

フランジ・ボルト締付管理

(2014年11月27日追補)

この追補は、平成25年8月9日に改訂された“設備維持規格”2013年版の追補である。したがって、今後、**JPI-8R-15-2013**とは、この追補も含むものとする。

なお、この追補は、石油学会ホームページ上で、該当箇所のみを示す。2014年11月27日の追補は次の1箇所（赤字+囲み部）である。

JPI-8R-15-2013の該当頁：6頁（管理番号：8R-15-2013 追補01）…………… 2

追記

6.1 ボルトの締付要領 (事例4) (事例5) (事例19) (事例28)

- a) 締付方法は手締め、トルクレンチ、パワーレンチ、ボルトテンショナーなどの方法があるが、各締付管理に適した方法を選択する。各締付管理方式の選定については、6.4 のボルト締付力の定量的管理方法を参照とする。
- b) 対角のボルトの最低4本をガスケットの落ち込みがない程度まで締付け、フランジ間の芯ズレ、面の平行が出ていることを確認する。
- c) 締付力が均等になるよう、ボルトの締付けは対角方向に交互に行うことを基本とする。フランジボルト本数が8本以下の仮締付け及び本締付の順序は、図2を標準とする。フランジボルト本数が12本以上については、仮締付けの方法、及び本締付けについて同一方向のみの周回方法が提案されているので参考とされたい。詳細は、JIS B2251 (フランジ継手締付け方法) を参照のこと。ボルト本数が多い場合、締付けを開始するボルトにはマーキングを行い、締付け管理抜けが無いようにする。(事例24)
- d) ガスケットの片締めは絶対に行わないこととし、必要に応じフランジ面間を計測しながら締付を行うこととする。
- e) 締付は、初めスパナで軽く締め、更にもう少し大きな締付力で均一に締付け、これを2回以上繰り返し、必要な締付力になるように締めていく。ボルトがかじると必要締付力が確保できないことがあるので、使用ボルトの事前確認やボルト孔の清掃等に留意する必要がある。(事例18)
- f) ボルト締付後の最終確認として、テストハンマーで締り具合を確認する。(事例24)

管理番号：8R-15-2013 追補 01 の解説

(事例28) 平成26年1月、千葉県製の製油所で、減圧蒸留塔の液面計元弁のフランジの締付け不足によるボルトの緩みにより漏洩した油が塔本体に接触して火災に至った。(石連事故事例報告書 保安 No.323)

フ ラ ン ジ ・ ボ ル ト 締 付 管 理

(2015年12月2日追補)

この追補は、平成25年8月9日に改訂された“フランジ・ボルト締付管理”2013年版の追補である。
したがって、今後、**JPI-8R-15-2013**とは、この追補も含むものとする。

なお、この追補は、石油学会ホームページ上で、該当箇所のみを示す。2015年12月2日の追補は
次の5箇所（赤字+下線部）である。昨年以前の追補内容は青字で記載している。

<u>JPI-8R-15-2013の該当頁： 2頁（管理番号：8R-15-2013 追補02）</u>	2
<u>JPI-8R-15-2013の該当頁： 6頁（管理番号：8R-15-2013 追補03）</u>	3
<u>JPI-8R-15-2013の該当頁： 8-10頁、31-32頁（管理番号：8R-15-2013 追補04）</u>	4

4.2 フランジ面の確認

- d) リングジョイントフランジの場合は、合マークを合わせて摺合せを行い、光明丹などにより切れ目なく当たりが溝の内側又は外側にあることを確認するとともに、底当りでないことを確認する。なお自緊式ガスケットの場合は当たりが溝の外側となっていることを確認する。(事例29)ただし、オーステナイト系ステンレス鋼の場合は、焼き付き防止の観点から共摺りしないことが望ましい。

下線付き 文書を追記

(管理番号： 8R-15-2013 追補 02) の解説

(事例 29) 平成 26 年 9 月、神奈川県の製油所で重油直接脱硫装置の停止操作中に反応塔入口フランジから水素が漏洩した事例を反映した。なお当該フランジには自緊式ガスケットが使用されている。このガスケットが経年劣化により半径方向に収縮したため当たりが弱くなり、停止にともなう内圧低下によりシール性が低下し、漏洩に至った。(石連事故事例報告書 保安 No.372)

JPI-8R-15-2013 の該当頁： 6 頁 (管理番号：8R-15-2013 追補 03)

下線部 追記

6.1 ボルトの締付要領 (事例4) (事例5) (事例19) (事例28) (事例30)

- a) 締付方法は手締め、トルクレンチ、パワーレンチ、ボルトテンショナーなどの方法があるが、各締付管理に適した方法を選択する。各締付管理方式の選定については、**6.4** のボルト締付力の定量的管理方法を参照とする。
- b) 対角のボルトの最低**4** 本をガスケットの落ち込みがない程度まで締付け、フランジ間の芯ズレ、面の平行が出ていることを確認する。
- c) 締付力が均等になるよう、ボルトの締付けは対角方向に交互に行うことを基本とする。フランジボルト本数が**8** 本以下の仮締付け及び本締付の順序は、**図2** を標準とする。フランジボルト本数が**12** 本以上については、仮締付けの方法、及び本締付けについて同一方向のみの周回方法が提案されているので参考とされたい。詳細は、**JIS B2251** (フランジ継手締付け方法) を参照のこと。ボルト本数が多い場合、締付けを開始するボルトにはマーキングを行い、締付け管理抜けが無いようにする。**(事例24)**
- d) ガスケットの片締めは絶対に行わないこととし、必要に応じフランジ面間を計測しながら締付を行うこととする。
- e) 締付締付は、初めスパナで軽く締め、更にもう少し大きな締付力で均一に締付け、これを2 回以上繰り返し、必要な締付力になるように締めていく。ボルトがかじると必要締付力が確保できないことがあるので、使用ボルトの事前確認やボルト孔の清掃等に留意する必要がある。**(事例18)**
- f) ボルト締付後の最終確認として、テストハンマーで締め具合を確認する。**(事例24)**

(管理番号：8R-15-2013 追補 01) の解説

(事例28) 平成26年1月、千葉県製の製油所で、減圧蒸留塔の液面計元弁のフランジの締付け不足によるボルトの緩みにより漏洩した油が塔本体に接触して火災に至った。(石連事故事例報告書 保安No.323)

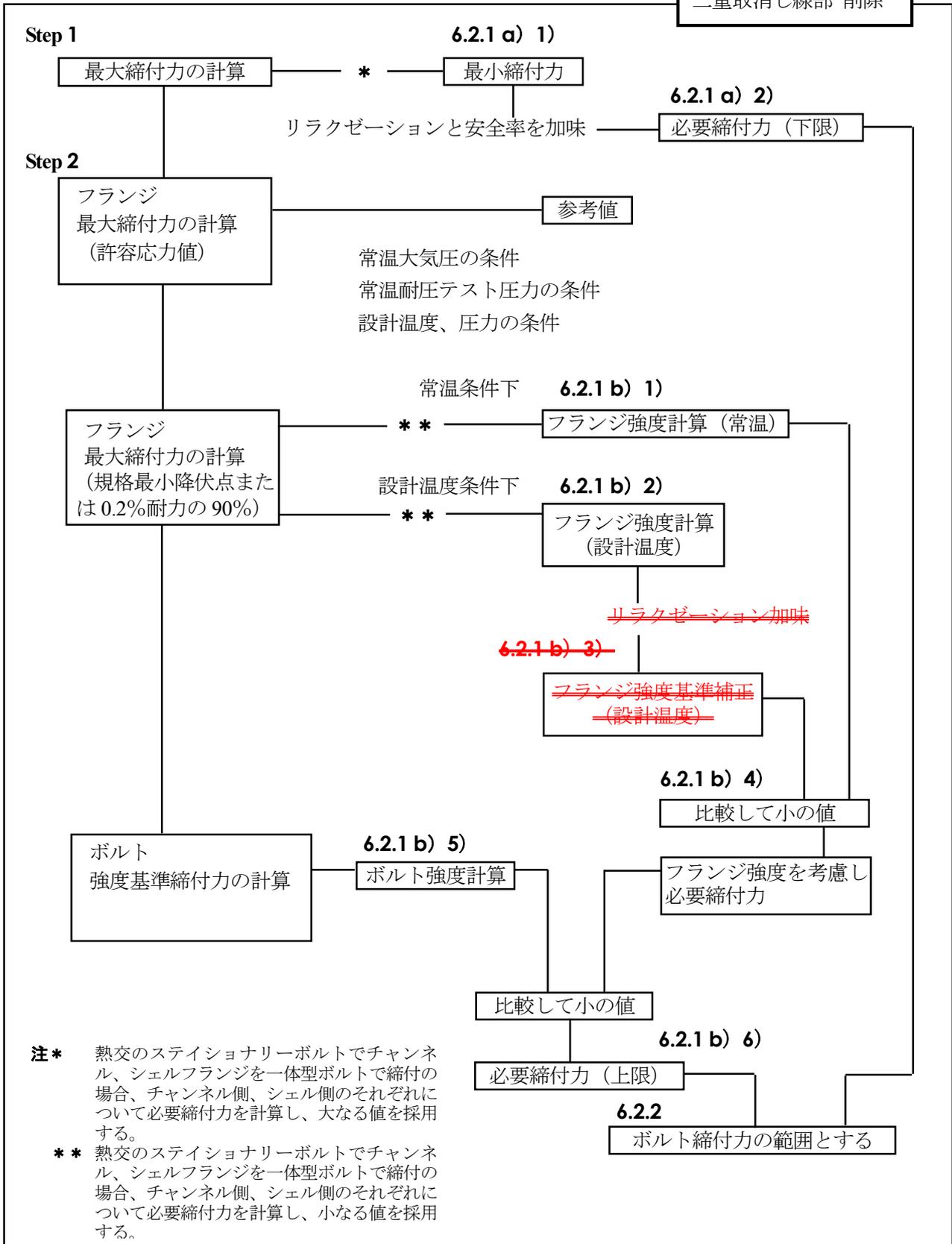
(管理番号：8R-15-2013 追補 03) の解説

(事例30) 平成26年6月、山口県の製油所で重油出荷栈橋上配管の弁との取り付けフランジ部のボルトの締付け不良により重油が漏洩し海上に流出した。(石連事故事例報告書 保安No.346)

6.2.1 締付力の計算

表 2 締付力計算の概要

下線付き 文書を追記
 二重取消し線部 削除



JPI-8R-15-2013 の該当頁：9-10 頁 (管理番号：8R-15-2013 追補 04)

6.2.1 締付力の計算

下線付き 文書を追記
二重取消し線部 削除

b) 必要締付力 (上限) 必要締付力 (上限) は、以下の手順で算出される値とし、フランジ若しくはボルトに許容される限界の締付力又はガスケットに許容される限界の締付力の内いずれか小さいほうの締付力を採用している。

- 1) **フランジ強度基準 (常温) 締付力の計算** 常温大気圧条件及び常温耐圧試験圧力条件で次の手順で計算する (式の記号は、JIS B 8265 を参照)。この時、フランジに関しては実際のフランジの厚みで計算してよい。腐食によるフランジ強度の低下は、広い範囲で減肉している場合には考慮する必要が有る。

< 中略 >

- 2) **フランジ強度基準 (設計温度)** 締付力の計算 設計温度/圧力条件で6.2.1 b) 1) と同様の手順で W_0 。[フランジ強度基準 (設計温度) の締付力] を算出する。

~~3) フランジ強度にリラクゼーション考慮締付力の計算~~ フランジ強度基準 (設計温度) 締付力 \times ~~リラクゼーション~~ファクターによる締付力を、フランジ強度にリラクゼーション考慮締付力とする。

- 4) **フランジ強度を考慮した必要締付力** 上記1) フランジ強度基準 (常温) 締付力と~~3) 2)~~ フランジ強度基準 (設計温度) に~~リラクゼーション~~考慮締付力のいずれか小さいほうを、フランジ強度を考慮した必要締付力とする。

- 5) **ボルト強度基準締付力の計算** ボルト軸力をボルトの有効断面積で除したボルト軸方向応力は $0.8\sigma_y$ 程度であることとし、ボルト軸力のばらつきを考慮してトルク管理を行う場合は 1.4、軸力管理を行う場合は 1.1 で除する。ここで σ_y はボルト材料の規格最小降伏点または 0.2%耐力である。

ボルト軸方向断面平均応力

トルク管理を行う場合 $0.6\sigma_y \times A_b$

軸力管理を行う場合 $0.75\sigma_y \times A_b$

ここに、 σ_y : ボルトの最高使用温度における規格最小降伏点または0.2%耐力

A_b : 実際に使用するボルトの有効断面積

- 6) **必要締付力 (上限) の計算** 上記 6.2.1 b) 4) 又は5) のいずれか小さいほうの締付力を必要締付力 (上限) とする。ただし、この値を付表3 に示すガスケットの許容締付力と比較して、ガスケット許容値を超えている場合は、ガスケット許容値を付表3 のガスケット許容締付力の値を上限として採用する。

付属書 締付力計算例

1.2 締付力の計算

下線付き 文書を追記
二重取消し線部 削除

b) 必要締付力 (上限) の計算 (Step-2) 必要締付力 (上限) は、以下の手順で算出される値とし、フランジ若しくはボルトに許容される限界の締付力又はガスケットに許容される限界の締付力の内いずれか小さいほうの締付力を採用する。

1) **フランジ強度基準 (常温) 締付力の計算** 常温大気圧条件及び常温耐圧試験圧力条件で次の手順で計算する (式の記号は、JIS B 8265 を参照)。この時、フランジは実際のフランジの厚みで計算してよいが、本計算例では腐食代を差引いた厚みで計算している。

< 中略 >

2) **フランジ強度基準 (設計温度) 締付力の計算** 設計温度/圧力条件で上記b) 1) と同様の手順で W_0 [フランジ強度基準(設計温度)の締付力] を算出する。

備考 常温と設計温度とでは、 σ_y (フランジの降伏強度) が異なることから、材料の設計温度における降伏強度を求め、この降伏強度を用いて、b) 1) と同様の手順で W_0 (設計温度) を算出することになる。

$$W_0(\text{設計温度}) = 552,849 \text{ N となる。}$$

~~3) フランジ強度にリラクゼーション考慮締付力の計算~~ ~~フランジ強度基準 (設計温度) 締付力 × リラクゼーションファクターによる締付力を、フランジ強度にリラクゼーション考慮締付力とする。~~

~~即ち、 $W_0(\text{設計温度} \times \text{リラクゼーションファクター}) = W_0(\text{リラクゼーション})$ より、フランジ強度にリラクゼーション考慮締付力 = 773,080 N となる。~~

4) **フランジ強度を考慮した必要締付力** 上記1) フランジ強度基準 (常温) 締付力と ~~3) 2)~~ フランジ強度基準 (設計温度) にリラクゼーション考慮締付力 のいずれか小さいほうを、フランジ強度を考慮した必要締付力とする。

$$\text{フランジ強度を考慮した必要締付力} = \underline{686,774 \text{ N } 552,849 \text{ N}}$$

5) **ボルト強度基準締付力の計算** トルク管理を行うため、ボルト応力がボルトの規格最小降伏点または0.2%耐力の60%に見合う締付力で、次の計算によって算出する。

$$\text{即ち、ボルト強度基準締付力} = 0.6 \sigma_y \times A_b = 776,805 \text{ N}$$

ここに、 σ_y : ボルトの最高使用温度における規格最小降伏点または0.2%耐力

A_b : 実際に使用するボルトの有効断面積

6) **必要締付力 (上限) の計算** 本文 6.2.1 b) 4) 又は5) のいずれか小さいほうの締付力を必要締付力 (上限) とする。ただし、この値を本文付表3 に示すガスケットの許容締付力と比較して、ガスケット許容値を超えている場合は、ガスケット許容値を本文付表3 のガスケット許容締付力の値を上限として採用する。

$$\text{必要締付力 (上限)} = \underline{686,774 \text{ N } 552,849 \text{ N}}$$

JPI-8R-15-2013 の該当頁：32 頁 (管理番号：8R-15-2013 追補 04)

付属書 締付力計算例

下線付き 文書を追記
二重取消し線部 削除

1.3 適正締付力 1.2 による計算結果の、必要締付力(下限) ~ 必要締付力(上限)を適正な締付力の範囲とする。

各ステップでの締付力を比較すると下表となる。下表となる。

1.2	項 目	ボルト軸力(N)
a)	1) JIS B8265 で定める必要締付力(W_{m1})	306,344
	2) 必要締付力 (下限。安全率・リラクゼーションFを考慮)	514,657
b)	1) フランジ強度基準 (常温)	686,774
	2) フランジ強度基準 (設計温度)	552,849
	3) フランジ強度基準 (設計温度) にリラクゼーション考慮	773,989
	4) フランジ強度を考慮した必要締付力	686,774 552,849
	5) ボルト強度基準締付力	776,805
	6) 必要締付力 (上限)	686,774 552,849

安全率=1.2、リラクゼーション F=1.40 を採用している

(管理番号：8R-15-2013 追補 04) の解説

II. 改訂内容

4. 8R-15-2013 の追補 04 の内容

従来の JPI 8R-15 における締付力計算では、誤って、必要締付力 (上限値) の計算時、フランジ強度にボルトリラクゼーションファクターを掛けていた。このため、フランジ強度にボルトリラクゼーションファクターを掛けないよう改訂する。

この改訂の結果、上限値が従来の計算結果よりも低下し、上限値と下限値の差が小さくなる。しかしながら、実際のフランジ強度計算には余裕度が含まれており、例えば、フランジの強度は、腐食代を差引いた寸法に対して強度計算を行っており、今回の追補において、実際のフランジ厚みにおける寸法に対して強度計算を行っても良いものとした。このことにより、上限値と下限値の差に余裕を持たせることができる。

フ ラ ン ジ ・ ボ ル ト 締 付 管 理

(2016年11月30日追補)

この追補は、2013年8月9日に改訂された“フランジ・ボルト締付管理”2013年版の追補である。したがって、今後、**JPI-8R-15-2013**とは、この追補も含むものとする。

なお、この追補は、石油学会ホームページ上で、該当箇所のみを示す。2016年11月30日の追補は次の3箇所（赤字+下線部）である。昨年以前の追補内容は青字で記載している。

<u>JPI-8R-15-2013の該当頁： 4-5 頁（管理番号：8R-15-2013 追補 05）</u>	2
<u>JPI-8R-15-2013の該当頁： 6-7 頁（管理番号：8R-15-2013 追補 06）</u>	3
<u>JPI-8R-15-2013の該当頁： 11-12 頁（管理番号：8R-15-2013 追補 07）</u>	4

JPI-8R-15-2013 の該当頁： 4-5 頁 (管理番号： 8R-15-2013 追補 05)

5. ガasket管理

5.1 ガasket選定の考え方 ガasketは、圧力、温度、流体（腐食性）及びフランジサイズにより選定を行い、基本的には**JPI** 規格、**JIS** 規格、**API** 規格、**ANSI** 規格のいずれかに従うものとする。一般的なガasketとして具備すべき条件は、以下のとおりである。

- a) 締付力（外部からの強制締付法によるものと自緊方式の締付けによるものがある。）によって、ガasketが弾性又は塑性変形してフランジの接合面になじみやすいものでなくてはならない。また、このとき、フランジの接合面を傷めないように、ガasketのほうが軟質でなければならない。**JPI-7S-81-2005 参考2 の4.7.b)**項では、リングジョイントガasketでフェライト系の炭素鋼又は低合金鋼では硬度差をHB30 程度とすることができると記載されている。フランジ材料との相対硬度を保有させることとなるので、製作面及びコスト面から製造業者と協議することが必要である。
- b) 流体圧力及び締付力によって破壊しない強さを有すること。
- c) ガasketは、使用流体が浸透することによりシール性能を損ない、漏れを起こすような材料であってはならない。
- d) できる限り小さな締付力で、効果のよいものであること。
- e) 使用する流体条件において、熱安定性、化学的安定性を有し、また、フランジ接合面を腐食させないものであること。
- f) 圧力変動、温度変動などによく追従し、接合面における締付応力の変動が少ないものであること。
- g) **PTFE**ソリッドガasketはコールドフロー（クリープ）現象、並びに**PTFE** 被覆ガasketはリラクゼーションが大きい特性を有するので、過大な締付力を与えないように注意する。

h) PTFE被覆ガasketは外皮がテフロン製で中芯が滑りやすく、特に外皮の外周が溶着され中芯の外周がフランジボルト等で支持されない構造のものは、締付過多あるいは片締めにより中芯が変形してガasketのシール性が損なわれる可能性があるため、取扱いに注意を要する。(事例 31)

下線付き 文書を追記

(管理番号： 8R-15-2013 追補 05) の解説

(事例 31) 2015年9月、神奈川県の製造所にてローディングアームのフランジからC重油が漏洩した。フランジには絶縁用のPTFE被覆ガasketが使用されていたが、中芯の幅が狭く、また外皮の外周が溶着された構造のガasketであり、さらに片締めであったことから、ガasketの中芯が変形して破断、漏洩に至ったものと推定している。(石連事故事例報告書 保安 No.435)

JPI-8R-15-2013 の該当頁： 6-7 頁 (管理番号：8R-15-2013 追補 06)

下線部 追記

6.1 ボルトの締付要領 (事例4) (事例5) (事例19) (事例28) (事例30) (事例32)

- a) 締付方法は手締め、トルクレンチ、パワーレンチ、ボルトテンショナーなどの方法があるが、各締付管理に適した方法を選択する。各締付管理方式の選定については、6.4 のボルト締付力の定量的管理方法を参照とする。
- b) 対角のボルトの最低4本をガスケットの落ち込みがない程度まで締付け、フランジ間の芯ズレ、面の平行が出ていることを確認する。
- c) 締付力が均等になるよう、ボルトの締付けは対角方向に交互に行うことを基本とする。フランジボルト本数が8本以下の仮締付け及び本締付の順序は、図2を標準とする。フランジボルト本数が12本以上については、仮締付けの方法、及び本締付けについて同一方向のみの周回方法が提案されているので参考とされたい。詳細は、JIS B2251 (フランジ継手締付け方法) を参照のこと。ボルト本数が多い場合、締付けを開始するボルトにはマーキングを行い、締付け管理抜けが無いようにする。(事例24)
- d) ガスケットの片締めは絶対に行わないこととし、必要に応じフランジ面間を計測しながら締付けを行うこととする。
- e) 締付締付は、初めスパナで軽く締め、更にもう少し大きな締付力で均一に締付け、これを2回以上繰り返し、必要な締付力になるように締めていく。ボルトがかじると必要締付力が確保できないことがあるので、使用ボルトの事前確認やボルト孔の清掃等に留意する必要がある。(事例18)
- f) ボルト締付後の最終確認として、テストハンマーで締め具合を確認する。(事例24)

管理番号：8R-15-2013 追補 01) の解説

(事例28) 平成26年1月、千葉県製の製油所で、減圧蒸留塔の液面計元弁のフランジの締付け不足によるボルトの緩みにより漏洩した油が塔本体に接触して火災に至った。(石連事故事例報告書 保安No.323)

(管理番号：8R-15-2013 追補 03) の解説

(事例30) 平成26年6月、山口県の製油所で重油出荷栈橋上配管の弁との取り付けフランジ部のボルトの締付け不良により重油が漏洩し海上に流出した。(石連事故事例報告書 保安No.346)

(管理番号：8R-15-2013 追補 06) の解説

(事例32) 2015年9月、千葉県の製油所でベンゼン製造装置熱交換器のフィード側出口配管のフランジ締付け不足によるボルトの緩みによりガスが漏洩した。(石連事故事例報告 保安No.428)

6.2 ボルト締付力

6.2.4 一時的な温度変動時における締付力の注意点

b) 運転温度の変動 通常の運転停止において温度を下げる場合には、一般的に徐々に温度を下げていくため、ボルトとフランジ本体の温度低下率はボルトのほうが大きく、締まる方向にある。しかし、運転停止時等に、ボルトの温度低下よりフランジ本体の温度低下が大きくなると、ボルトよりフランジ本体の熱収縮量が大きくなり、締付力が低下し、漏洩する可能性がある。この要因を含めて下記のトラブル事例が発生している。運転温度の変動を考慮した締め付け管理や操作マニュアルなどの整備が重要である。

- 1) 電気系統トラブルを発端とした全停電などによる緊急運転停止の場合、運転操作によっては、フランジ本体の温度低下率がボルトのそれを上回る場合があり、締付力の低下を招き、漏洩し火災が発生。(事例13) (事例14) (事例23) (事例27)
- 2) 緊急運転停止で熱交シェル側が封じ込め状態となった状態で、チャンネル側に熱供給が続いたため流体の熱膨張が生じ液封状態となった。更にシェル側出入口部の温度差変化により、フランジが不均一な締付状態となり漏洩し火災が発生。(事例21)
- 3) 運転条件の変更 あるいは非定常作業に伴い、内部流体温度が急激に変化したために締付力の低下を招き火災に至った事例。(事例15) (事例19) (事例33)

下線付き 文書を追記

(管理番号：8R-15-2013 追補07) の解説

(事例33) 2015年12月、三重県の製油所で芳香族製造装置の運転再開作業中において、他装置で使用していた高温油を仕切っていたゲートバルブ下流側に常温の軽油が流入した際に、温度変化によってフランジ締付力が低下し、軽油が漏洩した。(石連事故事例報告 保安No.428)

フ ラ ン ジ ・ ボ ル ト 締 付 管 理

(2017年12月1日追補)

この追補は、2013年8月9日に改訂された“フランジ・ボルト締付管理”2013年版の追補である。したがって、今後、**JPI-8R-15-2013**とは、この追補も含むものとする。

なお、この追補は、石油学会ホームページ上で、該当箇所のみを示す。2017年12月1日の追補は次の7箇所（赤字+下線部）である。昨年以前の追補内容は青字で記載している。

<u>JPI-8R-15-2013の該当頁： 2 頁（管理番号：8R-15-2013 追補 08）</u>	2
<u>JPI-8R-15-2013の該当頁： 6 頁（管理番号：8R-15-2013 追補 09）</u>	3
<u>JPI-8R-15-2013の該当頁： 6-7 頁（管理番号：8R-15-2013 追補 10）</u>	4
<u>JPI-8R-15-2013の該当頁： 7-9 頁（管理番号：8R-15-2013 追補 11）</u>	5
<u>JPI-8R-15-2013の該当頁： 11-12 頁（管理番号：8R-15-2013 追補 12）</u>	6
<u>JPI-8R-15-2013の該当頁： 14 頁（管理番号：8R-15-2013 追補 13）</u>	7
<u>JPI-8R-15-2013の該当頁： 15 頁（管理番号：8R-15-2013 追補 14）</u>	8

4. 準備作業

4.2 フランジ面の確認

a) ガasketの当り面に、有害な傷或いは異物等がないことを確認する。**(事例34)** ガasket当り面を現場で修正する場合は、**表1-1** を目安とし、手仕上げによる。手仕上げによる修正が不可のものについては、**表1-2** を参考にして機械加工により修正する。**(事例1)** 下線部 追記

b) ガasketの当り面に、有害なうねりや傾き等がないことを確認する。配管フランジに関しては、フランジ締付け前の時点で設計面からの傾き $1/250$ 以内 (ただしフランジ外径端部で最大3mm) を参考に**(事例2)**、また、熱交換器本体フランジに関しては、**表1-3** を参考に補修加工要否を判断し、機械加工により修正する。**(事例1)** 漏れの経験を持つ、あるいは漏れに対してクリティカルな大口径配管フランジのガasket当り面の平坦度については、**ASME PCC-1-2010 Appendix D** に基準が掲載されている。

備考 配管フランジの傾きは、**JPI-7S-77-2010** の**28.1.1 C)1)**項を参照した。

- c) フランジ間に芯ズレがないか、合マークなどで確認する。
- d) リングジョイントフランジの場合は、合マークを合わせて摺合せを行い、光明丹などにより切れ目なく当たりが溝の内側又は外側にあることを確認するとともに、底当りでないことを確認する。なお自緊式ガasketの場合は当たりが溝の外側となっていることを確認する。**(事例29)** ただし、オーステナイト系ステンレス鋼の場合は、焼き付き防止の観点から共摺りしないことが望ましい。
- e) リング及びリング溝に傷や割れがないことを確認する。
- f) フランジのボルト穴に、錆などが固着していないことを確認する。

(管理番号： 8R-15-2013 追補 08) の解説

(事例 34) 2016年8月、北海道の製油所の減圧蒸留装置蒸留塔において、フランジから漏えい・火災に至った事例がある。本事例では、開放工事でガasket交換した際、当り面に異物が付着した状態で復旧したため、再スタートの温度上昇と共にシール性が低下し、スタート直後に内部流体の漏えいに至った。(石連事故事例報告 保安 No.482)

JPI-8R-15-2013 の該当頁： 6 頁 (管理番号：8R-15-2013 追補9)

5. ガasket管理

5.3 ガasketの挿入 (事例35)

下線部 追記

- a) ガasketは、ガasket当り面の正規の位置に挿入する。
- b) ガasketが、フランジの当り面に正確に合っていることを確認する。
- c) ガasket挿入後は、ガasketがずれない程度にボルトを軽く締めておく。
- d) 平形金属被覆ガasketのM&Fタイプ及びT&G タイプのフランジへの装着方法は、図1 を標準とする。即ち、折り返しのない側の面を凸側フランジ面に向けて装着する。

(管理番号：8R-15-2013 追補9) の解説

(事例35) 2016年4月、宮城県の製油所にて発生した、ストレーナーカバーフランジのガasket破断による漏洩事例を反映した。破断部のガasket外周には、ボルト接触痕が認められたことから、芯ずれした状態で締結されたことで微小な傷が発生、出荷作業による内部圧力の繰り返しにより亀裂となり、最終的に破断したと推定された。(石連事故事例報告 保安 No.489)

JPI-8R-15-2013 の該当頁： 6-7 頁 (管理番号： 8R-15-2013 追補 10)

6.1 ボルトの締付要領 (事例4) (事例5) (事例19) (事例28) (事例30) (事例32) (事例36)

- a) 締付方法は手締め、トルクレンチ、パワーレンチ、ボルトテンショナーなどの方法があるが、各締付管理に適した方法を選択する。各締付管理方式の選定については、**6.4** のボルト締付力の定量的管理方法を参照とする。
- b) 対角のボルトの最低**4** 本をガスケットの落ち込みがない程度まで締付け、フランジ間の芯ズレ、面の平行が出ていることを確認する。
- c) 締付力が均等になるよう、ボルトの締付けは対角方向に交互に行うことを基本とする。フランジボルト本数が**8** 本以下の仮締付け及び本締付の順序は、**図2** を標準とする。フランジボルト本数が**12** 本以上については、仮締付けの方法、及び本締付けについて同一方向のみの周回方法が提案されているので参考とされたい。詳細は、**JIS B2251** (フランジ継手締付け方法) を参照のこと。ボルト本数が多い場合、締付けを開始するボルトにはマーキングを行い、締付け管理抜けが無いようにする。(事例24)
- d) ガスケットの片締めは絶対に行わないこととし、必要に応じフランジ面間を計測しながら締付を行うこととする。(事例37) (事例38)
- e) 締付締付は、初めスパナで軽く締め、更にもう少し大きな締付力で均一に締付け、これを2 回以上繰り返し、必要な締付力になるように締めていく。ボルトがかじると必要締付力が確保できないことがあるので、使用ボルトの事前確認やボルト孔の清掃等に留意する必要がある。(事例18)
- f) ボルト締付後の最終確認として、テストハンマーで締め具合を確認する。(事例24)

下線部 追記

(管理番号： 8R-15-2013 追補 10) の解説

(事例 36) 2016 年 4 月、大分県の製油所にて発生した、バルブボディーフランジからの漏洩事例を反映した。漏洩後の確認で、フランジボルトが 1/4 回転締まったことから、2016 年 1 月の定期検査後の復旧時に締付力が不足していたところに、接続される配管からの外力が繰り返し作用したことで、面圧が低下し漏洩に至ったと推定された。なお、漏えいの 5 日前に発生した、比較的強い地震の影響も考えられた。(石連事故事例報告 No.488)

(事例 37) 2016 年 4 月、神奈川県製の製油所の軽油水素化脱硫装置において、熱交換器胴側 8B ノズルフランジ部から内部流体が漏洩した。当該ノズルフランジは、上下にスタッキングされた熱交換器の接合部で、フランジの平行度が損なわれていたために片締めになっていた。(石連事故事例報告 保安 No.493)

(事例 38) 2016 年 9 月、岡山県の製油所の硫黄回収装置において、硫黄流出 3B 配管のフランジ接合部から硫黄が漏洩した。当該フランジは、隣接配管と近接しているため作業性が悪くなっており、前日に実施したガスケット交換作業で片締めとなっていた。また、作業後の目視確認が不十分であった。(石連事故事例報告 保安 No.513)

JPI-8R-15-2013 の該当頁：7-9 頁 (管理番号：8R-15-2013 追補 11)

6.2 ボルト締付力

6.2.1 締付力の計算 締付力の計算の概要は、表2 に示すとおりであり、以下にその要点を記述する。

なお、計算によって求められたボルト締付力は常温での締付時のもので、ホットボルティングなど高温時の締付けには適用しないこと。

a) 必要締付力 (下限) 必要締付力 (下限) は、以下の手順で算出される値であり、ガスケットの締付けに必要な最小締付力に、安全率とリラクゼーションを考慮した締付力を採用する。ただし、流体の種類や使用条件によっては、この締付力では不十分な場合があるので、**JPI-7S-81** の参考2 (使用上の注意事項) を考慮する。

1) JIS B 8265 必要締付力の計算

JIS B 8265 必要締付力 = Max (W_{m1}, W_{m2})

W_{m1} : 使用状態における必要な最小のボルト荷重 (=H+H_p)

W_{m2} : ガスケット締付時に必要な最小のボルト荷重 (= $\rho_b G_y$)

H : 内圧によってフランジに加わる全荷重 (= $\frac{\pi}{4} G^2 P$)

H_p : 気密を十分に保つために、ガスケットに加える圧縮力 (= $2 \rho_b G_m P$)

2) 必要締付力 (下限) の計算 上記**6.2.1 a) 1)** の**JIS B 8265** 必要締付力 × (安全率) × (リラクゼーションファクター) により算出する。**(事例39)** ただし、安全率はトルク管理を行う場合は1.2、軸力管理を行う場合は1.05 とし、ボルト鋼種、ボルト温度ごとのリラクゼーションファクターを附表8に示す。

下線部 追記

(管理番号：8R-15-2013 追補 11) の解説

(事例 39) 2016年10月、茨城県の製油所のパラキシレン製造装置の熱交換器フランジ部から内部流体が漏洩した。当該熱交換器は、同日発生した接触改質装置リアクターの火災対応で緊急停止を行っており、漏洩箇所であるステーションナリーフランジのチューブ側流体入口温度は約30分で50℃近く低下し、この急激な温度低下に伴って締付面圧が低下し、漏洩に至ったと推定された。またフランジ締結時のトルク管理の安全率は1.1であり、さらにリラクゼーションファクターも考慮されていなかった。(石連事故事例報告 保安 No.452)

JPI-8R-15-2013の該当頁：11-12頁 (管理番号：8R-15-2013 追補12)

6.2 ボルト締付力

6.2.4 一時的な温度変動時における締付力の注意点

b) 運転温度の変動 通常の運転停止において温度を下げる場合には、一般的に徐々に温度を下げていくため、ボルトとフランジ本体の温度低下率はボルトのほうが大きく、締まる方向にある。しかし、運転停止時等に、ボルトの温度低下よりフランジ本体の温度低下が大きくなると、ボルトよりフランジ本体の熱収縮量が大きくなり、締付力が低下し、漏洩する可能性がある。この要因を含めて下記のトラブル事例が発生している。運転温度の変動を考慮した締め付け管理や操作マニュアルなどの整備が重要である。

- 1) 電気系統トラブルを発端とした全停電などによる緊急運転停止の場合、運転操作によっては、フランジ本体の温度低下率がボルトのそれを上回る場合があり、締付力の低下を招き、漏洩し火災が発生。(事例13) (事例14) (事例23) (事例27) (事例39) (事例40)

下線部 追記

- 2) 緊急運転停止で熱交シェル側が封じ込め状態となった状態で、チャンネル側に熱供給が続いたため流体の熱膨張が生じ液封状態となった。更にシェル側出入口部の温度差変化により、フランジが不均一な締付状態となり漏洩し火災が発生。(事例21)
- 3) 運転条件の変更あるいは非定常作業に伴い、内部流体温度が急激に変化したために締付力の低下を招き火災に至った事例。(事例15) (事例19) (事例33)

(管理番号：8R-15-2013 追補12) の解説

(事例39) 2016年10月、茨城県の製油所のパラキシレン製造装置の熱交換器フランジ部から内部流体が漏洩した。当該熱交換器は、同日発生した接触改質装置リアクターの火災対応で緊急停止を行っており、漏洩箇所であるステーションリーフランジのチューブ側流体入口温度は約30分で50℃近く低下し、この急激な温度低下に伴って締付面圧が低下し、漏洩に至ったと推定された。またフランジ締結時のトルク管理の安全率は1.1であり、さらにリラクゼーションファクターも考慮されていなかった。(石連事故事例報告 保安 No.452)

(事例40) 2016年7月、愛知県の製造所にて発生した、ナフサ水素化脱硫装置緊急停止中における熱交換器フランジからの漏洩事例を反映した。漏洩後の点検で、リングジョイントガスケットに傷が認められたことから、定常運転時と異なる温度・圧力の変化との複合要因で、漏洩に至ったと推定された。(石連事故事例報告 保安 No.504)

JPI-8R-15-2013の該当頁：14頁（管理番号：8R-15-2013 追補13）

7. ホットボルディング 高温流体部分のフランジ継手は常温では漏洩がなくても、フランジ、ボルト又はガスケットの熱膨張差により昇温時に漏洩を生じる可能性があるため、ホットボルディングを行うことが望ましい。

ホットボルディングの実施にあたっては、ホットボルディングの実施範囲、実施時期、実施方法（締め付け力など）などが重要決定事項となるが、これら基準化に対する技術的な立証は困難である。従って、石油各社では、フランジ継手から漏洩した場合の危険度及び影響度、過去の実績、経済性を考慮した標準化がなされ、管理されているのが実態である。**(事例41)** 下線部 追記

以上のことから、この指針ではあえて基準化することを避け、石油各社（石油化学含む）の管理方法の最大公約数的な方法を本文に例示し、具体的な基準を付表7-1 に例示することとした。

(管理番号：8R-15-2013 追補13) の解説

(事例41) 2016年12月、神奈川県製の製油所のアイソマックス装置において、定期修理後の昇温作業中に、フラクショネータのフィード/ボトム熱交換器のチャンネルフランジにおいて火災を確認した。当該機器のホットボルディングは、従来は200℃付近と340℃（運転温度）の2段階で実施していたが、社内基準の見直しにより、今回は280℃時点の1回に変更になっていた。そのため、昇温過程で締結面圧が低下し、漏洩・火災に至ったと推定された。(石連事故事例報告 保安 No.522)

JPI-8R-15-2013の該当頁：11-12頁 (管理番号：8R-15-2013 追補14)

6.2 ボルト締付力

6.2.4 一時的な温度変動時における締付力の注意点

- a) **ウェザー・シール** 一時的に雨や風の影響を直接フランジ継手に与えフランジとボルトの金属温度差を大きくさせてしまうと、これら部材の熱伸び差により、今までの締付力より大きい締付力に変化する。変動後の締付力がある限度を超えると、通常一番応力の高いガスケット又はガスケット当たり面を塑性変形させることで力学的な釣り合いを保とうとする。この状態から通常運転に戻ると、フランジとボルトの金属温度の差も以前の値にもどり、塑性変形を生じさせた分に相当するボルト締付力の低下を招き、漏れを生じさせることがある。このような現象は特に、スペーサーが設置されている等、フランジ間のボルトが長い場合に注意が必要である。^(事例25) また、雨が片側のみ吹き付けると、同じ現象により部分的なボルトの締付力の低下を招いて、片締め状態をつくり漏れが生じる可能性がある。このような一時的な雨や風の影響を極力少なくするためには、ウェザー・シールの設置が有効である。ウェザー・シールは、~~視窓を設けてもよいが、フランジから漏れを生じた場合、内容物がウェザー・シールの中で密閉されない構造とした上で完全な密閉構造とならないようにする。~~また、円周方向は部分的でなく全周にわたって囲むことが望ましい。^(事例26)

ウェザー・シールが施工されているフランジ部については、施工不良又は点検・維持不良により漏洩・火災に至った事例も報告されており、ウェザー・シールの適切な管理が重要である。^{(事例11) (事例12) (事例16) (事例17)}