

新しい高効率電気集じん器

平 孝次・小 峰 新 平

昭和 30 年代に各地で公害問題が発生した。その後、全国環境は大幅に改善されてきた。

現在ではトンネル工事現場でも環境浄化が求められ、初期はフィルタ式集じん機が、続いて電気集じん器が使われるようになってきた。しかしながら、前者は動力消費量が大きく、後者は荷電不良による不具合が指摘されていた。

そのような状況下、産業界で培われてきた電気集じん装置の技術を応用することで、トンネル工事用電気集じん器の性能向上が図られ、ランニングコスト低減を含む数々のメリットが得られるようになってきた。

本稿は、今後の活用が期待されている高効率電気集じん器の特長を詳しく述べるものである。

キーワード：地下空洞、閉鎖空間、トンネル工事、坑道内浄化、じん肺予防、換気装置、電気集じん、吸入性粉じん、微細岩石、浮遊粉じん、コロナ放電、集じん電極、放電電極、水洗浄、じん肺

1. はじめに

日本が高度経済成長に入った昭和 30 年代は、それまでに制定されていた各種の公害防止基準が緩く、民間の製造工場や自治体の焼却場から排出された煤じんや汚水で、周辺環境は全国的に汚染されていた。その後公害防止法が順次整備され、大気・水質・騒音・振動・悪臭などに関する基準値が厳しくなり、我々を取り巻く環境は大幅に改善されてきた。

大気汚染に関して見てみれば、煙突から放出される煤じんや酸性ガスやダイオキシン類などの有害物質についても、その排出基準が格段に強化されてきた結果、大都市近辺はもとより地方の都市や山間地域に至るまで、煙突から黒煙がモクモクと吐き出されている光景はほとんど見られなくなった。

同様に、環境浄化要求は公共的な集会場所や一般事務所や電車・バス内などにも及び、受動喫煙を防止するために分煙・禁煙を進めるのが当たり前になってきた。

最近では対策がさらに進められ、各種の工事現場でも粉じん飛散を極力抑えることが求められるようになってきた。例えば、ビル解体現場においては大きな覆いを設置し、その中で工事を行うようになってきた。

そのような粉じん飛散対策はトンネル工事現場も例外ではなくなった。作業員の健康への影響を懸念する

声が高くなり、1990 年頃から徐々に集じん装置が使われるようになってきた。代表的な集じん装置としては、初期はフィルタ式集じん機が、続いて電気集じん器が使われるようになってきた。

しかしながら、前者では主として動力消費量が大きく、ランニングコストが高くなるのがネックになっていた。かつ、後者では主に荷電不良による不具合が指摘されていた。

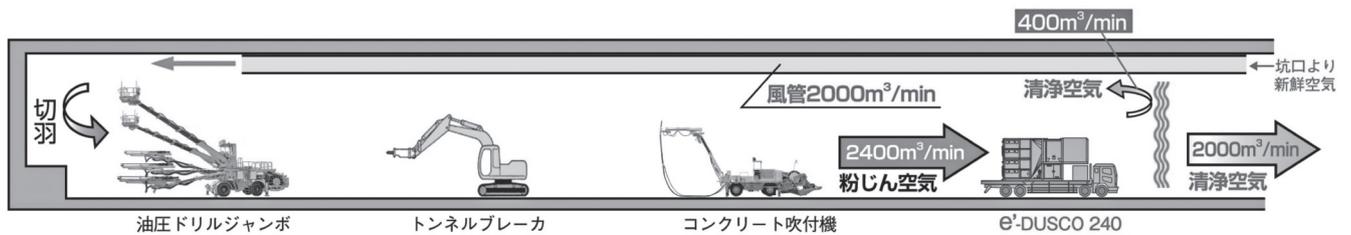
そのような状況下、産業界で培われてきた電気集じん装置の技術を応用することで、トンネル工事用電気集じん器における性能向上が図られ、ランニングコスト低減を含む数々のメリットの存在が明らかになってきた。

本稿においては、今後の活用が期待されている高性能電気集じん器の特長について詳しく報告したい。

2. トンネル工事用集じん装置使用の背景と現状

トンネル工事現場はほぼ閉鎖空間である。しかもその狭い空間の先端部では、トンネルジャンボ機による削岩や爆薬を使った岩盤発破、ずり出しとコンクリート吹き付け等の発じんを伴う工事が行われている(図-1)。

そのような場所での工事となるので、当然空間内に



図一 1 トンネル工事模式図

はおびただしい量の粉じんが浮遊する。かつ、その粉じんは微細で重力による短時間での沈降は期待できないことから、工事に従事する作業員のじん肺等罹患への可能性が指摘されていた。

そのため、近年のトンネル掘削工事現場では、粉じん空気を清浄空気と置換するための外気導入用通風装置の設置に加え、産業用のろ過式集じん機を小型化したフィルタ式集じん機や、道路トンネル用電気集じん装置を転用した移動式電気集じん器が使用されるようになってきた。

ここでは、一般産業機械分野での集じん装置の使われ方と、それがトンネル工事現場に導入されるようになった経緯、及びそうした使われ方における特徴などについて述べる。

(1) 産業機械としての集じん装置の概要

製造業を始めとする各種産業においては、それぞれの用途に最も適した集じん装置が使われてきている^{1),2)}。中でも、集じん効率が高く使い易いフィルタ式集じん装置と電気集じん装置が多く使われている。

最初にフィルタ式集じん装置について述べる。この集じん装置の構造は至って単純で、フィルタと称されるろ布に対し、粉じんを含む気体（空気・低温排ガス）を通過させることで、その中の浮遊粒子をこし取るという方式である（図一2の左）。

使い易いのが特徴で、当初は綿製ろ布であったが徐々に改良が加えられ、現在では耐食性を持たせたテフロン系繊維を使用したろ布や、耐食性と耐熱性を併せ持つセラミックスを使用したろ布まで開発されている。

そのようにして発展してきたフィルタ式集じん装置は、産業機械レベルの大型のものから家庭の電気掃除機に至るものまで、非常に幅広い分野で使用されている。

一方で、電気集じん装置はその処理の対象となるガスや粉じんの条件が幅広く、フィルタ式集じん装置のそれに比較して厳しい条件下で使用されてきた。

例えば、常温から400℃超という幅広い温度域の空気やガスや水蒸気ほかの気体中の浮遊粉じんの捕集も可能である。さらに、個々の粒子が湿気を帯びていても集じんすることができる。即ち、フィルタ式集じん装置では適用が不可能な、ろ布耐熱よりも高い温度雰囲気下のガスクリーニングとか、強い酸性でろ布が短時間に劣化してしまうような場合、あるいは捕集物が高い潮解性を有し、そのままではフィルタが目詰まりしてしまう場合など、非常に過酷な条件下でも対応することが可能である。

そのような理由から、製鉄・非鉄金属製錬・セメント製造・窯業・パルプ・火力発電など、多くの産業分野において有効な排ガス集じん装置として利用されてきた^{3)~7)}。

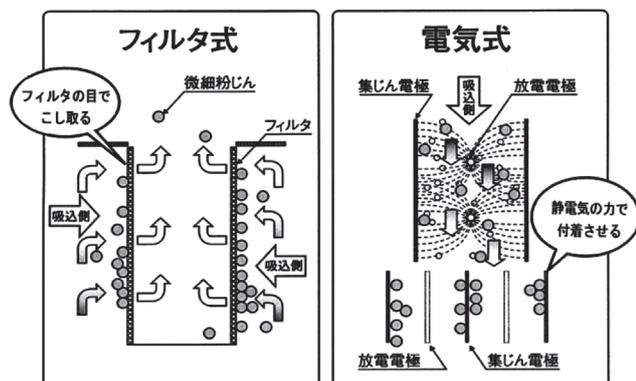
このようにして各分野で利用されてきた電気集じん装置にあっても小型化・高性能化が進められ、現在はハイテククリーンルームの空気清浄化や、病院やビルの屋内集じんにも使用されている。最も小型化されたものは一部の市販乗用車にも搭載されている。今回紹介する電気集じん原理の模式を図一2の右に示す。

このようにして、フィルタ式集じん装置と電気集じん装置は、代表的な大気汚染防止装置としてそれぞれの特徴に見合った形で使い分けされてきた。

(2) フィルタ式集じん装置のトンネル工事への導入

前述のように利用される過程でフィルタ式集じん装置はその大きさや用途に応じて無数に細分化されていった。

それらの利用途の一つに、トラック搭載型のフィルタ式集じん機がある。その装置では、集じん操作に必



図一2 集じん原理比較図

要とされる全ての機能を備えつつ小型化されたものであり、移動式であるが故に大きな利便性を持っている。

この機種をトンネル工事現場で使用できるように改良して完成させたものがトンネル工事用フィルタ式集じん機で、大型トラックで工事現場に搬入し、トラック台車に載せて使用する。そして工事の進捗に合わせ、トラック台車ごと移動し集じんすることで、トンネル内工事現場の粉じん対策として使用されてきた⁸⁾。

しかしながら、一般にフィルタ式集じん機で微細な粒子を捕集しようとする場合、当然そのフィルタ(ろ布)の目開き(孔のサイズ)を細かくしなければならぬ。その細かさに応じ空気を通過させる抵抗は高くなる。

また時間の経過と共に粉じんがろ布の表面に層状に堆積するので、払い落とし難い性状の微粒子を捕集し続ける場合、その抵抗は一段と高くなる。

このようなことで、含じん空気を通過させる(ろ過する)ための動力消費量が大きいという点が指摘されていた⁹⁾。

またトンネル内は多湿環境になることがあるが、そのような中では結露しやすく、水分を帯びた粉じんがフィルタを目詰まりさせる可能性も指摘されていた。

(3) 電気集じん装置のトンネル工事への対応

前述した産業用電気集じん装置の一分野に、道路トンネル用定置式電気集じん装置という用途がある。

それは、トンネルや地下道路を通過する車が出す排気ガス中に含まれる粒子状物質(主として黒煙粒子)を集じんする目的で使用されていて、全国各地の国道あるいは県道のトンネルや都市部の地下道路などで使用されている。

最近、この道路トンネル用電気集じん装置の技術を転用し、トンネル工事用電気集じん器として使用する例が増えてきた。

しかしながら、トンネル工事はある期間だけ行われる事業なので、工事完了と共に急遽搬出して次の場所に移動するなど、機械的に過酷な条件下で使用される例が多くなっている。そのため、コロナ放電部の断線を始めとする荷電不良による故障が生じやすかった。

即ち、動力消費量が少ないのでフィルタ式集じん機に比べてランニングコストは低いが、放電電流の低下や故障発生という面から使い難いという欠点が指摘されていた⁸⁾。

3. トンネル工事用集じん装置に求められるもの

前述のように、従来のフィルタ式集じん機は処理時間の経過と共にろ布表面へのダスト層形成により通気抵抗が増大し、結果として動力消費量が大きくなり不経済であるという指摘がされていた。

同じく、トンネル工事で使われるようになった電気集じん器では、放電極の断線による高電圧荷電不良が生じることがあり、使い難いという欠点が出されていた。

そのような経過から、トンネル工事用電気集じん器においては産業用電気集じん装置のように高性能で故障発生が少ない設備が求められていた。

換言すれば、一般産業用電気集じん装置製造のノウハウを駆使したトンネル工事用電気集じん器の出現が待たれていた。

以下にその需要を満たすことのできる新しいトンネル工事用の電気集じん器に関して記述する。

(1) 具備すべき項目

上に述べてきたトンネル工事用電気集じん器に関しては、以下のような条件を満たすことが求められていると考える。

- ①所要動力を低く抑えることで、昨今のエネルギー事情にマッチした運転を可能にすること
- ②放電電極の断線故障を無くし、常時安定したコロナ放電を行うことで、集じん効率を高く維持できること
- ③処理空気を安定的に通過させることで、トンネル内で常に最良のエアーカーテン効果を発揮すること
- ④人体にとって有害な領域とされる、吸入性粉じんと言われる微粒子を有効に捕集すること
- ⑤搬送ほかあらゆる面で、過酷な使用条件に耐えられるようにすること

(2) 新しい高効率電気集じん器の概要

前項のような経緯をもって新開発されたトンネル工事用電気集じん器の主要諸元を表—1に示す。同じく、トラックに搭載した姿を図—3に、実際に使用されている様子を写真—1に示す。

図—3及び写真—1から分かるように、トンネル工事用電気集じん器は10トン低床トラックに載せて搬入し、当該トンネル工事現場で使用する。トラックに載せた状態で使用するので、トンネル内の横移動が容易に行える。同じく、工事終了後は持ち帰って返納

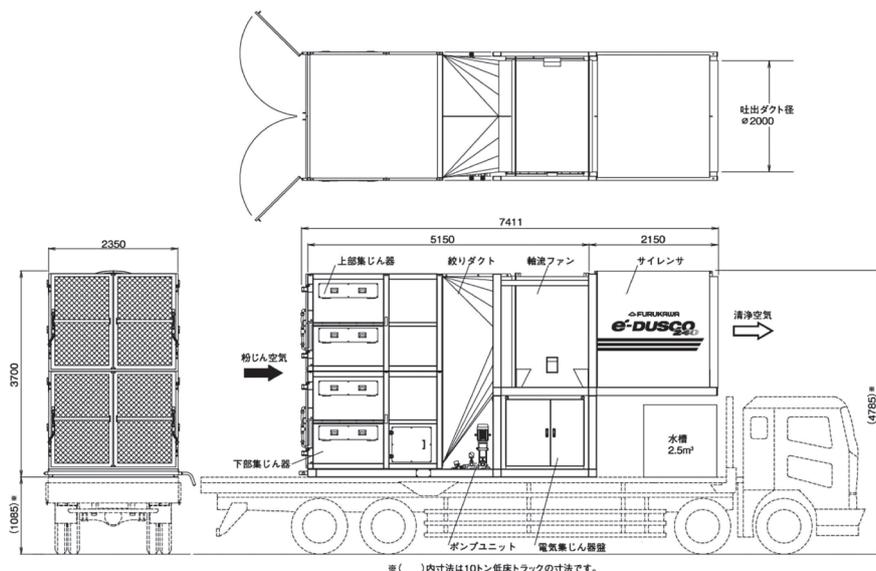


図-3 トラック搭載図

表-1 高効率電気集じん器の主要諸元

品名	e' - DUSCO240
型式	FTE2400
処理風量	2400 m ³ /min
本体全長	7411 mm (サイレンサ含む)
本体全幅	2350 mm
本体全高	3700 mm
本体重量	10 t
電源仕様	3相3線 400 V58 kVA
ファン動力	30 kW
消費電力	33 kW
洗浄水	2.4 m ³ /回
捕集ダストの処理	湿式
集じん効率	95%以上 (JIS Z 8808)



写真-1 稼動中の高効率電気集じん器

整備を行い、速やかに次のトンネル工事現場に移送することができる。

(3) 従来のトンネル工事用集じん装置との比較

実際のトンネル工事現場で得られたデータの一例を表-2に示す。続いて、従来のトンネル工事用フィ

ルタ式集じん機と電気集じん器、及び新しい高効率電気集じん器の仕様の比較を表-3に示す。同じく、それぞれの集じん方式の特徴ほかを表-4に示す。

表-3と表-4から明らかなように、産業界で使用されている技術を取り入れることで開発されたトンネル工事用電気集じん器は、従来のトンネル工事用フィルタ式集じん機や、これまでの電気集じん器と比較して非常に優れた結果を出している。

まず、フィルタ式集じん機と比較すれば、表-2と表-3からトンネル工事用電気集じん器は動力消費量が格段に小さいことが分かる。

次に、従来のトンネル工事用電気集じん器と比較してみれば、今回の電気集じん器は写真-2に示すような特殊な加工がされているブレード式放電電極を採用しているため、従来の細い電線式放電電極が原因であった断線による故障は全く生じない。

また、特別に設計された電源トランスの適切な荷電調整により、オゾンの発生量が極めて低い値に抑えられている。

表-2 実証運転データ

項目		ケース1	ケース2
消費電力測定	測定日	2010/5/15	2010/6/14
	消費電力	31.4 kW	31.3 kW
CO ₂ 排出量 (0.561 kg/kWh)	1日当たり	352 kg/日	351 kg/日
	1年当たり	105,600 kg/年	105,300 kg/年
出口含じん濃度 (LD-3K2 K値:0.002)	測定日	2010/5/15	2010/6/21
	含じん濃度	0.262 mg/m ³	0.340 mg/m ³
施工時間	組立	6時間	6時間
	解体	6時間	5時間

表一 3 従来の集じん機と高効率電気集じん器の比較表

	フィルタ式集じん機	今までの電気集じん器	今回紹介の電気集じん器
集じん原理	<ul style="list-style-type: none"> 所要面積のフィルタ（布やフェルト）を通過させ、気体中の粉じんをろ過して捕集する。 フィルタに付着した粉じんは定期的に圧縮空気で吹き飛ばす。 	<ul style="list-style-type: none"> 空気の入り口部（前段）でマイナスに荷電させ、後段の集じん部の電極で粉じんを捕集する。 捕集した粉じんは、定期的に散水洗浄して流し去る。 	同左
集じん特性	<ul style="list-style-type: none"> フィルタ上に粉じん層が形成されると、微細な粒子に対しても安定的に集じんすることが可能である。 エアブロー時は微細な粒子が飛散する（出口粉じん量が増加する）。 	<ul style="list-style-type: none"> 荷電部と集じん部に対する電流・電圧調整が適切であれば、粗粒子から微粒子まで幅広く集じんすることができる。 煙霧程度の超微細な固体から、濡れたダストや霧状液体でも集じんすることができる。 	同左に加え、 <ul style="list-style-type: none"> 特殊な電極の採用で、長時間にわたる高効率運転が可能である。
長所	<ul style="list-style-type: none"> トンネル工事では実績が多く、安定した集じんができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 荷電部も集じん部も空気の流れが阻害されないため、通気抵抗は全時間帯を通して低い値に保たれる 従って、処理風量の低下が生じない。即ち、いつでも仕様通りの風を流すことができる（別表一 4 参照）。 集じん特性にある通り、粒子はもちろんであるが湿度の高い物質でも集じんすることができ、しかも目詰まりすることが無い。 	同左に加え、 <ul style="list-style-type: none"> 産業界の過酷な使用現場に納入してきた電気集じん装置製造の実績を踏まえ、断線しない放電電極を開発して採用している。 流体力学上の配慮により、通気抵抗を低く抑えているので圧損が少なく、動力消費量のさらなる低減を実現している。 オゾンの発生量が極めて少なく抑えられている。
短所	<ul style="list-style-type: none"> 目開きの細かい布を通気させるので、運転当初から圧力損失が大きい。 フィルタ上に粉じんが積層してくるとさらに通気抵抗が上昇し、莫大なファン動力が必要となる（表一 4 参照）。 大風量の機器を用いないと所定の風力が確保できず、エアカーテンが形成されない。 運転状態のところに湿気が入ると、フィルタ上の粉じんを払い落しできなくなり、圧力損失が跳ね上がる可能性がある。 集じんした粉じんを人力で掻き出すので作業員が汚染される（実際問題になっている例がある）。 また、掻き出した粉じんは産業廃棄物として処理する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 荷電部・集じん部の放電電極が細いタングステン線であるので、火花放電や自然劣化により断線することが多い。 一旦断線して故障すると、それを交換するには専門的な知識が必要になることが多い。 微量の荷電粒子が放出され、トンネル内の壁面に付着して、いわゆる黒化現象をもたらすことがある。 場合によってはオゾンガスが発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> 今までのトンネル工事用フィルタ式集じん機や電気集じん器を研究し尽くしているため、短所と呼べる点は少ない（所要動力の低減と、無断線・オゾンの発生抑制を達成している）。
ランニングコスト	<ul style="list-style-type: none"> フィルタ自体が大きな通気抵抗を持つ上に、捕集された粉じんが層状に溜まるので、通気抵抗が圧倒的に大きくなり、必要動力が莫大になる（別表一 4 参照）。 	<ul style="list-style-type: none"> 通気抵抗が少なく、主な所要電力は荷電と電界形成だけなので、消費電力が極めて少ない。 	左の記述に加え、 <ul style="list-style-type: none"> 集じん面積を増やし通気抵抗を削減すること、並びに高効率ファンの採用とインバーターモータの採用により、幅広い通風量において低消費電力を実現している（別表一 4 参照）。
総合判定	<ul style="list-style-type: none"> 益々省エネ（電力消費抑制）が求められる国内情勢下、構造的に限界があるため、今後は不利になる。 結果として、地球環境に優しいとは言えない。 	<ul style="list-style-type: none"> 放電線の断線事故などによるトラブルが避けられず、さらなる改良が待たれている。 	<ul style="list-style-type: none"> 今までのフィルタ式集じん機の欠点であった莫大な動力消費量の解消と、今までの電気集じん器の断線故障が克服された、画期的なトンネル工事用電気集じん器である。

表一 4 仕様比較表

	フィルタ式集じん機 (RE1500P)		今までの電気集じん器 (FY20TKE)		今回紹介の電気集じん器 (e' - DUSCO240)	
処理風量	定格	1,800 m ³ /min	定格	2,000 m ³ /min	定格	2,400 m ³ /min
	実測	1,408 m ³ /min	実測	2,198 m ³ /min	実測	2,601 m ³ /min
ファン静圧	定格	1,960 Pa	定格	540 Pa	定格	420 Pa
動力 (電動機及び付属機器)	仕様値	113.7 kW	仕様値	41.0 kW	仕様値	38.6 kW
	実測値	88.1 kW	実測値	40.2 kW	実測値	31.3 kW
集じん性能	集じん機前 (A)	7.30 mg/m ³	集じん機前 (A)	7.62 mg/m ³	集じん機前 (A)	7.44 mg/m ³
	集じん機後 (B)	1.82 mg/m ³	集じん機後 (B)	2.05 mg/m ³	集じん機後 (B)	0.84 mg/m ³
	逓減率 (1 - A/B)	75.1%	逓減率 (1 - A/B)	73.1%	逓減率 (1 - A/B)	88.7%
	機器定格	99%	機器定格	90%	機器定格	95%

一部データは参考文献 8) より転載

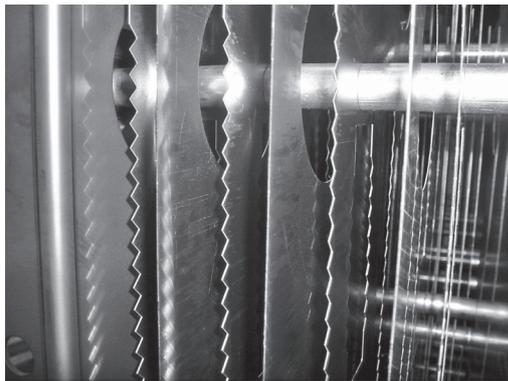


写真-2 ブレード式放電電極

(4) より詳しく電気集じん器を理解するために

筆者らは各種産業用電気集じん装置に長く関係してきたが、トンネル工事用電気集じん器においても基本原理は同じであることは述べた。

しかしながら、その使用に当たっては電気集じん器に共通する幾つかの簡単な知識が必要である。ここにおいてはこのことについて簡単に触れておく。

①安定的なコロナ放電が必要である

良好に電気集じんするためには、荷電部・集じん部では常に高電圧を維持する必要がある。

②電気抵抗値によっては集じんし難い

一般に、金属酸化物のように電気抵抗値が高いダストや、未燃カーボンのようにそれが極端に低いダストは電気集じんし難いと言われている。

しかしながら、トンネル工事の場合は電気抵抗が高い粉じんは存在しない（空気温度がほぼ常温である・適度な湿り気があるなどの理由から）。

同じく、トンネル内の空気中に高濃度カーボンの存在はありえない。建設機械の排気ガスによるカーボン濃度の程度では、道路トンネル用電気集じん装置が通過車の出す排ガス中のカーボン（PM：すす粒子）を安定的に集じんしているように、一般の粉じんと同等に捕集することができる。

③安定的にかつ簡単に使用できる

使い終わったら水で洗浄すること（ボタンスイッチを押すのみ）や、荷電状態を定期的にチェックする（1日1回）など、定められた使い方をしていれば安定した運転を継続することができる。

(5) 集じん装置の性能測定と表示などについて

産業界では、集じん性能などを表記する場合は全てJISに規定される方法で行っている。即ち、JIS B 9901 集じん装置の性能測定法に従い、ダスト濃度の測定はJIS Z 8808の規定により行っている。これらの方法であれば、空間的・時間的なダスト量の変化（パ

ラつき）も補正された形で表現される。

他方、トンネル工事用集じん装置に関する粉じん測定法¹⁰⁾は、「測定結果がすぐに得られること、操作が容易であることを考慮し、…」として、相対濃度指示方法による測定を推奨している（カギカッコ内は参考文献10)のP 259による）。

工事現場で測定することを考慮すれば、この方法を採用していることには大いに妥当性があると思われるが、指定されている相対濃度指示計（測定器）では、微細粒子の検出粒子限界等の問題を伴うと考えられるので、以下のような考慮を払う必要があると考える。

①粉じんの測定値は時間平均で示す

トンネル工事現場では、測定箇所や周辺環境により変動するので、現場での粉じん濃度の測定においては、例えば図-4に示すように、ある程度の時間経過の中での測定値の平均値で示すのが妥当である。

②光学的な相対濃度測定限界値以下の微細粒子の集じん効率も測定する

ある粒径（ 7.07μ ）以下の粒子は、体内に一旦吸引されると肺胞に止まり、じん肺を引き起こすとされているが、デジタル粉じん濃度計では微細粒子の集じん効率が適切に示せない可能性がある。必要に応じ、JIS法に基づく粉じん濃度測定と粒径分布測定を併用すべきである。

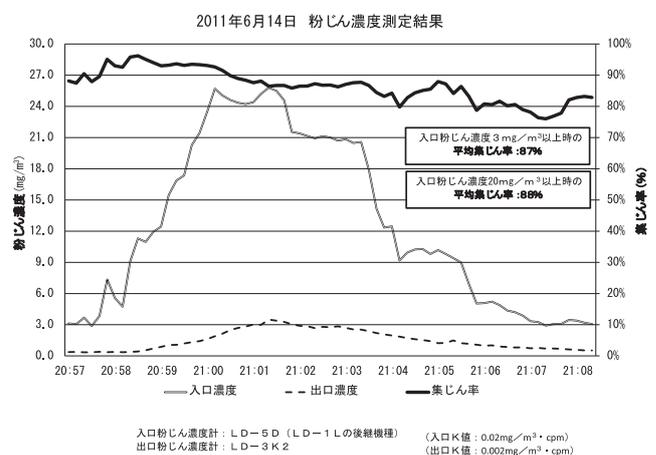


図-4 粉じん濃度連続測定結果

4. その他の工事分野における電気集じんの可能性

本稿の冒頭でも述べたが、最近は周辺環境浄化に対する要求が益々多くなってきており、今までは容認されていたような道路工事や小規模な解体現場でも粉じん飛散が厳しく規制され始めている。

そのような場所では、小型トラックに搭載すること

が可能な小型の移動式電気集じん器が求められるであろう。そのような場合は、今回開発されたトンネル工事用電気集じん器のワンユニットを転用することで可能になると考える。

そうなれば、雨天下などの高湿度環境下での工事において、濡れたダストを同伴吸引してしまうような場合でも、絶対に目詰まりすることはないという、本来の電気集じん器の持つ特長を最大限に活用することが可能である。

さらに加えて、そのメンテナンスフリー性の特長から、作業員が容易には近付けない過酷な閉鎖空間を有する現場（例えば先般の原発事故棟内など）でも、一旦搬入して設置すれば長時間にわたり遠隔運転が可能であるという特性を活用することができる。

しかも、微粒子が残存する大量のろ布を廃棄する必要は無い。そうなれば、電気集じん器の有する本来のメリットがより幅広く発揮されることになる。

5. おわりに

以上述べてきたように、高性能かつ安定性が強く求められる産業界において、古くから広く採用されてきた集じん方式はフィルタ式と電気式に二分されている。

さらにどちらの方式の集じん装置も、トンネル工事現場で使用されることにおいては、その長所と共に、一方は運転コストが多くかかるとされ、他方は故障が多いという短所が指摘されている。

そのような中であって、長年取り組んできた産業用電気集じん装置の技術を盛り込むことで開発された、新しい方式のトンネル工事用電気集じん器の概要説明をさせていただいた。

一方、もう一つの有効なトンネル工事現場の空気浄化手段であるフィルタ式集じん機も、そのろ布材質や運転方法に改良が加えられ、益々高度に進化して行く

ものと思われる。

そのような中であって、今後も施工が継続すると予想されるトンネル工事では、知見にとられない技術判断基準に立脚し、現場の状況に最も適した機種を採用すべきであると考えます。

そのような観点から、本稿をその判断材料の一つにして頂けたら幸甚至極である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 林 太郎：換気・集じんシステム，朝倉書店，昭和48年
- 2) 井伊谷鋼一ほか：集塵装置の性能，産業技術センター，昭和51年
- 3) H. J. White：Industrial Electrostatic Precipitation, Addison-Wesley Pub., 1963年
- 4) 橋本清隆・谷口 堯：電気集塵装置の理論と実際，電気書院，昭和45年
- 5) 松本俊次：電気集じん装置，日刊工業新聞社，昭和50年
- 6) S. Oglesby, Jr. G. B. Nichols：ELECTRSTATIC PRECIPITATION, MARCEL DEKKER, INC., 1978年
- 7) JAROSLAV BOEHM：ELECTRSTATIC PRECIPITATIONS, ELSEVIER SCIENTIFIC PUB. CO., 1982年
- 8) 新谷義行・藤内 隆：トンネル工事における集じん機の比較検討<一般国道229号 岩内トンネル>，トンネルと地下，Vol. 33 No. 9, 2002年9月
- 9) 「山岳トンネルにおける工事用機械の選定」連載講座小委員会：連載講座 山岳トンネルにおける工事機械の選定 (22)，トンネルと地下，Vol. 36 No. 8, 2005年8月
- 10) 建設業労働災害防止協会：改定 ずい道等建設工事における換気技術指針，建設業労働災害防止協会，平成17年6月

【筆者紹介】

平 孝次（たいら こうじ）
古河産機システムズ㈱
小山工場
主任技師



小峰 新平（こみね しんぺい）
古河産機システムズ㈱
小山工場
主席技師長

