

食パンのライフサイクル CO₂排出量

津田淑江, 原奈都子, 鈴木彩葉, 岡本邦義*

Life cycle CO₂ emission associated with bread

*Toshie TSUDA, Natsuko HARA, Sayaha SUZUKI and Kuniyoshi OKAMOTO **

The purpose of this research decided to make the trial calculation of the CO₂ emissions in production of bread. The CO₂ emissions of the energy reason of the bread manufacturing process in a factory and a home were surveyed. The heat source of domestic oven has an electric formula and a gas type. Moreover, the CO₂ emissions of the automatic bread-baking machine “Home Bakery” were measured.

As a result, CO₂ emissions were large when bread was baked in a domestic steam microwave oven and gas oven. It is thought that this difference is based on the size of the volume in a warehouse of oven. The CO₂ emissions in a factory, and in the case of a home bakery, it turned out that there is no big difference.

*山崎製パン株式会社

キーワード：Environmental load; 環境負荷, CO₂ emission; CO₂排出量, Home Bakery; ホームベーカリー, Life cycle assessment; ライフサイクルアセスメント

I. はじめに

日本の1世帯当たり穀類消費支出から見てみると、米の消費量に対する割合は減少傾向にあり、2004年度において米41.8%、パン32.5%であったが、2010年度米34.9%、パン36.8%と逆転している¹⁾。またパンは食パンと菓子パンなどのその他パンに分かれ、その比率は食パン30%、その他パン70%と変化はない。主食メニューの出現回数は平成22年9月30日公表平成21年度食品ロス統計調査²⁾(世帯調査)によるとごはん類は53.2%、パン類23.1%、麺類11.6%の順となり、パンは日本の食生活にとって重要であることが明らかである。特に朝食においては「白飯」が3.82回/週と最も多いが、次いで「パン類」が3.45回/週となっている。本研究の目的は、日本で消費される食パンの製

造工程におけるCO₂排出量の試算を行うこととし、食パンを製パンメーカーおよび家庭における製造工程でのエネルギー起因のCO₂排出量を実測値に基づき算出した。家庭用オーブンの熱源は電気式のものガス式のものがある。食パン作成に使用した電気式オーブン、ガス式オーブンのCO₂排出量を測定し比較を行った。また、近年話題の家庭用電化製品の自動パン焼き機「ホームベーカリー」も、家庭でパンを作製する調理器具のひとつとして、比較の対象とし、1斤用でCO₂の排出量がどのように違いが出るかを比較した。

II. 研究方法

1. 製パンメーカーにおける製造工程および配送によるエネルギー起因のCO₂排出量
食パンの製造工程におけるCO₂排出量を試算

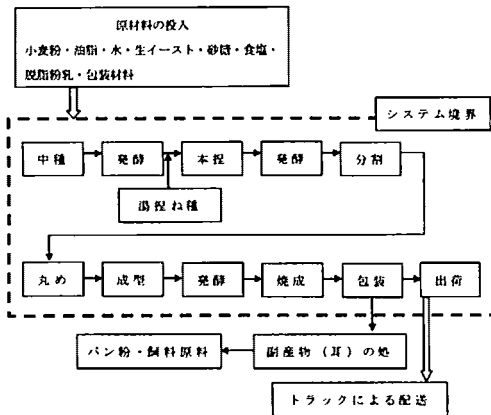


図1 製パンメーカーシステム境界

した。食パンのライフサイクル二酸化炭素排出量(LC-CO₂)を把握するための原料となるパン用小麦粉はアメリカ産のハード・レッド・ウインター(HRW)とし、生産によるCO₂負荷、輸入に伴う輸送のCO₂負荷、製粉工程におけるCO₂負荷量は小澤らの試算した数値³⁾を用いた。対象とする製パン工程のシステム境界を図1に示した。

工場の工程プロセスから排出されるCO₂のみを算出の対象とし、ライン生産で使用する機器の電気・都市ガスの使用及び工場敷地内の付帯設備のエネルギー使用量を測定した。今回は食パン工場で用いられている中種法を対象とした。これは、最初に全使用量の70%の小麦粉、水、イーストを混ぜ、発酵させた中種を作り、その後、食塩・油脂・脱脂粉乳など残りの原料を混ぜて生地を作る方法である。ライン個別に把握できるエネルギー使用量は、ラインに設置してある機器(オープン、コンベア、ミキサー等)と蒸気に関する数値のみである。エアーコンプレッサー、空調機器、冷蔵庫、厚生施設については、個別把握ができていないため、生産金額で按分した。配合割合は表1に示した。

食パンにおける物流形態は、製品工場より直接販売店に納品を行う形態が主体となっている。本研究では、Y社配送便の実測データを中心に、改正省エネルギー法で把握して物流データを基

表1 製パンメーカーにおける配合割合

	単位	投入量
小麦粉	kg	1
生イースト	g	23
砂糖	g	60
食塩	g	20
脱脂粉乳	g	15
油脂(ショートニング)	g	50
水	kg	0.67

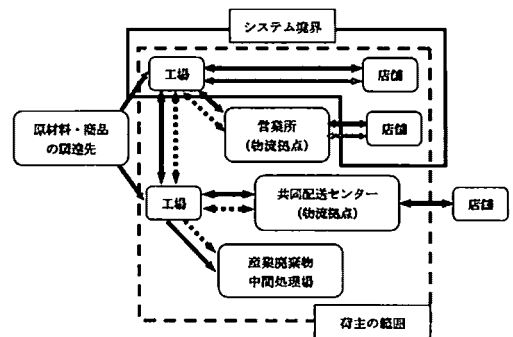


図2 LC-CO₂算定対象境界

にLC-CO₂を検討した。製パン製品は、全国20工場、28営業所の合計48箇所の物流拠点から出荷され、販売店に至るまでは主に2つの物流ルートが存在する。当社の物流拠点より直接販売店に納品される場合が約65%(配送金額比)と大手スーパー、コンビニエンスのように物流センターに集荷し、各店舗に配送される共同配送が約35%となっている。使用される車両は、物流センターまでは10t車、個別販売店には、3t、2t車両が多く利用され、販売店へは早朝、昼間の1日2便の納品となっている。納品にはプラスチック容器を使用し、製品を納めた後、回収する形態となっている。店舗ごとの配送においては、納品を行いつつ回収することにより常に一定の積載量が確保されている。製パン製品の荷主データ把握範囲とLC-CO₂算定対象のシステム境界を図2に示した。輸送モードごとに把握可能なデータが異なり、配

食パンのライフサイクル CO₂ 排出量

送形態毎のエネルギー使用量のデータを用い食パン 1 斤当たりの LC-CO₂算出を考察した。

2. 家庭における製造工程によるエネルギー起因の CO₂ 排出量

家庭用食パンの作成はホームベーカリー、スチームオーブンレンジ、ガスオーブンをを用いてパンを作成した。食パンを作る際、エネルギーを使う工程は、発酵、予熱・焙焼であり、それらの工程をシステム境界とし、図3に示した。さらに湯煎による発酵、スチームオーブンレンジやガスオーブンの発酵機能を用いた発酵とのCO₂の排出の違いを比較した。

1 斤分の材料配合は表2のように行った。食パンの原料となるパン用小麦粉は製パンメーカーで用いたものと同様、アメリカ産のハード・レッド・ウインター（HRW）とし、生産によるCO₂負荷、輸入に伴う輸送のCO₂負荷、製粉工程におけるCO₂負荷量は小澤らの試算した数値³⁾を用いた。その他の材料におけるCO₂負荷量は味の素データベースにより算出した。

使用したホームベーカリー、スチームオーブンレンジ、ガスオーブンの機種および概要を表3に示した。それぞれの機種において、製パン時に使用した消費電力量、ガス消費量の実測を行い、CO₂排出量を算出した。実測で得られた数値（ガス：ℓ、電気：wh）にそれぞれCO₂排出係数を当てはめ、CO₂に換算した。ガス及び電気を用いて調理する際の消費量から「温室効果ガス排出量算定に関する検討結果」⁴⁾より以下の排出係数を用いて算出した。

調理中の排出量 (kg-CO₂) =
 ガス消費量 (m³) × 都市ガス CO₂排出係数 (kg-CO₂/MJ) 2.15
 電気消費量 (kwh) × 電気 CO₂排出係数 (kg-CO₂/MJ) 0.38

測定用のガスメーターはガスメーターDRY

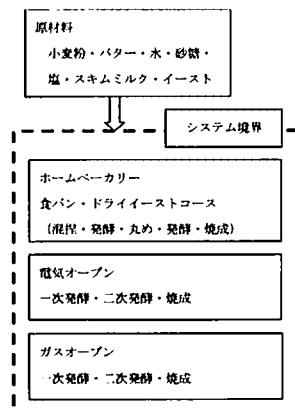


図3 家庭用システム境界

表2 家庭における食パン製造時の配合割合

	単位	使用量 (1 斤分)
小麦粉	g	250
バター	g	10
砂糖	g	17
スキムミルク	g	6
食塩	g	5
水 (38℃)	g	180
ドライイースト	g	2.8

表3 家庭用製パンにおける使用機器概要

	庫内体積 (cm ³)	mg-CO ₂ /cm ³
ホームベーカリー Panasonic SD-BH102	5593	14.9
スチームオーブンレンジ (電気) NATIONAL NE-W300 (W)	28488.5 幅394×奥行309×高さ234.4	9.0
ガスオーブン (東京ガス) SN-68C-D GMO-5100E	12936 幅26.7×奥行28.5×高さ17.0	14.2

TEST GAS MATER DC-1 (株式会社シナガワ製) を、電気メーターはDIGITAL POWER METER WT210 (YOKOGAWA 製) を用いた。

焙焼法は以下の手順で行った。

1) ホームベーカリー

「食パン」「ドライイースト」コースを選択し、消費電力量を測定した。

2) スチームオーブンレンジ (電気)

小麦粉、砂糖、スキムミルク、塩、ドライイースト、38℃微温湯を混合し、100回捏ね、更にバターを加え350回捏ね、ドウを作成した。スチームオーブンレンジ機能「40℃発酵」に設定、一次発酵 (50分) 後、ガス抜き・ベンチタイム10分・成型後、再びスチームオーブンレンジ機能「40℃発酵」で二次発酵 (30分) を行った。200℃に予熱し30分焙煎した。この間、消費電力量の測定を行った。

3) ガスオーブン

スチームオーブンレンジと同様ドウを作成し、1次発酵、2次発酵をガスオーブン機能「40℃」で発酵させ成型後、ガスオーブン (180℃) で30分焙煎した。この間、ガス消費量、消費電力量の測定を行った。

Ⅲ. 結果および考察

1. 材料由来の CO₂排出量の算出

日本で消費される食パンの原料となる小麦の生産は主にカナダ産とアメリカ産である⁵⁾。Piringer ら⁶⁾ の示したアメリカ合衆国の小麦生産に関する農事工程に投入されるエネルギーと物質のインベントリーデータを参照した小澤ら⁷⁾ の報告によれば、アメリカ合衆国全土の直近10年間に於ける小麦生産による CO₂負荷は、205g-CO₂/kg-Wheat である。またパン用小麦の輸入に伴う輸送の CO₂負荷は、オレゴン州ポートランドから横浜にまで2万トン級の輸入麦積来船で運行すると設定したとき178g-CO₂/kg-Wheat であると報告されている⁸⁾。日本国内での小麦粉製粉に投入される燃料と投入量から算出される小麦粉1t 当たりの CO₂排出量は47.8kg

-CO₂/t-Flour と報告されている⁷⁾。原料小麦1.233kg に対して小麦粉1kg が生産されるため、小麦粉1kg を生産する場合の CO₂排出量は小麦素材由来が472.2g-CO₂/kg-Flour、製粉由来が47.8g-CO₂/kg-Flour となり、合計で520g-CO₂/kg-Flour となる。これらの数値を用い小麦粉材料からの一斤 (製パン重量400g) における CO₂排出量を算出した結果、128.8g-CO₂/245g-Flour となり、その他の材料由来の CO₂排出量は36.3g-CO₂/1斤となった。

2. 製パンメーカーにおける製造工程および配送によるエネルギー起因の CO₂排出量

食パンの製パンメーカーにおける製造工程でのエネルギー起因の CO₂排出量を実測値に基づき算出した。本研究では、食パン工場で用いられている中種法を対象とし、工場の工程プロセスから排出される CO₂のみを算出の対象とし、ライン生産で使用する機器の電気・都市ガスの使用及び工場敷地内の付帯設備のエネルギー使用率を測定した。これは、最初に全使用量の約70%の小麦粉、水、イーストを混ぜ発酵した中種というものを作り、その後、食塩・油脂、脱脂粉乳などの残りの原料を混ぜて生地を作成する方法である。ライン個別に把握できるエネルギー使用量は、ラインに設置してある機器 (オーブン、コンベアー、ミキサーなど) と蒸気に関する数値のみである。エアーコンプレッサー、空調機器、冷蔵庫、厚生施設については、個別把握ができていないため生産金額で按分した。この工場における食パンおよび湯捏種の生産に関する CO₂排出量は3.6g-CO₂/斤であった。以上の数値をもとに食パン1斤当たりの製造工程の CO₂排出量を算出した結果、食パン製造時ロス率0.26%を加算し、湯捏種使用製品の工場製造工程の LC-CO₂は、86.5g-CO₂/斤となった。製造後食パンを包装し出荷するため、食パン容器包装材 (ポリエチレン) 9.9g-CO₂/袋、袋留め具 (ポリスチレン) 0.8g-CO₂/個となり包装材由来の CO₂排出量は10.7g-CO₂/斤となった。

食パンのライフサイクル CO₂ 排出量

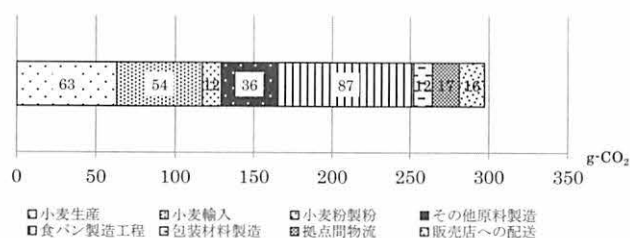


図4 製パンメーカーにおける食パン1斤製造時に排出される LC-CO₂

表4 家庭用食パン作製工程における CO₂排出量

	CO ₂ 排出量 (g-CO ₂)		
	ホームベーカリー	スチームオーブンレンジ	ガスオーブン
こね	7.1	—	—
一次発酵	0.5	9.8	8.7
ガス抜き	3.7	—	—
二次発酵	18.5	10.5	5.4
予熱	—	66.3	27.0
焙焼	53.7	170.4	142.1
合計	83.5	257.0	183.3

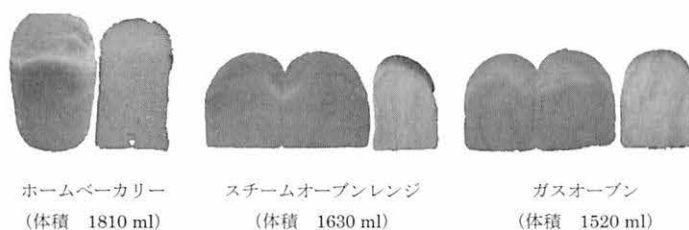


図5 家庭用製パンの焼き上がり

小麦生産から小麦粉製造、食パン製造、販売店流通を含めた LC-CO₂は図4のとおり、1斤当たりの297g-CO₂であった。

3. 家庭における製造工程によるエネルギー起因の CO₂排出量

家庭における1斤の食パン作製時の CO₂排出量は、図4に示すようにホームベーカリーによる作製がもっとも少なく84g-CO₂であった。スチームオーブンレンジは257g-CO₂でホームベーカリーのおよそ2.2倍、ガスオーブンは

183g-CO₂でホームベーカリーのおよそ1.4倍の CO₂排出量であった。工程ごとの CO₂排出量を見てみると、表4に示すように、いずれの機器においても予熱までの CO₂排出は少なかった。しかしホームベーカリーでは予熱工程は無く、スチームオーブンレンジ、ガスオーブンの場合は予熱から焙焼までの CO₂排出量は増加した。パンの焼き上がり体積は図5に示すようにホームベーカリーがもっとも大きく1810mlで食感もふんわりとしていた。

1.5斤用のホームベーカリーを用いて食パン

を作成した結果においても、1斤の場合と同様、ホームベーカリーによる作製が最もCO₂排出量が少なく127g-CO₂であった。スチームオープンレンジによる作製時は255g-CO₂となりホームベーカリーのおよそ2倍、ガスオープン189g-CO₂は1.5倍のCO₂排出量であった。

4. CO₂排出量の比較

製パンメーカーおよび家庭における製造工程でのエネルギー起因のCO₂排出量を実測値に基づき算出し、比較した結果図6のようになった。発酵・焼成工程における製パンメーカーにおける食パン1斤あたりのCO₂排出量を100%とすると、ホームベーカリーでは85.9%となり、14%削減できることが分かった。しかし、スチームオープンレンジ、ガスオープンで作成する場合は、2.5倍、1.9倍とCO₂排出量は大きくなった。

ガスオープン、スチームオープンレンジ、ホームベーカリーにおけるCO₂排出量の違いの原因として焙焼時の庫内の体積の差が考えられる。そこで1斤の食パンを作成する場合のガスオープン、スチームオープンレンジ、ホームベーカリーそれぞれの庫内体積1m³当たりのCO₂排出量を算出し、比較を行った。その結果、最もCO₂排出量の多かったスチームオープンレンジの1cm³当たりのCO₂排出量は9.0mg-CO₂/cm³で最も低い数値であった。また、ホームベーカリーの1m³当たりのCO₂排出量は14.2mg-CO₂/cm³で、ガスオープンの14.9mg-

CO₂/cm³とほぼ同程度であった。この値は、スチームオープンレンジ1cm³のCO₂排出量の約1.5倍である。しかし庫内体積はホームベーカリーが最も小さく、今回使用したスチームオープンレンジが最も大きかった。このことから、熱を充満させる庫内の体積が大きいほど庫内の温度を上げる為のエネルギーは必要となり、その体積が小さければCO₂排出量が少ないため、スチームオープンレンジが最もCO₂排出量が多かったのは食パンに対して庫内体積が大きかったことが影響していた。

以上を踏まえた上で、1斤と1.5斤のCO₂排出量の差を比較すると、オープンの庫内体積は1斤の時と変化していないためCO₂排出量も変化しない。しかしホームベーカリーは1斤用と1.5斤用それぞれ異なる機械を用いたため、庫内体積変化した。そのためホームベーカリーは1斤と1.5斤で約1.5倍CO₂排出量の差が見られた。ここでも、庫内体積とCO₂排出量は大きく関わっていることが分かった。

VI. まとめ

食パンの製パンメーカーおよび家庭における製造工程でのエネルギー起因のCO₂排出量を試算したところ、スチームオープンレンジやガスオープンを用いて食パンを作製した場合、CO₂排出量は大きかった。製パンメーカーにおけるCO₂排出量とホームベーカリーで焼成した場合とでは大きな差はないことが分かった。家庭用のスチームオープンやガスオープンは食パン

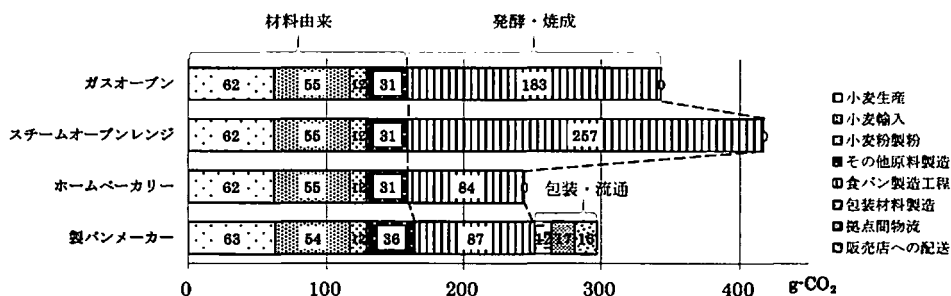


図6 食パン1斤あたりに排出されるCO₂排出量の比較

食パンのライフサイクル CO₂ 排出量

以外の食品の加熱媒体としても用いられるため、庫内体積が大きく設計されている。パン作製専用の機械であるホームベーカリーは、食パンのみが入る形に設計され庫内体積に無駄がない。そのため CO₂ 排出量が少なく作製することが出来き、効率的である。しかし、3 斤を焼く、1.5 斤を二個焼くなど、多量に作製する場合などになると、オーブンを利用すれば一度に焼くことが出来るが、ホームベーカリーでは複数回機械を作動させないといけないため、CO₂ 排出量も加算されていくので注意が必要である。また、製パンメーカーにおいては、工場から家庭に届くまでに包装材料、拠点間物流、販売店への配送等由来の CO₂ 排出量も加わって来ることとも考慮しなければならない。

最後に本実験に協力いただいた真栄城結夏さん、丸山由起さんにお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 政府統計局家計調査2010年度
入手先 〈<http://www.e-stat.go.jp>〉
- 2) 農林水産省統計大臣官房統計部平成21年度食品ロス統計調査（世帯調査・外食産業調査）平成22年9月30日公表
入手先 〈http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/syokuhin_loss/〉
- 3) 小麦、小麦粉、食パンの LC-CO₂ 試算
小澤寿輔，奥村元，佐藤邦夫，岡本邦義
第2回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集 p.96～97（2007.3）
- 4) 環境省温室効果ガス排出量算定に関する検討結果（2002.8）
- 5) （財）製粉振興会 HP 小麦のおはなし
入手先 〈<http://www.seifun.or.jp/>〉（2001.11.29）
- 6) Pringer Gerhard and Laura J.Steinberg.
2006 Reevaluation of Energy Use in Wheat Production in the United States. Journal of Industrial Ecology.10（1-2）：149-167
- 7) 小澤寿輔，奥村元，佐藤邦光，岡本邦義：第2回日本 LCA 学会研究会講演要旨 96-97（2007）
- 8) アメリカ小麦連合会（2005）Corp Quality 説明会資料