

令和 2 年 5 月 28 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07818

研究課題名（和文）エマルションを利用した独特な物性を有するゲル状食品の創成に関する研究

研究課題名（英文）Study of emulsion gels with unique texture

研究代表者

井倉 則之（Igura, Noriyuki）

九州大学・農学研究院・教授

研究者番号：30260722

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：独特な物性ならびに香気放出能を有した新規エマルションゲルの作成を目的として検討を行なった。エマルションとは例えば水の中に油滴が分散している系をさすが、このエマルションからの香気放出挙動は、エマルションの油滴の含有率および油滴の径によって大きな影響を受けていた。またこのエマルションの油滴の含有率および油滴径はエマルションに寒天を加えて得られたゲルのテクスチャー（かたさや付着性）にも影響を与え、独特の物性を与えることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は特に嚥下困難者用食品の開発に大きな寄与があると考えている。嚥下困難者用食品はその物性（かたさ、付着性、凝集性）に制限があり、美味しい食品の製造が困難である。その嚥下困難者用食品に独特な物性を有し、香り立ちの高いエマルションゲルを用いることで、新規な美味しさを提供できること、またエマルションを用いることで、水溶性だけでなく油溶性の機能性成分の封入も容易となることから、機能性食品としての性能向上も期待される。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to create a new emulsion gel with unique physical properties and aroma releasing ability. An emulsion refers to, for example, a system in which oil droplets are dispersed in water, and the aroma release behavior from this emulsion was greatly affected by the oil droplet content of the emulsion and the diameter of the oil droplets. In addition, it was clarified that the oil drop content and oil drop size of this emulsion also affected the texture (hardness and adhesiveness) of the gel obtained by adding agar to the emulsion, giving unique properties.

研究分野：食品工学

キーワード：エマルション ゲル フレーバー テクスチャー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

今は飽食の時代と呼ばれ、加工食品の開発においては一次機能としての栄養機能だけでなく、二次機能としての風味や食感、さらには三次機能としての生体調節機能もまた重要な要素となっている。それでも二次機能としての美味しさはやはり重要な要素で、食品開発においては第一に考えられていると言って良い。風味に関しては、その風味成分の単なる組み合わせだけではなく、食品からのフレーバーリリースもまた重要な役割を果たしている。すなわち、食品中の味覚成分あるいは香気成分がその食品から放出されるタイミングが、その食品の嗜好性にどのように影響を与えるかについて、現在も多くの研究が進められている。またさらに、そのフレーバーリリースは食品自身の物性にも大きく影響を受ける。

申請者はこれまで、新規ゲル状食品の開発に関する研究を行ってきたが、その処理工程や添加物の影響により、その物性やフレーバーリリースが大きく変化することを明らかにしてきた。食品の多くは親水性成分と疎水性成分との混合物であり、その典型的な例がマヨネーズやバター等の調味料、ヨーグルトや牛乳等の乳脂肪を含む乳製品などのエマルション様食品である。エマルションは、その親水性成分と疎水性成分との混合物であることから、生体調節機能を有する成分の維持・放出の制御も可能になると考えられており、ドラッグデリバリーシステムに利用可能な形態として、広く研究が進められている。先述のフレーバーリリースにも大きな影響を与えるだけでなく、エマルション連続相にゲル形成能を有する成分を加えることで得られるゲルは、単純系のゲルと比べても独特な物性を有したゲルを形成できる。

2. 研究の目的

エマルションは連続相中に異なる極性を有している液滴が分散した系となっていることから、それらに親水性成分と親油性成分のいずれをも内在させることが可能である。そのため、エマルションからのフレーバー成分のリリース挙動は単純な系とは異なることが知られている。またこのようなエマルションをゲル化させることで、従来とは異なる物性を有したゲルを作成可能となる。本申請では連続相にゲル化可能な成分を選択することで、独特な物性ならびにフレーバーリリース能を有した新規エマルションゲルの作成を目的とする。

3. 研究の方法

(1) O/W エマルションの調製

まず、ゲル化させる前のエマルションからのフレーバーリリース状態の確認ならびにエマルションゲル作製の条件設定のために、作製条件の異なる O/W (水中油滴型) エマルションのフレーバーリリース測定を行なった。具体的には O/W エマルションの分散相含有率を変えた場合、O/W エマルションの液滴径を変えた場合のフレーバーリリースについて検討を行なった。エマルションの作製にはシラス多孔質ガラス膜 (SPG 膜) を用いた膜乳化法を用いた。得られた O/W エマルションはレーザー回折式粒度分布測定装置を用いて、平均液滴径および粒度分布を測定した。

(2) フレーバーリリースの測定

フレーバーリリースについては、まず、気液平衡状態におけるフレーバーリリース測定を行い平衡状態でのフレーバーリリース挙動について検討を行なった。次にヘッドスペースに窒素ガスを流入させることにより非平衡状態とし、その時のフレーバーリリース挙動について検討を行なった。なお、用いたフレーバー (香気成分) は疎水性 (logP) の異なるフレーバーとし、ガスクロマトグラフィーにより測定を行なった。

(3) エマルションゲルの調製

エマルションゲルに関しては、O/W エマルションの特性を活かすことを考慮して寒天をゲル化剤として使用した研究について報告する。まず、上記のように SPG 膜を用いて作製した O/W エマルションと加熱溶解した寒天水溶液とを混合し、十分に攪拌したのち容器に充填・氷冷することによりエマルションゲルを作製した。

(4) エマルションゲルの物性測定

レオメーターを用いた等速の 2 回圧縮試験 (テクスチャー試験) により測定した。ゲル化した処理サンプルをゲルの高さが 10 mm となるように切断、採取した。測定にはクリープメーター RHEONER RE-3305 (山電製) を用い、各ゲル化サンプルのかたさ、凝集性、及び付着性を測定した。

4. 研究成果

(1) O/W エマルションからのフレーバーリリース

フレーバーリリース測定に用いた O/W エマルションは、乳化剤 ML750 を 1.0 wt% となるように溶解した脱イオン水 (連続相) に、キャノーラ油を 1, 5, 10, 20 vol% となるように添加し、ホモジナイザーにより粗エマルションを作製したのち、SPG 膜 (平均膜孔径 10 μm) を用いたプレミックス膜乳化法により調製した。得られたエマルションの粒度分布を測定したところ、単分散であることを確認できた。この O/W エマルションに香気成分を終濃度 100 ppm となるように添加し、一晚攪拌後フレーバーリリースを測定した。

その結果、気液平衡状態におけるフレーバーの放出濃度は Table 1 のようになり、O/W エマルションの分散相含有率の増加に伴い、香気成分放出濃度は減少する傾向が示された。また、放出濃度はフレーバーの $\log P$ にも影響を受けていることが明らかとなった。ただし、水-オクタノール間の分配係数 ($\log P_{ow}$) ではなく、オクタノール-空気間および水-空気間の分配係数とフレーバーリリースとの間に高い相関が認められることが明らかとなった。

Table 1 O/W エマルションからの香気成分放出濃度

Flavor compound	放出濃度 ($\mu\text{g/mL}$, $\times 10^{-2}$)			
	1 w%	5 w%	10 w%	20 w%
2-Methylpyrazine	0.379	0.399	0.371	0.293
Limonene	15.4	2.15	1.63	0.824
Benzaldehyde	4.28	1.92	1.26	0.738
Nonanal	7.55	0.822	0.523	0.295
Ethyl benzoate	2.73	0.429	0.304	0.181
Benzyl alcohol	0.0837	0.0876	0.0802	0.0624
α -Terpineol	0.555	0.220	0.145	0.0709
Octanoic acid	0.106	0.0875	0.0623	0.0447

同様に、非平衡状態におけるフレーバーの放出速度を測定したところ、Table 2 のような結果が得られた。放出速度は 240 秒までのフレーバーリリース増加量を測定することにより算出している。その結果、Limonene、Ethyl hexanoate、Nonanal、Benzaldehyde、Ethyl benzoate、 α -Terpineol、Geraniol、Octanoic acid の放出速度は、O/W エマルションの分散相含有率の増加に伴い減少した。しかし、2-Methylpyrazine および Benzyl alcohol の放出速度は分散相含有率の増加に伴い増加した。この 2 つの香気成分は、他の香気成分と比較して $\log P_{ow}$ 値が低いため、エマルション内の水の割合の減少に伴い、その放出速度が増加したと考えられた。一方で、より $\log P_{ow}$ 値の高い香気成分は、分散相（油脂）の割合の増加に伴い、その油脂の溶解量が増加するため放出速度が減少したと考えられた。

Table 2 O/W エマルションからの香気成分放出速度

Flavor compound	放出速度 ($\mu\text{g/s}$, $\times 10^{-3}$)				
	1 vol%	5 vol%	10 vol%	20 vol%	40 vol%
2-Methylpyrazine	0.242	0.295	0.357	0.414	0.680
Limonene	8.54	3.42	1.55	1.13	1.07
Ethyl hexanoate	14.8	5.86	3.40	2.04	1.56
Benzaldehyde	2.93	2.21	1.51	1.15	0.907
Nonanal	3.06	0.982	0.585	0.458	0.302
Ethyl benzoate	1.29	0.432	0.246	0.144	0.107
Benzyl alcohol	0.0302	0.0352	0.0406	0.0429	0.0542
α -Terpineol	0.311	0.169	0.105	0.0710	0.0540
Geraniol	0.151	0.0959	0.0545	0.0406	0.0331
Octanoic acid	0.00986	0.0102	0.00620	0.00399	0.00505

油滴径がフレーバーリリースに及ぼす影響について検討を行なったところ、液滴径が小さいほど香気成分放出速度は高くなる傾向があった。これは、分散相（油滴）の総表面積が大きくなることにより、液液界面が増加し、結果として放出速度が増加したものと考えられた。

(2) エマルションゲルの物性測定

エマルションゲルの物性測定に先立ち、エマルションの調製を行なった。ここではキャノーラ油を分散相として、0, 10, 20 および 30 wt% となるように SPG プレミックス膜乳化を行い、エマルションを作製した。粒度分布測定の結果、先の実験と同様に液滴径分布は各分散相含有率サンプルにおいて単分散であることが確認された。このエマルションと加熱溶解した寒天水溶液（終濃度 0.5%）とを十分に混合し、冷却しエマルションゲルを作製した。作製したエマルションゲルは高さ約 1 cm となるように切断し以下のテクスチャー解析に使用した。

テクスチャー解析においては、かたさ、付着性および凝集性を測定した (Fig1)。かたさは分散相含有率の増加にしたがって、有意に減少することがわかった。一方付着性および凝集性に関しては有意な差は認められなかったものの、凝集性は分散相含有率の増加に伴い増加する傾向が認められた。

以上の結果より、分散相含有率の増加に伴いかたさは減少し、柔らかいゲルが得られることが示された。これは、寒天とキャノーラ油との間に相互作用がないために、液体である油滴の存在がゲルの欠陥として作用したためと考えられた。

次にエマルションの分散相液滴のサイズがエマルションゲルの物性に及ぼす影響について検討を行なった。分散相液滴径は SPG 膜の平均膜孔径を 2, 5, 10, 20 μm と変えることにより行なった。先の実験と同様に得られたエマルションは単分散であることを確認している。

先ほどの実験と同様に寒天とエマルションとを混合し、混合・冷却後、エマルションゲルのテクスチャー測定を行なった (Fig.2)。その結果、かたさおよび凝集性に関しては、液滴径による

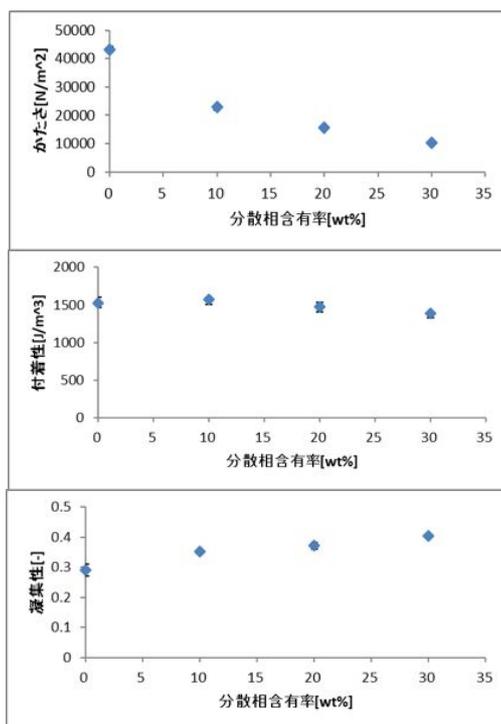


Fig.1 異なる分散相含有率を有するエマルションゲルのテクスチャー測定

有意な変化は見られなかった。一方、付着性に関しては、20 μm から 5 μm にかけて液滴径の減少にしたがって付着性は有意に増加した。

付着性は、口腔内でべたつく度合いを表す。付着性が高すぎると口腔内や咽頭などに食物が貼り付き、誤嚥を生じる可能性が高くなるため、嚥下食として付着性は低い値が好ましいとされている。したがって、エマルションゲルを嚥下食に応用する際には、液滴径の制御が重要な因子となることが示唆された。

以上、エマルションのフレーバーリリース挙動とエマルションゲルの物性について検討を行ってきた。エマルションからのフレーバーリリースに関しては当初予定しておらず、予備実験として進めてきたが、分配係数とリリース挙動との関係は大変興味深く、学会発表においても大変高評価を得ている。また、エマルションゲルについてもフレーバーリリース測定を行なっているが、現在まで安定性の高い結果を得ることができていない。今後、測定法についてより詳細な検討を行うことにより、再現性の高い結果が得られると考えられる。また、今回はコールドセットゲルである寒天を使用して検討を行なっているが、タンパク質などを利用したヒートセットゲルについても検討を行う予定である。この研究結果をもとにより詳細なエマルションゲルの特性評価を行い、特別用途食品としての嚥下困難者用食品の開発がより進むものと期待している。

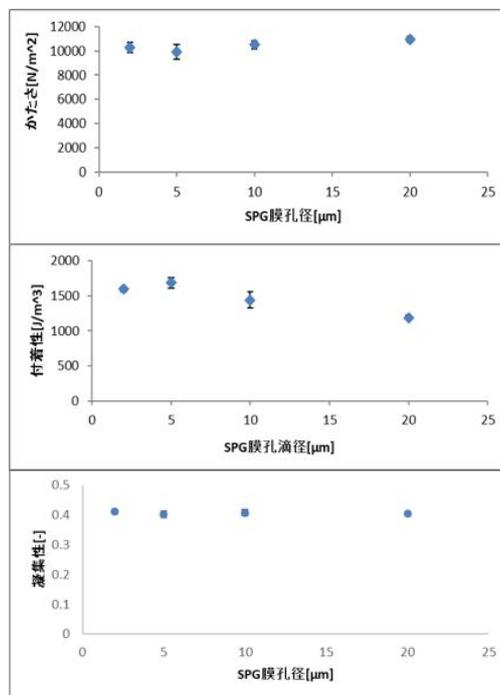


Fig.2 異なる液滴径を有するエマルションゲルのテクスチャー測定

この研究結果をもとにより詳細なエマルションゲルの特性評価を行い、特別用途食品としての嚥下困難者用食品の開発がより進むものと期待している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Ayaka Ono, Shunji Tamaru, Noriyuki Igura, Mitsuya Shimoda
2. 発表標題 Emulsion Temperature Influences the Relationship between partition Coefficients and Aroma Release from the o/w Emulsion
3. 学会等名 International Symposium on Agricultural, Food, Environmental and Life Sciences in Asia, 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shunji Tamaru, Tomoko Noda, Ayaka Ono, Noriyuki Igura, Mitsuya Shimoda
2. 発表標題 Influence of the emulsion droplet size on aroma release rate from mono-dispersed O/W emulsions
3. 学会等名 3rd International Conference on Nutrition and Food Engineering (ICNFE 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中畑大悟, 坂田文彦, 井倉則之, 下田満哉
2. 発表標題 濃厚エマルションの液滴径分布と流動性に関する研究
3. 学会等名 第 35 回九州分析化学若手の会夏季セミナー
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小野綾花, 田丸峻次, 井倉則之, 下田満哉
2. 発表標題 O/W エマルションからの香気成分放出挙動と分配係数との相関
3. 学会等名 第 35 回九州分析化学若手の会夏季セミナー
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 野田智子, 小野綾花, 田丸峻次, 井倉則之, 下田満哉
2. 発表標題 O/Wエマルションからの香気放出挙動に温度および香気成分濃度が及ぼす影響に関する研究
3. 学会等名 日本食品科学工学会第66回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田丸峻次, 野田智子, 田中将太, 金田弘拳, 井倉則之
2. 発表標題 DART-MSを用いたO/Wエマルションのフレーバーリリースの測定と分散相含有率の影響
3. 学会等名 日本食品科学工学会第66回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野田智子, 田丸峻次, 井倉則之
2. 発表標題 O/Wエマルションの液滴径が香気成分放出速度に及ぼす影響
3. 学会等名 第37回九州分析化学若手の会夏季セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 樫田侑奈, 井倉則之
2. 発表標題 分散相液滴けいが寒天エマルションゲルの物性に及ぼす影響
3. 学会等名 第37回九州分析化学若手の会夏季セミナー
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----