

CO₂ドライクリーニングシステムの開発

東北大学大学院工学研究科 附属超臨界溶媒工学研究センター
猪股 宏

ドライクリーニング業界の現状

商業用クリーニングは、水を用いるランドリーと、有機溶剤を使うドライクリーニングに大別されますが、多様な衣類に対応できることからドライクリーニングが広く普及しています。平成14年度の統計(厚生労働省)によると、全国で約4万3千台の商業用ドライクリーニング機が稼働していますが、塩素系溶剤は発がん性の観点から排出規制が強化されているため使用量が年々減少しており、日本では石油系溶剤(ゾール)が主流となっています。この石油系溶剤を用いたクリーニングは、洗浄と乾燥工程を分離して行い、乾燥工程で消費されるエネルギーは年間原油換算で123万キロリットル、大気に放出される有機溶剤は32万キロリットルにもものぼるといふデータがあります。

このように、クリーニング業界では、環境問題に加えて省エネ・省資源の観点からも代替洗浄法の開発が望まれています。特に家庭向けクリーニング業は、中小企業、家族型企業が大多数を占めていることから、環境問題に対する対策や労働環境に対する対応の遅れはどうしようもない状況にあります。

代替溶剤の一つとして、シリコン系のものが開発され、一部使用されていますが、たいへん高価なため広く普及していません。一方、新しい発想から、米国

やドイツで液体状態の二酸化炭素を溶剤とする方式が開発され、米国では一部で商業機として稼働しています。約5MPa(約50気圧)の圧力下で液状のCO₂(炭酸ガス)を使用するものですが、液状CO₂だけでは洗浄力が不十分なので、化学物質(洗剤)の補助使用が不可避のようです。

このような状況下で、(株)オートランドリータカノでも洗浄溶剤の問題に頭を痛めていました。ちょうどその頃、われわれの東北大学工学研究科附属超臨界溶媒工学研究センターでは、機械部品や光学部材などの精密洗浄に超臨界状態のCO₂を利用する研究開発をNEDO地域新生コンソーシアム(H9~11年)として行っていました。その結果、CO₂は脱脂という観点では非常に優れていましたが、従来の装置に比べて設備コストが大きくなることから実用化は容易ではない状況でした。このような両者が会う機会が、東北大学のTLO(技術移転機関)の仲介で作られました。そこから、超臨界CO₂の洗浄技術をドライクリーニングに応用する研究を産学連携でスタートしたのです。

超臨界CO₂ドライクリーニングの原理

CO₂の臨界点は温度31℃、圧力7.3MPaと比較的温和で、衣類も十分に耐えられる条件で超臨界状態になるし、超臨界状態のCO₂は種々の(無極性、弱極性の)油

脂類を溶解する力があります。また、気体に近い拡散性を持っているので、衣類の隅々まで浸透することができ、表面張力による毛管応力の影響もほとんどないため液体では洗浄しにくいサブミクロンの微細構造へも適用できます。しかも洗浄終了後は、減圧のみでCO₂を気化させて除去できるため乾燥工程が不要となり、衣類の収縮もほとんどありません。このように、超臨界二酸化炭素は洗浄溶媒としてきわめて優れた特徴もっています。実験によると、CO₂だけでも良好な結果が得られ、性能としては十分に実用化できることがわかりました。しかし、実用化するには処理量の増大と経済性という条件をクリアする必要があります。また、汚れ物質の再付着を抑止しなくてはなりません。これらを超臨界CO₂洗浄でどのように行うかが課題でした。

私たちは、汚れ成分の再付着防止と洗浄溶媒の回収・再利用を可能とするため、洗浄器+溶媒回収+溶媒循環を実現する超臨界ドライクリーニング装置(図1)を試作しました。その特徴は、超臨界領域での熱膨張率がきわめて大きいことを利用して、まず加熱により圧力差を誘起し、これを駆動力として溶媒を高速で吐出させ、超臨界CO₂によって効率的に汚れ成分を洗浄すると同時に、亜臨界領域(臨界点よりわずかに低温域)での低蒸発潜熱を利用した溶媒の蒸発・凝縮により溶媒の循環・再生を行うことで、常に新鮮な溶媒での洗浄が可能なのです。これは、クローズシステム下で高圧ポンプをいっさい使用しない、きわめてシンプルな超臨界流体循環型ドライクリーニング装置と言えます。この基本的な作動機構はすでに確認していましたが、ドライクリーニング装置としての試験運転によって、洗浄処理時間の短縮やエネルギーの最小化、超臨界CO₂と衣料との接触方式

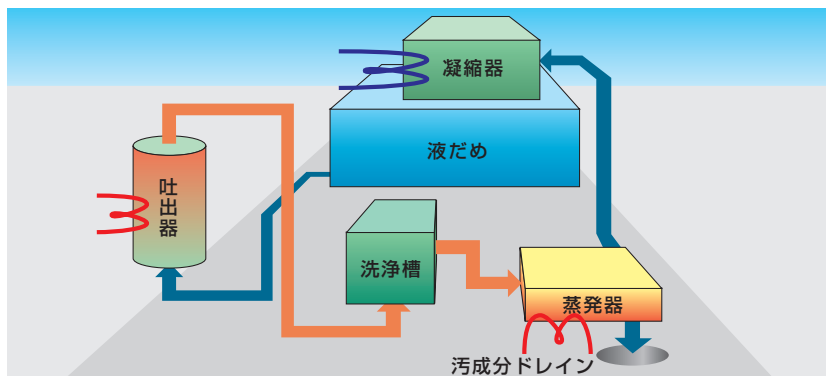


図1 超臨界溶媒循環型ドライクリーニング装置の原理図

や助剤開発による洗浄効果の向上、操作手順の最適化・自動化による操作性の向上などに関する検討をしました。具体的には、(株)オートランドリータカノを中心とした関連企業、産総研と大学の間でコンソーシアムを組んで実施しました。その際、大学側は吐出装置内の熱流動の解析(図2)など学術的な検討を担当し、産業側が実証試験を行いました。さらに、産総研からはエンジニアリングについての協力を得ました。



写真1
超臨界CO₂ クリーニング装置

クリーニング業界では、有機系洗浄溶剤の自然環境や労働環境に及ぼす悪影響の打開が共通の課題になっています。私たちは、東北大学の新井先生、猪股先生、スミス先生が発明された熱駆動循環による超臨界CO₂ 洗浄技術に関する基本特許を基に、先生方の指導の下で全く新しいドライクリーニング技術の開発に着手しました。

平成14年から2年間、猪股先生を総括研究代表者とする経産省委託事業の「地域新生コンソーシアム研究開発事業」に採択していただき、新井・猪股・スミスの三先生、産総研超臨界流体研究センター、業界各社の皆様と一緒に、新しい技術の開発に取り組んできました。



写真2 超臨界CO₂による洗浄での布の違いによる洗浄結果
汚れ成分：流動パラフィン+オイルレット(染料)
洗浄条件：二連吐出

超臨界CO₂ドライクリーニングの結果

1回の洗浄に要する時間は約30~40分で、乾燥時間を含めた現行のドライクリーニングより短い時間で洗浄できます。乾燥工程がなく、衣類の傷みも少なく、現行のドライクリーニングより風合い良く仕上がります。また、クリーニング品は当然、有機溶剤が残留しないため無臭で、当初の目標に近い結果になっています。

実用化へ向けて

これまでの研究開発で、基礎的な課題はほぼクリアできました。現在、商用機のプロトタイプ装置を製作したところ

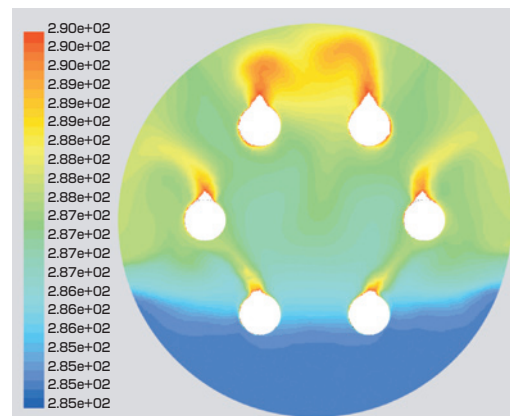


図2 10MPa到達時の吐出器内の温度分布

で、そのモニター洗浄によって市場評価を進めるとともに、装置を改良して本格的な商業ベースへ移行していくことを想定しています。将来は、人と環境に優しいこのクリーニング方式を、国内はもとより広く世界に普及していき、地球環境の改善、健康の増進に寄与したいと考えています。

企業連携でプラント実用化へ

株式会社オートランドリータカノ
加藤 義徳

写真1は、この事業の成果として開発製作した、世界初の超臨界CO₂ドライクリーニング装置です。洗浄槽の有効容積が30リットルと50リットルの2槽を備えており、吐出器4台、蒸発器、凝縮器、液溜め槽によって構成されています。環境面や省エネ効果に加えて、超臨界CO₂は浸透力が高いため、衣類を攪拌せずに静置したままで洗浄できるので、衣類の傷みがなく、風合い良く仕上がるという特徴があります。

写真2は、擬似汚染布を洗剤を使用せずに超臨界CO₂だけで洗浄した結果を示したものです。現行の洗剤を使用したドライクリーニングと同等以上の洗浄率が得られています。また、CO₂以外いっさい使用しないので、最近社会問題視され始めている化学物質過敏症患者向けの洗浄方式としても期待を集めています。

現在、インターネットを通じて全国の化学物質過敏症患者からモニター洗浄の依頼を受けてこの洗浄装置を使っていますが、重症患者の方々からも大変好評を頂いています。

16年度より経産省の補助金を頂き、本格的な実用機の開発製作に取り組んでいます。18年度からは、化学物質過敏症患者向けや、優れた洗浄品質を基にした高級品クリーニング市場向けに、本格的な事業展開を開始する計画です。