

平成 24 年度研究助成終了報告書

研究題名	非晶質食品粉体に取り込まれた水の相互作用状態および機能の非単一性とその制御
研究期間	2011年4月～2013年3月
研究機関・所属 研究者名	岡山大学大学院自然科学研究科・化学生命工学専攻 今村 維克

1. 平成 24 年度研究成果の概要

食品粉体において、収着水は様々な局面で多様な役割を担うことから、これまで、食品粉体の水分収着特性に関して膨大な数の研究が行われてきた。しかし、食品粉体中に含まれる水分子にも、分子レベルでは様々な状態が存在し、その物性に対する寄与も異なる。この「収着状態および機能の非均一性」という概念に基づき、これまでに、高圧処理によって糖類・多糖類からなる非晶質固体の吸湿性を低減することができ、その結果、非晶質固体の物理的安定性を顕著に改善できることを見出した。平成 24 度は、炭水化物の非晶質固体に収着した水は、なぜ“5つ”の状態をとるのか、その各状態での水の相互作用形態について検討した。これまでバルク水における水分子の相互作用状態は Raman 分析や複数の方法で解析されており、4つの相互作用形態の存在が示唆されている。そこで本研究では、バルク水の IR スペクトルを測定し、収着水の解析に取り上げてきた H-O-H 面内変角振動を Fourier self-deconvolution 処理およびピーク分離し、既報のバルク水の解析結果と突合した。その結果、バルク水の解析結果は既報の知見と符合し、糖類からなる非晶質固体に収着した水で検出された 5つの相互作用状態は束縛が弱い (component band のピーク波数が低い) 順に、それぞれ水素結合を(i)0~2 個, (ii)3 個, および(iii)3~4 個形成した収着水、そして、4つの水素結合を(iv)立体的および(v)平面内に形成している収着水であるものと考えられる。尚、(iii)の収着状態は非晶質固体特有のもの (バルク水には存在しない) であり、(ii)と(iv)の間間的な相互作用状態にあるものと考えられる。さらに、それらの 5つの水分子の相互作用状態が形成される過程を明らかにするため、糖水溶液の真空乾燥における水の IR スペクトルの in situ 測定・解析を行った。その結果、非晶質固体特有の(iii)の相互作用状態は乾燥後期 (自由水がほぼ全て散逸) に(ii)と(iv)の相互作用状態から派生し、乾燥終盤のある残留水分量域で一時的に増加することが見出された。また、前年度までに、5つの収着状態の内の三つの状態 (iii-v) の収着水が非晶質固体の物理的安定性 (ガラス転移温度) の低下を引き起こすことを明らかにしてきた。そこで、平成 24 年度はそれら(iii-v)の状態の収着水が非晶質相の結晶化に及ぼす影響について検討した。その結果、示差走査熱量計で検出される結晶化温度は(iii-v)の収着水の量と明確な相関関係があることを見出された。さらに結晶化が開始するまでの誘導期間の長さは、調湿条件や高圧処理によらず結晶化温度と保存温度との差で一義的に決まることを明らかにした。

2. 研究の進捗状況と今後の見通し

平成 24 年度までの研究の結果、高圧処理によって糖類・多糖類からなる非晶質固体の吸湿性を低減することができ、非晶質固体に含まれる 5 つの収着水の相互作用状態についてもある程度の描像を得ることができた。また、乾燥過程における残留水の相互作用状態を *in situ* で解析できるシステムを構築した。本システムを用いた検討の結果、非晶質固体の物理的不安定性と密接に関連する多くの収着水は除去が難しいだけでなく、固体構造が形成される一時期に増加することが分かった。また、予備的に非晶質固体試料の吸湿特性は乾燥方法（真空・凍結・通気乾燥）や、さらに乾燥時の試料温度によって変化することを見出した。そこで、平成 25 年度以降は、乾燥方法や条件によって残留水分の減少過程（各相互作用毎に）がどのように変化するか詳細に検討し、乾燥後の水分収着特性との関連に理論的な解釈を与えていく予定である。また、これまでの研究の結果、非晶質固体粉体の物理化学特性と高圧処理の関係についてある程度知見を得てきたが、扱われた炭水化物の種類は極限られているし、通常食品粉体には複数の成分が含まれる。そこで、多糖を中心に分子量と水分収着特性および圧縮性の関係を整理していくと共に、それらの関係に及ぼす塩やアミノ酸、タンパク質などの種々の共存物質の影響について検討していく。

3. 研究発表

学会発表

1. 絹島 光倫・清水 孝紀・今中 洋行・今村 維克, "糖類アモルファスマトリクス中に包括されたタンパク質に対する高圧処理の影響," 化学工学会第 77 年会, B115 (2012.3.15. 東京)
2. 衣笠拓磨・今中洋行・石田尚之・今村維克, "糖類アモルファスマトリクスの形成履歴と水分収着状態の関係," 化学工学会高松さぬきうどん大会, B116 (2012.12.6. 高松)
3. K. Imamura, H. Imanaka, and N. Ishida, "Influences of Compression on Physicochemical Properties of Amorphous Sugar Powders," 1st Finnish-Japanese Symposium Nano-emulsions and encapsulation for delivering functionality in foods (招待講演) (Espoo, Finland, 24 October 2012)

論文発表

1. Kagotani R., Kinugawa K., Nomura M., Imanaka H., Ishida N., Imamura K. "Improving the Physical Stability of Freeze-Dried Amorphous Sugar Matrices by Compression at Several Hundreds MPa." *Journal of Pharmaceutical Sciences*, in press
2. Imamura K., Kinugawa K., Kagotani R., Nomura M., Nakanishi K. Impact of Compression, Physical Aging, and Freezing Rate on the Crystallization Characteristics of an Amorphous Sugar Matrix." *Journal of Food Engineering*, 112, 313–318 (2012).