U.D.C. 621.039.342+621.039.526]:681.2 531.787.1/.2+[543.51:546.11.064]

原子力用伝送器 Transmitters for Nuclear Plants

Hitachi, Ltd. has been manufacturing various types of detectors for nuclear power plants using light water reactors or fast breeder reactors, uranium enriching plants using centrifuge method or gaseous diffusion method, and radioactive waste treatment plants.

Dealt with in this report are some unusual types including pressure transmitters for fast breeder reactor use, amplifiers for level transmitter, water leak detecting systems, and pressure transmitters for uranium enriching plant use. Among them the NaK filling type pressure transmitters have been in service since 1969 at the Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation. The water leak detecting system is scheduled for delivery to the same corporation for use with a 50 MW steam generator. Also, 1 Torr absolute pressure transmitters are in use in the uranium enriching section.

藍 光郎*	Mitsuo Ai
山本芳己*	Yoshimi Yamamoto
岡山 努*	Tsutomu Okayama
長田太計男*	Takeo Nagata

日 緒 言

原子力プラントで使用する計測器は、大部分が一般産業用 として製品化されたものがそのまま利用されているが、検出 端は一般には放射能対策が、またプラントによっては高温、 真空、リークなど特殊な仕様が付加され、そのプラント専用 の検出端を開発せざるを得ないことが多い。 る場合には、周囲温度をナトリウムの融点以上にしない限り、 ブルドン管も圧力導入管もナトリウムが凝固し、計器の性能 を阻害し、はなはだしい場合はブルドン管が破損を起こすお それがある。このためダイヤフラムを併用して圧力伝達の媒 体に融点の低い22wt%Na-78wt%K、融点−11℃のNaKを封 入したEPR-3S形電子式隔膜置換器付圧力伝送器を使用す るケースが増している。

日立製作所においては,従来から軽水炉,高速増殖炉など の発電用プラント,遠心分離法やガス拡散法によるウラン濃 縮プラントおよび廃棄物処理プラントなどの検出端を製作し ているが,本報ではこれら検出端の中でも非常に特異な立場 を占める下記の伝送器を採りあげ報告する。

(1) 高速增殖炉 NaK封入式圧力伝送器

Na中水漏えい検出装置

(2) ウラン濃縮プラント 1Torr微絶対圧力伝送器

2 EPR-3S形電子式隔膜置換器(NaK封入)付 圧力伝送器

高速増殖炉の圧力測定や圧力制御などに用いられる圧力伝 送器の動作原理は,在来の原子力施設や一般工業界で用いら れるものと同じである。しかし,高速増殖炉は炉心を冷却す る一次冷却材に液体ナトリウムを用いるという特異な構造と なっているため,温度条件や高温ナトリウムふんい気などの 条件に合う計測方法が選定され,かつ良好な特性を得るため の種々の改良が加えられている。

ナトリウム系統の圧力測定には、次の目的がある。

- (1) プラントの安全確保のための圧力測定
- (2) ループ制御のための圧力測定
- (3) テストの目的で行なう圧力の精密測定
- (4) 圧力以外の測定のための間接的な測定手段としての圧力 測定(たとえば流量計の一部)

本伝送器は昭和44年度に動力炉・核燃料開発事業団(以下, 動燃事業団と略す)に建設されたNa流動伝熱試験施設に納入 以来,現在まで高速増殖炉関係の各種実験施設に継続して納 入されているものであり,すでに数多くのフィールド実績を 有するので,原理,仕様,温度特性,データなどを報告する。



```
以上の目的は,特にナトリウム系統のみに限定されるもの
ではなくて一般工業界でも全く同様である。ただし一般の工
業的用途では被測定液(または被測定気体)が直接ブルドン
管内に導入されることが多いが,ナトリウムの圧力を測定す
```

図 I EPR-3S形電子式隔膜置換器(NaK封入)付圧力伝送器 Na以外の高温流体の測定も可能である。

Fig. I Model EPR-3S Electronic Pressure Transmitter with Seal Diaphragm (NaK-filled)

* 日立製作所那珂工場

82

原子力用伝送器 日立評論 VOL. 55 No. 8 845

2.1 原 理

圧力-変位変換素子にはブルドン管を、変位-電気変換素子 にはストレイン ゲージを使用した一般工業的用途のEPR-3 形電子式圧力伝送器に、シリコーンオイルを封入したキャピ ラリ チューブを接続し、さらにこの先端にはNaK封入置換器 を接続する構成としている。被測定圧力は接液ダイアフラム を介してNaKに伝搬され、さらにシールダイアフラムを介し てシリコン オイルに伝搬され、最終的には圧力に比例した変 位をブルドン管に与える。

2.2 温度特性

図2の原理図に見られるように置換器は一種の液封式温度 計と同じであるため、周囲温度の変化、接液温度の変化など により封入液 (NaKおよびシリコーン オイル) は膨脹、収縮 することになる。

これにより、置換器内およびキャビラリ チューブ内の内圧, すなわち圧力伝送器のゼロ点は変化することになる。

たとえばキャピラリ チューブ長さ5m, 測定圧力範囲0~ 1kg/cm²の場合, 周囲温度60deg変化に対して2.9%フルスケ ール(以下F.Sと略す)となり, 接液部温度200deg変化に対 しては0.24%F.Sとなる。

2.3 結 果

図3および図4に示すように周囲温度および接液部温度に よるゼロ点変化は、計算値とよく一致し200時間の連続運転 でも結果は良好である。また接液部温度を144~602℃まで変 化させた場合での各温度における入出力特性も図5に示すよ うに良好な結果が得られた。



表 I EPR-3S標準仕様 – I ~ IOkg/cm²Gの圧力を直流伝送信号に変換して受信計器に伝送する。

Table I Standard Specifications of EPR-3

項	目	仕	様
圧 力	範囲	基準レンジ 適用 2 kg/cm ² G 0 4 kg/cm ² G 0 10kg/cm ² G 0	1範囲 $-1 \sim 0 - 2 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ $1-0 \sim -1 - 1 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ $-2 \sim 0 - 4 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ $1-1 \sim -1 \sim 3 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ $-4 \sim 0 - 10 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ $1 \sim 3 \sim -1 \sim 9 \text{ kg/cm}^2$ G
出	カ	DC 4 ~20mA また	(\pm DC 0 \sim 16mA
精	度	±0.5%F.S	
電	源	DC24V±2%また	こはDC18V ± 2 %
消 費	電力	DC24V×0.15A ま	t= (1 DC18V×0.1A
而打	圧	120%F.S	
使 用	温度	-20~+80°C	
接液	温度	0~650°C(圧力(0~200°C(ITor	0 ~基準レンジ) rr~基準レンジ)
材	質	ダイアフラム:SU 接液部:SUS 304 封入液:接液部 キャピラリ チュー	JS316L NaK -ブ シリコンオイル
+ + 1	ピラリ		
チュー	ブ長さ	各1,3,5m	

図2 原理 先端の高温接液部のみNaKを封入しており, 圧力はNaK-シリ コン オイル-ブルドン管へと伝搬される。

Fig. 2 A Principle of Pressure Transmitter with Seal Diaphragm (NaK-filled)



原子力用伝送器 日立評論 VOL. 55 No. 8 846



図 4 接液部温度変化によるゼロ点変化 NaK置換器部先端のNa と接する部分のみの温度を変化させた場合のゼロ点変化を示す。

Fig. 4 Zero-Point Drift of EPR-3S when Temperature of Wetted Part Varies



図 5 各接液部温度における直線性 接液部温度を一定値に制御すれば, 誤差0.3%以内に十分収まる。 Fig. 5 Linearity of EPR-3S when Temperature of Wetted

Part Varies from 144°C to 602°C

3 RS-1010形質量分析形水漏えい検出装置

蒸発器出口よりサンプリングされたNaはNi拡散膜へ導かれ,

Na加熱蒸気発生器は、どの形式でも管や管板などの隔壁を 境界として、高い反応性のあるNaと高圧水とが接しているの で、もしなんらかの原因で水がNa内に漏れれば直ちにNa~水 反応が生じて事故につながるおそれがある。

蒸気発生器内水管の溶接部にひび割れなどの小さな割れめ や穴があき、そこから高圧水が糸状にNa内に噴出した場合、 水はNa~水反応により、高温バーナ状ジェットとなり他の水 管を侵食して新しい穴をあけ、作用が拡大し合って大リーク に発展することになる。このような小さなリーク現象(小リ ークと呼ぶ)時点でNa~水反応を早期に検出し、大リーク現 象に発展する前に水ダンプなどの対策を行なうことは絶対に 必要である。

小リークの検出法としては各種の方式があるが,薄い金属 製拡散膜をNaに触れさせておき,Na内にH2ガスが発生すれ ば,H2がその拡散膜を浸透通過して他側の真空内にはいって くるのを質量分析計で検出する方式が検出も速く,安定性も 高くすぐれている。

動燃事業団が建設中の50MW SGに設置されるRS-1010形 質量分析形水漏えい検出装置の原理ならびに仕様について紹 介する。

3.1 原 理

84

蒸気発生器内のNa中のH₂濃度は、小リーク現象がない場合 にも相当高いことが確認されている。すでに動燃事業団で稼 動中の1MW SGでのカバーガス中でのH₂ガスの濃度および 変動周期から推定して50MW SGのH₂バックグラウンド変動 は 5 ppm \pm 14%、周期 1 h と予想される。

一方,小リーク ジェットによる損粍が最も大きいとされている水漏えいが起こった場合でもH2濃度変化は1.67ppm程度である。

Ni拡散膜の一方の10⁻⁴ mmHgの真空側へ透過する水素を質量 分析計により検出する。質量分析計の出力信号は一次遅れ回 路,微分回路などの信号処理系を通して水素濃度の立上りこ う配に応じた出力に変換して調節計へ伝送する。

質量分析計は,透過した水素ガスをイオン化室に導き,イ オン化した後,電界と磁界で加速偏向したイオン電流を検出 するものである。このイオン電流はガスの分圧に比例するた め,真空系のポンプなどの劣化による真空度の変動は質量分 析計の出力信号変動として直接現われる。この真空度の変動 をある範囲内に押えるため,ポンプ排気速度をポンプ入口コ ンダクタンスに比べて非常に大きくとり,実効排気速度がコ ンダクタンスにより決定される構成としている。

また拡散膜以外からのH2の飛込みを防止するため,



これらのことを考慮すると, 濃度変化の絶対値で水漏えい 量を検出することは困難であり, 濃度変化の立上りのこう配 で水漏えい量を検出する方法が確実である。 図7はRS-1010形質量分析形水漏えい検出装置の系統図を 示すものである。

図 6 RS-1010形H₂検出装置 左から主排気系,質量分析計,質量分析 計電源部の順に配置されている。真空描出されたH₂を質量分析計で検出し電気 信号に変換する。

Fig. 6 Model RS-1010H2 Leak Detector

表 2 RS-1010標準仕様 新設計の信号処理回路を使用することにより, バックグラウンドの水素濃度変化の影響を受けずに微小水漏えいによる水素濃 度変化を検出することができる。

Table 2 Standard Specifications of RS-1010

項	目		仕	様
			検出可能な水素濃度	変化
格 4	一成。	PÊF	0.2 ppm (バックグラ	ラウンドのないとき)
1Х Ц		反	0.5ppm (5 \pm 0.7pp	m 周期 時間のバック
			グラウント	<i>、</i> があるとき
水素濃厚	観測定レン	ジ	I, 5, IO, 50ppm,	
			微分出力	DC 4 ~20 mA
出		カ	レコーダー用出力	DC 4 \sim 20 mA
			真空計出力	DC 4 ~ 20 mA
拡	散	膜	ニッケルベローズ式	
-는 네	- <u>-</u>	T.	主ポンプ	イオン ポンプ
王 扔	- xt :	示	真空度	1×10^{-4} Torr
質量	分析	計	水素専用形(エレクト	ロン マルチ プライヤ使用)

(1) 完全電子の作用で動作するので,有害蒸気のない清浄真空が得られる。

Production in the second second

4.1 構 造

図8は本器の外観を示すものである。圧力導入口はJIS B 2290真空装置用フランジVG-10になっており、測定圧力室は すべて溶接構造となっている。また本器の構成は、部品と各 部組品の品質および特性の厳重な管理を行なうことにより図 9に示すように非常に単純になっている。増幅部については 工業計器として約3万台の使用実績があるAR-3形増幅器を 使用している⁽¹⁾。

(1) 受圧ダイアフラム部

測定すべき圧力は0-1Torr F.Sと微絶対圧力のため板厚が 50µで直径は294¢と極薄板で、大きな直径のSUS316Lダイ アフラムを使用し、1Torr印加時の発生力を大きくして、外 乱に対する安定性を良くするように設計されている。

(2) 補強ダイアフラム

測定圧力が受圧ダイアフラムに印加されて発生する力が中 心と、カンチレバーに接続される連結板との位置を一致させ ることは非常に困難で、受圧ダイアフラム1枚だけで構成し た場合は偶力によってダイアフラムが非対称変形を起こし、 直線性および安定性が劣下する。このため、受圧ダイアフラ ムとは別に距離をとって補強ダイアフラムを設けることによ り前記のモーメントに対する断面二次モーメントを大きくし て、受圧ダイアフラムが正常動作をするようにして特性の安

(2) ポンプ起動後は補助ポンプが不要となり,背圧側からの拡散を防止する。

などの目的から主ポンプとしてイオン ポンプを使用している。

4 EDR-11AM形電子式微絶対圧力伝送器

遠心分離法によるウラン濃縮プラントにおいては、プロセ ス ラインを微圧力で運転しなければならず、この微圧力の測 定、制御を行なうためには、工業計器として使用が可能な絶 対圧力伝送器が必要である。ここに、これらの濃縮プラント に使用できるEDR-11AM形電子式微絶対圧力伝送器の構造 および仕様などについて紹介する。 定化を図っている。

(3) 真空基準室

全溶接構造として溶接部の漏れは、リークデテクタで $1 \times 10^{-7} (l.\mu Hg/s)$ 以下であることを確認している。

(4) ストレイン ゲージ接着カンチレバー

受圧ダイアフラムの動きを連結板を介してカンチレバー先 端のたわみに変え、カンチレバーの固定端近くの両面に接着 してあるストレイン ゲージで表面ひずみを検出する方式を採 用しており、ストレイン ゲージ部は真空中に設置されている ので外部からの影響が非常に少なくなるような構造となって いる。









図7 系統図 拡散膜を通過したH2は質量分析計で電気量に変換され、微 分信号が送られる。Na受けは拡散膜が、万一破損したときのものである。 Fig. 7 Shemtic Diagram of Model RS-1010 H2 Leak Detector

図8 EDR-IIAM形絶対圧力伝送器 このほかに、増幅器別置形も製作可能である。

Fig. 8 Model EDR-IIAM Micro-Absolute Pressure Transmitter

85



表 3 EDR-IIAM標準仕様 I ~ 5 Torr の絶対圧力を直流伝送信号に
 変換して受信計器に伝送する。

	Τ	abl	e	3	St	tanda	ard	S	pec	ifi	cat	tion	IS	of	EL)R-	· [IAN	M
--	---	-----	---	---	----	-------	-----	---	-----	-----	-----	------	----	----	----	-----	-----	-----	---

項目			目	仕様	
圧	カ	範	囲	基準レンジ 適用範囲 5Torr 0-1~0-5Torr	
出			カ	DC 4 ~ 20mA # t= (1 DC 0 ~ 16mA	
精			度	±1.5%F.S	
電	源	電	圧	DC24V \pm 2 % \pm t (\pm DC18V \pm 2 %	
消	費	電	カ	DC24V \times 0.18A \pm t (\pm DC18V \times 0.12A	
而打			圧	3 kg/cm²G	
使	用	温	度	$0 \sim +60^\circ$ C ^	
材			質	本体 SUS304 ダイアフラム SUS316L	
圧	力 導	鼻 入	П	JIS B2290真空装置用フランジVG-10	
専	用ケ	- 7	r ル	最大長さ 10m	
取			付	受圧部は50ASGPに取り付ける。 また増幅部はラックに取り付ける。	
重			量	受圧部 約20kg, 増幅部 約1.5kg	



図 9 EDR-IIAM形 微絶対圧力伝送器構造図 受圧ダイヤフラムと カンチレバーを連結板で接続する単純な構成である。

Fig. 9 Constructions of Receiving Part of Model EDR-IIAM Micro-Absolute Pressure Transmitter



4.2 結 果

工業計器は安定性を最重要項目としているが、反覆再現性の試験結果は図10に示すように大気圧、真空圧の繰返しおよびUF6中の実装繰返し前後各4回の結果、すべて0.5%以下の変化である。また、静特性、動特性、温度特性、その他工業計器としての性能についても満足する結果を得ている。

5 結 言

以上,原子力用伝送器のうち,高速増殖炉用の圧力伝送器, 液面伝送器用増幅器,水漏えい検出装置およびウラン濃縮プ ラント用の絶対圧力伝送器について述べた。

これらのうちNaK封入式圧力伝送器は,昭和44年から動燃 事業団(大洗)で使用されており,Na中水漏えい検出装置も同 事業団の50MW蒸気発生器に納入の予定である。

1Torr微絶対圧力伝送器は、すでに同事業団(東海)の一部 装置で順調に稼動しており、さらに建設予定の濃縮プラント にも使用可能である。

日立製作所ではこれらの伝送器のほかに高速増殖炉用の計 測器として,誘導式Na液面伝送器用増幅器,カバーガス中水 素検出用ガスクロマトグラフ,ジルコニア酸素計などを,ま たウラン濃縮用として,4~3,600Torrの絶対圧力伝送器を それぞれ製作している。

終わりにこれら伝送器の開発および改良に,終始ご指導とご協力をいただいた動燃事業団および日立製作所日立研究所, 同日立工場,同大みか工場の関係各位に深く謝意を表する。



図10 EDR-IIAM形 微絶対圧力伝送器の反覆再現性 大気圧,真 空圧の繰返しおよびUF6中実走繰返し前後各4回の静特性である。 Fig. 10 Reproducibility of Model EDR-IIAM Micro-Absolute Pressure Transmitter

86

参考文献

 (1) 木村,鳴田,近藤,高橋,猪瀬,高杉:「ダイアフラムとストレインゲージを用いた電子式差圧伝送器」日立評論 48,1384(昭和41-12)