●特集 食品産業と膜技術

疎水性膜を用いた廃棄食用油脂の再生技術の開発

宮城 淳¹⁾*・鍋谷浩志²⁾・中嶋光敏²⁾

1) 千葉県産業支援技術研究所食品化学部 〒264-0017 千葉県千葉市若葉区加曽利町889

2) 食品総合研究所食品工学部 〒305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-12

Regeneration of Used Frying Oil Using Hydrophobic Membrane Process

Atsushi Miyagi¹⁾*, Hiroshi Nabetani²⁾ and Mitsutoshi Nakajima²⁾

1) Industrial Research Institute of Chiba Prefecture, 889 Kasoricho, Wakabaku, Chiba 264-0017, Japan

2) National Food Research Institute, 2-1-12 Kannondai, Tsukuba 305-8642, Japan

A study was carried out to improve the quality of used frying oils and to assess the feasibility of recycling as edible oils using a membrane process. Experiments were conducted with used frying oils in a flat membrane batch cell using hydrophobic polymeric membranes. NTGS-2200 membrane, nonporous denser membrane, improved the color and viscosity of the used frying oil to the extent of fresh oil, and also reduced the total polar materials and oxidation products, which normally lead to the deterioration of frying oils. The membrane process was effective for improving the overall quality. Transport mechanism in the membrane is mainly controlled by solution-diffusion effect. Preferential permeation constituents in the membrane would be more non-polar and small-size constituents. The permeate flux must be improved for commercial application.

Key words : used frying oil / hydrophobic nonporous membrane / total polar material / recycling / solution-diffusion effect

1. はじめに

近年, 廃棄物の処理や再利用が注目されており, 使用済み食用油脂 (以下廃食油と記す) の有効利

用もその課題の一つである。日本での廃食油発生量は約40万トンと推定されている¹⁾。

廃食油は回収されると焼入油, 脂肪酸, 肥料や飼料として再利用される²⁾。また近年は, 廃食油をバイオディーゼル燃料として再生し実用化している例もある³⁾。しかし, 国内における廃食油の全体的な再利用状況は, 海外からの低価格の油脂

* Corresponding Author

Tel : 043-231-4346 Fax : 043-233-4861

E-mail :

Fig. 1 Membrane apparatus and operating condition.

により経済的に不利な状況であり、更に、再利用率も品質面等の問題が指摘されている（例えばバイオディーゼル燃料は軽油と比べ流動点が高い等の欠点が指摘されている³⁾）。従って、再利用されず、廃棄処分されている廃食油も相当量発生しており、食料資源の有効利用や環境保全の面から考慮すべき課題になっている。

通常フライ油は、色や泡立ち、油ぎれの悪さ（粘度）を目安にして廃棄する場合が多い⁴⁾が、これは外見上の問題であって、実際には、廃食油の劣化の程度はそれほど大きくないことが多い。また外食産業からの廃食油も、出所によって劣化度が違うが、簡単な処理で食用油脂として再利用できる可能性がある。

廃食油を処理して食用油脂を再生する方法は種々考案され、その劣化程度によってはアルカリ洗い、白土処理または活性炭処理などを一部の業者が専門に行っている²⁾。前者の方法は遊離脂肪酸の生成等により著しく上昇したフライ油の酸価を下げるものであり、油脂精製における脱酸法を応用した例である²⁾。後者の方法は特に脱色効果がある。また、脱酸法に関しては、酸化マグネシウム⁵⁾や水酸化アルミニウム⁶⁾等の各種吸着剤を用いた方法も検討されている。しかし、これらの方法では廃食油の一部の劣化成分の除去しか効果はなく、全体的な改善効果は期待できない。筆者

らは、シリカゲルを主成分とした吸着法を用いると廃食油の極性物質や酸化生成物等を除去でき、廃食油の全体的な品質改善が実現できることを報告した⁷⁾。しかし、吸着法では使用済み吸着剤の処理、劣化成分の処理量の増加による吸着能力の低下等の問題が存在する。

一方、膜分離法は熱エネルギー等を必要とせず

穏やかな操作条件で分離精製ができる特長をもち、廃化学薬品等の二次的な廃棄物も生じない環境に優しい方法である。したがって、天然油脂工業における油脂精製にこの技術の応用を試みる動きも出ており、いくつかの研究成果も上げられている。例えば、限外ろ過膜を用いヘキサン中の油脂から脱ガムを試みた報告⁸⁻¹⁰⁾や、孔径0.05 - 1.0 μm 程度の精密ろ過膜を用い、粗油に少量の水分等を添加することにより脱ガム効率の向上を試みた報告¹¹⁾、植物油から脱酸を試みた報告^{12, 13)}等がある。また最近では、疎水性非多孔質膜を用い、植物油の粗油について事前に有機溶媒に溶解する等の前処理なしに膜処理を試みた報告もある¹⁴⁻¹⁶⁾。膜分離技術の油脂工業への応用に関しては、Snape & Nakajimaの詳しい総説¹⁷⁾がある。

以上の背景の下で、筆者らは膜分離技術を廃食油の品質改善に応用できないかと考え、新しい食用油脂再生技術を確立することを目的として、廃食油の膜分離法について検討を行った¹⁸⁻²⁰⁾。

2. 膜の選択試験

本研究では、最初に膜のスクリーニングを行った。膜は疎水性多孔質膜としてNTF-52005（日東電工(株)製）、MPF-60（Kock Membrane System社製）、疎水性非多孔質膜の代表としてNTGS-2200

Fig. 2 Color improvements of used frying oils with the membrane and activated carbon processes.

(日東電工(株)製)の計3種類を用いた。NTF-52005はフッ素樹脂製で孔径 $0.05\ \mu\text{m}$ の精密ろ過レベルの膜、MPF-60は分画分子量が400のナノろ過レベルのポリスルフォン-ポリアクリロニトリル複合膜である。NTGS-2200(以下NTGS膜と記す)はヘキサン蒸気回収などのガス分離膜として使用され、構造としてはポリイミドを支持体として、シリコンを活性層とした複合膜である。

膜の選択試験では、外食産業や家庭で使用済み食用油脂を廃棄処分する判断として、色、粘度を挙げるところが多いことから、これらの改善に最も効果のある膜を選択する試験を行った。

試験装置は、バッチ式テストセル(C70-B型、日東電工(株)製)を用いた(Fig. 1)。

廃食油とその新油、膜処理油(多孔質膜処理油、NTGS膜処理油)、吸着処理の代表として活性炭による処理油の写真をFig. 2に示した。多孔質膜処理油はNTF-52005膜処理油について示しているが、MPF-60膜処理油でもNTF-52005膜処理油と同様にほとんど脱色効果はなかった。一方、NTGS膜処理油は新油と同程度まで脱色されてい

る。活性炭処理油はある程度の脱色効果は認められるものの、NTGS膜処理油ほどの効果は認められなかった。

また、粘度に関しても、多孔質膜処理油では廃食油とほとんど変わらず改善効果は認められなかったが、NTGS膜処理油は新油の値と同程度まで減少し、改善効果が認められた。

以上、膜の選択試験よりNTGS膜を選択し、その膜処理油の詳細な検討を行った。

3. NTGS膜による廃食油改善効果

3.1 実験方法

膜分離試験はテストセルに100 gの廃食油を入れ、透過油量73 - 79 gを得た。操作条件は、温度と操作圧力(窒素加圧による)をそれぞれ25 - 40℃および2 - 5 MPaとした。濃度分極を防ぐために膜近傍で攪拌子により攪拌速度500 rpmに保ちながら操作を行った(Fig. 1)。

分析は、極性物質(TPM)、酸化生成物(TOTOX)、25℃における粘度、色調(460 nmに

Table 1 Properties of used, fresh frying oils and NTGS-2200 processed oil^a

	TPM (%)	TOTOX (-)	Viscosity (25°C) (mPa s)	Abs (460nm) (-)	FFA (%)	IV (-)	Phosphatidies (mg/kg)	TN (mg/kg)	I.T. (h)
Used frying oil	11.0	113	55.6	1.67	0.81	129	121	160	10.2
Fresh frying oil	2.5	2	48.4	0.15	0.04	125	-	-	19.2
NTGS-2200 processed oil ^b	6.9	83	48.3	0.15	0.91	127	26	82	8.1

^aTPM: total polar materials, TOTOX: oxidation products, Abs: absorbance, FFA: free fatty acids, IV: iodine value,

TN: total nitrogen compounds, I.T.: induction time (index for oil stability)

^boperating condition; temperature: 40°C, pressure: 4 MPa

おけるAbs値), 遊離脂肪酸 (FFA), ヨウ素価 (IV), リン脂質, 窒素分 (TN) を測定した. また, 酸化安定性の指針として, 679 Rancimat 油脂自動酸化安定性測定装置 (Metrohm 社製, Switzerland) を用い, 温度95°C, 空気流量20L/hにおける誘導時間 (I.T.) を求めた. I.T.が長いほど, 酸化されにくい油脂と考えられる.

3.2 各分析項目の意義

油脂の劣化状態を把握できる最も信頼のおける測定項目は, TPMである²¹⁾. TPMは油脂の主成分であるトリグリセリド以外の成分を示し, 着色成分や分解・重合物, 酸化生成物等, フライ料理の品質に悪影響を与える化合物や, 油脂の使用可能時間に直接影響を及ぼす化合物をすべて含み, 多くの使用条件に対し料理の品質を決定する良好なパラメータであると報告²²⁾ されている.

過酸化価 (POV) として見積もられる一次酸化生成物は新油や油脂酸化の初期段階のフライ油にしか評価できないが, アニシジン価 (An.V) として見積もられる二次酸化生成物をあわせて考慮すれば, 酸化履歴による劣化状態を把握することができる. TOTOX (2POV+An.V) は, 全体的な酸化生成物を定量化するための値として考えられる²³⁾. 過酸化物をはじめとする酸化生成物は, 身体に様々な有害な作用を引き起こすといわれている²⁴⁾.

色調に関しては, 様々な国々での規制でフライ油を廃棄する官能的な基準として規定している²⁵⁾. また, 多くの人が色を油脂の廃棄目安とし

ている. 粘度上昇は油脂中に重合物が生成していることを示すだけでなく, 泡立ちの原因としても考えられる²⁶⁾.

FFAは酸価 (AV) として表すこともあり, 油脂の加水分解の進行状態を示すものである. フライ食品の表面に付着した油のFFAは, 酸素の吸着を促進し, このことがフライ食品の「におい」のもとになることがある²²⁾.

IVは, 油脂不飽和度の指針となり, 一般的に値が高いほど酸化されやすい性質を持つ. リン脂質は, 着色やフライ中の泡立ち²⁶⁾ の原因となる. 窒素分 (TN) は, 肉や魚等から溶出したアミノ酸, タンパク質, リン脂質等の窒素含有物質総量の指針となる. これらは主に, 油脂が褐色に着色する原因と考えられる²⁷⁾.

3.3 NTGS膜透過油の評価

廃食油, 新油, NTGS膜透過油 (操作条件: 温度40°C, 圧力4 MPa) の分析値をTable 1に示す. NTGS膜透過油の性状は操作条件によらずほぼTable 1の分析値を示し, 廃食油の性状と比べ, TPM, TOTOX, 粘度, リン脂質, TNが減少した. 従って, NTGS膜分離法は, 脱色効果, 重合物, 酸化生成物除去効果を含め, 廃食油の全体的な品質を改善することが明らかになった. また, IVは変化せず, NTGS膜分離によりトリグリセリド自体の変化 (油脂の本質的変化) はほとんどないと考えられた. 更に, R. Subramanianらの研究で, NTGS膜は, 抗酸化剤として重要な大豆油等に含まれるトコフェロールを透過側に濃縮することを

Fig. 3 NTGS membrane separation mechanism.

報告している¹⁵⁾。一方、NTGS膜分離法の問題点も明らかになり、FFAの透過、油脂の酸化安定性の低下が挙げられた。

4. NTGS膜の分離メカニズム

NTGS膜の基本的分離メカニズムについてはSubramanianらが詳しく検討している²⁸⁾。その報告を参考にして本研究における分離特性について考察した。

NTGS膜のような、材質密度の高い活性層をもつ非多孔質膜を用いた膜分離においては、基本的に溶解拡散機能で分離するものと考えられている²⁹⁾。溶解拡散機能で分離する時の透過流束、 J は、次式で表される³⁰⁾。

$$J = D \cdot S \cdot \Delta P / \Delta x = P_m \cdot \Delta P / \Delta x \quad (1)$$

$$P_m = D \cdot S \quad (2)$$

ここで D は拡散係数、 S は目的物質が膜に溶解する際の溶解度係数、 ΔP は操作圧力、 Δx は膜(活性層)の厚さ、 P_m は透過係数である。(1)、(2)式より、NTGS膜の透過性は操作圧力、膜厚、

目的物質のNTGS膜に対する溶解度、拡散度により決定される。

溶解度は、膜材質と溶解物質との親和性により決定される。前述した実験結果をまとめてみると (Fig. 3)、酸化生成物、着色物質(リン脂質、窒素化合物)、高分子物質等の極性的物質を阻止する傾向があり、トリグリセリド、脂肪酸、トコフェロール等の非極性的物質を選択的に透過させる傾向があった。これは、NTGS膜は疎水性膜なので、疎水性の性質をもった物質との親和性がより高く、膜への溶解度がより高いためと考えられる。また、高分子物質、リン脂質等の分離については、極性

度による溶解性の要因の他に、後述する分子量(分子サイズ)による拡散性の要因が加わる。

更に溶解度は、格子孔理論を基礎にしたgroup-contribution lattice-fluid equation of state (GCLF-EOS) モデルで予測することができる³¹⁾。このモデルをもとにした、シリコンゴムと同一のものであるポリジメチルシロキサン (PDMS) に対する溶解度の予測データによると、オレイン酸 > α -トコフェロール > トリグリセリドの順である。25℃でのオレイン酸と α -トコフェロールのPDMSに対する溶解度はトリグリセリドのPDMSに対する溶解度と比べそれぞれ、約35倍、約10倍高いと、このモデルでは予測している。FFAやトコフェロールが、NTGS膜分離により透過側に濃縮する理由は、これらの物質がトリグリセリドより(膜の材質である)シリコン樹脂に溶解しやすいためと考えられる。またこのモデルによると、温度の上昇によりトリグリセリドのPDMSへの溶解度も上昇すると予測している。

Wilke & Chang³²⁾により報告された拡散係数の推算式によると、次式のように、拡散係数(D)は温度(T)と正の一次関係にあると表現されている。

Table 2 Outline of transport mechanism in the NTGS-2200 membrane

基本的輸送メカニズム：膜中での溶解拡散機構

基本式： $J = P_m (\Delta P / \Delta x)$, $P_m = S D$

変動要因	溶解への影響	拡散への影響
極性度	疎水性物質の方が膜に溶解しやすい	
温度	温度が高い方が膜への溶解度が高くなる (GCLF-EOS モデルでの予測)	温度が高くなると拡散係数が高くなる (Wilke-Chang による推算式)
GGLF-EOS モデル	溶解度の予測 脂肪酸 > トコフェロール > トリグリセリド	
分子サイズ		分子サイズが小さい程大きな拡散係数を示す (Arnold による推算式)
粘度		粘度の低い方が拡散係数は大きくなる (Wilke による推算式)

$$D = 2.95 \times 10^{-11} ((\chi M_B)^{0.5} T) / (\mu_B V_A^{0.6}) \quad (3)$$

ここで、 χ は会合係数、 M_B は溶媒成分Bの分子量、 μ_B は溶媒成分Bの粘度、 V_A は溶質Aの沸点におけるモル分子容である。従って、温度は溶解性と拡散性の両方に影響を与え、透過流束に相乗的な影響を与える。

また、Arnoldの推算式によれば³³⁾、より小さな分子量の拡散物質の方がより大きな拡散係数を示す傾向があることを示している。

$$D = (\beta (1/M_A + 1/M_B)^{0.5}) / (K_A K_B \mu_B^{0.5} (V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2) \quad (4)$$

ここで、 M_A および M_B はそれぞれ溶質A、溶媒Bの分子量、 V_A および V_B はそれぞれ溶質A、溶媒Bの沸点分子容、 K_A および K_B は溶質Aおよび溶媒Bの異常性から来る補正係数、 β は実験的に求められる係数である。

以上のように、NTGS膜による高分子物質の除去効果は、その拡散性が大きな影響を与えているものと考えられる。また Subramanian ら³⁴⁾ は、リン脂質のNTGS膜による除去効果について、臨界ミセル濃度 (cmc) 以上の濃度の時は、ミセルの大きさが影響すると報告している。

Wilke³⁵⁾ は、拡散係数 (D)、温度 (T)、粘度 (μ) との関係は、次式で表わされると報告している。

$$F = T / (D \mu) \quad (5)$$

ここで、F は diffusion factor とよび、系が同一ならばほぼ一定値を示す。従って温度が一定なら、粘度と拡散係数は反比例の関係

にあり、粘度が下がれば拡散係数は増加する関係にある。従って、粘度もNTGS膜分離透過性に大きな影響を与えと考えられる。

以上、NTGS膜の分離メカニズムについてまとめた表をTable 2に示す。

5. NTGS膜分離法の課題

廃食油再生におけるNTGS膜分離法の問題点としては低い透過流束、酸化安定性の低下、FFAの透過の3点が挙げられた。

NTGS膜分離における透過流束は100 g/(m² h)程度で非常に小さく、実用化を目指す上で最も大きな課題になっている。そこで、筆者らは、廃食油にヘキサンを混合させて試験を行ったところ、ヘキサンを混合しないとときと比べ、10倍以上の油脂自体の透過流束の向上が見られた²⁰⁾。しかし、ヘキサンを混合すると、膜分離工程後にヘキサン除去の工程も必要になり、膜分離法の特長である「単一工程で処理できる」メリットが薄らいでし

・従来法

・NTGS膜分離法

Fig. 4 Comparison of conventional and membrane purified processes for crude oil.

まう。根本的な解決には、膜の改良開発が必要である。

膜処理油の酸化安定性低下の一つの原因は、廃食油に含まれる褐色成分（おそらくメラノイジンに類するもの）やリン脂質等が抗酸化剤やそのシナージスとして知られ³⁶⁾、NTGS膜分離によってこれらの着色成分を阻止するためであると推定される。しかし、処理油にビタミンE等の抗酸化剤を添加すれば、この問題はある程度解決できる。

FFAに関しては、廃食油中のその値が著しく高い場合には、膜分離工程の後に脱酸工程（例えば酸化マグネシウムの吸着工程等）が必要になるかと思われる。

6. NTGS膜分離法の応用

NTGS膜は極性物質を阻止する性質を利用して様々な分野に応用できるものと考えられる。

従来行われている植物油の粗油精製工程をFig. 4に示す。Fig. 4のとおり従来の粗油精製は複雑なプロセスで、それに伴い大量の化学薬品やエネルギーを必要とする。Subramanianらは粗油精製にNTGS膜分離法を試みた¹⁵⁾。その結果、粗油の著しい脱ガム、脱色効果等を示し、このことは粗油から精製油の製造をたった1段のプロセスで解決できるという可能性を示唆している（Fig. 4）。ただし、NTGS膜分離法には脱酸効果はないので、粗油の酸価が高い場合には別に脱酸

工程が必要になるものと思われる。

また、筆者らは現在、NTGS膜分離を応用した廃食油の工業用脂肪酸再生法について研究を行っている。すなわち、単に廃食油を脂肪酸に再生すると、廃食油由来の着色が著しい。そこで、NTGS膜分離工程を追加すると、脱色された脂肪酸が再生され、これはJIS規格の工業用脂肪酸にほぼ合致する品質であることが分かった。

さらに、NTGS膜は石油の精製や各種廃オイルの再生等、石油化学関連への応用も期待される。

7. おわりに

筆者らは廃食油を簡単な処理で食用油脂として再生する技術の確立を目指し、膜分離法による試みを行った。その結果、疎水性非多孔質膜であるNTGS膜を用いれば、色や粘度は新油の品質に匹敵するほどに改善し、さらに酸化生成物等の極性物質も除去することができ廃食油の全体的な品質改善もされることも分かった。したがって、NTGS膜分離法は、廃食油再生に有用な方法であることが明らかになったが、透過流束等の問題が残った。

しかし、NTGS膜は極性物質を阻止する基本的な性質があるため、粗油の精製や石油化学関連等様々な分野に応用展開できるものと考えられる。また、膜の改良により透過流束の向上が実現されれば、粘度の高い物質への利用も可能になり、さらなる応用展開が期待できる。

最後に、膜を御提供いただいた日東電工マテックス(株)に謝意を表します。

文 献

- 1) 薄木理一郎：油化学, **42** 885-892 (1993)
- 2) 太田静行, 湯木悦二：「フライ食品の理論と実際」, p 373-411, 幸書房 (1994)
- 3) 油脂, **47** 20-27 (1994)
- 4) 太田静行：油化学, **34** 518-529 (1985)
- 5) Hoover EF: U.S.patent 3, 231, 390 (1966)
- 6) 湯木悦二, 広瀬 徹：油化学, **23** 296-300 (1974)

- 7) Miyagi A, Nakajima M : *J. Am. Oil Chem Soc.*, **80** 91-96 (2003)
- 8) Gupta AKS : U. S. patent 4, 062, 882 (1977)
- 9) Iwama A : *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **64** 1258 (1987)
- 10) Lin N, Rhee KC, Koseoglu SS : *J. Membrane Sci.*, **134** 101-108 (1997)
- 11) Subramanian R, Nakajima M, Yasui A, Nabetani H, Kimura T, Maekawa T : *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **76** 1247-1253 (1999)
- 12) Raman LP, Cheryan M, Rajagopalan N : *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **73** 219-224 (1996)
- 13) Krishna Kumar NS, Bhowmick DN : *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **73** 399-401 (1996)
- 14) Subramanian R, Nakajima M : *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **74** 971-975 (1997)
- 15) Subramanian R, Nakajima M, Kawakatsu T : *J. Food Eng.*, **38** 41-56 (1998)
- 16) Subramanian R, Nakajima M, Kimura T, Maekawa T : *Food Res. Int.*, **31** 587-593 (1998b)
- 17) Snape JB, Nakajima M : *J. Food Eng.*, **30** 1-41 (1996)
- 18) 宮城 淳, 中嶋光敏, 鍋谷浩志 : 油化学, **49** 237-244 (2000)
- 19) Miyagi A, Nakajima M, Nabetani H, Subramanian R : *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, **103** 208-215 (2001)
- 20) Miyagi A, Nakajima M : *J. Am. Oil Chem Soc.*, **80** 927-932 (2003)
- 21) Fritsch CW : *J. Am. Oil Chem Soc.*, **58** 272-274 (1981)
- 22) Blumenthal MM : "Bailey's Industrial Oil and Fat Products", Vol. 3, 5th edn, Hui YH, ed., p. 429-481, John Wiley & Sons Inc., New York (1996)
- 23) AOCS : *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society*, 5th edn., method Cg 3-91, AOCS press, IL (1994)
- 24) Viora P, Bianchi A : "Frying of Food, Principles, Changes, New Approaches", Varela G, Bender AE, Morton ID, eds., p. 129, Ellis Horwood, Chichester, England (1988)
- 25) Firestone D, Stier RF, Blumenthal MM : *Food Technology*, **45**, 90-94 (1991)
- 26) 太田静行, 湯木悦二 : 「フライ食品の理論と実際」, p. 22-145, 幸書房 (1994)
- 27) 加藤博通 : 「食品の変色の化学」, 木村 進, 中林敏郎, 加藤博通編, p. 326, 光琳 (1995)
- 28) Subramanian R, Raghavarao KSMS, Nabetani H, Nakajima M, Kimura T, Maekawa T : *J. Membrane Sci.*, **187** 57-69 (2001)
- 29) Mulder MHV : *Membranes of Bioprocessing; Theory and Applications*, Howell JA, Sanchez V, Field RW, eds, p. 210-415, Chapman and Hall, London (1993)
- 30) Humphrey JL, Keller GE, : *Separation Process Technology*, p.225-287, McGraw-Hill, New York (1997)
- 31) Lee BC, Danner RP : *AIChE J.*, **42** 837-849 (1996)
- 32) Wilke CR, Chang P : *AIChE J.*, **1** 264-270 (1955)
- 33) Arnold JH : *J. Am. Chem. Soc.*, **52** 3937-3955 (1930)
- 34) Subramanian R, Ichikawa S, Nakajima M, Kimura T, Maekawa T : *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, **103** 93-97 (2001)
- 35) Wilke CR : *Chem. Eng. Progress*, **45** 218-224 (1949)
- 36) 藤谷 健 : 「総合油脂科学」, 鹿山 光編, p. 616-628, 恒星社厚生閣 (1989)

(受付2003年10月19日 掲載決定10月22日)

著者略歴

宮城 淳 (みやぎ あつし)

1987年 東京農工大学工学部化学工学科卒業. 同年ミツミ電機株式会社入社.
1991年 千葉県庁入庁工業試験場資源環境課. 1997年 千葉県工業試験場食品課. 2003年 千葉県産業支援技術

研究所食品化学部食品醸造室研究員.

鍋谷浩志 (なべたに ひろし) 巻頭言P. 1に掲載

中嶋光敏 (なかじま みつとし) P. 25に掲載