

## 北辰電機の検出端

### 1 温度計、湿度計

#### 1.1 温度計、湿度計の開発経過

北辰電機は工業用温度計メーカーとして出発したので、熱電対、測温抵抗体については指示計、記録計とともに戦前から豊富な技術蓄積を保有していた。したがって戦後の標準的な温度検出端に関する技術的活動は、おもに JIS 改訂委員会計測自動制御学会温度計専門委員会などの場においてであり、そこでは標準化が活動の主テーマとなった。

1966 年シー熱電対 CS100/200/300/400 シリーズを、さらに 1967 年にはシー測温抵抗体 RS100/200/300/400 シリーズを発表した。保護管の径は前者が 8.0-1.0mm、後者が 4.8mm であり、ともに従来の熱電対や測温抵抗体では得られない高速応答や取り付けの容易さを特長とした。1969 年には保護管径が 1.0mm の極細形測温抵抗体 J260 を開発してシー熱電対なみの応答を実現した。1979 年工業技術院計量研究所において開発された白金・コバルト合金を利用した、極低温用測温抵抗体 J263 を発表して 2K までの温度計測を可能にした。

放射温度計は古く 1937 年に形式 211 として製品化されたが、安定した性能が得られたのは戦後の検出素子の改良後であった。改良は真空封止形熱電対を空気中に置く熱電対列に替えるものであった。1949 年に短焦点用 K41、長焦点用 K42 にモデル・チェンジし、1959 年には低温用として K44 がこれらに加わった。

光電管高温計は発信器 K11、冷却器 K55、増幅器 K22 から成る高温計であり、とくに高速応答を必要とする、圧延鋼材の表面温度の計測などに使用された。1943 年に開発され、増幅器は 1955 年にリパッケージされて K23 となったが基本構成は変らなかった。すなわち測温対象および比較ランプからの輻射を一对の光電管でそれぞれ受け、両者の出力の差によりランプ供給電流を制御する平衡方式を取り、ランプ電流を温度出力とする。

1973 年放射温度計 hokscope を発表して上記低温用輻射温度計、光電管高温計をリプレースした。

光高温計は形式 201 として 1934 年に製品化されたが、使用したコロイド電池の寿命が他社製品に使われた乾電池より長く、ユーザより好評を得た。

1970 年にこの電池が入手できなくなり通常の鉛蓄電池に変更して形式 202 としたが、このほかにはほとんど変更もなしに永く製造、販売された。

1955 年頃から空気式制御システムの製品化が始まったが、米国の業界動向と異なり、北辰は圧力式温度伝送器の開発に直には着手しなかった。圧力式温度計については、1939 年頃すでに製品化した実績があり、性能の限界がよく知られていたためと思われる。F & P 社との技術提携により製品化された大形の現場指示調節計 F1401 シリーズの 1 機種として 1964 年に水銀膨張式が加わり、のちに F1451 に小形化された程度である。

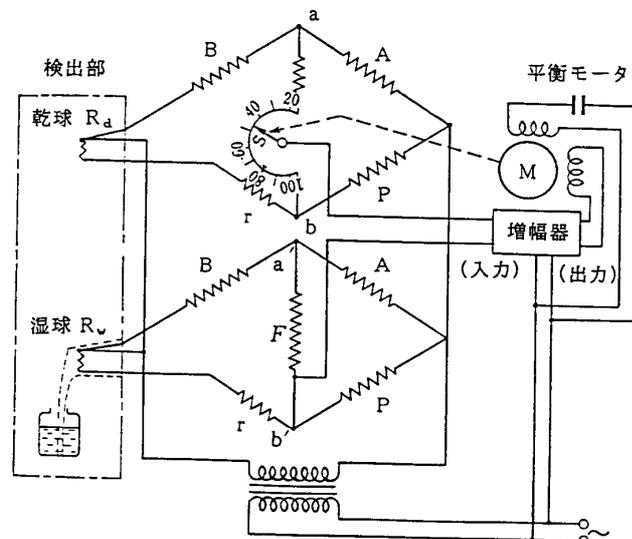


図 1 自動平衡形温度計の回路

1960年代の電子式制御システムの時代に入ると、付随して変換器類の製品化が始まった。システムがEラインから-line・ESL・EKシリーズへと進化するのに応じて、温度変換器もより高性能で、より小形な洗練されたものになった。

北辰における乾湿球湿度計の歴史は古く、1930年に遡る。壁掛形・据置形等の検出部とクロスコイル形の受信計器とから成る、当時としては高性能な製品であった。その後自己加熱の低減などの改良を行って1935年検出部のデザインを改め、さらに1952年にもモデル・チェンジを行って検出部を壁掛形U21、分離形U22、ダクト形U24とした。受信計器には主として自動平衡形計半が使用されるようになった(図1)。1955年岡山大学の指導を得て光電管式露点湿度計を開発して発表した。短時間内ではよい性能が得られたが、連続運転においては鏡面上の汚れの堆積が生じ、その対策が困難なために間もなく製造を中止した。

1958年林俊孝氏は「交差コイル型計器」に関する研究につき、東京大学より工学博士の学位を授与された。以下温度計、湿度計製品の若干につき説明を加える。

### 1.2 極低温用測温抵抗体

白金測温抵抗体は20K以下では感度の低下が著しくて実用に適さないために従来はゲルマニウム温度計が極低温用温度計として使用されてきた。しかしこの温度計は抵抗-温度特性に個体差を持ち、個別の検定を必要とするので高価であった。貴金属に常磁性不純物元素を微量添加した、いわゆる希薄合金が極低温用抵抗温度計に適していることは、1972年の英国国立物理研究所(NPL)によるロジウム・鉄合金(鉄:0.07mol%)抵抗温度計の発表により明らかになった。計量研究所では、白金・コバルト合金が工業用温度計により適した材料であり、コバルトの含有量を0.5mol%とすれば2-300Kの範囲で温度計測が可能であることを見出した。北辰は計量研究所の指導のもとに、極低温用測温抵抗体J263として製品化した。抵抗素子は抵抗素線に近い膨張係数を持つガラス芯体に素線を巻き、この上を同一材質のガラスでコートし、抵抗値が0で100日となるよう調整したものである。素子はSUS304の薄肉保護管内に収め、アルミニウム粉末を充填したのちにヘリウムを封入してある。導線の引出しには気密端子を使用している。製品としてはねじ取り付け形、フランジ取り付け形等が用意された。抵抗-温度特性は初め暫定基準表によったが、後日のエンジニアリングにより標準化が完了した。なお本温度計に対する強磁界の影響は、極低温では小さくないことが報告されている。

### 1.3 放射温度計

本温度計は発信器J600と変換器D810とより構成される。図2により動作原理を説明する。測温対象物からの入射光はレンジ設定用固定絞リ、対物レンズ、回転セクタの間隙を経て断続的に赤外線検出器(PbS)に集光される。一方比較ランプからの光は光拡散板、互換性付与のための可変絞リを経て回転セクタに、より反射され、入射光と交互に断続的に検出器に入る。検出器出力は前置増幅器で増幅して変換器内の同期整流回

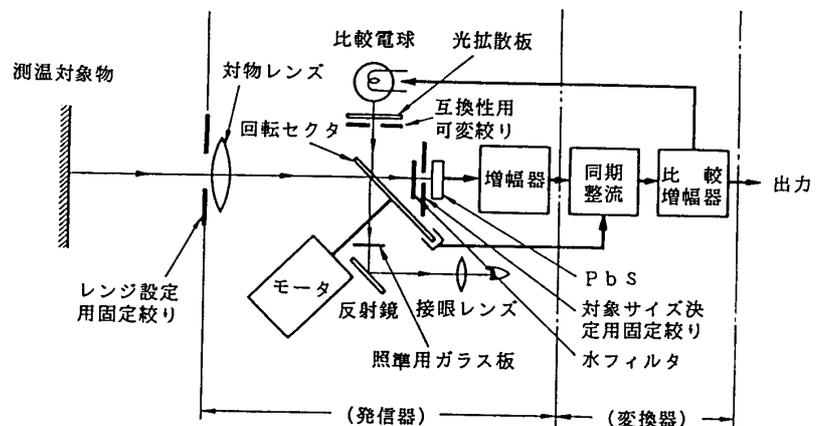


図2 放射温度計の動作原理

路で整流し、入射光信号と比較ランプからの信号を比較して出力を比較ランプに帰還する。この出力を 4-20mA に変えて変換器出力とする。すなわち光電管高温計と同じような平衡方式をとっているが、検出器が一個で済み、前段の信号が増幅容易な交流である点から、安定性において光電管式を凌駕している。検出器に PbS を採用し、最低測定温度を 600 から 300 に下げることができた。ただし最高測定温度は 1200 までであり、高温用輻射温度計はまだ残ることになった。

本機種の特長の一つは、検出器の前に設置した水フィルターによる水蒸気の影響の低減である。変換器にはリニヤライザ、放射率補正回路を組み込むこともできて便利になった。

#### 1.4 温度変換器

熱電温度計および抵抗温度計用変換器についての技術的課題が、低 mV 直流増幅、入-出力の絶縁、入-出力特性の直線化等であることは、電子式システムの開発着手の時点から明確であった。直流増幅のための直交変換器には、自動平衡計器用に開発した倍周波方式の磁気変調器、ついで FET チョツパを使用した。変調周波数は E ラインでは 100Hz または 120Hz、-line および ESL では 1kHz であった。直結増幅器を使用して、2 チャンネル分を 48×200×340mm のコンパクトなラック形ケースに収納できるようになったのは、EK シリーズにおいてであった。レンジカード方式を一貫して採用した。リニヤライザの内蔵開始は -line よりであるが、方式は各機種ともダイオードによる折線近似であった。表中には示していないが mV 入力形の変換器も製造され、mV 出力形の各種検出端と組合せて使用された。

#### 1.5 光電管式露点湿度計

岡山大学理学部坂手邦夫助教授(当時)が研究されたものを参考に製品化した。図3に動作原理を示す。本

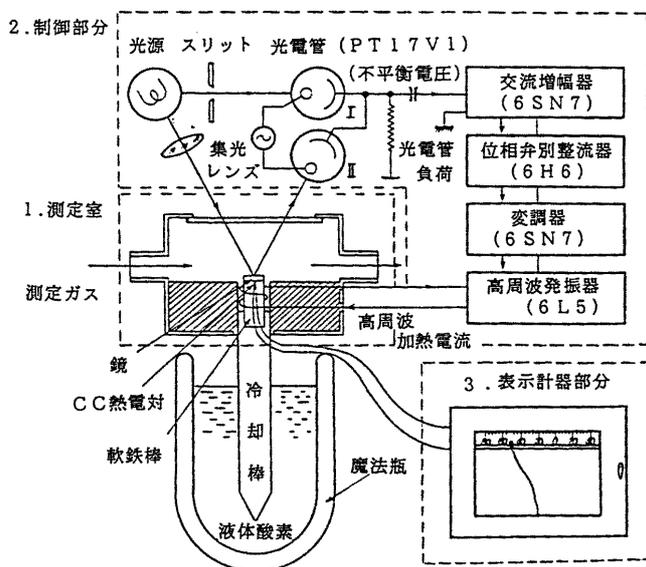


図3 光電式露点湿度計の概要

露点計は測定ガスを流す測定室内に置いた鏡面、鏡面を常に露点温度に保つための制御装置および表示計器から成る。鏡を冷却剤に浸した冷却棒を通して冷すと鏡面に露が付き、光源から投射された光は鏡で反射されて測定用光電管に入る。

および基準光電管の接続点には交流不平衡電圧が発生する。これを増幅し、高周波発振器の出力を増加させて鏡を取り付けた軟鉄棒を加熱する。この結果鏡面はつねに露点温度に保持されるので、鏡の裏に取り付けた熱電対でこの温度を測れば、測定ガスの露点を知ることができる。本露点湿度計は比較的高い湿度下では 0.2°、露点 - 30 以下も 1°程度の精度が得られたと報告されている。

## 2 差圧式流量計、圧力計、液面計

### 2.1 空気式前までの開発経過

北辰におけるU字管式流量計および環状天秤(リングバランス)式流量計の歴史は古く、ともに1936年頃に最初の製品が発表されている。

U字管式流量計ではまず Republic 式でスタートした。低压室の水銀面の昇降を、ここに封入した特殊抵抗体の電気抵抗の変化で検出するものである。続いて1939年には磁

気結合により高压室内の浮子の動きを検出する Siemens 式の円形現場計器を発表した。1940年以降は Brown 式と呼ばれる誘導形に変更した。受信計器としてはダイナモメータ形、クロスコイル形を使用し、戦後これを円形記録計 AI51 等の誘導形計器に変

えた。いずれの方式でも受信計器では比較的大きなトルクが得られるのでリンクによる直線書きやペン記録が採用できた。1952年に電子管自動平衡計器が受信計器に加わると、その優れた性能により急速に誘導形計器を置き換えた(図4)。

環状天秤式流量計は現場設置に適しているので応用範囲が広く、需要も多いため戦前から頻繁に改良が行われた。現場形では天秤に発生する大きなトルクを利用して目盛り均等化カムを直結することができた。積算器への入力も機械的に与えられた。信号の伝送は初め摺動抵抗によったが、戦後には誘導形に変更された。自動制御が盛んになり、検出端の動特性が重要視されるにつれて汎用流量計としての役割はU字管式へ、ついで差圧変換器へと移行した。

このほかの差圧計としてはダブルベル形およびシングルベル形がある。前者は1952年頃発表され、炉内圧力や低压ガス流量の計測に使用された。廃止は1965年頃である。後者は1957年に中庄ガスの流量測定用に開発され、電子式差圧伝送器 DPF100 によってリプレースされる1973年頃まで製造された。

圧力計では1955年にブルドン管式およびベローズ式の圧力/空気圧発信器 AP-24、ブルドン管式圧力指示調節計 AP-21、円形記録調節計 AP-51 が発表されたに留まる。

液面計では戦前すでにU字管浮子式およびU字管誘導式液面指示計、記録計が製品化され、空気圧によるオン・オフ制御も行われた。セルシンモータ式は1936年に発表されている。1953年にはフロートチャンバ式 AL-24 および気泡式が発表され、1958年にはセルシンモータ式の改良形が発信器 L52、記録計 L-33A として整備された。

### 2.2 空気式の開発経過

自社技術による空気式計装システムで製品化し Barton 式差圧変換器を補った。DR シリーズ変換器に低差圧用のダイヤフラム形力平衡差圧変換器 DR43/44、膜シール形 1:1 圧力変換器 DR55/56 があった。

1957年技術提携が認可されて国産化された Barton 式差圧変換器は、差圧検出機構 B199 に円形指示計を付けた B-200 および空気圧変換部を付けた B199A であった。両機種のパフォーマンスは評判通りに優れていたが謝定レンジが固定であるのが不便であった。1962年にはレンジ可変形変換器 B199B を発表してこれを解決した。さら

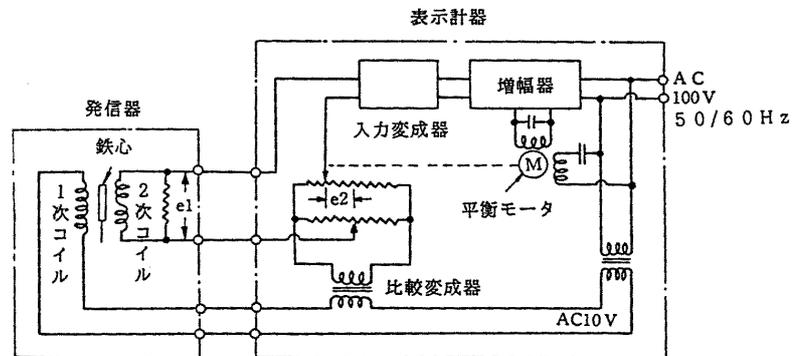


図4 自動平衡形流量計の回路

に 1969 年には検出機構を小形化した差圧指示計 B227 が発表されている。

1958 年の F & P 社との技術提携に基づいて製品化した現場計器 F1401 シリーズでは、ブルドン管、ベローズ式の指示発信器、指示調節計が主要機種であった。

1963 年には Barton 式差圧変換器技術を応用して圧力、低差圧およびディスプレイメント式液面変換器それぞれ AT10/20/30/50、さらに翌 1964 年には絶対圧変換器 AT40 を開発し、小形で現場設置に適した変換器の市場ニーズに応えた。

1964 年末に F & P 社の空気式差圧伝送器 F10B1460 系が国産され、電子式とともに力平衡形差圧伝送器の時代を迎えた。その後低差圧形、オリフィス付き、真空用、絶対圧計、フランジ取り付け形液面計などが加わり、空気式制御システムの検出端の陣容が整った。

1969 年にはこれらを新形伝送器にモデル・チェンジして例えば標準差圧モデルは F10B3495 となった。変更内容はおもに変換部の組み立て易さの改善であり、外形や基本構造はほとんど変更されていない。

1970 年にはブルドン管またはベローズを検出素子とする力平衡形のゲージ圧、差圧、絶対圧伝送器それぞれ F50PW1000、DW1000、AW1000 を発表して圧力計を強化した。

1977 年には F & P 社の新製品を参考とし、これに自社技術を加味して新差圧伝送器 DPF200 シリーズを発表した。ベクトル・バランス・メカニズムによる力平衡機構やドーム形支点の採用で、空気式差圧伝送器では初めて 0.25% の精度を達成した。またレンジ変更作業をきわめて容易にした。サニタリ形などへのレパートリの拡大も行った。

衣笠農策氏は「圧力検出素子の塑形加工に関する研究」により、1974 年東京大学より工学博士の学位を授与された。また同テーマを扱った論文により計測自動制御学会より 1977 年度技術賞を受賞した。

### 2.3 電子式の開発経過

北辰最初の E ライン電子式制御システムの圧力、差圧検出端としては、ブルドン管、ベローズ、および B199A を使用した 3 機種の変換器を開発したのみである。いずれも入力をこれらの検出要素によって回転変位に変え、さらに変位—磁気変調器により 100 または 120Hz の交流に変換、増幅・整流して直流 2 - 10mA の出力を得る方式を取っている。当時すでに完成していた自動平衡計器用磁気変調器や、国産化された航空計器用 Magnesyn がこの方式のヒントになったようである。しかし検出要素と電子回路の隔壁なしの同居、差圧変換器の 2 ケース構成についてはユーザの批判を受けることがあった。

1962 年発表の -line では回路のトランジスタ化によりこの問題を解決した。変位—磁気変調方式は継承したが、励磁周波数を 500Hz に高めて性能の向上と増幅器の小形化を図った。これが変位 - 電流変換部 ELT340 であり、空気式と共通の検出要素 AT10、20、30、50、B199 などと組み合わせる各種変換器を構成した。この変位—電流変換部も 1967 年にはフェライト製カム、発振器、フォースモータなどから成る 2 線式の ELT380 にモデル・チェンジした。ここで主要検出端の 2 線化が達成できた。

電子式差圧伝送器の発表は空気式と同じ 1964 年であるが、この時発表されたのは標準差圧計 F10B2460 系およびフランジ取り付け形液面計 ATE160 のみであった。その後オリフィス付き、真空用、絶対圧計、低差圧形などの製品化が進んだ。標準差圧計は F10B2495 に改良された。

圧力計については 1970 年空気式と同様に力平衡方式によるゲージ圧、差圧、絶対圧伝送器それぞれ F50EP1000、EQ1000、EN1000 を発表した。

液面計では 1969 年超音波レベル計 F710-ELT930 が発表されている。

1974 年電子式差圧伝送器 DPF100 シリーズを発表し、伝統的な力平衡方式から変位方式へと差圧計におけ

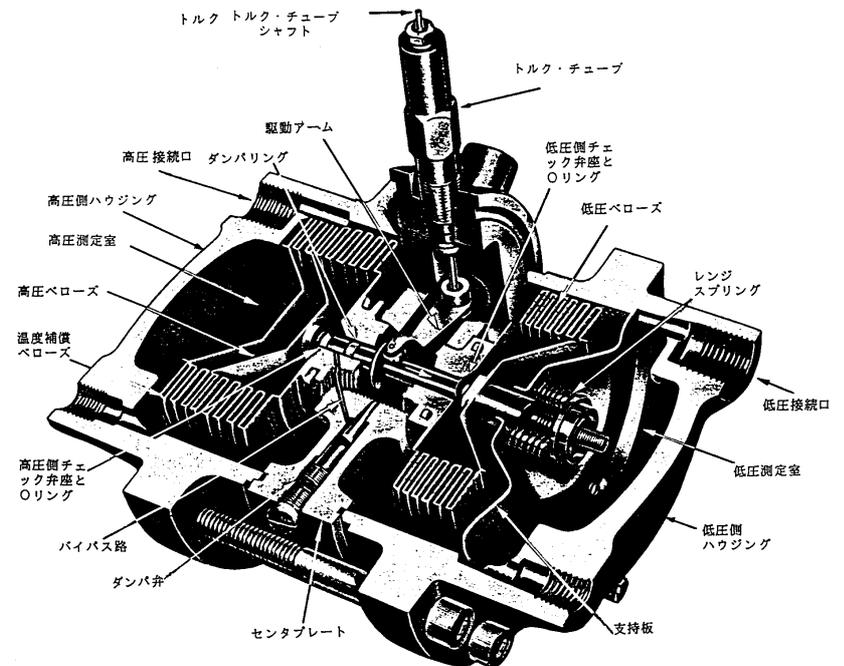
る変革のステップを踏み出した。この契機となったのは米国 Rosemount 社の容量式差圧伝送器の発表と成功であった。

北辰は一室構造の利点を活かした独自容量方式の差圧計、圧力計、液面計のシリーズを国内同業他社に先がけて揃えることができた。差圧計の卸定精度が初めて 0.25% に高められたのは、変位方式の導入によってであった。1979 年には開平形差圧計を発表して、一層の精度向上と取り扱いの容易化を実現した。

以下代表的な機種につき解説を加える。

## 2.4 Barton 式差圧変換器

図 5 に示す差圧検出機構はセンタプレート  
の両側の高圧室および低圧室に 2 分  
される。センタプレートの両側には液体  
(蒸留水とエチレングリコールの混合液)  
を充填した一对のステンレス鋼製ペロ  
ーズが取り付けられる。両ペローズの他  
端はセンタプレートを貫通するバルブ  
システムによって互に連結される。ハウ  
ジングに固定された支持板とバルブシ  
ステムの低圧側末端との間には恒弾性  
係数合金製レンジスプリングが入って  
いる。差圧によってペローズが変位す  
るとバルブシステムに取り付けた駆動  
アームを通してトルクチューブ



を差圧に比例した角度だけ捻る(最大 8°、時計方向)。

図 5 Barton 式差圧検出機構

バルブシステムの高・低圧側にはチェック弁が設けられ、過大圧に対するペローズの保護が図られている。ダンピングはペローズ内の流体の移動を制限し、バイパス路にあるダンパ弁のダンピング調整を可能とするものである。ペローズ充填液の温度による体積変化を、高圧ペローズの先端に取り付けた温度補償ペローズで吸収し、ゼロ点変動の発生を防止している。本検出機構の特長は静圧、温度変化に対するゼロ、スパンの優れた安定性、ダンピング調整が可能で脈動続の測定に適する点などである。差圧変換器 B199A の空気圧変換部(図 6)は、トルクチューブ出力軸に付けた駆動アームの回転を、これに付けたフラップの変位として固定ノズルで検出し、ノズル背圧をパイロット弁で増幅して出力圧とすると同時に、復原ペローズに加えてフラップの位置を元に戻す。スプリング付復

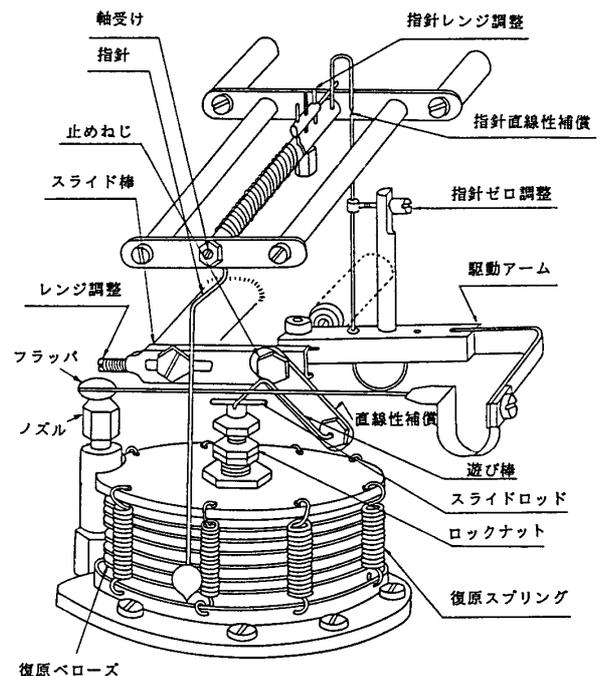


図 6 Barton 空気圧変換部の構成



れた信頼感からユーザの支持を得て、Barton 式差圧変換器は永い製品寿命を持つことができた。

## 2.5 F&P 式差圧伝送器

図 9 に空気式 F10B3495、図 10 に電子式差圧伝送器 F10B2495 の構造図を示す。両モデルともに、測定ダイヤフラムの両側にシールダイヤフラムを備えた 3 枚膜構造の差圧/力検出部を持つ。したがってフォースビームや支点ダイヤフラムはプロセス流体に接液しない。測定ダイヤフラムの両側には O リングによる過大圧保護機構が付いている。また高圧側シールダイヤフラムの内側には、封液の移動を制限するダンピング調整機構を備える。測定ダイヤフラムで検出した力は、支点の周りに変位可能なフォースビームにより外部に取り出し、空気圧または直流電流に変える。空気式ではフォースビーム先端のフラップの変位によりノズル背圧が変り、この変化を増幅して復元ペロースによりレンジブロックに力を及ぼして系を平衡させる。電子式ではフォースビームの動きをレンジビーム、帰還リンクを通してフェライト・ブロックを変位させ、検出コイルとのギャップを変える。この結果発振電流が変化するので増幅・整流して、フォースモータによりレンジビームに力の形で帰還する。電子式では過大圧保護スプリングにより帰還部の保護

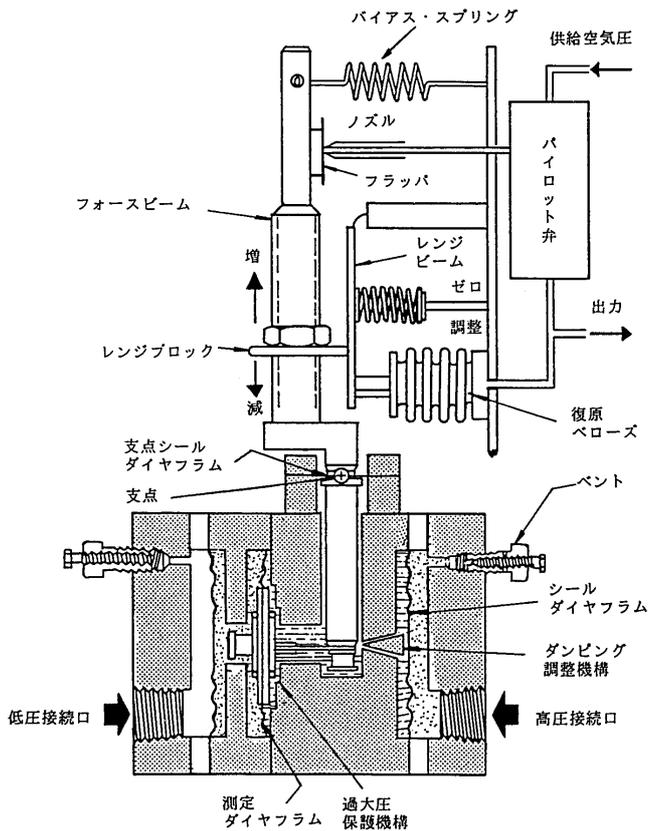


図 9 空気式差圧伝送器の構造

を行っている。またレンジ・ゼロ調整機構も空気式と電子式とでは若手異なる。出力はそれぞれ 0.2 - 1kgf/cm<sup>2</sup>または直流 2 - 10、4 - 20、10 - 50mA であり、精度はともに 0.5%であった。

低差圧計、真空用差圧計、絶対圧計では空気式、電子式ともいわゆるカプセル構造を採用した。液面計においてもカプセルを使用し、これをフォースビームに連結する構造としている。

本機種の使用実績では、比較的薄いシールダイヤフラムの破損などの事故を除けば、空気式伝送器は概して問題が少なかった。電子式伝送器ではユーザ側の精度に対する関心の高まりにつれて、

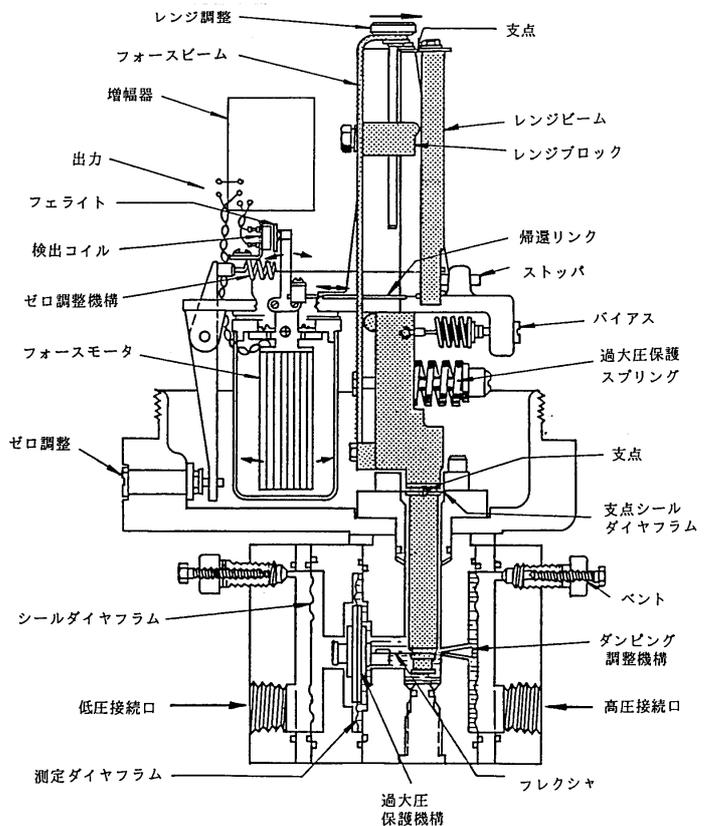


図 10 電子式差圧伝送器の構造

例えば日照や夕立による温度過渡特性などが問題点として指摘されるようになった。このような総合的な性能の向上は、変位方式の次世代差圧伝送器 DPF100 の登場に挨つことになる。

## 2.6 DPF100 シリーズ

図 11 に検出部の構造を示す。ボディ部材に溶接された 2 枚の測定ダイヤフラムを連結軸で結び、その中央に円板状の Ni - Span C 製レンズプリングを挟んで移動電極板を取り付ける。移動電極板の両側にはアルミナ製固定電極ベースを配置する。その表面には金の蒸着膜による固定電極が形成されている。差圧により連結軸が移動すれば、移動電極の両側に形成される固定電極との間の静電容量が差動的に変化する。すなわち一室構造、平行移動電極方式を取っている。連結軸にはダンピングが付き、絞り弁によるダンピング調整を可能としているのは Barton 式以来の伝統とも言える。測定ダイヤフラムの中央部は、連結軸に溶接されて温度補償

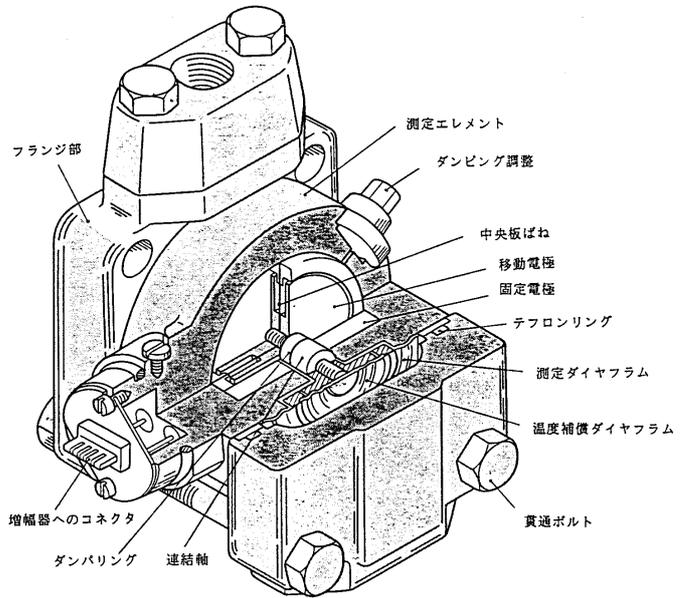


図 11 DPF100 の受圧部構造

ダイヤフラムを形成している。信頼性向上のために封入口をボールシールとしたほかはすべて溶接構造とし、過大圧保護はダイヤフラムの波形に合せたバックアッププレートによる方法とした。ダイヤフラムの厚みは 0.1mm と比較的厚く選び、その材質は SUS316 ステンレス鋼、ハステロイ C、モネル、タンタルなどと豊富であった。

変換部の設計においては、米国の市場状況を見ながらコスト低減のために端子部内蔵構造としたが、国内ユーザーにも受け入れられたのは幸いであった。変換部の回路図を図 12 に示す。発振器から与えられる 55kHz の

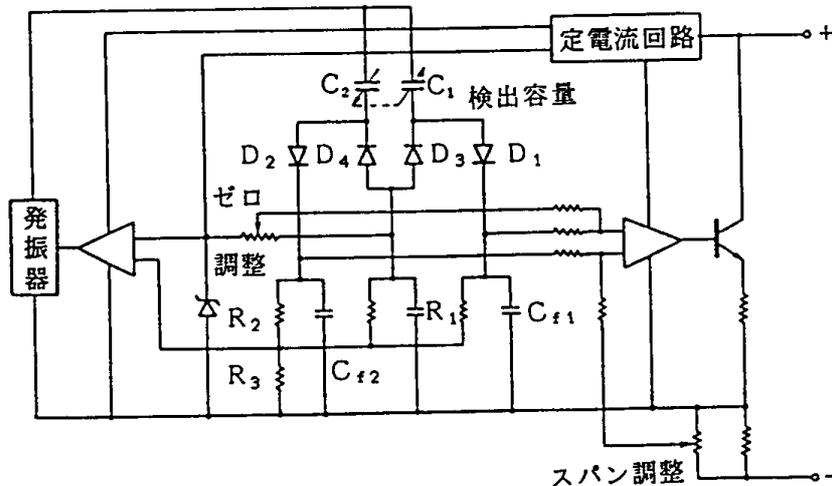


図 12 DPF100 の回変換部路

これは  $C_1$ 、 $C_2$  を流れる電流の差に比例する。各抵抗は検出容量インピーダンスに比べ充分小さいので、この電

高周波電流は、ある半サイクルでは検出容量  $C_1$ 、 $C_2$ 、ダイオード  $D_1$ 、 $D_2$  および抵抗  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  を通る。平滑容量  $C_{f1}$ 、 $C_{f2}$  によりこれらの抵抗上には直流電圧が発生する。 $R_3$  上の電圧をゼナ電圧と比較して発振回路を制御することにより、 $C_1$ 、 $C_2$  を流れる高周波電流の和を一定にする。 $D_1$  と  $R_1$  および  $D_2$  と  $R_2$  の接続点

の電位差を取り出せば、こ

流差は容量の逆数の差、従って電極間の間隔の差、あるいは差圧に比例する。この(電流差/電流和)演算方式により封液であるシリコン・オイルの誘電率の温度による変化を打消している。出力電流レベルは直流 4 - 20mA に統合した。

伝送器として小形・軽量化、高精度化を達成し、さらに耐振性、温度特性などもカ平衡方式の伝送器に比べて格段に向上した。また相互干渉が少なくなり調整作業もはるかに容易になった。変換部の完全な互換性もコーザに高く評価された。

レパートリとしては高差圧用、低差圧用、微差圧用などダイヤフラム径が中差圧用と異なるもの、ボディやフランジを強化した高耐圧用、オリフイス付き、絶対圧用、さらには液位計が用意された。圧力計も同様な構成を取り一方の受圧部を大気に開放している。さらに高圧用の機種ではダイヤフラムに代え、有効面積が小さいペローズを検出要素にしてある。

開平方差圧伝送器は変換部のみを新たに開発し、流量比例の出力を得るようにしたものである(図 13)。検出容量を流れる電流の差を検出するのは差圧比例形と同じであるが、電流和信号に対してはコンパレータ A3 によ

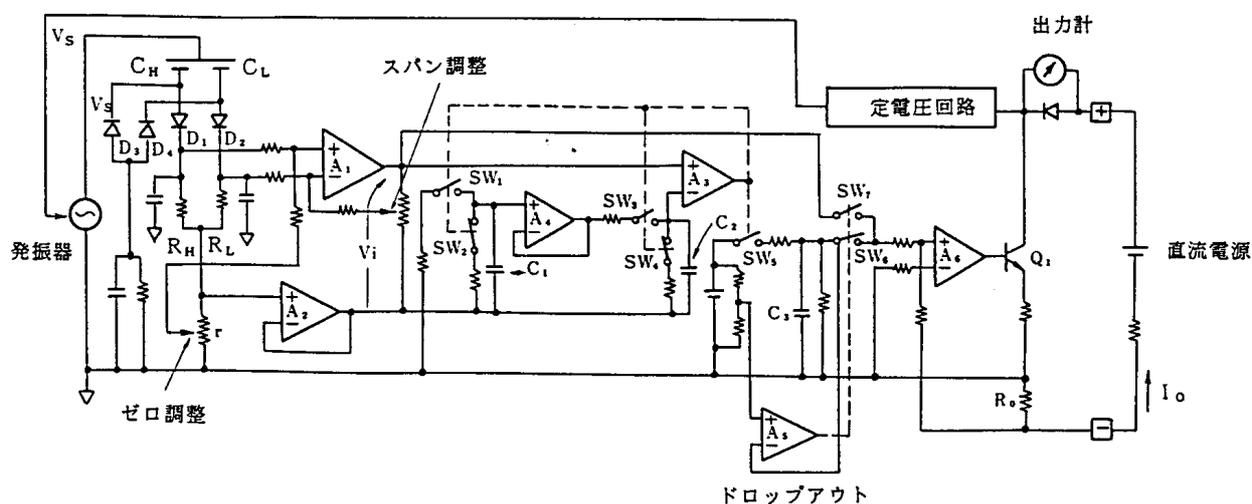


図 13 開平方差圧伝送器の変換部回路

りスイッチ SW<sub>1</sub> - SW<sub>4</sub>を開閉し、デューティサイクル D を 2 回掛けて電流差信号と比較する。この結果 D<sub>2</sub> は(電流差/電流和)に比例するので、一定基準電圧を SW<sub>5</sub>で開閉してこれに D を掛けて平滑すれば、所要の開平方出力が得られる。開平方出力形ではゼロ調整が困難であるから、入力 2.5%以下では差圧比例特性に切り替えるいわゆるドロップアウト機能を付与してある。流量比例形の精度は 0.25%で差圧比例形と変わらない。したがって後者に開平方演算器を組み合わせた場合と比べると、前者の精度や信頼性は演算器がない分だけ向上する。設置、保守も当然容易になる。

## 2.7 DPF200 シリーズ

本伝送器は空気式であるから従来どおりカ平衡方式によってはいるが、電子式差圧伝送器 DPF100 の特長をできるだけ取り入れて、空気式では見られなかった新機軸を打ち出すことに成功した。図 14 に示すように検出部は全溶接一室構造を取り、過大圧保護やダンピング調整も電子式と同じ方式を採用している。電子式も同様であるが、ダンパ弁は封液漏れのない溶接ダイヤフラム形とし、調整し易いように差動ねじを使用している。フォーシームの支点部分ではドーム形のシールダイヤフラムの内・外周を溶接してシールし、さらにビームに沿っ

た一対の板バネで支点を構成している。この支点は従来の平板形支点に比べるとビームの傾きによる応力が小さく、高性能をもたらす要因の一つとなっている。2枚の測定ダイヤフラムをダイヤフラムピンでフォースビームに結合するクランプは、微小回転させてトルクバランスを図り、両ダイヤフラムの有効面積差による温度誤差を除くことができる構造になっている。標準差圧モデルでは温度補償ダイヤフラムを使用していないが、これは空気式の場合ダイヤフラムの有効面積を電子式よりも小さく設計するので、同じ板厚でもダイヤフラムがいわば柔らかくて必要性が低いからである。

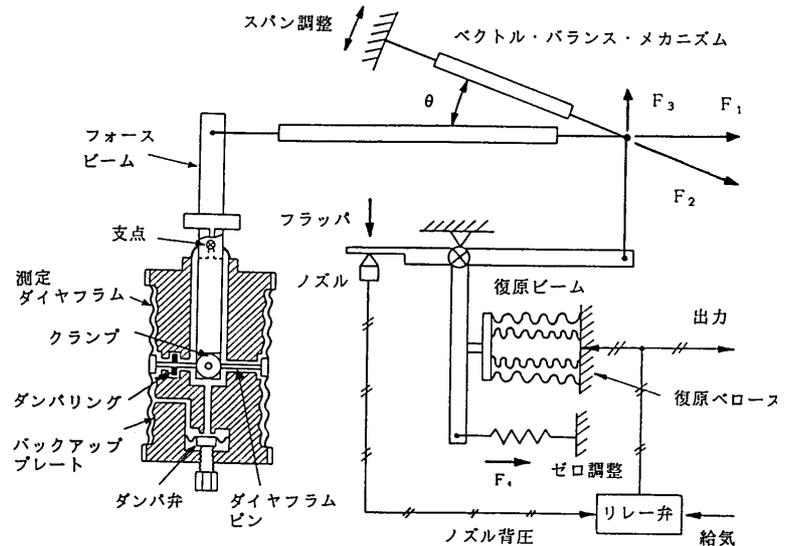


図 14 DPF200 の動作原理

変換部の特長はベクトル・バランス・メカニズムと呼ぶスパン調整機構である。フォースビームに得られる力  $F_1$  はこのメカニズムにより  $F_2$  および  $F_3$  に分解され、 $F_1$  に垂直な分力  $F_3 = F_1 \tan \theta$  が復原ビームに伝えられる。すなわちベクトル角  $\theta$  の調整で、復原ビームへの入力を調整することができる。スパン調整ねじに加わる力は小さく、従来の強力なロックナットは不要である。この入力を力平衡方式で出力圧に変換するのは従来どおりであるが、ここでゼロ調整が行われるので調整の相互干渉がないことが容易に理解されよう。復原ベローズは2重になっていて、切り替えによりスパンを1:3.5の比率で変更できる。したがって上述のベクトル・バランス・メカニズムの調整代と併せてスパンは1:10の範囲で変更できる構成になっている。

シリーズ中の機種としては高差圧から微差圧までを4モデルでカバーし、さらにオリフィス付、絶対圧用、液位計が揃えられていた。

DPF200 は空気式差圧伝送器としては類を見ない特性と扱い易さを併せ持った製品であるが、その製品化はALシリーズと同様、市場のニーズが最盛期を過ぎた時期であった憾みを遺した。

## 2.8 超音波レベル計

戦前北辰は九〇式測深儀、九一式探信儀の製品化に見られるように高度な超音波技術を保有していたが戦後これが途絶えた。超音波技術のプロセス計装への応用が一般的になり始めた1969年に超音波加工機メーカーの協力を得て空中超音波式レベル計を初めて製品化した。送信用・受信用計2個の振動子を取り付けた(これを複眼式と呼んだ)発信器F710と変換器ELT930とを組み合わせ、測定レンジ1-10m、スパン3-10mの液面計測を可能とした。小形化のためには振動子を送受兼用とする単眼式が有利であるが、この場合振動子の制動が重要課題になる。これが不足すると送信時の残響振動が受信振動に重なり、SN比を悪化させるので短距離レンジの計測が困難になる。変成エポキシ樹脂の粘弾性による制動効果を利用した発信器L701、変換器D512を1976年に自社開発して、開水路流量計での水位の測定を可能にした。レンジは0.3-3.5mであった。1982年にはL706(5-8m)、L707(10-15m)も発表した。

変換器の課題の一つは、音波反射面までの距離や反射面の波立ちなどによる受信レベルの変動である。この対策として時間とともに利得が増大するTime-Variable Gain (TVG)回路とAGC回路の組み合わせを定石ど

おり使用し、さらにエコミス防止回路と呼ぶ出力保持回路を付加して反射波が得られないときの出力の瞬時低下を防止した。べつの課題は温度補償である。音速の温度依存性を補償するためには発信器一液面間の空気の平均温度を知る必要があるが、気温の変動が烈しいダム水位の計測などでは、測温抵抗体の遅れによる温度補償誤差の発生が見られた。下水などの水面に浮ぶ洗剤の泡も、その層が厚い場合にはレベル計に障害を与える。この課題が実用上十分な程度に解決されたのは、振動子に効率のよい弗素系高分子圧電膜を使用した2線式YL100形になってからである。粉体レベル計測のニーズも多かったが、反射面の特性把握が容易でないので積極的な対応は取らなかった。要するに超音波レベル計にとっては、対象液面についてのノーハウの積み重ねがとくに重要であり、これを軽視するとよい結果が得られないことが次第に体得された。

### 3 流量計(差圧式を除く)

#### 3.1 流量計の開発経過

戦前から戦中にかけて差圧式以外の方式の流量計で製品化されたものに1943年発表の面積式流量計がある。口径1-3インチの5種類の誘導形発信器FL221と交流クロスコイル形記録計171などから成る製品である。戦後発信器は改良されて形式がFL222、口径は1、2、4の3種となり、受信計器は誘導形、ついで自動平衡形に変わった。

1958年のF&P社との技術提携により面積式流量計の機種が豊富になった。ガラス管形指示計(輸入品)、金属管形指示発信器F10A152系、高圧用F10A1430系などが1960年発表された。浮子に連結した磁石の上下の移動を、管外のマグナボンドと呼ぶ磁気結合機構により取り出し、指針や空気圧変換器を駆動する。電子式制御システム用として、変位-電流変換部ELT300-E LT430(Eライン)、ELT310(-line)と組み合わせた電流出力形発信器も製造されたが、ケースはF1401形で大きかった。

1969年には現場設置に適した金属管形指示発信器マグナレータF10A2152-EX(電子式)、-K(空気式)が発表された。

電磁流量計は1953年大阪大学の指導を得て開発を始め、1959年に最初の製品を発表した。口径13-200mmの6種の発信器FL280、定利得の増幅器FL290および自動平衡計器から構成されるものであり、最小フルスケール流速1m/s、最小導電率100 $\mu$ S/cm、精度1%であった。

1962年には円筒形発信器FL281および-line変換器ELT530を発表した。発信器はエポキシ樹脂製パイプを使用し、分割巻きコイルを特徴とする。パイプは1964年に再びステンレス鋼製に戻し、形式をFL281SFに改めた。1969年にはF&Pの変換器を参考にして、発信器との互換性を改良した変換器ELT540を開発し、発信器もこれに対応してFL281NIに変更した。

大口径では1964年に鋼管内面に巻き鉄心、分割巻きコイルを取り付けて、遠心鋳造法でポリウレタン樹脂ライニングするFL282の開発に成功した。

同年口径2300mmが水資源開発公団に納入され、利根川導水路荒川取水場に設置された。全長5m、重量13tであった。1969年には上記互換化によりFL282NIと形式が変わった。1970年には口径2400mmが静岡県企業局に納入されて内外の注目を浴びた。全長5.2m、重量19tであった。

1973年には小形・軽量化した小口径発信器F501、中口径F511を発表して取扱いを容易にし、コストを大幅に低下させた。1976年の変換器D501へのモデルチェンジでも同様な成果を得ることができた。

増加する生産量への対応と実流検定設備の拡張のため、三重北辰が設立されて操業を開始したのは1975年であり、これよりポリウレタン樹脂ライニングの内作が可能となった。なお1981年にはPFA樹脂ライニングの内作も始められた。

大口径では1975年に不均一磁界を特長とする、ショートフォーム形発信者F521が発表された。小形、軽量化が全口径に及んだことになる。

いわゆる低周波励磁方式がF&P社を通して紹介され、1979年励磁周波数50/8、60/8Hzの独自低周波シリーズF561(小口径)、F571(中口径)、F551(大口径)、D503(変換器)の発表になった。

1982年には変換器のマイクロコンピュータ化を行い、それぞれF566、F576、F556、D551/552と形式を改めた。マイクロコンピュータ化により機能は大幅に向上した。

1982年F&P社の製品化と時期を合せてフランジレス、一体形RINGFLO・F401を発表した。その斬新なデザインは同業他社に大きな衝撃を与え、以後の電磁流量計のいわば市場標準となった。

1983年には世界最大級の口径2600mmを東京都下水道局下落合下水処理場に納入した。全長3.3m、重量9tであった。

タービン流量計は1964年にF&P社の技術を導入し、前述のブレンディング・システムと同時に製品化した。まずF10C1510系7機種を発表し、1968年に時F10C1516系の13機種とした。この機種ではボールベアリングとスリーブベアリングの交換使用が可能であり、潤滑性の少ない流体も計測対象になった。ロータの回転を検出するプリアンプの2線化を、自社技術で行ったのもこの頃である。1968年には北辰本社内にタービン・フローメータ検定設備を完成した。検定に使用する流体はガソリンおよび軽油とし、19klの地下タンク、3基の基準タンク、6台の基準メータ等を備えていた。検定可能サイズは口径15 - 100mmであった。1969年には我国最大の口径24B大口径インダストリ・タービンメータ4台が日本石油基地(株)喜入基地に納入された。最大流量7000kl/h、精度0.2%であった。その内器の加工には高度な切削技術を必要とした。

渦差形流量計スワールメータは流体振動現象を利用した気体用流量計であり、米国のAmerican Standard社で開発され、F&P社経由で導入、1971年に発表された。50:1にも及ぶ広いレンジ内で指示値の1%の精度を持つ特長ある流量計であったが、渦検出素子の入手難やスワールと呼ぶ翼板の加工困難のために製造は1978年頃打ち切られた。

カルマン渦流量計に関する研究は早稲田大学の指導を得て1968年頃から開始したが、製品化は1974年の高炉羽口冷却水漏洩検出警報システム用としてであった。カルマン渦流量計F300と流量差警報器315を組み合わせ、冷却水の給・排水の流量差から羽口の破損を早期に検出する目的で使用された。X315は1978年にはLSI900フローモニタとして集約化した。

1970年代に入り環境保全問題がクローズアップされてきたのに対応し、北辰は1974年Parshall式、1978年Palmer - Bowlus式フリューム流量計P-Bフローメータを発表した。Parshallフリューム流量計はF&P社開発の製品を国産化したものであり、水位の検出と記録にフロートの動きを直接利用する。1974年東京都は公害防止条例を施行し、排水流量計の設置を義務付けたが、このとき北辰は35%の1位シェアを得ることができたのも本流量計に負っている。後者はフリュームF906の原理は別として北辰独自の製品であり、水位の検出は超音波レベル計によっている。建設省より研究補助金の交付を受けて開発し、さらに建設省による評価を経て各地の下水道に相当数設置された。一例を挙げると、口径1500mmが1977年荒川左岸流域下水道幹線に設置されたが、この流量計は浦和市から流入する最大70万人分の下水の流量を漸定するものである。なお黒森健一氏はこのフリュームに関する論文により、計漸自動制御学会より1980年度技術賞を受賞した。

1970年代の後半頃から上、下水道の整備が盛んになるにつれ重要度の低い個所での流量計測に電磁流量計に代えてこれより安価な超音波流量計を使用する傾向が見えてきた。北辰は1981年超音波流量計を発表した。クランプオン形と呼ばれる一対の検出器F721と、これと組み合わせて伝達時間差方式で測線上の平均流速を測って流量を求める変換器D521とから成る。製品化当初は流体中の気泡や管壁への付着物などのアプリケ



最初の機種 FL280 は内面を Kel・F 樹脂でコーティングした SUS304 製測定管に 1 対の電極・鞍形コイル、打ち抜き積層鉄心を取り付け、亀甲形の分割ケースを向い合わせて全体を密閉する構造であった。経験した問題点は電極の絶縁低下、液漏れ、コーティングの剥れなどであったが、1961 年 3 弗化エチレン(テフロン)樹脂製スリーブが実用化されて状況は大幅に改善された。別の問題はパイプ中に発生する渦電流損失、いわゆる鉄損によるゼロ点のドリフトであった。当時の発信器は起電力感度を流速

1m/S 当り 1mV 程度にするよう設計されていて、磁界が比較的強かったためである。並行して進めていた大口徑発信器の研究から、鉄損を減らすことと、管内の磁界の均一度を広い範囲において確保することが、特性の安定化に重要であると考えられるようになった。この考え方によって改良形 F281 が生まれた。

F281(図 17)ではパイプはガラス繊維入りエポキシ樹脂製とし、高温用・耐食用にはテフロン・スリーブを内面に取り付ける。コイルは分割巻きとし、その管軸方向の長さも重要視して大きく設計した。ケース内面には巻き鉄心が付き、ケース末端のシールは Oリングによった。この結果消費電力は口径 300mm では 1/10 程度に減少し、

新開発の変換器 ELT530 の 90°位相雑音抑制能力と相俟って安定性が著しく向上した。その後パイプ材を SUS316 に戻したことは前述したが、その際鉄損が再び問題にならなかったのは、起電力感度が低く修正設定されていたためと思われる。次に開発した変換器 - ELT540 により、発信器 - 変換器間の完全な互換性が得られるようになったが、このために発信器の端子筐に比較電圧発生回路を内蔵させた。これが F281NI である。回路は励磁コイルに直列接続される電流変成器、発信器の起電力特性を統一するため変成器の 2 次側に接続したコンデンサ、抵抗から成る。

円筒形はシールが確実であったが組み立てや分解は容易でなかった。また変換器の性能向上に伴い管軸方向に長い均一磁界を設ける必要性が薄らいだ。発信器 F501/551 は分割形ケース、集中巻きコイルを採用し、面間長を縮めて設計した。部品点数も減らしたので発信器重量を大幅に低減することができた。ケースのシールにはとくに配慮して、改良

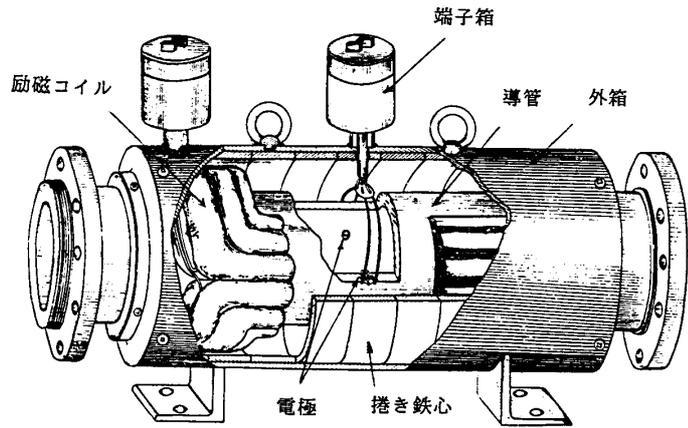


図 17 FL280 円筒形電磁流量計の構造

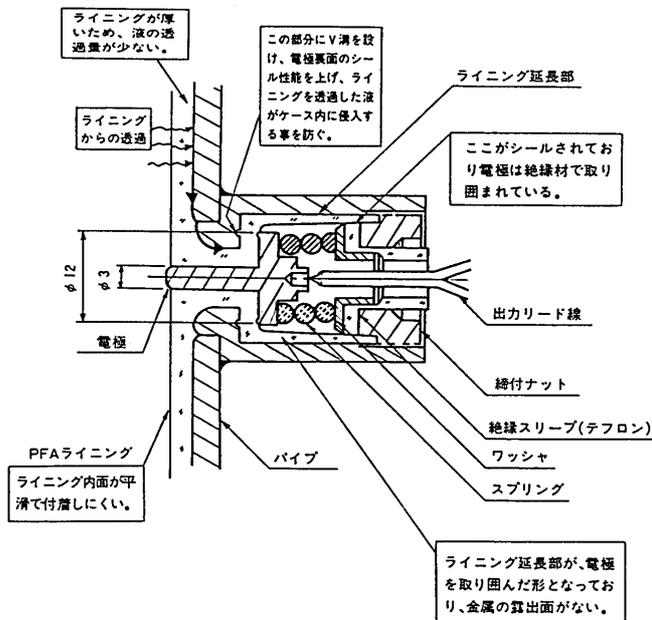


図 18 高信頼形電極の構造

図 18 高信頼形電極の構造

が改悪になることを防いだことは言うまでもない。厚肉の PFA モールド・ライニングの採用により、ライニングや電極回りのトラブルは一掃されたが、このためには高温のモールド技術、ライニングの管内壁への繫止方法や電極部の絶縁構造(図 18)などの確立に多くの努力を要した。発信器の駆動方式が商用周波方式から低周波方式に変わり、これに合わせて励磁コイルの定格や発信器の形式が変更されたが、F501/551 の基本構造はフランジレス形の登場後もそのまま継承された。

### 3.4 大口径電磁流量計発信器

大口径形の変遷の程度は小・中口径形に比べるとわずかである。1964 年発表の FL282 の構造は鋼管内面に巻き鉄心、分割巻きコイルを取り付けてポリウレタン樹脂で遠心鑄造する独創性の高い構造のものである。パイプ、ケースなどの 2 重構造を取る必要がなく、管体は磁路内に含まれないので鉄損が極めて少ないなどの特長を持っている。ライニングの作業性もネオプレン貼りに比べると遥かに優れている。なおこのライニング技術は北辰化学工業(株)より供与されたものである。磁気回路の設計方針は前述の円筒形発信器と同様である。理論的に均一磁界を与えるとされる

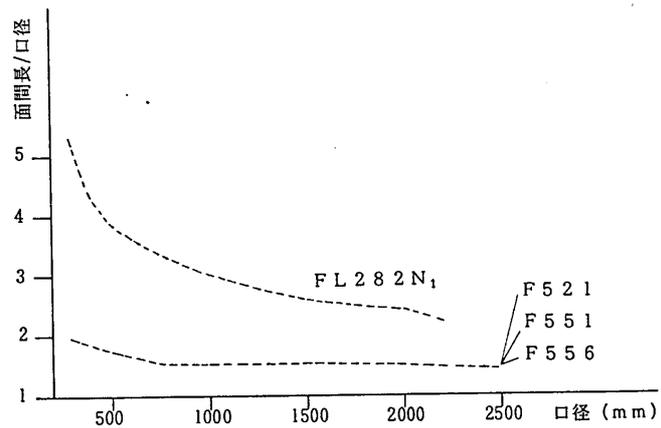


図 19 大口径電磁流量計の面間長/口径比

cosine 巻きを、多数の分割コイルで近似したので磁界の分布特性は良好であった。この発信器が大きさの記録を書き替えながら、上・下水道を中心に多くの実績を積んだことは前述のとおりである。

1975 年発表の F521 は、電磁流量計における荷重関数の解析や、磁界の管軸方向長さ影響の評価結果を反映した機種であり、その面間長は大幅に短縮された(図 19)。重量も半減することができた。低周波方式が採用されてコイルは修正されたが基本構造はそのまま継承されている。

### 3.5 電磁流量計変換器

電流流量計変換器に課せられる特有の性能・機能は、高入力抵抗、共通モード雑音や 90°位相雑音に対する高い弁別比、低い内部雑音レベル、(信号/励磁)演算、発信器—変換器間の互換性の確保、および流速または流量直読のスパン調整、ダンピング調整機能などである。

入力回路については、ELT530、540 では帰還変成器を変換器入口側に置いた総合帰還方式を取ったのに対し、D501 以降では入力抵抗の高い演算増幅器を初段に使用してスパン調整を行い、その出力側に帰還ループを設ける方式としている。ELT530 では増幅器初段に真空管を使用した。540 では入力インピーダンスの高い変成器を代りに使用してソリッドステート化を図った。共通モード雑音に対して、初段部の差動構成により高い弁別比を得ているのは各機種を通して同じである。商用周波・正弦波励磁方式の 3 機種では同期整流により 90°位相雑音を弁別し、さらに ELT530 では傍熱形サーミスタ・ブリッジ、540 で V/F コンバータと時分割乗算回路による 90°雑音抑制ループを備えている。低周波・矩形波励磁方式の 3 機種では、微分性雑音の静定後に信号をサンプリングして積分する方法を取っている。信号電圧を励磁電流に比例した比較電圧で割算する方法として、ELT530 ではホール乗算器を利用した可変利得方式を採用し、540 他では同期整流出力を V/F コンバ

ータでパルス列に変換し、このパルスで比較電圧をサンプリングして帰還電圧とする時分割乗算方式によっている。この方式は基本出力が0 - 10kHzのパルスであり、積算に適する特長を持つ。マイクロコンピュータ内蔵形のD551では演算はマイクロコンピュータによっている。発信器—変換器間の互換性についてはELT530では変換器内の一部ユニットの交換が必要だったのに対し、540以降は完全互換が達成されたことは前述した。D551では発信器のメータ定数を変換器内のマイクロコンピュータに登録する方法に変更した。これによって発信器—変換器間に配線する比較電圧用ケーブルを不要とした。

発信器と組み合わせた精度は電磁流量計発表当初より1%であったが、低周波励磁形以降は0.5%に向上した。流体の導電率の下限は100  $\mu$ S/cmだったが、ELT540でのシールド・ドライブの採用により10  $\mu$ S/cm、ついでD501により5  $\mu$ S/cmに下げられた。

一体形 RINGFLO は接続配管のフランジ間に挟んで接続するいわゆるフランジレス構造を採用し、面間長を許容最小値に抑え、さらに変換部も極力簡素化して小形・軽量化、低消費電力を実現した。また発信器部の信頼性を高めるためにコイル室の溶接とポッティングによる密閉、電極室の独立密閉、外部よりの電極交換・実績のある電極のシール構造等の特長が盛り込まれている。基本設計は F&P 社製品と同じであるが、細部に北辰独自の工夫・改良が加えられた。市場戦略の観点から精度は1.5%とされたが、実力は0.5%級であった。

### 3.6 インダストリ・タービンメータ

図 20 に F10C1516 の構造図を示す。2 個の精密ベアリングを組み込んだ磁性ステンレス鋼製ロータは、整流翼を持つ前側サポートと後側サポートとによって、非磁性ステンレス鋼製メータ・ハウジング内に保持され、前側サポートの軸の周りを回転する。ロータに加えられる管軸方向の力は上・下流側で打消し合う(ハイドロリック・バランスと呼ぶ)構造を取り、ロータの回転数と流速の比例性を高めている。ロータの位置に接近してメータ・ハウジングの外側にピック・オフ・コイルが取り付けられる。端子箱内のオシレータ・プリアンプ・ユニットから、40kHz の高周波電圧がこのコイルに加えられる。ロータが回転するとコイルの Q が変化してコイル電流は振幅変調される。これを 2 線式のプリアンプで増幅・検波・波形整形して矩形波パルスとして発信する。

ボールベアリングに代えて、グラファイト入りテフロン製スリーブベアリングとすることも可能であった。また高周波変調方式の代りに磁化したロータを使用して、ピック・オフ・コイルより電磁誘導起電力を取り出すマグネチック方式の検出部を使用することもできた。後者は多少レンジアビリティが狭くなるが、使用温度上限が高くできる特徴があり、使用条件に応じて使い分けられた。測定精度は一般用が0.5%、取引用が0.2%、レンジアビリティは1:10であった。

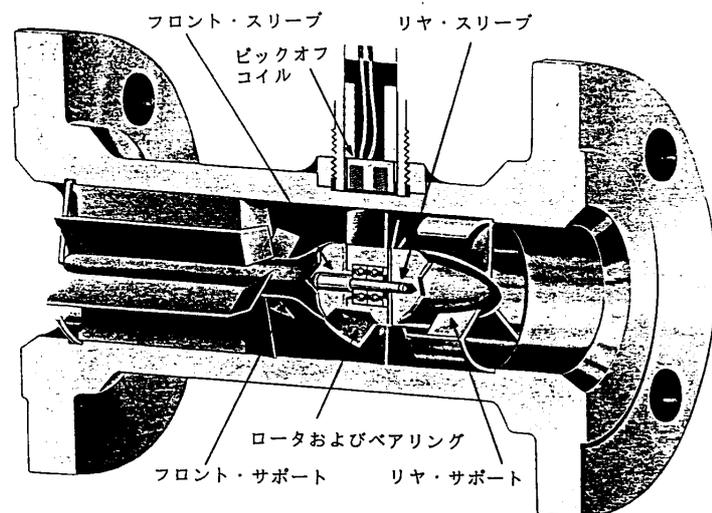


図 20 インダストリ・タービンメータの構造

### 3.7 カルマン渦流量計

冷却水監視用として製品化した発信器 F300(図 21)は 2 体形渦発生体、半導体ストレイン・ゲージを内蔵する圧力センサおよびプリアンプをメータ・ハウジングに取り付けた構造になっている。接液部材はすべてステンレス鋼、シール用 Oリングはネオプレンゴム製である。工業用水を対象とするので附着物の影響を避けるために狭いギャップを持たない設計である。2 体形渦発生体の採用により強い渦を発生させて、片持ち円柱形センサの剛性を高めてある。

管路が受圧板に直角な方向に振動すると雑音を発生するので、低振幅の入力をプリアンプ内でカットしている。したがって測定流速下限は口径 50mm の場合 60cm/s 程度である。プリアンプの回路ブロック図を図 22 に示す。

流量差検出警報器 315 は、給水用および排水用の 2 個の発信器出力を比較して管路内での漏水を検出し、警報を発する機能を基本とし、給水量の警報、流量差および給水量のアナログ出力発信などの機能をも備えている。2 つの発信器のパルス列信号は、それぞれの周波数/電圧変換(F/V)回路により電圧に変えて比較するが、F/V 回路の特性を安定化するために共通のクロックパルスを使用する工夫がされている。

本渦流量計は高炉の羽口冷却水の漏洩検出に多く使用されたが、そこでは特徴ある使い方がなされた。給水側、排水側の流量 - 出力周波数特性は、流量計前後の直管長の違いや、渦発生体の形状差のために正確に同一にならない。そこで羽口が新しくて漏洩がないと見させる時に F/V 回路の一方を調整し、流量差をゼロに設定する方法を取っている。この方式により従来は検出が困難だった羽口のピンホール発生を、1% 程度の流量差として検出し、羽口破損による危険を防止できることがユーザーにより報告されている。

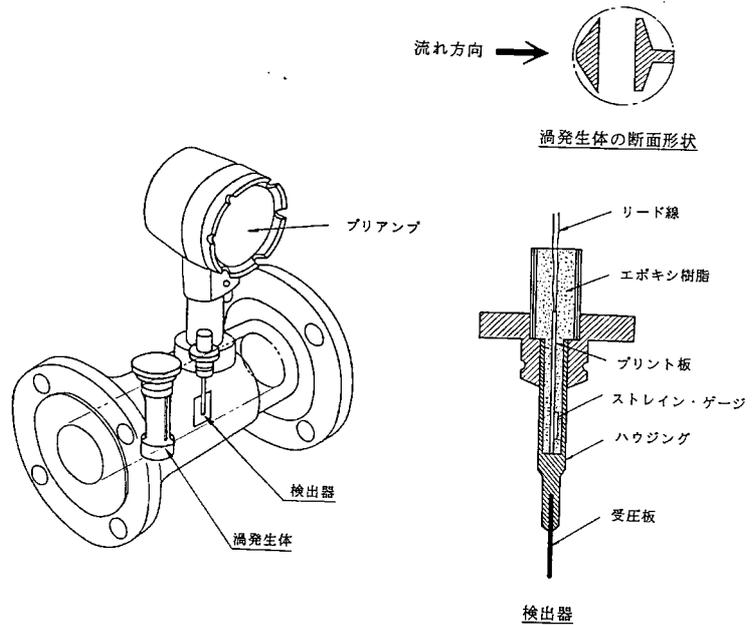


図 21 カルマン渦流量計の構造

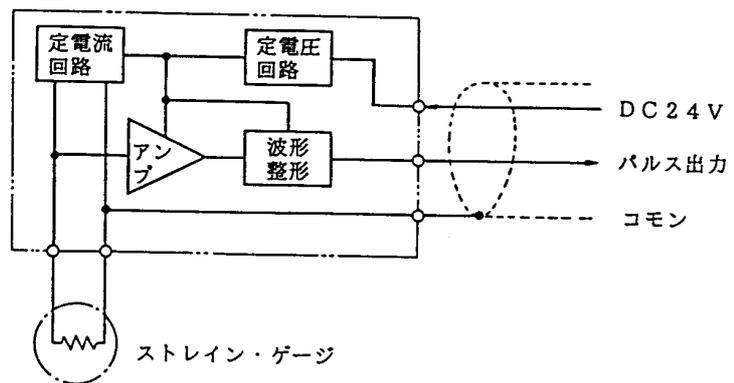


図 22 渦流量計プリアンプのブロック図

### 3.8 P - B フローメータ

P - B フリューム F906 は、下水道のような円形管渠内の非満水流れを測定するのに適したフリユームである(図 23)。マンホール内に設置するためにフロント部、スロート部、リヤ部から成り、これらをマンホール内で組立てるよう設計されている。スロート部は逆梯形の絞りを構成して流れを射流に変える機能を持つ。下流側の水位

変化は射流を越えて上流側に及ばないので、射流の上流側の水位をフロント部に取り付けた短距離形の超音波レベル計発信器 L701、変換器 D511 で計測すれば、管路流量を測ることができる。このフリークームではスロート部の底面の立上りは少なく、ここで流速が速められるのでフロント部での沈澱物の堆積が少ない特長がある。また設置の際に水路の変更を必要としないのもユーザに好評である。口径は 250 - 2400mm、精度は 4% である。

### 3.9 超音波流量計

本流量計の基本原理は伝達時間差方式としてよく知られているものである。

図 24 において、管路口径を  $D$ 、2 個の送・受信兼用発信器 F721 を結ぶ直線の管断面に対する傾きを  $\theta$ 、流体の断面平均流速を  $V$ 、流体中の音速を  $C$ 、超音波パルスが上流側の送信器から発信されて下流側受信器により受信されるまでの伝達時間を  $T_1$ 、逆方向への伝達時間を  $T_2$  とすると、

$$T_1 = D / (C + V \sin \theta)$$

$$T_2 = D / (C - V \sin \theta)$$

したがって、

$$1/T_1 - 1/T_2 = (V \sin 2\theta) / D$$

この演算のために 2 個の Phase Locked Loop をそれぞれ  $1/T_1$ 、 $1/T_2$  相当周波数の整数倍 (倍率を  $N$  とする)

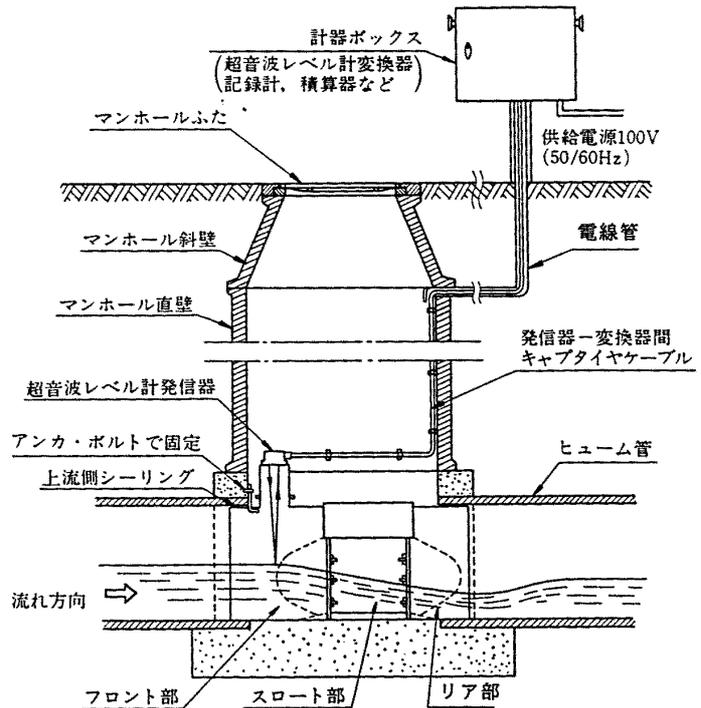


図 23 P-B フローメータの設置図

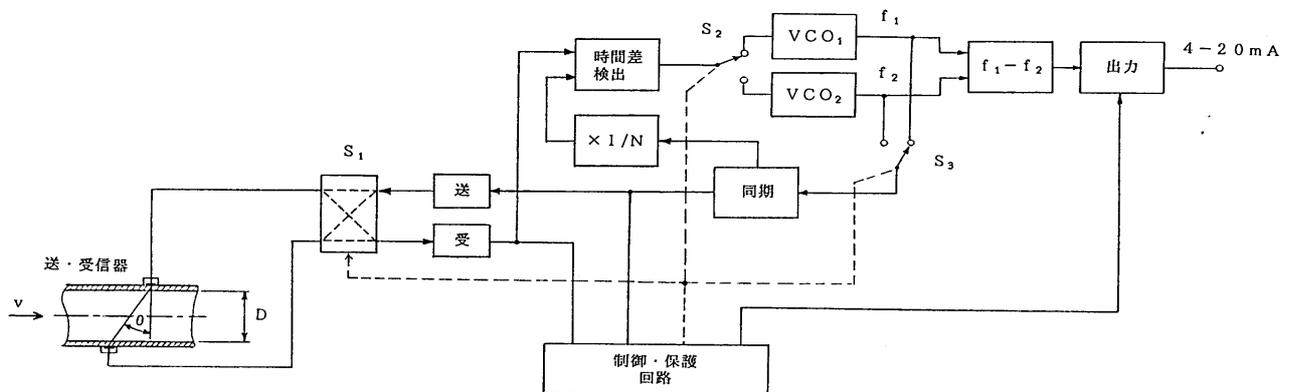


図 24 超音波流量計の動作原理

の周波数  $f_1$ 、 $f_2$  で発振させる。その周波数差  $f$  より流速  $V$  を求める。

$$f = N(1/T_1 - 1/T_2) = (N V \sin 2\theta) / D$$

ここで倍率を掛けるのは測定分解能を向上するためである。

変換器 D521 の特長は流れを止めずに変換器のゼロ点調整ができることである。手動のゼロ調整スイッチにより2個の送・受信器の変換器への接続を入れ換える。この入れ替え前後の2つの出力平均値にはゼロ・オフセットが含まれないことを利用している。別の特長は信号の(気泡等による)瞬断に対する保護に工夫を凝らしている点である。

本流量計は主として上・下水道分野での中・大口径流量を計測対象としたが、変わった例では農業用水の配分管理や石油陸揚げ時の流量計測の試みなどがある。この機種は合併後さらに改良されて YEWSONIC となったことを付記する。