

粉体のレベル計測

Measurement of Powder Level

株式会社松島機械研究所 鍋内 浩
Hiroshi NABEUCHI

1. はじめに

生産現場では、コスト削減のためにプロセスの自動化、省力化が常に進んでいる。また、生産管理、品質管理の要求もあがっている。これらを正確かつ安全に行うためには、粉体プロセスの状態量を計測する必要がある。粉体プロセスの状態量を計測するためには、計測する粉粒体の特性および挙動を的確に把握しなければならない。また、プロセス全体の安定化を図らなければならない。その安定化のためのひとつの道具として計測用機器がある。これから粉体プロセスの状態量の計測用機器として、代表的なレベル計について述べる。

2. レベル計

粉体プロセスの状態量を検出する機器の中では種類が多く、サイロやホッパーの貯蔵量の監視や供給機の制御を行うために使用され、「レベル計」と呼ばれている。レベル計は、「連続式」と「ポイント式」に分類され、ホッパーなどの槽内の貯留物の増減をリアルタイムに計測・監視できる機器を「レベル計」と呼び、槽内の貯留物がある一定の位置に達した際にその情報を指し示す機器を「レベルスイッチ」と呼ぶ。

レベル計（連続式、ポイント式）を使用する上で、重要なことは、その機種がその設備、環境に適しているかどうかである。機種選定を誤ると誤指示や誤検出に繋がり正確かつ安全な操業が行えなくなってしまう。

機種選定では少なくとも以下の項目に注意する必要がある。

- (1) 測定範囲
- (2) 連続計測またはポイント検出
- (3) 接触式または非接触式

- (4) 測定物の種類と物性
- (5) 設置環境（周囲温度、測定物温度、圧力、安息角、嵩密度、粉じんの有無、蒸気の有無など）
- (6) 過去の実績

2-1 レベルスイッチ

「レベルスイッチ」とは、ホッパーなどの貯槽内の測定物がある一定の位置に達した時にその情報を指し示す機器であり、ON/OFF 制御に使われる。「レベルスイッチ」は、機械式と電気式に分類される。機械式にはパドル（回転羽根）式（写真-1）、ピストン式、振子式レベルスイッチなどがあり、電気式では静電容量式、振動式（写真-2）、導電式レベルスイッチなどがある。



写真-1 パドル式レベルスイッチ



写真-2 振動式レベルスイッチ

「レベルスイッチ」では、機械式、電気式など数多くの製品があり、あらゆるアプリケーションに応じるため多くのレパートリーが存在する。各社はユーザーの要求に応えるべく品数が豊富である。

2-2 レベル計

「レベル計」は、サイロやホッパーなどの槽内の測定物のレベルをリアルタイムに計測・監視する機器である。「レベル計」には、「接触式」と「非接触式」の2種類が存在し、用途・測定物の種類・環境などによって使い分けられる。「接触式」は、サイロ内の内容物に機器の一部が直接接触することにより、そのサイロ内での測定物の位置を検出し貯蔵量に換算する方式となっており、「サウンジグ（重錘）式レベル計」や「静電容量式レベル計」などが一般的である。一方、「非接触式」は、サイロ内の測定面までの空間距離を計測することでサイロ内の貯蔵量に換算する方式となっており、「超音波式レベル計」、「マイクロ波式レベル計」、「放射線式レベル計」などがある。

本稿では、「接触式レベル計」、「非接触式レベル計」についてやや詳しく紹介する。

3. 接触式レベル計

「接触式レベル計」は、機器のある一部がサイロなどの内容物に直接接触してレベルを計測する機器を指し、代表的な機器として「サウンジグ（重錘）式レベル計」「静電容量式レベル計」などがある。内容物の種類、設置環境などによって使用する機器を選定する。接触式レベル計の中で代表的な「サウンジグ（重錘）式レベル計」について紹介する（写真-3）。

3-1 サウンジグ（重錘）式レベル計

サウンジグ式レベル計は、サイロなどの天井に設置し、ワイヤーロープの先端に取り付けられたウェイト（測定錘）をモータで下降させ、内容物の表面に着床した際のテンション（引張力）の変化を機械的に検知し、ウェイト（測定錘）を上昇させてサイロ内空間距離を計測し、貯蔵量に換算する。

サウンジグ式レベル計の構造は、ウェイトを吊り下げているワイヤーロープを巻き取るドラムを収納するドラムケース部とウェイトの着床信号



写真-3 サウンジグ式レベル計

やモータの制御を行うリミットスイッチ（L. S.）ケース部の2つのケースに分かれている。ケースを分けることでサイロ内から浮遊してくる粉じんが電気系へ侵入を防いでいる。構造、制御方法はメーカー、形式ごとに違いがあり、写真-3に示したものはそのうちの一例である。

サウンジグ式レベル計は、前述しているようにウェイトを上下降させてサイロ内の内容物を直接測定するため、粉じん、ガス、温度、蒸気など測定環境の影響を受けることなく、確実に測定することができる。また、測定物の性状によってウェイト形状を変更することができるため、殆どの測定物に対応することができる。

ウェイトの形状も各社の経験と実績から幅広い形状の中から選定することができる。そのため、測定の信頼度は高い。

しかし、幾つかの注意が必要となる。

(1) 定期的なメンテナンス

機械部品で構成されているため、磨耗などによるウェイトの落下を防止するために定期的にメンテナンスが必要となる。

(2) 測定を開始するタイミング

投入や払出時にウェイト（測定錘）を稼働させると内容物に引き込まれウェイトが埋没してしまう恐れがある。

(3) 間欠動作

ワイヤーの上昇下降時間の間は、測定することができない。

(4) サイロなどの内部構造物（図-1）

ウェイトが上昇する際に振子のようにゆれてし

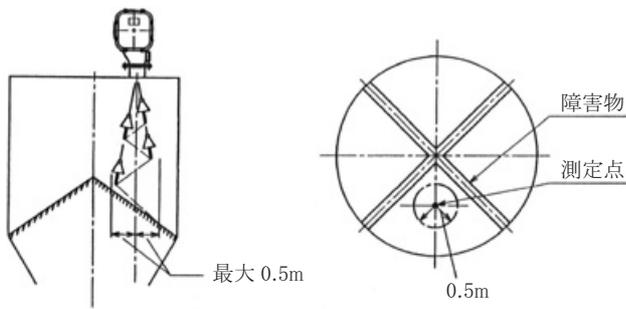


図-1 測定物のゆれ、障害物について

まう。

内部構造物があるとウェイトが引っ掛り機器を壊してしまう。

(5) 点検口の併設

ウェイトによっては、直接短管から挿入できないことがある。

その他にも注意すべき点があり、実際に採用する場合は、詳細についてメーカーなどと相談するのが望ましい。

4. 非接触式レベル計

「非接触式レベル計」は、サイロ内の測定面までの空間距離を計測することでサイロ内の貯蔵量に換算する機器である。代表的な機器として「音波」や「電波」など利用し空中を伝播させて、計測をおこなっている「超音波式レベル計」や「マイクロ波式レベル計」などがある。近年その特性を活かし幅広いアプリケーションで利用されている「マイクロ波式レベル計」について紹介する(写真-4)。



写真-4 パルスレーダ方式マイクロ波レベル計

4-1 マイクロ波式レベル計

「マイクロ波式レベル計」は、「電磁波(電波)」の特性上、環境(温度、ガス、風など)の影響を

受けにくいことから、これまで使用されてきた「超音波式レベル計」に代わり、使用されることが多くなってきている。

マイクロ波は、その伝搬性の高さから浮遊粉じんなどから発生する不要反射を起こしにくいという利点や空気振動で送波しないため、サイロ内の空気の乱れの影響を受けないという特徴がある。これらにより「超音波式レベル計」での測定が困難だったところでも「マイクロ波式レベル計」であれば確実に測定することができるようになった。

「マイクロ波式レベル計」には、「FMCW レーダ方式」と「パルスレーダ方式」の2種類の測定原理がある。

4-1-1 「FMCW レーダ」方式

「FMCW レーダ方式」は、「周波数変調方式」と呼ばれ、発振周波数を一定の幅で変調しながら連続的に放射し、受振までの時間遅れと送振波と受振波の周波数差をFFT(高速フーリエ変換)解析などの演算処理をおこない、距離に換算する。周波数成分の解析について周波数計数方式(ゼロクロス)やFFT(高速フーリエ変換)が用いられる。

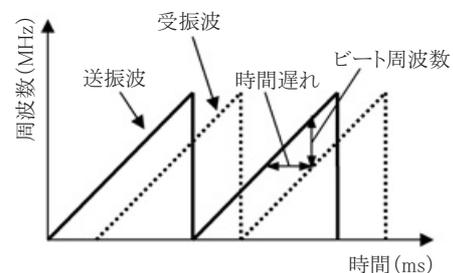


図-2 FMCW 方式

4-1-2 「パルスレーダ」方式

「パルスレーダ方式」は、マイクロ波パルス発振回路で生成されたパルスマイクロ波が同軸導波変換器から空气中に放射され、サイロ内の測定面に反射し再び受振されるまでに要した時間を距離に換算する。

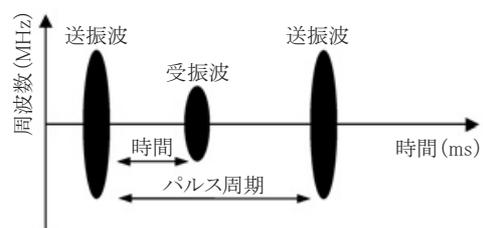


図-3 パルスレーダ方式

4-2 マイクロ波式レベル計のメリット

同じ非接触式である超音波式レベル計は、屈折を起こさない直進的な伝播経路しか持たず、物理的に存在するものには必ず反射し、その裏側には到達しない。これに対しマイクロ波は、導波管や反射板を用いることで屈折させ、その伝播経路を自在に操ることが可能である。また、比誘電率の低いものに対し反射を起こし難く、透過するという特徴を持っている。これらの性質を活かし、例えば反射板をマイクロ波の伝播経路の途中に設置し、マイクロ波を屈折させて内部のレベルを測定させたり、腐食性の高い液体をタンクの外から測定させたりすることができる。

4-3 信号処理の進化

現在、マイクロ波式レベル計に関わらず非接触式レベル計においては、信号処理技術が進化し続けている。以前は、単に送信波を発信し、得られる反射波を増幅させて検出するという単純なものであった。現在では如何に実反射と不要反射を見分けるか、その不要反射をどのように抑えるか、如何にスムーズで安定したレベル追従を実現させるかなどの工夫がなされて機能が充実しており、この部分が各メーカーのノウハウとなっている。例えば、部分的な固定のノイズ抑制（マスキング機能）を行うだけであったものが、反射波の位置情報をもとにノイズ抑制の有効、無効の判断を自動で行う機能を備えている。反射波の認識においても単純に最も反射強度が高いものを反射波として認識するのではなく、粉体の堆積状態によっては多くの位置で発生する反射波に対してさまざまな処理を施すことによって、操業状態に合わせた

判定を行っている。

各メーカーの信号処理技術は向上しているが全てのアプリケーションに対応できる訳ではない。当然ながら非接触式では計測し難い場面もあり、前述している測定環境などを確実に把握し、適切な機器を選定することをお奨めする。

5. おわりに

本稿で紹介したレベル計やレベルスイッチは、安価で操作し易く、軽量・小型化され、簡単に設置が行える。その反面、測定環境に適さない機器を選定してしまうとトラブルを招き、設備の操業に支障を与えてしまう。如何にメーカーと細かな打ち合わせが行えるか、使用目的・使用環境にあった適正な機器が選定できるかが重要である。「レベル計」は、製造プロセスを効果的に運用する上で非常に重要な役割を担う監視機器であると考えている。

参考文献

- 1) (社)日本粉体工業技術協会：“粉粒体のバルクハンドリング技術”、日刊工業新聞社、p353-358 (1985)
- 2) (株)松島機械研究所：製品カタログ（装置写真）

なべうち ひろし
鍋内 浩
(株)松島機械研究所 営業本部 営業技術係
係長

〒807-0837 北九州市八幡西区則松東1丁目8番地18号
TEL: 093-691-3731 FAX: 093-691-3735
E-mail: nabeuchi@matusima.co.jp

