

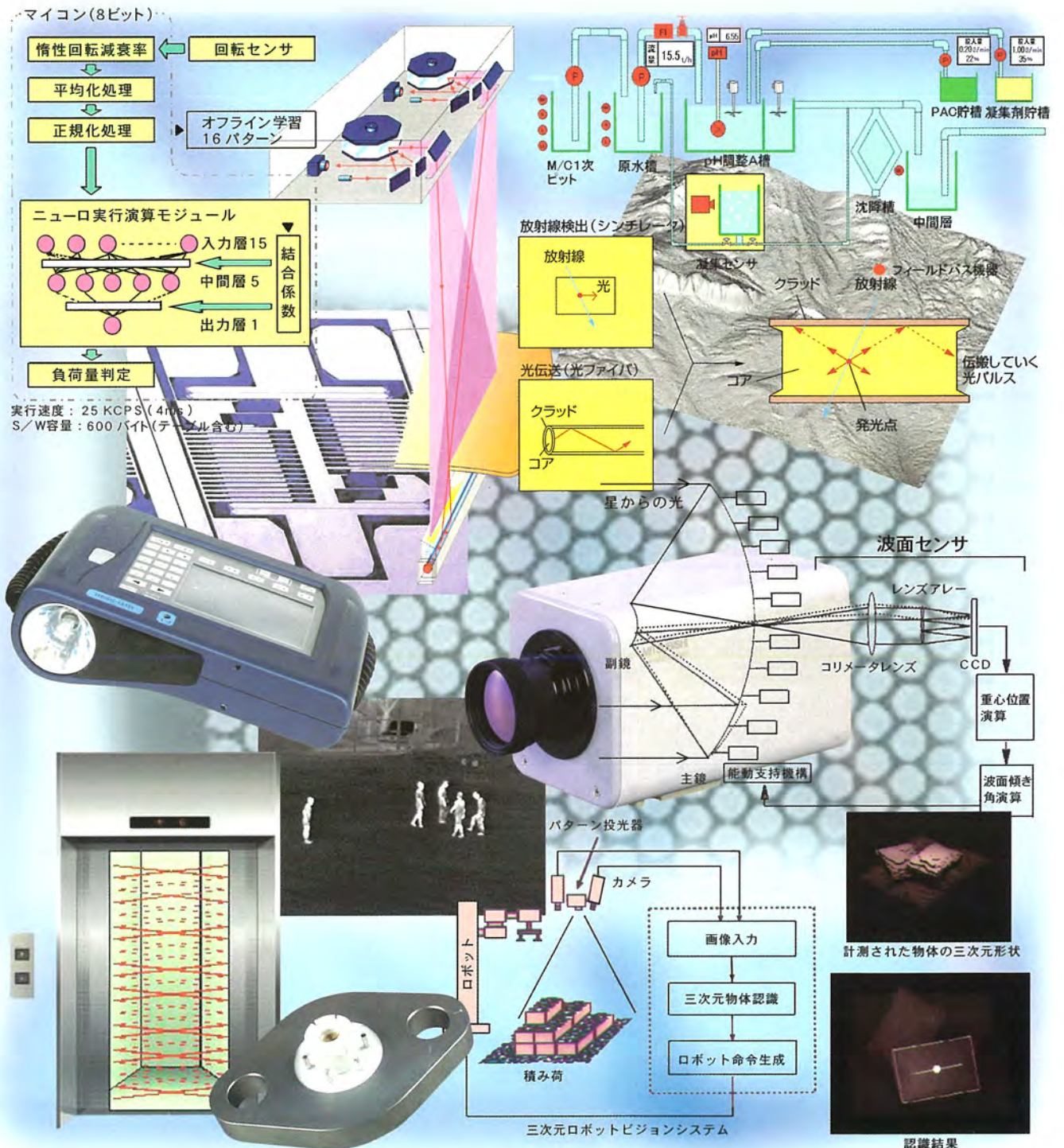
# MITSUBISHI

## 三菱電機技報

Vol.73 No.8

特集 “センシング技術”

# '99 8



## 特集“センシング技術”

### 目次

#### 特集論文

検出から認識への変革 山崎弘郎	1
センシング技術の役割と変革に向けて 小林 彬	2
三菱電機のセンシング技術の現状 宇佐美照夫	6
送変電機器用故障診断システム 前川 洋・篠原秀雄	10
光給電・光通信による携帯型ワイヤレスデータ収集システム 中島利郎・鹿井正博・池田郁夫・栃尾 篤	14
光ファイバ放射線モニタ 西浦竜一・岡 徹・池田郁夫・津高良和	18
鉄鋼用形状センサ 杉山昌之・田壺宏和・中島利郎・植木勝也・鹿井正博	22
がん治療用深部線量測定装置 西沢博志・藤原博次・津高良和・池田郁夫	28
フィールドバスによる排水処理計装システム 平位隆史・平井敬秀・佐々木文夫	32
エレベーターインテリジェント化のためのセンサ 小浦邦和・高橋達司・額綱雅彦・水野滋基	36
画像レーダ技術 岩本雅史・山本和彦・桐本哲郎・志村誠一・原 芳久	40
赤外線カメラとその応用 高橋 進	44
宇宙用観測EOセンサ 森本幸博・玉川恭久・鈴木浩志	48
携帯端末における撮像センサを用いた画像入出力装置 井上禎之・植田信夫・的場成浩・大深輝孝・麻生陽平	52
家電製品用センサのインテリジェント化 長田正史	56
ロボット用ビジョンセンサ 橋本 学・鷺見和彦・小平紀生	60
エアバッグ用容量式半導体加速度センサ 番 政広・大谷 浩・荒木 達・平田善明	64

#### 特許と新案

「グルコース感応性FETセンサおよびその製造方法」「画像信号生成装置」	69
「給電システム」	70

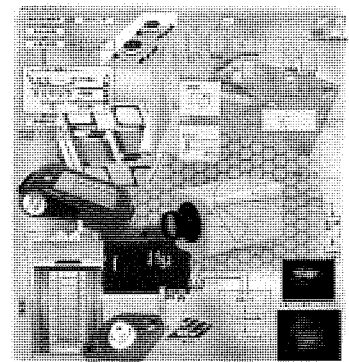
#### スポットライト

太陽光発電システム	68
キャンバ計・板幅計用高分解能エッジセンサ	(表3)

#### 表紙

広範な分野で活用されるセンシング技術 “センサは千差万別”と言われているが、センサを用いて対象の状況を知るといふセンシング技術も多種多様である。その応用範囲も多様であり、当社では、家庭用電気製品から産業用・医療用システム、宇宙システムなどまで、あらゆる分野に適用されている。ある分野で開発された技術は他の分野でも適用可能なものも多く、総合電機メーカーとしての強みであるシナジー効果が発揮されている。例えば、半導体技術は自動車のエアバッグ用センサ、赤外線カメラなどに、光学技術はエレベーターのドアセンサ、鉄鋼用形状センサ、放射線センサ、宇宙用望遠鏡などに、人工知能技術は洗濯機の負荷検知、ロボットのイメージセンサなどに、ネットワーク・通信技術はセンサ間の有機的な結合の実現などに活用されている。この特集号では、特に、半導体化、マイクロ化、オプティックス、インテリジェント化、ネットワーク化をキーワードに、各分野で開発された最近の技術や製品の紹介を行った。

表紙は、この特集号で取り上げたものの原理図、構成図、外観写真などを重ねて並べることによって、全体として、センシング技術やその対象となる製品の多様さを表現したものである。

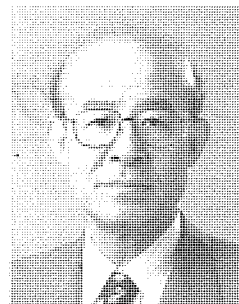


## 検出から認識への変革

21世紀を迎えてセンシング技術はいかなる方向に進むのだろうか。現在見られる予兆は、検出から認識へのセンシングの目的の変革である。対象の有無の検出や物理量の変換までの技術はほぼ確立された。数値で表現される信号変換から対象の識別、さらに対象の状態の同定や認識へとセンシングの目的が変化しつつある。

検出から認識への変化は大きな飛躍である。人体の存在検出の技術は確立されているが、それがだれであるかの認識となれば、個人の特徴に関する情報に基づく対象の同定が必要になり、さらに個人の状態の認識となれば、より高度な属性の知識が必要となる。近年、数値情報を扱う信号変換技術に加えて文字で表現される状態の同定技術や知識を扱うツールが整備されたので、多くの対象について認識が可能になってきた。また、この特集でも、そのための技術の開発例や優れた情報環境のほう(萌芽)が紹介されることであろう。

我々は、自然や人工物で形成された物理的世界に関する情報を脳の知の世界に知見や知識として導入しつつ生活する。異なる二つの世界をつなぐインターフェースは五感である。高度な機械やシステムは、内部に固有の情報の世界を持つ。それは、情報を処理し適切な機能を実現するハードウェアやソフトウェアから形成される世界である。外部の物理的環境と内部の情報世界をつなぐインターフェースが人の五感に相当するセンサであり、センシング技術である。これによって情報世界に導入される情報の質と量とが、機械やシステムの機能や性能を左右する。情報環境がいかに優れていても、センサによって導入される情報が正しくなければ、それに基づく行動は適切ではあり得ない。コンピ



株式会社横浜総合研究所 会長  
東京大学 名誉教授

山崎弘郎

ュータは“Garbage in garbage out”とも言われるが、正にゴミを入れればゴミしか出てこない。したがって、インタフェースの最先端であるセンサの重要性は強調してもしすぎることはない。しかし、近年、センシング技術の中で、センサ信号を受ける情報の後処理技術の比重が増加した。この変化の背景は、正に検出から認識への変革なのである。対象や状況の認識など、与えられた特徴を先験的知識とする処理機能がセンシングに要求されるようになった。

センサ情報処理の構造は多次元化・多モード化・多階層化を指向している。多次元化はセンシング対象の空間的・時間的拡大と広域化や連続化が誘因であり、また、多モード化は対象に対して異なるセンサ情報を組み合わせてより高度な情報を獲得するねらいがある。人間がごく自然に実行している感覚情報の統合の技術化にはかならない。多階層化は、センシングシステムの高度化・複雑化がシステム構造を必然的に階層化し、異なる機能を合理的に適切な階層に割り当てる構造である。これらの情報処理の構造変化は、検出から認識への飛躍を実現するための情報環境の整備と見ることができる。

システム全体として大規模化・複雑化しても高信頼性が維持されなければならないし、また、応用範囲が拡大し、特に社会システムの中で広く使われるようになれば人との接点が増えるので、人に優しくなくてはならない。このような多様な要請にこたえてセンシング技術は発展しつつある。

後世の人は、20世紀末から21世紀始めにかけてのセンシング技術の発展を検出から認識への変革と意味付け、社会の情報化の急拡大と関連付けて理解することであろう。



# センシング技術の役割と変革に向けて

小林 彬\*

## 1. ま え が き

センシング技術の現状と動向というようなことにつき原稿を依頼されたが、環境問題を別にすれば、これといって華々しい社会的目標や課題があって、それを実現するための目立った技術的動きがあるわけではない。

そもそも、世の中自体も、大きく変わらなければならない中で明確な指針を打ち出せないまま、あちこち手探りの状況にあるのに近い。ただ、水面下では様々な試みが既に始められているのに違いなく、いずれ明確な形を伴って姿を現す日がくると考えられる。それらが現れるのを待っているのでは、他の後じん(塵)を拝することは明らかであり、敗北の道であろう。したがって、見え難い底流を自ら探り、何かに行き着き、その何かの本質を見極め、本質が納得できたらそれにか(賭)ける決断が必要な世の中になってきている。

センシング技術の状況もある意味では同様な状況に遭遇しているに違いなく、世の中の動きに先駆けたオリジナルな技術開発の戦略が求められる。

そこで、以下には、計測技術上、ニーズの所在、シーズの開発の意味など、何らかのフロンティアを広げるような視点を幾つか提供し、中長期的観点からの一種のシミュレーション(思考実験)としてその持つ可能性等を論じてみたい。本稿が何かを考える出発点となる機会になれば幸いである。

## 2. 計測技術の役割

言うまでもなく計測技術の活用される分野は、生産工業、医療、土木・建築、農林・水産、自動車・航空機、交通システム、流通システム、セキュリティ、環境モニタリングなど、極めて多様で、果たすべき役割も様々である。

社会構造の変化に対応し、その自動化・高度化を、主として、生産者・実務従事者・システム提供者の側に立って支援してきたわけで、自動化・高度化を支える意味では今後も同様の役割を果たすに違いない。しかし、これから必要とされる計測技術を考えたい場合、その中身には質的変化が兆しており、世の中の動向に即した役割の果たし方、結果として提供すべき情報・データは何か等について考慮し、重点の置き方を意識して変革する必要がある。

生産システム論としてCIMに換わり新しくCALSが現れ

たが、その核心は、システム構築の考え方を製造中心主義から人間(顧客)中心主義へ切り換えたことにある。センシング技術にとっても、このような流れを強く認識する必要があり、ニーズの源泉を見直し、新たな役割を人間中心の考え方の中に築いていかなければならない(図1参照)。

## 3. 新たな“人間の時代”

我々のある種の願望、又はそうなるに違いないという確信に似たものとして“21世紀は人間尊重の時代”だという考え方がある。もちろんこの考え方には様々な側面があるが、問題は技術的に考えたときにどういう中身を持つのかということにあり、計測技術が関連する側面から考えると次のようなことが指摘できる。

### 3.1 生産技術支援から感性適応支援へ

人間の時代ということは人間性尊重・個性尊重ということでもある。これを、新製品の設計・製造のプロセスについて考えてみると、これまで、個性を尊重しそれぞれの感性に整合させた製品がどれだけ提供されてきただろうか。計測技術の支援により、自動化・高度化は進行し、与えられた仕様を多量に作り上げる製造技術は相当のところまで達している。問題は、出発点となる与えられた仕様が個性尊重に対応するものになっているかどうかである。量的に多数のものを生産する方式自体、原理的に個性尊重とは対立し、ある種の押し付けになってしまっている。しかし、現存する優れた製造技術を否定するのではなく、それ

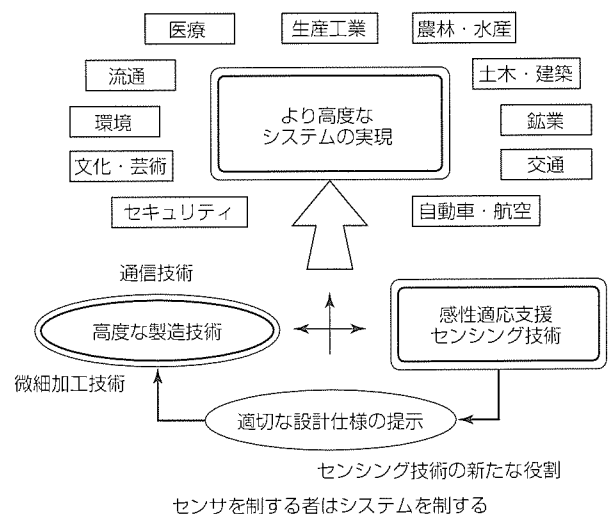


図1. センシング技術の新たな役割

を更に有効に活用しかつ個性尊重にこたえるためには、それぞれの個性・感性を計測する手法を確立し、設計・製造のための仕様条件を決めるのに必要な適切な情報の獲得を目指すことが肝要となる。ここには、感性適応支援に向けた計測技術の新たな役割があり、新製品開発競争をリードする主導的情報を提供する未開発の領域がある。

### 3.2 患者負担・苦痛の少ない診療技術に向けて

一方、人間尊重と言うとき、だれでもまず浮かぶことは生命の尊重ということである。この点、計測技術は何より診療における診断技術として深く関係する。“以前薬漬け、今検査漬け”などと言われることもあるが、正しい診断があつて適切な治療が可能というものではある。ただ、やはり現段階の診断方法は患者の苦痛を少なくするということからすればなお改善の余地を残す問題で、計測技術上重要な領域である。診断技術上重要なものに、身体内形態診断・機能診断技術があるが、CT(Computed Tomography)は脳や心臓を始めほとんどの臓器の診断に有効な無侵襲計測技術として多くの関心を集めているが、何よりその処理の高速化に期待が寄せられている。処理プロセスには幾つかの段階と構造があり、高速化のためにまず重要なのは、大元の投影データの高速採集である。心臓の動的診断を可能にする意味で診断技術のかぎ(鍵)を握るとともに、患者負担の軽減をもたらす点が人間の時代にふさわしい診断技術のミソである。つまり、患者の負担や苦痛を軽減するのに技術はどう貢献するのかの視点を忘れてはならず、ニーズの本質的所在を考える上での新しいベクトルである。現実から掛け離れ興味に流された技術開発にならないよう気を付けたいということでもあり、敷衍して言えば、技術開発においては、今の段階で必要であるという意味からすると、どのような機能・性能が、あるいはどっちの機能・性能が本質的要望なのかを、現場の実状を踏まえた確に把握することが重要であると考えられる。

また、苦痛の少ない診療ということからすると、“どこが、どのように、どの程度痛い”のかを的確に医師や看護婦に伝えるのはかなり困難であり、そのような状況の中で医師や看護婦はどのように受け取っているのかに疑問が生じる。センシング技術として何らかの対応が可能なのではないかと考えたとき、ここにも未開拓に近い領域が広がっていることが分かる。

### 3.3 一般個人が知りたいと考える情報の提供に向けて

社会が高度にシステム化された結果、様々な社会現象が密接に結び付き、知らない間に個人の問題までもがそれらに巻き込まれてしまっている。かなり離れた所での事故で交通渋滞や交通遅延に巻き込まれ、何気なく出しているごみの焼却処理に伴うダイオキシン発生によって健康被害を受け、地域振興を目指し山野を開発した結果によって沿岸海域での漁獲量が減少し、生産活動が活発になればなるほ

ど大気が汚染され、さらに酸性雨による周辺地域における自然(山林)が破壊される、など例は枚挙に暇がない。

ここで重要なことは、様々なことに結局巻き込まれてしまっている個人にとって、自分はどんな状況の中に置かれているのか多くは知らない・分からないままになっていることである。個人は、快適で健康に満ちた安全な生活を送る権利を持っているものとすれば、これを技術的に、適切な情報提供の形で保証することが我々に寄せられている大きな期待なのではなからうか。

個人は必ずしも明確に意識はしていないが、日常生活の快適さを維持し、健康を守り、安全・便宜さを確保するため種々の情報を欲しており、実際そのような情報に接したときその有り難さに気付くものである。

的確な交通混雑度情報、自動車安全走行のための路面情報や周辺車両の監視情報、食物アレルギーやし(嗜)好適合を考慮した食品の成分表示、換気や防災を考慮したきめ細かい室内空気モニタリング、など様々なセンシング技術の要望が潜在すると考えられる。

先進的な診療の考え方の一つにインフォームドコンセント(Informed Consent)の考え方がある。インフォームドコンセントとは“医師は診療データや治療方針について十分な情報の提供と説明をし、これに対し患者が理解・納得し同意あるいは選択した上で治療を受ける診療原則のこと”を目指すものとされるが<sup>(1)</sup>、この考え方の根本にあることは診療技術のみならず様々な局面で考慮されるべき基本であり、様々な選択における個人の自由な意志・判断を尊重し、その素材となる客観的情報を正確に提供することを技術的に保証する考え方にある。

## 4. 環境モニタリング

地球温暖化、資源枯渇、大気汚染、自然破壊、ごみ処理など様々な環境問題の根底には、資源消費、エネルギー消費などにおける人間の肥大化した活動がある。これらが、元々自然界に存在していた物質・エネルギーの大循環(リサイクル)のリズムを乱したのである。大循環の速度を上回る速度で資源やエネルギーを使い、食料を増産・消費し、循環による浄化作用を上回る汚染を行っている。またときには、自然の浄化作用と対立する物質を作り出しごみの量を増やすとともに、ダイオキシン発生の原因を作った。しかし、多くの人が気付いたわけであり、人間の生命や健康に害が及ぶ以上、我々自身を更に我々の子孫を守るため、資源やエネルギーの使い方につき深い反省に立った何らかの行政的対策が大々的に採られるに違いない。ここには当然多くの技術課題が存在し、ビジネスのチャンスもある。

センシング技術にとっては、言うまでもなく、環境モニタリングの問題である。大気、河川、地下水、沿岸海域、道路など、対象領域は広く、理想を言えば、自動化された

オンライン多成分分析計と、それら情報収集のための広域情報ネットワーク、総合情報分析システム、など気象予測システム以上のきめ細かいモニタリングシステムが必要と考えられる。

環境問題は、だれもがすべて、自然の大循環の中に巻き込まれており、多く加害者でありかつ被害者でもあるから、その解決には共通の合意が得られるはずの問題である。

### 5. 生産技術支援におけるセンシング技術の残された課題

世の中の動きが人間中心の世に移行するとしても、生産工業がなくなるわけではなく、依然として生活基盤を支える重要な分野として残る。センシング技術にとってこの意味で残された課題を幾つか考えてみたい。

#### 5.1 品質制御方式によるプロセスオートメーション

既にプロセスオートメーションは成熟した技術分野のように見えなくはない。しかし、本来、その生産はつく(創)り出したい品質を直接目標値として制御されるべきであるが、現実には反応環境制御になっている。品質制御をベースとするプロセスオートメーションに関する議論は以前からされていたが、必ずしも明確な解答が得られていない。プロセスオートメーションの変革に向けての本質的課題であり中長期的観点から進めるべき開発である。

非線形多次元処理となる混合多成分同期計測技術をまず確立し、それを高速オンライン化することが鍵と言われているが、ある意味で、環境モニタリングに類似する分野と考えられる。フィールドバスが実用化されようとしている現在、デジタル処理がこの領域の非線形多次元処理問題の解決に道をひら(拓)くかも知れないのである。

#### 5.2 柔軟な物体・不定形物体のハンドリング

多くの分野で自動化が進行したが、農業や漁業、アパレル産業の一部などは残された領域である。この領域の特徴の一つは、柔軟な物体や不定形な物体をハンドリングの対象としている点にある。どこをどう把持し、どうハンドリングしてどのように置けば所定の形状が実現されるのか、また、落とすことなく傷つけず運べるのか、など正に計測と制御の高度な対象である。

センシング技術としては三次元形状計測的問題であり、処理の高速化を行い、対象の重心等を自律的に検出できるインテリジェントな並列処理型視覚センサなどの開発が望まれる。

#### 5.3 保守の自動化

工場自動化の中で残された領域と言えば保守・保全である。センシング技術からすれば故障診断や異常の前兆をセンシングする問題であるが、一般的議論はなかなか難しく、ケースバイケースの話になってしまう。対象から発信される音響や振動波形に手掛かりが含まれていることは間違い

ない。問題はまず、重要な兆候が局所的信号波形に生じるひず(歪)み又は突発的变化として現れるのか、周波数スペクトルのようなマクロな情報の変化に現れると考えるのか、である。実態は前者に近いのではないかと推察されるが、この考え方に沿った分析方法が現状では必ずしも整備されていない。この点、SDP(Symmetrized Dot Pattern)<sup>(2)</sup>を契機とする、信号の同時確率密度関数分析に可能性があるものと関心が寄せられる。

### 6. 文化財・遺跡調査、その他

#### 6.1 遺物破片形状計測

センシング技術の対象として最近興味をひかれるものの一つは文化財や遺跡の調査である。年代鑑定を主要な任務としてこの分野は発達してきたが、ここに来て建築工事や地下鉄工事等との関連で全国的に遺跡発掘件数は急激な増加を見せている。膨大な量にのぼる遺物破片があり、これらを個々に形状計測し、分類し番号を付けていく作業であるが、その機械化・自動化による遺物処理及びその管理につきスピードアップが要望されている。できれば、さらに、ジグソーパズルを解くようにしてバラバラになった遺物の破片を組み合わせ、元の形状を復元することが可能になればこの分野に大きな福音をもたらすに違いない、ここにも三次元形状計測の新たな応用分野がある。

#### 6.2 DNA解読センシング

一方、DNA鑑定の記事が新聞紙上にも現れるようになり、一般の関心をひいている。犯罪捜査ばかりでなく、難病の治療、生物進化の解明、害虫の駆除など幅広い応用可能性を持つもので、DNA解読のためのセンシング技術についてもその高速処理化が望まれている。

#### 6.3 災害対応センシング

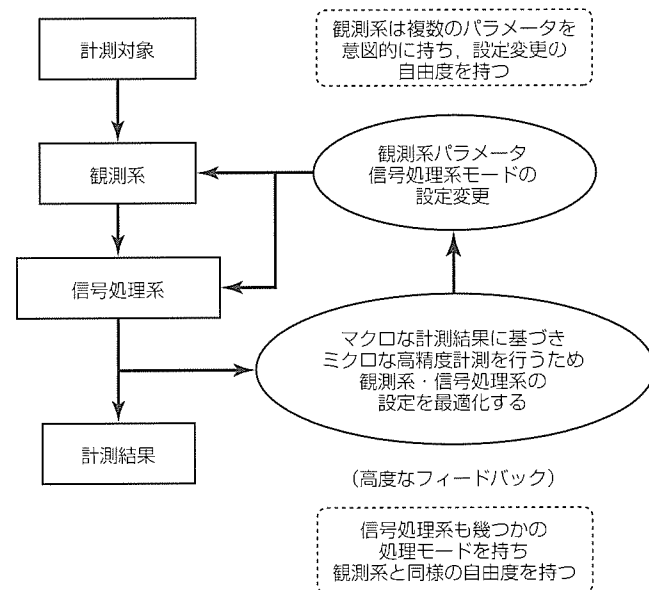


図2. 漸進学習型計測系の構成

瓦礫中に埋まっている被災者の救出！

→微かに聞こえるうめき音を手掛かりに埋没位置を同定したい

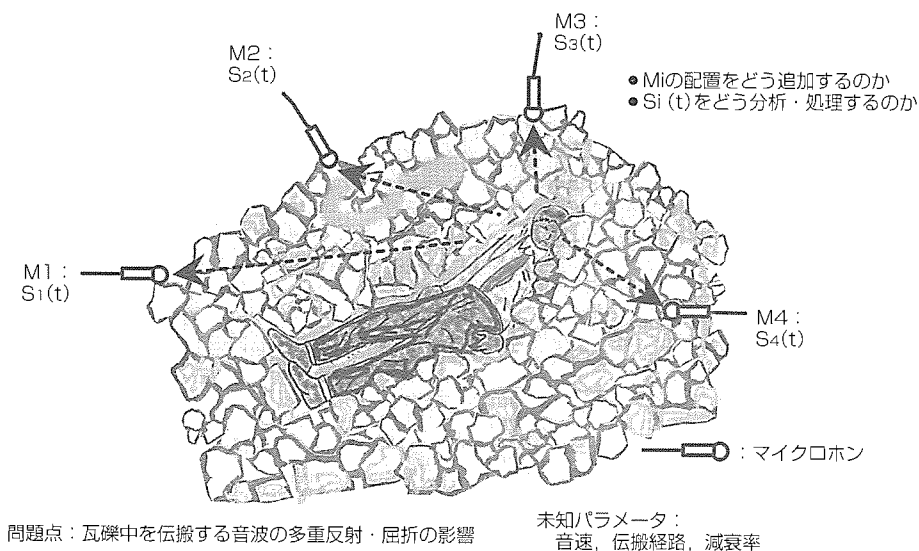


図3. 瓦礫中搜索問題

阪神・淡路大地震を一つの契機として、災害に対する備え又は被災者の救出、被災建造物等の健全性検査など、災害対応センシング技術開発への関心が高まった。ここにも一般人に直接役立つセンシング技術開発のニーズがあり、対象領域の範囲について視点の重心を移すべきことが言える。

### 7. センシング技術におけるシステム論

以上、センシング技術に対するニーズは、潜在的なものまで含め、多岐にわたりかつ深い広がりを持っている。これらに対処するにはそれなりに新しいシーズを開拓する必要がある。多くの問題が複合計測の様相を持つため、様々な信号をどう組み合わせればよいかの吟味が必要であり、かつその処理が多次元非線形の性格を帯びることを認識すべきである。この点、動作点周りで状況に整合した変換特性を実現するよう適応的な調整機能を持つ計測系の構成が重要で、一つの考え方に図2に示すような漸進学習型計測系の構成の考え方がある<sup>(3)</sup>。そのような考え方によって位置計測のためのズーム的機能を実現した例が、参考文献の(4)である。

一方、実際の計測器設計・製造の面から考えれば、多種小量(一品?)生産的事態は避けられず、個別生産に対応する、計測器実現の自由度をいかに確保するかは大きな問題となる。小型化は物理的制約を克服する鍵であり、適切な

計測原理の選択、さらに環境雑音源の正しい把握に基づく実用計測精度の正確な推定・評価技術は競争の行方を大きく左右すると思われる。

最後に、新種のセンシング問題の例を一つ挙げると、図3に示すのが瓦礫中搜索問題がある。地震等で瓦礫中に埋もれている被災者を搜索するもので、被災者のうめ(呻)き声を頼りに、何箇所からのマイクで検出された音を総合的に処理し、被災者の位置を同定する問題である。音の多重反射や異なる音の伝搬特性を持つ媒体の混在など、あいまいさが多い中で、伝搬系としてどのような秩序が成立するのかを探るのが問題の本質

と考えられる。

### 8. むすび

21世紀を前にして、センシング技術に対するニーズの所在を中心に考察を巡らした。言うまでもなく独断に近いが、しかし、潜在的な面まで含め多くの可能性があるのに驚かされるくらいである。学会会議の委員会活動としても各分野における計測のニーズとシーズ、各分野間の関連、新しいセンシング技術への要望等が調査されており、結果が待たれるところである。ともかく、計測対象領域の変革は既に始まっており、小さな芽も伸びている。来世紀にかけこの分野が多いに発展することを切に願うものである。

### 参考文献

- (1) 柳田邦男：犠牲，文芸春秋社（1995）
- (2) Pickover, C. A.: On The Use of Symmetrized Dot Pattern for the Visual Characterization of Speech Waveforms and Other Sampled Data, J. Acoust. Soc. Am., 80, No.3, 955~960（1986）
- (3) 小林 彬：適応型計測システムの構成論，計測自動制御学会論文集，36, No. 7, 427~475（1997）
- (4) 大山真司，曹 麗，小林 彬：囲い込み信号場におけるズーム的機能をもつ位置計測，計測自動制御学会論文集，34, No.10, 1349~1356（1998）

# 三菱電機のセンシング技術の現状

宇佐美照夫\*

## 要 旨

センシング技術は、三菱電機では、宇宙から家庭電気製品まで広い分野で適用されている。

近年のセンシング技術は、マイクロエレクトロニクスの発展により、マイクロ化、インテリジェント化、デジタル化、ネットワーク化というキーワードで表現されるように進歩しつつある。更に今後も幅広い分野でのニーズに対応するための新技術の開発手法としては、新しいセンサデバイスの開発による新機能の実現と、新しいセンシングシステムの構築による新機能を実現させていくことが必要であろう。

下表には、センシング技術と応用製品の変遷を示してある。センシング技術の発展経緯をまとめると、次のようなことが考えられる。

- (1) アナログからデジタル方式へ
- (2) 電気、機械からエレクトロニクス、メカトロニクスへ
- (3) スタンドアロンからシステム化、ネットワーク化へ

- (4) 自動化、最適化からインテリジェント化へ
- (5) 一次元センシングから二次元、さらに三次元センシングへ

このような技術の背景には、以下に示すことが挙げられる。

- (1) マイクロエレクトロニクスの発展による高性能・低価格マイクロプロセッサの出現
- (2) センシングシステムを実現する通信・ネットワーク技術の高度化
- (3) 新素材、微細加工技術によるセンサの高性能化
- (4) ソフトウェア、情報処理技術の進歩

特にマイクロプロセッサの進歩は、テクノロジードライバとしての役割を果たし、システムの小型化、高速高精度化、低価格などを実現しつつある。

この特集では、これらのセンシング技術をベースとした当社の製品の最近の話題を紹介していく。

		年	1980	1990	2000	2010
デバイス技術	光学素子		半導体レーザ	青色発光素子	紫外発光素子	
	撮像素子	CCD	100万画素CCD	人工網膜素子 CMOSイメージャ	赤外イメージャ	
	その他素子		マイクロメカニカルセンサ(圧力, 加速度)	マイクロオプティカルセンサ	磁気センサ(GMR)	バイオセンサ
マイクロエレクトロニクス			CPU : 80286	i386 i486	Pentium Pentium III	
			RAM : 256K	1M 4M 16M	64M 256M 1G	
処理技術	画像認識		パターン認識	動画像処理	カラー画像処理	三次元計測
	信号処理		エキスパートシステム	ニューラルネットワーク	ウェーブレット	人工生命モデル

## センシング技術の変遷

センシング技術は、マイクロエレクトロニクスの発展により、マイクロ化、インテリジェント化、デジタル化、ネットワーク化のキーワードで表現されているように進展してきている。



## 1. ま え が き

センシング技術は、宇宙機器から家庭用電気製品までの広い分野でシステムや機器を高度化する重要な技術の一つである。また、研究開発から製品設計・製造に至る多くの技術者がかかわっている幅広い共通技術である。学術的には、センシング技術とは、センサデバイスや信号処理装置などのハードウェアと、信号処理アルゴリズムなどのソフトウェアからなるシステム、すなわち“センシングシステムを実現する技術”である。また、ここでセンシングシステムとは、“センシング対象の情報を収集し処理して、有用な情報として提供する機能を持つシステム”と定義されているシステムである。

このセンシングシステムがより正確なものでなければ、すなわちセンサによって収集される情報が正しくなければ、いかにマシンやシステムが優れていてもその機能や性能を十分に発揮することはできない。例えば、コンピュータも質の低い情報しか入力されなければ、出力は質の低い情報しか出てこない。このように、センシング技術は、システムの性能を決定する非常に重要な共通基盤技術である。

この特集号では、これらのセンシング技術をベースに開発された当社の製品の最近の話題を紹介していく。

## 2. センシング技術の動向

最近のセンシング技術は、センサデバイス単独では実現できない機能をセンサのシステム化によって実現し、その性能及び機能を高度化させていることが多い。例えば、コンピュータなどの信号処理機能をセンサデバイスと有機的に結合し、より高度なセンシングシステムを生み出している。また、フィールドバスでセンサネットワークを形成し、

センサの出力をデジタル信号で取り出し、上位のコントローラと双方向制御を行うシステムも実現されている。これらの手法は、センサのインテリジェント化、デジタル化、ネットワーク化といったキーワードで表現されている。また、このような新しいセンシングシステムの構築による新機能の実現方法に加え、もう一つの新技術開発の手法として、新しいセンサデバイスの開発による新機能の実現法がある。センサデバイスの開発には、新しい材料、新しい加工法、新しい計測法などの手法が見られる。この数十年の間に新材料もたくさん出現してきた。今後さらに、バイオテクノロジーなどの発展により、センサの新材料を創出していく可能性がある。新加工法の例としては、リソグラフィを応用したシリコンの超微細加工などが発達してきている。センサは小さければ小さいほど測定対象に影響を与えず新しい応用が考えられる。これは、センサのマイクロ化というキーワードで表現されている。ここで述べてきたキーワードが、最近のセンシング技術の動向を適確に表している。

## 3. 当社の動向

当社において、センシング技術は、宇宙の人工衛星、電波望遠鏡などから、電子機器システム、通信機器システム、環境機器システム、セキュリティ機器システム、エネルギー機器、電鉄機器システム、FA機器システム、自動車機器、家庭電気機器に至るまで、多くの分野に適用されている。

図1は、当社におけるセンシング技術の樹を示したものである。根元に表現した共通の基礎技術をベースに、多くの技術や製品に関連している。また、表1にセンシングの要素技術と主な製品を示す。

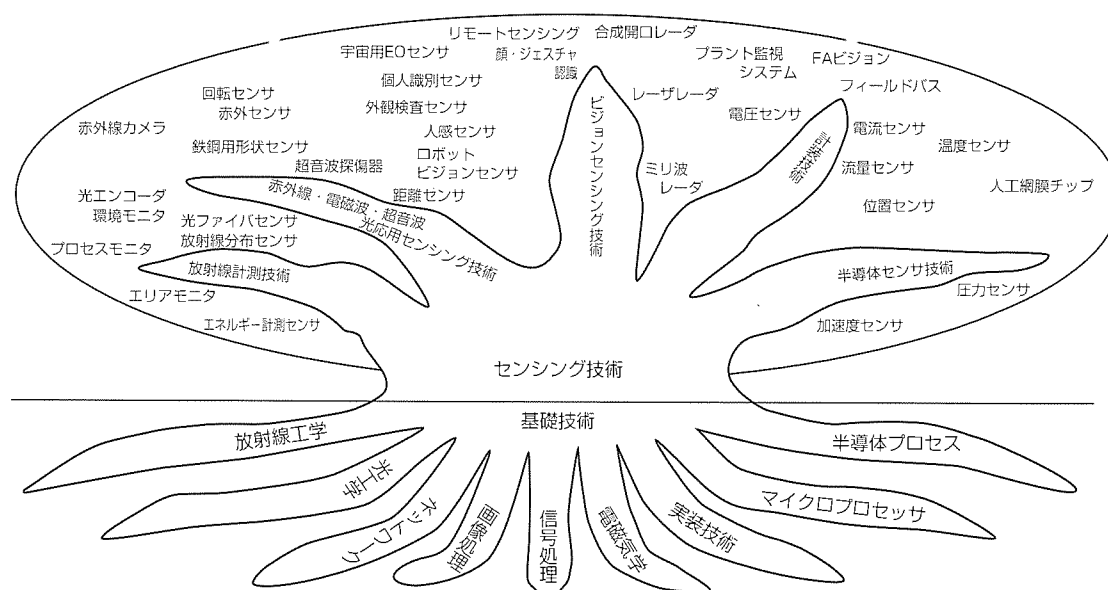


図1. センシング技術の樹

表1. センシングのための要素技術と主な製品

要素技術	主な製品
半 導 体	圧力センサ, 加速度センサ, 人工網膜チップ, フォトダイオード
赤 外 線	赤外線カメラ, 観測衛星搭載用センサ
光・レーザ	車間距離計, レーザドップラー振動計, 鋼板形状検査装置, レーザ式変位計, 光エンコーダ
電 磁 波	合成開口レーダ, 気象観測レーダ, レーダ式速度計
放 射 線	原子力発電用放射線モニタ, 医療用線量計
超 音 波	超音波探傷器, 超音波厚さ計
電 磁 気	電子式電力量計, インテリジェント電磁流量計
画 像 処 理	交通流計測装置, 侵入監視装置, 指紋照合装置, ロボットビジョン, 車間距離センサ
シ ス テ ム	送変電機器用故障診断システム, 受配電変電機器監視装置, プラント監視制御装置

図を参考に、当社のセンシング技術に関連した要素技術及び分野別応用製品の主な状況を紹介する。

### 3.1 半導体センサ技術

マイクロマシニング技術は、半導体製造技術によって発展した微細加工技術を中心に様々な技術を結集して小さくて精密な構造体を作製する加工技術である。1960年ごろから現在まで、このマイクロマシニング技術を用いて、小型で高機能の各種マイクロセンサの研究が盛んに行われている。

半導体センサには、機械量センサ(圧力, 加速度, 位置等), 化学センサ, 光学センサ等がある。これらの各種センサのほとんどが、マイクロマシニング技術の発展により、昨今、急速に高機能化・小型化している。その中でも機械量センサは市場規模が大きく、自動車分野ではけん(牽)引役としてこれまでも増して期待されている。

機械量センサの中でも代表的な半導体圧力センサは、シリコンダイヤモンドフラムの上にピエゾ抵抗を形成したセンサで、自動車のエンジン制御, ブレーキ制御等に広く採用されている。当社は'80年から製品化し、IC技術の発展とともに量産化・小型化・集積化を進めている。また、半導体圧力センサの技術を応用してピエゾ抵抗式加速度センサを'91年に製品化した。このような半導体機械量センサは、自動車だけでなく、家電, 電力機器, プラント制御, エレベーター等幅広い分野に応用展開が可能である。

光学式センサとして、人間の網膜での情報処理機能を模倣した人工網膜チップが量産化されている。従来のCCDに比べて画像処理機能を兼ね備えているばかりでなく、低コスト, 低消費電力, 高速応答などの特長を持つ新規のデバイスである。これらの特長を利用することにより、ゲーム機, デジタルカメラとして携帯端末への組み込み, 及びセキュリティ分野への実応用が始まっている。

### 3.2 センサネットワーク・計装技術

電力・工業・公共等のプラントにおいては、センサとコントローラ間は1対1のアナログ伝送で結び、処理はコン

トローラで集中的に行うことが多かった。しかしこのような集中処理システムは、ケーブル総延長の増大とコントローラの処理量の増大を招き、結果的にコスト増と信頼性の低下につながるがあった。

そこで、センサに処理機能を持たせた分散処理システムが注目されてきている。分散

処理システムにおけるセンサはデジタル化されてCPUを持ち、補正演算等を内部で行うようになる。さらにセンサとコントローラをネットワークで接続することで双方向通信が可能になり、センサが計測値をコントローラに伝送するだけでなく、コントローラからセンサへレンジ変更等の指令を与えることができる。

また、センサが自己診断機能を持ち、異常時にはコントローラへ警報を出すことも可能になる。

このようにセンサの高度化は、ネットワークと密接な関連を持っている。オープンなネットワークとしては、CC-Link, FOUNDATION Fieldbus, LON WORKS, Profibus, Devicenet等があり、適用分野, 要求性能, 要求コスト等に応じて使い分けられている。

### 3.3 ビジョンセンシング技術

画像の計測・認識技術に関しては、ファクトリオートメーションにおける部品の位置決め, 文字読み取りや外観検査など、人間の作業を代替するシステムを基に発展してきた。最近では、個人認証, 自動車の無人運転, マルチメディア関連, 監視システムなどで、画像処理の関連する分野が急速にすそ(裾)野を広げている。

技術動向としては、処理プロセッサの飛躍的な発達に伴って、高速化・小型化がキーワードとなっている。連続映像の中から動き情報を解析する技術を応用した交通流計測等の道路監視システム, 専用ハードウェアを使わず汎用CPUを用いたFA用高速ビジョンシステムが製品化された。マルチメディア社会の到来を受けて、人間の顔や動作の認識などヒューマンインタフェースの開発が進むとともに、個人認証の分野では、パソコンに接続可能なオールインワン型の小型指紋照合装置が製品化されている。

また、従来の二次元的画像から対象物を立体的に認識する三次元計測技術や、さらには画像とレーダデータ等の異種情報との融合技術が実用レベルになってきている。産業用ロボットのための視覚システムや、ITSプロジェクトの一環としての車間距離センサが、三次元計測の応用製品である。

### 3.4 光・赤外・電磁応用センシング技術

半導体レーザ, 固体撮像素子, 光ファイバといった光デ

バイスの技術進歩によって光センサの小型化や高性能化が進んでいる。それにより、当社における光・赤外・電磁応用センシング技術の応用分野も広範囲にわたっている。

FA機器分野のNCやロボットにおけるサーボシステムでは、回転角度をセンシングする光エンコーダが用いられている。当社では、100万パルス／回転といった高分解能の光エンコーダが低価格でサーボに搭載されており、サーボ制御の高精度化を実現している。

ビルシステムにおける一例としては、乗客を非接触検出し、閉まりつつあるドアを反転させ開く赤外線マルチビームドアセンサなどがある。

セキュリティを目的とした指紋照合装置では、皮膚の凹凸に応じた指紋画像を光学的に検出する指紋センサが搭載されている。装置の高精度照合の実現と適用範囲の拡大のために、ひずみの少ない指紋画像を得る指紋センサの小型・低コスト化を進めている。

また、電力プラントなどの設備機器点検を目的として、光給電・光通信による携帯型ワイヤレスデータ収集システムも開発している。

鉄鋼プラントでは、圧延制御へのフィードバック情報源と品質検査の自動化ツールとして用いられる形状センサを開発している。

家電では、掃除機の光回転センサなど、各種製品に多くのセンサが用いられている。

宇宙分野では、衛星などに搭載する地球観測用センサと、地上から宇宙・天体を観測する望遠鏡及び周辺観測センサがある。地球観測センサとしての画像レーダは、衛星などに搭載した光学センサからの情報を合成開口レーダ技術を用いて高い分解能を確保し、全天候性撮像装置として災害の監視や保安など多くの分野で用いられている。望遠鏡としては、ハワイ島に建設された大型光学赤外線望遠鏡“すばる”がある。

電力計器の分野では、ホール素子を利用した電子式電力量計と、省エネルギー監視機器の一つであるMDU (Measuring Display Unit) ブレーカがある。電子式電力量計は、電気料金制度の複雑化、検討困難地区向けの自動検針の導入などに対応し、従来の誘導型電力量計と比べて多機能化を図った電力量計である。現在、電子式電力量計のJIS規格規定の動き、さらにはIEC規格への整合を図ろうとしている。IEC規格には交流回路内の直流成分による誤差限度が規定されており、これに対応可能な電力量計を構成できる手段の一つとしてホール素子を利用した電力量計が開発されている。

MDUブレーカは、省エネルギー法によるエネルギー消費量の削減やISO14001“環境マネジメントシステム”の運営のため、電気の使用状態をきめの細かく測定するニーズにこたえるものである。これを実現する機器として開発さ

れた省エネルギー支援機器の一つがMDUブレーカで、配電用遮断器に計測用の電圧計・電流計と計測表示ユニットを一体化し、電圧・電流・電力・漏えい(洩)電流などの計測監視機能を持っている。さらに、フィールドバスを介して中央での集中監視が可能となっている。

### 3.5 放射線センシング技術

放射線センサは、システムの信頼性や被ばく低減など重要な役割を担っており、高信頼性化・高精度化・低コスト化が要求されている。当社の放射線計測技術は、原子力プラントでのプロセスモニタ、エリアモニタ、及び原子炉出力モニタに適用され、さらに、医療用の線量計測にも応用されている。当社では、これらに適用される放射線センサの高度化、及び新手法の開発を行っている。

当社で開発した光ファイバ放射線モニタは、放射線の入射によって蛍光を発するシンチレーションファイバを用い、放射線の分布を一つのシステムで測定できることが特長である。このモニタは、測定に光を用いているので電磁ノイズに影響されることがなく、原子力プラントの作業員の被ばく低減、放射性物質の移送状態の監視、又は加速器の粒子ビーム位置調整用のモニタへの適用が可能である。

また、半導体を用いた放射線モニタとしては、近年良質の結晶が得られるようになった常温動作型の半導体素子を用い、各種モニタに適用できるように高感度化・高信頼性化の開発を行っている。

さらに、今後の高齢化社会に対するニーズとして、高精度・高信頼性が要求される医療用の放射線センサの開発も行っている。その一つとして、がんの放射線治療に用いる放射線発生装置のビーム状態をモニタするがん治療用深部線量測定装置を開発した。この装置は、シンチレーションファイバをバンドルしたブロックを検出部としており、従来数時間かかっていた測定時間を数分に短縮することができる。この装置により、放射線発生装置の調整や治療のプランニングなど、医療現場における作業の効率化が期待される。

## 4. む す び

センシング技術の動向を踏まえ、当社の関連する応用製品の主な状況を紹介した。

センシング技術はすべての製品技術にかかわる基盤技術であり、今後の発展は多くの分野から期待されている。当社においても、今後ともセンシング技術の動向に注目しつつ拡大していくニーズを的確にとらえ、さらに新技術の開発に努力を続け、社会に役立つ“人に優しい技術”“地球に優しい技術”の開発により、社会の発展に貢献していく所存である。これからも関係各位のご指導、ご助言をお願いしたい。

# 送変電機器用故障診断システム

前川 洋\*  
篠原秀雄\*

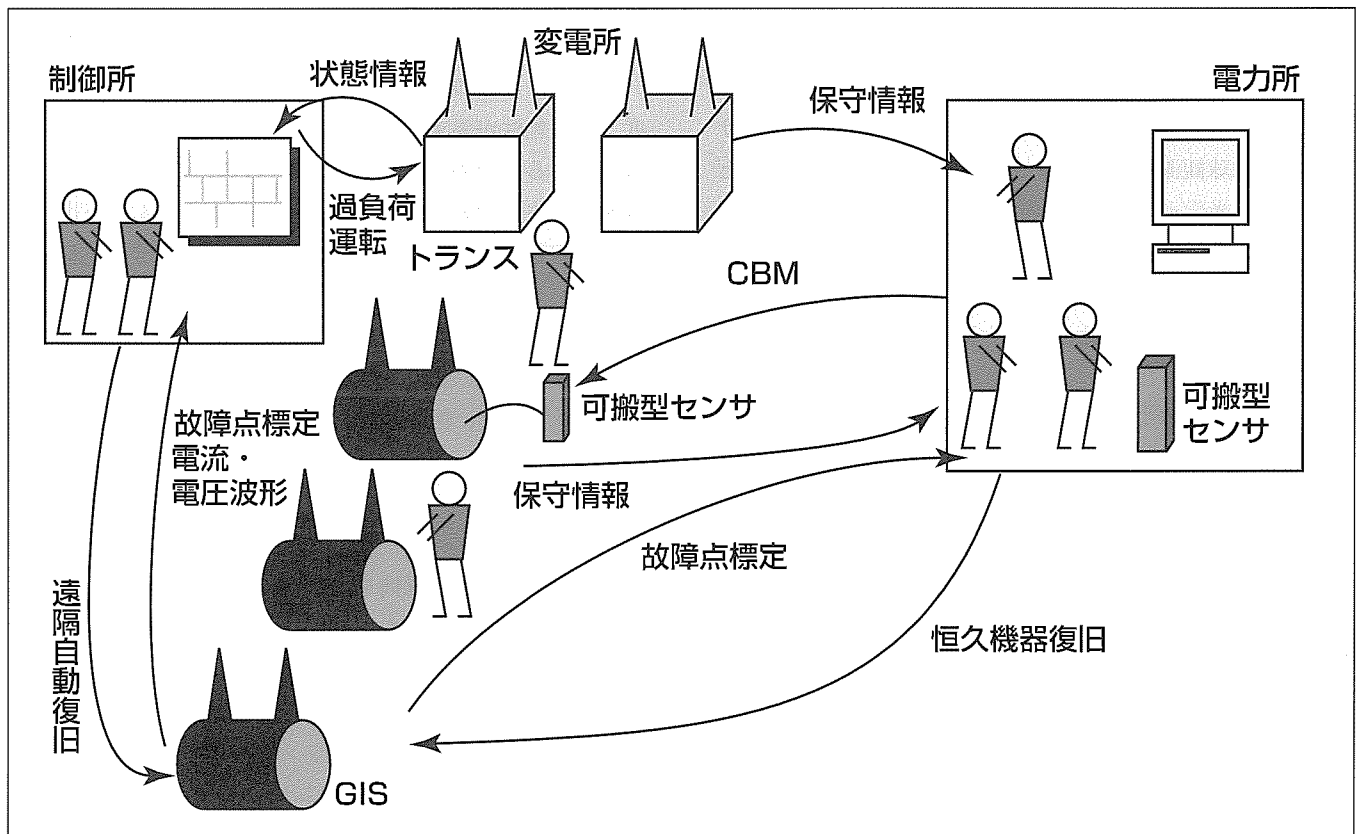
## 要 旨

日本、欧州及び米国等の先進国においては、電力インフラがほぼ整備され、新しい電力設備に対する投資額よりも設備の保守点検費用の比率が大きくなりつつある。この環境の下、定期的保守点検に要する費用、事故時の復旧に掛かる費用、停電のための損失を含め、ライフサイクルコストの最適化が論じられている<sup>(1)</sup>。

保守点検については、従来の定期的保守(Time Based Maintenance：TBM)から状態対応保守(Condition Based Maintenance：CBM)への移行によって費用を削減しようとする試みも進められている。このため、電力設備に状態が把握できる適切なセンサの設置や低価格の可搬型センサ

の導入も進んでいる。さらに、設備の診断装置を車載化した移動診断車の導入も始まっており、複数の電気所を巡回し効率の良い保守点検を行うことが可能になった。また、変電所の無人化に伴って、停電時間短縮のため事故時の遠方復旧操作可能な故障点標定装置も導入されている。最近ではSF<sub>6</sub>ガスの環境問題も話題となり、ガスを大気中に放出することなく故障区分を標定できる分解ガスセンサも開発された。

下図に、新しい変電所のセンサ情報のイメージ図を示す。本稿では、最近開発した変電機器用センサとシステムを取り上げて紹介する。



## 新しい変電所のセンサ情報とイメージ図

変電所の運転に必要な情報を制御所に、保守点検に必要な情報を電力所に伝送する。万一の事故時には故障点標定装置が故障点を制御所に伝え、制御所からの遠方復旧操作によって停電時間の短縮が可能である。

## 1. ま え が き

1980年代に製品化された電力機器異常診断用のセンサは、経済の高度成長に伴って新設の超々高圧の電気所にほとんど取り付けられた時代もあった。現在は、これらのセンサは、フィールド評価を含めたコストパフォーマンス面での再評価、合理的な保守点検に向けての適用が論じられている。

## 2. GIS用センサ

電力設備の大容量化・高信頼度化の要求に伴い、従来の気中絶縁機器からガス絶縁機器(Gas Insulated Switchgear: GIS)が広く用いられるようになってきた。GISは課電部が金属の外被で覆われているため、運転時に内部の状態を把握するのが困難である。したがって、外部からGISの状態を把握できる外部診断が重要となり、現在まで様々なセンサが開発されてきた。代表的なものを表1に示す。

### 2.1 複合型部分放電センサ

部分放電検出において、外部ノイズに妨害されて一つのセンサのみでは判定の確度が上がらない場合には、2種類

表1. GIS用センサー一覧

GIS	絶縁特性	部分放電センサ
	ガス漏れ 故障点標定	ガス圧力センサ 温度センサ
GCB	開閉特性	制御電流センサ +動作行程センサ(光センサ)
DS/ES	開閉特性	制御電流センサ +動作行程センサ(補助接点)
GCB	油漏れ	油圧ポンプ運転特性センサ
LA	保護特性	LA漏れ電流センサ

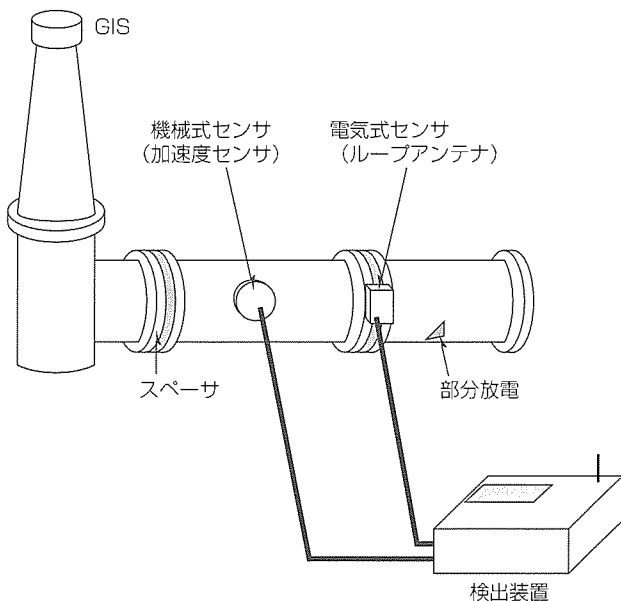


図1. 複合型部分放電センサ

のセンサを組み合わせる方法がある(図1)。図2はGIS中を伝搬する電磁波と音波の速度差を利用して確度を向上した製品である。外部アンテナセンサをGISのスペーサ部に固定し、加速度センサをGIS外被に当てて固定する。部分放電源から発生した電磁波は、GIS中をほぼ光速で伝搬し、スペーサ部に固定された外部アンテナで検出されるが、一方、GIS外被を伝わる音波はスピードが遅く、約2,800m/sで加速度センサに達する。外部アンテナ信号をトリガとして加速度信号を取り込み同期加算平均化処理を行うことにより、従来外部ノイズ振動で見分けのつかない信号から部分放電による加速度信号を的確に取り出すことができる。

### 2.2 分解ガスセンサ

GISの地絡や短絡時にはSF<sub>6</sub>ガス中のアークのため分解ガスが発生する。この分解ガスを大気中に放出することなくガス配管に設置したセンサで検出できる装置を製品化した。このセンサでは、アークに伴って発生するHFガスを検出する方式を採用している。非有効接地系への展開を考慮した場合、アークエネルギーが小さいことから、分解ガス濃度は低くなる。このため、分解ガスセンサは高感度であることが要求される。現在ガスチェッカと同等の感度を持つふっ化ランタンの固体電界質を用いた分解ガスセンサの外観を図3に、動作原理を図4に示す。HFは検出電極の表面でふっ素イオンと水素に分解する。このふっ素イオンは固体電界質中を電界によってドリフトするが、この作用によって外部回路に電流が流れる。分解ガスセンサは電



図2. 検出装置

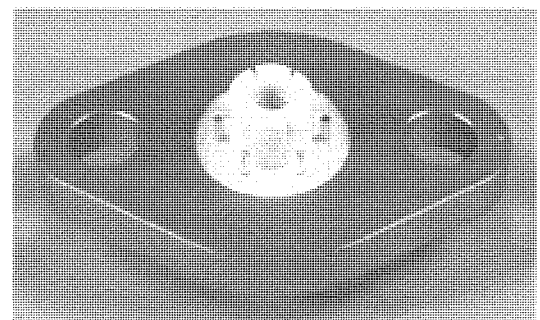


図3. 分解ガスセンサの外観



磁ノイズや機械ノイズの影響を受けない確度の高い故障点標定システムを実現するとともに、更なる高感度化開発を進めており、部分放電検出への適用も期待できる。

### 3. 変圧器用センサ

代表的な変圧器用センサは、変圧器内部異常検出に有効である油中溶存の可燃性ガスを検出し診断する油中ガスセンサ、及び静止器である変圧器の主回路の一部を構成する唯一の可動機器である負荷時タップ切換器(以下“LTC”)の異常を検出するLTC駆動軸トルクセンサである。

#### 3.1 油中ガスセンサ

従来から、油中の可燃性ガス総量(TCG)を検出する油中ガスセンサが広く採用されていた。更に異常検出性能を向上した $H_2$ 、 $CO$ 、 $CH_4$ 、 $C_2H_2$ 、 $C_2H_4$ 、 $C_2H_6$ の6成分を検出し、異常診断する分析タイプを製品化しているが、最近、小型で廉価な分析タイプの装置を開発し製品化した。

この装置は、変圧器から循環採油して、ガス抽出容器(ペローズ)に試料油を採取する。採油後、ペローズの空間を拡大して真空空間を作り、真空空間部に試料油を噴射し、平衡抽出法によってガス抽出を行う(図5)。

その後、ガス検出部に抽出ガスを送出して、ガス分離カラムと熱線型半導体センサで6成分のガス分離し、検出する(図6)。なお、装置のメンテナンスの長周期化及び短時間検出のため、ポーラスポリマビーズ系カラムと複数センサによってガス分離し、ガス濃度を演算で求めている。

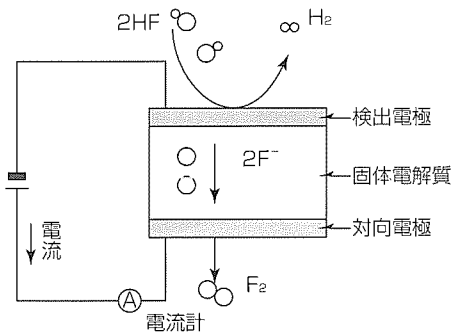


図4. 分解ガスセンサ原理図

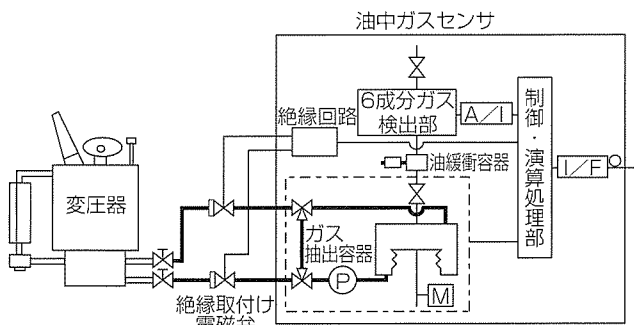


図5. 油中ガスセンサ構成図

測定後、試料油は変圧器へ返送する。

#### 3.2 LTC駆動軸トルクセンサ

LTCの信頼性維持は、従来から運用と保守によって行っているが、運転中のLTC駆動軸トルクを監視し、異常を早期に検出する監視装置が電力用変圧器などに採用されている。最新装置として、不特定多数のLTCに対して軸トルクを測定し診断するポータブル装置を製品化した。

この装置は、操作機構の手動ハンドルを駆動したときのハンドル軸トルクが駆動軸トルクと同様な波形であることに注目したもので、回転軸のトルクを間接的に測定する反力式トルクセンサ方式を採用している。図7に構成図を示す。

図において、モータ回転軸をLTC操作機構の手動ハンドル軸孔に挿入し、モータを駆動することで、駆動軸トルクに比例したモータとケース間固定部のひずみを測定する。図8にセンサの出力例を示す。

### 4. 移動診断車

電気所に固定された設備診断装置は、初期投資費用が高

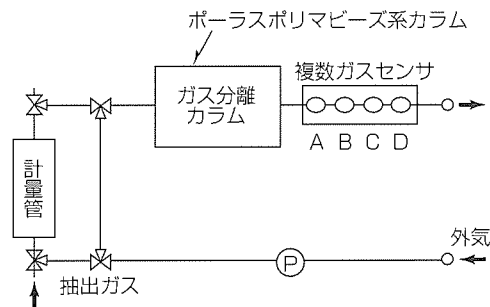


図6. 油中ガスセンサのガス検出部

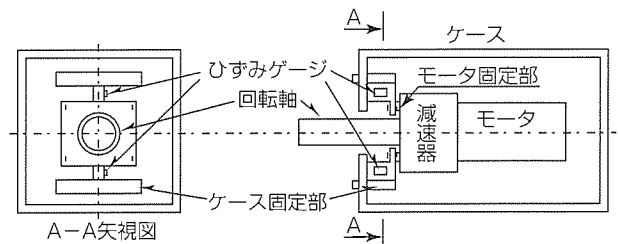


図7. LTC駆動軸トルクセンサ構成図

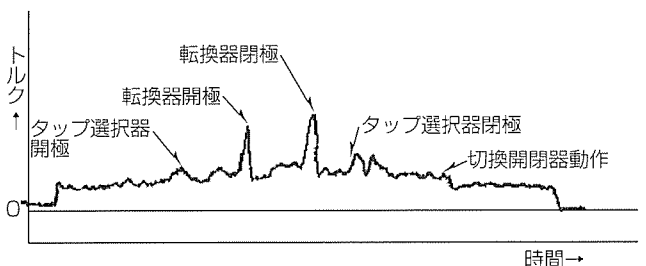


図8. トルクセンサ出力波形例

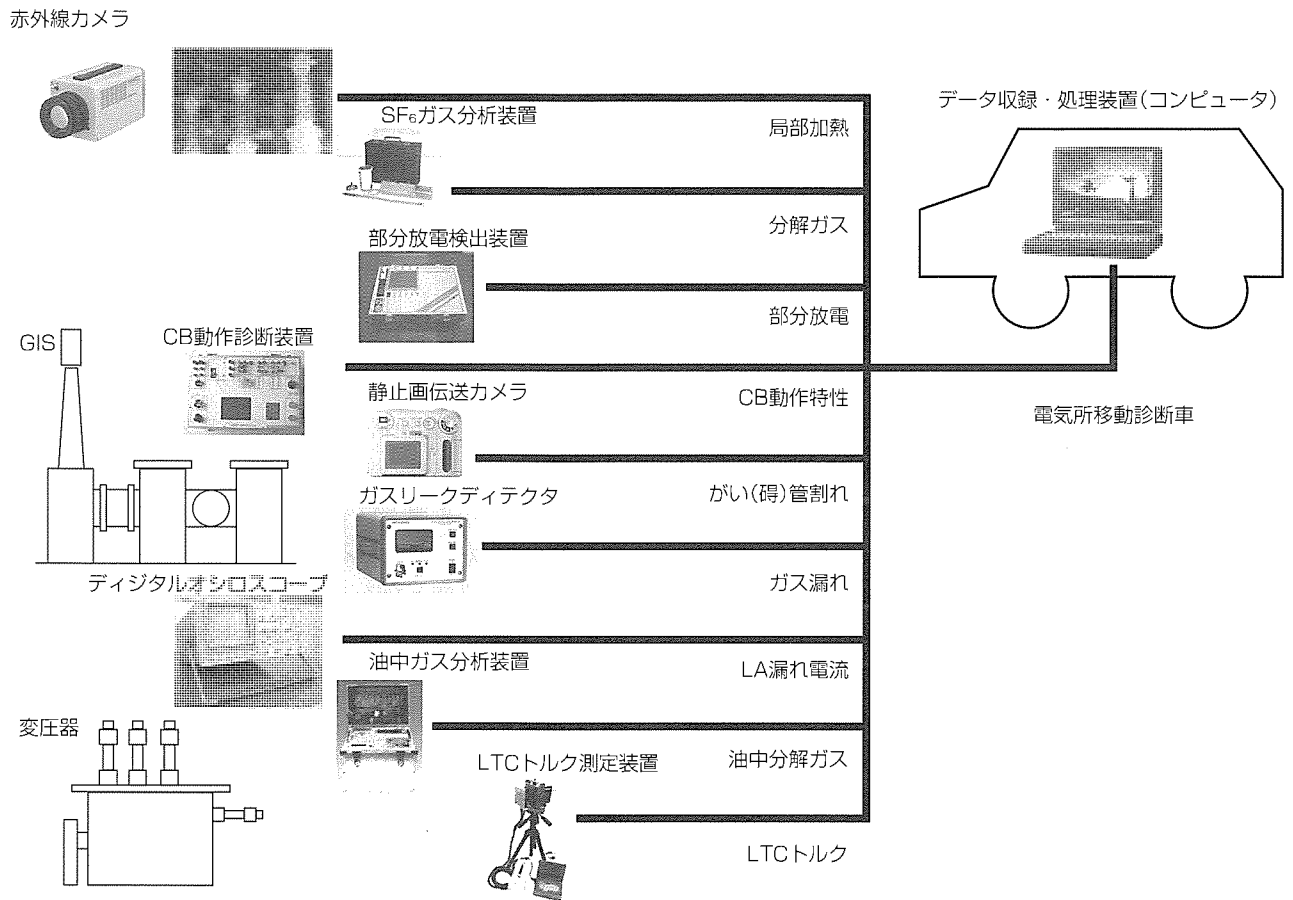


図9. 移動診断車システムの構成例

いこと及び変電機器の故障確率が極めて低いことから、常時監視は超々高圧又は超高圧の電気所に設置されることが多い。それ以下の電圧クラスの電気所には点検時又は事故時に携帯型の診断装置を搭載した移動診断車で対処する動きがある。診断項目は用途に応じて選ばれ、自動車に搭載するため診断装置は小型・軽量化する必要がある、しかも輸送時の耐震性も要求される。また、複数の電気所を守備範囲とするため、異メーカーの変電機器も診断できる機能を持つことが要求される。センサとしては、例えば部分放電センサであると、スパーサさえあればどのメーカーのGISでも適用できる外部アンテナ型センサが適用できる。固定設備であると診断に人間が介在しないため、診断アルゴリズム及び処理ソフトウェアも複雑になるが、一方、移動診断車の場合、保守員が介在するため不足部分は人間が判断でき、比較的簡単にシステムを構成することができる。図9に移動診断車のシステム構成例を示す。部分放電検出装置や静止画像伝送カメラ等の診断装置は独立して使用することもできるが、パソコンと接続してデータの処理や蓄積を行い、過去の情報と照らし合わせながら診断することも可能である。さらに、数値データや画像データの情報は、必要があれば、パソコンから携帯電話を通じて状況を判断できる人のいる制御所や事務所に送信することがで

きる。従来は測定データを事務所に持ち帰って判断していたが、このシステムによって現地での素早い対応が可能となる。さらに、部分放電や局部過熱等の予測保全機能を持つセンサの適用により、従来このクラスの電気所ではコストパフォーマンス面で困難であった変電機器故障の事前予知も期待できる。

## 5. む す び

現在設置されている変電機器の大量の取り替え時期を今後十数年後に迎えると考えられる。このため、センサの測定データの判定基準の一層の明確化が今後の課題であり、診断技術の確立に向けて研究・開発を進めている。

## 参 考 文 献

- (1) Kopejtkova, D., Ott, H.P., Röhsler, H., Salamanca, F., Smit, J.J., Strand, A., Wester, P.: Strategy for Condition Based Maintenance and Updating of Substations, CIGRE-Report 23-105 (1996)
- (2) 岡部成光, 大野高宏, 山内四郎, 皆川忠郎, 亀井光仁 西田智恵子: GIS故障点標定のための分解ガスセンサの開発, 電気学会論文誌E, 117, No.9, 471~478 (1997)

# 光給電・光通信による携帯型 ワイヤレスデータ収集システム

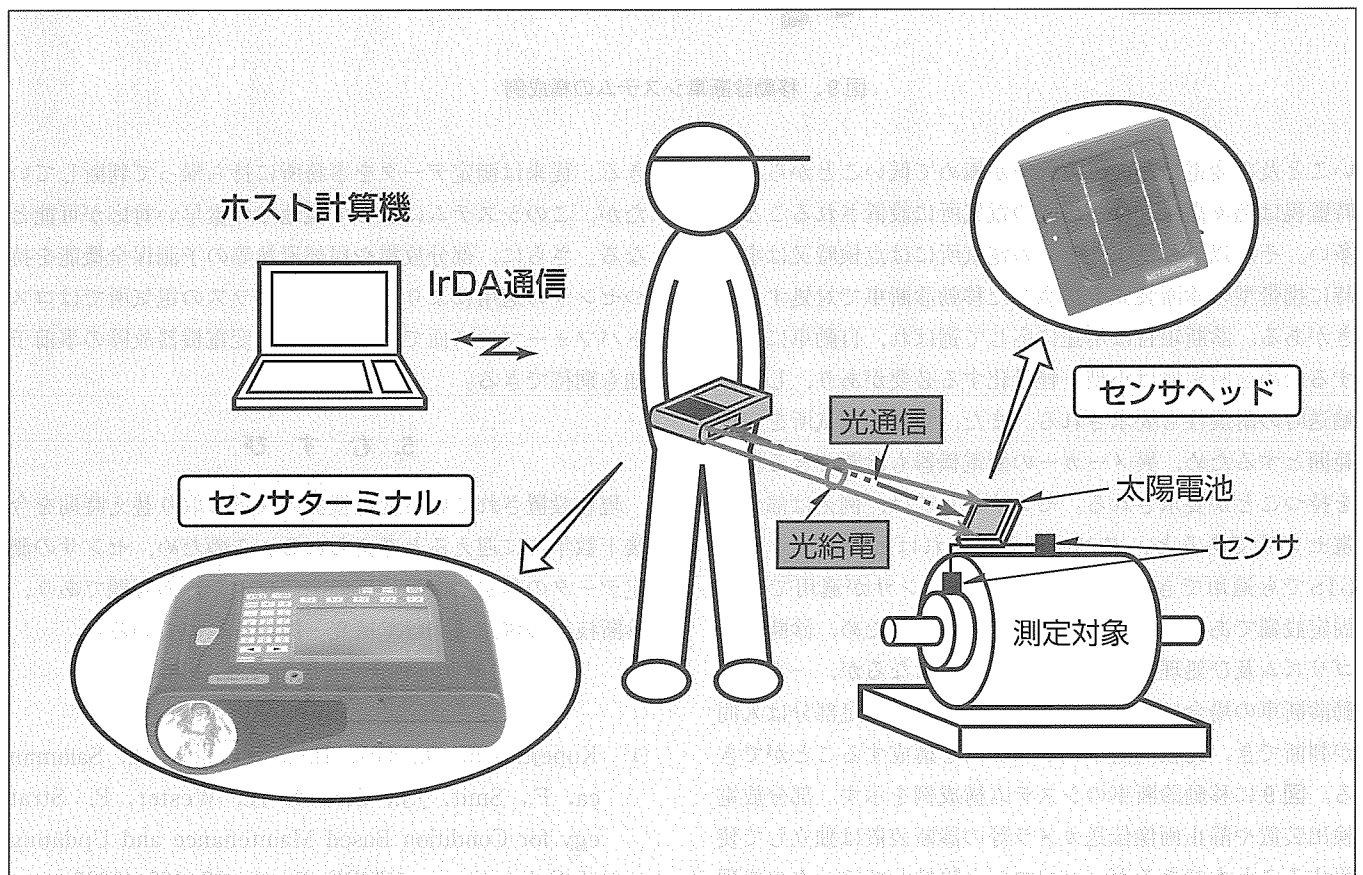
中島利郎\* 栃尾 篤\*\*\*  
鹿井正博\*  
池田郁夫\*\*

## 要 旨

現在、原子力発電所等のプラント内の巡視点検では、点検員は、メータ等の数値を確認したり各設備機器の振動や温度等の異常を五感で判断しながら、多くの点検箇所を巡回している。このため、安定した判定には熟練技能の蓄積が必要であったり、五感による判定は一過性の判断用途が多かった。これに対し、巡視点検データの経年変化管理等への有効活用を目的に、現場データを電子化データとして収集するため、点検員が巡回しながら自動的に短時間で振動や温度等を測定し、多数箇所のセンサ信号を収集できる携帯型のワイヤレス計測データ収集装置を開発した。

この装置は、対象設備に取り付けセンサ信号を送信する

センサヘッドと点検員が携帯しセンサヘッドからの信号を受信・記憶する機能を持つセンサターミナルで構成され、センサヘッドへの電力供給及びデータの送受信をすべて光で行う“光給電・光通信によるワイヤレスデータ収集”を最大の特長とする。この結果、①完全ワイヤレスなデータ収集が実現でき、電源・信号線等の設置工事が不要でメンテナンスの負担が軽減される。②離れた位置から短時間でデータの収集が可能となる。③従来の数値データでなく生波形信号を取得することによって高度処理が可能となり、異常兆候の検知等の設備診断への展開が図れる、等の特長を実現した。



## 光給電・光通信による携帯型ワイヤレスデータ収集システムのシステム構成

このシステムは、現場機器に設置するセンサヘッドと点検員が携帯するセンサターミナルで構成される。センサヘッドへの電源供給とデータの伝送をすべて光で行っており、完全ワイヤレスなデータ収集を実現した。

## 1. まえがき

現在、原子力発電所等のプラント内において実施されている巡視点検の効率化及び収集データの電子化を図るため、点検員が巡回しながら短時間で振動や温度等を自動的に測定し多数箇所のセンサ信号を収集できる携帯型のワイヤレスデータ収集装置を関西電力㈱と共同で開発した。

以下にその概要を紹介する。

## 2. 開発の背景

電力・製鉄・工業等の各種プラントの設備の保全は、生産工程と同じように重要視されてきている。このために、様々な生産管理機器が導入されている。生産管理の一環として、重要機器を対象に、各種モニタリングシステムによる監視とデータ解析が行われている。一方、その他の機器に関しては、巡回パトロールでの人間の五感を含めたデータ収集や点検によって監視が行われている。日常の巡視点検では、1日に数回プラント内を巡回しながら、各機器ごとに設置されているモニタ計器の指示値確認、機器の温度や振動等の状態確認によって各設備機器の稼働状態を点検している。機器の状態確認に当たっては、温度や振動等の情報を視覚・聴覚・触覚等の五感を用いて収集し、経験に基づいて異常の有無を判定する。このため、安定した判定を得るには、点検員の熟練した技能の蓄積が必要であった。このようにして得られた点検結果は、機器の健全性が確認できれば、点検記録・検査記録として保管されている。しかしながら、五感による判定は一過性の判断用途として使用されることが多かった。

このような状況の下で、五感による判断をデータベース化しプラント保守管理への巡視点検データの有効活用を図るため、現場データを電子化データとして収集したいという要求が高まっている。

開発に先立って、巡視点検におけるデータ収集に必要な機能について、現状の調査結果を基に検討を行った。

以下に抽出された要求項目を挙げる。

- (1) 点検員の現場での判断内容を定量評価できるデータが収集可能であること。五感で得ている情報に対応する温度データや振動の生波形データの収集が可能であること。
- (2) 現状の点検仕様(時間、点検箇所、点検項目)を維持して収集可能であること。データは非接触でかつ簡単操作による自動収集が可能であること。
- (3) 携帯可能なサイズ・質量であること。

- (4) 収集データを現場で確認できること。
- (5) 設置、メンテナンスが容易で、かつ低コストで実現できること。
- (6) 現場機器へ誤動作等の影響を与えないこと。

このような要求に対して、“センサからの生波形信号を非接触で収集し、現場への電源設置が不要な光給電・光通信によるワイヤレスデータ収集”というコンセプトを打ち出し、開発を行った。

## 3. 装置の構成

この装置の構成ブロックを図1に示す。この装置は、対象設備に取り付けてセンサ信号を送信するセンサヘッド、点検員が携帯しセンサヘッドからの信号を受信・記憶する機能を持つセンサターミナル、センサターミナルによって収集したデータの蓄積/分析するためのホスト計算機で構成される。

このうちセンサヘッドは、光給電部、センサアンプ部、データ光送受信部で構成される。一方センサターミナルは、光給電用光源部、データ光送受信部、液晶表示器、キーボード、メモリも含めたデータ処理部、ホスト計算機へのデータ伝送部で構成される。また、ホスト計算機は赤外線通信(IrDA)によってセンサターミナルとデータの送受信を行うことができる。

## 4. 動作・機能

次に装置の動作原理について述べる。

まずセンサターミナルの光給電用光源によってセンサヘッドの太陽電池に光を照射し、発生した起電力によってセンサヘッドの各回路を起動させる。センサヘッドはセンサの出力信号波形をA/D変換した後、各センサヘッド固有のID番号とともにデジタル光信号としてセンサターミナルに送信する。センサターミナルはセンサヘッドからの光信号を受信し復調した後センサの出力信号波形を再生する。そして送られてきたセンサデータ中のID番号から該当センサを識別し、センサに応じた処理が自動的に施される。信号波形及び演算結果は液晶パネルに表示され、点検

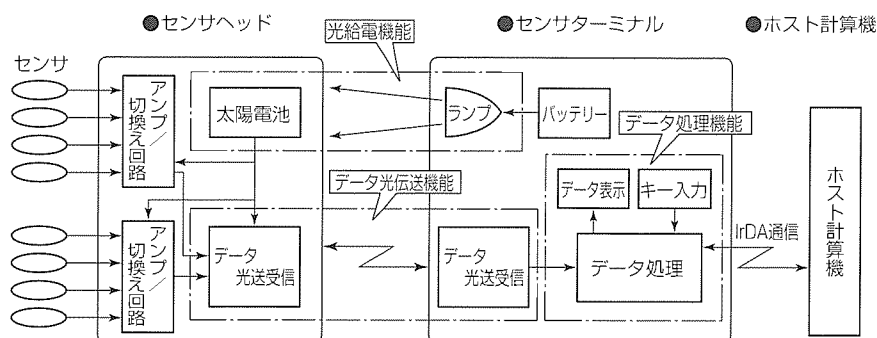


図1. システムの構成ブロック

員の確認後、データ処理部に記録される。またホスト計算機は、IrDAによって受信した収集データの一括管理や信号処理によるデータ解析を行う。

以下にセンサヘッド、センサターミナルに搭載した機能を示す。

#### 4.1 センサヘッド

##### (1) センサ入力機能

データ収集の効率化のためマルチ入力化を図っており、8chのセンサ入力が可能である。入力するセンサの種類として、振動/温度各4chを標準としている。

##### (2) データ伝送機能

センサヘッド内回路の徹底した省電力化により、センサターミナルとの間で1mのデータ伝送距離を実現した。また、DC~10kHzの周波数帯域の信号波形が伝送可能である。

#### 4.2 センサターミナル

##### (1) データ蓄積機能

収集するセンサデータとしては信号波形データ(信号周波数:DC~10kHz, データ長:4kバイト/点)と平均値データ(1バイト/点)とがあり、センサヘッド内の設定に応じて自動的に処理する。また、ターミナル内部に蓄積可能なデータ量として、信号波形データのみで最大447か所のデータを、数値データとの混在の場合は最大509か所までのデータ蓄積が可能で、1巡回当たりのデータ量としては実用上十分な容量を確保している。

##### (2) 演算機能

収集したデータについて現場で点検員がデータの妥当性の判断を行うために、測定個所に対応した管理値演算を行う機能を持たせている。管理値として、平均値、波形の振幅値、波形振幅の実効値の3種類の設定が可能である。

##### (3) 表示機能

データの表示機能としては、320×240ドットの液晶パネルを用い、キャラクタ表示と波形データのグラフ表示を同時に実現している。

##### (4) データ転送機能

巡回前に前回巡回データの更新とシステムファイルのダウンロード、巡回後に収集データの転送等、システム運用

上ホスト計算機との間でデータ通信を行う必要がある。データ伝送の高速性、操作の容易性、接続部の耐久性等の観点から、上位とのデータ伝送に当たっては、IrDAを採用し、非接触での高速通信を実現している。

この装置の仕様を表1、表2に示す。

## 5. 特 長

以上の構成により、以下の特長を実現した。

- (1) センサヘッドへの給電を光を手段として行い、かつ光通信を用いて遠隔にデータを伝送させることによって電源・信号ラインのケーブル工事をなくすことができ、敷設工事費とメンテナンス費用の削減が可能である。
- (2) 光空間伝送によってセンサヘッドへの信号線の接続が不要となり、ワイヤレスかつ短時間でセンサのデータが獲得できる。
- (3) センサからの生波形信号を収集・解析することにより、従来の数値データのみではできなかった異常兆候検知等の設備診断への展開を図ることができる。

また、センサターミナルには、

- (4) データ収集はIDによるデータの自動識別を行い、収集手順のミスや誤ったデータを収集するミスがない。
- (5) 信号波形などの現場で収集したデータを画面にリアルタイム表示し、点検員のデータ確認をサポートできる。
- (6) 収集したデータの管理値を演算し、その結果をトレンド表示することによって点検員の判断をサポートできる。
- (7) センサ信号以外にも手入力による数値キー入力が可能である。

などの特長を持つデータ収集・処理機能を備えており、現場での迅速かつ正確なデータ収集・把握・確認や簡便なデータ収集操作を実現することができる。

さらに、収集したデータをホスト計算機へ伝送・処理することにより、機器データの一括した保存・管理、及び統計処理による機器状態のトレンド管理が可能となり、将来的にはデータベースの活用によって機器異常診断への展開が可能と考えられる。

## 6. データ収集事例

表1. センサヘッドの仕様

入力信号ch数	8ch(標準:振動4ch, 温度4ch)
接続可能センサ	振動(圧電型):DC~1kHz
	温度(測温抵抗体):Pt 1kΩ等
	オプション:4~20mA DC(4chごと) :0~10V DC(4chごと)
データ送受信	光通信(双方向)通信距離:1m 通信データ:ID番号+アナログ測定データ
電 源	光ワイヤレス給電(太陽電池受光)
寸 法	140×150×25(mm)
周囲温度・湿度	0~50℃/最大90%(結露がないこと)

表2. センサターミナルの仕様

収集データ	アナログ波形データ(1kバイト/点, 200点) 数値データ(1バイト/点, 200点)
データ収集手段	自動データ収集(対象設備との光通信) マニュアル収集(点検員のキー入力)
測定データ表示	アナログ波形表示(前回/今回同時) 管理値/トレンド表示(過去4回分)
電 源	Ni-MH二次電池 3時間(連続使用時)
寸 法	240×173×42(mm)
周囲温度・湿度	0~50℃/最大90%(結露がないこと)



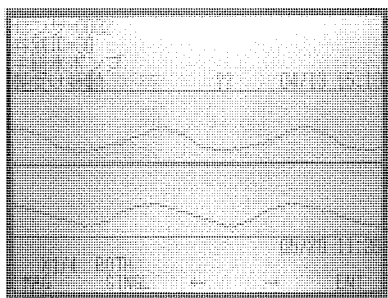


図 2. 波形表示結果

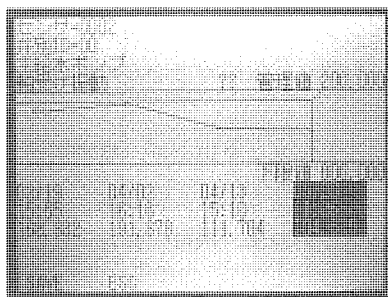


図 3. トレンド表示結果

電動機を対象にしたデータ収集の実施例を基に、具体的な操作手順及びデータの活用例について紹介する。ここでは、センサヘッド、センサターミナルによるデータ収集とともに、収集したデータの有効性を確認するため、ホストコンピュータ上で信号処理によるデータ解析を行った。点検項目として、振動及び温度のセンサデータ収集を設定した。

(1) データ収集

巡視によるデータ収集の実施に当たって、センサターミナル上では点検項目のリストを画面上に表示し確認する。

自動収集モードでは、センサターミナル上の起動スイッチの押下によってデータ収集を開始する。また、マニュアル収集では、該当の点検項目を画面上で選択しデータをキー入力する。

自動収集モードでの収集データは、データ中のID番号によって信号波形データか平均値データかを識別し、各信号に応じた処理・表示を行う。図 2 に波形表示結果を、図 3 にトレンド表示結果を示す。ここでは、管理値として二乗平均値を演算させている。

(2) データ活用例

収集したデータは、巡回後ホストコンピュータに伝送し、機器データの一括した保存・管理及び統計処理による機器状態のトレンド管理を行う。

ここでは、収集データの活用法の一例として、収集した振動データについて高速フーリエ変換(FFT)処理を施しデータ解析を行った。解析に当たっては、正常状態のデータと模擬的に発生させた異常データの 2 種類を対象とした。

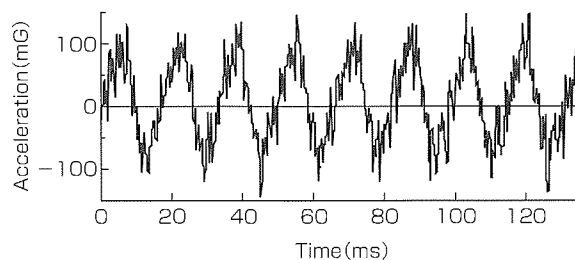


図 4. 伝送信号波形

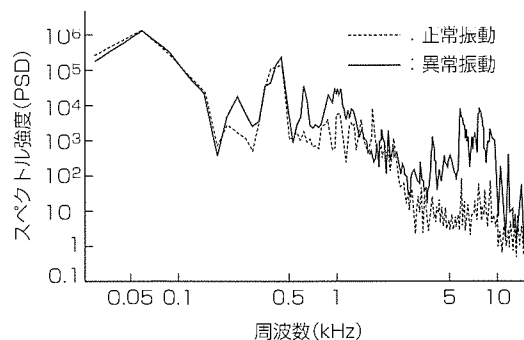


図 5. 信号処理例(FFT)

図 4 に、ホスト計算機上に収納された振動の生波形を示す。これらのデータに対してFFT処理を行った結果を、正常振動・異常振動を併せて図 5 に示す。図 5 から正常データと異常データとにおいて処理結果に有意差が見られることが分かる。

このように、この装置によって収集したデータは信号処理へ適用可能であることが検証され、管理システムへの入力手段としての有効性が確認された。

7. む す び

光給電・光通信による携帯型ワイヤレスデータ収集装置の開発を行った。この装置により、点検現場において迅速・正確かつ簡便なデータ収集・把握・確認が可能となった。

今後、データ管理システムと統合し、プラント保守管理システムとして幅広い分野への展開を図っていく予定である。

参 考 文 献

- (1) 鹿井正博, 中島利郎, 高嶋和夫, 池田郁夫, 栃尾篤: ワイヤレス計測データ収集システムの開発, 電気学会産業応用部門全国大会講演論文集, No. 3, 457~458 (1996)
- (2) 鹿井正博, 栃尾 篤, 中島利郎, 真殿邦雄, 高嶋和夫: 光給電・光通信によるワイヤレスデータ収集システム, 電気学会産業応用部門全国大会講演論文集, No. 1, 457~458 (1998)

# 光ファイバ放射線モニタ

## 要 旨

現在、放射線管理区域などで使用されている放射線モニタは検出面の直径が数センチから数十センチのスポット検出用のモニタであり、放射線の連続分布が測定できるモニタは皆無である。また、それらのほとんどが電気信号を信号処理部まで伝達している。検出器からの電気信号は、微弱電流又は微弱アナログパルスのため、電磁ノイズの影響を受けやすい。

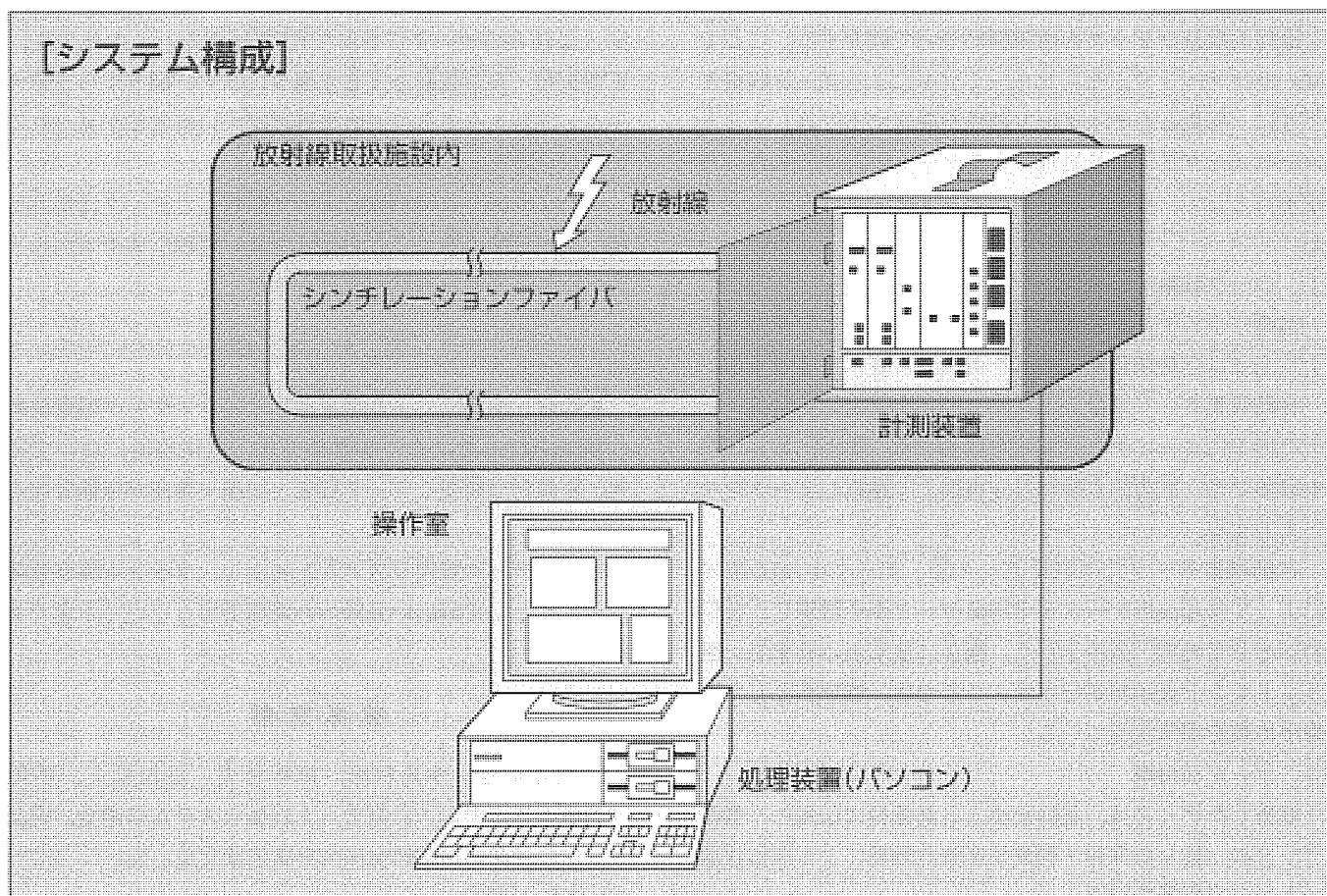
我々は、検出部にシンチレーションファイバと呼ばれる特殊光ファイバを用いた放射線モニタ(以下“光ファイバ放射線モニタ”という。)を開発し製品化した。このモニタは、

検出ケーブル上の放射線強度分布を測定できる。

この光ファイバ放射線モニタは次の特長を持っている。

- ①広範囲にわたる放射線強度分布の測定が可能。
- ②放射線強度分布をデジタルに表示でき、施設内の放射線レベルの把握が容易に可能。
- ③電磁障害からの解放、本質的なノイズ対策が可能。

光ファイバ放射線モニタにより、原子力プラント、再処理施設、加速器施設などの広く放射線を取り扱う施設における放射線管理の省力化、機器の異常位置の早期発見などが可能となる。



## 光ファイバ放射線モニタ

シンチレーションファイバに沿った連続的な放射線強度分布を測定できる。この特長を利用して、放射線を取り扱う施設における放射線管理の省力化、機器の異常位置の早期発見など実現できる。

## 1. ま え が き

現在、放射線管理区域などで使用されている放射線モニタの検出面は直径が数センチから数十センチであり、広範囲の放射線情報を得るには多数のモニタを設置するかサーベイ作業(巡回)が必要となる。また、それらのほとんどが電気信号を信号処理部まで伝達している。検出器からの電気信号は、微弱電流又は微弱アナログパルスのため、電磁ノイズの影響を受けやすい。

我々は、検出部にシンチレーションファイバと呼ばれる特殊光ファイバを用いた光ファイバ放射線モニタを開発し製品化した。このモニタは、従来不可能であった放射線強度分布を測定できる。

本稿では、光ファイバ放射線モニタの概要と基本特性について述べる。

## 2. 測定原理

光ファイバ放射線モニタは、光ファイバに沿った放射線強度分布を検出する。

放射線の検出部は、シンチレータ材をドープした光ファイバ(シンチレーションファイバ)を内蔵したケーブルである(図1)。シンチレータとは、 $\gamma$ 線等の放射線が入射すると、そのエネルギー付与によって蛍光パルスを発生する材料である。そして、この蛍光パルスが光ファイバ両端に伝搬し

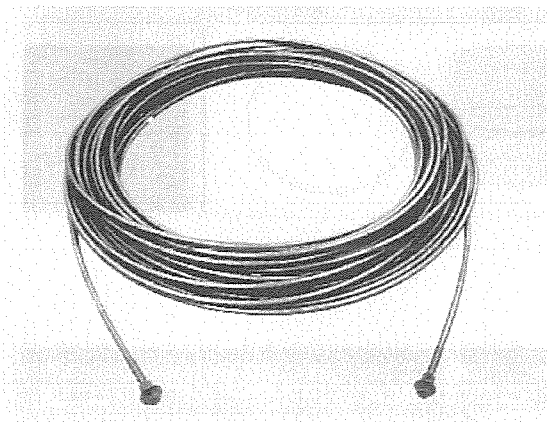


図1. センサケーブル

ていく(図2)。

放射線連続分布を測定するためには放射線の入射位置と強度をセンサ上の各位置で同定する必要があるが、この方法に飛行時間法(Time of Flight: TOF)を採用した。

図3に光ファイバ放射線モニタの測定原理を示す。放射線がシンチレーションファイバを通過し相互作用するとファイバ内で蛍光が起これ、光パルスが発生する。このうちファイバ内にトラップされた光パルスがファイバ両端へと伝搬していくが、放射線の入射位置によってこの二つの光パルスがファイバ両端に接続された光検出器に到達する時間が異なる。到達時間差を測定することによって放射線の入射位置が分かり、光パルス数を計数することによって放射線強度を知ることができる。

図4に光ファイバ放射線モニタの基本構成を示す。シンチレーションファイバからの光パルス信号は光電子増倍管

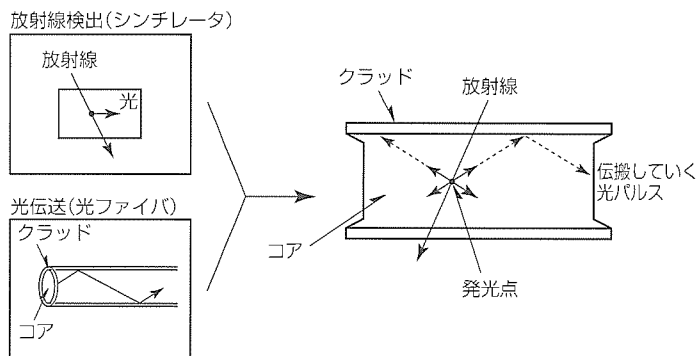


図2. 検出原理

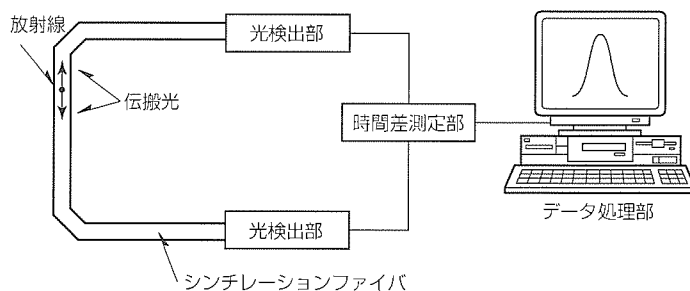


図3. 測定原理

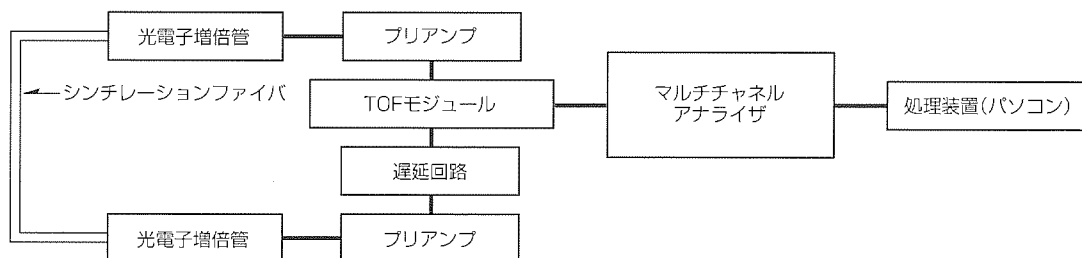


図4. 光ファイバ放射線モニタの基本構成

(PMT)で電気パルス信号に変換され、プリアンプで増幅されたパルス信号は、波形整形回路を通過後、時間差測定回路に入力される。時間差測定回路にはSTART側とSTOP側があり、STOP側がSTART側より必ず後で動作するようにSTOP側に遅延回路を設けている。

### 3. 特 長

この光ファイバ放射線モニタの基本仕様を表1に示す。

(1) 広範囲にわたる放射線強度分布の測定が可能

従来のエリアモニタではモニタを設置した一点での測定しかできなかったが、光ファイバ放射線モニタは、検出ケーブルに沿った連続的な放射線強度が測定可能である。

(2) 放射線強度分布をビジュアルに表示でき、施設内の放射線レベルの把握が容易に可能

光ファイバ放射線モニタの測定結果を検出ケーブルを設置した配置図にはめ込むことで、視認性の良い表示を行うことができる。光ファイバ放射線モニタの表示画面の一例を図5に示す。図中左下は機器にケーブルを設置した様子を示す図であり、右上のグラフ(検出ケーブルに沿った放射線強度分布)において、一定値(任意の値に設定可能)以上の強度を持つ位置に色付きマークを表示する。

この機能により、放射線強度の高い位置を瞬時に判断することが可能である。

(3) 電磁障害からの解放、本質的なノイズ対策が可能

光ファイバ放射線モニタは、全長60mのケーブルであり、検出領域から離れた場所で計測が可能である。また、放射線の検出と信号伝送は光信号によって行われるため、電磁ノイズが懸念される検出領域においても影響を受けずに計測できる。

### 4. 適 用 例

光ファイバ放射線モニタの適用システムの例として、放射性廃樹脂の移送監視システムと警報表示灯ケーブル付き監視システムがある。また、光ファイバ放射線モニタの操作性を向上させた直線型光ファイバ放射線モニタがある。

それぞれについて以下に述べる。

(1) 放射性廃樹脂の移送監視システム

原子力プラントでは、一次冷却水の放射性不純物をろ過

する装置があり、定期的にイオン交換樹脂の廃棄を行っている。この際、移送配管に放射性廃樹脂が残留する可能性があり、サーベイ作業によって残留の有無を調査する必要がある。この放射性廃樹脂の移送状況をモニタするためのアプリケーションを開発した。表示画面を図6に示す。

検出ケーブルを移送配管に沿わせて設置しておく、放射線強度レベルに応じて3段階の色表示で配管に沿った放射線強度分布をリアルタイムに表示できる。また、放射性廃樹脂の残留状況も瞬時に検知できる。

(2) 警報表示灯ケーブル付き監視システム

作業を行っている現場でも光ファイバ放射線モニタの情報をリアルタイムにかつ視覚的にディスプレイすることができる警報表示灯ケーブルを開発した。

警報表示灯ケーブルは検出ケーブルに沿わせて設置し、放射線強度レベルが警報設定値を超えると、その場所に該当する表示灯を線量率に応じて3段階に点灯させる。これにより、作業員は、高線量率場に近づくことなく安全に作業が行える。

(3) 直線型光ファイバ放射線モニタ

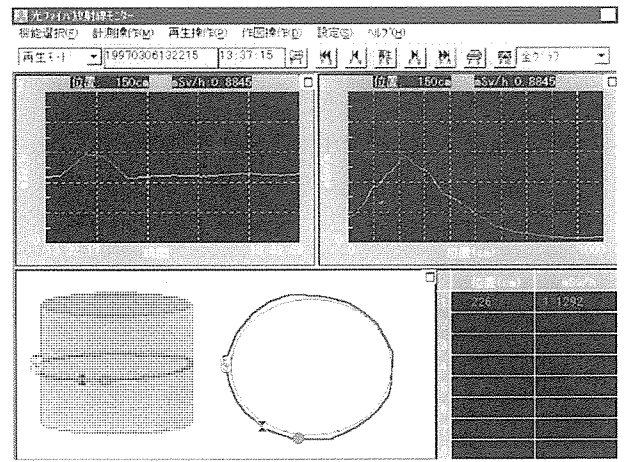


図5. 表示画面例

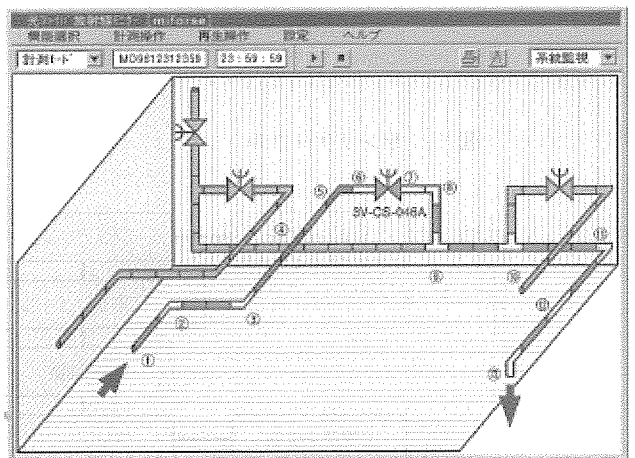


図6. 放射性廃樹脂移送状況表示画面例

表1. 光ファイバ放射線モニタの基本仕様

項 目	光ファイバ放射線モニタ
1. 測定線種	γ線
2. 測定範囲	20m(1システムで測定可能)
3. 全長	60m
4. エネルギー範囲	350keV~1.3MeV
5. 位置精度	±30cm
6. 温度範囲	-20~50℃
7. 測定線量率範囲	1~10 <sup>4</sup> μSv/h

標準型の光ファイバ放射線モニタは、測定原理の制約から、センサケーブルを必ずループさせなければならない(センサケーブルの両端に光検出部が必要)。そこで、光検出部をセンサケーブルの一端へ集めることで他端を自由に敷設できる直線型光ファイバ放射線モニタを開発した。

直線型光ファイバ放射線モニタは、敷設上の制約条件を取り除いたため、作業現場への設置及び取り外し作業がより短時間で行うことが可能となり、作業従事者の被ばく低減の効果がある。

また、放射線分布をモニタする場所はセンサの設置が容易な場所であるとは限らず、配管等が入り組んだすき(隙)間へ光ファイバ放射線モニタを設置することもある。標準型の光ファイバ放射線モニタでは、設置が困難な場所へも、操作性の良い直線型光ファイバ放射線モニタであれば、適用が可能である。

## 5. む す び

原子力プラント、再処理施設、加速器施設などの広く放射線を取り扱う施設においては、近年、施設のクリーン化対策や設備の自動化対策に加え、作業環境や作業方法の改善努力により、定期検査等に伴う被ばく線量の低減化が図られてきている。この被ばく低減化対策は、第一に線源か

ら距離をとることであり、第二に作業の自動化や遮へい(蔽)性の向上等の設備改善である。そして、最終的には作業方法・手順の改善へと進められる。

光ファイバ放射線モニタを組み込んだシステムを構築することで、サーベイ作業を効率化することができ、それに伴う作業者の被ばくを低減することが可能である。さらに、警報表示灯ケーブルを用いることで、放射線作業に従事する作業者に作業環境の情報を分かりやすくリアルタイムに提供することが可能であり、作業員の一人一人の被ばく低減の意識(自己管理)を促進することができる。

また、光ファイバ放射線モニタは、放射性廃樹脂の移送監視など放射性物質の管理にも有効であり、機器の異常及び異常発生場所を早期に発見可能である。

## 参 考 文 献

- (1) 岡 徹, 池上和律, 宇佐美照夫, 津高良和, 早川利文: 位置検出型放射線モニタ, 三菱電機技報, 69, No.9, 837~840 (1995)
- (2) 岡 徹, 藤原博次, 高嶋和夫, 宇佐美照夫, 津高良和: プラスチックシンチレーションファイバを用いた放射線モニタの開発, 原子力学会誌, 35, No.12, 857~864 (1998)



# 鉄鋼用形状センサ

杉山昌之\* 植木勝也\*  
 田壺宏和\* 鹿井正博\*\*  
 中島利郎\*\*

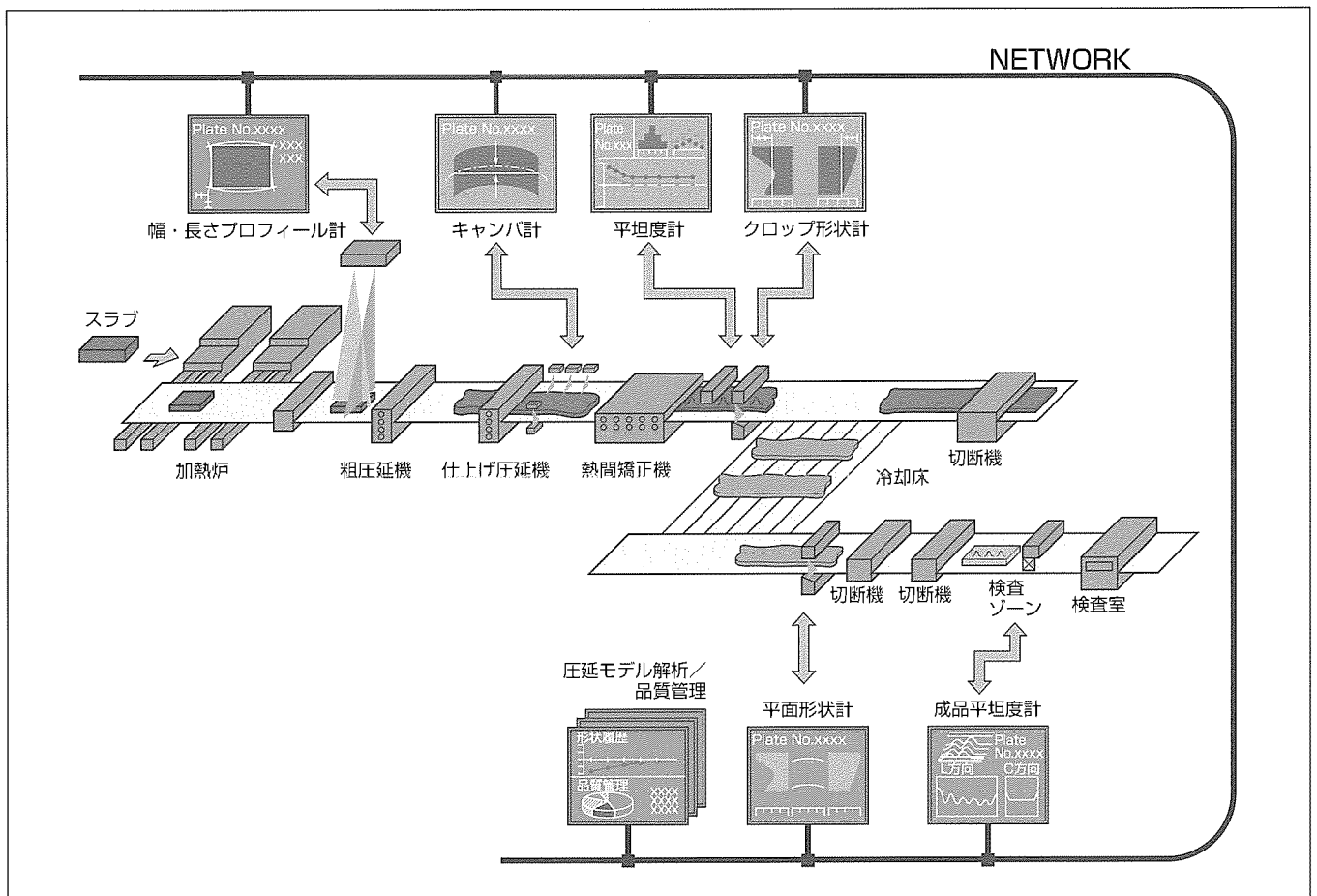
## 要旨

鉄鋼プラントにおける形状センサは、圧延制御へのフィードバック情報源としての役割と、人による品質検査の自動化ツールとして、プラントの上流から下流域の全般にわたって使われている。近年の高効率操業を反映して、形状センサには、高速応答性や板搬送時の振動外乱に対する効果的な抑制機能が強く求められるようになってきている。

本稿では、鉄鋼プラントにおける上流から下流域にわたって代表的な形状センサを例にとり、その計測原理及び外乱除去アルゴリズムを中心に記述する。

鉄鋼域では、RH式真空脱ガス槽内(還流式真空脱ガス法：Ruhrstahl Hausen (RH) 法)の内壁プロフィール計測について、緑色レーザとランダムアクセスカメラによる高

速三角測量方式を紹介する。圧延域では、スラブの幅出し圧延に不可欠な自発光式幅・長さ計、板の平面曲り(キャンバ)をレーザ走査と光伝送ロッドによって計測するキャンバ計、レーザビームと一次元CCDカメラを用いたツインビーム式三角測量方式による平坦(坦)度計、青色LEDを光源とする透過撮像方式のクロップ形状計を紹介する。下流域では、検査用として上記の平坦度計やクロップ形状計を応用することが可能である。また、UO鋼管の溶接ビード検査は、レーザスリット照射による光切断方式であり、高速サンプリングのためにランダムアクセスカメラを採用している。



## 厚板圧延設備における形状センサの配置と品質管理ネットワーク

上流から下流域への生産フローの中に点在する各種形状センサをLANでネットワーク化し、それらのデータを集中させることで、品質のトレンド管理、操業支援、各種保全支援が可能となる。

## 1. ま え が き

鉄鋼を中心とする素材産業の成熟化は“規模の経済性”を脱却し、“高付加価値化”と“工場トータル高効率化”へと投資目標を変化させながら産業構造の体質改善を加速してきた。当社は、多年にわたり鉄鋼プラント用電機品を手掛けてきており、そのようなユーザー側の動向に対する先見的把握と、それにか(囁)み合った制御システムの新しい概念構築に努力を続けている。またその一側面として“省力化”と“品質管理の高度自動化”が顕在化しており、これらを制御システムとして実現していくためには、必然的に制御対象の多様化や情報のマルチメディア化が避けられず、その中核となる高度なセンサ技術を内在させたシステム構築力が不可欠となってきている。換言すれば、旧来の自動化シーケンスにおけるオン・オフセンサから制御系へのインテリジェントなフィードバック情報源として自律性を備えたセンサの開発が、新しい鉄鋼プラントビジネスにとって重要な課題となってきている。

本稿では、以上の背景を前提にして鉄鋼プラントにおける上流から下流域にわたる代表的な形状センサについて、その原理と外乱除去法を中心に述べる。

鉄鋼プラントにおける形状センサは圧延制御へのフィードバック情報源や品質検査用としてプラントの自動化・省力化に不可欠なツールとなっており、近年のプラントの高効率操業が進む中で、形状センサの高速応答性や板搬送時の振動外乱制御性が必ず(須)機能となり、高温多湿環境下での安定稼働の品質とあいまって、鉄鋼プラントにおける形状センサはますます高機能化と最適適合性が求められている。

## 2. 槽内壁プロフィール計

### 2.1 概 要

真空脱ガス槽の内壁のプロフィールを計測し、耐火レンガの摩耗劣化度合いを診断する装置である。観測筒内からレーザービームを槽内壁に照射し、その反射光を二次元カメ

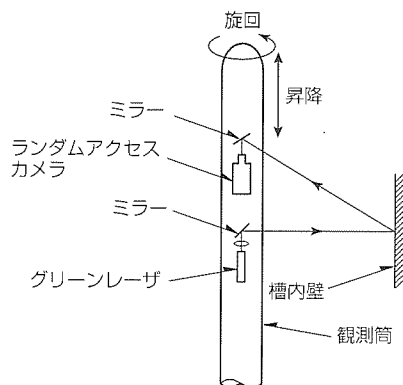


図1. 槽内壁プロフィールのセンサ配置

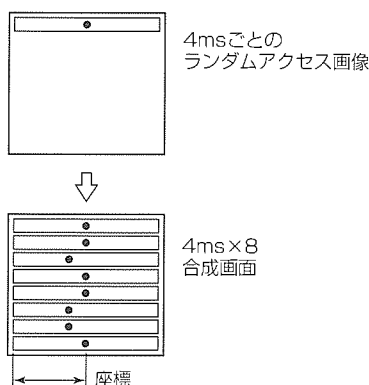


図2. 画像合成画面

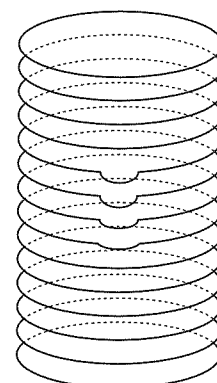


図3. 槽内壁プロフィール画面

ラによって結像する三角測量方式を採用している。観測筒を旋回及び昇降させることにより、内壁の三次元プロフィールを計測する。

### 2.2 計測原理

図1に三角測量方式のセンサ配置を示す。

高い槽内温度に対抗するために緑色レーザーをミラーを介して槽内壁へ照射し、その反射光をミラーを介して二次元ランダムアクセスカメラで撮像する。カメラ1画面中垂直方向の1/8のみを画像蓄積させ、その領域の8回撮像分を1枚のビデオ画面に合成することで4msごとのレーザースポット像8点がビデオ画像1フレーム内で得られる。内壁までの距離が変化すればレーザースポット像はビデオ画面上で水平方向に移動する。

### 2.3 形状復元処理

4msごとに計測した8点のレーザースポット像を画像合成したビデオ画面を図2に示す。このレーザースポット像の重心点演算を行い、その位置の水平座標を演算する。観測筒を旋回させながら所定角度ごとにサンプリング計測することで槽内壁1周分の距離データを得る。さらに、観測筒を昇降させることで図3の槽内壁全面にわたる三次元プロフィールを計測する。

### 2.4 特 長

- (1) 緑色レーザーの採用により、1,300℃以上の高温材を安定して計測できる。
- (2) ランダムアクセスカメラの採用により、4msごとの高速計測が可能である。

## 3. 幅・長さプロフィール計

### 3.1 概 要

厚板圧延設備における仕上げ圧延機入側又は出側においてスラブ幅と長さを計測し、幅出し圧延制御へのフィードバック情報を出力する装置である。

板上方20m前後から、ミラー走査式二次元CCDカメラにより、板の平面プロフィールを自発光方式で計測する。

### 3.2 計測原理

図4に長さ計測時のセンサ配置を示す。スラブ長手方向に形成された2台のCCDカメラの視野をミラーによって板幅方向に走査し、2組ずつの長手方向板エッジ座標をサンプリング計測する。

図5に時刻  $t$  における板エッジ座標  $A, B, C, D$  を示す。 $A$   $B$  と  $C$   $D$  の中点座標  $x_1, x_2$  から板の傾き  $\theta$  を求め  $L_1'$  又は  $L_2'$  を補正演算する。

幅計測も、 $90^\circ$  カメラの向きを変えて、同様の構成で計測する。

### 3.3 形状復元処理

走間計測したスラブ長のエッジ座標にはスラブの移動量が含まれており、式(1)で表される。

$$F(x, t) = f(x) + m(t) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $F(x, t)$  : 計測されたスラブエッジ座標  
 $f(x)$  : エッジプロフィール  
 $m(t)$  : スラブ移動量

式(1)を時間  $t$  で偏微分した後、両辺を  $t$  で積分し、移動量  $m(t)$  を求める。

$$\frac{\partial F(x, t)}{\partial t} = \frac{\partial m(t)}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\int \frac{\partial F(x, t)}{\partial t} \cdot dt = \int \frac{\partial m(t)}{\partial t} \cdot dt + C_1$$

$$\therefore m(t) = \int \frac{\partial F(x, t)}{\partial t} \cdot dt - C_1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

以上からエッジプロフィール  $f(x)$  は式(1)と式(3)から式(4)として求めることができる(ここで積分定数  $C_1$  は座標上の位置を表すもので、形状  $f(x)$  に関係であるため省略するものとする。)

$$f(x) = F(x, t) - \int \frac{\partial F(x, t)}{\partial t} \cdot dt \quad \dots\dots\dots (4)$$

### 3.4 特長

- (1) カメラ2台によるステレオ計測方式により、スラブの斜行・回転に影響されずに幅・長さの走間計測が可能である。
- (2) 時間微分処理による形状復元アルゴリズムにより、走間エッジプロフィール計測が可能である。

## 4. キャンバ計

### 4.1 概要

熱間圧延及び厚板圧延設備における圧延機出側において、図6に示す板の長手方向平面曲り(キャンバ)を計測し、キャンバ制御へのフィードバック情報を出力する装置である。

### 4.2 計測原理

図7に板エッジ座標を検出するセンサ配置を示す。2台

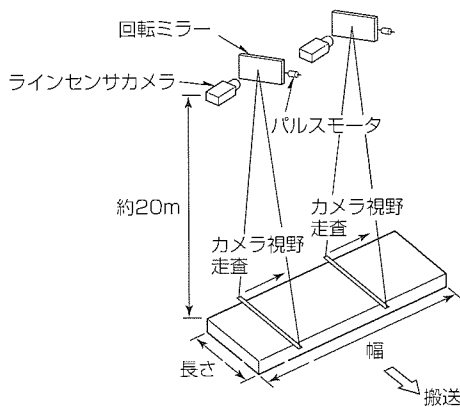


図4. 長さ計測のセンサ配置

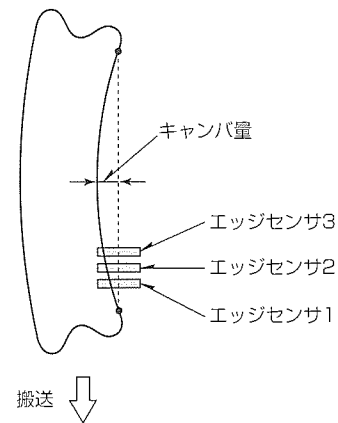


図6. キャンバ定義

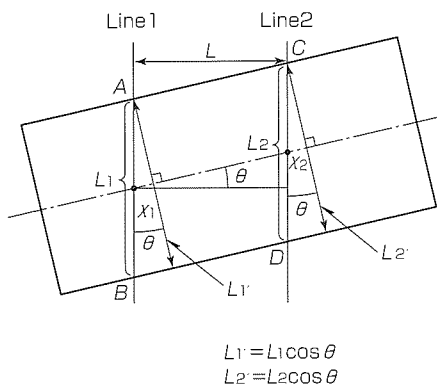


図5. 時刻  $t$  における板エッジ座標

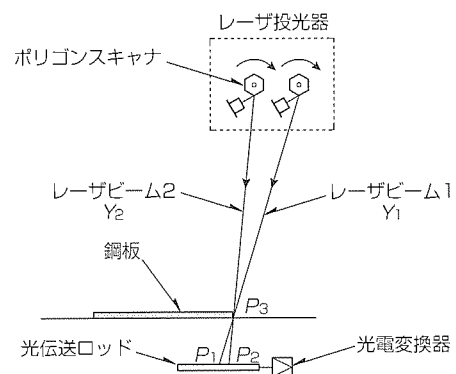


図7. エッジ検出のセンサ配置

の半導体レーザをポリゴンスキャナによって板幅方向に走査させ、板下面に設置した光伝送ロッドで受光する。ロッドに入射したレーザ光は、ロッド内を伝搬し端部で光電変換される。板エッジでレーザ光が遮光されるまでの時間を計測し空間座標  $P_1$ 、 $P_2$  を求める。二つの座標  $P_1$  と  $P_2$  から得られる直線  $Y_1$ 、 $Y_2$  の交点を演算し、板エッジ座標  $P_3$  を得る。

### 4.3 形状復元処理

板が搬送状態で計測した板エッジの軌跡  $F(x, t)$  には板の回転振動  $R(t) \cdot x$  と平行振動  $V(t)$  が混在しており、式(5)で表される。

$$F(x, t) = f(x) + R(t) \cdot x + V(t) \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 $F(x, t)$  : 計測された板エッジの軌跡

$f(x)$  : 板のキャンバプロフィール

$R(t)$  : 回転による板の傾き

$R(t) \cdot x$  : 回転振動

$V(t)$  : 平行振動

$x$  : 板の長手方向位置

式(5)を板の長手方向位置  $x$  で2回微分することで、式(6)に示すように、回転振動と平行振動が除去される。

$$\frac{\partial^2 F(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式(6)を2階積分し、板のキャンバプロフィール  $f(x)$  を式(7)で求める。

$$f(x) = \int \int \left[ \frac{\partial^2 F(x, t)}{\partial x^2} \right] dx \cdot dx \quad \dots\dots\dots (7)$$

走行方向に3台配置したエッジセンサによって得られた3点のエッジ座標を2次微分することで式(6)の結果を得る。その微分値を式(7)に従って積分処理して板のキャンバプロフィールを復元する。

### 4.4 特長

- (1) 板搬送時の平行振動及び回転振動に影響されずにキャンバプロフィールの走間計測ができる。
- (2)  $n$  次関数では近似しきれない形状に対しても精度良く復元が可能である。

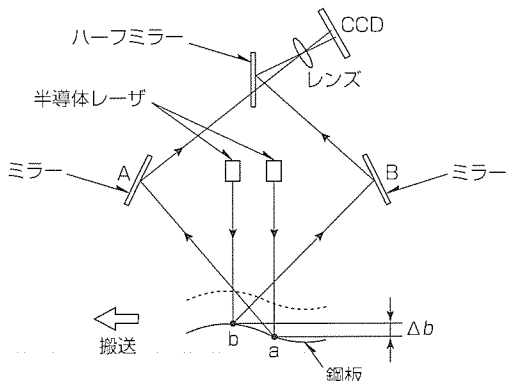


図8. ツインビーム式三角測量の原理

## 5. 平坦度計

### 5.1 概要

熱間圧延及び厚板圧延設備における仕上げ圧延機出側において、板の平坦度を計測し、平坦度制御へのフィードバック情報を出力する装置である。また、厚板矯正機や成品検査における平坦度管理ツールとしても応用される。

板上方からレーザビームを板に照射し、その反射光をカメラによって結像する三角測量方式で板変位を計測し、平坦度を演算する。

### 5.2 計測原理

図8にツインビーム式三角測量方式の原理を示す。

レーザビーム a の反射光はミラー A で反射され、ハーフミラーを透過して二次元 CCD 上に結像される。また、レーザビーム b の反射光はミラー B で反射され、ハーフミラーで折り返され、同じく CCD 上に結像される。CCD 上の二つの結像ビームの差分は、板波の走行方向の a、b 2 点間微分値として電気信号に変換される。板が上下に振動しても a と b の板波の傾きは変化しない。

### 5.3 形状復元処理

(1) 板が搬送状態で計測した板波変位  $F(x, t)$  には図9に示す板の上下に振動  $V(t)$  が混在し、式(8)で表される。

$$F(x, t) = f(x) + V(t) \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 $F(x, t)$  : 計測された板波の軌跡

$f(x)$  : 板波プロフィール

$V(t)$  : 上下振動

式(8)を位置  $x$  で微分することで、式(9)に示すように、板の上下振動が除去される。

$$\frac{\partial F(x, t)}{\partial x} = \frac{\partial f(x)}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (9)$$

二つのレーザビームの間隔を  $dx$ 、板波変位を  $dy$  としたときの板波の傾き  $dy/dx$  を求めることで式(9)の結果を得る。

(2) 平坦度を伸び率  $\beta$  によって式(10)で定義し、図に示す板波の弧長  $S$  を  $dy$  と  $dx$  から式(11)で求める。

$$\beta = \frac{S - L}{L} \quad \dots\dots\dots (10)$$

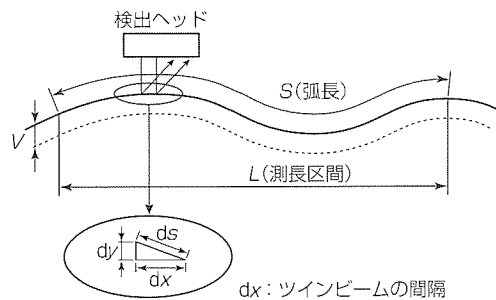


図9. ツインビームによる板波計測

$$S = \int_a^b ds = \int_a^b \sqrt{(dy)^2 + (dx)^2}$$

$$= \int_a^b \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \cdot dx \quad \dots\dots\dots (11)$$

式(10)と(11)から伸び率は式(12)で得られる。

$$\beta = \frac{\frac{1}{2} \int_a^b \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \cdot dx}{\int_a^b dx} \quad \dots\dots\dots (12)$$

5.4 特長

- (1) ツインビーム方式により、板搬送時の上下振動に影響されずに、板波及び平坦度の走間計測が可能である。
- (2) 学習機能を含む独自のアルゴリズムにより、高精度に平坦度計測が可能である。

6. 平面形状計

6.1 概要

熱間圧延設備の仕上げ圧延機入側において、板の先・尾端異形部(クロップ)を二次元的に認識し、クロップシヤーへの最適切断位置情報を出力する装置である。

また、厚板圧延設備の冷却床出側において板全長の平面形状を計測し、最適採寸情報を出力することにも応用される。

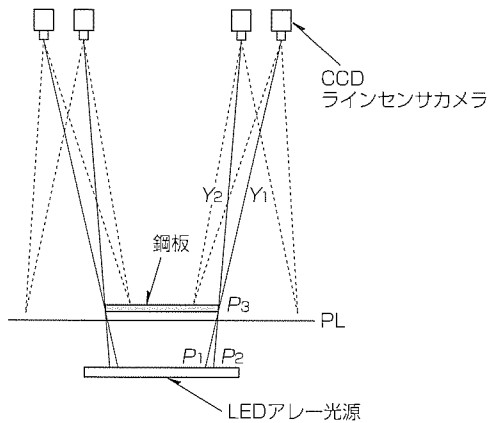


図10. ステレオ透過光式のセンサ配置

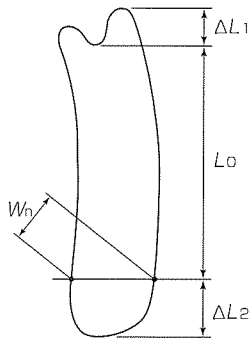


図11. 平面形状の復元

る。下部光源と一次元CCDカメラによる透過光方式により、板の遮光シルエットを計測する。

6.2 計測原理

図10にステレオ式透過光式のセンサ配置を示す。パスライン下面に設けた高輝度青色LEDアレー光源から射出される光をライン上方の一次元CCDカメラで撮像し、板で遮光されたエッジ座標を求める。カメラは片側エッジに対し2台配置し、二つのカメラで検出したエッジ座標 $P_1$ 、 $P_2$ から得られる直線 $Y_1$ 、 $Y_2$ との交点を演算し、板エッジ座標 $P_3$ を得る。

6.3 形状復元処理

板走行一定ピッチごとにサンプリング計測した板エッジ座標 $P_3$ を積分しながら板の二次元平面マップを生成し、得られたマップの輪郭線平滑化及び $n$ 次関数補正等の画像処理を行い、図11に示す板の平面形状を復元する。

板の先・尾端異形部に対しては、有効幅到達点( $\Delta L_2$ )又はフィッシュテール形状における谷底点( $\Delta L_1$ )の認識を行い、クロップシヤーへの最適切断位置の特定や有効採寸形状( $L_0$ 、 $W_0$ )を演算する。

6.4 特長

- (1) 高輝度青色LEDアレー光源の採用により、板温度に影響されない高いS/N比で熱間計測が可能である。
- (2) LED光源の採用で装置のMTTFが飛躍的に向上している。

7. 溶接ビード形状計

7.1 概要

UO鋼管等で生じる溶接ビードの形状を計測し、ビード

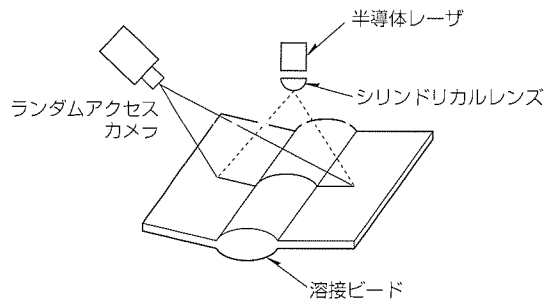


図12. 光切断方式の原理

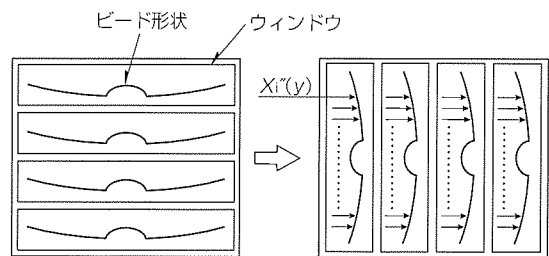


図13. 座標変換画像



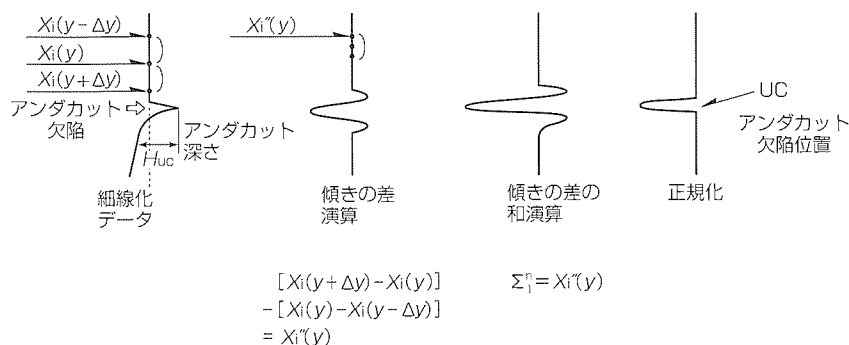


図14. 画像処理例

形状不良の判別をする装置である。レーザスリット光をビードに照射し、そのパターン変化を二次元カメラで認識する光切断方式を採用している。

### 7.2 計測原理

図12に計測原理を示す。レーザスリット光をビードに照射し、そのスリット像を二次元ランダムアクセスカメラで撮像する。カメラ1画面中垂直方向の1/4のみを画像蓄積させ、その領域の4回撮像分を1枚のビデオ画面に合成することで、8msごとの光切断画像4本がビデオ画像1フレーム内で得られる。

### 7.3 形状復元処理

8msごとに計測された4本の光切断像を画像合成したビデオ画面を図13に示す。この画像を座標変換して細線化後、スリット像の中心点の水平座標をビデオレート内で計算する。

得られた水平座標からビードパターンを復元する。

ビード部の欠陥にはアンダカットや突起等があり、それらの欠陥は、ビード輪郭線の急変点微分を中心とした画像処理によって抽出する。図14にアンダカットの例を示す。

ビードパターンを形成する水平座標 $X_i(y)$ を $\Delta y$ ごとに2次微分し、傾きの差 $X_i''(y)$ を求める。さらに $X_i''(y)$ を $n$ 回積分して変化点を強調し、それを正規化処理してアンダカット欠陥部を特定する。

### 7.4 特長

- (1) ランダムアクセスカメラの採用により、8msごとの高速検査が可能である。
- (2) 欠陥形状に特化した画像処理アルゴリズムにより、95%以上の検出率を達成できる。

## 8. むすび

鉄鋼プラントにおける生産性向上は今後ますます激しく進む状況にあり、またユーザーからの品質要求もより厳しくなっていくものと思われる。その流れを支える各種形状センサも、一層のインテリジェント化によって計測機能を拡充していかねばならない。

さらに、将来的には上流から下流域への生産フローの中に点在する各種形状センサをLANでネットワーク化し、それらのデータを集中管理することで全生産領域をふかん(俯瞰)した品質のトレンド管理が必要となるであろう。このような将来動向を視野に入れつつ、新しいインテリジェントセンサの市場投入に注力していきたい。

### 参考文献

- (1) 高嶋和夫, 杉山昌之, 稲荷隆彦, 植木勝也, 西木和弘: レーザ距離センサ, 三菱電機技報, 60, No.5, 342~346 (1986)
- (2) 植木勝也, 田中秀夫, 田中洋次: 鉄鋼プラント用特殊センサ, 三菱電機技報, 64, No.12, 1027~1034 (1990)
- (3) 植木勝也, 杉山昌之, 田中洋次, 高嶋和夫: 鉄鋼プラント用センサ, 三菱電機技報, 70, No.10, 1022~1027 (1996)
- (4) 田壺宏和, 杉山昌之, 植木勝也, 中島利郎, 高嶋和夫: 鉄鋼厚板プラント用幅・長さ計の開発, 金属産業研究会MID-98, 37~41 (1998)
- (5) 波多野利和, 植木 勉, 井坪玄以, 吉田達哉, 浅沼真二, 水村正昭, (新日本製鐵株) / 植木勝也, 高嶋和夫, (三菱電機株): 鋼管溶接部疵検査装置の開発, 第134回秋季講演大会, 日本鉄鋼協会講演論文集, 1039, 10 (1997)

# がん治療用深部線量測定装置

西沢博志\* 池田郁夫\*\*\*  
 藤原博次\*  
 津高良和\*\*

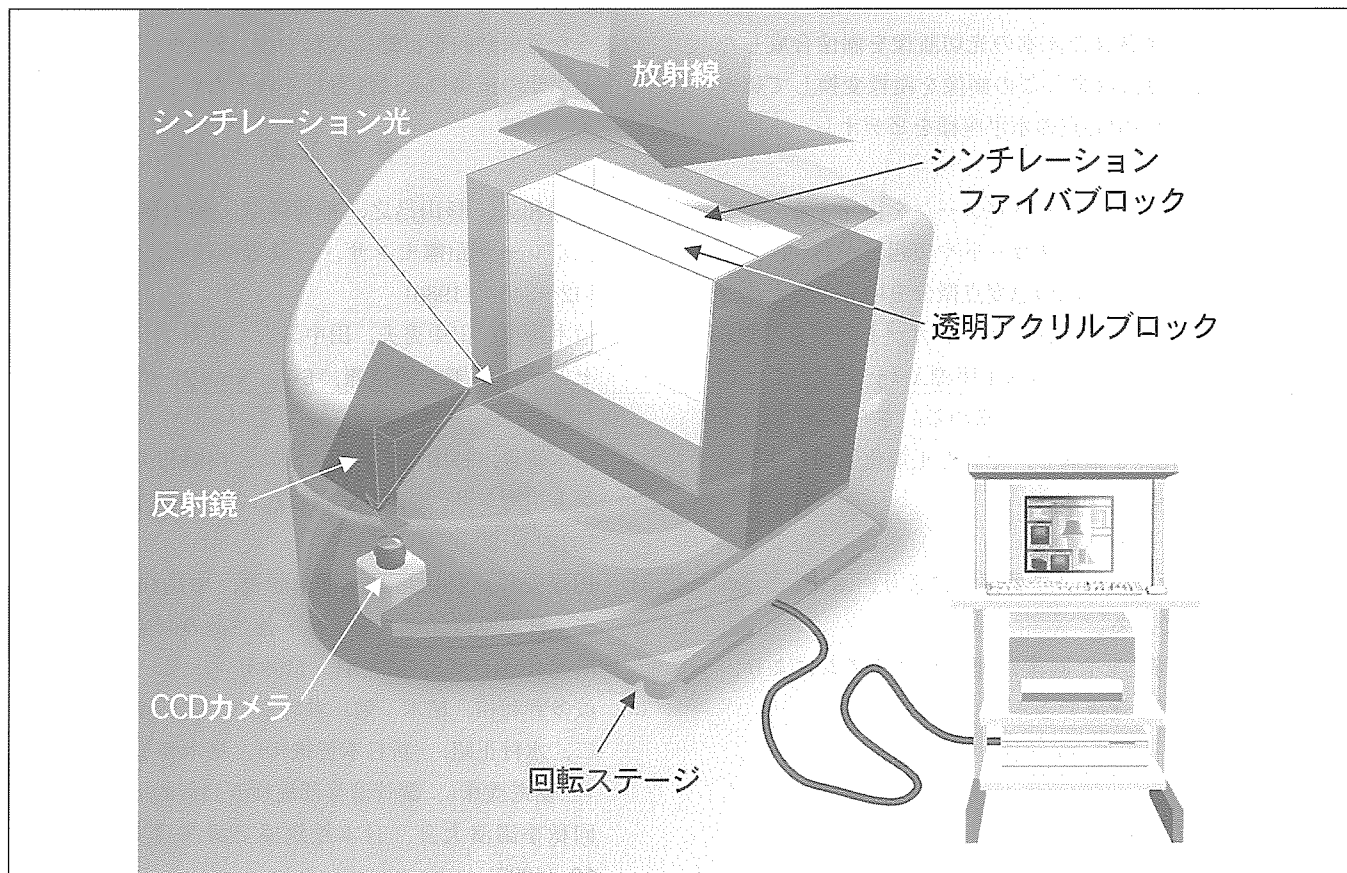
## 要旨

がんの放射線治療に用いられているX線や電子線は、医療用電子ライナックの日常管理や、患者ごとのビーム形状の調整などのため、そのビームデータを採取することが頻繁に行われている。人体組織中の吸収線量を精度良く測定することは、放射線治療を確実に実施するために不可欠であり、様々な測定方法が開発されている。従来の方式では、水ファントム中で電離箱を走査させることによって吸収線量分布の測定を行っていたが、測定に多大な時間を要することが問題となっていた。

深部線量測定装置は、X線及び電子線の人体組織等価の物質中における吸収線量分布を短時間に測定することを目的

として開発された。この装置は、放射線の相互作用によって発光する特徴を持つプラスチックシンチレーションファイバと、その発光の輝度分布を計測するCCDカメラ、及び取り込んだデータを処理するパソコンで構成されている。測定装置をこの構成にすることにより、深部線量分布の測定及び高速データ処理を可能にした。

この測定方式により、測定精度は従来と同等でありながら、従来の方式では3～4時間かかっていた測定時間を、約5分に大幅に短縮することができた。この装置により、放射線治療現場における照射装置の調整や、治療のプランニングなどの作業効率が高まることが期待される。



## 深部線量測定装置

プラスチックシンチレーションファイバを束ねてブロック状に組み立てたものを検出部とし、ファイバブロック端面の輝度分布をCCDカメラで計測する方式により、がん治療に用いるX線及び電子線のビームデータを短時間かつ高精度に測定できることを実現した。

## 1. ま え が き

がんの放射線治療は、外科的療法に比べて患者の体力的負担が少なく、治療後のQOL(Quality of Life)も高いため、有望視されている治療法である。治療では医療用電子ライナックから発生するX線及び電子線が広く用いられており、また最近では、難治性のがんに対する治療成績の向上が期待される陽子線や重粒子線による治療の研究も進められている。どちらの放射線のがんの治療に用いるとしても、人体組織中での吸収線量及び吸収線量分布を精度良く測定することは、放射線治療を確実に実施するために不可欠であり、様々な測定方法が開発されている。

この装置は、X線及び電子線の人体組織等価の物質中における吸収線量率分布を短時間に測定することを目的として開発された。開発した三次元深部線量測定装置は、放射線の相互作用によって発光する特徴を持つプラスチックシンチレーションファイバ(以下“PSF”という。)と、その発光の輝度分布を計測するCCDカメラ、及び取り込んだデータを処理するパソコンで構成されている。測定装置をこの構成にすることにより、深部線量分布の測定及び高速データ処理を可能にした。

従来方法では、測定に3～4時間もの長時間を要することが大きな問題であった。開発した深部線量測定装置は、測定精度は従来と同等でありながら、測定時間を大幅に短縮することを実現した。

## 2. 深部線量測定装置の概要

### (1) 従来の深部線量測定

従来ライナック用の深部線量測定装置として多くの現場で用いられているのが、水ファントムを用いた電離箱である。この測定装置の模式図を図1に示す。この装置は、水中の吸収線量を電離箱によって測定するもので、分布測定は電離箱を走査させることによって行う。得られたデータは計算機に送り、CRT又はプリンタに結果を出力するようになっている。

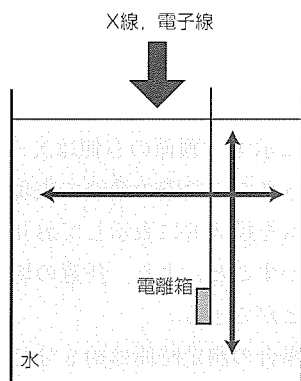


図1. 従来の測定方法

この方法では、電離箱を三次元的に走査するのに3～4時間もの多大な時間を要することが大きな問題であった。また、患部の形状は患者ごとにそれぞれ異なるため、治療前にビーム、コリメータ、及びレンジシフトを患部に適合するように調整しなければならないが、多くの患者に対してこの調整を行う必要があり、吸収線量分布を迅速かつ正確に測定できる装置の開発が望まれていた。

### (2) ファイバブロックを用いた深部線量測定装置

開発した深部線量測定装置の本体は、PSFと呼ばれる特殊なプラスチック光ファイバを束ねたブロック状のものである。これをファイバブロックと名付ける。図2にファイバブロックの一部分を示す。PSFとはシンチレータと光ファイバの両方の性質を持つもので、このファイバに放射線が入射し相互作用を起こすと、通常シンチレータと同様に吸収エネルギーに比例した強度の発光を生じる。発光によって生じた光は、光ファイバ中をファイバ端まで伝搬される。また、このPSFは、表1に示すように、密度と組成が組織等価物質に非常に近い点が必要な特長である。この二つの性質をうまく利用して深部線量を測定する装置を開発した。

深部線量測定装置の測定原理を図3に示す。ファントムであると同時に検出部となるファイバブロックは、X線又は電子線の入射方向に対して垂直にファイバを積み重ねて製作している。X線又は電子線ビームがファイバブロックに入射すると、吸収線量に比例した輝度でPSFが発光し、ファイバブロックの端面に光が伝搬され、吸収線量分布に比例した輝度分布で発光パターンが得られる。PSFの軸に沿った方向からファイバブロック端面の輝度分布をCCD

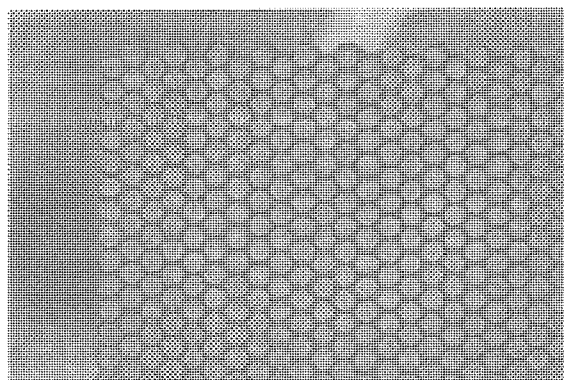


図2. ファイバブロック

表1. PSFの組成

材 質	ポリスチレン
密 度	1.05g/cm <sup>3</sup>
水素原子数	4.82×10 <sup>22</sup> /cm <sup>3</sup> (7.7wt%)
炭素原子数	4.85×10 <sup>22</sup> /cm <sup>3</sup> (92.1wt%)
電 子 数	3.40×10 <sup>23</sup> /cm <sup>3</sup>

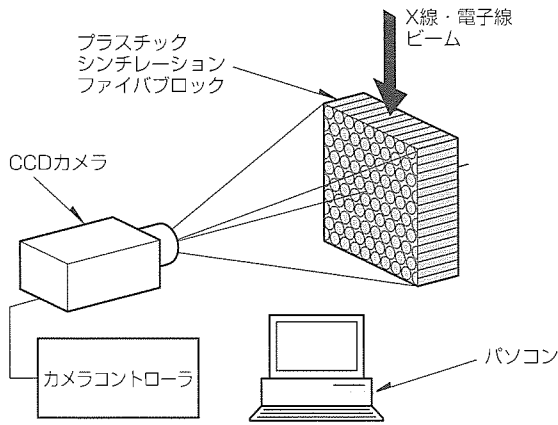


図3. 深部線量測定装置の測定原理

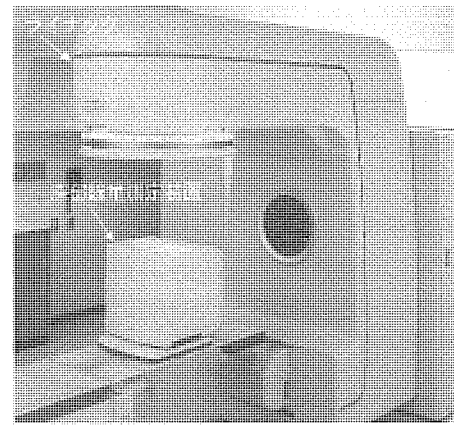


図4. 深部線量測定装置の設置

表2. 深部線量測定装置の性能

型 式	DD-1000シリーズ	
主 な 機 能	線量分布データの取り込み	
	グラフ表示(深部線量百分率・OCR)	
	ビームプロファイルの表示	
	PDD→TPRへの変換	
	平坦度・対象度・エネルギーの計算 ピーク位置の自動サーチ	
寸法(mm)	測定部	(D)670×(W)480×(H)520
質 量	測定部	約56kg
測 定 範 圍 (mm)	位置範囲	深 さ : 300 ビーム軸垂直断面径: 300
	直線性	± 2%
測 定 精 度	位置分解能	1 mm
	深部線量分布	± 2%
測 定 時 間	二次元線量分布測定	照射野径 0 ~ 300mm : 約10秒
	三次元線量分布測定	照射野径 0 ~ 300mm : 約 5分

カメラで撮影し、パソコンに画像データとして取り込まれる。パソコンでは、発光パターンの画像処理が行われ、深部線量分布に変換されて表示される。

この深部線量測定装置の特長は、小型にするためミラーを使って光路を曲げていること、三次元測定を可能にするためファイバブロックを回転できるようにしていること、また三次元測定の空間分解能を上げるためファイバブロックの厚みを薄くしていることである。深部線量測定装置をこのような構成にすることにより、表2に示す性能を得ることができた。

### 3. 深部線量分布の測定

#### (1) 測定の方法

図4に示すように、深部線量測定装置を医療用ライナックの患者用ベッドの上に置き、ファイバブロックの中心をアイソセンターに合わせて水平に設置し、X線及び電子線を照射した。照射条件は、X線では、エネルギー10MV、照射野15cm×15cm、線量率2 Gy/minの標準的な条件を選んだ。電子線では、エネルギー15MeV、照射野15cm×

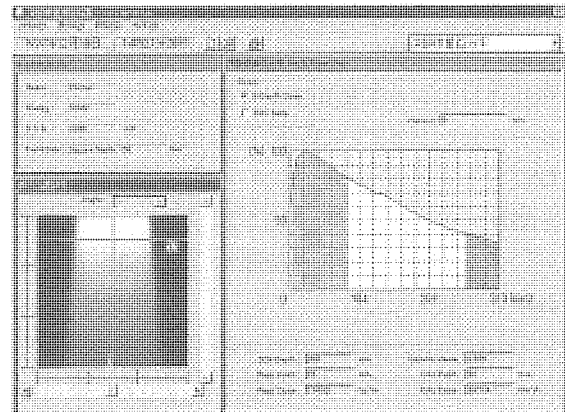


図5. X線の深部線量測定の結果(二次元)

15cm、線量率2 Gy/minとした。

三次元深部線量分布の測定は、ファントムを水平に回転させ、10°ごとにデータを取り込み、三次元的なデータを再構築した。

#### (2) 測定の結果

X線を深部線量測定装置に照射した場合の出力を図5に示す。画面の右側に表示しているグラフが深部線量百分率を示しており、グラフの下には、50%線量の深さ、ピーク的位置、ピーク線量率などが表示される。画面の左側には、リアルタイムのカメラ出力が表示される。採取したデータから平坦(坦)度、対象性、等線量分布図も表示することができる。

次に、15MeVの電子線を照射し、三次元測定をした場合の結果を図6に示す。画面の右側はX-Z断面における吸収線量率の大きさを5段階の濃淡で表現している。画面左側はファントムを模式的に表示しており、X、Y、Z軸のカーソルを動かすことにより、任意の切断面の等線量分布を表示することができる。

三次元測定の場合の測定時間は約5分であった。また、深部線量測定装置によって得られた測定結果と電離箱による測定結果を比較することにより、測定精度として±2%

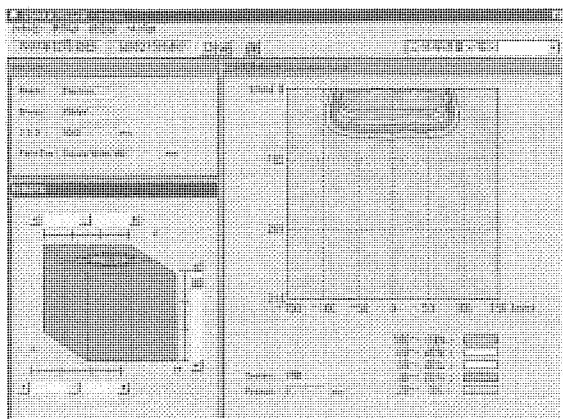


図6. 電子線の深部線量測定の結果(三次元)

が達成されていることを確認した。

#### 4. む す び

がんの放射線治療に用いるX線及び電子線に対する深部線量分布を測定する装置を開発した。この深部線量測定装

置では、従来の水ファントムで3～4時間かかっていた測定時間を約5分に短縮することができた。また測定精度は、従来測定法と同等の±2%を達成した。この測定装置により、治療現場における照射装置の調整やプランニングなどの作業効率が高まることが期待される。

この研究は、大阪大学医学部井上俊彦教授、大阪大学ラジオアイソトープ総合センター山本幸佳教授のご厚意によって実施したもので、末尾ながらご協力いただいたことに感謝する次第です。

#### 参 考 文 献

- (1) 日本医学放射線学会物理部会編：放射線治療における高エネルギーX線および電子線の吸収線量標準測定法，通商産業研究社
- (2) 池上和律，西沢博志：プラスチックシンチレーションファイバーを用いた線量分布測定——医療用三次元深部線量分布——，応用物理，67，No.6，682～686（1998）

# フィールドバスによる排水処理計装システム

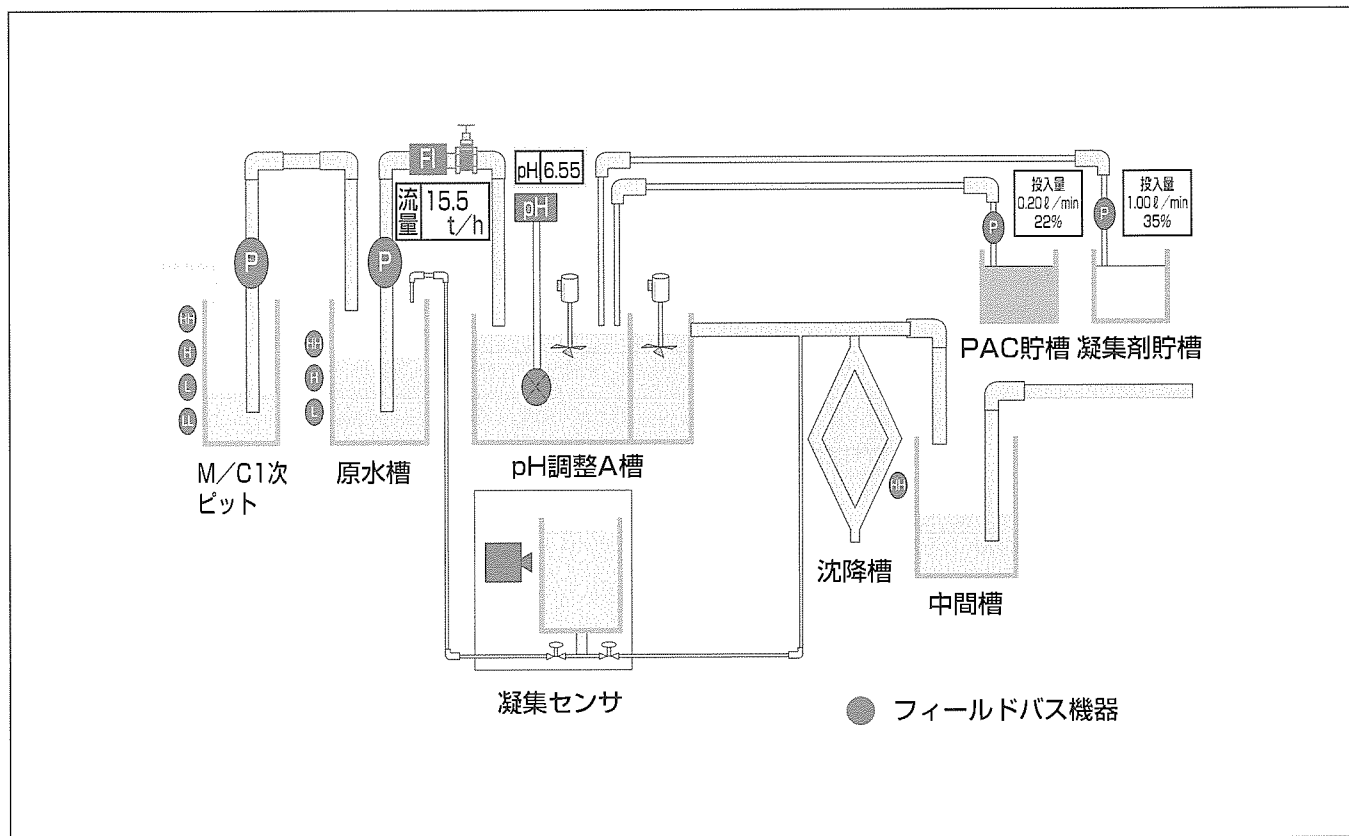
## 要 旨

プロセス計装の分野では、1960年代にDCS(Distributed Control System)を用いた集中制御が導入されて以来、長らく4~20mAのアナログ伝送が主流を占めていた。'84年に4~20mAに代わる次世代のフィールド機器用デジタル通信の標準化がIECの場に提案されたが、標準化審議が長期化する一方で、目的別・地域別の様々な規格が開発され実用化されていった。その代表例として、フランスではFIP、ドイツではProfibusが国家規格となっている。これに対し、真の国際統一されたフィールドバスを完成し普及を図る団体として、フィールドバス協会が設立され、統一実装仕様の開発を行ってきた。このフィールドバスはFoundation Fieldbus(以下“FF”という。)と呼ばれ、'96年8月に最終仕様がリリースされ、'97年4月に中部電力㈱

電力技術研究所において、世界初の実証試験が行われた。

三菱電機では、このようなフィールドバス協会の動きにいち早く着目し、FF情報の取得、技術開発に取り組んできた。その成果は中部電力㈱の実証試験において当社が提案するFFメンテナンスツールとして発表され、システムインテグレータとしての評価を得た。

当社の産業システム研究所(兵庫県尼崎市)及び受配電システム事業所(香川県丸亀市)ではFF技術の導入に注力する一方で、当事業所の排水処理設備への適用を行った。このシステムは、排水中の不純物を除去する薬剤の自動投入を目的とし、市販のFF対応機器と当社独自開発の画像センサを用いた国内初の実プラントへの適応事例として内外の注目を浴びている。



## 排水処理系統図

排水処理設備にフィールドバス及び画像センサを導入し、従来人手に頼っていた薬剤の投入を自動化することにより、省力化と薬剤の節約を実現した。



## 1. ま え が き

プロセス計装の分野では従来のアナログ伝送に代わる次世代のフィールド機器用デジタル通信の標準化が1984年にIECの場に提案されたが、標準化審議が長期化する一方で、目的別・地域別の様々な規格が開発され実用化されていった。

これに対し、真の国際統一されたフィールドバスを目指し、Foundation Fieldbus(FF)と呼ばれる統一実装仕様の開発が行われてきた。FFは、実証試験によって基本性能の確認が行われた後、様々なメーカーがFF対応製品を開発し、協会からの認証を受けている。

今後の計装制御システムは、フィールドバスによるフィールド領域も含めた全デジタル情報統合化や、システム構成の自由度を持つフィールド分散型のシステムへと、長期的にはよりフラット化・ネットワーク化していくと考えられる。こうした状況において、今後の計装制御システムでは、制御性・安全性・信頼性・操作性・保全性等の向上が図られ、かつフィールド機器と中央機器との適切な機能分担がなされたシステムの構築をより強く求められるようになる。これらの要請に対応するには、単にフィールドバス要素技術の開発のみならず、利用技術、言い換えれば経験則に裏打ちされたフィールドバスシステム構築能力をいかに向上させるかがシステムベンダーとしてより重要な課題となる。

当社では、以上の命題にフィールドバス普及促進の目的も加え、社内の排水処理設備にFFを適用したシステムの構築を行った<sup>1)</sup>。このシステムでは、凝集センサとインテリジェントリモートI/O(以下“RIO”という。)を新規開発しFFに接続することにより、新たなセンシングシステム及び制御システムを実現した。

本稿では、フィールド領域における当社のネットワーク開発姿勢、FFシステム導入のねらい、実稼働中のFF適用システムの概要を述べる。

## 2. フィールドネットワークの開発

当社では、電力・公共・工業など幅広い分野での制御システムに対応した事業を展開している。

一方、現状のフィールド領域のネットワークには幾つかのネットワークが存在する。代表例として、国家規格となっているフランスのFIPやドイツのProfibus、ビルオートメーション向けのLonWorks、自動車内制御用バスのCAN、FAシステム向けのDeviceNet、CC-Link等がある。

多様なシステムを対象としたとき、単一のフィールドバスですべてをカバーすることは不可能であり、また現実問題としてプロセスオートメーション領域でも、リミットスイッチや熱電対など簡易な機器を接続するために、フィー

ルドバスを補完するいわゆるセンサバスが必要となる。

さらに、分野ごと又はユーザーごとに異なるフィールド領域のネットワークに対する要求仕様に対応できるよう体制を整えておくのもシステムベンダーとしての務めであり、システム全体としてエンドユーザーにいかに関与できるかということ念頭に置き、FF以外にも複数のネットワークに対応したシステムの開発を行っている。

## 3. FFシステム導入のねらい

今回、当社受配電システム事業所の排水処理設備に、凝集センサ、RIO、FFを適用した。排水処理設備における課題は省力、省エネルギー、環境(ISO14001)であるが、このシステム導入によって次のような効果が期待できる。

- フィールドバスによる省配線、改造工事の容易化
- 各伝送端末のインテリジェント化による信頼性の向上
- PAC(ポリ塩化アルミニウム)及び高分子凝集剤(以下“薬剤”という。)投入作業の自動化による省力効果
- 薬剤投入の最適化による水質の安定化(人の勘から作業の数値化へ)
- 薬剤投入量(使用量)の削減

## 4. 排水処理設備に対するFFの適用

この章では、当社受配電システム事業所に導入したフィールドバスシステムの概要について述べる。

### 4.1 システム概要

図1にこのシステムを適用した排水処理設備の全景を示す。この排水処理設備は塗装系・めっき系・シアン系の処理系からなるが、今回導入したのはめっき系の前処理工程であり、薬剤投入制御及び原水槽から調整槽への流量制御が中心となる。このシステム導入前は流量制御はレベル計の信号に基づくリレーロジックで行っていた。また、排水水質の検査は点検員が目視で行い、その判定結果によって



図1. 排水処理場の全景

手動で薬剤ポンプのON/OFFを行っていた。

今回のシステム導入により、これらの制御が自動化され省力化された。

#### 4.2 FFセグメント構成

図2に、セグメント(複数の機器が接続されたネットワーク上の1グループ)構成を示す。接続機器はホストコンピュータ(以下“ホストPC”という。), 電磁流量計, 調整弁, アナログ出力(以下“AO”という。)変換器2台, インテリジェントRIO 3台, 凝集センサである。このうち凝集センサ, インテリジェントRIO及び調節弁は制御機能を持ち, FFを介して接続された各機器の制御をフィールド側で行う。ホストPCは基本的に監視及びパラメータの設定のみの機能を持つ。

#### 4.3 凝集センサ

このプロセスでは、工場の稼働状態によって流れる原水の水質が大きく異なる。このため、凝集槽では、日に数回、監視員が排水中のフロックの大きさ、沈降時間及び排水の透明度を目視で観測し、薬剤の投入ポンプのストロークを現場で操作する。薬剤の投入量を制御してもフロックが良い状態にならない場合には、原水槽から注入される排水量を調節する場合もある。凝集センサは、これらの制御を自動化する目的で開発した、画像処理機能を持ったカメラである。この装置は、排水中のフロックの凝集度及び排水の透明度を計測し、薬剤投入ポンプの投入量制御及び原水槽からの流量制御を行うための演算を行い、結果をFFに送出する。また、排水をサンプリングするために凝集槽から排水をガラス管に導く配管を設けて電動弁で排水の流れをコントロールしているが、この弁の制御もこの装置のCPUで行っている。

この装置では小型CCDカメラ、画像入力部(A/D変換部)、画像処理部を一体化し、(H)68×(W)75×(D)150(mm)のきょう(筐)体にFF I/Fカードとともに収めた。画像処理装置での処理アルゴリズム及び各種パラメータは、FF又はシリアルポート経由でダウンロード可能である。

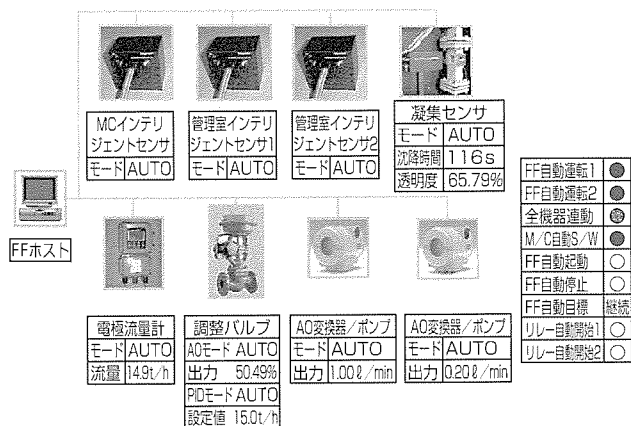


図2. セグメント構成

図3に凝集センサの外観を示す。図の左側が画像処理ユニットで、右側の配管内にガラスセルがある。凝集槽からの排水を電動弁でコントロールしてセルへ導入し、中央部の窓からフロックの状態を撮像する。得られた画像を画像処理することで、フロックの凝集度と排水の透明度の算出を行う。またガラス管の汚れを画像から検出し自動洗浄を行う機能、センサ内部の照明及び弁等の異常を画像処理によって自動検出する機能を持ち、信頼性を向上させている。

#### 4.4 インテリジェントRIO

この装置はプロセスI/Oにマイクロプロセッサによる制御機能を付加したもので、遮断器工場1次ピットに1台、管理室に2台設置した。入力としてpH計、レベル計及び制御盤のボタン情報等を取り込む。出力は1次ピットポンプ、原水槽ポンプ、薬剤投入ポンプ等の各接点を接続している。各インテリジェントRIOは、自分自身の入力信号及びFF経由で伝送された他のインテリジェントRIOの信号を基にマイクロプロセッサが演算を行い、各ポンプ等を制御する。

#### 4.5 フェールセーフ機能

このシステムでは、機器の異常時にはFFによる制御を停止し、他の機器がフェールセーフ側に動作するように設計している。ホスト機器側では各デバイスの状態を常に監視しており、異常を発見すると各デバイスに対してフェールセーフ側に移行するように指令を出す。デバイス側でもホストとの通信状態を監視しており、バスの断線等で通信不能になった場合は、出力をフェールセーフ側に操作して停止する。特に重要な原水槽まわりのポンプについてはインテリジェントRIOを2台置き、1台をバックアップとしている。

#### 4.6 適用状況

図4にホストPC上の画面例を示す。画面には、プロセス系統図とともに、FFを通して伝送された各センサ、アクチュエータ類のモード及びプロセス量等が表示される。また工場からの排水は夜間停止するため夜間は処理能力を

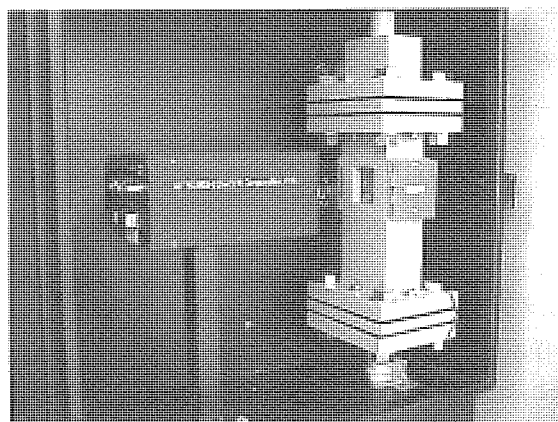


図3. 凝集センサの外観

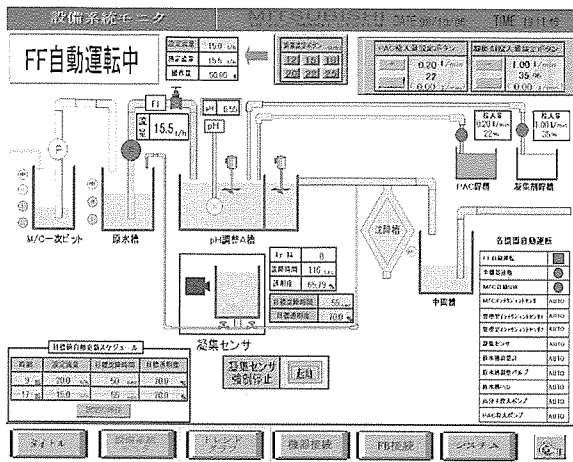


図4. ホストPC上の画面例

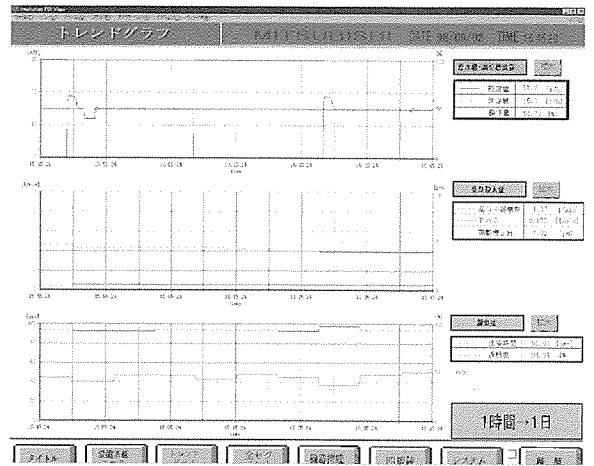


図5. テレンド監視画面

落として稼働するが、そのためのタイマ設定等をこの画面から行う。

トレンド監視画面を図5に示す。上段は弁の設定/測定流量及び弁の開度を示している。中段は薬剤の投入量、pH値を示している。下段は凝集センサによって測定した弁の透明度及び沈降速度を示している。これらの情報は流量及び薬剤投入量の積算値とともに一定の間隔でディスクに保存されており、日報/月報の形式で帳票として出力する。

ファンクションブロック(入出力信号が規格化された機能ブロック)の接続図を図6に示す。この画面では各機器のファンクションブロック間のデータ伝送の状態を示している。各ファンクションブロックをマウスでクリックすることで、トレンドグラフの表示、詳細なパラメータの確認及び変更が可能である。

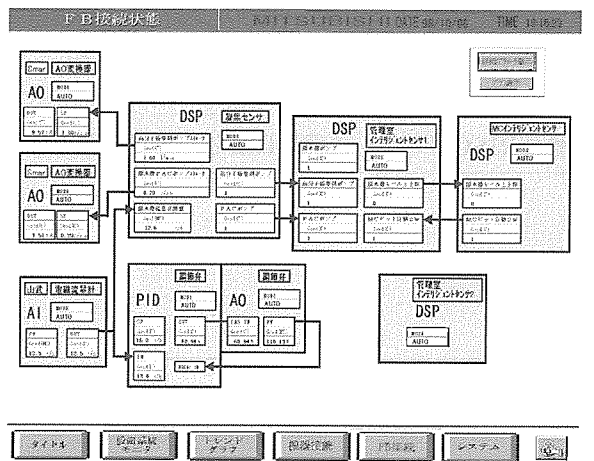


図6. ファンクションブロック接続図

#### 4.7 導入効果

このシステムの導入により、運転員の負担が大幅に低減された。従来人手に頼っていた凝集状態の監視及び制御を自動化し連続的に行うことで、よりきめ細かな制御が可能となり、薬剤の投入量も削減することができた。流量の制御についても従来は下流側のろ過槽の状態によって流量が変化するという現象が生じていたが、PIDを内蔵した調整弁で制御することで、実流量は設定値の±1%以内に納まっている。

FFを採用したことによるメリットとしては、機器の自己診断機能を利用して、プロセス値だけでなく機器の状態を監視することで信頼性が向上し、トラブル発生時にも原因の特定が容易になったことが挙げられる。

また、例えばAOファンクションブロックのあるパラメータを利用することにより、薬剤ポンプ変更に伴う吐出量の変更が容易になるなど、現場における調整のための工数が減ったこともメリットの一つである。

さらに、FFのファンクションブロックを利用して制御

をフィールド側で行うことにより、ホストPCの負荷が大幅に減少し、アラーム監視、トレンド監視、帳票機能等のHMI機能を充実させることができた。場合によってはホストPCダウン時にも制御を続けることも可能である。

#### 5. むすび

FFはようやく実用期に入ったばかりであり、対応製品も数多く出始めているが、エンドユーザーの未経験技術に対する不安を払しょく(拭)しFFの持つライフサイクルにわたるメリットを享受していただくためには、実システムへの適用が一番の早道である。その意味で、今回のFF適用が普及の一つのインパクトになれば幸いである。

#### 参考文献

- (1) 石井哲夫, 佐々木文夫, 平位隆史, 平井敬秀, 中山保夫: フィールドバスシステムの開発と実適用——排水処理設備におけるフィールド分散制御の実現——, 計装, 41, No.12, 14~19 (1998)

# エレベーターインテリジェント化のためのセンサ

小浦邦和\* 水野滋基\*\*  
高橋達司\*  
額額雅彦\*

## 要 旨

エレベーターは、ビル内の縦の交通手段として子供から高齢者までの不特定多数の人が利用する。

三菱電機は、快適性と輸送効率を向上させるために、これまで多くのセンシング技術を導入してきた。

今回は、一層進む高齢化・高福祉化とビルの超高層化等に対する社会的ニーズにマッチしたより快適で輸送効率の高いエレベーターを提供するために、以下の新機能を、標準型“GRANDEE”，特注型“ACCEL-AI”及び機械室レスエレベーター“エレパック (ELEPAQ)”に投入した。

### (1) インテリジェントドアシステム

高性能RISCマイコンの採用により、ドア開閉中のモータートルク指令値と速度検出器からのドアモーター速度帰還値

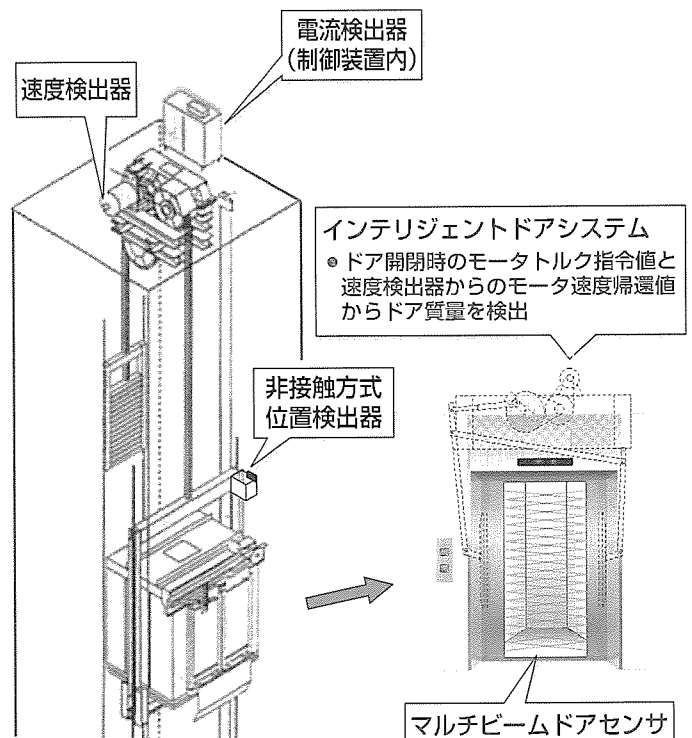
とから、各階床ごとのドアの質量を同定し、その階に適したドアの開閉速度や開閉時の力の大きさをオートチューニングすることで、安定した開閉性能を確保した。

### (2) マルチビームドアセンサ

多軸赤外線ビームによって乗客を検出し閉まりつつあるドアを反転させて開かせるため、マルチビームドアセンサには、出入口の垂直平面を多軸赤外線ビームで覆った二次元タイプと、出入口の垂直平面に加え乗り場側に光を投光し反射光を検出する三次元タイプを開発した。

エレベーターの主なセンシング

		機 能	設置場所
インテリジェント化のためのセンシング	インテリジェントドア	ドア質量検出	ドア周辺
	マルチビームドアセンサ	多軸赤外線ビームによる乗客・障害物の非接触検出	
従来から用いられているセンシング(代表例)	速度検出器	かご昇降速度(巻上機駆動モーターの速度)及びかご位置検出	巻上げモーター
	電流検出器	巻上機駆動モーターのトルク電流検出	制御装置内
	非接触方式位置検出器(着床リレー)	各階の昇降路プレートに対向したときの検出器内蔵の発振回路の発振ON/OFFによってかご昇降位置検出	かご
	光電装置	赤外線の投光/受光による乗客・障害物の非接触検出	ドア周辺
	超音波ドアセンサ	超音波の送受信による乗客・障害物の非接触検出	
エレクトロニックドアセーフティ	出入口の静電容量変化による乗客・障害物の非接触検出		



## エレベーターインテリジェント化のためのセンシング

エレベーターのインテリジェント化のために、従来のセンシング機能に加え、新たにインテリジェントドアシステムと、乗り場の乗客を検出可能なマルチビームドアセンサを開発した。これにより、エレベータードアの開閉性能向上とエレベーターの輸送効率及びサービス性の向上を実現した。

## 1. ま え が き

エレベーターは、ビル内の縦の交通手段として子供から高齢者までの不特定多数の人が利用する。そのため、乗客が安心して利用でき、しかも快適で待ち時間の少ない移動空間を提供することが必要である。その重要な役割を担っているものの一つにセンシング技術がある。

エレベーターにおけるセンシングは、かごの昇降制御からドア周辺制御の広さにわたり、近年では、

- エレベーターのReliability & Comfort向上
- エレベーターの輸送効率(Efficient)向上
- エレベーターのSecurity向上

をコンセプトとしてエレベーターに適用を行っている<sup>(1)</sup>。

また当社は、近年の高福祉・高齢化社会に対してより一層の利便性・サービス性の充実と、ビルの高層化・大規模化による更なるエレベーターの輸送効率向上を目的とし、新たにインテリジェントドアシステムとマルチビームドアセンサを開発した。

本稿では、エレベーターのセンシング技術全般について概観した後、当社標準型“GRANDEE”、特注型“ACCEL-AI”及び機械室レスエレベーター“エレパック(ELEPAQ)”に投入したエレベーターの最新のセンシング技術を紹介する。

## 2. センシングシステムの概要

エレベーターには、“乗客は乗り場ボタンを押す→かごが到着する→ドアが開いた後、かごに乗り込む→行先ボタンを押す→ドアが閉じた後、目的階まで昇降する→ドアが開いた後、かごから降りる”という一般的な過程において、多くのセンシング技術が適用されている。

特に、昇降中の乗り心地(かご振動・騒音)が快適となるよう、巻上げモータに取り付けられた速度検出器と制御装置内の電流検出器(DC-CT)を用いてかご昇降速度及びモータ駆動電流を検出し、きめ細かく制御している。

また、目的階到着時の着床精度(かごと乗り場の敷居段差)を高めるために、昇降路の各階床に設置されたプレートと対向する非接触位置検出器(かごに設置)により、各階床の上下位置点を検出する。この位置点の平均値によって各階床の着床位置を正確に求め、得られた着床位置を基に、かごの現在位置及びその修正、目的階到達までの距離又は距離に対する速度指令値を制御している。

一方、エレベーターのドアは、エレベーターと乗客とのインタフェースに当たり、閉まりつつあるドアに人体などが触れると作動してドアを反転させるセーフティシユアの標準装備のほか、非接触方式のドアセンサを付加し乗客・障害物を非接触で感知する。そして、閉じかけたドアを速やかに反転させるとともに、ドアを開いたままの状態に保

持し、スムーズな乗客の乗り降りを可能としている。

エレベーターで使用される主なセンサの名称・機能・設置場所を表1に示す。

## 3. 新センシング機能

### 3.1 インテリジェントドアシステム

#### 3.1.1 開発の背景

ドアシステムには、より高い安心の提供と快適性の実現が要求される。

高い安心の提供には、ドアに加わる過負荷をよりばらつきなく高い感度で検出し、より安定したドア開閉が必要であり、快適性の実現には、ドア開閉による待ち時間の短縮と迅速かつ静粛で滑らかなドア開閉制御を行い、エレベーターの輸送効率を向上することが必要である。

特にホテル等では、意匠的な客先要求などで、乗り場側のドア質量が階床によって大きく異なる場合がある。そのため、各階床ごとのドア質量を同定し、質量に応じたドア開閉力と開閉速度が要求される<sup>(1)(2)</sup>。

以下、リンク式ドアを例に、ドア質量同定のためのセンシングについて述べる。

#### 3.1.2 ドア質量同定のためのセンシング

##### (1) ドア質量の同定

インテリジェントドアシステムでは、各階床ごとのドア質量を同定し、同定質量に応じたドア開閉速度とドア開閉力をオートチューニングする。以下、インテリジェントドアシステムの質量同定のセンシング手法について述べる。

ドアの運動方程式として、式(1)に示す粘性摩擦などの速度依存項を省略した近似式を仮定する。

$$FN = (M + M1) \cdot AN + B \dots\dots\dots(1)$$

ここで、FN：ドアに働く駆動力

表1. エレベーターの主なセンシング

		機 能	設置場所
インテリジェント化のためのセンシング	インテリジェントドア	ドア質量検出	ドア周辺
	マルチビームドアセンサ	多軸赤外線ビームによる乗客・障害物の非接触検出	
従来から用いられているセンシング(代表例)	速度検出器	かご昇降速度(巻上機駆動モータの速度)及びかご位置検出	巻上げモータ
	電流検出器	巻上機駆動モータのトルク電流検出	制御装置内
	非接触方式位置検出器(着床リレー)	各階の昇降路プレートに対向したときの検出器内蔵の発振回路の発振ON/OFFによってかご昇降位置検出	かご
	光電装置	赤外線の投光/受光による乗客・障害物の非接触検出	ドア周辺
	超音波ドアセンサ	超音波の送受信による乗客・障害物の非接触検出	
	エレクトロニックドアセーフティ	出入口の静電容量変化による乗客・障害物の非接触検出	

- $M$  : ドア質量(ドアのパネル質量)
- $M1$  : ドアの付属機器質量
- $AN$  : ドアの加速度
- $B$  : その他摩擦力など

式(1)において、ドアに働く駆動力とドアの加速度の時系列データをドア開閉時のモータトルク指令値と速度検出器からのモータ速度帰還値とから計測し、線形式の傾きすなわちドア総質量( $M+M1$ )を導き出せる。

(2) ドアに働く駆動力と加速度の計測

一般的な4連リンク式ドア機構を図1に示す。構造は、二つのプーリからなる2段減速部と4本のリンクからなる4連リンク部で構成される。

式(1)に必要なドアに働く駆動力と加速度を計測するには、以下の計算式が必要となるが、リアルタイムで計算するには多くの演算時間を要する。また、各リンク構造ごとの計算式が必要となり、ソフトウェア処理が複雑となる。

- モータ回転速度とドア開閉速度の非線形式
- 各リンクの自重による戸閉力算出式
- ドア開閉時のプーリ/リンク慣性力算出式

そこで、ドア全閉と全開までの2段目プーリ回転角度が一定であることから、単位回転角度ごとのモータ回転速度とドア開閉速度の比(速度比)を導き出し、計算を容易にした。

図2に速度比近似曲線を示す。

同様に、ドアに働く駆動力を導き出すために必要な各リ

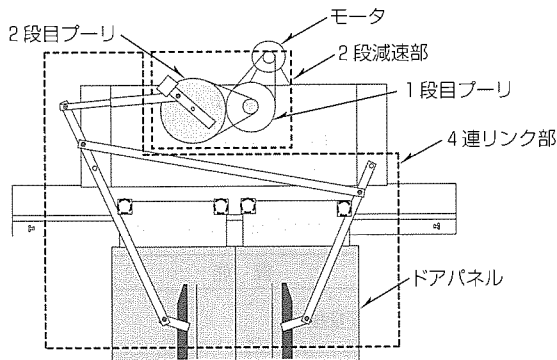


図1. 4連リンク式ドア機構

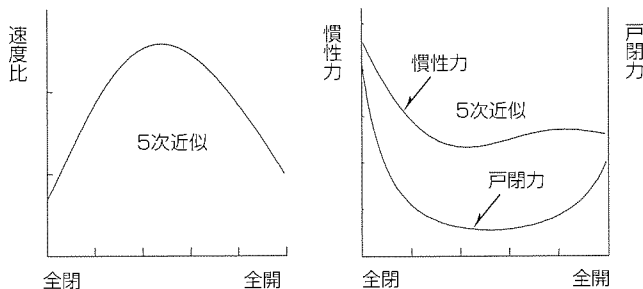


図2. 速度比近似曲線

図3. 慣性力・戸閉力近似曲線

ンク自重による戸閉力や慣性力に関する近似曲線を導き出し、ドアに働く駆動力と加速度計測をより少ない計算量とメモリ量で実現できるドア質量同定のセンシングアルゴリズムの組み込みソフトウェア搭載を可能とした。図3に慣性力・戸閉力近似曲線を示す。

(3) シミュレーションでの確認

実際のドアから採取したドア開閉時のモータトルク指令値と、速度検出器からのモータ速度帰還値の時系列データを用い、(1)及び(2)項のセンシング手法によってシミュレーションを行った。図4は、ドアに働く駆動力と加速度を二次元プロットしたものである。点列はほぼ直線状に分布しており、式(1)の運動方程式の妥当性が分かる。

そして、この点列の傾き(ドア総質量( $M+M1$ ))を算出し、付属機器質量( $M1$ )を減算することでドア質量を同定することができる。

(4) 効果

図5及び図6に、ドア質量が軽めと重めの際の過負荷検出の設定値とドア開閉速度を示す。

過負荷検出感度(過負荷検出の設定値からモータトルク

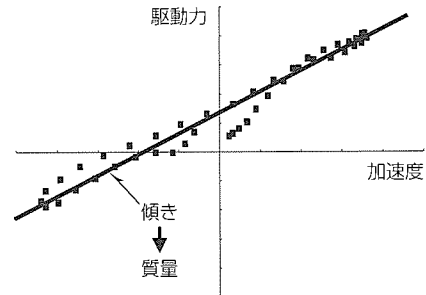


図4. 加速度-駆動力

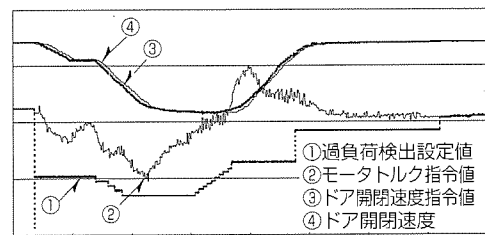


図5. ドア開閉時の各波形(ドア質量軽め)

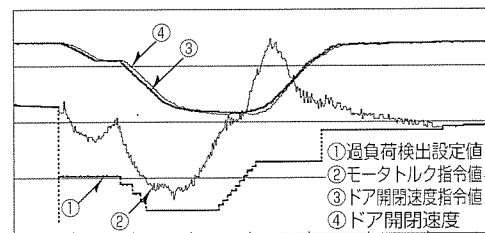


図6. ドア開閉時の各波形(ドア質量重め)



指令値を減じた値)は、階床ごとのドア質量に応じて設定されるので、質量差によるばらつきは少ない。同様に、ドア開閉速度指令値も階床ごとのドア質量に応じて設定され、ドア質量が軽めのドアは重めのドアに対して高速ドア開閉を実現している。

各階床ごとのドア質量同定によって以下の効果が得られる。

(a) 過負荷検出(DLD)の高感度化

ドア質量に応じた過負荷検出感度を設定することで、ごみ詰まりや風圧などドアに加わる過負荷をよりばらつきなく高い感度で検出できる。

(b) ドア開閉時間の効率化

ドア質量に応じたドア開閉速度指令値を選択することで迅速かつ静粛で滑らかなドア開閉を実現し、エレベーターの輸送効率を向上した。

3.2 マルチビームドアセンサ

エレベーターには、閉まりつつあるドアに人体などが触れると作動してドアを反転させるセーフティシューを始めとし、非接触検出タイプの反転装置が準備されている。ところが、各反転装置の検出範囲はかご側又は乗り場側のいずれか一方を主体としたものであるため、乗客のよりスムーズな乗り降りのためにセーフティシューと非接触式ドア反転装置を組み合わせていた。

今回、かご側(出入口の垂直平面)及び乗り場側の乗客などを非接触で検出するマルチビームドアセンサ(三次元タイプ)を新規開発した。

図7にマルチビームドアセンサの検出範囲を示す。

3.2.1 構成

かご側(出入口の垂直平面)検出用として投光素子及び受光素子を厚さ20mmのセーフティシュー内部に約46mm間隔で出入口高さにわたり実装した。また、乗り場側検出用として投光素子(LED)と受光素子(PD)を乗り場側に向け、更に乗客を確実に検出できるように投・受光素子を乗客の胴部付近をねらった向きとした。エレベーターのかご上には投・受光素子を制御するコントローラを実装した。

3.2.2 検出方式

出入口の垂直平面を検出するために、多数の投光素子と受光素子を所定のパターンで走査し(走査による光軸は最大194本)、光軸が遮光されると作動するようにした。

乗り場側を検出するための投光素子と受光素子も同様に所定のパターンで走査し(走査による光軸は16本)、乗客な

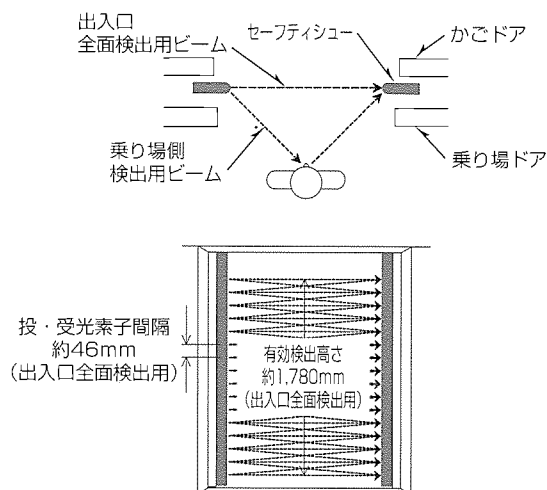


図7. マルチビームドアセンサの検出範囲

どで反射した光が受光素子に入光すると作動するようにした。

マルチビームドアセンサの開発によって従来の非接触ドアセンサの検出範囲を大幅に拡大し、エレベーターのサービス性を向上した。

4. む す び

以上、エレベーターに使用されているセンシング技術について紹介した。特にインテリジェントドアシステムとマルチビームドアセンサは、当社標準型“GRANDEE”、特注型“ACCEL-AI”及び機械室レスエレベーター“エレパック(ELEPAQ)”に投入した新センシング技術センサである。今回の開発により、顧客ニーズ・社会的ニーズによりマッチした製品の市場投入ができたものと確信している。

日進月歩で変化する社会情勢にフレキシブルに対応することはメーカーの責務であり、今後とも技術開発に努め、この責務にこたえる所存である。

参 考 文 献

- (1) 池島宏行, 安藤 宏, 林 美克, 河合清司, 吉田研治, 春日 敬: 三菱乗用エレベーターのモデルチェンジ, 三菱電機技報, 72, No.10, 793~798 (1998)
- (2) 水野滋基, 小浦邦和, 小泉喜彦: ドア重量同定機能を有するエレベータードアシステムの開発, 日本機械学会第7回交通物流部門大会講演論文集, No. 98-37, 63~66 (1998)

# 画像レーダ技術

岩本雅史\* 志村誠一\*\*\*  
山本和彦\* 原 芳久+  
桐本哲郎\*\*

## 要 旨

画像レーダは、観測対象の大きさに比べて高い分解能を確保して地形の像や船舶・航空機等の目標の像を撮るレーダである。特にレーダを航空機のような移動プラットフォームに搭載し受信信号を信号処理することで極めて高い分解能を確保できる合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar: SAR)は、全天候性撮像装置として災害の監視や保安など多くの分野で用いられている。

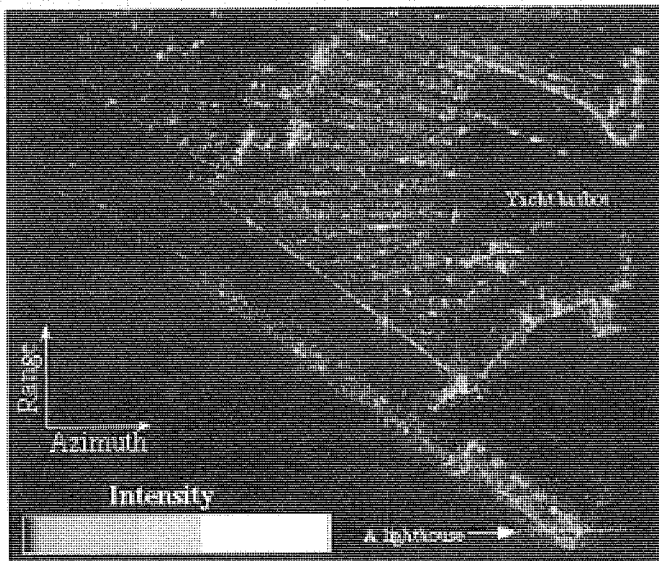
近年のSARは、カメラで例えればレンズ系に相当する画像再生のプロセスをデジタル信号処理で実現している。プラットフォームの動揺はレンズのひずみに相当し、像を劣化させるため、従来のSARは動揺を計測するセンサを搭載して信号処理でひずみを補償していた。

三菱電機では、ヘリコプターのように動揺の大きなプラットフォームから観測した場合であっても分解能約1mの像を再生できることをねらって、動揺センサを必要としない画像再生処理アルゴリズムを開発した。

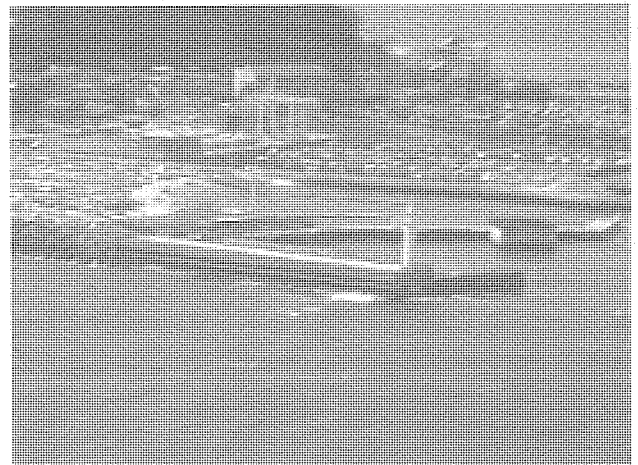
また、従来のSARで船舶や航空機などの移動目標を観測するとその動きによって像の分解能が劣化する問題があったが、上記の技術を応用して信号処理で動きを補償することによって鮮明な像を再生できるアルゴリズムを開発した。

さらに、ステレオ視の原理を用いて立体視する技術を適用することにより、人工衛星や航空機で観測したレーダ画像から三次元デジタル地図を生成するアルゴリズムを開発した。本稿では、これらの技術の最近の成果を紹介する。

航空機搭載レーダによる高分解能画像(神奈川県藤沢市 湘南港)



(a) レーダ画像(分解能1m)



(b) 光学写真

## 三菱高分解能レーダ画像再生方式の特長

- (1) 機体に動揺センサを搭載することなくレーダ画像を得ることが可能である。
- (2) ヘリコプターのような動揺の大きなプラットフォームであっても高分解能レーダ画像が得られる。

## 1. ま え が き

第2次大戦以後急速に発達したレーダ技術は、光学センサと比較してより遠距離を気象条件と時間に制約されることなく観測できる特長を生かして、現在では、防衛のみならず航空管制、気象観測から地下探査まで幅広く応用されている。

レーダの優れた特長の一つは信号の位相を測定する技術が早くから確立されていることであり、これを利用していわゆるドップラー効果を用いて速度計測をしたり距離分解能を向上する技術が生まれた。アンテナ開口径を超える高い角度分解能を実現する合成開口法を利用する画像レーダもその一つであり、現在では、航空機搭載で約1m、衛星搭載で約10mの地上分解能を実現している。

本稿では、合成開口法を用いた画像レーダについて、当社における最近の開発成果を述べる。

## 2. 画像再生アルゴリズム

合成開口法を利用する画像レーダは、航空機や衛星などの移動プラットフォームに搭載されて、地表面や海面などを観測する。観測座標系を図1に示す。送信パルスは、アンテナのビーム幅で決まる広いフットプリント(Foot Print)内の目標に向けて照射される。このレーダでは、距離(Range)の分解能をパルス電波の観測対象までの伝搬時間差を利用して確保している。一方、方位(Azimuth)の分解能は、受信信号の位相変化の時間差を利用して確保している。方位方向の高分解能化の原理を図2に示す。レーダから同じ距離にあって方位の異なる二つの点PとQがあるとき、それぞれの点で反射した信号の位相変化は、図2に示すように、時間軸上でずれた曲線を描く。それぞれの曲線はプラットフォームの軌道と観測点の座標の位置関係によ

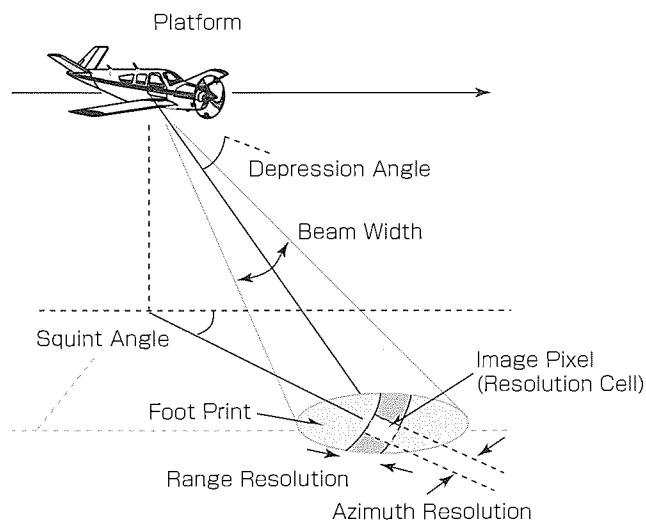


図1. 合成開口レーダの観測座標系

て一意に定まるので、この位相変化と整合した伝達関数を持つマッチドフィルタを構成し、受信信号をこのフィルタで処理することにより、位相変化の時間ずれを高い分解能で弁別することができる。その分解能は一般に位相変化が大きいほど改善されるので、アンテナのビーム幅が広いほど分解能は高くなる。

画像レーダの基本構成を図3に示す。位相補償処理は、気流や操舵によるプラットフォームの望ましくない運動によって受信信号に生じた位相誤差を補償する処理である。位相誤差はマッチドフィルタの性能を低下させてアジマス分解能の劣化を招くため、従来はプラットフォームに搭載した動揺センサの出力を用いて補償していた。しかし動揺センサは高価であるためこれを使用せずに動揺を補償する方式が求められており、今回、受信信号から有害な位相変動成分を除去するアルゴリズムを新たに開発した。

フィールド試験で得られたレーダ画像と、同時に撮影した光学写真を前のページに示す。また、試験装置の主な仕様を表1に示す。プラットフォームの不安定な動揺のため、位相補償をしない場合には、図4に示すように、画像は著しく劣化する。図4と前のページの図を比較することによってこのアルゴリズムの効果を確認できる<sup>(1)(2)</sup>。

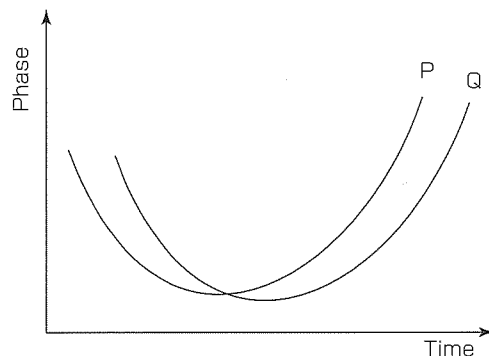


図2. アジマス分解能向上の原理

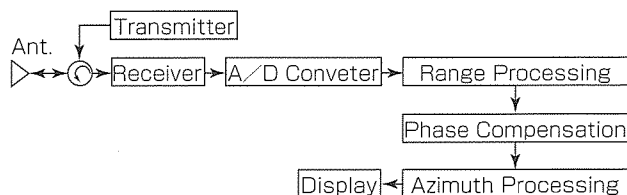


図3. 画像レーダの基本構成

表1. 試験装置の主な仕様

Parameter	Value
Frequency	9,555MHz
Peak Power	1kW
Bandwidth	150MHz
Pulse Width	2μs
Beam Width	10deg
Polarization	HH

### 3. 移動目標の画像再生アルゴリズム

2章で述べた画像レーダでは、アジマス分解能を受信信号の位相変化によって実現しているため、観測中に対象が移動すると位相誤差を生じてアジマス分解能が劣化する。そこで、航行中の船舶や走行中の車両の画像を得るためには、目標の移動量を推定して、これを見込んでマッチドフィルタの伝達関数を決める必要がある。当社では、2章で述べたアルゴリズムを応用し、移動目標のエコーからその移動量を推定して画像再生するアルゴリズムを開発した<sup>(3)</sup>。図5に船舶のレーダ画像の例を示す。この画像も表1の装置を航空機に搭載して観測したもので、分解能約1mの画像が得られてアルゴリズムの有効性を確認できた。

### 4. ステレオ観測による立体視

レーダ画像は距離と方位の二次元のイメージであるが、光学写真と同様にステレオ視によって立体視することが可能である。この技術はSARインタフェロメトリ(Interferometry)

と呼ばれている。電波によるステレオ視は、光学写真によるものと比較して、天候に左右されないことと、処理の自動化が容易であることの二つの特長がある。その原理を図6を用いて説明する。

この図は高度 $H$ で飛行する航空機の両翼に二つのアンテナ $A_{P1}$ 、 $A_{P2}$ を間隔 $B$ で搭載して、標高 $h$ の $P$ 点を観測する場合の位置関係を示したもので、オフナディア角は $\theta$ である。 $A_{P1}$ 、 $A_{P2}$ で受信した信号をそれぞれ独立に処理してレーダ画像を得る。 $A_{P1}$ と $A_{P2}$ から点 $P$ までの距離の差 $\delta$ は、標高 $h$ によって変化し、 $H$ 、 $B$ 、 $\theta$ 、 $h$ によって一意に決まる。この距離の差は2枚のレーダ画像の位相差に現れるので、レーダ画像から $\delta$ を求め、 $h$ を逆算することが可能である。ERS(European Remote Sensing Satellite)衛星搭載レーダで観測した画像から求めた三次元地形図の例を図7に示す。この結果はデジタル三次元地図のデータと標準偏差が約30mの精度で一致しており、衛星軌道から三次元地図を生成できることが分かる<sup>(4)</sup>。

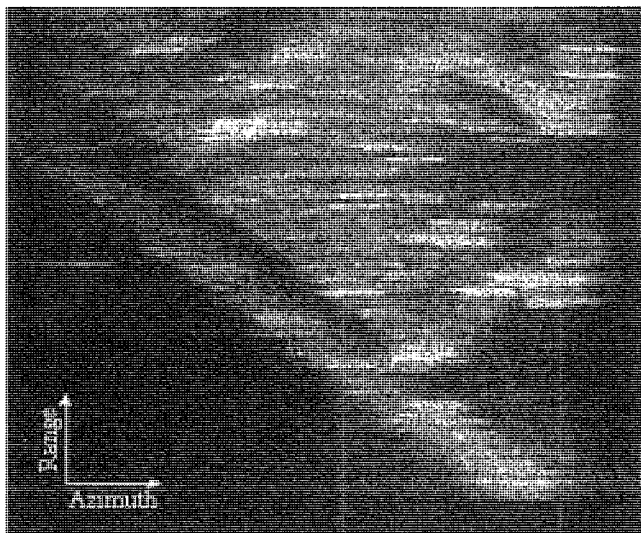


図4. 位相補償をしない場合のレーダ画像

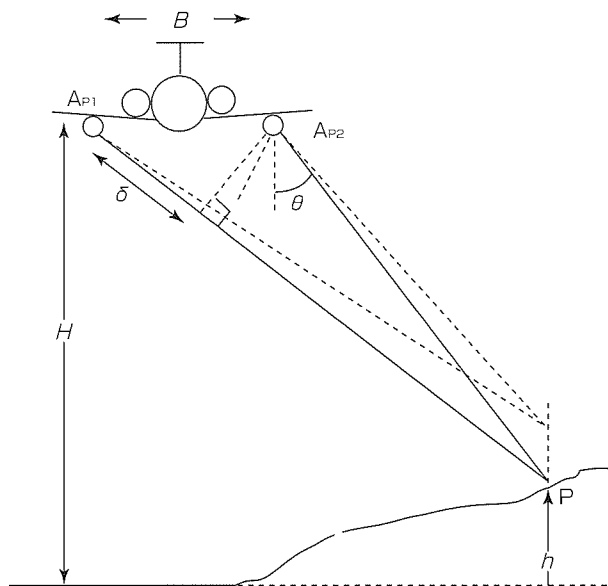
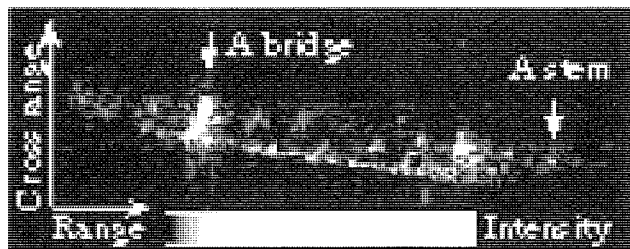
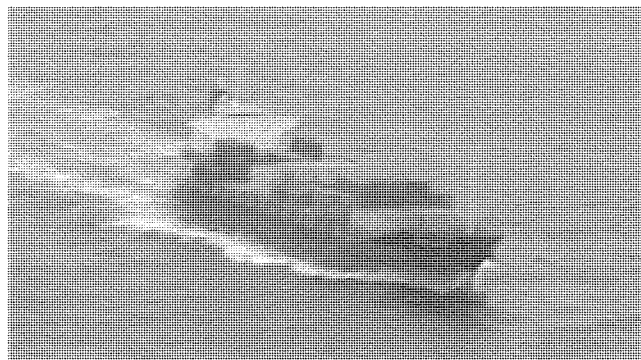


図6. ステレオ観測の座標系

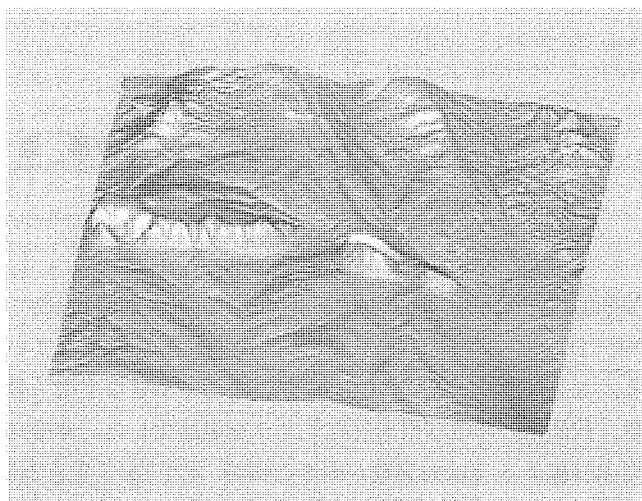


(a) レーダ画像

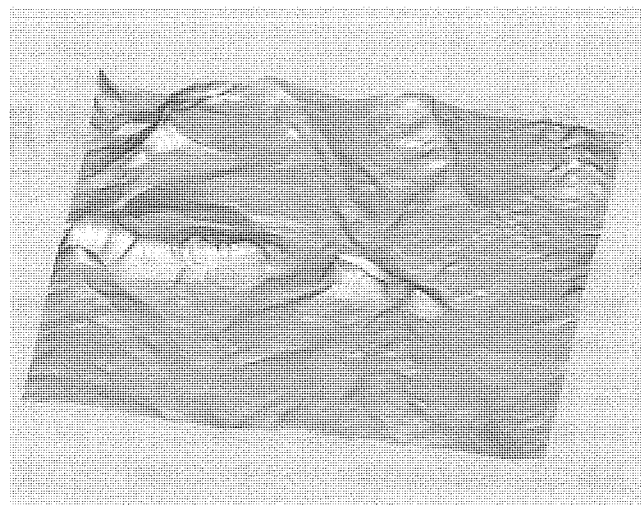


(b) 光学写真

図5. 移動目標の画像



(a) レーダ観測による地形図



(b) デジタル地図のデータ(Data courtesy of USGS)

図7. ステレオ観測による三次元地形図の例

## 5. む す び

合成開口法を使用する当社の画像レーダの最近の成果として、動揺センサを必要としない合成開口レーダ、ステレオ観測による立体視と移動目標の画像再生技術について紹介した。

レーダによるリモートセンシングは、時間と天候に左右されにくいいため、災害の監視や保安に適している。しかし、光学写真と比較して分解能が粗く、また普段見なれた光学写真と印象が異なるため、実用化に際しては自動識別などのアルゴリズム開発が重要である。今後は、画像再生技術と並行して画像利用技術とその自動化を進めていく予定である。

## 参 考 文 献

- (1) 江馬浩一, 中野陽介, 佐藤千晶, 原 芳久, 斎藤 淳, 山本 馨, 近藤夏樹: 航空機搭載SARの開発, 信学ソ大, B-2-10 (1997)
- (2) 山本和彦, 岩本雅史, 桐本哲郎, 坂爪俊之, 志村誠一: レンジ・ドップラー画像再生のための位相補償方式, 信学技報, SANE98-107 (1999)
- (3) Yamamoto, K., Iwamoto, M., Fujisaka, T.: A Motion Estimation Method for ISAR Imaging using Two Dimensional Fourier Transform, ISNIC-98, 257~262 (1998)
- (4) Iwamoto, M., Fujisaka, T., Satoh, C., Kawabata, K., Hara, Y.: Evaluation of Elevation derived from Interferometric SAR Data with DEM, IGARSS'97, 966~968 (1997)

# 赤外線カメラとその応用

高橋 進\*

## 要 旨

物体が放射する赤外線を検出する赤外線カメラは、夜間でも照明なしで撮像が可能であることから暗視装置として、また、物体の放射する赤外線量が温度に応じて変化することから温度計測装置として使用されてきた。

本稿では、最新の赤外線カメラとその応用例について紹介する。

初期の赤外線カメラは単一素子の視線方向を走査鏡で垂直及び水平方向に機械的に走査することによって画像を得ていたが、三菱電機では、機械走査が不要な二次元アレーセンサを使用した赤外線カメラをいち早く製品化した。

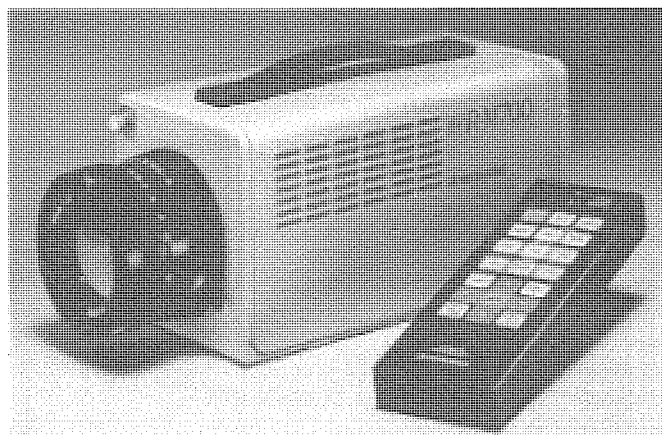
現在は、センサを冷却して使用する冷却型の赤外線カメラで、画素数が約41万画素(水平801×垂直512画素)、雑音

等価温度差(Noise Equivalent Temperature Difference : NETD)が0.08℃以下という優れた撮像性能を実現している。さらに、1998年には、センサの冷却が不要な小型・軽量、低価格の非冷却型赤外線カメラを製品化した。非冷却型赤外線カメラは画素数が約8万画素(水平320×垂直240画素)でNETDが0.2℃以下であるが、容積が約0.8リットル、質量が約700gと非常に軽量かつコンパクトサイズである。そのため、非冷却型赤外線カメラは、設置場所を選ばず、幅広い用途に使用可能である。

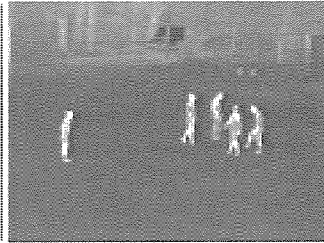
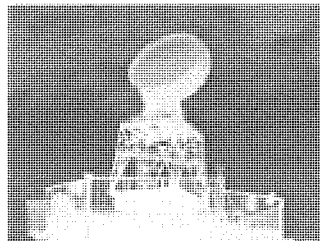
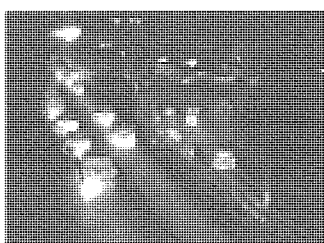
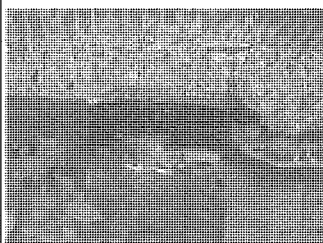
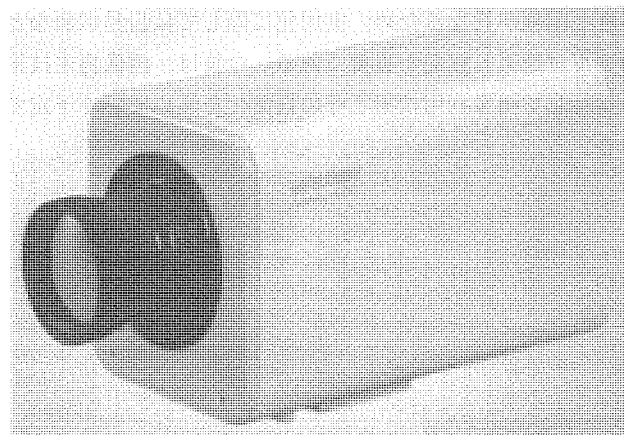
小型・軽量、低価格の非冷却型赤外線カメラの実用化により、今後の大幅な市場拡大が期待される。

## 赤外線カメラと夜間の撮像例

サーマルイメージャ“IR-M700”



サーマルイメージャ“IR-U300M1”



## 赤外線カメラ

サーマルイメージャ“IR-M700”は、約41万画素の冷却型赤外線カメラで、世界トップレベルの感度及び解像度を実現している。サーマルイメージャ“IR-U300M1”は、約8万画素の非冷却型赤外線カメラで、冷却型に比べて小型・軽量、低価格という特長がある。



## 1. ま え が き

赤外線カメラは、物体の放射する赤外線を検出して映像信号として出力するもので、可視のカメラにはない特長がある。初期の赤外線カメラは、単素子の視線方向を走査鏡で機械的に走査することによって画像を得ていたが、解像度及びフレームレートが可視のTVカメラに比べて劣っていた。しかし、二次元アレーセンサを使用した赤外線カメラの実用化により、解像度及びフレームレートも可視のTVカメラ並みとなり、監視用途を始めとして多方面で応用されるようになった。さらに、近年、冷却が不要な非冷却センサを使用した小型・軽量、低価格の赤外線カメラが実用化されたことにより、今後は、より一層広範な分野での応用が期待されている。

本稿では、赤外線カメラの概要を説明するとともに、その応用例について紹介する。

## 2. 赤外線カメラの概要

### 2.1 赤外線の特徴

赤外線は、電磁波の一種であり、波長が可視光よりも長く、ミリ波よりも短い領域の電磁波である。あらゆる物体は電磁波を放射しており、放射率が100%である黒体の分光放射発散度はプランクの法則として与えられる。図1は、温度をパラメータとした黒体の分光放射発散度をグラフにしたものである。放射発散度は絶対温度の4乗に比例して増加し、温度が高くなるに従って分光放射発散度が最大となる波長は短波長側に移行する。常温付近の300K黒体の分光放射発散度は波長が10 $\mu$ m付近で最大となる。

2~20 $\mu$ mの波長帯の大気透過率例を図2に示す。図は夏の距離500mでの大気透過率計算例であるが、3~5 $\mu$ m帯と8~13 $\mu$ m帯の大気減衰が小さく良好な透過特性を示す。この両波長帯は“大気の窓”と呼ばれ、通常の赤外線カメラはこの両波長帯のいずれかに感度を持つように設計さ

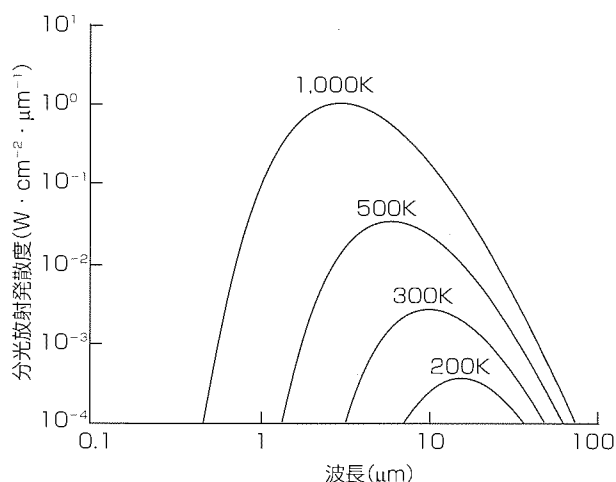


図1. 黒体の分光放射発散度

れる。

### 2.2 赤外線センサ

赤外線センサは量子型センサと熱型センサの二つに大別されるが、量子型センサは冷却が必要なことから冷却型センサと呼ばれ、熱型センサは冷却が不要なことから非冷却型センサとも呼ばれる。

#### (1) 量子型センサ

赤外線を光子(フォトン)としてとらえ、光電変換によって発生するキャリアを検出するもので、波長選択性がある。中・長波長の赤外線を検出するセンサは、液体窒素温度付近に冷却して使用する必要がある。

現在、41万画素のセンサが実用化されているほか、100万画素のセンサも開発済みである<sup>(1)(2)</sup>。

#### (2) 熱型センサ

赤外線を電磁波エネルギーとしてとらえ、エネルギー変化を温度変化に変換して検出するもので、感度は波長によらず一定である。従来は温度センサとして使用されていたが、近年、マイクロマシニング技術の発達によって二次元アレーの赤外線画像センサとして使用されるようになった。

現在、8万画素のセンサが実用化されている<sup>(3)</sup>。

### 2.3 赤外線カメラの構成

図3に赤外線カメラの構成を示す。冷却型と非冷却型の

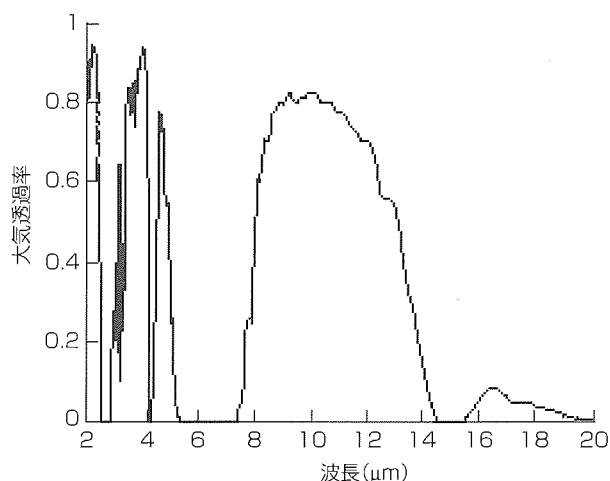


図2. 大気透過率例

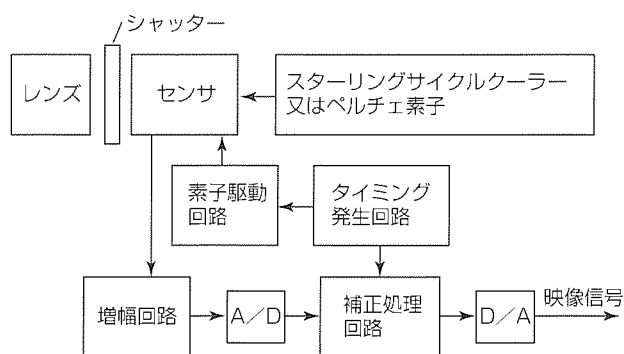


図3. 赤外線カメラの構成

赤外線カメラで異なるのは、冷却型がセンサの冷却にスターリングサイクルクーラーを使用しているのに対して、非冷却型はセンサを一定温度に保つために小型のペルチェ素子を使用していることである。熱型センサは、冷却の必要はないものの、基板温度の変動がセンサの温度変動をもたらすので、基板温度を一定に保つ必要がある。

そのほかに、赤外線カメラ特有の構成品としてシャッター及び補正処理回路がある。赤外線センサは、画素間の感度及びバイアスレベルのばらつきが大きいので、電気的にそれらを補正する必要がある。補正処理としては、外部を撮像しているときの信号からシャッターを閉じたときの信号を減算するオフセット補正処理と、感度のばらつきを乗算によって補正する感度補正処理とを行う。

## 2.4 赤外線カメラの性能

表1に冷却型と非冷却型の赤外線カメラの主要性能諸元を示す。

### (1) 冷却型赤外線カメラ

IR-M700は次の特長がある。

- 高級可視CCDカメラ並みの41万画素の高解像度
- NETDが0.08K以下というリアルタイム撮像カメラとしては非常に高感度
- 冷却器としてスターリングサイクルクーラーを使用しており、液体窒素が不要で、かつ4,000時間以上の長寿命
- 遠距離の被写体を撮像する場合のような高感度・高解像度が要求される用途に使用される。

### (2) 非冷却型赤外線カメラ

IR-U300M1は次の特長がある。

- 700g, 0.8リットルの軽量, コンパクトサイズ
- メンテナンスフリー
- 7Wの低消費電力

小型・軽量, 低価格の赤外線カメラで, 比較的近距离の撮像を主とする幅広い用途に使用可能である。

## 3. 赤外線カメラの応用

表1. 赤外線カメラの主要性能諸元

項目	IR-M700	IR-U300M1
センサ方式	冷却型	非冷却型
検出波長帯	3~5μm	8~12μm
画素数	801×512	320×240
NETD	0.08℃以下	0.2℃以下
冷却器	スターリングサイクルクーラー	—
視野角	約14°×約11° (50mmレンズ使用時)	約29°×約22° (25mmレンズ使用時)
電源入力	DC18~30V, 約45W	DC5~7V, 約7W
寸法	128×250×131 (mm)	79×136×82 (mm)
質量	約5kg	約0.7kg

赤外線カメラは、可視のTVカメラと比較して以下の特長がある。

### (1) 昼夜使用可能

赤外線カメラは物体の放射する赤外線を検出するので、照明が不要であり、昼夜を問わず使用可能である。

### (2) 発熱物体の検出が容易

物体の赤外線放射量は温度が高いほど多いので、赤外線カメラを使用すれば、人間や動物、又は異常発熱や火災の検出が容易である。

### (3) 煙、霧、もやの中でも使用可能

赤外線は可視光に比べて波長が長いので、煙、霧、もやの中でも比較的良く透過する。したがって、これらの条件下でも性能低下が小さい。

赤外線カメラは、以上の特長によって様々な分野で応用されている。表2に代表的な応用分野と用途例を示す。

図4は赤外線カメラを使用した大型の体育館やドーム型球場などの大空間建築物の火災検知システムの構成例である<sup>(4)</sup>。監視領域をカバーするように複数の赤外線カメラを配置し、赤外線カメラの画像から画像処理装置が自動的に炎を切り出し、火点位置を算出して警報を出すシステムである。画像処理装置では検出すべき火点の大きさが設定されているので、タバコやライターの火で誤動作することはない。

このように、赤外線カメラを火災検知に使用することにより、広範囲の火災の早期発見が可能であるとともに、火点位置の特定も可能となる。

さらに、このシステムは、赤外線カメラの映像を空調設備の制御や防犯にも活用できる。換気や冷暖房設備の適切な運転に必要な入場者の数や分布などの情報が得られるほか、夜間消灯後も侵入者を検知できるので防犯にも活用できる。

## 4. む す び

赤外線カメラは可視のカメラにはない特長によって広範囲な分野に使用されてきたが、従来の赤外線カメラは、セン

表2. 赤外線カメラの応用例

応用分野	用途例
工業分野	設備の異常発熱監視
	焼却炉の燃焼制御
	IC等の不良箇所検出
セキュリティ分野	火災検知
	侵入者検知
	夜間/煙中の人命救助
	火山活動監視
交通分野	交通流監視
	トンネル内火災監視
	船舶・車両の夜間前方安全確認

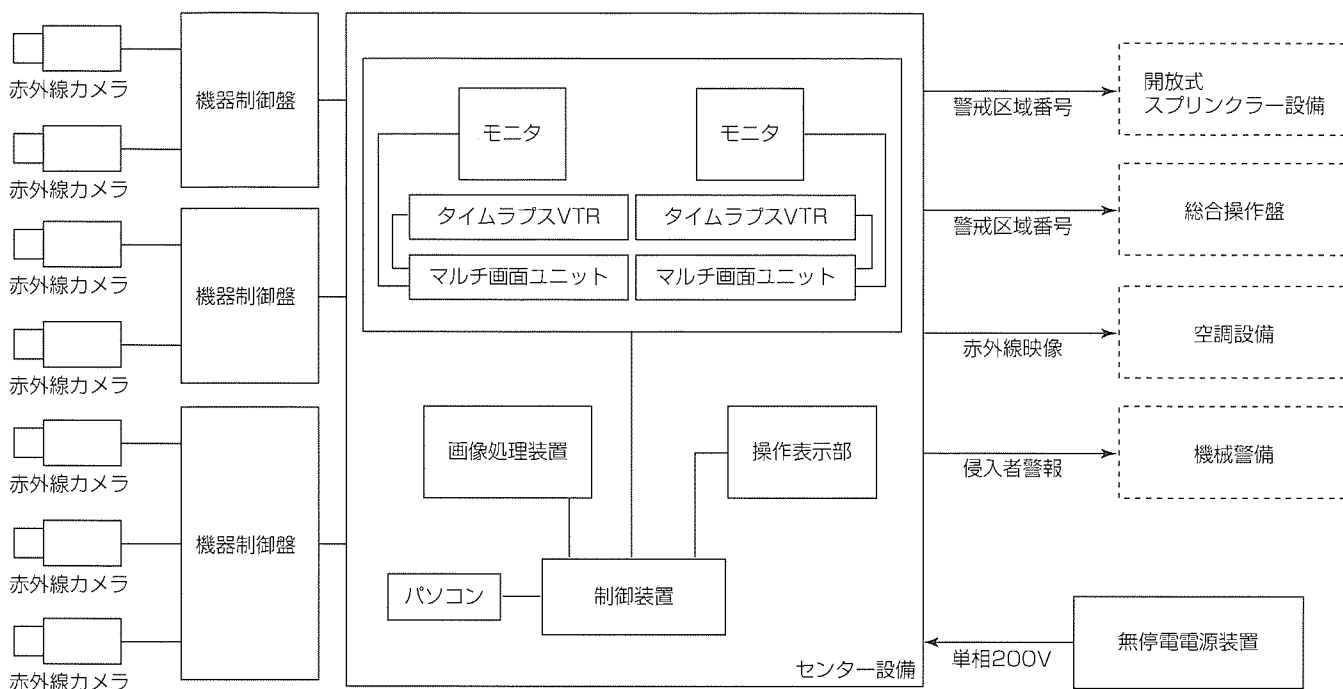


図4. 赤外線カメラを使用した火災検知システム

サを冷却するための冷却器が必要であり、小型化・低価格化が難しかった。しかし、CCDカメラのように手軽に使用できる小型・低価格の非冷却型赤外線カメラの登場により、一層の市場拡大が期待できるようになった。

参考文献

(1) Inoue, M., Seto, T., Takahashi, S., Itoh, S., Yagi, H., Shiraishi, T., Endo, K., Kimata, M.: Portable High Performance Camera with 801×512 PtSi-SB IRCSD, Proc.SPIE, **3061**, 150~158 (1997)

(2) 油谷直毅, 八木宏文, 木股雅章, 中西淳治, 永吉晋輔, 坪内夏朗: 100万画素赤外線イメージセンサ, テレビジョン学会技術報告, **16**, No.18, 19~24 (1992)

(3) 高橋 進, 瀬戸俊樹, 岩田和夫, 伊東 尚, 上野雅史, 曾根孝典: 8万画素非冷却赤外線カメラ, 日本赤外線学会研究会資料, IR-99-5 (1999)

(4) 遠藤泰介, 芹沢一彦, 田村智只: 火災検知システム, 建築と社会, No.2, 83 (1997)

# 宇宙用観測EOセンサ

森本幸博\*  
玉川恭久\*\*  
鈴木浩志\*

## 要旨

宇宙用観測EO(Electro-Optics)センサを大別すると、衛星に搭載して地球を見る地球観測センサと、地上から宇宙や天体を観測する望遠鏡及びその周辺観測センサに分けることができる。

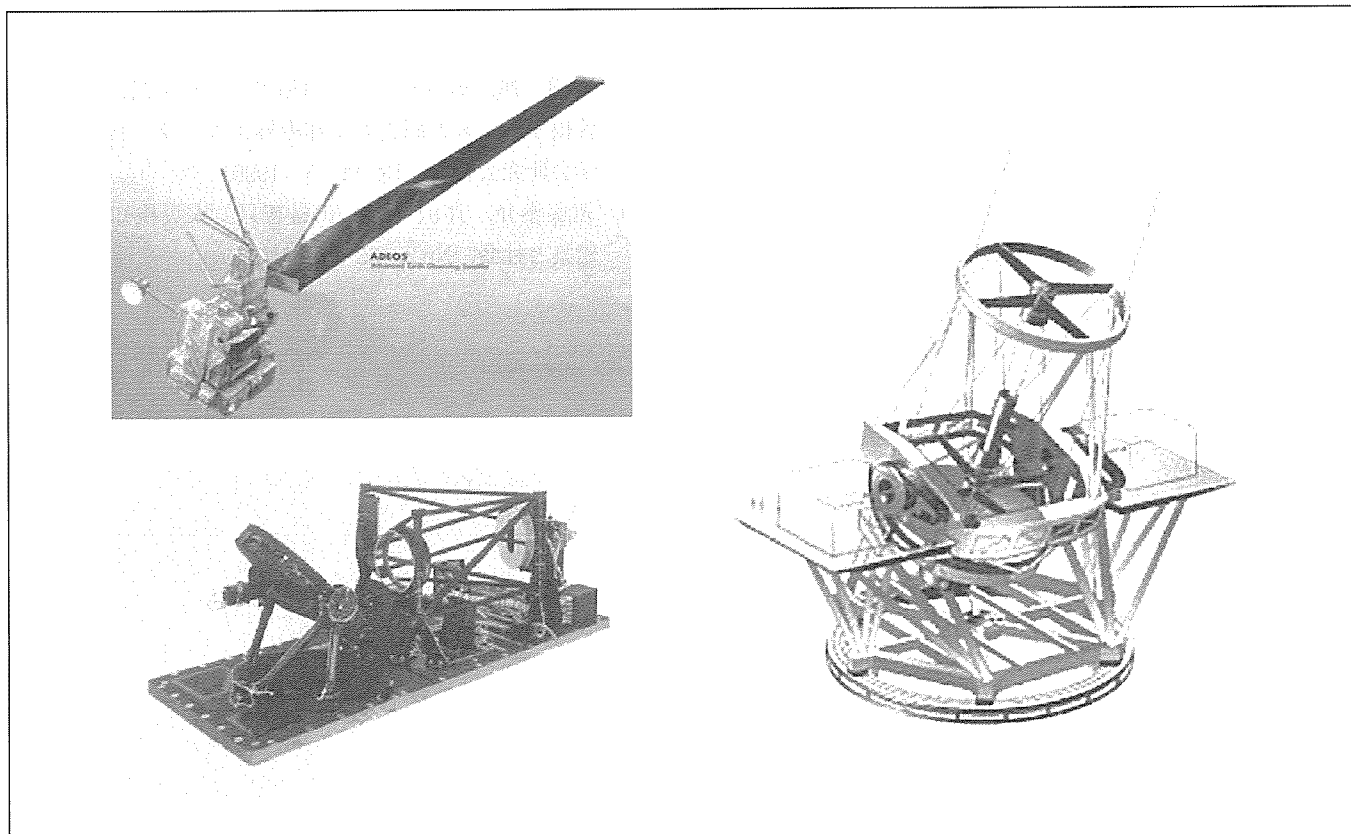
地球観測センサは、電磁波を媒体に物質固有の放射・吸収・散乱特性を利用して観測に必要な情報を抽出し処理する装置である。電磁波のうち、波長0.3~14 $\mu$ mの紫外線から熱赤外線を利用するセンサを光学センサと呼んでいる。

三菱電機は、“地球資源衛星1号(JERS-1)”“地球観測プラットフォーム技術衛星(ADEOS)”“環境観測技術衛星(ADEOS-II)”等の開発に携わっており、この衛星開発で培ったシステム技術に加え、従来から開発してきた地上用

光学センサ技術をベースとし、各種衛星搭載光学センサの開発を進めている。

人類にとって、宇宙は、より遠くを見たい、より多くのことを知りたいという夢とロマンの対象であった。そのためのツールとして望遠鏡が約400年にわたって脈々と開発されてきた。そして、現在のエレクトロニクスなど最新の技術と融合して、ハワイ島マウナケア山頂に建設された“大型光学赤外線望遠鏡(すばる)”に結実された。

当社が国立天文台から受注して建設するとともに、直径8.2mの主鏡を持つ本体のみならず、鏡面検査装置を始めとする各種周辺光学装置の開発を行った。



## ADEOS搭載高性能可視近赤外放射計(AVNIR)及び“すばる”

ADEOSは、1996年8月に打ち上げられた地球観測衛星で、コアセンサとして地表分解能8mのAVNIRを搭載していた。すばるは、'98年のハワイ島マウナケア山頂に建設され、エンジニアリングファーストライトで0.2秒角台の世界最高レベルの観測精度を得た。

## 1. ま え が き

当社が開発を担当した衛星搭載光学センサ及び建設した大型光学赤外線望遠鏡“すばる”を中心に、宇宙用観測EOセンサとその技術を紹介する。

## 2. 衛星搭載光学センサ

### 2.1 衛星搭載光学センサの動向

衛星からのリモートセンシングは、地球全体を短期的に観測できることから、地球環境の解明や大規模災害の監視などの有効手段である。

リモートセンシングは、1950年代後半に、偵察や攻撃の早期警戒のための軍事利用として始まった。民間利用としては、気象衛星と地球観測衛星がある。

気象衛星としては、日本の“ひまわり”のような静止軌道衛星と米国のノア(NOAA)のような周回軌道衛星がある。

一方、地球観測衛星は、一般に周回軌道衛星に多様なセンサを搭載して、農業・林業・漁業のデータ取得、地質や鉱物資源の探査、水資源の調査、環境監視、地図作成など広い利用分野を持っている。'72年に打ち上げられた米国のLANDSATによってその有効性が認められ、その後、いろいろな高性能センサの開発により、更なる適用範囲が広がってきている。

日本では、'87年に海洋観測衛星1号(MOS-1)を、'92年に地球資源衛星1号(JERS-1)を、'96年に地球観測プラットフォーム技術衛星(ADEOS)を打ち上げ、さらに、2000年には環境観測技術衛星(ADEOS-II)、また2002年には陸域観測技術衛星(ALOS)の打ち上げが予定されており、本格的な地球観測時代に入った。

### 2.2 光学センサの搭載例

#### 2.2.1 JERS-1搭載短波長赤外線放射計検出部

JERS-1は、通商産業省から研究開発の依頼を受けた財資源探査用観測システム研究開発機構(JAROS)及び宇宙開発事業団(NASDA)の共同開発プロジェクトで、当社が衛星本体の開発を担当した。観測センサとしては、合成開口レーダ(SAR)及び光学センサ(OPS)を搭載して、資源探査、農林、漁業、環境保全、防災等に資する地球観測を行うことを目的に、'92年2月に打ち上げられた。

OPSは、可視近赤外放射計と短波長赤外放射計で構成され、共に地表分解能は約18m×24mである。当社は、短波長赤外放射計の検出器部を受注し、PtSi-SiショットキーCCDにより、4,096画素4バンドの高集積赤外線検出器を実現している<sup>(1)</sup>。

#### 2.2.2 ADEOS搭載高性能可視近赤外放射計

ADEOSは、NASDAが開発した地球観測衛星で、陸域・沿岸域を高い分解能で観測する高性能可視近赤外放射計(AVNIR)及び海域を高精度で観測する海色海温走査放

射計(OCTS)の2種類のコアセンサと6種類の公募センサを搭載して、'96年8月に打ち上げられた。海洋気象、大気中のオゾン、温室効果ガス等の観測に威力を発揮した。当社は、ADEOSシステム及び主要サブシステムとともにAVNIRを受注した。

AVNIRは、地表分解能が白黒のパンクロマチックバンドで8m、カラーのマルチバンドで16mという世界的にも高い水準の空間分解能を持っている<sup>(2)</sup>。

#### 2.2.3 EOS-AM1短波長赤外線放射計

EOS-AM1は、米国NASAが2002年に打ち上げを予定している地球観測衛星(EOS)シリーズの1号機である。日本では、JAROSが資源探査用将来型センサ(ASTER)の開発によって参加している。ASTERは、可視近赤外、短波長赤外域、熱赤外域の三つのセンサで構成され<sup>(3)</sup>、当社は短波長赤外域放射計を担当している。

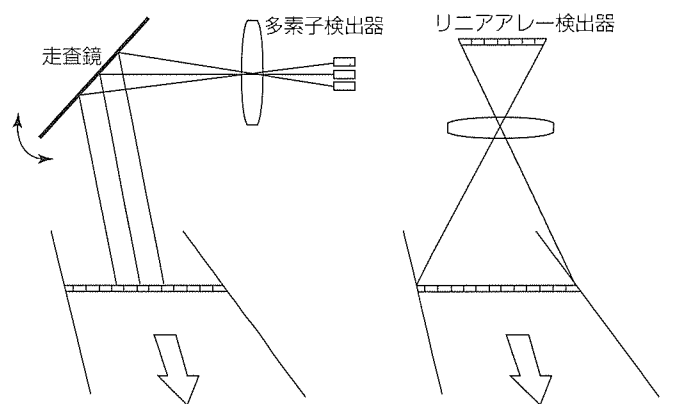
PtSi-SiショットキーCCDを用い、6本のストライプ状面張付型狭帯域フィルタによって、短波長域(1.63~2.43μm)を6バンド化する。

### 2.3 光学センサの技術

#### 2.3.1 走査方式

地球観測用光学センサとして広く利用されている画像型のイメージセンサである。イメージセンサは画像を得るために何らかの走査が必要であり、輝度分解能・波長分解能・地表分解能等のシステム性能が走査方式に大きく依存する。周回衛星では衛星の軌道方向の進行によって一次元の走査が行われる。それに直交する方向の走査は、図1に示すように、走査鏡を振動又は回転させ機械的に走査するウィスクブルーム走査方式とリニアアレーなどの固体撮像素子によって像面を電子的に走査するプッシュブルーム走査方式がある。

プッシュブルーム走査方式は、CCDなどのリニアアレー検出器の進歩もあり、機械的作動部がなく、信頼性が高いため、衛星搭載用光学センサの主流になっている。



(a) ウィスクブルーム走査方式 (b) プッシュブルーム走査方式

図1. 走査方式

### 2.3.2 集光系

集光系は、観測対象からの光エネルギーを集光し、結像させるものである。光学センサの地表分解能は、前述のように高度化の傾向にある。このような高分解能化に対応する集光系としては比較的広い画角もとれ口径も比較的大きくできる反射屈折光学系があり、AVNIRにも採用されており、今後広く使われるものと考えられる。

### 2.3.3 分光系

分光系は、集光系で結像された地表面の像に対してその分光放射量を求めるためスペクトル分散させるものである。バンドパスフィルタ、ダイクロイックミラー、プリズム、回折格子などが用いられる。

バンドパスフィルタやダイクロイックミラーは、高い波長分解能を得ることはできないが、構成を簡単にすることができることから、広く採用されてきた。波長分解能の高度化や波長域の広帯域化に対応するためには、プリズムや回折格子のような分散素子が必要となってくる。ただし、分散素子への入射光が平行光でなければならず、複雑な構成とならざるを得ない。更なる波長分解能の高度化に対しては、フーリエ分光画像法の採用が提案されている<sup>(4)</sup>。

### 2.3.4 検出器校正系

校正は、センサの出力と放射輝度とを関係付けるもので、その重要度はますます高まってきている<sup>(5)</sup>。校正には、打ち上げ前の地上校正と打ち上げ後に搭載校正系によって行う軌道上校正がある。

地上校正は、標準電球や定点黒体炉などの一次標準から中継された大型積分球や大面積の黒体光源を常用標準放射源として用いて行われる。

軌道上校正は、打ち上げ後の光学系の透過率や検出器の感度の劣化によってセンサの特性が変化するために、周期的にセンサの感度とオフセットを補正するものである。積分球方式、フライアイ方式、拡散板方式など種々の方式があるが、一長一短があり、優劣を付けにくい。AVNIRでは、フライアイ方式が採用された<sup>(6)</sup>。

## 3. 大型光学赤外線望遠鏡“すばる”

### 3.1 概要

すばるは、ハワイ島のマウナケア山頂に建設され、直径8.2mの開口径を持ち、波長0.3 $\mu$ mの紫外線から可視光、更に30 $\mu$ mまでの赤外線の広い波長範囲で観測できる大型光学赤外線望遠鏡である<sup>(7)</sup>。当社が国立天文台から受注して建設し、'98年12月にエンジニアリングファーストライトを受光した。その後の調整で、地上望遠鏡としては世界最高である0.2秒角台の観測精度が得られた。これはハッブル望遠鏡に匹敵するものであり、東京から富士山頂にあるソフトボールを見分けられる能力である。ここでは、すばるを実現した技術のうち当社がかかわったキー技術を中心に

を紹介する。

### 3.2 主鏡研磨試験装置

主鏡は、世界最大級の有効口径8.2mで、曲率半径30mの1枚鏡である。

天体望遠鏡の主鏡には熱膨脹係数が極めて小さい光学ガラスが必要であり、すばるの主鏡には、膨脹係数が1億分の1程度であるULE(超低膨脹ガラス)が採用されている。

鏡面の研磨時に行われた検査は、最終的には可視レーザー干渉計によって行われた。主鏡の曲率中心からレーザー光を広げて鏡面に照射し、その反射光を曲率中心で受けるというものである。主鏡は双曲面をしており、球面との差の分を補正するヌルレンズを曲率中心の手前に置く必要がある。このヌルレンズが原器となるため製造誤差解析など慎重な検討を行った。

### 3.3 鏡面検査装置

天体を追尾するとき望遠鏡の姿勢が変化するため、鏡の支持機構にかかる鏡の自重分布は時々刻々変化する。自重変形を回避するため、通常鏡の厚さは直径の1/6が必要とされる。しかし、すばるの主鏡の場合、軽量化を図るため直径の1/41のわずか20cmの厚さしか許容されないで、鏡の形状を常に計測し、能動的に補正する能動光学システムが採用されている<sup>(7)</sup>。

鏡の形状を計測する鏡面検査装置には、図2に示すようなシャックハルトマン型波面センサが採用されている。コリメータレンズとレンズアレーで主鏡を光学的に百数十個に分割する。星を撮影するとCCDの置かれた焦点面には百数十個の独立した星像が得られる。主鏡が光学的に理想面になっていると星像が基盤の目のように整列するが、星像に乱れがあるとその方向と変位量から主鏡の対応する部分の局所傾斜の誤差が求まる。計測された傾斜誤差は、望遠鏡制御計算機で261本の主鏡支持機構の各支持力に変換された後、支持機構制御部に送られ、鏡面の補正に使用される。

### 3.4 周辺光学系

主鏡/鏡面検査装置のほかに、望遠鏡光学系としては、主鏡と組み合わせる観測焦点を形作る副鏡や主焦点補正光学系のほか、観測焦点面付近に設置されて観測の補助的な役割を担う周辺光学系と呼ばれる、大気分散補正光学系、天体追尾装置、観測装置用校正光源などがある。

主鏡のみによって集光される主焦点のほかにカセグレン焦点とナスミス焦点を得るために、直径約1.3mの双曲凸面鏡の副鏡がある。その研磨試験には、主鏡と同様可視レーザー干渉計によって行われるが、ヒンドルレンズと呼ばれる特殊なヌルレンズが用いられた。

主焦点補正光学系は、リッチクレティアン系に最適化された双曲面である主鏡で、広い視野にわたって収差のない平坦(坦)な像面を得るための収差補正レンズで

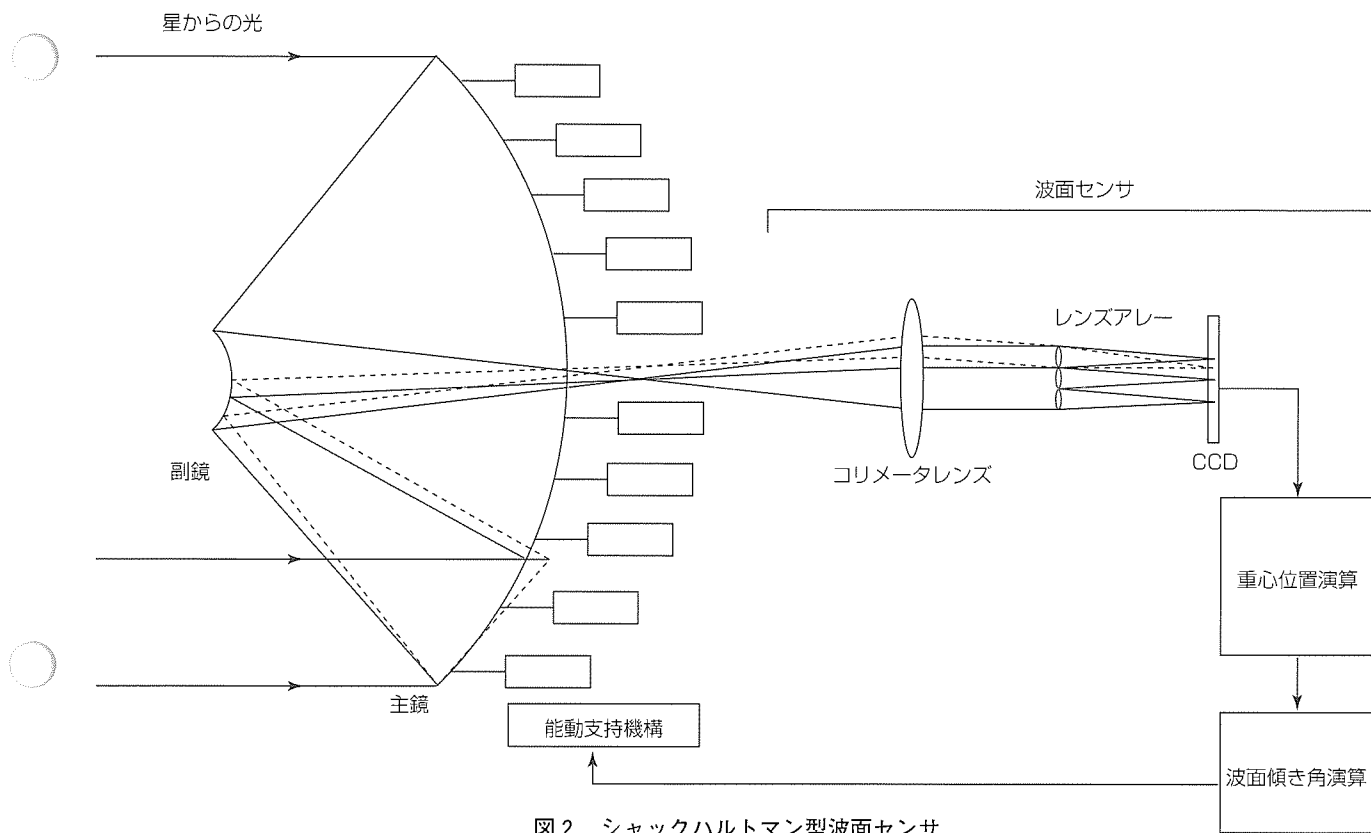


図2. シャックハルトマン型波面センサ

ある。

大気分散補正光学系は、大気の屈折率が波長依存性を持つため、天体の像が色付いてしまうのを補正するものである。

天体追尾装置は、観測視野の端に位置する星を基にすばるを所要の星の方向にガイドするためのものである。焦点面の星像を1/3倍のリレーレンズでCCD面に結像させている。CCD検出器面上の星像の動きから追尾誤差が検出され、望遠鏡架台制御の微調整に使用される。14等星クラスの星で、0.1秒程度の高速度応答で、0.02秒角の追尾誤差検出精度を実現している。

観測装置用校正光源は、観測装置の感度校正を行うためのものである。照度が均一な積分球の開口を投影することで、5%以下の均一性で検出器全面を照明する。広い波長範囲で使用するため、CaF<sub>2</sub>製レンズのみで光学系を構成した。

#### 4. む す び

地上から宇宙を、また宇宙から地球を観測する宇宙用観測EOセンサとして、当社が開発を担当した衛星搭載光学センサ、及び当社が建設した大型光学赤外線望遠鏡“すばる”を中心に述べた。これらは、従来から開発してきた光学系設計技術、分光技術、検出器技術をベースとする地上EOセンサ技術と宇宙関連装置の開発で養われた宇宙システム技術が融合して実現されたものである。

今後、宇宙に限らずEOセンサ技術のブラッシュアップを行い、さらに、高度化する宇宙用EOセンサの開発に対応していく所存である。

#### 参 考 文 献

- (1) 岩橋 勉, 上杉利明, 門脇 隆: リモートセンシングシステム, 三菱電機技報, **68**, No.7, 604~609 (1994)
- (2) 表野正樹, 井村信義, 江角 清, 笠波孝幸: 地球観測衛星, 三菱電機技報, **68**, No.7, 598~603 (1994)
- (3) 藤定広幸, 小野 晃: Overview of ASTER Design Concept, SPIE, 1490-27 (1991)
- (4) 吉森 久: IMG放射輝度と空間コヒーレンスの関係に基づいた画像型干渉分光放射計, 日本リモートセンシング学会誌, **17**, No.5, 202~206 (1997)
- (5) Slater, P.N.: Radiometer Consideration in Remote Sensing, Proc. IEEE, **73**, No.6, 997 (1985)
- (6) 宮地雄二, 丹下義夫, 井上浩一, 松下 匡, 鈴木浩志, 若林 諭, 田治米徹: AVNIR用太陽光校正系の予備的評価, 第35回宇宙科学技術連合講演会 (1991)
- (7) 家 正則, 関口和寛, 大坪政司, 高見英樹, 山下卓也: 特集・天体望遠鏡と光学技術, 光技術コンタクト, **36**, No.1, 5~41 (1998)
- (8) 佐々木俊由紀, 家 正則: 大型望遠鏡すばるにおける計測と制御, 計測と制御, **37**, No.12, 822~827 (1998)



# 携帯端末における撮像センサを用いた 画像入出力装置

井上禎之\* 大深輝孝\*\*\*  
植田信夫\* 麻生陽平\*\*\*  
的場成浩\*\*

## 要 旨

携帯電話は、その普及とユーザーニーズから、従来の通話だけのツールとしてではなく、携帯型マルチメディアツールとしてとらえられるようになってきている。すなわち、音声だけではなく、文字や画像又はパソコンデータなども扱えることが今後の携帯電話の必ず(須)機能となることを暗示している。

このような市場ニーズにこたえるために、三菱電機独自の撮像デバイスである人工網膜LSIを用い、携帯電話とデジタルスチールカメラの機能を融合し、無線で実写画像を送送できる新たな画像入力装置の開発を行った。

今回開発を行った携帯電話向け人工網膜LSI応用画像入出力装置の特長と機能は次のとおりである。

(1) 人工網膜LSIからの映像信号を符号化することにより、

1 フレーム当たりのデータ量を10メッセージ以下(1,230バイト以下)に圧縮する。

(2) 高圧縮率と高品質の白黒画像を実現するために独自の符号化方式を用いた。

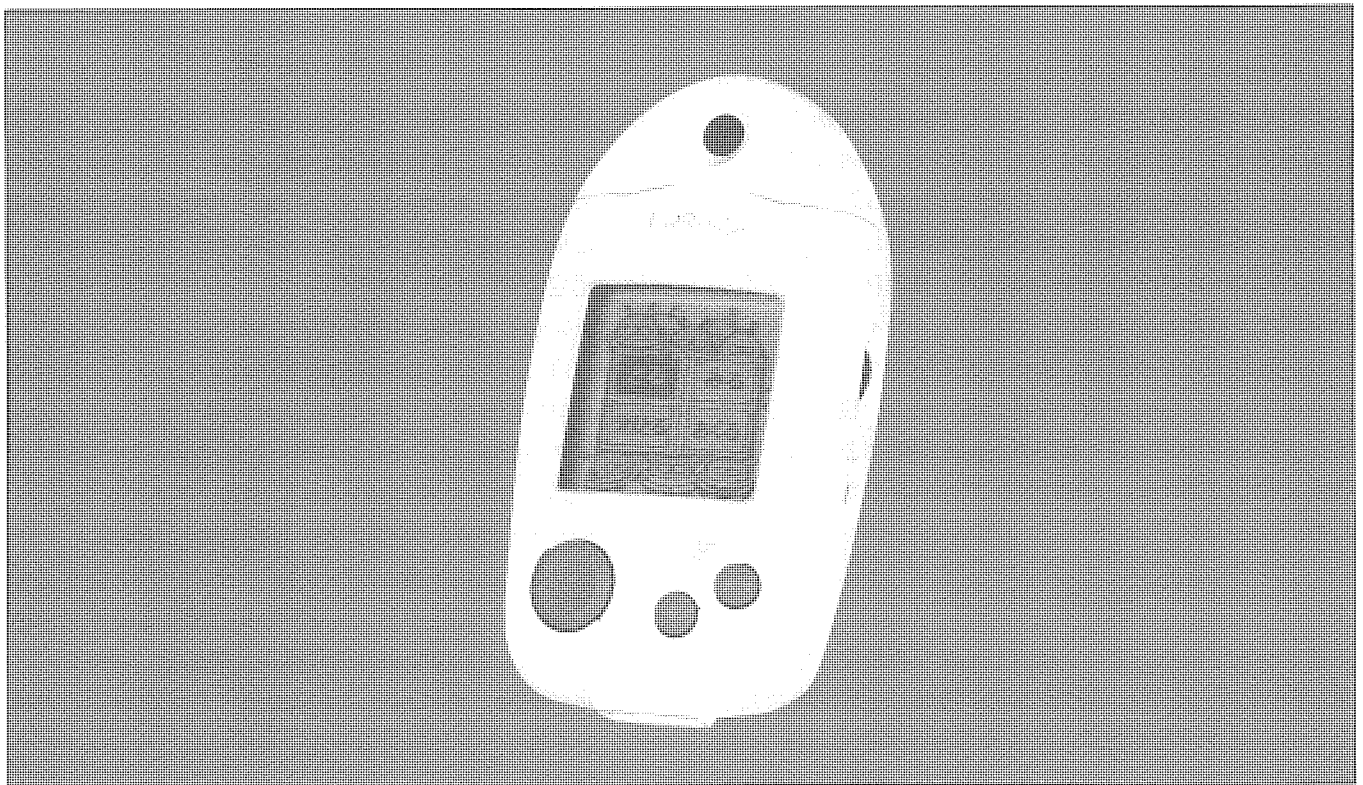
(3) 撮像センサ装置からの画像データを携帯電話に伝送するために独自のプロトコルを用いた。

(4) 携帯電話本体とは別体で、16心インタフェースを用いて接続される。

(5) 画像の表示/伝送は白黒16階調又は2階調で行う。

(6) 人工網膜LSIの画像処理機能を使い、様々な遊び機能を搭載している。

(7) 乾電池駆動が可能な省電力回路を実現している。



## 携帯端末向け人工網膜LSI応用画像入出力装置の外観

携帯電話と接続し多階調のモノクロ静止画像を送受信できる簡易型デジタルカメラの開発を行った。通信コスト及び通信時間削減のため、1フレームのデータ量を1,230バイト以下に圧縮し伝送できるように構成した。

## 1. ま え が き

携帯電話は4,000万人という膨大なユーザーを取り込み、電子メールサービスを手始めに、インターネット接続、情報提供サービス、オンラインバンキングなど情報携帯端末としての地位を固めつつある。さらに、2001年から商用化が予定されているW-CDMA(Wideband Code Division Multiple Access)通信方式では、データ通信速度が飛躍的に改善され、携帯電話での動画コンテンツの送受信が可能となる。それに伴い、イメージセンサと携帯電話を組み合わせることで動画を送受信できる製品の市場投入が予想される。上記多機能型携帯電話の開発に当たっては、機能増加に伴う操作性の低下、及び消費電力の増加を抑えなければならない。特に多機能型携帯電話では、ネットワーク経由で入手したメールや情報の閲覧、撮像などの通話以外の利用が大幅に増える。ユーザーの使いか次第ではすぐに電池がなくなり充電する必要がある。したがって、撮像機能を持つ携帯電話では、イメージセンサとして、デジタルスチールカメラなどに使用されるCCD(Charge Coupled Device)センサとは異なり、消費電力が少ないMOSセンサを用いる必要がある。

今回当社では、上記W-CDMA通信方式の商用化に先駆け、現行方式の携帯電話に接続し静止画像を送受信できる“携帯端末向け人工網膜LSI応用画像入出力装置(製品名称:La Pochée(ラポッシュ))”をツーカーフングループ向けに開発した。ラポッシュは、撮像部、表示部、信号処理部、電源部等で構成されている簡易型のデジタルスチールカメラである。ラポッシュの開発に当たっては、上述のように携帯用に小型・低コスト・低消費電力化を実現するため、ハードウェアとソフトウェアをバランスよく切り分けてシステムを構成する必要がある。また、携帯電話での画像の送受信に当たっては、通話料金と通話時間の面から送信データ量を削減する必要があり、効率良く画像を圧縮することが求められる。

このような条件を背景として、当社では、世界初の携帯電話に接続し画像通信を行うことができる専用の簡易型デジタルスチールカメラ(ラポッシュ)の開発を行った。今回、ラポッシュでは、イメージセンサとして多機能・低消費電力である当社製人工網膜LSI(M64283FP)を採用し、低コスト・低消費電力化を図っている。

本稿では、ラポッシュの基本機能、及び今回新たに開発した技術について述べる。

## 2. 基本機能

ラポッシュは、当社製人工網膜LSIで撮像した画像(モノクロ16階調画像)を1画像当たりのデータ量を1,230バイト以下に圧縮して伝送する。また、ラポッシュは、携帯電

話本体と接続して画像の送受信を行う以外に、単体では撮像・画像検索、遊び機能などを持つ簡易型のデジタルスチールカメラとして使用できる。各機能の実現に当たっては、低コスト、低消費電力を実現するため、各構成要素をシステム全体としてとらえて、ハードウェアによる処理とソフトウェアによる処理に切り分けた。特に撮像・表示などのリアルタイム性の要求される機能に関してはハードウェアで実現した。

さらに、ラポッシュでは、操作性を考慮しアイコンによるメニュー選択方式を採用した。トップメニューに基本機能である画像の撮像(とる)、画像の検索(みる)、画像の送信(おくる)、及び画像の受信(うけとる)を配置し、各メニューの下に複数の機能を配置する階層構造を採用することによって少ない操作ボタン(十字キー、選択、及び取り消しの三つの操作ボタン)で操作性の良いMMI(Man-Machine Interface)を実現した。表1にラポッシュの主な機能を各階層別に示す。

### 2.1 撮像(とる)

ラポッシュでは、人工網膜LSIから出力される画像を液晶パネル上へ動画表示しながら撮像することができる。撮像に当たっては、人工網膜LSIから出力されるモノクロ16階調画像の撮像(リアルモード)以外に、ラポッシュで撮像した画像を携帯電話本体の待ち受け画面に登録できるように白黒の2値画像での撮像(まんがモード)ができる。ラポッシュでは、人工網膜LSIの持つ輪郭抽出機能を使用することにより、新たにハードウェアを追加することなくまんがモードでの撮像を実現した。また、撮像画像に関しては、リアルモード画像及びまんがモード画像を各々100枚記憶することができる。記録画像は、撮像モード別にカテゴリー分類し、フラッシュメモリ内に記憶する。

さらに、撮像時のオプション機能として、ラポッシュは、

表1. ラポッシュの主な機能

機能	内容
撮像(とる)	記録モード:リアル(16階調) :まんが(白黒2値)
	セルフタイム
	遊び :ネガポジ反転, エッジ(11種類):モザイク, 左右反転 :対称変換, 拡大変換
画像検索(みる)	検索モード:アルバム :スライド
	文字編集:文字入力 :定型文入力
	画像編集:フレーム :遊び(9種類)
画像送信(おくる)	画像送信
画像受信(うけとる)	画像受信
シークレット	パスワード入力

セルフタイマ機能、日付入力機能、及び遊び機能を持っている。遊び機能として、モザイク、左右反転、ネガポジ反転、エッジ強調、拡大、対称変換など11種類の画像変換機能を持っている。ラポッシュェでは、各種遊び機能を、撮像画像のフレーム周波数を確保するためハードウェアで実現した。

## 2.2 画像送受信

ラポッシュェでは、携帯電話の持つメッセージ通信機能を使用して画像データの送受信を行う。したがって、画像データを携帯電話で伝送する際は、伝送するデータ量が問題となる。データ量が多くなれば伝送画像の画質は向上するが、通信コストが高くなる。また、画像伝送にかかる通信時間が長くなる。一方、データ量が少なくなれば画質は劣化するが、通信コストは安くなる。また、通信時間も短くなる。ラポッシュェでは、伝送時のデータ量を効率良く削減するため、各撮像モードの画像の特性に合わせて各々別の圧縮方式を開発した。各種圧縮方式は、コストと低消費電力化を考慮してソフトウェアによって実現した。

また、携帯電話本体とは16心インタフェースで接続し画像データの送受信を行う。以下、画像通信フォーマット、及び各撮像モードにおける画像圧縮方式を示す。

### 2.2.1 画像通信フォーマット

携帯電話で使用されているメッセージ通信機能では、1メッセージ当たり128バイトのデータを送信することができる。画像データを伝送する際は、圧縮後の画像データを複数のメッセージに分割する。そして、複数のメッセージに分割された画像データを1メッセージごとに送信する。各メッセージの構成は先頭の5バイトをヘッダ情報として使用する。そして、残りの123バイトを用いて画像データ及び文字などの付加情報を伝送する。

### 2.2.2 リアルモードの圧縮方式

リアルモードでは、画像データ(96画素×96ライン)を10メッセージ(1,230バイト)以下に抑えるように圧縮方式を決定した。多値の静止画像の圧縮方式として、直交変換をベースとしたJPEG(Joint Photographic Experts Group)がよく知られている。しかし、JPEGを用いた圧縮方式は、画像を効率良く圧縮することができる反面、直交変換としてDCT(Discrete Cosine Transform)を使用するため多数の乗算処理が必要になる。DCTをソフトウェアで実現した場合、多数の乗算処理によって演算ステップ数が非常に多くなり、処理時間が長くなる。したがって、ラポッシュェでは、直交変換としてDCTを用いた圧縮方式よりは若干効率が落ちるが、演算ステップ数が比較的少ないアダマール変換を用いた圧縮方式を採用した。また、アダマール変換後の量子化テーブル及び二次元のハフマンテーブルは、画像シミュレーションによって最適化を行った。なお、量子化テーブルはソフトウェアでのステップ数を考慮して決

定した。

### 2.2.3 まんがモードの圧縮方式

まんがモードは白黒の2値画像であるため、リアルモードで使用した圧縮方式では画像データを十分に圧縮できない。したがって、まんが画像の圧縮用に、FAXなどに用いられるMMR(Modified Modified Read)符号化方式を画像データの圧縮用に最適化した新MMR符号化方式を採用した。今回開発した新MMR符号化方式により、まんがモード画像を4メッセージ程度に圧縮することができる。

## 2.3 画像検索(みる)

ラポッシュェでは、フラッシュメモリ内に記憶できる画像データ数が最大350枚と非常に多い。したがって、撮像及び受信画像を各々二つのカテゴリー(“リアル”撮像画像、“まんが”撮像画像、“リアル”受信画像、“まんが”受信画像の計4カテゴリー)に分類しフラッシュメモリ内に記憶している。したがって、操作性を考慮しカテゴリー別に画像検索を行うよう構成した。さらに、ラポッシュェでは、画像の検索性を考慮し、通常のアルバム表示以外にスライドによる画像検索を準備した。

スライドは、各カテゴリーに記憶されている画像データを約1秒間隔で自動的に更新するよう構成した。画像の更新順序はユーザーが選択することができ、目的の画像で取り消しキーを押すことによってスライドの更新を止めることができる。

アルバムは、画像をユーザーが一枚ずつ確認しながら記録番号順に検索することができる。また、選択した記憶画像に対して、編集、画像の削除等を行うことができる。編集は、画像変換(モザイク、左右反転、対称変換、拡大変換など9種類)、定型文入力(50種類)、文字入力(最大20文字)、フレーム編集(20種類)の4種類の機能を持っている。ラポッシュェでは、十字キーによる操作を考慮し、メッセージ入力に関して通常の文字入力以外に定型文入力を準備することによって操作性の向上を図った。

## 3. システム構成

ラポッシュェの開発に当たっては、低コストを実現するため、専用のASIC(Application Specific Integrated Circuit)を開発した。ASICの開発に当たっては、ソフトウェアの処理をサポートするため、遊びなどの幾つかの機能を内蔵した。図1にラポッシュェのブロック構成を示す。図に示すように、人工網膜LSIから出力されるアナログ画像信号は、マイコンに内蔵されたA/D変換器を用いてデジタル信号に変換される。マイコン内でA/D変換された画像データは、黒レベルの補正及び振幅調整が行われた後、ASIC内の画像メモリ(VRAM)に記憶される。VRAMに記憶された画像データは、同じくASIC内の液晶駆動制御回路から出力される制御信号に基づいて読み出され、液晶パネル

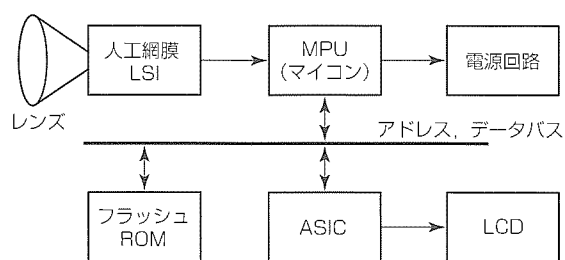


図1. ブロック構成

にデータが出力される。各種遊び機能は、VRAMからの画像データの読み出しアドレスを制御することで実現した。

### 3.1 撮像部

ラポッシュでは、コストと低消費電力を考慮し、上記人工網膜LSIの持つ機能を最大限に利用してシステムを構築した。特にマイコン内蔵のA/D変換器は、逐次比較変換方式を採用しているため、1画素の変換に28ステップかかる。したがって、撮像時のフレーム周波数を確保するため、人工網膜LSIの持つランダムアクセス機能を用い1フレーム内の読み出し画像を128画素×96ラインに制御するとともに、マイコン内のA/D変換器とVRAMのデータのやり取りをダイレクトメモリアクセス転送するよう構成した。

### 3.2 表示部

ラポッシュでは、表示素子として消費電力が小さくかつ多階調表示が可能な反射型モノクロSTN(Super Twisted Nematic)液晶を使用し、モノクロ16階調表示を行っている。STN液晶による16階調表示に当たり、ラポッシュでは、フレーム間引きによる階調表示方式を採用した。従来のフレーム間引きによる駆動方式を使用し16階調表示を行った場合、特定の階調(レベル)においてフリッカが発生する。フリッカの発生は液晶駆動の際のフレーム周波数を上げると抑えられるが、液晶自身の応答性能の制限によって表示階調数が犠牲になる。

そこで、ラポッシュでは、液晶パネルの特性に合わせてフレーム周波数を抑え、かつフリッカの発生が目立たない新駆動パターンを採用することによって16階調表示を実現した。

### 3.3 電源部

ラポッシュのような乾電池で駆動する携帯端末では使用時間が問題となる。電源部は、単4アルカリ乾電池2本で

表2. ラポッシュの主な仕様

項目	仕様
外形寸法	約(H)99×(W)53×(D)34(mm) (スタンド及び突起部を除く。)
インタフェース	16心インタフェース
表示サイズ	128画素×128ライン
画像サイズ	96画素×96ライン
使用電池	単4アルカリ乾電池(2本)
使用時間	約5時間
撮像距離	20cm~∞
記録枚数	撮像画像：リアル, まんが各100枚 受信画像：リアル, まんが各75枚

5時間程度の連続撮像ができることを目標に開発を行った。通常アルカリ単4乾電池は安価で比較的サイズが小さいので本体の小型化が可能になるが、一方、電力容量が小さく、また内部抵抗が大きい等の欠点を持っている。したがって、消費電力をいかに抑えるかが開発の課題となる。

電源系は、デジタル回路を駆動するデジタル電源系と液晶パネルを駆動するアナログ電源系の2種類を生成する。このラポッシュでは、目標使用時間を確保するため、デジタル電源系及びアナログ電源系でのリーク電流を最小限に抑えるように構成するとともに、人工網膜LSIに供給する電源、及び液晶パネルに供給する電源をマイコンによってこまめに制御し省電力化を図った。また、フラッシュメモリはディープパワーダウンモード使用し、非アクセス時の消費電力を抑えるよう構成した。

## 4. むすび

これまで述べてきたように、ラポッシュでは、システム全体にわたり各種要素を最適化し、特にリアルタイム性が要求される機能に関してハードウェアで構成することにより、小型・低コスト・低消費電力化を実現することができた。表2に主な仕様を示す。

今回開発したラポッシュの市場投入により、音声通信、メールの送受信といった携帯電話の市場に対し画像通信という新しいサービスを提供できた。また、2001年からサービス開始が予定されているW-CDMAへの画像通信への先駆けの製品として、携帯電話市場に対して一石を投じることができたと考えている。

# 家電製品用センサのインテリジェント化

長田正史\*

## 要旨

家電製品は、ここ数年の急激な社会情勢の変化とともに消費者意識が大幅に変革し、適切な価格で納得のいく本物商品が求められている。一方、家電製品におけるセンサ技術は、正に性能刷新の要素技術を担う重要な技術であり、センサそのものの高度化・多様化に加え、マイクロプロセッサを主体とする知的な信号処理による機能や性能の向上が目覚ましく、この両輪によって家電製品用センサのインテリジェントシステムが構成される。

本稿では、後者の信号処理によるインテリジェント化技術を知的制御処理としてとらえ、センシング技術における知的制御処理の位置付けや、具体的な家電品への応用例として洗濯機に知的制御処理を搭載して機能向上を図った開

発事例の概要について紹介する。

最近の開発事例として、洗濯機、エアコン、冷蔵庫、掃除機等にファジー制御やニューラルネットワーク、また非線形処理等の応用例を下表に記した。特に洗濯機では、モータの回転数を検出する回転センサ出力の処理により、以下の二つのセンシングシステムを開発した。

### (1) 負荷量検知システム

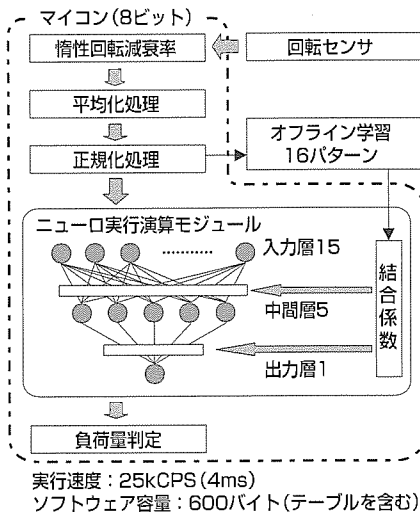
無段階負荷量検出を実現し検出誤差を約 1 / 3 に低減するとともに、省エネルギー(水・洗剤・時間)を図る。

### (2) アンバランス検知システム

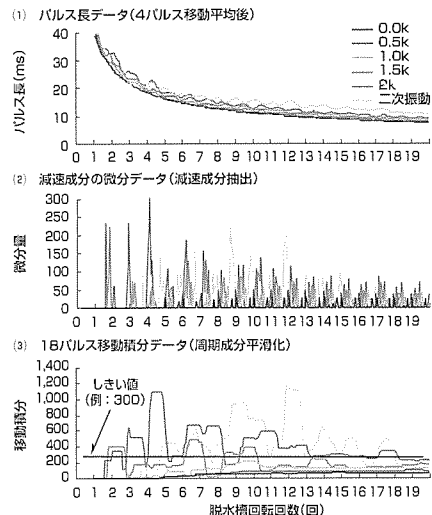
速度減速成分量抽出による検出精度向上と、現行センサ削除によるコスト低減を行う。

	センシング内容	使用センサ	センシング方法と制御対象
全自動洗濯機	負荷(洗濯物)量	磁気式回転センサ	バルセータ慣性回転→水量/洗剤量決定、水流制御など
	アンバランス(偏り)	磁気式回転センサ	脱水槽の速度減速→脱水回転数/ほぐし行程制御
ルームエアコン	人体の有無・場所・人数	焦電式赤外線センサ	人体の移動情報→ゾーン対応気流制御
冷凍冷蔵庫	家庭別使用状態	温度/扉(スイッチ)センサ	冷却器霜量推論など→霜取り制御/低騒音運転など
掃除機	掃除動作(ごみの有無など)	光式回転センサ	吸い込みブラシ動作情報→吸い込み力(モータ制御)
	最適入力点追従	電流/圧力センサ	電流値対位相角の関係式化→入力一定制御(仕事率最大化)

### ● 負荷量検知システム



### ● アンバランス検知システム



## 洗濯機を例にしたインテリジェント化

回転数制御に必要な既設の回転センサを用い、出力をニューラルネットワーク等を応用した知的処理することにより、高精度な負荷量検知システムとアンバランス検知システムを実現した。これにより、省エネルギー、低コストな全自動洗濯機の提供を行う。

## 1. ま え が き

家電製品は、ここ数年の急激な社会情勢の変化とともに消費者意識が大幅に変革し、適切な価格で納得のいく本物商品が求められている。すなわち、機器の低コスト化、省エネルギー化、低騒音化、小型化、及び快適性や操作性の向上などの性能を刷新する要素技術の開発が必ず(須)である。

一方、センサ技術は、正に性能刷新の要素技術を担う重要な技術であり、新しい材料によるセンサや、マイクロマシニング技術、集積化技術の発展に伴う半導体化など、高度化・多様化が著しい。また、これらのセンサ情報を処理するエレクトロニクス技術としてマイクロプロセッサを主体とする信号処理及び知的制御(知能化)処理と呼ばれる情報処理による機能や性能の向上が目覚ましく、この両輪によってセンシングシステムが発展している。

本稿では、センシング技術における知的制御処理の位置付けとその概要を述べ、具体的な家電品への応用例として洗濯機に知的制御処理を搭載して機能向上を図った最近の開発事例の概要について紹介する。

## 2. センシング技術の構成

図1にセンシング技術の構成概念を示した。センシング技術は、個々のセンサ素子そのものに関するデバイス技術と、実際のニーズに対してどのような原理の下にどのようなセンサを利用してどのような処理を行うかを検討し実用化していく応用技術で構成されている。正に、センシング分野においては、ニーズに対して多様なアプローチが必要なることを意味している。

知的処理は応用技術の前処理部と位置付けられるが、家電製品の場合、前処理部は、規模やコストの関係からマイコン内で処理されるのが一般的である。

## 3. 知的制御処理の役割

図2は、社会環境とライフスタイルの変化を機械(機器)側とそれを使用する人間側からとらえた関係を示している。ここでは人と機械との狭義でのインタフェース、さらに人と生活場面や環境を結ぶ広義のインタフェース技術が重要

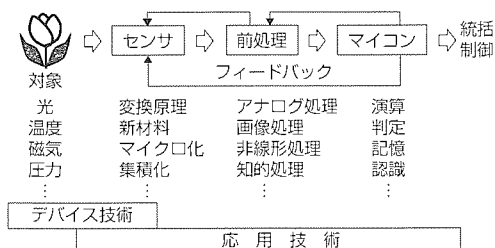


図1. センシング技術の構成概念

であり、これを支える主要技術の一つとして知的制御技術を挙げている。知的制御技術は、基本機能の充実、快適性、省エネルギーの促進はもとより、機械がより人間に近い機能を代行できる技術として、またセンシング技術との関連では人間の五感プラス頭脳の代行を目的とした総合システム技術として今後も期待が大きい。

## 4. 洗濯機の知的制御処理

### 4.1 センサ種類概要

図3に、全自動洗濯機に用いられてきたセンサ種類をニーズ別に示す。現在までに様々なセンサが開発され実用化されている。例えば、水位・水量検知を目的とした場合の水頭圧を検出する圧力センサや質量による微小変位量を検出する変位センサ(ホール素子)、また負荷量にとどまらず汚れ量や汚れの質までも識別し洗濯工程にフィードバックするなど訴求内容も様々である。しかし、冒頭で述べた適切な価格での本物商品を要求する中で、技術開発のテンポが早いのがセンサであり、短命で終わるセンサも少なくない。洗濯機では、基本機能及び安全性を満足するために最低限必要なセンサとして残っているのは、図中□に示したセンサである。

### 4.2 負荷量検知システム

全自動洗濯機では、投入された洗濯物の量に従って水位、洗剤量、洗濯工程を決定しており、洗浄性・すすぎ性を向

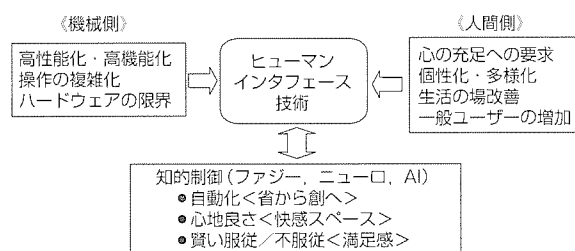


図2. 家電製品知的制御の位置付け

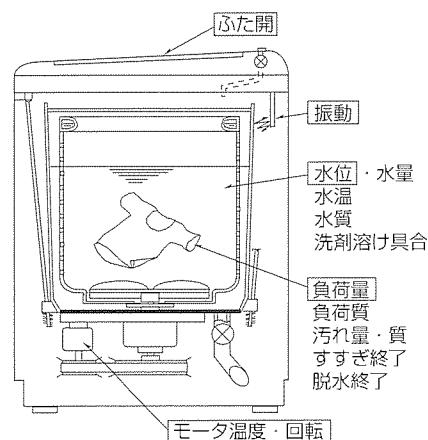


図3. 全自動洗濯機のセンサ種類

上させながら布傷みを低減しかつ節水を図るといった要求にこたえるため、短時間で高精度な負荷量検知を行うことが求められている。ここでは1995年発売のMAW-Jシリーズ以降に実用化した負荷量検知方式について述べる。

#### 4.2.1 概要

図4に投入負荷量とパルセータ惰性回転速度の関係を示す。パルセータ間欠運転時の回転速度時系列変化は、モータON後に定常回転数まで上がり、モータOFF後に減衰するというパターンを示す。このパターン変化は、モータON後よりもモータOFF後の方が負荷量との相関が高く、この速度変化を磁気式の回転センサによって検出する。

モータOFF後のパルセータ惰性回転速度の減衰は、主としてパルセータと衣類の摩擦によって生じるため、負荷量が少なければ摩擦が小さくなり惰性回転の減衰はなだらかとなり、負荷量が多ければ摩擦が大きくなり減衰は急しゅん(峻)となる。従来機は、この惰性回転の減衰特性を一定時間までの回転角度としてとらえ、複数のしきい値によって段階的に判定していたが、しきい値近傍での判定誤差が大きかった。

#### 4.2.2 ニューラルネットワーク処理

ニューラルネットワークとは生物の情報処理のメカニズムを工学的に模倣したもので、入力データと教師データ(正しい答)を与えて学習させることによって入力に対して適切な出力を返す、自己組織化機能を備えた変換器である。

図5にニューラルネットによる負荷量検知のブロック図を示す。まず、パルセータ惰性回転の減衰率を時系列データとして3回採取し、ばらつき補正のための平均化処理を行い、ニューラルネットワークが取扱可能な値に正規化処理を行う。この前処理した減衰特性を入力データとし、投入負荷量を教師データとしてニューラルネットワークに与え、ワークステーションによってオフライン学習させた。

学習終了後に生成されたニューロン間の結合係数は、ニューロ実効演算モジュール内にテーブル化した。実際の検出時は、センサ出力に前記同様の前処理を施した後にこのニューロ実効演算モジュールにデータを与えると、オンライン計算によって負荷量を算出して出力する。

なお、学習用データは16パターン(負荷量を0~5kgまで0.3kg刻み)、学習方式はバックプロパゲーションとした。

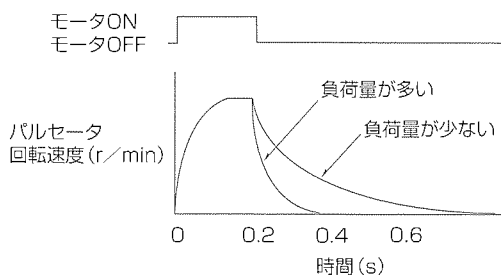


図4. 投入負荷量とパルセータ惰性回転

また、ネットワーク構造は3層階層型とし、各層のニューロン数は、それぞれ、入力層15、中間層5、出力層1とした。

#### 4.2.3 効果

ニューラルネットワークは、①非線形な入出力問題に適している。②学習させた減衰特性から少し外れた値が入力されても結果を補完出力する汎化能力を持つ等の特長を持ち、負荷量検知の減衰特性処理に適している。

これらの特長によって以下の効果を得ることができた。

- (1) 検出時間約2秒で無段階負荷量検出(業界初)を実現し、検出誤差を約1/3に低減(図6)
- (2) 検出精度向上とリニア給水による10%節水と、これによる使用洗剤量10%節約を実現
- (3) ニューロの使用により、設計変更にも容易に対応できる汎用性と開発時間の短縮を実現

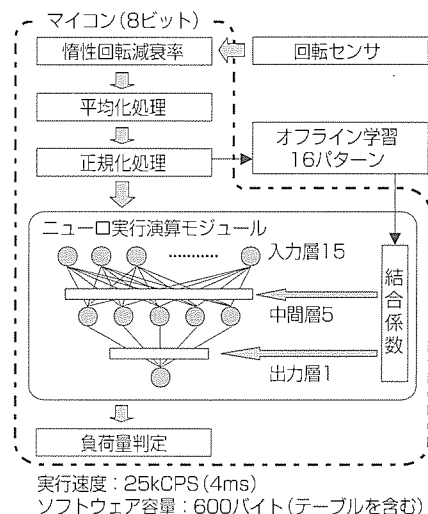
なお、MAW-Jシリーズは、他の特長と併せて'96年度の省エネバングード21を受賞した。

#### 4.3 アンバランス検知システム

##### 4.3.1 概要

脱水時に負荷の偏り等によって発生する異常振動の検出に必要なセンサであり、現状はふたの開閉を検出するスイッチと兼用の機械式レバースイッチを外箱内隅部に一か所に設け、外槽が当たる衝撃によってレバーが動作する構成となっている。この構成は全自動洗濯機誕生から普遍的に用いられてきた方式であるが、検出精度や耐久性、またふた開スイッチとの兼用による誤動作等の課題点があった。

この方式は、アンバランス回転発生時に脱水槽一回転に同期した速度変動(脈動)及び外槽が外箱に接触したときに発生する速度変動(減速)量がアンバランス量と相関があることを発見し、この特性を用いて、前節で述べた既設の回転センサによって速度減速(パルス長変化)量をとらえ、処理アルゴリズムの工夫によって精度の高いセンシングを実



実行速度: 25kCPS (4ms)  
ソフトウェア容量: 600バイト(テーブルを含む)

図5. 負荷量検知ブロック図



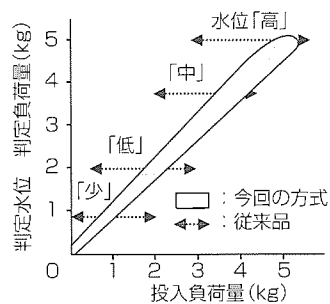


図6. 投入負荷量と判定負荷量

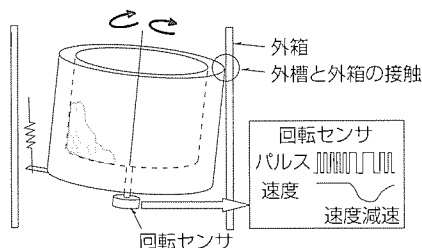


図7. 検出原理概念図

現した。

これに関し、図7に、外槽と外箱の接触検知概念について示す。

#### 4.3.2 処理アルゴリズム

図8に示す波形処理例に従い、検出の概要を示す。

- パルス長データ取得：分解能1.6μsでエッジ検出
- 4パルス移動平均処理：センサ着磁ばらつき平滑化
- 減速成分のみ微分(差分)処理：減速成分の抽出
- 18パルス移動積分処理：周期成分平滑化による特徴抽出
- 判定処理：クリスプ値又は連続値

これらに加え、回転センサの着磁抜けや、高速回転時に発生する異常振動にも対応可能なアルゴリズムを搭載した。

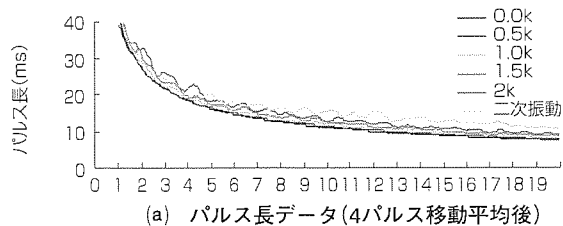
#### 4.3.3 効果

これらの構成によって以下の高精度検出を得ることができ、これによって省エネルギー(節時間/水)化と安全性向上を図れる。

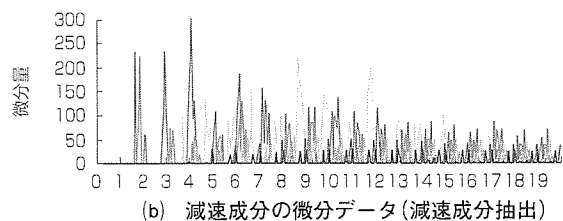
- (1) 減速成分量検出に加え、外箱四面での検出によって検出精度が大幅に向上し、アンバランス量1.0kgを超えて発生する外箱接触を確実に検出
- (2) 外槽接触時の減速量に加え、非接触時の変動量(脈動量)からもアンバランス量を検出可能
- (3) 既設センサを用い、現行のレバースイッチを削除できるため大幅なコストパフォーマンスを実現

### 5. むすび

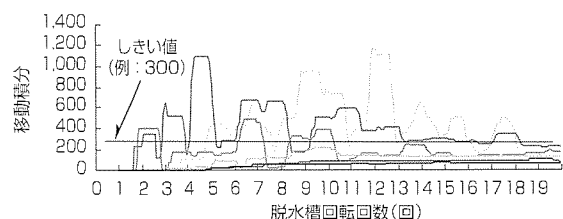
家電製品におけるセンシング技術と知的制御処理技術と



(a) パルス長データ(4パルス移動平均後)



(b) 減速成分の微分データ(減速成分抽出)



(c) 18パルス移動積分データ(周期成分平滑化)

図8. 波形処理の流れ

のかかわり合いと応用例を洗濯機について述べた。家電製品では、比較的簡単な原理による高信頼度でかつ低コストなセンサを用い、その出力を目的に応じてどのように処理するかが重要なポイントである。

したがって、家電製品に関する今後のセンサは、高感度・高性能なセンサ素子の開発も必要であるが、多様なセンサ情報を統合的に処理する更なるインテリジェントセンサシステムへの展開が必要である。

さらに、人間と機械をつなぐ知的なインターフェースを実現させるには、人間の意志や感覚を検出するセンサと、人間に代わって機械の状態を検出するセンサが必要となる。このような将来のセンサは、今後の家電製品を開発していく上でのキーテクノロジーであり、知的制御技術を含む各種のインテリジェントセンサとして開発されていくことになるだろう。

#### 参考文献

- (1) 山崎正博, 萬谷和彦, 藤江京子, 山上和彦, 石井哲夫: 全自動洗濯機MAWシリーズ, 三菱電機技報, **70**, No.8, 848~853 (1996)
- (2) 大塚洋俣, 鈴木浪平, 皆川良司, 杉本泰彦: 家電製品への知的制御技術の応用, 三菱電機技報, **66**, No.7, 728~731 (1992)
- (3) 長田正史: 家電センサと知的制御処理, 計測制御学会平成8年度基礎講習会「センシングテクノロジーの動向と将来」(1996)

# ロボット用ビジョンセンサ

橋本 学\*  
鷺見和彦\*\*  
小平紀生\*\*\*

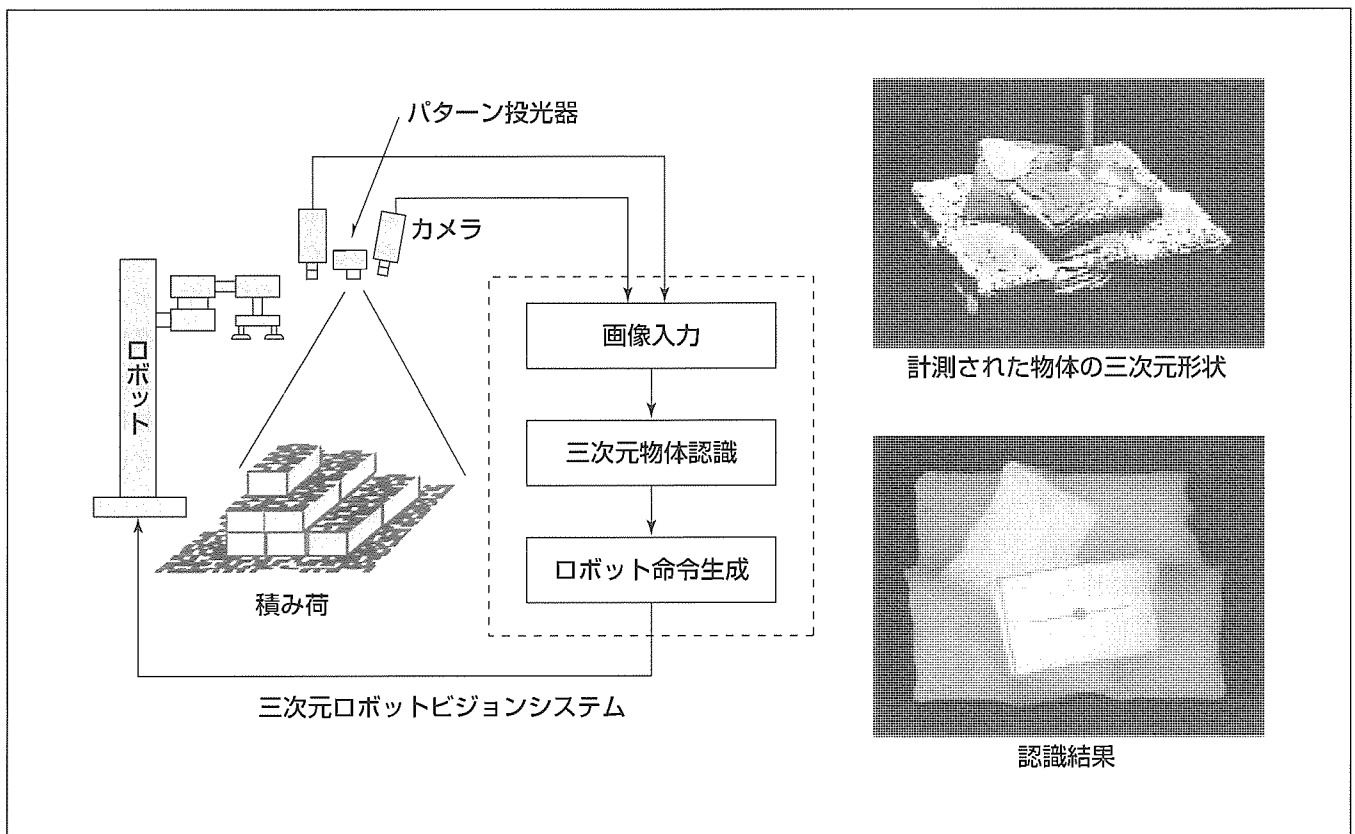
## 要 旨

生産ラインでは、原材料の投入工程から始まり、加工、組立て、検査試験、こん(梱)包、出荷等の各工程の効率化が強く求められていることから、産業用ロボットの導入による工程の自動化に積極的に取り組まれている。ロボットによって高度な動作を実現させるためシステムの知能化に関するニーズは高いが、人間の知覚機能を代替するセンシング技術として視覚機能、すなわちロボットビジョン技術は特に重要である。

本稿では、原材料搬入など物流工程の自動化に不可欠な積み荷認識のための三次元物体認識システムの開発事例を紹介する。このシステムでは、①高信頼の距離分布計測機

能、及び②濃淡画像による高精度物体位置認識機能を統合することにより、実用的な性能を実現した。特に、距離計測手法として、光学的にランダムドットパターンを対象物に付加することを特長としたステレオ距離計測システムを開発し、特徴模様の少ない対象物でも安定した認識を可能にした。これにより、段ボール箱状の物体だけでなく、セメント袋のような形状が不安定な物体でも高信頼に位置を認識し、ロボットシステムによる物体把持動作を実現できる。

このシステムは実ラインで既に稼働しており、原材料投入工程の省力化と製造品質の向上に寄与している。



## 三次元ロボットビジョンの構成

ランダムドットパターン投光を併用したステレオ視覚によって対象物の距離情報を取得し、乱雑に積み重なった積み荷を三次元的に認識する。濃淡画像との統合によって高精度を確保するため、距離計測部を簡略化でき、装置全体としてコンパクトに構成できる点がメリットである。

## 1. ま え が き

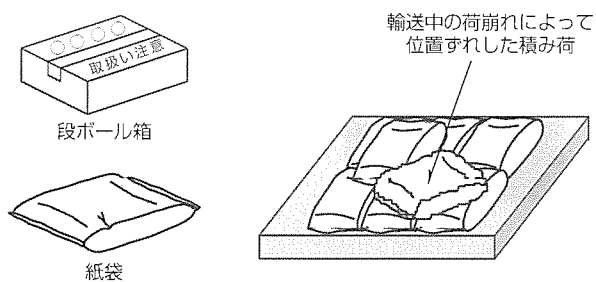
近年、消費者ニーズの多様化に伴う小ロット生産や海外メーカーの参入によるコスト競争の激化に伴い、製造ラインの自動化による生産の効率化がますます重要になっている。なかでも我が国では、古くからロボットシステムによるオートメーションへの取組が積極的に行われ、成果を上げてきた。産業用ロボットに人間の高度な作業を代替させるためには、ロボットの作業対象や周辺状況をつぶさにセンシングするための認識技術、すなわちロボットビジョン技術が重要であり、知能化のキーテクノロジーとして多くの取組がなされてきた。

従来のロボットビジョンは、主に二次元的な対象物の認識を目的としていた。ロボットの動作する世界が三次元であるにもかかわらず二次元的な画像認識問題として扱われてきた理由としては、一般的には立体的な計測に必要な計算コストが膨大であり、産業用途で使えるほど実用的でなかったことが挙げられる。しかし、最近、高性能プロセッサの発展によって信号処理能力が飛躍的に向上し、三次元データを扱いやすくなったことから、この分野の実用化が急速に進んでいる。

本稿では、実用的な三次元ロボットビジョンシステムの一例として、最近筆者らが開発した物流用途に使用される認識システムを紹介する。このシステムは、物流工程の上流に当たる工場の入出荷場や、配送センターで頻繁に発生する重労働作業である積み荷の荷下ろし(デパレタイズ)作業の自動化に関するものである。この種のロボットビジョンとして筆者らは以前単眼カメラによるシステムを開発したが<sup>(1)</sup>、厚みの薄い物体が積み重ねられている場合には適用しにくいなど二次元的認識に起因する問題が生じていた。紹介する三次元認識システムは、対象物を立体的に計測可能なため、形状の不安定な物体など適用対象を大幅に拡大することができる。

## 2. 積み荷認識用ロボットビジョンの課題

図1に積み荷の例を示す。積み荷は、通常決められた規則に従って積み重ねられるが、作業者のミスなどによって



(a) 代表的な積み荷の形状 (b) パレットに積まれた物体

図1. 積み荷の例

間違っって積まれることもあり得る。また、最上段に位置する物体は輸送中に荷崩れしやすく、位置ずれが発生することがある。そのため、荷下ろし作業の自動化には、対象物体の位置・姿勢を三次元的に認識するシステムが不可欠である。この認識システムは、次のような要求を満たすものでなくてはならない。

- (1) 積み荷物体の三次元的な位置を計測できること
- (2) 対象物体の図柄や印刷文字に影響されないこと
- (3) 個々の物体の画像パターンの教示など、手間のかかる事前作業は不要であること
- (4) システム構成が簡素でコンパクト、しかも実用的な処理時間であること

## 3. 認識システムの概要

開発した認識システムの構成を図2に示す。処理系は二つの認識モジュールで構成されている。第一のモジュールは距離画像処理部であり、距離画像を取得し、対象物の概略位置を求める。距離画像とは、カメラから対象シーンの各点までの距離分布を画像的に表現したものである。この場合、空間解像度は128×128程度の粗いものでよいため、装置構成が簡素化されるという利点がある。距離画像は濃淡画像と異なり、物体の輪郭部分の段差を信頼性良く表現できるという利点がある。

第二のモジュールは濃淡エッジ画像処理部であり、距離画像処理部で抽出された物体の位置を精密に計測するのが役割である。通常、テンプレートマッチングによって画像から物体を抽出するとき、探索範囲が広いために、テンプレートに登録されたパターン以外の模様、図柄、又は照明による影などによって誤りが生じるという問題がある。しかしこの手法ではあらかじめ距離画像処理によって物体の概略位置が決定されているので、このモジュールでの位置決めは、範囲を限定されたごく小さな領域内でのパターン探索になり、計算コストが低いだけでなく外乱パターンにマッチする可能性を大幅に低減することができる。このよ

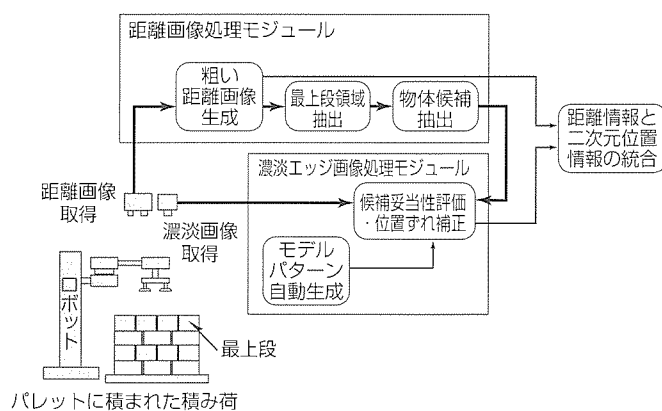


図2. 粗い距離画像と濃淡エッジ画像の統合による認識システム

うに距離画像と濃淡エッジ画像を組み合わせることで、簡素な装置構成と高精度・高信頼を実現できる。

#### 4. ランダムドットパターン投光を併用するステレオ視覚

距離画像を取得する手法として、図3に示すようなステレオ視覚を開発した。一般にステレオ視覚では、左右の画像を間違いなく対応づけるために、物体上の特徴模様を利用する。したがって、従来は無地や模様の少ない物体の距離を計測することが困難であった。このシステムでは、この問題を解決するために、パターン投光によって物体上に強制的にテクスチャを付加する。パターンとしては、対応点探索の際に画像上の至る所でパターンがユニークである必要があることから、2値のランダムドットパターンとした。

対象物に特徴的なパターンを投光してステレオ視を行う手法としては、大きさや形のランダムなドット模様や市松格子模様を用いる弓場らの研究<sup>(2)</sup>があるが、いずれも画像中から投光パターンの形状や位置を正確に検出する前処理が必要である。今回の手法では、ブロックマッチングを採用することによってパターンの検出を不要にした。

#### 5. 濃淡エッジ情報を用いた精密位置決め

距離画像から抽出された物体の候補に対し、より高解像度の濃淡エッジ画像を用いてテンプレートマッチングによって精密な位置合わせを行う。図4に輪郭マッチングの手法を示す。テンプレートは輪郭エッジ画素の座標を $(I_k, J_k)$ の一次元形式に変換したデータ構造を持ち<sup>(3)</sup>、以下の式で計算される類似度 $S(d_0, d_x, d_y)$ を用いてパターンを探索する。一次元構造のテンプレートによって高速な類似度計算が可能である。

$$S(d_0, d_x, d_y) = \sum_{k=0}^{K-1} E(d_x + i_k, d_y + j_k) \dots\dots\dots(1)$$

$$\left. \begin{aligned} i_k &= I_k \cos d_0 - J_k \sin d_0 + i_e \\ j_k &= I_k \sin d_0 + J_k \cos d_0 + j_e \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 $E(i, j)$ は、値0又は1をとる濃淡エッジ画像

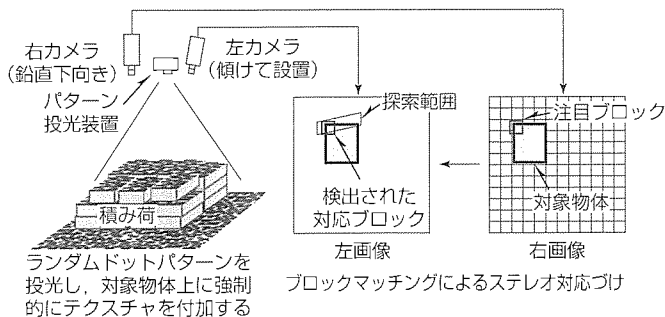


図3. ランダムドットパターン投光を併用したステレオ視による距離画像生成

である。 $P_e = (i_e, j_e)$ は探索基準点であり、距離画像における物体候補位置 $P_0$ から求められる。 $P_e$ を中心に $d_0, d_x, d_y$ を微小な範囲で動かしながら $S$ を計算し、最大値をとる位置を決定する。探索範囲は、距離画像とエッジ画像のサイズ及び距離画像上での候補抽出精度から決定する。

画像上の広い探索範囲に対してテンプレートマッチングを行おうとすると、図のように不要なエッジによって正しい位置決めが行われないことがある。しかし今回の手法のように別な方法によって概略の探索位置が得られている場合には、探索範囲を必要最小限に限定することができるので、このような外乱の影響を抑制でき、マッチングの信頼性と処理速度が向上する。

#### 6. システムの性能

図5に、提案したステレオ視覚におけるランダムドットパターンと、このパターンから切り出した小領域の自己相関分布を示す。原点位置以外では自己相関性が非常に低く、ランダムドットパターンが空間的にユニークなパターンであることが分かる。

図6に、複雑な図柄を持つ段ボール箱の距離画像、及び認識結果を示す。最上段に存在する三つの物体がすべて認識できていることが分かる。また、図7は形状の不安定な袋状物体の距離画像生成結果と認識結果である。約1,000

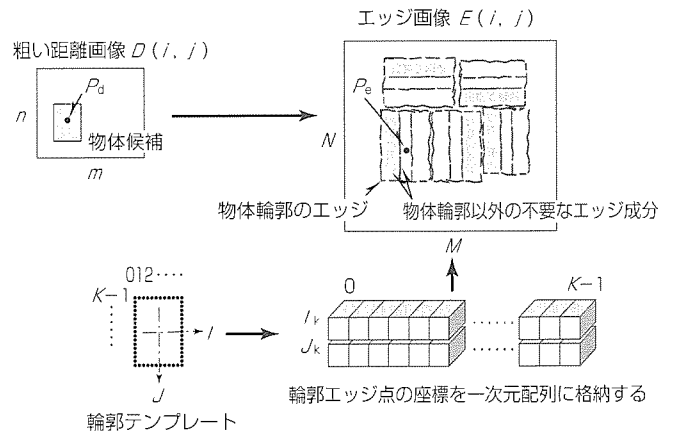
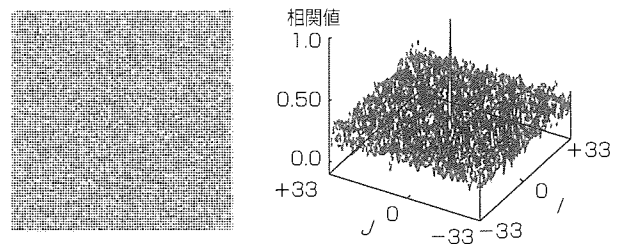
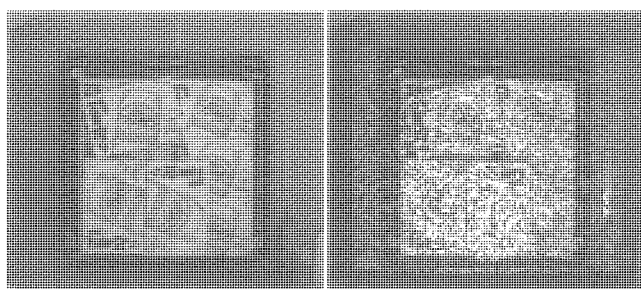


図4. 濃淡エッジ画像を用いた輪郭マッチング

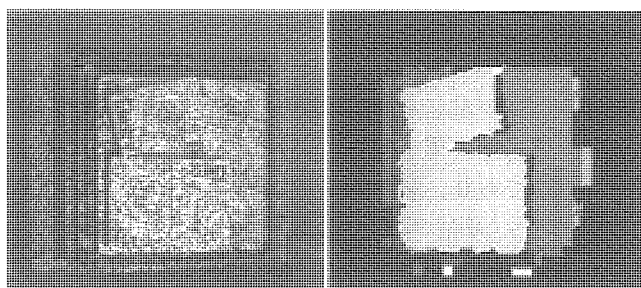


(a) ランダムドットパターン (b) 自己相関マップの例(256×256)

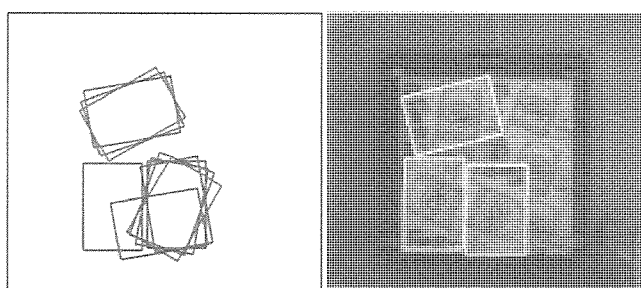
図5. ランダムドットパターンと自己相関マップの例



(a) 濃淡原画像 (b) 右画像 (512×456)



(c) 左画像 (512×456) (d) 距離画像 (128×114)



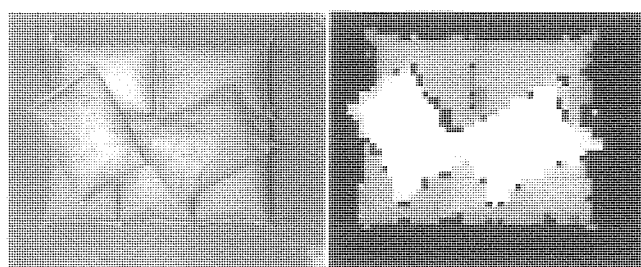
(e) 候補物体抽出結果 (f) 認識結果

図6. 図柄のある箱状物体の認識結果

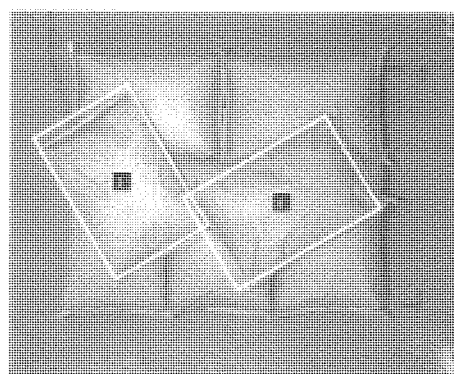
枚の実画像データを用いて認識信頼性を評価したところ、認識成功率が99.8%であることが分かった。これは、実システムとして十分な性能である。認識処理にかかる時間は汎用パソコンによるソフト処理のみで約5秒であり、一般的なロボットによる積み荷の移載タクトタイムから考えて実用的な処理速度といえる。

## 7. むすび

産業用ロボットビジョンの最新技術として、積み荷認識のための三次元認識システムを紹介した。このシステムの特長は、粗い距離画像による概略位置認識と、濃淡エッジ



(a) 原画像 (640×480) (b) 距離画像 (80×60)



(c) 認識結果

図7. 袋状物体の認識結果

情報を用いた高速高精度な位置合わせ法を組み合わせることによって高速・高信頼な認識システムを簡単な構成で実現できる点にある。また距離画像を簡便に得る手法として、ランダムドットパターン投光を併用するステレオ視覚を開発した。この技術によるロボットシステムは既に実ラインで稼働しており、原材料投入工程の省力化と製造品質の向上に大きく寄与している。

なお、この技術は、日本ロボット学会（1998年度）実用化技術賞を受賞した。

## 参考文献

- (1) 橋本 学, 鷺見和彦: 遺伝的アルゴリズムによる物体ラベリングの一手法とロボットビジョンへの応用, 信学会PRU研究会資料, PRU94-76 (1994)
- (2) 弓場芳治, 平井 宏, 堤 喜代司, 小澤 聡: 投影された市松格子パターンのステレオ視による距離計測, テレビジョン学会誌, 43, No. 1, 46~53 (1989)
- (3) 橋本 学, 鷺見和彦, 坂上義和, 川戸慎二郎: 輪郭点情報を用いた高速テンプレートマッチングアルゴリズム, 信学論, J74-D-II, 10, 1419~1427 (1991)

# エアバッグ用容量式半導体加速度センサ

## 要 旨

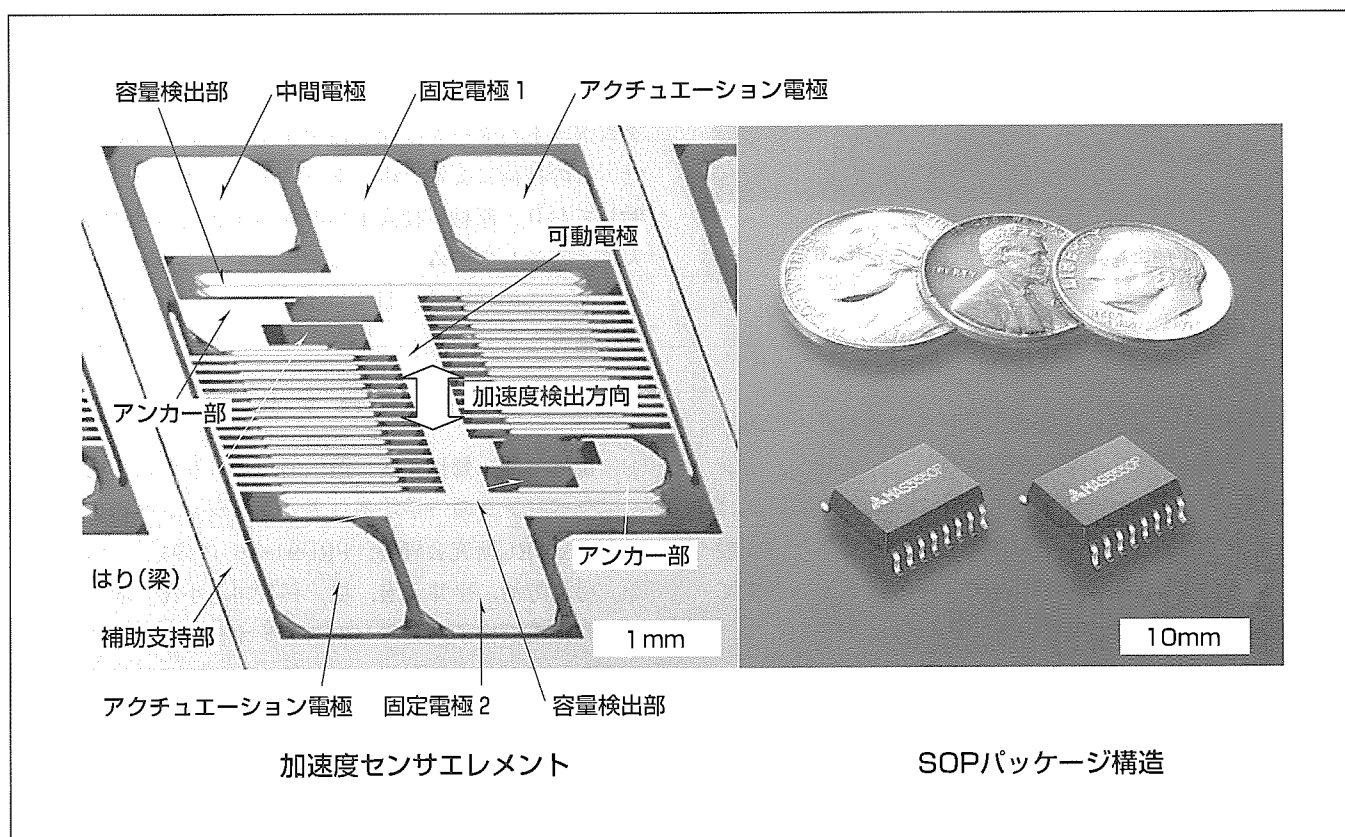
自動車の安全への意識が高まる中、エアバッグシステムの標準装備が進行し、これに伴い、衝突検知用の電子式センサとして、高精度、高信頼性かつ小型の加速度センサの需要が飛躍的に増大している。

一方、半導体材料であるシリコンを利用した加速度センサは、半導体のバッチ処理によって均一に大量のデバイスが製造可能である点から、他の方式に比較して量産性や信頼性の点で優れている。三菱電機では、これら市場要求へ対応するため、半導体圧力センサで培われた量産製造技術をベースに、早くからピエゾ抵抗式の半導体加速度センサの市場投入を行ってきた。さらに、昨今の高精度かつ小型

化の要求にこたえるため、今回新たに、温度特性に優れ小型化の可能な容量式加速度センサの製品化を行った。

加速度を電気信号に変換するための基本要素であるシリコン微細構造体を量産性の優れたバルクマイクロマシニング技術を利用して実現し、さらに、センサ素子のモールドパッケージング化によって小型の加速度センサを実現した。

SOPパッケージ構造のサイズは(W)10.3×(L)10.3×(H)3.5(mm)であり、検出加速度範囲として $\pm 490\text{m/s}^2$  ( $\pm 50\text{G}$ )と $\pm 980\text{m/s}^2$  ( $\pm 100\text{G}$ )の2種類が準備されており、自動車のエアバッグシステムに最適である。



## バルクマイクロマシニングによって作成されたセンサエレメントと製品パッケージ構造

(110)シリコンのアルカリ異方性エッチングを利用して、最小電極間ギャップ3.5 $\mu\text{m}$ のセンサ微細構造を実現した。半導体のバッチプロセスにより、均一なセンサ構造を大量に生産することが可能であり、高精度化・小型化を実現した。

1. ま え が き

近年になって、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems：微小電気機械システム)又はマイクロシステムと呼ばれる技術分野の研究開発が米国、欧州、アジアでかなり活発に行われてきている。

半導体の製造プロセスをベースにセンサを含む微小な電気機械システムを実現しようという試みは、圧力センサはもとより、加速度センサ、ジャイロセンサといった製品の実用化にも多大な貢献をしているものと考えられる<sup>(1)</sup>。今回開発した加速度センサは、このMEMS分野においてシリコンのバルクマイクロマシニングと呼ばれるプロセス技術を利用して作成された、容量検出型の半導体加速度センサである。

本稿では、その検出原理、製品概要、プロセスの特長、電気的特性などに関して述べる。

2. 加速度検出原理

図1に示す回路において、ばね定数 $k$ を持つ梁で支持された質量体 $M$ (可動電極)が加速度 $A$ による慣性力を受けるとき、質量体の変位 $u$ は次式のように表される。

$$u = \frac{M \cdot A}{k} \dots\dots\dots(1)$$

質量体の上下変位方向には微小ギャップ $g$ を隔てて固定電極1、2が設けられており、質量体とそれぞれの固定電極間で形成される静電容量 $C_1$ 、 $C_2$ は、可動電極の変位により、一方の静電容量が増加し他方が減少する。このときの容量値 $C$ は $C_0$ ( $=C_1=C_2$ )を初期容量として次式で表される( $C_1$ 増加の場合)。

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{C_0}{(1 - u/g)} \\ C_2 &= \frac{C_0}{(1 + u/g)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

固定電極1に電源電圧 $V_s$ を印加し、固定電極2を接地するとき、図に示すインピーダンス変換回路<sup>(2)</sup>を利用すると、その中間電極となる可動電極の電位 $V_m$ は式(1)、式(2)を用いて次のように変形される。

$$\left. \begin{aligned} V_m &= \frac{C_1}{(C_1 + C_2)} \cdot V_s \\ &= \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{M \cdot A}{k \cdot g}\right) \cdot V_s \\ &= \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{A}{\omega^2 \cdot g}\right) \cdot V_s \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

ただし、 $\omega \equiv \sqrt{k/M}$ はセンサの固有角周波数  
式(3)で示すように電極間微小ギャップ $g$ が小さく固有角周波数 $\omega$ が小さいほど、高出力感度が得られることが分かる。以上のように、可動電極の電位 $V_m$ を読み取ることで

加速度 $A$ に比例した出力を得ることができる。

3. 製品構造

開発した加速度センサは、図2に示すように、バルクマイクロマシニング技術を用いて作成されたセンサエレメントと電気信号処理用のCMOS-ASICの2チップで構成されている。容量型センサエレメントは図に示したインピーダンス変換回路に接続され、加速度に応じた変位電圧信号は、周波数調整用のローパスフィルタ(LPF)を通過後、デジタルトリミング処理によるオフセット電圧調整及び感度調整がなされ、最終出力 $V_{out}$ に出力される。なお、センサの動作確認を行うための自己診断回路(後述)も内蔵している。

4. 製造プロセス

4.1 センサエレメント製造プロセス

図3にセンサエレメントの製造プロセスの概要を示す。

まず、酸化膜を両面に持つシリコンの(110)面方位ウェーハを利用し、裏面側酸化膜をパターニング後、KOH溶液によってエッチングを行い熱酸化を行う(図の(a)~(b))。

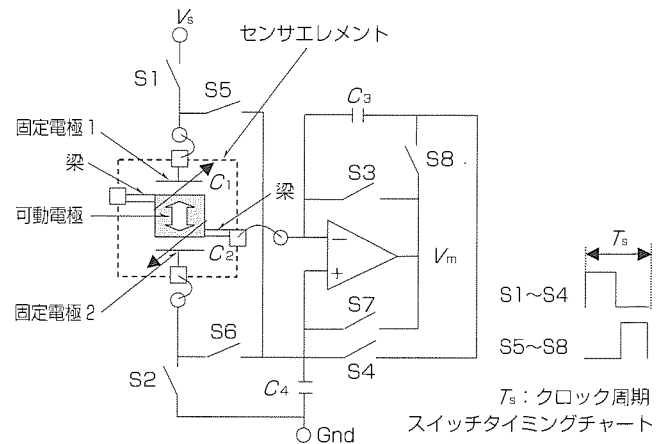


図1. センサエレメントとインピーダンス変換回路

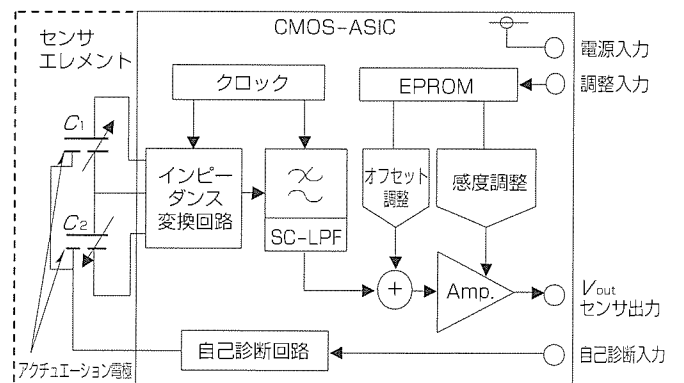


図2. センサ及びASICの内部ブロック構成



次に、シリコンウェーハとガラスを陽極接手法によって接合し、金属電極パッド及び後続の表面KOHエッチング用酸化膜のパターニングを行う(図の(c))。その後、表面側からKOH溶液による貫通エッチングを行う(図の(d))。酸化膜を除去後、上部ガラスを接合し、センサエレメントが完成する(図の(e))。

4.2 KOHエッチング特性

この製造プロセスにおける具体的特長は、固定電極と可動電極間の狭小ギャップエッチングにおけるギャップ及び深さのばらつきの低減手法にある。この狭小ギャップの形成は、エッチングの深さ(110)方向のエッチングレート $R(110)$ とこれに垂直なウェーハ面内(111)面のエッチングレート $R(111)$ が大きく異なる現象を巧みに利用している。通常このエッチング選択比 $R(110)/R(111)$ は約150程度であるが、以下に説明する原因により、KOH溶液の濃度及び特定不純物の存在によって大きく低下する。

(1) KOH濃度の影響

図4に、KOH溶液による狭ギャップ領域(ギャップ25 $\mu\text{m}$ の例)と広域開口部のエッチング深さ濃度依存性を示す。図に示すように、KOH濃度30%を超える濃度では、深さ方向エッチングの底面に(311)面なる斜面が発生し、

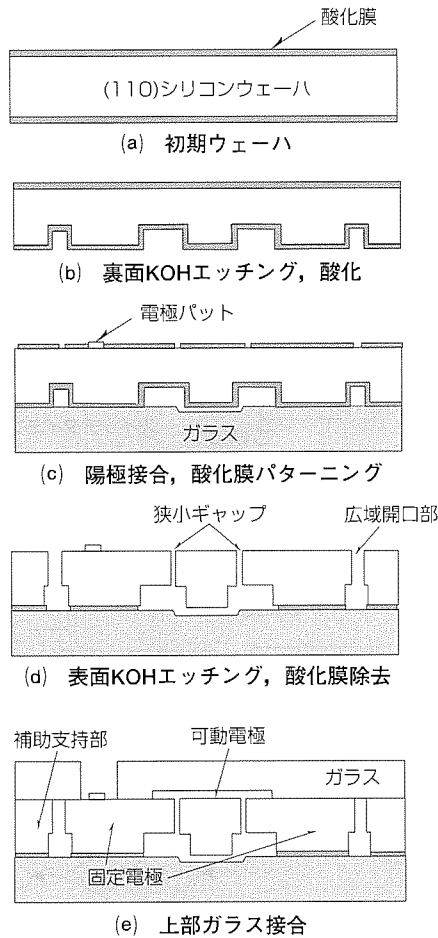


図3. センサエレメントの製造プロセス概要

特に狭ギャップ領域ではエッチング深度が制限され、広域開口部の深度と大きく異なってしまうことが分かる。すなわち、狭ギャップ領域の選択比が見掛け上低下する。このためこの製造プロセスでは、表面エッチング時のKOH溶液濃度として30%を利用している。

(2) 不純物の影響

KOH溶液に金属不純物が存在する場合、不純物イオンが核となり被エッチング面に付着し、エッチング面荒れが発生することが知られている<sup>(3)</sup>。一方で、特にCu(銅)不純物の存在でエッチングの選択比が図5に示すように大きく変化することが判明した。

以上のように、KOHエッチングにおいては、エッチング液の濃度と不純物存在によって狭ギャップエッチングの特性が大きく影響を受ける。特に容量型センサの静電容量の均一化と高容量化のためには、KOH溶液の濃度及び金属不純物量の管理が非常に重要となる。

5. 電気的特性

5.1 定格と電気的特性

表1に容量式半導体加速度センサMAS3550PとMAS5550Pの定格及び電気的特性の抜粋を示す。図6には入力加速度とセンサ出力の測定結果の一例を示す。検出加速度の違いによって2種類のダイナミックレンジ、すなわちMAS3550Pは $\pm 490\text{m/s}^2$ ( $\pm 50\text{G}$ )、MAS5550Pは $\pm 980\text{m/s}^2$ ( $\pm 100\text{G}$ )を準備しており、自動車のフロント及

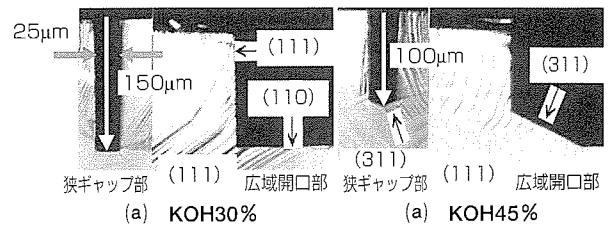


図4. 狭ギャップ部エッチング深さのKOH濃度依存性

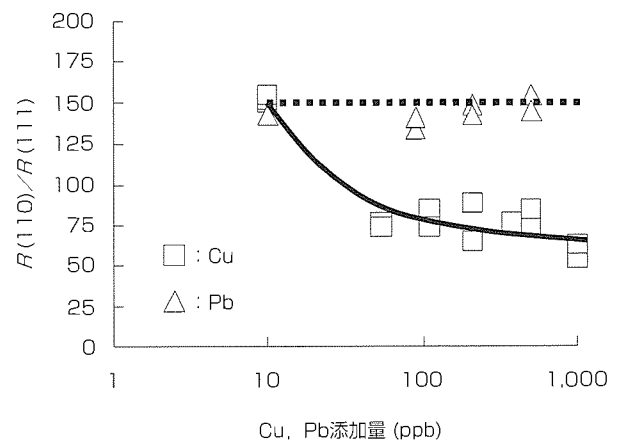


図5. エッチング選択比の不純物濃度依存性

表 1. 容量式加速度センサの定格及び電気的特性(抜粋)

項目	記号	条件	定格値		単位
			MAS3550P	MAS5550P	
動作加速度	Acc	$T_a = -40 \sim +85^\circ\text{C}$	-490~+490 (-50~+50)	-980~+980 (-100~+100)	$\text{m/s}^2$ (G)
動作電源電圧	Vcc	$T_a = -40 \sim +85^\circ\text{C}$	4.75~5.25		V
動作温度	Topr		-40~+85		$^\circ\text{C}$
主軸感度	S	$T_a = -40 \sim +85^\circ\text{C}$	$3.57 \pm 0.18$ ( $35 \pm 1.75$ )	$1.78 \pm 0.09$ ( $17.5 \pm 0.88$ )	$\text{MV}/(\text{m/s}^2)$ ( $\text{mV}/\text{G}$ )
オフセット電圧	Vo	$T_a = -40 \sim +85^\circ\text{C}$ $A_{cc} = 0 \text{ m/s}^2$	2.5±0.2		V
他軸/主軸感度比	So/S	$T_a = 25^\circ\text{C}$	-5~+5		%
出力リニアリティ	Lo	$T_a = 25^\circ\text{C}$	-3~+3		%F.S.
自己診断能力	As	$T_a = -40 \sim +85^\circ\text{C}$	98±19.6 (10±2)		$\text{m/s}^2$ (G)

を印加することで、可動電極を静電引力で変位させることができる。このときのセンサ出力を確認することで自己診断が行える。診断時には加速度にして $98\text{m/s}^2$  (10G)相当のセンサ出力が得られるように設定されている。

## 6. むすび

本稿では、自動車のエアバッグシステムの衝突検知に用いられる容量型半導体加速度

センサについて紹介した。機械的特性の優れた単結晶バルクシリコンを利用し、マイクロマシニング技術を利用してセンサ微細構造体を精度良く作り込むことでセンサの小型化、高信頼性化、モールドパッケージ構造を可能にした。この結果、従来の piezo 抵抗式半導体加速度センサに比べ、当社比で約 1/10 のサイズダウンを実現した。

## 参考文献

- (1) Lang, W.: Reflections on the Future of Microsystems, Sensors and Actuators, A72, 1~15 (1999)
- (2) Tsugai, M., Hirata, Y., Tanimoto, K., Usami, T., Araki, T., Ohtani, H.: Airbag Accelerometer with a Simple Switched-Capacitor Readout ASIC, Proc. of SPIE, 3224, 74~81 (1997)
- (3) Hein, A., Dorsch, O., Obermeier, E.: Effects of Metallic Impurities on Anisotropic Etching of Silicon in Aqueous KOH-solutions, Transducer97, 687~690 (1997)

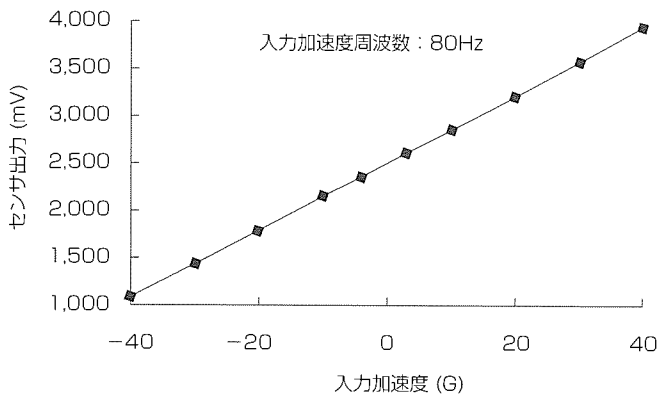


図 6. 入力加速度とセンサ出力の関係

びサイドエアバッグシステムに最適である。

## 5.2 自己診断出力

エアバッグシステムにおける触覚とも言える加速度センサは、万一故障の場合、システム自体が意味を失うほど重要なキーデバイスである。このため、センサが正常に動作するかどうかをチェックする自己診断機能を付加している。図 2 に示すアクチュエーション電極に診断用駆動電圧

# スポットライト 太陽光発電システム

無尽蔵のきれいな太陽光エネルギーで発電ができれば、地球はどれほど元気になるでしょう。

先進各国による地球温暖化防止会議の取決めに、日本は2010年までにCO<sub>2</sub>を6%削減(1990年比)することを約束し、現在その具体策として、官民一体となって太陽光発電システムの導入促進が展開されています。

三菱電機では、全社を挙げて、地球温暖化防止、化学物質管理などの環境行動目標を策定し、積極的に環境問題に取り組んでいます。

'80年に太陽光発電の研究に着手し、実用化と普及に向けて様々な課題の解決を図ってきました。沖縄県宮古島では、'94年から独立運転を開始して、新城・皆福地区の250戸に電力を供給しています。また、宮崎県南郷町では“独立分散型トンネル照明システム”の研究開発、愛媛県西条市では“1,000kW級集中配置型太陽光発電システム”の研究開発委託を受け、大きな成果を上げています。こうした技術ノウハウは、現在、地方自治体の公共施設や学校などで実用化されています。

住宅用太陽光発電システムには'96年度から事業参入し、産業用と業務用を含めたすべての用途に対応できるとともに、'98年10月にはセル・モジュールの生産工場を建設し、本格的な量産を開始しました。これにより、太陽光発電システムのすべてのキーパーツを自前で生産することができ、21世紀に向けた“地球に優しいクリーンエネルギー”の生産・提案・販売体制が確立いたしました。

図1に住宅用太陽光発電システムの仕組みを示します。住宅用システムの採用に当たっては、政府の“住宅用太陽光発電導入基盤整備事業”によって施工費用を含めた取得金額の約1/3を補助金として受けることができます。

産業用と業務用についても“産業等用太陽光発電フィールドテスト事業”など幾つかの補助事業制度が設けられています。

図2に示すように、電力会社の電力系統と連系することにより、太陽光発電電力を負荷に供給するとともに、余剰電力は電力会社に売電することができます。

図3は新設した太陽光発電システム工場で生産した業界一の薄型モジュールで、太陽電池セル40枚を接続して構成されており、このセルに光が当たると電流が流れ発電されます。

図4はパワーコンディショナと呼ばれるもので、モジュールで発電された直流電力を交流電力に変換するとともに、電力を安定して供給するため電力会社系統との電力授受の調整(系統連系機能)を行います。三菱パワーコンディショナは業界一の変換効率を持ち、'97年度の新エネルギー財団が主催した“新エネバンガード21”の会長賞を受賞しています。

図5は住宅用システムの設置例です。

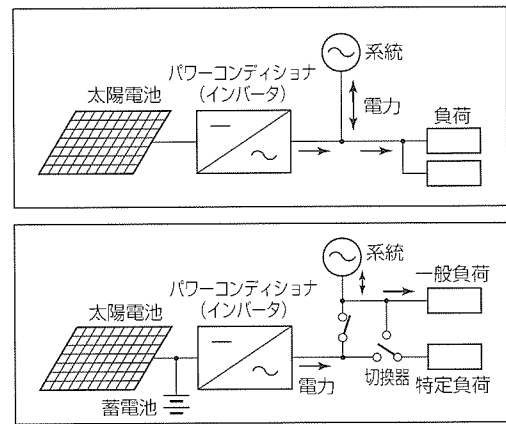


図2. システム構成

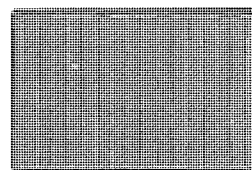


図3. 太陽電池モジュール

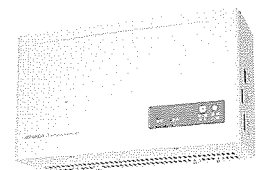


図4. パワーコンディショナ

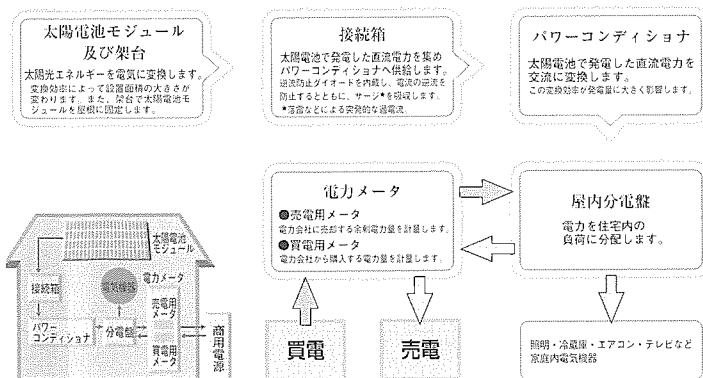


図1. 住宅用太陽光発電システムの仕組み

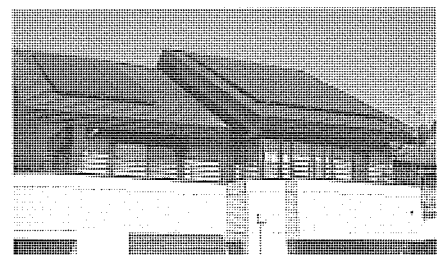


図5. 住宅に設置した太陽光発電システム



# 特許と新案\*\*\*

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

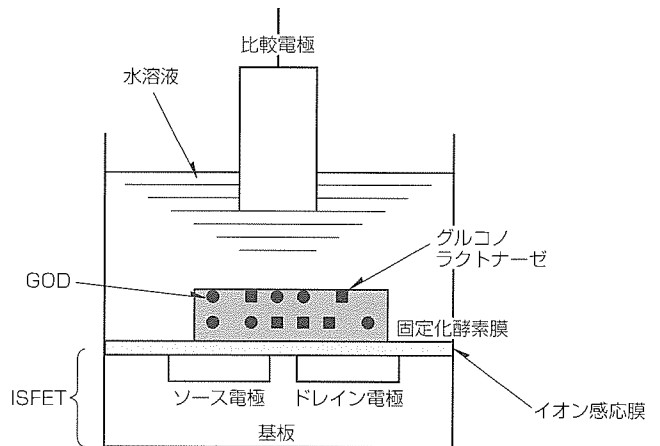
## グルコース感応性FETセンサおよびその製造方法 (特許 第2530341号, 特開平1-68650号)

この発明は、水溶液中の水素イオン濃度を検出できる半導体イオンセンサ(ISFET)とぶどう糖酸化酵素(GOD)を固定化した膜とを組み合わせた、液中のぶどう糖濃度を計測する小型バイオセンサに関するものである。

固定化酵素膜内に浸入してきたぶどう糖が、膜内のGODによってD-グルコノ- $\delta$ -ラクトン(以後“ラクトン”という。)に酸化分解される。このラクトンは自然加水分解でD-グルコン酸となり、これによる膜内のpHの低下をISFETが電気信号の変化として出力するのがこのセンサの基本原理である。このセンサには小型で応答速度が速いことが要求されるため、 $10\mu\text{m}$ 以下の薄膜で形成するのが望ましい。しかし、このような薄膜では、GODで分解されたラクトンが分解するよりも早く膜外に拡散し、膜内に有意なpH変化が得られず、感度が悪くなるという問題点があることが分かった。

この発明の実施例を図に示す。この発明では、固定化酵素膜内にGODのほかにラクトンの加水分解反応を促進するグルコノラクトナーゼを活性比でGODの0.5~10倍、望

発明者 花里善夫, 稲富健一, 中子真美子, 塩野 悟  
ましくは2~3倍膜内に共存させることにより、ラクトンを速やかに酸に分解し膜内に十分なpH変化を迅速に生じさせることができる。さらに、酵素の失活を招かない水溶性感光樹脂を用いて半導体製造技術の一つである写真製版法を用いて膜をISFET上に形成することにより、量産性があり安価なセンサを実現できる。



## 画像信号生成装置 (特許 第1684975号, 特公平3-48519号)

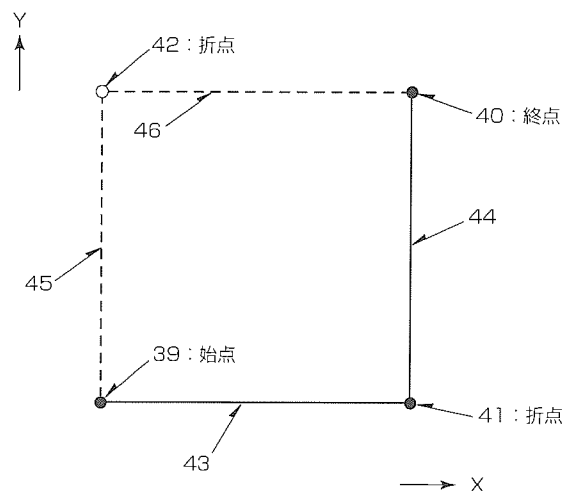
この発明は、計算機の表示装置に対話的に線分を入力・表示する入力装置に関するものである。

従来のこの種の装置の動作は、始点位置データ( $x_0, y_0$ )と現在位置データ( $x_1, y_1$ )とを入力することで、両者を結ぶ線分1本を入力描画するというものであった。このため、CADにおいて多用されるX軸に平行な線分とY軸に平行な線分とで構成される折線には、それぞれの線分ごとの入力操作を要した。

この発明は、上記の問題点を解決するためになされたものである。図に、この発明による線分の入力・描画の例を示す。始点位置(39)と現在位置(40)とが入力されたとき、折点(41)を経由したX軸に平行な線分(43)とY軸に平行な線分(44)の2本の線分、又は折点(42)を経由したX軸に平行な線分(46)とY軸に平行な線分(45)の2本の線分を同時に入力・描画する。

この発明により、2点間をX軸に平行な線分とY軸に平

発明者 中村泰明, 阿部 茂  
行な線分とによって構成される折線で表示することができるので、CAD等においての利用で効果がある。





# 特許と新案\*\*\*

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話 (03) 3218-9192(ダイヤルイン)

## 給電システム (特許 第2831734号, 特開平3-128629号)

発明者 菅 郁朗, 杉本英彦

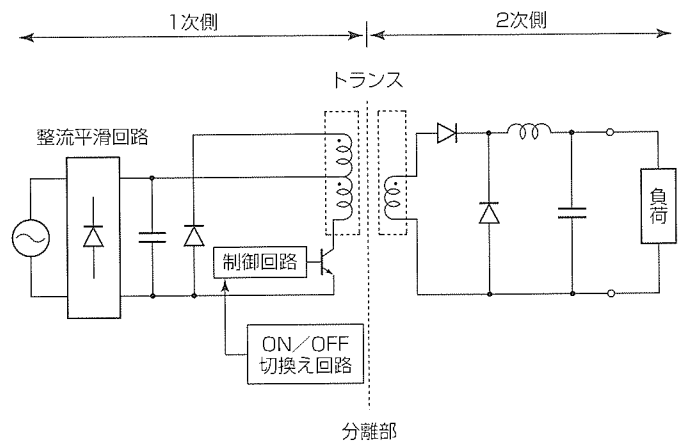
この発明は、電磁誘導作用を利用して電力を非接触で伝達するための給電システムに関するものである。

従来からの充電器等に用いられる非接触給電システムでは、1次側、2次側を自在に分離・結合が可能な構造のトランスを持つスイッチングレギュレータにおいて、トランスの分離時に1次側の間欠発振モードによる待機状態を保っていたため、スタンバイ電力をかなり消費するという問題があった。

この発明は、上記のような問題点を解消するためになされたもので、分離時に連動してスイッチング動作を停止し、結合時に連動してスイッチング動作を開始させるためのON/OFF切換え手段を備えて、分離時にはトランスの1次側の電流を切り、結合時にのみトランスの1次側の電流を流すようにしたので、スタンバイ電力の消費を不要にでき、省エネルギーの効果が

得られる。

関連する非接触給電装置の他の登録特許としては、特許番号第2853207号, 第2770200号などがある。



### 〈次号予定〉三菱電機技報 Vol.73 No.9 “設計業務を革新する設計システム技術/進展するFA駆動制御技術”

#### 特集論文

- 設計業務を革新する設計システム技術
- 設計プロセス革新への取組
- システムレベル協調設計・検証技術  
— 組み込みソフトウェアとハードウェアの協調設計検証 —
- システムLSI応用製品の品質向上をねらいとした検証テスト技術
- オブジェクト指向組み込みソフトウェア設計技術
- タービン発電機への三次元設計適用
- プリント基板設計PDMシステム
- スイッチギヤ設計システムの統合化

- ファミリーツリー中心設計システム
- コンポーネントとシステム
- FAを取り巻く駆動制御技術の動向と展望
- ファン、ポンプ用省エネルギーインバータ“FREQROL-F500シリーズ”
- 小型高性能汎用インバータ“FREQROL-E500シリーズ”
- 次世代汎用サーボアンプ“MELSERVO-J 2 Superシリーズ”
- インテリジェントリレーモータ“IISシリーズ”
- 高応答・高精度リニアサーボシステム
- 省エネルギー機器としての誘動電動機
- 埋め込み磁石型同期モータと駆動技術

<p>三菱電機技報編集委員</p> <p>委員長 鈴木 新</p> <p>委員 中村 治樹 河内 浩明 宇治 資正 永峰 隆 奥山 雅和 茅島 宏 小林 保雄 石川 孝治 畑谷 正雄 津金 常夫 村松 洋 才田 敏和 大坪 道夫 猪熊 章 本庄 正司</p> <p>幹事 鈴木 隆二 8月号特集担当 實 森 彰 郎</p>	<p>三菱電機技報 73巻 8号</p> <p>(無断転載・複製を禁ず)</p> <p>編集人 鈴木 新</p> <p>発行人 鈴木 隆二</p> <p>発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 ドキュメント事業部 〒105-0011 東京都港区芝公園二丁目4番1号 秀和芝パークビルA館9階 電話 (03) 3437局2692</p> <p>印刷所 菱電印刷株式会社</p> <p>発売元 株式会社 オーム社 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 電話 (03) 3233局0641</p> <p>定 価 1部735円(本体700円) 送料別</p>	<p>1999年8月22日 印刷</p> <p>1999年8月25日 発行</p>
	<p>お問い合わせ先 giho@hon.melco.co.jp</p>	

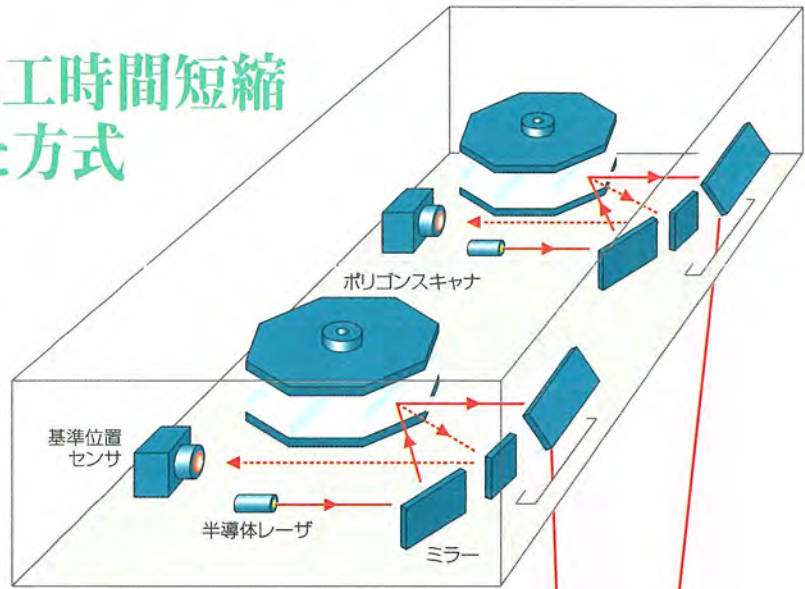
# スポットライト

キャンバ計・板幅計用

# 高分解能エッジセンサ

## 小型化によって施工時間短縮 耐環境性に優れた方式

5,000ビット一次元  
CCDの3倍の高分解能を  
達成するエッジセンサです。  
フライングレーザー光と光伝  
送ロッドの組合せにより、  
カメラ方式では不可能な分  
解能を実現しました。



半導体レーザー光をポリゴンミラーによって高速で対象物の幅方向に走査し、対象物の下面に設置した光伝送ロッドにレーザー光を照射します。

レーザー光は、光伝送ロッド内を伝搬し、端部の受光素子に入射します。

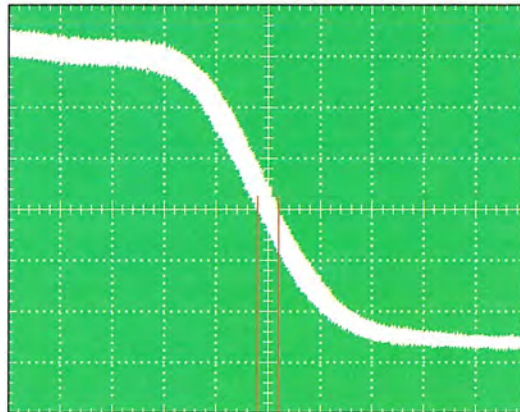
走査レーザー光が、対象物のエッジで遮光されたタイミングを基準位置からの時間で計測し、対象物エッジ座標を演算します。

対象物の厚み変化や上下動によるエッジ座標の誤差を抑えるために2本のレーザー光を走査し、その交点座標を求めるステレオ式高精度エッジセンサです。

### 仕様

サンプリング周期	2ms
測定範囲	2,000mm
分解能	1/15,000
方式	レーザー走査形光伝送ロッド方式
測定対象温度	~1,000℃

レーザー光遮光タイミングの安定度 (1,000回のデータ)



40nsばらつき

従来品よりもコンパクト!!  
断面わずか10cm

