

氏名	ほん ま よし ひと 本 間 義 彦
授与学位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 56 年 2 月 4 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最終学歴	昭和 34 年 3 月 東北大学工学部鉱山工学科卒業
学位論文題目	部品供給における転動体の形状と静止姿勢に関する 研究
論文審査委員	東北大学教授 斎藤 秀雄 東北大学教授 萱場 孝雄 東北大学教授 酒井 高男 東北大学教授 川島 俊夫

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

剛体平板上に多面体など転動体をころがすとき、転動体が n 面体ならば、その静止姿勢は n 通りあり得る。これら n 通りの各姿勢が各々どのような出現確率をもって現われるかは、その転動体の形状、重心の位置などによると考えられ、各々の姿勢の出現確率を求めるには、転動体のころがり運動に関する動力学的考察を必要とする。このような問題は工業的には、自動組立における部品の整列問題、すなわち自動組立に適した姿勢で部品供給機から送出される部品数の割合を予測し、供給機の最適供給能力や整列など部品の姿勢処理に関する問題、を合理的に解決するための基礎として重要である。したがって部品整列の問題に関して、G. Boothroyd⁽¹⁾によるカップ状部品の剛体板上およびゴム状平板上における静止姿勢の実験的研究、Davies, P. B. と Sanger, D. J.⁽²⁾による円筒形転動体の段付走路上における姿勢変更に関する実験的研究、あるいは部品整列のための部品形状の分類に関する提案^{(3),(4)}など種々の研究が見られるが、一般の形状の転動体の静止姿勢に関する系統的あるいは理論的な研究は見られない。

本研究は、転動体のころがり運動を位相平面トラジェクトリで表わし、トラジェクトリが静止の状態に到達する種々の条件について考察することによって、転動体の各々の静止姿勢の出現確率を解析的に求められることを示し、種々の例について解析および実験を行って、理論の妥当性

を示し、さらに与えられた出現確率によって、合理的な供給機の供給能力を求める方法を示すなど、部品整列の問題に対して理論的な基礎を与える。

第2章 転動体の形状と姿勢に関する基礎理論

本章では、転動体の静止姿勢に関する基礎的な理論について示す。すなわち、転動体の平板上におけるころがり運動を位相平面トラジェクトリで表わすとき、ころがり運動を続けるトラジェクトリ群と各々の面を底とする動揺（ロッキング）を示す群があり、その境界の軌跡（セパトリックス）がある。転動体がある姿勢で止まるためには、トラジェクトリが、その姿勢に対応するセパトリックスを横切らなければならないから、その姿勢の出現確率は任意のトラジェクトリに対応するセパトリックスを横切る確率として与えられる。したがって、その確率は、対応するセパトリックスが区切る横軸の長さ（動揺できる最大の回転角、これを限界角とする）によって与えられ、また各々の姿勢におけるころがり抵抗の大きさによって、その限界角に重みをつけなければならないことなどを示した。初めに角柱のような、一平面内の回転運動による各姿勢の出現確率について理論的考察を行ない、さらに多面体のような三次元的なころがり運動をする場合に理論を拡張し、次いで、ころがり抵抗について考察し、ころがり抵抗が辺の長さの二乗に比例すること、これにより各限界角に重みをつけなければならないことなどを示した。また数例について実験および解析を行っている。

第3章 傾斜基板上における転動体の姿勢

本章においては、セパトリックスの形状によって各々の姿勢の出現確率が変化することを示すため、また供給機の底面は傾斜している場合も一般的であることから、傾斜板上における静止姿勢について明らかにした。すなわち転動体が傾斜板上をころがるとき、転動体の板上における位置によって重心の高さが異なり、転動体の位置エネルギーが変化して、そのセパトリックスの形状は水平板上の場合と異なったものとなる。このため、その静止姿勢の出現確率も基板の傾斜角によって変化することを示した。また基板の主傾斜方向に対する転動体のころがる方向によって実傾斜角が異なるため、ころがる方向は任意であることを考慮し、任意の方向にころがる場合の平均傾斜角としてセパトリックスを求めるべきであることを示した。さらに数例について解析例および実験による結果を示している。

第4章 円筒面、円すい面あるいは平面を有する転動体の姿勢

本章では、静止姿勢の出現確率に大きな影響を与えるころがり運動の減衰の様子が、円筒面、円すい面などの曲面では平面の場合と異なること、また自動組立に供される部品の形状として円筒、円すいなどは一般的であることから、このような簡単な回転面を有する転動体の静止姿勢について述べる。すなわち、このような回転面を有する転動体の場合、回転面の軸まわりの回転運動は減衰がきわめて小さいこと、また、このため他軸まわりの回転運動に対して、回転軸の方向を変え、あるいは運動を誘起する場合があることなどを示し、これらの影響に関して二、三の仮

定を設けることによって各々の場合の出現確率を近似的に求めた。さらに数例について実験による結果との比較を示している。

第5章 各種の形状を有する転動体の姿勢

本章においては、前章までの理論を用い、また若干の考察を加えることによって、小判形や円筒側面にキー溝を有する場合のような円筒面とその筒軸に平行な平面とから成る転動体の姿勢について、その出現確率を明らかにした。

第6章 転動体の姿勢に及ぼす相互衝突の影響

本章では、転動体が互いに衝突し合いながらころがるとき、その相互衝突が静止姿勢に及ぼす影響について明らかにした。すなわち平板上における転動体の姿勢が工業的には自動組立における部品整列問題としてみられるとき、部品供給機において部品は互いに衝突し合いながらころがる。このような転動体相互の衝突が起こるとき、その相互衝突によっても転動体のころがり運動が抑制される。このような相互衝突は、平板から受ける反発力によるころがり抵抗のように各々の姿勢に対応した抵抗をもたらすのではなく、衝突が任意の姿勢、位置において起こるため、各姿勢に対して一様な大きさあるいは度合の運動の減衰をもたらすと考えられる。したがって相互衝突の起こる頻度が小さいとき、各姿勢は、その運動の減衰が平板によるころがり抵抗であるとして与えられる確率（動的確率）をもって現われ、頻度が増すにつれて、ころがり運動中、一様に減衰していくとして求められる確率（静的確率）をもつようになる。この相互衝突の起こる頻度は平板上における転動体の分布密度によること、姿勢の出現確率は、この分布密度によって変わることを明らかにした。さらに実験を行い、その結果と理論による結果との比較を行った。

第7章 部品供給機における部品の姿勢

前章までにおいて、転動体の静止姿勢は、平板に転動体のどの面が接するかによって定まる姿勢について考え、転動体がどの方向を向いているかは問題としていない。しかるに部品供給機から送出される部品の姿勢は部品の向きも問題となる。本章では、部品供給機から送出される部品の姿勢について、その向きも考慮して明らかにする。すなわち振動ボウルフイーダのような供給機に投入される部品は、まずボウル底部に向きが定まらないで底面で各々の姿勢で安定し、向きを自由に交えながら、ボウル周辺部に移送され、部品走路に達して、走路側壁に接して向きが定まり、走路を移送される。したがって部品の向きは、走路側壁に部品のどの面が接して安定するかによって定まる。したがって底面にある面を接した転動体は向きを変えながら、すなわち一面内の回転運動をしながら走路側壁に接すると考えられる。よって向きを考慮した姿勢の出現確率は、底面に対する姿勢の出現確率とその姿勢で底面上で面内の回転をしてある面が側壁に接する確率との積となる。これらの確率がどのように与えられるかを考察し、さらに実験を行って、その結果を示す。

第 8 章 部品の姿勢の出現確率による部品供給機の供給能力の一決定法

本章においては、前章までの理論によって求められる各姿勢の出現確率を基として、自動組立システムにおける部品供給機の供給能力の一決定法を示す。ある姿勢の出現確率は試料抽出数あるいは抽出時間が十分大きいときに実現する平均的確率である。しかるに自動組立における部品供給と消費（組立）の関係を考えれば、組立機が部品不足を起こさないためには、平均供給数が十分なだけでは不足であって、一時的にも、すなわち短い試料抽出時間内でも供給不足を起こしてはならない。一方、試料抽出時間を短かくするにつれて、その間の整列部品の供給数を必要量確保できる確率は低下する。以上の考察から、自動組立における部品供給に際して、整列済部品を溜めて置くバッファストックが供給機と組立機の間が必要であること、このバッファストックの容量に応じて、その組立装置に適した試料抽出時間（基準時間）を定めなければならないことを示し、さらに必要な連続給送数に応じた補正が必要となることを示した。また部品の供給状態と組立の状態を電子計算機によってシミュレートし理論的結果との比較を示した。

第 9 章 結 言

- 平板上をころがる転動体の静止姿勢について理論的考察および数例について実験を行って、
- (1) 平板上における転動体の運動は、ころがり運動と動揺運動があり、これらを位相平面トラジェクトリで表わすとき、各々の曲線群を分ける軌跡、セパラトリックスがあり、転動体の静止姿勢の出現確率は、任意のトラジェクトリが各姿勢に対応するセパラトリックスを横切る確率として与えられる。したがって、その出現確率はセパラトリックスの形状およびころがり運動の減衰の割合によって定まる。（第 2， 3 章）
 - (2) 転動体が円筒面、円すい面など回転面を有する場合の静止姿勢は、回転面の軸まわりの回転による影響が大きい（第 4， 5 章）
 - (3) 転動体が相互衝突するとき、その影響を受け、衝突の頻度、したがって転動体の板上における分布密度が増すにつれて、動的な出現確率から、静的な出現確率に変わる。（第 6 章）
 - (4) 部品供給機から送出される部品の姿勢は向きを考えなければならないが、この向きは供給機走路の側壁に対する姿勢として求められる。（第 7 章）
 - (5) 部品の各姿勢の出現確率が与えられたとき、整列済部品の蓄積量、すなわちバッファストックの容量によって、その組立装置に最適な供給量を求めることができる。（第 8 章）
 - (6) 自動組立における部品整列の問題（第 1 章）に対し、一応の理論的な解法を与えることができた。

終りに、本研究に際し終始、御親切な御指導、御鞭達を賜った東北大学工学部教授、斎藤秀雄先生、有益な御助言、御激励を賜った東北大学工学部教授萱場孝雄先生、酒井高男先生、川島俊夫先生に深く感謝申し上げます。

参考文献

- (1) Boothroyd, D. et al. "Statistical Distribution of Natural Resting Aspects of Parts for Automatic Handling", Manufacturing Engineering Transactions, 1972, Vol. 1.
- (2) Davies, P. B. and Sanger, D. J., "The characteristics of a simple Orienting Device", Paper presented at the Conference on Mechanized Assembly, July 1966 Royal college of advanced Technology.
- (3) W. Groth, "Das Orden von Massenteilen und ihre selbsttatige Zuführung in die Werkzeugmaschine", Werkstatttechnik und Maschinenbau, 1957, 47, 8.
- (4) 牧野 自動供給のための部品形状の分類
精密機械 37番 5号 1971.

審査結果の要旨

自動加工機や自動組立機への部品の供給は、供給機と整列装置を通して行われる。ホッパから無作為に送出される部品の姿勢は、整列工程でそれぞれ異なり、取り得る姿勢の多いほど取り扱いが煩雑となる。もし、部品の各姿勢の現われる頻度がかなりの精度で予測できれば、部品の最適供給量も定まり、全体の効率を高めることができる。しかし従来この種の研究は少なく、未知の事項が多い。

著者はこれらの問題を解明するため、平板上における転動体の運動を、位相平面を用いて動力学的に解析する方法を提案し、整列工程において部品の姿勢に影響を与える種々の要因の性質を明らかにすると共に、供給装置の効率改善を計った。本論文はこれらの成果をまとめたもので、全編9章より成る。

第1章は序論であり、従来の研究の概要、本研究の目的および内容を説明している。

第2章では平板上をころがる多面体の運動を、位相平面上のトラジェクトリで表わし、多面体がある面を底として静止する姿勢の出現確率は、トラジェクトリが転動と動揺との境目の対応する分離枝を横切る確率で与えられることを見出ししている。これは興味ある知見である。次にこれらの手法を二次元および三次元ころがり運動をする角柱および多面体に適用して、各姿勢の出現確率を求め、さらに実験により得られた結果と対比し、理論の妥当性を明確にしている。

第3章では傾斜平板上における多面体のころがり運動を解明し、傾斜角が分離枝の形状、各姿勢の出現確率等に及ぼす影響を明らかにしている。

第4章および第5章では、自動組立に供される最も一般的な形状の部品として、円筒面、円すい面および平面などからなる各種形状の転動体について、とり得る姿勢の出現確率を求め、整列効率を高める部品の形状について考察している。部品設計上極めて有用な資料を提供したものと評価される。

第6章では転動体の相互衝突とそれによるころがり運動の減衰が静止姿勢に及ぼす影響について、第7章では整列装置側壁との接触によって生ずる転動体の姿勢の向きについて究明している。

第8章では組立に適した部品の姿勢の出現確率と組立速度との関係について考察し、整列した部品の走路上の個数が供給機の給走能力を決定する重要な要因となることに着目して、給送能力を決める一方法を示している。さらに本方法による結果を電子計算機によるシミュレーションの結果と比較し、両者がよく一致することを明らかにしている。これらは貴重な成果である。

第9章は結言である。

以上要するに、本論文は自動組立における部品に関して、組立に適した姿勢で給送される部品数の割合を確率的に予測し、その組立装置に最適な供給量を定める極めて有効な解法を提示すると共に、組立の機械化のための部品設計について、多くの新しい知見を与えたもので、機械工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。