

光学式変位計を用いる 塩製品粒径インライン測定の可能性について

吉川直人, 真壁優美

要旨

光学式変位計を用いる塩製品粒径のインライン測定の可能性について4種類のレーザ変位センサを用いて検討した。その結果、拡散反射方式のレーザ変位センサで測定した塩層表面の平均変位差と平均粒径との間には良好な直線関係が見られ、粒径測定の可能性が示唆された。本法は赤外線水分計出力値の粒径依存性補正にも適用できると考えられる。

1. 緒 言

塩製品の粒径は製品の品質管理上重要である。これをインラインで測定することができれば工程操作の省力化に寄与できる。現在、製塩工場における塩製品の粒径測定はロータップ式自動ふるい機¹⁾、音波振動式全自動粒度測定器（ロボットシフタ）²⁾、簡易粒径測定装置³⁾を用いて行われているが、サンプリング、縮分操作等を人手により行う必要があり、測定頻度が限定される。また大量の製品のうち少量を代表試料として評価しているため、実際の製品粒径を完全に把握することはできない。これらの理由により十分な製品の粒径管理を行なうのは困難な状況にある。

一方、遠心分離後の塩製品の水分管理は赤外線水分計を用いてインラインにより行われている。しかし、測定される水分出力値は製品の粒径あるいは比表面積の影響を受けるため品種による検量線の切り替えが必要である⁴⁾。また、同一品種においても粒径変動により正確な水分を測定することは困難であり、水分の異常値を確認する程度にしか用いられない。さらに、水分計で測定したデータを遠心分離操作にフィードバックすることにより遠心分離機制御を行いたいとの要望が多数あり、精度のよい水分測定法の開発が求められている。

光学式変位計の一つであるレーザ変位センサは、レーザ光を用いて測定対象物との距離を測定できるセンサであり、数 μm ～数十 μm の分解能で変位の測定が可能である。また、反射方式、スポット径、分解能、焦点距離が異なる種々の安価なセンサが市販されており、工程ライン中の部品の取り付けチェック等に用いられている。

製塩工場のインライン水分測定は遠心分離後のベルトコンベア上において、赤外線水分計の直前に整流板を設

置し、ベルトコンベア上の塩層の表面を平滑にして行かれている。すなわち、水分計の設置場所である表面を平滑にした塩層において、レーザ変位センサにより塩層表面の変位変動を測定し、測定値から塩製品の粒径が算出できれば粒径のインライン測定のみならず水分計出力値の補正也可能となる。

そこで、本研究では縮分機の回転円盤をベルトコンベアに想定し、ガラス棒により表面を円滑にした塩層の表面変位を4種類のレーザ変位センサで測定し、平均粒径と変位変動を表す平均変位差との関係を検討する方法により、塩製品のインライン粒径測定の可能性について検討した。

2. レーザ変位センサ測定原理⁵⁾

Fig. 1にレーザ変位センサのセンサヘッド構造図を示す。

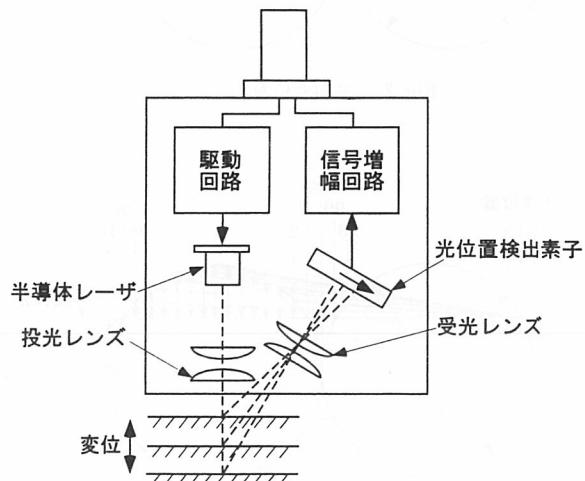


Fig. 1 レーザ変位センサのセンサヘッド構造

本センサは、三角測量を応用した方式で、発光素子と光位置検出素子の組み合わせで構成される。発光素子には半導体レーザが用いられており、半導体レーザの光は投光レンズを通じ集光され、測定対象物に照射される。そして、対象物から拡散反射された光線の一部は受光レンズを通して光位置検出素子上にスポットを結び、対象物が移動するごとにスポットも移動するため、スポット位置を検出することにより対象物までの変位量を測定することができる。

3. 粒径および比表面積測定原理

3.1 平均変位と粒径および比表面積との関係

光学式変位計は塩層の変位を不規則に測定するため、ここでは変位の平均値である平均変位を用いる。Fig. 2 に平均変位算出モデルを示す。このモデルは塩製品を球状、均一粒径Dと仮定し、塩層を平板上に単層で密に充填した二次元モデルである。

このモデルにおいて、1個の半球（半円で示す）の面積は $(1/2) \pi r^2$ 、直径は $2r$ で表すことができ、半円の平均高さは、半円の面積/半円の直径 = $[(1/2) \pi r^2] / (2r) = (1/4) \pi r$ となる。また、平均変位は半球の最上点を基準位置とすると $r [1 - (1/4) \pi] = D [1 - (1/4) \pi] / 2$ となり、平均変位は粒径と比例関係にある。

この結果、平均変位を測定することにより、平均粒径の算出が可能であると考えられる。しかし、実際の工程では変位算出に使用する基準位置はベルトコンベア振動の影響により変化するため、光学式変位計を用いて測定される平均変位はベルトコンベア振動の影響を受ける。

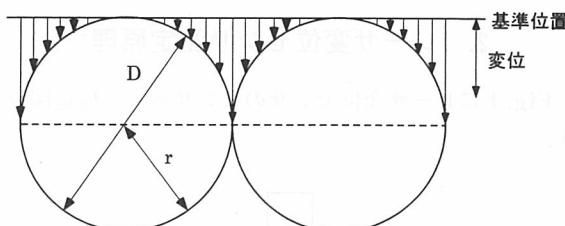


Fig. 2 平均変位算出モデル

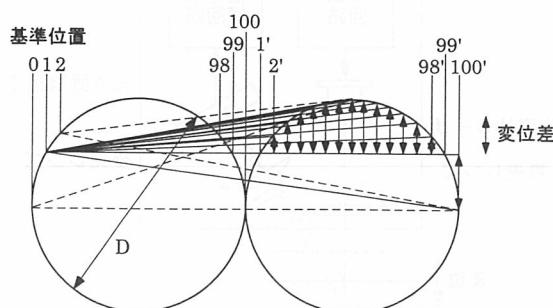


Fig. 3 平均変位差算出モデル

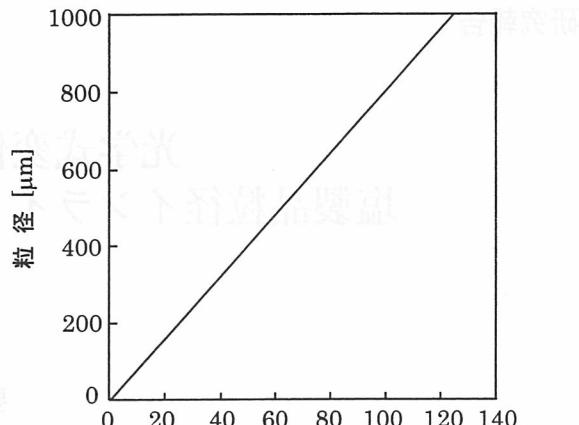


Fig. 4 平均変位差と粒径との関係

このため、平均変位から粒径を算出することは困難であると考えられる。そこで、直前の変位と変化直後の変位との差の絶対値である変位差を平均した平均変位差を用いることにより、ベルトコンベア振動の影響は軽減できると考えた。

3.2 平均変位差と粒径および比表面積との関係

Fig. 3 に平均変位差算出モデルを示す。モデルはFig. 2 に示した平均変位算出モデルを用いて、2つの球を横軸方向に100分割し、0~100, 0'~100'の座標を与えた。そして、変化する直前の変位が0~100座標であり、変化直後の変位が0'~100'座標である場合について、変位差を101×101通り算出し、平均することにより平均変位差を算出した。

Fig. 4 に平均粒径と平均変位差との関係を示す。平均変位を平均変位差に置き換えた場合においても同様に平均変位差と粒径との間には比例関係が得られたため、光学式変位計により測定した平均変位差から粒径を算出できる可能性が示唆された。

しかし、本項に示した平均変位差算出モデルは、塩製品を均一の球と仮定しているため、実際の塩製品との形状、粒径分布が異なる。また、塩層を密に充填した単層の二次元モデルとしたことにより、実際の塩層と比較して空間率が異なる等の問題がある。そこで、実際の塩製品への適用の可能性について実験により検証した。

4. 実験

4.1 実験装置および方法

Fig. 5 に実験装置の概要を示す。また、Table 1 に実験に使用した4種類のレーザ変位センサの仕様を、Table 2 に実験に用いた5点の塩製品試料の平均粒径および標準偏差を示す。

実験は縮分機の回転円盤上にガラスシャーレを設置し、さらにガラスシャーレの内側に別のガラスシャーレ

Table 1 レーザ変位センサ仕様

社名	型式	方式	スポット径 mm	検出距離 mm	分解能（応答時間） μm (ms)
オムロン(株)	Z4M-W100	拡散反射	0.7×1.4	100±40	8(500), 30(20), 150(0.7)
オムロン(株)	Z4M-W40RA	拡散反射	0.3×0.6	40±10	3(60), 20(2), 80(0.15)
オムロン(株)	Z4M-N30V	正反射	φ0.1	30±2	0.4(100), 4(1)
(株)キーエンス	LB-045	拡散反射	φ0.1	40±5	4(111)

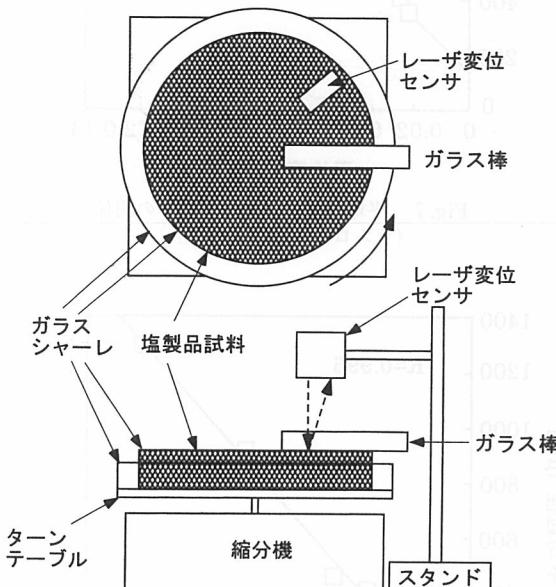


Fig. 5 実験装置概要

を設置し、内側のガラスシャーレに塩を充填し、回転円盤を30rpmの速度で回転させながら、直径35mmのガラス棒を用いて塩層表面を平滑にした。塩層表面が平滑になった後、回転円盤を回転させながら、レーザ変位センサを用いて塩層の変位出力値を100msの応答時間で測定した。変位出力値は1回の測定につき各々4,096点測定し、1-5Vの電圧値としてデータ収集システム(株キーエンス製NR-110)を用いて収集し、パソコンに記録した。測定は1点の塩製品試料につき5回ずつ繰り返し行った。

4.2 平均変位差の算出

変位出力値 $L(i, j)$ は電圧値として1試料につき4,096点連続で5回繰り返し測定した。測定した変位出力値を $L(1,0) \sim L(1,4095), L(2,0) \sim L(2,4095) \dots \dots L(5,0) \sim L(5,4095)$ とおく。

変位出力値の変化量である変位差 $\Delta L(i,j)$ をEq.(1)を用いて4,095点×5回=20,475点順次算出した。

$$\Delta L(i,j) = \text{abs}(L(i, j+1) - L(i, j)) \quad (1)$$

$$i=1 \sim 5, j=0 \sim 4,095$$

算出した変位差を平均して平均変位差 $\text{ave}(\Delta L(i,j))$ をEq.(2)に従い算出した。

$$\text{ave}(\Delta L(i,j)) = \sum (\Delta L(i,j)) / 20,475$$

Table 2 塩製品試料概要

塩種	平均粒径 μm	標準偏差 μm
並塩	357	90
並塩	408	98
並塩	461	103
中粒塩	811	552
大粒塩	1181	652

5. 結果および考察

Figs. 6-9に塩製品試料の平均粒径と各変位センサで測定した平均変位差との関係を示す。

正反射式のオムロン(株)製Z4M-N30Vを除いた拡散反射式の3機種については平均粒径と平均変位差との間に良好な相関関係が見られた。

正反射式のセンサ(オムロン(株)製Z4M-N30V)は、表面が鏡面に近い物質の測定に適しており、表面が粗い塩層の測定には適さないと考えられる。このため、拡散反射式のセンサを用いることが必要である。

また、拡散反射式の3機種を比較した場合、オムロン(株)製Z4M-W40RAと(株)キーエンス製LB-045については、相関係数は0.996であり、オムロン(株)製Z4M-W100の0.985と比較して相関は良好であった。これらの機種の相違点はスポット径と分解能にあり、高い測定精度を得るために、スポット径が小さく、分解能が高いセンサを用いることが有効であると考えられるが、実際の工程ラインにおいて機種選定を行う必要があると考えられる。

一方、赤外線水分計の出力値補正については今回検討しなかったが、出力値には粒径依存性があるため、平均粒径を測定できるレーザ変位計を用いて補正することにより水分測定精度の向上が図れると考えられる。

6. 結 言

光学式変位計を用いる塩製品の粒径インライン測定および赤外線水分計補正の可能性について4種類のレーザ変位センサを用いて検討した。その結果、拡散反射方式の3機種を用いて測定した平均変位差と平均粒径との間には良好な直線関係が見られ、レーザ変位センサを用いる塩製品の平均粒径測定の可能性が示唆された。また、平均粒径の測定精度は反射方式、スポット径、分解能の

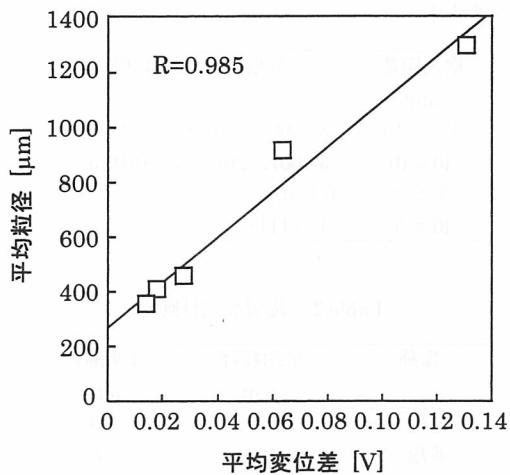


Fig. 6 平均変位差と平均粒径との関係
(オムロン(株)Z4M-W100)

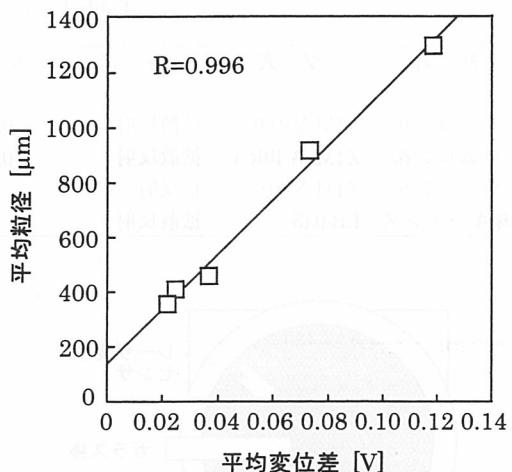


Fig. 7 平均変位差と平均粒径との関係
(オムロン(株)Z4M-W40RA)

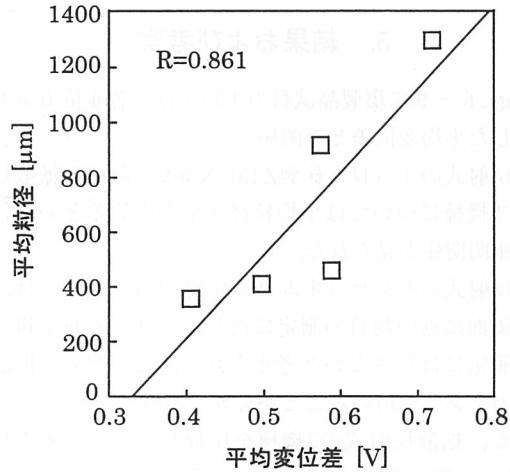


Fig. 8 平均変位差と平均粒径との関係
(オムロン(株)Z4M-N30V)

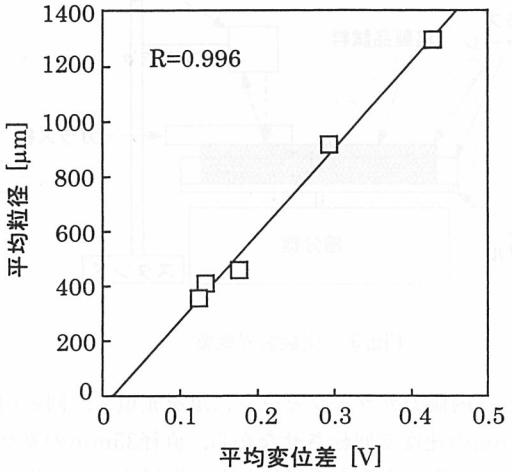


Fig. 9 平均変位差と平均粒径との関係
(株)キーエンスLB-045)

影響を受けることがわかった。

現在のところ最良なセンサは、拡散反射式でスポット径が小さく、高い分解能を持つオムロン(株)製Z4M-W40RAと(株)キーエンス製LB-045であるが、実工程における適用性については工程試験を行い判断する必要がある。

また、赤外線水分計の出力値補正については、水分測定精度の向上の可能性が示唆されたが、これについても工程試験において検討する必要がある。

引 用 文 献

- 1) 財塩事業センター：“塩試験方法”，p.138 (1997)
- 2) 篠原富男，尾方昇：“日本海水学会第39年会講演要旨集”，p.2 (1988)
- 3) 伊藤浩士，長谷川正巳，清水吉明，二宮直義：特許2757954 (1998)
- 4) 篠原富雄，瀬戸山伸日古，尾方昇：海水誌, 43, 39 (1989)
- 5) (株)キーエンス：“センサ・測定機器総合カタログ”，p.636 (2000)

Abstract

Feasibility Study of In-Line Method for Measuring the Particle Size of Salt Products Using an Optical Displacement Gauge

Naohito YOSHIKAWA and Yumi MAKABE

A feasibility study of the in-line method for measuring the particle size using four kinds of optical displacement gauges was carried out. As a result, the mean diameter of salt products was found to be linearly correlated with the differential displacement of the surface of the salt layer measured using diffuse reflection laser displacement gauges. This result indicates the possibility of measuring the particle size of salt products. Furthermore, it is considered that this method is applicable to the correction of the output value measured using an infrared moisture meter.

