



## 交流高電界法を利用した果汁製品の製造

ポッカサッポロフード & ビバレッジ株式会社

### はじめに

果汁等の飲料は、食品衛生法により清涼飲料水と定義され、製品のpHや保存温度によって加熱殺菌の基準が定められている食品である。しかしながら、この加熱過程で熱に弱い香気成分や有用な機能成分の損失が問題となっていた。さらに、近年においては、果汁の様な低pH (pH 4.0未満) 状態で生育し、高い耐熱性を有する好酸性耐熱性菌 (TAB) や耐熱性カビなどが発見され、pH 4.0未満の果汁の殺菌においても100℃以上で数十秒間といった超高温短時間殺菌 (UHT殺菌) を行い、商業的無菌の観点から耐熱性胞子を死滅させる必要が製造上必要になっている。この商業的無菌が達成できる加熱殺菌条件は、もちろん食品衛生法に定められた基準よりも非常に高い加熱条件で処理する必要がある。食品の品質を大きく損なう要因になっている。一方、お客様の食品 (果汁飲料) に対する嗜好は、天然に近い搾りたての品質を求める傾向にあり、非加熱果汁、ストレート果汁や混濁果汁に対応した商品が望まれている。

そこで、当社は、食品衛生法の基準に適合し、耐熱性芽胞等を効率的に殺菌可能な技術開発を2003年より (独) 農研機構食品総合研究所と共同で電気エネルギーを利用した食品自身を自己発熱させる交流高電界殺菌法の開発を開始し、業界で初めて本技術を利用した果汁製造ラインを2013年に構築し、2014年2月より本ラインで生産された果汁製品の発売を行っている。

### 1. 交流高電界法とは

電気抵抗を持つ食品に一对の金属の電極を介して、その電極間に交流電源で電圧を印加すると食品内部を流れる電流とそれに逆らう電気抵抗により食品自身が自己発熱することを利用したジュール加熱 (オーミック加熱) と高電界の印加によって微生物細胞内外の電位差でクーロン力が生じることを利用した電気穿孔 (エレクトロポレーション) などによる微生物損傷の相乗効果によって、液状食品中の微生物を1秒以内の極短時間で殺菌できる技術である。

具体的には、ジュール加熱とは材料の両端に電圧 (V) を印加した場合に材料内部に生じた電気勾配を小さくしようとする力に従って電気を運ぶキャリアの移動がおこる。このときに食品では、キャリアが+、-イオンであることや食品に含まれる成分の構造や不純物などにより電気抵抗が (R) が生じる。この電気抵抗により運動エネルギーが熱エネルギー (P) に変換され、材料に流れる電流 (I) と R, V から下記により計算される法則である。

$$P = I^2 R = V^2 / R$$

また、細胞の電気穿孔とは、細胞の種類や大きさにかかわらず、細胞一個当たり1V以上の電位差が与えられた場合、細胞膜の絶縁破壊が生じ、細胞膜に局所的な電気機械的な不安定性

のために穴が開く現象を指し、細胞が死滅する。図1にジュール加熱および細胞の電気穿孔を示す。

### 2. 交流高電界技術の殺菌特性<sup>1,2)</sup>

交流高電界法の有芽胞細菌の殺菌特性を飲料中で問題なる中温性耐熱性菌や高温性耐熱性菌およびTABを用いて明らかにした。本交流高電界法は、印加電界の強度に比例して殺菌効果が向上し、流れる電流には殺菌効果が依存しないことを明らかにした。また、各種耐熱性芽胞の殺菌が開始する温度は、各微生物胞子が有する耐熱性 (F値) から推定されることが分かり、その時の向上率は、D値の減少として表され、D値が大きい胞子 (高い温度で処理しないと殺菌できない胞子) ほど、その効果が大きくなることを明らかにした。

また、果汁で問題となるTABは、従来の加熱のみの処理に比べ殺菌速度として約30倍速いことも明らかにした。

### 3. 交流高電界殺菌法の電極設計とスケールアップ

#### 1) 電極設計と耐久性

交流高電界殺菌法の殺菌効果および電極の耐久性や安定性を確保する上で重要な要因となるのは、電極の構造である。但し、交流高電界法は、電極の通過時間が0.1秒以内と極短時間である点と用いられる電極間には数百~数千V/cmの電界が生じているため、そこに熱電対等のセンサーを挿入して直接材料の温度を測定することは不可能である。そこで、我々は、流れる食品に電界を印加したときに材料にどのような電界が印加されて、加熱されるのかをコンピューターシミュレーション (Computer Fluid Dynamics) による解析結果を元にした電極設計を行った。具体的には、電極内部の流速分布、温度分布、電界分布を明らか<sup>3)</sup>にし、最終的な実生産機には、流速、温度の分布の偏差が最も小さくなる様に設計することができた。

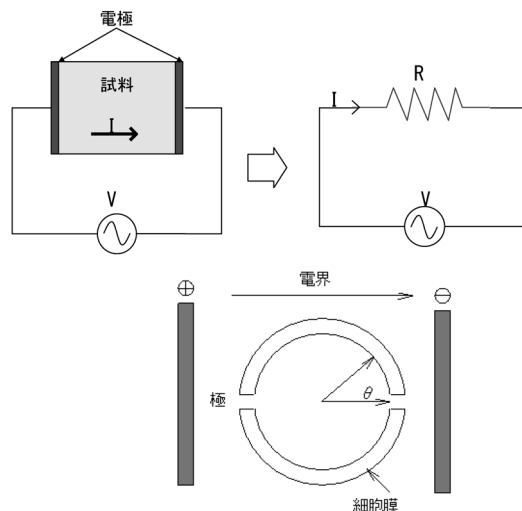


図1 ジュール加熱と電気穿孔

図上：ジュール加熱，図下：電気穿孔

また、設計した電極の耐久性として長時間食品の通液処理後の殺菌効果や電極の表面粗さおよびオージェ分析によるチタニウム製電極の元素分析を行い、食品を長時間処理しても殺菌効果に変化が認められないことや電極表面に腐食等の発生が無く、電極の平滑性が損なわれないことを明らかにした。

さらに、電極表面には酸化膜が均一に形成され、酸化チタンとして安定化していることも分かり<sup>4)</sup>、食品を殺菌する装置としての安定性や耐久性が問題無いことを明らかに出来た。

## 2) 交流高電界装置のスケールアップ

清涼飲料の製造ラインは、一般的に時間あたり数千L~数万L処理する能力が求められる。当社は、処理能力として時間60Lの処理装置にて各種微生物胞子の殺菌特性や電極の耐久性およびコーヒー、茶、果汁などの各種飲料に応用できる装置に改良した。その後、装置能力を500L/hrにスケールアップを行い、さらに2,000L/hrの装置を製作し液状食品を殺菌できる装置によって、実際の生産現場の実証試験機として殺菌試験、製品の品質検査、製品の保存試験を行い、食品製造に問題無いことを確認した。また、食品を数千時間処理しても電極の平滑性が損なわれず腐食等が発生しないことも確認し、飲料の実ライン製造設備として問題無いこと実証した。

## 3) 実用化した飲料の製造ラインの特徴とその効果

2013年12月に弊社 名古屋第3工場に、毎時5,000Lの処理能力を有する工場を竣工した。本生産ラインの特徴としては、食品の品質劣化させる要因である酸化・熱劣化を低減・抑制したライン構成(ナチュラルレモンテイスト製法)になっている。具体的には、酸化劣化を防止するために、原料水および製造工程中のタンクや配管中の酸素を可能な限り除去した調合工程と殺菌工程に交流高電界殺菌法を利用して熱劣化を防止することで、お客様の要望であるフレッシュで搾りたての高品質な商品をお届けすることができるライン構成になっている。

本ラインで製造したポッカレモンの商品としては、従来の加熱殺菌のみによる殺菌法に比べて、熱による変色を約2/5に抑制し、加熱臭の発生を約1/8、ビタミンCの減少を約1/10などに抑えられ、レモンの特徴的な香気成分を多く残存させ、逆に、劣化臭の成分の発生を低減できた。本効果は、当社官能評価パネラーの試験によっても、爽やかなレモンの風味やレモン



図2 交流高電界殺菌を利用した商品群

の果皮の風味などの項目で有意に向上し、逆に、焦げた風味やイモ臭などの項目で有意に抑制される等、成分分析の結果を裏付ける高品質な製品を製造することが出来ている。

実際に本ラインで製造している商品群を図2に示す。

最後に、本製造ラインにより生産される商品の品質として、よりフレッシュで搾りたての品質を再現できる様になったことから、お客様の満足度が向上できたと考えている。

## (引用文献)

- 1) 井上孝司, 河原(青山)優美子, 池田成一郎, 土方祥一, 五十部誠一郎, 植村邦彦 交流高電界による各種微生物胞子の殺菌. 日本食品工学会誌, Vol. 8, 3, p 123-130, (2007)
- 2) K. Uemura, I. Kobayashi, T. Inoue Inactivating of *Alicyclobacillus acidoterrestris* in Orange Juice by high electric field alternating current. Food Sci. Technol. Res., 15(3), p 211-216 (2009)
- 3) 植村邦彦, 小林 功, 井上孝司, 中嶋光敏 交流高電界処理における電極内部の温度分布の解析. 食総研報, 71, p 21-32, (2007)
- 4) サイエンスフォーラム フレッシュ食品の高品質殺菌技術 p 359-366, IBN978-4-916164-93-3

謝 辞 交流高電界殺菌技術の開発にあたり、(独)農研機構・食品総合研究所 植村邦彦ユニット長、日本大学 五十部誠一郎教授、筑波大学 中嶋光敏教授にご指導、ご尽力頂き、ここに深く感謝の意を表します。