

トンネル換気技術の 変遷と派生技術

株式会社 流機エンジニアリング
代表取締役会長 西村 章

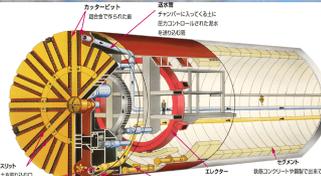
建設環境分野 東・西日本営業G

営業主力製品: 集塵機・送風機・吸引ダクトシステム・地下工事用ファン

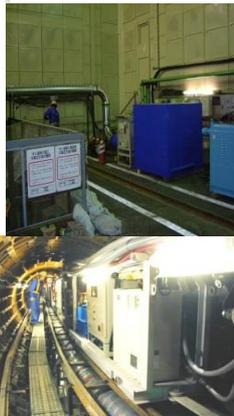


建設環境分野 シールド・海外営業G

営業主力製品: マシン冷却+冷房装置・高圧ブロワ・特殊ダクト・圧気ブロワ

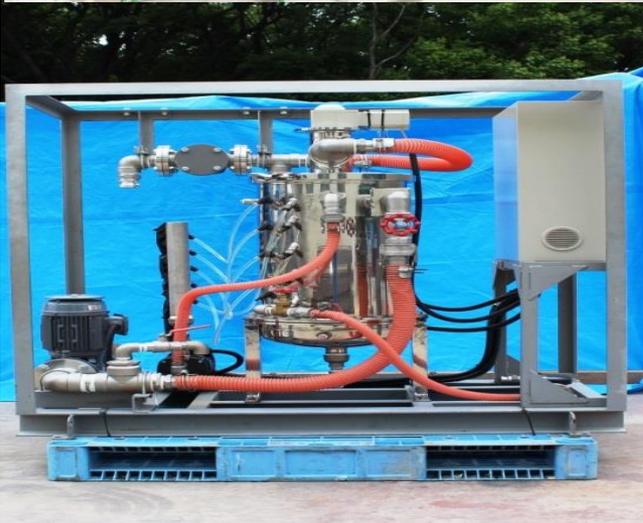


カッターヘッド
 掘削する部分
 カッターヘッドの回転は
 掘削方向の回転と
 逆方向
 カッターヘッド
 掘削方向の回転と
 逆方向
 カッターヘッド
 掘削方向の回転と
 逆方向
 カッターヘッド
 掘削方向の回転と
 逆方向



建設環境分野 商品企画営業G

主業務:新製品の企画・提案・マーケティング・商品開発



環境修復分野 土壌環境営業G

主力製品：土壌汚染・ダイオキシン・アスベスト対策・焼却炉解体・中間貯蔵



一般産業分野 産機営業G

主力製品：工業用集塵機・濁水処理装置・プラント向け粉粒体装置・空気輸送
 大手メーカー向け集塵機・ブロワ・冷暖房設備のレンタル



省スペース・高清浄度・ロングライフ。重きフィルター技術で、「ほしい」集塵機を必ずカタチにします。

I SERIES INDUSTRIAL DUST COLLECTOR 工業用集塵機シリーズ

大面積でコンパクトかつ高性能な「ブリーフフィルター」を搭載。劣悪環境やヒューム対策など、従来の集塵機では難しい環境での「PM2.5」もクリア。皆様のご要望に確実に応えます。

- 省スペース
- 高集塵率
- 稼働寿命
- 低コスト

株式会社 流機 エンジニアリング
<http://www.yukic.com>



中空糸膜を駆るNANOファイバーフィルター登場



産業水質処理装置 ECOFLOW

- 高清浄度
- コンパクトで大流量
- メンテナンスフリー

用途が格段に広がり、業種を問わないあらゆる現場で活躍

株式会社 流機 エンジニアリング
<http://www.yukic.com>



極限環境分野 重工ENG G

主力製品：航空宇宙環境試験設備・衛星組立治具・風洞試験設備

原子力関連減容化装置・環境対策設備・新事業企画・製品開発

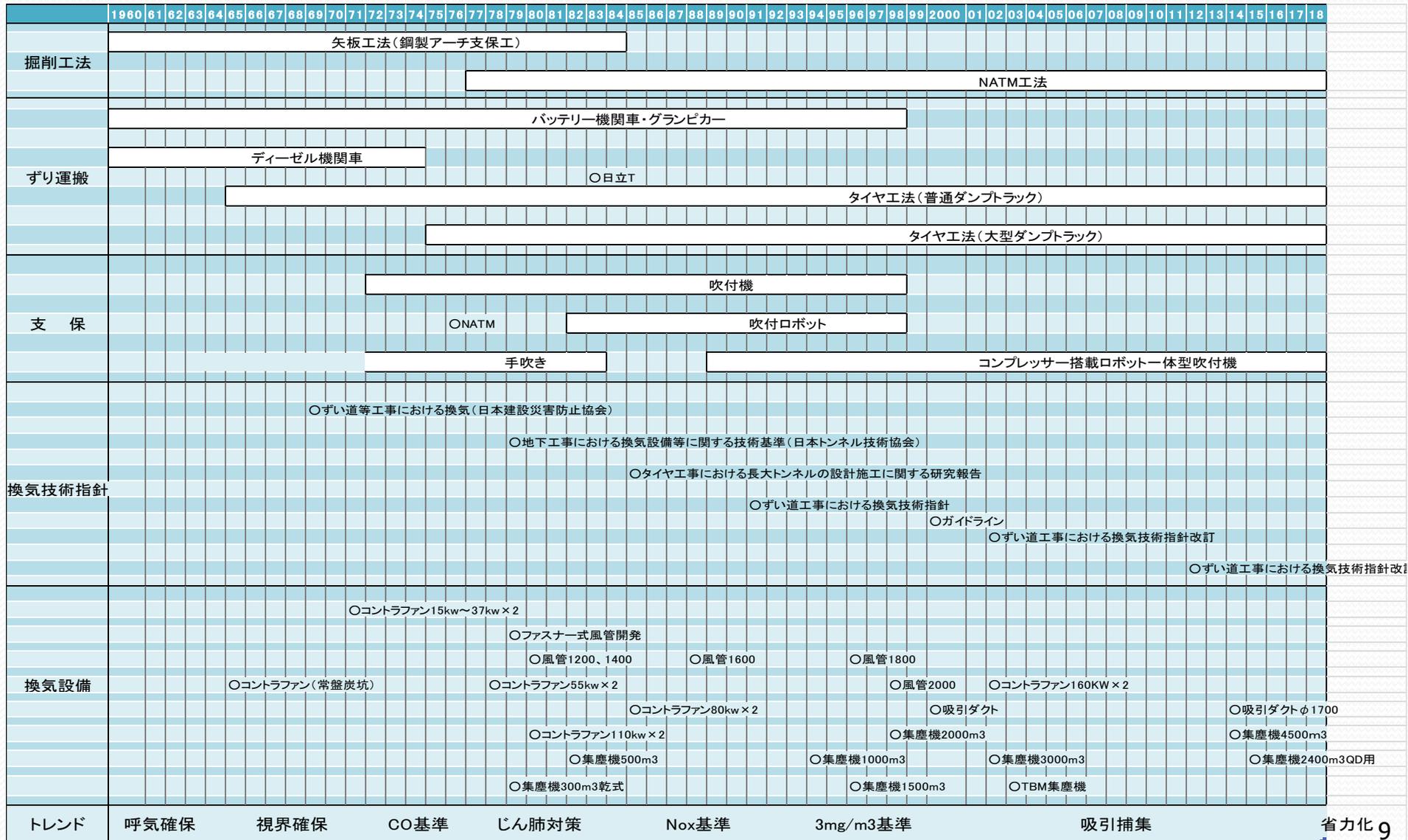


極限環境分野 開発営業G

主力製品：省力化設備・粉粒体装置・一品物開発(共同開発)



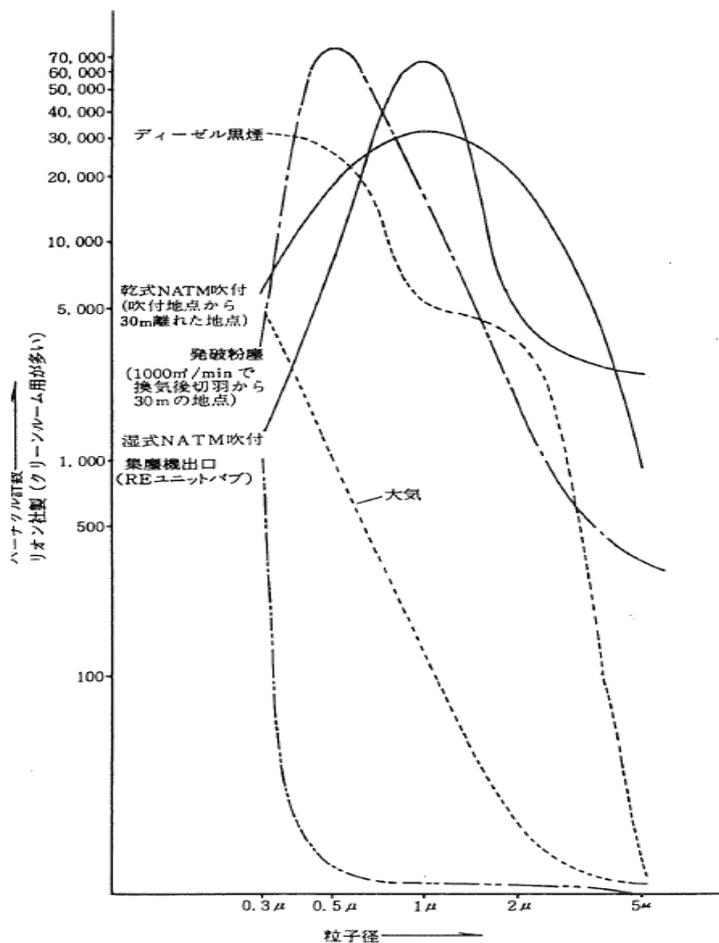
トンネル工法・換気設備の歴史



法制・規則・指針

じん肺法	1960年3月
ずい道工事等における換気(設計及び保守管理の実務)	1969年2月
改訂 ずい道工事等における換気技術指針	1973年10月
中山T ロックボルト+吹付試験施工 (本格的NATM)	1976年
建災防トンネル作業調査	1977年
法規・粉じん障害防止規則	1979年4月
法規・粉じん障害防止規則改正 (坑内の粉じん作業範囲)	1981年9月
地下工事における粉じん測定の手引	1986年11月
作業環境評価基準	1988年9月
ずい道等建設工事における換気技術指針	1991年1月初版
トンネル建設工事におけるじん肺防止対策における調査研究報告書	1997年3月
建災防トンネル調査	1998年
ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン	2000年12月
ずい道等建設工事における換気技術指針	2002年3月改訂
ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン	2011年3月改正
ずい道等建設工事における換気技術指針	2012年3月新版
厚労省トンネル調査	2018年3月

トンネル塵肺の新規有所見者数の推移



第4図 各粉じんの粒径バランス (流機エンジニアリング) 58.2

	厚労省	訴訟団
1981年	305名	2305名
1993年	20名	
2000年		350名
2006年	8名	
2012年		72名
2013年	12名	
2014年	4名	60名
2015年	1名	
2016年	2名	
2017年	6名	

じん肺について

- じん肺とは「粉じんを吸入することによって肺に生じた繊維増殖性変化を主体とする疾患」
- 難溶解性粒子は肺胞内が無気流・無繊毛で体外に排出されないため長期滞留し不可逆的に有害作用する。
沈着粒子のピークは $0.5 \sim 2 \mu\text{m}$
- トンネル内の粉じん粒度分布 $0.3 \mu\text{m} \sim 2 \mu\text{m}$ が中心
($0.1 \sim 0.01 \mu\text{m}$ エイトゲン粒子)は速やかに凝集するため少ない
- ガイドライン目標レベルの濃度 $3\text{mg}/\text{m}^3$ は大気塵の約100倍
PM2.5基準 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下 (ソウル14日 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- 粉じんには発がん物質がある
結晶質シリカ(SiO_2)、ディーゼル黒煙(ベンゾピレン)、アスベスト
- デジタル粉じん計は $4 \mu\text{m}$ 以下の粒子を計測している
トンネル測定では日本作業環境測定協会の校正が年1回必要

換気技術

- 1960年～ CO基準換気、レール工法
 - ↳ 1000m³/minクラスのファン 送気式
- 1982年～ じん肺対策、上半断面
 - ↳ 500m³/minクラスの集塵機併用
- 1985年～ トラック工法換気、じん肺対策
 - ↳ 1500～2000m³/minファン 送・排気式、INV、ダストセンサー
- 1991年～ NO_x基準換気、じん肺対策(機械掘削除く)
 - ↳ 2000m³/minクラス集塵機併用、ダストセンサー
- 2000年～ 3mg/m³粉じん基準、粉じん発生定量化
 - ↳ 吸引ダクトによる封じ込め、吸引捕集方式
- 2012年～ 坑内風速の基準、機械掘削粉じん封じ込め
 - ↳ 3000m³/minクラス集塵機、吸引捕集方式
- 2016年～ 長距離トンネル対応

REピューラー

CO(有害ガス)&(黒煙)クリーンUP!



11tダンプ
ミキサー車
積込機
大型ショベル
コンクリートポンプ車

4tダンプ
バックホー
作業車
ミニブル
エンジンコンプレッサー
ジェネレーター
etc

株式会社 流機 エンジニアリング

REユニットバグ 高性能集塵機



シリーズ

〈自動再生方式〉
メンテナンスフリー

● トータルランニングコストの 軽減化



- 1 濾過精度**
0.5 μ ×99.9%
大気レベル迄にクリーンアップ。
- 2 風量**
初期50mmAq
max. 350mmAq
安定した風量が得られる。

- 3 自動再生 (完全自動運転)**
再生は独自のエアノッカー
による、衝撃払落方式を採用。
- 4 エLEMENT**
大面積で、半永久のELEMENT。
(洗濯可能)

株式会社 流機 エンジニアリング

吸引捕集方式







VTR

フィルター方式と静電気方式の比較

	フィルター式	静電気式
原理	<p>大面積のフィルターに通気させフィルター表面に吸着する方式 付着したダストを断続的にエアパルスで払い落とし、通気抵抗が増大しないよう自動クリーニング</p>	<p>入口で放電極により気体中の粉塵粒子を帯電させ、後方にある逆帯電極の集塵極に静電クーロン力で付着させる方式 集塵極にダストが付着し積層すると、クーロン力が弱まり集塵効率が低下 導電性の粉じん粒子は捕集効率が悪い</p>
特長	<p>大気と同レベルの高い清浄度で安定した風量が得られメンテナンスフリー フィルター通気抵抗があるためファン動力が大きい (2000m³/min定格負荷は81kW)</p>	<p>通風抵抗が少ないためファン動力がフィルター方式の約半分(2000m³/min定格負荷は43kW) 集塵効率は運転時間経過と共に効率が急速に低下する</p>
集塵特性	<p>①集塵効率は99%以上で安定運転 ②出口清浄度は入口粉塵濃度にかかわらず大気レベルの0.1mg/m³以下 ③高濃度粉塵でも安定して清浄化できる ④フィルター表面の添着粉体によりCO、NO₂など有害ガスが吸着され清浄化される</p>	<p>①集塵効率は初期80%、ダスト積層すると効率低下 ②発破粉塵、機械掘削粉塵など高濃度粉塵は集塵効果が小さい ③原理的に導電率の高いスス粒子は捕集されない、+電荷をもつため、履工後のトンネル内壁や機械を汚損 ④高電圧印加のプラズマにより、有害なオゾンが発生 NO₂濃度が上昇する</p>
換気効果	<p>①透明感のある視認距離を得られ、坑内全域が清浄化できる ②ファン圧力に余裕があり、吸引ダクトによる粉塵の封じ込めができる ③坑外への粉塵流出が少なく環境への負荷が少ない</p>	<p>①出口濃度が高いので、集塵風量、送気風量とも大きく設定する必要がある ②粉塵が流出し坑外環境の配慮が必要 ③洗浄再生 2~3回/日が必要で稼働が制限される</p>
メンテナンス	<p>①ダストは断続的に自動クリーニング、機外へ自動排出処分される 運用時はメンテナンスフリー</p>	<p>①濁水設備への負荷が増加、 ②集塵極セルはセメント成分急結剤などによりスケールが付着、定期的に薬品洗浄が必要</p>

換気技術のこれから

1. 長距離・大風量送風

- ①大口径ノンリークダクト・・・ $\phi 1500 \sim \phi 2500$ 、 $\lambda 0.012$ 、 $\beta 0.00002$
- ②RBD(無漏風中継)
- ③ファン動力はダクト口径比の5乗で低減

2. 省力化・自動化

- ①自動換気システム・・・QD・集塵機・送風機の連動自動運転
ダストセンサー、有害ガスセンサー、温度・湿度、発破センサー、障害物センサー
- ②カプセル自動収納・・・延長ダクト100mを10分で収納
- ③発破飛石防御

3. 暑熱対策

- ①坑内冷房、トンネルクーラー
- ②TBM・シールド冷却、クーリングユニット

4. 高浄化

- ①HEPA集塵機 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ 以下、吸引マスクと同じレベルに清浄化
- ②NO₂ガス浄化 $2 \sim 5\text{ppm} \rightarrow 0.2\text{ppm}$ 以下に浄化(アルカリ吸着)
NO₂許容濃度 $3\text{ppm} \rightarrow 0.2\text{ppm}$ (ACGIH-TWA2016)

5. 海外展開

台湾新幹線、香港地下鉄、韓国KTX、中国TBM、中国高速鉄道、高速道路

添付資料 1

1.長距離・大風量送風

①大口径ノンリークダクト

特許2019-38261

長距離大断面トンネル・シールド用
大口径ノンリークダクト
超倍漏風风管

・実測値 $\phi 2500$ kPaにて 最大漏れ量 $0.1\text{m}^3/\text{min}^*$
*ファスター接続部1ヶ所当たり
・ $\phi 1500 \sim \phi 2500$ 定尺10mを用意



施工は簡単！3つのステップ

1. ファスター閉めて

2. 外風管被せて

3. パッチンするだけ



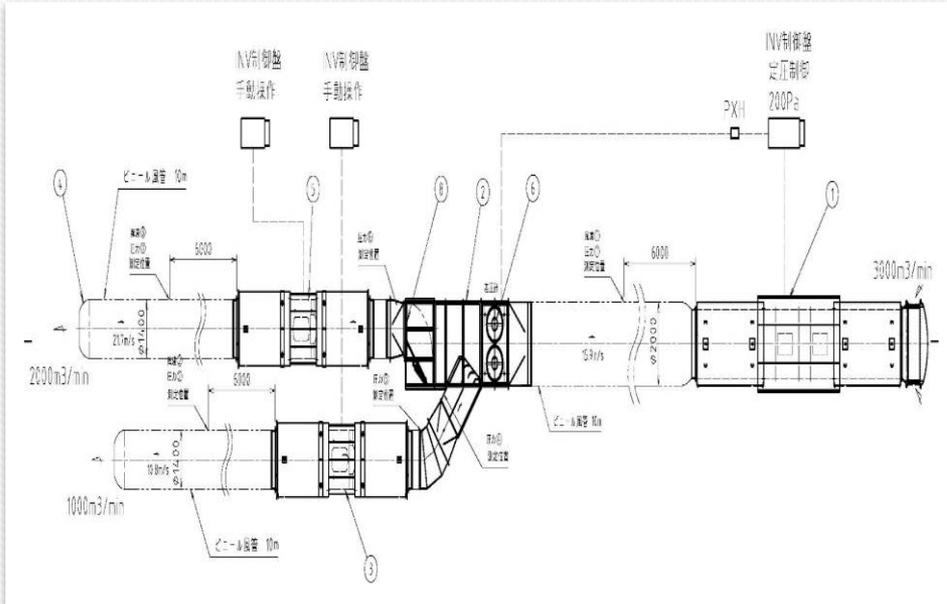
株式会社 流機 エンジニアリング



添付資料 2

②RBD (無漏風中継)

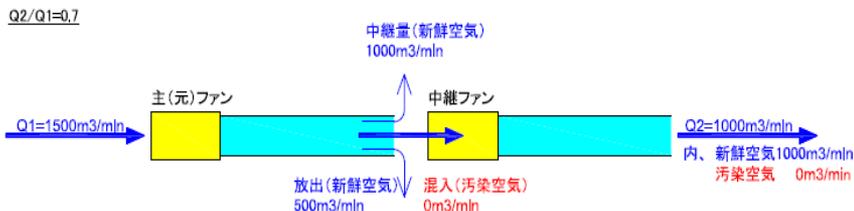
1. RBD方式 (ロスない方式)



2. 従来の切り離し中継方式 (さや管方式)

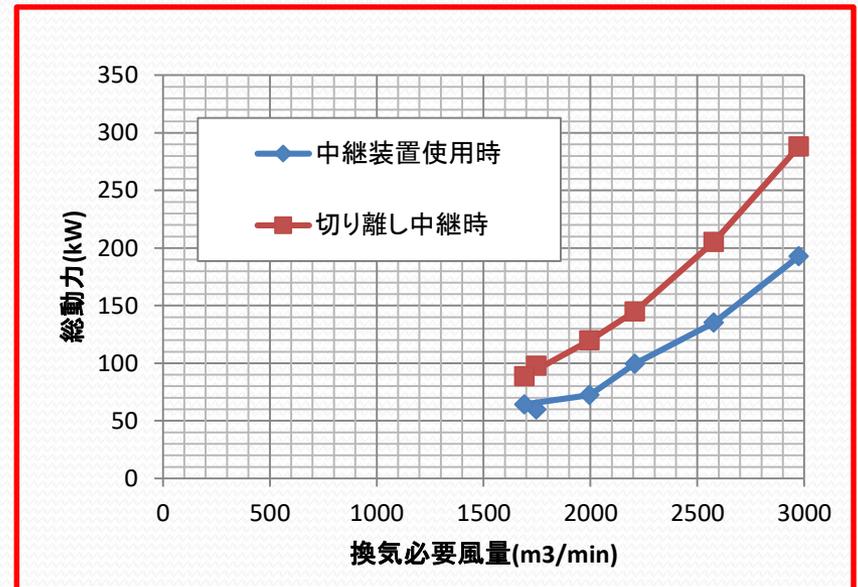
※2系統必要になる

離れX/Dd=1.0の時(所要換気量1000m³/min)



導入効果

風量と電動機動力 (社内試験データより)



何が変わるの！！！！

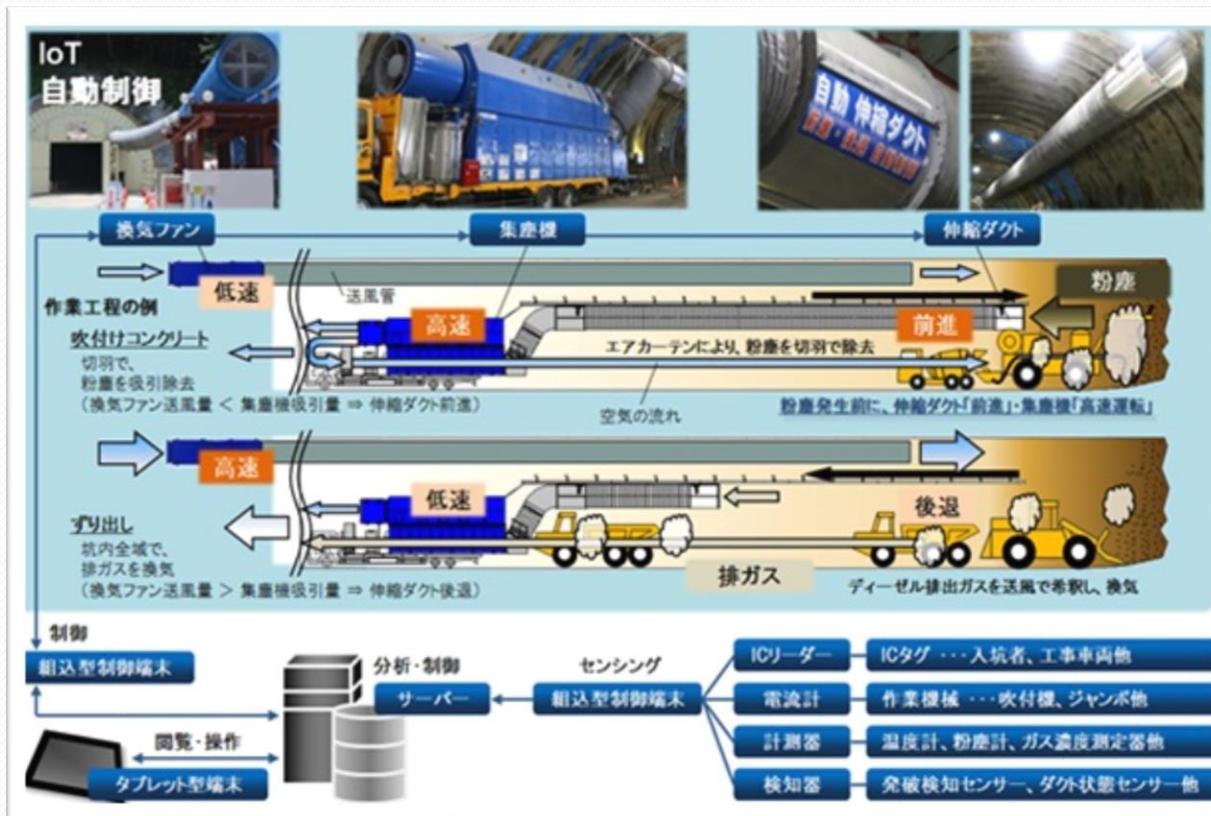


- 消費電力量の大幅削減！
- 坑内の風管系統数を削減！
- モニターで集中管理 可視化を実現！

添付資料 3

2. 省力化・自動化

①自動換気システム・・・QD・集塵機・送風機の連動自動運転

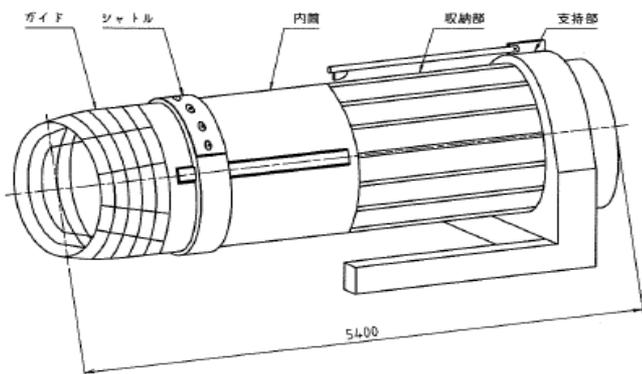


添付資料 4

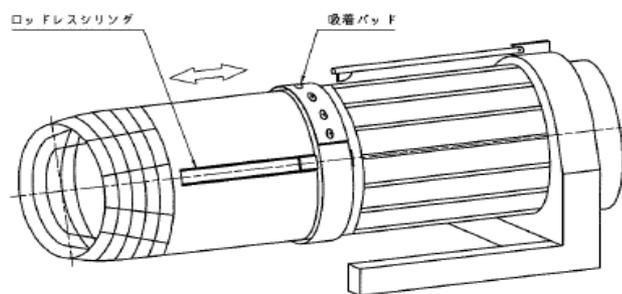
2. 省力化・自動化

②カプセル自動収納・・・ダクト100mを10分で収納

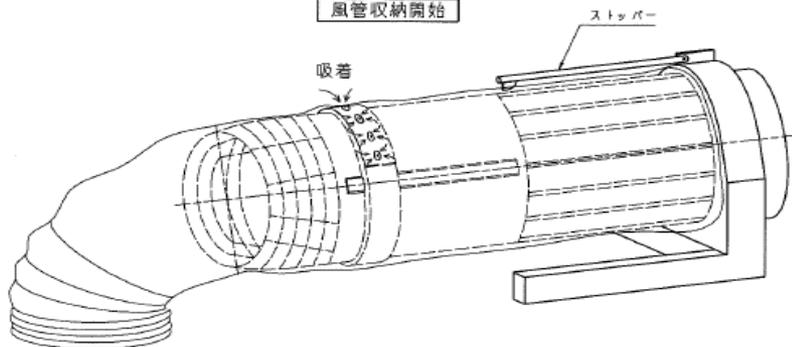
シャトル移動前



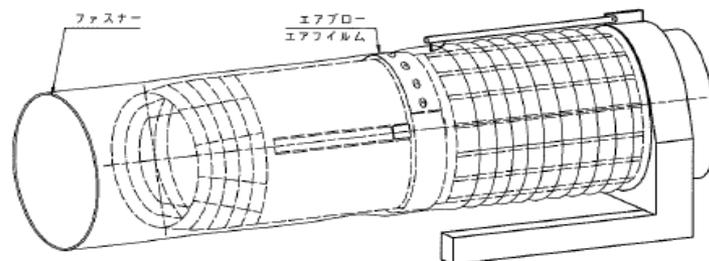
シャトル移動後



風管収納開始



風管収納終了 ⇨ シャトル戻り



添付資料 5

2. 省力化・自動化

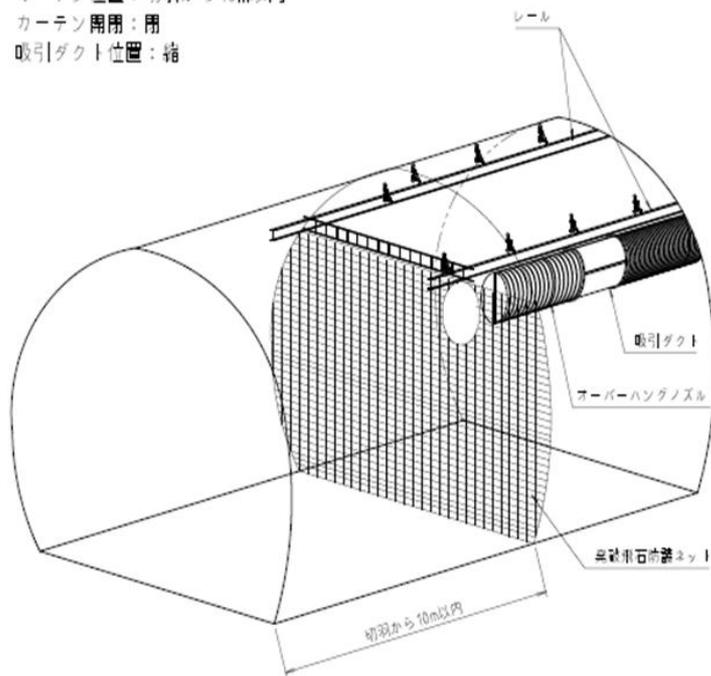
③発破飛石防御

発破時

カーテン位置：切羽から10m以内

カーテン用用：用

吸引ダクト位置：縮

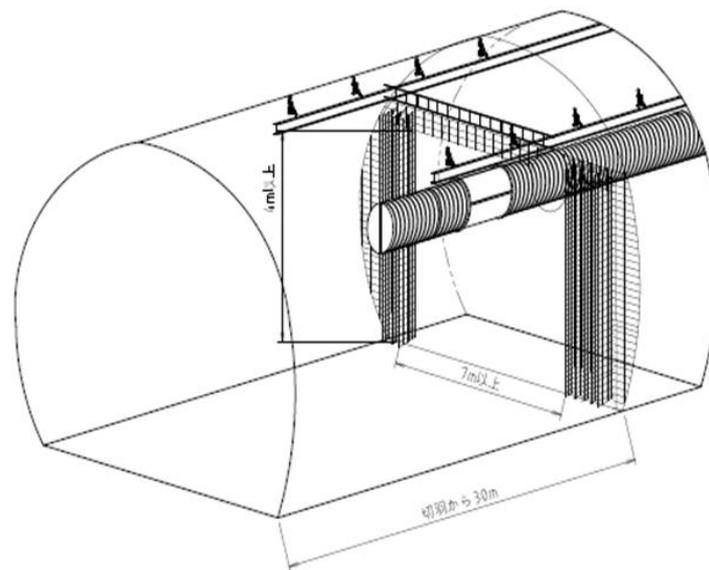


ズリ出し時

カーテン位置：切羽から30m

カーテン用用：開

吸引ダクト位置：伸



添付資料 6

3.暑熱対策

①坑内冷房、トンネルクーラー



添付資料 7

3.暑熱対策

②TBM・シールド冷却、クーリングユニット



添付資料 8

4. 高浄化

①HEPA集塵機

0.01mg/m³以下、吸引マスクと
同じレベル

0.1~0.2μm 99.993%

CONFIDENTIAL

文書番号：空 29-193 3 / 3

8. 試験結果

(1) 圧力損失試験結果

試験体：①IF400-1200	
風量 [m ³ /min]	圧力損失 [Pa]
10.2 (定格)	300

(2) 粒子捕集率試験結果

試験体名：①IF400-1200		計測粒径範囲：0.1~0.2 [μm]					
試験風量：10.2 [m ³ /min]		光源乱式自動粒子計数器：KC-228					
試験粒子：多分散PAOエアロゾル							
回数	(上流側)			(下流側)			粒子捕集率 η [%] ※2
	測定時間 [秒]	計数値 [個/150 mL]	平均±7σ C ₁ [個/mL]	測定時間 [秒]	計数値 [個/300 mL]	平均±7σ C ₂ [個/mL]	
1	30	2628	※1 17.4	60	32	0.141	99.9930
2	30	2600		60	38		
3	30	2603		60	57		

※1 上流側のみ希釈器使用。希釈倍率[倍]：117

※2 粒子捕集率 η は、上流・下流を3回ずつ測定し、その平均値を mL 当りの個数および希釈倍率で換算し、次式より求めた。

$$\eta = \left(1 - \frac{C_2}{C_1}\right) \times 100 \quad [\%]$$

η：粒子捕集率 [%]
C₁：フィルタ上流側平均エアロゾル濃度 [個/mL]
C₂：フィルタ下流側平均エアロゾル濃度 [個/mL]

出図
18.2.06
株式会社
伊藤

JACA 〒103-0007 東京都中央区日本橋浜町 2-7-5 伊藤紅浜ビル 3 階
TEL: (03)3665-5591 FAX: (03)3665-5593 E-mail: jaca@jaca-1963.or.jp
URL: http://www.jaca-1963.or.jp

CONFIDENTIAL

派生技術の紹介

大型プリーツ集塵機の用途展開

- 土壌汚染修復工事
2002年からレンタル累計300現場
粉じん・PCB・VOC・重金属等の拡散防止
- 焼却炉解体工事
2003年からレンタル累計120現場 アスベスト・RCF・ダイオキシンの
拡散防止
- 産業用本設集塵機：電炉・精錬・溶射・溶接・製薬などの環境浄化
2009年から250～4000 m³/min 累計200台納
精密加工分野では大気放風せず室内に還流し空調コストを大幅削減
- 原子力：除染減容集塵、ヒュームコレクタ、バキューマ
- 中間貯蔵事業（福島復興）
2016年から分別・焼却・灰処理など施設内環境浄化と放射能封じ込め
150～1200 m³/min 累計66台納入
- フィルタ技術を水処理へ応用

●産業用バグフィルタとの比較 3000m³/min

	バグフィルタH社	プリーツフィルタ	他社比
フィルタ精度	1 μ m \times 90%	0.15 μ m \times 99.95%	
出口濃度	100mg/m ³	0.01mg/m ³ 以下	1/10000
1本の面積	3.1m ² ϕ 165 \times 6m	80m ² ϕ 455 \times 2m	\times 25
フィルタ本数	960本	40本	1/20
フィルタ寿命	5,000 ~ 10,000H	30,000H(4年)以上	\times 4
フィルタ室容積	880m ³	88.6m ³	1/10
装置重量	74t	12t	1/6
フットプリント	65m ²	11m ²	1/6
フィルタ総面積	2920m ²	3200m ²	
ファン動力	200kW	180kW	
パルスエア	45kW(6.5 m ³ /min)	15kW(2 m ³ /min)	





焼却炉解体工事



仮設用集塵機設置事例



シリーズ



金属製品加工用集塵機



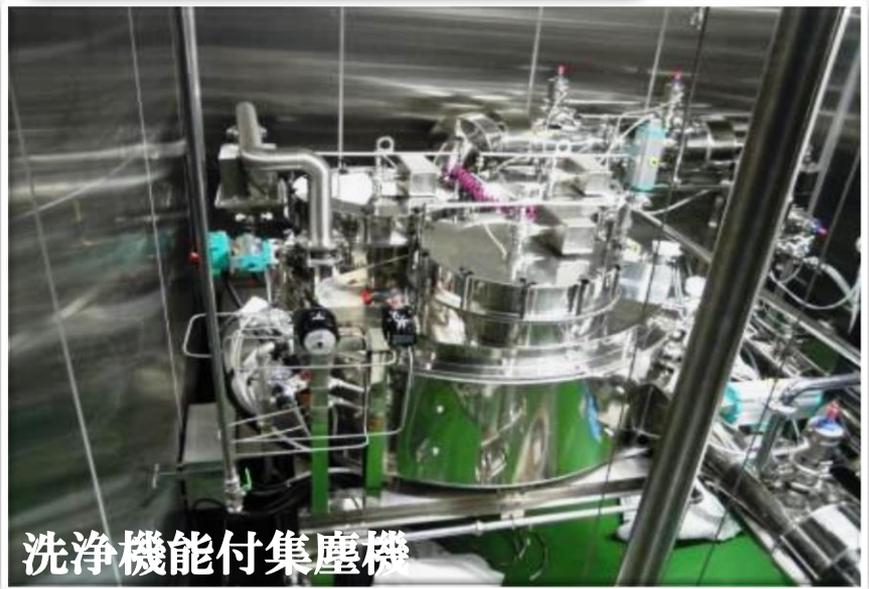
土壤改良工事



中間貯蔵



岩盤切削機用集塵機



洗浄機能付集塵機

ECOクリーン / フィルタ方式・凝集剤不要

ランニングコスト 1/10



「濁水／清水」の比較



- **濁水処理** : フィルタによる水再生処理
 - 切羽濁水処理 : 切羽で再利用
 - 生コン排水処理 : 練水に再利用
 - WJ切削排水 : WJ再利用
- **脱水装置、大容量濃縮装置**

