

## うどんのゆで汁で2, 3度美味しい ～ゆで汁からのバイオエタノール生産と水資源リサイクル～

渡辺 昌規

### うどんブームを背景に

讃岐うどんを中心とした、セルフ式うどん店の出展増加やうどんにまつわる映画の公開など、うどんブームが日本全土に広がったことは、記憶に新しいところである。

このように、老若男女を問わず好まれ、消化が良く、体にもやさしい食品として市民権を得ている「うどん」であるが、「うどん排水」になると、その印象は逆転する。

うどんの製麺過程において、水はさまざまな用途に用いられている。特に水由来のミネラルは、そのバランスによって、麺の性質である「弾力」、「コシ」を左右することが知られている。また、ゆで（茹）水やゆで後の冷却・洗浄過程において大量に用いられることも知られている。当然、製麺時には大量の水を必要とし、同時に大量のうどん排水が発生することとなる（図1）。



図1. うどん冷却・洗浄プロセス（左）とうどん排水（右）

香川県の下水道整備地域以外の小規模製麺事業所においては、未処理のまま農業用水路へ排出されることにより、アオコやヘドロの形成に伴う悪臭が発生し、農業用水としての利用の妨げとなっている。「うどん」と「水質汚染」がセットメニューになっている現状がある。

うどん排水は、他の食品系排水と異なり、難分解性である著量のデンプン含有しているため、排水処理コストが通常の排水（食品系排水）に比べ、コスト高になってしまう問題を有している。

特に昼食時間帯は、煮釜のゆで汁を放流することが多く、排水温度が60℃以上、排水中COD値が10,000 ppm

超となることもあるなど、急激な処理負荷変動に対応することも不可欠である。

香川県は平成20年4月に「香川県公害防止条例」を「香川県生活環境の保全に関する条例」に改称し、平成21年3月に一部改正。平成21年10月から、新たに「水質保全対策」と「地下水の保全利用・利用対策」に関する取り組みがスタートし、一日の排水が10 t以上のうどん製造業者に対しても、適正な排水処理が平成24年4月より義務付けられる。また同様に、地下水利用についても規制を受ける。

香川県環境森林部環境管理課（水環境グループ）は、上記法対応を普及すべく、「うどん店排水処理対策マニュアル」を作成、県で技術開発支援を行った「うどん排水処理技術（施設）」の紹介、小規模うどん店に対する2方式の処理方法が提案されている<sup>2)</sup>。その2方式は、それぞれ、流動担体接触ばっ気（ポリエチレン担体）、活性汚泥+バイオリクター方式を採用、前者は設置費用280万円、管理費用2万円となっているが铸铁製であることから、塩分を含有するうどん排水を用いた場合、腐食などによる耐久性に問題がある。後者は設置費用250万円、管理費用2.5万円とし、FRP製であることから腐食などの問題はない。しかし、両方式とも設置に関わるイニシャルコストが必要であり、さらに管理費以外にブローア使用による電力消費も考慮しなければならない。

一方、下水道整備地域内のうどん店においては、上水使用量に応じた下水道使用料の請求がなされている。たとえ原水が井戸水であっても、下水道使用量は発生するため、排水処理費用は、間違いなく事業者の負担となる。

### うどん排水と洗米排水

前述の通り、微生物処理、膜処理など依存した既存のうどん排水処理は、新たな設備投資、ランニングコストの点から、小規模事業所の多い製麺業界においては非現実的であると考えられる。現実的な排水処理法を事業所に提案するには、新たな設備投資を必要としない、コンパクトで低コスト運転・維持が可能となることを念頭に置く必要がある。

著者らは上記と関連し、うどん排水と同様に、デンプンを固形成分として含有する洗米排水（高濃度の米とぎ

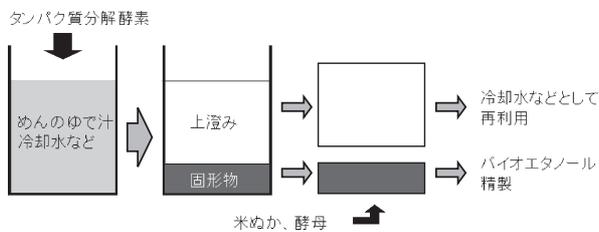


図2. うどんのゆで汁などからバイオエタノールを精製するプラントの処理過程

汁)を簡便に処理する技術を開発した<sup>3)</sup>。

本技術のメカニズム(図2)は、以下の通りである。プロテアーゼ(酸性プロテアーゼ)を金属陽イオンと共に洗米排水に添加し、①デンプン粒子表面のタンパク質を分解・除去。②デンプン粒子表面に負電荷を形成。③共存陽イオンと静電的相互作用により、架橋体(マクロ分子)を形成し、排水中の固形成分であるデンプン粒子を沈降・濃縮させるものである<sup>4)</sup>。最近の研究の結果、上記酵素添加は、選択的に特定米タンパク質を分解、さらにリン酸イオンの溶出を促進すると共に、デンプン表面にモノリン酸エステルを形成することを明らかにしている<sup>5)</sup>。なお本技術は、本学技術シーズとして、特許出願(特開2007-38214、「洗米排水の固形成分の除去方法、洗米排水の固形成分の再利用方法」)がなされている。

本法の特徴として、沈降させた固形成分を除去した上澄み液を、そのまま排水として活性汚泥処理することが可能になる他、固形成分回収に必要な機器を必要としない上、固形成分をバイオマスとして再利用することが容易になる点が挙げられる。

本年度より、このような特徴を有する本特許をうどん排水に適用する共同研究がスタートする運びとなった。共同研究者であるマルバヤシ(代表取締役:林本正継)は、広島県内最大手の製麺企業であるとともに、広島市民球場発足時から、現在の新広島市民球場(MAZDA・Zoom-Zoomスタジアム広島)に至る長年の間「カープうどん」を観客に提供し続ける「うどん」と縁の深い企業であり、同時に、うどん排水に関わる諸問題と長年に渡り向かい合ってきた経緯がある。

著者らは、マルバヤシとの共同研究締結に際し、広島市産業振興センター・平成21年度環境関連製品・技術開発助成金(採択テーマ:うどん排水の浄化とバイオマスの再利用に関する研究)の採択を受け、2011年3月にも

工場内に処理プラントを設置する予定である。本共同研究の概要は、特許技術に基づいて回収された固形成分をバイオマスとして再資源化すると同時に、上澄み液を製麺時の冷却水として再利用する点にある。

## 再資源化

著者らは前述の酵素処理により、うどん排水全体の約20%を固形化、排水中固形成分の濃縮を可能にし、さらに、米糠を糖化酵素供給源として添加することにより、エタノール発酵後、1%以上のエタノールを生成することに成功している<sup>6)</sup>。今後さらに、固形成分の凝集・沈降性向上が可能となれば、さらなる固形成分の濃縮、そして高濃度エタノール生産も期待できる。また、処理の際に使用している酵素は、食品添加物として広く用いられていることから、製品であるうどんと同様に衛生管理が十分に保たれていれば、安全性が保たれた冷却水などとして再利用が可能である。本特許はバイオマス、水双方の再資源化を可能にしている点が従来の排水処理技術と明らかに異なる点と考えられる。

## 今後の展望

現在、非可食部バイオマスである木質バイオマス、多収穫米からバイオエタノールを生産する際、原料の供給、移送などのインフラ整備が重要な課題となっている。それに対し、製麺工場、そして洗米排水を扱う精米工場はそれぞれがエネルギー消費地である都市部、都市近郊に位置していることが多い。穀物は非可食部も可食部と共に生産地から輸送されるため、非可食部をバイオマスとして利活用する場合、すでに可食部(食料)として構築されているインフラを共有することが可能と思われる。もし、これらバイオマスをバイオエタノールなど、都市部で利用可能なエネルギー源として利用可能な法整備が構築されれば、近い将来、製麺工場・精米工場が、エネルギー供給ステーションになるかもしれない。

- 1) <http://www.pref.kagawa.jp/kankyo/index.htm>
- 2) <http://www.pref.kagawa.jp/kankyo/mizukankyo/udon/index.html>
- 3) Watanabe, M. et al.: *Japan J. Food Eng.*, **7**, 49 (2006).
- 4) Watanabe, M. et al.: *Japan J. Food Eng.*, **8**, 165 (2007).
- 5) Watanabe, M. et al.: *Japan J. Food Eng.*, **10**, 55 (2009).
- 6) Watanabe, M. et al.: *J. Biosci. Bioeng.*, in press.