

模型蒸気機関車ボイラー安全指針

(2015 年版)

作成

日本小型鉄道倶楽部

(1934 年創設)

1. 目的

本書はアマチュアが趣味で製作または運転する銅製模型蒸気機関車のボイラー（以下ボイラーと称する）の安全性を確保するためのガイド指針を示すものである。

設計と運転上の注意点とともに、設計に関しては国際的な規格の計算式をチャートに展開して示し、面倒な計算をすることなくボイラー主要部の強度的必要寸法を求めることができるように配慮している。

本安全指針は愛好者の自主基準という位置付けではあるが、国際規格である ASME 規格に準拠した内容としており、さらに水圧試験の条件に付いて国内規格のそれよりも厳しい条件で行うなど、より高い安全性を担保していることから、国内外の関係法令等で求められる基準と比べても、同等以上の安全性を確保しているものと確信している。今後は国際規格の動向、技術の進展等に合せて本指針についても不断の見直しを図ってゆくこととする。

また本安全指針の内容はアマチュアが製作するボイラーのみならず、模型蒸気機関車のメーカーが製造・販売するものに対しても適用できる。

2. 適用ボイラー

本安全指針は下記条件をすべて満足するボイラーに適用する。

- 1) 大きさと形式： 胴の直径が 250mm 以下の模型蒸気機関車ボイラー
- 2) 最高使用圧力： 0.7MPa {7kgf/cm²} 以下
- 3) 主要構成部品材質： 銅、および化学的組成が銅に近く銀ろう付け性が良い青銅
(たとえばリン青銅)
- 4) 耐圧部継手の接合方法： 銀ろう付け

注：1) 最高使用圧力とは設計圧力とも言い、ボイラーが使用中に受ける最高の圧力である。
模型ボイラーの場合、安全弁の設定吹出し圧力とする。

2) 遊園地やイベント等で営業運転に使用する機関車のボイラーは適用除外とする。

3. 参考規格

国際的に広く用いられ、我国の関連規格の原典となっている ASME (American Society of Mechanical Engineers) による "Boiler and Pressure Vessel Code" の下記項目に基づいて作成した。

- Section I: Rules for Construction of Power Boilers.
 Part PG General Requirements for All Methods of Construction.
 Part PB Requirements for Boilers Fabricated by Brazing.
- Section II: Materials.
 Part B Nonferrous Material Specifications.
- Section VIII: Rules for Construction of Pressure Vessels.
 Part UG General Requirements for All Methods of Construction and
 all Materials

4. ボイラーの安全性を確保するための要点

ボイラーの設計と運転に関し最小限守るべき事項の要点を図1に、それぞれの具体的な内容を第5項以下に示す。

その原典の計算式や補足注意事項等は本書後半部の「模型蒸気機関車ボイラー安全指針 解説」を参照すること。

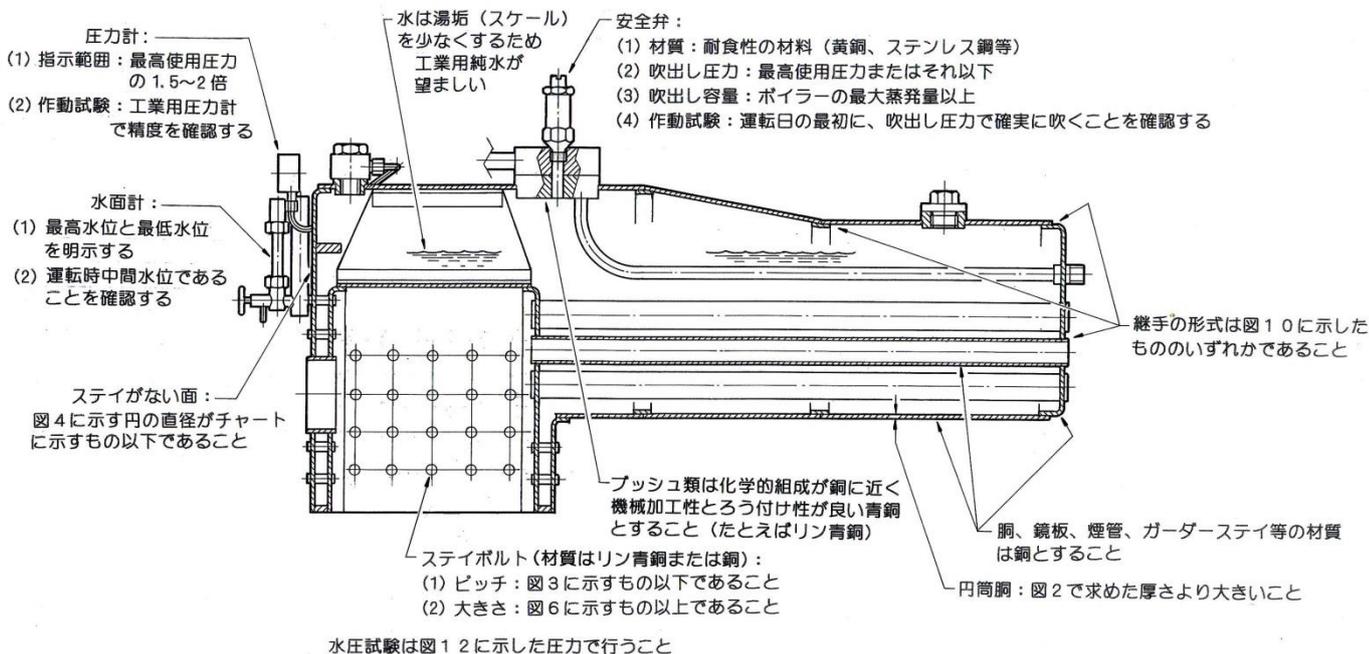


図1 模型蒸気機関車ボイラーの安全要点

5. 材料

胴、鏡板、煙管などの耐圧部は純度 99.8%以上の銅（最も普通の銅）とすること。

ブッシュなど直接ボイラーに銀ろう付けする機械加工部品は化学的組成が銅に近くてろう付け性が良い青銅（たとえばリン青銅）とすること。

ステイボルトはリン青銅または銅とすること。

黄銅は青銅に比べて冶金的信頼性が低いのでボイラーに直接ろう付けする部品に用いてはならない。ただし銀ろう付け時、部品の仮止めには黄銅ネジを使用してよい。

ボイラーに直接ろう付けしない水面計や安全弁、管継手などは黄銅（快削黄銅も含む）を使用して差支えない。

6. 設計

6.1 内圧を受ける円筒胴

内圧を受ける円筒胴の必要最小板厚が図2のチャートで求められる。

単位としてMPaより kgf/cm²の方が使いやすければ0.1MPaを1kgf/cm²と読み替えて使っても差支えない。(以下の項目も同じ)

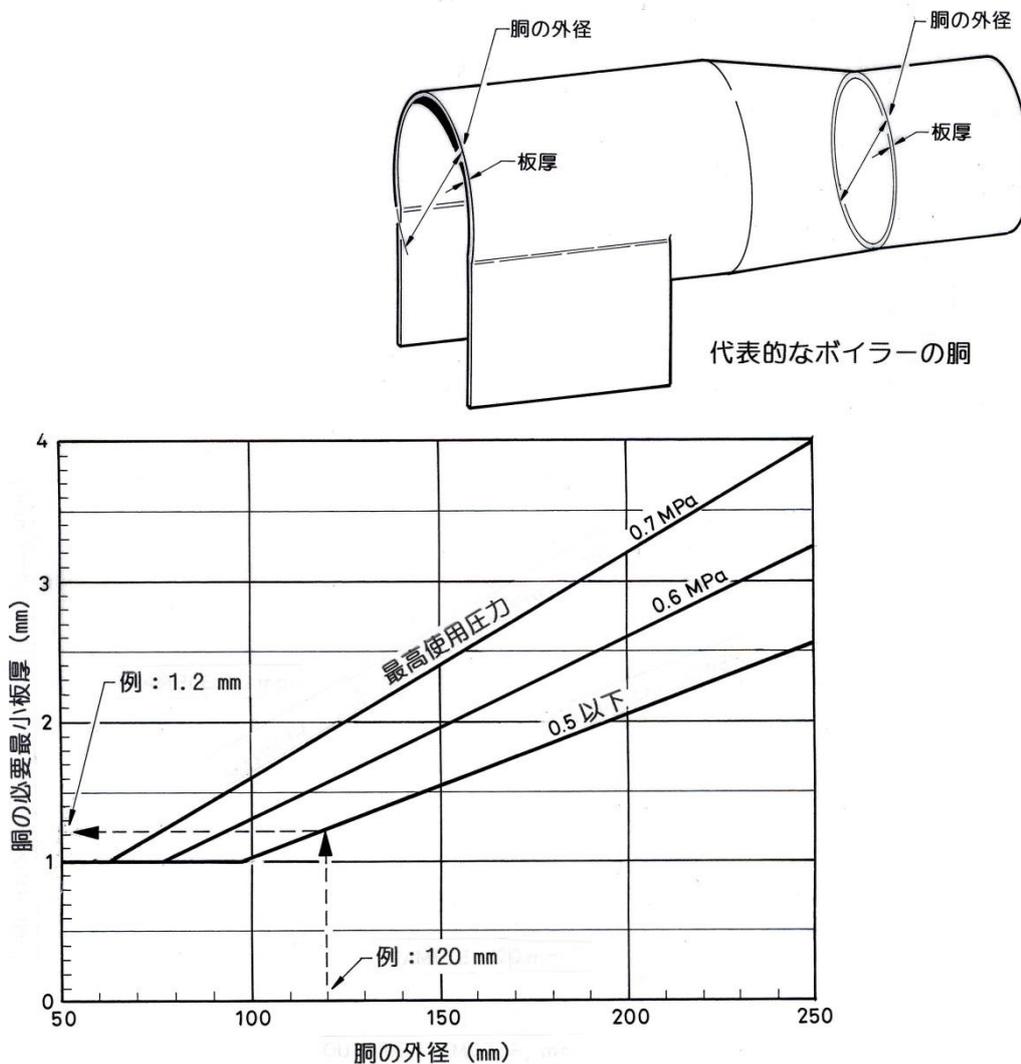


図2 内面に圧力を受ける円筒胴の必要最小厚さ

チャートの使い方：

水平軸に胴の外径をとり、最高使用圧力の線にあたるまで上方に延ばす。その交点から左方向水平にたどり、縦軸に必要最小板厚を読む。

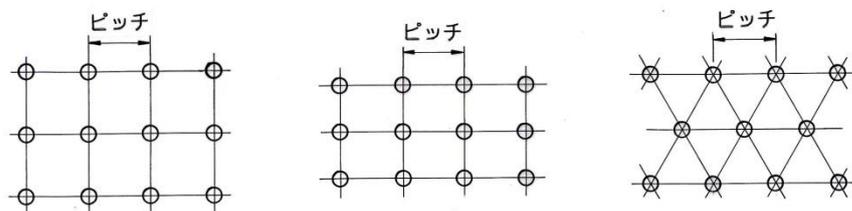
チャートの例では胴外径 120mm、最高使用圧力 0.5MPa に対して必要最小板厚が 1.2mm と読める。

示された板厚が 1mm 以下となっても機械的信頼性を確保するため 1mm より薄くしてはならない。

6.2 ステイボルトでささえられる平板

6.2.1 規則的に配置されたステイボルトによってささえられる平板

ステイボルトを規則的に配置した場合の許容最大ピッチが図3のチャートで求められる。



対称的に配置されたステイボルトの例

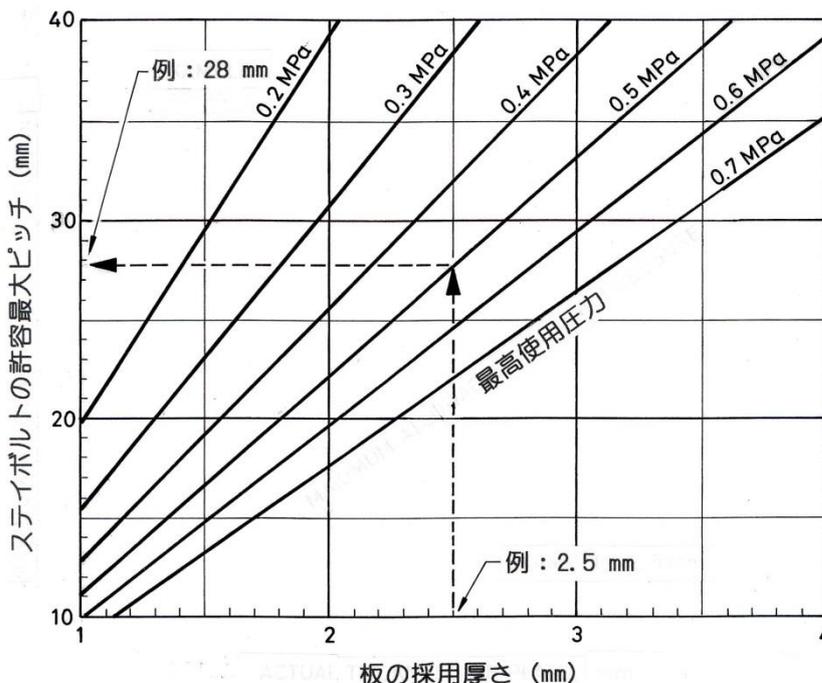


図3 対称的に配置されたステイボルトの許容最大ピッチ

チャートの使い方：

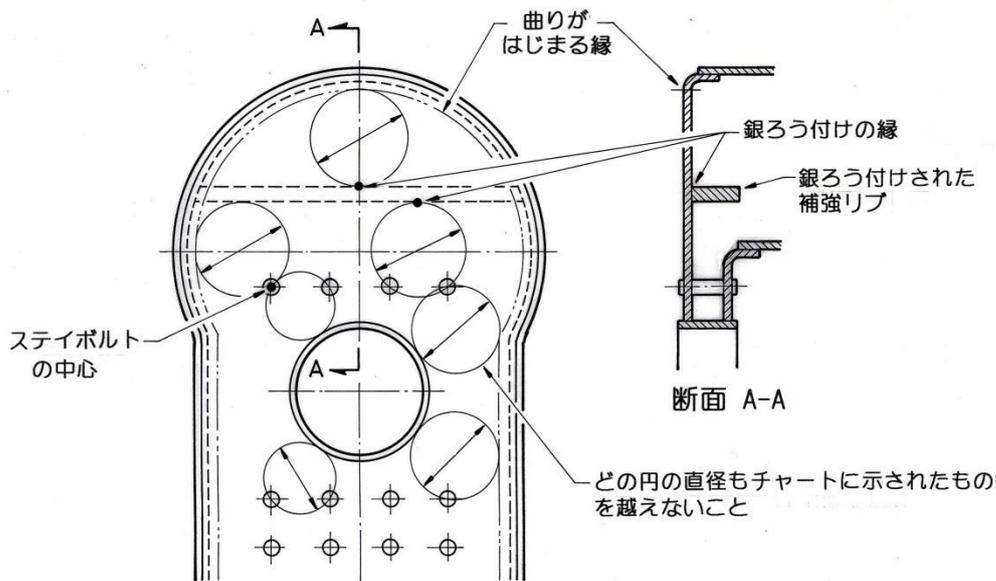
横軸に採用板厚（実際に採用する板厚であり、図2で求めた必要最小板厚ではないことに注意）をとり、最高使用圧力の線にあたるまで上方に延ばす。その交点から左方向水平にたどり、縦軸に許容最大ピッチを読む。

もしピッチが水平と垂直方向で異なる場合は大きな方のピッチがこの値を越えてはならない。

チャートの例では採用板厚 2.5mm、最高使用圧力 0.5MPa に対して許容最大ピッチが 28mm と読める。

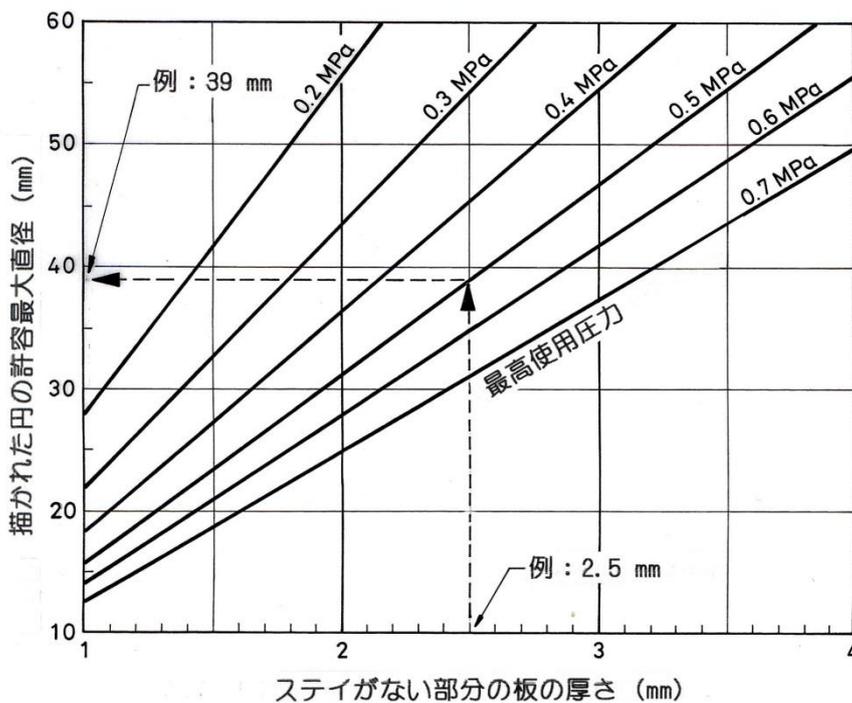
このチャートを逆方向に使い、採用ピッチから必要板厚を求めることもできる。

6.2.2 不規則に配置されたステイボルトによってささえられる板



ステイボルトがない部分に描ける円の例

ささえるべき板の原寸図を描いてステイボルトを仮に配置してみる。
 ステイがない部分の3本のステイボルトの中心、または曲りの始まる板の縁からステイボルトの中心を通る円（ステイでささえられていない部分に描ける最大円）を描く。ここで言う「縁」とは板の曲りがはじまる線や銀ろう付けした補強リブの縁のことで、上図にその例のいくつかを示す。
 ここで描かれた円の直径が図4のチャートで示したものを越えてはならない。



チャートの例では採用板厚 2.5mm、最高使用圧力 0.5MPa に対する”ステイがない部分の円の直径”が 39mm を越えてはならないことを示している。

図4 平板のステイがない部分に描ける円の最大直径

6.2.3 ステイボルト

図5に代表的なステイボルトを示す。材質はリン青銅または銅とし、黄銅を使用してはならない。

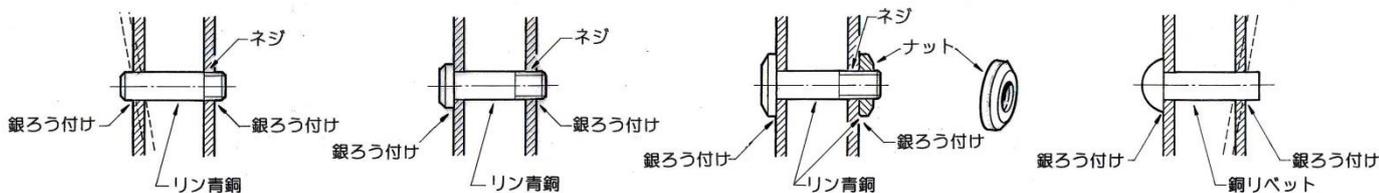


図5 代表的なステイボルト

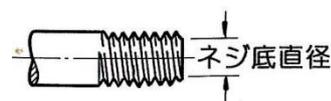
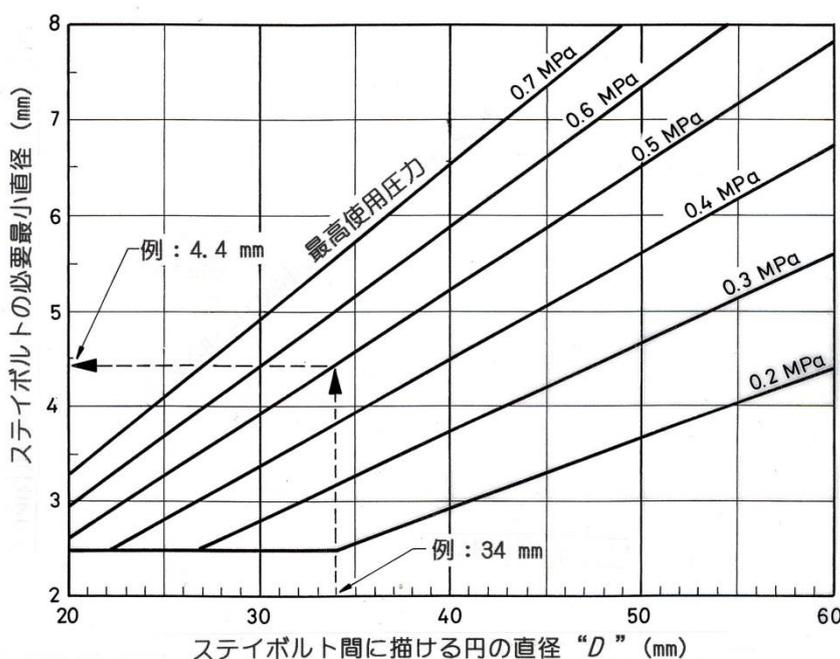


図6 ステイボルトの必要最小直径

ステイボルトの必要最小直径は図6のチャートから求める。

チャートの使い方：

3本（長方形ピッチの場合は4本）のステイボルト中心を通る円を描き、その直径を”D”とし、チャートの横軸にとる。そこから最高使用圧力の線にあたるまで上方に延ばし、その交点から左方向水平にたどり、縦軸にステイボルトの必要最小直径を読む。

この必要最小直径はネジ底（それより細い個所があればその直径）を示す。

示された直径が小さい場合でも機械的信頼性を確保するため2.5mm（M3のネジに相当）より小さくしてはならない。

チャートの例では34mmの円上のステイボルトで最高使用圧力0.5MPaに対するステイボルトの必要最小直径は4.4mm以上であることと分かる。（ネジを切ったステイボルトの場合はネジ底径が4.5mmのM5 x 0.5ピッチのネジが使える。）

6.3 補強リブ

構造上ステイボルトが使えない平板は図7に示すようなリブで補強することができる。

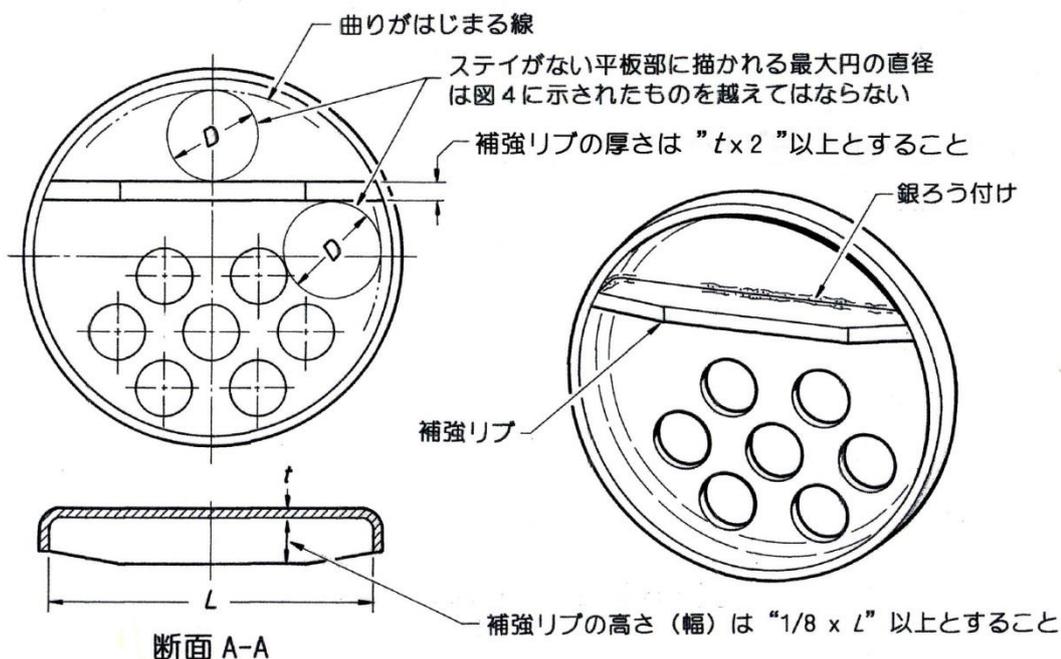


図7 代表的な補強リブ

ステイでささえられていない部分に描ける円の直径は図4のチャートで示したものを越えてはならない。

補強リブは銅で、対象部の荷重をささえるのに十分な強度を持つ寸法とし、補強すべき板に銀ろう付けすること。リブの厚さと幅のプロポーシヨンの例を図7に示す。

一本のリブで不足する場合は平行または交差した複数本とすることができる。

6.4 内火室天井板のステイ

内火室天井板はガードステイかガセットステイ、または 6.2.3 項で示したステイボルトで補強すること。

図 8 に小さな内火室天井板を補強するガードステイの例を示す。これらのステイを銀ろう付けする場合、黄銅の小ネジか銅リベットで仮固定するとよい。

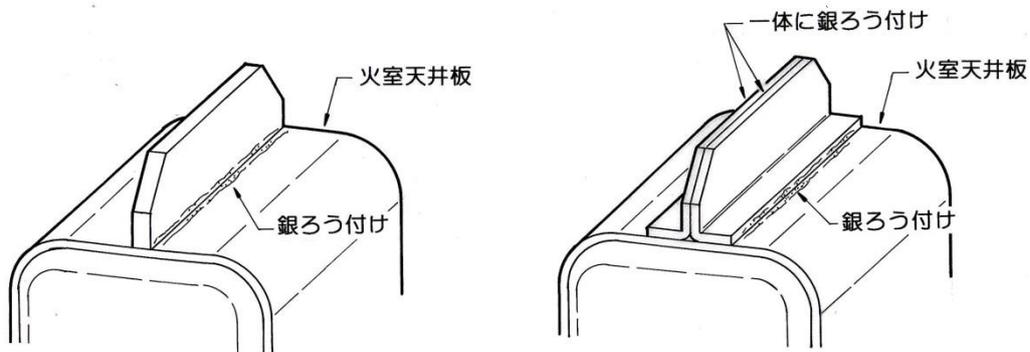


図 8 小さい火室天井板のガードステイの例

図 9 は内火室天井と外火室を接続するガセットステイを示す。この形式のステイは内火室天井板の補強だけでなく、火室底枠にかかる荷重を分担する利点がある。(このガセットステイがないと火室平面全面積にかかる大きな荷重がすべて底枠にかかることになる) 寸法的に収まる大きさの火室にはこの形式のガセットステイを推奨する。

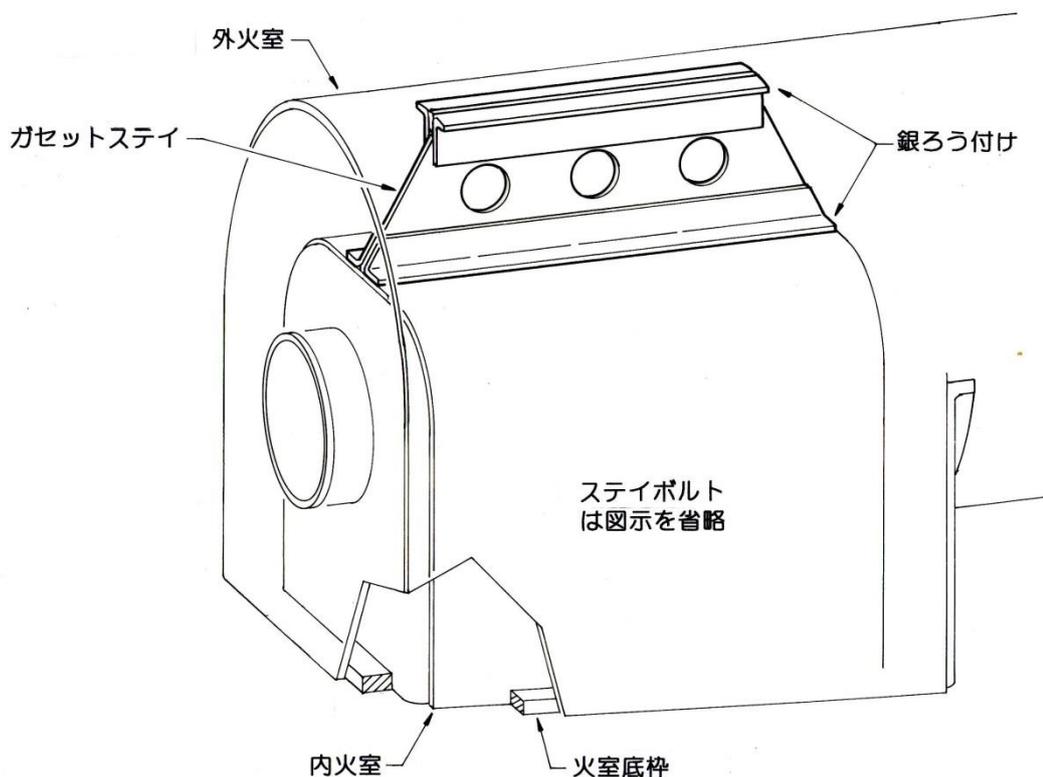


図 9 推奨する火室天井板のガセットステイの例

6.5 銀ろう付け継手

アマチュアのボイラー製作には JIS 規格番号 BAg1 の銀ろうが使いやすく作業が容易であるが、目的により他の JIS 規格銀ろうを使用することもできる。

図 10 はボイラーに使われる代表的な継手の形式で、ASME で推奨されているものから選んだ。ろう付け、酸洗い後、一つ一つの継手について継手の反対側に銀ろうがにじみ出ていることを確認すること。

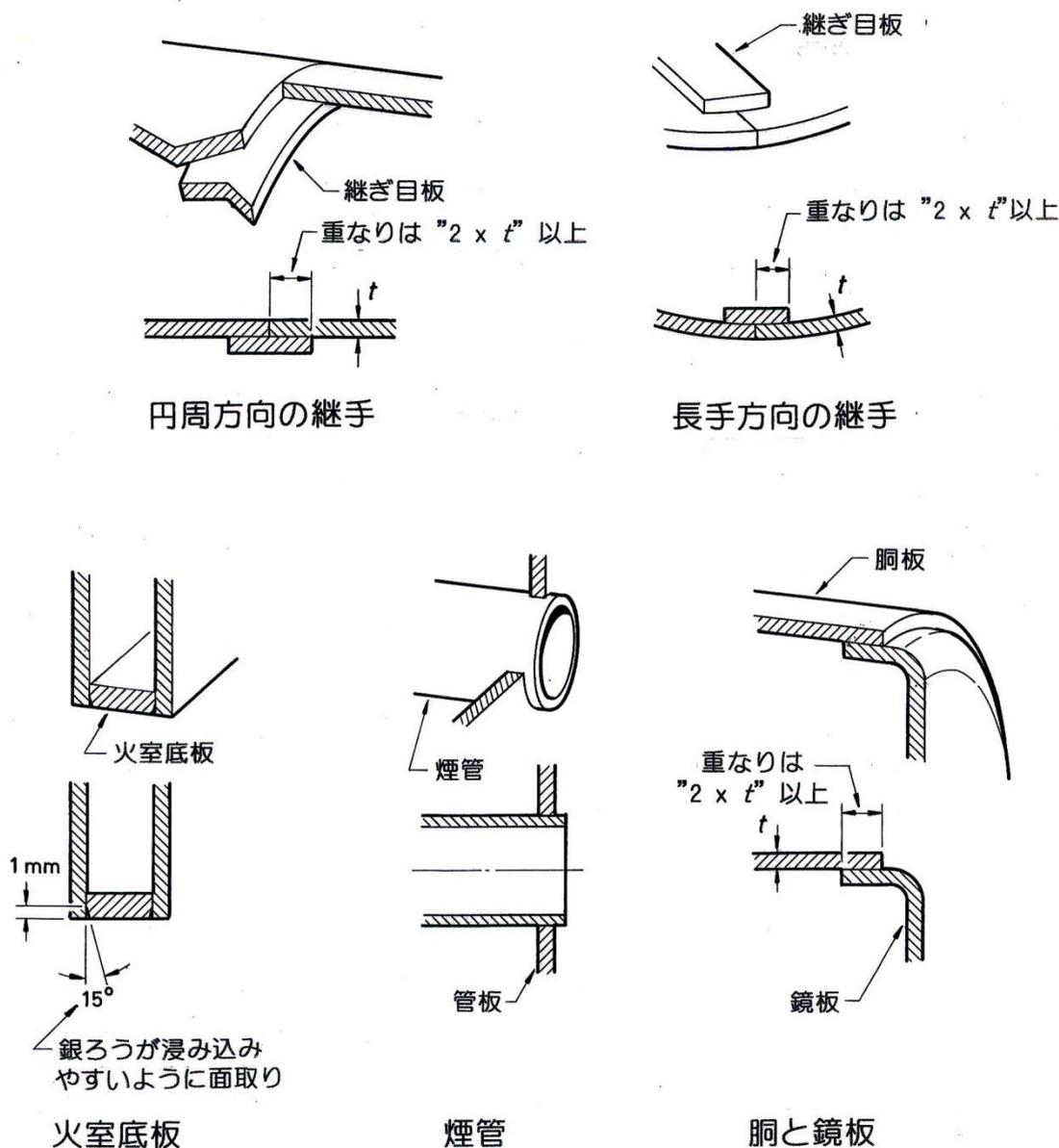


図 10 代表的な銀ろう継手

7. 水圧試験

ボイラー完成後、設計・材料・製作の全てにおいて強度的に健全であることを確認するため水圧試験をおこなわねばならない。(図 11 参照)

水圧試験に合格しないボイラーは決して使用してはならない。

水圧試験は各ボイラーの最高使用圧力に対し図 12 で示す圧力でおこなうこと。

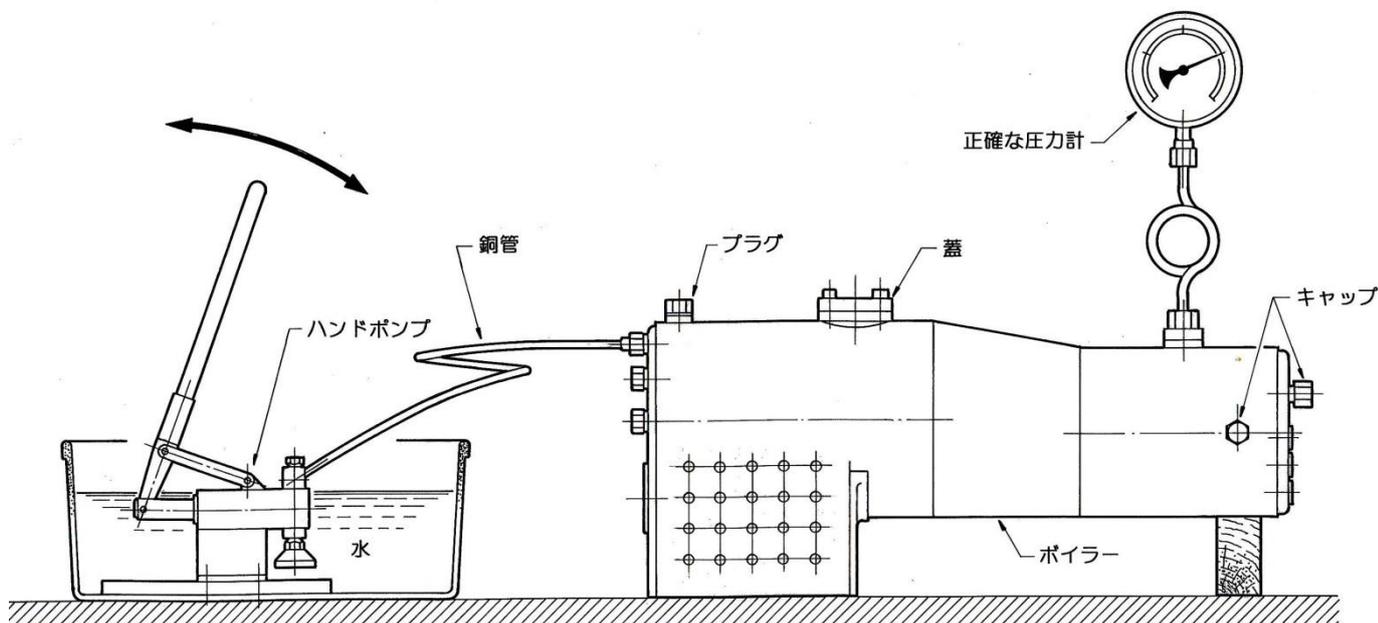


図 1 1 水圧試験のセットアップ

水圧試験の代表的な手順は下記の通りである。

- 1) ボイラー全体をきれいに清掃する。
- 2) 工業用の圧力計を取付ける。
- 3) 昇圧用のハンドポンプとボイラーを銅管でつなぐ。
- 4) ボイラー頂部の穴以外の開口部をすべて塞ぐ。
- 5) ボイラー頂部の穴から水を入れて満杯にする。
- 6) ハンドポンプを操作して水を入れ、残っている空気を追い出す。
- 7) 頂部の穴を塞ぐ。(これで図 11 の状態になる)
- 8) 段階的に圧力を上げてゆき、各段階で漏れや有害な膨らみがないことを確認する。
- 9) 図 12 で求めた圧力まで上げたら、そのまま 10 分～15 分間保持する。
- 10) 日付記録機能を持つカメラで圧力計を含めた写真を撮影し、下記内容の水圧試験証明書に貼り付ける。
- 11) いずれかのプラグを緩めて脱圧する。

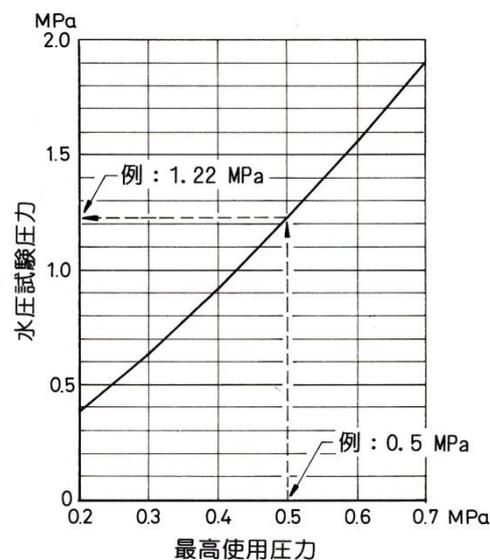


図 1 2 銅製ボイラーの水圧試験圧力

注：「水圧試験証明書」は任意の型式でよいが、最少限、下記内容を記載・添付すること：

ボイラー形式、全長寸法、製作者名、水圧試験圧力、水圧試験実施年月日、上記 10) 項の写真。

下記の場合は規定の圧力で水圧試験を再度実施して強度的健全性を確認し、新しく水圧試験証明書を作成すること。

- 1) 完成水圧試験後に圧力部分の改造を行ったボイラー。
- 2) 他の所有者から譲渡されたボイラー。
(新所有者がボイラーの強度的健全性の限界を確実に認識するため)

8. ボイラーの付属品

ボイラーには少なくとも下記の付属品を設けること。

8.1 水面計

見やすい個所に水面計を設け、その可視範囲は最高と最低水位をカバーし、それらの水位を明示すること。運転時、ボイラーの水位は最高と最低の間に維持すること。

8.2 圧力計

指示目盛が最高使用圧力の 1.5～2 倍の圧力計を見やすい個所に設けること。
ときどき工業用圧力計の指示と比べてその精度を確認すること。

8.3 安全弁

ボイラーの最大蒸発量以上の吹出し容量を持つ安全弁を少なくとも一個設けること。
バネ直動式で、鋼球とバネの材質はステンレス鋼とし、安全弁本体やその他の部分は黄銅などの錆びない材質とすること。
安全弁は最高使用圧力またはそれ以下で吹出すようにセットすること。

9. 水

工業用の純水（脱イオン水）を使用するのが望ましい。水道水は完全に無色透明であってもいろいろな不純物を溶かし込んでおり、ボイラー内で濃縮され湯垢となって伝熱面に固着する。熱伝導度が低いのでボイラーの効率を下げるだけでなく、火室板のメタル温度を高くする。さらにチェックバルブの鋼球表面に付着すると弁の機能が損なわれたりするので好ましくない。

10. 公開場所での運転

ボイラー製作者以外の人がある場所で運転する場合は、第 7 項で作成した水圧試験証明書を携帯し、会場の安全責任者が求めた場合はそれを示すこと。
運転開始前（運転が複数日あれば毎日）に、安全弁が吹くまでボイラー圧力を上げ、その吹出し圧力が規定通りであることをボイラーに取付けてある圧力計で確認すること。この簡単なテストで安全弁と圧力計両方の機能が確認できる。
上記の 2 項（水圧試験証明書の携帯と安全弁作動試験）を満足しないかぎり、公開場所で運転をしてはならない。

「模型蒸気機関車ボイラー安全指針」の解説

文責：日本小型鉄道倶楽部 平岡幸三

目的

銀ろう付けによって製作される銅ボイラーの強度と耐久性は、主として英国ならびにそれに続く世界各国の模型製作者による百年以上の実績で証明されてきた。

また、これまでボイラー設計についていくつかの解説と計算式が公表されてきたが、アマチュアが使うには複雑面倒すぎたり、工学的な根拠が分かり難かったりして必ずしも使いやすいものではなかった。日本小型鉄道倶楽部(JMRC) は簡便でしかも信頼性が高いものを目標として 1996 年第一回の安全指針を作成して関係者に配布し活用してきた。

この安全指針はその信頼性をさらに高めると共に国際的にも通用する指針とするため、American Society of Mechanical Engineers (ASME)により作成され最も権威があるとされている”Boiler and Pressure Vessel Code”に基づいて旧指針を全面的に見直した。

ASME 規格はこれまで用いられてきた模型工学手法に比べ、例えば水圧試験圧力等、より合理的で安全性の高いものになっている。

模型蒸気機関車ボイラーの強度的健全性は製作完了後に行なう水圧試験で確認することにより確実に担保される。(本指針で網羅しきれていないあらゆる強度的事項も確認される)

本安全指針は「日本小型鉄道倶楽部」が永年の技術実績に基づいて作成したものであるが、その内容は他クラブはもとより、模型蒸気機関車の製造メーカーにおいてもそのまま適用して差支えない。各社独自の品質管理上の必要図書などと併用して利用されたい。

1. 適用範囲

アマチュアが趣味として製作あるいは運転するボイラーを対象とした。寸法的にはごく稀に胴直径が 250mm を越えるものが存在するが、それらを含めるとボイラーだけでなくブレーキ等の設計・製作の難易度が高くなり要求事項が厳しくなって現実的でなくなると考えたものである。

なお、遊園地などで営業目的に運転される模型蒸気機関車のボイラーは、個人趣味の範囲を越えるのでそれらは適用外とした。

2. 参考規格

下記の理由により、ASME 規格の適用可能項目に準拠することとした。

- 1) ASME 規格は国際的に最も広く用いられている規格であり、これに準拠すれば国内だけでなく、世界的に通用するものとなる。いまや模型の世界もグローバル化しており、作品も外国に流通する時代となった。
- 2) ASME には銀ろう付けで製作する銅製ボイラーに適用できる規格がある。

3. ボイラーの安全性を確保するための要点

ボイラーの設計と運転に関し安全確保上最小限守るべき事項を図 1 に要約して示した。各項目の詳細な内容については第 5 項以降で説明する。

4. 材料

ASME 規格の **Part PB-1.2 Boilers fabricated by Brazing** に銅の部材を銀ろう付けして製作したボイラーが使用温度 205°C 以下で使用できると規定されている。

模型蒸気機関車のボイラーは最高使用圧力が 0.7MPa{7kgf/cm²}を越えるものではなく、その圧力における飽和蒸気温度は 170°C なので我々のボイラーはこの規定条件を十分に満足するものである。

模型ボイラーの材料に銅を使用することには次のような利点がある。

1) 耐食性がある。

銅は大気や水および蒸気に対して耐食性があるので面倒な保守をしなくても長い寿命が保てる。錆びることを心配する必要がないので運転後ボイラーを空にするだけで、それ以外の保管手当は不要である。

2) 簡単な工具でやさしく製作できる。

銅は手工具で複雑な形に成形でき、ろう付け性も良い。高価で熟練を要する溶接機器などを必要としない。

3) 高い熱伝導率。

銅の熱伝導率は鋼のその約 5 倍なので、燃焼ガスからボイラー水への熱伝達がより効率的である。

なお機械加工部品でブッシュなど直接ボイラーに銀ろう付けするものはリン青銅または同じように化学的組成が銅に近く銀ろう付け性が良い青銅とした。リン青銅は 3.5~4.5%の錫と 0.03~0.35%のリンを含む銅合金で銅と同じ耐食性に加え、より高い機械的強度ならびに機械加工性を持っている。青銅と呼ばれる合金の中には軸受メタル用のように 10%以上の鉛を含み、ろう付け性が良くないものがあるのでそのような合金を使ってはならない。

黄銅は組成にむらがあったりして、リン青銅に比べ冶金的信頼性が低いので銀ろう付けでボイラーと一体になる部品には用いないこととした。ただし銀ろう付け時、部品の仮止めのためには黄銅ネジを使用してよい。

ボイラーに直接ろう付けしない水面計や安全弁、管継手などに黄銅（快削性のもも含む）を使用するのは差支えない。

5. 設計

6.1 内圧を受ける円筒胴

図 2 のチャートは ASME *Section I* の **PG-27.2.2** の下記計算式によって作成した。

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C$$

where,

t = minimum required thickness, in. (mm).

P = maximum allowable working pressure of the boiler, psi (kPa).

D = outside diameter of cylinder, in. (mm).

E = joint efficiency. “1.0” for a joint in which visual examination assures that the brazing filler metal has penetrated the entire joint (PB-10 in Section I).

S = maximum allowable stress value at the design temperature of the metal, psi (kPa).

y = temperature coefficient. “0.4” for nonferrous materials (PG-27.4 Note 6 in Section I).

C = minimum allowance for corrosion, in. (mm). “0” for copper in steam or water service.

日本語訳：

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C$$

t = 必要最小板厚, mm

P = ボイラーの許容最高使用圧力, kPa

E = 継手効率で、ろう材が接合面に完全に浸透している継手は 1.0 (Section I の PB-10)

S = 使用金属の使用温度における許容最大応力, kPa

y = 温度係数で、非鉄金属に対しては 0.4 (Section I の PG-27.4 Note 6)

C = 腐食しろで、蒸気と水環境で使用される銅については 0 mm

上式に *E* と *y* と *C* を入れると下記の簡単な式となり、これによって図 2 のチャートを作成した。

$$t = \frac{PD}{2S + 0.8P}$$

S (許容最大応力) は Section II の Table 1B に示されている各温度での銅の許容最大応力と蒸気物性を基に各圧力における値を求めた。

最高使用圧力 MPa	0.5	0.6	0.7
蒸気飽和温度 °C	158	164	169
設計メタル温度 °C	188	194	199
許容最大応力 kPa	24,822	23,443	22,064

注：内火室板の温度は安全を見てボイラー水より 30°C 高いものとした。

板厚が薄すぎるとボイラー全体の強度上困るので、0.5MPa 以下をひとつにまとめ、さらに同じ理由で最小板厚を 1mm とした。

6.2 ステイボルトでささえられる平板

6.2.1 規則的に配置されたステイボルトによってささえられる平板

図3のチャートは ASME Section I の PG-46.2 の下記計算式によって作成した。

$$t = p \sqrt{\frac{P}{SC}}$$

where,

p = maximum pitch measured between straight lines passing through the centers of the staybolts in the different rows, in. (mm).

t = thickness of the plate to be used, in (mm).

P = maximum allowable working pressure of the boiler, psi (kPa).

S = maximum allowable stress value at the design temperature of the metal, psi (kPa).

C = "2.5" for stays screwed into plate as shown in Figure UG-47 sketch (b) in the ASME Code. (See Note 1.)

日本語訳 :

$$t = p \sqrt{\frac{P}{SC}}$$

ここに、

p = 列間のステイボルトの中心を通る直線の最大ピッチ, mm

t = 採用板厚, mm

P = ボイラーの許容最高使用圧力, kPa

S = 使用材料の使用温度における最大許容応力, kPa

C = 板にねじ込んだステイは 2.5 とする。

(ASME の図 UG-47 スケッチ(b)参照)

上式から下記を得、これによって図3のチャートを作成した。

$$p = \frac{t}{\sqrt{\frac{P}{2.5 \times S}}}$$

6.2.2 不規則に配置されたステイボルトによってささえられる板

ステイがない部分に描ける最大円の直径を図3に示す許容最大ピッチに 1.414 ($\sqrt{2}$) を乗じて求め、図4のチャートを作成した。

6.2.3 ステイボルト

図 5 のチャートは ASME Section I の PG-49.1 の下記規定に準拠して作成した。

The required area of a staybolt at its minimum cross section shall be obtained by dividing the load on the staybolt, by the allowable stress value in accordance with Table 1B of Section II, Part D, and multiplying the results by 1.10. The diameter of a screw stay shall be taken at the bottom of the thread.

日本語訳：

ステイボルトの最小部分の必要断面積はステイボルトにかかる荷重を Section II Part D の Table 1B に示す許容応力で割り、それに 1.10 を乗じて求めること。ネジを切ったステイではネジ底の直径とすること。

上記の内容を式にすると下記のようになる。

$$A = \frac{1.10 \times W}{S}; A = \frac{\pi}{4} d^2 ;$$

$$W = \frac{3}{4} \times P \times D^2 \times \cos 30^\circ \quad (\text{注参照})$$

ここに、

A = ステイボルトの最小部分の必要最小断面積, mm²

W = 当該ステイボルトによって支えられる荷重, kgf

S = ステイボルトの設計温度における許容最大応力, kPa

銅のリベットをステイボルトとして使う場合のことを考え、銅の許容応力を使用する。

リン青銅は銅より機械強度が高いのでより安全側となる。

d = ステイボルトの最小必要直径, mm

ネジ底またはそれ以外により小さい部分があればその直径。

D = ステイボルトの中心を通る円の直径, mm

P = ボイラーの最高使用圧力, kPa

上記の 3 式から下記の式が得られる：

$$d = 0.91 \times D \times \sqrt{\frac{P}{S}}$$

図 6 のチャートはこの式に P と S を入れて作成した。

注： W を求める式は千鳥配列のステイの一本が負担する面積によるものとした。

(図 6 に示した 3 種類の配列の中で最大で、安全側の設定となる)

最小直径を 2.5mm としたのは最小板厚と同じ考え方である。

6.3 補強リブ

煙室管板や後部板の上部の平面など、ステイボルトで補強できない平板は十分な強度を持つリブで補強する。この項では図 7 に代表的なリブの最小厚さと幅を示す。リブ設置後のステイでささえられていない部分に描ける円の最大直径は図 4 で求められる大きさを越えてはならない。

6.4 内火室天井のステイ

火室の天井は実機のようにステイボルトで補強することもできるが、本数が多くなり模型の場合製作が容易でない。そこで図に示すガードーステイかガセットステイを使うのが得策である。

図 8 に示すガードーステイは外火室とつながっておらず内火室天井板自身だけを補強するものである。その場合、火室全平面にかかる圧力がすべて火室底枠にかかるので、ある程度以上の大きさのボイラーには適切でない。そこで図 9 のように内火室天井と外火室を結ぶ、いわゆるガセットステイを設ける。銀ろう付けが易しく確実にできるよう、継手の構造とろう付け順序を工夫することが必要で、そのことは可能であり、その解説書もある。

6.5 銀ろう付け継手

銀ろう BAg1 は銀：45%、銅：15%、亜鉛：16%、カドミウム：24%の合金である。

JIS で 17 種標準化されている銀ろうの中で、620℃と最も熔融温度が低く、流動性が極めて良い。カドミウムを含んでいるため密閉した室内でろう付け作業をすることは避けるべきであるが、換気の良い場所や屋外で行えば健康上問題はない。ろう付け作業中に発生する僅かなガスは 1000℃を越えるバーナーの炎による圧倒的な上昇気流によって上方に持ち去られるので作業者の周囲にガスがただようようなことはない。

図 10 に示す継手は代表的なものである。

銀ろうが完全に浸透していることが目視確認できる継手は効率を 100%としてよいことが ASME に規定されており、その完全な浸透は銀ろうを供給した反対側にも銀ろうが現れていることで確認できる。

構造上目視できない箇所の継手効率は 1.0 より低い値（例えば 0.8）を採用することとされているが、本指針では「6.5 銀ろう付け継手」に規定したように胴の継手は円周方向、長手方向いずれも板厚の 2 倍以上の重なりをもつ継ぎ目板を当てることにしているため継手自体の効率は 1.0 以上となる。よって胴板厚の計算では 1.0 を採用してよい。

7. 水圧試験

模型蒸気機関車の銅ボイラーはその長い歴史において「最高使用圧力の2倍」の圧力で水圧試験するのが慣習であった。これまでそれによる問題はまったく報告されていないが、本指針ではそれをさらに安全側に更新した。

すなわち、銅の許容応力は使用温度が上がるにしたがって大きく低下する。**ASME Section VIII の Rules for Construction of Pressure Vessels の UG-99**ではそのことを配慮し、最高使用温度における最大許容応力を考慮した水圧試験圧力が下記のように規定されている。**図 12**に示したチャートはその規定に準拠したものである。

The hydrostatic test pressure shall be at least 1.3 times the maximum allowable working pressure multiplied by the lowest ratio of the stress value S_T for the test temperature on the stress value S_D for the design temperature.

日本語訳：

水圧試験圧力は少なくとも最高使用圧力の1.3倍の圧力に試験温度における許容応力 S_T と設計温度における許容応力 S_D の比を乗じた値とすること。

上記の内容を式にすると下記のようなになる。

$$P_T = 1.3P \times \frac{S_T}{S_D}$$

ここで、

P_T = 水圧試験圧力, kPa

P = 最高使用圧力, kPa

S_T = 試験温度における許容最大応力, kPa

S_D = 設計温度における許容最大応力, kPa

これによると最高使用圧力 0.7MPa のボイラーでは 約 2.8 倍の圧力で水圧試験することになり、これまでの 2 倍に比べてかなり高い。

注：水圧試験の代わりに、空気での圧力試験はけっしてしてはならない。

8. ボイラーの付属品

ボイラーの安全上必要最小限の付属品である水面計と圧力計、安全弁は **ASME Section I** の下記規定に準拠した。

8.1 水面計

Code requirement PG-60.1:

All boilers having a fixed water level (steam and water interface) shall have at least one gauge glass (a transparent device that permits visual determination of the water level).

日本語訳:

蒸気と水との間に境界があるすべてのボイラーには少なくとも一個のガラス式水面計を設けること。(水面が目視できる透明な装置)

注: 水胴がなくチューブだけで構成されたものなど、工業用ボイラーには蒸気と水の境界がないものがある。

8.2 圧力計

Code requirement PG-60.6:

Each boiler shall have a pressure gauge so located that it is easily readable. The pressure gauge shall be installed so that it shall at all times indicate the pressure in the boiler.

日本語訳:

それぞれのボイラーには見やすい個所に一個の圧力計を設けること。

その圧力計は常にボイラーの圧力を示すように取付けること。

注: たとえば電氣的に圧力を検知してそれをスイッチ切り替えて見たりするものは不可。

8.3 安全弁

Code requirement PG-67:

Each boiler shall have at least one safety valve. The safety valve capacity shall be such that the safety valve will discharge all the steam that can be generated by the boiler without allowing the pressure to rise more than 6% above the highest pressure.

日本語訳:

それぞれのボイラーには少なくとも一個の安全弁を設けること。

その安全弁はボイラー圧力が最高使用圧力の 6%以上に上がらない範囲で最大蒸発量を放出できる容量を持ったものであること。

この規定によると、吹出し時、ボイラーの圧力が最高使用圧力より 6% 上回ってもよいことになっているが、模型ボイラーでは分かりやすく且つ安全側である最高使用圧力そのものとした。安全弁がボイラーの最大蒸発量以上の容量を持つかどうかは、安全弁が吹くことによって圧力が下がり、やがて安全弁が吹き止まることで確認できる。安全弁が吹きっぱなしでもなお圧力が上がり続けるのは容量が不十分であることを示している。

9. 水

ボイラーに給水する水はイオン交換樹脂で脱塩した水（純水）を使うことが望ましい。水道水はカルシウムやマグネシウム等の化合物を含んでおり、ボイラー水の蒸発濃縮にしたがって析出してボイラー内壁などにスケールとなって固着する。これらは熱伝導率が非常に低いためボイラーの熱効率を下げるだけでなく内火室板のメタル温度を上げる。また逆止弁の鋼球に付着してその機能を阻害したりする。

工業用の純水はミネラルウォーターと同じくらいの価格で入手でき、経済的にも大きな負担にはならない。

運転が終わったらボイラー内の水は完全に排出し、純水とはいえ僅かに存在する不純物を除いておく。ボイラーは排水後そのまま空の状態でも保管してよい。

10. 公開場所での運転

ボイラーの設計、材料、工作上等、すべての強度的健全性は水圧試験によって確認できる。したがってそれに合格したことを示す証明書を携帯しなければならない。

また、最高使用圧力（設計圧力）以下で運転することを確実にするため、運転前に安全弁と圧力計の作動確認を行うこと。この作業は簡単で容易に実行できるものである。

繰返しであるが、水圧試験証明書の携帯と安全弁吹出し試験はボイラーの安全確保のために守るべき重要事項である。

以上