

厚生労働行政推進調査事業費補助金（化学物質リスク研究事業）

分担研究報告書

人工芝グラウンド用ゴムチップの健康リスク評価に関する研究

ゴムチップ関連物質の有害性 / 許容値評価

研究分担者	国立医薬品食品衛生研究所	安全性予測評価部	井上 薫	室長
協力研究者	国立医薬品食品衛生研究所	安全性予測評価部	広瀬明彦	部長
協力研究者	国立医薬品食品衛生研究所	安全性予測評価部	吉田喜久雄	研究員

今後実施するゴムチップ関連物質の有害性 / 許容値評価に向けて、必要な情報を得るために、「発がん性の懸念あり」と判断された 37 物質を対象に、耐容一日摂取量等を調査した。また、一部の物質については、既存の曝露情報から暫定リスク評価を試みた。

37 物質の耐容一日摂取量等の調査は、米国有害物質疾病登録局 (ATSDR)、日本産業衛生学会の許容濃度等の勧告等を対象に調査した。その結果、31 物質については、産業衛生上の許容濃度や反復毒性試験の参照用量等の情報を得ることができた。

また、今後の曝露量推定の参考とするため、ノルウェー及びオランダで実施された関連研究の報告書から、人工芝ゴムチップ関連物質の曝露量推定法に関する内容について調査し、各国における曝露シナリオや曝露量の推定法の具体的方法について情報を得た。

さらに、暫定リスク評価を実施するため、ノルウェーの曝露シナリオ及び先行研究により得たゴムチップ中多環芳香族炭化水素類 (PAHs)16 化合物の濃度を利用し、大人への経皮曝露を想定した曝露量推定と発がんリスク評価を実施した。発がんリスクについては、米国 EPA から最近公表されたベンゾ[a]ピレンの評価書を参考に、年齢を考慮した検討を行った。その結果、ピレン以外の PAHs の曝露推定量は、ノルウェーによる PAHs の経皮推定曝露量より低値であった。また、各物質の発がんリスクは、 10^{-5} より十分に低かった。

以上の調査・検討により、今後実施する人工芝ゴムチップ関連化学物質の曝露量推定及びリスク評価を実施するための環境を整えることができた。今後は、フィールド調査から得たデータを用いた本研究独自の曝露シナリオと各経路を想定した曝露量推定及びリスク評価を行う。

A．研究目的

今後実施するゴムチップ関連物質の有害性/許容値評価に向けて、必要な情報を得るために、成分分析等で認められた金属類、SVOCs及びVOCsのうち、「発がん性の懸念あり」と判断された37物質を対象に、耐容一日摂取量等を調査した。また、一部の物質については、既存の曝露情報から暫定リスク評価を試みた。

B．研究方法

(1) 耐容一日摂取量等の調査

先行研究において、人工芝グラウンドで検出される、あるいは検出される可能性のある 126 物質について、それらの健康有害性情報を収集し、主に発がん性について評価結果を分類した。その結果、37 物質 (29%) が「発がん性に関して懸念あり」判断された。本研究では、これら37物質を対象に、国内外のリスク評価機関等から公表されている耐容一日摂取量等を調査した。

調査の対象とした情報源は、以下の通り：

- ・ 米国産業衛生専門官会議 (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGHI)
- ・ 米国有害物質疾病登録局ATSDR
- ・ EPA (米国環境保護庁)
- ・ FAO/WHO合同食品添加物専門家委員会 (FAO/WHO Joint Expert Committee on Food Additives, JECFA)
- ・ FAO/WHO合同残留農薬専門家会議 (JMPR)
- ・ 日本産業衛生学会 (2017年度) 許容濃度等の勧告
- ・ 食品安全委員会

(2) 海外のリスク評価機関における人工芝ゴムチップ関連物質の曝露量推定法に関する調査

現時点で入手可能な人工芝ゴムチップ関連物

質の曝露量推定に関する既存の報告書は、オランダ国立公衆健康環境研究所 (RIVM) による報告書 Assessment of the product limit for PAHs in rubber articles The case of shock-absorbing tiles (RIVM Report 2016-0184) とノルウェー公衆衛生研究所及びラジウム病院による報告書 Artificial turf pitches – an assessment of the health risks for football players (2016) がある。本研究では、人工芝グラウンドにおいて運動した場合の曝露シナリオ及び曝露量推定法について各々の報告書から情報収集した。

(3) ゴムチップ中多環芳香族炭化水素類 (PAHs) 濃度に基づく暫定リスク評価

先行研究において、国内で流通している人工芝用ゴムチップを入手し、金属類、多環芳香族炭化水素類 (PAHs)、ゴム添加剤及び揮発性有機化合物 (VOCs) 等の分析を行い、ゴムチップ中の各種化合物濃度を測定した。本研究では、ノルウェーの報告書に基づき検討した結果、先行研究で得たゴムチップ中濃度のうち、PAHsについては経皮曝露を想定した曝露量の推定が試験的に可能であると判断し、曝露量の推定及び発がんリスク評価を暫定的に実施した。本検索では、先行研究において「発がん性の懸念あり」と判断された37物質に含まれ、ゴムチップ中濃度の測定値が報告された16種のPAHsを対象とした。PAHsのゴムチップ中濃度データは、先行研究で測定された濃度の最大値を用いた。また、曝露シナリオは、ノルウェーにより報告された経皮曝露によるシナリオ5を用いた。シナリオ5は、室内サッカー場で体重70 kgの成人 (曝露皮膚面積 7100 cm²) が1回4時間のトレーニングを週5回、1回6時間の試合を週1回、年間6か月実施した場合を想定している。その他、曝露量推定のために考慮すべき項目についても、ノルウェーの報告書を参考にし、

皮膚上に沈着する粒子/ダスト：1 mg/cm²、週当たりの粒子/ダストへの曝露量：7100 cm²/回 × 1 mg/cm² × 6回 = 42600 mg粒状ゴム/週、体重 1 kg当たりの粒子/ダストへの曝露量/週：42600 mg粒状ゴム/週 ÷ 70 kg = 608 mg/kg/週、体重1 kg当たりの粒子/ダストへの曝露量/日：608 mg/kg/週 ÷ 7日/週 = 87 mg 粒子ゴム/kg/日、最大溶出係数：粒子ゴム重量の0.06%として計算した。発がんリスクについては、今回の検索対象化合物の一つであるベンゾ[a]ピレンに関するEPAの最新の評価書Toxicological Review of Benzo[a]pyrene (2017)を参照し、年齢（16歳以上）及び競技人生（20年と仮定）を考慮して計算し、10⁻⁵リスクとの比較を行った。

（倫理面への配慮）

本研究に、研究対象者に対する人権擁護上の配慮、不利益・危険性の排除や説明と同意（インフォームド・コンセント）への対応及び実験動物に対する動物愛護上の配慮等を必要とする内容は含まれていない。

C．研究結果

（1）耐容一日摂取量等の調査

調査結果を表1に示す。先行研究で発がん性に関し「懸念あり」と判断された37物質について調査した結果、産業衛生上の許容濃度（ACGIHのTLV-TWA及び日本産業衛生学会の許容濃度等）を確認できたのは、14物質であった。また、経口または吸入経路の亜慢性～慢性曝露による反復投与毒性試験等の無毒性量等を根拠とした最小リスクレベル(MRL)あるいは参照用量/濃度(Reference dose, RfD または Reference concentration, RfC)等を調査した結果、対象とした情報源から37物質中31物質について情報を得ることができた。ベンツ[a]アントラセン、ベンゾ[a]ピレン、ベンゾ[b]フルオランテン、ベンゾ

[e]ピレン、ベンゾ[ghi]ペリレン、ベンゾ[k]フルオランテン、クリセン、フルオランテン、フルオレン、フェナントレン、ピレン、ベンゾ[j]フルオランテンについては、ATSDRにおいては多環芳香族炭化水素類 (PAHs)として一括して許容値等が示されていた。MRLあるいはRfD/RfCについては、多くが非発がん影響を根拠とした無毒性量等を基に設定されていた。今回の調査で許容値等の情報が得られなかったのは、6物質であった。

（2）海外のリスク評価機関における人工芝ゴムチップ関連物質の曝露量推定法に関する調査

オランダ国立公衆健康環境研究所（RIVM）による報告書 Assessment of the product limit for PAHs in rubber articles The case of shock-absorbing tiles (RIVM Report 2016-0184)

本報告書では、子供(2～12歳)を対象として、主に多環芳香族炭化水素類の経皮及び経口曝露によるシナリオ及び曝露量の推定が報告されていた。経皮曝露については、競技場のゴムタイルからのPAHへの子供の外部及び内部皮膚曝露量を導出するために3種の方法を比較し、拡散法が最も概念的に現実的なモデルであると判断していた。本報告書では、拡散法による曝露量評価は、ConsExpo（ソフトウェア）に搭載された皮膚拡散モデルにより、ゴムチップの皮膚への接触による経皮曝露を想定したPAH量の推定（Delmaarら，2005）が可能としている。拡散法を用いた経皮曝露の計算は、タイルとの接触期間，タイル中のPAHの拡散係数，接触面積およびタイルの厚みに関する情報を必要とすることが示されていた。本報告書における曝露量計算に用いた各パラメーターは、以下の通り。

- ・ゴムタイル中PAH濃度：0.8, 4, 8 mg/kg
- ・競技場を訪問する頻度と期間：週5日、一日2時間（全年齢層に対して）。直接の皮膚接触は手（両素手）と仮定し、年間を通して261日、さらに気温20度を超える日数の平均93日間は、素足と脚も皮膚接触することを想定した。
- ・手、足、脚との接触時間：7.2分/時間（手または脚とタイルの接触時間）
- ・接触面積：11-13歳（体重44.8 kg）の場合、手0.064、脚0.421、足0.095 m²。ただし、曝露量計算の際は、実際のゴムチップとの接触部位が明らかではないので2で割る。
- ・タイルの厚さ：40 mm
- ・タイル中のPAHs拡散係数：10⁻¹¹ m²/s
- ・経皮吸収率：20%

経口曝露については、5歳までの子供に起こりうる曝露の要因として、経皮曝露後に手の皮膚上に存在するPAHの手から口への移動により起こる可能性を含めた検討をしていた。また、曝露量計算に必要なパラメーターについては、経口吸収率：30%、手から口への移行率：50%としていた。

一方、吸入曝露については、PAHsの揮発に関する情報が限定的であること、ノルウェーの研究により室内運動場での粒状ゴムから揮発するベンゾ[a]ピレン（BaP）の屋内空気中濃度がBaPの屋内空気中濃度限界より低いことが明らかになったこと等を根拠に、吸入経路（粒子に結合したPAHの吸入を含む）を評価から除外していた。

経皮及び経口曝露の場合の、上記各パラメーターを用いた各年齢層におけるPAH曝露量の推定結果については、表2の通りであった。

ノルウェー公衆衛生研究所及びラジウム病院による報告書Artificial turf pitches – an

assessment of the health risks for football players(2016)

本報告書からは、主に曝露シナリオについて情報を収集した。

ノルウェーの研究では、曝露経路毎（経皮、吸入及び経口）によるシナリオが設定されていた。さらに、人工芝グラウンドでのトレーニング・セッションと試合に対して、年齢層毎に4種類のシナリオタイプ：大人（20歳以上）、ジュニア（16～19歳）、年長の子供（12～15歳）および子供（7～11歳）が用いられた。曝露時間と活動の種類（トレーニングまたは試合）は、ノルウェー国内の4か所のスポーツホールで得られた情報に基づいていた。子供については、調査した競技場の使用状況に基づき、試合及びトレーニングをするパターンとトーナメント方式で試合をするパターンが示されていた。

ノルウェーの曝露シナリオ12パターンを表3に示す。吸入経路については、シナリオ1～4bの計5種が報告されていた。吸入容積は、トレーニング及び試合中の最も激しい運動を想定し設定されていた。経皮曝露（皮膚接触）については、シナリオ5～8bの計5種が報告されていた。各年齢層の曝露皮膚面積は、大人が曝露される皮膚面積を：足（2070 cm²の25%）、腿（1980 cm²）、腕（2570 cm²）、手（840 cm²）、頭（顔、1180 cm²）、全体で約7100 cm²とし、体表面積が体重とほぼ相関すると仮定した場合の数値が用いられていた。また、皮膚からの吸収率は、より低い皮膚取り込みレベルが妥当（例えば、フタル酸エステルの場合5%）という明確な証拠がない場合は、100%吸収されるというワーストケースが用いられていた。経皮曝露量の計算に必要な皮膚上に沈着した粒子の量（mg/cm²）については、1.0 mg/cm²としていた。経口摂取については、シナリオ9aおよび9bの計2種が報告されてい

た。これらは、子供が試合又はトレーニング中に口に入った1gのゴムチップを噛んで飲み込み、100%が消化器官で吸収されたと仮定したシナリオであった。

(3) ゴムチップ中多環芳香族炭化水素類 (PAHs) 濃度に基づく暫定リスク評価

ノルウェーにより報告された経皮曝露による曝露シナリオ5を用い、先行研究において「発がん性の懸念あり」と判断されたPAHs16物質を対象に、経皮曝露を想定した曝露量の推定を試験的に実施した。その結果を表4に示す。各化学物質の推定曝露量(ng/kg BW/day)は、0.016(ベンゾ[c]フルオレン)~1.957(ピレン)であった。また、年齢を考慮した発がんリスクは、最大で 2.8×10^{-7} (ピレン)、IARCによる発がん分類が1であるベンゾ[a]ピレンは 2.1×10^{-8} であった。また、全物質の発がんリスクの合計は 7.0×10^{-7} であった。これらの値は、 10^{-5} 発がんリスクより十分低かった。

D. 考察

本研究により、人工芝ゴムチップ中の化学物質のうち「発がん性の懸念あり」と判断された37物質に関する各種許容値及び海外機関による曝露量推定のためのシナリオ及び曝露量推定法を確認し、本研究における曝露量評価に必要な基本情報を得ることができた。また、試験的ではあるが、ゴムチップ中多環芳香族炭化水素類 (PAHs) 濃度に基づき各物質の経皮曝露量の推定及び発がんリスクの評価を行い、今後の本研究におけるリスク評価に向けた環境を整えることができた。

今回収集した許容値等については、本研究班で実施中のフィールド調査から得たデータに基づく曝露量推定を行った後に、リスク評価のために用いることを見込んでいる。H29年度は、限られ

た情報源から許容値等の情報を収集したが、調査範囲を広げて発がん性に基づく値を中心とした調査を継続する。

海外のリスク評価機関における人工芝ゴムチップ関連物質の曝露量推定法に関する調査においては、オランダとノルウェーによる研究報告から、曝露シナリオ等の有用な情報を得ることができた。各国の曝露量推定は、子供のみを対象としたり、小学校等の教育機関が人工芝グラウンドを多用しているあるいは寒い気候のため室内運動場を多用する環境を想定するなど、各国の事情を反映したシナリオであった。本研究では、日本独自の曝露シナリオを設定するためのアンケート調査等を実施することは困難である。体重や体表面積等、既存の日本固有データがある場合は、それらのデータを利用し、海外の曝露シナリオの一部のパラメーターの数値を置き換えて曝露量を推定する必要がある。また、米国EPAによる研究報告が公表された場合は、米国による人工芝ゴムチップ関連化学物質の曝露シナリオや曝露量推定法を調査し、本研究による曝露量推定のために最も参考になる曝露シナリオ及び曝露量の推定法を検討する必要がある。したがって、今後は、パラメーターとして活用できる既存の日本独自データを調査及び米国EPAの研究報告の内容精査を実施し、本研究独自の曝露シナリオと各経路を想定した曝露量推定法を確立する。

ゴムチップ中多環芳香族炭化水素類 (PAHs) 濃度に基づく暫定リスク評価については、試験的に経皮曝露による各PAHの曝露量推定を行った。先行研究で得た各PAHの最大濃度を用いたが、体格が異なるノルウェーの大人の曝露シナリオ5に基づき推定したため、推定値はおそらく日本人の実際の曝露量とは異なることが予想される。ノルウェーの報告書によると、同国における研究ではPAHsの経皮曝露による推定曝露量は、曝露

シナリオ5に基づき生物利用率 $1 \times 10^{-6}\%$ として計算した結果、0.87 ng/kg BW/dayであったと報告されている。本研究で推定した各PAHの経皮曝露量と比較したとき、ピレン以外はノルウエーの推定曝露量を下回っていた。また、発がんリスクは、米国EPAが最近公表した経口曝露によるベンゾ[a]ピレンの評価書を参考に、ベンゾ[a]ピレンのスロープファクター $1 \text{ (mg/kg/day)}^{-1}$ を全てのPAHsに適用し、さらに年齢（16歳以上）及び競技人生（20年と仮定）を考慮して計算した。今回対象とした各PAHの発がんリスク及び全PAHの発がんリスク合計は、 10^{-5} 発がんリスクより十分低いことが確認できた。経口曝露によるPAHs混合物の発がんリスクに関するSchneiderら（2002）によると、相対発がんポテンシーは、ベンゾ[a]ピレン及びベンゾ[b]フルオランセンが1に対し、ベンゾ[a]アントラセン、ベンゾ[k]フルオランセン及びベンゾ[j]フルオランセンが0.1、アントラセン、フルオランセン、クリセン、ベンゾ[ghi]ペリレンが0.01であると報告されている。また、IARCによる発がん性分類を比較したとき、ベンゾ[a]ピレンは今回対象としたPAHsの中で最も発がん性が強い。そのため、各PAHの発がん性の強さを考慮した発がんリスクを評価する必要があるが、本研究結果ではベンゾ[a]ピレンと同じ発がん性の強さを想定した結果、十分に発がんリスクは低いことが確認されたので、本研究条件下では相対発がんポテンシーを考慮する必要はないと考えられた。今回はPAHsの成人に対する経皮曝露という限られた条件下での曝露量推定及び発がんリスク評価であった。今後の研究ではその他の曝露経路及び対象とする物質を拡大して試験的に計算した上で、フィールド調査から得たデータを用いた本研究独自の曝露シナリオと各経路を想定した曝露量推定及びリスク評価を行うこととする。

E．結論

本検討により、今後実施する人工芝ゴムチップ関連化学物質の曝露量推定及びリスク評価を実施するための環境を整えることができた。今後は、フィールド調査から得たデータを用いた本研究独自の曝露シナリオと各経路を想定した曝露量推定及びリスク評価を行う。

F．健康危機情報

なし

G．研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

H．知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

表1 発がん性の懸念あり 37 物質の許容値等

物質名	CAS No.	ACGIH TLV-TWA ^a	日本産業衛生学会 許容濃度等の勧告 (2017年度)		その他の情報源	
			許容濃度 ^b ppm	許容濃度 ^b mg/m ³	経口	吸入
ヒ素	7440-38-2	0.01 mg/m ³		3 µg/m ³	0.0003 mg/kg/day	設定なし
鉛	7439-92-1	0.05 mg/m ³	---	0.03	設定せず (ATSDR)	0.5 mg/m ³ (Air quality guideline, WHO, 2004)
ニッケル	7440-02-0	1.5 mg/m ³ (I)	---	1	0.02 mg/kg/day (RfD) "EPA (IRIS 2005)	0.0002 mg Ni/m ³ or 9x10 ⁻⁵ mg Ni/m ³ (MRL) ATSDR (2005)
アントラセン	120-12-7				0.3 mg/kg/day RfD EPA (IRIS 1994)	設定せず (EPA IRIS, 1990)
エチルベンゼン	100-41-4	20 ppm	50	217	ATSDR oral MRL of 0.4 mg/kg/day (MRL, intermediate-duration) ATSDR 0.1 mg/kg/day (RfD) EPA	2 ppm or 0.06 ppm (MRL, intermediate- or chronic-duration) 1 mg/m ³ (equivalent to 0.23 ppm), (RfC) EPA, 1991
ヘキサン ¹	110-54-3	50 ppm (176 mg/m ³) PEL-time-weighted average (TWA)	40	140	RfDを決めるための十分なデータなし(EPA IRIS, 2005)	0.6 ppm (MRL, Chronic-duration) 0.7 mg/m ³ (RfC) EPA (IRIS 2005)
ジクロロメタン	75-09-2	50 ppm	50 (100)	170 (340)	0.06 mg/kg/day (RfD, Chronic)	0.3 ppm (MRL, intermediate- and chronic-duration)
メチルイソブチルケトン	108-10-1	20 ppm	50	200	not applicable 発がん性については、ヒト及び動物試験の情報なし	3 mg/m ³ (RfC) (EPA IRIS, 2003)
スチレン ¹	100-42-5	20 ppm	20	85	0.2 mg/kg/day (RfD) EPA (IRIS 2009)	0.2 ppm (MRL, Chronic) ATSDR and EPA (根拠は異なる)
ジブチルヒドロキシトルエン	128-37-0	2 mg/m ³ (IFV)			0-0.3 mg/kg bw (ADI) JECFA)	
ベンツ[a]アントラセン	56-55-3	- (L)			0.2 mg/L (European standard for drinking water (WHO 1972) ただし、多環芳香族炭化水素類 (PAHs) として	0.2 mg/m ³ (PEL, TWA, Coal tar pitch volatiles-benzene solution fraction. OSHA 1993, ACGIH 1991.)ただし、多環芳香族炭化水素類として
ベンゾ[a]ピレン	50-32-8	- (L)			ベンツ[a]アントラセンと同様。	ベンツ[a]アントラセンと同様。
ベンゾ[b]フルオランテン	205-99-2	- (L)			ベンツ[a]アントラセンと同様。	ベンツ[a]アントラセンと同様。
ベンゾ[e]ピレン	192-97-2	情報なし			ベンツ[a]アントラセンと同様。	ベンツ[a]アントラセンと同様。
ベンゾ[ghi]ペリレン	191-24-2	情報なし			ベンツ[a]アントラセンと同様。	ベンツ[a]アントラセンと同様。
ベンゾ[k]フルオランテン	207-08-9	情報なし			ベンツ[a]アントラセンと同様。	ベンツ[a]アントラセンと同様。
クリセン	216-01-9	情報なし			ベンツ[a]アントラセンと同様。	ベンツ[a]アントラセンと同様。
フルオランテン	206-44-0	情報なし			ベンツ[a]アントラセンと同様。	ベンツ[a]アントラセンと同様。
フルオレン	86-73-7	情報なし			ベンツ[a]アントラセンと同様。	ベンツ[a]アントラセンと同様。
ナフタレン	91-20-3	10 ppm			0.02 mg/kg/day (RfD) EPA	0.0007 ppm (3x10 ⁻³ mg/m ³) (MRL, Chronic) ATSDR
フェナントレン	85-01-8	情報なし			ベンツ[a]アントラセンと同様。	ベンツ[a]アントラセンと同様。
ピレン	129-00-0	情報なし			ベンツ[a]アントラセンと同様。	ベンツ[a]アントラセンと同様。
アニリン ¹	62-53-3	2 ppm	1	3.8		
N-ニトロソジフェニルアミン	86-30-6	情報なし				
イソホロン	78-59-1	TWA情報なし、STEL C 5 ppm			0.15 mg/kg/day (RfD) EPA, 1988	4 ppm (Permissible exposure limit, OSHA 1989, 29 CFR 1910.1000) 4 ppm (Recommended exposure limit for occupational exposure as a TWA for up to 10-hour workshift, NIOSH 1978)

表1(つづき)

ビス(2-エチルヘキシル)フタレート 別称：フタル酸ジ(2-エチルヘキシル) 別名：フタル酸ジオクチル* DOP* DEHP フタル酸ビス(2-エチルヘキシル)	117-81-7	5 mg/m3			An MRL of 0.06 mg/kg/day (MRL, Chronic) ATSDR 0.02 mg/kg/day(RfD) EPA	RfC not available (IRIS 2001)
カルバゾール	86-74-8	情報なし			発がんLOAEL 0.15% (最低用量) : マウス96週間発がん性試験 ラットを用いた反復経口投与毒性試験・生殖発生毒性併合試験：反復投与NOEL: 25 mg/kg BW/day	
2-メルカプトベンゾチアゾール	149-30-4	情報なし			情報なし	情報なし
ジメチルジチオカルバミン酸亜鉛(ジラム)	137-30-4	情報なし			0-0.003 bmg/kg bw/day (Group ADI for Ferbam and Ziram) JMPR	
6-エトキシ-1,2-ジヒドロ-2,2,4-トリメチルキノリン(エトキシキン)	91-53-2	情報なし			0-0.005 mg/kg bw/day (ADI) JMPR ADI 0.0083 mg/kg bw/day (ADI) 食品安全委員会	
p-キノンジオキシム	105-11-3	情報なし			情報なし	情報なし
カーボンブラック	1333-86-4	3 mg/m3 (I)	1 (吸入性粉塵)*	4 (総粉塵**, mg/m3)	情報なし	情報なし
ジフェニルアミン	122-39-4	10 mg/m3			情報なし	情報なし
エチレンチオウレア	96-45-7	情報なし			情報なし	情報なし
ベンゾ[c]フルオレン	205-12-9	情報なし			情報なし	情報なし
シクロペンタ[cd]ピレン	27208-37-3	情報なし			情報なし	情報なし
ベンゾ[j]フルオランテン	205-82-3	情報なし			ベンツ[a]アントラセンと同様。	ベンツ[a]アントラセンと同様。

< ACGIH 関連 >

a: TLV-TWA (Threshold Limit Values-Time-Weight Average): 1日8時間、週40時間の時間加重平均濃度

一般の人が有害ガスなどを含んだ環境の下で中程度の作業を1日8時間行い、かつ長時間継続しても健康に障害を及ぼさない程度の有害ガスの濃度限界。

- ・ STEL (Short-term exposure limit) : 短時間暴露限界。たとえ8時間 TWA が TLV-TWA 内であっても、1日の作業のどの時間においても、超えてはならない15分間 TWA として定義される。
- ・ IFV (Inhalable fraction and vapor) : 吸引性分画及び蒸気
- ・ PEL (Permissible exposure limit) : 許容暴露限度。1日8時間、週40時間の繰り返し労働において作業員に対し有害な影響を及ぼさない時間加重平均濃度。

(I) Inhalable fraction : 吸引性分画。直径 100 μm 以下の粉塵として。

(L) すべての経路からの暴露について、できる限り低いレベルになるようコントロールすべき物質

< 日本産業衛生学会 許容濃度の勧告関連 >

b: 労働者が1日8時間、週間40時間程度、肉体的に激しくない労働強度で有害物質に曝露される場合に、当該有害物質の平均曝露濃度がこの数値以下であれば、ほとんど全ての労働者に健康上の悪影響が見られないと判断される濃度。

1: ヘキサン、アニリン、スチレンは、経皮的に吸収される量が全身への健康影響または吸収量からみて無視できない程度に達することがあると考えられる物質。ただし、上記許容濃度は、経皮吸収がないことを前提として提案されている数値。

カッコ内数値：最大許容濃度（常時この濃度以下に保つこと）。*：捕集率 R (dae) で捕集された粒子の質量濃度

**：捕集器の入口における流速を 50 - 80 cm/sec として捕集した粉塵を総粉塵とする。

表2 拡散法による暴露量推定結果 (RIVM Report 2016-0184 より)

タイ ル中 濃度 (mg/ Kg)	年 齢	外部経皮曝露量 (EA _{ext dermal} , mg)			経皮慢性 (内部) 用量 (mg/kg 体重/日)			経口慢性 (内部) 用 量 (mg/kg 体重/日)	総慢性 (内部) 用 量 (mg/kg 体重/日)
		手	脚	足	手	脚	足		
0.8	2	5.6 × 10 ⁻⁶	2.9 × 10 ⁻⁵	3.1 × 10 ⁻⁵	6.5 × 10 ⁻⁸	8.4 × 10 ⁻⁸	8.9 × 10 ⁻⁸	4.8 × 10 ⁻⁸	2.9 × 10 ⁻⁷
	3 ~ 6	6.8 × 10 ⁻⁶	3.5 × 10 ⁻⁵	3.7 × 10 ⁻⁵	6.2 × 10 ⁻⁸	8.1 × 10 ⁻⁸	8.6 × 10 ⁻⁸	4.6 × 10 ⁻⁸	2.8 × 10 ⁻⁷
	6 ~ 11	9.2 × 10 ⁻⁶	5.1 × 10 ⁻⁵	5.3 × 10 ⁻⁵	5.4 × 10 ⁻⁸	7.6 × 10 ⁻⁸	7.8 × 10 ⁻⁸	0	2.1 × 10 ⁻⁷
	11 ~ 13	1.3 × 10 ⁻⁵	8.4 × 10 ⁻⁵	8.2 × 10 ⁻⁵	4.1 × 10 ⁻⁸	6.8 × 10 ⁻⁸	6.6 × 10 ⁻⁸	0	1.7 × 10 ⁻⁷
	2 ~ 13								2.3 × 10 ^{-7 a}
4	2	2.8 × 10 ⁻⁵	1.4 × 10 ⁻⁴	1.5 × 10 ⁻⁴	3.2 × 10 ⁻⁷	4.2 × 10 ⁻⁷	4.4 × 10 ⁻⁷	2.4 × 10 ⁻⁷	1.4 × 10 ⁻⁶
	3 ~ 6	3.4 × 10 ⁻⁵	1.8 × 10 ⁻⁴	1.8 × 10 ⁻⁴	3.1 × 10 ⁻⁷	4.1 × 10 ⁻⁷	4.2 × 10 ⁻⁷	2.3 × 10 ⁻⁷	1.4 × 10 ⁻⁶
	6 ~ 11	4.6 × 10 ⁻⁵	2.6 × 10 ⁻⁴	2.6 × 10 ⁻⁴	2.7 × 10 ⁻⁷	3.8 × 10 ⁻⁷	3.8 × 10 ⁻⁷	0	1.0 × 10 ⁻⁶
	11 ~ 13	6.4 × 10 ⁻⁵	4.2 × 10 ⁻⁴	4.0 × 10 ⁻⁴	2.0 × 10 ⁻⁷	3.4 × 10 ⁻⁷	3.2 × 10 ⁻⁷	0	8.7 × 10 ⁻⁷
	2 ~ 13								1.1 × 10 ^{-6 a}
8	2	5.6 × 10 ⁻⁵	2.9 × 10 ⁻⁴	3.1 × 10 ⁻⁴	6.5 × 10 ⁻⁷	8.4 × 10 ⁻⁷	8.9 × 10 ⁻⁷	4.8 × 10 ⁻⁷	2.9 × 10 ⁻⁶
	3 ~ 6	6.8 × 10 ⁻⁵	3.5 × 10 ⁻⁴	3.7 × 10 ⁻⁴	6.2 × 10 ⁻⁷	8.1 × 10 ⁻⁷	8.6 × 10 ⁻⁷	4.6 × 10 ⁻⁷	2.8 × 10 ⁻⁶
	6 ~ 11	9.2 × 10 ⁻⁵	5.1 × 10 ⁻⁴	5.3 × 10 ⁻⁴	5.4 × 10 ⁻⁷	7.6 × 10 ⁻⁷	7.8 × 10 ⁻⁷	0	2.1 × 10 ⁻⁶
	11 ~ 13	1.3 × 10 ⁻⁴	8.4 × 10 ⁻⁴	8.2 × 10 ⁻⁴	4.1 × 10 ⁻⁷	6.8 × 10 ⁻⁷	6.6 × 10 ⁻⁷	0	1.7 × 10 ⁻⁶
	2 ~ 13								2.3 × 10 ^{-6 a}

a 年齢加重平均

表3 年齢層及び暴露経路毎の暴露シナリオ（ノルウェー報告書(2016)より）

	活動内容	室内でトレーニング 及び試合をする	室内でトレーニング 及び試合をする	室内でトレーニング 及び試合をする	室内でトレーニング 及び試合をする	トーナメントで試合を する
	評価対象	大人	ジュニア	年長の子供	子供a	子供b
評価シナリオ番号	吸入	1	2	3	4a	4b
	経皮	5	6	7	8a	8b
	経口	-	-	-	9a	9b
体重	kg	70	65	50	30	30
トレーニング / 試合中吸入量	m ³ /時	6.0	4.8	3.6	1.8	1.8
軽い運動中吸入量	m ³ /時	-	-	-	-	0.8
1回のトレーニング 時間	時間	4.0	2.0	2.5	2.5	-
トレーニング 回数	/週	5	7	4	4	-
トレーニング 時間	週	20	14	10	10	-
軽い運動の時間	時間	-	-	-	-	17
1回の試合時間	時間	6	2	2	2	1
試合回数	/週	1	0.5	1	1	7*
試合時間	/週	6	1	2	2	-
曝露事象発生期間	月	6	-	6	6	-
トーナメントの試合時間	時間	-	-	-	-	7
年間トーナメント数	回/年	-	-	-	-	2
トーナメントの期間	日	-	-	-	-	2.5
曝露皮膚面積	cm ²	7100	6600	5100	3000	3000
トレーニング / 試合中の飲込量	g	-	-	-	1	1
経口吸収率	%	-	-	-	100	100
* トーナメントにおける試合数						

表4 PAHsのゴムチップ中濃度に基づいた経皮曝露量推定及び発がんリスク

化合物名	H28 研究成果 検出濃度の 最大値 (mg/g)	粒状ゴム 1gあたりの 溶出量 (ng/g) (最大溶出係数 0.06%として)	化学物質の 経皮曝露量 (ng/kg/day)	EPAの年齢を 考慮した 発がんリスク	IARC 発がん 性分類
Naphthalene	6.95	4.2	0.36	5.2×10^{-8}	2B
Fluorene	0.705	0.4	0.04	0.5×10^{-8}	3
Phenanthrene	4.5	2.7	0.23	3.3×10^{-8}	3
Anthracene	0.661	0.4	0.03	0.5×10^{-8}	3
Fluoranthene	12	7.2	0.63	9.0×10^{-8}	3
Pyrene	37.4	22.4	1.95	2.8×10^{-7}	3
Benzo[c]fluorene	0.297	0.2	0.02	0.2×10^{-8}	3
Benzo[a]anthracene	2.23	1.3	0.12	1.7×10^{-8}	2B
Cyclopenta[cd]pyrene	6.19	3.7	0.32	4.6×10^{-8}	2A
Chrysene	3.13	1.9	0.16	2.3×10^{-8}	2B
Benzo[b]fluoranthene	1.52	0.9	0.08	1.1×10^{-8}	2B
Benzo[k]fluoranthene	0.578	0.3	0.03	0.4×10^{-8}	2B
Benzo[j]fluoranthene	0.583	0.3	0.03	0.4×10^{-8}	2B
Benzo[e]pyrene	4.6	2.8	0.24	3.4×10^{-8}	3
Benzo[a]pyrene	2.84	1.7	0.15	2.1×10^{-8}	1
Benzo[ghi]perylene	9.6	5.8	0.50	7.1×10^{-8}	3
発がんリスク合計				7.0×10^{-7}	