

原著論文

短時間加熱処理による空調機内のカビ生長抑制

佐藤成広¹, 阿部恵子²

[受付 2004. 4. 20] [受理 2004. 8. 17]

Suppression of Fungal Growth inside Air-Conditioners using the Intermittent Short-Time-Heating Method.

Shigehiro Sato¹ and Keiko Abe²

[Received Apr 20, 2004] [Accepted Aug 17, 2004]

要旨

冷房時の空調機内は多湿であり、カビが繁殖しやすい。またカビ汚染された空調機からはカビの胞子が放出されることがある。本報では短時間加熱処理を実施することによる新しいカビ生長抑制方法を開発した。その方法は空調機を5分間暖房に切りかえ、空調機内部を40℃という比較的低温で10分間保持するものである。また加熱を停止することで生長が再開することから、カビが死滅しているわけではなく、カビの生長を停止させていることを示した。これらの結果をもとに実際に毎年カビ被害のあった住宅で毎日短時間加熱処理を繰り返した。冷房シーズン終了後の調査の結果、短時間加熱処理により空調機内でのカビ発生を抑制することができた。

Abstract

Fungi flourish inside the damp environment of air-conditioners running in cooling mode. Spores are often emitted from fungi-contaminated air-conditioners. We developed a new method, using intermittent short-time-heating, to prevent fungal growth. The method entails keeping the inside of the air-conditioners at 40°C for 10 minutes per day by operating the air-conditioners in heating mode for 5 minutes daily. Fungi grow again when the intermittent heating is stopped, indicating that the method does not kill fungi, but does prevent their growth. A field test was conducted in a house with air-conditioners, that are affected by fungal growth every summer. After using the intermittent short-time-heating method, no fungal contamination was detected in the air-conditioners at the end of the hot weather season.

Key words: fungi, air-conditioner, heating, growth control, fungal index

1. はじめに

冷房時の空調機は熱交換器が結露し、室内機内が高湿度雰囲気にならざるを得ないためカビが繁殖しやすい¹⁾。また室内機内で繁殖したカビの胞子が、空調機から放出されることが指摘されている²⁾。この空調機からのカビ胞子の放出はアレルギーを引き起こす可能性がある^{3,4)}。ユーザが快適性を得るために空調機を使用するのに、その空調機からカビ胞子を大量に放出して室内空気質を悪化させることは問題である。ま

たカビが繁殖することで微生物由来揮発性有機化合物が発生することが報告されており、これが空調機の臭気の原因となりうる⁵⁾。

空調機では湿度が高くなおかつ胞子を含んだ空気にあたる部分すなわち、送風機部分やドレンパン、吹き出しフラップ部分でカビが生長しやすい。冷房時の空調機内には *Cladosporium* が最も多く検出されており²⁾、その他 *Alternaria* など好湿性カビで汚染されていることが知られている。

1 松下電器産業(株) 松下ホームアプライアンス社技術本部空調研究所 〒525-8520 滋賀県草津市野路東 2-3-1-1
Air Conditioning Research Laboratory, Corporate Engineering Division, Matsushita Electric Ind. Co. Ltd., 2-3-1-1 Nojihigashi, Kusatsu City, Shiga 525-8520, Japan
2 環境生物学研究所 〒243-0303 神奈川県愛甲郡愛川町中津 4036-1
Institute of Environmental Biology, 4036-1 Nakatsu, Aikawamachi, Aikou-gun, Kanagawa 243-0303, Japan

従来から空調機メーカーはさまざまな抗カビ対策を実施してきた⁶⁾。たとえば空調機内で送風機、ドレンパン、熱交換器などに抗カビ処理を施してカビの繁殖を防止する試みがなされている⁷⁾。また冷房運転終了後に送風や乾燥運転を実施して空調機内の湿度を下げることでカビ発生を抑制する試みもおこなわれている。送風のみで空調機内の湿度を下げる方法は時間がかかるためカビ抑制に利用することは困難である。一方、空調機の内部乾燥については詳細な検討がなされており、内部乾燥することにより内部が低湿度になって菌糸が死滅しカビ発生を抑制できることが報告されている⁸⁾。

ヒートポンプ型空調機では冷房と暖房の切替えは冷媒流路の変更のみで簡単に行うことができる。したがって暖房運転によりカビ発生を抑制できれば装置の追加が必要ではないため、既にカビ発生した空調機に対しても適応可能である。

ここでは空調機内の効果的な防カビの新しい手法「短時間加熱処理」を検討した。すなわちカビ生育環境において短時間加熱することによるカビ生長抑制の可能性を調べるためにモデル試験と実機試験を実施した。その結果、空調機内部を毎日短時間加熱することでカビの生長を抑制できることが明らかになったので報告する。

2. 実験方法

2.1 カビセンサーによるカビ生長性評価

カビの生長速度評価には環境生物学研究所製「耐水性カビセンサー」を使用した。カビセンサーは周囲環境がどれだけカビの生長を許容するかを定量的に示すために作られたものである⁹⁾。

モデル試験ではカビセンサーを 30℃ 95%RH に設定した恒温恒湿槽内に保持した。カビセンサーの菌糸長の計測は光学顕微鏡によりおこなった。菌糸長はランダムに長い菌糸を 5 本計測しその中から最長および最短菌糸をはずした平均を用いた。なおカビセンサー使用にあたっては温熱環境の変化への追従性を上げる目的で不織布と両面接着シートを取り除いて使用した。環境検査菌としてカビセンサーに使用した微生物は *Alternaria alternata* (S-78) と *Eurotium herbariorum* (J-183) である。*Alternaria alternata* (S-78) は好湿性カビの代表として、また *Eurotium herbariorum* は好乾性カビの代表として用いた。加熱処理にはヤマト科学製熱風循環型恒温槽 DN43HI を

用いた。加熱処理中は湿度のコントロールを行わなかった。また、加熱時以外のカビセンサーの保持はタバイエスベック製恒温恒湿槽 PR-3K を用いた。なお 2.1.3 の実験では湿度を正確にコントロールするために無機塩の飽和溶液を密閉容器内に入れることにより湿度を制御した。無機塩飽和水溶液を用いた場合は無機塩の種類によって定まった温度湿度にしか設定できないため、カビセンサーの生長条件を恒温恒湿槽を用いた場合とは異なる 25℃ 97.5%RH とした。

2.1.1 間欠加熱処理温度の影響

カビセンサーを 30℃ 95%RH の恒温恒湿槽内に 24 時間放置後、菌糸長を測定し 40℃、50℃、60℃ の温度条件で 10 分間加熱した。その後ただちに 30℃ 95%RH の恒温恒湿槽に戻して 24 時間放置した。この 10 分間の加熱を毎日繰り返し菌糸長の変化を確認した。

2.1.2 間欠加熱停止後の菌糸生長

6 回の間欠加熱処理を実施したカビセンサーを 30℃ 95%RH の恒温恒湿槽内で 5 日間保持し、その後のカビセンサーの菌糸長を計測した。

2.1.3 間欠加熱処理温湿度の影響

カビセンサーを 25℃ 97.5%RH に保った密閉容器内に 24 時間保持したのち、40℃ 19.2% ~ 96.4%RH に保った密閉容器内で 10 分間加熱処理した。そのうちカビセンサーを再び 25℃ 97.5%RH に保った密閉容器内に 24 時間放置して、菌糸の伸びを計測した。コントロールとしてカビセンサーを 25℃ 97.5%RH に保った密閉容器内に 24 時間および 48 時間保持し菌糸の伸びを計測した。

2.2 空調機を用いたカビ生長抑制試験

2.2.1 実験室内でのカビ抑制試験

室内雰囲気を実験室の温度湿度条件に近い 32℃ 60%RH に設定した環境試験室内に能力 2.2kW タイプの天井ビルトインタイプエアコン室内機を設置した。エアコン内部の吹出し口近傍にカビセンサーを設置し所定時間後の菌糸長を測定した。エアコンは 1) 冷房のみ、2) 冷房と 1 日 1 回の送風運転、3) 冷房と 1 日 4 回の送風運転、4) 短時間加熱処理実施、すなわち冷房と 1 日 1 回の送風運転および暖房という 4 つの条件で運転をした。ここで条件 4 の短時間加熱処理は 5 分間暖房連続運転後に 10 分間停止するもので、このようにすることでエアコン室内機内を 40℃ 以上の温度で 13 分保つことができた。なお、温度の測定はティアンドディ製温湿度記録計 TR-72S を用いて測定した。

2.2.2 市場でのカビ抑制試験

高気密高断熱住宅で24時間空調を実施している戸建て住宅の天井埋め込みタイプエアコン7台に2.2.1の条件4と同じ短時間加熱処理モードで1日1回エアコン室内機内を加熱する制御を組み込んだ。この住宅は、築後4年の延べ床面積150m²の2階建てであり、エアコン室内機は全館空調システムとして1階のダイニング、和室2室および2階の寝室(2台)、書斎、子供部屋の計7台を設置している。また、400m³/hの能力を有する換気ユニットで集中排気をする第三種換気の計画換気システムを有している。冷房時のエアコンの設定温度は27℃であり24時間空調(冷房連続運転)を実施している。しかしこの住宅は周囲が畑で吸気時に土ほこりとともにカビ胞子を住宅内に取り込んでいたことおよび吸気空気の不快感や排気ファンの音の問題で換気量を落としていたため、7台のエアコンすべてが毎年カビ発生を繰り返していた。この短時間加熱処理モードは7台すべてに組み込み、2001年6月から2001年8月の間、通常通り冷房の設定温度27℃にて24時間空調をおこなった。9月初旬にエアコン内部のファンおよび熱交換器におけるカビ発生状況を目視により観察した。

3. 実験結果

3.1 短時間加熱処理条件

Fig.1に30℃95%RHに置かれたカビセンサーを24時間ごとに10分間加熱処理した場合の菌糸長の経時変化を示す。加熱処理を実施した場合は、加熱する温度が40℃、50℃、60℃のどの場合も菌糸は1日目の長さからほとんど伸びが見られなかった。一方、加熱処理しないコントロールでは菌糸長が2mmに到達するまで経過時間に伴って菌糸が伸びていた。また *Alternaria* と *Eurotium* を比較するとどちらも40℃、

50℃の加熱では500 μm 前後の菌糸長だった。しかし *Eurotium* は60℃で10分間繰り返し加熱した場合、菌糸がほとんど伸びなかった。

3.2 加熱処理停止後の挙動

Fig.1の6日目以降は短時間加熱処理を停止した後の菌糸の伸びを示している。短時間加熱処理を繰り返している間は菌糸の伸びがほとんどみられなかった。しかし加熱処理を停止した後菌糸が再度伸びることが確認された。6日後の菌糸の長さはControlの菌糸長を超えることはなかったものの大きく伸張していた。なお *Eurotium* で60℃短時間加熱を繰り返したサンプルでは短時間加熱停止後も菌糸の生長がみられなかった。

3.3 短時間加熱に対する湿度の影響

短時間の40℃加熱時に湿度が異なる場合のカビ菌糸の伸びを測定し、短時間加熱しなかったものとの違いを調べた結果をTable 1に示す。+は短時間加熱の有無で菌糸長に2倍以上の差が見られたもの、-は2倍未満の差が見られたものを示す。*Eurotium* は加熱によりどの湿度条件でも+、すなわち短時間加熱により菌糸の生長が抑制されたが、*Alternaria* は湿度が96.4%RHのときに明らかに生長が抑制された。

Table 1 Effect of relative humidity during the short-time-heating on the suppression of fungal growth.

Conditions during the short-time-heating		Growth suppression	
Temperature (°C)	Relative Humidity (%RH)	<i>Alternaria alternata</i>	<i>Eurotium herbariorum</i>
	19.2	-	+
40	31.6	-	+
	96.4	+	+

+: Suppresses growth -: Does not suppress growth

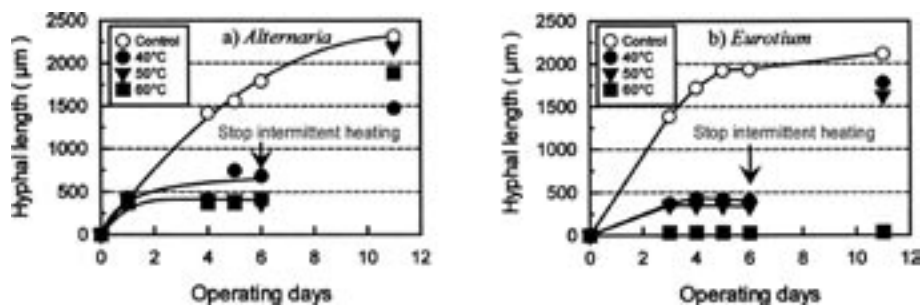


Fig. 1 Hyphal extension curve at 30℃ 95%RH with intermittent short-time-heating method. Sensor: a) *Alternaria alternata* S-78 b) *Eurotium herbariorum* J-183

3.4 空調機内カビ生長抑制

Fig.2 に環境試験室に設置したエアコン室内機の吹出し口の温度プロファイルを Table 2 に記載の各条件ごとに示した。エアコン No.4 ではカビセンサーが 40℃以上に保持される時間は 13 分あった。

エアコン吹出し口に設置したカビセンサーの菌糸長とカビ指数を Table 2 に示す。カビ指数は供試期間と菌糸長から阿部の方法により算出した⁹⁾。菌糸は冷房運転のみ (No.1) では 3 日で 200 μm 程度、送風運転を組み合わせたもの (No. 2, 3) も 100 μm を超え、いずれの運転条件も 4 週間では菌糸長が計測上限を超えていた。一方 No.4 の暖房運転を組み合わせたものではカビ胞子の発芽は見られたものの菌糸長は 4 週間後でも 10 μm と非常に短かった。カビ指数は調査環境での発育速度を標準条件での発育速度との比較で表すものでカビ指数が小さいほど生長が抑制されていることを示す。今回の空調機のカビ指数は冷房運転

時に 42, 短時間暖房運転を組み合わせた場合に 2 であった。

またフィールドテストとして短時間加熱処理を制御プログラムに加えた空調機でカビが生長するかどうか検討した。毎年空調機内部でカビ発生していた住宅の天井ビルトインエアコンにこの制御プログラムを導入し、夏の 2 ヶ月間連続で使用したところ室内機内部のファンならびに熱交換器には目視で観測できるカビは発生しなかった。短時間加熱を繰り返したことによりカビ生長が抑制され空調機内に目に見えるカビ被害がなかったものといえる。

4. 考察

Alternaria alternata (S-78) と *Eurotium herbariorum* (J-183) を用いたカビセンサーを用いた場合、加熱時以外はカビ生長に適した条件で保持したにもかかわらず 40℃以上で 10 分の加熱を毎日繰り返すことでカ

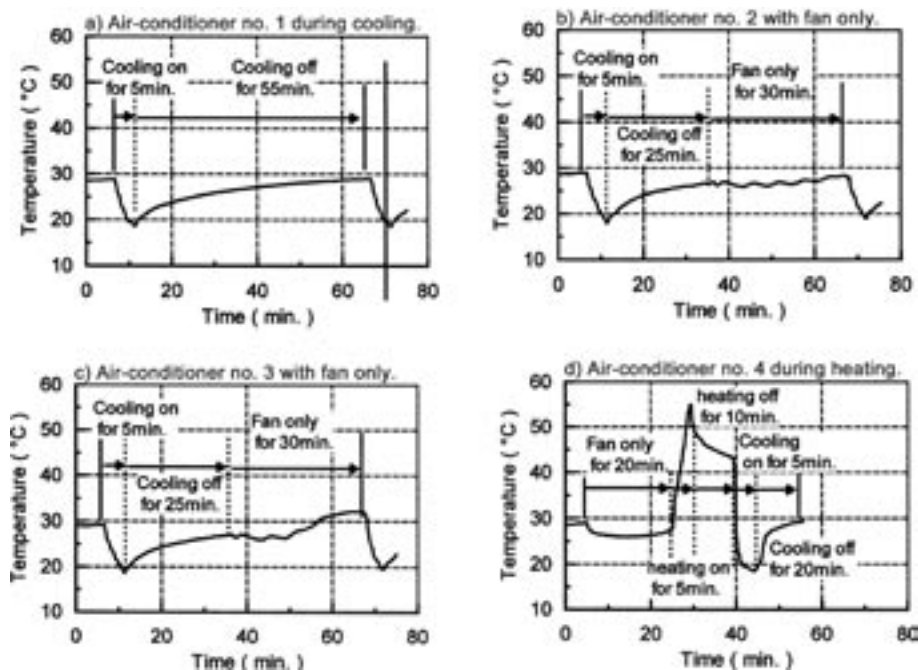


Fig. 2 Temperature profile of air-conditioners at test conditions.

Table 2 Hyphal length and Fungal index on test operating conditions for air-conditioners.

Air-conditioner No.	Operating Condition of Air-Conditioner	Hyphal length (μm)		Fungal Index
		3 days	4 weeks	
1	Cooling	274	+++	42
2	Cooling + fan only 30min. once a day	138	+++	30
3	Cooling + fan only 30min. 4 times a day	119	+++	28
4	Cooling + (fan only 20min. + heating) once a day	0	10	2

Cooling: The air-conditioner repeats 5min.on - 55min. off.

Heating: The air-conditioner is operated 5min. on followed 10min. off.

+++ Hyphal length is too long to measure, more than 2mm.

カビ菌糸の生長を抑制することができた。短時間加熱処理を中断すると再度カビ菌糸の生長が開始することから短時間加熱処理はカビ菌糸を死滅させるわけではなく一時的に生長を抑制しているだけといえる。なお、カビ菌糸は湿熱で 50-60℃、乾熱では 100℃が死滅温度として知られている¹⁰⁾。センサー菌 J-183 が 60℃で菌糸生長が停止したのは熱的なショックにより菌糸が死滅したためではないかと考えられる。Table 1 からわかるように J-183 は S-78 と異なり 40℃に加熱さえすれば湿度に係わらず菌糸の生長が抑制されている。J-183 は温度変化に敏感であると言える。また S-78 は湿度が高い場合に抑制される傾向にあった。湿熱の方が乾熱よりも生体内に入りこみやすく影響も大きい湿熱であればより広範囲にカビ菌糸の生長を抑制できると考える。阿部は J-183 を用いて高い湿度で培養した菌糸ほど短時間の低湿度処理で死滅すると報告している⁸⁾。本報告の短時間加熱の場合は J-183 の 60℃以外で菌糸は死滅せず、生長を停止するのみである。低湿度処理による菌糸の死滅が簡単に実現できるのであればカビの発生を確実に防ぐことができて好ましい。しかし冷房使用時期の空調機の内部は結露環境にあるため、低湿度に保つのは困難である。したがって湿度コントロール不要な本報告の短時間加熱は空調機の防カビとして有効である。

エアコン内で生長するカビ種は *Cladosporium*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Aspergillus* などである^{1,2)}。市場でカビ抑制の効果が見られたことから、今回カビセンサーを用いて証明した短時間加熱による生長抑制は多くのカビに応用できると考えられる。菌糸生長抑制のメカニズムの詳細は今のところ不明だが、カビ菌糸は熱的なショックにより細胞活性が低下しその活性を取り戻して生長をはじめると 24 時間以上必要と考えられる。今回カビセンサーで用いた *Alternaria* や *Eurotium* などの中温性のカビの生長温度領域を少し超えたところでの短時間加熱がショックとなったと言える。住環境の汚染菌は多くが中温性であるため、一般の住環境では今回の加熱条件を用いることでカビ被害を抑制できると考えられる。なお、短時間加熱を止めた後の菌糸の生長速度は加熱をしなかった場合と同じである。負荷前後で生長速度が変わらないことからこの程度の熱的なストレスであればカビに対する損傷はほとんど起こっていないと考えられる。高温や薬剤を用いた場合は損傷菌や耐性菌が問題になることも多いが、短時間加熱方式では菌糸の死滅もなく菌

の自発的な生長抑制メカニズムを使用していることから損傷菌の問題が起りにくいと考えられる。

実際の空調機内は周囲温度や熱負荷等の違いにより温度を一定に保つことは困難である。今回の短時間加熱プログラムを組みこんだ空調機内の温度は 5 分間の暖房運転で 40℃から 60℃まで変化したが、40℃以上で 13 分保たれていた。また暖房運転時の空調機内の最高温度は 60℃以下である。そのため *Eurotium* のように弱いカビでもカビ自体が死滅することはないと考えられる。また冷房時の空調機内は結露環境にある。カビ生長を抑制するには湿熱環境が好ましいため空調機内は全く乾燥させる必要がない。そのため実際のカビ抑制運転も内部を乾燥させるために長時間実施する必要はなく、湿熱環境の悪化による生活者の不快感を最小限に押さえることが可能である。

5. 結論

ヒートポンプ型空調機は冷房と暖房を簡単に切替えることができる。そのため短時間の暖房運転を冷房期間中に毎日繰り返すことで、空調機内におけるカビの生長を効果的に抑制できることが明らかになった。

冷房使用時に暖房運転をするというのは室内の湿熱環境を著しく損ねる。つまりカビ発生を抑制するために快適性が犠牲になる。しかし *Cladosporium* などの好湿性カビはクロスフローファンなどの空調機内部部品に大量発生することが知られている。カビの発生した空調機を運転することでカビ胞子が室内に放出されアレルギーになるリスクを回避するために、毎日 5 分の暖房運転は許されるのではないだろうか。

文 献

- 1) 濱田信夫, 山田明夫男: エアコンのカビ汚染, 防菌防黴, 21, 385-389 (1993) .
- 2) 阿部恵子: エアコン冷房時のカビ指数とカビ汚染, 室内環境学会誌, 1, 41-50 (1998) .
- 3) B. Crook, J. Lacey: Enumeration of Airborne Micro-Organisms in Work Environments, Environ. Technol. Lett., 9, 515-520 (1988) .
- 4) 高鳥浩介: 住環境にみるカビと健康障害, J. Natl. Inst. Public Health, 47, 13-18 (1998) .
- 5) 朴俊錫, 池田耕一, 藤井修二: 空調機内における真菌由来化学物質に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 1273-1276 (2001) .
- 6) 浜崎浩, 戸倉伯之, 北林厚生, 狩野文雄: 空調機内部の抗菌化による機内付着微生物の低減効果, 空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, 191-193 (2000) .

- 7) 竹内直和：微生物の世界と空気調和 2. 冷凍空調における微生物汚染の防止, 冷凍, 72,834-838 (1997) .
- 8) 阿部恵子：カビ汚染-エアコンを例に-, 臭気の研究, 30,268-277 (1999) .
- 9) K. Abe: A Method for numerical characterization of indoor climates by a biosensor using a xerophilic fungus, Indoor Air, 3, 344-348 (1993) .
- 10) 日本防菌防黴学会編：防菌防黴ハンドブック, pp.134-140 (1986) .