

(解説)

食品用横型CIP装置

Horizontal CIP Equipment for Food

南野友哉*¹

Tomoya MINAMINO

High pressure food processing technology attracted attention in the 1980s as a non-thermal sterilization method, and its research, development and practical application were promoted in Japan. High pressure food processing equipment, which did not spread widely at that time, is now seeing increased demand due to recent situational changes in food companies in Japan. Conventional, vertical, cold-isostatic-pressing (CIP) apparatuses are difficult to install in the facilities of food companies and, hence, a horizontal CIP apparatus, "FOOD FRESHER," has been developed. This paper describes the situation surrounding high pressure food processing technology and outlines the FOOD FRESHER newly developed this time and the future development.

ま え が き = 食品に数千気圧以上の高圧を加える食品高圧処理は、加熱処理に代わる殺菌方法として提唱され、1980年代後半より日本で本格的な研究開発が行われるようになった。食品高圧処理は、殺菌作用だけでなく、独特な食感・風味を得る手法としての研究なども進められた。1990年代以降は米国において食品高圧処理の実用化と一般製品への普及が進み、近年は日本国内でも食品高圧処理の実用・応用への需要と関心が高まってきている。

そこで当社は、長年培ってきたCIP (Cold Isostatic Pressing) 装置の技術¹⁾を応用し、食品製造メーカー向けに横型CIP装置 FOOD FRESHERを開発した。2015年に牡蠣(かき)の脱殻・開殻用途に400MPa機の初号機を納入し、その後600MPa仕様の装置を完成させた。本稿ではこれら高圧装置の概要や食品高圧処理の適用事例について紹介する。

1. 国内外における食品用高圧処理の状況

食品高圧処理は、熱の代わりに圧力によってエネルギーを加えることにより、主に殺菌効果を得ることを狙った技術である。加圧処理は、一般的には加熱処理のように食品の化学変化を促進しないため²⁾、栄養素や香味成分に対して影響を与えないという利点がある。1980年代後半より日本で研究開発が盛んとなり、殺菌以外の用途についても研究開発が進められた。蛋白質(たんぱくしつ)やでんぷんの変性、高圧不凍域の利用(加圧急速凍結・圧力移動凍結や加圧不凍域保存)、酵素反応の制御(失活や活性化)、生体膜に対する効果(抽出や浸透)など、研究結果として豊富なデータが報告されている¹⁾。

その後、高圧処理食品としてジャムや米飯製品などが販売されたが、芽胞菌の殺菌にはあまり効果がないこと

や、非加熱殺菌方法として食品衛生法の認可を取得できなかったことなどから、一般製品への適用は限定的なものにとどまった。

いっぽう、日本での活発な活動に刺激され、海外においても欧州を中心に基礎研究が行われるようになった。とくに米国では1990年代に急速に実用化が進展し、現在ではジュース、肉類、ペットフード、ベビーフードなどに幅広く適用されている³⁾。米国における最も一般的な高圧処理食品としてアボカドペーストが挙げられる。この高圧処理されたアボカドペーストは賞味期限を延長しながらも加熱処理品とは異なり、素材本来の風味や食感を保持している。

近年、日本の食品業界においても、殺菌のための添加物を使用しない食品や、従来にない自然な風味、食感を持つユニークな製品を開発したいという要望が高まっており、それに伴って食品高圧処理が再び注目を集めている。食品の品質改善方法としてだけでなく、加熱殺菌が適さない製品の日持ち期間が延長されることによって、廃棄物の量や配送回数が削減され、環境問題に貢献することも期待されている。

さらに、生産能力増強の手段としても高圧処理に関心が寄せられている。二枚貝などの甲殻類に高圧を加えることにより、貝柱や身を殻から簡単に取り出すことができる。通常の手作業による殻剥(む)きと比較して、製品への殻の混入を防止しやすいという利点もある。二枚貝などを取り扱う水産加工業者では剥き手の人手不足が顕在化しており、脱殻用途への高圧処理が既に導入されている⁴⁾。日本国内ではこのように、食品加工設備への食品高圧処理の普及が進みつつある。

*¹ 機械事業部門 産業機械事業部 重機械部

2. 食品高圧処理装置

2.1 食品高圧処理装置の構成

食品高圧処理装置としては、圧媒として液体を用いるCIP装置、あるいはCIP装置に最高90℃程度の加熱機能を付加したWIP (Warm Isostatic Pressing) 装置が使用される。当社は、金属やセラミックス、電子部品など工業用途向けに1960年代から高圧装置の製作を開始し、これまでに900台近い販売実績を有している¹⁾。工業用途のCIP装置 (図1) は、圧力は700MPa以上、容積は15 m³以上の装置が生産設備として稼動している。CIP装置の基本構造は図2に示すような昇圧機構の違いによって以下の二種類に分類される。

- 1) 外部昇圧式 (図2 (a)) : 増圧機によって圧媒を高圧容器内に送り込んで昇圧する機構であり、主に処理圧力600MPa以下の中大型機で採用される。
- 2) ピストン直圧式 (図2 (b)) : 高圧容器にピストンを押し込むことによって圧媒を直接圧縮、加圧する機構で、主に600MPa超の小型機で採用される。圧力容器と加圧シリンダが直列になる構造のため、外部昇圧式と比較して装置本体が大きくなる。また、増圧機や超高压配管を必要としないため、装置全体の構成が簡素である。

当社は上記の外部昇圧式装置、およびピストン直圧式装置の技術を応用し、以下に示す縦型の高圧装置を食品産業向けに開発している。

2.1.1 研究開発用食品高圧処理装置

ピストン直圧式の研究開発用小型装置 (Dr. CHEF) を図3に示す。この装置の仕様圧力は700MPa (処理室寸法φ60×200mm) で、最大1GPa (処理室寸法φ50×150mm) の装置仕様も可能である。高圧の軸力を保

持するためのプレスフレームは手動による旋回操作が行えるなど、装置は非常にコンパクトである。

2.1.2 生産用食品高圧処理装置

米飯パック用の高圧処理装置を図4に示す。本装置は高さは5m程度の縦型であり、専用の搬送装置を使用して圧力容器上端の開口部から処理品の出し入れを行う。食品加工は連続処理による高い生産効率が要求されるため、本装置は容器2基を1セットの昇圧装置と組み合わせて差圧回収システムを適用し、加圧時間を通常システムの半分程度に短縮することによって高い生産性を実現した。図5 (a) は設備を通常システムで運転した場合のタイムチャート、(b) は差圧回収システムで運転した場合のタイムチャートであり、サイクルタイム短縮の効果を示している。

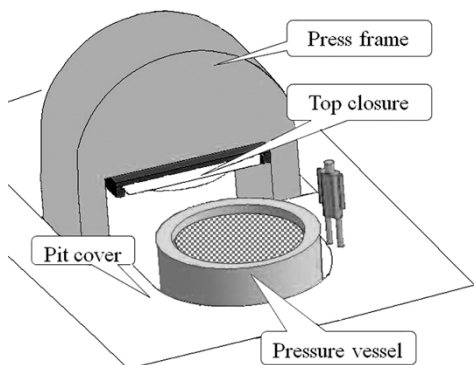


図1 大形CIP装置
Fig. 1 Large CIP equipment

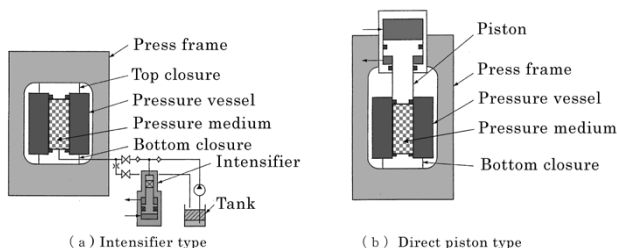


図2 昇圧機構の比較¹⁾
Fig. 2 Comparison of pressurizing system¹⁾



図3 研究開発用食品高圧処理装置 (Dr.CHEF)¹⁾
Fig. 3 High pressure food processing equipment for R&D (Dr.CHEF)¹⁾

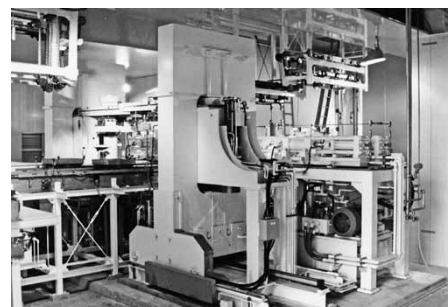


図4 生産用食品高圧処理装置
Fig. 4 High pressure food processing equipment for production

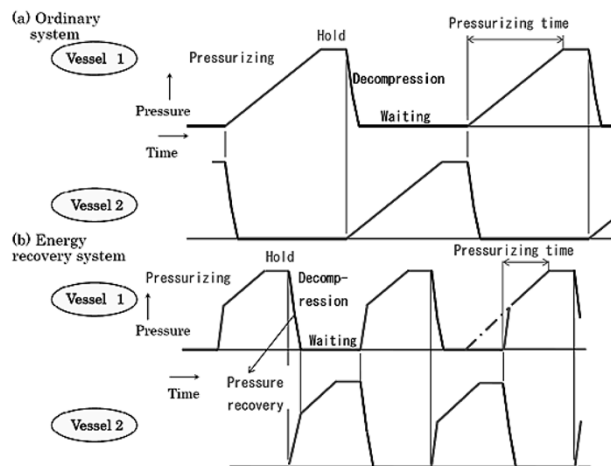


図5 高圧処理工程のタイムチャート比較¹⁾
Fig. 5 Comparison of time-charts for high pressure processing¹⁾

3. 横型CIP装置の開発

3.1 開発の背景

近年、二枚貝の殻剥きを行う剥き手の高齢化と人手不足が深刻化する中、桃浦かき生産者合同会社から牡蠣の殻剥き用高圧装置の開発要請を受けた。当時の当社装置は前章に示した縦型であり、同装置では処理品の出入りにクレーン設備を必要とする。また、装置重量が重いことから高い地耐力が要求される。そのため、納入先の建屋では縦型装置の設置が困難であった。

そこで、これらの問題に対応した横型CIP装置「FOOD FRESHER」を開発し、2015年に400MPa機（処理容積100リットル）の初号機を納入した。装置外観を図6に示す。

3.2 FOOD FRESHERの特長

3.2.1 低い装置高さ、操作の容易性

FOOD FRESHERの処理フローを図7に示す。処理品を充填したバスケットが圧力容器中に挿入されることにより、高圧処理されたバスケットが容器内部から押し出される。つづいて圧力容器が加圧位置に移動し、給



図6 FOOD FRESHERの外観（400MPa、処理容積100リットル）
Fig. 6 FOOD FRESHER (400MPa, 100 liters of process volume)

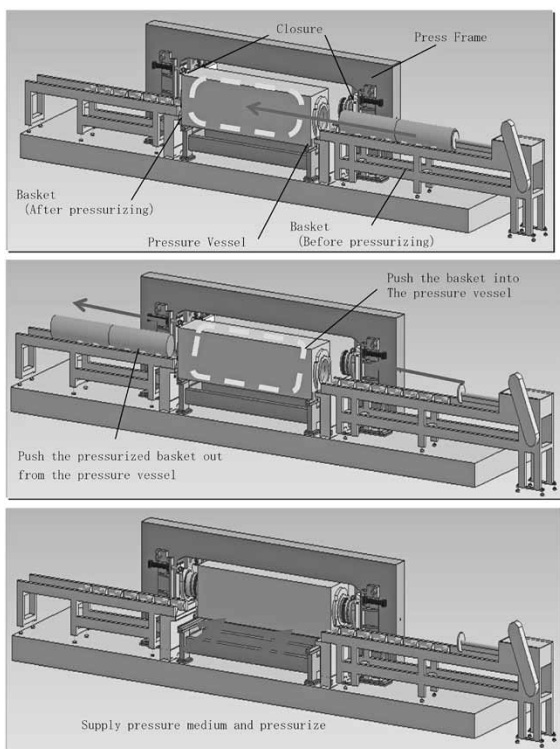


図7 FOOD FRESHER 処理工程
Fig. 7 Production process of FOOD FRESHER

水・昇圧が開始される。

従来の縦型CIP装置と比較して、横型CIP装置は以下の特長を備えている。

- ①装置高さは2m程度であり（縦型は5m）、天井高さが低い建屋にも設置可能である。
- ②縦型CIP装置と比較して設置面積が広いいため、単位面積あたりの床荷重を軽減できる。
- ③処理品を充填したバスケットを圧力容器に挿入する搬送ローラは、人の腰程度の高さに設置されている。このため、バスケットの持ち運びに特殊な工具や設備は不要である。
- ④バスケットの入側と出側は別個に配置されているため、外観の差異が出にくい処理品と未処理品の混入を防止しやすい。
- ⑤圧力容器の開口端が水平方向であり、圧媒は処理ごとに必ず外部へ排出される。このため、不純物の滞留や沈殿を防ぎ、衛生状態を保持しやすい。

3.2.2 軽量・コンパクト

食品用高圧処理装置は、高圧円筒と内圧による軸方向の荷重をプレスフレームで支持する枠形フレーム方式を用いている。この高圧円筒とプレスフレームが装置重量の多くを占める。高圧円筒は、単肉円筒あるいは焼ばめ構造による複合円筒が一般的であるが、FOOD FRESHERでは線巻き構造（鍛造鋼より強度が高いピアノ線を芯になる円筒の外周に巻き付けて強化した構造）を採用し、大幅な省スペース化と装置重量軽減を図った。

3.2.3 小型・大吐出増圧機

食品産業では高い生産効率が必要なため、一般的なCIP装置の半分以下のサイクルタイムが要求される。外部昇圧式装置のサイクルタイムにおいて、最も大きな割合を占めるのは増圧機による昇圧時間である。このため、サイクルタイムを短縮するには、増圧機本体の大型化による吐出量増大が一般的な方法である。しかしながら、大型化して部品単品の重量が増大すると、一般的に重量物を取り扱う設備を持たない食品工場では分解やメンテナンスが困難となる。

そこで、本体を小型化してプランジャ速度を高速化した増圧機を複数台搭載することにより、増圧機本体の重量を抑えつつ吐出量を増大させてサイクルタイムを短縮した。増圧機を含めた高圧処理装置の構成を図8に示す。

プランジャ速度の高速化にあたっては、シール部が重

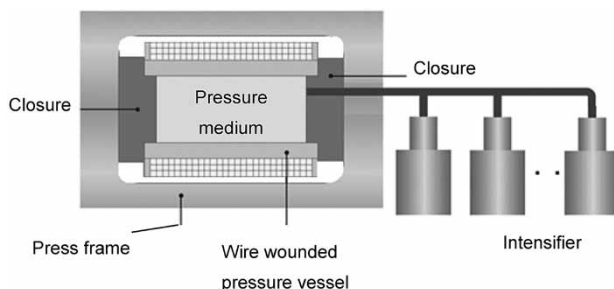


図8 増圧機を複数台搭載高圧処理装置の構成
Fig. 8 Composition of high pressure processing equipment with several intensifiers

要な要素になる。食品処理装置は圧媒として真水を用いるため、圧力容器や増圧機などの耐圧部分には高強度ステンレス鋼を使用する。ステンレス鋼同士の接触・摺動（しゅうどう）は焼付きが発生しやすい。通常のCIP装置やWIP装置は圧媒として水溶性油を添加した水を使用するため、摺動部やシール部においてある程度の潤滑効果を得ることができる。しかしながら真水ではこの潤滑効果が非常に低くなる。そこで、従来にない厳しい環境下での高速運動や高圧シールを実現するため、パッキンやバックアップリングの材質、表面処理、形状などさまざまな工夫を施した。

3.2.4 高速給水

サイクルタイム短縮のためには、昇圧工程だけでなく給水工程の短縮も重要である。縦型CIP装置と異なり、横型CIP装置は処理品の出し入れの際に圧媒を全て排出するため、処理ごとに空の圧力容器に圧媒を供給する必要がある。通常のCIP装置は、蓋（ふた）に設けた給排水弁で圧力容器への給水を行う。給排水弁は高圧圧媒もシールする構造のため口径を大きくすることが難しく、高速給水には適さない。

FOOD FRESHERでは圧力容器端面に給水フランジを配置し、蓋の位置によって給水工程と昇圧工程の圧媒供給経路を切替え、給水時には大径配管および給水フランジから圧媒を供給する方式を採用した。給水フランジは高圧圧媒をシールする必要がなく、圧媒供給経路を大口径にできるため高速給水を可能としている。

3.2.5 衛生面・安全面への配慮

食品機械では食品への異物や錆（さび）の混入を防ぐなどの衛生面に対する配慮が重要である。FOOD FRESHERは圧媒に真水を使用するため、接液部である圧力容器や増圧機、配管のほか、周辺機器にもステンレス製部品を多く採用し、防錆対策を行っている。

また、圧力容器や増圧機の周囲をステンレス製のカバーで囲うことによって安全性も確保している。

3.3 600MPaテスト機の開発およびラインアップの拡充

牡蠣などの二枚貝や甲殻類の処理圧力は通常200MPa程度であるが、他の食品や飲料への処理ではより高圧が求められるケースが多い。これら幅広い要望に応えるため、600MPa機（処理容積50リットル）をテスト機として開発し、当社の高砂製作所内に設置した。同装置の外観を図9に示す。これだけの処理容量を持つ600MPa機のテスト機は国内では希少であり、顧客には高圧処理による効果の確認だけでなく、生産コストも含めた実生産

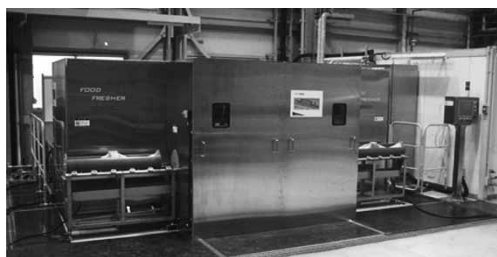


図9 FOOD FRESHERのテスト機(600MPa, 処理容積50リットル)
Fig.9 Test equipment of FOOD FRESHER (600MPa, 50-liters process volume)

表1 食品高圧処理装置ラインアップ表
Table 1 Line up of high pressure processing equipment

Application	Model	Pressure (MPa)	Process Volume (L)
Sterilization	FF6005	600	50
	FF6010		100
	FF6020		200
	FF6040	400	400
	FF4010		100
	FF4020		200
Shucking clams, crustaceans	FF4040	250	400
	FF2520		200
	FF2540		400
R&D	Dr.CHEF	700	0.6
		1,000	0.3

のシミュレーションを実施いただくことが可能である。生産用装置についてもさまざまな圧力、処理容積の要望に応えるため、表1に示すようなラインアップを取りそろえている。

むすび=今回、コンパクトさや操作容易性などの特長を持つ横型CIP装置FOOD FRESHERを開発したことにより、食品会社にとって従来よりも食品高圧処理装置を導入しやすくなったと考えている。高圧処理食品が今後さらに普及してゆくためには低価格化を図ることは重要であり、そのためにも高圧装置に対しては生産性の向上が求められる。

高圧装置は、処理室の容積が大きいほど単位容積あたりの設備費が低下するため⁵⁾、複数台の小型装置で処理するよりも一台の大型装置で処理する方が経済的である。そのため今後は、より大内径、長尺容器の装置の需要が高まっていくと考えられる。大型の高圧装置は設備投資額が大きくなるため、受託処理業者による一括大量処理や、複数の会社が一台の装置を共有するなどの運営方法も必要になると予想される。

また、生産性向上のためには操業安定性の確保、およびメンテナンスによる停止期間の最小化も重要である。このような高度な操業に対応するため、FOOD FRESHERにはIoTによる装置状態の遠隔監視システムを実装することも可能である。

米国をはじめとする海外諸国では、既に飲料の高圧処理による殺菌方法は認可されているが、日本では残念ながらまだ認可には至っていない³⁾。認可に関しては、産官学連携で進めていくことが重要であり、当社もこれまで培ってきた高圧装置の技術を活かして食品高圧処理の一層の発展に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 岸 新和. R&D神戸製鋼技報. 2008, Vol.58, No.2, p.24-27.
- 2) 山本和貴. 食品と容器. 2015, Vol.56, No.9, p.540-549.
- 3) 加藤雅敏. 食品と容器. 2016, Vol.57, No.8, p.476-480.
- 4) 白樫 浩. 高圧力の科学と技術. 2016, Vol.26, No.4, p.333-335.
- 5) 直井利勝. 最近のHIPとCIP. 1988, Vol.25, No.6, p.23-24.