研究

組立機械用ヘッドの基本動作*

—第2報 U形動作その他の解—

牧 野 洋**

Basic Motions for Pick-and-Place Mechanism

—Part 2 Solutions of U-Type Motion and Others—

Hiroshi MAKINO

The best overlap ratio giving the minimum transfer time is calculated for U-type motion and others. In case of U-type, the 'one-half overlap method' gives a practical solution as well as J-type reported in Part 1.

1. U形動作の解

1.1 U形動作

前報¹⁾においてはJ形動作における最適オーバーラップ比 T_l を求めたが、本報ではひき続きU形、S形などの解を求める。

U形動作あるいは逆U形動作は、つまみ運び機構あるいは工業用ロボットなどにもっとも広く用いられている動作である。図1にその代表的な用例を示した。

図1はネストから部品を取出して、これをテーブルあるいはパレット上にある治具あるいは相手部品の中へ装入する動作を示している。図示の各寸法に対する一般的な制約を考えてみると、まずネストの中から部品を取出すために最小限 z_n の直線動が垂直方向に必要であり、また治具側においても最小限 z_j の直線動が必要である。機械の構成上の制約から水平方向搬送距離 x_h はある値に決定される。これらに比して、段差 z_d や垂直方向搬送距離 z_h は比較的自由に選ぶことを得、とくに z_h は上方に障害物さえなければ自由に選べることが多い。このような制約条件を想定して、両方向の最大加速度をと

に a_m におさえるという仮定のもとに、最小搬送時間を与えるべき最適オーバーラップ比 T_l を求める。

1.2 U形動作の基本式

図2にU形動作を、図3にそのタイミング線図を示す。図3におけるカム曲線は破線のようになるが簡単のため実線で示す。

z_n, z_j, z_d, x_h が与えられ、 z_{hj} あるいは z_{hn} は任意であるとする。 x 方向に与えられた無次元カム曲線¹⁾を $S_x = F_x(T_x)$ 、 z 方向に与えられた無次元カム曲線を $S =$

図2 U形動作

図3 U形のタイミング線図

図1 逆U形動作の例

*原稿受付 昭和45年11月18日。昭和45年度精機学会春季大会学術講演会(昭和45年4月5日)にて発表。

**正会員 山梨大学工学部(甲府市武田4-3-11)

$F(T)$ とする. z 方向の復行程は往行程と対称形に (折返して) 用いるものとする. 最小の総搬送時間 t_h および z_{hj} , z_{hn} は以下の式により得られる.

$$a_{mx} = a_{mz} = a_m \quad (1)$$

$$t_{hx} = \sqrt{\frac{x_h \cdot a_{mx}}{a_{mx}}} \quad (2)$$

$$z_{hj} = z_{hn} + z_d \quad (3)$$

$$t_{30} = \sqrt{\frac{z_{hn} \cdot a_{mz}}{a_{mz}}} \quad (4)$$

$$t_{53} = \sqrt{\frac{z_{hj} \cdot a_{mz}}{a_{mz}}} \quad (5)$$

$$\frac{z_n}{z_{hn}} = F\left(\frac{t_{10}}{t_{20}}\right) \quad (6)$$

$$\frac{z_j}{z_{hj}} = F\left(\frac{t_{54}}{t_{53}}\right) \quad (7)$$

$$t_{h1} = t_{20} + t_{53} \quad (8)$$

$$t_{h2} = t_{10} + t_{hx} + t_{54} \quad (9)$$

$$t_h = \max(t_{h1}, t_{h2}) \quad (10)$$

ただし,

a_{mx} , a_{mz} : x , z 方向の最大実加速度 [mm/s²]

a_m : 加速度の最大制限値 [mm/s²]

t_{hx} : x 方向の搬送時間 [s]

x_h : x 方向の搬送距離 [mm]

A_{mx} , A_{mz} : x , z 方向曲線の無次元最大加速度

z_{hj} , z_{hn} : 治具側, ネスト側における z 方向の搬送距離 [mm]

z_d : 治具とネストとの段差 [mm]

t_{20} : 時刻 0 から 2 までの時間 [s]

(t_{53} , t_{10} , t_{54} などについても同様)

z_j , z_n : 治具側, ネスト側における z 方向の直線動保証距離 [mm]

t_{h1} : 丸底解による搬送時間 [s]

t_{h2} : 平底解による搬送時間 [s]

t_h : 総搬送時間 [s]

t_h としては t_{h1} と t_{h2} のうち大きいほうをとらなければならない. t_{h1} が大きいときを丸底解 (まるぞこかい), t_{h2} が大きいときを平底解 (ひらぞこかい) と呼ぶ.

1.3 $z_d=0$, $z_n=z_j$ なる場合

治具側とネスト側とに段差がなく, 両端での直線動保証距離が等しい場合について解を求める.

$z_{hn}=z_{hj}=z_h$ とし, オーバラップ比 T_l を $T_l=t_{21}/t_{hz}$ として定義すると,

$$t_{h1}=2t_{hz}=2t_{hz} \cdot E(T_l) \quad (11)$$

$$t_{h2}=t_{hx}+2t_{hz}(1-T_l)=t_{hx}+2t_{hz} \cdot D(T_l) \quad (12)$$

ただし,

t_{hz} : z 方向搬送時間 [s]

t_{hzj} : z_j の長さをフルストロークとする z 方向カム曲線の搬送時間 [s]

t_{hzj} : は下式の値である.

$$t_{hzj} = \sqrt{\frac{z_j \cdot A_{mz}}{a_{mz}}} \quad (13)$$

また, $E(T)$, $D(T)$ はそれぞれ下式で与えられるオーバラップ特性式で, カム曲線 $S=F(T)$ について固有である.

$$E(T) = \frac{1}{\sqrt{F(1-T)}} \quad (14)$$

$$D(T) = \frac{1-T}{\sqrt{F(1-T)}} \quad (15)$$

$t_{h1}=t_{h2}$ となるのは,

$$C(T_l) = C(T_c) = \frac{t_{hx}}{2t_{hzj}} \quad (16)$$

ただし, このときの T_l を T_c とおいた. $C(T)$ は

$$C(T) = \frac{T}{\sqrt{F(1-T)}} = E(T) - D(T) \quad (17)$$

で与えられる境界条件式である.

一例として, 非対称 6 次曲線につき $D(T)$, $E(T)$, $C(T)$ の形を示したのが図 4 である.

これらの式は, t_{hzj} が $2t_{hzj}$ になり, $1-F(T)$ が $F(1-T)$ に変わったことを除けば, 前報の J 形の解と同様である. 対称曲線では,

$$F(1-T) = 1-F(T) \quad (18)$$

であるので (対称曲線の定義), $D(T)$, $E(T)$ などの特性式は J 形の場合と同一になる. 非対称曲線では同じにならないが, これは, J 形では z 方向曲線の前半をオー

図 4 オーバラップ特性式 (U形)

バラップさせているのに対し、U形では後半をオーバーラップさせているからである。

T_l と T_c との大小関係によって、 $T_l \leq T_c$ ならば平底解、 $T_l \geq T_c$ では丸底解を与える。 $E(T)$ は単調増大な曲線なので、丸底解の最小値はつねに T_c のところにある。

平底解の最小値は、 $D(T)$ が最小値をとるところにあり、このとき $T = T_m$ とする。 x_h と z_h , z_j の寸法関係によって、 $T_m \leq T_c$ ならば平底解の最小値は T_m のところにあるが、 $T_m > T_c$ であると、 $T_l = T_m$ のところでは平底解をとりえないので、 $T_l = T_c$ で最小値をとる。これらの関係を図5に示した。それぞれの場合について、丸底解と平底解の両者を通じての最適解は T_m または T_c のところにある。

いま、 $V_m = 2$ なる対称曲線を用い、 x , z 両方向に対して同じ曲線を用いる場合について $T_m = T_c$ なる条件を求めてみると、

$$C(T_m) = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{t_{hv}}{2 t_{hzj}} \quad (19)$$

$$\therefore z_h = 2 z_j = x_h \quad (20)$$

が得られる。すなわち、この場合、 z_h が x_h 以下ならば、 $T = T_m (= 0.5)$ がつねに最適解である。

その他の曲線の場合には解は必ずしも $T = 0.5$ ではないが、 $T = 0.5$ とする 1/2 オーバラップ法は、J 形同様に十分な近似解を与える。

表1はいくつかの曲線について、U形の解の特性値を求めた結果を示す。

1.4 $z_n = z_j = 0$ に対する丸底解

特殊な場合として、 $z_n = z_j = 0$ に対する丸底解を求めると、両方向に同一の曲線を用いるとして、

図5 平底解と丸底解

表1 オーバラップ特性値 (U形)

カム曲線	対称性	V_m	T_m	$D(T_m)$	$C(T_m)$
サイクロイド	対称	2.00	0.500	0.707	0.707
変形台形	〃	2.00	0.500	0.707	0.707
変形正弦	〃	1.76	0.597	0.699	1.034
非対称6次	非対称	2.07	0.649	0.589	1.092
トラペクロイド	〃	2.18	0.555	0.638	0.798

$a_{mx} = 2g$, $F_x \equiv F$ サイクロイド曲線

図6 $z_n = z_j = 0$ に対する丸底解

$$\left. \begin{aligned} 2 t_{hz} &= t_{hx} \\ z_h &= \frac{1}{4} x_h \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

が得られる。 z_h が x_h の 1/4 以下の値であるならば、弧状の搬送を行なっても、直線搬送に比べて t_h を増加させることにはならない。分りやすくいうならば、 x 方向を送る時間の間に z 方向を往復できる時間がとれるならば、それは搬送時間を増加させない。逆U形の場合の軌跡の形を図6に示した。

立上り部分のこう配は

$$\tan \theta = \frac{2 a_{mz}}{a_{mx}} \quad (22)$$

で求められる。 x 方向と z 方向の加速度の最大値を同じ値におさえるとすると、 $\theta = 63.4^\circ$ である。

人間が手作業で物体を運ぶさいには、あえて最短距離である直線をとらず、空中を弓なりに運ぼうとする傾向があるが、これはここに述べたようなことと関係があるのではないと思われる。

1.5 一般の場合

$z_d \neq 0$ の場合、あるいは $z_n \neq z_j$ の場合などは、いずれもU形動作の基本式から解くことができる。 z_h , z_n などのパラメータに自由度が一つもなく、すべて決められていれば、それに対するオーバラップ比 T_l が決定されるだけである。パラメータに自由度が一つあれば、それによって最適のオーバラップ比を探索できる。パラメータの自由度が二つ以上ある場合には解くのがむずかしいが、J形の解や、U形の特別な場合の解を参考にしてパラメータを順次決定していくことにより、最適解に導くことができる。

2. J U形動作の解

J U形動作はJ形動作とU形動作を合成したものであるから、いままでに述べたJ形およびU形の解によって解くことができる。ただ、自由度が多くなるので、U形の一般の場合について述べたのと同じ注意が必要である。

個々のものに対する最適解と、合成したものに対する最適解が必ずしも一致しないことがあるが、最適値の近くでは値がそんなに変わらない（微分がゼロである）という原理を考えるならば、実用的にはさしつかえないものと思われる。

3. S形動作の解

3.1 S形動作とその基本式

図7および図8にS形動作を示した。S形動作は取出機構によく用いられる。U形と同様に記号を決めると、

$$a_{mx} = a_{mz} = a_m \quad (23)$$

$$t_{hx} = \sqrt{\frac{x_h \cdot A_{mx}}{a_{mx}}} \quad (24)$$

$$\frac{z_n}{z_h} = F\left(\frac{t_{10}}{t_{hz}}\right) \quad (25)$$

$$\frac{z_h - z_j}{z_h} = F\left(\frac{t_{hz} - t_{32}}{t_{hz}}\right) \quad (26)$$

$$t_{h1} = t_{hz} = \sqrt{\frac{z_h \cdot A_{mz}}{a_{mz}}} \quad (27)$$

$$t_{h2} = t_{10} + t_{hx} + t_{32} \quad (28)$$

$$t_h = t_{h1} = t_{h2} \quad (29)$$

S形動作においては平底解が成立せず、 $T = T_c$ が求まる解になる。この解は x_h と z_j 、 z_n の寸法関係から求めることができる。

3.2 $z_n = z_j$ とし対称カム曲線を用いる場合

z_n と z_j が等しく、対称カム曲線を用いる場合にはオーバーラップ比 T_l をつぎのように定義する。

$$T_l = \frac{t_{21}}{t_{hz}} = \frac{t_{hx}}{t_{hz}} \quad (30)$$

このとき

$$\frac{z_j}{z_h} = \frac{z_n}{z_h} = F\left(\frac{1 - T_l}{2}\right) \quad (31)$$

$$t_{h1} = t_{hzj} \cdot \frac{1}{\sqrt{F\left(\frac{1 - T_l}{2}\right)}} \equiv t_{hzj} \cdot E(T_l) \quad (32)$$

図7 S形動作

図8 S形のタイミング線図

$$t_{h2} = t_{hx} + t_{hzj} \cdot \frac{1 - T_l}{\sqrt{F\left(\frac{1 - T_l}{2}\right)}} \equiv t_{hx} + t_{hzj} \cdot D(T_l) \quad (33)$$

$$C(T) = E(T) - D(T) = \frac{T}{\sqrt{F\left(\frac{1 - T}{2}\right)}} \quad (34)$$

$t_{h1} = t_{h2}$ において

$$C(T_c) = \frac{t_{hx}}{t_{hzj}} \quad (35)$$

③5式より T_c を求め、この T_c の値を③2式または③3式の T_l に代入することによって最小搬送時間 t_h を求めることができる。このときの z_h は③1式から求まる。

サイクロイド曲線の場合について、 $E(T)$ 、 $D(T)$ などの曲線の形を図9に示した。

3.3 z_h を与える場合

x_h と z_h を与えて、これに対する直線動保証距離 z_n 、 z_j がどのくらいになるかを求めたい場合には③0式より T_l を求め、これを③1式に代入すれば、 $z_n (= z_j)$ を得る。

4. 結 論

前報のJ形にひきつづき、U形、J U形、S形の解を求めた。その結果つぎのことが分った。

- 1) U形のオーバーラップ特性式は、対称曲線ではJ形と同一で、非対称曲線ではやや異なるがいずれの場合にも1/2オーバーラップ法は実用解として十分な近似解を与える。
- 2) z 方向に直線動を必要としない場合、 x 方向だけの搬送に z 方向を加えても、 z 方向の搬送距離がある制

$$F(T) = T - \frac{1}{2\pi} \sin 2\pi T$$

図9 オーバーラップ特性式 (S形) サイクロイド曲線

限值以下にあるならば、搬送時間を延ばすことにはならない。

- 3) S形においても寸法関係が決まれば、これに対するオーバーラップ比 T_l を求めることができる。
終りに、本研究に関してご指導を受けた東京大学の神

保教授に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 牧野 洋, 組立機械用ヘッドの基本動作, 第1報, J形動作の解, 精密機械, 37, 6 (1971) 397.

情 報

工業技術協議会・技術開発の優先順位まとめる

工業技術院長の諮問機関である工業技術協議会(会長三村起一氏)はこのほど、総合部会技術情報分科会(分科会長渡辺茂東大教授)を開き、昨秋からアンケート調査していた「研究開発の定量的評価」PRETEQS=プライオリティ・エバリュエーション・オブ・テクノロジー・バイ・クオンタティブ・システム)に関する調査をまとめた。近く工技院長に報告書を提出する。これは定量的評価によって技術開発の優先順位を広く経済的、社会的な要請に応じて決めようとするもの。同分科会では電子、機械、エネルギー・資源、化学・繊維・公害各分野の合計120テーマの中から無人工場システムが1位に、ついで大容量高速アクセス記憶装置、ミニコンピュータ、移動用小型燃料電池がランクされた。

テーマは将来のソーシャルニーズを予測、それをもとに関連樹木法によって新技術を誘導し、光コンピュータ、立体テレビなど電子分野 32 テーマ、超音速機、リニアモーター列車など機械分野 36 テーマ、太陽熱発電、海底・沖合発電所などエネルギー・資源分野 35 テーマ、化学・繊維・公害分野 17 テーマの合計120テーマを選んでいる。

採点者は産業界有識者(40%)学識経験者(20%)を含む1221名。評価方法は研究開発の背景となる種々の要因を「効果」と「条件」に分類し、それぞれの内容についてあらかじめ設定された①労働および社会環境の整備②生活の高度化③生産性向上④商品の国際化⑤資源の拡大⑥技術水準向上⑦開発の容易さ⑧企業化の容易さ⑨国家的要請—の項目別(それぞれはさらに細分化されている)に5段階の点数をつけるやり方で行われた。

この結果①—⑨の項目別では別表の項目がそれぞれ上位にピックアップされた。

中項目ごとの順位

▷労働および社会環境=①重金属イオン除去装置②ヘドロ分離装置③固体産業廃棄物処理④トラフィックコントロールシステム⑤船舶廃油処理装置⑥構造物破壊法

▷生活の高度化=①家庭用ファクシミリ②加入テレビ電話③PCM超多重通信システム④電子翻訳機⑤通信衛星システム

▷生産性向上=①住宅ユニットの自動製造ライン②無人工場システム③適応制御工作機械④自動縫製装置⑤作業用ロボット

▷商品の国際化=①無公害ガソリンエンジン②人工臓器③PCM超多重通信システム③カラー複写機③低騒音航空機③移動用小型燃料電池

▷資源の拡大=①海底鉱物資源採取法②海水溶解資源回収法③大容量地熱発電④大口径大深度パーティカルロックボーリング⑤核爆発利用採鉱採油

▷技術水準の向上=①核融合発電②リニアモーター列車③無人工場システム④超電導送電⑤光コンピュータ⑤原子力利用製鉄法

▷開発の容易さ=①ミニコンピュータ②自動呼出電話③自動出改札装置④家庭用ファクシミリ⑤直流送電

▷企業化の容易さ=①超高速パルスモーター②自動出改札装置③自動呼出電話④電磁衝撃・爆発衝撃成形装置⑤エアバック

▷国家的要請=①住宅ユニットの自動製造ライン②通信衛星システム③高層プレハブ住宅④無公害ガソリンエンジン⑤固体産業廃棄物処理 (57頁へつづく)