

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：10105

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25660217

研究課題名(和文)磁気研磨法を用いた超平滑サニタリーパイプによる乳タンパク質の洗浄性向上

研究課題名(英文)Cleanability improvement of milk protein deposit on ultra-smooth sanitary tube prepared by magnetic field-assisted finishing

研究代表者

梅津 一孝 (UMETSU, Kazutaka)

帯広畜産大学・畜産学部・教授

研究者番号：20203581

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：ステンレススチールパイプは、搾乳施設や乳製品加工において多用されている。本研究では、磁気研磨法によって表面を平滑化させたステンレスパイプを用いて、乳タンパク質の洗浄性向上を試みた。表面粗さ Ra 0.037 μmに平滑化したステンレスパイプでは、他の粗いパイプよりも牛乳汚れの洗浄性が向上した。タンパク質の洗浄性において表面粗さの影響は比較的小さかった。すなわち、牛乳汚れの非タンパク質成分の洗浄性が表面粗さの影響を受けたと考えられた。磁気研磨法は、乳製品加工機器の安全性の向上に寄与できると考えられた。

研究成果の概要(英文)：Sanitary stainless tubes are widely used in milking parlour and milk processing plant. In this work, we discussed the cleanability of milk proteins on a highly-smoothed inner surface prepared by magnetic field-assisted finishing (MAF). Data showed that the smoothly finished inner surface (Ra=0.037 μm) of stainless steel tubes significantly improved the cleanability of milk residues. The effect of surface roughness was relatively low on the cleanability of milk proteins. The results may indicate that the cleanability of non-protein components of milk residue is affected by surface roughness. MAF may improve the safety of dairy handling and processing equipment.

研究分野：畜産衛生工学

キーワード：乳タンパク質 牛乳 ステンレスパイプ 洗浄 磁気研磨 表面粗さ

1. 研究開始当初の背景

搾乳施設や食品工場の乳製品加工プロセスでは、ステンレスサニタリーパイプが多用されている。牛乳は、乳脂肪、乳タンパクそしてミネラル等を含む複雑な生物流体であり、パイプ内面に汚れが付着しやすい。汚れの残留は製品の品質低下だけではなく、微生物の増殖によって食中毒といった重大な問題の要因となる。そのため、汚れが付着した場合はパイプの確実な洗浄が必須になる。

洗浄に起因する問題として、作業負担が大きいことから、洗浄作業のコストが大きいことが挙げられる。場合によっては製造コストの30%以上を占めるという報告もある。さらに、洗浄作業によって排出される環境負荷も問題である。頻繁な洗浄は廃水量の増大を引き起こすだけでなく、洗剤に含まれる界面活性剤は生物難分解性であることが一般的であり、廃水処理の負担は大きい。これらの理由から、サニタリーステンレスパイプに付着した乳成分汚れの洗浄性向上が望まれており、特に洗剤に頼らない洗浄法が必要とされている。

洗浄性に影響する要素として、化学的要素、物理的要素、そして表面特性が挙げられる。これらの要素の相乗効果により、洗浄性は向上する。洗剤の使用は化学的要素に分類される。しかし、上述のように過剰な洗浄の使用は、環境負荷の増大を招く。物理的要素として、洗浄水の流れである界面流動が挙げられる。汚れに対して界面流動由来のせん断力を作用させることによって、汚れを効率的に除去することができる。しかし、より大きなせん断力を得るためには、洗浄液の流量を増加させる必要があり、エネルギーが増大する。

汚れが付着する表面の特性の改良についても検討が行われてきた。コーティング処理はその代表である。しかし、コーティング処理は、表面の剥離が起こる可能性があり、食品への異物混入を招く恐れがある。表面形状に関する要素として、表面粗さがある。欧州衛生工学グループ(EHEDG)のガイドラインでは、食品製造機器に使用するステンレス鋼パイプにおいて、基準値が決められている。表面粗さと洗浄性との関係については、表面解析の制約のために、ステンレスパイプではなくプレートにおける検討が多い。また、形状を問わずマイクロオーダーの表面粗さを持つ材料について研究が殆どであり、ナノスケールの材料における洗浄性については、加工上の制約があることから知見が乏しい。

2. 研究の目的

本研究では、磁気研磨法を用いてステンレスパイプの内面を平滑化し、洗剤を使用することなく乳タンパク質の洗浄性向上を目的とした。磁気研磨法は、パイプ内部のような手が届かないあるいは、研磨工具が入らない部分を加工できる利点がある。特に、表面粗さと付着した成分の洗浄性の関係について

検討を行った。

3. 研究の方法

内面の粗さが異なる2種類のSUS304ステンレスパイプ(Ø12.7 × Ø10.7)を入手した。Nd-Fe-B永久磁石を備えた磁気研磨装置を用いて内部表面を研磨し、表面粗さが異なる3種類のステンレスパイプ(65 mm)を供試材料とした。表面粗さRaはそれぞれ、0.037, 0.37, 3.7 µmであった。ループの一部をステンレスパイプで構成される実験装置(Fig.1)を用いて、以下の手順に従い洗浄性の評価を行った。

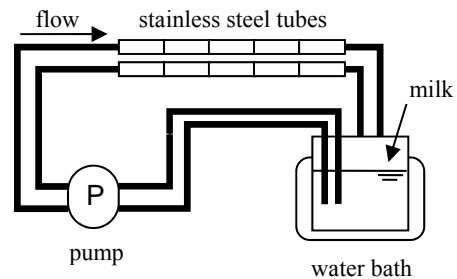


Fig.1 Experimental setup

まずパイプ内面に牛乳汚れを付着させるため、40°Cに保った市販牛乳1.0 Lを一定流量(0.4 L/min)で循環させた。搾乳ロボットとバルククーラーを接続するパイプラインを想定し、7分送液/3分停止を1サイクルとし、8時間循環させた。その後ポンプを停止し、48時間ステンレスパイプを静置した。その後、内部に付着した汚れを洗浄するために、20°Cの脱イオン水を一定流量(0.4 L/min)で5分間流した。終了後にパイプを実験装置から取り外し、24時間乾燥させた。

洗浄性の評価は下記に示す方法で行った。

1) 残留牛乳濃度の測定: 脱イオン水13 mL中にパイプを入れ、20分間超音波処理を行い、パイプ内面の残留付着物を脱イオン水へ溶出させた。この溶出液の吸光度(660 nm)を分光光度計で測定した。同一の作業を7回繰り返し行い、最終的に全ての付着物を脱イオン水へ溶出させた。溶出液の吸光度からパイプ内部に残留していた牛乳の濃度を算出し、洗浄性を評価した。

2) 残留タンパク質濃度の測定: 脱イオン水13 mL中にパイプを入れ、50分間超音波処理を行い、パイプ内面の残留付着物を脱イオン水へ溶出させた。この溶出液をブラッドフォード試薬と混和し、吸光度(595 nm)を測定した。同一の作業を3回繰り返し行い、溶液の吸光度からパイプ内部に残留していたタンパク質の濃度を算出した。

4. 研究成果

ステンレスパイプは、牛乳等の液体食品の加工プロセスにおいて汎用されているにもかかわらず、洗浄性評価の知見がプレートと比較すると乏しい。これは、表面科学分野で使用されている機器解析手法がパイプ内面

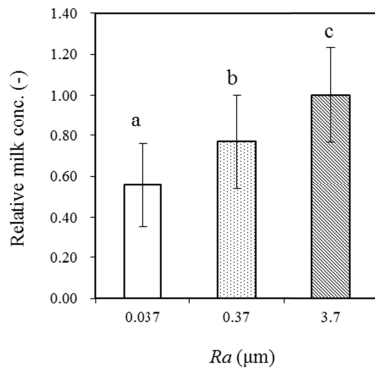


Fig. 2. Effect of surface roughness (Ra) on cleanliness of milk fouling. Letters a, b and c represent statistical significance ($p < 0.05$). Error bars show standard deviation ($n=15$)

に適用困難であるためと考えられる。本研究では、洗浄試験後のパイプ内面に残留した成分を超音波によって溶出液に溶出させ、溶出液を分析するという手法を確立した。

各実験における牛乳付着量の差異を考慮し、最も表面が粗いパイプに残留していた牛乳汚れの平均値を1とし、相対濃度で評価した。表面粗さ Ra と溶出液の相対残留牛乳濃度の関係を Fig. 2 に示す。表面粗さが異なるステンレスパイプ間で Tukey の多重比較を行ったところ、表面粗さが小さいほど牛乳汚れの残留量が有意に減少していた。すなわち、表面粗さを JIS 等のサニタリーパイプの規格である Ra :0.8 μm から 0.037 μm へ 1/20 以下まで内面を平滑化することによって、洗剤を使用することなく乳成分の洗浄性が向上する可能性が示唆された。

一方、表面が平滑化されたステンレスパイプにおいて、溶出液のタンパク質の残留濃度は有意に減少していなかった。文献によると牛乳の約 87% は水分であり、残りの固形成分は約 13% である。固形成分の内訳はラクトース等の糖分が 4.8%、乳脂肪が 3.9%、カゼインや β -ラクトグロブリン等のタンパク質が 3.4%、そしてカルシウム等の無機成分が 0.8% とされている。タンパク質が変性するような高温の条件では、カルシウムや β -ラクトグロブリンの洗浄性が低いことが知られている。本実験における牛乳温度は 40°C であり、付着した汚れにおいてタンパク質は殆ど変性していないと考えられる。溶出液の牛乳濃度とタンパク質濃度の結果から、本実験条件において、表面平滑化は牛乳に含まれる無機質や脂肪等の非タンパク質成分の洗浄性向上に寄与した可能性が考えられる。

洗浄の物理的要素として、界面流動由来のせん断力が挙げられる。表面を平滑化することによって洗浄性が向上した理由として、表面凹凸の「谷」の部分に残留した汚れに作用した洗浄液由来のせん断力が大きくなったことが考えられる。流量が 0.4 L/min の場合、洗浄液は層流の状態である。流量を増加させ、

乱流の条件下では、表面を平滑化させたことによる洗浄性向上の効果がより顕著になる可能性がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

1. 金子知美, 井原一高, Eric McLamore, John Schueller, 豊田浄彦, 梅津一孝, Hitomi Yamaguchi, ステンレスパイプの乳成分洗浄性に対する表面粗さの影響, 農業食料工学会関西支部報, 116, 2014, 53. 査読無し

2. 徳田博紀, 井原一高, Eric McLamore, John Schueller, 豊田浄彦, 梅津一孝, Hitomi Yamaguchi, 精密研磨ステンレスパイプを用いた乳成分洗浄性の検討, 農業食料工学会関西支部報, 118, 2015. 印刷中, 査読無し

〔学会発表〕(計 5 件)

1. 井原一高, 中野絵里奈, Eric McLamore, John Schueller, 豊田浄彦, 梅津一孝, Hitomi Yamaguchi, 磁気研磨法による表面平滑化させたステンレスパイプにおける牛乳汚れの洗浄性, 第 72 回農業食料工学会年次大会, 2013.9.12, 帯広畜産大学 (北海道・帯広市)。

2. 金子知美, 井原一高, Eric McLamore, John Schueller, 豊田浄彦, 梅津一孝, Hitomi Yamaguchi, ステンレスパイプの乳成分洗浄性に対する表面粗さの影響, 農業食料工学会関西支部第 131 回例会, 2014.3.4, 大阪府立大学 (大阪府・堺市)

3. 坂本佑士, 井原一高, Eric McLamore, John Schueller, 豊田浄彦, 梅津一孝, Hitomi Yamaguchi, 表面を平滑化させたステンレスパイプにおける牛乳汚れの洗浄性-洗浄液流量の影響-, 第 73 回農業食料工学会年次大会, 2014.5.16, 琉球大学 (沖縄県・西原町)

4. Ikko Ihara, Tomomi Kaneko, Yushi Sakamoto, Eric McLamore, John Schueller, Kiyohiko Toyoda, Kazutaka Umetsu, Hitomi Yamaguchi, Enhancement of the cleanability of milk fouling on highly finished inner surface of stainless steel tubing, The 18th World Congress of CIGR, 2014. Sept 16-19, Beijing (China).

5. 徳田博紀, 井原一高, Eric McLamore, John Schueller, 豊田浄彦, 梅津一孝, Hitomi Yamaguchi, 精密研磨ステンレスパイプを用いた乳成分洗浄性の検討, 農業食料工学会関西支部第 133 回例会, 2015.3.3, 京都大学 (京都府・京都市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

梅津一孝 (UMETSU, Kazutaka)

帯広畜産大学・畜産学部・教授

研究者番号：20203581

(2)研究分担者

井原一高 (IHARA, Ikko)

神戸大学・農学研究科・准教授

研究者番号：50396256