

高電圧マイナスイオン発生器を使用したフライ油の酸化劣化抑制

Control of Oxidative Deterioration by Using a High-Voltage  
Negative-ion Generator during Deep Frying

大久長範 鈴木直樹 斎藤 毅 畑中和成 佐々木準哉 西川正純  
Naganori Ohisa Naoki Suzuki Tuyosi Saito Kazunari Hatanaka Junnya Sasaki Masazumi Nishikawa

## 高電圧マイナスイオン発生器を使用したフライ油の酸化劣化抑制

### Control of Oxidative Deterioration by Using a High-Voltage Negative-ion Generator during Deep Frying

大久長 範<sup>\*§</sup> 鈴木 直樹<sup>\*</sup> 斎藤 毅<sup>\*\*</sup> 畑中和 成<sup>\*</sup> 佐々木 準哉<sup>\*</sup> 西川 正純<sup>\*</sup>  
Naganori Ohisa Naoki Suzuki Tuyosi Saito Kazunari Hatanaka Junnya Sasaki Masazumi Nishikawa

We assessed the control of oxidative deterioration when a high-voltage negative-ion generator (HNIg) was used during deep frying. Using the HNIg resulted in lower browning of the frying oil, and lower production of the trans-isomers of fatty acids than when it was not in use. The water content of bread being fried decreased rapidly when the HNIg was operating. Using the HNIg halved the contents of 14 types of such oil odour elements, as 2,4-decadienal and 2,4-heptadienal. Natural cooling progressed more rapidly when the HNIg was operating as the deep fryer was switched off, suggesting that there was an increase in the fluid flow of the frying oil.

キーワード：揚げ作業 deep frying；酸化劣化 oxidative deterioration；高電圧マイナスイオン発生器 high-voltage negative-ion generator；油臭成分 oil odour element；自然冷却 natural cooling

#### 1. 緒 言

#### 2. 実験方法

外食や中食産業では食用油を高頻度で調理に使用している<sup>1)</sup>。揚げ油を繰り返し使用すると揚げ物の風味が悪くなるが、繰り返し使用せずに廃棄すると、環境への負荷や資源の有効利用などの点で問題が生じる<sup>2,3)</sup>。そのために調理油を長持ちさせる取り組みがなされてきた。例えば、窒素ガス等の不活性ガスをオイル槽上部に投入する装置<sup>4)</sup>、油に含まれる電解液を電気分解することにより水素を発生させる装置<sup>5)</sup>、高圧交流静電位発生装置から発生する高圧交流静電位を加える方法<sup>6)</sup>、直流電圧からマイナス高電位を発生させる装置<sup>7)</sup>、酸化チタンを利用する方法<sup>8)</sup>等である。

直流高電位を利用する装置の一つとして高電圧マイナスイオン発生器がある。装置を導入した企業からは、フライ後の食感がカラッ・サクツとしている、油煙・油臭が減少したなどの感想が寄せられている。特許明細書には以下のような記載がある。「高電位発生プレートから発生する直流のマイナス高電位によって、食用油中にマイナスイオンが発生し、食材の付近の酸価値 (AV) を低く抑える」<sup>9)</sup>。しかし、これを裏付ける詳細なデータは開示されていない。そこで本研究では、高電圧マイナスイオン発生器のフライ油の酸化抑制は、マイナスイオンの還元的な効果か、あるいは油の流動を促進する効果か、を判断するための基礎的なデータを得ることを目的とした。

##### (1) 連続フライ試験

大豆白絞油の使用済み油 (極性脂質濃度 26% (後出のデジタル食用油テスターで測定)、黄色) 5 l を市販の電機フライヤー (PRO COCK JAPAN 製, PRO-5FL, 100 V, 1,400 W) 2 台に投入し 180℃ に加熱した。フライヤーは電熱タイプで温度リレーが働き加熱される。このフライヤーの熱源の下部に高電圧マイナスイオン発生器 ((株) コムコム, CM-5000V, 2 mA) の電極プレート (金属板 SUS304 とポリテトラフルオロエチレンの絶縁フレームから構成, 外寸: 50×220×20 mm) を設置した (設置区)。高電圧マイナスイオン発生器未設置フライヤーを対照区とした。

両フライヤーとも 1 時間毎に揚げ物 50 g を投入し 5 分後に取り出した。揚げ種の投入は冷凍ポテト (解凍品)、コロケ (解凍品)、手羽の輪番とした。実験開始は午前 11 時とし、深夜は揚げ物の投入は行わず 180℃ の加熱のみとした。6~7 時間毎に油を採取し、54 時間まで継続した。

##### (2) 単独油槽による試験

食パンの水分含量の変化、フライ油の臭い分析、フライヤー油槽の温度変化を追跡する実験では、前記の電機フライヤー 1 台を使用した。このフライヤーの熱源の下部に高電圧マイナスイオン発生器の電極プレートを設置した。

食パンは包装から取り出し、直径 5 cm の円筒状にくり抜き重量を測定した (5.1±0.4 g)。フライヤーに投下した後、網をかぶせ、1~5 分の揚げ試験を実施した。各時間で揚げた食パンは空気中で 1 分間放置後に重量を測定した。水分含量は 105℃ の常圧定温乾燥法により求めた。

フライヤー油槽の温度変化を追跡する実験では冷凍ポテト (解凍品) 50 g を投入した。熱源の上の 3 か所 (熱源に

\* 宮城大学  
(Miyagi University)

\*\* オシヨス技研  
(Oshiyosu Gikenn.)

§ 連絡先 宮城大学食産業学部  
〒982-0215 仙台市太白区旗立 2-2-1  
TEL 022(245)1385 FAX 022(245)1534

表 1. 高電圧マイナスイオン発生器を設置したフライヤー油品質の変化

|                     | 時間 (h) | 0*    | 6     | 12    | 19    | 24    | 30    | 36    | 42    | 48    | 54    |
|---------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AV 試験紙              | 対照区    | 1     | 1     | 1     | 1.5   | 1.5   | 2     | 2     | 2.5   | 2.5   | 2.5   |
|                     | 設置区    | 1     | 1     | 1     | 1.5   | 1.5   | 2     | 2     | 2.5   | 2.5   | 2.5   |
| 極性物質 (%) (testo270) | 対照区    | 26.0  | 28.5  | 30.0  | 26.0  | 31.0  | 32.0  | 34.0  | 30.5  | 36.5  | 33.0  |
|                     | 設置区    | 26.0  | 27.5  | 29.5  | 26.0  | 31.0  | 31.0  | 33.0  | 29.0  | 35.0  | 30.5  |
| 吸光度 (500 nm)        | 対照区    | 0.166 | 0.219 | 0.249 | 0.287 | 0.370 | 0.464 | 0.577 | 0.682 | 0.885 | 1.170 |
|                     | 設置区    | 0.169 | 0.210 | 0.233 | 0.273 | 0.341 | 0.404 | 0.489 | 0.489 | 0.719 | 0.927 |
| トランス脂肪酸 (%)         | 対照区    | 0.78  | 0.83  | 1.05  | 1.21  | 1.27  | 1.38  | 1.59  | 1.65  | 1.75  | 1.89  |
|                     | 設置区    | 0.77  | 0.89  | 0.93  | 1.09  | 1.18  | 1.26  | 1.34  | 1.37  | 1.44  | 1.59  |

カラット君を設置したフライヤーと対照のフライヤー2台で実施、油槽の温度目盛りを180℃に設定した。1時間毎に揚げ種(50g)を投入した。揚げ種は冷凍ポテト(解凍品)、コロケ(解凍品)、手羽の輪番とした。12~19時間と36-42時間は深夜のために投入を一時中断した。  
\*午前11時に実験を開始した。

近い順に下部のCh-1, 中Ch-2, 表面Ch-3)と長方形フライヤーの長辺の左右(熱源から一番離れた位置のCh-4, Ch-5)に温度計(グラフテック(株), GL200)の端子(T型熱電対, JBS-7115-T)を設置した。

(3) 吸光度と極性物質

サンプリングした試料油を室温まで冷却した後に、油の着色程度を分光光度計((株)日立ハイテクノロジーズ, U-2900)で500nmの吸光度を測定した。油の極性物質はデジタル食用油テスター((株)テスト, testo270)で測定した<sup>9)</sup>。油の酸価は住友スリーエム(株), 3M(TM)高感度ショートニングモニター(試験紙)を使用し測定した。

(4) トランス脂肪酸

トランス脂肪酸の分析は日本食品分析センターの方法に準拠して実施した<sup>10,11)</sup>。サンプリングした供試油は、40~60mgとなるようにスクリュウキャップ付き試験管に分取した後、これに内部標準物質としてトリデカン酸クロロホルム溶液(3mg/ml)2mlを添加し、クロロホルムを窒素気流下留去した。試験溶液はガスクロマトグラフ装置(アジレント・テクノロジー(株), 6890N)による分析に供した<sup>6)</sup>。ガスクロマトグラフの条件は以下の通りである。カラムオープン温度150℃, 注入, 気化室温度210℃, カラム流量0.5ml/分, GCカラムSupelco SP-2560(100m×0.25mm, i.d.×0.20μm), GC温度プログラム:150℃から1.3℃/分で220℃まで昇温, 測定時間54分。

(5) 油臭の分析

単独フライヤー開口部全体をアルミ板で覆い、一部に臭気成分を捕集するホールを設けた。同一フライヤーで高電圧マイナスイオン発生器未使用で30分間180℃で加熱後(対照区), 続いて使用の条件で30分間180℃加熱した後に、臭気成分をSPME(Solid Phase Micro Extract)法により吸着させた<sup>12)</sup>。臭気成分はガスクロマトグラフ/質量分析装置((株)島津製作所, GCMS-Q2010)で定性分析した。GCMSの分析条件を以下に示す。GCカラム:ZB-WAX(60m×0.25mm, i.d.×0.25μm), GC温度プログラム:40℃10分, 4℃/分で100℃まで昇温, 100℃から

10℃/分で200℃まで昇温し200℃で5分保持, 気化室温度240℃, キャリアガスHe, イオン源温度200℃, 開始m/z:20.0, 終了m/z:300。

3. 結果

(1) 連続加熱したフライ油の劣化試験

加熱フライ試験の経時変化を表1に示す。酸価を試験紙で測定した場合は、高電圧マイナスイオン発生器の有無で差異が認められなかった。しかし、褐変反応の進行を示す500nmの吸光度, トランス脂肪酸の生成は高電圧マイナスイオン発生器を作動させた設置区で進行が抑制された。

同時間に採取した対照と高電圧マイナスイオン発生器のトランス脂肪酸の生成量を比較したところ、高電圧マイナスイオン発生器を作動した場合には決定係数R<sup>2</sup>が0.975となり、傾きが0.678と小さくなった(表2)ことから、不飽和脂肪酸の異性化がカラット君の作動により30%程度抑制されていると考えられた。

同時間に採取したフライ油の褐変程度を比較した(表2)。高電圧マイナスイオン発生器設置区で褐変の進行が抑制された(R<sup>2</sup>が0.989, 傾き0.739)ことから、フライ油の酸化重合が抑制されたと考えられた。

トランス脂肪酸の生成と吸光度の点で、高電圧マイナスイオン発生器の使用によりフライ油の劣化が抑制されることが分かった。

家庭におけるフライ油廃棄に関するアンケートでは、フライ油の色を廃棄の目安とする割合が最も高く、次いで揚

表 2. 高電圧マイナスイオン発生器設置区のフライヤー油と対照区の極性物質, 吸光度, トランス脂肪酸の比較

| 要因               | R <sup>2</sup> | 回帰式                |
|------------------|----------------|--------------------|
| 極性物質 (testo 270) | 0.9786         | Y = 0.877x + 3.030 |
| 吸光度 (500 nm)     | 0.9899         | Y = 0.739x + 0.051 |
| トランス脂肪酸          | 0.9749         | Y = 0.678x + 0.275 |

(揚げ種を投入)  
Yは高電圧マイナスイオン発生器設置区で得られた値, xは対照区で得られた値を示す。

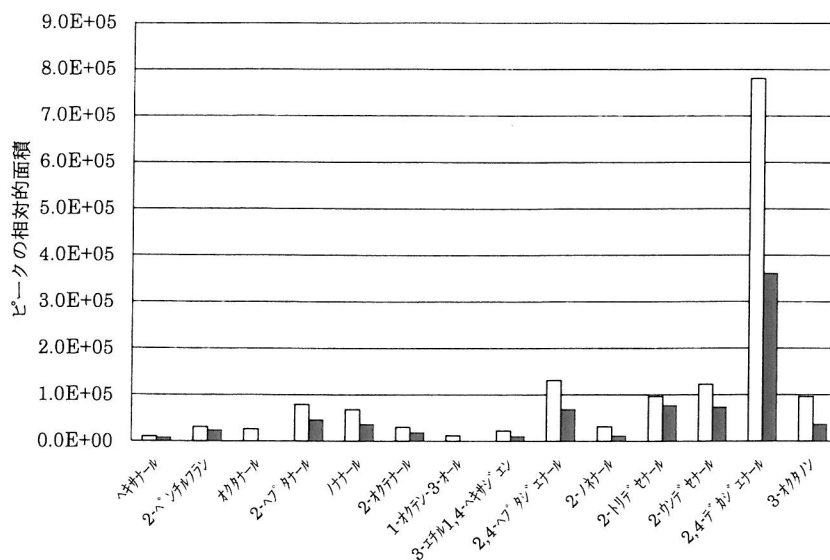


図1. 高電圧マイナスイオン発生器によるフライ加熱時の油臭成分  
 フライ油のみ（揚げ種なし），温度目盛りを180℃に設定した。  
 □：対照区（高電圧マイナスイオン発生器未使用，180℃で30分間加熱後），■：高電圧マイナスイオン発生器使用30分後

げ回数という回答であった<sup>2)</sup>。

(2) 油の臭気成分分析

高電圧マイナスイオン発生器の使用と未使用時の臭気成分とその量（ガスクロマトグラムの面積）を比較した結果を図1に示す。検出同定できた14種類の油臭成分がカラット君の作動により顕著に減少した。2,4-デカジエナールは、リノール酸やオレイン酸が酸化分解したときに発生する不快臭で<sup>13)</sup>、鶏肉などの加熱時にも発生する鶏肉の独特な臭み成分であり、今回の油臭の約50%を占める主要成分であった。本成分は高電圧マイナスイオン発生器の作動により約1/2になった。2,4-ヘプタジエナールは、高度不飽和脂肪酸のドコサヘキサエン酸（DHA）から生成し易い生臭さに通じる成分であるが<sup>13)</sup>、高電圧マイナスイオン発生器の作動により半減した。2-ノネナールは、不飽和脂肪酸のリノール酸などが酵素による分解反応で生成する青臭い成分で<sup>14)</sup>、高電圧マイナスイオン発生器の作動により約60%減少した。その他、青葉臭のヘキサナールや2-トリデセナール、2-ウンデセナール等の不飽和アルデヒドについても20~30%減少した。

(3) フライ槽の温度変化

高電圧マイナスイオン発生器の使用，未使用（対照区）の条件下で，180℃のフライヤーで食パンを揚げた後の水分量の変化を図2に示す。揚げ時間3分においては，高電圧マイナスイオン発生器の使用で水分含量の低下傾向があり，揚げ時間5分においては，対照に比べ有意に水分含量の低下が認められた。

油槽に冷凍ポテト（解凍品）を投入し熱源の電源を切った場合の，熱源から最も遠いCh-5の温度変化を図3に示す。高電圧マイナスイオン発生器を作動させた油槽と対照

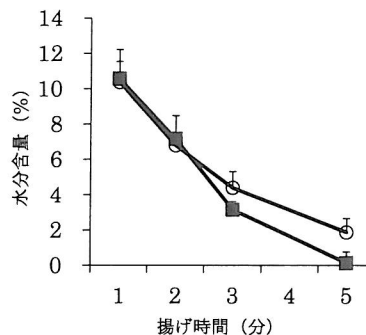


図2. 食パンのフライ加熱時の水分含量変化  
 温度目盛りを180℃に設定したフライヤーに円形の食パン5gを投入した。  
 ○：対照区，■：設置区（高電圧マイナスイオン発生器）

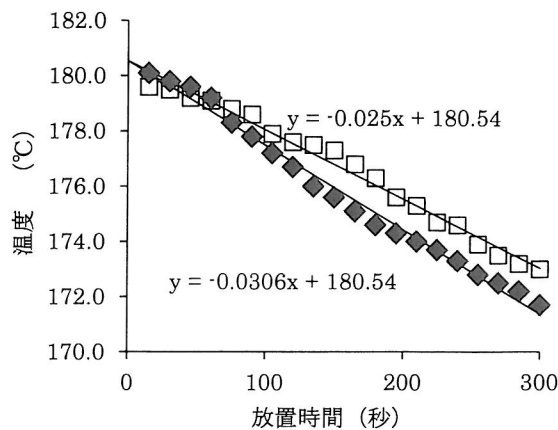


図3. フライヤー油槽の冷却曲線  
 温度目盛りを180℃に設定した油槽にポテトを投入しフライヤーの電源を切った。  
 □：対照区，◆：高電圧マイナスイオン発生器使用

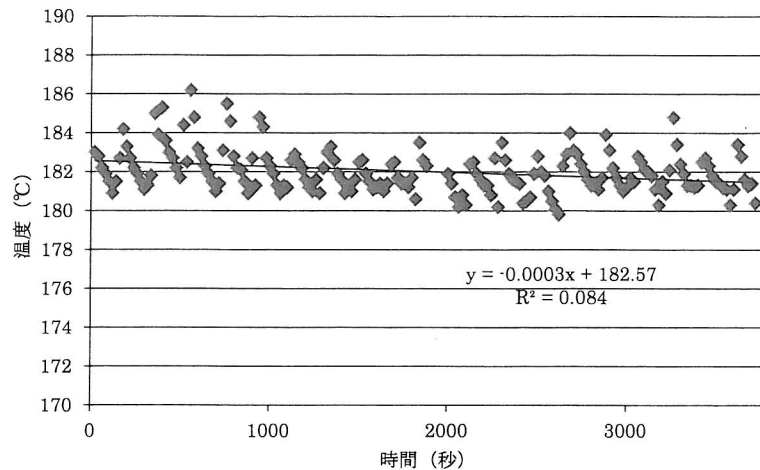


図4. 高電圧マイナスイオン発生器使用時のフライ油槽 Ch-1 の温度変化  
フライヤーの温度目盛りを 180℃ に設定。揚げ種なし  
1,800~3,600 秒で高電圧マイナスイオン発生器を作動した。

表3. 高電圧マイナスイオン発生器の使用と未使用時の油槽の平均温度

|          | Ch-1  | Ch-2  | Ch-3  | Ch-4  | Ch-5  |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 未使用時の油温* | 182.3 | 182.5 | 180.9 | 179.9 | 179.6 |
| 使用時の油温*  | 181.8 | 182.0 | 180.5 | 179.4 | 179.1 |

温度目盛りを 180℃ に設定しフライヤー1 台で実施

\* n=90, 揚げ種なし

Ch-1 は下段, Ch-2 は中段, Ch-3 上段の位置に温度センサーを配置した。Ch-4 と Ch-5 は右と左の表面に温度センサーを配置

の温度差が次第に大きくなった。冷却の温度経過を直線で近似したところ, 対照の傾きが $-0.025$ であったが, 高電圧マイナスイオン発生器を作動させると傾きが $-0.031$ と大きくなった。

180℃ に設定した揚げ物なし油槽の温度変化の例を図4に示す。図の横軸 30 分 (1,800 秒) 後で高電圧マイナスイオン発生器を作動させると, 油の温度はわずかに低下した。Ch-2 から Ch-5 でも, 高電圧マイナスイオン発生器の電源を作動すると平均温度が $0.5^{\circ}\text{C}$ 程度低下することが分かった (表3)。

#### 4. 考 察

高電圧マイナスイオン発生器のフライ油の酸化抑制の効果として, ①マイナスイオンの還元的な作用と, ②油の流動を促進する作用を想定した。

油脂中のトランス酸は, 構造中にトランス型の二重結合を有する不飽和脂肪酸を指し, 植物油の部分水素添加工程で生成することが知られている<sup>15)</sup>。高電圧マイナスイオン発生器を作動した場合にトランス脂肪酸はむしろ低減したことから (表1, 表2), マイナス高電位により水素が生成し還元的な反応が進行するとは考えにくい。

モデル化合物 (トリオレイン) を用いて,  $180\sim 220^{\circ}\text{C}$  で

加熱することにより, 微量のトランス脂肪酸が生成し加熱時間とともに増加することも確認されているが, 水素添加に由来するトランス脂肪酸に比べれば, はるかに低い<sup>16)</sup>。

トランス脂肪酸は多量に摂取すると心疾患のリスクが高まることが報告されている<sup>15,17)</sup>。アメリカ合衆国では2006年より1食あたり $0.5\text{g}$ 以上のトランス脂肪酸を含む加工食品やサプリメントに表示が義務付けられている<sup>17)</sup>。

フライ油の酸化抑制要因の候補として油の流動性を先に挙げた。高電圧マイナスイオン発生器を油に導入すると対流がおきることが知られている<sup>18,19)</sup>。高電圧マイナスイオン発生器により油の流動が促進したと仮定すると本研究で得られた結果が以下のように説明できる。

食パンの揚げ試験 (図2) と冷却曲線 (図3) は, 高電圧マイナスイオン発生器により油の流動が促進し水分の蒸発が高まったと考えられた。フライヤーは電源のオンとオフで設定温度を確保しているので, 油と接触する熱源表面は相当の高温になっていると思われる。高電圧マイナスイオンにより誘導流が発生すれば, 熱源と食用油の接触時間が短縮し, 熱源周辺の食用油の酸化劣化が抑制され, 油臭の発生が抑制される (図1) と考えられた。

#### 5. 要 約

高電圧マイナスイオン発生器を油フライヤーに使用したときの油の酸化劣化を評価した。500 nm における吸光度, トランス脂肪酸の生成は高電圧マイナスイオン発生器を作動させると進行が抑制された。食パンの揚げ試験において, 対照に比べ高電圧マイナスイオン発生器の使用では有意に水分含量の低下が認められた。高電圧マイナスイオン発生器の使用により14種の油臭成分が半減することが示された。高電圧マイナスイオン発生器を作動させると槽内の温度が速やかに低下する傾向があり, 槽内の油の流動が高まっ

ていると考えられた。

## 文 献

- 1) Hara, K., Cho, S. Y. and Fujimoto, K. (1989), Measurement of polymer and polar content for assessment of the deterioration of soybean oil due to heat cooking, *J. Jpn. Oil Chem. Soc.*, **38**, 463-470
- 2) 日本調理科学会近畿支部揚げる・炒める分科会 (2000), 家庭における揚げ調理に関する油の利用状況の実態調査, *日調科誌*, **33**, 236-242
- 3) 日本調理科学会近畿支部揚げる・炒める分科会 (2009), 揚げ油の劣化判定に対するカルボニル化合物の影響, *日調科誌*, **42**, 117-122
- 4) 三洋電機(株) (1993.2.9), フライヤー, 特許公開平05-031035
- 5) 三洋電機(株) (2003.1.28), 油の酸化防止方法及びフライヤー, 特許公開 2003-024219
- 6) 丸子栄次 (1997,4.16), 食用油酸化防止法, 特許公開平09-100489
- 7) (株)コムコム (2010,11.19), 食用油酸化防止装置の高電圧発生プレートおよび食用油酸化防止装置, 特許番号 4627797
- 8) (有)マルセ・エコ開発 (2011,10.13), 調理油劣化防止具および調理方法, 特許公開 2011-200406
- 9) 野中通孝 (2005), 静電容量式センサーによる劣化油の極性化合物の計測, フライ油の劣化度がわかるデジタル食用油 testo265, *月刊フードケミカル*, **21**, 56-58
- 10) AOCS Ce 1h-05 (消費者庁の指針, 別表 2 の試験方法), AOAC 996.06 (同別表 3 の試験方法), 基準油脂分析試験法, 暫 17-2007
- 11) 田村耕平 (2012), FTIR を用いたトランス脂肪酸の迅速定量をはじめとする最新の食品分析手法, *月刊フードケミカル*, **28**, 56-61
- 12) 古賀ゆう子, 古賀貴子, 坂本宏司, 太田英明 (2001), 血漿蛋白質の異臭が乳化液体ドレッシングの香り特性に及ぼす影響, *日本食品科学工学誌*, **48**, 507-513
- 13) 遠藤泰志 (1999), 食用油脂の臭気成分, *日本油化学会誌*, **48**, 1133-1140
- 14) 小久保秀之, 山本幹男 (2008), キュウリにおける極微弱生物光の発光機構, *J. Intl. Soc. Life Info. Sci.*, **26**, 53-58
- 15) 永田忠博 (2007), トランス脂肪酸問題の現状, *日本食品科学工学会誌*, **54**, 509-515
- 16) 都築和香子 (2011), 日本におけるトランス脂肪酸の現状と対応策-トランス脂肪酸の情報開示に向けて, *食品の包装*, **42**, 56-62
- 17) 川端輝江, 兵庫弘夏, 萩原千絵, 松崎聡子, 新城澄枝 (2008), 食事の実測による若年女性のトランス脂肪酸摂取量, *日本栄養・食糧学会誌*, **61**, 161-168
- 18) Watanabe, M., Shirai, H., and Hirai, T. (2003), Liquid-liquid Two-layer Electrohydrodynamic Flow System, *Sens. Actuators B: Chemical*, **94**, 264-270
- 19) 大坪安史 (2006), 電場により発生する液体ジェットを用いた流体デバイス, *ケミカル・エンジニアリング*, **51**, 742-746

(平成 25 年 1 月 7 日受付, 平成 25 年 6 月 10 日受理)

## 和文抄録

高電圧マイナスイオン発生器を油フライヤーに使用したときの油の酸化劣化を評価した。500 nm における吸光度, トランス脂肪酸の生成は高電圧マイナスイオン発生器を作動させると進行が抑制された。食パンの揚げ試験において, 対照に比べ高電圧マイナスイオン発生器の使用では有意に水分含量の低下が認められた。高電圧マイナスイオン発生器の使用により 14 種の油臭成分が半減することが示された。高電圧マイナスイオン発生器を作動させると槽内の温度が速やかに低下する傾向があり, 槽内の油の流動が高まっていると考えられた。