圧力センサ

世界市場の要望にこたえるFCシリーズ圧力・差圧センサ

*大久保 勝(おおくぼ まさる) *間島 昇(まじま のぼる)

1 まえがき

FCシリーズ発信器は，圧力，流量，液面など流体プロセス量を測定する静電容量式センサで，9機種約40種類の豊富な機種群からシリーズ構成されている。図1にFCシリーズ発信器の外観，また表1に機種構成を示す。

本発信器シリーズは，国内において昭和53年から順次開発，発売を行い，昭和55年に全機種を発売した。海外の市場へは，その後昭和56年に西独シーメンス社へ，そして翌昭和57年に米国ITTバートン社へOEM輸出を開始した。

FCシリーズ発信器は，静電容量式測定原理とフローティングセル構造，及び富士電機が開発した製造技術による高精度測定素子などにより，多くの優れた特徴を有している。フィールドでの実績を積むに従い，高性能，高信頼性が実証され高い評価を得ている。

今回，世界主要国の規格認定取得，特殊用途への対応など，仕様を更に充実し，欧米をはじめとして，世界市場に広く販売できるシリーズが完成した。生産体制の強化も併せて完了したのでここに紹介する。

図1 FCシリーズ発信器

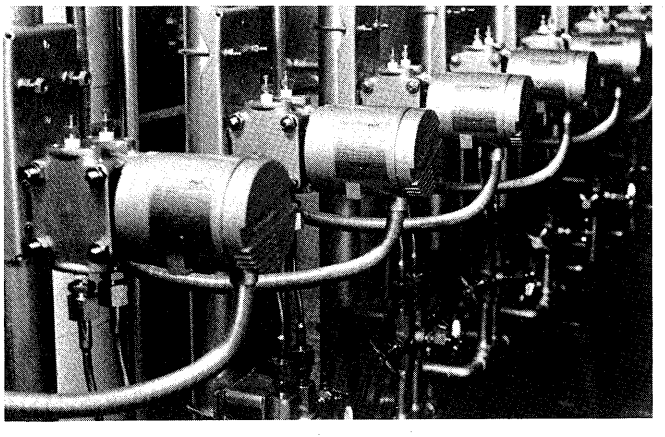


表1 FCシリーズ発信器の機種構成

種類	形式	範囲測定	定格圧力 (kg/cm²)
差圧	FFB,FFC,FFF	10 — 30 (mmH₂O: 10, 100, 1,000, 10,000 / kg/cm²: 1, 10, 100, 1,000)	10,30,100,420
隔膜付差圧	FFD	130 — 3.2	10,30
圧力	FBC	0.4 — 500	—
隔膜付圧力	FBD	0.4 — 500	—
絶対圧力	FBA	(12mmHg abs) — (3,000mmHg abs)	—
フランジ液面	FPA	130 — 3.2	10,30
流量	FJQ	20 — 3.2	1,30,100,420

2 FCシリーズ発信器の原理

静電容量式による差圧発信器は，

(1) ほとんど完全な対称構造とすることができる。このため測定しようとする差圧だけを差動的に取り出し，温度，静圧などの状態量の影響を除去することができる。

(2) ベース静電容量に対する信号となる静電容量の変化量の割合が大きいため，長期安定性，広い測定レンジの実現に有利である。

など本質的に優れた特徴を有している。

FCシリーズ発信器は，富士電機が開発した高精度検出素子の製造技術と，フローティングセル構造などにより，従来の静電容量式を更に凌駕するものとした。

図2 差圧発信器測定原理図

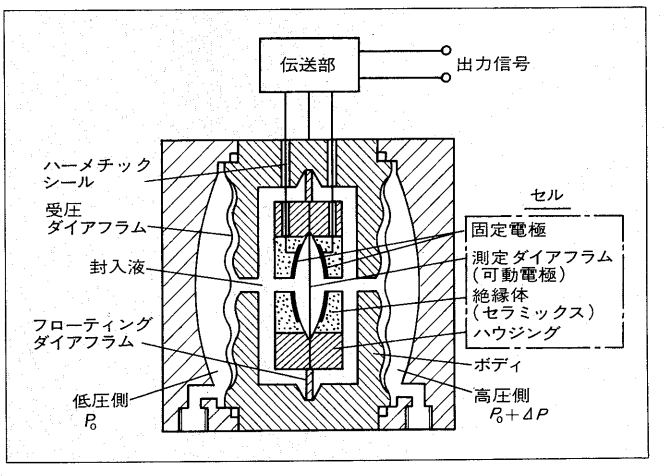
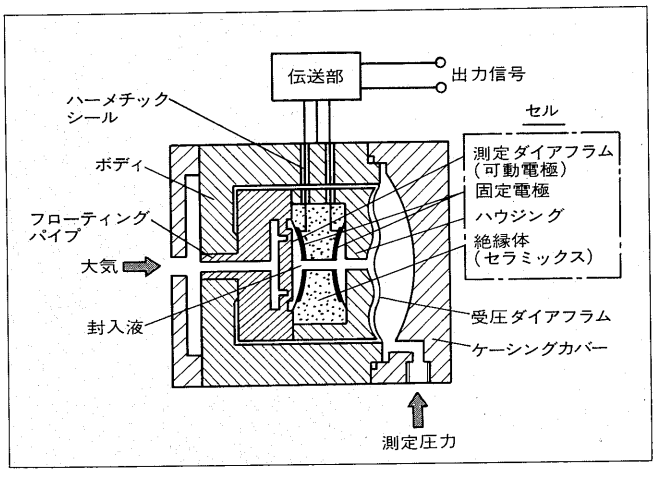


図3 圧力発信器測定原理図



*東京工場 機器設計部

図2に差圧発信器，図3に圧力発信器の原理構造を示す。検出素子（セル）をフローティング部材でボデイに固定したフローティングセル構造で，この構造は，プロセス条件，設置環境による影響要因がフローティング部材で吸収され，セルはその影響を受けにくい。

セルは，測定ダイアフラムに高い張力を与えて張る製造技術により，低差圧領域においても極めて直線性が優れた小形高精度セルとなっている。

3 規格認定の取得

3.1 防爆認定

日本をはじめ，諸外国においても，爆発性危険場所に設置する電気機器は，各国の検定機関の防爆認定を受けたものを使用することが義務付けられている。

防爆方式にはいろいろな方式があるが，電子式発信器の場合，危険場所への適用性及び機器の構造上から，耐圧防爆又は本質安全防爆が一般的に採用されている。

FCシリーズ発信器は日本はもとより，西独，米国，カ

表3　各国における防爆グレード表示

<西独，オーストラリア>（EC諸国）

E Ex　ib　IIC　T6

- CENELEC規格準拠防爆機器
- type of protection
  - 本質安全：ia（category "ia"）
    ib（category "ib"，Zone 0に適用不可）
  - 耐　　圧：d（Zone 0に適用不可）
  - など
- 機器グループ
  - 鉱　山　用　I
  - 鉱山以外用　IIA（JIS爆発等級1相当，プロパン）
    IIB（JIS爆発等級2相当，エチレン）
    IIC（JIS爆発等級3相当，水素，アセチレン）
- 機器の最高表面温度
  - T6：85℃
  - T5：100℃
  - ↓
  - T1

<米国，カナダ>

Class：I or II or III
- I：可燃性ガス，蒸気
- II：可燃性ダスト
- III：発火性繊維，綿くず

Division：1 or 2
危険場所　Zone 0，1，2に対応

Group：A～G　A：アセチレン，B：水素，C：エチレン，D：プロパン，E：金属粉，F：炭じん，G：その他

表2　防爆認定一覧表

	区　分	準拠規格，法規	検定機関名及び検定番号	防爆グレード	備　　考
日本	耐圧防爆構造	JIS C 0903-78 工場電気設備防爆指針他	産業安全技術協会 第26421号～第26436号	ds 2 G 4	
日本	本質安全防爆構造	同　上	産業安全技術協会 第26253号（1形） 第30745号（2形）	i 3 nG 5	富士電機ツェナバリヤ PWZB 10 A 1と併用のこと 4-20 mA リニア出力のみ（アレスタ付不可）
西独	本質安全	EN 50014 EN 50002	PTB PTB Nr. Ex-80/2095（1形） Ex-81/2150（1形） Ex-82/2129（2形）	EEx ib IIC T 6 or EEx ib IIC T 5	$V \leqq 24$ V，$I \leqq 100$ mA のPTB認定バリヤと接続のこと（メーカー，形式は問わない）。 4-20 mA リニア出力のみ（アレスタ付不可）申請名儀/SIEMENS
米国	耐圧防爆	UL 698（ANSI C 33.30） Approval Standard CL. NO 3615 （FM） NEC chapter 5	Factory Mutual Research （FM） J.I. OF 1 A 6. AE	Explosion proof, Class I Division 1, Group B, C & D. Dust-ignition proof Class II. Division 1, Group E, F, & G. Class III	
米国	本質安全	NFPA 493 Approval Standard CL. NO 3610 （FM） NEC chapter 5	Factory Mutual Research（FM） J.I. OF 5 A 5. AX（1形） J.I. 2 G 1 A 8. AX（2形）	Intrinsic safety, Class I, Division 1, Group A, B, C & D （バリヤにより異なる）	適用可能バリヤを表4に示す。 4-20 mA リニア出力のみ（アレスタ付不可） Installation instruction DWG. TC 408292～TC 408294, TC 408625, TC 408660, TC 409102
カナダ	耐圧防爆	CSA C 22.2 NO. 0 CSA C 22.2 NO. 30 CEC Part I ほか	CSA LR. 50992-1	Explosionproof enclosures Class I, Division 1, Group C & D	
カナダ	本質安全	CSA C 22.2 NO. 0 CSA C 22.2 NO. 157 CEC Part I ほか	CSA LR. 50992-2	Intrinsic safety Class I, Division 1, Group A, B, C & D	適用可能バリヤを表4に示す。 4-20 mA リニア出力のみ（アレスタ付不可） Installation instruction DWG TC 408628～TC 408630 TC 408661, TC 409101
オーストラリア	本質安全	AS 2380 Part 1 AS 1829	SAA （申請中）	Exia IIC T 6	

表4　FM, CSAの接続可能バリヤと適用ガスグループ

メーカー	Model	FM	CSA
MTL	MTL 128－	A, B, C, D	A, B, C, D
	MTL 188＋	A, B, C, D	A, B, C, D
	MTL 188 R＋	A, B, C, D	A, B, C, D
	MTL 322	A, B, C, D	A, B, C, D
Honeywell	38545-0000-0110-113	A, B, C, D	A, B, C, D
	38545-0000-0110-111	C, D	A, B, C, D
	38545-0000-0110-111 38545-0000-0110-112	C, D	A, B, C, D
Taylor	1130 FF(G) 21000	C, D	C, D
	1130 FF(G) 21000 1130 FF(G) 21000	C, D	C, D
	1135 FF(G) 21000	C, D	C, D
	1135 FF(G) 21000 1135 FF(G) 21000	C, D	C, D
Stahl	8901/33-0921000/79 8903/51-2001050/70	A, B, C, D	A, B, C, D
	8903/31-315/050/70	A, B, C, D	A, B, C, D
Foxboro	2 AI-12 V-FGB (CGB)	B, C, D	B, C, D
	2 AI-13 V-FGB (CGB)	B, C, D	B, C, D
	2 AS-13 I-FGB (CGB)	B, C, D	B, C, D
	3 A 2-12 D-FGB (CGB)	B, C, D	B, C, D
	3 A 2-13 D-FGB (CGB)	B, C, D	B, C, D
Westinghouse	75 SB 02	A, B, C, D	not approved

ナダ，オーストラリア（申請中）など世界主要国の防爆認定を取得している。認定内容の詳細を表2に，防爆グレードの表示内容を表3に示す。

欧州においては，防爆規格はCENELEC規格として統一されており，この規格に基づき各国の検定機関が検定を実施している。FC発信器はCENELEC規格に基づき，西独PTB（Physikalische-Technische Bundesanstalt）の検定に合格したものである。

本質安全防爆の認定に関し，日本においては最近，機器単位での認定も行われるようになったが，現状では依然として組合せ認定が主流であり，発信器と過大なエネルギーを制限する安全保持器（ツェナバリヤ）の組合せで認定される。PTBにおいては，以前から機器単位で認定を行っている。このためPTBで認定されたバリヤで，定格に合致しているものであれば，メーカー，形式に関係なく自由に組合せできる。したがって欧州においては，本質安全防爆でも日本と異なり，発信器単体で容易に採用してもらうことができる。

FM（Factory Mutual Research，米国）及びCSA(Canadian Standards Association，カナダ）においては，機器単位の認定ではあるが，接続できるバリヤは認定されたバリヤだけに限られている。表4にFCシリーズ発信器が接続できるバリヤと適用可能な爆発性ガスの区分(A～D)を示す。

FMにおけるクラスII，IIIは日本の粉じん防爆に相当するものである。またFMの耐圧防爆では，水素雰囲気（グループB）にも使用できるなど，国内向けより適用範囲の広い認定内容となっている。

検定制度の確立していない諸国においては，上記先進国の認定取得を条件としていることが多く，表2に示す防爆認定取得により，世界市場に広く受け入れられるようになった。

3.2　ロイド船級協会の形式認定

FCシリーズ発信器は，ロイド（Lloyd's Register of Shiping：本部イギリス）による形式認定を取得している。ロイドは船舶に関する総合的な検査認定を業務としており，船舶用制御機器については形式認定を行っている。試験は機器を船舶の甲板上，あるいは機関室に設置することを前提に，防水試験，振動衝撃試験，高温試験，低温試験など耐環境性の確認に重点を置き，ロイドの基準に従って実施される。

ロイドにおいては，船舶における防爆方式は，本質安全防爆に限られており，FCシリーズ発信器は，富士電機製ツェナバリヤ（形式PWZ）と組み合わせ，ロイドにおける本質安全防爆の認定を取得している。

3.3　日本海事協会の形式認定

通称NKとして知られている日本海事協会は，ロイドと同様船舶に関する総合的な検査，認定を業務としており，計装機器については，本質安全防爆の形式認定を実施している。FCシリーズ発信器は富士電機のツェナバリヤ（形式PWZ）と組み合わせて本質安全防爆の認定を取得済みである。

4　WIB評価試験

WIB（Working-party of Instrument Behaviour）は，オランダに本部を置く計装機器ユーザー団体で，世界中の有力なユーザー，プラントメーカー，エンジニアリング会社が加盟している。WIBでは，オランダの公的評価試験機関TNOに機器の評価試験を委託しており，この評価試験は第三者による公平なものとして，国際的に良く知られている。

機器の評価は，性能，構造，取扱い，ドキュメント表示などを含め総合的に行われる。性能試験については，精度，

図4　精度試験データ

3.1　Results' summary

Subject	measured	manufacturer's specifications	report reference
- Accuracy at 64 mbar span:			see 3.2
maximum average error	+0,03 %	< ± 0,2 %	
maximum hysteresis	0,01 %		
repeatability	<0,01 %	< ± 0,05 %	
- Accuracy at 250 mbar span:			see 3.2
maximum average error	+0,02 %	< ± 0,2 %	
maximum hysteresis	0,02 %		
repeatability	<0,01 %	< ± 0,05 %	
- Accuracy at 640 mbar span:			see 3.2
maximum average error	+0,03 %	< ± 0,2 %	
maximum hysteresis	0,02 %		
repeatability	<0,01 %	< ± 0,05 %	
All further measurements have been carried out at a span of 250 mbar			
- Dead zone			

温度特性，湿度試験，片熱輻射，加速寿命試験など20項目以上の試験がIEC規格又はBS規格に準拠して行われる。試験結果はEvaluation Reportとしてメンバーに公表され，機器採用時の参考に供される。

この試験で，富士電機から申請した圧力発信器（形式FBC）及び差圧発信器（形式FFC）は，カタログ表示以上に高性能であり，また保守取扱性の面からも満足すべきものであることが実証されている。図4に差圧発信器（形式FFC）の性能試験結果の一部（精度試験）のデータを示す。10：1のスパン変更に対しても，特性の変化はほとんど生じていない。

5 特殊仕様

FCシリーズ発信器は，豊富な機種群から構成されていることが大きな特長であるが，このワイドな標準仕様に加え，更に特殊仕様への対応も可能である。下記にその一例を紹介する。

5.1 サニタリー仕様

サニタリー用発信器は，食品タンクの液面，圧力，流量などの測定に使用するもので，食品衛生上要求される管理，取扱いが確実かつ容易に行えるよう考慮してある。

IDF（国際酪農連盟）規格に準拠しており，測定流体の滞留部がなく，着脱，洗浄容易な構造となっている。プロセス取付部は，バフなどによる平滑仕上が行われている。接続方法はクランプ接続としてある。

サニタリー用発信器の仕様を表5に示し，フランジ液面発信器の外観を図5に示す。本仕様は既に標準化されている。

図5　サニタリー用フランジ液面発信器

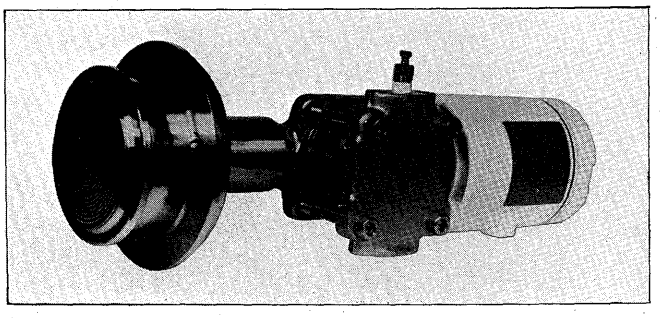


表5　サニタリー用発信器の仕様

種別	圧力	差圧	フランジ液面
形式	FBD	FFD	FPA
構造	隔膜式クランプ接続	隔膜式クランプ接続	突出形フランジ式。附属の溶接取付形マウンティングにクランプ接続
測定範囲	0～0.4…20kg/cm²	0～130……32,000 mmH₂O	
使用圧力	—	−1～10 kg/cm²	
フランジ寸法	0～4kg/cm²以下4B 0～5kg/cm²以上2B	4B	
準拠規格：IDF（国際酪農連盟） 流体温度：−30～120℃ 記載なき仕様：性能はFCシリーズ発信器　標準仕様・性能と同じ			

5.2 ローパワー仕様

商用電源が使用できない場所に設置する場合などは，乾電池，太陽電池などに電源を頼ることになり，特に消費電力の低いものが要求される。ローパワー仕様は，これらの要求に応じるため開発したものである。主な仕様を次に示す。

供給電源：DC 10 V
消費電力：15 mW
出　　力：DC 1～5 V
配線方式：4線式

5.3 NACE仕様

設置環境がH_2Sガス雰囲気での使用に対応するもので，NACE（National Association of Corrosion Engineer）規格に基づき製作するものである。

5.4 低温仕様

カナダなどの寒冷地での使用に応じるもので，周囲温度−50～＋60℃の範囲で使用できる。機械部品の低温ぜい性，封入液，電子部品の選定などに関し十分な検討がなされている。

5.5 真空微差圧用

本品は高真空度下で，微差圧を高精度に測定できる。真空差圧式のリークデテクタ用センサとして使用する目的で開発した。本品を使用することにより，リークデテクタの漏れ検出感度の向上が可能となる。主な仕様は次のとおりである。

測定差圧：−5～＋5 mmH_2O
使用圧力：0～760 mmHg abs
精　　度：±0.25%

5.6 その他の特殊仕様

以上紹介したほか原子力用，高温高圧用なども要求により対応できる。また，その他の特殊仕様に対しても個別に要求に応じている。

6 輸出品の標準化

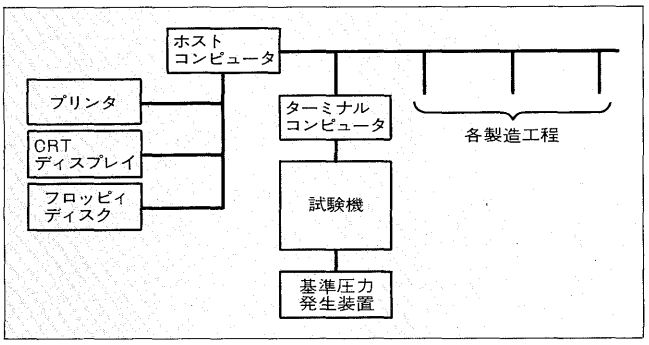
欧米市場への輸出はシーメンス社，及びITTバートン社を通して行い，OEM契約に基づき手配製作する。

その他諸国に対しては直接輸出販売している。今回，この一般輸出品の標準化が完了した。防爆仕様，プロセス接続部の仕様などを整備し，形式コード化したので，輸出国の仕様に応じて形式コードを指定するだけで簡単に手配できる。

7 生産体制の強化

欧米へのOEM輸出を契機に生産台数が急増しており，

図6　CATシステムの既要



また今後の伸びが予想されることから，これに対応できる生産体制を構築し，生産能力の拡大と，短納期化を実現した。

製造ラインは，部品加工から最終試験に至るまで，自動搬送装置，コンベヤなどによる滞留の無い自動化された一貫製造ラインとなっている。

部品加工はロボット，NC機を大幅に導入して作業人員の削減，加工精度の向上，加工時間の短縮を行っている。

組立，試験工程は，各ユニット段階から，最終試験に至るまで，自動化，システム化されたCAT(Computer Aided Test）システムによる生産ラインである。

図6にFCシリーズ発信器のCATシステムの概要を示す。各製造工程ごとに設置したターミナルコンピュータと中央に設置した管理用ホストコンピュータにより構成され，各工程ごとの品質データの管理及び完成品の履歴管理が行われる。各製造工程におけるデータ測定用基準入力は，高精度基準圧力発生装置により自動供給される。

8 あとがき

FCシリーズ発信器は仕様，性能，納期，価格などすべての面で世界市場に販売できる電子式発信器シリーズとして完成した。本発信器シリーズの技術的内容については本誌でも既に6回[(1)~(6)]にわたり発表している。十分な御理解をいただき国内外を問わず広く採用されることを期待する。

参考文献

(1) 安原毅ほか：富士全電子式FCシリーズ発信器，富士時報，**52,** 2，pp. 113～122（1979）

(2) 篠崎松蔵・玉井満：富士全電子式FCシリーズ発信器（その2），富士時報，**52,** 5，pp. 287～393（1979）

(3) 大久保勝ほか：富士FCシリーズ発信器の全貌，富士時報，**52,** 6，pp. 311～318（1979）

(4) 大久保勝ほか：テレパームFCシリーズ発信器の信頼性，富士時報，**53,** 8，pp. 602～607（1980）

(5) 多胡敬一郎ほか：富士全電子式FCシリーズ発信器（その3），富士時報，**53,** 5，pp. 327～335（1980）

(6) 安原毅・大久保勝：FCシリーズ圧力・差圧センサ，富士時報，**54,** 8，pp. 537～542（1981）

(7) 安原毅ほか：静電容量形高精度検出セル，第18回SICE学術講演会（1979）

(8) 篠崎松蔵ほか：静電容量式高静圧差圧発信器，第18回SICE学術講演会（1979）

(9) 玉井満ほか：静電容量式圧力発信器，第18回SICE学術講演会（1979）

(10) 玉井満ほか：ワイドレンジディジタルマノメータ，第19回SICE学術講演会（1980）

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。