

第 1 回 HAKKO 熱の実験コンテスト

「身近なものでノンオイルフライヤー!」

東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科
岩瀬・島山研究室

1 概要

本実験では、熱風を用いた揚げ調理実験を通して、油を使わない揚げ調理のために必要な条件を検証することを目的とする。また、本実験での検証、考察を通して熱力学の知識に対する理解を深めることも目的とする。

揚げ調理とは、高温の油に触れた食品表面の水分が蒸発することで食品表面が硬化し、食品内部は柔らかいまま加熱調理する手法である。本実験では、実験装置にヒートガンを接続し、装置内の食品に 200℃の熱風を吹き付けることで、熱風を用いてから揚げの揚げ調理を行う。また、熱風を用いた揚げ調理の条件を検証するため、食品の位置、高さを変えた場合の結果を比較する。

本実験の結果、熱風の通る箇所に配置され、排出された直後の熱風が当たらなかった食品が最も揚げ調理の出来が良かった。また、実験装置内の天井付近ではいずれの位置でも十分に熱が通っていた。

本実験を通して、油を使わない特殊な揚げ調理の原理と流体の流れについて理解を深めることができた。また、本実験の結果、考察からノンオイルフライヤーの原理について理解することで、学生などの科学的知識を用いた製品に対する興味を深め、関連した知識の理解を助けられると考えている。

2 実験場所・日時

実験場所：東京電機大学 1 号館 6 階ルーフガーデン

実験日時：2016 年 12 月 2 日 (土)10:00～13:00

3 使用機器・システム構成

本実験に用いた機器を表1に示す。

表 1: 使用機器一覧

使用機器	型番	メーカー
ヒートガン	HG-10S	(株) パナック
放射温度計	CT-2000D	(株) カスタム

本実験に使用した試料を以下に示す。

- アルミホイル 適量
- バケツ 1個
- ダクト 1個
- アルミ網 1個
- 針金 適量
- 鳥肉 適量
- から揚げ粉 適量
- 送風機 1個

本実験で用いる実験装置の図を図1に示す。

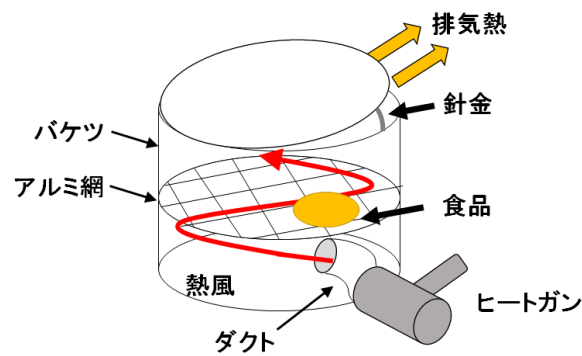


図 1: 実験装置の概要図

また、実際に製作した実験装置のシステム構成図を図2に示す。



図 2: 実験装置のシステム構成図

本実験で使用する装置は、バケツの下部に穴をあけ、送風用にダクトを差し込んでいる。この継ぎ目をアルミホイルで覆うことで、穴から風が漏洩しないで送風することができる。ダクトを通じて入ってくる熱風が容器内を循環するように、ダクトは容器の壁面に沿って曲げて設置する。ダクトの上にはアルミ網を設置し、アルミ網上に食品を置く。実験ではヒートガンからダクトを通じてバケツ内部に熱風を送ることで、バケツ内部の食品を加熱する。装置の上部分には蓋を針金を用いて少し浮くように設置し、熱をある程度留めつつ排気する排気口とする。また、当初実験装置の熱源としては熱風発生機を使用する予定だったが、実験場所における制度の変更により使用できなかつたため、十分な出力を持つヒートガンで代用した。

4 実験目的

本実験では、市販されているノンオイルフライヤーの動作原理を再現することで熱風を用いた揚げ調理を行う。これにより、熱風を用いた揚げ調理に必要な条件を検証し、必要な熱および流体力学を学ぶことを目的とする。また、身近で調達可能な機材を用いて市販されている特殊な調理器具を再現することで、身近ではあっても原理を知らない器具の仕組みの理解を助け、学生などに科学知識に対する興味を持たせることも目的とする。

5 送風実験

5.1 実験目的

送風実験では図 1 に示す実験装置に風を流した際の空気の流れの確認、及び設計時に意図した空気の流れが実現できていることを確認することを目的とする。

5.2 実験内容

実験装置内の空気の流れを確認するために空気の流れを可視化する。可視化する手法としてドライアイスを用いる。ドライアイスは水に触れることで、水分が急速冷却され微小な個体粉末として舞い上がり白煙が発生する。本実験では図 3 のようにダクト入り口に設置した送風機から送られた風にドライアイスから発生させた白煙を当てることで空気の流れを可視化し、空気の流れを確認する。

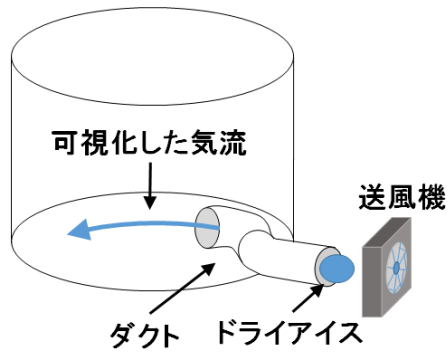


図 3: 送風実験装置

本実験では、熱風を食品に吹き付けることで揚げ調理を実現する。実験装置内部の不特定の位置にある食品に熱風を吹き付けるには、ダクト入り口から排気口に向かって渦を巻くように空気の流れが発生することが理想的である。本実験では、空気が渦を巻いて流れる状態を理想の状態とする。送風実験では、中心にガイドを設置した場合と設置しない場合の2通りの条件で確認する。ガイドを設置した場合、ガイドに沿って空気が流れると想定されるため気流が実験装置中心付近で空気が渦を巻き、理想の気流を実現できると考えられる。ガイドがない場合、中心付近の気流が乱れるため理想の気流を実現できないと考えられる。

5.3 実験結果

実験を行った結果ガイドを設置した場合、気流が図 4 に示すように中心付近で停滞していることが分かった。

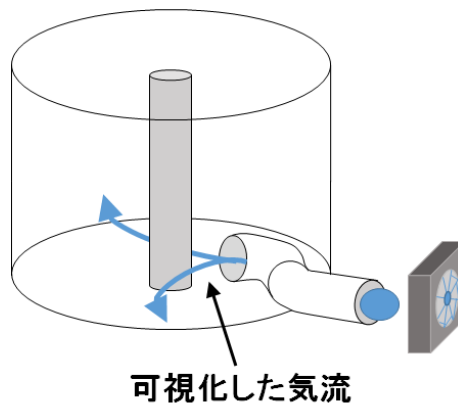


図 4: 送風実験装置

またガイドを設置しなかった場合、気流が図 5 に示すように実験装置の壁に沿って渦巻いていることが分かった。

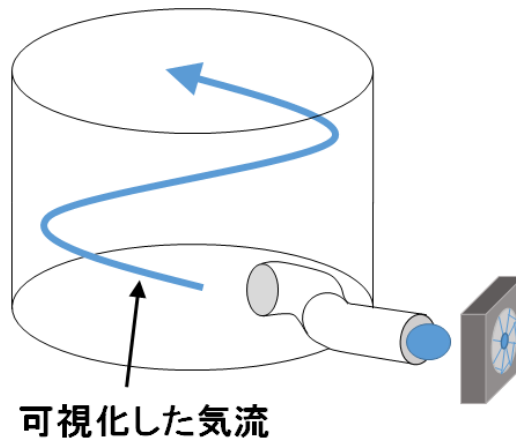


図 5: 送風実験装置

ガイドを設置した場合、気流が乱れた原因として考えられることはガイドに気流が想定とは違うあたり方をしたと考えられる。ガイドを設置した場合、ダクトの出口から出た気流がガイドにあたり、それによって空気の流れが乱れ、中心付近の気流が停滞したと考えられる。ガイドがない場合、空気の流れを阻害する要素がないため気流が乱れることなく実験装置の壁に沿って空気が流れたと考えられる。送風実験の結果より、ガイドがない方が実験装置内の気流が理想の状態に近いと、ガイドを設置せずに調理実験を行う。

6 実験内容

本実験では、油を使わず、熱風を用いて揚げ調理を行う。揚げ調理とは、一般に高温多量の油などで食品を熱する調理法である。揚げ調理の原理は、高温の油により食品の表面の水分を短時間で蒸発させることで、表面が硬く、中身が柔らかくなるように加熱を行っている。

本実験では、200℃の熱風を用いて揚げ調理を実現する。まず、200℃の熱風を循環させることで、食品の表面の水分を蒸発させる。また、熱風を循環させることで、食品の表面を均一に加熱し、内部にも十分に熱を通すことができる。以上の原理により、食品を油を用いずに揚げ調理することができる⁽¹⁾。

実験の内容としては、実験装置のダクトにヒートガンを差し込み、熱風を流入させる実験装置の内側に沿って熱風が循環し、容器内の温度を上げる。容器内の網の上に置いた食品に循環している熱風が吹き付けることで、揚げ調理を実現する。このとき、熱風を用いた揚げ調理に必要な条件を検証するため、網上の五箇所に食品を置き、温度を比較する。また、網の高さに関しても二つの条件に分けて実験する。今回の実験では、1個約3cm程度の鶏肉を食品として用いる。また、食品には衣として日清食品のからあげ粉を事前にまぶす。このからあげ粉を用いた調理方法としては180℃の油で3分間揚げることを想定されている。このため、この実験で鶏肉がから揚げとして調理できれば、熱風により揚げ調理を行うことができたといえる。

7 実験手順

1. 実験装置内のにアルミ網を設置する。アルミ網の高さは上から160mm、上から30mmの二つの条件で実験を行う。
2. 実験装置の送風ダクトにヒートガンを接続して熱風を送り、実験装置内を温める。
3. 図6のようにアルミ網の外縁部に4つ、中央に1つ食品を置く。

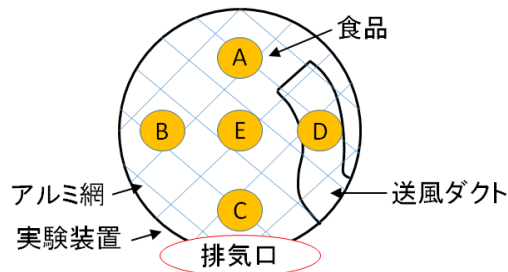


図 6: 食品の配置場所

4. 5分時点で一度ふたを外し，各場所の食品の温度を測定する。
5. 10分時点で各場所の食品の温度を測定し，食品の状態を確認する。

8 加熱実験結果

実験では，ヒートガンから 650℃の熱風を送り，実験装置内を温めた．このとき出力温度を 650℃としたのは，熱風を用いた揚げ調理に必要な温度が 200℃であり，ダクトの出口における熱風の温度が 200℃に達するのがヒートガンの出力を 650℃としたときだったためである．温度が一定になった段階で実験装置内の温度を測定したところ，ダクトの出口付近は約 200℃，実験装置の上部から 160mm の位置の壁面は約 150℃，上部から 30mm の位置の壁面は約 100℃となっていた．食品を上部から 160mm の位置で加熱した結果を表 8 に示す．

表 2: 上部から 160mm の温度 [℃]

	A	B	C	D	E
5分	196	119	75	63	96
10分	245	137	117	95	137

食品を 10 分間加熱した結果を図 7 に示す．

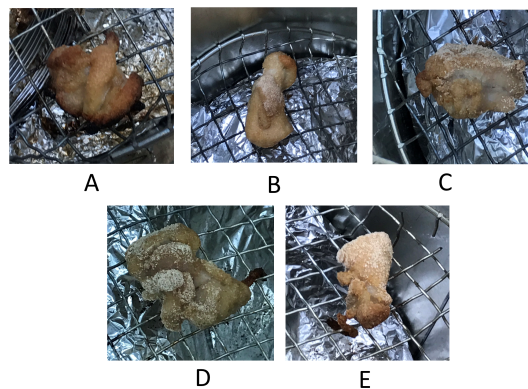


図 7: 加熱結果

図 6, 7 と表 8 より熱風の出口付近である A, B の箇所では表面が焦げた状態であり，中身は熱が通っていた．また，A の箇所では食品の油の排出量が最も多かった．C, D の箇所では表

面，中身共に熱が通っており，焦げた箇所は見られなかった．Eの箇所では表面には熱が通っていたが，中身には十分に熱が通っておらず赤身のままであった．この結果から，加熱位置上部から160mmの位置では熱風が実験装置の壁面に沿って流れている為，壁面付近のA，B，C，Dでは温度が高かったと考えられる．そのため，Eでは直接熱風が当たらず，温度が上がりにくかったと考えられる．またA，Bは送風口付近であったことからC，Dよりも温度が高いと考えられる．

食品を上部から30mmの位置で加熱した結果を表8に示す．

表 3: 上部から 30mm の温度 [°C]

	A	B	C	D	E
5 分	199	130	150	103	94
10 分	189	123	134	123	137

食品を10分間加熱した結果を図8に示す．

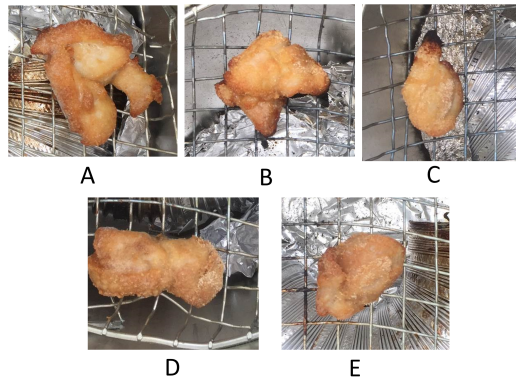


図 8: 加熱結果

図6，8と表8より食品を上部から160mmの位置で加熱した場合とは違い，A，B，C，D，E共に温度が高いことがわかる．結果として全ての食品の表面，中身に熱が通っていた．この結果より，天井付近では天井から熱風が反射してきており，全体的に温度が高かったと考えられる．

9 考察

9.1 本実験結果の各位置における出来の違いの原因

実験結果から装置内の熱風の流れについて考察する．加熱開始5分後と10分後の熱の分布を以下の図9に示す．

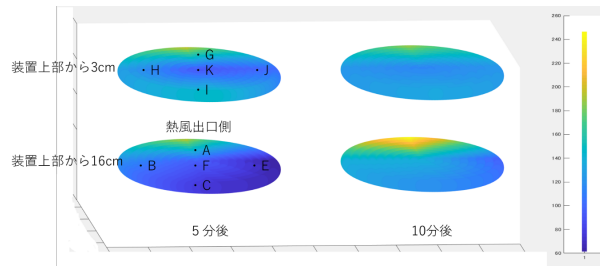


図 9: 装置内の温度分布

図 9 から熱風出口側の温度が加熱開始 5 分後、10 分後共に温度が高いことから、熱風が A から G に向かって上がっていることがわかる。原因として、ヒートガンの風量が少なかったため、ダクト内で熱風の流速が減少し、真上に上がる気流が発生したと考えられる。唐揚げの焼け具合から B, H 地点の熱風出口側が焦げているため A から B, H 地点に向かう気流も発生していると考えられる。また、I 地点側は熱風が装置の外へ排出されるため、気流が B 地点から I 地点に向かって流れたと考えられる。C, E, J は直下にダクトがあるため、熱風と共にダクトからの熱が伝わり、適切な温度になったと考えられる。F, K 地点は、熱風が壁を沿って流れているため、直接あたることなく、鶏肉の内部まで熱が伝わる速度が遅かったと考えられる。以上の考察から推定した装置内の熱風の流れを図 10 に示す。

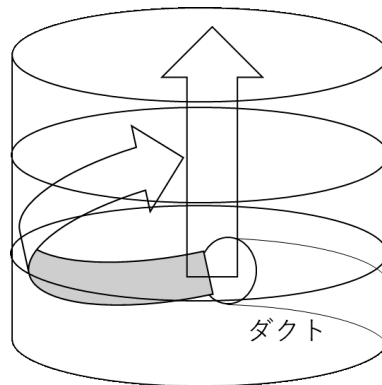


図 10: 装置内の熱風の流れ

9.2 本実験の改善点

今回行った揚げ調理実験における問題点としては、位置によって熱の通り具合にムラがあることが挙げられる。熱風が食品に直接当たる場合、食品は過剰に熱され焦げてしまう。また、今回用いた実験装置では、食品を中央に置くと熱風が十分に当たらず、熱が十分に通らない。これらの問題を解決する方法について考察する。

改善点としては、熱源が挙げられる。熱源として熱風を用いる場合、風は送風間の出口から一方向に流れるため、位置によって熱の通り方に差が生じてしまう。このことから、熱風を用いた揚げ調理を位置によるムラ無く行うためには、容器内の空気全体をできる限り均一に温めることで加熱するのが望ましいと考えられる。また、もう 1 つの改善点としては、容器内の形状が挙げられる。今回用いた実験装置は円筒状であり、節に示すように熱風は容器内の壁面に沿って流れていた。このため、熱風の流れがより隙間なく循環するように容器を設計する必要があると考えられる。

以上のことから、本実験の改善案について考える。まず、熱源について考える。容器内の温

度を均一に暖めるためには、熱源を特定の一箇所ではなく、暖めたい箇所の周りに広く設置するほうがよい。このことから、熱源としては実験装置の外側の壁面に電熱線やヒーターなどの熱源を配置することで、壁面全体から容器内を加熱できると考えられる。次に、このとき必要な熱源の出力について考える。まず、容器内の空気の質量を求める。容器断面の半径は0.115m、高さは0.30mである。また、空気の密度は 1.205kg/m^3 とする⁽²⁾。このとき、容器内の空気の質量は式1に示すようになった。

$$0.115^2\pi \times 0.30 \times 1.205 = 0.01501944397\text{kg} \quad (1)$$

次に、容器内の空気を 20°C から 200°C まで加熱するために必要な熱量を求めると式2に示すようになった。また、空気の比熱は 1006J/kgC とする⁽²⁾。

$$0.01501944397 \times 1006 \times 200 = 2719.720914\text{J} \quad (2)$$

よって、必要な熱量は約 2.720KJ となる。容器内の温度を目標の値まで上昇させるのに5分かけるとすると、式3で求められる。

$$2719.720914 \div 300 = 9.06573638\text{W} \quad (3)$$

ワット数の計算は式5で求められる。このとき、出力するワット数を $w[\text{W}]$ 、電熱線にかかる電圧を $v[\text{V}]$ 、電流を $I[\text{A}]$ 、熱源の抵抗を $R[\Omega]$ 、電流を流す時間を $T[\text{s}]$ とする。

$$w = v \times I \times T \quad (4)$$

$$= \frac{v^2}{R}T \quad (5)$$

式3のうち、電圧 v を一般的なコンセントの出力である 100V として熱源に必要な抵抗 R を求めると式7に示すようになった。

$$R = \frac{v^2}{w}T \quad (6)$$

$$= \frac{100^2}{9.06573638} = 1103.054356\Omega \quad (7)$$

以上の計算から、約 $1.1\text{K}\Omega$ の抵抗を用いて5分間熱すれば、実験装置内の温度を 20°C から 200°C まで加熱できると考えられる。

続いて、熱風の流れがより隙間なく循環するような容器について考える。今回のように円筒形の容器の場合、壁に近い食品には熱が通り、中央の食品は生の部分が残っていた。このことから、容器の中央を熱風が通るようにする必要がある。このための方法としては、熱風が溜まる容器内の天井部分に送風ファンを設置することが挙げられる。しかし、単純にファンを設置しても十分な熱風が真っ直ぐに送られるとは限らない。これに対し、図8に示すようなガイドを設けることで、粘性により物体の表面に沿った流れを作る流体の作用により、ファンから熱風を真っ直ぐに流すことができると考えられる。

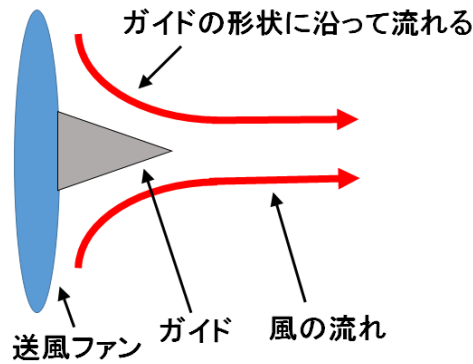


図 11: 改善案における送風ファン

このようなファンを設置した場合、壁沿いに上昇してきた熱風が真下方向に流れるため、容器の中央部分の食材にも十分に熱を加えられると考えられる。また、熱源の改善案として考案した電熱線を用いれば、熱風の出口に近い食品に過剰な熱が加えられる問題も解決できると思われる。これらのファンと電熱線を用いた実験装置の改善案を図 8 に示す。

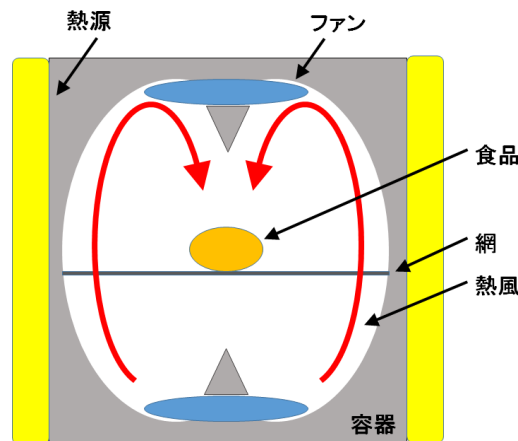


図 12: 実験装置の改善案

図 8 に示すような実験装置を用いた場合、電熱線で容器全体を温めることで位置による熱の差なく加熱することができる。また、加熱した容器内の気体を上下のファンにより循環させることで、網上で壁際、中央などの位置に関係なく食材に万遍なく熱風を当てることができる。この場合、網上に配置された食品全てに上下から熱風があたり、表面全体を揚げることができる。また、どの位置にも継続して熱風が当てられることで、内部にも十分に熱が通ると考えられる。以上の改善案を用いることで、位置による出来のムラを解決した熱風による揚げ調理ができると考えられる。

10 結論

本実験を通して、熱風を用いた揚げ調理を実現し、その原理について理解を深めることができた。また、本実験の結果や考察から製品としても実現されているノンオイルフライヤーの原理について理解することで、一見理解できないものの科学的な仕組みなどに興味を抱くことを助けられると考えられる。

11 謝辞

本実験を行うにあたり，株式会社八光電機様から助成を賜りました。熱力学について実験，検証を行い，理解を深めることのできる貴重な機会を提供して頂いた株式会社八光電機様に，ここに感謝の意を表します。

参考文献

- (1) ”ノンフライヤーはどうして油なしで揚げ物ができるの?”
<http://nonfryerphilips.web.fc2.com/nonfryerbase/entry2.html>
- (2) 竹生修己：”熱と流体の流れの基礎”，オーム社，2011