

国立医薬品食品衛生研究所
生活衛生化学部

人工芝グラウンド用ゴムチップの成分分析及び その発がん性等に関する研究結果について

1. はじめに

近年、維持管理のし易さやランニングコストの面などから、サッカー場や野球場には人工芝を敷設した競技場が増加しています。そうした競技場の人工芝は、合成樹脂製の芝糸の隙間にゴムチップや硅砂などを充填剤として加え、クッション性を高めています（図参照）。このゴムチップは、トラックやバス等の廃タイヤをリサイクルし、切断、細粒化して

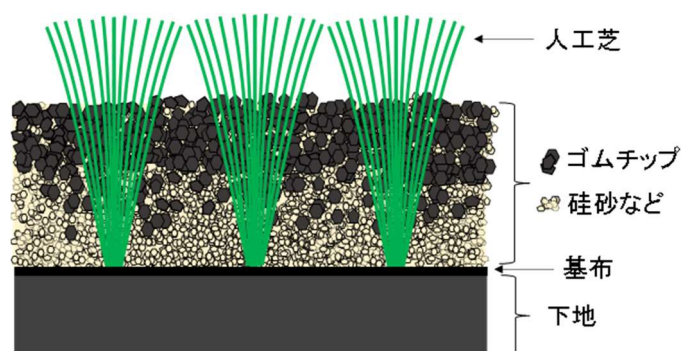


図. 人工芝の模式図

製造されたものが多く、天然ゴム（NR）とスチレン・ブタジエンゴム（SBR）等の合成ゴムとの混合物です。また、廃タイヤだけではなく、NR、SBR 及びエチレン・プロピレン・ジエンゴム（EPDM）といった合成ゴムを使用した工業用ゴムも同様にリサイクルされ使用されています。さらに、熱可塑性エラストマー（TPE）といったゴムとプラスチックの性質を合わせもつ合成樹脂のチップなども使用されています。

ゴムチップには多くの化学物質が含まれており、これまでもその健康影響について各国で研究等されてきました。2014年には、米国NBCテレビが女子サッカー選手のがん発症（主としてリンパ腫や白血病などの血液がん）と人工芝用ゴムチップとの関連性について報じました。2016年2月から米国環境保護庁（EPA）等は、人工芝用ゴムチップの安全性に関して調査研究を開始しました。欧州化学品庁（ECHA）やオランダ国立公衆健康環境研究所（RIVM）などの公的機関も同様に調査研究を行いました。

国立医薬品食品衛生研究所の生活衛生化学部を中心としたグループは、平成28年度厚生労働科学特別研究事業の一環として、日本国内で流通している人工芝グラウンド用ゴムチップの発がんリスク等の健康影響評価に資する情報を収集することを目的とし、「人工芝グラウンド用ゴムチップの成分分析及びその発がん性等に関する研究」班を組織し、調査研究を行いました。

2. 実施内容

(1) 試料

人工芝施工業者 10 社（各施工業者の申告によると国内シェア 95%以上を占める）から入手した人工芝用ゴムチップ 46 製品を調査対象としました。

(2) 化学分析

人工芝用ゴムチップ中の金属類、多環芳香族炭化水素類及びその類縁化合物（PAHs 等）、ゴム製品の製造時に使われる加硫促進剤や老化防止剤などのゴム添加剤並びにそれらに由来する化合物（ゴム添加剤等）、及び揮発性有機化合物（VOCs）の含有量を測定しました。金属類に関しては、誘導結合プラズマ質量分析計（ICP-MS）及び水銀専用分析装置を用いて分析しました。PAHs 等及びゴム添加剤等はガスクロマトグラフ質量分析計（GC-MS）及び液体クロマトグラフタンデム質量分析計（LC-MS/MS）を用いて分析しました。VOCs に関しては、ゴムチップを加熱して連続孔（スルーポア）を有する高純度シリカゲルで VOCs を捕集し、GC-MS を用いて分析しました。

(3) 情報収集

これまでのゴムチップに関する学術文献で検出の報告があり、人工芝グラウンドで検出される可能性がある物質、及び研究班の化学分析で検出された複数の物質を選定し、国際的評価機関の評価書等から発がん性等の情報を収集しました。また、米国や欧州当局等の公的機関における評価状況を合わせて調査しました。

3. 結果と考察

(1) 化学分析

本研究では、日本国内に敷設される人工芝グラウンドに使われるほとんどすべての種類のゴムチップを分析したと考えます。各分析項目について最適な分析条件を検討し、測定しました。ゴムチップの原料となったリサイクルゴム製品の種類が様々であったことから、ばらつきの影響を考慮して、各分析項目では 1 製品から 3 試料以上用意し、それぞれ分析しました。

① 金属類

金属類に関しては、28 元素を対象にしました。亜鉛はゴムチップ中に認められた金属類の中では最も多く含まれていました。ゴムを加硫する際に添加される酸化亜鉛に由来するものと考えられ、SBR 等の材質のゴムチップに比べて、EPDM 製または TPE 製ゴムチップでは低いことがわかりました。鉄やアルミニウムの濃度も他の元素に比べて高い値を示しました。鉛は TPE 製以外

のほとんどの製品に認められ、今回測定したゴムチップ中の濃度の最大値は 29 $\mu\text{g/g}$ でした。水銀は最大でも 0.1 $\mu\text{g/g}$ 未満でした。EPDM 製の 2 製品には、他の製品に比べて高濃度のクロムが検出されました。これは、ゴムチップに含有されている緑色顔料（酸化クロム）によるものと考えられます。

② PAHs 等

PAHs 等は、廃タイヤ由来及び工業用ゴム由来のゴムチップ 37 製品にベンゾ[a]ピレンやベンゾ[a]アントラセンなど 32 物質を検出しました。廃タイヤ由来と工業用ゴム由来の試料を比較したところ、PAHs は廃タイヤ由来の試料の方がやや高い濃度で検出されました。これは、工業用ゴム由来の試料のほとんどに PAHs が検出されにくい EPDM が混合されていたためと考えられます。また、ECHA は代表的な 8 種類の PAHs（ベンゾ[a]ピレン、ベンゾ[a]アントラセン、クリセン、ベンゾ[b]フルオランテン、ベンゾ[k]フルオランテン、ジベンゾ[a,h]アントラセン、ベンゾ[j]フルオランテン、ベンゾ[e]ピレン）の濃度の合計値を用いて健康リスク評価を行っています。その際、ゴムチップ中に存在すると想定される濃度の合計値として 20 $\mu\text{g/g}$ を用いています。この値と比較すると、本研究で分析した製品中の 8 種類の PAHs（分析最大値の合計：16.3 $\mu\text{g/g}$ ）の方が低いことがわかりました。

③ ゴム添加剤等

ゴム添加剤等に関しては、EPA の研究計画や既存の文献及びゴムの一般的な配合等を考慮して、できるだけ多くの物質を対象として試験方法を検討し、分析しました。チアゾール系加硫促進剤や芳香族アミン系老化防止剤及びその分解物、並びにフタル酸エステル系可塑剤など、42 物質を検出しました。このうち、加硫促進剤では 2-メルカプトベンゾチアゾール (MBT) (1.6~1994 $\mu\text{g/g}$)、芳香族アミン系老化防止剤では *N*- (1,3-ジメチルブチル) -*N'*-フェニル-*p*-フェニレンジアミン (28~8718 $\mu\text{g/g}$) 等が高頻度 (80%以上) で検出されました。一般的に MBT 等のゴム添加剤は、ゴム製造時にそれぞれ最大で数% (数万 $\mu\text{g/g}$) 添加されており、本研究で得られたゴムチップ中の各添加剤等の濃度はゴム製品としては想定される範囲内であると考えられます。

④ VOCs

VOCs に関しては、空气中に揮発する可能性のある物質の特定を目的とした成分分析を行い、試料重量当たりの量として求めました。本研究では、28 物質を検出しました。高頻度に (試料の 70%以上) に確認された物質はベンゾチアゾール (BTZ) とメチルイソブチルケトン (MIBK) でした。これらの物質は、学術文献等でも報告例の多い物質です。BTZ の検出濃度範囲は 0.080~22 $\mu\text{g/g}$ 、MIBK の検出濃度範囲は 0.064~19 $\mu\text{g/g}$ でした。なおベンゼンは、いずれの試料においても定量下限値 (0.040 $\mu\text{g/g}$) 未満でした。

(2) 情報収集

① ゴムチップ関連物質の有害性評価

ゴムチップに関わる文献・資料、あるいは化学分析で検出された物質から 126 物質を抽出し、暫定的に有害性（特に発がん性のハザード）を評価しました。その結果、利用できる有用な毒性試験データがないために評価困難と判断された物質を除き、37 物質を動物あるいはヒトにおいて発がん性を示す知見が認められた物質、あるいはそれらと類似の構造を有し発がん性を示す可能性があると推定される物質、24 物質を動物あるいはヒトにおいて試験あるいは評価で発がん性を示す知見が認められていない物質としました。今後詳細な曝露及びリスク評価を行うことが必要になった際に有用な情報を提供するものと考えられます。

② 海外のゴムチップに対する評価状況

オランダ国立公衆健康環境研究所 (RIVM) : 100 か所の人工芝競技場から採取したゴムチップの健康リスクを評価しました。ゴムチップが口に入ること、または皮膚に触れることを模倣した実験を行っています。ゴムチップは健康影響が懸念される鉛等の金属や発がん性の懸念のある PAHs 等が含まれているものの、それらの溶出量が少なく、これらの物質はゴムチップ中に封入されていると考えられることから、その健康リスクは無視できると結論しました。

欧州化学品庁 (ECHA) : 既存の学術文献及び最近の複数の研究結果を基に、人工芝競技場に使用されるリサイクルゴムチップ中の PAHs、金属類、及び VOCs 等を評価しました。収集した範囲の金属の溶出に関しては、玩具に関する法律で許容される濃度を下回っていると、競技者の健康への懸念は無視できるとしています。ゴムチップから検出された PAHs の濃度は、競技者や作業者に発がんリスク、または健康上の問題を起こす恐れは非常に低いか無視できるとしています。フタル酸エステル、BTZ、MIBK の濃度は健康影響が出るレベルではないとしています。室内競技場では、ゴムチップから放散する VOCs の濃度は、気道・目・皮膚に対し刺激性を示す可能性を言っています。ECHA は EPA の報告書を踏まえ、再評価を行うこととしています。

米国ワシントン州保健局 : 州住民における疫学調査で、同じ年齢の住民の発症率に基づいて予測されるがん発症数と報告されたサッカー選手におけるがん発症数に差がないことを報告しています。

米国環境保護庁 (EPA) : ゴムに使用される可能性や人工芝グラウンド上で検出される可能性を考慮して、多くの物質についての調査研究を計画し、実施しています。EPA は現段階で、具体的なゴムチップ中の化合物の分析結果や健康リスクに関する評価結果は公表しておらず、2017 年後半に報告する予定です。

4. まとめ

本研究においては、国内で流通する人工芝グラウンド用ゴムチップの成分分析を実施し、ゴムチップ中の金属や化学物質の含有量を測定しました。各物質について最適な分析条件を検討し、ゴムチップに含まれる多くの物質を測定するよう努めました。その結果、これまでのゴムチップに関する学術論文で報告されているよりも多くの種類の物質について実態を把握することができました。さらに、各物質の濃度についてゴムチップの由来製品（材質）や色別に比較を行い、考察しました。

米国の報道では、人工芝グラウンド用ゴムチップと血液系のがんとの関連性が指摘されていました。本研究で分析対象とした物質のうち、ヒトで血液系のがんを誘発する十分な証拠がある物質にはベンゼンがあります。今回の調査により、ベンゼンについては定量下限値未満であることが明らかになりました。

また、現時点においては、海外のゴムチップに対する評価は概ね健康リスクが無視できるとしているほか、本研究で調べた範囲では、諸外国及び本邦においてこれまで、人工芝グラウンド上で競技する人や作業する人にゴムチップに起因する健康被害が生じたという学術報告は確認されていません。

5. 今後の展開

今回の研究では、人工芝グラウンド用ゴムチップの成分分析を実施し、ゴムチップ内に含まれる金属や化学物質の含有量を測定しました。一方、RIVMやECHAは、人工芝グラウンドの使用状況下において、ゴムチップに含まれる金属や化学物質が溶出するかどうか等を用いて、リスクの大小を判断しています。

本研究で得られたゴムチップに含まれる物質の種類や濃度に関する情報をもとに、そうした物質がどの程度溶出したり、放散したりして人体に曝露されるかを調査することによって、人への健康影響をより正しく評価することができるものと考えます。

今後、本研究成果をもとに、日本国内で流通する人工芝グラウンド用ゴムチップの曝露評価を実施するとともに、公表されるEPAの報告書などの国際的な動向を踏まえながら、それらゴムチップの健康リスクについて評価を行うことが望まれます。

用語説明

- 多環芳香族炭化水素類
ベンゼン環（芳香環）を 2 個以上持つ化学物質の総称。英語では、Polycyclic Aromatic Hydrocarbons と呼ばれ、PAHs と略される。
- 揮発性有機化合物
沸点が低く、揮発しやすい有機化合物の総称。沸点が 50～260℃の有機化合物を指す。英語では、Volatile Organic Compounds と呼ばれ、VOCs と略される。
- 加硫促進剤
ゴムが伸び縮みするように、硫黄を含む薬品などを加えてゴム内部の分子同士を結び付けるための反応（加硫）が進みやすくなるように添加される薬品。
- 老化防止剤
ゴムが光や酸素などで劣化しないように添加される薬品。
- 曝露
ヒトが食べたり、吸ったり、接触したりして化学物質を体内に取り込むこと。
- 健康リスク
ヒトの健康に影響があるかどうかのこと。例えば化学物質のリスクは、その物質自体の毒性と曝露する量によって判断される。
- 定量下限値
ある分析方法によって、正確に求められる最小の値または濃度のこと。

○本件問い合わせ先
生活衛生化学部 五十嵐良明
TEL: 03-3700-1141（内線 253）