

新型コロナウイルス感染対策としての空調設備を中心とした設備の運用について

2020年4月8日

公益社団法人 空気調和・衛生工学会

換気設備委員会

執筆担当：倉渕隆（東京理科大学），柳宇（工学院大学）

執筆協力：尾方壮行（東京都立大学）

はじめに

厚生労働省の新型コロナウイルス感染症対策専門会議¹⁾が示した感染リスクのある空間の一つである換気の悪い密閉空間という表現に対し、これまで公益社団法人空気調和・衛生工学会、一般社団法人日本建築学会では2020年3月23日に緊急会長談話「新型コロナウイルス感染症制御における「換気」に関して」²⁾を公表し、今回のウイルスの感染の特徴を述べるとともに、換気の方法に関する概要説明を行った。また、2020年3月30日には、「換気」に関するQ&A「新型コロナウイルス感染症制御における「換気」に関して」³⁾を公表し、換気全般に関する一般向けの解説を行った。

一方、厚生労働省は2020年3月30日に、商業施設等における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について⁴⁾と、その内容をパンフレットにまとめた「商業施設等の管理権限者のみなさまへ「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法」⁵⁾を公表した。この中で、具体的な換気対策として機械換気による場合は、建築物衛生法におけるCO₂の室内濃度基準1000ppmを満たしている条件、つまり一人当たり30m³/hの換気量が確保されていること、窓開放による場合は30分に1回、数分程度窓を全開にすることを実施していれば、感染を確実に予防できるとはいえないものの、換気の悪い密閉空間には当たらないとしている。建築物衛生法に規定する特定建築物に該当しない商業施設等においても必要換気量が確保できていることを確認することを推奨し、換気量が足りない場合には、在室人数を減らすことで必要換気量を確保することが可能であると述べている。

今回のウイルスの主要な感染経路は、飛沫感染と接触感染であるといわれている。対策として、対人離隔距離を1~2m以上確保すること、マスクを着用すること、小まめな手洗いの励行、居住者が触れる物品や室内表面の消毒、などを優先して実施すべきである。その一方で、これまでに得られている知見から、感染者が発したウイルスを含むエアロゾル粒子は、空中を浮遊した状態で3時間以上活性を保つ可能性があること、換気回数が大きい患者の隔離室の気中では活性のあるウイルスが容易に観測されないことから、厚生労働省の推奨する換気を確実に実施することは前提に、さらに可能であればできるだけ換気量を多く保つことが、感染リスクの低減につながる可能性があると考えられる。

通常、建築設備は居住者の快適性や知的生産性、省エネルギー性能などの最適化を目標として運用されているが、今回の新型コロナウイルス感染症対策として一定期間、これらの目標を緩和し、感染リスクの低減に向けた運用の調整を行うことが考えられる。また、換気設備以外にも感染リスクに関連があるとみられる建築設備の運用の課題があり以下に解説する。なお、REHVA（The Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations）やASHRAE（American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers）でも同様の推奨方針^{6,7)}を示している。

新型コロナウイルスの感染経路と感染力に関する最近の知見

2020年の1月末から2月にかけて、シンガポールの新型コロナウイルス・アウトブレイクセンターに収容されている3名の患者の隔離室を対象としたウイルス活性に関する調査が行われた⁸⁾。隔離室の換気回数は12回/h、室の殺菌クリーニングは毎日実施されており、1人の隔離室のサンプルはクリーニング前に、2人のサンプルはクリーニング後に採取され、表面サンプルと空気サンプルが収集された。前者の患者の症状には上気道病変はあるが発熱、下痢はなく、後者の患者は中程度の症状でせきと発熱があった。

クリーニング前の患者の隔離室から採取した表面サンプルの多くには、トイレで採取したサンプルを含めて活性があり、患者の便からも活性のあるウイルスが検出された。空気サンプルの活性はなかったが、排気口表面からとったサンプルには活性があった。クリーニング作業後の隔離室からのサンプルには活性を示すものはなかった。この調査結果により、新型コロナウイルスの感染者が居住する室内表面は広範に汚染されるが、適切な消毒クリーニングによって汚染は除去されること、ウイルスを含むエアロゾル粒子は活性を維持した状態で排気口まで移動するが、十分な換気を行うとその気中のウイルス濃度は効果的に希釈されること、また、感染者の排便が感染経路となる可能性のあることが分かる。

また、NIHの研究チームはSARSウイルス(SARS-CoV-1)と新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)のエアロゾル粒子中およびプラスチック、ステンレス鋼、銅、段ボール上での活性度の維持に関する比較実験を行った⁹⁾。その結果、新型コロナウイルスのエアチャンバーに封入された5 μ m未満のエアロゾル粒子の状態では、感染力価は低下するものの活性は実験時間の3時間を通して維持され、ステンレス鋼とプラスチックでは3日間、段ボールでは1日未満、銅では4時間未満維持されることが分かった。一般的にSARSウイルスと新型コロナウイルスは時間経過に伴う活性の維持に関して類似した性質のあることが明らかとなった。この調査より、新型コロナウイルスの感染経路としてウイルスを含むエアロゾル粒子による感染と接触感染の可能性が示唆された。なお、SARSウイルスに関しては空気感染のエビデンスが報告されている¹⁰⁾。

次に、感染経路として古くから指摘されている、感染性のあるウイルスや微生物を含む汚物を洗浄した場合に、トイレ空間や排水管内に発生するトイレプールのウイルスを含むエアロゾル粒子による感染リスクについて考える¹¹⁾。香港のアモイガーデンにおけるSARSのアウトブレイクは、感染者の便洗浄によって生じた感染性エアロゾル粒子が、トラップが破封した室の排気換気に伴って排水管を逆流して室内から室外に拡散し、気流に乗って別の住宅に侵入したことによると考えられている^{12~14)}。日本の場合、トラップに関しては適切な排水トラップの深さ(封水深)の確保と通気対策がなされているので、破封によって排水管が感染性エアロゾル粒子の拡散経路となるリスクは低いと考えられる。しかし、新型コロナウイルス感染者の便中にも活性のあるウイルスが検出されていることから、便経由の感染を示す証拠は今のところないが、感染者が排便して洗浄する際にウイルスを含むエアロゾル粒子が発生し、トイレ室内を汚染すること、室内を漏れ出て感染を引き起こす可能性があると考えられる。

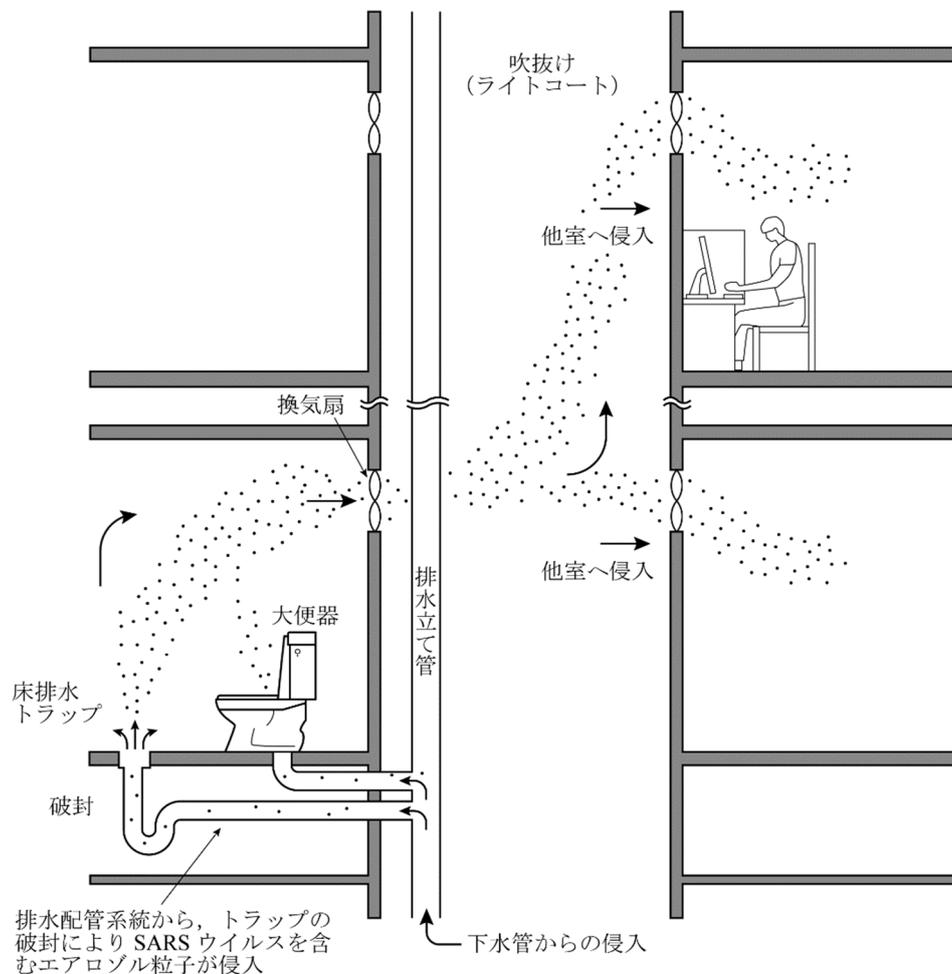


図 アモイガーデンにおける感染ルート¹⁵⁾

(原図に一部修正を加えた)

推奨される建築設備の運用

個別換気方式の場合（主に住宅や小規模の建築物）

2003年7月以前の無窓の居室には室の有効開口面積に応じた換気設備が、建築基準法の改正により2003年7月以後の場合には、シックハウス対策として原則として全ての居室に換気設備が設置されている¹⁶⁾。シックハウス対策の換気設備は常時換気を原則とするが、旅行などの長期不在に対応するために、スイッチの長押しなどで停止できる機能があり、帰宅後再運転を忘れている場合があるので、運転状態を確認する。また、一般に換気設備は換気量の調整のために複数のノッチがあり、特定のノッチで法適合の風量となっている場合が多いので、換気設備の取り扱い説明書などで確認してより大きな風量で運転できるよう調整する。換気方式として排気用の換気扇や壁付け式換気設備が取り付けられている場合は、給気側の配慮が十分でない場合が多く、給気用の小窓や換気シャッターの開放の確認、埃などによる目詰まりがないか点検、必要に応じた窓開放などを実施する。

静止形全熱交換器（熱交換型換気扇）の場合、熱交換素子を経由したウイルスの漏洩リスクは少なく、外気と排気の漏れによる漏洩も5%程度と小さいので、熱交換モードでの運転には問題ないが、処理風量を増やして有効換気量が大きくなる運転モードを取り扱い説明書などで確認して運転モードを設定する。

また、空調運転時に室内ユニットから発生するドレンを共通のドレン用排水システムで処理する場合、

排水管経路で室相互や合流後の排水系統との間で通気が生じ、汚染空気が拡散する可能性がある。これを抑制するには室内ユニットのドレン管に気流の逆流防止弁を設けることが有効である。

中央式空調設備の場合（大規模な建築物）

取入れ外気量を増やす方向で調整することを原則とし、エアバランスに注意して外気給気ファンと排気ファンのVD開度を上げ、風量がインバータ制御の場合は給気ファン、排気ファンの電流値、INVを上げる、外気量自動制御等を外して外気系統のCAV等を開固定とする。あるいは、プーリーを介してモータで駆動しているファンに対してはモータ側のプーリー径を大きいものに交換する。発生騒音に支障がない範囲で、運転モードを特強運転にするなどして、換気量を増やす。外気系統のフィルタの更新が風量の増加につながる場合もある。室からの還気中のウイルスが室内へ再度侵入することを回避するため室内からの還気量は可能な限り減らし、できるだけ全外気運転に近い運転とする。

CO₂濃度制御がある建物の換気設備では、室内CO₂濃度設定値（通常1000ppm）を引き下げると換気量は増加する（外気濃度以下にすると換気量は最大になる）。外気冷房がある場合は、外気冷房許可条件の上限値を上げ、下限値を下げ、外気冷房運転を優先的に行うように調整する。また、タイマーによる運転制御のある場合は在室時間以上に換気の運転時間を伸ばす方向で調整し、通常よりも数時間早く運転を開始し、停止時間も在室者が残っている場合を考慮して遅めにし、可能ならば24時間連続運転とする。

全熱交換器がある場合、静止形の場合は個別換気方式と同様の対応とするが、回転形の場合もパージセクターが設定され、圧力バランスが適切に調整されている（還気系圧力<給気系圧力）場合はウイルスの漏洩リスクは少ないと考えられる。従って、有効換気量が大きくなるモードでの運転を実施することとするが、必要に応じて運転状況の確認・調整を行うことが望ましい。

窓開け換気の実施

学校の教室や戸建住宅に加えて、最近の建物ではBCP対策や省エネルギー性能を高めるために、自然換気利用を考慮して高層建物でも窓が開けられたり、自然換気用の開口部が開放できる場合がある。ドラフトや温熱快適性の面で支障が出ない範囲で、機械換気に追加してこれらを開放するとよい。特に通風といえる数十回/hの換気回数が確保されると数分で室内空気清浄度は外気並み（室容積の3倍の外気を取り入れたとすると、室内空気の95%が入れ替わる）となるので、定期的の実施するとよい。大きな換気量の確保のためには開口部に作用する風圧力差を確保することが重要となるため、建物の異なる面の開口部を開放すること、開口部と開口部の間にドア等がある場合、その部分が通気抵抗にならないように、外気開口面と同程度の開口面積を確保する必要がある。

トイレでは便器の蓋は閉じて洗浄、換気の励行

感染者がトイレで排便し、水を流して汚物を洗浄すると活性のあるウイルスを含むエアロゾル粒子が発生する可能性がある。これをなるべく減らすためには、洗浄時は便器の蓋を閉めて行うことが推奨される。トイレの水封が万全であることを定期的に確かめる（トラップが破封している場合は排水管からの異臭がする）。また、感染を引き起こす可能性があるエアロゾル粒子が漏れ出て別空間を汚染しないように、トイレの排気ファンは常時運転を徹底する。トイレに窓がある場合、その窓が風上側になるとエアロゾル粒子を含むトイレ内空気が漏れ出る可能性があるため、窓は開けないことを徹底する。

空調温湿度の調整

新型コロナウイルスの地域による感染力と気候条件との相関性を分析して、高温高湿環境では感染力が弱まるので夏を迎えると収束するのではないかとの予測があり、これを空調条件にあてはめて室内での感染を抑制できないかとする考え方がある。これが有効であれば朗報といえるものの、WHOは「これまでの証拠から、COVID-19 ウイルスは、高温多湿の地域を含むすべての地域で感染する可能性があります」¹⁷⁾とし、ECDCは、「高い感染者数は、乾燥した寒い地域だけでなく、広西チワン族自治区やシンガポールなど、絶対湿度の高い熱帯地域でも観察されており、SARS-CoV-2 が顕著な冬の季節性を示すという証拠は今のところありません」¹⁸⁾としており、明確な知見は得られていない。但し、低湿環境では口腔粘膜の乾燥により人体の感染に関する防御機能が低下するといわれており¹⁹⁾、これを避けるためにも、必要換気量（一人あたり 30m³/h）を確保したうえで、建築物環境管理衛生基準の温湿度の範囲（温度：17～28° C，相対湿度：40～70%RH）を厳守すべきである。

エアフィルタの保守管理

エアフィルタは捕集する対象物質によって、ガス状物質捕集用と粒子状物質捕集用に大別される。ここでは、後者の粒子状物質捕集用エアフィルタ（以後、エアフィルタと略す）について述べる。

エアフィルタは主として慣性衝突、さえぎり、拡散、静電気のメカニズムにより、フィルタろ材近傍の浮遊粒子を捕集する。実際の場合、エアフィルタによる粒子の捕集は前述のどれかまたは複数の捕集機構による。粒径によって捕集機構が異なり、粒径が大きければ慣性衝突、小さければ拡散による捕集率が高くなるが、0.2μm 前後の粒子に対しての捕集率は最も低い。表に粒径別浮遊粒子に対するエアフィルタの捕集率を示す。オフィスビルには一般的に中性能エアフィルタが使用されているが（表中のカテゴリ E-2 に相当）、病院の手術等空気清浄度の要求が高い対象室では高性能フィルタ（HEPA：定格風量で粒径が 0.3μm の粒子に対して 99.97%以上の粒子捕集率を有する）が使用されている。

エアフィルタの保守管理について、全外気運転の場合通常通りでよいが、還気を取り入れる場合、フィルタに捕集された粉じんがフィルタを通過し室内に侵入しないように、フィルタの差圧をこまめにチェックし、必要に応じて通常より早く交換することが望ましい。

表 最小粒子捕集率（MERV）と粒径別捕集率

MERV	0.3-1.0μm	1.0-3.0μm	3.0-10μm
カテゴリ E-3			
6	—	—	35~50%
7	—	—	50~70%
8	—	—	70~85%
9	—	—	>85%
カテゴリ E-2			
10	—	60~65%	>85%
11	—	65~80%	>85%
12	—	80%+	>85%
カテゴリ E-1			
13	<75%	>90%	>99%
14	75~85%	>90%	>99%
15	85~95%	>90%	>99%
17	99%	99%	99%

出典: ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2007(ASHRAE 2007).

空気清浄機の効果的な利用

浮遊粒子を対象とする空気清浄機はフィルタろ過式と電気集じん式（イオン化部を通った空気中の粒子を荷電させ、その後方にある電気集じん部により粒子を捕集するもので、主に業務用）に大別される。なお、近年では、イオンを放出するなどのタイプもあるが、空中浮遊している活性ウイルスの減少効果において、既存のフィルタろ過技術に遠く及ばなかったとの報告があり²⁰⁾、ここでは、フィルタろ過式空気清浄機について述べる。消費者庁は2020年3月10日「新型コロナウイルスに対する予防効果を標ぼうする商品の表示に関する改善要請等及び一般消費者への注意喚起」²¹⁾においてマイナスイオン発生器、イオン空気清浄機に対して、当該表示を行っている事業者等に対し、緊急的に改善要請等を行っている。

フィルタ式空気清浄機のろ過原理は前述したエアフィルタと同じであるが、空調機に備えられているエアフィルタの場合、わずかなリークがあるがほとんど全ての給気がエアフィルタを通過して室内に供給される。これに対して、空気清浄機は室内の空気を循環させながら空気中の浮遊粒子をろ過するしくみとなっている。従って、フィルタろ過式空気清浄機の浄化性能はフィルタの捕集率のみならず、その風量にも関係する。次式にフィルタろ過式空気清浄機設置する場合の室内浮遊汚染物質濃度の構成を示す。空気清浄機の浄化性能は $q\eta/V$ で決まる。フィルタの捕集率と同様に風量が重要なファクターになる。従って、対象空間の容積を勘案して空気清浄機の風量や台数を選定する必要がある。なお、空気清浄機は補助設備として有効であるが、換気量が確保できる場合は換気によるウイルス濃度低減効果の方が大きい。

$$C = Coe^{-\frac{q\eta}{V}t} + \frac{M}{q\eta} \left[1 - e^{-\frac{q\eta}{V}t} \right]$$

M : 室内汚染発生量 [mg/h] or [個/h]

V : 室容積 [m³]

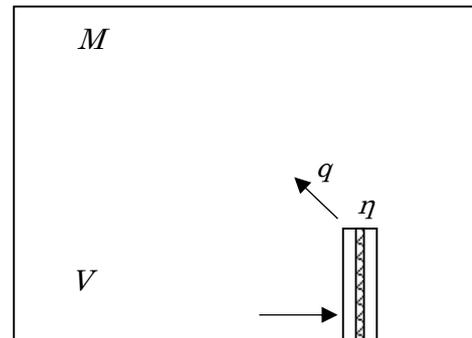
C : 室内汚染物質濃度 [mg/m³] or [個/m³]

Co : 室内初期汚染物質濃度 [mg/m³] or [個/m³]

η : 空気清浄機捕集率 [-]

t : 経過時間 [h]

q : 空気清浄機の処理風量[m³/h]



<参考文献>

- 1) 新型コロナウイルス感染症対策専門家会議、「新型コロナウイルス感染症対策の見解」、2020年3月9日公表(<http://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000606000.pdf>)
- 2) 空気調和・衛生工学会、日本建築学会：新型コロナウイルス感染症制御における「換気」に関して（緊急会長談話）(http://www.shasej.org/recommendation/shase_COVID20200323.pdf)
- 3) 日本建築学会、空気調和・衛生工学会：新型コロナウイルス感染症制御における「換気」に関して「換気」に関する Q&A (http://www.shasej.org/recommendation/shase_COVID_ventilizationQ&A.pdf)

- 4) 厚生労働省：商業施設等における「換気の悪い密閉空間」を果敢するための換気について
(<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000616069.pdf>)
- 5) 厚生労働省：－商業施設等の管理権限者の皆様へ－「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法(<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000618969.pdf>)
- 6) RHEVA : REHVA COVID-19 guidance document, April 3, 2020
(http://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_ver2_20200403_1.pdf)
- 7) ASHRAE : GUIDANCE FOR BUILDING OPERATIONS DURING COVID-19 PANDEMIC
(<http://www.ashrae.org/news/ashraejournal/guidance-for-building-operations-during-the-covid-19-pandemic>)
- 8) Sean Wei Xiang, Yian Kim Tan, Po Ying Chia, et al. : Air, Surface Environmental, and Personal Protective Equipment Contamination by Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) From a Symptomatic Patient, JAMA Research Letter, March 4, 2020
(<http://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2762692>)
- 9) Neeltje van Doremalen, Trenton Bushmaker, Dylan H. Morris, et al. : Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1, THE NEW ENGLAND JOURNAL OF MEDICINE, March 17, 2020 (<http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMc2004973>)
- 10) Ignatius T.S., et al., Evidence of Airborne Transmission of the Severe Acute Respiratory Syndrome Virus. THE NEW ENGLAND JOURNAL OF MEDICINE, 350:17, pp.1731-1739, 2004
- 11) David L. Johnson, Kenneth R. Mead, et al. : Lifting the lid on toilet plume aerosol: A literature review with suggestions for future research, American Journal of Infection Control, March, 41(3), 2013 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4692156/>)
- 12) Regional Office for the Western Pacific, WORLD HEALTH ORGANIZATION.WHO Environmental Health Team Reports on Amoy Gardens. pp.1-3, May 16, 2003
(<https://www.info.gov.hk/gia/general/200305/16/0516114.htm>)
- 13) EK Yeoh, Severe Acute Respiratory Syndrome: Severe Acute Respiratory Syndrome: Response from Hong Kong, Hong Kong Special Administrative Region Government Hong Kong Special Administrative Region Government, June 17, 2003
- 14) 柳宇, 池田耕一, 吉澤晋：中国における SARS 対策, 空気調和・衛生工学, 第 78 巻, 第 5 号, pp.51-59, 2004
- 15) 大塚雅之：初学者の建築講座 建築設備 (第四版), 市ヶ谷出版, 2020
- 16) 国土交通省住宅局建築指導課, 財団法人日本建築設備・昇降機センター編：2005 年版 換気・空調設備技術基準・同解説, 財団法人日本建築設備・昇降機センター, 2005
- 17) WHO : Coronavirus disease (COVID-19) advice for the public: Myth busters
(<http://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/myth-busters>)
- 18) ECDC: Novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: increased transmission in the EU/EEA and the UK – sixth update, March 12, 2020

(<http://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/RRA-seventh-update-Outbreak-of-coronavirus-disease-COVID-19.pdf>)

- 19) 三浦豊彦：「湿気と人間」労働科学，第 54 卷，第 4 号，pp.165-177，1978
- 20) 西村秀一：高性能の空中浮遊インフルエンザウイルス不活化を謳う市販各種電気製品の性能評価，感染症学雑誌，第 85 卷，第 5 号，pp.537-539，2011
- 21) 消費者庁，新型コロナウイルスに対する予防効果を標ぼうする商品の表示に関する改善要請等及び一般消費者への注意喚起について(<https://www.caa.go.jp/notice/entry/019228/>)