

# 論文内容要旨 (和文)

平成30年度入学 大学院博士後期課程

物質化学工学専攻

氏 名 田村 崇弘



論文題目 乾式ビーズミルにおける粉砕とその特性に関する研究

粉砕は古くから現代にいたるまで重要な単位操作の一つであり、産業の発展において担う役割は大きい。本論文は乾式ビーズミルにおける粉砕とその特性について説明されたものであり、全6章で構成される内容となっている。

第1章では、粉砕についてこれまでに行われてきた実験や評価方法など、既往の研究について粉砕機の歴史とともに調査し、本研究の目的を示した。ビーズミルは粒子破壊の力学的な観点および粉砕原理や特徴から、微粉砕領域において合理的な粉砕機であると考えられた。近年の産業において急速に進んでいる産業製品の小型、大容量化と砕成物の微細化には密接な関係があるため、今後ビーズミルへの注目はますます高まると予想される。しかし、他の粉砕機に比べ歴史が浅いビーズミルは、十分な研究が成されているとは言い難く、様々な砕料に対する処理やビーズミル開発も試行錯誤による経験に頼るところが大きい現状がある。さらに、ビーズミルを用いた粉砕には多数の操作因子が存在するため、粉砕結果に影響する因子間の関連性を整理することも重要な課題であると考えられる。加えて、環境問題への配慮から省エネルギー化が求められる今日にとって、粉砕に要するエネルギー効率の改善は、今後も要望が大きく重要な課題である。これらの課題を解決するための一つの手段として、ビーズミルでの乾式粉砕が考えられる。乾式粉砕にて微小粒子が得られた場合、学術的観点においては粉砕現象に対して新しい知見が得られること、工業的観点においては乾燥工程の省略によるエネルギー削減や生産スペースの短縮および化学的合成法に比べ安価で粒子を獲得できることに大いに貢献すると考えられる。そこで本論文では、乾式ビーズミルを用いて操作因子となる砕料、ビーズ径、粉砕室材質、ビーズミル運転時の主操作因子となるアジテータ周速、ビーズ充填率、砕料供給速度を各々変更して種々の実験を行い、各操作因子間の関係を明確にするとともに、乾式ビーズミルを用いた粉砕とそのエネルギー効率との間で乾式ビーズミルが有する粉砕特性を明らかにすることを目的とした。

第2章では、本論文において実験に用いた横型乾式ビーズミル、砕料および粉砕助剤についての詳細について言及し、加えて粉砕実験の方法、機械の運転条件、機械の仕様条件、測定方法をそれぞれ示した。

第3章では、数種の砕料を用いて機械の運転条件であるアジテータ周速、ビーズ充填率、砕料供給量を各々変更した粉砕実験を行った結果から、各運転条件はそれぞれ独立しているものの、実験により得られる比動力と代表粒子径との間には規則性が顕在しており、同規則性は粉砕機のスケールを変更しても同様に成立していることを示した。さらに、これを横型乾式ビーズミルの基礎的性質として従来の理論を考慮した定式化を行い、粉砕係数と到達限界代表粒子径の二つのパラメータを決定することで粉砕のエネルギー効率が評価できることを示した。

# 論文内容要旨 (英文)

平成30年度入学 大学院博士後期課程

物質化学工学専攻

氏 名 田村 崇弘



論 文 題 目 Study on Characteristic of Grinding in the Dry Bead Mill

Grinding is one of the important unit operations from ancient times to the present day, and has a large role in the development of industry. This paper was consisted of 6 chapters describes grinding and characteristics in a dry bead mill.

In Chapter 1, the purpose of this study was shown by investigating the past researches such as experiments and evaluation methods on grinding that had been carried out so far, together with the history of grinding machines. The bead mills were considered to be a rational grinding machine at the fine grinding region from the viewpoint of fracture mechanics of particle, the grinding principle and characteristics of bead mill. Since there are a close relationship between industrial products that miniaturization and increasing capacity, and grinding, which are rapidly advancing in the industry in recent years, it is expected that attention to bead mills will increase in the future. However, bead mills, which have a shorter history than other grinding machines, have not been sufficiently researched, so the current situation that treatment of various feeds and development of bead mill are largely depending on experience through trial and error. Furthermore, since there are many operating factors in grinding using a bead mill, it is considered to be an important issue to investigate the influence of the factors on the grinding results and the relationship between the factors. In addition, energy saving is required due to consideration for environmental issue in the present age, improvement as energy efficiency of grinding will continue to be an important issue with great demand. As one way for solving these issues, dry grinding using a bead mill can be considered. When fine particles are obtained by dry grinding, new knowledge can be obtained as the grinding phenomenon from viewpoint of academic. On the other hand, from industrial point of view, omitting drying process can be obtained energy reduction, shortening of production space and getting fine particles with lower cost than chemical synthesis, so these are great contributions. Therefore, the purposes of this paper are to clarify through some experiments grinding characteristics which is based on energy efficiency of dry bead mill, and relationship between operating factors. The operating factors are feed, bead diameter, grinding vessel(chamber) material, and main factor during driving bead mill are agitator peripheral speed, bead filling, and feed rate.

In Chapter 2, the details of the horizontal dry bead mill, feed, and grinding aid used in the experiment in this paper were described, and also the grinding experiment method, machine operating conditions, machine specification conditions, and measurement method were described.

In Chapter 3, grinding experiments were conducted using several feeds, in which the operating conditions, such as agitator peripheral speed, bead filling, and feed rate, were changed. As a result, although each operating condition was independent, there were regularity between specific energy and the typical particle size from the experiments, and this regularity could be obtained even if different scales of bead mill. Furthermore, as the basic property of the horizontal dry bead mill, the energy efficiency of grinding could

be evaluated by formulating in consideration of the conventional theory and determining the two parameters of the grinding coefficient and the reached limit typical particle size.

In Chapter 4, the effects of differences in bead diameters used as grinding media in horizontal dry bead mill were investigated on the particle size reached by grinding and the energy efficiency of grinding. As a result, it was shown that as the bead diameter became smaller, the particle size distribution width obtained by the grinding progress of large particles became narrower, and the grinding proceeded to a finer region. Furthermore, the energy efficiency of grinding was considered based on the results obtained in Chapter 3, and it was shown that the dry bead mill has characteristic that the energy efficiency of grinding changes according to the bead diameter. It was also shown that the bead diameter was a factor that affects both the grinding coefficient and the reached limit typical particle size.

In Chapter 5, the effects of the grinding vessel(chamber) material and bead material of the horizontal dry bead mill on the grinding results were considered in the same way as in Chapter 4. As a result, it was clarified that the energy efficiency of grinding changes, because the bead material is main factor that affects grinding coefficient. On the other hand, within the range of this study, the effect on energy efficiency of grinding due to the difference in agitator and vessel(chamber) materials was not confirmed.

In Chapter 6, the results from Chapters 3 to 5 were organized.

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

令和 3 年 2 月 4 日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 ..... 木俣 光正 .....

副査 ..... 桑名 一徳 .....

副査 ..... 松嶋 雄太 .....

副査 ..... 宍戸 昌広 .....



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

|          |                          |         |                        |       |
|----------|--------------------------|---------|------------------------|-------|
| 論文申請者    | 物質化学工学専攻                 |         | 氏名                     | 田村 崇弘 |
| 論文題目     | 乾式ビーズミルにおける粉砕とその特性に関する研究 |         |                        |       |
| 学位論文審査結果 | 合格                       | 論文審査年月日 | 令和3年1月20日～<br>令和3年2月4日 |       |
| 論文公聴会    | 令和3年2月4日                 | 場 所     | 工学部 3-2307 教室          |       |
| 最終試験結果   | 合格                       | 最終試験年月日 | 令和3年2月4日               |       |

学位論文の審査結果の要旨 (1,000 字程度)

本論文は、装置として歴史の浅い乾式ビーズミルの粉砕特性に関するものであり、全6章で構成されている。第1章では、粉砕についてこれまでに行われてきた実験や評価方法など、既往の研究について粉砕機の歴史とともに調査し、本研究の目的とその意義が示されている。第2章では、本論文において実験に用いた横型乾式ビーズミル、砕料および粉砕助剤についての詳細について言及し、粉砕実験の方法、機械の運転条件、機械の仕様条件、測定方法をそれぞれ示された。第3章では、数種の砕料を用いて機械の運転条件であるアジテータ周速、ビーズ充填率、砕料供給量を各々変更した粉砕実験を行った結果から、各運転条件はそれぞれ独立しているものの、実験により得られる比動力と代表粒子径との間には規則性が顕在しており、同規則性は粉砕機のスケールを変更しても同様に成立していることを明らかにした。さらに、これを横型乾式ビーズミルの基礎的性質として従来の理論を考慮した定式化を行い、粉砕係数と到達限界代表粒子径の二つのパラメータを決定することで粉砕のエネルギー効率が評価できることが示された。第4章では、横型乾式ビーズミルにて粉砕媒体として用いられるビーズ径の違いが、粉砕により到達する粒子径や粉砕のエネルギー効率に与える影響を検討した。その結果、使用するビーズ径が小さくなるにしたがい、大粒子の粉砕が進行することで得られる粒子径分布幅は狭くなり、より微細な領域へ粉砕が進行することが示された。さらに、粉砕のエネルギー効率は、使用したビーズ径に応じて変化する特徴を有することを明らかにした。また、ビーズ径は粉砕係数、到達限界代表粒子径双方に影響を与える因子となることが示された。第5章では、ビーズ材質は主として粉砕係数に影響を与える因子となることで、粉砕のエネルギー効率が変化することを明らかにした。一方で、本研究の範囲内においてアジテータやベッセル材質の違いによる粉砕のエネルギー効率への影響は小さいことが示された。第6章では、第3章から第5章までの結果を整理し、本研究の総括が述べられている。

本学位論文は、研究テーマの新規性、独自性ととも、得られた成果は、学術的、工業的に価値のあるものと認められる。上記の成果は、査読付き筆頭著者論文2報が学術誌に掲載決定され、1件の国際会議発表がなされ、審査基準を満たしている。以上を総合的に判断し、博士学位論文として合格と判定した。本論文は、研究倫理又は利益相反等に係る学内規則に基づく手続きは必要ありません。

最終試験の結果の要旨

最終試験は、学位論文を中心とした約60分の口頭発表ならびに関連ある科目を含めて約30分の口頭による質疑応答により実施した。その結果、口頭発表では研究の背景、目的、実験方法、結果、考察が論理的に展開され、明確な説明がなされた。質疑応答においては、的確な回答を行い、十分な専門的知識と研究能力を有することが確認された。以上のことから、最終試験を合格と判定した。