

平成29年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「業務用炊飯での使用油脂の大幅削減を可能とする
米糠由来乳化素材を用いた炊飯油の実用化開発」

研究開発成果等報告書

平成30年5月

担当局 中国経済産業局
補助事業者 公益財団法人ひろしま産業振興機構

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の背景・研究目的	1
1-1-2 研究開発の概要	3
1-1-3 研究開発の目標	4
1-1-4 研究開発の実施内容	5
1-1-5 研究開発の期間	6
1-2 研究体制	7
1-3 成果概要	8
1-4 当該研究開発の連絡窓口	9

第2章 本論

2-1 米糠由来乳化素材の乳化力を高めるための分離濃縮方法の確立	10
2-1-1 乳化成分の特定	11
2-1-2 嫌味成分（におい）の特定	12
2-1-3 嫌味成分（にがみ）の特定	14
2-1-4 米糠中での成分の所在についての把握	16
2-1-5 米糠の劣化と嫌味成分との関係の把握	21
2-1-6 米糠中の蛋白質の所在についての把握	22
2-1-7 蛋白質の酵素処理	23
2-1-8 製造フローの検証	25
2-2 油脂使用量を削減し米飯品質を高める新規エマルジョン型炊飯油の開発	
2-2-1 高圧乳化ホモジナイザー処理による乳化安定性の向上	28
2-2-2 保存性向上方法の確立	30

2-3	新規エマルジョン型炊飯油の優位性検証	31
-----	--------------------	----

2-4 新規エマルジョン型炊飯油の事業化進捗

2-4-1	商品企画	34
-------	------	----

2-4-2	プラント構想設計	34
-------	----------	----

2-4-3	コスト試算	35
-------	-------	----

最終章 全体総括

3-1	研究開発の成果	38
-----	---------	----

3-2	今後の課題及び解決策	39
-----	------------	----

3-3	事業化展開について	41
-----	-----------	----

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の背景・研究目的

我が国では米の消費量が年々減少の傾向をたどり、昭和37年に118kgであった国民一人当たりの年間消費量が平成26年には54kgと半分以下となった。これに対し図1-1-1-1に示すとおり、米の全体消費量に占める中食の割合は年々増加し、「家で炊く時代」から「外で買って食べる時代」となり、中食業界の主力をなす大型炊飯業者が果たすべき社会的役割は年々増大している。

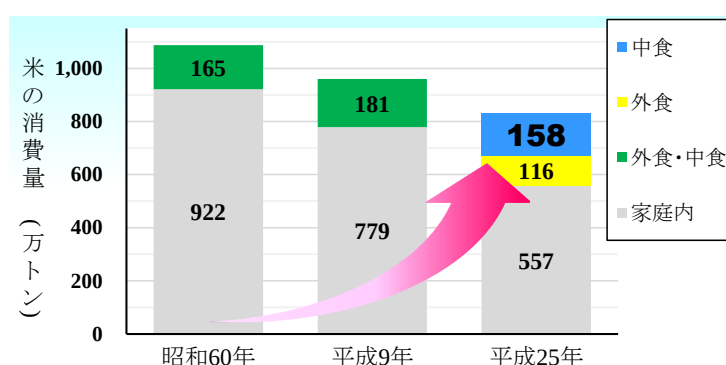


図 1-1-1-1 米の消費形態の推移

大型炊飯工場での米飯製品は、図1-1-1-2に示す工程で製造され、これを機械的に自動化して行なっている。この製造工程において油脂を使用しなかった場合には、設備や機器へ米飯の付着による加工性の低下や、不衛生化、製造ロスの増大等を引き起すため、油脂の使用は収益性を確保する上で必須なものである。その油脂添加量は一般的には米に対して重量割合で「2%」と、非常に多い。

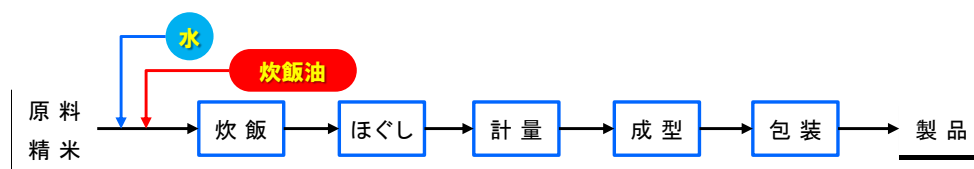


図 1-1-1-2 大型炊飯工場での米飯製造のフロー

油脂使用量が多いと、油脂の風味が米の風味をマスキングして食味の低下を引き起してしまふことのみならず、炊飯時に油脂が米粒への水の吸収を妨げて糊化し難くなることによる食感の低下や、油脂が米飯の老化（ご飯の硬化）を促進させることによる保存性の低下に繋がるため、品質保証や流通性を担保する上で、業務用炊飯では使用油脂を削減する要望が非常に高い。

業務用炊飯において使用油脂が多くなる理由は、油脂と水とが分離した（分散していない）状態で炊いた結果、不均一に油膜が飯粒表面に形成されるためであるが、油脂と水とが分散した状態で炊いた場合には、まんべんなく薄い油膜が形成された米飯の炊き上がりとなるため、使用油脂の削減に繋がることが期待される。

本研究開発では、大型炊飯工場が抱える「油脂使用量を削減したい」というニーズに応えるため、米糠由来の乳化素材（以下「米糠由来乳化素材」という。）の乳化作用によって水に油脂を均一に分散させた「エマルション型の炊飯油」を大型炊飯工場に提供することを目的とする。

1-1-2 研究開発の概要

本研究開発では、大型炊飯工場からの「油脂の使用を削減したい」という強い要望に応えるべく、米糠抽出物の乳化能と安全性とに着目した米糠を原料とする米糠由来乳化素材の開発と、これを利用した業務用炊飯での使用油脂の大幅削減を可能とする、新規エマルジョン型炊飯油の開発を目的とする。

図 1-1-2-1 に示すとおり、この新規エマルジョン型炊飯油の開発により、大型炊飯工場での生産性の向上のみならず、製品食味の改善や、製品賞味期間の長期化、製品の健康リスク低減に繋がること等といった効果が期待できる。

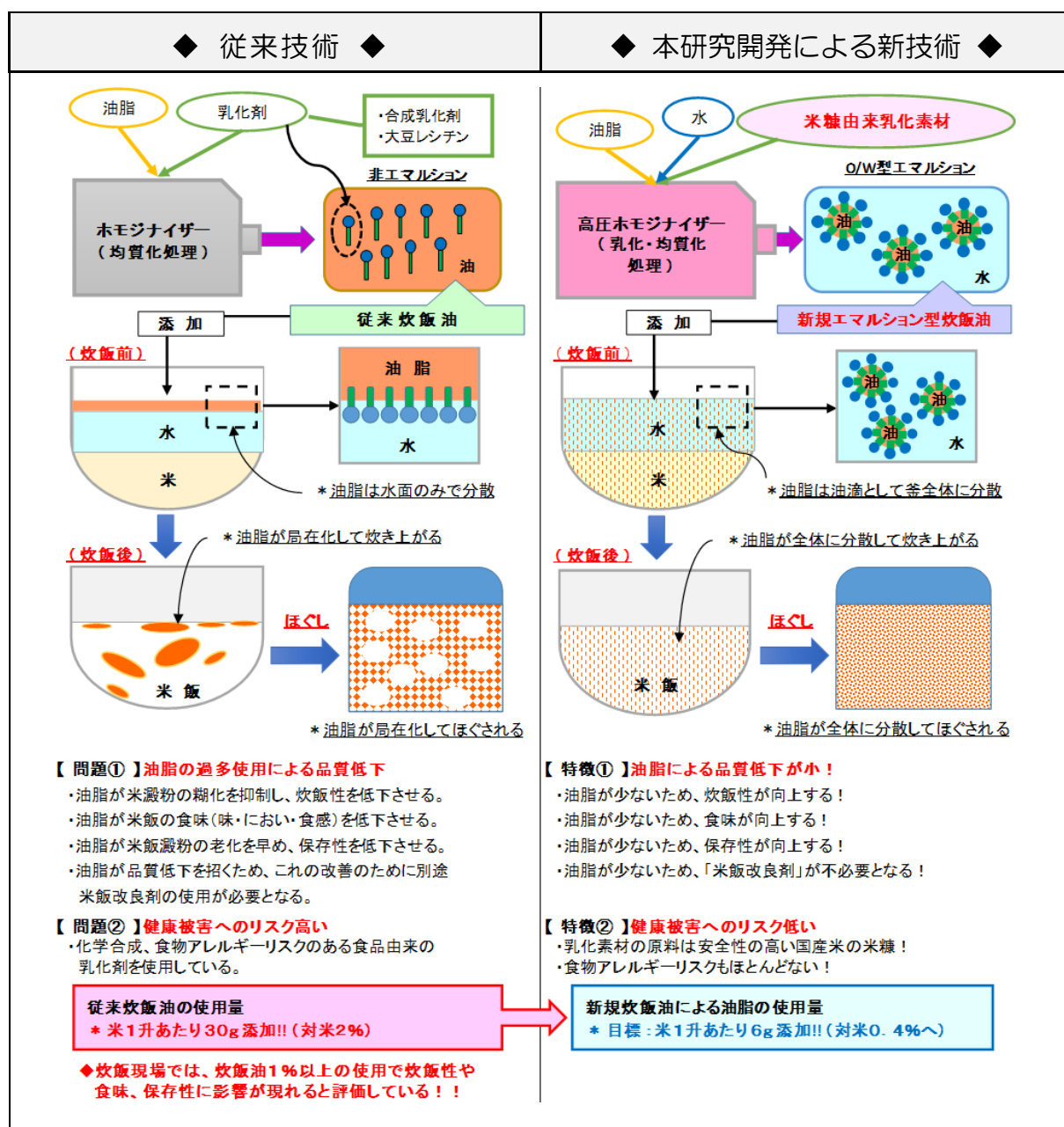


図 1-1-2-1 従来技術と本研究開発による新技術との比較

1-1-3 研究開発の目標

【高度化目標】

(十一) バイオに係る技術に関する項目(4) 川下分野特有の事項の 3) その他の川下分野に関する事項 b. 食品製造業分野に関する事項 ①川下製造業者等の特有の課題及びニーズ ア. 有用な生物資源の探索および利用 に基づく。

【技術的目標値】

米糠に含有している乳化機能を有する成分を分離濃縮し米糠由来乳化素材を製造、さらに、この米糠由来乳化素材と、水、および、油を高圧ホモジナイズ等で施し、安定した水中油滴型エマルションを形成し、エマルション型炊飯油を製造する。エマルション型炊飯油にすることで、油の分散性が良くなり、その結果、米の周りに油が覆いやすくなるため、従来品に比べ大幅に油脂使用量を削減することが可能となり、かつ、食味が良く、米飯の老化を抑制することができる。

本研究開発の高度化目標を次のとおり設定した。

高度化 目標

米糠より乳化機能を有する成分を分離し、
これを利用した「新規エマルション型炊飯油」を開発する。

目標① 油脂使用量を現状の 1/5 に低減することを可能にする。

目標② 現状よりも食味を向上させ、保存性も 25%向上させる。

1-1-4 研究開発の実施内容

【1. 米糠由来乳化素材の乳化力を高めるための分離濃縮方法の確立】

【1-1】有効成分、および、嫌味成分の把握

原料糠に存在する乳化に関与する成分を特定するため、各分離条件で得られた分画中に含まれる成分量と乳化力評価を行う。また、米糠のにおい、えぐみ等の原因となる嫌味成分についても、各成分含量と官能評価の相関により特定する。

【1-2】乳化力を有する成分の分離濃縮度を高める条件の決定

【1-1】の結果を基に乳化成分が多く、嫌味成分の少ない画分についての原料糠の分取条件・前処理、分離条件を決定する。米糠由来乳化素材、エマルション型炊飯油を安定して製造するための原料品質と製品品質との関係を把握する。

【2. 油脂使用量を削減し米飯品質を高める新規エマルション型炊飯油の開発】

【2-1】乳化安定・基本配合の確立

エマルション型炊飯油を長期間品質維持させようとした場合、保存期間中にエマルション同士の合一や凝集が発生しないような安定した乳化状態が必要となる。そのため、エマルション型炊飯油中の乳化成分の含有量を増加させ乳化力を高めることも一つであるが、乳化処理の方法や配合方法も乳化安定性に影響があるため、それら条件に付いての設定を行う。

【2-2】保存性向上方法の確立

保存性向上のための殺菌処理は高圧加熱殺菌機で行い、乳化の乖離を起こさず、かつ、目標とする殺菌（生菌数 300 個/ml 以下）が行える殺菌条件を決定する。

【2-3】新規エマルション型炊飯油の優位性検証

試作した炊飯油について、炊飯油本来の機能である計量性向上機能、炊飯工程への影響、油の分散性、出来上がった米飯の食味や保存性の評価を行う。

【3. 新規エマルジョン型炊飯油の製品化】

試作した炊飯油については、川下メーカーの実用炊飯ラインにおいてトラブルなく炊飯できるか、かつ、実用米飯加工ラインにおいて米飯の計量性や成型性、作業性が良く問題が発生しないか、また、製造した米飯の食味や保存性が向上するか等、性能についての検証を行う。

1-1-5 研究開発の期間

平成 27 年 9 月 1 日から 平成 30 年 3 月 31 日まで

1-2 研究体制

本補助事業における本研究開発の実施体制を図 1-2-1-1 に示す。

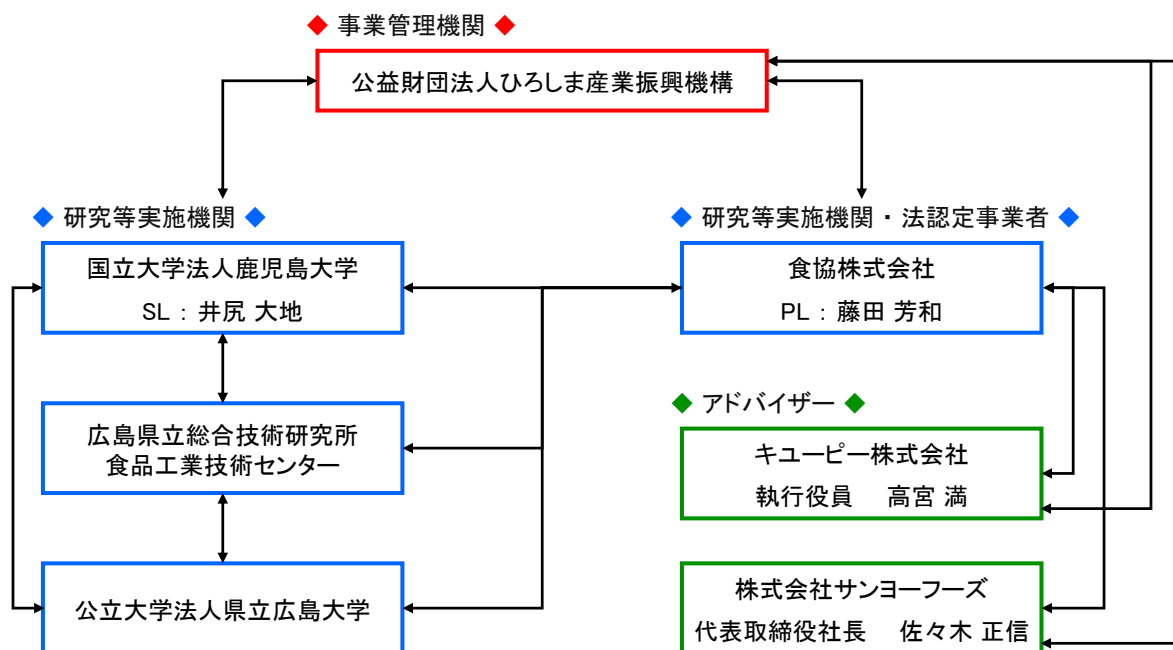


図 1-2-1-1 本補助事業における本研究開発の実施体制

1-3 成果概要

【1. 米糠由来乳化素材の乳化力を高めるための分離濃縮方法の確立】

【1-1】有効成分、および、嫌味成分の把握

米糠に含まれる乳化能を有す有効成分は、「リン脂質」であるものと特定でき、「蛋白質」についても乳化を高めるため必須であることが分かった。また、米糠に含まれる嫌味成分のうちの“におい”に影響を及ぼす成分は、中性脂質の加水分解で生成する脂肪酸が更に代謝することにより生成するアルデヒド類等であるものと特定でき、米糠に含まれる嫌味成分のうちの“苦味”に影響を及ぼす成分は、中性脂質の加水分解により生成する脂肪酸であるものと特定できた。

【1-2】乳化力を有する成分の分離濃縮度を高める条件の決定

玄米を搗精し得られる米糠の分画において、歩留 94%~92%の米糠が乳化成分が多く、嫌味成分も少ないため、米糠由来乳化素材の原料として最も相応しいものと判断できた。

また、原料米糠の劣化度合は、エマルジョン型炊飯油を安定して製造するための重要管理項目の一つであるという知見が得られ、その目安も明確化できた。

研究開発2年目に、実用化ラインにて試作品の検証を行なったところ、炊飯時に添加する他の添加剤、pH 調整剤の影響により、エマルジョン型炊飯油に含有する蛋白質が酸により凝固し、炊飯後の米飯上部に白い凝集物が発生するという不具合が発生した。その結果、米飯の計量性や成型性も低下し本来の機能を発揮しないという問題が認められた。そこで、蛋白質の酸凝集を抑制するため、蛋白酵素を用いた蛋白質の切断を行い、この問題の解決を図った。

【2. 油脂使用量を削減し米飯品質を高める新規エマルジョン型炊飯油の開発】

【2-1】乳化安定・基本配合の確立

エマルジョン型炊飯油の調製において、高圧ホモジナイザーを用いた処理を行うことで、水中油滴の微細化・均一化することができ、高圧ホモジナイザーの有効性が検証できた。また、良好なエマルジョン型炊飯油を製造する配合条件、乳化条件について把握した。

【2-2】保存性向上方法の確立

スチームインジェクション式加熱殺菌装置を用いた処理の妥当性を検証したところ、殺菌についての有効性は認められた。また、目標としていた一般細菌数 300 個/g 以下とな

る殺菌条件の把握ができた。

【2－3】新規エマルジョン型炊飯油の優位性検証

【3. 新規エマルジョン型炊飯油の製品化】

新規エマルジョン型炊飯油を使用することで、油脂の使用量を従来の2／5まで低減させることが可能となった。また、油っぽさを感じず、お米の本来の味を感じる米飯を製造することが可能となり、食味の向上が図れた。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

（公財）ひろしま産業振興機構 研究開発支援センター

参事 神田 敏和

電話：(082)240-7712 FAX：(082)242-7709

E-mail：t-kanda@hiwave.or.jp

食協株式会社

担当 渡部英子

電話：(082)842-4820 FAX：(082)842-4841

E-mail：watanabe-e@shokkyo.co.jp

第2章 本論

2-1 米糠由来乳化素材の乳化力を高めるための分離濃縮方法の確立

油脂の添加量を大幅に削減できる炊飯油を実現するためには、水に炊飯油を添加した際の油脂の分散性が重要となる。これは、炊き水中での油脂の分散性が高まると、まんべんなく薄い油膜が形成された米飯の炊き上がりとなるため、結果、機械的な米飯製品の製造において、油脂の使用が少量でも、米飯の付着性や成型性が改善できるためである。また、機械的な米飯製品の製造における油脂の削減には、食味の改善や品質保持の長期化等といった効果も期待できる。これは、過剰な油脂の使用により、米の風味をマスキングしてしまうことのみならず、炊飯時に油脂が米粒への水の吸収を妨げて糊化し難くなることによる食味の低下や、油脂が米飯の老化（ご飯の硬化）を促進させることによる保存性の低下を引き起こすことを、油脂の削減によって改善できるためである。つまり、業務用炊飯における使用油脂の削減には、生産性・流通性の改善に伴う収益性の向上のみならず、米飯製品の品質改善に伴う他者との差別化も期待できるということである。

ところで、本研究開発で目指すところの「炊飯油」とは、米糠由来乳化素材の乳化作用によって、水に油脂を均一に分散させた「エマルション（乳化）型の炊飯油」であるが、前記のとおり、炊き水中での油脂の分散性を高めるためには、予めエマルション型炊飯油についての水中での水中油滴を均一に微細化（乳化）し、かつ保存・流通の過程で、乳化を安定に保持することが必要なため、米糠由来乳化素材には高い乳化力が要求される。

一方、米糠由来乳化素材を乳化剤として配したエマルション型炊飯油の使用は、業務用炊飯についての食味の改善も目指すところであるが、米糠由来乳化素材に含まれる米糠に由来する物質の影響でネガティブな方向に食味が変化することは本末転倒である。そこで、米糠由来乳化素材の分離濃縮方法を確立するための一つ目の要件である米糠中の乳化力を有す成分（以下「乳化成分」という。）を特定し効率良く回収することと、二つ目の要件である米飯の風味低下を引き起こす米糠由来のネガティブな成分（におい成分や苦味成分）を特定し効率良く除去することが必要である。

2-1-1 乳化成分の特定

米糠中のリン脂質が乳化成分ではないかという仮定をたて本研究開発を開始した。

試験は、水と油脂（油脂をオイルレッドにて染色）とを等量で合せた系に、①米糠、②米糠から抽出した油（ここでは「米糠油」という。）及び、③脱脂糠（①の脱脂物でリン脂質を含まないもの）を加え、④は何も加えないコントロールとし、各サンプルを乳化させたところ、③リン脂質を含まない脱脂糠のみ顕著な水と油脂との混和が認められなかった。

次に、米糠、米糠油、脱脂糠の代わりに代表的なリン脂質である「ホスファチジルコリン（PC）」の標品を加えた乳化を行なったところ、加えたホスファチジルコリンの量（①<②<③）に応答して、水と油脂とでの混和の高まりが認められた。

以上より、「リン脂質が乳化成分ではないか」と仮定したとおり、リン脂質の乳化への関与が試験的に示され、リン脂質が、米糠中の乳化成分であるものと判断された。

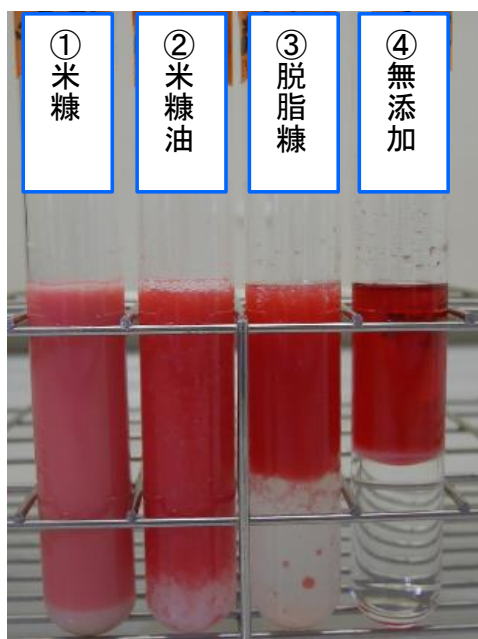


図 2-1-1-1 乳化試験結果 A

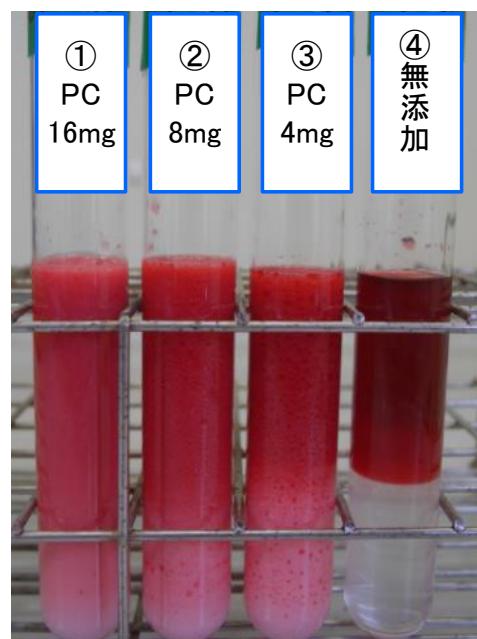


図 2-1-1-2 乳化試験結果 B

2-1-2 嫌味成分（におい）の特定

米飯の風味低下を引き起す米糠由来のネガティブな成分を効率良く除去することに関し、ネガティブな成分のうち、米糠に由来する「におい成分」について、本補助事業により取得した「匂い嗅ぎ装置付きガスクロマトグラフ」を用いた分析を行なった。図 2-1-2-1 の模式図に示すとおり、この装置を用いた分析は、予め被検試料（米糠）の加温により被検試料に含まれる嗅気成分を吸着させたファイバを測定部に導入し、測定部に配されたカラムを逐次昇温することによって、カラムにトラップされた嗅気成分が沸点等に応じて順次、分離した状態で脱着し、これを一方では水素炎イオン化検出器（FID）で定量的な信号を検出することと、もう一方では匂い嗅ぎ装置で匂い強度の官能評価（人が匂いを嗅ぐ）をすることによるものである。また、本研究での米糠に含まれる「におい成分」の特定は、この装置を用いた測定で得られる定量的な信号と、匂い強度の官能評価（値）との関係を解析することにより行なった。

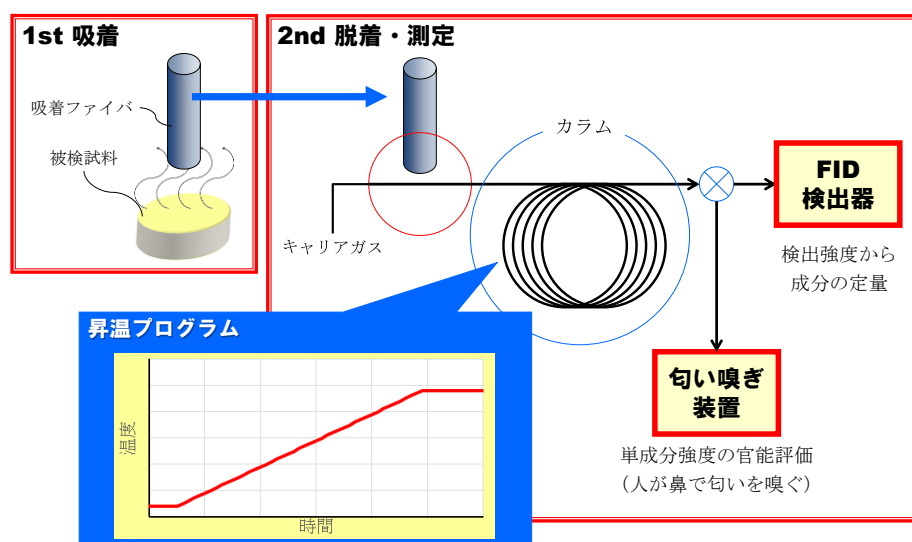


図 2-1-2-1 匂い嗅ぎ装置付きガスクロマトグラフの模式図

前記の装置を用いた米糠の測定で得られた成分として特定できたもののうち、その程度が最も著しかったものは「ヘキサナール」や、「オクタナール」、「デカナール」「2-オクテナール」といったアルデヒド類であった（表 2-1-2-2）。

また、これら検出が認められた成分は、すべて中性脂質（トリアシルグリセロール）がリパーゼ（脂質の加水分解酵素）の触媒作用により加水分解して生成した脂肪酸が、後続のリポキシゲナーゼ（脂質の酸化酵素）等の触媒作用により生成した物質であるものと推定されたことから、これを更に検証するため、米糠に含まれる酵素を活性化し、米糠中の中性脂質

表 2-1-2-2 典型的な米糠の匂い嗅ぎ分析結果概要

化合物名		においの説明
1	Hexanal	草
2	Octanal	花, グリーン
3	2-Octenal	青臭い, 油のような
4	Decanal	カメムシ様, アルデヒド

の代謝を作為的に加速すべく、高温下に米糠を保存した場合での、これら成分の経時変化を追跡した。

図 2-1-2-3 に示すとおり、高温保存して脂質の代謝を加速させた米糠についてのアルデヒド類は顕著な増加が認められ、一方、脂質を殆ど含まない脱脂糠を同条件で保存したものについては、ほぼアルデヒド類の変化が認められなかった。以上より、良質な米糠由来乳化素材を得るために除去すべき、米糠に含まれる「におい成分」は、米糠に含まれる中性脂質についての代謝生成物、「ヘキサナール」や「オクタナール」、「2-Octenal」「デカナール」であることが特定できた。

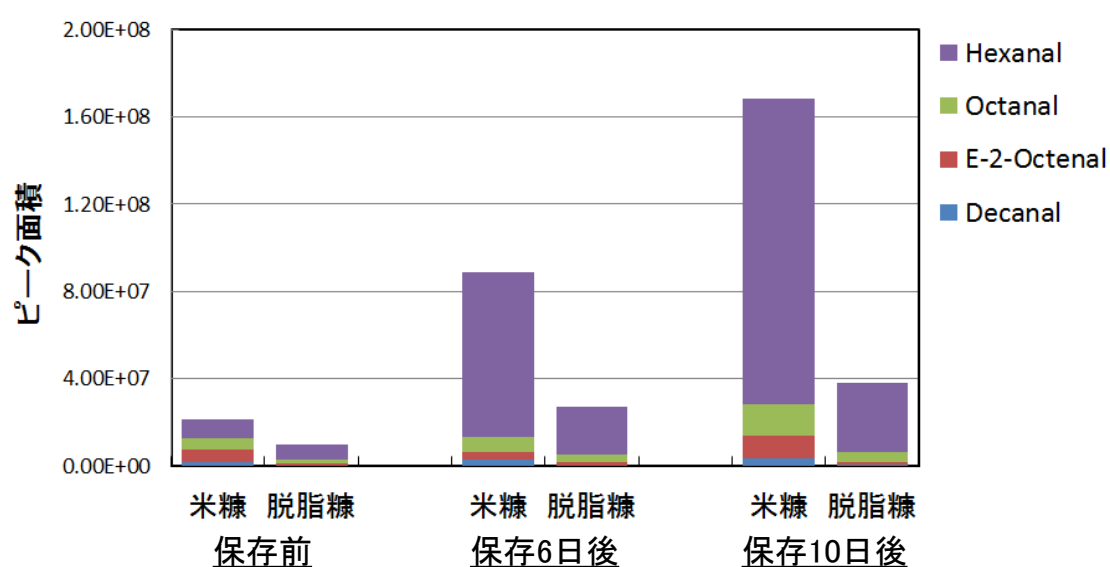


図 2-1-2-3 高温保存した米糠及び脱脂糠についてのアルデヒド類の経時変化

2-1-3 嫌味成分（にがみ）の特定

米飯の風味低下を引き起す米糠由来のネガティブな成分のうち、味覚に影響を及ぼす因子の中でも代表的なものである、「苦味成分」について特定を試みた。苦味を有する米糠を意図的に得るため、米糠の試料として加速劣化保存（45℃，12 日間）させた米糠を、苦味を有さない米糠の試料として加速劣化保存前の米糠を供し、各々の試料についての、食味官能評価及び、苦味への関与が想定された数種類の成分についての分析を行なった。本報告では、「苦味成分」に関与していると特定した遊離脂肪酸についてのみの結果を記載した。

なお、苦味の官能評価は保存前の米糠の評点を 4 点基準として 7 点評価で行ない、遊離脂肪酸はガスクロマトグラフ質量分析計（GC/MS）を用いた測定により行なった。

食味官能評価による米糠の苦味の評価を行ったところ、図 2-1-3-1 に示すとおり、加速劣化後に、著しい増加が認められた。また、脱脂糠を供した試験を同様に行なったが、脱脂糠については加速劣化の前後での苦味の変化が認められなかった。

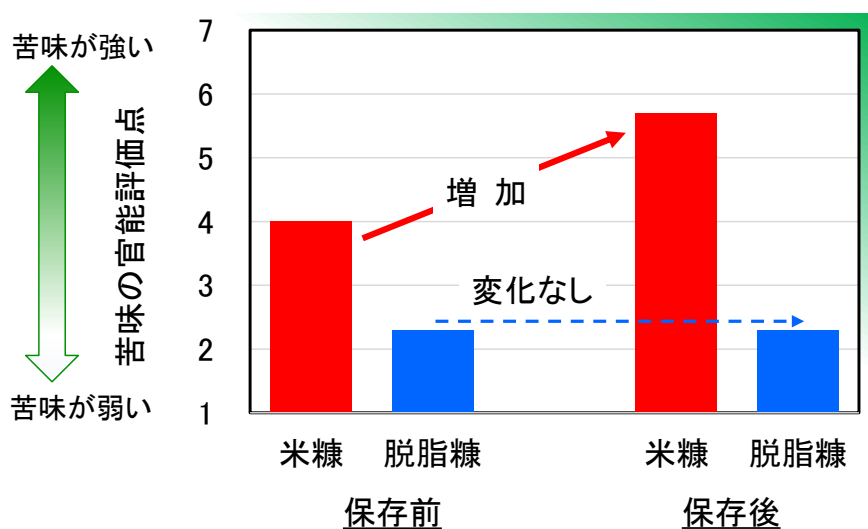


図 2-1-3-1 加速劣化保存した米糠及び脱脂糠についての苦味の経時変化

一方、苦味への関与が想定された遊離脂肪酸含量の結果は図 2-1-3-2 に示すとおり、加速劣化後に、著しい増加が認められた。また、脱脂糠については加速劣化の前後で変化が認められなかった。

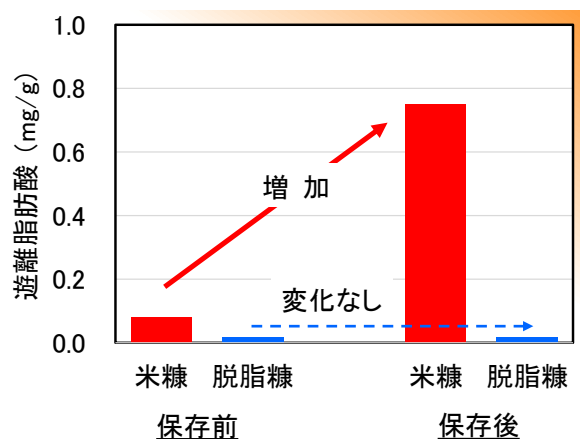


図 2-1-3-2 加速劣化保存した米糠及び脱脂糠についての遊離脂肪酸含量の経時変化

以上より、米糠に含まれる「苦味成分」が遊離脂肪酸であるものと特定できた。この遊離脂肪酸についても、前項で「におい成分」として特定したものと同様に、その出発物質はトリアシルグリセロール（中性脂質）であり、これの第一段階目の代謝（加水分解）によって生じるものと判断された。

2-1-4 米糠中での成分の所在についての把握

乳化に関与する成分は概ねリン脂質と特定し、また、嫌味に関与する成分については、においについてはアルデヒド類、苦味については遊離脂肪酸であることを概ね特定し、その出発物質はいずれも中性脂肪であることを推定した。次に、米糠由来乳化素材の乳化力を向上させるため、乳化成分を多く含有した糠、また、嫌味成分、および嫌味成分の起因物質の少ない原材料得る方法について検討を行った。

玄米を米糠の表皮より重量換算で2%ずつ削り取ったサンプル、分画1（精米歩留100～98%）、分画2（精米歩留98～96%）、分画3（精米歩留96～94%）、分画4（精米歩留94～92%）、分画5（精米歩留92～90%）、分画6（精米歩留90～88%）、および、全分画を混合させたホール米糠（精米歩留88～100%）を作成し、それらサンプルについて、乳化成分（リン脂質）分析、乳化力評価（水中油滴径の測定）、嫌味成分（アルデヒド類、遊離脂肪酸）分析、官能評価（ホール米糠を基準4点として7点で食味評価）を行った。

表 2-1-4-1 試験に供した米糠

試料区分（呼称）		試料の内容
1	分画 1	玄米から 98%の歩留まで搗精して得られた米糠
2	分画 2	98%の歩留から 96%の歩留まで搗精して得られた米糠
3	分画 3	96%の歩留から 94%の歩留まで搗精して得られた米糠
4	分画 4	94%の歩留から 92%の歩留まで搗精して得られた米糠
5	分画 5	92%の歩留から 90%の歩留まで搗精して得られた米糠

まず、乳化成分として特定した「リン脂質」は、図 2-1-4-2 に示すとおり、供した米糠のうち、「分画 4」に最も多く所在することが分かった。また、米糠の「乳化力」についても、図 2-1-4-3 に示すとおり、「分画 4」が最も高く、図 2-1-4-4 に示すとおり、米糠の総リン脂質含量と、米糠の乳化力（水中油滴の平均径）とでの相関係数は、「-0.80」と高かったことから、「乳化成分をリン脂質と特定したこと」についての妥当性が高まった。

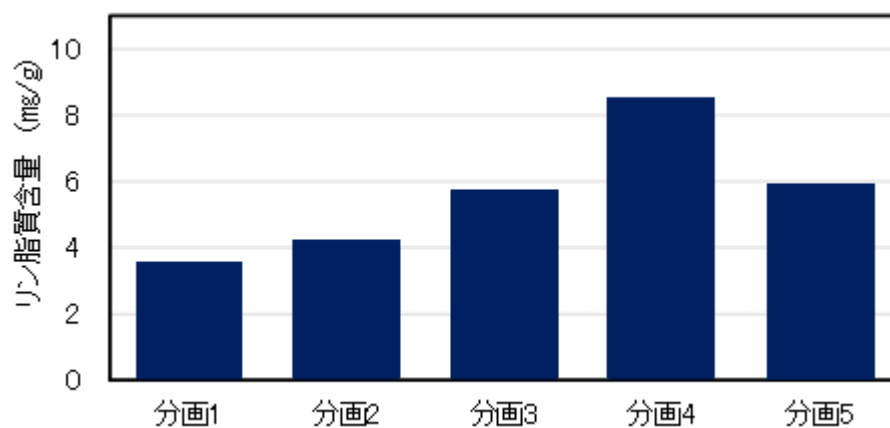


図 2-1-4-2 米糠各々のリン脂質含量

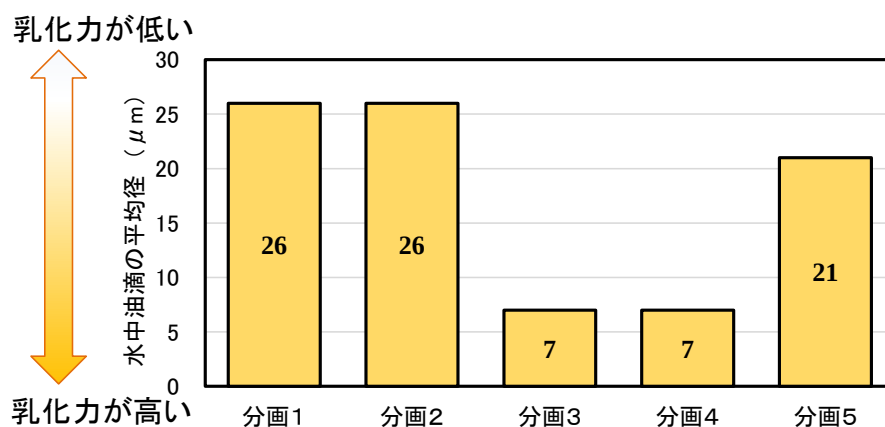


図 2-1-4-3 米糠各々の乳化力

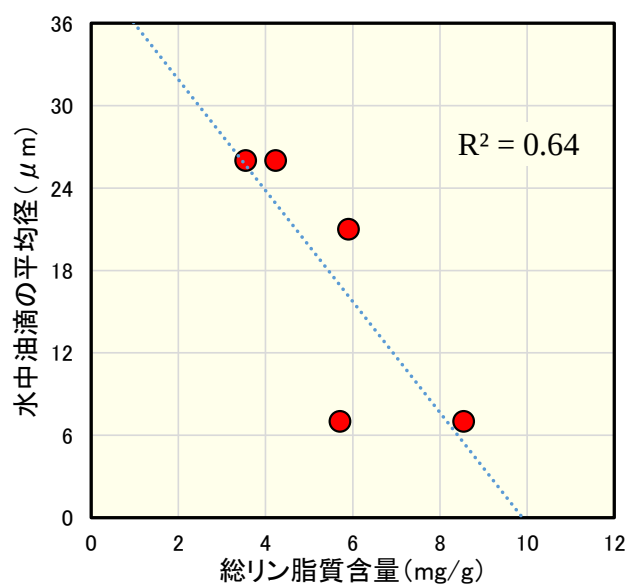


図 2-1-4-4 米糠のリン脂質含量と乳化力との関係

次に、「におい成分」として特定した「アルデヒド類」と、「苦味成分」として特定した「遊離脂肪酸」とについては共に、図 2-1-4-5 及び図 2-1-4-6 に示すとおり、「分画 4」に最も少なく所在することが分かった。

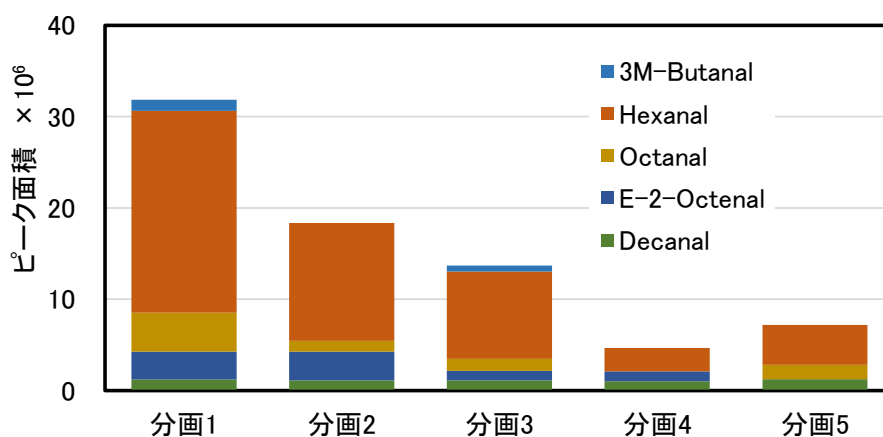


図 2-1-4-5 米糠各々のアルデヒド類の比較※

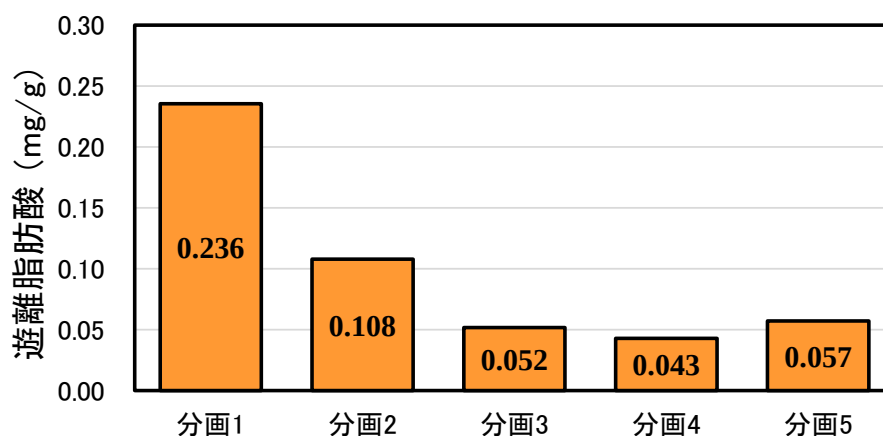


図 2-1-4-6 米糠各々の遊離脂肪酸含量の比較

他方、前述のとおり、米糠由来乳化素材のポジティブな品質を表す乳化力がリン脂質の含量と高い相関を示し、「乳化成分をリン脂質と特定したこと」の妥当性を言及したが、ネガティブな品質を表す官能的な苦味についても、図 2-1-8-に示すとおり、米糠の総遊離脂肪酸含量との相関係数が「+0.77」と高かったことから、「苦味成分を遊離脂肪酸と特定したこと」の妥当性についても高まった。

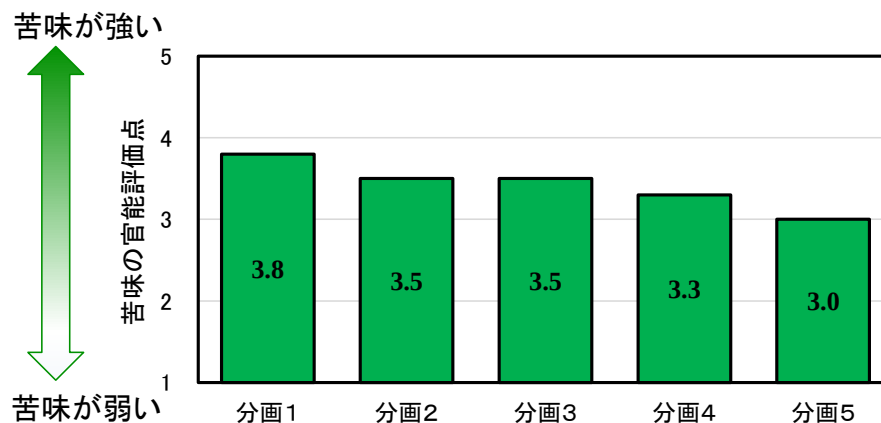


図 2-1-4-7 米糠各々の官能的な苦味

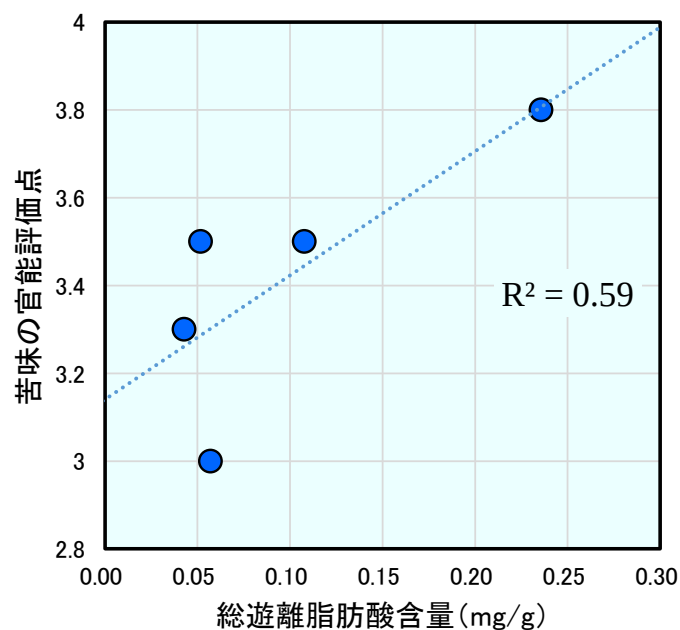


図 2-1-4-8 米糠の遊離脂肪酸含量と苦味との関係

米糠の「乳化成分」及び「嫌味成分」を特定した結果を踏まえた上で、正・負両面の品質から米糠の評価したところ、下表 2-1-4-9 に示すとおり、歩留が 94%から 92%までの搗精で得られる米糠（分画 4）が米糠由来乳化素材の原料として最も相応しいものと判断された。

図 2-1-4-9 米糠分画についての品質評価の総括

分画の呼称	正の品質側面		負の品質側面		
	乳化力	乳化成分	官能的な苦味	におい成分	苦味成分
1 分画 1	× 4th	× 5th	× 5th	× 5th	× 5th
2 分画 2	× 4th	× 4th	× 4th	× 4th	× 4th
3 分画 3	◎ 1st	○ 2nd	○ 3rd	○ 3rd	○ 2nd
4 分画 4	◎ 1st	◎ 1st	○ 2nd	◎ 1st	◎ 1st
5 分画 5	○ 3rd	○ 2nd	◎ 1st	○ 2nd	○ 3rd

※ すべての項目を5段階（1位から5位）で評価し、1位を「◎」、4及び5位を「×」とした。

また、この米糠は我が国での主流な精米工場における搗精での、三段階目の工程で安定的に生じる米糠であり、これの取分けも容易な（図 2-1-4-10 を参照）ことから、米糠由来乳化素材の原料は、特段な制約もなく、全国の精米工場からの調達が可能となる見通しが得られた。

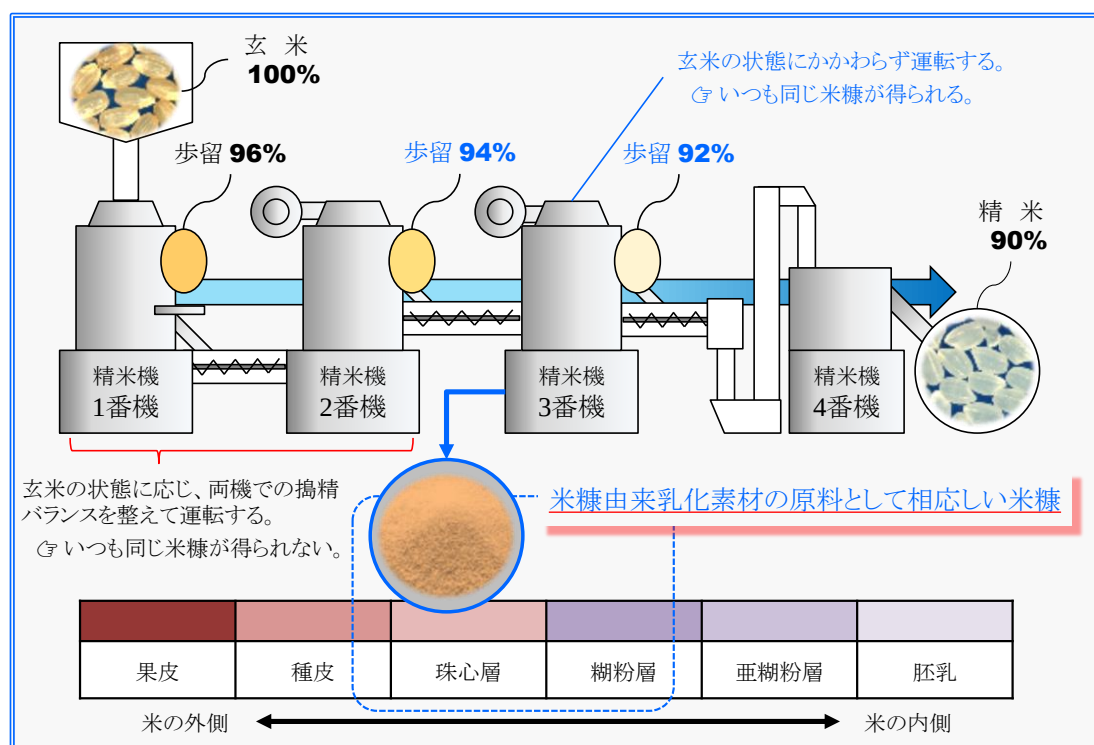


図 2-1-4-10 精米工場での搗精及び米糠由来乳化素材の原料採取

2-1-5 米糠の劣化と嫌味成分との関係の把握

嫌味成分の“におい”、“苦味”に関わるものが共に、原料の劣化、つまりは中性脂質の代謝によって生じるものと推定されたことを受け、嫌味が極力認められない米糠由来乳化素材を安定して製造するため、原料として相応しくない米糠の劣化程度についての目処をつけた。

劣化度合いが種々異なる玄米を搗精して得られる米糠の劣化度合いと、官能評価結果（基準米糠の評点を4点とした7点識別法）との関係を追跡した。劣化度合いについては、遊離脂肪酸、pH、FD（新鮮度評価器である「シンセンサ」（サタケ製））で評価を行なった。

その結果、各劣化指標と官能評価値とには、高い相関（逆相関）が認められたことより、原料米糠についての脂質の代謝度合から、製造される米糠由来乳化素材についての嫌味の程度を推定できることが分かったとともに、劣化指標の基準値を策定することができた。（図 2-1-6-1）

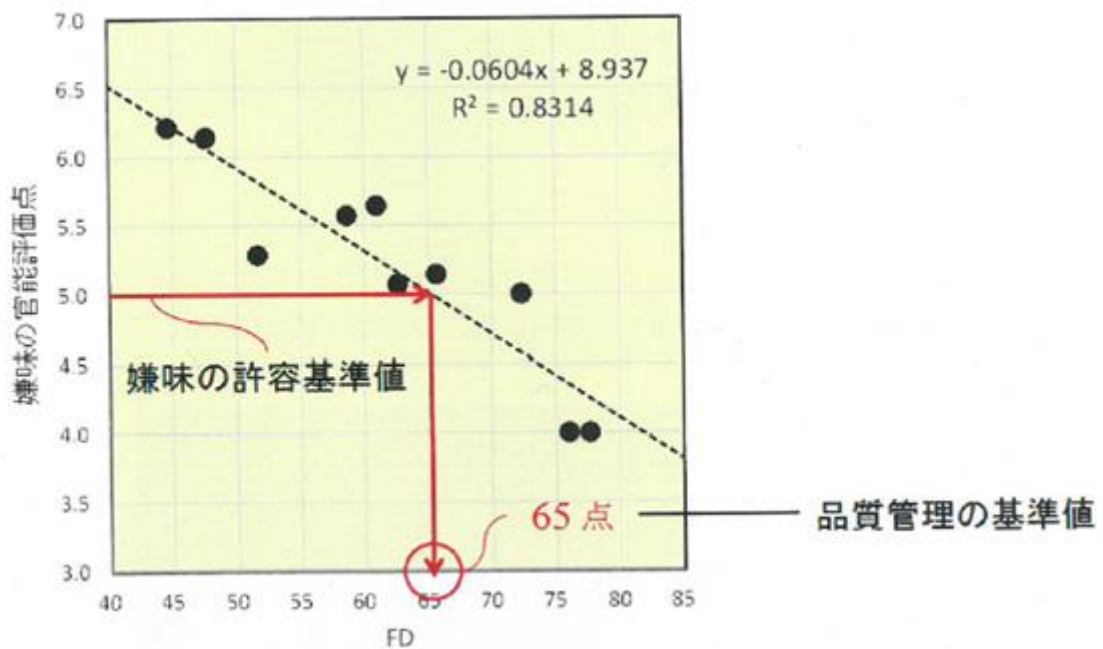


図 2-1-5-1 原料米糠の劣化指標と官能評価値との関係（例 FD 値）

2-1-6 米糠中の蛋白質の所在についての把握

エマルションの乳化の安定性を高める手段として、水溶性蛋白質を配合することが既知の技術としてある。そこで、米糠中の水溶性蛋白質についての所在について、玄米を米糠の表皮より重量換算で2%ずつ削り取ったサンプル、分画1（精米歩留 100～98%）、分画2（精米歩留 98～96%）、分画3（精米歩留 96～94%）、分画4（精米歩留 94～92%）、分画5（精米歩留 92～90%）、分画6（精米歩留 90～88%）、および、全分画を混合させたホール米糠（精米歩留 88～100%）を作成し調査を行った。

表 2-1-6-1 試験に供した米糠

試料区分（呼称）	試料の内容
1 分画 1	玄米から 98%の歩留まで搗精して得られた米糠
2 分画 2	98%の歩留から 96%の歩留まで搗精して得られた米糠
3 分画 3	96%の歩留から 94%の歩留まで搗精して得られた米糠
4 分画 4	94%の歩留から 92%の歩留まで搗精して得られた米糠
5 分画 5	92%の歩留から 90%の歩留まで搗精して得られた米糠

その結果、図 2-1-6-2 に示すとおり、リン脂質と同様、供した米糠のうち、「分画 4」に最も多く所在することが分かった。よって、米糠由来蛋白質も、乳化の安定性に関与するものと推察した。

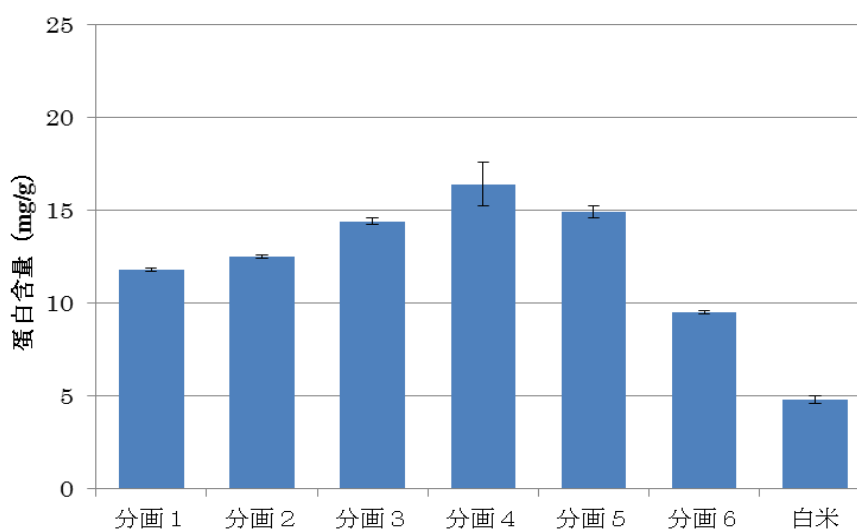


図 2-1-6-2 米糠各々の蛋白質含量

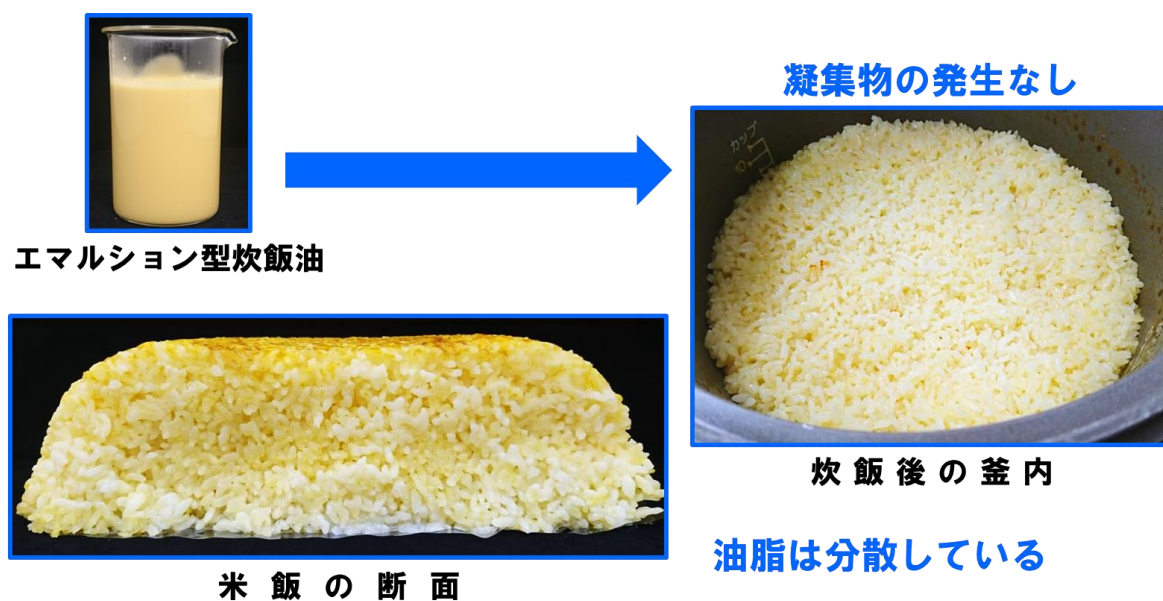
2-1-7 蛋白質の酵素処理

試作中のエマルジョン型炊飯油の既存炊飯油の優位性を検証すべく、業務炊飯の実ラインでの実証試験を行った。実証試験の結果、図 2-1-7-1 の通り、米飯上面、および、炊飯器釜縁に白い凝集物発生するという問題が発生した。この白い凝集物は、炊飯時に添加される pH 調整剤により、釜内の pH が低下し、エマルジョン型炊飯油に含有する蛋白質が酸凝固したものであると推定した。本来、米飯表面を覆うはずの油脂が米飯上面、炊飯器釜縁にこの凝集物として現れたため、米飯のほぐれも悪く、米飯の計量性評価も不良であった。また、米糠由来乳化素材に含まれる蛋白質や糖類によりコゲも多く発生した。



図 2-1-7-1 実証試験で発生した問題

白い凝集物の発生原因は、業務用炊飯で添加される pH 調整剤により、米糠由来乳化素材中の蛋白質が酸で凝固したことにより発生しているものと断定したが、そうであれば、米糠由来乳化素材中の蛋白質が酸に強いものでなければならない。そこで、蛋白酵素により蛋白質を切断することにより、酸で凝集する蛋白質が減少するのではないかと考え、これを検証したところ、凝集物の発生は認められず、米飯への分散性も良好であった（図 2-1-7-2）。しかしながら、乳化力が低下し、エマルジョン型炊飯油の乳化安定性が低下するという課題が発生した。



* 油脂の分散を目視し易くするため、β-カロテンで染色した油脂を供している。

図 2-1-7-2 米飯への分散性評価

2-1-8 製造フローの検証

乳化成分を効率的に回収しエマルジョン型炊飯油の乳化安定性を向上させ、かつ、凝集物の原因となる余剰蛋白質やコゲの原因になる糖質といった不要物を除去することを目標に、これまで検討してきた製造フローについて種々再考した。その結果、蛋白酵素で処理した米糠を使用し、油脂を添加し乳化、および分離分画を行ってエマルジョン型炊飯油を製造する方法を選択した。製造フロー概略は、図 2-1-8-1 の通り。

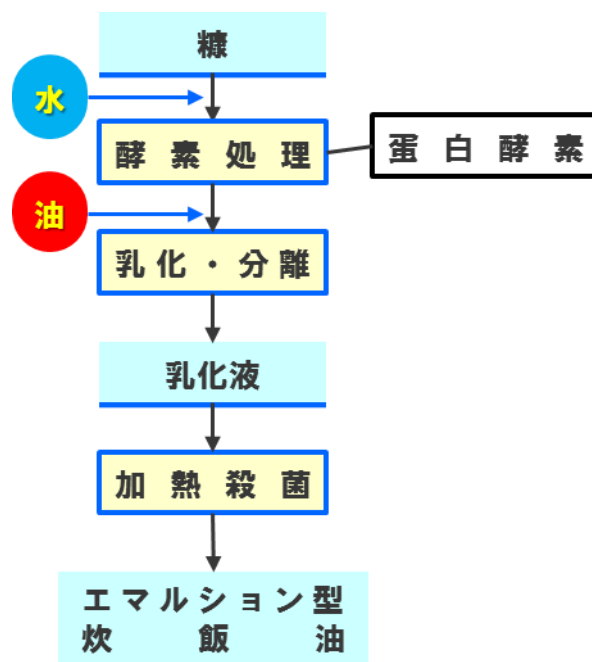


図 2-1-8-1 製造フロー

このフローにより製造したエマルジョン型炊飯油の水中油滴径を計測したところ、平均粒子径は $3.8\mu\text{m}$ と、目標の $3\mu\text{m}$ 以下には若干至らなかった。また、分離や加熱殺菌処理時に、乳化がやや崩れる箇所が見られ、乳化安定性について若干の課題が残った（図 2-1-8-2）。

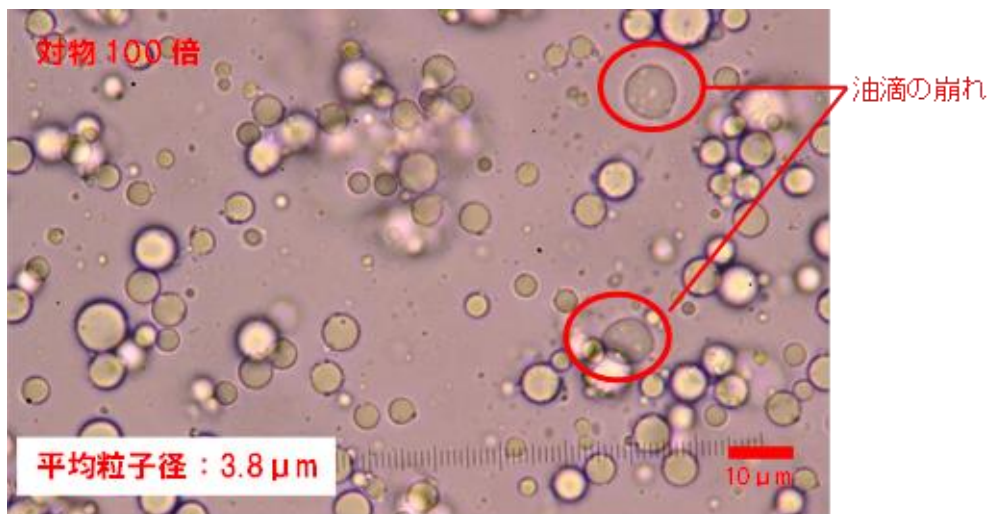


図 2-1-8-2 工程で製造したエマルジョン型炊飯油の水中油滴の様子

このフローにより製造したエマルジョン型炊飯油を供して炊飯した米飯については、凝集物の発生が認められなかったことから、酸耐性の向上について確認できた。また、米飯のほぐれ性、米飯計量性、成型性も良好で、顕著なコゲの発生も認められなかった（図 2-1-8-3）。



図 2-1-8-3 エマルション型炊飯油を供して炊飯した米飯の様子

以上、製造フローを再検討した結果、まだ乳化安定性について若干の課題があったものの、これまでの製法よりも乳化成分含量が高く乳化安定性が比較的良好なエマルション型炊飯油が製造でき、炊飯油としての基本性能についても良好であった。

なお、本フローを経て製造できるエマルション型炊飯油は、原料米糠 1 kgあたり 4.85 kgであった。

以上の結果より、策定した製造フローについての有効性が確認できたため、これをエマルション型炊飯油の基本製造フローとした（図 2-1-8-4）。

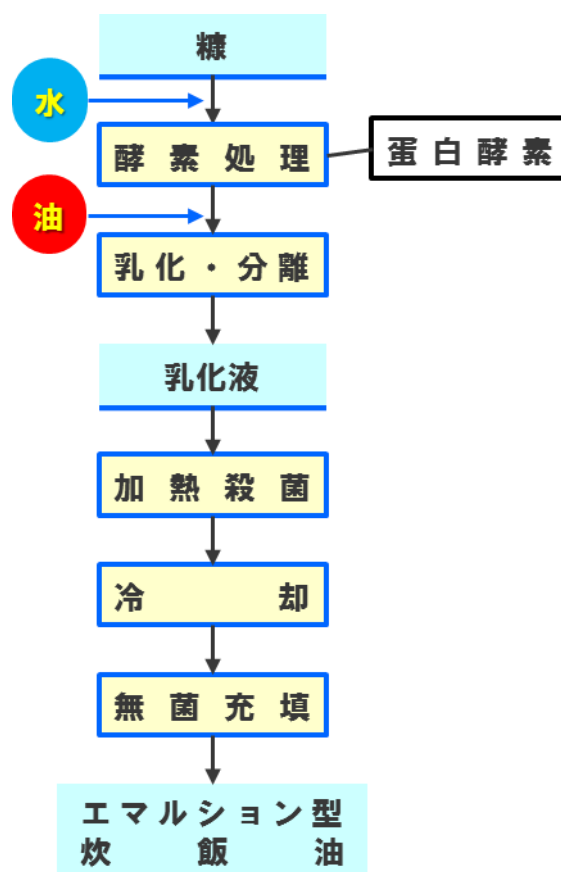


図 2-1-8-4 エマルション型炊飯油の基本製造フロー

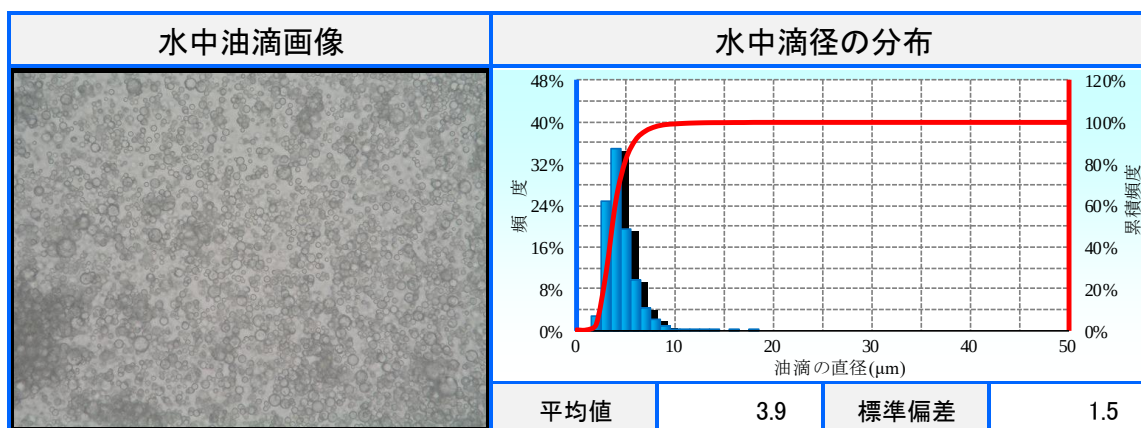
2-2 油脂使用量を削減し米飯品質を高める新規エマルション型炊飯油の開発

2-2-1 高圧乳化ホモジナイザー処理による乳化安定性の向上

牛乳は O/W 型エマルションの代表的な食品であるが、これが乳脂肪分の増減調整をするもの（調整乳）、しないもの（無調整乳）であるかにかかわらず、流通や保存の際に、脂肪が水と分離しないようにするため、「高圧ホモジナイザー」を用いた脂肪組織を微細化（破壊）する処理が古くから行なわれている。そこで、米糠由来乳化素材を用いたエマルション型炊飯油の製造において、牛乳で実績のある高圧ホモジナイザーを用いた処理を、水中油滴を微細化及び均一化する手段として適用すべく、まずは、その有効性を検証した。

高圧ホモジナイザーを用いた乳化処理についての有効性は、従前のローター・ステーター方式のホモジナイザー（以下、高圧下で乳化するものではないため、単に「常圧ホモジナイザー」という。）を用いた乳化処理のものとの比較により検証を行った。

【高圧ホモジナイザー処理】



【常圧ホモジナイザー処理】

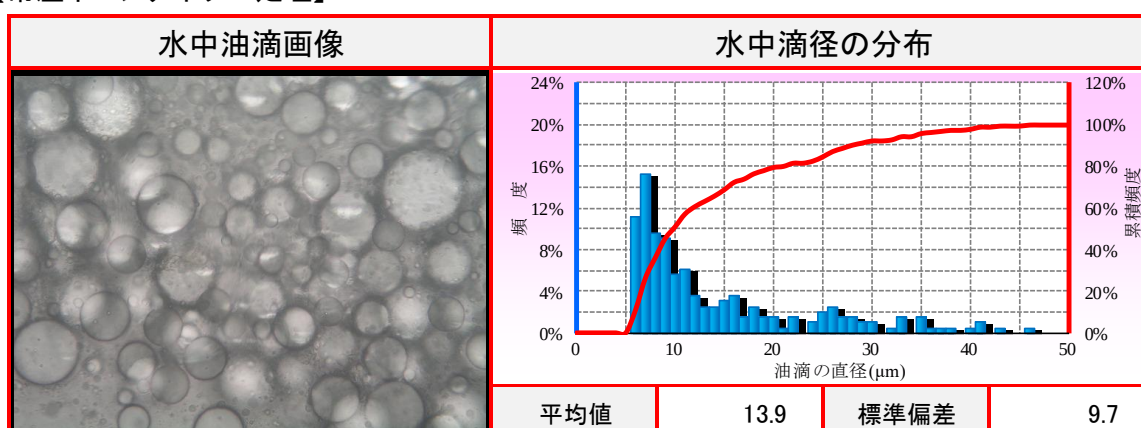


図 2-2-1-1 高圧ホモジナイザー処理と常圧ホモジナイザー処理とでの水中油滴の比較

図 2-2-1-1 に示すとおり、高圧ホモジナイザーを用いた処理と、常圧ホモジナイザーを用いた処理とでの得られた各々のエマルションについての水中油滴は、前者のものの方が顕著に小さく、その粒径のバラツキも小さかった。以上の結果より、エマルション型炊飯油の製造において、水中油滴を微細化及び均一化する手段として、高圧ホモジナイザー処理が有効と判断した。

次に、より分散性が良く低粘度のエマルション型炊飯油を製造すべく、処理条件について検討を行った。乳化時の温度は高温にすることなく常温処理した方が水中油滴の凝集が少なく良いこと、過度な高圧処理を行わないこと、1 次乳化後に低圧力で 2 次乳化を行うと良

いことが分かった。以上より、凝集を起こすことなく水中油滴の分散が良く、100cP 程度の低粘度で、水中油滴径 $3\mu\text{m}$ 程度のエマルジョン型炊飯油を製造することが可能となった。

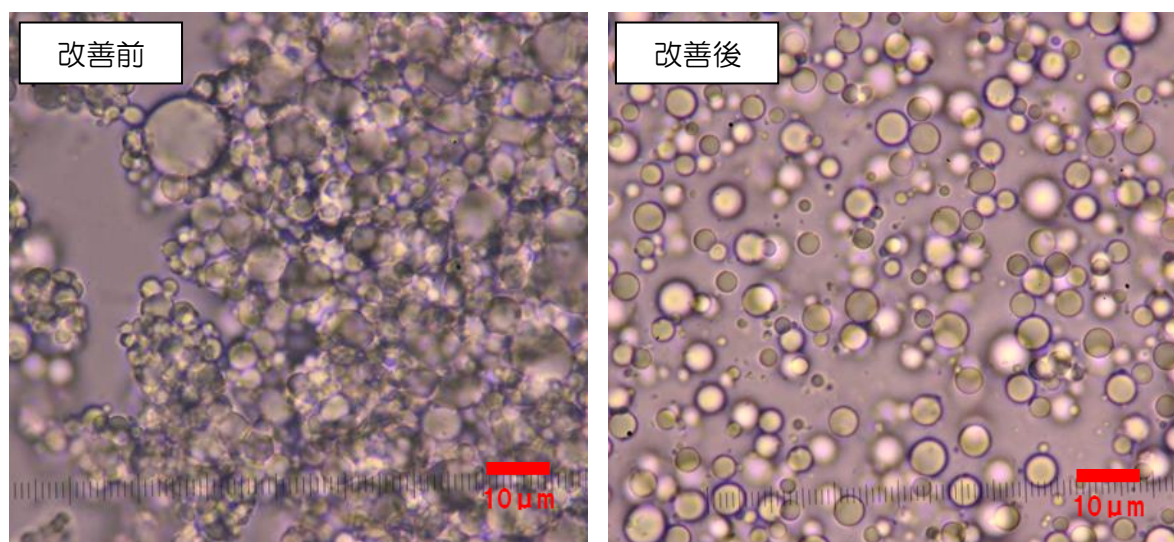


図 2-2-1-2 高圧ホモジナイザー処理方法

2-2-2 保存性向上方法の確立

米糠には多くの微生物が存在しており、適切な殺菌を行わないと保管中に微生物の繁殖により腐敗してしまう。比較的粘度が高い食品においても、高温短時間の殺菌が可能であるスチームインジェクション式加熱殺菌装置を用いて適切に殺菌が行えるか検証を行った。

殺菌条件については、130℃ 30 秒、140℃ 4 秒の処理を行った。その結果、10℃で1ヶ月間保存を行っても菌の増殖は認められず、目標の一般細菌数 300 個/g 以下となり、殺菌の有効性が認められた。

表 2-2-2-1 殺菌処理結果

	殺菌前	130℃30 秒		140℃4 秒		目標値
		殺菌直後	10℃1 カ月 保存後	殺菌直後	10℃1 カ月 保存後	
一般生菌数 (個/g)	3.8×10^5	≤ 300	≤ 300	≤ 300	≤ 300	≤ 300

2-3 新規エマルジョン型炊飯油の優位性検証

試作したエマルジョン型炊飯油の実用性を検証するため、実炊飯ラインにて実証試験を実施した。

実証試験では、おにぎり製品について検証を行った。従来品の油脂の添加量は米に対し 1.6%であるが、これに対しエマルジョン型炊飯油は、これまでの検証結果を基に 0.8%に設定した。なお、油脂以外の添加物、pH 調整剤、米飯改良剤については、通常の製品と同等の炊飯条件にして検証を行った。炊飯の結果、炊飯時の凝集物の発生は認められなかった。しかしながら、コゲについては、従来品は認められなかったのに対し、エマルジョン型炊飯

油を添加した場合、若干コゲが発生した。

おにぎりの計量性については、製造された各おにぎりの1個の重量を測定し、製造されたおにぎりの重量が設定値通りであるかで、計量が良好であるか否かを判断した（設定値 9 4g）。その結果、従来品と顕著な差は認められなかった。よって、従来品に比べ油脂使用量を2/5に低減させても、炊飯油の基本性能を充分満たしているものと判断した。

米飯の保存性については、20℃で3日まで保存した際の米飯の物性を、テンシプレス（タケトモ電機製）による計測で評価した。その結果、両サンプルともに、保存日数が長くなるほど米飯は硬化しており、両者には顕著な差は認められなかった。よって、この度の検証においては、エマルジョン型炊飯油を使用することで、保存性が向上することを確認することができなかった。

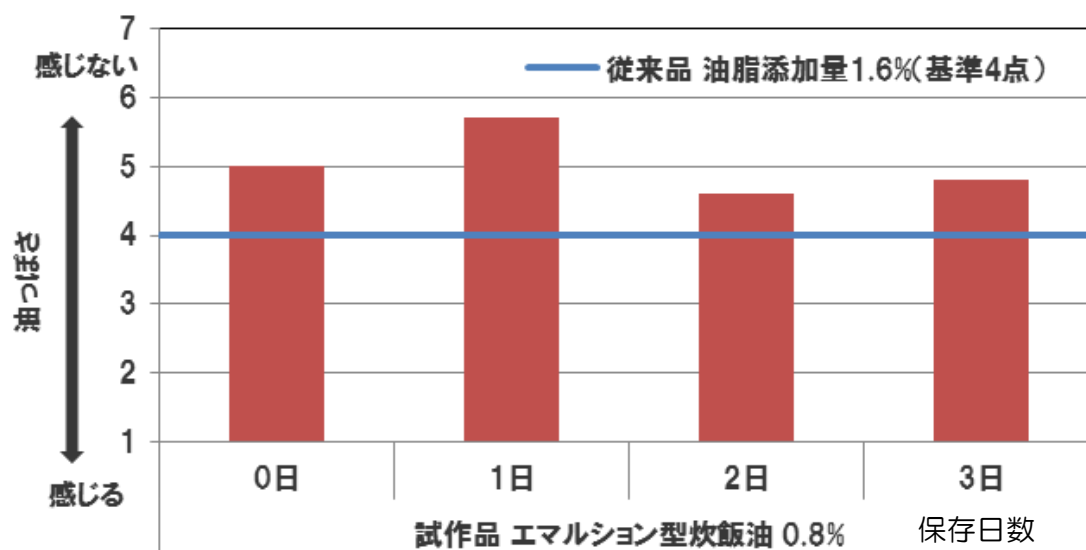


図 2-3-1 エマルジョン型炊飯油の食味評価結果

各おにぎりについて、油っぽさを感じるか否かを官能評価を行った。従来品を基準4点とし7点識別法にて試作品の採点を行った。その結果、従来品に比べ試作品は油っぽさを感じない傾向が認められ、食味が向上することが分かった（図 2-3-1）。

各米飯についての嫌味成分（におい）分析評価を実施した。評価の結果、従来品を添加した米飯と比較し、エマルジョン型炊飯油を添加した米飯の嫌味成分は少なく、エマルジョン型炊飯油を添加しても、食味には影響しないものと推察した（図 2-3-2）。

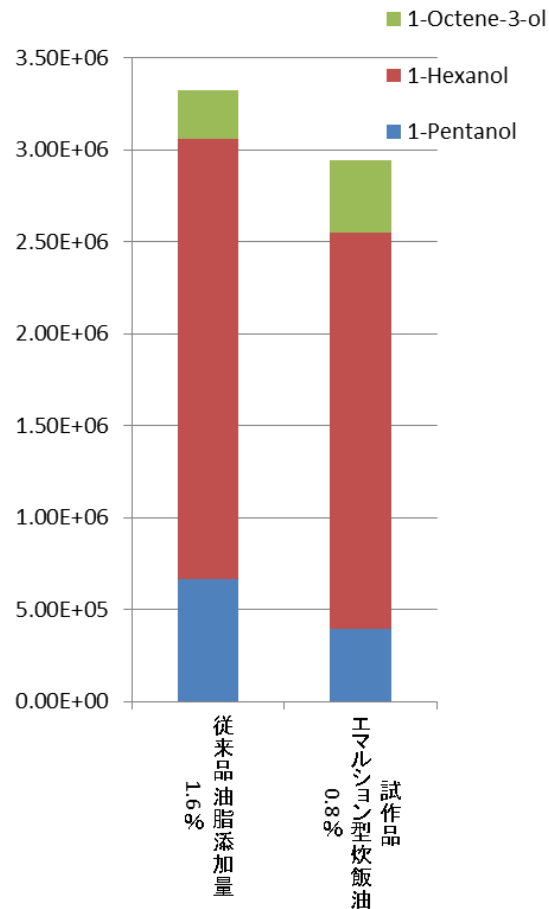


図 2-3-2 エマルジョン型炊飯油の嫌味成分（におい）評価結果

また、最後に川下ユーザーにて、米飯品質評価（官能評価）を行って頂いた結果、出来上がったおにぎりについては、硬さ、ねばりやほぐれ性といった品質については、従来品と同等であると評価された。

実証試験での結果のまとめは次のとおり。

- ① 従来の2／5の油脂添加量※において、従来品と同等、安定したおにぎり計量が行えた。

※高度化目標は従来の1／5の油脂添加量。

- ② 川下ユーザーによる米飯品質の評価結果は、従来製品と同等の品質であるとの評価であった。
- ③ エマルジョン型炊飯油の方が油っぽさを感じないと評価された。
- ④ 米飯の保存性については、従来品と同等であった。

⑤ エマルジョン型炊飯油の添加量が多くなると、若干のコゲが発生する傾向が認められた。

以上の結果より、高度化目標の1／5には至らなかったものの、油脂の使用量を従来の2／5まで油脂を低減させても、従来と同等の米飯品質にすることが可能となり、食味の向上の点では、開発のコンセプトである油っぽさを感じず、お米本来の味を感じるおにぎりを製造することが可能となった。一方、米飯の保存性については、従来品と同等であり、老化抑制による保存性向上効果は認められなかった。

2-4 新規エマルジョン型炊飯油の事業化進捗

2-4-1 商品企画

炊飯油の市場規模について、大手食油メーカー3社へのヒアリングにより調査した結果、市場規模は6,000～7,000 t /年で、その殆どはコンビニエンスストア向け商品の米飯に利用されていると推測された。また、既存炊飯油の市場価格は300 円/kg前後であること、荷姿の主流は斗缶 15kg で、賞味期限は2 年、保管は常温となっている。

3 ヶ年の研究開発で得られた、『天然由来の乳化素材を原料に、油脂添加量を減少（現状

2.0%⇒0.8%)して食味向上させつつ、米飯加工品の製造における計量性、製造ロス等に不具合を生じさせない新規エマルジョン型炊飯油を開発することができた』の成果と、大型炊飯工場の『油脂添加量を減少させ、米本来に食味を感じる米飯加工品を製造したい』というニーズを基に商品企画を考えた。開発品が既存炊飯油と差別化できる点は、①食品添加物不使用、②少量添加で作業性改善、また、③少量添加で作業性改善できるため米飯の食味向上につながる、の3点である。まずは、この既存商品との違いを明確化したコンセプトでの商品化を第一弾として進めたい。

また、開発品は米糠由来の乳化素材を用いること、製品中に水を含むことにより、殺菌した後、無菌充填しないと品質が保たれない。そのため、既存品のように斗缶への充填は難しく、バッグインボックスへ無菌充填することとなる。

2-4-2 プラント構想設計

前述の図 2-1-8-4 に示した基本製造フローを実現するため、エマルジョン型炊飯油と同様、乳化食品である乳製品についての基本的な製造工程や使用機械についての調査、また、機械メーカーへの見学、ヒアリングを行い新規エマルジョン型炊飯油製造プラントについての構想設計を行った。

2-4-3 コスト試算

図 2-1-8-4 に示した基本製造フローから得られた新規エマルジョン型炊飯油の出来高である米糠 1 kgあたり 4.85 kgを基に、生産能力：5 t /日、年間生産量：1,250 t /年、設備投資（概算値/建物除く）：400 百万円、人件費：17.5 百万円/5 名/年、製品荷姿：バッグインボックス、内容量：10 kgを前提とし、製造原価を試算した結果、183 円/kgとなった（表 2-4-3-1）。

表 2-4-3-1 新型エマルジョン型炊飯油の製造原価

科 目	計算式	計算値	備 考
変動費	①	159.7 百万円	・米糠、酵素、食油、水、酸化防止剤 水道光熱費の計
固定費	②	57.5 百万円	・原価償却費、人件費の計(営業費含まず)
製品出来高	③	118.750 パック	・内容量:10kg、荷姿:バグインボックス
製造原価	$(①+②)/③=$ ④	1,829 円/10kg	
	④/10kg	183 円/kg	

また、2-4-1 に示した既存炊飯油の市場価格 300 円/kgと、2-3 に示した実炊飯ラインでの実証試験での既存炊飯油添加率 1.6%を基に、既存炊飯油を用いて炊飯をする場合の 1 釜あたりに炊飯油コストを試算すると 28.8 円/釜と試算された。

一方、新規エマルジョン型炊飯油を大型炊飯工場で利用していただく前提として、コストアップは許容されないため、新規エマルジョン型炊飯油を添加率 0.8%で炊飯した場合に 1 釜あたりの炊飯油コストが既存炊飯油と同等になる単価を試算した結果 270 円/kgとなり、これが最低クリアすべき販売単価となると把握した(表 2-4-3-2)。また、この最低クリアすべき販売単価である 270 円/kgと、試算した製造原価 183 円/kgから売上総利益は 87 円/kg(売上総利益率 32.2%)となった。

表 2-4-3-2 新規エマルジョン型炊飯油の最低クリアすべき販売単価

	炊飯油単価	1 釜あたり 炊飯油添加量	1 釜あたり 炊飯油コスト
既存炊飯油	300 円/kg	96.0g	28.8 円
新規エマルジョン型炊飯油	270 円/kg	106.7g	28.8 円

※ 1 釜 6kg 炊飯で試算した。

以上を基に、損益分岐点売上高を試算した結果を表 2-4-3-3 に示した。損益分岐点売上高は 208 百万円で、最低限確保すべき販売数量は約 7,7000 パック(771 t 分)と試算された。

また、限界利益率は 46.1%、儲けの安定性を判断する指標である損益分岐点操業度は 64.9%となり、限界利益率を高める努力が必要であることが分かった。

表 2-4-3-3 限界利益率、損益分岐点売上高、損益分岐点操業度

科 目	計 算 値	備 考
年間売上高	320.6 百万円	・ 製品価格 2,700 円/10kg
変動費	172.7 百万円	・ 支払運賃含む
固定費	96.0 百万円	・ 販売管理費含む
限界利益	147.9 百万円	
限界利益率	46.1%	・ 製造業目標値 50%以上
損益分岐点売上高	208.1 百万円	・ 製品 77,062 パック分 (771t 相当)
損益分岐点操業度	64.9%	・ 製造業目標値 70%以下

表 2-4-3-4 には変動費と固定費のコスト内訳を示した。食油代、減価償却費、アセプチックバック代で全体の 8 割強を占めていた。食油代の占める割合が大きいのは主原料であることに起因するが、現状の製造方法では製造過程で除去する副産物に食油が移行しロスになっていることが確認できているため、製造方法の見直しによりコスト削減をしたい。次いで減価償却費（設備投資額）に係る費用が大きい。今後、プラント構成、製造方法の見直しにより設備投資額を抑え、利益確保する必要があることが分かった。

以上より、本研究開発での成果物である新規エマルジョン型炊飯油を、大型炊飯工場でコストアップせずに利用していただき、また、製造する立場においても無理ない事業化を進めるための必要な課題を抽出することができた。

表 2-4-3-4 変動費、固定費のコスト内訳

コスト区分	科目	コスト割合
変動費	米糠代	2.4%
	酵素代	3.2%
	食油代	51.1%
	水代	2.1%
	酸化防止剤代	0.1%
	アセプティックバック代	13.7%
	外層ダンボール代	0.3%
	水道光熱費	0.7%
固定費	減価償却費	18.4%
	人件費	8.1%

最終章 全体総括

3-1 研究開発の成果

- ◆ 本補助事業で確立すべき基盤技術が確立できた。
- ◆ 確立した基盤技術に基づく事業化について確かな見通しが得られた。

<高度化目標に対する成果>

米糠より乳化能を有する成分を分離し、これを利用した「新規エマルジョン型炊飯油」を開発できた。

目標① 油脂使用量を現状の 1/5 に低減することを可能にする。

⇒ 油脂使用量を現状の 2/5 にまで低減することが可能となり、油脂使用量を低減さ

せても、従来製品と同等レベルの品質であった。

目標② 現状よりも食味を向上させ、保存性も 25%向上させる。

⇒ 油脂使用量を低減させつことで、油っぽさがなく米飯の本来の食味が維持でき、食味を向上させることができるエマルジョン型炊飯油を製造することができた。一方、保存性の向上については、その効果が確認できなかった。

3-2 今後の課題及び解決策

三年間の研究において開発したエマルジョン型炊飯油について、高度化目標として掲げた油脂使用量の低下に関しては、概ね成果を得ることができたが、エマルジョン型炊飯油の事業化に向けて、以下にあげる課題が残存した。

課題 1 エマルジョン型炊飯油の乳化安定性の向上

⇒ 乳化安定性については、冷蔵にて3カ月の保存性を目標としているが、加熱殺菌時の乳化の崩れや、保存中の若干の離水といった課題が残存している。

課題 2 老化抑制による保存性の向上

⇒ 油脂使用量を低減させることにより、米飯の老化が抑制され、保存性が向上すると仮説をたてたが、その効果を確認することができなかった。

課題3 炊飯時のコゲの抑制

⇒ 実証試験にてエマルジョン型炊飯油を添加することにより若干のコゲが発生した。

課題4 コスト削減

⇒ 従来品と比較し製造コストが高く、採算性が悪い。

これら課題について、次の対策での克服を考えている。

課題1 エマルジョン型炊飯油の乳化安定性の向上

乳化安定性の向上については、水中油滴の分散性を良くするため天然系の乳化補助剤の利用や、蛋白質の酵素反応の諸条件の見直し、分離濃縮工程や加熱殺菌の諸条件の見直しを手段に考えている。

課題2 老化抑制による保存性の向上

保存性向上については、エマルジョン型炊飯油の釜内分散性による影響が高いため、①の課題の克服が鍵である。

課題3 炊飯時のコゲの抑制

分離濃縮工程を改良することにより、コゲの発生原因となっているアミノ酸、あるいは糖類を適度に取り除くことができると考えている。

課題4 コスト削減

2-1-2にて、エマルジョン型炊飯油の基本製造フローを構築したが、イニシャルコストの負担が大きいため、各工程について他手段によりもっと安価で簡易に行える方法はないか、各工程の諸条件の効果とコストの関係性を把握し、工程のシンプル化によるコスト削減を行う。

3-3 事業化展開について

表 3-3-1 に平成 30 年度以降の事業化スケジュールを示す。

平成 30 年度は、3-2 に示した残された課題を解決するための技術検討を進めつつ、同年 12 月を目途に設備投資計画、事業化計画をまとめたい。また、同年 6 月を目途に知財戦略の準備としての特許出願を考えている。

平成 31 年度は工場建設に着工しつつ、委託製造で、試験出荷することも検討し実行したい。

本格的な販売は、平成 32 年以降となるが、まずは川下メーカーにて利用してもらうためのアプローチをし、平成 34 年度の全国販売を目指す。

また、食協精米工場で発生する米糠で製造できる新規エマルジョン型炊飯油の MAX 生産量は、概ね 2,400 t /年と試算しているため、平成 33 年度には他地区での生産を検討し、自社第二工場の建築、或いはライセンスビジネスの展開により、目標販売数量の 3,600 t の確保をする。

表 3-3-1 事業化スケジュール

平成30年度	平成31年度	平成32年度	平成33年度	平成34年度
◆ 知財戦略 ◆ 特許権出願 → 特許権等登録 ◆ 川下産業からの評価 ◆ 追加研究 → 実用性評価 → ◆ 生産体制の整備 ◆ 設備投資 → ◆ 新規エマルジョン型炊飯油の販売展開 ◆ * 一部製造委託による試験出荷も検討			他社への通常実施権の許諾 <u>ライセンスビジネス</u> 生産量UP →	
		(西日本)		(全国)
	試験出荷 →	販売拡大 →	販売拡大 →	
売上高 (千円)		32,400	324,000	972,000
販売数量 (トン)		120	1,200	3,600

以上