

## 特異空間における視覚装置の研究開発 (第3報)

— 画像処理に関する研究 —

Research and Development of Imaging System in Fire Environment (Series 3)

Image Processing Technique

加藤 俊之\*

井越 昌紀\*\*

## 概 要

煙環境下で消防活動に必要な視覚情報を得るために、赤外線レーザーを利用した視覚装置の研究開発を行っている。本報では、試作した視覚装置の画質を向上させるために、新たに付加した装置と画像処理手法に関する研究結果を報告する。

- 1 視覚装置の制御機能を強化することによって、画像の乱れを抑制した。
- 2 画像ごとに信号強度を解析し、その結果を利用することで視認性の良い画像が得られた。
- 3 多種の光源光による画像を取得し、これらから得られる多次元ヒストグラムを利用した物体の識別法の有効性を確認した。
- 4 ネットワークを利用して視覚装置を構築することによって、画像処理機能を分離することが可能となり、視覚装置全体の能力を向上させることができた。また、複数の場所において視覚情報を得ることが可能となった。

In order to obtain visual information which is used to perform fire-fighting in smoke-filled environment, we have researched and developed an imaging system using infrared lasers. In this paper, we describe the research result concerning the improvement of the image quality by adding new devices and image processing function to our imaging system.

- 1 Images distorted by jitter was restrained by reinforcing the control function of the imaging system.
- 2 By analyzing signal intensity on an image, the system could improve the image.
- 3 The imaging system could take two or more images using many kinds of light source and the object identification information could be obtained from the multi-dimensional histogram analyzing these images.
- 4 The imaging system was constructed using a local area network. Thus the system could improve the total performance by separating the image processing function using the network. Moreover, the system could be used at two or more places.

## 1 はじめに

煙環境では、視界が遮られ周囲の状況を認識することが困難である。そこで、煙環境において透過性の高い赤外線を利用した視覚装置が有効であり、現在、熱画像カメラと呼ばれるパッシブ型(受動型)の赤外線視覚装置が利用されている。この装置は物体の温度に応じて放射される赤外線をとらえて画像化するため、火源の探知や、逃げ後れた人を探し出すことに利用されている。

しかしながら、温度の低い物体や、周囲の環境と同等の温度(赤外線放射量)を持つ物体は、赤外線の放射量

の差が相対的に減少するため視覚化が難しくなる。

そこで、本研究では、物体の温度(赤外線放射量)によらずに煙環境においても視覚を確保することのできるアクティブ型(能動型)の赤外線視覚装置の研究を進めている。

これまでに、煙環境での赤外線の透過率、物体面での反射特性を理論及び、実験を通して明確にし、視覚装置の具備する要件について検討した。<sup>文献1</sup>

次に、赤外線レーザー光源を利用した視覚装置を試作し、煙環境において画像を取得することで、その有効性の検証を行った。<sup>文献2</sup>

本報では、画質の改善、物体の識別、システム機能の分散化に関する研究を行った結果について報告する。

\*第三研究室 \*\*東京都立大学工学部

画質の改善に関しては、赤外領域での画像は人間の目を通してとらえることのできる可視領域の画像とは異なることから生じる「見えにくさ」を画像処理によって改善する手法と、機械的な性能の限界を制御機能によって補完する技術とによって良好な画像が得られたことを記述する。

物体の識別法では、複数の赤外線光源を利用することで、光源によって異なる画像をとらえ、これを分析して、物体固有の情報を取得する手法を紹介する。

システム機能の分散化では、視覚装置の制御、画像表示（画質の改善、表示）そして、画像情報の分析機能を分散化することによって、負荷が分散されてシステム全体の機能を高められる方法を示す。

## 2 視覚装置の概要

### (1) 概要

平成7年度に作成したシステムは、視覚装置の基本的な要素である、光源、検出器、そして、制御装置から構成された。これによって、煙環境で物体を映像化することが可能になったが、視覚装置の機能としては、画像を表示することのみであった。

平成8年度は、視覚装置としての機能を向上させるため、新たな制御機構と画像処理装置を付加することによって画質の改善を図った。また、物体の認識のためのアルゴリズムの作成を行い、画像から物体に関する情報を取得できるものとした。さらに付加した装置（画像処理装置、画像情報端末）をネットワークで結ぶことによって、機能を分散し、複数の離れた場所においてそれぞれの処理を行えるものとした。

### (2) 視覚装置の構成

以下では、本年度に新たに付加した装置、機能を含めて視覚装置の全体構成を紹介する。

写真1に視覚装置と、煙環境を再現するスモークチャンバーを示す。



写真1 視覚装置の全体構成

図1に実験環境を含めたシステム全体の系統図を、表1にシステムを構成する機器の諸元・性能を示す。

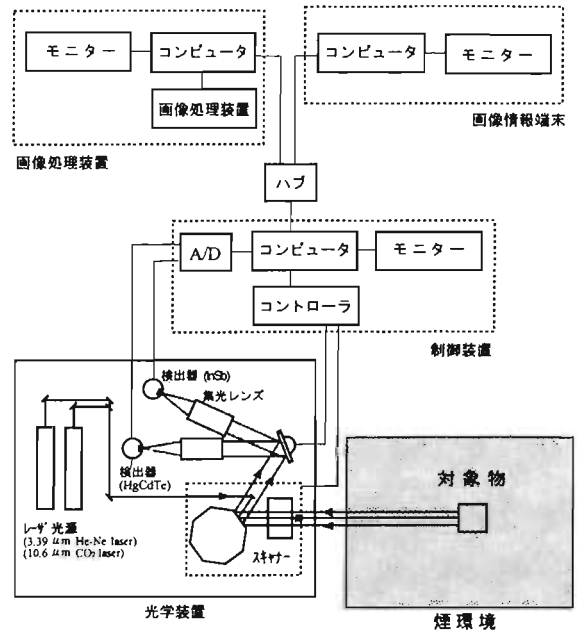


図1 視覚装置概略図

表1 諸元・性能

項 目		内 容
光 学 装 置	光 光源 1	CO <sub>2</sub> レーザー (10.6 μm)
	光 光源 2	He-Ne レーザー (3.39 μm)
	検 検出器 1	HgCdTe (10.6 μm用)
	検 検出器 2	InSb (3.39 μm用)
	偏 偏光板	λ/2板 (S-P波切替) : CO <sub>2</sub>
	偏 偏光選択フィルタ	P波透過型 : CO <sub>2</sub>
	走 走査系	水平走査 8面体ポリゴンミラー (750rpm) 垂直走査 ガルバノミラー レンズ等有効径 50mm 視野角 垂直10deg×水平15deg
制 御 装 置	制 A/D変換	14bit ±10V
	制 コントローラ	パルスモータ制御
	制 コンピュータ	OS:dos6.2 cpu:pentium 100MHz
画 像 処 理	画 画素数 1	256×170, 6.2 s
	画 画素数 2	128×85, 1.5 s
画 像 処 理 端 末	画 画像改善	対数圧縮
	画 取得画像	CO <sub>2</sub> : 2種, He-Ne : 1種
	画 識別情報	反射強度の比較
L A N	表 コンピュータ	OS:NT cpu:pentium 200MHz
	表 表示	画像、識別情報の表示
L A N	接 コンピュータ	OS:95 cpu:pentium 133MHz
	接 プロトコル	NetBEUI
L A N	接 接続	ハブ

#### ア 光学装置

光源、検出器、ミラー、レンズ、フィルタ等から構成され、赤外線レーザーを物体に向けて照射し、その反射光を検出するための部分である。

#### イ 制御装置

光学装置の駆動部分を制御するモータコントローラと、検出器からの電気信号を画像信号に変換する装置である。

#### ウ 画像処理装置

画像信号を分析し、鮮明な画像への変換を行った画像を表示するとともに、画像から各種の情報を抽出するための処理を行う装置である。

#### エ 画像情報端末

画像処理によって得られた情報を必要に応じて表示させるための装置である。

#### オ ネットワーク機能

制御装置、画像処理装置及び、画像情報端末は、ハブを介してネットワーク化(LAN)されており、情報の転送、共有が可能である。

### (3) 画像の取得

写真2に光学装置の状況を、図2にその概要図を示す。

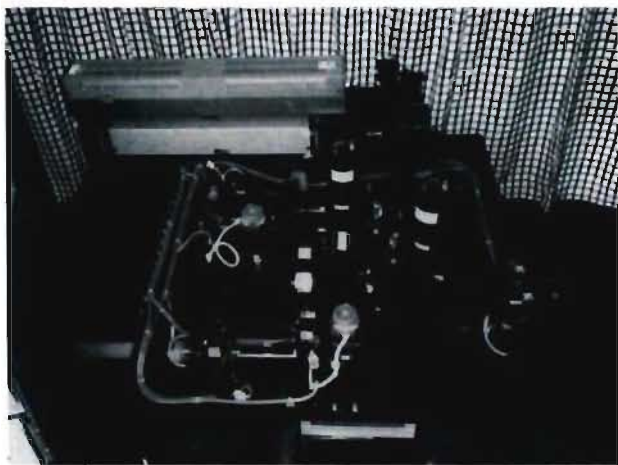


写真2 光学装置

光学装置は赤外線レーザーを空間的に走査し、物体で反射された光を受光することによって画像を生成するための光信号をとらえる。

光源は10.6 $\mu\text{m}$ の波長を発振する炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)レーザーと3.39 $\mu\text{m}$ の波長を発振するヘリウム・ネオン(He-Ne)レーザーである。検出器は10.6 $\mu\text{m}$ のレーザー光を受光するために、HgCdTe検出器/増幅器モジュールを3.39 $\mu\text{m}$ のレーザー光を受光するためにInSb検出器/増幅器モジュールをそれぞれ使用した。光源装置から照射されるレーザー光は水平走査のためのポリゴンミラーと垂直走査のためのガルバノミラーによって2次元的に走査される。照射されたレーザー光は物体面で反射され、照射光と同一の経路をたどりポリゴンミラーに到達する。さらにポリゴンミラーで反射され、検出器切替ミラーを経て集光レンズで集光されて検出器で電気信号に変換される。また、CO<sub>2</sub>レーザーは偏光板の作用により、S波(垂直偏光)、P波(水平偏光)の2種の特性を持たすことが可能となる。このため、偏光板と偏光選択フィルタの組み合わせから、S-P、P-Pといった2種の画像生成するための信号を得ることができる。

### (4) 画像処理

光学装置からの反射光の強度に応じた電気信号は、制御装置によって画像データに変換される。光学装置からの信号は、制御装置のA/D変換器によってアナログ信号からデジタル信号に変換されてコンピュータに入力される。入力されたデジタル信号は、画像を構成するために、配列データに変換されて一枚ごとの画像が生成される。これによって、1枚の画像は256 $\times$ 170の場合、43520の画素から構成される。

さらに、生成された画像は画像処理装置に転送され、認識性の高い画像とするために、画像処理を施された後にモニターに表示される。また、画像から物体情報を抽出するための処理も行われる。

## 3 画質の改善

画質の改善のために、新たな制御機能の付加と画像処理装置の導入を図った。これらによって、より見やすい画像を表示することが可能になる。以下では、画質改善のための処理機能について記述する。

### (1) 信号レベルの圧縮

#### ア 問題点

赤外域の反射画像は人間の目でとらえることのできる可視域の画像に比べて二つの傾向が強調される。一つには、赤外線を吸収する物体が増えることによって、反射光強度の低い物体が増える。もう一つには、赤外

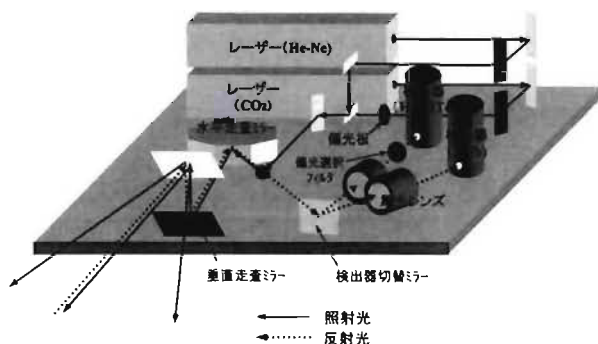


図2 光学装置概要図

線を良く反射する物体は、その正反射成分が増加する。この二つの特性から、赤外線の反射光強度はダイナミックレンジが大きくなるものとなる。そのため、得られた信号強度を直線的に画像濃度に当てはめると、信号レベルの低い物体の映像は表現されなくなる。この現象を示したものが以下の図である。図3は可視光下での画像(a)とその濃度値の度数分布(b)を示し、図4は赤外光下(波長: 10.6 $\mu$ m)での画像(a)とその濃度値の度数分布(b)を示す。可視画像に比べて赤外画像では、反射強度の強い部分でしか物体を認識することができない。度数分布で比較すると可視画像は濃度値の分布が比較的広い範囲に渡っているが、赤外画像では低い濃度値に集中する傾向にある。

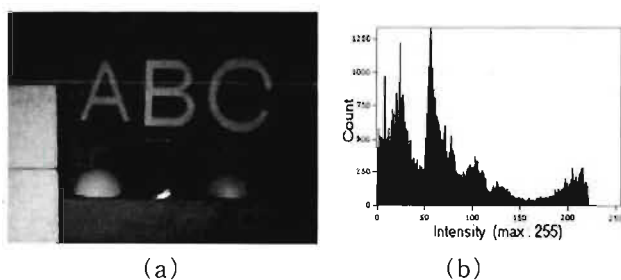


図3 可視画像の反射光強度分布

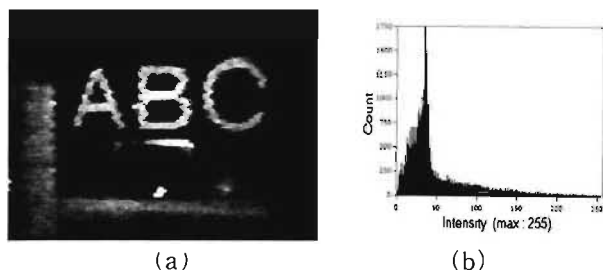


図4 赤外画像の反射光強度分布

#### イ 対策

そこで、視覚装置によって得られた画像の反射強度を統計的に解析し、ハイライトを抑えることによって、信号強度の低い物体についても表現できるような画像処理を行う。

原理としては、信号レベルを対数圧縮することで強い信号を抑制し、低い信号を強調するものである。そして、適性な圧縮を施すために利用するパラメータ等は各画像がそれぞれに持つ固有の値を利用することで、一般化した処理が可能となるようにした。また、反射光の強度分布には正規分布を適用した。

- (ア) 画像中の反射光強度について平均値、標準偏差を算出しこれを画像の固有の値とする。
- (イ) 極端に強い反射光をカットするために、反射光強度の上側きい値を98%(正規分布において)のデータを含む領域として抽出する。
- (ウ) 抽出した領域のデータを0から1に正規化し、こ

れに対して対数をとる。(対数圧縮を行う)

- (エ) 再度、0から1に正規化して、画像の階調に適応させる。

#### ウ 結果

図5に画像の処理後の赤外画像(a)とその度数分布(b)を示す。この処理によって、バランスの良い画像に変換されたことが確認できる。また、度数分布からも濃度領域全体に渡って反射光強度が分布していることが分かる。

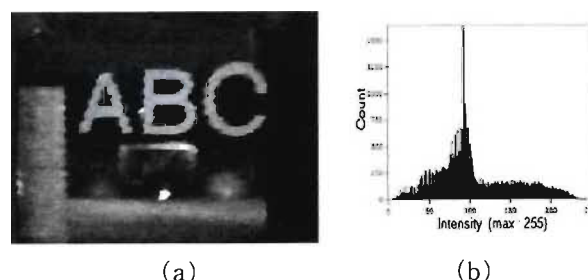


図5 赤外画像の反射光強度分布(画像処理後)

### (2) 機械的限界による問題点

#### ア 問題点

走査線の位置変動(ジッタ)が画像の劣化を生じさせていた。これは、ポリゴンミラーの各ミラー面から走査開始を確認する同期信号用のセンサを設置しているが、装置の構成上、照射及び、受光に利用している面とは異なったミラーから信号をとらえていた。そのため、レーザーの照射、受光に寄与しているミラーが正規の位置の到達しているのにも関わらず、同期信号をとらえているミラーが走査開始の信号を発する位置に到達していない状態が生じる。

この原因は、各面のミラーの貼り付け角度の精度が十分でなかったためである。しかしながら、今回製作したポリゴンミラーが $\phi$ 168mmと大きなものであったことから貼り付け精度についてはこれ以上の高精度化が困難であった。

図6に波長10.6 $\mu$ mの場合でのジッタの影響を示す。(a)は視野全体であり、(b)はその一部を拡大したものである。また、画素数は横256 $\times$ 縦170である。

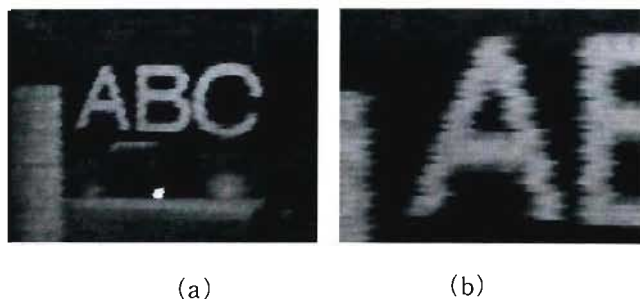


図6 ジッタによる画像の劣化



## イ 対応策

ジッタを減らすためには、ミラーの貼り付け精度を向上させる必要があるが、これが難しいことから、制御機能を強化することによって対応した。準備として、同期信号と実際のミラーの位置関係(変動量)を測定しておく。また、照射、受光に寄与してるミラーを特定するセンサを付加する。そして、画像を生成する段階で、付加したセンサからの信号をもとに、あらかじめ測定しておいた変動量で、画素の位置を補正する。

## ウ 結果

図7にジッタ補正機能を作動させた場合の画像を示す。条件は前述の図6と同様である。先の図と比較するとジッタが低減していることが確認できる。

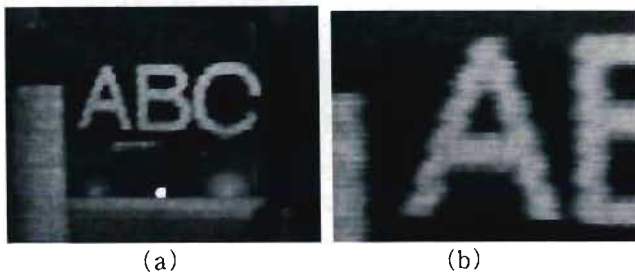


図7 ジッタの補正

## 3 画像からの情報抽出

画像情報は一般的には物体の輪郭形状を把握する情報を有しているが、実際の作業においては、より多くの情報が必要になる。本研究では、多種の光源を利用することで、物体特有の情報を抽出することを試みた。

### (1) 原理

物体の反射特性は、光源の特性によって変化することが知られている。すなわち、物体面での反射率、反射分布は光の波長、偏光特性によって変化する。<sup>文3</sup>そのため、多種の光源から得られた画像を分析することによって、物体固有の情報を抽出することができると考えられる。

#### ア 光源の波長による反射光強度の変化

図8に光源の波長による反射特性の変化を示す。

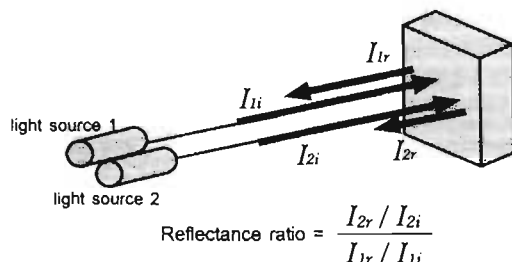


図8 2波長の光源による反射強度比

ある物体に対して2種類の異なる波長の光源を照射すると物体面の反射特性によってその反射光は変化する。その変化量の比を反射強度比とするとその値は物体の表面特性によって決定される。

#### イ 光源の偏光特性による反射光強度の変化

図9に光源の偏光特性による反射光強度の変化を示す。ある物体に偏光された光(S or P)を照射すると物体面の反射特性により、偏光の度合いが変化する。<sup>文4</sup>この偏光の度合いを偏光比とするとこれは物体の表面特性によって決定される。

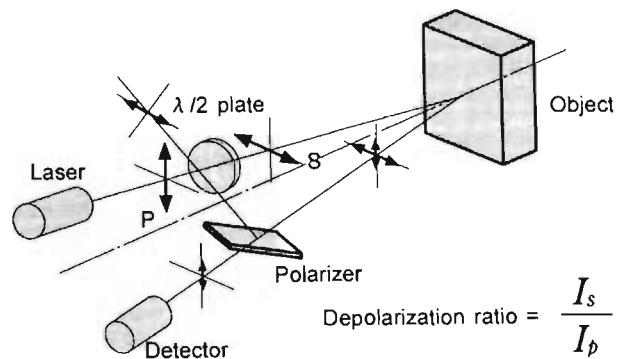


図9 偏光比

### (2) 物体の識別情報の抽出

画像中に存在する物体に関してこれらの値を比較することによってそれぞれを識別する。図10(a)に実験に利用した対象物の配置状況を示す。また、図10(b)に2波長(3.39μm、10.6μm)の反射強度比による画像を、図10(c)に10.6μmの波長の偏光比による画像をそれぞれ示す。

図から分かる通り物体によってその反射特性が変化することが分かる。また、反射特性を数値化したものを表2示す。

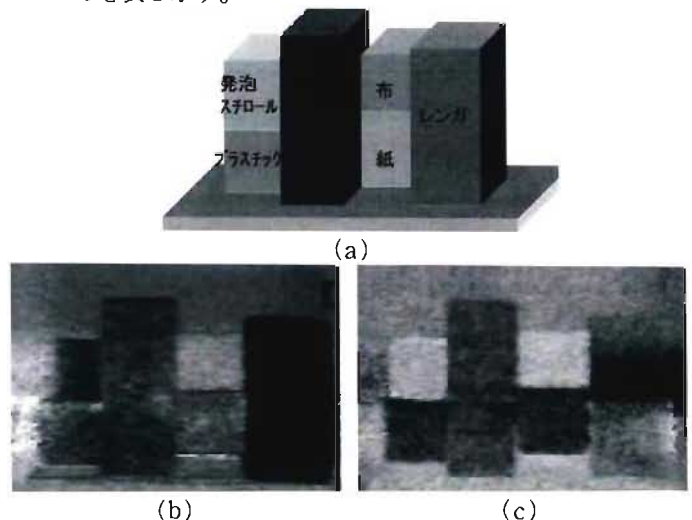


図10 物体の識別情報の抽出

表2 反射強度比、偏光比

対象物	反射強度比	偏光比
発泡スチロール	1.0	0.25
プラスチック	1.1	0.11
木材	1.1	0.17
布	1.9	0.26
紙	1.5	0.13
レンガ	0.2	0.15

※反射強度比は発泡スチロールを1.0とする。

(3) 画像との対応

上述のように反射特性から、画像中の物体に関する情報を抽出することが可能である。また、反射特性に関する情報が豊富であれば、反射特性から識別すべき対象物を自動抽出することが可能になる。

先に利用した3種類の画像に関して、同一画素の反射光強度を、座標点(10.6 $\mu$ m(Ip), 10.6 $\mu$ m(Is), 3.39 $\mu$ m)とした場合の点のプロットしたものが図11(a)である。

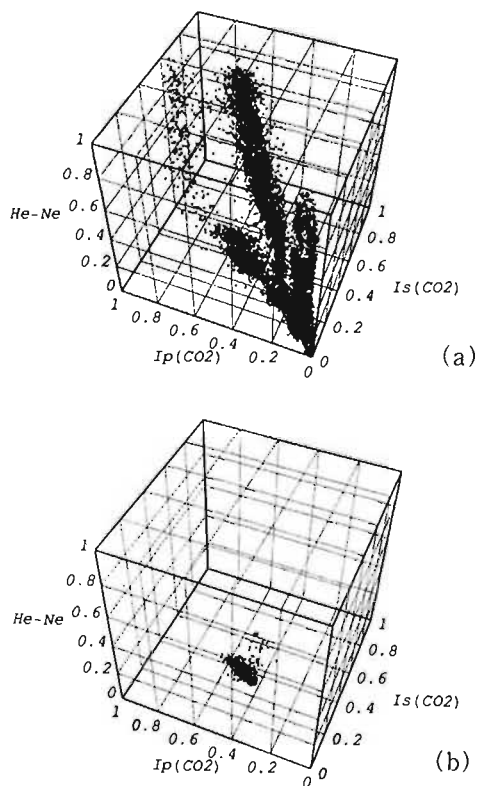


図11 3次元ヒストグラムによる反射特性

この3次元グラフの中で、傾きが同じものが同種の対象物であることとなる。図11(b)布の反射光強度を示したものである。この情報から物体の特性や位置を特定することが可能であるといえる。また、各点のバラツキはノイズと画像を取得する場合の視野の誤差であると考えられる。

6 ネットワークの構築

画像処理機能を含めた視覚装置とするために、ネットワークによる処理機能の分散化を図った。これによって負荷が分散することにより、システム全体としての機能を高めることができる。

(1) 処理機能の分散化

光学装置を駆動、制御するために利用している処理装置(パーソナルコンピュータ)に画像処理機能を持たせることは、画像処理能力が低くなるとともに制御系に負荷がかかることとなる。そこで、ネットワークを利用したシステムとすることにより、両者の機能低下を抑えることとした。

(2) ネットワーク環境

図12に視覚装置のネットワーク環境の概要を示す。光学装置からの反射光強度に応じた電気信号は制御装置に入力される。制御装置では光学装置からの同期信号等から、画像情報としての形式を付加されたファイルの形で画像処理装置に転送される。画像処理装置は画像処理機能のほかに、画像データのサーバーとしての役割をもつ。画像処理装置は、転送されたきた画像ファイルを画質改善のためのいくつかの処理を施した後モニターに表示する。この表示機能は画像ファイルが転送されてくる間は常時行われる。また、画像情報端末はサーバーに貯えられた画像を呼び出し、再処理を施すためなどに利用される。

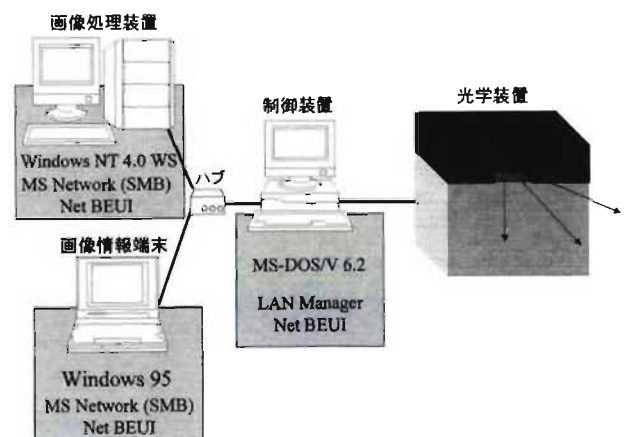


図12 ネットワーク環境

(3) ネットワーク環境下での各機能

ネットワーク環境で各構成機器はそれぞれの処理を分散して行っている。それぞれの機能は以下のとおりである。

ア 制御装置

- ・画像取得：光学装置の駆動
- ・画像表示：信号強度の表示（画像処理なし）
- ・画像送信：画像処理装置への画像情報の転送

イ 画像処理装置

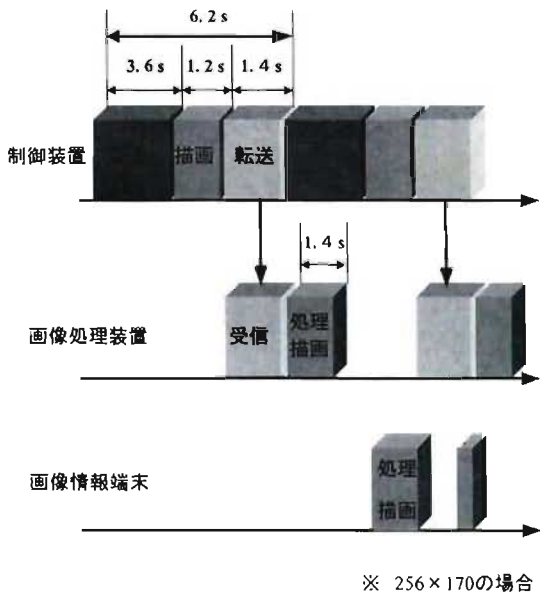
- ・画像受信：制御装置からの画像情報の受け取り
- ・画像処理：画質の改善、物体の識別
- ・画像表示：処理された画像の表示

ウ 画像情報端末

- ・画像読み込み：蓄積された情報の読み込み
- ・画像処理：物体の識別
- ・画像表示：画像の表示

(3) 視覚装置の時間的な流れ

視覚装置が画像を生成するまでの処理手順を図13に示す。1画面を生成するために、レーザー光を2次元的に走査して反射光をとらえる。次に制御装置のモニター上で画像として表示した後に、画像処理装置に転送される。画像処理装置では画像データ転送が終了したことを確認した後、画像処理を行い改善された画像を表示する。また、画像情報端末では、画像処理装置が蓄積している画像、情報を必要に応じて読み込み、表示、再処理を行う。図14は、画像情報端末からデータを読み込んだ状態の一例を示す。



※ 256×170の場合  
図13 視覚装置のタイムテーブル

(4) システムの利点、

ア 処理機能の分散化

視覚装置の駆動系、画像処理系がそれぞれ単独に機能することによって、画像ファイルの転送に要する時間以外は異なる処理を平行して行うことができる。このため、処理能力の低下が抑制され、視覚装置全体の処理時間を短縮することができる。



図14 画像情報端末での表示例

イ 拡張性

画像ファイル、抽出データはネットワーク内で共有することができるため、ネットワークに端末を接続することにより、複数の場所で、それぞれの環境に応じた情報を利用することができる。

7 まとめ

煙環境で利用することのできる視覚装置を試作し、画像表示、情報の抽出に関する研究を行った結果以下の結論を得た。

- (1) 視覚装置の制御機能を強化することによって、画像の乱れが低減された。
- (2) 画像ごとに信号強度を解析し、その結果を利用することで視認性の良い画像が得られた。
- (3) 多種の光源光による画像を取得し、これらから得られる多次元ヒストグラムによる物体の識別法の有効性を確認した。
- (4) ネットワークを利用した処理機能の分散化によって、システム全体の能力の向上が可能になり、また、複数の場所において必要であった情報を抽出するシステムを構築することができた。

参考文献

- 1 特異空間における視覚装置の研究開発（第1報）  
消防科学研究所報（1995）
- 2 特異空間における視覚装置の研究開発（第2報）  
消防科学研究所報（1996）
- 3 火災環境用アクティブ型赤外線視覚装置の試作  
日本赤外線学会 第6回研究発表会（1996）  
加藤、井越
- 4 飛翔体終末誘導専用レーザ3次元画像計測  
防衛庁技術研究本部技報（1994）  
外園、菊川、山川