

# 草木廃材の爆砕装置の開発 に関する共同研究報告書

平成16年7月

独立行政法人土木研究所  
月島機械株式会社

Copyright © (2004) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。





## 草木廃材の爆砕装置の開発 に関する共同研究報告書

|          |       |        |
|----------|-------|--------|
| リサイクルチーム | 上席研究員 | 鈴木 穰   |
|          | 主任研究員 | 落 修一   |
| 月島機械株式会社 | 参事    | 杉浦 実   |
|          | 参事    | 釜谷 武志* |
|          | 主任    | 越智 崇   |

(\*: 現在、月島テクノメンテサービス株式会社)

### 要旨

土木研究所は、これまでに草木廃材に蒸煮・爆砕を施すことにより下水汚泥との嫌気性発酵からメタンガスを回収できることや緑化・吹付け材として良好な性状を示すことを明らかにしてきた。これらの技術を実用化して行くためには蒸煮・爆砕装置の開発が必要であった。本報告書は、固定式と移動式の蒸煮・爆砕装置主要機器の開発と設計図書の整備および設置使用に係わる法令・基準、運転操作などに関する研究成果をとりまとめたものである。

キーワード：爆砕、蒸煮、バイオマス、木質、草木、廃材



# 目 次

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 1. はじめに                  |     |
| 1. 1 概要 .....            | 1   |
| 1. 2 研究の目的 .....         | 2   |
| 1. 3 爆砕について .....        | 3   |
| 2. 爆砕装置の基本概念             |     |
| 2. 1 対象物 .....           | 1 0 |
| 2. 2 爆砕装置の考え方について .....  | 1 1 |
| 2. 3 固定方式と移動方式について ..... | 1 3 |
| 2. 4 法規関係 .....          | 1 4 |
| 3. 固定方式の爆砕装置             |     |
| 3. 1 装置の概要 .....         | 1 7 |
| 3. 2 機器概要 .....          | 1 8 |
| 3. 3 爆砕装置設計条件 .....      | 2 0 |
| 3. 4 運転操作 .....          | 3 0 |
| 4. 移動方式の爆砕装置             |     |
| 4. 1 装置の概要 .....         | 3 4 |
| 4. 2 機器概要 .....          | 3 4 |
| 4. 3 爆砕装置設計条件 .....      | 3 5 |
| 4. 4 運転操作 .....          | 3 6 |

図面集

参考文献

## まえがき

土木工事や道路・河川・公園等の管理からは大量の草木廃材が発生しているが、有効利用の手段が限られているためリサイクル率が低く、資源として有効利用する技術の開発が求められている。

土木研究所はこれまでに、草木廃材に蒸煮加圧・爆砕処理を施すことにより、草木の微細化と低分子化が進行し、下水汚泥との嫌気性発酵によりメタンガスを有効に回収できること、また、爆砕した草木廃材は緑化吹き付け材として良好な性状を示すことを明らかにしてきた。

爆砕処理を用いた草木廃材の有効利用方法を実現して行くためには、爆砕装置の開発が必要との認識のもと、共同研究「草木廃材の爆砕装置の開発」を行った。

本報告書は、月島機械株式会社との2年間にわたって行われた固定式および移動式の爆砕装置主要機器の開発と設計図書の整備に関する研究成果を取りまとめたものである。

## 1. はじめに

### 1. 1 概要

本書は、独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループリサイクルチーム担当の公募研究「草木廃材の爆砕装置の開発」（研究実施期間は平成 14 年 9 月 1 日から平成 15 年 9 月 30 日）の報告書である。

## 1. 2 研究の目的

緑地管理や土地造成、産業活動に伴い、大量の草木廃材が発生している。これらは廃棄物の低減や資源化・リサイクルを推進する観点から、有用なバイオマス資源としての利用促進が強く求められている。

独立行政法人土木研究所では、草木に爆砕を施すことにより、その資源化・利用方法を検討し、従来は困難であった草木廃材の嫌気性消化法によるバイオガス生産が、爆砕により有用な基質となり得ること、また容易にバイオガス生産が可能になることを見いだした。

しかし、その実用化に際しては、爆砕装置のための有用な設計資料が存在しない。よって、多様な草木廃材の発生場所や爆砕物の利用方法・場所に対応して、固定式および移動式の爆砕装置について検討し、それぞれの設計資料を作成することを目的とする。

### 1. 3 爆砕について

#### 1) 爆砕とは 1)、2)、3)、4)

「爆砕」(Steam Explosion)とは容器中で高圧の水蒸気により、処理対象の素材を短時間「蒸煮」(Steam Digestion)して水熱反応により素材の成分に変化を与えたのち、瞬時に容器から大気開放する操作であり、ポップコーンやポン菓子を作るのと同じ原理である。

蒸煮の間に、活性な水によるヘミセルロースの急速な加水分解と、ヘミセルロース中に存在するアセチル基の加水分解により酢酸が生成し、これが触媒となってヘミセルロースやリグニンの解重合反応が短時間に進行する。また、その間にヘミセルロースとリグニンは含水状態で高温にさらされ熱軟化し、木材の組織は柔らかくなる(化学的処理)。

このような状態において、急速に大気下に放出されると、素材中の水分の気化による膨張効果と、容器内の水蒸気の急膨張による素材の高速噴出による物理的な衝撃により素材が粉碎される。

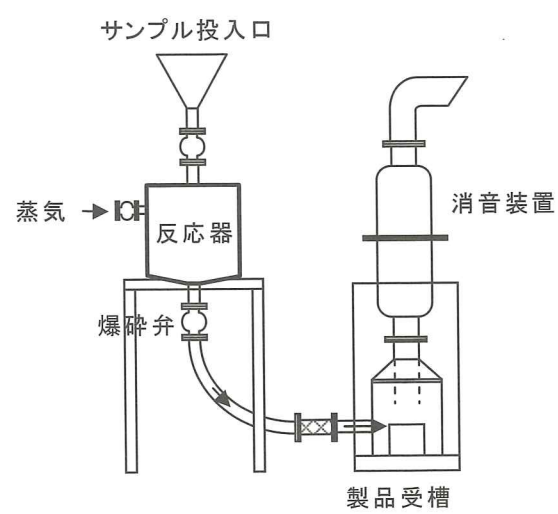
蒸煮段階の条件は、原料、大きさ、処理の目的により様々であるが、一般に 2~8 MPa (20~80 kg/cm<sup>2</sup>)、200~280℃の高圧水蒸気を用いられ、蒸煮時間も数十秒から数十分といった範囲である。主として植物由来の原材料を処理するのに適当である。

工業的な爆砕は、もともとは 1950 年代にカナダで木材ファイバーボードの製造方法として開発された技術であるが、ボードの強度不足などで成功しなかった。のちに 1975 年にカナダの Iotec 社でバッチ式のメソナイト法で木材を飼料化する方法が開発された。さらに同じくカナダの Stake Technology 社で連続式の爆砕による飼料化装置が実用化された。

1980 年代には日本でもバイオマスの処理への爆砕技術の応用研究が盛んに行われた時期でもあった。しかし連続化が思うような成功を得なかったこともあり、工業的には一部で小規模に利用されるに留まっている。

連続的に素材の供給排出を行う連続装置も開発されてはいるが、高温高圧の容器への供給部シール機構や摩耗の問題、あるいは容器内での閉塞問題が完全に解決されているとは言えない。また連続装置では比較的処理時間が長くなるため、条件によっては反応の制御が困難になること、また処理量がある程度大きくないと設備コストが過大になることなどの問題がある。そのため処理物が不均一で処理量もそれほど大きくない草木廃材の処理にはバッチ式の爆砕装置の方が適当と考えられる。

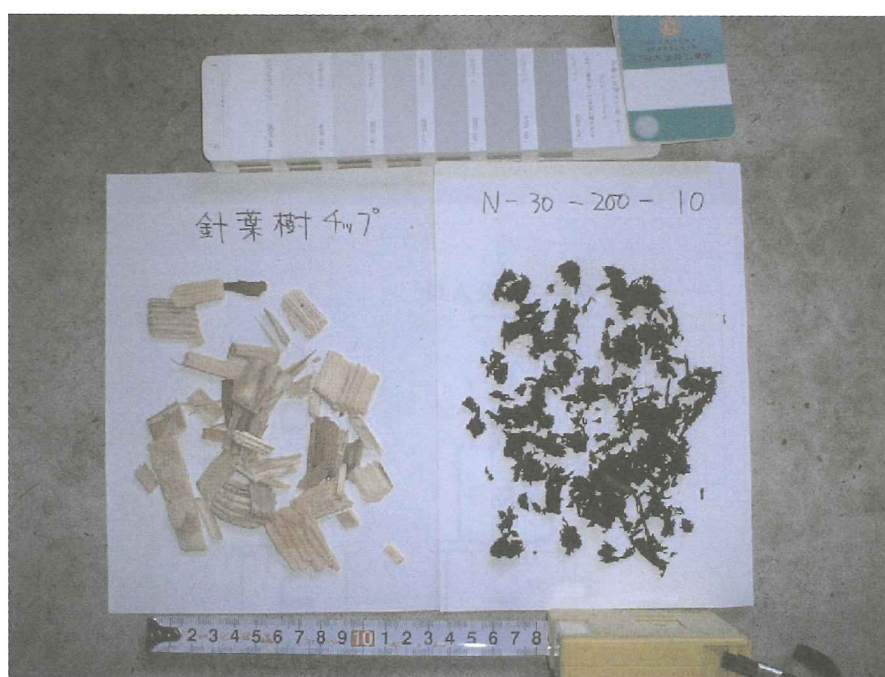
爆砕装置の装置例を図 1-1、爆砕した例を写真を図 1-2、1-3 に示す。



図－１ 爆砕装置の装置例



広葉樹(ブナ・ナラ)チップと爆砕物  
(圧力 2MPa×蒸煮 15 分)



針葉樹(スギ)チップと爆砕物  
(圧力 3MPa×蒸煮 10 分)

図 1 - 2 爆砕した広葉樹、針葉樹チップの写真



雑草と爆砕物  
(圧力 2MPa×蒸煮 1 分)

図 1 - 3 爆砕した雑草の写真

## 2) 爆砕の特徴

爆砕の特徴としては、以下のとおりである。

- ・ バッチ方式の爆砕装置は、基本的に圧力容器、サイレンサーとボイラーから構成され、装置がシンプルであり、メンテナンスが極めて容易である。
- ・ 反応の制御は、蒸気の圧力・蒸煮時間で簡単に行うことができ、酸・アルカリを使用する場合と比較し、制御が容易である。
- ・ 水蒸気のみを使用するので、有機溶剤などを利用するプロセスと比べて、毒性や環境への負荷が極めて少ない。また、酸やアルカリを使用しないので、排水や排気の処理が容易である。

なお、リアクターからの排出時に破裂音が発生するが、適切なサイレンサーを設置することで容易に騒音を抑えることができる。

また、圧力容器としての点検が年に一度義務づけられるが、適切に設計製作されているものであれば問題はない。

### 3) 爆砕物の用途

爆砕は、高温高压での水熱反応、水蒸気の膨張による衝撃力による破砕効果により、効率よく植物系素材の加工が行える。爆砕により植物系材に含まれるセルロースは解繊され、さらに低分子化される。ヘミセルロース、リグニンなども高温では軟化しているので、容易に高分子鎖が破断し低分子化される。さらに水熱反応による親水基の修飾により、水溶性の有効成分を生成させることも可能である。

このような特性を利用して、蒸解困難な木質系の原料をパルプ化して製紙原料にしたり、植物系原料の糖化やアルコール発酵の前処理、飼料化、土壌改良材などの製造といった応用が可能である。例えば、高温処理により素材が無菌化されることからキノコの培地の製造に使用されている例もある。爆砕の圧力、温度、時間を適正に制御することで、木質系素材からキシリトールやオリゴ糖、あるいはフルフラールを生成させ抽出している例もある。

また、爆砕処理をした有機系廃棄物をコンポスト原料に利用すると、コンポスト化に要する時間が短縮され、結果的にコンポスト設備に必要な敷地の削減が可能になる。またメタン発酵の基質に利用するとガスの発生が増加することが確認されている。<sup>5)</sup>

草木廃材のような未利用資源に爆砕を適用することにより、従来自然界に放置して自然の分解に任せていたような有機系廃棄物の効率的な有効利用の道が考えられ、結果的に CO<sub>2</sub> 排出抑制が可能となる。

## 2. 爆砕装置の基本概念

### 2. 1 対象物

本研究での対象とする草木廃材とは表 2-1 のようなバイオマス資源である。

表 2-1 爆砕対象物の例

| 大分類   | 小分類                  |
|-------|----------------------|
| 木質廃材  | 間伐材、流木、廃建材、製材廃材など    |
| 剪定材   | 果樹剪定材、街路樹剪定材、公園剪定材など |
| 農業廃棄物 | 籾殻、豆殻、茎類など           |

爆砕の原料となる草木廃材は、一定の大きさ（たとえば 20～30mm 程度）以下に粗破碎されている必要がある。これは、原料の迅速なリアクターへの投入や、爆砕により十分に破碎されなかった場合でも排出が困難にならないようにするための配慮でもあるが、最も重要なのは高圧水蒸気で加熱する際に短時間で均一に加熱するために必要である。

仮に、爆砕の前処理としての粗破碎を省略して、たとえば枝状や丸太状の処理物をそのまま爆砕した場合、木質は熱伝導が悪いので処理物の中心まで加熱されるのに時間を要し、蒸解が不十分になる。また、中心部の加熱に十分な時間をかければ、処理物の表面は過剰な熱履歴を受けるため反応が進行し、不要な分解物が生成したりすることになる。

こうした事情から草木廃材の爆砕については、前工程でチップ化されたものを処理原料として扱うこととする。なお、破碎するチップのサイズは、破碎機の一般的な分画サイズであるインチのフルイで全量通過するものとする。

## 2. 2 爆砕装置の考え方について

草木廃材の発生量は、地域、季節により変動が大きく、廃建材や間伐材チップなどを除いて量的にも質的にも安定しない。従って、バッチ方式の爆砕装置で対応するのが適当と考えられる。

次に、バッチ方式のリアクターの大きさであるが、既存の爆砕装置では30～40L程度のものが多い。この水準の容量は第一種圧力容器として製作上難しくはないが、バッチ式の爆砕装置の容量の決定には以下の要素を考慮する必要がある。

まず原料のリアクターへの供給であるが、シュートなどの機構ではチップ化された原料でもリアクターが大型化すると投入時間は増加する。また、リアクター内に蒸気を注入して中の空気をパージする必要がある、パージの時間は容器の大きさに比例する。さらに高圧蒸気での加熱は注入孔から処理物層への蒸気の浸透拡散時間によるが、容器を大型化すると蒸解時間は増加する傾向にある。またその結果としてリアクターの周辺と中央では熱履歴な差がでるようになり、均一な蒸解が困難になりムラが発生する可能性がある。

このような問題を解決するために、例えば搬送力の高い原料供給機の設置や、蒸気の注入孔の増設などの手段を加えるとしても、リアクターの大型化に比例してバッチあたりの処理量は増加するが、サイクルタイムが増加するため、単位時間あたりの処理量はそれほど増加しない。また、装置コストも増加してしまう。

設備の処理能力を上げるには、ある容量のバッチ方式のリアクターを複数基設置するのが適当である。その標準となるリアクターの容量について検討すると、100L程度が供給及び排出の観点から限界と思われる。運転のサイクルタイムの実態は、処理条件で異なるが、通常の木質チップの場合、高圧蒸気で短時間処理が有利になると思われ、60～80L位のものが扱いやすいと思われる。そのような観点から、今回の設計では80Lをリアクターの標準容量と定めた。

また、本研究における爆砕装置の所掌範囲であるが、爆砕装置の入口条件、運転条件爆砕物の用途などによって補機類が大きく異なってくるため、リアクター、高圧蒸気ボイラー、ブロータンク、サイレンサーとした。また、移動方式において必要な用水タンク、ポンプ及び発電機も所掌外とした。

## 2. 3 固定方式と移動方式について

本研究では、固定方式と移動方式の両タイプの爆砕装置の開発を行う。

固定方式は、爆砕装置を設置した場所に草木廃材を受け入れて爆砕処理を行う。草木廃材をそのまま受け入れて分別、チップ化などの前処理を行った後に爆砕処理したり、チップとして受け入れてそのまま爆砕装置に供給する場合などが想定される。

得られた爆砕物は、例えば爆砕装置が設置された施設内にメタン発酵槽を有するのであれば、爆砕物を添加してメタンガス化させ発電を行うことができる。また、爆砕物を二次製品として出荷し、堆肥化させて有効利用することもできる。

設置場所は、屋内据置型とし土木構造物の中に設置する。土木基礎工事を行い、各機器を据え付け、配管工事を行う。機器、計装品の仕様は屋内型を使用する。

一方、移動方式は、草木廃材が発生した現位置で爆砕処理し有効利用する場合を想定したものである。現位置で爆砕するメリットとしては、輸送する手間、費用が削減できることが考えられる。得られた爆砕物は、破碎した場合より分解が進んでいるという特徴を生かして、例えば道路工事で発生した伐採木を現地で爆砕処理しそのまま法面吹き付け材として使用したり、現地でコンポスト化する場合の期間を短縮することが考えられる。

設置場所は屋外とし、主要ユニット別にコモンベース上に機器を設置する。トラックで現場へ輸送し、現場で各ユニットをつなぐ配管を接続し、発電機と操作盤の電気配線、給水タンクとボイラーの接続を行う。なお、輸送の際に障害と成りうるサイレンサーなどの機器については、予め取り外しが容易であるような構造にしておく。機器、計装品の仕様は屋外型を使用する。

## 2. 4 法規関係

爆砕装置は、リアクターと電気ボイラーが第一種圧力容器及びボイラー構造法規の適用を受け、機器の製造を行う管理区内の労働基準局の検査を受ける必要がある。

ボイラー、圧力容器に関する法的基準は、ソフトの基準として労働安全衛生法、労働安全衛生法施行令、労働安全衛生規則、ボイラー及び圧力容器安全規則などがあり、ハードの基準として、ボイラー構造規格、圧力容器構造規格並びに小型ボイラー及び小型圧力容器構造規格などがある。

ボイラー及び第一種圧力容器の性能検査の周期は、ボイラー及び圧力容器安全規則第 37 条においてボイラー検査証の有効期限が一年と定められているため、原則として年 1 回検査を行う。性能検査におけるボイラーの検定料はその伝熱面積( $m^2$ )によって、第一種圧力容器はその内容積( $m^3$ )によって決まる。

### 1) 圧力容器

圧力容器は、その種類・規模や危険度が異なるため、「第一種圧力容器」と「第二種圧力容器」に区分されている。

第一種圧力容器は、その容器内において煮沸、加熱、反応等の操作が行われるものであり、内部に大気圧における沸点を超える温度の液体を保有する。これに対して第二種圧力容器は、内部に圧縮気体を保有する容器で、規制上は第一種圧力容器より緩い規制を受ける。なお、爆砕のリアクターは、第一種圧力容器に分類される。

第一種圧力容器は、労働安全衛生法 41 条、ボイラー及び圧力容器安全規則 73 条のもと、指定検査機関を通じて労基監督署への届け出が必要で、規定される圧力容器は原則的に 1 回/年の性能検査を受けなければならない。

### 2) ボイラー

ボイラーは、その大きさなどによって、小さいほうから「簡易ボイラー」、「小型ボイラー」、「ボイラー」に区分され、それぞれの危険度に応じて段階的に規制が厳しくなる。

ボイラーも同様に、労働安全衛生法 41 条、ボイラー及び圧力容器安全規則 38 条のもと、指定検査機関を通じて労基監督署への届け出が必要で、規定されるボイラーは原則的に 1 回/年の性能検査を受けなければならない。

移動式の第一種圧力容器、ボイラーの設置は、固定式と同様に届出、性能検査が必要である。参考に、移動式ボイラーを設置する際の法規を以下に示す。

移動式ボイラーを設置しようとする者は、あらかじめ、ボイラー設置報告書（様式第12号）にボイラー明細書（様式第3号）及びボイラー検査証（様式第6号）を添えて、所轄労働基準監督署長に提出しなければならない

実際に爆砕装置を用いる場合は、運転する場所の労働基準局に設置許可を申請する必要がある。装置の据付工事が完了し、落成検査を受けて、申請内容と機器の作動、設計圧力で運転を行い、安全運転の確認が終了して認可されてから装置全般の運転が可能となる。

ボイラー及び第一種圧力容器関係の手続きの流れを図2-1に示す。<sup>6)</sup>

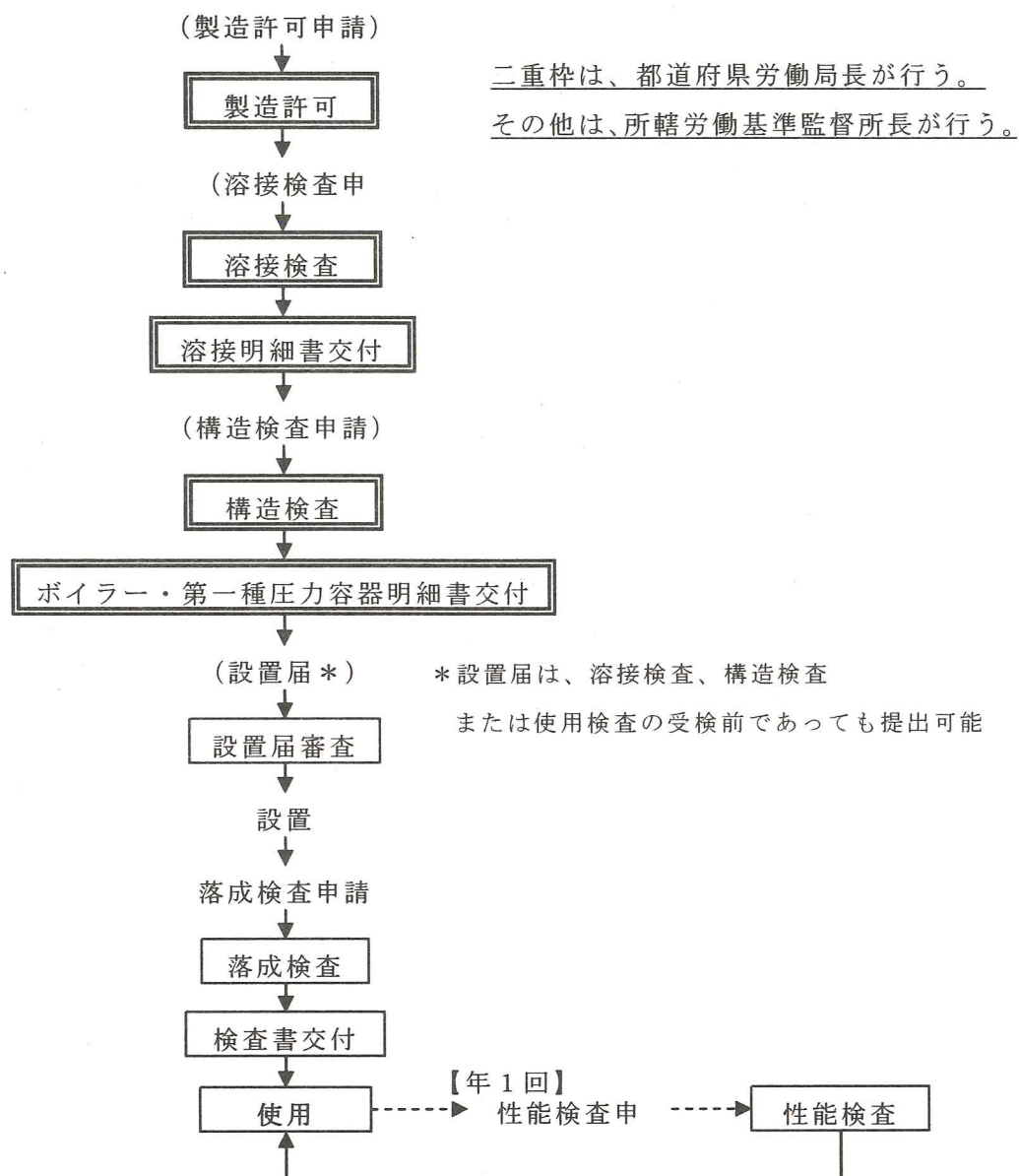


図 2 - 1 ボイラー及び第一種圧力容器関係の手続きの流れ

### 3. 固定方式の爆砕装置

#### 3. 1 装置の概要

草木廃材を高圧蒸気により蒸煮し爆砕する装置で、この処理装置は、

- ・ 高圧蒸気ボイラー
- ・ リアクター（反応装置）
- ・ ブロータンク
- ・ サイレンサー（排気蒸気消音機）
- ・ 制御盤

から構成されるバッチ式の自動連続装置である。

装置は、高圧蒸気ボイラー、リアクター及びブロータンク、サイレンサーから成る。なお、原料供給から爆砕処理及び電気ボイラーまでの工程は、シーケンサーによる自動運転とする。

爆砕装置のフローシートを図面－1、固定方式の爆砕装置の配置計画図を図面－2に示す。なお、フローシートは、固定方式、移動方式とも共通である。

### 3. 2 機器概要

#### 1) リアクター

##### 【原料の供給】

- ・原料を受入れる際、途中で閉鎖、停留しないで原料がリアクター内に供給できる構造とする。
- ・原料は、リアクター容量と同容量をリアクター上部の供給ホッパーに受け一定量供給する。
- ・原料受入れの用のバルブ口径は、300A 以上とし、自動開閉の完全密閉型のリミット付きバルブを設ける。

##### 【リアクター】

- ・蒸煮は、設定した圧力で常にコントロールした状態で、設定時間の間、蒸気で処理する。
- ・リアクターの外面は電気ヒーターで保温して放熱による蒸気ドレンの発生量を抑え爆砕物の含水率上昇を防ぐ。
- ・リアクター本体は全てステンレス(SUS316)及びステンレス鋳物(SCS14)製とする。
- ・シール材は耐熱、耐圧を考慮して、カーボン製グラタイトシールとする。

##### 【爆砕物の排出】

- ・蒸煮した原料をブロータンクに排出する際、途中閉鎖、停滞しないで、原料を払い出す構造とする。
- ・排出用のバルブ口径は閉鎖、停滞をしない最小口径とし、自動開閉の完全密閉型のリミット付きバルブとする。

## 2) 高圧蒸気ボイラー

- ・ 熱源は電気を使用する。
- ・ リアクターでの連続使用に充分耐えられる蒸発量があり、運転は設定条件を越えないよう自動コントロールする。
- ・ 給水ポンプを設置し、自動給水とする。
- ・ 法的に適合した構造及びシステムとする。
- ・ 主材質は、本体がカーボンスチール(SC)及び SUS304 とする。

## 3) ブロータンク

- ・ リアクターより、断続的に排出される原料を効率良く捕集できる方式とする。
- ・ 内面に付着し滞留しない方式と構造とする。
- ・ 排出した原料は、下部に設けた排出コンベアでタンク外に移送する。
- ・ 耐圧構造とする。
- ・ 主材質は、本体接液部が SUS304 とする。

## 4) サイレンサー

- ・ 屋外排気とするが、屋外排気出口での騒音は 80dB 以下になるような方式、構造とする。
- ・ 排気中のミストは設置場所を十分に考慮して方式、構造を決定する。
- ・ 排ガス中には、ブロータンクで捕集されなかった爆砕微粉碎残渣が含まれる可能性があるので、それによる性能低下を起こさないで長期間安定運転ができる方式、構造とする。
- ・ 主材質は、本体が SUS304 とする。

## 5) 装置全般

- ・ 高温部は全て放熱防止、火傷防止の保温施行とする。
- ・ 保全用エリアを考慮し、かつコンパクトに一つの架台に収納した装置とする。
- ・ 架台及びブラケット類は SS400+溶融 Zn 又は SUS304 とする。
- ・ 適用法規はボイラーと第一種圧力容器となる。

### 3. 3 爆砕装置設計条件

本設計において使用する原料は、針葉樹及び広葉樹チップの混合物とし、その混合比は1：1とする。

#### 1) 爆砕装置供給量

##### (1) 原料性状

本設計において使用する原料の性状を、表3-1に示す。

表3-1 原料の性状

|      |                                        |
|------|----------------------------------------|
| 名称   | 針葉樹、広葉樹チップ                             |
| 形状   | ・幅：12～25mm<br>・長さ：15～20mm<br>・厚さ：3～6mm |
| かさ比重 | 含水率 50%において、<br>針葉樹 0.40<br>広葉樹 0.49   |
| 比熱   | 0.34                                   |
| 温度   | 30℃                                    |
| 含水率  | 50%                                    |

##### (2) 爆砕サイクルタイム

サイクルタイムを表3-2に示す。1バッチのサイクルタイムは余裕を見て5minとする。よって、1時間当たりのバッチ数は、12バッチ/hrとなる。

なお、サイクルタイムは、爆砕原料、その形状及び目的とする最終目的物によって任意に変化させることが出来る。

表3-2 爆砕のサイクルタイム

|       |                                          |
|-------|------------------------------------------|
| ①原料供給 | 60sec                                    |
| ②蒸気供給 | 30sec                                    |
| ③原料蒸煮 | 120sec                                   |
| 合 計   | 210sec = <u>3.5min</u><br>余裕を見て 5min とする |

(3) 1 バッチあたりの原料供給量

リアクターの総容量は 100L、有効容量 80L とした。総容量の 80% で設計した理由は、蒸煮前のプレスチーミングでのチップ内の脱気と、チップの過剰供給を防止しバルブへの噛込みを避ける為である。

1 バッチあたりの原料供給量は、

針葉樹チップ：リアクター80L×かさ比重 0.40×1/2 = 16.0 kg/バッチ

広葉樹チップ：リアクター80L×かさ比重 0.49×1/2 = 19.6 kg/バッチ

---

|     |                |
|-----|----------------|
| 合 計 | 35.6 kg/バッチ    |
|     | ≒ 36 kg/バッチとした |

1 時間あたりの供給量は、

重量ベース：36 kg/バッチ×12 バッチ/hr = 432 kg/hr

容量ベース：80 L /バッチ×12 バッチ/hr = 960 L/hr

なお、得られる爆砕物の量は、含水率 65%、嵩比重 0.7 とすると、  
 $432 \text{ kg/hr} \times 1/0.7 = 617 \text{ L/hr}$  となる。

リアクターへの供給方法は、リアクター有効量と同容量のホッパーをリアクター上部に設け、各バッチ毎に投入する。ホッパーへの充填容量の確認は、光センサーでホッパー上部、下部レベルを検知し、供給側機器とリアクター入口バルブの作動を制御する事によりリアクターへの原料量のバラツキを極力少なくする。供給ホッパーの設計条件を表 3-3 に示す。

表 3-3 供給ホッパーの設計条件

|        |                  |
|--------|------------------|
| 型式     | 縦型円筒(φ 400×640H) |
| ホッパー容量 | 80L              |
| 材質     | SUS304           |

## 2) リアクターの設計条件

操作圧力、蒸煮時間の設定は、爆砕する原料やその形状、適用先により任意に設定する。リアクターの設計条件を表 3-4、リアクターの図面を図面-3に示す。

表 3-4 リアクターの設計条件

|         |                              |
|---------|------------------------------|
| リアクター形式 | 円筒縦型 (φ 460mm×1,500mm)       |
| 設計圧力    | 3.956MPaG                    |
| 操作圧力    | 2.967MPaG (最高操作圧力 3.956MPaG) |
| 設計温度    | 250℃                         |
| 操作温度    | 233℃ (最高操作温度 250℃)           |
| 材質      | SUS316                       |
| リアクター容量 | 総容量 100L<br>有効容量 80L         |
| 重量      | 約 600kg                      |
| 保温施工    | ロックウール保温帯+カラー鉄板              |
| 適用法規    | 第一種圧力容器                      |

リアクター外面にはリアクターに供給した蒸気が放熱により必要以上の凝縮防止のため電熱ヒーターを設置する。電熱ヒーターは爆砕する蒸気温度条件に合せ温度コントロールが出来る様に温度コントロールユニットを設ける。また、電胴中央部には内部温度の測定する温度計が設置してある。

リアクターの電気ヒーターの仕様を表 3-5 に示す。

表 3-5 リアクター用電気ヒーターの仕様

|       |                 |
|-------|-----------------|
| 形式    | シース型フレキヒーター     |
| 定格    | 220V 1210W×18 本 |
| 主要寸法  | φ 2.8×L4200     |
| シース材質 | SUS304          |
| 取付状態  | 伝熱セメント施工        |

### 3) 蒸気ボイラー設計条件

ボイラーの熱源は、蒸気圧力 3MPa 以上で蒸気発生量が 700kg/hr 以下の条件では、重油、灯油、プロパン、メタンガス等を熱源としたボイラーは国内ボイラーメーカーで製作していないので、電気ボイラーを採用することとする。

電気縦型丸ボイラーで、ボイラー本体及びそれに付属する必要な機器をコンパクトに組み込んだユニットとする。電気ボイラーの設計条件を表 3-5、図面を図面-4 に示す。

表 3-5 電気ボイラーの設計条件

|          |                                     |
|----------|-------------------------------------|
| ボイラー形式   | 縦型丸ボイラー                             |
| 最高使用圧力   | 4.5MPaG                             |
| 使用圧力     | 4.0MPaG                             |
| 最高使用温度   | 257.3℃                              |
| 使用温度     | 250.5℃                              |
| 換算蒸発量    | 95kg/hr                             |
| 実際蒸発量    | 79kg/hr<br>蒸発圧力：4.0MPaG<br>給水温度：20℃ |
| 伝熱面積     | 3.0m <sup>2</sup>                   |
| ヒーター定格   | 60kW                                |
| 使用電源     | 220V 3φ 60kW                        |
| ボイラー効率   | 95%                                 |
| 給水源      | 純水                                  |
| 保有水量     | 約 130L (基準水位)                       |
| ボイラー本体寸法 | 内径 φ 500×L1320×t14                  |
| 外形寸法     | 2500W×1500D×2500H                   |
| 重量       | 製 品：約 2,000kg<br>運転時：約 2,300kg      |
| ボイラー本体材質 | SUS304                              |
| 付属機器     | 給水ポンプ、給水タンク、純水装置、清缶材・脱酸素剤注入ユニット     |

#### 4) ブロータンク設計条件

ブロータンクは、断続的に排出される爆砕物を捕集し、ブロータンク下部に設けた排出コンベアで滞り無くタンク外に移送可能な構造とする。リアクターから排出された爆砕物はブロータンク内にタンデンシャルにブローされ、サイクロン効果により捕集される。

ブロータンクで捕集された爆砕物はタンク下部に設置したスクリーコンベアで排出する。ブロータンクの設計条件を表 3-6 に示す。

表 3-6 ブロータンクの設計条件

|         |                    |
|---------|--------------------|
| 形式      | 円筒縦型               |
| 容量      | 有効 7m <sup>3</sup> |
| 主寸法     | φ 2500×2000H       |
| 設計圧力    | 0.04MPaG           |
| 使用圧力    | 大気圧                |
| 設計温度    | 120℃               |
| 使用温度    | 100℃               |
| 使用材質    | 本体 SUS304          |
| 重量      | 約 1,700kg          |
| 付属機器    | 抜き出しスクリーコンベア       |
| 本数      | 3 本 (φ 150×2500L)  |
| 電動機     | 200V 3φ 1.5kW      |
| スクリー回転数 | 約 5rpm             |
| 主材質     | 接触部 : SUS304       |

#### 5) サイレンサー設計条件

リアクターから爆砕物を排出する際に破裂音が発生するため、サイレンサーを設置して騒音を防止する。サイレンサーの設計条件を表 3-7 に示す。

表 3-7 サイレンサーの設計条件

|      |                                               |
|------|-----------------------------------------------|
| 型式   | 円筒型内部迂回式                                      |
| 流体   | 蒸気                                            |
| 流量   | 125～175m <sup>3</sup> /min at 大気圧、100℃        |
| 設計圧力 | 大気圧（上流側圧力 0.198MPaG）                          |
| 設計温度 | 230℃（上流側温度 100～230℃）                          |
| 圧力損失 | $\Delta P \leq 10\text{kPa}$                  |
| 主材質  | 本体：SUS304、吸音材：SUS ウール                         |
| 重量   | 約 600kg                                       |
| 性能   | サイレンサー機側 1 m にて 90 d B (A) 以下<br>暗騒音の影響が無い場合。 |

なお、ブロータンクとサイレンサーの間には金網を設け、爆砕された微粉砕チップがサイレンサー内に入るのを防止する。この金網が目詰りした場合は、サイレンサー側から圧力空気で逆洗浄を行い、目詰まりを解消させる。

## 6) 計装機器仕様

計装機器の作動方式は計装空気とする。

### (1) 自動弁

自動弁のリストを、表 3-8 に示す。

数 量：JIS 10K 弁 2 式、JIS 40K 弁 7 式

型 式：SV-1、2 はシリンダー駆動複作動型、

SV-3～9 はシリンダー駆動単作動型

付属品：減圧弁、電磁弁、リミットスイッチ、フィルター

表 3-8 自動弁リスト

| TAG No.<br>名称    | 形式             | 口径   | 材質           | 接続      |
|------------------|----------------|------|--------------|---------|
| SV-1<br>原料供給弁    | 自動ボール弁         | 350A | SCS14/SUS316 | JIS 40K |
| SV-2<br>原料ブロー弁   | 自動ボール弁         | 80A  | SCS14/SUS316 | JIS 40K |
| SV-3<br>蒸気供給弁-1  | 自動ボール弁         | 20A  | SCS13/SUS304 | JIS 40K |
| SV-4<br>蒸気供給弁-2  | 自動ボール弁         | 20A  | SCS13/SUS304 | JIS 40K |
| SV-5<br>蒸気供給弁-3  | 自動ボール弁         | 20A  | SCS13/SUS304 | JIS 40K |
| SV-6<br>空気抜き弁-1  | 自動ボール弁         | 15A  | SCS14/SUS316 | JIS 40K |
| SV-7<br>空気抜き弁-2  | 自動ボール弁         | 15A  | SCS14/SUS316 | JIS 40K |
| SV-8<br>空気供給弁    | 自動ボール弁         | 25A  | SCS13/SUS304 | JIS 10K |
| SV-9<br>ブロー蒸気遮断弁 | 自動スライド<br>ゲート弁 | 150A | SCS13/SUS304 | JIS 10K |

(2) 圧力調整計

ボイラーからリアクターに供給する蒸気の圧力をコントロールするものである。リアクター圧力調節弁の仕様を表 3-9 に示す。

仕様)

圧力伝送器：1 台

指示調節計：1 台

圧力調節弁：1 台

表 3-9 リアクター圧力調整弁の仕様

| TAG No.<br>名称        | 形式          | 口径  | 材質           | 接続      |
|----------------------|-------------|-----|--------------|---------|
| PICA-1<br>リアクター圧力調整弁 | 自動<br>グローブ弁 | 25A | SCS13/SUS304 | JIS 40K |

\* シリンダーは駆動単作動型

(3) 温度調節計及び温度測定器

測温抵抗体によりリアクター内外、ブロータンクの温度をモニタリングする。各機器及び測温抵抗体の仕様を表 3-10、11 に示す。

表 3-10 各機器の仕様

|            |                                                       |
|------------|-------------------------------------------------------|
| 温度調節計      | 測温抵抗体：2 式<br>ON-OFF 出力温度調節計：2 台<br>電熱ヒーター（約 22kW）：2 式 |
| リアクター内温度測定 | 測温抵抗体：1 式<br>連続式温度記録計：1 式                             |

表 3-11 測温抵抗体の仕様

| TAG No. | 形式  | サイズ   | 材質     | 測定範囲   | 測定場所               |
|---------|-----|-------|--------|--------|--------------------|
| TIC-1   | 測温体 | 250mm | SUS304 | 0～300℃ | リアクター内蒸気           |
| TIC-2   | 測温体 | 250mm | SUS304 | 0～300℃ | リアクター表面<br>バンドヒーター |
| TR-2    | 測温体 | 250mm | SUS304 | 0～300℃ | リアクター内             |
| TR-3    | 測温体 | 250mm | SUS304 | 0～150℃ | ブロータンク内            |

(4) レベル測定

投入ホッパーにレベル計を設置して、原料の充填容量の監視を行う。  
形式は、光センサー（光電管式）とし、上下2点×2の計4セットとする。

(5) 電気ボイラー計器

電気ボイラーの計器仕様を表3-12にまとめた。

表3-12 電気ボイラーの計器仕様

|                        | 形式                                                                           |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| ボイラー出口蒸気<br>圧力指示警報スイッチ | 圧力スイッチ<br>接点付圧力計（レンジ：0～4.945MPaG）<br>（圧力：高、圧力：低のアラームを<br>盤面表示とし、指示は現場ゲージで表示） |
| ボイラー出口蒸気<br>温度指示計      | 測温抵抗体：1式                                                                     |
| ボイラー液面調節計              | 液面スイッチ                                                                       |

(6) 盤仕様

形式：自立密閉型（脚付）

寸法：W900×L310×H1600

計装用 200V/10V トランス、パネル計器含む。

装置の作動用シーケンサーは小型シーケンサーとする。

### 3. 4 運転操作

#### 1) 爆砕装置運転開始前の点検と準備概要

- ・ 官庁検査が終了したら、装置全体の点検、清掃（工事のゴミ等の除去）、ラインの接続、電気系統の接続を行う。
- ・ 点検、清掃が終了後、圧力空気による配管、機器の漏れのチェック、バルブの手動開閉、回転機器類の給油及び手回しでの作動確認を実施する。
- ・ 電気、計装機器類はループチェックを行い、運転が可能であることの確認を行う。
- ・ 単体での回転方向、レベル計、圧力計の調整を行う。
- ・ ユニット毎にシーケンスのチェックを行う。

#### 2) 空運転による点検、調整と負荷運転による調整概要

- ・ ユニット毎の空運転を行う。
- ・ 装置全体の空運転、連続運転を行う。
- ・ 単体機器の負荷運転、問題が無ければ連続に切替え 70%の負荷運転を行う。
- ・ 全停止して異常が無いか確認する。
- ・ 異常があれば再度調整を行い単体機器での確認をし、70～80%負荷で連続運転に移行する。

### 3) 運転管理

- ・リアクターのフランジパッキン、バルブのシート等の消耗品は年1回の検査の際に交換する。リアクターのパッキン交換の際の締め付けは、必ずトルクレンチを使用し、規定のトルクで締め付ける。
- ・ボイラーは、ボイラーメーカーの仕様に沿って運転管理を行う。純水装置は、使用する水の水質により状態が変わってくるので注意が必要である。

#### 4) 運転方法

運転はボイラーから運転を開始する。次にリアクター廻りのバルブの開閉状態と原料供給コンベアを点検し、リアクターヒーターの温度設定をする。

- (1) 電気ボイラーへの給水ライン、レベル計、バルブ開度を確認して、ボイラーの昇温を開始する。圧力 3.462MPaG 迄での昇圧時間は約 1～1.5 時間である。
- (2) リアクターのヒーターを爆砕圧力の温度に設定する。
- (3) 電気ボイラーの圧力が設定値に達したらスチームトラップを活かす。
- (4) リアクター迄の蒸気配管のスチームトラップのバイパスを全開とする。
- (5) ボイラーからリアクターへの蒸気バルブを徐々に開けていき、徐々に通気を開始する。
- (6) リアクター側のスチームトラップのバイパスから配管中のドレンを排出したらバイパスバルブを閉じてトラップのバルブを開ける。
- (7) リアクターの電熱ヒーターに通電する。
- (8) リアクター蒸気ラインのバルブの設定を確認する。(全閉の確認)
- (9) リアクターに手動で徐々に通気を行い、異常が無いか確認する。
- (10) 問題がなければ蒸気の通気を停止して、リアクター内の蒸気をブローする。
- (11) ブロータンク、サイレンサーに異常が無ければリアクターの爆砕圧力、温度、時間を自動に設定し、2～3回蒸気だけの自動運転を行う。
- (12) 原料供給コンベア、原料容器のレベルセンサーを自動運転にセットする。

(13) 自動運転で負荷運転を開始する。

(14) ブロータンクから排出される爆砕物の破碎状態を目視観察し、爆砕条件の設定を検討する。

## 4. 移動方式の爆砕装置

### 4. 1 装置の概要

草木廃材を高圧蒸気により蒸煮し爆砕する装置で、この処理装置は、

- ・ 高圧蒸気ボイラー
- ・ リアクター（反応装置）
- ・ ブロータンク
- ・ サイレンサー（排気蒸気消音機）
- ・ 制御盤

から構成されるバッチ式の自動連続装置である。

装置は、リアクター、ブロータンク、高圧蒸気ボイラー、サイレンサーを分割・ユニット化しておき、車載して現地へ搬入後、コモンベース上に各機器を設置して、配管、結線を行う。輸送の際に障害と成りうるサイレンサーなどの機器については、予め取り外しが容易であるような構造にしておく。爆砕処理及び電気ボイラーまでの工程は、シーケンサーによる自動運転とする。

なお、基本的な仕様、構成は3. 固定方式の爆砕装置と同じであるが、機器、計装品の仕様を屋外型とする点に留意が必要である。

装置のフローシート…図面－1 参照

移動式爆砕装置の配置計画図…図面－5 参照

### 4. 2 機器概要… 3. 2 と同様

#### 4. 3 爆砕装置設計条件… 3. 3と同様

##### 1) 爆砕装置供給量

##### 2) リアクターの設計条件…図面－3 参照

##### 3) 蒸気ボイラーの設計条件…図面－4 参照

- ・ 電源は、発電機を使用する。
- ・ 用水タンク、用水ポンプ及び水の補給が必要である。
- ・ 水の補給については、給水車等を利用する。
- ・ リアクターとボイラーの接合フランジ部は、全面パッキンを使用する。

##### 4) ブロータンクの設計条件

##### 5) サイレンサーの設計条件

##### 6) 計装機器仕様

- ・ 計装機器の作動方式は、電気式とする。

#### 4. 4 運転操作

##### 1) 装置の組立解体

装置は、以下の5つのユニットに分割して現地へ搬入する。搬入は、低床トレーラーを使用する。コモンベースは共通とし、下記ユニットをボルトで固定する。

| ユニット名                |
|----------------------|
| ①リアクター(架台と一体)、供給ホッパー |
| ②階段・ステージ             |
| ③高圧蒸気ボイラー、給水ポンプ      |
| ④ブロータンク(下部架台と一体)     |
| ⑤サイレンサー(上部架台と一体)     |

なお、給水タンク、発電機は、それぞれ単独で地上置きとする。

##### (1) 装置の組立

- ・ 装置を現地に搬入し、可能な限り水平になるようコモンベースを設置する。
- ・ ブロータンクをコモンベースにボルト締めで固定する。
- ・ ブロータンク上部にサイレンサーを設置し、フランジ接合する。
- ・ リアクターをコモンベースにボルト締めで固定する。
- ・ リアクターとブロータンクをフランジ接合する。
- ・ 階段・ステージをコモンベース、リアクター架台にボルト締めで固定する。
- ・ 高圧蒸気ボイラーに給水タンク、リアクターを配管する。

2) 爆砕装置運転開始前の点検と準備概要… 3. 4 と同様

3) 空運転による点検、調整と負荷運転による調整概要… 3. 4 と同様

4) 運転管理… 3. 4 と同様

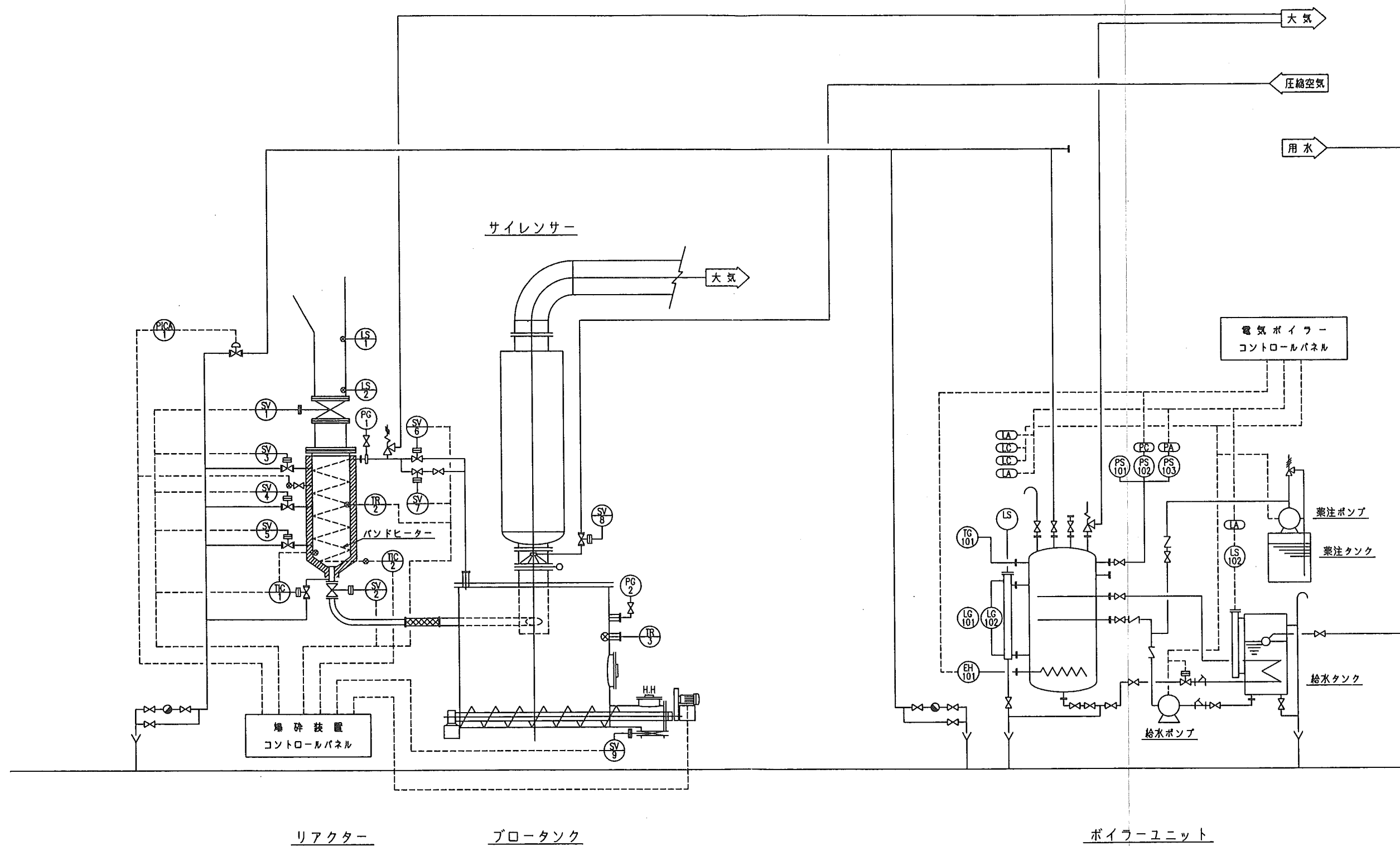
- ・ 装置の移動、据付・解体時などに機器に影響を与えないよう注意して取り扱う。

5) 運転方法… 3. 4 と同様

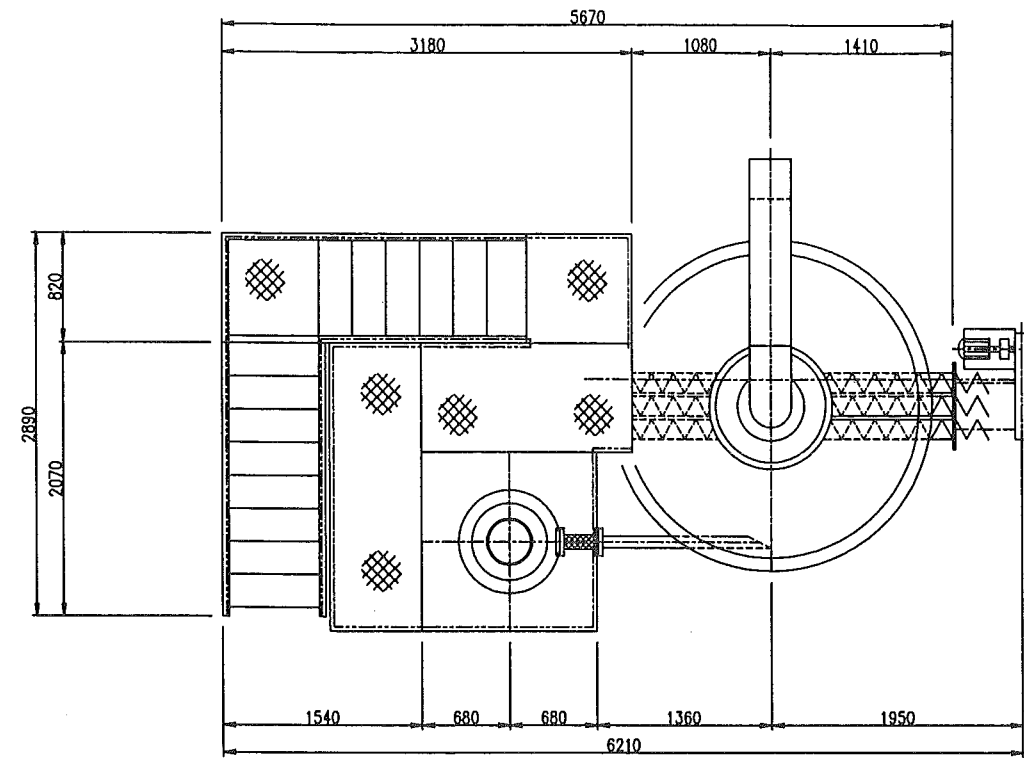


# < 図面集 >

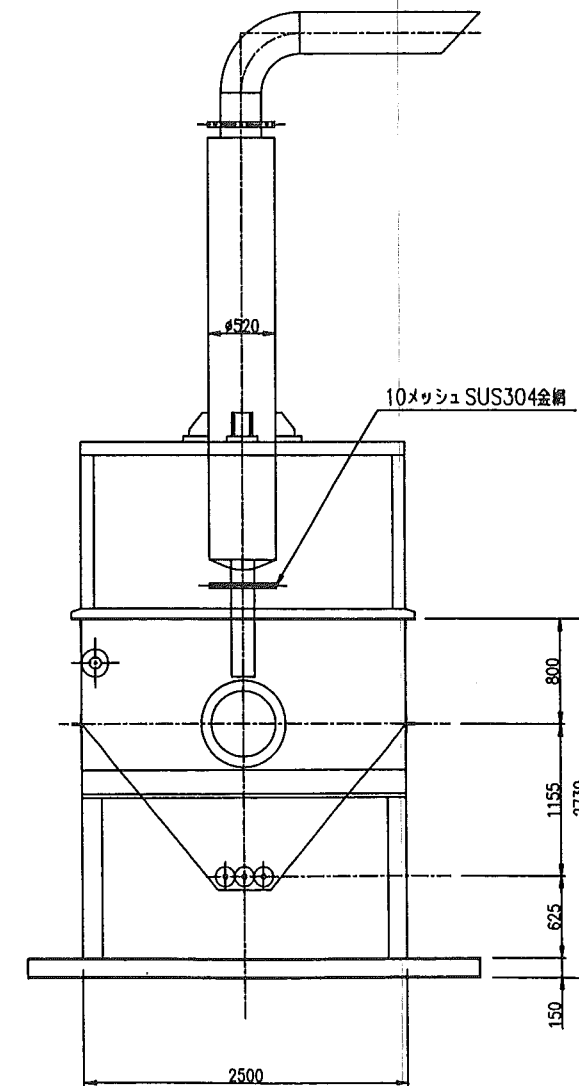
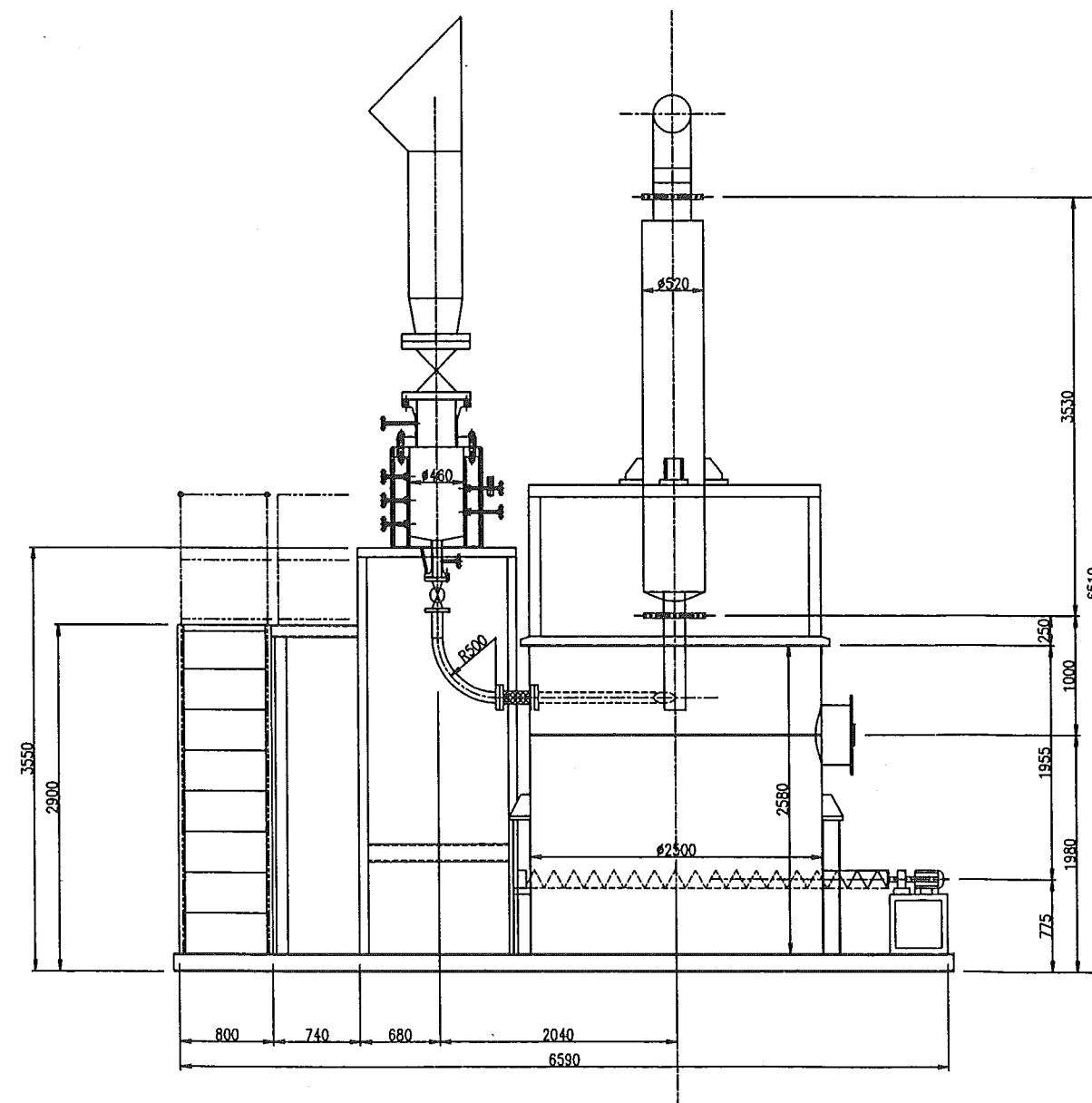




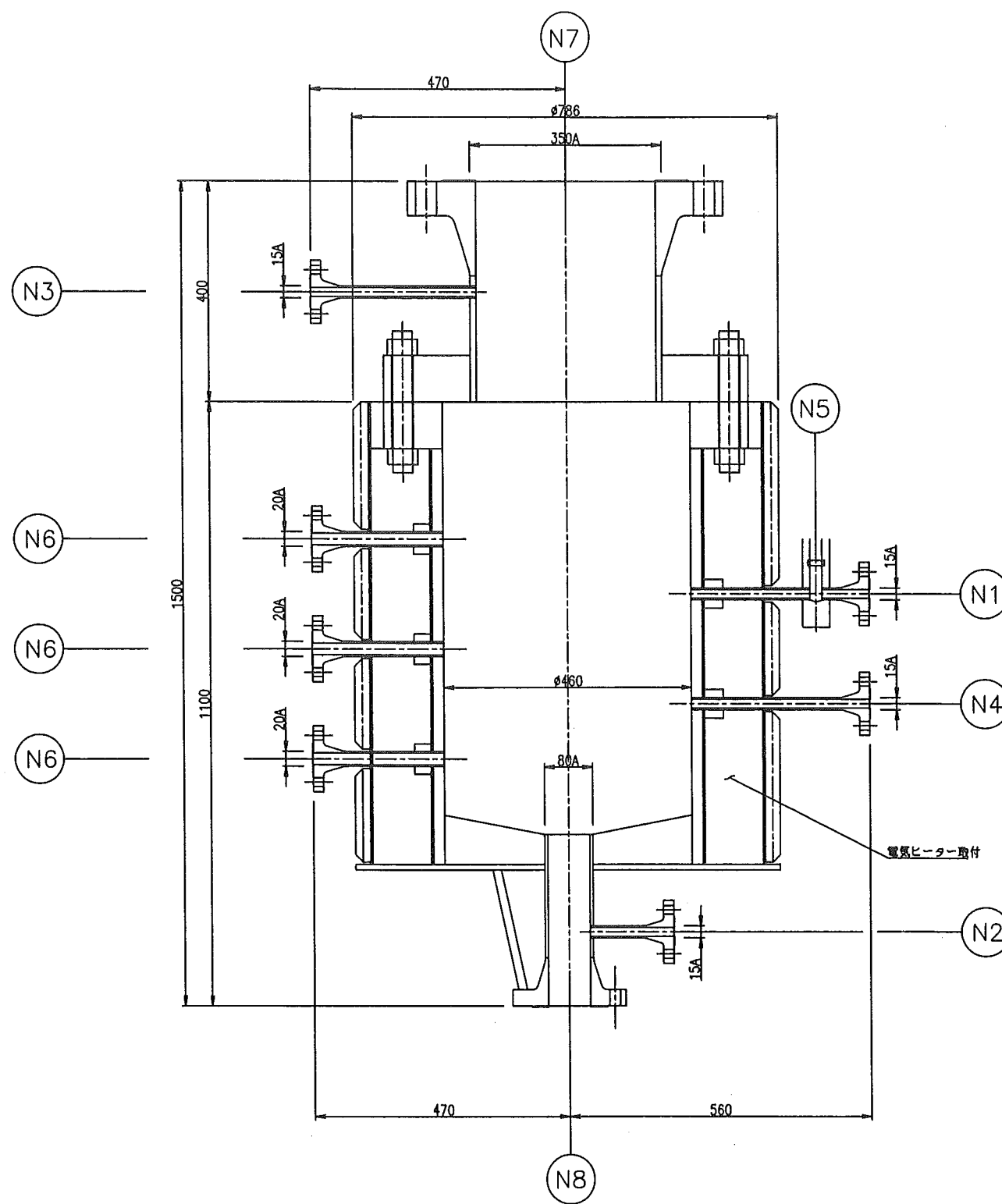
図面-1 爆砕装置フローシート



| スクリー仕様 |                 |
|--------|-----------------|
| 羽 根 径  | 150 mm          |
| 機 長    | 2500 mm         |
| 本 数    | 3               |
| 電 動 機  | 1.5KW 200V 60Hz |
| 主 材 料  | SUS 304         |



図面-2

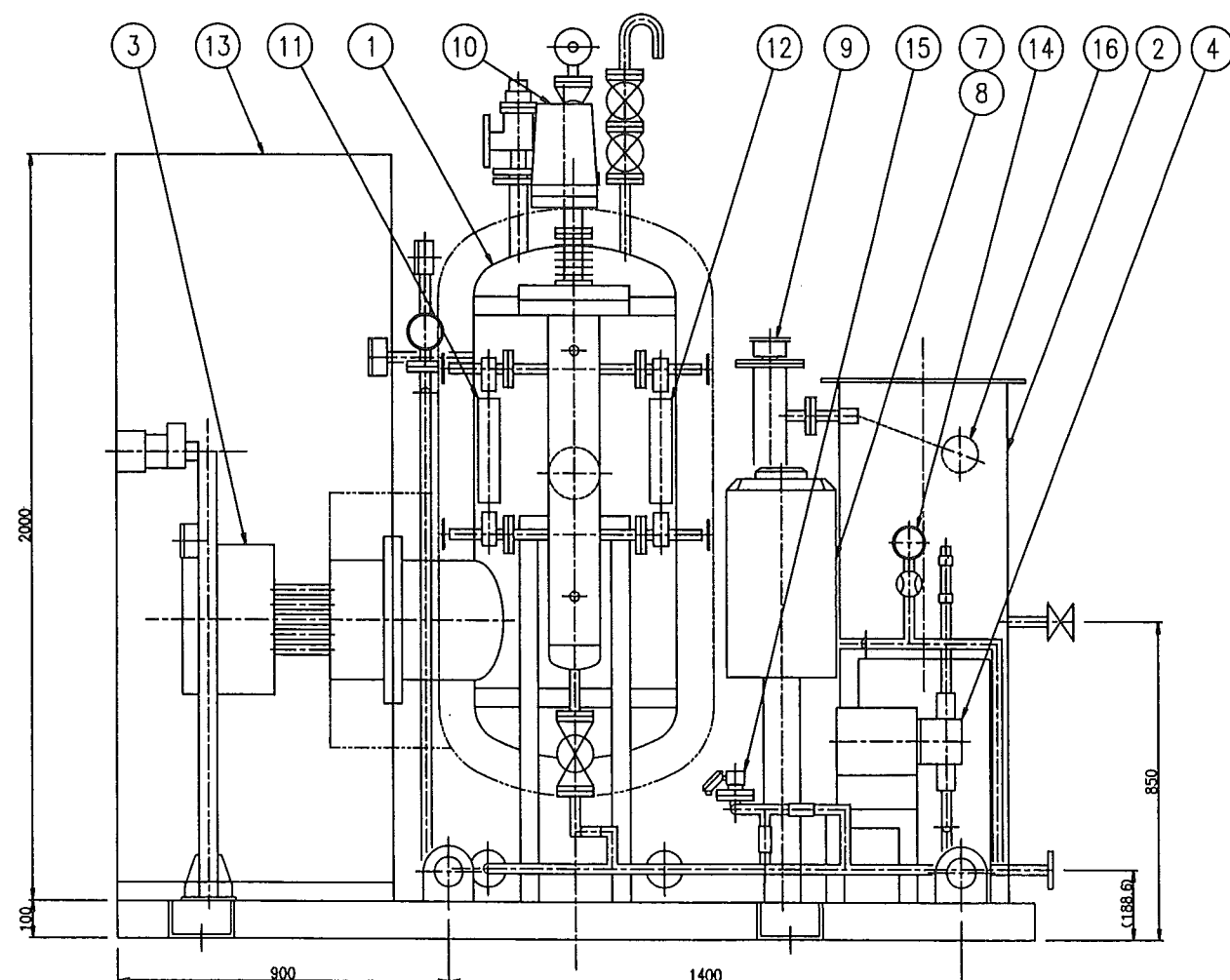
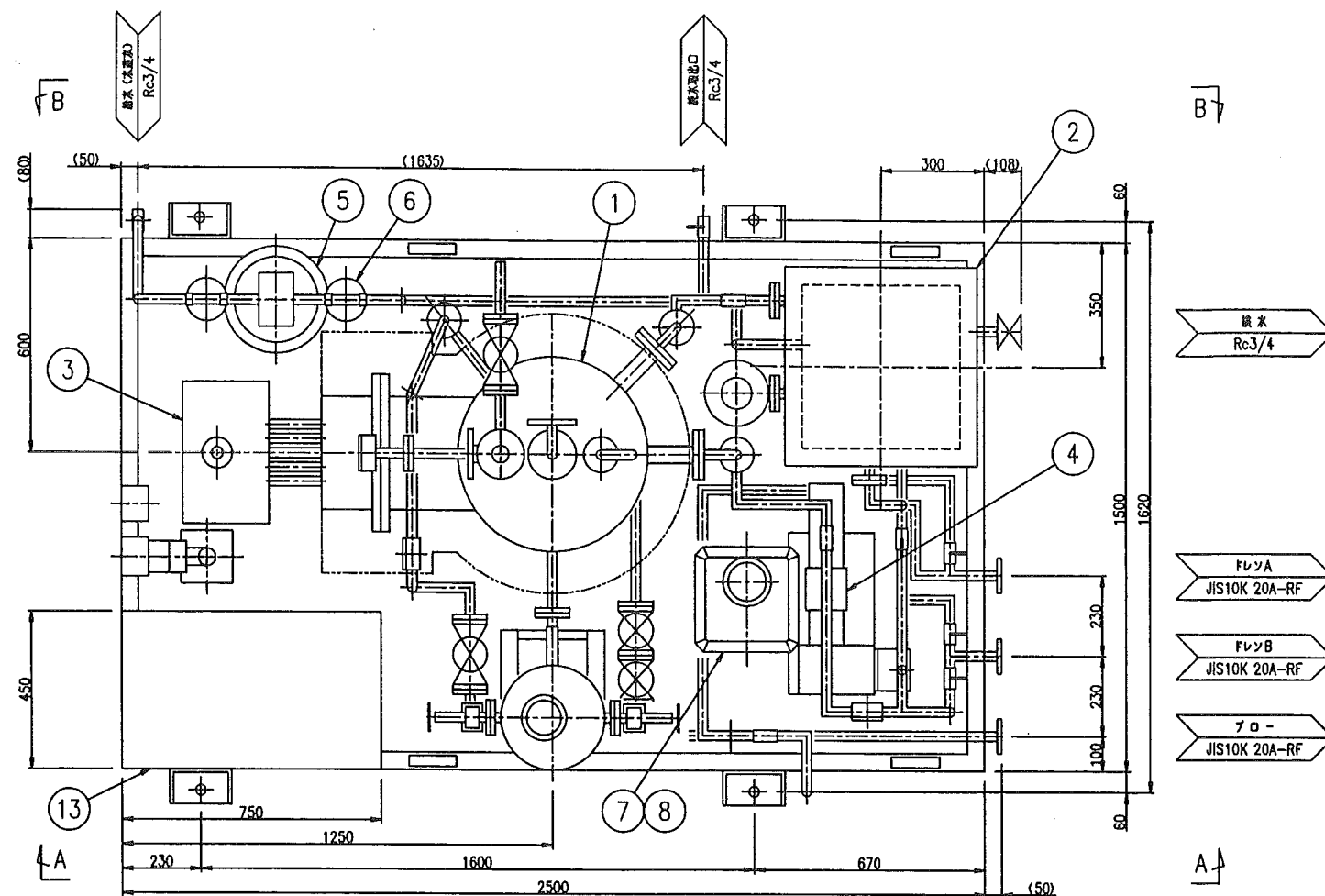


| N8     | 80A  | 製品出口     | 1  | JIS40K |
|--------|------|----------|----|--------|
| N7     | 350A | 原料入口     | 1  | JIS40K |
| N6     | 20A  | 蒸気供給弁    | 3  | JIS40K |
| N5     | 15A  | 圧力計座     | 1  | JIS40K |
| N4     | 15A  | 温度センサー取付 | 1  | JIS40K |
| N3     | 15A  | 空気抜き弁    | 1  | JIS40K |
| N2     | 15A  | 温度センサー取付 | 1  | JIS40K |
| N1     | 15A  | 空気抜き弁    | 1  | JIS40K |
| 符号     | サイズ  | 名 称      | 数量 | 備 考    |
| ノズル一覧表 |      |          |    |        |

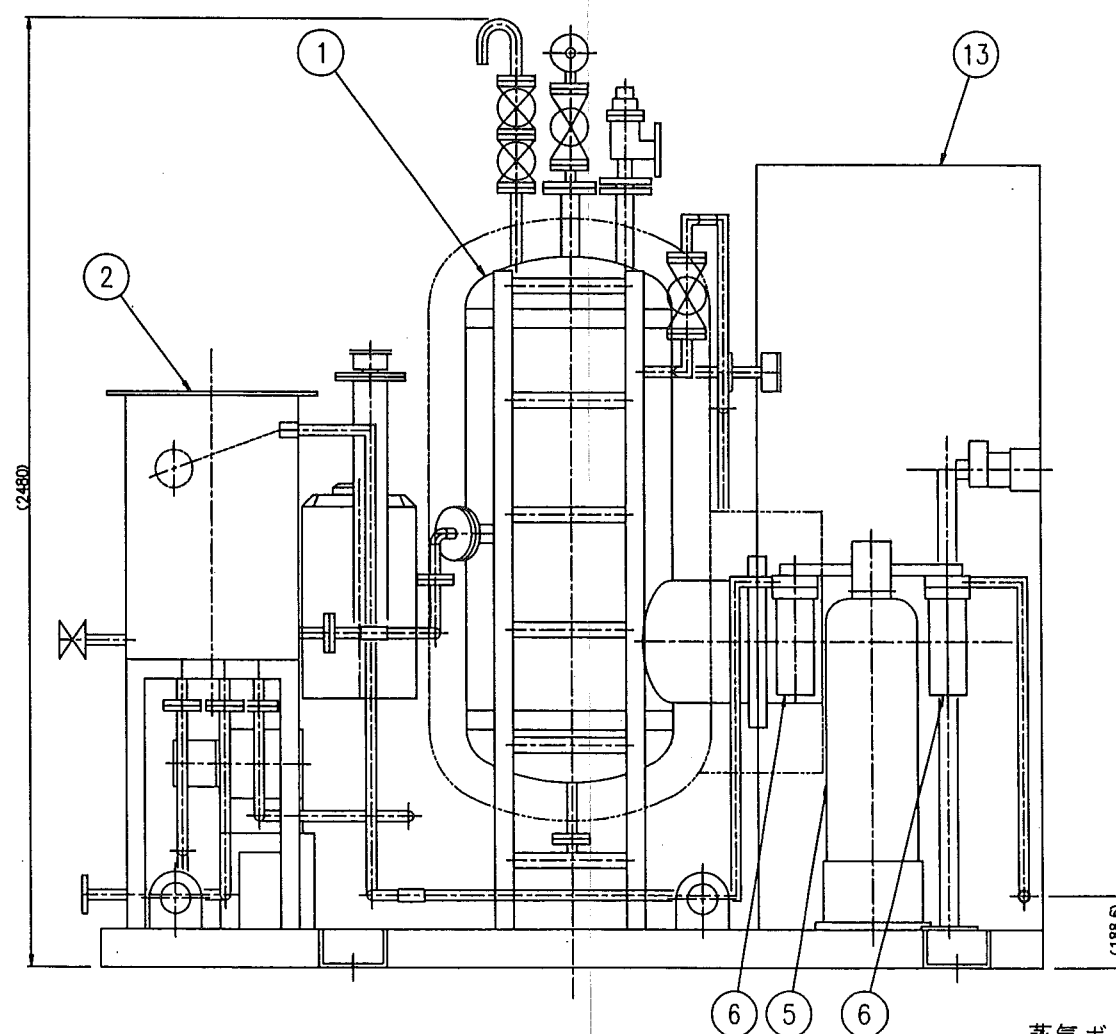
図面-3

曝砕装置リアクター外形図 (s=1/6)

| 品番 | 品名           | 数量 |
|----|--------------|----|
| 1  | ボイラー本体       | 1  |
| 2  | 給水タンク        | 1  |
| 3  | 電気ヒーター       | 1  |
| 4  | 給水ポンプ        | 1  |
| 5  | 純水装置         | 1  |
| 6  | フィルター        | 1  |
| 7  | 薬注タンク        | 1  |
| 8  | 薬注ポンプ        | 1  |
| 9  | 給水タンクレベルスイッチ | 1  |
| 10 | ボイラーレベルスイッチ  | 1  |
| 11 | 液面計          | 1  |
| 12 | 液面計 (近視式)    | 1  |
| 13 | 制御盤          | 1  |
| 14 | 圧力計          | 1  |
| 15 | 電磁弁          | 1  |
| 16 | ボールタップ       | 1  |

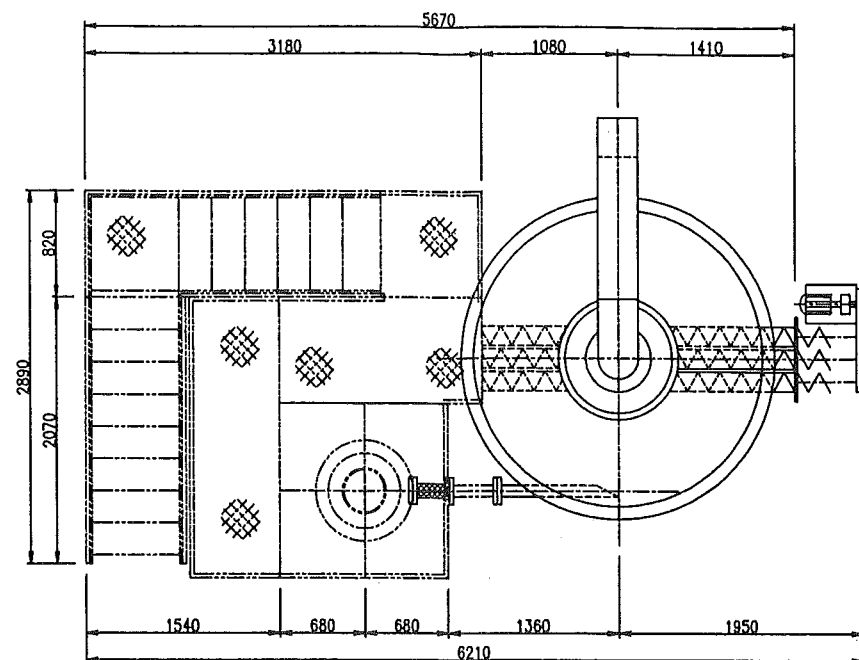
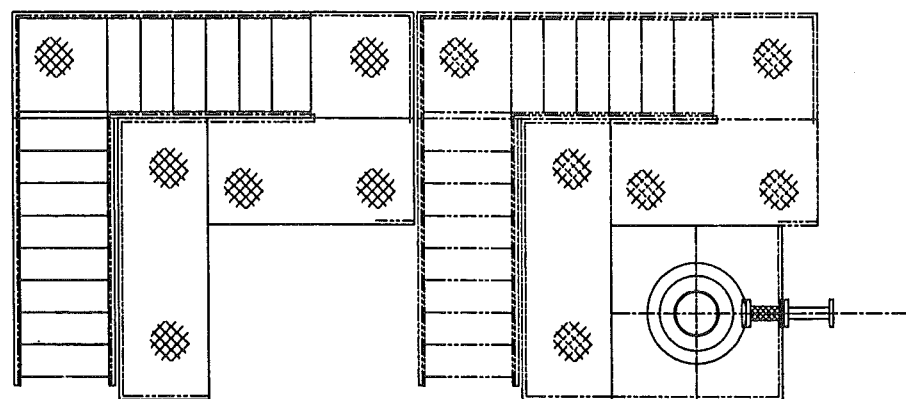


A-A 断面図

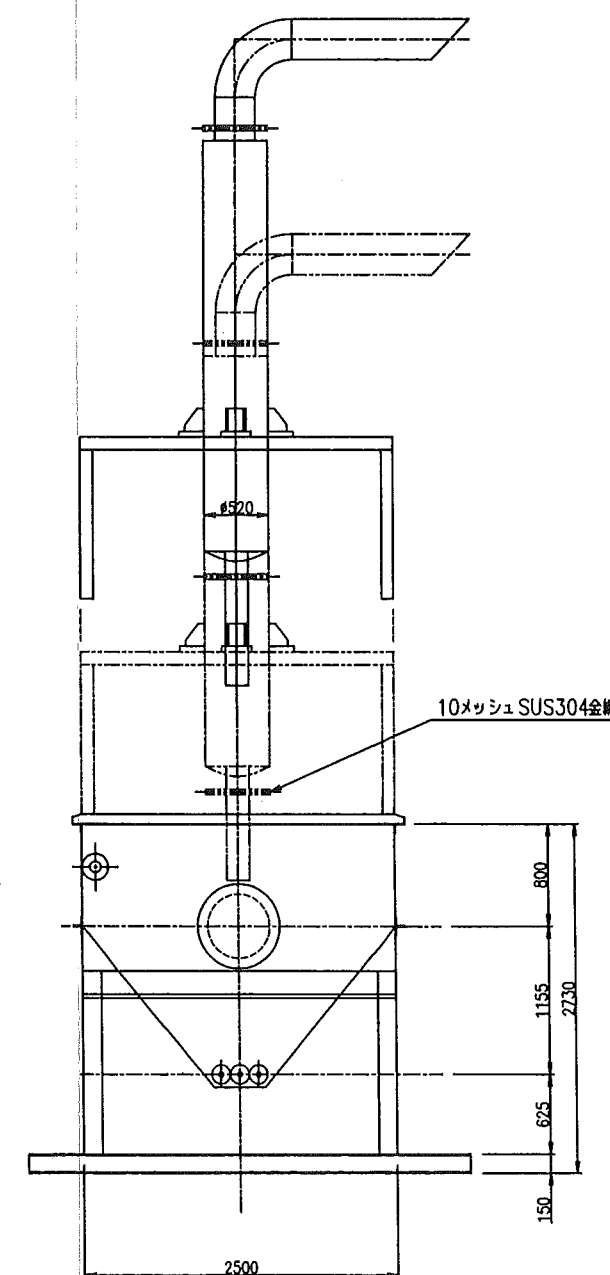
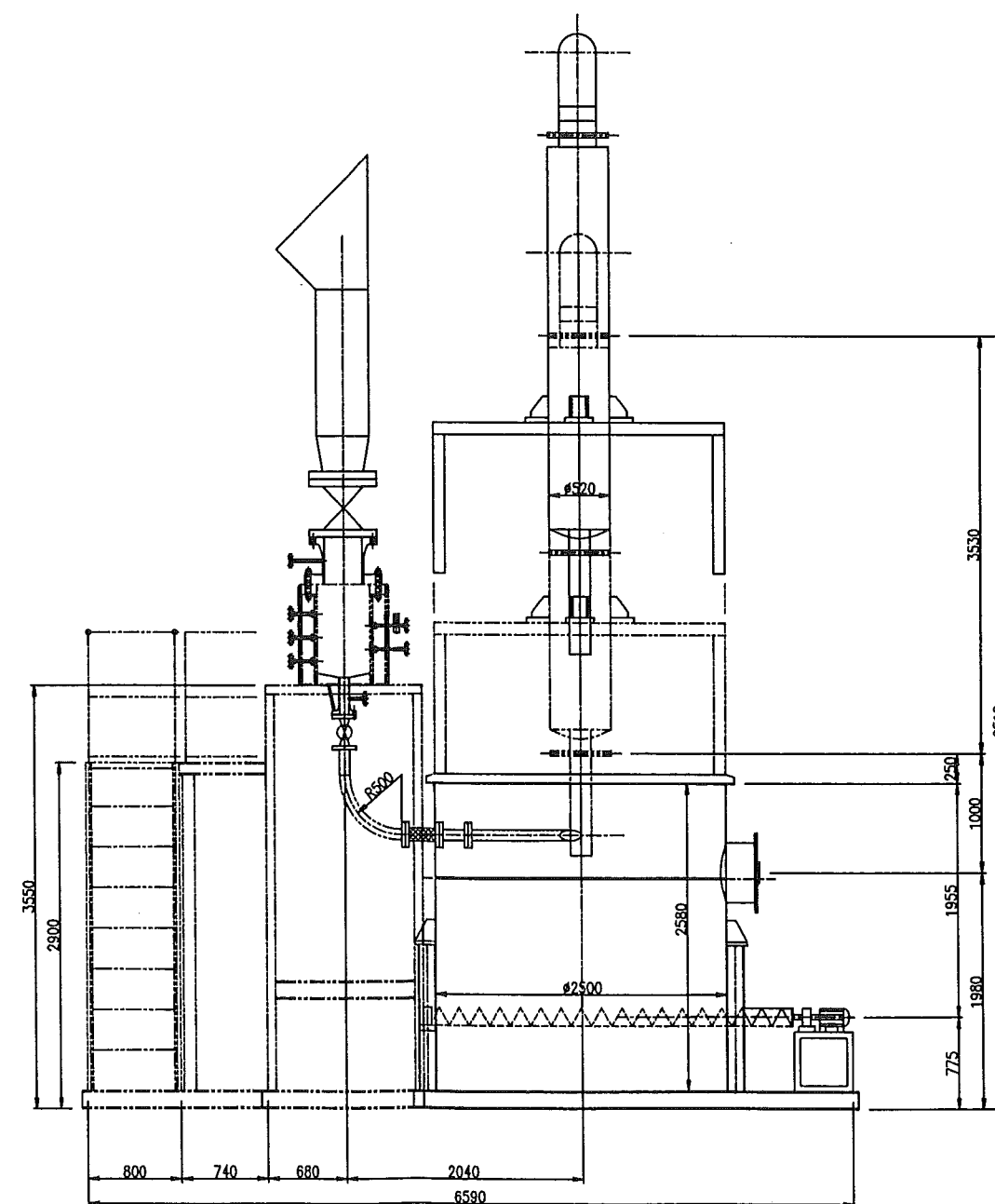
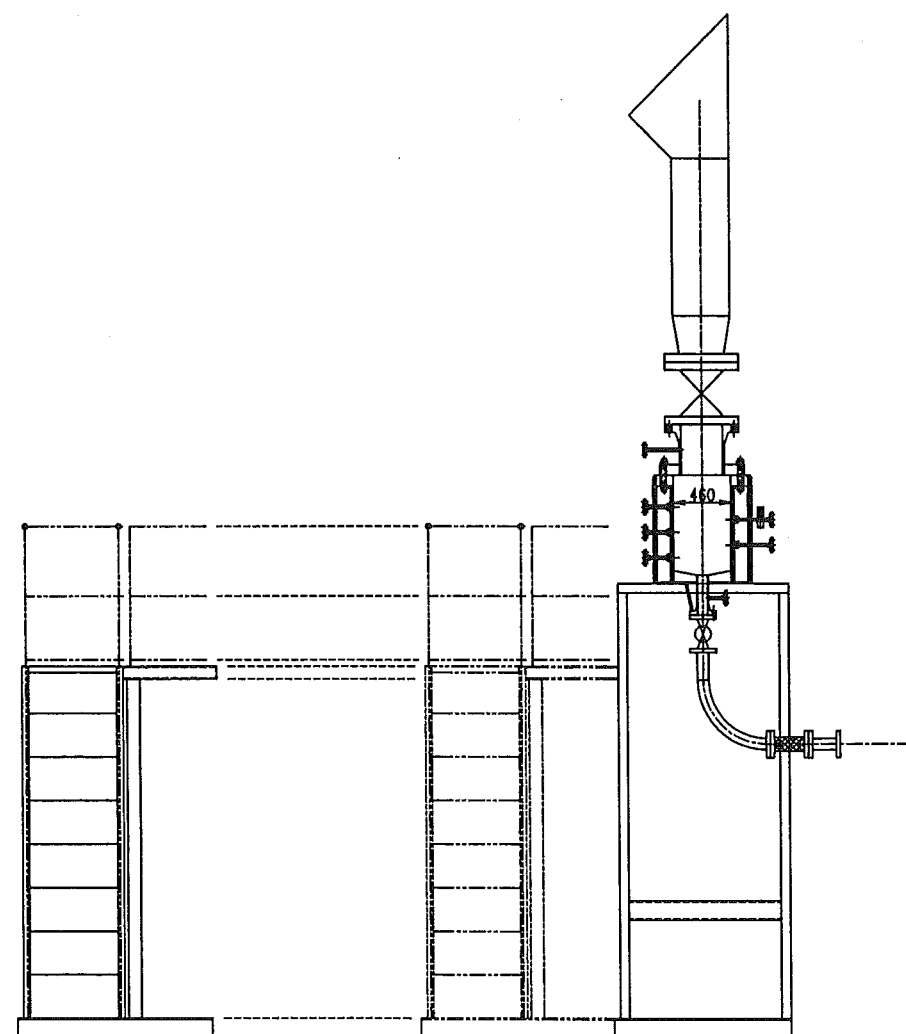


B-B 断面図

蒸汽ボイラー組立図



| スクリー仕様 |                 |
|--------|-----------------|
| 羽根径    | 150 mm          |
| 機長     | 2500 mm         |
| 本数     | 3               |
| 電動機    | 1.5KW 200V 60Hz |
| 主材料    | SUS 304         |



図面-5

## 参考文献

- 1) 棚橋光彦、「爆砕法による森林バイオマスの変換と総合利用」、木材研究・資料 第18号、34～65p、1983
- 2) 棚橋光彦、樋口隆昌、「連続爆砕技術の開発とその応用」、紙パルプ技術タイムス、1～5p、昭和60年7月
- 3) 棚橋光彦、樋口隆昌、「爆砕法～林産バイオマスへの応用と展望」、高分子加工 第32巻12号、39～47p、1983年
- 4) 志水一允、「木材成分の総合利用」、農林水産技術研究ジャーナル、33～39p、1988
- 5) 越智崇、落修一、南山瑞彦、斉藤忍、「蒸気加圧爆砕した草木系廃材と下水汚泥の混合メタン発酵」、第39回下水道研究発表会講演集、836～838p、2001年
- 6) 社団法人日本ボイラ協会「ボイラー及び圧力容器安全規則の解説」





