

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 9 月 6 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26282017

研究課題名(和文)食品ハイドロゲルのミクロ相分離構造がテクスチャーに与える影響

研究課題名(英文)Effect of Micro Phase Separation in Food Hydrogels on Texture

研究代表者

松川 真吾 (Matsukawa, Shingo)

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：30293096

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：多糖ゲルのミクロ相分離構造の食感などへの影響を検討した。固いゲルを作る型と軟らかいゲルを作る型のカラギーナンを混合した実験では、それぞれの成分が個別に凝集と網目構造をつくること、熱分析、NMR及び動的粘弾性測定から明らかになった。 $1\mu\text{m}$ の粒子に光ピンセットで力を加えた時の動きから、ミクロ環境粘弾性を測定したが、相分離構造は把握できなかった。 $0.1\mu\text{m}$ の微粒子の運動を追跡したところ、型は強固な網目を形成しているが、型では微粒子が運動できる緩い網目を形成していることが分かった。さらに、これらを混合したゲルでは粒子の運動性に分布が見られ、相分離構造形成によるものであることが分かった。

研究成果の概要(英文)：The effect of phase separation structure in polysaccharide food gels on the texture has been investigated. DSC, NMR and dynamic rheological measurements shows that the mixtures solution of type and iota type of carrageenan, the former forms a hard gel and the later forms a weak gel, induces the aggregates for each of kappa and iota polysaccharide chain separately and individually. The movement of particle with the diameter of 1000 nm under the force by optical tweezers did not give the evidence of phase separation but the Brownian motion of particle with the diameter of 100 nm had a distribution in the mean square displacement indicating the phase separated structure.

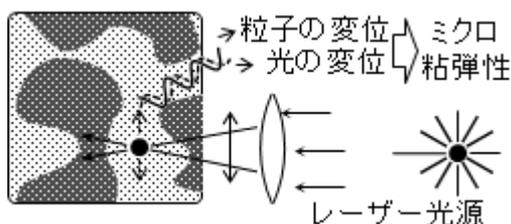
研究分野：食品科学

キーワード：相分離 カラギーナン 多糖ゲル ジェランガム 光ピンセット 粒子追跡法 磁場勾配NMR 大変形動的粘弾性

1. 研究開始当初の背景

こんにゃく、寒天、ゼリーなどの食品ゲルは、高温では多糖が溶解しているが降温に伴って溶解性が低下し、凝集体を形成して網目構造となる。この時、多糖濃度に大きな揺らぎが生じる (Tokitaら 2013)。また、複数の多糖の混合系では、凝集構造形成の過程でマイクロ相分離が起こる (Ridoutら 1996)。これらの濃度揺らぎやマイクロ相分離構造は、ゲル物性及びテクスチャーに大きな影響を与える。例えば、ゲルの固さは高濃度相の網目構造に支配され、咀嚼時のゲルからの呈味成分の放出は低濃度相における物質移動が支配的となる。このような多糖ゲルの相分離構造を直接観察するのは困難であり、そのため、凍結乾燥試料についての電子顕微鏡観察が行われることも多いが、凍結による構造変化のために本来の構造に対応しているとは言えない。また、力学物性測定に基づいた相分離構造の議論も多くなされているが (Piculellら 1992、Parkerら 1993、Nishinariら 1996、Kasapisら 1999) 結果の解析には様々な仮定が必要であり、力学物性から相分離構造を決めるのは困難と言わざるを得ない。そのため、相分離構造をそのままの状態の評価し、マクロな力学物性と比較・検討する研究手法の確立が必要とされている。

我々はこれまでに磁場勾配 NMR による拡散係数 (D) 測定によって、食品ゲルのゲル化機構と網目構造についての検討を行い、プローブ高分子の拡散挙動から食品ゲル中のポアサイズを見積もる手法を確立した。これらの検討の中で、プローブ高分子の D に若干の分布幅があることを見出し、これは網目の不均一構造に対応しており、この D 測定の結果を詳細に解析することで相分離構造の大きさや各相におけるマイクロ粘度を明らかにすることが出来ると考え、本研究を計画した。さらに、光ピンセットを用いたマイクロ粘度測定法 (下図) に注目し、これを磁場勾配 NMR 法と組み合わせることにより、混合多糖系の食品ゲルの相分離構造と物性に関して数 nm から数百 μm の範囲での検討を計画した。



2. 研究の目的

本研究では、食品ハイドロゲルにおけるミ

クロ相分離構造がテクスチャーに与える影響を明らかにすることを目的とする。そのために、磁場勾配 NMR と光ピンセットを用いる方法を中心にマイクロ相分離構造とマイクロ粘度の評価方法を確立する。次にこれらの手法を用いて、食品ハイドロゲルのマイクロ相分離構造を評価し、それらと粘弾性測定などのマクロな物性および実際の咀嚼時に感じる固さ (噛み応え) や水分放出 (ジューシー感) との関係性を明らかにし、マイクロ相分離構造を制御することによる食品ハイドロゲルのテクスチャーの設計方法を提案する。

上述の評価手法により、寒天相分離系、 γ -カラギーナン混合系、ネイティブ/脱アシル-ジェラン混合系における相分離構造を明らかにし、力学的測定結果と比較検討し、これまでの力学的測定による相分離構造に対する議論の妥当性を検証し、力学モデルを改良することを目的とする。

3. 研究の方法

1) 共通試料の作成

各共同研究者が得た実験結果を比較・検討するために、まず、共通試料の調製方法を確立した。試料はカラギーナンとカラギーナンについては透析とイオン交換により余分なカチオンを除き、Naイオンに置換したものをレトルトパウチに封入して殺菌して用いた。

2) 網目構造の評価

マイクロ D S C 測定によって降温過程における凝集構造の形成挙動を検討した。さらに、磁場勾配 NMR を用いたプローブ分子の拡散係数測定によってマイクロ相分離構造とそのマイクロ環境での物性評価を行った。磁場勾配 NMR は 400 MHz の装置に最大 3000G/m の磁場勾配の印加が可能な磁場勾配プローブを装着して用いた。プローブ高分子としては、分子量標準試料であるプルランを用いた。拡散時間は数 m 秒から数秒までの範囲で行った。これらは数百 nm から数 μm のスケールに相当する。

3) 固体高分解能 NMR 測定

ゲル化に伴い形成された多糖の凝集構造の運動性を評価するために、ゲル状試料を液状試料用密封ジルコニア製ローターに入れて測定した。測定法は運動性の抑制された成分に対して敏感な CP (交差分極) / MAS (マジック回転) 法と運動性がある程度残っている成分に敏感な SP / MAS 法を用いた。MAS によるゲル状試料の圧縮の影響を調べるために、MAS を 3000 ~ 5000 RPM で検討した。T1 緩和時間測定は Torchia 法を用いた。

4) 粘弾性とテクスチャーに及ぼす影響

マイクロ相分離構造がテクスチャーに与える影響を評価するために破壊に至るまで大きく歪を加えた振動大変形粘弾性 (LAOS) 測定を行った。装置はMARS IIを用い、周波数掃引と歪掃引測定を行った。

5) 相分離構造の観察

ゲル試料に分散させた $1 \mu\text{m}$ のラテックス粒子をレーザー光ピンセットによって移動させ、その動きからマイクロ相分離構造を解析した。さらに、ナノスケールでの相分離構造を検出するために、直径 100nm の蛍光微粒子を混合ゲル試料に分散させ、熱運動による拡散を観察し、結果を解析することで微小環境の物性を評価した。

4. 研究成果

1) 共通試料の作成

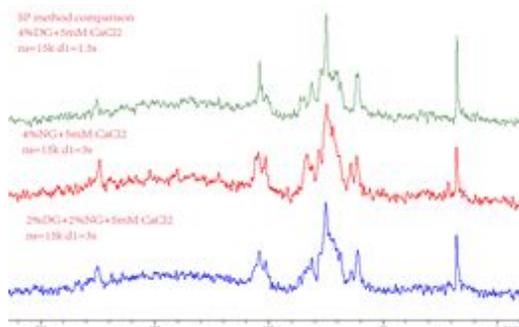
カラギーナン (-Car) と カラギーナン (-Car) の透析操作によりほとんどのカチオンを Na^+ イオンに置換することが出来た。また、透析や加熱殺菌などによる分子量分布の変化はなかった。初年度で準備すべき共通試料のレトルトパウチの必要数を調製することができた。

2) 網目構造の評価

DSC 測定の結果より、鎖と鎖は混合溶液中において、それぞれ独立に凝集して網目構造を形成することが分かった。さらに、プルランの拡散係数の変化から、鎖と鎖のそれぞれの凝集温度において2段階に凝集構造と網目構造を形成していることが分かった。但し、この網目構造が相分離を伴っているのかは明らかにできなかった。

3) 固体高分解能NMR測定

-Car と -Car の単独、および混合ゲルについてCP/MAS法及びSP/MAS法による測定を行ったところ、信号/ノイズ比が小さく、十分なピークの確認が出来なかった。そこでジェランガムのネイティブタイプ (NG) と脱アシルタイプ (DG) の混合ゲルについてSP/MAS測定を行った (下

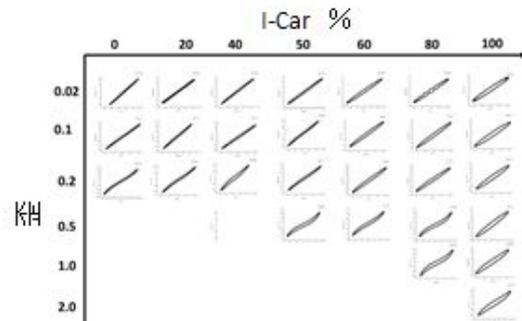


図、上段から、DG単独、混合ゲル、NG単独)。前者は固くてもろいゲルを形成し、後者は柔らかいゲルを形成する。 20 ppm 付近のアシル基のピークは小さく、糖鎖上の炭素に比べて運動性が高く、CP効率が低いと考えられる。NGとDGの違いは 60 ppm 付近に見られるが中段の混合ゲルのピークを分離して解析することは出来なかった。

-Car と -Car の単独溶液のカラギーナン鎖の緩和時間を測定したところ、DG鎖の緩和時間 (20 で 3.1s 、45 で 2.9s) はNG鎖の緩和時間 (20 で 0.67s 、45 で 0.27s) よりも長く、鎖の運動性が低いことを示している。

4) 粘弾性とテクスチャーに及ぼす影響

LAOS 測定では、歪量が大きくなるにつれて単純な粘弾性挙動からのずれが大きくなり、その挙動は -Car と -Car の割合を変えると下図のように変化した。特に -Car の割合が多い場合には大変形領域での非フックヤン、非ニュートニアンな挙動が大きく見られる。この傾向は混合割合が50%まで見られるが、この結果から相分離構造についての考察は難しい。

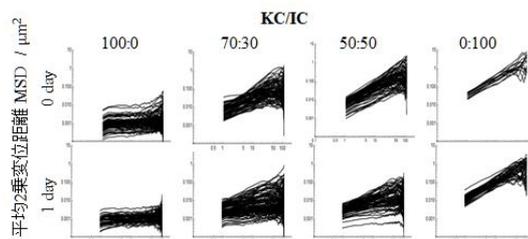


5) ミクロ粘度測定と相分離構造の観察

光ピンセットによる $1 \mu\text{m}$ の粒子の運動はマクロなゲル化とともに抑制された。しかし、-Car/ -Car 混合ゲル系での、各粒子の運動性はほぼ同じで、相分離に対応した運動性の分布は見られなかった。

100 nm の蛍光微粒子の熱運動による変位を時間に対してプロットしたところ下図のようになった。-Car 単独溶液ではゲル化とともに粒子の拡散は抑制されたが (左端)

-Car 単独溶液では冷却直後では微粒子は拡散しており (右端) 数日後に拡散が抑制されて強固な網目構造が形成されることが



分かった。 -Car/ -Car 混合ゲル系では、粒子の運動性の分布がバイモーダルとなり、相分離によるミクロ粘度の分布が確認できた。特に、ゲル化後1日においてもっとMSDの広がりは大きくなった。以上の結果より、相分離のドメインサイズは100nm以上で1μm以下であることが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計22件)

- 1) Effect of solvent transfer in agar gels on stress relaxation under large deformation *Carbohydrate Polymers* S. Matsukawa, Y. Ding, Q. Zhao, A. Mogi, Y. Tashiro, H. Ogawa **109** (2014)
- 2) Thermally induced gelation of mixed phosphatidylcholine aqueous solution containing wormlike micelle structure *Japan J. Food Eng. N. Fafaungwithayakul, U.Klinkesorn, T.Brenner, N. Vichakacharu & S. Matsukawa* **15(4)** (2014)
- 3) Rheology & structure of mixed kappa-carrageenan/iota-carrageenan gels *Food Hydrocol.* T. Brenner, R. Tuvikene, A. Parker, S. Matsukawa, K. Nishinari **39** (2014)
- 4) Side-by-side aggregation number of gellan network-forming aggregates as inferred from gradient NMR measurements *Food Hydrocol.* T. Brenner, M. Shimizu, P. Nantarajit, S. Matsukawa **38** (2014)
- 5) Effect of setting temperature on the mechanical properties of surimi gels *J. Biorheol.* I. Kaneda, K. Aonuma, Y. Funatsu, S. Matsukawa **28** (2014)
- 6) Funorans from Gloiopeltis species. Part II. Rheology & thermal properties *Food Hydrocolloids* R. Tuvikene, M. Robal, H. O. M&ar, D. Fujita, K. Saluri, K. Truus, T. Brenner, Y. Tashiro, H. Ogawa, S. Matsukawa **43** (2015)
- 7) Funorans from Gloiopeltis species. Part I. Extraction & structural characteristics *Food Hydrocol.* R. Tuvikene, M. Robal, D. Fujita, K. Saluri, K. Truus, Y. Tashiro, H. O., S. Matsukawa **43** (2015)"
- 8) A note on empirical use of time-dependent rules of mixtures *Composites Science & Technology* T. Brenner & S. Matsukawa **110** (2015)
- 9) Rheology of highly elastic iota-carrageenan/kappa-carrageenan/xanthan/konjac glucomannan gels *Food Hydrocol.* T. Brenner, R. Tuvikene, Y. Fang, S. Matsukawa, K. Nishinari **44** (2015)
- 10) Anomalous diffusion of poly(ethylene oxide) in agarose gels *International J. of Biological Macromolecules* 2. T. Brenner, S. Matsukawa **92** (2016)"
- 11) NMR study on the network structure of a mixed gel of kappa & iota carrageenans *Carbohydrate polymers* Bingji Hu, Lei Du, S. Matsukawa **150** (2016)
- 12) Rheological properties & interactions between polysaccharides in mixed carrageenan solutions *Journal of Biorheology* Lei Du, Yang Lu, L. Geonzon,

J. Xie, S. Matsukawa **30** (2016)

- 13) A study on phase separation behavior in kappa/iota carrageenan mixtures by micro DSC, rheological measurements & simulating water & cations migration between phases *Food Hydrocoll.* L. Du, T. Brenner, J. Xie & S. Matsukawa **55** (2016)
 - 14) Evaluation of Electrostatic Interaction between Lecithin & Chitosan in Two-Layer Tuna Oil Emulsions by Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Spectroscopy *Food Biophysics* Y. Kwamman, B. Mahisanunt, S. Matsukawa & U. Klinkesorn **11** (2016)
 - 15) Gelation of Iota/Kappa carrageenan mixtures *Gam & Stabilizer for the Food Industry* L. Du, T. Brenner, J. Xie, Z. Liu, S. Wang & S. Matsukawa **18** (2016)
 - 16) A study on the gelation behavior of solutions of native gell&eacylated gellan, & their mixture by water 1H T2 measurements *Food Hydrocoll.* Bingjie Hu, Yang Lu, Qihua Zhao, S. Matsukawa **72** (2017)
 - 17) Monocationic salts of carrageenans: Preparation & physico-chemical properties *Food Hydrocoll.* M. Robal, T. Brenner, S. Matsukawa, H. Ogawa, K. Truus, B. Rudolph, R. Tuviken **63** (2017)
 - 18) Solvent Fractionation of Rambutan (Nephelium lappaceum L.) Kernel Fat for Production of Non-Hydrogenated Solid Fat: Influence of Time & Solvent Type *J. of King Saud University-Science* B. Mahisanunt, K. Na Jom, S. Matsukawa & Utai Klinkesorn **29** (2017)
 - 19) Jump-&-return s&wiches: A new family of binomial-like selective inversion sequences with improved performance *Journal of Magnetic Resonance* Brenner T, Chen J, Stait-Gardner T, Zheng G, Matsukawa S, Price WS **288** (2018)
 - 20) Rheological properties in solutions of wormlike micelle composed of lysophosphatidylcholine /phosphatidylcholine mixture *Journal of Biorheology* P. Nantarajit, N. Fafaungwithayakul, N. Vichakacharu, S. Matsukawa **31(2)** (2018)
 - 21) Dynamic rheological properties of mixed carrageenan gels under large strains *Journal of Biorheology* Stephen L. Flores, Faith Bernadette A. Descallar, S. Matsukawa, Rommel G Bacabac **31(2)** (2018)
 - 22) Influence of the Number of Chewing Cycles on the Sweetness & Saltiness Intensity of Agarose Gel *Food Science & Technology Research* A. Itazu, H. Moritaka, B. Dai, Y. Okamura, S. Matsukawa **23(3)** (2018)
- 〔学会発表〕(計58件)
- 1) T. Brenner & S. Matsukawa 「Macromolecule diffusion in polysaccharide gels」12th Int. Hydrocolloids Conference, 2014年5月
 - 2) R. Tuvikene, M. Robal, K. Truus & S. Matsukawa 「Sol-gel processes of red algal galactans studied with the aid of cationic dyes」12th Int. Hydrocolloids Conference, 2014年5月
 - 3) R. Shimada & S. Matsukawa 「Simulation of polymer

- aggregation」12th Int. Hydrocolloids Conference, 2014年5月
- 4)S.Matsukawa 「Structural transition of micelles in mixture solutions of surfactants」12th Int. Hydrocolloids Conference, 2014年5月
- 5)L. Du, S.Matsukawa 「Rheological & calorimetric study of phase transition of mixed k & i carrageenan.」12th Int. Hydrocolloids Conference, 2014年5月
- 6)N. Fafaungwithayakul, T. Brenner, & S.Matsukawa 「Thermally induced formation of phosphatidylcholine wormlike micelle: NMR viewpoint & rheological properties」12th Int. Hydrocolloids Conference, 2014年5月
- 7)S. Matsukawa 「Gelation & phase separation in mixture solutions of k & i carrageenan」AMORPH 2014, 2014年7月
- 8)山本彩起子、上野成美、松川真吾 「食品多糖ゲルの網目構造評価法」日本食品工学会第15回年次大会, 2014年8月
- 9)小林りか、君塚道史、渡辺学、鈴木徹 「低温貯蔵中における食品モデルゲル中の氷結晶成長挙動および不凍部分の密度変化の観察」日本食品工学会第15回年次大会, 2014年8月
- 10)小林りか、渡辺学、鈴木徹 「低温貯蔵中における食品モデルゲル中の氷結晶成長挙動および不凍部分の密度変化の観察」2014年度日本冷凍空調学会年次大会, 2014年9月
- 11)Sangpring, Y., Fukuoka, M., Ban, N., Oishi, H., & Sakai, N. . Effect of shear stress on the state of wheat flour/water system during mixing/kneading. 15th Japan Food Engineering Conference. 10-11 August, Hiroshima, Japan. , 2015年8月
- 12)Hu Bingji・Lu Yang・松川真吾 「NMR study on network structure in mixed polysaccharides gels」高分子学会第52回高分子と水に関する研究会, 2015年12月
- 13)松川真吾・LU Yang・DUL. 「混合多糖溶液の相間水分移動」高分子学会第52回高分子と水に関する研究会, 2015年12月
- 14)B. Hu, Yang Lu, S. Matsukawa 「Studies on gelation mechanism & network structure in mixture solutions of k & i carrageenans by NMR」日本化学会年次大会, 2015年3月
- 15)L. Du, Zhijing Liu, ShuY. Wang, Jingli Xie, S. Matsukawa 「Migration of cations between i & k rich phases」18th Gum & Stabilizers for the Food Ind., 2015年6月
- 16)B. Hu, Yang Lu, S. Matsukawa 「Studies on gelation mechanism & network structure in mixture solutions of k & i carrageenans by NMR」19th Gum & Stabilizers for the Food Ind., 2015年6月
- 17)小林りか、君塚道史、渡辺学、鈴木徹 「タンパク質ゲル中の低温下再結晶挙動に初期氷結晶分布が及ぼす影響」日本食品保蔵科学会 創立40周年記念大会, 2015年6月
- 18)松川真吾, 杜磊, 胡冰洁 「粘弾性測定、熱測定及びNMR測定による混合カラギーナン溶液のゲル化機構とゲル構造に関する研究」第62回日本食品科学工学会, 2015年8月
- 19)松川真吾 「NMR法による食品ハイドロコロイドにおける分子運動性の評価」食品工学会第16回年次大会, 2015年8月
- 20)Sangpring, Y., Fukuoka, M., Ban, N., Oishi, H., & Sakai, N. . Effect of mechanical stress on the state of flour/water systems during mixing. 18th World Congress of Food Science & Technology. 21-25 August 2016, Dublin, Ireland. (Int. conference), 2016年8月
- 21)「」 Sangpring, Y., Fukuoka, M., Ban, N., Oishi, H., & Sakai, N. Analysis the state of wheat flour/water system during mixing by using colour monitoring & a low-field ¹H NMR technique. 17th Japan Food Engineering Conference. 4-5 August, Tokyo, Japan. , 2016年8月
- 22)松川真吾 「溶液NMRの基礎(招待講演)」第28回 NMR 講座, 2016年10月
- 23)S. Matsukawa 「Study on the network structures in mixed k & i carrageenan gels by NMR」The 11th SPSJ Int. Poly. Conf., 2016年12月
- 24)Zhou Y. 「Physical properties & network structures of gellan gum solutions with multivalent cations studied by NMR & ESR」The 12th SPSJ Int. Poly. Conf., 2016年12月
- 25)松川真吾・GeonzonL.・MacaseroArlyn 「プローブ高分子の電気泳動による多糖ゲルの網目構造評価」高分子学会第27回 高分子ゲル研究討論会, 2016年1月
- 26)S. Matsukawa, B. Hu, L. Du 「Study on the network structures in mixed k & i carrageenan gels by NMR」13th Int. Hydrocolloids Conference, 2016年5月
- 27)L. Geonzon, F. Descallar, R. Bacabac, S. Matsukawa 「Multiple particle tracking of embedded microspheres in k & i Carrageenan networks to probe gelation rheology」13th Int. Hydrocolloids Conference, 2016年5月
- 28)L. Du, B. Hu, S. Matsukawa 「GELATION OF MIXED k & i CARRAGEENAN SOLUTION」第39回日本バイオレオロジー学会年会, 2016年6月
- 29)L. Geonzon1, F. Descallar1, R. Bacabac2, O.S. Matsukawa1 「STUDY ON GELATION MECHANISM OF MIXTURE SOLUTION OF k & i CARRAGEENANS BY MULTIPLE PARTICLE TRACKING METHOD」第39回日本バイオレオロジー学会年会, 2016年6月
- 30)松川真吾 「固体 NMR を用いた混合多糖ゲルの網目構造に関する研究」日本食品科学工学会 第63回大会, 2016年8月
- 31)S. Matsukawa, B. Hu, L. Du 「Study on the network structures in mixed k & i carrageenan gels by Rheological & NMR measurements」The XVIIth Int. Congress on Rheology (ICR2016), 2016年8月
- 32)L. Geonzon, F. Bernadette A. Descallar, Rommel G Bacabac, S. Matsukawa 「Study on gelation mechanism in mixed polysaccharide solutions through the observation of micro rheology by particle tracking method」第66回高分子討論会, 2016年9月
- 33)B. HU, Yefeng YAO, S. MATSUKAWA 「Study on the network structures in mixed k & i carrageenan gels by Rheological & NMR measurements」第66回高分子討論会, 2016年9月
- 34)Sangpring, Y., Fukuoka, M., Ban, N., Oishi, H., & Sakai, N. . Investigating the structure of wheat flour-water mixture during the mixing & kneading process. Presented

at 18th Japan Food Engineering Conference. 8-9 August, Osaka, Japan. , 2017 年 8 月

"35)L. Geonzon「Study on gelation mechanism & change in network structure in mixed carrageenan gels with multiple particle tracking」第 65 回レオロジー討論会, 2017 年 10 月"

36)松川真吾「アニオン性多糖水溶液のゲル化に及ぼす多価カチオン添加の影響」第 65 回レオロジー討論会, 2017 年 10 月

37)松川真吾「混合多糖溶液のミクロ相分離とゲル化」第 55 回高分子と水に関する討論会, 2017 年 11 月

38)松川真吾「混合体多糖溶液のゲル化 (網目構造, 拡散) (招待講演)」高分子と水&2016 年度界面動電現象研究会, 2017 年 3 月

39)L. C. Geonzon「Study on microscopic rheology of k, i, & mixed carrageenan gels by multiple particle tracking」Gel Sympo 2017, 2017 年 3 月

40)S. L. Flores「Nonlinear Rheology of k-i Carrageenan Binary Gels」Gel Sympo 2017, 2017 年 3 月

41)Mary Ann A. Ruelan, 「Elucidating network structure of k-i carrageenan mixed gel through diffusion NMR」Gel Sympo 2017, 2017 年 3 月

42)F. Bernadette Descallar 「Studies on structural changes of network by aging in agarose gel」第 6 6 回高分子学会年次大会, 2017 年 5 月

43)松川真吾「やさしい NMR の基礎と食品研究への応用(招待講演)」食品ハイドロコロイド研究会, 2017 年 5 月

44)S. Matsukawa 「Dynamic Rheological Properties of Mixed Carrageenan Gels Under Large Strains」Biorheology2017, 2017 年 5 月

45)L. Geonzon 「Microrheology of k, i, & mixed k/i carrageenan gels by multiple particle tracking & optical tweezers」Biorheology2017, 2017 年 5 月

46)F. Bernadette Descallar 「Aging effect on network structure in agarose gel studied by NMR & electrophoresis」Biorheology2017, 2017 年 5 月

47)Y. Zhou「Physical Properties & Network Structure of Gellan Gum Solution with Multivalent Cations Studied by Rheological measurement & NMR」IUMRS-ICAM2017, 2017 年 8 月

48)S.Matsukawa 「Study on Physical Properties & Network Structures in Mixed Polysaccharide Gels」IUMRS-ICAM2017, 2017 年 8 月

49)S. Matsukawa 「混合カラギーナンゲルの大変形下での動的粘弾性挙動」第 6 6 回高分子討論会, 2017 年 9 月

50)L.Geonzon 「A study on gelation mechanism & network formation in mixed carrageenan gels by multiple particle tracking」第 6 6 回高分子討論会, 2017 年 9 月

51)尾関 亜海, 鈴木 徹, 小林 りか, 石黒 貴寛「食品ゲルの低温エージングによる品質変化に関する研究」2017 年度日本冷凍空調学会年次大会, 2017 年 9 月

52)L. Geonzon 「Study on gelation mechanism of mixture solution of k & i carrageenans by multiple particle tracking method」第 29 回高分子ゲル討論会, 2018 年 1 月

53)S. L. Flores 「Phase Separation Structure in Mixed

Carrageenan Gel Studied by Large Amplitude Oscillatory Shear」IHC2018, 2018 年 5 月

"54)Descallar F. Bernadette 「Aging behavior of agarose gels studied by PFGSte-NMR & Electrophoresis(Awarded)」IHC2018, 2018 年 5 月"

55)Geonzon L. Canque 「Gelation mechanism & phase separation in mixed polysaccharide solutions studied by multiple particle tracking」IHC2018, 2018 年 5 月

56)Lu Yang 「Molecule Mobility in Gellan Gum Gel with Ca²⁺ Studied by Solid State NMR」IHC2018, 2018 年 5 月

57)S. MATSUKAWA 「Rheological Properties of Mixed Carrageenan Gels」IHC2018, 2018 年 5 月

58)L. Geonzon 「Microrheological characterization on the phase-separation of mixed carrageenan gels」第 41 回日本バイオレオロジー学会年会, 2018 年 6 月

〔図書〕(計 1 件)

“Molecular Diffusion” in Polysaccharide Gels (Springer), Qiuhua Zhao, Yun Zhou, Faith B. A. Descallar & S. Matsukawa Modern Magnetic Resonance, 2nd Ed. 2017

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松川真吾 (MATSUKAWA S.)

東京海洋大学学術研究院教授

研究者番号: 30293096

(2) 研究分担者

鈴木 徹 (SUZUKI TORU)

東京海洋大学学術研究院教授

研究者番号: 50206504

(3) 研究分担者

福岡美香 (FUKUOKA MIKA)

東京海洋大学学術研究院准教授

研究者番号: 10240318

(4) 研究分担者

田代有里 (TASHIRO YURI)

東京海洋大学学術研究院助教

(平成 29 年より京都府立大学生命環境科学

研究科講師)

研究者番号: 10293094

(5) 連携研究者

無し