



# クリーンルーム環境の ケーブル発塵調査

ホワイトペーパー

## 序論

ケーブルチェーン内のケーブルからの発塵は、クリーンルーム環境にとって難しい課題である。発塵を最小限に抑えるためには、ケーブルやチューブ同士の摩擦をできる限り取り除かなければならない。可動部品を数を最小限に抑えれば発塵は減らせるが、自動化された製造ラインでケーブルの動きをなくすことは不可能である。また、ラウンドケーブルやチューブを分けるための仕切板も発塵の原因となる。仕切板が使用されていない場合や適切に設置されていない場合は、ケーブルやチューブ同士の摩擦によって変形、ずれ、よじれなどが生じ、その結果、発塵が増えてしまう。

数千万サイクルに耐える低発塵ケーブルシステムを実現するためには、システムを設計する際に、可動部品の数と部品同士の摩擦を可能な限り減らす必要がある。

ケーブルチェーンメーカー各社は適切なケーブル管理のための詳細な手引きを提供しており、これによってユーザーのシステムの清浄度が決まる。しかし、クリーンルーム環境で使用されるケーブルやケーブルチェーンには、ケーブル材料の発塵特性とシステム全体の中でのケーブルの相互作用を確認するための試験を行う必要がある。

ゴアは、ドイツのシュツットガルトにあるフラウンホーファー生産技術・オートメーション研究所に委託してゴアのケーブル2種類の発塵を測定し、ISOのクリーンルーム認証を取得した。フラウンホーファーの認証は、同一の試験条件で評価されたケーブルやケーブルチェーンの比較にしか利用すべきではない。とはいえ、フラウンホーファーの試験からは、ゴアのケーブルが繰り返し屈曲されても非常に低い発塵レベルを維持することがわかる。

## 試験計画

ケーブルとケーブルチェーンのいずれが発塵の原因なのかを確認するため、ゴアでは同じメーカー製の異なるケーブルチェーン2つに通した同一のフラットケーブルで試験を実施した。この試験用に2種類の非金属性のケーブルチェーンが選ばれた。低振動・静音・清浄タイプのもの(チェーン A)と、リンクとピンを有する従来型の構造のもの(チェーン B)である。ゴア®トラックレス高屈曲ケーブル(TK 31540-01)の試験に加えて、ケーブルチェーンとの組み合わせも以下の3通りで評価した。

- **ケーブルチェーン A**に、ゴア® 高屈曲フラットケーブル2本を上下に重ねて設置
- **ケーブルチェーン B**に、ゴア® 高屈曲フラットケーブル2本を上下に重ねて設置
- **ケーブルチェーン A**に、低発塵被覆材を使用したラウンドケーブル2本を仕切板なしで左右に並べて配置。これらのケーブルの摩擦を可能な限り抑えるため、ゴアでチェーンの寸法を決める際に、ケーブル同士が接触しないよう十分なスペースを設けた。



図1：ケーブルチェーンの重要エリアに設置したパーティクルカウンター

発生したパーティクルがすべて記録されるようにするため、各ケーブルチェーンはクリーンルームの気流の方向に合わせて鉛直に設置した。ケーブルチェーンから最もパーティクルが発生しやすい重要エリアを特定し、各ケーブルの重要エリアの3か所にパーティクルカウンターを設置した(図1)。各カウンターで記録した粒子径は0.1~5.0マイクロメートルである。

発生した浮遊粒子の数を各測定点で100秒間記録し、各ケーブルに対して速度0.5、1.0、2.0メートル毎秒で試験を行った。

フラウンホーファーではその後、各測定位置における粒径ごと(0.1、0.2、0.3、0.5、1.0、5.0マイクロメートル)の粒子数の最大値と相加平均を算出して、VDI 2083 Part 9.1のガイドラインに定められた基準に基づき発塵量を導き出した。各ケーブルチェーンシステムの稼働時の発塵状況を確認するため、フラウンホーファーでは、上記の結果を用いて、記録されたパーティクル数が最も多かった測定点を特定した。そして、この稼働時の発塵状況からISOの清浄度クラスを分類した。

## 試験結果

パーティクルカウンターの記録によると、ゴア®トラックレス高屈曲ケーブルと、ケーブルチェーンAにゴア®高屈曲フラットケーブルを収めたものでは、各測定点におけるパーティクル発生数はゼロであった(表1および表2)。VDIガイドライン2083およびISO 14644-1に定められた確率計算方法に基づきフラウンホーファーが算出した結果では、各試験速度においてこれらのケーブルがパーティクルを発生させる確率は0.1%未満となっている。

表1:ゴア®トラックレス高屈曲ケーブルの結果

1立方フィートあたりの パーティクル数 粒径(μm)	速度			上限超過の 確率(%)
	0.5 m/s	1.0 m/s	2.0 m/s	
0.1	0.0	0.0	0.0	< 0.1
0.2	0.0	0.0	0.0	< 0.1
0.3	0.0	0.0	0.0	< 0.1
0.5	0.0	0.0	0.0	< 0.1
1.0	0.0	0.0	0.0	< 0.1
5.0	0.0	0.0	0.0	< 0.1

表2:ケーブルチェーンAに収められたゴア®高屈曲フラットケーブルの結果

1立方フィートあたりの パーティクル数 粒径(μm)	速度			上限超過の 確率(%)
	0.5 m/s	1.0 m/s	2.0 m/s	
0.1	0.0	0.0	0.0	< 0.1
0.2	0.0	0.0	0.0	< 0.1
0.3	0.0	0.0	0.0	< 0.1
0.5	0.0	0.0	0.0	< 0.1
1.0	0.0	0.0	0.0	< 0.1
5.0	0.0	0.0	0.0	< 0.1

ケーブルチェーンAに低発塵被覆材を使用したラウンドケーブルを収めたものでは、速度によって異なる量のパーティクルが発生した(表3)。VDIガイドライン2083およびISO 14644-1に定められた計算方法に基づきフラウンホーファーが算出した結果では、このケーブルチェーン/ケーブルシステムがパーティクルを発生させる確率は3%となっている。

表3:ケーブルチェーンAに収められたラウンドケーブルの結果

1立方フィートあたりの パーティクル数 粒径(μm)	速度	上限超過の 確率(%)	速度	上限超過の 確率(%)	速度	上限超過の 確率(%)
	0.5 m/s		1.0 m/s		2.0 m/s	
0.1	0.3	< 0.1	2.5	< 0.1	0.0	< 0.1
0.2	0.1	< 0.1	1.3	< 0.1	0.0	< 0.1
0.3	0.1	< 0.1	1.0	< 0.1	0.0	< 0.1
0.5	0.1	0.2	0.7	< 0.1	0.0	< 0.1
1.0	0.0	3.0	0.4	0.8	0.0	< 0.1
5.0	0.0	< 0.1	0.0	3.0	0.0	< 0.1

ケーブルチェーンBにゴア®高屈曲フラットケーブルを収めたものでも、速度によって異なる量のパーティクルが発生した

(表4)。VDIガイドライン2083およびISO 14644-1に定められた計算方法に基づきフラウンホーファーが算出した結果では、このケーブルチェーンシステムがパーティクルを発生させる確率は3%にも上る。

表4:ケーブルチェーンBに収められたゴア® 高屈曲フラットケーブルの結果

1立方フィートあたりの パーティクル数 粒径(μm)	速度 0.5 m/s		速度 1.0 m/s		速度 2.0 m/s	
	速度	上限超過の 確率(%)	速度	上限超過の 確率(%)	速度	上限超過の 確率(%)
0.1	1.3	< 0.1	0.6	< 0.1	1.7	< 0.1
0.2	0.5	< 0.1	0.3	< 0.1	0.9	< 0.1
0.3	0.4	< 0.1	0.3	< 0.1	0.7	3.0
0.5	0.4	< 0.1	0.3	< 0.1	0.6	3.0
1.0	0.3	< 0.1	0.2	< 0.1	0.5	3.0
5.0	0.2	1.6	0.1	0.6	0.1	2.0

この試験結果からは、すべてのケーブルチェーンシステムにおいてではないが、速度が発塵量の要因となっている場合もあることがわかる。ISOのガイドラインに基づき、フラウンホーファーでは最も発塵の多かった速度を基準としてISO14644-1のクリーンルーム認証を発行することを決定した(表5)。

表5:ISOのクリーンルーム認証

ケーブルの種類	ケーブル チェーン	速度			ISOクラス 認証
		0.5 m/s	1.0 m/s	2.0 m/s	
ゴア®トラックレス高屈曲ケーブル	なし	クラス1	クラス1	クラス1	クラス1
ゴア®高屈曲フラットケーブル	A	クラス1	クラス1	クラス1	クラス1
ゴア®高屈曲フラットケーブル	B	クラス5	クラス5	クラス5	クラス5
ラウンドケーブル	A	クラス3	クラス4	クラス1	クラス4

## 結論

ゴア®トラックレス高屈曲ケーブルは非常にクリーン性が高く、かつ高屈曲性で、発塵量が常に低い製品である。ストローク長1.5メートルまでの用途向けに設計されており、ケーブルチェーンや仕切板の必要がないのでクラス1のクリーンルームで安心して使用できる。

同一のゴア®高屈曲フラットケーブルに2種類の異なるケーブルチェーンを使用した試験からは、発塵の原因がケーブルではなくケーブルチェーンであることがわかる。このケーブルは、ケーブルチェーンの中で屈曲を繰り返しても、非常に低い発塵レベルを維持した。使用されている独自の被覆材は、摩擦が少なく、発塵性が非常に低く、ISO 14644-1のクラス1クリーンルーム用途の認証を取得している。ケーブルチェーンに仕切板が必要なくなるだけでなく、平らな構造によりケーブルの外装に加わる力が分散されるため、ケーブル被覆材の摩耗が少なく、動作により生じる摩擦も少なくなる。電気ケーブル、ホース、光ファイバーをすべてゴアのケーブルに収めていることで、より小型で軽量のケーブルチェーンが使用可能となる。

ラウンドケーブルのチェーンシステムについては、発塵量を最小とするのが狙いであったため、低発塵性の被覆材を使用したケーブルを2本だけ、低振動でクリーン性が高く仕切板のないケーブルチェーンに収めて使用した。発塵の結果は速度によって異なるため、本ケーブルシステムはISO 14644-1のクラス4のクリーンルームで使用可能である。ただし、この構成は、実際に使用されているケーブルチェーンシステムを正確に反映したものではない。なぜなら、大抵のケーブルチェーンには可能な限り多くのケーブルやチューブ、仕切板が収められており、発生し得る摩擦と発塵の量が多くなるからである。

**本製品は、一般工業用途に限定してご使用ください。食品、医薬品、化粧品または医療機器の製造、加工、包装工程にはご使用いただけません。**

本資料内の情報は、ゴアが現時点で有する知見に対応しており、ユーザーの実験方法について考えられる提案を行うためにのみ提供されたものです。なお、ユーザーが特定の目的に対する本製品の適合性を確認するために試験を行う必要がある場合、本資料内の情報は当該試験に代わるものではありません。本製品は多岐にわたる用途が考えられるため、ユーザーは生産で使用する前に、本製品が対象用途に適していること、およびその他の部品の材料と併用可能であることを必ず確認してください。本製品の適切な数量および設置状態の判断はユーザーが責任を持って行ってください。新しい知見や経験が明らかになった場合、本資料内の情報は改訂されることがあります。ゴアは、実際のエンドユーザーの条件の違いをすべて予見できるわけではないため、この情報の利用に関して一切の保証を行わず、一切の責任を負いません。本資料内の情報は、何らかの特許権に基づく使用許諾や何らかの特許権に対する侵害の推奨と見なされるものではありません。

GORE、ゴア、*Together, improving life*および記載のデザイン(ロゴ)は、W. L. Gore & Associatesの商標です。  
© 2024 W. L. Gore & Associates, Inc. © 2024 日本ゴア合同会社

日本ゴア合同会社  
〒108-0075 東京都港区港南 1-8-15 Wビル 14F  
TEL: 03-6746-2570 FAX: 03-6746-2571  
[gore.co.jp/semiconductor](http://gore.co.jp/semiconductor)

