

カーボンブラック ユーザーガイド -安全・健康・環境情報-

国際カーボンブラック協会

重要な注意点

この小冊子は、安全性データシート（SDS）ではなく、また SDS の代用として使用されることも意図しておりません。この製品を使用する前に、カーボンブラックサプライヤーから最新の SDS を入手し確認してください。

©2016 年国際カーボンブラック協会

国際カーボンブラック協会（ICBA）は、1977 年に設立された非営利の科学団体です。ICBA は、カーボンブラックの生産や使用における健康、安全、環境面に関する調査、研究、分析などの支援、指導を目的とした団体です。

ICBA は、会員企業が任命する取締役会によって管理・運営されており、この取締役会は戦略を設定し、科学諮問グループ（SAG）と地域レベルの製品安全規制委員会（PSRC）に全体的な方向性を提供し、目標と優先事項を決定するために SAG と PSRC の活動の統括・監督を行います。

取締役会に報告し、決定された戦略と優先事項を実行する 4 つの事業体があります。科学諮問グループ（SAG）、北米、欧州、アジア太平洋地域の製品安全規制委員会などです。

詳細は www.carbon-black.org をご覧ください。

このガイドでは、カーボンブラックの使用に関連する可能性のある操作設計、メンテナンス、トレーニング、緊急時の対応、および取り扱いに関する重要な健康、安全、環境に関する情報をまとめています。ここに記載されている情報は、カーボンブラックの訓練を受けた資格のあるユーザーの知識を補うために提供されています。

この刊行物は、発行日現在の国際カーボンブラック協会会員の直近の情報から成っています。ユーザーは、出版日以降に発生するカーボンブラックの特性、取り扱い技術、および規制要件に関する新しい開発および情報について、引き続き情報を入手する必要があります。

お気づきの点があれば、カーボンブラックサプライヤーにご連絡ください。

目次

一般情報

| | |
|----------------------|---|
| カーボンブラックとは？ | 5 |
| 生産方法は？ | 5 |
| カーボンブラック，煤 とブラックカーボン | 8 |
| 粒子の構造ーモルフォロジー | 8 |

安全性

| | |
|-----------------------|----|
| 可燃性/爆発性ダストの危険要因（ハザード） | 11 |
| 火災の危険要因 | 11 |
| 清掃と安全作業管理 | 12 |
| 保管と取扱い | 12 |
| 閉鎖空間への立入 | 13 |
| 緊急応急処置 | 13 |

健康

| | |
|---------------|----|
| 人体における研究 | 14 |
| 発がん性に関連する動物研究 | 15 |
| 発がん性分類 | 15 |
| 変異原性 | 17 |
| 生殖効果 | 17 |
| 慢性的毒性 | 17 |
| 眼刺激性 | 18 |
| 皮膚刺激性 | 18 |
| 感作性 | 18 |
| 動物への刺激試験 | 18 |

職業上の衛生

| | |
|----------------|----|
| 概要 | 18 |
| 空中曝露評価 | 19 |
| 職業暴露限界 | 19 |
| 粒子サイズ評価 | 20 |
| エンジニアリングコントロール | 20 |
| 呼吸器保護 | 21 |
| 医療的観察 | 21 |

環境

| | |
|-----------|----|
| 温室効果ガス排出量 | 22 |
| 水の使用 | 22 |

| | | |
|---------------------------------------|------------------|----|
| 廃棄 | ・・・・・・・・・・・・・・・・ | 22 |
| 空気 | ・・・・・・・・・・・・・・・・ | 23 |
| 排水 | ・・・・・・・・・・・・・・・・ | 23 |
| 漏洩 | ・・・・・・・・・・・・・・・・ | 23 |
| 輸送 | | |
| 配送コンテナ | ・・・・・・・・・・・・・・・・ | 24 |
| 輸送上の規制 | ・・・・・・・・・・・・・・・・ | 24 |
| 自己発熱 | ・・・・・・・・・・・・・・・・ | 24 |
| 製造物責任 | | |
| 食品と接触する材料中のカーボンブラック | ・・・・・・・・・・・・・・・・ | 25 |
| 国家登録簿及びその他の適用される規則 | ・・・・・・・・・・・・・・・・ | 25 |
| 付録 A カーボンブラック、ゴム、およびトナー産業における労働者の健康調査 | | 26 |
| 付録 B カーボンブラックの職業暴露限度値の選択 | ・・・・・・・・・・・・・・・・ | 39 |
| 参考文献 | ・・・・・・・・・・・・・・・・ | 42 |

一般情報

カーボンブラックとは？

カーボンブラック [C.A.S.No 1333-86-4] は、制御された条件下において気体または液体の炭化水素の部分燃焼または熱分解によって生成される、コロイド粒子形態を有するほぼ純粋な炭素製品である。製品の外観は、黒色の細かいペレットまたは粉末である。タイヤ、ゴムおよびプラスチック製品、印刷インキ、および塗料の性能は、カーボンブラックの比表面積、粒子径、アグリゲートの構造、導電性および色の特性に関連する。表 1 に、カーボンブラックに関する一般的な情報を示す。2012 年の世界生産は、約 240 億ポンド [1100 万トン] である。カーボンブラックの約 90% がゴム用途に使用され、残りはプラスチック、顔料、塗料などの数多くの用途に必要な材料として使用されている。

現代のカーボンブラック製品は、3500 年以上前に中国人によって最初に製造された初期の「ランプブラック」の直接子孫にあたる。これらの初期のランプブラックは、あまり純粋ではなく、現在のカーボンブラックと化学組成が大きく異なっていた。20 世紀半ば以降、ほとんどのカーボンブラックはオイルファーネス法で製造されているが、これは一般的にファーネスブラックと呼ばれている。

生産方法は？

カーボンブラックの代表的な 2 つの製造プロセス（ファーネスブラックとサーマルブラック）のうち、ファーネスブラック法が最も一般的で、世界のカーボンブラックのほぼすべてを生産している。

ファーネスブラック法は、芳香族重質油を原料として使用する。温度および圧力等の反応条件が慎重に制御された製造炉内に、噴霧ノズルを使用して原料油が噴霧される。この原料は高温ガス流中に導入されて気化し、次いで熱分解して非常に細かい炭素粒子を形成する。ほとんどの反応炉では、反応は蒸気または水を噴霧して停止される。カーボンブラックは、反応炉から熱交換器を通過して流れ、冷却され、連続的にバグフィルターに集められる。カーボンブラックをさらに処理して不純物を除去することができる。バグフィルター通過後、カーボンブラックはペレット化され、乾燥、ふるいにかけて後、輸送される。反応炉からの残留ガスまたはテールガスは、一酸化炭素および水素などの様々な可燃性ガスを含む。ほとんどのファーネスブラックプラントは、この残留ガスの一部を熱、蒸気、または電力を生成するために使用する。（図 1a の典型的なファーネスブラック製造プロセスを参照）。

サーマルブラックプロセスは、原材料としてメタンを主成分とする天然ガスを使用する。

このプロセスでは、予熱とカーボンブラック製造との間で約 5 分ごとに交互の炉を使用する。天然ガスは高温耐火物炉内に注入され、空気がない場合には、耐火材料からの熱が天然ガスをカーボンブラックと水素に分解する。ガス中のカーボンブラックは水スプレーで急冷し、バッグハウスで濾過する。出口カーボンブラックをさらに処理して、不純物を除去し、ペレット化し、スクリーニングし、出荷用に包装することができる。水素オフガスを空気中で燃焼させて第 2 の炉を予熱する。残留熱を用いて電力を発生させることができる。（図 1b 参照）典型的なサーマルブラック製造プロセス。

表 1 一般的な情報と物理化学的性質

| | |
|------------------|---|
| 化学名 | カーボンブラック |
| 同義語: | アセチレンブラック、チャンネルブラック、ファーネスブラック、ガスブラック、ランプブラック、サーマルブラック |
| CAS 名称: | カーボンブラック |
| CAS 登録番号: | 1333-86-4 |
| 化学(分子) 式: | C |
| 分子量 | 12 (炭素として) |
| 物理的状態: | 固体；粉末又はペレット |
| 溶解性: | 水に不溶性、溶媒に不溶性 |
| 色調: | 黒 |

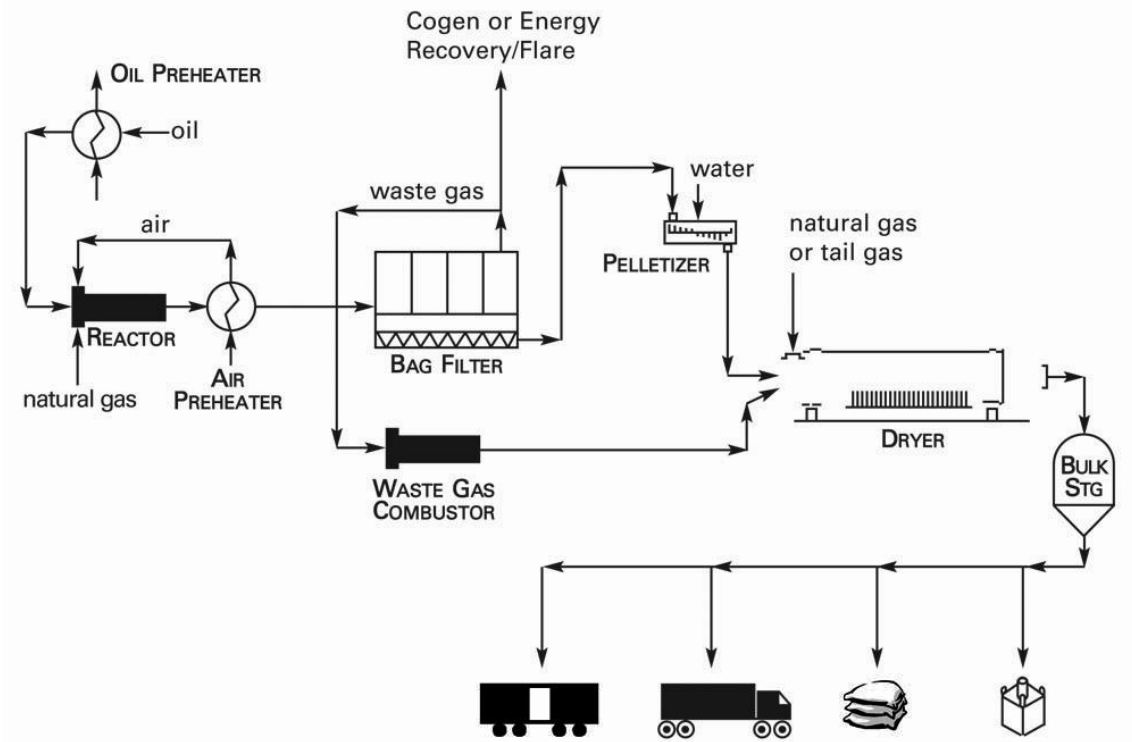


図 1a

典型的なファーネスブラック製造プロセス

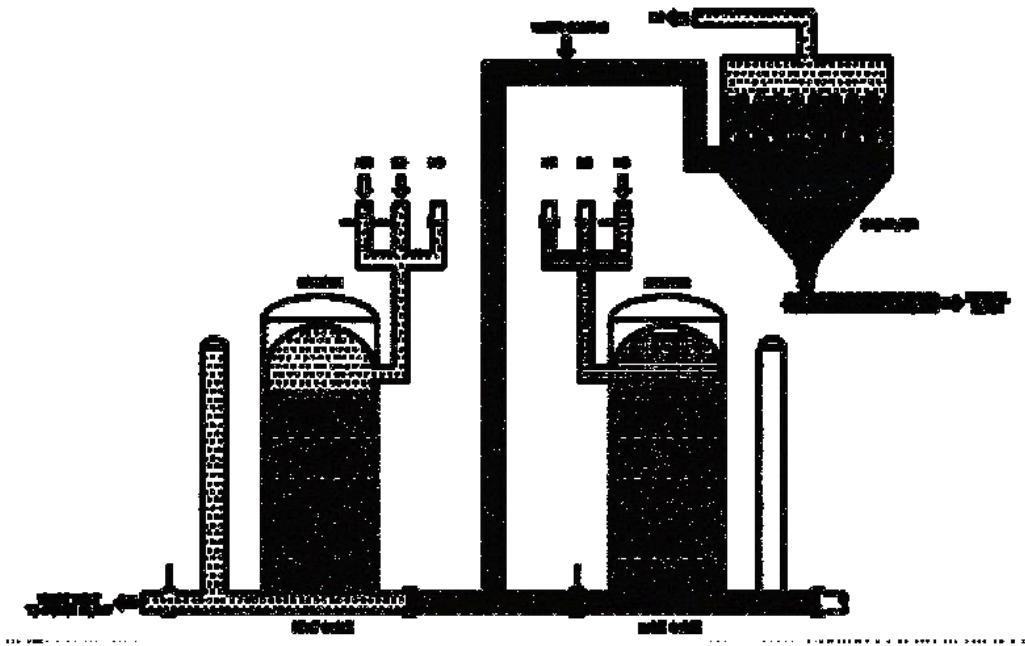


図 1b

典型的なサーマルブラック製造プロセス

カーボンブラック、煤とブラックカーボン

カーボンブラックは煤やブラックカーボンではない。「煤」と「ブラックカーボン」は、火災や炭素含有燃料の不完全燃焼（廃油、燃料油、ガソリン燃料、ディーゼル燃料、石炭、コールタールピッチ、石油、シェール、木材、紙、ゴム、プラスチック、および樹脂）で発生するものをさす一般的名称である。このような排出物は、ある種の炭素化合物を含む一方で、有機物および他の化合物も有意な量も含有される。「煤 (Soot)」は、様々な異なる燃焼プロセスによって生成される炭素含有量の高い粒子を指し、ディーゼル排気は都市ばいじんの主要因である。「ブラックカーボン」は、最近の研究で大気および屋内から測定された粒子状物質であり、多数の最近の研究で測定された、都市の空気中または環境の炭素質粒子を表す用語である。カーボンブラックは、ほぼ純粋な炭素化合物 (> 97%) で構成されているが、すすは 60%未満の元素状炭素と無機不純物（灰分と金属）と有機炭素種の大部分からなる不均一な物質である。カーボンブラックは、一般に、多環芳香族炭化水素 (PAH) を含む抽出可能な有機化合物が 1%未満である。逆に、すす粒子は 50%以上の有機種からなり、原料物質に応じて高濃度の金属と PAH を含むことがある。例えば、典型的なディーゼル排気すす粒子は、炭素化合物を中心に窒素含有有機物質および PAH によって被覆された構造である。

市販のカーボンブラックの場合、PAH などの有機汚染物質は、溶解度の高い有機溶媒および高温を使用して、実験室で行う非常に厳しい分析手順でのみ抽出することができる。従って、水や人間の体液では、カーボンブラックの表面から PAH を除去することはできない。このことから、PAH は、カーボンブラック上に吸着された場合、生物学的に利用可能であるとは考えられない。

活性炭およびカーボンブラックは、カーボンブラックとしばしば混同される市販の炭素質生成物である。それぞれはカーボンブラックとは異なるプロセスによって製造され、それぞれ独自の物理的および化学的特性を有する。

粒子構造 - モルフォロジー

カーボンブラックに関する標準的用語 (ASTM D3053-13a) は、カーボンブラックおよびその形態に関する以下の定義および考察を提供する：

カーボンブラック、n-炭化水素の部分燃焼または熱分解により得られた元素状炭素から主として構成され、ブドウの房状のアグリゲート [1] になる。このアグリゲートは一次粒子となる均一で、ほぼ球状の粒子がからなる。一次粒子の内部は、一時粒径の均一性を示すほぼ円形の一次粒子からなるブドウの房状の集合体として存在する光学材料 [乱層構造となっている。

カーボンブラック粒子（すなわち、一次粒子）は、形態学的に階層構造を持っている。

[1]製造されたカーボンブラックのうち一般的な特性に於ける例外は、一次粒子が孤立して存在し、凝集体内の一次粒子サイズが必ずしも均一でないサーマルブラックである。

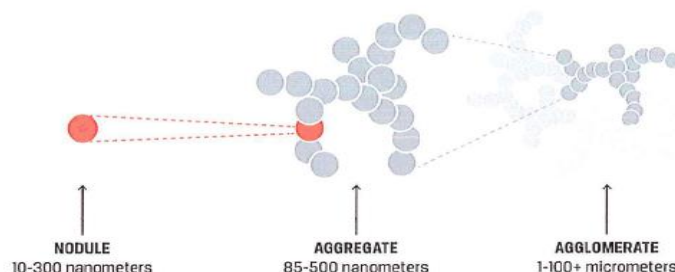


図2 カーボンブラックストラクチャー生成

ほぼ球形の部分（将来の一次粒子）は、カーボンブラックの基本的な構成部分であり、アグリゲートに強く融合して、ブドウの房状の形態を形成する。強い電気的な力は、アグリゲートの生成及びアグロメレート形成に参与する

アグリゲート、およびアグロメレートを含む。カーボンブラックの構成部分は一次粒子であり孤立して存在することはほとんどないが、共有結合によってアグリゲートに強く融合している。一次粒子は、一旦アグリゲートが形成されると、一次粒子としてはもはや存在しなくなる。アグリゲートの一次粒子の間に物理的境界もなく、もはや離散できないという点に於いて、一次粒子は、本質的には概念であると考えられる。いったんアグリゲートが製造されると、個々のアグリゲートはファンデルワールス力によって一緒に結合してアグロメレートを形成する。アグロメレートは、適切な力が加えられない限り（例えば、せん断力）、より小さな成分に分解されない。一次粒子およびアグリゲートのサイズは分布を持ち、カーボンブラックの等級によって異なる。透過型電子顕微鏡写真によると、一次粒子およびアグリゲートサイズは、カーボンブラック等級内で大きく変化するが、アグリゲート内の一次粒子サイズは本質的に均一であることが分かる。 [1]

ASTM D3053-13a 定義に従って、2015年の国際標準化機構（ISO）技術仕様書 80004-1の用語を適用すると、カーボンブラックはナノ構造材料（すなわち、ナノスケールの内部または表面構造を有する材料）と考えられる。

図2は、凝集体の発達段階を構示している。概念的な一次粒子のサイズはナノスケールの範囲にある。しかしながら、典型的には、一次粒子はカーボンブラック粉末中に単離されて存在することはない。一次粒子と一緒に融合/共有結合されるので、一次粒度分布はカーボンブラックに関係しない。上記のように、ほぼ円形の一次粒子は強く結合または融合してアグリゲートになる。アグリゲートがカーボンブラックの実質的形態である（図3）。アグリゲートは、頑強な構造であり、せん断力に耐えることができる。それらは最小分散性単位である。アグロメレートは、せん断力が加えられたときに崩壊するので、正確に測定することは困難である。

一般的にカーボンブラックは、取り扱いを容易にするのと粉じんの生成を減少させるために、ペレット（すなわち、圧縮された凝集塊）の形態で出荷される。（図 4）。ペレットのサイズは一般に 1 ミリメートル未満である。

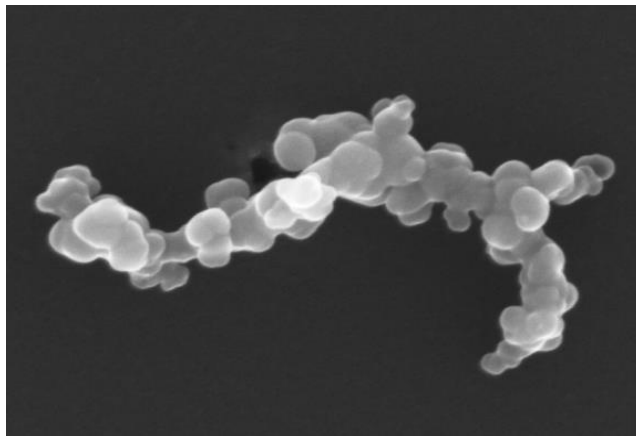


図 3

融合した一次粒子（280,000x）からなる典型的なカーボンブラック凝集体の走査型電子顕微鏡像



図 4

市販されている典型的なカーボンブラックペレット（圧縮凝集物）

安全性

可燃性の[2] /爆発性の塵埃危険性

種々の国際的試験方法（例えば、ASTM 1226、EN 14034、VDI 2263）によれば、カーボンブラックは実験室試験条件下での爆発性粉塵（Hazard Class ST-1、弱爆発）である。すべての爆発性粉塵は可燃性である。しかし、すべての可燃性粉塵が爆発性であるとは限らない。カーボンブラックは可燃性と爆発性の両方を持つ。

空気中に浮遊しているカーボンブラックダストの最小爆発性濃度（MEC）は $> 50\text{g} / \text{m}^3$ です。この濃度は現在の職業暴露限界よりもはるかに大きい。

カーボンブラックと他の爆発性粉塵との主な違いは、粉塵爆発を開始させるのに必要なカーボンブラックの高い点火エネルギーにある。国際的な試験方法（例えば、ASTM 2019、EN 13821、VDI 2263）によれば、十分な量（ $> 50\text{g} / \text{m}^3$ ）で空気中に懸濁したほとんどのカーボンブラックの粉塵は、 $> 1\text{kJ}$ より大きい最小点火エネルギー（MIE）を有する。

MEC および MIE は、粒径および含水量に依存する。これらのパラメータは、カーボンブラックが他の物質と混合されている場合、特にカーボンブラック混合物は、可燃性または可燃性が変化し得る。したがって、特定の混合物の試験で爆発性パラメータを決定する事を推奨する。

くすぶっている状態では、カーボンブラックは一酸化炭素（CO）を放出し、カーボンブラックと組み合わせると空気との爆発性混合物を形成することがある。ハイブリッド混合物（CO /カーボンブラック）の組成に依存して、爆発性パラメータ（例えば、引火限界、MEC、および MIE）が変化し得る。

カーボンブラックダストは、二次的な粉塵爆発に寄与する可能性がある（小さな一次爆発の爆風は、カーボンブラック混合気を生成し、その後、主爆発によって点火される）。

カーボンブラックの排出を最小限に抑え、水平面や一部の垂直面で粉じんがないようにするには、設計を適切にし、適切な清掃方法、効果的なダスト除去システムが必要である。一時的なカーボンブラックの排出を最小限に抑え、清掃活動を定期的実施する（NFPA 654、表 A.6.7 参照）。

[2]可燃性粉塵とは、空気中に分散して点火すると粉塵や粉塵の爆発の危険性がある微粒の固体粒子のことである。（NFPA、654、2013）

火災による危険性

ふわふわの粉末またはペレット形態のカーボンブラックは、ゆっくりと（燃えて）燃焼し、

火災または煙として見えない燃焼を持続するので可燃性である。火災が発生した場合、水面に浮いているカーボンブラック粉末が燻っているため、直接水噴霧または流水することによって火災を広げる可能性がある点に注意しなければならない。水を消火剤として使用する場合、霧スプレーが推奨される。また、泡消火剤も使用可能である。窒素または二酸化炭素ガスは、サイロまたは密閉領域内においては、燻っているカーボンブラックの消火剤として使用することができる。火災（または火災の疑いがある）カーボンブラックは、燻りが止まったことを確認するためには少なくとも48時間観察する必要がある。燻りの間、発生する燃焼ガスは、一酸化炭素、二酸化炭素、および硫黄の酸化物を含む。

清掃と安全作業管理

流出の浄化と清掃管理は、カーボンブラック曝露をコントロールするにあたり非常に重要である。カーボンブラックは、いろいろな空気の流れや動きで空気中に簡単に広がる。その上、カーボンブラックは露出面を汚す可能性がある。プロセス中のホコリの発生や漏洩排出物の誘発を避けるための清掃手順を準備する必要がある。適切な手順を用いた乾式掃除は、表面のほこりを除去し、流出物を取り除くために最適な方法です。乾式の拭き掃除または圧縮空気の使用は、避けるべきである。大量のカーボンブラックは、常にカバーされるべきであるか、収容されるべきである。不必要な暴露を引き起こす可能性のある状態が生じないように注意する必要がある。カーボンブラックが電気ボックスや他の電気機器に侵入し、機器の故障の原因となる電氣的危険が生じる発生する可能性がある。カーボンブラックに暴露される可能性のある電気装置は、必要に応じて密閉するか、清浄な空気でパージし定期的に点検・清掃する必要がある。いくつかのグレードのカーボンブラックは、導電性が低く、取り扱い中に静電気エネルギーが蓄積する可能性がある。特定の条件下では、機器と搬送システムの接地が必要な場合がある。カーボンブラックの特定グレードの特性に関する質問がある場合は、カーボンブラックサプライヤーに連絡してください。安全な作業方法は、カーボンブラック付近での潜在的な着火源の除去、全ての表面にホコリの堆積を避けるための適切な清掃、適切な職場の曝露限度を下回る空気中の塵埃レベルをコントロールするための適切な排気換気の設計とメンテナンス、不適合な材料（例えば、塩素酸塩や硝酸塩）が含まれるカーボンブラックの使用の回避、そして、適切な従業員のための危険予知訓練を含む。

保管と取扱い

カーボンブラックは、高温、火炎源、および強力な酸化剤例えば、塩素酸塩、臭素酸塩、

液体または圧縮酸素と硝酸塩)に晒されないように清潔で乾燥した、汚染されていない場所に保管してください。カーボンブラックは水分や薬品蒸気を吸着するので、閉じた容器で保管しなければならない。追加情報については、製造元またはサプライヤーの安全データシートを確認してください。

密閉空間への立入

ビン、サイロ、鉄道タンク車、タンクローリー、またはカーボンブラックを輸送または保管するために使用されるその他の限定されたスペースへの立ち入りは、適切な閉ざされた空間入場手続き後にのみ行う必要がある。カーボンブラックのグレードによっては、粒子表面に一酸化炭素が微量に吸着しているものもある。燻ったカーボンブラックは、密閉された空間や限定された空調のある区域で有害な一酸化炭素を生成することがある。

緊急応急処置

カーボンブラックの急性曝露は、生命を脅かす怪我や病気につながる可能性があることを示す証拠はない。摂取は、偶発的な曝露の可能性は低い。カーボンブラックは呼吸器感作または皮膚感作を起こさない。多くの粉塵のように、カーボンブラックの吸入は、既に存在している肺の状態での個体間で気管支反応を受ける可能性がある。

吸入：高濃度に短期間曝露すると、上気道に一時的な不快感が生じ、咳や喘鳴の原因となることがある。カーボンブラックの除去を直ぐに行えば、効果が持続せず症状は早く治まる。

皮膚：カーボンブラックは、繰り返しによる長期間の接触で、皮膚の乾燥を引き起こす可能性がある。カーボンブラックで汚染された皮膚を頻繁に洗浄することにより、皮膚乾燥が生じることもある。カーボンブラックは、石鹼と水を使用して皮膚から洗い流すことができる。

カーボンブラックを除去するには、洗浄を繰り返す。曝露された皮膚表面上の保護クリームは、皮膚曝露を最小にする有効な方法であり得る。

経口摂取：カーボンブラックの摂取による悪影響はない。嘔吐を誘発してはいけない。

目：カーボンブラックは、化学刺激物でない。症状によっては機械的刺激で処置する。水で徹底的に洗い流して粉塵を除去する。刺激が持続する場合や症状が現れる場合は、医師の診察を受けてください。

健康

人体における研究

カーボンブラックは、過去数十年間にわたり広範な科学的健康研究の対象となっており、1984年、1987年、1995年、および2006年に国際がん研究機関（IARC）によって発表された4つの包括的なレビューが良く知られている。IARCによってグループ2Bの発癌物質（おそらくヒトに発癌性である）として分類されているが、これは「実験動物での十分な証拠」の発見に基づいているが、「カーボンブラックの発ガン性については、ヒトには十分な証拠はない」。科学的な証拠は、実験室でのラットが直径 $1.0\mu\text{m}$ 未満の吸入低溶解性粒子の持続的な高用量に対する肺の応答において独特の感受性の種であることを示している。ラットで観察された肺および腫瘍の形成をもたらす炎症性および線維性応答を含む肺の効果は、マウスおよびハムスターなどの他のげっ歯類種では観察されていない。カーボンブラック製造業者の死亡率調査では、カーボンブラック曝露と肺癌率の上昇との関連は示されていない。しかし、カーボンブラックやその他の難溶性粒子に定期的に暴露すると、1秒間の強制呼気量（FEV1）で測定した肺容量が長期間にわたって低下することが研究によって示されている。作業員の暴露を職業暴露限度以下に維持するには、良好な職業衛生習慣を守らなければならない（職業衛生のセクションと付録Bを参照）。

死亡率研究

英国のカーボンブラック生産労働者の研究（Sorahanら、2001年）は、調査された5つの工場のうち2つで肺がんのリスクが増加することを発見した。しかし、この増加はカーボンブラックの用量に関係していなかった。したがって、著者らは肺がんにおけるリスクの増加をカーボンブラック曝露によるものとは考えなかった。ある工場でのカーボンブラック労働者のドイツの調査（Morfeldら、2006年；Buechteら、2006年）によると、肺がんのリスクは同様に増加したが、英国の研究（Sorahanら、2001年）と同様に、カーボンブラックの曝露との関連性は見られなかった。米国の大規模な18工場での研究（Dellら、2006年）では、カーボンブラック生産労働者の肺がんリスクは低下していた。これらの研究に基づいて、国際がん研究機関（IARC）の2006年2月ワーキンググループは、ヒトの発がん性の証拠が不十分であると結論付けた（IARC、2010年）。

罹患率研究

カーボンブラック製造業者の疫学研究の結果は、カーボンブラックに対する累積的な暴露が肺機能の小さな非臨床的減少をもたらすことを示唆している。米国の呼吸器系罹患率試験では、1年間に1 mg/m³の8時間TWAの1日（吸入可能な分画）暴露から40年間にわたってFEV1が27ml減少したことが示唆された（Harber, 2003年）。過去の欧州の調査では、40年間の作業寿命にわたってカーボンブラックの1mg/m³（吸入可能画分）への曝露は、FEV1の48mlの減少をもたらすと示唆していた（Gardiner, 2001年）。しかし、両者の研究からのFEV1の推定減少は、境界的な統計的有意性のみであった。同様の期間に渡る正常な年齢関連の低下は、約1200mlであろう。

米国の研究では、（非暴露群の5%と対照的に）最も高い非喫煙者暴露群の9%が慢性気管支炎と一致する症状を報告した。欧州の研究では、アンケート運用における方法論的限界により、報告された症状について導くことができる結論が制限されている。しかし、この研究では、肺機能にほとんど影響を与えずに、カーボンブラックと胸膜の小さな不透明物質との関連が示された。

これらの人体研究の詳細については、付録Aを参照。

発ガン性に関連した動物試験

長時間の吸入試験（最大2年間）は、過度の濃度のカーボンブラックに実験的に暴露されたラットの慢性炎症、肺線維症、および肺腫瘍を引き起こしている。類似の試験条件下で、他の動物種においては腫瘍は観察されなかった。これらと同じ効果は、ラットが他のいくつかの難溶性ダスト粒子に曝された場合に観察される。ラットの吸入試験を実施している多くの研究者は、過度の濃度に暴露した後、ラットの肺に小さな粉塵粒子が大量に蓄積したことから、観察された影響が生じると考えている。これらの蓄積は、ラットの自然な肺クリアランス機構を圧倒し、「肺過負荷」として記載されている現象を引き起こす。その効果は、肺におけるダスト粒子の特異的な毒性効果の結果ではない。多くの吸入毒物学者は、上記のラットの研究で観察された腫瘍反応は特異的であり、ヒトへの暴露とは相関しないと考えている（ECETOC, 2013年）。

発ガン性分類

国際がん研究機関（IARC）の評価（モノグラフ65および93; 1996および2010年の各出版物）は、「動物実験ではカーボンブラックの発ガン性に関する十分な証拠がある」と結論付けた。この分類は、2つ以上の研究で1つの種が発ガン性を示す場合、そのような分類を要求するIARCのガイドラインに基づいている。しかし、IARCは、カーボンブラックの発ガン性の証拠が人間には不十分であることは分かっている。IARCの総合評価は、カーボンブラックがヒトに対して発ガン性がある可能性がある（グループ2B）とした。

発ガン物質としてのカーボンブラックの分類に関する他の権威ある機関、研究機関、または規制機関の位置づけは以下の通りである。

- ・米国政府産業衛生専門家会議（ACGIH, 2010年）は、カーボンブラックをA3、人間との関連性が不明な動物発ガン物質として分類している

- ・米国の国家毒性プログラム（NTP）は、カーボンブラックを発ガン物質として記載していない

- ・米国労働安全衛生局（OSHA）は、カーボンブラックを発ガン物質として挙げていない

- ・カーボンブラックに関する米国労働安全衛生研究所（NIOSH）の基準文書（1978）は、0.1%（1,000ppm）を超える多環式芳香族炭化水素を含有するもののみ、発ガン物質としている。

- ・カリフォルニア環境保護局の環境衛生危機評価局（OEHHA）は、2002年2月21日に65の物質リストに「カーボンブラック（吸引サイズの浮遊粉塵）（CAS No. 1333-86-4）」を加えた。このCalifornia Code of Regulationsの"authoritative body"メカニズムによって取り込まれたリストは、単にIARCが1996年にカーボンブラックをグループ2Bに分類分けしたことを基にしている。

- ・ドイツのMAK委員会は、カーボンブラックを疑わしい発ガン物質（カテゴリー3B）として分類している。

- ・厚生労働省は、カーボンブラックをカテゴリー2の発ガン性物質に分類することを推奨している。反復暴露後の特定標的臓器毒性は、カテゴリー1に分類することを推奨している。

- ・台湾労働委員会は、カーボンブラックをカテゴリー2の発ガン性物質に分類することを推奨している。

- ・韓国労働安全衛生庁は、カーボンブラックをカテゴリー2の発ガン性物質に分類することを勧告している。反復暴露後の特定標的臓器毒性は、カテゴリー1に分類することを推奨している。

- ・米国のOSHAの2012年ハザード通信規格で採択された国連グローバル調和システム（GHS）の枠組みの下、国際カーボンブラック協会は、カーボンブラックがヒト発癌物質の分類基準を満たしていないと判断した。詳細に実施された調査の疫学的証拠は、カーボ

ンブラック曝露と非悪性呼吸器または悪性疾患のリスクとの間に因果関係を示さなかった。

製造されたカーボンブラックの PAH（多核芳香族化合物 PNAs と呼ばれる）について懸念が表明されている。非吸着形態では、動物研究において、いくつかの PAH が発ガン物質であることが判明している。しかし、試験管レベルの研究では、カーボンブラックに含まれる PAH はカーボンブラックに強く付着し、PAH は生物学的に利用できないことが示されている（Borm, 2005 年）。科学的研究においては、いったんゴムマトリックスに組み込まれると、カーボンブラックに由来する PAH がゴムマトリックスから移動しないことを実証している（Hamm, 2009 年）。

現代の製造および品質管理手順は、一般に、抽出可能な PAH レベルをカーボンブラック上で 0.1%未満 (<1000ppm) に維持することができ、PAH は抽出可能物質のより小さい部分を表す発ガン物質として規制される。抽出可能な PAH は、カーボンブラック製造プロセス、抽出可能な PAH を抽出、同定、および測定する分析手順の能力を含むが、これらに限定されない多くの要因に依存する。PAH 含有量に関する特定の質問は、カーボンブラックサプライヤーにお問い合わせください。

変異原性

カーボンブラックは不溶性のため、細菌（Ames 試験）および他の試験管内での直接的な試験には適していない。カーボンブラックの有機溶媒抽出物を試験した結果、突然変異誘発効果を示さなかった。カーボンブラックの有機溶媒抽出物は微量の PAH を含むことがある。

生体内での実験的研究では、hprt 遺伝子の突然変異の変化が、カーボンブラックへの吸入暴露後のラットの肺胞上皮細胞で報告された（Driscoll, 1997 年）。この観察は、ラットに特異的であり、慢性的な炎症および活性酸素種の放出をもたらす「肺過負荷」の結果と考えられている。これは二次遺伝毒性効果であると考えられるため、カーボンブラック自体は突然変異誘発性であるとは考えられない。

生殖影響

動物における長期反復投与毒性試験では、生殖器官または胎児発育に及ぼす影響は報告されていない。

慢性的毒性

2年までの摂食試験後、ラットまたはマウスに有意な異常は見られなかった。

眼刺激性

悪影響は報告されていない。目の中のカーボンブラックは、目の中の他のほこり粒子と反応することはない。

皮膚刺激性

マウス、ウサギ、およびラットの皮膚にカーボンブラック懸濁液を適用した結果、皮膚腫瘍は報告されなかった。

ほこりは皮膚に繰り返し接触したり長時間接触すると、皮膚の潤いをなくすことがある。

感作性

モルモットの皮膚に対する試験は感作をもたらさない。ヒトにおいて感作性の症例は報告されていない。

動物への刺激試験

原発性眼刺激（ウサギ）：わずかに結膜が赤くなったが、7日以内に消失した。

一次皮膚刺激（ウサギ）：非常に紅斑赤みを発する。

職業上の衛生

概要

職場衛生（産業衛生）の原則は、職場環境における曝露の管理である。これらの原則には、潜在的な労働者の曝露状況を予測・特定し、労働者の曝露を測定し、可能な限り低いレベルに曝露を低減するための適切な管理を実施する努力が盛り込まれている。このセクショ

ンではカーボンブラックに焦点を当てているが、産業衛生の原則は作業環境に存在する全ての潜在的な暴露因子と状態に適用される。

経験的に、空気中のカーボンブラックへの職業暴露の可能性が最も高い日常的な活動は、手による取り扱い、包装、バルク積載、およびいくつかのメンテナンス活動に関連するものであるとされている。メンテナンス作業やトラブルに関連する非日常的な活動も、カーボンブラックへの暴露の可能性がある。

雇用主は、職場環境の活動（日常的、非日常的）および現場固有の状況に関する知識に基づいて、職種別の災害評価を実施しなければならない。

空気中暴露評価

最も重要なばく露経路は、空気中のカーボンブラックを吸入することである。従って、評価中の主な焦点は、空中曝露に基づくべきである。個人モニタリング技術は、作業者の呼吸ゾーン（口/鼻領域）の空気サンプルを収集するために使用される。作業者の呼吸領域をメインではない場所で行われた測定は、空気中の暴露を過小評価するか、過大評価する可能性がある。

空気サンプリング方法は国によって異なる場合があり、対応する職業暴露限度（OEL）の粒子分率/サイズ範囲に依存する場合がある。空気試料採取装置の種類および空気採取流量は、空気試料が吸入可能な、または吸入可能なカーボンブラック試料である必要があるかどうかによって異なる。空気サンプルの採取は、職業/産業衛生士などの訓練を受けた人が行うべきである。この件に関する出版物は、アメリカ産業衛生協会（AIHA）から入手可能である。

空気中暴露評価の結果は、吸入暴露および暴露管理が必要な作業を特定および定量する。これらの結果は、規制の有効性を評価し、規制上および非規制上の職業暴露限度の遵守を決定するための基礎データを確立し、過去の暴露の特徴づけに有用な情報を提供する。追加情報および指針は、国または地域の専門職業衛生協会から得ることができる。

職業暴露限界

空気中のカーボンブラックの作業上の暴露限度（OEL）は国によって異なり、変更されることがある（付録 B 参照）。これらの限界は、特定の浮遊粒子分率（すなわち、総量、吸入可能または吸入性）として表される。各粒子分率/サイズ範囲は、浮遊暴露評価を行う際に異なる方法論を使用することを要求する。

職業暴露限度は、通常、特定の期間中の平均濃度として表される。 Full-shift OEL は通常

8時間の時間加重平均（TWA）であり，一部の国では短期暴露限界（STEL）も指定されており，これは15分間の平均値である。

追加情報および指針は，国または地域の専門職業衛生協会から得ることができる。

粒径サイズ評価

研究では，カーボンブラック製造業者がナノスケール（1～100 ナノメートルのサイズ範囲）のカーボンブラック粒子に曝されていないと結論づけている。2000年にヨーロッパおよび米国のカーボンブラック工場で実施されたICBAが実施した調査によれば，400 ナノメートル以下の空気動力学径のカーボンブラック粒子への暴露はなかった（Kuhlbusch, 2004年）。ICBAは，計測技術の進歩に伴い，この分野での作業を引き続きサポートしている。

エンジニアリングコントロール

空気中のカーボンブラックのサンプリングの結果が労働者の曝露が許容限度を超えていることを示している場合，曝露を減らすために適切な管理を特定し実施しなければならない。カーボンブラックダストへの職業曝露を最も低いレベルまで排除または低減するように設計された工学的管理は，呼吸保護具または他の種類の個人用保護具の使用よりも好ましい。工学的制御は，危険を除去するか，作業者が危険に晒されるのを防ぐことによって，危険との接触を防止または最小化する。工学制御を実装する最も費用対効果の高い時期は，新規運転の計画段階および設計段階，または既存の運転の変更時期である。

カーボンブラックの取り扱いに成功した技術的制御には以下のものが含まれる：（1）試料の取り扱いに関与する研究員への曝露を制御するための局所排気換気装置（例えば，実験室フード）（2）袋詰め，袋開放，およびバルク積み込みのような埃の多い作業のための捕捉フード；（3）密閉された混合，処理および搬送システム内の粉末および粉塵の封じ込み。封じ込みシステム（例えば密閉型コンベア）は，粉塵の排出および漏れを最小限に抑えるために僅かな負圧下で操作する場合に特に有効である。

乾式掃除の代わりに専用の真空掃除システムを使用することは，日常的にカーボンブラックを使用する場所においてこぼれたカーボンブラック掃除するよりも効果的な方法である。真空システム用のモーターおよびエアクリナーは，屋外に置いて，専用場所から排気しなければならない。カーボンブラックを移送，取り扱い，使用する場所には，使用しないときにシールする多数の真空接続口を設ける必要がある。十分に長い真空ホースは，考慮して全体に配置する必要がある。カーボンブラックダストの拡散と空気中での再懸濁を防ぐため，漏れた空気を直ちに吸引しなければならない。

上記の局所排気換気システムおよび真空システムは、効果を最大化し、性能上の問題を回避するように適切に設計されるべきである。優れた工業用換気設計の原則は ACGIH 刊行物の最新版、工業用換気、推奨プラクティスマニュアルに記載されている。

呼吸器保護

カーボンブラックへの曝露を最小限に抑えるために呼吸器保護が必要な場合、プログラムは、国、州、または州の適切な理事会の要件に従うべきである。操作に適用される規格または規制の現行バージョンを参照ください。

適切な呼吸保護具の選択は、保護が必要なカーボンブラックの暴露濃度、および職場で放出される可能性のある他の汚染物質の可能性に基づいている。遭遇する可能性がある汚染物質の代表的な暴露評価の測定は、適切な呼吸器の選択を確実にするために行わなければならない。

医学的監視

カーボンブラックダストにばく露される職務を持つ従業員は、ばく露の健康への影響について疑問を抱くことがある。これらの疑問は、一般的に、より専門的な健康診断が適切かどうかを理解することに向けられる。多くの労働者の研究の結果に基づいて、カーボンブラックばく露と肺がん罹患率を含むがん罹患率の増加との相関関係は存在しないことが強調されなければならない。

従業員の医学的監視を検討する際には、医師は職務がかなり変わることを理解する必要がある。医師が取り組まなければならない主要な医学的問題は、特定の職業について評価された個人が気腫または喘息などの肺障害の病歴および／または皮膚疾患を有するかどうかである。これらの状態は、カーボンブラックを含むあらゆる種類の高いダストレベルにばく露することによって悪化する可能性がある。

医師は様々な職位の作業、労働条件、潜在的なばく露濃度に精通することが望ましい。職業医師による定期的な検診を実施することが推奨される。

医学的監視プログラムにおける労働者の参加の決定は、カーボンブラックのばく露濃度や人工呼吸器の使用などの労働条件に基づいて行われるべきである。医師は最低限、病歴、他の職場環境における以前の実務経験、および個人的な生活習慣(例えば、喫煙習慣、趣味など)を含む医学的監視プログラムの一部として、各従業員の完全な職歴を把握することが望ましい。

環境

温室効果ガスの排出

カーボンブラック製造工程は、炭素含有量の多い原料油を酸素で部分燃焼して生成するものである。反応工程は、カーボンの二酸化炭素への酸化を最小にし、カーボンブラックの回収率を最大にするために、水でクエンチされる。温室効果ガスの排出量は、工程歩留改善活動、および工程中の燃焼副産物ガスの使用および蒸気および／または電気の生成によって減少する。生産工程は施設設計と製造されたカーボンブラック製品に基づいて異なるため、温室効果ガス排出量と二酸化炭素排出量に関する情報は、サプライヤーから入手する必要がある。

水の使用

水は、製造反応をクエンチするためにカーボンブラックの製造やカーボンブラックをペレット化するいくつかの製造工程によって使用される。プロセス水のリサイクルと雨水の回収は、業界内で広く行われています。生産工程の水使用量は、プラントや生産される製品によって大きく異なる場合があります。詳細については、サプライヤーにお問合せ下さい。

廃棄

化学的に処理された水分散性製品を除いて、カーボンブラックは、該当するすべての規制を満たしていれば、ほとんどの場合、埋め立て処分されます。カーボンブラックは無毒であり、埋立地から地下水への成分の浸出も放出もしません。カーボンブラックは、キルンの代替燃料として使用することも、都市廃棄物燃焼炉で非危険廃棄物として焼却することもできます。それは粉碎された石炭とほぼ同じ発熱量をもち、低エミッションでもほとんど完全に燃焼し、灰はほとんど残っていません。完全燃焼を確実にするには、適切な滞留時間と過剰空気率を適切にする必要があります。これらの埋め立て処分の代替案は、適用される規制に準拠していれば、環境に適した処分方法である。

カーボンブラックは高い表面積および強い吸着能力を有する。カーボンブラックと接触する有機材料は吸着することができ、その後は容易に遊離しない。結果として、処分決定は、カーボンブラック上に吸着され得る任意の化学物質を考慮する必要がある。カーボンブラックは生分解性ではありません。積み込み、輸送、その後の埋め立て処分場またはその他の処分活動中の廃棄物の預託中に、塵の排出を抑制するための処分処置を常に講じなければ

ばならない。

空気

カーボンブラックは、通常、物質特有の大気汚染防止基準または大気質基準では規制されていませんが、大気中へのカーボンブラックの放出は、通常、施設の粒子状物質(PM)の成分または他の規則の下での粉塵の放出として規制される。大気規制は地域によって異なり、一般的に地域の大気質に応じて異なる。PM 排出を最小限に抑えるために織布ろ過器やその他の PM 捕獲・回収技術を使用することは、業界では一般的であり、適用される規制の遵守を確保するために必要となる可能性があります。一部の地域では、粒子状物質の規制は排出される粒子のサイズに基づいており、2.5 ミクロン未満の粒子に対処する規制がある。10 ミクロン未満、および／または全粒子質量の規制もある。

廃水

カーボンブラックを含む廃水の排出は、適用可能な要件をみたさなければならない。カーボンブラックは水に溶解せず、1.7~1.9(水=1)の比重を有する。重力沈降は効果的であり、廃水からカーボンブラックを除去するために用いられている最も一般的な技術である。いくつかの状況下では、粒子サイズが小さく、および／または疎水性で比表面積が大きいいため、沈降が抑制されることがある。酸化第二鉄または硫酸アルミニウムのような種々の金属塩および／または合成ポリマーは、凝集を促進する凝集剤として有効である。凝集性のタイプおよび最適投薬量は、ベンチスケールまたは実験室試験によって最良に決定することができる。ろ過は、固形物を除去するための技術としても使用することができる。

漏洩

カーボンブラックのこぼれは、拡散および分散を防ぐために直ちに清掃する必要がある。こぼれたカーボンブラックを回収するには、ドライバキュームクリーナーが推奨される。持ち運び可能なバキュームを使用する場合は、高効率の微粒子空気(HEPA)ろ過が装備されている必要があり、フィルタが確実に維持されるように注意する必要がある。

セントラルバキュームシステムは日常的な維持管理および局所的な工程もれの掃除のために考慮する必要がある。

セントラルバキュームに対応する収集器は屋外に配置され、布フィルタを含むべきである。乾燥掃除によって遠隔または小さな流出物を掃除する必要がある場合、カーボンブラックを空気中に分散させないように注意する必要がある。

カーボンブラックは濡れにくく、水はこぼれた物質を分散させることがありますので、水

の噴霧や濡れは掃除には適しません。しかも、この方法を使用する場合、湿ったカーボンブラックは歩行表面を非常に滑りやすくするので注意が必要である。

輸送

配送コンテナ

再利用可能な輸送容器は製造業者に返却する必要がある。紙袋は、国や地方自治体の規制に従って、焼却、リサイクル、または適切な埋め立て処分を行うことができる。

輸送上の規制

市販のカーボンブラックは、次の機関によって危険物として分類されていません：

- ・ 国際連合危険物輸送勧告
- ・ 欧州危険物国際道路輸送協定(ADR)
- ・ 欧州危険物国際鉄道輸送規則(RID)、鉄道による国際輸送に関する条約の一部
- ・ 危険物の内陸水路による国際輸送に関する欧州協定(ADN)
- ・ 国際海上人命安全条約－国際海上危険物規程(IMDG コード)
- ・ 国際民間航空条約－附属書 18－危険物の航空安全輸送
- ・ カナダ危険物輸送規則
- ・ 国際航空運送協会(IATA-DGR)
- ・ マルポール条約, 附属書 II
- ・ IBC コード
- ・ 米国運輸省
- ・ カナダ危険物輸送規則
- ・ オーストラリア危険物輸送規範

輸送分類に関する特定の質問は、カーボンブラックサプライヤーに問い合わせる必要があります。

自己発熱

カーボンブラックは国連方法、自己発熱性固体に従って試験され、「Division 4.2 の自己発熱物質ではない」と判明した。加えて、カーボンブラックは国連方法、易燃性固体に従って試験され、現行の国際連合危険物輸送勧告の下で「Division 4.1 の易燃性固体ではない」と判明した。

製造物責任

食品と接触する材料中のカーボンブラック

特定の工程によって製造されたカーボンブラックは、特定の状況下、および食品との接触を含む特定用途向けに承認されています。詳細は、カーボンブラックサプライヤーにお問合せ下さい。

国家登録簿およびその他の適用規則(すべてを含むものではない)

カーボンブラック、CAS 番号 1333-86-4 は、以下の目録に記載されています。

- ・ オーストラリア : Australian Inventory of Chemical Substances (AICS).
- ・ カナダ : Canadian Environmental Protection Act (CEPA),
Domestic Substance List (DSL).
- ・ 中国 : Inventory of Existing Chemical Substances in China (IECSC).
- ・ 欧州連合 : European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances (EINECS), 215-609-9.
- ・ 欧州連合 : REACH Regulation (EC) No. 1907/2006 : 会社個別の登録が必要です ; 詳細については、サプライヤーにお問合せ下さい。
- ・ 日本 : 化審法 (ENCS), 安衛法 (ISHL).
- ・ 韓国 : Toxic Chemical Control Law (TCCL), Korean Existing chemical Inventory (KECI).
- ・ フィリピン : Philippine Inventory of chemicals and Chemical Substances (PICCS).
- ・ 台湾 : Chemical Substance Nomination and Notification (CSNN).
- ・ 米国 : Toxic Substances Control Act (TSCA) Inventory

注 : 読者は国、地方、州、地域、および連邦の安全、健康、および環境規制ならびにカーボンブラックサプライヤーの安全データシート(SDS)を見直すことが求められます。具体的な質問は、カーボンブラックサプライヤーにお問合せ下さい。

このガイドは、現在の製品 SDS の代替品ではありません。適切なカーボンブラック SDS については、カーボンブラックサプライヤーにお問合せ下さい。

付録および参考文献

付録 A

カーボンブラック、ゴム、トナー産業における労働者の健康調査

カーボンブラック労働者の疫学研究とがんリスク

カーボンブラックの製造またはカーボンブラックの使用による癌、肺疾患またはその他の健康への悪影響を引き起こすカーボンブラックの可能性を評価するために、さまざまなタイプの研究が実施されています。以下は、潜在的な癌および／またはカーボンブラックばく露による有害な呼吸作用に対処した主要な疫学および毒物学研究の要約である。

疫学研究は、特定の物質にばく露された労働者または指定産業で働く労働者の潜在的な健康関連リスクに対処するために行われます。死亡率調査は、一般集団と比較して研究されたワーキンググループの特定の種類の疾患で死亡するリスクを評価する。彼らは、国際的な発がん物質分類システムと労働者のばく露限度の毒性学およびばく露評価と並んで基礎を形成している。

カーボンブラックとそれに対応する研究(疫学研究を含む)は、1984年4月、1995年3月、1995年10月に世界保健機関のIARCが国際的に行っている科学的レビューの対象となっています。カーボンブラックばく露による潜在的な最新の癌リスク評価は、2006年2月にIARCワーキンググループ(IARC 2010)によって実施された。ワーキンググループは次の点に留意した。(1)肺がんは、(潜在的悪性影響について)考慮する最も重要な健康のエンドポイントであり、(2)カーボンブラック製造現場のばく露は、潜在的な癌リスクの評価に最も関連するグループである。2006年のIARCワーキンググループは、ヒトの発がん性の証拠が不十分であると結論し、1995年のIARCワーキンググループ会議(IARC 2010)で最初に指摘された2B分類を確認した。カーボンブラックの2B分類は、動物実験の結果に基づいて、発がん性がヒトに対して「可能性がある」発がん性物質であるという科学的証拠を意味する。発がん性に関するヒトの証拠は、2006 IARCワーキンググループによって「不十分」とみなされた。

カーボンブラック作業員のコホート（特定の集団の健康状態を、長期にわたり調べ、疾病とその要因を生活習慣や環境の関連から調査する研究）死亡率調査

IARC は、その 2006 年作業部会会合にて、米国、英国、ドイツのカーボンブラック作業員コホートという 3 つの主要な疫学調査を評価した。各調査では、カーボンブラック生産工場の作業員における肺がん死亡率が調査された。各コホート評価の結果概要を以下に示す。

1. 18 カ所のプラント作業員 5,011 名に関する米国のコホート調査では、127 例に基づいて、0.85 という予想よりも低い肺がん標準死亡比 (SMR) が観察された (95 %-CI^[1]: 0.71, 1.00) (Dell ら, 2006)。喫煙データは本調査では得られなかったため、本調査を喫煙について補正することができなかった。2011 年までの生存状態の確認によって補正した 2006 年米国調査の更新結果が最近公開されている。資料 Dell ら, 2015 参照。
2. 英国 (UK) でのカーボンブラック作業員についての調査結果が、まず 1985 年に公表され、その後更新された (Hodgson ら, 1985; Sorahan ら, 2001)。5 カ所の製造工場での 1,147 名からなるコホートでは、SMR が 1.73 (61 症例、0.95 - CI: 1.32, 2.22) であることが示された (Sorahan ら, 2001)。最大 20 年まで遅延させた粗い評価での累積暴露全体にわたり、いかなる傾向も認められなかった。高い肺がんの SMR が、工場 2 カ所で観察された。その他の工場 3 カ所での SMR には、例外性はなかった。喫煙データは本コホートでは得られなかったため、本調査を喫煙について補正することができなかった。
3. ノルトライン=ヴェストファーレン州 (NRW) 内のある特定工場 1 カ所からのカーボンブラック作業員 1,528 名からなるドイツのコホートが、数多くの機会で評価された (Wellmann ら, 2006; Morfeld ら, 2006; Buechte ら, 2006; Morfeld ら, 2006)。初期評価から、全国のドイツ人発症率を基準集団として使用した場合の 50 症例に基づいて、肺がんの SMR が 2.18 (CI: 1.61 - 2.87) であることが示された。肺がんの SMR は 1.83 (CI: 1.36 - 2.41) であったが、この作業集団を NRW 市民に関する地域発症率と比較すると、NRW では一般集団における喫煙者の有病率が高いため、肺がんの自然発症率が高くなっていた。上記の英国での調査と同様に、カーボンブラックの暴露での増加傾向は認められなかった。本調査では、過剰リスクの大部分を説明できる重要な危険因子として、喫煙、および知られている発がん性物質への過去の暴露が識別された。

IARC の 2006 年評価以降における カーボンブラック作業員のコホート死亡率調査

[1]CI=信頼区間

2006年の最新のIARC評価に続いて、3つの主要なカーボンブラック用コホートについての追加評価が公表されている。英国の死亡率調査の著者は、そのコホートについての長期追跡調査を行い、肺がんリスクに対するカーボンブラックへの最近の暴露の潜在的な影響に対処しようとする試みの中で「ラギング（引き寄せ）」として知られている斬新な暴露計量指標を適用した（Sorahan & Harrington, 2007）。遅延とは対照的に、「ラギング」分析は遠い過去の暴露と対照をなす最近の暴露に焦点を当てている。著者らは、カーボンブラックが、工場5カ所のうち高いSMRが1985年と2001年の刊行物で認められていた2カ所で、後期肺がんの発がん性物質として作用する可能性があるという仮説を立てた（Hodgsonら, 1985およびSorahanら, 2001）。「ラギング」仮説が真である場合、つまり最新の暴露により実際のリスクが与えられる場合には、高SMRは、暴露中止後次第にかつ大幅に減少するはずである。正の関連性が、「ラグ型」の累積カーボンブラック暴露で予想されている。例えば、暴露を15年間「ラギング」するのは、リスク分析において過去15年間に浴びた暴露のみを計上するという意味である。著者は、肺がんのSMRが高くなっていった英国の工場2カ所での「ラギング」効果を指摘した。その刊行物の中で、著者らは、その他のコホートにおいてもその方法論を繰り返すよう示唆した。

その後「ラギング」仮説が、ドイツのカーボンブラックコホートで検証された（Morfeld & McCunney, 2007, 2009）。ドイツのコホートでは明らかに高い肺がんSMRが示されていたという事実にもかかわらず、暴露中止後には、SMRの減少も「ラグ型」累積カーボンブラック暴露との正の関係も認められなかった。このため、同じ方法論を用いたドイツのコホートでは、「ラギング」に関する英国の仮説が確認されなかった。ドイツのコホートに関する別の調査では、SMRの結果に寄与している可能性のあるすべての潜在的な危険因子と交絡因子を探索するベイジアンバイアス解析法(Bayesian bias analysis)が採用された（Morfeld & McCunney, 2010）。これらの追加調査では、「ラギング」仮説は支持されなかった。

米国のコホート死亡率調査の更新が完了し、公表されている（Dellら, 2015）。更新されたコホートには、2011年までの生命状態評価が含まれており、デルら（2006）は、2003年までの生命状態を取り上げた。コホート構成員に対して、個々の累積用量反応暴露評価が行われた。この計量指標は、定量的な暴露データおよび職務記述書、任務および製造工程の変化についての包括的な評価に基づいていた。また3カ所のコホート間での結果の直接比較を可能にするため、別個の「ラグ型」分析が行われた。

カーボンブラック作業員についてのこの遡及的な米国の死亡率調査が、世界の文献で発表されている中では最大のコホートである。それには、1930年代にまで遡るカーボンブラック業界で採用されていた6,000名以上の作業員が含まれている。潜在的な生存者の偏りを低減するように設計された開始コホートおよび全コホートの両方が、個別に死亡リスクについて評価された。この疫学調査の顕著な利点とは、堅牢な用量反応分析を行えるよう

にするため均一な職位を用いて分析した詳細な個々の累積暴露評価である。1979年にまで遡る実際のカーボンブラックに関する空中観測（モニタリング）データが30年間近く得られているため、信頼性の高い暴露推定値の計算が促進された。

その結果から、全体または開始コホートのいずれにおいても、肺がんやその他の悪性腫瘍の増加は示されなかった。用量反応分析では、カーボンブラック暴露と悪性腫瘍リスクの間での関連性は示されなかった。この調査のもう一つの注目すべき利点は、生命状態を識別するために達成された例外的な確認の水準であり、つまり対象コホート構成員の98.5%は存命中か故人と同定された。

要約すると、2015年調査の著者らは、「暴露が遅延型、ラグ型、または総累積推定値に基づいていたかどうかには関係なく、肺がんまたは非悪性呼吸器疾患との一貫した関連性は認められなかった」と結論付けた。

カーボンブラック作業員のコホート罹病率調査

罹病率調査では、作業場での活動に対し続発する疾患のリスクや、潜在的な危険性への暴露が評価されている。カーボンブラックへの職業暴露が、50年以上にわたって、例えば肺疾患などの非がん性状態に対する影響について評価されている。罹病率の調査では、化学的または物理的な作用物質への暴露が原因となりうる疾患の作業員母集団の中での発生率と有病率が評価される。罹病率調査では、記録の評価（遡及的）に基づいてある特定の時点で行うこともでき（横断的）、時間をかけて将来にわたり行う（縦断的）こともできる。罹病率調査の結果は、多くの場合、米国産業衛生専門家会議（ACGIH）の閾値限界値（TLV）などの職業暴露限度を定めるための科学的根拠として使用されている。実際、ICBA主催の主要な罹病率の調査では、カーボンブラックに関するACGIH TLV®の基礎として役立っている（Harborら, 2003）。

本章では、欧州および米国での横断的罹病率調査に参加していたカーボンブラック作業員に対し行われた主な罹病率調査をまとめている。両調査とも、（量的および定性的に定義された）暴露と例えば異常胸部造影、肺機能低下、特定の呼吸器症状の増加率などの指定健康エンドポイントの間にある潜在的な関係の究明に取り組んでいる（その時点までに行われた罹病率調査の評価については、Gardinerら（1995）を参照のこと）。

暴露と健康への影響を評価するのに使用されているさまざまな方法論のために調査間での比較が複雑になる場合があるものの、リスクを理解する上で異なる罹病率調査から得られた結果を考慮することは有用である。例えば、異なるカーボンブラック暴露割合（すなわち、吸入性、呼吸性、および「全」粉塵量）が、種々のサンプリング方法により測定されている。同様に、胸部造影を評価するのに活用された読者の数、肺機能評価用装置の標準化および症状に関する情報を収集するのに使用されているアンケートの種類は、さまざまな調査の間でかなり異なっている。例えば、ドイツの調査では、肺機能を評価するのに

全身プレチスモグラフィ法（体積変動記録法）を使用しているのに対し、その他の大半の調査では、肺機能を評価するのに肺活量測定を使用している（Kuepper ら, 1996）。

カーボンブラック作業員についての欧州罹病率調査

カーボンブラック作業員についての最初の主要な欧州罹病率調査が、1986年に公表された（Crosbie ら, 1986）。10年以上の平均作業履歴を持つ欧州工場19カ所で採用された3,000人以上のカーボンブラック作業員の中で、（職位に基づいた）カーボンブラックへの暴露量と慢性の咳や痰の生成との間に弱い関連性が指摘された（Crosbie ら, 1986）。粉塵濃度に関するデータは得られなかったため、用量反応関係を確立することはできなかった。1秒間での努力肺活量（FVC）および努力呼気肺活量（FEV）での小規模な暴露関連低下が認められた。

追加の長期罹病率調査が1988年に開始され、3つの別個の段階を持つ10年間にわたって実施されるように設計された。この調査には、西ヨーロッパ諸国7か国におけるカーボンブラック工場18カ所の作業員3,000名以上が含まれていた（Gardiner ら, 1993）。暴露と健康転帰に関するデータが、以下の3つの別々の機会に収集された：第I期（1987 - 1989年）、第II期（1991 - 1992年）、第III期（1994 - 1995年）。この調査は、前向き縦断的調査に類似している。健康転帰指標には、肺機能、呼吸器症状、および胸部X線検査が含まれていた。

第I期では、作業員3,086名のうち、カーボンブラックへの暴露と特定の症状（咳、痰の生成）の間の関係が注目された。カーボンブラックへの平均暴露量は 1.52 mg/m^3 （吸入性画分）であった。ただし、症状に関する情報の収集方法が、ACGIHのTLV[®]委員会の要請で行われた独立科学審査の対象となった。この評価では、症状データが調査者から取得され、別々に分析されている方法に関する方法論上の問題点が指摘された。この評価では、欧州の調査から得られたデータの質問票部分を有意義に解釈することができないと断定された。著者らは、調査の結果に関するその議論の中で質問票データに対するこうした制約を認めている（Gardiner ら, 2001）。

カーボンブラック作業員コホートの中では、肺機能の測定結果は、平均して最高暴露群での喫煙者を除き（予測値の98.3%）、全区分での露出における人の年齢、身長、および性別について予測されたものの100%以上となっていた。しかしすべての結果を集計形式で分析したところ、小さいが統計的に有意な関係がカーボンブラックへの暴露とFVCやFEVの減少の間で注目された。著者らは、その調査結果を「気道への非刺激作用を伴う一貫性あるもの」と説明した（Gardiner ら, 1993）。

胸部造影を受けた作業員1,096名のうち、9.9%は、塵肺に関する胸部X線検査の読み取りについて国際労働機関（ILO）が使用している評点方式である1/0（小さな混濁）以上という測定値を示した。しかし、これらの結果は、実際にはどの種類の粉塵にも暴露してい

ない欧州集団の平均背景胸部造影の測定値 (11.3 %) よりも低かった (Mayer ら, 1997)。作業集団全体のうち、3 名は 2/2 以上の評価 (小さな混濁の量増加) となっていた。

第 II 期および III 期からのデータも公表されている (Gardiner ら, 2001 および van Tongeren ら, 2002)。第 II 期では、作業員 2,955 名が評価された。その集団の約 48 % が喫煙者であった。カーボンブラックへの平均暴露量は 0.81 mg/m^3 (吸入性画分) で、これは第 I 期調査で報告された結果の約 50 % 未満である。

第 III 期では参加率は 95 % で、その集団の 45 % は喫煙者であった。カーボンブラックへの平均暴露量は 0.57 mg/m^3 (吸入性画分) で、第 II 期からさらに減少した。カーボンブラック作業員の平均年齢は 41 歳であったが、その業界での平均雇用期間は 15 年であった。

著者らは、カーボンブラックが大半の呼吸器症状や肺機能に大きな影響を及ぼしていることを報告したが、以下のように症状データに欠点があることを認めている: 「呼吸器症状の結果には偏りが存在している可能性があり、これらの結果の解釈には注意すべきである」 (Gardiner ら, 2001)。肺機能の暴露に関連する減分を測定したが、予測された肺機能量の割合は、上述したように、肺機能の評価するための重要なパラメータである FEV および FVC に対しては 100 % を超えていた。これらの結果から、カーボンブラック暴露の健康への影響に関する結論は、臨床的関連性ではなく結果の統計的有意性に基づいていたことが示唆されている。

ドイツのカーボンブラック製造設備についての横断的調査では、677 件の検査が暴露した従業員の間で行われたが、(人体用プレチスモグラフィーにより評価した) 気管支痙攣とカーボンブラックの間に有意な関係は認められなかった (Kuepper ら, 1996)。カーボンブラックに暴露しても、肺関連症状または非喫煙者や元喫煙者における肺機能減少いずれのリスクも増加しなかった。

旧ユーゴスラビアでの 1975 年調査では、カーボンブラックの吸入性粉塵濃度は 7.2 mg/m^3 および 7.9 mg/m^3 であった (Valic, 1975)。作業員 35 名のうち、喫煙者の間で FEV のわずかな減少が認められた。非喫煙対照群の間では、いかなる関係も認められなかった。西欧と北米のカーボンブラック工場で行われた粒度特性評価調査に基づき (Kerr, 2002; Kuhlbusch, 2004)、1975 年にユーゴスラビアで報告されたこれらの呼吸性粉塵濃度の大きさから、「全」粉塵量や吸入性粉塵量への非常に高い暴露量が示唆されている。

カーボンブラック作業員に対する北米罹病率調査

米国のカーボンブラック作業員に対する罹病率調査が、50 年以上にわたって行われてきた。最近の調査では、1,000 名以上の北米カーボンブラック作業員が評価され、カーボンブラックへの暴露と対応する肺に関連する症状および肺機能の間の関係が評価された (Harber ら, 2003)。この調査の結果は、カーボンブラックに関して最近定められた ACGIH TLV® に大きな影響を与えた。北米の製造施設 22 カ所からの作業員 1,175 名が肺機能検査

を受け、健康質問票調査を完了させた。分析から、累積暴露量と肺機能のわずかな減退 (FEV) の間での関連性が示された。最近の暴露から、症状や肺機能の測定に対する影響は示されなかった。結果から、40 年を超える職業生活を通じて 1.0 mg/m^3 でカーボンブラックに暴露することにより、年間約 30 ml または 1,200 ml という通常に加齢に伴う低下に加えて、FEV が 27 ml 減少する可能性があることが示された。

2003 年の罹病率の調査に先立ち、症例対照罹病率調査がカーボンブラック工場 7 カ所での米国従業員に対し実施された (Robertson & Ingalls, 1989)。特に呼吸器疾患や循環器疾患などの特定種別疾患の診断書とともに健康保険請求書を提出した作業員が、カーボンブラックへの暴露量に関連して評価された。累積粉塵暴露量の推定値に基づく、カーボンブラックと指定疾病との間には有意な関係は認められなかった。

肺機能、症状、および線維性疾患という健康指標に加えて、米国のカーボンブラック作業員もまた、がん罹病率、つまり悪性腫瘍と診断されているが、死亡には至らなかった場合について評価された (Ingalls, 1950; Ingalls & Risquez-Iribarren, 1961; Robertson & Ingalls, 1989)。カーボンブラック作業員の間でのがん発生率が、未暴露のカーボンブラック作業員およびさまざまな州で編纂されたがん発生率の両方と比較された。がん罹病率の増加は、これらの調査では認められなかった。

ネスト化症例対照調査も、この同じコホートで行われた (Robertson & Ingalls, 1989)。症例とは、悪性腫瘍または循環器系や呼吸器系の障害いずれかの診断結果とともに健康保険請求書を提出した調査対象集団の構成員であるものと定義された。2 件の対照事例を各作業員と一致させ、カーボンブラックへの累積暴露量が、測定されたカーボンブラック濃度を特定の職種に関連付けることにより推定された。悪性腫瘍リスクの統計学的に有意な増加は認められなかった。

カーボンブラック暴露の症例報告

症例報告の職業衛生での価値は限られているが、異常な出来事を強調するのに使用することができる。2012 年の報告書では、「自分のクレーンが、カーボンブラックを充填したトレーラーを搭載したトラックとぶつかったときにカーボンブラックへの強烈な暴露を受けた 44 歳の男性」について記載されていた。「それから一週間後、彼は息切れや咳を発症した。肺機能検査から軽度の障害が明らかとなった。「この患者はフルチカゾンとサルメテロールでの治療により、症状が軽減されその肺活量も正常範囲に改善された」 (Halemariam, 2012)。著者は、以下のように結論付けた：「カーボンブラックへの急性暴露により、呼吸器症状と閉塞性換気不良を引き起こす可能性がある。」

この不幸かつ稀な事象では、幸い転帰が良好であった。それにもかかわらず、この報告書では、粉塵抑制の重要性およびほぼすべての粉塵がいかに不活性なものであろうとも通例の肺の防御機構を圧倒する可能性があり、暴露量が十分に高く呼吸保護策が用意されて

いない場合には、発症に至る場合がある点を強調している。

カーボンブラック作業員に関するヒト試験の概要

死亡率調査では、がん、非悪性呼吸器疾患、および心血管疾患などの病気による死亡のリスクが評価された。これらの調査では、全死亡率や肺がん死亡者数の増加とカーボンブラック暴露量との関連性が見られなかった。

罹病率調査では、カーボンブラックによる呼吸器症状の増加、肺機能の低下や胸部造影での異常を引き起こしているのかどうかに取り組んでいる。製造業でのカーボンブラックへの長期暴露が、1,200 ml という年齢関連の低下に加え、40 年間という生涯作業期間にわたる追加的損失量である FEV の軽微な減少 (27–48 ml) につながる可能性がある。小規模な変化もまた、胸部 X 線検査で指摘されてきた。わずかな増加が一部のカーボンブラック作業員で注目されているが、カーボンブラック作業員で観察された胸部造影混濁は、粉塵にはまだ暴露していない集団に見られる混濁と似ている傾向がある。そうした調査では、このような影響がカーボンブラックに固有のものなのか、それともその他の比較的不活性かつ難溶性の無機粉塵でも見られる影響を反映しているのかどうかについては明確にしていない。

カーボンブラックへの急性暴露が、例えば以前の症例報告書に記載されているような非常に高濃度の難溶性粉塵への暴露から予想されるものを超えて健康に重大な危険性をもたらすことはない。職場環境の中では、空気中のカーボンブラックは、上気道に沈着しうる大型の凝集体で構成されている。その結果、高濃度では咳や眼への刺激が一部の環境で発生することがある。このような影響は一時的なものであり、肺機能に長期的な影響をもたらすことはないものと予想されている。ほぼ完全に炭素からなるため、カーボンブラックは、体内で代謝されることはなく不活性のままとなる。

カーボンブラック作業員について継続中の調査

心臓病のリスクに関するメタ解析

米国心臓協会 (American Heart Association) による総合的な見直しを含む最近の方針説明書では、心疾患を引き起こすか悪化させる粒子の潜在的な役割への注意を求めている (Brook ら, 2010)。カーボンブラック製造業作業員の間に見られるこの潜在的な健康リスクに取り組むため、米国、ドイツ、英国での三種類のカーボンブラック作業員コホートの単回分析および複合解析 (メタ回帰) が行われている。英国での死亡率追跡調査の更新を含め、長期 SMR と Cox (コックス) 回帰が実施される。ドイツのプライバシー法のために、コホート評価の以前の記録が破棄されており、その結果、このコホートの追加更新が不可能となっている。

ユーザー産業の症例対照調査

症例対照調査では、とりわけ年齢、性別、職業などの人口統計学的特徴において特に類似している人々における特定疾患の症例を比較している。その目的とは、肺がんなどの特定の疾患を有する人々が、未暴露の者と比較して潜在的な危険要因への暴露度がより大きくなっていたのかどうかについて評価することである。この種の研究は、稀な疾患のリスクを評価する場合、および大多数の症例を組み合わせたことができる場合に有用である。残念ながら、こうした種類の調査への重大な制限要因として、重篤な疾患を患う被験者が過去の出来事を発生したとおりに正確に思い出せない傾向にある「思い出シバイアス」がある。それにもかかわらず、コホート死亡率調査と症例対照調査の結果を考慮することで、例えばヒトへの発がん性物質などの重大な危険要因が存在しているのかどうかに関する妥当な評価をすることができる。

作業場でのカーボンブラックへの暴露と肺がんリスクの関係が、カナダのモンクトリアルでの 2 大人口地域を基にした症例対照調査で検討された (Parent ら, 1996; Ramanakumar ら, 2008)。調査 I での職業と暴露に関する聞き取り調査が 1979 年～1986 年に行われ (857 例、533 集団対照事例、1,349 がん対照事例)、調査 II での聞き取り調査は 1996 年～2001 年に行われた (1,236 例、1,512 対照事例)。詳細な生涯にわたる職歴が引き出され、衛生士と化学者のチームが、カーボンブラックを含む職業上接する物質の宿主への暴露の証拠を評価した。肺がんリスクを喫煙を含むいくつかの潜在的な交絡因子に対して調整しながら、各暴露との関連で分析した。カーボンブラックへの職業暴露を有する被験者では、検出可能な肺がんの過剰リスクは発生しなかった。

カーボンブラックユーザー産業の死亡率と罹患率に関する研究

カーボンブラックは主にゴム産業で使用されています。その他に、印刷インクおよびトナー製造があるが量的にはゴム産業ほど多くない。これらの業界の最近の死亡率および罹患率の研究のハイライトは以下の通り。レビューの焦点は、主に、カーボンブラックが様々な研究の結果において果たした可能性のある役割に取り組むことであり、これらのそれぞれの産業における癌または罹患のリスクを総合的に評価することではない。

ゴム産業の死亡率調査

カーボンブラックの主な用途の 1 つは、ゴム製品、とりわけ自動車、トラック、およびその他の輸送用途用のタイヤの製造にある。多くの疫学研究は、カーボンブラックに加えて、促進剤および溶剤を含む他の材料を使用するゴム産業において行われてきた。以前のゴム産業における死亡率調査は、製造工場でのアスベストの存在によって混乱した。ゴム・ゴム製品製造業は、国際がん研究機関(IARC)が発がん性(カテゴリー1)に分類されているが、原因物質として特

定の物質が強調されていない(IARC、1982; IARC、1987)。

1998年のレビュー記事は、IARCが1982年と1987年に産業をレビューして以来実施されたゴム産業労働者の研究をまとめた(Kogevinas et al.、1998)。著者らは、9か国における12のコホート研究のレビューおよび様々なネスト化症例対照研究および地域社会に基づく研究に基づいて、ゴム産業における「膀胱癌、肺癌および白血病の過剰リスク」があると結論付けた。肺癌の過剰リスクは、SMRが1.7-3.3の4つのコホート研究で認められた。他のコホート研究では過剰は認められなかった。著者らは、カーボンブラックなどの特定の曝露とがんリスクとを関連付ける情報はないと結論付けました。その後、約9,000人のドイツゴム労働者の研究が、ゴム産業における特定の薬剤の使用に関連する癌のリスクを評価した(Stratif et al.、2000)。著者らは、この報告書は、ゴム業界におけるがんリスクの観点から、曝露特有のデータを最初に調べた報告書であると主張した。8,000人を超える労働者のこの研究では、カーボンブラックとがんリスクとの間の因果関係は観察されなかった。これとは対照的に、著者らは、ゴム産業労働者で観察された肺がんリスクは、アスベストおよびタルクの曝露の可能性が高いと推測している。

ポーランドの17,000人以上のゴムタイヤ労働者の死亡率調査では、肺がんの過剰は認められなかった(Wilczynska et al.、2001)。最後に、3,400人を超える労働者を含む大規模な米国ゴム製造施設の調査では、肺がんの過剰は認められなかった(Beall et al.、2007)。

1980年代のゴム産業のIARC評価以降、ゴム産業は最近の研究の対象となっている。過去数十年にわたり、製造プロセスの技術的変化と有害物質への曝露の管理が改善されており、現代のゴム産業が以前のプロセスおよび期間と同じ癌リスクを有するかどうかを評価することに関心がもたれている。これらの最近の研究の議論が続く。

英国のゴム産業における比較的最近に雇用された従業員(1982-1991)の死亡率およびがん発生率の調査では、肺がんによる死亡率の増加は見られなかった(Dost et al.、2007)。著者らは、「イギリスのゴム労働者の歴史的コホートについて報告された胃癌および肺癌のSMRの上昇は、最近の集団には存在しない」と示唆している。最近のドイツのゴム産業参入企業の同様の研究では、しかし著者らは、コホートが“まだ決定的な証拠を提供するにはまだ若すぎる”と警告した(Taeger et al.、2007)。

イタリアのタイヤ製造工場(1962-2004年)の労働者のコホート死亡率調査が発表された(Mirabelli et al、2012)。プラントが稼働した1962年に最初に雇われた労働者の死亡率は9,501人であり、2000年にはすべての原因、すべての癌(肺癌を含む)、心臓血管および虚血性心疾患でSMRが大幅に減少しました。このコホートは比較的若いです。<10%が死亡した。このように、まれな癌部位でのリスクのわずかな増加を検出する能力は限られていました。このコホートのさらなる疫学的サーベイランスが計画されている。1954年と2008年の間に用い

られるイタリアのゴムタイヤ工場の 6246 労働者の死亡率は全ての癌 (SMR = 79)、すべての原因 (SMR = 85) (PIR et al, 2012) のために予想よりも有意に低かった。この研究は、1954 年以降に雇用された男性のゴムタイヤ労働者の中で過剰のがんリスクを示さなかった。

Paget-Bailly は 99 の出版物を分析し、ゴム産業における労働者の喉頭がんに対するメタ相対リスク (meta-RRs) の有意な増加を認めた (メタ RR 1.39; 95%CI 1.13~1.71) (Paget-Bailly ら、2011)。カーボンブラックは報告された喉頭がんの過剰に潜在的な原因として関与していませんでした。

12,000 人以上のドイツゴム産業労働者のコホートのフォローアップにより、男性の肺癌および胸膜炎の SMR が有意に上昇した (Vlaaderen et al.、2013)。肺癌は統計学的に有意に上昇し、SMR は 1.23 (95%CI: 1.12-1.35) であった。胸膜の癌も統計学的に有意に増加し、SMR は 2.57 (95%CI: 1.59-3.93) であった。女性も肺がんの SMR が上昇していた。カーボンブラックは結果に関係は見られなかった。

ゴム業界はいくつかの種類のがんの増加と関連していますが、これまでの研究で報告された肺がんのリスクを含む、これらの発見の説明としてカーボンブラックの曝露を示唆している研究はありません。

ゴム業界における潜在的な健康問題に関して欧州で進行中の現在の活動には、英国ゴム業界コホート (McElvenny、2014) のフォローアップが含まれる。4 万人以上の労働者を対象とした大規模な回顧コホート研究が実施されている。EXASRUB プロジェクト (ほこり、煙霧、溶剤、および n-ニトロソアミン) から入手可能な測定データに基づいて定量的暴露モデルを使用して、疑いのある発癌物質の用量反応関係を評価する。これは、そのタイプの最大で統計的に最も強力なコホートであり、徹底的かつ定量的なばく露評価を有する。

ゴム産業における死亡リスクに関する結論

2009 年の IARC のゴム産業評価では、白血病やリンパ腫のリスクが高いことに加えて、肺、膀胱、および胃の癌のリスクが上昇するという十分な証拠がヒトに存在するとの結論に達しましたが、これらのがんの過剰に寄与するゴム工業におけるカーボンブラックの使用についての言及はない (IARC、2012)。

ゴム産業の罹患率研究

ゴム産業における癌リスクおよび死亡リスクに向けられた広範な科学的研究および多数の研

究が発表されたことを考慮すると、この業界では比較的罹患率の低い研究が行われていることは驚くべきことである。イランのゴム工場(Neghab et al.、2011)からそのような罹患率の研究が報告された。断面罹患率評価は、ゴム労働者のグループの中で、カーボンブラックへの職業暴露に関連する肺反応を評価し、特徴付けるために設計された。

参加者には、倉庫、積み込み、バンバリー地区の 72 人の労働者と、工場の 69 人の管理職が含まれていた。症状はアンケートと肺機能検査によって評価した。曝露評価には、吸入可能な呼吸可能な派閥が含まれていた。曝露群では咳嗽および喘鳴が高かった(それぞれ 23.4%対 1.44%および 25%対 1.44)。

この調査では、基本的なサンプリング戦略(エリア、個人、生産条件など)の詳細は提供されていないため、曝露評価方法論は不明である。それにもかかわらず、曝露は過度であった。報告された濃度は、カーボンブラック産業における現在の北米の吸入可能な曝露の 5~6 倍高かった。したがって、反応性であろうと不活性であろうと、あらゆるタイプの粉塵への高曝露の結果は、これらの結果を引き起こす可能性が高い。この研究では、(1)曝露は過去および現在の OEL より有意に高かった。(2)工学的管理、維持管理、職場訓練、従業員訓練、産業衛生活動がないこと。(3)呼吸器保護がなかったことなどが判明した。

トナー産業の死亡率調査

カーボンブラックの別の一般的な用途は、トナーの製造にある。レーザープリンタや複写機の中には、一般にカーボンブラックと感熱性ポリマーを混ぜたトナーを使用するものがある。これらの製品は世界中の企業や家庭に普及している。以下の情報の目的は、カーボンブラックの曝露が測定、評価、または議論されたトナー業界の研究を要約することである。

職業的にトナーに曝露された 33,671 人の従業員の死亡リスクに関する大規模な後向き研究が実施された(Abraham et al. 2010)。公開されたグループには、トナーの製造に従事する従業員と、現場で複写機にサービスを提供する顧客サービスエンジニアが含まれていた。トナーに曝露された集団の全原因 SMR は、それぞれ白人男性および女性で 0.65 および 0.84 であった。肺癌を含むすべての癌の SMR は 1.0 より低かった。分析された 23 の死亡カテゴリーについて、トナーの曝露が原因による死亡率または原因別死亡率のリスクを増加させたという証拠はなかった。

トナー産業の罹患率研究

日本のトナー・複写機製造会社の男性労働者 1,504 人の研究では、肺機能や胸部 X 線に悪影響を及ぼさないという証拠は示されていない(Kitamura et al.、2014 a、b、c)。個人的な 8 時

間呼吸可能な粉塵濃度の手段は、トナー製造における $0.012\text{mg} / \text{m}^3$ からトナーおよび複写機のリサイクルにおける $0.989\text{mg} / \text{m}^3$ に及んだ。著者らは、決してトナー処理群と比較して、トナー処理群の息切れの有病率が有意に高いことに留意した。呼吸不全および肺機能低下または胸部X線上の線維性変化との関連は観察されなかった。著者らは、喘息の罹患率は、トナーハンドリンググループとトナーハンドリングでないグループの両方で日本の人口に比べて高かったことに注目した(Kitamura et al.、2014、A、B、C)。

付録B

カーボンブラックのために選択された職業暴露限度

表

| Country | Concentration, mg/m ³ | |
|-----------------------|--|---|
| Argentina | 3.5, TWA | ACGIH®; 米国産業衛生専門家会議 mg/m ³ : 立方メートルにつきミリグラム |
| Australia | 3.0, TWA, inhalable | DNEL : 誘導された影響ないレベル |
| Belgium | 3.6, TWA | GDP : Granular Biopersistent 粒子、既 知の特定の毒性 (カーボンブラック は TRGS 900 にリストされません) がない。 |
| Brazil | 3.5, TWA | |
| Canada (Ontario) | 3.5, TWA | |
| China | 4.0, TWA; 8.0, TWA, STEL (15 min) | NANO-GBP : Biopersistent ナノ材料の粉 塵、特定の毒性のない、そして、繊維 の構造でもない (カーボンブラックは BeKGS 527 にリストされます) |
| Colombia | 3.0, TWA, inhalable | |
| Czech Republic | 2.0, TWA | |
| Egypt | 3.5, TWA | NIOSH : 国立安全&健康研究所 |
| Finland | 3.5, TWA; 7.0, STEL | OSHA : 職業安全衛生管理局 |
| France – INRS | 3.5, TWA/VME inhalable | PEL : 許容暴露限界 |
| Germany – MAK | 0.3 x GBP density in g/cm ³ , TWA, respirable; 4.0, TWA, inhalable | REL : 推薦された露出制限 |
| Germany – TRGS 900 | 0.5 x GBP density in g/cm ³ , TWA, respirable; 10, TWA, inhalable | STEL : 短時間暴露限界 |
| Germany – BeKGS527 | 0.2 x nano-GBP density in g/cm ³ , TWA, respirable - if no other relevant information is available | TLV : 入り口制限価値 |
| Hong Kong | 3.5, TWA | TRGS : 危険材料 (危険物質に対する技術 的な規則) |
| Indonesia | 3.5, TWA/NABs | TWA : 時間加重平均 (特に明記しない限 り 8 時間) |
| Ireland | 3.5, TWA; 7.0, STEL | * |
| Italy | 3.5, TWA, inhalable | 関係分野の規制は最新版に従う。 |
| Japan – MHLW | 3.0 | |
| Japan – SOH | 4.0, TWA; 1.0, TWA, | |

| | |
|----------------|---|
| | respirable |
| Korea | 3.5, TWA |
| Malaysia | 3.5, TWA |
| Mexico | 3.5, TWA |
| Russia | 4.0, TWA |
| Spain | 3.5, TWA (VLA-ED) |
| Sweden | 3.0, TWA |
| United Kingdom | 3.5, TWA, inhalable; 7.0, STEL, inhalable |
| | 3.5, TWA, OSHA-PEL |
| United States | 3.0, TWA, ACGIH-TLV®, inhalable** |
| | 3.5, TWA, NIOSH-REL |

** ACGIHTLV®および派生影響のないEU REACH[4]規制:

2011年2月1日、米国産業衛生専門家会議(ACGIH)の閾値規制値(TLV®)委員会は、3 mg / m³のカーボンブラックに対する新しい健康基準ガイドライン(TLV®)の採用を発表しました。8時間の時間加重平均(TWA)の吸入可能な粉塵画分(ACGIH、2011)。EU REACH規制の要件に適合するため、カーボンブラックREACHコンソーシアム(すなわちCB4 REACH)は、職場環境でのカーボンブラックの派生無影響量(DNEL)を8時間TWAとして2 mg / m³と計算した。DNELは2009年1月26日にEU化学品庁の完全性チェックに合格したカーボンブラックの登録書類に含まれていた。

TLV®値とDNEL値は、いずれも米国の同じカーボンブラック作業員暴露試験(Harber et al.、2003)から得られたものである。ACGIH(2011)は、「気管支炎の症状は、CBに対する暴露に対して最も敏感な人の健康影響である。「気管支炎関連の気管支炎を予防するための推奨TLV-TWA」は、「平均曝露量が137.9mg以上の非喫煙者でのみ、気管支炎の統計的に有意でわずかな増加(5%から9%へ) - 年/年3.44 mg / m³(40年間)」TLV®3 mg / m³(吸入可能)は、気管支炎の症状を予防するためのものである。

1.累積曝露群の非喫煙者の気管支炎症状の増加は統計的に有意であったが、僅かである(最低曝露の5%のペントイルと比較して、それぞれ第4および第5ペントイルで10%または9%)。

2. 2000-2001年の産業衛生データに基づく最近の曝露は、3.8mg / m³の最高曝露率であっても気管支炎症状の増加を示さなかった。

3. 曝露量 > 3.5mg / m³では、FEV₁が減少した。しかし、減少は正常平均FEV₁内にある。ACGIH(2011)は、「これらの曝露レベルでの肺機能値のこれらの変化は、TLV-TWAの基礎としては使用されず、推奨されている」と述べた。測定された肺機能データは、肺機能の低下が関連する。

DNELの導出

DNELの導出は、カーボンブラックREACHコンソーシアムによって開発されたカーボンブラックのEU REACH文書の化学物質安全性報告書に記載されている。このレポートは、Harber et al. (2003)は、吸入可能な粉塵138 mg / 年 / m³または40 mg / m³の曝露40年間の平均濃度に匹敵する、最高曝露のペンタイルにおける症状の罹患率の上昇(慢性気管支炎)を報告している[(138 mg-years / m³) / (40 years)]となる。しかし、DNELの導出はまた、気管支炎の症状の増加が、累積曝露を表す第4ペンタイルにおいても認められたことを認識している。したがって、累積曝露の第3の五分位まで症状の増加が検出されなかったことを示すデータに基づいて有害作用閾値を特定することが必要であった(Harber et al.、2003の表6)。

研究の著者はデータを年齢調整しなかった。したがって、五番目のペンタイルの労働者は年を取っており、病気の影響を受けやすい可能性がある。閾値レベルは、(3/5)* 3.5mg / m³ = 2mg / m³(吸入可能)と推定され、ヒトのDNEL2mg / m³(吸入可能な粉塵画分)に相当する。3/5の係数は、年齢調整が行われなかったことを考慮して、第3および第5のペンタイルの間どこかにある有害作用の閾値を説明するために使用された。第3のペンタイルが悪影響を示さなかったため、この閾値は、第5のペンタイルの値に係数3/5を乗じることによって、連続的な曝露スケールで近似された。

[4] EU REACH—欧州議会の、そして、2006年12月18日の会議の規制(EC)No.1907/2006 (化学製品(REACH)の登録、評価と認可に関する)

参考文献

Abraham AG et al. Retrospective mortality study among employees occupationally exposed to toner. *J Occup Environ Med* 2010; 52 (10): 1035-41.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Committee on Industrial Ventilation: *Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice*, 28th edition; ACGIH, Cincinnati, OH, 2013.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists: *Threshold Limit Values for Chemical and Physical Agents and Biological Exposure Indices*. ACGIH, Cincinnati, OH. 2013.

American National Standards Institute: *American National Standard for Respiratory Protection; ANSI Z88.2-1992*, New York, NY, 1992.

ASTM Standard Terminology Relating to Carbon Black. Designation: D3053-15. ASTM International, 100 Barr Harbour Dr., P.O. box C-700 West Conshohocken, Pennsylvania USA

Beall C et al. Mortality and cancer incidence among tire manufacturing workers hired in or after 1962. *J Occup Environ Med* 2007; 49: 680-690.

Bergmann, C., Trimbach, J., Haase-Held, M., Seidel, A. "Consequences of European Directive 2005/69/EC for Tire Industry," *Kautschuk Gummi Kunststoffe*, October 2011.

Borm PJA, Cakmak G, Jermann E, Weishaupt C, Kempers P, van Schooten FJ, Oberdörster G and Schins RPF. (2005) Formation of PAH-DNA adducts after in vivo and vitro exposure of rats and lung cells to different commercial carbon blacks. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 205 (2), 157-167.

Brook RD et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: Scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010; 121: 2331-2378.

Büchte SF, Morfeld P, Wellmann J, Bolm-Audorff U, McCunney RJ, Piekarski C. Lung cancer mortality and carbon black exposure: a nested case-control study at a German carbon black production plant. *J Occup Environ Med* 2006;48(12): 1242-1252.

Confined Space Entry, An AIHA Protocol Guide; American Industrial Hygiene Association, Fairfax, VA, 1995.

Crosbie, W.: *Respiratory Survey on Carbon Black Workers in the UK and the U.S.*; *Arch Environ Health* 1986; 41:346-53.

Dell L et al. A Cohort Mortality Study of Employees in the U.S. Carbon Black Industry. *J Occup Environ Med* 2006; 48: 1219-1229.

Dell L et al. Carbon Black Exposure and Risk of Malignant and Nonmalignant Respiratory Disease Mortality in the U.S. Carbon Black Industry Cohort; *J Occup Environ Med* 2015; 57:

984-997.

Donnet, J., R. Bausal, and M. Wang (eds.): Carbon Black, Science & Technology, 2nd edition; Marcel-Dekker, New York, NY, 1993.

Dost A et al. A cohort mortality and cancer incidence survey of recent entrants (1982-91) to the UK rubber industry: Findings for 1983-2004. *Occup Med (Lond)*. 2007; 57 (3): 186-90.

Driscoll KE, Deyo LC, Carter JM, Howard BW, Hassenbein DG and Bertram TA (1997) Effects of particle exposure and particle-elicited inflammatory cells on mutation in rat alveolar epithelial cells. *Carcinogenesis* 18(2) 423-430.

ECETOC 2013. Poorly Soluble Particles/Lung Overload, Technical Report No. 122
ISSN-0773-8072-122 (Print); ISSN-2073-1526-122 (Online)

Gardiner, K., N. Trethowan, J. Harrington, C. Rossiter, and I. Calvert: Respiratory Health Effects of Carbon Black: A Survey of European Carbon Black Workers; *Brit J Ind Med* 1993; 50:1082-1096.

Gardiner, K.: Effects on Respiratory Morbidity of Occupational Exposure to Carbon Black: A Review; *Arch Environ Health* 1995; 50:(1) 44-59.

Gardiner, K., van Tongeren, M., and J.M. Harrington: Respiratory Health Effects from Exposure to Carbon Black: Results of the Phase II and III Cross-Sectional Studies in the European Carbon Black Manufacturing Industry. *Occup Environ Med* 2001; 58:496-503.

Hailemariam Y, H. Mojazi Amiri and K. Nugent Acute respiratory symptoms following massive carbon black exposure. *Occup Medicine* 2012; 62:578–580.

Harber, P., H. Muranko, et al: Effect of Carbon Black Exposure on Respiratory Function and Symptoms; *J Occup Environ Med* 2003; 45: 144-155

Hodgson, J., and R. Jones: A Mortality Study of Carbon Black Workers Employed at Five United Kingdom Factories Between 1947-1980; *Arch Environ Health* 1985; 40:261-268.

Hamm St, Frey Th, Weinand R, Moninot G, and Petiniot N (2009). "Investigations on the extraction and migration behaviour of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from rubber formulations containing carbon black as reinforcing agent", *Rubber Chemistry and Technology*, 2009, Vol. 82 No. 2.

Ingalls, T.: Incidence of Cancer in the Carbon Black Industry; *Arch Ind Hyg and Occup Med* 1950; 1:662-676.

Ingalls, T., and R. Riskey-Iribarren: Periodic Search for Cancer in the Carbon Black Industry; *Arch Environ Health* 1961; 2:429-433.

Ingalls, T., and J. Robertson: Morbidity and Mortality from Cancer in the Cabot Corporation.

Unpublished report, Framingham Union Hospital, Framingham, MA. 1975.

ISO/TS 80004-1:2015 Nanotechnologies — Vocabulary — Part 1: Core Terms. International Standards Organization

International Agency for Research on Cancer: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 65, Printing Processes and Printing Inks, Carbon Black and Some Nitro Compounds, Lyon, France; 149-262, 1996.

International Agency for Research on Cancer: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 93, Carbon Black, Titanium Dioxide, and Talc. Lyon, France, 2010.

International Agency for Research on Cancer: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Occupational Exposures in the Rubber Manufacturing Industry. Lyon, France, 2012.

Kerr, S., J. Vincent, and H. Muranko: Personal Sampling for Inhalable Aerosol Exposure of Carbon Black Manufacturing Industry Workers; *J Appl Occup Environ Hyg* 2002; 17(10); 681-692.

Kitamura H et al. (a) A cohort study of toner handling workers on inflammatory, allergic, and oxidative stress markers: Cross sectional and longitudinal analyses from 2003-2008 *Hum Exp Toxicol*; online as of July 24

Kitamura H et al. (b) A cohort study on self reported respiratory symptoms of toner handling workers: Cross sectional and longitudinal analysis from 2003-2008. *BioMed Research International* 2014, Article ID 826757, 10 pages

Kitamura H et al. (c) A cohort study using pulmonary function tests and x-ray examination in toner handling workers: Cross sectional and longitudinal analyses from 2003 to 2008. *Hum Exp Toxicol* published on line 16 July 2014.

Kogevinas M et al. Cancer risk in the rubber industry: a review of the recent epidemiological evidence *Occup Environ Med* 1998; 55: 1-12

Kuepper, H.U., R. Breitstadt, and W.T. Ulmer: Effects on the Lung Function of Exposure to Carbon Black Dusts — Results of a Study Carried out on 677 Members of Staff of the Degussa Factory in Kalscheuren/Germany. *Int Arch Occup Health* 1996; 68:478-483.

Kuhlbusch, TAJ., S. Neumann, M. Ewald, H. Hufmann, and H. Fissan: Number Size Distribution, Mass Concentration, and Particle Composition of PM₁, PM_{2.5}, and PM₁₀ in Bag Filling Areas of Carbon Black Production; *J Occup Environ Hyg*, 2004; 1,660-671.

Kuhlbusch, TAJ, H Fissan. Particle Characteristics in the Reactor and Pelletizing Areas of Carbon Black Production. *J Occup Environ Hyg* 2006; 3, 558-567.

Long, CM, MA Nascarella, PA Valberg. Carbon Black vs. Black Carbon and Other Materials Containing Elemental Carbon: Physical and Chemical Distinctions. Environmental Pollution, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.06.009>.

McCunney, RJ, Valberg P, Muranko H, Morfeld, P “Carbon Black” in Patty’s Industrial Hygiene and Toxicology 2012; pp 429-453

McElvenny D et al. Cancer mortality in the British Rubber industry — a 45-year follow-up. *Occup Environ Med*. 2014 Jun; 71 Suppl 1:A88.

Meyer, J., S. Islam, A. Ducatman, and R. McCunney: Prevalence of Small Lung Opacities in Populations Unexposed to Dust. *Chest* 1997; 111: 404-10.

Mirabelli D et al. Cohort study of workers employed in an Italian tire manufacturing plant, 1962-2004 Morfeld P et al Carbon black and lung cancer-testing a novel exposure metric by multi-model inference *Am J Ind Med* 2009; 52: 890-89

Morfeld P, Büchte SF, McCunney RJ, Piekarski C. Lung Cancer Mortality and Carbon Black Exposure: Uncertainties of SMR Analyses in a Cohort Study at a German Carbon Black Production Plant. *J Occup Environ Med* 2006; 48, 1253-1264.

Morfeld P, Büchte SF, Wellmann J, McCunney RJ, Piekarski C. Lung Cancer Mortality and Carbon Black Exposure: Cox Regression Analysis of a Cohort from a German Carbon Black Production Plant. *J Occup Environ Med* 2006; 48, 1230-1241.

Morfeld P. Letter to the Editor. *Inhal Toxicol* 2007; 19: 195. Morfeld P and McCunney RJ. Carbon Black and Lung Cancer: Testing a New Exposure Metric in a German Cohort. *Am J Ind Med* 2007; 50 (8), 565-567.

Morfeld P and McCunney RJ. Carbon Black and Lung Cancer: Testing a Novel Exposure Metric by Multi-model Inference. *Am J Ind Med* 2009; 52 (11), 890-899.

Morfeld P and McCunney RJ. Bayesian bias adjustments of the lung cancer SMR in a cohort of German carbon black production workers. *J Occup Med Toxicol* 2010; 5: 23,

Nagy, John: Explosibility of Carbonaceous Dusts, Report of Investigations 6597; U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, Washington, D.C., 1965.

NFPA 654. Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids. National Fire Protection Association, 2013.

National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH): Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Carbon Black; DHHS/NIOSH Pub. No. 78-204; Cincinnati, OH, 1978.

Neghab M et al. Symptoms of Respiratory Disease and Lung Functional Impairment Associated with Occupational Inhalation Exposure to Carbon Black Dust *J Occup Health* 2011; 53: 432–438

OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. Organization for Economic Co-operation and Development. Test Guidelines 401 (acute oral LD50), 404 (skin corrosion/irritation), 405 (eye damage/irritation), 406 (sensitization).

Paget-Bailly, S, Cyr D, MS, and Luce D. Occupational Exposures and Cancer of the Larynx—Systematic Review and Meta-analysis; *J Occup and Environ Med*, 2011, 54(1):71-84

Parent ME, Siemiatycki J, Renaud G. Case-control study of exposure to carbon black in the occupational setting and risk of lung cancer. *Am J Ind Med*. 1996 Sep; 30(3): 285-92.

Pira E et al. Mortality From Cancer and Other Causes in an Italian Cohort of Male Rubber Tire Workers *J Occup Environ Med* 2012; 54: 345-349.

Ramanakumar AV, Parent ME, Latreille B, Siemiatycki J. Risk of lung cancer following exposure to carbon black, titanium dioxide and talc: results from two case-control studies in Montreal. *Int J Cancer*. 2008 Jan 1; 122(1): 183-9.

Rivin D. and R. Smith: Environmental Health Aspects of Carbon Black; *Rubber Chemistry and Technology*; 55(3) 707-761, 1982.

Robertson, J. and T. Ingalls: A Mortality Study on Carbon Black Workers in the United States from 1935-1974; *Archives of Environmental Health* 1980; 35 (3): 181-186.

Robertson, J. and T. Ingalls: A Case-control Study of Circulatory, Malignant, and Respiratory Morbidity in Carbon Black Workers in the U.S.; *Am Ind Hyg Assoc J* 1989; 50(10): 510-515.

Robertson, J., and K. Inman: Mortality in Carbon Black Workers in the U.S.; *Brief Communication*; *J Occup Environ Med* 1996; 38 (6): 569-570.

Sorahan, T., L. Hamilton, M. van Tongeren, K. Gardiner, and J. Harrington: A Cohort Mortality Study of U.K. Carbon Black Workers 1951-96; *Am J Ind Med* 2001; 39:158-170.

Sorahan, T., Harrington JM. A “Lugged” Analysis of Lung Cancer Risks in UK Carbon Black Production Workers; *Am J Ind Med* 2007; 50(8), 555-564.

Straif K, Keil U, Taeger D et al.; Exposure to nitrosamines, carbon black, asbestos, and talc and mortality from stomach, lung, and laryngeal cancer in a cohort of rubber workers. *Am J Epidemiol*, 2000; 152: 297–306.

Taeger D et al. Cancer and non-cancer mortality in a cohort of recent entrants (1981-2000) to the German Rubber Industry. *Occup Environ Med* 2007; 64: 560-561.

Valic, F., D. Beritic-Stahuljak, and B. Mark: A Follow-up Study of Functional and Radiological Lung Changes in Carbon Black Exposure; *Int Arch Arbeitsmedizin*. 1975; 34:51-63.

Vlaanderen J, Taeger D, Wellman J, Keil U, Schüz J, Straif K. Extended cancer mortality follow-up of a German rubber industry cohort. *J Occup Environ Med.* 2013; 55(8): 966-72.

van Tongeren, M., K. Gardiner, C. Rossiter, J. Beach, P. Harber, and J. Harrington: Longitudinal Analysis of Chest Radiographs from the European Carbon Black Respiratory Morbidity Study; *Eur Respir J* 2002; 20:417-25.

Wellmann, J, SK Weiland, G Klein, K Straif. Cancer Mortality in German Carbon Black Workers 1976-1998. *Occup Env Med* 2006; 63 (8), 513-521.

Wilczyńska U, Szadkowska-Stańczyk I, Szeszenia-Dąbrowska N, Sobala W, and Strzelecka A (2001). Cancer Mortality in Rubber Tire Workers in Poland. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 2001; 14(2), 115—125.

インターナショナル・カーボンブラック協会は、カーボンブラックの職業的なおよび環境保健関連の文献の最新情報で構成しています。更なる情報はカーボンブラックメーカーにお問い合わせください。