

思考館の過熱水蒸気による魚あらのアップサイクリング 捨てる魚あらがこんな美味しいパウダーに

今津 秀則 (いまづ ひでのり)

株式会社思考館 技術顧問。1949年広島生まれ。

要旨

丸の魚は、頭や骨も内臓もあるので、実際に食べられるところは半分くらいと言われている。そして、食べられない部分(魚あら)の一部は養殖魚やペットフードに加工され有効活用されているが、多くは廃棄されている。

それらの魚あらを、過熱水蒸気で殺菌乾燥し、破砕機でパウダーにすることで、美味しい魚パウダーができることが分かった。今まで廃棄されていた魚あらを食料にアップサイクリングすることで、次のようなメリットが生まれる。

- ① 非可食部を可食部に転換させることによる魚食品の増産
- ② 過熱水蒸気調理による斬新な味の魚食品事業の創出
- ③ 廃棄する魚あらを減らすことで、廃棄に費やしていたコスト、エネルギーを削減し、かつ悪臭などの環境改善。

このレポートは、過熱水蒸気を使った処理システムで、魚あらをどのように処理するかを紹介するものである。なお、アップサイクリングとは、創造的再利用とも呼ばれ副産物、廃棄物、役に立たない、または不要な製品を、より良い品質と環境価値の新しい材料または製品に変換するプロセスである(出典:ウィキペディア)。リサイクルでは、資源やエネルギーを使用すると品質が下がるため、その下がった品質レベルに応じて利用するダウンサイクリングが多いが、アップサイクリングは価値を上げる点で、ダウンサイクリングの逆の意味の言葉となる。

1 漁業界が抱える問題点

1.1 日本の漁業の現状

日本の漁獲高は、1984年の1282万トンにピークに、2016年には436万トンと1/3に落ち込んでいる(図1参照)。そして産出額は、1982年の2兆9772億円、1兆5856億円(2016年)と半減している(図2参照)。漁獲高、産出額を一気に増やし、昔の繁栄を取り戻すことはできないだろうか？

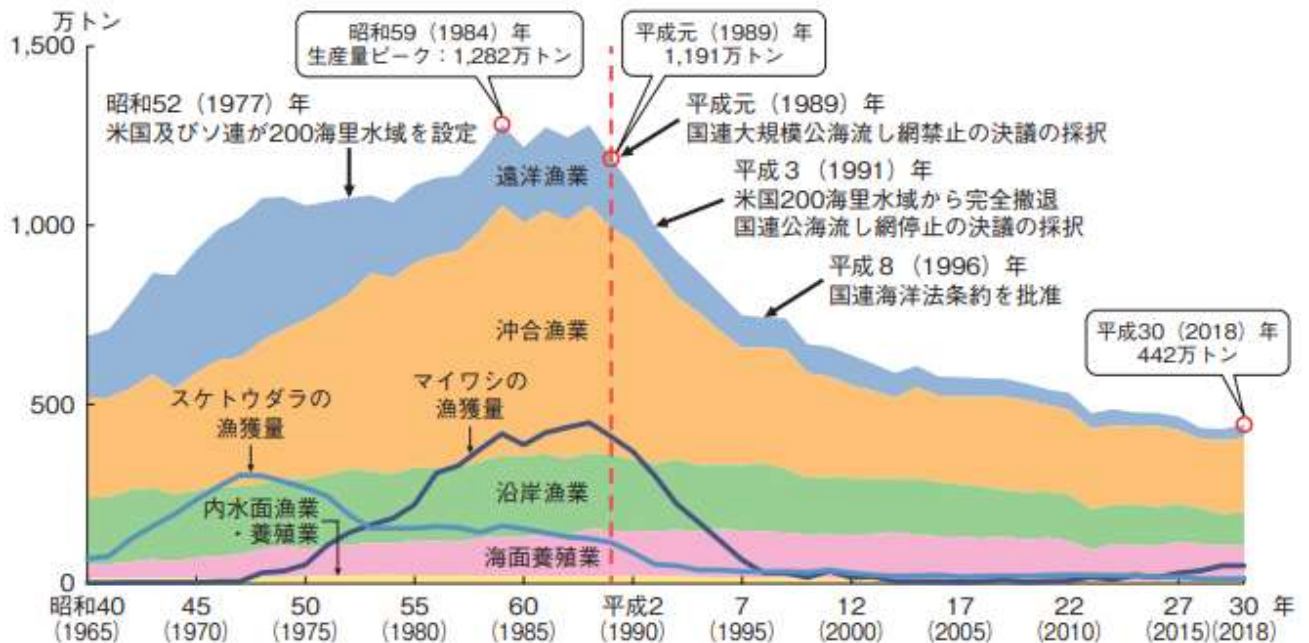


図1 漁業・養殖業の生産量の推移 (出典: 農林水産省「漁業・養殖業生産統計」)

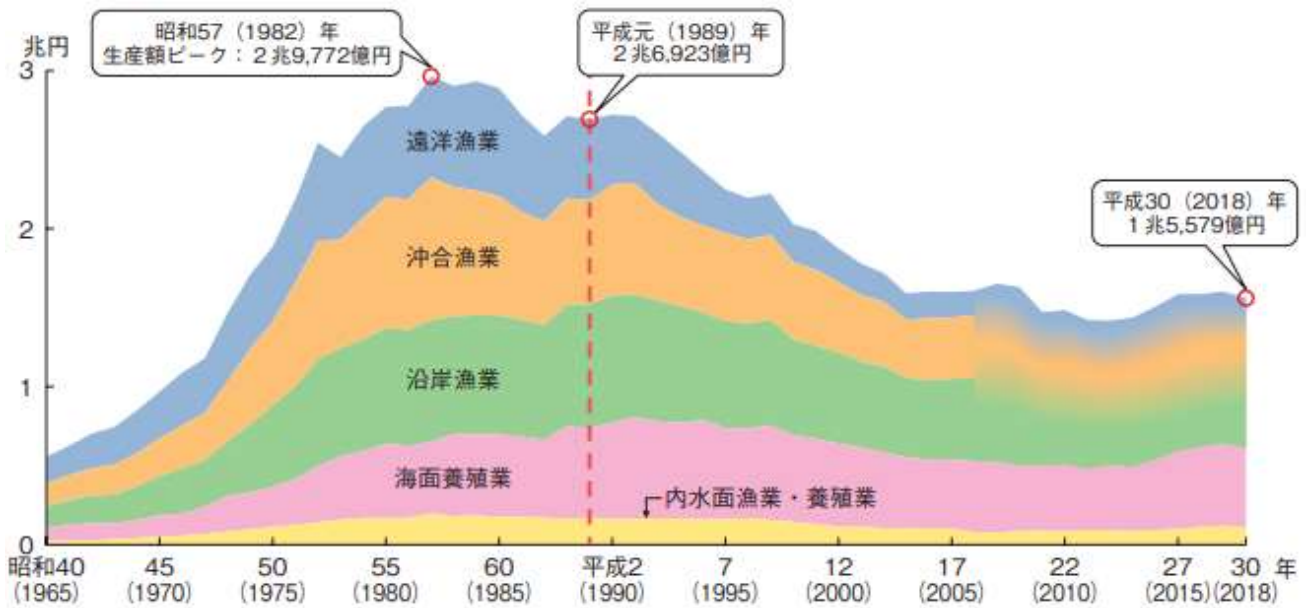


図2 漁業・養殖業の産出額の推移 (出典：農林水産省「漁業産出額」)

1.2 実質漁獲高を増やす方策

丸魚から魚はどのくらい食べられるところ(身の部分)があるだろうか?サク取りされたマグロや、切り身の魚はほぼ100%食べられが、丸の魚は、頭や骨も内臓もあるので、実際に食べられるところは半分くらいと言われている。そして、食べられない部分(魚あら)の一部は養殖魚やペットフードに加工され有効活用されているが、多くは廃棄されている。

もし、魚あらが食べられるようになれば、①廃棄物はなくなり、②捨てていた魚を食べることになるので、実質漁獲高が2倍になったのに等しい、と言える。

1.3 魚の消費を増加させる方法

日本人の食事は、魚摂取量が年々減り、肉の摂取量が増えている(図3参照)。例え漁獲高が増えても、魚を食べてくれないければ、価格は下がって漁業・養殖業の産出額は減少するだけである。

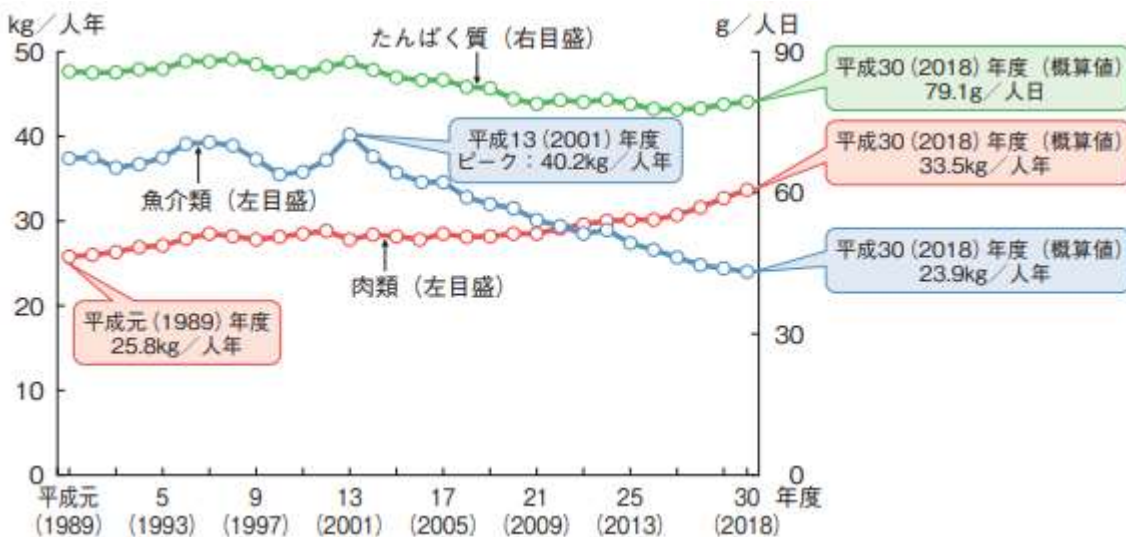


図3 食用魚介類及び肉類の1人1年当たりの消費量(純食料)とタンパク質の消費量推移 (出典：農林水産省「令和元年水産白書、食料需給表」)

細川良範氏はアクアネット2020年9月号の「コロナ禍で考える!水産商品の提案・開発の今後」に、魚嫌いたちがそろってあげるのが以下の理由だとしている。

*食べるのが面倒

- *ゴミが出る
- *台所が汚れる
- *皮やウロコが口に残る

そして、これらの理由が解消できれば、売れる商品となる可能性が高まると述べている。

思考館の過熱水蒸気魚あら処理システムは、魚あらを乾燥殺菌、粉砕機でパウダーにするもので、上述した魚嫌いが指摘する魚の欠点を全て解消できる。できた魚パウダーは次の特徴がある。

- ① 酸素の少ない過熱水蒸気で処理（蒸し焼き）するため、魚粉が酸化されにくく美味しい。
- ② 生魚の臭みはなくなり、焼き魚のいい香り（魚によって違う）がする。
- ③ 小骨も身と一緒に粉砕されているので、骨を取り除く必要がなく、また粉末なので食べやすい。
- ④ 好きな量だけとって食べればよいので、フードロスがない。
- ⑤ 乾燥殺菌されているので、常温で長期保存ができる。また、輸送に冷蔵・冷凍保管が不要である。生魚の70～80%は水分であるが、魚パウダーは水分が10%以下と軽いので、鮮魚輸送と比較し輸送コストが格段に低い。

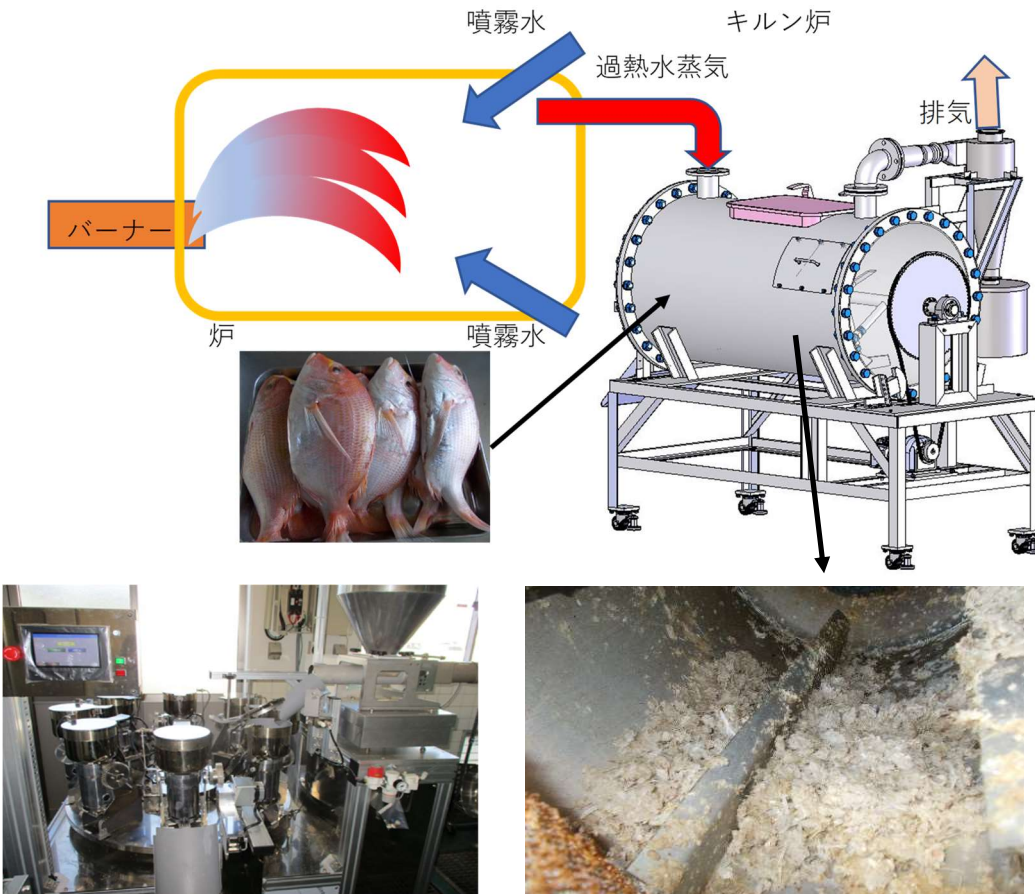
このように、我々のシステムは実質の漁獲高を2倍にし、しかも常温で長期保存できるので、**魚の備蓄**も可能である。以下に処理システムの詳細を述べる。

2 思考館の過熱水蒸気魚あら処理システム

2.1 装置概要

（魚あらを乾燥殺菌、粉末にする工程）

攪拌機付きキルン炉に魚あら（含水率 60～80%）を投入し、400～500℃の過熱水蒸気をその中に吹き込み殺菌乾燥（含水率 10%以下）させる。殺菌乾燥された魚あらは、粉砕機で粉末にされる（図4参照）。



魚パウダー（製品） ← 粉砕（ハイスピードミル） ← キルン炉の中の様子

図4 魚あらを乾燥殺菌、粉末にする工程

(魚あらの殺菌乾燥工程の詳細)

キルン炉に投入された魚のあらは攪拌機で攪拌される。キルン炉には過熱水蒸気が導入され、殺菌乾燥の役目を終えた過熱水蒸気は排気口から排出される。この時、過熱水蒸気温度は入り口温度で 400~500℃、排気温度は、80~150℃で、魚あらの温度(キルンの下部温度)は仕上がり温度で 80~100℃である。魚の水分が無くなる限り、魚あらの温度は 100℃を超えることはない。一方、キルン炉の上部は 400~500℃なので、攪拌で、上部に来た魚あらは、高温の水蒸気が輻射する赤外線で焼き魚状態、キルン炉の下部に来た魚あらは、自分の水分蒸発による蒸し魚状態になる。こうしてできた、魚あら製品は「蒸し焼き魚あら」と言える。

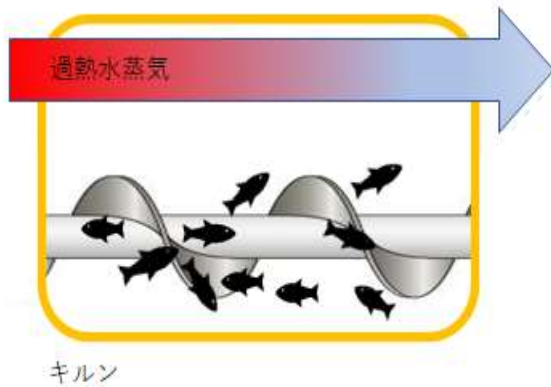


図 5 キルン炉における魚あらが受ける熱

2.2 製品(魚パウダー)の特徴 (殺菌)

思考館の過熱水蒸気で処理したノドグロ頭、甘えび粉末の菌数結果を表 1 に示す。いずれも十分殺菌されていることが分かる。

表 1 過熱水蒸気処理した魚パウダーの菌数検査結果

	ノドグロ頭パウダー	甘えびパウダー
一般生菌数(個/g)	300 未満	300 未満
大腸菌群(個/g)	検出せず	検出せず
大腸菌(MPN/100g)	30 未満(陰性)	30 未満(陰性)

(水分)

水分が 20%以下になると、多くの菌が増殖できないと言われている。いずれの粉末も水分は 10%以下であった。殺菌・乾燥した食品は、長期保存が可能となる。

(味)

今まで、鰹あら、アナゴあら、金頭あら、ノドグロあら、ヨコハマブルーカーボン昆布、甘エビの頭、ズワイガニの殻などの魚介類を、過熱水蒸気処理し、粉末にした。魚介それぞれの独特な味、香りがあり、どれもおいしかった。その中で、これは美味いと舌をうならせたのは、鰹、アナゴ、ヨコハマブルーカーボン昆布、甘エビであった。魚の調理方法は、刺身、焼き魚、煮魚が一般的である。過熱水蒸気での調理は、次のような特徴がある。

- ① 酸素が少ない状態で高温蒸し焼きするので、魚パウダーが酸化されにくい
- ② 加熱していく過程で、魚から汁が出るが、それを排出させずに乾燥させるので、旨味が全量魚パウダーに閉じ込められる。

このような調理方法で魚を食されたことがない人が大部分だろうと思われる。味については、実際に食べないと分からないので、表現がむつかしい。「絶品」とだけ表現しておく。

(製造コストと販売価格)

食材によって、コストと販売価格は違ってくる。魚あらの材料費を除いた、過熱水蒸気発生装置の燃料費や、人件費、償却費などを含めたおおよその処理コストは、乾燥魚パウダー 1kg 当たり、1000 円以下である。一方、販売価格は 1kg 3000~8000 円と見込まれている。

2.3 過熱水蒸気の殺菌乾燥メカニズム

(過熱水蒸気乾燥と熱風乾燥の違い)

魚介類の乾燥は、熱風乾燥が主流で、過熱水蒸気での乾燥はあまり見られない。ここでは、それぞれの乾燥方法の違いを説明する。

表2 思考館の過熱水蒸気成分

成分	H2O	CO2	N2	O2
思考館式	44.9	4.7	46.6	3.9
一般過熱水蒸気	100	0	0	0
熱風	0	0	79	21

思考館の過熱水蒸気は、LPGの燃焼ガスに水を噴霧したもののため、過熱水蒸気が44.9%、残り55.1%が燃焼ガス由来の気体成分で、若干の酸素を含む。この酸素はLPGを完全燃焼させるため、理論空気量よりやや多めに空気を供給するので、燃焼に与れなかった酸素が残ったものである。一般の過熱水蒸気は、ボイラーで100℃の飽和水蒸気を発生させその飽和水蒸気をIHヒーターで加熱して作る

るので、水分以外の気体は含まない。熱風は空気を加熱したものであるから、成分は空気と同じで酸素を21%含んでいる。

魚のあらの殺菌乾燥は、魚あらに熱を伝達し水分を蒸発させ、同時にその熱で殺菌を行っている。その熱伝達の方法について以下に述べる。

(熱風乾燥の熱伝達)

熱風乾燥は、前述したように、空気を加熱し、高温の熱風を作り、それを魚あらにあてることで行われる。図6に示すように、魚あらの表面に触れた高温空気の熱が冷たい魚あらにその熱を伝達することで魚あらを加熱し、水分を蒸発させる。この伝熱を対流伝熱と呼び、対流伝熱の大きさは0.24cal/g/℃である。

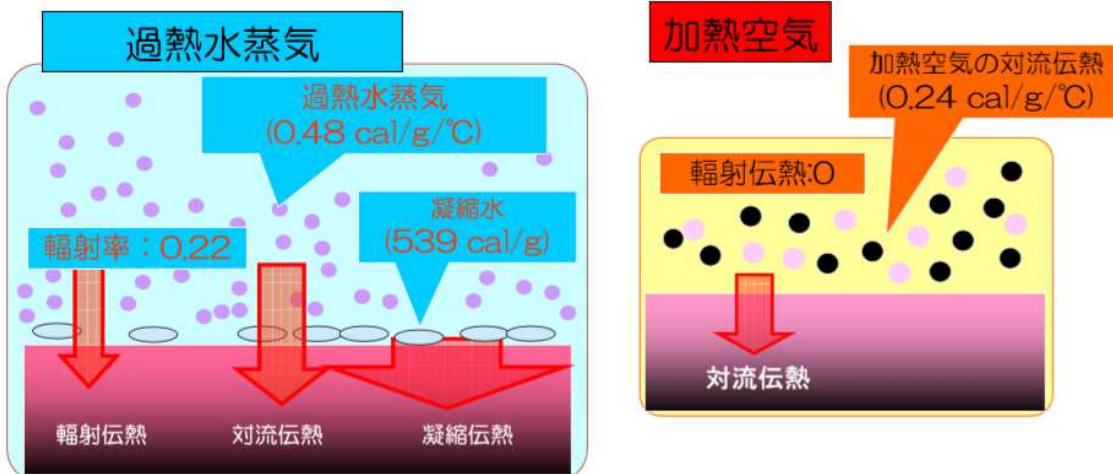


図6 過熱水蒸気と熱風の熱伝達方法 出典：「第52回近畿アグリハイテクシンポジウム」 「食品加工の新技术：生産現場のイノベーションに向けて (4)」 公立大学法人大阪府立大学生物資源循環工学

(過熱水蒸気乾燥の熱伝達)

過熱水蒸気の熱伝達は、対流伝熱、凝縮伝熱、輻射伝熱の3つの方法で行われる。

(対流伝熱)

高温の過熱水蒸気が魚あらの表面に接触した時、冷たい魚あらに熱を伝えるもので、その大きさは0.48 cal/g/℃と熱風の2倍もある。

(凝縮伝熱)

高温の過熱水蒸気が冷たい魚あらに接触した時、冷やされて魚あらの表面に凝縮水を形成する。気体の水、即ち水蒸気は凝縮水を作るときに魚あらに539 cal/gの非常に大きな熱を与える。これを凝縮伝熱と呼ぶ。この凝縮水のおかげで、魚あらの温度は、素早く上昇する。被乾燥物にもよるが、熱風乾燥と比較すると乾燥時間が半分で済むという話はよく聞く。

(輻射伝熱)

過熱水蒸気は、3原子からなる水分子である。この水分子は非対称の伸縮運動を行っており、赤外線を放射する。そして、赤外線の放射熱量は絶対温度の4乗に比例する。伊與田¹⁾らは、過熱水蒸気が高温になると、対流伝熱、輻射伝熱ともに大きくなるが、輻射伝熱の方が増加率は高いとしている。輻射伝熱は、魚のあらの表面からおよそ、0.2mmまで光速で到達する。

伊與田らは、過熱水蒸気および空気気流中で水の蒸発実験を行った場合に、気流温度が170℃を超えたあたりから、過熱水蒸気中への水の蒸発速度の方が空気中への蒸発よりも大きくなる現象があるとしている。思考館が魚あらを処理した過熱水蒸気温度 400～500℃は、対流伝熱よりも輻射伝熱が支配する領域だと言える。なお、空気を構成する窒素分子、酸素分子はそれぞれ2原子からなる分子で、非対称伸縮運動をしないので、赤外線の輻射は無い。よって、熱風には輻射伝熱は存在しない。

1) 出典：伊與田他2名、「過熱水蒸気乾燥における凝縮から蒸発への反転過程」、日本機械学会論文集（B編）63巻612号（1997-8）

3 思考館の過熱水蒸気技術が社会に及ぼす影響

3.1 アップサイクリングでSDGsに貢献

思考館の過熱水蒸気技術は、魚以外の廃棄農産物のアップサイクリングにも役立つ。大部分が家畜飼料や肥料にされている米糠を加熱水蒸気で処理、粉碎した米糠パウダーは甘くて美味しい栄養価の高い食料に変わる。この米糠パウダーをヨーグルトに混ぜて食べた人からは、「体調が良くなった」「便秘が治った」などの声が上がっており、愛用者が増えている。また、米糠パウダーはパンやケーキの素材として使われて始めており、いずれも好評である。

我々は、このほかにも廃棄されるブドウの搾りかすや生姜の根等の殺菌乾燥パウダー化を行った。この経験から、我々の過熱水蒸気技術は次の分野のアップサイクリングが可能と考える。

- ①規格外農産物のパウダー化
 - ②過熱水蒸気で処理すれば、可食となる廃棄農産物のパウダー化（例：玉ねぎやにんにくの皮や葉、野菜や果物の皮、生姜の根）
 - ③液体飲料の原料の搾りかすのパウダー化（例：ブドウ、パイナップル、リンゴ、茶葉、コーヒー、酒粕、ビール麦芽の搾りかす）
 - ④各種食品材料の搾りかすのパウダー化（例：豆腐のおから、あんこの小豆の皮、生姜の搾りかす）
- このように農産廃棄物が、食料にアップサイクルすることでSDGsに大いに貢献できる。また、人が食べるには無理な農産廃棄物も、家畜飼料や魚の餌にアップサイクルできるものも多くあると考えられる。

3.2 穀物の長期保存

我々は、過熱水蒸気で米粒や、大豆の殺菌にも成功した。この殺菌はキルン炉ではなく、過熱水蒸気を充満させた2mの縦型円筒の中に米粒や大豆粒をパラパラと自然落下（処理時間0.4秒）することで、粒の表面を殺菌するものである（図7参照）。

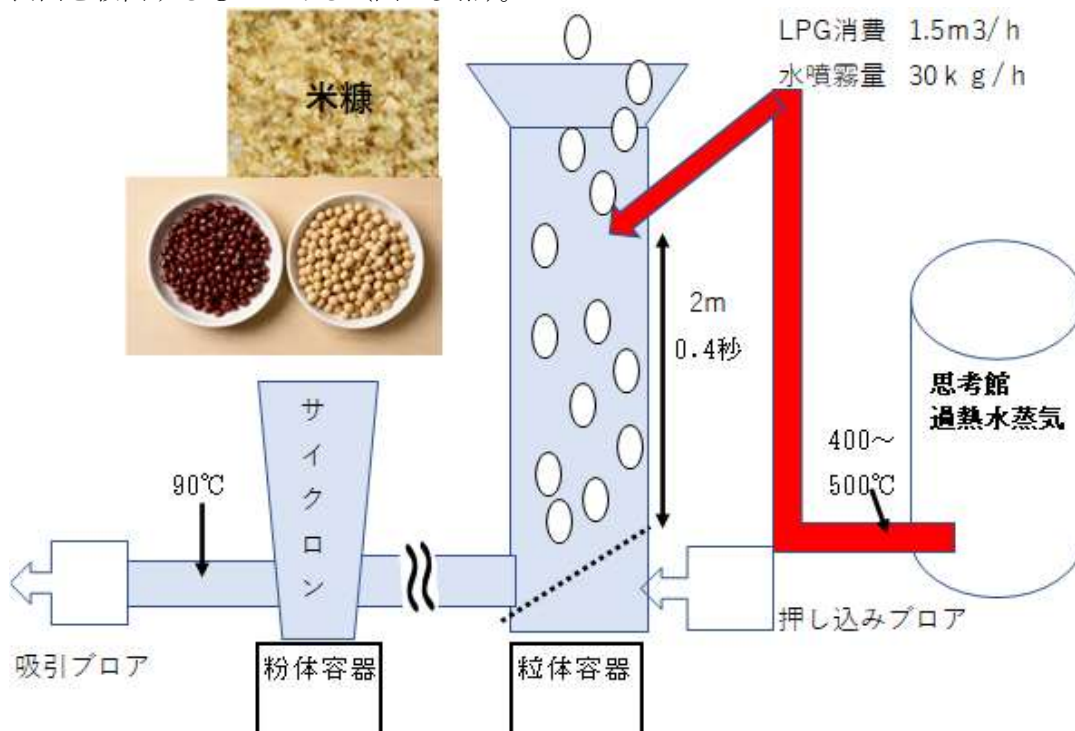


図7 過熱水蒸気を用いた粒体・粉体の殺菌乾燥システム

米粒、粳、大豆、小豆粒及び米糠の殺菌乾燥を行った。一般生菌・大腸菌の細菌検査ではいずれも陰性であった。また、大豆の発芽試験も行ったが、未処理の大豆の 20%がかびにより発芽しなかったのに対し、過熱水蒸気処理した大豆は 100%発芽し、しかも発育も良好であった。

現在東南アジアでは、穀物の 30%は、保管中にカビや細菌によって腐敗したり、害虫に食われたりして失われている。穀物の表面を殺菌して、直ちにプラスチック樹脂でできた袋に密封すれば、こうしたロスは防止できるものと思われる。もし、これに成功すれば、穀物を 30%増産したことに等しい。

以上紹介したように、思考館の過熱水蒸気技術は魚、農産物の SDG s に貢献できる。全世界に我々の技術が行渡り多くの人を助けることが我々の夢である。