

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 23 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580171

研究課題名(和文)新規食品素材ナノ結晶粒子のビルドアップ型作製とその賦形剤としての応用

研究課題名(英文) Formation of new food nano-crystal by the build-up method and application of the encapsulant

研究代表者

吉井 英文 (Yoshii, Hidefumi)

香川大学・農学部・教授

研究者番号：60174885

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：グルタミン酸ナトリウム一水塩を、エタノール法で多孔性の無水結晶グルタミン酸ナトリウムを作製できた。無水結晶グルタミン酸ナトリウムの溶解速度は、グルタミン酸ナトリウム・1水塩に比較して約2倍近く室温での溶解速度を増加させることができた。結晶変換速度の活性化エネルギーは、約190-230 kJ/molであった。同様に、ラクトース、マルトース、トレハロースに応用可能であった。多孔性糖質結晶構造体は10～20ナノメートルの一次元孤立微小空間構造を持つ。そのため多孔性結晶は、ゲルを作製でき、フレーバーの徐放や食品の食感を変化させるため新たな食品素材として有望であると考えている。

研究成果の概要(英文)：Monosodium glutamate (MSG) monohydrate was dehydrated to its anhydrous form in ethanol of different water contents. Anhydrous MSG was also produced via ethanol dehydration in a high-pressure reactor. The morphology of the newly formed anhydrous MSG crystals was investigated by scanning electron microscopy (SEM) and powder X-ray diffractometry. The newly obtained anhydrous MSG presented a spiky structure resulting in higher porosity and solubilization rate than MSG monohydrate or anhydrous MSG obtained by vacuum drying. These porous MSG crystals had specific properties to form creamy gel of MSG at supersaturated concentration with the hydration of anhydrous MSG during phase transformation. The hydration of anhydrous MSG and the gel properties were also studied. The porous MSG could be used to form a creamy gel while in contact of water.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農芸化学・食品科学

キーワード：無水結晶 脱水 ナノ 多孔性 糖 グルタミン酸ナトリウム

1. 研究開始当初の背景

近年、食品科学の分野において、脂溶性ビタミン、医薬品、ペプチドおよびアミノ酸等の生理活性物質を、ナノサイズの脂質結晶や糖質結晶に包括安定化させ、体内に運搬させる技術が注目を集めている。糖質ナノ結晶粒子に期待される機能性は、比表面積が非常におおきなナノ結晶凝集塊中の多孔性空間に脂溶性ビタミンやペプチド、アミノ酸及びフレーバーなどの機能性物質を安定に包括し、マイクロカプセル粒子として機能し、ナノ食品素材としての機能性物質の貯蔵運搬機能である。申請者らは、糖質構造のビルドアップ型形成手法の観点から、含水結晶から無水結晶への結晶変換法としてエタノール法を用いた脱水手法を開発し、微細結晶糖が集合した多孔性結晶集合体構造のマルトース、トレハロースを作製する手法を開発した。この手法を、アミノ酸や含水結晶をもたない糖質・スクロース、シクロデキストリン等に適用できることを、最近見出している。また、右図に示すように、環状多糖シクロデキストリンと魚油のミセル構造がナノサイズの結晶構造体を形成していることは確認した。無水結晶マルトースについては、エタノールと混合するとオルガノゲル様構造体を形成することを発見した。現在、これらの機構をより詳細に検討することにより、機能性物質の包括体としての特質を明らかにするとともに、微細結晶集合体作製手法について検討している。微細結晶を集合させて構築するビルドアップ型ナノ微細結晶集合体構築手法は、結晶析出速度、脱水速度を制御することによりその構造体の凝集塊、多孔性を制御できると推察しその反応機構について検討している。しかし、これらの糖、またはアミノ酸のナノ結晶集合体を機能性物質の包括賦形剤として応用するための基礎的研究は殆どないのが現状である。

2. 研究の目的

糖質の貧溶媒を用いたシクロデキストリン、マルトース、グルタミン酸ナトリウム結晶のナノ結晶粒子の作製に関して、結晶構造形成挙動、結晶変換速度を制御することにより多孔性空間を要する結晶糖質塊集合体を作製し、機能性物質を包括するためのナノサイズの結晶粒子作製、結晶構造の再変換形成手法に関して工学的研究を実施する。アミノ酸・グルタミン酸ナトリウム一水塩を、エタノール中で脱水することにより、微細なナノ結晶構造の多孔性構築体を作製するための条件、機構を探索する。はじめに、示差走査熱量測定計 (DSC) の圧力パン内にグルタミン酸ナトリウム一水塩を入れ、等温、昇温変化させた場合の熱量変化より結晶変換速度を求め、微細結晶集合体作製のための基礎的データの構築を行う。同時に、シクロデキストリン結晶 (ガス、またはフレーバーを包括した α -CD) のエレクトロスピニングファイバーを作製し、ファイバーからのガス (1-メチル

シクロプロペン) の徐放挙動について検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) グルタミン酸ナトリウム一水塩のエタノール中での脱水反応速度解析

グルタミン酸ナトリウム一水塩から水を脱水するために、示差走査熱量測定 (DSC) の圧力パンに結晶を入れ、脱水反応の挙動を調べる。作製した結晶構造を、電子顕微鏡 (SEM, 現有) を用いて測定した。この場合には、DSC を用いたエタノールが攪拌されていない状態での実験であるので、結晶からエタノールへの水の拡散が問題となる。よって、この実験で得られた予備的な最適な条件 (エタノールの含水率、温度) を用いて、以下の (2) フラスコスケールの脱水装置実験を行った。試料: グルタミン酸ナトリウム (和光純薬工業 (株)、試薬特級)

使用 DSC: EXSTAR 6000 TG/DTA (TG/DTA 6200, SII Nano Technology Inc., Tokyo, Japan)
電子顕微鏡: Model JSM 6060, JEOL Co., Ltd., Tokyo, Japan)

DSC パンに、グルタミン酸ナトリウム一水塩を約 2mg 入れた後所定の含水率に調整したエタノールを約 10 図加した。圧力パンのフタを閉めた後、パンの温度を等温、または直線の昇温して旧熱量を測定した。等温での結晶変換測定において、結晶変換率は次式により求めた。

$$x(t) = \frac{F(t)}{F(t_e)} \quad (1)$$

ここで、 $F(t)$ 、 $F(t_e)$ は吸熱ピークの積分値でそれぞれ時間 t までの積分値、及び全吸熱量を表す。この結晶変換率を、アブラミの式 (2) により相関した。

$$x(t) = 1 - \exp(-(kt)^n) \quad (2)$$

(2) 攪拌型反応器を用いたグルタミン酸ナトリウム一水塩の脱水反応

200mL の攪拌型反応器 (モデル MMJ-200, OM Labtech Co. Ltd.) にエタノール 100 mL を入れ、約 10g のグルタミン酸ナトリウム一水塩を入れた。エタノール中の含水率は 4wt%, 2.5wt%, 0.2wt% 以下に調整したものをを用いた。反応器は、無攪拌か 250rpm の回転数で攪拌した。反応温度は、140°C で一定とした。一定時間後室温まで冷却し、結晶を篩により 50 μ m 以上の結晶を採取し、温度 60°C で温風乾燥機により水を除去した。乾燥後、熱分析、表面構造観察、X 線ディフラクトグラム、溶解速度の測定を行った。

(3) 無水結晶グルタミン酸ナトリウムのゲル化特性

多孔性無水結晶グルタミン酸ナトリウムを、10mL の蒸留水に室温で溶解し飽和溶液を作製した。この過程では、無水結晶グルタミン酸ナトリウムは、含水結晶ナトリウムに

戻っている。飽和濃度に達した溶液に、ゆっくりと無水結晶グルタミン酸ナトリウムを添加した。結晶が水をすってゲル化した。ゲル化した最少の無水結晶ナトリウムは10mLの蒸留水で12gであった。含水結晶のグルタミン酸ナトリウム水塩では、ゲルを作製できなかった。ゲルの物理的特性は、粘度計(SV-10A、A&D) 動的粘弾性測定測地(Rheogel-E4000, UBM Co. Ltd.)で周波数、温度依存性を測定した。温度依存性は、20°Cから100°Cまで2°C/minの昇温速度で1Hzの周波数で実施した。

(3) エレクトロスピンニング法を用いた1-MCP包接CD含有ポリスチレンファイバーの作製

1-MCPは、21.4gのリチウムジイソプロピルアミドに等量24mLの3-クロロ-2-メチルプロペンを添加混合し、1-MCPリチウム塩を合成した。未反応の3-クロロ-2-メチルプロペンを真空乾燥より除去し、この溶液を水に溶解させ、発生したガスを β -CD飽和溶液に吸収させ1-MCP/ α -CD包接複合体結晶粉末を得た。この結晶粉末を含んだポリスチレン溶液のスラリー溶液をエレクトロスピンニング法により1-MCP/ α -CD包接複合体結晶粉末包括ファイバーを作製した。包接複合体粉末、エレクトロスピンニングファイバーに温度、湿度を調節した窒素と接触させ、1-MCP徐放速度に及ぼす湿度の影響について、動的雰囲気制御装置を用いて検討した。結晶粉末、及び1-MCP/ α -CD包接複合体結晶包括ファイバーからの1-MCP徐放挙動は、温度30、40、50°Cで相対湿度を10%から90%まで直線的に変化させる湿度ランピング法を用いて1-MCPの徐放速度を求めた。

4. 研究成果

(1) グルタミン酸ナトリウム水塩のエタノール中での脱水反応速度解析

Fig.1に含水、無水(真空乾燥)、無水(エタノール法)のグルタミン酸ナトリウム結晶のX線ディフラクトグラムを示す。エタノール法で作製した

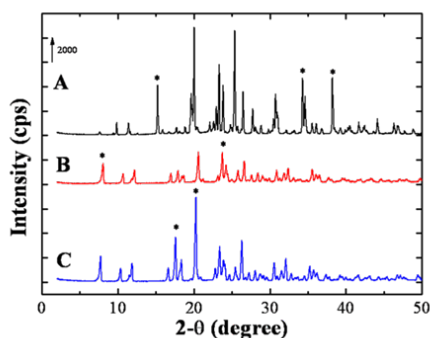


Fig. 1 グルタミン酸ナトリウム水塩(A)、真空乾燥したグルタミン酸ナトリウム(B)、及びエタノール法で作製した無水グルタミン酸ナトリウム(C)

Fig. 2に温度を変化させてエタノール法で結晶変換させた場合の結晶変換挙動を示す。図中の実線は、アブラミの式(2)で相関した線である。脱水による結晶変換は、温度によりアブラミの式のパラメーターnの値は異なるが良好に相関できた。これは、結晶水の脱水に拡散の律速段階があることを示唆している。

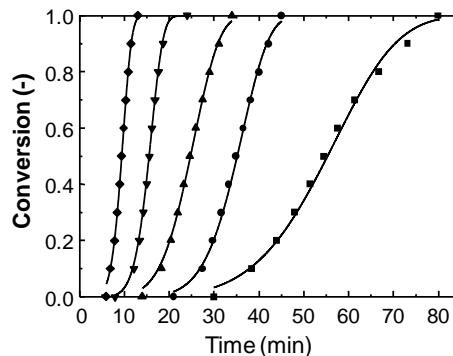


Fig. 2 グルタミン酸ナトリウムの含水結晶から無水結晶へのエタノール脱水による変換エタノール中の含水率(0.2%), ■:140°C, n=5, ●:142°C, n=6, ▲:145°C, n=6, ▼:150°C, n=7, ◆:155°C, n=6

この等温でのアブラミ式で得られた結晶変換速度定数のアレニウスプロットを、Fig. 3に示す。

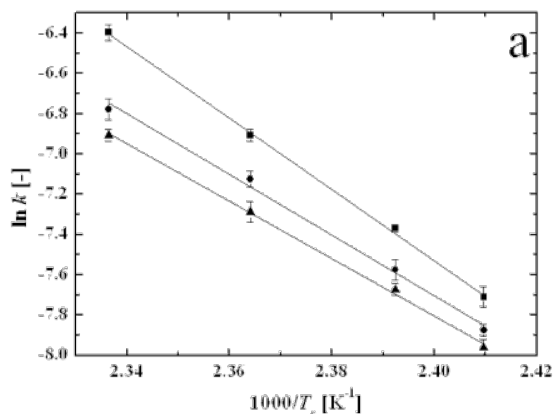


Fig. 3 等温条件下での結晶変換速度に及ぼすエタノール中の含水率の影響0.2(■), 2.5(●), and 4.0%(▲).

結晶変換速度の活性化エネルギーは115 kJ/mol(含水率4wt%)、120kJ/mol(2.5wt%)、128 kJ/mol(0.2wt%)であった。

Fig.4に結晶変換によって得られた結晶の電子顕微鏡写真を示す。図中の(c)、(d)に、エタノール法により作製した無水結晶グルタミン酸ナトリウムにSEM写真を示す。無水結晶の表面が針状結晶で多孔性の結晶が、エタノール法による脱水で作製できた。真空乾燥による脱水では、多孔性結晶は作製

できなかった。

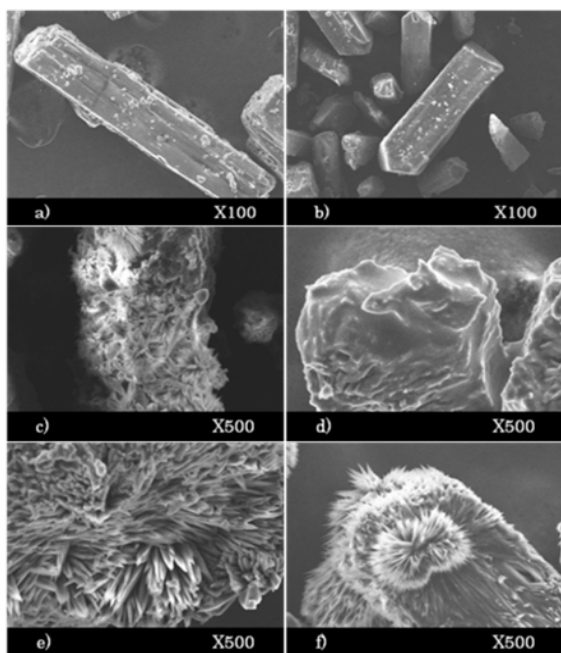


Fig. 4 脱水前後のグルタミン酸ナトリウム (MSG) の電子顕微鏡写真 (a)グルタミン酸ナトリウム・1水塩(和光純薬)、(b)グルタミン酸ナトリウム 1水塩(シグマ)、(c)無水結晶グルタミン酸ナトリウム(圧力反応器 130 °C, エタノールの含水率 0.2%)、(d)無水結晶グルタミン酸ナトリウム(真空乾燥、120 °C) (e, f) 無水結晶グルタミン酸ナトリウム 2.5wt%含水率エタノール (e; 145 °C, 60 min, f:30°C から 200°C まで 2°C/min で昇温)

(2) 攪拌フラスコ反応器を用いたグルタミン酸ナトリウム-水塩の脱水反応

攪拌フラスコ反応器を用いて、エタノール法で脱水操作を実施した。Fig.5 に圧力攪拌型反応器を用いて得た無水結晶グルタミン酸ナトリウムの表面構造を示す。

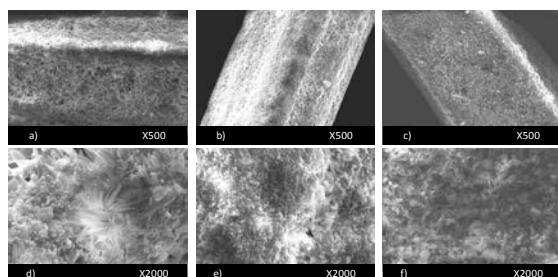


Fig. 5 圧力反応器を用いたエタノール脱水により得られた無水結晶グルタミン酸ナトリウムの表面構造 温度 140°C, エタノールの含水率 0.005% (a), (d) 攪拌なし、(b) (e) 250rpm、(c) (f) 500rpm

攪拌回転数が大きい程結晶サイズが小さくなっていることがわかる。これは、結晶表面からの脱水において、攪拌が水の脱水速度、アモロファスから無水結晶の成長に影響し

ていると考えられる。この脱水速度を攪拌のない DSC により速度解析をおこなった結果から得られた結晶変換速度の活性化エネルギーは、約 190-230 kJ/mol であった。本多孔性の無水結晶グルタミン酸ナトリウムの比表面積は現在測定中であるが、その溶解速度は含水結晶グルタミン酸ナトリウムに比較して著しく増加した。

無水グルタミン酸ナトリウムは、含水結晶ナトリウムに比較して約 2.16 倍溶解速度がはやくなった。これは、無水結晶グルタミン酸ナトリウムの多孔性によるものと考えられる。トレハロースについて同様に無水結晶を作製した場合は、多孔性により内部空間体積が 7.3 倍増加し、比表面積も約 7 倍増加した。グルタミン酸ナトリウムの場合も著しい溶解速度の増加を実現できた。本技術は、含水結晶をもつグルタミン酸ナトリウムに応用したが、塩化ナトリウムのように含水結晶をもたないものや、薬品で難溶性のものに応用することにより溶解速度を著しく増大させた機能性物質を作製できると考えている。本技術におけるエタノール溶媒の再生コストが、実用化にキイとなると考えている。

無水結晶グルタミン酸ナトリウムのゲル化

室温 15°C で無水結晶グルタミン酸ナトリウムの飽和溶液に過剰に結晶を溶解させることで、ゲル化したグルタミン酸ナトリウムを得ることができた。(Fig. 6)

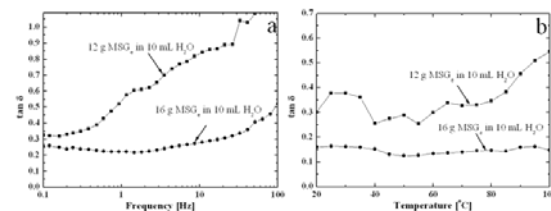


Fig. 6 無水結晶グルタミン酸ナトリウム溶液のゲル化特性 (10mL の蒸留水に、12g と 16g の結晶を加えた溶液の動的粘弾性 a) 20°C で周波数を変化させた場合、b)1Hz で温度を変化させた場合

グルタミン酸ナトリウムの溶液の粘度は 4 mPa・s であるのに対して、12g/10mL で粘度 150mPas, 16g/10mL で 200mPas と著しく異なる。16g/10mL の場合 tanδ が 1 以下で非常に安定なゲルであり、温度が 100°C でもゲル状態を保っていた。

(3) 1-MCP 包接 α-CD のポリスチレンナノファイバーの作製

結晶粉末及びファイバーからの 1-MCP 徐放挙動を、動的蒸気吸収システム (DVS) を用いて 3.3%RH/min の湿度ランピング速度で温度 50°C での条件で測定した。結晶粉末からの見掛け徐放フラックス F [1/Ms]は、湿度が 30-40%以上で徐放を開始し、ある湿度で最大

値を示した後、急激に見掛け徐放フラックスが減少し、湿度 80%付近で最低値の値となるコラップス現象が観察された。Fig.7 にファイバーの場合の徐放挙動を示す。結晶の場合、コラップス現象が見られたが、ファイバーの場合湿度 80%で 50°C の場合徐放フラックスの低下が見られるが温度 30, 40°C では湿度 40%くらいから湿度 90%まで 1-MCP 徐放フラックスが湿度に依存して増加する徐放挙動が見られた。このことは、環境中、または包装紙内の湿度に応じて 1-MCP を徐放する果実等の包装紙を作製できると考えている。徐放挙動を推算するモデルとして湿度履歴を考慮すると共に、徐放フラックスを推算する指数項に湿度の項を加えた次式でファイバーからの 1-MCP 徐放挙動を相関した。

$$\text{Relative Release} = A e^{-\frac{E_a}{RT} + \beta RH} + \beta_1 RH_{i-1} + \beta_2 RH_{i-2}$$

ここで、A：頻度定数、 E_a ：活性化エネルギー、RH_i：時間 i における湿度、RH_{i-1}：時間 i-1 における湿度、RH_{i-2}：時間 i-2 における湿度、 β 、 β_{i-1} 、 β_{i-2} ：定数である。

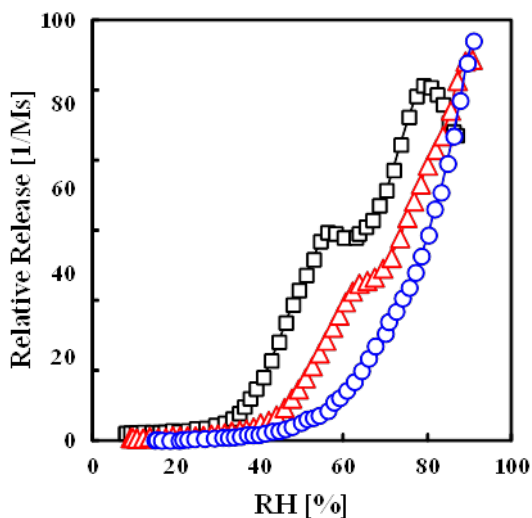


Fig.7 湿度ランピングによるスピニングファイバーの 1-MCP 徐放挙動

4. 研究成果

グルタミン酸ナトリウム一水塩を、エタノール法で多孔性の無水結晶グルタミン酸ナトリウムを作製できた。温度 140°C で、約 80 分間実施することにより得られた。無水結晶グルタミン酸ナトリウムの溶解速度は、グルタミン酸ナトリウム・1 水塩に比較して約 2 倍近く室温での溶解速度を増加させることができた。結晶変換速度の活性化エネルギーは、約 190-230 kJ/mol であった。同様に、ラクトース、マルトース、トレハロースに応用可能であった。多孔性糖質結晶構造体は 10~20 ナノメートルの一次元孤立微小空間構造を持つ。そのため多孔性結晶は、ゲルを作製でき、フレーバーの徐放や食品の食感を変化させることができるため新たな食品素材として

有望であると考えている、この多孔性結晶包括基剤は、オルガノゲルを形成する特質を持ち、糖のみで作製できるゲルであり、微量の機能性物質を包括でき徐放制御可能であり、新しい食品素材を提供できると考えている。

1-MCP を α -CD に包接させた結晶を作製し、環境湿度に応答した 1-MCP を徐放する結晶粉末が作製出来た。この粉末の徐放特性を改善するため、1-MCP 包接 α -CD 結晶含有ポリスチレンファイバーをエレクトロスピンニング法により作製する手法を開発した。スピニングファイバーの 1-MCP 徐放挙動を、徐放フラックスを徐放活性化エネルギー項に湿度の影響を考慮した徐放速度式と湿度履歴を考慮した項を加えた推算式を考案し、スピニングファイバーからの 1-MCP 徐放挙動の推算をすることが来た。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 9 件)

① T.L. Neoh, C. Yamamoto, S. Ikefuji, T. Furuta, H. Yoshii, Heat stability of allyl isothiocyanate and phenyl isothiocyanate complexed with randomly methylated β -cyclodextrin. 査読、有 Food Chemistry, 131, 2012、1123-1131.

② N. Verhoevena, T.L. Neoh, T. Ohashi, T. Furuta, S. Kurozumi, H. Yoshii, Formation of a new crystalline form of anhydrous β -maltose by ethanol-mediated crystal transformation, 査読有 Carbohydrate Research, 351, 2012、74-80.

③ P. Penbunditkul, H. Yoshii, U. Ruktanonchai, T. Charinpanitku, S. Assabumrungrat, A. Soottitantawat, The loss of OSA - modified starch emulsifier property during the high - pressure homogeniser and encapsulation of multi - flavour bergamot oil by spray drying. 査読有、Int. J. Food Sci. Tech. 47, 2012、2325-2333.

④ C. Yamamoto, T.L. Neoh, H. Honbou, T. Furuta, S. Kimura, H. Yoshii, Formation of a Polymer-Coated Inclusion Complex of D-Limonene and β -Cyclodextrin by Spray Drying, 査読有、Drying Technology, 30, 2012、1714-1719.

⑤ H. Shiga, H. Joreau, T.L. Neoh, T. Furuta H. Yoshii; Encapsulation of alcohol dehydrogenase in mannitol by spray drying, 査読有、Pharmaceutics 6, 2014, 185-194.

⑥ 吉井英文、噴霧乾燥粉末の構造と粉末特性、査読有、日本食品工学会誌、14、2013、119-124

⑦ 吉井英文、四日洋和、査読無、噴霧乾燥食

品粉末の特質、化学工学、78(3)、2014、193-195.

⑦上梶友記子、寺尾啓二、吉井英文 機能性食品・化粧品分野のシクロデキストリンナノテクノロジー ファインケミカル、査読無42、2013、20-27.

⑧吉井英文、機能性食品粉末の作製と特質 査読無、New Food Industry、55、2013、1-6.

⑨小枝貴弘、四日洋和、上梶友記子、吉井英文、査読無、シクロデキストリン法を用いた混練法による粉末化、査読無、食品加工技術34、2014、29-33.

[学会発表] (計 9 件)

①T.L. Neoh, A. Yabuno, P. Menedenze, H. Yoshii, Humidity relaxation response of electrospun polystyrene fibers functionalized with inclusion complex of 1-methylcyclopropene and α -cyclodextrin. The 16th International Cyclodextrin Symposium. Tianjin, China, May6-10. 2012, OP-13.

②Y. Uekaji, M. Ohnishi, A. Jo, D. Nakata, K. Terao, M. Ohmoto, S. Omukai, S. Fukushima, H. Yoshii, Solubilization of Coenzyme Q10 by combination with cyclodextrin and surfactant. The 16th International Cyclodextrin Symposium. Tianjin, China, May6-10. 2012, PP-009.

③V. Paramita, T.L. Neoh, M. Yasuda, H. Tobe, T. Furuta, H. Yoshii, Micriencapsulation of MCT oil in blends of modified starches at high -oil-load, The 18th International Drying Symposium (IDS 2012), Xiamen, China, 11-15 November 2012, Proceeding CD, Paper No.173, 1-6 (2012)

④ H. Yoshii, R. Partanen, T.L. Neoh, T. Furuta, N. Hirai, S. Matsumura, Effect of mannitol on formation of hollow particles in the spray-dried powderes of encapsulated emulsified d-limonene in gum Arabic and maltodextrin, The 18th International Drying Symposium (IDS 2012), Xiamen, China, 11-15 November 2012, Proceeding CD, Paper No.250, 1-6 (2012)

⑤H. Yoshii Formation of porous sugar crystal with dehydration from hydrous sugar crystal to anhydrous sugar crystal in ethanol, 1st Finnish-Japanese Symposium, Nano-encapsulation and encapsulation for delivering functionality in foods. 15-18 (2012)

⑥Y. Uekaji, M. Onishi, D. Nakata, K. Terao, H. Yoshii, Formation of nano-emulsion of coenzyme Q10 by inclusion complex of Coenzyme Q 10 in γ -cyclodextrin and dipotassium glycyrrhizate. 1st Finnish-Japanese Symposium, Nano-

encapsulation and encapsulation for delivering functionality in foods. Espoo, Finland 49-52, October (2012).

⑦Uekaji, Y., Onishi, M., Nakata, D., Terao, K., Omukai, S., Fukushima, S., Paananen, A., Patanen, R., Yoshii, H.: Micelle formation of CoQ10 with dipotassium glycyrrhizate via CoQ10/ γ -CD inclusion complex, Proceeding of 3rd European Conference on Cyclodextrin, P41, Antalya (2013)

⑧Uekaji, Y., Onishi, M., Nakata, D., Terao, K., Omukai, S., Fukushima, S., Paananen, A., Patanen, R., Yoshii, H.: Nanomecelle formation of CoQ10 with dipotassium glycyrrhizate be means of the inclusion complex of CoQ10 with γ -cyclodextrin. 2nd Finnish-Japanese Symposium, 40-41, Takamatsu, (2013)

⑨Koeda, T., Okamoto, K., Neoh, T.L., Wada, T., Furuta, T., Yoshii, H.: Encapsulation of retinyl palmitate with the mixture of cyclodextrin and maltodextrin by kneading method. 2nd Finnish-Japanese Symposium, 42-43, Takamatsu, (2013)

[図書] (計 4 件)

①吉井英文 噴霧乾燥法の基礎 (第5章1節) (粉体・微粒子のサイズリダクション (粉砕・分級技術 -最適化と操作ノウハウ-) pp. 331-341 サイエンス&テクノロジー社 (2012)

② 吉井英文、四日洋和、Neoh Tze Loon、古田武 食品機能成分のマイクロ・ナノカプセル化技術 食品素材ノナノ加工をささえる技術 安達修二、中島光敏、杉山滋監修、シーエムシー出版、73-82 (2013)

③上梶友記子、吉井英文 脂溶性生理活性物質のシクロデキストリンによる可溶化と吸収性向上、シクロデキストリンの科学と技術、シーエムシー出版、190-197 (2013)

④吉井英文、四日洋和 シクロデキストリンによる香料の徐放とその応用、シクロデキストリンの科学と技術、シーエムシー出版、243-247 (2013)

[その他]

ホームページ <http://www.ag.kagawa-u.ac.jp/foodeng.yoshii/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉井 英文 (Hidefumi Yoshii)

香川大学農学部応用生物科学科

研究者番号 : 60174885