

# フライヤー油の酸敗（廃油）の要因と制御対策

1

2023/12/09

禁無断転載複製

丸子電子株式会社

## フライ油の酸敗（廃油）の要因

食用油加熱によるフライ工程において、食用油は油面と接触する空気（酸素 0）で自動酸化が起ります。また、フライ加工工具より発生する水分と微量の水和金属イオン等の触媒効果による加水分解にて、食用油構成分子の「不飽和脂肪酸」は分解し、「グリセリン」と「脂肪酸」となり、フライ油中に蓄積され、食用油の酸化（AV 値）2・5 にて廃油として処理されます。

### 廃油の原因となる不飽和脂肪酸の自動酸化及び加水分解について

- (1) フライ油中の主成分は「不飽和脂肪酸」と「飽和脂肪酸」により構成され、空気（酸素 0）で酸化されるのは「不飽和脂肪酸」であり「飽和脂肪酸」は酸化されない。
- (2) 加熱されたフライ油中の成分「不飽和脂肪酸」が油面での空気（酸素 0）との接触時に油を構成している油分子の $\ominus$ 電子が奪われ、自動的に過酸化脂肪酸POV 値が上昇。
- (3) フライ加工時に原料工具からなる水分及び微量の水和金属イオン (Co・Fe・Cu・Mn・Ni)等の触媒効果による加水分解にて「グリセリン」と「脂肪酸」に分解され、フライ油中にAV 値として蓄積これが上昇する。
- (4) フライ生産時にフライ油中に「分散、浮遊」する「水滴」の発生する原因の一つとして「油中潜行」によるフライ時の水分が 100% 水蒸気として飛散せず「水滴」及び油との「エマルジョン」として油中に分散・遊離し油の酸化を促進する。尚、「油中潜行」によるフライ工程は、衣中・具に水分が浸透し「油・水のエマルジョン」となり油切れの悪さも進行する。
- (5) フライ油温の「175°C ± 5°C」以上は「不飽和脂肪酸」の自動酸化が加速上昇する。
- (6) フライ油の自動酸化及び加水分解による「過酸化脂肪酸」及び「グリセリン/脂肪酸」の化学反応速度は、フライ油の温度及びフライ油に接する「燃焼炉の加熱面」の温度が高温ほど、化学反応速度は加速され、同時に「グリセリン/脂肪酸」の蓄積も加速してAV 値が上昇する。

### 【油が酸化する要因】

油の分子は $\ominus$ 電子 50 と $\oplus$ 原子 50 で構成されバランスをとっています。 $\ominus$ 電子と $\oplus$ 原子が 50:50 の時新鮮な油の状態を表しています。油は空気・熱・光により劣化・酸化するので高温の場所や日光・蛍光灯などの光を避ける。特に新油、貯油タンク保管の場合日陰や冷暗所に

密閉して保管することで防ぐことができる。空気や光によって油を構成している分子の水素(H) や窒素(N) から $\ominus$ 電子が少しづつ奪われて、油は $\ominus$ 電子不足を起こし、分子の $\oplus$ 原子が過剰になったことを「酸化」したと言う。または「自動酸化」ともいう。

#### 【光・酸素・熱による油への酸化作用】

太陽光・蛍光灯	光は油を構成している分子のクロロフィルから、 $\ominus$ 電子を奪い、油の分子は $\oplus$ 原子が過剰になることで酸化が起こる。
酸 素 (O)	空気中の酸素「O」が油面と接触することで、酸素「O」は油を構成している分子から $\ominus$ 電子を奪って、 $\oplus$ 原子が過剰になることで油は酸化する。
加 热	油は高温になることで、油を構成する脂肪酸に熱重合や熱分解と言った作用で、油を構成している分子から $\ominus$ 電子が離脱して、油の $\oplus$ 原子が過剰になり酸化が促進される。

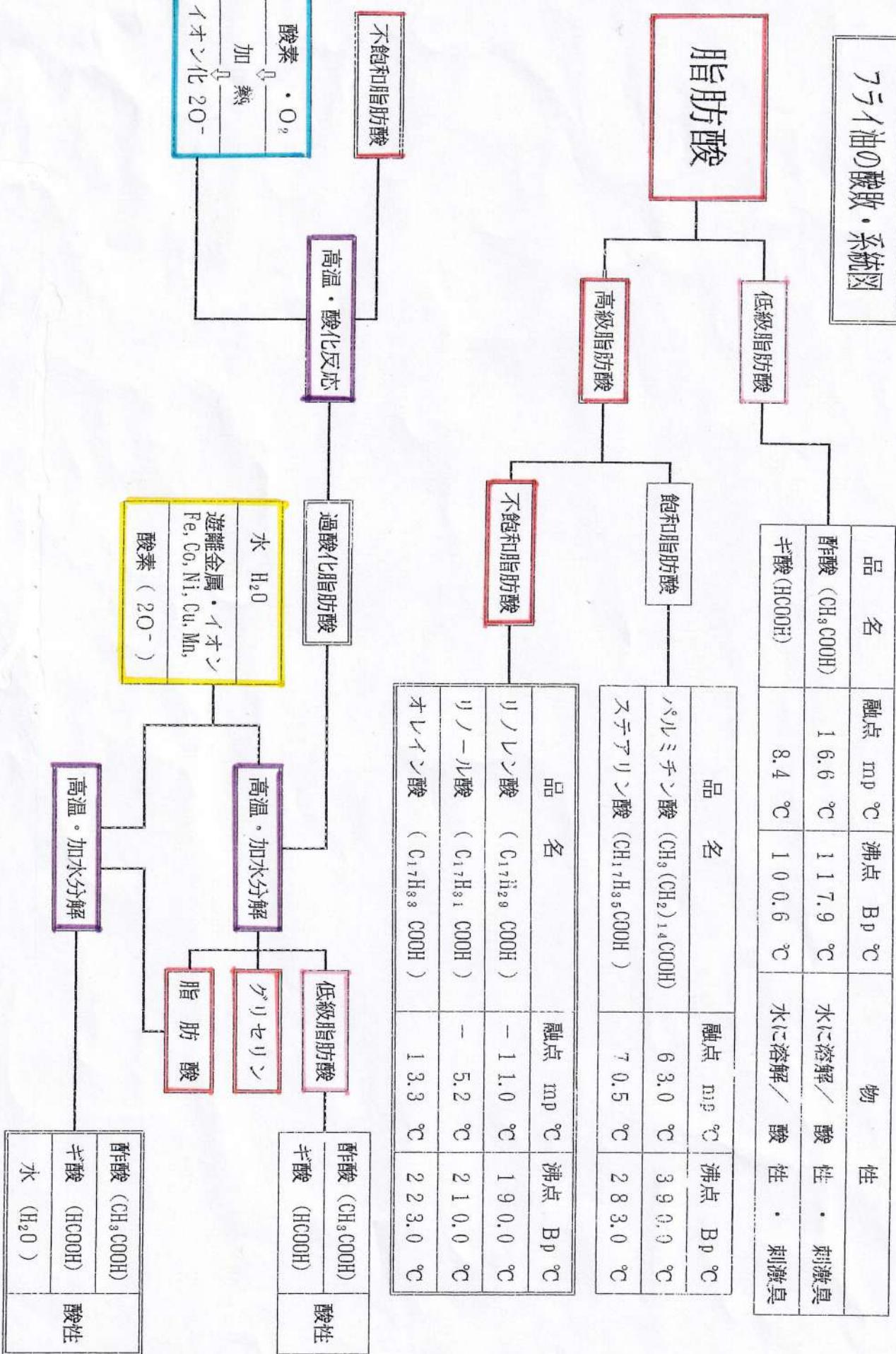
### フライ油の酸化工程

- ① フライ油の主成分は「不飽和脂肪酸」と「飽和脂肪酸」により構成され、酸素(O)により「酸化」されるのは「不飽和脂肪酸」であり「飽和脂肪酸」は酸化されない。
- ② 「不飽和脂肪酸」は自動酸化による酸素(O)との結合により「過酸化脂肪酸」POV 値が生成され、油の温度が高いほど酸化速度は速くなり「過酸化物値」POV 値の生成も促進される。
- ③ 「不飽和脂肪酸」の酸素(O)による酸化は「4°C以下」の温度帯では進まず、「4°C」以上の温度帯より酸化は徐々に進行し「150°C」より油温の上昇に伴って酸化の促進も加速し「不飽和脂肪酸」の沸点の温度帯で「酸化速度」は最高となる。

#### 【油温度による不飽和脂肪酸の酸化温度】

油 温	4°C以下	20 ~ 30°C	145°C ± 5°C	155°C ± 5°C	175°C ± 5°C	180°C 以上	脂 肪 酸 沸 点 以 上
酸 化 速 度	数 ケ 月 間	10 ~ 14 日	緩やか	やゝ緩やか	加速上昇	急速上昇	急 激 発 煙
酸 化 状 態	安 定	安 定	安 定	やゝ安 定	酸 化 上 昇	急 速 上 昇	發 火

## アライ油の酸敗・系統図



### 【不飽和脂肪酸の沸騰点】

不飽和脂肪酸	分子式	沸騰点 (Bp)
オレイン酸	C <sub>17</sub> H <sub>33</sub> COOH	223°C
リノール酸	C <sub>17</sub> H <sub>31</sub> COOH	210°C
リノレン酸	C <sub>17</sub> H <sub>29</sub> COOH	190°C

- ④ 「不飽和脂肪酸」の「過酸化物」はフライ油中に存在する「水分及び微量金属成分」と「高温のもとで「加水分解」が平行して進行し「酸敗 (AV 値) の低下」が起こる。

酸敗に関係を持つ遊離金属イオン及び電極電位の大きい順番
-----------------------------

鉄 (Fe) > コバルト (Co) > ニッケル (Ni) > 銅 (Cu) > マンガン (Mn)
---

- ⑤ 「不飽和脂肪酸」の成分によって「酸素との電位差」に差があり「電位差」の大きい成分から自動酸化が進み、酸化終了後の電位差の順番に自動酸化が進行する。

不飽和脂肪酸	分子式	2重結合数	酸化順位
オレイン酸	C <sub>17</sub> H <sub>33</sub> COOH	1個	3
リノール酸	C <sub>17</sub> H <sub>31</sub> COOH	2個	2
リノレン酸	C <sub>17</sub> H <sub>29</sub> COOH	3個	1

### 【不飽和脂肪酸の含有量】

食用油の種類	不飽和脂肪酸の含有量	飽和脂肪酸の含有量
大豆油	88・0%	12・0%
ごま油	85・1%	14・9%
菜種油	91・0%	9・0%
米油	85・0%	15・0%
綿実油	75・4%	24・6%
紅花油	90・0%	10・0%

## フライ油の酸化制御対策

### 【食用油脂の酸敗の対策】

- ① フライヤー内のフライ油の回転率

フライヤー内に収容する油の容量と生産時に補給する一日の「差し油量」と貯油量の回転率を消費される「油量」にて稼働し酸化の促進を制御する。

② フライ油を約「150~160°C」の温度設定による「過酸化物の抑制」

小麦粉の場合、小麦粉中の「小麦粉デンプン」及び「小麦グルテン」はフライ油の温度が「155±5°C」近辺の温度で「最高の膨潤」による「最高の食感の衣」フライ商品が出来ます。

しかし「小麦粉グルテン」は収穫・製粉段階から外部サイロタンク保管・輸送・製造段階で温度・摩擦・静電気・振動・落下・圧力等により「小麦粉グルテン」は酸化、劣化を起こし、加工製造時の「衣液」中で時間とともに全体に分散し「グルテン膜」を作り、フライ時の「水分の飛散」及び「衣の膨潤」「具材への熱伝導」が阻害され目的の品質のフライ製品が出来ない。

この解決策として、通常はフライ温度を「170~180°C」に設定し、高温度の油温にて「水分の飛散」および「衣の膨潤」を行って、フライ生産を行っています。この高温度の油温によるフライの生産が「AV値の低下」を招いています。

③ フライヤ油のMDA $\ominus$ 電子帯電と揚げ物の具材原料をMDA $\ominus$ 電子で処理することにより、 $\ominus$ 電子が補給されることによって具材が活性化し、油温の具材への熱伝導浸透が高まり、揚げ物の温度は通常「170°C±5°C」での揚げ物が約「150~160°C」で揚げ物が可能になります。フライ油を「150°C~160°C」の温度設定によるフライ生産の生産は「AV値低下抑制」と「生産時のフライ油の思考」を採用することにより、食用油の酸敗(廃油)の発生削減に繋がり「フライ製品の品質・味、鮮度向上」にも貢献します。

④ 上記①、②、③の条件下でフライヤー稼働による「フライ油の酸化値」は「AV値0・5~1・5」の安定した数値で生産が可能であり、フライ製品は油の「酸化臭」は無く「油の香りと旨み」のある「最高の食感・風味の衣」のフライ製品が出来ます。

⑤ フライ生産時の油中に「分散・浮遊」する「水滴」の発生する原因の一つとして「油中潜行」によるフライ時の水分は100%水蒸気として飛散せず「水滴」及び「油」とのエマルジョン」として、油中に分散・浮遊し油の酸化を促進します。尚、「油中潜行によるフライ工程は、衣中・具に浸透し「油と水のエマルジョンとなり油の酸化が進むにつれ「油の切れ」悪さも進行する。

## 設計段階におけるフライヤー構造に関する条件

- (1) フライヤー稼働時の油の「過酸化物価値/POV 値」及び「酸化値/AV 値」の進行を阻止する条件を考慮する。
- ① フライヤー内の「フライ油の容量と」と「フライ油の回転率」の設定をする。
  - ② フライヤー内の加熱に使用されるヒーターの「熱源の単位当たりの熱伝導面積」の改善及びヒーターとフライ油の接触面の「加熱温度」を下げるによる「油の酸化速度」の改善をする。
  - ③ フライ油の稼働時の温度設定を「150~160°C」に設定する。(フライ油と具材の $\ominus$ 電子処理を行う)
- (2) ③の条件でフライ油の温度調節は、熱源を最低3分割し、それぞれサーモスタッフ「自動温度調節装置」による「上限・下限温度」を設定し、フライ稼働時の安定した油温を維持する。

### ① 【自動温度調節装置】

(油温 160°C ± 5°C の場合)

下限温度 140°C / ON  
上限温度 145°C / OFF  
上限温度 150°C / OFF

(油温 170°C ± 5°C の場合)

下限温度 150°C / ON  
上限温度 155°C / OFF  
上限温度 160°C / OFF

### ② 热源の種類 (フライ油の安定熱伝導の改善)

- 1) プロパンガス
- 2) IH ヒーター
- 3) プロパンガスと IH ヒーターの組み合わせ

### (3) フライ生産時に発生する、フライ油中に分散する (水滴)

フライ油中に分散する「水滴」の発生する要因は、主として天ぷら具材の「潜行揚げ」により発生する「水滴」と「不飽和脂肪酸」の酸化により発生した「過酸化物」POV 値による水滴が「エマルジョン」化し、フライ油中に浮遊・分散する。尚、「不飽和脂肪酸の過酸化分解が進行するにつれ「エマルジョン」化した「浮遊水滴」は増加し「油切れの悪い」フライ製品が生産される。

### (4) 具材のネットコンベヤーによる、天ぷら具材の「潜行揚げ」の欠点を避け、てんぷら本来の手作業による「浮上揚げ」の特性を採用する。

- ① 潜行揚げの欠点⇒油が具材の内部まで浸透して「油切れ」が悪い。
  - ② 浮上揚げの利点⇒油が具材の内部まで浸透せず「油切れ」良い。
  - ③ 浮上揚げの具材の油中上での反転に必要な「具材反転装置」の設置と「搬送装置の」設置。
- 5) フライヤー内の貯油量は1日の生産量と差し油量を参考とする。「油の回転率」  
フライヤーの稼働時に食用油「加熱」と空気「0」の接触を極力防ぐ油脂の自動酸化の進行  
を防ぐフライヤーの構造。

## MDA電子節油・節電・省エネ装置の対策

### 【フライ油のAV値・POV値の進行を制御する条件】

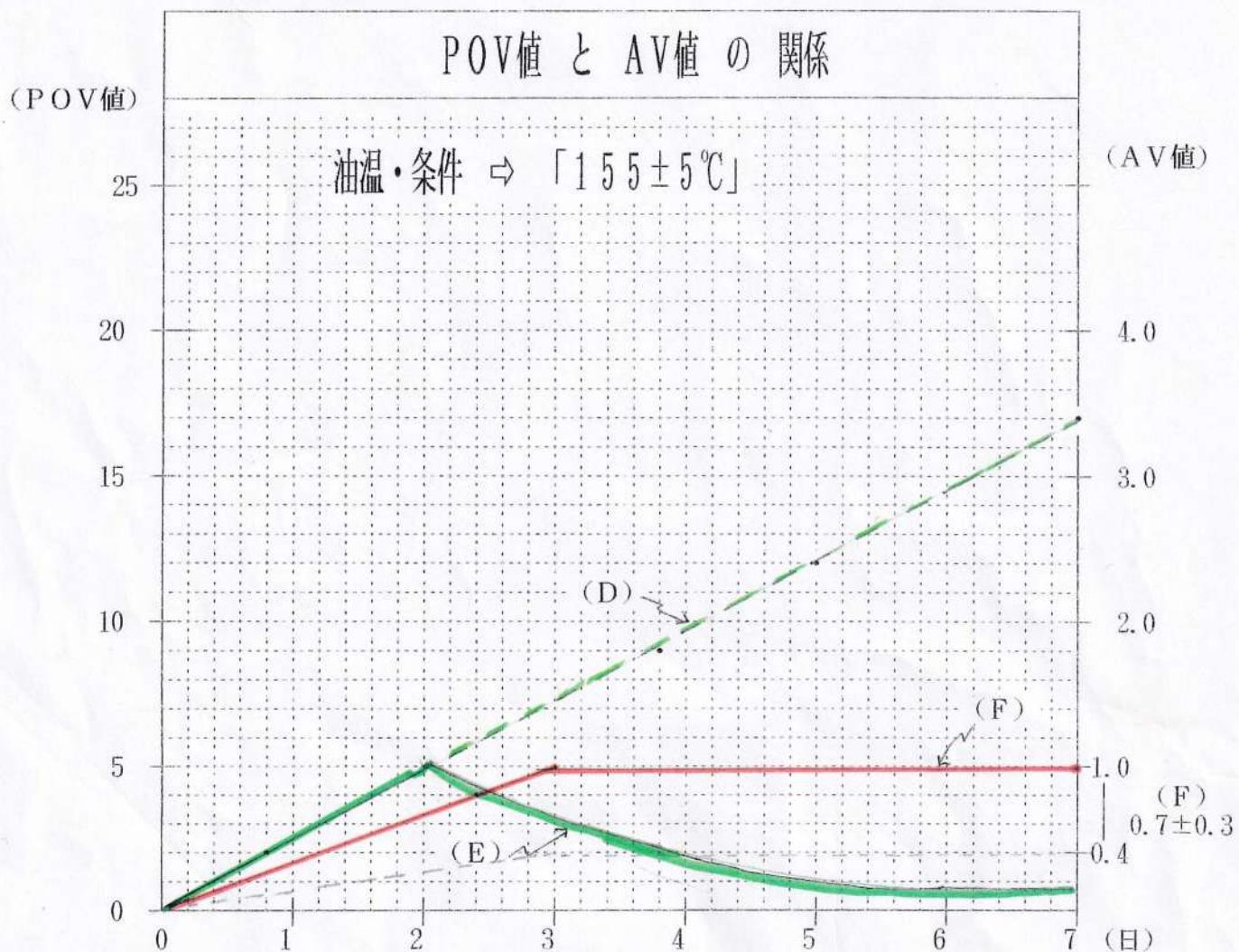
- ① フライヤー油にMDA自動θ電子帶電タンク装置を接続して油を循環させ、油をθ電子活性化すると同時に、揚げ物具材原料にθ電子をかけてフライ熱伝導性を高める。  
(小麦粉・澱粉・その他の具材原料……etc)
- ② 使用後の貯油タンクにθ電子をかけて保管、油の修復を計り、酸化、劣化を防ぐ。
- ③ 加工用水をθ電子帶電水にして具材混合ミキサー練り水に使用する。
- ④ ※~~物内放電による油の酸化を防ぐ。油をθ電子帶電水にすることで油のAV値を下げる。~~
- ⑤ ※~~工場内放電による油の酸化を防ぐ。油をθ電子帶電水にすることで油のAV値を下げる。~~
- ⑥ ※~~工場内放電による油の酸化を防ぐ。油をθ電子帶電水にすることで油のAV値を下げる。~~

- 原料と油のθ電子設備は食用油・ガス・電気代の大幅な節約になり、フライ製品の味や風味・コストダウンに貢献します。

【油温】と【酸化脂肪酸】及び【脂肪酸】との関係

【油温・条件  $\Rightarrow$  「 $155 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 」】

- 1) 「不飽和脂肪酸」の自動酸化による「酸化脂肪酸」の生成曲線／POV値 
- 2) 「酸化脂肪酸」の加水分解後の「酸化脂肪酸」の残存量曲線／POV値 
- 3) 「酸化脂肪酸」の加水分解による「脂肪酸」の生成曲線 ( $0.7 \pm 0.3$ ) AV値 



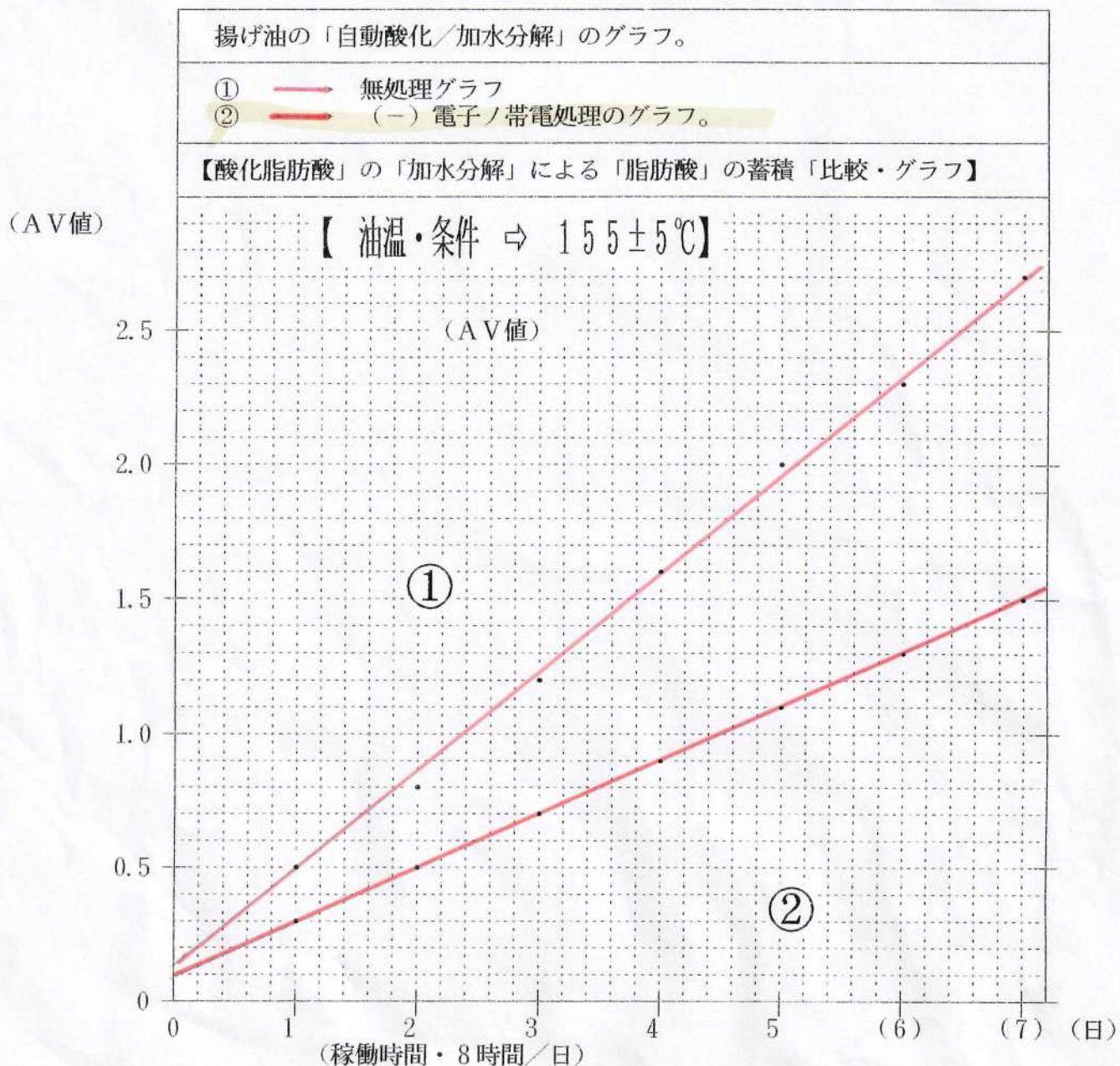
- 1) 油温「 $155 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 」の温度帯では「不飽和脂肪酸」の酸化速度は緩やかで「酸化脂肪酸」の発生量は少なく「脂肪酸」の蓄積量は少ない。
- 2) 蓄積する「脂肪酸」は「 $0.75$ 」以上になると、媒介物となり自動酸化を加速するから「遊離脂肪酸」が「 $0.70$ 」の範囲での稼働が望ましい（廃油の削減に繋がる）。
- 3) 「遊離脂肪酸量」が「 $2.0$ 」以上になると、揚げ油は不快な風味を呈するようになる。
- 4) 油温「 $155 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 」の温度帯にて、AV値を「 $0.70 \pm 0.3$ 」の範囲での「フライヤーの連続稼働」を可能とした要因は「揚げ油の回転率」及び「小麦粉の物性改良」の併用による「具材及び衣の水分飛散の改善」にて可能とした。

揚げ油を「(-)電子」の帯電処理及び無処理の「自動酸化／加水分解」の比較グラフ

【油温・条件 ⇌ 「155±5°C」】

1) 油温「155±5°C」にて「野菜かき揚げ／帯電無処理」を毎日8時間フライ加工。

2) 揚げ油をフライ加工後毎日15時間「(-)電子」の帯電処理



揚げ油を「(-)電子」の帯電処理及び無処理の「自動酸化／加水分解」によるAV値

テスト条件	油温「155±5°C」・稼働時間「8時間/日」・(-)電子帯電処理「15時間」							
測定日数	0	1	2	3	4	5	6	7
① 無処理	0.1	0.5	0.8	1.2	1.6	2.0	2.3	2.7
② (-)電子・帯電	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4