

粉末充填層内への遠赤外線ヒーター熱の浸透速度について

長野工業高等専門学校
機械工学科 馬場 慎吾

1. はじめに

きのこ栽培においては、オガクズなどの木質基材に米糠などの栄養源を混ぜた人工の培地を用いて、キノコを栽培する菌床栽培と、原木に直接菌を植え付ける原木栽培とがある。菌床栽培を行う場合には、雑菌の混入を防止するために、きのこの菌を植え付ける前に、容器に入れた培地を 100℃以上で加熱し雑菌に対する滅菌を行う必要がある。この際、培地を入れた多数の密閉容器を高温室に入れている。しかし、この滅菌には長時間を要しており、滅菌時間の短縮はきのこ栽培の効率化につながるものと思われる。

そこで、熱の浸透性がよいとされる 2 種類の遠赤外線ヒーターを用いて、2 種類の容器に小麦粉とこめかをそれぞれ入れ、その粉末内の温度上昇を測定した。この温度上昇の速さを検討することで、粉末を加熱するのに遠赤外線ヒーターが有効か、またヒーターの種類によって熱の浸透性が異なるか検討した。

2. 実験装置および方法

2.1 粉末の熱伝導率の測定

熱線法による熱伝導率測定装置を図 1 に示す。粉末を円筒内に充填し、その中心に細いニクロム線ヒーターを置き、これに一定の電流を流し発熱させる。このヒーター線の中心部に熱電対が溶着されている。通電時間における熱電対の温度を、データロガーを介してパソコンに取り込む。任意の時刻 t_1, t_2 における試料温度 T_1, T_2 を測定する。単位時間単位面積当たりの発熱量 q が既知であれば、 $\ln(t_2/t_1)$ に対し $(T_2 - T_1)$ は直線関係にあるから、得られた $(T_2 - T_1)$ をプロットした時の直線の傾きから熱伝導率 λ を求めることができる。

粉末の熱伝導率 λ [W/mk] は式 (1) で求めた。

$$\lambda = \frac{q}{4\pi(T_2 - T_1)} \ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right) \quad (1)$$

q : 単位時間単位面積当たりの発熱量 [W/m²]

T : 熱線の温度 [K]

t : 時間 [sec]

添え字 1, 2 任意の時刻

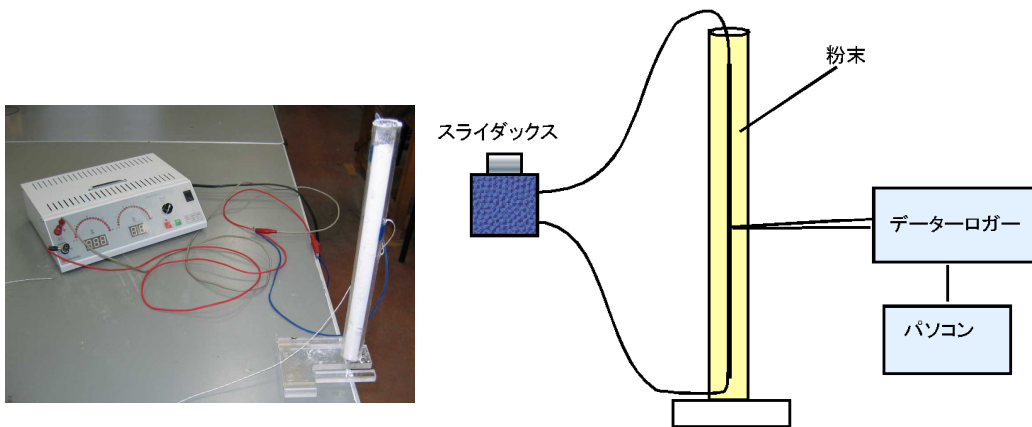


図1 熱伝導率測定装置

2.2 熱の浸透速度の測定

(1) 実験に用いたヒーター

八光電機製

ハイレックスヒーター HHS1103 100V 300W

石英管ヒーター LSAD103 100V 300W

(2) 粉末の種類

米ぬか

小麦粉

(3) 方法

図2に遠赤外線ヒーター熱の浸透速度を測定する装置を示す. 2種類の樹脂製の容器に熱電対を約20mm間隔で6本固定し, その容器内にそれぞれ同一の粉末を入れる. No.1の熱電対の位置は, 粉末の上面より若干下であり, No.6のその位置は, 容器の下面から約10mm上である. 断熱材で満たした箱の中に容器入れ, ヒーターから容器の上端面の距離 h を20cmに設定する. ヒーターへの印加電圧をスライダックスで調整し, 2種類のヒーターの発熱量 Q が300Wになるようにする. 遠赤外線ヒーターで加熱した場合の粉末内の各位置での温度を熱電対温度計で測定し, その時間経過をデータロガーを介してパソコンに保存する. ヒーターの種類の違いによる温度上昇の速さを比較検討する.

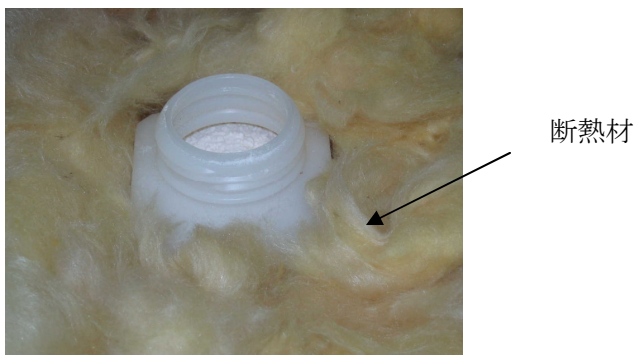
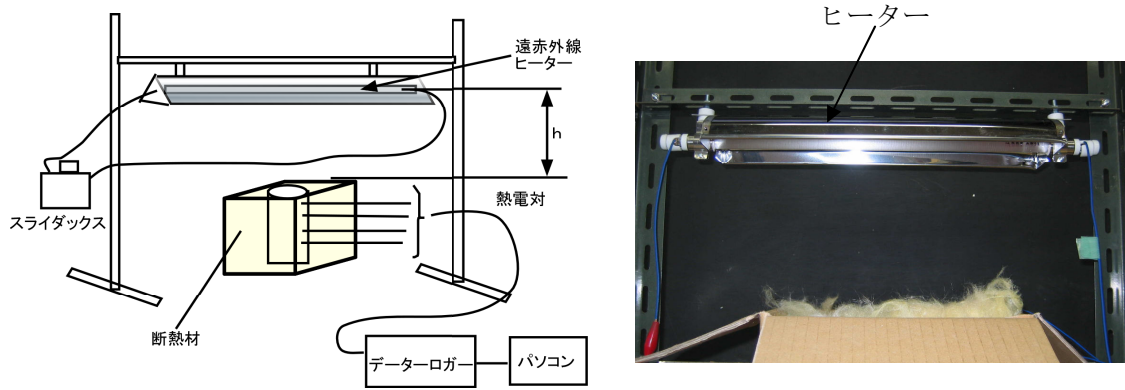
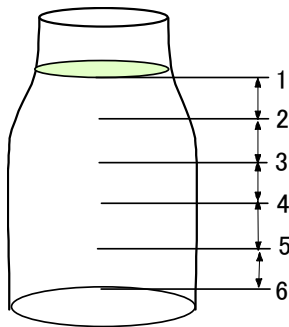
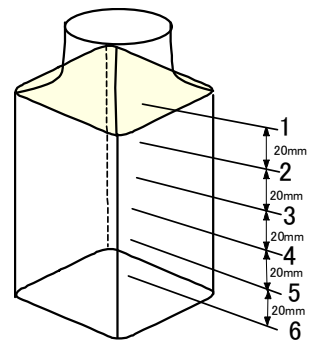


図2 熱の浸透速度の測定装置



(a) 丸容器



(b) 角容器

図3 樹脂容器の種類

3. 実験結果

(1) 熱伝導率測定

図4には粉末を図1の実験装置の円管内に充填し、通電した後のニクロム線の温度上昇曲線の一例を示す。

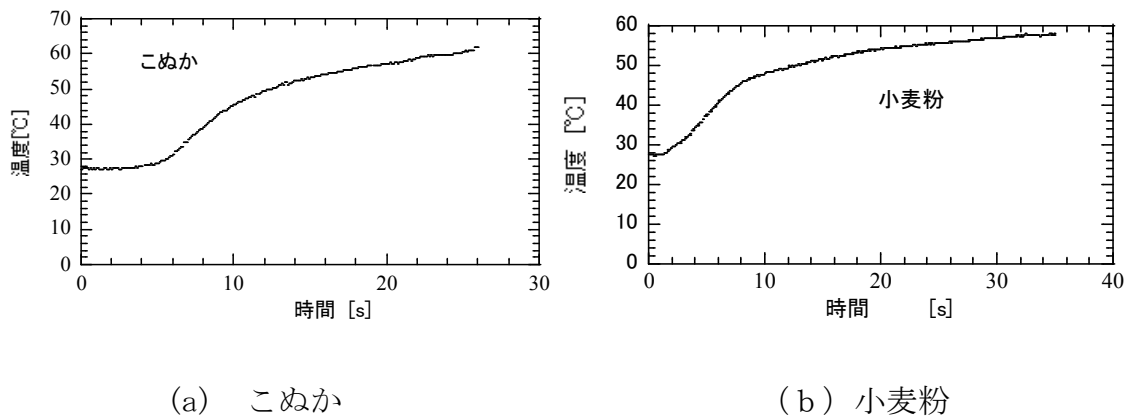


図4 ニクロム線の温度上昇

図4の結果に基づき式(1)から粉末の熱伝導率を求めた結果、次の値となった。

こぬか

2 V 1.5 A 49 s ~ 4 s 28°C ~ 42.5°C □ $\lambda = 0.149$

3 V 2.1 A 21 s ~ 32 s 29.2°C ~ 56.5°C □ $\lambda = 0.147$

4 V 2.5 A 31 s ~ 41 s 30.7°C ~ 70.4°C □ $\lambda = 0.154$

5 V 2.8 A 38.51 s ~ 39.52 s 32.5°C ~ 121.8°C $\lambda = 0.171$

平均値 $\lambda = 0.155$ [W/mK]

小麦粉

2 V 1.5 A 27 s ~ 30 s 29°C ~ 34.4°C $\lambda = 0.162$

3 V 2.0 A 8 s ~ 21 s 34°C ~ 58.4°C $\lambda = 0.167$

4 V 2.6 A 35 s ~ 43 s 29°C ~ 54.8°C $\lambda = 0.222$

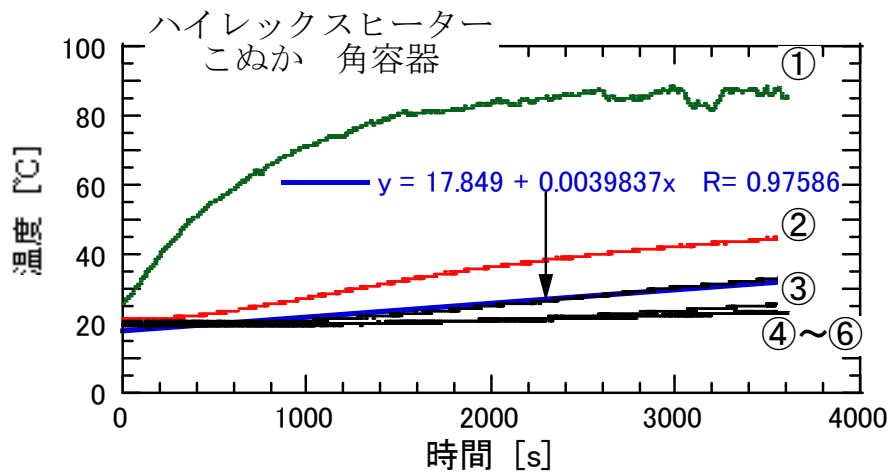
5 V 2.7 A 33 s ~ 49 s 33°C ~ 91°C $\lambda = 0.171$

平均値 $\lambda = 0.181$ [W/mK]

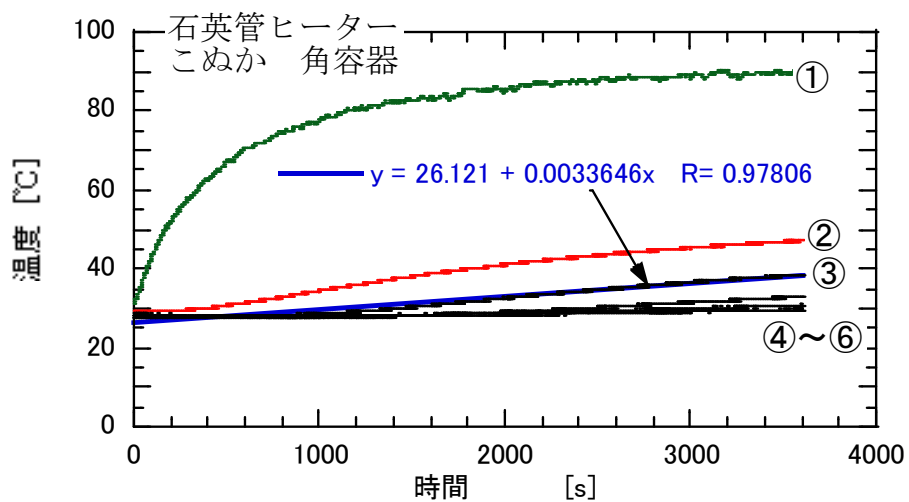
印加電圧の違いや測定精度の問題などで熱伝導率に差が見られるが、こぬかと小麦粉では熱伝導率に大きな差異は認められない。なお、こぬかと小麦粉の熱伝導率の値は、含水率が50%程度のラワン材とほぼ同じである[1]。

(2) 粉末内の温度変化

図 5 から図 8 には角と丸の容器にそれぞれこぬかと小麦粉を入れ、それらをハイレックスヒーターと石英管ヒーターでそれぞれ加熱した場合の容器内の温度の変化を示す。容器の①と②の温度変化は、上に凸の温度変化をしているが③～⑥はほぼ直線的に変化している。ここで、④～⑥の温度変化は非常にわずかであり 1 時間加熱しても下部まではほとんど熱が伝わっていないことがわかる。それに対し③の温度の変化は明確であるので、その温度勾配から粉末内の熱の伝わる速さを検討することにする。

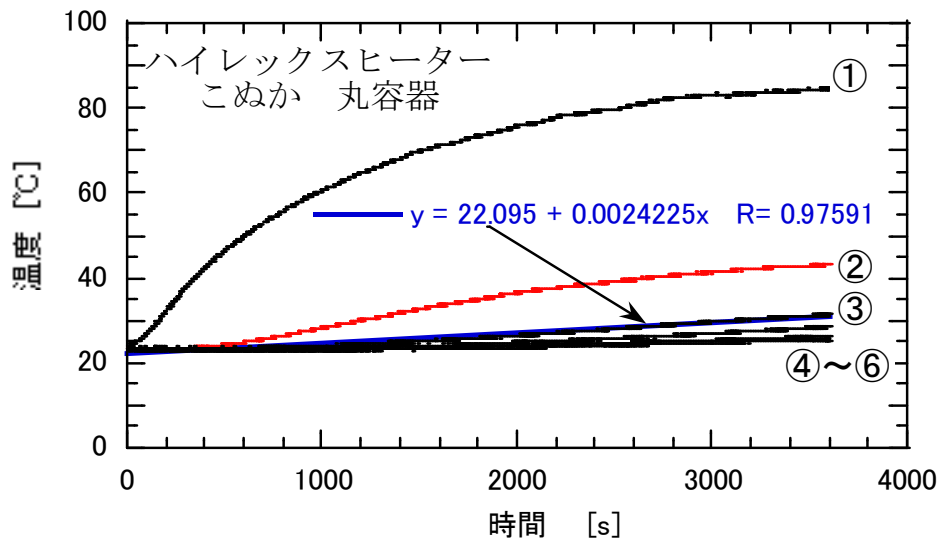


(a) ハイレックスヒーター

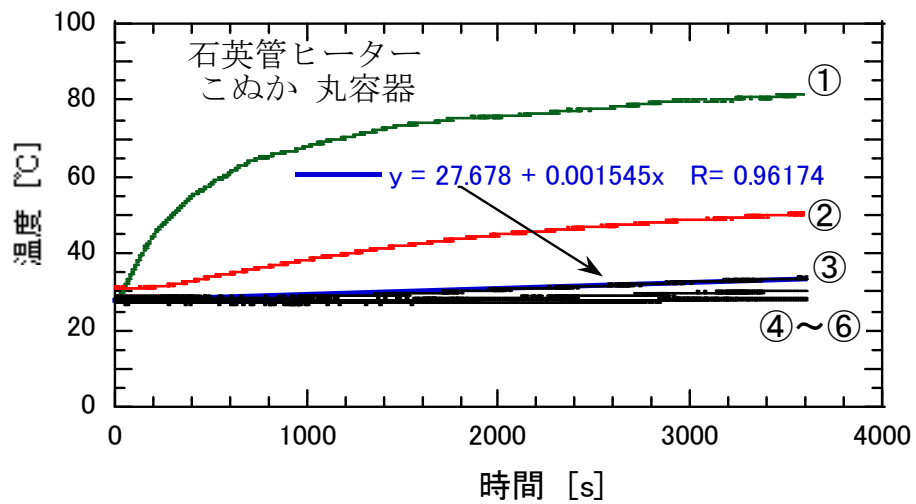


(b) 石英管ヒーター

図 5 角容器にこぬかを充填

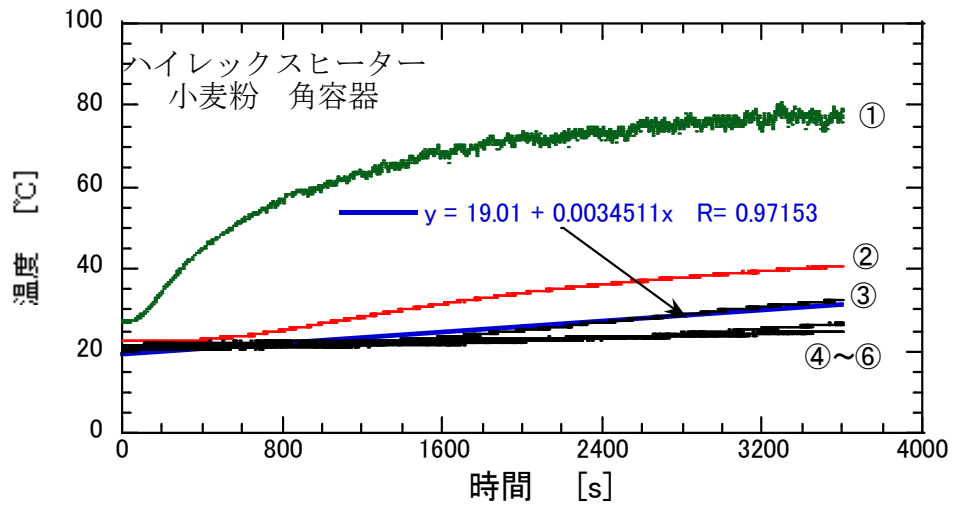


(a) ハイレックスヒーター

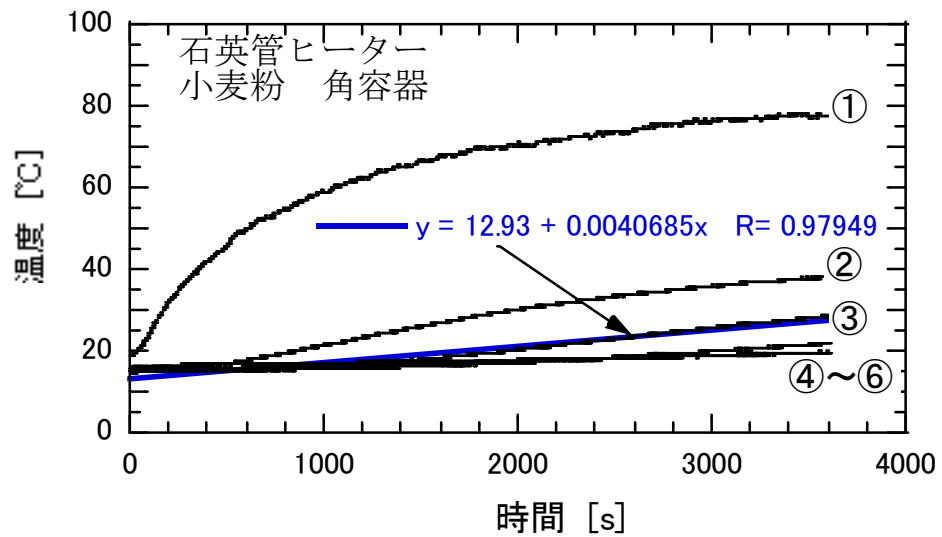


(b) 石英管ヒーター

図6 丸容器にこぬかを充填

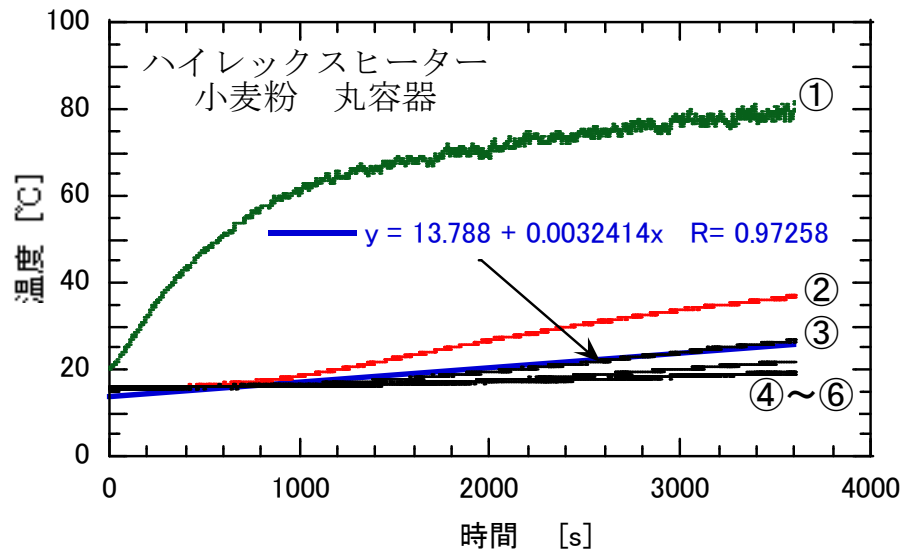


(a) ハイレックスヒーター

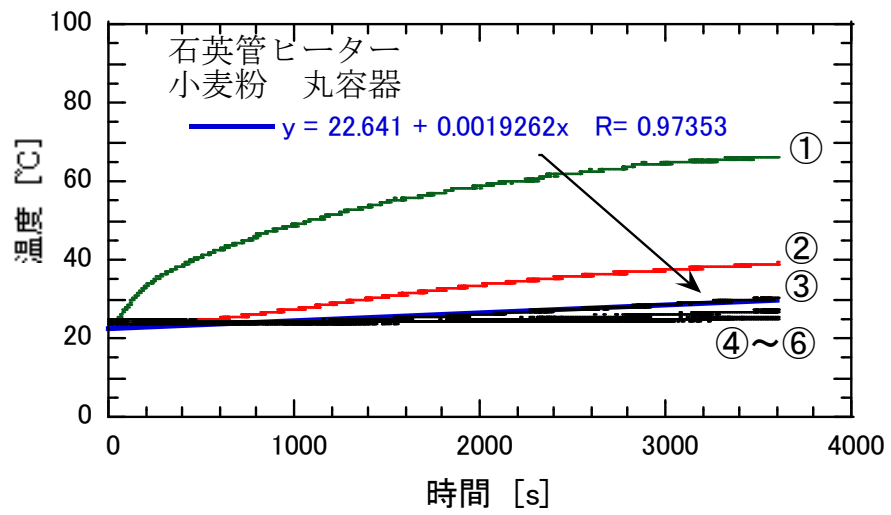


(b) 石英管ヒーター

図7 角容器に小麦粉を充填



(a) ハイレックスヒーター



(b) 石英管ヒーター

図8 丸容器に小麦粉を充填

図7の角容器に小麦粉を入れた場合以外は、ハイレックスヒーターで加熱したほうが石英ヒーターの場合に比べて温度勾配が若干大きい。しかし、勾配（ x の係数）が0.001異なっても1時間（3600秒）で温度が3.6℃異なる程度の違いである。したがって、両遠赤外線ヒーターを用いても粉末内の温度上昇に大きな違いはないと思われる。

容器と粉末の種類が同じで、同一発熱量のヒーターの種類によって粉末内の温度勾配が異なる原因としては、ヒーターの種類の違いによってその表面温度が異なるかあるいは遠赤外線の波長が関係していることが考えられる。遠赤外線の特長として、「遠赤外線は体内に深く浸透し、からだの芯まで温まるような感じが得られる」などの表現が使われるが、これは粉末のような熱伝導率の小さい物質には当てはまらないのではないか。すまわち、遠赤外線ヒーターのふく射熱を利用してきのこの培地の滅菌を行うことは、非常に非効率的であることがわかった。

4. まとめ

形状の異なる2種類の容器に、それぞれ小麦粉とこぬかを入れ、それらを2種類のヒーターで加熱し、粉末内の温度の時間変化を検討した。その結果、ハイレックスヒーターと石英管ヒーターとの加熱による粉末内の温度上昇に顕著な違いは認められない。

課題・問題点

- * 反射板のないカーボンランプヒーター（LNC0600, 100V, 600W）も購入したが、他のヒーターと加熱条件が大きく異なるため、比較対象から除外した。多くの種類のヒーターでの比較ができなかった。
- * 容器上面の温度を一定にするために、デジタルファインサーモ（DGC1150）を用いて、ヒーターのオン・オフを試みた。しかし、熱電対の感温領域が大きくまた温度変化に対する応答性が遅いため、ヒーターのオン・オフ制御が制度よくできなかった。本実験においてはデジタルファインサーモを使用しなかったため、容器上面温度が日によって異なり、加熱条件が異なってしまった。

謝辞

本研究を行うにあたり（株）八光電機製作所には多大なご協力をいただきましたこと心より感謝申し上げます。

参考

- [1] 日本機械学会編, 伝熱工学資料 改訂第4版 1986, p 322.