

高圧大型 G L 缶の製作

The Design of a Large High-Pressure Glasslined Reactor



(化)技術部 設計第3課
新谷 幸一
Koichi Shintani
宮田 忠明
Tadaaki Miyata

In manufacturing a large glasslined reactor for high-pressure use, the size and weight of the reactor vessel are limited by the capacity of the electric furnace.

This paper describes several methods for raising this upper limit by referring to the design and manufacture of a large high-pressure glasslined reactor whose internal pressure is 30 kg/cm², inner diameter of the vessel is 3100 mm, and capacity is 39 m³.

まえがき

グラスライニング製缶体（以下 G L 缶という）は、焼成炉に入れてガラスを缶内面に施工する関係上、焼成炉の能力による製作限界がある。従って、大型でありかつ高圧である G L 缶についてはその条件を満足させるために設計上の工夫が必要となってくる。

ここでは、一例として缶体内径 3100 mm、重量約 34.6 Ton、設計圧力 30 kg/cm² の大容量 G L 缶の設計・製作実績について報告をする。

1. 高圧大型反応機例

缶体の最大容量、最大設計圧力を決める要素として製缶能力、輸送限界等が考えられる。しかし、G L 缶の場合はそれ以外にグラスライニングを施工する焼成炉の能力、すなわち、炉の寸法と炉内吊上荷重の能力とで制約を受ける。

神戸工場において、当社は 8 号炉という世界最大の電気焼成炉¹⁾を持っていた。その能力は焼成可能な容器の大きさを表され、その値は次の通りであった。

缶体内径：4000 mm

焼成重量：25 Ton

ここで、焼成重量とはグラスライニング施工時に最低限取り付けておかねばならない付属品を含めた重量である。

本稿では神戸工場において設計・製作された高圧大容量の G L 缶について述べる。

2. 缶体仕様

今回取り上げた例の G L 缶概略図を第 1 図に示す。また、その仕様を次に示す。

缶体内径：3100 mm

缶内圧力：30 kg/cm²

缶内温度：180 °C

本体材質：SM490B+GL

主要板厚：上鏡…55 mm

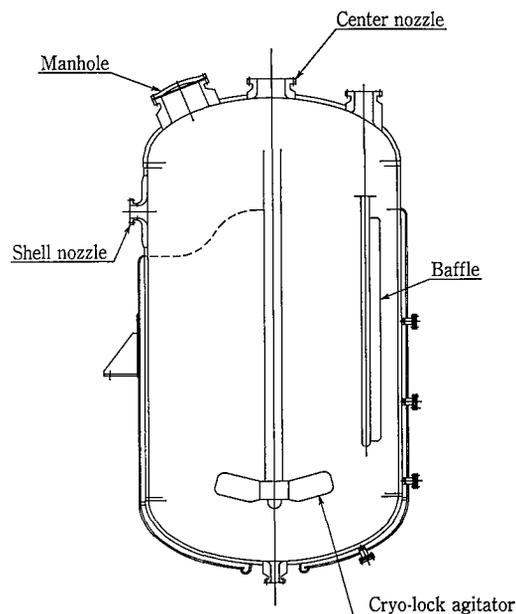
胴板…41 mm

下鏡…46 mm

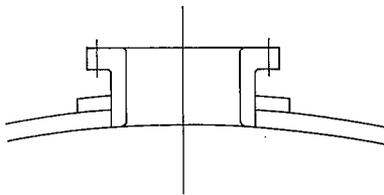
缶体の容量は満水で 39 M³である。

2.1 缶体設計

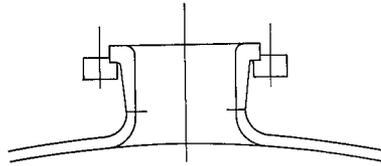
前述の缶体仕様において、必要な板厚はノズル、マンホール等の穴の無い場合、上鏡…46 mm、胴板…41 mm、下鏡…46 mm となり、この時の焼成重量は約 23 Ton である。ところが、穴のある場合はその穴に対して補強を行わなければならない。しかし G L 缶の場合、G L 施工上補強板を取り付ける構造（第 2 図）には出来ないため、一般には本体板単独で穴補強に必要な断面積を備えるように板厚



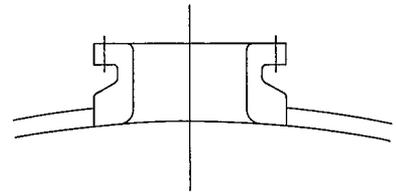
第 1 図 G L 製反応機
Fig. 1 Glasslined reactor



第2図 補強板付ノズル取付部
Fig. 2 Nozzle fitting w/reinforcement



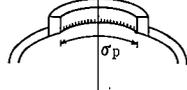
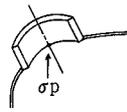
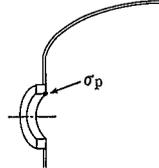
第3図 スウェッジ型式ノズル取付部
Fig. 3 Swedge type nozzle fitting



第4図 一体型ノズル取付部
Fig. 4 Integrated type nozzle fitting

第1表

ノズル取付位置とピーク応力発生位置
Table 1
Nozzle position and location of peak stress

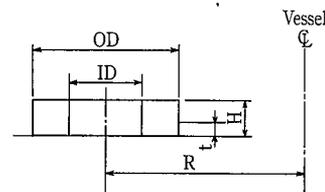
Nozzle	Location of peak stress (σ_p)	Model of analysis
Center nozzle		Two-dimensional isoparametric solid
Manhole		Three-dimensional isoparametric solid + Quadrilateral shell
Shell nozzle		Three dimensional isoparametric solid

第2表 ノズル仕様と解析結果

Table 2 Nozzle spec and result of analysis

Nozzle name	ID	OD	H	t	R	σ_p	σ_y	Remarks
Center nozzle	350	595	96	55	0	15.2	33	Fig. 5
Manhole	500	780	191	55	1 000	18.4	33	Fig. 6
Shell nozzle	154	—	—	60	—	24.3	25	Fig. 7

σ_p : Peak stress
 σ_y : Yield strength



を決定している。この考え方の場合、本例の必要板厚は、上鏡…87 mm、胴板…76 mm、下鏡…78 mm となり、焼成重量は約 43 Ton となる。従って、焼成炉の吊上能力をはるかに越えてしまい製作出来ないことになる。

そこで、穴補強に対して別の考え方をを用いる必要が生じてくる。今までの方法は第3図に示すように缶体をスウェッジしてノズルを取り付ける構造であり、この場合穴補強に有効な断面積は缶体板厚とノズル付け根のパイプ断面積のみである。このため前述のような倍近い板厚が必要となったのであるが、重量を軽減するために、第4図に示す構造とした場合穴補強に対する有効な断面積はノズルのネック部の肉厚部分で備えることができ、このような一体型形状を採用することにより缶体板厚は必要以上に厚くしなくて済み、経済的な設計をすることが出来る。

今回の例もノズル一体型を採用して焼成重量が吊上能力内に納まるようにしている。尚、一般的にグラスライニング製機器としては第3図に示す構造が標準である。

2. 2 解析

ノズルの形状を一体型にすることによりGL缶の一般的な構造と較べてノズル付け根部の応力の挙動が変化するこ

とが予測される。そこで、形状的に決まる局部応力を確認するために応力解析を行った。

2. 2. 1 使用プログラム

汎用有限要素法プログラム ANSYS Rev 4. 4A

2. 2. 2 解析モデル

取り付けられるノズルの位置により応力状態は異なるので3種類のモデルを考え第1表に示す。

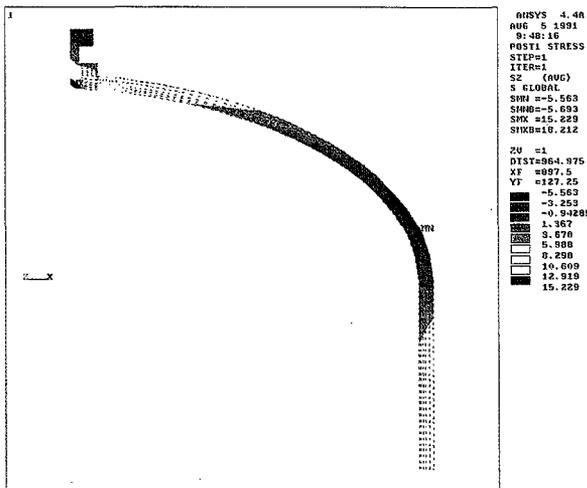
2. 2. 3 結果及び考察

ノズル付け根部内面のコーナー部(第1表)にピーク応力が発生することが確認される。各ノズルの仕様と解析結果を第2表に示す。また、各ケースの周方向応力コンターを第5～7図に示す。

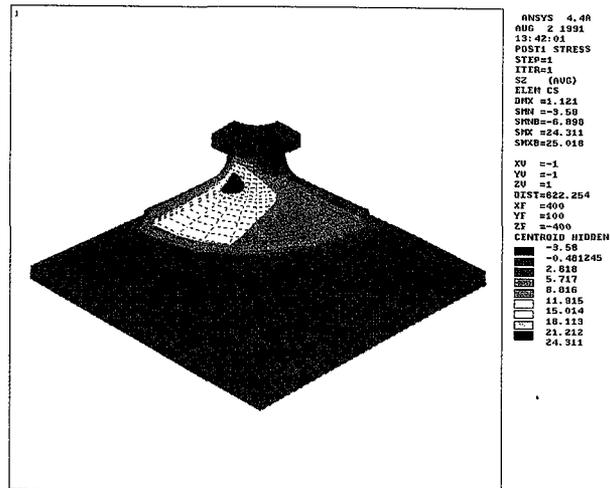
ピーク応力が母材の降伏点を越えると局部的な塑性変形を起こす。ガラスの破損は一般的に母材の降伏と共に起こるため、グラスライニングの設計においては、発生するピーク応力が母材の降伏点を越えないように配慮する必要がある。

そのための対応策としては次の項目が考えられる。

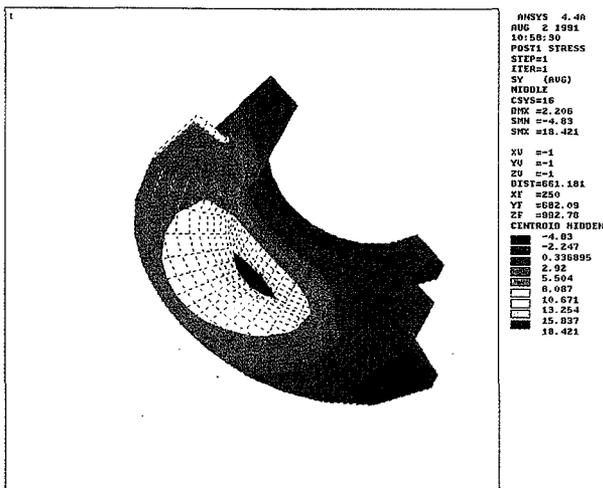
- (1) 管台寸法の変更
- (2) ノズル取付位置の変更



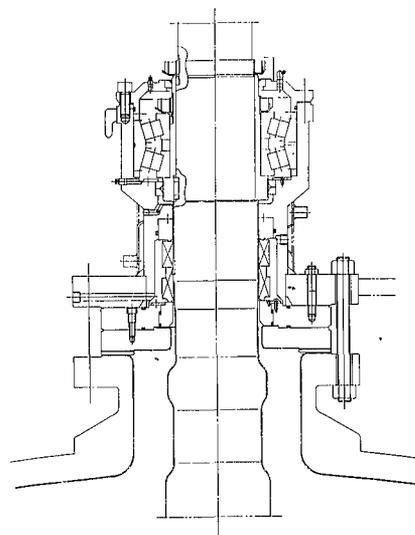
第5図 周方向応力コンター (センタノズル)
Fig. 5 Hoop stress contor (Center nozzle)



第7図 周方向応力コンター (胴ノズル)
Fig. 7 Hoop stress contor (Shell nozzle)



第6図 周方向応力コンター (マンホール)
Fig. 6 Hoop stress contor (Manhole)



第8図
メカニカルシール
Fig. 8
Mechanical seal

- (3) 応力が高くなる内面コーナー部の曲率半径を大きくする。
 - (4) 発生応力の分布を考え、コーナー部表面に降伏点の高い材料を用い肉盛り溶接を行う。(特許出願中)
- 以上の設計改善を計ることにより、一体型形状ノズルの欠点を補いガラス破損を未然に防ぐことができる。

3. 付属品

3.1 メカニカルシール

GL機器のメカニカルシールの摺動材材質はノンメタリックという要求からカーボン、セラミックあるいはSiCが主流である。

高圧仕様に対する設計で構造的にはバランス型またはセミバランス型が多く用いられるが、材質的には先に述べた材質に変わりはない。後で述べるようにGL機器の場合は下部軸受がない攪拌翼を設計するため（GL製の下部軸受が製作できないため）メカニカルシールの洩れにつながる摺動面での軸振れを小さくするために、軸径を大きくし、ベアリングをメカニカルシール近くに配置するなど、構造設計的な配慮も必要である。（第8図）

メカニカルシールのサイズとしてはステンレス機器で14" (φ350) という大きなサイズでも実績があり、技術的に何ら問題はない。

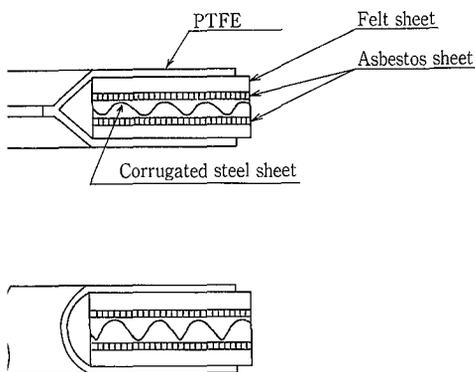
シーラントは一般的には油が使われ、高圧・大容量であるからといって特別なシーラントは使われていない。ユーザの要求で溶剤系のシーラントも実績がある。

シール箱は通常ジャケット付きとして冷却する構造にし、加圧装置としてはシールポット式が安価なのでよく採用されているが、缶体温度、回転数、シーラントとの関係でプレッシャーユニットを用いた強制循環方式を採用することもある。

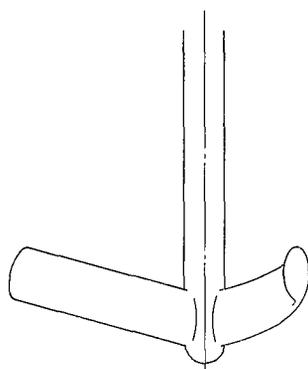
3.2 ガasket

高圧用GL機器のガスケットとしては、従来より波形鋼板入り PTFE 包みガスケット (CRT) が使われている。市販されている PTFE ガスケットより中芯のアスベストの種類と枚数が異なり、特にガラスライニングされたフランジ面用に開発された当社独自の構造・寸法の製品である。（第9図）

ガラスライニング施工時、高温にさらされ歪んだフラン



第9図 CRT ガスケット
Fig. 9 CRT gasket



第10図
GL製3枚後退翼
Fig. 10
Glass-lined 3-blade impeller

ジ面や機械加工出来ず完全に平滑でないGL面に対しガスケット調整が容易に出来、また締め付け力を与えることにより微少な凹凸にうまくなじみ、高い圧力が保持できる構造になっている。サイズにもよるが200℃で50 kg/cm²の実績がある。

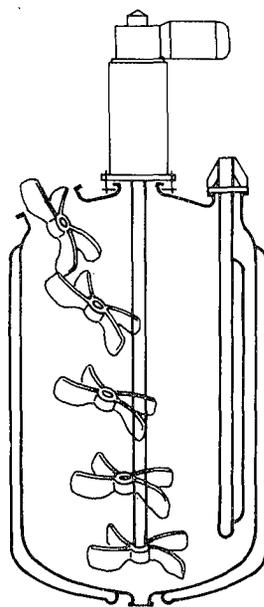
3.3 インペラ

通常のGL機器の攪拌翼はグラスライニング製のため第10図に示すように軸・翼一体型の形状をしているが、このような攪拌翼の場合は翼を缶内に挿入するための大マンホール（センタマンホールと呼んでいる）を缶体に設けなければならない。高圧・大容量のGL缶の場合板厚が厚くなり2.1節で述べたように焼成重量を越えてしまい、焼成出来なくなる。

この問題を解決するため当社はクライオロック技術を持っている²⁾。クライオロックアジテータの外形図を第11図に示す。

これは軸を冷やして収縮させ、常温の翼ボスにはめ込むという冷やしパメを応用したもので、しかも全接液部がGL施工されているという特色を持っている。

この技術で作られた攪拌翼は軸のみを缶体にセットした後、翼をサイドのマンホールから挿入し、缶内で軸にセットできるためセンタマンホールは不要となり缶体の板厚は薄くすることができる。



第11図
クライオロックアジテータ
Fig. 11
Cryo-lock agitator

このような高圧機器用に開発されたクライオロックであったが、翼を自由に取り替えられる長所から、別の攪拌目的に翼を変える容易さとか、または攪拌翼の取り替えスペース（特に建屋の高さ）が不要という意味からも見直され、最近多くの実績を残している。

むすび

大容量の機器、高圧の機器、個々の条件を満たすものは比較的容易に出来ても、両者どちらも満足させる機器となるという制約条件が出てきて設計に苦勞する。さらにグラスライニングという特殊な製造工程を経る機器となればなおさらである。

本稿ではそれらの問題点をあらゆる面から検討し、設計圧力30 kg/cm²、缶体内径3100 mm、容量にして約39 M³のGL缶を例にとって設計検討項目を紹介してきた。

一見たいした圧力ではなさそうであっても、容量が大きくなると、特にGL缶では高度な設計が必要である。

最後に、現在は播磨製作所に移転（'92年2月に移転）し、前述した設備能力は次の通りとなっている³⁾。

缶体内径：4200 mm

焼成重量：30 Ton

高圧大容量のGL缶の場合、焼成重量が支配的であるため、当製作所での製作限界は約20%上昇したことになる。また、缶内圧力が30 kg/cm²の場合、缶体の形状にもよるが最大容量50 M³まで製作可能である。

今後さらに内容を充実させ、現有の製造設備の範囲内で、より厳しい条件に対する反応機の設計が可能のように検討を進めて行きたい。

〔参考文献〕

- 1) 神鋼ファウドラ-技報, Vol. 29, No. 1, (1985) p. 13
- 2) 神鋼ファウドラ-技報, Vol. 29, No. 2, (1985) p. 21
- 3) 神鋼パンテック技報, Vol. 36, No. 2, (1992) p. 12