

【 原著 】

# 高気圧酸素治療における紙おむつの安全性について

灘吉進也, 甲斐雄多郎  
社会医療法人共愛会 戸畑共立病院 臨床工学科

## 【要約】

高気圧酸素治療 (hyperbaric oxygen therapy: 以下HBO) において, 紙おむつを着用し治療を行うことがある。HBOと紙おむつに関連した研究は少なく, 多種多様な紙おむつに対し, 日本高気圧環境・潜水医学会が装置内への持ち込みの可否を判断することは極めて困難である。今回, 複数社の紙おむつ静電気帯電特性について, (株)グリーンテクノ社に調査依頼し, HBOにおける紙おむつの安全性について検討した。紙おむつは, 多層構造であり防水材, 伸縮剤, 吸水材, 表面材, 止着材, 結合剤から構成されている。調査した紙おむつにおいては, メーカーによる帯電特性に相違は認めなかった。これは, 日本衛生材料工業連合会の紙おむつの表示に関するガイドラインに準じ製造していることが示唆された。一方で, 紙おむつの形態による帯電特性に相違があることを認めた。パンツ型は, 伸縮性を持たせるためポリウレタンが多く使用されていることから, 帯電電位が高値になることが示唆された。ただし, 接地状態であれば数秒で帯電電位が低下するため, HBO装置および患者が確実に接地されていればHBO装置内に紙おむつを持ち込むことは問題ないことが示唆された。

キーワード 静電気帯電特性, 日本衛生材料工業連合会, ポリウレタン, 帯電電位

## 【original】

### Safety of disposable diapers used in Hyperbaric Oxygen Therapy

Shinya Nadayoshi, Yutaro Kai  
Department of Clinical Engineering, Kyoaikai Tobata Kyoritsu Hospital

## 【abstract】

Some patients treated with hyperbaric oxygen (HBO) need disposable diapers. There are few studies related to HBO and disposable diapers, and there was no sufficient evidence for the Japanese Society of Hyperbaric and Undersea Medicine (JSHUM) to determine whether or not to allow a wide variety of disposable diapers into the chambers. In this study, we asked Green Techno Co., Ltd. to investigate the electrostatic charge characteristics of disposable diapers from several companies and examined the safety of disposable diapers for HBO. Disposable diapers are multi-layered and consist of waterproof material, elastic material, water-absorbent material, surface material, sealing material, and a bonding agent. The study found no difference in the electrostatic charge characteristics among disposable diapers from different manufacturers. This suggests that disposable diapers are manufactured following the guidelines for labeling disposable diapers issued by the Japan Hygiene Products Industry Association (JHPIA). However, we found differences in the electrostatic charge characteristics dependent on the form of the disposable diapers. The pants-type diapers have a higher electrostatic charge because of the large amount of polyurethane used to provide elasticity. However, even with this type of diaper, the electrostatic charge voltage decreases within a few seconds when the disposable diaper is grounded. We suggest that bringing a disposable diaper into an HBO device is not a problem if the HBO device and the patient are securely grounded.

## keywords

Eelectrostatic charge characteristics, Japan Hygiene Products Industry Association (JHPIA), Polyurethane, Charge Electric Potential

## 1. 緒言

高気圧酸素治療(以下HBO)において、紙おむつを着用して治療を行うことが度々ある。国内には多種多様な紙おむつが流通しており、HBO装置に持ち込み可能な紙おむつを判断することは困難と考えられる。日本高気圧環境・潜水医学会(The Japanese Society of Hyperbaric and Undersea Medicine: JSHUM)の安全基準第36条第3項には、合成繊維製品着用を禁止しており、帯電防止能が木綿又は木綿と同等以上の衣類、若しくは帯電防止加工を施した衣類を着用しなければならないと記されている<sup>1)</sup>。JSHUM雑誌には、装置内に持ち込み可能な紙おむつについて、学会が推奨する紙おむつはなく、多種多様な機材の中で、「この物品は可能」と判断することは学会として困難と記載がある。また、付属品のチェックは医師が行い判断するため、担当医へ問い合わせ、次いでメーカーに問い合わせることを推奨している<sup>2)</sup>。しかし、実際に紙おむつメーカーにHBO装置内への持ち込みについて聴取するも明確に回答できるメーカーは少ない。また、HBOと紙おむつに関連した研究は多くはなく、PubMedやCiNiiによる文献検索では検索されない。

数少ないHBOと紙おむつに関する研究であるが、株式会社エア・ウォーター医療事業部 森幸夫らは、高気圧酸素治療安全協会ニュースにて、「紙おむつの静電気放電特性試験と危険性評価結果について」報告している<sup>3)</sup>。この報告は、社団法人産業安全技術協会に「紙おむつ」の静電気放電特性試験を依頼し、「紙おむつの帯電と危険性の評価」を検討したものである。そこには、静電気放電特性試験結果は、

紙おむつを強制的に帯電させたとしても表面帯電位は最大8.4 kVで飽和する。紙おむつが帯電するのは含水率が重量比で10%以下の乾燥状態に限定され、「紙おむつ」の帯電と危険性の評価では「これが高気圧酸素雰囲気で使用されても、危険源になる確率がほとんどない」ことが結論付けられている。著者らの報告は、紙おむつのHBO装置内への持ち込みについて一定の安全性を示しているが、紙おむつメーカー1社での報告であり、他メーカーの検討がなされていない。さらに、帯電電位の時系列変化が不明なこと、紙おむつが湿潤状態の場合の帯電電位が調査されていないことなど不明な点も少なくない。そこで今回、株式会社グリーンテクノ社に依頼し、複数社の紙おむつの静電気帯電特性試験を行い、HBOにおける紙おむつの安全性について検討したので報告する。

## 2. 対象および方法

## 2-1 試材料と実験装置

対象の試材料は、国内にて製造販売されている紙おむつメーカーであるA社、B社、C社、D社、E社とした。紙おむつの形態は、テープ型、パンツ型とした(表1)。

実験装置の静電気発生装置、静電電位測定装置、紙おむつの配置を図1に示した。410×200 mmの接地された導電性マットの上に①～⑤の紙おむつを敷いた。静電気発生装置は、グリーンテクノ社製小型高電圧電源GT100を使用した。当該装置は、最大出力電圧100 kVまで静電気を発生できる装置である<sup>4)</sup>。直径38 mmの電極を配置し、100 kVを3秒(sec:s)間照射

表1. 紙おむつの種類(メーカーと形態)

メーカー	形態
A社	テープ型・パンツ型
B社	テープ型・パンツ型
C社	テープ型・パンツ型
D社	テープ型・パンツ型
E社	テープ型・パンツ型

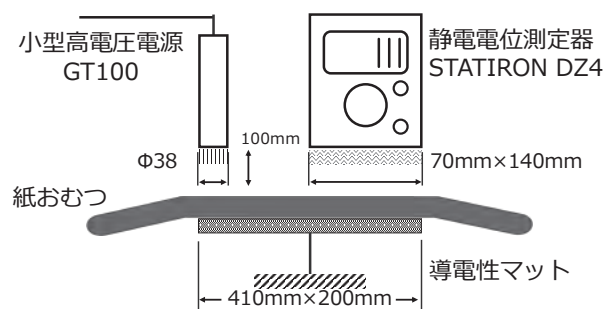


図1: 実験装置概略図

した。静電電位測定器は、シシド静電気株式会社電位測定器STATIRON DZ4を使用した。当該装置は、帯電体の表面電位の測定できる装置である<sup>5)</sup>。表面積70 mm×140 mmの電極を配置し13 s間測定した。紙おむつと静電気発生装置および静電電位測定器の間隔は100 mmとした。尚、試料への静電気の照射および測定は、グリーンテクノ社に依頼した。我々は、その結果にもとづき、紙おむつの静電気帯電特性とHBOにおける紙おむつの安全性について検討した。

2-2 実験の流れ

1) 予備実験

紙おむつの基本構造と材料(図2)、サイズと重量について(表2)を参照して調査した。

2) 実験1 乾燥状態の紙おむつの帯電特性の調査

- ①乾燥状態の紙おむつを設置した。  
このとき、帯電していない状態を0 sとした。
- ②紙おむつに小型高電圧電源にて100 kVを3 s間照射した。
- ③静電電位測定器にて表面電位を照射前0 sとし、13 s間計測した。

3) 実験2 湿潤状態の紙おむつの帯電特性の調査

- ①水道水200 mlを紙おむつに注水し設置した。

このとき、帯電していない状態を0 sとした。

- ②紙おむつに小型高電圧電源にて100 kVを3 s間照射した。
- ③静電電位測定器にて表面電位を照射前0 sとし、13 s間計測した。

実験環境は室内温度16~20℃、相対湿度は90~97%であった。尚、各メーカー、各紙おむつ形態に対し5回計測を行い、その平均値を経時的に記録した。

3. 結果

3-1 紙おむつの基本構造と材料について

紙おむつの基本構造と素材について図2に示す。紙おむつは多層構造であり、防水材、伸縮剤、吸水材、表面材、止着材、結合剤からなる。防水材は、排泄物を外に漏らさない役割がありポリオレフィン系フィルムが使用される。伸縮剤は、紙おむつに伸縮性を持たせるためにポリウレタンが使用され、吸水材には、綿状パルプ、吸水紙、アクリル系高分子吸水材が使用される。表面材は、人の皮膚に触れる部分でありポリオレフィン系不織布が使用されている。止着材は、紙おむつを止めるテープにはポリオレフィンが使用され、結合剤は、各パーツを結合させる糊としてスチレン系エラストマー合成樹脂が使用されている<sup>6)</sup>。

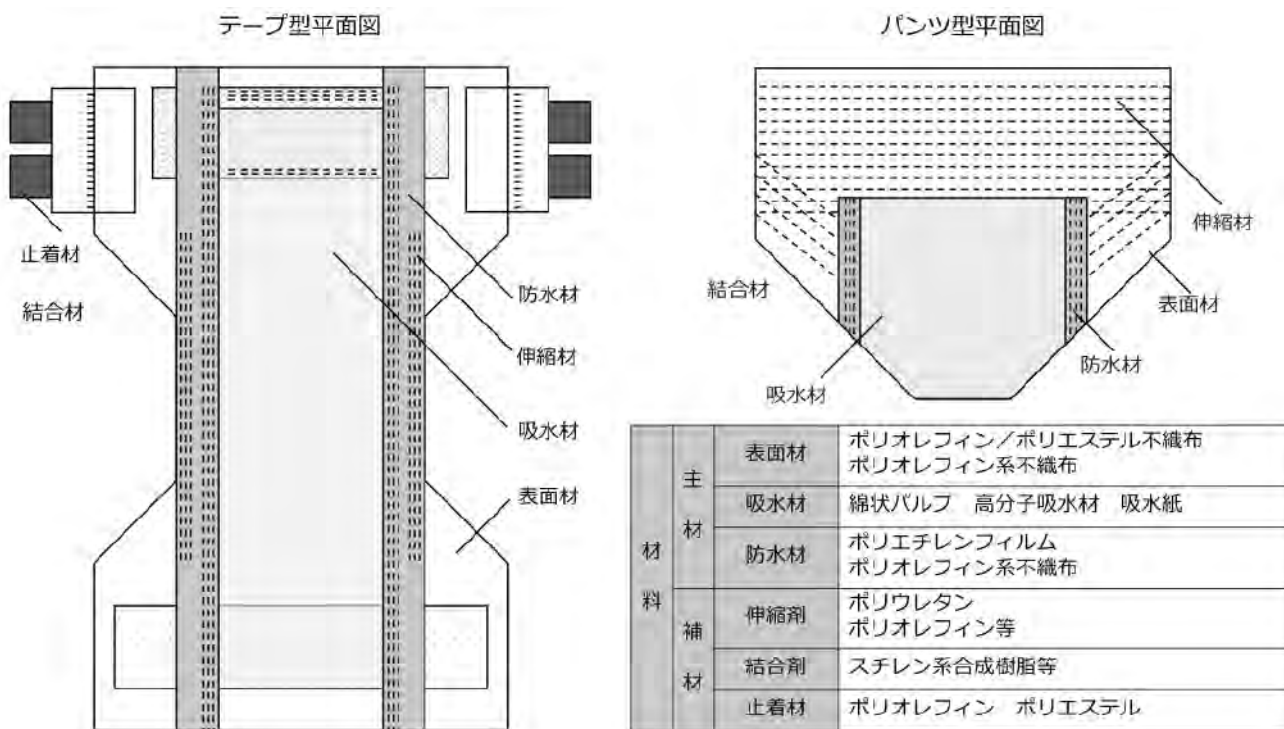


図2：紙おむつの基本構造と材料



表2. 紙おむつのサイズと重量

			A	B	C	D	E
テープ型	寸法	サイズ	L	L	L	L	L
		適応サイズ	90~125cm	90~125cm	92~130cm	81~128cm	85~130cm
		展開サイズ	幅54cm×長85cm	幅60cm×長84cm	幅54cm×長81cm	幅46cm×長80cm	幅65cm×長84cm
	重量	102g	136g	134g	118g	134g	
パンツ型	寸法	サイズ	M~L	L~LL	L	L	L~LL
		適応サイズ	60~95cm	80~125cm	80~105cm	75~100cm	85~115cm
		展開サイズ	幅38cm×長60cm	幅50cm×長60cm	幅40cm×長67cm	幅44cm×長69cm	幅37cm×長66cm
	重量	60g	54g	52g	89g	59g	

### 3-2 紙おむつのサイズと重量

表2に各社の紙おむつのサイズと重量を示す。

今回Lサイズ相当を対象としたが、適応サイズ、展開サイズ、重量において各社様々であることが確認された。

### 3-3 帯電電位の経時変化

横軸を時間経過、縦軸を帯電電位とし、紙おむつの帯電電位について経時変化をプロットした。各社概ね同等の値を示した。図3-1は、乾燥状態のパンツ型のグラフであり、帯電していない状態を0として、3 s間の照射に伴い、帯電電位が上昇し、3 s時点で最高値34.53 kVを記録した。帯電終了後、徐々に帯電電位は低下していき6 s時点で3.51 kV程度、9 s時点で2.10 kV程度まで低下していることが確認できた。図3-2は、乾燥状態のテープ型のグラフであり、帯電していない状態を0として、3 s間の照射にともない帯電電位が上昇し、3 s時点で最高値21.92 kVを記録した。帯電終了後、徐々に帯電電位は低下していき6 s時点で4.23 kV程度、9 s時点で3.39 kV程度まで低下していることが確認できた。図3-3は、水道水200 mlを含有した湿潤状態のパンツ型のグラフであり、乾燥状態と比較すると半分程度の帯電電位であることがわかる。こちら、帯電していない状態を0として3 s間照射したにも関わらず2 s時点で最高値17.42 kVを記録している。帯電終了後は、徐々に帯電電位は低下していき6 s時点で0.77 kV程度、9 s時点ではさらに低下し0.26 kV程度であることが確認できた。図3-4は、水道水200 mlを含有した湿潤状態のテープ型の

グラフであり、パンツ型と比較すると半分程度の帯電電位であることがわかる。帯電していない状態を0として3 s間照射したにも関わらず2 s時点で最高値6.10 kVを記録している。帯電終了後は、徐々に帯電電位は低下していき6 s時点で0.67 kV程度、9 s時点ではさらに低下し0.44 kV程度であることが確認できた。

## 4. 考察

### 4-1 帯電電位の経時変化

乾燥状態のパンツ型は、3 sで最高値34.53 kVに到達し、乾燥状態のテープ型は、3 sで最高値21.92 kVに到達した。湿潤状態のパンツ型は、2 sで最高値約17.42 kVに到達し、湿潤状態のテープ型は、テープ型は2 sで最高値約8.12 kVに到達した。このことから、紙おむつは、テープ型および湿潤状態で帯電特性が顕著に変化することが示唆された。

### 4-2 湿潤状態紙おむつの帯電特性

先行研究において、紙おむつは重量比で水分を10%以上吸水した湿潤状態では、紙おむつの見かけの電気抵抗率が約10 Ω・m以下になり、紙おむつが帯電するのは含水率10%以下の乾燥状態に限られると予測している<sup>2)</sup>。今回の研究結果は、その予測を立証したものであり、乾燥状態と比較すると湿潤状態の紙おむつは、帯電電位が低く抑えられることが明らかとなった。尚、今回の研究では水道水を用いたが、正常状態の尿に含まれる成分としてナトリウムがあることから<sup>7)</sup>、尿は、水道水より高い電気伝導性を有している。このことより、今回の結果よりさらに低い帯電電位の値を示すことが示唆された。また、HBO装置に

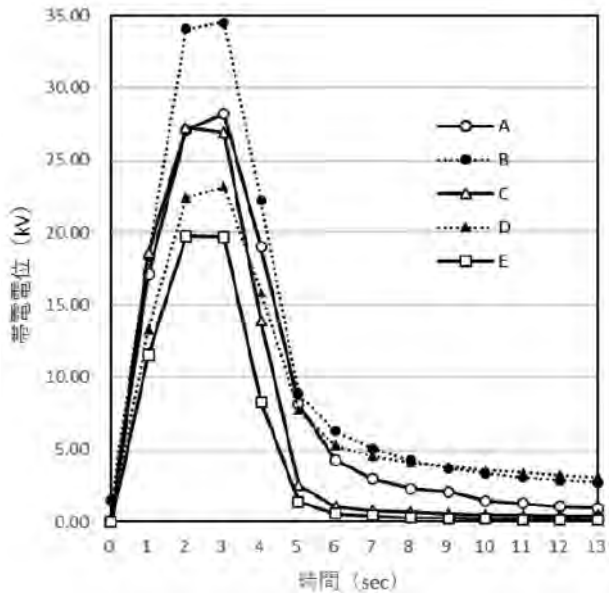


図3-1：乾燥状態のパンツ型紙おむつに静電気を照射したときの帯電電位の経時的変化

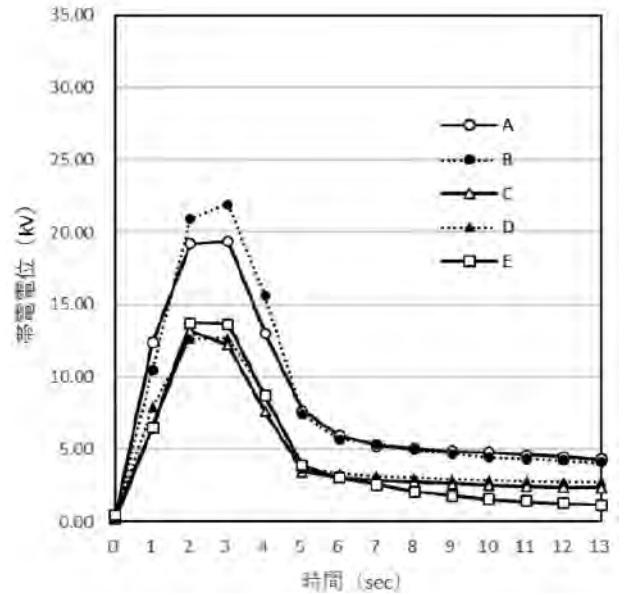


図3-2：乾燥状態のテープ型紙おむつに静電気を照射したときの帯電電位の経時的変化

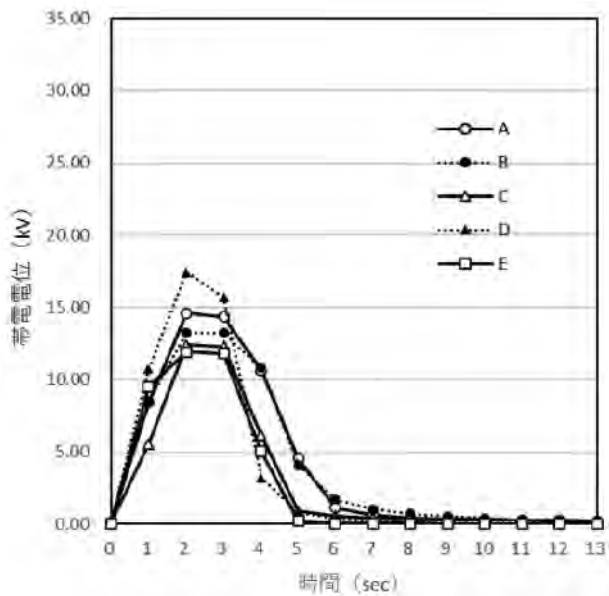


図3-3：湿潤状態のパンツ型紙おむつに静電気を照射したときの帯電電位の経時的変化

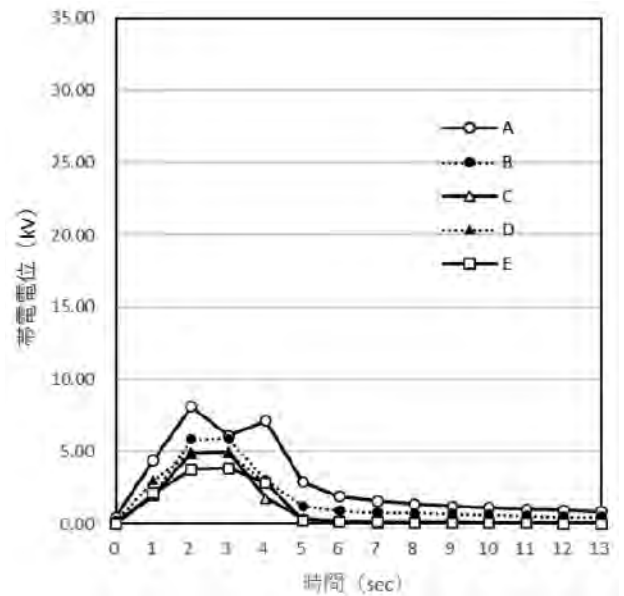


図3-4：湿潤状態のテープ型紙おむつに静電気を照射したときの帯電電位の経時的変化

持ち込む際、帯電電位を可能な限り低く抑えたい場合は、テープ型紙おむつを選択し、あらかじめ湿らせた状態にすることでより安全に持ち込めることが示唆された。

4-3 紙おむつメーカーによる相違点

紙おむつの形態においてテープ型は、パンツ型と比較し、展開サイズが大きく、また、重量において重い傾向を認めた。これは、使用されている吸収材(綿状パルプ・高分子吸水材・吸水紙)の量が大きく反映さ

れていた。紙おむつの素材には、表面材にポリオレフィン系不織布、吸水材に綿状パルプ・吸収紙・高分子吸水材、防水材にポリエチレンフィルム、止着材にポリオレフィン、伸縮材にポリウレタン、結合材にスチレンが使用され、各メーカー概ね同じ素材を使用していることが確認できた。国内で販売されている紙おむつは、(一社)日本衛生材料工業連合(Japan Hygiene Products Industry Association: JHPPIA)において、紙おむつの表示に関するガイドラインおよび自主基準

などが定められており、各メーカーが、これに準じて運用している<sup>8)</sup>。また現在、表示規格の改正にあたり、ガイドライン相応として取り扱われており、製品の品質表示等に関して国が基準を設け規制するのではなく、メーカーの自己責任のもとに使用素材一覧表に準じ製造することとなっている。国内で製造販売されている紙おむつの素材や構造については多少の相違はあるものの、帯電特性の結果に影響を与えないことが示唆された。このことから、表3のJHPIAの表示があるものは、帯電電位としては同等の結果が得られるものと考えられた。

4-4 紙おむつの形態と素材による相違点

パンツ型は、テープ型と比較し帯電しやすい結果が得られた。紙おむつの形態の相違、すなわち、使用されている素材の量による帯電電位の相違であることが示唆された。パンツ型は、紙おむつに伸縮性を持たせるためポリウレタンが多く使用されている。予備調査の結果、5社の紙おむつのうち、テープ型には平均17本、パンツ型には平均56本のポリウレタンが使用されていることがわかった。ポリウレタンは、電気伝導性が低く、摩擦によりマイナスに帯電しやすい特性があることが分かっている<sup>10)</sup>。このことから、使用されているポリウレタンの量の相違により帯電電位の相違に繋がったことが示唆された。いずれにせよ、HBO

装置内への持ち込み可否の判断は、最終的に施設およびHBOの管理者となることから、リスクを慎重に検討することが推奨される。

4-5 HBOにおける紙おむつの安全性の検討

HBOは、装置内が高濃度酸素になることから静電気放電による着火の可能性が度々議論される。HBO中に問題となる静電気放電は、可燃物が繊維となるため着火性の性質を持つ火花放電とブラシ放電に注意が必要である<sup>11)</sup>。一般的に、静電気放電を発生するには、火花放電で数kV、ブラシ放電で10 kV以上が必要といわれている<sup>12)</sup>。今回は、かなり高い電位を強制的に紙おむつに照射し帯電させた結果である。帯電させる前の帯電電位は0.20 kV程度であり、また、紙おむつを強制的に帯電させたとしても接地状態であれば数sで帯電電位が低下することを確認した。HBOは、装置・ストレッチャー・マットレス、専用の着衣・ベッドシート・タオルケット、そして患者において確実に接地されている。このことから、HBOにおける紙おむつの安全性について、患者を確実に接地していればHBO装置内に持ち込むことに問題がないことが示唆された。

尚、数少ないHBOと紙おむつに関する研究であるが、今回の我々の研究では、国内で販売されている複数の紙おむつに対し比較検討を行った。さらに帯電

表3. (一社)日本衛生材料工業連合会のガイドラインに基づく表示<sup>9)</sup>

<様式-1-④> (大人用テープ型) ※ウエストサイズを併記した表示例  
 (一社)日本衛生材料工業連合会のガイドラインに基づく表示

品名	大人用紙おむつ	使用上の注意
用途	ヒップサイズ○○cm～○○cm ウエストサイズ○○cm～○○cm	※汚れた紙おむつは早くとりかえてください。 ※テープは直接お肌につけないでください。
素材	表面材 ○○○○○○ 吸水材 ○○○○○○ 防水材 ○○○○○○ 止着材 ○○○○○○ 伸縮材 ○○○○○○ 結合材 ○○○○○○	※誤って口に入れたり、のどにつまらせることのないよう保管場所に注意し、使用後はすぐに処理してください。
外装材	○○○○○○○	保管上の注意 ※開封後は、ほこりや虫が入らないよう、衛生的に保管してください。
数量	○○ (枚)	使用後の処理 ※紙おむつに付着した大便は、トイレに始末してください。 ※汚れた部分を内側にして丸め、不衛生にならないように処理してください。 ※トイレに紙おむつを流さないでください。 ※使用後の紙おむつの廃棄方法は、お住まいの地域のルールに従ってください。 ※外出時に使った紙おむつは持ち帰りましょう。
製造業者	△△△△△△△株式会社 〒△△△-△△△△◇◇県◇◇市◇◇ TEL ○○○-○○○-○○○○	

(ABC)



電位の経時的変化を測定することで、紙おむつの形態および湿潤度での相違を認めたことから、紙おむつの安全性を検討するうえで十分意義のある研究と考えられた。

## 5. 結語

- 1) HBOにおける紙おむつの安全性について、複数社、紙おむつ形態、湿潤度の観点から検討した。
- 2) JHPiA 表記がある紙おむつの帯電特性に相違がないことが示唆された。
- 3) パンツ型紙おむつは、ポリウレタンが多く使用されているため帯電しやすい傾向を認めた。
- 4) 湿潤状態の紙おむつは、帯電電位が低く抑えられることを認めた。
- 5) 接地状態であれば、数sで帯電電位が低下することを認めた。

## 謝辞

本研究の調査にご協力頂いた、株式会社グリーンテクノ社荒木力弥氏に深謝申し上げます。尚、本研究の一部は2022年に開催された第56回日本高気圧環境・潜水医学会学術総会の一般演題にて発表しました。本研究の著者および共著者は開示すべき利益相反(COI)はありません。

## 参考文献

- 1) 日本高気圧環境・潜水医学会 高気圧酸素治療の安全基準 2019年11月3日改訂
- 2) 日本高気圧環境・潜水医学会 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌 Vol.50 No.1 2015; 20.

- 3) 森幸夫:「紙おむつ」の静電気放電特性試験と危険性評価結果について 高気圧酸素治療安全協会 安全協会ニュース Vol.13 No.2 2004; 30-36.
- 4) 静電気発生装置 株式会社グリーンテクノ 小型高電圧電源 (GT100)  
<https://www.greentechno.co.jp/power/hvgt.html>  
accessed Nov 25,2022
- 5) 静電電位測定器 シシド静電気株式会社 STATIRON DZ4  
<http://shishido-esd.co.jp/products/spec/measure.html#dz4> accessed Nov 25,2022
- 6) 紙おむつのしくみ ユニ・チャーム  
<https://jp.moony.com/ja/diapers/Important-shikumi.html> accessed Nov 25,2022
- 7) 富野康日己 尿検査のみかた, 考え方  
中外医学社1章尿検査総論尿の成分・外観p3.  
<http://www.chugaiigaku.jp/upfile/browse/browse2464.pdf> accessed Mar,15
- 8) 日本衛生連合材料工業連合会 紙おむつの表示に関するガイドライン 使用素材一覧表  
<https://www.jhpia.or.jp/standard/diaper/diaper2.html>  
accessed Nov 25,2022
- 9) 日本衛生連合材料工業連合会 日衛連紙おむつNews No37 2001.7;2
- 10) 日本ウレタン工業協会 軟質ポリウレタンフォームの火災及び防災に関するQ&A集2010年3月; 16
- 11) 泉房男: 高気圧酸素治療における静電気災害の防止. 高気圧酸素治療安全協会 安全協会ニュース 第38号 Vol.21 No.1 2012; 23-33.
- 12) 児玉勉: 静電気による爆発とその防止対策 電気設備学会誌2009;624-627