

特集：プラント圧力設備の基礎

## 第2部：代表的な圧力容器の構造と機能

大原技術士事務所  
代表 大原 良友

### 1. 圧力容器の種類<sup>1)</sup>

本稿では、代表的な圧力容器の構造と機能について解説します。

#### 1.1 塔

たて型の圧力容器で、直径に比べて胴が長く高さが高いものを塔といいます。英名では、COLUMN (コラム) あるいは TOWER (タワー) と言い、スケッチ図を図 4-1 及び図 4-2 に示します。

塔の目的は、蒸留、抽出、吸収、洗浄、反応などの化学操作を行うものであり、内部にはその目的のために、棚段 (トレイ)、充填物 (パッキング) などの内部品が設けられています。

容器を長くして立てる理由は、重力を利用して容器の中で目的とする蒸留、吸収などを行うためです。蒸留や吸収の操作は、気体と液体の比重の差を利用して、気体は下から上へ、液体は上から下へ流して、気体と液体を効率良くお互いに接触させることで行なわれます。

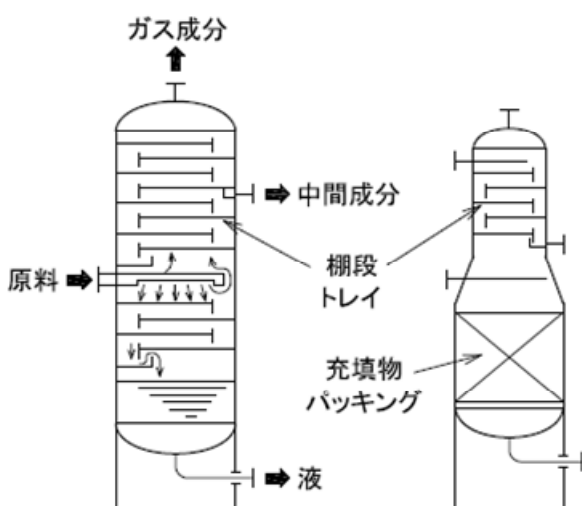


図 4-1 塔の模式図

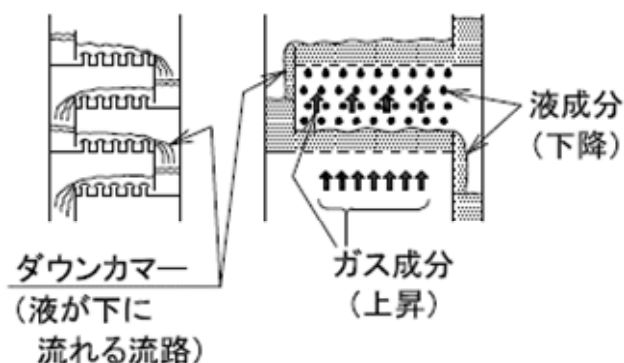


図 4-2 トレイでの液とガスの流れ

#### 1.1.1 塔の種類

主な塔には、次のようなものがあります。

- ① 「蒸留塔」: 幾つかの成分が含まれる液体が混合した原料から、各成分の沸点の温度差を利用して、高沸点成分 (一般的には比重が重い) と低沸点成分 (比重が軽い) の液体に分離します。石油精製の常圧蒸留塔は、製油所で原油から各種の石油製品であるガソリン、軽油、重油など

を製造する場合に最初に行なわれる蒸留操作を行う塔です。大気圧よりも少し高い圧力で蒸留操作が行われるため、常圧蒸留塔と呼んでおり、大元の塔になるので、メインタワーと呼ぶ場合もあります。又、製油所の最初の装置で第一段階の精油工程であることから「トッパー」とも呼んでいます。

- ② 「抽出塔」: 原料に含まれているある成分を抽出するために、液体あるいは固体の抽出剤を用いて、これに吸収して抽出を行い、目的とする成分を分離する塔です。
- ③ 「吸収塔」: 吸収塔では、通常ではある気体を液体に吸収させることを目的としています。そのため、気体を効率よく液体と接触させて吸収するために、向流（気体と液体がそれぞれ向き合って流れる）方式や並流（気体と液体がそれぞれ同じ方向に一緒に流れる）方式のどちらにするのか、プロセス設計者の工夫がなされています。

### 1.1.2 塔の内部品

蒸留塔の内部には、液と気体を効率よく接触させるために棚段（英語では Tray（トレイ））というがプラント業界ではトレイが一般的に使われている）あるいは充填物（英語では Packing（パッキング））というが設置されています（図 5-1、図 5-2 参照）。これらの部品は、内部で気体と液体を効率よく接触させるためのものです。

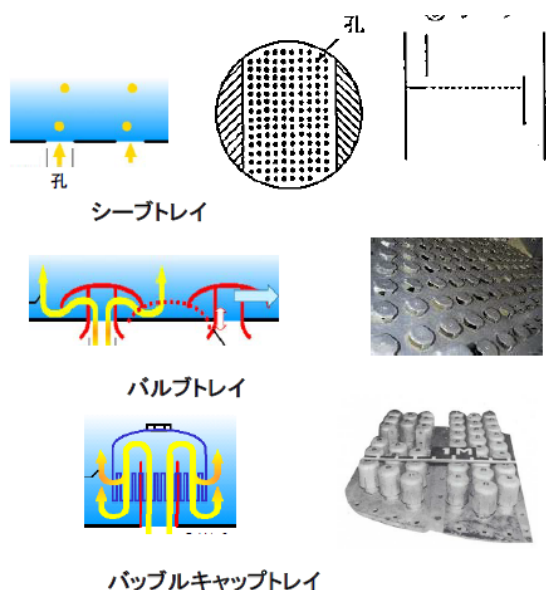


図 5-1 トレイ

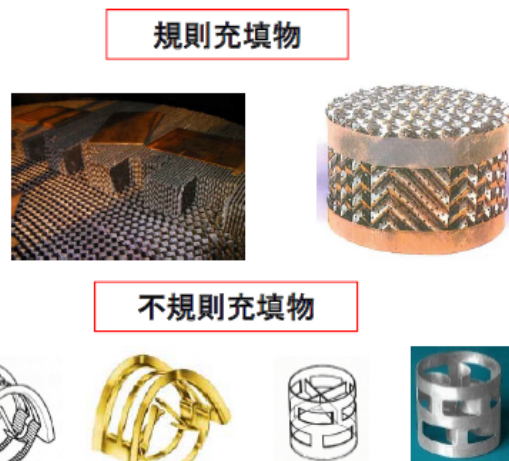


図 5-2 充填物

トレイには幾つかの種類があり、効率の向上の目的で、トレイメーカーが独自の製品を開発しているものもありますが、ここでは一般的に使用されている主なトレイを紹介します。

- ① 「シーブトレイ」: 最も簡単な構造で穴が開いた板のみとなっています。欠点としては、運転範囲が狭いことで、処理量の大幅な変動がある場合には、安定した運転ができません。
- ② 「バルブトレイ」: 比較的簡単な構造で幅広く使用されており、性能は①と③の間くらいです。
- ③ 「バブルキャップトレイ」: 最も複雑な構造で製作費が高いが、広い範囲で安定して運転が可能

なため、それに見合ったところに限定して使用されています。

- ④ 「チムニートレイ」：液をためて抜き出しを行なうトレイです。

又、充填物は、大別すると次のようになります。充填物の上部側には液を均一に分散するディストリビュータと、下には充填物を支える目的でグレーティングを設けることが一般的です。

- ⑤ 「規則充填物（ストラクチャーパッキング）」：シート状の板に穴を明けて波型に加工したものを交互に積み重ねたものです。
- ⑥ 「不規則充填物（ランダムパッキング）」：形状はいろいろなものがあります。方向性に拘ることなく、指定された高さの範囲内にばらばらと入れて充填します。

## 1.2 槽

製油所や化学プラントの製造工程の中間で、流体の流量調整などの役目を果たしているものを槽と呼んでいます。英語名は、DRUM（ドラム）と言い、槽には、たて型と横型のものがあります。スケッチ図を図 6-1 及び図 6-2 に示しますが、一般的にはずんぐりむっくりとしていて、長さや直径の比が小さい形状をしています。

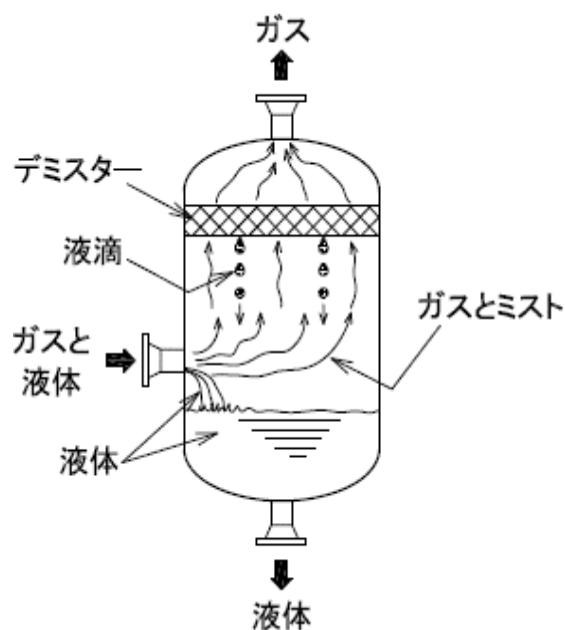


図 6-1 たて型槽の一例

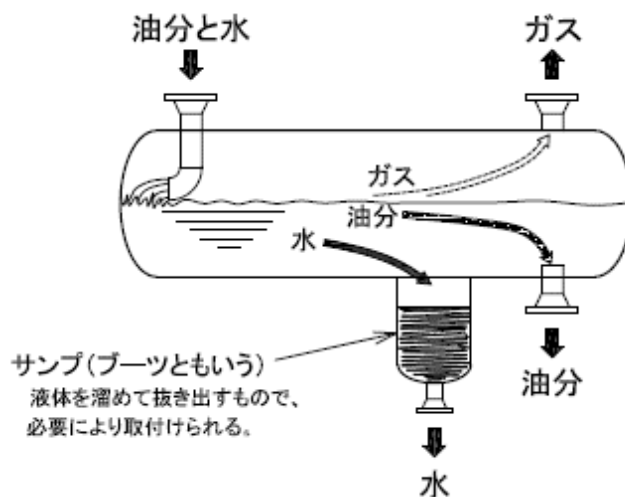


図 6-2 横型槽の一例

### 1.2.1 槽の種類

- ① 「たて型槽」：形状は、たて型の円筒形をしているため、設置する場合は、敷地面積が小さくなります。一般的には、ガスを取り扱う場合に多く用いられています。

例えば、ガス中に含まれる液滴を分離するような槽では、液滴を含んだガスが入口ノズルから入ってきて、ガスは軽いので上に行き、槽の上部に設けられたデミスターという細かい金網を何層も重ねた部品を通過することにより、液滴を分離します。液滴が分離された後のガスは、

上部の鏡板にある出口ノズルから取り出されて、次の工程に送られます。ガスを圧縮する圧縮機は、ガス中に液滴があるとタービンの羽根が損傷を受けるため、この槽を圧縮機の前工程に設けています。

- ② 「横型槽」：液体の貯蔵など液体を取り扱う場合に、多く用いられています。流体の出入りによる流量の変化は、横型では液面の上下変動がたて型槽に比べて少ないため、液面の制御がしやすくなります。そのため、横型槽は、液体を調整する目的の槽として採用されています。

又、軽油などの油分に含まれる水分を分離する槽にも用いられます。油分と水分の混ざった流体が、入口ノズルから入ってきて、その流体は反対側にある出口ノズル方向に流れますが、この間に液体の比重の差により、軽い油は上に行き、それよりも比重の重い水は下に沈殿して流れます。

### 1.2.2 槽の内部品

槽は種々な目的のものがあり、その目的に応じて内部品も様々なものが設置されています。以下に、幾つかの内部品を説明します。(図7参照)

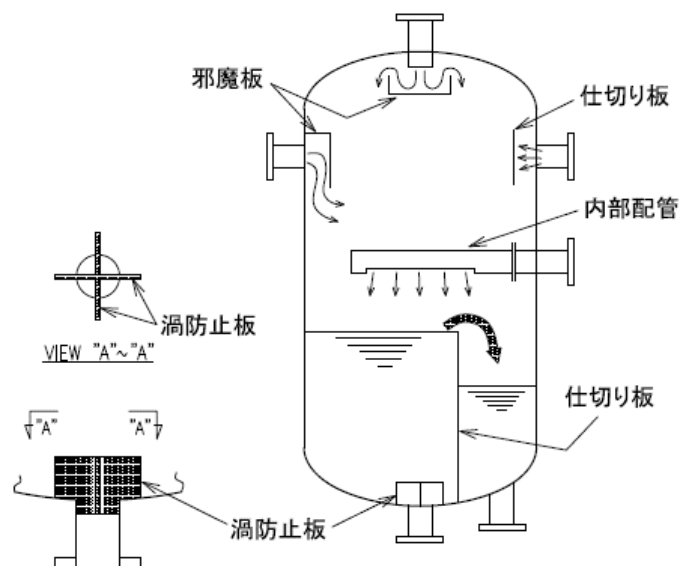


図7 槽の内部品

- ① 「デミスター」：図6-1で説明した内部品で、ガス中に含まれている水滴を除去するために設置されます。直径が0.25mm程度の細い金属線のワイヤーを使って特殊な方法で金網として編みこんで、それを波型にしてから何層にも積み重ねた金網のマット状のものであり、製品としての厚さは、100～150mm程度です。ガス中のミストがマットの金網に付着して、それが成長して大きな液滴となり、重力で落下し、ガスは上昇して上部のノズルから排出されます。
- ② コアレッサー：デミスターと同じ構造をしていて、例えば油と水を分離する槽のような水の中に含まれている油分を除去する場合に、コアレッサーを通過させることで分離性能を向上させます。
- ③ 「渦防止板」：液の出口ノズルの下流にポンプがある場合、流れに渦があるとポンプに振動などのトラブルが発生するため、渦を防止する必要があり、その目的で設置されるのが、渦防止板

(ボルテックスブレイカー) です。構造は簡単で、一枚の板あるいは十字型の板です。

- ④ 「内部配管」: 槽の内部にある配管で、目的に応じて、入口に設けて流入する流体を分散するもの、内部にスチームを流して内部の流体を加熱するもの、などがあります。
- ⑤ 「仕切板」: 液を部分的に仕切るものであり、例えば、油と水が混合しているものから、上に浮き上がった油のみをオーバーフローさせるときに設けます。
- ⑥ 「緩衝板・邪魔板」: 入口からの流体が、直接内部品などに当たると損傷を受けることがあるため、流体の速度を緩衝して流速を低下させたり、流れの方向を変化させたりする場合に設けます。

### 1.3 反応塔

反応装置は、製品を製造する種類に応じてさまざまなプロセスがあります。そのため、使用される反応塔には、その種類に応じてその構造と形式がそれぞれ異なっています。

反応塔は、反応器と呼ばれることもあり、英名では **REACTOR** (リアクタ) と言います。

反応塔の目的は、容器の内部で分解や重合などの化学反応を行わせることで、化学反応により熱を出す場合 (発熱反応) と熱を吸収する場合 (吸熱反応) があります。内部には、反応を起こさせるための触媒が入っています。内部品は触媒を保持することや反応を促進するために設けられますが、塔のトレイに比べて複雑な形状の物が多いです。

ここでは、石油精製装置に用いられる代表的な例として、次の反応塔について述べます。

#### 1.3.1 固定床式反応塔

原料が固定触媒層の中を通過する間に、反応が行われます。固定床で液体の場合、原料の流れは、上部から下への下降流が一般的です。ごくまれに上昇流 (下から上) のものもあります。原料がガスの場合には、反応時間を均一化させる目的で、中央流 (円筒の半径方向に外から内、あるいは内から外) が採用されています。触媒は、一定の期間使用すると活性が低下して反応しなくなるため、定期的に交換されるため、触媒の充填と抜出しが容易に行えるような構造にする必要があります。スケッチ図を **図 8-1** 及び **図 8-2** に示します。

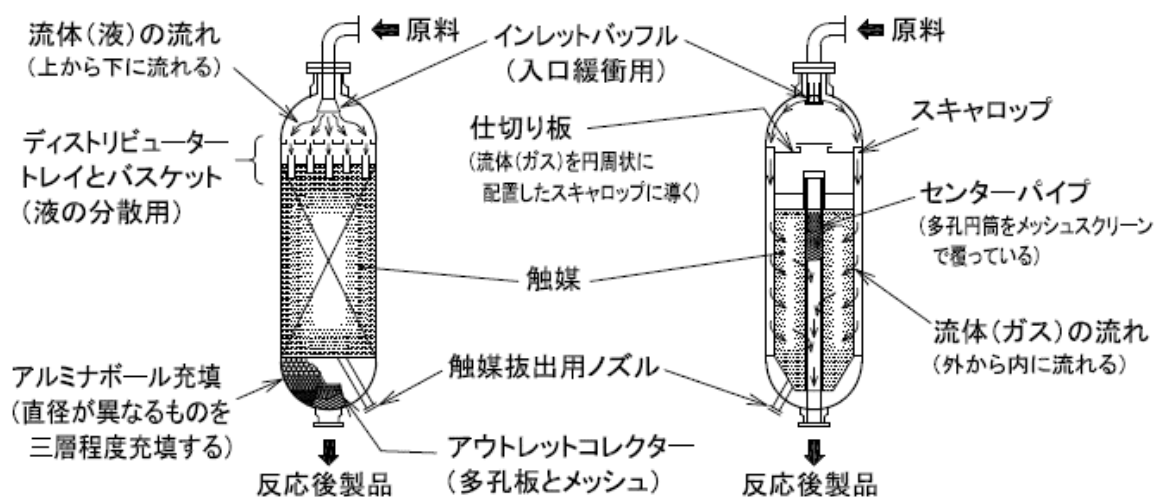


図 8-1 ダウンフロー型

図 8-2 ラジアルフロー型

一般的な固定床反応器の構造を図9に示しますが、反応に必要な触媒が固定されているために、「固定床」と言われています。この反応器の内部品は、上から順に次のものが設置されています。

- ① 「インレットバフフル」：入口ノズルに設けて異物が触媒層に入らないようにすること、流体が直接②の部品を直撃して損傷しないように干渉させること、及び、流体を分散させることを目的として設けています。
- ② 「ディストリビュータトレイ」：この部品を設置する目的は、触媒層に流体（液）を均等に分散して流入させることです。塔のトレイと同じように、穴が明けられているか、あるいはパイプ（トレイフロア上に溜まった液がオーバーフローしてここから流れ出す）が取付けられています。
- ③ 「触媒層支持グレーティング」：格子状のグリッドとその上に金網を載せた構造です。一番上の金網は触媒が落ちないような細かい網目になっていて、差圧と触媒の重量に耐えるための強度が必要です。
- ④ 「リディストリビュータトレイ」：触媒層が2層構造の場合に設けられます。②と同じ役割をします。
- ⑤ 「アウトレットコレクター」：流体の出口に設けて、触媒が抜け出ないように格子状のグリッドと金網で構成されています。

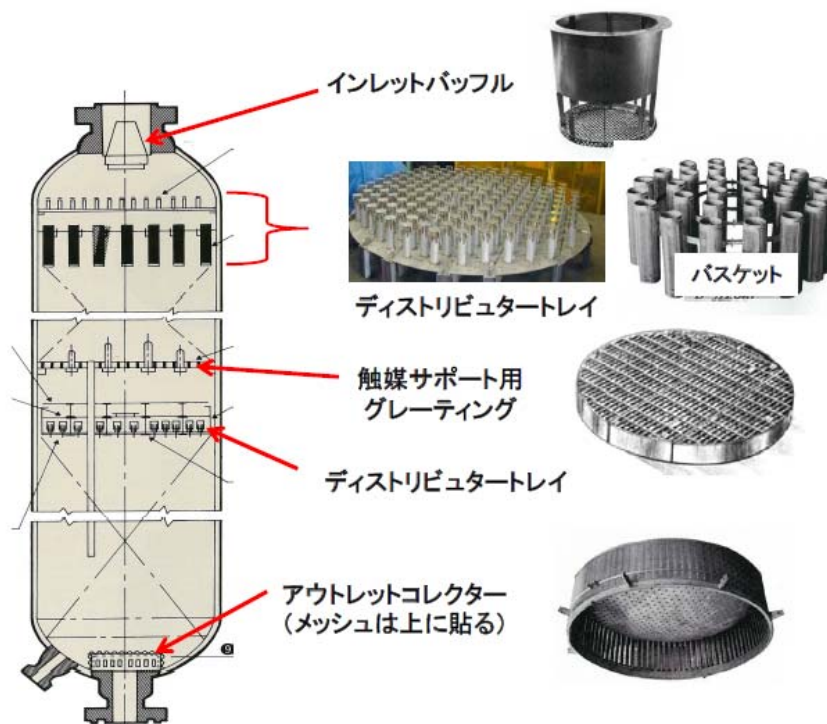


図9 固定床式反応塔の内部品

### 1.3.2 流動床式反応塔

触媒が反応器の中で流動状態になっていて、原料と一緒に流れているものです。そのため、触媒は通常では数十ミクロンから数百ミクロン程度の粉状あるいは粒状の細かいものを使用されています。

出口で触媒を分離する必要がありますが、触媒の分離装置として遠心分離機（内部の圧力を低くして吸いこんで旋回流を作る）の役目を果たすサイクロンが、一般的に設けられています。又、反応塔内で流動状態を保つためには、圧力バランスを調整することが重要な課題となります。スケッチ図を図 10-1 及び図 10-2 に示します。

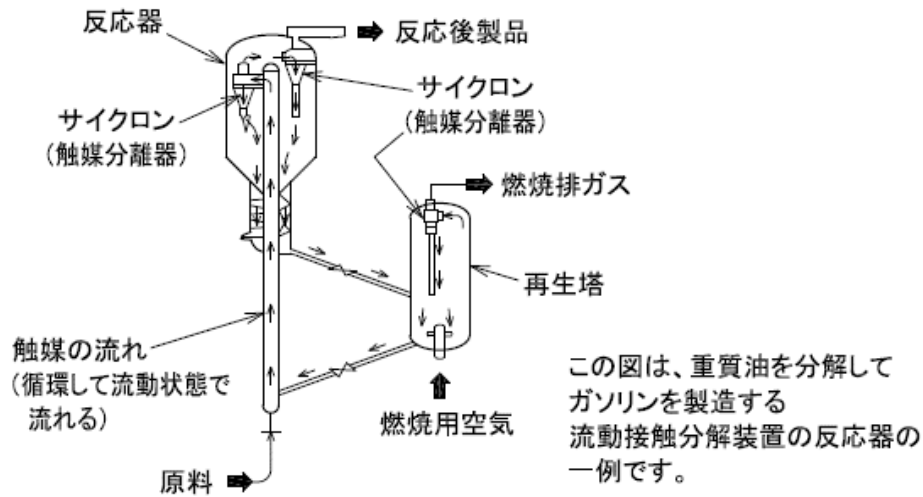


図 10-1 流動床式反応器の一例

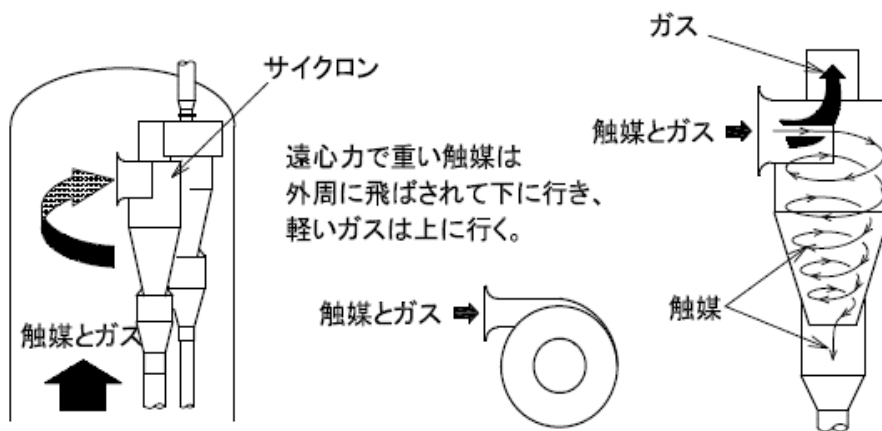


図 10-2 サイクロンの模式図

#### 1.4 Shell & Tube 熱交換器

熱交換器は、異なる 2 つの流体（液あるいはガス）が持っている熱エネルギーを交換する機械の総称です。熱は、温度の高い流体から温度の低い流体に移動しますので、高温の流体は冷却されて、低温の流体は加熱されることになります。

石油や化学プラントの装置で一般的にもっとも多く採用されている熱交換器は、Shell & Tube（多管式）熱交換器です。その理由は、熱交換の効率が良くて信頼性が高いため、特殊な場合を除いて横置きで使用されます。代表例としてスケッチ図を図 11-1 に示します。

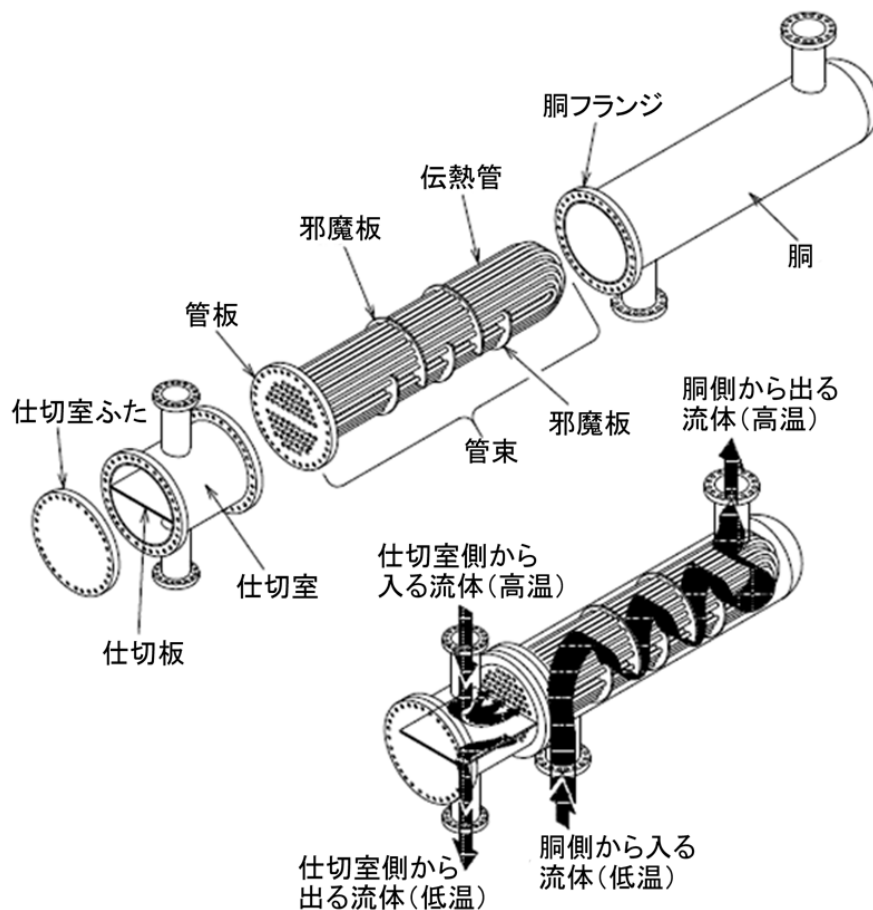


図 11-1 多管式熱交換器の構造と熱交換のしくみ

この熱交換器の構造は、「2つの流体間で熱を伝える多数の伝熱管 (Tube)」、「伝熱管の両端を固定する管板(Tube Sheet)」、「管束(伝熱管と管板に、流体の流れを制御する邪魔板などを組み立てたものを管束という)を格納する胴(Shell)」、「管側流体の入口と出口を構成する仕切室(Channel)」から構成されています。

構造上の特徴から、主に次の3種類に分けることができます。スケッチ図を図 11-2 に示します。

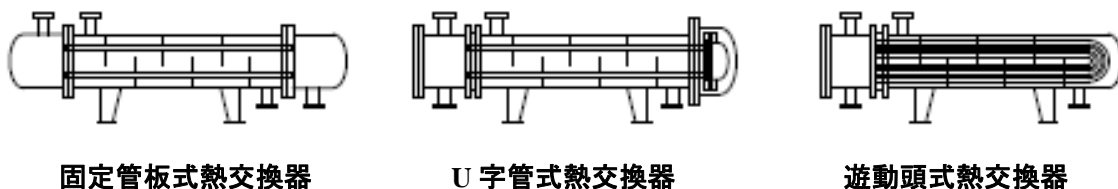


図 11-2 主な多管式熱交換器の種類

- ① 「固定管板式」: もっとも簡単な形式で、部品数も少なくなるため製作費が安くできます。ただし、管の両側が固定されているため、2つの流体の温度差による熱応力が問題となり、温度差が大きくなるとシェルに伸縮継手を取り付ける必要が生じます。又、シェル内部の清掃ができないため、シェル側の流体の汚れや腐食性が少ない場合にしか採用できません。
- ② 「U字管式」: 管がU字型をしたもので、管がシェルとは別個になっているため、温度差によ

る熱膨張に対応できます。又、管束の拔出しができるため、内部の清掃が可能です。

- ③ 「遊動頭式」：分解して清掃が可能となるので、汚れや腐食性が大きい場合に採用しています。ただし、部品数が多くなるために、上記の①や②方式に比べて製作費は割高になります。

### 1.5 空冷式熱交換器 (AFC : Air Fin Cooler) <sup>2)</sup>

空冷式熱交換器 (以下 AFC と呼ぶ)は、無尽蔵の空気を冷媒とする熱交換器として世界中で採用されています。冷却水を必要としないため、設置場所が限定されることはなく、水資源の不足解消や冷却水設備の能力不足を補うことも可能です。又、ランニングコストやメンテナンスコストなど、プラントエコノミーの観点からも優れています。

AFC の構造は、管束 (Tube Bundle : フィンチューブの束)、架構、軸流ファンなどから構成され、部品・ユニット単位で搬入して現地での溶接もなくボルトにより容易に組み立てられます (図 12-1 参照)。AFC は伝熱効果を高めるため、熱交換部 (管束) の伝熱管に螺旋環状フィンを取り付けたフィンチューブ (Fin Tube) を使用します (図 12-2 参照)。伝熱管は、被冷却流体の腐食性に応じて各種の材質を選択できます。

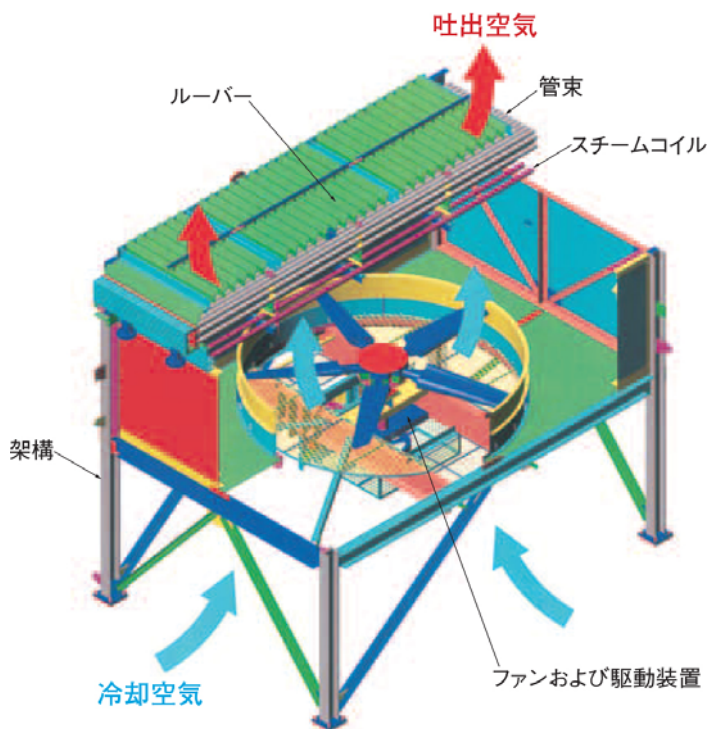


図 12-1 AFC の構造

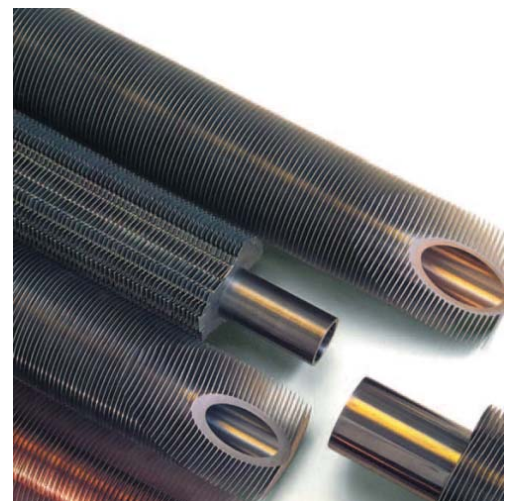


図 12-2 フィンチューブ

AFC のタイプは、「押込通風型」と「吸込通風型」があり、空気流速を上げて伝熱効率を高めるため、強制通風装置として軸流ファン (Fan) を使用します。このファンを、管束に対して押込側に置くか、吸込側に置くかによって、押込通風型と吸込通風型に大別されます。スケッチ図を図 12-3 及び図 12-4 に示します。

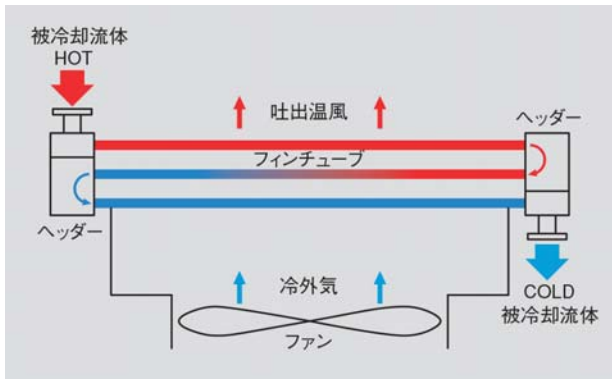


図 12-3 押込通風型

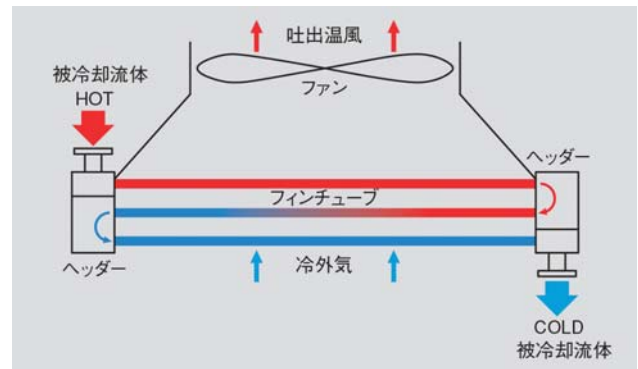


図 12-4 吸込通風型

## 1.6 球形タンク

球形は内圧による応力が均一にかかるため、強度的に安定した構造で最も合理的な形状です。したがって、タンクの内部圧が高い場合には他の形状より板厚が薄くて済み、材料費が低廉となるため圧力設備の形状としては理想的であるといえます。又、球形構造は同一体積に対して表面積が最小であり、熱変動による影響が少ないため、都市ガスやその他のガスの常温加圧貯槽、液化石油ガス (LP ガス) やアンモニアなどの加圧液化やエチレン、液化炭酸ガスなどの低温にて貯蔵する液体用の貯槽として広く利用されています (図 13 参照)。

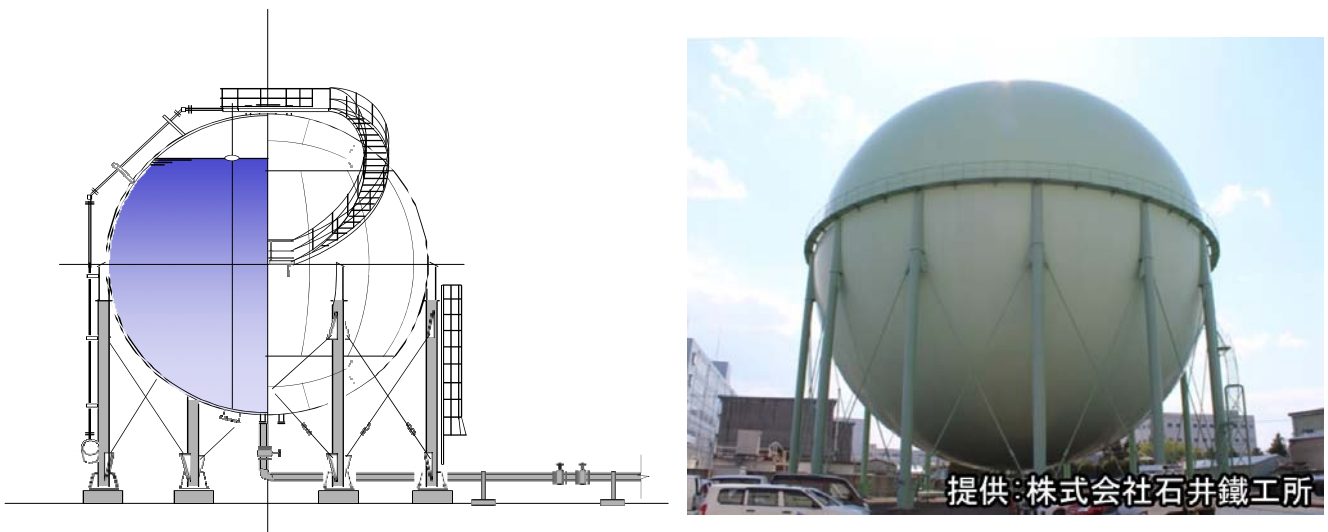


図 13 球形タンク

LPG 球形タンクは常用耐圧 20 気圧程度で、多数本の脚柱により支持された構造を持っています。容量的には、国内では最大で 7,000m<sup>3</sup> 級ですが、海外では 19,000m<sup>3</sup> 級のものまで使用されています。

製作は、一般的には曲げ加工と輸送が許す範囲のものを工場製作し、現地で最終組立と溶接が施工されます。本体の材料は炭素鋼が一般的ですが、最終組立後の溶接後熱処理が不要となるように、国内では本体の板厚を 38mm 以下になるように大きさを決定しています。

## 2. 圧力容器の支持構造物の種類と構造

圧力容器は、コンクリート基礎あるいは鉄骨構造物の架台の上に設置されますが、圧力容器本体と設置されるこれらの構造物とを繋ぐ役割の部品が、支持構造物です。又、支持構造物とコンクリート基礎は、アンカーボルトで固定し、架台にはセットボルトで固定します。

主な支持構造物には、次のものがあります。

① 「スカート」：図 14-1

たて型容器用のもので、円筒状の支持構造物であり、通常、下の鏡板に全周で溶接されます。スカート内部の点検のために、マンウェイが設けられており、また、万一の漏れに対応して、ガス抜き用のベントも設けられています。

② 「レグ」：図 14-2

名前のおりに「足」に相当しますが、たて型容器の下部に型鋼（L型やH型など）、あるいは管により支持する構造物です。本数は3本以上で、一般的には、小型の圧力容器に用いられており、圧力容器本体の下側の胴体に当て板を設けて、その上に溶接で取り付けます。

③ 「ラグ（ブラケット）」：図 14-3

たて型容器を鉄骨構造物の架台の上に設置する場合に、胴の中間部に設ける支持構造物です。ラグ形式のため、この名前になっていますが、ブラケットとも言い、数量は安定性を確保するために、通常は4個が標準となっています。

④ 「サドル」：図 14-4

横型容器の支持構造物で、2個のサドルで保持します。2個にする目的は、左右均等に荷重がかかるようにするためであり、3個のサドルで保持した場合には、何れか1個のサドルと基礎との隙間が空いてしまうと、それに荷重がかからなくなるためです。サドルの取り付けの幅は、図に示すように胴体の周長の約1/3（すなわち120°）を覆うようにしています。

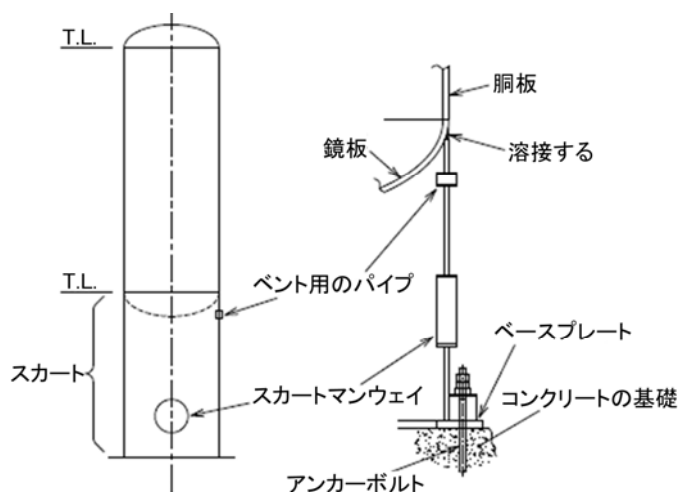


図 14-1 スカート

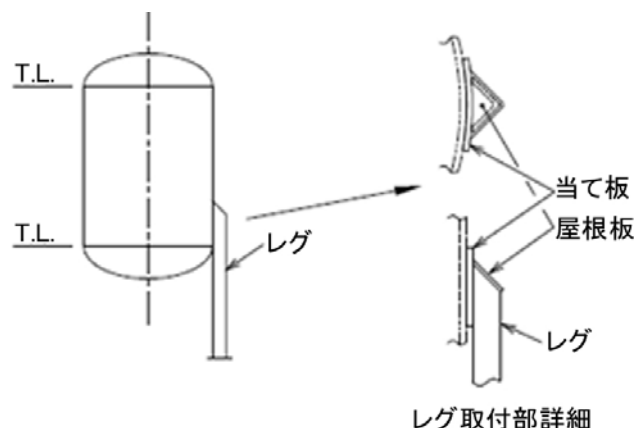


図 14-2 レグ

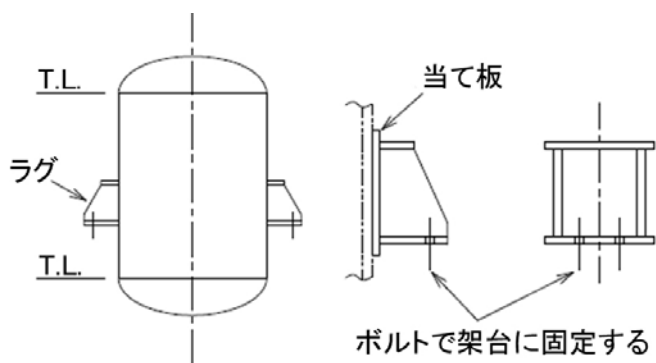


図 14-3 ラグ（ブラケット）

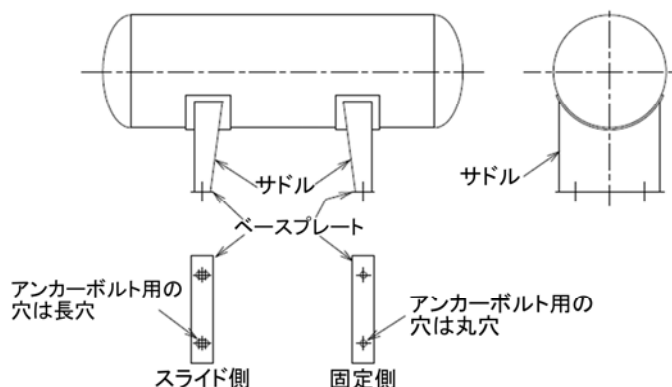


図 14-4 サドル

## 参考文献

- 1) 第2部全般：トコトンやさしい「压力容器の本」（日刊工業新聞社 大原良友著）
- 2) AFCの図と写真：千代田工商株式会社殿のHPより抜粋

<略歴>

### 大原 良友（おおはら よしとも）

1973年 東京都立工業高等専門学校・機械工学科 卒業

1973年 千代田化工建設株式会社 入社

2000年 同社 機械エンジニアリング2部 部長

2009年 同社 機械設計本部 本部長代行

2011年 同社 技術本部 主席技師長

2012年 同社 定年再雇用 上席技師長

2017年 定年再雇用満了で退社 大原技術士事務所設立

現在大原技術士事務所代表として技術コンサルタント業および執筆業に従事