

# 食品製造業向け温度ロガーの製品開発

村田政隆、清水健志、三上大輔、  
大野翔平\*、西谷彪太\*、田村朝美\*、丹羽巖一\*

## Product Development of Temperature Loggers for the Food Manufacturing Industry

Masataka Murata, Takeshi Shimizu, Daisuke Mikami,  
Shohei Ohno\*, Hyota Nishiya\*, Asami Tamura\*, Gon-ichi Niwa\*

### 要 旨

近年、需要が増加しているレトルト等の常温保存食品では、加熱処理における食品内部の温度や殺菌効力 (F 値) を測定することにより、製品の安全確保が図られている。さらに 2021 年 6 月から HACCP による衛生管理が制度化され、測定の記録・保存も重要性を増している。近年では、温度や F 値の測定や記録の機能を装備しているレトルト殺菌装置が普及し始めているが、既存のレトルト殺菌装置には、機能に乏しいモデルも存在するのが現状である。そこで、レトルト食品の製造をモデルに、温度と F 値の測定・記録が可能な温度ロガーの開発し、高温高压なレトルト環境下において正常に動作することを確認した。測温抵抗体を用いたプロトタイプは、100°C 以上で温度誤差が 0.020°C、F=4.0 で F 値の差が 0.03 を示し、実用性が十分あることを検証した。

#### 1. はじめに

レトルト食品は容器包装等に詰めた食品をレトルト (高压釜) によって高温・高压下で殺菌した加工品のことで、厚生労働省の「容器包装詰加圧加熱殺菌食品の製造基準」<sup>1)</sup>では、製造の際に行う加圧加熱殺菌は、次の二つの条件に適合するように定められている。

『1.原材料等に由来して当該食品中に存在し、かつ、発育し得る微生物を死滅させるのに十分な効力を有する方法であること。』

『2.その pH が 4.6 を超え、かつ、水分活性が 0.94 を超える容器包装詰加圧加熱殺菌食品にあっては、中心部の温度を 120°C で 4 分間加熱する方法

又はこれと同等以上の効力を有する方法であること。』

ゆえに、レトルト食品製造では、加熱温度と時間の測定記録の管理が重要であり、加熱殺菌では微生物の殺菌効力指標として F 値が用いられる。加熱殺菌においては、微生物の 90% が死滅する時間を基準とした温度幅を示す Z 値が指標に用いられ、基準温度 121.1°C、加熱温度 T とした場合、F 値は(1)式で示される<sup>2-5)</sup>。

$$F = \int 10^{(T-121.1)/Z} dt \quad \dots(1)$$

なお、Z 値は微生物の種などに依存する固有の定数であるため、F 値はサンプリングタイム dt と

\*サンテクノ株式会社

責任著者連絡先 (Masataka Murata) : murata@techakodate.or.jp

測定温度 T から算出可能であることがわかる。

そこで、HACCP による衛生管理でレトルト食品を扱う中小企業を対象とし、F 値測定機能を有する食品製造業向け温度ロガーの製品開発を行った。

## 2. 基本仕様策定

本開発では、リアルタイムで温度と F 値を目視確認する活用方法を想定し、図 1 に示す 3 種類のタイプを検討後、仕様策定を行った。

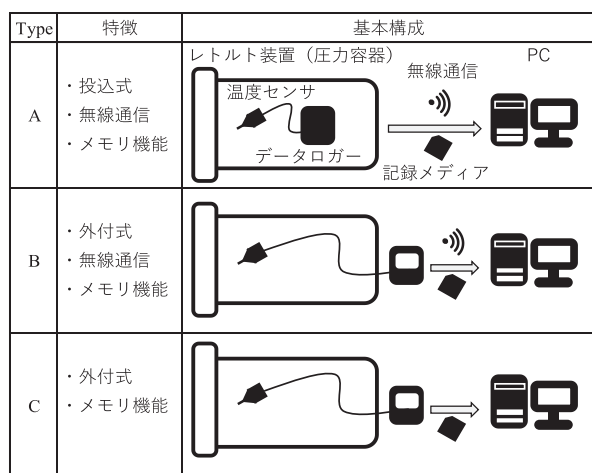


図 1 開発構成

Type A に示す投込式無線通信タイプは、温度ロガー本体を生産稼働中のレトルト装置内に入れるため、装置改造等は不要だが、リアルタイム測定にはパソコン等の端末と通信する Wi-Fi や Bluetooth 等の無線機能が必須となる。一般的に圧力容器内は高温・高圧の水や蒸気で満たされるため、電磁波は圧力容器の材質だけではなく水の吸収や屈折の影響を受けて乱れやすい<sup>6)</sup>。しかし、無線温度ロガーは製品化されており、レトルト加工の最適化を目指した研究<sup>7)</sup>等でも使用されている。高温高圧水中で通信可能な無線温度ロガーは 100 万円～500 万円程と高価なため、中小企業市場の確保には低コスト化が課題となる。そこで、無線仕様を含む温度ロガーの開発環境を確認するため、北海道立技術センターの高温高圧調理殺菌試験機 (RCS-40RTGN) と 2.4GHz 帯の市販無線モジュールを使用して、圧力容器内と外の通信状況を調査した。その結果、圧力容器の材質による減衰や電磁波の環境ノイズの影響が少なく、無線

通信機器の動作確認ができることを確認した。

Type B に示す外付式で無線機能をもつタイプでは、液晶モニタを設置した温度ロガー本体を圧力容器外に設置することで、現場や事務室での迅速な目視確認が可能な仕様とした。最大の課題は圧力容器内の温度センサーケーブルを圧力容器外へ取り出す方法となる。レトルト装置は制御盤と容器内に設置された計測・制御用の温度センサーが専用の取り出し口を通じて有線で接続されていることが多いことから、既存装置に後付けする仕様での実現可能性も十分にあると考えた。

Type C は Type B の無線機能を省き、開発コストを抑え、現場での目視確認を重視している。データ収集は記録メディアを活用することで、早期製品化の実現可能性が最も高い仕様とした。

この 3 種類の開発コンセプトをまとめ、函館地域の食品製造企業や、食品製造機器の設置やメンテナンスを行う企業に製品仕様のヒアリング調査を行った。その結果、F 値測定機能には大いに興味を示したが、無線機能の優位性は認められない印象を受けた。しかし、今後は食品製造業界での IoT 化の進展によるニーズの顕在化を見据え、無線機能を搭載したマイコンモジュールを使用した上で Type C を基本仕様として策定した。

本試作機の外観と主仕様を図 2 に示す。マイコンには ESP32-WROOM-32E を採用し、温度は測温抵抗体の出力を 12bit の ADC(A/D Converter)で測定して、温度と F 値を液晶モニタ表示ならびに SD カードに記録する仕様とした。そして、本ロガーに用いる測温抵抗体の選定と精度について実験的に検証した。



Module	ESP32-WROOM-32E
Power supply	3.0 ~ 3.3V
ADC	4ch ( 12bit )
Sampling Time	5sec (default)
Media	SDCard
RF	Wi-Fi, Bluetooth
Corresponding sensor	RTD(Resistance Temperature Detector)

図 2 試作機の外観と主仕様

### 3. 実験方法

#### 3.1 温度センサの選定

温度センサには熱電対、測温抵抗体、サースタ測温体等の様々な種類がある<sup>8,9)</sup>が、F値は温度測定値の累積誤差の影響を大きく受けることから、温度センサには高い測定精度が求められる。また、レトルトでは包装容器内の食品の中心温度を測定する必要があるため、温度センサには包装容器に挿入しやすい剛性も重要である。そこで、許容差<sup>10-12)</sup>、形状、入手性等を考慮し、温度センサには測温抵抗体を用いた。そして、表1に示す3種類の測温抵抗体から最適な温度センサを選定するため、表2に示すメーカー校正済の投込式温度ロガー「PicoVACQ」(基準センサ①)と各センサを高圧調理殺菌試験機の圧力容器内に固定し、高圧下での温度変化を測定する比較検証を行った。実験Ⅰとして製造メーカー差の検証を、実験ⅡとしてADCとの組み合わせ検証を行い、これらの実験条件を表3に示す。

表1 温度センサ仕様




センサ	A (A社)	B (B社)	C (C社)
種類	Pt100(A)級	Pt100(A)級	Pt100(A)級
140℃までの測定	○	○	○
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			

表2 基準センサ①「PicoVACQ」仕様

PicoVACQ 1Tc (Maker: TMI-ORION)	
温度範囲	-50 ~ +150℃
先端径	φ3.0 mm
校正後誤差	±0.12℃ (59.94~133.79℃)




表3 実験条件

実験Ⅰ (定常温度: 100,110,120℃)			
ADC	1ch	2ch	3ch
センサ	A	B	C
実験Ⅱ (定常温度: 110℃)			
ADC	1ch	2ch	3ch
センサ (1回目)	A	B	C
センサ (2回目)	C	A	B
センサ (3回目)	B	C	A

#### 3.2 F値検証

F値検証には、函館地域の特産品のひとつであ

り、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、実験Ⅲとして実施した。基準センサと選定センサの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℃に設定して、レトルト処理中の温度とF値を求めて比較検証し、センサを選定した。

#### 3.3 測温抵抗体の個体差検証

選定したセンサを3本用意して東ね、オープン乾燥機(EYELA,NDO-600ND)内に固定し、設定温度を70℃、85℃、100℃、125℃および140℃の5基準に設定して、サンプリングタイム1秒による温度測定を行った。なお、本機は恒温槽ではないため、温度制御精度は低く、天井に設置された温度センサにより底部に設置された熱源のヒータを制御する自然対流式の乾燥機である。ゆえに、温度分布は一樣とはならず、空間温度偏差は100℃において±5℃、200℃では±10℃となっている。本実験は実験Ⅳとして、オープンの表示値が設定温度に到達後から約10分間の温度を測定し、比較検証を行った。

#### 3.4 校正

実験Ⅴとして選定センサ3本、基準センサおよび蒸留水を用いて氷点0℃と沸点99.974℃での定点法により、次式により各センサの基準点比例校正式Mをそれぞれ求めた<sup>13,14)</sup>。

$$\beta = \frac{(y_{100} - y_0)(M_{100} - M_0)}{(M_{100} - M_0)^2} \dots (2)$$

$$M = M_0 + \frac{y - y_0}{\beta} \dots (3)$$

ただし、基準センサの0℃の平均値をM<sub>0</sub>、100℃の平均値をM<sub>100</sub>、各温度センサの0℃の平均値をy<sub>0</sub>、100℃の平均値をy<sub>100</sub>、センサごとの感度係数をβ、そして各センサの測定値をyとしている。本実験の基準センサには、表4に示すメーカー校正済の投込式高精度ワイヤレス温度ロガー「TrackSense Pro」(基準センサ②)を用いた。本実験では基準センサの測定値をリアルモニタリングしながら安定状態を確認した後、サンプリン

グタイム 1 秒で 1 分間の測定を行った。また、沸騰水に注水しながら人為的に中間温度を作り、導出した基準点比例校正式による校正値について検証した。

表 4 基準センサ②「TrackSense Pro」仕様

TrackSense Pro (Maker : Ellab)	
温度範囲	-50 ~ +150°C
先端径	φ 3.0 mm
校正後誤差	±0.05°C (-0.12~139.81°C)



#### 4. 実験結果と考察

##### 4.1 実験 I : メーカーの異なる温度センサの検証

経過時間に対する温度変化の測定結果を図 3 に示す。有効データを用いて、自由度 558、有意水準 0.05 による F 検定を行った結果、各センサの P 値 (有意確率) は、 $P_A=0.4859$ 、 $P_B=0.4776$ 、 $P_C=0.4640$  ( $>0.05$ ) となり、いずれも分散が等しく、追従性を概ね認めた。次に、図 4 に温度が急上昇した 10.7

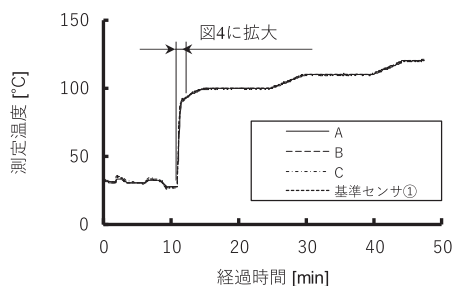


図 3 経過時間に対する温度変化

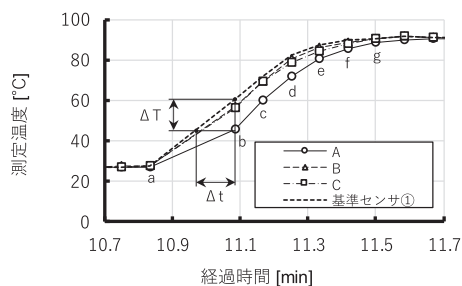


図 4 温度急上昇区間の測定結果

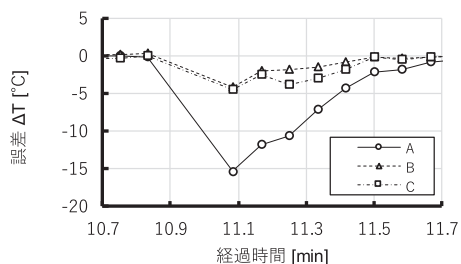


図 5 各センサの誤差

表 5 温度急上昇区間における  $\Delta T$  および  $\Delta t$

(a~g は図 4 に対応)

	基準センサ①との温度差 $\Delta T [^{\circ}C]$			基準センサ①に対する遅れ $\Delta t [sec]$		
	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

分から 11.7 分までの 1 分間の区間の拡大図を示し、この区間における各センサの測定値と基準センサ①の測定値の差を誤差  $\Delta T$ 、時間差を  $\Delta t$  としてまとめた結果を図 5 および表 5 に示す。

白金測温抵抗体 A クラスの温度許容差は 100°C 時では  $\pm 0.35^{\circ}C$  となっており、表 5 の g においてセンサ B、C と基準センサ①との温度差が、JIS 許容値内での収まりを示しているため、見かけの温度差は温度精度よりも、時定数が支配的といえる。次に、サンプリング時間に対する温度変化率を表 6 に示す。

表 6 温度急上昇区間における各センサの温度変化速度 [ $^{\circ}C/min$ ] (a~g は図 4 に対応)

	A	B	C	基準センサ①
a-b	73.0	115.8	116.0	133.9
b-c	171.3	155.5	153.9	129.5
c-d	145.0	133.8	114.3	131.0
a-d	107.1	127.3	123.2	132.4

基準センサ①の温度変化速度は、ほぼ 130°C/min と一定であるのに対し、各センサの温度変化速度ではバラツキを生じ特にセンサ A が顕著である。この理由は  $\phi 4.0mm$  のセンサ A の熱容量の大きさが、時間遅れとして現れたと考える。

次に、100°C、110°C および 120°C の定常状態における各センサの平均値を求めた結果を表 7 に示す。ただし、100°C と 110°C では、定常状態中の 5 分間の測定値を用いたが、120°C については測定

表 7 95%信頼区間の平均値

	A	B	C	基準センサ①
100°C	99.55 ± 0.32	100.15 ± 0.22	100.15 ± 0.18	99.91 ± 0.24
110°C	109.71 ± 0.27	110.38 ± 0.24	110.29 ± 0.20	110.08 ± 0.21
120°C	119.93 ± 0.26	120.56 ± 0.22	120.44 ± 0.20	120.26 ± 0.16

時間が短かったことから2分間の測定値を用いた。この結果からセンサ A は他に比べ測定温度が低く、測定値のバラツキも大きいことがわかった。

#### 4.2 実験Ⅱ：ADC と温度センサの組合せ検証

設定温度 110°Cの定常状態で温度を測定し、測定値と基準センサ①との差をまとめ、図6に示す。圧力容器内に温度分布が生じている可能性を考慮すると、センサと接続チャンネルの ADC(A/Dコンバータ)の組み合わせによる誤差の影響は少なく、センサ A の測定値が他に比べ低い傾向であることを確認した。

以上の結果から、精度と応答速度からセンサ A は温度ロガー用から除外した。センサ B および C の精度はほぼ同等と認めたが、包装容器への挿入する作業性等を考慮した結果、温度ロガー用センサには、針先形状のセンサ C を選定した。

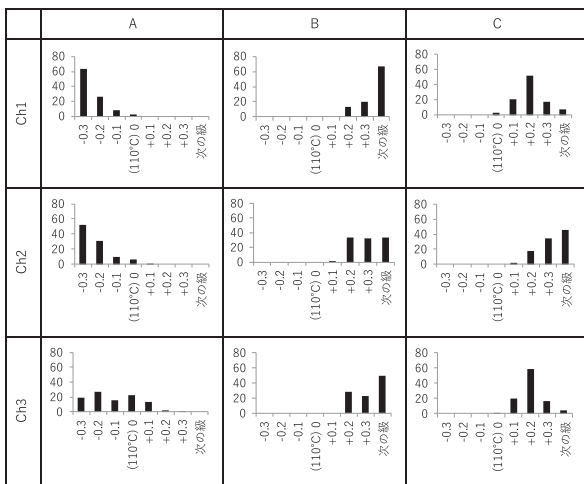


図6 温度設定に対する測定値のバラツキ

#### 4.3 実験Ⅲ：F 値検証

図7に示すように3chに接続したセンサ C と基準センサを「イカめし」の中心付近に固定し、レトルト加工中の温度測定した結果を図8に示す。

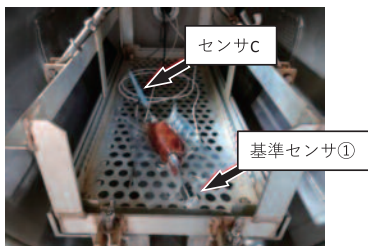


図7 センサ固定状況

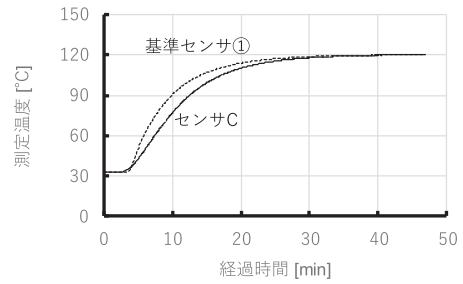


図8 イカめし測定温度

この結果からセンサ C の測定値は、時間遅れを生じている傾向を認めたが、温度が 60°Cから 90°Cに変化したときの温度変化速度は約 5.9°C/min と実験 I に比べると十分に遅い。よって、本傾向は時定数の影響ではなく中心温度として固定した位置ズレの影響と推測する。次に、Z=10 を用い、それぞれの測定温度が 100°Cに到達した時刻を計算開始時刻 0 分として F 値をまとめた結果を図9に示す。

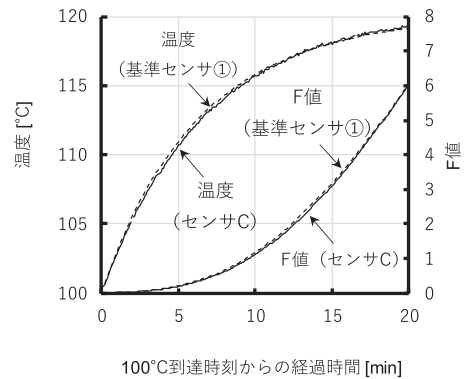


図9 100°C到達時刻からの温度と F 値の変化

基準センサ①とセンサ C の温度変化は、100°C到達以降ほぼ同様に変化しているため、F 値の変化もほぼ同様の結果となった。そこで、F 値の差をまとめた結果を図10に示す。グラフに示す20分間での差は±0.1°C以内に収まっており、実用的だと判断する。

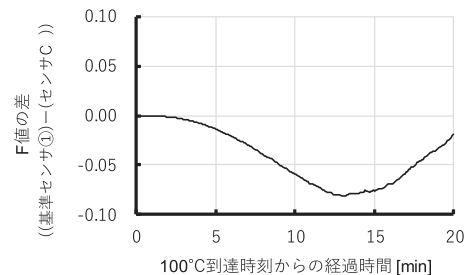


図10 F 値の差

4.4 実験Ⅳ：測温抵抗体の個体差検証

オープン中央にセンサ C を 3 本固定し、加温しながら条件温度にて実験を行った。センサの状況を図 11 に、全測定波形を図 12 に示す。

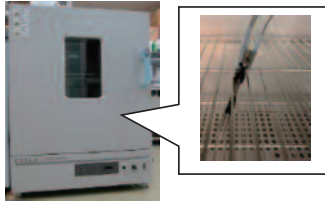


図 11 オープン乾燥機およびセンサ固定状況

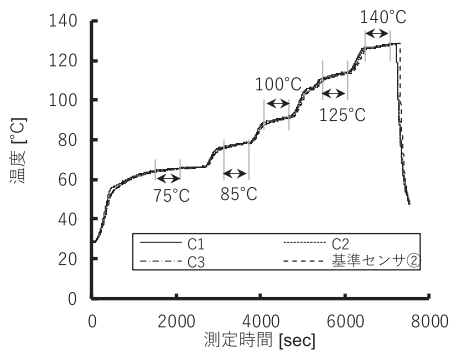


図 12 オープン乾燥機による試験結果

実験の結果、オープン恒温槽ではないため、設定温度と庫内温度には差を生じ、定温制御時でも庫内温度が徐々に上昇していることを認めた。特に 140°C では、設定温度到達後のゆらぎが激しかったため、本検証では 10 分間の測定データのうち、比較的安定していた後半 5 分間のデータを用いた。一例として 75°C と 140°C の測定結果を図 13 に示す。温度変化速度は、75°C 帯においては約 0.1°C/min、140°C 帯では約 0.3°C/min であった。

個体差の検証は、まず各温度帯におけるそれぞれのセンサの近似直線を求め、測定値  $d$  と近似直線から与えられる計算値  $d'$  との残差と測定値の個数  $n$  を用い、次式から標準偏差  $\sigma$  を求めた<sup>15)</sup>。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(d - d')^2}{n - 2}} \dots (4)$$

次に、残差が正規分布に従うものとして、各温度帯における残差が、全体の 99% に含まれる範囲を  $\pm 3\sigma$  としてまとめた結果を表 8 に示す。

140°C 帯以外の残差は全て  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  内に収まっていることから、本センサは残差としてはバラツキ

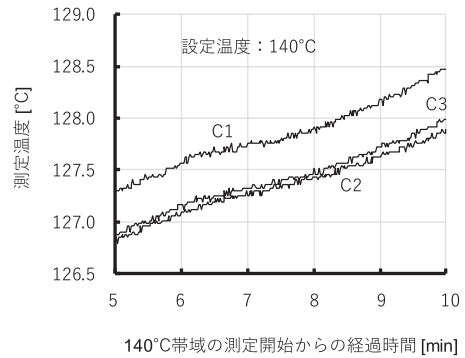
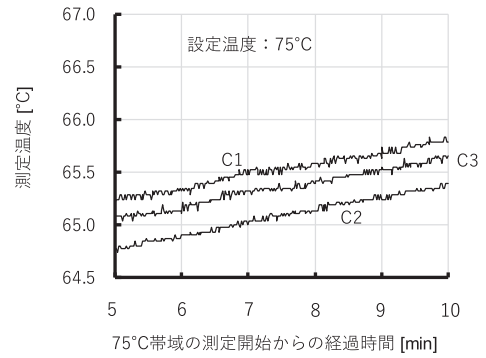


図 13 75°C 帯と 140°C 帯の測定結果

が少ないと判断した。なお、140°C のゆらぎについては、オープン内の最高温と最低温の差が大きくなったことにより自然対流の影響が強くなった可能性もある<sup>16-18)</sup>。本検証では 140°C 帯のデータを除いた各温度帯の平均値を用い、C1 に対する C2 および C3 との差をまとめて図 14 に示す。この結果から、近似直線式の決定係数  $R^2$  が高く、比例校正は有効であると判断した。

表 8 全体の 99% が含まれる残差範囲

設定温度	C1	C2	C3
75°C	$\pm 0.079$	$\pm 0.056$	$\pm 0.072$
85°C	$\pm 0.075$	$\pm 0.069$	$\pm 0.070$
100°C	$\pm 0.096$	$\pm 0.079$	$\pm 0.078$
125°C	$\pm 0.081$	$\pm 0.093$	$\pm 0.087$
140°C	$\pm 0.141$	$\pm 0.085$	$\pm 0.107$

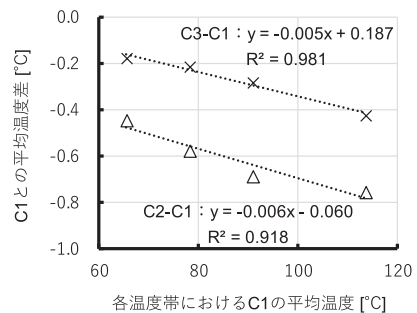


図 14 C1 に対する C2 と C3 の平均値差

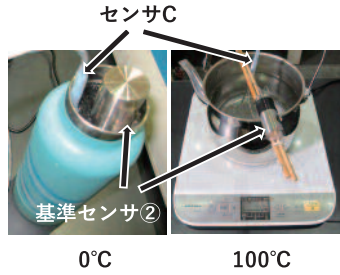


図 15 校正実験

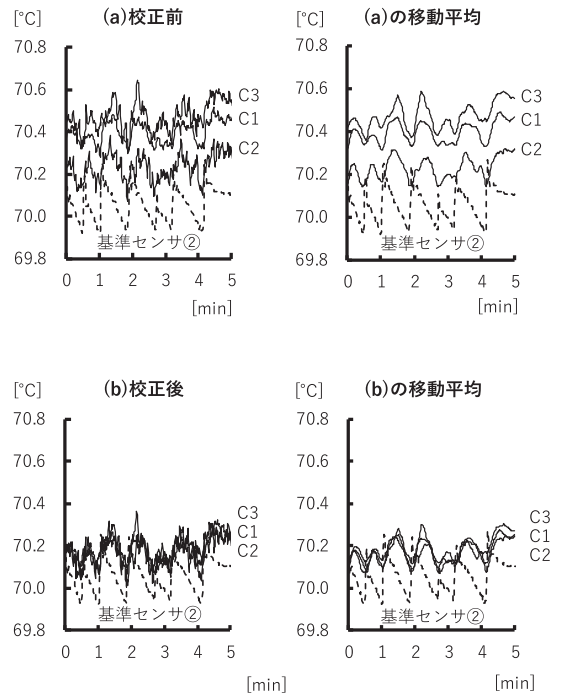
表 9 定点測定結果

単位：°C

蒸留水の氷点 (0°C)				
	基準センサ②	ch1	ch2	ch3
平均温度 $T_0$	0.011	0.212	0.096	0.279
標準偏差 $\sigma$	0.002	0.006	0.004	0.005
精度 $\pm 3\sigma$	$\pm 0.007$	$\pm 0.019$	$\pm 0.012$	$\pm 0.014$
蒸留水の沸点 (99.974°C)				
	基準センサ②	ch1	ch2	ch3
平均温度 $T_0$	100.020	100.241	100.083	100.312
標準偏差 $\sigma$	0.107	0.115	0.131	0.067
精度 $\pm 3\sigma$	$\pm 0.322$	$\pm 0.346$	$\pm 0.393$	$\pm 0.200$

#### 4.5 実験V：校正

蒸留水を用いた定点測定の様子を図 15 に、測定結果を表 9 に示す。標準偏差が氷点よりも沸点の方が高い傾向が認められるが、沸点では気泡の挙動の影響を受けたためと考える。次に、氷点と沸点の中間温度として 70°C の温水で実験を行った。ただし、水温は基準センサ②の出力を確認しながら、加熱中の温水に注水して一定温度を維持し、検証では温度が安定した 5 分間の測定値を用いた。また、測定値の平滑化を図るため、10 秒間の移動平均処理も行った。校正前の測定値および移動平均値、校正後の測定値および移動平均値をまとめた結果を図 16 に示す。校正前の測定値から求めた平均温度は基準センサ②より 0.173～0.416°C ほど高い結果となった。移動平均処理前後の温度波形は平滑化され標準偏差は小さくなった、平均温度は変わらなかった。校正後の移動平均処理は校正前と同様の結果だったが、測定温度の平均値は基準センサ②の平均値に対して 0.14°C 以内におさまった。测温抵抗体の許容差クラス A が  $\pm (0.15^\circ\text{C} + 0.002 |t|)$  であることから、本校正の有効性を認めた。なお、校正後の測定値と基準センサ②の測定値の差については、センサの固



基準センサ②： 平均温度 70.058°C、標準偏差 0.077

	校正前					
	測定値			移動平均処理値		
	平均温度	基準との差	標準偏差	平均温度	基準との差	標準偏差
C1	70.397	0.339	0.052	70.394	0.339	0.047
C2	70.232	0.173	0.062	70.229	0.173	0.051
C3	70.474	0.416	0.070	70.472	0.416	0.060
	校正後					
	測定値			移動平均処理値		
	平均温度	基準との差	標準偏差	平均温度	基準との差	標準偏差
C1	70.181	0.123	0.052	70.179	0.121	0.047
C2	70.161	0.103	0.062	70.159	0.101	0.051
C3	70.189	0.131	0.070	70.187	0.129	0.060

図 16 70°Cにおける平均温度の測定結果

定方法が原因のひとつであると考えられ、今後の検証が必要である。

#### 5. プロトタイプモデル

これまでの成果をもとに、ハードウェアやファームウェアの改善を図り、図 17 に示すプロトタイプモデルを完成させた。そして、水を充填した包装容器と基準センサ②による確認実験を行い、温度と F 値の時間変化を図 18 に、100°C 以上のデータをまとめた結果を表 10 に、温度と F 値を基準センサの最大値から正規化して求めた近似直線式を図 19 に示す。

図 18 から基準センサ②とプロトタイプモデル



図 17 プロトタイプモデル

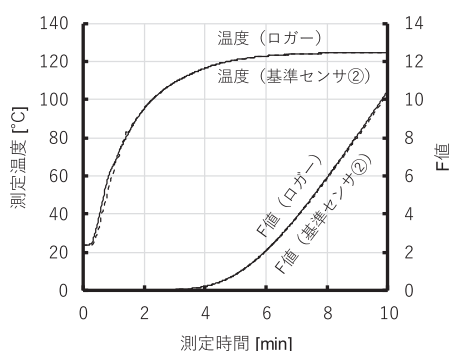
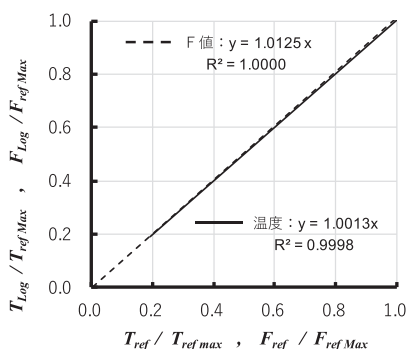


図 18 プロトタイプモデル比較検証試験結果

表 10 校正後における 100°C以上の測定結果

	温度	F 値
データ個数	462(>100°C)	442
誤差平均	0.020	0.043
標準偏差	0.097	0.042



記号 T: 温度 F: F 値  
添字 ref: 基準センサ Log: ロガー Max: 最大値

図 19 基準センサ②に対する温度ロガーの測定値

の測定結果はよく一致しており、表 10 に示すように特に F 値の演算を開始する 100°C到達後の温度の誤差平均は 0.020、標準偏差は 0.097 と安定していることがわかる。また、100°C到達時間差は 1

秒、この時の温度差は 0.09°Cであり、F 値では F=4.0 到達時間差が 1 秒、差は 0.03 と僅かであった。そして、図 19 に示すように直線近似は決定係数  $R^2 > 0.999$  の比例式で表現できること、現場での F 値管理は分単位となっていること等を考慮し、プロトタイプには実用性を備えていることを認めた。

## 6. おわりに

本研究開発では、PoC(Proof of Concept: 概念実証)により、食品製造業に向けた HACCP 対応型の温度ロガーの開発に取り組み、高温高压なレトルト環境での正常動作を確認した。当然ながら、タンパク質の変性を抑制し風味を豊かにする等の低温殺菌にも利用できるため、プロトモデルの実用性は極めて高い。現在、製品化を図る最終工程として、地域の食品製造業社において稼働中の生産設備での試験運用を行うまでに至っている。今後は、校正機器や方法の標準化、レトルトの温度分を考慮したセンサの位置決め技術等<sup>19,20)</sup>を検討しつつ、試験運用の進捗状況を鑑みながら、早期製品化および市場投入を図る計画である。

## 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)における「先端技術導入等による地域企業生産性向上事業」(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。

レトルト装置の構造や機能および温度ロガーの仕様等について、多くのご指導ならびにご助言を頂いた函館熱水機器管理株式会社取締役常務の五十嵐祐樹氏に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1)厚生労働省ホームページ、容器包装詰加圧加熱殺菌食品 (<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11130500-Shokuhinzenbu/0000094504.pdf>)
- 2)例えば、日本食品工学会編者:食品工学ハンドブック(朝倉書店)、(2006)、pp.390-393
- 3)松村:理工学と技術(関西大学理工学会)、Vol.25、(2018)、pp.29-34



- 4) Michael G. Kontominas, Anastasia V. Badeka, Ioanna S. Kosma and Cosmas I. Nathanailides: *Foods*, 10, 940 (2021)
- 5) Juntae Kim, Dicky Tri Utama, Hae Seong Jeong, Farouq Heidar Barido and Sung Ki Lee: *J Anim Sci Technol*, 62,(5)(2020),pp.713-729
- 6) J.D. ジャクソン、西田訳: JACSON 電磁気学(上) 原書(吉岡書店)、(2002)、pp.436-439
- 7) Didik J. Pursito, Eko H. Purnomo, Dedi Fardiaz, Purwiyatno Hariyadi: *International Journal of Food Science*, vol.2020(2020), Article ID 6097343, <https://doi.org/10.1155/2020/6097343>
- 8) JIS Z8710:1993、温度測定法通則
- 9) 小針、中沢、角谷: *電気製鋼*、71 卷 3 号(2000)、pp.227-236
- 10) JIS C1602:2015、熱電対
- 11) JIS C1604:2013、測温抵抗体
- 12) JIS C1611:1995、サーミスタ測温体
- 13) JIS Z9090:1991、測定一校正方式通則
- 14) 岡田: *生物と気象(Clim.Bios.)*、10(2010)、A-3
- 15) 応用統計ハンドブック編集委員会編: *応用統計ハンドブック* (養賢堂) (1978)、pp.96-98
- 16) 半沢、伊藤、只木: *化学工学論文集*、第 1 巻、第 5 号 (1975)、pp.450-453
- 17) 鶴崎、宮部: *日本機械学会論文集(B 編)*、51 巻、469 号 (1985)、pp.2931-2939
- 18) 中村、五十嵐、筒井: *日本機械学会論文集 (B 編)*、67 巻、654 号 (2001)、pp.487-192
- 19) Evalds Raits, Lasma Pinte, Asnate Kirse-Ozolina, Sandra Muizniece-Brasava : *RURAL SUSTAINABILITY RESEARCH* ,46,(341) (2021)
- 20) 稲葉: *東洋食品研究所研究報告書*、33 (2020)、pp.79-84