除じん装置とその特性

大阪大学工業教員養成所　吉　川　　暲

1. まえがき

戦後の急激な社会活動の発展に伴って，水・空気が著しく汚濁し，生活環境が急速に悪化してきている．このうち水については他にゆずるとして，〝ばい煙の排出の規制等に関する法津〟が昭和37年に施行され，にわかに除じん問題に関心を集めるようになり，今後除じん工学の分野は大いに進歩するものと予想される．しかし除じん装置の基本的な構造は古くから変わっておらず，また新しい原理を応用した除じん装置も開発されていないのが現状である．局部的にはいろいろの着想による改良が試みられているが，画期的な装置は見当たらないようである．

除じんすべき目的を大別すると，

i）生産過程において生じたじんあいを局所で除去し，作業環境を改善しようとするもの．（鋳物砂，グラインダ研磨粉など）

ii）作業環境や生活環境を改善し，あるいは生産品の品質向上のため，建物外からのじんあい侵入を防ごうとするもの．（ビル，精密工業など）

iii）外気へのじんあいの放散を防止し，ときにはその中の有用物質を回収しようとするもの．（ばい煙，フライ・アッシュ，セメント，製鋼所など）

これらの目的からそれぞれつぎのような除じん条件が生まれてくる．すなわち

i）工業じんあいとくに機械的な操作によって生じたじんあいは，概して粒子があらく，じんあい濃度の高い場合が多い．

ii）汚染大気中のじんあいは一般に粒子がきわめてこまかく，じんあい濃度は比較的低い．

iii）燃焼生成物のように化学反応によって生じたものか，セメントのように機械的粉砕によってできたかによって粒度は異なるが，一般にii）の場合よりじんあい濃度が高く，また高温や腐食性のガスにさらされることが多い．

以上のように必ずしも明確に分けられるものではないが，除じんの目的に応じて除じん条件が異なり，すべてを単一機種で満足させうるような装置はなく，それぞれの条件・用途によって多くの種類の除じん装置がつくられている．除じん装置の各論については，いろいろの書籍も出版されているので詳述を避け，代表的なものの簡単な説明と，最近の傾向について述べる．

2. 実用集じん装置の性能

前述のように集じん装置には各種のものがあり，その性能をまとめると表1[1]のとおりである．表中の設備費はかなり変動があり，たんに比較値程度に考えていただきたい．

表からわかるように，乾式および湿式（スクラバを除く）は粗じん用，フィルタおよび電気集じん器は微じん用と分けることができる．概して粗じん用は高いじんあい濃度にも適用することができ，低価格で，微じん用は低濃度向きで，わりあい価格が高い．そこでこの両者の特長を生かすために，粗じん用を前置集じん器として粒子の大きなものをとり，その後に微じん用集じん器を置くという方式をとる場合がある．たとえば昭和36年にわが国で大容量のボイラについて調査された結果[2]によれば，サイクロンを設置しているもの47%，電気集じん器が20%，この両者を併用している場合が23%，全く集じん器を設備していないものが10%となっている．

集じん装置の理想とするところは，安価・高集じん効率・低圧力損失であるが，これらの3点はあい反する傾向にあり，それぞれの特長を生かして組み合わせることが賢明な方策といえる．

3. 乾式集じん装置

i）　サイクロン

乾式集じん器の代表的なものはサイクロンである．これはうずによる遠心力によって分離するもので，分離機構がわりあい単純で，流体力学的に取り扱いやすいために，理論的解析も古くから行なわれており，設計の基準となる形状も図1に示すように大体決まってきている．サイクロンで捕集しうる限界粒子径も，池森[3]，上滝[4]などにより理論的に導かれている．

サイクロンは小形で有効長さの長いことが集じん効率向上の要素となる．有効長さとは吐出管下端から，その

表 1

	型式	分離力	容量 m^3/min	風速 m/s	圧損 mmAq	最適粉じん負荷 g/m^3	設備費 円/m^3/min	近似捕集効率 η%（重量） <1μ	1～5μ	5～10μ	寿命 年	耐熱，耐食	備考
乾式	沈降室	重力	10～300	0.1～0.4	5～15	20+	700	<10	<10	<10	10～20	可能	大型となる
	バッフル室	慣性	10～300	5～10	10～30	20+	700	<10	<10	10～40	10～20	可能	再飛散問題あり
	大サイクロン	遠心力	30～300	10～20	15～100	2+	1000～4000	<10	<10	40～75	10～20	可能	
	小サイクロン	遠心力	1～5	10～20	50～150	1～20	3000～3000	<10	10～40	75～95	5～20	可能(耐摩耗不可)	4～500個をまとめる．均一分配閉塞注意のこと．
	機械的遠心集じん器	遠心力	10～300	10～20	——	2～20	3000～5000	<10	10～20	60～80	5～20	可能(耐摩耗不可)	付着性粉じんには不可．送風機と一体
湿式	噴霧洗浄	衝突	10～3000	1～3	2～5	<2	1000～3000	<10	10～20	20～40	10～20	耐食可能，冷却	調湿用，冷却用に併用
	バッフル塔	慣性衝突	10～150	1～3	5～20	0.2～5	2000～5000	<10	10～20	20～40	5～20	耐食可能，冷却	水膜を気体がつきぬけると性能はよいが圧損大
	充てん塔	慣性衝突	10～150	1～3	30～250	<2	5000～10000	<10	20～60	60～90	5～20	耐食可能，冷却	充てん物による，固体粒子にはつまるから不適
	サイクロン	衝突 遠心力	10～150	10～20	30～150	2～20	3000～6000	<10～20	10～40	50～80	5～20	耐食可能，冷却	吸湿物質に適，スプレー，ノズルの位置と設計による
	スクラッバ，ディスインテグレタ	拡散．衝突 遠心力	3～30	——	0.4PS m^3/min	<2	10000～25000	80～90	99+	99+	5～20	耐食可能，冷却	大動力を要する
フィルタ	繊布（間欠清掃）	拡散	1～6000	0.01～0.03	5～15 (50～100)	0.2～20	3000～13000	90～99	95～99+	95～99+	1～10	ある程度材質による．100°C以下	間欠的に止めて清掃，付着性粉末不可
	バッグ（一定圧損）	慣性	20～150	0.02～0.2	50～200	0.2～70	6000～13000	90～99	95～99+	95～99+	1～5	ある程度材質による．	連続自動清掃，付着性粉末可．
	高効率（セルローズ/アスベスト）	静電気	1～30	0.02	30(清掃)	$<10^{-5}$	4000～8000	99+	99+	90+	<1～2	不可	低濃度粉じん用，露点以下可
	充てん繊維層	フルイ分け	1～2	0.01～0.3	3～15	$<10^{-4}$	700～1500	10～70	30～90	50～99	0.5～1	可能	厚さ1～8″，繊維径と充てん密度による
	ガラス繊維紙		1～30	0.02	30	$<10^{-5}$	4000～10000	99+	99+	99+	<1～2	300°C可，HF以外可	低濃度粉じん用，露点以下可
電気	単段	静電気	3～6000	1～3	10～20	<2	6000～25000	80～99+	80～99+	80～90	5～20	可能	1～6万ボルト直流，高圧および湿ガス可，粗粒は他の集じん法でとっておく．
	2段	静電気	3～3000	1～2	10～20	<2	3000～6000	80～95	80～95	80～95	5～20	高温危険	1～1.3万ボルト（イオン化部）6千ボルト（集じん部）

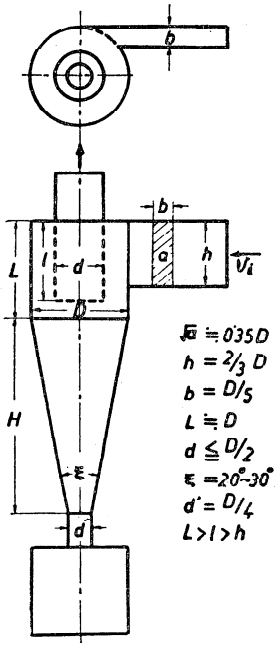

図　1

延長線上円すい部までの距離で，これを長くするには吐出管を細くするか，円すい角を小さくすればよい．吐出管が細くなると圧力損失増大の原因となり，円すい角を小さく，すなわち細長い形状するのが好ましい．またサイクロンへの吹込風速は 15～20m/s が最適で，一定処理風量に対してむやみにサイクロンを小さくすることはできない．この角決法として図2に示すように多数の小形サイクロンを併用する，いわゆるマルチサイクロン形式を採るのが多くなってきている．

小形サイクロンの性能を示す例として，胴径61mmで図1の寸法比で円すい角（円すい部高さ）を変えて作ったサイクロンによる実験結果[5]を図3に示す．この実験では200メッシュのフルイを通過した砂粒を用いたが，明らかに円すい角の小さいときに高効率を示し，最良の状態では 5μ 以上の砂粒は完全に捕集できることがわかった．また圧力損失を F_x（入口の速度水頭）で定義される圧力損失係数Fのこの実験結果と井伊谷[6]，原田・市毛[7]の実験式とを比較すると表2のようになり，円すい角を小さくすることが圧力損失低減に役立つことがわかる．

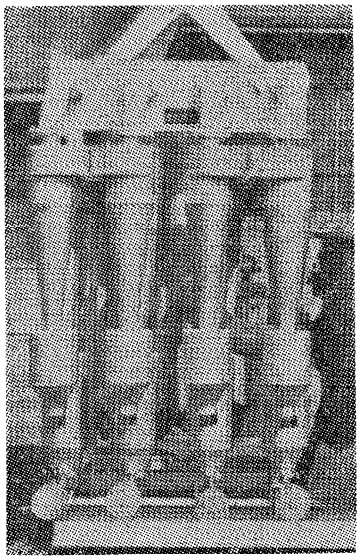

図　2

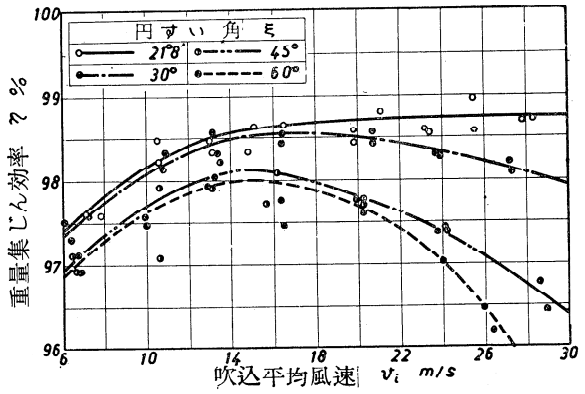

図　3

表　2

円すい角	新津・吉川	井伊谷	原田・市毛
21°8′	5.3	8.8	7.3
30°	5.5	9.4	7.6
45°	5.7	10.7	8.0
60°	5.9	11.5	8.3
備　考	v_i=18m/s	k=30	v_i=18m/s

このほかに旋回流をよくするために案内羽根をつけたり，一部の空気を底部からブローダウンするなど，性能向上にいろいろ苦心がはらわれているが，あまり構造を複雑にすることは，サイクロンが単純な形をしているという利点をそこなうことになる．

ii）ルーバ集じん器

じんあい飛しよう時の慣性力を利用したものにルーバ集じん器があり，サイクロンに比べて集じん効率は若干落ちるが，圧力損失の低いところに特長がある．

図4に示すように，気流中に羽根列をおけば，じんあい粒子は慣性力により羽根に衝突し，そのまま下方に落下するかあるいは順次下流の羽根に押し流されて移行する．羽根の間を通って清浄な空気が羽根列裏面へ抜けるというのがルーバ集じん器の原理である．下流のじんあい濃厚な空気を抽出するブローダウン型とそのまま自然落下させて捕集する型とがあり，垂直にしたり，また羽根を円形に巻いて円すい型にする場合もある．

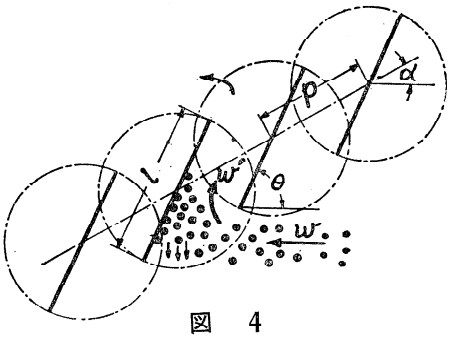

図　4

ブローダウン型についてはSmith，Goglia[8]によるかなり詳しい研究報告があり，また実用例[9]も報告されている．Smithは図5に示すようにブローダウンする空気の一次空気に対する流量比が増すにつれて，集じん効率の上昇することを示している．また井伊谷[10]によれば図6の中に示すような形状のブローダウン型ルーバ集じん器によって，ブローダウン比5.9％の状態で各種の粉じんを用いて，性能試験を行ない，入口供給粒子の真比重

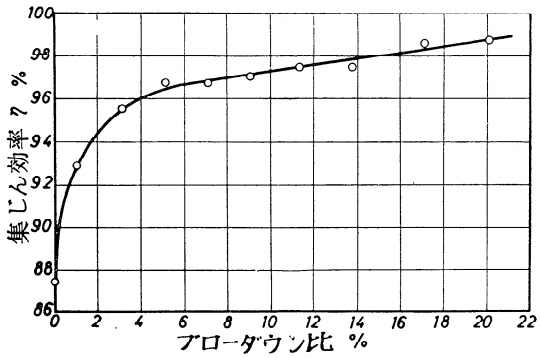

図　5

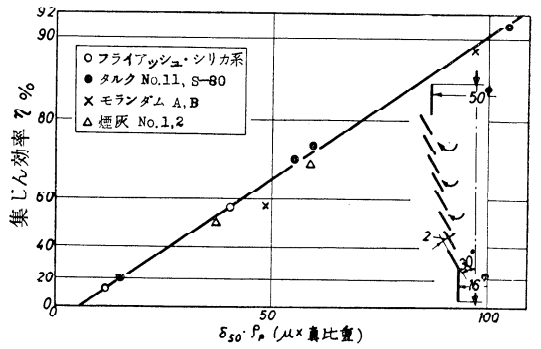

図　6

と重量積算粒度分布50%平均径の積によつて集じん効率をまとめると，その間に直線関係のあることを示している．この図は各種じんあいの集じん効率を予測するとき非常に便利なものである．この図からみても，ルーバ集じん器は慣性力を利用するものであるから，粒子が大きいか，比重の大きい粉じんに適していることがよくわかる．

ブローダウン型ルーバ集じん器は，全処理風量中のじんあいを10%以下の風量に濃縮して別の集じん器で捕集するもので，集じん器容量を小さくすることができる．

一方ブローダウンしない場合は前置集じん器としての効果がある．すなわち処理風量は同じであるが，比較的あらいじんあいを除去して，後に設ける高性能集じん器の負担を軽減するところに意味がある．もちろん比重の大きなあらい粒子に対してはこれのみで集じん器の役割を果たすことができる．図7に示すような平板を用いた水平型ルーバ集じん器の実験例[11]を図8に示す．図の三つはそれぞれ24～60，60～80，80～150メッシュのフルイ間の砂粒に対する集じん効率が，羽根前面への面風速に対して羽根の傾斜角によってどう変わるかを示したものである．羽根の傾斜角を適当にとればかなり高い集じん効率を期待することができる．図9にこのルーバ集じん器の圧力損失係数（圧力損失／速度水頭）を示すが，風速を 4 m/s とすれば，圧力損失係数の値がほぼ圧力損失 mmAq になるから，ピッチ20mm，羽根の傾斜角60°として，ほぼ30mmAq 前後とサイクロンに比べて低い圧力損失であることがわかる．

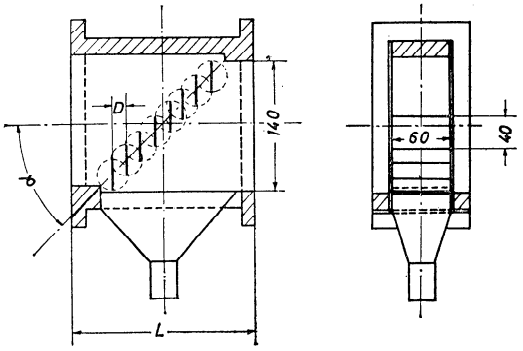

図　7

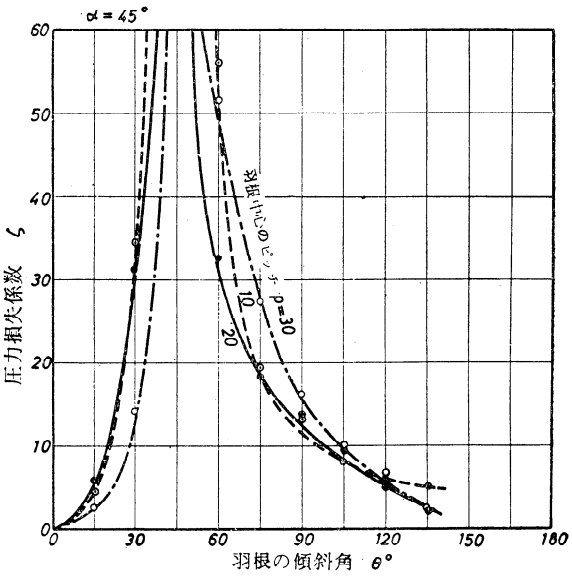

図　9

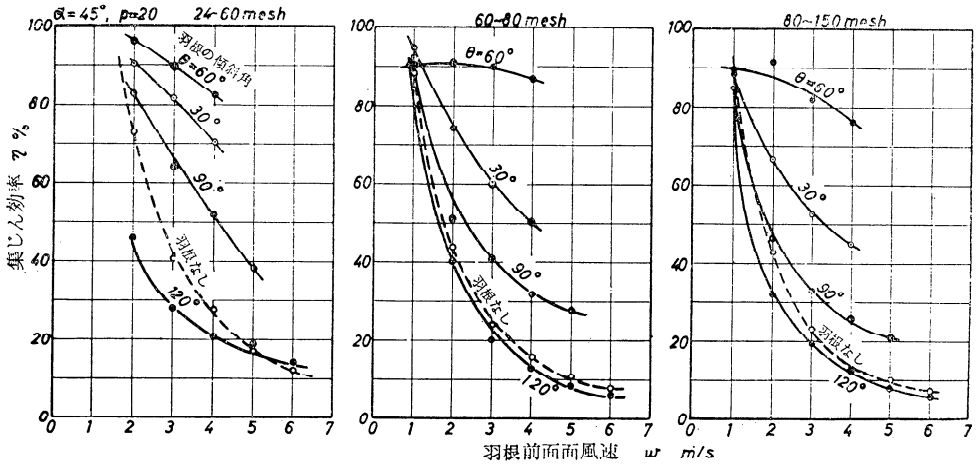

図　8

この型はブローダウン型よりもさらに構造が簡単で，グラインダ研磨粉，鋳物砂のような磨耗性の強い粉じんの処理に用いて好結果をあげた．なにぶんにも構造簡単なため，たとえ羽根が磨耗しても平板の羽根を取り替えるだけでよく，補修の簡単なことが利点となっている．

4. 湿式集じん装置

湿式集じん装置を代表するものはスクラバであり，とくにベンチュリ・スクラバが最も高い集じん効率をもっている．ベンチュリ・スクラバは　i）高温ガスに対しても使用できる．ii)構造がきわめて簡単でコンパクトに製作できる．iii）操作が簡単である．iv）表1に示すように，水にぬれやすいじんあいに対しては高い集じん効率が期待できる．以上のような利点をもっているが，後述するように圧力損失の高いことが欠点となっている．

ベンチュリ・スクラバの設計法は大体決まっており，図10に示す寸法のものがよく使われている．これらの数

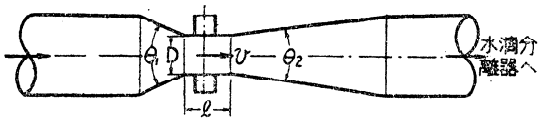

図　10

値の中でとくに大事なのが広がり角 θ_2 で，θ_2 が大きすぎると急拡大による圧力損失が大きくなり，小さすぎるともとの管径まで広がる管の長さが長くなって摩擦による圧力損失が大きくなる．総合して θ_2 が 7～10° のとき圧力損失が最も小さくなり，また8°より大きくなると流れがはく離することを考慮して，ふつう θ_2=7～8° にとるのが妥当とされている．

ベンチュリ・スクラバの圧力損失を（スロート部のガスの動圧）×（圧力損失係数）としたとき，この圧力損失係数を 1.5～1.6 にとっているもの[12]や注水率 L（l/Nm³gas）を考慮に入れて（1+L）にとっているもの[13]もある．この注水率が大きいほど粉じんの捕集効率は上がるが1以上にしても大した効果はない．0.3 以下では効率が急激に低下する．しかして粉じんが親水性のものでは 0.3～0.5，疎水性のものでは 0.5～1.0，一般には 0.8～1.0 にとられている．この数値はちょうど空気洗浄器や冷却塔で水と空気間に熱交換させる場合の水空気比に大体一致しており，ベンチュリ・スクラバの空気やガスに対する冷却効果が期待できることがうかがえる．

一方スロート部の流速は高ければ高いほど，スロート部に注水された水を微粒化して，集じん効率を向上させる．流速が 60～80m/s になると水滴が 15μ 程度になり最も高い効率を示すようになるが，この流速から前述の関係によって圧力損失を算出すると 300～400mmAq の大きな値となる．さらにベンチュリ部の後に設置される水滴分離器の圧力損失まで考慮すれば，ベンチュリ・スクラバとしては 400～500mmAq という高い圧力損失を見込まねばならない．

実施例として平炉からの赤い排煙に悩む某製鋼所に応

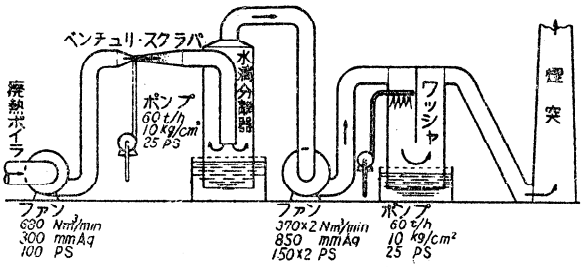

図　11

表　3

注水量 t/h	ガス温度 °C スクラバ前	ガス温度 °C スクラバ後	含じん量g/Nm³ スクラバ前	含じん量g/Nm³ スクラバ後	集じん効率 %
30	280	52	11.97	0.16	98.7
20	280	54	14.54	0.13	99.1
40	270	52	12.26	0.05	99.6
26	270	53	12.12	0.10	99.2

排ガス量　25,000～31,500 Nm³/h

用した例を示す．図11のような配列で 45t 平炉に設備したところ，表3のような性能を得た．すなわち集じん効率は99%，煙突からの排出じんあいは 0.2g/Nm³ 以下で，じゆうぶん効果をあげた．しかし平炉ガス中のSO_2が噴霧水に溶解し，排水の pH が4～6 まで低下し，ファンの羽根の腐食がはげしかった．SUS_4 のステンレス鋼の羽根が 220 時間で破損し，ケーシングも穴のあいた部分ができていた．その後羽根にはチタンを使用し，周辺部にはアルミナ・コーティングを施したところ3000時間に耐用時間を延ばすことはできたが，その後アルミナ・コーティングがはく離して腐食され，長期操業に耐えないことがわかった．また強酸性の排水処理にも困って，この製鋼所では電気集じん器を設置している．

このようにぬれやすい粉じんには，ベンチュリ・スクラバは非常に高い集じん効率を示すが，逆に水を使用するために起こるトラブルもあるから，その使用には慎重な考慮が必要である．もっともそれらのトラブルさえ解決すれば，排ガス中の粉じんと同時にガスをも浄化することになり，湿式集じん装置の利点が活用されることになる．

5. フィルタ集じん装置

フィルタは最も原始的な集じん法であるが，集じん機構の解析は最も困難なものである．他の集じん装置は局部的な改良が加えられているとしても，一応の性能がわかっており，また理論的解析も一応達成されている．他の集じん器は形状が性能を左右するのに対して，フィルタはフィルタ材料の性質とその使用法が性能を支配する．したがって新しい材料が開発されるにつれて，ますます進歩してゆく要素を含んでおり，同時に解析の困難さを増してゆくものである．

フィルタは装置としてはしごく簡単であるが，集じん機構として働く要素は多く，じんあいの衝突，拡散，静電気力，万有引力などが作用し，フィルタ素材へのじんあい粒子の付着と，付着した粉じん層に新しいじんあいが付着するという二つの現象がからんでくる．一つの原因で起こった結果がさらにつぎの原因となるところにも他の装置と異なった複雑さをもっている．

古くは Sell[14] による粒体と障害物の衝突の解析のみから説明しているが，さらに一歩進んで Ramskill と Anderson[15] は，図12に示すように，ろ過風速に対して

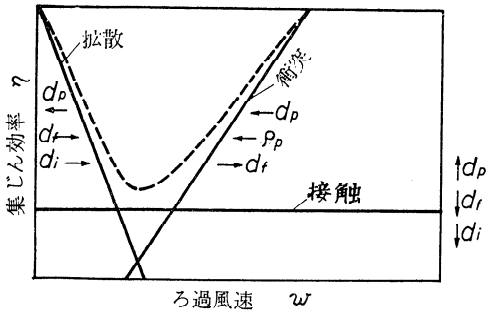

図 12

拡散，衝突および接触が図の実線のような傾向で働き，その合成したものとして集じん効率は図の破線のような特性をもつと述べている．図の矢印はじんあい粒径 d_p，じんあい密度 ρ_p，フィルタ繊維径 d_f，フィルタ繊維相互間の距離 d_i が大きくなるにつれて，三つの要素の傾向を示す実線の移動する方向を示している．このおのおのの特性について Dorman[16] はとくに拡散に重点をおいてさらに詳しく解析と考察を加えている．

これらの解析は単繊維に対するものであるが，実際のフィルタでは繊維相互の干渉もありいっそう複雑となる．Clyde Orr, JR. and J. M. Dallavalle[17] による集じん効率を与える複雑な式も発表されている．しかしこのほかに繊維間の距離がじんあい粒子よりせまいときにはフルイの効果，また繊維断面の形状の影響や静電気の作用などがあり，とくに新しい化学繊維が材料に用いられると静電気の影響を無視することはできなくなる．

ここで最近のフィルタ材について考えると，注目されるのは化学繊維とガラス繊維である．化学繊維には物理的・化学的性質のすぐれたものが続々と出ており，ガラス繊維は技術が進歩してますます細いものが作られるようになっている．フィルタはじんあい濃度の高低とじんあい粒子の大きさによって使用法が異なり，高濃度・粗粒子はいわゆるバッグ・フィルタ形式が用いられ，低濃度・微粒子は繊維充てん層が用いられる．

i）バッグ・フィルタ

バッグ・フィルタに用いるろ布としては，a）長期間の連続使用とろ面再生作用に耐える機械的強度をもっていること．b）集じんするためにはじんあいがろ布に付着しやすいと同時に再生時にはろ布から離れやすいこと．c）使用個所によっては耐熱・耐食性もつこと．の条件が要求される．

いままでは木綿帆布，羊毛毛布が多く使用されてきたが，機械的性質のすぐれていることなどから化学繊維の工業用途の一つとして，この方面への進出が活発になっている．他の用途のために織った布地の中で，フィルタに使用できそうなのを選び，実用結果から改良を加え，やっとフィルタ専用の布地を織るようになったのが現状である．したがって商品について断片的な研究結果が報告されているだけで，著者は系統的に織布条件を変えた布によって，ろ過特性を明らかにしようとした[18]．その実験結果の中の一部を示すと，ろ過風速を5，20cm/sの

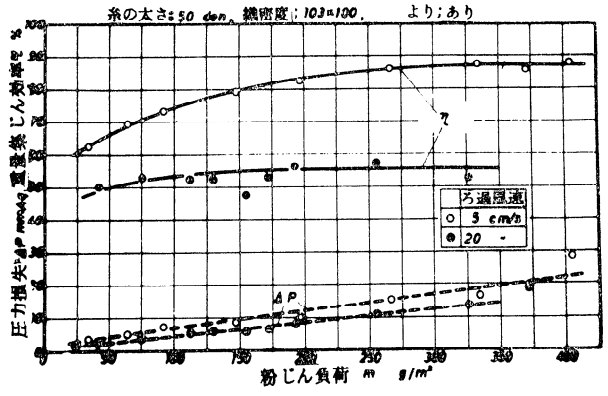

図 13

2段に変えたときの集じん効率と圧力損失の関係を示すと図13のとおりである．低風速ろ過の方が高い集じん効率を示しているのは当然として，圧力損失も高くなっている．布地において圧力損失はろ過風速の1~1.2乗に比例するのに反した原因は，たい積粉じん層に穴の生ずることにある．すなわち同一ろ布で2種のろ過風速でろ過したときのろ面の状態を図14に示す5 cm/s に対して 20 cm/s では約100倍の多くの穴ができている．この実験で

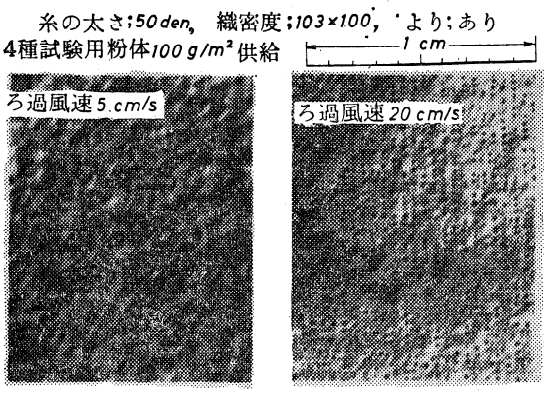

図 14

はろ布の織り条件による性能の相違を顕著にするため，薄地のナイロン・タフタを用いたので，高風速ろ過時には粉じん層の保持ができないからである．いずれにしても低風速ろ過が高い集じん効率と低い圧力損失のための最も有効な手段である．したがってバッグ・フィルタ設計の要点は，処理風量に対していかにろ過面積を大きくとってかつ全体をコンパクトに組み立てるかにある．このため従来の円筒型に代わって平面を折りたたんだ形式が多くなっている．

同じ織り方でも糸によりのかかっている場合と，よりのない場合では図15に示すように，集じん性能に大きな

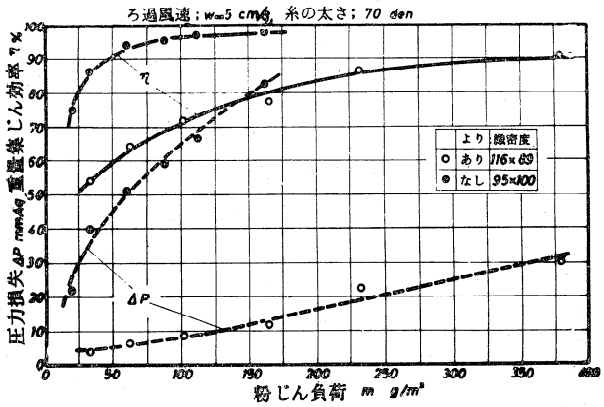

図 15

差がある．すなわち糸によりがなければ繊維の間にじんあいが入り込み，すべての繊維表面がろ過作用に関与し，内部ろ過方式に近く，繊維充てん層と同様な機能を発揮する．一方よりが強いと太い針金と同様に，繊維間の空間は生かされず，表面ろ過方式に近くなってくる．このことは糸を構成する繊維が細い方がより顕著に表われ，よりが強いと素繊の太さの影響は小さくなる．したがって集じん効率を高めようとするならば素繊の細いよりのない糸を使用すべきであり，機械的強度と再生を重視すればよりの強い糸を使用すべきであると考える．このことは最近流行の不織布の使用法を示唆している．

バッグ・フィルタ装置設計上のいま一つの要点は，いかに高能率に再生を行なうかであり，この再生法にもいろいろあるが，機械的ハンマーリングは少なくなり，逆流ジェットによる方法が，布の損傷も少ないことから，多く使われるようになっている．

ii) 繊維充てん層フィルタ

汚染大気中のじんあいのように，低濃度ではあるが粒子のきわめてこまかいじんあいをろ過するためには，高性能フィルタが要求される．このような場合には，著者が大気中ばい煙のろ過を主眼として行なった実験結果で示したように[19)20)]，ろ布の再生を考慮する必要なく，繊維充てん層によるろ過方式がすぐれている．

前述の複雑な解析結果よりも Blasewitz[21)]による実験式の方がろ過特性の傾向を知る上に便利である．この研究は放射性じんあいの除去を対象としたもので，集じん効率を高める因子Fは，フィルタ厚さl，充てん密度ρ_f，ろ過風速をwとしたとき，$F=Cl^a\rho_f{}^b w^c$ で表わせるとし，$a=0.8\sim0.9$，$b=0.9\sim1.1$，$c=-0.2\sim0.5$ とわりあり決まった値となり，Cは繊維径が小さくなると急激に大きくなることを示している．すなわち集じん効率はフィルタが厚く，充てん密度が大きく，ろ過風速の小さいときに高くなるのは当然として，フィルタ繊維の細いことが効率向上に非常に寄与することを示している．このことはろ布についての著者の研究ともよく一致する．

最近では細いガラス繊維とアスベスト繊維を混合して原紙状のフィルタを作り，0.3μ の粒子に対し個数効率で99.95％を保証しているものもある．また化学繊維を織らずにそのまま充てんしたものを微じん用，不織布としたものを粗じん用と区別して製造しているメーカーもある．

6. あ と が き

除じん装置は化学プラントや空調設備の付帯設備程度にみられ，また直接生産向上に関与することが少なかったために，軽視される傾向にあったが，最近ではもはや看過できない問題となってきている．この稿では紙面の関係から興味ある数種のみを取り上げたが，ほかに電気集じん器のように安定した性能の認められたものもあり，また音波集じん器のように物理現象がわかっていながら実用の域に達していないものもある．

あらゆる除じん条件に適応するような単一機種の出現が望まれるところであるが，さし当たっては前置集じん器としても用いられる粗じん用集じん器を簡略化し，経済的要求を満たすようにする方向と，微じん用としては考えられる．いずれにしても除じん装置は千差万別の用

途に応じて製作された多品種のものが実用されており，理論よりちよっとした着想が有効なことがあって，理論解析より常に製品が先走っている．このような点からわれわれ予想以外の画期的な装置の出現も考えられる．

今後ますます生活環境や労働環境が悪化することが，考えられ，まことになげかわしいといわねばならないが，一方家庭用空気浄化装置が市販されるなど，関心の高まってきたことは，この方面にたずさわる者として喜ばしいことである．

文　献

1）井伊谷鋼一；集塵装置，114，（昭38），日刊工業新聞．

2）通産省企業局；大気汚根防止設備機器案内，53，（昭38），大気汚染防止工業協会．

3）大気汚染研究全国協議会地五委員会；除塵装置ハンドブック，76，（昭38），コロナ社．

4）上滝具貞・西岡富士夫；粉粒体の空気輸送，124，（昭33），日刊工業新聞．

5）新津靖・吉川暲；衛生工業協会誌，34—2（昭35—2），83．

6）井伊谷鋼一・八木進；集塵装置，120，（昭—31），日刊工業新聞．

7）原田幸夫・市毛進；機械学会論文集，21—105，（昭30），367．

8）J. L. Smith, JR., and M. J. Goglia ; ASME Trans., 78, (1956), 389.

9）M. G. Mund and others ; SAE Journ., 70—11, (1962), 84.

10）井伊谷鋼一・外2名；粉体工学資料，No. 18（1959—5），8．

11）新津靖・吉川暲；空気調和・衛生工学，37—3，（昭38—3），161．

12）労働省労働基準局衛生課；労働環境の改善とその技術，5—15，（昭32），日本保安用品協会．

13）井伊谷鋼一；化学工学通論，53，（昭30），朝倉書店．

14）W. Sell ; Forsch, (1931), 347.

15）E. A. Ramskill and W. L. Anderson ; J. Colloid Sci, 6, (1951), 416.

16）E. G. Richardson ; Aerodynamic Capture of Particles, 112, (1960), Pergamon Press.

17）A. C. Stern ; Air Pollution II, 304, (1962), Academic Press.

18）新津靖・吉川暲；空気調和・衛生工学会秋季学術講演会で発表（38. 10. 18）現在送稿中．

19）新津靖・吉川暲；衛工業協会誌，33—2，（和34—2），41．

20）新津靖・吉川暲；衛生工業会誌，34—2，（昭35—2），73．

21）A. G. Blasewitz and B. F. Judson ; Chem. Eng. Prog., 51—1, (1955), 6—J.