

超音波がカビの成長に与える影響についての基礎的検討

Study on the influence of ultrasound on mold growth

奥雲 正樹*, 藤松 陸人**, 田口 諒***, 権田 岳****, 藤田 剛****, 上原 一剛****,
松本 正己*, 川戸聡也*****, 梶間由幸*****, 村田和加恵*****, 田中晋*****,
高増佳子*****, 堀畑佳宏*****, 遠藤香菜子*****, 本村信一*,
シヨーン・マックフェル*****

Masaki OKUGUMO, Rikuto FUJIMATSU, Ryou TAGUCHI, Takeshi GONDA,
Tsuyoshi FUJITA, Kazutake UEHARA, Masami MATSUMOTO, Satoshi KAWATO,
Yoshiyuki URUMA, Wakae MURATA, Susumu TANAKA, Keiko TAKAMASU,
Hiroyoshi HORIHATA, Kanako ENDO, Shinichi MOTOMURA, and Sean.A.E.McPhail

概要

本論文では、食物に生えるカビによるフードロスなどの被害を軽減することを目的とし、超音波を使ってカビの成長を抑制する手法について検討した。実験は資料として重さ 50g の白米を使用し、周波数がそれぞれ 20, 30, 40, 50k 白米温度や湿度が同じ環境で 1 週間放置し、カビの生育、白米の重さの変化について比較検討した。その結果、どの周波数の超音波放射についても、そうでない白米に比べてカビの抑制が見られた。また白米の重さについても超音波の放射により 15g から 20g 軽くなっており、超音波による脱水効果も見られた。

1. はじめに

日本は高温多湿な気候であり、梅雨の時期を中心としてほぼ年中カビによる被害に悩まされている。特に食物に生えるカビについては強力な毒性を持つものもあり、フードロスなどの問題にもつながっている。そこで本研究では、カビによる被害を軽減することを目的とし、超音波を使ってカビの成長を抑制する手法について検討する。

2. 食物におけるカビ被害

2.1 カビとは

カビは菌糸（糸状）の構造を持った微生物の一種であり、自然界に広く存在する。また、湿った環境や有機物がある

に浮遊し、有機物が豊富な環境や湿度や温度などの環境条件適切な条件が揃うと成長を開始する。

またカビの一部の種類では抗生物質の生成など医療の分野に利用可能なものや、自然界において有機物の分解の役割を果たすなど重要な生物であるが、一方で食品などの有機物がカビに汚染されることで健康に悪影響を及ぼしている。

2.2 カビによる食品の汚染

食品へのカビの汚染は、一般的に空気中に浮遊しているカビの微小な胞子が食品表面に付着し、その後湿度や温度の条件が適切であれば、付着したカビは表面で成長し、最終的には食品内部にも広がっていく。

一般に食品におけるカビの成長は、湿度や温度などの環境条件に大きく影響される。湿度と温度はカビの成長に最も重要な要因であり、一般に知られているように湿度・温度とも高い温暖な環境がカビの繁殖に適している。特に温度が 20~30℃程度、また湿度が 60%以上である環境においてはカビが最も繁殖する傾向にある。日本の気候は一部地域を除いて高温・多湿であり、カビが最も繁殖する状態にあるといえる。

2.3 食品に対するカビの予防

食品に対するカビの成長を抑制するには、カビが好む高温多湿の環境を作らないような冷暗所での保管や、乾

【原稿受理日】2024年3月8日

* 総合工学科 電気電子部門

** 鳥取市立中ノ郷小学校 6年

*** 大山町立大山小学校 6年

**** 総合工学科 機械システム部門

***** 総合工学科 情報システム部門

***** 総合工学科 化学・バイオ部門

***** 総合工学科 建築デザイン部門

***** 総合工学科 教養教育部門

***** 総合工学科 非常勤講師

場所を好んで成長する。また微小な胞子の状態で空気中

燥剤を使用しての保管方法が挙げられる。家庭においては冷蔵庫や防湿庫での保管が一般的であるが、これらの保管方法として低温や低湿度を維持するために容器を密閉する必要がある。本研究では、容器の密閉に依存しないカビ抑制の一手法として超音波による抑制を提案し、結果を検討する。

3. 超音波とは

音波とは、空気中を伝搬する粗密波（縦波）の一種であり、我々は周波数 20Hz～20kHz の音を聞くことができる。一般的に、周波数 20kHz 以上の音として聞くことのできない音波を超音波と定義付けているが、超音波には上限周波数の規制は特になく、数 GHz の超音波を発生させることも可能である[1]。また工業分野では、2kHz や 14.5kHz など耳に聞こえる音も超音波として扱うため、「聞くことを目的としない音波」とも定義されている。超音波は音や電波と違い、空気中よりも水や金属などの物質中で強い伝播力を発揮するという特徴がある。真空状態では全く伝わらない。また、超音波の周波数が低いほど波長が長くなり、高いほど波長は短くなるという特徴がある[2]。

このような特徴を活かし、魚群探知機のほかに、エコー検査機や超音波洗浄機などのような様々な超音波機器が作られている。近年になり、超音波機器はさらに高い周波数帯域を使用するようになった。例えば、750kHz や 950kHz の高周波数の洗浄機が半導体用の洗浄機として実用化されている[3]。

4. 超音波がカビの成長に与える影響

本研究では食品に白米を使用し、周波数 20～50kHz の超音波放射の有無による白米に対するカビの発生および成長度合いを比べ、超音波がカビの発生に与える影響について比較検討した。

4. 1 実験方法

図 1 に実験の様子を、また図 2 に実験概要を示す。セパコン（450×295×160mm）の中を厚さ 1.5cm の発砲スチロールの板で仕切り 2 つの部屋に分け、片方の部屋にスピーカーを設置して超音波を放射する。放射の有無によるカビの成長、および白米の重さ（実験前：50g）の変化を 1 週間後に確認する。今回は周波数 20, 30, 40, また 50kHz の正弦波 4 種類とし、それぞれ超音波を放射しない白米とカビの発生状況を比較した。



図 1 実験の様子

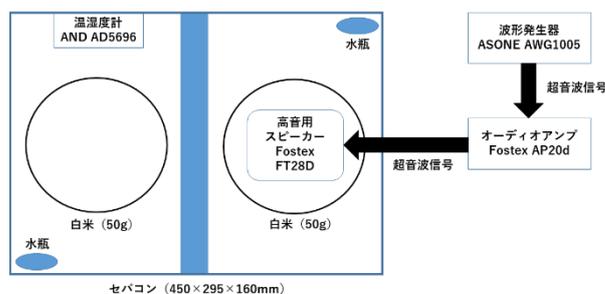


図 2 実験概要

4. 2 実験装置

使用した機材は以下の通りである。

- ・スピーカー：Fostex FT28D
- ・波形発生器：ASONE AWG1005
- ・波形増幅器：Fostex AP20d
- ・温湿度計：AD5696

超音波の波形発生には ASONE 社製のファンクションジェネレータ AWG1005 を使用する。また波形増幅には Fostex 社製のオーディオ用ステレオデジタルアンプ AP20d を使用し、5V_{P-P} の正弦波状超音波波形を生成する。この超音波波形を Fostex 社製のオーディオ用ツイータ FT28D から前方 100mm の距離に設置した白米へと放射させる。セパコン内の各部屋には湿度を安定させるために水の入った瓶（容量 50cc）を設置した。また片方の部屋には AND 社のデジタル温湿度計 AD5696 を設置し、実験期間中の温度と湿度を 1 時間間隔で測定する。

図 3 にオーディオ用ツイータ FT28D の外観、および表 1 に周波数特性を示す。高周波領域では、周波数 30kHz および 50kHz 付近で 5～7dB ほどの特性の谷が存在す

る。

また図4に波形発生器 AWG1005 の外観、および表2に各特性を示す。

さらに図5にオーディオ用アンプ AP20d の外観、および表3に各特性を示す。



図3 オーディオ用ツイータ FT28D

表1 FT28D の周波数特性

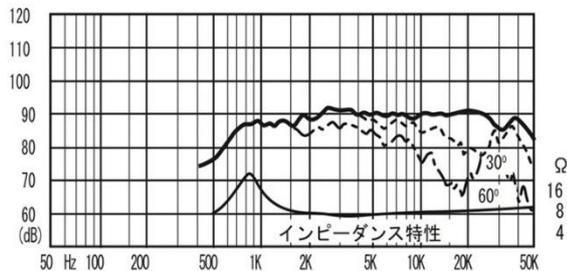


図4 波形発生器 AWG1005 の外観

表2 AWG1005 の特性

周波数レンジ	1 μ Hz~10MHz
サンプルレート	125MS/s
垂直軸分解能	14bit



図5 オーディオ用アンプ AP20d

表3 AP20d の特性

最大出力	12+12w (負荷 8 Ω)
適合負荷インピーダンス	4~8 Ω
周波数特性	20Hz~50kHz
全高調波歪率	0.01% (出力 3W, 負荷 8 Ω , 1kHz)
S/N 比	100dB 以上

4. 3 実験結果

4. 3. 1 周波数 20kHz での実験

超音波の周波数を 20kHz の正弦波とし、セパコンの片側に設置した高音用スピーカーより白米 (重さ 50g) に放射した。同じセパコンのもう片側には同じ重さの白米を設置し、湿度と温度を同条件とした環境においてカビの発生状況を比較した。実験は 2 回行い、1 回目の実験は 2023 年 9 月 16 日から 1 週間、また 2 回目の実験を 2023 年 9 月 29 日から 1 週間に渡り行った。

また表4に各実験期間でのセパコン内で測定した最高温度、最低温度、また最高湿度、最低湿度を示す。

表4 実験中の最高最低温度と湿度 (周波数 20,30kHz)

	最高温度	最低温度	最高湿度	最低湿度
実験1回目	29.6 $^{\circ}$ C	25.4 $^{\circ}$ C	99.9%	78.6%
実験2回目	27.8 $^{\circ}$ C	24.3 $^{\circ}$ C	97.4%	87.5%

次に周波数 20kHz での 1 回目の実験結果を示す。

図6に周波数 20kHz の超音波を 1 週間放射した白米、図7に放射をしなかった白米の写真を示す。これらより周波数 20kHz の超音波を放射している白米は白カビの成長が抑制されていることが分かる。一方で黒カビについては抑制効果が見られないが、これは超音波放射をしない白米には黒カビが発生していないことより、元から黒カビの胞子が付いていなかったと思われる。

また白米の重量については、放射しない白米の重さが約 50g であったのに対して、放射した白米の重さは約 35g であり、約 15g ほどの減少が見られた。

図6 超音波放射あり（周波数 20kHz）



図7 超音波放射なし

図8 超音波放射あり（周波数 20kHz）



図9 超音波放射なし

次に周波数 20kHz を用いた 2 回目の実験を行った。

図8に同じく周波数 20kHz の超音波を 1 週間放射した白米，図9に放射をしなかった白米の写真を示す。

これらの図より周波数 20kHz を用いた 2 回目の実験では，白カビはどちらも発生が認められず，周波数 20kHz の超音波を放射していた白米では，超音波放射のない白米に対して黒カビの成長が大きく抑制されていることが分かる。

白カビの発生が認められなかった原因として，白米に白カビの胞子がついていなかったと考えられる。

また白米の重量の変化については，放射しない白米の重さが約 50g であったのに対して，放射した白米の重さは約 30g であり，約 20g の減少が見られた。

この重量の変化の原因として，超音波の放射により白米の表面が振動し，これにより水分の蒸発が促進されたと考えられる。



4. 3. 2 周波数 30kHz での実験

超音波の周波数を 30kHz の正弦波とし，同じくセパコンの片側に設置した高音用スピーカーより白米（重さ 50g）に放射した。同じセパコンのもう片側には同じ重さ 50g の白米を設置し，湿度と温度を同条件とした環境においてカビの発生状況を比較した。実験は 2 回行い，1 回目の実験は 2023 年 9 月 16 日から 1 週間，また 2 回目の実験を 2023 年 9 月 29 日から 1 週間に渡り行った。

図 10 に周波数 30kHz の超音波を 1 週間放射した白米，図 11 に放射をしなかった白米の写真を示す。

これらの図より周波数を 30kHz での 1 回目の実験では，超音波を放射している白米では黒カビ・白カビのどちらも成長が大きく抑制されている。また白米の重量については，放射しない白米の重さが約 45g であったのに対して，放射した白米の重さは約 30g であり，約 15g の減少が見られた。

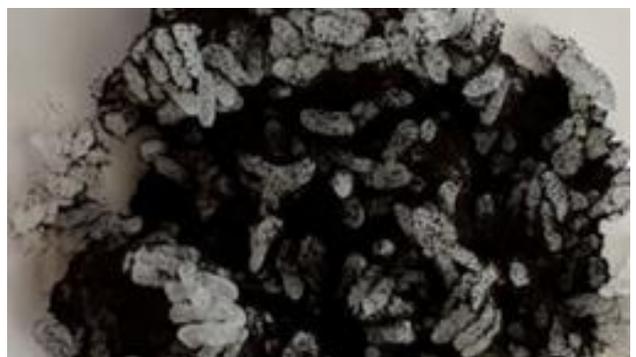


図 10 超音波放射あり（周波数 30kHz）



図 11 超音波放射なし

図 12 超音波放射あり（周波数 30kHz）



図 13 超音波放射なし

次に周波数 30kHz を用いた 2 回目の実験を行った。

図 12 に同じく周波数 30kHz の超音波を 1 週間放射した白米，図 13 に放射をしなかった白米の写真を示す。

これらの図より 2 回目の実験においては超音波の放射により黒カビの成長が大きく抑制されていることが分かる。

一方白カビについてはどちらも発生が認められなかった。この原因として、もともと白米に白カビの孢子がついていなかったためと考えられる。

また白米の重量については、放射しない白米の重さが約 50g であったのに対して、放射した白米の重さは約 30g であり、約 20g の減少が見られた。

この重量の変化の原因として、超音波の放射により白米の表面が振動し、これにより水分の蒸発が促進されたと考えられる。

4. 3. 3 周波数 40kHz での実験

超音波の周波数を 40kHz の正弦波とし、同様の環境においてカビの発生状況を比較した。実験は 2 回行い、1 回目の実験は 2023 年 9 月 22 日から 1 週間、また 2 回目の実験を 2023 年 10 月 8 日から 1 週間に渡り行った。

また表 5 に各実験期間でのセパコン内で測定した最高温度、最低温度、また最高湿度、最低湿度を示す。

表 5 実験中の最高最低温度と湿度（周波数 40,50kHz）

	最高温度	最低温度	最高湿度	最低湿度
実験 1 回目	27.6°C	24.9°C	99.9%	85.8%
実験 2 回目	26.6°C	23.7°C	99.9%	86.9%

次に 1 回目の実験での結果として、図 14 に周波数 40kHz の超音波を 1 週間放射した白米，図 15 に放射をしなかった白米の写真を示す。



図 14 超音波放射あり（周波数 40kHz）



図 15 超音波放射なし

図より周波数 40kHz の超音波を用いた 1 回目の実験では、超音波を放射した白米は白カビ、黒カビ共に抑制が認められ、特に白カビについては大きく抑制されていることが見て取れる。

また白米の重量については、放射しない白米の重さが約 45g であったのに対して、放射した白米の重さは約 30g であり、約 15g の減少が見られた。

次に周波数 40kHz を用いた 2 回目の実験を行った。実験結果として、図 16 に周波数 40kHz の超音波を 1 週間放射した白米、図 17 に放射をしなかった白米の写真を示す。

周波数 40kHz の 2 回目の実験では、白カビ・黒カビ共に大きく抑制されている。また白米の重量の変化については、放射しない白米の重さが約 50g であったのに対して、放射した白米の重さは約 30g であり、約 20g の減少が見られた。こちらも超音波の放射により水分の蒸発が促進されたと考えられる。

図 16 超音波放射あり（周波数 40kHz）



図 17 超音波放射なし

4. 3. 4 周波数 50kHz での実験

超音波の周波数を 50kHz の正弦波とし、同様の環境においてカビの発生状況を比較した。実験は 2 回行い、1 回目の実験は 2023 年 9 月 22 日から 1 週間、また 2 回目の実験を 2023 年 10 月 8 日から 1 週間に渡り行った。

1 回目の実験での結果として、図 18 に周波数 50kHz の超音波を 1 週間放射した白米、図 19 に放射をしなかった白米の写真を示す。

図より周波数 50kHz の超音波を用いた 1 回目の実験では、超音波を放射した白米は、若干ではあるが黒カビが抑制されていることが分かる。また白カビはどちらにも発生が認められなかった。これについても、もともと白米に白カビの胞子がついていなかったためと考えられる。

また白米の重量については、放射しない白米の重さが約 45g であったのに対して、放射した白米の重さは約 30g であり、約 15g の減少が見られた。原因として超音波の放射により水分の蒸発が促進されたと考えられる。



図 18 超音波放射あり（周波数 50kHz）



図 19 超音波放射なし

次に周波数 50kHz を用いた 2 回目の実験を行った。実験結果として、図 20 に周波数 50kHz の超音波を 1 週間放射した白米、図 21 に放射をしなかった白米の写真を示す。

周波数 50kHz の 2 回目の実験では、黒カビにおいては若干の抑制が見られ、また白カビにおいては黒カビと比較してより大きな抑制が見られている。

また白米の重量の変化については、放射しない白米の重さが約 45g であったのに対して、放射した白米の重さは約 30g であり、約 15g ほど軽くなっていた。こちらもこれまでの実験結果と同様に、超音波の放射により水分の蒸発が促進されたと考えられる。

これらの実験結果より、20, 30, 40, そして 50kHz の各周波数においては、どの周波数に対してもある程度の超音波放射の影響によるカビの成長の抑制効果が見られることが確認された。また概ね周波数が高くなるとカビの抑制効果も強くなり、特に 40kHz で最も抑制効果が高いことが分かった。これは今回用いたスピーカーの周波数特性が、高周波領域では周波数 30kHz および

図 20 超音波放射あり（周波数 50kHz）



図 21 超音波放射なし

50kHz 付近において、40kHz に対して 5~7dB ほど特性の谷が存在し、これにより超音波の放射強度が低くなったことが原因の一つと考えられる。

また超音波を放射した白米の重量は、放射しなかった白米に対してどの周波数においても約 15 から 20g 減少していた。この減少した重量は水分の蒸発によるものと考えられるため、今回確認された超音波の放射によるカビの抑制効果が、直接カビに影響して抑制したものか、それとも白米の水分量の減少により、カビが発生しにくくなった結果の抑制なのかを今後の実験で切り分ける必要がある。

5. まとめ

カビによる食物の汚染を軽減することを目的とし、超音波を使ってカビの成長を抑制する手法について検討した。資料として重さ 50g の白米を使用し、周波数 20, 30, 40, そして 50k 白米、温度や湿度が同じ環境で 1 週間放置し、カビの生え方、白米の重さの変化について比較検討した。その結果、どの周波数の超音波放射についても、



はカビの抑制効果が超音波の直接的な影響か、それとも白米の水分量の減少により、カビが発生しにくくなった結果の抑制なのかを切り分ける必要がある。

参考文献

- [1] 谷越欣司, 超音波とその使い方—超音波センサ・超音波モーター, 日刊工業新聞社, pp.2-4 (1994)
- [2] カイジョー, 超音波とは何か,
<https://www.kaijo.co.jp/sansen/technical/usonic.htm>
1
- [3] 超音波工業会, はじめての超音波, 工業調査会, pp.12-13 (2004)