

食品高圧処理装置の現状と展望

㈱神戸製鋼所 技術部第2技術室 直井利勝

1. はじめに

食品分野への高圧利用に関する研究開発は、ここ1、2年の間に加速を付けて活発化している¹⁾。既にジャムや果汁飲料が商品化されており²⁾、消費者の本物志向を背景に高圧食品は身近なものになって来ている。

その高圧技術は、食品分野とは異なる多くの分野、特に新素材の工業分野での生産手段として既に確立されており、決して特殊な技術ではない。

本稿では、食品用としての高圧処理装置について述べる。

2. 食品高圧処理装置への展開

圧力は、温度とならび身近なエネルギーでありながら、温度に比べると馴染みは薄い。しかし、紀元前のサイホンの原理の利用に始まり、蒸気圧の利用を経て、今日では様々な形態で利用されている。特に1980年代にはC I P (Cold Isostatic Pressing) 装置・H I P (Hot Isostatic Pressing) 装置を中心に飛躍的に一般化し、当社では500台を越える高圧装置の販売実績がある。

食品高圧処理装置に最も近い既存の高圧装置として、粉末金属やセラミックスの分野で広く利用されている前述のC I P装置がある。

C I Pは、図1に示すようにゴム型（ゴム製の成型型）に充填密封された粉末材料に、液体の圧力媒体により等方圧を加えて成形する技術である。ゴム型と圧力媒体との関係により湿式法（図1 a）乾式法（図1 b）があり、いずれの方式も食品高圧処理装置への応用が可能である。

C I P装置を支える基盤技術とは、高圧容器の設計製造技術、超高圧シール技術等であり、これらは既に10年来の生産操業を通じて信頼性・安定性が実証済みの確立された技術である。写真1は容積9400ℓ (D2,000mm×L3,000mm)、圧力200MPaの世界最大のC I P装置であり、他の分野では既にこのような巨大な高圧装置が生産装置として安定に使用されている。

食品高圧処理装置には、これらC I P装置の基盤技術を転用することができるが、さらに、高圧円筒をはじめ接液部にはすべて高強度ステンレス鋼を使用するなどの衛生的配慮が必要であり、経済性の面からは処理品の性状や流通形態に応じた最適システムの検討が必要である。また従来のC I P装置のユーザである重工業に近い分野とは異なり、軽量・コンパクト化も重要なファクタと考える。

3. 試験用高圧処理装置

試験用装置を考えたとき、研究所のデスクサイドで手軽に使えることが前提条件であり、コンパクトさや操作・メンテナンスの簡便さが必要である。また種々の研究目的に対応できる機能の柔軟性も重要な条件の一つと考える。

写真2に新たに当社が開発した標準小型試験装置(Dr.CHEF)を示す。標準仕様は処理室

寸法D60mm×L200mm・圧力700MPa・温度範囲0～60℃である。加圧方式はピストン直圧式で、加圧処理時の軸力を支持するプレスフレームの内側上部にピストンを、下部に高圧円筒を配置した操作・メンテナンス性の高い構造で、油圧装置および操作制御盤とともに、コンパクトにパッケージ(W1.1m×D1.35m×H1.5m)されており、かつ研究所にふさわしいスマートな外観としている。

操作は手作業によるエア抜きや上蓋の開閉が不要できわめて容易であり、かつ当社特許の旋回フレームを採用しているため、高圧容器へのアクセスがしやすく、処理品の出入れはもちろんのこと、圧媒液の交換や容器内の清掃を簡単に行うことができる。動作は高圧容器密封(同時にエア抜き)→加圧→保持→減圧→高圧容器開放の1サイクルは当然ながら自動化されている。また高圧容器内の実体温度はリアルタイムで測定・記録することができる。

さらにオプションとして、圧力プログラムコントロール、氷点下温度域冷却機能、処理体の実体温度測定機能、液状食品の直接処理排液機能、低圧大径～高圧小径交換容器、等の豊富なメニューを用意しており、研究目的に応じた柔軟な対応が可能である。

本装置により、食品分野における高圧処理に関する研究や商品開発が促進されることを期待している。

4. 固形・パック製品用生産システム

固形製品やパック製品の大量バッチ処理には、従来のCIP装置の技術をフルに活用することができ、これに加えて衛生面での配慮はもちろんのこと、経済性向上のための最適システムの検討、および、大幅な軽量化とコンパクト化が不可欠と考える。

図2に例を示す圧力400MPaの場合の処理室容積と設備費/容積との関係からも分かるように、超高圧装置は経済性に対するスケールメリットが大きく、処理室容積が増大するにつれて処理室単位容積あたりの設備費が急速に低下することが知られている³⁾。このことは、容積の小さな小型装置を複数台並べるよりも、一台の大型装置で処理する方が経済的であることを意味する。

この経済性について具体的な例で検討してみる。例として、圧力400MPa・処理量300ℓ・サイクルタイム30分のシステムを考える。この能力を持つシステムとして図3に示す種々の考え方ができる。

Aは内容積100ℓの容器と高圧ポンプのユニットを3台別々に設置したものであり、このシステムの設備費は図2から $0.85 \times 100 \times 3 \text{台} = 255$ と試算できる。

Bは内容積100ℓの容器を3台並列に設置し、高圧ポンプ1台を共用したものであり(総サイクルタイム30分のうち、加圧時間は10分であるのでポンプを交代で使用することができる)、設備費はおよそ240となる。

Cは内容積300ℓの容器1台に、A・Bと同じ高圧ポンプを3台設けたものである。このシステムの設備費は図2から $0.51 \times 300 \times 1 \text{台} = 153$ と試算できる。

すなわち同じ生産能力の場合、小型装置を3台併置した場合に比べて、大型装置1台を設置した場合の方が設備費を約40%低減することができる。

生産用装置の場合、さらにシステムの安定性についても充分評価する必要があると考える。高圧処理装置の構成要素のうち、最も厳しい使用条件にある(換言すると最もメンテ

ナンスの頻度が高い)のは高圧ポンプであり、図3の例でポンプが休止した場合の生産量の試算を表1に示す。この表から、Bのシステムではポンプが休止するとたちまち生産停止に陥ってしまい、Cのシステムがポンプの休止に対する抵抗力が圧倒的に高く、安定性の面でも優れていることが分かる。

上述のように、経済性と安定性の面から装置の大型化が明らかに有利である。しかし一方では大型化により高圧容器の重量が急速に大きくなり、食品工場の現状から考えて非現実的なものになってしまうおそれがある。

そこで当社では、大型装置について線巻構造の高圧円筒およびプレスフレームを採用することにより、装置のコンパクト化・軽量化を図っている(写真1参照)。

線巻構造とは、高圧円筒では芯になる内筒の外周面に、プレスフレームでは上下の半円形のヨークと左右の角柱状のコラムとで構成される枠の外側面に、ピアノ線の張力を高精度にコントロールしながら巻付けた構造であり、通常の鍛鋼の2倍の高い強度を持つピアノ線を使用するため、焼嵌め円筒・鋼板積層プレスフレームの構造と比較して大幅なコンパクト化と軽量化が可能である。

図4には、圧力400MPaの場合の線巻構造と焼嵌め・鋼板積層構造の処理室容積と高圧容器重量との関係を示す。処理室のL/Dは2としている。この図から分かるように、内容積100ℓの焼嵌め・鋼板積層構造が約29tfであるのに対し、線巻構造では内容積315ℓで約29tfとなる。すなわち、同一重量の高圧容器を使用する場合、線巻構造は焼嵌め・鋼板積層構造に比べて約3倍の処理室容積を確保することができる。また逆に同一容積の場合は、線巻構造では重量が焼嵌め・鋼板積層構造の約1/3で済み、大幅な省スペースと機械基礎の簡略化が可能であることも分かる。

このように高圧容器の構造によって、寸法・重量にドラスティックな違いがあり、両者の差は装置が大型化・高圧化するほど大きくなる。

したがって当社は、バッチ処理生産用食品高圧処理装置は生産コストを低減するために大型単一容器とし、かつ線巻構造を採用してコンパクト・軽量化を図るのが最もふさわしいと考える。

図5に示す温度と殺菌効果との関係からも分かるよう、目的・対象によっては-20~80℃程度の範囲で温度を併用することが有効になる⁴⁾。これは処理圧力を低減するということから、経済性の面でも有効である。

温度を併用する手段として、小型装置の場合には高圧円筒外周にジャケットを設け、冷媒(あるいは熱媒)を循環させることによって冷却(あるいは加熱)する方法で充分目的を達成することができ、操業形態が24時間連続運転である場合には大型装置の場合にも、この考え方の延長線上で対応することが可能である。しかし、大型装置で常屋操業のような場合(加熱・冷却の繰り返しが必要)には、高圧円筒の肉厚・重量が大きいいため、高圧円筒外面からの加熱・冷却は非効率でまた制御の応答性も悪くなる。

このような場合には、図6に示す容器内循環方式(特許出願中)が有効と考える。この方式では、高圧容器の外で温度コントロールされた圧力媒体がケーシング内に導入され、ケーシングと高圧円筒内面とのすきまを通過して高圧容器外に排出される循環ループが形成される。本方式では、装置のサイズに関係なく応答性に優れた温度制御が可能であり、また攪拌効果も期待できる。さらにジャケット式とは異なり、高圧円筒自体を不必要な温

度まで冷却（または加熱）する必要がないので省エネの面でも優れている。

この他に、大量の固形製品やパック製品を温度も併用し、効率よく処理するシステムとして図7に示す予熱システムも有効である。本システムでは、処理品のバスケットへの投入→予熱→予熱→高圧処理→乾燥→バスケットからの取出し、の各ステーションが自動搬送ラインで結合されている。写真1の装置はこれに近いシステム構成であり、バスケットへの成形体の積込み→モールドの洗浄→加圧→成形体の取出し、の各ステーションが自動搬送装置で結合されている。

さらに、図8に示す可撓隔壁を介して加圧する方式も考えられる。この方式では、高圧容器内に可撓性隔壁が組込まれており、隔壁の内側が処理室となり、隔壁の外側が加圧室となる。本方式での工程の一例は次の通りである。

固形製品またはパック製品を準備ステーションで可撓性ホルダーに収納する。このアセンブリを処理室に搬送して加圧処理する。加圧処理後、アセンブリを処理室から取出して準備ステーションに搬送し、パック製品を可撓性ホルダーから取出す。したがって、加圧と準備工程とを同時に並行して行うことができる。また、一連のハンドリングはロボット等により自動化すること容易であり、数分サイクルでの半連続生産が可能である。

さらにこの方式では、製品の外面が圧力媒体に触れることがないので、圧力媒体が製品中に混入するおそれが全く無く、衛生上の安全性が高い。また、処理後の乾燥工程が不要となり、工程の簡略化にも有効である。

この方式は3項で既述した乾式CIP装置に非常に近い技術である。当社はこの方式の装置技術にも豊富な経験を持っており、対象製品に応じた最適なシステムを提供して行きたいと考える。

5. 液状製品直接処理用生産システム

液状製品を直接取扱う高圧処理方法として、図9に示すような種々の方式が考えられる。

aは、高圧容器に充填した液状食品をピストンで直接加圧する方法である。最もシンプルな方式ではあるが、ピストン先端の高圧パッキンが加圧状態で高圧円筒内面を摺動するために摩擦粉等による食品の汚染のおそれがある。

bはフリーピストン加圧方式（特許出願中）であり、高圧室がフリーピストンで2室に分割されており、一方に液状食品が、他方に圧力媒体（飲料水）が充填される。圧力媒体側を高圧ポンプで加圧するとピストンが押され、ピストンを介して液状製品が加圧される。この方式ではフリーピストン上下間の差圧がほとんどないため、上下のシール用パッキンの摩擦も極めて少なく、a方式での汚染の問題もほぼ回避することができる。

cは可撓隔壁加圧方式（特許出願中）であり、高圧室が可撓性の隔壁で2室に分割されており、内部室に液状製品が外部室に圧力媒体（飲料水）が充填される。圧力媒体側を高圧ポンプで加圧して行くと可撓隔壁が内側に押され、可撓隔壁を介して液状食品が加圧される。この方式の場合には、ピストンのような摺動部がないため摩擦粉等による汚染のおそれがなく、衛生上最も優れていると考える。

当社は液状製品の直接取扱う処理方式として、食品の性状や流通形態に応じてbまたはcの方式を適宜選択・提供して行きたいと考えている。

また、液状製品の生産において課題になる連続処理に対しては、a、b、c何れの方式

でも、図10に示すように複数台の処理容器を並列に設置してそれぞれの容器の処理工程をずらすことで実現可能と考え、さらに図のように2台毎に容器の圧力媒体側を連通できる回路を設けて、減圧中に排出される圧力媒体を他の容器の加圧に使用することでエネルギーを回収する省エネなシステム（特許出願中）として考えている。

6. おわりに

従来にない価値を持つ新食品の開発・生産に有効な技術として、高圧処理技術への関心は国際的にも非常に高く、いち早く応用商品を生み出した日本の研究は、世界から熱い視線を集めている。

日本は今後も世界をリードして食品への高圧処理の応用技術を開発して行くと確信され、新しい処理ソフトの開発とそれに必要な装置の開発、高圧処理に適したパッケージの開発、高圧装置と周辺装置をつなぐシステムの開発等、関連業界および学会間の連携プレーが益々重要になると思われる。

当社は、超高圧装置のトップメーカーとして長年蓄積した技術を活かし、食品業界のニーズにお応えすべく技術開発を進め、食品高圧処理技術の一層の発展に微力ながら貢献して行きたい。

参考文献

- (1)林力丸編：高圧科学と加圧食品、さんえい出版、（1991）
- (2)TRIGGER：4月号、97、（1992）
- (3)高圧ガス保安協会編：最近のHIPとCIP、（1991）
- (4)高橋ほか：冷凍、66、（767）、25、（1991）



写真1 超大型CIP装置



写真2 小型試験装置 "Dr.CHEF"

表1 生産量比較 (図3の各構成でポンプがダウンした場合)

	通常	ポンプ1台ダウン	ポンプ2台ダウン
A	1.00	0.67	0.33
B	1.00	0.00	0.00
C	1.00	0.86	0.60

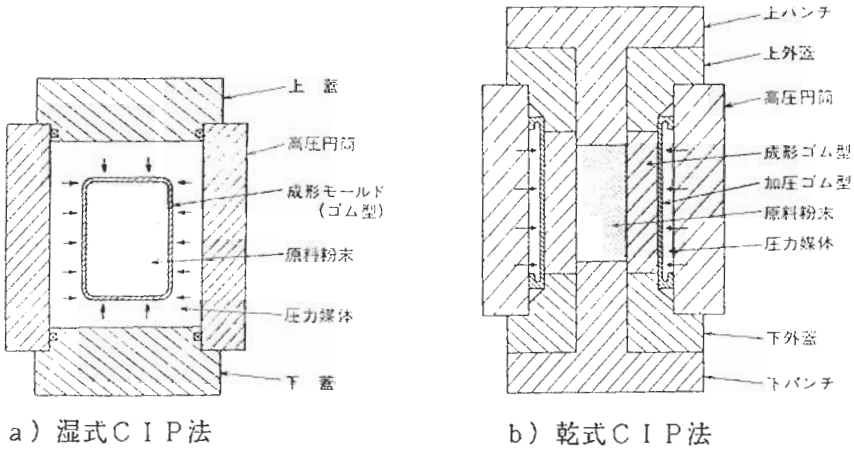


図1 CIP成形法

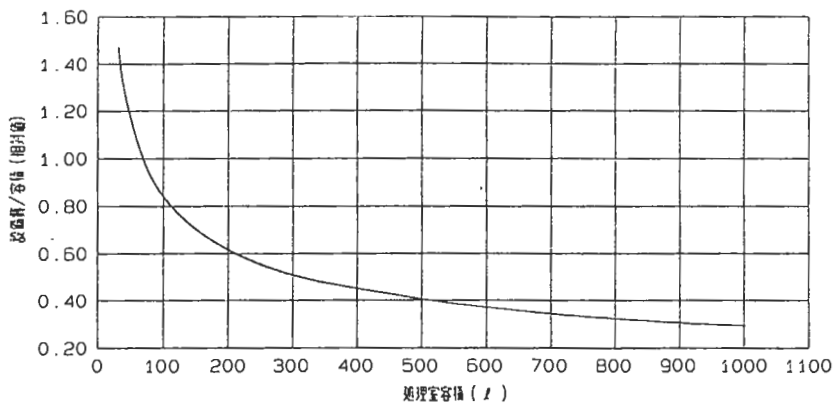
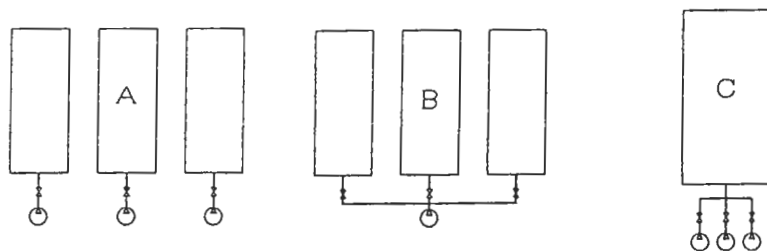


図2 高圧処理装置における処理容積と単位容積あたりの設備費との関係
(圧力 400MPa の場合)



処理サイクル: 30分
加圧10分 保圧10分 減圧10分

図3 高圧処理システムの構成

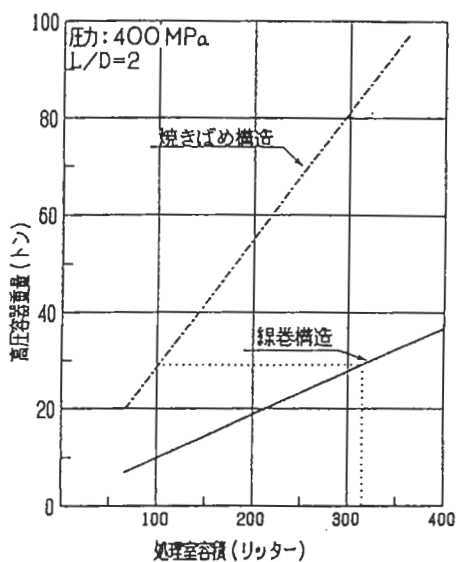


図4 処理室容積と高圧容器重量との関係

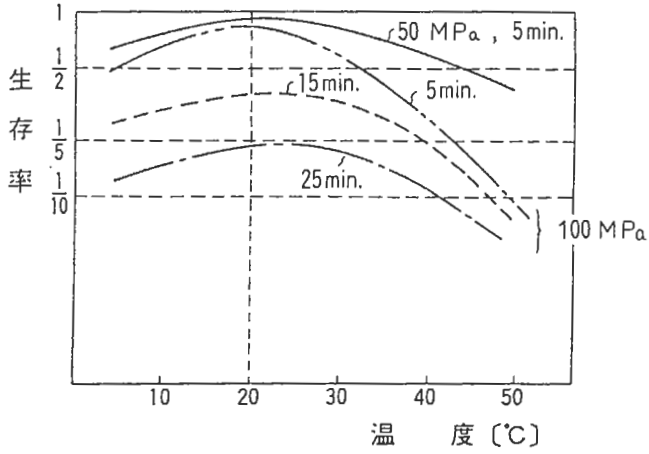


図5 殺菌（大腸菌）への温度および圧力保持時間の効果

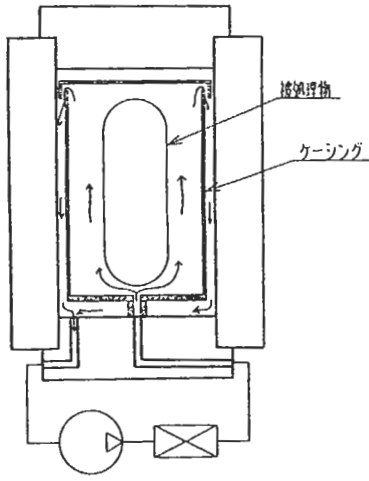


図6 容器内循環式加熱法

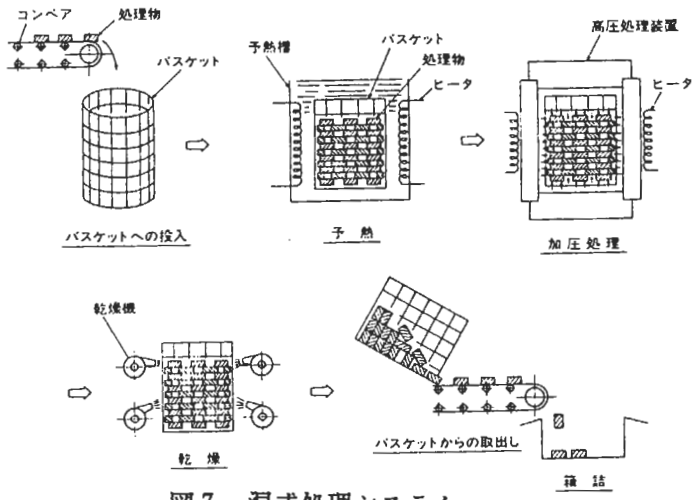


図7 湿式処理システム

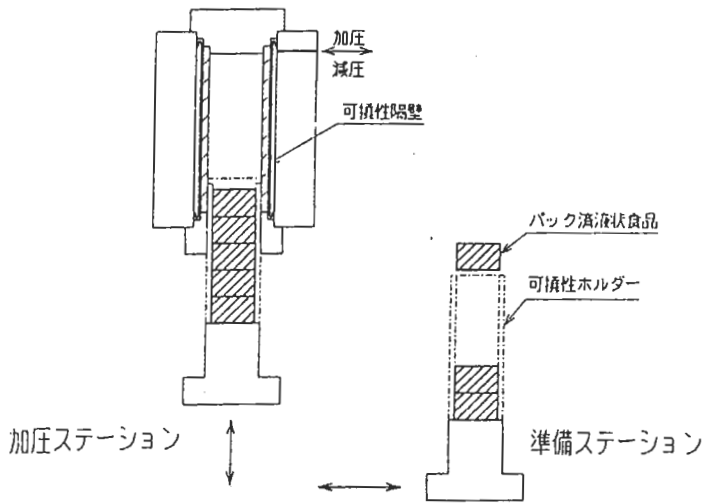
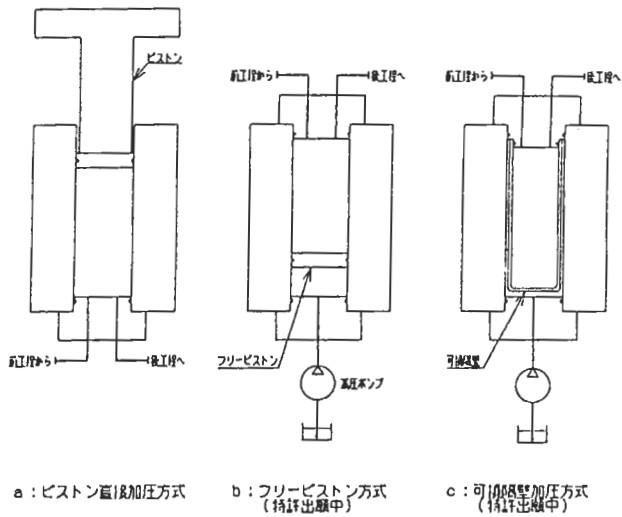


図8 乾式処理システム



a: ピストン直加圧方式 b: フリーピストン方式 (特許出願中) c: 可塑性隔壁加圧方式 (特許出願中)

図9 液状製品直接処理方法

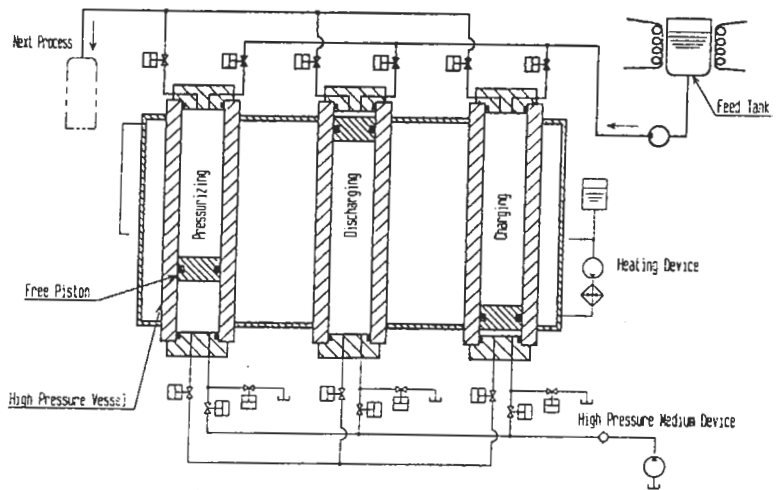


図10 連続処理システム