

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

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。そこで本分担研究では、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、その溶出量は参考値として比較した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、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

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。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 の定量は、各試料 4 併行で、前処理せずに加熱気化水銀分析装置で測定した。測定対象の金属類は、USEPA 及び ECHA 等の調査対象項目を参考に選定した。

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、平成 15 年環境省告示第 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、30 rpm (rotating) で 1 時間振とう、続いて 1 時間静置し、その上清を 0.2µm 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を考慮し、溶出試験での定量はしなかった。

C. 研究結果

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 1 及び 2)。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 1 及び 2)。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 3)。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 4)。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 5)。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 6)。

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

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曝露は、その主要な曝露経路としてゴムチップの摂食による経口曝露及びゴムチップの皮膚への付着による経皮曝露が考えられる。本研究では両曝露経路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、前年度検討した結果を踏まえ、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。

先行研究で確立したマイクロ波分解-ICP-MS 及び加熱気化水銀分析装置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、平成 15 年環境省告示 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 (ASTM F3188-16) 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。しかしそれらの溶出量は参考値として比較した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 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2 人工芝グラウンドで採取したゴムチップ試料中H g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

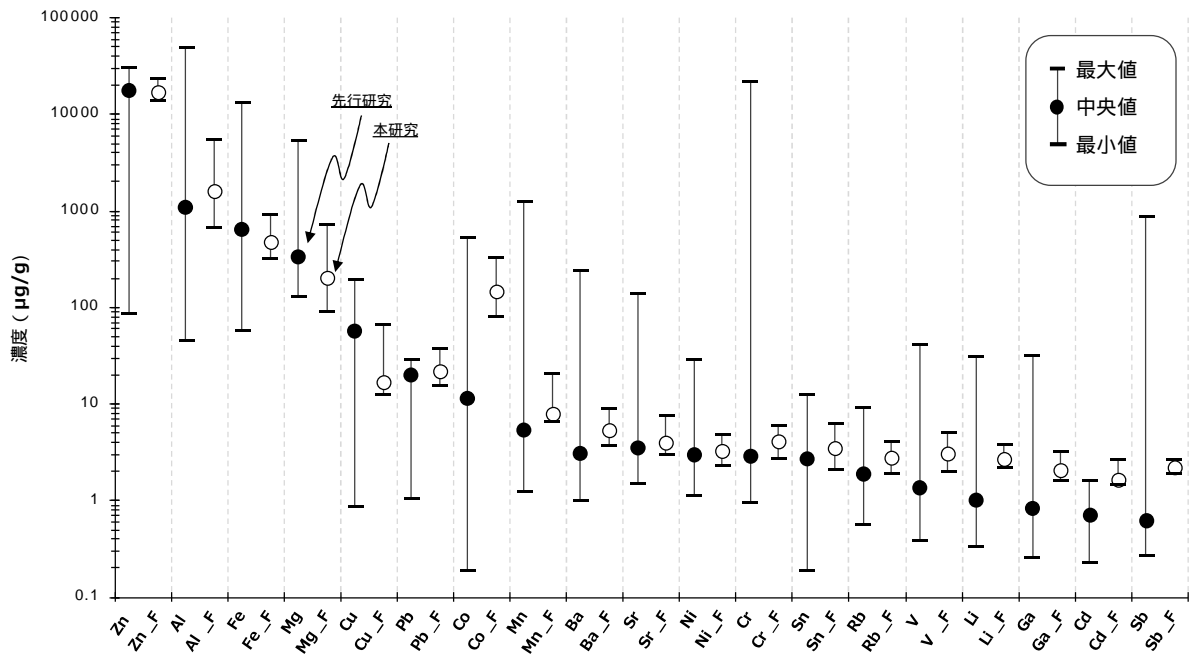


図1 人工芝グラウンドで採取したゴムチップ試料中金属濃度と先行研究のゴムチップ試料中金属濃度との比較

表3 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	Fe	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	0.238	0.0330	1.59	68.2	ND	0.029	0.098	ND	ND	ND	0.305	0.348	
	ND	4.90	48.2	0.138	0.057	1.74	23.6	0.236	0.0357	1.85	68.2	ND	0.028	0.098	ND	ND	ND	0.310	0.347	
	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	0.303	0.335	
	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	0.0275	ND	
	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	0.0248	ND	
	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	0.0275	ND	
	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	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	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	0.159	ND	
	ND	1.22	0.829	0.038	ND	0.247	0.154	0.0866	ND	0.333	17.9	ND	ND	0.057	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	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	0.100	ND		
B	全量分析																			
	ND	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
	ND	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
	ND	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
	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	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	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	0.106	ND	ND	ND	0.293	1.03	
	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	0.0113	ND	
	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	0.0116	ND	
	ND	1.41	0.825	0.015	ND	0.077	0.230	0.0399	ND	0.043	8.13	ND	0.032	0.061	ND	ND	ND	0.0120	ND	
	ND	0.982	2.1	ND	ND	0.087	1.07	0.0640	ND	0.036	14.8	0.036	0.017	0.086	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	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	0.202	0.0257		
ND	1.03	0.861	ND	ND	0.087	0.934	0.0684	ND	0.036	15.0	ND	ND	0.091	ND	ND	ND	0.193	0.0257		
ND	1.05	0.936	ND	ND	0.093	0.927	0.0824	ND	0.400	15.8	ND	ND	0.093	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	0.077	ND		
C	全量分析																			
	ND	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
	ND	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	
	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	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	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	0.363	0.535	
	ND	1.23	0.685	0.013	ND	2.13	0.180	0.0717	ND	0.133	10.1	ND	0.017	0.020	ND	ND	ND	0.0113	ND	
	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	0.0116	ND	
	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	0.0120	ND	
	ND	0.908	1.49	ND	ND	2.07	0.863	0.101	0.031	0.119	16.4	0.037	0.012	0.029	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	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	0.233	ND		
ND	0.919	0.937	ND	ND	2.17	0.996	0.121	0.050	1.17	16.0	ND	0.027	0.038	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	0.092	ND		
ND	0.907	0.882	ND	ND	2.17	0.361	0.139	0.050	1.161	18.7	ND	0.028	0.038	ND	ND	ND	0.092	ND		
D	全量分析																			
	ND	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
	ND	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
	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	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	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	0.304	0.246	
	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	0.0113	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	0.0116	ND	
	ND	4.41	0.548	0.019	0.034	0.219	0.087	0.1036	ND	0.0297	22.8	ND	0.008	0.034	ND	ND	ND	0.0120	ND	
	ND	4.26	0.811	ND	0.038	0.232	0.232	0.0855	ND	ND	31.2	0.032	0.020	0.074	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	0.194	ND	
ND	4.52	0.908	ND	0.037	0.264	0.264	0.0758	ND	0.035	31.5	0.036	0.0231	0.084	ND	ND	ND	0.203	ND		
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	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	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	0.075	ND		

表4 人工芝グラウンドで採取したゴムチップの全量分析値に対する人工体液による溶出量の割合 (%)

試料名	Zn	Mg	Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Ga	Rb	Sr	Ba	Pb	
A	人工胃液	0.4	2.7	1.6	3.4	1.2	18.8	5.7	0.2	1.0	9.1	ND	0.9	1.9	5.4	1.7
	人工腸液	0.05	0.7	0.02	0.6	ND	1.6	0.02	0.03	ND	ND	ND	0.8	0.5	ND	ND
	人工だ液	0.07	0.6	0.02	ND	ND	2.2	0.05	0.05	ND	ND	1.1	0.3	1.1	2.7	ND
	人工汗	0.10	0.7	0.03	1.0	ND	2.8	0.04	0.09	ND	1.8	ND	ND	1.3	1.8	ND
B	人工胃液	0.3	1.7	2.0	1.4	0.4	4.4	2.4	0.10	0.8	6.5	ND	0.6	2.5	6.1	3.5
	人工腸液	0.05	0.7	0.05	0.4	ND	1.0	0.05	0.02	ND	0.3	ND	1.7	1.3	ND	0.04
	人工だ液	0.10	0.6	0.13	ND	ND	1.3	0.2	0.04	ND	0.2	1.8	0.7	2.0	4.1	0.09
	人工汗	0.10	0.6	0.06	ND	ND	1.3	0.06	0.04	ND	2.3	ND	ND	2.1	1.6	ND
C	人工胃液	0.3	1.1	2.2	2.1	0.7	20.1	3.7	0.09	4.4	6.6	ND	1.0	1.2	5.7	2.1
	人工腸液	0.04	0.3	0.05	0.4	ND	9.5	0.02	0.03	ND	0.2	ND	0.8	0.5	ND	ND
	人工だ液	0.08	0.2	0.13	ND	ND	10.2	0.1	0.04	0.8	0.2	1.7	0.4	0.7	3.5	ND
	人工汗	0.08	0.2	0.07	ND	ND	10.8	0.05	0.05	1.3	1.8	ND	0.7	0.9	1.5	ND
D	人工胃液	0.4	4.1	1.1	2.1	2.6	12.8	5.7	0.14	2.4	9.1	ND	1.1	2.9	5.7	1.4
	人工腸液	0.1	2.5	0.03	0.7	0.9	3.0	0.02	0.06	ND	0.2	ND	0.6	1.0	ND	ND
	人工だ液	0.2	2.5	0.05	ND	0.9</										

表5 先行研究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	Mg	Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Sn	Sb	Ba	Pb	
a	全量分析																
	179	1041	1.00	0.966	4.84	493	548	ND	140	30816	ND	ND	3.65	ND	2.61	29.2	
	人工胃液																
	4.48	1.95	ND	0.0565	0.986	113	0.909	ND	30.2	132	ND	ND	ND	ND	0.173	0.140	
	3.84	1.81	ND	0.0530	0.936	100	0.790	ND	26.2	122	ND	ND	ND	ND	0.171	0.131	
	4.32	2.06	ND	0.0540	0.960	108	0.763	ND	29.2	123	ND	ND	ND	ND	0.195	0.144	
	人工腸液																
	1.04	ND	ND	ND	0.202	0.111	0.344	ND	3.68	42.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	1.12	ND	ND	ND	0.215	0.098	0.351	ND	3.43	42.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	1.00	ND	ND	ND	0.194	0.119	0.343	ND	3.45	40.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
	人工だ液																
	0.84	0.103	0.0079	ND	0.241	ND	0.254	ND	6.85	40.2	ND	ND	ND	ND	0.0523	ND	
0.88	0.105	0.0066	ND	0.264	ND	0.274	ND	8.32	44.3	ND	ND	ND	ND	0.0561	ND		
0.83	ND	0.0058	ND	0.236	ND	0.246	ND	7.63	41.9	ND	ND	ND	ND	0.0543	ND		
人工汗																	
1.01	ND	0.0223	ND	0.321	ND	0.363	ND	11.2	56.9	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
0.99	ND	0.0245	ND	0.312	ND	0.376	ND	12.1	57.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
1.14	ND	0.0242	ND	0.321	ND	0.397	ND	12.4	59.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
b	全量分析																
	349	46991	36.7	22012	38.2	2530	1.34	6.43	ND	1172	9.26	27.6	4.45	1.81	35.3	19.7	
	人工胃液																
	71.7	10.8	0.576	0.0332	3.85	14.1	ND	0.0322	ND	137	0.0203	3.48	ND	ND	0.257	0.142	
	68.2	10.5	0.570	0.0570	3.67	13.4	ND	0.0344	ND	131	0.0180	3.33	ND	ND	0.255	0.140	
	65.1	9.94	0.521	0.0291	3.51	12.8	ND	0.0301	ND	125	0.0175	3.18	ND	ND	0.240	0.138	
	人工腸液																
	1.59	0.195	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8.60	0.14	0.0499	ND	ND	ND	ND	
	1.77	0.210	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6.68	0.17	0.0530	ND	ND	ND	ND	
	1.74	0.227	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7.12	0.19	0.0553	ND	ND	ND	ND	
	人工だ液																
	2.99	0.205	0.0297	ND	0.146	0.361	ND	0.0135	ND	1.8	ND	0.154	ND	ND	ND	ND	
3.32	0.231	0.0321	ND	0.162	0.410	ND	0.00979	ND	2.0	ND	0.170	ND	ND	ND	0.0158		
3.23	0.231	0.0315	ND	0.155	0.373	ND	0.0140	ND	1.9	ND	0.166	ND	ND	ND	0.0153		
人工汗																	
2.61	0.171	0.101	ND	0.125	0.196	ND	0.0115	ND	12.7	0.0105	0.134	ND	ND	ND	ND		
2.26	0.156	0.099	ND	0.112	0.174	ND	0.0114	ND	11.7	0.0093	0.117	ND	ND	ND	ND		
2.17	0.131	0.097	ND	0.108	0.173	ND	0.0146	ND	10.9	0.0097	0.115	ND	ND	ND	ND		
c	全量分析																
	3283	1210	0.85	2.56	5.63	114	1.86	3.18	3.24	17343	1.75	36.2	1.94	879	2.22	3.62	
	人工胃液																
	38.1	0.589	ND	ND	0.235	2.85	ND	ND	0.025	286	ND	1.79	ND	0.432	0.0522	0.156	
	32.4	0.585	ND	ND	0.208	2.47	ND	ND	0.023	288	ND	1.67	ND	0.629	0.105	0.139	
	34.8	0.698	ND	ND	0.216	2.57	ND	ND	0.023	295	ND	1.73	ND	0.775	0.0560	0.171	
	人工腸液																
	5.15	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	40.5	0.17	ND	ND	0.399	ND	ND	
	5.32	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	62.7	0.15	ND	ND	0.326	ND	ND	
	4.69	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	61.9	0.14	ND	ND	0.255	ND	ND	
	人工だ液																
	4.98	ND	0.0066	ND	0.0408	0.298	0.0088	ND	0.0879	22.7	ND	0.321	ND	0.181	ND	0.0166	
4.93	ND	0.0065	ND	0.0396	0.267	0.0094	ND	0.0853	19.8	ND	0.317	ND	0.168	ND	0.0154		
5.63	ND	0.0063	ND	0.0429	0.304	0.0093	0.0124	0.1044	24.9	ND	0.342	ND	0.230	ND	0.0163		
人工汗																	
4.73	ND	0.0411	ND	0.0177	0.123	0.0097	0.0255	ND	78.2	0.0136	0.138	ND	0.238	ND	0.0173		
7.04	ND	0.0438	ND	0.0183	0.130	0.0113	0.0283	ND	81.7	0.0135	0.134	ND	0.340	ND	0.0172		
5.27	ND	0.0415	ND	0.0179	0.115	0.0105	0.0266	ND	91.3	0.0135	0.134	ND	0.272	ND	0.0185		
d	全量分析																
	729	149	0.74	2.93	5.32	5193	8.55	29.4	86.8	11821	0.691	34.8	2.86	34.8	3.28	6.23	
	人工胃液																
	10.4	0.884	ND	ND	0.059	0.931	ND	ND	ND	48.3	ND	0.672	ND	0.0281	ND	0.106	
	9.94	0.895	ND	ND	0.054	1.007	ND	ND	ND	41.0	ND	0.656	ND	0.0260	ND	0.102	
	10.5	0.953	ND	ND	0.062	0.994	ND	ND	ND	47.4	ND	0.695	ND	0.0291	ND	0.119	
	人工腸液																
	0.32	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12.6	0.11	ND	ND	ND	ND	ND	
	0.40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12.3	0.22	ND	ND	ND	ND	ND	
	0.36	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10.9	0.14	ND	ND	ND	ND	ND	
	人工だ液																
	2.72	ND	0.0061	ND	0.0209	0.250	0.0125	ND	0.102	7.0	ND	0.214	ND	ND	ND	ND	
2.28	ND	0.0059	ND	0.0180	0.211	0.0101	ND	0.0830	6.1	ND	0.185	ND	ND	ND	ND		
2.46	ND	0.0062	ND	0.0195	0.210	0.0113	ND	0.0864	7.1	ND	0.197	ND	ND	ND	ND		
人工汗																	
1.71	ND	0.0398	ND	0.0120	0.110	0.0113	0.0148	ND	13.8	0.0056	0.135	ND	ND	ND	ND		
1.70	ND	0.0383	ND	0.0107	0.119	0.0146	0.0202	ND	13.5	0.0057	0.134	ND	ND	ND	ND		
1.69	ND	0.0396	ND	0.0127	0.130	0.0103	0.0168	ND	16.1	0.0060	0.133	ND	ND	ND	ND		
e	全量分析																
	192	1254	1.89	2.47	5.45	380	274	3.33	73.7	23434	2.15	1.93	3.92	0.29	2.35	27.4	
	人工胃液																
	2.64	2.17	ND	0.035	0.463	45.0	0.207	ND	12.5	81.7	ND	0.0325	ND	ND	0.0578	0.130	
	2.93	2.30	ND	0.040	0.501	50.9	0.232	ND	14.7	75.9	ND	0.0368	ND	ND	0.0709	0.151	
	2.67	1.95	ND	0.034	0.426	44.6	0.214	ND	12.7	84.8	ND	0.0304	ND	ND	0.0563	0.134	
	人工腸液																
	0.98	ND	ND	ND	0.065	0.139	0.071	ND	0.08	17.8	0.18	ND	ND	ND	ND	ND	
	1.03	ND	ND	ND	0.078	0.120	0.076	ND	0.11	20.0	0.18	ND	ND	ND	ND	ND	
	1.03	ND	ND	ND	0.079	0.121	0.081	ND	0.12	21.1	0.18	ND	ND	ND	ND	ND	
	人工だ液																
	0.812	0.143	0.0071	ND	0.102	2.52	0.0778	0.0117	0.581	18.7	ND	0.0136	0.0177	ND	ND	ND	
0.971	0.158	0.0070	ND	0.129	3.36	0.0940	0.0121	0.585	22.6	ND	0.0178	0.0174	ND	ND	0.0182		
0.870	0.141	0.0073	ND	0.101	2.84	0.0810	0.0121	0.489	19.2	ND	0.0146	0.0156	ND	ND	ND		
人工汗																	
1.01	ND	0.0403	ND	0.132	4.62	0.102	0.0175	2.1	26.0	0.0133	0.0234	ND	ND	ND	ND		
0.968	0.103	0.0398	ND	0.128	ND	0.088	0.0143	2.0	24.4	0.0130	0.0235	ND	ND	ND	ND		
1.06	ND	0.0359	ND	0.142	4.66	0.110	0.0179	1.9	26.3	0.0149	0.0238	ND	ND	ND	ND		
f	全量分析																
	1605	331	0.55	1.71	12.0	544	0.237	ND	ND	550	ND	24.7	0.33	0.27	1.20	1.57	
	人工胃液																
	46.9	5.34	ND	ND	0.505	4.07	ND	ND	ND	0.964	ND	1.92	ND	ND	0.0425	ND	
	63.1	7.20	ND	ND	0.669	5.42	ND	ND	ND	1.16	ND	2.56	ND	ND	0.0629	ND	
	63.1	7.20	ND	ND	0.667	5.49	ND	ND	ND	1.18	ND	2.57	ND	ND	0.0574	ND	
	人工腸液																
	10.6	0.359	ND	ND	ND	0.110	ND	ND	ND	0.059	ND	0.0958	ND	ND	ND	ND	
	11.6	0.379	ND	ND	ND	0.124	ND	ND	ND	0.071	ND	0.0959	ND	ND	ND	ND	
	11.2	0.370	ND	ND	ND	0.101	ND	ND	ND	0.068	ND	0.0904	ND	ND	ND	ND	
	人工だ液																
	6.75	0.1134	0.0069	ND	0.0430	0.286	ND	ND	ND	ND	ND	0.355	ND	ND	ND	ND	
6.40	0.1041	0.0063	ND	0.0388	0.284	ND	ND	ND	ND	ND	0.326	ND	ND	ND	ND		
6.40	ND	0.0071	ND	0.0349	0.270	ND	ND	ND	ND	ND	0.294	ND	ND	ND	ND		
人工汗																	
10.9	0.198	0.0358	ND	0.0441	0.246	ND	ND	ND	0.0942	ND	0.280	ND	ND	ND	ND		
11.0																	

表6 先行研究で採取したゴムチップの全量分析値に対する人工体液による溶出量の割合(%)

試料名	材質	Mg	Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Sn	Sb	Ba	Pb
a	人工胃液	2.3	0.2	ND	5.6	19.8	21.7	0.15	ND	20.4	0.4	ND	ND	ND	ND	6.9	0.5
	人工腸液	0.6	ND	ND	ND	4.2	0.02	0.06	ND	2.5	0.14	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	人工だ液	0.5	0.01	0.7	ND	5.1	ND	0.05	ND	5.4	0.14	ND	ND	ND	ND	2.1	ND
	人工汗	0.6	ND	2.4	ND	6.6	ND	0.07	ND	8.5	0.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
b	人工胃液	19.6	0.02	1.5	0.0002	9.6	0.5	ND	0.5	ND	11.2	0.2	12.1	ND	ND	0.7	0.7
	人工腸液	0.5	0.0004	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.6	1.8	0.2	ND	ND	ND	ND
	人工だ液	0.9	0.0005	0.08	ND	0.4	0.02	ND	0.2	ND	0.2	ND	0.6	ND	ND	ND	0.08
	人工汗	0.7	0.0003	0.3	ND	0.3	0.01	ND	0.2	ND	1.0	0.11	0.4	ND	ND	ND	ND
c	人工胃液	1.1	0.05	ND	ND	3.9	2.3	ND	ND	0.7	1.7	ND	4.9	ND	0.07	3.2	4.3
	人工腸液	0.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.3	8.9	ND	ND	0.04	ND	ND
	人工だ液	0.2	ND	0.8	ND	0.7	0.3	0.5	0.4	2.9	0.13	ND	0.9	ND	0.02	ND	0.4
	人工汗	0.2	ND	4.9	ND	0.3	0.1	0.6	0.8	0.5	0.8	0.4	ND	0.03	ND	0.5	0.5
d	人工胃液	1.4	0.6	ND	ND	1.1	0.02	ND	ND	ND	0.4	ND	1.9	ND	0.08	ND	1.7
	人工腸液	0.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.10	22.8	ND	ND	ND	ND	ND
	人工だ液	0.3	ND	0.8	ND	0.4	0.004	0.13	ND	0.10	0.06	ND	0.6	ND	ND	ND	ND
	人工汗	0.2	ND	5.3	ND	0.2	0.002	0.14	0.06	0.12	0.8	0.4	ND	ND	ND	ND	ND
e	人工胃液	1.4	0.2	ND	1.5	8.5	12.3	0.08	ND	18.0	0.3	ND	1.7	ND	ND	2.6	0.5
	人工腸液	0.5	ND	ND	ND	1.4	0.03	0.03	ND	0.14	0.08	8.4	ND	ND	ND	ND	ND
	人工だ液	0.5	0.01	0.4	ND	2.0	0.8	0.03	0.4	0.7	0.09	ND	0.8	0.4	ND	ND	0.07
	人工汗	0.5	0.01	2.0	ND	2.5	1.2	0.04	0.5	2.7	0.11	0.6	1.2	ND	ND	ND	ND
f	人工胃液	3.6	2.0	ND	ND	5.1	0.9	ND	ND	ND	0.2	ND	9.5	ND	ND	4.5	ND
	人工腸液	0.7	0.11	ND	ND	ND	0.02	ND	ND	ND	0.01	ND	0.4	ND	ND	ND	ND
	人工だ液	0.4	0.03	1.2	ND	0.3	0.05	ND	ND	ND	ND	ND	1.3	ND	ND	ND	ND
	人工汗	0.7	0.06	6.4	ND	0.4	0.05	ND	ND	ND	0.01	ND	1.2	ND	ND	ND	ND