

金属部品加工工程における廃油回収と切削屑回収搬送 ならびに部品整列供給システム

報告者 大学院総合理工学研究科メカニクス系工学専攻
教授 久米靖文

共同研究者 下西製作所 取締役社長 下西 巖
開発営業部長 田中紘輝
大学院総合理工学研究科 博士後期課程
マウン ザオ アウン トェ

1. 研究の背景

産業界で多く使用されているネジはその生産工場において、長さ 50mm 以上のネジ材料は材料ネジ切工程に供給する時に長いために、容器内および振動整列機内で絡み、安定的な連続供給の容易でないため、絡み分離の方法を必要とする。絡みのため、生産効率が低下するということが多く、この企業が抱えている問題である。そこで、本研究では、この長いネジを絡むことなく、連続的に整列供給を可能にすることにより、「絡み」「振動・騒音」「重量材料の持ち上げ作業」等の問題点が大幅に改善され、生産性向上する機器を提案する。また、金属切削屑においては、油を含むため、産業廃棄物業者にとっては、回収時、そのスクラップは価値がなく、むしろ排出側が費用を負担し、回収させている。切削屑を圧縮固形にすることにより油回収と堆積圧縮効果によりスクラップに価値が発生し、資源のリサイクル化を行なうこととなる。市販圧縮機（次工程機）の機能を生かすには前工程機として切削屑を貯蔵容器部より垂直連続供給を行うことが必要となる。切削屑はベルトコンベア等では隙間への巻き込み、油のこぼれ発生、垂直搬送も出来ないため、この問題点を解消する方式として磁力式垂直移送機の方式を採用した。

2. 研究の目的

本研究では、切削屑を市販の圧縮機により圧縮固形にすることにより油回収と堆積圧縮効果によりスクラップに価値が発生させ、資源のリサイクル化を行う。市販圧縮機（次工程機）の機能を生かすには前工程機として切削屑を貯蔵容器部より垂直連続供給を行うことが必要となり、切削屑はベルトコンベア等では隙間への巻き込み、油のこぼれ発生、垂直搬送も出来ない。この問題点を解消する方式として磁力式垂直移送機の方式を採用した機器と部品整列供給システムを開発することを目的としている。

3. 研究組織

2004 年度，1 年間で近畿大学と下西製作所の共同研究として行われた。設計，組み立ては下西製作所の工場で行い，部品については路地裏ネットワークで結ばれている協力工場で作製した。これらの組織で，性能の評価および実験を行った。

4. 研究方法

4.1 部品移送整列供給機構

部品移送整列供給システムは 4 つの機構からなっている。容器回転テーブル，部品吸着取り出し，上下水平支援運動機構，磁力式垂直移送部品供給機構，2 本ローラによる部品整列供給機構からなっている。

4.1.1 容器回転テーブル

ドラム缶を載せるための台である。形状の詳細が図 1 に示されている。

4.1.1.1 回転テーブルの機構

回転テーブルは容器（ドラム缶）を回転する機能と回転テーブルを並進運動させ，容器を並進移動させる機能をもっている。テーブルの耐荷重（負荷）率（モーター負荷電流）の測定を行い，適正回転数を求めた。

電磁吸着部（上下運動のみ）

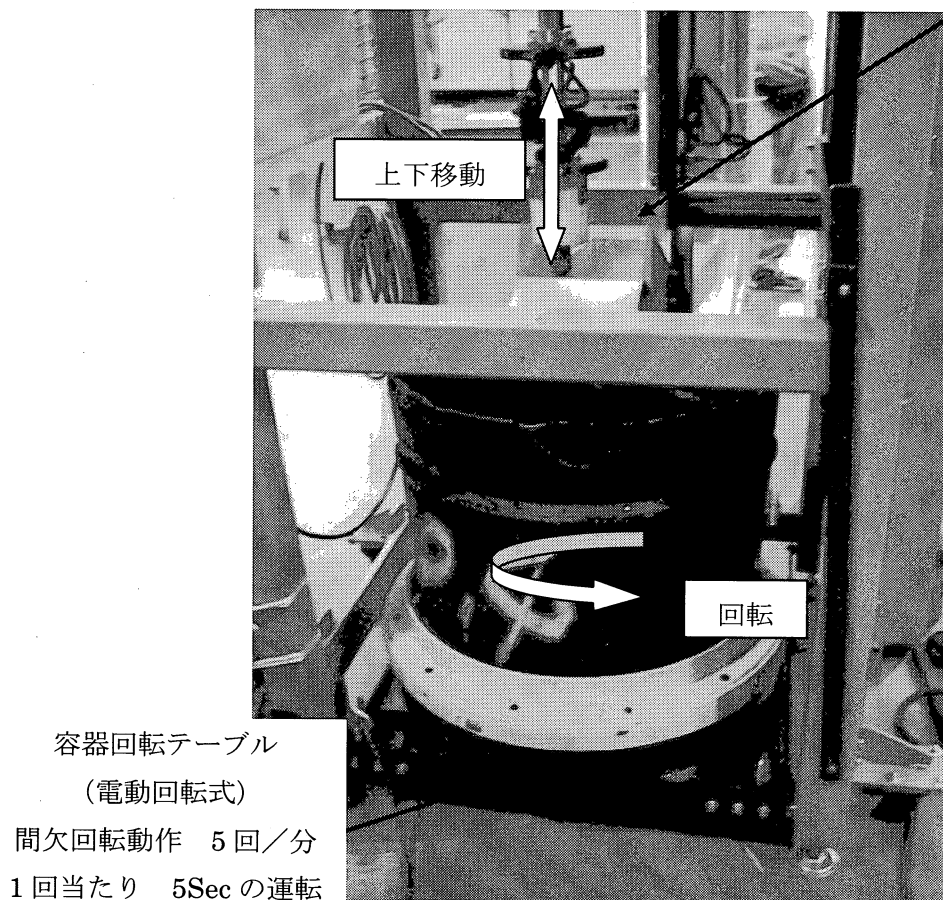


図 1 容器回転テーブル

4.1.1.2 容器（ドラム缶），回転テーブルとネジの測定

各測定結果が表 1 に示されている。

表 1 容器（ドラム缶），回転テーブルとネジの測定

容器の容積	φ 600mm 90リットル
容器の自重	12kg
ネジ最大投入時の重量	130kg
容器に入れたネジ量	118kg(約9800本)
ネジ種類	長いネジ
ネジ寸法	φ 4-123mm
ネジの単体重量	12g/本
テーブルの耐荷重	500kg

4.1.1.3 テーブルの耐荷重（負荷）率（モーター負荷電流）の測定

電動機は定格 0.2kw-4p で三相 200V であり，測定結果が表 2 に示されている。

表 2 モーター負荷電流の測定

項目	電流値	使用周波数	荷重 kg
定格電流	1.0A	60Hz	
無負荷電流	0.08A		0
実負荷電流	0.4A		130
負荷率	40%		

4.1.2 適正回転数の設定

モーターの回転数は電磁吸着機がネジを吸着する位置を変化させるので，60Hz の場合は回転数は 1.3 rpm に設定する。

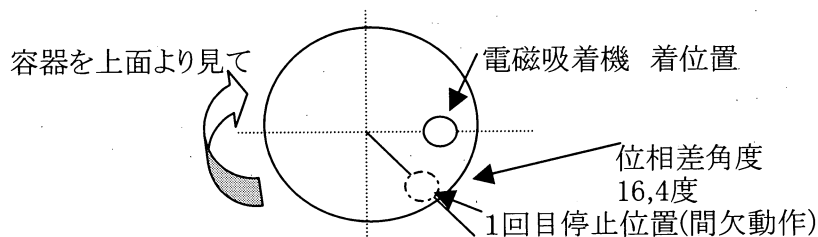


図 2 適正回転数の確認

容器を回転させる目的は電磁吸着機により容器内のネジを広範囲から吸着取り出しを行うことにより，電磁吸着機の運動機構の簡略化，コストダウンである。この測定の容器回転テーブル機構により広範囲からのネジ吸着取り出しが可能となることが確認され実用可能であると判断できる。

回転テーブルの耐荷重は 500kg に対して今回の負荷荷重は 130kg (ネジ数で約 9800 本) で電動機の定格電流に対しての負荷率は 40% であるため，十分余裕があると判断できる。テーブルの回転数も実験の 1.3 rpm 前後が今回テストのネジサイズにおいては最適回転数であったが，今後はネジの大きさ，全体重量，毎分の取り出し要求数値等により回転数は選定す

ることが望ましい。

4.2 容器内より部品吸着取り出し，上下水平支援運動機構

容器内の部品を吸着して取り出すために，部品を吸着し，さらに部品を吸着し易くするために，上下運動と水平運動させる機構について述べる。

4.2.1 部品吸着取り出し機構

上下水平運動を支援する機構は移動ユニットにより電磁式吸着ホルダーの吸着取り出し性能を高める機構である。図 3 は電磁式吸着ホルダー本体と吸着状態を示している。

4.2.2 電磁吸着部（電磁式吸着ホルダー）単体での吸着実験

電磁吸着部単体の吸着性能を明らかにするために，実験を行った。図 3 は電磁式吸着ホルダーの吸着の状態を示している。その結果が表 3 に示されている。

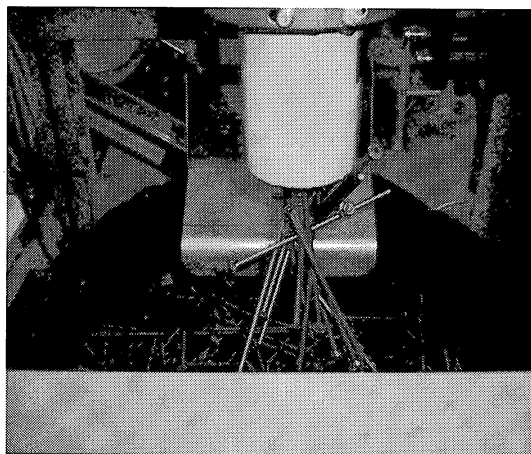


図 3 電磁式吸着ホルダーによるネジの吸着状態

表 3 ネジの吸着実験結果

容器(トラム缶)内のネジの量	100%	50%	20%
実験回数	吸着数量	吸着数量	吸着数量
1回目	32	26	39
2回目	49	23	44
3回目	35	21	36
4回目	44	13	32
5回目	33	26	27
平均	39	22	36

ネジの吸着数は次の工程が要求する毎分当りの必要量を満たすことが必要である。今回実験を行った結果，M4-123mm ネジはネジ加工機が最終工程となり，加工機は毎分 150 本の加工能力をもつ。この能力に対して今回の吸着数は平均 198 本/分となり，約 130% の供給過剰となり，必要量を満たす吸着数である。電磁吸着機は吸着される材料の 1 個あたりの重量および数量に応じて印加電圧を設定することができる。このことにより，

吸着力を増減することが可能である。

4.3 磁力式垂直移送部品供給機構

磁力式垂直搬送供給機は狭隘な場所で、重量物を搬送する機器である。

4.3.1 搬送機本体の機構

図 4 に磁力式垂直搬送供給機の形状が示されている。

4.3.2 各サイズネジに対する磁力式垂直搬送供給機の搬送性能実験

ネジの種類が変化した場合のネジの搬送性を明らかにするために、実験を行った。

垂直移送供給機性能実験手順

- (1) 移送供給する実験部品（ネジ）700 本を垂直移送供給機のホッパーに入れる。
- (2) 垂直移送供給機を作動させると同時にストップウォッチをスタートさせる。
- (3) 垂直移送供給機により実験部品（ネジ）が搬送される。
- (4) 試験開始から 1 分後に垂直移送供給機を止める。
- (5) 搬送されたネジの数を記録する。
- (6) この手順を各部品（ネジ）で 50 回繰り返し、搬送されたネジの数を記録する。
- (7) 同じ手順で、4 種類実験部品（六角ネジ、 $\phi 10$ 丸頭ピン、六角ナット付自在ボルト、 $\phi 11$ 丸頭ピン）で測定する。

この結果、六角ネジでは、供給量は 700 であり、搬出量は 50 回の平均で、611 となり、搬出率は 87.2%である。丸頭ピン（ $\phi 10 \times \phi 6.5 \times 18L$ ）は 1200, 938, 78.2%となり、六角ナット付き自在ボルトは 180, 161, 89.4%となり、丸頭ピン（ $\phi 11 \times \phi 6.5 \times 47L$ ）は 450, 351, 78.0 となった。

4.3.3 残された課題

① ネジ表面メッキ品は搬送時に摩擦によりメッキが一部剥離する。

対策案：ネジ走路部表面に摩擦傷防止保護シートを貼る必要があり、摩擦係数軽減、耐摩耗性の高い材料の選択する。この材料としてポリエチレン系（PET 材）を選択し当材料を両面テープにより部品走路に貼り付けネジ表面傷の発生確認と PET 材の耐摩耗性確認の実験をなした。その結果、貼り付ける PET 材の厚さ 1.0mm が適当であり、耐摩耗性実験では、連続運転で 300 時間運転後の摩耗厚みである。

② ネジに帯びる磁気による弊害発生し、ネジの磁気値 30~40G である。磁力搬送途中ネジが磁

化されることにより、次工程の 2 本ローラー部での磁気吸着し、流れが悪くなる（軽量ネジは顕著である）。

対策案：ネジの最終出口部に「脱磁器」を装備し、脱磁を行うことにより、磁気値を 10G 以内にすることにより解決する。

4.3.4 脱磁器を取り付け後の搬送実験

各種ネジで脱磁器を取り付け後の搬送性能を調査する実験を行った。その結果が表 4 に示されている。

表 4 脱磁器取り付け後の搬送性能

測定回数	ネジサイズ／残留磁気値 (G) [ガウス]		
	M5×80mm	M8×25mm	M6×113mm
1	8	8	6
2	7	7	5
3	8	9	6
4	6	6	7
5	7	7	5
平均値	7.2	7.4	5.8

搬送供給能力は最終整列供給能力 200 本／分に対して供給数は 250 本以上あり 25% の余裕がある。ネジ表面メッキ一部剥離は走路面に保護シート材 (PET 材) を貼り付けることにより、軽減することは可能である。耐摩耗性については搬送するネジの形状、表面仕上がり粗さ等によりそれぞれ摩擦係数が異なるため、実験は代表的な形状のネジで行い、摩耗量の評価とする。2 次加工を行うネジ等は表面に油が付着しているため摩擦係数も小さく、またネジの擦り傷も発生しないので、保護シート材の貼り付けは不要である。

5. 2 本ローラーによる部品整列供給機

5.1 部品整列供給機構

部品整列供給機は 2 本ローラー取り付けスタンド、2 本のローラー、ローラー駆動モーター、ローラーベルト、ケリ駆動モーター、ケリ駆動モーターベルト、導入口のプレート、排出シュート、カバーからなる。これらを組み立てて、2 本ローラーによる部品整列供給機が完成する。

5.2 各サイズ別ネジの整列供給能力実験

各種のネジに対して、2 本ローラーによる部品整列供給機性能明らかにする実験を行った。2 本ローラーによる部品整列供給機性能実験の手順

- (1) 移送供給する実験部品 (ネジ) 一定の数を垂直移送供給機のホッパーに入れる。
- (2) 2 本ローラーによる部品整列供給機を作動させる。
- (3) 次に垂直移送供給機を作動させる。
- (4) 垂直移送供給機により実験部品が 2 本ローラーによる部品整列供給機に搬送される。
- (5) 実験部品 (ネジ) が 2 本ローラーによる部品整列供給機に搬送されたと同時にストップウォッチをスタートさせる。
- (6) 実験部品 (ネジ) が 2 本ローラーによる部品整列供給機により整列される。
- (7) 試験開始から 1 分後に垂直移送供給機と 2 本ローラーによる部品整列供給機を止める。
- (8) 整列されたネジの数を記録する。
- (9) 各実験部品 (ネジ) について、50 回繰り返し、整列されたネジの数を記録する。

(10) 同じ手順で 4 種類実験部品（六角ネジ， $\phi 10$ 丸頭ピン，六角ナット付自在ボルト， $\phi 11$ 丸頭ピン）を搬送させ，測定する。

この結果，六角ネジ（M8×25）供給量 700，搬送出量 311，搬送率 44.4%であり，丸頭ピン（ $\phi 10 \times \phi 6.5 \times 18L$ ）では，1200，937，78.1% であり，六角ナット付自在ボルト（M10×60L）では，150，122，81.4%であり，丸頭ピン（ $\phi 11 \times \phi 6.5 \times 47L$ ）では，450，407，90.5%となった。

5.3 垂直移送部品供給機と部品整列供給機との関係

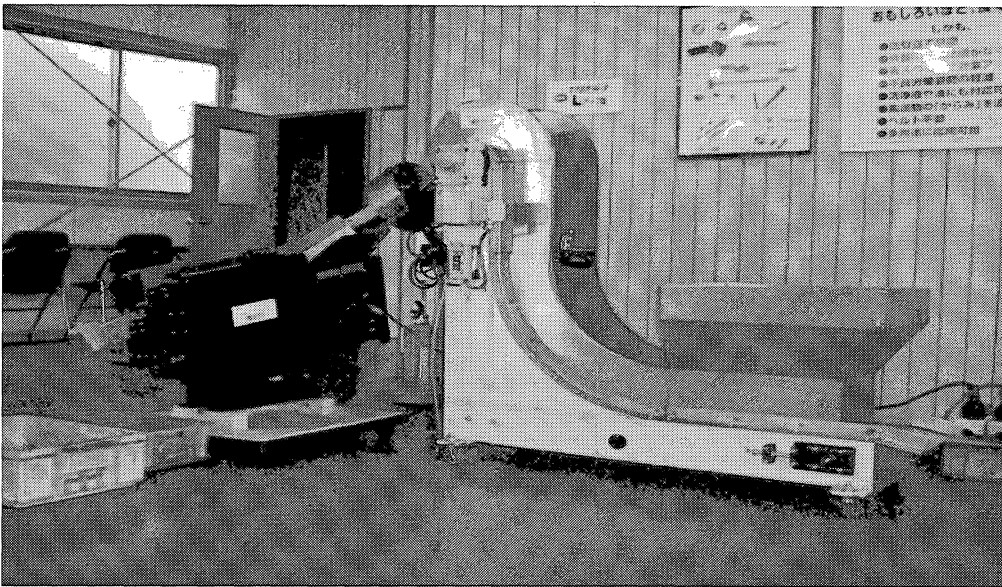


図 4 2 本ローラー式部品整列機と垂直移送部品供給機

両機の現在の性能では六角ネジは垂直移送部品供給機の供給率が整列機の 2 倍の性能を持っているので，部品整列供給機でスムーズ流れずにつまり， $\phi 10$ 丸頭ピンはスムーズに整列ができ，六角ナット付自在ボルトは整列機で僅かにつまり， $\phi 11$ 丸頭ピンはスムーズに整列できるが，垂直移送部品供給機の供給性能をあげる必要がある。

5.4 残された課題と対策

入り口供給数に対して整列供給数 68～88.8%であり，不整列数 19～32%のネジを排除してもとにもどす機構が必要である。2 本ローラーによるネジの整列はネジの頭部がローラーの隙間にぶら下がる形状であることと頭部からの首下の長さ 30mm 以上とすれば，統一姿勢にすることができ，かつ振動整列機構で困難な 200 本/分の能力が可能となる，この条件としてローラー部に一定間隔で定量数のネジを供給することが重要な条件である。不整列姿勢のネジはローラー整列機傾斜シュート部より排出されるため，実用化する場合は回収コンベア等により上流のネジ貯蔵部にリターンさせる機構が必要となる。搬送するネジの磁気による流れが悪くなる問題点は，ローラーに供給する手前で脱磁器を装備し，脱磁を行えば，解決ができる。

6. 金蔵切削屑回収搬送機

金蔵切削屑回収搬送機システムの機構が提案示され、このシステムは金蔵切削屑回収搬送機と高圧圧縮器からなる。高圧圧縮器は市販品を採用し、金蔵切削屑回収搬送機が開発された。これは切削屑貯蔵容器と磁力式垂直搬送供給機とからなる。

6.1 切削屑貯蔵容器

切削屑貯蔵容器は図 5 に示されている。これは組み立て部の写真である。

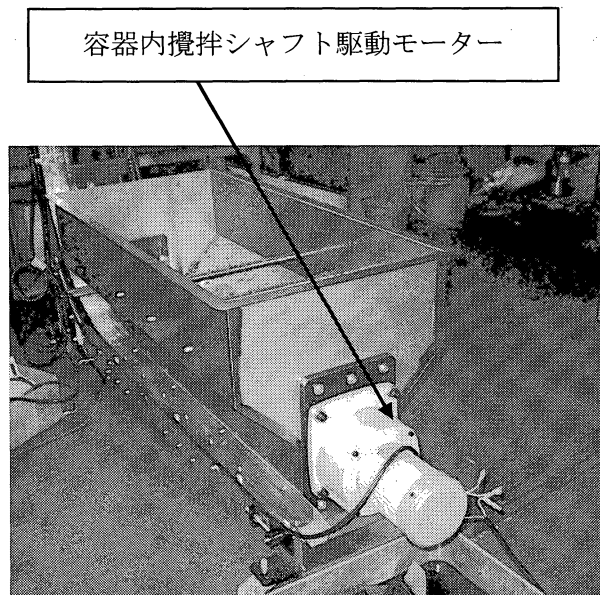


図 5 切削屑貯蔵容器

貯蔵容器は磁石式垂直搬送供給機と一体機構であり、この容器内に金属切削屑（実験はナットの穴加工屑）を投入し搬送確認を行った結果、貯蔵容器内で切削屑同士が絡み合い搬送走路面上に空洞現象が発生するため屑の搬送が間欠となり連続供給が困難となった。空洞化現象を解決する方策として攪拌機構が必要であることが確認され電動式の攪拌機構を貯蔵容器内に設けることが重要である。また攪拌機構部の形状は切削屑の形状、貯蔵量等の条件に応じて設計を行う必要がある。

6.2 磁力式垂直搬送供給機（切削屑の連続垂直搬送）

磁力式垂直搬送供給機はネジの搬送機と同じ機構であるが切削屑内に含む油が漏洩しないように走路側面機構にシール対策が必要となる。切削屑は粉状のため走路面上を上昇する途中、先端排出部で油の表面張力によりへばりつき、走路面から自然落下する速度が遅くなる。また後続の切削屑と連続的に繋がり内部磁石により、磁力が連結回路となり、搬送が困難となる現象が認められる。この連続的に繋がる現象を分離することが必要である。また、切削屑に含む油は貯蔵部から垂直部に移送する間に自然滴下となり、貯蔵部の最後部分から外部に排出される。最終的には切削屑に含まれている油は次工程の圧縮機により

固形状に固められる工程において油も絞りだされる。この搬送供給機は圧縮装置に切削屑を供給する機能と油の回収については、搬送途中で周辺に漏洩させずに搬送する機能をもつことが明らかになった。

6.3 切削屑強制切り出し排出機構

切削屑強制切り出し排出機構が図 6 に示されている。

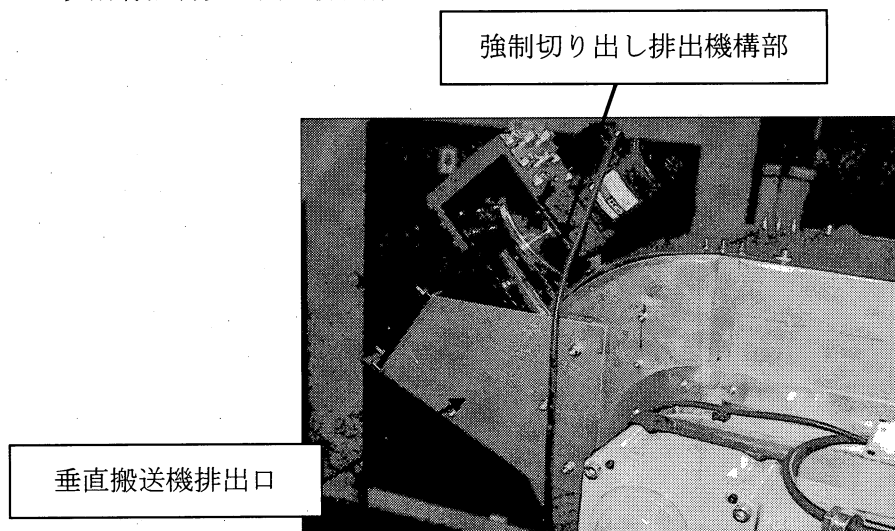


図 6 切削屑強制切り出し排出機構

切削屑は自重が軽く排出部において落下するのに時間を要し後続切削屑が連結し排出不能となる現象が確認された。この強制切り出し排除機構により 10 回/分の間欠切り出しにより強制排出を行えば、後続切削屑の連結が無くなり連続排出が可能となることが確認された。自重が軽く固体でなく粉体状で、かつ油を含む搬送物は最終排出部で自重による自然落下は落下時間差も多くこれらの不安定動作は実用化時に搬送供給能力不足として問題となる、コスト的には数十万の費用を要するが対策機構として強制切り出し機構は必要である。

7. 研究成果

1. 提案した研究開発の実験機の機能、容量は実際に「ネジ生産工場」「金属鍛造材料」「自動車部品」等大型容器内から部品を小出し、取り出しを行う装置に実用使用が可能となる。容器を回転させることにより複雑な機構を要する (X-Y 運動) 広範囲からの取り出し可能な装置になる実用的機構であると確認された。

2. 容器 (ドラム缶) 内より部品を吸着し、取り出す上下水平支援運動機構を提案した。この機構は電磁吸着機の印加電圧を変化することにより、吸着力を増減することが可能であるので、首下の長いネジ移送に適している。ここで提案した機器は、大型容器内のネジを広範囲から均等に取り出すことが可能である。この手法はテーブルを回転させることにより、電磁吸着機が常に異なった位置に配置され、全周から小出し取り出しが可能となつ

た。テーブルの回転は間欠動作とさせ電磁吸着機が降下し、吸着するときは停止し、吸着後に回転する。本研究の機構は一般的にネジ製造企業、金属部品製造企業等で使用されている大型容器をクレーン等で吊り上げて容器を反転させ、ネジが排出されている手法と異なり、地上で分割取り出しを行うことにより、「製品への傷発生軽減」「安全作業」が可能となる機構になる。

3. 現状の実験結果では、メッキ仕上げネジの搬送は擦り傷対策に PET 材のシート材を貼ることにより傷は軽減でき、実用化が可能である。PET 材の厚みはネジの磁力吸着を弱くする働きとなるため、1.0mm として将来摩耗時の消耗材として張替えを行う。PET 材はリサイクルが可能である材質であり、環境負荷に対して適切な材料でもある。搬送直後に帯びるネジの磁気値は脱磁器を通過させることにより 10 ガウス以内に脱磁が可能となり、次の工程で流れが悪くなる現象は解消された。

4. 2 本ローラー整列機構はネジの整列姿勢数も次工程加工機(ネジ切等)の能力を十分満たし、

この機構で整列可能であるネジ種類は、 ϕ M4~M12 首下長さ 30~130mm と広範囲のネジの整列が可能である。

5. 切削屑の形状・投入貯蔵量により攪拌機構への荷重の加わり状態も変わるため攪拌機構の回転速度を適正回転数にする変速機能が必要であるこの変速はモーターをインバーター制御をすることにより可能である。

6. 切削屑の形状、油の粘度等各種条件により異なるが、排出口で確実に分離排除する機構がなければ自然落下での排出は不安定となり、搬送能力が低下する。そのため、排出部にて強制的に切削屑を切り離す機構が必要である。また、切削屑搬送量は 600~900 g/分であり、油回収率は推定値で約 18% である。

7. 自重が軽く固体でなく粉体状で、かつ油を含む搬送物は最終排出部で自重による自然落下

落下時間差も多くこれらの不安定動作は実用化時に搬送供給能力不足として問題となる、コスト的には数十万の費用を要するが対策機構として強制切り出し機構は必要である。

8. 今後の展開

1. 部品移送整列供給機構

ネジ製造、金属部品製造(鍛造)業界においては、加工材料を貯蔵する容器はドラム缶を半分にしたものが多く使用されている、したがって、次工程に材料を供給する場合には、容器をクレーン等で吊り下げ、反転して、排出を行う手法と、大型容器専用の反転機により順次傾斜排出をする手法等がある。ここで提案された機構はこれら手法の代替となるものであり、容器内より分割小出し排出が可能であることにより「材料の傷発生軽減」「次工程へ適正量供給」「高所吊り下げ作業不要」等の特徴があり、生産効率、品質、安全性を向上させることが可能な機構である。大型容器を回転させることにより、容器内の搬送材料

を広範囲から均等に吸着取り出しを行う独創的機構である。容器内からネジを取り出し垂直搬送機によって 2 本ローラー整列機構に供給し整列を行う能力は、ネジ加工機を対象とすれば、機械装置の能力として 150 本/分以内が大半である。この能力に対して、ここで提案した機構は 200 本/分以上が可能となる。容器内からの取り出し、搬送、整列の一貫したシステムとして、提案した機構は一部の機能改善等の課題は継続研究する必要がある。現状では、80%以上の可能性で市場実用化が可能ではある。実用化への確認作業としては、現実の生産現場で試行してユーザー企業に提案機器を持ち込み、実際に生産に使用して確認、評価、改善を繰り返し行うことが今後の最重要課題である。

2. 金属切削屑回収搬送機

この提案機構はナットの穴あけ加工（タップ加工）を行う際に出る粉状で切削油を含んでいる屑を垂直搬送しながら滴下する油の回収行ない、次工程機に供給を行う役割を担う搬送機である。次工程機は市販されている装置であり、切削屑を高圧で圧縮し固形状にし、同時に油を絞り出し

回収を行う機器であるが、市販圧縮機に切削屑を順次供給する装置が必要となる。搬送機の能力は 0.6 kg/分であるが、切削屑の形状、自重、油の粘度等の条件により搬送能力は変化する。そのため実用化するには、実際の切削屑と油をユーザーから入手し、搬送実験を行ったうえで、性能設定をすることが重要である。提案した搬送装置内での単独での油回収率は 18%の推定値であるが、次工程に市販圧縮機で油回収を行う用途が大半であるため、提案した搬送機内での油回収率は評価対象とならない。しかし、油を含む切削屑を周辺に油を漏洩することなく、垂直に連続搬送供給を行う機能は、市場で他に類した機構はなく市場性はあると判断される。