

## 微粉炭燃焼場の温度測定

大 竹 一 友\*

## Temperature Measurement in Pulverized Coal Combustion Fields

Kazutomo OHTAKE

## 1. はじめに

微粉炭燃焼は、高炉への吹き込みなどの他、大容量燃焼炉の石炭燃焼方式として、発電所をはじめとする大型ボイラなどに広く用いられている確立された燃焼技術の一つである。しかし、ボイラなどでは、全負荷運転（設計点運転）に比して、蒸気の需要減少に対応するために、燃焼負荷率（単位体積・単位時間当たりの燃焼による発熱量）を下げた運転（ターンダウン）することを強いられる。現在、燃料を供給するバーナの本数を減少して対応している。これはバーナ1個当たりの負荷をあまり大幅に変更することなしに、ボイラ全体の燃焼負荷率を減少させる簡単でかつ間違いのない方法として、広く行われている。しかし、形成される火炎が、ターンダウン時におけるボイラの性能を、最適化するように配置されている保証は乏しい。これは、バーナの空気流旋回翼の角度などが負荷に応じて変化する構造になっていないためであり、それをすることにより、運用改善をはかることが本来理想であるが、制御システムを完備しないと反って悪化する可能性もあるため、現行の方式がとられている。エネルギーの有効利用および環境浄化の点から、ターンダウン時にも負荷に見合った規模の火炎を安定に保持し、ボイラがその負荷状態で最適に運転され、かつNO<sub>x</sub>を始めとする環境汚染物質の排出が十分低いレベルに抑えられることが、強く要請されている。微粉炭燃焼場をこのように制御するためには、微粉炭それ自身の燃焼機構はもちろんのこと、火炉伝熱部への熱流束を適正に計測・制御する必要がある。そのためには、微粉炭燃焼場における温度の正しい把握が不可欠である。石炭のように揮発分、固定炭素分それに燃焼にあずからない灰分および水分が構成要素である燃料では燃焼の過程で、ガス温度と固体粒子温度に差が生じ、それだけ燃焼および伝熱機構が複雑になる。このような背景から、微粉炭の燃焼基礎過程を解明するためにも、また燃焼場を

正しく把握し、制御するためにも微粉炭燃焼場の測定項目の中で最も重要な、ガスおよび固体粒子の温度分布を測定する必要がある。

これとは別に、高炉への微粉炭吹き込みに関連して、レースウェイ内での微粉炭の燃焼機構についての知見を得ることにより、微粉炭の最大吹き込み量の見積もりや、微粉炭の高炉内での役割を明らかにすることも、高炉のより高度な運転に欠かすことのできない要件である。

このような背景から、本報告では微粉炭燃焼場に適用可能な温度計測法について紹介を行った後、筆者の研究室と電源開発(株)、三菱重工業(株)、古川電気工業(株)の共同研究で行ったCT (Computerized Tomography) 手法による微粉炭燃焼場の温度計測法の紹介を行い、最後に高炉に吹き込まれた微粉炭の燃焼機構に関し、現在までに筆者の研究室で行ってきた研究をかい摘まんで紹介する。なお、後者の研究は、「日本鉄鋼協会特定基礎研究会充填層中の気・固・液移動現象部会」の研究テーマとして、著者の研究室で目下研究中である。

## 2. 微粉炭燃焼場に適用可能な温度計測法

微粉炭燃焼場では、石炭粒子から噴出した揮発分が気相で燃焼する一方、粒子の表面や細孔内で固定炭素が燃焼する。この時、それぞれの燃焼による発熱速度および熱物性値が異なるため、ガスと粒子の温度に差が生じる。また、微粉炭粒子径を74 μm とすると(200メッシュに対応)、空気比1.2の場合、粒子間距離は粒子径の30倍程度あり、燃焼初期においては粒子が分散されて燃焼しているとして十分良い近似になっている。このため、燃焼初期にあつては、気相内では粒子周りには燃焼帯が存在するが、粒子から離れると初期温度の空気が存在するような不均一な温度分布が実現する。このことが燃焼初期における粒子とガス温度に大きな差を生じさせる原因の一つともなっている。微粉炭燃焼場はこのように複雑な状況にあるため、その燃焼機構を正しく把握す

平成3年11月18日受付 平成4年4月10日受理 (Received on Nov. 18, 1991; Accepted on Apr. 10, 1992) (依頼解説)

\* 豊橋技術科学大学教授 工博 (Toyohashi University of Technology, 1-1 Hibarigaoka Tempaku-cho Toyohashi 441)

Key words: pulverized coal combustion; temperature measurement; optical CT method; Na-D line reversal method; two color pyrometry.

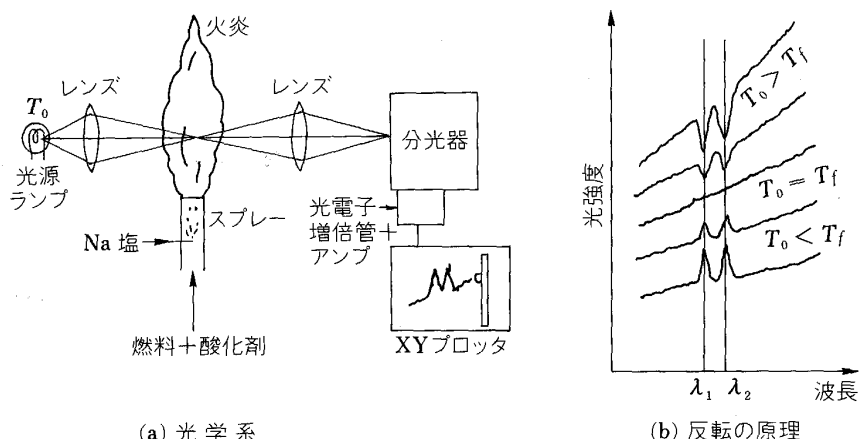


図1 Na-D線反転温度測定法の説明

るために、粒子とガスの温度を別々に測定することが強く要求されている。微粉炭燃焼場に適用可能な温度測定法を分類すると、①自発光強度を利用するもの、②反転温度測定法によるもの、③レーザー光などを照射し、被測定化学種のエネルギーレベルを励起させ、それからの発光を利用するもの、などとなる<sup>1)</sup>。①に属するものに、2色温度計、光高温計、分光法などがあるが、粒子温度の測定では2色温度計が最も信頼性がある。②のものの中の代表的なものにNa-D線反転法があり、ガス温度の測定に広く利用されている。③の中で微粉炭燃焼場に適用可能なのはCARS (Coherent Anti-Stokes Raman Scattering)であろう。まず以下にこれら測定法の概略を述べる。

2.1 2色法による固体温度の測定

燃焼場から放射される波長λの光を、プランクの黒体放射式にその波長を適用して得られる強度に、その波長における放射率εをかけて表現する。燃焼中の微粉炭粒子のような多孔質の固体では、εの波長依存性は弱い。このため、本測定法では、λ<sub>1</sub>、λ<sub>2</sub>の2波長でεが同じ値をとることが確かめられていれば、プランクの式をウィーンの式で近似して、λ<sub>1</sub>、λ<sub>2</sub>の2波長の単色放射強度に関し、次式の関係が成立する。

$$I_{\lambda_1} = \frac{\epsilon C_1}{\lambda_1^5 \exp(C_2/\lambda_1 T_p)} \dots\dots\dots(1)$$

$$I_{\lambda_2} = \frac{\epsilon C_1}{\lambda_2^5 \exp(C_2/\lambda_2 T_p)} \dots\dots\dots(2)$$

式(1)、(2)より、温度T<sub>p</sub>は次式のように求まる。

$$T_p = C_2 \frac{1/\lambda_2 - 1/\lambda_1}{\ln \{ (I_{\lambda_1}/I_{\lambda_2}) \cdot (\lambda_2/\lambda_1)^5 \}} \dots\dots\dots(3)$$

$$C_1 = 3.742 \times 10^{-16} \text{ (Wm}^2\text{)}$$

$$C_2 = 1.439 \times 10^{-2} \text{ (mK)}$$

通常2色温度計は、静止固体の表面温度を測定するのに利用されるため、市販の温度計では一つの検出部の前に、フィルターを回転盤にとりつけて交換し、2波長に

おける放射強度比を計測して式(3)から温度を求めている。しかし、この方法では、微粉炭燃焼場のように固体である粒子が移動している場合には、条件によって現実的でない温度を指示することがある。このため、このような場に対しては、市販の方式による検出方法ではなく、2波長の輝度を個別の検出器で同時に測定するようにする。齊藤ら<sup>2)</sup>、Seekerら<sup>3)</sup>などはこの方法によっており、本報告において著者らもこの方法を採用した。

2.2 Na-D線の反転法によるガス温度の測定

次にガス温度を測定するために、利用できる手法を2つ述べる。まず第一は、火炎中にナトリウム塩などを導入したときに生じるNa-D線を利用する反転法である。微粉炭燃焼場では、石炭中に存在するナトリウム分が炎色反応をするので、これを利用できる。

Na-D線反転法による温度測定では、図1に示すような光学系を用いる。光源の輝度温度(測定波長における輝度がプランクの黒体式により表される温度)が火炎の輝度温度よりも低いときは、火炎を通して光源を見ると、Na-D線のところが火炎によって増強されて見え、逆に高いときは、吸収されて暗く見える。そして、両者の輝度温度が等しいときは、増強も吸収も生じない。すなわち、スペクトルがこの中立点の前後で増強から吸収へと反転するため、このように命名されている。しかし、この方式は、光源の輝度温度を変化させなければならないことと、波長スキャンをするための分光器を必要とすること、また反転の判定に主観が入るなどの問題があり、通常は波長を固定して計算する方法が採られる。

Na-D線は、吸収・発光に関する遷移確率が大きい特徴を有しているため、温度測定に利用しやすい性質をもっているが、一方で、燃焼場の外周に存在する低温領域において、高温領域で発光した光を吸収し(自己吸収という)、スペクトルの中心部分に図2に示すような強度の低下を生じるため、中心波長を用いて測定すると測定温度に誤差を招く。このため、中心波長からはずれたウイ

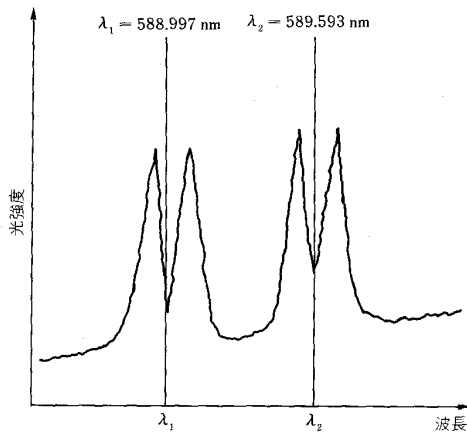


図 2 Na-D 線スペクトルの自己吸収

ング領域の波長に関して反転法を適用する。

光源のハロゲンランプの波長  $\lambda_{Na-D}$  (Na-D 線の中心波長は、588.997 および 589.593 nm のダブルット構造をしているが、ウィング領域の 591 nm 程度を測定波長とすると良い) の放射強度を  $I_{I_0}$ 、輝度温度を  $T_I$  とすると、

$$I_{I_0} = \frac{C_1}{\lambda^5 \exp(C_2/\lambda T_I)} \dots\dots\dots (4)$$

Na ガスの放射強度  $I_g$  についても、ガスの輝度温度  $T_g$  との間に

$$I_g = \frac{\epsilon C_1}{\lambda^5 \exp(C_2/\lambda T_g)} \dots\dots\dots (5)$$

が成立する。Na ガスの局所の吸収率を  $\alpha$  (=放射率) とすると、局所について次式が成立する。

$$I_m = (1 - \alpha) I_l + I_g \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 $I_m$  は局所検査体積の検出器側から燃焼場を通して見た光源の強度、 $I_l$  は光源の光が検査体積に至る光路に沿って減衰後、この検査体積に入射する強度である。以上より、局所の  $T_g$  は、

$$\frac{1}{T_g} = \frac{\lambda}{C_2} \ln \left[ \frac{C_1}{\lambda^5} \frac{I_l + I_g - I_m}{I_g I_l} \right] \dots\dots\dots (7)$$

により求まる。

2.3 CARS 法によるガス温度の測定

気体分子にレーザーを照射すると、分子がエネルギーを吸収して励起され、より上のレベルに遷移した後、ふたたび下のレベルに遷移する際に光を放出する。この上のレベルが仮想の内部エネルギーに対応する場合をラマン散乱と呼び、中でも励起前のレベルよりも励起後に再遷移する先が、一つ下のレベルであるような場合をアンチストークスラマン散乱と呼ぶ。CARS は、その遷移過程にこのような遷移を含むことから、前出の意味合いにより名付けられた略称である。CARS 光は、ラマン散乱光の中では最も強いので、微粉炭燃焼場のように粒子の発光を伴っていても検知可能であり、窒素分子の CARS 光を用いた温度測定の試みが、相馬ら<sup>4)</sup>によって

行われ、100 mm 内径の電気炉内に微粉炭を落下させて燃焼させた実験では、微粉炭の存在により CARS シグナルの強度は低下したが、スペクトルの形には影響しないため、温度測定が可能であることを示している。

レーザー分光法では照射レーザー光の焦点を合わせた局所の情報を検知できる特徴を有しており、これからの発展が期待されている。

3. 微粉炭燃焼場の粒子とガスの温度分布の測定法

次に、筆者の研究室で開発してきた CT 手法を取り入れた微粉炭燃焼場における粒子とガスの温度分布の同時計測法について述べる。

3.1 粒子による光の減衰係数

微粉炭燃焼場では、微粒子の存在によって光の強度が減衰するので、この分の補正をしなければならない。これを測定するために、強度  $I_0$  の He-Ne レーザーの光を燃焼場に入射し、透過光強度  $I$  を測定する。両者の比  $I/I_0$  は次式で表される。

$$I/I_0 = \exp \left( - \int_0^s \frac{\pi D^2}{4} \cdot Q_{ext} \cdot N ds \right) \dots\dots\dots (8)$$

$D$ : 粒子の径                       $s$ : 光路長  
 $Q_{ext}$ : 減衰係数                       $N$ : 粒子の数密度

3.2 粒子およびガス温度分布の決定法

粒子の温度測定には、2色法を採用し、火炎から特別な放射が無いことを確かめて、2波長として  $\lambda_1 = 650$  nm,  $\lambda_2 = 900$  nm について式(3)を適用した。また、ガス温度については Na-D 線反転法を利用して、式(7)により温度を計算することとした。これらの関係から、局所の  $T_p$ ,  $T_g$  を求めこれを連ねて分布を求めるためには、 $I_{\lambda_1}$ ,  $I_{\lambda_2}$ ,  $I_g$  などの局所値が必要である。しかし、これらの値は粒子による減衰を受けた量として、検出器に到達する。したがって検出器から遠い部分ほど信号強度が低くなって加算される。たとえば、 $I_{\lambda_1}$  について考えると、次式で示される全光路長についての積分量が検出器に入力する。すなわち、

$$I(I_{\lambda_1}) = \int_0^l I_{\lambda_1} \exp \left[ - \int_0^y \left( \frac{\pi D^2}{4} \cdot Q_{ext} \cdot N + \alpha \right) ds \right] dy \dots\dots\dots (9)$$

ここに  $I(I_{\lambda_1})$  は検出器への入力強度、 $l$  は全光路長である。ただし、2色温度計の原理により  $T_p$  を測定するときは、ガスによる吸収は無いとしているので、 $I(I_{\lambda_1})$ ,  $I(I_{\lambda_2})$  については、 $\alpha = 0$  として計算する。同様なことが、 $I_g$ ,  $I_m$ ,  $I_l$  についても成立するので、これらを CT 計算法を用いて、局所の  $I_{\lambda_1}$ ,  $I_{\lambda_2}$ ,  $I_g$ ,  $I_m$ ,  $I_l$  にもどし、式(3), (7)により局所の  $T_p$ ,  $T_g$  を求める。以上の計算をフローチャートとして示すと、図3のようである。

### 4. 測定装置

以上の測定原理に基づく測定法を図4に示す実験炉に適用し、 $T_p$ 、 $T_g$ の分布をCT手法<sup>5)</sup>により求めた。

燃焼場の外側に検出器を設置すると、粒子による光の遮蔽により、局所から発した光が減衰しながら検出器に到達する。したがって検出器から遠い測定点から発した光ほど全検出強度にしめる割合が小さくなる。このため、医療用のCTスキニングでは検出器を測定対象物まわりに回転するが、微粉炭燃焼の場合には測定対象が非定常現象であるため、測定対象物のまわりに検出器を多

数配置させ、全ての方向からの情報を同時に、かつ均等に得られるようにするべきである。得られた測定値からCT計算手法により測定場の状態量（この場合は温度）を求める。

この手法によりガスおよび粒子の温度分布を5%以内の精度で測定するためには、内径300mmの実験炉の断面内に、1方向8本の光線を30度毎に12方向から通す必要があることが、シミュレーションの結果明らかになった。これをそのまま行くと、粒子密度分布、ガス温度分布、粒子温度分布の測定に $8 \times 5 \times 12 = 480$ 個の検出器が必要となる。そしてそれらのデータを同時に取り込み、CT計算手法により温度分布を求めることを考えると、測定法開発研究用装置としては大掛かりすぎる。そこで可能な限り簡単に本手法の妥当性の検討を行うために、一方向からの測定のみで済ますこととした。すなわちデータの中から燃焼場に軸対称性が仮定できるような瞬間を選択してデータを整理することとし、図5に示すように断面内に非対称的に配置した4本の光線によって、測定場に軸対称性が実現されている場合には8本の光線による測定と等価な測定が行われるようにした。この場合でも全部で20個のデータを同時に集録しなければならず、それぞれのデータをいったん専用のデータバッファにためて、それをパーソナルコンピュータのRAM(Random Access Memory)に移し変えたのち、データの再生を行い、その中から軸対称性の優れたデータ対に関して解析を行うようにした。

2色法による粒子温度の測定では、本方法では650nmと900nmの2波長の光の情報を検出する。ガス温度を測定するNa-D線温度測定法においては、Na-D線波長における光源の強度、火炎からの強度、火炎を通して見た光源の強度の3つの情報が必要である。本光学系

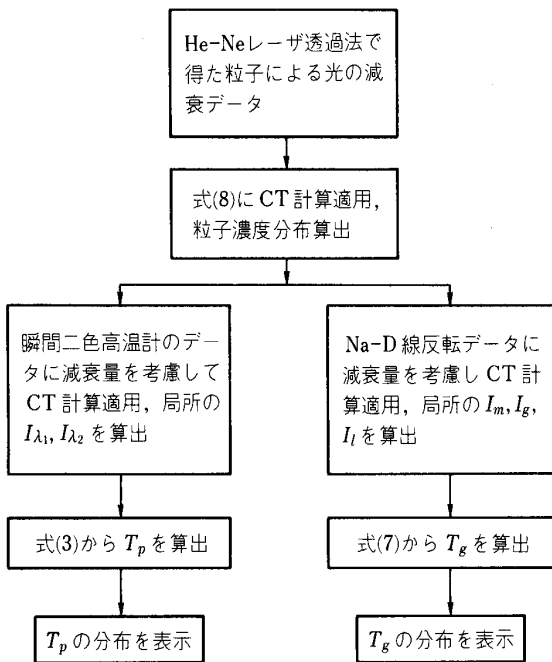


図3 温度計算法のフローチャート

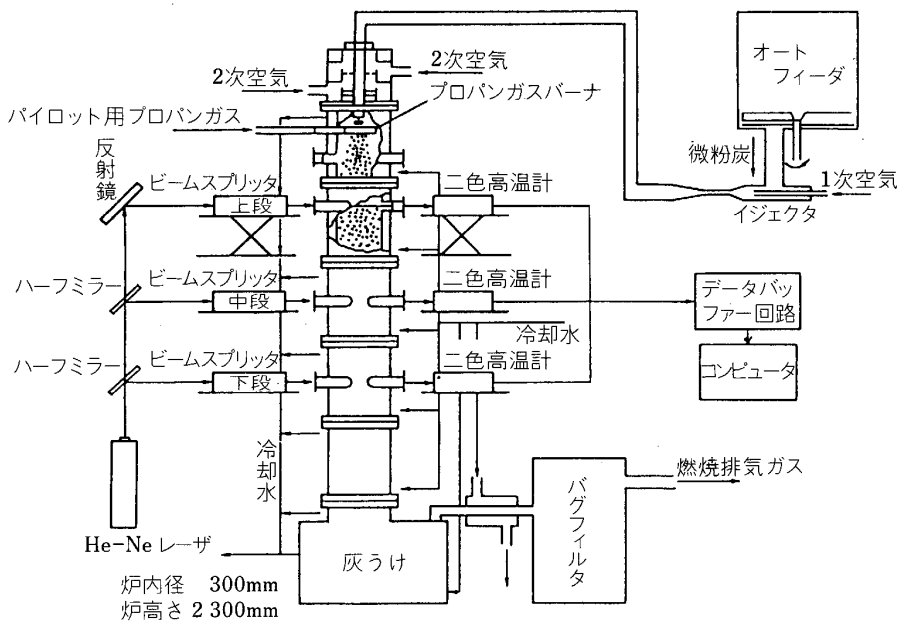


図4 燃焼炉と光学システムの概略

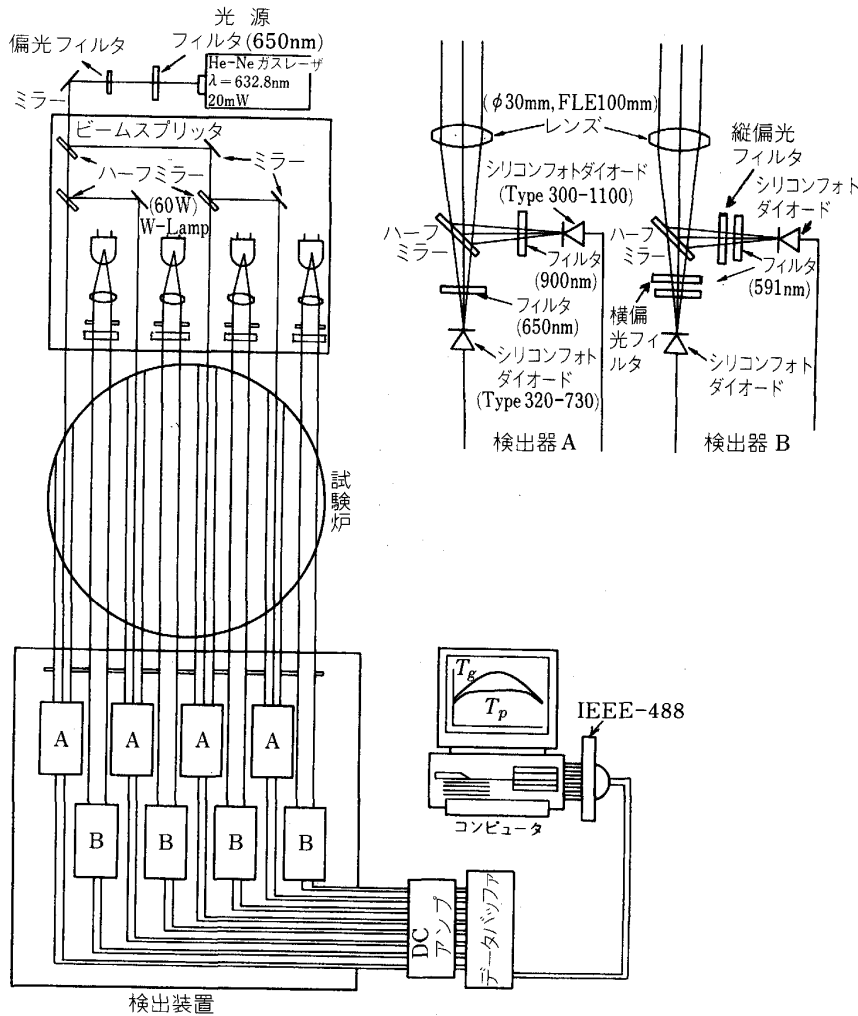


図 5 光学系の構成

では光源の直後、および火炎を通して見た光源の強度を検出する検出器の直前に、それぞれ縦偏光フィルタを、火炎からの強度を検出する検出器の直前に横偏光フィルタを設置して、上述の3つの情報の同時測定を可能とした。以上の光学系を3式作製し、図4に示すような実験炉の流れ方向3箇所での流路断面内温度分布を測定した。

### 5. 測定結果例

#### 5.1 粒子濃度分布の検討

式(8)の  $I/I_0$  から求まる微粉炭粒子濃度の断面内分布と、実際のものとの比較検討するために、非燃焼状態で光学的測定と同時に、サンプリングプローブによって粒子を採集し、両者を比較した。図6に結果を示す。プローブによるものは、粒子密度  $M$  の場が、速度  $v$  で移動している流束を測定しているため、 $M$  を求めるためには、粒子の速度  $v$  を求めなくてはならない。ここでは、レーザー光をビームスプリッターにより平行な2本の光線にして測定場に入射し、それぞれの光線による粒子からの散乱光を測定点毎に求め、二つの散乱光強度の相関値が最大を示す時間ずれ量と、2本の光線の間隔から  $v$  を求めた。この場合の濃度は、採集量を採集時間、プロ

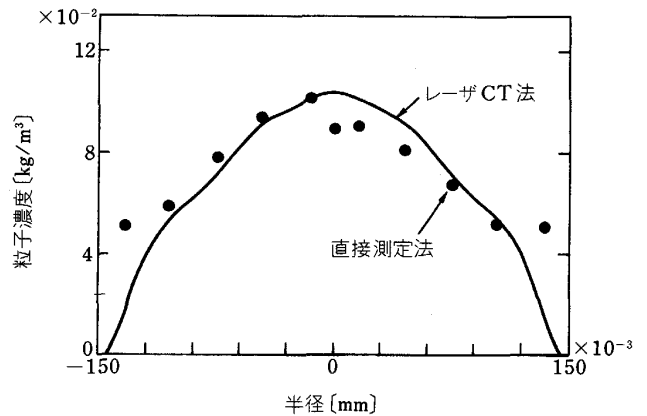


図 6 微粉炭濃度の CT 法とサンプリング法の比較

ブの入口断面積、粒子速度  $v$  でそれぞれ除して求めた。また、同図の個々の測定値は同一時刻のものではなく、かつ、光学的測定値は測定時間にわたる時間平均値である。このように両測定値の測定条件には差があるが、両者の一致はかなりよくなっている。

5.2 ガス温度分布の検討

次に、この手法によるガス温度分布の測定の妥当性を検討するために、熱電対による測定値と比較した。結果を図7に示す。熱電対の指示温度はガスからの対流伝熱、炉壁への放射損失、高温粒子や火炎からの放射熱入力などの釣り合いで決定されている。したがって、ガス温度を求めるには、これらを考慮して指示値を補正しなければならない。同図のものは、これらの補正を施した値である。熱電対、炉壁、火炎などの放射率が不確かな

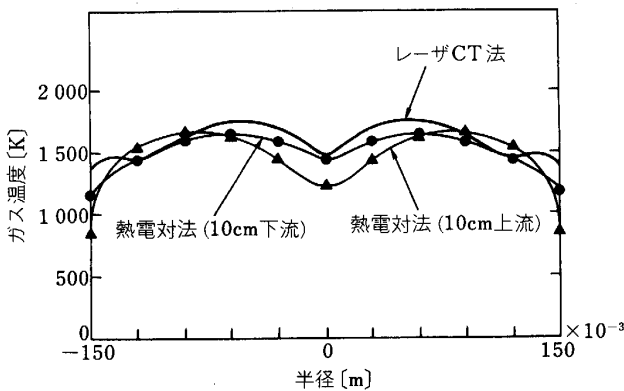


図7 CT法と熱電対によるガス温度の比較、熱電対の測定位置はCT法の測定位置の上下10cmのところ

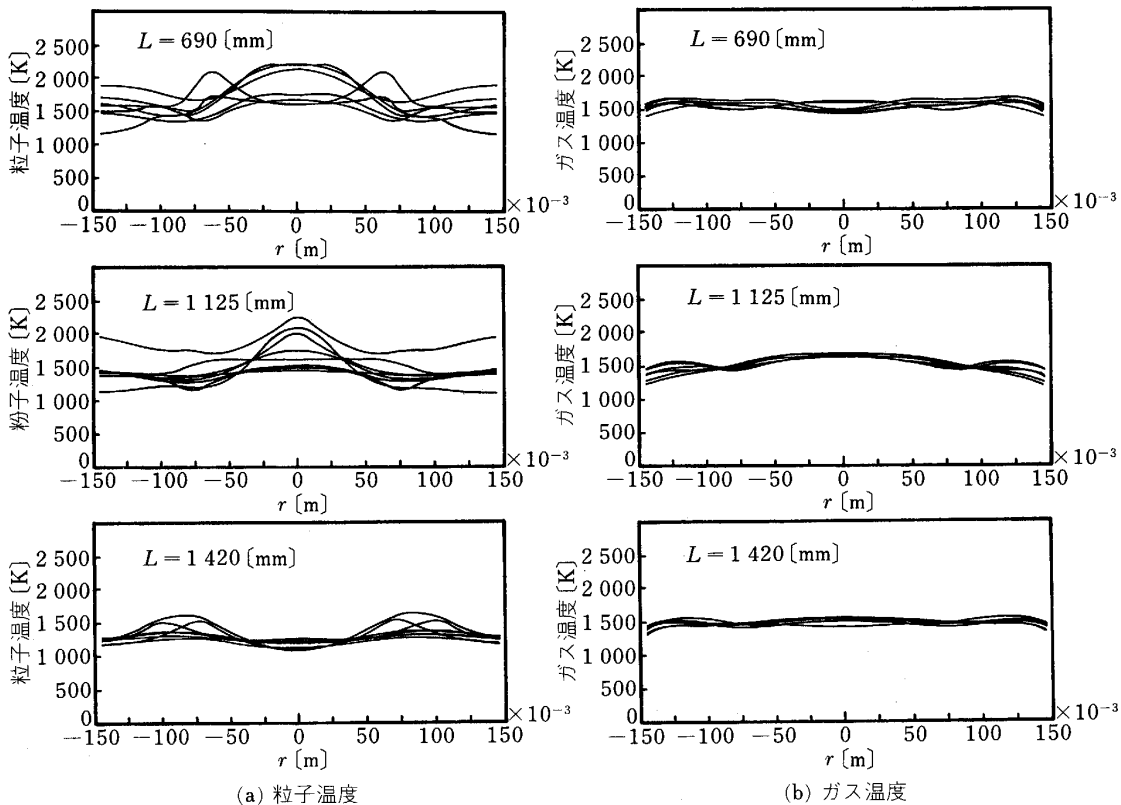
ため、正確なガス温度は得られないが、それでも両温度の一致は比較的良く、本手法によるものは、中央部の凹部も再現している。

5.3 粒子温度分布およびガス温度分布の比較

最後に、粒子温度分布とガス温度分布の比較を行う。図8に太平洋炭(揮発分:44.4%)に対する結果を示す。上述の4本の光による検出値をコンピュータのCRT(Cathode Ray Tube)上に描かせ、軸対称性の良いものについて温度分布を求めている。

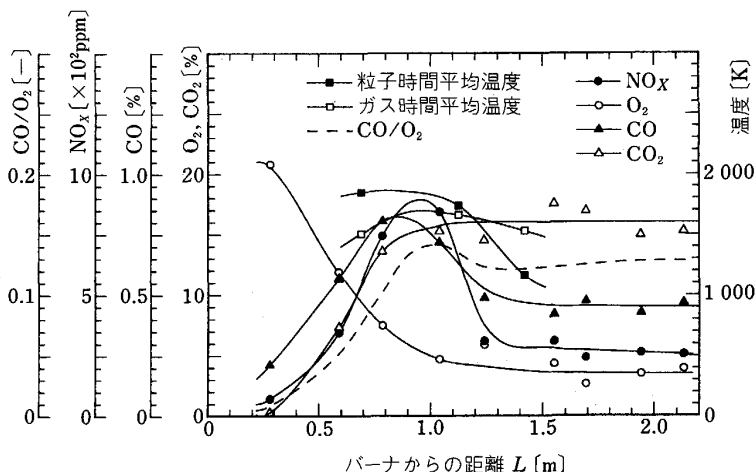
図8の各線は、異なる瞬間の温度分布を示しており、粒子温度の方がガス温度に比して変動が大きくなっている。太平洋炭は揮発分が多い石炭であるため、気相での燃焼が均一に行われるのに対し、光路を燃焼しながら横切る粒子の分布が、ガスに比して変動しているため、このような性状になっているものと理解している。ここでは結果を省略したが、揮発分の少ない大同炭ではガス温度の変動が大きくなっている。

このようにして求めた100組のデータの平均値から求めたガスおよび粒子の炉の中心軸に沿う時間平均温度の流れ方向分布を、代表的化学種の濃度分布とともに図9に示す。ガスと粒子温度に400°C程度の差が生じている。大同炭ではこの差は200°C程度であり、揮発分が少ないことからその噴出速度が小さく、気相燃焼が固体表面近傍で生じるため、測定されるガス温度が高くなる

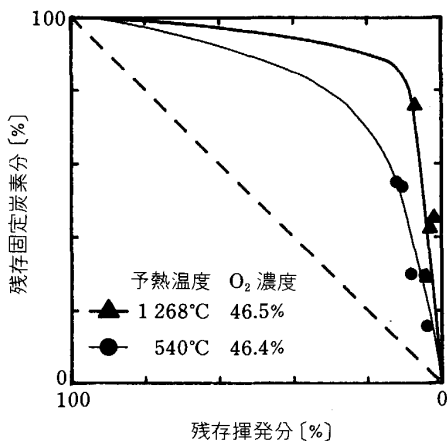


太平洋炭: 燃焼量 0.002 kg/s 空気比 λ = 1.2

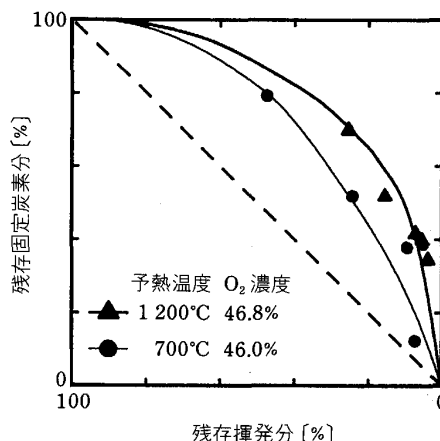
図8 CT法によるガス温度と粒子温度の測定結果



太平洋炭: 燃焼量 0.002 kg/s 空気比  $\lambda=1.2$   
 図 9 燃焼炉中心軸上のガス温度・粒子温度・化学種濃度



(a) 太平洋炭: 燃焼量 0.0012kg/s



(b) ウィットバンク炭: 燃焼量 0.0012kg/s

図 10 燃焼中粒子の残存揮発分と残存固定炭素分の関係

ものと推察する. このことは微粉炭の燃焼および伝熱機構に関して重要なことであり, 理論的にも証明したところである<sup>6)~8)</sup>.

### 6. 高温場における微粉炭の燃焼機構

高炉に吹き込まれた微粉炭が, どのような燃焼過程を経て行くかを研究することは, 高炉への微粉炭の吹き込み量を見積もる上から重要な研究テーマである. しかし, 燃焼場の制約からこのためのデータを実機で得ることは難しい. そこで温度レベルを合わせた大気圧の燃焼実験をして, 高温燃焼場での微粉炭燃焼履歴について実験的研究を行った. まず一次燃焼器で都市ガスを酸素富化空気中で燃焼して, 残存酸素濃度の高い高温ガスをつくり, これを高温に予熱された空気に見立てて, それを燃焼流路に導き, 導入した微粉炭流を接触させて加熱着火させた. 着火後燃焼の過程を追って粒子を採集し, 含まれている揮発分と固定炭素分を JIS の熱分析法によって決定し, この値を粒子中に残留している揮発分と固定炭素分の割合として図 10 に示す. この図には太平洋炭と

ウィットバンク炭 (揮発分: 31.8%) の結果を示しており, それぞれに予熱温度が 640~700°C, 1200°C の疑似空気による燃焼過程を示している. 予熱温度が高くなり, それによって燃焼温度が上昇すると, 燃焼の初期段階で揮発分が選択的に減少するようになることが理解できる. また, 着火直後の粒子の固定炭素分が 20% 以上も燃焼してしまっているが, これはこのような高温下では JIS の熱分析法が規定している 900°C, 7 分間の減量を揮発分とする方法では, その残部に含まれる固定炭素分も含めて, 燃焼温度に対応した実際上の揮発分・固定炭素分を測定したことはないことによる. すなわち, 高温条件では JIS 法では固定炭素分として勘定される成分が, 蒸発するため, 固定炭素としての表面燃焼ではなく, 気相として蒸発した成分が, 気相で燃焼するようになる. このため, ボイラーなどの 1500°C 程度の燃焼では, 揮発分が重要な役割を果たすため, 炭種の影響が顕著に現れるが, 2000°C を超す高温燃焼では固定炭素分の気化が生じるので, 揮発分の役割が薄らぎ, 炭種による燃焼の難易度ははっきりしてなくなること

が特徴である。

## 7. 光学的 CT 温度測定法の今後の展開

以上のように、光学的 CT 手法を用いることにより、微粉炭燃焼場における粒子とガスの温度分布を別々に求めることが可能となり、今後の展開に期待を寄せることができるようになった。現在微粉炭燃焼の基礎過程はかなり良く分かってきたようであるが、実際の複雑な流れ場の下での議論は、定性的な議論の域を出ない部分を残している。これは、燃焼に伴う諸量の分布、特に最も重要な温度について、粒子とガス温度の分離、瞬時的分布と時間平均的分布を求める手段が無かったことにもよる。

微粉炭燃焼における低公害化の技術は、今や石油燃焼のレベルに追い付くまでになってきたが、さらに低レベルをクリアするためには、実用燃焼器における微粉炭燃焼の基礎過程の詳細を知る必要がある。ここに開発した多段同時温度測定システムは、この方面の研究に大いに貢献するものと期待している。

実用ボイラへの本手法の適用については、光路に沿う粒子による光の強度の減衰が S/N 比を決定するため、測定限界距離が問題となる。このため実用場で限界距離を測定する必要があるが、数 m に限界があると試算される。したがって、全負荷運転時には、ボイラ壁からこの限界距離までの温度分布は求まるが、中心部分は一様温度分布になってしまう可能性が大きい。しかし、ターンドウン時には、粒子濃度がかなり減少するので、結果はかなり改善されるはずである。

現在、実用燃焼器内の温度分布を測定する手法としては、音波を用いる方法が提案されており、好結果を得ている<sup>9)10)</sup>。この測定法は音速の温度依存性を利用しており、原理的にガス温度は測定できても、粒子温度の測定には困難さを残している。一方、本方法は、光学的透過度の限界、観測窓の設置と、これを清浄に保持することなどの制約はあるが、粒子とガスの温度とを別々にかなりの精度で測定できるため、さらに開発をすすめ、測定しやすさ、精度の向上、測定限界の拡大をはかって行きたい。

## 8. おわりに

本測定法の研究開発により、これまで不可能に近かった微粉炭燃焼場のガスと粒子の温度分布を同時に測定することが可能となった。しかし、微粉炭燃焼の場合、特に粒子周りでは、噴出した揮発分が燃料過濃となり煤が生成される可能性が強いため、これの発光を粒子温度として測定する確率はかなり高く、純粋に粒子温度を測定する手法の開発をしなければならない。またこれまで測定値を検証する適当な方法が無く、現在レーザー分光学や音波などによってその精度を検討するための手法を検討しているところである。

第二に触れた微粉炭の高温燃焼場の燃焼挙動については、現在採取した燃焼中の粒子を SEM 観察および XMA による元素分析をしており、燃焼温度レベルによってどのような差が生じているのかを検討しているところである。結果がそろい次第、報告させていただく予定にしている。

## 文 献

- 1) 化学工学の進歩 21, 燃焼・熱工学 (化学工学協会編) (1987), p. 81 [槇書店]
- 2) 斎藤正浩, 定方正毅, 佐藤正之, 佐賀井武: 化学工学論文集, 13 (1987), p. 451
- 3) W. R. Seeker, G. S. Samuelson, M. P. Heap and J. D. Trolinger: The Eighteenth Symp. (Int.) on Comb. (1981), p. 1213 [The Comb. Inst.]
- 4) 相馬憲一, 五味憲一, 小豆畑茂, 嵐 紀夫: 第 23 回燃焼シンポジウム (1985), p. 10 [日本燃焼研究会]
- 5) CT スキャナー (岩井喜典編) (1981) [コロナ社]
- 6) K. Ohtake and K. Okazaki: Int. J. of Heat and Mass Trans., 31 (1988) 2, p. 397
- 7) B. G. Tang and K. Ohtake: Coal Combustion (1988), p. 199 [Hemisphere Pub. Corp.]
- 8) J. W. Yuan, Y. Yamamoto, T. Ohe, I. Naruse, K. Ohtake and G. Aslanian: Coal Combustion (1991), p. 254 [China Machine Press]
- 9) 伊藤文夫, 坂井正康: 日本機械学会論文集 B, 53 (1987), p. 1610
- 10) S. P. Nuspl, E. P. Szmania and J. A. Kleppe: ASME Paper, Paper No. 86-JPGC-PTC-2 (1986)