

社会動向レポート

グリーン・ケミストリー推進に向けた戦略のあり方

～化学物質 PFAS の規制の広がり と 欧米企業の対応の最前線～

環境エネルギー第2部

主任コンサルタント	コンサルタント	主任コンサルタント
後藤 嘉孝	庭野 諒	秋山 雄
	コンサルタント	コンサルタント
	関 理貴	佐々木 佑真

1. はじめに

現在、ペルフルオロアルキル物質及びポリフルオロアルキル物質(PFAS)と呼ばれる一群の合成化学物質の規制が世界各国で広がりを見せているほか、米国ではPFASを製造・取扱う企業に対する数多くの訴訟、NGOや消費者からの関心の高まりを受け、米マクドナルドやAmazon等、一部の企業はPFAS関連製品の代替戦略を積極的に公表している。

代替戦略の策定にあたっては、グリーン・ケミストリー (Green Chemistry)⁽¹⁾のコンセプトを考慮することが重要である。グリーン・ケミストリーとは、化学物質のライフサイクル全体において、人体及び環境への負荷を低減しようとするコンセプト及び技術の総称である。

本稿では、PFAS規制の概要や今後のPFAS関連製品における企業のリスク、さらに企業の機会としての欧米企業のPFAS代替の動向、そして最後に“グリーン・ケミストリー”推進に向けた有害物質代替の戦略策定のポイントを整理した。

多くの企業がPFAS関連製品のサプライチェーンにおいて関わっている可能性があり、PFAS規制及び企業動向を把握し、PFAS関連製品におけるリスクを回避するための戦略策定が求められている。

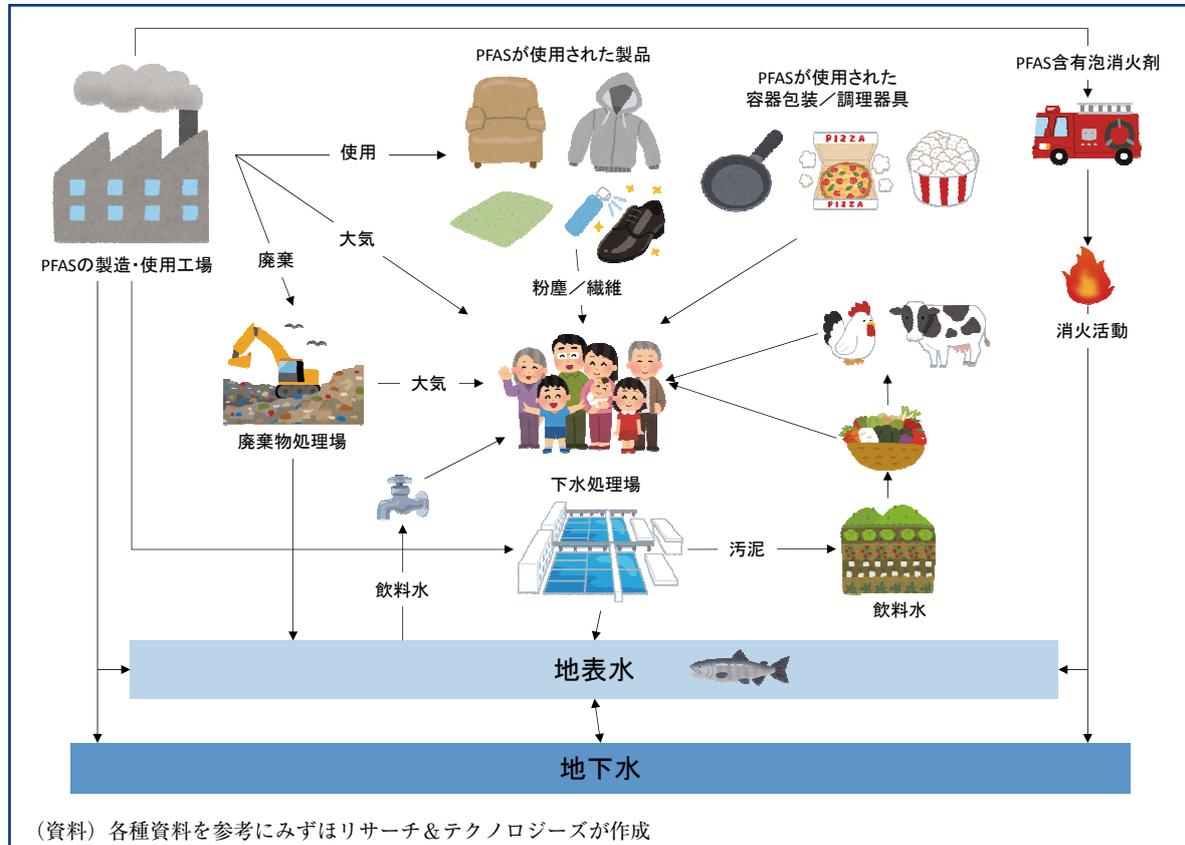
2. PFASとは

PFASは、ペルフルオロオクタンスルホン酸(PFOS)、ペルフルオロオクタン酸(PFOA)、またはその代替物質であるペルフルオロヘキサンスルホン酸(PFHxS)や新しい短鎖有機フッ素化合物(GenXなど)、及びその他多くの化学物質を含む有機フッ素化合物の総称であり、分解されにくく蓄積されやすいため、永遠の化学物質(Forever Chemicals)と呼ばれる。

PFASは、図表1に示す通り調理器具、容器包装、消火剤、塗料、防汚剤等、人々が日常的に使用するさまざまな消費者製品に含まれている。PFASには、4,700種類の化学物質が含まれる可能性がある⁽²⁾と推定されている。

PFASには、PFOS、PFOA、PFHxSのように様々な種類について略称で呼ばれている物質

図表1 PFAS の広がり人とへの暴露経路



があり、このうち PFOS と PFOA は、これらの化学物質の中で最も広範囲に製造され、研究されてきた。

PFAS の名称は、図表2に示すように炭素数や末端の官能基(スルホン酸、酸)の違いで名称が決められているものもある。炭素鎖長8である PFOS と PFOA が残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約により規制対象として挙げられた結果、代替物質として鎖長の異なる PFHxS や Gen X という類似の構造を持つ物質が用いられるようになってきている。

3. PFAS の毒性 ～ワクチンの有効性低減の可能性～

PFAS は、外部からの作用に強く、自然界で分解するのに数千年かかるという難分解性から、

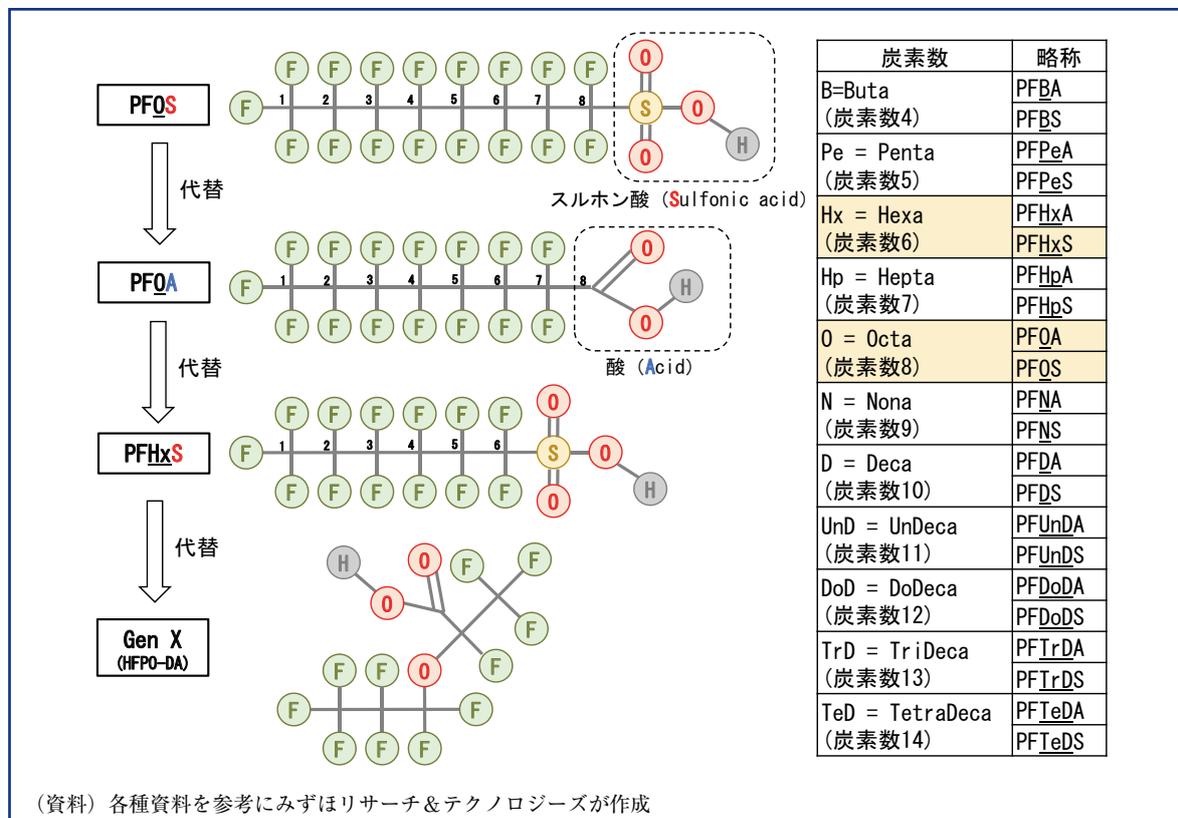
環境残留性や生態蓄積性が近年注目され、問題となっている。また、腎がん、精巣がん、甲状腺や肝機能障害、高コレステロール値等の有害影響があり、ヒト健康有害性が懸念されている。

最近の研究では、PFAS の一部の物質への暴露が免疫系を阻害しワクチンの効能を減退させることを明らかにしており、新型コロナウイルス感染症のパンデミック下において非常に注目されている。

Grandjean らの研究(2012)⁽³⁾は、血液中の PFOS・PFOA・PFHxS 濃度が高い子どもは、破傷風、ジフテリアを予防するワクチンへの反応が弱い傾向にあることを示している。

また、Looker ら(2014)⁽⁴⁾は、成人411人を対象にした疫学調査により、PFOA の血液濃度が高いほど、インフルエンザワクチンによる抗

図表2 PFAS に含まれる化学物質及び代替の流れの例



体ができにくいことを示している。

こうした研究結果を踏まえ欧州食品安全機関 (EFSA)は2020年9月、「Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food」⁽⁵⁾において、PFASの耐容週間摂取量(TWI)を決定する際に考慮すべき最も重要な人体への影響を、ワクチン接種に対する免疫系反応の低下と述べている。

4. PFASの規制動向

現在、世界各国において大きく規制が動いている。ここでは、欧米におけるPFAS規制の概観を述べる。ただし、2021年8月時点の情報であり、PFAS規制の議論は今も進行中であるため、適宜最新の状況を確認されたい。

(1)米国⁽⁶⁾

米国環境保護庁(EPA)は、2019年2月に発行されたPFASアクションプラン(2020年2月に更新)に基づき、PFAS管理の取り組みを進めている。

有害物質規制法(TSCA)における重要新規利用規則(SNUR)による管理、緊急対処計画及び地域住民の知る権利法(EPCRA)における有害化学物質排出目録(TRI)プログラムで2020年の報告対象として172種類のPFASを追加することが決定されたほか、安全飲料水法(SDWA)による飲料水安全規制のための最大汚染レベル値(Maximum Contaminant Level : MCL)の設定検討、包括的環境対処補償責任法(CERCLA、スーパーファンド法)におけるCERCLA有害物質として指定するか否かの検討等が行われている。

図表3 2020年度国防授権法(NDAA)におけるPFASに関して遵守すべき行動

- ✓ PFASの監視及び検出データを、施設に隣接する自治体及び飲料水事業者と共有する
- ✓ 飲料水を介したPFASへのDOD職員とその家族又はコミュニティの暴露に関する「情報交換所(“a clearinghouse for information”)」を提供する
- ✓ DOD活動に起因するPFAS汚染地域の試験、監視、除去、及び修復に対処するために、州と協力協定を締結する
- ✓ 毎年の健康診断において、全てのDOD消防士にPFASの血液検査を実施する
- ✓ DOD活動から米国EPAの健康勧告を超えるPFOA又はPFOSで汚染された水が農業目的で使用されないようにする

(資料) みずほリサーチ&テクノロジーズが仮訳

また2020年度国防授権法(NDAA)⁽⁷⁾を通じて、議会は国防総省(DOD)がPFASに関して遵守しなければならない行動を義務付けており、図表3が挙げられている。さらに2020年度国防授権法(NDAA)に基づく法定要件において、2011年以降にPFASの製造・輸入を行ったすべての事業者に対して、2011年以降のPFASの製造・加工数量等の広範な情報を報告することを義務付ける規則案を公表⁽⁸⁾している。

そのほか、米国食品医薬品局(FDA)は、食品容器包装等の「食品接触材料」に追加されるPFASを含む化学物質について、食品接触通知(FCN)プロセスを介して、人健康及び環境の安全性の懸念についてレビューを行っている。2020年7月には、製造業者3社が、紙・板紙製の食品包装の防食グリースとして使用されるPFASの一種である6:2フッ素テロマーアルコール(6:2FTOH)を含む食品接触物質の販売を、自主的に2021年から3年間で段階的に廃止することでFDAと合意⁽⁹⁾している。

(2)米国州

図表4に示すように、米国において州レベルでPFAS規制が進んでおり、消火用発泡剤、食品包装紙、子供向け玩具等の製品におけるPFASの使用禁止を定めている。対象製品は州によって段階に差があるものの、PFASの使用が「必要不可欠」と認められない限り、安全性を求め

る意見を反映して、すべての製品でPFASの使用禁止が要求される傾向が広がると考えられる。

図表5に例として、特に注目する3つの州の規制の動向を記載する。

(3) EU⁽¹⁰⁾

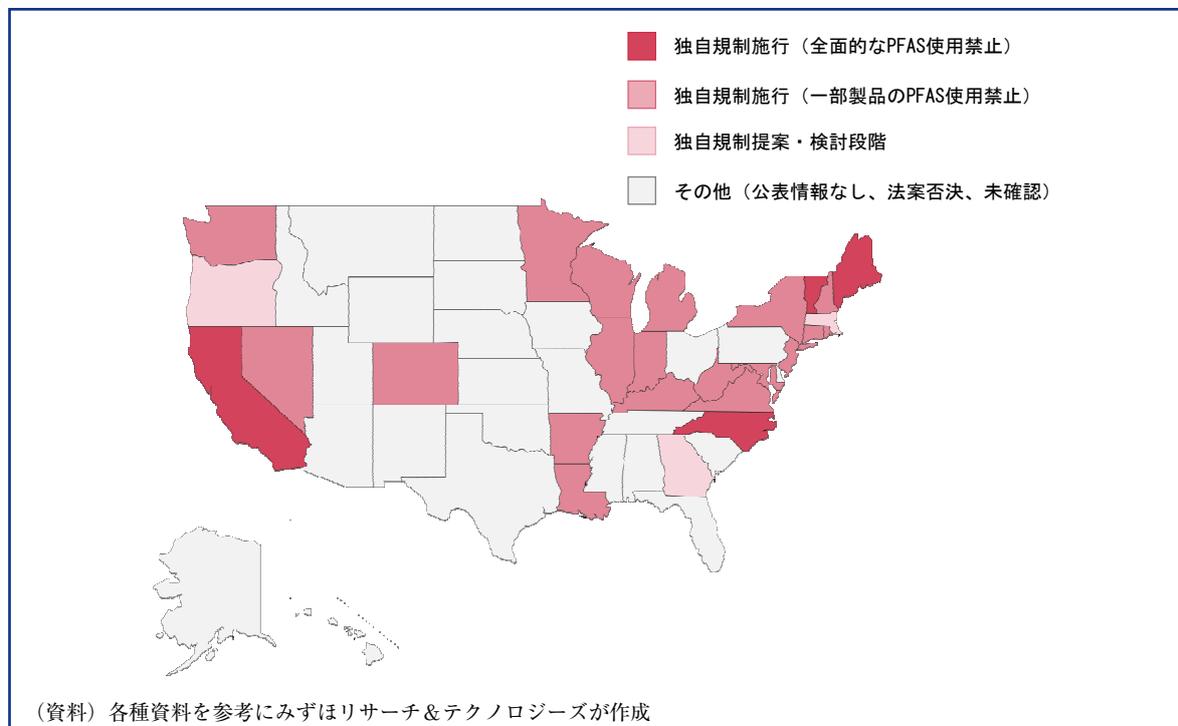
PFASには、土壌や水(飲料水を含む)をEU及び世界中で汚染した多数の事例があり、それにまつわる公害病を発症した人の数、関連する社会的及び経済的コストを考慮すると、特に注視しなければならないとして、必要不可欠な用途(エッセンシャルユース)以外は、EUでのPFASの使用を段階的に廃止するとしている。

現在、欧州の化学物質管理規制であるREACH規則等において、進行中の規制提案又は最近採択された規制は図表6の通りである。この中で、特にPFAS全体に対する制限提案については、エッセンシャルユース以外は原則禁止となる提案になると予想される。

(4)日本

PFOSについて、有害性や難分解性等の性質を有することから、残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約(以下「POPs条約」という。)の第4回締約国会議(2009年5月)において、附属書B(制限)に追加され、国内においては2010年4月に化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律(化審法)により第一種特定化学物

図表4 米国各州における製品含有PFAS使用の規制状況



図表5 州レベルのPFAS規制の事例

州	事例
カリフォルニア州	<p><u>2020年8月</u> PFAS を含有するクラス B 泡消火剤[※]の製造、販売、使用を禁止する法案を承認。 ※ガソリン・灯油等の液体燃料火災に対応する消火剤 化粧品成分として含有が禁止される12物質の1つとしてPFAS を選定。 SCP (Safer Consumer Products)プログラムの優先製品として、PFAS を含有する食品包装紙が選定。</p> <p><u>2021年4月</u> PFAS を含有する食品包装紙の販売を禁止する法案が承認。</p> <p><u>2021年5月</u> 有機フッ素の総量が100ppm 以上含有される子供向け製品の販売を禁止する法案が承認。代替物質についても、Prop65 (安全飲料水及び有害物質施行法)で定める生殖又は発生毒性物質としてリストされていないことを義務付け。</p> <p><u>2021年6月</u> SCP プログラムの優先製品として、PFAS を含有するカーペット及びラグを選定。</p>
メイン州	<p><u>2021年7月</u> PFAS を含有するすべての製品の販売を、製品群に応じて段階的に禁止する法案が承認。同時に州で販売されているすべてのPFAS 含有製品を環境保護局に報告することを義務付け。</p>
バーモント州	<p><u>2021年5月</u> PFAS を含有する泡消火剤、食品包装紙、カーペット、ラグ、スキーワックス等製品の販売を禁止する法案が承認。また子供向け製品については、PFHxS、PFHpS、PFNA を含有する場合は報告を義務付け。</p>

(資料) 各種資料より、みずほリサーチ&テクノロジーズが作成

図表6 EUにおけるPFAS規制の事例

規制	アクション	対象物質	ステータス等
EU 飲料水指令	基準値の改訂	PFAS 全体又は特定の PFAS	2021年1月12日に発効した EU 飲料水指令の改訂において、全 PFAS に対して0.5µg/L、特定の20種類の PFAS の合計値0.10µg/Lの基準値が設定された。全ての PFAS をグループとして規制するアプローチが採用される。
REACH 規則	制限	PFHxS とその塩及び関連物質	ノルウェーが制限提案を提出、パブリックコンサルテーション等を経て、2020年11月に制限提案に対する RAC 及び SEAC の共同意見を公表。
REACH 規則	制限	PFHxA とその塩及び関連物質	ドイツが制限提案を提出、パブリックコメントの実施が終了。
REACH 規則	制限	C9-C14 PFCA	2017年10月6日にドイツとスウェーデンが欧州化学物質庁 (ECHA) に制限提案を提出。2021年8月に採択。
REACH 規則	制限	泡消火薬剤における PFAS の制限	欧州委員会の要請に応じて、欧州化学物質庁 (ECHA) は制限提案意向を欧州委員会へ提出。2021年10月に制限提案を提出予定。
REACH 規則	制限	PFAS 全体	オランダとドイツは、ノルウェー、デンマーク、スウェーデンの支援を受けて、2019年12月に環境評議会 (Environment Council) の声明を支持し、PFAS の幅広い用途をカバーする制限案の作成に取り組むことを発表。2022~2023年に欧州化学物質庁 (ECHA) の科学委員会で議論され、2025年に発効する可能性があるとしている。

(資料) 欧州化学物質庁(ECHA)ホームページより、みずほリサーチ&テクノロジーズが作成

質に指定され、製造・製品への使用は禁止されている。また PFOA についても同様に、第9回締約国会議(2019年5月)において、附属書 A (原則禁止)に追加され、2021年4月21日に化審法第一種特定化学物質に指定する政令を公布、10月22日に施行⁽¹¹⁾され、製造・製品への使用は禁止されている。

PFOS 及び PFOA は、国内でも一部の地域で飲み水や地下水から高い濃度で検出されている。

環境省が令和2年度に実施した調査では、143地点の河川等について測定した結果、133地点で PFOS 及び PFOA が検出⁽¹²⁾された(図表7)。両物質については2020年4月、厚生労働省は PFOS 及び PFOA を水道水における水質基準の水質管理目標設定項目に位置づけ、暫定目標値を PFOS 及び PFOA の合計値として50ng/L⁽¹³⁾とした。また環境省は2020年、河川や地下水等の水環境における指針値(暫定)として、PFOS

図表7 日本における PFAS の測定結果

調査物質	調査名	調査年度	測定地点数 (検出地点数)	検出値 (ng/L)	指針値超過地点数
PFOS+PFOA	要監視項目	令和2年度	143 (133)	<0.3~ 5,500	21 (12都道府県)
	要調査項目	令和2年度	47 (36)	<0.1~28	—
PFHxS	黒本調査	令和元年度	48 (45)	nd~ 1,800	—

(資料) 各種資料を参考にみずほリサーチ&テクノロジーズが作成

及びPFOA合わせて50ng/L⁽¹⁴⁾とした。前述の環境省の調査では、検出された133地点のうち、21地点で指針値(PFOS及びPFOAの合算値で50ng/L)の超過が確認された。

またPFASは米軍基地内の泡消火剤で使用されており、2016年1月には沖縄県企業局が北谷浄水場の水源で高濃度のPFOSが検出されていると公表⁽¹⁵⁾した。また2021年2月に航空自衛隊那覇基地から泡消火剤が流出した事故では、指針の128倍にあたる最大6,390ng/Lが検出⁽¹⁶⁾されている。

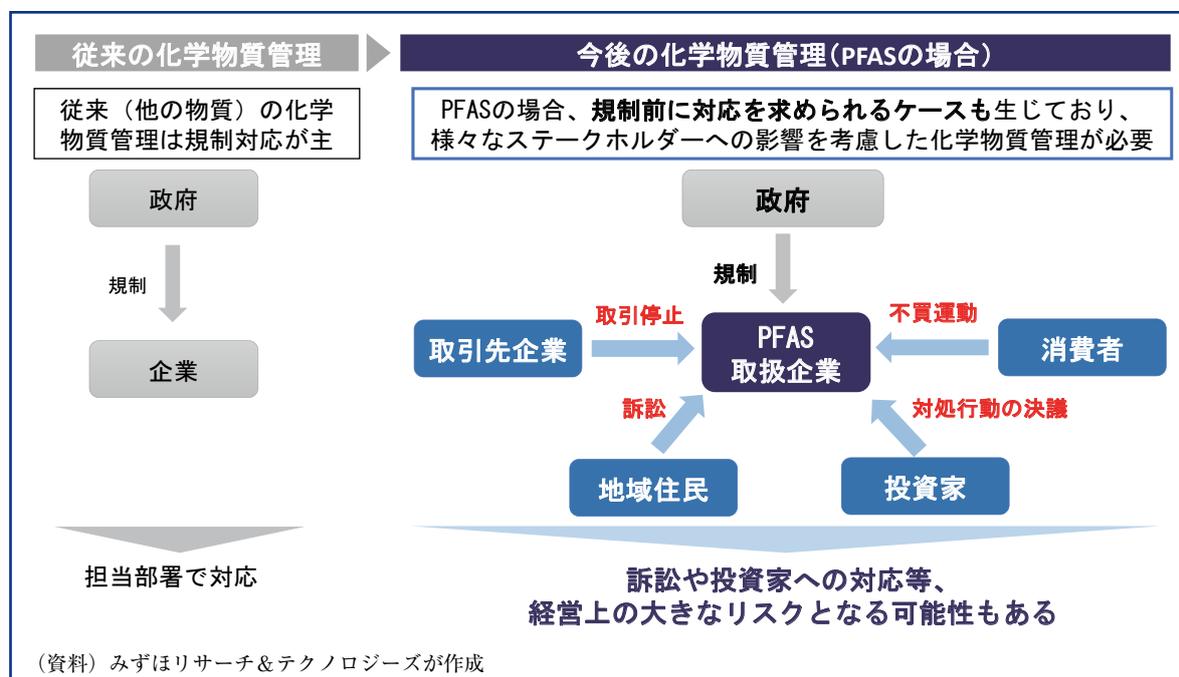
5. 企業におけるリスク

4.で述べた規制強化に加え、今後企業がPFASを扱うことによる経営上のリスクは多数存在する。具体的には、①訴訟、②消費者運動・不買運動、③取引停止である(図表8)。

またPFASの難分解性という特徴から、今後は上記に加え④PFAS含有製品の廃棄も課題になると考えられる。またESG投資の観点で投資家からの関心も高く、今後はPFASへの対処が求められる可能性もある。

ここでは、①訴訟、②消費者運動・不買運動、③取引停止及び④PFAS含有製品の廃棄のリスクについて詳細を説明する(図表9)。

図表8 PFASを取り扱う場合における経営上のリスク



図表9 PFAS による経営上のリスクが顕在化した例

リスク	企業の例	概要
①訴訟 (詳細は(1))	DuPont、Chemours、3M	流出した PFAS により健康被害に対する訴訟
	P&G	歯間フロスに対する PFAS の健康リスクを前提とした消費者保護法に基づく権利侵害に対する訴訟
	Amazon	「堆肥可能」というラベルが表示された使い捨て食器について、について、PFAS 難分解性から虚偽表示とする訴訟
②消費者運動・ 不買運動 (詳細は(2))	McDonald's	米 NGO・NPO 団体が食品包装中の PFAS 含有可能性を公表。全米 70,000人以上の消費者が米マクドナルド CEO に対する食品包装中の PFAS 使用禁止を求める請願書に署名
	米大手スーパーマーケットチェーン、カーペットメーカー	米 NGO・NPO 団体が製品分析結果、PFAS 含有可能性を指摘
③取引停止 (詳細は(3))	Amazon	サプライヤーに対して自社ブランドに使用される食品包装材料への意図的な使用を禁止
	Apple	規制物質リストに PFAS を追加し、サプライヤーへ本リストに記載のある化学物質の使用を削減又は排除するよう要求等
④廃棄段階 (詳細は(4))	廃棄物処分場(米ニュー ヨーク州)	焼却施設での PFAS 漏洩事故(十分に高温でなかったために多くの PFAS が分解されず、自然環境中に放出)

(1)訴訟(川上～川下企業)

DuPont や3M といった主要な PFAS 製造業者は近年米国を中心に、多くの集団訴訟を受けている。

2017年には、DuPont 及びその元子会社である Chemours は、米ウエストヴァージニア州の工場から河川に流出した PFAS により健康被害を受けたとする約3,500件の訴訟に対して、約6億7千万ドルの和解金を支払うと発表した⁽¹⁷⁾。

また2019年には、3M は、公共浄水施設における PFAS 除去費用として、アラバマ州にある水道事業者に約3千5百万ドルを支払うことに合意したと発表した⁽¹⁸⁾。

さらに、PFAS メーカーだけでなく、PFAS を使用した製品メーカーや、それらを販売する小売企業に対する訴訟事例も近年みられる。

例えば、米大手消費財メーカーのプロクター・アンド・ギャンブル(P&G)は2019年、自社が製造する歯間フロスに対する集団訴訟を受けた⁽¹⁹⁾。原告の主張は、PFAS の健康リスクを前提とし

た消費者保護法に基づくものである(ただし、本訴訟では PFAS による健康リスクは証明されず、訴訟は棄却された)。

さらに、訴訟事例は消費者の健康上のリスクに関連するものに留まらない。米通販大手アマゾン(Amazon)は2020年、“compostable (堆肥可能)”というラベルが表示された使い捨て食器を購入した消費者から集団訴訟を受けた。原告はこのラベルに対して、本商品中には PFAS を含有しており、その難分解性から虚偽にあたりと主張している⁽²⁰⁾。

このように、製品中への PFAS の使用は、消費者の健康面及び環境面(環境残留性や生態蓄積性)の両面から、企業の訴訟リスクとなっている。

(2)消費者運動・不買運動(川下企業、小売企業)

最終製品メーカーや小売企業において、環境 NGO・NPO による製品中の PFAS 含有分析結

果の公表をきっかけに消費者運動が発生し、対応に迫られるケースが近年多々みられる。

2020年8月には、米 NGO・NPO 団体がレポート「Packaged in Pollution: Are food chains using PFAS in packaging?」⁽²¹⁾において、米マクドナルド(McDonald's)が使用する食品包装中の PFAS 含有可能性を公表した。それ以来、全米70,000人以上の消費者が米マクドナルド CEO に対する食品包装中の PFAS 使用禁止を求める請願書に署名し、さらに2020年11月には、米発達障害協会アーク(The Arc)及び20以上の発達障害者の支援団体が食品包装における PFAS 使用の禁止を呼びかけた。こうした消費者の懸念を踏まえ、投資家は2020年12月、食品包装中の懸念物質への対処行動を開示するよう求める株主決議を提出するに至った。

この消費者運動のきっかけとなったレポート「Packaged in Pollution: Are food chains using PFAS in packaging?」では、米マクドナルドに加え、米大手ファストフードチェーン2社、米大手健康食品チェーン3社の食品包装の分析結果及び PFAS 含有可能性が示されており、各社同様に対応に迫られている。

さらに、最終製品メーカーや小売企業への同様の動きは上述以外に複数存在する。レポート「Take out toxics –PFAS chemicals in food packaging–」⁽²²⁾では米大手スーパーマーケットチェーン5社、レポート「Testing Carpet for Toxics: Chemicals affecting human health and hindering the circular economy」⁽²³⁾では米大手カーペットメーカー6社の製品分析結果及び PFAS 含有可能性が示されている。

(3)取引停止(川上～川中企業)

上述した流れの中で近年、米国の川下企業及び小売企業の一部は、数年以内に製品中への PFAS の使用及び含有を禁止することを掲げて

いる(詳細は、6.で説明)。今後は、PFAS への対応を実施しない川上～川中企業は、取引停止という形でサプライチェーンから排除される可能性がある。

例えば、米アマゾン(Amazon)は化学物質ポリシーにおいて、食品接触材料制限物質リスト(RSL)に PFAS 全てを追加し、Amazon Kitchen ブランドに使用される食品包装材料への意図的な使用を禁止している⁽²⁴⁾。同様に、米アップル(Apple)も規制物質リストに PFAS を追加し、サプライヤーへ本リストに記載のある化学物質の使用を削減又は排除するよう要求し、さらに物質ごとに定められたしきい値以上含有する場合は、報告することを義務付けている⁽²⁵⁾。

(4) PFAS 含有製品の廃棄上の課題(川上～川下企業)

PFAS はその難分解性から、廃棄上の課題となる可能性がある。

米ニューヨーク州の焼却施設での PFAS 漏洩事故は、PFAS の廃棄の難しさがよくわかる例である。2018年及び2019年に、米国国防総省(DoD)から送られた PFAS を含有した泡消火剤の未使用在庫の処分が実施された。この際、焼却温度が十分に高温でなかったために多くの PFAS が分解されず、自然環境中に放出された。2020年4月に実施された環境サンプリングでは、焼却施設周辺の土壌及び地表水から高濃度の PFAS が検出されている⁽²⁶⁾。このように、PFAS を完全に分解することは容易ではない。

2019年5月に EU で採択されたプラスチック製品規制では、消費者が使用したプラスチック製品・容器包装に対する廃棄、回収、リサイクルも生産者が責任を負うという拡大生産者責任の考え方が採用されている。将来的には、PFAS をはじめとする懸念物質にも拡大生産者責任が適用される可能性もある。このように PFAS に

対する規制や社会的評価が厳しくなった際は、PFASを扱う全ての事業者において、その廃棄が企業経営の大きなコストや負担となる可能性が考えられる。

6. PFAS 代替に向けた企業の動き

これまで述べたように、サプライチェーン川上～川下まで全ての企業において、PFASを扱うことは経営上のリスクとなり得る。特に米国ではこのリスクが既に顕在化しており、川下企業、小売企業を中心にPFAS代替を中心とした対応が始まっている。図表10に先進的に取組を進めている企業の動きを紹介する。

7. 有害物質の代替戦略策定のポイント

米国EPAでは、〈グリーン・ケミストリー12か条〉が公表(図表11)されており、以下の要素を考慮することが重要である。

物質の代替時において、特に③、④、⑩のポイントを意識しながら、よりヒトや環境に有害な物質を選択しないようにする必要がある。以降では、2021年に発効されたOECDガイダンス「Guidance on Key Considerations for the Identification and Selection of Safer Chemical Alternatives⁽²⁷⁾」のポイント(図表12、13)に留意しながら、代替物質選択を行う方法について記載する。

(1) 評価範囲及び戦略の策定

まず海外の事例も参考に企業におけるリスク(5. 企業におけるリスクを参照)を考慮し、今後代替品の検討が必要となる自社製品をリストアップする。その上で、今後規制が見込まれる物質(PFAS等)がどの自社製品に含まれているかを確認する。こうした懸念物質の含有状況に加え、対象製品の売り上げやサプライチェーンからの要求等を踏まえた各社の優先度を考慮し、

代替すべき製品を決定する。その際、それら製品において当該化学物質を使い続ける必要性(エッセンシャルユース)を考慮する。

例えば、PFASのエッセンシャルユースの例として、衣服に撥水撥油性を付与するためのPFASの使用が挙げられる。撥水性を提供する代替物が利用可能であるが、撥油性に関するPFASと同じ性能を有する代替物質が現時点では存在しない。このためEUでは、一部の労働者の保護衣の機能として撥油性が必要不可欠な可能性があり、適切な代替品が利用可能になるまでPFASを使用することを認めるべきだとしている。

上述したように、どのような製品及び化学物質を評価範囲とするのかを明確にし、その上で評価に使用するための目標(例えばPFASの段階的廃止等)、原則、及び決定ルールを明確に文書化することが必要である。また、評価の範囲を決定する際には、工場、研究開発、環境安全部門等の幅広い社内関係者や、供給者、購入者、行政、研究者、NGO等の外部の利害関係者からのインプットを含めることが重要である。これらの意見を集約した上で、代替計画の検討・実施に必要なコストや調達の可否、サプライチェーン・株主からの要求、さらに市場動向を踏まえ、既存の選択肢に対する重大な懸念や、代替案で起こりうる潜在的なトレードオフを特定し、どのような選択肢が最も実行可能であるかを検討する必要がある。またその際、“残念な代替”(代替をしても人健康や環境へのリスクが変わらない又は逆に高まる代替)をもたらす可能性のある代替品の情報を収集し、そうした代替を防ぐことも重要となる。

(2) 代替候補物質の選定

PFASの代替方法は、①同等の機能をもつ化学物質への代替、②同等の機能をもつPFAS不

図表10 PFAS 代替に向けた企業の動き

業種	企業名	取組	きっかけ
スーパーマーケット	Whole Foods Market (Amazonの子会社)	右記のレポートで示された包装容器の使用を中止し、代替することを発表(2018年12月)	NGO・NPOによるレポート「Take out toxics -PFAS chemicals in food packaging-」において、商品包装内のPFAS使用実態の分析結果及びPFAS含有可能性が公表された(2018年12月)。
	Trader Joe's	製品包装にPFASを使用しないようベンダーに求めていると公表(2018年12月)	
	Ahold Delhaize USA (オランダ企業 Ahold Delhaizeの米部門)	PFASをはじめとする懸念物質を制限物質リストに掲載し、意図的な仕様を制限すると発表(2019年9月)	
住宅用品	Home Depot	PFAS化学物質を含む全てのカーペット・ラグの販売を2019年末までに段階的に廃止すると発表(2019年9月)。	NGOによるレポート「Testing Carpet for Toxics: Chemicals affecting human health and hindering the circular economy」において、同社が取り扱うカーペット内のPFAS使用実態の分析結果及びPFAS含有可能性が公表された(2018年12月)。
	LOWE'S	2020年1月までに、PFASを含む全ての屋内住宅用カーペット・ラグの販売を段階的に廃止すると発表(2019年10月)。	
	Staples	PFASをはじめとする懸念物質を制限物質リストに掲載し、意図的な仕様を制限すると発表(2019年10月)	
ファストフード	Taco Bell	2025年までに、全世界の食品包装において、PFASの使用を禁止すると発表(2020年1月)。	有害化学物質に対する企業取組の格付けを行うレポート「Who's Minding the Store?」において、低評価と発表された(Staples : D+, Taco Bell : F)。
健康食品レストラン	Sweetgreen	2020年末までに、包装容器内のPFASを段階的に廃止すると発表(2020年3月)。	NGO「The Counter」による包装容器の分析結果が公表され、PFASを含有することが明らかとなった(2019年8月)。
通信販売	Amazon	Chemicals Policyを改訂し、Amazon Kitchenブランドに使用される食品包装材料に含まれる特定の有毒化学物質(PFAS、フタル酸エステル、BPA)及びプラスチックを禁止すると発表(2020年12月)。	使い捨てプレート内にPFASを含有していたことが発覚し、集団訴訟を受けた(2020年6月)。
健康食品レストラン	Cava	2021年半ばまでに食品包装において、PFASの使用を禁止し、今後1年間の取り組みの進捗状況を公表すると発表(2020年8月)。	NGO・NPOによるレポート「Packaged in Pollution: Are food chains using PFAS in packaging?」において、商品包装内のPFAS使用実態の分析結果及びPFAS含有可能性が公表された(2020年8月)。
ファストフード	McDonald's	2025年までに全世界の食品包装において、フッ素化合物の使用を禁止する目標を発表(2021年1月)。	
	Wendy's	2021年末までに米国及びカナダの食品包装において、PFASの使用を禁止すると発表(2021年4月)。	
	Restaurant Brands International (Burger Kingの親会社)	PFAS不使用の食品包装に向けた代替案を検討しており、数か月以内に代替に向けたロードマップを公表予定と発表(2021年6月)。現在、一部店舗にてPFAS不使用の包装材を試験的に導入中。	

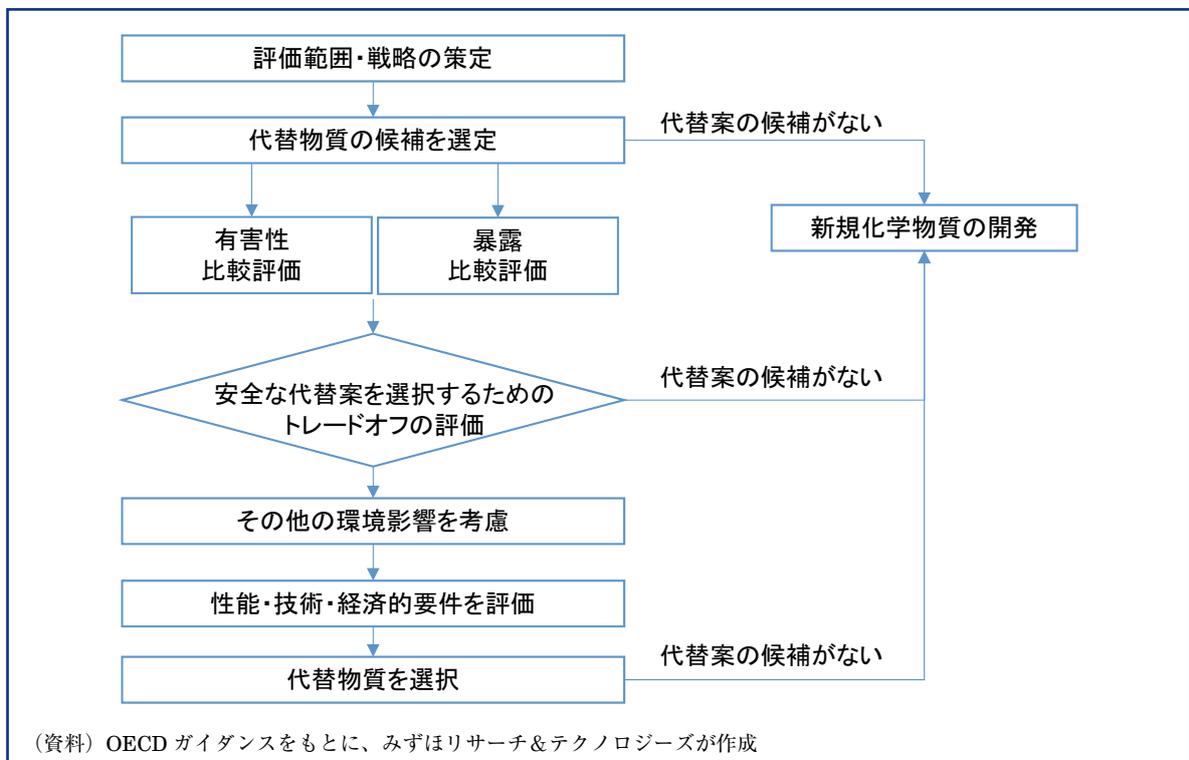
(資料) 各社プレスリリースより、みずほリサーチ&テクノロジーズが作成

図表11 グリーン・ケミストリー12か条

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| ① 廃棄物はできるだけ出さない。 | ⑦ 原料はなるべく再生可能資源から得る |
| ② 原料をなるべく無駄にしない形で合成を行う。 | ⑧ 途中の修飾反応はできるだけ避ける。 |
| ③ 人体と環境に害の少ない反応物・生成物にする。 | ⑨ 触媒反応を目指す。 |
| ④ 毒性のなるべく小さい物質をつくる。 | ⑩ 環境中で分解しやすい製品にする。 |
| ⑤ 有害な補助剤はなるべく使用しない。 | ⑪ プロセス計測を導入する。 |
| ⑥ 省エネを心がける。 | ⑫ 化学工場での事故につながりにくい物質を使用する。 |

(資料) 米国環境保護庁(EPA)資料より、みずほリサーチ&テクノロジーズが仮訳

図表12 代替物質の選択フロー



(資料) OECD ガイダンスをもとに、みずほリサーチ&テクノロジーズが作成

図表13 代替戦略策定の流れ



(資料) OECD ガイダンスをもとに、みずほリサーチ&テクノロジーズが作成

使用製品への代替、が挙げられる。

①同等の機能をもつ化学物質への代替に関して、PFAS 代替物質の事例が公表(図表14)されている。

また米国 EPA では、Safer Choice プログラムの中で、安全な化学成分リスト(Safer Chemical Ingredients List; SCIL)を公表している。リストには、現在約1,000物質がリスト化されており、代替物質の候補を選定することができる。

本プログラムは、2013年まで米国 EPA が「Design for the Environment (以下、DfE)」として実施してきた。米国 EPA がトップダウン的に実施しているアクションプラン(2009年から)、ワークプラン(2012年から)の中で、代替物質の評価が実施され、代替評価が必要と判断された物質、若しくは懸念される物質を含有する製品について、代替物質又は代替製品の評価・検討

するプログラムを通じ評価された。

2013年に米国 EPA の 監察総監室(Office of Inspector General, OIG)が DfE プログラムに対して、DfE 表示使用の管理や適合性評価の強化等を勧告する報告書を公表した。これを受けて EPA は「関連する化学物質の使用を削減し、有効的また効果的に人の健康と環境を保護すること」を達成するべく、有害化学物質の代替に関する促進を目的に「Safer Choice」のプログラムに移行した。この移行に伴い、安全な代替物質に対するラベル表示等も DfE ラベルから Safer Choice ラベルへ変更となった(図表15)。

Safer Choice ラベルを取得するには、製品が厳格な基準に合格する必要がある。Safer Choice のラベル選択基準を満たした製品について EPA は毎年監査を実施し、基準を引き続き満たしていることを確認することで、ラベルの有効性が

図表14 PFAS 代替物質の例

企業名	製品名	代替物質	業界、用途
DuPont	Sorona [®]	ポリトリメチレンテレフタレート (PTT) ポリマー	カーペット、アパレル
NICCA CHEMICAL CO.,LTD.	NEOSEED NR-90	非イオン性ポリマー、エステル化合物 (パラフィン類)	衣類、衣類以外の繊維(ポリエステル、ナイロン、綿、全ての布)
Wacker	HC303	アミノ機能性 PDMS (シリコン)	繊維
Bluestar Silicones	RHODORSIL TCS 7001	アルキルポリシロキサン (シリコン)	アウトドア生地、天然及び合成繊維、生地や皮の保護用エアロゾール
HeiQ	BanierECO	疎水性の超分岐ポリマー (デンドリマー)	アウトドア衣料(ジャケット、ハイキング用ズボン、フリース、靴)
Rudolf Chemie Ltd.	[®] RUCO-DRY ECO	ハイパーブランチ及び直鎖ポリマー (デンドリマー)	撥水材
Freudenberg Group	Purtex [®] WR, Purtex [®] AP, Purte ^{x®} WA	ポリウレタンエマルジョン	アウトドア/スポーツ衣料(撥水、摩擦保護)
Stahl Polymers	Relca PD-804 Relca [®] PD-802	マットポリエーテルポリウレタンの水性アニオン分散液	繊維又は包装用のトップコート

(資料) 欧州化学物質庁(ECHA)資料⁽²⁸⁾をもとに、みずほリサーチ&テクノロジーズが作成

図表15 Safer Choice ラベル



(資料) 米国 EPA ホームページ

担保される仕組みとなっている。

②同等の機能をもつ PFAS 不使用製品への代替に関して、たとえば現在先進的に PFAS 対応が進められている食品包装紙の代替製品例を紹介する。図表16はいずれも PFAS の代わりにバイオポリマーコーティングを施した天然耐油紙である。

(3)代替物質の評価

代替物質の評価にあたっては、代替物質の有害性及び暴露の比較評価により、適切な代替物質の評価を行う。評価にあたっては、OECD が「OECD Substitution and Alternatives Assessment Tool Selector」として、代替物質評価に活用可能なツールを整理している。

①有害性比較評価

代替物質を選ぶ際に、物質の有害性を考慮することが重要である。有害性の判断にあたっては、1)、2)の手順で実施する。その際、情報の整理と優先順位付けのために透明性の高い意思決定ルールの確立が必要となる。

- 1) 信頼できるリストを使用して、完全な危険有害性評価を実施する前に、問題のある代替案を検討から除外する。下記に代表的なリストを紹介するが、その他適切なリストを可能な限り用意することが望ましい。
 - ✓ POPs 条約における環境残留性有機汚染物質のリスト

図表16 食品包装紙の代替製品例

企業名	製品名
Ahlstrom-Munksjo (フィンランド)	FluoroFree [®] (29)
Seaman Paper (米国)	EcoLite (30)
Twin Rivers paper company (カナダ)	Eco-Barrier [®] (31)
delfort (オーストリア)	Thin-Barrier [®] (32)

(資料) 各種資料を参考にみずほリサーチ&テクノロジーズが作成

- ✓ 世界保健機関国際がん研究機関 (IARC)の発がん物質リスト 等
- 2) 化学品の分類及び表示に関する世界調和システム(GHS)等を使用して、特定の有害性項目を選択し、自社で決定した基準に該当する代替案を除外する。
 - ✓ 発がん性
 - ✓ 生殖細胞変異原性
 - ✓ 生殖発生毒性
 - ✓ PBT (難分解性、生態蓄積性、毒性を持つ物質)
 - ✓ vPvB (極めて環境残留性や生態蓄積性の高い物質)



- 3) その他のサステナビリティに関する評価指標も考慮する(カーボンフットプリント、リサイクル等)

1) ~3)の判断において、既存のデータに不足や不確実性があると、どの選択肢がより安全であるかについての決定が複雑になる可能性がある。代替案評価における重要な考慮事項は、残念な代替案の可能性を最小限に抑えることである。有害性の重要な証拠がある化学物質を、有害性が十分に理解されていない可能性のある化学物質に代替することを避けるべきである。

② 暴露比較評価

ライフサイクルを通して暴露経路と合理的に予測可能な暴露シナリオを特定し、代替品の暴露可能性を比較する。上記の暴露データ又は関連する暴露経路の物理化学的特性を定性的に比較して、代替案がより大きな暴露、又はより少

ない暴露をもたらす可能性があるかどうかを確認する。

③ 安全な代替案を選択するためのトレードオフの評価

危険有害性と暴露の結果を統合するために用いられる戦略を明確に文書化する。その上で、有害性及び暴露の比較結果を考慮して、代替物質候補を特定する。この際に、結果を比較する方法の1つとしてマトリックスによる比較等が用いられている。

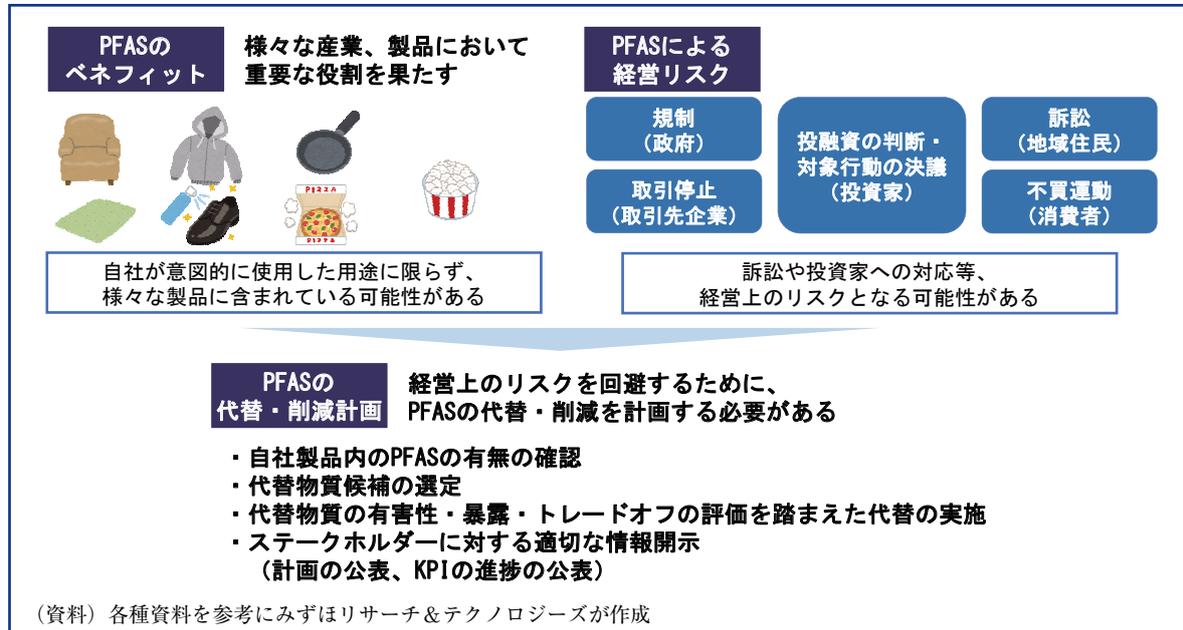
トレードオフの評価において参考となる資料として、米国 NRC は、適切な代替物質を選定するためのフレームワークとして「A Framework to Guide Selection of Chemical Alternatives」を公表している。本フレームワークにおいて、OECD Substitution and Alternatives Assessment Tool Selector と同様に①有害性の評価、②暴露の評価、③受け入れ可能な代替案の比較というプロセスに基づいて実施することが提案されている。ケーススタディとして、難燃剤のデカブロモジフェニルエーテル (decaBDE)、医薬品グリタゾンの代替評価について評価例を解説している。

8. おわりに

欧米の PFAS 規制の強化に加え、PFAS を扱う企業への集団訴訟、NGO や消費者からの関心の高まりから、PFAS に対する社会的評価の在り方が大きく変動しようとしている。また今後は、ESG 投融資等で市場関係者からも PFAS への対応状況を評価される可能性がある。

このような状況の中、日本企業においても、製造プロセス又は最終製品で PFAS を利用する企業は、国内外の法規制に加え、消費者による不買運動や集団訴訟、さらに取引先企業からの取引停止や投資家からの対処行動の要求といっ

図表17 PFAS による経営上のリスク及び各社が実行すべき事項



た経営リスクに直面する可能性がある。

このような経営上のリスクを回避するために、まず経営者がPFASを取り扱うリスクを認識し、速やかにPFASの代替・削減を計画することが望まれる。PFASは様々な産業、製品において重要な役割を果たしており、自社が意図的に使用した用途に限らず、含まれている可能性があり、まず取組の第一歩として自社製品のどこでPFASが扱われているか、調達先等のサプライチェーンを巻き込みながら把握していくことが重要である。その上で、代替物質の選定・開発・評価を通して代替を進めていくことが求められている。また、ステークホルダーに対する適切な情報開示(計画の公表、KPIの進捗の公表)も同時に進めていくことが望ましい。

一方、PFASの代替物質として確立されている物質は多くはないため、米国EPAのSafer Choiceプログラムのよう、安全な化学物質の新規開発の推進や安全な物質のリスト等の公表、行政や学術機関等でオーソライズされた手法で

の代替物質の評価事例の公表等、行政による我が国の産業の積極的な支援施策も期待したい。

注

- (1) 米国EPAでは、〈グリーン・ケミストリー12か条〉が公表されており、またOECDでは1998年に同様の概念であるサステイナブルケミストリーを提唱している。我が国ではグリーン・サステイナブルケミストリーと呼ばれることも多い。(https://www.epa.gov/greenchemistry)
- (2) OECD. 2018. "Toward a New Comprehensive Global Database of Per- And Polyfluoroalkyl Substances (PFASs): Summary Report on Updating the OECD 2007 List of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs)" ENV/JM/MONO(2018)7. Paris: OECD.
- (3) Grandjean et al. Serum vaccine antibody concentrations in children exposed to perfluorinated compounds. The Journal of the American Medical Association(2012)
- (4) Looker et al. Influenza vaccine response in adults exposed to perfluorooctanoate and perfluorooctanesulfonate. The Journal of Toxicological Sciences(2014)
- (5) EFSA (2020)"Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in

- food”, EFSA Journal 2020;18(9): 6223(<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2020.6223>)
- (6) US EPA - PFAS Laws and Regulations (<https://www.epa.gov/pfas/pfas-laws-and-regulations>)
- (7) アメリカ議会図書館 - S.1790 - national Defense Authorization Act for Fiscal Year 2020(<https://www.congress.gov/bill/116th-congress/senate-bill/1790/text>)
- (8) Federal Register - TSCA Section 8(a)(7) Reporting and Recordkeeping Requirements for Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (<https://www.federalregister.gov/documents/2021/06/28/2021-13180/tsca-section-8a7-reporting-and-recordkeeping-requirements-for-perfluoroalkyl-and-polyfluoroalkyl>)
- (9) FDA Announces the Voluntary Phase-Out by Industry of Certain PFAS Used in Food Packaging (<https://www.fda.gov/food/cfsan-constituent-updates/fda-announces-voluntary-phase-out-industry-certain-pfas-used-food-packaging>)
- (10) ECHA - Perfluoroalkyl chemicals (PFAS) (<https://echa.europa.eu/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>)
- (11) 経済産業省—政令第百四十四号 (https://www.meti.go.jp/policy/chemica_management/kasinhou/files/about/laws/kohu_seirei_r030421.pdf)
- (12) 環境省 令和2年度有機フッ素化合物全国存在状況把握調査の結果について (<https://www.env.go.jp/press/109708.html>)
- (13) 厚生労働省 水質基準に関する省令の一部改正等について(施行通知) (<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000615688.pdf>)
- (14) 環境省「水質汚濁に係る人の健康の保護に関する環境基準等の施行等について(通知)」(令和2年5月28日付) (<https://www.env.go.jp/press/files/jp/114042.pdf>)
- (15) 沖縄県—企業局における有機フッ素化合物の検出状況及び水道水の安全性について (<https://www.eb.pref.okinawa.jp/oheb/309/619>)
- (16) 琉球新報—航空自衛隊那覇基地から泡消火剤が流出 原因は調査中 (<https://ryukyushimpo.jp/news/entry-1301176.html#:~:text=21%E5%B9%B42%E6%9C%88%E3%81%AB,%E3%81%A6%E3%81%84%E3%82%8B%E3%81%A8%E5%85%AC%E8%A1%A8%E3%81%97%E3%81%9F%E3%80%82>)
- (17) Chemical Watch - DuPont, Chemours settle PFOA Lawsuit for \$ 670m (<https://chemicalwatch.com/53632/dupont-chemours-settle-pfoa-lawsuit-for-670m>)
- (18) Alabama Local News- 3M settlement with water authority totals \$ 35 million (<https://www.al.com/business/2019/04/3m-settlement-with-water-authority-totals-35-million.html>)
- (19) Bloomberg Law - Procter & Gamble Sued Over Fluorochemicals in Oral B Dental Floss (<https://news.bloomberglaw.com/product-liability-and-toxics-law/procter-gamble-sued-over-fluorochemicals-in-oral-b-dental-floss-1>)
- (20) The National Law Review - Is a Wave of PFAS Consumer Class Actions on the Horizon? (<https://www.natlawreview.com/article/wave-pfas-consumer-class-actions-horizon>)
- (21) Packaged in Pollution: Are food chains using PFAS in packaging? . the Mind the Store campaign, Toxic-FreeFuture (<https://saferchemicals.org/packaged-in-pollution/>)
- (22) Take out toxics -PFAS chemicals in food packaging- . the Mind the Store campaign, Toxic-FreeFuture (<https://toxicfreefuture.org/research/take-out-toxics-pfas-chemicals-in-food-packaging/>)
- (23) Testing Carpet for Toxics: Chemicals affecting human health and hindering the circular economy . Ecology Center, Global Alliance for Incinerator Alternatives, Changing Markets Foundation (<https://www.ecocenter.org/healthy-stuff/reports/carpet-2018>)
- (24) Amazon Chemicals Policy: Food Contact Materials Restricted Substance List (RSL) (https://sustainability.aboutamazon.com/amazon_chemicals_policy_food.pdf)
- (25) Apple Regulated Substances Specification (<https://www.apple.com/supplier-responsibility/pdf/Apple-Regulated-Substance-Specification.pdf>)
- (26) Chemical & Engineering News - Incineration may spread, not break down PFAS (<https://cen.acs.org/environment/persistent-pollutants/Incinerators-spread-break-down-PFAS/98/web/2020/04>)
- (27) OECD - Guidance on Key Considerations for the Identification and Selection of Safer Chemical Alternatives (<https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/guidance-on-key-considerations-for-the-identification-and-selection-of-safer-chemical-alternatives.pdf>)
- (28) ECHA - The use of PFAS and fluorine-free alternatives in textiles, upholstery, carpets, leather and apparel (https://echa.europa.eu/documents/10162/28801697/pfas_flourine-free_alternatives_fire_fighting_en.pdf/d5b24e2a-d027-0168-cdd8-f723c675fa98)
- (29) Ahlstrom Munksjo - FluoroFree Greaproof

Technology (<https://www.ahlstrom-munksjo.com/products/technologies/ff-greaseproof-technologies/>)

- (30) Seaman Paper - Seaman Paper launches EcoLite: PFAS-free grease-resistant paper for food service industry (<https://www.seamanpaper.com/blog/seaman-paper-launches-ecolite-pfas-free-grease-resistant-paper-for-food-service-industry>)
- (31) Twin Rivers Paper Company - A fluorochemical-free paper engineered for light grease-resistant fast food, quick-serve restaurant (QSR), and food service applications. (<https://www.twinriverspaper.com/products/packaging-paper/ecobarrier-choice/>)
- (32) delfort - The future is renewable (<https://www.delfortgroup.com/index.php?id=260>)