

新型コロナウイルス感染症とサージカルスモーク：危険性と排煙対策

2020年4月10日初稿

2020年5月8日改訂

はじめに

新型コロナウイルス感染症の拡大に伴い、2020年4月1日、日本医学会連合、日本外科学会等の連名による「新型コロナウイルス陽性および疑い患者に対する外科手術に関する提言」が発出された¹⁾。この提言のなかで排煙装置の使用が推奨されているが、エネルギーデバイスの使用により発生する煙「サージカルスモーク」について、国内の情報発信は十分とは言い難い。近年、モノポーラやバイポーラ電気メス、超音波凝固切開装置等のエネルギーデバイスの原理や安全使用について改めて注目されているが、サージカルスモークによる感染リスク等については十分に強調されていない^{2,3)}。ここでは、個人用防護具 (Personal Protective Equipment, 以下「PPE」と記す) では感染リスク等の懸念が残るサージカルスモークに関して、関連文献から知見をまとめるとともに、新型コロナウイルス陽性者もしくは感染が疑われる患者の手術対応について概説する。

サージカルスモークとは

サージカルスモークとは、エネルギーデバイスを使用した際に立ちのぼる煙で、生存および生存していない細胞などを含む微小な固体粒子が、大気中もしくは体腔内で浮遊したものである⁴⁾。文献上では「smoke」のほか「plume」「aerosol」「vapour」という単語が使用されることもある。炭化水素、フェノール、ニトリル、脂肪酸などの化学物質のみならず、生存する細菌・ウイルスを含む可能性から、患者や医療従事者の健康被害、感染リスクへの対応が必要である。

サージカルスモークに含まれる粒子の平均サイズは、使用するエネルギーデバイスによって異なり、電気メスにより発生する粒子径は最小で0.1 μm以下、レーザー治療器による粒子径は0.3 μm以下、超音波凝固切開装置は最も大きく0.35～6.5 μmとされる⁴⁾。これらの粒子はデバイス使用部位から最大1m拡散するとされ、患者や医療従事者が吸引することで健康被害を引き起こす可能性がある（表1）。

表1 サージカルスモークのリスク

呼吸器	急性・慢性炎症性変化（肺うっ血、肺気腫、気管支喘息、急性気管支炎、慢性気管支炎、間質性肺炎）
耳鼻咽喉頭	めまい、浮遊感、くしゃみ、喉の炎症、上咽頭病変
眼	眼の炎症、流涙
消化器	悪心・嘔吐
皮膚	皮膚炎
循環器	心機能障害
精神神経系	頭痛、不安

発がん性	白血病
ウイルス感染	HIV, HPV, 肝炎ウイルス
その他	低酸素血症, 衰弱, 疝痛, 貧血

HIV, Human immunodeficiency virus; HPV, Human papillomavirus

特に 0.5～5.0 μm の粒子は，肺の末梢まで到達し，肺うっ血，間質性肺炎，細気管支炎，気腫性変化など，急性および慢性の炎症性変化を引き起こすことが指摘されている

⁴⁾。暴露リスクはサージカルスモークの発生部位に近いほど高く，かつ累積によっても高くなる。

モノポーラやバイポーラ電気メスでは，標的細胞の温度上昇が起こり，細胞内温度が 100°C を超えると細胞膜が破裂し，細胞内の微粒子が大気中に分散する^{3,5)}。レーザー治療器によって生じるサージカルスモークも同様の性質を持つ⁴⁾。一方，超音波凝固切開装置のサージカルスモークは，ブレード先端の振動が熱エネルギーとなり蛋白質の変性をもたらすデバイスの特性から⁵⁾，電気メスに比べ低温での蒸散が起こり，生存する細菌・ウイルスをより多く含む可能性が指摘されているが⁴⁾，結論は得られていない。

サージカルスモークの危険性

(1) 感染リスク～特にウイルス感染について (図 1)

サージカルスモークには、ウイルス粒子が含まれることが指摘されている⁶⁻¹¹⁾。レーザー治療時に発生するスモークにヒト免疫不全ウイルス (HIV) DNA のプロウイルスやヒトパピローマウイルス DNA が含まれることが報告され⁶⁻⁹⁾、レーザー治療を行う医師において鼻咽頭の疣贅リスクも指摘されている^{10,11)}。ヒトパピローマウイルスはエンベロープを持たない直径 50 nm の正 20 面体の粒子で¹²⁾、HIV は直径 110 nm のエンベロープを有する球状の粒子である¹³⁾。新型コロナウイルス感染症の病原体である SARS-CoV-2 は、SARS および MERS と同じ β コロナウイルスに属する。コロナウイルス科は、エンベロープを有するプラス鎖 1 本鎖 RNA ウイルスで直径 80-160 nm とされ¹⁴⁾、ウイルスの大きさという観点からは、検出が報告されているウイルスとコロナウイルスは大差がないことがわかる。このことから、SARS-CoV-2 についても暴露リスクは否定できない。

サージカルスモークの量と質は、処置の種類、外科医の技量、標的臓器、エネルギーデバイスの種類や設定により変化する。サージカルスモークは粒子が大きく、低温で生成されるほど生存する細胞やウイルスを含有する可能性が高くなることから、電気メス、レーザー治療器に比べ、超音波凝固切開装置のリスクが高いとされるが^{15,16)}、更なる検証が

必要である。細菌や真菌についてもサージカルスモーク内に含有する可能性はあるが、ウイルスよりもサイズが大きく、サージカルマスクにより捕捉される可能性が高まるため、ウイルスに比べると暴露リスクは低いと考えられる。ただし、結核菌は $1.0\sim 4.0\times 0.3\sim 0.6\ \mu\text{m}$ の桿菌で、一般的な細菌よりも小さいためN95マスクや陰圧管理など特別な配慮を要する¹⁷⁻¹⁹⁾。サージカルスモークのウイルス含有量は、肝炎ウイルス感染者における肝臓やヒトパピローマウイルス感染者における子宮のように、ウイルスが存在する病巣の手術でリスクが高まる。このため、新型コロナウイルス感染者では、気管切開など気道を扱う耳鼻咽喉科領域や呼吸器外科領域の手術でリスクがより高いと考えられる。これらの領域では咳や痰、気胸や肺切除後にドレナージされる気体まで汚染されていると考え、手術室内だけでなく病院全体で対策を講じることが重要となる。さらに、新型コロナウイルス感染者は気道だけでなく、血液、尿、便からもウイルスが確認されているため^{20,21)}、体液を扱う処置全般で注意を要する。処置室や手術室の運用、周術期管理を扱う病棟を含め、清潔区域と不潔区域のゾーニングにも留意したい。

(2) 化学物質と発がん性

サージカルスモークには他にも、炭化水素、フェノール、ニトリル、脂肪酸などの化学物質を含み^{4,15)}、頭痛、刺激、目、鼻、喉の痛みを引き起こすこと知られている（表

1）。なかでも、アクリロニトリルはシアン化物の形成により毒性を示し、短期暴露で目の刺激、吐き気、嘔吐、頭痛、くしゃみ、脱力感、倦怠感、立ちくらみを引き起こし、長期暴露は発がんに関連すると報告されている¹⁵⁾。

組織 1g で生じるサージカルスモークは、レーザー治療器でタバコ 3 本、電気メスでタバコ 6 本と同等とされる¹⁵⁾。サージカルスモークによる細胞毒性が報告されている他²²⁾、癌手術における播種の可能性も指摘されているが²³⁾、一定の見解を得ていない^{24, 25)}。

サージカルスモークへの対策（図 1, 2）

サージカルスモークは、外科医のみならず、看護師、麻酔科医、臨床工学技士、医学

生、看護学生など様々な職種、さらには患者にも影響を与える。医療従事者がサージカルスモークに暴露されないためには、サージカルマスクを含む一般的な PPE だけでは不十分とされ、欧米を中心に排煙装置の使用が推奨されている^{4, 26, 27)}。

(1) サージカルマスクと N95 マスク

手術で使用されるサージカルマスクは、フィルタ機能のほか、血液防護性、空気置換率、燃焼性、皮膚刺激性、顔面への密着性、術野への落下防止、長時間の装用でも耳が痛くならない、取り外す際の感染リスクといったさまざまな観点から選定される²⁸⁾。国内には医療用マスクの規格は存在しないが、マスクの性能は米国材料試験協会 (American Society for Testing and Materials : ASTM) によって定められた規格が参考になる。評価項目は、細菌を含む 3.0 μm 以上の粒子の捕集性能を表す Bacteria filtration efficiency (BFE) , ウイルスを含む 0.1 μm の粒子の捕集性能を表す粒子濾過率 Particle Filtration Efficiency (PFE) , 血液防護性、通気性、燃焼性の 5 項目から成り、このうちサージカルマスクのフィルタ性能基準は、BFE 95%以上であることが条件である。更に、血液防護性の観点で 3 段階に分けられ、ASTM 規格レベル 2 以上のマスクでは BFE・PFE が 98%以上と規定されている。自施設で採用されているマスクの ASTM 規格を確認し暴露リスク軽減を図るほか、マスク装着下においてもウイルスを含むサージカルスモークの暴露リスクが残ることを忘れず、適正な装着を心がける^{29,30)}。

N95 マスクは、結核患者や水痘や麻疹に抗体を持たない医療従事者が患者と接するために用いられてきた¹⁹⁾。新型コロナウイルス感染者もしくは感染が疑われる患者の手術や処置においても N95 マスクが推奨されている。N95 とは、米国労働安全衛生研究所 (National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH) で定められた防塵規格で、空気動力学径で約 0.3 μm に換算される固形粒子径 0.075 \pm 0.020 μm の塩化ナトリウム粒子を 95%以上捕集する性能を意味する³¹⁾。ただし、N95 マスクは顔面に密着するよう装着しなければ暴露リスクが高くなることから、米国労働安全衛生局 (American Occupational Safety and Health Administration: OSHA) は、導入時と年1回のフィットテストを義務付けている¹⁹⁾。新型コロナウイルス感染者もしくは感染が疑われる患者での手術や処置では、職業感染制御研究会による「医療従事者のための N95 マスク適正使用ガイド」を参考に N95 マスクを正しく装着することが重要である¹⁹⁾。また、長時間 N95 マスクの装着により血中 CO₂ 濃度が上昇し集中力が低下するといった報告もあり^{32,33)}、長時間の処置や手術では小休憩を挟むなど、医療従事者への配慮も怠らない³⁴⁾。

(2) 排煙装置 (表 2、図 3)

サージカルスモークから患者や医療従事者を守るため、米国手術室看護師協会 (Association of perioperative registered nurses: AORN) , 国際周術期看護師連盟 (International Federation of Perioperative Nurses: IFPN) は、以前より排煙装置の使用を推奨している^{26,27)}。排煙装置は、吸引デバイス、吸引システム、濾過装置から構成され³⁵⁾、吸引システムは吸引力 30~40 m/min を推奨している⁴⁾。効果的な排煙のため、吸引口がサージカルスモーク発生箇所の近傍に位置するよう、電気メス先端 2~3 cm に吸引口が設置されている。吸引口は 5 cm 以内が推奨され、距離が離れると吸引効率は 50% 以下に低下する^{15,36)}。濾過装置には、空気清浄機やクリーンルームのメインフィルタとして用いられ、0.10 μm の粒子を 99.9995%以上捕捉する ULPA (Ultra Low Penetration Air Filter) 規格の超高性能フィルタが生物学的物質の除去目的に用いられている³⁷⁾。製品によっては ULPA フィルタの目詰まりを防ぐプレフィルタ、化学物質の除去を目的とした活性炭フィルタ、活性炭粒子の流出を防ぐ目的のポストフィルタと多層構造を持つものもある。フィルタ寿命は製品によって異なり、単回使用から 80 時間まで使用できる製品まである。交換時には感染予防策を講じ、使用後のフィルタ等消耗品はポリ袋等で密閉し破棄する等の感染対策を講じる。

開胸・開腹手術など直視下手術はもちろんのこと、鏡視下手術においても排煙の重要性が提唱されている。体腔内に蓄積したサージカルスモークが、鏡視下手術で用いるトロックカーから高密度で放出されることや、癌手術においては播種のリスクも指摘されている^{24, 25)}。このため、気腹・気胸圧を維持できるよう連続的な送換気が可能な鏡視下手術用の排煙装置がある。ただし、鏡視下手術における排煙装置は、サージカルスモークのリスク軽減目的よりも、視野維持が主な目的で使用されており、フィルタ機能を持たない製品や吸引システムのない補助換気チューブ製品も存在する。鏡視下手術においては、体腔内に貯留したサージカルスモークが体腔外に排出される場面が多様であるため、十分な注意を払う必要がある。自施設に排煙装置がある場合は、その性能を改めて確認したい。

エネルギーデバイスを用いる全ての手術・処置で排煙装置を使用することが理想的だが、現時点では導入・運用コスト等の課題が残る。新型コロナウイルス感染症が拡大している国内においては、地域の新型コロナウイルス感染症の発生状況や医療提供体制、当該医療機関の新型コロナウイルス患者の診療状況、緊急手術における地域での役割、さらには病院機能等を総合的に考慮し、対策を講じることが必要である。排煙装置やフィルタと

いった、現在限られている医療資材を効率的かつ効果的に配分するため、地域の医療機関が協力し、適正に排煙装置を使用することが望ましい。

排煙装置のない医療機関において、新型コロナウイルス感染患者もしくは感染が疑われる患者に緊急的な手術を行う際には、N95 マスクを含めた PPE に努めることはもちろん、リスクを少しでも軽減するため、効果は排煙装置より劣ったとしても壁吸引を用いて排煙に努める（図 2）。ただし、壁吸引に用いる製品は細菌やウイルスの捕捉を目的としていないため、壁吸引で代用する場合には、ウイルス捕集能を有する人工鼻等をフィルタとして代用するといった簡易的工夫も有効かもしれない^{38,39)}。

外科医のみならず、麻酔科医、手術室看護師、臨床工学技士、そして感染症制御を専門とする多職種 of 医療従事者が互いの知見や経験を活かし、限られた医療提供体制の中、患者や医療従事者の保護、感染拡大の防止に努めることが重要である。

表 2 国内で入手可能な主な排煙装置

装置名	製造企業	国内販売企業	直視下手術 使用	鏡視下手術 使用
RapidVac	Medtronic	コヴィディエンジャパン	○	○
Crystal Vision 450D	I.C. Medical	アムコ	○	○

AER DEFENSE	CONMED	日本メディカルネクスト	○	○
Buffalo Filter® VisiClear	CONMED	コンメッドジャパン	○	○
Buffalo Filter® ViroVac	CONMED	コンメッドジャパン	○	○
PlumeSafe® 604	CONMED	コンメッドジャパン／名優	○	-
Neptune3	Stryker	日本ストライカー	○	-
Air Seal FS	CONMED	コンメッドジャパン	-	○
PneumoClear	Stryker	日本ストライカー	-	○
UHI-4*	OLYMPUS	オリンパス	-	○

*フィルターを有しない装置

結論

エネルギーデバイスにより発生するサージカルスモークには、ウイルス、発癌性物質を含む様々な粒子が含まれている。新型コロナウイルス感染患者の手術で発生するサージカルスモークの感染リスクは十分に検証されていないものの、サージカルスモーク中に SARS-CoV-2 が含まれている前提で対応策を講じることが望ましい。手術適応を十分検討したうえで⁴⁰⁾、手術が必要な場合には安全に医療を提供するため、排煙装置の使用だけでなく、手術室の運用や周術期管理まであらゆる感染リスクの軽減措置を講じる知恵と努力が求められる。

追記

この情報提供は、有志により作成された内容で、できる限り適正な内容であるよう努力しておりますが、内容等につきましては責任を負いかねますのでご了承ください。

利益相反：申告する利益相反はありません。

参考文献

- 1) 新型コロナウイルス陽性および疑い患者に対する外科手術に関する提言. 2020年4月1日 (<http://www.jssoc.or.jp/aboutus/coronavirus/info20200402.pdf>)
- 2) Watanabe Y, Kurashima Y, Madani A, Feldman LS, Ishida M, Oshita A, et al. Surgeons have knowledge gaps in the safe use of energy devices: a multicenter cross-sectional study. Surg Endosc 2016; 30: 588-92.
- 3) 本間崇浩, 渡邊祐介. 電気メスの基礎知識と安全使用. 臨床外科 2019; 74: 750-4.
- 4) Alp E, Bijl D, Bleichrodt RP, Hansson B, Voss A. Surgical smoke and infection control. J Hosp Infect 2006; 62: 1-5.

5) Feldman LS, Fuchshuber PR, Jones DB. The SAGES Manual on the Fundamental Use of Surgical Energy (FUSE). Springer NY.

6) Garden JM, O' Banion MK, Sheinitz LS, Pinski KS, Bakus AD, Reichmann ME, et al. Papillomavirus in the vapor of carbon dioxide laser-treated verrucae. JAMA 1988; 259:1199-1202.

7) Ferenczy A, Beregeron C, Richard RM. Human papillomavirus DNA in CO2 laser-generated plume of smoke and its consequences to the surgeon. Obstet Gynecol 1990; 75:114-8.

8) Baggish MS, Poiesz BJ, Joret D, Williamson P, Refal A. Presence of human immunodeficiency DNA in laser smoke. Lasers Surg Med 1991; 11: 197-203.

9) Garden JM, O' Banion MK, Bakus AD, Olson C. Viral disease transmitted by laser-generated plume (aerosol). Arch Dermatol 2002; 138:1303-1307.

10) Gloster H, Roenigk R. Risk of acquiring human papillomavirus from the plume produced by the carbon dioxide laser in the treatment of warts. J Am Acad Dermatol 1995;32:436-441

- 11) Hallmo P, Naess O. Laryngeal papillomatosis with human papillomavirus DNA contracted by a laser surgeon. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 1991; 248: 425-427.
- 12) Day PM, Weisberg AS, Thompson CD, Hughes MM, Pang YY, Lowy DR, et al. Human Papillomavirus 16 Capsids Mediate Nuclear Entry during Infection. *J Virol*. 2019; 93: e00454-19. doi:10.1128/JVI.00454-19.
- 13) Turner BG, Summers MF. Structural biology of HIV. *J Mol Biol* 1999; 8; 285:1-32.
- 14) 川名明彦, 三笠桂一, 泉川公一. 新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) . 日内会誌 2020; 109: 392-5.
- 15) Barrett WL. Surgical smoke: a review of the literature. *Surg Endosc* 2003;17:979-987.
- 16) Hashimoto M, Kobayashi T, Tashiro H, Kuroda S, Mikuriya Y, Abe T, et al. Viability of airborne tumor cells during excision by ultrasonic device. *Surg Res Pract*. 2017;2017:4907576. doi: 10.1155/2017/4907576
- 17) 東匡伸, 小熊恵二. シンプル微生物学, 改訂第2版. 南江堂 (東京)

18) 日本結核病学会. 結核診療ガイドライン, 改訂第3版. 南江堂 (東京)

19) 職業感染制御研究会. 医療従事者のためのN95マスク適正使用ガイド.

http://jrgoicp.umin.ac.jp/related/N95_respirators_users_guide_for_HP_publ.pdf

20) Huang C, Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, et al. Clinical features of

patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet*. 2020 Feb

15;395(10223):497–506.

21) Peng L, Liu J, Xu W, Luo Q, Deng K, Lin B, et al. 2019 Novel Coronavirus can

be detected in urine, blood, anal swabs and oropharyngeal swabs samples.

www.medrxiv.org. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.02.21.20026179>

22) Hensman C, Newman EL, Shimi SM, Cuschieri A. Cytotoxicity of electro-

surgical smoke produced in an anoxic environment. *Am J Surg* 1998; 175: 240–241.

23) Fletcher JN, Mew D, DesCoteaux JG. Dissemination of melanoma cells within

electrocautery plume. *Am J Surg* 1999; 178: 57–59.

24) Ikramuddin S, Lucas J, Ellison EC, Schirmer WJ, Melvin WS. Detection of

aerosolized cells during carbon dioxide laparoscopy. *J Gastrointest Surg* 1998;

2: 580–584.

25) Reymond MA, Schneider C, Kastl S, Hohenberger W, Kochkerling F. The pathogenesis of port-site recurrences. *J Gastrointest Surg* 1998; 2: 406–414

26) Bigony L. Risk associated with exposure to surgical smoke plume: a review of the literature. *AORN J* 2007; 86: 1013–20.

27) International Federation of Perioperative Nurses. Educational tools. Smoke plume. <https://www.ifpn.world/resources/education-tools>

28) 石角鈴華. マスク（サージカルマスク・N95 マスク）・ゴーグル・フェイスシールド. *INFECTION CONTROL* 2010; 19: 258–68.

29) Guha S, McCaffrey B, Hariharan P, Myers MR. Quantification of leakage of sub-micron aerosols through surgical masks and facemasks for pediatric use. *J Occup Environ Hyg* 2017; 14:213–23.

30) Rengasamy S, Eimer BC, Szalajda J. A quantitative assessment of the total inward leakage of NaCl aerosol representing submicron-size bioaerosol through N95 filtering facepiece respirators and surgical masks. *J Occup Hyg* 2014;11:388–

96.

31) The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).

Information for health care worker. <https://www.cdc.gov/niosh/npptl/ppecase.html>

32) Laferty EA, McKay RT. Physiologic effects and measurement of carbon dioxide and oxygen levels during qualitative respirator fit testing. *J Chem Health Safety*. 2006;13:22-28. doi: 10.1016/j.jchas.2005.11.015.

33) Tang JW, HC Willem, TM Ng, Kwok WT. Short-term measures of carbon dioxide levels, physiological indicators and subjective comfort of healthcare workers wearing N95 masks. *Influenza Other Respir Viruses*. 2011;5(Supp s1):365-66.

34) Park AE, Zahiri HR, Hallbeck MS, Augenstein V, Sutton E, Yu D, et al. Intraoperative “Micro Breaks” with targeted stretching enhance surgeon physical function and mental focus: a multicenter cohort study. *Ann Surg* 2017;265:340-6.

35) Surgical smoke evacuations systems. *Health Devices* 1997; 26: 132-72.

36) Taravella MJ, Viega J, Luiszer F, Drexler J, Blackburn P, Hovland P, et al.

Respirable particles in the excimer laser plume. J Cataract Refract Surg 2001;
27: 604-607.

37) Lee T, Soo JC, LeBouf RF, Burns D, Schwegler-Berry D, Kashon M, et al.

Surgical smoke control with local exhaust ventilation: Experimental study. J
Occup Environ Hyg 2018; 15: 341-50.

38) 石井一成. 人工鼻フィルター 加温・加湿のしくみ. 人工呼吸 2004; 21: 1-7.

39) Mintz Y, Arezzo A, Boni L, Chand M, Brodie R, Fingerhurt A, et al. A low

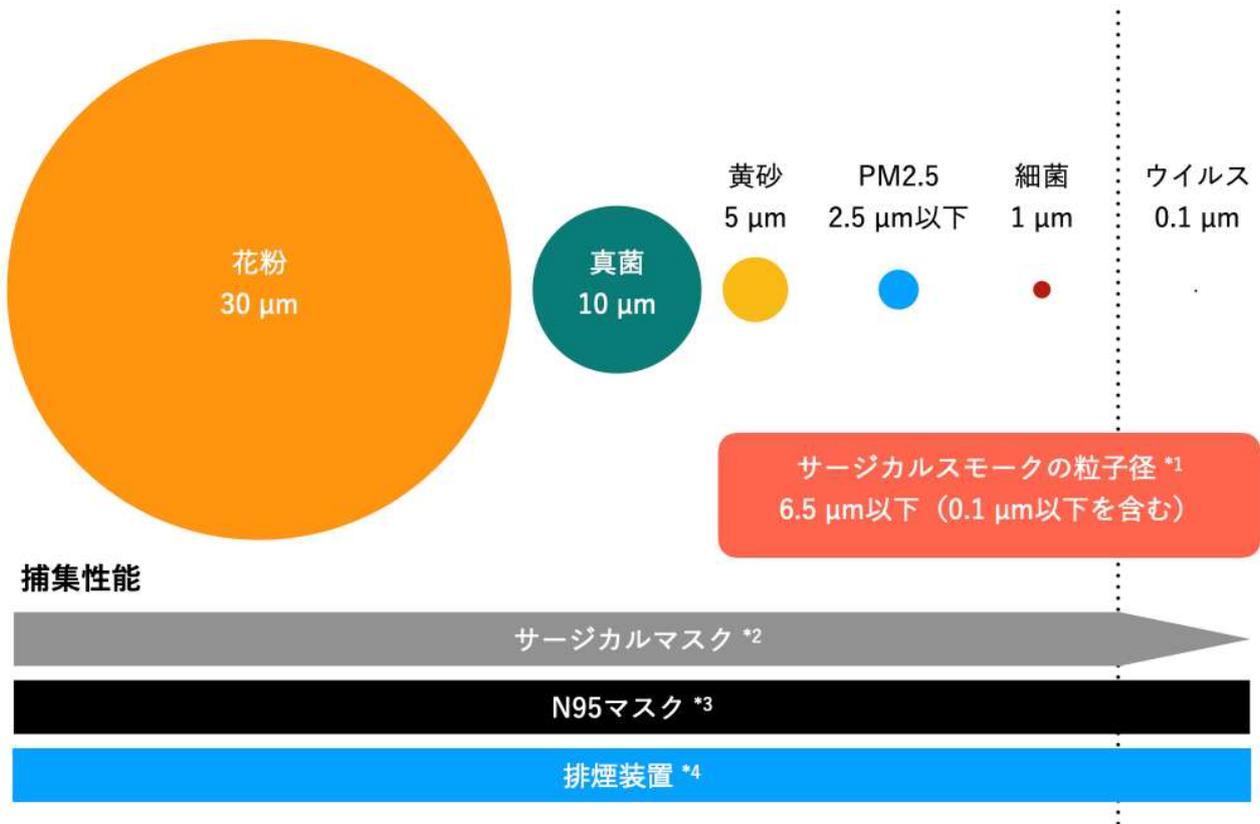
cost, safe and effective method for smoke evacuation in laparoscopic surgery for
suspected coronavirus patients. Ann Surg 2020 Apr 13. doi:

10.1097/SLA.0000000000003965

40) American College of Surgeons. COVID-19: Elective case Triage Guidelines for

Surgical Care. <https://www.facs.org/covid-19/clinical-guidance/elective-case>

図1 サージカルスモークの粒子径と対策の概念図



*1 処置の種類，外科医の技量，標的臓器，エネルギーデバイスの種類や設定により変化する。

*2 製品によってはウイルス捕集性能を有するが，マスクが密着していない箇所からの暴露リスクは残る。

*3 結核菌でも推奨される。密着していなければ暴露リスクあり。

*4 適切な吸引機能がなければ空気が汚染されるリスクがある。

図2 感染リスクに応じたサージカルスモーク対策

手術・処置		サージカルスモークへの対策	
エネルギー デバイス使用	患者の 感染リスク	マスク	排煙装置 ULPA*フィルタを有するもの
あり	否定的	サージカルマスク	推奨 (排煙装置を使用しない場合には、 壁吸引による可及的な吸引を行う)
	新型コロナウイルス 陽性および疑い*	N95	強く推奨 (排煙装置を使用しない場合には、 壁吸引による可及的な吸引を行う)

*新型コロナウイルス陽性および疑い患者だけでなく、結核感染もしくは疑い患者にも同様の対応が推奨される。

図3 直視下手術用の吸引デバイス例

