

# 食品粉末の製造方法の設計

大橋 哲也

甲子園大学 栄養学部

## 1. 緒 言

粉末食品をネットで検索すると、平凡社の世界大百科事典 第2版では次の様に記載してある。

「固形あるいは液状の食品を、加工により粉末状にしたもので、食用時に水または湯を加え原状に復するものと、そうでないものがある。一般的には、液状の食品を乾燥により粉末化し、食用時に水または湯で復元するものをいう。粉末化することにより、かさが増しく減少し、輸送や運搬に便利である。また乾燥により、保存性が著しく向上する。長期貯蔵食品として、またインスタント食品としての用途が広い。粉末食品で最も古くから開発され、また現在でも最も広く普及しているのは粉乳である。」

現在、飲料粉末としてはインスタントコーヒー、お茶やジュース、甘味料粉末ではショ糖、糖アルコール、人口甘味料や機能性糖質、調味料粉末ではうま味調味料、醤油やすし酢、健康食品粉末では乳酸菌、酵母菌、食物繊維、酵素や補酵素、栄養補助粉末では完全食のCOMPやソイレント、サプリメント粉末ではビタミンC、ミネラルやアミノ酸、食品加工用粉末ではクリーム、粉末酒、乳化剤や油脂、などが挙げられる。さらに健康食品を中心に数多くの食品粉末が新たに発売されている。粉末化の方法は、噴霧乾燥、凍結乾燥、流動層造粒、ドラムドライヤー、晶析分離、など従来技術が主体であるが、その操作条件の適切化や精度の向上により食品粉末の品質や粉体特性は確実に向上している。

食品の粉末化を検討する場合、味質やテクスチャー、出来上がりの粉体の物理特性、保存安定性、生産にか

かる投資やランニングコストから試算される販売価格、さらには競合品との差別化や訴求のポイント、などに関して目標を設定する。そして、粉末化の装置選定、条件決定、味、粉体特性や安定性の評価などを経て製品化が完了する。一旦、製法や製造条件を決めてしまうと限られた範囲の中に思考が入り込んでしまう事が多い。出来上がった製法が最適な方法といえるのか、他に方法はないのか、といった客観的な評価を抜け目なく行う事は非常に難しい。

本解説では食品粉末の物理的な構造を整理し、粉体としての位置づけを明確にすることで網羅的に製造方法を考えるための系統図とその使用例を紹介する。

## 2. 方 法

糖質の粉体を意識して作成した、分子レベルの配置から次第に視点をマクロにして行く、糖質の粉体を物理的な構造で整理した系統図を Fig. 1 に示す。まず図中の中心の三角形であるが、分子配置が不定形のアモルファス、水和結晶か無水結晶かを示している。水和結晶の存在しない糖質や無水結晶の存在しない糖質もあるが、ここでは両者が存在する場合を想定する。次に結晶性の場合、多結晶であるか単結晶であるかを考慮して、「微細な構造」と「平滑な構造」と表現している。アモルファスの場合は方向性がないので「微細な構造」とは例えば微細気泡を含む構造といったことが考えられる。

次に粒子の形状が「球形」か「非球形」か、で区別している。食品の粉末化は噴霧乾燥で行われる場合が多い。そこで、噴霧乾燥や流動層造粒で作られた粉体を意識して「球形」とし、それ以外の製法で粉末化した場合を「非球形」とした。最も外側の分類は、人間の視覚や触覚でも判断できる粒子の大きさを示している。「大粒子」「中粒子」「微粒子」のサイズは製品の種類によって異なるが、糖質粉末の場合大粒子は mm オーダー、中粒子は数十から数百  $\mu\text{m}$  オーダー、微粒子は数十  $\mu\text{m}$  以下、となる。

ブドウ糖を例にとって説明する。一般に販売されているブドウ糖は、晶析により得られる単結晶スラリーを遠心分離して製造するため、「水和結晶」→「平滑な

### 著者略歴

大橋哲也

1983年 広島大学大学院工学研究科工業化学専攻修士課程 修了  
 同年 株式会社林原入社  
 2007年 鳥取大学大学院工学研究科物質生産工学専攻博士後期課程 修了  
 同年 学位取得  
 2013年 上席化学工学技士 取得  
 2018年 株式会社林原退社、甲子園大学 栄養学部教授

〒665-0006 兵庫県宝塚市紅葉ガ丘10-1

E-mail: ohashi@koshien.ac.jp

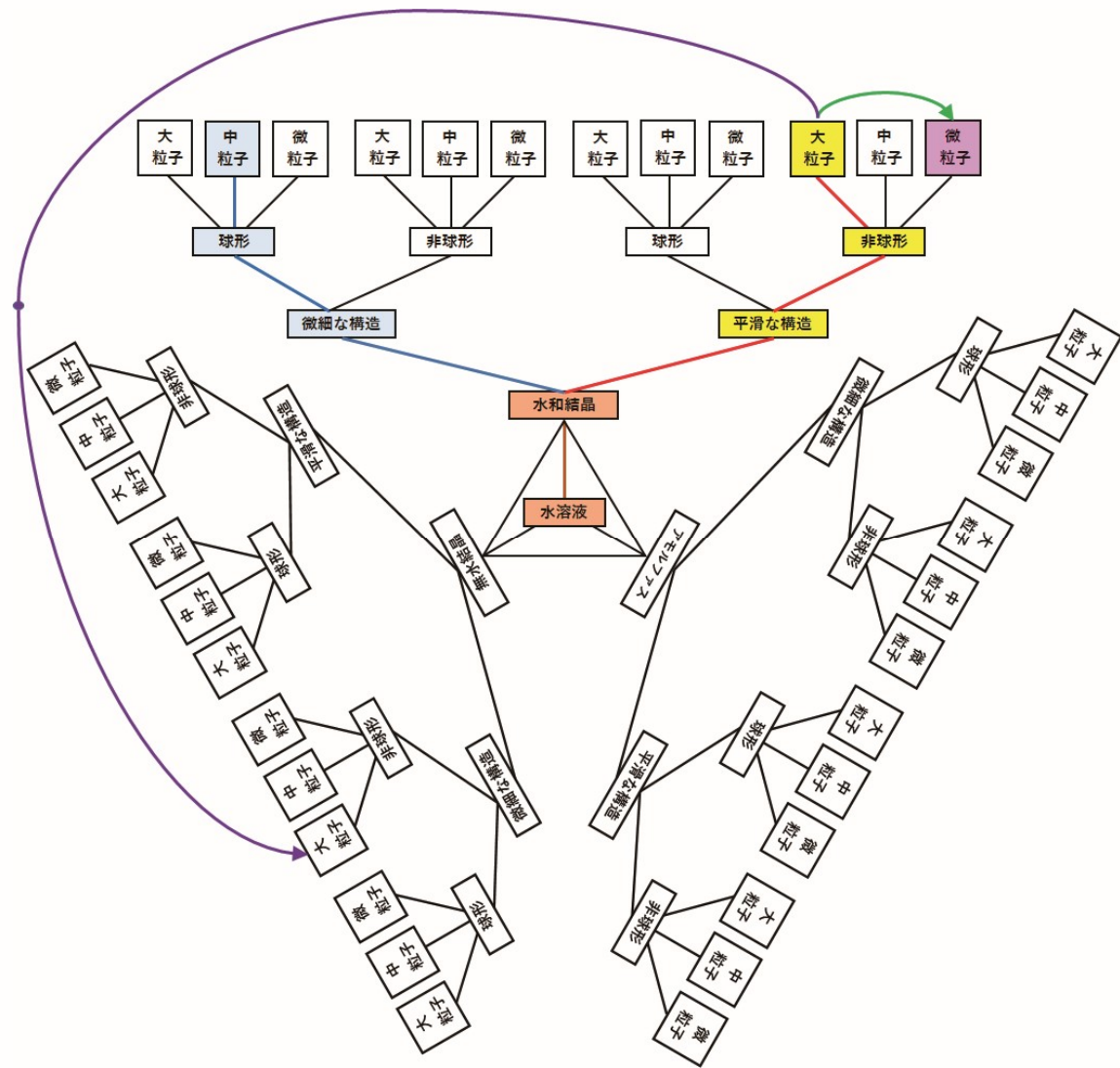


Fig. 1 糖質の粉体を物理的な構造で整理した系統図

構造」→「非球形」→「大粒子」となる。ブドウ糖の噴霧乾燥品は多結晶からなるため、「水和結晶」→「微細な構造」→「球形」→「中粒子」となる。このように、系統図の中心から外側に進む内回りはビルドアップで粉体を形成するルートであり、系統図には36通りの経路が記載してある。ブドウ糖の微粉末を製造する場合、結晶化した単結晶粒子を粉砕機で粉砕して粒子径を変化させる。その場合は、「大粒子」→「微粒子」となる。これは外回りとなりブレイクダウンで粉体を形成するルートである。外回りのルートの数は非常に多くなる。ブドウ糖は無水結晶が存在し製品となっているが、それを含めても現在のブドウ糖の製造は数ルートしか経由していない。系統図を見ながら多数の残されているルートでの製法を検討することが重要である。

### 3. 結晶変換

外回りのルートで結晶変換を行う事で微細構造を形成する例を示す。

水溶液から晶析した2水和結晶トレハロース（「水和結晶」→「平滑な構造」→「非球形」→「大粒子」）を溶媒接触法により温度50℃にて無水結晶に変換した[1]。変換した無水結晶の表面は微細な結晶で覆われており、結晶の間にサブミクロンの大きさの細孔が観察できる。結晶粒子の水分は0.2%であり、X線回折分析とDSC分析の結果より真空乾燥法や間接加熱乾燥法で得られるものと同じ安定型の無水結晶であることを確認した。

この結晶粒子の比表面積は3.31m<sup>2</sup>/gであり、市販の顆粒状砂糖の比表面積0.11m<sup>2</sup>/gと比較して非常に大き

な表面をもっていた。水銀圧入法により測定した細孔分布には明確なピークが存在し、メディアン径は0.21  $\mu\text{m}$ であり1  $\mu\text{m}$ 以下の細孔容積は0.22 ml/gと大きな値であった。これらの結果から粒子内部まで微細な細孔構造をもった三次元的な多孔性結晶粒子であることが明らかとなった。

この結晶変換のルートを系統図に紫色で示している。

同様の手法にて $\alpha$ -シクロデキストリンの水和結晶を結晶変換 [2] した例を紹介する。

#### 4. 今後の展望

系統図にあるルートで食品粉末を調製、製造することを考えると様々な方法が浮かび上がる。内回りのルートは結晶化やアモルファス化、噴霧乾燥や凍結乾燥などの乾燥、の技術が求められる。

外回りのルートは粉碎や造粒といった粒子サイズのみを変化させる方法もあれば、アモルファスからの結晶化、結晶変換や溶融によるアモルファス化といった

分子の配列まで変える方法も考えられる。現状では不可能と思われるルートもあるが、それを敢えて思考することで新しい製造方法が設計できるきっかけを生む。また、アモルファス糖質は飴玉や綿あめなどであるが、アモルファスを積極的に製造し、アモルファスを経由して結晶化を行うことは興味深い。現在、我々はそのルートの検討を行っている。糖質以外の材料では、その材料の特性に応じて系統図を修正して活用して頂ければ幸いである。

#### References

- 1) T. Ohashi, H. Yoshii, T. Furuta; Research article Abstract only Innovative crystal transformation of dihydrate trehalose to anhydrous trehalose using ethanol Carbohydr. Res, **342**, 819-825 (2007).
- 2) T. Ohashi, N. Verhoeven, D. Okuda, T. Furuta, H. Yoshii; Formation of porous  $\alpha$ -CD ethanol dihydrate by crystal transformation method; Eur. Food Res. Technol, **230**, 195-199 (2009).