●特集 食品関連シンポジウム「食の安全と信頼を支え豊かな食生活の実現に貢献する膜技術」

食品産業における膜技術の発展－基礎研究から実用化・普及まで－

渡辺敦夫^{*1)}・鍋谷浩志²⁾

1) 食品膜・分離技術研究会 (MRC) 本部事務局

〒332-0015 埼玉県川口市川口1-1-3-3211

2) 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所 食品工学研究領域 反応分離工学ユニット

〒305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-12

Current Status of Membrane Technology for Food Processing in Japan

Atsuo Watanabe^{*1)} and Hiroshi Nabetani²⁾

1) Membrane & separation Research Circle of Food

1-1-3-3321, Kawaguti, Kawaguchi-Shi 332-0015, Japan

2) Reaction and Separation Eng. Lab., Food Eng. Div., National Food Research Institute

National Agriculture and Food Research Organization

2-1-12, Kan-nondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8642, Japan

In Japan, in April 1970, the application of reverse osmosis in food processing was selected as a subject of a symposium organized by the Japanese Society of Food Science and Technology. This was followed by collaboration by companies, universities and the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries on membrane technology in order to investigate the application of membrane technology in new fields.

In 1982, Membrane Research Association in Food Industry (MRAFI) was founded with a aid by the Ministry of Agriculture, to promote the collaborative research with food companies and membrane companies.

After the final presentations of the results of the research in MRAFI, Membrane & separation Research Circle of Food (MRC) was established by sympathizers of the membrane technologists in industry, government and university.

Main membrane technologies for food processing are categorized into five types; microfiltration (MF), ultrafiltration (UF), nanofiltration (NF), reverse osmosis (RO) and electrodialysis (ED). In these, NF has recently made great advance in regard to its practical use as a new field of membrane separation.

The membrane technology has been investigated for about 40 years in Japan. And it has been steadily coming into practical use in food industry for the improvement of food quality, creation of new food products, separating the constituent parts of functional food, and energy saving.

Key words : membrane / food processing / membrane research circle (MRC) / functional food / new food products

* Corresponding Author

Tel : 048-224-3336

E-mail : mack80wata@uu.em-net.ne.jp

1. はじめに

食品産業で利用されている膜技術には、逆浸透 (Reverse Osmosis, RO), ナノ濾過 (Nanofiltration,

Fig. 1 Flow diagram of infant formula production

NF), 限外濾過 (Ultrafiltration, UF), 精密濾過 (Microfiltration, MF) および電気透析 (Electrodialysis, ED) がある。この内, NFは, ROとUFの中間領域の分離技術として新しい分野への実用化が進められている。ROの実用化例としてはトマト等各種ジュースの濃縮, チーズホエーの濃縮, 卵白の濃縮, NFはチーズホエーの濃縮と脱塩, 醤油の脱色, オリゴ糖の分画, アミノ酸調味液の濃縮と脱塩, UFは各種酵素の精製, 各種ジュースの清澄化, チーズホエーのタンパク濃縮, 加工澱粉の製造, 生酒の製造, 蜂蜜の精製, MFは生ビールの製造, ミネラル水の除菌, 醤油の除菌・清澄化, さらにEDは育児用粉乳の製造 (牛乳・ホエーからの脱塩), 減塩醤油の製造, 海洋深層水の脱塩・食塩の製造等がある。

食品産業における膜技術の実用例等については、「食品膜技術—膜技術利用の手引き—」¹⁾ および「食品膜・分離技術研究会 (Membrane & separation Research Circle of food, 略称MRC)」の発行するMRCニュースをご覧いただきたい。

2. 我が国の食品膜技術開発の経緯

わが国の食品産業における膜技術は、1970年に日本食品工業学会（現在日本食品科学工学会）のシンポジウムの一つのテーマとしてROが取り上げられて以来、食品産業センター（以下、食産センターとする）、九州大学農学部と農水省食品総合研究所（以下、食総研とする）が研究開発をリードしてきた。当時の研究については、食産センター技術研究報告の特集「分離技術」にまとめられている。

食産センターの報告では、UFによる大豆タンパクの分離、ROによる果汁の濃縮と用水処理、澱粉糖製造への膜技術の利用、澱粉および大豆加工排水からの有価成分回収などの研究が行われている。さらに、「膜の保守管理に関する研究」が東京大学と食総研の共同研究として行われている。これは膜の耐熱性・耐薬品性が低かったため膜装置内の洗浄殺菌がうまく行えず、実用化が行き詰まったため、その解決法を見いだす目的で行われたものである。こうした基礎研究を踏まえ、徐々に食品産業界でも膜技術が実用化されていったが実用化の速度は満足できる状態ではなかった。

食総研では1970年代初めから研究を開始し、食産センターの依頼に対応する研究を行うと同時に1977年からは特別研究として、その後大型別枠研究として大学も参加したプロジェクトが進められた。1982年には農水省の助成で食品産業膜利用技術研究組合（以下膜研究組合とする）が設立され6ヶ年間、さらに1988年にハイセパレーション技術研究組合が設立され4ヶ年間活動を行った。

1989年には、産官学の有志により前述したMRCが設立され現在も活発な活動が続けている。膜技術は膜とそれを取りまく分離技術との複合化のなかで新食品・新食品素材の生産や新機能性成分の分離が行われている現状に合わせ、2005年からは膜技術を中心に濾過、遠心分離、クロマト、超臨界抽出、濃縮、乾燥等其他の分離技術を活動範囲に取り込み、技術の複合化・高度化に対応した新たな歩みを始めている。

Fig. 2 Flow diagram of various kinds of soy sauce

3. 食品工業で利用される膜・分離技術の現状

育児用粉乳および醬油の製造工程を Fig. 1 および Fig. 2 に示した。両食品ともに日常生活で普通に見かける食品であるが、極めて多種類の分離技術が利用されていることがわかる。

育児用粉乳の製造では、遠心分離、蒸発濃縮、晶析、乾燥、粉体分離のためのサイクロン等の従来技術に加え、粉乳の組成を母乳に近づけるため ED や NF による脱塩、RO や UF によるホエータンパク質の回収・添加、さらにクロマトや UF によるラクトフェリンの回収・添加等が行われている。

我が国の伝統食品である醬油も压榨、浮上分離、沈降分離、珪藻土濾過等の従来技術に加え、UF や MF によるオリの分離・除菌、さらに ED による減塩醬油の製造、NF による淡色醬油風調味料の製造などが行われている。

このように、食品産業では従来技術に膜技術を組み合わせることにより、

①新しい食品の創造或いは改質および

②新しい機能性成分の分離がはかれる

ようになったことが最近の進歩の特徴と見ることができる。

本稿では食品産業における上記2項目に関する膜技術の新しい応用例を紹介する。

3.1 新しい食品の創造

膜技術を利用した新食品の創造に関しては、

- ①膜技術利用による野菜ジュースの改質および、
- ②無菌化濾過技術を用いたフレッシュ食品の製造技術の進歩が著しい

①に関しては、消費者の健康志向に対応して各種野菜ジュースの消費が伸びているため、さらに安全性と嗜好性を高めるための技術開発が進められている。②に関しては、半導体産業で急速な進歩を遂げたクリーンルーム建設・維持技術の発展と相まって食品加工装置のサニタリー性の改良とセラミック膜モジュールを中心とした耐熱性・耐薬品性の高い膜モジュールの開発により、本技術が広く利用されるようになってきた。

3.1.1 野菜ジュースの改質

3.1.1.1 ED によるジュースの改質³⁾

近年、健康志向が強まり野菜ジュースから栄養成分を摂取する傾向が強まっている。キャロットジュースはビタミンAやカロテンを多く含むので、他の野菜ジュースのベースとして利用されるなど用途は広い。キャロットジュースにはミネラル、有機酸、アミノ酸や糖など多くの有効成分が含まれている反面、硝酸イオンや塩化物イオン等のえぐみに関係する成分が含まれている。

特に、硝酸は体内で還元され亜硝酸になること、また、体内で発ガン性のあるニトロソアミンに変化すること考えられ、摂取量を低減することが望ましいのであるが、その濃度は人参では200 ppm、葉菜類は3000 ppm以上になる場合もある。そこで、EDを用いて硝酸イオンをアニオン交換膜により分離する技術が実用化されている。硝酸イオンを400 ppm含むキャロットジュースを50 ppmまで除去した場

合、栄養成分であるカルシウム、糖、有機酸およびアミノ酸糖の保持率は90%以上であるとされている。

3.1.1.2 NFによるジュースの改質⁴⁾

NFは分子量100前後から数1000程度の分離を行う方法である。溶質の分離は、NFを行う間に起こる溶媒と溶質および溶質相互の対流と拡散の関係、膜と溶質の荷電の関係の微妙なバランスに依存していると考えられている。適当なNF膜と操作条件を選択すると硝酸イオンと塩化物イオンをジュースから選択的に分離することができる。

キャロットジュースをNF処理すると、ジュース中に多量に含まれるカリウムイオンが膜を透過するのに伴い、硝酸イオンと塩化物イオンが膜を透過し、両陰イオンが負の阻止率（原液濃度より透過液の濃度の方が高くなる）を示すことがある。この際、2価のミネラル成分、有機酸、糖などの阻止率は90%以上を示し、栄養成分の変化はほとんど無い。また、えぐみが無くなるため嗜好性も向上する。

3.1.2 無菌化濾過によるフレッシュ食品の創造^{5,6)}

膜利用による食品の無菌化（除菌）法を、英語ではSterile Filtrationというが、これを本稿では無菌化濾過と訳すことにする。Sterile Filtrationは、濾過滅菌あるいは濾過殺菌と訳されているものもあるが、濾過により系内から菌を系外に除去することであり、滅菌（菌を滅ぼす）や殺菌（菌を殺す）では意味が異なる。そこで、「無菌化するための、正確には、無菌の状態に近づけるための濾過」と解釈し、これを無菌化濾過の定義とする。

無菌化濾過された液状食品は無菌化された容器にクラス100程度の無菌ブース内で、常温あるいは低温下で充填・密封され製品となる。無菌化濾過と無菌充填法を組み合わせることにより加熱を行わず微生物による品質変化を防止できる食品が製造できる。品質変化はほとんど無く、フレッシュな（天然あるいは生の）風味を保持した保存食品を製造できるので消費者の支持を得ている。

ただし、リンゴジュース等の製造においては酵素的褐変を防止するため酵素を失活させる必要があり加熱が必要な場合もあるが、殺菌ほど熱変性を強く受けない。

無菌化濾過に使用される膜技術には、MFとUFがあり、デッドスペースがなく、衛生管理をしやすい構造の膜装置を使用する必要がある。特に、膜モジュールの耐熱性・耐薬品性および洗浄性の高いものを選択する必要がある。MF膜とUF膜の耐熱性・耐薬品性は以前よりはるかに向上しており、酸やアルカリでの洗浄と100℃程度あるいはそれ以上での加熱殺菌ができる膜モジュールが開発されてきている。

3.1.2.1 ペクチン入り清澄化無菌リンゴジュース等の製造⁷⁾

通常のリンゴジュースは加熱殺菌を経て製造されるため加熱臭が発生し、フレッシュさが失われる。そこで、無菌化濾過技術により、フレッシュな風味を保持したジュースが製造できれば嗜好性は数段向上する。リンゴジュースは、MF処理により清澄化と除菌が行えるが、機能性成分としてのペクチンが分離されてしまう。リンゴペクチンは200万～数万程度の分子量を持つため、高分子ペクチンがダイナミック膜を形成するためペクチンは透過液側に透過しない。そこで、ペクチナーゼによりリンゴペクチンを低温短時間で分子量数十万程度にパーシャル分解し、このペクチンを透過させることによりペクチン入り無菌清澄化ジュースを製造することができる。これにより、搾汁液中のペクチン濃度の50%程度を含む無菌清澄化リンゴジュースが製造できる。

イチゴやメロンは加熱殺菌すると変色しやすく、フレッシュな芳香も弱いためジュースとしての製品が市販されていない。これらについても無菌化濾過と無菌充填法を組み合わせれば、品質の良いジュースが製造できるものと考えられる。

3.1.2.2 生チュウハイ製造⁸⁾

缶チュウハイの消費が伸びている。この内、特に消費が急激に伸びているものに、搾りたてのストレートジュースをMF膜で無菌化濾過し、アルコール、水、炭酸等を加えて調製し、再度無菌化濾過して無菌充填される生チュウハイがある。

3.1.2.3 生姜エキスの製造⁹⁾

生姜をおろした汁をMF処理すると、除菌と清澄化が行える。根菜類のおろし汁は耐熱芽胞菌が混入するので、フレッシュさを保った状態で食品素材化することが難しかったが、無菌化濾過によりそれが可能になった。ガーリックやオニオン等のおろし汁の食品素材化も本方法により可能になると考えられる。

3.1.2.4 醤油の無菌化濾過^{9～11)}

児童を対象にした学校給食等で使用される醤油等については、MF処理により除菌したものが好まれる。火入れ直後の醤油を、セラミックMF膜（孔径0.1 μ m）で無菌化濾過することにより、微生物は検出されない状態にまで減少する。

また、嗜好の多様化に対応して、生揚げ醤油が製造されることがあるが、オリ成分と微生物を分離する目的でMF処理が行われる。

醤油をベースにした各種調味液が販売されている。MF処理による無菌化の後、マイルドな条件で加熱殺菌し、無菌充填することによりフレッシュな風味を

持つ良好な調味料が製造できるので生産量がのびている。

3.1.2.5 ミネラル水の無菌化濾過¹²⁾

ミネラルウォーターも、最近の「生」を好む消費動向とボトルの耐熱性の関係から、加熱殺菌しホットパックする従来の方法から、MF膜による無菌化濾過の後、無菌充填する方法で製造されるようになってきた。加熱殺菌・ホットパックすると、フレッシュな風味が無くなるとされることが、PETボトルにも耐熱性が必要になり、ボトルの値段が高くなる。

ミネラルウォーターの製造基準は「中心部の温度を85℃で、30分加熱する方法による殺菌またはこれと同等以上の方法により殺菌または除菌を行うこと」とされている。無菌化濾過の効力の確認は、「腸球菌(*St. faecalis*または*St. faecium*)が原水に105/mL以上になるように接種し、濾過後の検体を20℃・14日間保存後も生菌が検出されないこと」とされている。

各社共に、この基準に沿い1～0.1 μm程度の細孔径の高分子やセラミックMF膜、あるいはこれより細孔径の細かいUF膜を使用し無菌化濾過を行っている。

3.1.2.6 牛乳の無菌化濾過¹³⁾

牛乳中には、ラクトフェリン等熱に弱い種々の生理活性物質が含まれているため、できるだけこれら成分と生の風味を残してShelf Lifeの長い牛乳を製造したいこと、また、ある種のチーズの製造においては雑菌の混入をできるだけ防止したいが原料牛乳を加熱殺菌すると品質が変化してしまうことなどの理由から、できるだけマイルドな条件での殺菌あるいは除菌技術の確立が望まれてきた。そこで、Bacto Catchシステムと呼ばれる除菌技術が開発されている。

牛乳には、微生物と粒径が同等あるいは大きい脂肪球(0.1～17 μm)が含まれているので、遠心分離により脂肪球を除き、脱脂牛乳を得る。これを、1.4 μmのMF膜を用い、微生物だけを保持液側に分離し、透過液側にカゼインや水溶性タンパク質等を透過させる。通常のMF処理では、微生物とカゼインとの分離は大変難しい。そこで、膜間差圧が均一になるよう透過液側にも液を循環することで保持液側と透過液側の圧損を同程度に制御し、さらに透過流束を低くして、膜のファウリングを極力押さえることにより、99.5%程度の微生物を分離できるとしている。脱脂乳の95%が透過し、5%が菌体を含む保持液となる。保持液と脂肪分はUHT殺菌した後、除菌した透過液と混合しホモジナイザーにて均質化した後、72℃、15 secの殺菌をすることにより、貯蔵温度6℃で45日、10℃で15日間のShelf Lifeを持つ牛乳が製

造できるとされている。

3.1.2.7 蜂蜜¹⁴⁾

蜂蜜は健康食品としてのイメージが強いが、ボツリヌス菌の孢子、タンパク質さらに懸濁成分等が多く含まれているため、食品素材や乳児用食品に利用がはかれなかった。そこで、蜂蜜を希釈し温度を上昇させることにより粘度を低下させ、分画分子量1万程度の中空糸UF膜モジュールで処理した後、希釈前の濃度に真空濃縮することにより食品素材として利用することができるようになった。

3.1.2.8 その他食品の無菌化濾過

その他の食品としては、ワインの精密濾過¹⁵⁾、炭酸清涼飲料のMF処理などある。

3.2 新しい機能性成分の分離

食品には3つの機能があるとされている。第1は栄養機能、第2は味覚・嗅覚・視覚等により食事を楽しむ感覚機能である。さらに、第3は消化器系、循環器系、内分泌系、免疫系、神経系などの生理系統を調節して健康の維持等に好ましい効果を与える機能である。第3の機能を持つ成分がその機能を十分に発現できるよう設計・加工された食品を、一般に、機能性食品と呼ぶが、正確には『特定保健用食品』という。

3.2.1 ラクトフェリン(LF)の分離¹⁶⁾

LFは腸管内における抗菌作用、感染防御作用、抗ガン作用等の機能を持つとされる分子量8万程度の塩基性タンパク質である。人においては乳以外に涙、鼻汁、唾液等の外分泌液、血漿、尿、羊水等の体液に広く存在する。LFは、多くの哺乳動物の乳汁に含まれている。人乳には高濃度で含まれ、常乳には1～3 g・L⁻¹、初乳には5～10 g・L⁻¹程度含まれている。LFはチーズホエー中に約100 mg・L⁻¹程度の濃度で、陽イオンとして含まれているので、陽イオン交換樹脂に吸着・分離した後、これをUF処理して精製されている。

3.2.2 水産エキスからの機能性ペプチドの分離¹⁷⁾

カツオエキスに含まれるアンセリン(MW 240程度)は抗疲労効果、抗酸化効果を持つ機能性成分として最近注目を浴びている。高速遊泳魚の筋肉に多く存在している成分である。

アンセリンをカツオエキスから分離するのにイオン交換樹脂を用いるのが一般的な方法であった。しかし、食品製造で利用できる溶媒が限られることと溶媒の廃棄に問題をかかえるため膜を使用した分離技術開発が望まれた。カツオエキスを分画分子量2万のUF膜で処理し、透過液側にアミノ酸とペプチド類等の低分子量成分と濃縮液側に高分子量成分とに分

Table 1 The proposal for the course of membrane technology development in food industry

現在の社会情勢	現象	解決のための方策	食品膜技術発展の方向
経済活動の増大	・大量生産・大量消費・大量廃棄 ・地球環境問題	・循環型社会構築 ・ライフサイクルアセスメント (LCA)	・食品加工排水からの有効成分の回収・再利用 ・膜リアクターによる汚泥の発生量削減…工場廃水・家庭排水 ・乳酸発酵による生ごみ処理…膜リアクターによる連続生産 ・膜モジュールの規格化による廃棄量の削減
人口の増加	・世界的な食糧不足	・食糧自給率の向上	・大豆等植物性原料の有効利用 ・水耕栽培 ・食品加工排水からの有効成分の回収・再利用 ・水の再利用システム
生活水準の向上	・安全性志向 ・健康志向 ・おいしい食品志向	・無菌化濾過 ・機能性食品 ・新食品	・発酵・醸造食品の安全性確保 ・飲料水・工場用水の無菌化 ・機能性成分の分離 ・食品成分分離による新食品の創造
高齢化社会	・おいしい食品志向 ・健康志向	・新鮮食品 ・機能性食品	・生酒・生ジュース等生の風味を生かした飲料の製造 ・ミネラル水・各種飲料の無菌化 ・深層水—カルシウム・マグネシウム等微量のミネラルの補給

離した。透過液側に、アンセリンは86%程度回収される。透過液をさらにNaCl阻止率60%のNF膜で処理すると、NaClおよび遊離アミノ酸が透過しアンセリン等のペプチド類は濃縮され純度が向上した。濃縮液中のアンセリン回収率は56%程度であった。濃縮液を脱色・乾燥し5～10%のアンセリンを含有する製品を作成することができた。

3.2.3 オリゴ糖の分離¹⁸⁾

オリゴ糖の種類は多く、フラクトオリゴ糖、大豆オリゴ糖、ガラクトオリゴ糖、キシロオリゴ糖などがある。オリゴ糖の機能としては、ビフィズス菌の活動を助け整腸作用があることから古くから研究されており機能性食品の代表格になっている。

大豆オリゴ糖は大豆タンパクを製造する際排出されるホエー中に含まれるスタキオース、ラフィノースなどである。大豆ホエーを塩析処理し上澄みをUF処理する。透過液を活性炭で脱色し、さらにEDとイオン交換樹脂を使用し脱塩する。その後、濃縮し大豆オリゴ糖シロップを得、さらに乾燥することにより粉末大豆オリゴ糖を得る。

フラクトオリゴ等は、ショ糖を原料としてフラクトースを転移させることにより製造されるので、反応液はグルコースとショ糖およびオリゴ糖の混合液になる。そこで、NFを使用することでグルコースとショ糖を分離し、オリゴ糖の純度を高めることができる。

3.2.4 リコピンの分離¹⁹⁾

リコピンはトマトに含まれる赤色色素であり、ト

マト中には、 $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ～ $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 程度含まれる。トマト以外にスイカ、柿、杏等に含まれている。リコピンにはガン抑制効果やガン発生率の低下効果や、動脈硬化が原因で起こる高血圧、脳卒中、心臓病などの生活習慣病を防止する機能を持つとされている。

トマト搾汁残渣からリコピンを回収するのに膜技術が利用されている。トマト搾汁液を90℃で殺菌し、50℃に冷却した後UF膜モジュールで $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ まで、約30倍に濃縮し、さらに中空糸MF膜を用い $500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ まで濃縮する。ここで得られた濃縮リコピンを加熱殺菌後、容器に密封し製品としている。また、この工程で得られた透過液を減圧濃縮し、糖度60%のトマトエキスとして新食品素材として利用している。

3.2.5 緑茶からのカテキンの分離²⁰⁾

PETボトル入りお茶飲料が多く販売されるようになり、お茶成分、特に緑茶成分の機能性に対する関心が高まっている。なかでも、緑茶カテキン類は抗菌作用、血糖・血圧上昇抑制作用、血中コレステロール低下作用、抗腫瘍作用、発ガン抑制作用等種々の機能があると報告されている。

緑茶よりカテキン類(MW 290～460)を80℃、60分間抽出を行うと、茶に付いた微粒子やペクチン等の高分子成分さらに遊離アミノ酸、カフェイン等の成分が抽出される。抽出液からMFおよびUFを使用し粒子・高分子成分を除去し、透過液を得る。透過液中のカテキン類を、NFを利用し遊離アミノ酸

(MW 100～200程度)やカフェイン(約MW 190程度)と分離する。pHを変化させる等の方法でカテキン類の純度を高めることは十分可能であることが示されている。

4. 膜技術発展の方向

現在の社会情勢と膜技術との関わりについて筆者なりに整理し、Table 1に示した。今後の膜技術発展の方向は、資源の循環・再利用システムの構築、食糧自給率の向上、健康維持に役立つ食品、安全な食品・おいしい食品の製造等に役立つ膜技術開発と考えられる。

5. おわりに

以上のように、新食品の創造・改質および機能性成分の分離等に多種類の分離技術が利用されている。膜技術はもちろん食品製造において必須の技術になり、その利用範囲はますます広がっているが、他の分離技術との複合化によりさらに有効性を高めることができる。こうした考えに基づき、食品膜技術懇談会の名称を2005年から食品膜・分離技術研究会に発展的に改め、新たなスタートを切った。その担うべき役割はさらに重くなったものと考えられる。

本稿が、食品産業における膜・分離技術の発展に少しでも貢献できれば幸いである。

文 献

- 1) 大矢晴彦, 渡辺敦夫監修: 食品膜技術, (株)光琳(1999)
- 2) 食品膜技術懇談会 HP, <http://membrane.eng.niigata-u.ac.jp/mrc/>
- 3) 早川喜郎: 野菜・果実加工における膜技術の新たな展開, 食品膜技術懇談会, 第16回秋季研究例会講演要旨 p.2-1 (2004)
- 4) 藤原正行他: キャロットジュースのナノ濾過におけるイオンおよび呈味成分の分離性能, 日本食品科学工学会, 第48回大会 p.94 (2001)
- 5) 渡辺敦夫: 無菌化濾過技術によるフレッシュ食品の製造, 食品と開発, 39(11), 45 (2004)
- 6) 渡辺敦夫: 無菌化濾過技術の現状と今後の課題, MRC ニュース, NO.27, p.57 (2002)
- 7) 原田三郎他: セラミック MF 膜によるパーシャル分解ペクチンを含む清澄リンゴジュースの開発, 日食工誌, 51(3), 123-130 (2004)
- 8) 原田三郎: 膜技術による新食品の開発, 食品と開発, 38(4), 8-10 (2003)
- 9) 松下幸之助: 攪拌翼型平板膜モジュールの醤油製造工程への導入効果, MRC ニュース, No.29, p.89 (2003)
- 10) 松下幸之助, 渡辺敦夫: 醤油製造工程への攪拌翼型平板膜モジュールの導入, 日本醸造協会誌, 98(7), 497 (2003)
- 11) 田上秀男: 生揚げ醤油の除菌, p.471, 大矢晴彦, 渡辺敦夫監修, 食品膜技術, (株)光琳 (1999)
- 12) 原田三郎: 膜処理によるミネラル水製造と HACCP の実施例, MRC ニュース, No.24, p.93 (2000)
- 13) 佐藤幾郎他: 乳工業における総合的膜利用プロセス, p.368, 大矢晴彦, 渡辺敦夫監修, 食品膜技術, (株)光琳 (1999)
- 14) 伊藤新次: ハチミツの食品素材化への利用, p.426, 大矢晴彦, 渡辺敦夫監修, 食品膜技術, (株)光琳 (1999)
- 15) 荻野 敏: ワイン製造への利用, p.483, 大矢晴彦, 渡辺敦夫監修, 食品膜技術, (株)光琳 (1999)
- 16) 田村吉隆, 斎藤仁志: 膜技術による新規乳由来製品の創造, 食品と開発, 38(4), 14 (2003)
- 17) 菊池数晃: 膜技術による水産エキスからの機能性ペプチドの開発, 食品膜技術懇談会第15回秋季研究例会講演要旨, p.5-1 (2003)
- 18) 昆布 隆: 大豆オリゴ糖製造における膜利用技術の実際, MRC ニュース, No.15, p.71 (1995)
- 19) 高田式久, 他: トマトの生理活性物質—リコピンの膜濃縮—: MRC ニュース, No.22, p.178 (1999)
- 20) 佐田康稔: NF 膜による茶抽出液中のアミノ酸とカテキンの分離: 食品膜技術懇談会第15回秋季研究例会講演要旨, p.4-1 (2003)

(Received 30 April 2007;

Accepted 2 May 2007)

著者略歴

渡辺 敦夫 (わたなべ あつお)

1965年3月 東京農工大学農学部農芸化学科卒業

その後 同大学大学院, カゴメ, 東陶, 農林水産省食品総合研究所を経て

1996年4月から 新潟大学大学院自然科学研究科 教授

2007年3月 定年につき退官

現 在 東京農工大学客員教授
食品膜・分離技術研究会会長

学位 九州大学農学博士

鍋谷 浩志 (なべたに ひろし)

179頁に記載