



4. 非破壊検査 (NON-DESTRUCTIVE INSPECTION / NDI)

非破壊検査は破壊検査と違い、バルブ部品に対して頻繁に適用されている。

非破壊検査の意味を JIS G0202 では次のように説明している。

「素材や製品を破壊せずに、欠陥の有無、その存在位置、大きさ、形状、分布状態などを調べる試験」で、バルブ部品に適用される主な種類は、**放射線透過試験(RT)**、**浸透探傷試験(PT)**、**磁粉探傷試験(MT)**、**超音波探傷試験(UT)**等がある。また、欠陥の有無とは別に応力解析で用いる**ひずみ測定(SM)**及び海外では**漏れ試験(LT)**も非破壊検査に含めている。

また、非破壊検査は品質を左右する重要な検査のため、作業に従事する人の資格及び認証制度が国際的に統一される方向にある。試験及びそれらの判定は、資格者が行うことが求められる。ひずみ測定(SM)に関しては JIS による資格・認証のみで、漏れ試験(LT)に関しては資格・認証制度が JIS に規定されていない。

バルブ等への非破壊検査の適用区分は次のようにいくつかの規格で定めている。(参考例)

適用規格	適用区分	種類			抜取り方法	判定基準
		RT	MT or PT	UT		
JPI-7S-39-2003 石油学会規格 バルブの検査基準	<ul style="list-style-type: none"> Body/Bonnet/Cover 鋳鍛鋼素材及びそれらの溶接部 材質及び CLASS 別に区分している。 付表 1-1 及び付表 1-2 を参照。 	○	○	×	RT(鋳鋼材) ; 新しい設計の鋳型及び鋳造方案は、最初の 3 個まで全数、それ以降は 5 個ごとに 1 個の抜取り。 RT (溶接部) ; 5 個ごとに 1 個の抜取り。 MTorPT(鋳鍛鋼材) ; 5 個ごとに 1 個の抜取り。 MTorPT(溶接部) ; 材質、CLASS にかかわらず全数実施。	RT(鋳鋼材) ; JIS G0581 2 類以上、但し、BW JIS G0581 1 類以上を合格。 RT (溶接部) ; JIS Z3104/Z3106 2 類以上又は JIS Z3050 B 基準を満足するものを合格。 MTorPT(鋳鍛鋼材) ; 適用規格表 2 及び表 3 による。(添付参照) MTorPT(溶接部) ; JIS Z3050 B 基準を満足するものを合格。但し、RTJ, PS 面,肉盛加工面は無欠陥とする。
ASME B16.34-2004 The American Society of Mechanical Engineers, Valves-Flanged, Threaded, and Welding	<ul style="list-style-type: none"> Body/Bonnet/Cover 鋳鍛鋼素材及びそれらの溶接部 SPECIAL CLASS に適用する。 	○	○	○	100%	RT(鋳鋼材) ; MANDATORY APPENDIX I RT/PT/MT (溶接部) ; ASME Sec.VIII, Div.1. (溶接部の係数 1.0) UT (鍛鋼材) ; MANDATORY APPENDIX IV MT(鋳鍛鋼材) ; MANDATORY APPENDIX II PT(鋳鍛鋼材) ; MANDATORY APPENDIX III



適用規格	適用区分	種類			抜き取り方法	判定基準
		RT	MT or PT	UT		
MANDATORY APPENDIX 7 of ASME Sec.VIII, Div.1, PRESSURE VESSELS	<ul style="list-style-type: none"> EXAMINATION OF STEEL CASTINGS 鑄造係数 100% に適用する。 	○	○	×	新しい設計の鑄型及び鑄造方案は、最初の5個まで全数、それ以降は5個ごとに1個の抜き取り。	RT; ASTM E446/E186/E28/E280 でそれぞれ欠陥カテゴリ別に規定。 MT; ASTM E125 で欠陥 TYPE 毎に等級を規定。 PT; 肉厚別に欠陥寸法規定。
BS 5998-1983 Quality levels for steel valve castings, British Standards Institute	<ul style="list-style-type: none"> Body/Bonnet/Cover 鑄鍛鋼素材 Quality Level により、試験範囲規定。 	○	○	×	発注仕様書による。	RT; ASTM E446/E186/E28/E280 でそれぞれ欠陥カテゴリ別に規定。 MT; 線状欠陥は認めない。 その他、ASTM E125-1965, Type1, Degree2 を超えないこと。 PT; 線状欠陥は認めない。 その他、ASTM E125-1963, Type1, Degree2 を超えない
MSS SP-53-1999 Magnetic Particle Examination Method, Manufactures Standardization Society of the Valve and Fittings Industry, Inc.	<ul style="list-style-type: none"> Body/Bonnet/Cover 鑄鍛鋼素材 	×	○ MT	×	発注仕様書による。	肉厚別に欠陥寸法規定
MSS SP-54-1999 Radiographic Examination Method, Manufactures Standardization Society of the Valve and Fittings Industry, Inc.	<ul style="list-style-type: none"> Body/Bonnet/Cover 鑄鋼素材 	○	×	×	発注仕様書による。	ASTM E446/E186/E28/E280 でそれぞれ欠陥カテゴリ別に規定。

参考 :

鑄鋼材の抜き取り方法に“新しい設計の鑄型及び鑄造方案”とあるが、メーカー側の記録に委ねるしかない。鑄造メーカーを変更した場合も含まれると考える。また、期間の定めもなく変更の有無について正確に把握することは困難と思われる。RTの抜き取り方法については、価格への影響も大きく発注者とメーカーで誤解がないように事前に明確にすることを推奨する。



参考資料 :

・ JPI-7S-39-2003 石油学会規格 「バルブ検査基準」 ;

付表 1-1 弁箱、ふた、溶接部及び機械加工面の非破壊試験の内容
(鑄造バルブ)

材料グループ (¹)	標準主成分 (¹)	バルブ材料		弁箱及びふた (表 1 参照)		溶接部及び機械加工面 (表 4 参照)	
		JIS	ASTM	放射線透過試験	磁粉探傷試験 又は 浸透探傷試験	放射線透過試験	磁粉探傷試験 又は 浸透探傷試験
1.1	C-Si	G5151-SCPH2	A216-WCB	クラス 900 以上	クラス 900 以上	クラス 900 以上	材料、使用温度及びクラスにかかわらず全数について試験する。
1.2	C-Mn-Si	-	A216-WCC	クラス 300 以上	クラス 150 以上	クラス 300 以上	
		-	A352-LCC				
	2.5Ni	G5152-SCPL21	A352-LC2				
	3.5Ni	G5152-SCPL31	A352-LC3				
1.3	C-Si	G5152-SCPL1	A352-LCB	クラス 600 以上	クラス 150 以上	クラス 600 以上	
1.5	C-0.5Mo	G5151-SCPH11	A217-WC1	クラス 600 以上	クラス 600 以上	クラス 600 以上	
		G5152-SCPL11	A352-LC1				
1.7	Ni-0.5Cr-0.5Mo	-	A217-WC4	クラス 600 以上	クラス 600 以上	クラス 600 以上	
	0.75Ni-1Mo-0.75Cr	-	A217-WC5				
1.9	1.25Cr-0.5Mo	G5151-SCPH21	A217-WC6	クラス 600 以上	クラス 600 以上	クラス 600 以上	
1.10	2.25Cr-1Mo	G5151-SCPH32	A217-WC9	クラス 300 以上	クラス 600 以上	クラス 300 以上	
1.13	5Cr-0.5Mo	G5151-SCPH61	A217-C5	クラス 300 以上	クラス 600 以上	クラス 300 以上	
1.14	9Cr-1Mo	-	A217-C12	クラス 150 以上	クラス 150 以上	クラス 150 以上	
2.1,2.2, 2.5,2.6, 2.7,2.8	オーステナイト系 ステンレス鋼	低温用 (²)	(³)	(³)	クラス 150 以上	クラス 150 以上	クラス 150 以上
		常温用			クラス 900 以上	クラス 900 以上	クラス 900 以上
		高温用 (²)			クラス 600 以上	クラス 600 以上	クラス 600 以上
3.17	29Ni-20.5Cr-3.5Cu-2.5Mo	G5121-SCS23	A351-CN7M	クラス 300 以上	クラス 300 以上	クラス 300 以上	

注 (¹) 材料グループ及び標準主成分は、JPI-7S-67 付属書 5 (バルブ用材料) による。

(²) 低温用とは使用温度が -100°C 未満、高温用とは使用温度が 475°C を超えるものとする。

(³) 材料グループの JIS 規格及び ASTM 規格の材料名は、JPI-7S-67 付属書 5 による。



付表 1-2 弁箱、ふた、溶接部及び機械加工面の非破壊試験の内容
 (鍛造バルブ)

材料グループ (1)	標準主成分 (1)	バルブ材料		弁箱及びふた (表 1 参照)	溶接部及び機械加工面 (表 4 参照)	
		JIS	ASTM	磁粉探傷試験 又は 浸透探傷試験	放射線透過試験	磁粉探傷試験 又は 浸透探傷試験
1.1	C-Si	G 3202-SFVC2A	A105	クラス 1500 以上	クラス 900 以上	材料 使用温度及びクラスにかかわらず全数について試験する。
	C-Mn-Si	G 3205-SFL2	A350-LF2			
1.2	3.5Ni	G 3205-SFL3	A350-LF3	クラス 300 以上	クラス 300 以上	
1.4	C-Mn-Si	G 3205-SFL1	A350-LF1-CL1	クラス 300 以上	クラス 600 以上	
1.5	C-0.5Mo	G 3203-SFVAF1	A182-F1	クラス 600 以上	クラス 600 以上	
1.7	0.5Cr-0.5Mo	G 3203-SFVAF2	A182-F2	クラス 600 以上	クラス 600 以上	
1.9	1Cr-0.5Mo	G 3203-SFVAF12	A182-F12-CL2	クラス 600 以上	クラス 600 以上	
	1.25Cr-0.5Mo-Si	G 3203-SFVAF11A	A182-F11-CL2			
1.10	2.25Cr-1Mo	G 3203-SFVAF22B	A182-F22-CL3	クラス 600 以上	クラス 300 以上	
1.13	5Cr-0.5Mo	G 3203-SFVAF5B	A182-F5	クラス 600 以上	クラス 300 以上	
		G 3203-SFVAF5D	A182-F5a			
1.14	9Cr-1Mo	G 3203-SFVAF9	A182-F9	クラス 300 以上	クラス 150 以上	
2.1,2.2, 2.3,2.4, 2.5,2.7, 2.8	オーステナイト系 ステンレス鋼	(3)	(3)	クラス 300 以上	クラス 150 以上	
				クラス 1500 以上	クラス 900 以上	
				クラス 600 以上	クラス 600 以上	
3.1~3.9, 3.12,3.14, 3.15	ニッケル 及び ニッケル合金	(3)	(3)	クラス 300 以上	クラス 300 以上	

注 (1) 材料グループ及び標準主成分は、JPI-7S-67 付属書 5 による。

(2) 低温用とは使用温度が -100°C 未満、高温用とは使用温度が 475°C を超えるものとする。

(3) 材料グループの JIS 規格及び ASTM 規格の材料名は、JPI-7S-67 付属書 5 による。

表 2 線状指示模様の合格限度

試験部の厚さ (1)	線状指示模様の長さ	
	鋳造品	鍛造品
13 mm 以下	8 mm	5 mm
13 mm を超え 25 mm 以下	13 mm	10 mm
25 mm を超えるもの	18 mm	15 mm

注 (1) この場合の厚さとは、図面上の寸法とする。

備考 1. 線状指示模様は、上記表 2 の長さ以上離れていなければならない。

2. 線状指示模様は、割れ以外の指示模様でその長さが幅の 3 倍以上のものをいう。

表 3 円形状指示模様の合格限度

試験部の厚さ (1)	円形状指示模様の長さ	
	鋳造品	鍛造品
13 mm 以下	8 mm	5 mm
13 mm を超えるもの	13 mm	8 mm

注 (1) この場合の厚さとは、図面上の寸法とする。

備考 1. 4 個以上の円形状指示模様が直線上に並んでいる場合は、隣接する円形状指示模様の間の距離が 3mm を超えなければならない。

2. 円形状指示模様は、割れ以外の指示模様でその長さが幅の 3 倍未満のものをいう。



Wings Corporation

Title: 工業用バルブの検査概論 (改訂版)
<http://wingshome.co.jp/introduction.html>
 e-mail: info@wingshome.co.jp

Doc. No. : WD14-001

Rev. No. : 0c1

Sheet 48 / 138

・ 鋳鋼材の海外 RT 判定基準の比較

ASTM E446: バルブ肉厚が 50mm 未満 ;

欠陥の種類	適用規格				
	B16.34	APPENDIX 7	BS 5998*-1		MSS SP-54
			QL-III	QL-I&II	
Gas	A2	A2	A3	A2	A2
Sand	B3	B3	B3	B2	B3
Shrink, Type 1	CA2	CA3	CA4	CA3	CA2
Shrink, Type 2	CB3	CB3	CB4	CA3	CB3
Shrink, Type 3	CC3	CC3	CC4	CC2	CC3
Shrink, Type 4	CD3	CD3	CD4	CD2	CD3
Hot tears and cracks	None	None	None		None
Insert (Chills, Chaplets)	None	None	None		None

備考) *-1 BW Ends は全て Level-2、但し、Hot tears, cracks and Insert は不合格。

ASTM E186: バルブ肉厚が 50mm 以上、115mm 未満 ;

欠陥の種類	適用規格				
	B16.34	APPENDIX 7	BS 5998*-1		MSS SP-54
			QL-III	QL-I&II	
Gas	A3	A2	A3	A2	A3
Sand	B3	B2	B3	B2	B3
Shrink, Type 1	CA3	CA1	CA4	CA3	CA3
Shrink, Type 2	CB3	CB2	CB4	CB3	CB3
Shrink, Type 3	CC3	CC3	CC4	CC2	CC3
Hot tears and cracks	None	None	None		None
Insert (Chills, Chaplets)	None	None	None		None

備考) *-1 BW Ends は全て Level-2、但し、Hot tears, cracks and Insert は不合格。

ASTM E280: バルブ肉厚が 115mm 以上、305mm 未満 ;

欠陥の種類	適用規格				
	B16.34	APPENDIX 7	BS 5998*-1		MSS SP-54
			QL-III	QL-I&II	
Gas	A3	A2	A3	A2	A3
Sand	B3	B2	B3	B2	B3
Shrink, Type 1	CA3	CA2	CA4	CA3	CA3
Shrink, Type 2	CB3	CB2	CB4	CB3	CB3
Shrink, Type 3	CC3	CC2	CC4	CC2	CC3
Hot tears and cracks	None	None	None		None
Insert (Chills, Chaplets)	None	None	None		None

備考) *-1 BW Ends は全て Level-2、但し、Hot tears, cracks and Insert は不合格。



次に非破壊検査の種類別に試験方法の概要を解説します。

4.1 放射線透過試験 (Radiographic Examination)

放射線を試験体に照射し、透過した放射線の強さの変化から欠陥の状態などを調べる非破壊試験。線源として、X線、 γ (Ir192 or Co60)線又は中性子線が用いられる。

鋳鋼材料への放射線透過試験を中心に解説します。

(1) 撮影範囲

<p>1. 仕切弁</p>	<p>2. 玉形弁</p>
<p>3. 逆止弁</p>	<p>備考) これらの撮影範囲は、JPI-7S-39-2003 より抜粋しました。 斜線部が撮影範囲で寸法は、実製品の該当部の厚さの3倍又は70mmのいずれか大きい範囲とし、BW部は、端面から管の厚さの1.5倍又は50mmのいずれか小さい範囲としています。 BW部の撮影範囲は、BS 5998-1983 と同じです。 参考：Globe Valveのシート部分が撮影範囲に含まれていませんが、重要な部分であり、欠陥が発生しやすい部分でもあるので、撮影範囲に含めることを推奨します。</p>

参考：

国際的によく用いられる規格は ASME B16.34 ですが、下記内容が JPI-7S-39-2003 と異なります。

- 1) 配管側フランジのネックは、規定していません。
- 2) シート部の範囲は、全て 210 度です。
- 3) BW 部の撮影範囲は、3 倍又は 70mm のいずれか大きい寸法です。
- 4) 範囲を規定する肉厚は、規定最小肉厚です。
- 5) Check Valve の Cover 材で Flat な形状は、適用していません。

MSS SP-54-1999 及び BS 5998-1983 では”critical areas”を次のように定義し、非破壊検査の箇所と抽象的に表現している。

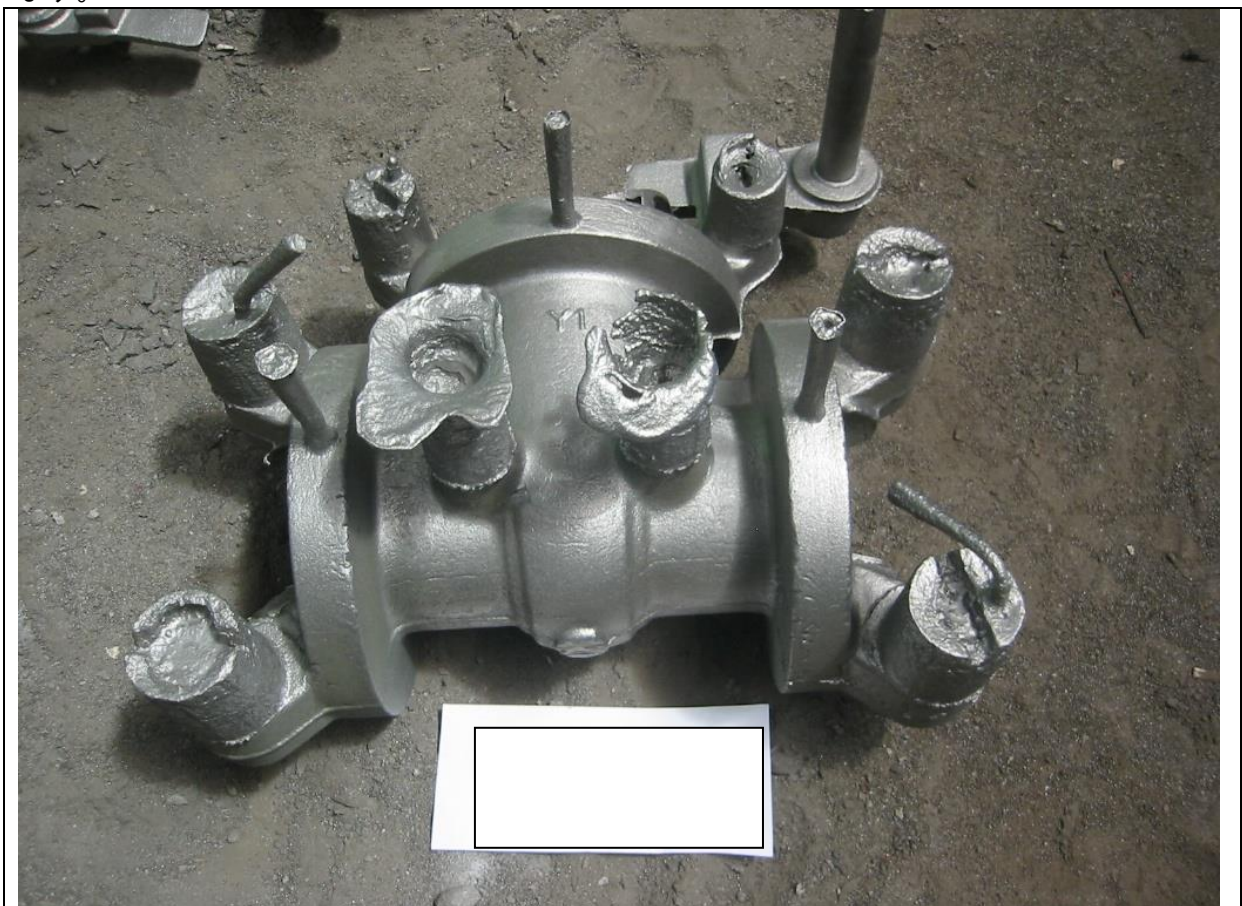
- (a) casting solidification;
- (b) stress concentration;
- (c) ability to contain pressure.



APPENDIX 7 (EXAMINATION OF STEEL CASTINGS) of ASME Sec.VIII, Div.1.では、”critical sections”として次のように説明している。

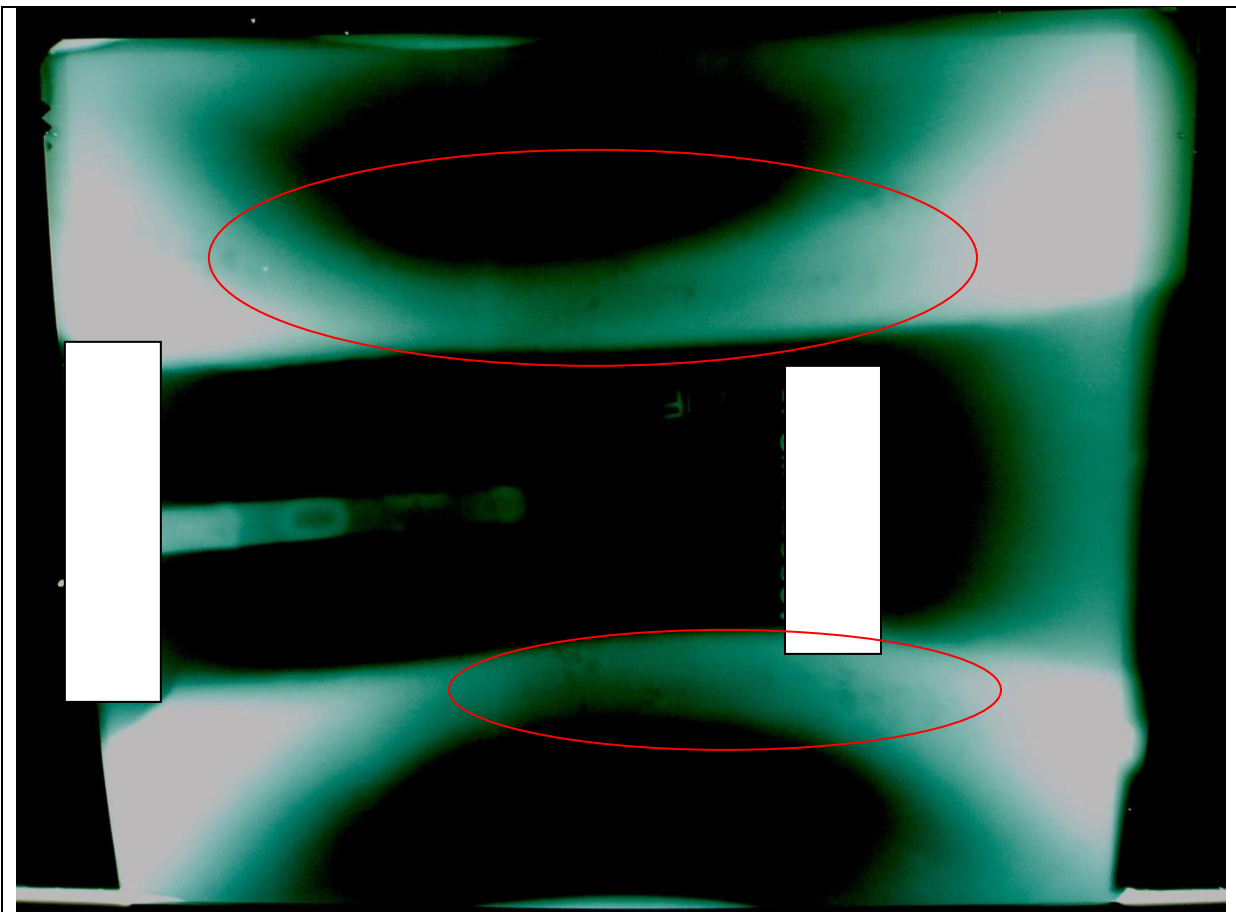
“For static castings, the sections where imperfections are usually encountered are abrupt changes in section and at the junctions of **risers, gates, or feeders** to the casting. For centrifugal castings, *critical sections* shall be interpreted to be any abrupt changes of section, the circumference for a distance of at least 3 in. from each end, and one additional circumferential band at least 3 in. wide and including the area of the most severe indication detected by other examination method.

APPENDIX 7は、鑄造係数100%の鑄鋼製圧力容器に適用していますので、必ずしもバルブへの適用ではありませんが、初期鑄造品には押し湯(Riser)、湯口(Gate)及び湯道(Feeder)切断部へのRTを実施する場合があります。尚、バルブへの遠心鑄造(Centrifugal Castings)の適用は、限られています。



上記写真は、型をばらしてショットブラストを施工した直後の写真です。BODYに突き出ているのが risers, gates, and feeders です。鑄造方案に不適合があると、これら (risers, gates, and feeders) の近傍に欠陥が出ることがあります。製品ではこれらの部分を綺麗に取り除きます。

これらの切断箇所が撮影範囲に含まれない場合は、これらの箇所を追加して鑄造方案の検証を実施します。



上記は実際に押し湯部分を撮影した写真です。赤線で囲った部分に欠陥が出ています。このように欠陥を検出した場合は、鑄造方案の改善を実施します。

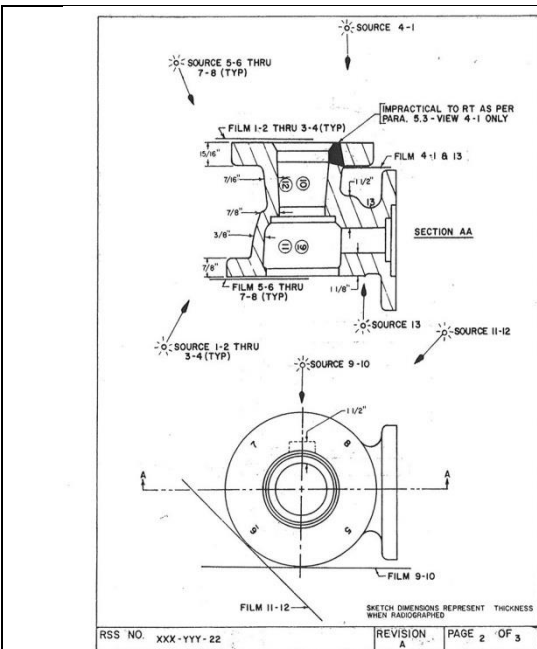
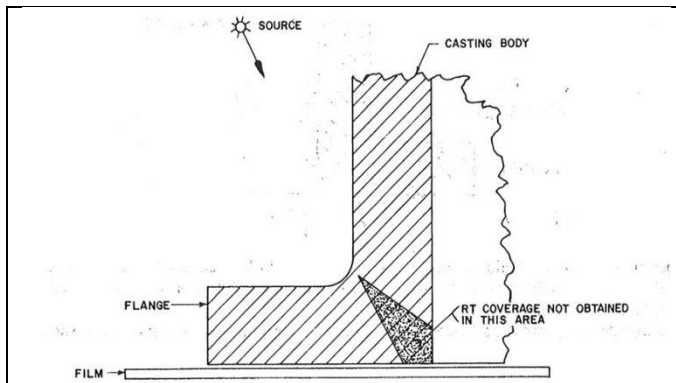


FIG. X1.2 Samples of Radiographic Standard Shooting Sketches (RSS) Views Illustrating Layout and Source and Film Placement

左図は、ASTM E1030 (Radiographic Examination of Metallic Castings)から抜粋した図ですが、線源及びフィルムの位置を示した”Shooting Sketches”のサンプルです。発注者とメーカーは撮影位置に関して標準的な”Shooting Sketches”を取り交わしておくことを推奨します。



左図の黒い部分は、撮影後のフィルムで判定が難しい事を示しています。フランジのネック部分のように判定適用外の部分が存在することを発注者に説明することも必要です。前述した”Shooting Sketches”に記載して、明確にすることを推奨します。

(2) 試験方法

主な規格を表にしましたので、参照してください。

規格番号	タイトル
JIS G0581	鋳鋼品の放射線透過試験方法
JIS Z3050	パイプライン溶接部の非破壊試験方法
JIS Z3104	鋼溶接継手の放射線透過試験方法
JIS Z3106	ステンレス鋼溶接継手の放射線透過試験方法
MANDATORY APPENDIX I (ASME B16.34)	RADIOGRAPHIC EXAMINATION: PROCEDURE AND ACCEPTANCE STANDARDS
ASTM E94	Radiographic Examination
Article 2 (ASME Sec. V)	Radiographic Examination

参考：上記以外にもヨーロッパを中心とした ISO, BS, EN, DIN 等がありますが省略します。試験方法の詳細については、上記規格を参照していただくか資格者に相談されることを推奨しますが、次に示す事項に関しては適用規格と発注仕様書で規定されている数値が異なる場合がありますので注意してください。(コストインパクトを生じる場合があります。)

- ・透過度計(Image Quality Indicator/IQI)の識別最小線径又はホール径,
- ・試験部の写真濃度(Photographic Density).

(3) 判定方法

JIS では、欠陥の種類毎に寸法を測定して分類しますが、前述した ASTM E446/E186/E280 の判定は、標準写真を基に分類します。(JIG G0581 は ASTM の標準写真の寸法を測定し、規定したものです。) 溶接部に関しては欠陥寸法により、判定しています。



(4) 検査成績書

試験を行った後、次の事項のうち必要な事項を記録し、その記録と試験部とが常時照合できるようにしておかなければならない。

- a) 試験実施者名
- b) 材料又は製品名
- c) 撮影年月日
- d) 透過写真の識別記号
- e) 材質
- f) 呼称厚さ
- g) 透過厚さ
- h) 放射線透過試験装置
- i) 線源寸法
- j) 使用管電圧又は γ 線源
- k) 使用管電流又はベクレル値
- l) 露出時間
- m) 使用したフィルムシステム
- n) 増感紙
- o) 透過度計
- p) 線源とフィルム間距離
- q) 透過度計の最少識別線径又はホール径、写真濃度範囲
- r) 試験部の位置その他の必要事項
- s) 試験員の認定資格及び署名

試験材には、成績書と照合できる記号が刻印等により表示されていなければならない。また、成績書とフィルムが照合できるようにフィルムに識別記号を表示しなければならない。通常、成績書には”Shooting Sketches”が記載されフィルムの位置を識別できるようになっている。

フィルムの観察は熟練を要するので、資格者と観察することを推奨する。
特に鋳鋼材の場合は溶接欠陥の判定と差異があり、注意を要する。



Wings Corporation

Title: 工業用バルブの検査概論 (改訂版)

<http://wingshome.co.jp/introduction.html>

e-mail: info@wingshome.co.jp

Doc. No. : WD14-001

Rev. No. : 0c1

Sheet 54 / 138

下記に ASTM E446 (Steel Castings Up to 2 in. [51mm] in Thickness) の参考写真を示します。

Gas Porosity (ブローホール) Level A3	Sand Inclusion (砂かみ) Level B3
Shrinkage (線状の引け巣) Level CA3	Shrinkage (樹脂状の引け巣) Level CB3
Shrinkage (スポンジ状の引け巣) Level CC3	Shrinkage Level CD3

* 上記参考写真は、大きさが原本と異なりますので注意してください。

溶接部の写真は、下記 URL が参考になります。

<http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/TechCalibrations/RadiographInterp.htm>



トピックス : RTに関するお話し。

(1) はじめに

鋳鋼品の品質レベルを検証するには種々の試験、例えば材料検査、非破壊検査、圧力検査等を実施することにより、それらの結果から総合的に評価することが望まれる。

特に放射線透過試験(RT)による欠陥検出の方法は有効な手段の一つであるが、全てのバルブに適用することは経済的にも極めて難しいと考える。従って、RTを実施するにはバルブの重要度、抜き取り方法、撮影個所、撮影方法/判定基準を定め顧客との合意を必要とする。

また、RTに合格したバルブが圧力試験で地洩れ(隔壁からの漏れ)を生じることもある。このインフォメーションはRTを実施した場合の鋳鋼品質について、どのように考えるかの一般的事項の概要としたい。

(2) 鋳造欠陥と RT レベル

バルブメーカーで圧力検査を行った場合、地洩れの原因となる鋳造欠陥の主なものは引け巣、割れ、ガスホール等である。

(それらの欠陥の特徴及び鋳造方案の問題点及び改善方法については、後で述べる)

地洩れの原因である鋳造欠陥がどの程度バルブ素材に含まれているか、鋳鋼フランジ形仕切弁(CLASS150~900)について国内鋳物メーカー8社を対象に調査した結果が日本バルブ工業会より「鋳鋼弁素材の放射線透過試験による内部健全性の品質レベル調査報告」(著者も調査・執筆に協力した)として公表されている。

調査結果を引用すると：
 サイズ別各社平均

調査項目		各社平均値 (%)		
		2"~4"	6"~12"	14"以上
欠陥等級別(JIS G0581)の割合	1類	32.8	24.3	25.2
	2類	37.5	31.7	28.6
	3類	23.5	25.7	22.8
	4類	5.0	14.7	15.8
	5類	1.2	3.6	7.6
1類~3類の欠陥部位別の割合	ライン側フランジネック	25.6	27.3	32.1
	ボンネット側フランジネック	13.6	18.5	22.8
	弁座周辺部	60.8	54.2	45.1
1類~3類の欠陥種類別の割合	ブローホール	20.1	16.3	21.3
	砂かみ・介在物	22.9	23.2	32.4
	引け巣	57.0	60.5	46.3



表をまとめると :

1) サイズ別、3類～5類の割合 (JPI-7S-39 では2類以上を合格基準としている)

・ 2”～4”	30%
・ 6”～12”	44%
・ 14”以上	46%

2) 欠陥部位別、1類～3類の割合

・ ライン側フランジネック部	28%
・ ボンネット側フランジネック部	18%
・ 弁座周辺部	54%

3) 欠陥種類別、1類～3類の割合

・ ブローホール	19%
・ 砂かみ・介在物	26%
・ 引け巣	55%

これらの結果から、RT を実施していない鋳鋼品については、2類を超える欠陥 (引け巣) が弁座周辺部に発生している確率が高いことを示している。

各種装置に配管されている多くのバルブは RT を実施していない鋳鋼品質であると考えられるが、鋳造欠陥による地洩れ等の重大なクレームに至る割合は極めて少ないと判断する。このことは、バルブメーカーで実施している圧力試験による地洩れ等に対する鋳鋼品質の確認が適切であると考えられる。

また、RT の抜き取り検査については、後で述べる鋳造方案の改善について有効な手段と言えるが、抜き取り外の鋳鋼品質/RT 判定基準を満足することを保証するものでない。

クリティカルな配管に使用するバルブについては、100%RT 実施を推奨したい。

但し、現在 RT 判定は欠陥を平面的に観察した結果であり、欠陥が隔壁部を貫通しているかの判断は難しく、圧力試験が重要なファクターとなる。破壊力学的な考察も必要でしょう。撮影範囲についても、例えば JPI-7S-39 ではフランジネックから肉厚の3倍又は70mmのいずれか大きい範囲、仕切弁座については210度の範囲となり、バルブ全面をカバーしていない。



4.2 磁粉探傷試験 (Magnetic Particle Examination)

鉄鋼材料など強磁性体を磁化し、欠陥部に生じた磁極による磁粉の付着を利用して欠陥を検出する非破壊試験方法。

原理を簡単に説明すると磁性体を磁化すると左図のように表面に開いた欠陥部分に磁束がはみ出し、その部分に磁粉が集中し、開口した欠陥の大きさの何倍にもなり、欠陥を発見できる確率が上がるしくみです。従って、欠陥が表面に開口しているか大きな欠陥が表面近傍にある場合のみ検出できます。

磁化する方法により、主に下記種類がバルブに適用される場合が多いです。

PRODS	YORK	DIRECT MAGNETIZATION

注意： 線状欠陥は磁束の方向と直角が最もよく検出されます。磁化方法により異なりますので同一箇所を直角二方向で行います。

(上図は、”NDT Resource Center” Iowa State University のホームページから引用しました。)

(1) 探傷範囲

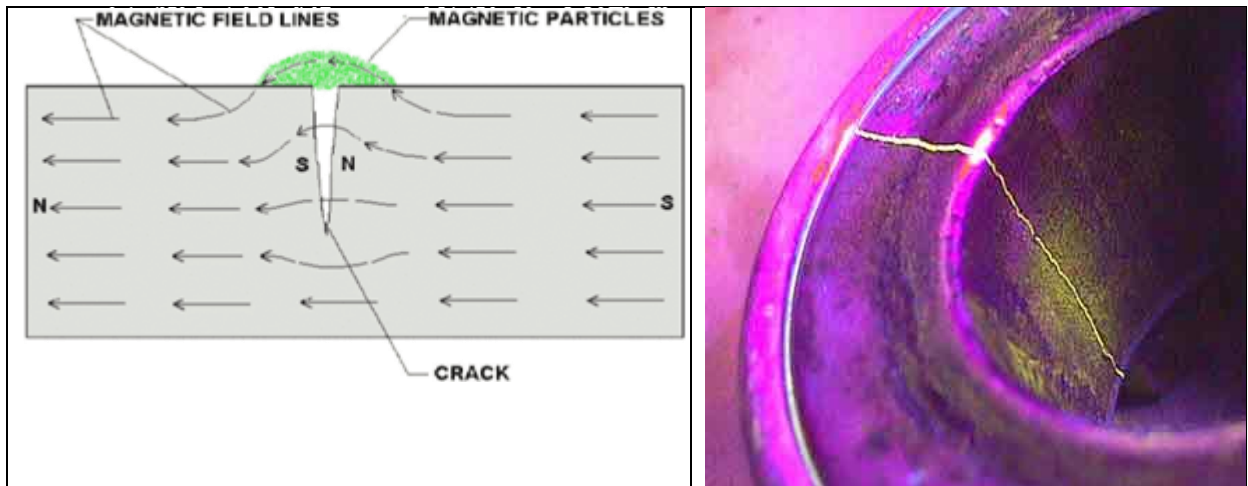
外面及び内面の可能な範囲とする場合が多い。

(2) 試験方法

主な規格を表にしましたので、参照してください。

規格番号	タイトル
JIS G0565	鉄鋼材料の磁粉探傷試験方法及び磁粉模様分類
JIS Z3050	パイプライン溶接部の非破壊試験方法
MANDATORY APPENDIX II (ASME B16.34)	MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION: PROCEDURE AND ACCEPTANCE STANDARDS
ASTM E709	Magnetic Particle Examination

参考： 特に鋳鋼素材鋳肌面の探傷を行う場合は十分に錆を除去し、表面をなるべく平滑にして、擬似欠陥が出ないようにしなければならない。試験方法としては湿式蛍光磁粉探傷を推奨する。蛍光探傷を実施するには暗室に試験材を持ち込み、ブラックライトにより観察する。下記写真は極端であるがブラックライトにより線状欠陥が浮かび上がった例である。また、最近では環境に配慮し、試験後の探傷材の処理方法を考慮すべきである。



(3) 判定基準

線状及び円形状指示欠陥模様の寸法を測定し、判定する。JPI-7S-39、ASME B16.34 及び MSS SP-53 は同じ判定基準です。(前述 JPI 判定基準の表を参照ください。)

ASME Sec.VIII,APPENDIX 7 及び BS5998 は、ASTM E125 の標準写真と比較して等級を判断します。

探傷試験を実施する前に試験材に標準試験片 (JISorASTM) を貼り付け、試験条件が適切かを確認しなければならない。

(4) 検査成績書

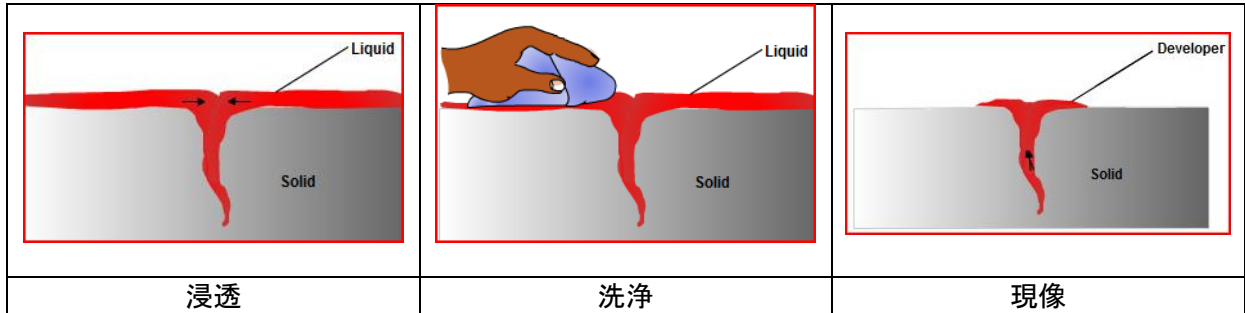
試験を行った後、次の事項のうち必要な事項を記録し、その記録と試験材とが照合できるようにしておかなければならない。

- a) 品名、寸法、材質、熱処理状態及び表面状態
- b) 試験装置
- c) 磁粉の模様
- d) 磁粉の分散媒体、例 湿式法、水・10g/l
- e) 試験方法の分類、例 連続法、残留法、蛍光磁粉、乾式・湿式法、直流、交流他。
- f) 磁化電流地、通電時間
- g) 磁化方法
- h) 標準試験片
- i) 試験結果
- j) 試験技術者、試験年月日、試験場所、試験部位



4.3 浸透探傷試験 (Liquid Penetrant Examination)

試験体表面に開口しているきずに浸透液を浸透させた後、拡大した像の指示模様としてきずを観察する非破壊試験方法。染色浸透探傷試験と蛍光浸透探傷試験に分けられる。



(1) 探傷範囲

外面及び内面の可能な範囲とする場合が多い。

(2) 試験方法

主な規格を表にしましたので、参照してください。

規格番号	タイトル
JIS Z2343-1~4	浸透探傷試験
JIS Z3050	パイプライン溶接部の非破壊試験方法
MANDATORY APPENDIX III (ASME B16.34)	LIQUID PENETRANT EXAMINATION: PROCEDURE AND ACCEPTANCE STANDARDS
ASTM E165	Liquid Penetrant Examination

参考：特にステンレス鋳鋼素材鋳肌面の探傷を行う場合は表面をなるべく平滑にして、擬似欠陥が出ないようにしなければならない。試験方法としては湿式蛍光浸透探傷を推奨する。蛍光探傷を実施するには暗室に試験材を持ち込み、ブラックライトにより観察する。また、最近では環境に配慮し、試験後の浸透材の処理方法を考慮すべきである。

(3) 判定基準

線状及び円形状指示欠陥模様の寸法を測定し、判定する。JPI-7S-39 及び ASME B16.34 は同じ判定基準です。(前述 JPI 判定基準の表を参照ください。)

ASME Sec.VIII,APPENDIX 7 及び BS5998 は、ASTM E125 の標準写真と比較して等級を判断します。

(4) 検査成績書

試験を行った後、次の事項のうち必要な事項を記録し、その記録と試験材とが照合できるようにしておかなければならない。

- a) 品名、寸法、材質、熱処理状態及び表面状態
- b) 試験装置
- c) 指示模様
- d) 試験方法の分類
- e) 浸透時間、現像時間、試験場所の温度
- f) 試験結果
- g) 試験技術者、試験年月日、試験場所、試験部位



4.4 ひずみ測定 (Strain Measurement)

ひずみ測定試験は、試験体の応力分布状態や応力の強さを調べるための試験で、試験体に荷重を与えることにより変形する程度を調べることによって行われる試験です。

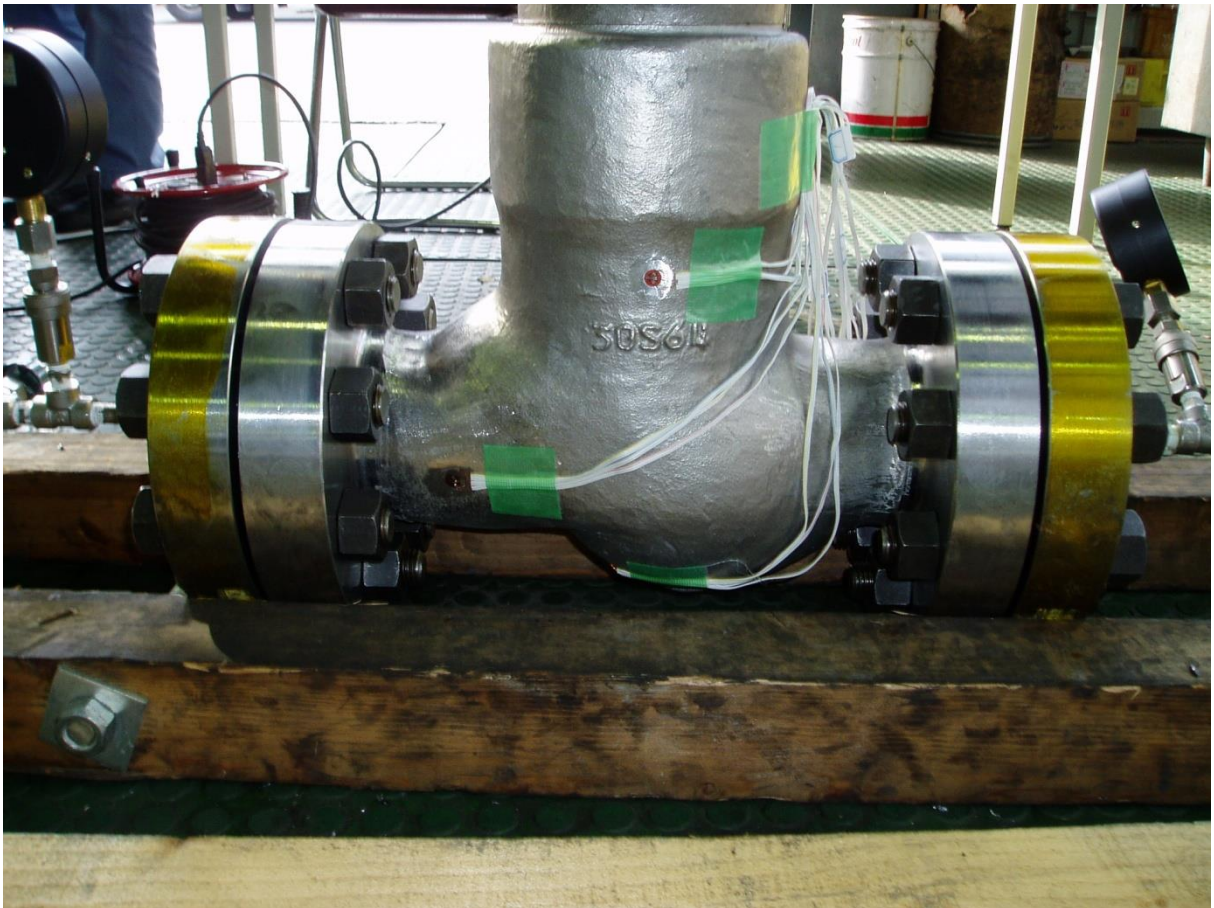
そのため、ひずみ測定試験は、応力測定試験とも言われ、電気抵抗ひずみゲージ法や磁気ひずみ法などが用いられます。

バルブでは、研究開発以外に高圧ガス保安法の適用を受ける高圧ガス保安協会(KHK)による設備試験の型式試験(耐圧部に強度計算ができない形状が含まれる場合。KHKでは Gate 及び Globe Valve 等を適用している。)で加圧試験又は応力測定試験として記載されている。

(1) 試験箇所

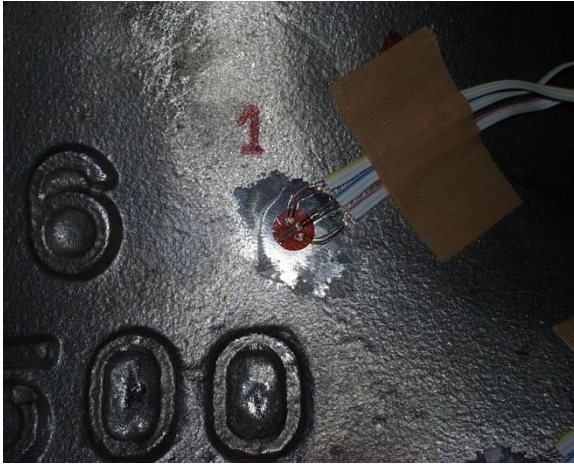
Body 及び Bonnet/Cover で加圧時、最も応力が高く発生すると推測される箇所で明確な規定はない。

ひずみゲージを貼り付けた例：

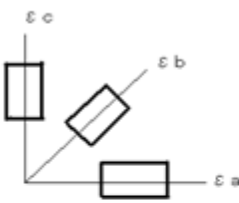




(2) 試験方法



適用箇所に左の写真に示すような3線式自己温度補償3軸ロゼットゲージ(材質毎に種類を選定)を貼り付け、バルブを設計圧力又は耐圧圧力まで数段階で加圧し、各圧力段階(昇圧・降圧)でひずみ値を測定し、下記方法により、最大主応力を計算する。



$$\sigma_1 = \frac{E}{2(1-\nu^2)} \left[(1+\nu)(\varepsilon_a + \varepsilon_c) + (1-\nu) \times \sqrt{2\{(\varepsilon_a - \varepsilon_b)^2 + (\varepsilon_b - \varepsilon_c)^2\}} \right]$$

$$\tau_{\max} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{\max}$$

$$\gamma_{\max} = \sqrt{2\{(\varepsilon_a - \varepsilon_b)^2 + (\varepsilon_b - \varepsilon_c)^2\}}$$

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{2\varepsilon_b - \varepsilon_a - \varepsilon_c}{\varepsilon_a - \varepsilon_c} \right]$$

ここで、

σ_1 : 最大主応力
 E: 縦弾性係数 ν : ポアソン比
 τ_{\max} : 最大せん断応力 γ_{\max} : 最大せん断ひずみ
 θ : 最大主ひずみの方向 ($\varepsilon_a \rightarrow \varepsilon_b \rightarrow \varepsilon_c$ 軸廻りを正方向とする)

参考: 上記計算に用いる縦弾性係数(ヤング率)は、特定設備検査規則又はASMEに記載されている値としている。

(3) 判定基準

設計温度における許容応力以下であること。

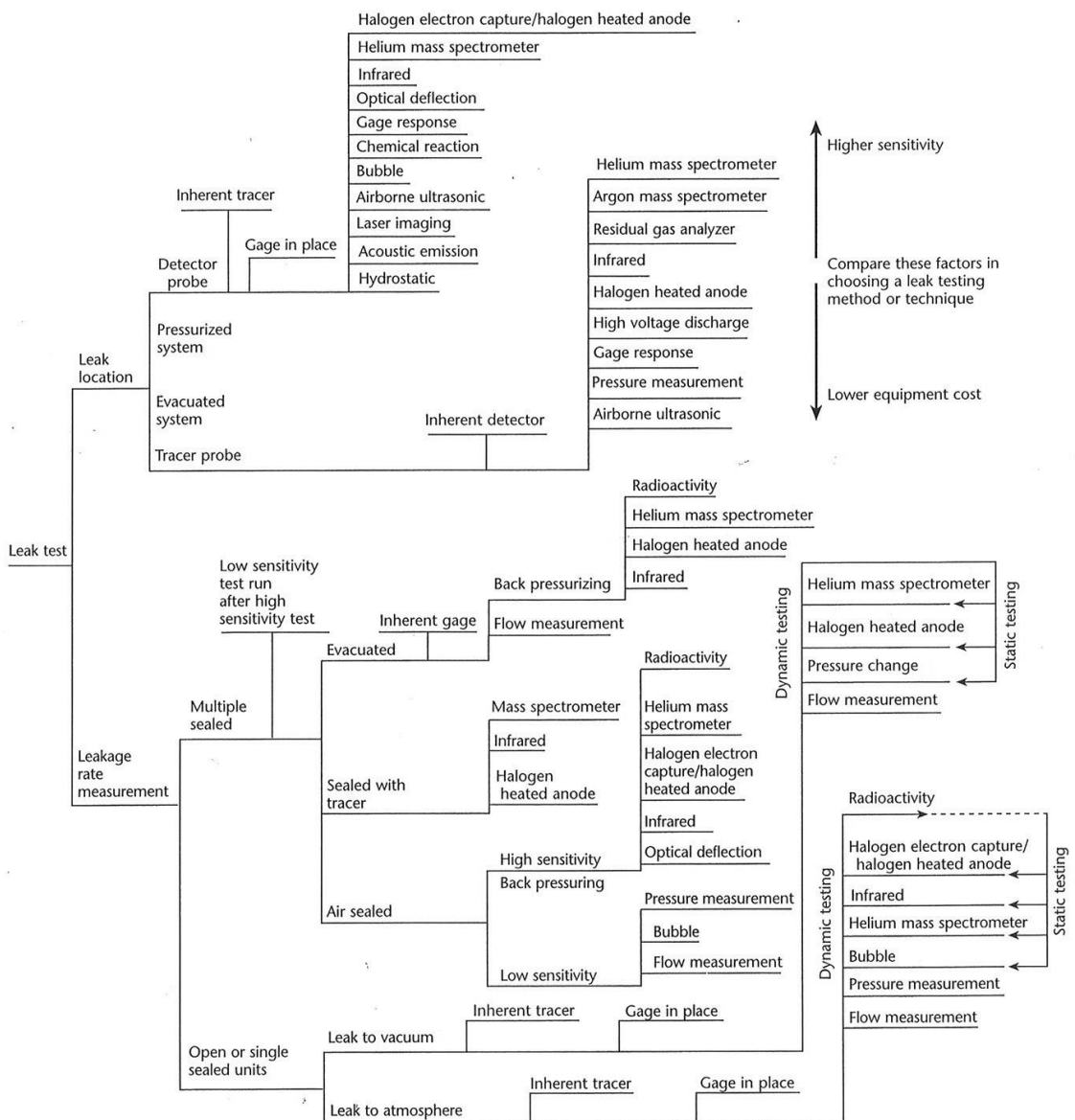


4.5 漏れ試験 (Leak Testing)

バルブの気密性および水密性を確認するために、漏れの存在、漏れ箇所または漏れ量を検出するために行う試験を漏れ試験という。漏れ箇所は、目視検査により直接漏れ箇所を観察する方法やバルブにヘリウムやアンモニアなどの気体を入れ、これらの微量な漏れを電氣的または化学的に検出する方法、液体染色剤の漏れを検出する方法、または試験部に塗布した石けん液の発泡の有無などを用いて検出する。

ASNT (American Society for Nondestructive Testing)で発行している HANDBOOK には、Leak Testing を次のように分類している。

FIGURE 3. Graphical decision tree for step-by-step selection of leak testing methods.





近年、揮発性有機化合物(VOC)の大気排出抑制に係る海外規制、例えば EPA(Environmental Protection Act) Method 21, 96/61/EC(EU 指令 : concerning integrated pollution prevention and control), TA-Luft/VDI2440(Technische Anleitung Reinhaltung der Luft / Requirements of the guide line)等に基づき、バルブの Packing 及び Gasket 部からの漏れを規定する規格や発注者による仕様が増えてきている。日本でもこれらの規格による認証を取得しているバルブメーカーが増えている。

これらの規格に関連して、前述した漏れ試験の中で、ヘリウムデテクター (“Helium Mass Spectrometer”) を用いた方法について概略を解説します。

JIS Z2330 「ヘリウム漏れ試験方法の種類及びその選択」よりヘリウム漏れ試験方法の特徴を次のように表にまとめています。

試験方法	試験の実施例(系統構成)	試験体の条件					適用例	特徴			
		位置 定め	容積大 (10 ⁻³ m ³)	形状が 複雑	強度が 弱い	数量が 多い					
真空法	真空吹付け法 (スプレー法)	●	●	○	○	○	△	×	真空容器 真空部品 溶接ベローズ 気密端子 配管類	・漏れ位置がわかる。 ・漏れ量が定量できる。 ・非常に小さいリーク量 (1×10 ⁻¹⁰ Pa・m ³ ・S ⁻¹) まで検出できる。	
	真空外覆法 (真空フード法)	●	△	●	○	○	△	△	真空容器 真空部品 溶接ベローズ 気密端子 配管類	・漏れ量の定量性が良い。 ・非常に小さいリーク量 (1×10 ⁻¹⁰ Pa・m ³ ・S ⁻¹) まで検出できる。 ・全体を一度に試験できる。	
	真空積分法	●	△	○	○	○	△	△	真空容器 真空部品 溶接ベローズ 気密端子 配管類	・非常に小さいリーク量 (1×10 ⁻¹¹ Pa・m ³ ・S ⁻¹) まで検出できる。 ・全体を一度に試験できる。	
加圧法	吸込み法 (スニッファー法)	○	●	○	●	○	○	△	×	配管類 バルブ継手類 タンク類	・漏れ位置がわかる。 ・試験に漏れ 試験に適している。
	加圧積分法	●	△	●	●	○	○	△	×	配管類 タンク類	・漏れ量が定量できる。 ・全体を一度に試験できる。 ・内圧のかかる試験体の漏れ 試験に適している。
	吸盤法 (サクショカップ法)	○	●	●	×	○	△	△		タンク類	・吸込み法(スニッファー法) より最小検出リーク量が小 さい。
真空容器法 (ベルジャー法)	○	△	△	○	○	○	●		タンク類 低圧二重構造容器	・ヘリウムガスを封入した試 験体全体の漏れ量が定量で きる。	
浸せき法 (ボンピング法)	○	△	×	○	○	○	●		パッケージIC	・内部にヘリウムガスを密封 できない物品に適用できる。 ・小容積の量産品を短時間で 試験できる。	

◎:適 ○:可 △:難 ×:不適

その他の規格では、ASME Sec.V, ARTICLE 10 (LEAK TESTING), BS EN 1779 (Leak Testing)等がある。



バルブに関する漏れ試験としては、ISO15848-1(Industrial valves-Measurement, test and qualification procedure for fugitive emission, Part 1: Classification system and qualification procedure for type testing of valves), Iso15848-2(Part 2: Production acceptance test)に試験方法及び判定基準が規定されている。ISO15848-1 の主な点について次に解説します。

・試験圧力：適用規格又は発注仕様書（例えば後述する SHELL-GSI, MESC SPE 77/300-2007）に従う。

・試験温度：-196℃、-46℃、室温、200℃、400℃の中から仕様に近い温度範囲を選定する。

・作動回数：

on-off valves→500回×2 thermal cycles（室温を除く）+1000回×1 thermal cycle + 1000回×1 thermal cycle

control valves→20,000回×2 thermal cycles（室温を除く）+40,000回×1 thermal cycle + 40,000回×1 thermal cycle

・試験箇所及び判定基準：

Body seals(Gasket 部)→50 ppmv 以下

Stem seals(Packing 部)→Class A $\leq 10^{-6} \text{ mg.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$ （ペローシール又は quarter turn valves）

Class B $\leq 10^{-4} \text{ mg.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$ （PTFE Packing 又は elastomeric seals）

Class C $\leq 10^{-2} \text{ mg.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$ （flexible graphite packings）

（上記漏れ量は Stem の円周 m をかける。）

・試験方法及び試験流体

-Vacuum method (helium only)前述 JIS の真空容器法の例 1 に相等する。

(Class A は、この Vacuum method しか認めていない。)

-Flushing method (helium or methane)前述 JIS の真空容器法の例 2 又は 3 に相等する。

-Sniffing method (helium or methane)前述 JIS の吸込み法に相等する。

参考：

・試験流体は、Helium Gas を推奨する。Methane で実施する場合は装置及び試験環境の安全を十分確保してください。



トピックス : 漏れ量を表す単位のお話、“ppm”又は“mg”より、“atm.cm³”又は国際単位“Pa.m³”が一般的と思われるので、Helium の場合で換算してみましょう。

ISO 15848-1, Annex A/A.1.7 より、

$$Lm=Lv \times \rho \dots 1 \text{ 式} \quad Lm: \text{mg/s} \quad Lv: \text{atm.cm}^3/\text{s} \quad \rho: \text{mg/cm}^3$$

ここで条件が必要になる。

ヘリウムデテクターのスニファー方式による吸引量を $Lv=0.5 \sim 1.0 \text{ atm.cm}^3/\text{s}$ (島津製作所 Model MSE-2000 の場合) とすると、

ヘリウム 1ppm, 20°C, 1 cm³ の重量(g)は、 $p^*v=(w/M)*R*T$ から、

$$w=(M*p^*v)/(R*T)$$

He の分子量 M: 4.0026

p: 1 atm

v: 0.001 liter

R: 0.08205447 liter.atm.deg⁻¹.mol⁻¹

T: (20°C) 293.16K

$$\therefore w=1.665 \times 10^{-4} \text{ (g)} = 0.1665 \text{ mg/cm}^3 \text{ (例: } 0^\circ\text{C での He の密度は、} 0.1785 \text{ mg/cm}^3\text{)}$$

20°C, 1ppm の He の Density は、 $0.1665 \times 10^{-6} \text{ mg/cm}^3$

従って、1ppm, 0.5atm.cm³/s の時は 1 式より、

$$Lm=0.5 \times 0.1665 \times 10^{-6}=0.08325 \times 10^{-6} \text{ (mg/s)}=0.500246 \times 10^{-6} \text{ (atm.cm}^3/\text{s)}=0.0506874 \times 10^{-6} \text{ (Pa.m}^3/\text{s)}$$

50ppm とすると、20°C のヘリウムで、約 $2.5 \times 10^{-6} \sim 5.1 \times 10^{-6} \text{ (Pa.m}^3/\text{s)}$ が漏れ量となる。

(これらの数値の検証は、大気中に含まれるヘリウムを 5ppm とすると、上記スニファーで 0.5~1 atm.cm³/s 吸引したとして、約 $2.6 \times 10^{-7} \sim 5.13 \times 10^{-7} \text{ (Pa.m}^3/\text{s)}$ となり、測定値と概略一致した。)

ppm 単位の計測ができないヘリウムデテクターは、漏れ量が ppm の場合、上記換算を必要とするが、スニファーの吸引量を計測できない場合、漏れ量の規定値が正確でなくなる。

mg/s を atm.cm³/s へ換算 :

$pv=nRT$ より、20°C、1 mg のヘリウムの容積をもとめる。

p: 1 atm

$$n=w/M=0.001/4.0026=2.498 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

R: 82.05447 atm.cm³.deg⁻¹.mol⁻¹

T: 293.16K (20°C)

$$\therefore v=2.498 \times 10^{-4} \times 82.05447 \times 293.16=6.00896 \text{ atm.cm}^3$$

$$1 \text{ mg/s}=6.00896 \text{ atm.cm}^3/\text{s}$$

(0°C の場合は、1mg/s = 5.5990 atm.cm³/s となります。)

また、

$$1 \text{ atm.cm}^3/\text{s}=0.101325 \text{ Pa.m}^3/\text{s}$$

注意)

上記 ppm から Leakage Rate への換算方法は参考例であり、正確な値については各ヘリウムデテクターのメーカーへ問い合わせることを推奨します。

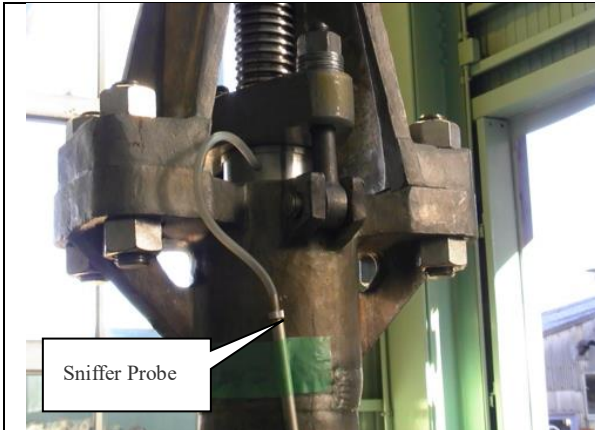


・ MESC SPE 77/300-2007 :PROCEDURE AND TECHNICAL SPECIFICATION FOR TYPE ACCEPTANCE TESTING (TAT) OF INDUSTRIAL VALVES, APPENDIX E FUGITIVE EMISSION PROTOTYPE TESTING と ISO15848-1 との主な違い ;

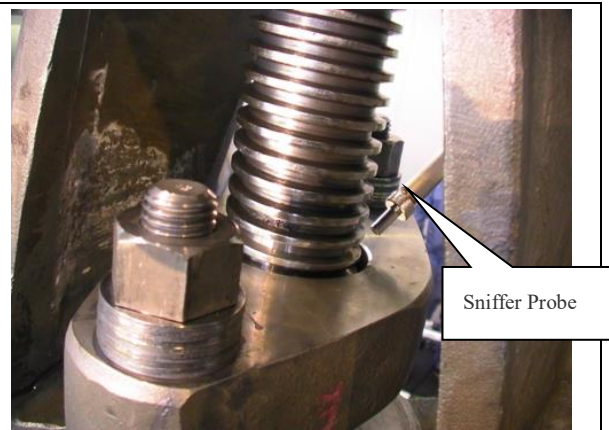
1) 漏れ量 : Class A $\leq 10^{-6} \text{ mg.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$ に対して、Class A(HS)と記号を区別し、値を $\leq 10^{-5} \text{ mg.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$ と一桁ゆるくしているが、Packing/Gasket 及び Valve 構造に関係なく適用している。極めて厳しい値と考える。尚且つ、作動時も満足しなければならない。

2) 作動回数は、on-off valves で最低 200 回、control valves で最低 20,000 回と少ない。

3) Class A(HS)でも Sniffing method を認めているが、実際に試験を行うとバックグラウンドの影響が大きく、正確な漏れ量を測定することが難しい。



Gland に穴を通して漏れ量を測定すると比較的安定している。
全周の漏れを一か所で測定するため、漏れ量が右の方法に比べ多くなる。



直接 Gland Packing 部の漏れ量を測定すると不安定になる。
Shell の規定では、全周を計測し、ピークを合算しなければならない。但し、バックグラウンドの3倍まではカウントしない。

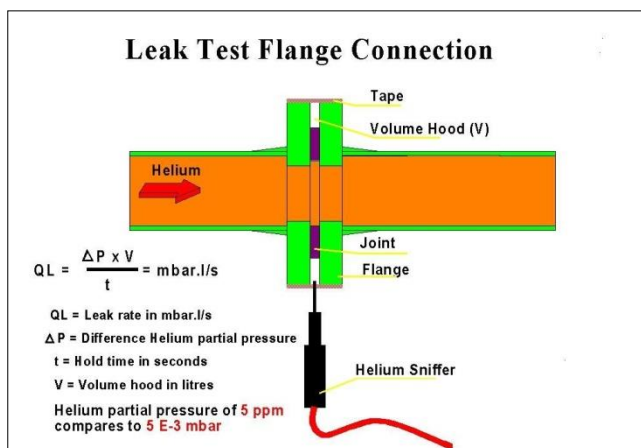


左は、フランスの公認試験機関 CETIM で実際にヘリウム漏れ試験を実施した時の写真ですが、このように Bonnet Yoke(Gland Packing 部)をチャンバーで囲い真空容器法で実施した参考例です。このようにすれば正確な漏れ量を測定できますが、低温試験、高温試験、バルブの形状によっては難しいと考えます。



上記写真は、ガスケット部の FE TEST を示した一例です。BODY-BONNET JOINT 部にアルミテープでシールし、GASKET JOINT 空間部に穴を明けタップを切り、ステンレスパイプで延ばした状態を示しています。この様な状態にすると低温下、高温下で直接ヘリウムリークを計測できますが、PROTOTYPE TEST に適用することを推奨します。一般的には、アルミテープに穴を明けスニファープローブを差し込む方法になります。低温試験では、バルブを一度低温槽から引き揚げて実施しますが、大型弁では危険を伴いますので、この様な方法を事前に顧客へ承認してもらおうと良いでしょう。ラインフランジも同様に実施できます。

ガスケット部の FE TEST の場合、ガスケット空間部の容積により、漏れ量を算出する方法があります。このような方法を Accumulation method と呼んでいます。下記に例を示しますので参考にしてください。この方法でガスケット部の漏れ量を計測する場合は、計算方法を含めて顧客の承認を取ってください。





The leak detector must be calibrated with a helium concentration (ppm or %).
A possible raise of helium concentration in a known volume with a atmospheric pressure, during a test duration, will be a value for a leak rate.
A possibility is to calibrate the leak detector with the helium concentration in the atmosphere (5 ppm).
The best way for the machine reading is to calibrate the leak detector with a test gas with a known helium concentration, for example fresh air.
5 ppm helium concentration = 5E-6 on the leak detector.
In this case each ppm helium raise corresponds with a raise of 1E-6 on the leak detector.

The volume of the hood has to be known: determined or calculated.

Leak rate calculation

During the calibration, the sensitivity will be determined.

$$S = \frac{\Delta C_{He}}{(R_{K2} - R_{K1})}$$

S = sensitivity (ppm/ scale division)
 ΔC_{He} = 5 ppm (when air is used)
 R_{K2} = reading on leak detector air (5 ppm helium)
 R_{K1} = reading on leak detector Background (0 ppm helium), If Negligible small, value is "0".

$$\Delta C_{He} = S \cdot (R_2 - R_1)$$

ΔC_{He} = helium concentration raise (ppm)
S = sensitivity (ppm/ scale division)
 R_2 = reading second test
 R_1 = reading first test

When a leakage is observed, a leak rate can be calculated:

$$ql = \frac{\Delta C_{He} \cdot P_{atm} \cdot V_{hood}}{\Delta t \cdot C_{TG}}$$

ql= leak rate (mbar·l·s⁻¹)
 ΔC_{He} = helium concentration raise (ppm)
 P_{atm} = Pressure atmosphere (≈ 1000 mbar)
 V_{hood} = Volume hood (litres)
 Δt = duration (seconds)
 C_{TG} = Concentration Test Gas

(オランダ DCI 社のテキストから引用しました。)

この方法は、漏れ量の変化を経過時間で割り、容積を掛ける方法です。通常 1atm/1013mbar/0.1013 × 10⁶ Pa で Helium Concentration 100%=1、で行う場合が多いです。



・ API 622, Type Testing of Process Valve Packing for Fugitive Emission の規定があるが、下記装置を作り、Packing に対する試験を定めている。

主な点：

- 1) 試験流体：Methane Gas
- 2) 試験温度：室温から 260°C
- 3) 試験圧力：0 から 4.237MPa
- 4) 作動回数：1,500 回×3 thermal cycles
- 5) 漏れ量：許容漏れ量は規定していない。但し、500ppmv を超えた場合、Packing 再締付けとしている。

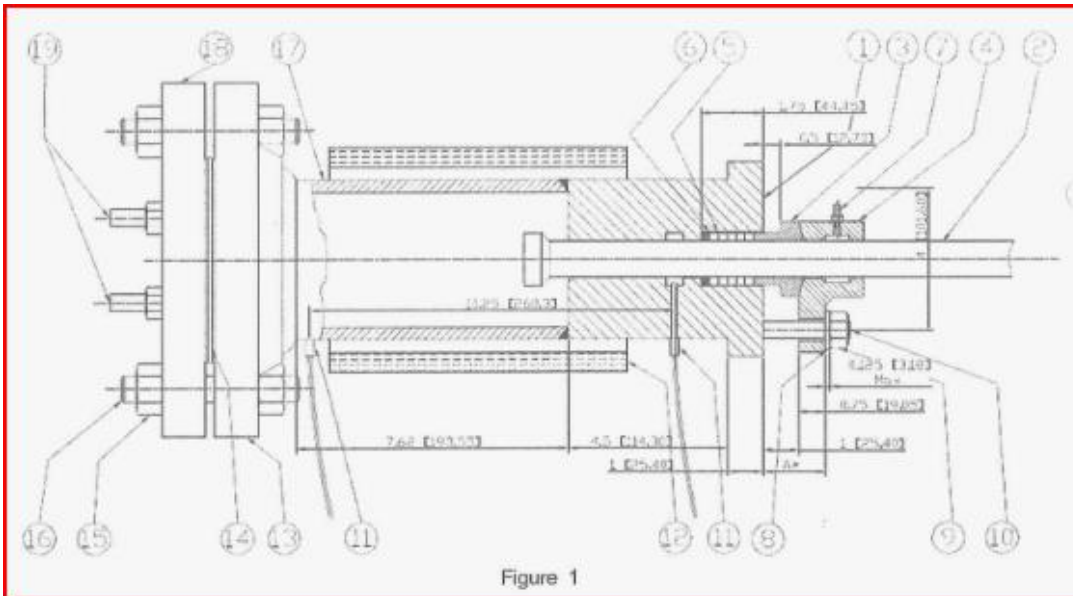


Figure 1

・ その他の参考；

Guideline VDI 2440 (Association of German Engineers) refers to average gas-like emissions for differing gasket systems but these are not upper limits as follows;

Table 1 – Average gaseous emissions (leakage) and valve gaskets [1]	
Gasket system	Leakage related to the average size of the gasket [mg/(s x m)]
Stuffing box with packing	1.0
Stuffing box with cup leather, O-ring	0.1
Stuffing box with packing, stuffing box with cup leather, O-Ring (with "TA Air Certificate" according to VDI 2440, Section 3.3.1.3)	0.01
Metallic bellows, sealed	0.01
Metallic bellows, sealed (with flat gasket possessing a TA Luft Certificate according to VDI 2440)	0.001
Stuffing box with packing and sealing medium/suction, metallic bellows, welded on both sides	No emission (technically leak-proof)

(www.valve-world.net より、引用しました。)