

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)  
分担総合研究報告書

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

研究分担者 久保田 領志 国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部 主任研究官  
研究協力者 小濱 とも子 国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部

**研究要旨**

廃タイヤを破砕したゴムチップは弾性充填材として、スポーツ競技場の人工芝等に利用されている。米国ではゴムチップを使用する人工芝グラウンドで競技しているサッカー選手に血液性のがんの発症が多いとの報道がされ、米国環境保護庁(USEPA)等は、人工芝グラウンドに使われる廃タイヤ由来のゴムチップの安全性について調査している。こうしたゴムチップを使用した人工芝グラウンドは我が国でも増加しており、その健康影響を早急に評価することが求められている。人工芝グラウンド上で競技することによる人工芝用ゴムチップのヒトへの曝露の主要な経路として摂食による経口曝露及び皮膚に付着することによる経皮曝露が考えられる。本分担研究では、平成29年度において、摂食した人工芝グラウンドのゴムチップ中有害金属類の胃液中への移行量を評価するために、金属類等の特定有害物質が含まれる汚染土壌の摂食による健康リスクを評価する土壌汚染対策法の土壌含有量基準を参考値として用いて比較した。先行研究のゴムチップ試料で有害金属類が高濃度検出された一部の試料を対象に、環境省告示第19号を改変した方法で溶出試験を実施したが、その溶出量は土壌含有量基準を大きく下回った。曝露評価に向けた予備調査として、人工芝グラウンドのゴムチップを採取し全量分析した。検出濃度は先行研究で得られた結果の範囲内であり、また、複数の採取地点間での検出濃度の差はほとんどの金属類で無かった。さらに、人工芝ゴムチップ中金属類濃度について、一部の金属類でフィールドへの施工前後で変動が認められた。平成30年度の研究では、人工芝グラウンドのゴムチップ試料中金属類の全量分析値と、人工胃液、人工腸液、人工唾液及び人工汗への溶出量から、ゴムチップ試料からの金属類の曝露量を算出し、国内外の金属類の有害影響に関する限度値と比較した。その結果、先行研究及びオランダ国立公衆衛生研究所(RIVM)の報告で有害性が懸念される金属類のAs、Cd、Co、Ni及びPbを含む最大16金属類について評価でき、その溶出量は国内外の限度値を大きく下回った。このことから、人工芝グラウンドの競技者において、ゴムチップの経口摂取または皮膚接触によって体液を通じて金属類に曝露する量は概して少なく、これら金属類による健康影響に関するリスクは十分低いと考えられた。

**A. 研究目的**

廃タイヤを破砕したゴムチップは弾性充填材として、スポーツ競技場の人工芝等に利用されている。米国ではゴムチップを使用する人工芝グラウンドで競技しているサッカー選手に血液性のがんの発症が多いとの報道がされ、2016年2月に米国環境保護庁(USEPA)は、人工芝グラウンドに使われる廃タイヤ由来のゴムチップの安全性について調査を開始すると発表、

12月に調査の進行状況や文献レビューの結果等が報告された。こうしたゴムチップを使用した人工芝グラウンドは我が国でも増加しており、その健康影響を早急に評価することが求められている。

本分担研究では、先行研究において、我が国に流通するゴムチップから検出され、有害性評価シートで優先評価物質とされた金属類及び

含有量の多かった金属類等を中心に曝露評価対象物質を選定し、平成 29 年度の研究では、選定された金属類のゴムチップの摂食による経口曝露を想定し、人工胃液による溶出試験法について国内外の規格等の情報調査及び溶出試験の予備調査を行うとともに、曝露評価に向けた予備的なフィールド調査を実施した。平成 30 年度の研究では、実際の人工芝グラウンドに施工されているゴムチップを用いて曝露評価を行うため、複数ヶ所（屋内及び屋外）で夏季に試料の採取を行いゴムチップ試料中金属類の全量分析を行った。また、人工芝グラウンド上で競技する人を想定した摂食による経口曝露及び皮膚に付着することによる経皮曝露を想定し、同試料を用いた複数種類の人工体液による溶出試験を実施し、曝露量を評価した。

## B. 研究方法

平成 29 年度の研究では、金属類の溶出試験の予備検討は、先行研究で収集したゴムチップの中で有害金属類が高濃度検出された試料で、廃タイヤ由来の試料 a (Zn、Cu 及び Pb で最大値)、エチレンプロピレンジエンゴム (EPDM) 製の試料 b (Cr で最大値)、工業用ゴム由来の試料 c (Sb で最大値)、廃タイヤ由来の試料 d (Cd で最大値) 及び熱可塑性エラストマー (TPE) 製の試料 e (As で最大値) の 5 試料を対象とした。溶出方法は、環境省告示第 19 号を一部改変して実施し、試料 3g に対し、人工胃液 (日本薬局方崩壊試験・溶出試験第一液: 約 0.08 mol/L 塩酸、環境省告示第 19 号では 1 mol/L) を 100 mL 加え、37 で 2 時間振とうした。その後、上清を 0.2 μm フィルターでろ過し、ICP-MS に供した。測定対象金属類は、それぞれの試料中で最大値で検出されたものを中心に選択した。環境省告示第 19 号では、土壤汚染対策法施行規則の規定に基づき、環境大臣が定める土壤含有量調査に係る測定方法が定められている。溶出条件の違いによる溶出試料中金属類濃度の差異の評価は、ASTM International の人工芝充填物中の溶出可能な有害金属類に関する規格 (ASTM F3188-16) 及び玩具の安全性評価のための欧州規格 (EN71-3:2013) に従って実施する。表 1 に各溶

出試験の溶出条件を示す。

曝露評価に向けた予備調査として、2017 年冬季に人工芝グラウンドに施工されているゴムチップを採取した。ゴムチップは、グラウンド上の 4 地点 (中央、右、左、ゴール前) において、掃除機を用いて採取した。試料は、採取後、ゴミ等を取り除きドラフト内で風乾し、褐色ガラス瓶に保管した。4 地点から採取した試料に加えて、風乾後の各試料から一定量分取し均一に混合した混合試料も作製した。また、グラウンドに施工前のゴムチップも入手し、同様に分析に供した。ゴムチップ試料中金属類の全量分析は、ゴムチップ試料を硝酸及びフッ化水素酸を加えてマイクロ波加熱分解し、超純水で希釈したものの試料溶液とした。27 元素の定量は各試料三併行で ICP-MS にて実施した。また、Hg は加熱気化水銀分析装置にて四併行で測定し、最大値、中央値及び最小値を求めた。

平成 30 年度の研究では、ゴムチップ試料は 2018 年夏季に屋外 3 か所 (A、B 及び C) 及び屋内 1 か所 (D) の人工芝グラウンドから採取した。ゴムチップの採取には、掃除機を用い、採取後、ゴミ等を取り除きドラフト内で風乾し、褐色ガラス瓶に保管した。各グラウンドの試料は、グラウンドごとに 4 地点から試料を採取し上記の処理の後、均一に混合して試料とした。ゴムチップ試料中金属類の全量分析は、ゴムチップ試料を硝酸及びフッ化水素酸を加えてマイクロ波加熱分解し、超純水で希釈したものの試料溶液とした。27 金属類の定量は各試料三併行で ICP-MS にて実施した。Hg は加熱気化水銀分析装置にて四併行で測定した。

人工体液を用いた溶出試験は、既報や規格等で用いられている人工胃液、人工腸液、人工唾液及び人工汗を用いて行った。各人工体液の詳細については、人工胃液及び人工腸液は、それぞれ日本薬局方の崩壊試験・溶出試験第 1 液及び崩壊試験第 2 液とし、人工唾液は BSI British Standard Specification for Safety Harness, BS 6684 (1987) のものを、人工汗は JIS L0848:2004 汗に対する染色堅ろう度試験方法 (酸性人工汗) のものを用いた。溶出操作は、ASTM F3188-16、環境省告示第 19 号及び EPA METHOD 1340 (*in*

*vitro* bioaccessibility assay for lead in soil) を参考にし、試料 1 g を 100 mL のテフロン製瓶に分取し、これに上記人工体液 50 mL を加え、遮光下 37 °C、30 rpm (rotating) で 1 時間振とう、続いて 1 時間静置し、その上清を 0.2 μm フィルターでろ過したものを溶出液とした。その後、溶出液に硝酸を加えて試験溶液として ICP-MS で分析した。試験は各三併行で実施した。また、フィールド試料との比較対象に先行研究で収集したゴムチップの中で有害金属類が高濃度検出された試料も同様に溶出試験を行った。試料の詳細は下記のとおりであり、廃タイヤ由来の試料 a (Zn、Cu 及び Pb で最大値)、エチレンプロピレンジエンゴム (EPDM) 製の試料 b (Cr で最大値)、工業用ゴム由来の試料 c (Sb で最大値)、廃タイヤ由来の試料 d (Cd で最大値)、熱可塑性エラストマー (TPE) 製の試料 e (As で最大値) 及び工業用ゴム由来の試料 f (Ni で最大値) の 6 試料とした。なお Hg はゴムチップ中の含有量が極微量であったことから、溶出試験での定量はしなかった。

### C. 研究結果

平成 29 年度の研究では、先行研究で収集したゴムチップの中で有害金属類が高濃度検出された試料を対象に、予備検討の条件で溶出試験を実施した。土壤汚染の状況の把握や土壤汚染によるヒト健康被害の防止を目的とする土壤汚染対策法で含有量基準が規定されている金属類であり、本研究の測定対象でもある金属類の溶出液中の濃度は、Cr で  $<0.025 \sim 0.081$  μg/g、As で全て  $<0.05$  μg/g、Se で全て  $<0.25$  μg/g、Cd で全て  $<0.01$  μg/g、Pb で  $0.020 \sim 0.25$  μg/g であった (表 2)。

曝露評価に向けた予備調査として、人工芝グラウンドに施工されているゴムチップを採取し全量分析した。27 元素中三併行分析で一試料以上で検出されたのは Li、Mg、Al、V、Cr、Mn、Fe、Co、Cu、Zn、Rb、Sr、Cd、Sn、Ba 及び Pb の 16 元素であった (表 3)。この濃度は先行研究の濃度範囲の内、中央値付近に分布しており、先行研究と同様に、Zn の濃度が最も高く、Al 及び Fe も次いで高濃度であり、また、

Pb についても中央値が 28.1 μg/g、最大値が 30.2 μg/g と先行研究と同程度であった。Hg については、四併行全てで検出されたが、先行研究と同様に全てで 0.1 μg/g 未満であった (表 4)。

各地点で三併行もしくは四併行試料の全てで検出された 12 金属類 (Cu、Al、V、Cr、Mn、Fe、Co、Zn、Sr、Sn、Pb 及び Hg) について、地点間及び施工前後の比較を行った。各地点の試料は、Kolmogorov-Smirnov 検定の有効サンプルサイズが規定 (5 以上) 未満となり、正規性の検定ができなかったため、正規分布していると仮定して一元配置分散分析によるパラメトリックな多群間比較を行った。また、一元配置分散分析で有意差があった場合は、各採取地点間の差異について Tukey-Kramer 法による多重比較を行った。施工前後の比較については、Welch の t 検定で解析した。地点間比較の結果、“右”で Mn ( $p < 0.01$ ) 及び Fe ( $p < 0.05$ ) がやや高かったものの (図 1)、ほとんどの金属類で地点間差は無かった。Mn 及び Fe で差が見られた採取地点がいずれも“右”であるため、人工芝ゴムチップの入れ替え・補充等の施工スケジュールに差がある可能性が考えられた。

施工前後の濃度比較については、12 金属類中 5 金属類で施工前後で濃度に有意な差が認められ、Mn、Sn 及び Hg では施工後で、Cu 及び Fe では施工前で検出濃度が高かった (Cu 及び Hg :  $p < 0.01$ 、Mn、Sn 及び Fe :  $p < 0.05$ )。これらの濃度変動は、施工後にゴムチップの劣化や降雨等による含有金属類の溶出・減衰等や、フィールド周辺環境からのゴムチップへの金属類の吸着等によると考えられた。

平成 30 年度の研究では、4 か所の人工芝グラウンドから採取したゴムチップの 28 金属類の含有量を定量した。その結果、20 金属類 (Zn、Al、Fe、Mg、Cu、Co、Mn、Ba、Pb、Sr、Ni、Cr、Sn、Rb、V、Li、Ga、Cd、Sb 及び Hg) がいずれか 1 つ以上の試料で検出された (表 5 及び 6)。検出濃度を 4 地点間で比較した。その結果、Mn、Fe、Co、Cu、Zn 及び Rb の検出濃度が他地点に比べて屋外の C 地点で比較的高濃度であったが、それ以外の金属類では 4 地点間で大きな差は無く、また、屋外及び屋内での採

取地点による検出濃度の差も認められなかった。本研究で検出された各金属類濃度について、先行研究でゴムチップ試料中金属類と比較した(図3)。本研究の中央値は、Coで先行研究より10倍程度高かったが、多くが先行研究の検出濃度の中央値と同等であり、また、全ての検出金属類で、本研究の最大値と最小値の幅は先行研究の概ね範囲内で、かつ本研究の方が狭かった。

4か所の人工芝グラウンドから採取したゴムチップについて、人工胃液、人工腸液、人工唾液及び人工汗を用いた溶出試験を行った。その結果、4溶液のいずれか1つ以上で検出されたのは15金属類(Mg、Al、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Rb、Sr、Ba及びPb)であった(表7)。ほとんどの金属類は人工胃液による溶出液で最も濃度が高く、人工腸液、人工唾液及び人工汗は同程度であった。ゴムチップから溶出率(全量分析値に対する溶出量の割合(%))を評価した(表8)。その結果、人工胃液におけるMnの3試料で12.8~20.1%、人工唾液及び人工汗各1試料でそれぞれ10.2%及び10.8%で10%を超えた以外は10%未満と少なかった。先行研究で採取したゴムチップ試料についても同様に溶出試験を行った。その結果、4溶液のいずれか1つ以上で検出されたのは16金属類(Mg、Al、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Rb、Sr、Sn、Sb、Ba及びPb)であった(表9)。人工芝グラウンドから採取したゴムチップと同様に、ほとんどの金属類は人工胃液による溶出液で最も濃度が高く、人工腸液、人工唾液及び人工汗は同程度であった。ゴムチップから溶出率(全量分析値に対する溶出量の割合(%))を評価した(表10)。その結果、人工芝グラウンドから採取したゴムチップに比べて溶出率が10%を超える金属類数は多く、Mg、Mn、Fe、Cu、Zn及びSrで超えていたが、いずれも人工胃液のみであり、廃タイヤの試料aでMn、Fe及びCu、EPDMの試料bでMg、Zn及びSrが、TPEで2金属類(Fe・Cu)の該当があった。また、廃タイヤの試料dにおいてもRbで10%を越えていた。一方、その他の人工体液については全ての金属類で10%未満であ

った。

#### D. 考察

平成29年度の研究では、摂食した人工芝用ゴムチップ中の有害金属類の胃液中への移行量を評価するために、金属類等の特定有害物質が含まれる汚染土壌の摂食による健康リスクを評価する土壌汚染対策法の土壌含有量基準を参考値として比較した。先行研究で得られた人工芝用ゴムチップ中金属類の全量分析の結果では、Cd、Se、Pb及びAsは基準値未満であったが、本研究の結果は総Crであり過大評価となっている可能性があるものの、EPDMの2試料のCr(VI)が基準値を超えていた。一方、上述の溶出試験で人工体液への金属類の移行量は全てで基準値未満であり、全量分析値の約12~40万分の1と極めて低値であった。本研究の溶出条件は環境省告示第19号とは溶出液の塩酸濃度が異なり、約13分の1と低濃度ではあるが、ASTM F3188-16やEN71-3:2013ではそれぞれ0.08 mol/L、0.07 mol/Lと同程度である。また、環境省告示第19号では溶出条件は室温(25℃)であるが、本研究及びASTM F3188-16では37℃としており、後者の方がより実際ヒトの胃内の状況を模しているものと考えられる。これ以外の溶出条件の違いは重量体積比であり、本研究及び環境省告示第19号が3%であるのに対し、ASTM F3188-16やEN71-3:2013では2%である。溶出条件については引き続き検討を行い、適切な条件を平成30年度に決定することにした。

曝露評価に向けた予備調査として、人工芝グラウンドに施工されているゴムチップを採取し全量分析した。本予備調査と先行研究とではサンプルサイズ等が異なるが、検出された金属類の種類は少なく(先行研究:27種、本予備調査:17種)、また、検出された金属類濃度は先行研究の濃度範囲の内、中央値付近に分布していた。既報の実際のフィールドを対象とした人工芝ゴムチップの調査において、同一フィールド内の複数の地点で調査がされているため、本予備調査でも同様に行った。各地点で三併行もしくは四併行試料の全てで検出された12金属類について地点間比較を行った結果、“右”で

Mn及びFeがやや高かったものの、ほとんどの金属類で地点間差は無かった。この傾向は、既報においても、同一フィールド内の採取地点間でほとんどばらつきは無かったことが報告されている。また、施工前後の濃度比較については、12金属類中5金属類に施工前後で濃度に差が認められ、施工後にゴムチップの劣化や降雨等による含有金属類の溶出・減衰等や、フィールド周辺環境からのゴムチップへの金属類の吸着等によると考えられた。

平成30年度の研究では、人工芝グラウンド上での競技による人工芝用ゴムチップのヒトへの主要な曝露経路と考えられる経口曝露及び経皮曝露による人工芝用ゴムチップ中有害金属類の体液中への移行量を評価するために、前年度の検討結果を踏まえ、人工体液を用いた金属類の溶出試験を実際の4箇所の人工芝グラウンドから採取したゴムチップ等に適用した。ゴムチップからの金属類の溶出率を評価するため、先行研究で確立した方法でゴムチップ中金属類の全量分析を行った。その結果、20金属類が1試料以上で検出され、その濃度は、廃タイヤや工業用ゴム等の複数種類のゴムチップを対象とした先行研究とほぼ同程度の中央値かつ、先行研究に比べて検出濃度の幅が狭いことがわかった。また、4箇所での検出濃度の差異は概ね認められなかったことから、これらの人工芝グラウンドに施行されているゴムチップの材質等には大きな差異は無いことが推察された。

溶出試験は、環境省告示19号、人工芝充填物中の溶出可能な有害金属類に関する規格（ASTMF3188-16）及び玩具の安全性評価のための欧州規格（EN71-3:2013）等の規格基準を参考に、既法と同等もしくは生体内に取り込まれた状況を再現した条件を採用した。人工芝グラウンドで採取したゴムチップ試料及び先行研究で採取したゴムチップ試料について人工胃液、人工腸液、人工唾液及び人工汗を用いた溶出試験に適用した結果、人工芝グラウンドで採取したゴムチップ試料からは15金属類が、先行研究で採取したゴムチップ試料からは16金属類が検出され、Sn以外の金属類は両者で

一致した。また、4種の人工体液間での溶出割合の比較では、両ゴムチップ試料ともに多くの金属類において人工胃液の溶出割合が高く、少数ではあるが10%を超える金属類も確認できた。各人工体液への金属類の移行量を評価するために、参考値として土壤汚染対策法の土壤含有量基準や欧州規格（EN71-3:2013）の移行限度値を用いて比較した結果、それぞれの値を大きく下回ったことから、ゴムチップを経口摂取または皮膚接触し、体液を通じた金属類の曝露量は概して少なく、これら金属類によるリスクは十分低いと考えられた。人工体液を用いた金属類の溶出に関する既報では、Zhangらが、人工芝ゴムチップ及び人工芝を対象に試料中の金属類の存在量と人工唾液、人工胃液及び人工腸液を用いた‘bioaccessibility’の評価を行ったが、CrとPbのみ人工唾液、人工胃液及び人工腸液から検出され、両金属ともに本研究と同様に、人工胃液で‘bioaccessibility’の割合が高かった（Pb：24.7～54.0%、Cr：23.3%）ことを報告している。また、オランダ国立公衆衛生研究所（RIVM）の報告では人工汗及び人工胃腸液中への最大溶出量を見積もっているが、人工汗ではPbで0.07 µg/g、Coで0.48 µg/g及びCdで0.02 µg/g、人工胃腸液ではPbで9 µg/g、Coで2 µg/g及びCdで未検出としており、本研究の各人工体液における溶出量はそれらを下回っていた。

## E. 結論

人工芝グラウンド用ゴムチップ中の化学物質の健康リスクを評価することを目的として、金属類の溶出に関わる標準試験法を調査し、先行研究で収集したゴムチップの中で有害金属類が高濃度検出された一部の試料を対象に、環境省告示第19号を改変した方法で溶出試験を実施したが、その溶出量は土壤含有量基準を大きく下回った。曝露評価に向けた予備調査として、人工芝グラウンドに使用されているゴムチップを採取し全量分析した。検出濃度は先行研究で得られた結果の範囲内であり、また、複数の採取地点間での検出濃度の差はほとんどの金属類で無かった。さらに、人工芝ゴムチップ中金属類濃度について、一部の金属類でフィールドへの施工前後で変動が認められた。

人工芝グラウンドから採取したゴムチップ試料について 28 金属類を対象に、全量分析するとともに、経口もしくは経皮曝露を想定した人工胃液、人工汗等 4 種の人工体液を用いた溶出試験を行った。ゴムチップ試料の全量分析値及び各人工体液を用いた溶出量から 15～16 種について金属類の溶出率を算出し、評価した結果、国内外の限度値を大きく下回ったことから、ゴムチップを経口摂取または皮膚接触し、体液を通じて金属類に曝露する量は概して少なく、これら金属類による健康影響に関するリスクは十分低いと考えられた。

## 参考文献

第十七改正日本薬局方

ASTM F3188 – 16, Standard Specification for Extractable Hazardous Metals in Synthetic Turf Infill Materials.

BSI British Standard Specification for Safety Harness, BS 6684 (1987)

JIS L0848:2004 汗に対する染色堅ろう度試験方法 (酸性人工汗)。

環境省告示第 19 号, 土壌含有量調査に係る測定方法を定める件, 平成 15 年 3 月 6 日。

EPA METHOD 1340, in vitro bioaccessibility assay for lead in soil.

Zhang, J., Han, I., Zhang, L., Crain, W.: Hazardous chemicals in synthetic turf materials and their bioaccessibility in digestive fluids, *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 18(6), 600-607, (2008).

EN 71-3:2013 Safety of toys – Part 3: Migration of certain elements

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM): Evaluation of health risks of playing sports on s-synthetic turf pitches with rubber granulate, RIVM Report 2017-0016.

<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2017-0016.pdf>

五十嵐良明: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, 平成 28 年度厚生労働科学研究費補助金 (厚生労働科学特別研究事業) 総括・分担研究報

告書.

## F. 健康危険情報

なし

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

なし

### 2. 学会発表

- 1) 久保田領志, 小濱とも子, 五十嵐良明: 人工芝グラウンド用ゴムチップの成分分析 金属類 . 第 27 回環境化学討論会 (2018.5)
- 2) 久保田領志, 小濱とも子, 五十嵐良明: 人工芝グラウンド用ゴムチップ中の金属類の分析 . 第 55 回全国衛生化学技術協議会年会 (2018.11)

## 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 溶出試験の条件比較

項目	ASTM F3188-16	EN71-3:2013
対象試料	人工芝充填物 土壌	玩具
対象元素	Cd, Hg, Se, Pb, As, F, B	B, Al, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Cd, Sn, Sb, Ba, Pb, Hg
試料量	6g	0.01 ~ 0.1g
溶出溶媒	1mol/L塩酸	0.07mol/L塩酸
溶出溶媒量	重量体積比3% (試料6g : 1mol/L塩酸200mL) 33.333倍量	50倍量 (試料0.1g : 0.07mol/L塩酸5mL)
溶出温度	室温 (25 )	特記なし
溶出条件	振とう回数200回/min、振とう幅4 ~ 5cm、容器・ポリエチレンもしくは測定対象物質が吸着・溶出しにくいもので溶媒の1.5倍以上の容積をもつもの	容器・溶媒の1.5 ~ 5倍の容積をもつもの
溶出時間	2時間振とう、10 ~ 30分静置の後、必要に応じて上澄み液を 孔径0.45µmのメンブランフィルターでろ過し検液とする。	先に1分間振とうし、混合物のpHを測定する。pHが1.5より大きい場合は、2mol/L(7.3%)の塩酸をpHが1.0~1.5になるまで振とうしながら滴下する。その後、遮光して1時間振とうし、37 ± 2°Cで1時間放置する。孔径0.45µmのメンブランフィルターでろ過し、必要であれば、5000 ~ 5000rpmで10分以内で遠心分離する。
備考	特定有害物質が含まれる汚染土壌を直接採取することによる健康リスクの評価を目的としている	「EN71(Safety of toys/玩具の安全性)」のPart 3は「特定元素の移行(Migration of Certain Elements)」であり、玩具中の重金属類が、接触や誤飲により健康に影響を与えるレベルに含まれているか否かを調べる溶出試験 玩具の安全性に関する欧州規格
	人工芝充填物中の抽出可能な有害金属に関するASTM規格 世界最大規模の標準化団体であるASTM International(米国試験材料協会:旧称 American Society for Testing and Materials)が策定・発行する規格	

表2 予備的な溶出試験の結果(濃度: µg/g)

試料名	Cr	As	Se	Cd	Pb
A	0.0781	ND	ND	ND	0.156
B	0.0559	ND	ND	ND	0.172
C	ND	ND	ND	ND	0.252
D	0.0805	ND	ND	ND	0.184
E	ND	ND	ND	ND	0.0204
土壌含有量基準	250	150	150	150	150

表3 予備的なフィールド調査試料の全量分析の結果(平均濃度: µg/g)

試料名	Li	Mg	Al	V	Cr	Mn	Fe	Co
施工前	0.784*	441*	1282	1.62	2.72	6.36	599	256
ゴール前	0.750*	219	2062	4.19	4.22	7.10	352	132
中央	0.859*	242	1658	1.86	2.88	7.01	340	86.6
右	0.878*	224	1676	2.76	2.78	10.2	563	157
左	0.525*	345	827	1.45	1.81	6.32	254	131
施工後(混合)	1.36*	179	1705	2.75	3.30	7.91	363	182

\*三併行で分析して二試料以下で検出されたもの、または、全てで未検出であったもの。

試料名	Cu	Zn	Rb	Sr	Cd	Sn	Ba	Pb
施工前	56.53	20584	1.58	4.86	0.745*	2.16	3.37*	31.7
ゴール前	24.76	17904	1.80*	5.16	0.807*	2.21	4.90*	28.1
中央	21.79	18092	1.66	4.93	0.700*	2.27	ND*	25.9
右	21.10	21716	2.09*	5.85	0.560*	2.53	1.68*	29.1
左	14.71	18535	2.08	4.57	ND*	1.92	1.65*	25.7
施工後(混合)	23.66	20166	2.29*	4.87	0.880*	3.32	ND*	30.2

\*三併行で分析して二試料以下で検出されたもの、または、全てで未検出であったもの。

表4 予備的なフィールド調査試料のHgの全量分析の結果(濃度: µg/g)

試料名	最大値	中央値	最小値
施工前	0.0129	0.0111	0.0100
ゴール前	0.0175	0.0150	0.0121
中央	0.0231	0.0134	0.0128
右	0.0173	0.0142	0.0137
左	0.0168	0.0152	0.0131
施工後(混合)	0.0186	0.0176	0.0147



表5 人工芝グラウンドで採取したゴムチップ試料中金属濃度 (µg/g)

試料名	Li	Mg	Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Cd	Sn	Sb	Ba	Pb
A	2.73	197	1166	2.73	2.79	8.38	318	119	2.31	15.1	18793	2.33	3.37	4.13	1.69	3.93	ND	6.14	23.1
	3.81	255	5536	5.18	5.49	9.11	461	126	3.20	17.3	16264	3.29	2.97	7.60	1.69	2.78	ND	6.99	16.1
	2.33	95.3	2048	3.74	6.12	9.30	433	79.5	4.08	21.9	17435	2.17	3.20	3.96	ND	3.47	ND	3.80	21.7
B	2.75	235	816	2.91	3.70	6.99	468	133	4.74	18.3	13699	1.81	2.31	3.88	1.63	2.18	1.94	5.29	38.3
	3.83	216	1484	3.67	3.50	7.17	491	180	3.16	15.0	16042	2.04	2.60	5.27	2.66	3.52	2.66	5.19	30.8
	3.05	92.0	2260	4.78	5.47	7.06	509	248	3.00	16.3	15603	2.06	1.93	3.93	1.62	2.11	2.24	3.99	15.6
C	2.23	156	1699	3.29	5.44	20.2	747	331	3.94	64.6	23203	2.40	3.80	3.63	ND	6.18	ND	6.29	29.1
	2.21	253	1433	2.92	3.67	20.7	774	293	3.38	67.1	23502	2.44	4.08	5.03	1.64	4.50	ND	7.24	24.4
	ND	719	683	2.47	5.61	20.5	923	225	4.02	58.9	19927	1.98	3.57	3.42	1.49	3.47	ND	5.44	22.9
D	2.34	252	833	2.00	3.63	7.20	479	115	3.82	15.8	15433	1.63	2.71	2.99	1.81	2.92	ND	4.02	17.7
	2.66	121	2012	2.17	3.79	6.66	389	161	3.03	12.4	17540	2.86	2.44	3.81	1.65	3.71	ND	8.98	19.0
	3.36	160	2466	3.52	4.42	7.34	426	132	3.07	12.6	16582	1.99	2.09	3.97	2.08	2.86	ND	3.70	18.6

表6 人工芝グラウンドで採取したゴムチップ試料中Hg濃度 (ng/g)

試料名	試料1	試料2	試料3	試料4
A	18.8	16.8	20.4	15.7
B	20.3	18.9	28.5	27.3
C	27.1	17.8	21.7	18.2
D	14.8	11.1	11.5	12.7

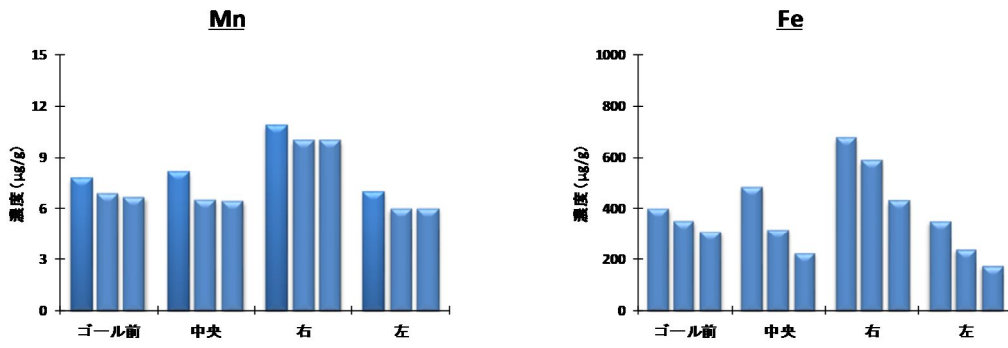


図1 人工芝ゴムチップ中Mn及びFe濃度の採取地点間比較

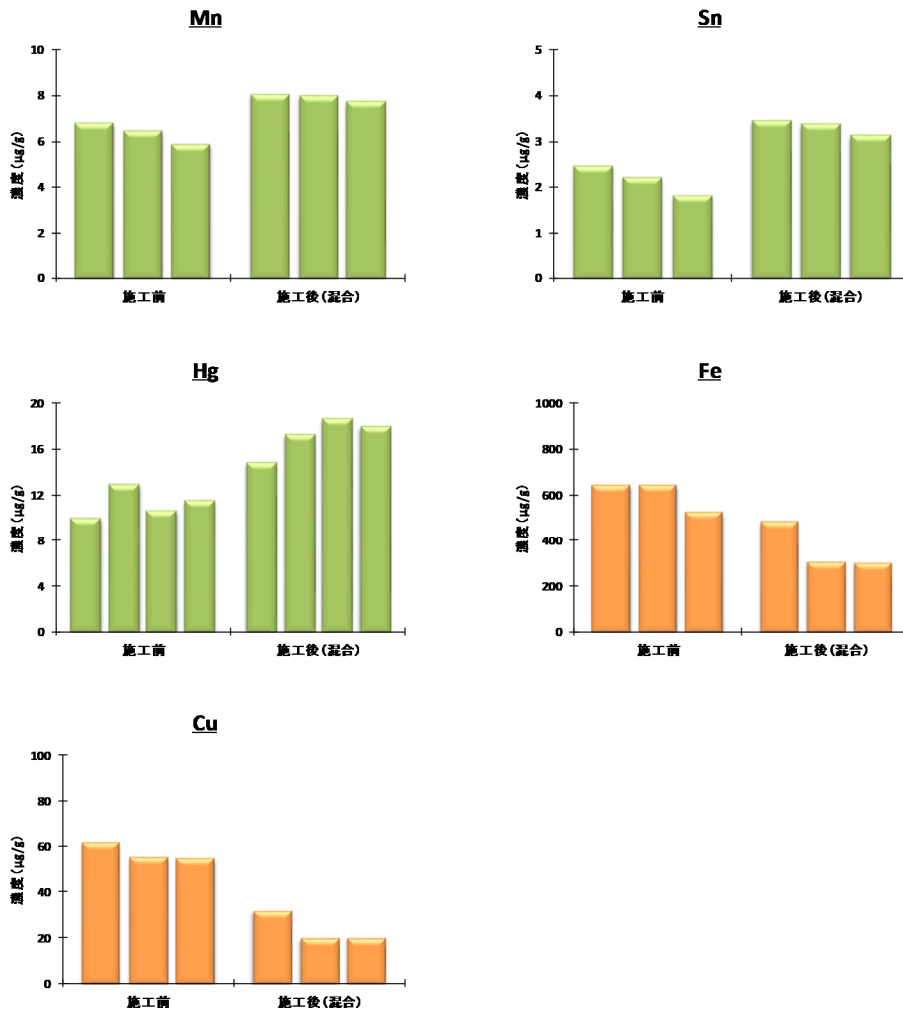


図2 フィールドへの施工前後の人工芝ゴムチップ中金属類濃度の比較 (Mn、Sn、Cu及びFe)

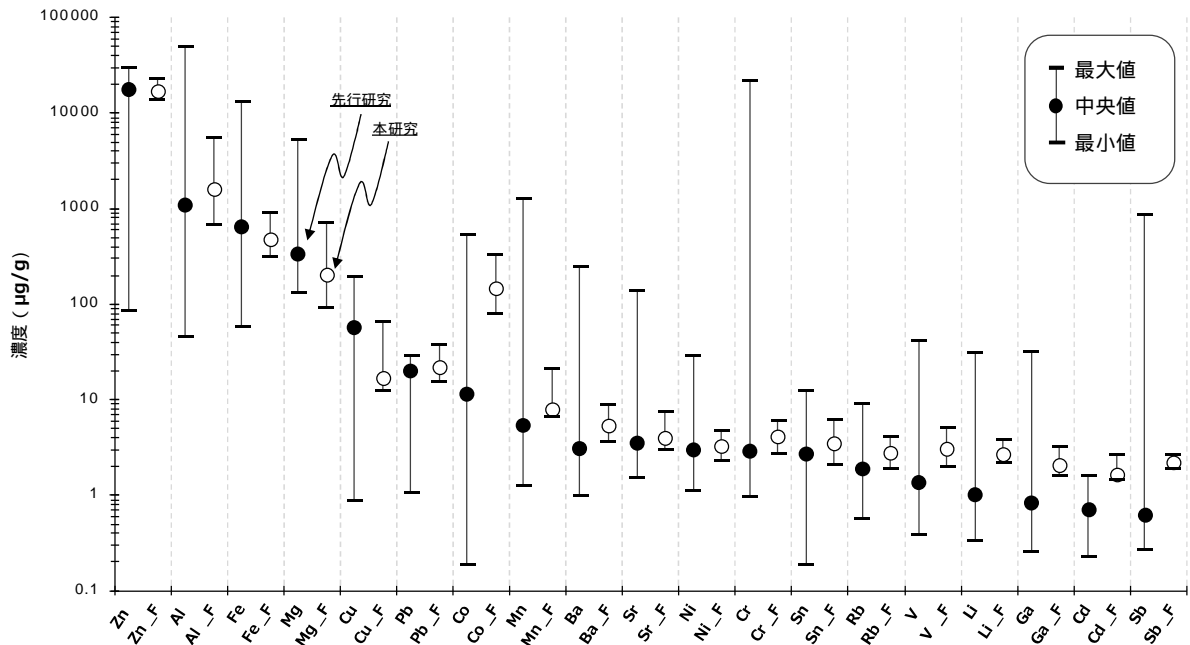


図3 人工芝グラウンドで採取したゴムチップ試料中金属濃度と先行研究のゴムチップ試料中金属濃度との比較

表7 人工芝グラウンドで採取したゴムチップ試料の人工体液を用いた溶出試験結果 (µg/g)

試料名	Li	Mg	Al	V	Cr	Mn	Fs	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Cd	Sn	Sb	Ba	Pb	
A	全量分析																			
	ND	4.93	48.0	0.134	0.059	1.63	22.7	0.239	0.0330	1.59	68.2	ND	0.029	0.098	ND	ND	ND	ND	6.14	23.1
	ND	4.90	49.2	0.138	0.057	1.74	23.6	0.236	0.0357	1.85	68.2	ND	0.028	0.098	ND	ND	ND	ND	6.14	23.1
	ND	4.85	46.3	0.127	0.061	1.65	22.2	0.214	0.0289	1.52	64.4	ND	0.027	0.098	ND	ND	ND	ND	6.09	16.1
	人工胃液																			
	ND	1.18	0.674	0.022	ND	0.136	0.087	0.0296	ND	ND	8.52	ND	ND	0.040	ND	ND	ND	ND	0.305	0.348
	ND	1.20	0.716	0.023	ND	0.142	0.078	0.0404	ND	ND	8.60	ND	ND	0.040	ND	ND	ND	ND	0.310	0.347
	ND	1.22	0.692	0.024	ND	0.149	0.079	0.0363	ND	ND	8.84	ND	ND	0.041	ND	ND	ND	ND	0.303	0.335
	人工唾液																			
	ND	1.10	0.660	ND	ND	0.181	0.203	0.0500	ND	ND	11.4	0.027	0.005	0.054	ND	ND	ND	ND	0.149	ND
	ND	1.17	0.711	ND	ND	0.200	0.222	0.0480	ND	ND	11.1	0.028	0.009	0.060	ND	ND	ND	ND	0.153	ND
	ND	1.25	0.744	ND	ND	0.199	0.241	0.0621	ND	ND	12.4	0.028	0.015	0.064	ND	ND	ND	ND	0.159	ND
人工汗液																				
ND	1.22	0.829	0.038	ND	0.247	0.154	0.0896	ND	0.333	17.9	ND	ND	0.067	ND	ND	ND	ND	0.100	ND	
ND	1.26	0.849	0.037	ND	0.254	0.138	0.0812	ND	0.290	17.6	ND	ND	0.066	ND	ND	ND	ND	0.102	ND	
ND	1.28	0.779	0.036	ND	0.253	0.134	0.110	ND	0.347	18.5	ND	ND	0.069	ND	ND	ND	ND	0.100	ND	
B	全量分析																			
	2.75	235	816	2.91	3.70	6.99	468	133	4.74	18.3	13699	1.81	2.31	3.88	1.63	2.18	1.94	5.29	36.3	
	3.83	216	1484	3.67	3.50	7.17	491	190	3.16	15.0	16042	2.04	2.60	5.27	2.66	3.52	2.66	5.19	30.8	
	ND	3.05	92.0	2260	4.78	5.47	7.06	509	249	3.00	16.3	15603	2.06	1.93	3.93	1.62	2.11	2.24	3.99	15.6
	人工胃液																			
	ND	3.05	30.8	0.052	0.016	0.294	11.8	0.174	0.026	1.04	46.8	ND	0.015	0.108	ND	ND	ND	ND	0.319	0.943
	ND	3.57	32.3	0.056	0.015	0.333	12.6	0.179	0.031	1.16	52.0	ND	0.014	0.115	ND	ND	ND	ND	0.291	0.977
	ND	2.85	29.4	0.047	0.013	0.300	11.1	0.201	0.025	1.04	46.6	ND	0.014	0.105	ND	ND	ND	ND	0.280	1.03
	人工唾液																			
	ND	1.15	0.800	0.014	ND	0.072	0.228	0.0354	ND	0.043	7.27	ND	0.066	0.051	ND	ND	ND	ND	0.113	0.0113
	ND	1.15	0.794	0.014	ND	0.074	0.210	0.0324	ND	0.042	7.44	ND	0.020	0.053	ND	ND	ND	ND	0.116	0.0116
	人工汗液																			
ND	0.982	2.1	ND	ND	0.067	1.07	0.0640	ND	0.036	14.8	0.036	0.017	0.086	ND	ND	ND	ND	0.203	0.0268	
ND	1.07	2.0	ND	ND	0.092	0.966	0.0701	ND	0.034	16.0	0.034	0.018	0.089	ND	ND	ND	ND	0.195	0.0257	
ND	1.08	2.0	ND	ND	0.093	0.950	0.0702	ND	0.035	16.2	0.035	0.013	0.093	ND	ND	ND	ND	0.202	0.0257	
人工汗液																				
ND	1.03	0.861	ND	ND	0.087	0.304	0.0884	ND	0.376	15.0	ND	ND	0.091	ND	ND	ND	ND	0.079	ND	
ND	1.05	0.936	ND	ND	0.093	0.327	0.0824	ND	0.400	15.8	ND	ND	0.093	ND	ND	ND	ND	0.079	ND	
ND	1.05	0.836	ND	ND	0.093	0.287	0.0810	ND	0.384	15.6	ND	ND	0.092	ND	ND	ND	ND	0.077	ND	
C	全量分析																			
	2.23	196	1699	3.29	5.44	20.2	747	331	3.94	64.6	23203	2.40	3.80	3.63	ND	6.18	ND	6.29	29.1	
	2.21	253	1433	2.92	3.67	20.7	774	293	3.38	67.1	17540	2.44	4.08	5.03	1.64	4.50	ND	7.24	24.4	
	ND	719	683	2.47	5.61	20.5	923	225	4.02	58.9	19927	1.98	3.57	3.42	1.49	3.47	ND	5.44	22.9	
	人工胃液																			
	ND	3.59	26.0	0.055	0.031	4.13	26.4	0.255	0.155	3.72	58.9	ND	0.036	0.049	ND	ND	ND	ND	0.354	0.490
	ND	4.18	28.9	0.062	0.039	4.36	32.3	0.280	0.185	4.64	64.8	ND	0.041	0.048	ND	ND	ND	ND	0.373	0.544
	ND	4.22	29.7	0.062	0.037	3.85	31.1	0.265	0.161	4.18	60.3	ND	0.041	0.045	ND	ND	ND	ND	0.363	0.535
	人工唾液																			
	ND	1.23	0.665	0.013	ND	2.13	0.180	0.0717	ND	0.133	10.1	ND	0.017	0.020	ND	ND	ND	ND	0.113	0.0113
	ND	1.09	0.647	0.013	ND	1.88	0.208	0.0750	ND	0.137	9.90	ND	0.038	0.019	ND	ND	ND	ND	0.113	0.0113
	人工汗液																			
ND	1.09	0.690	0.013	ND	1.85	0.202	0.0698	ND	0.140	9.71	ND	0.039	0.017	ND	ND	ND	ND	0.113	0.0113	
ND	0.908	1.49	ND	ND	2.07	0.863	0.101	0.031	0.119	16.4	0.037	0.012	0.025	ND	ND	ND	ND	0.210	ND	
ND	0.889	1.69	ND	ND	2.02	0.976	0.112	0.032	0.131	17.1	0.038	0.014	0.029	ND	ND	ND	ND	0.220	ND	
ND	0.964	1.66	ND	ND	2.20	0.996	0.121	0.032	0.132	17.8	0.040	0.017	0.032	ND	ND	ND	ND	0.233	ND	
人工汗液																				
ND	0.919	0.937	ND	ND	2.17	0.995	0.129	0.050	1.172	18.0	ND	0.027	0.038	ND	ND	ND	ND	0.095	ND	
ND	0.942	0.868	ND	ND	2.26	0.964	0.130	0.051	1.120	18.6	ND	0.027	0.038	ND	ND	ND	ND	0.092	ND	
ND	0.907	0.882	ND	ND	2.17	0.961	0.139	0.050	1.161	18.7	ND	0.028	0.038	ND	ND	ND	ND	0.092	ND	
D	全量分析																			
	2.94	252	833	2.00	3.63	7.20	479	115	3.82	15.8	15433	1.63	2.71	2.99	1.81	2.92	ND	4.02	17.7	
	2.66	121	2012	2.17	3.79	6.66	389	161	3.03	12.4	17540	2.86	2.44	3.81	1.65	3.71	ND	8.98	19.0	
	ND	3.36	160	2466	3.52	4.42	7.34	426	132	3.07	12.6	16582	1.99	2.09	3.97	2.08	2.86	ND	3.70	18.6
	人工胃液																			
	ND	6.64	17.8	0.048	0.094	0.809	21.7	0.150	0.042	1.09	67.8	ND	0.024	0.095	ND	ND	ND	ND	0.290	0.231
	ND	8.08	21.9	0.058	0.111	0.995	27.0	0.229	0.055	1.40	80.6	ND	0.028	0.117	ND	ND	ND	ND	0.361	0.273
	ND	7.10	19.6	0.053	0.099	0.907	24.5	0.171	0.142	1.20	74.3	ND	0.026	0.099	ND	ND	ND	ND	0.304	0.246
	人工唾液																			
	ND	4.41	0.558	0.019	0.037	0.217	0.090	0.0777	ND	0.0185	22.1	ND	0.017	0.035	ND	ND	ND	ND	0.183	ND
	ND	4.47	0.553	0.019	0.036	0.209	0.087	0.0829	ND	0.0178	21.3	ND	0.018	0.034	ND	ND	ND	ND	0.183	ND
	人工汗液																			
ND	4.41	0.548	0.019	0.034	0.219	0.087	0.1036	ND	0.0297	22.8	ND	0.018	0.034	ND	ND	ND	ND	0.183	ND	
ND	4.26	0.811	ND	0.038	0.232	0.232	0.0855	ND	ND	31.2	0.032	0.0230	0.074	ND	ND	ND	ND	0.183	ND	
ND	4.46	0.887	ND	0.035	0.249	0.249	0.0851	ND	0.060	31.5	0.034	0.0304	0.078	ND	ND	ND	ND	0.194	ND	
ND	4.82	0.808	ND	0.037	0.264	0.264	0.0758	ND	0.035	31.5	0.036	0.0231	0.084	ND	ND	ND	ND	0.203	ND	
人工汗液																				
ND	5.45	1.19	0.037	0.051	0.329	0.301	0.172	ND	0.298	46.1	ND	0.031	0.083	ND	ND	ND	ND	0.083	ND	
ND	4.56	1.06	0.034	0.043	0.291	0.232	0.114	ND	0.190	41.0	ND	0.030	0.074	ND	ND	ND	ND	0.078	ND	
ND	4.60	1.03	0.034	0.043	0.275	0.254	0.104	ND	0.134	39.4	ND	0.029	0.071	ND	ND	ND	ND	0.075	ND	

