

Title	モノの使い続けを支えるコーティング：サーキュラーエコノミーへの貢献に関する一考察
Author(s)	中村, 直道; 妹尾, 堅一郎
Citation	年次学術大会講演要旨集, 38: 1056-1061
Issue Date	2023-10-28
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/19246
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

モノの使い続けを支えるコーティング ～サーキュラーエコノミーへの貢献に関する一考察～

○中村直道, 妹尾堅一郎 (産学連携推進機構)

naomichi-nakamura@nposangaku.org

キーワード: コーティング、サーキュラーエコノミー、資源効率性、長寿命化

1. はじめに

コーティング (coating) とは、対象物の表面に薄い層を形成する技術であり、対象物の外的要因からの保護、耐久性の向上、機能の付加などを目的として様々な分野で広く活用されている。

例えば自動車のコーティングは車体を傷つけず長持ちさせて「モノの使い続け」を促進すると共に、洗車の水使用を削減する効能等もある。つまり、サーキュラーエコノミーへの移行に伴い、コーティングの役割・機能・意味などに関して再考を行う時機ではなかろうか。

本論文では、事例に基づき、コーティングの役割・機能・意味等を整理するとともに、今後のサーキュラーエコノミーへの貢献の可能性と問題・課題に関して考察を行う。

2. 本論におけるコーティングの定義

コーティングとは、物質表面を異なる物質の被膜や層で覆うという行為を意味すると共に、覆う側の被膜自体を指す場合もある¹。多くの場合は、物体・物質の表面に液体や粉末状の物質を塗布し、皮膜や薄い層を形成する。その目的は、対象物の表面に薄い層を形成することで、耐久性や防錆性、装飾性、摩擦抵抗性などの特性を向上させることだ。また、コーティングに使用される材料は、塗料、薄膜、化学物質、金属、セラミックスなど多様である。

コーティングの種類や技術、材料は、その目的に合わせて選択される。実際、古代から現在に至るまで、コーティングはさまざまなモノになされ、目的に応じて多種多様なコーティングが開発されてきた。例えば、自動車や建築物の外装には、耐候性を高めるための防食コーティングがなされ、電子機器や光学ディスプレイなどには、反射率や透過率を調整するための光学コーティングが施されている。

以上を踏まえ、本論ではコーティングを、物体の表面を被覆することによって、耐久性を向上させたり、見た目を美しくしたり、特定の機能を付加したりすることを目的として施す技術として定義する。

なお、厳密には「塗装 (ペインティング)」と「コーティング」は異なるが、本論では、対象物の保護を目的とする点では同様であることから、あえて両者を一緒にして「コーティング」として表記する場があることをお断りしておく。

3. コーティングの歴史²

3.1. 古代のコーティング

コーティングは、人類の歴史と深く結びついた技術であり、その展開は文化的な意味合いと技術的な進歩を示す。本章で、まずその変遷を俯瞰してみよう。

古代エジプトでは、木材や石材の表面に鉱物や植物由来の顔料を用いて塗装や装飾を行っていた。例えば壁画や装飾的な文字が施された建物や墓などがその代表である。また、建物の表面を保護するために、オイルやワックスが使われることもあり、建造物や彫刻が自然の要素からの影響を受けずに保存されることが可能となった。

古代ローマにおいては、建築物や彫刻、陶器などの表面を保護し美化するために塗装やコーティングが行われていた。当時は特に「フレスコ画」と呼ばれる壁画技法が一般的であった。これは、生の石灰と天然顔料を組み合わせて作った塗料を湿った状態で壁に塗布し、乾燥すると化学反応によって色を定着させる技法である。この技法により、耐久性のある美しい壁画が現代までその姿を残している。

中国や日本などの古代アジア文化でも、木材や漆器などに特殊な塗料やコーティング材料が使用されていた。特に日本の漆器は、漆の樹液を用い、耐水性や美しい光沢を持つコーティングが施されていた。特に漆器は贅沢品として高く評価され、宗教儀式や日常の食事などで広く用いられていた。

これらの古代のコーティング技術は、建築物や工芸品を保存し、美化するだけでなく、祭祀で使用さ

れた漆器のように、地域や集団の文化共有化の道具的な役割も果たしていたと言えよう。

このように、古代の人々は、その時代の最先端の技術を用いて、地域の資源・材料を駆使した作品を生み出していたのである。

3.2. 中世～近代のコーティング

中世ヨーロッパでは宗教的建築物や城が装飾の対象となり、金箔や彩色による塗装やコーティングが行われていた。これにより、建造物は特定の集団や文化の特徴を表現する社会的な機能や役割そして意味を持つことになった。それはまた技術的な精緻さや美的価値を競うものとなった。

また、産業革命の到来とともに、工業生産が進み、塗装やコーティングは交通機関や産業製品へと適用範囲を拡大させていった。

20世紀以降は、化学工業の進展により、塗料やコーティング材料の性能が向上した。自動車や航空機、建築物などの分野で、耐久性や保護性が求められ、塗装とコーティングは不可欠な要素となった。この時期には、特に防錆技術や腐食防止技術が進歩し、塗装とコーティングされる対象物の寿命を延ばすことに重要な役割を果たすことがより求められるようになった。

だが現代では、塗装材料やコーティング材料が、気候変動、大気・海洋・土壌汚染などの環境破壊の原因の一つとして問題視されている。主要な環境問題の一例としては、光化学オキシダントの発生要因ともなる有機溶剤の大気中への拡散や、ホルムアルデヒド等によるシックハウス症候群などが上げられる。また、環境ホルモン関連物質などの有害も問題視されている。これらの物質をどのように代替していくかと、環境に配慮した転換が求められているのだ。

このような背景から、水性塗料や低揮発性有機化合物（VOC）塗料など、環境への放出を行わない、あるいはその影響を最小限に抑えるというような取り組みが行われている。また脱石油資源も研究が進んでおり、化石資源からバイオマスのような再生可能資源への転換が試みられている。また水性塗料などをはじめ、さまざまな環境対応商品も市場に登場している。

このような状況であるものの、塗装やコーティングは、逆に、環境問題や資源枯渇問題にプラスの役割を果たす可能性もある。この点については、後述する。

4. コーティングの現在

現代においては上述の環境問題対処への一端として、特殊な機能を持つコーティング技術が進化し、様々な要求に応えている。本章では三つの例を取り上げる。

4.1. 防水コーティング

防水とは、「水の流入や浸透を防ぐこと」と定義されており³、対象物を水分や湿気から守る性質を意味する。防水製品は古くからあり、古代ローマ時代には油布が存在した。日本でも油障子や油紙があった。20世紀以降は、合成材料や化学薬品の進歩により、防水・撥水・親水・疎水等の機能を持たせる技術が発展した。

防水コーティングは、対象物を水や湿気から保護し、劣化や損傷を防ぐ。これはモノの寿命を延ばすのみならず、洗浄回数削減やエネルギー資源の削減といった効果をもたらすと注目されている。中でも撥水コーティングが価値を生む事例が多い。例えば、車両の外装に撥水コーティングを施すことで、雨や泥などが表面に付着しにくくなり、洗車の頻度を減少させることが可能にした。また、船舶の船体に撥水コーティングを施すと水の抵抗を軽減し、船の速度向上や燃費の削減に寄与する⁴。さらに建築物の外壁や窓ガラスに撥水性コーティングを施すことで、雨や汚れが表面に付着しにくくなり、外観の美観を維持すると共に洗浄の頻度を減少させることもできる。太陽光発電パネルの表面に撥水性コーティングを施すと雨や埃が付着しにくくなり、発電効率の低下を抑え、定期的なメンテナンスや洗浄の必要性を減少させることができる。

4.2. セルフクリーニングコーティング⁵

セルフクリーニングコーティングは、表面に施された皮膜が水分・油分・埃などの汚れを取り除いたり、臭い分子を分解して消臭したり、カビやウイルスの活動を抑制するといった機能を持つ。

このコーティングには光触媒が用いられている。光触媒とは、光を吸収して化学反応を促進する物質の総称であり、光が当たることで通常の触媒プロセスで困難な化学反応を常温で行わせることが可能となる。代表的な光触媒材料としては、酸化チタン(TiO₂)が良く知られている。これを対象物の表面にコーティングすることで、酸化分解効果が生じ、それによって汚れや汚染物質が分解される。

水質浄化を目的に浄水器や貯水槽といった分野に活用される一方で、空気浄化に役立つのでエアコンや空気清浄機などにも応用範囲を広げている。

このように、物体表面の清潔・美観を保ちやすくする機能の他に、環境浄化にも寄与する機能が注目されており、空気や水の質の向上や大気汚染低減など、環境保護や健康にも貢献することが期待されている。このようなセルフクリーニングコーティングを施した製品の特長は、汚れが付着しにくくなること、清掃が容易になることが挙げられる。

このような特徴は、長期間にわたって品質を保つことを可能にするので、製品寿命の延伸にも寄与すると考えられる。また、清潔な状態を自動的に長く保つことができるということは、洗浄や清掃に必要な化学物質や水の使用量を削減し、資源の節約や環境負荷低減にも繋がるといった効果が期待できる。つまり、「自然エネルギー利用による省エネルギー」、「メンテナンス省力化による省エネルギー」、「環境負荷低減による省資源と省エネルギー」に寄与できるだろう。

4.3. セルフヒーリングコーティング^{6,7}

セルフヒーリングは「自己修復」ともよばれ、物質や材料が外部から受けた損傷や破損を、自ら元の状態に戻すことを意味する。この能力は、生物界において細胞や組織が傷ついたり損傷を受けたりした際に自然に起こる現象の概念化を起点として注目されており、近年では人工的な材料や製品における開発でも注目されている。本節で述べる「セルフヒーリングコーティング」も、対象物の表面に形成された皮膜が破損や傷を自動的に修復する性質を持つ機能を意味するとしよう。

主な特徴や仕組みには、いくつかのパターンがある。

微小なカプセルに修復材料や化学物質が封じられており、皮膜が破損すると、カプセルが破裂して内部の材料が傷や損傷部に流れ込み、自動的に修復が行われるもの。

傷が発生した際にコーティング内の材料同士が再結合する能力を持っており、この再結合反応によって、傷ついた部分が自動的に元の状態に戻るもの。

特定の条件下で化学反応が起こり、修復が起こるもの。

自己修復の利点は、製品が自動的に修復されるため製品の外観や性能が長期間にわたって維持されるという点である。つまり製品の寿命を延ばすこと、メンテナンスの頻度を減少させることで製品の持続可能性が向上し、結果として環境への影響やメンテナンスに割かれる人員や資源などのリソースの消費を減少させる可能性も秘めている、というのだ。

例えば、川崎重工業株式会社の「ハイリーデュラブルペイント」がある⁸。同社は2018年に、2019年モデルの「ニンジャ H2 カーボン」と「ニンジャ H2 SX SE」において、自己修復機能を持った塗装を採用することを発表している。具体的には、硬い分子を柔らかい分子でつないだバネのような分子構造により、外部からの衝撃で傷がついた場合、分子がへこんで反発する「トランポリン効果」を発揮する。それにより、ある程度の範囲内であれば傷（塗膜のへこみ）をはね返すという。この特殊な塗装によって、きれいな状態で車両を保つことが可能になるという。

あらゆる製品は、長年使用することにより徐々に劣化していく。だが、「使い続け」したい場合は、修理・修繕等のメンテナンスを行うだろう。そのためには、製品自体の健康寿命をどれだけ伸ばせるかが重要になる。そこで自己修復によりセルフヒーリングコーティングの実用化が広まれば、機械・道路・水道管などのインフラなどのメンテナンスはより容易になり、更なる長寿命化が可能になるに違いない。

5. コーティングの役割・機能・意味の変容と多様化

5.1. 包む論から見たコーティングの変容の整理

本章ではコーティングの役割・機能・意味の変容と多様化を、共著者妹尾が以前より提案していた「包む論」⁹、すなわち「包まれるもの」「包むもの」「包み方」「包む道具」に分け、その関係から議論を行うフレームワークによって整理・考察を試みる。

古代から中世にかけてのコーティングでは、「包まれるもの」は建築物、家具、陶器、漆器などの土や石や木などの天然素材を基本としたものであった。「包むもの」は蜜、蠟、オリーブ油、漆など、これまた天然素材であり、これらが「包まれるもの」にコーティングされていた。「包み方」は基本的に手塗りや含浸などの手作業が主であった。「包む道具」は、刷毛やローラーなどの技能を必要とする道具類だった。主たる価値は「包まれるもの」、すなわち対象物にあり、それをコーティングによって保護し長寿命化を図ったり、装飾で美的価値を高めていたといえる。

図表 1 包む論のフレームワーク



参考：宮本聡治、妹尾堅一郎、伊澤久美 et al. 「(株)悠心のビジネスモデルと知財マネジメント～本体・消耗品モデルに関する一考察～」日本知財学会第17回年次学術研究発表会予稿集，2019年

このような「包むもの」、「包まれるもの」という二つの要素の進展に伴い、「包み方」や「包む機械」も、それぞれ進展した。すなわち含侵法、スプレー法、塗装用のブラシやローラー、スプレー装置などが登場し、使用されるようになったのである。

中世から近世にかけては、従来の自然素材に加えて、鉄鋼という人工素材も加わり、橋梁などの鉄骨構造物や船舶なども対象に加わっていった。また「包むもの」は人工塗料やラッカーなどの化学的な合成材料が加わった¹⁰。これにより塗膜の性能が大幅に向上し、コーティングによる機能付与が可能になった。例えばラッカーは、それまで数日を要していた塗膜化の時間を、時間単位、分単位、秒単位までに短縮化した。紫外線硬化塗料などは、更に短時間でのコーティングを可能にした。コーティング時間の短縮化は大量生産に大きく貢献したのである。

図表 2 「包む」4要素の変遷

	古代～中世	中世～近世	近現代
包まれるもの	家具、陶器、漆器など	橋梁、構造物、船舶など	自動車、電子機器など
包むもの	天然素材	無機有機合成材料	化学合成材料
包みかた	手塗り、浸漬など		含侵法、スプレー法、電着塗装
包む道具	刷毛、ローラーなど		機械化 ロボット化
役割	モノの保護、美観の向上 (主に祭祀など)		モノの保護、美観の向上(装飾) 機能性の向上

以上のように、4要素の相互関係が進展することで、コーティングは「包む」範囲を広げていった。また、「包みかた」×「包む機械」×「包むもの」の刷り合わせ技術も精緻化が進み、「包み方」すなわちコーティングプロセスの自動化や効率化、均一コーティングを可能にした。そしてこれらは「包まれるもの」自体の大量生産や様々な機能付与、バラつきの低下等、生産性と品質の向上といった価値形成を推し進めたといえる。

「包まれるもの」は、石油化学が発達した現代になると、自動車や電子機器から食品包装や衣料品まで多岐の分野にわたるものが対象になった。さらにアルミニウムなどの合金製品やプラスチックなどの石油化学製品自体も「包まれるもの」になり、コーティングの対象となっている。

「包むもの」は、高度な化学合成材料(合成樹脂等)が開発され、耐候性、耐熱性、耐薬品性、耐摩耗性など、特定要件に合わせて設計された機能材料としてコーティングに寄与するようになった。

「包み方」はスプレー塗装、含侵法、電着塗装などが挙げられる。塗料を液状のまま、あるいは霧状(微粒化)にしてコーティングしたり、といったように、「包まれるもの」の形状、大きさ、数量に応じて最適な方法を選択できるようになった。これはコーティングの効果的効率化を可能にしている。

「包む道具」は、手作業道具から機械化に進展し、熟練工が機械に置き換えられつつある。また近時、自動化・ロボット技術、さらにはAIの進歩により、より高精度にコーティングを行える装置化も進んでいる。

以上のように変遷を俯瞰すると、コーティングは「包むもの」・「包み方」・「包む機械」の3つの要素の刷り合わせにより、「包まれるもの」に応じた機能性付与と効果的効率化が進展していることが分かる。

5.2. コーティングの正の側面と負の側面

コーティングは広範な産業分野において重要な役割を果たしており、物体や表面の保護、美観の向上、機能性の追加など多くの役割を提供してきた。これらは正の側面としてみることができる。他方、負の側面にも目を向けなければならない。例えば、環境汚染、人体への影響があり、また再資源化が難しい

ことなど、今後に向けた新たな問題を生み出してきているのだ。以下、これらの負の側面を整理しつつ、その関係性を考察していく。

5.2.1. 混合物の分離の難しさ

コーティングが施された物や、コンパウンド（複合化）されたコーティング素材自体は、分離や分解が難しい。リサイクルや再利用のプロセスが複雑化し、再資源化が難しくなるのだ。いわゆる「コンタミ（コンタミネーションの略）」である。

コンタミが再資源化を困難にしている例として感熱紙が挙げられよう。感熱紙の表面には熱が伝わり、黒く印字される特殊インクが塗られており、印刷の際にインクカートリッジやリボンの交換が不要で、印刷ヘッドの交換頻度も低く、省スペースで印刷ができる。他方、古紙等のリサイクルでは、感熱紙が混入していると、回収古紙を溶かし乾燥させる工程において、感熱紙に塗られていた特殊インクが熱に反応してしまい、再生紙にチリや斑点となって現れてしまうのだ。この理由から感熱紙はリサイクルに不向きな禁忌品と呼ばれている¹¹。一般生活で頻繁に受け取るレシートもこの感熱紙を使用している。日本国内で1年間に消費されるレシート用紙の量は約5.4万トンで、A4サイズのコピー用紙（約4g/枚）換算では約135億枚分に上り、基本的に焼却処分せざるを得ない¹²。

なお、コンタミ問題を解決し、また紙の廃棄物減少を可能とするこの問題の解決に向けて、電子レシート・スマートレシートと呼ばれるデジタル化への移行が検討されている。

5.2.2. 環境負荷と健康への影響¹³

一部のコーティング材料には環境負荷や健康への影響がある可能性がある。例えばフッ素コートに使われている「フッ素樹脂」は、プラスチック原料のひとつであり、耐熱性、撥水、撥油性、すべり性、耐薬品性、電気絶縁性など優れた特性を持っている。フッ素化合物のひとつであるPFOAは、20年ほど前から幅広い製品に使用されてきた。

しかし2000年にアメリカで、工場からの排水にPFOAが含まれて近隣地域の水を汚染するという事故が発生した。フッ素は永遠の化学物質（フォーエバーケミカル）とされ、分解されることがほとんどないため環境に残ってしまう。PFOAは環境汚染の原因物質として、2019年に国連会議で製造と使用が禁止された。しかしフッ素製品は便利なことから既に多様な製品に使用されており、現在、既存の残存品による環境への影響が危惧されている。

また、コーティングで使用される溶剤には揮発性有機化合物（VOC）¹⁴が含まれる。このVOCは大気中に揮発し、大気中の光と反応して光化学スモッグやオゾン、PM2.5の生成などに関与する。VOCは揮発する際に有毒な化合物を含むことがあり、吸入すると呼吸器系の疾患やアレルギー反応を引き起こされる。

以上のように、コーティングは主として使用素材（包むもの）に負の側面が多く存することが分かる。

そこで正と負の両側面のバランスを保つことが重要であると考えられる。

例えば、耐久性を高めるためには、より耐摩耗性を高める設計を行うことが近道だが、その材料が希少資源を多く消費したり、分離の難しさゆえに使用後の再資源化を困難にさせるのならば、環境や資源枯渇のリスクを含めて検討する必要があるはずだ。そこでトレードオフの関係を考慮しながら、選択を行うことが求められるだろう。また、素材自体をコンパウンド化素材から、コンパウンド素材同等の機能性を出す安全なモノ素材への転換が求められている。

5.3. サーキュラーエコノミーにおけるコーティングの貢献と可能性

英国のエレン・マッカーサー財団は、サーキュラーエコノミーへの移行を目指す原則として、①廃棄物や汚染を生み出さない設計（デザイン）を行う、②製品や原材料を使い続ける、③自然のシステムを再生する、という3つの項目を掲げている。このサーキュラーエコノミーの原則に準拠するとすれば、コーティングはどのような貢献が可能になるのだろうか¹⁵。

コーティングは複数の層や材料から構成され、その殆どは対象物と化学的に結合することで一体化される。金属やプラスチックの上にコーティングがされている場合、これらを異なる材料として分離してリサイクルすることは困難となる。そこで対処法として、プラスチックフィルムにコーティングを施して対象物に貼付する方法がある。例えばラッピングフィルム¹⁶などは、電車・バス・航空機などに広告を描くために広く用いられ、塗装代替の役割を果たしている。広告としての機能だけでなく、フィルムを剥がすことで換装が可能になることから、一時的な変更を容易にする。つまり、コーティングされたフィルムは分離の機能を有しているといえる。そこでこのフィルムに生分解性の原料または再原料化が可能となる分解性を有した素材を採用することで、更なる資源の有効活用が可能になるかもしれない。

このように分離・分解するプロセスを取るか、一体化したまま使用し続けるか、コーティングの分離

とリサイクルには様々な選択肢があるように見える。持続可能な循環経済を実現するためには、材料選択やコーティング方法は、コーティング技術やリサイクルプロセスなど、さまざまな側面を先行して配慮する手順が求められるだろう。

他方、コーティングは製品の耐久性を向上させ、製品の寿命を延ばすことに役立つ。なので資源生産性からみると使用資源削減に貢献しているとも言える。例えば、自己修復コーティングや耐久性を高めるコーティングは、製品の寿命を延ばし、資源生産性を高めると共に使用済み製品の廃棄を減少させる可能性もあるだろう。

また、近年は環境配慮型の素材や製品の開発も進んでいる。例えば生分解性の原材料を使用したコーティングは、自然環境への影響を最小限に抑え、水や空気の浄化作用果たすことが期待されている。

このように、コーティングは対処すべき問題的な側面はあるものの、循環経済における資源生産性を高める側面もある。今後はこれらの両側面を配慮したコーティングの研究と実装が重要となるだろう。

6. むすび

本論では、コーティングの歴史や実状を俯瞰し、循環経済における問題と課題を整理した。コーティングがもつ保護・美観・機能性の向上は、我々の生活の利便性向上に大きな貢献を果たしてきた正の側面である。他方、大量生産・大量消費の線形経済の時代において利便性を追求した結果、環境汚染等の負の側面を拡げていった。これら正と負のバランスは、コーティングだけではなく、対象製品やプロセス全体を、環境への影響、資源利用、エネルギー消費などを含めて評価し、総合的に評価することで判断しなければならない。この観点から今後さらに十分に調査研究が必要であると考えられる。

参考文献（各 Web サイトへの最終アクセス日：2023 年 9 月 20 日）

- 1 一般社団法人粉体工学学会ウェブサイト「粉体工学用語辞典 コーティング」
- 2 国立科学博物館産業技術史資料情報センターウェブサイト「塗料技術発展の系統化調査」
(<https://sts.kahaku.go.jp/diversity/document/system/pdf/060a.pdf>)
- 3 広辞苑 第七版、岩波書店
- 4 内藤昌信「生物に学ぶ船舶の低炭素化」第 520 号（2022.04.05 発行）海洋政策研究所
- 5 日本ナノテック株式会社 ウェブサイト「アリテラス OS）光触媒工業会 PIAJ 認証取得に関するお知らせ」
(<https://n2-tec.co.jp/news/piaj/>)
- 6 朴 峻秀、大崎 基史、高島 義徳、原田 明「ポリマーを用いた自己修復材料の動向とそのアプローチ」
日本画像学会誌第 59 巻第 4 号：P395-403（2020）
- 7 理化学研究所プレスリリース「迅速な自己修復性を示す機能性材料の開発に成功
ーさまざまな環境で自己修復できる実用材料の開発に期待ー」2021 年 11 月 11 日
(https://www.riken.jp/press/2021/20211111_1/index.html)
- 8 川崎重工業株式会社 web サイト 「カワサキ初のスマートフォン接続機能などの改良を施し Ninja H2/ Ninja H2 Carbon と、より商品性を高めた「Ninja H2R」2019 年モデルを新発売」
(https://www.khi.co.jp/pressrelease/detail/20180810_1.html)
- 9 宮本聡治、妹尾堅一郎、伊澤久美「(株)悠心のビジネスモデルと知財マネジメント～本体・消耗品モデルに関する一考察～」日本知財学会第 17 回年次学術研究発表会予稿集，2019 年
- 10 鹿島建設株式会社ウェブサイト「橋の歴史物語」
(https://www.kajima.co.jp/gallery/const_museum/hashihistory/03/main3.html)
- 11 川崎市ウェブサイト「よくある禁忌品」
(<https://www.city.kawasaki.jp/300/cmsfiles/contents/0000082/82029/kinki.pdf>)
- 12 東芝テック株式会社 Web サイト「スマートレシート」
(https://www.toshibatec.co.jp/tecfiles/pdf/about/csr/2015/csr2015_05.pdf)
- 13 朝日新聞デジタル「「心配ない」と言われたが 血液から 30 倍の化学物質」2021 年 3 月 27 日
- 14 経済産業省ウェブサイト 「国内における VOC の現状と抑制の取組について」
(https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/sangyo_kankyo/pdf/002_01_00.pdf)
- 15 エレン・マッカーサー財団 web サイト「ページのタイトル」
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>
- 16 3M ジャパン Web サイト「サイン&ディスプレイ」(https://www.3mcompany.jp/3M/ja_JP/graphics-signage-jp/applications/cwf/)