

# 建物内における空気の質に関する技術について

(一財) 建築コスト管理システム研究所・新技術調査検討会

## 1 はじめに

2019年末から今現在、新型コロナウイルスが流行している。予防対策としてマスクが挙げられるが、一時的に不足したことは記憶に新しい。

医療用消耗品のサージカルマスク製造にはクリーンルーム（以下、「CR」という）が求められる。CRとは、空気清浄度が確保された部屋のこと。家電メーカー等は液晶ディスプレイ製造用のCRに、マスク製造設備を設置し生産しているとのことである。CRは大きく分けると工業用CR（industrial clean room、以下、「ICR」）とバイオCR（biological clean room、以下、「BCR」）がある。液晶ディスプレイ用のICRは、医療用のBCRよりも数段高い性能を求められるため比較的短時間で実現したものと考えられる。

工場生産の現場のように、人と生産機械を分けることができればCR環境の構築は可能である。しかし我々が日常的に使う建物ではそういう管理は難しい。人は、咳やくしゃみにより飛沫を発生させるほか、発声によってマイクロ飛沫が発生する。更に人体は代謝しているので角質化した皮膚も粉じんとして発生する。

ある程度大きな建物では建築物における衛生的環境の確保に関する法律（いわゆる建築物衛生法）の告示に具体的な基準が示されている（浮遊粉じん量 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ 以下、 $\text{CO}_2$ 濃度 $0.1\%$ 以下等）。なお、室内空気環境には清浄度のほかに、温度、湿度、ガスなどが含まれている。

病院ではBCRレベルのバイオクリーン手術室が必要とされる場合がある。手術によっては大型

の検査機器等が入る場合があり、建物だけで、求められる清浄な空気を確保することは難しい。使う側のニーズを設計する側が理解し、設計の意図どおりに操作することによって清浄機能が達成されるものである。

今回は室内における空気の質に関する技術について、ISO、JIS、病院設備設計ガイドライン（HEAS）を参考としつつ、空気の質に関する設計の考え方について整理する。

## 2 空気の質を維持する方法

一般的には、室内の最適な空気清浄度を確保するために、汚染物質を「極力発生させない」「（対象空間に）持ち込まない」「速やかに除去する」「堆積させない」ことが原則とされている。

高い空気清浄度を要求されるCRの空気清浄度を維持する方法としては、CRの周囲をより清浄

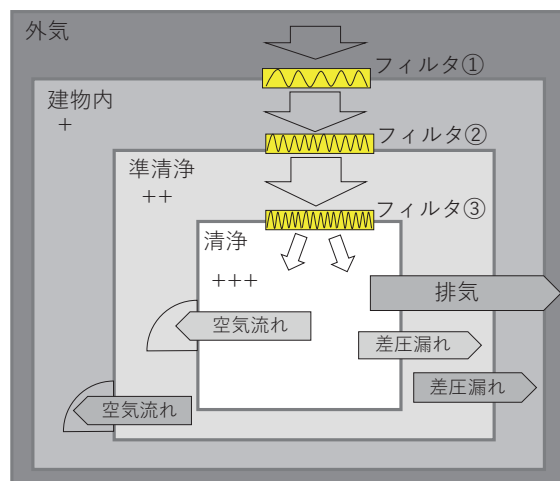


図1 CR周辺の空気流れ（+は圧力高さ）

度の低いCRで取り囲むことが多い。図1は文献1)にある図を参考に作成した概念図である。エアフィルタによって清浄度の高い空気を送りこみ陽圧とし、目的空間の清浄度を維持している。

フィルタ②やフィルタ③には、HEPA<sup>1</sup>フィルタやULPA<sup>2</sup>フィルタが使われる。JIS Z 8122 (コンタミネーションコントロール用語)によれば、HEPAフィルタは粒径が0.3μmの粒子に対して、99.97%以上の粒子捕集率を持っている。またULPAフィルタは、粒径が0.15μmの粒子に対して99.9995%以上の粒子捕集率を持つものとされている。現在ではこれ以上の性能のものもある。

次に、空気清浄度の異なる空間を分割するためにはいくつかの方法がある。

具体的には、

①差圧によるバリア

隣接する異なる空気清浄度のCR、またはクリーンゾーン間の差圧は、扉を開けることができ、かつ空気のかく乱による意図しない「交差流れ」が生じないように、一般的には5 Pa<sup>3</sup>～20Paにすることが望ましいとされている。

②気流制御によるバリア

空気清浄度の高いゾーンから低いゾーンへの「置換気流」の速度は、一般に0.2m/s以上であることが望ましいとされている。

③物理的なバリア

隔壁、アイソレーター、ミニエンバイロメントなどの物理的に分離する方法などである。

ミニエンバイロメントとは、例えばCR室内に、より高度なCR空間を設けるための隔壁を指している。

図2は文献1)を参考に作図したもので、産業分野から求められる空気清浄度の例である。分野によってはこれを上回る性能が求められる。

実際の要求性能は設計者が「目的物(粉じん)の大きさ」と「許容粉じん数」等を示す必要がある。

産業分野	清浄度クラス (ISO)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ウェハ製造								
半導体	前工程							
	後工程							
I C R	液晶							
	ディスク							
	精密機器							
	フォトマスク							
B C R	プリント基板							
	医薬品							
B C R	注射液充てん							
	製剤包装							
	無菌病室							
	無菌手術室							
食品	ロングライフ牛乳							
	弁当、総菜							
動物実験	無菌動物							
	SPF <sup>*</sup> 動物							

\*specific pathogen - freeの略。特定の病原体、特に指定された微生物・寄生虫をもたず、特定環境下で維持生産される動物のこと

図2 産業分野と要求清浄度の例

### 3 病院設計における空気の清浄度技術

病院では、図2で示した室のほか、「無菌○○室」が多く求められる。ISO<sup>3)4)</sup>やJIS<sup>5)6)</sup>などの規格もあるが、病院では「人が入って活動する」ことが前提であるため、清浄度を「粉じん数」によって表現することは難しい。

(一社)日本医療福祉設備協会発行「病院設備設計ガイドライン(空調設備編)」(2013年版)では、各室をI(高度清潔区域)からV(汚染管理区域・拡散防止区域)の五段階を設定しており、表1はその抜粋である。表にはこのほか最小風量の目安として外気量(回/h)、室内循環風量(回/h)が示され、室内圧が、P(陽圧)、E(等圧)、N(陰圧)で示されている。

まず、清浄度クラスは給気側最終フィルタの効率で差が付けられている。なお、清浄度クラスVの上段は目的毎に異なる排気用フィルタが必要となる場合がある。

室内循環風量について、例えばⅢの準清潔区域に設定されている「膀胱鏡・血管造影室」と「NICU<sup>4</sup>、ICU、CCU<sup>5</sup>」は、同じクラスに位置づけ

1 High Efficiency Particulate Airの略

2 Ultra Low Penetration Airの略

3 1 Pa = 1 m<sup>2</sup>当たり1 N(ニュートン)が掛かる圧力

4 Neonatal Intensive Care Unitの略

5 Coronary Care Unitの略

表1 清浄度クラスと換気条件 (抜粋・一部改変)

清浄度クラス	名称	摘要	該当室 (代表例)	給気最終フィルタ効率
I	高度清潔区域	層流方式による高度な清浄度が要求される区域	バイオクリーン手術室 易感染患者用病室	PAO計数法 99.97%
II	清潔区域	層流方式でなくてもよいがIに次いで高度な清浄度が要求される区域	一般的な手術室	高性能フィルタ JIS比色法 98%以上
III	準清潔区域	IIより清浄度を下げてもよいが一般区域より高度な清浄度が求められる区域	未熟児室 膀胱鏡・血管造影室 手術手洗いコーナー NICU、ICU、CCU	高性能フィルタ JIS比色法 95%以上
IV	一般清潔区域	原則として、開創状態でない患者等が在室する一般的な区域	一般病室 診察室、待合室 調剤室	中性能フィルタ JIS比色法 90%以上
V	汚染管理区域	有害物質を扱ったり、感染性物質が発生する室で、陰圧を維持する区域	RI管理区域諸室 細菌検査室 感染症用隔離病室 内視鏡室 (気管支)	中性能フィルタ JIS比色法 90%以上
	拡散防止区域	臭気や粉塵などが発生する室で、室外への拡散を防止するため陰圧を維持する区域	患者用トイレ リネン室 汚物処理室	-

られているものの、室内循環させる最小風量の目安は前者が15回/hに対して、後者は6回/hとされている。

室内の圧力について、いくつか例外はあるもののクラスIからIIIは陽圧、IVは通常空間と同圧、Vは陰圧とされている。

CRと同様に、清浄度クラスが高い方から低い方に空気が流れるように設計するのであれば室内空気圧は、 $I > II > III > IV > V$  と考えられる。なお、区域の境界に扉等がない場合、圧力差ではなく区域を分割するライン上における平均風速として0.2m/sを採用することも考えられる。

病室はクラスIII準清潔区域の「NICU、ICU、CCU」の陽圧から、クラスV汚染管理区域の「感染症用隔離室」の陰圧まで三つのクラスにまたがっている。これは代表的な例であって、患者の病状によって様々な対応が必要となるものと考えられる。

クラスIに例示されたバイオクリーン手術室は室内循環風量 (回/hで表される換気回数) ではなく、層流換気方式が求められている。層流換気方式は垂直方向 (図3) と水平方向 (図4) が示されている。風速は垂直方向では0.35m/s程度、水平方向では0.45m/s程度、外気量は5回/h程度とされている。なお手術室の場合、麻酔ガスの排気や臭気対策として外気量を増やす要望もある。

室全体として層流とする場合、例えば図4の室

で考えれば、幅が9mなら循環回数は180回/hとなる。これを実現するためには静圧が高い巨大な送風機が必要であるが、現実的ではない。更に実際の手術では様々な機材や人が携わるため安定した層流に対して邪魔をすることもあるので注意が必要である。

クラスIVは、我々が日常的に使っている部屋と同等の清浄度となっている (一般病室、待合室等)。

クラスVは有害物質や汚物系のものとして汚染管理区域と拡散防止区域の二つがあり、居室に有害物質や臭気が漏れないよう陰圧としている。

汚染管理区域については、RI管理区域諸室や感染性物質が発生する室とされており、内視鏡室 (気管支) は施術室ではあるもののクラスVに例示されている。また感染症用隔離病室もクラスIVで

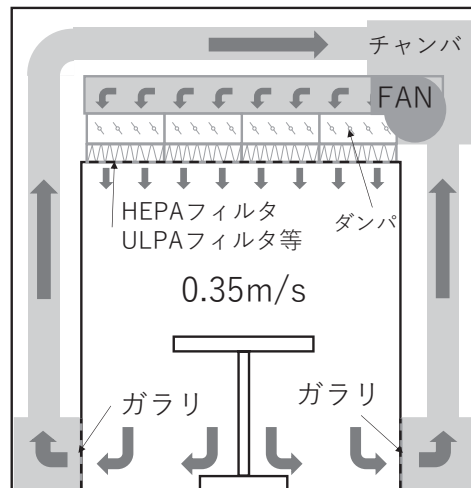


図3 層流の手術室 (垂直)

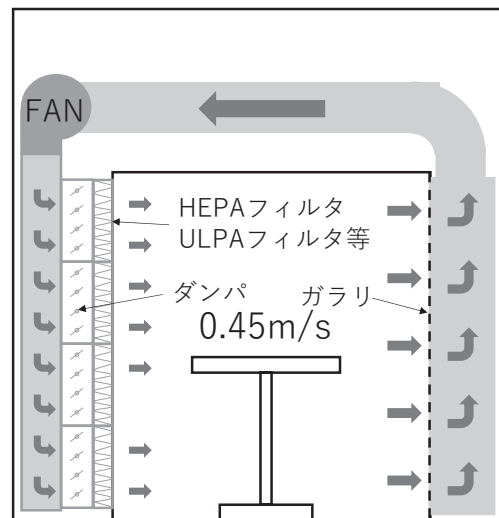


図4 層流の手術室 (水平)

はなくクラスVに分類されている。なお有害物質は必要なフィルタを通した排気が求められている。

拡散防止区域には、患者用便所や霊安室等がある。10回/h程度の全排気が例示されている。

次に、手術室における空気の質を改善した2事例と新型コロナ対応の仮設緊急病棟の事例を紹介する。

## 4 各社の事例

### 手術室内の温熱環境と清浄度を向上させる

#### 新型空調システム<sup>7)</sup> / 清水建設(株)

高度急性期医療対応の医療機関の手術室は、収容する医療行為者や先端医療機器の数が増え大型化する傾向にある。一方、空調方式は天井中央部から術野に向けて空調空気を吹出し、壁面下部に設けた吸込口から吸い込む図3のような方式が主流である。この場合、施術者や他のスタッフでは、運動量や体感温度が異なるため、温度について改善要望が多かった。

「クリーンコンポ デュアルエア<sup>®</sup>」(図5)は、中央部分の下降流に加えて壁面からの水平旋回流によりこれらの温熱環境の課題を解決し、清浄度も向上させた。

まず、下降流の温度について、従来は壁に取り付けた室代表の温度センサーによって制御(定流量、送風温度調整)しており、吹出温度は一定ではない。これを吹出口近傍に温度センサーを設置し一定温度で吹き出すことで、術野エリアの温度は要求温度一定に維持できる。

術野以外の部分は、足元は寒く頭は暑いなど上下温度差があった。それを解決するため図5のよ

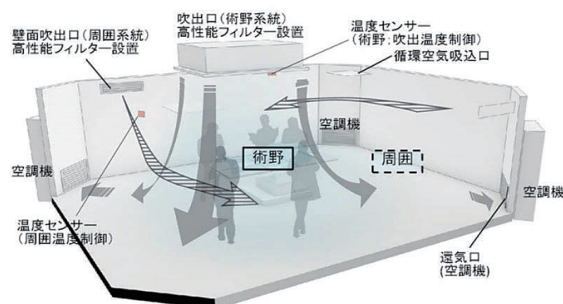


図5 クリーンコンポ デュアルエア<sup>®</sup>

うに対面壁に設けた吹出口から壁に沿って吹き出し空気を旋回させた(温度センサーは壁面設置)。これにより、上下温度差を解消するとともに清浄度回復性能(浮遊粒子の除去効率)が上がり清浄度が向上した。

設計上は、下降流が23℃程度、周辺旋回流部分は26℃程度となるよう設定されている。

実証実験により、下降流の吹出風速は0.3~0.45m/s程度で術野全体をカバーでき、水平旋回流は約1m/s程度の吹出風速で術野の下降流を乱すことなくその周囲を大きく旋回することを確認している。

費用については、標準的な手術室(クラス10000、室面積60㎡、床面約8m×8m、天井高3m)の施工費用は約2,000万円である。これまでに4病院39室で同方式の手術室空調を採用した実績があり、ユーザーからも高い評価を受けている。現在4病院34室が施工中もしくは計画中である。

なお、クラス10000は清浄度の規格で、ISOのクラス7に相当する。HEASのガイドライン上では清浄度クラスIIの清潔区域にあたる。コストについては既存手術室の状態によるため、個別に相談していただきたいとのことである。

### 除湿による手術室内の作業環境の向上

#### 低温・高湿度時の除湿対策<sup>8)</sup> / 株式会社ダイダ

一般的に手術室の夏期湿度条件は50%が目標値とされている。これを満足するには、外気処理空調機を備えた高度な空調システムの導入が望まれる。しかし中小規模の病院においてはイニシャルコスト、ランニングコストの観点から、除湿機能を持たない空調システム(外気処理エアコンなど)を採用する例が見受けられる。この場合、梅雨時期のように外気条件が低温・高湿度となると冷却による除湿がされず、手術室の相対湿度が上昇し、結露によるカビの発生や医療従事者の不快感による集中力低下などが懸念される。

このような湿度トラブルを解決する場合、手術室内での除湿空調システムが検討される。

新開発された「からっとオペ(図6)」は、ビ

ル用マルチエアコンの室外機+ダブルコイルユニット方式による温度調節に、除湿機能を加えたシステムとしている。

壁コイルユニットに冷却/加熱コイルを搭載することにより、手術室内で除湿（冷却除湿/加熱）を行うことが可能となり、外気処理が不十分であっても手術室内の湿度環境の改善が見込める。

構成機器には冷暖房兼用のビル用マルチエアコンを使い、冷却時の排熱を加熱側に利用しているため、省エネルギー性が高い。また工事を行う場合、手術室単位で完結できるため、新築時の導入だけでなく改修工事でも比較的導入しやすいメリットもある。

費用について、手術室（ISOクラス7、室面積50㎡程度）のシステム費用として約1,500万円。なお、設置工事、ダクト・冷媒配管・制御配線等の設備工事は別途必要とのことである。

なお清潔区域を維持するためにHEPAフィルタの交換やFANを常時ONにしておく必要があるがこれは従前と変わらない。

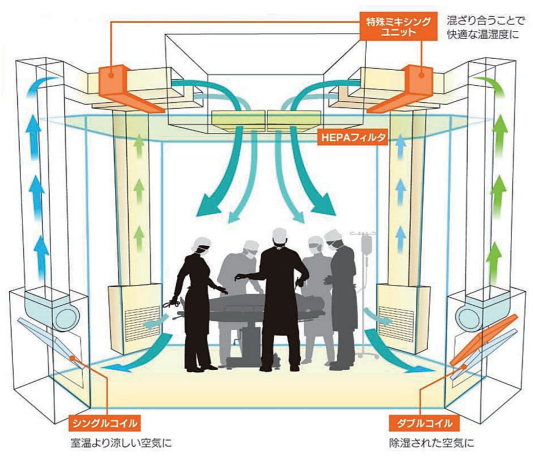


図6 からっとオペ

新型コロナ対応の仮設緊急病棟を開発

求められる機能別にユニット化<sup>9)</sup> / (株)大林組

2008年に新型インフルエンザが流行した際に、医療病床不足に対応するため「新型インフルエンザ対応緊急病棟（パンデミックエマージェンシーセンター）」が開発されていた。

当初は、originalと発熱外来の2種類だったが、これにquickタイプ、IIタイプ、ICUタイプの3

種類が追加されシリーズ化された。表2はそのラインアップである。

originalタイプ（図7）は、隔離が優先されるウイルス疾患に対応することを目的とし、面会廊下を外周に設け、面会者や医療スタッフと患者の交差感染の防止に配慮したものである。

quickタイプは、originalタイプと同じ平面ではあるが部材を既製品にすることで、より短期間の工期で設置を可能としたものである。

IIタイプ（図8）は、酸素吸入が必須で人工呼

表2 シリーズ一覧

タイプ名称	対象患者			病床数	規模 (㎡)	工期 (準備除)
	軽症	中等症	重症			
original	○	○	×	10床	500 (基本)	8週間
quick	○	○	×	10床		2週間
II	○	○	×	30床		8週間
ICU	-	-	○	10床		10週間
発熱外来	発熱患者専用外来			1室	69	10日

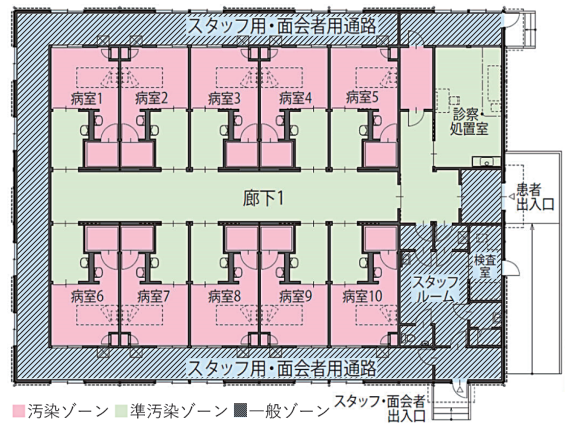


図7 originalタイプ/quickタイプ

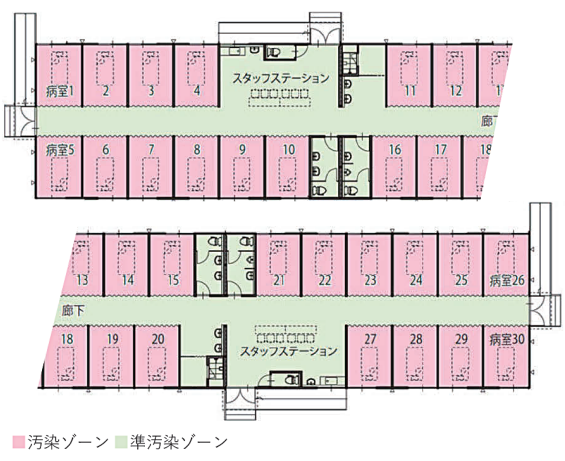


図8 IIタイプ

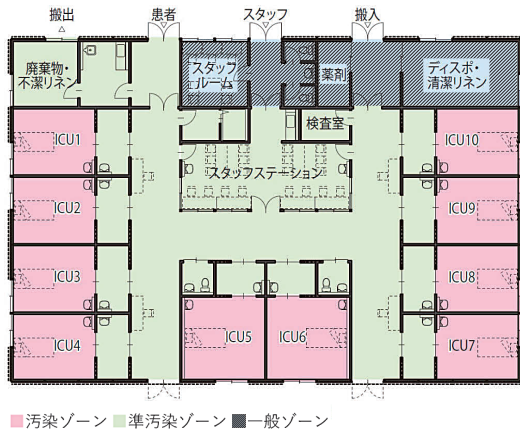


図9 ICUタイプ

吸器の装着もあり得る新型コロナウイルスの中等症患者収容を想定したもので、医療ガスの酸素と空気をセントラル配管で供給するシステムとしている。基本プランは500㎡で30床としているが必要に合わせて増減可能とされている。

ICUタイプ（図9）は重症患者治療に対応できるように人工呼吸器又は人工心肺装置（ECMO）を装着することを前提とし、床荷重は重量機器対応としており、ICU（集中治療室）の施設基準である1床当たり20㎡を確保している。なお一般的にICUは陽圧とされているが、ほかのタイプと同様に陰圧としている。

これらは、表1のクラスVにある感染症用隔離病室相当である。

## 5 最後に

病院は清潔であることが前提である。しかし、感染症のように患者自体がハザードとなる場合もある。ICUは清浄度クラスⅢで一般的には陽圧だが、新型コロナのような感染症対策としては陰圧にする必要が出てくる。

また、手術室は各人の運動量の差が大きいため、単一的に空調すると寒さがストレスとなることもある。導入される屋外の条件によるところも大きく、条件によっては不都合も起こる。

設計においては、ユーザーからの要望を吸い上げ、様々な提案を通して設計に反映させることが求められている。その要望を踏まえ、何を実現さ

せればどの程度コストがかかるのか、ランニングコストはどの程度見込む必要があるのか等を整理することにより、施主が判断しやすいメニューを用意することが相互理解にも繋がっていくと考えられる。病院側の維持管理者や改修工事の担当者など、雑談でも構わないので幅広い意見を集めればそこからニーズを拾える可能性もある。

今回、建物内における空気質（清浄度や温湿度等）について、多様なニーズから生まれた技術の一部を紹介した。今後も医療従事者や患者が快適に過ごせる空間を目指し、更なる技術開発を期待したい。

謝辞：本稿の執筆にあたり、資料の提供及びご助言等をいただきました（公社）日本空気清浄協会会長、藤井修二様（東京工業大学名誉教授）におかれては心より感謝申し上げます。

また技術的な資料等を提供いただきました清水建設、ダイダン、大林組の各社に対して心より感謝申し上げます。

### （参考文献）

- 1) (公社) 日本空気清浄協会『クリーンルーム環境の計画と設計（改訂3版）』オーム社
- 2) (一社) 日本医療福祉設備協会「病院設備設計ガイドライン（空調設備編）HEAS-02-2013」
- 3) ISO 14644-1 Clean rooms and associated controlled environments- Part 1: Airborne particulate cleanliness classes, 2015
- 4) ISO 14644-2 Cleanrooms and associated controlled environments- Part 2: Monitoring to provide evidence of cleanroom performance related to air cleanliness by particle concentration, 2015
- 5) JIS B 9920-1: 2019 クリーンルーム及び関連する制御環境—第1部：浮遊粒子濃度による空気清浄度の分類
- 6) JIS B 9920-2: 2019 クリーンルーム及び関連する制御環境—第2部：粒子数濃度による清浄度に関するクリーンルーム性能を根拠付けるためのモニタリング
- 7) <https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2019/2019024.html>
- 8) [https://www.daidan.co.jp/news/up\\_pdf/20190701.pdf](https://www.daidan.co.jp/news/up_pdf/20190701.pdf)  
問い合わせ窓口：セラボヘルスケアサービス(株)  
<https://cellabhs.co.jp/products/84/>
- 9) [https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20200929\\_1.html](https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20200929_1.html)