

4. 食料品製造業向け F 値ロガーの開発

ものづくり支援グループ

○村田政隆

食産業支援グループ

清水健志、三上大輔

サンテクノ(株)函館 R&D センター

○西谷彪太、大野翔平、田村朝美、丹羽厳一

1. はじめに

レトルト食品や缶詰食品が含まれる容器包装詰加圧加熱殺菌食品では、食品衛生法の製造条件として殺菌効力が定められている。殺菌効力は一般的に F 値という指標が用いられており、衛生管理の観点から F 値の測定と記録が重要となっている。F 値は加熱殺菌において微生物の死滅速度を 10 倍にするための追加温度を示す Z 値、基準温度 121.1°C および加熱温度 T°C から次式で示される。

$$F = \int 10^{(T-121.1)/Z} dt \quad (Z: \text{微生物の種に依存する固有定数})$$

ゆえに、サンプリングタイム dt 分で温度 T°C を測定できれば F 値の算出と管理が可能となる。そこで、最初にマイコン ESP32-WROOM-32E を用い、設定した dt で温度 T を測定・記録する図 1 の温度ロガーを試作した。そして、この温度ロガーに F 値算出機能を付加し、HACCP により衛生管理する中小企業にも利用しやすい F 値ロガーとしての実用性について、レトルト食品を対象に検証した。

2. 実験方法

2.1 温度センサの選定

F 値測定は温度測定値の累積誤差の影響が大きく、温度センサはパウチ等の包装容器を貫通させるため、温度センサには精度や剛性が重要である。そこで、北海道立工業技術センターの高温高圧調理殺菌試験機 (RCS-40RTGN) を使用して、表 1 に示す 3 種類の温度センサとレトルト食品の温度管理に用いられる TMI-ORION 社製の投込式温度ロガー「PicoVACQ (基準センサ① 校正後誤差: ±0.12°C)」を圧力容器内に固定し、水温測定結果から採用センサを選定した。

2.2 センサ個体差の校正

校正は図 2 に示す様に、蒸留水の氷点と沸点を用いた定点法により行った。次に、約 70°C の中間温水を作り出して測定値を校正し、Ellab 社製の高精度ワイヤレス温度ロガー「TrackSense Pro (基準センサ② 校正後誤差: ±0.05°C)」の測定値と比較した。

2.3 F 値検証

F 値検証には、センサの挿入作業において型崩れしにくい「イカめし」を用いて、図 3 に示す配置により基準センサ①と試作機の比較検証を行った。本実験ではサンプリングタイムを 5 秒に設定し、各センサの先端が「イカめし」の中心付近になるように固定した。その後、高温高圧調理殺菌試験機の加熱温度を 120°C に設定し、加熱処理中の「イカめし」の中心温度と F 値を求めて比較検証した。



CPU	ESP32-WROOM-32E
電源電圧	3.0 ~ 3.3V
A/Dコンバータ	12bit × 4ch
サンプリングタイム	5秒 (default)
記録メディア	SDカード
温度センサ	測温抵抗体

図 1 試作温度ロガー仕様

表 1 温度センサ仕様

センサ	A社	B社	C社
種類	測温抵抗体 Pt100 クラスA		
140°C測定	○	○	○
先端径	φ4.0 mm	φ3.0 mm	φ3.2 mm
先端形状	円筒	円筒	針先
リード線	フッ素樹脂	テフロン	テフロン
外観			



図 2 定点法校正

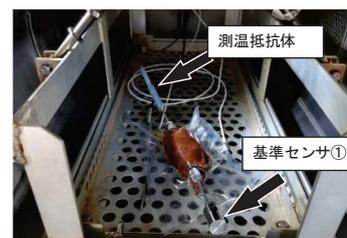
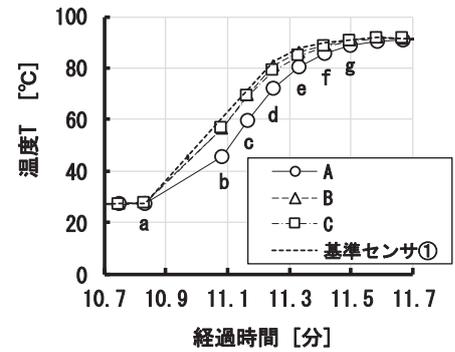


図 3 F 値検証実験

3. 実験結果および考察

3.1 温度センサの選定

本実験では高温高压調理殺菌試験機の運転状況を約 50 分間測定した。このうち、急激に温度が変化した 1 分間を一例に、経過時間に対する温度変化と、各センサの測定値と基準センサ①の測定値の温度差を ΔT 、時間差を Δt としてまとめた結果を図 4 に示す。JIS1604 を参考に、基準センサ①の測定温度から g 点における測温抵抗体 Pt100 A クラスの温度許容差を求めると $\pm 0.17^\circ\text{C}$ となり、センサ B、C はこの許容差内である。そのため、見かけの差は測定精度よりも、時定数が支配的といえる。特にセンサ A は先端径が最も大きいため、熱容量も大きく、時間遅れが顕著に現れたと考える。今回、性能的にはセンサ B と C はほぼ同等であったが、包装容器への挿入作業性を考慮し、先端が針先形状のセンサ C を選定した。



	温度差 $\Delta T [^\circ\text{C}]$			時間遅れ $\Delta t [\text{sec}]$		
	A	B	C	A	B	C
a	-0.10	0.31	-0.02	—	—	—
b	-15.31	-4.21	-4.50	6.6	1.3	1.3
c	-11.83	-2.04	-2.46	5.4	1.2	1.2
d	-10.66	-1.81	-3.86	5.1	0.9	1.8
e	-7.08	-1.39	-2.96	6.0	1.4	3.2
f	-4.38	-0.86	-1.83	6.9	1.8	3.9
g	-2.16	-0.06	-0.16	7.8	0.3	0.9

図 4 温度測定結果

3.2 測温抵抗体の個体差の校正

本実験では選定した型式の測温抵抗体を 3 つ同時に用いて、個体差を検証した。校正例として、図 5 に各測温抵抗体について氷点と沸点での定点法からそれぞれの感度係数を算出し、約 70°C の温水をサンプリングタイム 1 秒で 1 分間測定した結果を示す。校正前の測定値は基準センサに対して $\pm 0.5^\circ\text{C}$ の範囲であったが、校正後は $\pm 0.15^\circ\text{C}$ の範囲にまで収まり、個体差の影響を小さくすることで、基準センサとほぼ同様の測定結果を得ることを確認した。

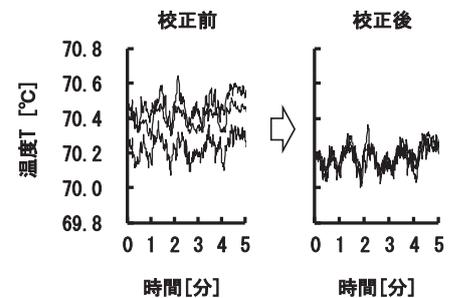


図 5 校正例

3.3 F 値検証

F 値の算出条件を 100°C 以上に設定した試作ロガーと基準センサ①を用い、レトルト処理実験を行った結果、試作ロガーの測定温度は基準センサ①より約 3 分遅れて 100°C に到達した。この原因は測定点の位置ズレによるものと考えられる。図 6 に測定温度がそれぞれ 100°C に到達した時刻を算出開始時刻 0 と定め、20 分間の温度 T と F 値をまとめた結果を示す。基準センサに対する試作ロガーの F 値の差は ± 0.1 以内で推移し、20 分後の誤差も 0.4% 程度に収まっていることから、測定器として十分な実用性があると判断した。

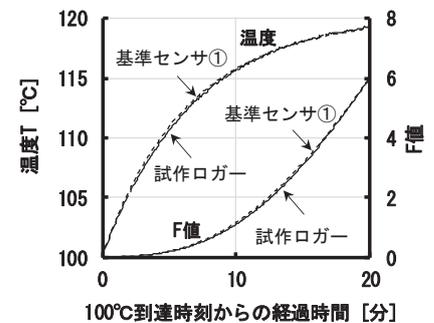


図 6 F 値測定結果

4. おわりに

HACCP による衛生管理下で容器包装詰加圧加熱殺菌食品製造する中小企業にも利用しやすい F 値ロガーを開発し、実用性を確認することができた。その後、本成果は図 7 に示す F 値ロガー『函館三郎』として製品化に成功し、現在は販促活動に取り組みながら、新たなラインナップ品について研究開発を進めている。

謝辞

本研究開発の一部は『雇用開発支援事業費補助金（地域活性化雇用創造プロジェクト：厚生労働省）（令和元年度～令和 3 年度）』により実施した。関係各位に感謝する。また、本研究開発に多大なるご指導を頂いた、函館熱水機器（株）の五十嵐祐樹氏に深く感謝する。



図 7 F 値ロガー『函館三郎』