

豚肉の焼き調理に及ぼすフライパン素材の熱特性の影響

Effect of Thermal Properties of Frying-Pan Material on Grilled Pork

中田隼矢¹, 明星香乃²

Nakata Toshiya¹, Akeboshi Kano²

[キーワード]	技術・家庭科, 家庭科, 理科, 技術科, 金属, 調理, 熱特性, 熱伝導, 熱容量
[所属]	¹ 岐阜大学教育学部技術教育講座 (Technology Education, Faculty of Education, Gifu University), ² 卒業生・岐阜大学教育学部技術教育講座 (Graduated Student, Technology Education, Faculty of Education, Gifu University)

[要旨] 本研究では, 金属の特性を体感できる教材開発のための基盤知見を得るため, 種々の金属板の昇温特性, 及び素材と形状が異なるフライパンを用いた豚肉の焼き調理特性の評価を行った。金属板の昇温特性は, 熱伝導率が低い鉄などの素材においては炎直上部の温度上昇は早いものの板外側の温度は上がりやすく, 温度分布は不均一だった。しかし, 板厚を増すことによって昇温に時間を要するものの, 温度分布は均一になった。豚肉の焼き調理においては, 熱容量が低い薄肉の鉄製フライパンでは豚肉の投入時に表面の温度が大きく低下するものの, その後急激に温度が上昇し豚肉内部まで強く熱が加わっていた。熱伝導率に優れる銅やアルミニウム製のフライパンでは, 豚肉投入時にフライパン全体の温度が低下するもののその度合いは低く, 比較的短時間で内部まで火を通すことが出来た。

1. 緒言

「金属」は学校教育の様々な教科において, 直接もしくは間接的に扱われている。中学校の教科書の記載内容を例にあげると社会科における歴史的分野においては, 金属器として青銅器及び鉄器が登場し, 人類が文明を築き上げる過程で金属器が重要であったことが示されている [1]。また, 明治維新後の国内の産業革命の一例として官営八幡製鉄所の稼働があげられている [1]。地理的分野においては, 世界の各地域の主要な鉱山や国内の製鉄所などがあげられている [2]。理科においては, 物質, 熱伝導, 酸化還元, 磁性, 鉱物などで金属が幅広く取り扱われている [3-5]。美術においては, 工芸の素材として金属が扱われている [6]。中学校技術・家庭科の技術分野においては, その性質や加工方法について詳細に扱われている [7-9]。家庭分野においては直接金属が題材とはなっていないが, 調理で必要となる包丁やフライパンなどの素材として金属は不可欠である [10]。音楽においては, 金管楽器の素材として金属が利用されている [11]。このように様々な教科で取り扱われる「金属」は, 教科横断的な学びの題材になり得るものである。多くの教科の中で金属が扱われるのは, 人類にとって金属が欠かすことができない素材であることを強く示している。現在の生活においても様々な場所で金属が利用されているが, その性質を意識する機会は少ない。金属が幅広く利用されているのは埋蔵量の豊富さや生産性に優れることが一因であるが, 科学的に特異な性質を有することが大きい。科学の魅力の一つは, その知識を介することで様々な事象への理解が深まることである。その適用範囲は自然現象に留まらず, 現在そして過去のものづくりや文化や営みの理解に大きく寄与する。

そこで本研究では, 学校教育の中で金属の特性を体感できる教材開発のための基盤知見を得るため, 金属の熱特性と調理特性の関係について注目をした。熱特性の代表である熱伝導や比熱は理科で扱われる学習内容であり, 近年ではスマートフォンやタブレット端末に接続できる安価な赤外線サーモグラフィが販売され, 視覚的な実験結果が得られやすくなっている。一方で, 実生活において金属の熱特性を活かした製品の代表はフライパンなどの調理器具であり, 家庭科の学習内容に関わってくる。金属の熱特性はその種類によって大きく変化し, フライパンの素材の違いが調理結果に影響を及ぼすことはよく知られ, 調理科学の観点でも多くの知見が得られている [12-17]。フライパンの調理特性は素材となった金属自体の熱特性に加え, フライパンの形状にも大きく依存するが, 市販されているフライパンの形状や素材は様々であることも一因となつてか, 素材の熱特性のみ, あるいはフライパンの形状のみの影響を網羅的に評価した結果は少ない。フラ

イパンの熱特性や形状の違いによって調理結果が変わることを体感できたならば、高い学習効果が期待される。一方で、調理結果が変わるとしても、その変化が僅かであったり、調理条件の緻密な制御が必要ならば、教材には不向きである。そこで本研究では、金属の熱特性がフライパンの調理特性に及ぼす影響の基礎評価として、1) 同じサイズの金属板の加熱試験を行い、その昇温特性を熱電対とサーモグラフィーを用いて評価、2) 市販のフライパンの中で素材は異なるが極力形状に近いもの、もしくは素材は鉄であるものの板厚が異なるフライパンを用いて、豚肉の焼き調理特性を評価した。評価には市販のフライパンを用いたため、フライパンの形状は完全に統一はできなかった。当研究室では技術科の金属加工の知見を活かし、銅板を手作業で加工する鋳起銅器製作の知見を有する [18,19]。本研究は、鋳起銅器の知見を活かして素材が異なるフライパンや形状が異なるフライパンの製作への発展も視野に入れた複合的な教材開発のための初期検討である。

2. 実験方法

2.1. 金属板の熱特性と昇温挙動の評価

金属板の熱特性と昇温挙動を評価するため、低炭素鋼 (SPCE)、ステンレス鋼 (SUS304)、銅 (C1220P)、純アルミニウム (A1050P)、アルミニウム合金 (A2017P)、純チタニウム (TP340) の薄板を供試材とした。薄板の形状は 250×250×1.0 mm³とし、SPCEについては昇温特性に及ぼす板厚の影響を評価するため、板厚 1.0 mm に加えて1.2, 1.6, 2.0 mm厚の板材も用い、それぞれSPCE1.0, SPCE1.2, SPCE1.6, SPCE2.0と表記する。これらのサンプルに対して

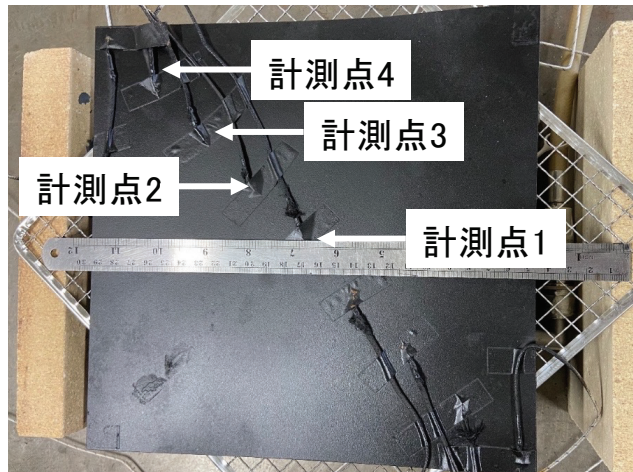


図1 耐熱塗料を塗布した金属板と熱電対の位置

板の中央1箇所と対角線上に43 mm間隔で8箇所にK熱電対をテフロンテープで貼り付け、昇温に伴う温度上昇を計測した。また、赤外線サーモグラフィー (NEC-Avio赤外線テクノロジー社製H2640) によって、表面の温度分布も合わせて評価した。なお、金属の種類や昇温過程で生じる酸化に起因する放射率の差や変動を抑えるため、予め金属板表面に黒色の耐熱塗料 (CRC製KURE耐熱ペイントコートブラック) を塗布した。加熱には、実験室に集中供給されている都市ガスを用いたガスコンロを用いて、同じ火力 (弱火) で加熱をした。炎に対する金属板の位置を揃えるため、ガスコンロ両脇に耐熱レンガを置き、その上に置いた金網の上に金属板を設置した。金属板の重量、比熱、熱容量及び熱伝導率を表1、加熱時の設置例と熱電対貼付の位置を図1に示す。なお、中心軸に対して対象となる位置の熱電対の計測結果はほぼ同じだったため、本論文では図中に示している計測点1~4の結果のみを用いている。

表1 金属板の重量と熱特性

	重量 (kg)	比熱 (J/kg・K)	熱容量 (J/K)	熱伝導率 (W/m・K)
SPCE1.0	0.49	442	220	80.3
SPCE1.2	0.59		260	
SPCE1.6	0.79		350	
SPCE2.0	0.98		440	
SUS304	0.50	590	290	16.7
C1220P	0.56	386	220	398
A1050P	0.17	905	150	237
A2017P	0.17	840	150	164
TP340	0.28	522	150	21.9

2.2. フライパン素材の熱特性と豚ステーキの焼き調理に及ぼす影響

フライパンの素材となった金属の熱特性が焼き調理に及ぼす影響を評価するため、異なる素材のフライパンを用いて調理した。用いたフライパンは直径24~26 mmの市販品となり、底面の厚さは1.6~6.7 mmの幅がある。素材は鉄、鋳鉄、銅、アルミニウム製に加え、一般家庭で使用されることが多いIH対応の積層材製のフライパンを評価対象とした。なお、鉄製のフライパンは板厚が1.6, 3.2, 4.5 mmの3種類を評価したため、それぞれの呼称を鉄1.6, 鉄3.2, 鉄4.5とする。鋳鉄製フライパンの表層にはホーロー加工が施されており、積層材の構造は内側よりSUS304, アルミニウム, SUS430となる。フライパンの素材、底部の直径と厚さ、

底部の概算の熱容量を表2に示す。なお、積層材中の各金属の厚さと鉄の比熱が不明だったため、熱容量は算出していない。

フライパンの加熱には板材と同様のガスコンロを用いて、弱火で調理をした。調理中の温度変化を計測するため、フライパン表面の中心及び中心から8 cm外側にK熱電対を貼り温度を計測した。調理に用いる食材は、量販店で購入した重量約120 g、厚さ約15 mmの豚肉を用いた。調理前後の豚肉の重量を電子天びん（島津製作所製TX223N）で計測し、調理前後の重量差を調理に伴う水分減少量とした。調理をする際は、フライパン内に適量の調理油を入れ、フライパン中央の温度が200°Cに達したときに豚肉を投入した。予熱時も含めて弱火で加熱を行い、調理中にフライパン表面と豚肉全体が確実に接触するよう約500 gのレンガをクッキングシートを介して食材の上に置き、蓋なしで焼き調理を行った。調理は片面を焼いた後、豚肉を裏返して同時間焼いた。調理時間は片面を3, 4, 5, 6, 8分ずつ加熱した。以降、加熱時間については両面の加熱時間の6, 8, 10, 12, 16分を表記する。

調理後の豚肉の重量を計測した後、幅約15 mmに切断し、実体顕微鏡（Nikon製SMZ745）を用いた表面と断面の観察、及び簡易強度試験による硬さ評価を行った。硬さ評価には、IMADA製ハンドル式手動計測スタンド（HV-500NII）に取り付けた同社製デジタルフォースゲージ（ZTA-50N）で樹脂製円錐圧子を豚肉に押し込み、押し込み時の荷重を評価した。同試験機の荷重負荷は手回し式のハンドルで圧子を動かし、圧子の移動距離を計る変位計は搭載されていない。そのため、圧子の押し込み速度ができるだけ一定になるよう同じ人物が試験を行い、複数回の計測を行った。試験の様子を図2に示す。また、調理前の食材を食品乾燥機（東明テック製TTM-435S）を用いて55°Cで35時間の乾燥を行い、乾燥前後の重量差より豚肉の含水率を簡易的に評価した。含水率の測定は2回実施し、63.9%及び55.6%だったことから、両者の平均値59.7%を豚肉の含水率とした。

表2 フライパンの素材、形状、及び熱容量

	直径 (cm)	厚さ (mm)	熱容量 (J/K)
鉄1.6	26	1.6	290
鉄3.2	26	3.2	590
鉄4.5	26	4.5	820
積層材	26	6.7	—
鉄	24	1.5	—
銅	27	2.2	430
アルミニウム	25	3.5	420

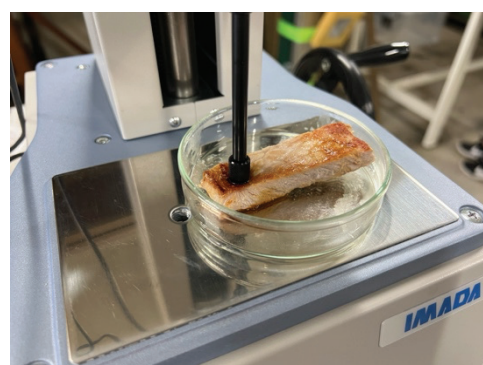


図2 調理後の豚肉に対する硬さ試験の様子

3. 実験結果

3.1. 金属の熱特性と昇温特性の評価

各金属板をガスコンロで加熱した際の温度変化を熱電対で計測した結果を図3、300秒加熱した時の赤外線サーモグラフィーによって評価した温度分布を図4に示す。SPCE1.0, SPCE1.2, SUS304, A2017P, TP340は加熱から150秒以内に中心部の温度が200°Cに達し、SPCE1.6, SPCE2.0, C1220Pは200秒以上を要した。C1220P, A1050Pの温度分布は加熱時間に依存せず比較的均一だったものの、SPCE1.0, SPCE1.2, SUS304, TP340は約400秒以上加熱しても温度分布は極めて不均一だった。これらの昇温挙動の差は金属板の熱伝導率と熱容量によって理解できる。中心部の温度が早期に上昇した金属板は、熱伝導率と熱容量が比較的低い素材だった。熱伝導率が低いと中心部に与えた熱量は温度が低い外周部に伝播しにくく、熱容量が低いと短時間で温度が上昇しやすい。そのため、ガスバーナー直上の加熱部のみが著しく温度が上昇しやすくなる。一方、比較的均一に温度が上昇したC1220Pは、熱容量はSPCE1.0と同程度であるものの熱伝導率は約5倍である。そのため、中心部に与えた熱量は板全体に短時間で伝播し板全体の温度が均一に上昇しやすいが、与えた熱量が板全体に散逸するため温度の上昇はやや緩やかとなる。A1050Pについては、板自体の熱容量は最も低く、熱伝導率も比較的高いため板全体が比較的短時間で昇温できたとと思われる。SPCE1.6及び2.0は、板厚の上昇に伴い熱容量が上昇したため昇温に時間を要するが、長時間の昇温過程で板全体に熱量が伝播することで、温度が比較的に一様になったと思われる。

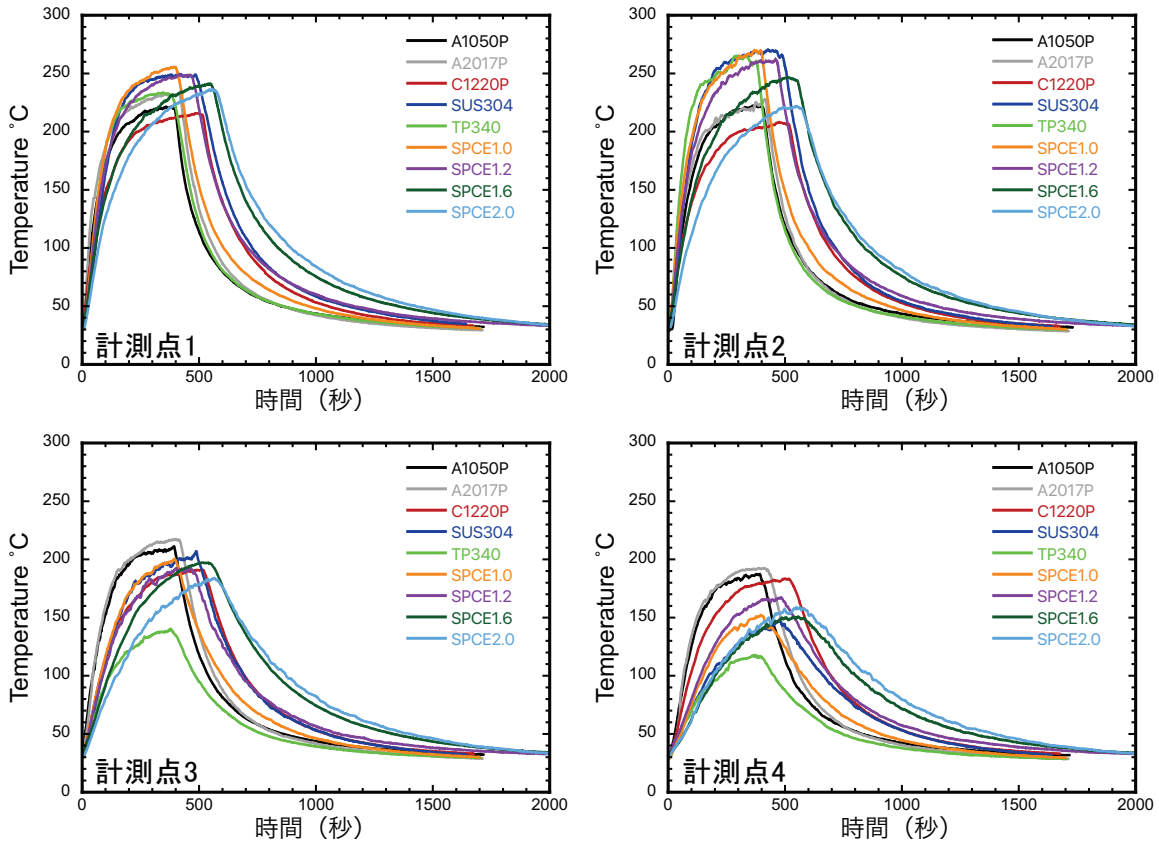


図3 熱電対で計測した各金属板の昇温挙動

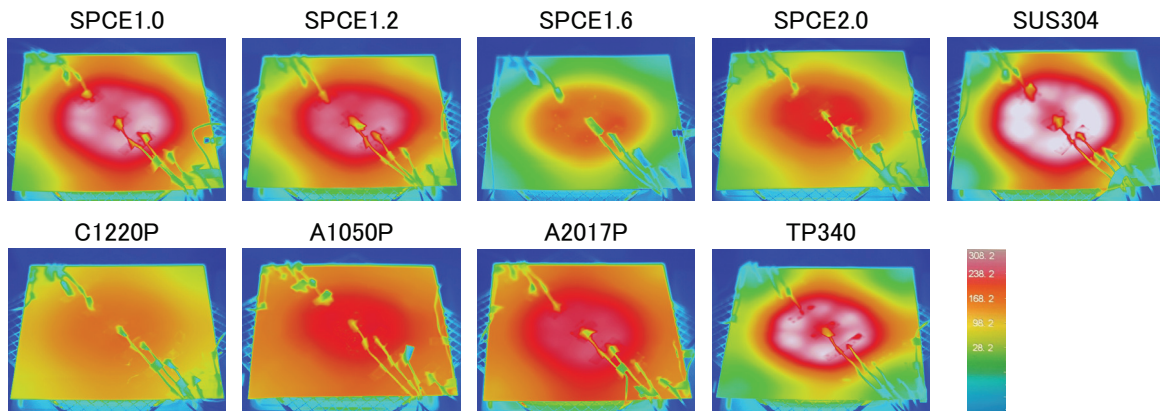


図4 赤外線サーモグラフィーで評価した300秒加熱時の金属板表面の温度分布

3. 2. 豚肉の焼き調理に及ぼすフライパン素材の熱特性の影響

各フライパンを用いて、豚肉の焼き調理を実施した。焼き調理後の表面と内部の実体顕微鏡写真を図5及び6、焼き調理に伴う含水率の変化を図7に示す。フライパンに豚肉を投入した時のフライパン表面の温度変化を図8に示す。以降、フライパンの素材または形状毎に分析をした。

3. 2. 1. 鉄製フライパンの焼き調理特性

鉄製の板厚が薄いフライパンでは豚肉投入時に中心部の温度が100°C以上低下したが、板厚が増すに伴い温度低下の度合いは下がっていった。フライパンの板厚増加に伴い熱容量が上昇するため、十分に加熱をした後ならば食材を投入しても温度が低下しにくくなったと思われる。鉄製のフライパンを用いた調理結果では、加熱時間6、8分では鉄1.6の焼き目は薄く、鉄4.5ではやや強い焼き目が生じていたが、加熱時間が10分を超えるとフライパンの板厚と表面の焼き加減に明瞭な差はなくなっていた。内部の様子は、鉄1.6の加熱時間6分では全体に赤みが残っていたが、加熱時間の増大とともに赤みが減少し内部の水分も減っていった。鉄1.6

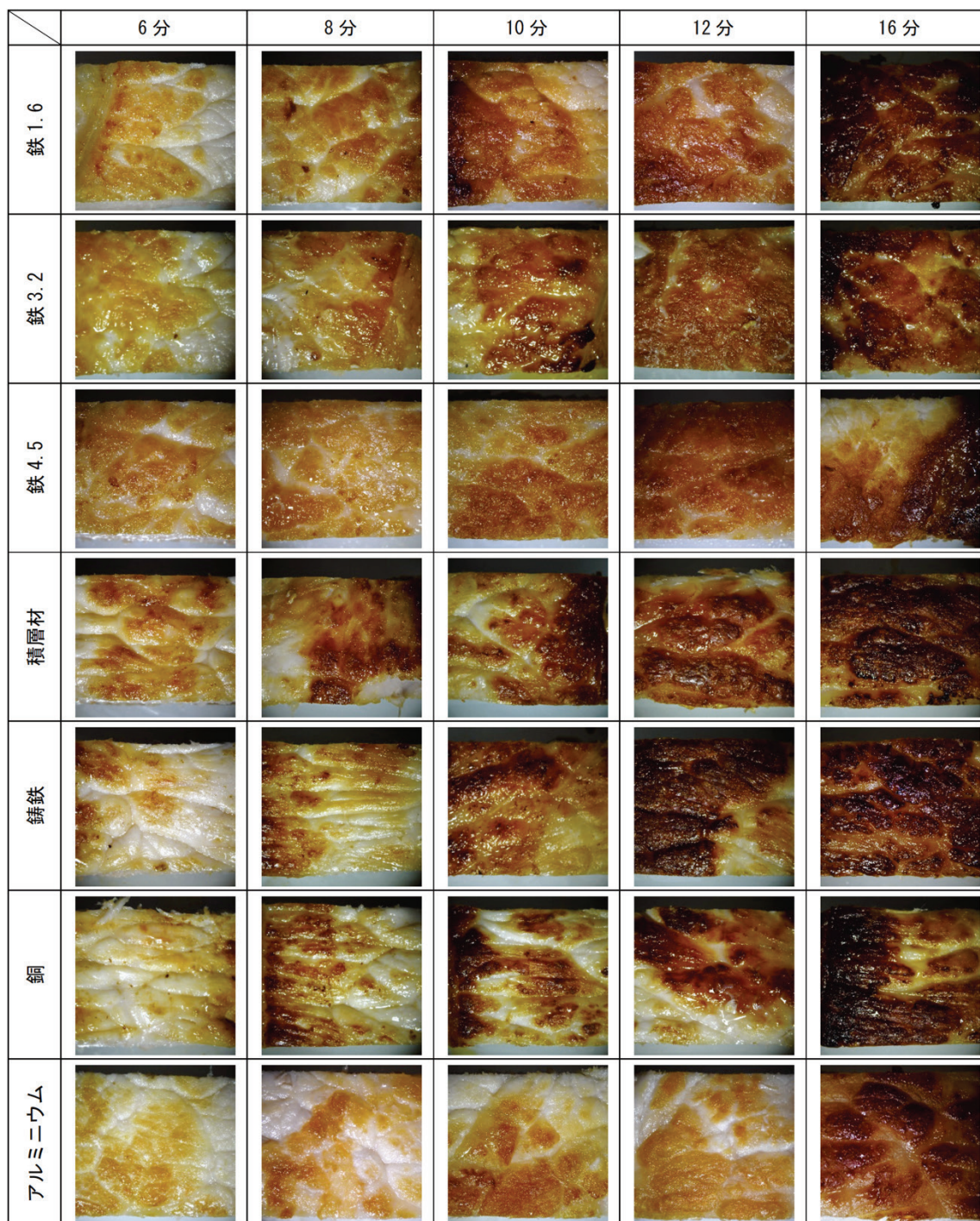


図5 各フライパンの焼き調理における加熱時間と焼き面の実体顕微鏡観察結果

に対して鉄3.2及び鉄4.5の内部の変化は緩やかであり、鉄4.5では16分調理後も明瞭に水分が残存していた。図9に鉄製フライパンで調理した豚肉の硬さ試験によって計測した、圧子の押し込み荷重-変位曲線を示す。横軸が圧子の押し込み変位に相当するが、本試験機には変位計が搭載されていないため変位の厳密な定量化はできない。しかし、同じフライパン・同じ焼き時間の豚肉に対する試験結果は、おおむね同じ様な荷重-変位曲線を示し再現性は得られていることから、定性的な評価は可能と思われる。圧子の押し込み荷重-変位曲線の傾きが大きい場合は、圧子押し込みのために多くの力を要する状況であり、硬いことを示している。傾きが小さい場合は、相対的に軟らかいことを示している。鉄製フライパンにおいては、加熱時間6分では焼き面に対する押し込み挙動は鉄4.5が硬い傾向を示し、加熱時間16分では鉄1.6及び3.2が硬い傾向を示した。一方、内部に対しては、加熱時間6分では鉄1.6が明らかに軟らかく、これは実体顕微鏡で観察した通りほぼ生の状

	6分	8分	10分	12分	16分
鉄 1.6					
鉄 3.2					
鉄 4.5					
積層材					
鋳鉄					
銅					
アルミニウム					

図6 各フライパンの焼き調理における加熱時間と断面の実体顕微鏡観察結果

態だったためと思われる。加熱時間16分では、鉄1.6及び3.2が硬い傾向にあり、内部まで十分に熱が伝わり硬質化したためと思われる。試験結果にバラツキがやや大きくなっているのは、硬質化が過剰に進んだために圧子の押し込みに伴い繊維が割けることがあったためと思われる。

これらの結果をふまえ、熱容量が大きい鉄4.5は蓄熱性に優れているため豚肉投入時の温度低下が小さくなり、短時間の加熱で表面に火を通すことができたと思われる。一方で、熱容量の小さい鉄1.6及び3.2の蓄熱性は相対的に低いため、豚肉投入時の温度低下が顕著である。しかし、加熱時間が長時間になると特に熱源直上の中心部の温度が急激に上昇し、内部までやや過剰に火が通ったと思われる。

3. 2. 2. 鋳鉄製フライパンの焼き調理特性

鋳鉄製のフライパンの豚肉投入時、及び焼き調理中のフライパン表面の温度は鉄1.6とよく似ていた。調理後の豚肉を実体顕微鏡で観察した結果、豚肉内部の赤みがなくなるまでは10分の加熱を要しており、同程度

の厚さの鉄1.6と比べると短時間になっている。板厚が同程度の鉄1.6と比較すると、加熱に伴う焼き色の変化は鋳鉄の方が大きく、内部の赤みも鋳鉄の方が短時間でなくなった。今回用いたフライパンの中では、積層材製と並んで最も短時間で豚肉内部まで火が通っていた。一般に表面状態に依存はするものの、金属の輻射熱の放射率は低い。一方で、鋳鉄には黒鉛が含まれており、黒鉛は金属に比べて放射率が高い。今回用いた鋳鉄の黒鉛分率は未測定だが、薄肉の鋳物であることから鋳造時の溶湯の流動性をあげるため、炭素含有量は高いと思われる。加えて、表面に施されているホーローも金属と比べると放射率が高いとされており、鉄を介した伝熱だけではなく、黒鉛及びホーローからの輻射熱が調理に影響した可能性も考えられる。

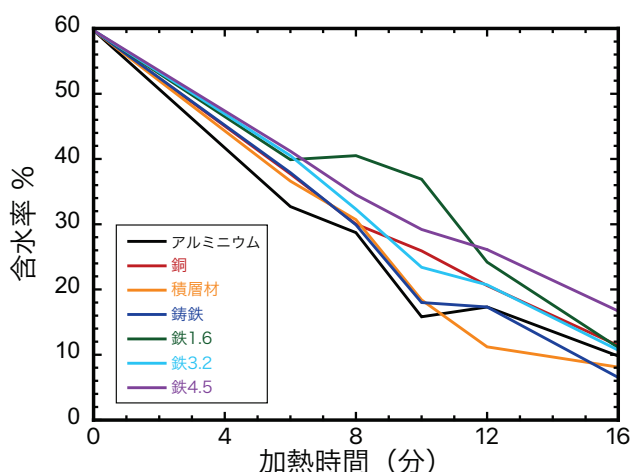


図7 焼き調理に伴う豚肉の含水率の変化

3.2.3. 積層材製フライパンの焼き調理特性

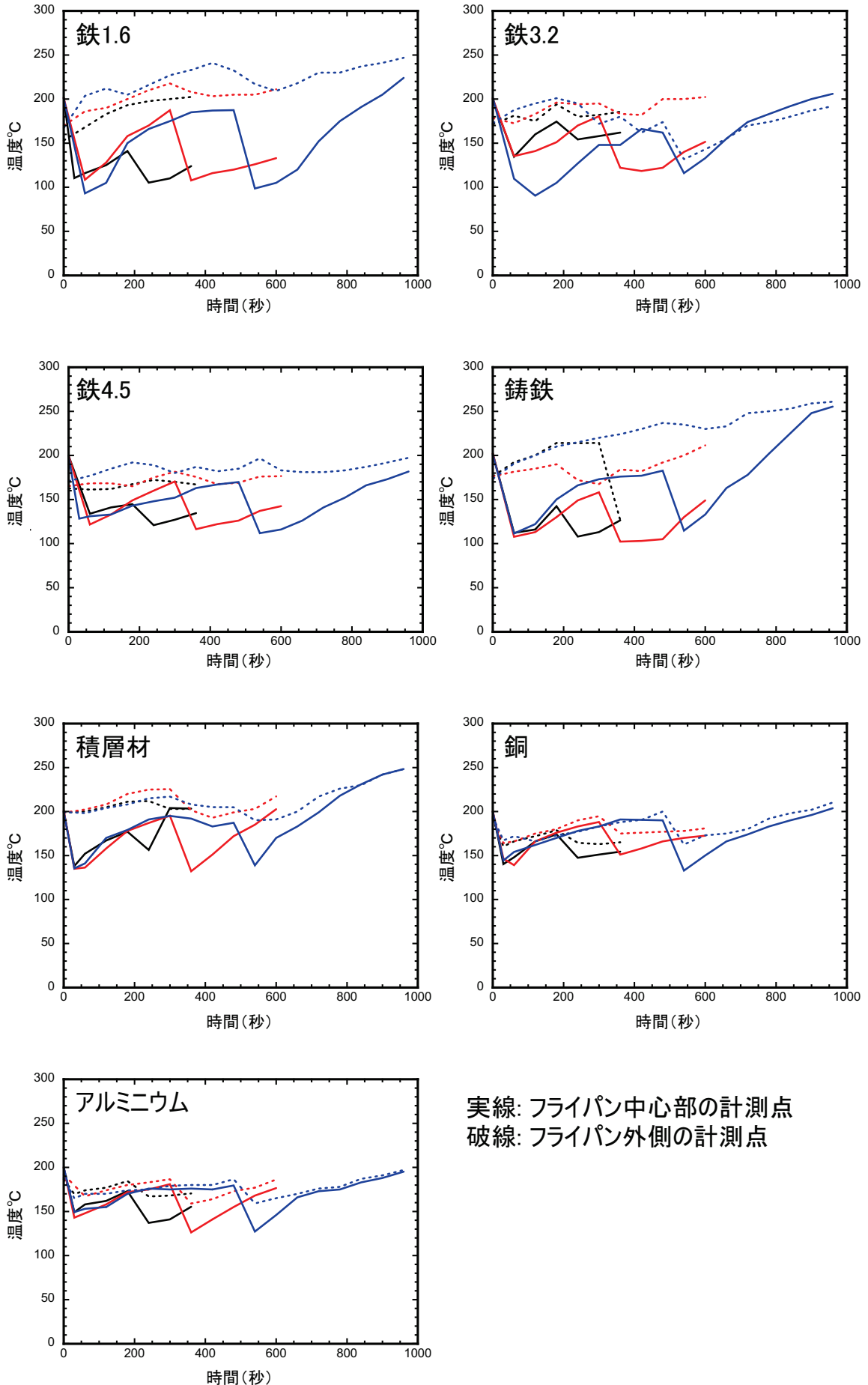
積層材のフライパンでは、豚肉を投入する中心部が200℃に達したときには外周部もほぼ同じ温度に達していた。金属板を用いた基礎実験ではステンレス板の温度分布は極めて不均一だったが、積層材においてはその問題がほぼ解消されていた。この要因は、板厚が増したことで昇温に時間を要し、その過程で熱量が全体に伝播したと思われる。加えて、中間層として熱伝導に優れるアルミニウムが挿入されていることも熱量の拡散に寄与したと思われる。板厚が大きいためフライパン自体の熱容量が増しているためか、食材投入時の温度低下は少なく、加熱時間8分で内部までほぼ火が通っていた。また、熱特性とは直接の関係はないが、本フライパンには焦げ付き防止のコーティングが施されており、少ない油で調理できる利点がある。素材の積層化に伴い重量が増すことで多少扱いにくいこと、加えてコーティングの耐久性の問題があるが、ステンレスの利用により錆びにくいことも日常利用時の利便性に優れた道具と言える。

3.2.4. 銅製フライパンの焼き調理特性

銅製フライパンでは、豚肉投入時に中心部だけではなく外周部の温度も急激に低下した。この温度低下は、銅の熱伝導率の高さに起因すると思われる。調理前の豚肉がフライパンと接触することで温度が低下した部位に周囲からの熱量が短時間で伝播し、フライパン全体の温度が低下したと考えられる。十分に加熱が進めば、熱伝導率の高さにより調理中のフライパン全体の温度分布は最も均一だった。加熱時間8分からは表層にはっきりとした焦げ目を確認できたが、内部では加熱時間10分頃まで赤みが残っていた。他の素材と比べると、表層の焦げ目の発生に対して内部への火通りにやや時間を要しているように見えた。図10に銅製フライパンで調理した豚肉の硬さ試験結果を示す。硬さ試験の結果、加熱時間10分までの硬さは加熱時間3~5分までの間に大きく上昇しているものの、内部の硬さの変化は緩やかだった。これは、加熱時間10分までの間では表層の変質が大きかったことを示唆しており、顕微鏡による観察結果とも整合性が取れている。

3.2.5. アルミニウム製フライパンの焼き調理特性

アルミニウム製フライパンでは、銅製と同様に豚肉投入時に中心部とともに外周部の温度も急激に低下したものの中心と外周部の温度差は小さく、フライパン全体が比較的均一な温度に保たれていた。また、フライパン全体の温度低下は生じたが温度低下の度合いは最も小さく、焦げ目は銅製と比べると弱かった。内部は加熱時間8分から赤みがなくなっており、加熱時間10分以下の範囲ならば含水率の減少が最も大きかった。従って、短時間で内部に熱を加えることができていることが示唆される。図11にアルミニウム製フライパンで調理した豚肉の硬さ試験結果を示す。硬さ試験の結果、表面は加熱時間が長くなるほど傾きが大きくなり硬質化が進んでいることが確認できるが、断面は加熱時間が増しても傾きの変化は小さく比較的軟らかい状態が続いていることが示唆される。



実線: フライパン中心部の計測点
破線: フライパン外側の計測点

図8 豚肉の焼き調理時のフライパン表面の温度変化

豚肉の焼き料理に及ぼすフライパン素材の熱特性の影響

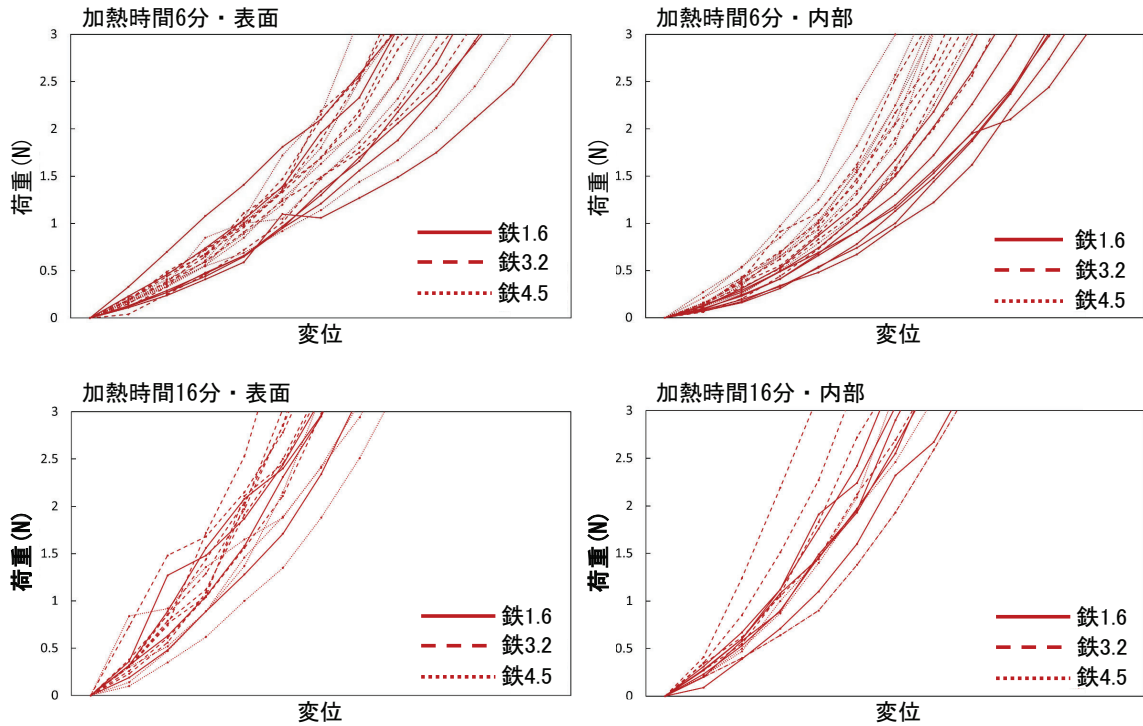


図9 鉄製フライパンで焼き調理をした豚肉の表面と内部の硬さ試験結果

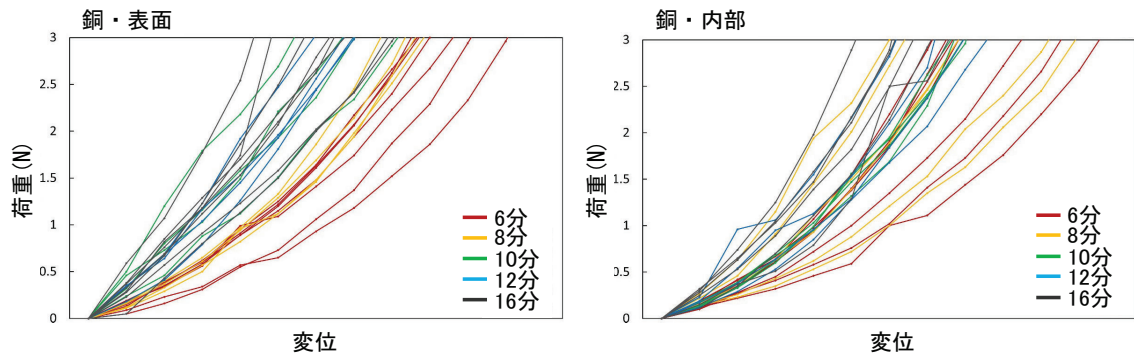


図10 銅製フライパンで焼き調理をした豚肉の表面と内部の硬さ試験結果

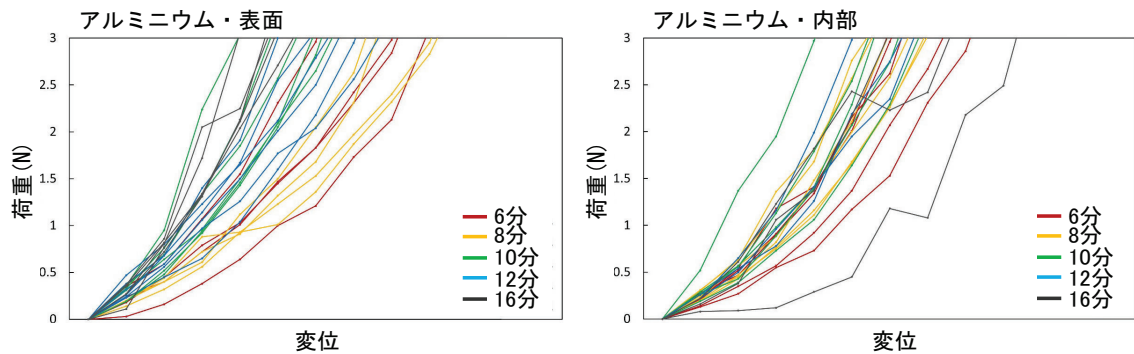


図11 アルミニウム製フライパンで焼き調理をした豚肉の表面と内部の硬さ試験結果

顕微鏡観察の結果、銅製とアルミニウム製のフライパンでは前者の方が短時間で表面に強い焦げ目が生じていたが、内部の火通りはアルミニウム製フライパンの方が早かった。両フライパンの熱容量や熱伝導率の差は小さいためか、豚肉投入時や調理中のフライパンの温度分布はよく似ていた。にもかかわらず、調理結果に差が生じた要因は調理に伴う豚肉自体の熱伝導率の変化が影響している可能性がある。水分の熱伝導率は $0.6 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ であり脂肪の $0.18 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ やタンパク質の $0.2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ と比べると大きい [20]。銅製フライパンでは短時間で表面に焦げが生じたことから、表層の水分量が急激に低下したと思われる。この表層の水分量の

低下が表層の熱伝導率の低下を招き、内部への火通りに影響したのかもしれない。

4. まとめ

金属板の種類が異なると昇温特性に明瞭な差が生じており、この熱特性の違いが調理結果にもよく現れていた。例えば、板厚が異なる鉄製フライパンや板厚に近い鉄と銅もしくはアルミニウム製フライパンで調理を行えば、差を実感しやすいかもしれない。薄肉の鉄製フライパンと同形状の銅製フライパンを自身で製作すれば、技術科の金属加工の要素も取り入れた学びへと発展させることができる。

参考文献

- [1] 矢ヶ崎典隆, 坂上康俊, 谷口将紀, ほか 107 名, 『新しい社会 歴史』, 東京書籍(2021)
- [2] 矢ヶ崎典隆, 坂上康俊, 谷口将紀, ほか 107 名, 『新しい社会 地理』, 東京書籍(2021)
- [3] 梶田隆章, 真行寺千佳子, 永原裕子, 西原寛, ほか 131 名, 『新しい科学 1』, 東京書籍(2021)
- [4] 梶田隆章, 真行寺千佳子, 永原裕子, 西原寛, ほか 131 名, 『新しい科学 2』, 東京書籍(2021)
- [5] 梶田隆章, 真行寺千佳子, 永原裕子, 西原寛, ほか 131 名, 『新しい科学 3』, 東京書籍(2021)
- [6] 田口浩継, 佐藤文子, 志村結美, ほか 78 名, 『新しい技術・家庭 技術分野 未来を創る Technology』, 東京書籍(2021)
- [7] 中村祐治, 吉川稔, 太田達郎, 長南祐志, ほか 44 名, 『New 技術・家庭 技術分野 明日を創造する』, 教育図書(2021)
- [8] 竹野英敏, 塩入睦夫, 安東茂樹, ほか 116 名, 『技術・家庭 [技術分野]』, 開隆堂(2021)
- [9] 佐藤文子, 志村結美, 田口浩継, ほか 54 名, 『新しい技術・家庭 家庭分野 自立と共生を目指して』, 東京書籍(2021)
- [10] 新見徳英, ほか 18 名, 『中学音楽 2・3 上下 音楽のおくりもの』, 教育出版(2021)
- [11] 日本造形教育研究会, ほか 38 名, 『美術 2・3 探求と継承』, 開隆堂(2021)
- [12] 嶋田さおり, 渋川祥子, 焼き調理における加熱条件と推定方法の検討, 日本家政学会誌, 第 64 巻, pp. 343-352(2013)
- [13] 肥後温子, 平野美那世, 底厚の異なる五種類の鍋材質の昇降温特性, 日本調理科学会誌, 第 33 巻, pp. 426-436(1999)
- [14] 肥後温子, 平野美那世, 材質の異なる 12 種類の鍋底の昇降温特性の分類, 日本調理科学会誌, 第 34 巻, pp. 276-287(2001)
- [15] 南出隆久, 饗庭照美, 畑明美, ニンジンの炒め調理におよぼす火力の影響, 日本調理科学会誌, 第 26 巻, pp. 230-235(1993)
- [16] 南出隆久, 饗庭照美, 畑明美, ピーマンの炒め調理におよぼす火力の影響, 日本調理科学会誌, 第 28 巻, pp. 96-100(1995)
- [17] 小川宣子, 小林由美, 山中なつみ, ガス加熱と IH の違いが炒め加熱調理と焼き加熱調理に及ぼす影響—炒飯、ほうれん草炒め、厚焼き卵の仕上がりの比較—, 日本家政学会誌, 第 72 巻, pp. 739-749(2021)
- [18] 中田隼矢, 山中ももこ, 大橋保隆, 伝統技法によって製作された銅器の金属組織評価, 岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学), 第 44 巻, pp. 105-109(2020)
- [19] 中田隼矢, 深田航平, 鉋起銅器を利用した金属加工に関する教材開発, 岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学), 第 46 巻, pp. 89-92(2022)
- [20] 日本熱物性学会編, 「熱物性ハンドブック」, 養賢堂, p.514(2008)