

改良型ルーバ分級機によるフライアッシュ微粒子の高精度分級

Particle Classification of Fly Ash by Improved Louver-type Separator

金子貫太郎* 吉田英人**

Kantaro Kaneko, Hideto Yoshida

火力発電所で石炭を燃焼した際に多量のフライアッシュが副生し、その有効利用の用途の一つがセメントの混和材である。混和材としての付加価値を高めるためには、未燃炭素分除去を目的とした分級操作が必要で、サイクロンなどが利用されてきた。しかし、サイクロン内で未燃炭素分を多く含む粗粉の一部が粉碎されることにより、分級した微粉中の未燃炭素分が一般に原料よりも多くなるなどの問題があった。この対策として、粒子の粉碎が少ないと予想されるルーバ分級機を利用するのが望ましく、これの開発を行ってきた。広島大学と当社が共同開発し、中国電力株式会社殿が製作したベンチスケール規模の実験機で、新型変形翼と平羽根との対比実験を行い、若干の興味ある新しい知見が得られたので紹介する。

A large quantity of fly ashes have been collected as by-product in case of burning coal at thermal power plants. Some fly ashes are used as a mixture for cement. Removing un-burnt carbon in fly ashes is necessary to make the additional value of the mixture high. For this purpose, cyclones have been utilized for classifying operation to remove it. However, there are some problems that since some parts of coarse particles including more un-burnt carbon are ground, the carbon content in classified fine particles increases more than that in the feed. As one of the countermeasures, a louver-type separator has been developing since it has fewer chances to pulverize the coarse ones. A large size experimental separator has been manufactured by the Chugoku Electric Power Co., Inc. and is under a joint development by Hiroshima University and Kurimoto, Ltd. The separator has a new type of louver plates based on Joukowski's theory and flat-type plates. Some interesting information by the experiment of the two types is introduced hereunder.

1. 緒言

近年、火力発電所において微粉炭火力の割合が増加している。しかしながら、石炭を燃焼した際に多量のフライアッシュが副生するため、その有効利用を検討することが重要な課題である。フライアッシュは球形粒子であるため、セメントに添加すると製品の強度、流動性および気密性などが向上するので、従来から混和材として利用されてきた。特にフライアッシュの粒子径が小さく、未燃炭素割合が低いと、より優れた機能を発揮する。したがって、フライアッシュの付加価値を高めるためには、未燃炭素分除去を目的とした分級操作が必要になる。フライアッシュの分級のためサイクロンを利用すると、分級された微粉中の未燃炭素分は一般に原料よりも多くなる¹⁾。これはサイクロン内で未燃分を多く含む粗粉の一部が粉碎されることが原因である。この対策としてサイクロンで分級する前に、分級機内部での粒子の粉碎が少ないと予想されるルーバ分級機を利用するのが望ましく、この手法は既に特許になっている²⁾。

本報は、当社にて開発し現在特許申請を行っている多段の新型変形翼³⁾、および平羽根を利用したルーバ式分級装置を用い、ベンチスケール規模での分級実験を中国電力(株)技術研究センター殿の協力を得て行った結果である⁴⁾。特に、新型の変形翼と平羽根を対比して広範囲な操作条件で分級実験を行った。

その結果、若干の興味ある新しい知見が得られたのでここに報告する。

2. 分級実験装置

大型（ベンチスケール規模）分級実験装置のフローを図1に、参考のため小型ルーバ分級機を図2に示す。図2の(a)は通常利用されている平羽根、(b)は新型の変形翼である。

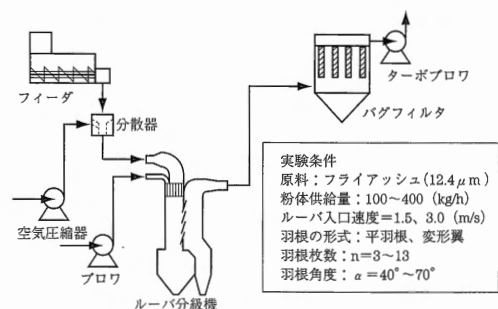


図1 大型実験装置のフロー

Fig.1 Flow of large size experimental apparatus

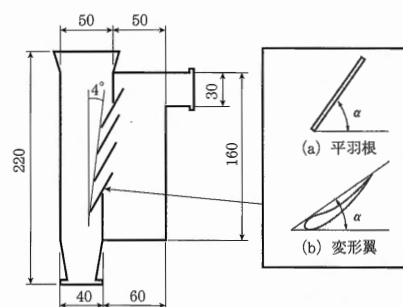


図2 小型ルーバ分級機

Fig.2 Small size louver-type separator

* 機械事業部 機械技術部

** 広島大学 工学部化学工学教授 工学博士

大型実験装置の特色を以下に記す。

- 1) 大型ルーバ分級機の構造を図3に示す。同図においてルーバ羽根列は中央部に設置し、従来の平羽根に加えて新型の変形翼(図4参照)も用いた。
- 2) フライアッシュの分級性能に及ぼすルーバの羽根角度、羽根枚数、入口速度の影響が広範囲に調査できる。
- 3) ルーバ入口部左側にクリーンエア方式を採用し、さらにブローアップやブローダウン方式でも実験が可能である。

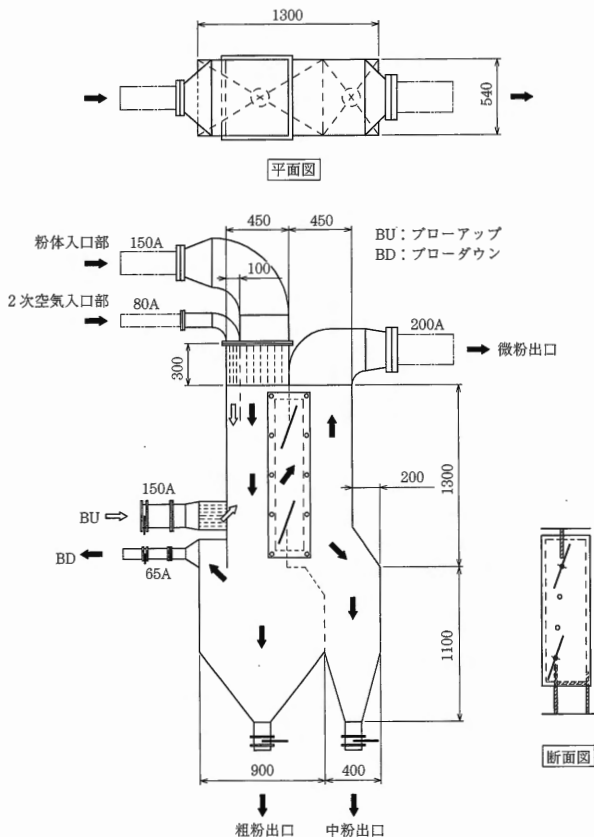


図3 大型ルーバ分級機の構造

Fig.3 Structure of large size louver-type separator

大型実験装置の実験条件の詳細を以下に示す。

粉体供給量	100~400 kg/h
空気流量	27 m ³ /min
ブローダウン割合	0~10 %
ブローアップ割合	0~10 %
ルーバ入口速度	0.5~3 m/s
羽根角度	40°~70°
羽根枚数	3~13 枚
羽根形状	平羽根、変形翼

原料フライアッシュは中国電力(株)新小野田発電所殿で副生した質量平均径12.4 μ m(島津製 SA-CP4Lで測定)の粉体であり、図5にその粒度分布を示した。粒度分布の測定では遠心沈降法(島津製 SA-CP4L)とレーザ回折法(堀場製作所(株)製 LA-700)および中国電力(株)技術研究センター殿のレーザ回折式粒度測定機を用いた。

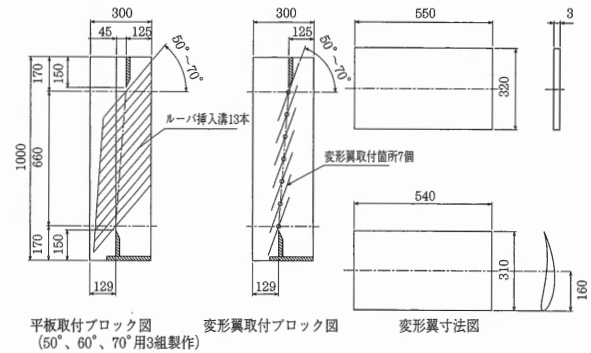


図4 平羽根および変形翼

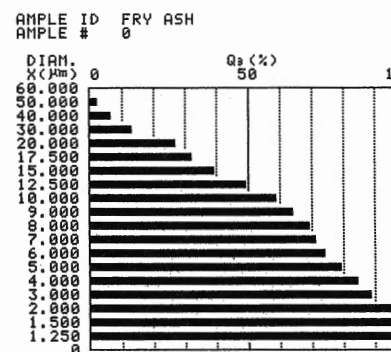
Fig.4 Flat-type plates and louver plates based on Joukowski's theory

MEDIAN DIAM.	12.457 (μ m)
MODAL DIAM.	25.271 (μ m)
SURFACE AREA	0.402 (m ² /g)
84.1% DIAM.	4.143 (μ m)
15.9% DIAM.	28.253 (μ m)

ARTICLE SIZE DISTRIBUTION DATA

DIAM. X (μ m)	TIME	ABS. CHANGE	CU
X (μ m)	q ₃ (%)	q ₃ (%)	q ₃ (%)
60.000	G 0:00:08	0.975	2.6
50.000	G 0:00:12	0.973	4.6
40.000	G 0:00:19	0.969	6.6
30.000	G 0:00:33	0.960	13.8
20.000	G 0:01:15	0.934	23.7
17.500	G 0:01:38	0.920	26.6
15.000	G 0:02:14	0.897	32.6
12.500	G 0:03:13	0.854	40.2
10.000	G 0:05:01	0.800	49.9
9.000	G 0:06:12	0.763	55.5
8.000	G 0:07:50	0.721	60.9
7.000	G 0:10:14	0.705	65.7
6.000	G 0:13:56	0.674	70.4
5.000	C 0:14:08	0.604	74.9
4.000	C 0:14:29	0.514	84.8
3.000	C 0:15:05	0.413	89.9
2.000	C 0:16:22	0.195	96.6
1.500	C 0:17:37	0.114	98.9
1.250	C 0:18:35	0.073	99.7
0		0	100

A-CP4L CUMULATIVE GRAPH



A-CP4L DIFFERENTIAL GRAPH

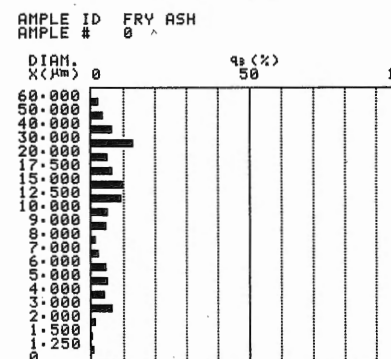


図5 原料フライアッシュの粒度分布

Fig.5 Size distribution of feed

3. 実験結果

ルーバ分級機の羽根として、従来から用いられている平羽根と今回新しく変形翼とを使用した。変形翼を採用した理由は図2で示した小型機による分級実験で性能が良かったためである⁵⁾。図6～図9は変形翼を用いた実験結果を示している。図6はルーバ入口速度の変化が部分分離効率に及ぼす影響を調べたものである。羽根枚数4枚、羽根角度が 50° 、粉体供給量 100 kg/h の一定条件下において、ルーバ入口速度を $0.6\sim 2.0\text{ m/s}$ と変化させてある。入口速度が 0.6 m/s と低い場合に比べて、 2.0 m/s と速い場合の方が分級特性が理想分級に近い。これは高速の場合、ルーバ羽根内部での粒子の分散効果が良くなるために生じたものであろう。

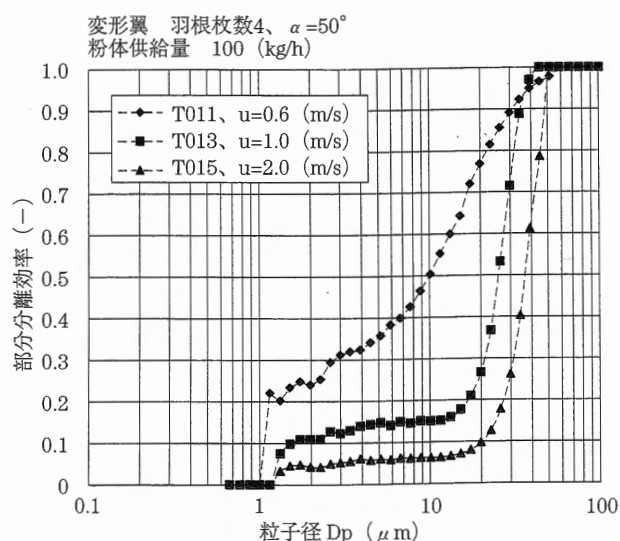


図6 部分分離効率に及ぼすルーバ入口速度の影響

Fig.6 Effect of partial separation efficiency by air velocity of louver inlet

図7は羽根角度の影響を調べた結果であり、 40° と 60° に比べて羽根角度 50° が最も優れた結果を示し、この知見は図2で示した小型機の実験結果と一致した⁵⁾。羽根角度 40° の場合では、粒子の分離機構として水平分離作用が支配的となるため性能が低下したのであり、 60° の場合は、羽根通過部の流路部が狭くなりすぎるため、ルーバ羽根間での気流の乱れが発生し易くなることにより性能が低下し、部分分離効率曲線の傾きが小さくなったのであろう。

図8は羽根枚数の影響を調べたものであり、羽根枚数を多くすると分離径は小さくなっている。これは、羽根枚数を多くすると粒子は各羽根部で分級効果を多く受けるためであり、この結果も小型機での実験結果と一致した⁵⁾。

変形翼 羽根枚数4、流速 2.0 (m/s)
粉体供給量 100 (kg/h)

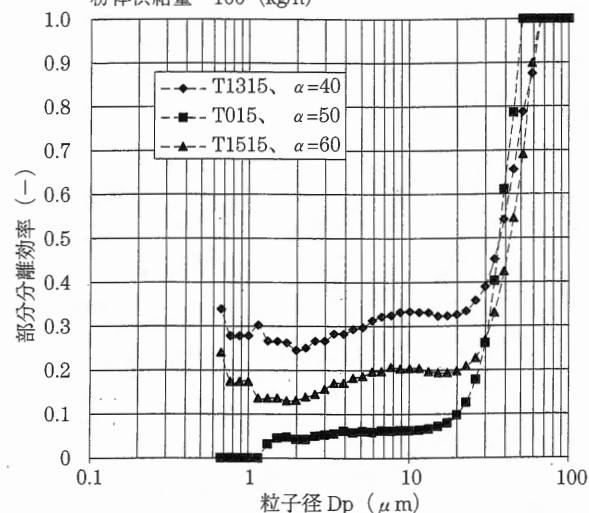


図7 部分分離効率に及ぼすルーバ羽根角度の影響

Fig.7 Effect of partial separation efficiency by louver angle

変形翼 $\alpha=50^\circ$ 、流速 2.0 (m/s)
粉体供給量 100 (kg/h)

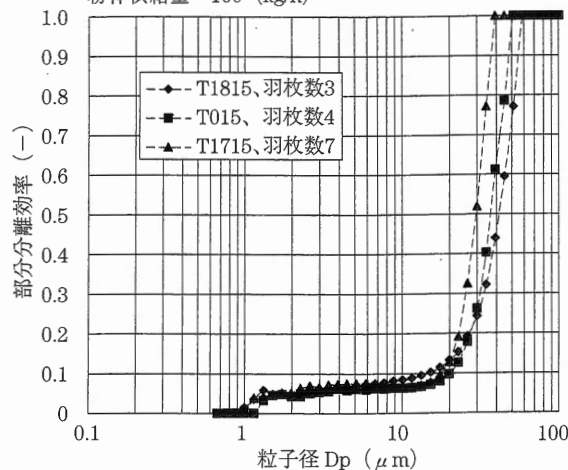


図8 部分分離効率に及ぼすルーバ羽根枚数の影響

Fig.8 Effect of partial separation efficiency by louver number

粉体供給量が分級性能に及ぼす影響を示したのが図9であり、変形翼の場合粉体供給量が $200\sim 400\text{ kg/h}$ と増加しても、分級性能はあまり変化しない。したがって、今回採用した変形翼は高濃度条件でも、部分分離効率曲線の傾きが大きく、性能低下が少ないため実用上有望であると考えられる。

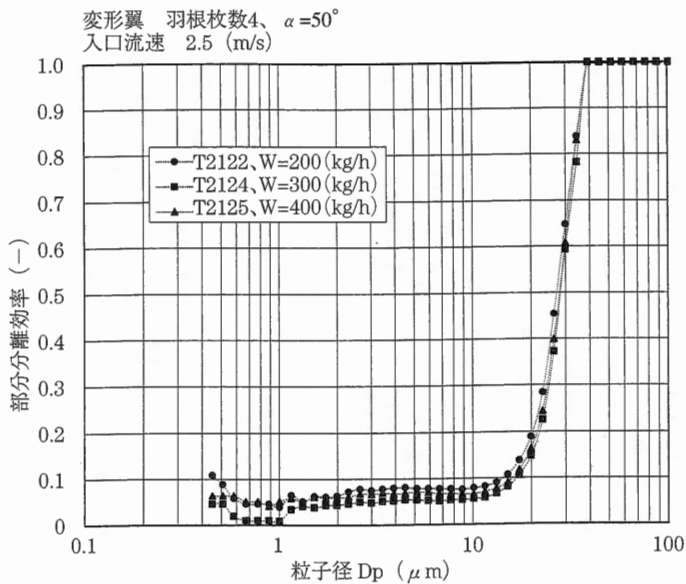


図9 部分分離効率に及ぼす粉体供給量の影響

Fig.9 Effect of partial separation efficiency by feed rate

次に、平羽根を用いた場合の分級性能の実験結果を図10～図13に示す。図10は羽根枚数4枚、羽根角度 60° 、粉体供給量100kg/hの条件下において、ルーバ入口速度を1.5～3.0m/sと変化させた場合の分級実験結果である。入口速度が1.5m/sに比べて3.0m/sの場合の方が $30\mu\text{m}$ 以上の領域で部分分離効率が若干高くなっている。また、入口速度が速い場合の方が粗粉中への微粉の混入が少なく、理想分級に近い。この傾向は図6で示した変形翼の結果と一致する。これは、ルーバ入口速度が速いと、ルーバ入口で粒子がより分散した状態となるためと考えられる。

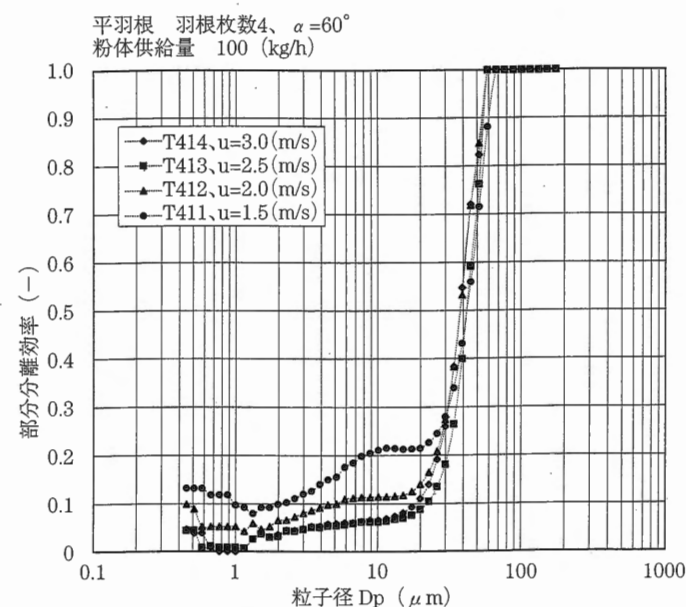


図10 部分分離効率に及ぼすルーバ入口速度の影響

Fig.10 Effect of partial separation efficiency of air velocity of louver inlet

図11は羽根角度の影響を示したものであり、 $50^\circ \sim 70^\circ$ で大きな差はないが、 50° の場合は粗粉中に微粉が混入する傾向があり、 60° および 70° ではこの割合が若干低く、また 70° の条件が最も理想分級に近く、分級には適している。

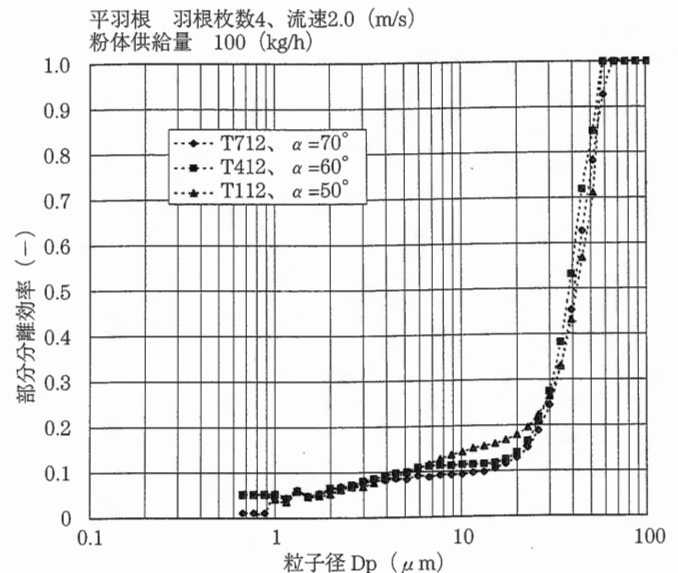


図11 部分分離効率に及ぼすルーバ羽根角度の影響

Fig.11 Effect of partial separation efficiency by louver angle

図12は羽根枚数の変化が分級特性に及ぼす影響を示したものであり、変形翼の場合は図8に示したように羽根枚数の増加と共に分離径が小さくなったが、平羽根の場合にはこの傾向がなく、羽根枚数による分離径の変動は少ない。

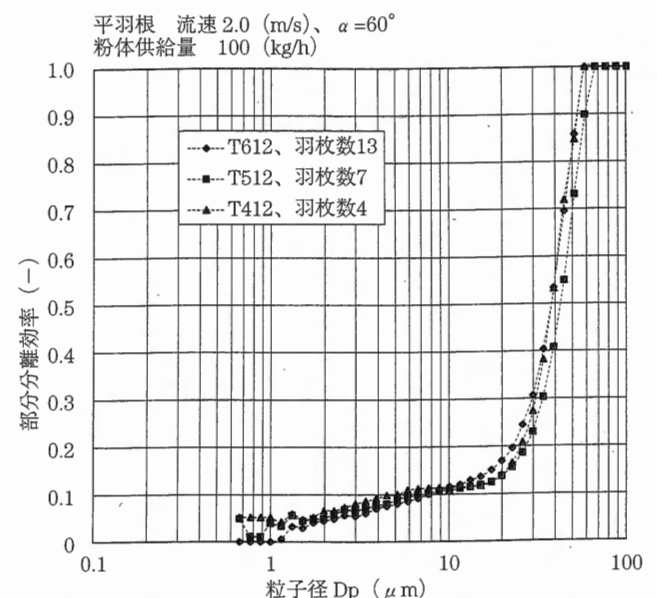


図12 部分分離効率に及ぼすルーバ羽根枚数の影響

Fig.12 Effect of partial separation efficiency by louver number

論文・報告

次に粉体供給量に関しては図13に実験結果を示すとおり、粉体供給量の増加と共に粗粉中に微粉の混入量が多くなっている。一方、図9で示した変形翼の場合にはこの影響が小さいため、総合的に判断して分級に関しては平羽根よりも変形翼の方が優れている。

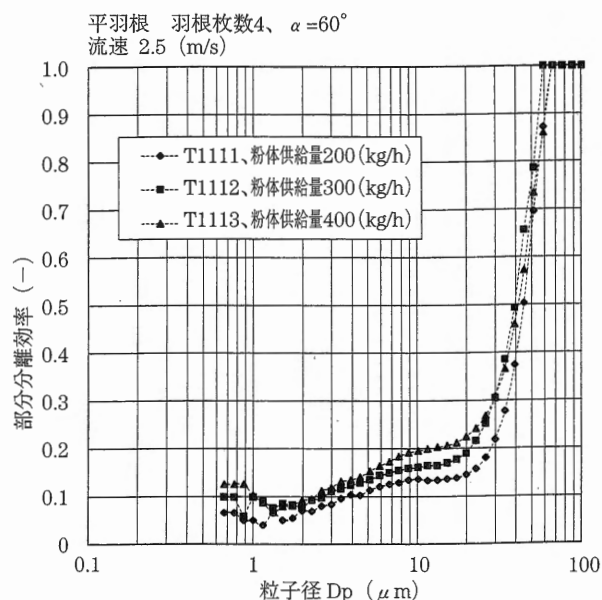


図13 部分分離効率に及ぼす粉体流量の影響

Fig.13 Effect of partial separation efficiency by feed rate

4. 数値シミュレーションの結果

数値シミュレーションによってルーバ内部の流動解析について検討した。図14は $k-\epsilon$ 乱流モデルによる流動解析を行った結果であり、羽根枚数4枚、羽根角度 60° の場合の速度ベクトルを示した。全体的には下部の羽根の間を多くの流体が通過しており、また、粗粉および中粉捕集部の一部の領域で渦の存在が確認できる。さらに、最上段の羽根裏側にも渦の存在が認められる。

次に、羽根枚数4枚で、羽根角度 70° の場合のシミュレーション結果を図15に示す。この場合は 60° の場合と異なり各羽根間の流量の不均一度が少なく、ほぼ均等に流れる傾向がある。

よって、平羽根を用いた場合は流動シミュレーションの結果より、羽根角度は 60° よりも 70° の条件が望ましく、この傾向は図11で示した実験結果の傾向と一致する。

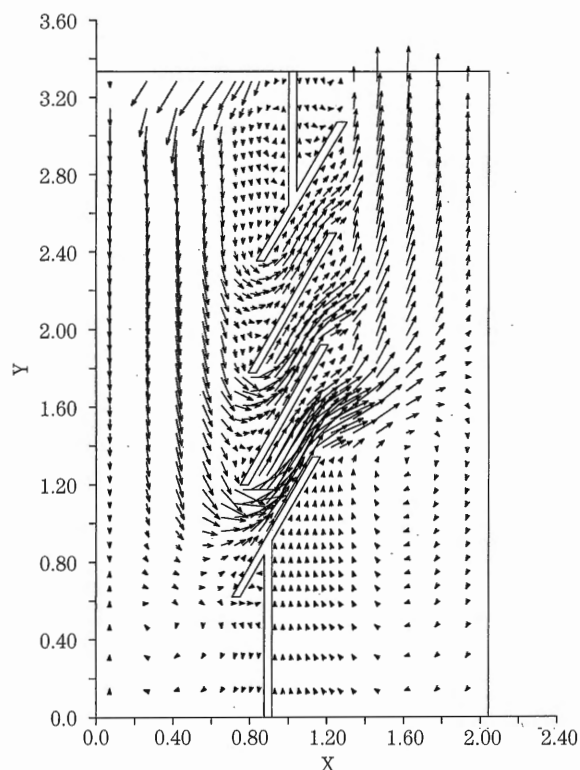


図14 気流速度分布のシミュレーション結果

(羽根枚数 4枚、羽根角度 60° 、平羽根)

Fig.14 Simulation of air velocity distribution

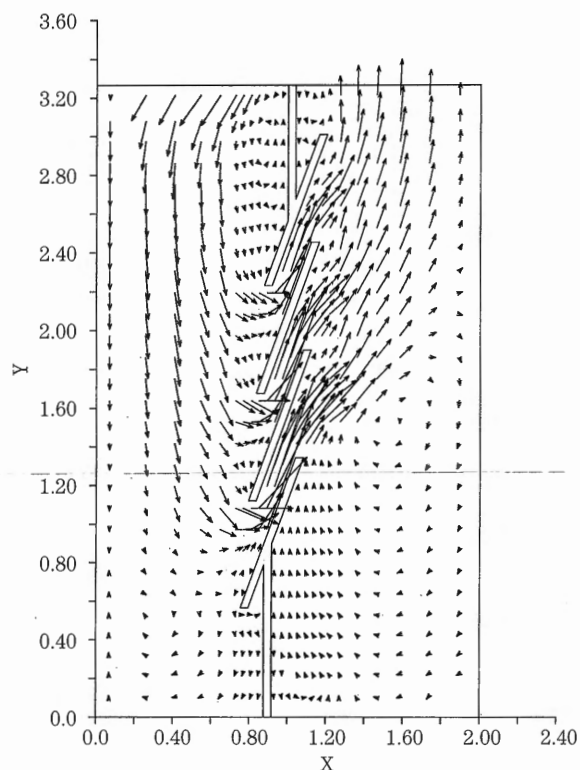


図15 気流速度分布のシミュレーション結果

(羽根枚数 4枚、羽根角度 70° 、平羽根)

Fig.15 Simulation of air velocity distribution

(louver number 4, louver angle 70° , flat-type plates)

5. 結言

フライアッシュの分級実験を、大型（ベンチスケール規模）の改良型ルーバ式分級機を使用して行い、以下の知見を得た。

1) 分級に関しては、ルーバ入口速度2.0m/s以上が望ましく、羽根角度は平羽根では70°、変形翼では50°が理想分級に近い性能を示す。

2) 変形翼を用いると粉体供給量が400kg/hの条件でも分級性能の低下が少ないのに比べて、平羽根の場合は高濃度条件で分級性能の低下を示した。

3) 羽根枚数に関しては、変形翼では7枚程度と多い条件が良く、一方、平羽根の場合は羽根枚数の分級性能に及ばず影響は少ない。

今後、変形翼による更に高濃度の条件での実験、およびその最適手法に関して、より詳しく調べる必要がある。

参考文献

- 1) 吉田英人、網浩之、今井清、横道豊：“改良型サイクロンによるフライアッシュ微粒子の高精度分級”、化学工学論文集、20巻、1号、pp.105-112（1994）
- 2) 横道豊、盛崎英樹、吉田英人：“石炭灰の未燃分低減方法及び装置”、特許第2787555号（1998）

3) 金子貫太郎、吉田英人、井伊谷鋼一：“ルーバ分級機”、特願平8-162764号（1996）

4) 吉田英人、衛藤峰明、盛崎英樹：“改良型ルーバ分級機によるフライアッシュの高精度分級及びその未燃分低減法”、化学工学会第31回秋季大会報告予定、山形、9月29日（1998）

5) 吉田英人、福井国博、金川浩司、井伊谷鋼一：“ルーバ分級機の分級性能に関する研究”、粉体工学会誌、34巻、9号、pp.42-47（1997）

執筆者

金子貫太郎

Kantaro Kaneko

昭和47年入社

粗大ごみ処理施設、粉碎・分級設備の設計を経て、現在各種単体機器の開発に従事



吉田英人

Hideto Yoshida

広島大学 工学部

化学工学教授 工学博士



栗本トピックス

BS 8800 (1996) の認証取得

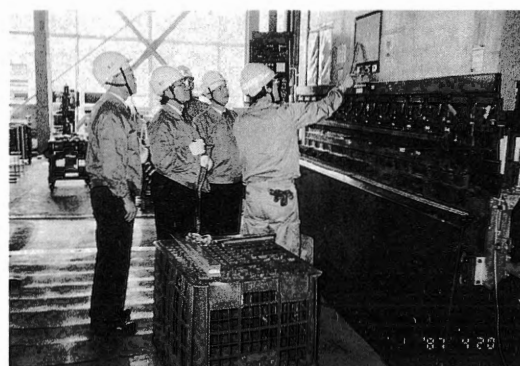
当社埼玉工場では、既報クリモト技報39号（前号）で報告した通り、「環境に関する国際標準規格」のうち、ISO 14001の認証を1997年11月に取得したが、同様に、英国規格のBS 8800 (1996) に基づき、労働災害や疾病の効果的予防を目指して、いち早く活動を行っていた労働安全衛生についての管理活動の成果が実り、わが国で始めて、当規格に基づく「労働安全衛生管理システム」の認証を1998年12月に取得した。

ISOでも、労働安全衛生管理システムの規格制定を検討したが、各国の思わくが絡み、国際的合意には未だ至っていない。しかし、継続的で有機的、組織的活動は効果的であり、わが国の労働省でも、1999年4月を目途に安全衛生管理システムを策定し、同時期にブラジル・サンパウロで開催される第15回世界安全衛生会議に提示したい考えといわれている。

ちなみに、この会議の総括議題は「安全衛生と環

境：グローバルな挑戦」としている。

なお、この認証取得に関するお問い合わせは、埼玉工場ISO推進室（Tel. 0495-33-2195）、または、本社管理部・広報担当（Tel. 06-6538-7732）までお願い致します。



工場内審査風景