

画像処理手順のエキスパート知識をガイド情報に持つ 会話型溶接欠陥識別システム†

村上和人^{††} 奥水大和^{†††} 長谷川錦治^{††}

画像処理手順に関するシステム開発時のエキスパート知識を積極的に利用した会話型溶接欠陥識別システムを構築した。本システムでは、溶接部 X 線写真の濃淡画像を入力し、これよりブローホールなどの溶接欠陥を検出し、さらに 6 種類の欠陥クラスに分類することにより、入力フィルムを 4 段階に等級分類を行うこと (JIS) を目的としている。また、これを実現するため、溶接境界線や透過度計などのパターン識別も必要とされる。これらの処理モジュールを実現したプログラムにおいて、濃度閾値やフィルタサイズ等からなるパラメータが約 40 個存在する。本研究では、これら 40 個のパラメータの最適設定を可能とする制御モジュールを処理モジュールごとに作成した。制御モジュールには、パラメータ設定に関するガイド情報が登録されており、これらはシステムのオペレータに対し、実行時に提示される。この会話型制御方式の有効性ととも、本システムでは、パターン形状や寸法が既知である透過度計識別において、モデル制御方式の自動パラメータ制御方式も導入し、会話型のパラメータ制御方式の手間を補強できる可能性を確認した。以上により本論文では、応用システムの高性能化を図るための画像処理エキスパート知識の利用の一方式を、システム構築的に提案した。また、実際的には、処理手順 (処理モジュール) を構成する際には、対応する制御モジュールを同時に作成すべきである、というのが本論文の主張点の一つである。

1. ま え が き

画像処理エキスパートシステムは、狭義には、汎用画像を対象とした汎用ツール開発を目的としている。汎用ツール開発においては、大別して 2 つの問題が存在する。それは、手法を組み合わせていかに良好な手順構成を行うかという問題^{1),2)} と、用意した大まかな手順をどのように選択し、また、パラメータ値のチューニングをいかに行うかという問題^{3),4)} である。

一方、特定の画像を対象とした個別のシステム開発においては、程度の差こそあれ、これらと同質・同型の問題が存在する。その上、実際に開発されるアプリケーションシステムの高性能化が重視される場合、画像処理システム開発におけるエキスパート知識のより積極的な獲得・利用の方法が問題となる。

本論文では、これらの観点からパラメータチューニングに焦点を当て、エキスパート知識の一利用形態について示す。第一に、未知パターンに対しては、パラメータ値を変化させたときの効果をガイド情報として提示し、オペレータとの会話型制御方式により入力を得る。その際、極力、処理系を処理モジュールと制御モジュールに分離することにより、会話型制御を容易

にした。第二に、既知パターンに対してはモデルを利用し制御する。これらの方式の併用により、システム開発時に得られたエキスパート知識を積極的に用いてパラメータ値を最適化する。

例として、これらの手法を X 線写真を用いた溶接検査システム (溶接欠陥識別システム) に適用し、エキスパート知識の獲得・利用を積極的に行った、検査のエキスパートのための検査支援用システムを構築した⁵⁾⁻⁸⁾。まず、2 章で、検査システムの高性能化問題を、溶接欠陥識別処理、分類処理など、構成された個別の処理手順におけるパラメータ値の最適化問題として捉え、導入した会話型制御方式とモデル制御方式の適用方法を処理概略と合わせて示す。続いて、3 章では会話型制御によるパラメータ最適化法の具体例とその効果を、4 章ではモデル制御方式によるパラメータ最適化方式とその効果について述べる。

2. システム概要と知識利用の基本方針

2.1 溶接欠陥識別システム概要

本システムは、溶接部 X 線写真 (X-ray Photograph of Welding; XPW と略称する) に含まれている各種の情報を基にして、ブローホール、クラックなど 6 種類の溶接欠陥の識別・分類を行い、標準規格 (JIS)⁹⁾ に基づいたフィルムの等級分類を行うことを目的とする。XPW は、溶接部を X 線透過にて写した内部欠陥検出用の写真であり、その濃度分布の中には、溶接部・母材部の像と共に、フィルム検査の基準となる透

† On the Interactive System for the Recognition of Weld Defects Based on the Expert Knowledge of the Image Processing Procedures by KAZUHIRO MURAKAMI (Electronic Department, Nagoya Municipal Industrial Research Institute), HIROYASU KOSHIMIZU (Faculty of Liberal Arts, Chukyo University) and KINJI HASEGAWA (Electronic Department, Nagoya Municipal Industrial Research Institute).

†† 名古屋工業研究所電子部
††† 中京大学教養部

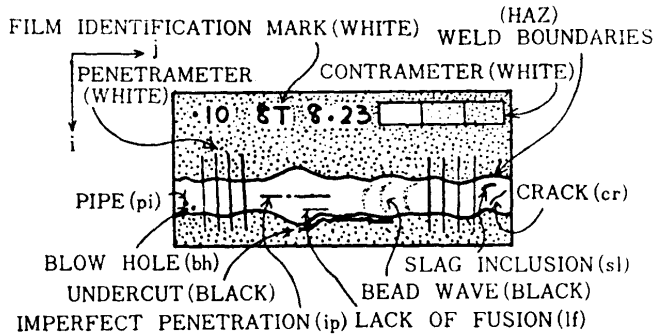


図 1 XPW の模式図と用語
Fig. 1 A typical model of XPW.

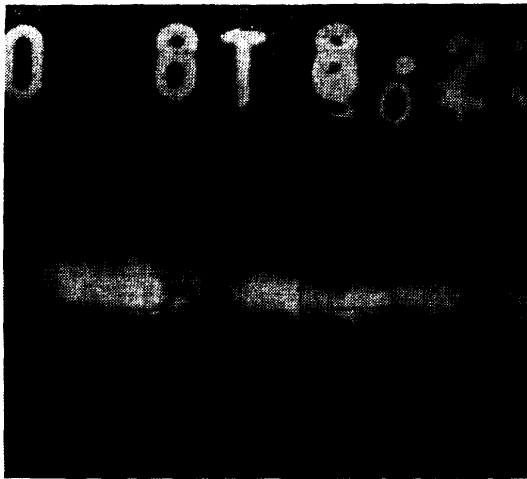


図 2 典型的なフィルム例
Fig. 2 An example of XPW.

過度計・階調計をはじめ、母材部の肉厚などの属性や溶接ビードなどの外観に関する情報も同時に写し込まれている¹⁶⁾。図 1 に本論文で使用する XPW の模式図と用語を示す。また、典型的なフィルム例を図 2 に示す。本システムには、このような濃淡画像が ITV カメラから入力されるものとする。

システムの処理機能は、大別して、①前処理、②欠陥パターン認識、③欠陥パターンの分類、の 3 つである。その概略のフローを図 3 に示す。

前処理部では、本システムへの画像入力の後、階調計識別処理および透過度計識別処理を行い、検査対象として適当なフィルムであるか否かの画質（分解能）判定を行う。画質不良フィルムについては棄却する。次いで、溶接部と母材部との境界である溶接境界線を抽出し、次の欠陥パターン認識の際の領域確定に用いるデータとする。

欠陥パターン識別部では、画像の濃度情報を基に、

フィルタ処理（局所演算）とノイズ除去（閾値処理）により欠陥パターン識別を行う。

欠陥パターン分類部では、これらのパターンの幾何学的形状特徴量と位置情報および濃度情報から、ブローホール (bh)、パイプ (pi) 等、6 種類の欠陥に分類し、最終的に標準規格に基づいた入力フィルムの等級分類（一級～四級）を行う。

2.2 パラメータチューニングの二つの基本方針

本システムは、大別して次のエキスパート知識に基づいて開発されている。

- ① 検査対象に関するエキスパート知識：
鋼材の知識、放射線の装置・遮断・試験方法、写真の等級分類法など。
- ② 画像処理手法に関するエキスパート知識：
エッジ検出フィルタ、画像強調フィルタなどの機能や特徴、使用方法など。
- ③ システム開発のエキスパート知識：
溶接境界線検出モジュールでの閾値選択や、欠陥検出用のフィルタ選択など、目視検査を画像処理による自動検査に置き換えるための知識。

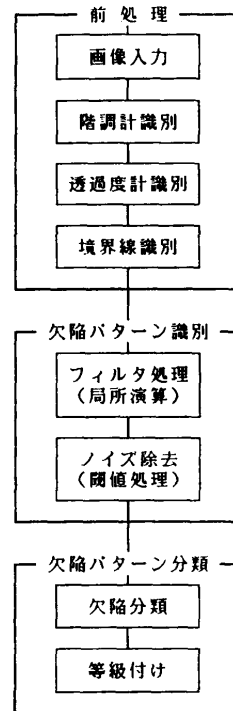


図 3 溶接欠陥識別システムの概略のフローチャート
Fig. 3 General flowchart of the system.

この3つのいずれが欠落しても満足な結果が得られないが、一度開発者の手を離れると、プログラムの書き換えは容易ではない。最終的には、使用フィルタや閾値など、システム開発時の選択が支配的になるという現実的な問題が残る。さらに、本システムを構築した者は検査のエキスパートではなく、また、実際のユーザであるオペレータ（検査のエキスパート）は画像処理のエキスパートではない。しかし、本システム構成において、結果として得られたところ

の“手順構成に伴う知識”は、パラメータチューニングに生かすことができる。したがって、③に関する知識レベルでユーザがタッチできるシステムを構築することが、最も効果的にシステム全体の能力を引き出すことになると思われる。

本論文では、このシステム開発時の知識の積極的な利用方法は、表1に示す約40個のパラメータ値を最適設定することにあると考え、次の会話型制御およびモデル制御の2つの方式を導入した。

(1) 会話型制御方式

本会話型制御方式は、未知パターンの識別処理に用い、会話方式でシステム開発時のエキスパート知識を利用しながらパラメータチューニングを行う。溶接欠陥識別システムにおいては、図3のフロー中の境界線識別、欠陥パターン識別、欠陥パターン分類などが該当する。

パラメータチューニングは、パラメータ値を変化させたときの効果をガイド情報としてオペレータに提示することにより、画像処理手順に関する専門知識の利用を行う。提示されるガイド情報は、該当する処理モジュールの手法選択やパラメータ選択のためのものであり、“制御モジュール”として独立に構成した。したがって、会話型制御方式では、処理ステップごとに、“処理モジュール”+“制御モジュール”の構成形式をとる。このような会話型制御における、処理モジュールと制御モジュールの構成方式の様子を図4に示す。溶接欠陥識別システムにおける制御モジュールの制御項目は、例えば、フィルタ寸法や濃度閾値などのパラメータである。

制御モジュールでは、オペレータ入力の簡便性が

表1 本システムで用いたシステムパラメータ
Table 1 A set of system parameters.

処 理	パラメータ
画像入力	ivw, ivwj1, ivwju, isll, islu, isul, isuu
画像校正 (透過度計識別など)	k1, k0, lm, p, int0, int1
境界線識別	jwdth1, jwdth2, iwdth1, ihazuv, ihazlv jwdth3, jwdth4, iwdth2, ihazuw, ihazlw
欠陥パターン識別 (SMOOT4) (BRG4I) (p-タイル法) (ノイズ除去)	jjhd0, kkk, lll jjhd0, kbrg, lbrg, jjhd0 iptile iarea
欠陥パターン分類 (分類) (データベース)	alf, wcr, wf, idelt, fthr, nsthr film, bthck

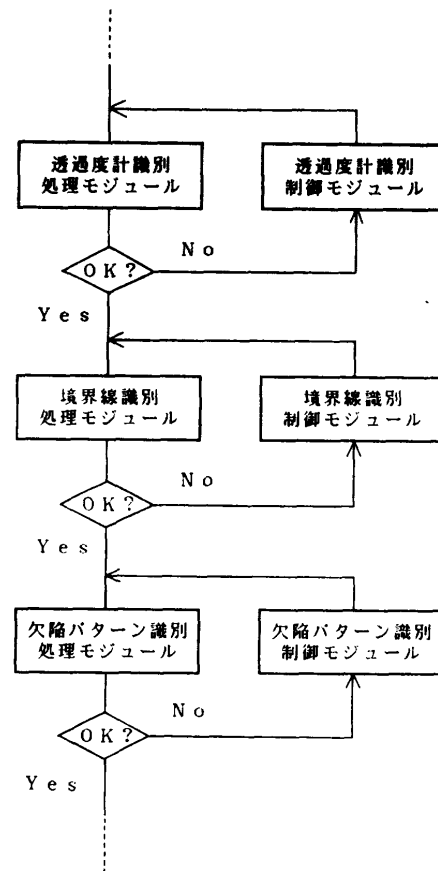


図4 処理モジュールと制御モジュールの構成方式
Fig. 4 Structure of the processing modules and control modules.

ら、相対的入力方式を用いた。これは、表示されたガイド情報を経験の浅いオペレータでも理解できるように、パラメータ値を直接的に入力させるのではなく、

極力、相対的な表現を用いて、効果の程度を入力させることにしたものである。具体的には、+/++/+++の3種類でポジティブの程度を、また、-/-/-/-/-の3種類でネガティブの程度を表す。そして、パラメータを変更しない場合は、0とした。これらを用いて効果の程度を入力した。

内部では、画像処理のエキスパート知識に基づいて、入力された効果の程度から、処理モジュールのパラメータ値を設定する。微妙な調整は、これを繰り返すことで行う。粗から密への設定方法により、最適値を設定する。

このように設定されたパラメータ値群は、一種の“エキスパート知識”の主要部分であると考えられる。そこで、これらを履歴ファイルとして保存し、システム全体のパラメータ値の総合的なチューニングのためのデータベースとして蓄積した。

会話型制御における初期提示情報のパラメータ値(デフォルト値)は、この履歴ファイルに基づいて、次のように設定した。複数のサンプル画像の処理結果から得られたパラメータ値群の平均値のうち、分散の小さいものはほぼこのパラメータ値でよいと考えられるため、これを用いた。分散の大きいものは、最後の処理データのパラメータ値をデフォルト値として設定した。

3章では、溶接欠陥識別システムの境界線識別、欠陥パターン識別、欠陥パターン分類の名々の処理における制御実験例について述べる。

(2) モデル制御方式

モデル制御方式は、既知パターンの識別処理に用い、モデルの形状、寸法などの知識をもとに、パラメータの自動設定を行った。溶接欠陥識別システムにおいては、図3のフロー中の階調計識別、透過度計識別が該当する。

パラメータチューニングは、識別結果がパターンモデルに合致するように自動的に制御する。

4章では、溶接欠陥識別システムの透過度計識別処理における制御実験例について述べる。

3. 処理手順の知識を有する会話型制御システム

本システムの会話処理は、以下に述べるような手法で行った。そのイメージを図5に示す。処理系→オペレータ方向の情報伝達は、ビデオモニターおよびカラーディスプレイ上に表示された画像情報(例えば、

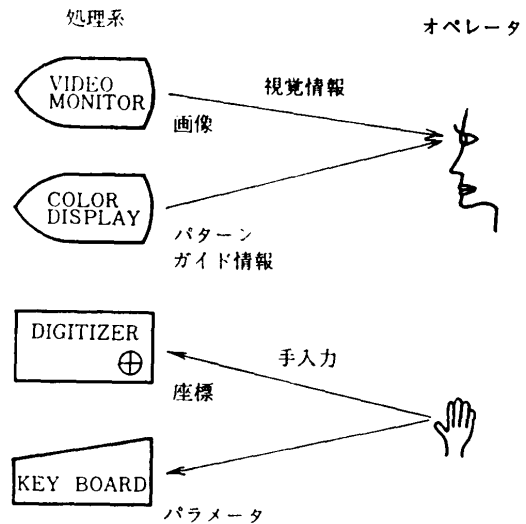


図5 会話型処理のイメージ図
Fig. 5 Principle for the interactive system.

原画像と処理画像など) およびガイド情報によって与えた。一方、オペレータ→処理系方向の情報伝達は、キーボードによるパラメータ入力およびディジタルイザによる位置情報入力など、手入力にて行った。

以下では、溶接境界線識別、欠陥パターン識別および欠陥パターン分類処理の各モジュールを採り上げて具体的に説明する。

なお、入力画像の左上隅を原点とし、垂直方向、水平方向に各々 i 座標、 j 座標をとる。そして、画像データを $F = (f_{ij})$, $i = 1, \dots, M$, $j = 1, \dots, N$ と表し、 f_{ij} は第 (i, j) 要素の濃度値とする。

3.1 溶接境界線の識別処理

(1) 境界線の識別方法

入力画像 F に対し、極力、ノイズの影響を除き、適当な濃度勾配を見つけるために、まず、溶接の開先方向 (j 方向) に、幅 $iw\text{dth}1$ で平滑化処理を行う。そして、列ごとに境界線対 $i_j^{(P)}$, $i_j^{(Q)}$ を上側、下側から領域拡張法で各々探索する。ここでは、式(1)に示すように、 i 方向に幅 $iw\text{dth}1$ で濃度差が $ihazuv$ (上側)、 $ihazlv$ (下側) を越えた最初の地点を境界線対とした。そして、その集合 $P = (i_j^{(P)})$, $Q = (i_j^{(Q)})$ を溶接境界線とした¹⁰⁾。

$$\begin{aligned} \text{上側} & f_{i+iw\text{dth}1,j} - f_{i,j} > ihazuv \\ \text{下側} & f_{i-iw\text{dth}1,j} - f_{i,j} > ihazlv \end{aligned} \quad (1)$$

(2) 境界線識別の制御モジュール

境界線は、画面の横方向 (j 方向) にほぼ平坦となる“線”であり、途中で途切れることはなく、 j に関して1価関数となる。また、境界線対間の幅あるいは位

置を制御する必要が生じる。

滑らかさの度合は平滑化フィルタのサイズの影響を大きく受ける。また、境界線の上下方向 (i 方向) の位置は探索時の濃度閾値パラメータに依存する。そこで、図 6 (b) に示すように、これらの傾向やパラメータの具体的代表例をガイド情報として持たせた制御モジュールを付加して、これらの項目を制御した。

(3) 境界線識別の制御実験例

境界線識別の制御実験例を図 6 に示す。これは、図 6 (a) の境界線の左方部分が接近すぎて識別されていたため、実情に合致するように境界線対間の幅を広くするようにパラメータの変更を行った例である。図は、平滑化パラメータも一部変更してある。結果は図 6 (c) のように修正された。

3.2 欠陥パターン識別処理の場合

(1) 欠陥パターン識別方法

欠陥パターンの候補は、画像 F に対する局所演算処理による画像強調と閾値処理により検出される。表 2 に欠陥パターン識別の局所演算フィルタの一覧を示す。平滑処理によるもの (No. 1), 2次元ブリッジ処理によるもの (No. 2), Kirsch フィルタの拡張版 (No. 4, No. 5) など 19 種類の局所演算フィルタが用意されている。default 値による処理には、'SMOOT 4' が設定してあるが、これらの中から任意に選択して施すことができる。以下、これを例にとって、処理手順を説明する。

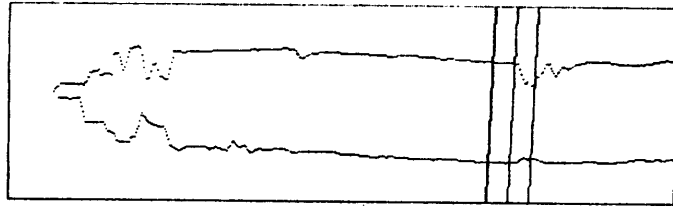
まず、画像 $F = (f_{ij})$ に対し、第 (i, j) 要素を中心とした、サイズ $K \times L$ の一様平滑化処理を施して $(f_{ij}^{(s)})$ を作成する。次に式 (2) によるフィルタ出力画像 $G = (g_{ij})$ を求める。

$$G = (g_{ij}), \quad g_{ij} = \begin{cases} f_{ij} - f_{ij}^{(s)} & ; \text{for } f_{ij} \geq f_{ij}^{(s)} \\ 0 & ; \text{for } f_{ij} < f_{ij}^{(s)} \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $f_{ij}^{(s)} = \sum_{i',j'} f_{i',j'} / (K \times L)$

そして、濃度閾値 (jjhd 1; P タイル法による濃度閾値, jjhd 0; 外部パラメータ) により 2 値化処理をし、欠陥パターン候補を検出する。

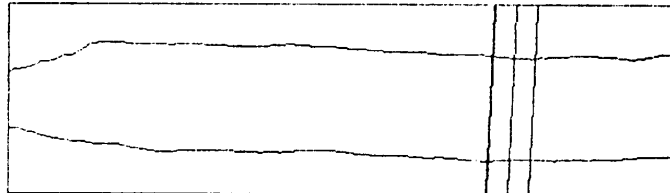
次に、面積閾値 (iaera) によるノイズ消去処理を行



(a) デフォルトパラメータによる識別結果
Result with default parameters.

WELD BOUNDARIES RECOGNITION			
FOR BEGINNERS		FOR SENIORS	
Q1: SMOOTH BOUNDARIES ?	:	JWIDTH1 ==>	>10 , JWIDTH2 ==> >2
Q2: WIDEN BOUNDARIES ?	:	IWIDTH1 ==>	>3
Q3: LIFT UP UPPER BOUNDARY ?	:	IHAZUV ==>	<4
Q4: LIFT DOWN LOWER BOUNDARY?	:	IHAZLV ==>	<4
IF YOU WANT TO CHANGE RESULT, KEY IN +/+/+/+ OR -/-/-/- OR 0.			
+ : POSITIVE RESPONSE			
- : NEGATIVE RESPONSE			
0 : NOT CHANGE			
Q1 ? +	:	JWIDTH1	CHANGED : 10 ==> 11
Q2 ? ++	:	JWIDTH2	CHANGED : 2 ==> 3
Q3 ? +	:	IWIDTH1	CHANGED : 3 ==> 5
Q4 ? +	:	IHAZUV	CHANGED : 4 ==> 3
	:	IHAZLV	CHANGED : 4 ==> 3

(b) ガイド情報によるパラメータ変更
Alternation with guide informations.



(c) パラメータ変更による修正結果
Modified result.

図 6 境界線識別の制御実験例

Fig. 6 An experimental result. (recognition of weld boundaries)

表 2 欠陥パターン識別のための局所演算フィルタの一覧
Table 2 A list of the filters for the defect detection.

選択番号	フィルタ	選択番号	フィルタ
1	SMOOT 4	11	LEGRB 1
2	BRG 4 I	12	LEGRS 1
3	LEGFC 1	13	LEGRS 2
4	LRGKS 1	14	LEGRS 3
5	LEGKS 2	15	LEGSB 1
6	LEGLP 1	16	LEGSB 2
7	LEGPW 1	17	CNTRF 1
8	LEGPW 2	18	CNTRF 2
9	LEGPW 3	19	CNTRF 3
10	LEGPW 4		

って、欠陥パターンを検出する。

(2) 欠陥パターン識別の制御モジュール

検出された欠陥はカラーディスプレイ上に表示され、オペレータはこれとビデオモニタを見比べ、必要に応じて制御を行う。

制御項目は、欠陥パターン候補検出の数に影響が大きい濃度閾値 (jjhd 0)をはじめ、その検出方式自体を選択できるフィルタ方式 (表2) およびそのサイズ (例えば、図7 (b) の場合、平滑化フィルタサイズ $K=KKK$, $L=LLL$ など)、ノイズ消去のフィルタのエリアサイズ (iarea) 等である。

(3) 欠陥パターン識別の制御実験例

欠陥識別の制御実験例を図7に示す。図7 (a) はデフォルトパラメータ値による結果であり、小さいノイズも欠陥として識別してしまったので、識別欠陥数の制御を行った。

ここでは、欠陥検出のフィルタの選択およびそのサイズの変更をガイド情報に従って行ったものである。図7 (b) 中の KKK , LLL はフィルタサイズであり、これを大きくすれば小さい欠陥は拾わない傾向となった。

3.3 欠陥パターン分類処理の場合

(1) 欠陥パターン分類方法

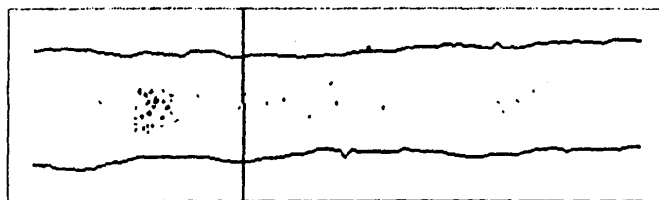
表3に示したエキスパートからの聞き取りによる欠陥パターン分類のための基礎知識を分析し、欠陥パターンに必要な、形状、位置、濃度の3つの情報を抽出する。形状特徴量として、図8に示した縦および横の長さ LI , LJ と面積 S を求め、パターン長 l および幅 w を計算する。これらを基に、ブローホール (bh)、パイプ (pi) など6種の欠陥に分類する¹¹⁾。

(2) 欠陥パターン分類の制御モジュール

欠陥パターン分類の制御では、各々の分類項目ごとに検出数の大小 (これは、欠陥のクラス判定に使用する) の傾向を与えて制御を行った。

(3) 分類パターン分類の制御実験例

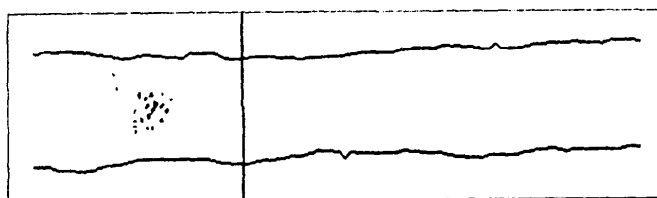
図9の例は、欠陥の分類に関する制御実験例である。自動分類によって、図9 (a) の識別番号 No. 9



(a) デフォルトパラメータによる識別結果
Result with default parameters.

WELD DEFECT RECOGNITION	
FOR BEGINNERS	FOR SENIORS
Q1: DECREASE WELD DEFECTS ?	: JJHD ==> >0 : KKK ==> >5 ; LLL ==> >5 : IAREA ==> >1 : IPTILE ==> >9950
Q1 ? +	: JJHD NOT CHANGED : 0 ==> 0 : KKK CHANGED : 5 ==> 6 : LLL CHANGED : 5 ==> 6 : IAREA CHANGED : 1 ==> 2 : IPTILE NOT CHANGED : 9950 ==> 9950

(b) ガイド情報によるパラメータ変更
Alternation with guide informations.

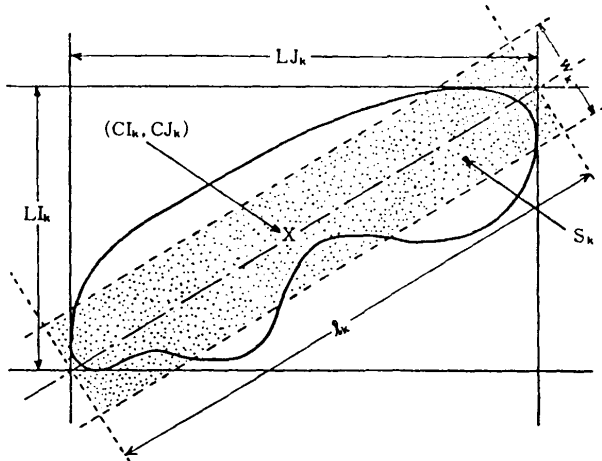


(c) パラメータ変更による修正結果
Modified result.

図7 欠陥パターン識別の制御実験例
Fig. 7 An experimental result.
(recognition of weld defects)

表3 欠陥パターン分類の判別基準 (欠陥)
Table 3 Knowledges for classification of weld defects.

欠陥パターンの種類	判別基準
BLOW HOLE (bh)	黒い丸い像。
SLAG INCLUSION (sl)	形状は複雑で、幅も長さもある黒い像。
LACK OF FUSION (lf)	溶接部の中央とハズの間に位置し、幅がせまく横長の黒い像。
IMPERFECT PENETRATION (ip)	溶接部中央に現れ、幅がせまく横長の黒い像。
CRACK (cr)	幅がほとんどなく不規則に現れ、長さが一定でない黒い像。
OTHERS (type 1)	bh でも欠陥部と健全部の濃度差が大きければパイプ pi であるとし、扱いは sl とみなす。
(type 2)	区別しにくい bh と sl は、長さとの比が3以上なら sl とみなす。



S_k : 第 k 欠陥パターンの面積 (画素数)
 $k=1, 2, \dots, L^{(\min)}$

Cl_k, Cj_k : 中心座標値

Ll_k, Lj_k : 縦長さ, 横長さ (画素数)

l_k : 欠陥パターン長 ($l=(Ll^2+Lj^2)^{1/2}$)

w_k : 欠陥パターン幅 ($w=S/l$)

図 8 欠陥パターンの形状特徴量

Fig. 8 Shape features for the defects classification.

の欠陥はパイプ (pi) と分類されてしまったが、ビデオモニタと比較した結果、ブローホールに近いと判断されたため、制御モジュールによって濃度差 (パターン内/外) の閾値に関するパラメータ (fthr) の制御を行ったものである。結果は図 9 (c) に示すとおり改善された。

4. モデル制御によるパラメータ自動チューニング

欠陥パターン識別に先立ち、本システムで対象とするフィルムが検査対象として適当であるか否かを判定する必要がある。これは、X線フィルム上の透過度計パターンを識別することによって可能となる。

透過度計 (penetrometer, 線ペネ) は、線径の異なる複数の鉄製の線材を等間隔、平行、太さ順に台紙またはワクに取り付けたものであり、X線フィルムの撮影時に溶接部に重畳して置かれる。したがって、X線フィルム上では、図 10 に示したように、開先方向にほぼ直交した周期的な線状パターンとして現れる。JIS 規格では、この線状パターンが何本見えるかによって、フィルムの適否を判定する。

そこで、このフィルムの ITV 入力画像 (サンプリングピッチは、通常 0.1mm~0.2mm 程度) から、次のようにペネパターン要素を識別する¹²⁾⁻¹⁴⁾。

4.1 パラメータ自動調整方式による透過度計の識別方法

画像 F の領域 u, m, d (図 10 参照) の各々で縦射影 (i 方向) を求め、 $f_i^{(u)}, f_i^{(m)}, f_i^{(d)}$ とする。射影に適当な平滑化処理を行った後、二次差分型フィルタ (これをブリッジフィルタと呼ぶ) を施し、領域 u, m, d を通過する線ペネパターン要素を強調する。この $(g_i^{(u)})$ を、模式的に図 11 に示す。

次に、以下の手続きを $(g_i^{(u)}), (g_i^{(m)}), (g_i^{(d)})$ のそれぞれに施す。この時、領域 u, m, d ごとに識別した線ペネパターン要素は、その座標値で表し、線ペネ要素の太い順に各々、配列 $u(l), m(l), d(l)$ $l=1, 2, \dots, 7$ (ペネ型番 F02 の場合、7本の線ペネ要素が存在する) に格納するものとする。以下では、領域 u での探索手法について示す。

1° ピーク mx を探索し、式 (3) のように、その j 座標を $u(1)$ とする。

$$u(1) = j \quad \text{s.t.} \quad mx = \max(g_j^{(u)}) \quad (3)$$

2° ピークの左右で、int 1 ピッチごとに int 0 幅で次のピークを探索する。右 (または左) に見つかれば、ペネパターンは右 (または左) 系列と判断する。ピークの右 (または左) に見つかったペネパターン要素を 2 本目のペネパターン要素とし、この j 座標を、 $u(2)$ とする。

3° int 1 を改めて、式 (4) により決定される int x で置換する。

$$\text{int } x = |u(2) - u(1)| \quad (4)$$

4° この条件のもとで、改めて 2 本目以降の線ペネパターン要素の探索を継続する。

5° 探索されたピークが $p \times mx$ 以下になったら終了する。 (p : 定数、例えば、0.15)

ここで、3° と 5° は、各々、位置 (等間隔性) および濃度 (線径の順序) のモデル制御に相当する。図 12 はモデル制御による制御モジュールのフローである。step-1 および step-2 は、領域 u, m, d の一部でしか線ペネパターン要素が識別されなかった場合の制御であり、step-3 は平行性についての制御である。

4.2 会話型処理によるパラメータ設定の補助

位置に関するモデル制御は、検出精度向上に対して有効に作用するが、ペネパターン要素の数に関しては、会話型制御によりパラメータ設定を補った。

線ペネパターン要素の検出数を制御するパラメータ

SAMPLE PITCH .167 (MM)

IDEN'T NO.	LOCATION (IC , JC)	SIZE A * B	AREA SAMPLE POINTS	CLASS	CONTRAST
1	(52, 83)	2.00 * 2.00	3	1 B.H.	3.00
2	(64, 86)	3.00 * 1.00	3	21 B.H.	7.00
3	(70, 103)	5.00 * 3.00	11	21 B.H.	19.00
4	(69, 112)	4.00 * 4.00	10	31 B.H.	15.00
5	(69, 121)	2.00 * 2.00	4	1 B.H.	9.00
6	(73, 100)	3.00 * 3.00	7	1 B.H.	17.00
7	(73, 120)	3.00 * 2.00	3	31 B.H.	9.00
8	(82, 114)	18.36 * 2.29	42	13 SLAG	28.00
9	(78, 109)	4.00 * 4.00	11	2 PIPE	22.00
10	(78, 121)	4.00 * 4.00	9	31 B.H.	14.00
11	(83, 125)	4.00 * 3.00	10	21 B.H.	15.00
12	(84, 100)	3.00 * 2.00	4	31 B.H.	9.00
13	(90, 105)	4.00 * 2.00	7	21 B.H.	16.00
14	(91, 121)	3.00 * 3.00	7	1 B.H.	16.00
15	(91, 100)	3.00 * 2.00	4	31 B.H.	14.00
16	(96, 100)	3.00 * 2.00	4	31 B.H.	15.00
17	(98, 109)	3.00 * 2.00	4	31 B.H.	18.00
18	(98, 113)	3.00 * 2.00	6	21 B.H.	16.00
19	(101, 100)	3.00 * 2.00	4	31 B.H.	12.00

(a) デフォルトパラメータによる識別結果
Result with default parameters.

```

-----
CLASSIFICATION OF WELD DEFECTS
-----
FOR BEGINNERS      :   FOR SENIORS .
-----
Q1: DECREASE 'CR' ? :   WCR ==> >0.900
                   :   (
                   :   NSTHR ==> <5
-----
Q2: DECREASE 'IP' & 'LF' ? :   WF ==> >1.800
-----
Q3: DECREASE 'IP' ?      :   IDELT ==> <8
-----
Q4: DECREASE 'PI' & 'SL' ? :   FTHR ==> >20.000
-----
Q5: DECREASE SMALL DEFECTS ? :   ALF ==> <0.800
-----
Q1 ? 0 :   WCR NOT CHANGED : 0.900 ==> 0.900
Q2 ? 0 :   NSTHR NOT CHANGED : 5 ==> 5
Q3 ? 0 :   WF NOT CHANGED : 1.800 ==> 1.800
Q4 ? + :   IDELT NOT CHANGED : 8 ==> 8
Q5 ? 0 :   FTHR CHANGED : 20 ==> 22
       :   ALF NOT CHANGED : 0.800 ==> 0.800
-----
    
```

(b) ガイド情報によるパラメータ変更
Alternation with guide informations.

SAMPLE PITCH .167 (MM)

IDEN'T NO.	LOCATION (IC , JC)	SIZE A * B	AREA SAMPLE POINTS	CLASS	CONTRAST
1	(52, 83)	2.00 * 2.00	3	1 B.H.	3.00
2	(64, 86)	3.00 * 1.00	3	21 B.H.	7.00
3	(70, 103)	5.00 * 3.00	11	21 B.H.	19.00
4	(69, 112)	4.00 * 4.00	10	31 B.H.	15.00
5	(69, 121)	2.00 * 2.00	4	1 B.H.	9.00
6	(73, 100)	3.00 * 3.00	7	1 B.H.	17.00
7	(73, 120)	3.00 * 2.00	3	31 B.H.	9.00
8	(82, 114)	18.36 * 2.29	42	13 SLAG	28.00
9	(78, 109)	4.00 * 4.00	11	1 B.H.	22.00
10	(78, 121)	4.00 * 4.00	9	31 B.H.	14.00
11	(83, 125)	4.00 * 3.00	10	21 B.H.	15.00
12	(84, 100)	3.00 * 2.00	4	31 B.H.	9.00
13	(90, 105)	4.00 * 2.00	7	21 B.H.	16.00
14	(91, 121)	3.00 * 3.00	7	1 B.H.	16.00
15	(91, 100)	3.00 * 2.00	4	31 B.H.	14.00
16	(96, 100)	3.00 * 2.00	4	31 B.H.	15.00
17	(98, 109)	3.00 * 2.00	4	31 B.H.	18.00
18	(98, 113)	3.00 * 2.00	6	21 B.H.	16.00
19	(101, 100)	3.00 * 2.00	4	31 B.H.	12.00

(c) パラメータ変更による修正結果
Modified result.

図 9 欠陥パターン分類の制御実験例
Fig. 9 An experimental result.
(classification of weld defects)

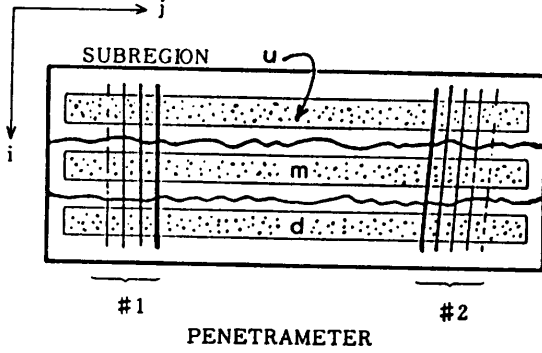


図 10 透過度計パターン例と探索領域
Fig. 10 A profile of the penetrometer and subregions to extract penetrometer patterns.

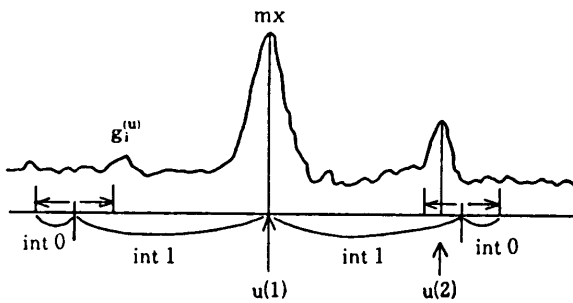


図 11 線ペネパターン要素の射影の模式図
Fig. 11 A rough sketch of the projection pattern.

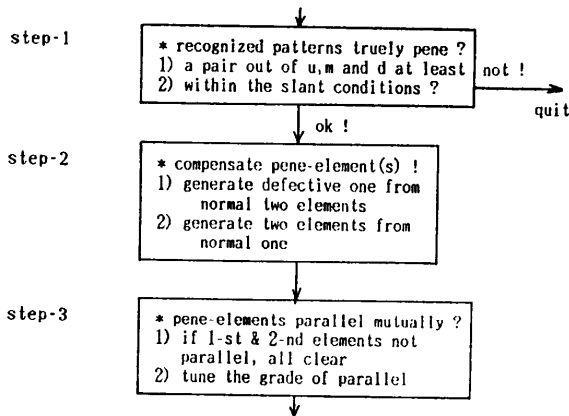


図 12 透過度計識別の制御モジュールのフローチャート
Fig. 12 A flow chart for the control module of the penetrometer recognition.

は、二次差分型フィルタの幅 K 、2 本目以降のペネパターン要素の 1 本目に対する濃度比率 p (探索時の終了判定に利用)、2 本目以降の探索幅 int_0 などである。そこでオペレータに対して、例えば、二次差分型フィルタの幅 K を小さくすると、発見する線ペネパターン要素の本数が増える傾向にあること、カメラ

とフィルムの距離を変える場合、探索幅の初期値である int_0 、 int_1 を連動して変更すること、などの傾向を、ディスプレイを通してガイド情報として提供した。

4.3 透過度計識別の制御実験例

透過度計識別の制御実験例を図 13 に示す。この例では、図 13(a) のデフォルトパラメータによる処理では 5 本のペネパターン要素が見えると判定されたが、カメラからの入力画像を監視するビデオモニタとの比較において、実際はもう少しよく見えていた (6 本程度) ため、図 13(b) のガイド情報に従ってパラメータの設定を指示した (ブリッジフィルタのサイズ変更)。結果は、図 13(c) のように、見える線ペネパターン要素数を 6 本と判定するように改善された。

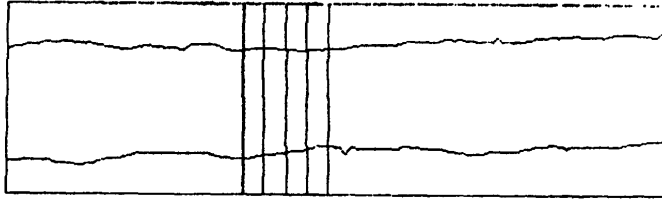
5. 考 察

会話型処理によって得られたパラメータ値の一例を図 14 に示す。VWTRMA, PENE, LINUP・LINWP, SMOOT & BRIG および DFCNTL は、各々、データ入力、透過度計識別、境界線識別、欠陥パターン識別および欠陥パターン分類を表す。これらのフィルムごとに最適化されたパラメータ値群はすべて履歴ファイル上にデータベース化した。前処理、欠陥パターン識別および欠陥パターン分類に用いたパラメータ数は、各々 23, 9, 8 であった。図 15 はデータベース化されたパラメータ値群の平均と分散の一例である。検査の予備処理として、検査フィルムから適当にサンプリングしたフィルムに対して、会話型処理によりパラメータチューニングを行い、データベース化・処理されたパラメータ値のうち、特に分散の小さいものを、デフォルトパラメータ値とすることにより、良好な検査結果が得られた。

一方、モデル制御によるパラメータチューニングを行った透過度計識別においては、会話型制御によってパラメータ値を変更する必要は事実上はほとんど生じなかった。

このような有効性から、透過度計以外のパターン識別のモジュール、例えば、階調計識別¹⁵⁾において、同様の機能を利用することが期待される。

本システムは、FORTRAN 77 言語にて記述し、その大きさは約 6,000 ステップとなった。そのうちメインプログラムは約 1,000 ステップであり、残りは 45 本のサブルーチン群を結合したものである。制御モジ

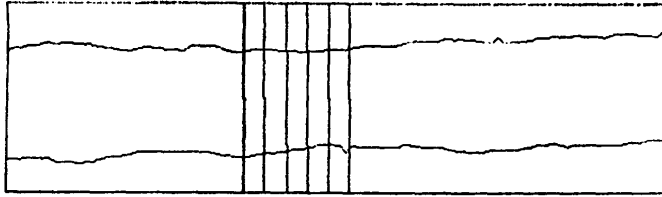


(a) デフォルトパラメータによる識別結果
Result with default parameters.

```

-----
PENETRAMEETER RECOGNITION
-----
FOR BEGINNERS      :   FOR SENIORS
-----
Q1: INCREASE PENE ELEMENTS? : { K1 ==> <8   LM ==> >5
                                : { KO ==> <1   P ==> <0.15
-----
Q2: SHORTEN CAMERA---FILM?  : { INTO ==> >18
                                : { INT1 ==> >7
-----
IF YOU WANT TO CHANGE RESULT, KEY IN +/+/+/+ OR -/-/-/- OR 0.
+: POSITIVE RESPONSE
-: NEGATIVE RESPONSE
0: NOT CHANGE
-----
Q1 ? +                : K1      CHANGED : 8 ==> 6
Q2 ? 0                : KO     NOT CHANGED : 1 ==> 1
                        : LM     NOT CHANGED : 5 ==> 5
                        : P      NOT CHANGED : 0.15 ==> 0.15
                        : INTO  NOT CHANGED : 18 ==> 18
                        : INT1  NOT CHANGED : 7 ==> 7
-----
    
```

(b) ガイド情報によるパラメータ変更
Alternation with guide informations.



(c) パラメータ変更による修正結果
Modified result.

図 13 透過度計識別の制御実験例
Fig. 13 An experimental result.
(recognition of penetrimeter)

ッドはあまりなかった。むしろこの割合が増えることは、処理モジュールの効率的利用を図ることになり、好ましいと考えられる。

6. まとめ

従来の画像処理による溶接欠陥識別システムに、濃度閾値やフィルタ寸法などのパラメータを最適化する制御モジュールを被せ、会話型制御方式の溶接欠陥識別システムを構成した。また、モデル制御による自動パラメータ設定方式も一部導入した。そして、制御モジュールの構成と実験例を示し、検査の自動化への足掛りを得た。

本論文で示した制御モジュールは、システム開発時に得られた処理手順のエキスパート知識を利用しやすいガイド情報形式に置き換えて、積極的に利用した現実的なパラメータチューニングのツールと考えられる。また、実際的には、制御モジュールと処理モジュールは、ユーザが検査・画像処理手順・システム開発のすべてにわたったエキスパートでない限り、一方だけでは十分に機能しない相補的な関係にあると考えられる。そこで、処理モジュールを作成する際には、対応する制御モジュールも同時に作成すべきである、というのが本論文の主張点の一つである。

今後、より詳細なエキスパート知識およびデータベース等を効率的に利用すること、さらに、トップダウン的なモデル

制御方式を拡張することなどが課題である。

```

ファイルネーム = BH-24                シックワシキ = K T                ニチシ = S.60/09/04

VUTRMA      iow,iowj1,iowju,is11,islu,isol,isuu = 1 206 364 98 167 0 0
PENE        k1, k0, lm, p, int0, int1 = 8 1 5 .15 18 7
LINUP       jwdth1,jwdth2,iwdth1,ihazuv,ihazlv = 10 2 3 4 4
LINUP       jwdth3,jwdth4,iwdth2,ihazuw,ihazlw = 0 0 0 0 0
SMOOT&BRIG kkk,l11,kbrg,lbrg,jjhd0,iaera,iptile = 5 5 0 0 0 2 9950
DFCNTL     wcr, nsthr, wf, idelt, fthr, alf = .800 5 1.600 8 20.000 .800
    
```

図 14 パラメータ値の一例
Fig. 14 An example of the fixed parameters.

VWTRMA

	i v w	i v j l	i v j u	i s l l	i s l u	i s u l	i s u u
ハイネン	1.0000	202.1667	361.8333	88.3333	158.5000	.0000	.0000
フアンザン	.0000	28.1367	47.1328	97.5552	90.9160	.0000	.0000

PENE

	k 1	k 0	l m	p	int0	int1
ハイネン	8.1667	1.0000	5.0000	.1500	18.0000	7.0000
フアンザン	.1389	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000

LINUP

	j w d t h 1	j w d t h 2	i w d t h 1	i h a z u v	i h a z l v
ハイネン	10.0000	2.0000	3.0000	3.8333	4.1667
フアンザン	.0000	.0000	.0000	.1389	.1389

LINWP

	j w d t h 3	j w d t h 4	i w d t h 2	i h a z u w	i h a z l w
ハイネン	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
フアンザン	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000

SMOOT & BRIG

	k k k	l l l	k b r g	l b r g	j j h d 0	i a r e a	i p t i l e
ハイネン	5.3333	5.3333	.0000	.0000	.0000	2.0000	9950.0000
フアンザン	.5556	.5556	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000

DFCNTL

	w c r	n s t h r	w f	i d e l t	f t h r	a l f
ハイネン	.8250	5.0000	1.6500	8.1667	19.1667	.8000
フアンザン	.0031	.0000	.0125	.1389	3.4723	.0000

図 15 パラメータ値群の平均と分散の一例

Fig. 15 Statistical informations provided from the registry data base.

参 考 文 献

- 1) 松山, 尾崎: LLVE: トップダウン・セグメンテーションのための画像処理エキスパートシステム, 情報処理学会論文誌, Vol. 27, No. 2, pp. 191-204 (Feb. 1986).
- 2) 折田, 長谷川, 鳥脇, 金崎, 高藤: プロダクションシステムを用いた画像処理手順の推論方法, 信学技報, PRU 87-11 (May 1987).
- 3) 坂上, 田村: 処理モジュールの構造的知識を利用した画像処理プログラム自動生成システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 26, No. 4, pp. 652-661 (July 1985).
- 4) 長谷川, 久保田, 鳥脇: サンプル図形の提示による画像処理手順の自動構成方法とその線図形抽出手順への適用, 信学技報, PRL 85-38 (Oct. 1985).
- 5) 興水大和: 溶接検査の画像パターン処理システム開発における知識利用の分析, 信学技報, PRL 84-60 (Dec. 1984).
- 6) 興水, 高坂, 島田: 画像処理による溶接欠陥識別の一方式, 信学論 (画像処理特集), Vol. J 68-D, No. 4, pp. 933-940 (Apr. 1985).
- 7) 村上, 興水, 長谷川: 制御モジュールつき会話型溶接欠陥識別システム, 信学技報, PRU 86-9 (May 1986).
- 8) Koshimizu, H., Murakami, K. and Hasegawa, K.: On the Knowledge Based Interactive Pattern Processing System for the Recognition of Weld Defects in Radiographic Inspection, 8th ICPR, Proc., Vol. 1, pp. 14-17 (Oct. 1986).
- 9) 日本工業規格, JIS-Z 3104.
- 10) 興水, 吉田: 溶接構造パターン識別法の検討, 信学論 (D), Vol. J 66-D, No. 10, pp. 1253-1254 (Oct. 1983).
- 11) 村上, 興水, 長谷川: 溶接欠陥識別・分類方式, 昭 62 信学総全大, 1550 (Mar. 1987).
- 12) 興水, 村上, 長谷川, パターンモデルによる透過度計識別の一方法, 信学技報, PRU 86-11 (July 1986).

- 13) 奥水, 村上, 長谷川: 透過度計パターン識別によるサンプリング間隔推定, 信学論 (D), Vol. J 69-D, No. 8, pp.1223-1225 (Aug. 1986).
- 14) Koshimizu, H., Murakami, K. and Hasegawa, K.: A Model Controlled Method for Recognizing Penetrator in Radiographic Inspection of Weld, *Proc. International Workshop on Industrial Application of Machine Vision and Machine Intelligence*, pp. 358-363 (Feb. 1987).
- 15) 村上, 奥水, 長谷川: 板型透過度計パターン識別による溶接部 X 線フィルムの画質評価, 昭 61 電気関係学会東海支部連合大会, 591 (Oct. 1987).
- 16) Daum, W., Rose, P., Heidt, H. and Bultjes, J. H.: Automatic Recognition of Weld Defects in X-ray Inspection, *British Journal of NDT*, Vol. 29, No. 2, pp. 79-82 (Mar. 1987).

(昭和 62 年 6 月 1 日受付)

(昭和 63 年 1 月 19 日採録)



村上 和人 (正会員)

1960 年生. 1984 年名古屋大学理学部物理学科卒業. 同年, 名古屋市工業研究所に勤務. 以来, X 線写真の画像処理・パターン認識などの検査応用をはじめ, パターン形状特徴計測などの研究に従事. 電子情報通信学会, 日本音響学会各会員.



奥水 大和 (正会員)

1948 年 2 月 7 日生. 1970 年 3 月山梨大学工学部電気卒, 1972 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科修士課程了, 1975 年 3 月同博士課程了. 工学博士. 名古屋大学工学部助手 (1975 年), 名古屋市工業研究所勤務 (1985 年) を経て, 1986 年より中京大学教養部勤務. 助教授. 画像処理・理解とパターン認識に関する研究, とくにその産業応用・医学応用, 効率化アルゴリズムの研究に関心を持つ. 著書に画像処理の基本技法 (共) など. 電子情報通信, 日本 ME, テレビジョン, 日本 NDI 各学協会会員. 電気学会調査専門委員, NDI 008 特別研究会委員, 計測自制学会パターン計測部会委員など.



長谷川 錦治

1935 年生. 1960 年名城大学工学部電気工学科を卒業. 名古屋市工業研究所電子部電子技術課に勤務. 音響・音声情報処理技術および画像処理技術等に関する研究に従事. 電子情報通信学会, 日本音響学会, 日本騒音制御工学会各会員.