

ヘアケア製品由来の環状シロキサンが室内に及ぼす影響

齋藤 育江^a, 大貫 文^a, 小西 浩之^a, 守安 貴子^b

筆者らが実施した室内空気調査で、デカメチルシクロペンタシロキサン (D5) が、他の化学物質よりも高濃度に検出された住宅の事例があり、発生源はヘアケア製品と推定された。そこで、シャンプー及びコンディショナー中のオクタメチルシクロテトラシロキサン (D4) 及びD5の分析法を確立し、市販品中のD4及びD5含有量を調査した。次に住宅7軒で、洗髪前後の室内空気中D5濃度を調査し、1名の被験者についてD5の個人曝露量を測定した。シャンプー及びコンディショナー中のD4及びD5分析法検討では、ヘッドスペース-GC/MS法が適当であった。シャンプーとコンディショナーをペアで13銘柄調べたところ、コンディショナー4製品からD5が検出され、含有量は0.81~4.4%であった。住宅調査では、洗髪後の室内空気中D5濃度は、D5含有コンディショナー使用住宅で50.9~266 µg/m³、D5非含有コンディショナー使用住宅で0.51~4.2 µg/m³と、D5含有製品を使用していた住宅の方がD5濃度が高かった。洗髪前後のD5濃度の比 (洗髪後/洗髪前) は、D5含有製品使用住宅で2.7~156倍、D5非含有製品使用住宅で0.7~3.8倍であった。個人曝露量は、同一人物がD5含有及びD5非含有のコンディショナーを使用したところ、D5含有製品使用時は972 µg/day、D5非含有製品使用時は36.0 µg/dayと、27倍の差がみられた。

キーワード: 環状シロキサン, デカメチルシクロペンタシロキサン, オクタメチルシクロテトラシロキサン, シャンプー, コンディショナー, リンス, 室内空気

はじめに

環状シロキサンは無色、無臭の液体で、シリコーンオイルとも呼ばれ、電気絶縁油、潤滑油、発水剤及び化粧品など幅広い用途に使用されている¹⁾。環状シロキサンのうち、オクタメチルシクロテトラシロキサン (Octamethyl cyclotetrasiloxane, 以下D4) 及びデカメチルシクロペンタシロキサン (Decamethyl cyclopentasiloxane, 以下D5) は揮発性を有し、さらっとした使用感を与えることから化粧品やヘアケア製品等に配合されている²⁾。

これらの毒性については、2010年に欧州委員会消費者安全科学委員会 (European Commission, Scientific Committee on Consumer Safety, EC SCCS) が、D4及びD5のリスク評価を行っており、化粧品として使用した場合は、ヒトに対する健康リスクの懸念はないと結論付けている³⁾。しかし、動物実験では、D4はラットの吸入曝露試験で、生殖毒性を指標として、NOAELが150 ppmと報告されており³⁾、D5は同様の試験で、肺への影響を指標として、NOAELが49 ppmとの報告がある⁴⁾。また、欧州化学品庁 (European Chemicals Agency, ECHA) は、2016年に開催されたリスク評価専門委員会の総会で、環境残留性と生物蓄積性の観点から、D4及びD5の上市 (新製品が市場に出回ること) の制限を提案するなど⁵⁾、環状シロキサンについては、近年、環境汚染物質としての規制が検討され始めている。

筆者らが2005年5月に行った室内空気調査で、D5が室内空気から検出され、他の化学物質に比べて濃度が

高いという住宅の事例があった。調査当時は、室内環境におけるD5の調査報告がほとんどなかったため、居住者への聞き取り等から発生源を推定したところ、洗髪に使用したヘアケア製品が原因と考えられた。そこで、シャンプー及びコンディショナーに含まれるD4及びD5の分析法を検討し、当時市販されていたシャンプー及びコンディショナー (リンスを含む) 中の含有量を測定した。また、住宅の居住者がそれらの製品を使用して洗髪する前後に、室内空気中のD4及びD5を調査し、更に、1名の被験者について個人曝露量を測定したので結果を報告する。

実験方法

1. 試薬

D4 95% 化学用 和光純薬工業製, D5 99% 東京化成工業製, メタノール 残留農薬・PCB分析用 和光純薬工業, 塩化ナトリウム 残留農薬・PCB分析用 和光純薬工業, トルエン-d₈ 99.5% 和光純薬工業。

2. ヘアケア製品中のD4及びD5分析方法の検討

D4及びD5は揮発性を有することから、シャンプー及びコンディショナー中のD4及びD5分析法として、ヘッドスペース-ガスクロマトグラフ/質量分析法 (GC/MS法) を採用した。D4及びD5の構造式及びマススペクトルをFig.1に示す。ヘッドスペースの試料調製には、容量5 mLのバイアルを用い、シャンプー及びコンディショナー中のD4及びD5濃度として、最大10%まで定量可能な検量線

^a 東京都健康安全研究センター薬事環境科学部環境衛生研究科
169-0073 東京都新宿区百人町3-24-1

^b 東京都健康安全研究センター薬事環境科学部

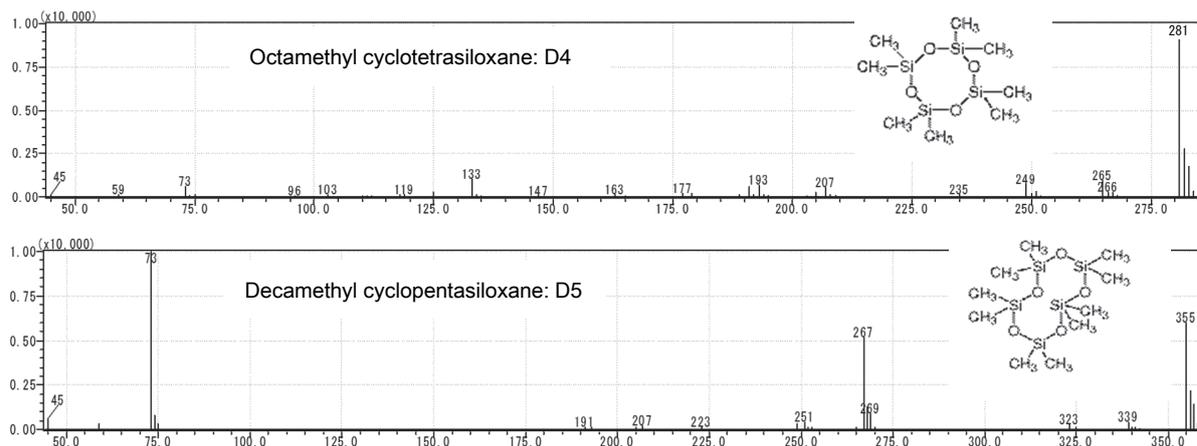


Fig. 1. Structural Formula and Mass Spectrum of D4 and D5

の作成を目指した。シャンプー及びコンディショナーの希釈倍率については、20倍～1,000倍の範囲で希釈倍率を変え、希釈用の溶液にはメタノール/水の混合溶液を用いることとして、メタノールの割合を5%～96%まで変えて、希釈倍率とメタノールの割合の組み合わせを検討した。次に試料をバイアルに封入した後の加温条件及び静置時間等について検討を行った。ヘッドスペースガスの分析に際しては、バイアル上部のガスをガスタイトシリンジで100 μ L採取し、手動でガスクロマトグラフ-質量分析計 (GC-MS) に注入した。GC-MSの分析条件をTable 1に示す。また、D4及びD5はシリコン製の実験器具にも含まれ、実験中に試料の汚染が認められる場合があったことから、器具及びシリンジの洗浄方法など、ブランクの低減方法を検討した。

3. 市販製品中のD4及びD5含有量の測定

確立した方法を用いて、市販のシャンプー及びコンディショナー (リンスを含む) 各13銘柄 (No.1～No.13) について、製品中のD4及びD5含有量を調査した。なお、コンディショナーとリンスは、いずれも髪の毛の表面を油分の被膜で覆う働きを持ち、成分が共通している⁶⁾。そのため、両者を同じグループとして扱い、コンディショナーとリンスの区別はつけず、以下では「コンディショナー」とした。調査対象製品は、2005年9月～11月に市販あるいは使用されていたもので、当時の売り上げ上位10銘柄を含み、同じ銘柄のシャンプーとコンディショナーをペアで調査した。

4. Tenax TAを用いたD4及びD5の添加回収試験

室内空気からD5を検出した2005年5月の住宅調査では、空気捕集にTenax TAを200 mg充填した加熱脱着チューブ (SUPELCO製) を用い、200 mL/minの流速で1時間の空気採取を行った (空気量 12 L)。筆者らはそれまで、室内空気からD5を検出した経験がなく、空気中のD5測定に関する報告もほとんど無かったことから、当該物質の

捕集効率を確認するため、Tenax TAを用いたD4及びD5の添加回収試験を行った。方法は、Tenax TAを200 mg充填した加熱脱着チューブに、D4及びD5を50 ng添加し、ミニポンプ (MP- Σ 30, 柴田科学製) により200 mL/minの流速で清浄空気を1時間通気した。通気後は、加熱脱着装置によりGC-MSに導入して分析した (n=3)。加熱脱着装置及びGC-MSの分析条件をTable 2に示す。

Table 1. Operation Condition for GC-MS

GC-MS:GC-2010/GCMS-QP2010, Shimadzu Corporation	
Column	Ultra-1 12 m \times 0.2 mm i.d.,0.33 μ m
Carrier Gas	He, 40 kPa
Injection Temp.	200 $^{\circ}$ C
Injection Mode	Split 1:10
Detector Temp.	250 $^{\circ}$ C
Oven Temp.	40 $^{\circ}$ C(2 min)-10 $^{\circ}$ C/min-200 $^{\circ}$ C(2 min)
Acquisition mode	Scan(m/z 45-400)

Table 2. Operation Conditions for Thermal Desorption System and GC-MS

Thermal Desorption System: ATD-400, Perkin-Elmer	
Desorption Temp.	230 $^{\circ}$ C
Desorption Time	5 min
Desorption Flow	50 mL/min
Transfer Line temp.	200 $^{\circ}$ C
Cold Trap Temp.	4 $^{\circ}$ C-230 $^{\circ}$ C(hold 3 min)
Cold Trap Adsorbent	Tenax TA
Out Split Ratio	1:6
GC-MS:GC17A/QP5050A, Shimadzu Corporation	
Column	DB-1 30 m \times 0.25 mm i.d.,1 μ m
Carrier Gas	He, 50 kPa
Injection Temp.	200 $^{\circ}$ C
Detector Temp.	250 $^{\circ}$ C
Oven Temp.	40 $^{\circ}$ C(3 min)-12 $^{\circ}$ C/min-220 $^{\circ}$ C(2 min)-20 $^{\circ}$ C/min-300 $^{\circ}$ C(1 min)
Acquisition Mode	Scan(m/z 45-400)

5. 洗髪前後の室内空气中D4及びD5濃度の測定

2005年9月～11月に7軒の住宅（住宅A～住宅G）において、洗髪前及び洗髪後の室内空气中D5濃度を調査した。空気採取は、居住者が洗髪後に主に滞在する部屋において行った。空気捕集には、Tenax TAを200 mg充填した加熱脱着チューブを用い、洗髪前及び洗髪後に、ミニポンプにより流速200 mL/minで、それぞれ1時間空気を採取した。空気採取後の捕集管は、加熱脱着装置によりGC-MSに導入して分析した（分析条件はTable 2の通り）。なお、各住宅の居住者が使用したシャンプー及びコンディショナーは、いずれもD5の含有量を測定済みの製品であった。

6. D5含有及び非含有製品使用時の個人曝露量測定

同一人物（n=1）が、D5非含有コンディショナー及びD5含有コンディショナー（4.4%含有）をそれぞれ別の日に使用し、洗髪後24時間のD5曝露量を調査した。空気採取はアクティブ法で行い、捕集管にはTenax TAを200 mg充填した加熱脱着チューブを、ポンプにはパーソナルエアサンプラー（PAS-500、柴田科学製）を用い、流速10 mL/minで24時間空気を採取した（空気量 14.4 L）。空気採取装置は、日中は胸ポケットに入れて携帯し、就寝中は枕元に設置した。空気採取後の捕集管は、加熱脱着装置によりGC-MSに導入して分析した（分析条件はTable 2の通り）。個人曝露量（ $\mu\text{g}/\text{day}$ ）は、ヒトの1日の呼吸量を15 m^3 とし、分析結果から求めたD5濃度より算出した。

結 果

1. ヘアケア製品中D4及びD5分析方法の検討

ヘッドスペース試料の調製方法について、シャンプー及びコンディショナーの希釈倍率を検討した。D4及びD5を含まないシャンプー及びコンディショナーにD4を4%添加し、希釈倍率を20倍、50倍、100倍、500倍、1,000倍として蒸留水で希釈した（n=3）。ヘッドスペース法によりD4を分析した結果、希釈倍率1,000倍でD4のピーク面積のばらつきが最も小さかった。そこで、前述のシャンプーにD4及びD5を最大10%まで添加し、蒸留水で1,000倍希釈して検量線を作成した。結果をFig. 2に示す。

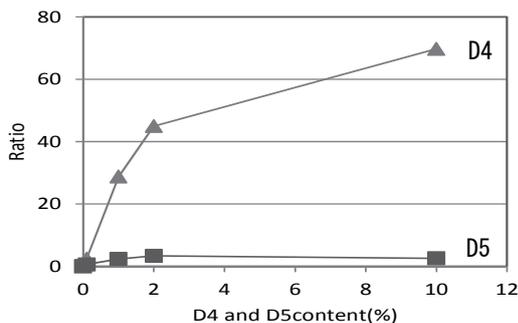


Fig.2. Calibration Curve of D4 and D5 in Shampoo (Aqueous Solution)

す。D4及びD5の含有量として2%以上では、検量線が横ばいとなり、直線性を示さないことがわかった。そこで、D4及びD5の揮発性を高めるため、希釈にメタノール/水の混合溶液を用いることとし、メタノールの割合を5%、10%、20%、40%、60%、80%、96%として検討を行った。D4及びD5を2%及び10%含むシャンプーを調製し、各メタノール溶液で1,000倍希釈して分析し、10%含有試料のピーク面積比を2%含有試料のピーク面積比で除して比（10%Ratio/2%Ratio）を求めた。結果をFig.3に示す。D4及びD5ともに、2%含有試料と10%含有試料の比が5倍に最も近いのは、メタノールの割合が80%の場合であり（D4 4.3倍、D5 4.9倍）、その他は0.8倍～3.4倍であった。また、試料に塩析剤として、塩化ナトリウムを0.1g加えることにより、ピーク面積が10%～20%増加し、D4及びD5の揮発を促進できることがわかった。試料をバイアルに封入した後の加温条件及び静置時間については、35°Cで30分間加温後、室温で3時間以上静置する条件で安定したガス濃度を得ることができた。

ブランクの低減方法としては、実験操作に用いる器具をメタノール中で5分間超音波洗浄し、風乾した後に使用することが有効であった。ガスタイトシリンジは、メタノール中で超音波洗浄した後、真空ポンプに接続して、20分間吸引乾燥した。また、ヘッドスペースバイアルにセプタムをはめる際には、バイアルの口にアルミ箔を乗せ、その上からセプタムを押し込むことで、セプタム由来のブランクを低減することができた。

2. シャンプー及びコンディショナー中のD4及びD5分析方法、検量線及び定量下限値

検討の結果、確立した分析方法は以下の通りである。ヘッドスペースの試料調製は、シャンプー及びコンディショナー0.5 gを試験管に精密に量り取り、直前に煮沸急冷した蒸留水を少量ずつ加えて泡が立たないように攪拌し、試験管の目盛で10 mLに合わせて、20倍希釈試料を調製した。次に5 mLのヘッドスペースバイアルに、塩化ナトリウム0.1 g、20倍希釈試料0.1 mL、80%メタノール4.9 mL、500ppmトルエン- d_8 （メタノール溶液）2 μL を加え、バイアルの口にアルミ箔を乗せて、その上からセプ

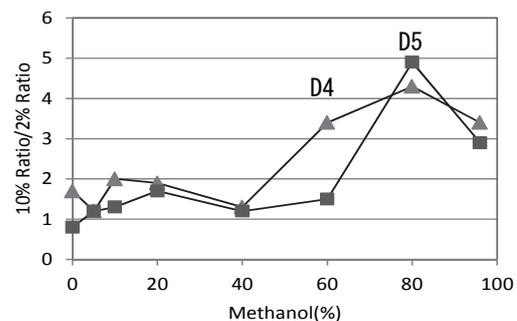


Fig.3. Numerical Value into which Peak Area Ratio of D4 and D5 10% contained Shampoo was divided by that of 2% contained one

タムを押し込み、クリップキャップをはめて密栓した。その後、振とうして塩化ナトリウムを溶かし、35°Cで30分間加温後、室温で3時間以上静置した。なお、バイアル中のシャンプー及びコンディショナーの希釈倍率は、最終的に1,000倍であるが、あらかじめ20倍希釈試料を調製することにより、均一な溶液調製を迅速に行うことができた。静置後、バイアル上部のガス層から、ガスタイトシリンジを用いて100 μ Lのガスを採取し、手でGC-MSに注入して分析した（分析条件はTable 1の通り）。

確立した方法を用い、D4及びD5非含有のシャンプー及びコンディショナーにD4及びD5を0.1%~10%添加し、D4及びD5の含有量(%)とクロマトグラムのピーク面積比を用いて検量線を作成した。結果をFig.4に示す。シャンプー及びコンディショナーともに検量線の決定係数 (R^2) が0.99以上と、良好な直線性が得られた。また、空試験ではD4及びD5のブランクが確認されたため、ブランクの3倍から定量下限値を算出したところ、D4が0.1%、D5が0.2%と求められた。

3. 市販製品中のD4及びD5含有量

調査した13銘柄のうち、シャンプーからは、いずれもD4及びD5は検出されなかった。一方、コンディショナーについては4製品からD5が検出され、それぞれの含有量は、No.3が3.9%、No.6が0.81%、No.7が4.4%、No.8が1.6%であった。なお、D5が検出された製品の成分表示には、いずれも環状シロキサンを表す「シクロメチコン」の記載があった。

4. Tenax TAを用いたD4及びD5の添加回収率

Tenax TAを用いたD4及びD5の添加回収試験の結果、通気後の回収率は、D4が96.2 \pm 3.8%、D5が88.4 \pm 2.1%と、いずれも良好であった。

5. 洗髪前後の室内空气中D5濃度

住宅調査において、洗髪後に最も高濃度にD5が検出された室内空気中のGC-MSクロマトグラムをFig. 5に示す（住宅C）。室内空気から検出された化学物質では、D5が最も濃度が高く、他にはトルエン、*p*-ジクロロベンゼン、リモネン等が検出された。

住宅7軒の室内空气中D5濃度の測定結果及び各住宅で使用していたコンディショナー中のD5含有量をTable 3に示す。住宅A~住宅Dでは、D5を含有するコンディショナーを使用しており、洗髪後の室内空气中D5濃度は、50.9~266 μ g/m³（平均 122 \pm 98.2 μ g/m³）であった。一方、住宅E~住宅Gでは、D5を含有しないコンディショナーを使用しており、洗髪後の室内空气中D5濃度は、0.51~4.2 μ g/m³（平均 2.2 \pm 1.9 μ g/m³）と、D5含有製品を使用していた住宅の方が濃度が高かった。また、洗髪前のD5濃度についても、D5含有製品を使用している住宅では1.7 μ g/m³~19.0 μ g/m³（平均 8.4 \pm 8.1 μ g/m³）、D5非含有製品を使用している住宅では0.66 μ g/m³~2.1 μ g/m³（平均 1.3 \pm 0.71 μ g/m³）と、D5含有製品を使用していた住宅の方が高い傾向がみられた。洗髪前後のD5濃度の比（洗髪後/洗髪前）をみると、D5含有製品を使用した住宅では2.7~156倍（平均 49.1倍）、D5非含有製品を使用した住

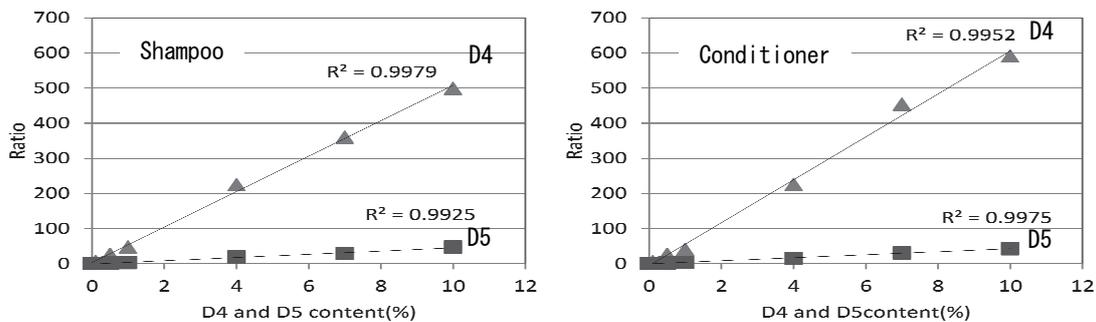


Fig.4. Calibration Curve of D4 and D5 in Shampoo and Conditioner (80% Methanol Solution)

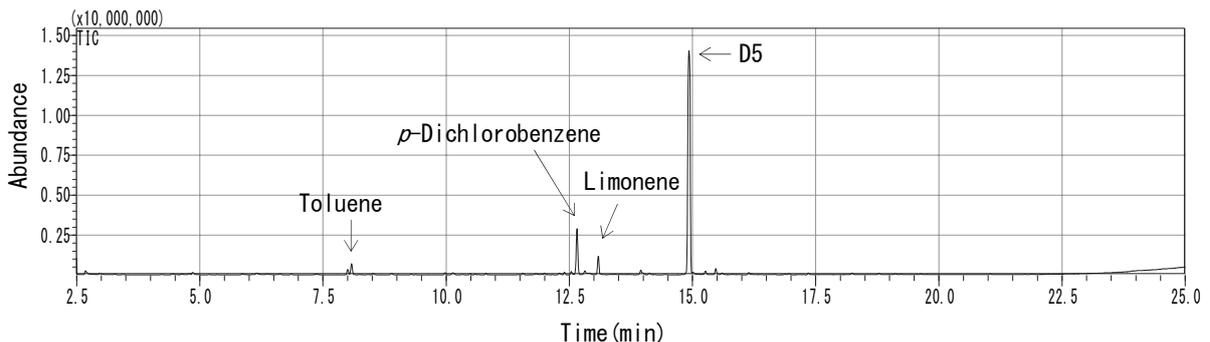


Fig. 5. GC/MS Chromatogram of Residential Indoor Air collected after Hair Wash (House C)

Table 3. D5 Concentration in Residential Indoor Air and D5 Content in a Conditioner used at the House

House No.	Air sampling	D5	
		Indoor air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Conditioner (%)
A	before hair wash	10.5	0.81
	after hair wash	100	
B	before hair wash	19.0	0.81
	after hair wash	50.9	
C	before hair wash	1.7	3.9
	after hair wash	266	
D	before hair wash	2.5	4.4
	after hair wash	70.4	
E	before hair wash	1.1	<0.2
	after hair wash	4.2	
F	before hair wash	2.1	<0.2
	after hair wash	1.9	
G	before hair wash	0.66	<0.2
	after hair wash	0.51	

宅では0.7~3.8倍(平均 1.9倍)であった。コンディショナー中のD5含有量と室内空气中D5濃度との間には、相関はみられなかった。

6. D5含有及び非含有製品使用時の個人曝露量測定

同一人物がD5非含有コンディショナー及びD5含有コンディショナーを使用して、洗髪後24時間のD5曝露濃度を調査した結果、D5非含有製品では $2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、D5含有製品では $64.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。この濃度とヒトの1日の呼吸量(15 m^3)より個人曝露量を計算した結果、D5非含有製品では $36.0 \mu\text{g}/\text{day}$ 、D5含有製品では $972 \mu\text{g}/\text{day}$ と求められ、D5含有製品使用時はD5非含有製品使用時に比べて、D5の曝露量が27倍多かった。

考 察

今回の住宅調査で、D5を含有するコンディショナーを使用すると、洗髪後は室内空气中のD5濃度が上昇することがわかった。コンディショナー中のD5は、毛髪をコーティングして摩擦を防ぐ役割を果たすが⁶⁾、揮発性を有するために、毛髪表面から空气中に放散される。また、洗髪前は、洗髪後よりも室内のD5濃度が低かったことから、D5を含有するコンディショナーを使用した場合、室内のD5濃度は、洗髪後に急速に上昇し、その後徐々に低下すると考えられる。しかし、D5含有製品を使用している間は、洗髪たびに、室内環境中へのD5の負荷が繰り返されることになる。

洗髪後の室内空气中D5が最も高かった住宅では、居住者が洗髪後にドライヤーを使用しており、熱風で髪を乾かすことにより、髪に吸着したD5の放散が促進されると考えられた。

今回の製品調査では、ヘアケア製品からD5のみが検出

されたが、D4及びD5は乳液やクリームなどの化粧品にも含まれており²⁾、コンディショナーと同様、それらの化粧品を使用した場合は、D4及びD5が空气中に放出される。空气中に放出されたD4及びD5による影響が懸念される事項としては、呼吸によってヒトに取り込まれる以外に、半導体製造工場では、シリコンウェハーに付着し、製品の歩留まりを低下させることが問題となっている⁷⁾。また、ヘアケア製品や化粧品を水で洗い流した際は、D4及びD5を含む排水が下水処理場に運ばれるが、D4及びD5は下水処理の工程では分解されず、活性汚泥に吸着する⁸⁾。近年、活性汚泥を利用したバイオガスによる発電システムに関心が高まっているが、バイオガス中には、活性汚泥から揮発したD4及びD5が含まれ、燃焼により二酸化ケイ素に変化して、ガス発電用エンジンの部品劣化を早めることが問題となっている⁹⁾。

本論文の調査は2005年に実施したものであるが、国立医薬品食品衛生研究所が2015年に実施した室内空気の実態調査では、住宅室内においてD4及びD5が高頻度、高濃度に検出されたとの報告がある¹⁰⁾。また、D4及びD5の残留性については、底質中の半減期がD4は365日¹¹⁾、D5は800~3,100日¹¹⁾であり、生物濃縮係数については、D4が3,000~12,400 L/kg¹¹⁾、D5が7,060~12,617 L/kg¹¹⁾である。これらは、POPs条約で規定された残留性の基準(底質中の半減期が180日以上)及び生物蓄積性の基準(生物濃縮係数が5,000 L/kg以上)を超えていることから、環境汚染物質としての懸念も高まっている。今後、環境中での動態や汚染実態について、より一層の情報の蓄積が求められる物質群の1つと考える。

ま と め

筆者らが2005年に実施した住宅調査で、室内空気からD5が検出され、他の物質よりも高濃度だった住宅の事例があり、その発生源はヘアケア製品と推定された。そこで、シャンプー及びコンディショナー中のD4及びD5の分析法を確立し、当時市販されていたヘアケア製品についてD4及びD5含有量を調査した。次に7軒の住宅において、洗髪前後に室内空気を1時間採取し、D5濃度を調査した。また、1名の被験者について、D5含有製品及びD5非含有製品を使用した場合のD5個人曝露量を測定した。

シャンプー及びコンディショナー中のD4及びD5分析には、ヘッドスペース-GC/MS法を用い、試料を80%メタノールで1,000倍希釈することにより、D4及びD5含有量10%まで、良好な検量線が得られた。定量下限値は、D4が0.1%、D5が0.2%であった。市販製品の調査では、シャンプーとコンディショナーをペアで13銘柄調べたところ、コンディショナー4製品からD5が検出され、含有量は0.81~4.4%であった。住宅の室内空気調査は2005年の9月~11月に行い、D5含有コンディショナーを使用していた住宅では、洗髪後のD5濃度が $50.9\sim 266 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であ

り、D5非含有コンディショナーを使用していた住宅では、洗髪後のD5濃度が0.51~4.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と、D5含有製品を使用していた住宅の方が、室内空气中D5濃度が高かった。また、洗髪前後のD5濃度の比（洗髪後/洗髪前）は、D5含有コンディショナーを使用していた住宅で2.7~156倍、D5非含有コンディショナーを使用していた住宅で0.7~3.8倍であった。各住宅で使用していたコンディショナー中のD5含有量と、室内空气中D5濃度との間には、相関はみられなかった。個人曝露量は、同一人物がD5含有コンディショナー及びD5非含有コンディショナーを使用して、洗髪後24時間のD5曝露量を測定したところ、D5含有製品使用時は972 $\mu\text{g}/\text{day}$ 、D5非含有製品使用時は36.0 $\mu\text{g}/\text{day}$ であり、D5含有製品を使用した時の方が27倍高かった。

（本研究の概要は環境ホルモン学会第9回研究発表会、2006年10月、において発表した。）

文 献

- 1) 化学工業日報社：化学工業年鑑2005年版，236-238，2005，化学工業日報社，東京。
- 2) 東レ・ダウコーニング株式会社：パーソナルケア用シリコーン，1-5，2010，東レ・ダウコーニング株式会社，東京。
https://www.dowcorning.co.jp/ja_JP/content/japan/japanproducts/Y517_Personal_Care_.pdf（2017年8月1日現在、なお本URLは変更または抹消の可能性はある）
- 3) European Commission Scientific Committee on Consumer Safety (EC SCCS): Opinion on Cyclomethicone Octamethylcyclotetrasiloxane (Cyclotetrasiloxane, D4) and Decamethylcyclopentasiloxane (Cyclopentasiloxane, D5), SCCS 7th plenary meeting, 22 June 2010.
https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer_safety/docs/sccs_o_029.pdf（2017年8月1日現在、なお、本URLは変更または抹消の可能性はある）
- 4) European Commission Scientific Committee on Consumer Safety (EC SCCS): Opinion on decamethylcyclopentasiloxane (cyclopentasiloxane, D5) in cosmetic products SCCS 9th plenary meeting, 25 March 2015.
https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer_safety/docs/sccs_o_174.pdf（2017年8月1日現在、なお、本URLは変更または抹消の可能性はある）
- 5) European Chemicals Agency (ECHA): Committee for Risk Assessment concludes on restricting D4 and D5, 15 March 2016
https://echa.europa.eu/view-article/-/journal_content/title/committee-for-risk-assessment-concludes-on-restricting-d4-and-d5（2017年8月1日現在、なお、本URLは変更または抹消の可能性はある）
- 6) 飯島義郎，宇野政，斎藤進六，島田記史雄，向坊隆，渡辺茂：現代商品大辞典 新商品版，616，1986，東洋経済新報社，東京
- 7) 石黒武：空気調和・衛生工学，81(8)，687-694，2007。
- 8) 堀井勇一：埼玉県環境科学国際センター講演会要旨 平成26年度
<https://www.pref.saitama.lg.jp/cess/torikumi/yoshi/documents/horiikenkyuin.pdf>（2017年8月1日現在、なお、本URLは変更または抹消の可能性はある）
- 9) 清水明：日本マリンエンジニアリング学会誌，51(1)，72-78，2016。
- 10) 酒井信夫，田原麻衣子，遠山友紀，他：第53回全国衛生化学技術協議会年会講演集，212-213，2016。
- 11) European Chemicals Agency (ECHA), Member State Committee (MSC): Opinion on persistency and bioaccumulation of Octamethylcyclotetrasiloxane (D4) and Decamethylcyclopentasiloxane (D5), adopted on 22 April 2015.
http://echa.europa.eu/documents/10162/13641/art77-3c_msc_opinion_on_d4_and_d5_20150422_en.pdf（2017年8月1日現在、なお、本URLは変更または抹消の可能性はある）

Effect of Cyclic Siloxane derived from Hair Care Products on Indoor Environments

Ikue SAITOU^a, Aya ONUKI^a, Hiroyuki KONISHI^a, and Takako MORIYASU^a

In a survey on residential indoor air in 2005, there was a case where decamethyl-cyclopentasiloxane (D5) had the highest concentration among chemicals detected in a house. The source of D5 in indoor air was assumed to be hair care products. After devising a method to measure the content of octamethyl-cyclosiloxane (D4) and D5 in shampoo and hair conditioner, some of the products available on the market were investigated. Furthermore, the D5 concentrations in the indoor air of seven houses before and after shampoo use were measured from September to November 2005. In addition, the personal exposure of one subject to D5 was measured. D4 and D5 contents were analyzed in 13 pairs of shampoos and hair conditioners with different brands using the headspace GC/MS method. D5 was detected in four conditioners, and its content was within the range 0.81%–4.4%. After shampoo use, the indoor air D5 concentration was higher in the houses where D5-containing conditioner was used (50.9–266 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) than in those where D5-free conditioner was used (0.51–4.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). The D5 concentration ratio after and before shampoo use (D5 after shampoo/D5 before shampoo) was higher in the houses where D5-containing conditioner was used (2.7–156 times) than in those where D5-free conditioner was used (0.7–3.8 times). The D5 personal exposure from indoor air was 972 $\mu\text{g}/\text{day}$ when D5-containing conditioner was used, and it was 36.0 $\mu\text{g}/\text{day}$ when D5-free conditioner was used. Thus, the D5 personal exposure from D5-containing products was 27 times higher than that from D5-free products.

Keywords: cyclic siloxane, decamethyl cyclopentasiloxane, octamethyl cyclotetrasiloxane, shampoo, hair conditioner, indoor air

^a Tokyo Metropolitan Institute of Public Health,
3-24-1, Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073, Japan

