

ベロー封じのひずみゲージを用いた微差圧伝送器

Micro-pressure Transmitter Using Strain Gage Sealed in Bellows

木村 一路*
Ichiro Kimura

嶋田 智*
Satoshi Shimada

山本 芳己**
Yoshimi Yamamoto

要 旨

炉圧の制御や通風量の測定に用いられる高感度の微差圧伝送器には、オイル中にベルジャーを浸した沈鐘式、液封構造の金属ダイアフラム方式、ゴムダイアフラム方式など種々のものがあるが、それぞれ一長一短がある。今回、ひずみゲージ変換器をベローおよびパイプ中に不活性ガスとともに封入した変位変換器を考案し、これと合成ゴムダイアフラムとを組み合わせた方式により、リキッドレスで取扱いが容易なうえ液封式の半分の重量で、信頼性の高い新製品を開発した。本文はその報告である。

1. 緒 言

製鋼用の炉などでは、炉内圧を大気圧よりわずかに高く保つように制御しなければならないので、水柱数ミリメートルというようなわずかの差圧を測る高感度の差圧伝送器が必要とされる。通風量の制御などでも同様に微小な差圧を検出しなければならないことが起こる。

図1はこのような用途のために今回開発された新製品で、フルスパンが10 mm H₂Oから50 mm H₂Oまで連続的に変更でき、精度は0.5%である。ただし、さらに高感度のものが必要なときは、増幅部の変更によって、フルスパンを5 mm H₂Oまで下げることができる(ただし、精度1%)。

従来図2のような沈鐘(ちんしょう)式が安価なためよく用いられているが、過圧がかかると液が噴出し、液の入れ換えや調整をしないと使えなくなる。

これに対して図3のような金属ダイアフラム2枚の間を液封したものは、過圧に耐え、過圧が去ればそのまま使用できるが、沈鐘式の約2倍の重量、価格となる。

図4のようなゴムダイアフラムを用いる方式のものは、過圧に耐え、価格も金属ダイアフラム方式のものより安いですが、高感度で作動するレバー、リンク機構、重量の大きいフィードバック用電磁石などのため、傾斜や振動の影響を受けやすいという問題がある。

そこで、液体を用いないリキッドレス方式で、高価でなく、傾斜や振動の影響が少なく、また、任意の受信計器との組み合わせが可能な統一信号を出力とする製品の開発が強く要求されてきた。以下、新製品の構造、原理、特性、特長などについて述べる。

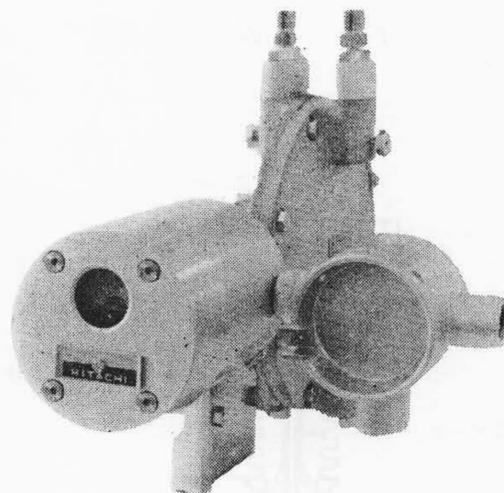


図1 EDR-11 M形微差圧伝送器

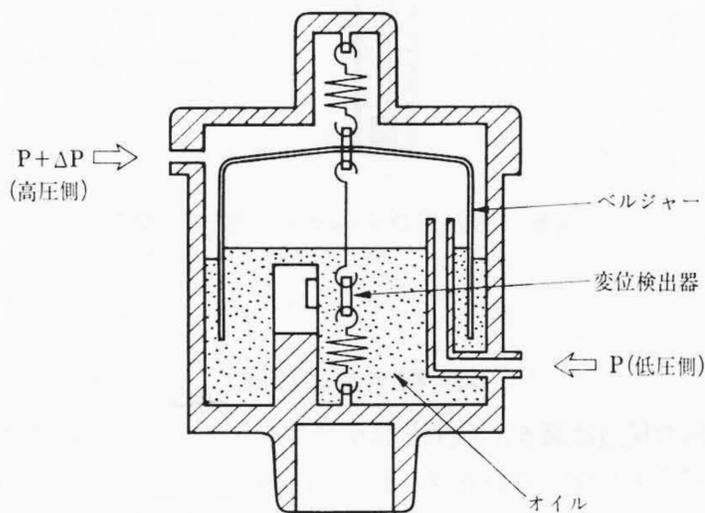


図2 沈鐘式微差圧伝送器

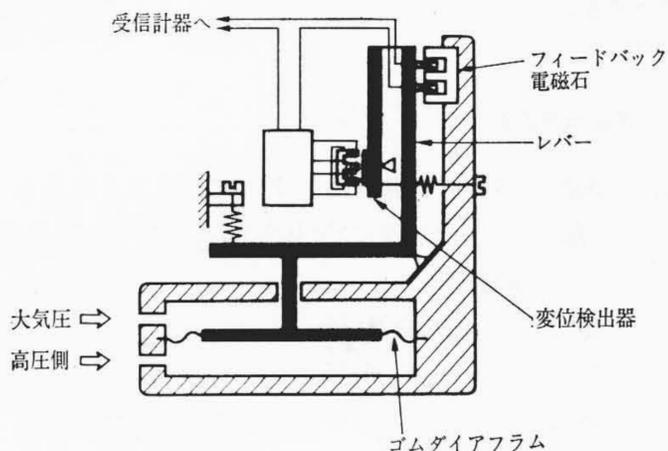
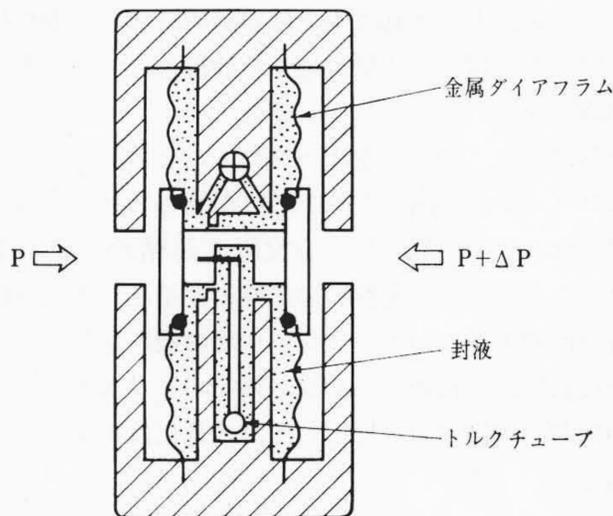


図4 ゴムダイアフラムを用いた従来の微差圧伝送器の例



(トルクチューブを用いて外部に取り出した回転角を電気または空気信号に変換する。増幅部は図では省略した)

図3 金属ダイアフラム2枚の内側を油封した微差圧伝送器

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所那珂工場

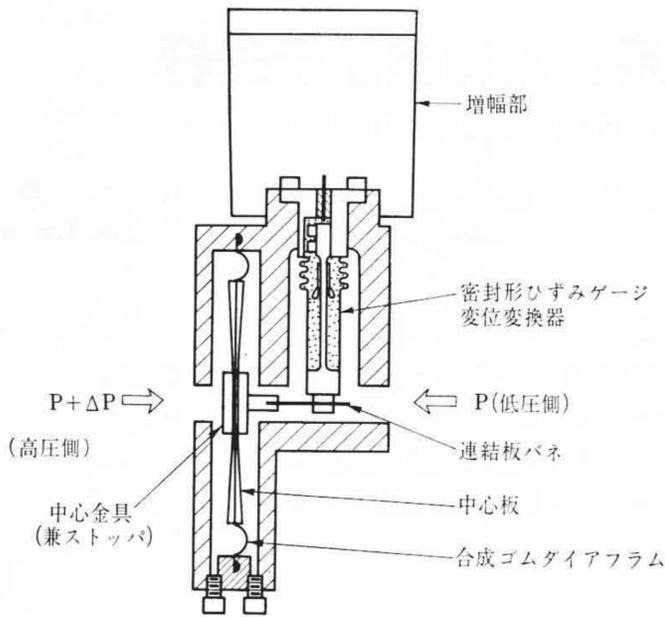


図5 本器の構造

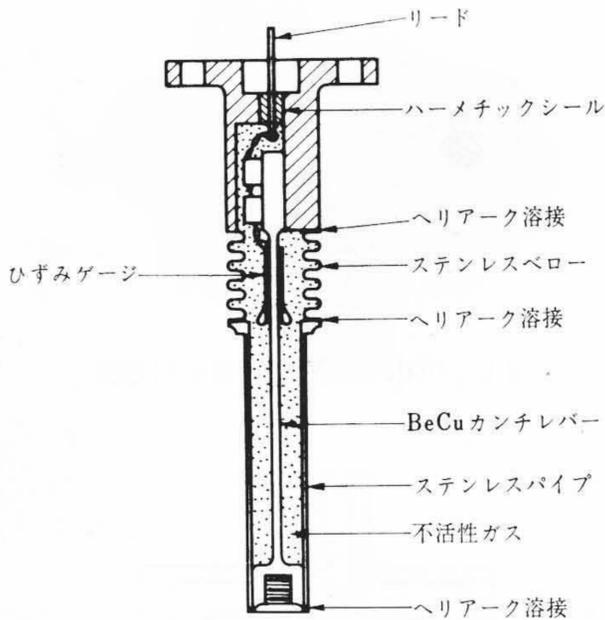


図6 密封形ひずみゲージ変位変換器

2. 構造および原理

本器の構造は図5に示すとおりである。ダイヤフラムはNBRまたはバイトンなどの合成ゴム製で、作動部には一山のコルゲーションを有し、周辺にリング状の厚肉部をもつ。この部分を本体のリング状のみぞにはめ込むことによって適当な張力が与えられるので、特別な張力の調整は要しない。また、中心板は薄い金属板で、周辺部に突起をもち、中心金具で中央部を締め付けると中心板自体がバネとして働いて周辺部が一樣に締まる設計となっている。(実用新案第849250号)。

中心金具はまた、過圧や逆圧が加わったときのストップとして働くようにフランジとの間の間隙(げき)が定められている。

ダイヤフラムの中心に一致する位置に連結板バネが設けられ、これはひずみゲージ変位変換器の先端に連結される。変位変換器は図6の詳細図のように、カンチレバー状の板の基部にワイヤひずみゲージを接着し、これをステンレス鋼製パイプおよびステンレスベローの中に収め溶接密封したもので、内部には乾燥不活性ガスを封入してある。

接着形のワイヤひずみゲージは、アドバンスなどの安定な抵抗材によって製作され、じゅうぶんエージングを行なっているので、抵抗体自身は安定であるが、基板および接着層に有機材が用いられている。普通、ひずみゲージは防湿ワックスをコーティングして用いら

れるが、日立製作所では、差圧伝送器の場合には、三弗化塩化エチレン重合油またはシリコンオイルを使用して信頼性を高めている⁽¹⁾⁽²⁾。本器の場合は気体測定専用で油封の必要がないところから、乾燥不活性ガス中に封入してよりいっそうの安定性を得ている。本器は伝送器全体の重量軽減にも大きく貢献している。

ひずみゲージは、4アクチブのホイートストンブリッジとして作動するように結線してあり、増幅部の定電圧電源によって励振され、ブリッジの出力電圧は増幅部で電流信号に変換される。

増幅部は日立ユニコントロール電子式伝送器Eシリーズと共通のもので、前記ブリッジ用の安定化電源、方形波電圧発生器、交流増幅器、同期整流器、トランジスタチョッパなどの回路を含んでいる⁽¹⁾⁻⁽³⁾。零点および測定レンジの調整は増幅部のみで電氣的に行なわれ、機械的な調整は不要である。

以上のような構造から明らかなように、測定すべき入力差圧がダイヤフラムに働くと、ダイヤフラムの中心部および変位変換器の先端に差圧に比例した変位が生ずる。この変位はひずみゲージによって電気信号に変換され、前記のように増幅され、出力直流電流信号として外部に伝送される。

過大な入力差圧が加えられた場合は、ダイヤフラムの中心金具がフランジに当たってストップとして作動し、変位変換器に過大な変位が伝わるのを防いでいる。しかし、ダイヤフラム自身は直接過圧を受けるため、ダイヤフラムの特性が変化しない圧力が限界となる。本器では、最大レンジの40倍すなわち2,000 mm H₂Oまで許されるので、万一ブロウの押込圧または吸引圧が直接かかったとしてもたいい問題ないであろう。

設計の基本的な計算を簡単に述べると次のようになる。

ダイヤフラムの有効面積は次式で表わされる⁽⁴⁾。

$$A_D = \frac{1}{3} \pi r^2 (1 + \rho + \rho^2) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、2r: ダイヤフラムの作動部分の外径

ρ: ダイヤフラム中心板の直径と上記外径との比

合成ゴムダイヤフラムのスティフネスの実測値は

$$S_D = 0.16 \text{ kg/cm} \dots \dots \dots (2)$$

であった。

ひずみゲージが接着されているカンチレバーのスティフネスは、

$$S_C = Ebh^3 / (4l_0^3) \dots \dots \dots (3)$$

ここに、E: 縦弾性係数

b: カンチレバーの幅

h: カンチレバーの厚さ

l₀: カンチレバーの有効長

このカンチレバーが封入されているベローの曲げに対する回転スティフネスを、カンチレバー先端におけるスティフネスの値に換算すると⁽⁵⁾、

$$S_{BC} = S_B' / l_B^2 = \frac{(r_1 + r_2)^2}{8} \left(\frac{S_B}{l_B^2} \right) \dots \dots \dots (4)$$

ここに、S_B' : ベローの曲げに対する回転スティフネス

l_B : ベローの固定端(基部)からカンチレバー先端までの長さ。

2r₁ : ベローの内径

2r₂ : ベローの外径

S_B : ベローの軸線方向(縦方向)のスティフネス

実際に設計したものでは

$$S_{BC} = 0.006 \text{ kg/cm}$$

$$S_C = 2.78 \text{ kg/cm}$$

となるので、S_{BC}は無視することができる。

このようにして伝送器の出力は次式で表わされる。

$$i = \frac{3}{2} lh K_G e_x A_D G_A P_d / \{l_0^3 (S_D + S_C)\} \dots\dots\dots (5)$$

- ここに、
i: 伝送器の出力信号電流
G_A: 電圧-電流変換増幅器の総合コンダクタンス
l: カンチレバーの先端からひずみゲージの中心線までの距離
K_G: ゲージ率
e_x: ホイートストンブリッジの励振電圧
P_d: 入力差圧

このように、ひずみゲージは窒素ガス中に封入されて特性の変化が防止されるうえに、ベローのスティフネスは無視でき、パイプおよびベローに密封されるためのスティフネスの増加は実際上起こらない。

次に、温度変化、傾斜角、振動など周囲条件の変化が特性に及ぼす影響について考察する。

周囲温度が変わった場合、(5)式の *S_C* が変化し、その変化は直接出力の変化となって現われる。*S_D* はもともと *S_C* に比べて小さいのでその変化は無視できる。したがって、温度が *Δt* だけ変化したときの伝送器の感度の変化率(%)は、

$$\left(\frac{\Delta K}{K}\right)_{\Delta t} = -(\alpha_c + \gamma_c) \Delta t \dots\dots\dots (6)$$

- ここに、
 α_c : カンチレバーの線膨張係数 (deg⁻¹)
 γ_c : カンチレバーの縦弾性係数の温度係数 (deg⁻¹)
 Δt : 温度変化 (deg)

本器では、カンチレバーの材料として、ベリリウム銅を使用したもので、この計算値は30度の温度変化で+1%になる。この程度の感度変化はブリッジに直列に銅線抵抗をそう入することにより容易に補償できる。

伝送器を傾けると、可動部分に働く重力が計器作動方向に分力を生ずるため誤差入力が発生し、その分だけ零点が狂う。

本器では、従来のように封液やいくつものレバー系がなく、可動部質量として考えられるのは、カンチレバーの質量の一部(慣性モーメントが同じになる等価質量をダイアフラム中心に考える)、ダイアフラム中心板および中心金具だけである。カンチレバーのスティフネスもダイアフラム中心の位置で2.8kg/cmと高くとってある。したがって、傾斜の影響は次式によって計算され、その値は10度で13%となる。

$$\delta_\theta = (W_D + 0.58 W_C) \sin \theta / (P_d A_D) \dots\dots\dots (7)$$

- ここに、
 δ_θ : 傾斜による零点変化(%)
W_D: ダイアフラム中心金具の重量
W_C: カンチレバーの作動部分の重量
 θ : 傾斜角度

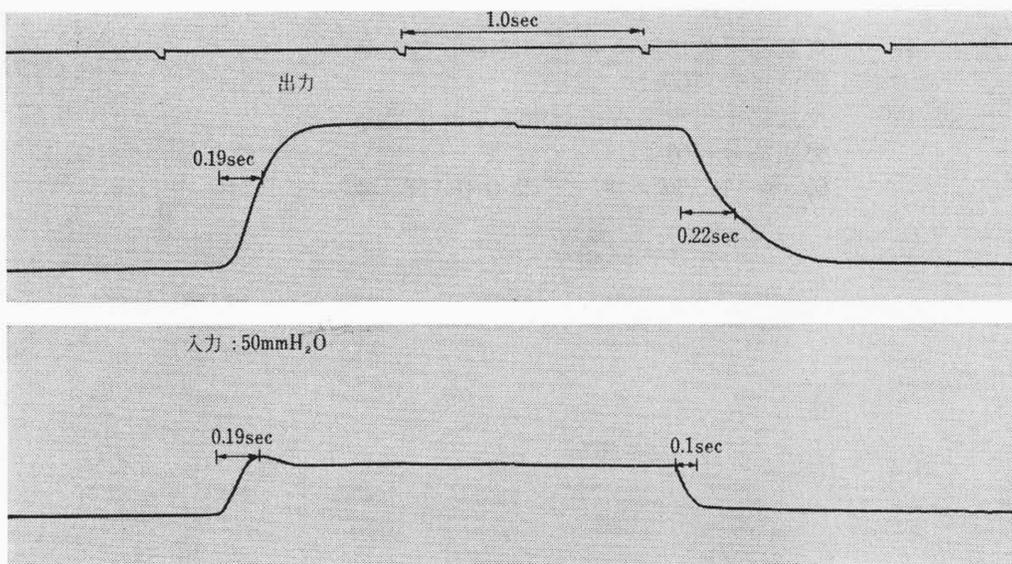


図7 ステップ応答試験結果

表1 本器の仕様

測定レンジ	0~10 から 0~50 mm H ₂ O まで連続可変, -5~+5, -25~+25 mm H ₂ O のような連成形としても使用可
精度	0.5%
最大使用圧	2.0 kg/cm ²
最大過負荷	2,000 mm H ₂ O
規格	JIS F 8001 散水第3種または防爆 JIS C 0903 d2G4
使用温度範囲	-20~+80°C
電源	DC 18 V (または 24 V) ±2% (X-EVS 電源箱を使用)
出力信号	DC 0~16 mA (または 4~20 mA)
最大負荷抵抗	1 kΩ

P_d: 入力(差圧)のフルスパン

振動の影響は、可動部の共振周波数で左右されるが、本器の可動部の質量およびスティフネスは前記のようであるから、固有振動数は次のように計算される。

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(S_D + S_C) g}{W_D + 0.58 W_C}} \dots\dots\dots (8)$$

- ここに、
g: 重力の加速度
 π : 円周率

本器の設計では 21 Hz という計算値が得られる。

3. 特 性

本器の仕様は表1のとおりであるが、諸特性の試験結果を次に述べる。

静特性は精度 0.01 mm H₂O の微圧計を用いて試験したが、0~10 mm H₂O から 0~50 mm H₂O までのすべてのレンジおよび、-5~+5 mm H₂O から -25~+25 mm H₂O までの連成形としてのレンジにおいて、非直線性・ヒステリシスとも 0.5% 内である。

ステップ応答は図7のようになったので、時定数は 0.1~0.2 秒となる。

静圧の影響は、2,000 mm H₂O のとき 1% で、過負荷の影響は、2,000 mm H₂O、1 分間で 1.5% である。

温度補償を行なう前の温度変化の影響は、30 度の変化について零点変化が 1.5%、スパン変化が 1.1% であり、前述の計算値とほぼ一致している。零点変化、スパン変化ともそれぞれ銅線で補償抵抗を作り補償するので、0.5%/30 deg 以下になる。

傾斜の影響は、図8のように角度にほぼ比例し、5度について6%であるから計算どおりである。

本器を 10 mm の高さからコンクリート床上に 8 回落下したときの零点の変化は 0.5% 内であった。1,000 c/m、1 g の振動の影響も 0.5% 以下である。

最大レンジのフルスケールの入力圧 50 mm H₂O を 100 万回くり

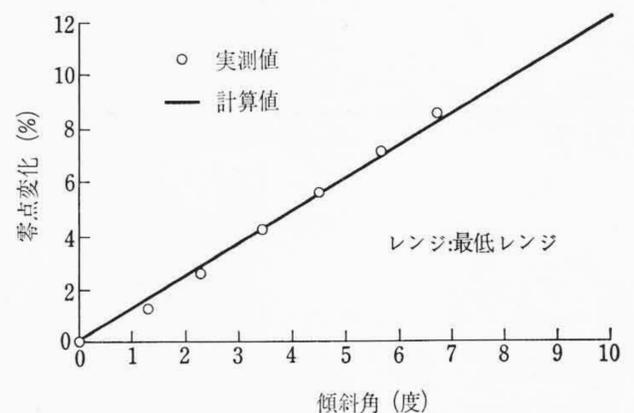


図8 傾斜による零点の変化

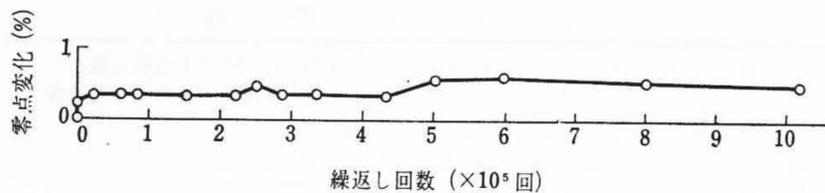


図9 繰返し試験中の零点の変化

返して負荷する繰返し試験を行なったが、零点の変化は図9のように0.5%以内であった。レンジを30 mm H₂Oにして、ボイラの煙道圧測定に20日間使用し、その間の零点の変化を調べたが、温度が10~40度の間で変動したにかかわらず、零点変化は0.5%以下であった。

4. 結 言

ベローの曲げステイフネスが、ひずみゲージの接着されているカンチレバー形変位変換器のステイフネスに比べて小さいことを利用し、この変換器をステンレス鋼製パイプおよびベローで溶接密封し、内部に乾燥不活性ガスを封入して変換器を作り、これと合成ゴムダイアフラムの組合せによる新しい微差圧伝送器を開発した。本器は次のような特長を備えている。

- (1) ひずみゲージは乾燥不活性ガス中に密封されているので、ベースや接着層の吸湿や化学変化が起こらず、長期間高絶縁が維持され安定性が高い。
- (2) 2枚の金属ダイアフラムの間を油封する方式のもの約半分、すなわち、だいたい沈鐘式なみの重量になった。
- (3) 沈鐘式と異なりリキッドレスであるから液の噴出がないだけでなく、測定レンジや零点の調節はすべて電気的に行なわれ機械的な調節を要しないなど取り扱いが容易である。
- (4) ブロワの圧力などが直接かかっても、2,000 mm H₂Oまでの過圧、逆圧に耐え、調整をせずそのまま使用できる。
- (5) 全電子式制御装置日立コントロールEシリーズの一つとして設計したので、指示計、記録計、調節計、警報など豊富な受信計器と任意に組み合わせることができる。

参 考 文 献

- (1) 木村, 嶋田, 近藤, 高橋, 猪瀬, 高杉: 日立評論 48, 1384 (昭41-12)
- (2) 木村, 桜井, 近藤: 計測自動制御学会論文集, 4, 77 (昭43-3)
- (3) F. Inose, K. Takasugi: Advances in Instrumentation 24, Part 1, 523 (ISA 1969)
- (4) 川元: 自動制御 8, 123 (昭36)
- (5) 松代正三編: 圧力・真空・レベル測定, 98 (昭40 日刊工業新聞社)

Vol. 52

日 立 評 論

No. 10

目 次

■ 論 文

- ・慣性分離形集じん器の開発
- ・原子力発電設備の耐震設計
- ・特殊連系装置の回路方式
- ・6.6 kV 特殊連系装置の開発
- ・特殊連系装置を適用した系統の安定度
- ・ボルテックスフローの原理と関連特性
- ・C23 形自動交換装置
- ・床置形セパレートタイプルームエアコンの特性

- ・排気筒トップの性能解析
- ・高根第1PS用15 kV主幹ケーブルの布設

■ 通信ケーブル特集

- ・アルミ導体通信ケーブルの検討
- ・バロン形搬送ケーブルの諸特性
- ・VHF列車無線用漏えい同軸ケーブル
- ・HF形高周波同軸ケーブルの2GHzマイクロ波帯における諸特性
- ・VHF-TV大電力放送用空中線および給電線

発行所 日立評論社

東京都千代田区丸の内一丁目5番1号
郵便番号 100

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
郵便番号 101

振替口座 東京 20018番