

日時： 2006年11月9日（木） 13:00 - 17:00

場所： 豊橋技術科学大学 未来技術流動センター セミナー室

出席者： 21名

藤川 武敏（主査, 豊田中央研究所），野田 進（講師, 豊橋技術科学大学），成瀬 一郎（講師, 豊橋技術科学大学），小口 達夫（豊橋技術科学大学），青木 茂（豊田自動織機），伊東 輝行 [代：久保賢明]（日産自動車），井原 禎貴（岐阜大学），真弓 和久（トヨタタービンアンドシステム），中田 浩一（トヨタ自動車），加藤 隆輔（ヤマハ発動機），柴田 元（新日本石油），植田 隆広 [代：間瀬泰]（いすゞ中央研究所），太田 安彦（元名古屋工業大学），調 尚孝 [代：河野 正顕]（日本自動車部品総合研究所），小池 誠（豊田中央研究所），桑原 一成（三菱自工），高野 孝義（豊田工業大学），高橋 周平（岐阜大学），大平 哲也 [代：中村 宗昭氏]（スズキ），串田 丈夫 [代：小林 靖久]（ボッシュ），古谷 正広（幹事, 名古屋工業大学） [代：代理出席者] [追：追加出席者]

議事：

1. 話題提供

(1) 野田 進 先生（豊橋技術科学大学未来ビークルリサーチセンター教授）

「乱流燃焼モデリングの動向と確率密度関数法の紹介」

要約

燃焼技術において、有害物質の低減は大きな問題である。燃焼器の最適設計のためには、燃焼反応を精度よく予測するための解析手法が求められている。これまでに提案されてきた乱流燃焼モデルとして、Spalding の提唱した Eddy-Break-Up モデル、Magnussen らの Eddy Dissipation モデル、フレームレットモデルがあるが、これらは化学動力学を厳密に取り扱ったとは言えない。

反応を厳密に扱える確率関数密度関数 PDF 法について、PDF 輸送方程式の導出、解法について解説があった。乱流は多点多時刻確率密度関数 PDF で厳密に表現できるため、PDF 法の考え方は乱流研究の初期に生まれた。しかしながら、この手法は解析負荷が非常に高いために、長く放置され、モーメント解析に重点が置かれてきた。Pope が PDF 解析にモンテカルロ法を導入したことで、近年 PDF 法は再び注目されるようになった。しかし、解析負荷の点で現在の計算環境でも一点一時刻 PDF の輸送が取り扱われる。PDF 法では厳密に化学反応を取り扱うことができるので、エンジン燃焼を含め乱流燃焼解析において今後使用されると期待されている。最後にバーナ火炎の実験値と PDF 法による計算結果との比較が示され、PDF 法の有用性が示された。

質疑

Q1. PDF 法と従来の一般的な方法とでの計算結果で具体的な差は。

A1. 流れ場の解析において、 $k-\epsilon$ モデルでは速度相関項を勾配拡散モデルで近似するが、PDF 法ではモデルを必要とせず厳密に解くことができる。1次モーメント、2次モーメントまではこれまでのものでもよく予測できるが、PDF 法ではさらに高次のモーメントまで予測できる。フレームレットモデルを想定して反応速度無限大とすれば温度が高く計算されるが、反応速度を厳密に取り扱った PDF 法では温度は低くなる。

Q2. どの程度の温度変動まで PDF 法は取り扱えるのか。

A2. 理論的にはどんな変動でも取り扱える。

Q3. 逆流や再燃焼するような場でも PDF 法は適用できるのか。

A3. 楕円型の方程式を使えば循環流があるような場でも取り扱える。

Q4. 実験値と計算値が一致していないようにみえるが。

A4. 実験側の問題点としては計測誤差がある。計算側の問題点としては反応を厳密に扱っているために、着火源が必要となりパイロット火炎を設定している。この影響が解析結果に表れている。計算側の対応としては放物型から楕円型支配方程式に変更することが挙げられる。

(2) 豊橋技術科学大学 工学教育国際協力研究センター 成瀬一郎 教授 (14:00-14:45)

「固体燃料とエンジンの係わり」

要約：

まずエネルギーの歴史と現状について説明する。古代における元素は土、水、空気、火の4種類であった。ガリレ

オが 1592 年に熱膨張を利用した温度計を作ったとされており、これが熱・エネルギー工学のきっかけといえよう。しかし、エネルギーという言葉が論文に出てくるのは 1850 年代からである。従ってエネルギーに対する本格的な歴史は 150 年位しか無いことになる。1 次エネルギー資源の可採年数を調べてみると、石油 40 年、天然ガス 60 年、CO₂ 低減に期待の大きいウランでも 60 年程度である。これに対して石炭は約 200 年、褐炭等の低質炭を含めると更に 100 年程度長くなり、長期にわたって利用可能なエネルギー源と言える。但し CO₂ の排出が多いため、熱効率が 1%でも向上すれば CO₂ 削減に対して大きく貢献できることになる。中国は石炭埋蔵量が多いことで知られているが、炭鉱は内陸部に多いため需要地の海岸都市部への運搬にコストがかかる。このため現在中国は石炭の輸入国になっている。1 次エネルギーのうち最終的に利用された効率を見ると、日本は約 60%とほぼ限界に近い値となっているのに対し、中国は約 40%に過ぎない。今後の中国でのエネルギー需要の高まりを考えると、この効率を上げることが非常に重要となる。一方、風力、太陽光、バイオマス等の再生可能エネルギーの導入割合は、北欧で約 10%、アメリカでも約 3%であるのに対し、日本は 1%程度である。一般廃棄物を用いたバイオマス発電を試算してみても、1 次エネルギーの 1%を賄うことは困難である。従ってこれでエネルギー全体を賄うのではなく、ある特定地域で如何に有効利用するかを検討することが重要と言える。

次に地域環境と地球環境について説明する。地域環境として我々の分野で特に関係が深いのが NO_x、SO_x、ダイオキシン、PM 等のガス排出物に含まれる物質である。焼却炉におけるダイオキシンの濃度規制は 0.1ng/m³であるが、この濃度は 1m³の水槽内に直径 6μ の粒子が 1 個存在するレベルである。このためガスクロマトグラフィで検出するには、3 段階で濃縮する必要がある。石炭火力発電所から排出される粒子の大半は石炭中に含有している灰分のような無機粒子で、広い粒径分布を持っている。電気集塵器で集塵するが 1μ 以下の粒子は捕捉できずに排出されてしまう。日本の現状規制は PM10 であり 10μ 以下の粒子の重量規制である。しかし小さな粒子は重量が軽くても呼吸器官への沈着率が高く、最終的には血液に溶け込んで健康に及ぼす影響が大きいと言われている。このため欧米ではより小さな粒子を規制する PM2.5 規制へと動きつつある。硫酸塩、硝酸塩を含め、この PM2.5 の発生源の 95%以上が燃焼由来と言われている。その他微量元素の捕捉も含めて、発生源である燃焼炉内で如何に制御するかが重要であり、我々もこの部分の研究を行っている。

最後に固体燃料とエンジンとの係わりについて述べる。固体燃料をエンジンで使用する場合、三通りの方法が考えられる。一つ目はスターリングエンジンを使う方法で、これは外燃機関であるため燃料を選ばない。二つ目は固体燃料を CO や H₂ にガス化してエンジンに供給する方法。もう一つは更に GTL(Gas To Liquid)と呼ばれる、ガス燃料から液体燃料を合成する手法である。我々は小規模森林地域の木質バイオマスの利用について調査した。これは新城・鳳来地区の製材廃材（おが粉、パーク、端材等）と林地残材（間伐材等）を、温泉の重油焚きボイラーに置き換えられないかというものである。検討の結果、熱エネルギーとして必要な熱量は、バイオマスで供給可能な値の 20%以下であり、バイオマスが大幅に余ってしまうことが分かった。このため、バイオマスを直接燃焼させて発電するケースを検討した。しかし発電出力が 1000kW 以下であるため、蒸気タービンシステムの熱効率が 10%程度と低い事が問題となった。この程度の出力では、バイオマスをガス化してエンジンで発電する方が高い熱効率が得られる。これらを総合して、事業化に向けた検討として、木質バイオマスの直接燃焼による熱供給と、余剰バイオマスのガス化エンジン発電の、小型ガス化コージェネシステムが適当であるという結論を得た。技術的に問題となるのは、バイオマスのガス化技術であるが、現在のガスエンジンは天然ガス等の非常にクリーンな燃料を使っているため、ガス化装置でのタール等の除去が課題となる。また吸気温度も 50℃以下という制限もある。これらに関してはエンジン側で、もう少し歩み寄ってもらえると有り難い。一方経済性の評価を行うと、ランニングコストを熱供給と電力の収入で賄う事は困難であることが分かった。このランニングコストは使用者が負担するとしても、導入のプラント設置費用は公的資金の投入が不可欠と言える。現在、風水害対策に多額の税金が使われており、その一部を整備費用として投入すれば、中・長期的には森林保全から風水害対策も可能になるものと考えられる。

質疑

Q1. 石炭ガス化の際のエネルギー変換効率ほどの程度か。

A1. 冷ガス効率（投入燃料が持つエネルギーに対する生成ガスのエネルギー）で 70~80%程度でのようである。

Q2. 1980 年代頃に石炭液化の研究がかなり行われたと思うが、現在の状況はどうか。

A2. 日本ではサンシャイン計画の時に、相当な資金を投入して研究が行われたが、ネックはコストであった。しかし最近のように原油価格が \$70/バレルを越えるような段階で見直されてきている。例えばインドネシアなどは石炭液化の要望が強く、かつての研究によりこの分野で技術先進国の日本に援助を求めてきている。

Q3. 石炭を液化する方法として直接液化とガス化を介しての二通りがあるが、両者の優劣はどうか。

A3. 一長一短である。直接液化の場合水素が不足するので単独では成り立たず、どこかで水素を作る必要がある。一方 GTL の場合 FT 合成という手法が採られるが、これは触媒を使った反応のためイオウの除去が必須となり、ここにコストがかかる。

Q4. 世界でバイオマスとして使える量はどの位あるのか。

A4. バイオマスの量自体は森林面積のようなものだから相当あるが、問題は実際に使える量である。その値は全エネルギー量から見れば 1%にはるかに満たない微々たる量である。バイオマスの運搬は輸送コストの点からも現実的

でないため、やはり地域でうまく使うことが必要と考える。

Q5. 今回のバイオマスの試算では経済的にペイしないとのことであるが、これはこの事例に限ったことか。

A5. プラントの規模に大きく左右される。国内でも秋田県ではもっと大型のプラントで何とかペイしているところもある。

2. 研究室見学 (15:00-17:00)

豊橋技術科学大学の下記3研究室の見学をさせて頂き、活発な質疑が行なわれた。

- ・野田研究室：乱流燃焼の基礎研究
- ・成瀬研究室：環境調和型固体燃料利用技術
- ・小口研究室：エンジン燃焼に関わる反応素過程

以上