

【取扱い厳重注意】

平成24年7月17日

## 聴取結果書

東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会事務局

局員 松本 朗

平成24年3月8日、東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証のため、関係者から聴取した結果は、下記のとおりである。

### 記

#### 第1 被聴取者、聴取日時、聴取場所、聴取者等

##### 1 被聴取者

株式会社日立製作所情報制御システム社 原子力制御システム設計部

主任技師 [REDACTED]

同部

担当部長 [REDACTED]

日立 GE ニュークリア・エナジー株式会社 原子力制御計画部 計装制御計画グループ

主任技師 [REDACTED]

同グループ

主任技師 [REDACTED]

同グループ

[REDACTED]  
(立会人)

株式会社日立製作所 福島原子力発電所プロジェクト推進本部

副本部長 [REDACTED]

##### 2 聴取日時

平成24年3月8日午後1時6分から同日午後5時10分まで

##### 3 聴取場所

東京都千代田区大手町1丁目3番3号 大手町合同庁舎3号館9階

東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会事務局 919号室

##### 4 聴取者

技術顧問 淵上正朗

参事官補佐 加藤経将

参事官補佐 松本 朗

【取扱い嚴重注意】

5 ICレコーダーによる録音の有無等

- あり
- なし

第2 聴取内容

福島第一原子力発電所1号機等の主要計装機器について  
詳細は、別紙のとおり。

第3 特記事項

なし

以上

## 【取扱い厳重注意】

### 別 紙

日付は、特に断りがない限り、平成 23 年 3 月の日付である。

#### 第 1 担当号機

株式会社日立製作所（以下「日立」という。）は、福島第一原子力発電所（以下「福島第一原発」という。）1～3号機のうち、1号機のプラントを担当していることから、主に1号機の計装機器について説明する。

#### 第 2 主要計装機器

##### 1 伝送器一般等

圧力が直接作用する伝送器の隔液ダイアフラムは、XXXXXXXXXXステンレス製で、75Mpa までの圧力及び 302℃までの高温に耐えることができる。

隔液ダイアフラムに作用した圧力を電気抵抗に変換する半導体圧力センサは、XXXX℃の状況下において約XX時間耐えられる。

後述する基準面器側配管及び炉側配管は、1000℃まで耐えられる SS ステンレスでできており、その径は 2 cm 程度である。

##### 2 圧力伝送器等

原子炉圧力の計測には、圧力伝送器が使用されている。伝送器の構造図（資料 1）を使って説明する。

圧力伝送器は、原子炉建屋（以下「R/B」という。）にある計装ラック内に設置されている。圧力伝送器のプロセス圧力側には、原子炉圧力容器（以下「圧力容器」という。）を貫通し、圧力容器の外側で、かつ、格納容器の内側に備え付けられた基準面器から伸びる計装用配管（以下「基準面器側配管」という。）が接続されている。そのプロセス圧力側の隔液ダイアフラム（シールダイアフラム）にかかる水圧を測定し、基準面器から隔液ダイアフラムまでの水頭圧を差し引くことで、原子炉圧力を計測する。

また、実際には、原子炉圧力計はゲージ圧を指示する仕組みとなっている。そのため、圧力伝送器において、プロセス圧力側の隔液ダイアフラムにかかる水圧と大気圧との差圧を測定し、その差圧がシリコンオイルから成る封入液を通じて半導体圧力センサに伝えられ、電気抵抗に変換されて電気回路で増幅された後、4～20 ミリアンペア（mA）の直流電流に変換、出力される。なお、下限値を 0mA ではなく 4mA としているのは、指示値がちょうど測定可能範囲の下限値を示している場合とダウンスケールしている場合とを区別するためである。

なお、1号機 R/B 内の計装ラックには、直接読み取ることができる原子炉圧力計も設置されている。この圧力計は、圧力伝送器に接続される基準面器側配管から分岐した配管に指示計が直接接続され、同配管内の水が、指示計内部にあるブルドン管内に入り、その水圧に応じてブルドン管が伸縮し、そ

## 【取扱い厳重注意】

の伸縮に応じて計測用の針が動いて圧力を指示する仕組みであり、電源を必要としない（資料2）。

### 3 差圧伝送器等

原子炉水位の計測には、差圧伝送器が使用されている。伝送器の構造図（資料1）を使って説明する。

差圧伝送器も、R/Bにある計装ラック内に設置されており、高圧側には圧力容器下部を貫通する炉側計装用配管（以下「炉側配管」という。）が、低圧側には基準面器側配管が、それぞれ接続されている。

炉側配管を通じて送られる水圧（以下「炉側配管圧力」という。）は高圧側の隔液ダイヤフラムに、基準面器側配管を通じて送られる水圧（以下「基準面器側配管圧力」という。）は低圧側の隔液ダイヤフラムに、それぞれ作用し、炉側配管圧力から基準面器側配管圧力を差し引いた値を計測し、その大小に応じて原子炉水位に変換、表示する。

燃料域水位計の炉側配管はジェットポンプ内に、広帯域及び狭帯域水位計の炉側配管はダウンカマに、それぞれ接続されている。

基準面器と圧力容器を結ぶ配管は、圧力容器側に向けてやや下り勾配になっており、基準面以上にたまった凝縮水は圧力容器内に流下する仕組みになっている。圧力容器の水位が基準面より上昇した場合には、基準面器全体が水で満たされることになる。その後水位が下がれば、基準面以上の水は圧力容器に流下して戻る。

停止域水位計は基準面器を用いていないが、圧力容器の上方に接続された配管の屈曲部から伝送器に至るまでの配管内を水で満たすことにより、基準面器を用いた場合とほぼ同様の仕組みで水位を計測している。

### 3 ドライウェル（以下「D/W」という。）圧力計

格納容器内のガスを圧力伝送器に直接導入して圧力を計測している。

絶対圧を計測する D/W 圧力計については、圧力伝送器の大気圧側は真空引きになっている。

1号機の R/B には、直接読み取ることができる D/W 圧力計が設置されている。これは、圧力伝送器に接続される計装配管から分岐して配管に指示計が直接接続され、D/W 内雰囲気と同配管内を通じて指示計内部にあるブルドン管内に入り、その圧力に応じてブルドン管が伸縮し、その伸縮に応じて計測用の針が動いて S/C 圧力を指示する仕組みとなっており、電源を必要としない。

### 4 圧力抑制室（以下「S/C」という。）圧力計

1号機では、S/C 気相部のガスを圧力伝送器に直接導入しており、基準面器を用いたタイプの S/C 圧力計はない。なお、S/C 水位計については、基準面器を使用している。

絶対圧を計測する S/C 圧力計については、圧力伝送器の大気圧側が真空引きになっている。

## 【取扱い嚴重注意】

### 第3 計装機器の誤計測、誤表示、それらの発生要因

#### 1 伝送器の電気回路と誤計測、誤表示

伝送器内の電気回路が、高温・高線量にさらされると、本来の性能を発揮することができなくなり、これが誤計測、誤表示の要因となる可能性がある。

1号機で使用されている伝送器は、コバルト 60 ( $\text{Co}^{60}$ ) を線源とする放射線の照射を [ ] レントゲン (R) (累積量) まで受けても本来の性能を発揮できる耐性を有している。 [ ]

実際に、 $\text{Co}^{60}$  を線源とする [ ] ( [ ] に相当) の放射線を、伝送器に対し、 [ ] 時間以上照射した場合に生じた測定誤差は、測定可能範囲の [ ] %程度にとどまった。ただ、この試験は常温の下で行われており、高温状態では、更に大きな誤差が生じる可能性がある。

このような放射線の影響による誤差は、高めに表示される場合もあれば、低めに表示される場合もあるが、あるときには高めに表示され、あるときには低めに表示されるというように上下することはなく、高低いずれかの方向へ徐々に誤差が広がっていく傾向にある。一度生じた誤差は、経験則上、不可逆的であり、自然には解消されないと考えられる。

他にも、伝送器の電気系統のトラブルによる誤計測、誤表示が生じる要因場合としては、接触不良、部品の破損、電源喪失等が考えられる。接触不良はバッテリーのつなぎかえでなおることがある。バッテリーが消耗すると、電圧が低下し、電気回路が不安定となることから、誤計測、誤表示が生じることがあるが、新しいバッテリーと交換すれば、誤計測、誤表示が解消される可能性がある。

また、隔液ダイヤフラムは強い耐性を有しており、簡単には損傷しないので、伝送器内の封入液が漏れるということは通常考えられない。

地震動による影響についても、伝送器に [ ] 力をかけて試験を行っているが、特段問題が生じたことはない。ただ、伝送器とは異なり、中央制御室に設置されている指示計、記録計等は指示針が揺れるなど、地震動による影響を受けることがある。

以上のような電気回路を用いる伝送器と異なり、先述した、直接読み取ることができる原子炉圧力計や D/W 圧力計については、電源を必要としないので、電気系統のトラブルによる誤計測、誤表示が生じるおそれはない。

#### 2 原子炉水位計の誤計測、誤表示が生じる要因

原子炉水位計は、基準面器を用いており、基準面器内の基準面まで水位が確保されていること及び炉側配管入口を上回る原子炉水位が確保されていることを前提として、炉側配管圧力から基準面器側配管圧力を差し引いた値を測定し、その測定値を原子炉水位に換算して水位を計測している。

## 【取扱い嚴重注意】

この基準面器内の水位が低下したり、基準面器側配管内の水が蒸発してその水位が低下してしまうと、本来一定であるべき基準面器側配管圧力が小さくなってしまいます。そうすると、炉側配管圧力と基準面器側配管圧力との間の差圧が小さくなり、差圧伝送器における計測上、炉側配管圧力から基準面器側配管圧力を差し引いた値は、基準面まで水位が確保されている場合に比べてその絶対値が小さくなり、原子炉水位計は、実際の原子炉水位よりも高めに誤計測、誤表示することになる。

また、原子炉水位が炉側配管入口部分よりも下回った場合、その部分より下で原子炉水位が変動しても、炉側配管圧力に変化が生じず、この場合、差圧伝送器は、炉側配管内及び基準面器側配管内の各水位の水頭圧差を計測するにすぎないことになるから、実際の原子炉水位の挙動を全く反映しない差圧を、原子炉水位に換算し、表示してしまうことになる。

さらに、基準面器側配管内及び炉側配管内の水が蒸発して両配管内の水位が低下し、格納容器外壁付近で配管周囲の環境が高温状態を脱し、圧力容器内雰囲気の影響を受けにくくなるため、各配管内の水の蒸発が収まると、両配管の水位はほとんど変化を示さず、両配管を通じて差圧伝送器内の隔液ダイヤフラムにかかる水圧もほとんど変化を示さなくなり、これらの差圧を換算して原子炉水位として示された指示値も、長時間にわたって変化を示さなくなる挙動を示すことが考えられる。

### 3 1号機 11日夜から12日朝にかけての原子炉水位計の指示

#### (1) 11日21時30分頃から12日零時30分頃までの原子炉水位計の指示

プラント関連パラメータによれば、この頃の原子炉水位計（燃料域、A系）の指示値は以下のとおり。

11日 21:30 TAF + 450mm（以下、全て TAF・mm。）

11日 22:00 + 550

11日 22:10 + 550

11日 22:20 + 590

11日 22:35 + 590

11日 22:47 + 590

11日 23:05 + 590

11日 23:24 + 590

12日 0:30 + 1300

この頃全く注水がなされていないにもかかわらず、水位が上昇しており、かかる水位計の指示は実水位を表しておらず、水位を誤計測、誤表示していたと考えられる。

具体的には、11日21時30分頃の時点で、実水位はBAFを下回り、既に基準面器側配管内の水が蒸発して水位が低下したことにより、本来一定であるべき基準面器側配管圧力が小さくなり、これにより、炉側配管圧力と基準面器側配管圧力との間の差圧が小さくなっていったと考えられる。か

## 【取扱い厳重注意】

かる状況下では、差圧伝送器における計測上、炉側配管圧力から基準面器側配管圧力を差し引いた値は、基準面まで水位が確保されている場合に比べて小さな値（絶対値）となり、原子炉水位計は、実際の原子炉水位よりも高めに誤計測、誤表示していたと考えられる。

### （２）12日零時30分頃から同日6時30分頃までの原子炉水位計の指示

プラント関連パラメータによれば、この頃、原子炉水位計（燃料域、A系）は、19回の計測で、いずれも TAF + 1300mm を指示した。また、原子炉水位計（燃料域、B系）は、同日2時10分頃から同日6時頃までの間、12回の計測で、いずれも TAF + 500mm を指示した。

しかしながら、かかる水位計の指示も実水位を表しておらず、水位を誤計測、誤表示していたと考えられる。

具体的には、12日零時30分頃の時点で、基準面器側配管内の水位が格納容器貫通部付近まで低下し、原子炉水位は、BAFより低い位置にある炉側配管入口部分を下回り、差圧伝送器は、炉側配管内及び基準面器側配管内の各水位の水頭圧差を計測するにすぎない状態となっていたことから、炉側配管入口より下で原子炉水位が昇降しても、かかる水位変動は検出されずに、高めで一定した指示値を誤計測、誤表示していたと考えられる。

### （３）12日6時30分頃以降の原子炉水位計の指示

プラント関連パラメータによれば、この頃の原子炉水位計（燃料域、A系）の指示値は

12日 6:30	TAF + 1300mm（以下、全て12日・TAF・mm。）
6:47	+ 1200
7:00	+ 900
7:15	+ 700
7:30	+ 100

であり、同水位計（燃料域、B系）の指示値は

6:30	+ 550
6:47	+ 400
7:00	+ 300
7:15	+ 250
7:30	+ 200

であった。

この頃、わずかではあったが、注水がなされており、圧力容器内に水が入って実水位がBAFを上回れば、水位変動による指示値の変化が復活して原子炉水位計の指示が上昇する可能性があったにもかかわらず、実際には原子炉水位計の指示が上昇せずに低下していた。かかる原子炉水位計の指示も実水位を表しておらず、原子炉水位を誤計測、誤表示していたと考えられる。

## 【取扱い嚴重注意】

具体的には、12日6時30分頃までに、熔融燃料が圧力容器下部に落下し、あるいは圧力容器が破損し、熔融燃料がペDESTALへ落下するなどしたため、格納容器内の炉側配管周辺で熱移動が生じて高温となり、炉側配管内の水が蒸発して水位が格納容器貫通部付近まで低下したため、炉側配管圧力から基準面器側配管圧力を差し引いた値（絶対値）が大きくなり、見かけの水位が低下して、原子炉水位計が誤計測、誤表示していたと考えられる。

### （4）前記（2）及び（3）におけるA系とB系の各指示値の相違

先述の（2）及び（3）における原子炉水位計の指示値がA系とB系とで異なっている。これは、D/W内における原子炉水位計（燃料域、B系）の基準面器側配管の引き回しが、原子炉水位計（燃料域、A系）のそれより水平方向に3m程長いことから、原子炉水位計（燃料域、B系）の基準面器側配管内の水位が、原子炉水位計（燃料域、A系）の基準面器側配管内の水位よりも低下しにくいことによると考えられる。

### 4 1号機 12日朝のD/W及びS/C各圧力計の指示の低下

プラント関連パラメータによると、12日朝、1号機のD/W及びS/C各圧力計の指示値が少し低下している。

この時点で、1号機R/B内は、計装ラックに設置されたD/W圧力計及びS/C圧力計の各圧力伝送器に不具合を生ぜしめる程度まで高温、高線量の状態とはなっていないと考えられる。

したがって、この頃の1号機のD/W及びS/C各圧力計の指示値が少し低下したのは、実際の圧力低下を表していると考えられる。

### 5 他の方式による原子炉水位計

基準面器を用いた原子炉水位計以外にも、格納容器の中に密度補正等を行う装置を備え付けたヤーウェイ式水位計があった。

しかしながら、スリーマイル島原子力発電所での事故を契機に、シンプルな仕組みから成る基準面器を用いた水位計が広く用いられるようになり、現在では、ほとんどの原発でこの基準面器を用いた原子炉水位計が用いられている。

### 6 原子炉水位計の誤計測、誤表示が生じる要因に関する東京電力株式会社（以下「東京電力」という。）を含む事業者による教育・訓練

現在では、基準面器を用いた原子炉水位計が広く用いられているが、先述したとおり、このタイプの水位計は、基準面器内や計装配管内の水位が低下した場合、実水位よりも高い水位を誤計測、誤表示する可能性がある。

そこで、東京電力をはじめとする事業者は、基準面器を用いた原子炉水位計の構造を理解した上で、基準面器内や計装配管内の水位が低下した場合、実水位よりも高い水位を誤計測、誤表示する可能性があることをきちんと運転員の訓練を通じて教育し、周知徹底することになっているはずである。

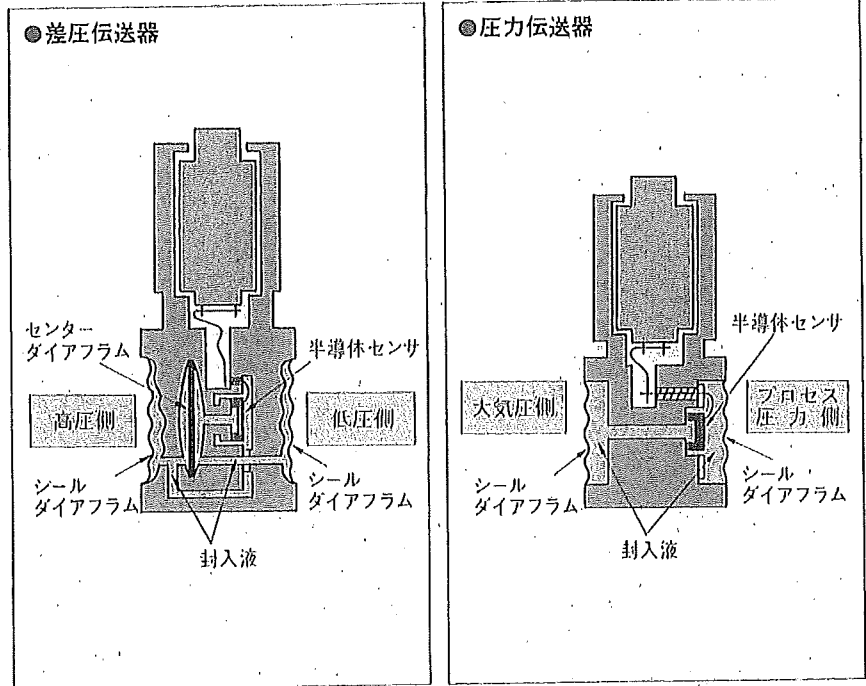


# 動作原理が簡単で、構造もシンプルです。

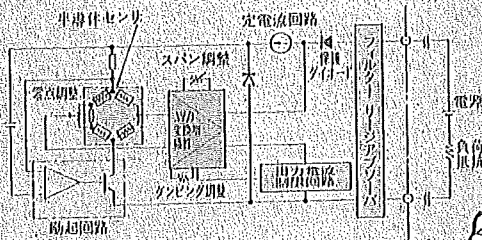
資料

本伝送器は、最新の半導体技術の採用により動作原理は極めて簡単で構造もシンプルになっています。まずプロセスから導かれた高圧側および低圧側の各圧力は、シールドダイヤフラムに加わり、封入液を介して半導体センサに伝わります。この結果、ピエゾ抵抗効果により半導体拡散ゲージの抵抗値が変化するため、これをブリッジ回路により取出し、増幅してDC4~20mAの出力信号を得ます。

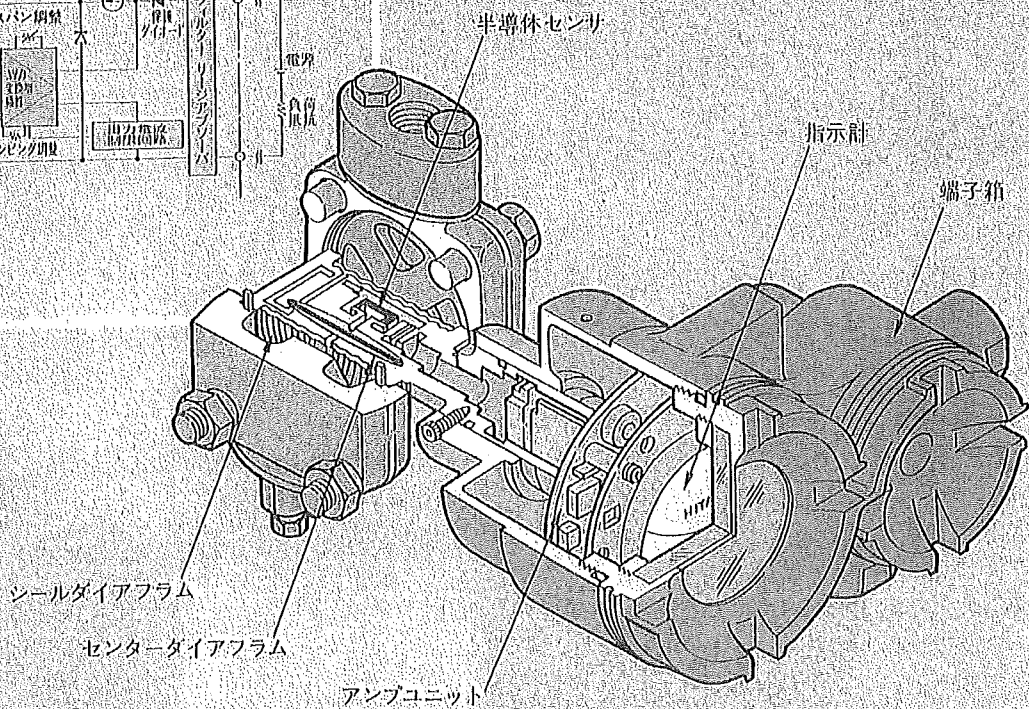
## 〈シンプルな構造の受圧部〉



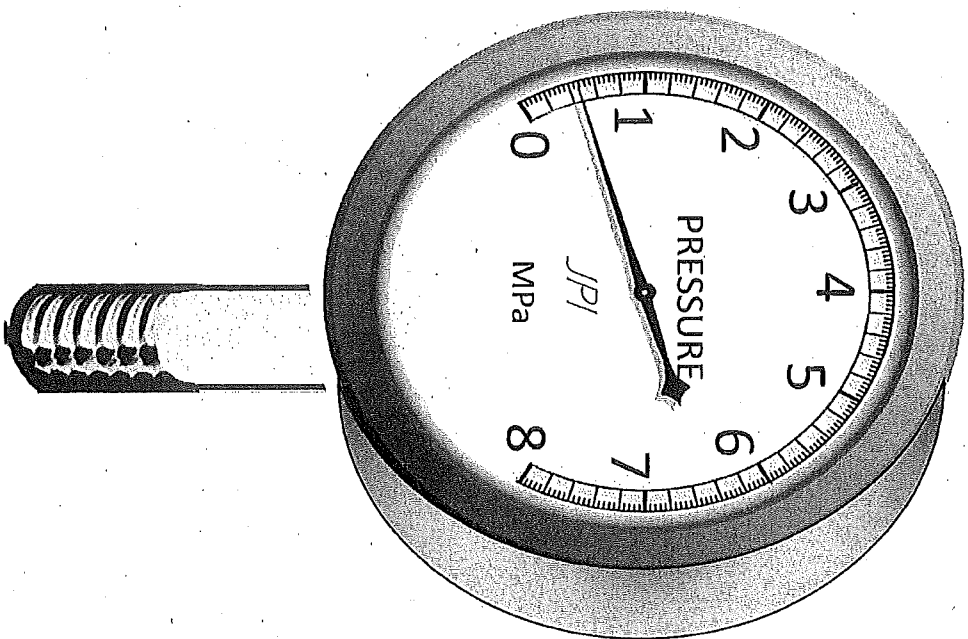
## ●回路構成



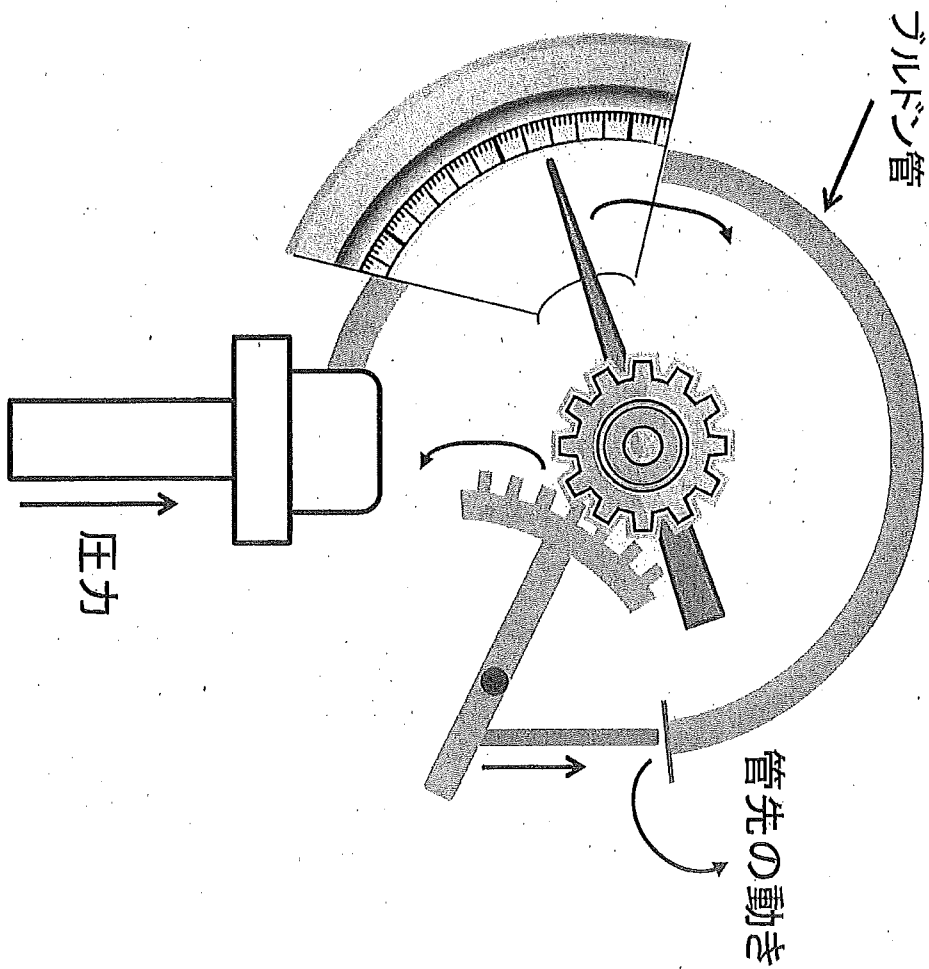
## ●差圧伝送器の内部構造



### 圧力計内のバルブ管と圧力測定の仕事



バルブ管式圧力計の外観



圧力計内のバルブ管の断面の形状が楕円であるため、管内の流体が加圧されるとバルブ管が反り返るように管先が動く。その動きが内部の歯車に伝わることで、指示針を回転させる。