

温暖化に伴う夏型結露の増加と対策

Increase in Summer-type Condensation Due to Global Warming and Countermeasures

権 藤 尚 安 立 拓 未¹⁾

要 約

近年では梅雨・夏季に外気に含まれる水蒸気量が多くなっており、以前にもまして夏型結露が増加する傾向が見られている。本報では、近年の気象条件の変化が建家内での結露に及ぼす影響について把握することを目的として、2001～2020年の気象庁の東京データを用いて、モデル建屋を対象としたシミュレーション検討を行った。その結果、気象データとしては外気露点温度の上昇が顕著であること、そのことが、土間床倉庫や低温室天井裏等で発生する夏型結露の結露量に影響していることが明らかとなった。また、オフィスの地下空間等においては、結露・カビ防止の観点から外調機や除湿等の対策が必要になることなどを示した。

目 次

- I. はじめに
- II. 夏季気象条件の変化
- III. 結露発生状況の検討
- IV. 地下空間の結露対策検討
- V. まとめ

I. はじめに

建物で発生するトラブルの一つに結露がある。一般的に結露は冬季に発生するイメージがあるが、土間床倉庫や地下室、低温室周囲などの建物の中に低温になる空間・部位のある建屋においては外気の高湿な空気が原因となる夏型結露が多く発生している。特に近年は梅雨・夏季に外気に含まれる水蒸気量が多くなっており、以前にもまして夏型結露が増加する傾向が見られている。筆者らは過去に1981～2000年の気象データを用いて土間床倉庫及び低温室天井裏を対象に結露検討を行って気象データの影響について検討した¹⁾。本報では近年の気象変化の影響を確認するため、気象庁にて測定・公表²⁾されている2001～2020年までの気象データを用い、既報¹⁾と同様な手法で結露発生状況に関する分析を行った。また、気象条件が変化し、相対湿度及び露点温度が上昇していくと、結露・カビ対策として様々な空間において従来

とは異なった設備的な対応が求められる可能性があることから、オフィスビル等の地下空間を対象とし、近年の気象条件下において空調・換気設備が温湿度・結露・カビに及ぼす影響についての検討を行った。

II. 夏季気象条件の変化

気象庁の観測所「東京」にて測定された2001～2020年の時刻毎の気温・相対湿度のデータを元に、夏型結露が起きやすい4～10月の気温、相対湿度、露点温度の平均値の年ごとの変化をFig.1に示す。相対湿度は2015年以降、露点温度は

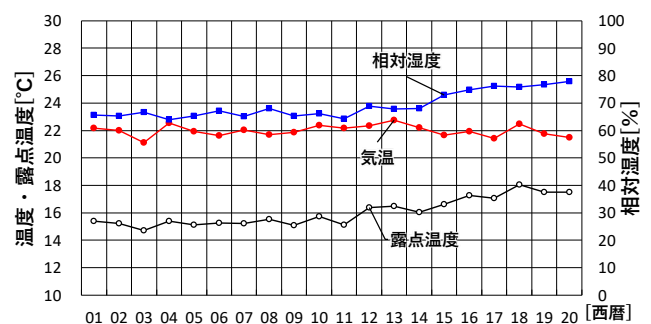


Fig.1 「東京」気象データ 4～10月平均値
(Tokyo Meteorological Data Average from April to October)

1) 関西支店 Kansai Branch

キーワード : 夏型結露, 土間床倉庫, 低温室, 地下室, 温暖化

Keywords : Summer-type condensation, dirt floor warehouse, low-temperature room, basement, warming

2012 以降に上昇する傾向が見られる。国内の主要観測点として「福岡」「大阪」「横浜」「東京」の4~10月露点温度平均値の年ごとの変化を Fig.2 に示す。各観測点とも同様に2012年以降に上昇する傾向がみられた。「東京」観測地点は2014年11月に大手町から北の丸公園に移動しており温度が低くなると同時に相対湿度が高くなる傾向が指摘されているが、大気中の水蒸気量の指標として露点温度を見ると、東京だけではなく「横浜」等でも2012年以降に高くなる傾向が見られており、観測地点移動の影響だけではなく、国内の広い範囲で同様な傾向にあることが示された。

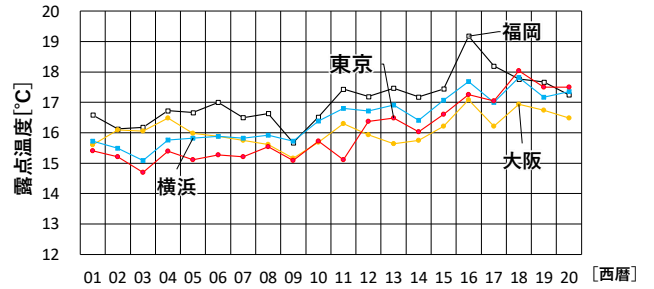


Fig.2 主要観測点の4~10月露点温度平均値 (Average Dew Point Temperatures at Major Observation Points from April to October)

Ⅲ. 結露発生状況の検討

1. 建物モデル

気象条件の変化が建物で発生する結露に対してどの程度影響するかを確認するために、下記のパターンを想定し、それぞれの結露状況についてシミュレーション検討を行った。

(1) 土間床倉庫 (Fig.3)

非空調の常温倉庫に土間床があり、倉庫内に侵入した高湿外気が土間床表面で結露するパターン。土間床は地盤の影響を受けて春~夏に室温よりも温度が低くなりやすい傾向がある。また、床スラブ自身の熱容量が大きいため、室温変動に遅れて変化し、非定常的な結露を起し易い。床面での結露は作業・作業機械の安全上の問題や荷物の濡れによる品質上の問題となる。

(2) 低温室天井裏 (Fig.4)

建物内に一定温度 (15℃) の低温室が1F・2Fにあり、外壁隙間等から侵入した高湿外気が上下を低温室に挟まれた天井裏空間で結露するパターン。天井裏で結露した水分が室内に落滴して問題となる。

2. 計算方法

多数室・熱湿気同時移動モデルに換気回路網を加えた計算プログラム³⁾を用いる。ただし、本計算では対象空間への外気侵入量は換気回数 (0.5回/h) として与え、部位の吸放湿は扱わない。また、対象空間内での発熱・発湿はないものとする。地盤温度は深さ10mを不易層 (外気年平均温度) として別途算出した深さ5mの地中温度を境界条件として扱った。地域は東京、気象条件は2001~2020年の気象庁の観測所「東京」の時刻毎の温度・相対湿度を用い日射は考慮していない。

3. 検討結果

(1) 土間床倉庫

年間積算結露量のグラフを Fig.5 に示す。20年間で最少となるのは2011年、最大となるのは2019年であった。2014年までは常温倉庫の土間床での結露発生は、量的には多くなく、条件の悪いときに一時的に発生する程度であった。しかし、2015年以降は6~8月の梅雨・夏季における結露量が

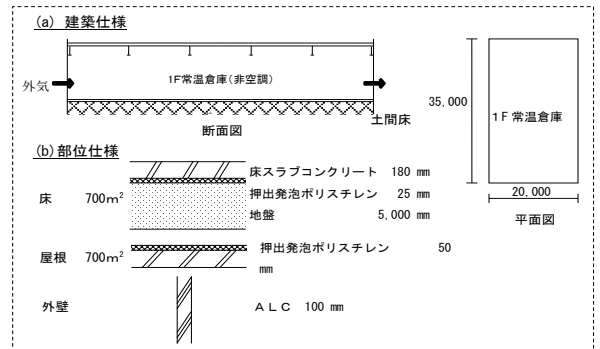


Fig.3 建物モデル (土間床倉庫) (Building Model (Dirt Floor Warehouse))

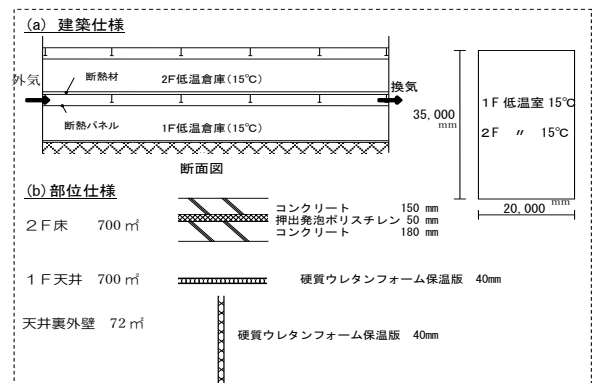


Fig.4 建物モデル (低温室天井裏) (Building Model (Behind The Ceiling of The Low-temperature Room))

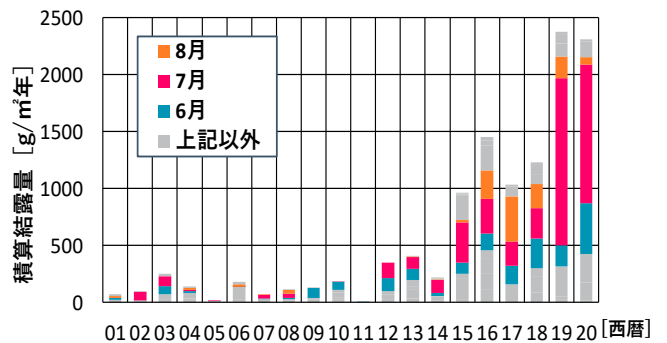


Fig.5 年間積算結露量 (土間床倉庫) (Annual Cumulative Amount of Condensation (Dirt Floor Warehouse))

大きく増加しており、影響が大きくなっている。2019年7月の結露発生状況を Fig.6 に示す。土間床での結露は気温が低い日が続いた後に露点温度が上昇して起こる非定常結露であることが多かったが、近年では気温の上昇とともに空気中の水分量も増加することで、非定常結露による一過性の結露ではなく、土間床の表面温度が上昇しても定常的に結露が発生する状況となっている。

(2) 低温室天井裏

年間積算結露量のグラフを Fig.7 に示す。低温室 (15°C) に挟まれた天井裏空間は夏季でも室温 18°C 程度となり、1F 天井パネルの天井裏側と 2F 床スラブ下にて結露する。2015 年以降の結露量は外気露点温度の上昇と同様に増加していき、最大となるのは 2020 年であった。2020 年7月の結露発生状況を Fig.8 に示す。低温室に囲まれた空間に外気が侵入して常に結露が発生している。外気露点温度の上昇に伴って結露発生量が増加しており、除湿等の対策が必要となる。

IV. 地下空間の結露対策検討

1. 計算方法

近年の気象条件化において地下空間における空調・換気設備が温湿度・結露・カビに及ぼす影響について検討を行った。計算には多数室・熱湿気同時移動モデルに換気回路網を加えた計算プログラム 3) を用いた。本検討では部材の吸放湿は扱わず、部材表面温度と空間絶対湿度から表面結露量を算出した。気象条件は前項にて最も結露の多かった 2020 年の「東京」観測地点の温度・相対湿度を用いた。地中温度は深さ 10m 地点の温度を年間平均温度とし、日射は考慮しないで地中 5m 地点の年間変動を算出して境界条件とした。また、各ケースで計算された空間の温湿度から、カビ菌の菌糸長さを算出⁴⁾してケースごとの違いについて相対的に比較した。

2. 建物モデル

今回対象としたのは、高層建屋の地下階であり、機械室や物入等があるバックヤードである。検討対象とした地下空間を Fig.9 に示す。居室に比べると発熱が少なく結露等の問題が生じやすい①廊下・②機械室・③廊下 2・④倉庫・⑤物入を計算対象とした。各室の床 (ピット有り) と地中壁が地盤に面する部位となる。廊下に面する機械室・立体駐車場では個別に給気・排気がなされており、立体駐車場の壁および上階床面は断熱境界とした。計算モデルとなった建物における温湿度の実測値から、倉庫・物入では発湿があると考えられたため地中壁から 10g/m²・日の発湿があると仮定した。空調・換気設備は 24 時間運転とした。計算条件・部位仕様を Table 1, 2, 計算ケースを Table 3 に示す。機械室発熱のないケース a とモデル建屋での実測値に合うように発熱を与えたケース b として各ケースにて空調・換気方式を変えて検討した。空調・換気方式 (Fig.10) は外気を廊下に給気する「外

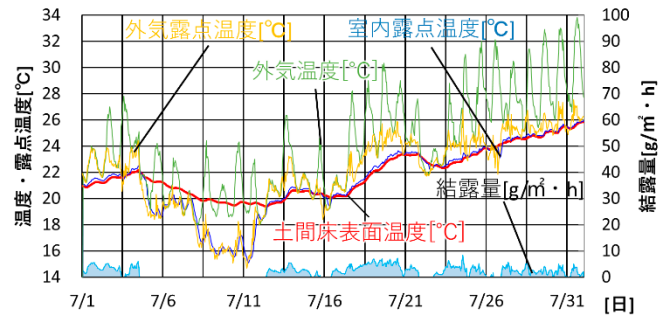


Fig.6 2019年結露発生状況詳細図 (土間床倉庫)
(Details of Condensation in 2019 (Earth Floor Warehouse))

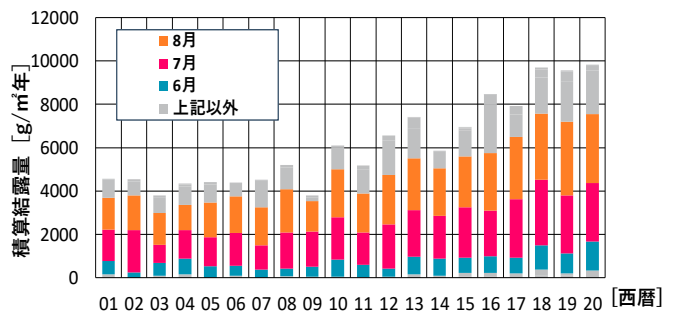


Fig.7 年間積算結露量 (低温室天井裏)
(Annual Cumulative Amount of Condensation (Behind The Ceiling of The Low-temperature Room))

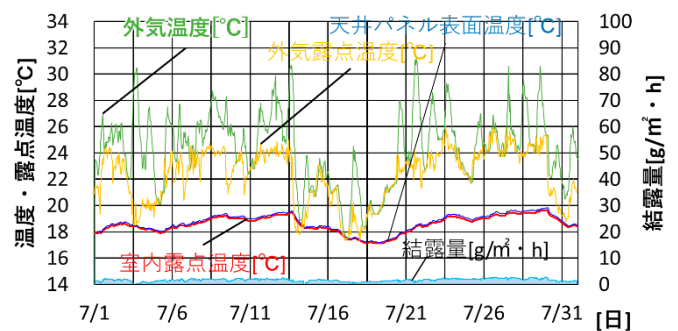


Fig.8 2020年結露発生状況詳細図 (低温室天井裏)
(Details of Condensation in 2020 (Behind The Ceiling of The Low-temperature Room))

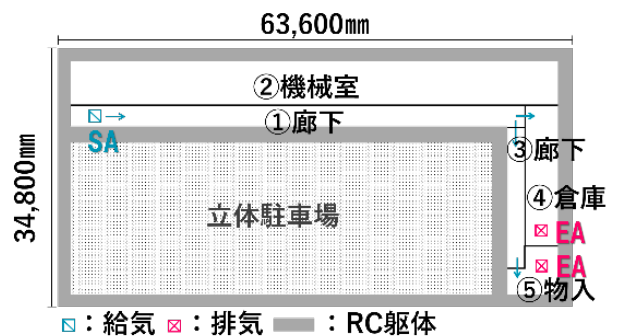


Fig.9 検討対象地下空間平面図
(Underground Space Plan for Consideration)

気換気」, 外気換気しながら廊下に空調機を設置する「外気換気+空調機」(冷房設定26°C), 外気換気しながら廊下・物入に除湿機を設置する「外調機+除湿機」, 廊下に外調機で冷却除湿した空気を給気する「外調機:20°C85%」, 「外調機:24°C85%」, 除湿再熱を行う外調機を用いた「外調機:除湿再熱」(吹出24°C50%)とした。

3. 検討結果

夏季の8/11~17の温湿度計算結果をFig.11, 12に示す。各ケースの廊下・物入の7~8月の平均室温をFig.13に, 平均相対湿度をFig.14に示す。廊下・物入床面の結露量をFig.15に示す。

(1) 温湿度・結露評価

a. 外気換気

機械室で発熱のないケース a-1 では, 地下の室温は地盤の影響を受けて外気より低い。そのため相対湿度は外気より高くなり, 廊下・物入の床面で結露した。機械室で発熱があるケース b-1 では地下の室温が外気同等の温度となり, 廊下の結露は解消したが物入は結露した。

Table 1 計算条件
(Calculation Conditions)

項目	内容
気象条件	気象庁「東京」観測地点2020年温湿度
計算期間	1月1日~12月31日(助走期間6ヶ月)
地中温度	気象データよりGL-5mを算出
発熱条件	なし・あり
発湿条件	倉庫・物入の地中壁から10g/(㎡日)

Table 2 部位仕様
(Part Specification)

部位	仕様(単位mm)
床	RC300+ビット+RC900+地盤5000
地中壁	アスロック15+空気層+RC1500+地盤5000
間仕切り	石膏ボード26+空気層+石膏ボード26

Table 3 計算ケース
(Calculation Cases)

ケース	機械室発熱	空調・換気	設定値
a-1	なし	外気換気	—
a-2		外気換気+空調機	夏期26°C冷房
a-3		外気換気+除湿機	除湿機60%設定
a-4		外調機:20°C85%	吹出20°C85%
a-5		外調機:24°C85%	吹出24°C85%
a-6		外調機:除湿再熱	吹出24°C50%
b-1	あり	外気換気	—
b-2		外気換気+空調機	夏期26°C冷房
b-3		外気換気+除湿機	除湿機60%設定
b-4		外調機:20°C85%	吹出20°C85%
b-5		外調機:24°C85%	吹出24°C85%
b-6		外調機:除湿再熱	吹出24°C50%

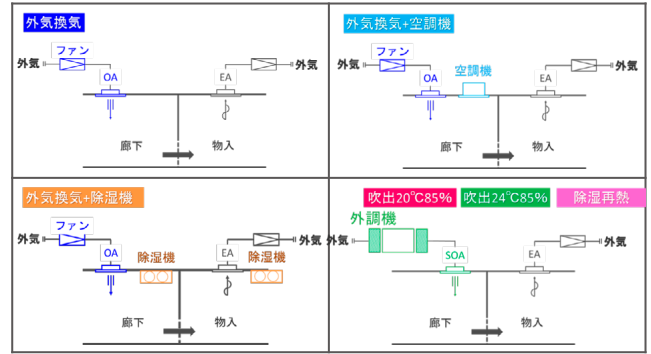


Fig.10 空調・換気方式
(Air Conditioning/Ventilation System)

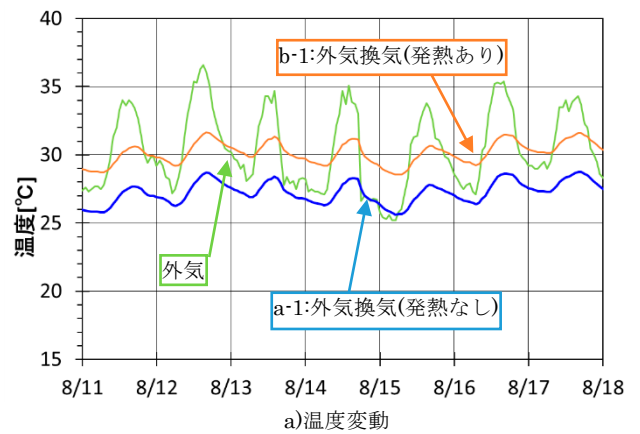


Fig.11 温湿度計算結果 (ケース a-1)
(Temperature and Humidity Calculation Result)

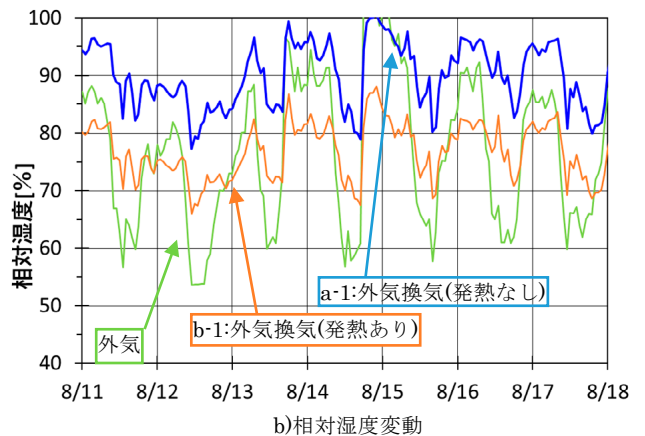


Fig.12 温湿度計算結果 (ケース b-1)
(Temperature and Humidity Calculation Result)

b. 外気換気+空調機

機械室で発熱のないケース a-2 では、地盤の影響で地下の室温が低く冷房が入らないため、空調機はあってもケース a-1 に近い温湿度となり、廊下・物入の床面にて結露した。機械室で発熱があるケース b-2 では冷房が入り除湿されるため、結露量が減少した。

c. 外気換気+除湿機

機械室での発熱有無にかかわらず除湿機により廊下・物入の相対湿度は大きく低下し、ケース a-3・b-3 とも廊下・床とも結露しない結果となった。

d. 外調機：20℃85%

機械室で発熱のないケース a-4 では、外調機より廊下に20℃の給気が行われるため廊下・物入の室温は他のケースに比べて最も低かった。一方で外調機により除湿されるため、相対湿度は80%程度となった。吹出し露点温度が低いため、結露はしなかった。機械室で発熱のあるケース b-4 でも結露はしなかった。

e. 外調機：24℃85%

機械室で発熱のないケース a-5 では、室温は外気換気同等であるが、相対湿度は若干低く90%程度となった。物入床面で若干の結露が発生した。機械室で発熱のあるケース b-5 では結露しなかった。

f. 外調機：除湿再熱

外調機で除湿再熱を行うケース a-6・b-6 では、廊下・物入の相対湿度は40~50%程度と最も低くなり、機械室の発熱有無にかかわらず結露しなかった。

(2) カビの評価

廊下・物入の空間温湿度から算出したカビ菌の菌糸長さを Fig.16 に示す。機械室で発熱がない場合はカビが成長しないのは空間温湿度を低く抑えられている、「外気換気+除湿機」「外調機：除湿再熱」のケースであった。機械室で発熱があると「外調機：20℃85%」「外調機：24℃85%」のケースでもカビが発生しない結果となった。

V. まとめ

近年の気象変化が結露に及ぼす影響を確認するため、東京の気象データを用いて、モデル建屋を対象として結露発生状況に関する分析を行い、下記を示した。

- ・ 気象庁データから近年の気象変化状況を調査した結果、2015年頃より外気露点温度の上昇が顕著であった。
- ・ モデル建屋を対象とした検討した結果、温暖化に伴う気象条件の変化が結露発生量の増加に影響していることが明らかとなった。
- ・ 地下空間において機械室の発熱の有無は他の空間の結露・カビ発生に大きく影響した。
- ・ 地下空間において結露・カビ対策として機械室の発熱

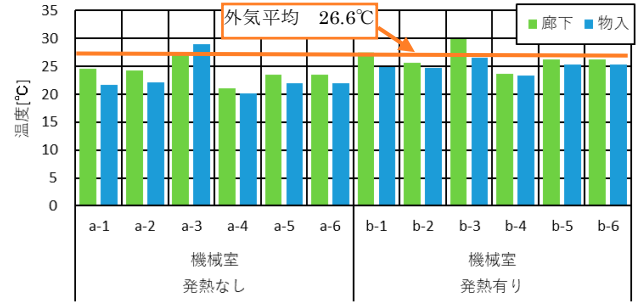


Fig.13 各ケースの7・8月平均温度 (July/August Average Temperature for Each Case)

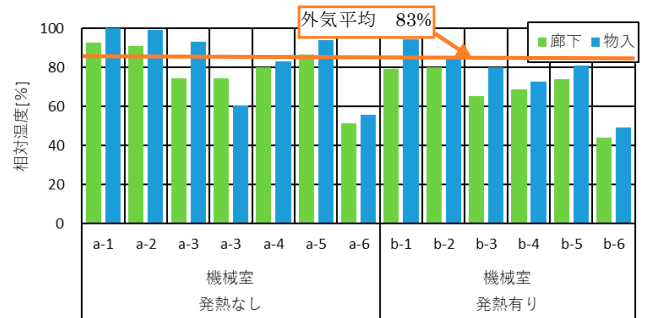


Fig.14 各ケースの7・8月平均相対湿度 (July/August Average Relative Humidity for Each Case)

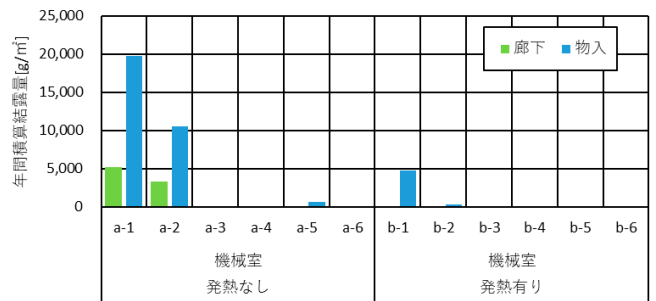


Fig.15 各ケースの年間積算結露量 (Annual Cumulative Amount of Condensation In Each Case)

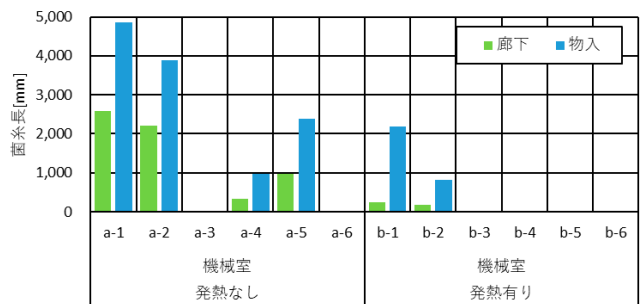


Fig.16 各ケースのカビ菌糸長 (Mold Mycelium Length in Each Case)

がないときは外気換気の場合は除湿機が必要であり、外調機がある場合でも除湿再熱が必要であった。機械室にて発熱がある場合は、発熱がない場合の対応に加えて、外調機の吹出し温湿度 20℃85%と 24℃85%で有効な対策となった。

参考文献

- 1) 権藤尚, 荒井良延, 寒河江昭夫, 新橋正博; 生産・物流施設における夏型結露防止に関する研究 その1 夏型結露と気象要素との関連, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2005.9.
- 2) [気象庁 Japan Meteorological Agency \(jma.go.jp\)](http://jma.go.jp) (参照 2023-06-27)
- 3) 荒井良延, 権藤尚, 寒河江昭夫, 城野敏江; ゼオライト系調湿建材の集合住宅への適用に関する研究 その1 計算モデルと夏期温湿度環境評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1997.9, pp.311-312.
- 4) 三原邦彰, 武廣絵里子, 権藤尚, 澤田瑞恵; 室内カビ汚染の評価・計画・制御に関する研究 (その6), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012.9, pp.775-776.
- 5) 安立拓未, 権藤尚; 近年の温暖化に伴う夏型結露の増加と対策 その1 温暖化による結露状況の変化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2022.9, pp.1201-1202.
- 6) 権藤尚, 安立拓未; 近年の温暖化に伴う夏型結露の増加と対策 その2 地下空間の空調・換気設備が結露・カビに及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2022.9, pp.1203-1204.

Increase in Summer-type Condensation Due to Global Warming and Countermeasures

Takashi Gondo and Takumi Adachi¹⁾

In recent years, the amount of water vapor contained in the outside air has increased during the rainy season and summer, and there is a tendency for summer-type condensation to increase even more than before.

In this report, to understand the effects of recent changes in weather conditions on dew condensation inside buildings, a simulation study was conducted on a model building using Tokyo data from the Japan Meteorological Agency from 2001 to 2020.

As a result, it became clear that the rise in the dew point temperature of the outside air is remarkable among the meteorological data, and that this has an effect on the amount of summer-type condensation that occurs in warehouses with dirt floors and ceilings in low-temperature rooms.

In addition, it was shown that countermeasures such as outdoor air conditioners and dehumidification are necessary for preventing condensation and mold in underground spaces such as offices.