

## 食パン製造プロセスにおけるエネルギーサイクリング(第1報)\*

松田郁生\*\*・森嶋 博\*\*・瀬尾康久\*\*・相良泰行\*\*

## 要 旨

食パン工場のオーブンから未利用のまま排出されている130~180℃の排ガスの再利用を検討するために、オーブンの熱および物質収支を計測した。そのデータからエクセルギを算出し、排熱エネルギーの質を明らかにした。排熱エネルギーを吸収冷凍機の熱源として利用したエネルギーサイクリングを想定し、冷凍能力を試算した。その結果、冷却工程においてパンを冷却するのに必要な冷熱が得られることが分かった。

## Energy Recycling in the Bread Baking Process ( I )

Ikuro MATSUDA, Hiroshi MORISHIMA

Yasuhisa SEO, Yasuyuki SAGARA

## Abstract

Mass and heat balance were measured to examine the reuse of 130-180°C exhaust gas from an oven in a baking industry. From the data, energy was calculated to make clear the quality of exhausted energy. By using this exhausted energy for an absorption refrigeration system, an energy recycling system was suggested and the refrigeration capacity was calculated. The refrigeration capacity was thus estimated to be enough for the bread cooler of the factory.

[Keyword] energy, exergy, bread, baking, heat balance

## I 緒 言

海外の食パン製造工程におけるエネルギー解析は Johnson<sup>1)</sup>, Beech<sup>2)</sup>, Christensen<sup>3)</sup> および Brown<sup>4)</sup> による報告があるが、工程の規模、方式等によって解析結果は大きく異なる。しかし焼成工程のオーブンにおけるエネルギー消費が他の工程と比較して突出していることは共通していえる事実である。したがって、食パン製造プロセスにおける省エネルギーを推進するためには、オーブン廻りの省エネルギーを行うことが最も効率的である。

瀬尾ら<sup>5)</sup> は国内の大規模食パン製造プロセスのエネルギー解析を報告した。1時間に約6000斤の食パンを中種法で生産するこのライン内では、1kgの食パンを製造するのに約2.06MJのエネルギーを必要とし、この工程中で最もエネルギーを消費しているのは焼成工程で、ライン中におけるエネルギーの約40%に相当する0.8MJ/kg-Breadを消費していることが明らかになった。さらに焼成工程で使用されているオーブンの排ガスは130~180℃とかなり高温であるにもかかわらず、未利用のまま排出されていることを知った。

筆者は利用可能と思われる高温の排ガスを排出しているオーブンを対象に、その中で生じている物質の変化およびそれに伴う熱エネルギーの流れをとらえ、オーブンの熱および物質収支を定量的に

\* 昭和60年8月 農業機械学会関東支部大会(長野県戸倉上山田ホテル)にて一部講演

\*\* 東京大学農学部(〒113 東京都文京区弥生1-1-1 TEL 03-812-2111 内 5363) Faculty of Agriculture, The University of Tokyo, Tokyo, 113 Japan

把握した。これは、オープンの排熱エネルギーの有効利用およびリサイクリングを検討するための基礎資料となる。これに基づき、排熱エネルギーの質的評価をするためにエクセルギを算出し、オープン内でのエクセルギ損失を明らかにした。

さらに、排ガスを利用した(LiBr+水)吸収冷凍機をエネルギーリサイクリングの手段として採用する場合を考え、それをオープンの排ガスに適用した際の能力を試算した。

## II オープンの熱および物質収支の計測

1. 焼成反応の概要 オープン内で生地がパンに変化することを焼成反応という。焼成反応は概略的に次の3つの段階に分けて考えられる<sup>6)</sup>。

(1) オープンスプリング オープンスプリングとは、生地がオープンに入った後急激に膨張する段階である。この段階において生地は半液体の状態であり、イーストの活動も継続している。したがって、生地温度上昇と共に、①イーストのガス発生、②既に発生したガスの熱膨張、③生地水中に溶解していたガスの遊離、④生地膜のグルテン軟化の4条件により、膨張が急激に起こる。この膨張に伴い生地から二酸化炭素が発生し、オープン内ガスと混合する。

(2) 糊化(火通り) 糊化(火通り)とは、生地からパンへの変化、即ち生地の固化を指す。これは澱粉糊化およびグルテン固化(生地膜硬化)による。澱粉糊化は、第1次糊化(55~60°C)、第2次糊化(75°C付近)、第3次糊化(85~100°C)と3段階に起こる。グルテンは78°Cにて固化を開始し、100°Cまでに生地膜硬化を完成する。この間、アルコール分および水分は蒸発し、オープン内ガスと混合する。

(3) クラスト生成(着色) クラスト生成(着色)は、生地表面の温度が150~200°Cに達し、生地成分が化学反応を起こし褐色に着色する現象である。内部の水分量はクラストの着色状態を見ることにより判断できる。クラストが適正な着色をするのは、一般にオープン内温度が215~230°Cのときで、これより温度が低いと、クラストの着色は淡く、内部の水分ロスが多いし、温度が高くと、内部の糊化が終了しないうちにクラストが濃厚に着色する。

2. オープンの種類とその特徴 食パン製造用のオープンだけをとりあげても、その種類は豊富で分類方法もいくつかある<sup>7)</sup>。パン型(生地の容器)の運搬方式により、(1)トンネルオープン、(2)トレイオープン、(3)スパイラルオープンに分類され、加熱方式により、(1)間接加熱方式、(2)直接加熱方式に分類され、さらに、強制対流方式を採用しているか否かによって分類される。

トンネルオープンとは、パン型の入口と出口がオープンの両端にあるタイプのオープンである。パン型はコンベヤにのせられ、トンネル内を移動する。

トレイオープンは、パン型を並べるためのトレイによって構成される。それぞれのトレイは、それをオープンの前部から後部へと引くチェーンに装着される。オープンの後部でトレイは一段低い軌道に移された後、再び前方に送り返され、そこでパン型は外へ出される。

スパイラルオープンは、その上部入口から下部出口まで内部壁面に沿って、らせん状にコンベヤが流れている。パン型はそのコンベヤ上を直列に進む。らせんの内部には熱風が上昇気流になっており、熱効率が高いオープンである。

直接加熱方式は、オープン内パン型運搬用コンベヤの上部や下部に設置されたリボンバーナで加熱する方式である。

間接加熱方式は、オープン外部の加熱用ユニットが高温ガスをファンに供給し、このファンがさらにそのガスをオープン内部に強制的に送り込む方式である。

強制対流方式は、オープンの上部に設置したファンでオープン内の空気を吸い込み、オープン内に設置された多数の管(カラーエイダーチューブ)のノズルから噴出させることにより、オープン内で強制対流を起こさせる方式である。この方式によりパン型への熱入力効率向上する。

3. 計測対象としたオープンの概略 今回計測の対象としたオープンの概略見取り図を図1に示した。測定は昭和59年12月6日Y社C工場において行った。出入口部を除いたオープンの長さは16.41m、幅は4.55m、および高さは2.08mである。このオープンはその分類上、直接加熱・強制対流・トレイオープンとなる。

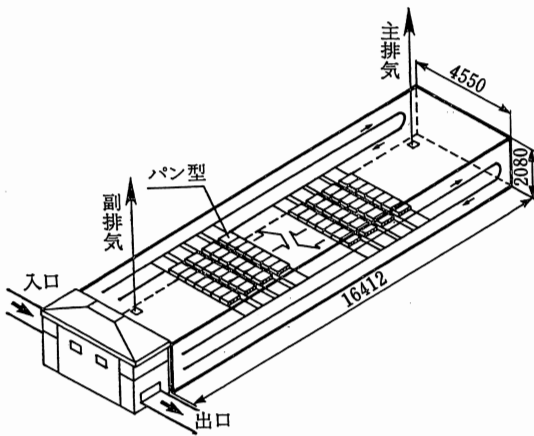


図1 オープン見取図  
Fig. 1 Schematic illustration of the oven

オープン内には40トレイが循環しており、1トレイに7つのパン型をのせる。1つのパン型には、3斤分の食パン用生地が4列に並んでいる。

パン型発酵（最終発酵）工程より自動的に送られて来たパン型は、蓋をされ出入口部にはいる。出入口部は、パン型を7つ単位でトレイにローディング（Loading）またはトレイからアンローディング（Unloading）する機構を有している。出入口部でトレイにローディングされたパン型は、オープン本体部の上層を手前から奥へ進んでゆき、他端の下層へ移り、再び手前に戻って来て、出入口部でトレイからアンローディングされる。この時間は約34分間である。オープン内をトレイが動く速さは約1.7cm/sである。パン型はオープンを出た後、蓋を取られ、型抜き工程を経て冷却工程へと進む。

オープン内には56本のリボンバーナと41本のカラーエイダーチューブ（強制対流用噴射管）が設置されている。オープン内は、リボンバーナからの直接火炎放射によって熱せられる。燃料は工業用ガスで、その主成分はブタンガスである。

燃焼用空気の一部は、あらかじめ燃料と混合しており、残りはオープン上部の空気取込口からブローにより供給される。燃焼ガスおよび生地から発生するガスの大部分は、2本の排気管（主排気管および副排気管）により排出される。排気管の内径は37cmである。

パン型が進む道程を5つのゾーンに分割し、ゾ

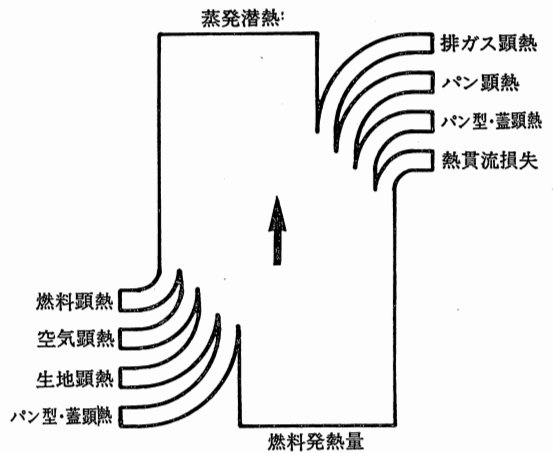


図2 熱の流れ図  
Fig. 2 Heat flow chart

ーン単位でオープン内の温度制御を行なっている。制御方式は比例制御を採用し、食パンの種類によって設定温度を変えている。

4. オープンの熱および物質収支 熱収支、物質収支とも、オープンが定常状態であり、熱および物質の蓄積はないことを前提とし、定常状態における単位時間当たりの収支を考えた。単位時間当たり（per minute）の収支から単位生産量当たり（per kg-bread）の収支を計算するためには単位時間当たりの生産量で除すればよいが、本研究では43kg/minがその値となる。検査面はオープン本体部を囲むように定めた。

(1) 熱収支 熱収支を計算する際、通常25℃を基準にするので、本報でもそれに従った。H<sub>2</sub>Oは相変化に伴う熱の授受があるため、水の状態を基準にする方法と水蒸気の状態を基準にする方法とがある。前者では燃料の発熱量として、燃焼反応で生成したH<sub>2</sub>Oの潜熱を計上する高発熱量を用いて、後者ではH<sub>2</sub>Oの潜熱を計上しない低発熱量を用いる。本報では熱の再利用を目的としているため、通常再利用不可能なH<sub>2</sub>Oの潜熱は計上しないことにした。したがって、燃料の発熱量としては低発熱量を用いた。

図2に熱の流れの概念図を示す。この図に示されるように、入熱としては、燃料発熱量が最大のもので考えられ、その他、燃料、燃焼用空気、生地およびパン型・蓋の顕熱があげられる。

出熱としては、焼成プロセスにおける水の蒸発潜熱が最大のものとして考えられ、その他、排ガス顕熱、パン、パン型・蓋の顕熱および熱貫流損失があげられる。出熱各項のうちの排ガス顕熱のデータがエネルギーサイクリングを検討するための基礎資料となる。入熱量および出熱量は燃焼発熱量、蒸発潜熱および熱貫流損失を除いて、(流量)×(比熱)×(基準温度との温度差)で計算できる。このうち比熱は文献値を用い、流量と温度を測定した。発熱量は流量および低発熱量をそれぞれ測定し、その積で求めた。蒸発潜熱は水分蒸発量を測定し、100℃における水の蒸発潜熱を掛けて求めた。熱貫流損失は通常出熱合計と入熱合計の差をその値とし、収支を一致させるが、本報ではオープン壁面における放散熱量を測定し、オープン表面積を乗ずることによって求めた。

(2) 物質収支 物質収支を検討する本来の意味は、Input・Output それぞれにおける物質の量を測定し、Input における物質の量と Output における物質の量とが等しいことを示すことにより、熱収支の計算で用いる物質の量のデータが正しいことを裏付けることにある。しかしながら現実の測定においては、全ての物質の流れを捕らえることはできても、量を測定することは困難である場合が多く、データを計算するための仮定として物質収支を位置づけている。

図3に物質の流れの概念図を示す。パン型等オープン内を通過するが質量の変化がないものは省いて検討したため、Input としては、燃料、燃焼用空気および生地が、Output としては、排ガスおよびパンがあげられる。ここでは、オープン内で起こっている物質の変化を燃焼・発酵および蒸発の3現象としてとらえた。リボンバーナにおいて

て、燃料と空気が混合、燃焼し、燃料は  $H_2O$  および  $CO_2$  に変化すると同時に過剰空気分の  $O_2$  および燃焼反応と無関係な  $N_2$  がオープン内に入る。一方、焼成反応の各段階を経て生地はパンに変化するが、各段階を通じて、生地から  $H_2O$  および  $C_2H_5OH$  の蒸発が起り、オープンスプリングの段階では、発酵によって、生地から  $CO_2$  および  $C_2H_5OH$  が発生している。燃焼ガスおよび生地から発生したガスはオープン内で混合し、排ガスとして主排気管および副排気管より排出される。

5. 測定項目とその方法 表1にオープンの熱および物質収支を計測するための測定項目および方法をまとめて示した。必要だが、種々の条件から直接測定・間接測定とも不可能な項目は、発酵により生地から発生した  $CO_2$  量および  $C_2H_5OH$  量である。これらについては、文献値<sup>9)</sup>を採用した。特に重要であるパン焼成関係および排ガス関係の測定は以下に行なった。

表1 測定項目  
Table 1 Measurement list

対象	測定項目	測定器材
燃料	低発熱量	カロリーメータ
	流量	ガスメータ
	供給圧力	圧力計
燃焼用空気	供給温度	熱電対
	供給湿度	熱電対
	湿度	アスマン 温湿度計
焼成	水分蒸発量、パン型・蓋重量	天秤
	焼成前後のパン型・蓋温度	赤外線温度計
	パン内部温度・オープン雰囲気温度	特殊器材
	気温度	
排ガス	酸素・二酸化炭素成分	オールザット分析計
	温度・流量	温度計付き熱線風速計
熱貫流	貫流熱量	放散熱量計

#### (1) パン焼成関係

a. 水分蒸発量、パン型重量、蓋重量 水分蒸発量を求めるためには、オープンの出入口において同一生地の重量を測定し、その差を用いた。測定は、生地とパン型・蓋を合わせた全重量について秤量することによって行なった。全体として9個のサンプルの秤量を行ない、そのサンプルからパンを取り出し、パン型、蓋それぞれの重量も測定した。

b. 焼成前後のパン型・蓋の温度 非接触型の赤外線温度計を用いて、ラインを乱さないように測

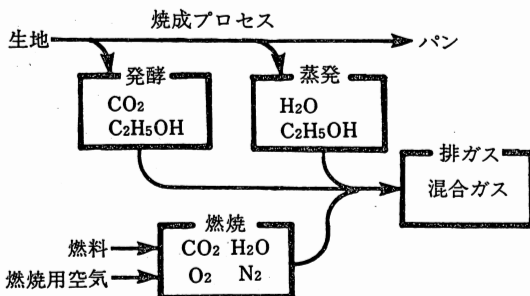


図3 物質の流れ図  
Fig. 3 Mass flow chart

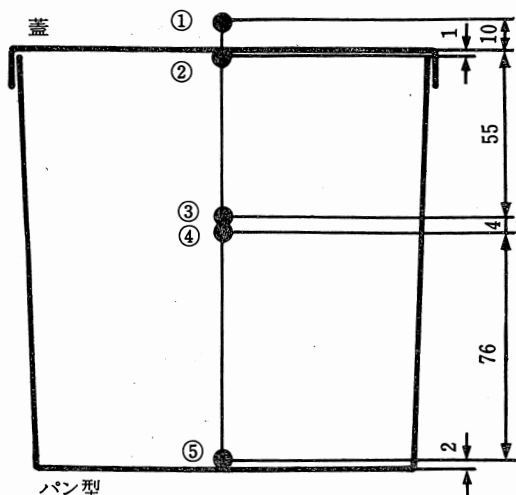


図4 パン垂直断面上の焼成後の温度測定位置  
Fig. 4 Temperature detecting points arranged on a vertical section after baking

定した。サンプルは5つである。ただし出入口それぞれ別サンプルである。

c. 生地内部温度経時変化 西独 ULTRAKUST 社製 Thermophil STOR を用いて、オープン内部温度および生地内部温度の経時変化を測定した。この装置は、パン型にセットし、被測定用生地と共に移動させることが可能であり、温度センサとして用いる熱電対の出力を一定時間ごとに測定し、メモリに蓄える機能を有している。メモリの内容は、測定後記録計に出力させることができる。この装置は6チャンネルの熱電対をもつが、今回はそのうち5チャンネルを用いた。図4に焼成後の熱電対の位置を示す。生地は焼成とともに膨化するため、これに伴い生地内部の熱電対の生地に対する相対的な位置は変化した。

(2) 排ガス関係

a. 風速 主排気管および副排気管に熱線風速計 (KANOMAX 製モデル24-3411温度補正型熱線風速計) のプローブを差し込むための穴をあけ、直径方向の風速差を考え、5cmずつスライドさせて測定し、補正したデータを採用した。

b. 温度 熱線風速計に附属している温度計 (センサー;白金抵抗体) を用いて、風速測定を並行して行なった。

c. 成分 排気管の穴からサンプリング用バックに排ガスをとりこみ、オールザット分析計を用いて、排ガス中の CO<sub>2</sub> および O<sub>2</sub> 成分比率の測定を

表2 測定結果  
Table 2 Results of measurements

入熱	温度 [°C]	流量 [mol/min]	流量 [kg/min]	絶対湿度 [kg/kg]
燃料	40	12.1		
燃焼用空気	44	738		0.0095
生地	37		49.6	
パン型	37		57.7	
蓋	55		43.6	
外気	90	322		0.0095
出熱	温度 [°C]	流量 [mol/min]	流量 [kg/min]	熱量 [kJ/min]
主排気	182	CO <sub>2</sub>	31.1	
		O <sub>2</sub>	48.9	
		N <sub>2</sub>	376.9	
		H <sub>2</sub> O	237.1 (蒸発191.0)	
副排気	130	CO <sub>2</sub>	9.3	
		O <sub>2</sub>	81.7	
		N <sub>2</sub>	391.6	
漏出ガス	130	H <sub>2</sub> O	87.4 (蒸発68.3)	
		CO <sub>2</sub>	6.1	
		O <sub>2</sub>	9.4	
パン	100	N <sub>2</sub>	73.0	
		H <sub>2</sub> O	46.0 (蒸発37.0)	
		熱貫流		
パン型	112		44.3	
蓋	104		57.7	
			43.6	

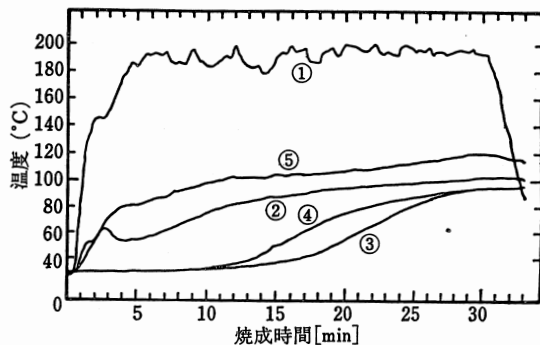


図5 オープン内温度経時変化  
Fig. 5 The temperature profiles of bread during baking

行なった。それぞれの排気管ごとに3サンプルを測定した。

III 計測結果および考察

計測結果から得られたデータを整理して、表2に示した。図5にオープン内雰囲気およびパン内部温度経時変化を示した。物質の変化が伴う項の計算は以下の仮定により得られたものである。

(1) オープン内で生地から発生するCO<sub>2</sub>量は、松本<sup>8)</sup>の実験式に基づいて計算すると、オープンか

表3 比熱の値  
Table 3 Values of specific heat

	定圧モル比熱 [kJ/mol・K]	比熱 [kJ/kg・K]
燃料	0.102	
燃焼用空気	0.029	
生地		2.80
パン		2.64
パン型・蓋		0.46 (鉄)
主排気	0.031	
副排気	0.030	
外気	0.029	
漏出ガス	0.031	

表4 熱収支の結果  
Table 4 Results of heat balance

入熱	[kJ/min]	%
燃料発熱量	32186	89.9
燃料顕熱	19	0.0
燃焼用空気顕熱	403	1.1
生地顕熱	1667	4.7
パン型・蓋顕熱	921	2.6
外気顕熱	606	1.7
計	35802	100.0

出熱	[kJ/min]	%
排ガス顕熱	5179	16.2
蒸発潜熱	13037	40.7
パン顕熱	8767	27.4
パン型・蓋顕熱	3895	12.2
熱貫流損失	481	1.5
漏出ガス顕熱	680	2.0
計	32019	100.0

ら排出される気体の0.1%にしか過ぎないため、無視できることが判明した。 $C_2H_5OH$ についても同様である。

- (2) 乾き空気の組成は $O_2$  21%,  $N_2$  79%とした。  
 (3) 燃焼ガスの $CO_2$ と $O_2$ の成分比から、燃焼の空気比 $m$ を算出するために以下の化学式を用いた。

$C_4H_{10} + 6.5mO_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O + 6.5(m-1)O_2$   
 この式は $m=1$ のときに通常のプロパンガスの燃焼化学式となる。

- (4) 空気比と燃料消費量とから燃焼ガスの量が、焼成過程におけるパン生地の重量減少から水蒸気の量がそれぞれ計算できる。燃焼ガスと水蒸気が混合してオープンから排ガスとして排出されているという物質収支を仮定した。その結果外気の侵入量および漏出ガス量が定められた。

- (5) 排ガスの比熱は成分と温度との関数であるた

め、まず基準温度からの平均比熱を成分ごとに計算し、成分比率により定めた。表3に計算に用いた比熱の値をまとめて示した。

表4に熱収支の結果をまとめて示した。表に示されるように入熱の90%は燃料発熱量であり、出熱のうち40%は焼成プロセスにおける水の蒸発潜熱として使用されていることが明らかとなった。リサイクリング可能な排気顕熱は16%であった。

#### IV エクセルギ収支の検討

熱収支の結果から排熱エネルギーの量を把握することはできるが、その質については何の情報も得ることができない。しかし、省エネルギーを検討する際には排熱エネルギーの質が重量になる。その目安としてエクセルギがある。エクセルギとは外界と平衡するまでに、そのエネルギーから理論的・可逆的に取り出しうる力学的仕事に相当する量である。燃料のエクセルギに比して、利用可能と考えられる排ガスのエクセルギの割合を求めることにより、排熱として捨ててしまうのが惜しいかどうかを判断する基準となる。さらにエクセルギ損失を明らかにすることにより、食パン焼成工程における装置であるオープンの革新に対する指針を与えることになる。

基準温度 $T_0$ における熱量を0とした時、流量 $m$ 、比熱 $c$ の物質の温度 $T$ における熱量 $H$ を計算するのに

$$dH = mc dT$$

を基準温度 $T_0$ から $T$ まで積分して、

$$H = mc(T - T_0)$$

本報では熱量の計算式としてこの式を用いてきた。

エクセルギは熱量のうちどれだけが仕事に変化し得るかを示す値であるから、熱量にカルノー効率 $(1 - T_0/T)$ を掛ければよい。したがってエクセルギ $E$ は

$$dE = mc(1 - T_0/T)dT$$

を基準温度 $T_0$ から $T$ まで積分して、

$$E = mc\{(T - T_0) - T_0 \ln(T/T_0)\}$$

で与えられる。この式には熱収支を計算するのに使用した変数しか出てこないためエクセルギの計算も表2および表3から可能である。蒸発潜熱、熱貫流損失など熱の授受が温度一定で行われる場

表5 エクセルギ収支の結果  
Table 5 Results of exergy balance

入熱エクセルギ	[kJ/min]	%
燃焼ガス顕熱	19777	99.3
生地顕熱	33	0.2
パン型・蓋顕熱	35	0.2
外気顕熱	58	0.3
計	19903	100.0

出熱エクセルギ	[kJ/min]	%
排ガス顕熱	921	4.6
蒸発潜熱	2420	12.2
パン顕熱	947	4.8
パン型・蓋顕熱	462	2.3
漏出ガス顕熱	129	0.6
熱貫流	239	1.2
エクセルギ損失	14785	74.3
計	19903	100.0

合は熱量にカルノー効率を掛けるだけでよい。ただし、熱貫流損失の場合、温度はオープン内雰囲気温度をとる必要がある。

燃焼のエクセルギとしては Rant<sup>9)</sup> の近似式として  $0.95 \times (\text{高発熱量})$  が知られているが、本報では熱エクセルギのみに注目するため、燃焼のエクセルギは計上せず、理論炎温度における燃焼ガスの熱エクセルギを用いた。理論炎温度とは、燃焼によって発生した熱エネルギーが全て燃焼ガスの保有熱量に変わると仮定した場合の燃焼ガス温度で、計算により求められる。空気の予熱をしていないため、理論炎温度は1273℃と比較的低い値であった。

表5にエクセルギ収支の結果をまとめて示した。エクセルギは不可逆過程が存在すれば保存される量ではないので、不可逆過程を含む一般のプロセスでは収支は一致しない。したがって、入熱のエクセルギと出熱のエクセルギとの差がエクセルギ損失であるという形で収支を考えた。出熱のエクセルギ中、排熱のエクセルギは、4.6%に相当していることが明らかとなった。エクセルギ損失が74.3%と大きな値を示しているのは、直接加熱方式であるオープンの特徴である。即ち、リボンパーナにおける炎の温度とオープン内雰囲気温度との差が大きいと、伝熱の不可逆過程によるエクセルギ損失が多くなっているのである。燃料のエクセルギとして Rant の近似式を用いると燃焼の不可逆過程によるエクセルギ損失も計上され

るため、エクセルギ損失はさらに大きな値となる。伝熱の不可逆過程によるエクセルギ損失は一部焼成に寄与しているが、燃焼の不可逆過程によるエクセルギ損失は焼成に寄与していない。したがって直接加熱方式のオープンのエクセルギ効率を改善するためには、空気比を減らす、燃焼用空気を予熱する等の手段により、燃焼の不可逆過程によるエクセルギ損失を減ずる工夫をすればよい。

## V 吸収冷凍機によるエネルギーサイクリングの検討

排熱エネルギーの量および質を明らかにできたため、そのエネルギーを有効利用するためのエネルギーサイクリングを検討できる。オープン内で直接燃料を燃焼させているため、熱風乾燥器における排熱エネルギーの再利用法<sup>10)</sup>は使えず、間接的に燃焼用空気の予熱をする方法が有効である。しかし食パンの焼成工程は経験的な工程で、かつまた品質至上主義であるため、燃焼用空気の予熱をした結果、燃料消費量が減ることが明らかでも、それに伴うオープン内雰囲気の変化が品質に悪影響を及ぼす可能性を嫌う。ここで、オープン内雰囲気の変化とは、燃料消費量が減る結果、燃焼ガスの発生量が減るため、相対的にパンからの蒸発水分の比率が上昇し、湿度が増えるということである。したがって、本報ではオープン自体に排熱エネルギーを利用することは考察せず、焼成工程の後の冷却工程のブレードクーラに設備されている圧縮式冷凍機を (LiBr+H<sub>2</sub>O) 吸収冷凍機に置き換える可能性について述べる。

(LiBr+H<sub>2</sub>O) 系のエンタルピ濃度線図から、吸収冷凍機の理論能力を求めることが可能である<sup>11)</sup>。蒸発温度を5~14℃、発生器濃溶液出口温度を75~95℃、冷却水入口温度を16~30℃と仮定し、冷却水出口温度は入口温度より10℃高く、凝縮温度は、冷却水出口温度より3℃高く、吸収器稀溶液出口温度は、凝縮温度より2℃低いとした場合、1冷凍トン (=13.9MJ/hr) の冷熱を得ることを想定すると、発生器において16.8~18MJ/hrの加熱が必要であるという結果が得られる。これを成績係数に換算すると0.77~0.82となる。実用機の成績係数は0.6~0.7である。ここでは成

積係数を0.7と仮定した(LiBr+H<sub>2</sub>O)吸収冷凍機を想定し、この吸収冷凍機発生器の加熱に今回測定したオープンの排ガスを利用することを考え、以下に述べる仮定をして、排ガス利用の吸収冷凍機の能力を試算した。

(1) 加熱用熱交換器入口温度 排気管における排ガスの温度からの降下温度を定めることにより決定する。ここでは、降下温度を0~10°Cと仮定した。

(2) 熱交換器出口温度 発生器濃溶液温度よりも10°C高いと仮定した。

以上の仮定から計算すると、60~130MJ/hrの能力をもつ吸収冷凍機が計測の対象としたオープンの排熱で作動することが分かった。次報で報告するとおりブレッドクーラにおける食パンの放出熱量が夏期で約90MJ/hr、冬期で約66MJ/hrであるから、ほぼそれに見合った冷熱を得られることが明らかとなった。この試算では、熱交換器の効率を100%としているが、現在排ガスで直接吸収冷凍機発生器を加熱するタイプのシステムは市販されておらず、お湯を介した形での熱交換が通常であるため、熱交換効率は約30%にとどまっている。したがってリサイクリングシステムを具体化するためには、熱交換器の開発が不可欠とな

る。次報では、熱効率が良いとされているスパイラルオープンおよびリサイクリングの対象となるブレッドクーラの調査結果を報告する。

#### 参考文献

- 1) Johnson, L.A., Hoover, W.J.; Energy use in baking bread, Bakers Digest, 51, 58-65 (1977)
- 2) Beech, G.A.; Energy use in bread baking, J. Sci. Food Agric. 31, 289-298 (1980)
- 3) Christensen, A., Singh, R.P.; Energy consumption in baking industry, Engineering and Food, 965-973 (1983)
- 4) Brown, H.L., Hadman, B.A.; Energy analysis of 108 industrial processes, 34-36 (1985)
- 5) 瀬尾康久, 森嶋 博; 食品加工におけるエネルギー解析—食パン・スバゲッティ・せんべいの加工について—, 農業機械学会誌, 49(6): 555~562 (1987)
- 6) 藤山論吉; 製パン理論と実際, 日本パン技術研究所, pp. 94~110 (1981)
- 7) S.A. マーツ著 相良泰行訳; 現在のパン製造システム, サイエンス, 15巻160号, pp.146~157 (1985)
- 8) 松本 博; 製パンの科学 (パンはどうしてふくれるか), 日本パン技術研究所, pp.1~7 (1980)
- 9) Z. Rant; Zur Bestimmung der spezifischen Exergie von Brennstoffen, Allg. Wametechn. 10, 172 (1961)
- 10) 加藤宏郎, 松田良一; 乾燥機における排気 エネルギーの再利用, 農業機械学会誌, 37(4): 613~624 (1975)
- 11) 植村 正; 吸収冷凍機用冷媒—吸収剤系の物性, 冷凍52巻600号, pp.65~76 (1977)

(原稿受付平成元年5月9日, 質問期限平成2年7月31日)

### 〈新しい出版物〉

#### 農業機械学会誌総目録 第4集 (第41巻~第50巻) 1979~1988

本書は第41巻第1号(昭和54年6月発行)から第50巻第6号(昭和63年11月発行)までの42冊の農業機械学会誌に掲載された報文, 速報, 資料, 論説, 解説等を内容別に収録分類したもので, 各支部報についても各号別に掲載してあります。既往の研究動向を分析し, あるいは今後の研究を推進するために, 関係文献を探索する際などに活用して下さい。

B5版 84頁 定価 2,500円(送料込み)

分類は次の28項目となっています。

- 1 原動機
- 2 トラクタ
- 3 耕うん
- 4 農地造成・改良機械
- 5 施肥・播種
- 6 かんがい排水用機械
- 7 管理作業機
- 8 防除機
- 9 穀物収穫機
- 10 飼料作物収穫機
- 11 果樹・そ菜収穫機
- 12 乾燥・貯蔵
- 13 冷却
- 14 調製加工機
- 15 家畜蚕飼養管理
- 16 園芸用機械及び施設
- 17 特用作物用機械
- 18 運搬・搬送
- 19 人間工学・安全性・作業環境
- 20 農業機械化
- 21 測定法・測定器
- 22 農業機械要素及び材料
- 23 土及び農業用資材の性質
- 24 農畜産物の性質
- 25 海外事情
- 26 油圧・自動制御
- 27 エネルギー
- 28 その他