

発電用火力設備の技術基準の解釈 第10章 溶接部の
改正案に関連する説明資料

本資料は、溶接部の改正案の技術評価についての説明資料である。以下、改正案の内容を説明する。

題名：フレキシブルメタルホースに係る溶接部の設計の追加

1. 現状

火技解釈第136条（溶接部の設計）では、熱交換器等に係る容器又は管の長手及び周継手溶接部の設計について規定されているが、可とう性を有する管等の溶接部の設計についてはベローズのみ規定されており、フレキシブルメタルホース（以下、フレキという）のようなベローズ以外の可とう性を有する管については規定されていない。

2. 要請

製造者からの要望を表1に示す。製造者からの実情に即した改正要望がある。

表1. 製造者からの要望（原文のまま）

現 状	外径及び使用圧力・温度条件により、溶接事業者検査対象となるガスタービン用フレキシブルメタルホースの溶接部継手形状として、現状では、「発電用火力設備の技術基準省令及び解釈」に適用する項目がない。そのため、ベローズ型伸縮継手の溶接部継手形状として、第136条2項6号で呼ばれている、「管又はネックリングにベローを取り付ける継手の溶接部」を参照して適合性を評価するしかない。実際は、フレキシブルメタルホース（可とう継手）とベローズ型伸縮継手は設計思想が異なり、構造部品も異なる。フレキシブルメタルホースはベローズ部の外周に構造部材であるブレード、バンド等を重ねた形状となっており、この断面を一度溶接した後、管と溶接するという方法が一般的であるが、技術基準には、この構造が定義されていない。
提 案 ^{**}	第136条2項に、「フレキシブルメタルホースの溶接部」という項目を追記し、別図にて現在の業界標準である溶接部継手形状を参照する形に、改定いただきたい。（*添付資料：“Corrugated Metal Hose Assembly Specification Guidelines”）
理 由	フレキシブルメタルホースの溶接部継手形状に関しては、日本国内にJIS等規格がなく、国内製造メーカーでも、海外のISOやASMEを基準として製作されている。これらの規格も溶接部の継手形状までは規定しておらず、実際の溶接部継手形状は、ベローズ部とその周りに取り付ける補強であるブレード、バンド等をまとめて断面を溶接した後、管の部分と溶接するという、業界標準の形状を適用している。高圧ガス設備用及び消防法対応フレキシブルホースも、同様の構造となっている。溶接事業者検査対象品のみ、ベローズ型伸縮継手と同等の継手形状で製造されるという状態となっており、検査対象となったフレキシブルメタルホースについては、設計変更の必要性が生じる。フレキシブルメタルホースの項目を改めて定義し、実績ある構造を適用できるようにすることで、製品の信頼性を高

めることが出来る。

「フレキシブルメタルホースの溶接部」として、本形状を追記していただきたい。

*添付資料は省略

3. 目的

本提案は、フレキの溶接部の設計について火技解釈に規定することを目的とする。

4. 検討

4.1 フレキについて

火力発電分野の設備においてはガスタービンが広く用いられている。ガスタービンの本体周辺には多数の燃料系統や吸排気系統があるが、これらの系統にはガスタービンの振動や熱の影響を考慮して配管が設計されている、あるいはベローズやフレキといった伸縮継手が多数使用されている。フレキの例を図 1 に示す。JIS B 0151:2015 ではフレキは以下のように定義されている。

JIS B 0151:2015 における定義：

屈曲運動、振動などを吸収するため、波形に加工した管と固定式管継手とが一組になっている管継手（管が裸のものと金属編組を施したものとがある）。

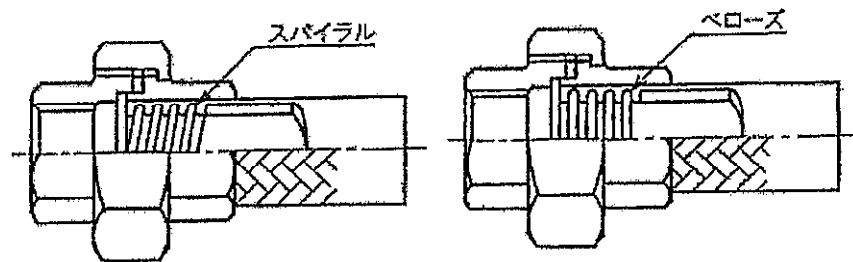


図 1 フレキの概略（JIS B 0151:2015 より）

フレキはベローズと呼ばれる波形に加工した管とフランジ等の固定式管継手が一組になっている管継手に、外側から金属の編組（ブレードという）で補強することによりベローズ単体に比べて強度が増す構造となっている。フレキのベローズ部分はスパイラル型とベローズ型があり、波形がスパイラル形式はらせん状に、ベローズ形式は同心円状にそれぞれ加工される。

現在稼働している設備におけるフレキの使用条件の一例を表 2 に示す。最高使用温度は最大 500℃程度、最高使用圧力は数 MPa 程度である。一方、フレキが使用されている数量については、例えば、出力が 300MW クラスのガスタービンでは、外径 150mm 以上のフレキが 30 本、外径 150mm 以下のもので 70 本以上使用されている。

表 2. フレキの使用条件の一例 (ガスタービンの場合)

No.	適用箇所	最高使用圧力 MPa	最高使用温度 °C
1	燃料ガスパージ配管	~2.5	~500
2	コンプレッサー用抽気系統配管	~0.73	~380
3	冷却用空気系統配管		
4	始動用抽気フロー系統配管		
5	冷却用空気系統配管	~1.3	~450
6	燃料供給系統 (例: φ 20A)	~3	~60
7	圧縮空気抽気系統 (例: φ 50A)	~1.1	~400

4.2 火技解釈における可とう性を有する管等の溶接部の設計

電気事業法 (以下、法という) 第 39 条第 1 項では、事業用電気工作物は主務省令 (すなわち、火技省令) で定める技術基準に適合し、維持されなければならないと定めている。また、法第 52 条第 2 項では、主務省令で定める耐圧部分について溶接するもの又は溶接したものの輸入品は、その溶接について法第 39 条第 1 項の主務省令で定める技術基準に適合していることを確認しなければならないとされている。

管等について、具体的には、電気事業法施行規則 (以下、施行規則という) 第 79 条及び 80 条において一定の圧力以上で使用される外径 150mm 以上の管溶接継手は技術基準適合性の確認対象となることが規定されている。そのため、ガスタービン等の設備で外径 150mm 以上のフレキが用いられている場合には技術基準、すなわち火技解釈の規定を満足する必要がある。表 3 に技術基準適合性の確認対象となる要件をまとめる。

火技解釈では、可とう性を有する管等の溶接部の設計について第 136 条で規定されているが、同条では管又はネックリングにベローズを取り付ける場合の溶接部の設計のみを規定しており、フレキについては溶接部の設計は規定されていない。したがって、例えば外径 150mm 以上のフレキの場合には図 2 のような溶接部の設計によって製造されることがある。

このように、火技解釈ではフレキの溶接部に係る規定がないことから、例えば、設計が確立した既製ユニット設備や輸入品において図 3 のような溶接部の設計となる外径 150mm 以上のフレキが使われている場合には、技術基準適合性の観点から、当該箇所を火技解釈の規定に従った管等に変更して使用するという必ずしも合理的とは言えない実態がある。

表 3. 施行規則第 79 条及び第 80 条に基づく管の技術基準適合性確認対象となる要件

対象		内部流体の圧力(kPa)				
		水		蒸気	液化ガス	その他
		<100°C	100°C≤			
管外径 150mm 以上	周継手	1960 以上	980 以上	980 以上	0 以上 (液化ガス 燃料設備 に限る)	980 以上
	長手継手		490 以上	490 以上		490 以上

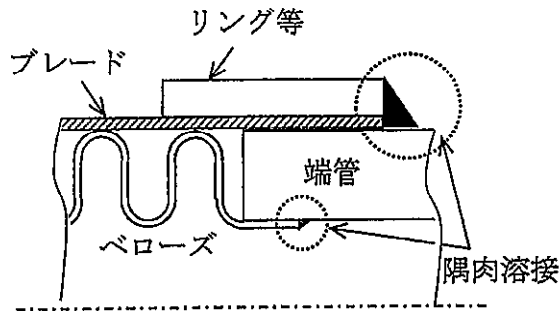


図 2. 外径 150mm 以上で隅肉溶接の場合の例
(ベローズの隅肉溶接は火技解釈別図第 7 に合致)

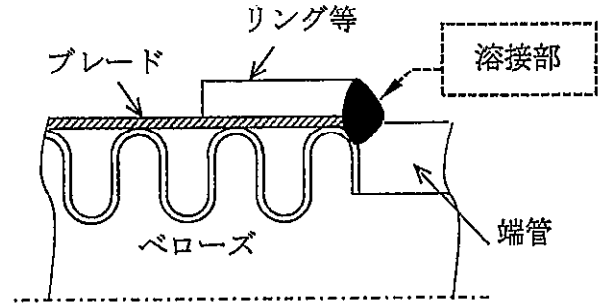


図 3. 火技解釈に規定のないフレキシ溶接部の設計例
(ベローズのエンド部分で一体の隅肉溶接)

4.3 可とう性を有する管等に対する他法規及び国内規格の現状

消防法、ガス事業法及び高圧ガス保安法では、可とう性を有する管等に対して、それぞれ規定が設けられている。表 4 にフレキシの規定に関する各法規の比較を示す。

消防法では、可とう管の健全性を確認する上で必要な材料や構造に係る規定、耐久性能を要求するための水圧試験や繰返し試験等を定めた運用基準^{*1}が存在し、この中でフレキシについても規定されている。しかし、溶接部の設計については規定されていない。

ガス事業法においては、省令では規定されていないものの、ガス工作物技術基準の解釈例^{*2}で引用されている JGA 指-105-11^{*3}や、その他の指針^{*4}ではフレキシの構造設計に関する事項が述べられている。しかし、消防法での運用基準と同様、フレキシの溶接部の設計に関する記述はない。

高圧ガス保安法関連では、性能規定化に伴う技術要件を満たす例示基準として、民間規格である KHKS 0803(2009)^{*5}や JLPA 209:2010^{*6}を呼び込んでいるが、これらの民間規格においても、フレキシの溶接部の設計に関する規定はない。

このように、他法規や国内規格ではフレキシの構造上要求される設計・製造基準について規定されているが、溶接部の設計に関する規定はない。これは、フレキシの溶接部の設計が設置者等に委ねられるもので、溶接部の設計に対する健全性は、フレキシ全体としての構造規定や耐久性確認のための試験によって確保するという考え方に基づくものと判断される。

*1 可撓管継手の設置等に関する運用基準について (消防危第 86 号、改正 平成 11 年 9 月)

*2 ガス工作物技術基準の解釈例 (20140313 商局第 6 号、平成 29 年 3 月 31 日改正)

*3 LNG 小規模基地設備指針 JGA 指-105-11, 一般社団法人日本ガス協会 発行

*4 LNG 受入基地設備指針 JGA 指-102-14, 一般社団法人日本ガス協会 発行

*5 可とう管に関する検査基準 KHKS 0803(2009), 高圧ガス保安協会 発行

*6 金属フレキシブルホース基準 JLPA209:2010, 一般社団法人日本エルピーガスプラント協会 発行

表 4. 各法規の可とう性管の適用規定に関する比較

法規	適用規定	適用の種類
電気 事業法	火技解釈	ベローズ
消防法	可撓管継手の設置等に関する運用基準 について（消防危第86号）	フレキ ユニバーサル式ベローズ型伸縮管継手 （原則、最大常用圧力 $\leq 10\text{kgf/cm}^2$ ）
ガス 事業法	LNG 受入基地設備指針 JGA 指-102-14	ベローズ型伸縮継手 フレキシブルホース
	LNG 小規模基地設備指針 JGA 指 -105-11 ^{注1)}	フレキシブルホース （口径：40A, 50A, 65A, 80A）
高圧ガス 保安法	可とう管に関する検査基準 （KHKS0803(2009)）	ベローズ型伸縮管継手 フレキシブルチューブ
	金属フレキシブルホース基準 （JLPA209:2010）	金属フレキシブルホース （15A \leq 呼び径 \leq 100A）

注1) フレキの構造設計は“可撓管継手の設置等に関する運用基準について準ずる”とされている。

4.4 可とう性を有する管等に関する海外規格の現状

海外では、例えば ASME の配管規格である ASME B31.3^{*7} や ISO 10380^{*8} においてフレキの設計及び製造に関する内容が規定されている。これらの規格においては、要求される荷重や設計応力限界、疲労限度、漏えい試験に関する記述はあるが、溶接部の設計に関する記述はない。ASME B31.3 は、EJMA^{*9} Standard に準拠しており、詳細は EJMA Standard に従うこととされている。なお、消防法や高圧ガス保安法では、これらの海外規格に準拠した設計・製造が認められている。

一方、NAHAD^{*10} が発行する Corrugated Metal Hose^{注2)} の仕様に関するガイドラインである NAHAD 400 (2005) には、フレキと管との溶接部に関する記述が認められる。しかし、この記述はフレキのベローズ部分と fitting の部分（端管やフランジ等）とを接続する際の手順的な意味合いと考えられ、溶接部の図は概念図のみで詳細な記述はない。これは、3.3 項で述べた理由と同様、溶接部の設計を含めてフレキ全体として健全性を確保するという考え方に基づくものと考えられる。

注2) フレキのこと。

*7 ASME B31.3 Appendix X

*8 ISO 10380 "PipeWork-Corrugated metal hoses and hose assemblies "

*9 Expansion Joint Manufacturers Association, Inc.

*10 The Association for Hose & Accessories Distribution, INC

4.5 フレキ溶接部の設計例と火技解釈に対する溶接部設計のニーズ

上記 4.3 及び 4.4 で述べたように、他法規や海外を含めた民間規格（以下、他法規等という）では、フレキの溶接部の設計に関する規定がないことから、フレキの設計製造を行っている国内メーカーに協力を依頼し、溶接部の設計及び火技解釈におけるフレキ規定のニーズに関する聞き取り調査を行った。

その結果、溶接部の設計については、小口径の場合は図 3 に示すように、ベロー

ズの端部付近でブレードや端管、リング等と一体となるような隅肉溶接が行うものもあるが、外径 150mm 以上では、図 2 に示すように、ベローズ部分を隅肉溶接（または差込みの突合せ溶接）で施工し、ブレードやリング等は別に隅肉溶接を行い、技術基準を満足するような設計としているとの回答があった。

このように、小口径の場合は図 3 の製造方法が既に確立されており、かつ、溶接事業者検査の対象ではない。一方で、外径 150mm 以上の場合は技術基準に従った図 2 の設計方法で対応可能である。また、図 2 の設計方法により技術基準適合性を満足することや、ベローズ端部の接合方法はフレキメーカーごとに固有の考え方があり、一般的な仕様として規定することには馴染まないため、火技解釈においてフレキの溶接設計を規定化するニーズは低いのではないかとの回答があった。なお、調査協力を得られたメーカでは、規定化のニーズはなかった。

しかし、例えば、輸入品で図 3 のような一体溶接された外径 150mm 以上のフレキを設備に適用する場合は、現行の火技解釈の要求される水準と同等以上であることを証明する必要がある。また、今後、設備や出力がさらに大型化又は高温化することを考慮すると、将来的にはニーズが高まることも考えられる。

4.6 フレキに関するトラブル事例

高圧ガス保安協会では、高圧ガス設備における事故事例をデータベース化し公開している。このうち、1965 年から 2015 年までのおよそ 50 年間に発生した、フレキに関するトラブル事例の概要を表 5 に示す。これによると、ヒューマンエラーや維持・管理、経年劣化といった、使用中に発生したトラブルが 8 割程度を占めている。設計面においては、約 13% の 16 件が設計不良に分類されるトラブルであるが、その半数は配管系統としての設計の問題であり、フレキ自体の設計不良に起因するトラブルは 0 件である。その他の原因は、他の系統設備の損壊による二次被害、十分に考慮すべき経年劣化を十分に考慮していなかったこと、本来は使用すべきでないものを取り付けたこと等であり、溶接部の設計に起因するトラブルは確認されていない。

表 5. トラブル事例の概要（高圧ガス保安協会 事故事例データベース、1965 年~2015 年）

分類	事例	件数
① 設計・製造	(1) 設計不良	0 (16) [※]
	(2) 製作不良	6
② ヒューマンエラー	(3) 操作ミス	14
	(4) 誤判断・認知確認ミス	15
③ 管理・運用	(5) 点検不良	3
	(6) 管理不良	25
	(7) 操作基準の不備	2
④ 経年劣化	(8) 劣化	12
	(9) 疲労・腐食	25
⑤ その他	(10) 自然災害	1
	(11) 調査中	7
	(12) 不明（未特定）	1

[※] 括弧内の数字は設計不良全体の数。そのうち、溶接部の設計に起因するトラブルは 0 件。

4.7 構造設計及び健全性確認のための試験方法に基づくフレキの規定化

3.3 及び 3.4 で述べたように、国内の民間規格を含む他法規や海外規格では、フレキの溶接部の設計は設置者等に委ねられるもの考えられ、構造上の要求や試験を通じて、フレキ全体で健全性を確認する方法として規定が与えられている。また、3.5 で述べたようにフレキ端部の接合方法に対するフレキメーカー固有の考え方の一般化が馴染まない面がある。これらの点を踏まえて他法規等の考え方を参考にフレキの規定を検討した。

表 4 に他法規が適用又は引用している指針等を示したが、使用圧力や口径を考慮するとともに、他法規との整合化や国の取り組みである火技解釈の性能規定化を鑑み、高圧ガス保安法で引用している KHKS 0803(2009)を参考に次の(1)から(5)の内容を規定することとした。これらの規定によって、フレキは現行の火技解釈と同等の保安水準が確保されると考えられる。

- (1) ベローズ部分がスパイラル状のものを除いたフレキに限定すること
ベローズがスパイラル状の場合、端部が同心円状の対称構造ではなく、応力バランスが不均衡になると考えられるため、同心円状のベローズに限定する。
- (2) フレキのベローズ部分の端部には、かしめ等の加工を行わないこと
フランジかしめ接続部あるいはかしめ箇所溶接部から漏えいが生じる事例が報告されていることから、かしめ等の加工を制限する。

- (3) フレキに対して加圧試験を適用すること

フレキにおける管等との接続部の溶接部の設計に対する技術基準適合性は加圧試験によって確認することとした。KHKS 0803(2009)では JIS B 2352 の附属書 2 の 3.1 a) (EJMA 式) 又は 3.1 b) (ケログ式) による強度評価が適用できないフレキにあっては、一般則等の関係例示基準で規定されている加圧試験を適用できるとしており、この考え方を参考にした (JLPA 209:2010 の加圧試験規定は KHKS 0803(2009)を準用している)。

ここで、KHKS 0803(2009)における加圧試験の試験圧力は $P_p=4P \cdot \alpha$ としている。すなわち、試験圧力(P_p)は設計圧力(P)を 4 倍し、さらに温度補正係数(α)を掛けることとしている。 α は試験温度における許容応力と設計温度における許容応力の比で与えられるが、例えば、設計温度を 500℃とした場合、SUS304 製のフレキで $\alpha \approx 1.9$ 、SUS316 製のフレキで $\alpha \approx 1.7$ となる。したがって、設計圧力に対して最大 8 倍程度の試験圧力が負荷されることとなる。しかし、4P という値は概ね材料の持つ引張強さに相当するため、高温機器を念頭に置いた場合、8 倍の圧力を負荷することは工学的に過度な要求となり現実的ではない。KHKS 0803(2009)は高圧ガス関連の規格であるため、主として低温で使用される圧力容器のような低温機器を念頭に置いていると推察される。低温機器の場合は設計温度の許容応力と試験温度の許容応力は同じであるため、実質的な試験圧力は $P_p=4P$ となる。また、例えば、ISO 10380 では試験圧力は設計圧力 (Maximum Allowable Stress) の 4 倍を下回らないこととされている。

また、耐圧試験と比較した場合、耐圧試験は最高使用圧力(P)の 1.3 倍の圧力にて行われるが、仮に $\alpha=2$ の温度係数を掛けて耐圧試験を行ったとすると、耐

圧試験圧力は2.6倍となり、加圧試験は耐圧試験圧力の2倍以上で試験されるため、工学的判断に基づけば安全側であると考えられる。

表6に $P_p=4P$ で加圧試験を行った結果の一例を示す。4Pという圧力を負荷することで生じる応力は概ね材料の持つ引張強さに相当するが、いずれのフレキにおいても試験圧力4Pではバーストしておらず、現状、一般的に使用されているフレキについては、小径から太径まで4倍の加圧試験に耐えられる構造強度を有すると考えられる。

一方、加圧試験に関して、JLPA209:2010では、設計圧力1.8MPaでベローズ径25A~40Aのフレキに対するバースト試験結果が附属書として報告されている。これによると、試験圧力2.7MPaで10回までの繰り返し耐圧試験によって長さ及び平均外径に変化は見られず、4倍加圧(7.2MPa)の試験では、両端を固定した試験において伸びや変形が抑制されていた。さらに、計47本(新品12本、使用済35本)のフレキに対してバースト試験を実施した結果、ベローズ部分が噴破したフレキは使用済のうちの片端固定で試験した6本であった。管端の溶接部については伸びや膨出が認められるものの、破壊はブレード部に留まり、ベローズ部からの漏洩は認められていない。これらの点を踏まえれば、表5の試験結果と同様に、一般的に使用されているフレキについては、4倍の加圧試験に耐えられる構造強度を有すると考えられる。

(4) 加圧試験はフレキの型式ごとに行うこと

溶接施工法と同様の考え方にに基づき、使用条件や設計・製造条件等が同一の型式のものについては、型式ごとに加圧試験による健全性確認を行う。

(5) 加圧試験は液体を用い、かつ、脆性破壊が生じるおそれのない温度で行う
加圧試験時の人への安全性を考慮し、耐圧試験の考え方に準じて規定する。

表6. フレキの加圧試験結果の一例

(ホース部分：SUS316L ブレード：SUS304 (Single)、各No.とも試験数は3)

No.	公称径[mm]	設計圧力 ^{※1} [Bar]	試験圧力[Bar]	バースト時圧力[Bar] ^{※2}
A	25	40	160	165~193
B	32	40	160	189~193
C	40	32	128	137~158
D	50	32	128	155~162
E	80	23	92	120~131
F	100	15	60	62~69
G	125	13	52	58
H	150	11	44	46~53
I	200	11	44	53~57

※1 最大許容運転圧力(MAWP), 1Bar=0.1MPa ※2 フレキ端部溶接部でのバースト数は0

4.8 液化ガス設備の条項へのフレキの規定化

ガスタービンに対する溶接部の規定は熱交換器等の規定を適用することとなるが、この場合において、ガス又は液化ガスを通ずるものに係る容器又は管については液化ガス設備の規定を準用することが第149条で規定されている。

ガスタービンの場合、燃料系統にフレキを使用する場合は考えられることから、燃料系統に使用する場合を想定したフレキの規定を液化ガス設備の関連条項にも規定する。

5. 要請

火技解釈第 136 条（溶接部の設計）にフレキの規定を追加する。併せて、第 149 条において、熱交換器等の容器又は管でガス又は液化ガスを通ずるものにあつては液化ガス設備の規定を適用するとされていることを踏まえ、ガス又は液化ガスを通ずる場合のフレキの規定を第 154 条に追加する。

6. 条項等

第 136 条 溶接部の設計

第 154 条 溶接部の設計

7. イメージ

イメージを図 4 に示す。

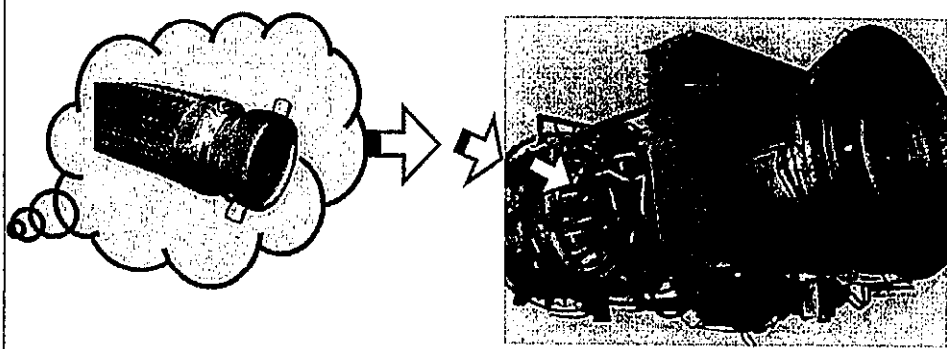
フレキシブルメタルホースに係る溶接部の設計の追加のイメージ	
火技解釈	
現 行 (平成 29 年)	フレキシブルメタルホースに係る溶接部の設計に関する規定は定められていない。
検 討	適用可能とするフレキの種類を限定し、漏えいが生じない設計条件を与えた。また、溶接部の設計を含む、フレキ全体としての構造健全性を確認するための加圧試験条件を定めるとともに、加圧試験の安全性を考慮した試験要件を与えた。
改正案	

図 4 フレキシブルメタルホースに係る溶接部の設計の追加イメージ

参考文献

[1] 平成 25 年度経済産業省委託 高圧ガス保安対策事業（事故調査解析）高圧ガス事故類型化調査報告書，平成 26 年 3 月，高圧ガス保安協会