

第 9 章

微粉炭燃焼場の高度計測・ 数値解析技術

第9章 微粉炭燃焼場の高度計測・数値解析技術 目次

横須賀研究所 エネルギー化学部 主任研究員 辻 博文
横須賀研究所 エネルギー化学部 主任研究員 黒瀬 良一

9 - 1	研究の背景	103
9 - 2	レーザ計測を用いた燃焼火災内の非接触計測	103
9 - 3	数値解析技術	107
9 - 4	今後の展開	111



辻 博文（1992年入所）

入所以来、微粉炭燃焼および気流中粒子計測に関する研究に従事してきました。微粉炭燃焼技術については、低NO_xバーナおよび低負荷対応燃焼技術の研究開発、ならびに光学計測を用いた火炎構造の解明研究を行ってきました。今後は、燃料種の拡大化技術や一層の環境負荷低減技術などの研究に携わり、微粉炭火力の一層の高度化に向けて努力していきたいと思ひます。

（9-1、9-2、9-4執筆）



黒瀬 良一（1998年入所）

入所以来、数値シミュレーションや光学計測による微粉炭燃焼火災の構造解明およびそのモデリングに関する研究に従事してきました。現在は、主に、微粉炭燃焼場を理論的に精度良く解明するためのラージ・エディ・シミュレーションコードの開発に取り組んでいます。

（9-3、9-4執筆）

9 - 1 研究の背景

今後の微粉炭火力においてはこれまで以上の、環境性・運用性の向上および燃料の多様化などが求められており、燃焼技術の一層の高度化が重要となっている。微粉炭燃焼場は、最高火炎温度が1500 以上にも達する高温の流れ場であると共に、生成・消滅が早く、かつ環境汚染物質の生成・分解等に影響の大きい活性化学種（ラジカル）や反応性の固体粒子など、測定が難しい物質が存在し、反応場と流れ場が複雑であるため、理論的な取り扱いが困難であった。したがって、現状では燃焼装置やバーナなどの開発は経験工学的に行われることが多く、その手順は極めて煩雑であるため、多大なコストや期間が必要であった。今後の高度燃焼技術の開発においては、燃料種や燃焼条件の多種・多様化に対応するため、効率的な推進が不可欠である。そこで、微粉炭燃焼場を詳細に測定し、メカニズムを解明することによって、流れ場や反応場ならびに環境汚染物質の生成・消滅プロセスをモデル化し、燃焼場を高精度に再現できる数値解析技術を開発することが必要となっている。

従来の燃焼場の測定は、例えば温度に関しては熱電対

を用い、ガス分析にはサンプリングプローブを燃焼場に挿入して行われてきた。これらの方法は、比較的容易に計測が行えるという利点を有しているものの、接触計測であるため測定対象場を乱すこと、時間・空間分解能が低いこと、ラジカルなど測定が困難なものがあること、等の問題を有している。このような状況の中、近年、燃焼場を乱すことなく非接触でラジカル等の化学種の濃度や粒子の挙動を測定することができるレーザ計測が注目されている。

一方、微粉炭燃焼場の数値解析技術については、昨今の計算機性能の著しい進歩に伴い、内外で活発な開発が実施されており、その高度化が進められている。

以上の観点から、当所では、微粉炭燃焼場のレーザ計測に関しては火炎内に存在するラジカルの挙動を把握する研究^①、および微粉炭粒子の挙動を把握する研究^②を実施している。また、数値解析に関しては、当所が所有する石炭燃焼試験炉を対象とした研究、ならびに燃焼場の解析精度の向上を図るための研究^{①-④}を進めている。

9 - 2 レーザ計測を用いた燃焼火炎内の非接触計測

微粉炭火炎の構造を明らかにするためには、火炎内の温度場、流れ場、化学種の濃度分布に加え、燃焼場内の粒子の挙動や粒子の温度などを測定する必要がある。レーザを用いてこれらの物理量を測定する様々な方法が、現在研究開発されている。当所では、燃焼場に存在する化学種の中でもNO_xなどの環境汚染物質の生成・消滅に関わりの深いラジカル（OH、CHなど）、ならびに微粉炭等の粒子挙動を計測する手法の開発を図っている。

レーザを用いる、燃焼場内のラジカルの測定については、ラマン散乱法、CARS（Coherent Anti-Stokes Raman Spectroscopy）法およびレーザ誘起蛍光（LIF）法などがある。これらのうち、ラマン散乱法および

CARS法は得られる信号強度が極めて弱いため点計測に限られること、装置構成が複雑になるなどの欠点を有している。これに対して、LIF法は信号強度が強く2次元計測が可能であるなど、ラジカルの計測を行う上で多くの利点を持っている。当所では、このLIF法の微粉炭燃焼場への適用を目指し、検討を行っている。これまでに、比較的測定が容易なメタン・空気予混合火炎を用いて、OHやCHなどの可視化手法についての検討を行った。

一方、粒子の挙動については、レーザ・ドップラ流速計（LDV）の活用が図られてきた。LDVは、気流に追従する微小粒子を流れ場に混入させ、その粒子の速度を検出することにより流れ場の測定を行うために、開発さ

れたものである。しかしLDVは本来、粒子の速度を測定するものであるため、近年粒子計測用として活用される例も多くなってきた。特に現在、LDVの光学系を改良し、粒子の速度と粒子形状や粒径を同時に計測する幾つかの手法が開発されている。これらの手法の内、平均粒径が40～50 μmの不定形粒子である微粉炭の粒子速度と粒子形状・粒径を同時に計測できる手法として、シャドウ・ドップラ流速計（SDV）がある。当所では、このSDVを実験室規模の小型の微粉炭燃焼火炎に適用し、粒子の挙動を計測している。

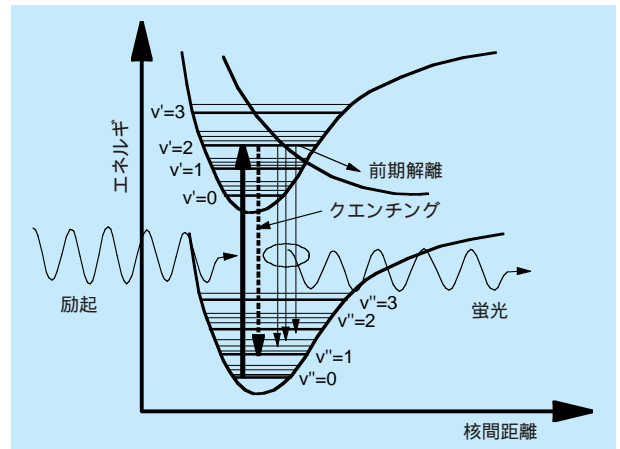


図9-2-1 分子のエネルギー準位

9-2-1 レーザ誘起蛍光（LIF）によるガス状ラジカルの計測

測定法の概要

図9-2-1は、ラジカルの蛍光計測法の概念を示したものである。原子・分子の持つ電子エネルギー準位において、準位間の遷移に必要なエネルギー差に対応する波長の光を原子・分子に照射すると、原子・分子はその光をエネルギーとして吸収し、上位の準位へ遷移した後、吸収した光を再び光の形で放出しながら下位の準位へ戻る。この時に発せられた光が蛍光であり、照射光源にレーザを使用した場合には、レーザ誘起蛍光（LIF：Laser Induced Fluorescence）と呼ばれる。特に、励起レーザ光をシート状にして測定対象場を導入することにより、2次元の蛍光強度分布を同時に測定することが可能となる。

図9-2-2は、LIFシステムの概略を示したものである。システムは大きく、レーザ光源、レーザ光を測定場まで導入する光学系、蛍光を受光する検出装置、レーザ光強度分布補正装置、およびこれらの機器のコントロールやデータの送受を行う同期制御装置からなる。

レーザ光源は、Nd：YAGレーザ、OPO（オプティカル・パラメトリック・オシレータ）および波長校正装置からなる。波長校正装置は、フォトマルによりミニトーチで形成される火炎中のラジカルの蛍光スペクトルを計測し、レーザ光源の波長を校正するものである。光学系は、レーザ光を高さ約3.5cm、厚さ約0.5mmのシート状にするものでシンドリカル・レンズなどから構成されている。検出装置は、主にイメージ・インテンシファ

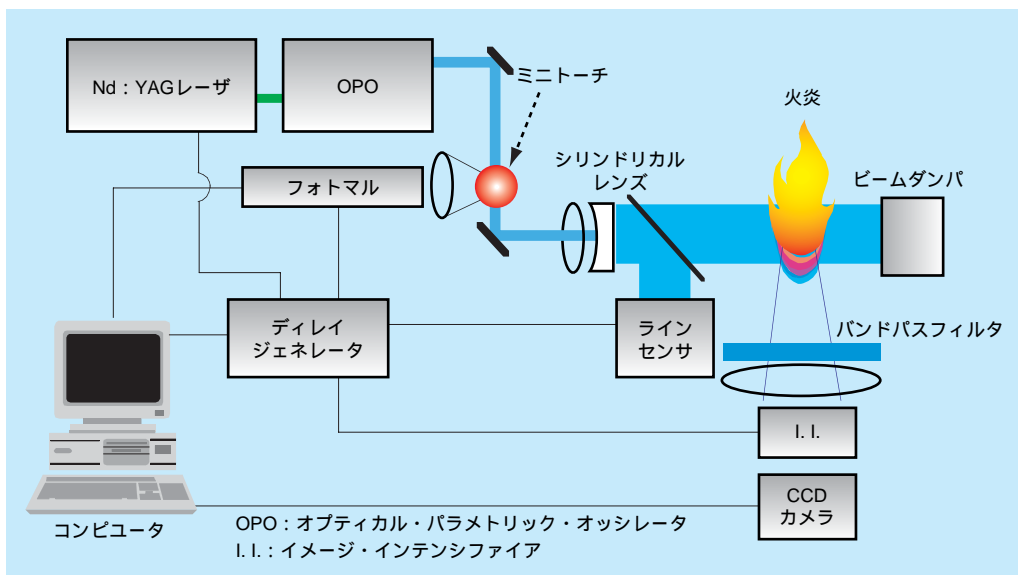


図9-2-2 LIFシステムの基本構成

エアを内蔵した CCD カメラシステムからなっている。シリンダリカル・レンズ等によってシート状にされたレーザ光は、強度分布を有している。レーザ光強度分布補正装置は、レーザ光が測定場に導入される前にレーザ光を一部分離し、その強度分布を検知するものである。

(2) ガス火炎におけるラジカル分布計測

LIF によるラジカルの計測には、計測が容易に行えることを考慮し、メタンと空気の層流予混合火炎を用いた。計測に使用したバーナは内径 6 mm のブンゼンタイプであり、メタンと空気の当量比を燃料過濃から燃料希薄となる種々の条件に設定して実験を行った。その火炎の直接写真を疑似カラー表示したものを、**図9-2-3**に示す。なお本図は、 ϕ が 1.59 と 0.98 の場合のものであり、火炎の発光が強い領域ほど白色で表される。 ϕ が大きいほど内炎の高さは高くなるが、発光強度は ϕ が小さいほど強くなるなど火炎の特徴が表されている。

計測対象ラジカルとして、燃焼時に排出される最も重要な環境汚染物質の 1 つである NO の生成診断を可能にするため、OH、NO、CH、CN および NH を選択した。OH の計測については、OH が高い濃度で火炎内に存在するため、容易に行うことができる。蛍光の受光は、励起波長として 281.258nm を使用し、320nm センタで半値幅 15nm のフィルタを用いて行われた。**図9-2-4**に計測結果を示す。 ϕ が 1.59 の場合には、内炎の外側に OH のピークが見られるのに対し、 $\phi = 0.98$ の場合には内炎の近傍で急速に OH の生成が見られ、その後下流に行くに従い濃度が減少していることが示されている。NO の計測は、励起波長として 225.208nm を用い、半値幅 20nm の中心波長 254nm のバンドパスフィルタを使用して行われた。**図9-2-5**に得られた蛍光画像を示す。いずれの当量比条件においても、NO は内炎のすぐ下流領域における急激な生成によるものと、火炎後流部の緩やかな生成によるものとに大別できることが明らかにされた。内炎のすぐ下流域における NO は、主に火炎帯内部において HCN や NH などを経て生成されるプロンプト NO であると考えられる。一方、火炎後流部における NO は、拡大ゼルドビッチ機構と呼ばれる反応経路により生成されるサーマル NO である。また、 ϕ の違いによる蛍光画像の変化については、分布形状については ϕ による差が少ないが、 ϕ が大きいほど濃度が高くなることが示され

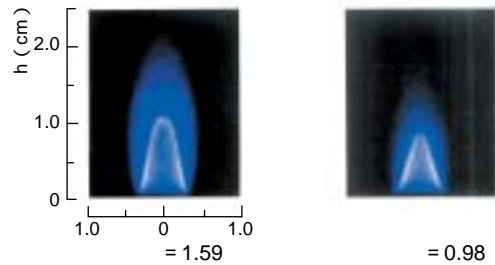


図9-2-3 メタン・空気予混合層流火炎の直接写真

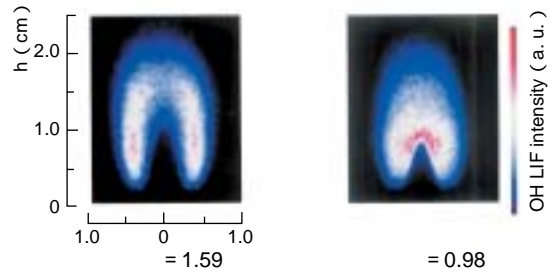


図9-2-4 OHの蛍光強度分布

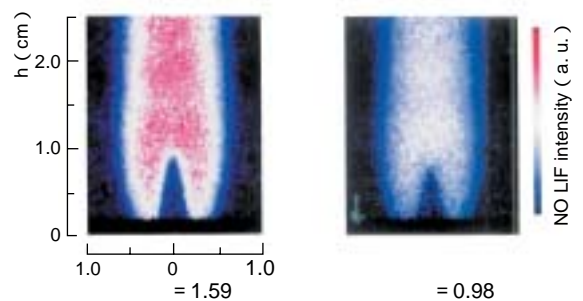


図9-2-5 NOの蛍光強度分布

ている。これは、 ϕ が高いほどプロンプト NO の生成量が多いためであると考えられる。

9-2-2 シャドウドップラ流速計 (SDV) による粒子挙動の計測

(1) 測定法の概要

図9-2-6は、シャドウドップラ流速計 (SDV) の光学系の概略図を示したものである。2本のレーザ光がレンズによって集光され、測定点において交差する。その交差部に光強度の明暗を持つ干渉縞が形成される。測定点に到達した粒子は、干渉縞の光の明暗に対応する光を散乱する。この様子を模式的に表したのが、**図9-2-7**である。散乱光強度の山の部分が、干渉縞の明に対応する。干渉縞の間隔は、レーザ光の波長ならびに光学系によって決定されるため、**図9-2-7**の散乱光強度分布において、明の時間間隔を計測することにより、粒子の速度が測定される。

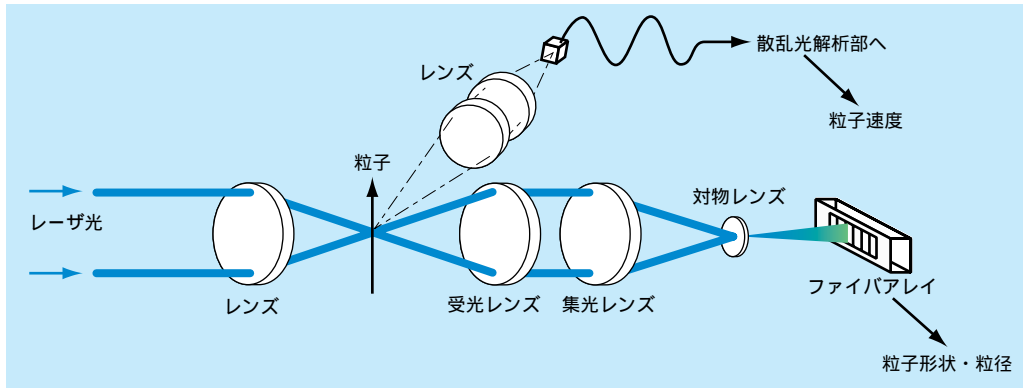


図9-2-6 シャドウ・ドップラ流速計の光学系概略図

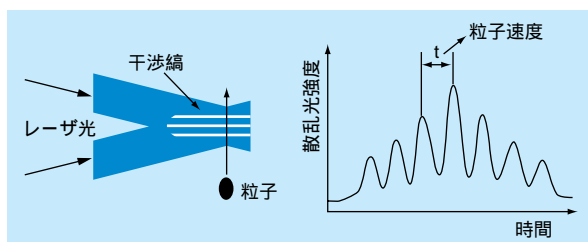


図9-2-7 測定部の詳細および散乱光強度分布

一方、粒子の形状および粒径の計測は、以下のように行われる。図9-2-6に示したように、測定点で交差したレーザ光は、受光レンズおよび焦点レンズなどを介した後、水平方向に64個の素子を持つファイバアレイ上に導かれる。このファイバアレイ上に、測定点における粒子の投影像が結像される。ファイバアレイ上の素子の信号強度は、測定点に粒子が存在しないと、レーザ光を検出するため高くなる。これに対し、測定点に粒子が存在する間は、粒子によってレーザ光が遮られるため、ファイバアレイ上の素子の信号強度は低下する。この信号強度が低下している時間を計測することにより、粒子形状が求められ、粒径は粒子形状から算出される。

(2) 小型の微粉炭燃焼火炎における粒子計測

シャドウドップラ流速計による粒子速度と粒子形状・粒径の同時測定は、ここでは実験室規模の小型の微粉炭燃焼火炎を対象に実施した。この火炎は、垂直上向きに設置されたバーナから噴出された微粉炭（供給量約10g/min）とその搬送用空気により形成されるもので、長さは30cm程度である。計測は、この火炎を形成させる燃焼時と、比較のため、火炎を形成させない非燃焼時の2条件で行った。

図9-2-8は、燃焼時に計測した粒子形状を示したものである。本図は、微粉炭粒子は粉碎性粒子の特徴である、形状が粒子毎に異なる不定形粒子であることを示しており、SDVによって微粉炭粒子の詳細な形状を把握できることが明らかになった。

次に、図9-2-9にバーナ中心軸上における粒子の速度の分布を示す。なお本図においては、粒子速度の粒径による変化を明らかにするため、粒径を15 μm 以下、15 μm から30 μm の間、ならびに30 μm 以上の3つの領域に分割し示す。なお、速度はバーナ出口の気流の流速 U_0 によって無次元化し、また軸方向距離についてはバーナ内径 D によって無次元化してある。この図には、別途計測した非燃焼時の気流流速も示す。本図より、気流流速と粒子速度の差違や、火炎の存在が粒子速度に与える影響などの、火炎内の粒子挙動を明らかにすることができる。また本図は、非燃焼時の場合には粒径が小さいほど粒子速度は低くなること、燃焼時には粒径の違いが粒子速度に与える影響は小さく、粒径によらず粒子速度はほとんど変化しないことなどを示しており、粒径の差異による粒子挙動の変化が明らかにされている。

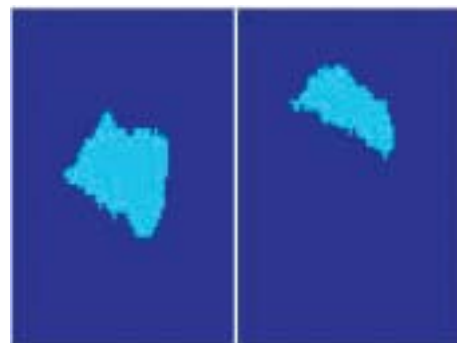


図9-2-8 粒子形状の測定例

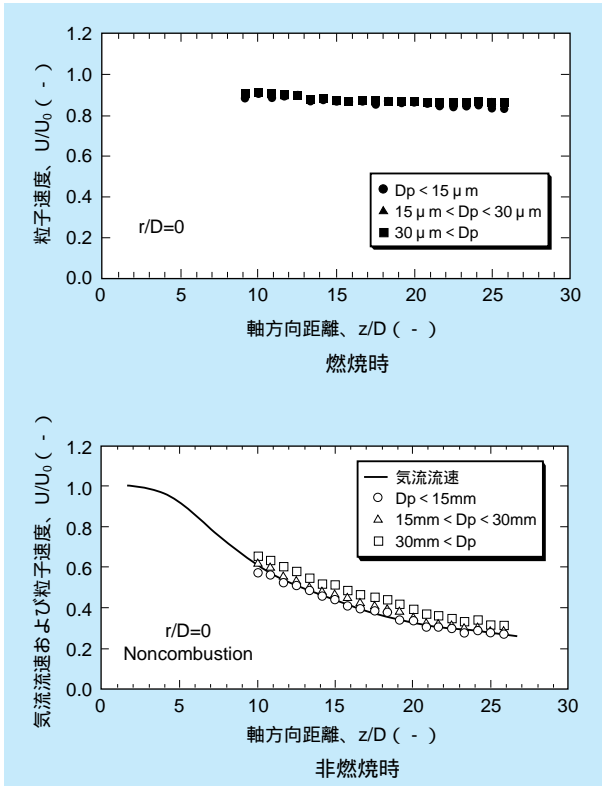


図9-2-9 粒径の差異による粒子速度の違い

次に、非燃焼時および燃焼時の粒径の変化を明らかにするため、バーナ中心軸上における粒径の平均値を計算した結果を図9-2-10に示す。本図に示されるように、非燃焼時には、粒径は軸方向距離の増加に対して大きな変化は見られない。これに対し燃焼時には、粒子加熱時の膨潤などの影響により、粒径が軸方向距離の増加と共に大きくなることが示されている。これらより、SDVは燃焼時の石炭粒子の粒径が変化する過程を把握できる手法であることが分かる。

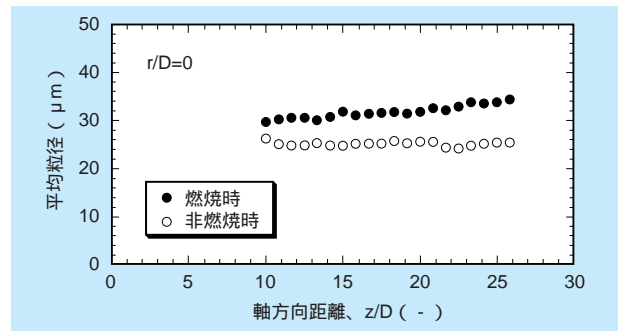


図9-2-10 バーナ中心軸上における平均粒径の変化

9 - 3 数値解析技術

微粉炭燃焼の数値解析は、連続相である燃焼場の支配方程式 [流れの方程式 (連続の式と Navier-Stokes 式) 混合物 (化学種) の連続の式、およびエネルギー方程式] と、分散相である微粉炭粒子の運動方程式を連立して計算機で解く方法であり、燃焼場全体の温度や化学種の濃度分布、さらには微粉炭粒子の挙動等に関して実験では得られないような詳細な情報までも得ることができるという利点を持つ。また、微粉炭性状や流れ場等の条件を任意に変えて比較的容易かつ低コストで繰り返し検討ができるため、燃焼炉の開発、設計支援ツールとしての利用が期待されている。

連続相である燃焼場の数値解法としては、DNS (Direct Numerical Simulation)、LES (Large Eddy Simulation) および RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) の3つが挙げられる。この中で最も計算精度が高いのは、計算格子間隔を流れ場、濃度場、温度場の最小渦塊以下に設定してそれらの支配方程式を直接解く DNS である

が、これは膨大な計算格子点数が要求されるため計算機の負荷が高く、基礎研究には適しているものの、実用レベルの燃焼場への利用は極めて難しい。これに対して、現在、実用分野において最もよく用いられているのは、RANS である。本法は、支配方程式を時間平均化し、現れる乱流変動項を応力方程式モデルや渦粘性モデルなどの乱流モデルに置き換えて解く方法であり、計算格子点数を大幅に減らすことができるため、計算機の負荷を軽減することができる。しかし、RANS は、乱流モデルの選定およびその中に含まれるパラメータ値の決定が難しく、さらに、非定常性を評価することができない、といった問題を有する。そこで、最近では、比較的大きな渦塊については支配方程式を直接解き、残りの小さな乱れをモデルにより計算する LES が注目されている。これは、一種の空間平均法であるが、非定常計算が可能で、モデル中にもパラメータをほとんど含まないという利点がある。また、LES は、計算機の負荷という点では

RANSに比べると高いが、計算機性能の進歩を考えれば近い将来の実用分野への適用も十分実現する可能性を有する方法である。

以上のことから、当所では、特に、RANSとLESの研究を進めている。

9-3-1 RANS

当所が所有する石炭燃焼試験炉（長さ8.0m，内径0.85mの横置円筒型）内の微粉炭燃焼場^{[1]-[3]}に対して、RANSを適用した研究例について概説する。本研究は、5種類の瀝青炭を対象に計算を実施し、得られた燃焼諸特性量を実験値^{[1]-[3]}と比較することによって、RANSの適用性を評価したものである。

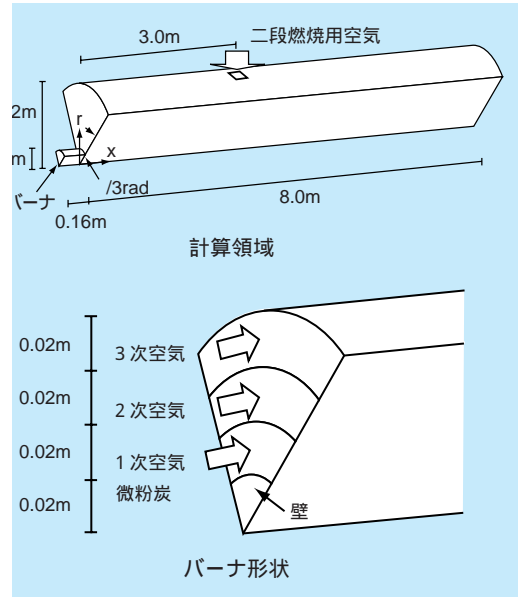
計算方法

使用した5種類の瀝青炭の性状を表9-3-1に、また、計算領域およびバーナ形状の概略を図9-3-1に示す。計算領域は円筒の一部（ $x = -0.16 \sim 3.0$ / $6 \sim 8.0$ ）としている。微粉炭はバーナの1次空気口から搬送用の1次空気と共に炉内へ供給され、1次空気口の周りから2，3次空気が、 $x=3.0\text{m}$ の位置における側面から二段燃焼用空気がそれぞれ注入されている。1～3次空気口から注入された空気の流入速度は、実際の実験^{[1]-[3]}と合うように与えられる。石炭の投入熱量は $6.54 \times 10^6 \text{kcal/h}$ とし、燃焼用空気の総流量は、出口における完全燃焼時の過剰酸素濃度が4%（空気比=1.24）となるように決定している。二段燃焼率（=二段燃焼用空気体積流量 / 総燃焼用空気体積流量）は30%である。計算格子点数は $61(x) \times 58$

表9-3-1 石炭性状

用途	ニューランズ	ワンボ	プラトー	ワークウース	ブレアゾール	
工業分析	水分*1 (%)	(2.2)	(3.5)	(5.9)	(4.5)	(7.9)
	揮発分*2	28.4	35.7	41.3	31.4	29.6
	固定炭素*2	56.4	54.6	48.8	57.5	62.7
	灰分*2	15.2	9.7	9.9	11.1	7.9
	発熱量*2 (kcal/kg)	6730	7080	6870	6770	6710
元素分析	C*2 (%)	71.8	74.2	71.9	73.6	74.6
	H*2	4.45	5.62	5.47	5.10	4.52
	N*2	1.59	1.82	1.30	1.59	1.54
	O*2	6.44	8.27	11.8	8.36	11.2
	S*2	0.48	0.42	0.41	0.35	0.23
FR*3 (-)	1.99	1.53	1.18	1.83	2.11	
FR/FN*4 (-)	1.25	0.84	0.91	1.15	1.37	

*1: 恒湿ベース、*2: 無水ベース、*3: 燃料比（固定炭素と揮発分の比）、*4: 燃料比と行炭中N含有率の比



3-1 RANSで対象とした計算領域およびバーナ形状の概略

(r) $\times 11$ ()点（バーナ近傍領域における x 、 r 方向の格子分割を細かく設定）とし、乱流モデルには $k-\epsilon$ 2方程式モデル^[4]を用いている。なお、本計算には、ワークステーションを用いて、1ケース当たり約60時間のCPU時間を要した。

瀝青炭燃焼特性の実験値との比較

ニューランズ炭燃焼時における時間平均の火炎温度、および O_2 、NO濃度の主流(x)方向軸上分布を、実験値^{[1]-[3]}と比較したものを図9-3-2に示す。また、参考までに、主流方向の気流速度、火炎温度、および O_2 、NO濃度の炉内分布を図9-3-3に示す（図中の色は、青から赤になるにつれて各特性量の値が高くなることを示している）。いずれの分布においても計算値は実験値と定性的に良く一致しており、現実的な微粉炭燃焼場が再現できていることがわかる。ただ、定量的には、計算値は実験値に比べて、火炎温度のピーク値が高く下流での減衰が大きい傾向をもつ。また、 $x < 3 \text{ m}$ の領域で O_2 濃度が高く、NO濃度のピーク値が低い等の点で差異も見られる。このような差異が生じる理由としては、設定した炉やバーナの形状が実験とは完全に一致していないことや、乱流モデルとして用いた $k-\epsilon$ 2方程式モデルがせん断の強いバーナ近傍領域では十分な精度をもたないことが挙げられる。

計算を実施した全5炭種について、未燃燃率 U_c^* （石炭中可燃分に対する未燃分の割合）ならびに燃焼効率

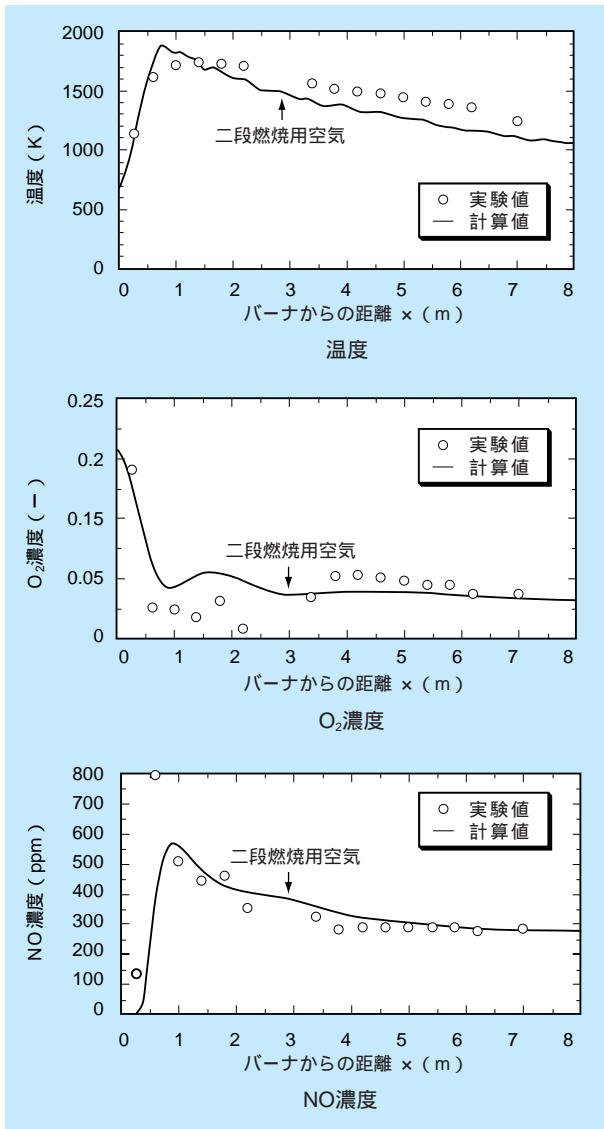


図9-3-2 温度および O_2 、NO濃度の主流(x)方向軸上分布の実験値との比較 (ニュー・ランズ炭)



図9-3-3 主流方向気流流速、火炎温度および O_2 、NO濃度の炉内分布 (ニューランズ炭)

$Ef (= 1 - Uc^*)$ と燃料比 FR (= 石炭中固定炭素の割合/石炭中揮発分の割合) の関係、およびNO転換率 CR (石炭中N分に対するNOに転換したN分の割合) FR/FN との関係をそれぞれの実験値^{(11)~(13)}と比較したものを図9-3-4、9-3-5に示す。4章でも述べられているように、今回計算対象とした試験炉においては、未燃焼率 Uc^* は燃料比 FR に対して、また、NO転換率 CR は燃料比 FR とN分含有率 FN の比に対して増加傾向を示すことが実験的に知られている^{(11)~(13)}。図から、両計算値は、定量的な差異は見られるものの、実験値と同様の増加傾向を示し、燃料比 FR やN分含有率 FN の影響を矛盾なく再現していることが確認できる。

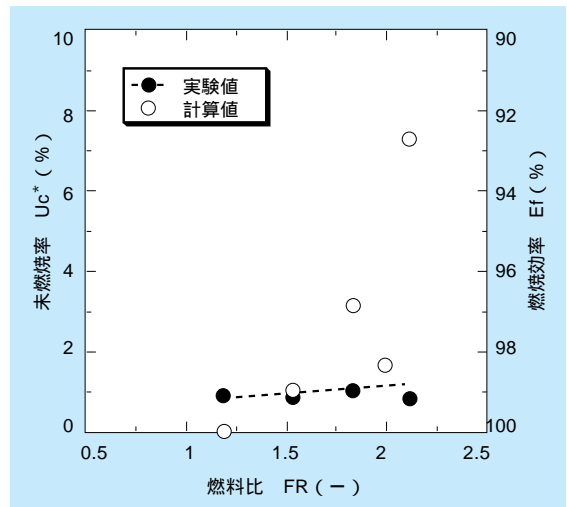


図9-3-4 Uc^* (未燃焼率) と FR (燃料比) の関係

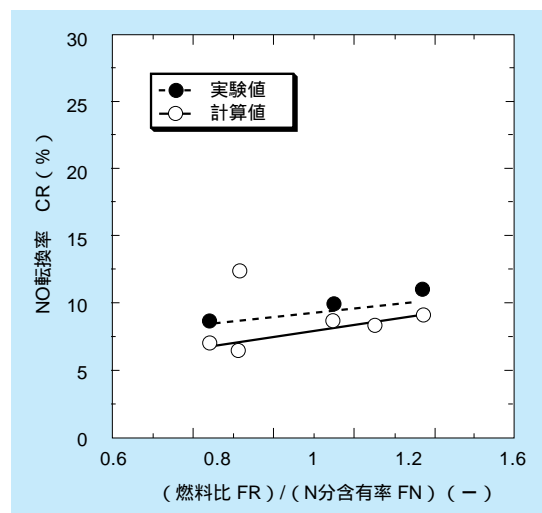


図9-3-5 CR (NO転換率) と FR/FN (燃料比/N分含有率) の関係

9-3-2 LES

LESについては、まず、実験室規模の小型微粉炭燃焼火炎に対して適用を行った。本LESコードは現在開発段階であるため、現状のコードにはラジカル反応を含む詳細反応機構や複雑な石炭性状は考慮されていない。しかし、前述したように、LESは上述したRANSとは異なり、微粉炭燃焼火炎の非定常性を評価できるという利点がある。ここでは、その一例を簡単に示す⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

計算方法

計算領域の概略を図9-3-6に示す。計算領域は0.48m(x)×0.24m(y)×0.24m(z)の直方体である。バーナの噴流出口直径を 6×10^{-3} m、流速を13m/sとし、この噴流によって固体燃料粒子は計算領域内へと送り込まれる。なお、ここで、“微粉炭粒子”と書かず、“固体燃料粒子”と書いたのは、ここでの計算では、固体燃料粒子を簡易的にメタンの塊とみなしているためである。この固体燃料粒子は、周囲の気体温度に依存して揮発し、気相において空気と反応するものと仮定している。計算格子点数は240(x)×150(y)×150(z)とし、LESの乱流モデルとしては圧縮型のスマゴリンスキーモデル⁽⁵⁾を採用した。なお、本計算には、上記のRANSで使用したワークステーションよりも計算速度が10倍程度速い当所が所有するスーパーコンピュータを用いて、1ケース当たり約1000時間のCPU時間を要した。

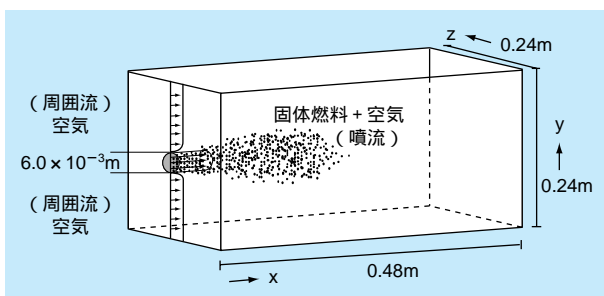


図9-3-6 LESで対象とした計算領域の概略

微粉炭燃焼火炎の非定常性評価

噴流により送り込まれた固体燃料粒子群のx-y断面(z=0付近)における質量減少率を図9-3-7に、また、x-y断面(z=0)の瞬間火炎温度分布を図9-3-8にそれぞれ示す。図9-3-7中の色は、赤から青になるにつれて粒子の質量減少率が増加することを、また、図9-3-8中の色は、青から赤になるにつれて火炎温度が高くなることを示している。RANSで得られた図9-3-3の分布と比較しても分かるように、本LESでは、粒子群や火炎温度の三次元的な非定常挙動が捉えられている。固体燃料粒子群は、上流域ではほとんど広がらず直進するが、揮発による質量の減少が始まる中流域から半径方向に分散する傾向が見られる。また、固体燃料粒子の質量減少率が高い部分は、火炎温度が高い部分と一致するなど、リーズナブルな結果が得られている。

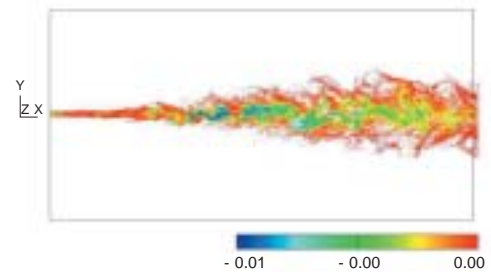


図9-3-7 固体燃料粒子の質量減少率 (x-y断面、z=0付近)

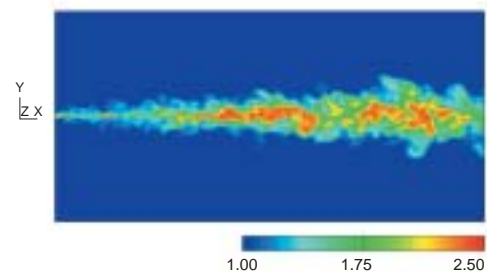


図9-3-8 瞬間火炎温度分布 (x-y断面)

9 - 4 今後の展開

微粉炭燃焼は、微粉炭粒子の気流中の分散挙動に加え、微粉炭粒子の揮発および揮発分の燃焼、さらに粒子表面での燃焼といった様々な過程が、同時にかつ相互に作用する複雑な現象であるため、その詳細が完全に明らかにされていないのが実状である。本章では、このような微粉炭燃焼場をより高い精度で評価、予測することを目的に、当所が進めてきたレーザ計測技術と数値解析技術の高度化に関する研究成果について紹介した。

今後、レーザ計測に関しては、上述した二つの計測技術を亜瀝青炭等の幅広い性状の石炭種に適用することや、実際の燃焼場に近い、より複雑な燃焼場へ適用することによって、微粉炭燃焼火炎の構造を詳細に明らかにしていく予定である。また、これらの計測技術だけでなく、近年噴霧燃焼場等の非接触計測技術として注目されている自発光計測や温度計測、粒子挙動の2次元計測などの微粉炭燃焼場への適用性の検討を行い、可能であればこれらの計測技術を用いた測定を実施していく。さらに、複数の計測手法を同時に用いた、例えばラジカル挙動と粒子挙動の同時計測技術などについても検討を行ってい

く方針である。また将来的には、これらの技術の試験炉や実ボイラへの適用を図り、非接触計測を用いた、バーナやボイラの高度管理手法の確立を目指す予定である。

一方、数値解析に関しては、引き続きLESコードの高度化を進めていく予定である。現状のコードでは、ラジカル反応を含む詳細反応機構や複雑な石炭性状は考慮されていない。そこで、これらを考慮し、本コードのNOx等の汚染物質予測が高精度で行えるものへの発展を考えている。

レーザ計測による研究と数値解析による研究は、全く別の独立した手法のように思われる。しかし、実際は、数値解析の精度を検証するためにはレーザ計測で得た信頼性の高いデータが不可欠であり、逆に、数値解析で得られた新たな現象を実験で検証することがレーザ計測の次の目標になる場合も多々ある。当所では、双方の利点を生かしつつ、それらの高度化および相互比較を効率的に進め、微粉炭燃焼場の解明さらには高度燃焼技術の開発へと発展させていきたいと考えている。