◇◇◇◇ 技術論文 ◇◇◇◇

包装餅製造工場洗米排水の UF 処理における操作条件の検討

ラフマン・アイラ¹, 伊東 章¹, 城斗志夫¹, 片岡龍磨², 大西正人³, 渡辺敦夫^{1,†}

¹新潟大学大学院自然科学研究科, ²たいまつ食品株式会社, ³日立プラント建設株式会社

Operating Conditions of Ultrafiltration (UF) for Clarification of Rice Washing Drainage from Packed Rice Cake Manufacturing Plant

Aila RAHAMAN¹, Akira ITO¹, Toshio JOH¹, Tatsuma KATAOKA²,
Masato OONISHI³, Atsuo WATANABE^{1,†}

¹Graduate School of Science and Technology, Niigata University, Ikarashi, Niigata 950-2181, Japan

²Taimatsu Foods Corporation, 1345 Muramatsu-machi, Nakakanbara-gun, Niigata 959-1794, Japan

³Hitachi Plant Engineering & Construction Co., Ltd, 537 Kami-hongo, Matsudo, Chiba 271-0064, Japan

In our previous paper, ultrafiltration (UF) membrane modules were evaluated for clarification of rice washing and soaking drainage from packed rice cake manufacturing plant. And a hollow fiber membrane module of the molecular weight cut off of 150 kDa, made by polyethersulfone, was found to be the most suitable. In this paper, suitable operating condition of above membrane module was studied. Drainage were obtained from a rice washing process, composed of five steps of washing and one step of soaking. The drainage from each step was filtrated by the UF membrane, and 80% of each drainage was recovered as permeate for recycling. From the view point of permeation flux and flux restoration rate by membrane washing, the various operating condition was evaluated. As the first and the second step drainage showed extremely low flux and low restoration rate, we concluded that the both drainage are not suitable for recycling after UF treatment and should be treated by active sludge processing as waste water. The third to the fifth step drainage showed higher flux and higher restoration rate than the first and the second steps, and the higher step drainage showed the higher flux and the higher restoration rate. Soaking drainage showed extremely higher flux and higher restoration rate than those of washing drainage. It was concluded the suitable UF operating condition for rice washing drainage treatment for clarification was 0.02 MPa pressure and $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ flow velocity, and that for soaking drainage was 0.1 MPa pressure and $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ flow velocity.

Keywords: rice washing drainage, ultrafiltration clarification of waste water, operation condition

1. 緒 言

前報 [1] で包装餅工場から排出される洗米等排水（ここでは、洗米排水および浸漬排水の両者を併せて洗米等排水とする。以下洗米等回数、洗米等工程および洗米等用水などについても同様の意味で用いる）に含まれる溶質等成分（溶質および懸濁成分を含むのでこれらを総称して溶質等成分とする）を膜技術により分離

することにより再生し、透過液を洗米等用水としてリサイクルするために、分画分子量 15 万のポリエーテルスルホン系の中空糸限外濾過（UF）膜を使用することが適当であることを報告した。

そこで、上記の膜モジュールを使用し、洗米等回数別に洗米等排水を UF 処理し、透過液として 80% 回収することにより、透過液を洗米等工程にリサイクルする際の UF 操作条件について検討を行った。

操作圧力、膜面線速を変化させ、各操作条件における透過流束、透過流束維持率、水洗浄回復率および洗剤洗浄回復率への影響について検討し、洗米等排水の UF 処理に適した操作条件を選定したので報告する。

（受付 2006 年 5 月 31 日，受理 2006 年 7 月 26 日）

1 〒 959-2181 新潟市五十嵐 2 の町 8050

2 〒 959-1794 新潟県中蒲原郡村松 1345

3 〒 271-0064 千葉県松戸市上本郷 537

† Fax: 025-262-7958, E-mail: watanabe@gs.niigata-u.ac.jp

2. 実験方法

2.1 実験材料

2002 年収穫の新潟産米、コガネモチを玄米の状態では 15℃ の冷蔵庫に保存し、使用に応じて 60 kg ずつ精米し使用した。

2.2 洗米条件および浸漬条件と洗米等排水の前処理

本研究では、モデル洗米条件として、餅米 1 kg に対して洗米用水として水道水を 1 L ずつ使用し、下記の方法で洗米し、この工程を 5 回繰り返した。その後、2 L の用水に 2 時間浸漬 [2] した。この一連の工程を基本とし、実験に供する排水の必要量に応じて、米の量を増やすことで対応した。炊飯米については米の浸漬時間と吸水率に関する研究が行われている [3] が、餅の品質との相関に関する研究は行われていない。

洗米方法を一定にするため、プラスチック容器に米の使用量を秤取し、洗米用水を加え、ゴム手袋をした手で左右へ 1 回ずつ攪拌し、これを 10 回繰り返した。その後、ザルを用いて米と洗米水を分離し、洗米排水を得た。

それぞれの洗米等工程で出た排水を 1 次～5 次洗米排水および浸漬排水とした。

洗米等排水を UF 処理する前にナイロン布で粒径の大きな懸濁成分を除去し、膜モジュールの端部に流路閉塞を起こさないようにし、実験に供した。

2.3 UF 濾過装置と運転条件

本実験で使用した UF 装置を Fig. 1 に示す。洗米等回数別に UF 処理し、D 配管を使用し透過液タンクに初期原液の 80% を回収した。膜モジュールは、前報で選定したダイセンメンブレン (株) 製、分画分子量 15 万

のポリエーテルスルホン系中空糸膜モジュールを使用した。ポリエーテルスルホン系の膜を選んだのは、耐熱性と耐薬品性が高いからである [4]。

各洗米等排水を洗米等回数別にナイロン布で懸濁成分を分離し、温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ において、圧力 0.02, 0.05, 0.1 MPa, 膜面線速 0.5, 0.9, $1.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の運転条件で UF 処理した。

2.4 透過流束および平均透過流束の測定

透過流束に関しては、UF 処理を開始してから、一定時間経過するごとに透過液量を測定し、この間の平均の透過流束を求め、測定の間中時点の透過流束とした。

平均透過流束は、各排水から透過液として 80% を回収する間、各時点の透過流束を積分した値をそれに要した時間で割った値として示した。

2.5 UF 膜の洗浄方法

2.5.1 透過流束維持率の測定

UF 処理終了後、膜モジュールを装置からはずし、補助配管し、膜装置内に残った滞留液を、水道水を用いて排出させた。排出条件は供給水量 $15 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ で 1 分間行なった。

その後、膜モジュールを設置し、純水透過流束を測定した。なお、純水の透過流束は、圧力 0.1 MPa, 線速 $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 温度 20°C で測定した。これを、濾過直後の純水透過流束 $J_{V1} [\text{L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}]$ (以下透過流束の単位は同じ) とした。

濾過後の透過流束維持率 $F_1 [\%]$ は

$$F_1 = (J_{V1}/J_{V0}) \times 100 \quad (1)$$

で求めた。なお、濾過前の純水透過流束を J_{V0} とする。

2.5.2 水洗浄回復率の測定

透過流束維持率を測定後、透過液側の洗浄時使用バルブ 7 を閉め、液が透過しない状態で水洗浄を 10 分間行なった。水の温度 50°C , 膜面線速 $1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ とし、A 配管を利用し、水を系外に排出させ、洗浄を行った。

この後、純水透過流束を測定し、これを水洗浄後の純水透過流束 J_{V2} とし、水洗浄回復率 $F_W [\%]$ を

$$F_W = (J_{V2}/J_{V0}) \times 100 \quad (2)$$

で求めた。

2.5.3 洗剤洗浄回復率の測定

水洗浄した膜モジュールをさらに洗剤を使用し洗浄した。洗剤洗浄回復率 F_{d1} が 95% になるまで、10 L の 0.5% Ultrasil10 (エコラボ社製洗剤) 洗浄液を用い、温度は 50°C , 線速 $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ で 30 分全循環洗浄 (透過液は B 配管により原料タンクに戻す) を行なった。この時の膜間差圧は 0.01 MPa 以下になるように注意した。

より高温で洗浄すればさらに洗浄効率は向上すると

Fig. 1 Apparatus for ultra filtration of rice washing water. 1: Feed tank, 2: Pump, 3: Pressure gauges, 4: UF membrane module, 5: Flow meter, 6: Valve for filtration pressure setting, 7: Valve for washing operation, 8: Temperature indicator and controller, 9: Permeate tank, 10: Constant temperature bath, C and D: Normal operation, A, B and C: Washing operation of membrane module and equipment.

考えるが、本装置では安定して温度を保持できる上限が50℃であったためこの条件で洗浄を行った。

30分の洗浄後、純水透過流束 J_{V3} を測定し、洗剤洗浄回復率 F_{d1} [%]を

$$F_{d1} = (J_{V3}/J_{V0}) \times 100 \quad (3)$$

で求めた。

なお、洗剤洗浄が1回で回復しない時は、上記の洗浄を繰り返し、洗浄後の透過流束 J_{V4} を求め、式(3)から2回洗浄における洗剤洗浄回復率 F_{d2} を求めた。

3. 結果および考察

3.1 洗米等次数別排水の再生・リサイクル適合性の検討

前報においては1次および2次洗米排水のUF処理は効率が悪いので、3～5次洗米排水と浸漬排水を混合した排水を供試液とした。ここでは、洗米等排水の洗米等次数別に、再生・リサイクル適合性を透過流束および洗浄回復性の観点から検討した。

Fig. 2に、洗米等次数別に圧力0.02 MPa、線速 $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の運転条件でUF処理したときの透過流束の経時変化を示す。上記の運転条件は予備実験の結果から適当な運転条件と判断された条件である。

1次、2次洗米排水の透過流束は急激に低下し、その後定常値を示した。3次、4次と洗米等次数が大きくなるにつれてUF処理における透過流束が高くなった。5次洗米排水、浸漬排水の平均透過流束は $115 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $178 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ で極めて高い値を示したのに対し、1次、2次洗米排水の平均透過流束は $46 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ および $61 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ であり、半分以下でしかなかった。

Fig. 3は上記の運転条件で、洗米等次数別の排水をUF処理した際の透過流束維持率、水洗浄回復率、洗剤

洗浄回復率を示す。1次、2次洗米排水を濾過した膜の洗剤洗浄回復率が低く、これらでは3回洗剤洗浄することが必要であった。洗米次数が高い洗米排水を濾過した膜の洗剤洗浄回復率は高く、洗浄時間が短いことがわかった。とくに、4次、5次洗米排水と浸漬排水を濾過した膜は1回の洗剤洗浄で十分回復したのに対して、3次洗米排水では2回の洗剤洗浄が必要であった。

前報において、洗米等次数別の溶質等成分濃度は、洗浄次数が大きくなるにつれ濃度が低下することが示されている。

各洗米等排水の透過流束と洗浄回復性は洗米等排水中の溶質等成分濃度に依存し、濃度が高いほど透過流束と洗浄回復性が低くなった。これは、洗米等排水中の溶質等成分濃度の高い方が、より多く膜表面に堆積し厚いケーキ層を形成し、水透過に対する透過抵抗が大きくなり、また洗浄回復性が低くなったものと考えられる[5]。

透過流束および洗浄回復性の結果から、1次、2次洗米排水の再生・リサイクル効率は低いと結論できる。したがって、現状では、これらの洗米排水は従来通り活性汚泥法で処理することにし、3次洗米排水以降の洗米等排水を再生・リサイクルをすることが好ましいと考えた。よって以下の実験は3次洗米以降の排水を対象にした。

3.2 洗米等排水の透過流束に及ぼす運転条件の影響

3.2.1 圧力依存性

各洗米等排水のUF処理における圧力依存性を調べるため、膜面線速を $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ とし、圧力を0.02～0.1 MPa(浸漬排水は0.12 MPa)に変化させ各洗米等排水を濾過した際の80%回収時の透過流束の変化をFig. 4に示す。

Fig. 2 Permeate flux of UF for rice washing drainage. Filtration pressure: 0.02 MPa, Feed velocity: $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Fig. 3 Flux restoration rate by membrane washing. Filtration pressure: 0.02 MPa, Feed velocity: $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Fig. 4 Effect of filtration pressure on the permeate flux. Feed velocity: $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Fig. 5 Effect of feed velocity on the permeation flux. Filtration pressure: 0.02 MPa

各洗米等排水をUF処理すると、初期の透過流束は高いが時間とともに低下し、80%回収率に近づくにしたがいほぼ一定になった。この値は、正確には、80%回収時透過流束とよぶことが必要と考えるが、本報においては定常透過流束とした。

3～5次洗米排水においては 0.02 MPa 以上に圧力を増加させても定常透過流束は増加しなかった。これは、 0.02 MPa でこれらの洗米排水が限界透過流束に達していたためと考えられる[6]。洗米排水の処理における限界透過流束については、前報と同様の結果となった。前報では3次以降の洗米等排水を混合した供試液をUF処理したが、 0.02 MPa で限界透過流束になるとの結果を得ている。また、浸漬排水の場合は、 0.1 MPa で限界透過流束に達した。

浸漬排水の限界透過流束に達する圧力は、洗米排水の圧力よりかなり高かった。これは、浸漬排水中の溶質等成分は洗米排水に比べてはるかに少ないため、高い圧力で運転し透過流束が高くても膜面でのファウリング層の形成が少なかったためと考えられる。

3.2.2 線速依存性

圧力 0.02 MPa において、線速を $0.5 \sim 1.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ と変化させ濾過実験を行ったときの定常透過流束と線速の関係をFig. 5に示す。いずれの洗米等排水でも透過流束は線速に依存し、線速の増加につれて透過流束がやや増加したが、 $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ でほぼ定常となった。この結果は、前報における3次以降の洗米等排水を混合した供試液をUF処理した結果と同様であり、以上の結果と、装置特性を勘案して、 $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ がUF処理に適した膜面線速であると判断した。

3.3 洗米等排水の透過流束維持率におよぼす運転条件の影響

3.3.1 圧力依存性

各洗米等排水をUF処理したときの膜面ファウリングと圧力の関係を明らかにするため、線速を $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ とし、圧力を $0.02 \sim 0.1 \text{ MPa}$ に変化させ濾過実験を行い、透過流束維持率を測定した。Fig. 6に結果を示す。

透過流束維持率は洗米等排水をUF処理した直後の透過流束に対するファウリングの影響の大きさを表すものと考えられる。すなわち、流束維持率が低いものはファウリングが激しく起こっていることになる。

3～5次洗米排水においては、透過流束維持率が圧力に依存し、本実験で使用了操作圧力範囲内で、圧力の増加につれて透過流束維持率が小さくなった。3次洗米排水において、圧力 0.02 MPa のとき、濾過終了後透過流束維持率は38%になったのに対して、 0.1 MPa の

Fig. 6 Effect of filtration pressure on the flux preservation rate. Feed velocity: $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

とき 20% まで低下した。これは、高い圧力で洗米排水を濾過すると濃度分極の影響で膜表面に激しいファウリングが起こったこととファウリング層が圧密化されたためと考えられる [7,8]。

浸漬水の透過流束維持率は 0.02 MPa の圧力で 52%、0.1 MPa で 44% の高い値を示した。

各洗米等排水の透過流束維持率は、洗浄次数が高い洗米等排水ほど大きい値を示した。これは、洗米等排水中の溶質等成分濃度の違いによるものと考えられる。

3.3.2 線速依存性

透過流束維持率の線速依存性を明らかにするため圧力を 0.02 MPa とし、線速を $0.5 \sim 1.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の範囲に変化させ濾過実験を行い、透過流束維持率を測定した結果を Fig. 7 に示す。

いずれの洗米等排水も透過流束維持率は線速に依存し、線速の増加につれて大きくなった。これは、線速の高い方が濃度分極が低く、膜面のファウリング量も少ないため流束維持率が高くなったものと考えられる。しかし、その差は僅かであり、圧力の透過流束維持率への影響に比べて小さかった。

3.4 洗米等排水の水洗浄回復率におよぼす運転条件の影響

水洗浄に関する研究はホエイタンパクの限外濾過分離における洗浄法として研究 [9] が行われている。膜モジュール内を洗浄した水を系外に排出させ、洗浄液が膜を透過しない条件で洗浄することで高い洗浄性が得られたと報告されている。

本研究では、線速 $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ において、圧力を変化させて洗米等排水を UF 処理した膜について、水洗浄回復率を測定した。結果を Fig. 8 に示す。

洗米等排水の洗浄回復率が高くなると水洗浄回復率は高くなり、同次数の洗米等排水では濾過圧力の増加につれて低くなった。0.02 MPa で 3 次洗米排水を濾過した膜は 10 分間の水洗浄で 72% まで回復したのに対して、0.1 MPa で洗米等排水を濾過した膜は 10 分間の水洗浄で 58% までしか回復しなかった。

これに対し、浸漬排水を濾過した膜の水洗浄回復率は濾過圧力の増加につれて低下したが、低下率は他の洗米排水に比べて小さく、0.02 MPa で 82%、0.1 MPa でも 75% まで回復した。

溶出等成分濃度の異なる排水を異なる濾過圧力で処理すると、膜表面で形成されるファウリング層の厚みと構造は変化する [10]。3 次洗米排水は他のものより溶質等成分濃度が高いため、ファウリング層の厚みが大きく、また、高い圧力で濾過すると圧密化されるため、水洗浄回復率が低くなる。これに対し、浸漬排水は溶質等成分濃度が低いので、ファウリング層の厚みが小さく、圧力が高くても圧密化が進まず、洗浄しやすかったものと考えられる。

線速の水洗浄回復率への影響について検討した。Fig. 9 に 3 次洗米排水の洗浄回復性に対する線速依存性を示す。 $0.5 \sim 1.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ に線速を変化させてもほとんど違いが生じないことがわかる。3 次以降の洗米等排水で同様の傾向を示し、その影響は小さかった。

3.5 洗米等排水の洗剤洗浄回復率におよぼす運転条件の影響

洗剤洗浄回復率におよぼす運転条件の影響を明らかにするため、3.4 項で水洗浄した膜をさらに洗剤を用いて洗浄した。

線速 $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ において、圧力を変化させて 3 次洗米排水を UF 処理した膜を洗剤洗浄した結果を Fig. 10. (a)

Fig. 7 Effect of feed velocity on the flux restoration rate. Filtration pressure: 0.02 MPa

Fig. 8 Effect of filtration pressure on the flux restoration rate of membrane washing by water. Feed velocity: $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Fig. 9 Effect of feed velocity on the flux restoration rate for the 3rd washing drainage. Filtration pressure: 0.02 MPa

に示す。3次洗米排水では、0.02 MPaの圧力で洗米排水を濾過した膜は、2回の洗剤洗浄でほぼ100%回復したのに対して0.1 MPaの圧力で濾過した膜では4回の洗剤洗浄を行わなければ透過流束は回復しなかった。0.05 MPaは、その中間であった。濾過圧力が低いほど膜の洗剤洗浄回復率が高く、洗剤洗浄時間が短くなった。操作圧力の増加につれて膜の洗剤洗浄回復率が低く、洗浄時間が長くなった。

4次および5次洗米排水の結果をここには示さないが、高次洗米排水になるにしたがい、溶質等成分の濃度が低下するため洗浄性が向上し、両者ともに0.02 MPaの圧力では1回、0.05 MPaの圧力では2回、0.1 MPaの圧力では3回の洗剤洗浄で透過流束が回復することがわかった。

高い圧力で水洗浄回復率および洗剤洗浄回復率が低くなるのは、濾過圧力の影響でファウリング層が圧密化され、また膜細孔内にファウリング物質が押し込まれるため、洗浄が難しくなったと考えられる。

浸漬排水の場合、運転圧力の増加につれて洗剤洗浄回復率が多少減少したが、0.1 MPaにおいても1回の洗剤洗浄で透過流束は回復した (Fig. 10. (b))。膜の洗浄回復率からみても3~5次洗米排水と浸漬排水のUF処理に適した濾過圧はそれぞれ0.02と0.1 MPaであることが明らかになった。

濾過線速の洗剤洗浄回復率への影響について調べたが、すべての洗米等排水で影響が小さかった。ここには3次洗米排水の例を示した (Fig. 9)。線速にかかわらず2回の洗剤洗浄で95%以上に透過流束が回復することがわかる。

Fig. 10 Effect of filtration pressure on the flux restoration rate by detergent washing for the 3rd washing drainage and the soaking drainage. Filtration pressure: 0.02 MPa

4. 結 論

1. 分画分子量15万の限外濾過膜で洗米等排水を各洗米等次数別に濾過した結果、1次、2次洗米排水の透過流束は低く、洗浄回復率も低いことがわかった。
2. 3次~5次洗米排水では、水洗浄回復率と洗剤洗浄回復率は運転圧力に依存し、操作圧が高いほど透過流束維持率、水洗浄回復率と洗剤洗浄回復率が低くなった。0.02 MPaでは一回の洗剤洗浄で透過流束は回復したが、0.1 MPaの圧力では3~4回の洗剤洗浄が必要であった。浸漬排水では圧力の影響をほとんど受けず、0.1 MPaの圧力でも一回の洗剤洗浄で透過流束は回復した。
3. 各洗米等排水の透過流束および洗浄回復率から、 $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の線速において、溶質等成分濃度の低い浸漬水だけを0.1 MPaで濾過し、3~5次洗米水をまとめて0.02 MPaで濾過すれば、洗米等排水を効率よく再生・リサイクルすることがわかった。

引 用 文 献

- [1] ラフマン・アイラ、城斗志夫、伊東章、片岡龍磨、大西真人、渡辺敦夫；包装餅製造工場洗米等排水の再生・リサイクルに適した限外濾過膜の選定、日本食品工学会誌, **6**, 66-72 (2005)
- [2] 有坂将美；‘米の科学’ 竹生新治郎監修、石谷孝佑、大坪研一編集、朝倉書店1995, p.146
- [3] 三輪正志、黒田 晃、織田秀晴、高谷友久、西成勝好；水の60分浸漬吸水率に基づく食味評価法の開発、日本食品科学工学会誌, **49**, 32-39 (2002)

- [4] 藤井能成, 山村弘之, 野寄 賢, 西村和彦; 耐熱・耐薬品性の中空糸 UF 膜モジュール, 膜, **22**, 285-288 (1997)
- [5] 福崎智司, 渡辺敦夫; “食品膜技術”, 大矢晴彦, 渡辺敦夫監修, 光琳, 1999, pp.35-37
- [6] 鍋谷浩志, 中尾真一; “食品膜技術”, 大矢晴彦, 渡辺敦夫監修, 光琳, 1999, pp.46-55
- [7] T.Tanaka, K.Usui, K.Kouda, K.Nakanishi; Filtration behaviors of rod-shaped bacterial broths in unsteady-state of cross-flow filtration, J.Chem. Eng. **29**, 973-981 (1996)
- [8] 福渡康夫, 田村吉隆, 溝田輝彦, 富田 守, 小此木成夫, 松本耕一, 中島篤, 佐藤幾朗, 稲垣孝二; チーズホエーの逆浸透濃縮における限界安定体積透過流束について, 日本畜産学会誌, **58**, 919-926 (1987)
- [9] M. L. Cabero, F. A. Riera, R. Alvarez; Rinsing of ultrafiltration ceramic fouled with whey proteins: effects on cleaning procedures, J. Membrane Sci., **154**, 239-250 (1999)
- [10] 神武正信, 内田幸生, 佐藤孝義, 木村利昭, 下田幸三, 渡辺敦夫, 中尾真一; 膜のファウリングの原因と洗浄による透過流束の回復性, 日本農芸化学会誌, **61**, 677-681 (1987)

要 旨

前報で包装餅工場から排出される洗米等排水から溶質等成分を膜技術により分離することで排水を浄化・再生し, 透過液を洗米等用水としてリサイクルすることを目的に, 膜の選定に関する研究を行った。そして, 分画分子量 15 万 Da のポリエーテルスルホン系の中空糸限外濾過 (UF) 膜モジュールを用いることが適当であることを報告した。

本研究では上記の UF 膜モジュールを使用し, 洗米等次数別排水を UF 処理し, それぞれの排水の 80% を透過液として回収する際の操作条件について検討した。

操作圧力および膜面線速を変化させ, 各操作条件における透過流束, 透過流束維持率, 水洗浄回復率および洗浄回復率への影響について検討し, 洗米等排水の UF 処理に適した操作条件を決定した。

3~5 次洗米排水および浸漬排水に比較して, 1 次および 2 次洗米排水の透過流束は著しく低く, 膜の洗浄回復性も低いことがわかった。そこで, 1 次, 2 次洗米排水は本研究ではリサイクルの対象から外すことにした。

線速 $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ において, 3~5 次洗米排水を洗浄次数別に UF 処理する場合は圧力 0.02 MPa, 浸漬排水の場合は圧力 0.1 MPa で限界透過流束に達し, それ以上圧力をかけても透過流束が増加しなかった。濾過圧力を増加させると, 透過流束維持率, 水洗浄回復率および洗剤洗浄回復率が低くなった。

透過流束は線速に依存し, 線速の増加につれて増加したが, 洗米排水 (圧力 0.02 MPa において) および浸漬排水 (圧力 0.1 MPa において) とともに, 線速 $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ においてほぼ定常値に達し, これ以上の線速では増加の割合はごく僅かであった。

透過流束と洗浄回復性に対しては, 濾過圧力が大きく影響するのに比べて, 膜面線速の影響は小さかった。

以上の結果から 3~5 次洗米排水の再生・リサイクルに適した操作条件は圧力 0.02 MPa, 線速 $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ で, 浸漬排水の場合は圧力 0.1 MPa, 線速 $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ であることが明らかになった。