

令和元年6月16日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07761

研究課題名(和文) 高品質化と高効率化を実現する革新的粉末食品製造法の開発：イオン化空気の利用

研究課題名(英文) Development of an effective processing method for quality powdered food: an application of ionized air

研究代表者

五月女 格 (Sotome, Itaru)

東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・准教授

研究者番号：90469833

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：粉末食品は溶けやすくするために顆粒状に造粒されているものが多い。食品の造粒ではバインダとして多糖類水溶液等を粉末に添加することが多いが、バインダ使用量を削減できれば加工所要時間が短縮され、プロセスの効率化と製品の品質化が期待できる。本研究では流動層造粒におけるバインダ液滴を帯電させ、さらに粉末をイオン化空気により帯電させ、粉末粒子とバインダ液滴間に静電気が働き、プロセスが効率化されるか検討した。バインダ液滴を粉末と異極に帯電させた場合に、少ないバインダ添加量で顆粒が形成される傾向がみられた。しかしながら、粉末を帯電させた場合、造粒装置内部に粉末が著しく付着する等の問題も確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究ではインスタントスープやコーヒーなどの粉末食品のみならず、様々な食品原料をグマになりにくく溶けやすくするための造粒に必要な、時間、エネルギー、コストを削減し、造粒された粉末食品の品質を向上させることをめざし、より少ないバインダ添加量で顆粒を形成する方法について検討し、静電気を利用することにより、バインダ使用量を削減できる可能性があることを見出した。

研究成果の概要(英文)：Variety of powdered food products are agglomerated to granule form to improve their solubility. Aqueous solutions of polysaccharides are usually added to the powder as binder for the granulation of food powder. Reducing the binder addition expectedly shortens the processing time and successive drying, which leads to the improvement of process efficiency and product quality. In this study, the effect of electrostatic charge of binder droplets and the powder on the granule forming process in fluidized bed was investigated. The binder droplets were charged by applying the electrostatic induction to a spraying nozzle. The powder materials were charged by applying ionizer to the air for the fluidized bed. The results of the granulation tests indicated that the electrostatic charge of the binder droplets and powder in opposite polarity accelerated the agglomeration process. However the adhesion of the powder with strong electrostatic charge was remarkable inside the granulation vessel.

研究分野：食品工学

キーワード：粉末食品 流動層造粒 溶解性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

インスタントスープおよび飲料などの粉末食品ならびに医薬品等は、微粉末の状態では使用時に水や湯に溶解する際にランピング(ママコ、ダマ)を起こしやすく、また流動性が低く飛散性が高いため、輸送、計量および充填が難しいという問題がある。この問題を解決するために多くの粉末食品や医薬品、さらには農薬、肥料および飼料に対して、粒子を結着させ顆粒状にする造粒操作が行われている。造粒方法には攪拌造粒、押出し造粒など様々な方法があるが、広く使用されている方法の一つに、下方から気体を流し流動状態になった粉体に対して、バインダ(水、多糖類水溶液等)を噴霧し粒子を結着させた後、乾燥させる流動層造粒が挙げられる。

流動層造粒では、多糖類水溶液などをバインダとして粉末に噴霧して粒子を結着させることから、造粒後は顆粒を乾燥させる必要がある。

流動層造粒では粒子を結着させるバインダの時間当たり噴霧量を増加させると造粒に要する時間が短縮されるが粗大粒が形成されやすくなるため、バインダ噴霧量を小さく設定し、造粒品の粒度が設計値に達するまで造粒を続ける手法が一般的である。また造粒後は顆粒含水率が高くなるため引き続き流動層により乾燥が行われるが、乾燥時における食品の変質を抑制するため、如何にバインダ添加量を減少させ乾燥時間を短縮するかが課題となっている。

著者らはこれまで、流動層造粒におけるバインダ添加量を削減し、造粒操作の効率化および造粒物の高品質化を図る目的で、バインダ液滴を帯電させて、粉末粒子とバインダ液滴の間に働く静電気力によって、造粒プロセスを効率化する技術の開発を行ってきた。液体を噴霧するノズル近傍に電極を設置して高電圧を印加すると、液滴が電極とは逆の極性に帯電する現象が観察される。これまでの研究の結果、バインダ液滴を帯電させることにより、その極性により造粒の促進や阻害が起こり、バインダ液滴を粉末と逆極性に帯電させることにより、造粒プロセスが効率化することが明らかになった。

一方、造粒中の粉末(デンプン)の帯電状況について調べてみると、液滴を帯電させない場合は、造粒装置内部における摩擦帯電により粉末は負に帯電していたが、液滴を帯電させると粉末の電荷は液滴と同極性側に变化していくことが明らかになった。したがって、液滴を帯電させて造粒を続けると、やがて液滴と粉末の電荷は同極性となり、反発して造粒を阻害するようになると考えられる。実際に液滴を帯電させて造粒を継続すると、バインダ液滴を正・負いずれに帯電させた場合においても、バインダ液滴と同極性、すなわち電極と異極性に粉末が帯電して、ノズルおよび電極に静電気力によって固着するようになり、またそれによって粗大粒が発生することが確認されている。

以上の結果のとおり、バインダ液滴を帯電させることにより、流動層造粒における顆粒形成プロセスを部分的に効率化できることは確認されたが、造粒中の粉末の電荷も積極的に制御することにより、更に安定的に造粒プロセスを効率化させることが可能となるという着想に至った。

2. 研究の目的

本研究では流動層造粒において、バインダ液滴に加えて、粉末の帯電が顆粒の成長に及ぼす影響について検討した。まず、流動層造粒装置の流動層底面に、コロナ放電装置を導入し、イオン化された空気により粉末を流動する装置を構築した。この装置を用いて、イオン化空気の供給条件が粉末の帯電および顆粒の成長に及ぼす影響について調べた。また、流動層内部における粉末の帯電状態が時間的・空間的な不均一性が大きく、また流動層造粒装置そのものの構成部品の帯電状態が、造粒中に変化していると考えられたことから、あらかじめ帯電させた少量の粉末を流動層造粒装置内部に導入し、バインダ液滴と接触させた後、生成した顆粒を回収する装置を構築し、装置の帯電の影響や粉末の帯電状態の時間的変化の影響が小さい状態で、粉末およびバインダ液滴が持つ電荷が、顆粒の生成におよぼす影響について検討した。

3. 研究の方法

(1) 実験材料

造粒の原料にはトウモロコシデンプン(ホワイト、日本コーンスターチ株式会社)およびデキストリン(サンデック#70(DE:6~8)、三和澱粉工業株式会社)を、それぞれ80%および20%の質量割合で混合した試料を用いた。1回の造粒試験における原料使用量は500~1000gであった。トウモロコシ澱粉は含水率を10.0%w.b.に、デキストリンは含水率を5.0%w.b.に調整して用いた。

(2) 流動層造粒機

実験に用いた造粒装置の概略図を図1に示す。造粒容器はアクリル樹脂製であり、上部は内径250mmの円筒形、下部は円錐台形で底部の内径は100mmとなっている。容器の底部には整流板およびステンレス鋼網(120メッシュ)が設置されている。粉体試料を流動させる空気は、装置外部から空気圧縮機により供給される。空気圧縮機から送風された空気は、除湿された後、流量制御器を通して一定流量にて造粒装置に供給される。造粒装置に供給された空気は、ヒータにより加熱されて造粒容器に送風される。造粒容器内で粉体試料の流動に使用された空気は、造粒容器上部に設置された4本のバッグフィルタを通して装置外部に排出される。それぞれのバッグフィルタに付着した粉体は、一定時間毎に圧縮空気により順次払い落とされる。

造粒容器には底部より高さ 200 mm の位置にサンプリングノズルが取り付けられている。サンプリングノズルは長さ約 150 mm、直径 10mm のステンレス鋼製であり、先端から 60 mm の位置に幅 6 mm、長さ 30 mm、深さ 6 mm の溝を有している。造粒中にサンプリングノズルを造粒容器側面の挿入孔より容器内に挿入すると、流動している試料の一部がサンプリングノズルの溝に入る。サンプリングノズルを造粒容器から引き出すと、溝に入った試料を造粒容器から取り出すことが可能である。造粒容器への試料の投入および取り出しは、バッグフィルタを取り外して容器上部を通して行う。

造粒中の粉末原料の帯電状態を制御するため、造粒容器底面に針状電極を設置し、高電圧電源と接続することにより流動層にイオン化した空気を供給する装置を構築した(図1左)。また、造粒容器にあらかじめ帯電させた少量の粉末を導入し、バインダ液滴を噴霧するための装置を構築した(図1右)。

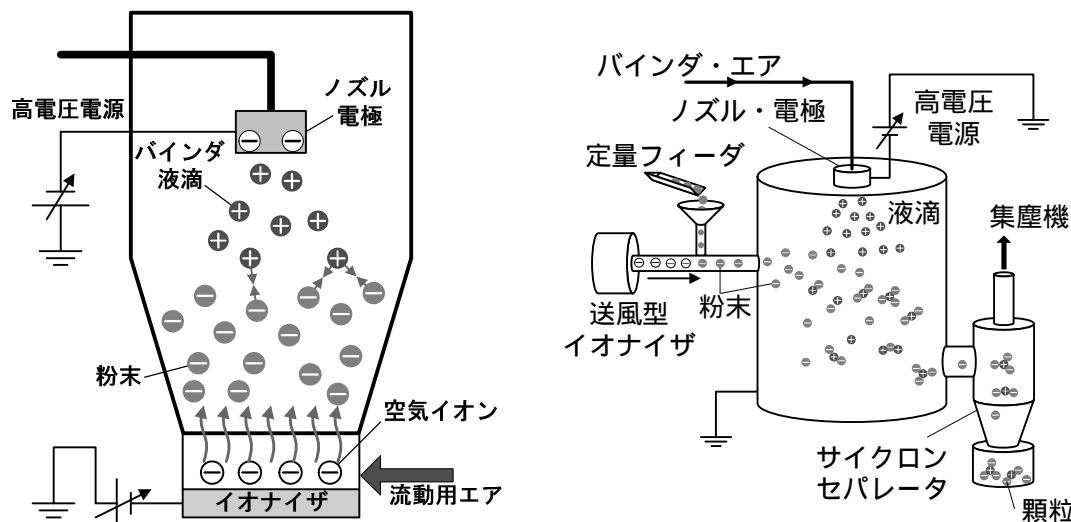


図1 イオン化空気の供給機構を付加した流動層造粒装置(左)および、帯電粉末供給装置を付加した流動層造粒装置(右)

(3) ノズル電極

バインダ噴霧ノズル近傍に設置する電極(ノズル電極)は、ノズルと電極間が含水率の高い粉末試料によって短絡されると、電極からノズルに電流が流れ、バインダが正常に帯電しないことがこれまでの研究から明らかになっていたことから、本研究では合成樹脂に包埋され絶縁されたノズル電極を試作して用いた(図2)。電極は内径が12または16 mm、厚さが2.0 mmの真鍮製環状電極を用いた。電極を合成樹脂6ナイロン(PA6)、ポリテトラフルオロエチレン(PTFE)、ポリエーテルエーテルケトン(PEEK)製の部品で図2に示すように挟み込み絶縁した。ノズルはステンレス鋼製であり導体であることから、電極周囲は、もっとも樹脂が薄い部分においても2.0 mm以上の厚さとなるようにして、印加電圧30 kVにおいて絶縁が保たれるようにした。上記樹脂製部品に、ノズルに固定するためのアルミニウム合金製の部品を取り付けた。造粒容器内のバインダ噴霧ノズルに電極を取り付け、電極上部には流動している試料粉末が堆積しないよう、円錐形の樹脂部品を取り付けた。電極は高電圧ケーブルを介して高電圧電源に接続した。またノズルの金属部分を接地した。

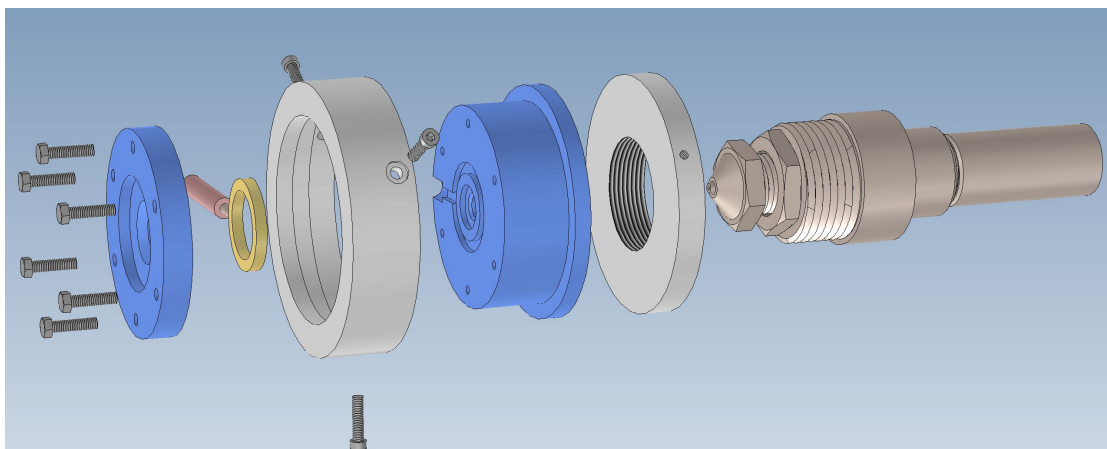


図2 ノズルおよび電極とその固定部品

(4) バインダ噴霧条件

流動層造粒時において、バインダ液滴を効率的に帯電させるため、バインダ噴霧時における各種条件（時間当たりバインダ供給量、微粒化用空気の圧力、電極へ印加電圧、電極径等）がバインダ液滴の帯電に及ぼす影響について調べた。バインダ噴霧ノズル近傍の電極に高電圧を印加すると、印加した電圧と同極の電荷はノズルの導体部分を通りアースへ逃げる。この時に移動する電荷をノズル電流と呼び、ノズルとアース間に設置した電流計にて測定した。バインダ液滴にはノズル電流にて流れた電荷と対極の電荷が残されており、この電荷をバインダ質量で除してバインダ液滴の比電荷を求めた。またバインダ液滴を接地されたメッシュ電極で捕捉するとバインダ液滴が持つ電荷がアースへ逃げるが、この時の電流（液滴電流）についても測定した。バインダにはイオン交換水、カルボキシメチルセルロース(CMC)水溶液(0.5~1.0%)およびグアーガム水溶液(0.1%)を用いた。バインダ流量は5~15g/min、噴霧圧は0.14~0.24MPaG、印加電圧は-5.0~+5.0kVとした。

(5) 造粒条件

造粒試験は、装置予熱、原料予備攪拌、造粒および乾燥の手順で行った。造粒容器に送られる空気の温度は、全工程において80.0で一定とし、流量を0.300m³/min(大気圧、0換算)とした。予熱は、造粒容器に供給される空気温度が80.0に達し、さらに造粒容器の温度がほぼ安定するまで行った。装置の予熱後、温度を30.0に調整した原料を造粒容器に投入し、3分間の予備攪拌を行った。予備攪拌の後、バインダを原料に対して所定の時間噴霧し造粒を行った。造粒工程の後、引き続き試料の流動層乾燥を所定の時間行った。

また、図1右に示した装置にて、粉末原料約5gをイオナイザで帯電させながら造粒容器に導入し、バインダ液滴を2~5秒噴霧した後、生成した顆粒を回収し乾燥した。

造粒および乾燥後の顆粒の粒度分布を、レーザー回折散乱粒度分布径(LS13320、ベックマンコールター)にて測定した。試料の屈折率は1.6とした。造粒中は装置に取り付けられたサンプリングノズルを用いて1~5分毎に0.3~0.6gの試料を採取し、ファラデーケージ(KQ-1400、春日電機)およびクーロンメータ(NK-1001A、春日電機)により、粉末が持つ電荷を測定した。

4. 研究成果

(1) バインダ液滴の帯電状態

バインダ液滴の比電荷はノズル電極への印加電圧と、本研究での電圧範囲内ではほぼ線形な関係を示した。またバインダ液滴の噴霧空気圧が低下すると液滴比電荷は低下した。電極固定部品の樹脂素材では、ナイロンを使用した場合、バインダ液滴比電荷は造粒中に不安定になる傾向がみられたが、樹脂の吸水性に影響されていると考えられた。またPEFEを使用した場合、部品が強く帯電することにより電極からの電界をキャンセルし、液滴比電荷が著しく低下した。PEEKを使用した場合、バインダ液滴の比電荷は比較的安定していた。

(2) 粉末の帯電状態

流動層造粒時の粉末の帯電状態を測定した結果の一例を図3に示す。造粒容器底部にイオナイザを設置して造粒を行った場合、イオナイザを使用しなかった場合と比較して、造粒開始後2~3分間は粉末の比電荷は同等であったが、造粒開始後3分以降では、イオナイザを賜与した場合、粉末の比電荷の絶対値が大きくなった。バインダ液滴を正および負に帯電させて造粒を行った場合においても同等の結果が得られた。

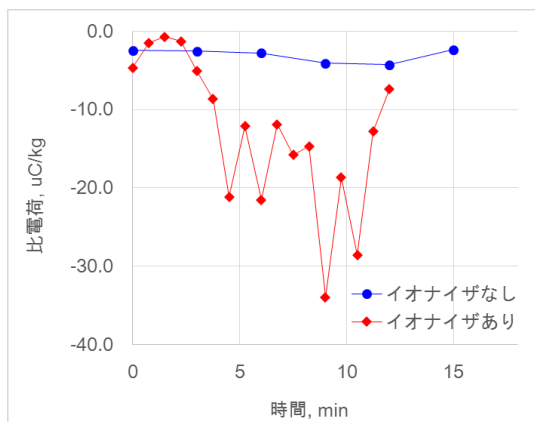


図3 流動層内部の粉末の比電荷

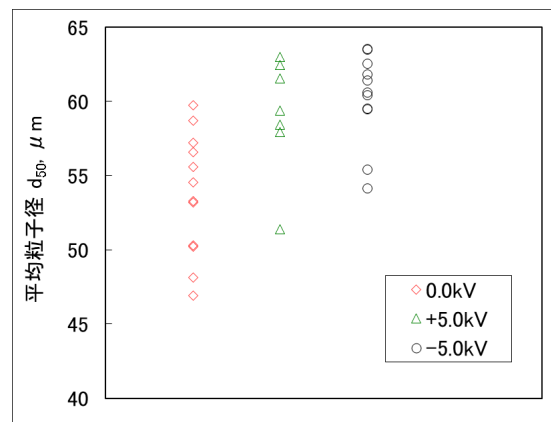


図4 印加電圧が顆粒サイズに与える影響

(3) 顆粒サイズ

粉末原料に対するバインダ添加量の質量比が0.5~1.0の条件で、ノズル電極およびイオナイザに電圧を印加しない条件では、顆粒の体積中位径d₅₀はおおよそ60~90μmであったが、電圧を印加した場合は、バインダ噴霧速度およびバインダ種によらず、顆粒の体積中位径は10~

20 μm 程大きくなる傾向がみられた。しかしながら、電圧を印加した場合は、バインダ添加量質量比が 1.0 に近づくにしたが、径が 1mm 以上の粗い顆粒の割合が増加した。

ノズル電極および図 1 右に示す粉末供給装置に取り付けた電極に、±5.0 kV を印加した場合と電圧を印加しなかった場合に、生成した顆粒の平均粒子径を図 4 に示す。生成した顆粒のサイズは電圧を印加した場合に、有意に増加することが確認された。顆粒サイズには印加電圧の極性の影響は見られなかった。

(4)造粒特性

ノズル電極に電圧を印加することによりバインダ液滴の電荷を制御し、イオナイザにて粉末原料に電荷を与えることにより、バインダ液滴および粉末粒子間に静電気力が働き、造粒が促進されている可能性を示す試験結果が得られた。しかしながら、イオナイザにて粉末を帯電させた状態で流動層造粒を行おうとすると、造粒容器に粉末が著しく付着するなどの問題も確認され、本技術の実用化のためには、装置構成部品への粉末の付着を抑制する等の対策が必要になると考えられた。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

— 五月女格、津田升子、岡留博司、奥西智哉、安藤泰雅、デンブンの流動層造粒における高電場の利用、日本食品科学工学会第 63 回大会、2016 年 8 月 26 日、名城大学(愛知県・名古屋市)

— 五月女格、津田升子、岡留博司、奥西智哉、安藤泰雅、デンブンの流動層造粒における電場の影響、日本食品工学会第 17 回年次大会、2016 年 8 月 4 日、東京海洋大学(東京都・港区)

〔図書〕(計 1 件)

五月女格、アクアガスを用いた粉体造粒技術、高付加価値化・生産性向上のための最先端食品加工技術、五十部誠一郎 監修、S&T 出版、東京、2017、pp.149-159.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 1 件)

名称：造粒方法及び造粒装置

発明者：五月女格

権利者：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

種類：特許

番号：特許第 6241845 号

取得年：2017 年

国内外の別：国内

6 . 研究組織

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。