

煮干しイワシの油焼け防止—Ⅸ 遠赤外線乾燥

田 辺 伸

はじめに

遠赤外線は5前後から1000 μ mの波長領域をもつ電磁波で、いわゆる熱線である。これは直接被照射物に作用し、エネルギー効率が非常に高いため、既に自動車塗装の乾燥等種々の工業部門で応用されている¹⁾。また暖房器具、医療部門²⁾にも応用例が多い。さらに食品部門でもその熱効率が高くエネルギーコストが低いこと、およびこの波長領域では、食品を構成する分子の破壊がほとんどないことから³⁾、農産物等の加熱・乾燥に応用されはじめている⁴⁻⁷⁾。

水産部門での応用例は少ないが、焼海苔の焼成、かまぼこの坐り・焼上げ、削り節製造における焼軟および乾燥などに応用されている⁸⁾。

一方煮干しイワシの油焼け防止には、脂質の酸化防止が大きな決め手になる⁹⁾。このため化学的方法として、種々の酸化防止剤が研究されてきた¹⁰⁻¹²⁾。しかしこ

の使用は、BHAに代表されるように消費者から敬遠される傾向が強い。

そこで製造中の酸化を物理的に防止するため、乾燥方法に着目した。本報告では、まず遠赤外線乾燥（遠赤）を取り上げ、これを熱源とした乾燥が、従来の温風乾燥（温風）と比較して、品質面等にどのような影響を与えるかを試験した。その結果若干の知見が得られたのでここに報告する。

材料と方法

乾燥試験は、図1に示す遠赤外線および温風乾燥装置を作製して行った。遠赤外線の照射源は、ノリタケカンパニー製PLH-610型のセラミックパネルヒーターを用いた。その特性は負荷電力と放射エネルギーが直線的な関係にあり（図2）、パネル面の放射エネルギー分布もほぼ同様であった（図3）。また波長別放射率は16 μ mまでほぼ一定していた（図4）。温風の電熱

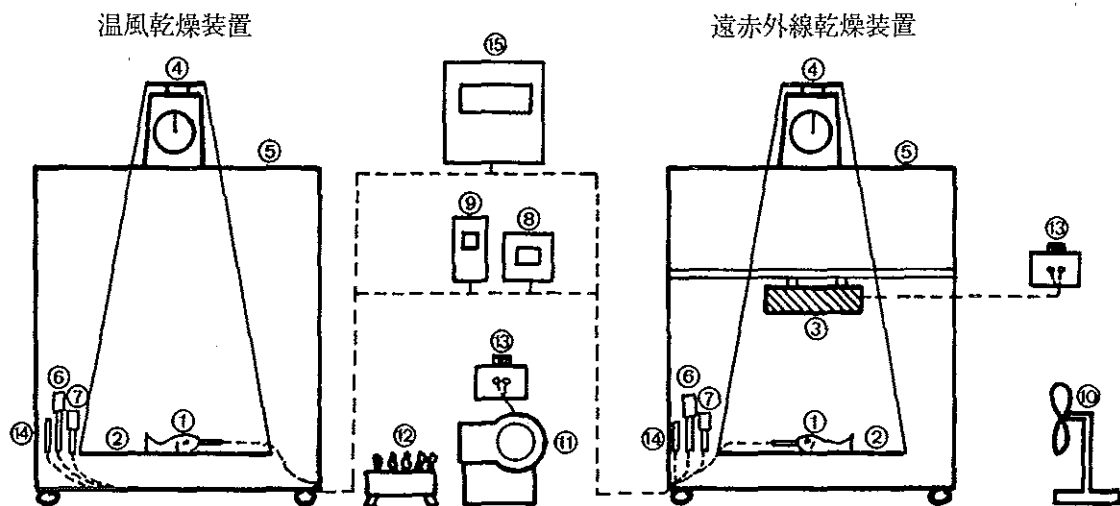


図1 温風乾燥および遠赤外線乾燥装置概要図

- ①煮干しイワシ魚体（熱電対を目から中心部へ差し込んだ）
- ②乾燥台
- ③遠赤外線パネルヒーター
- ④上皿秤（ピアノ線で乾燥台と接続）
- ⑤乾燥台車（4面をプラスチックフィルムで覆い、ファンからの風が通り抜けるようにした）
- ⑥風速センサー
- ⑦湿度センサー
- ⑧風速計
- ⑨湿度計
- ⑩扇風機
- ⑪電熱器付きプロアー
- ⑫LPGガスコンロ
- ⑬スライダック
- ⑭温度センサー
- ⑮温度記録計

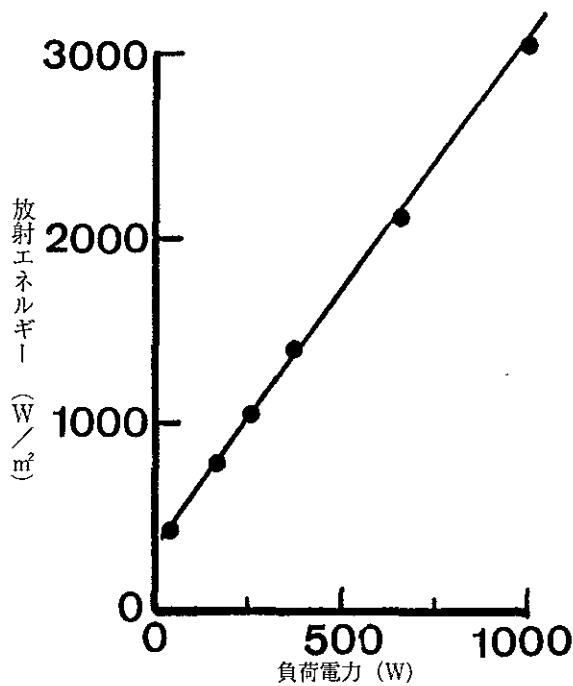


図2 パネルヒーター表面中心部における負荷電力と7~20 μm の遠赤外線放射エネルギー(W/m^2)
 オプテックス(株)製遠赤外線パワーメーターER-1の計測値

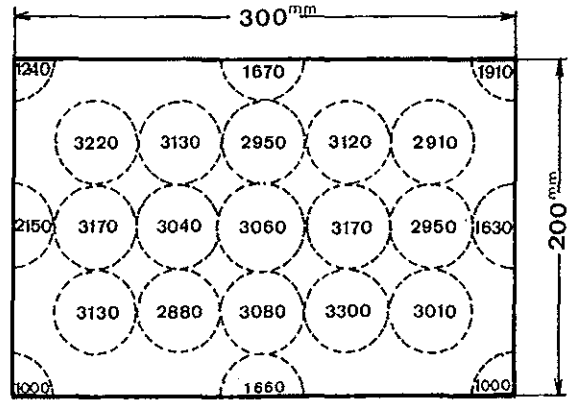


図3 遠赤外線パネルヒーターの7~20 μm 域の放射エネルギー分布(W/m^2)

* 1 Kw負荷時, オプテックス(株)製遠赤外線パワーメーターER-1での計測値

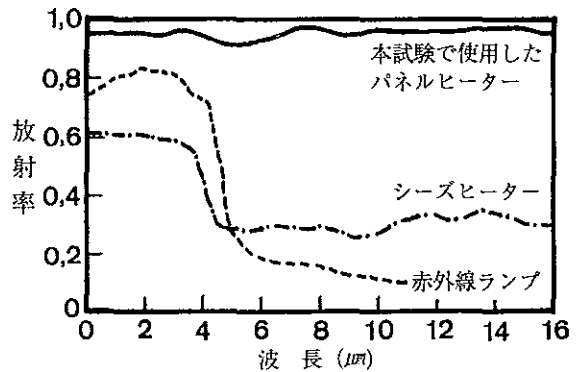


図4 遠赤外線パネルヒーターの波長別放射率

器付ブローアは、竹鋼製作所製熱風発生送風機を用いた。

魚体中心部温度および各種気温は茅野製作所製熱電対式自動温度記録計、魚体表面温度はWAHL INSTRUMENTS社製赤外温度計Heat Spyで、各種湿度は、神栄株式会社製湿度計TRH-CZで、また風速は創合電子株式会社製V-01-A型風速計でそれぞれモニタリングした。

原料魚は、1986年6月28日館山港生け簀から水揚げされた平均体長9.3cm、平均体重7.8g、平均粗脂肪量2.4%のカタクチイワシを用いた。これを3%の食塩水中で80℃-7分間煮熟した。

乾燥温度は、その魚体中心部温度が冷風乾燥に相当

する温度帯から、温風乾燥に該当する温度帯までの3段階を設定した。そしてそれぞれの温度帯ごとに遠赤と温風を並行して試験した(表1)。温度調整は、遠赤ではそれぞれ電力を550、825および1005Wにすることによって行った。一方温風は、遠赤における魚体中心部温度と温風における魚体中心部温度がほぼ同一となるよう、電熱器付ブローアおよびガスコンロの炎を調節した。なお遠赤外線パネルヒーターから被乾物までの距離は、予備試験の結果から19cmに設定した。また風速は、両乾燥方法とも1.5m/sec.になるよう調整した。

乾燥中は、適宜上皿秤(精度 $\pm 0.1\text{g}$)で重量変化

表1 試験区分

試験番号	試験1	試験2	試験3
乾燥温度 (魚体中心部温度)	17~22℃	19~25℃	27~34℃

を追跡するとともに、魚体の表裏の入替えと場所の移動を行った。乾燥の終了は、水分量15%程度とし、予め求めた重量減少率と水分量の関係から、重量減少率が29%となったところを目安として判断した。この結

果から乾燥終了に至るまでに要する時間を、乾燥効率（速度）とした。

乾燥後の試料は温風および遠赤それぞれを2つに分け、一方をガスバリアーフィルムに窒素ガスおよび脱

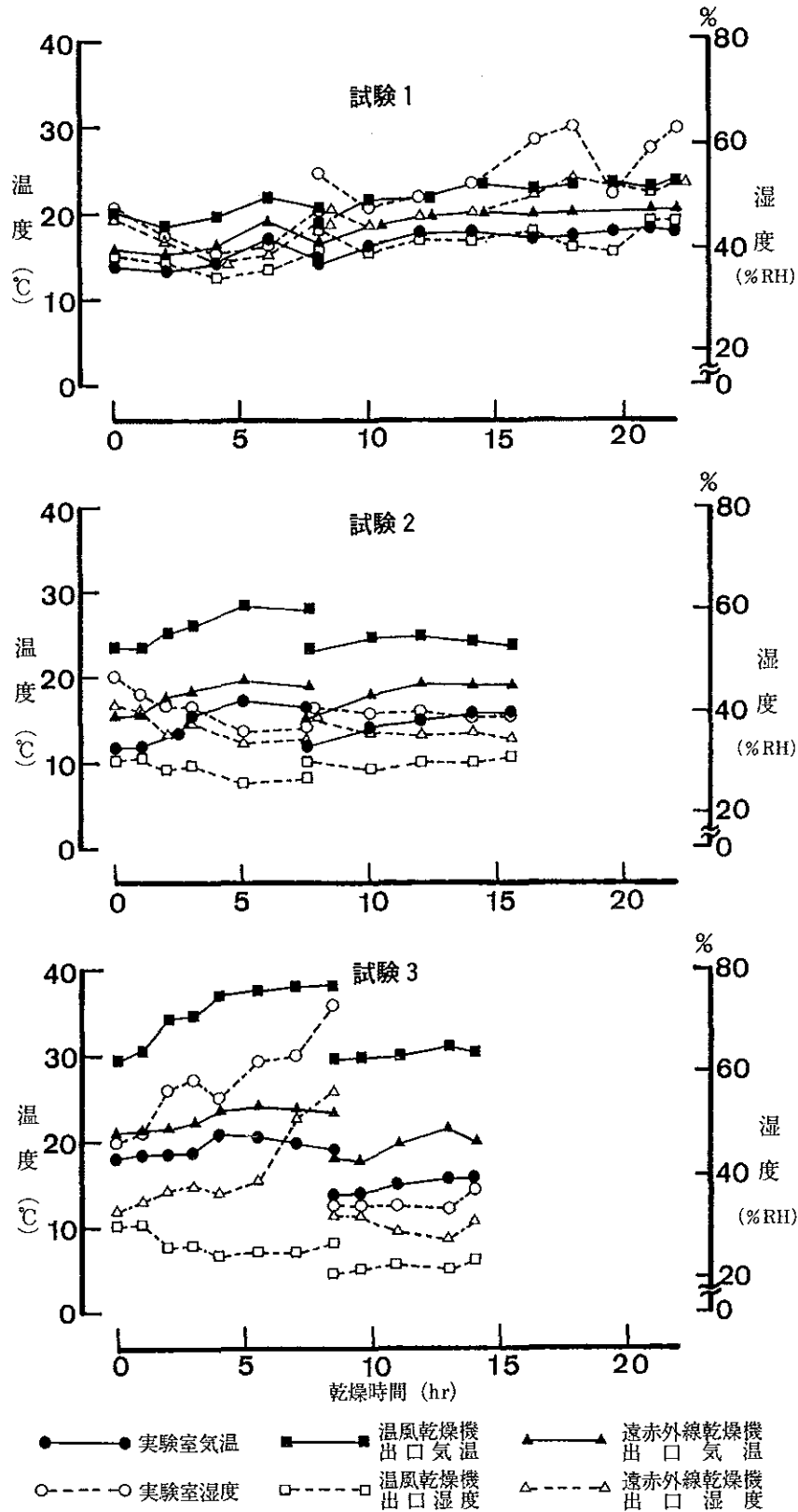


図5 環境温・湿度の推移

酸素剤を封入密封し、30℃に保管して油焼けの程度を官能で判定した。また残りの試料は脂質の酸化度を調べるため、POV、高度不飽和脂肪酸残存率およびトコフェロール測定用に供するとともに、遠赤外線

殺菌効果を調べるため生菌数測定用に供した。

POV、高度不飽和脂肪酸残存率およびトコフェロールの測定は、前報¹³⁾と同様に行い、生菌数の測定は食品衛生検査指針¹⁴⁾に基づいた。

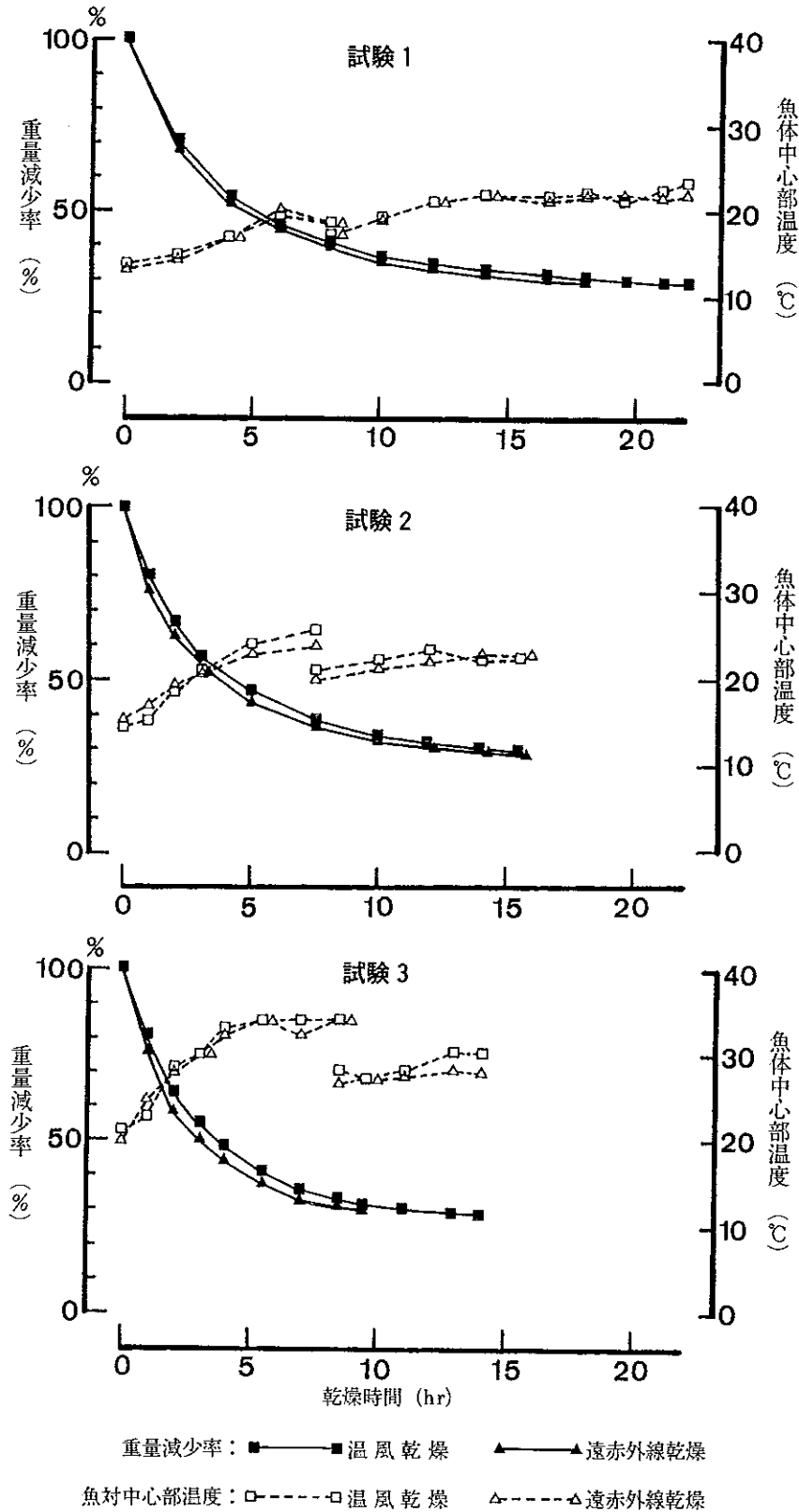


図6 重量減少率および魚体中心部温度の推移

結 果

試験1における乾燥装置出口気温は、温風が遠赤より最大で4.2℃、最小で2.3℃、平均で3.2℃高かった。一方相対湿度は、温風が遠赤より最大で12.8%、最小で2.4%、平均5.6%低かった(図5, 試験1)。

試験2における乾燥装置出口気温は、温風が遠赤よりも最大で8.8℃、最小で4.6℃、平均で7.1℃高かった。一方相対湿度は、温風が遠赤より最大で11.8%、最小で3.1%、平均で7.3%低かった(図5, 試験2)。

試験3における乾燥装置出口気温は、温風が遠赤よりも最大で14.7℃、最小で8.4℃、平均で11.7℃高かった。一方相対湿度は、温風が遠赤より最大で21.9%、最小で5.6%、平均16.2%低かった(図5, 試験3)。

試験1における乾燥中の魚体中心部温度は、両乾燥方法で最大0.9℃の差があった。乾燥が終了するまでの時間は温風が22時間、遠赤が18時間で、両者の間に4時間の差があった(図6, 試験1)。

試験2における乾燥中の魚体中心部温度は、両乾燥

方法で最大2.0℃の差があった。乾燥が終了するまでの時間は温風が15.5時間、遠赤が14.5時間で、両者の間に1時間の差があった(図6, 試験2)。

試験3における乾燥中の魚体中心部温度は、両乾燥方法で最大2.0℃の差があった。乾燥が終了するまでの時間は温風が13.5時間、遠赤が9.5時間で、両者の間に4時間の差があった(図6, 試験3)。

試験1~3の乾燥装置出口気温および相対湿度の経過から、いずれの試験でも温風の乾燥条件は、遠赤に比べ有利である。しかし乾燥が終了するまでの時間は、全ての試験で遠赤のほうが短く、乾燥効率(乾燥速度)が高い。さらにこの効率は乾燥終了に近い時期に顕著である。

なお試験2で両乾燥方法の乾燥終了までの時間差が1時間と短かったのは、他の2試験に比べ、その実験室湿度が乾燥期間を通して非常に低かったことおよび温風の魚体中心部温度が遠赤のそれと比較してやや高く推移し、温風に適していたためと考えられる。

乾燥終了時の煮干しのPOVは、試験1および3で

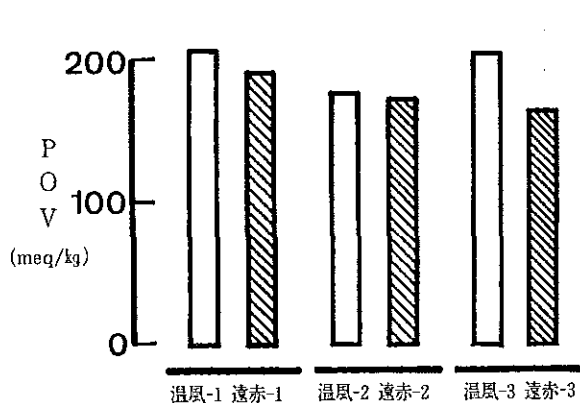


図7 温度別, 乾燥方法別 POV

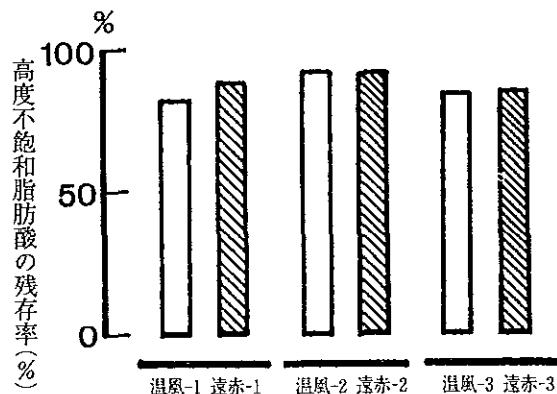


図8 温度別, 乾燥方法別高度不飽和脂肪酸の残存率

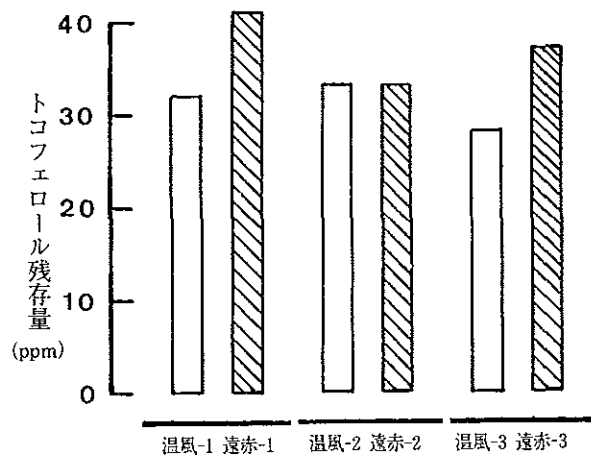


図9 温度別, 乾燥方法別トコフェロール残存量

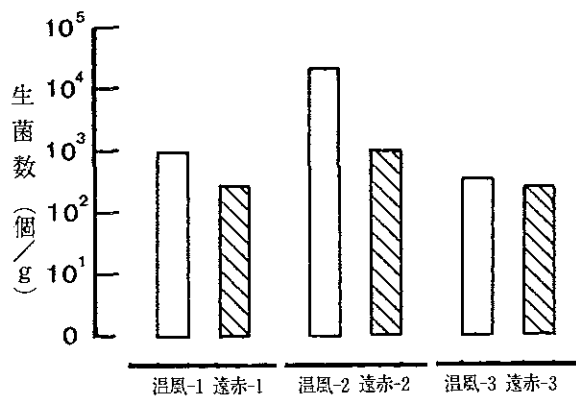


図10 温度別, 乾燥方法別生菌数

遠赤は温風に比べて低かった。しかし試験2では、わずかな差があるのみであった(図7)。

ついで高度不飽和脂肪酸残存率は、試験1および3で、遠赤が温風に比べてわずかに高い傾向が見られた。しかし試験2は両者とも同じ値であった。3つの試験を通して高度不飽和脂肪酸残存率には、両乾燥法に差が認められる程では無かった(図8)。

トコフェロールの残存量は試験1および3で、遠赤に若干高い傾向が認められた。しかし試験2では差が無かった(図9)。

これらの結果から、遠赤は脂質の酸化防止に若干の効果が認められる。そしてこの原因の一つは、遠赤外線そのものが食品の構成分子に悪影響を与えないことが考えられる。さらに遠赤および温風における乾燥時間の差が大きい試験区において、脂質の酸化状態に差が認められたことから、遠赤は乾燥時間が短縮できるため、その分だけ酸化を抑制する、いわば副次的な効果が現れたことによると考えられる。

一方官能評価は、温風と遠赤にほとんど差は認められなかった(表2)。

脂質酸化と油焼けには密接な関係があるものの、温風と遠赤の脂質酸化の状態には、若干の差が認められるだけである。したがって官能的な差が現れず、さらに試験に用いた原料魚の粗脂肪量が2.4%(熱ベンゼン抽出)と低かったため、目に見える効果が現れなかったものと考えられる。これらのことから少なくとも、遠赤外線は官能評価に悪い影響を与えるものではないと言える。

生菌数は、試験1および2において遠赤が少なかった。しかし試験3はほとんど差が認められなかった(図10)。

遠赤外線には、*S. aureus*に対する殺菌効果があるとす¹⁵⁾る報文がある。しかしこの波長領域では食品を構成する分子の破壊がほとんど無い³⁾。また遠赤外線の殺菌力は過熱によること¹⁶⁾から遠赤外線の生菌数抑制効果は、熱エネルギーによると考えられる。

さらに遠赤外線は多少の浸透力があるが、その短い波長領域では、ほとんど表面下100~200 μ m程度までしか達しないとされている^{17), 18)}。照射距離20cm, 1000W負荷、両面から照射の予備試験では、表面温度のほうが魚体中心部より常に高い結果が得られた(図11)。遠赤外線は表面に集中的に照射されるが、実際には、水分の蒸発は表面部から起きる。蒸発時には潜熱が奪われるため、照射されたエネルギーは、魚体表面温度で見るとより大きな量が投入されていると考えられる。したがって遠赤に生菌数が少なかったのは、この表面へのエネルギー投入による殺菌効果が現れた結果と見

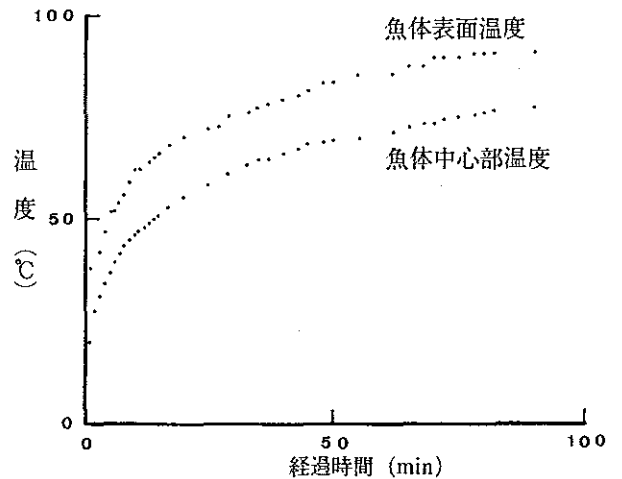


図11 魚体表面および中心部温度の推移

表2 官能評価の推移

	30℃恒温器中で保存								
	0日	5日	10日	19日	30日	45日	60日	90日	
温風-1	±	±	±	±	±	+	+	++	
遠赤-1	-	±	±	±	±	+	+	++	
温風-2	-	±	±	±	±	+	+	++	
遠赤-2	±	±	±	±	±	+	+	++	
温風-3	±	±	±	±	±	+	+	++	
遠赤-3	±	±	±	±	±	+	+	++	

-: 変化なし, ±: 僅かに変色, +: 少し変色, ++: 変色

おわりに

温風乾燥は空気を媒体とせざるを得ない。一般に行われている温風乾燥は、重油・プロパンガスを燃料として、ボイラーによる蒸気または直接、熱交換器を介して空気を加熱する。加熱し相対湿度の下がった空気は、送風機によって被乾燥物（煮干し）まで運ばれる。そして被乾燥物に接触し、熱を与えるとともに乾燥した空気が水分を奪っていく。温風乾燥ではこのようなシステムによって乾燥されるが、熱交換器で空気を加熱する時の損失および被乾燥物を加熱する時の損失は大きなものがある。

一方遠赤外線は、空気を媒体とせず直接被乾燥物に作用する。このためエネルギーコストが低くなる。農産物の乾燥事例（押しつぶした米・麦）では、設備費からランニングコストまでの全ての経費を比較した場合、原料1kgを加工する経費が、温風、遠赤外線それぞれ、11.73円および6.36円となっている¹⁹⁾。しかも乾燥時間は温風に比べ約50%で済む例もある³⁾。さらに本報告にあるように、品質向上にも一つの有効手段となる。

一方遠赤外線は電磁波であるため、その影の部分には働かないという欠点がある。現在の煮干し乾燥装置は台車におおむね20段のセイロを差込み、これを乾燥トンネルに収めている。直線的にしか進まない遠赤外線を立体的な乾燥装置に応用することは、かなり困難である。

そこで被乾燥物（煮干し）がある程度乾燥、身が固まり、しかも減率乾燥段階に入った時点で、遠赤外線乾燥装置を利用することが考えられる。乾燥台車に差し込んだセイロから、ネットコンベアーで搬送する遠赤外線乾燥装置に移す。ここではセイロ上と異なり、煮干しを10~20cmの厚さで乗せることができる。多段式のネットコンベアーを設置すれば、初めのコンベアーから次のコンベアーに煮干しが落ちる時、均一に混ざり合う。本報告の図6からも明らかなように、遠赤外線乾燥は減率乾燥期に入った煮干しの乾燥に有効である。乾燥装置を2種類設置する必要があるものの、乾燥時間の短縮、コストの低減および品質の保持に有効と考えられる。

要 約

- 1) 煮干しイワシの油焼け防止を図るため、遠赤外線乾燥の効果を検討した。
- 2) 魚体中心部温度を基準として、冷風乾燥に該当す

る温度から温風乾燥に該当する温度まで、3種類の試験を設定し、温風乾燥との比較を行った。

- 3) 乾燥効率はいずれの試験においても、遠赤外線乾燥のほうが高かった。
- 4) 脂質の酸化を、POV、高度不飽和脂肪酸、およびトコフェロール残存量で判定した。遠赤外線乾燥によるものは温風乾燥に比べ、若干酸化の程度が低かった。これは遠赤外線自体の効果、および乾燥効率が高いための副次効果によるものとした。
- 5) しかし官能判定では、遠赤外線乾燥の効果が現れなかった。これは温風と遠赤外線乾燥での酸化の差が少なかったこと、および原料の脂肪量が少ないためと考えた。
- 6) さらに遠赤外線乾燥の殺菌効果を生菌数で調べた。3種類の試験でいずれも遠赤外線乾燥の生菌数が低かった。遠赤外線は魚体表面に熱エネルギーを与え、このエネルギーによって殺菌効果が現れるとした。
- 7) 遠赤外線乾燥は煮熟直後から行うのは困難であるが予め温風乾燥を施し、減率乾燥期に入った時点で仕上に遠赤外線乾燥を行うのが適当であるとした。

参考文献

- 1) 荒木唯志 (1981): 遠赤外線加熱の応用と実際, 赤外線技術研究会資料, 111, 1~9.
- 2) 足立鉄男 (1983): 遠赤外線応用に関する研究, 生体への遠赤外線照射効果と食生活面における放射の応用, 九州電力総合研究所研究期報, 59, 13~21.
- 3) 杉山 昌 (1986): 食品工業への遠赤外線加熱の利用, 食品工業, 5下, 26~34.
- 4) 中野不二雄 (1987): 遠赤外線の茶への利用, New Food Industry, 29, 4, 1~3.
- 5) 清水 賢 (1987): 遠赤外線利用技術, ibid, 29, 4, 4~9.
- 6) 矢野昌充 (1987): 柑橘果実の高温予措と遠赤外線の応用, ibid, 29, 4, 16~18.
- 7) 佐々木 完 (1987): 遠赤外線装置の食品への利用, ibid, 29, 4, 19~24.
- 8) 石川宣次 (1988): 遠赤外線の水産加工への応用, ibid, 30, 7, 21~25.
- 9) 田辺 伸・滝口明秀・堀口辰司 (1984): 煮干しイワシの油焼け防止-II, 煮干しイワシの脂質の酸化と変色, 千葉水試研報, 42, 83~87.

- 10) 田辺 伸 (1984) : 煮干しイワシの油焼け防止—スプレー法の開発, *ibid*, **42**, 77~82.
- 11) 田辺 伸 (1985) : 煮干しイワシの油焼け防止—Ⅲ, 煮熟法におけるBHA及び天然トコフェロールの挙動とその油焼け防止効果, *ibid*, **43**, 89~95.
- 12) 田辺 伸 (1985) : 煮干しイワシの油焼け防止—Ⅳ, スプレー法における天然トコフェロールの挙動とその油焼け防止効果, *ibid*, **43**, 97~103.
- 13) 田辺 伸 (1988) : 煮干しイワシの油焼け防止, 天日乾燥について, *ibid*, **46**, 57~64.
- 14) (社)日本食品衛生協会編 (1973) : 食品衛生検査指針, 103~106.
- 15) 島田幸洋 (1982) : 遠赤外線の殺菌効果, 九州菌会誌, **36**, **2**, 307~313.
- 16) 久保哲治郎 (1986) : 遠赤外線による食品の殺菌, 食品と開発, **21**, **6**, 29~32.
- 17) 杉山 昌 (1985) : 遠赤外線加熱の食品加工への応用, 食品加工技術, **5**, **4**, 13~20.
- 18) 坂井 有 (1986) : personal communication.
- 19) 土橋 豊 (1979) : 遠赤外線の食品加工への利用, 食品開発, **14**, **12**, 43~48.
- 20) 秋山佳一 (1985) : 遠赤外線セラミックス応用「セラヒート」, 食品機械装置, **22**, **4**, 65~69.