

学位論文の要旨

氏名

高口 裕芝

学位論文題目

吹出し管を備えた吸込みノズルの粉粒体空気輸送特性に関する研究

本論文は、吹出し管を備えた吸込みノズルの粉粒体空気輸送特性に関する研究についてまとめたものである。

第1章は、最初に空気輸送技術の背景について述べた。ここでは、ものづくりを主体とする産業界で多種多様な粉粒体を使用されていることを示し、それらの粉粒体を製造工程に供するには必ず輸送が必要で、その輸送方法の一つに空気輸送法があることを述べた。空気輸送装置に関する従来の研究について調査し、特に本論文の主題である福原らにより研究が進められている吹出し管を備えた吸込みノズルは、今後の空気輸送技術の動向である高濃度低速輸送に適合した高性能な吸込みノズルであることを述べた。また、本研究の目的および本論文の構成を述べた。

第2章は、実験装置および実験方法について述べた。ここでは、粉粒体の空気輸送で生じる現象の特徴より、実験時のデータ取得およびデータ解析に当たっての留意点を述べた。また、正確な実験データを取得するための様々な工夫を実験装置の特徴として示し、実験方法について記述、主要な性能値の定義を示した。

第3章は、吸込みノズル性能に及ぼすノズル深さの影響について実験結果を述べた。吸込みノズルは実用上、ノズルの下端を粉粒体層内へ埋め込んだ状態で作動させる場合が想定される。したがって、吸込みノズル性能に及ぼすノズル下端の埋め込み深さの影響に関する基礎資料を得る必要がある。実験の結果、ノズル深さ比が0以外では、吹出し流がない場合は吸込みノズルは作動することはできなかったが、吹出し流を与えると吸込みノズルが作動することができたことから、吸込みノズルの中心軸上に噴流吹出し管を設けることの有効性を実証できた。ノズル深さ比が0から0.3までの範囲では、混合比に及ぼすノズル深さ比の影響が大きく、特に吹出し管の挿入長さ比が0の場合、最も顕著であることが分かった。また、ノズル深さ比が0.3以上では、いずれの吹出し管の挿入長さ比においても、混合比に及ぼすノズル深さ比の影響は小さいことを示した。可視化画像で得られた粉粒体の崩落境界および流動境界の変化からノズル性能の実験結果を説明することができた。

第4章は、吸込みノズル性能に及ぼす吸込み流速の影響について実験結果を述べた。産業界に存在している多様な粉粒体の物性には、粒子形状、粒子径、粒子密度等がある。その中で、吸込みノズルの性能に及ぼす粒子径の影響について取り上げる。粒子密度が一定の場合、粒子の大きさによってその浮遊速度が異なるので粒子径の影響を計測上正確に

評価するには、粉粒体を回収する際のノズル内吸込み流速の影響を十分に把握するための基礎資料を取得する必要がある。また、一般に運転操作性の観点から、本装置の特徴である吹出し流の制御範囲の把握とともに広い運転条件が望まれる。そのため、吸込み流速の影響を考慮に入れた運転性能に関する吸込みノズルの幾何形状の最適化を行う必要もある。粒子径の影響について調査する際の準備段階として、本章では、従来通り平均粒子径として $64\mu\text{m}$ を用い、吸込み流速の影響について調べ、運転性能に関する吸込みノズルの幾何形状の最適化の一評価を行った。また、異なる吸込み流速および幾何形状による粉粒体挙動を吸込みノズル近傍の可視化画像から明らかにした。また、各種の吸込みノズル幾何条件について、混合比は吸込み流速を種々変化させてもほとんど変化しないことが確認できた。吸込みノズルの作動範囲を求めると、ノズル深さを付加するより吹出し管の挿入長さを付加した方が作動範囲は広くなることが分かった。可視化計測により、下限流速比、上限流速比の流動状態を確認し、これらの流動様相を定性的に説明した。

第5章は、吸込みノズル性能に及ぼす粒子径の影響について実験結果を述べた。前章でも述べたように、粒子は、粒子径、粒子形状、粒子密度等の様々な特性を有しているが、まずは影響の大きいと思われる粒子径について取り上げる。本章では粉粒体の粒子形状および粒子密度を一定とし、平均粒子径を中位径(体積基準)で表示すると $49\mu\text{m}$ から $272\mu\text{m}$ までの範囲内で、吸込みノズルの性能に及ぼす粒子径の影響について調査する。文献によれば、粉体と粒体の境界は粒子の自重と付着力が等しくなる付着平衡粒子径($30\sim 50\mu\text{m}$)であると報告されている。そうすると、本章ではほとんど粒体の範囲に限定して粒子径の影響について調査することになる。そして、種々の粒子径による粒子挙動を、吸込みノズル近傍の可視化画像およびノズル内壁面の変動圧力から考察した。その結果、平均粒子径 $49\mu\text{m}$ 以外の粒子については、吸込みノズル性能(混合比、吹出し管全圧損失、吸込みノズル全圧損失、ノズル効率)に及ぼす粒子径の影響はほとんど見られなかったが、粒子径 $49\mu\text{m}$ の粒子については、吸込みノズル性能のうち、混合比およびノズル効率には低下が見られた。流動境界を可視化計測すると、平均粒子径 $49\mu\text{m}$ 以外の粒子については各粒子の場合ともにほぼ同様な分布となり粒子径の影響はほとんど見られなかったが、粒子径 $49\mu\text{m}$ の粒子については流動境界が浅くなり、その他の粒子とは異なった特性を有することを報告した。また、吸込みノズル壁面圧力の変動の評価より、粒子径 $49\mu\text{m}$ の粒子の混合比が低くなる要因は、その粒子が持つ凝集性であることを示した。

第6章は、第3章から第5章の結論を総括した。

Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

A Study on Pneumatic Conveying Characteristics of Suction Nozzle with Injection
Pipe for Powders and Particles

Name: Hiroshi Kouguchi

This thesis describes the study on performance improvement of the suction nozzle with an injection pipe.

Chapter 1 describes the background of the pneumatic conveying technique. This chapter shows that various kinds of powders and particles are used in the various industries concerned with “Manufacturing”, that conveying and transporting are always required to supply powders and particles to the manufacturing process, and that pneumatic conveying is one of them. The past study concerned with the main component of the pneumatic conveying system was researched, and the fact that the suction nozzle with injection pipe invented by Fukuhara Laboratory has a very high performance is described. In addition, the purpose of this study and this structure of this thesis are described.

Chapter 2 describes the test apparatus and test procedure. Owing to the unique characteristics of powders and particle pneumatic conveying, the points to note are described in data capture and data analysis. Additionally, various features for acquiring accurate data are shown as characteristics of experimental apparatus, description of experimental method, and definition of main performance values are shown.

Chapter 3 describes the test result. In this chapter, the effect of the nozzle depth to the pneumatic conveying characteristics of suction nozzle is described. For practical use, it is assumed that the suction nozzle is operated with the lower end of the nozzle embedded in the granular layer. Therefore, it is necessary to obtain basic data on the influence of the depth of burial at the lower end of the nozzle on the suction nozzle performance. As a result of the experiment, it was found that when the nozzle depth ratio is in the range from 0 to 0.3, the effect of the nozzle depth ratio on the mixing ratio is considerable, especially when the insertion depth ratio of the blowout pipe is 0. Moreover, when the nozzle depth ratio was 0.3 or more, it was shown that the effect of the nozzle depth ratio on the loading ratio is miniscule in any of the injection pipe insertion length ratios. With regard to the above results, it was possible to explain the experimental results of nozzle performance by clarifying the behavior of the powder from the relationship between the “collapse boundary” and the “flow boundary” of the powder obtained in the visualized image. Also, if the nozzle depth ratio was other than 0, the suction nozzle could not operate if there was no injection flow, but since the suction nozzle operates by supplying the injection flow, the effectiveness of installation of an ejection pipe on the axis of the suction pipe which was proposed by Fukuhara Laboratory was substantiated.

Chapter 4 further describes the test result. In this chapter, the effect of the suction velocity on the pneumatic conveying characteristics of the suction nozzle is described. There are particle shape, particle diameter, particle density, and the like for the physical properties of various powdery and granular materials present in the industry. Among them, the influence of particle diameter on the performance of the suction nozzle is discussed. The effect of suction velocity is examined using a mean particle diameter of 64 μ m, and as for the operating performance, The optimization of the geometry of the

suction nozzle with respect to operating performance was also evaluated. As a result, it was confirmed that for various suction nozzle geometric conditions, the mixing ratio hardly changes even if the suction velocity is changed variously. As the suction velocity was increased and the nozzle depth and the insertion length of the blowout pipe were increased, the minimum limit flow velocity increased in the high flow velocity ratio range and the maximum limit flow velocity decreased in the low flow velocity ratio region. It was found that the operation range of the suction nozzle is widened by adding the insertion length of the blowout pipe rather than adding the nozzle depth. By visualization, the flow field condition of minimum limitation flow velocity ratio and maximum limitation flow velocity ratio was confirmed and these flow field conditions are qualitatively shown by the relation between the powders and particles inflow by injection flow and the powders and particles inflow from rotation of the suction nozzle.

Chapter 5 also describes the test result. In this chapter, the effect of the particle diameter on the suction nozzle performance is examined with respect to five kind of powders and particles in the range of $49\mu\text{m}$ to $272\mu\text{m}$ in a volumetric median diameter as a mean particle diameter. As a result, almost no influence of the particle diameter on the loading ratio was observed except in the case of the average particle size of $49\mu\text{m}$. By visualization of the flow boundary, it was found that almost the same distribution is shown except for the case of the average particle size of $49\mu\text{m}$, so that the influence of particle size is hardly observed. By this result, it is understood that this phenomena corresponds to the effect of particle diameter on the loading ratio. In the case of mean particle diameter of $49\mu\text{m}$, the loading ratio decreases in comparison with other conditions under the condition that the blowing flow exists. In addition, similarly to the characteristics of the loading ratio, it was reported that the effect of the particle diameter on the nozzle performance (the total pressure loss of the discharge pipe, the total pressure loss of the suction nozzle, the suction nozzle efficiency) was hardly observed. Evaluation of the pressure fluctuation of the air pressure on the wall surface in the suction nozzle showed that the agglomerative property of mean particle diameter $49\mu\text{m}$ is the factor of the loading ratio decrease.

Chapter 6 summarized the conclusions of Chapters 3 through 5.