

センシング技術の動向

Recent Development and Trends of Sensing Technology

近年、センシング技術はエレクトロニクス技術の発展に伴って大きく進歩した。マイクロコンピュータの出現はその重要な引き金となった。新しいセンサの開発に支えられ、センシング技術は広い分野で機器、システムの高機能化及び合理化に大きな役割を果たしつつある。

この小特集は、産業、医療の分野に焦点をあて、代表的な研究・開発の成果について紹介するが、本論文では、その他の分野を含めたセンシング技術の発達の背景、動向及びその利用の状況を示す。また、産業、医療分野での、注目される幾つかのセンシング技術の現状を補足的に紹介する。

岩柳秀夫* Hideo Iwayanagi

1 緒言

最近のセンシング技術の目を見張るような進歩は、エレクトロニクス技術の発展に支えられ、シーズがニーズを生み、ニーズがシーズを掘り起こすという状況の下に、ますます加速される勢いにある。その広がりもまたあらゆる分野に進行している。日立グループは多くの分野で、センサとシステム技術を総合したセンシング技術の研究・開発を強力に推進し、数多くの成果を得てきた。本小特集はその最新の成果の一端について紹介する。

しかし、その多様性から、この小特集中の数編の論文だけではその全容を示すことは難しい。この論文では、その不足を補い、センシング技術の最近の潮流を示すこととする。

2 センシング技術の発展

ある環境の下にある機械がなんらかの仕事を行なう場合、環境(外界)を含めた全体のシステムをながめると、図1(a)に示したような人間の働きに似ている。人々が機械を用い始めた当初は同図(b)に示すように、環境の認識と機械の操作は人間が行なった。科学の進歩に伴って計測手段を獲得するに従って、同図(c)に示すように、センサが環境を定量化したデータの形に変換し、そのデータの下に人間が介在して機械を操作するようになった。

エレクトロニクスを中心とした近代技術の発展によって、図1(c)の人間の役割であったデータ処理や判断を、機械が行なうことができるようになり、同図(a)のような人間—環境システムに機械—環境システムが置き代わることができるようになった。同時に、従来の単純なセンサから、システムのアプローチを取り入れることによって、新しい機能を実現するセンシングシステムへの発展が始まった。更に、高度な情報処理と判断機能を低コストで実現できるマイクロコンピュータの登場が引き金となり、センシング技術の急速な発展と利用分野の拡大を促した。

いろいろな分野でのセンシング技術の利用例を表1に示す。この小特集では、産業、医療分野を取り上げるが、それ以外の分野でもセンサ及びセンシング技術の研究・開発は極めて活発である。例えば、自動車では温度、圧力、空気流量、クラック位置あるいはスロットル角度などのセンサと、そのデータをマイクロコンピュータによって処理・判断し、各種制

御を行なう技術が開発されている。日立製作所はこれらに対しても研究・開発に取り組み多くの成果を得ているが、それらの紹介は別の機会に譲ることとする。

3 産業分野におけるセンシング技術の進歩

3.1 概況

産業に関連する分野は、表1にその一端を示すように多岐にわたる。この分野でのセンシング技術は概して高機能を目

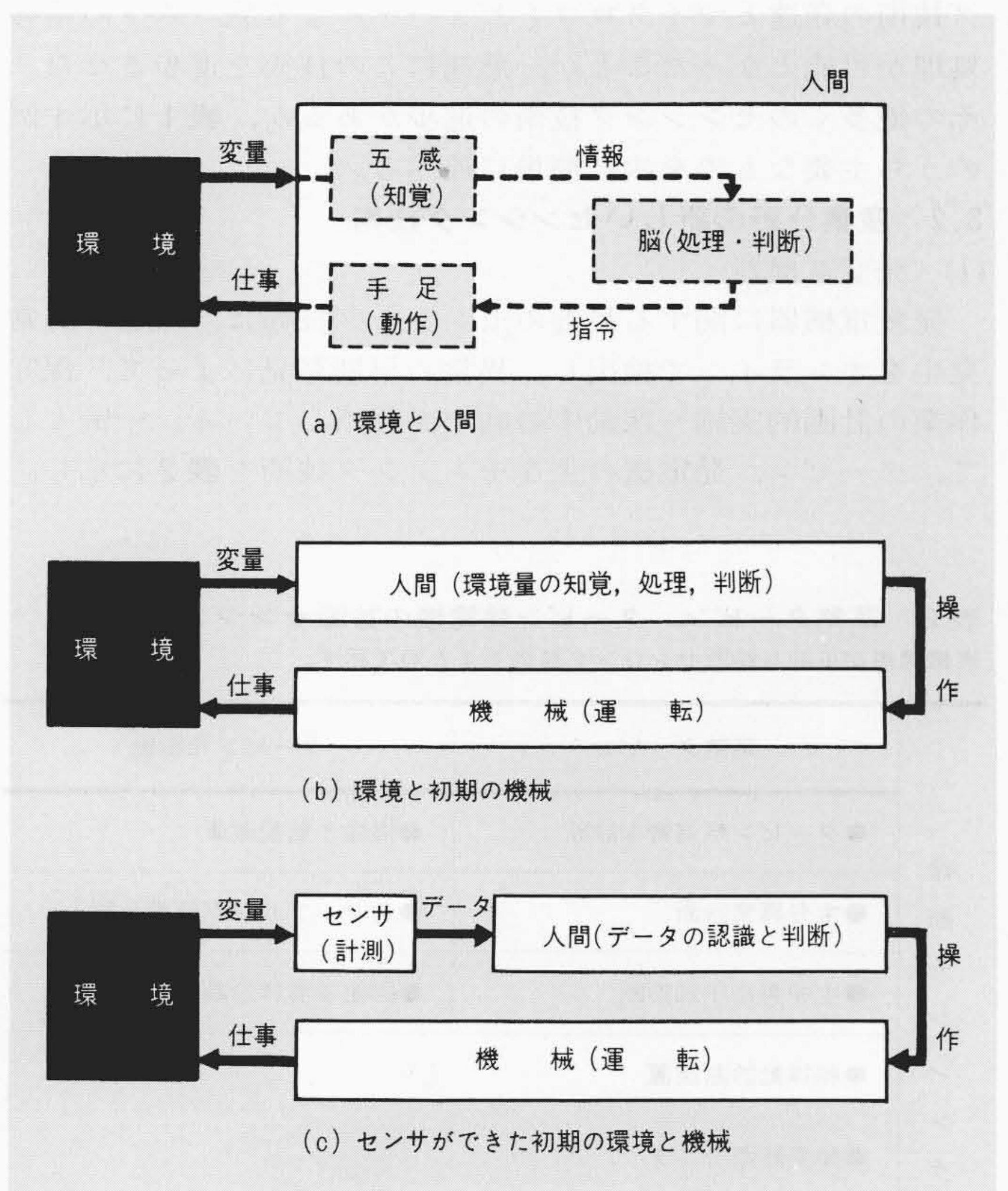


図1 環境を含めたシステムの中における人間と機械 センサは初期には機械と結び付かなかった。エレクトロニクスが人間の情報処理と判断に取って代わり、初めて高度の自動化が達成した。

* 日立製作所茂原工場

表1 各分野におけるセンシング技術の利用例 主な新技術を示す。*印のものに利用されるセンシング技術は、この小特集に紹介されている。

分 野	対 象 例	セ ン シ ン グ 技 術 利 用 例
産 業	発・変電機器	超音波による異常診断*, 発変電機器異常診断*, 原子力発電機器遠隔検査
	ガス・水道	ガス・水道使用量自動・集中検針, ガス漏れ検知
	鉄 鋼	溶鋼炉制御, 板厚制御, 圧延材きず検査
	自動化機械	ロボット, NC(数値制御), コンベヤライン物体検知
	半導体製造設備	拡散炉制御, 蒸着膜厚制御, 自動ボンディング, クリーンルーム環境制御, 全自動露光, 欠陥検出*
	施設園芸	植物育生環境制御, 生長計測
	食品加工	食品分析, 自動びん詰, ビールびんきず検査*, 自動選果
医 療	診断機器	コンピュータトモグラフィ*, 超音波診断, 生化学自動分析*
	薬 品	ペレット外観検査
交 通	エレベーター	着床位置制御, エレベーター群制御, 地震検知・保安, ワイヤロープ疲労検知
	自 動 車	エンジン制御, アンチスキッド, 衝突防止
情 報	光 通 信	光電変換
	端末機器	紙送り制御, 文字読取り, 貨幣識別, 磁気記録読取り
家 庭	家庭電気・機器	テレビジョン遠隔操作, 録画・再生, 自動焦点カメラ, 自動調理, 自動洗濯
	冷 暖 房	快適度制御, 除霜, 省エネルギー運転制御, 燃焼制御

指し、検知すべき対象も単純な物理量(温度、光など)から、パターン検知のように幾つかの変換過程を経て、目的を達するものへと発展している。人間の五感に相当するセンシング技術のうち、視覚に相当するものは長い間望まれていたが、実用化が遅れていた。最近に至り、高精度の光学的センシング技術の発達とマイクロコンピュータによる低コストの情報処理が可能となったことが、急速にこの技術を進歩させた。その他多くのセンシング技術の進歩があるが、表1に示す例のうち主要なものを次に簡単に述べる。

3.2 産業分野の新しいセンシング技術

(1) 発変電機器

発変電機器に関する最近のセンシング技術は、機器の異常発生をオンラインで検出し、異常の早期発見によって、保守作業の計画的実施や稼働率の向上を目指している。一例として、タービン、発電機の主なセンシング技術を表2に示し、

表2 蒸気タービン、タービン発電機の診断センシング技術
実機適用が可能な診断センシング技術をまとめて示す。

診 断 セ ン シ ン グ 技 術	蒸気タービン	タービン発電機
	●タービン熱消費率診断	●微粒子監視装置
	●主弁異常診断	●スリップリング監視装置
	●主弁寿命予知診断	●固定子巻線冷却水監視装置
	●軸振動診断装置	
	●軸受診断モニタ	
	●ラッピングモニタ	
	●ワイヤレスAEモニタ(詳細試験用)	
	蒸気タービン・発電機総合診断システム	

注：略語説明 AE(Acoustic Emission)

要点を簡単に述べる。

軸振動の監視は、タービン、発電機に共通した最も重要な問題であり、日立製作所は制御用コンピュータHIDIC 08Eを用いた診断システムを開発している。振動センサにより振動波形をピックアップし、健全時のデータと比較して異常振動の兆候を検出する。また、振動波形の周波数スペクトル、位相などのデータを総合的に解析評価して、ほとんどすべての異常振動の原因分析が可能であり、異常に対処する運転ガイダンスを出力できる。

温度、圧力などタービンプラントの運転パラメータを計測し、この値からプラントの熱消費率と各機器の性能を計算する。計算結果はプラント特性の経時変化を示すから、初期値と比較して異常機器を検知することができる。これにより、タービンプラントの効率面から、常時プラントの異常を診断する技術が開発されている。発電機では、スリップリングとブラシの間で発生する火花を電波雑音として検出し、異常を診断するスリップリングブラシモニタや、固定子コイルのクラック発生によって生ずる水素ガスのガス漏れを検出する固定子巻線冷却水監視装置が開発されている。

このほか、AE(Acoustic Emission)を応用した軸受モニタや、回転体の異常を直接検出するAEワイヤレスモニタなど、表2に示したセンシング技術が適用可能であり、これらを目的に応じて選択組み合わせた総合診断システムが構成できる。

また、変圧器やしゃ断器の運転状態の監視、診断にも各種のセンシング技術が用いられているが、これについては本小特集の別論文を参照されたい。

(2) 産業用ロボット

産業用ロボットは、生産合理化の波に乗って急速に普及してきた。当初は単純なシーケンス制御と簡単な判断機能をもつものから、高度な判断や学習機能をもち、位置、触覚あるいは視覚などの各種センシング機能をもつフレキシビリティの高いものに進んできた。例えば、はめあい作業に用いられるものは圧力センサとフィードバック機能とを巧みに組み合わせている。視覚はテレビジョンカメラ(二次元光センサ)とパタ

ーン認識技術とを組み合わせ、部品の組立てなどに用いることができる。日立製作所ではこの分野で優れた研究がある。

(3) 半導体製造設備

半導体工業は、マイクロプロセッサや新しい半導体光センサ、シリコンダイアフラムを用いた圧力センサなどを生み出し、センシング技術にインパクトを与えた。また、これらは逆に半導体設備の合理化を押し進める結果となった。

半導体の集積度が高くなり、 $3\mu\text{m}$ から $2\mu\text{m}$ の回路パターンを取り扱うための高度な生産技術が開発されているが、高精度の位置検出技術にセンシング技術は大きな役割を果たしている。代表的な例を挙げれば、シリコンウェーハ上に回路パターンを形成する露光工程で、マスクアラインメントのための高精度位置検出技術が利用されている。この技術は、ウェーハ上のターゲットマークを投影レンズでマスク面上に結像して得られる干涉縞像の中心を、対称マッチング法によって検出するものである。

かつては人手に頼っていた半導体チップのワイヤボンディングの自動化は、部分パターンマッチング法によるチップ位置検出技術によって早い時期に開発され、日立製作所はその先行的開発に大きく寄与した。

このような光学的センシング技術は、ハイブリッドICの自動組立、ウェーハのペレタイズでのスクライブラインの自動検出をはじめとして、半導体工業以外の分野、例えば液晶、磁気ディスク用ヘッド、プリント基板への部品組込みなどの自動組立技術、 $0.1\mu\text{m}$ 精度の精密切削技術などへと応用が拡大している。

光センシング技術とパターン認識技術の進歩によって、目視検査の難しい微細パターンや微小欠陥の自動検査が可能となった。図2はその一例を示すもので、露光用マスクの二つのチップの回路パターンの共通部を撮像し、二つの像の特徴比較によって欠陥を検出することができる。

製造工程で生ずる微小なパターン欠陥を検出するためのシ

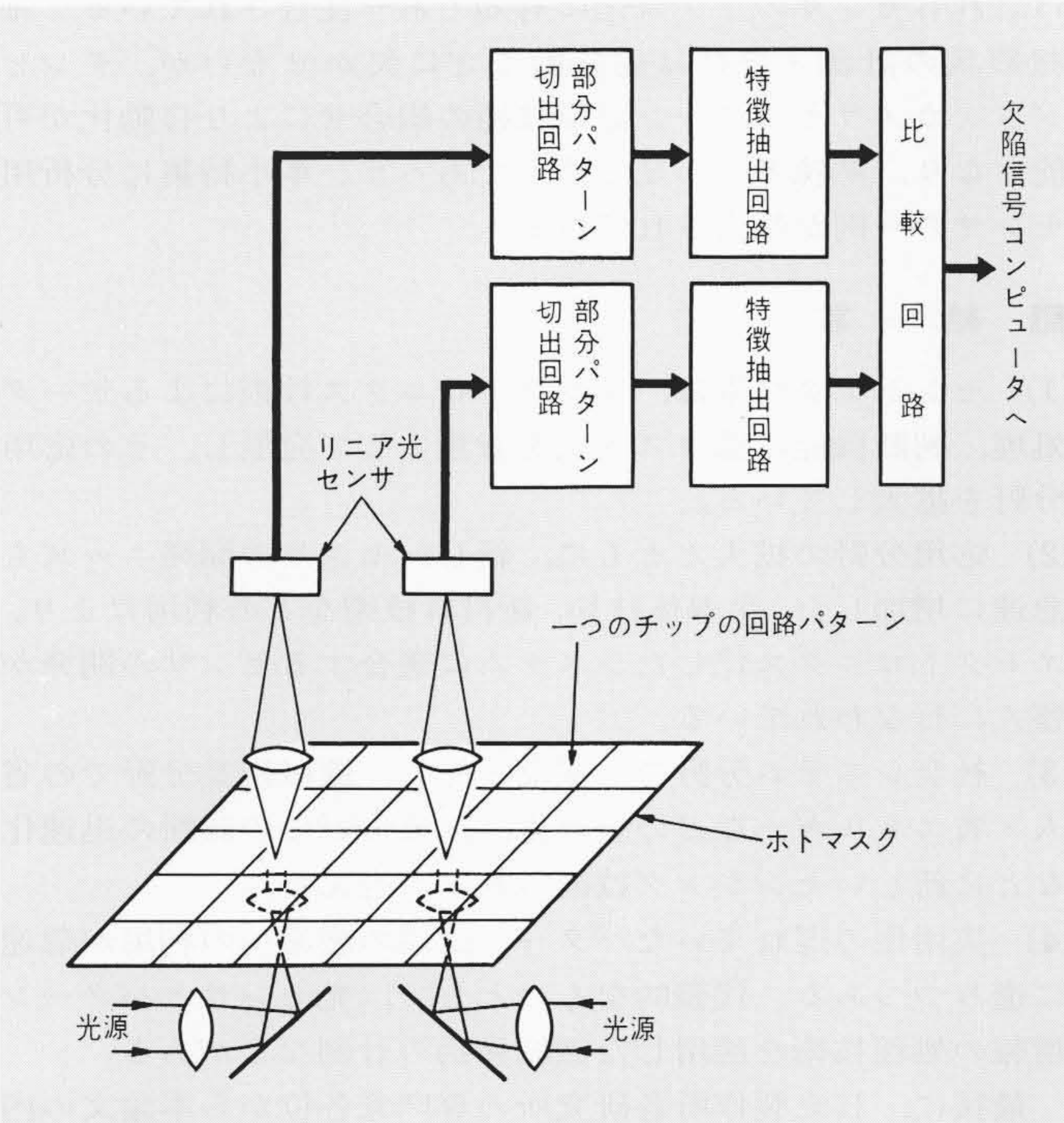


図2 自動ホトマスク欠陥検査装置 二つのチップパターンの共通部の特徴比較により、その不一致部を欠陥として検出する。

表3 半導体製造設備における視覚的センシング技術の適用例
半導体工業では、単なる人間の視覚の置き換えでなく人間の能力を超えた視覚を実現することが求められる。

適用対象例	センシング技術例
ワイヤボンダ	部分パターンマッチング法による回路パターン位置の検出
ウェーハスクライバ	同上方法によるスクライブラインの自動検出
投影露光装置	対称性マッチング法によるウェーハターゲットマークの位置検出
ホトマスク検査	パターン比較と特徴抽出による微細なパターン欠陥の測定
ウェーハ検査	レーザ光回折、散乱光の特異性抽出によるパターン上の異物の判別と測定
パターン寸法計測	二次電子放出形顕微鏡をパターン検出器とした高精度な微細パターン寸法測定
	光学式フーリエ変換法による微細パターン計測
	同期パターン投影と最良コントラスト検出法によるパターン膜厚の非接触測定
プリント基板検査	光切断法、レーザ干渉によるモアレ計測によるハンダ付面の立体形状検査

リコンウェーハ上の微小異物、欠陥自動検出装置、作業空間の浮遊塵埃のモニタなど開発が進んでいるが、詳細は本号小特集の別論文を参照されたい。

これらの視覚的センシング技術の応用例を、表3にまとめて示す。

(4) 施設園芸

施設園芸(フレーム栽培など)の普及は著しいが、エネルギー多消費形から、環境の最適制御による省エネルギーの方向へと進む必要がある。日立製作所でも時代の要請に即応して、植物の生長過程と環境の関係について研究を進めている。植物の基本生理の光合成、呼吸、蒸散などの解明のため、生長状態を阻害しないセンシング技術が必要である。グロスチェンバと質量分析計との組み合わせ、ひずみゲージを用いた植物生長での重量変化測定などの工夫が行なわれている。

生産現場で利用されるものとして、赤外線センサなどによる農作物の生長状態のリモートセンシング技術は、大規模農業で活用されている。今後、環境制御、土壌改良などに温、湿度、ガス、化学的センサなどが利用されるであろう。

(5) 食品工業

ビールなどの大規模生産をはじめとし、食品の工場生産や、青果物、穀物の共同集・出荷作業での検査、選別などに多様のセンシング技術が活用されている。穀物乾燥度のオンライン計測にマイクロ波水分計、選果の自動化のための色、形状判定の視覚センサなどが今後普及するであろう。更に、高度な鮮度、熟度などの非破壊センサの進歩が望まれる。

大量の回収ビールびんのきず、汚れの検査は、従来、目視に頼っておりその省人化が望まれるが、光技術やテレビジョンカメラを用いたセンシング技術によって自動検出が可能となり、今後急速に普及すると見られる。その詳細は、本小特集の別論文を参照されたい。

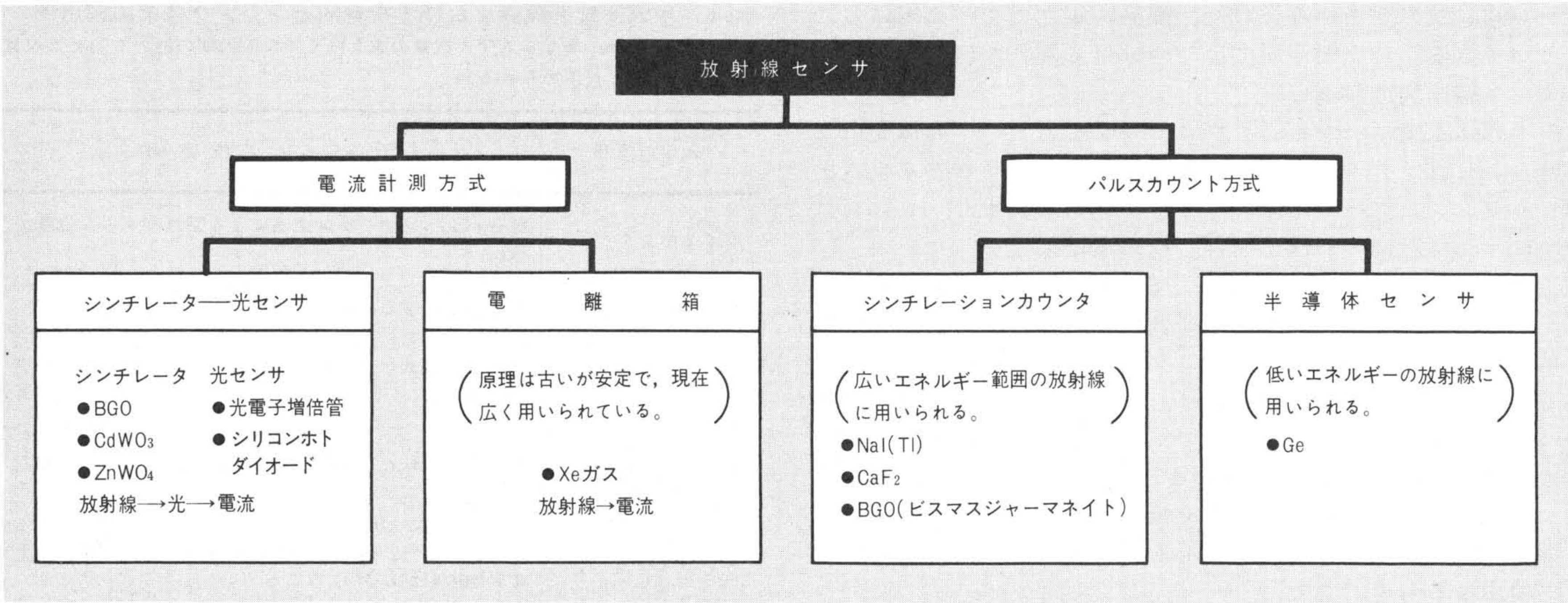


図3 CT用放射線センサ BGO(ビスマスジャーマナイト)などのけい光を出す結晶と光センサとの組合せセンサが、今後伸びると考えられる。

4 医療分野におけるセンシング技術の進歩

4.1 概況

医療はセンシング技術の進歩とともに発展してきた。聴診器、体温計にはじまり、現在の高度に発達したセンシング技術によつて的確な診断が可能となった。例えば、X線透視は広義のセンシング技術であるが、近年放射線センサとコンピュータを用いたX線CT(コンピュータトモグラフィ)が開発され、人体内の断層撮影が簡単に行なえるようになった。一方では、血液などの分析や細胞形状判定に新しいセンサ、センシング技術が開発され、自動機の普及によつて多数の検体を迅速に処理できるようになった。

4.2 医療分野における新しいセンシング技術

(1) 放射線センサ

X線CTは扇状に広がったX線を発生するX線管と、これを中心とする円弧上に配列された多素子の放射線センサとを人体の周りに回転させ、センサから得られた信号をコンピュータにより演算処理することによつて断面像をブラウン管上に再構成する。解像度向上、撮影の高速化あるいは安全性から、高感度、高密度センサの開発が進められている。図3にCT用の各種センサを示した。特にX線による発光効率の良い結晶、例えばBGO(Bi₄Ge₃O₁₂)などが注目されているが、その詳細は本号小特集の別論文を参照されたい。

(2) 超音波診断

体内に超音波を送り、内部軟組織の音響インピーダンスの

差異による反射エコーを検出し、その強度と反射位置から断層像を得る超音波センシング技術が注目されている。反射エコーのセンサは超音波(2~10MHz)の発振子を兼ねている。現在では圧電材料としてPZT(ジルコン・チタン酸鉛系磁器)が多いが、高周波化や実装上のフレキシビリティを増すために、チタン酸鉛系磁器や有機圧電材などの研究も行なわれている。臓器をリアルタイムで観察するため、アレー構造のセンサを用いた電子走査形超音波断層装置が現われた。

(3) 分析用センサ

血液、尿などの分析には、従来の化学的分析や炎光分析などから、イオン選択性電極などの迅速簡単な手段や、液体クロマトグラフによる多項目同時測定技術へと進歩し、検体の大量処理や即時処理が可能になった。表4に各種の分析用電極の例を示す。FET(電界効果トランジスタ)のゲート電極に各種イオン感応膜を付けた“ISFET”(Ion Sensitive FET)はこれらセンサのマイクロ化に有効であり注目されている。細胞形状の計測・分類は癌診断などに欠かせないが、テレビジョンカメラとパターン認識技術の組合せにより自動化が可能となり、熟練者の不足を救うであろう。本小特集に分析用センサの一例が報告されている。

5 結 言

- (1) センシング技術は、エレクトロニクス技術によるデータ処理、判断機能の低コスト化を背景として発展し、その応用分野を拡大している。
- (2) 応用分野の拡大とともに、新しいセンサの開発ニーズも急速に増加した。半導体技術、新材料技術などの利用により、エレクトロニクス化したシステムに適合するセンサの開発が盛んに行なわれている。
- (3) 社会システム分野での保全・保安、機械産業分野での省人・省エネルギーなどの合理化、医療分野での診断の迅速化などに新しいセンシング技術の利用が進んだ。
- (4) 実用化の遅れていたパターン認識の産業への利用が急速に進みつつある。代表的なものとして、光センサとパターン情報の処理技術を活用した微細異物の計測などがある。

最後に、日立製作所各研究所の専門家各位から本論文の内容につき多くの有益な教示をちょうだいした。ここに深く感謝する。

表4 血液、尿などの分析用センサの各種電極 起電力や抵抗変化による電流変化を測定することにより、定量分析ができる。

分析用センサ	分 析 対 象
pH電極	血液のpH
ガス電極	血液中の溶存ガス(CO ₂ , O ₂ , アンモニアなど)
イオン選択性電極	血液、尿中のイオン(Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Cl ⁻ , HCO ₃ ⁻ など)
酵素電極	グルコース、尿酸、コレステロールなどの生化学成分
微生物菌体膜電極	ビタミン、ホルモン、抗生物質など
免疫応答性膜電極	梅毒などの血清の免疫性