{\nu_s} = t_s \dots\dots\dots ⑫, IV$$

ただし

$$\lambda_s = \cos \gamma, \mu_s = 0, \nu_s = -\sin \gamma$$

である. ⑫, IV 式はラテラル・ウイングとセンター・グループの交線である. 顆頭点 B と S 点との距離を R_B とすれば, S 点は,

$$\left. \begin{aligned} (x-x_B)^2 + (y-y_B)^2 + (z-z_B)^2 &= R_B^2 \\ R_B &= \sqrt{b^2 + (c-a)^2 + d^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑬, IV$$

なる球面上にも存在する. したがって, ⑫, IV 式および ⑬, IV 式の交点を求めれば,

$$\left. \begin{aligned} x_S &= t_s \lambda_s + b \\ y_S &= c \\ z_S &= t_s \nu_s + d \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑭, IV$$

ただし

$$t_s = B_5 \pm \sqrt{B_5^2 - C_6}$$

$$B_5 = (z_B - d)\nu_s + (x_B - b)\lambda_s$$

$$C_6 = (b - x_B)^2 + (c - y_B)^2 + (d - z_B)^2 - R_B^2$$

である. t_s の $\sqrt{\quad}$ の前の $\pm$ の符号は $t_B = 0$ の時, $t_s = 0$ となるように選択するのが適当である. ⑭, IV 式が S 点の経路の式で, B 側顆頭球の媒介変数方程式である.

2. アルコン・ボックス様式, ハノー・テレデザイン咬合器の前方運動経路の式

1) 両側顆頭点 B, W の経路の式

テレデザイン咬合器の前方運動に影響を与えるのは, コンダイラー・ハウジングの矢状傾斜角度で, H-2 型咬合器と異なり, ベネット・アングルは影響しない.

座標空間の設定やその他の条件を H-2 型咬合器の場合と同じとし, 両側コンダイラー・ハウジングの矢状傾斜角度を α_B, α_W とする. 前方運動時の咬合器の両側顆頭点 B (x_B, y_B, z_B), W (x_W, y_W, z_W) は, 矢状面に垂直で水平面と α_B, α_W で交わる平面の方程式を満足させるから,

$$x_B \sin \alpha_B + z_B \cos \alpha_B = 0 \dots\dots\dots ⑮, IV$$

$$x_W \sin \alpha_W + z_W \cos \alpha_W = 0 \dots\dots\dots ⑯, IV$$

である. ところで $\overline{PS}$ は矢状面に平行に運動し, 顆頭間軸は常にこれと垂直であるから, 咬合器の両側顆頭点は顆頭間軸を含み X-Z, X-Y 両平面に垂直な平面の方程式を満足する. 故に,

$$x_B = x_W = t_c \dots\dots\dots ⑰, IV$$

である. t_c は両側顆頭点の X 軸方向への移動距離であり, 咬合器下部が前方へ運動するから, $t_c \geq 0$ を用いるのが適当である.

B 側顆頭点は平面 ⑮, IV 式と ⑰, IV 式, W 側顆頭点は平面 ⑯, IV 式と ⑰, IV 式の交線上に存在するから,

$$z_B = -t_c \tan \alpha_B \dots\dots\dots ⑱, IV$$

$$z_W = -t_c \tan \alpha_W \dots\dots\dots ⑲, IV$$

である. 両側顆頭点は, 顆頭間軸 $\overline{WB}$ を $c : (a - c)$ に内分する点 P から $l_B = a - c, l_W = c$ なる距離にあるから,

$$(x_B - x_P)^2 + (y_B - y_P)^2 + (z_B - z_P)^2 = l_B^2 \dots\dots\dots ⑳, IV$$

$$(x_W - x_P)^2 + (y_W - y_P)^2 + (z_W - z_P)^2 = l_W^2 \dots\dots\dots \text{㉑}, IV$$

である. P 点は常に矢状面に平行に移動し, 顆頭間軸上

にあるから、移動中のP点の座標を (x_P, y_P, z_P) とすれば、

$$\left. \begin{aligned} x_P &= t_C \\ y_P &= c \\ z_P &= \frac{-(l_W \tan \alpha_B + l_B \tan \alpha_W)}{l_W + l_B} t_C \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \textcircled{22}, \text{IV}$$

である。①⑦, IV式, ①⑧, IV式, ②①, IV式および ②②, IV式よりB点の経路の式は、

$$\left. \begin{aligned} x_B &= t_C \\ y_B &= c \pm \sqrt{l_B^2 - (z_B - z_P)^2} \\ z_B &= -t_C \tan \alpha_B \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \textcircled{23}, \text{IV}$$

である。 y_B の $\sqrt{\quad}$ の前の $\pm$ の符号は $t_C=0$ の時のことを考えれば、正を選択するのが適当である。

同様に、①⑦, IV式, ①⑨, IV式, ②②, IV式および ②③, IV式よりW点の経路の式は、

$$\left. \begin{aligned} x_W &= t_C \\ y_W &= c \pm \sqrt{l_W^2 - (z_W - z_P)^2} \\ z_W &= -t_C \tan \alpha_W \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \textcircled{24}, \text{IV}$$

である。 y_W の $\sqrt{\quad}$ の前の $\pm$ の符号は $t_C=0$ の時のことを考えれば、負を選択するのが適当である。

2) インサイザル・ピン先端S点の経路の式

コンダイラー・ハウジングの矢状傾斜角度の小さい側のインサイザル・ピン先端の隅角と、インディケーティング・ラインの接点を S_0 点 (b, c, d) とする。前方運動時、S点はセンター・グループとラテラル・ウイングの交線に沿って移動する。この交線はセンター・グループと $y=c$ なる平面の交線でもある。この交線はセンター・グループが咬合器下部に付属しているから、下部の運動に従ってその方向余弦または方向比を刻々変化させる。この交線の変化は、運動中のセンター・グループと $y=c$ なる平面の交線としてとらえられる。運動中のセンター・グループの方向余弦を λ_s, μ_s, ν_s とすれば、センター・グループの方程式は、

$$\left. \begin{aligned} (x-b)\lambda_s + (y-c)\mu_s + (z-d)\nu_s &= 0 \\ \lambda_s^2 + \mu_s^2 + \nu_s^2 &= 1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \textcircled{25}, \text{IV}$$

である。ただし $t_C=0$ の時のセンター・グループの方向余弦は、②⑦, III式において $\epsilon=0$ と考えれば、

$$\left. \begin{aligned} \lambda_0 &= \sin \gamma \\ \mu_0 &= 0 \\ \nu_0 &= \cos \gamma \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \textcircled{26}, \text{IV}$$

であるから、②③, III式と同様な方法によつて λ_s, μ_s, ν_s は定められる。よつて ②⑤, IV式と $y=c$ との交線は、

$$\frac{x-b}{\nu_s} = \frac{y-c}{0} = \frac{z-d}{-\lambda_s} \dots\dots\dots \textcircled{27}, \text{IV}$$

と表わされる。以降の演算は ②④, IV式を導く過程と同

じであるので省略する。

3. アルコン・スロット様式、ハノー・ユニバーシティ・130-28型咬合器の前方運動経路の式

1) 両側顆頭点B, Wの経路の式

座標空間の設定は図7に従う。

両側顆頭点の経路の式として、H-2型咬合器の経路の式 ⑨, IV式および ⑩, IV式を使用する。ただし、顆頭間距離 a が可変であること、両側顆頭球が H-2 型咬合器とは逆方向に移動するから $t_B \geq 0$ を用いることの2点に注意しなければならない。

2) インサイザル・ピン先端S点の経路の式

側方運動の場合と同様、S点の前方運動経路の式はレデザイン咬合器の前方運動経路の式に従う。

V. 任意点の運動経路の式

患者の顆頭点が存在する顆頭間軸上の点および歯牙の位置に相当する任意点の経路の式は、両側顆頭点B, Wおよびインサイザル・ピン先端S点の経路の式の合成関数として表わし得る。

1. 顆頭間軸上の点Qの経路の式

半調節性咬合器では、顆頭間距離の調節が不可能であることが多いので、患者の顆頭点は顆頭間軸上に存在することになるため、顆頭間軸上の任意点の運動経路の解析は重要である。

$t_B=0$ の時の顆頭間軸上の点 $Q_0(0, q, 0)$ に対して、 $\overline{Q_0W_0} : \overline{B_0Q_0} = (q-0) : (a-q) = m : n$ とする。運動中、この $m : n$ の関係はX軸、Y軸、Z軸方向にも適用されるから、Q点 (x_q, y_q, z_q) の経路の式は、

$$(x_q - x_w) : (x_B - x_q) = m : n$$

$$\left. \begin{aligned} \therefore x_q &= \frac{mx_B + nx_w}{m+n} \\ \text{同様にして} \\ y_q &= \frac{my_B + ny_w}{m+n} \\ z_q &= \frac{mz_B + nz_w}{m+n} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \textcircled{1}, \text{V}$$

である。

2. 咬合器上の任意点Vの経路の式

咬合器上の三点B, W, Sについて、その経路の式が平衡側顆頭点Bの移動距離 t_B を媒介変数とする関数として求められているが、咬合器上の任意点の経路の式も t_B を媒介変数として求めることは可能である。

任意点をV点とし、 $t_B=0$ の時の座標を $V_0(e, f, g)$ とする。 B_0, W_0, S_0 から V_0 点までの距離をそれぞれ

L_B, L_W, L_S とすれば,

$$\left. \begin{aligned} L_B^2 &= e^2 + (f-a)^2 + g^2 \\ L_W^2 &= e^2 + f^2 + g^2 \\ L_S^2 &= (e-b)^2 + (f-c)^2 + (g-d)^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ②, V$$

である。運動中の V 点の座標を (x_v, y_v, z_v) とすれば、これらは次の三つの式を満足する。

$$(x_v - x_B)^2 + (y_v - y_B)^2 + (z_v - z_B)^2 = L_B^2 \dots\dots\dots ③, V$$

$$(x_v - x_W)^2 + (y_v - y_W)^2 + (z_v - z_W)^2 = L_W^2 \dots\dots\dots ④, V$$

$$(x_v - x_S)^2 + (y_v - y_S)^2 + (z_v - z_S)^2 = L_S^2 \dots\dots\dots ⑤, V$$

③, V 式, ④, V 式および ⑤, V 式を連立して解けば, x_v, y_v, z_v が求められる。すなわち ③, V-④, V によつて得られる式は, V 点を含み顎頭間軸 $\overline{WB}$ に垂直な平面であり, ③, V-⑤, V によつて得られる平面も V 点を含み $\overline{BS}$ に垂直な平面であるから, V 点はこの両平面の交線上にあり, この交線は必ず Y-Z 平面と交わると考えれば, ⑦, III 式, ⑧, III 式および ⑩, III 式の連立方程式から ⑨, III 式および ⑭, III 式を求める過程と同じである。よつて V 点の経路の式は,

$$\left. \begin{aligned} x_v &= A_v t_v \\ y_v &= B_v t_v + Y_v \\ z_v &= C_v t_v + Z_v \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑥, V$$

ただし

$$\begin{aligned} A_v &= (y_W - y_B)(z_S - z_B) - (y_S - y_B)(z_W - z_B) \\ B_v &= (z_W - z_B)(x_S - x_B) - (z_S - z_B)(x_W - x_B) \\ C_v &= (x_W - x_B)(y_S - y_B) - (x_S - x_B)(y_W - y_B) \\ Y_v &= \{M_{BW}(z_S - z_B) - (z_W - z_B)M_{BS}\} / A_v \\ Z_v &= \{(y_W - y_B)M_{BS} - M_{BW}(y_S - y_B)\} / A_v \\ M_{BW} &= (L_B^2 - L_W^2 - x_B^2 - y_B^2 - z_B^2 + x_W^2 + y_W^2 + z_W^2) / 2 \\ M_{BS} &= (L_B^2 - L_S^2 - x_B^2 - y_B^2 - z_B^2 + x_S^2 + y_S^2 + z_S^2) / 2 \\ t_v &= \frac{B_v \pm \sqrt{B_v^2 - A_v C_v}}{A_v} \end{aligned}$$

$$A_v = A_v^2 + B_v^2 + C_v^2$$

$$B_v = A_v x_B + B_v (y_B - Y_v) + C_v (z_B - Z_v)$$

$$C_v = x_B^2 + (Y_v - y_B)^2 + (Z_v - z_B)^2 - L_B^2$$

である。 t_v の $\sqrt{\quad}$ の前の $\pm$ の符号の選択は次のようにして行う。すなわち $t_B = 0$ の時 B_0, W_0, S_0 の 3 点によつて決定される平面の方程式は,

$$-dx + bz = 0 \dots\dots\dots ⑦, V$$

である。 $t_B = 0$ の時の任意点 V_0 と平面 ⑦, V 式の有向垂線を H_v とすれば,

$$H_v = (-de + bg) / \sqrt{d^2 + b^2} \dots\dots\dots ⑧, V$$

である。ここで $H_v > 0$ ならば, 任意点 V は平面 BWS よりも上部に存在するから, x_s または z_s に関して大きい根が得られるように選択する。この反対に $H_v < 0$ ならば, 任意点 V は平面 BWS よりも下部に存在するから,

x_s または z_s に関して小さい根が得られるように選択する。 $H_v = 0$ の場合は, 任意点 V は平面 BWS 上に存在するから, 根は一つに定められる。

VI. 考 察

1. 解析方法に関する考え方

補綴物が咬合器上で製作される以上, 咬合器の運動経路と下顎の運動経路が同じである方が望ましいのは言うまでもないことである。咬合器と下顎骨を剛体と考える場合, 運動経路が同じであるということは, 下顎骨中の 3 点の運動経路とこれに対応する咬合器の 3 点の運動経路が寸分の誤差なく一致することに他ならない。この目的を可及的に満たすために, 半調節性咬合器にも種々な調節機構が設けられている。しかしながら, こうした調節機構を十分に活用したとしても, 半調節性咬合器での下顎運動経路の完全な再現は不可能であると言われている。したがって, 半調節性咬合器の選択・使用にあつて, 術者は十分に患者の顎頭点が存在する咬合器の顎頭間軸上の点および歯牙の位置に相当する任意点の運動経路, 運動方向を示す接線, 移動距離, 回転軸または回転中心点などを熟知していなければならない。

ところで, 半調節性咬合器の実際の使用および下顎運動経路の再現性に関する研究は, 咬頭嵌合位に始まるいくつかの連続した顎位を用いて行われてきた。すなわち, 咬合器と下顎骨の対応関係にある 3 点が, ある顎位の時に一致した位置を占め得るのか否かの問題として論じられてきた。確かにこの方法によつて, 咬合器の下顎運動経路の再現性は論じ得るが, 半調節性咬合器の顎頭間軸上の点および任意点の運動方向を示す接線, 移動距離, 回転軸または回転中心点を咬合器固有の運動経路を基礎にして解析する場合, 曲線たる運動経路を顎位と顎位を結ぶある長さをもった直線の集積と考えてしまうため, 運動学的観点からすれば不合理となる。もし, この方法で上述の事項に関する解析精度を高めたり, 運動学的観点から合理であるように解析するならば, 顎位を無限に増やさねばならず, これは不可能である。

運動学的に合理である運動経路, 運動方向を示す接線, 移動距離, 回転軸または回転中心点は, 経路の式を導きこれに微分幾何学を適用すれば得られる。剛体たる咬合器の運動を運動学的観点から微分幾何学を用いて解析するためには, 咬合器上の 3 点の経路の式が同時対応性をもつて明らかでなければならない。その際, 咬合器の 3 点のある瞬間における座標を $(x_B, y_B, z_B), (x_W,$

$y_w, z_w)$, (x_s, y_s, z_s) とすれば, それらの点の経路の式は数学的には空間曲線の形式で次のように表わされる。

$$x_B = f_x(t) \quad x_W = g_x(t) \quad x_S = h_x(t)$$

$$y_B = f_y(t) \quad y_W = g_y(t) \quad y_S = h_y(t)$$

$$z_B = f_z(t) \quad z_W = g_z(t) \quad z_S = h_z(t)$$

ここで, 3点の経路の式は媒介変数 t によつて同時対応性が約束されている。通常この媒介変数 t は時間または曲線の長さであることが多い。媒介変数 t が時間の場合は, 上の式は運動式となり, そうでない場合は経路の式または軌跡を与える式となる。著者はこの3点として, 咬合器の両側顆頭点, インサイザル・ピン先端の点を用いて, まず平衡側顆頭点の移動距離を媒介変数として平衡側顆頭点の経路の式を導き, 次いで作業側顆頭点, インサイザル・ピン先端の点の経路の式を平衡側顆頭点の経路の式の合成関数として導いた。これによつて, 運動の解析に必要な3点の同時対応性を持った経路の式が得られることになる。したがつて, 任意点の経路の式は両側顆頭点, インサイザル・ピン先端の点なる三つの経路の式の合成関数, それは本質的には平衡側顆頭点の経路の式の合成関数として示され得るから, これらの経路の式に微分幾何学を適用すれば, 合理的な解析結果が得られると考えた。なお, 著者が媒介変数として用いた平衡側顆頭点の移動距離 t_B は, 術者が咬合器を動かす速度を自由に変え得るから, 任意な形式の時間の関数として考えることが可能である。

2. 経路の式を導くにあつての注意事項

経路の式を導き, これに微分幾何学を適用する場合, その経路の式を $f(t_B)$ とすれば, $f(t_B)$ は独立変数 t_B の閉区間 $[0, n]$ で定義され, 連続でなければならない。特に $t_B=0$ において $f(t_B)$ をどう定義するのかは重要な問題である。何故なら, $t_B=0$ とは咬合器が運動を開始する瞬間または終る瞬間であり, 補綴学的に重要であると考えられるためである。 $t_B=0$ またはその近傍で定義可能で連続な関数として経路の式を導くためには, III章第1節でインサイザル・ピン先端S点の経路の式を導く場合に言えることであるが, ⑩, III式を求めるために, 平面⑩, III式とラテラル・ウイングの交線がX-Y または X-Z 平面と交わると仮定して交線の通過点を求めた場合, $t_B=0$ で $\gamma=0$ の時交線は前述二つの平面と平行になり, $t_B=0$ における経路の式の運用が不可能となるから, 交線は Y-Z 平面と必ず交わると考えねばならない。

3. 経路の式と微分幾何学の適用

本章第1節において述べたように, 平衡側顆頭点以外の点の経路の式は, 平衡側顆頭点の経路の式の合成関数として表わされる。平衡側顆頭点の経路の式は, その移動距離 t_B を媒介変数とするから, 他の点の経路の式も t_B を媒介変数として表わされるはずである。しかしながら実際には, t_B の関数として直接表わせるのは両側顆頭点の経路の式までで, それ以外の点の経路の式は t_B に関して展開・整理しても長大な式となり, 何等実際の利益はないと判断した。したがつて, t_B に関して直接微分幾何学を適用するのは両側顆頭点の経路の式までで, 他の点の経路の式は“合成関数の微分法”¹⁹⁾を適用することとした。

なお, 任意点の経路の式の求め方はV章で述べた方法以外の方法も検討したが, その方法では演算過程がさらに複雑となるため, ここでは用いなかつた。しかし, 結果として得られる合成関数の形式は簡便であり, 合成関数の微分法を示すのに便利であるので, さらに検討するつもりである。

4. 符号の定め方

平衡側顆頭点以外の点の経路の式は, 演算の最終段階において, 一直線と一つの球の連立方程式の解として求められる。したがつて, 一般的には大小二つの解が得られる。そのどちらを経路の式として用いるかは, 経路の式が $t_B=0$ でも定義されているから, これに $t_B=0$ を代入して決定するのが最も簡単である。その際, 次の三つの場合が考えられる。

1) $\sqrt{\quad}$ の前の±の符号の選択に関して, 経路の式に $t_B=0$ を代入して得られる文字式から簡単に決定できる場合で, 作業側顆頭点の経路の式はこれに相当する。

2) $t_B=0$ を代入して得られる文字式において, $\sqrt{\quad}$ の中の文字式の因数分解の仕方によつて, ±どちらの符号でも選べる場合で, インサイザル・ピン先端の点の経路の式がこれに相当する。

3) $t_B=0$ を代入して得られる文字式において, $\sqrt{\quad}$ の中の文字式の因数分解が著しく煩雑となる場合で, 任意点の経路の式やテレダイン咬合器のラテラル・ウイングの方向余弦の決定がこれに相当する。

2) および 3) の場合, 具体的な数値を代入して, $\sqrt{\quad}$ の前の±の符号の選択を行う方が簡単である。

5. 側方運動における顆頭間軸上の点の運動経路

1) H-2 型咬合器とユニバーシティ・130-28 型咬合器

H-2 型咬合器¹⁵⁾とユニバーシティ・130-28 型咬合器¹⁸⁾

α , ベネット・アングルを β , 作業側コンペンセーティング・アングルを ω , 作業側コンダイラー・ハウジングの矢状傾斜角度を θ とする。

(1) $\alpha \neq \theta$, $\beta \neq 0$, $\omega = 0$ の場合

作業側コンダイラー・ガイダンスはY軸と一致するから、顎頭間軸上の点の運動経路は、平衡側コンダイラー・ガイダンスとY軸によって決まる平面に含まれる。この平面を 1) と同様 π と呼べば、テレダイン咬合器の場合、平面 π はY軸を含み矢状面に垂直で水平面と α で交わる。平面 π と矢状面との交線を X' 軸とすれば、1) と同様 $X'-Y$ 座標系を得る。平衡側コンダイラー・ガイダンスは X' 軸と β で交わる (図 11)。顎頭間距離を a とし、平衡側顎頭点の座標を (x_b, y_b) とすれば、

$$\left. \begin{aligned} \frac{x_b}{\cos \beta} &= \frac{y_b - a}{-\sin \beta} = t_b \\ x_b &= t_b \cos \beta \\ y_b &= -t_b \sin \beta + a \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑦, \text{ VI}$$

である。次いで、作業側顎頭点の座標を (x_w, y_w) とすれば、

$$\left. \begin{aligned} x_w &= 0 \\ y_w &= t_w \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑧, \text{ VI}$$

である。顎頭間軸上の点Qの座標を (x_q, y_q) とし $W_0Q_0 : Q_0B_0 = m : n$ とすれば、

$$\left. \begin{aligned} x_q &= mx_b / (m+n) \\ y_q &= (my_b + ny_w) / (m+n) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑨, \text{ VI}$$

である。ここで $m+n=1$, $m/(m+n)=\gamma$ とおけば、⑨, VI 式は、

$$\left. \begin{aligned} x_q &= \gamma x_b \\ y_q &= \gamma y_b + (1-\gamma)y_w \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑩, \text{ VI}$$

と示される。平衡側顎頭点と作業側顎頭点の間には、

$$(x_b - x_w)^2 + (y_b - y_w)^2 = a^2 \dots\dots\dots ⑪, \text{ VI}$$

図 11 平面 π における $X-Y$ 座標系

1: 平衡側コンダイラー・ガイダンス

なる関係がある。⑦, VI 式, ⑧, VI 式および ⑩, VI 式を用いて ⑩, VI 式を x_q, y_q で表わし、さらに $X'' = x_q, Y'' = y_q - a$ なる座標軸の平行移動を行えば ⑩, VI 式は、

$$AX''^2 + 2HX''Y'' + BY''^2 = F \dots\dots\dots ⑫, \text{ VI}$$

ただし

$$A = (1-\gamma)^2 + \tan^2 \beta > 0$$

$$H = \gamma \tan \beta \quad (0 < \beta \leq 45^\circ)$$

$$B = \gamma^2 > 0$$

$$F = a^2 \gamma^2 (1-\gamma)^2 > 0$$

である。ここで、

$$\left. \begin{aligned} X'' &= \bar{X} \cos \phi - \bar{Y} \sin \phi \\ Y'' &= \bar{X} \sin \phi + \bar{Y} \cos \phi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑬, \text{ VI}$$

なる座標軸の変換公式を用いて、⑫, VI 式へ代入し $H=0$ となるように ϕ を選べば、

$$\tan 2\phi = 2H/(A-B) \quad 0 < \phi \leq \pi/2 \dots\dots\dots ⑭, \text{ VI}$$

となり、これにより ⑫, VI 式は、

$$\bar{A}\bar{X}^2 + \bar{B}\bar{Y}^2 = F \dots\dots\dots ⑮, \text{ VI}$$

と変換される。一般に $\bar{A}, \bar{B}$ は次の方程式 ⑮, VI の 2 根として求まる。

$$t^2 - (A+B)t + AB - H^2 = 0 \dots\dots\dots ⑯, \text{ VI}$$

よつて、

$$t = \frac{(A+B) \pm \sqrt{(A-B)^2 + 4H^2}}{2} \dots\dots\dots ⑰, \text{ VI}$$

である。⑰, VI 式において

$$(A+B)^2 - (\sqrt{(A-B)^2 + 4H^2})^2 = r^2(1-r^2) > 0$$

が成り立ち、 $A > 0, B > 0$ であるから ⑮, VI 式における $\bar{A}, \bar{B}$ は共に正であり、 $F > 0$ であるから ⑮, VI 式は楕円である。⑰, VI 式と $\bar{A}, \bar{B}$ の関係は、通常 $H > 0$ の場合 $\bar{A} > \bar{B}$ であり、 $H < 0$ の場合はこの逆となる。

(i) $H < 0$ の場合: $H = \gamma \tan \beta$ において、 $\tan \beta > 0$ であるから $\gamma < 0$ の場合で、これはQ点が作業側顎頭点の外側にある時である。

(ii) $H > 0$ の場合: (i) とは逆に $\gamma > 0$ であり、これはQ点が作業側顎頭点に対して、平衡側顎頭点と同側にある時である。なお、楕円の中心は常に平衡側コンダイラー・ガイダンスとY軸の交点 B_0 である。

(2) $\alpha = \theta, \omega \neq 0, \beta \neq 0$ の場合

この場合も (1) と同様の手順で運動経路は楕円であることが証明される。なお、楕円の中心は平衡側コンダイラー・ガイダンスと作業側コンダイラー・ガイダンスの交点に存在する。

(3) $\alpha \neq \theta, \omega \neq 0, \beta \neq 0$ の場合

両側のコンダイラー・ガイダンスはねじれの位置にあ

る, (1), (2) の場合とは異なる。しかしながら, Q 点の運動経路は Q_0 点を含み, 両側のコンダイラー・ガイダンスに平行な平面内で楕円になるといわれている²⁰⁾。

6. 前方運動における顎頭間軸上の点の運動経路

前方運動における顎頭間軸上の点の運動経路も曲線である。

1) H-2 型咬合器とユニバーシティ・130-28 型咬合器

H-2 型咬合器とユニバーシティ・130-28 型咬合器において, 両側コンダイラー・ガイダンスの側方傾斜角度が 0 度の場合のみ, P 点の運動経路は直線となり, ⑨, IV 式および ⑩, IV 式の l_B , l_W の値を変化させれば, 咬合器の両側顎頭点および顎頭間軸上の点の運動経路は図 12 に示すような常螺旋線^{20,21)}の一部となる。図 12 は X-Y-Z 座標系の原点を P_0 に平行移動した後, X 軸を P 点が描く直線に重なるように座標軸を回転して得た X'-Y'-Z' 座標系における場合である。たとえば, X'-Y'-Z' 座標系において, H-2 型咬合器の B 側顎頭点の運動経路を示す常螺旋線は, $\overline{P_0B_0}=l_B$ とすれば図 12 より,

図 12 常螺旋線 (占部¹⁹⁾より改変)

$$\overline{P_0B_0}=l_B$$

図 13 前方運動における楕円経路

π はコンダイラー・ハウジング

$$\left. \begin{aligned} X'_B &= b\theta \quad (b \text{ は定数}) \\ Y'_B &= l_B \cos \theta \\ Z'_B &= l_B \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \text{⑩, VI}$$

と表わせる。⑨, IV 式は ⑩, VI 式を X-Y-Z 座標系で表わしたものである。ただし, ⑨, IV 式において, $x_B = \infty$ とした場合 θ が限りなく $\pi/2$ に近づくだけで $\theta \geq \pi/2$ とならないことに注意しなくてはならない。

両側コンダイラー・ガイダンスの側方傾斜角度が異なる場合, P 点は $y=c$ なる平面内で曲線を描くから, その場合の顎頭間軸上の点の運動経路は, 図 12 の直線 P が曲線である場合を想定すれば理解される。

2) テレダイン咬合器

テレダイン咬合器の B 側について, コンダイラー・ハウジングの矢状傾斜角度を $\alpha_W > \alpha_B$ とした場合の運動経路を ⑫, IV 式および ⑬, IV 式に従って図示すれば図 13 のようになる。顎頭点 B は常にコンダイラー・ハウジングに接するから, その運動経路は一つの平面に含まれることになり, 図から明らかなように P 点の運動経路を軸とした半径 l_B の円柱とコンダイラー・ハウジングの交線がこれに相当する。したがって顎頭点 B の運動経路は楕円の一部である。楕円の中心は P_0 点にあり, $\angle P_0P_nB_n = \pi/2$ より $\overline{P_nB_n} > l_B$ であるから, その短軸は Y 軸上に, 長軸は運動経路を含む平面と $y=c$ なる平面との交線 X' 軸上に存在する。顎頭間軸上の点 Q の運動経路に関しても同様である。

7. 本章 4 節および 5 節から明らかなように, 同じアルコン型咬合器であつても, そのコンダイラー・ガイダンスがスロット型かボックス型かによつて, 顎頭間軸上の点の運動経路は理論的には異なる。したがってアルコン・ボックス様式の咬合器とアルコン・スロット様式の咬合器が, 同一患者の同じ顎位を再現し得たとしても, 通常セントリック・ロックされる位置からその顎位に致るまでの顎頭間軸上の点の運動経路は異なる。

8. 直線であるコンダイラー・ガイダンスに沿つて移動する顎頭間軸上の点の運動経路が曲線であるから, 咬合器上の任意点の運動経路も曲線であると考えられる。

9. アルコン・ボックス様式, ウィップ・ミックス咬合器²²⁻²⁴⁾の場合, 両側顎頭点および顎頭間軸上の点の経路の式は, テレダイン咬合器の経路の式を適用し得る。ただし, スタンダード・サイド・シフト・ガイド²³⁾が用いられている場合で, 作業側コンペンセーティング・アングルを 0 度とし, 顎頭間距離 a を S, M, L に相当する長さにとることに注意する。

任意点の経路の式は, インサイザル・ピン先端部の運

動経路が、プラスチック・ガイドをカーボランダム・ポイントで削除したり、常温重合レジンを追加することによって作られるので、テレダイン咬合器と異なるため適用し得ない。また、金属性アジャスタブル・ガイド・テーブルを用いた場合であつても、ラテラル・ウイングの角度が不明であるため同様である。

10. デンタータス咬合器^{24,25)}の場合、顎頭間軸上の点の経路の式は H-2 型咬合器の経路の式を適用し得るが、任意点の経路の式は、インサイザル・テーブルが平面の場合のみ適用し得る。それは、一般的な場合インサイザル・テーブルが曲面をなすためである。

11. ハノー・ユニバーシティ・130-7 型咬合器²⁶⁾の場合は、顎頭間距離が可変であることに注意すれば、H-2 型咬合器の顎頭間軸上の点や任意点の経路の式を適用し得る。

VII. 結 論

1. 補綴学の領域で用いられている咬合器の調節角の三角関数と、数学領域で用いられている方向比および方向余弦の関係について示した。

2. 半調節性咬合器の両側顎頭点および顎頭間軸上の点の経路の式を、平衡側顎頭点の移動距離を媒介変数とする方程式またはそれらの合成関数として示した。

3. 咬合器上の任意点の経路の式を、両側顎頭点およびインサイザル・ピン先端の点の経路の式の合成関数として示した。

4. 経路の式に微・積分学を適用する場合、独立変数たる平衡側顎頭点の移動距離 t_B に関して直接微・積分して利用できるのは、両側顎頭点の経路の式までで、それ以外の点の経路の式には合成関数の微分法を用いざるを得ないことを明らかにした。

5. ハノー・H-2 型咬合器およびユニバーシティ・130-28 型咬合器の顎頭間軸上の点の側方運動経路は、ニコメデスのコンコイドと呼ばれる曲線の一部であり、前方運動経路は常螺旋線またはその類似曲線の一部である。

6. ハノー・テレダイン咬合器の顎頭間軸上の点の側方運動経路および前方運動経路は共に楕円の一部分である。

7. したがって、スロット型咬合器とボックス型咬合器が、同一患者の同一顎位を再現し得たととしても、顎位と顎位の間の曲線たる運動経路は理論的には異なる。

8. ウィップ・ミックス咬合器、デンタータス咬合器、ハノー・ユニバーシティ・130-7 型咬合器に関して、

ハノー・H-2 型咬合器またはハノー・テレダイン咬合器の経路の式を準用する場合の注意点を示した。

稿を終るに臨み、多くの御指導、助言を戴いた根本一男教授および早稲田大学大学院物理科鈴木尚通君に深謝します。

文 献

- 1) 石原寿郎, 長谷川成男, 藍 稔: 下顎運動と咬合器, 1~256, 日本歯科評論社, 東京, 1975.
- 2) 野村考太郎: 側方咬合位における咬合器の再現性と運動様式に関する研究, 補綴誌, 14: 239~266, 1970.
- 3) 真柳昭絃: 作業側顎頭の運動様相と咬合器の再現性に関する研究, 補綴誌, 18: 126~133, 1974.
- 4) 松本直之, 田中久敏: Teledyne system 咬合器の紹介, 機構と調節限界, 補綴臨床, 9: 125~134, 1976.
- 5) 長谷川成男, 野村考太郎, 田中伐平: 続・Hanau の咬合器に聞く (下)—130-7型咬合器の機構と再現性一, 歯界展望, 45: 379~387, 1975.
- 6) Weinberg, L.A.: Aron principle in the condylar mechanism of adjustable articulator, J. Prosthet. Dent., 13: 263~268, 1963.
- 7) Weinberg, L.A.: An evaluation of basic articulators and their concepts, Part II. Arbitrary, positional, semiaadjustable articulators, J. Prosthet. Dent., 13: 645~663, 1963.
- 8) Weinberg, L.A.: An evaluation of basic articulators and their concepts, Part III. Fully adjustable articulators, J. Prosthet. Dent., 13: 873~888, 1963.
- 9) Weinberg, L.A.: An evaluation of basic articulators and their concepts, Part IV. Fully adjustable articulators, J. Prosthet. Dent., 13: 1,038~1,054, 1963.
- 10) 野村考太郎, 長谷川成男, 坂東永一他: Arcon Type 咬合器と Condylar Type 咬合器について, 第1報 矢状面内運動における検討, 補綴誌, 14: 204~212, 1970.
- 11) 長谷川成男, 野村考太郎, 福島俊士他: Arcon Type 咬合器と Condylar Type 咬合器について, 第2報 水平面内運動の調節性に関する検討, 補綴誌, 15: 67~75, 1971.
- 12) 長谷川成男, 真柳昭絃, 新井 泉: 顎路型咬合器の調節性, 補綴誌, 21: 27~33, 1977.
- 13) 真柳昭絃, 中野雅徳: 顎路型咬合器の調節機構, DE, 28: 28~35, 1974.
- 14) 矢野健太郎: 代数学と幾何学, 130~206, 裳華房, 東京, 1961.

- 15) Hanau Engineering Co. : Articulator Technique Series H-2, Buffalo, N.Y.
- 16) Teledyne Dental Hanau Division : Teledyne Articulator System, technique for full denture prosthodontics, Buffalo, N.Y.
- 17) Tanaka, H. : A new semi-adjustable Articulator, Part 1. Concept behind the new articulator, J. Prosthet. Dent., 1 : 10~16, 1975.
- 18) Hanau Engineering Co. : Articulator Technique for the University Models 130-28 and 130-30, Buffalo, N.Y.
- 19) 占部 実, その他 : 微分・積分教科書, 36~44, 共立出版, 東京, 1965.
- 20) 栗田 稔 : いろいろな曲線, 96~97, 140~142, 164, 共立出版, 東京, 1965.
- 21) Gysi, A., 長谷川成男 : Gysi 咬合小面学説の再検討, その一 理論的検討, 補綴誌, 6 : 20, 1962. より引用.
- 22) Hicky, J.C. : A new articulator for use in teaching and general dentistry, J. Prosthet. Dent., 18 : 425~437, 1967.
- 23) 中沢 靖, 五十嵐孝義, 佐田二三夫 : Whip-Mix 咬合器の使い方と新しい付属品の紹介, 補綴臨床, 7 : 296~306, 1974.
- 24) 三谷春保, 山下 敦 : 最新歯科補綴アトラス, 319~381, 医歯薬出版, 東京, 1970.
- 25) Posselt, U. : Physiology of Occlusion and Rehabilitation, 114~117, Balckwell Scientific Publishing Co., Oxford, 1962.
- 26) 根本一男 : ハノウ咬合器の移り変わり (下) — H2 シリーズからユニバーシティ咬合器まで —, 補綴臨床, 6 : 343~355, 1973.