

廃棄物処理等科学研究費補助金 総合研究報告書概要版

研究課題名・研究番号 水ラジカル反応を利用した廃油の再燃料化と低エミッション  
燃焼技術の研究開発 ( K 1 5 1 1、K 1 6 2 9、K 1 7 4 2 )

国庫補助金精算所要額 ( 円 ) 35,171,000

研究期間 ( 西暦 ) 2003-2006

研究年度 ( 西暦 ) 2003-2005

代表研究者名 木戸口善行 ( 徳島大学 )

共同研究者名 三輪恵 ( 徳島大学 )、岩田哲郎 ( 徳島大学 )、佐竹弘 ( 徳島大学 )、田村勝弘  
( 徳島大学 )、逢坂昭治 ( 徳島大学 )、植田浩 ( ㈱太陽 )

#### 研究目的

本研究では、廃油の再燃料化処理を目的とする。これには、再燃料化技術、水エマルジョン燃料の燃焼効率の向上、有害排気物質の抑制が検討課題である。再燃料化技術については、安定な燃焼が可能で低公害な水エマルジョン燃料を製造することを目指す。このため、燃料製造に重要な水と油の混合方法を検討するとともに、混合時に用いる界面活性剤の最適化を行い、燃料構造と燃焼との関連を明らかにする。燃焼効率の向上および有害排気物質の抑制については、拡散噴霧バーナーによる燃焼解析をもとにして最適設計変数を求める。また、水エマルジョン燃料の燃焼による発熱量を調べて燃焼効率を評価する。これらの課題では、水分子の挙動を調べることが重要と考えられる。したがって、水分子の存在が燃料構造および燃焼機構に及ぼす影響を明らかにして、最適燃焼条件、設計要件を見出すことを目指す。研究は 2003 年度からの 3 年計画で行った。

#### 研究方法

研究では、水エマルジョン燃料構造の検討、製造方法の検討、拡散噴霧バーナーを用いた燃焼解析および熱量評価、燃焼装置の設計諸元の最適化などを行った。

燃料構造解析では、動的散乱法により、燃料粒径を測定して、水エマルジョン燃料製造時に水と油を混合させる際の磁場や超音波印加が燃料の微粒化に及ぼす効果を調べるとともに、顕微フーリエ変換赤外分光光度計を用いて水の OH 結合の伸縮方向への振動 ( OH 伸縮振動 ) に対して特定波数の光をあてて、共振を起こしたときの光の吸収スペクトルを解析した。また、微小電極抵抗計により燃料の電気伝導度を測定して、水混合割合を変化させたり、混合時に磁場あるいは超音波を印加したりした場合の燃料の相変化について調べ、燃料の安定性を調べた。

燃焼解析では、拡散噴霧バーナーを用いて水エマルジョン燃料を燃焼させ、火炎温度計測

や排気ガス分析、火炎内燃焼ガス成分分析などを行った。また、カセグレン光学系を用いて火炎内で発生する  $\text{OH}^\cdot$ 、 $\text{CH}^\cdot$  などのラジカル成分の局所時系列計測を行い、火炎中のラジカルの生成傾向を把握した。さらに、火炎上部に置かれた被熱体を加熱して熱量計測することにより燃焼効率を比較した。

拡散噴霧バーナーの最適設計では、市販の流体解析コードを用いた数値計算により、噴霧バーナーの保炎器内のガス流動、火炎温度分布、乱れ強度分布などを求めた。また、実装置では、保炎器への二次空気導入に関して、排気測定結果を評価基準として、最適設計諸元を求めた。

2003年度は、基材燃料を軽油として、水エマルジョン燃料の燃料構造の解析および安定性評価の方法を確立し、基本的な燃焼解析を行った。2004年度は、再燃料化技術に関して、水と油の混合時の磁場印加と超音波印加が燃料の微粒化、分子構造および安定化、燃焼に及ぼす影響を調べた。また、拡散噴霧バーナーの最適設計変数を求めるため、まず数値計算によりバーナーの保炎器への空気導入が燃焼に及ぼす影響について調べた。2005年度は、界面活性剤の一つとして、高分岐ポリマを用い、燃料安定性と燃焼への効果を調べた。また、重油および廃食油を基材燃料とした水エマルジョン燃料の燃焼特性についても調べた。さらに、前年までに明らかとなった、水エマルジョン燃料の燃焼効率向上の要因について、伝熱学的な推定および水蒸気存在により追加された化学反応により実験結果を考察した。拡散噴霧バーナーの最適化については、実験で保炎器構造を変更して、低エミッションのために最適な二次空気導入を行うための設計要件を求めた。

## 結果と考察

### (1)再燃料化技術に関する研究

水エマルジョン燃料の製造では、水と油を攪拌混合する際に磁場を印加する方法と、20kHzの超音波を印加する方法を行った。2つの製造方法で作られた燃料の粒径を計測した結果、超音波印加した場合は、燃料中の水粒子の粒径が小さくなることがわかった。また、磁場を印加して製造した水含有率 50%以下の水エマルジョン燃料では、水含有率が大きくなると界面活性剤の吸着が進み、水、油両相の界面エネルギー差が縮小することにより粒径が小さくなる。一方、超音波印加した燃料では、水含有率を変化させても粒径の変化が小さい。燃料の  $\text{OH}$  伸縮振動を調べると、超音波を印加した場合は、吸収スペクトルが高波数側にシフトする特徴がみられ、超音波により水のクラスターが微細化して燃料中に分散していることがわかり、超音波印加で水粒子の粒径が小さくなることが裏付けられた。

電気伝導度は、磁場印加よりも超音波印加のほうが高くなった。これは、超音波印加した水エマルジョン燃料では、水粒子径が小さいため表面積が増加して電気伝導率が高くなったためと考えられる。燃料製造後の経過時間に対する電気伝導度をみると、製造後数時間では電気伝導度に大きな変化がみられない。しかし、磁場印加では製造後1日で電気伝導度が低下するのに対して、超音波印加では1週間以上電気伝導度が低下せず、油水分離もみられない。したがって、超音波を印加して燃料製造したほうが燃料安定性は高い。ただし、製造後時間が経過して燃料に油水分離の傾向があらわれても、排気ガス成分は変化しない。しかし、時間が経過した燃料では燃焼が不安定になる。

磁場および超音波印加を拡散噴霧バーナーで燃焼させて、排気ガス成分を比較すると、NO<sub>x</sub> および CO<sub>2</sub> 濃度に大きな差はみられないが、超音波を印加した燃料では CO 濃度が高くなり、輝炎の発光が少ない。輝炎はすすの燃焼により発生するものであることから、超音波を印加した燃料では水性ガス反応 ( $C+H_2O \rightarrow CO+H_2$ ) が促進されてすす生成が抑えられ、CO の排出が増加したものと考えられる。火炎内のラジカル自発光強度を比較すると、水エマルジョン燃料では OH<sup>•</sup> の自発光強度が大きいことが明らかであった。また、超音波印加燃料では OH<sup>•</sup> や CH<sup>•</sup> の自発光強度が大きくなる特徴がみられ、さらに、磁場印加燃料では火炎の下流に向かって OH<sup>•</sup> の自発光強度が減少してくると C<sub>2</sub><sup>•</sup> の自発光強度が増加するが、超音波印加燃料では C<sub>2</sub><sup>•</sup> の自発光強度は増加しない。C<sub>2</sub><sup>•</sup> は過濃領域で大きくなることを考えると、超音波印加燃料では急速燃焼で過濃領域が少なくなっていると思われる。

新しい界面活性剤として高分岐ポリマを用いたところ、水エマルジョン燃料の粘性を低くする効果がみられた。ただし、燃料安定性は改善せず、活性剤としてさらなる改良が必要である。拡散噴霧バーナーにより、高分岐ポリマを用いた水エマルジョン燃料の排気特性を調べた結果、従来の界面活性剤を用いた場合よりも CO 濃度が低く、また、水含有率を大きくしても CO 濃度がほとんど悪化しなかった。これは、粘性が低下して燃焼改善に効果があらわれたものと考えられる。

水エマルジョン燃料のバーナー火炎の上方に被熱体を置くと、水エマルジョン燃料のほうに被熱体の温度上昇がはやく、被熱体の受熱量が高くなった。これより、水エマルジョン燃料のほうに燃料経済性は良好といえる。この要因については、伝熱学には、燃焼時に発生する水蒸気が被加熱面での熱伝達係数の増加を引き起こしたことが考えられ、さらに、水エマルジョン燃料では、火炎内で水蒸気あるいは OH<sup>•</sup> が多く生成し、高温下で水性ガス反応により生成したガス化成分の燃焼、およびガス化成分と OH<sup>•</sup> や水蒸気との反応で熱量が増加したと思われる。

## (2) 燃焼改善に関する研究

本研究で水エマルジョン燃料を燃焼させる拡散噴霧バーナーは、外部混合型で、噴霧ノズルから燃料と高圧の一次空気を別々に噴射し、二次空気導入のための小孔を多数もつ円錐台状の保炎器内で燃料と空気を混合して燃焼させる。このため、保炎器内の混合最適化が燃焼改善対策の一つになる。

数値計算によると、二次空気は火炎が発達する方向に沿うように保炎器に導入する必要があり、火炎を横切る方向に導入すると、火炎内に低温領域ができて燃焼および火炎形成が不安定になること、二次空気導入速度を小さくすると、噴霧ノズル近傍では二次渦により空気導入が行われて火炎温度が高くなるが、保炎器上部では火炎の拡がりが狭くなること、燃料の粘性が大きくなると、火炎長が短くなり、保炎器上方で外周部に向かう流れが形成されて火炎の拡がりが大きくなることなどが明らかになった。実装置でも保炎器側面に設けてある二次空気導入孔の位置や大きさ、個数などを変化させて排気ガス測定を行い、一次空気と二次空気の流量割合、二次空気導入位置、保炎器に対する総導入空気流量などの設計諸元に対し、最適値を示すことができた。

## 結論

水エマルジョン燃料の燃料構造の解析および安定性評価の方法を確立し、これらと拡散噴霧バーナーを用いた燃焼試験により、水エマルジョン燃料の特性を明らかにし、低エミッション燃焼の解析を行った。また、水エマルジョン燃料製造技術として、超音波を印加して水と油を混合する方法を適用し、これが燃料構造と燃焼に及ぼす効果を明らかにした。

超音波を印加すると、燃料に含まれる水粒子のクラスターが微細化して水粒子の微粒化効果があり、燃料の安定性も向上することが明らかになった。水エマルジョン燃料を燃焼させると、燃焼が促進されて、すすの燃焼に起因する輝炎の発光が抑えられ、燃料経済性も向上することが示された。この効果は、超音波印加でとくに顕著になる。

水エマルジョン燃料噴霧バーナーの燃焼最適化のために保炎器の構造は重要であり、数値計算および実装置を用いた実験により燃焼を最適化する設計諸元を求めた。

また、界面活性剤は水エマルジョン燃料の安定性向上に必要であるが、燃料の粘性が混合および燃焼に及ぼす影響は大きいため、界面活性剤の最適化により、燃料の粘性を一定に保つことが燃焼装置の最適設計にも必要であることが示唆された。