

# 燃焼炉におけるエマルジョン燃焼の技術

石田博樹（長岡工業高等専門学校）

近年、原油価格の急な高騰、燃料節約の省エネルギー思想の浸透、さらに、排気ガスを浄化して大気汚染を防止する国民的合意の浸透により、燃焼機器へのエマルジョン燃料の利用が、再び注目されている。

燃料油分に一定割合の水を混ぜて、油の中に微細な水粒子がほぼ均一に分散している状態の燃料を油中水滴型(W/O型)エマルジョン(乳化油または乳化燃料)、その逆、即ち、水の中に微細な油粒子がほぼ均一に分散している状態の燃料を水中油滴型(O/W型)エマルジョンと呼んでいる。

燃料油に水を混ぜて燃焼させるという発想自体は、かなり前から報告されている。

それは、燃料粒子に含まれる水粒子が燃焼器内の高温雰囲気の中で微小爆発することにより、燃料粒子がさらに細分化され、燃料と空気との混合が良くなるために燃焼効率が向上し、その結果、ボイラーなどの燃焼炉内への過剰空気量を減少でき、燃焼炉からの熱損失を減少できること、また、燃焼ガスの温度が低下するために排気ガス中のNO<sub>x</sub>の濃度を低減できること、また、水性ガス反応により、排気ガス中のススや煤塵を低減できること、さらに機械油や植物油の廃油をも燃料として再利用できること、などの大きな利点があるためである。

しかし、燃料油には本来溶解しない水を燃料油の中に均一に分散させ、かつ、安定化させたエマルジョン燃料をつくり、それを燃焼機器へ送り、長期間にわたって安定に稼働させることは、実は難しいのである。そのために、以前から多くのメーカーにより、エマルジョン燃料製造機(乳化機)とその燃焼機器の開発の努力がなされている。

筆者が知る限り、それらの殆ど全部が、少量とはいえ、界面活性剤を混合することによって燃料油中に20-40% (又はそれ以上)もの水を混合させ、エマルジョン化された燃料をつくり、その安定化をはかっている。しかし、「燃料に水を混ぜても燃える」ことの実験から、安定に稼働できる燃焼機器へ

の応用は決して容易ではない。

当然のことながら、少量とはいえ、大型の燃焼炉では界面活性剤の量と費用が無視できない。また、燃焼ガスの中に界面活性剤の分子成分が含まれることも避けられない。さらに重要なことに、水分が多すぎる場合には、実際には、燃焼効率が著しく低下するために、燃費が悪くなり、結局は、省エネルギーにはなれないのである。

そのため、長期間の定常燃焼に耐える燃焼炉に於いては、エマルジョン燃料の水分割合を決してむやみに増加させてはならず、燃料の種類に応じてその最適値を見つけなければならない。燃料が軽油やA重油の場合は通常10%以下、燃料がC重油の場合でも20%程度であろう。

実は、20年以上も前から、多くのエマルジョン燃料の製造機とは全く異なり、複数の歯車によるポンプ方式により、界面活性剤を用いずに安定なエマルジョン燃料を製造できる独自の優れた機構をもつエマルジョン燃料製造機(乳化機)が開発されている。

その技術により、混合する水分を、通常は10%前後に抑え、ボイラーや鍛造用の燃焼炉における燃焼効率の向上(燃費の向上)と排気ガスの清浄化との両方を達成し、また、廃油を燃料として再利用する道も期待できる。

この乳化機構では、通常の機械的粉碎では実現不可能なまでの水の微粒化が可能である。水の粒子を燃料油に混ぜ、回転する複数の歯車とケーシングとの間にて、その混合液体に強いせん断力が加わることにより、水粒子を極めて微粒化することができる。

長期間にわたり安定に稼働する燃焼炉に用いるための乳化燃料に要求される条件として、以下が挙げられよう。

(1) 噴霧された油滴内の水粒子の直径が数十ミクロン以下である。

(2) 油と水が一定の期間、分離せずに安定なエマルジョン(乳化)状態が維持できる。

(3) 流量や温度が変化しても、エマルジョンの状態が安定である。

(4) 燃焼機器内の部品を腐食させない。

(5) 界面活性剤を極力使わない。

(6) 乳化機システムの価格が高くない。

エマルジョン燃焼の利点の概略を大きく分けると、以下の4点があげられよう。

#### (1) 燃料粒子の微小爆発による燃焼効率の向上

エマルジョン燃料の燃焼効率の良さの最大の要因は、中に含まれる水の粒子の存在である。1気圧の下では、水は気化すると体積が約 1700 倍になる。即ち、噴霧された乳化油の液滴の中の一つ一つの水粒子は、高温のガスの中での瞬間的な沸騰と気化により、その体積が約 1700 倍にも膨張するために、油粒子を粉碎し吹き飛ばすことになる。燃料粒子のこの瞬間的な粉碎を微小爆発と呼んでいる。

この微小爆発により、噴霧された乳化油の液滴が一層、細分化され微粒化されることになり、周囲の酸素との接触面積が拡大し、そのために燃焼反応が著しく促進されることになる。

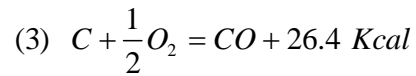
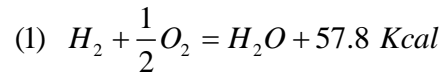
通常、燃焼機器の燃料噴霧器による油粒子の直径は 30-130 ミクロンであるが、複数の歯車によるポンプ方式のエマルジョン燃料製造機(乳化機)により生成される乳化油では、この油粒子の中に直径が 10 ミクロン以下の水粒子も含まれている。そのため、通常の燃料噴霧器による油粒子に比べて、エマルジョン化された噴霧微粒子は、燃焼器内の高温雰囲気の中で著しく細分化され微粒化されることになり、周囲の空気との混合が良くなり、燃焼の効率が著しく向上する。

#### (2) 過剰空気量の抑制による熱損失の低減

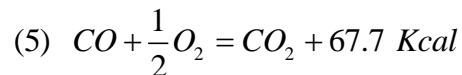
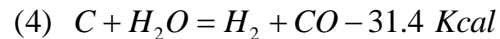
エマルジョン燃料を噴霧することにより、燃焼効率が向上するために、燃焼炉内へ送り込む過剰空気量を抑制することができる。そのため、高温の燃焼ガスの炉内滞在時間が長くなり、燃焼炉からの熱損失が大幅に低減される。それにより、燃料の消費量が削減される。

#### (3) 水性ガス反応によるススと煤塵の低減

炭化水素燃料を用いることにより炉内温度が 1000-1800 °C 位になる通常の燃焼炉内で生ずるごく基本的な酸化反応として、以下の(1)-(3)式があげられる。



これらの反応から以下のように、(1)と(3)の反応により反応(4)が、(2)と(3)の反応により反応(5)が起きる。さらに、(1)と(5)の反応により反応(6)が起きる。



炭化水素燃料が高温雰囲気の中で燃焼するときに、空気量(酸素量)が不足であると、それは不完全燃焼となり、排気ガス中にススや煤塵が発生する大きな要因になる。

ところが、燃焼炉内の雰囲気の中に水分(水蒸気)が含まれていると、(1)と(3)の反応により反応(4)で表される吸熱反応が起きる。これが通常、水性ガス反応とよばれる反応であり、燃焼反応における未燃の炭素分がガス化されて可燃性のCOとなり、そのため、排気ガス中のススや煤塵が著しく減少する要因になる。この反応は吸熱反応であるから、燃焼炉内の温度が高いほど進行する。

さらに、この反応で生成するCOは、燃焼炉内のO<sub>2</sub>との発熱反応である反応式(5)によりCO<sub>2</sub>となる。またさらに、このCOと燃焼炉内のH<sub>2</sub>Oとの発熱反応である反応式(6)により、CO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>が生成する(この反応を水性ガス反応と呼ぶこともある)。なお、これらのCOの反応は、発熱反応であるから、炉内温度が上昇すると抑制されることになる。

#### (4) 排ガス中の窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)の低減

エマルジョン燃焼では、水粒子が気化熱を奪うことと、水性ガス反応(反応式(4))による吸熱により、燃焼ガスの温度を低く抑えることができるために、排気ガス中の窒素酸化物が低減する。なお、燃焼ガス中の窒素酸化物の生成要因としては、通常、次の二種類が考えられている。

T-NO<sub>x</sub> (Thermal NO<sub>x</sub>):

高温の燃焼ガスの中で、空気中の窒素(N)と酸素との反応により生成するものである。そのため、燃焼ガス温度の高低により発生量が大きく変動す

る。エマルジョンによる燃焼方式の中には、燃料油に 30-40 %もの水を加えることにより燃焼炉内の温度を下げ、Thermal NO<sub>x</sub> の発生を抑制する考え方がある。しかし、実際の定常運転では、それほど水分を加えると燃焼炉内の温度が下がり過ぎるために、それを阻止するべく、燃料の供給量を増やす必要があり、燃焼効率がむしろ低下し、結局は、燃費節減どころか燃費増大となる。

F-NO<sub>x</sub> (Fuel NO<sub>x</sub>) :

燃料に成分として含まれている窒素分のために、燃焼反応の中で生成する。したがって、その発生量の低減のためには、その生成反応を抑制するべく空気比を下げる、即ち、酸素濃度を抑制した状態で燃焼を行なわせる必要がある。しかし、それは同時に燃料の不完全燃焼をもたらすために、ススや煤塵の発生を増大させることになる。大気の中で、最終的には、NO<sub>x</sub> は、硝酸(HNO<sub>3</sub>)に、SO<sub>x</sub> は硫酸(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)にと転化していき、大気汚染や、ボイラー等の燃焼機器とその付帯設備の腐食の原因となる。

以上、燃焼炉内におけるエマルジョン燃料の燃焼の利点の概略を述べたが、昨今は、インターネットにより「エマルジョン燃焼」を検索すると、日本国内だけでも 500-800 件もの研究報告、紹介記事、製品案内などが表示される。

しかし、それらを詳しく見てみると、燃焼工学を少しでも学んだ者から見れば、学問的根拠を欠いた、荒唐無稽な、素人だましと思える宣伝や報道記事もある。燃料油に対して 30~50%の水を混合した“エマルジョン燃料”が、燃焼機器の長期間の安定な稼動を保障できるであろうか。水が熱を出して燃料の発熱量が増える、水分割合をさらに増加して水だけで燃やすことを目指す、などとする記事、宣伝、報告を信用できるであろうか。

エマルジョン燃焼の利点が十分に生かせるのは、あくまでも十分な高温雰囲気の中であることに留意しなければならない。 即ち、定常運転にて十分に加熱された燃焼炉や、高負荷運転にて十分に加熱された内燃機関においてのみ、その利点が発揮できる。

昨今、燃費削減と排ガス浄化を目的として、自動車用エンジンにエマルジョン燃料を適用し、その目的が首尾よく達成できたとする報告書や報道記事が時々見受けられる。しかし、技術的にも、

製品保障の面でも、それらの内容には重大な疑問があり、到底、信用できない。ディーゼルエンジンの専門家として知られるある大学教授は、「エマルジョン燃料の用途としては、自動車エンジンをターゲットにするべきではない」と結論し、その理由を以下のようにあげている。

(1) 自動車は不特定多数の人々がさまざまな使い方をする機械であり、あらゆる用途のエンジンにおいて、もっとも高い品質の燃料特性を要求する。メーカーにとってエマルジョン燃料の使用は論外である。

(2) JIS 規格を満足していない自動車燃料(エマルジョン燃料)を製造するようなシステムを販売した場合、販売者はエンジントラブルの全責任を負うことになる。

(3) 起動と停止が頻繁に行われ、負荷変動が大きい自動車用エンジンでは、エマルジョン燃料使用による燃費改善効果はありえない。少量の水添加では NO<sub>x</sub> の低減も期待できない。また、排ガス中の HC と CO も確実に増加する。

(4) 最新のエンジンはもちろんのこと、旧式のエンジンでも、通常の燃料(軽油)と同等のシステムの信頼性・耐久性を確保することは不可能。燃料系統や噴射系をはじめ、燃焼室、潤滑といった各システムの根本的な設計変更がなければ、エマルジョン燃料の使用は、到底実用レベルには達しない。

燃焼炉にエマルジョン燃料を使用することが優れた燃焼技術であることは、今日では、誰もが分かっている。現在の私達が心すべきことは、「燃料油に水を混ぜても燃えること」への単なる珍しさや驚きを、もはや過去のものとし、膨大な報告や記事の中から、それらが先に挙げた「安定に稼動する燃焼炉に用いるための乳化燃料に要求される条件」を満たすものであるか否かを冷静に峻別し、それらを満たす技術のみを採用することである。

エマルジョン燃料とその燃焼についての、荒唐無稽な宣伝記事や報告を放逐し、それらにだまされる人々を少しでも減らすために、今日、エマルジョン燃焼の研究者は、何らかの対策をとるべき時期に来ていると思われる。(2008年4月)

.....

この解説は、実際、多くの方々によく読まれているようである。2011年の秋現在、インターネットで

「エマルジョン燃焼」と入力すると、Google では72100 件中の3位で、また、Yahoo では71800 件中の3位で、この解説が表示される。

いろいろな企業から、今日までに、数えきれないくらい多くの問い合わせをいただいている。「より詳しく話を聞きたい」として、今までに、たくさんの方々から問い合わせや御訪問をいただき、以下のような質問もいただいている。

「現在、各国で数多くのエマルジョン燃料が製造、研究、開発も続けられています。今まで(燃料費用の削減を主にした)常用化に成功したところがなく、それどころか市場からは否定的な評価を受けているのが現状です。これまでのエマルジョン燃料が常用化に失敗した一番の大きな技術的な欠陥は、どういったところにあったのでしょうか？」

私は、以下のようにお答えしている。

(1)界面活性剤の費用負担が大きく(特に大型の燃焼炉のユーザでは)、結果的に燃料費の削減にならなかった。そのため、エマルジョン燃焼装置の初期導入費を回収できなかった。

(2)界面活性剤を用いると、燃料油に水をいくらでも混合できるために、一見、エマルジョン燃料ができたように見える。しかし、大量に水を含んだその燃料を長期間、ボイラーなどに用いると、必ず、燃費の悪化や燃焼機器内の腐食が発生してしまう。それで、ユーザは「エマルジョン燃焼は、ダメだった」という結論に達する。

(3)燃料油に水を「混合させる」と、燃料油と水を「エマルジョン化する」ことは、まったく違う現象である。混合機と乳化機は、まったくの別物である。この点を、多くのメーカーが理解していないために、でたらめな「エマルジョン燃料製造機」を「開発」している。しかし、それらは必ずトラブルを起こし、ビジネスとして、失敗している。

以下は、今までに私あてに来た多くの問い合わせや、訪問された多くの会社の方々に、共通して、私が要求していることである。これらに明解な回答ができない状態であれば、まだマーケティング調査が不足であり、また、エマルジョン燃焼システムの作動と保守点検について責任ある準備が出来ていないことになる。

(1)どのような機構の「エマルジョン製造装置」なのか詳細に説明していただきたい。

削減できる燃料費は、そのエマルジョン化装置の運転費用(電気代や乳化剤の費用など)よりも、本当に大きいのか。

(2)貴社のエマルジョン製造装置の販売先としては、どのようなユーザーを想定しているのか。

(3)エマルジョン製造装置とライン設置工事を含めた納入価格の減価償却の期間は、燃費の削減により、どのくらいになると見込んでいるのか。(これは、もちろん、ユーザーの通常の燃料消費量により異なる。病院、ホテル、鍛造工場では、減価償却の期間が全く異なる。)

(4)ボイラーに送り込まれる直前の燃料は、本当に「エマルジョン燃料」になっているのか。それを貴社は常に、実際に確認しているのか。

(5)原燃料でボイラーを運転する条件と、エマルジョン燃料に切り替えて運転をする条件は、同じか、違うか。

(6)エマルジョン燃料をボイラーの運転に用いるときには、通常、点火時と消火時には、原燃料に切り替えなければならない(燃焼機器の腐食防止のために)。その保守点検作業の原則を貴社はユーザに守らせているか。

(2011年12月)