

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

ゴムチップ関連揮発性有機化合物の曝露評価

研究分担者	酒井 信夫	国立医薬品食品衛生研究所	生活衛生化学部	室長
研究協力者	五十嵐良明	国立医薬品食品衛生研究所	生活衛生化学部	部長
	河上 強志	国立医薬品食品衛生研究所	生活衛生化学部	室長
	田原麻衣子	国立医薬品食品衛生研究所	生活衛生化学部	主任研究官

人工芝グラウンド用ゴムチップの健康影響評価を実施するためには、人工芝グラウンドに充填されるゴムチップから放散する揮発性有機化合物（VOCs）を調査し、それらの曝露量と有害性情報とを突合させて健康リスク評価を行うことが重要である。

本研究では、人工芝グラウンドにおける大気中のVOCsの測定方法（サンプリング法及び分析法）を構築するとともに、関東近郊の人工芝グラウンド（冬季：平成30年1月 / 屋外1か所、夏季：平成30年7月 / 屋外3か所、屋内1か所）における大気およびゴムチップをサンプリングしてVOCs濃度を測定した。

測定対象とするVOCsは、先行研究及び諸外国の調査報告等を基に53化合物を選定し、それらの特性により6グループに分類して適切な測定方法を構築した。人工芝グラウンドにおける大気中のVOCs濃度を測定した結果、国際がん研究機関のモノグラフ等において健康リスクが懸念される化合物であるベンゼンは、いずれの地点においてもWHO欧州地域事務局のガイドライン値（ $1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ：ユニットリスクの $10^{-5}$ レベル換算値）および我が国における大気環境基準値（ $0.003 \text{mg}/\text{m}^3$ ：1年平均値）以下であり、1,3-ブタジエンは、いずれの地点においても検出限界以下であった。ホルムアルデヒドはWHO欧州において $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （30分平均値）のガイドライン値が示されているが、いずれの人工芝グラウンドにおいても十分に下回っていた。屋外グラウンドではフィールド内とバックグラウンドにした地点（対照地点）とでVOCs濃度に大きな差は認められなかった。また、屋外及び屋内グラウンドにおいて、いずれもフィールド内と対照地点との間でほとんどのVOCs濃度に大きな差は認められなかった。

諸外国のフィールド調査と比較すると限定的な情報量ではあるが、サンプリング地点、屋内外、季節間におけるVOCs濃度の変動を解析し、健康リスク評価に供するデータを集積することができた。

#### A. 研究目的

人工芝グラウンド用ゴムチップの健康影響評価を実施するためには、人工芝グラウンドに充填されるゴムチップから放散する揮発性有機化合物（VOCs）を調査し、それらの曝露量と有害性情報

とを突合させて健康リスク評価を行うことが重要である。我々は、平成28年度厚生労働科学特別研究事業として「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（分担研究課題：人工芝グラウンド用ゴムチップに含ま

れる揮発性有機化合物の分析)」を実施し、我が国に流通する人工芝グラウンド用ゴムチップ製品の成分分析を行い、それらに含まれる VOCs の実態を明らかにしてきた。

継続研究である本課題の平成 29 年度において、人工芝グラウンド上の競技者における VOCs 曝露量の評価に資する科学的エビデンスを集積することを目的に、人工芝グラウンド内における大気中の VOCs の測定方法( サンプルング法及び分析法 ) を構築するとともに、予備調査として実際の人工芝グラウンド内における大気をサンプルングして冬季の VOCs 濃度を測定した。平成 30 年度は、夏季の人工芝グラウンド( 屋外 3 か所、屋内 1 か所 ) における大気をサンプルングして VOCs 濃度を測定し、サンプルング地点、屋内外、季節間における VOCs 濃度の変動を解析し、健康リスク評価に供するデータを集積した。更に、人工芝グラウンドよりサンプルングしたゴムチップから放散される VOCs を分析し、先行研究の結果( 未使用製品 ) との比較を行った。

## B . 研究方法

### 1. 測定対象 VOCs

測定対象とする VOCs は、先行研究( 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「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」分担研究課題：人工芝グラウンド用ゴムチップに含まれる揮発性有機化合物の分析 ) の分析結果( 検出率として 10%以上 )<sup>1)</sup>、米国環境保護庁 (USEPA)、オランダ国立公衆健康環境研究所 (RIVM)、欧州化学品庁 (ECHA) の調査結果<sup>2-4)</sup>、国際がん研究機関 (IARC) による発がん性評価<sup>5)</sup>とを合わせ、表 1 に示す 53 化合物を選定した。

測定対象 VOCs は、後述する測定方法( サンプルング法及び分析法 ) の特性により、VOC1 ( 低沸点 VOCs 34 化合物 )、VOC2 ( 高沸点 VOCs 14 化合物 )、VOC3 ( アニリン及び *t*-ブチルアミン )、

VOC4 ( ホルムアルデヒド )、VOC5 ( 2-メルカプトベンゾチアゾール )、VOC6 ( ジブチルヒドロキシトルエン ) の 6 グループに分類した。

### 2. 標準物質

#### 【VOC1 ( 低沸点 VOCs 34 化合物 )】

HAPs-J44+F7 有害大気汚染物質測定用標準ガス( 住友精化製 )、PAMS-J58 新規自動車排ガス規制用標準ガス( 住友精化製 )、48 Component Indoor Air Standard ( SUPELCO 製 )

#### 【VOC2 ( 高沸点 VOCs 14 化合物 )】

48 Component Indoor Air Standard ( SUPELCO 製 )

#### 【VOC3 ( アニリン及び *t*-ブチルアミン )】

アニリン( 関東化学製 )、アニリン-*d*<sub>5</sub> ( C/D/N Isotopes 製 )、*t*-ブチルアミン( 和光純薬工業製 )、ナフタレン-*d*<sub>8</sub> ( Cambridge Isotope Laboratories 製 )

#### 【VOC4 ( ホルムアルデヒド )】

16 種アルデヒド-DNPH 混合標準溶液 高速液体クロマトグラフ用 ( 和光純薬工業製 )

#### 【VOC5 ( 2-メルカプトベンゾチアゾール )】

2-メルカプトベンゾチアゾール ( 東京化成工業製 )、フェナントレン-*d*<sub>10</sub> ( C/D/N Isotopes 製 )、トリメチルシリルジアゾメタン ( ca. 10% in Hexane ) ( 東京化成工業製 )

#### 【VOC6 ( ジブチルヒドロキシトルエン )】

ジブチルヒドロキシトルエン( BHT )標準品( 関東化学製 )、2,6-Di-*tert*-butyl-4-methylphenol-*d*<sub>24</sub> ( C/D/N Isotopes 製 )、ヘキサクロロベンゼン(<sup>13</sup>C<sub>6</sub>, 100 ± 10 µg/mL in Nonane) ( Cambridge Isotope Laboratories 製 )

### 3. 測定方法（サンプリング法及び分析法）

測定方法（サンプリング法及び分析法）の概略を表2及び表3に示す。

#### 【VOC1（低沸点 VOCs 34 化合物）】

有害大気汚染物質測定法マニュアル（環境省）<sup>6)</sup>に準じ、低温濃縮（AutoCan）-ガスクロマトグラフ/質量分析計（GC/MS）法により測定した。ガス捕集後、キャニスター中のガスを加圧希釈し、AutoCan（気体試料濃縮装置）を使用し、GC/MSを用いて分析を行った。本分析条件では *m*-キシレンと *p*-キシレン、3-エチルトルエンと4-エチルトルエンは分離ができないため、合算値として定量した。

捕集方法: 容器（6 L キャニスター）捕集

捕集量: 約 5 L

吸引速度: 約 0.08 L/min

時間: 60 分

測定装置及び分析条件を表4に示す。

[計算式]

$$V = V1 / d$$

$$C = a / V \times M / 24.02 \times 1,000$$

V: 試料ガス量 (mL)

V1: 分析使用量 (mL)

d: 希釈率

C: 濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

a: 絶対量 (nL)

M: 分子量

#### 【VOC2（高沸点 VOCs 14 化合物）】

有害大気汚染物質測定法マニュアル（環境省）<sup>7)</sup>に準じ、加熱脱離（TD）-GC/MS 法により測定した。ガス捕集後、捕集管（TenaxTA 60/80 mesh）中の VOCs を TD-GC/MS を用いて分析を行った。

捕集方法: 固相（TenaxTA）捕集

捕集量: 6 L

吸引速度: 0.1 L/min

時間: 60 分

測定装置及び分析条件を表5に示す。

[計算式]

$$V = V1 / d$$

$$C = a / V$$

V: 試料ガス量 (mL)

V1: 分析使用量 (mL)

d: 希釈率

C: 濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

a: 絶対量 (nL)

#### 【VOC3（アミン類 2 成分）】

有害大気汚染物質測定法マニュアル（環境省）<sup>8)</sup>に準じ、誘導体化-溶媒抽出-GC/MS 法により測定した。ガス捕集後、ろ紙を分割しそれぞれアニリン分析用、*t*-ブチルアミン分析用とし、それぞれの分析を行った。

##### アニリン分析方法

捕集後の石英繊維ろ紙をトルエンで抽出した後、ヘptaフルオロ酪酸無水物で誘導体化（アシル化）し、GC/MS を用いて分析を行った。

##### *t*-ブチルアミン分析方法

捕集後の石英繊維ろ紙を NaOH 水溶液で抽出した後、塩化ベンゾイルで誘導体化（ベンゾイル化）した。これをヘキササンで抽出し、GC/MS を用いて分析を行った。

捕集方法: ろ紙（リン酸含浸）捕集

捕集量: 30 L

吸引速度: 0.5 L/min

時間: 60 分

前処理のフローを図 1 及び 2 に、測定装置及び分析条件を表 6 及び 7 に示す。

#### 【VOC4 (ホルムアルデヒド)】

有害大気汚染物質測定法マニュアル(環境省)<sup>9)</sup>に準じ、溶媒抽出-高速液体クロマトグラフ(HPLC)法により測定した。アルデヒド類の分析では 2,4-ジニトロフェニルヒドラジンカ-トリッジ(Presep-C DNPH 富士フィルム和光純薬製)を用い、DNPH 誘導体化して分析した。分析は HPLC/UV を用いて行った。

捕集方法: 固相 (DNPH) 捕集

捕集量: 60 L

吸引速度: 1 L/min

時間: 60 分

前処理のフローを図 3 に、測定装置及び分析条件を表 8 に示す。

[計算式]

$$V = V1 / d$$

$$C = a / V$$

V: 試料ガス量 (mL)

V1: 分析使用量 (mL)

d: 希釈率

C: 濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

a: 絶対量 (nL)

#### 【VOC5 (2-メルカプトベンゾチアゾール)】

化学物質分析法開発調査報告書(平成 25 年度)(環境省)<sup>10)</sup>に準じ、溶媒抽出-誘導体化-GC/MS 法により測定した。アセトンで洗浄後 1%アスコルビン酸/メタノールを含浸させ乾燥した石英繊維ろ紙を用いて捕集した。捕集後の石英繊維ろ紙をメタノールで抽出し濃縮した後、トリメチルシリルジアゾメタンで誘導体化(メチル化)し、ガスクロマトグラフ/タンデム型質量分析計 (GC-

MS/MS) を用いて分析を行った。

捕集方法: ろ紙 (アスコルビン酸含浸) 捕集

捕集量: 30 L

吸引速度: 0.5 L/min

時間: 60 分

前処理のフローを図 4 に、測定装置及び分析条件を表 9 に示す。

#### 【VOC6 (ジブチルヒドロキシルエン)】

化学物質分析法開発調査報告書(平成 7 年度)(環境省)<sup>11)</sup>に準じ、溶媒抽出-GC/MS 法により測定した。ヘキサン及びアセトンで洗浄後 1%アスコルビン酸/メタノールを含浸させ乾燥した Sep-Pak Plus C18 カートリッジを用いて捕集した。捕集後の C18 カートリッジから溶出させ、濃縮した後、GC/MS を用いて分析を行った。なお、未使用の C18 カートリッジを用いて試料と同様の前処理操作を行った操作ブランク試験の結果、検量線最低濃度以上の BHT が検出されたことから、操作ブランク値を差し引いた濃度を試料中濃度とした。

捕集方法: 固相 (C18 アスコルビン酸含浸) 捕集

捕集量: 30 L

吸引速度: 0.5 L/min

時間: 60 分

前処理のフローを図 5 に、測定装置及び分析条件を表 10 に示す。

#### 4. 人工芝グラウンドにおける大気サンプリング

廃タイヤ由来のゴムチップが充填された人工芝サッカーグラウンドにおいて、平成 30 年 7 月 13 日~24 日にかけて、関東近郊の人工芝グラウンド(屋外 3 か所、屋内 1 か所)における大気サンプリングを実施した。グラウンド上の調査地点は、米国コネチカット州内の人工芝フィールドの調査報告<sup>12, 13)</sup>等を参考にし、平成 29 年度は図 6 に示す 6 か所 ゴール前 高さ 15 cm, ゴール前 高

さ 91 cm, 右サイド 高さ 91 cm, 左サイド 高さ 91 cm, センターサークル 高さ 91 cm, グラウンド外(バックグラウンド)高さ 91 cm) 平成 30 年度は図 7 に示す 4 か所( ゴール前 高さ 15 cm, ゴール前 高さ 91 cm, センターサークル 高さ 91 cm, グラウンド外(バックグラウンド)高さ 91 cm)とした。

大気サンプリング中はグラウンド上で気温( ) 湿度(%) 平均風速(m/s) 風向(16 方位) 気圧(hPa)を記録した。

#### 屋外人工芝グラウンド A (神奈川県)

測定日: 平成 30 年 1 月 22 日

測定時間: 8 時 27 分 ~ 11 時 40 分

平均気温: 2.4 (最高: 3.6、最低: 1.1 )

平均湿度: 82% (最高: 92%、最低: 68%)

平均風速: 2.0 m/s (最高: 2.8 m/s、最低: 1.3 m/s)

最多風向: 西北西

平均気圧: 1019.7 hPa (最高: 1020.7 hPa、最低: 1018.0 hPa)

#### 屋外人工芝グラウンド A (神奈川県)

測定日: 平成 30 年 7 月 17 日

測定時間: 8 時 50 分 ~ 11 時 05 分

平均気温: 35.3 (最高: 38.9、最低: 33.7 )

平均湿度: 54% (最高: 57%、最低: 47%)

平均風速: 1.7 m/s (最高: 2.8 m/s、最低: 0.6 m/s)

最多風向: 南西

平均気圧: 1009.9 hPa (最高: 1010.2 hPa、最低: 1009.5 hPa)

#### 屋外人工芝グラウンド B (東京都)

測定日: 平成 30 年 7 月 13 日

測定時間: 9 時 12 分 ~ 11 時 30 分

平均気温: 34.7 (最高: 37.5、最低: 32.9 )

平均湿度: 51% (最高: 56%、最低: 46%)

平均風速: 1.0 m/s (最高: 2.0 m/s、最低: 0.4 m/s 未

満)

最多風向: 東

平均気圧: 1006.5 hPa (最高: 1006.9 hPa、最低: 1005.9 hPa)

#### 屋外人工芝グラウンド C (埼玉県)

測定日: 平成 30 年 7 月 24 日

測定時間: 10 時 01 分 ~ 12 時 10 分

平均気温: 36.3 (最高: 37.5、最低: 32.3 )

平均湿度: 45% (最高: 50%、最低: 40%)

平均風速: 1.8 m/s (最高: 3.0 m/s、最低: 0.4 m/s)

最多風向: 東北東

平均気圧: 1003.2 hPa (最高: 1003.7 hPa、最低: 1002.7 hPa)

#### 屋内人工芝グラウンド D (茨城県)

測定日: 平成 30 年 7 月 23 日

測定時間: 9 時 13 分 ~ 11 時 21 分

平均気温: 35.0 (最高: 37.1、最低: 32.0 )

平均湿度: 62% (最高: 72%、最低: 51%)

平均風速: 静穏

最多風向: なし

平均気圧: 1005.9 hPa (最高: 1006.5 hPa、最低: 1005.4 hPa)

(サンプリング中の気象条件データを巻末の付属資料 1~4 に示す)

### 5. 人工芝グラウンドよりサンプリングしたゴムチップから放散される VOCs の分析

人工芝グラウンド(屋外 3 か所、屋内 1 か所)よりサンプリングしたゴムチップから放散される VOCs の分析は、先行研究で確立したヘッドスペース / MMSE (Monolithic Material Sorptive Extraction) 法を用いた。

試料量 5 g を精秤し、捕集温度 60、捕集時間 24 時間の条件で溶媒抽出用シリカモノリスディスク (MonoTrap® DSC18 ジーエルサイエンス社

製)に VOCs を捕集し、メタノール 200  $\mu\text{L}$  により超音波照射 5 分で抽出した。

抽出液は GC/MS に供し、SIM 測定を行った。GC/MS 測定条件を表 11 に示す。SIM 測定の定量下限値 (0.04  $\mu\text{g/g}$ ) を下回った化合物は不検出とした。

## 6. 倫理面への配慮

該当事項なし

## C. 研究結果

### 1. 大気中の VOCs の測定方法(サンプリング法及び分析法)の構築

測定対象 VOCs は、測定方法(サンプリング法及び分析法)の特性により、VOC1, VOC2, VOC3, VOC4, VOC5, VOC6 の 6 グループに分類し、環境省が示す有害大気汚染物質測定方法マニュアル等の公定法に準じて定量分析を行った。定量分析にあたっては、検量線最低濃度が S/N 比 10 以上であることを確認し、算出される試料中濃度が目標定量下限値 (0.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) を下回ることを確認した。VOC2 のベンゾチアゾール、ピフェニルについては、検量線最低濃度が S/N 比 10 以上になる条件を確保するために、定量下限値を 1.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  とした。

VOC1 の *m*-キシレンと *p*-キシレン、3-エチルトルエンと 4-エチルトルエンについては、分離が不十分であったため、合算値として定量した。VOC3 の大気中 *t*-ブチルアミンの分析方法は国内外において確認することができなかった。また、有害大気汚染物質測定法マニュアルによるアニリンとの同時分析を検討したところ、*t*-ブチルアミン-アシル化物の生成を確認することができなかったため、塩化ベンゾイルを誘導体化試薬とするベンゾイル化による分析法の検討を行った。その結果、*t*-ブチルアミン-ベンゾイル化物の検量線は  $R^2 > 0.9992$  となり、添加回収試験 (N=1, 0.7 L/min, 捕集時間 1 時間) では回収率 90%と良好な結果が得られた

ため、本法を大気中 *t*-ブチルアミンの分析方法として採用した<sup>14, 15)</sup>。

### 2. 人工芝グラウンドにおいてサンプリングした大気中の VOCs 濃度

<平成 29 年度：冬季>

廃タイヤ由来のゴムチップが充填された人工芝サッカーグラウンドにおいて大気サンプリングを実施し、VOCs 濃度を定量分析した。結果を表 11 及び表 12 に示す。

米国コネチカット州内の人工芝フィールドの調査報告を参考に、グラウンド上のゴール前の調査地点は高さ 15 cm( )と高さ 91 cm( )の 2 か所の大気を採取したが、アセトン以外に大きな差異は認められなかった。また、高さ 91 cm の 4 か所の調査地点( ~ )における VOCs 濃度は、トルエンが若干変動していた (2.9 ~ 5.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) が、その他の化合物においては大きな差異は認められなかった。更に、人工芝の敷設されていないグラウンド外(バックグラウンド)においても大気サンプリングを行い、VOCs 濃度を測定したところ、グラウンドの内外において顕著に差異のある化合物は認められなかった(サンプリング中の気象条件データを巻末の付属資料 1~4 に示す)。

<平成 30 年度：夏季>

ゴムチップが充填された人工芝グラウンド(屋外 3 か所(A~C)、屋内 1 か所(D))において大気サンプリングを実施し、VOCs 濃度を定量分析した。米国コネチカット州内の人工芝グラウンド調査報告<sup>12,13)</sup>を参考に、グラウンド上の大気サンプリング地点を、ゴール前付近の高さ 15 cm( )と高さ 91 cm( )、センターサークル付近の高さ 91 cm( )およびグラウンド外(バックグラウンド)の高さ 91 cm( )地点とした。結果を表 13 から表 16 に示す。

測定対象とする VOCs 53 化合物のうち、人工芝グラウンドにおける大気中に検出された VOCs は

36 化合物であり、17 化合物 (1,3-ブタジエン、トランス-2-ブテン、シス-2-ブテン、シス-1,2-ジクロロエテン、クロロホルム、1,1,1-トリクロロエタン、テトラクロロエチレン、クロロベンゼン、1,3,5-トリメチルベンゼン、1,2,3-トリメチルベンゼン (1S)-(-)- $\alpha$ -ピネン、(R)-(+)-リモネン、n-トリデカン、ビフェニル、n-ペンタデカン、アニリン、2-メルカプトベンゾチアゾール) は検出限界以下であった。

#### サンプリング地点(グラウンド内外)の比較(図8)

各グラウンド内 3 地点( ~ )の大気中 VOCs 濃度をグラウンド外(バックグラウンド)( )と比較したところ、屋外グラウンド A ではグラウンド内外に大きな差異は認められなかったが、屋外グラウンド B では (ゴール前付近 高さ 15 cm) において、屋外グラウンド C では (センターサークル付近 高さ 91 cm) で高い傾向が認められた。また、屋内グラウンド D では (ゴール前付近 高さ 15 cm) において、屋外のバックグラウンドよりも顕著に高い濃度を示した。中でもメチルイソブチルケトン は 25.7 倍、ベンゾチアゾールは 16.2 倍高い濃度を示した。

#### 屋外グラウンドと屋内グラウンドの比較(図9)

屋外グラウンド 3 か所 (A ~ C) の大気中 VOCs 濃度を屋内グラウンド (D) と比較したところ、サンプリング地点 (グラウンド外 (バックグラウンド)) およびサンプリング地点 (センターサークル付近 高さ 91 cm) では、屋外・屋内に大きな差異は認められなかったが、サンプリング地点 (ゴール前付近 高さ 15 cm) および (ゴール前付近 高さ 91 cm) では屋内グラウンド D で顕著に高い濃度を示した。屋内グラウンドの方が濃度が高かった化合物は、ベンゼン、メチルイソブチルケトン、デカナール、ベンゾチアゾール、ホルムアルデヒドであった。屋内グラウンドのみで検出された化合物は (1S)-(-)- $\beta$ -ピネン、n-ウンデカン、ナフタレン、n-テトラデカン、n-ヘキサデカン、*t*

ブチルアミン、BHT であった。

#### 屋外グラウンド A における季節間の比較(図10)

屋外グラウンド A においては、平成 29 年度に冬季 (平成 30 年 1 月 22 日) の VOCs 濃度を測定したことから、夏季 (平成 30 年 7 月 17 日) との比較を行った。

各グラウンド内 4 地点( ~ )の大気中 VOCs 濃度を季節間で比較したところ、対象 VOCs の検出数は概ね同等であった。測定対象 VOCs で比較すると、夏季の方が高い濃度を示した化合物は、アセトン、メチルエチルケトン、n-ブタノール、1,4-ジクロロベンゼン、デカナール、ホルムアルデヒドであり、冬季の方が高い濃度を示した化合物はヘキサン、*m*-,*p*-キシレン、n-デカン、1,2,4-トリメチルベンゼンであった。

### 3. 人工芝グラウンドよりサンプリングしたゴムチップから放散される VOCs の分析

我々は、先行研究において、我が国に流通する人工芝グラウンド用ゴムチップ製品 46 検体について成分分析を行い、主要な化学物質としてメチルイソブチルケトン、ベンゾチアゾールが検出されたと報告した (平成 28 年度厚生労働科学特別研究事業「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 [分担研究課題：人工芝グラウンド用ゴムチップに含まれる揮発性有機化合物の分析] )。本研究では、平成 29 年度、平成 30 年度に実施した調査を実施した人工芝グラウンド (延べ 5 か所) よりサンプリングしたゴムチップから放散される VOCs を分析し、未使用製品との比較を行った。結果を表 16 に示す。

未使用製品から放散されるメチルイソブチルケトンの中央値は 2.4  $\mu\text{g/g}$  であったのに対し、人工芝グラウンドに充填されたゴムチップから放散される濃度は 0.14  $\mu\text{g/g}$  であった。また、未使用製品から放散されるベンゾチアゾールの中央値は 1.6  $\mu\text{g/g}$  であったのに対し、人工芝グラウンドに充填

されたゴムチップから放散される濃度は 0.29  $\mu\text{g/g}$  であった。未使用製品から放散されるベンゾチアゾールの中央値は 2.4  $\mu\text{g/g}$  であったのに対し、人工芝グラウンドに充填されたゴムチップから放散される濃度は 0.14  $\mu\text{g/g}$  であった。また、未使用製品から放散されるベンゾチアゾールの中央値は 1.6  $\mu\text{g/g}$  であったのに対し、人工芝グラウンドに充填されたゴムチップから放散される濃度は 0.29  $\mu\text{g/g}$  であった。その他の VOCs は全て検出限界 (0.04  $\mu\text{g/g}$ ) 以下であった。

#### D. 考察

本研究では、先行研究及び諸外国の調査報告等を基に 53 化合物を選定し、人工芝グラウンド(屋内 3 か所、屋外 1 か所)における大気中の VOCs 濃度を測定した。

国際がん研究機関のモノグラフにおいて人に対して発がん性を示す物質に分類されるベンゼンは、いずれの人工芝グラウンドにおいても WHO 欧州地域事務局のガイドライン値 (1.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ : ユニットリスクの  $10^{-5}$  レベル換算値) および我が国における大気環境基準値 (0.003  $\text{mg}/\text{m}^3$ : 1 年平均値) 以下であった。また、人に対して発がん性を示す可能性のある物質 (2A 可能性の高い (probably) 物質) に分類される 1,3-ブタジエンは、いずれの人工芝グラウンドにおいても検出限界 (0.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 以下であった。ホルムアルデヒドは WHO 欧州において 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (30 分平均値) のガイドライン値が示されているが、いずれの人工芝グラウンドにおいても十分に下回っていた。トリクロロエチレンおよびジクロロメタンは、いずれの人工芝グラウンドにおいても環境基準値 (トリクロロエチレン 0.13  $\text{mg}/\text{m}^3$ : 1 年平均値、ジクロロメタン 0.15  $\text{mg}/\text{m}^3$ : 1 年平均値) よりも顕著に低い濃度であった。

屋外人工芝グラウンド (3 か所) では、グラウンド内外で VOCs 濃度に大きな濃度差は認められなかった。一方、屋内人工芝グラウンドでは、メチル

イソブチルケトン、ベンゾチアゾールの濃度がグラウンド外 (バックグラウンド) よりも高い値を示した。

屋外人工芝グラウンド (3 か所) の大気中 VOCs 濃度を屋内人工芝グラウンドと比較したところ、屋内の方が高い濃度を示した化合物は、ベンゼン、メチルイソブチルケトン、デカナール、ベンゾチアゾール、ホルムアルデヒドであった。また、屋内グラウンドのみで検出された化合物は (1S)-(-)- $\beta$ -ピネン、n-ウンデカン、ナフタレン、n-テトラデカン、n-ヘキサデカン、*t*-ブチルアミン、BHT であった。屋内人工芝グラウンドにおいてはゴムチップに限らず、種々の製品に由来する VOCs が空气中に滞留するため、恒常的に十分な換気を促す必要があると考えられる。

また、同一グラウンドにおける季節間差について検討したところアセトン、n-ブタノール、1,4-ジクロロベンゼン等が夏季に高い値を示した。一般的に、外気温が高い夏季の方が VOCs の放散量が相対的に高くなると考えられるが、人工芝グラウンド近郊の数多の外的要因 (工場や事業所における化学燃料の燃焼、自動車排ガス、風向等の気象条件) があり、ゴムチップに限定する VOCs の放散量の変動を解析することは困難である。

また、各グラウンドでサンプリングしたゴムチップから放散される VOCs を分析し、先行研究の結果 (未使用製品) と比較したところ、メチルイソブチルケトンの中央値は 5.4 倍、ベンゾチアゾールの中央値は 17.5 倍低減していた。これは、人工芝グラウンド用ゴムチップに由来する VOCs が経時的に減衰することを示唆しており、人工芝グラウンドに充填する前のベイクアウト等で健康リスクを低減できる可能性が考えられる。

#### E. 結論

平成 29 年度は屋外人工芝グラウンド (1 か所)、平成 30 年度は屋外人工芝グラウンド (3 か所)、屋内人工芝グラウンド (1 か所) における大気およ



びゴムチップをサンプリングして VOCs 濃度を測定し、人工芝グラウンド用ゴムチップの健康リスク評価に資する科学的エビデンスを集積した。

## 参考文献

- 1) 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「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に関する研究」分担研究課題: 人工芝グラウンド用ゴムチップに含まれる揮発性有機化合物の分析
- 2) U.S. Environmental Protection Agency and the Centers for Disease Control and Prevention/Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Research Protocol: Collections Related to Synthetic Turf Fields with Crumb Rubber Infill. August 5, 2016.
- 3) National Institute for Public Health and the Environment, Evaluation of health risks of playing sports on synthetic turf pitches with rubber granulate: RIVM Report 2017-0016.
- 4) The European Chemicals Agency (ECHA), Annex XV report: an evaluation of the possible health risks of recycled rubber granules used as infill in synthetic turf sports fields. 28 February 2017.
- 5) IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. List of Classifications by cancer sites with sufficient or limited evidence in humans. Last update: 27 October 2017.
- 6) 有害大気汚染物質測定方法マニュアル(平成 23 年 3 月改訂) 第 2 部 有機化合物の容器採取・固体吸着による測定方法 第 1 章 大気中のベンゼン等揮発性有機化合物(VOCs)の測定方法 第 1 節 容器採取 ガスクロマトグラフ質量分析法(多成分同時測定方法)
- 7) 有害大気汚染物質測定方法マニュアル(平成 23 年 3 月改訂) 第 2 部 有機化合物の容器採取・固体吸着による測定方法 第 1 章 大気中のベンゼン等揮発性有機化合物(VOCs)の測定方法 第 2 節 固体吸着 加熱脱着 ガスクロマトグラフ質量分析法
- 8) 有害大気汚染物質測定方法マニュアル(平成 26 年 3 月改訂) 大気中の芳香族アミン類の測定方法
- 9) 有害大気汚染物質測定方法マニュアル(平成 23 年 3 月改訂) 第 4 部 有機化合物の反応捕集による測定方法 第 1 章 大気中のホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドの測定方法 第 1 節 固相捕集 高速液体クロマトグラフ法
- 10) 化学物質分析法開発調査報告書(平成 25 年度)(環境省) 2. 大気中の化学物質に関する分析法(GC/MS) 2-メルカプトベンゾチアゾール(pp.635)
- 11) 化学物質分析法開発調査報告書(平成 7 年度)(環境省) p-t-ブチルフェノール; 2,6-ジ-t-ブチル-4-メチルフェノールの分析法(pp.251)
- 12) Artificial Turf Field Investigation in Connecticut. Final Report: Section of Occupational and Environmental Medicine, University of Connecticut Health Center, July 27, 2010.
- 13) Synthetic turf field investigation in Connecticut, Nancy J. Simcox, Anne Bracker, Gary Ginsberg, Brian Toal, Brian Golembiewski, Tara Kurland, Curtis Hedman, Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 74:1133-1149, 2011.
- 14) 上田宏明: エチレングリコール, プロパン-1,2-ジオール 平成 27 年度化学物質分析法開発調査報告書, 134-169
- 15) 角脇怜, 本田富義: ペンタエリストール 昭和 55 年度化学物質分析法開発調査報告書, 128-

**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**

1) 五十嵐良明,河上強志,西以和貴,久保田領志,小濱とも子,酒井信夫,田原麻衣子,重田善之,森田健. 人工芝グラウンド用ゴムチップの成分分析及び諸外国における研究状況. 第27回環境化学討論会, 沖縄, 2018年5月

2) 田原麻衣子, 酒井信夫, 五十嵐良明. 人工芝グラウンド用ゴムチップの成分分析 揮発性有機化合物 . 第27回環境化学討論会, 沖縄, 2018年5月

**H．知的所有権の取得状況**

**1．特許取得**

なし

**2．実用新案登録**

なし

**3．その他**

なし

表 1 測定対象化合物

	調査項目	CAS-RN	種別	
1	Chloromethane	74-87-3	VOC1	
2	1,3-Butadiene	106-99-0		
3	trans-2-Butene	624-64-6		
4	cis-2-Butene	590-18-1		
5	1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroethane	76-13-1		
6	Acetone	67-64-1		
7	Carbon disulfide	75-15-0		
8	Dichloromethane (Methylene chloride)	75-09-2		
9	Hexane	110-54-3		
10	cis-1,2-Dichloroethene	156-59-2		
11	Methyl ethyl ketone	78-93-3		
12	Chloroform	67-66-3		
13	1,1,1-Trichloroethane	71-55-6		
14	Carbon tetrachloride	56-23-5		
15	Benzene	71-43-2		
16	n-Butanol	71-36-3		
17	Trichloroethylene	79-01-6		
18	Methyl isobutyl ketone (4-Methyl-2-pentanone)	108-10-1		
19	Toluene	108-88-3		
20	Tetrachloroethylene	127-18-4		
21	Chlorobenzene	108-90-7		
22	Ethylbenzene	100-41-4		
23,24	<i>m</i> -Xylene; <i>p</i> -Xylene	108-38-3; 106-42-3		
25	<i>o</i> -Xylene	95-47-6		
26	Styrene	100-42-5		
27	n-Decane	124-18-5		
28,29	3-Ethyltoluene; 4-Ethyltoluene	620-14-4; 622-96-8		
30	1,3,5-Trimethylbenzene	108-67-8		
31	2-Ethyltoluene	611-14-3		
32	1,2,4-Trimethylbenzene	95-63-6		
33	1,2,3-Trimethylbenzene	526-73-8		
34	1,4-Dichlorobenzene	106-46-7		
35	(1S)-(-)-a-Pinene	7785-26-4	VOC2	
36	(1S)-(-)-b-Pinene	18172-67-3		
37	(R)-(+)-Limonene	5989-27-5		
38	n-Undecane	1120-21-4		
39	Nonanal	124-19-6		
40	Naphthalene	91-20-3		
41	n-Dodecane	112-40-3		
42	Decanal	112-31-2		
43	Benzothiazole	95-16-9		
44	n-Tridecane	629-50-5		
45	Biphenyl	92-52-4		
46	n-Tetradecane	629-59-4		
47	n-Pentadecane	629-62-9		
48	n-Hexadecane	544-76-3		
49	Aniline	62-53-3		VOC3
50	<i>t</i> -Butylamine	75-64-9	VOC4	
51	Formaldehyde	50-00-0		VOC5
52	2-Mercaptobenzothiazole	149-30-4		VOC6
53	Butylated hydroxytoluene	128-37-0	VOC6	

表2 測定方法（サンプリング法）の概略

種別	捕集方法	捕集量	吸引速度	時間
VOC1	容器（6L キャニスター）捕集	約 5 L	約 0.08 L/min	60 分
VOC2	固相（TenaxTA）捕集	6 L	0.1 L/min	60 分
VOC3	ろ紙（リン酸含浸）捕集	30 L	0.5 L/min	60 分
VOC4	固相（DNPH）捕集	60 L	1 L/min	60 分
VOC5	ろ紙（アスコルビン酸含浸）捕集	30 L	0.5 L/min	60 分
VOC6	固相（C18 アスコルビン酸含浸）捕集	30 L	0.5 L/min	60 分

表3 測定方法（分析法）の概略

種別	調査項目	調査方法参考マニュアル等
VOC1	低沸点 VOCs 34 成分	有害大気汚染物質測定法マニュアル（環境省） <sup>6)</sup> 低温濃縮（AutoCan）-GC/MS
VOC2	高沸点 VOCs 14 成分	有害大気汚染物質測定法マニュアル（環境省） <sup>7)</sup> 加熱脱離（TD）-GC/MS
VOC3	アミン類 2 成分	有害大気汚染物質測定法マニュアル（環境省） <sup>8)</sup> 誘導体化-溶媒抽出-GC/MS
VOC4	ホルムアルデヒド	有害大気汚染物質測定法マニュアル（環境省） <sup>9)</sup> 溶媒抽出-HPLC
VOC5	2-メルカプトベンゾチア ゾール	化学物質分析法開発調査報告書（平成 25 年度） （環境省） <sup>10)</sup> 溶媒抽出-誘導体化-GC/MS
VOC6	ジブチルヒドロキシトル エン	化学物質分析法開発調査報告書（平成 7 年度） （環境省） <sup>11)</sup> 溶媒抽出-GC/MS

表 4 VOC1 の測定装置及び分析条件

AutoCan (米国 Tekmar 社製) 装置分析条件

Cryo	on	Drypurge Flow	10 ml/min
Line Temp	150	Desorb Preheat Temp	180
Valve Temp	150	Trap Desorb Time	5 min
MCS Line Temp	40	Trap Desorb Temp	200
Trap Standby Temp	150	Cryo Cool Temp	-150
Cryo Standby Temp	150	Cryo Inject Time	4 min
MFC Standby Flow	30 ml/min	Cryo Inject Temp	200
Trap Cool Temp	-100	Trap Bake Time	10 min
MFC Transfer Flow	50 ml/min	Trap Bake Temp	200
Drypurge Time	5 min	MCS Bake Temp	200
Drypurge Temp	10		

GC/MS 分析条件

分析機器名	ガスクロマトグラフ/質量分析計	GCMS-QP2010 Ultra (島津製作所)
-------	-----------------	---------------------------

GC 部	使用カラム	AQUATIC (GLサイエンス株) 60 m × 0.25 mm (id), df : 1.0 μm
	カラム温度	40 (10 min) 6 /min 220 (5 min)
	注入方法	スプリットレス
	キャリアーガス	ヘリウム (100 kPa)

MS 部	イオン化法	EI 法
	イオン化電圧	70 eV
	イオン源温度	200
	インターフェース温度	230
	測定法	SIM 法
	定量法	内標準法

表4 VOC1の測定装置及び分析条件(続き)

設定質量 ( $m/z$ )

		定量イオン	確認イオン
1	Chloromethane	52	50
2	1,3-Butadiene	54	53
3	trans-2-Butene	56	41
4	cis-2-Butene	56	55
5	1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroethane	101	103
6	Acetone	43	58
7	Carbon disulfide	76	78
8	Dichloromethane (Methylene chloride)	88	83
9	Hexane	86	71
10	cis-1,2-Dichloroethene	61	96
11	Methyl ethyl ketone	43	72
12	Chloroform	83	87
13	1,1,1-Trichloroethane	97	99
14	Carbon tetrachloride	117	119
15	Benzene	79	76
16	n-Butanol	56	55
17	Trichloroethylene	130	132
18	Methyl isobutyl ketone (4-Methyl-2-pentanone)	43	58
IS	Toluene- $d_8$	98	100
19	Toluene	65	63
20	Tetrachloroethylene	166	164
21	Chlorobenzene	112	114
22	Ethylbenzene	92	105
23,24	<i>m</i> -Xylene; <i>p</i> -Xylene *	105	77
25	<i>o</i> -Xylene	105	77
26	Styrene	102	74
27	n-Decane	142	84
28,29	3-Ethyltoluene; 4-Ethyltoluene *	105	120
30	1,3,5-Trimethylbenzene	120	105
31	2-Ethyltoluene	105	120
32	1,2,4-Trimethylbenzene	105	120
33	1,2,3-Trimethylbenzene	105	120
34	1,4-Dichlorobenzene	146	148

\* 本分析条件では *m*-キシレンと *p*-キシレン、3-エチルトルエンと 4-エチルトルエンは分離ができないため、合算値として定量した。

表 5 VOC2 の測定装置及び分析条件

TD-GC/MS 分析条件

分析機器名	加熱脱着オートサンプラー	TD-20 (島津製作所)
	ガスクロマトグラフ/質量分析計	GCMS-QP2010 Ultra (島津製作所)

TD 部	加熱脱離流量	60 mL/min
	加熱脱離時間	5 min
	バルブ温度	290
	トラップ冷却温度	-10
	トラップ加熱温度	280
	インターフェース温度	300
	ブロック温度	320
	ライン温度	300

GC 部	使用カラム	DB-5MS (Agilent Technologies/J&W) 30 m × 0.25 mm (id), df : 0.25 μm
	カラム温度	60 (6 min) 6 /min 300 (3 min)
	注入方法	Split 10 : 1
	キャリアーガス	ヘリウム (80 kPa)

MS 部	イオン化法	EI 法
	イオン化電圧	70 eV
	イオン源温度	250
	インターフェース温度	300
	測定法	SIM 法
	定量法	内標準法

設定質量 (  $m/z$  )

		定量イオン	確認イオン
35	(1S)-(-)-a-Pinene	93	92
36	(1S)-(-)-b-Pinene	93	69
37	(R)-(+)-Limonene	68	93
38	n-Undecane	85	156
39	Nonanal	82	68
40	Naphthalene	128	127
41	n-Dodecane	85	170
42	Decanal	82	68
43	Benzothiazole	135	108
44	n-Tridecane	57	85
45	Biphenyl	154	153
46	n-Tetradecane	57	85
IS	Geosmin- <i>d</i> <sub>3</sub>	115	128
47	n-Pentadecane	85	71
48	n-Hexadecane	57	85

表6 VOC3 (アニリン) の測定装置及び分析条件

GC/MS 分析条件

分析機器名	ガスクロマトグラフ/質量分析計	GCMS-QP2010 Ultra (島津製作所)
-------	-----------------	---------------------------

GC 部	使用カラム	DB-5MS (Agilent Technologies/J&W) 30 m × 0.25 mm (id), df: 0.25 μm
	カラム温度	50 (1 min) 10 /min 140 (0 min) 15 /min 290 (5 min)
	注入方法	スプリットレス
	注入口温度	250
	注入量	2 μL
	キャリアーガス	ヘリウム(1.0 mL/min)

MS 部	イオン化法	EI 法
	イオン化電圧	70 eV
	イオン源温度	250
	インターフェース温度	250
	測定法	SIM 法
	定量法	内標準法

設定質量 (  $m/z$  )

		定量イオン	確認イオン
49	アニリン-ヘプタフルオロブチリル化物 (N-Phenylheptafluorobutyramide)	289	120
IS	アニリン- $d_5$ -ヘプタフルオロブチリル化物 (N-Phenyl- $d_5$ -heptafluorobutyramide)	294	125



表7 VOC3 (t-ブチルアミン) の測定装置及び分析条件

GC/MS 分析条件

分析機器名	ガスクロマトグラフ/質量分析計	GCMS-QP2010 Ultra (島津製作所)
-------	-----------------	---------------------------

GC 部	使用カラム	DB-5MS (Agilent Technologies/J&W) 30 m × 0.25 mm (id), df: 0.25 μm
	カラム温度	50 (1 min) 10 /min 140 (0 min) 15 /min 290 (5 min)
	注入方法	スプリットレス
	注入口温度	250
	注入量	2 μL
	キャリアーガス	ヘリウム (1.0 mL/min)

MS 部	イオン化法	EI 法
	イオン化電圧	70 eV
	イオン源温度	250
	インターフェース温度	250
	測定法	SIM 法
	定量法	内標準法

設定質量 (m/z)

		定量イオン	確認イオン
50	t-ブチルアミン-ベンゾイル化物 (N-t-Butylbenzamide)	122	162
IS	ナフタレン-d <sub>8</sub>	136	108

表8 VOC4 (ホルムアルデヒド) の測定装置及び分析条件

HPLC 分析条件

分析機器名	高速液体クロマトグラフ	LC-20A システム (島津製作所)
-------	-------------	---------------------

LC 部	使用カラム	Inertsil Acrolein C18 (ジーエルサイエンス株) (4.6 mm (i.d.) × 250 mm、5 μm)
	移動相 A	水
	移動相 B	アセトニトリル
	グラジエント	0-13 min A : 45 % B : 55 % 13-18 min A : 5 % B : 95 % 18-23 min A : 45 % B : 55 %
	移動相流量	1 mL/min
	カラム温度	40
	試料注入量	20 μL
	UV 検出器波長	360 nm
	定量法	絶対検量線法

表9 VOC5 (2-メルカプトベンゾチアゾール) の測定装置及び分析条件

GC-MS/MS 分析条件

分析機器名	ガスクロマトグラフ/タンデム型質量分析計 (GC-MS/MS)	GCMS-TQ8040(島津製作所)
-------	---------------------------------	--------------------

GC 部	使用カラム	HT8 (SGE) 30 m × 0.25 mm (id), df: 0.25 μm
	カラム温度	50 (1 min) 20 /min 220 (0 min) 10 /min 300 (1.5 min)
	注入方法	スプリットレス
	注入口温度	230
	注入量	2 μL
	キャリアーガス	ヘリウム (1.0 mL/min)

MS 部	イオン化法	EI
	イオン源温度	250
	インターフェース温度	260
	測定法	MRM 法
	定量法	内標準法

設定質量 (m/z)

	定量イオン	確認イオン
2-メルカプトベンゾチアゾール-メチル化物 (2-メルカプトベンゾチアゾール)	181>148	148>148
フェナントレン-d <sub>10</sub>	188>160	

参考マニュアルとの相違点

		化学物質分析法開発調査報告書 (平成25年度)(環境省) <sup>10)</sup>	本研究での変更点
試料 採取	捕集材	ガラス繊維ろ紙	アスコルビン酸含浸石英ろ紙
	捕集量	85 m <sup>3</sup> (700 L/min、2時間)	30 L (0.5 L/min、1時間)
前処理	超音波抽出	ジクロロメタン (50 mL、3回)	メタノール (6 mL、3 mL、2 mL)
	転溶・水洗	なし	ジクロロメタン、水洗2回 (アスコルビン酸除去のため)
	最終液量	10 mL (ヘキサン)	0.5 mL (ジクロロメタン)
測定	分析機器	GC/MS あるいは GC/HRMS	GC-MS/MS
	カラム	WAX10 (Supelco 製)	HT8 (SGE)
	内標準	Dibenzothiophene-d <sub>8</sub>	Phenanthrene-d <sub>10</sub>
	測定法	SCAN	MRM

表 10 VOC6 (ジブチルヒドロキシトルエン) の測定装置及び分析条件

GC/MS 分析条件

分析機器名	ガスクロマトグラフ/質量分析計	GCMS-QP2010 (島津製作所)
-------	-----------------	---------------------

GC 部	使用カラム	DB-17MS (Agilent Technologies/J&W) 30 m × 0.25 mm(id), df: 0.25 μm
	カラム温度	50 (2 min) 20 /min 180 (0 min) 5 /min 220 (0 min) 10 /min 300 (3.5 min)
	注入方法	スプリットレス
	注入口温度	270
	注入量	1 μL
	キャリアーガス	ヘリウム

MS 部	イオン化法	EI 法
	イオン化電圧	70 eV
	イオン源温度	260
	インターフェース温度	280
	測定法	SIM 法
	定量法	内標準法

設定質量 (  $m/z$  )

	定量イオン	確認イオン
Butylated hydroxytoluene	205	220
Butylated hydroxytoluene- $d_{24}$	225	243
Hexachlorobenzene- $^{13}C_6$	290	292

表 11 GCMS 測定条件

Instrument	Shimadzu GC/MS-QP2010
Column	Rtx-1 (0.32 mm i.d.×60 m, 1.00 mm)
Column temperature	40°C-5°C/min→250°C (3 min)
Carrier gas	Helium
Inlet mode	Split (ratio 20)
Ionization mode	EI
Ionization voltage	70 eV
Ion source temperature	200°C
Interface temperature	250°C
Scan range ( $m/z$ )	35-450

VOC	SIM monitor ion ( $m/z$ )	VOC	SIM monitor ion ( $m/z$ )
2-Butanone	72	<i>n</i> -Nonane	43
<i>n</i> -Hexane	57	(1S)-(-)- $\alpha$ -Pinene	93
Chloroform	83	3-Ethyltoluene	105
1,2-Dichloroethane	62	4-Ethyltoluene	105
2,4-Dimethylpentane	57	1,3,5-Trimethylbenzene	105
<i>n</i> -Butanol	56	2-Ethyltoluene	105
Benzene	78	(1S)-(-)- $\beta$ -Pinene	93
1,2-Dichloropropane	63	1,2,4-Trimethylbenzene	105
Bromodichloromethane	83	<i>n</i> -Decane	43
Trichloroethylene	95	1,4-Dichlorobenzene	146
Isooctane	57	1,2,3-Trimethylbenzene	105
<i>n</i> -Heptane	43	(R)-(+)-Limonene	68
Methylisobutylketone	43	Nonanal	57
Toluene	91	<i>n</i> -Undecane	43
Dibromochloromethane	129	1,2,4,5-Tetramethylbenzene	119
<i>n</i> -Octane	43	Decanal	43
Tetrachloroethylene	166	<i>n</i> -Dodecane	43
Ethylbenzene	91	Benzothiazole	135
<i>m</i> -Xylene	91	<i>n</i> -Tridecane	57
<i>p</i> -Xylene	91	<i>n</i> -Tetradecane	57
Styrene	104	<i>n</i> -Pentadecane	57
<i>o</i> -Xylene	91	<i>n</i> -Hexadecane	57

表 12 分析結果一覧（冬季：屋外人工芝グラウンド A; VOC1）

単位：μg/m<sup>3</sup> (at 20 )

調査地点	ゴール前 高さ 15 c m	ゴール前 高さ 91 c m	右サイド 高さ 91 c m	左サイド 高 91 c m	センター サークル 高 91 c m	外 (ブラン ク) 高 91 c m
Chloromethane	1.3	1.3	1.2	1.3	1.1	1.2
1,3-Butadiene	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
trans-2-Butene	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
cis-2-Butene	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
1,1,2-Trichloro-1,2,2- -trifluoroethane	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6
Acetone	2.7	3.4	2.7	2.6	2.5	2.8
Carbon disulfide	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Dichloromethane	0.7	0.6	0.7	0.9	1.4	1.6
Hexane	0.9	0.9	1.1	1.1	1.4	1.4
cis-1,2-Dichloroethene	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Methyl ethyl ketone	0.5	0.5	0.7	0.8	1.0	1.3
Chloroform	<0.3	<0.3	0.4	0.3	<0.3	0.3
1,1,1-Trichloroethane	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Carbon tetrachloride	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6
Benzene	1.0	1.1	1.0	1.0	1.1	1.2
n-Butanol	<0.3	<0.3	1.2	0.7	<0.3	<0.3
Trichloroethylene	<0.3	<0.3	0.7	0.8	1.1	1.4
Methyl isobutyl ketone	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Toluene	2.9	3.1	4.1	4.0	5.4	6.3
Tetrachloroethylene	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	0.3	0.3
Chlorobenzene	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Ethylbenzene	0.4	0.4	0.6	0.6	1.0	1.2
m-Xylene; p-Xylene	0.5	0.6	0.6	0.7	0.9	1.1
o-Xylene	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	0.4	0.4
Styrene	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
n-Decane	0.4	0.4	0.8	0.7	0.8	1.1
3-Ethyltoluene; 4-Ethyltoluene	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6
1,3,5-Trimethylbenzene	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
2-Ethyltoluene	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
1,2,4-Trimethylbenzene	0.4	0.4	0.6	0.5	0.7	0.8
1,2,3-Trimethylbenzene	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
1,4-Dichlorobenzene	0.4	0.4	0.4	<0.3	0.3	0.4

表 12 分析結果一覧(冬季：屋外人工芝グラウンド A; VOC2~6)

単位：μg/m<sup>3</sup> (at 20 )

調査地点	ゴール前 高さ 15 c m	ゴール前 高さ 91 c m	右サイド 高さ 91 c m	左サイド 高 91 c m	センター サークル 高 91 c m	外 (ブランク) 高 91 c m
(1S)-(-)-a-Pinene	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
(1S)-(-)-b-Pinene	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
(R)-(+)-Limonene	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
n-Undecane	<0.3	<0.3	0.5	0.4	0.6	0.5
Nonanal	0.3	0.3	0.3	<0.3	0.8	0.4
Naphthalene	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
n-Dodecane	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	0.3	<0.3
Decanal	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	0.4	<0.3
Benzothiazole	<1	<1	<1	<1	<1	<1
n-Tridecane	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Biphenyl	<1	<1	<1	<1	<1	<1
n-Tetradecane	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
n-Pentadecane	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
n-Hexadecane	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Aniline	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
t-Butylamine	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Formaldehyde	0.8	0.8	1.0	1.0	1.3	1.3
2-Mercaptobenzothiazole	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Butylated hydroxytoluene	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
試料採取地点 平均気温( )	3.4	3.3	2.3	2.4	1.4	1.6
試料採取地点 平均湿度(%)	72	73	94	80	99	88
気象観測地点 最多風向	西		西北西		西北西	
気象観測地点 平均風速(m/s)	2.1		1.9		2.0	

表 13 分析結果一覧（夏季：屋外人工芝グラウンド A; VOC1）

単位：μg/m<sup>3</sup> (at 20 )

調査場所	屋外人工芝グラウンド A			
調査日	平成 30 年 7 月 17 日			
開始時刻	8:50		10:05	
終了時刻	9:50		11:05	
調査地点	ゴール前	ゴール前	センター サークル	フィールド外 (バックグラウンド)
	高さ 15 c m	高さ 91 c m	高 91 c m	高 91 c m
Chloromethane	1.1	1.3	1.3	1.0
1,3-Butadiene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
trans-2-Butene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
cis-2-Butene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroethane	0.51	0.53	0.48	0.59
Acetone	8.9	9.1	37	14
Carbon disulfide	0.34	<0.30	0.71	0.30
Dichloromethane	1.0	0.98	1.4	1.5
Hexane	0.71	0.59	2.4	1.3
cis-1,2-Dichloroethene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Methyl ethyl ketone	1.7	1.9	1.7	1.8
Chloroform	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,1,1-Trichloroethane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Carbon tetrachloride	0.56	0.58	0.52	0.47
Benzene	0.57	0.49	<0.30	<0.30
n-Butanol	1.0	0.76	10	3.7
Trichloroethylene	0.33	0.54	0.51	0.53
Methyl isobutyl ketone	0.38	<0.30	<0.30	<0.30
Toluene	2.6	2.5	8.5	3.8
Tetrachloroethylene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Chlorobenzene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Ethylbenzene	0.63	0.62	0.99	1.1
m-Xylene; p-Xylene	0.33	0.33	0.38	0.43
o-Xylene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Styrene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
n-Decane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
3-Ethyltoluene; 4-Ethyltoluene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,3,5-Trimethylbenzene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
2-Ethyltoluene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,2,4-Trimethylbenzene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,2,3-Trimethylbenzene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,4-Dichlorobenzene	1.1	1.1	0.85	0.91

表 13 分析結果一覧（夏季：屋外人工芝グラウンド A; VOC2～6）

単位：μg/m<sup>3</sup> (at 20 )

調査場所	屋外人工芝グラウンド A			
調査日	平成 30 年 7 月 17 日			
開始時刻	8:50		10:05	
終了時刻	9:50		11:05	
調査地点	ゴール前 高さ 15 c m	ゴール前 高さ 91 c m	センター サークル 高 91 c m	フィールド外 (バックグラウンド) 高 91 c m
(1S)-(-)-a-Pinene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
(1S)-(-)-b-Pinene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
(R)-(+)-Limonene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
n-Undecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Nonanal	0.56	0.63	0.54	0.43
Naphthalene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
n-Dodecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Decanal	0.81	0.93	0.61	0.40
Benzothiazole	1.1	<1.0	<1.0	<1.0
n-Tridecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Biphenyl	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
n-Tetradecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
n-Pentadecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
n-Hexadecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Aniline	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
t-Butylamine	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Formaldehyde	2.3	2.9	3.2	2.1
2-Mercaptobenzothiazole	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Butylated hydroxytoluene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
試料採取地点 平均気温( )	36.3	33.3	34.5	34.2
試料採取地点 平均湿度(%)	46	59	55	52
気象観測地点 最多風向	南西		南西	
気象観測地点 平均風速(m/s)	1.5		1.7	
天候	晴		晴	



表 14 分析結果一覧（夏季：屋外人工芝グラウンド B; VOC1）

単位：μg/m<sup>3</sup> (at 20 )

調査場所	屋外人工芝グラウンド B			
調査日	平成 30 年 7 月 13 日			
開始時刻	9:12		10:30	
終了時刻	10:12		11:30	
調査地点	ゴール前	ゴール前	センター サークル	フィールド外 (バックグラウンド)
	高さ 15 c m	高さ 91 c m	高 91 c m	高 91 c m
Chloromethane	1.2	1.4	1.4	1.1
1,3-Butadiene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
trans-2-Butene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
cis-2-Butene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroethane	0.38	<0.30	0.51	0.49
Acetone	130	11	17	13
Carbon disulfide	<0.30	0.45	<0.30	<0.30
Dichloromethane	1.5	1.4	1.5	1.5
Hexane	12	0.90	2.3	2.8
cis-1,2-Dichloroethene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Methyl ethyl ketone	2.5	1.9	2.1	2.0
Chloroform	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,1,1-Trichloroethane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Carbon tetrachloride	0.41	0.51	0.48	0.46
Benzene	0.71	0.75	0.43	0.41
n-Butanol	60	1.3	4.1	0.45
Trichloroethylene	3.1	3.4	3.1	3.0
Methyl isobutyl ketone	0.52	<0.30	<0.30	<0.30
Toluene	26	3.5	5.4	3.8
Tetrachloroethylene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Chlorobenzene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Ethylbenzene	1.8	1.4	1.8	1.7
m-Xylene; p-Xylene	0.82	0.55	0.56	0.55
o-Xylene	0.36	<0.30	<0.30	<0.30
Styrene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
n-Decane	0.62	0.33	0.32	0.35
3-Ethyltoluene; 4-Ethyltoluene	1.0	0.35	<0.30	<0.30
1,3,5-Trimethylbenzene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
2-Ethyltoluene	0.40	<0.30	<0.30	<0.30
1,2,4-Trimethylbenzene	1.0	0.40	<0.30	<0.30
1,2,3-Trimethylbenzene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,4-Dichlorobenzene	1.5	1.5	1.5	1.5

表 14 分析結果一覧（夏季：屋外人工芝グラウンド B; VOC2～6）

単位：μg/m<sup>3</sup> (at 20 )

調査場所	屋外人工芝グラウンド B			
調査日	平成 30 年 7 月 13 日			
開始時刻	9:12		10:30	
終了時刻	10:12		11:30	
調査地点	ゴール前 高さ 15 c m	ゴール前 高さ 91 c m	センター サークル 高 91 c m	フィールド外 (バックグラウンド) 高 91 c m
(1S)-(-)-a-Pinene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
(1S)-(-)-b-Pinene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
(R)-(+)-Limonene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
n-Undecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Nonanal	0.60	0.57	0.45	0.76
Naphthalene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
n-Dodecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Decanal	0.75	0.94	0.62	1.3
Benzothiazole	3.6	<1.0	<1.0	<1.0
n-Tridecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Biphenyl	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
n-Tetradecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
n-Pentadecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
n-Hexadecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Aniline	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
t-Butylamine	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Formaldehyde	3.3	2.4	2.6	2.7
2-Mercaptobenzothiazole	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Butylated hydroxytoluene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
試料採取地点 平均気温( )	33.8	31.9	32.9	35.6
試料採取地点 平均湿度(%)	53	57	53	48
気象観測地点 最多風向	北北西		東	
気象観測地点 平均風速(m/s)	1.0		0.9	
天候	晴		晴	

表 15 分析結果一覧（夏季：屋外人工芝グラウンド C; VOC1）

単位：μg/m<sup>3</sup> (at 20 )

調査場所	屋外人工芝グラウンド C			
調査日	平成 30 年 7 月 24 日			
開始時刻	10:01		11:10	
終了時刻	11:01		12:10	
調査地点	ゴール前	ゴール前	センター サークル	フィールド外 (バックグラウンド)
	高さ 15 c m	高さ 91 c m	高 91 c m	高 91 c m
Chloromethane	1.5	1.5	1.6	1.4
1,3-Butadiene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
trans-2-Butene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
cis-2-Butene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroethane	0.77	0.64	0.72	0.80
Acetone	14	17	38	14
Carbon disulfide	0.37	<0.30	1.3	<0.30
Dichloromethane	1.6	1.4	1.9	1.6
Hexane	1.5	1.1	6.6	0.88
cis-1,2-Dichloroethene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Methyl ethyl ketone	5.9	5.3	8.3	4.9
Chloroform	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,1,1-Trichloroethane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Carbon tetrachloride	0.57	0.69	0.57	0.78
Benzene	0.41	0.83	0.46	0.71
n-Butanol	0.85	0.79	17	0.35
Trichloroethylene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Methyl isobutyl ketone	1.7	0.65	0.57	<0.30
Toluene	3.9	3.6	14	2.1
Tetrachloroethylene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Chlorobenzene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Ethylbenzene	0.43	0.35	1.1	0.35
m-Xylene; p-Xylene	<0.30	<0.30	0.48	<0.30
o-Xylene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Styrene	<0.30	<0.30	0.42	<0.30
n-Decane	0.33	<0.30	0.80	<0.30
3-Ethyltoluene; 4-Ethyltoluene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,3,5-Trimethylbenzene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
2-Ethyltoluene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,2,4-Trimethylbenzene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,2,3-Trimethylbenzene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,4-Dichlorobenzene	0.76	0.64	1.1	0.47

表 15 分析結果一覧（夏季：屋外人工芝グラウンド C; VOC2～6）

単位：μg/m<sup>3</sup> (at 20 )

調査場所	屋外人工芝グラウンド C			
調査日	平成 30 年 7 月 24 日			
開始時刻	10:01		11:10	
終了時刻	11:01		12:10	
調査地点	ゴール前 高さ 15 c m	ゴール前 高さ 91 c m	センター サークル 高 91 c m	フィールド外 (バックグラウンド) 高 91 c m
(1S)-(-)-a-Pinene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
(1S)-(-)-b-Pinene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
(R)-(+)-Limonene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
n-Undecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Nonanal	0.71	0.76	0.74	0.81
Naphthalene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
n-Dodecane	<0.30	<0.30	0.37	<0.30
Decanal	0.92	1.1	0.80	0.97
Benzothiazole	1.4	<1.0	1.5	1.2
n-Tridecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Biphenyl	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
n-Tetradecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
n-Pentadecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
n-Hexadecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Aniline	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
t-Butylamine	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Formaldehyde	2.9	3.5	2.4	1.8
2-Mercaptobenzothiazole	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Butylated hydroxytoluene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
試料採取地点 平均気温( )	35.4	36.5	39.0	40.4
試料採取地点 平均湿度(%)	50	52	40	28
気象観測地点 最多風向	東北東		東北東	
気象観測地点 平均風速(m/s)	1.4		2.1	
天候	晴		晴	

表 16 分析結果一覧（夏季：屋内人工芝グラウンド D; VOC1）

単位：μg/m<sup>3</sup> (at 20 )

調査場所	屋外人工芝グラウンド D			
調査日	平成 30 年 7 月 23 日			
開始時刻	9:13		10:21	
終了時刻	10:13		11:21	
調査地点	ゴール前	ゴール前	センター サークル	フィールド外 (バックグラウンド)
	高さ 15 c m	高さ 91 c m	高 91 c m	高 91 c m
Chloromethane	1.7	1.8	1.1	1.6
1,3-Butadiene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
trans-2-Butene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
cis-2-Butene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroethane	0.85	0.63	0.59	0.78
Acetone	28	17	14	19
Carbon disulfide	0.70	0.44	0.34	0.72
Dichloromethane	2.1	2.2	1.7	1.6
Hexane	6.1	1.7	3.3	1.5
cis-1,2-Dichloroethene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Methyl ethyl ketone	3.6	4.1	3.6	4.3
Chloroform	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,1,1-Trichloroethane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Carbon tetrachloride	0.58	0.62	0.43	0.61
Benzene	1.5	1.4	0.85	0.69
n-Butanol	4.1	1.5	0.35	4.7
Trichloroethylene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Methyl isobutyl ketone	19	5.3	7.2	0.74
Toluene	7.2	5.9	3.0	6.0
Tetrachloroethylene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Chlorobenzene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Ethylbenzene	0.99	1.0	0.46	0.51
m-Xylene; p-Xylene	0.59	0.57	<0.30	<0.30
o-Xylene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Styrene	0.43	<0.30	<0.30	<0.30
n-Decane	0.46	0.38	<0.30	<0.30
3-Ethyltoluene; 4-Ethyltoluene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,3,5-Trimethylbenzene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
2-Ethyltoluene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,2,4-Trimethylbenzene	0.33	0.31	<0.30	<0.30
1,2,3-Trimethylbenzene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
1,4-Dichlorobenzene	1.5	1.5	1.2	1.2

表 16 分析結果一覧（夏季：屋内人工芝グラウンド D; VOC2～6）

単位：μg/m<sup>3</sup> (at 20 )

調査場所	屋外人工芝グラウンド D			
調査日	平成 30 年 7 月 23 日			
開始時刻	9:13		10:21	
終了時刻	10:13		11:21	
調査地点	ゴール前 高さ 15 c m	ゴール前 高さ 91 c m	センター サークル 高 91 c m	フィールド外 (バックグラウンド) 高 91 c m
(1S)-(-)-a-Pinene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
(1S)-(-)-b-Pinene	0.65	<0.30	<0.30	<0.30
(R)-(+)-Limonene	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
n-Undecane	0.43	0.33	<0.30	<0.30
Nonanal	0.97	0.77	0.70	0.36
Naphthalene	0.41	<0.30	<0.30	<0.30
n-Dodecane	0.79	0.77	<0.30	<0.30
Decanal	1.0	1.2	0.95	0.65
Benzothiazole	21	7.2	11	1.3
n-Tridecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Biphenyl	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
n-Tetradecane	0.40	<0.30	<0.30	<0.30
n-Pentadecane	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
n-Hexadecane	0.65	<0.30	0.30	<0.30
Aniline	0.31	<0.30	<0.30	<0.30
t-Butylamine	1.9	0.72	<0.30	<0.30
Formaldehyde	7.1	5.0	3.7	3.6
2-Mercaptobenzothiazole	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Butylated hydroxytoluene	1.0	1.1	0.43	0.46
試料採取地点 平均気温( )	33.5	34.5	37.2	36.3
試料採取地点 平均湿度(%)	60	59	48	44
気象観測地点 最多風向	静穏		静穏	
気象観測地点 平均風速(m/s)	静穏		静穏	
天候	晴		晴	

表 16 人工芝グラウンドよりサンプリングした  
ゴムチップから放散される VOCs の分析

試料濃度 Unit (ug/g)

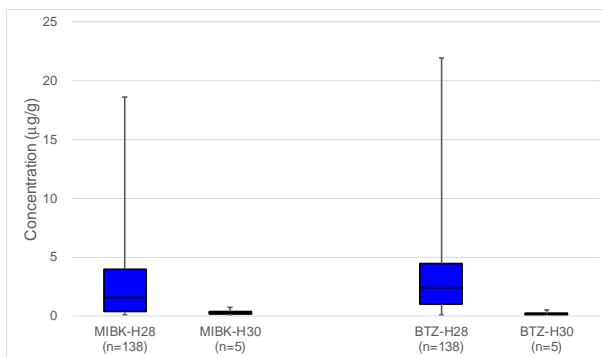
	屋外			屋内
	A	B	C	D
サンプリング日	平成30年1月22日	平成30年7月17日	平成30年7月13日	平成30年7月23日
Methyl isobutyl ketone	0.36	0.29	0.068	0.16
Benzothiazole	0.19	0.14	0.053	0.095

LOD: < 0.04 ug/g

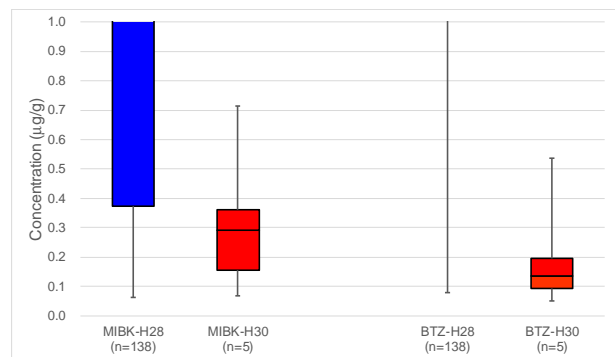
試料濃度 Unit (ug/g)

	平成28年度に実施した未使用の ゴムチップ製品 (n=138)				人工芝グラウンドよりサンプリングした ゴムチップ (n=5)			
	最大値	最小値	中央値	平均値	最大値	最小値	中央値	平均値
Methyl isobutyl ketone	19	0.064	1.6	2.4	0.72	0.068	0.29	0.32
Benzothiazole	22	0.080	2.4	3.3	0.54	0.053	0.14	0.20

LOD: < 0.04 ug/g



箱ひげ図



箱ひげ図 (拡大)

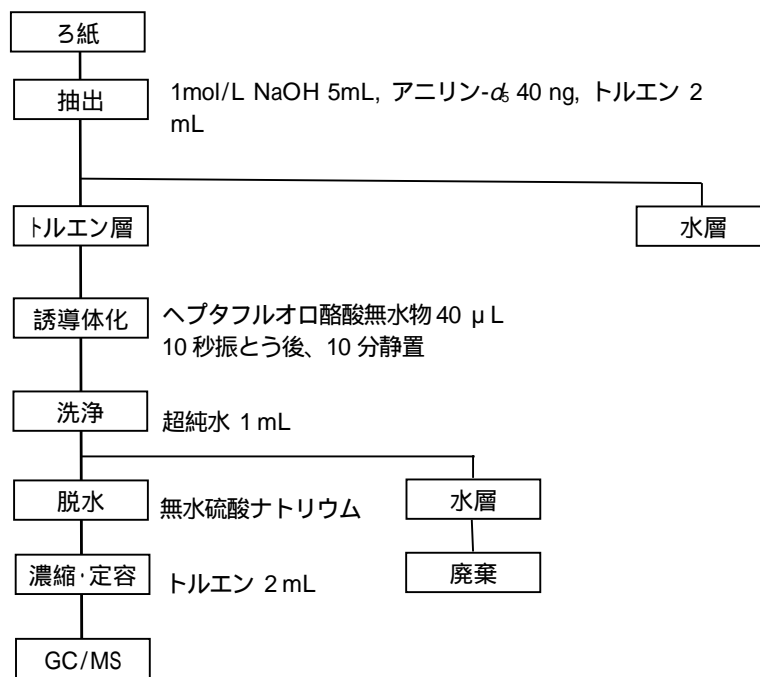


図 1 VOC3 (アニリン) の前処理フロー



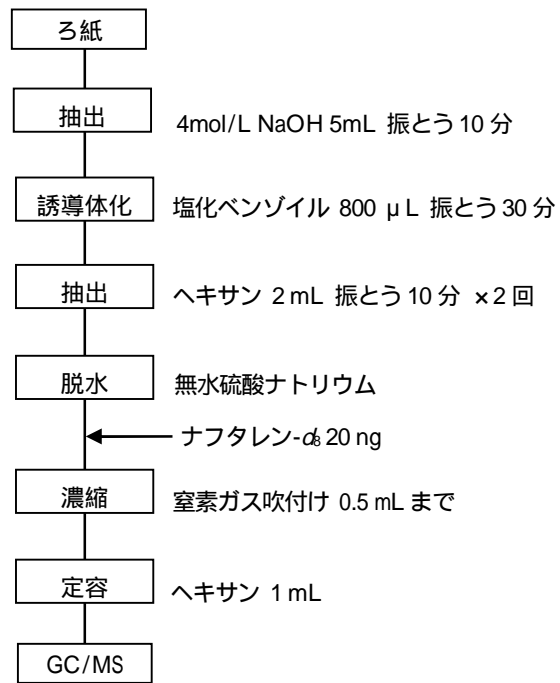


図2 VOC3 (*t*-ブチルアミン) の前処理フロー

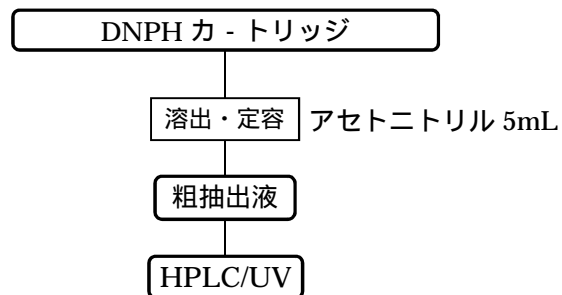


図3 VOC4 (ホルムアルデヒド) の前処理フロー

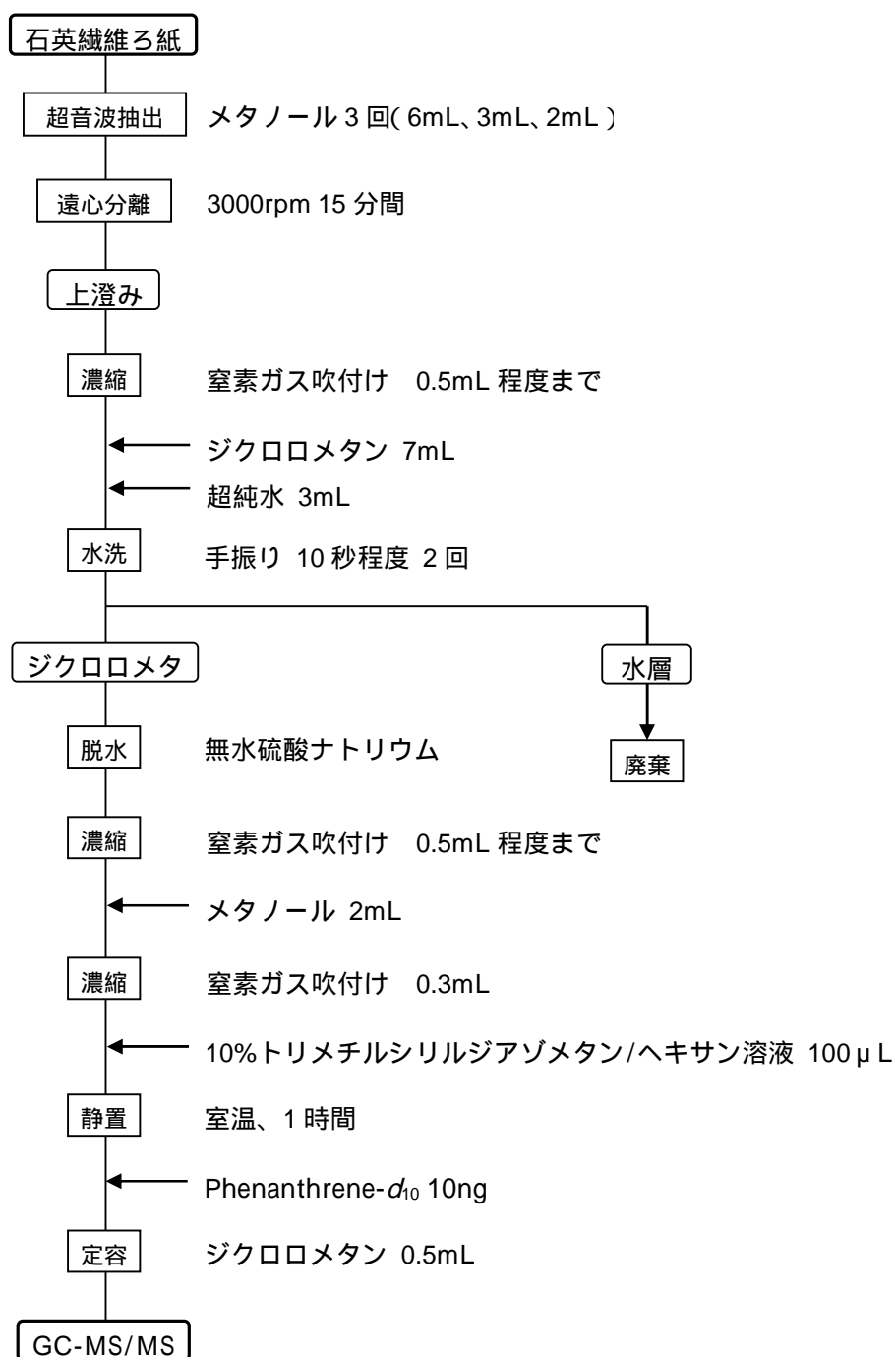


図4 VOC5 (2-メルカプトベンゾチアゾール) の前処理フロー

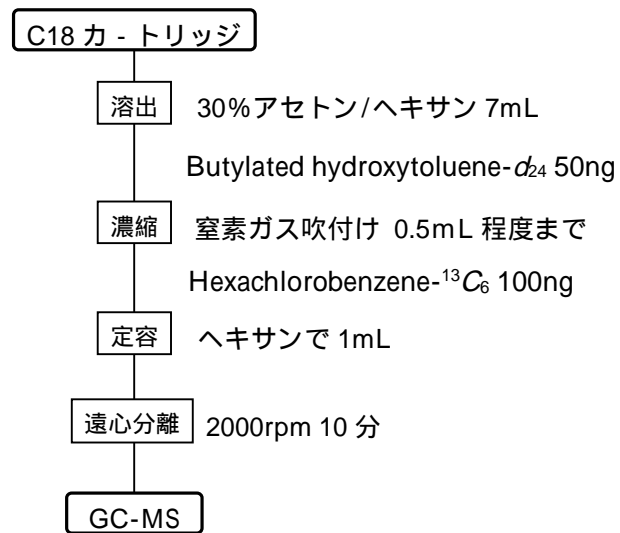


図 5 VOC6 (ジブチルヒドロキシトルエン) の前処理フロー

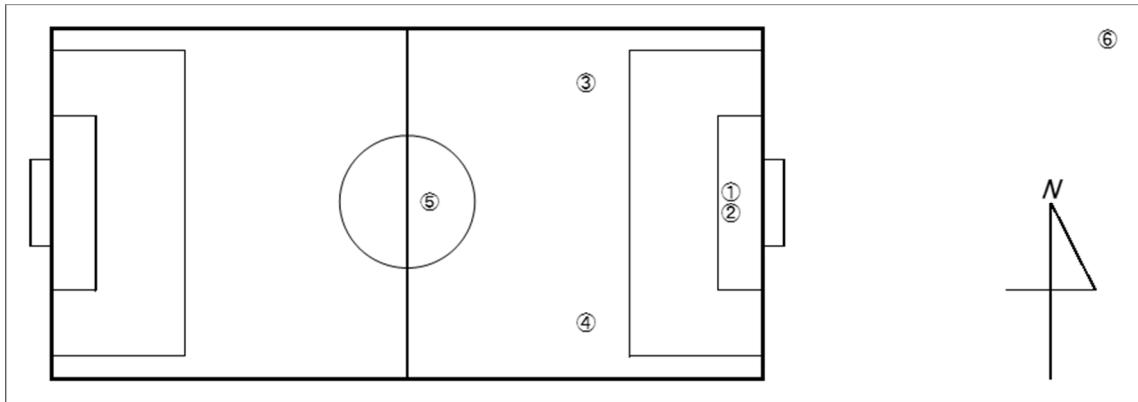


図6 人工芝グラウンドにおける大気サンプリング地点（冬季）

ゴール前 高さ 15 cm, ゴール前 高さ 91 cm, 右サイド 高さ 91 cm, 左サイド 高さ 91 cm, センターサークル 高さ 91 cm, 外（バックグラウンド）高さ 91 cm

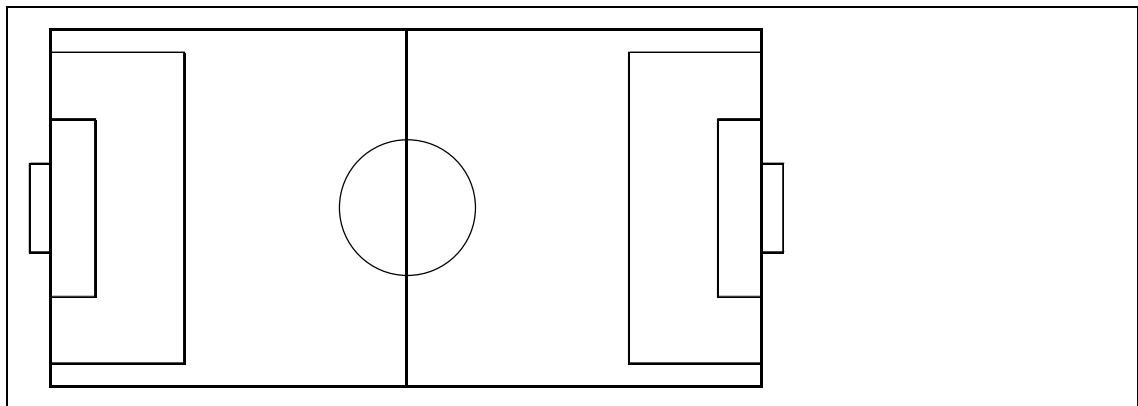


図7 人工芝グラウンドにおける大気サンプリング地点（夏季）

ゴール前 高さ 15 cm, ゴール前 高さ 91 cm, センターサークル 高さ 91 cm, 外（バックグラウンド）高さ 91 cm

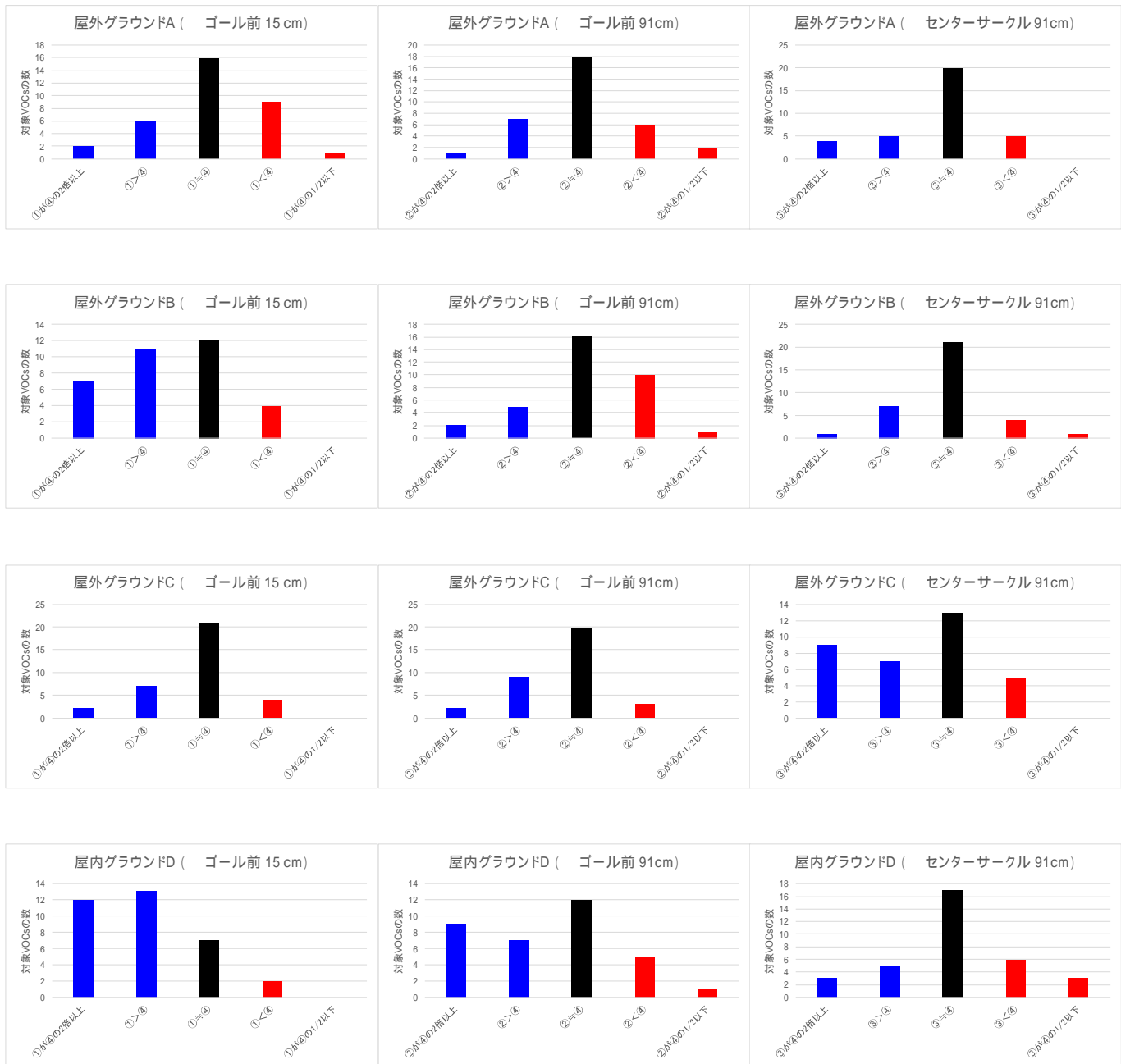


図8 サンプリング地点(グラウンド内外)の比較

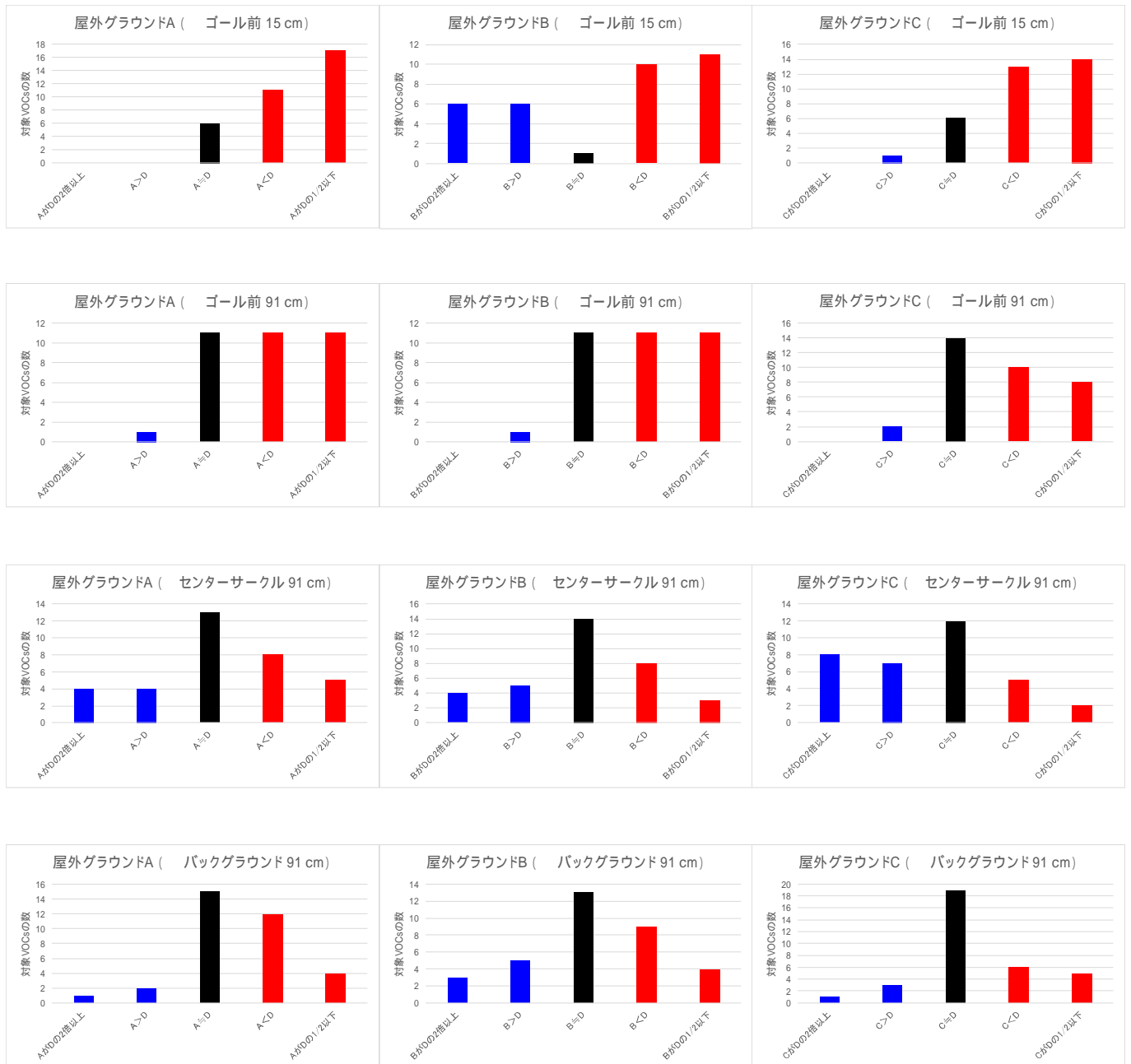


図9 屋外グラウンドと屋内グラウンドの比較

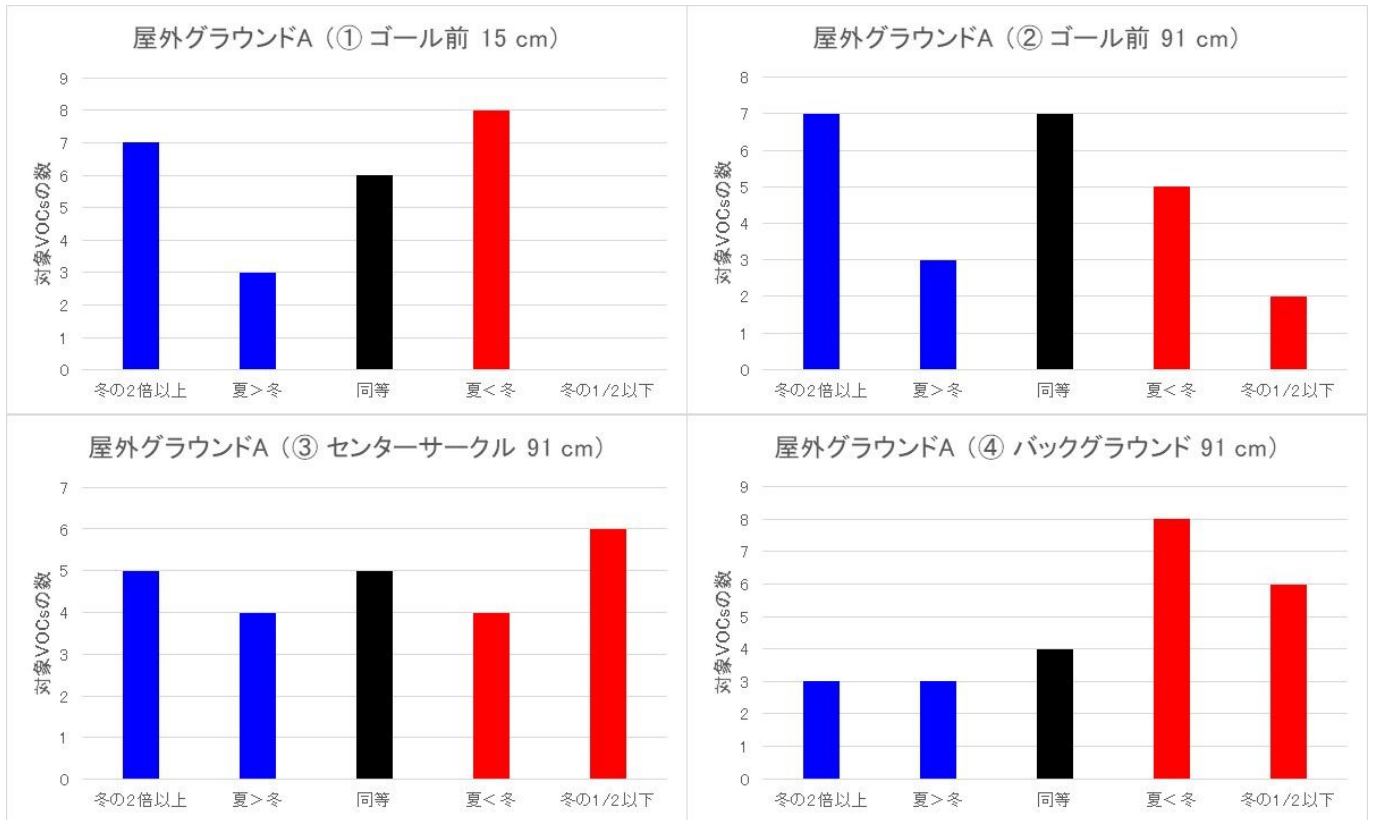


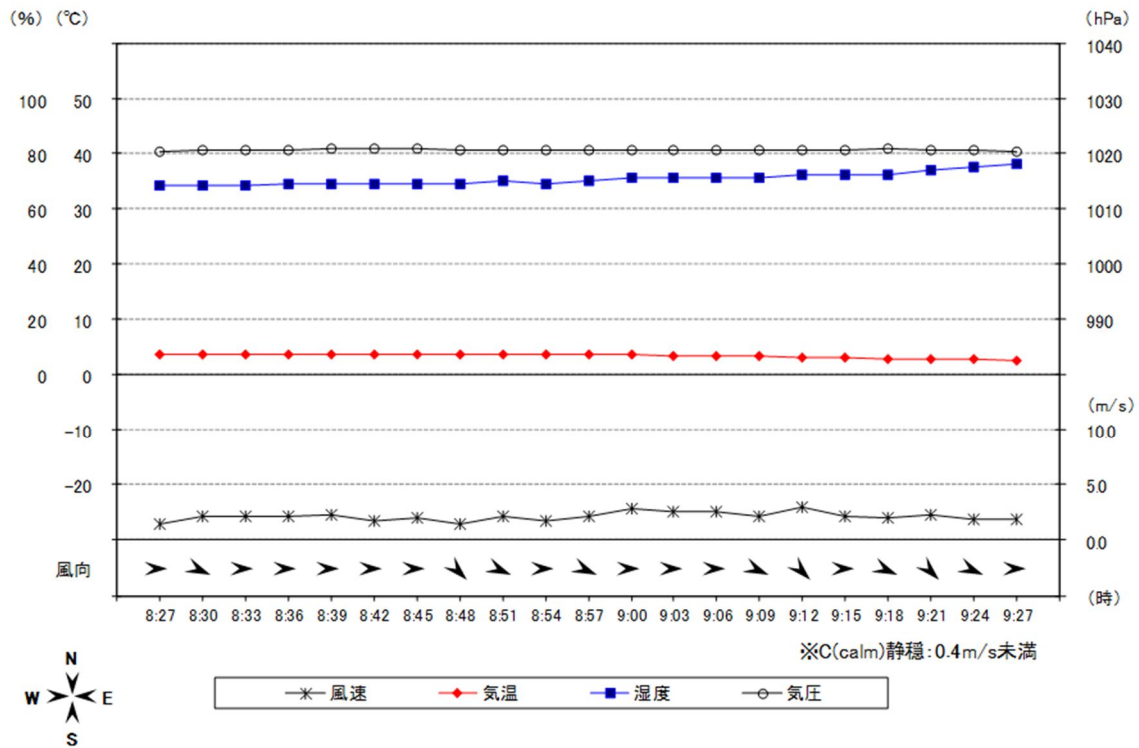
図 10 屋外グラウンド A における季節間の比較

付属資料 1 (屋外人工芝グラウンド A : 冬季・調査地点 採取時の気象条件)

測定場所 : 気象観測地点(地点①②採取時)  
採取時間 : 8:27~9:27

項目 採取時間:	気温 (°C)	湿度 (%)	平均風速 (m/s)	風向 (16方位)	気圧 (hPa)
8:27	3.6	68	1.4	西	1020.2
8:30	3.5	68	2.1	西北西	1020.4
8:33	3.6	68	2.1	西	1020.5
8:36	3.5	69	2.2	西	1020.5
8:39	3.5	69	2.3	西	1020.7
8:42	3.6	69	1.7	西	1020.7
8:45	3.6	69	2.0	西	1020.7
8:48	3.7	69	1.5	北西	1020.5
8:51	3.5	70	2.1	西北西	1020.5
8:54	3.6	69	1.7	西	1020.5
8:57	3.5	70	2.1	西北西	1020.5
9:00	3.5	71	2.8	西	1020.5
9:03	3.4	71	2.5	西	1020.5
9:06	3.4	71	2.6	西	1020.5
9:09	3.4	71	2.2	西北西	1020.4
9:12	3.1	72	2.9	北西	1020.5
9:15	3.1	72	2.1	西	1020.5
9:18	2.9	72	2.0	西北西	1020.7
9:21	2.7	74	2.3	北西	1020.4
9:24	2.7	75	1.8	西北西	1020.4
9:27	2.6	76	1.8	西	1020.2
平均値	3.3	71	2.1	—	1020.5
最高値	3.7	76	2.9	—	1020.7
最低値	2.6	68	1.4	—	1020.2
最多風向	—	—	—	西	—

※C(calm)静穏:0.4m/s未満



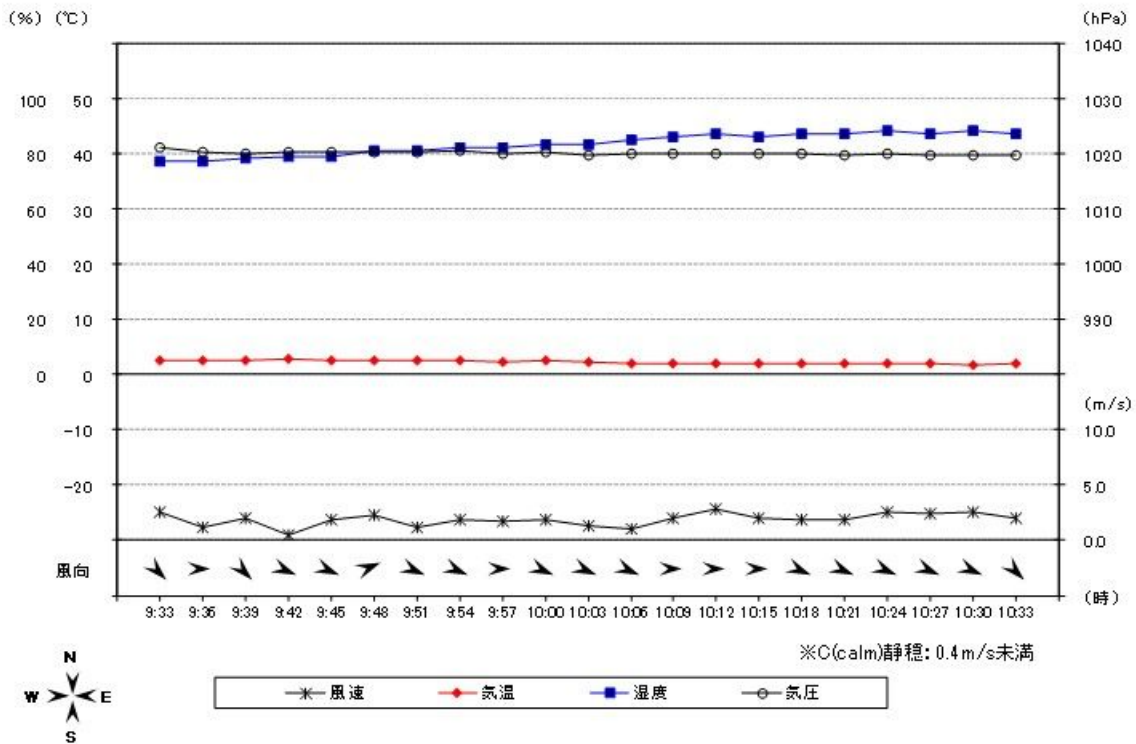


付属資料 1 (屋外人工芝グラウンド A : 冬季・調査地点 採取時の気象条件)

測定場所 : 気象観測地点(地点㊸採取時)  
採取時間 : 9:33~10:33

採取時間	項目	気温 (°C)	湿度 (%)	平均風速 (m/s)	風向 (16方位)	気圧 (hPa)
9:33		2.6	77	2.6	北西	1020.9
9:36		2.6	77	1.2	西	1020.2
9:39		2.4	78	2.0	北西	1020.0
9:42		2.7	79	0.5	西北西	1020.2
9:45		2.6	79	1.8	西北西	1020.2
9:48		2.4	81	2.3	西南西	1020.2
9:51		2.6	81	1.2	西北西	1020.2
9:54		2.4	82	1.8	西北西	1020.4
9:57		2.3	82	1.7	西	1020.0
10:00		2.4	83	1.8	西北西	1020.2
10:03		2.3	83	1.3	西北西	1019.7
10:06		2.1	85	1.0	西北西	1020.0
10:09		2.0	86	2.0	西	1020.0
10:12		1.9	87	2.8	西	1019.9
10:15		1.9	86	2.0	西	1020.0
10:18		2.1	87	1.9	西北西	1020.0
10:21		2.0	87	1.9	西北西	1019.7
10:24		2.0	88	2.6	西北西	1019.9
10:27		2.0	87	2.4	西北西	1019.7
10:30		1.8	88	2.5	西北西	1019.7
10:33		1.9	87	2.0	北西	1019.7
平均値		2.2	83	1.9	—	1020.0
最高値		2.7	88	2.8	—	1020.9
最低値		1.8	77	0.5	—	1019.7
最多風向		—	—	—	西北西	—

※C(calm)静穏:0.4m/s未満

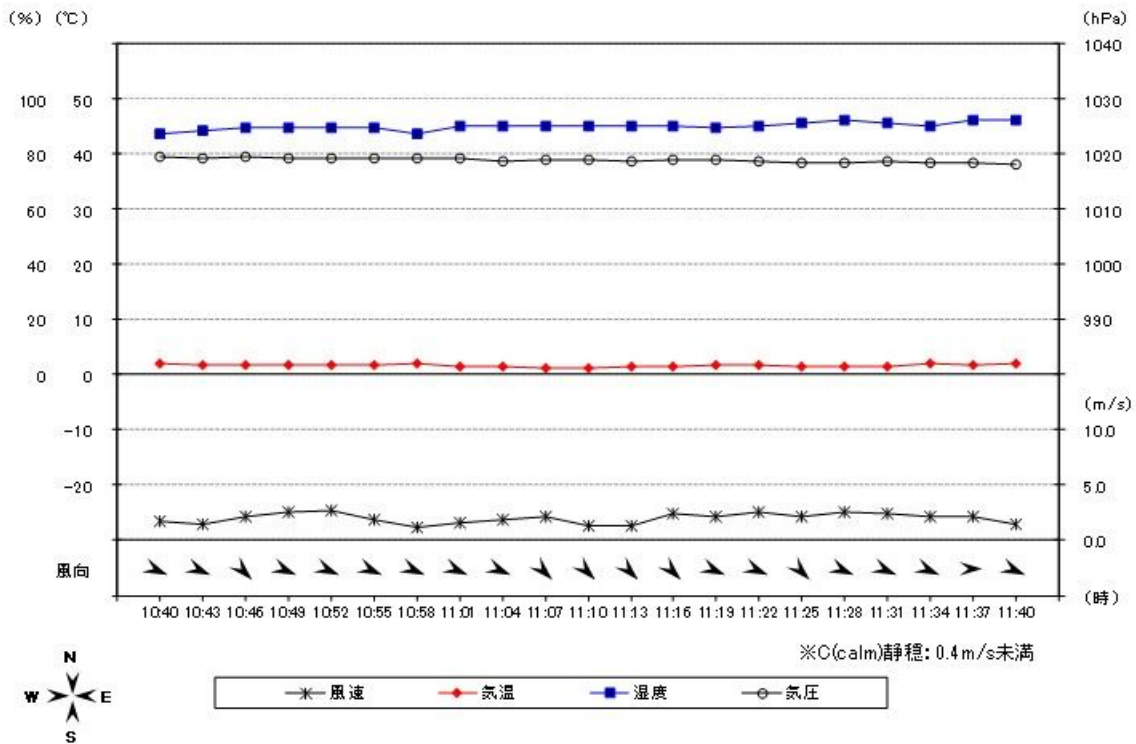


付属資料 1 (屋外人工芝グラウンド A : 冬季・調査地点 採取時の気象条件)

測定場所 : 気象観測地点(地点㊟採取時)  
採取時間 : 10:40~11:40

採取時間	項目	気温 (°C)	湿度 (%)	平均風速 (m/s)	風向 (16方位)	気圧 (hPa)
10:40		2.1	87	1.7	西北西	1019.4
10:43		1.8	88	1.5	西北西	1019.2
10:46		1.7	89	2.1	北西	1019.4
10:49		1.7	89	2.5	西北西	1019.2
10:52		1.7	89	2.7	西北西	1019.0
10:55		1.7	89	1.8	西北西	1019.0
10:58		1.9	87	1.2	西北西	1019.2
11:01		1.5	90	1.6	西北西	1019.0
11:04		1.3	90	1.9	西北西	1018.5
11:07		1.1	90	2.1	北西	1018.9
11:10		1.1	90	1.3	北西	1018.7
11:13		1.3	90	1.3	北西	1018.5
11:16		1.4	90	2.4	北西	1018.7
11:19		1.6	89	2.1	西北西	1018.7
11:22		1.6	90	2.5	西北西	1018.5
11:25		1.4	91	2.1	北西	1018.2
11:28		1.3	92	2.6	西北西	1018.2
11:31		1.4	91	2.4	西北西	1018.4
11:34		1.9	90	2.1	西北西	1018.2
11:37		1.8	92	2.2	西	1018.2
11:40		2.0	92	1.5	西北西	1018.0
平均値		1.6	90	2.0	—	1018.7
最高値		2.1	92	2.7	—	1019.4
最低値		1.1	87	1.2	—	1018.0
最多風向		—	—	—	西北西	—

※C(calm)静穏:0.4m/s未満



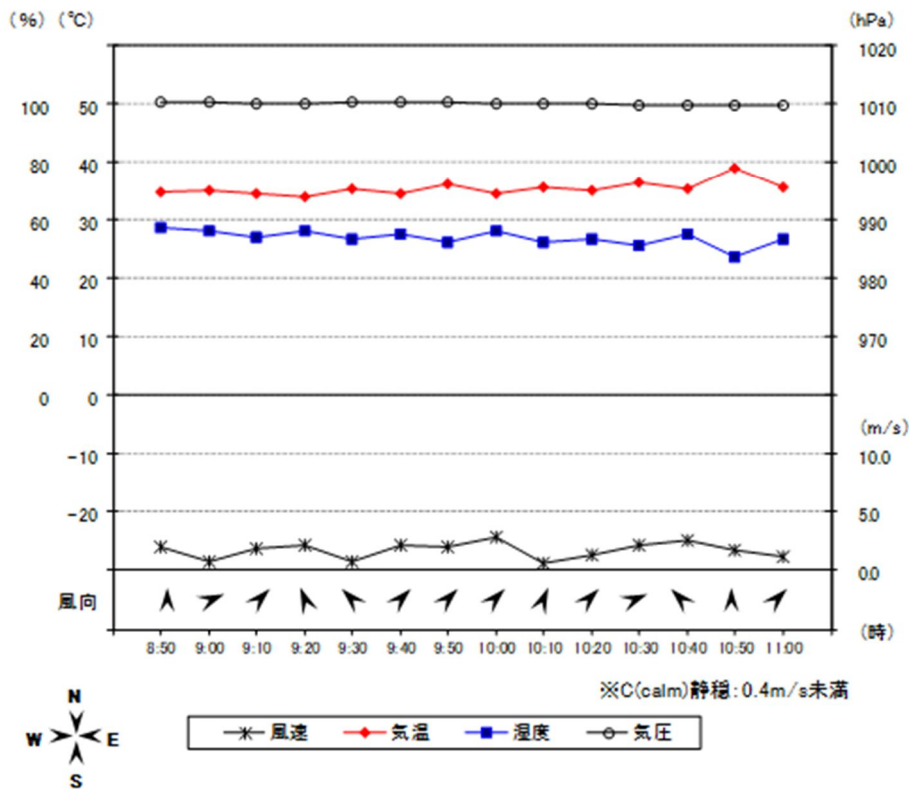
付属資料1 (屋外人工芝グラウンドA:夏季の気象条件)

測定場所: 気象観測地点

測定日時: 平成30年7月17日 8:50 ~ 11:05

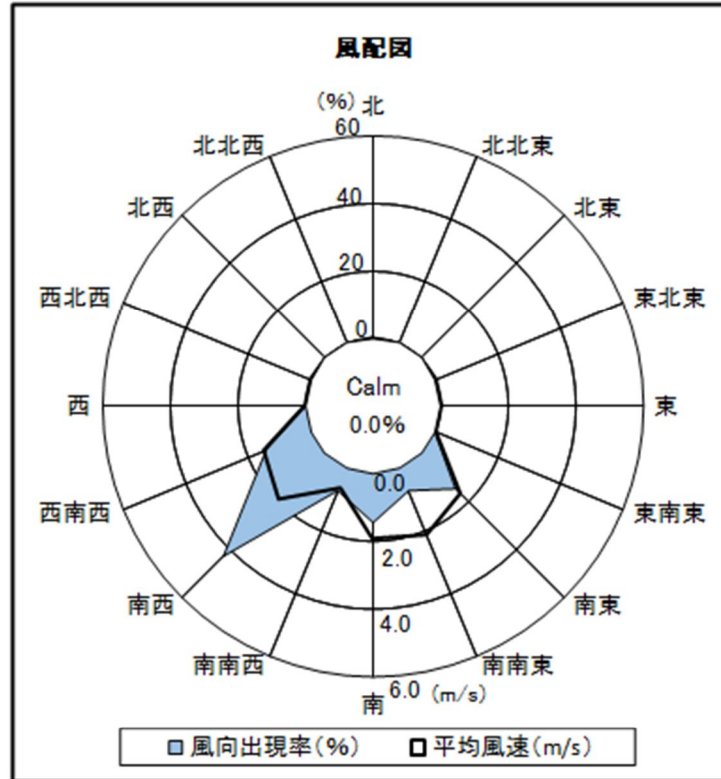
日時		項目	気温 (°C)	湿度 (%)	平均風速 (m/s)	風向 (16方位)	気圧 (hPa)
7月17日	8:50		34.6	57	2.0	南	1010.2
	9:00		34.8	56	0.7	西南西	1010.1
	9:10		34.4	54	1.9	南西	1010.0
	9:20		33.7	56	2.1	南南東	1010.0
	9:30		35.2	53	0.7	南東	1010.2
	9:40		34.4	55	2.2	南西	1010.1
	9:50		36.0	52	2.0	南西	1010.1
	10:00		34.4	56	2.8	南西	1009.9
	10:10		35.5	52	0.6	南南西	1009.8
	10:20		35.0	53	1.3	南西	1009.9
	10:30		36.3	51	2.2	西南西	1009.7
	10:40		35.3	55	2.6	南東	1009.6
	10:50		38.9	47	1.7	南	1009.5
11:00		35.5	53	1.2	南西	1009.5	
平均値			35.3	54	1.7	—	1009.9
最高値			38.9	57	2.8	—	1010.2
最低値			33.7	47	0.6	—	1009.5
最多風向			—	—	—	南西	—

※C(cal) 静穏: 0.4m/s未満



付属資料1 (屋外人工芝グラウンドA:夏季の気象条件)

測定場所 : 気象観測地点  
 測定日時 : 平成30年7月17日 8:50 ~ 11:05



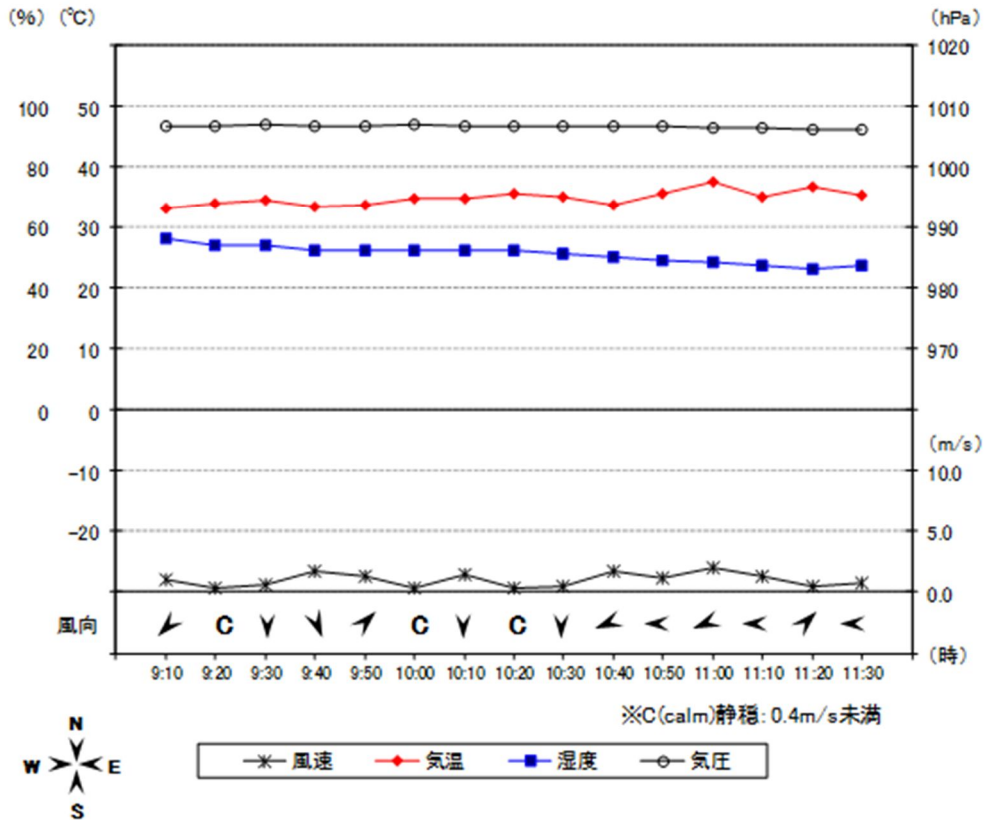
	出現頻度 (回)	出現率 %	平均風速 (m/s)
北	0	0.0	0.0
北北東	0	0.0	0.0
北東	0	0.0	0.0
東北東	0	0.0	0.0
東	0	0.0	0.0
東南東	0	0.0	0.0
南東	2	14.3	1.7
南南東	1	7.1	2.1
南	2	14.3	1.9
南南西	1	7.1	0.6
南西	6	42.9	1.9
西南西	2	14.3	1.5
西	0	0.0	0.0
西北西	0	0.0	0.0
北西	0	0.0	0.0
北北西	0	0.0	0.0
Calm	0	0.0	0.0

付属資料2(屋外人工芝グラウンドB:夏季の気象条件)

測定場所: 気象観測地点  
 測定日時: 平成30年7月13日 9:12 ~ 11:30

日時	項目	気温 (°C)	湿度 (%)	平均風速 (m/s)	風向 (16方位)	気圧 (hPa)
7月13日	9:10	32.9	56	1.0	北東	1006.7
	9:20	33.9	54	C	静穏	1006.7
	9:30	34.3	54	0.6	北	1006.9
	9:40	33.4	52	1.7	北北西	1006.7
	9:50	33.5	52	1.3	南西	1006.7
	10:00	34.7	52	C	静穏	1006.9
	10:10	34.6	52	1.4	北	1006.7
	10:20	35.5	52	C	静穏	1006.7
	10:30	34.9	51	0.5	北	1006.5
	10:40	33.6	50	1.7	東北東	1006.5
	10:50	35.4	49	1.1	東	1006.5
	11:00	37.5	48	2.0	東北東	1006.2
	11:10	34.9	47	1.3	東	1006.2
11:20	36.6	46	0.5	南西	1005.9	
11:30	35.2	47	0.8	東	1006.0	
平均値		34.7	51	1.0	—	1006.5
最高値		37.5	56	2.0	—	1006.9
最低値		32.9	46	C	—	1005.9
最多風向		—	—	—	東	—

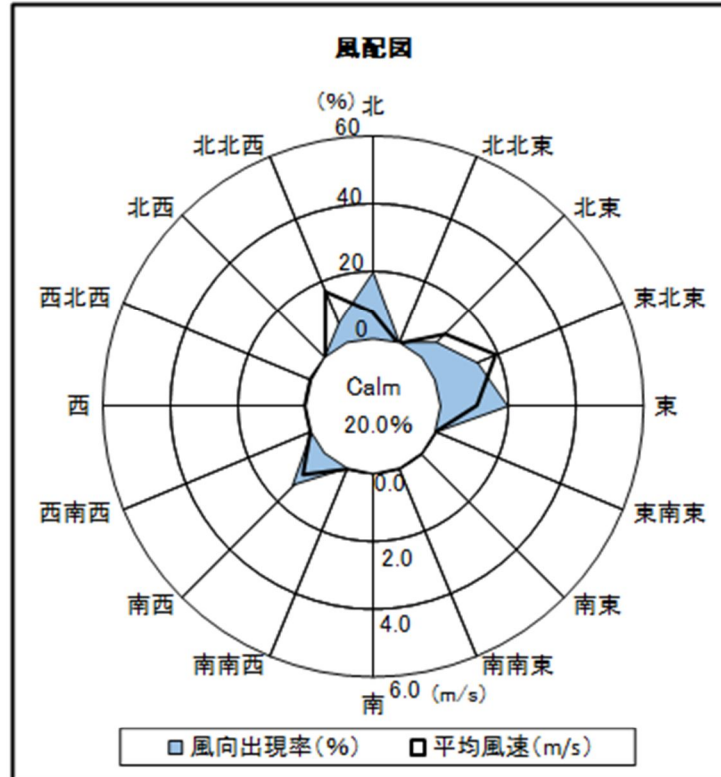
※C(calim)静穏:0.4m/s未満





付属資料 2 (屋外人工芝グラウンド B : 夏季の気象条件)

測定場所 : 気象観測地点  
 測定日時 : 平成30年 7月13日 9:12 ~ 11:30



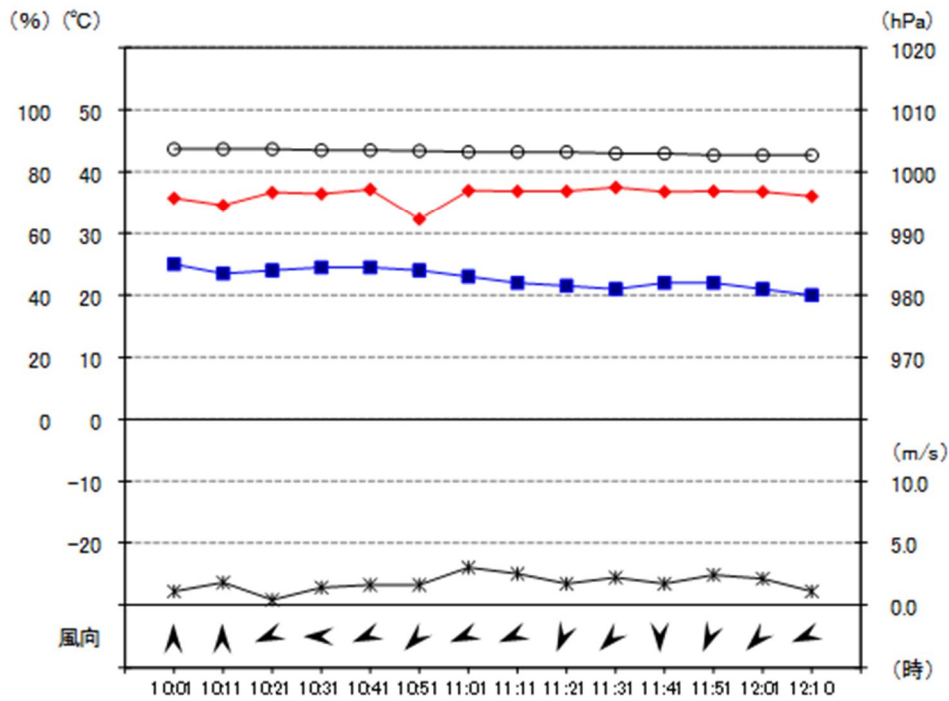
	出現頻度 (回)	出現率 %	平均風速 (m/s)
北	3	20.0	0.8
北北東	0	0.0	0.0
北東	1	6.7	1.0
東北東	2	13.3	1.9
東	3	20.0	1.1
東南東	0	0.0	0.0
南東	0	0.0	0.0
南南東	0	0.0	0.0
南	0	0.0	0.0
南南西	0	0.0	0.0
南西	2	13.3	0.9
西南西	0	0.0	0.0
西	0	0.0	0.0
西北西	0	0.0	0.0
北西	0	0.0	0.0
北北西	1	6.7	1.7
Calm	3	20.0	0.4

付属資料3(屋外人工芝グラウンドC:夏季の気象条件)

測定場所: 気象観測地点  
 測定日時: 平成30年7月24日 10:01 ~ 12:10

日時	項目	気温 (°C)	湿度 (%)	平均風速 (m/s)	風向 (16方位)	気圧 (hPa)
7月24日	10:01	35.8	50	1.1	南	1003.7
	10:11	34.6	47	1.8	南	1003.7
	10:21	36.7	48	0.4	東北東	1003.7
	10:31	36.5	49	1.4	東	1003.5
	10:41	37.2	49	1.6	東北東	1003.5
	10:51	32.3	48	1.6	北東	1003.4
	11:01	37.0	46	3.0	東北東	1003.2
	11:11	36.9	44	2.5	東北東	1003.2
	11:21	36.9	43	1.7	北北東	1003.2
	11:31	37.5	42	2.2	北東	1003.0
	11:41	36.8	44	1.7	北	1003.0
	11:51	36.9	44	2.4	北北東	1002.7
12:01	36.8	42	2.1	北東	1002.7	
12:10	36.1	40	1.1	東北東	1002.7	
平均値		36.3	45	1.8	—	1003.2
最高値		37.5	50	3.0	—	1003.7
最低値		32.3	40	0.4	—	1002.7
最多風向		—	—	—	東北東	—

※C(calm)静穏:0.4m/s未満

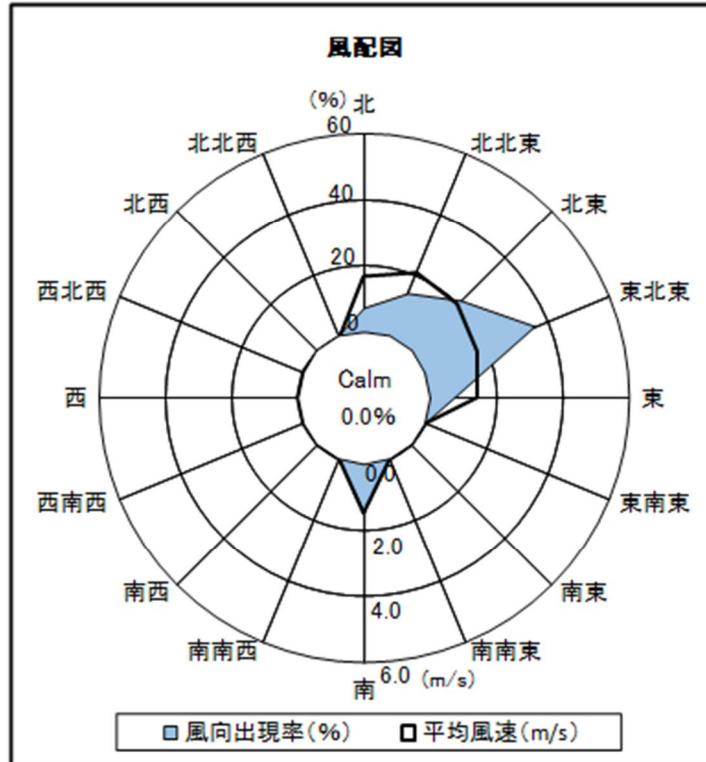


※C(calm)静穏:0.4m/s未満



付属資料3 (屋外人工芝グラウンドC:夏季の気象条件)

測定場所 : 気象観測地点  
 測定日時 : 平成30年7月24日 10:01 ~ 12:10



	出現頻度 (回)	出現率 %	平均風速 (m/s)
北	1	7.1	1.7
北北東	2	14.3	2.1
北東	3	21.4	2.0
東北東	5	35.7	1.7
東	1	7.1	1.4
東南東	0	0.0	0.0
南東	0	0.0	0.0
南南東	0	0.0	0.0
南	2	14.3	1.5
南南西	0	0.0	0.0
南西	0	0.0	0.0
西南西	0	0.0	0.0
西	0	0.0	0.0
西北西	0	0.0	0.0
北西	0	0.0	0.0
北北西	0	0.0	0.0
Calm	0	0.0	0.0

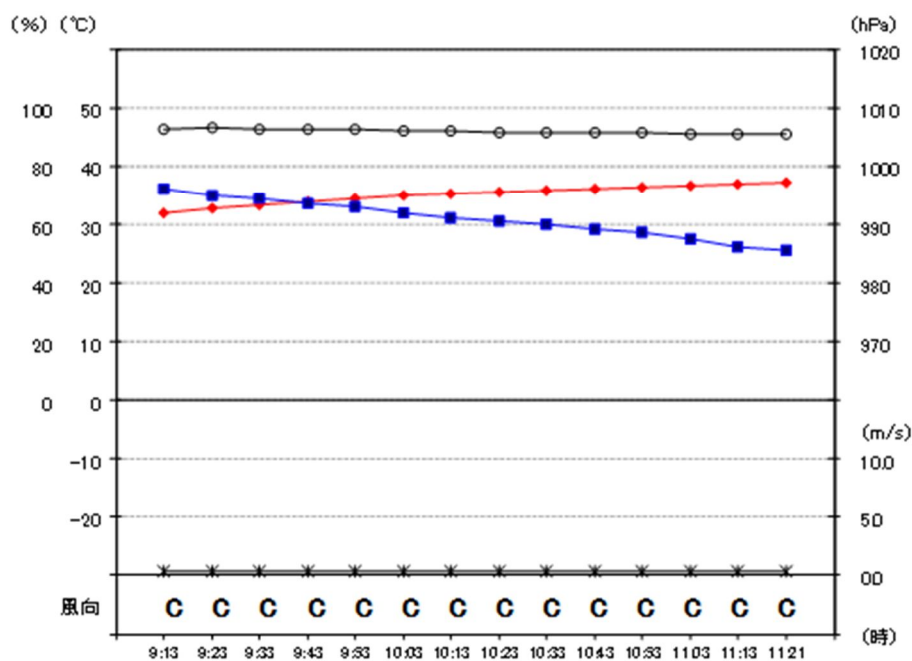


付属資料4 (屋内人工芝グラウンドD:夏季の気象条件)

測定場所：気象観測地点  
 測定日時：平成30年7月23日 9:13～11:21

項目		気温 (°C)	湿度 (%)	平均風速 (m/s)	風向 (16方位)	気圧 (hPa)
7月23日	9:13	32.0	72	C	静穏	1006.4
	9:23	32.6	70	C	静穏	1006.5
	9:33	33.2	69	C	静穏	1006.4
	9:43	33.8	67	C	静穏	1006.2
	9:53	34.3	66	C	静穏	1006.2
	10:03	34.9	64	C	静穏	1006.0
	10:13	35.3	62	C	静穏	1006.0
	10:23	35.6	61	C	静穏	1005.7
	10:33	35.9	60	C	静穏	1005.7
	10:43	36.1	58	C	静穏	1005.7
	10:53	36.4	57	C	静穏	1005.7
	11:03	36.6	55	C	静穏	1005.5
	11:13	36.8	52	C	静穏	1005.5
11:21	37.1	51	C	静穏	1005.4	
平均値		35.0	62	C	—	1005.9
最高値		37.1	72	C	—	1006.5
最小値		32.0	51	C	—	1005.4
最多風向		—	—	—	—	—

※C(calm)静穏:0.4m/s未満



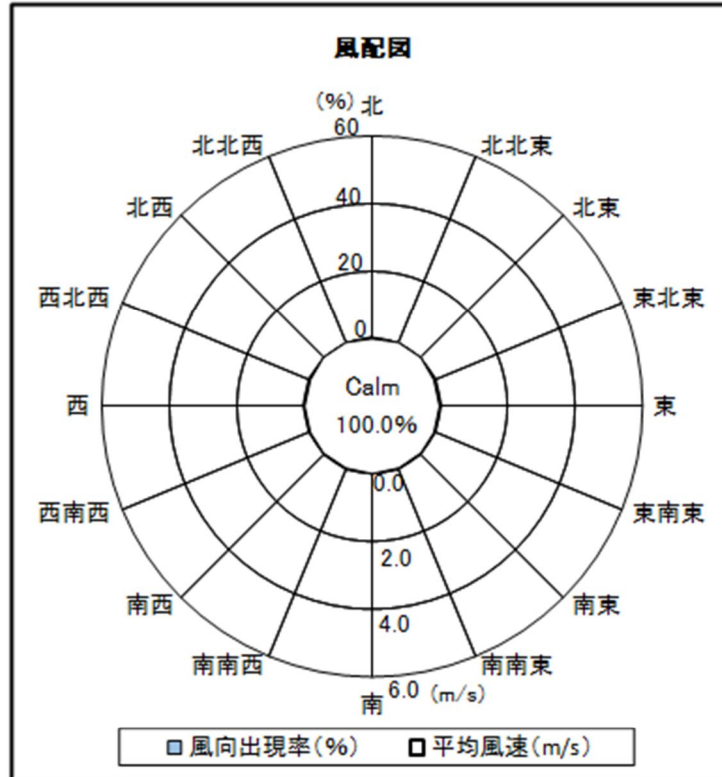
※C(calm)静穏:0.4m/s未満



—\*— 風速    ●— 気温    ■— 湿度    ○— 気圧

付属資料4 (屋内人工芝グラウンドD:夏季の気象条件)

測定場所 : 気象観測地点  
 測定日時 : 平成30年7月23日 9:13 ~ 11:21



	出現頻度 (回)	出現率 %	平均風速 (m/s)
北	0	0.0	0.0
北北東	0	0.0	0.0
北東	0	0.0	0.0
東北東	0	0.0	0.0
東	0	0.0	0.0
東南東	0	0.0	0.0
南東	0	0.0	0.0
南南東	0	0.0	0.0
南	0	0.0	0.0
南南西	0	0.0	0.0
南西	0	0.0	0.0
西南西	0	0.0	0.0
西	0	0.0	0.0
西北西	0	0.0	0.0
北北西	0	0.0	0.0
Calm	14	100.0	0.4