

豆腐の賞味期限延長による食品ロスの削減

四国化工機株式会社

桑田 貴史

1. はじめに

豆腐とは、大豆から抽出した豆乳に凝固剤（「にがり」（塩化マグネシウム）あるいは「すまし粉」（硫酸カルシウム））を加えて固めたものである。豆腐の種類は、地域によっては特徴的な豆腐が見受けられるが、豆乳に凝固剤を混合した後の加工方法の違い（**図 1**）により、大まかに木綿豆腐、絹ごし豆腐、充填豆腐に分類できる。

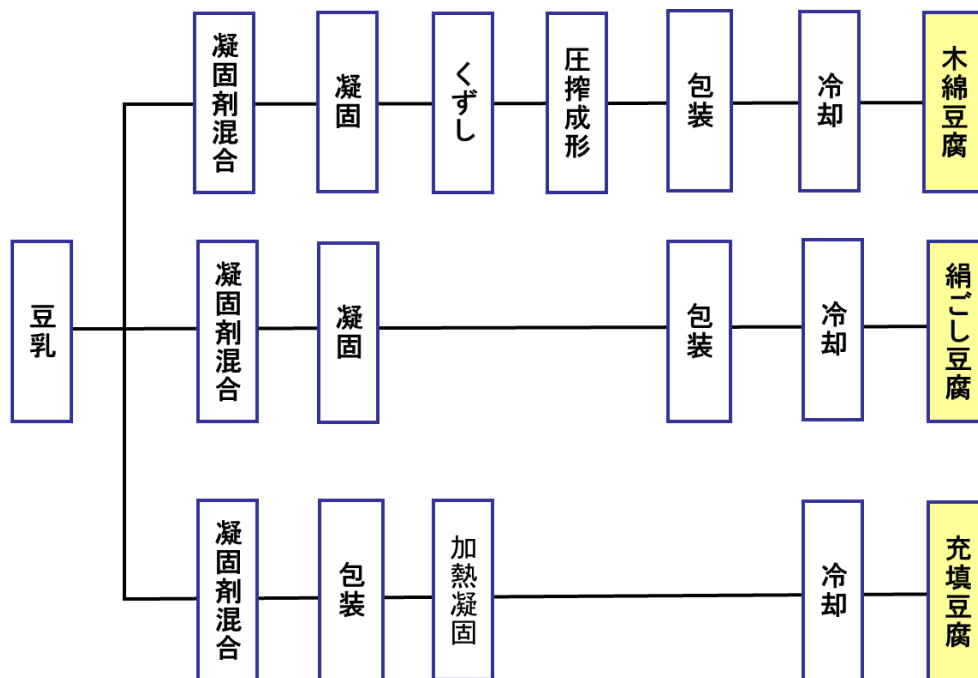


図 1：一般的な豆腐の製造工程

豆腐は水分が多く、たんぱく質や脂質などの栄養価にも富んでおり、非常に腐敗しやすい食品である。四国化工機は、1988年業界初となる人手に触れることなく豆腐の製造からパック詰めまでを行う豆腐自動製造機（**写真 1**）を開発し、日持ちが2~5日程度で販売されていた豆腐の日持ちを倍以上の10日まで延ばすことを可能にした。また、この豆腐自動製造機を使用して自社で豆腐の製造も行い、製造ラインの洗浄性向上や製造現場の衛生環境の改善に取り組み、2~3週間の賞味期限まで延長させ、阿南食品工場（徳島県）と御殿場食品工場（静岡県）の2工場から日本全国広域に渡って販売している。



写真 1 : MT-30E 機 (木綿とうふ製造機)

2. 食品ロスと賞味期限

農林水産省の推計（平成 26 年度）では、日本の食品廃棄物は 1953 万トン発生しており、621 万トンが食品ロス（食べられるのに捨てられてしまう食品）となっている。食品ロスのうち 339 万トンは、食品製造、食品卸、食品小売、外食を含めた食品産業から発生している。食品ロスは、製造から物流（配送）、販売に至るまでのサプライチェーンの各段階で発生しており、食品メーカーにとって利益に直結する問題であり、その発生原因を突き止めて様々な対策を講じている。しかしながら、メーカーの努力だけでは削減することができない食品ロスとして、食品業界の商習慣となっている「3分の1ルール」がある。「3分の1ルール」とは、商品の製造日から賞味期限までの3分の1までの期間が小売りへの納品期限となっており、納品期限を過ぎるとメーカーに返品され、食品ロスとなる。この商習慣の緩和に向けては、農林水産省が主導となり削減に向けた取り組みが行われているところである。現在のところ各食品メーカーは、自社努力にて販売商品の賞味期限を延長することで、この問題に対応していることが多い。

賞味期限とは、未開封の状態ですべての品質の保持が十分可能であると認められる期限を示す年月日のことである。賞味期限設定にあたっては、メーカーが責任を持って科学的、合理的根拠に基づいて設定しなければならない。

3. 豆腐の賞味期限延長の問題点

豆腐は水分が多く、たんぱく質などの栄養価に富んだ食品であるため、微生物（細菌）にとっては最適な生育環境である。豆腐の賞味期限を延ばす上で最も重要となる点は、製品中に残存する細菌を除去することである。豆腐の原料である大豆由来の細菌は、高温、凍結、乾燥、紫外線等の過酷な外的ストレスから身を守るために芽胞を形成して休眠状態で大豆表皮に付着している。芽胞菌は豆腐製造工程における加熱条件では死滅せず、生育に適当な環境を整えば、芽胞状態から発芽して栄養細胞となり増殖を始め、腐敗を引き起こしてしま

う。芽胞菌を死滅させるためには、加熱殺菌が効果的であり、食品衛生法で定められている常温で流通されているレトルト食品の耐熱性芽胞菌で食中毒菌でもあるボツリヌス菌を滅菌する殺菌条件である 120℃で 4 分間と同等以上の加熱殺菌が必要となる。しかしながら、ここで大きな問題となるのは、豆乳中のたんぱく質の熱変性である。豆腐は、豆乳中のたんぱく質と凝固剤が反応して、架橋構造を形成して固まるが、芽胞菌を死滅させる殺菌条件においては、たんぱく質の熱変性により適正な硬さ（食感）の豆腐ができなくなる。豆腐は日本人にとって昔から食されてきた伝統食品であり、冷奴やみそ汁、湯豆腐など様々な料理で親しまれてきており、食感の変化は消費者に対して違和感を与えてしまうことになる。また、賞味期限延長には、微生物的な問題の他、美味しく食べられる期間を延ばさなければならない。味の劣化は、包装した直後から始まっており、酸素（空气中）・光（紫外線）の影響によるものである。豆腐の包装は、豆腐を入れる容器とその容器を封入するフィルムシートから成り、比較的安価で扱いやすく耐久性もあるポリプロピレン（PP）が主流となっている。ポリプロピレンは、酸素バリア性が低く、遮光性がほとんどない材料であり、賞味期限を延ばすためには酸素と光の影響を排除する包装資材を選択しなければならない。

4. 賞味期限延長のための技術

当社が製造している商品の中に豆腐の賞味期限延長における問題点を解決し、賞味期限 180 日を実現したロングライフ充填豆腐（写真 2）があり、その製造技術について紹介したい。



写真 2：紙容器入りロングライフ豆腐

4-1 発芽殺菌法

芽胞菌は、生育可能な環境においては「休眠芽胞⇒発芽⇒栄養細胞⇒芽胞形成」のライフサイクルによって増殖する。このライフサイクルの発芽ー栄養細胞の状態では、芽胞形成時の耐熱性を失っており、比較的緩やかな加熱により死滅させることができる。芽胞菌を発芽させる方法として、加熱処理（ヒートショック）を行うことで、芽胞菌が熱活性化（ヒートアクティベーション）し、発芽状態へ誘導できることが知られている¹⁾。この方法により芽

胞菌を発芽させることができれば、たんぱく質の熱変性を起こす加熱殺菌温度を低く抑えることができる可能性があり、検討を開始した。芽胞菌の指標菌としては、土壌中や植物体に普遍的に存在していて、ボツリヌス菌よりも耐熱性を有する枯草菌 (*B.subtilis*) を選択した。まず、滅菌した豆乳を調整し、この豆乳に枯草菌を接種後、70～85℃の温度帯でヒートショックを行い、続いて発芽を促進させるため、30～45℃の温度帯まで冷却する操作を温度と保持時間を変えて様々なパターンでテストを繰り返し行い、最適な発芽条件を見出した²⁾。この芽胞菌の発芽条件を豆乳製造ラインへ組み込み発芽殺菌法とした (図 2)。

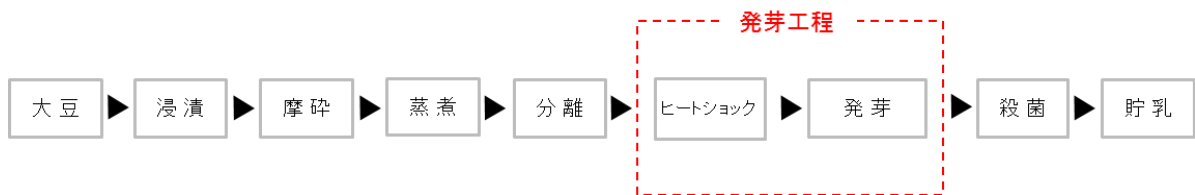


図 2：発芽殺菌法の製造工程

4-2 無菌環境下での充填包装

豆乳中の微生物を滅菌することができても、その後の製造である容器への充填包装工程において、空気中の浮遊菌や容器に付着した菌による 2 次汚染が考えられる。当社は、液状の食品を充填する機械を製造しているメーカーであり、無菌環境下で充填包装できる充填機を多機種持っている。その中で形状や容量を考慮して、ロールフェッド紙容器成形無菌充填機 UP-FUJI-MA60 (写真 3) を採用した。



写真 3：ロールフェッド紙容器成形無菌充填機 UP-FUJI-MA60

この充填機は、ロール状の原紙を連続的に供給しながら過酸化水素槽を通過させ、包材に付着した菌の滅菌処理を行い、無菌チャンバー内でレンガ型（直方体）の形状へ成型しながら充填する（図 3）。豆腐は、豆乳に凝固剤（にがり）を混合するが、ここで使用する凝固剤の無菌処理は 0.22 μ m のメンブレンフィルターを通して除菌したものを使用して、無菌を達成させている。

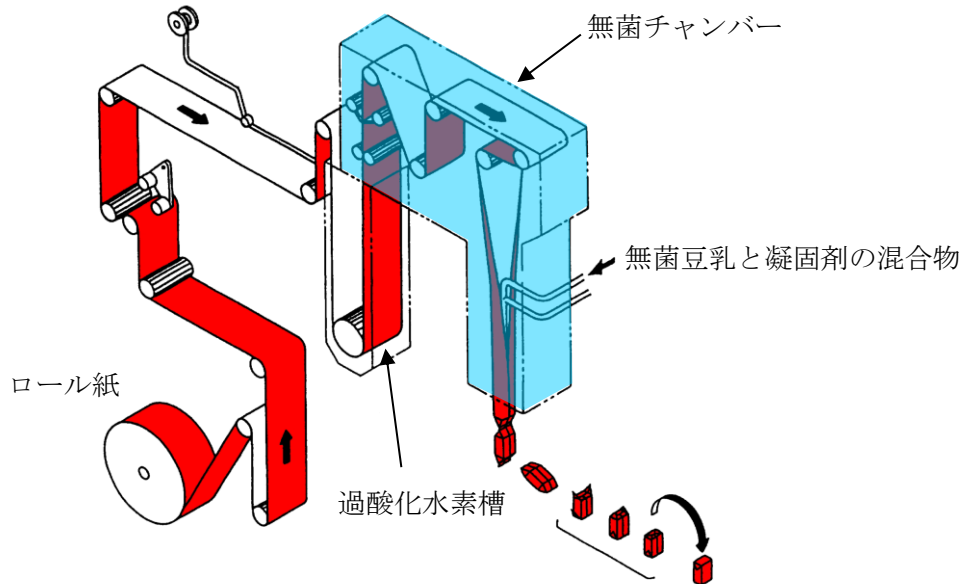


図 3：無菌充填包装工程

4-3 包装資材

使用している紙容器は、常温流通している飲料において実績があり、ポリエチレン、アルミ箔を貼り合わせた複合紙である。この包材の特徴としては、アルミ箔を使用していることであり（図 4）、味の劣化の原因である酸素（空気中）・光（紫外線）を完全に遮断することが可能である。

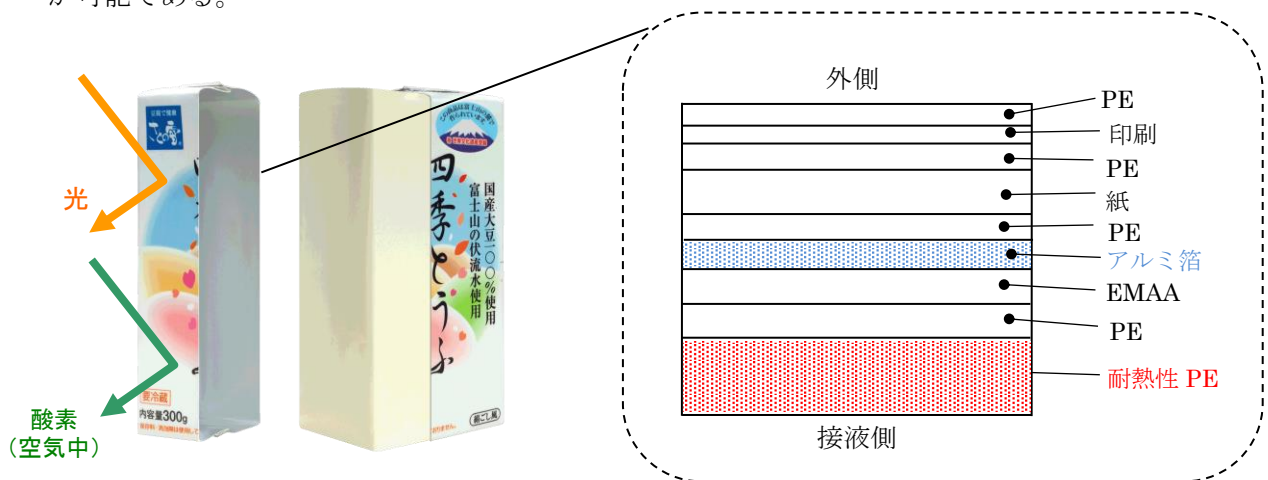


図 4：豆腐紙パック包材構成



ただし、豆腐用として使用するためには改良が必要であった。飲料では無菌処理した内容物を充填して製品となるが、豆腐は、豆乳と凝固剤を混合して充填後に加熱工程（ボイル）が必要となる。飲料用の包材の場合、この加熱工程によってピンホールが発生し、無菌性が崩れてしまうため、豆腐用紙パック包材は、耐熱性のあるポリエチレンを最内層に追加している。

5. ロングライフ豆腐の需要

2003年4月に販売を開始し、流通に対して賞味期限延長による「廃棄ロスの低減」と「美味しさそのまま」を謳って提案を行い、新たな豆腐市場の開拓を試みたが、販売数量は思い描いたようには伸びなかった。理由としては、飲料でよく見られる紙パック状の形態から豆腐売り場の棚に並んでいても消費者になかなか豆腐と認識してもらえなかったこと、また、豆腐は日配商品であり、購入した当日もしくは数日以内に消費することが習慣的であり、普段使いの豆腐に180日もの長い賞味期限は必要とされなかったことなどが挙げられる。一方、海外への輸出においては、現地まで届けるまでに時間を要することから、従来の豆腐を輸出することは不可能であったが、この商品は、輸出に対応できる十分な賞味期限があり、イギリスやドイツなどの日本から遠いヨーロッパへの輸出も可能であった。日本で製造した豆腐を美味しさそのまま届けることができ、海外で生活している日本人に重宝されている。また、海外においてヘルシーで健康的な日本食がブームとなっており、低カロリーでたんぱく質が豊富な豆腐は、肉の代替品として食べられている。現在では、EU諸国や東南アジアを中心に20か国以上の国々へ輸出しており、年々販売数量が伸長している（表1）。

海外販売数量推移

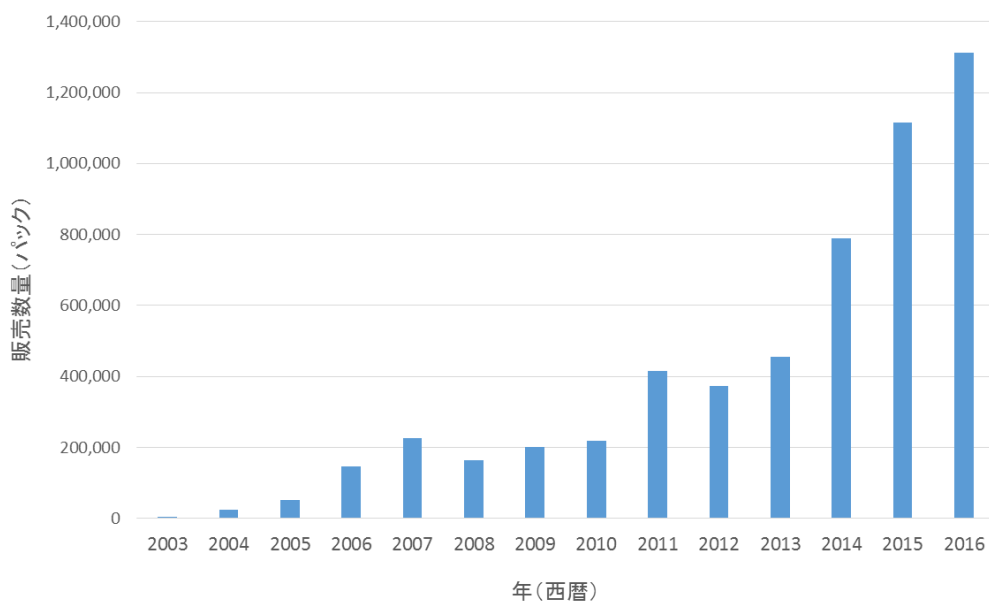


表1：ロングライフ豆腐海外販売数量



6. 今後の展望

豆乳の無菌処理技術、無菌充填包装、包装資材の3つが揃って賞味期限の延長を実現し、食品ロスの低減に貢献できる豆腐を開発した。しかしながら、国内における商品の広がりには、まだ課題を残しており、この商品の社会的な貢献をより確実なものにすることが我々の使命と考えている。

そこで、紙容器入りの無菌充填豆腐の新たな取り組みとして、当社以外で紙容器入りの無菌充填豆腐を製造している森永乳業㈱と常温流通化を目指している。豆腐は、食品衛生法で保存基準（昭和34年厚生省告示第370号）が以下のように定められており、例え無菌充填豆腐で腐敗の心配がなかったとしても日本国内において、冷蔵で流通販売しなければならない。

- ① 豆腐は、冷蔵するか、又は十分に洗浄し、かつ殺菌した水槽内において、冷水で絶えず換水をしながらか保存しなければならない。ただし、移動販売に係る豆腐及び成型した後水さらしをしないで直ちに販売の用に供されることが通常である豆腐にあつては、この限りでない。
- ② 移動販売に係る豆腐は、十分に洗浄し、かつ、殺菌した器具を用いて保冷をしなければならない。

現在、業界団体を通じて豆腐の保存基準改正に向けて厚生労働省へ申請を行っており、2018年中にも告示改正が行われる見通しである。紙容器入りの無菌充填豆腐が、常温流通可能になれば新たな流通チャンネルでの展開が期待できる。

参考文献

- 1) F.R.Evans and H.R.Curran : *J.Bacteriol.*,46,513(1943)
- 2) 特許第 3564593 号 容器入り無菌豆腐の製造方法