

揚げ物調理により発生する油煙・油滴の挙動解析に関する研究

(その2) 冷凍フライドポテト調理時の油煙の粒径分布

Transport Analysis on Oil Mist and Droplet from Fry Cooking

(Part 2) Particle Size Distribution of Oil Mist in French Fry Cooking

○本多 順子 (大阪大学)

甲谷 寿史 (大阪大学)

山中 俊夫 (大阪大学)

桃井 良尚 (大阪大学)

相良 和伸 (大阪大学)

藤原理 紗 (大阪大学)

Yoriko HONDA*¹ Hisashi KOTANI*¹ Toshio YAMANAKA*¹ Yoshihisa MOMOI*¹

Kazunobu SAGARA*¹ Risa FUJIWARA*¹

*¹ Osaka University

Oil smoke from deep fry cooking might cause bad effects such as a bad odor, dirt and health damage. So, behavior of oil smoke is needed to make an accurate understanding. Under present circumstances, however, its behavior is treated the same way as gaseous pollutant. But it's not clear whether behavior of oil smoke is like gaseous pollutant. Then, the purpose of this study is to simulate the behavior of oil smoke by CFD analysis. In this paper, in order to figure out the characteristic of oil smoke and droplet, particle size distribution of oil mist and particle size of oil droplet in deep fry cooking were measured.

1. はじめに

揚げ物調理により発生する油煙・油滴は、臭気や汚れ、健康被害の原因となり、その性質や挙動を正確に把握する必要がある。そこで本研究では、油煙・油滴の厨房内での挙動をCFD解析を用いて再現することを目的としている。そのため油煙・油滴の発生性状の把握として、前報¹⁾では油煙・油滴の発生量及び鍋周辺への油滴飛散量の測定を行った。本報では、油煙の挙動の特性を示す指標となる油煙の粒径分布をワイドレンジ・パーティクル・スペクトロメータ (MSP社、Model 1000XP、粒径測定範囲：0.01～10 μ m、以下WPS)を用いて測定し、個数濃度と質量濃度の両者から検討し、得られた結果を報告する。また鍋周辺に飛散する油滴の粒径を写真撮影し肉眼により識別することで推定した。

2. 実験概要

2.1 実験方法

前報¹⁾と同様に実験室の中央に鍋(φ200mm、クックアローロ No. 56620)が位置するようにガスコンロ(大阪ガス、110-R220型)を設置した。ガスコンロは自動温度調節が可能で、設定温度を180℃としている。鍋に食用油900g(日清サラダ油)を入れ、油温が180℃に達したところで食材100g(冷凍フライドポ

テト)を投入し、調理時間を4分間とし、その時に発生する油煙の粒径分布をWPSを用いて測定した。

2.2 測定条件

油煙の粒径分布の測定点をFig.1に示す。鍋中心軸において鍋上端より0, 150, 300, 580, 900mmの鉛直方向5条件で測定を行った。Fig.2に示すように、測定点にタイゴンチューブ(φ4.76mm, 1.65m)を設置しWPSの吸引口に導いた。測定回数は各条件において2, 3回行った。

Fig.3に1調理4分間における火力の時間変動と測定条件を示す。180℃の油温に食材100gを投入すると、

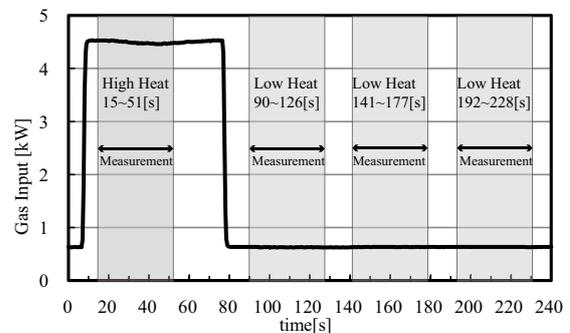


Fig.3 Time Variation of Gas Input

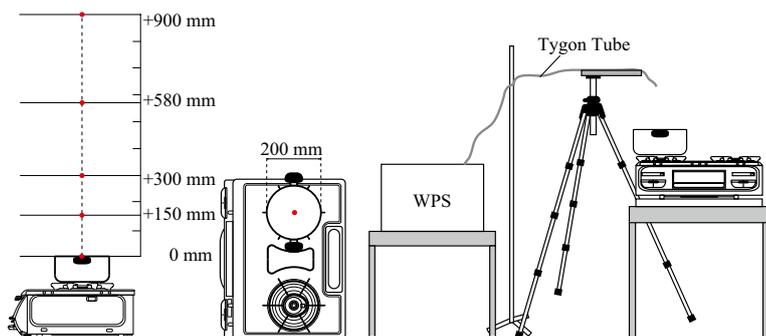


Fig.1 Measurement Point

Fig.2 Measurement Setup of WPS

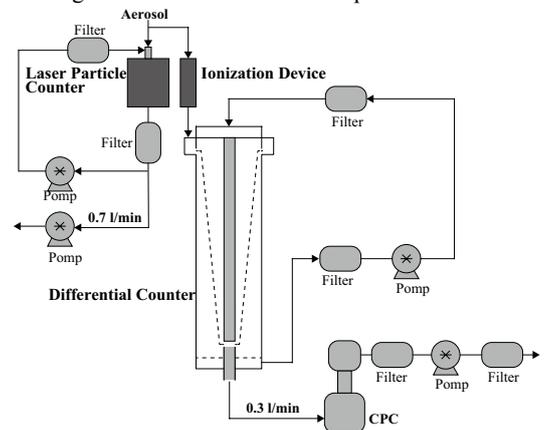


Fig.4 WPS system

火力は自動調整されるため投入直後に強火となり、その後弱火となる。粒径分布測定は1回の調理において、Fig. 3に示す測定間隔で強火時と弱火時3回の計4回測定を行った。1測定は36秒間とする。

2.3 測定システム

WPSはサンプリング流量1.0L/minのうち0.3L/minをDifferential Counter(微分型ビリティ分析器)に導き、0.01~0.5 μm の粒度分布を測定し、残りの0.7L/minをLaser Particle counterに導き、0.35~10 μm の粒度分布を測定する。Fig. 4にWPSの測定システムの概要を示す。

3. 測定結果と考察

Fig. 5にバックグラウンド濃度を示す。油煙が発生している場合と比べ、極めて少ないことから油煙を検討する上で問題ないと考えた。

3.1 個数濃度及び質量濃度における粒径分布

鍋上0mmにおける個数濃度の粒径分布の結果をFig. 6、質量濃度の粒径分布の結果をFig. 7に示す。結果は1回調理4分間の間に4回測定したものを平均した結果で示している。縦軸は採取した空気1 cm^3 中の油煙の粒径ごとの粒子個数あるいは質量を各粒径範囲の対数の差で除したものであり、横軸は粒径を対数軸で示す。測定回数で絶対値は異なるが、分布形状は概ね一致している。また、1 μm 以上の粒径の個数濃度は極めて少ない。個数濃度で表したエアロゾルの粒径分布は対数正規分布となることが知られているが、今回の測定結果も対数正規分布となることが分かる。

またWPSでは個数濃度を測定しているため、粒子を真球と仮定し、粒径から算出した体積と密度(920 kg/m^3)から質量を算出した。粒径が大きいほど質量濃度は大きく、個数濃度による粒径分布と異なり対数正規分布とならない。測定回数による違いはほとんど見られないが、粒径約0.1 μm 付近では測定により差が見られる。同じ食材でも形状や食材中の水分量が異なるため、その影響を受けて測定回数により結果に若干の違いが見られると考えられる。

3.2 粒径分布の時間変化

鍋上0mmでの1回の調理中の各測定時における個数濃度の例をFig. 8に、質量濃度をFig. 9に示す。個数濃度は弱火1回目(Low Heat1)において最も高くなる。食材投入後に油温が低下し、強火になった後油温が180 $^{\circ}\text{C}$ に達して弱火に移行するプロセスであり、その

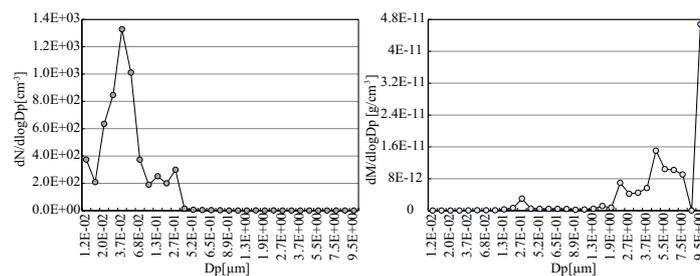


Fig.5 Particle Size Distribution of Background

弱火に移行直後が最も発生量が多いことが分かる。質量濃度は、0.5 μm 以下の微小粒径において強火(High Heat)及び弱火1回目(Low Heat1)で高くなり、その後の弱火では微小粒径粒子の質量濃度は低くなる。一方1 μm 以上の大粒径粒子では時間変動はほぼ見られず、安定して発生していることが分かる。

またFig. 10に1回調理4分間における総個数濃度

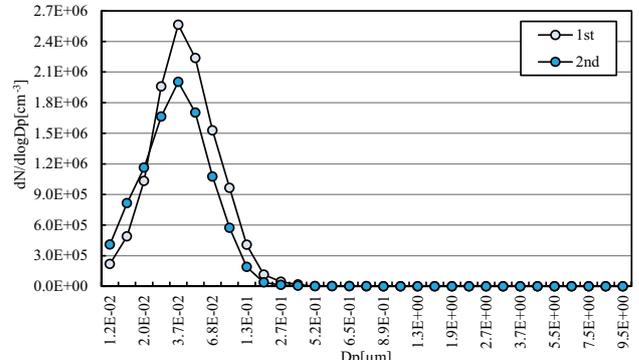


Fig.6 Particle Size Distribution of Number Concentration

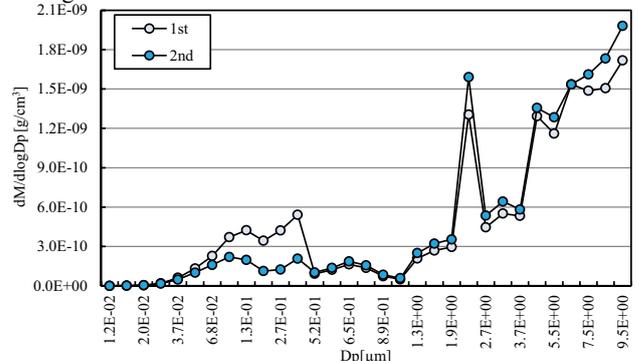


Fig.7 Particle Size Distribution of Mass Concentration

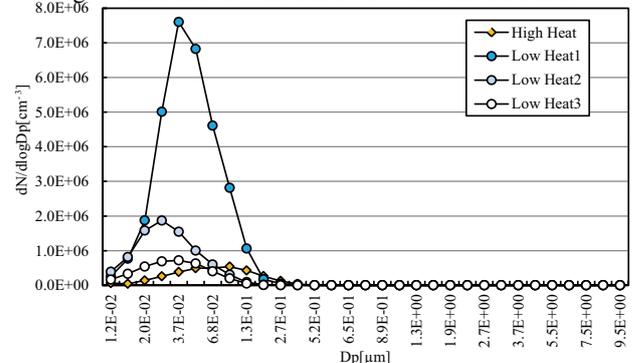


Fig.8 Particle Size Distribution of Number Concentration (Time Change, +0mm above Pot)

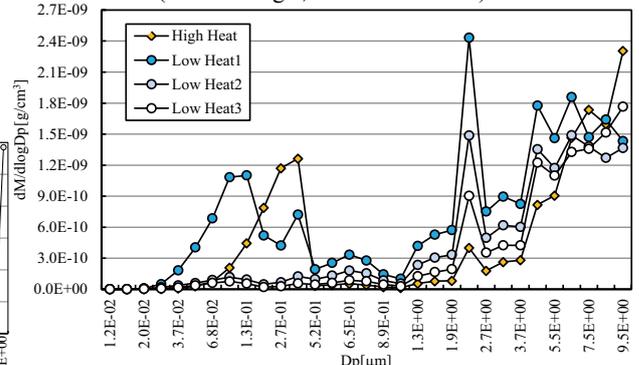


Fig.9 Particle Size Distribution of Mass Concentration (Time Change, +0mm above Pot)

及び総質量濃度の時間変動を示す。時刻は各測定時間の中央時刻で示す。弱火になると個数濃度及び質量濃度が増加し、その後減少していく様子が見られる。火力が弱火に移行した直後、すなわち食材温度が高温になった時点で食材内の水分の蒸発は多くなり、油煙が大量に発生すると考えられる。

3.3 粒径分布の鉛直分布

各測定高さでの個数濃度の粒径分布を Fig. 11 に、質量濃度の粒径分布を Fig. 12 に示す。結果は1回調理4分間の間に4回測定したものの平均値で示す。個数濃度は、鍋上方ほど増加することが分かる。また、ピーク粒径も徐々に小さくなることから分かる。これは鍋上方の上昇気流が周辺気流を巻き込んで発達するため、鍋中心の個数濃度が上昇するためと考えられる。また、質量濃度は鍋直上付近の方が大きいことが分かる。質量濃度は大きい粒径の個数に影響を受けるため、鍋直上付近の方が大きい粒径の個数が多いためだと考えられる。大きい粒径の油煙は上昇気流に乗らず、重力沈降する可能性がある。

また各粒径における個数濃度及び質量濃度の鉛直分布を Fig. 13 及び Fig. 14 に示す。横軸は鍋上 0mm の濃度で規準化した値を表しており、鍋上 0mm に対

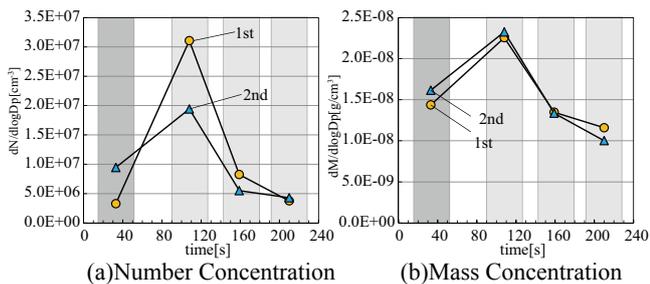


Fig. 10 Time Change of Number/Mass Concentration (+0mm above Pot)

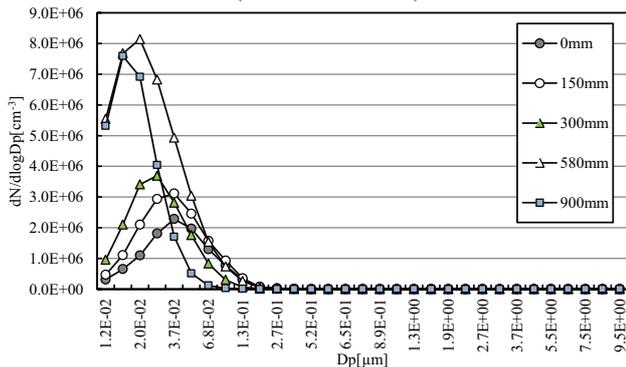


Fig. 11 Particle Size Distribution of Number Concentration

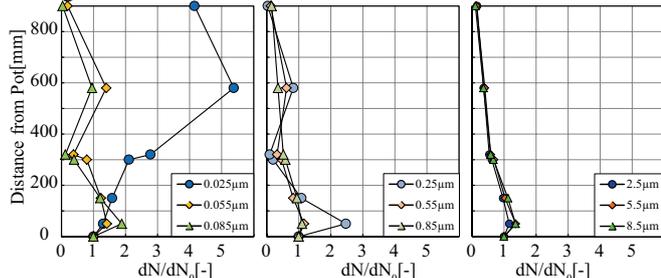


Fig. 13 Vertical Profile of Number Concentration

して各測定高さでの濃度変化を示している。個数濃度では、粒径 0.025 μm において、鍋上方ほど個数濃度が増加する一方で、他の粒径では上方ほど減少する傾向にある。また、質量濃度でも同様の傾向があり、粒径が 0.025 μm においては上方ほど質量濃度は増加するが、他の粒径では減少する傾向にある。

3.4 既往研究との比較

これまでにも様々な文献で粒径分布測定が行われてきた。荻田ら²⁾は3種類の食材を対象として業務用フライヤーで揚げる際に発生する油煙の粒径分布の測定を行った。藤田ら³⁾は3か所の測定高さにおける粒径分布から凝集の有無の検討を行った。近藤ら^{4,5)}は2種類の測定機器(WPSと走査式モビリティパーティクルサイザー)による粒径分布の比較を行った。伊藤ら⁶⁾は家庭用IHコンロにおいて3種類の食材を対象として油煙の粒径分布の測定を行った。業務用・家庭用厨房、電気式・ガス式、対象食材、調理時間など測定条件が異なるので、単純には比較できないが、冷凍ポテトを対象にした文献と今回の測定結果の比較検討を行った。Table1にこれらの文献の測定条件を示す。

Fig. 15に既往研究との1調理におけるピーク粒径及び総個数濃度、Fig. 16に1調理におけるピーク粒径及び総質量濃度の比較を示す。

個数濃度のピーク粒径は鍋上方 300mm の近藤ら⁵⁾と比較すると小さくなる。冷凍ポテトフライの種類、食材量、調理機器など様々な要因が考えられる。また1回の調理における総個数濃度は約10倍程度異なる。近藤ら⁵⁾は電気式の業務用フライヤーを用いており、油面サイズが異なることで、油・食材の温度変化性状が異なり、油煙の発生性状自体が異なること

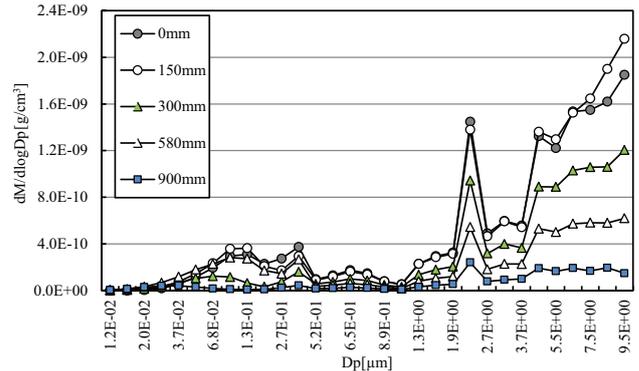


Fig. 12 Particle Size Distribution of Mass Concentration

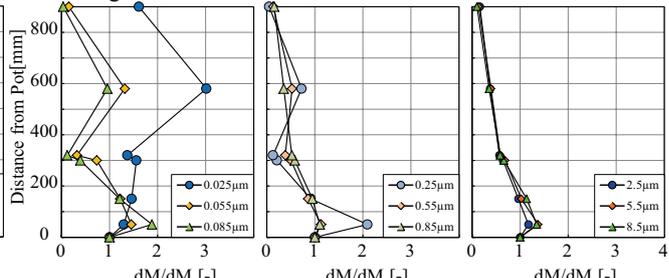


Fig. 14 Vertical Profile of Mass Concentration

Table1 View of Reference

Reference	Instrument	Height	Appliances	Amount of Food	Measurement Time	Cooking Time
2)	WPS	Above Flyer	Flyer	300g	17min	5min
3)	WPS	150mm/500mm/850mm from Appliances	Flyer	300g	15min	5min
4)	WPS or SMPS/APS	300mm from Appliances	Flyer	300g	5min	5min
5)	SMPS/APS					
6)	SMPS/APS	-	Pot (φ260mm,H=90mm)	100g	3min	3min

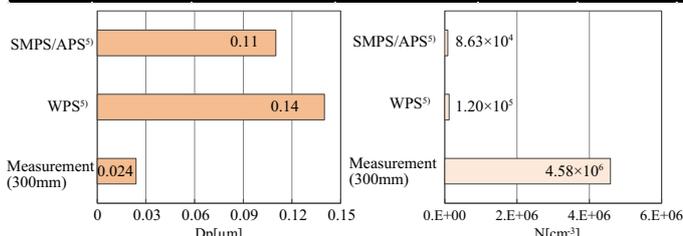


Fig. 15 Compared to Reference (Number Concentration)

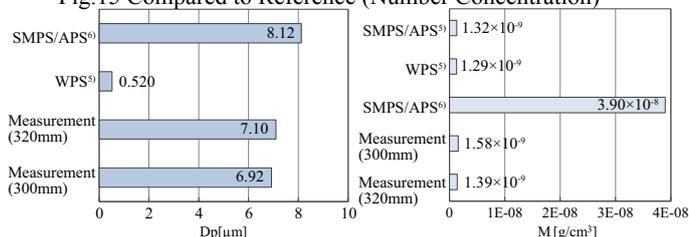


Fig. 16 Compared to Reference (Mass Concentration)

が予想される。さらに、質量濃度に関しては、粒径ピークは近藤ら⁵⁾とは異なるが、1調理における総質量濃度はほぼ近い値となる。一方伊藤ら⁶⁾とは約10倍程度異なる。

4. 油滴の粒径の算出

鍋縁から10mmまでの位置にアルミ製のパネルをFig. 17に示すように配置し、油滴の飛散状況を把握した。1回の調理4分間においてアルミ製パネルに飛散する油滴の飛散状況を写真撮影し、Fig. 18に示すように画像から油滴の個数を数え、これを3回行った。その結果をFig. 19に示す。この結果を用いて、前報¹⁾より1回の調理による鍋縁から10mmまでの油滴の飛散量を3.4mg、油滴の密度は920kg/m³、油滴が真球であるとみなし、飛散した粒子径を算出した。その結果、平均の粒子個数は297個であり、油滴の粒子径は平均約0.28mmとなった。実際はそれぞれの粒子径は測定位置により異なっており、鍋付近ほど粒子径は大きいので、凡その鍋周辺に飛散する油滴の粒径のオーダーを算出したと言える。肉眼識別の粒径範囲は0.01mm以上であると知られているため⁷⁾、今回の結果は概ね妥当であると考えられる。

3章の結果と比較すると、油煙は1μm以下の微粒子が大半を占め、鍋周辺に飛散する油滴には10～100μmの粒子が多く含まれることが示唆される。

5. おわりに

本報では、揚げ物調理時に発生する油煙・油滴の発生性状の把握を目的として、油煙の挙動特性を示す指標となる油煙の粒径分布の測定、及び鍋周辺に

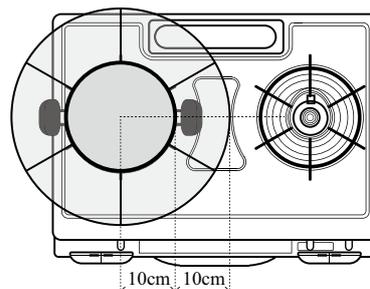


Fig. 17 Measurement Situation of Oil Droplet

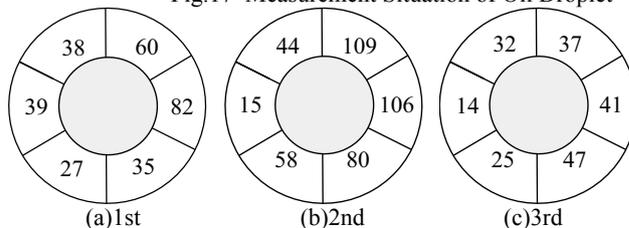


Fig. 18 Number of Oil Droplet

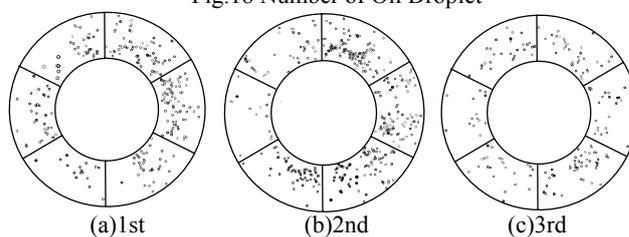


Fig. 19 Situation of Oil Droplet

飛散する油滴の粒径の測定を行った。今後はこれらを境界条件として油煙・油滴の厨房内での挙動をCFD解析を用いて再現し、油煙・油滴の捕集率の検討や空間分布の把握を行う予定である。

【謝辞】

本研究の一部は大阪ガス(株)との共同研究であり、研究を進めるにあたりご協力賜った関係各位に感謝の意を表します。また本実験を行うにあたり日本カノマックスの関係各位に多大なるご協力を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 藤原理紗, 甲谷寿史, 相良和伸, 山中俊夫, 桃井良尚, 本多順子: 揚げ物調理により発生する油煙・油滴の挙動解析に関する研究(その2) 冷凍フライドポテト調理時の油煙・油滴の発生量, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, 2013年3月
- 2) 荻田俊輔, 近藤靖史, 吉野一, 小山光彦, 藤田美和子: 業務用電化厨房における油煙の移流・拡散性状に関する研究(その1) 調理機器からの油煙の粒度分布と油煙発生方法の検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 627-630, 2006年9月
- 3) 藤田美和子, 飯塚和夫, 近藤靖史: 業務用電化厨房における油煙の移流・拡散性状に関する研究(その2) 調理機器鉛直方向の油煙の粒度分布と油煙発生方法の検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 pp. 1087-1090, 2009年9月
- 4) 近藤靖史, 川口明伸, 吉野一, 荻田俊輔, 藤田美和子: 業務用電化厨房における油煙の移流・拡散性状に関する研究(その3) 2種類の測定システムによる油煙の粒度分布測定結果の比較, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 pp. 1663-1666, 2010年9月
- 5) 近藤靖史, 川口明伸, 吉野一, 荻田俊輔: 業務用厨房内で発生する油煙の粒度分布とエアロゾルとしての特性, 日本建築学会環境系論文集 pp. 661-662, 2011年6月
- 6) 伊藤一哉, 小峯祐己: 揚げ物調理におけるオイルミスト等の発生状況把握と定常発生装置の開発, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 pp. 1037-1040, 2008年8月
- 7) 日本エアロゾル学会編, 高橋幹二: エアロゾル学の基礎, 2003.7