

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	生産バックアップ作業員数の推定における感染症パラメタの影響
Title(English)	Effects of Infection Parameters on Estimating the Number of Production Backup Workers
著者(和文)	北澤正樹, 高橋聡, 吉川厚
Authors(English)	Masaki KITAZAWA, Satoshi TAKAHASHI, Atsushi YOSHIKAWA
出典(和文)	人工知能学会全国大会論文集, , ,
Citation(English)	Proceedings of the Annual Conference of JSAI, , ,
発行日 / Pub. date	2023, 6
Note	ここに掲載した著作物の利用に関する注意 本著作物の著作権は人工知能学会に帰属します。本著作物は著作権者である人工知能学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」に従うことをお願いいたします。 Notice for the use of this material. The copyright of this material is retained by the Japanese Society for Artificial Intelligence (JSAI). This material is published here with the agreement of JSAI. Please be complied with Copyright Law of Japan if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) The Japanese Society for Artificial Intelligence.

生産バックアップ作業員数の推定における感染症パラメタの影響 Effects of Infection Parameters on Estimating the Number of Production Backup Workers

北澤 正樹^{*1, *4}
Masaki Kitazawa

高橋 聡^{*2}
Satoshi Takahashi

吉川 厚^{*3, *4}
Atsushi Yoshikawa

^{*1} 北澤技研
Kitazawa Tech

^{*2} 関東学院大学
Kanto Gakuin University

^{*3} 東京工業大学
Tokyo Institute of Technology

^{*4} 立教大学
Rikkyo University

This study aims to estimate the number of backup workers required to continue production when the infection parameters change to various situations. Enough workers are necessary to run the production site. However, it is difficult to estimate the number of backup workers because of the complexity of the production site and the sudden absence of workers by infectious. In this paper, we used an Agent-based modeling production site infection simulator to compare changes in the number of backup workers under the following conditions: two virus types, three mask-wearing situations, and two backup target ranges. The results show the infection parameters including the duration of each symptom period are important to estimate the number of backup workers, the backup workers with masks need to be available for 10-25% of the production site, and the backup target range should be determined in combination with measures to reduce the probability of infection.

1. はじめに

感染症化において、企業は人員に余裕を持たせて突発的な欠員が生じて業務を継続することが求められている。感染症の感染リスクや施設における影響評価として様々な粒度の感染シミュレーションが構築されている[内閣官房 2023]。一方で、感染発生後に業務継続のために必要な人員に関して推定しているシミュレーションは少ない。業務継続のための人員に関する従来研究である[北澤 2022]では Agent-based modeling を用いた感染シミュレータを仮定の生産現場に適用し、感染者が生じた場合に生産継続に必要なバックアップ作業員数を推定している。その際の感染症に関係するパラメタとしては、ウイルス種類として新型コロナウイルスを設定し、マスクは作業員全員が必ず着用するように設定している。しかしながら、バックアップ作業員は「備え」である点や新型コロナウイルスの対応策変更といった情勢を鑑みると、感染症パラメタが様々な変化したときの影響をあらかじめ推定しておくことが重要である。

そこで本論文では、生産現場に適用した Agent-based modeling による感染シミュレータを用いて、感染症パラメタの変化がバックアップ作業員数や感染者数に与える影響を明らかにする。具体的な感染症パラメタとして以下の 3 種類を組み合わせた 12 条件を設定する;1)ウイルス種類として新型コロナウイルスと季節性インフルエンザの 2 種類, 2)マスク着用状況として無しと任意(確率 0.5 でランダム)と有りの 3 種類, 3)バックアップ実施ポリシーとして発症者単位と濃厚接触者も考慮するセル/倉庫単位の 2 種類。これらの条件によるシミュレーション結果より、感染状況下でも生産を継続するために必要なバックアップ実施ポリシーやバックアップ作業員数について考察する。

2. モデルおよび実験条件

本章では、Agent-based modeling を用いた感染シミュレータと、実験条件について述べる。

2.1 生産現場の感染シミュレーションモデル

本論文では[北澤 2022]と同様に、Agent-based modeling 技術を用いて構築された School-Virus-Infection-Simulator (SVIS) [Takahashi 2022]を改良して、生産現場のバックアップ作業員数

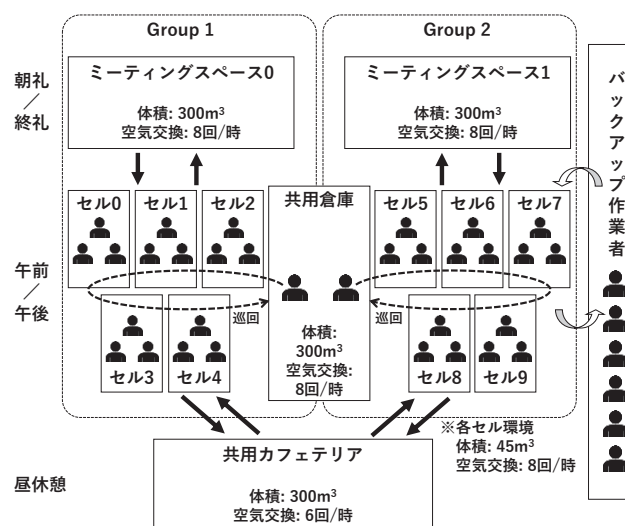


図1 シミュレーションのモデル概形

を推定可能にした感染シミュレーションを用いる。本シミュレーションのモデル概形は図1に示すとおりで、生産現場フィールドの作業員エージェントが担当作業や朝礼といった生産業務をスケジュールどおりに行っていく1日の流れを、指定日数まで繰り返していくシミュレーションである。

作業員エージェントは同じ環境に感染力ありの感染者がいる場合に感染判定を行い、感染した場合は設定した感染ステータス推移に従って感染状態や動作が変化する。作業員エージェントに発症者がでた場合、設定したバックアップ実施ポリシーに応じて、該当する作業員エージェントには強制的に仕事を休ませる。その際に担当者が不在となる作業は、待機していたバックアップ作業員エージェントに作業が割り振られて不在期間の作業を代替することで、常に生産継続に必要な人員を確保するような仕組みを導入している。なお、バックアップ作業員エージェントも感染ステータスを持ち、作業を代替している間に感染して、さらなるバックアップ作業員エージェントが必要となる可能性もある。シミュレーション上はバックアップ作業員エージェントを豊富に待機させておき、シミュレーション終了時に作業を代替したエージェント数をカウントすることで、バックアップ作業員数が推定可能となっている。

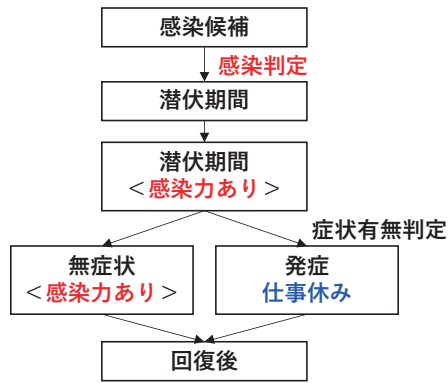


図2 感染ステータスの推移

(1) フィールドとエージェントのパラメタ設定

本論文では生産現場フィールドのパラメタ設定と、作業員エージェントとバックアップ作業員エージェントのパラメタ設定は、すべての実験で同一の設定とした。生産現場フィールドとしては、ミーティングスペース 2 箇所、セル作業場 10 箇所、共用倉庫 1 箇所、共用カフェテリア 1 箇所を設定した。各フィールドの広さや換気設定は図 1 内に記載したとおりである。各セル作業場は担当者 3 名ずつ、共用倉庫は担当者 2 名で、生産現場全体で合計 32 名が稼働に必要な人員としている。各作業員エージェントのスケジュールには、朝礼 15 分→午前作業 10 分*18 回→昼休憩 60 分→午後作業 10 分*27 回→終礼 15 分という行動を設定した。午前作業と午後作業を 10 分刻みで分割しているの、セル作業員は担当するセル内でのみ動作するが、倉庫作業員は各セルと倉庫を 10 分刻みで渡り歩く動作と設定しているためである。また、バックアップ作業員エージェントはすべての作業を代替可能と設定した。

作業員エージェントは 2 グループに分かれており、セル作業場 5 箇所 15 名と該当セルを渡り歩く倉庫作業員 1 名の 16 名で管理されている想定とした。これらの設定は筆者らの経験や[日本経済団体連合会 2021]の指針に記載された感染対策:朝礼などはグループに分割して行う、作業員は担当区域を極力横断しない、ミーティングや昼食の場所は十分に広く換気されている、を基に設定した。

(2) 感染処理と感染ステータス

作業員エージェントとバックアップ作業員エージェントは図 2 に示す感染ステータス推移に従って感染状態や動作が変化する。まず、感染判定では[Dai 2020]で改良された Wells-Riley の感染確率式を用いて計算する;

$$P = 1 - \exp \left\{ \frac{-Iqpt(1-n_I)(1-n_S)}{Q} \right\} \quad (1)$$

ここで、 P は感染確率、 I は判定時に同じ場所にいる感染力のあるエージェント数、 q は対象ウイルスの粒子発生率、 p は作業員の肺換気量、 t は判定時間間隔、 n_I は呼吸ろ過率、 n_S は呼吸ろ過率、 Q は対象現場の換気量(体積と空気交換回数の積)である。判定により感染状態となったエージェントは潜伏期間ステータスに移行し、所定の潜伏期間を経てから症状有無の判定が行われる。判定により発症となった場合は会社を休み、担当していた作業をバックアップ作業員エージェントが代わって実施する。一方で、無症状の場合は感染力があるまま出勤し続ける。

本論文における感染処理の各パラメタは表 1 に示すとおりである。全実験条件に共通の値は作業員の肺換気量 p であり、[産総研 2006]の軽い活動時の数値 0.91 (m³/h)を利用した。マ

表 1 感染症パラメタの一覧

(a) 共通項目		
パラメタ名	数値	
p : 作業者の肺換気量	0.91 m ³ /h	
(b) マスク有無による違い		
パラメタ名	マスク有り	マスク無し
n_I : 呼吸ろ過率	0.50	0.00
n_S : 呼吸ろ過率	0.50	0.00
(c) 感染症ウイルスによる違い		
パラメタ名	新型コロナ	インフルエンザ
q : 対象ウイルス の粒子発生率	48	67
無症状確率	0.30	0.00
潜伏期間	3 日	1 日
感染力ありの 潜伏期間	2 日	1 日
発症期間	10 日	5 日
無症状期間	7 日	—

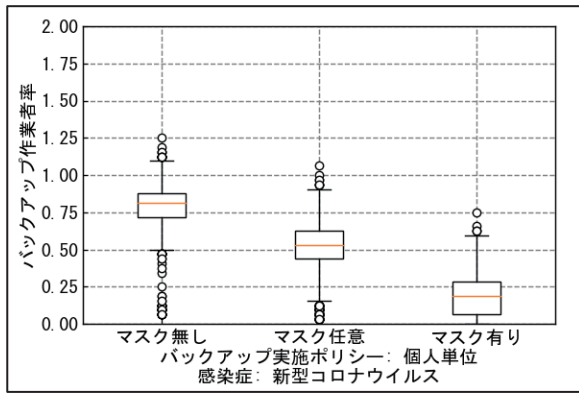
スクの有無による変化は呼吸ろ過率 n_I と呼吸ろ過率 n_S に現れ、本論文では[Dai 2020]を参考にマスク無しではどちらのろ過率も 0%, 着用すると 50%で感染確率が 4 分の 1 になる設定にした。ウイルス種類による違いは粒子発生率や無症状確率や各期間に現れる。新型コロナウイルスの数値は[Takahashi 2022]と[厚生労働省 2022]を参考に設定した。季節性インフルエンザウイルスの数値は[Liao 2005]と[WHO 2006]を参考に設定し、発症した際の仕事休みの期間は学校保健安全法を参考に設定した。

感染に関して、本シミュレーションでの設定背景や範囲外とした要素について述べる。本シミュレーションは生産現場内のみを対象としており、感染判定は各エージェントの通勤時やバックアップ作業員エージェントの待機場所などの生産現場以外では起きないようにしている。また、同じ場所にいる感染候補の作業員エージェントは全員同じ確率で判定され、部屋内での位置や相対関係の影響は考えないように簡易化している。各ウイルスの設定値において、実際の粒子発生率は感染してからの日数によって変化するが、本シミュレーションでは感染力ありの期間は一定値であるとしている。また、潜伏期間や発症期間には個人差が生じるが、各感染ステータス推移は日数固定と簡易化している。季節性インフルエンザ発症時の仕事休み期間は、法的な基準は無いが、会社の規則として学校保健安全法と同じ期間を出勤停止と設定している企業があることから設定している。また、本論文では季節性インフルエンザの無症状確率を 0.00 と設定しているが、これは季節性インフルエンザでは無症状者の感染性が低いと考えられている点を反映したものである。

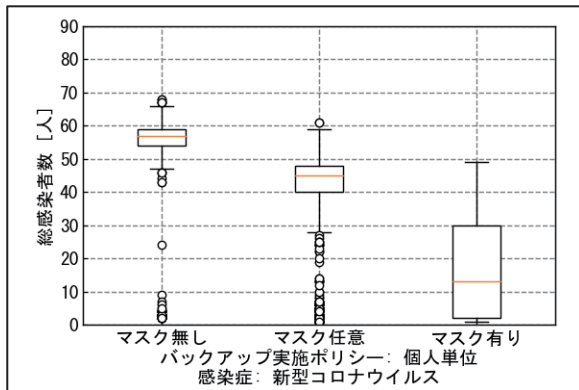
2.2 実験条件

実装した生産現場の感染シミュレーションモデルを用いて、ウイルス種類を新型コロナウイルスと季節性インフルエンザの 2 種類、マスク着用状況を無しと任意(確率 0.5 でランダム)と有りの 3 種類、バックアップ実施ポリシーを発症者単位とセル/倉庫単位の 2 種類、合計 12 条件を計算してバックアップ作業員数と総感染者数を比較する。なお、バックアップ作業員数は生産現場の初期人数である 32 名で割った率で示す。例えばバックアップ作業員率が 0.5 の場合、32*0.5=16 名のバックアップ作業員が必要で、生産現場全体では 48 名必要だったことを表す。

ウイルス種類とマスク着用状況によるパラメタの違いは 2.1 節と表 1 で示したとおりである。マスク着用状況が任意の条件では



(a) バックアップ作業率 (分母は現場初期 32 人)



(b) 総感染者数

図 3 新型コロナウイルスかつ
個人単位バックアップの計算結果

シミュレーション開始時に作業員エージェントがマスク着用するかを確率 0.5 で判定し、判定結果を全期間で用いることとした。一方で、バックアップ作業員エージェントがマスクを着用するかは代替する作業員エージェントの判定結果を引き継ぐこととした。そのため、バックアップ作業員エージェントは期間によってマスク着用状況が異なる場合がある。バックアップ実施ポリシーは、あるエージェントが発症した場合に、どの範囲のエージェントまで一緒に休ませるかを設定するルールである。発症者単位条件では発症したエージェントのみが休みとなる。セル/倉庫単位条件は範囲を拡大して、発症したエージェントの他に同じセルや倉庫と一緒に担当しているエージェントも感染有無に関わらず休みとする設定である。これは現実において濃厚接触者と判断されたときの状況を表現している。

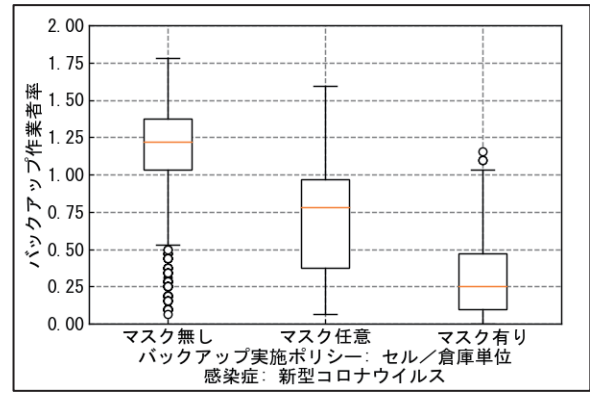
その他のシミュレーション設定は以下のとおりである。シミュレーションする日数は 91 日(約 3 ヶ月)とした。初期感染者としては開始 1 日目に「感染力ありの潜伏期間」を 1 名発生させ、その後外部からの追加感染者は最終日まで無しとした。計算回数は全条件で初期感染者がセル作業員の場合を 1000 回、倉庫作業員の場合を 1000 回の合計 2000 回として、初期感染者の担当場所や感染判定やマスク着用によるバラつきを考慮している。

3. 実験結果および考察

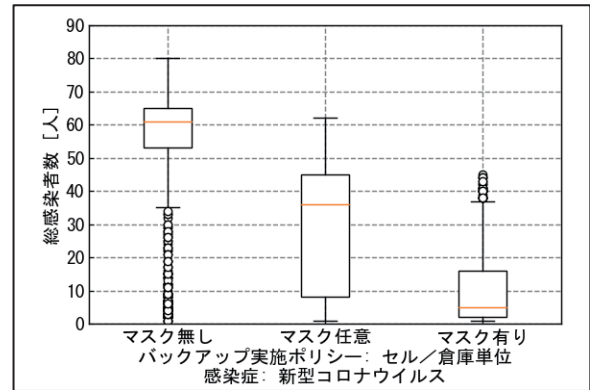
各条件の実験結果を図 3 から図 6 に示す。

3.1 マスク着用状況の違いによる影響

バックアップ作業員数も感染者数も、全体的な傾向はマスク無し > 任意 > 有りとなっており、感染確率の設定と対応している



(a) バックアップ作業率 (分母は現場初期 32 人)



(b) 総感染者数

図 4 新型コロナウイルスかつ
セル/倉庫単位バックアップの計算結果

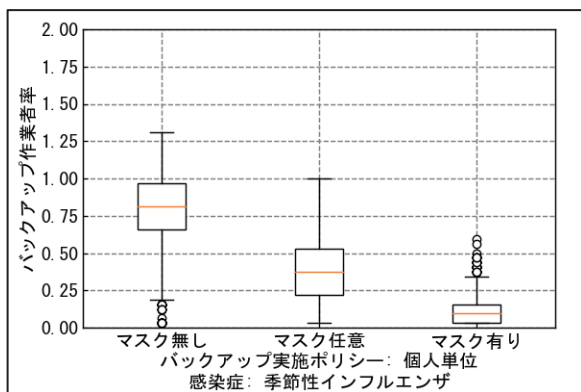
ことが確認できた。バックアップ作業率の中央値はマスク無しの条件で 0.8-1.2、マスク有りの条件でも 0.10-0.25 であった。このことから感染状況下でも生産を継続するためには、マスクという感染対策をしても、多くのバックアップ作業員を確保しておく必要があると考えられる。

3.2 ウイルス種類の違いによる影響

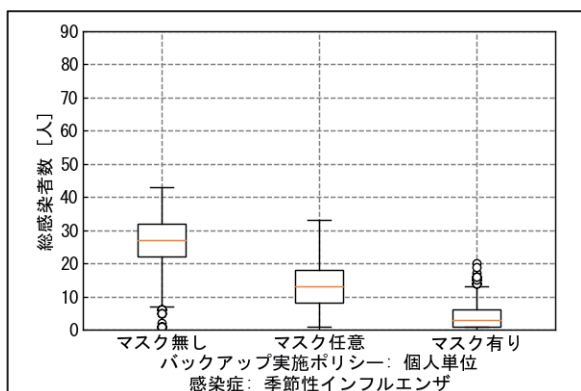
ウイルス種類の違いに注目すると、総感染者数の中央値はどの条件でも新型コロナウイルスの方が 2 倍以上多いが、バックアップ作業率では 1.5 倍程度とそこまでの差は見られなかった。これは、新型コロナウイルスの方が仕事休み期間は長いが無症状が発生してバックアップが必要ない場合がある点や、季節性インフルエンザウイルスの方が感染確率自体は高く感染者が短期間に集中しやすい点から生じた傾向である。総感染者数と強い相関があるものの、バックアップ作業員数の推定には感染症ウイルスの各症状期間も含めたパラメータを設定することが重要だと、あらためて確認された。

3.3 バックアップ実施ポリシーの違いによる影響

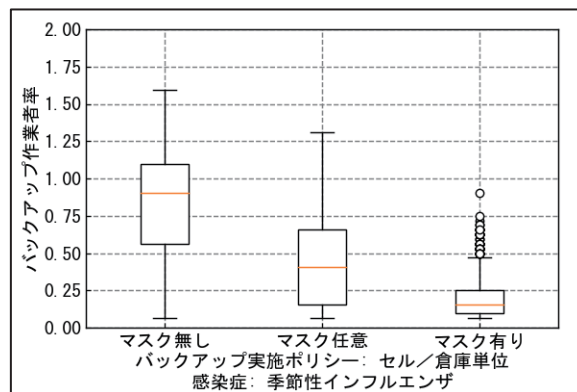
個人単位とセル/倉庫単位のバックアップ実施ポリシーの違いに注目すると、全体的には[北澤 2022]でも指摘されていたバックアップ範囲を広くするとバックアップ作業員数が増加するが総感染者数は減少させることができるというトレードオフの関係が当てはまるが、図 3 と図 4 の新型コロナウイルスかつマスク無しの条件では総感染者数も増加しており当てはまらない。ログを分析すると、マスク無しの感染確率が高い状態で複数人のバックアップ作業員エージェントが追加されるため、ほぼ全てのエー



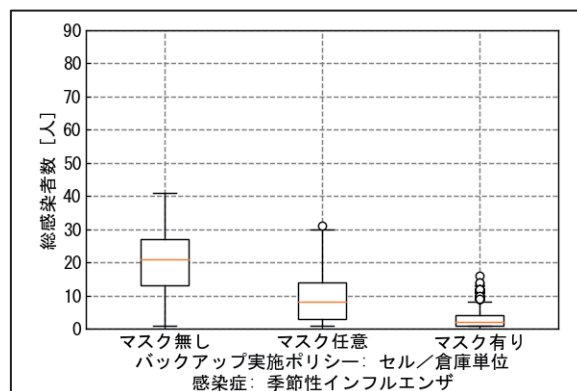
(a) バックアップ作業率 (分母は現場初期 32 人)



(b) 総感染者数

図 5 季節性インフルエンザかつ
個人単位バックアップの計算結果

(a) バックアップ作業率 (分母は現場初期 32 人)



(b) 総感染者数

図 6 季節性インフルエンザかつ
セル／倉庫単位バックアップの計算結果

ジェントが感染を経験するまで感染の連鎖が止まらない状況になっていることが分かった。バックアップ実施ポリシーは独立に決定すると効果が得られない可能性があるため、感染確率を減少させる取組と組み合わせる必要があると考えられる。

4. 結論

本論文では生産現場に適用した Agent-based modeling による感染シミュレータを用いて、感染症パラメタの変化がバックアップ作業率や感染者数に与える影響を明らかにすることで、感染状況下でも生産を継続するために必要なバックアップ実施ポリシーやバックアップ作業率について考察した。具体的な感染症パラメタとして、ウイルス種類、マスク着用状況、バックアップ実施ポリシーを設定してシミュレーションをした結果、以下の3点を得られた; 1) バックアップ作業率も感染者数も全体的な傾向はマスク無し > 任意 > 有りだが、マスク有りでも生産現場の 10-25% 程度のバックアップ作業者の確保が必要となる、2) バックアップ作業率の推定には感染症ウイルスの各症状期間も含めたパラメタを設定することが重要である、3) バックアップ実施ポリシーは独立に決定すると効果が得られない可能性があるため、感染確率を減少させる取組と組み合わせる必要がある。

今後の展望としては、感染症ウイルスのパラメタやマスク着用状況の詳細化をした場合の変化や傾向について分析する、通勤や家庭など外部との影響を導入して対象フィールド外の環境変化も考慮可能にする、生産現場の他形式やオフィス業務など別の業種へも本シミュレーションを適用して必要なバックアップ人員数や傾向について検討するといった計画を進めている。

参考文献

- [内閣官房 2022] 内閣官房, COVID-19 AI・シミュレーションプロジェクト(2020) <https://www.covid19-ai.jp/ja-jp/> (最終接続 2023/03/02)。
- [北澤 2022] 北澤正樹, 高橋聡, 吉川厚, 感染状況下における生産継続に必要なバックアップ作業率の推定, 第 36 回人工知能学会全国大会, 3O4-GS-5-01 (2022)。
- [Takahashi 2022] S. Takahashi, M. Kitazawa, A. Yoshikawa, School Virus Infection Simulator for customizing school schedules during COVID-19, Informatics in Medicine Unlocked, Vol. 32, 101084 (2022)。
- [日本経済団体連合会 2021] 日本経済団体連合会, 製造事業場における新型コロナウイルス感染予防対策ガイドライン 三訂版 (2020)。
- [Dai 2020] H. Dai, B. Zhao, Association of the infection probability of covid-19 with ventilation rates in confined spaces, Building Simulation, Vol. 13, Issue 6, pp. 1321–1327 (2020)。
- [産総研 2006] 産業技術総合研究所化学物質リスク管理研究センター, 暴露係数ハンドブック 人体関連 呼吸率 (2006)。
- [厚生労働省 2022] 厚生労働省, 新型コロナウイルス感染症 診療の手引き・第 8.1 版 (2022) <https://www.mhlw.go.jp/content/000997789.pdf> (最終接続 2023/03/02)。
- [Liao 2005] C. Liao, C. Chang, H. Liang, A Probabilistic Transmission Dynamic Model to Assess Indoor Airborne Infection Risks, Risk Analysis, Vol. 25, No. 5, pp. 1097–1107 (2005)。
- [WHO 2006] WHO Writing Group, Nonpharmaceutical Interventions for Pandemic Influenza, International Measures, Emerging Infectious Diseases, Vol. 12, No. 1, pp. 81–87 (2006)。