# 安全で快適な社会を守るセンサ技術

**北出 雄二郎**（きたいで　ゆうじろう）

## 1　まえがき

人工衛星上からの地球の気象監視から，体温を測る感温膜までさまざまな分野でセンサはわれわれの生活を支えている。絶え間ない技術の進歩によって，測定対象の拡大，測定精度の向上，測定結果による新たな知見の獲得はとどまることがない。

富士電機では，1950 年代からさまざまなセンサの開発を進めてきた。当初はシーメンス社からの技術導入によって工業計器の分野のセンサに取り組むことから着手した。現在では，独自の技術開発を中心に特定用途機器コンポーネントからセンサを応用した各種システムまでを開発，製品化してきている。**図 1** にセンサデバイス，センサコンポーネント，センサシステムの関係について示す。

図１　センサの機能

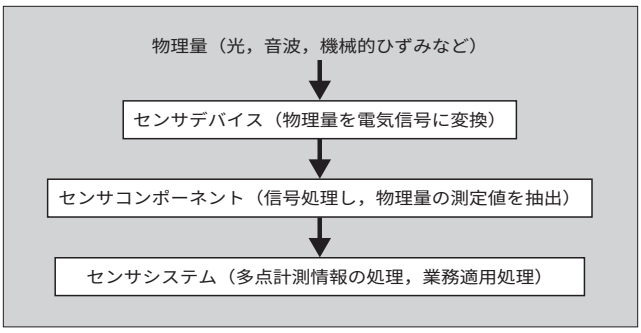



図２　富士電機におけるセンサのコア技術と応用分野

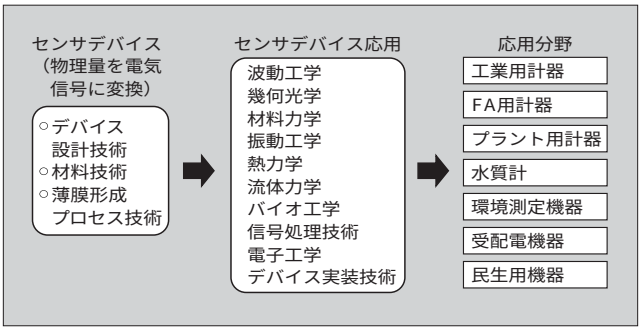



**図 2** は，富士電機におけるセンサのコア技術と応用分野についてまとめたものである。富士電機が開発し製品に応用しているセンサデバイスとしては，大別して，

○半導体ひずみゲージ（圧力センサ）
○薄膜ガス検出デバイス
○熱線素子，フローセル（赤外線ガス分析計）
○放射線検出ダイオード
○化学物質濃度検出用微生物活性センサ

がある。これらのセンサデバイスを支えている技術は，材料技術，薄膜形成技術，デバイス設計技術，バイオ技術である。

また，これらの素子技術を実際の機器に応用するための技術として下記の技術がある。

○光応用，超音波応用のための波動力学，幾何光学
○圧力，ひずみ測定のための材料力学，振動工学
○圧力，流体計測のための熱力学，流体力学
○生物工学，化学工学
○フィルタ，認識処理のための信号処理技術
○機器に実装するための電子工学，デバイス実装技術

これらの技術については，さまざまな現象を電気信号に変換するデバイスを発見する創造性とその原理を工業化する技術，およびセンサ機器として量産して長時間動作を保障する製品化技術が必要となる。

## 2　センサにおける技術動向と富士電機の製品

**図 3** は，富士電機のセンサ技術の変遷をデバイスとそれを用いた製品についてまとめたものである

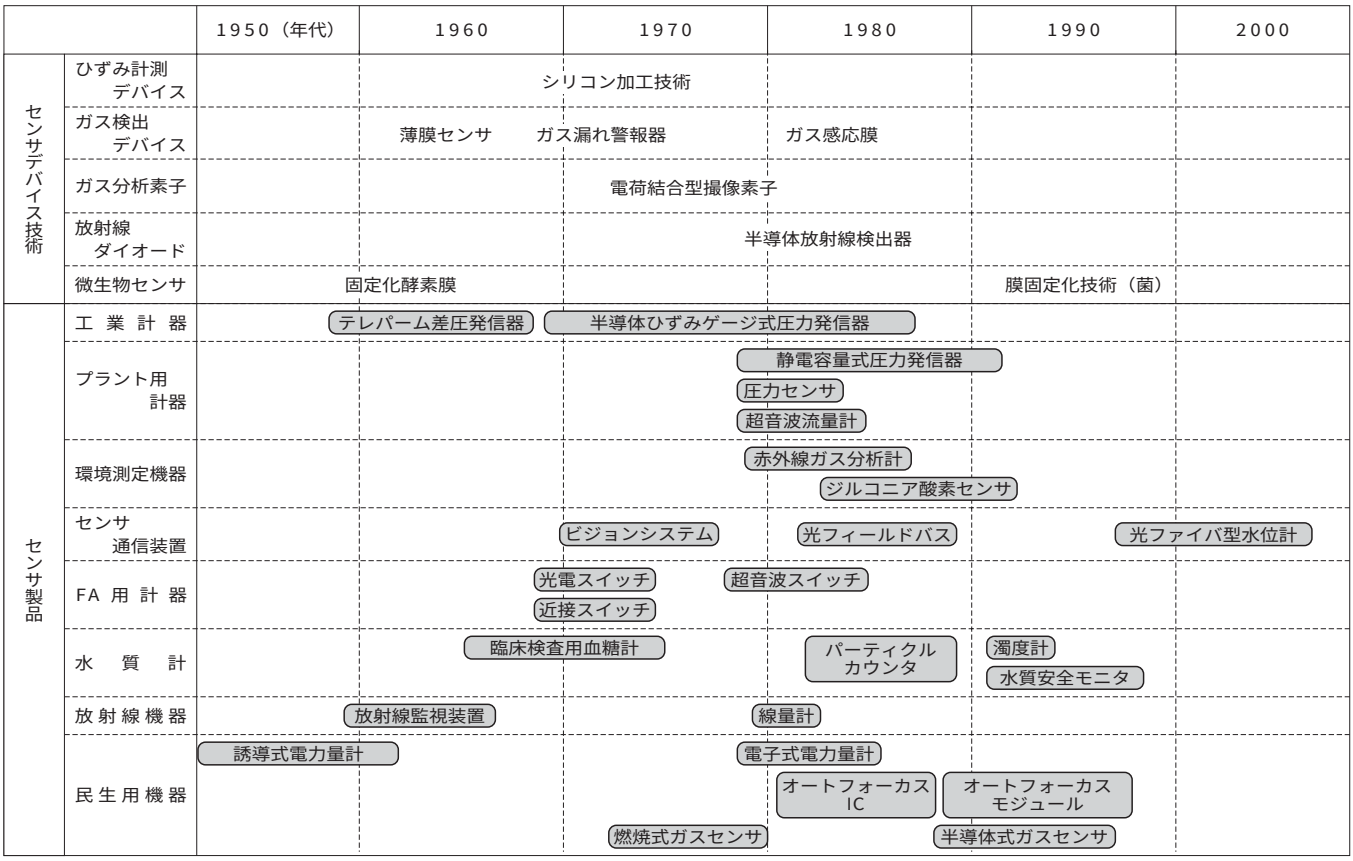
工業計器の分野では，シーメンス社の技術を基礎に純空気式の「テレニュー機器」への市場参入から製品化がスタートした。その後，半導体ひずみゲージを用いた圧力発信器を開発し 1971 年に製品化を行い，この技術を応用して，静電容量式圧力発信器の製品化を 1979 年に行った。また，当時においては画期的な信号処理回路を内蔵した圧力センサを自動車用に開発し，1981 年に製品化を行った。

民生用機器の分野では，1977 年に接触燃焼式ガス漏れ

**北出 雄二郎**

情報機器，制御機器，計測機器の研究開発に従事。現在，（株）富士電機総合研究所機器技術研究所長。日本機械学会会員。

図３　センサにおける技術動向と富士電機の製品




警報器を製品化した。その後，さらに，半導体式の薄膜ガス感応膜の開発に成功し，1991 年には，このデバイスを応用した，半導体式ガス漏れ警報器の製品化を行っている。

環境測定機器の分野では放射線検出ダイオード半導体式放射線検出デバイスの開発を行い，従来のガイガーミュラー計数管に比較して，長寿命で特性の安定した放射線モニタが実現可能となり，信号処理回路との一体化など高性能・高機能の線量計の製品化を行った。さらに，高比抵抗，高純度のシリコン単結晶基板を利用して，ポケット型警報線量計（レムマスタ）の γ 線検出器の開発を行い，1981 年に製品化を完了した。

水質計の分野では，1977 年から固定化酵素膜の技術開発を進め，その応用として臨床検査用血糖計，尿酸計，アミラーゼ分析計の製品化を行ってきた。この技術を基に世界初の固定化微生物膜による毒物検出用センサである，水質安全モニタの製品化を行った。このセンサは微生物の活性度を測定して毒物の有無を検出するもので，浄水場での安全管理に使用されている。

1970 年に発明された光ファイバ技術は，1980 年代には実用化のレベルに達し，富士電機ではこの技術を応用して，1985 年には電磁ノイズに強く，防爆性の高い計装システムである光フィールドバスシステムの製品化を行った。

## 3　富士電機のセンサに対する今後の技術戦略

センサはよく「千差万別」と比喩（ひゆ）されるようにさまざまな物理量を計測するものである。センサに対する富士電機の今後の技術戦略におけるキーワードは「安全」「快適さ」を考慮した付加価値の向上にある。富士電機における今後のセンサ分野での技術戦略をまとめると下記のようになる。

(1)　新たなセンサデバイスの創出

物理化学的な原理によるセンサデバイスとして，薄膜デバイスに注力する。着目すべき特徴は半導体プロセスによる生産が可能なため高い精度を安定的に得ることができ，大量生産に適している。

併せて，生物学的な原理による微生物適用デバイスに注力する。着目すべき点は，微量成分検出能力において化学分析法よりも場合により効果があることにある。富士電機では業界に先駆けてガラス板上への菌膜の固定化技術を用いたデバイス化を行っている。

① 生物への影響検出能力が高い微生物適用デバイス
② 各種有機・無機機能材料の探索・合成技術と薄膜形成技術を適用した低消費電力対応小型ガス検知デバイス
③ 薄膜形成技術を適用した電磁気検知・ひずみ検知デバイス
④ 光導波路を用いた各種化学物質の検知デバイス

(2)　センサ機器の知能化

薄膜デバイスは半導体プロセス技術を用いることができるため，半導体 IC やマイクロプロセッサと組み合わせた知能化への対応が可能となる。特に，シリコン基板上にベ

アチップと周辺LSI（Large Scale Integrated Circuit）などを搭載することができるIMM（Intelligent Micro Module）は多種少量生産に対応しセンサの知能化に適した技術である。この技術と同時にデザインなども考慮したユーザビリティの向上を図っていく。

① IMM化などのセンシングデバイスと信号処理デバイスなどの一体化

② フィールド設置機器の簡素化によるユーザビリティの向上および適用範囲の拡大と多様なカスタマイゼーションへの対応

③ キャリブレーションフリーによるメンテナンスビリティの向上

(3) IT（Information Technology）との融合による付加価値の向上

センサの適用範囲を拡大し，適用効果を増大するために，以下のようにITとの融合を図っていく。

① 通信機能の搭載

各種フィールドバス，シリアルインタフェース，微弱無線など，用途に応じた通信機能の搭載によって，計測値のデータ出力やリモートメンテナンスを行う。将来のIPv6の普及拡大も視野に入れた各種オープンなネットワークシステムの適用が今後の課題である。

② 計測データベースの活用

センサのネットワークから得られる計測データをデータベース化し，より付加価値の高い情報が得られるようなシステムの構築を推進していく。各種のエネルギーセンサの適用による工場やビルにおける省エネルギーシステム，環境測定センサの適用による広域環境監視システム，バイオセンサの適用によるトレーサビリティシステムなどが考えられる。

### 3.1 新たなセンサデバイスの創出

現在，開発を進めているセンサデバイスについてここで，その例を紹介する。

(1) 毒物センサ技術

環境における有害物質や毒性物質の検出については，その原因物質の特定よりも，何らかの原因物質の有無を検出すること自体が重要である。ここに微生物の活性度を計測して有害性や毒性を迅速かつ包括的にとらえるという適用が成り立つ。これを応用した製品の例として，富士電機では急性毒物を検知可能な硝化菌の固定膜を利用した独自の水質安全モニタを1995年に実用化した。

このような微生物のハンドリング技術をもとに，有害細菌を迅速に検出できる技術を開発中である。その一例として全生菌を15分でカウントできる「スマートバクテリアカウンタ」を試作した。**図4**にその外観を示す。

今後，このセンサを用いたシステムの開発により，在庫削減ソリューション，食品工場におけるユーティリティコスト削減など，さまざまなアプリケーションを展開していこうと考えている。

また，環境分野の計測においては，遺伝子損傷性物質が着目されている。遺伝子損傷性物質については，分析装置などを用いて調査されることが多いが，リスク管理の視野に入れるべき化学物質は莫大（ばくだい）な数にのぼるため，より精緻（せいち）かつ合理的な検知方法が望まれる。

これに対して，微生物の反応を用いたバイオアッセイ技術は，対象とする水や土などに含まれる有害物質の生物的な影響を総括して検知することができる。富士電機では，発光遺伝子を導入した発光umu試験菌株固定化バイオセンサの開発を進めており，基礎検討を終えた段階にある。

**図5**に示すように，遺伝子損傷性物質である4-NQOに暴露した場合にはTL210株は遺伝子を修復するために発光し，発光遺伝子を持つTL210ctl株は発光し続ける。一方，生育阻害物質に暴露した場合にはTL210株，TL210ctl株もともに死滅するために発光しない。したがって，この状態を光素子を用いて観測し，電気信号に変換することができる。

(2) 薄膜センサデバイス

薄膜センサの例として磁気インピーダンスセンサがある。この技術を用いた電流センサは電力監視から電子デバイス内の電流計測までさまざまな分野での応用が考えられる。

磁気インピーダンスセンサは，小型・高精度で広い範囲の電流を測定可能であるといった特徴を持っている。試作品の測定結果では従来品と比べて，１けた以上の小型化，２けた近い測定範囲を確認することができた。**図6**に磁気インピーダンスセンサを適用した電流計測デバイスセンサの外観を，**表1**に仕様と評価結果を示す。

図4　スマートバクテリアカウンタの外観

図5　生育阻害物質・遺伝子損傷物質の検出例

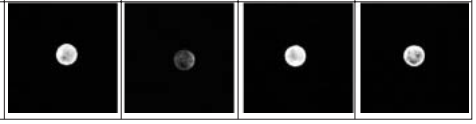
| | 生育阻害物質の検出 | | 遺伝子損傷性物質の検出 | |
|---|---|---|---|---|
| | 無暴露 | 30mg/L シアン化カリウム | 無暴露 | 0.3mg/L 4-NQO |
| 遺伝子損傷性物質検出用微生物膜 TL210株 | | | | |
| 生育阻害物質検出用微生物膜 TL210ctl株 |  | | | |

図６　電流計測デバイス（試作品）

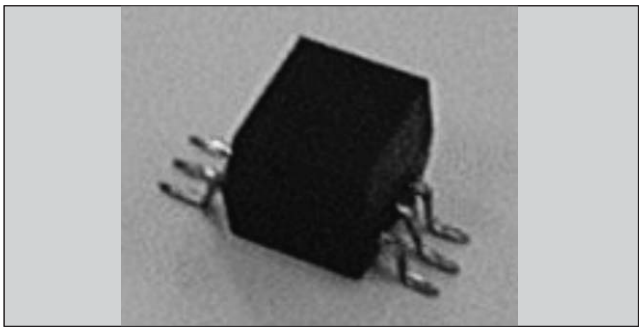
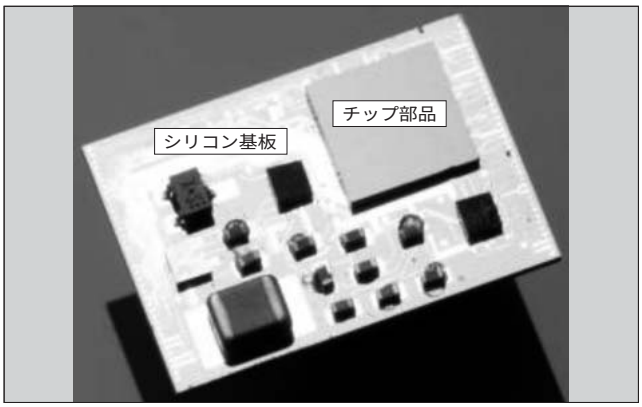


表１　電流計測デバイスの特性評価結果

| 項　目 | 電流計測デバイス | カレントトランス |
|---|---|---|
| 電流測定範囲 | 0.1～1,200（A） | 0.2～5（A） |
| 寸　　法 | 4.1×5.4×3.8（mm） | 38×38×12（mm） |
| 精　　度 | ±5％以下 | |

図７　インテリジェントマイクロモジュール



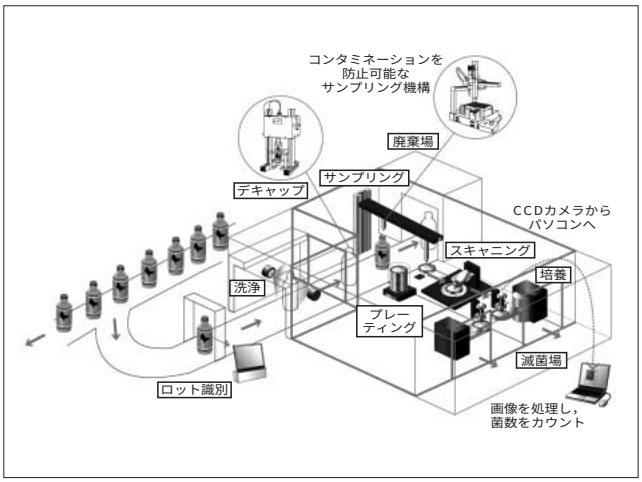

### 3.2　センサ機器の知能化

センサ機器のロジック回路のアセンブリは，従来は一般的なプリント基板実装によっている。この技術の課題は小型化や熱放散において一定の限界があることである。そこでシリコン基板上に直接センサやマイクロプロセッサなどを実装する IMM によるアセンブリ技術を開発し Web アダプタ，制御機器などの製品に適用している。前述の課題を解決できるほか，計測値に対するさまざまなデータ処理ロジックソフトウェアの容量が拡大することによって，センサ機器自体のインテリジェント性を飛躍的に増大させることが可能となってきた。**図７**にその構成例を示す。

### 3.3　IT との融合

**図８**に示すものは，バイオロジカルモニタリングシステムと呼んでいるもので，食品工場での出荷時の衛生管理を行うものである。このシステムは，菌の特性を考慮した菌数カウントを行い，出荷時の衛生を管理するなどの MES の計測端末としての利用を図るものである。今後の拡張としては，在庫の適正な削減などの SCM の実現や，HACCP 対応のトレーサビリティ機能の実現などを図っていく。

図８　バイオロジカルモニタリングシステム




## 4　あとがき

以上に述べたようにセンサ技術は総合技術であり，対象となる物理量の特性や精密な機構技術，信号処理技術などさまざまな技術を必要とするものである。富士電機は今後ともセンサを戦略的機種として位置づけ，センサ機器単体として優れた製品を提供し続けるとともに，システム的な適用についても常に新たなソリューションの提案を行っていく所存である。

このためにも創立 80 周年を迎えた現在の時点で初心に戻り，「安全」「快適さ」をキーワードに社会に役立つセンサについて考えていきたい。今後も関係各位の温かいご意見・ご支援を賜りたいと考える次第である。

### 参考文献

(1)　厚生労働省．年次別食中毒発生状況．2001.
(2)　山口進康，那須正夫．蛍光染色法による特定微生物の迅速・簡便な検出．食品工業．vol.11. 30, 1998, p.24-32.
(3)　Nogami, T. et al. Estimation of bacterial contamination in ultrapure water : Application of the anti-DNA antibody. Anal. Chem. vol.70, no.24, 1998, p.5296-5301.
(4)　木暮一啓ほか．微生物制御における VNC（培養不能生存）菌と損傷菌の問題．防菌防黴，vol.30, no.2, 2002, p.18-51.

e-Front runners

＊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。