

# マテリアルズ ハンドリングとその自動化

山下 忠

マテリアルズ ハンドリングとは、運搬など、品物を取り扱う技術の総称であって、あらゆる産業にとって、その重要性は今日ますます増加しつつある。しかし、その自動化は遅れているのが現状である。本文は、ハンドリングの現況、その自動化にあたっての基本的問題点などを概説したものである。すなわち、ハンドリングの重要性、その特質をまず述べ、自動化にあたっては、なにが制御量になるかを品物の形態別に考察し、さらに、現在採用されている自動化の代表的な手法の紹介、今後の問題点などを概説した。

## 1. ま え が き

マテリアルズ ハンドリング (Materials Handling) とは、その名称のとおり、品物を取り扱う技術の総称であって、この中には一般に運搬・包装・貯蔵などの操作がある。したがって、ハンドリングは、あらゆる産業にとって重要な操作であり、しかも生産活動が活発となり、ますます多量の品物を造り出している今日、その重要性はいっそう高まりつつあることについては改めて説明するまでもないであろう。

まず最初に、ハンドリングの最近の研究の方向とその自動化の現状を略記しておこう。

現在、ハンドリング問題の取扱い方としては、二つの大きな流れが見受けられる。その一つは、輸送システム全体を一つのシステムと見なし、輸送コストを最少にするにはシステムの構成をどうすべきかを問題とするものである。すなわち、現在の技術水準に立脚して最良のシステムを作ろうとするものである。これには、線形計画法、動的計画法などの数学的手法が使え、すでにそれらの書物に多くの方法、結果が紹介されている<sup>1),2)</sup>。

もう一つの流れは、これよりも前向きな態度といえるものであって、既存機械の改良、さらには新しい原理にもとづく機械の実現となって、その効果を現わしつつある。たとえば、象の鼻のように自由自在に曲がる腕を持ったクレーン<sup>3)</sup>、蟹のつめのように関節部のあるクレーンの製造などが最近報じられている<sup>4)</sup>。

一方、第二次世界大戦後活発に研究された制御理論は生産工程の自動化のための解析、設計の手段を幾多生みだし、今日ますますその理論大系を大きく広めつつある。しかし、それにもかかわらず生産工程では、単調な手仕事は依然として多く行なわれているのが現状である。事実、1962年に発表されたわが国のオートメーション白書<sup>5)</sup>に“運搬・組立・検査などの連続化のしにくい工程の自動化率はまだ低く、その自動化はとり残されている。”と指摘されている。

このように、表題として筆者が掲げたハンドリングの自動化という問題は、いまから解決していかねばならな

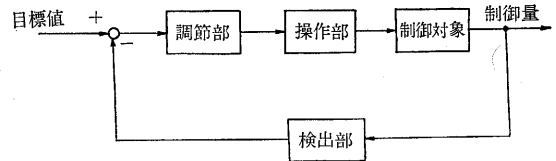
い問題であって、それだけに筆者は魅力を感じるのであるが、以下に述べてあることは、完成された技術の解説ではなく、その現況とどのような研究が行なわれつつあるかの概要を、筆者が集めた資料をもとに、不十分ながら筆者の見解を混じえつつ、紹介しようとしたものである。

## 2. ハンドリング機器とその制御系での役割

ハンドリング機器と一口にいっても、この中には鉄鋼所や造船所などの大型クレーンから、品物を乗せて運ぶための台であるパレットなどの簡単な器具まで含まれ、その機種は膨大なものであるが<sup>6)</sup>、一般にハンドリング機器とはどのような役割を果たすものであるかを、とくに制御系内での役割を考えてみよう。

機械と人間の器官との間には対応関係がある、というサイバネテックスの考えに従えば、ここに取り上げたハンドリング機器は、人間の手足にあたるものであるといえる。また、制御工学の言葉でいえば、操作部の一つである。

いちおう念のために、ここで一般の制御系の構成について説明しておこう。制御系の例として、第1図がよく用いられるので、これを用いて説明しよう。



第1図 フィードバック制御系の構成

オートメーション、自動化は人間の行なっている機械、装置類の運転、操作を機械で代行させようとするものであるから、人間がこれらの操作に必要なとする器官の機能を果たす機械を造らなければ、自動化は実現しないことは明らかであろう。では第1図の構成要素が、人間の器官とどのように対応するかといえば、調節部→頭脳、操作部→手足、検出部→感覚器となる。

つぎに、これら三つの構成要素の能力を比較してみると、調節部・検出部の発展に比して、操作部の発展が遅

れているのが現状であって、このことが各種工程の自動化でいかに障壁となっているかは、人間における手足の重要性を考えてみれば、容易にうなずけることであるといえよう。すなわち、いかに人間の頭脳の優秀さを強調しようとも、すぐれた手足がなかったならば、今日の機械文明は出現しなかったであろう。これと同じく、自動化を進展させようとしても、機械の手足である、ハンドリング機械などの操作部の能力が低くは、その目的は達成されえないこともまた明らかであろう。

### 3. マテリアルズ ハンドリング一般

生産工程においては、品物を動かすことは絶対に必要であって、ハンドリングの重要度は一般に認識されている以上のものであると思える。欧米では、生産コストの30~35%をハンドリング費が占めるといわれており、場合によっては60%を超えることさえあるといわれている<sup>7)</sup>。単にハンドリングといっても、その操作には種々のものがあり、扱われるものも千差万別であるが、つぎには、ハンドリングの一般的特質、その計画にあたっての原則とされているものについて述べ、さらに自動化にあたっては、なにを考えるべきかを品物を形態的に大きく分類して考察してある。

#### (1) ハンドリングの特質とその計画にあたっての原則

生産工程での各種の機械加工・物理的処理・化学的処理などは、被加工物の価値を高めるものであるのに引きかえ、ハンドリングでは、組立操作を除外して考えると、被ハンドリング物の価値が高まることはないといえる。むしろ、品物の持っている価値をそこなわないようにハンドリングをしなければならぬ、というところにハンドリングが、上記のほかの操作と本質的に異なるところがあるといえよう。したがって、良いハンドリング系とは、できるだけハンドリングをしなくてよい系であるといえる。

この特質のために、ハンドリング系を計画するとき、一般に以下の原則を忘れてはならないといわれている<sup>8)</sup>。

- 1) 必要最低限のハンドリングですませること。
- 2) ハンドリングと工場内の機械、装置の配置とを有機的に関連づけて両者を決定すること。
- 3) 工程計画を十分に考えて作成し、不必要なハンドリングをなくすこと。
- 4) 輸送途中に乾燥・塗装・検査などの他の操作をできるだけ行なうこと。

などを十分考慮して、品物の受入・貯蔵・配送・操作方法・操作者の配置・装置の選定などを行なうようにしなくてはならないといわれている。

#### (2) 品物の形態による分類

明確な概念をつかむために、それは今の場合大胆な試

第1表 品物の形態による分類とハンドリングでのおもな制御量

品物	例	ハンドリングでのおもな制御量
流体	気体 液体	空気 水
固体	ばら状固体	粉
	成形固体	ボルト
		位置・姿勢、他の固体との相対関係

みを行なうのだが、品物を形態に従って大きく分類し、それぞれのハンドリングの場合に制御する必要のある状態変数をまとめてみると、第1表となる<sup>9)</sup>、と筆者は考えている\*。ここで、成形固体とは、ボルト、ナットなどの機械部品から製品を箱詰めした物などを含むものであって、ばら状固体とこれとの差異は、成形固体では各固体がそれぞれ単独で、ある機能、意味を持っていることである。一方、ばら状固体では、一般に単独粒子は問題とされず、粒子の集合体として取り扱われる。したがって、成形固体では個数として計量されうるが、ばら状固体の計量は、その集合体の重量、体積で行なわれることになる。

ばら状固体は、粉体・粒体・粉粒体などの名で呼ばれているようであるが、これら各称の区別は判然としていないようであるから、以下では粉体という言葉を用いることにする。

“水は方円の器に従う”といわれるように、流体の運動性は高く、その運動を解析する手段もかきかず確立されていることは周知のことであり、普通のプロセスでは、その制御もうまくいくようであるから、本文では流体を扱わずに、以下では、粉体と成形固体の二者について述べることにする。

### 4. 粉体のハンドリング

ここでは、粉体の特質をまず述べ、現在よく用いられている輸送機を輸送機構に注目して分類し、最近の自動化への動向を紹介してある。

#### (1) 粉体の特質

粉体の性質は、粒子個々の性質と粒子の集合の仕方とで規定されることになる。前者を一次性質といい、集合体としての性質を二次性質と呼ぶことがあって、それぞれ第2表のようなものが一般に考えられている。

粉体はおもに比表面積が大きい特徴のため、各種の化学反応装置で使われており、化学工学にとって有用な品物であるとともに、多くの未解決の問題をはらんでいるものである。

一般に粉体現象は、複雑であって、解析しにくいといわれている。それは現象の変動が大きく、さらに測定が

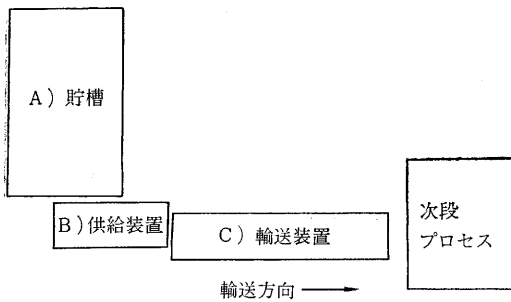
\* 紙・布などのように形態が一定しない品物もあり、ここでははいちおうこれらを除外している。しかし、これらのハンドリングはここで述べる品物より、いっそう困難なものであることは明らかであろう。

第 2 表 粉体の性質を示すパラメータ

粉体の性質	1 次性質	粒子の大きさ, 形状 内部構造, 表面構造 一般の物性 (たとえば, 比重, 比熱, 硬度など) 電磁氣的, 光学的, 運動的性質など
	2 次性質	見かけ密度, 空隙率 圧縮性, 流動性, 摩擦角 毛細管構造 (たとえば, 含油率) など

困難であるということが, 粉体の研究の前進にとって大きな障害となっているのである。

しかし, 粉体は上記の化学工学にとって有用な品物であるだけではなく, 粉末冶金・食品・医薬品など他の工業にとってもなくてはならないものである。したがっ

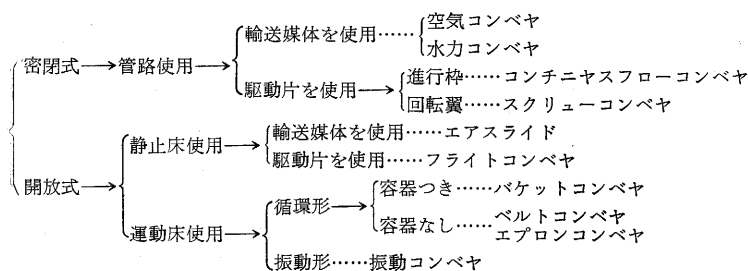


第 2 図 粉体輸送プロセスの構成

第 3 表 各装置に要求される事項

装置	要 求 事 項
貯 槽	1. 投入, 排出が容易なこと 2. 偏析, 分離現象がないこと 3. 付着, 残留層がないこと 4. 床面積あたりの貯蔵量が大きいこと 5. 貯蔵材料の変質を起こさないこと
供給装置	1. 制御性があること 2. 安定であること 3. 定量性があること 4. 供給量の測定ができること
輸送装置	1. 材料の漏えい, 飛散がないこと 2. 輸送中に材料の粉碎, 付着 (粒子間および輸送機への付着) のないこと 3. 輸送動力が小さいこと 4. 高速度で輸送できること

第 4 表 輸送装置の輸送機構による分類



て, 未解決の問題を努力して解決し, 粉体工程の連続化, 自動化への道を切り開いていかねばならないといえよう。

(2) 輸送装置の概要とその輸送特性解明の必要性<sup>10)</sup>

一般の粉体輸送系のモデルとしては, 第 2 図を考慮することができる。各装置の, 一般にいわれている具備すべき条件をまとめたのが第 3 表である。これら大別した装置のうち, ここでは, 輸送装置だけに注目し, 現在よく用いられているおもな輸送機を, その輸送機構に従って分類すると, その 1 例は第 4 表になる。なお, これら輸送機の構造など具体的なことは, 適当な他の書物, たとえば化学工学便覧など, を参照していただきたい。

第 1 表に示したように, 粉体の輸送で制御する必要のあるものは, 多くの場合, 輸送量である。輸送量の制御を行なうにあたっては, 瞬間輸送量の測定, 操作端の問題など, 問題は山積みされている状態であるが<sup>18)</sup>, その中の一つの問題として, 各種輸送機の輸送特性を制御工学的観点から検討してみる必要があるといえよう。たとえば, ベルトコンベヤでは, 一端で乗せた粉体は, ベルトの移動速度だけ遅れて他端に運ばれる。したがって, その伝達特性は単純むだ時間となる。このように一般の輸送機について, ある量の粉体を入口に入れたとき, この粉体他端にどのような分布で到達するかを調べることにより, 制御的にみれば良い輸送機を選ぶことが可能となる。この輸送特性がつかめなくては, 良い制御系の設計はできないことは明らかなることであろう。

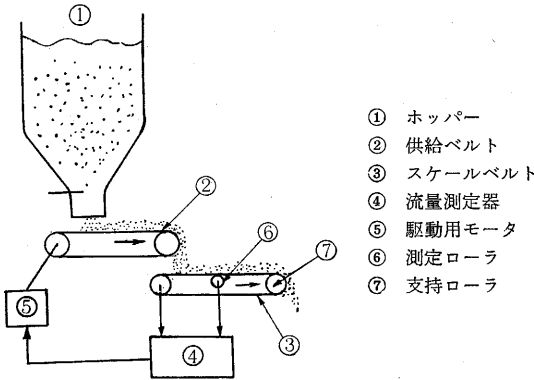
輸送機についての従来の研究は, けっきょく輸送動力の算定法を求めるとが目的となっているから, 輸送量の制御を行なうためには, この目的に役立つ情報を得るために, 新しい観点からの研究が要請されるのである。

(3) 自動制御系の例

以上粉体の輸送量制御に関して, 輸送機に注目して, 制御しやすい輸送機を見つけたす必要のあることを述べたが, 話がやや一般的となってしまったので, ここで, 現在よく用いられている制御系を紹介しておこう。それはベルトコンベヤを使うものであって第 3 図に示す構成になっている。

これは, スケールベルトで輸送量を測定し, ホッパー下部の供給ベルトの速度を操作して制御するものである。スケールベルトでの秤量法としては, 差動変圧器, ロードセルなどでベルト上の粉体量を計量し, これと回転発電機で求めたベルトの移動速度とから, 単位時間あたりの粉体輸送量を測定する形式である。

この方式の輸送量測定についての Colijn の解析によれば<sup>11)</sup>, 測定精度に もっとも大きく影響するのは, 支持ロ



第3図 粉体輸送量制御系の例

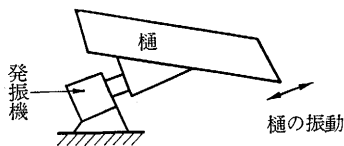
ラと測定ローラの間の位置の関係であって、正確な測定を行なうためには、この2種のローラを正しく配置することと圧感部であるロードセルなどでたわみ量を小さくすることがまず必要である、といわれている。

なお、第3図では操作量としてコンベヤの速度を採用しているが、ホッパーゲートの開度を操作量とする系もある。

(4) 多くの可能性が期待される輸送機

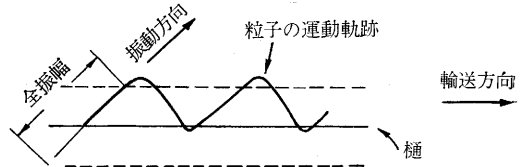
粉体のハンドリングが困難であるといわれることを考えてみると、それは固体粒子の集合体である粉体が、ある場合には粒子の単なる集合として運動するのに、ほかのある場合にはかたまりとなってしまう、すなわち、場合によって運動単位が変化することを表現しているようであり、その原因は、粒子の表面間に働く相互作用にあるといえよう。表面作用力としては、摩擦力、付着力などの多くの力が考えられよう。

したがって、この表面作用力を除去する形式で輸送を行なえば、水のようにとはいかなくとも、粉体の輸送をうまく行なえること、制御工学的に良いといこである、かならずしも輸送動力が少なくすむということではない、が期待される。この例として、第4表にあげた輸送機の中から振動を利用したものと、流動化法を適用したものとを取り上げて説明しておこう。



第4図 振動コンベヤの原理

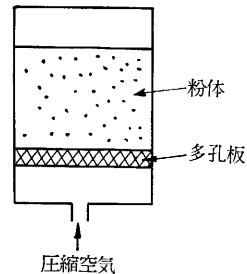
**振動コンベヤ** 振動コンベヤの原理は第4図に示すとおりである。樋にある周期で一定振幅の振動を与えると粒子は樋上を第5図のようにはねながら輸送される。この輸送機構に関しては、Wehmeier らの詳しい研究があって<sup>12)</sup>、振動の周期、振幅を変化させることにより、粉体輸送量を調節できることがわかっている。



第5図 振動コンベヤの輸送機構説明図

振動コンベヤの一般的特徴は、

- 1) 連続的に樋全面にわたって均等に運べる。
- 2) 種々の性状の粉体、粒度範囲の広いものに適用でき、とくに大塊が円滑に運べる。
- 3) 広い範囲にわたって流量調節ができる。
- 4) ふるい分け操作も併用できる。
- 5) そのほか閉そく、破碎などのトラブルが少ない。といわれている<sup>13)</sup>。



第6図 流動化法の原理

**エアスライド** エアスライドとは、第6図に示す流動化法の原理を用いるものである。多孔板を敷いた樋に粉体を入れ、多孔板の下から圧縮空気を送り込むと、粉体部へ空気の持ち込む機械的エネルギーが、多孔板上の粉体重量に比例した一定のある値以上になれば、粉体は液体のように流動するようになる<sup>14)</sup>。したがって、樋を傾斜させておけば、粉体は低い方へ流れていく。

エアスライドの特徴は可動部分がないこと、輸送動力が少なくすむこと、送入空気量を変えれば輸送量を調節できること、などといわれている。

5. 成形固体のハンドリング

成形固体のハンドリングとして、ここでは、おもに生産工程中での部品のハンドリングについて述べよう。それはこの自動化は非常にむずかしいからであり、またそれだけにいっそうの努力が要請されるからである。

以下では、部品の特質についてまず述べ、つぎに現在どのような手法で自動化しているかを実例を引いて説明し、最後にもう一段先の問題について考察してある。

(1) 部品の特質とその自動ハンドリングのむずかしいわけ

一般に部品は、それぞれの役割をになっているが、各部品単独では有用な機能を発揮しえず、ほかの部品と組

み合わされてはじめて有用なものとなるところに大きな特質があるといえる。たとえば、ボルト・ナットはそれぞれ単独では役にたたず、両者が組み合わされて使われたとき、それぞれの機能をはじめて発揮できるのである。

この特質のため、部品のハンドリングでは、次の三つの基本的操作が必要となる<sup>15)</sup>。

- 1) 部品の供給。
- 2) 機能を発揮できるように組み合わせられる部品間の相対関係を調べること。
- 3) 部品を結合すること。

4 で述べた粉体のハンドリングの場合は、粒子個々のことはまったく考えなくてよかった。一方、部品のハンドリングでは、多数の部品を個々に供給し、さらに最終的には一つの有用な機能を発揮できるように、それらを組み立てなければならない点に、この工程の自動化が粉体の場合よりいっそうむずかしくなる原因があるといえよう。さらにいえば、同じ機能を持った部品でも、その形状、寸法が異なっているので、これらのものを同一に扱える、柔軟性のある機械を作ること、2) の部品間の関係を、しかも第 1 表に示したように多数の量について機械で判別させることのむずかしさであるといえよう。

## (2) 自動化の例とその一般的な手法

部品の自動供給の例として、第 7 図のパーツフィーダーについて説明しよう。これは振動によって部品を動か



第 7 図 パーツフィーダー

し、輸送路の途中に邪魔板などの簡単な機械的フィルターを設けて部品の姿勢を一定にしつつ供給を行なうものである。

この機械にみられる自動化の手法は、確率的手法であるということができよう。それは、部品の姿勢を一つ一つ確実に整えることはせずに、部品をランダムに運動させつつ運び、途中のフィルターで目的にかなった物だけを次の工程に送るところにこの手法の特徴があるからである。これにより、上述した難点をうまく克服しているが、その欠点は、この手法は大量生産工程への適用では

威力を発揮するけれども、少量の品物を扱う所では一律な供給が困難化してくることと、人間の手で行なうような複雑な操作ができないことである。

瓶にふたをする操作などのように、一つの品物がある特定の位置にきたときに、ある種の操作をすることはしばしば要求されることである。この品物の位置の検出の仕方として現在一般に用いられている方法は、品物に直接接触することなく検出する光電管方式のものと、接触することによって検出するマイクロスイッチを利用したものとの二種類がある。

## (3) 今後の問題点

上に述べた方法は、われわれが手先を使って品物をつかみ、つかんだ物を動かしたり、持ちかえたりするのはまったく異なった方法でハンドリングをしているが、大量の物を同一に処理するには、多くの場合、人間の手にやる以上の仕事を行なえる。だが複雑な操作は期待できず、また単能機によるハンドリングであるといえる。とはいえ、分業方式による大量生産を行なっている所にとっては、やはり有力な手法でありうるから、この手法をさらに発展させるにはどのようなことをやるべきかについて、Forster が出している意見を紹介しておこう<sup>15),16)</sup>。

それは部品の形自体を機械で取り扱やすいものに受けることと、組立ても機械化しやすい方式にすべきだということに要約できるものであって、非常に前向きで興味深い見解であるといえよう。

たとえば、球の 1 カ所に小さな孔のあいている物で、その孔をある一定の方向に向けることは、ボルトなどのように質量分布があって、その不均一性をうまく使って方向決めを行なえる物よりも、機械でのハンドリングにむずかしくなる。このように品物の形態とその運動性を考慮して、従来の物と同じ機能を果たせ、しかも機械でのハンドリングが容易になるような部品の形を採すべきだと彼はいつている。

また、二つの部品を結合するのも、ボルトとナットを用いれば、回転する操作が必要であり、これよりもっと簡単な単に押し込むだけで固定できるような方式を採用すべきだといっているのである。

だが、このように単能機を多数列べるという方法で、部品のハンドリングの自動化の問題は解決されるのであろうか。人間の手のように汎用性のあるハンドリング機械を造る必要はないのであろうか。

本文の初めに、筆者はハンドリング機器は人間の手足にあたる機械であると述べた。現在、人間の頭脳に対して周知のように、電子計算機が作られ、使用されている。これと同じく、人工手というものがなぞ一般に問題にされないかについて簡単に考察してみるよう。

われわれが日ごろほとんど意識することなく行なっ

いる手先の動作を解析してみると、たいへんなものであり、そのうちの簡単なものでも、機械の指をつくって、同じような働きを行なわせるには相当複雑な制御回路が必要となる<sup>17)</sup>。すなわち、簡単に見える人間の指動作の背後には、精巧な、膨大な制御系統があり、指の機能の大半を果たせるような機械をつくるのは困難なことは事実ではあるが、またそのための努力が十分に払われていないのも事実であるといえよう。

その原因としては、まず第一に、人間の手は非常にすぐれているから、人間の手以上の器用なことができる機械を作る必要がなかったこと、第二に、一般に汎用機は単能機に比べて、ある一つの仕事に対して非能率的であるから、手のような汎用機への関心が薄かったことをあげることができるのではないかと筆者は考えている。

しかし、いまや時代は変わってきた。人間の手では直接行なえないような微少な動きの必要な仕事、放射性物質の扱いなど直接手を触れることのできない仕事などは増加しつつある。また、実際には人間の手で行なえることであっても、単にハンドリングのために多数の人間をやたらに使うのは、上述したハンドリングの特質を考えれば、惜しいことだといわねばならないであろう。

## 6. おわりに

“機械を使うのではなく、われわれが機械に使われているような気がする”という言葉をよく耳にする。このようなことをいう人の職場の特徴としては、実際に品物を取り扱っている所、人間の手先と目を極度に使用する所であり、その仕事は単調ではあるが、現在自動化するのは困難なものであることが多い。

たとえば、人間の造った最高の機械のように、ジャーナリズムでもてはやされている電子計算機を働かせるのにも多数のキーパンチャーが必要であり、パンチャーの指の異常化、定年制などが今日問題化しつつある。この問題も、ある部分でハンドリングの自動化に関連しているといえよう。このように、ハンドリングの自動化は、今日必要なものではあるが遅れているのが現状である。しかも困ったことには、この方面に関する研究がわが国で活発に行なわれている、とはいえないのがまた現状ではないだろうか。

1957年の秋に、最初の人工衛星が打ち上げられてから7年しか経っていない今日、もう有人ロケットが飛ばされている。このように人間の努力によって、工学、技術は無限といってもいいほどの発達をするものだと

うことを信じる者の一人として、筆者は現在自動化が遅れているといわれているハンドリング工程も、ハンドリングは絶対に必要なことは明らかであり、さらにその自動化が歴史の流れに沿っているものとすれば、いずれ近い日に自動化されることを疑わない。しかし、そのためには努力が必要であろう。

おわりに、筆者の日ごろの研究にご指導、ご激励を下さる本所森政弘助教授に感謝の意を表す。

(1964年12月1日受理)

## 文 献

- 1) G. B. Dantzig: Linear Programming and Extensions, Princeton University Press (1963).
- 2) R. E. Bellman and S. E. Dreyfus: Applied Dynamic Programming, Princeton University Press (1962).
- 3) 技術ジャーナル (1964—10—26).
- 4) 'Sky Grab' Shrinks Storage Yard, Modern Materials Handling, 19, 8, p. 47 (1964).
- 5) 通産省: わが国産業のオートメーションの現状と将来 (1962. 6. 27).
- 6) H. A. Boltz (Ed.): Materials Handling Handbook, Ronald Press (1958).
- 7) J. M. Apple: Plant Layout and Materials Handling, p. 206, Ronald Press (1963).
- 8) 文献 7) p. 208/217.
- 9) 山下忠: 機械で操作される人工の指とそのマテリアルズハンドリングへの応用, 計測と制御, 3, 6, p. 429/439 (1964).
- 10) 山下忠: 粉体輸送の制御に関する問題点, 古河電工ゼミナールテキスト (1964—5) およびその引用文献.
- 11) H. Colijn: Effect of Belt-Conveyor Parameters on Belt-Scale Accuracy, Preprint No. 59.1.63, 18th Annual ISA Conference and Exhibit, Sept., 12, 1963, Chicago.
- 12) K. H. Wehmeier: Untersuchungen zum Födervorgang auf Schwingrinnen, Födern und Heben, 11, S. 317/327, S. 375/384 (1961). Schwingförderrinnen-Berechnung, Konstruktion und Betrieb, Födern und Heben, 13, S. 844/854 (1963).
- 13) 杉本信夫: 振動機械とその利用, 機械学会誌, 63, 499, p. 1162/1170 (1960).
- 14) 山下忠: ガス流動化系の力学, 化学工学九州大会前刷集, 5/8 (1964).
- 15) R. I. Paterson, D. Foster: Automatic Parts Handling, Trans. Soc. Instr. Tech., 15, 4, p. 204/225, (1963).
- 16) D. Foster: Modern Automation, p. 131/162, p. 197/205, Pitman and Rowse Muir (1963).
- 17) 山下忠, 森政弘: Engineering Approaches to Function of Fingers, 東大生研報告, 13, 3 (1963).
- 18) 井伊谷綱一: 計測と制御から見た粉体工学の現状と問題点, 計測と制御, 2, 11, p. 835/842 (1963)