

豆乳・米粉・油脂混合エマルションのゲル化特性(2)

誌名	日本食品工学会誌 = Japan journal of food engineering
ISSN	13457942
著者名	中川, 究也 藤井, 祐太 江口, 智美 吉村, 美紀
発行元	日本食品工学会
巻/号	15巻4号
掲載ページ	p. 251-258
発行年月	2014年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



◇◇◇◇ 原著論文 ◇◇◇◇

豆乳・米粉・油脂混合エマルジョンのゲル化特性(2): 凍結環境下における凝固特性の検討

中川究也^{1,†}, 藤井祐太², 江口智美³, 吉村美紀³

¹ 京都大学農学研究科食品生物科学専攻, ² 兵庫県立大学工学研究科機械システム工学専攻,
³ 兵庫県立大学環境人間学研究科人間環境部門

Gelation Characteristics of Oil in Water Emulsion Stabilized by Soy Milk and Rice Powder Mixture Part 2: A Study on Gelation Characteristics Under Freezing Temperature

Kyuya NAKAGAWA^{1,†}, Yuta FUJII², Satomi EGUCHI³, Miki YOSHIMURA³

¹ *Division of Food Science and Biotechnology, Graduate School of Agriculture, Kyoto University,
Kitashirakawa Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan*

² *Department of Mechanical and System Engineering, University of Hyogo, 2167 Shosha, Himeji, Hyogo 671-2280, Japan*

³ *Division of Human Environment, Graduate School of Human Science and Environment, University of Hyogo,
1-1-12 Shinzaikehonmachi, Himeji, Hyogo 670-0092, Japan*

Food hydrogel was produced from an oil in water emulsion of soy milk and rice powder mixture, and a processing technique with freezing was investigated in terms of the rheological properties of the resultant products. The emulsion specimens were stored at 4°C, -5°C, -10°C and -20°C for 1 day. The time dependent changes in dynamic viscoelasticity suggested that the gel formation above freezing point, that was 4°C, allowed to form a gel network covering its bulk specimen. Whereas, when the specimens were aged in frozen state, gel formations could occur at localized positions due to the geometrical limitation by ice. The characteristics of viscous liquid could be confirmed in these specimens by the linearly increased loss tangent values, and this trend was obvious in the order of -5°C, -10°C and -20°C. Gel specimens were cooked with an oven at 180°C in order to observe their melting behavior. It was found that the degree of melting correlated to the rheological properties, and this correlation was obvious when gels were aged at -10°C. The results of this study suggested that freezing could be a useful processing tool for tuning rheological properties of food hydrogels, that may allow to process food functionalities.

Keywords: soy milk; emulsion; hydrogel; rheology; freezing

1. 緒 言

機能性に優れた新規な食品の開発を目指すにあたり、従来食品に無い新たな形態やテクスチャを付与できる技術は食品工学的に大きな意義がある。大豆タンパク質はその栄養価の高さから、近年その摂取が広く推奨されており、大豆由来食品は世界中で大きな需要が見込まれている。また、乳製品アレルギー疾患をもつ人

向けの高品質なタンパク源という意義も大きい。大豆タンパク質は酸凝固もしくは加熱凝固する性質があるため、豆腐をはじめとする伝統的な食品製造はこの性質を利用して行われる。ここで凝固とよぶハイドロコロイドのゲル化現象は動的な過程であり、温度、酸度、イオン強度などに加え、分散質の濃度、粒径などもその動力学と関わる因子となる。豆腐製造を例として挙げると、豆乳中の大豆タンパク質のゲル化を進行させるために、にがりを加える。このときゲル化は比較的早く進行するため、添加したにがりを混合させる際に、すでに形成したゲル構造を大きく破壊しないことが肝要となる。これはいわゆる職人の技と関わる領域といわれる。工業的な豆腐製造プロセスにおいては、D-グ

(受付 2014 年 3 月 11 日, 受理 2014 年 11 月 17 日)

[†] 〒 606-8502 京都市左京区北白川追分町

〒 671-2280 兵庫県姫路市書写 2167

〒 670-0092 兵庫県姫路市新在家本町 1 丁目 1-12

Fax: 075-753-6285, Email: kyuya@kais.kyoto-u.ac.jp

ルコン酸 δ -ラクトン（またはグルコノ δ ラクトン、下記 GDL と略記）が凝固開始剤として広く用いられている。これは加熱によって分解、生成するグルコン酸による酸凝固を利用するものであり、混合操作とゲル化操作（加熱による）を分離できることに工業操作上のメリットがある。豆腐製造に関する食味改善、テクスチャ制御などの先行研究例は多く、大豆の成分組成、加熱温度や時間などの製造条件、凝固剤の種類や添加量の影響が精査されている [1-5]。

大豆食品は古来より食べ継がれる伝統食品としてアジア諸国では広く認知されているが、多様化する食文化の中で新規な大豆食品を開発し提案することは重要な課題であろう。本研究では、大豆タンパク質のゲル形成の制御を通じて新規食品開発を目指したい。そこで、まるでチーズのような食味・食感・融解性もつ固形もしくはクリーム状の大豆食品を作製したいという着想から出発し、ひとつのモデルケースとして豆乳・米粉・油脂エマルジョンのレオロジー特性の制御を通じた食品開発例を検討した。本研究では、とくに凍結環境下における緩慢なゲル化の進行を、レオロジー特性を制御する手段として利用することを主な検討課題とした。大豆タンパク質溶液を凍結させると、タンパク質の凍結変成によってゲル化が進行することは古くから知られており、橋詰、添田の報文がその化学と物理化学をよく説明している [6, 7]。凍結過程において大豆タンパク質間にジスルフィド結合や水素結合が形成することによる凍結変成がゲル形成を進行させる化学的メカニズムであり、この時のゲル形成はおよそ -20°C 以上で顕著に進行する。また、ゲル化の進行度に依存した解凍後の試料のテクスチャの変化も確認されている。この凍結変成には、大豆タンパク質が加熱変成によりアンホールドしたコンフォメーションをとることが凍結時の相互作用を強くするために重要であると報告されている。近年の下山田らによる詳細な研究によって、一旦加熱変成によってアンホールドしたタンパク質が冷却時にリホールドすることを抑制することも凍結時のタンパク質間の大きな相互作用を期待する上では重要であることが指摘されている [8, 9]。また、凍結時に大豆タンパク質と共存する種々の物質がゲル形成に大きな影響を与え得ることも、ジスルフィド結合形成やゲルのテクスチャなどの観点から検討がなされている [10]。これらの先行研究は、凍結というプロセスがゲル化の進行度合いを制御し得る興味深い操作となり得ることを明示しており、先に述べたような新規食品を開発する手法の1つとして期待できる。

本研究は、豆乳・米粉・油脂エマルジョンを作製し、これを凍結させることでゲル状の食品を作製した。ゲルのレオロジー特性の変化を動的粘弾性を測定することによって評価し、とくに凍結環境下におけるゲル化

の動力学を検討した。作製した試料の加熱調理前後の形状変化を観察し、加熱前の物性ととの相関関係を検討した。

2. 実 験

2.1 試料

豆乳（国産大豆サチユタカ豆乳：(株) あんじんさん、姫路市）は、蒸留水を加水し、屈折率計（NAR-3T: (株) アタゴ）を用いて BRIX 値 11 に作製したものを使用した。作製した豆乳は作製時の加熱処理以外は経ておらず、作製日の内に実験に使用した。作製した豆乳に米粉（上新粉、前原製粉(株)）、パーム油（カロチーノプレミアム、イエナ商事(株)、マレーシア）、菜種/大豆油（日清サラダ油、日清オイリオ(株)）、GDL（特級、和光純薬工業(株)）、塩化ナトリウム（特級、和光純薬工業(株)）を下記の比率、手順にて混合し、試料作製を行った。なお、使用した米粉は摩砕・乾燥のみを経たものであり、加水や加熱を経っていないものを使用した。

2.2 エマルジョン試料の作製

豆乳 100 mL に米粉 5 g、塩化ナトリウム 1 g を加え混合した後、パーム油、菜種/大豆油を 7:3 の体積比にて混合した油を 50 mL 加え、メカニカルホモジナイザー（CLM-0.8S, エム・テック(株)）を用いて 12500 rpm にて 3 分間攪拌し、乳化した。得られた乳液に 0.15 g の GDL を加え手早く溶解させた後、円柱状の銅製試料容器（内径 22 mm、厚み 10 mm）に試料溶液を封入した。なお、この容器は上下が開封できるように作製してあり、作製後の試料形状を壊さずに取り出せるようになっている。ここまでの操作はすべて室温にて実施した。その後、 -40°C に保持された冷凍庫内に 1 時間静置し完全凍結させ、一定の温度に保持した恒温水槽中に試料容器ごと投入し、エージング処理を行った。エージング温度は 4°C 、 -5°C 、 -10°C 、 -20°C と設定し、エージングに伴う物性の変化を追跡した。なお、エージング時間を変化させて 10 回以上の測定を実施した。氷点以下でエージングした後の試料は室温にて 1 時間放置し解凍させた後、速やかに分析に使用した。

2.3 動的粘弾性測定

エージング後の試料を、試料形状を壊さぬように銅製容器から注意深く取り出し、レオメーター（AR2000ex, TA-Instruments 社）を用いて動的粘弾性を測定した。エージング条件が -5°C 以下のものはすべて凍結した状態にあるため、試料容器に入れた状態にて室温にて 30 分間解凍し、測定に用いた。測定温度 25°C 、周波数を 0.1-10 Hz まで変化させ、貯蔵剛性率、

G' および損失剛性率, G'' の周波数特性を測定した. 測定にはアルミニウム製, 直径 40 mm の平行プレートを用い, 測定時のギャップは 1.0 mm に設定した.

2.4 試料の加熱前後観察

エージング後の試料(解凍済み)を, 試料形状を壊さぬように銅製容器から取り出し, 家庭用電気オーブンにより 200°C, 5 分間の焼成を行った. なお, 庫内温度は試料投入時に一旦 150°C まで下がるものの, 1 分以内に 190°C まで再加熱された. 試料は室温から 100°C (沸点) まで迅速に加熱され, 設定時間の間この温度が保持されていた. 焼成前後の試料の広がり程度を観察した. 広がり程度を数値化するために, 焼成後の試料直径を数カ所計測し, そこから算出した断面積, S を, 焼成前の試料断面積, S_0 にて除することにより, 広がり度, S/S_0 を求め, 評価に用いた.

3. 結果と考察

3.1 エージングによる動的粘弾性の変化

異なるエージング条件を経て作製した試料の貯蔵剛性率, G' ならびに損失剛性率, G'' の周波数特性を Figs. 1, 2 にまとめる. ここに掲載するのは, 複数回行った実験のうち, 図中記載の時間を最もよく反映しているデータをピックアップしたものである. 作製直後の試料は原料溶液と同様の液体状態であり, 4°C にて数時間程度のエージングではほとんどその状態は変化しなかった. ただし 10 時間以上に及ぶ長時間のエージングは試料のゲル化を十分に進行させることが G' の周波数依存性より確認できた. 一方, 凍結を経た試料においては, 短いエージング時間であっても直ちにゲル形成が進行することが確認できる. いずれも測定した周波数領域において G' が G'' よりも高いことから, 試料はゲル状であり, また G' と G'' が周波数依存性を示すことよりゲル構造の弱さが示唆される [11, 12]. この傾向はエージング時間が長い場合においても, すべての試料について共

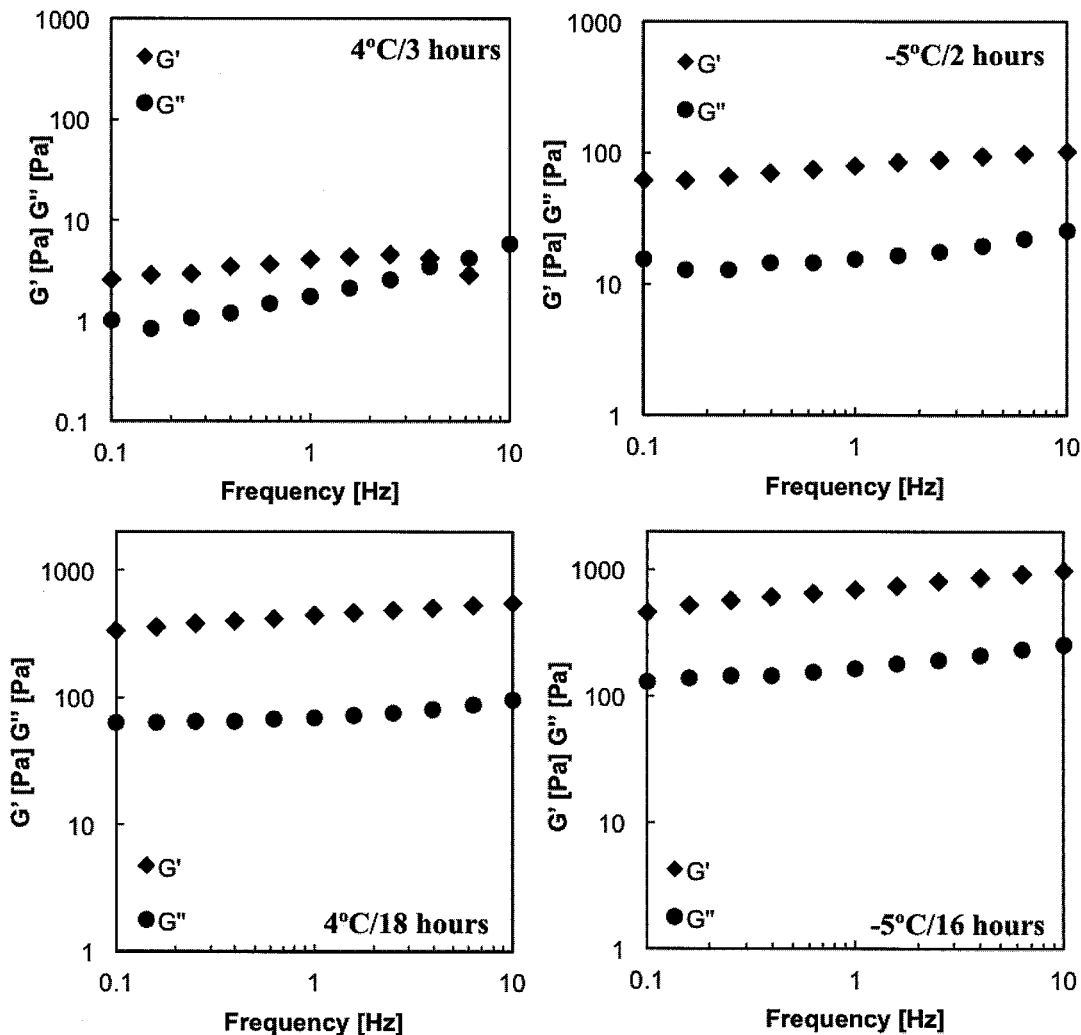


Fig. 1 Storage and loss modulus as a function of frequency for specimens at an early and a late stages of the aging (1).

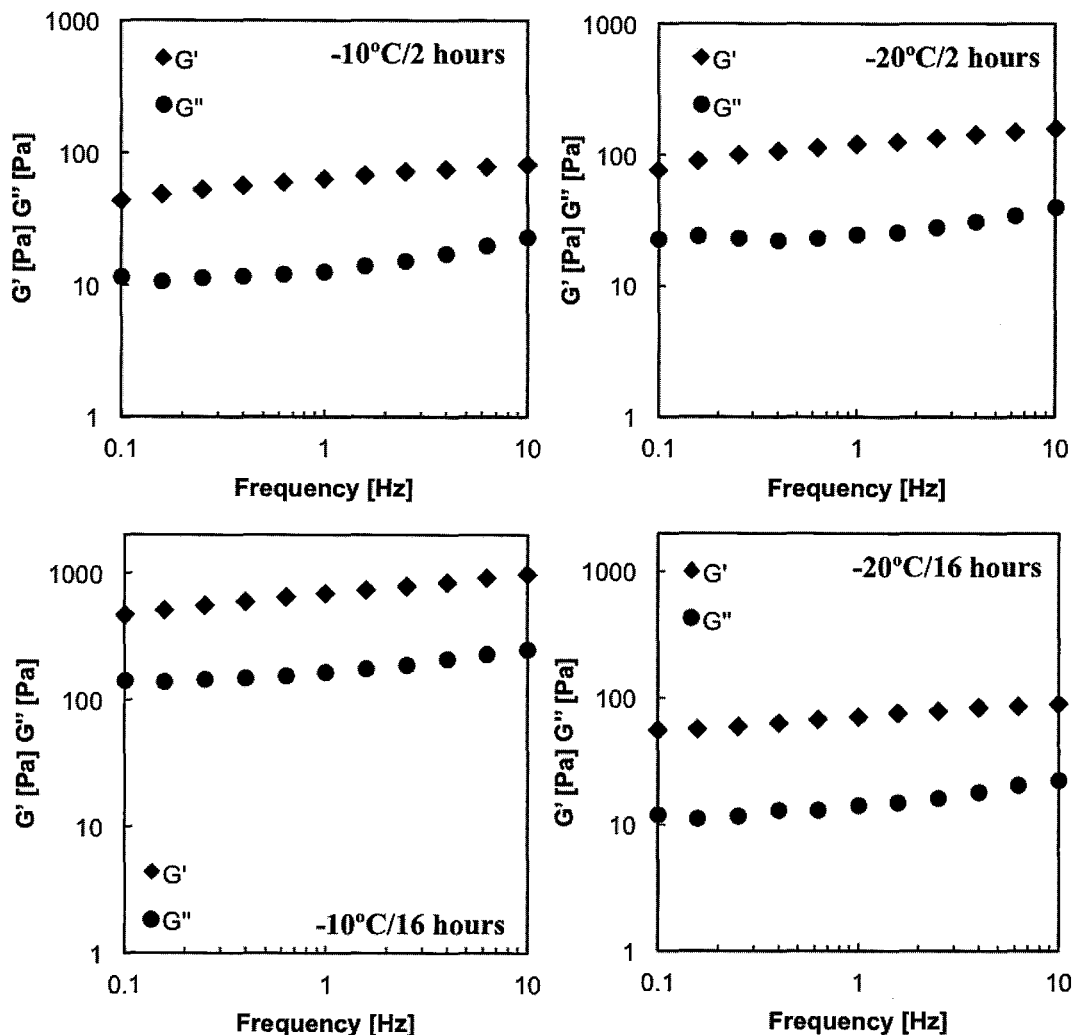


Fig. 2 Storage and loss modulus as a function of frequency for specimens at an early and a late stages of the aging (2).

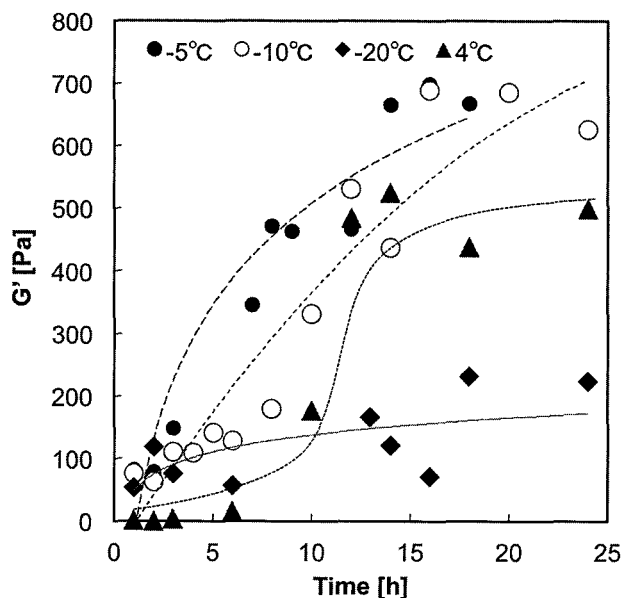


Fig. 3 Storage modulus as a function of aging time (trends were shown by the dotted lines).

通にいえることである。エージング温度 -5°C 、 -10°C 、 -20°C のそれぞれについて、2時間程度のエージングによる大きな差異は確認できないが、16時間程度のエージングを経た後には大きな差が表れた。 -5°C と -10°C のエージングを経た試料は、いずれも G' と G'' が大きく上昇しておりこれらの条件の下で大きくゲル化が進行したことがわかる。 G' は対数グラフ上で周波数の増加とともに増加し、 G'' は高周波数域にて上昇する傾向がある。これらの周波数依存性は 4°C にて長時間エージングした試料と大きく異なる点であり、ゲル化したこれら試料の構造の差異を示唆する。すなわち、 -5°C 、 -10°C のエージングを経た試料は 4°C にてエージングした試料と比較してより液体的な性質を有しているといえる。氷点以下のエージング温度にて進行するゲル化とは、氷晶の共存下、凍結濃縮相内部にて進行するものである [13, 14]。そのため、氷晶間の局所的な領域にて、物質が高度に濃縮された状態下でゲル化が進行する [15-17]。したがって、試料バルク全体のゲルネット

ワーク形成は制限される一方、高濃度となり、ゲル化には有利な環境が形成されている。ただし低温環境であるために物質のモビリティも低くなっているために、最終的なゲル化の進行とゲル構造形成はこれらの因子が複合的に決定していると考えてよいだろう。エージング温度が -20°C と設定した場合には、16時間程度のエージングを経てもほとんどゲル化が進行しておらず、この温度ではゲル形成に関わる物質のモビリティが大きく制限されてしまったことが推察できる。

3.2 動的粘弾性の履歴

エージング過程における G' の履歴をFig. 3に示す。氷点以下のエージング条件では時間に対してほぼ線形に G' が増加している。前節の考察からも予測される通り、エージング条件 -5°C 、 -10°C 、 -20°C の順番にこの増加の傾きは大きく、とくに -20°C 条件ではその変化は極めて小さい。 4°C にてエージングエージングした場合、約10時間の時点で急激に G' が増加する傾向がみら

れたが、氷点以下の温度にてエージングした試料には同様の傾向はみられなかった。エージング条件 4°C の場合、局所的なゲル形成がこの約10時間の時点でバルク全体のゲルネットワークとなったと推察できるが、氷点以下のエージング条件では前節にて考察したように異なるメカニズムのゲル形成が進行しているはずである。エージングの初期から線形に上昇する G' は、凍結濃縮相というすでにネットワーク化された構造内部で、その構造を支持するゲルが熟成されていく状況が想像される。

周波数1Hzにおける損失正接、 $\tan \delta$ の経時変化をFig. 4にまとめる。 -5°C と -10°C のエージングは、 $\tan \delta$ の経時的な上昇を導いていた。この変化は -5°C の場合に -10°C よりも顕著であった。この結果は、これらのゲルが弾性的な性質を次第に失い、液に近い性質へと変化したことを示唆している。これは恐らくエージング過程におけるゲル化の進行に起因する離水によるものと考えられた。視認できるような目立った離水は確

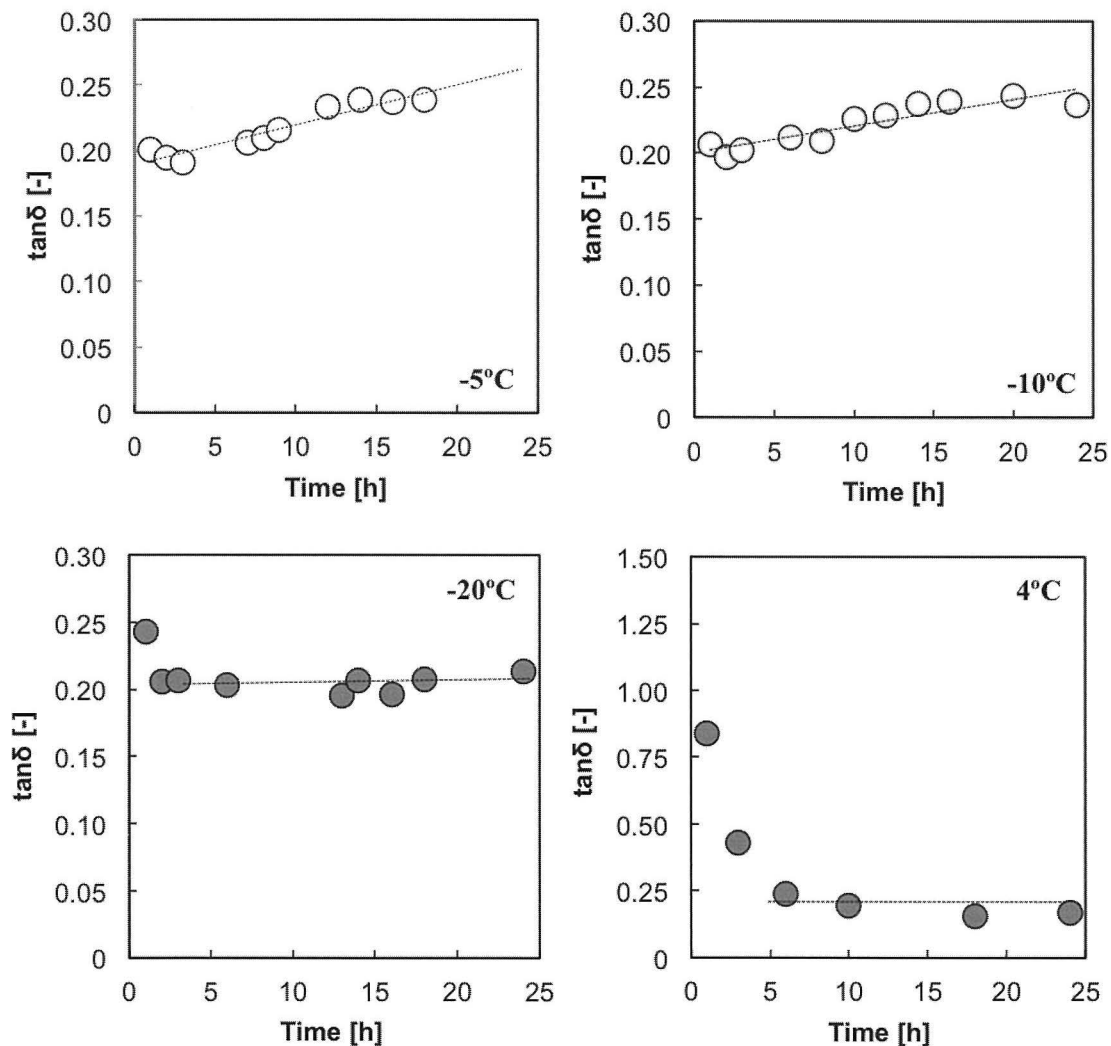


Fig. 4 Loss tangent as a function of aging time (trends were shown by the dotted lines).

認できなかったが、凍結濃縮相内にて局所的に進行したゲル化に起因した離水によって試料内に局在する水が試料のレオロジー特性に影響を与えていると推察される。一方、 -20°C においてはエージング期間内にほとんど $\tan \delta$ 変化しなかった。これは恐らくゲル化の進行がほとんど進行しなかったためであり、試料のレオロジー特性が凍結融解によるものというよりも凍結に起因するゲル化に起因すると考えられよう。 4°C においては、初期に大きな $\tan \delta$ の減少がみられ、その後その値はほとんど変化しなかった。この結果は、エージング初期に弾性的な性質へと変化したことを示唆する。ただし、 $\tan \delta$ の値自体はいずれの試料もほぼ同様の値に収束しており、先に述べたような弱いゲルであることに変わりはない。

3.3 エージングが焼成後の形状に与える影響

調理過程を想定し、作製した試料を 200°C に予熱した家庭用電気オーブンにて5分間焼成した。焼成前に容器形状を保持していた試料は、焼成によって一旦融解してその形状が崩れるが、加熱に伴う大豆タンパクのゲル化と、含有する米粉の糊化に伴い、もっちりとした風合いに再度固まる。焼成前のレオロジー特性によってこの焼成時の形状変化の度合いは異なり、またこの性状が一般的なチーズを想起させることから、1つの品質因子として検討することとした。Fig. 5 に示すように、 4°C にてエージングした試料は焼成による融け広がりが少なく、 -20°C におけるエージングを経て作製した試料との大きな差異となっていることがわかる。焼成による広がり度、 S/S_0 を、別途測定して得た G' 値に対してプロットした結果を Fig. 6 に示す。前節にすでに述べたように、 -20°C のエージングはゲル化の進行が大きく抑制されていた。その結果と相応して、若干の G' 値の

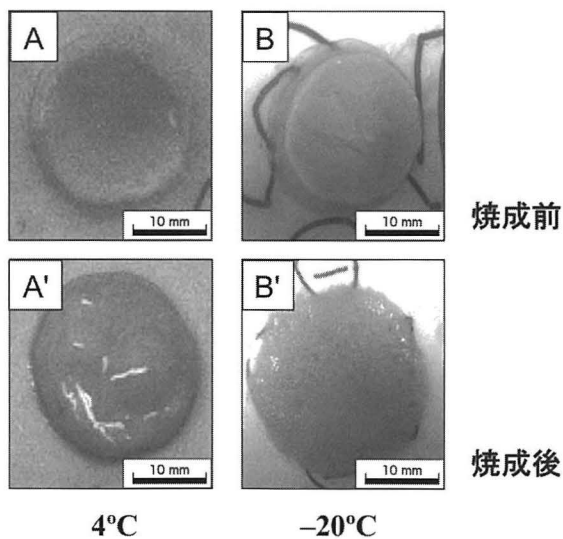


Fig. 5 Shape change of specimens before and after baking.

変化に対して広がり度は大きく変化した。一方、 4°C と -10°C のエージングを経て作製された試料は、 G' 値に対する広がり度という観点では比較的類似の傾向を示している。これらの試料はそもそも焼成によって大きく融け広がらないことが特徴である。広がり度が G' 値に対して最もよく相関しているケースが、 -5°C のエージングを経て試料作製を行った場合である。すなわち、エージング時間を適切に選ぶことで、焼成時の広がり度をおよそ 1.4 から 2.2 の範囲でチューニングできることが予測される。

融け広がりメカニズムに関してはさらに深い研究が必要となろう。現段階における筆者の考察を記して本説を閉じる。本研究にて作製した豆乳・米粉・油脂から構成されるエマルションは、低温エージングによって形成した大豆タンパクの弱いゲル構造と、分散油滴の固化とがあいまってバルク形状を維持している状態にあると考える。とくに凍結状態にてエージングがなされた場合、氷晶間隙という空間的に制限された環境でゲル化が進行するため [15, 17, 18]、バルク全体にわたるゲルネットワークの形成が抑制され、局所的なゲル化が進行したと考えられる。焼成時に試料形状が崩れ融け広がるが、GDLの熱分解によるグルコン酸の供給と加熱によって大豆タンパク質のゲル化が再度進行する。融け広がり要因は局所的なゲル化に伴ってバルク構造が崩壊し、離水した水分とともにいったん流動するものの、水分の蒸発によりその流動がとまることによると考えられる。したがって、加熱時の再ゲル化の進行が早い場合には融け広がりは小さく、遅い場合にはその逆となると推測できる。加熱過程におけるゲル化の進行に際し、油滴の存在がゲル形成にとって

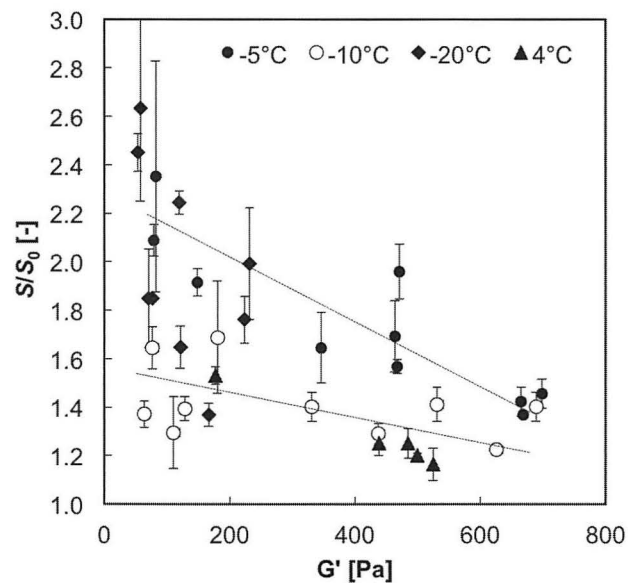


Fig. 6 Correlation between storage modulus and the degree of shape change (mean \pm SD, $n=2-3$).

有利に機能した可能性がある。油滴の存在はゲルの活性フィラーとして機能することが知られており、とくにホエイタンパク質の加熱凝固ゲルにとって油滴の存在が固いゲルの形成を有利に導くことが報告されている [19]。Fig. 5 にみた広がり度の変化は、焼成前に形成した弱いゲル（とくに氷晶共存下で局所的に形成したゲル）の構造が、焼成過程における強いゲルの形成速度に影響を与えていると考察できるのではないかと考えられる。米粉の存在は乳化時の分散剤としての意味の他に、焼成時の糊化に伴って試料内部に水分を多く保持する意味合いも強いと考えられ、大豆タンパク質のゲル形成に大きな意味をもつことも想像される。

4. 結 言

豆乳・米粉・油脂から構成されるエマルションを製し、とくに氷点温度以下におけるエージング過程におけるゲル化の進行に伴うレオロジー特性の変化を検討した。氷点以上におけるエージング過程においては、ある一定時間後に急激に粘弾性が変化する点が見出され、試料バルク全体にわたるゲルネットワークの形成が伺えた。一方、エージングが氷点以下にて行われた場合、粘弾性の変化はほぼ直線的に変化し、その変化の傾きは低温になるほど緩やかであった。また、氷点以下のエージング過程では損失正接が次第に増加することが見出され、粘性的な性質が経時的に増加したことが予測された。氷点以上におけるエージングはこのような変化を導かなかつた。調理過程を模して作製した試料を焼成したところ、個々の試料が焼成前に有するレオロジー特性に相関して、融け広がる性質が変化していることが確認できた。冷凍操作を利用してゲル化を進行させることは、バルク全体にわたるゲルネットワークの形成が抑制された状況下にて局所的なゲル化を進行させているものと推察され、製品の品質をチューニングするひとつの手段となり得ることが示唆された。

謝 辞

本研究は科学技術振興機構平成 23 年度研究成果展開事業・研究成果最適展開支援プログラムの支援を受けて実施した。

引 用 文 献

1) M. Yoshimura, S. Naito, T. Nagano, K. Nishinari; "Effect of concentration of soybean powder on the rheological properties and the network structure of soybean curd prepared from powdered soybean" (in Japanese). *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, **54**, 143-151 (2007).

2) T. Soeda, T. Ishii, K. Yamazaki, K. Murase; "The effect of transglutaminase on texture of tofu (the functionalities of microbial transglutaminase for food application part 1)" (in Japanese). *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, **42**, 254-261 (1995).

3) E. J. Noh, S. Y. Park, J. I. Pak, S. T. Hong, S. E. Yun; Coagulation of soymilk and quality of tofu as affected by freeze treatment of soybeans. *Food Chem.*, **91**, 715-721 (2005).

4) Y. Mine, K. Murakami, K. Azuma, S. Yoshihara, K. Fukunaga, T. Saeki, E. Sawano; "A comparison of various coagulants in tofu-forming properties" (in Japanese). *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, **52**, 114-119 (2005).

5) F. Kao, N. Su, M. Lee; Effect of calcium sulfate concentration in soymilk on the microstructure of firm tofu and the protein constitutions in tofu whey. *J. Agric. Food. Chem.*, **51**, 6211-6216 (2003).

6) K. Hashizume; "Studies on production of new textured protein by freeze denaturation of soybean protein" (in Japanese). *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **26**, 450-459 (1979).

7) T. Soeda; "Gelation of soy protein isolate during cold storage" (in Japanese). *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **41**, 670-675 (1994).

8) M. Shimoyamada, K. Tomatsu, S. Oku, K. Watanabe; Interactions among protein molecules in freeze-gel of soymilk and protein structures in heated soymilk during cooling. *J. Agric. Food. Chem.*, **48**, 2775-2779 (2000).

9) M. Shimoyamada; "Food functionality through the interaction among soybean constituents" (in Japanese). *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, **50**, 445-450 (2003).

10) M. Shimoyamada, W. Koseki, R. Yamauchi, K. Watanabe; Freeze-gelation of sucrose or trehalose treated soymilk. *Food Science Technology Research*, **8**, 211-215 (2002).

11) K. Nishinari; Rheological and dsc study of sol-gel transition in aqueous dispersions of industrially important polymers and colloids. *Colloid. Polym. Sci.*, **275**, 1093-1107 (1997).

12) S. Ikeda, K. Nishinari; "Weak gel"-type rheological properties of aqueous dispersions of nonaggregated κ -carrageenan helices. *J. Agric. Food. Chem.*, **49**, 4436-4441 (2001).

13) K. Nakagawa, M. Kagemoto; Characterization of casein-based nanoparticles formed upon freezing by in situ saxs measurement. *Colloids Surf. B. Biointerfaces*, **103**, 366-374 (2013).

14) K. Nakagawa, H. Nagao; Microencapsulation of oil droplets using freezing-induced gelatin-acacia complex coacervation. *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Aspects*, **411**, 129-139 (2012).

15) K. Nakagawa, N. Sowasod, W. Tanthapanichakoon, T. Charinpanitkul; Hydrogel based oil encapsulation for con-

- trolled release of curcumin by using a ternary system of chitosan, kappa-carrageenan, and carboxymethylcellulose sodium salt. *LWT - Food Science and Technology*, **54**, 600-605 (2013).
- 16) N. Sowasod, K. Nakagawa, T. Charinpanitkul, W. Tanthapanichakoon; Encapsulation of curcumin loaded oil droplets with chitosan based cryogel: Influence of freezing condition on nanocapsule properties. *Food Science and Technology Research*, **19**, 633-640 (2013).
- 17) N. Sowasod, K. Nakagawa, W. Tanthapanichakoon, T. Charinpanitkul; Development of encapsulation technique for curcumin loaded o/w emulsion using chitosan based cryotropic gelation. *Materials Science and Engineering: C*, **32**, 790-798 (2012).
- 18) N. R. Konstantinova, V. I. Lozinsky; Cryotropic gelation of ovalbumin solutions. *Food Hydrocolloid*, **11**, 113-123 (1997).
- 19) E. Dickinson, M.G. Semenova, L.E. Belyakova, A.S. Antipova, M.M. Il'in, E.N. Tsapkina, C. Ritzoulis; Analysis of light scattering data on the calcium ion sensitivity of caseinate solution thermodynamics: Relationship to emulsion flocculation. *J. Colloid Interface Sci.*, **239**, 87-97 (2001).

要 旨

近年大豆タンパク質はその栄養価の高さからその摂取が世界的に推奨されており、新規な大豆食品開発は重要な課題と思われる。本研究では、豆乳・米粉・油脂エマルジョンからチーズのような食味・食感・融解性もつゲル状の食品開発を目指し、凍結環境下におけるエージングを利用してレオロジー特性を制御することを試みた。氷点以上におけるエージング過程において、試料バルク全体にわたるゲルネットワークの形成が伺えたが、エージングが氷点以下にて行われた場合、局所的なゲル化が進行したと推察された。動的粘弾性の測定結果は、氷点以下のエージング温度（ -5°C 、 -10°C 、 -20°C ）に依存して粘性的な性質が経時的にほぼ直線的に増加することが確認でき、温度が高いほどこの変化も大きかった。調理過程を模して作製した試料を焼成したところ、個々の試料が焼成前に有するレオロジー特性に相関して融け広がる性質が変化することが確認できた。