

原子力発第07001号  
平成19年 4月 9日

愛媛県知事  
加戸守行 殿

四国電力株式会社  
取締役社長 常盤 百樹

伊方発電所第3号機 制御用空気圧縮機A号機の不具合  
他1件に係る報告書の提出について

平成19年2月1日に発生しました伊方発電所第3号機 制御用空気圧縮機A号機の不具合、ならびに平成19年2月5日に発生しました伊方発電所第1号機脱気器加熱蒸気圧力制御弁からの空気漏れにつきまして、その後の調査結果がまとまりましたので、安全協定第11条第2項に基づき、別添のとおり報告いたします。

今後とも伊方発電所の安全・安定運転に取り組んでまいりますので、ご指導賜りますようお願い申し上げます。

以 上

伊方発電所第3号機  
制御用空気圧縮機A号機の不具合について

平成19年 4月  
四国電力株式会社

## 1. 件名

伊方発電所第3号機制御用空気圧縮機A号機の不具合について

## 2. 事象発生の日時

平成19年 2月 1日 14時50分頃

## 3. 事象発生の原子炉施設

計測制御系統設備 制御用空気圧縮機

## 4. 事象発生時の運転状況

通常運転中(電気出力920MW)

## 5. 事象発生の状況

伊方発電所第3号機(定格電気出力890MW)は、通常運転中のところ、制御用空気圧縮機<sup>\*1</sup>A号機の無負荷運転電流値および吸気弁周辺の温度が若干高い傾向を示していたため、2月1日13時30分頃、吸気弁No.4の消耗部品を取り替えて確認運転を実施したが、吸気弁周辺の温度が高いままであったため、14時50分頃、当該圧縮機の詳細な点検を行うこととした。

点検の結果、制御用空気圧縮機A号機の第1段シリンダ内にある吸気弁を押さえるアンローダバネ2個に折損および1個にひびがあることを確認した。その後、当該バネ3個を含む第1段シリンダ内の4個の吸気弁全てのアンローダバネを新品に取り替えて運転状態に異常のないことを確認し、2月7日10時00分、通常状態に復旧した。

本事象によるプラントの運転への影響および周辺環境への放射能の影響はなかった。

(添付資料 - 1, 2)

### \*1 制御用空気圧縮機

プラント運転(1次系、2次系設備)を制御するための空気作動弁等に供給する空気を発生する装置。

## 6. 時系列

2月 1日

9時30分頃	吸気弁No.4の消耗部品の取替開始
10時00分頃	外観点検にて吸気弁No.4アンローダバネ(上)の折損を確認
13時30分頃	確認運転開始
14時50分頃	吸気弁周辺の温度が高いままであったため、詳細点検が必要と判断
17時30分頃	詳細点検開始
20時10分頃	外観点検にて吸気弁No.3アンローダバネ(上)の折損を確認
20時20分頃	外観点検にて吸気弁No.2のアンローダバネ(上)の内側に傷があることを確認
21時20分頃	浸透探傷試験 <sup>*2</sup> にて吸気弁No.2のアンローダバネ(上)の内側傷に浸透指示模様を確認

2月 2日

17時50分頃 詳細点検完了

19時25分頃 試運転開始

2月 7日

10時00分頃 試運転を終了し通常状態に復旧

\* 2 浸透探傷試験

試験体の表面に開口している微細な傷に見えやすい色を持たせた浸透性の良い液体（浸透液）を浸み込ませ、再度表面に吸い出すことにより傷を拡大して見つけ出すことができる試験

7. 調査結果

無負荷運転電流値および吸気弁周辺の温度が高くなる原因として、吸気弁構成部品の不良が考えられるため、制御用空気圧縮機A号機の1段吸気弁4台を分解し、以下の調査を実施した。

(1) 外観点検

4台ある吸気弁のうち、折損を確認していた吸気弁No. 4アンローダバネ（上）に加えて、吸気弁No. 3アンローダバネ（上）が折損していることを確認した。また、吸気弁No. 2アンローダバネ（上）の内側および吸気弁No. 3, 4アンローダバネ（上）の内側（折損部付近）に、軸方向に垂直な擦り傷が認められた。

なお、アンローダバネ（上）に傷をつける要因となるものはなく、その他の吸気弁構成部品に、吸気弁周辺の温度が高くなる原因となるような部品脱落、割れ、異常磨耗の発生は認められなかった。

（添付資料 - 3）

(2) 浸透探傷試験

折損していなかった吸気弁No. 1, 2のアンローダバネ（上）について、浸透探傷試験を実施したところ、吸気弁No. 2のアンローダバネ（上）の内側の傷に異常を示す線状の指示模様が認められた。

なお、吸気弁No. 1のアンローダバネ（上）には浸透指示模様は認められなかった。

（添付資料 - 4）

(3) 金属調査

a. 破面マクロ観察<sup>\*3</sup>

(a) 吸気弁No. 3, 4アンローダバネ（上）の破面

折損となる起点に窪みが認められ、疲労破面の特徴である平坦な破面が確認された。それ以外の破壊を特徴付ける組織模様は認められなかった。

なお、破面には塩化物応力腐食割れにみられる錆やむしれは認められなかった。

（添付資料 - 5, 6）

\* 3 マクロ観察

顕微鏡による表面の接写拡大観察

b . 内側傷マクロ観察

( a ) 吸気弁 No . 2 のアンローダバネ ( 上 ) の内側傷から伸びたき裂が認められた。

( 添付資料 - 7 )

以上の金属調査により、疲労による割れの特徴を示している。

バネ折損の原因は、マクロ観察結果からバネ内面の傷 ( 窪み ) を起点とした繰り返し疲労によるものと推測される。

( 4 ) 運転状況調査

平成 1 8 年 1 2 月 2 5 日以降、当該機の無負荷運転時の電流値が上昇 ( 7 0 A 7 6 A ) していたが、その他のパラメータおよび運転状態 ( 振動 , 異音等 ) に異常は認められなかった。また、平成 1 9 年 1 月 2 5 日に吸気弁廻りの温度測定を行った結果、吸気弁 No . 1 , 2 , 3 廻りの温度は正常値である約 4 3 度であったが、吸気弁 No . 4 廻りの温度は約 5 3 度と高いことを確認していた。

なお、折損したバネは第 8 回定検 ( 平成 1 7 年 2 月 ~ 3 月 ) 時に取り替え後、繰り返し荷重を受けた回数は約 3 5 万回程度であった。

( 5 ) 保守状況調査

a . 制御用空気圧縮機 A 号機の当該バネの保守状況を調査した結果、第 8 回定検 ( 平成 1 7 年 2 月 ~ 3 月 ) 時に取替しており、この時の工場製作時の寸法検査、材料検査、外観検査などの検査結果を確認した結果、いずれも良好であり異常は認められなかった。

b . 第 9 回定検 ( 平成 1 8 年 4 月 ~ 7 月 ) における制御用空気圧縮機 A 号機の当該バネの保守状況を確認した結果、外観点検を実施し、異常磨耗や発錆等の異常がないことを確認していたが、内面目視検査および浸透探傷試験は実施しておらず、微少な内面傷の有無は確認できていない。なお、当該バネの取替周期は 2 定検毎であるため、第 9 回定検では取り替えはしていなかった。

c . 当該バネを含む制御用空気圧縮機については、保守点検や機能試験を毎定検実施しているが、特に異常は認められていない。

( 6 ) 設計および製作調査

当該バネの設計および製作状況について調査を実施した。

a . 設計調査

当該バネの材質、寸法等を確認し、応力集中がない場合の許容繰り返し数は 1 0 0 0 万回を上回り、設計上十分な余裕があることを確認した。

b . 製作記録調査

当該アンローダバネ ( 上 ) の製作に問題はなく、寸法・構造は、設計仕様どおりであることを確認した。

c . 製作状況調査

当該バネの組み込み状態および機器本体構造に問題はなく、バネ内側に軸方向に垂直な擦り傷がつく要因は現地ではなかったことから、工場における当該バネ

の製作状況を調査した。

当該バネは、素材メーカーで製造した素材（ステンレス棒）をバネ製作メーカーで螺旋状に加工し製作されている。

( a ) 素材（ステンレス棒）製造段階

素材（ステンレス棒）製造工程は以下の流れとなっている。

材料溶解 鋳造 圧延 伸線 熱処理 検査 出荷

上記各製造工程について、聞き取り調査により軸方向に垂直な擦り傷が発生する可能性について調査した。その結果、操作、機器形状からその可能性がないことを確認した。また、各工程間の素材の移動はリフトにて行っているが、素材と接触する床およびリフトの爪はゴム養生されているため、その可能性がないことを確認した。

( b ) バネ製作段階

バネ製作工程は以下の流れとなっている。

素材移動 コイリング 焼きなまし 検査 出荷

上記各製作工程について、工場立ち会い調査によりバネ内側の軸方向に垂直な擦り傷が発生する可能性について調査した。その結果、素材移動時には、その可能性があることがわかった。なお、コイリング以降の工程においては、操作、機器形状からその可能性がないことを確認した。

素材移動時における擦り傷発生メカニズムは次のとおりと推測される。

- ・素材の養生を取り除いた後、円状に束ねられた素材を軟鋼製の素材置きに設置する際、素材置きのガイドに凹凸があることから、素材の内側がガイドの凹凸部に接触することにより、素材内側に軸方向に垂直な擦り傷がつく。
- ・傷の面は素材の内側になっており、バネに加工する際、この面がバネの内側になる。

( 添付資料 - 8 )

d . 材料調査

アンローダバネ（上）の材料について、材料証明書を確認した結果、所定の材料が使用されていること、および規格値を満足しており問題のないことを確認した。

8 . 推定原因

( 1 ) アンローダバネ（上）の折損

バネ製作段階の素材移動時に発生させた擦り傷が起点となり、繰り返し荷重を受けることで、疲労破壊したものと推測される。

( 2 ) 無負荷運転電流値および吸気弁周辺温度の上昇

吸気弁 No . 4 の当該バネを含む消耗部品は取り替えたが、吸気弁 No . 3 のアンローダバネ（上）は折損していたため、吸気弁 No . 3 は無負荷時に吸気弁ピストンに駆動圧力が加わっても当該バネ折損によりアンローダフォークが途中までしか下降せず、吸気弁が全開にならない状態となった。このため、吐出工程において吸気弁 No . 3 で空気抵抗が発生することにより、シリンダ内で若干圧縮が発生するため、無負荷運転電流値が上昇したものと推測される。また、圧縮され温度上昇した空気は、空気抵抗の少ない吸気弁 No . 4 から吐出されることにより、吸気弁 No . 4 廻りの温度が上昇したものと推定される。

( 添付資料 - 9 , 10 , 11 )

## 9 . 対策

- ( 1 ) 当該バネを非破壊検査および外観点検を実施した新品に取り替えた。また、制御用空気圧縮機 B 号機の同型バネについても A 号機同様に検査・点検し、念のため新品に取り替えた。
  
- ( 2 ) 当該バネについて、受け入れ時に内面目視検査および浸透探傷試験を実施することとした。  
また、今回の事象においてバネ内側の軸方向に垂直な擦り傷が発生する可能性があることがわかった旨、あらためてメーカーに周知するとともに、メーカーへの発注時の要求事項として、製作時の検査項目に内面目視検査と浸透探傷試験を追加することとした。
  
- ( 3 ) 運転中の故障に対応するため、当該バネ( 1 台分 4 巻 )の予備品を常備しておく。

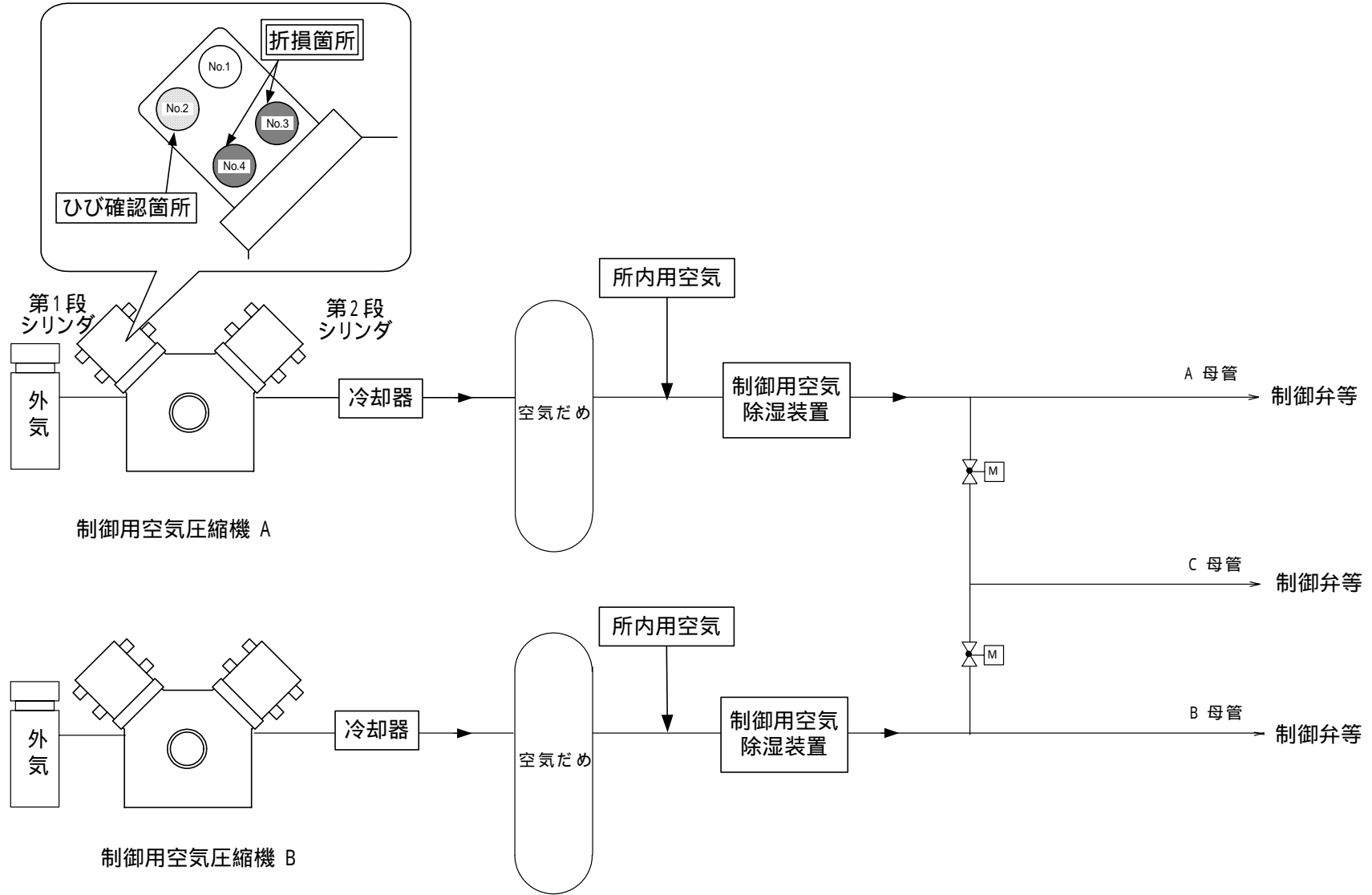
以 上

## 添 付 資 料

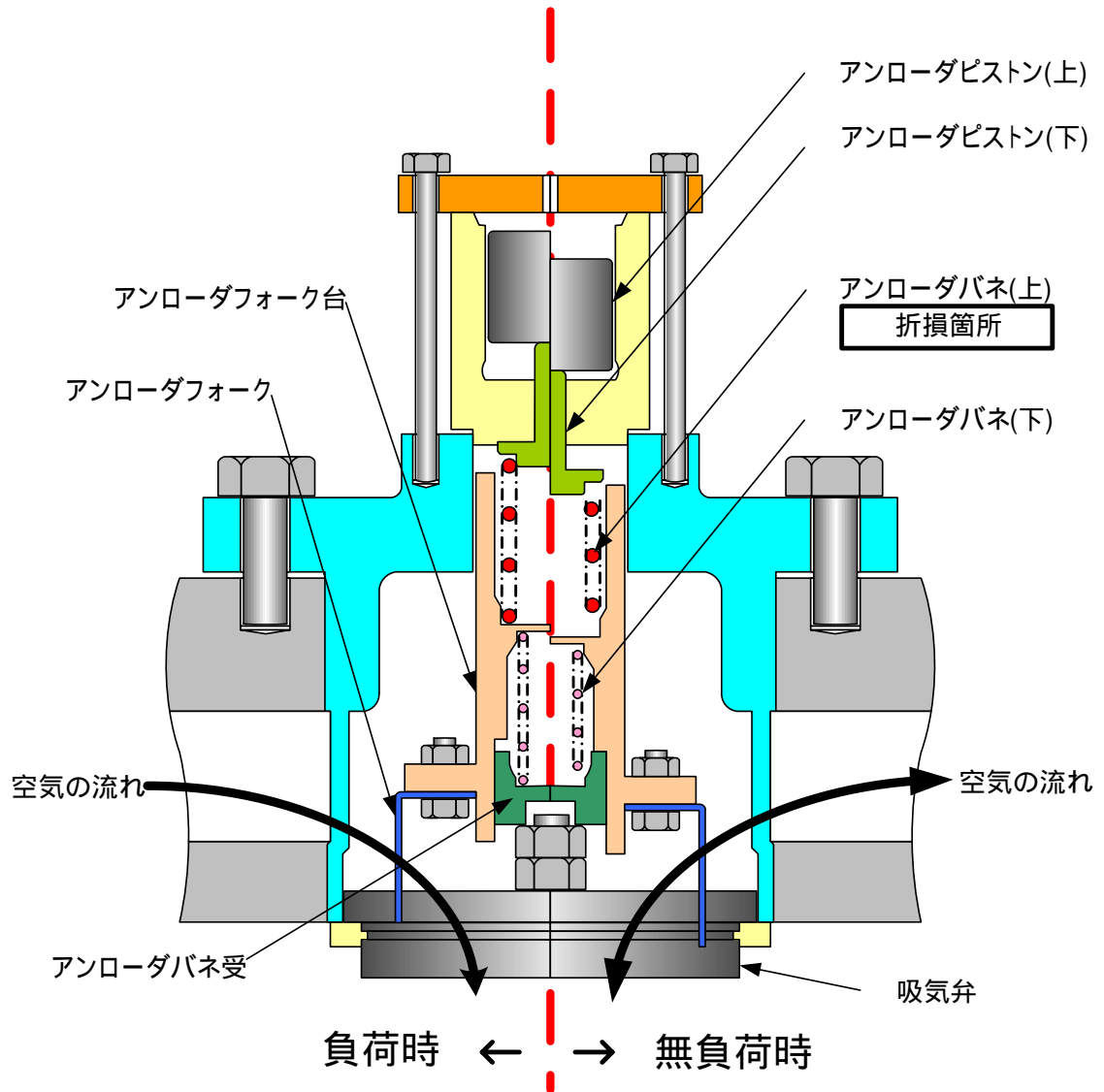
- 添付資料 - 1 伊方3号機 制御用空気圧縮機概略系統図
- 添付資料 - 2 第1段シリンダ吸気弁 概略構造図
- 添付資料 - 3 外観点検結果  
(吸気弁No. 1～4 アンローダバネ(上))
- 添付資料 - 4 浸透探傷試験結果  
(吸気弁No. 1, 2 アンローダバネ(上))
- 添付資料 - 5 破面マクロ観察結果  
(吸気弁No. 3 アンローダバネ(上))
- 添付資料 - 6 破面マクロ観察結果  
(吸気弁No. 4 アンローダバネ(上))
- 添付資料 - 7 内側傷マクロ観察結果  
(吸気弁No. 2 アンローダバネ(上))
- 添付資料 - 8 バネ製作段階 コイリング工程概略図
- 添付資料 - 9 第1段シリンダ吸気弁 負荷運転時の動作概略図  
(正常時)
- 添付資料 - 10 第1段シリンダ吸気弁 無負荷運転時の動作概略図  
(正常時)
- 添付資料 - 11 第1段シリンダ吸気弁 No.3アンローダバネ(上)  
折損時の動作概略図





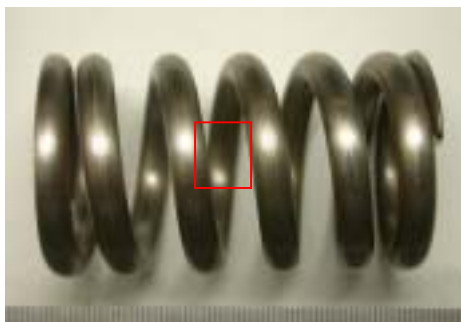
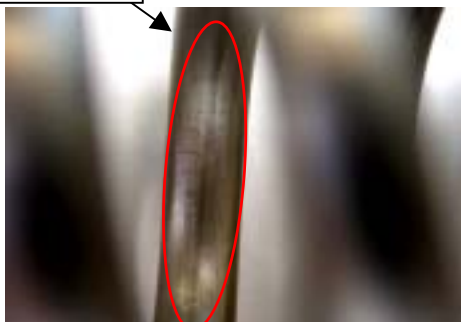




### 伊方3号機 制御用空気圧縮機概略系統図



第1段シリンダ吸気弁 概略構造図



## 外観点検結果（吸気弁No. 1～4アンローダバネ（上））

No.1			健全
No.2			傷あり
No.3			折損
No.4			折損
<p><b>【観察結果】</b>          アンローダバネ No.3 及び No.4 は折損していた。          アンローダバネ No.2 の内側に傷が認められた。          アンローダバネ No.1 に異常は認められなかった。</p>			

浸透探傷試験結果（吸気弁No. 1, 2 アンローダバネ（上））

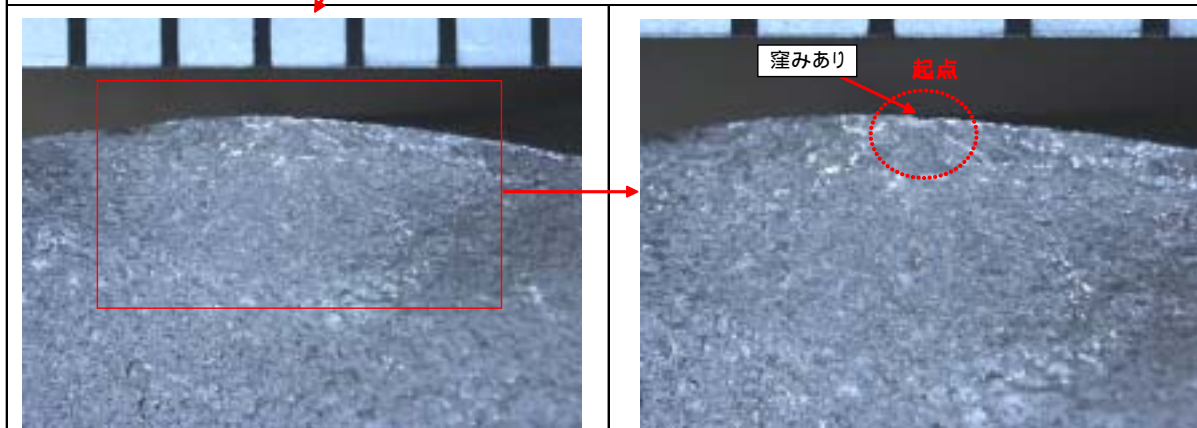
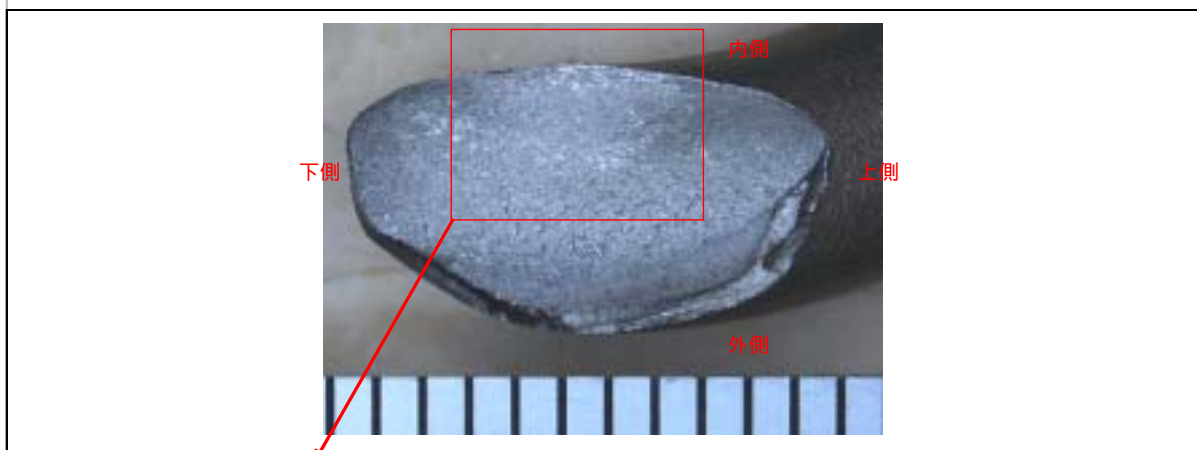
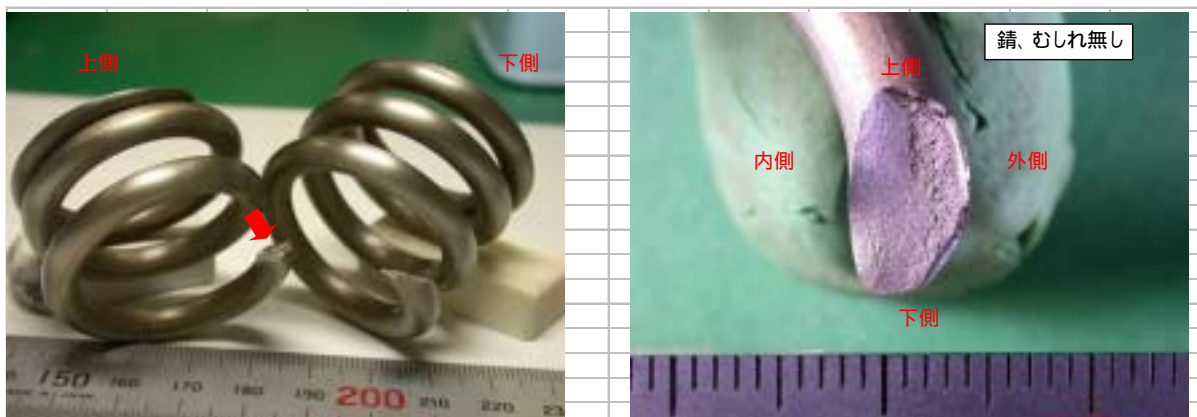
吸気弁No. 1 アンローダバネ（上）：浸透指示模様なし。



吸気弁No. 2 アンローダバネ（上）：異常を示す浸透指示模様あり。



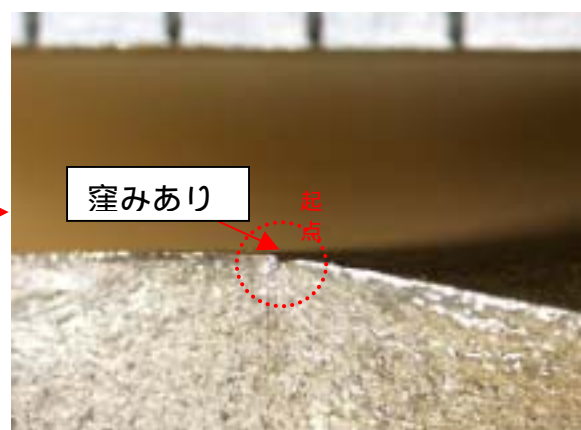
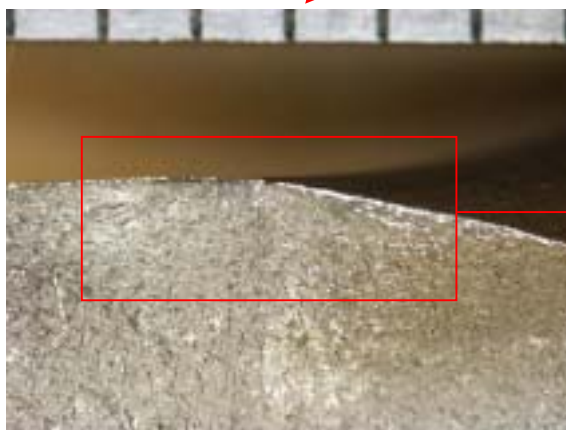
## 破面マクロ観察結果（吸気弁No. 3 アンローダバネ（上））



## 【観察結果】

- ・破面はほぼ平坦であり、疲労破面の特徴を呈し、それ以外の破壊を特徴付ける組織模様は認められなかった。
- ・起点に窪みが認められた。
- ・破面には塩化物応力腐食割れにみられる錆やむしれは認められなかった。

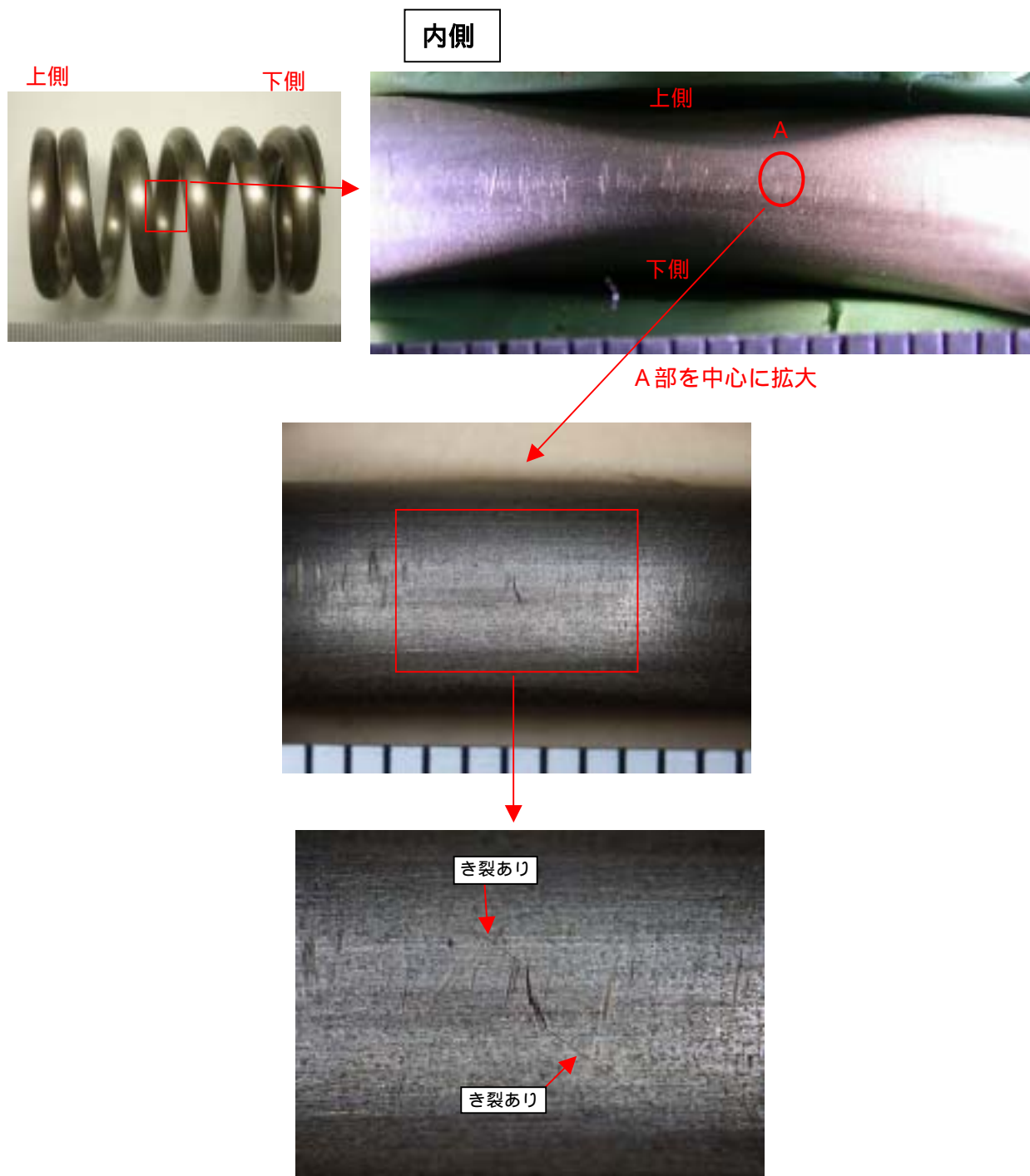
破面マクロ観察結果（吸気弁No. 4 アンローダバネ（上））



【観察結果】

- ・破面はほぼ平坦であり、疲労破面の特徴を呈し、それ以外の破壊を特徴付ける組織模様は認められなかった。
- ・起点に窪みが認められた。
- ・破面には塩化物応力腐食割れにみられる錆やむしれは認められなかった。

内面傷マクロ観察結果（吸気弁No. 2 アンローダバネ（上））



【観察結果】

アンローダバネ No.2 の内側傷から伸びたき裂が認められた。

## バネ製作段階 コイリング工程概略図

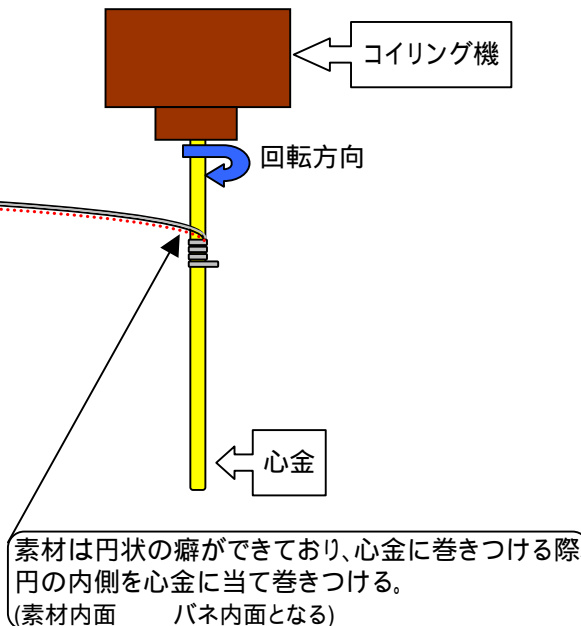
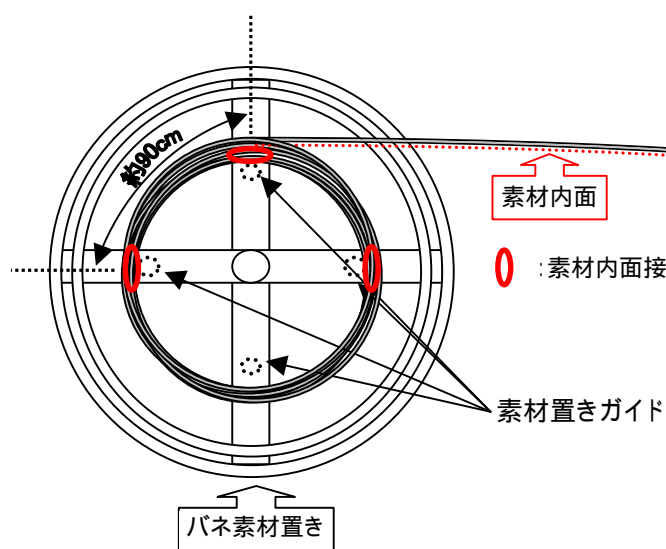


バネ素材置き



コイリング機

バネ1本当たりの製作に必要な線材の長さ = 約90cm



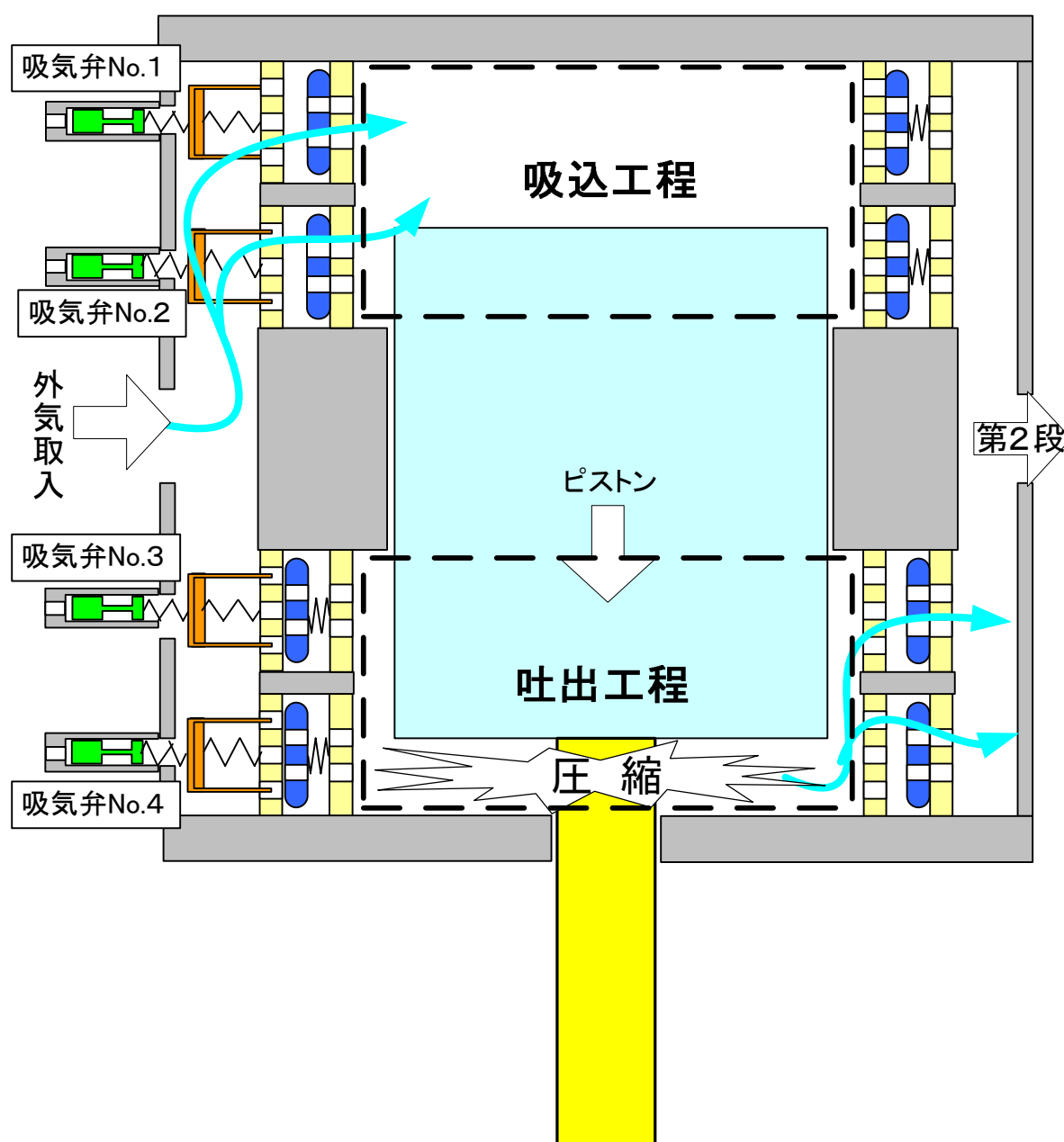


## 第1段シリンダ吸気弁 負荷運転時の動作概略図（正常時）

吸気弁ピストンの駆動圧力（計装空気）がないため、アンローダバネ（下）の力でアンローダフォークが上昇している。

吸込工程：ピストンが下降することにより、吸気弁から空気を吸入する。

吐出工程：ピストンが下降することにより、圧縮された空気が排気弁から空気を吐出する。

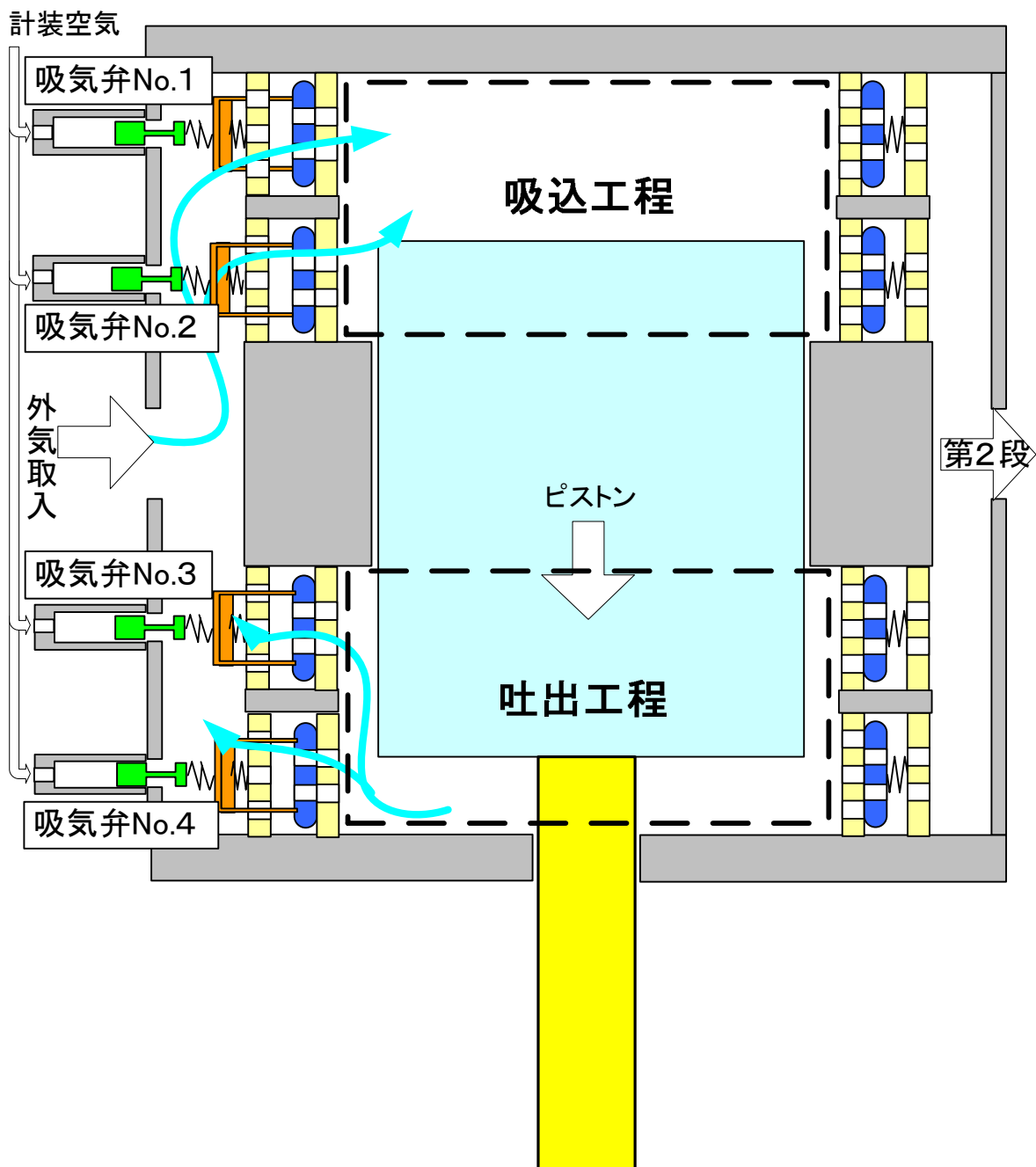


## 第1 段シリンダ吸気弁 無負荷運転時の動作概略図（正常時）

吸気弁ピストンに駆動圧力(計装空気)が加わることにより、アンローダフォークが下降している。

吸込工程：ピストンが下降することにより、吸気弁から空気を吸入する。

吐出工程：ピストンが下降してもアンローダフォークが下降していることにより、圧縮されず吸気弁から空気を吐出する。



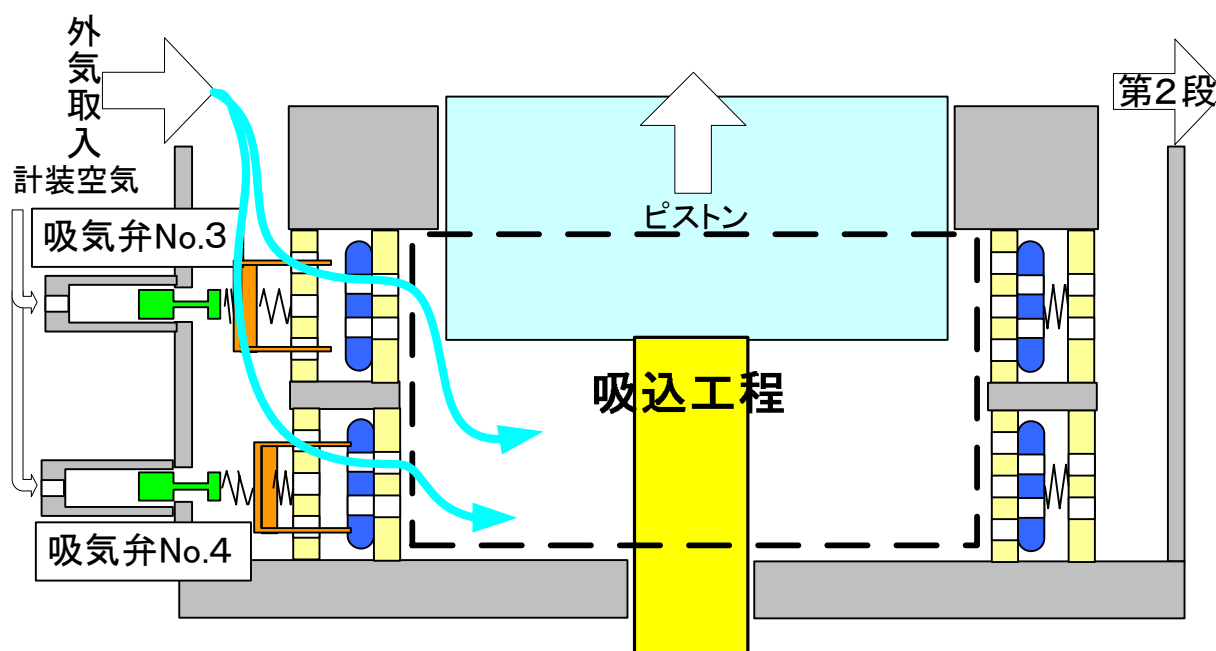
## 第1段シリンダ吸気弁 No.3アンローダバネ（上）折損時の動作概略図

1. 負荷時（正常時と同様）

2. 無負荷時

吸気弁ピストンに駆動圧力(計装空気)が加わっているが、アンローダバネ（上）が折損していることによりアンローダフォークが途中までしか下降しない。

吸込工程：ピストンが下降することにより、吸気弁から空気を吸入する。



吐出工程：アンローダフォークが途中までしか下降していないことにより、吸気弁No.3が全開にならない。そのため、ピストン下降により吸気弁No.3で空気抵抗が発生し、若干圧縮されることによりシリンダ内空気の温度および無負荷運転電流値が上昇する。

また、圧縮され温度上昇した空気は、空気抵抗の少ない吸気弁No.4から吐出されるため、吸気弁No.4の周辺温度が高くなる。

