U.D.C. [621.928.7:621.359.42]:[662.613.1:662.933]

小形石炭燃焼炉による電気集塵特性の把握

Studies on Electrostatic Precipitability of Fly Ashes Using Laboratory Combustor

渋谷貞雄* *Sadao Shibuya*
望月美彦* *Yoshihiko Mochizuki*
浅野　弘** *Hiroshi Asano*

近年，石炭火力発電の復活に伴い煤塵の捕集が重要な課題となっており，電気集塵装置が利用されている。しかし，その捕集性能はボイラで燃焼される石炭の種類に左右されやすいので，今後の炭種多様化に対応するために，石炭と電気集塵特性の関係を把握することが必要となっている。今回，各種石炭燃焼灰の集塵特性を研究室規模で迅速に評価することを目的として，石炭燃焼量3 kg/hの小形炉を試作し，その排ガスを用いて直接集塵特性を求める方法を検討した。その結果，実際のボイラと同等の排ガス，及び燃焼灰の性状が得られる燃焼技術を確立し，各種石炭に対する電気集塵装置の容量計画ができるようにした。

1　緒　　言

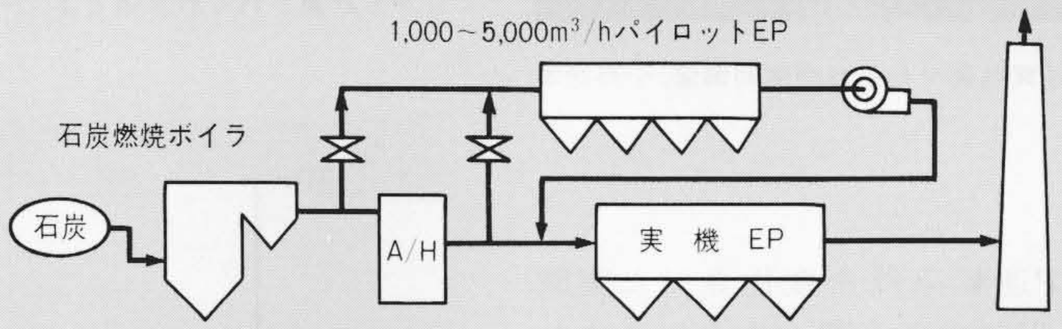
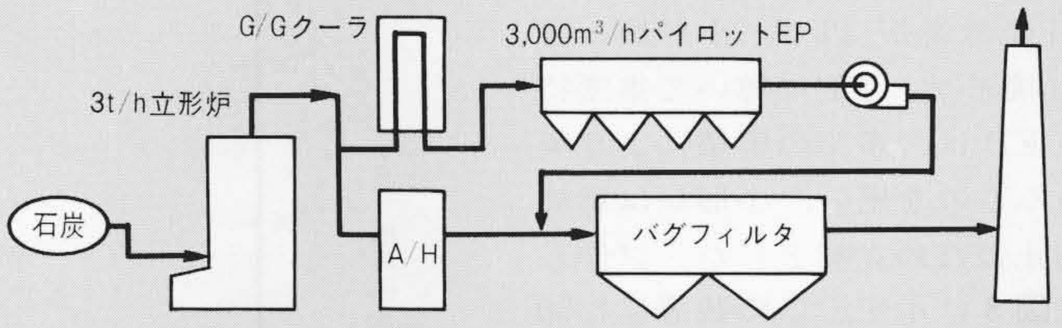
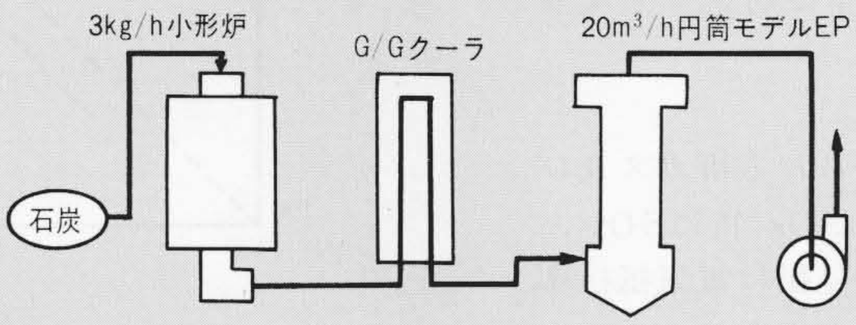
近年，石油代替エネルギーの見直しにより石炭火力発電が復活しつつあるが，ボイラから排出される煤塵の捕集が重要な課題となっている。現在この煤塵捕集にはEP(電気集塵装置)を用いるのが一般的である。しかし，煤塵すなわち石炭燃焼灰の見掛け電気抵抗率ρが10^{10}～$10^{13}\,\Omega\cdot$cmと高く，EPにとって性能発揮の上限に近いため，集塵性能は燃料石炭の種類に左右されやすい。このため，EP計画に当たっては実際の装置と同等の排ガス，及び燃焼灰の条件で集塵特性を把握しておく必要がある。特に，我が国のように燃料石炭の多くを多種多様な輸入炭に頼っている状況下では，多種類の石炭についてその集塵特性を評価しておく必要がある。

この目的のために，**図1**に示すNo.1やNo.2の大形実験を実施しているが[1]，多種類の石炭には対処できないのが実情である。そこで，小量の石炭しか入手できない場合も含め数多くの石炭についてその集塵特性を迅速に評価するため，No.3の方法を充実することにした。本論文では，この小形石炭燃焼炉法の特性と実機EP計画への適用について述べる。

2　小形石炭燃焼炉法の特性

2.1　装置の構成

小形石炭燃焼炉法は，多種類の石炭について実機ボイラ(以下，実缶と言う。)と同等の排ガス及び燃焼灰の条件を得て，それに対する集塵特性を迅速かつ正確に評価できるものでなければならない。また，試掘炭などで小量の石炭しか入手で

No.	方　　式	装　　置　　構　　成
1	パイロットテスト法	
2	大形石炭燃焼炉法	
3	小形石炭燃焼炉法	

注：略語説明　EP(電気集塵装置)，A/H(エアヒータ)，G/Gクーラ(間接空冷式ガスクーラ)

図1　石炭燃焼灰の集塵特性直接評価法(現在実施中のもの)　現在実施している直接評価法の種類と容量を示す。パイロットEP(集塵極，放電極の電極構成及び運転条件が実機と同じで，容量だけが小さいEP。)，モデルEP(電極構造は実機と異なるが，理論的又は実験的に実機との相似性が確認されているEP。)

* 日立プラント建設株式会社研究所　** 日立プラント建設株式会社

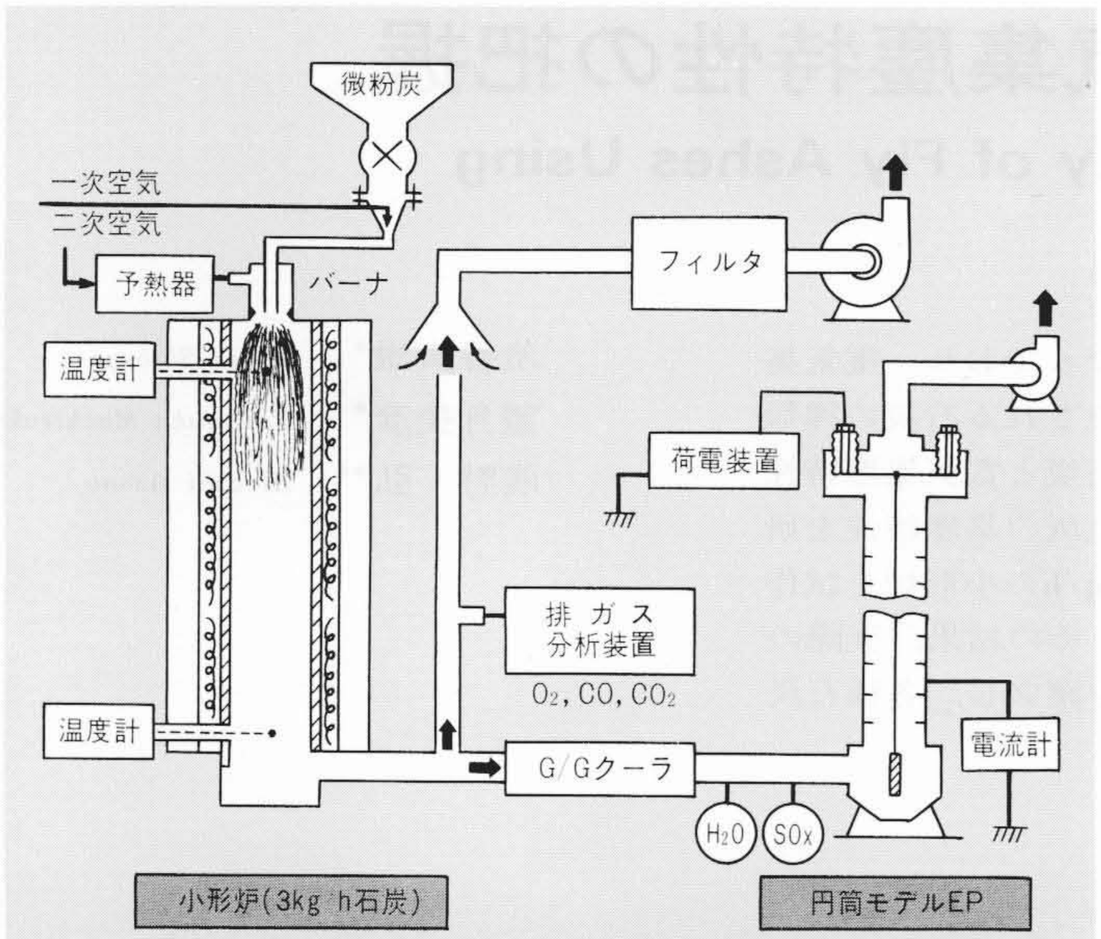


図 2　小形石炭燃焼炉法の装置構成　石炭燃焼量3kg/hの小形炉と円筒モデルEPから成り，各種石炭の燃焼排ガスについて直接集塵特性を求める。

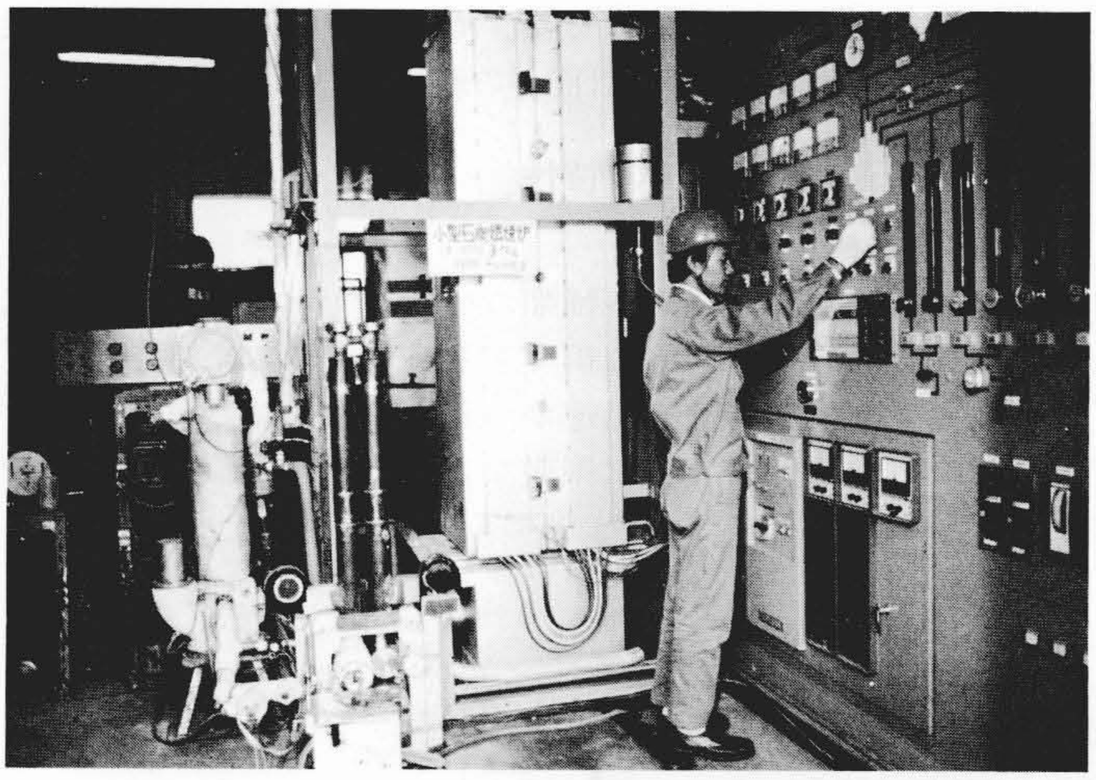


図 3　小形石炭燃焼炉の外観　写真右側から小形炉用制御盤，小形炉本体円筒モデルEPの構成となっている。

きない場合でも，燃焼条件やEP運転条件を変化させた実験ができるように，できるだけ小形にする必要がある。このため，石炭燃焼量 3 kg/hの小形石炭燃焼炉(以下，小形炉と言う。)を試作し，この排ガスを直接モデルEPに導いて集塵特性を求めることにした。モデル EP は，多くの実績により実機との相関性が明確になっているものを用い，小形炉は燃焼灰のたい積による炉内閉そく防止のため立形とした。試作した装置の構成を**図 2** に，外観を**図 3** に示す。この装置は約50 kgの石炭があれば，燃焼条件やEP運転条件に対応する集塵特性の把握が可能である。

2.2　排ガス及び燃焼灰の性状

EP の集塵性能に大きく影響すると考えられる排ガス及び燃焼灰の性状は，(1) ガス中水分，(2) ガス中 SOx(特にSO_3)，(3) 粒子形状，(4) 粒子径，(5) 化学成分，(6) 見掛け電気抵抗率などである。燃焼炉を小形にした場合これらを実缶のものと同等にすることは困難であると言われている。今回試作の小形炉では，微粉炭供給装置の定量性の高精度化と，火炎温度，炉出口温度，炉出口O_2濃度などを実缶と合わせるような運転技術の確立により実缶と同等の排ガス及び燃焼灰を得られるようにした。**図 4** から**図 9** にその一例を示すが，他の数炭種についてもこの例と同様の結果が得られ，粒子径以外は実缶のものとよく一致することを確認している。

(1)　ガス中水分

図 4 は，排ガス中の実測水分と石炭中の水素及び固有水分や湿分から求めた計算値とを比較して示したものである。計算値と実測値の差は，石炭加湿などによる付着水分の影響範囲内であり，実缶，小形炉ともよく一致していると言える。

(2)　ガス中SOx

図 5 は，排ガス中のSOx(硫黄酸化物)濃度について実缶及び小形炉の実測値と全硫黄ベースからの計算値とを比較して示したものである。実測値が計算値よりも一定割合だけ低い

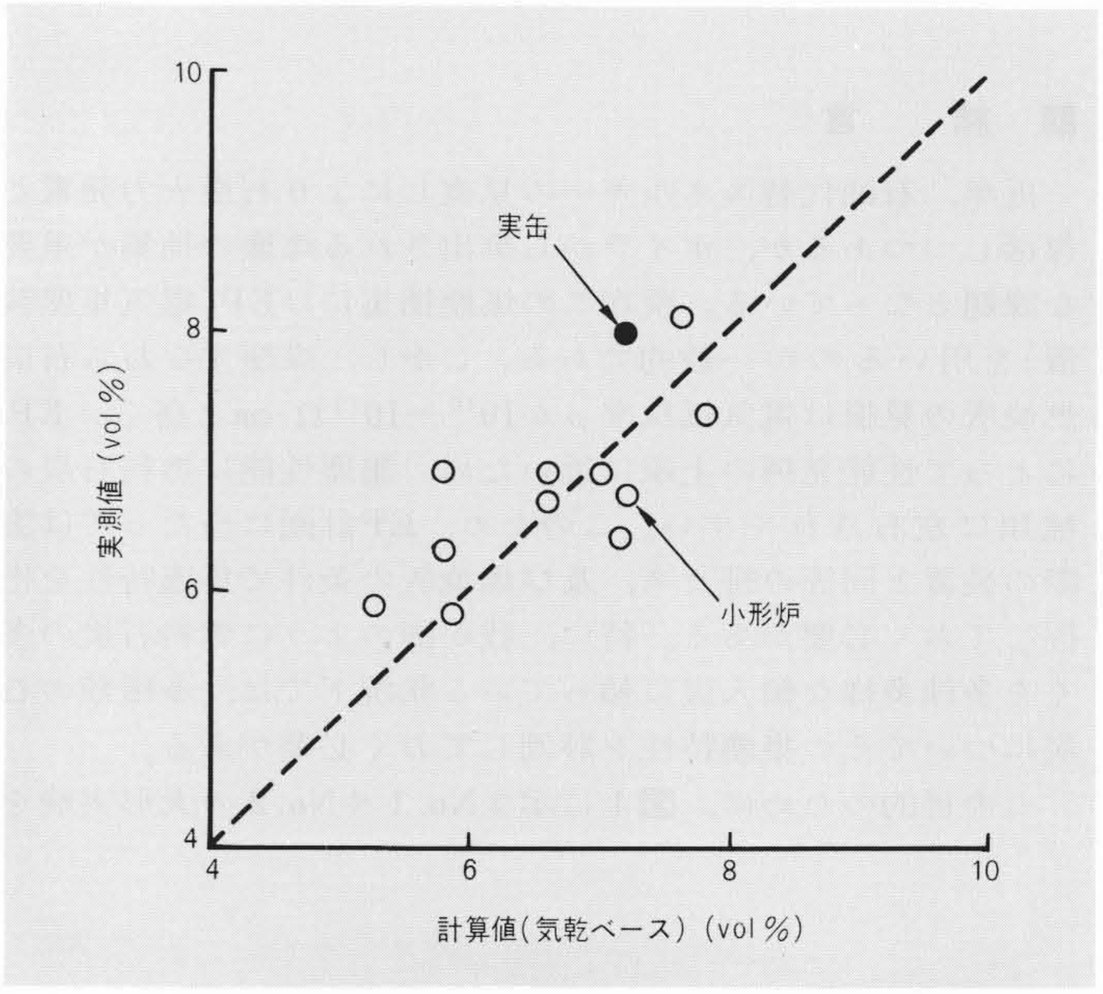


図 4　排ガス中の水分　実缶も小形炉も石炭の水素分，固有水分及び湿分から計算される計算値とよく一致している。

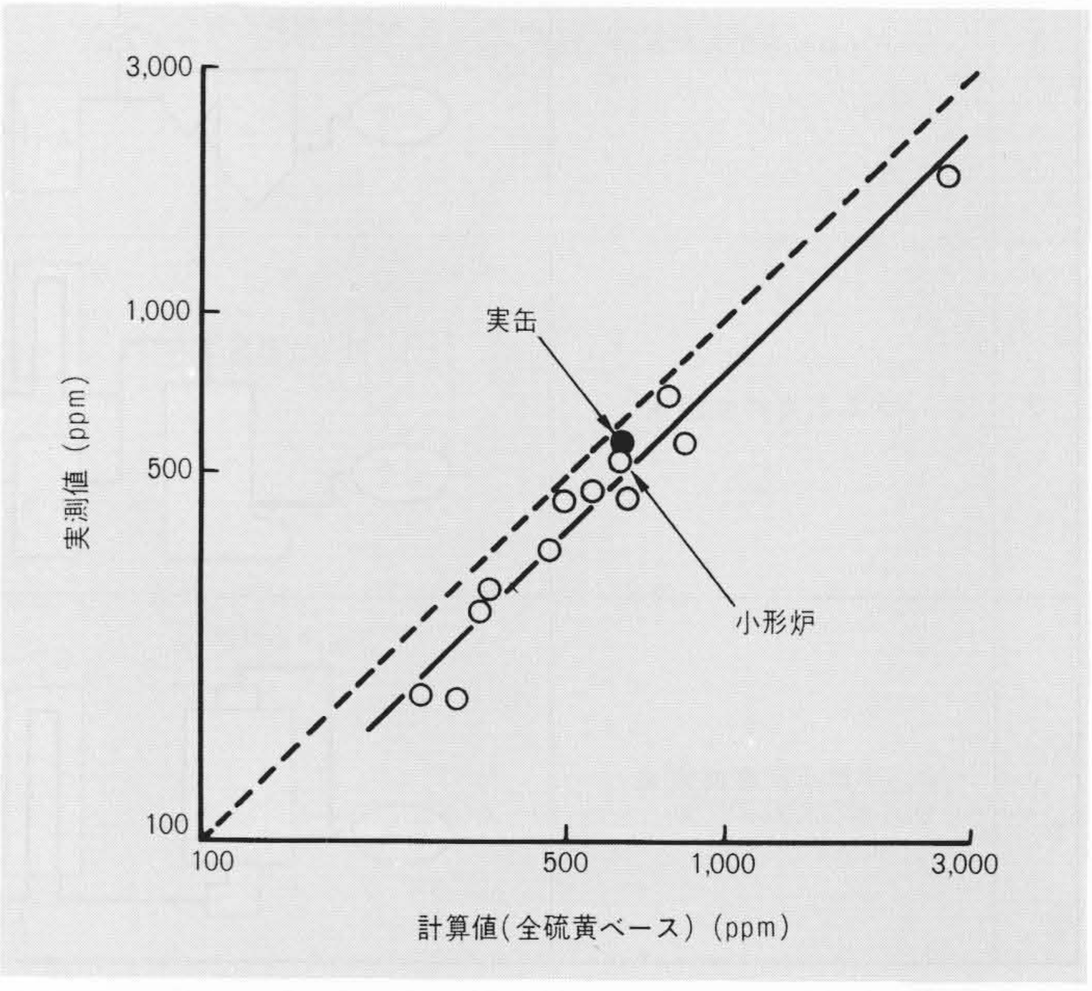


図 5　排ガス中のSOx濃度　実缶，小形炉ともにその実測値は石炭中の全硫黄から計算される計算値と直線的に一致する。ただし，一部は燃焼灰に吸着されていると見られる。

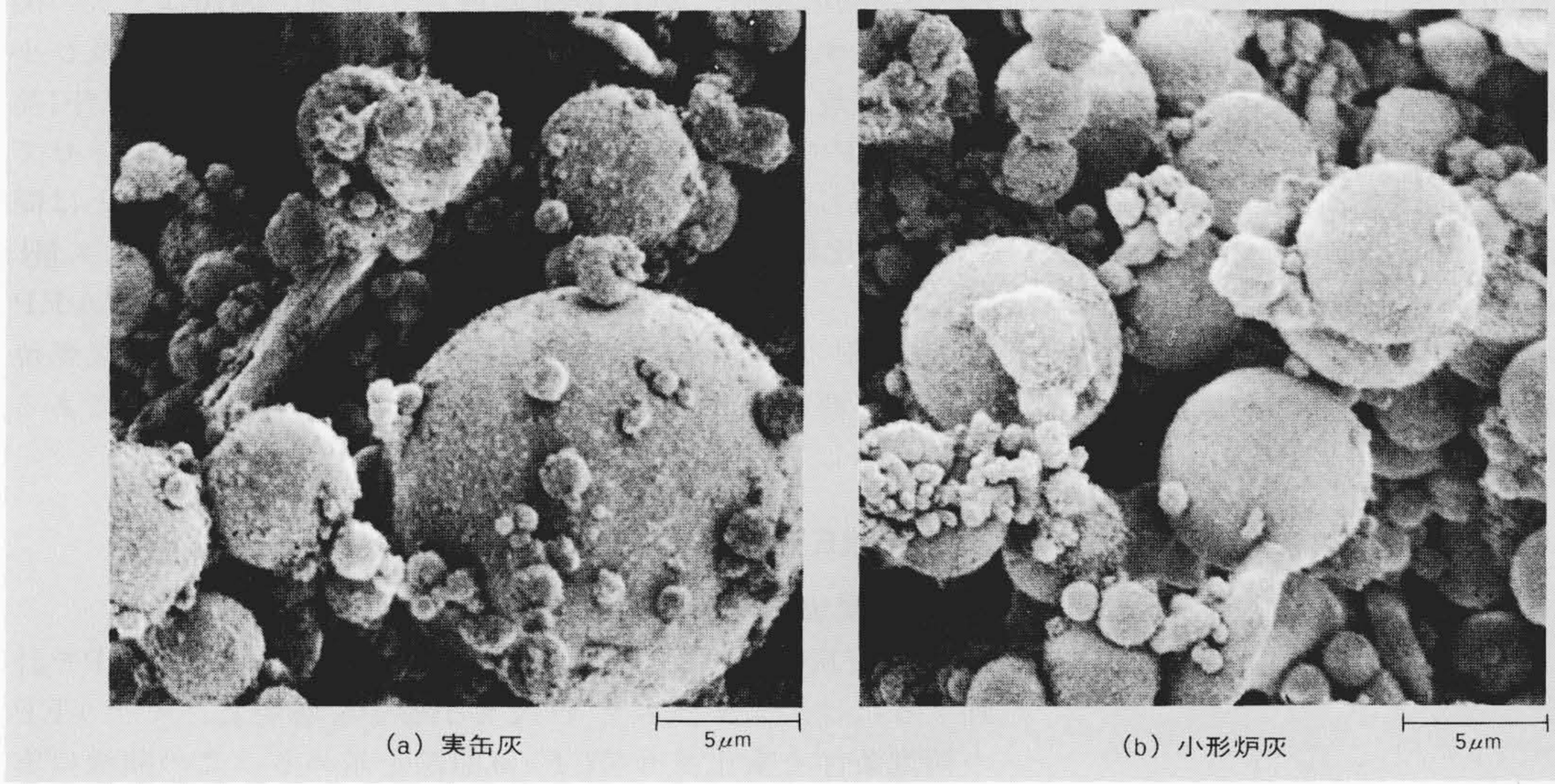


図 6　燃焼灰の粒子形状　小形炉灰は，実缶灰と同様に灰融点以上の温度で燃焼しているため，ガラス状の球形となっている。

のは，硫黄の一部が燃焼灰中に吸着されたためと考えられるが，実缶，小形炉ともよく一致していると言える。

(3)　粒子形状

図 6 は走査形電子顕微鏡で観察した燃焼灰の粒子形状を示すもので，小形炉の燃焼温度を実缶と同様に灰融点以上としているため，小形炉灰は実缶灰と同様にガラス状の球形となっている。また，同図には現われていないが燃焼灰の色合いも全く同じである。

(4)　粒径分布

図 7 は燃焼灰の粒径分布を示すもので，小形炉灰は実缶灰に比べやや細かい。これは小形炉での燃焼性を上げるため微粉炭粒度を細かくしたことによる。ただし，集塵性能に及ぼす粒子径の影響を後述の式によって補正できる範囲内の差であり，問題はない。

(5)　化学成分

図 8 は小形炉灰の化学成分を実缶灰と対比して示したもので，化学成分の分析精度を考え合わせるとよく一致していると言える。これは灰生成の温度履歴を実缶に合わせたことによると考える。

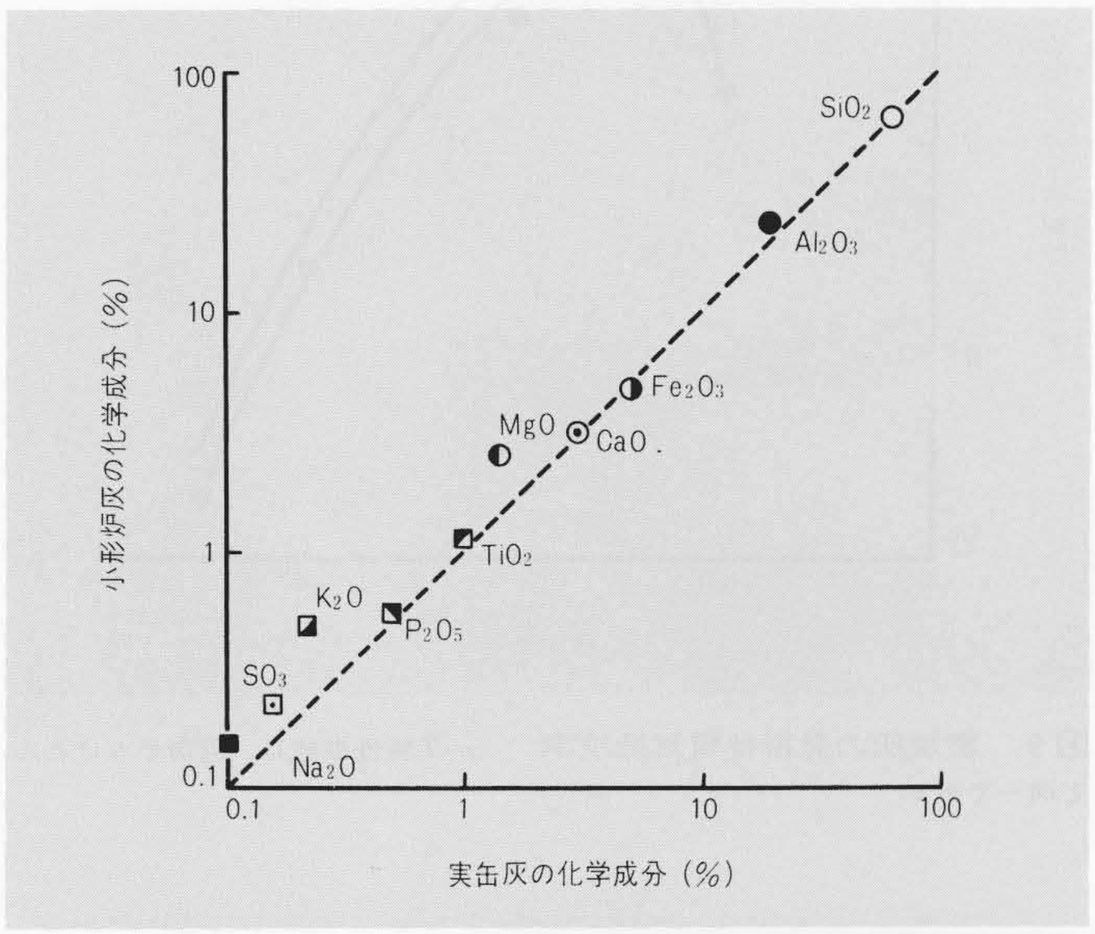


図 8　燃焼灰の化学成分　燃焼灰生成の温度履歴が同等であるため，両者の化学成分はよく一致している。

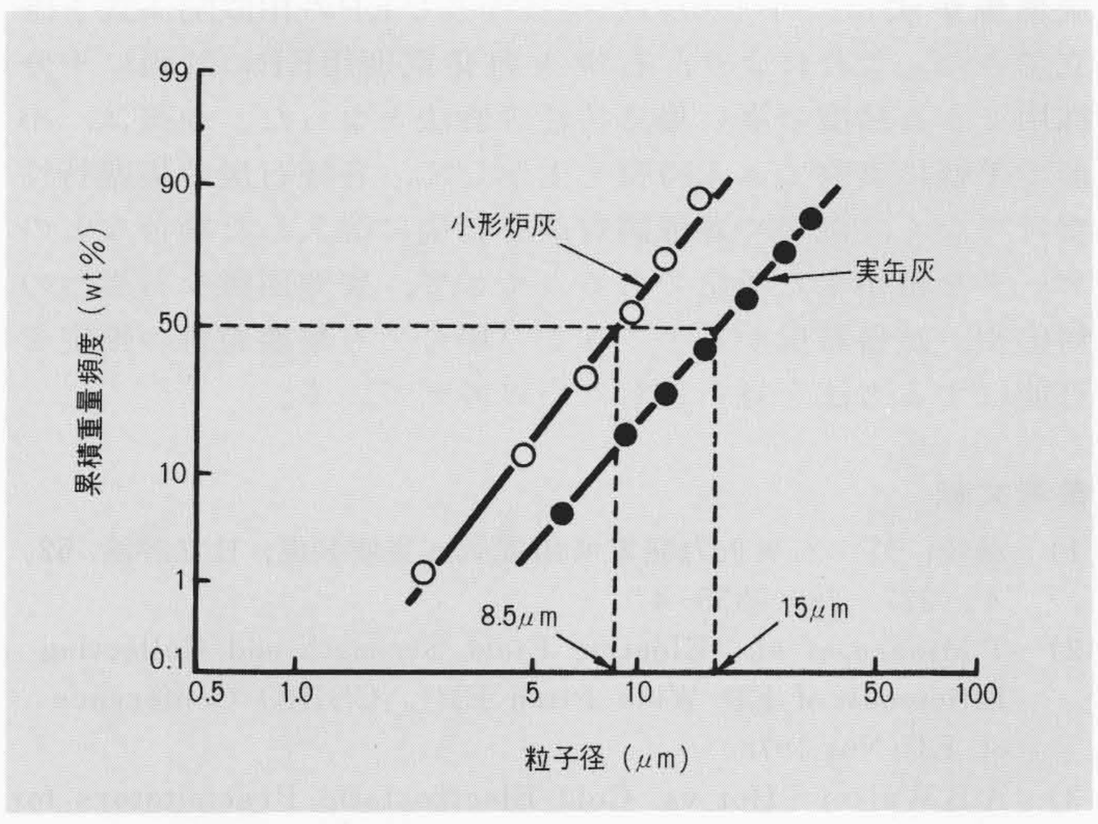


図 7　燃焼灰の粒径分布　小形炉灰は，微粉炭粒度を細かくした分だけ実缶灰よりも細かい。

(6)　見掛け電気抵抗率

図 9 は集塵性能に最も大きな影響を及ぼす見掛け電気抵抗率を示すもので，小形炉灰は実缶灰とほとんど同一であると言える。

2.3　集塵特性

小形石炭燃焼炉法で得られたデータから実機EPの性能が推定できるためには，前述のように小形炉の排ガス及び燃焼灰の性状が実缶と同等であることのほかに，モデルEPと実機EPとの間に明確な相関関係をもっていることが必要である。この相関関係のうち特に集塵性能を直接示す電界内粒子の見掛け移動速度 ωについては，種々の研究と実績により，粉体の性状，EPの運転条件及び構造の関係式として日立グループでは次式を得ている(他に未発表)。

$$\omega = K_1 \cdot \bar{d}^a E \sqrt{i} (D/D_0)^b = K_1 \cdot (CF)$$

ここに　ω：粉体粒子の見掛け移動速度(cm/s)

$\bar{d}$：粉体の平均粒子径(μm)

E：EPの平均電界強度(kV/cm)

i：EP単位集塵面積当たりの放電電流(mA/m²)
D：実機EPの集塵極間隔(cm)
D_0：モデルEPの集塵極間隔(cm)
K_1：粉体の性状及びガス条件による係数(－)
CF：集塵ファクター$\bar{d}^a \ E\sqrt{i}(D/D_0)^b$(－)

この式の特徴は，ωの式に放電電流iの項を導入したことで，このため電極構造Dの影響も評価可能となった。a，bは実験的に求められる定数である。aは粒径分布により決まるもので，単粒子の理論では1であるが通常1よりも小さい値となる。bはD_0＝250mmの平板EPからD＝500mmまでの広極間EPのωを推定する場合は1であるが[2]，モデルEPのD_0が小さい場合は1よりもわずかに小さい値となる。モデルEPが円筒の場合，D_0は円筒の直径である。**図10**は上式の関係が成立することを確認した一例で，同一石炭を実缶及び小形炉で燃焼し，その各々の排ガスに対する実機EP及び円筒モデルEPのCF-ωの関係をEPの荷電条件$E\sqrt{i}$を変化させて測定したものである。なお，実機EPと円筒モデルEPとは同一SCA{比集塵面積(m²/m³·s)＝EP全集塵面積/処理ガス量}で比較してある。この結果，石炭が同じであればモデルEPと実機EPのCF-ωの関係はよく一致しており，小形石炭燃焼炉法の集塵特性データから実機EPの性能が推定可能であることを示している。

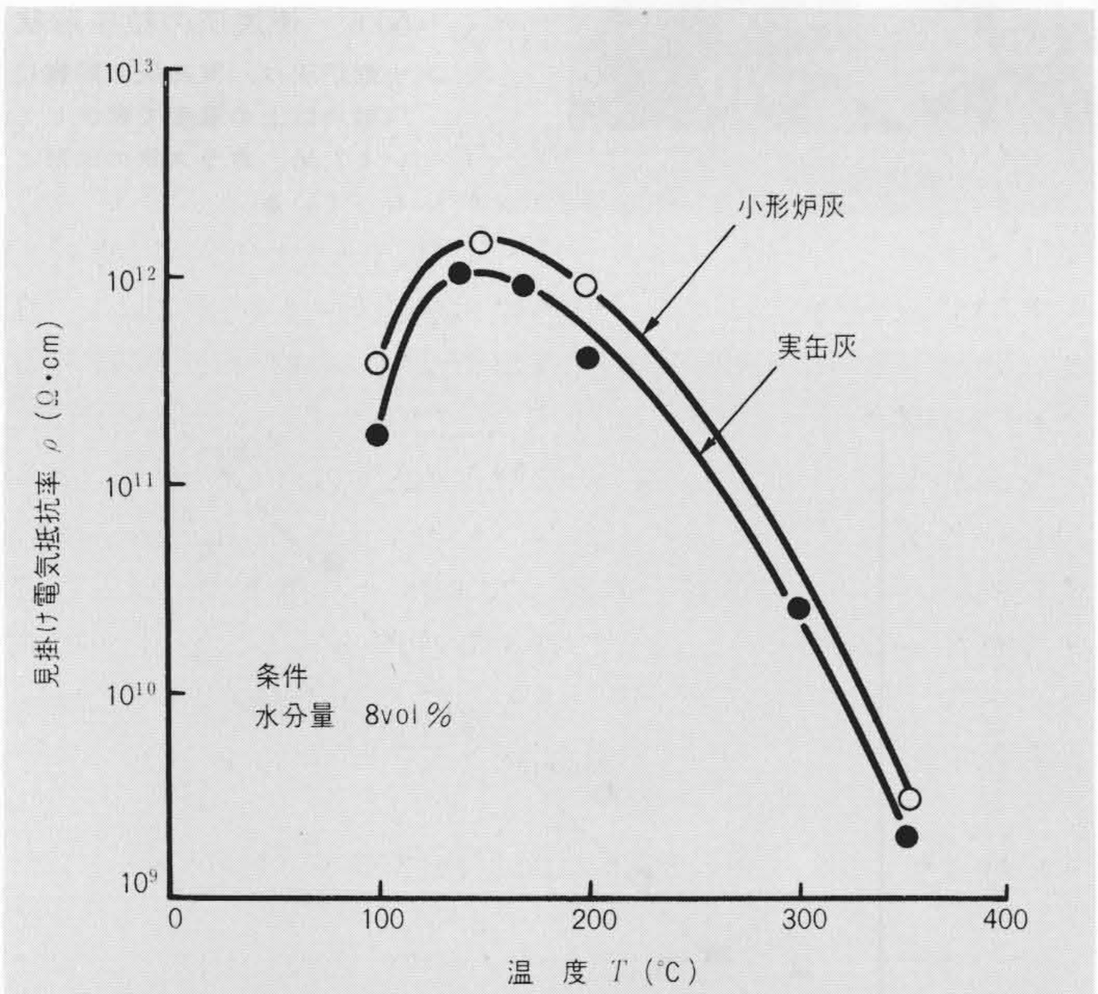


図9 燃焼灰の見掛け電気抵抗率 ρ-T特性曲線は，両者ともほとんど同一である。

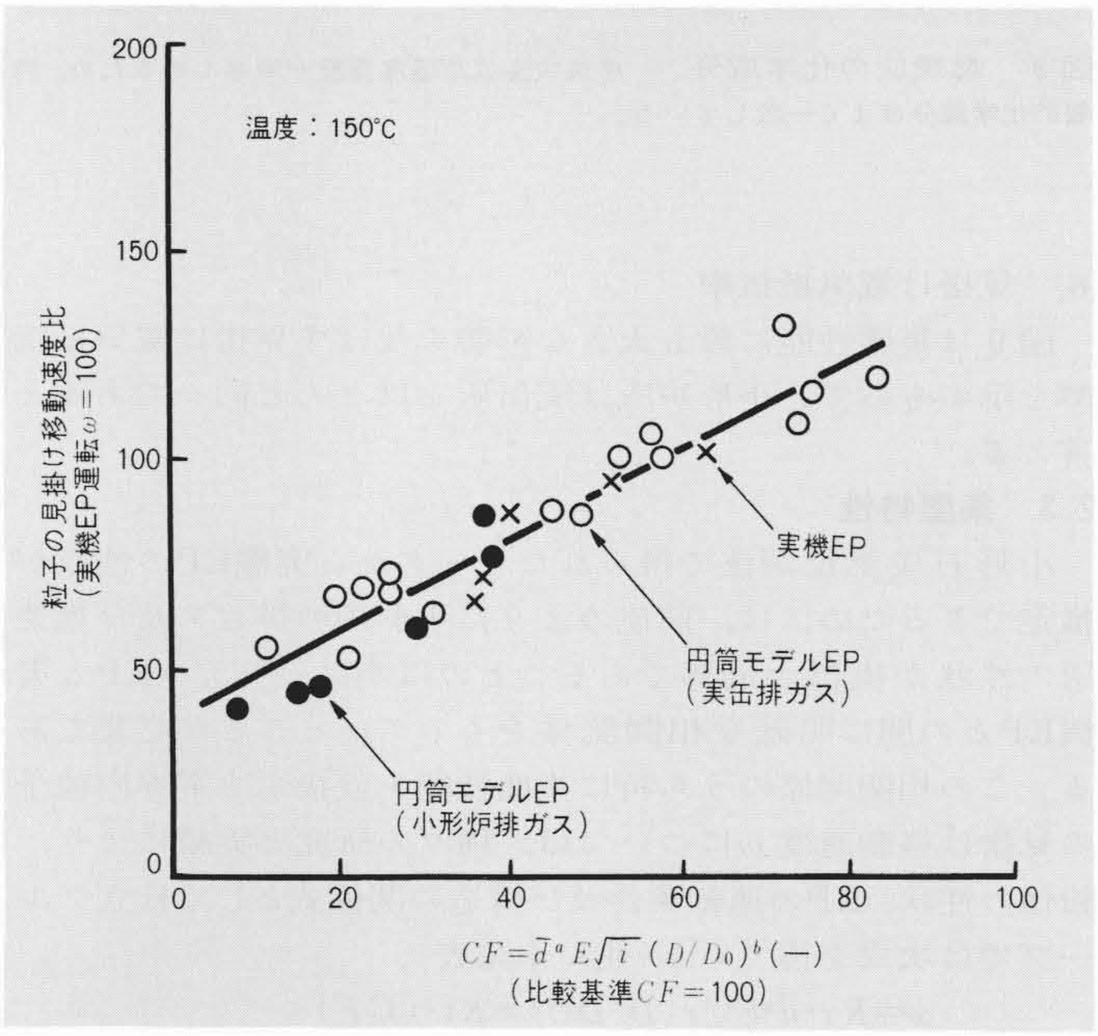


図10 実缶と小形炉の集塵特性 小形炉排ガスに対する円筒モデルEPのCF-ωの関係は，実缶排ガスに対する実機EPのそれと直線上によく一致している。

3 実機EP計画への適用

3.1 石炭燃焼実験による実機EPの計画

小形石炭燃焼炉法により直接石炭を燃焼して実機EPを計画するには，まず試料の石炭を小形炉で燃焼し，モデルEPの荷電条件を変化させてCF-ω曲線を求める。この曲線に実機のCFを与えればモデルEPと同じ集塵条件での実機推定ωが得られる。このωをもとに所要集塵率に見合った実機EPの必要集塵面積，すなわち容量を決定する。

3.2 多炭種への対応

多種類の石炭の集塵特性を簡便に評価するため，燃焼灰の化学成分と集塵特性の関係を求める試みが種々行なわれている[3]。日立グループでも，集塵特性に関連する化学成分として集塵指数と呼ばれるものを提案し[1]，各種石炭の集塵特性推定に用いている。しかし，化学成分と集塵特性の間に定量的関係はなく，この試みのほとんどは数多くのデータを統計的に処理している。そこで今回，小形石炭燃焼炉法は試料石炭の量が少なくて済み，数多くのデータを蓄積するのに都合がよいという特性を生かし，この集塵指数の精度向上を図っている。また化学成分のうち特にNa(ナトリウム)，S(硫黄)，Ca(カルシウム)が集塵性能に影響を及ぼすと言われ，その影響メカニズムも種々提唱されているので，これらを石炭に人工的に混入した実験を行ない，その影響度合を定量的に求める試みも行なっている。これらについては今後ともデータを蓄積し，最終的には燃焼灰の性状から実機EPの荷電状況及び集塵性能が推定できるようにしたいと考えている。

4 結 言

各種石炭の集塵特性を把握するため，今回開発した小形石炭燃焼炉法は，小形炉の燃焼技術及びEPの相似関係式を確立できた。これにより，石炭火力発電所用EPの計画に十分採用できる精度の高い集塵特性評価法となった。今後は，小形で手軽に実験できる特質を生かして，各種石炭の集塵特性だけでなく，混炭や各種調質剤を石炭に混入した場合などのデータを蓄積する予定である。そして，集塵困難な石炭への対応や，試料石炭が入手できない場合でも集塵特性の推定を可能にする方法を見いだしたいと考えている。

参考文献

1) 藤崎，外：石炭火力発電所用電気式集塵装置，日立評論，**62**，4，277～280(昭55-4)
2) T.Misaka, et al.：Electric Field Strength and Collecting Efficiency of EP(Wide Pitch EP), CSIRO Conference of EP(Nov.1978)
3) A.B.Walker：Hot vs. Cold Electrostatic Precipitators for Collection of Fly Ash from Fossil Fuel Combustion, Research Cottrel