

感性センシングシステム（その1） ～ 視覚センサー ～

東京大学

相 良 泰 行

冷凍 2003年10月号 別刷

社団法人 日 本 冷 凍 空 調 学 会

7. 感性センシングシステム（その1）～視覚センサー～

相良 泰行* Yasuyuki SAGARA

1. 知覚によるセンシング

1.1 生物のスーパーセンサー

生物は環境情報を検出し、また、仲間とコミュニケーションするためのセンサーを保有している。そのセンサーの特色は①高感度特性、②高集積化、③知能化、④生体に適した構成にある¹⁾。たとえば、コウモリは暗闇の中で餌となる小動物を追いかけ、障害物を避けながら自由に飛び回り、また、子供と通信するための超音波センサーを持っている。また、空港の税関検査やレスキュー隊で活躍する犬はヒトより優れた嗅覚を持ち、長い耳を持つウサギやシマウマは優れた聴覚で猛獣のわずかな動きを察している。これらの事実、生物が高感度のセンサーを保有し、ある種の動物はヒトよりも優れたセンサーを備えていることを示している。

また、蛾は一对の触角上に数千本分布する長さ数十ないし数百ミクロンの感覚毛からなる高度に集積化された嗅覚センサーを備えている。蛾はこのセンサーにより、数キロメートル離れたところにいる雌の性ホルモンを検知して興奮するが、仲間の種以外の性ホルモンに対しては興奮しないことが知られている。このことは風に流されて浮遊してくる数分子の性ホルモンを高感度で感知し、同種の性ホルモンのみを識別する能力も兼ね備えていることを意味している。このようなセンサーは他種の生物との交雑を防ぎ、種の保存のために配偶行動を規定するために発達してきたものと考えられる。

一般に多くの生物は群をなして生活している。これは種の保存を効率的に行うためであり、そこでは群の秩序を保つために雌雄間、親子間および構成員間でのコミュニケーションが行われている。また、生物センサーはそれぞれの生物の生存を確実にするために、環境条件と生活様式に順応して発達してきたものと考えられる。単細胞生物では情報の受容から行動の発現に至るまでの一連の情報処理プロセスが、細胞内に存在するいくつかのタンパク質の構造と物理化学的変化として行われる。一方、多細胞生物では、細胞の分化と発達により特殊な機能を

持った細胞と組織により行われる。たとえば、脊椎動物の摂食行動はレセプターと称される受容器、感覚神経・中枢神経・運動神経などの細胞および効果器からなる情報処理と制御システムにより行われる。このシステムへの情報入力を担う受容器が「センサー」であるが、その働きは受容器に絡み合って接続している感覚神経系、中枢神経系および脳の情報処理によりインテリジェント化されている。このように情報の検出から処理までを含む機能を持ったセンサーを「インテリジェントセンサー」または「スーパーセンサー」と称している^{1,2)}。

1.2 感性工学のセンシング

ヒトの感覚はレセプターから脳に至る複雑な情報処理プロセスにより成り立っており、そのセンシング機構は、上に述べたようにインテリジェントセンサーまたはスーパーセンサーに相当する。逆に言うと、感覚のセンシング機構を模倣した人工的センサーを作るためには、単にレセプターのみを意味する狭義の「センサー」のメカニズムを実現するだけでは不十分である。また、食べ物を対象にしたセンシングデバイスには高感度特性よりもインテリジェント化されたマルチセンシング特性が重要視される。すなわち、食情報を対象とするセンサーには高感度スーパーセンサーよりも「インテリジェントセンサー」が求められよう。この意味で都甲らが開発し³⁾、すでに市販されている「味覚センサー」は、ここに述べた「マルチ・インテリジェント・センシング」を実現したセンサーの典型例として注目される。

近年、「感性計測」という言葉が学術雑誌などで散見されるようになったが、その意味するところはだまかに2つに分類される。その一つはヒトの「こころ」そのものを対象にし、心理学的数量化手法や官能評価の手法などを用いてその情動を計測するという意味であり、ここでは「感性」が計測対象となっている。ほかの一つは「ヒトの感覚に相当する情報の検出から処理までをシ

* 東京大学
The University of Tokyo
原稿受理 2003年7月29日

テム化したセンサー，すなわち，我々の「感性」を数量化するモデルを内蔵したセンサーによる計測」を意味しており，ここでは感性によるインテリジェントセンシングを表わしている。いずれにせよ，「感性工学」の発展には「感性計測」の研究が必須であることは言を待たない。

本講座の「食感性工学のパラダイムと展開」ですでに述べたように，食感性工学のイメージは「食情報に関わる感性のモデリングとこれを利用したプロダクトマネジメント」であり，その研究領域には，感覚における生理反応と情報処理機序の解明，食情報のセンシング，得られた情報の感性モードへの変換と感性のモデリング，食にまつわる評価・判断および嗜好形成のモデリング，さらに，これらに基づく新製品の開発・設計およびプロダクトマネジメント手法の開発などが含まれる。本講座では近年開発されたヒトの視覚を模倣した，もしくはそれに類似した機能を持つ食情報のセンシングシステムを採りあげ，その計測手法について概説する。

2. 視覚センシングシステム～画像処理技術～

2.1 視覚と光センシング

脊椎動物の視覚を司る器官の中で，外界の光情報を検知して神経の電気信号に変換している器官は「眼」であり，ヒトの場合には外界情報の80%以上を眼によって取得していると言われている。また，ヒトの眼は真夏の晴天時における太陽光から暗闇の中の光子1個までの光強度範囲に応答できると言われており，工学的には超高感度のいわゆる「スーパーセンサー」の典型例である。食品の形や色を対象とした計測技術も「眼」の機能を持つCCDカメラに「脳」の情報処理機能に近づきつつある画像処理技術を組み合わせることにより，ヒトの視覚に相当する高性能の計測システムが実用化され，食品製造・流通の現場に導入されている。これらのシステムの中には，対象物の品質を客観的に評価するという機能の面において，ヒトの視覚による判断能力を凌駕する技術も含まれている。食品の形や色に関するセンシングに要望される理想的条件は，「非破壊・遠隔・高速度の3条件」であり，しかも同時にこれらを満足する情報処理の手法であろう。今のところ，このような条件を満足する情報伝達

媒体としては電磁波がもっとも適しており，いわゆる光センシング技術として多方面でその研究・開発が進められている。

2.2 青果物の画像処理選別システム

2.2.1 画像処理選別システム

青果物選別システムの基本的な機能は「人為的に定めた基準に従って，非破壊で全数を検査し，その基準を越える青果物と基準以下のものに仕分ける」ことにある。その選別方法を大別すると，規格の大小基準に相当する重さや大きさに基づいて選別する「階級選別」と，品質基準に相当する外観，損傷，味などに基づいて選別する「等級選別」に分けられる⁴⁾。

1986年にキュウリを対象にした白黒CCDカメラによる画像処理選別機が実用化された。図1に我が国で初めて学会で発表された画像処理選別機の構成図を示す⁵⁾。現在利用されている装置もハード面では基本的にこの構成と変わらないが，ソフトウェアの面では対象青果物の種類によって等階級判別要因が異なるため，これに対応する各種の解析アルゴリズムが開発されている。図中の光学センサーとして用いられるカメラは撮像素子の材料と構造によって撮像管型と固体撮像型に分類されるが，現在ではリニア型CCD固体撮像素子を内蔵したカメラが多く用いられている。

搬送コンベヤ上のキュウリは白熱電球などで均一に照明され，背景（コンベヤ）から抽出したキュウリの2値画像データは画像位置の調整，画像強調，孤立ノイズ除去などの前処理の後，パターンメモリに2次元配列で書き込まれる。パターンメモリは複数用いられ，データの書き込みと呼び出しが計測回路からのメモリ切り替え信号により制御される。計測回路はマイクロプロセッサのコマンドを解読し，パターンメモリを走査して画像外縁の座標を求めて中間パラメータとし，これをマイクロプロセッサに送る。さらに，計測システム各部の動作

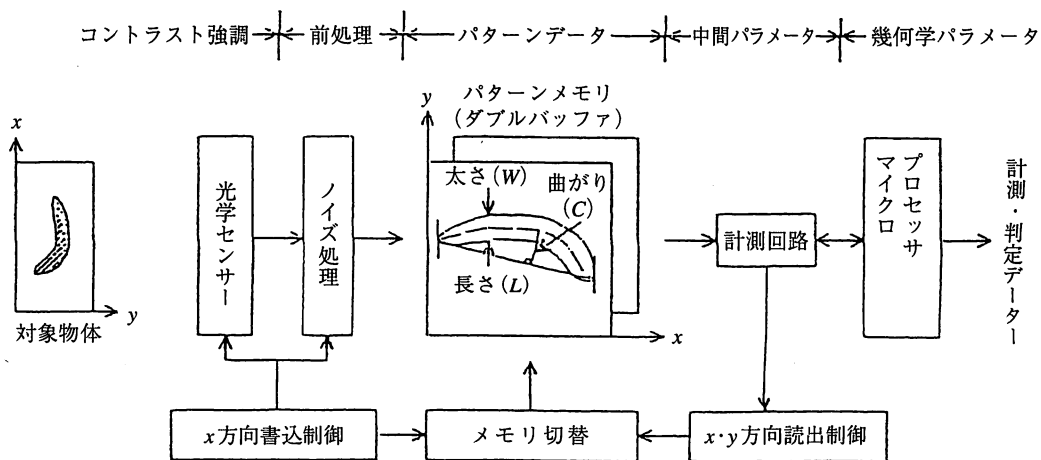


図1 画像処理選別機の計測・制御システム（前田・村上，1978）⁹⁾

も制御する。マイクロプロセッサでは中間パラメータを解析することにより、等階級判定データを算出し、このデータは果実排出機構の駆動や精算事務に利用される。現在のところ、画像処理選別機の処理速度は1時間当たり約1万個であり、これは落葉果実を対象とする電子秤重量選別機の処理能力に相当する。

2.2.2 カラーグレーダー⁶⁾

(本システムは「冷凍5月号」にて紹介しているが、読者の便を考慮して再掲載する)

近年、白黒カメラの代わりにカラーカメラを光センサーとして用い、青果物の形状に関する情報に表面色の情報を加味して画像処理を行う「カラーグレーダー」が開発され、リンゴ、モモ、トマトなどの共選施設に導入されてきた。その計測処理部の概念図を図2に示す。この図に示すように計測処理部はカメラ、照明装置と反射ミラー、中央処理装置、制御処理装置、モニターTVで構成される。

整列供給装置によって計測部に供給された果実の表面をハロゲンランプで均一に照明し、数枚の反射ミラーと1台の「高分解能R.G.B.リニアイメージセンサーカラーカメラ」を組み合わせることにより、果実表面のカラー画像を検出する。カメラのR.G.B.出力信号は中央演算装置に送られ、等級の判定要因として表面色(着色度、均一性、緑色比率)、障害(最大重障害面積、重障害比率、軽障害比率)、形状(変形度)に関する情報に加工される。これらの等級判定要因のパラメータはすべての撮像画について1画素ごとに色値を求め、色値とその画素数から作成したヒストグラムに基づいて計算される。その一例として、図3に128階調で求めた色値ヒストグラムに基づく色・障害・形状に関するアルゴリズムを図示し、その内容を表1に示す⁷⁾。また、階級の判定要因として表面積、等価円径、

最大および最小径などが計算される。これらの情報は制御処理装置から送られる等階級判定基準データと比較され、最終的に等階級が判定される。判定結果は等階級別排果信号として排果装置に送られ、その排出ソレノイドを駆動する。中央処理装置の計数データは制御処理

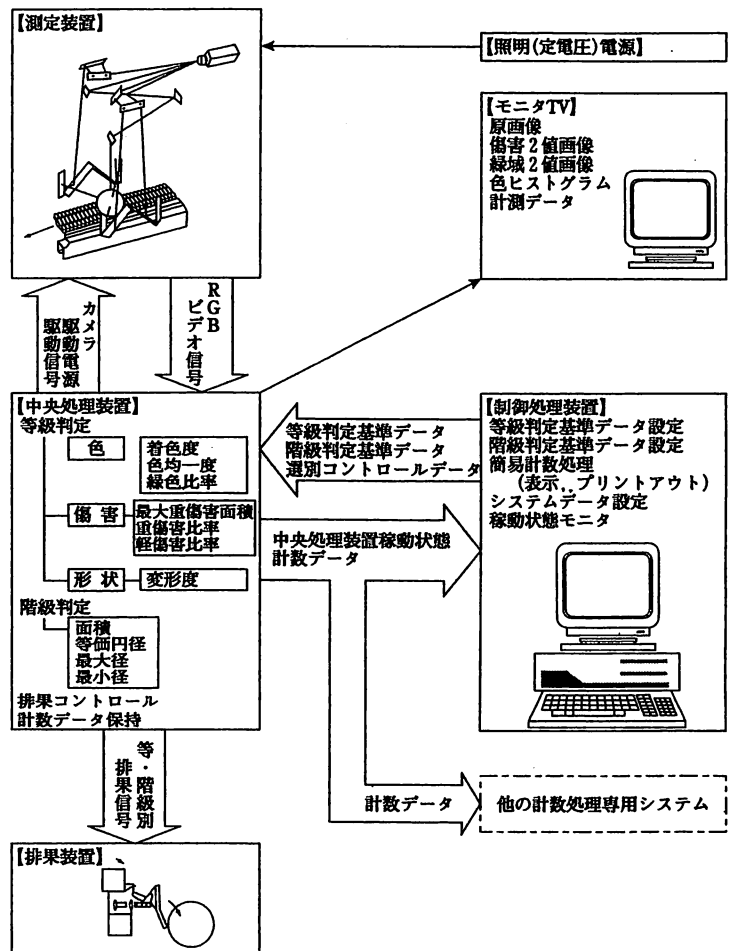


図2 カラーグレーダーの画像計測制御システム⁶⁾

表1 カラーグレーダーによる等階級判定のアルゴリズム⁷⁾

選別パラメータ	記号	アルゴリズムの説明
1) 着色度	C	128階調で求めた色値ヒストグラムの中心値
2) 色均一性	q	色値(C)を中心にして指定した色幅内にある画素数の総画素数に対する割合
3) 未着色比率	g	指定した色値より緑側にある画素数の総画素数に対する割合
4) 障害比率	\$	抽出した障害画素数の総画素数に対する割合
5) 最大障害面積	s	連続した傷で構成される最大集合画素の面積
6) 変形度	d/D	最大径Dに対する最小径dの比率(柑橘類を除く)

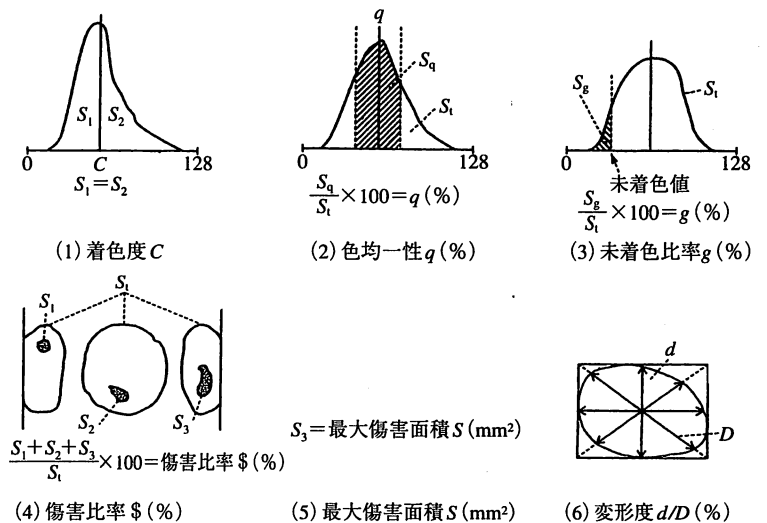


図3 カラーグレーダーの等級判定アルゴリズム⁷⁾

装置やほかの計数処理専用システムに送られ、精算事務処理などに利用される。

最近、柑橘類およびスイカのカラーグレーダーでは複数のカメラを果実搬送コンベア周囲に設置し、果実を機械的に反転させながら果実の全表面画像を撮像するシステムが導入され、その処理速度は柑橘類で毎秒約7個に達している。また、このようなシステムは甘藷などの複雑な形状を有する農産物や花卉にも適用され、それぞれ複雑な等級選別アルゴリズムが用いられている。

2.3 マイクロスライサ画像処理システム

このシステムは東京大学工学系研究科の樋口俊郎教授のグループにより開発され、現在では本学インテリジェントモデリングラボラトリーの「三次元バイオ構造モデリングプロジェクト」において公開利用が可能となっている。このシステムの特徴は、新しく開発したマイクロスライサにより試料を連続的に切削して得られる露出断面画像を順次撮像し、得られた二次元画像をコンピュータ上で三次元立体像に再構築し、外観および任意断面の形状や色彩分布を計測可能とした点にある。また試料を構成する特定の物質、たとえば小動物の骨や肝臓の血管網などの部分のみを人工的に着色・抽出した三次元像をディスプレイ上で回転させながら、任意の方向から観察することも可能である。

図4に示すように、本システムのマイクロスライサ部では試料をステップモータで駆動する一軸ステージで間欠的に押し上げ、その上端をマイクローム用ナイフで連続的に切削する。試料の露出断面像はCCDカメラとこれに接続したレンズを組み合わせて撮像する。切削速度は毎分90回で最小切削厚さは0.1ミクロンである。撮像した画像は追記型レーザービデオディスクレコーダに一時記録され、ワークステーションで三次元像に再構築される。

筆者らはこのシステムを用いて、凍結食品内に形成される立体氷結晶の形態、サイズおよび分布を計測することに成功した、その一例として図5に牛肉を -120°C で凍結した場合に形成される氷結晶構造の計測例を示す。試料厚さ約1mmの範囲で、氷結晶サイズは凍結面である立体像の下端部から垂直方向に向かって急激に増大し、また、細胞外に分布することがわかった。この方法は冷凍食品の解凍後における品質向上、さらには生体組織の活性維持などのための最適凍結法の研究開発ツールとして有効利用されるものと期待されている。また、このシステムは人の視覚では不可能な材料内部の微細な三次元構造を自由に観察できる機能を持っていることになり、視覚に関する先端的計測技術は、ある面ですでにヒトの能力を凌駕していると考えられる。

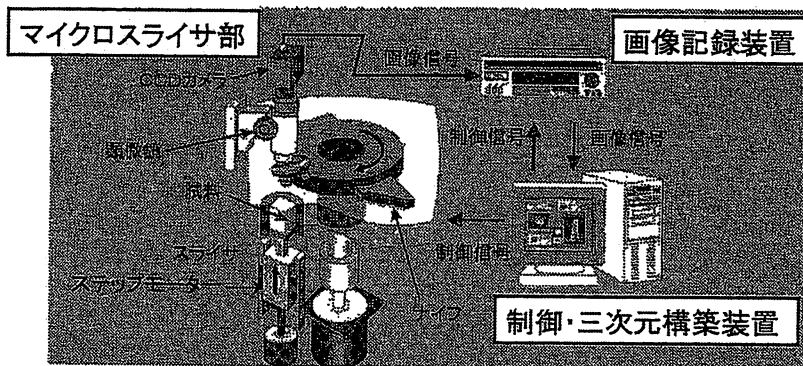


図4 マイクロスライサ画像処理システム

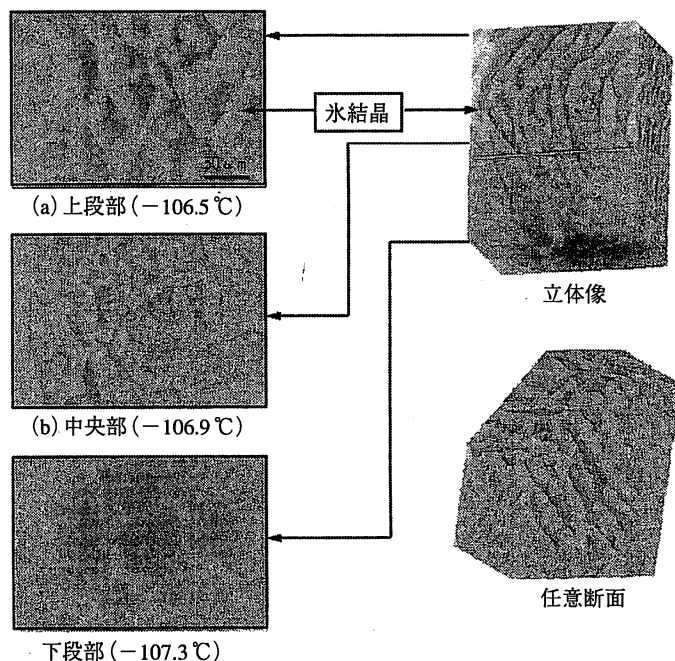


図5 凍結牛肉試料の氷結晶および立体像

(以下、次号の味覚と嗅覚のセンシングシステムに続く)

文 献

- 1) 鈴木良次：「生物情報システム論」, p.25, 朝倉書店, 東京 (1991).
- 2) 津田基之他：「生物のスーパーセンサー」(津田基之編), p.3, 共立出版, 東京 (1997).
- 3) 都甲 潔：「味覚センサ」, 朝倉書店, 東京 (1993).
- 4) 相良泰行：月刊フレッシュフードシステム, 24 (4) 50-58 (1995).
- 5) 前田章, 村上篤道：農業機械学会第37回総会講演要旨, p.146 (1978).
- 6) 前田弘：「青果物の選別包装施設におけるメカトロニクス化に関する研究」, 東京大学博 (1991).
- 7) 前田弘：「青果物の非破壊選別技術について」, (株)マキ製作所 (1991).