

FAにおける画像分析・認識手法の導入例

牧野正勝[†],

増田勝利[†],

中野隆志[†],

正会員 熊澤逸夫^{††}

human

1. ま え が き ～実践の現場へ～

ある大学の研究室で、画像認識を研究課題に選んだ学生達(優等生B君と軽率なC君)は、コンピュータビジョンを現場で実践しているメーカーの技術者を、A教授に紹介して貰うことになった。

A教授「運良く、キャンパスの近くに画像処理を専門とした会社があり、その技術者がコンピュータビジョンの各種技術が現場でどのように使われているか、応用の実態を話してくれることになった。現状のコンピュータビジョンの実力と限界を知り、現場におけるニーズを実感することは、今後の研究に良いモチベーションを与えてくれるだろう」

B君「第1回の講座でコンピュータビジョンが多大な計算時間を要することを知りました。現場では、迅速な処理を求められるでしょうから、コンピュータビジョンの中でも単純な技術しか利用されていないのではないのでしょうか」

A教授「ところが今回君たちが訪問するファーストという会社では、比較的新しい、研究段階にある技術を、果敢に現場で応用しようとしている。研究者の間では評判となった各種技術の現場応用例を聞けるから、君たちが今後の研究テーマを決める上で大いに参考になると思う」

C君「具体的にはどんなお話を伺えるのでしょうか」

A教授は、技術者から預かっていた会社のパンフレットを学生達に見せた(図1)。

A教授「この会社では伝統的な画像処理手法以外にも、こうした比較的新しい技術を実践しているそうだが、この中で遺伝的アルゴリズム(GA)、ニューラルネット、計算幾何学、ロバスト推定、動的輪郭法(Snakes)といった手法の応用事例を紹介してくれるそうだ。また、こうした斬新な試みと対照的に、顧客に密着した地道な開発事例として、個別ケースの特殊事情を巧妙に利用して、パフォーマンス

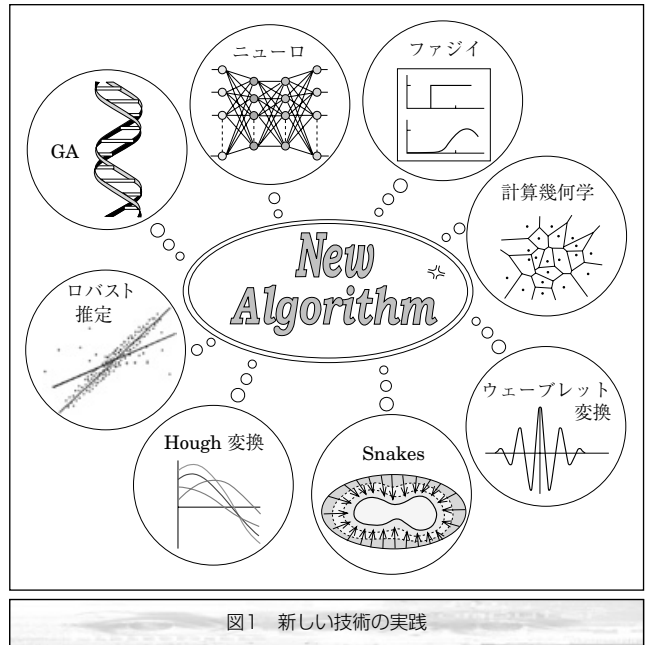


図1 新しい技術の実践

を向上したコンクリートの自動診断の実例も示してくれるそうなので、画像処理企業の業務の実態を多面的に理解できるのではないかと思う」

B君とC君は、A教授を研究室に残し、わくわくする気持ちを抑えながら、キャンパス近くのファースト本社へと向かった。

2. コンピュータビジョンのビジネス上の可能性

会社に着いた二人は、まずは社長室に案内されて、画像処理とコンピュータビジョンのビジネス上の可能性について、話を伺うことになった。

D社長「君達のように熱意ある若い人達は大歓迎だ。顧客が直面している課題に対して最適なソリューションを提供するために、伝統的な画像処理手法はもちろん、模索段階にある最新手法も取り入れて、現状技術で構築し得る最善の画像処理システムを提供することが、我が社のモットーだ。そのためには顧客の個別の事情とニーズを把握する努力を怠らず、いつも新しい可能性にチャレンジして行く必要がある。社名のファーストは、技術のレースを「速く」走って、顧客に対して、最新技術を「迅速」に提供したいという会社の精神も表している。新しいものを貪欲に吸収し

[†]株式会社ファースト

^{††}東京工業大学 像情報工学研究施設

"How Does Computer-Vision Imitate Human-Vision with the Latest Techniques? -Practical Approaches to Avoid Difficulties- (2) : Implementation Examples of Computer Vision in Factory Automation" by Masakatsu Makino, Katsutoshi Masuda, Takashi Nakano (Fast Corporation, Kanagawa) and Itsuo Kumazawa (Imaging Science and Engineering Laboratory, Tokyo Institute of Technology, Yokohama)



て行く上で、若い人のエネルギーが不可欠だから、この見学を機に、我が社のことを友人達や研究者達に是非紹介して欲しい」

B君「実は、ここへ来る前に指導教授から、コンピュータビジョンの難しさをいやというほど聞かされてきました。その難しい技術を専門とした会社が、これだけの規模で成り立っていることは驚きです。ビジネスの秘訣はどこにあるのでしょうか」

D社長「難しい技術だからこそ、大きなビジネスチャンスがあるんだよ。我が社も創業して20年以上経つが、その間にビジネス環境は大きく変わり、その変化に適応できた会社だけが生き残ることができた。当初は汎用コンピュータの能力を補う画像処理専用ハードウェアが不可欠であった、それが大きな利益を生み出していた。ところが今では安価なパーソナルコンピュータが専用ハードウェアに匹敵する能力を持ち、その上で動くソフトウェアの開発がビジネスの主体となっている。旧来のハードウェアへ固執してきた会社は存続できなかった訳だ。計算機やカメラを始めとするハードウェアの性能向上と比べると、ソフトウェアの技術革新は立ち遅れており、A教授の言われるように未解決課題として研究者達が格闘している問題は沢山ある。しかし、その時々々のハードウェアの性能を最大限に引き出すコンピュータビジョンのソフトウェアには必ずニーズがあった。また将来の発展のためには、現状の汎用計算機の枠組では対応できない課題を解く革新的なハードウェアにもチャレンジして行かなければならない。究極のハードウェアは講座の第1回で話題に上った有機的計算機かも知れないね」

C君「A教授の話では、現状のコンピュータビジョンでは、力づくで問題を解こうとすると、スーパーコンピュータでも天文学的な計算時間がかかる場合が多いということでしたが、それではコンピュータビジョンはビジネスにならないのではないのでしょうか」

D社長「完璧に解決できなくとも、50パーセントでも正解率が得られれば、それだけで助かる顧客は必ずいる。そういうお客を見つける営業努力が大切だ。逆に完璧な技術があっても、顧客が見つからなければビジネスにはならないから、研究者だけでも会社は成り立たないことになる」

C君「会社にとって、技術と営業のどちらが大事なのでしょうか」

D社長「理想的には、研究者と営業が結束して、顧客の状況を親身に理解し、その状況の特殊性を利用した解決策を見つけることが大切だね。一般論としての解法を見つけることが難しくとも、個別事情に合わせた解法は見つかる場合が多い。こうした特殊事情と、それを利用するノウハウは、顧客に対する守秘義務があり、通常は公開できないが、運の良いことにコンクリート検査の実例を紹介できるようになったから、当社のE技術者に、斬新な技術を応用して

きた各種実例とともに、そうした顧客の実情に合わせて取組んできた地道な開発例についても紹介して貰うことにしよう」

社長との面談の後、二人の学生はE技術者に連れられて社内を回りながら説明を受けることになった。

3. 時代の先端技術の実応用へのチャレンジ

～話題となった技術は現場でどう使われてきたか～

3.1 遺伝的アルゴリズムとニューラルネットの応用事例

E技術者「遺伝的アルゴリズム (GA) やニューラルネットという言葉をご存知でしょうか？」

B君「どちらも聞いたことがあります。それぞれ、生物の進化のプロセスと、神経系の情報処理の仕組みにヒントを得た新しい計算原理ですね。新しいと言っても一世を風靡してから10年以上は経っていると思いますが」

E技術者「そう言われてしまうと形なしですが、実は現在でも、この二つの計算原理は、他の手法にはない優れた特徴を維持し続けています。それは何だと思いませんか？」

C君「進化と脳の共通の特徴で他にないものですね。すると適応や学習といった能力でしょうか？」

E技術者「その通りです。一時は並列計算の枠組みとして脚光を浴びましたが、結局、並列計算用のハードウェアは浸透せず、現在では適応と学習が必要となる場面でよく応用されています」

B君「適応や学習の能力がどう実践されているのか興味深いので、是非、開発事例をご紹介頂けないでしょうか」

E技術者「ファクトリーオートメーション (FA) では、部品に刻印された低品質の活字を認識することが重要課題となっており、そのためにGAとニューラルネットを組合せて適用した実例があるので、それについて紹介しましょう」

E技術者は図と実例を取出して説明を始めた。

E技術者「ライン上を流れる部品の刻印文字には、手書き文字のような字形の変動はないのですが、生産性を向上するために、できる限り高速に、自動認識することが求めら

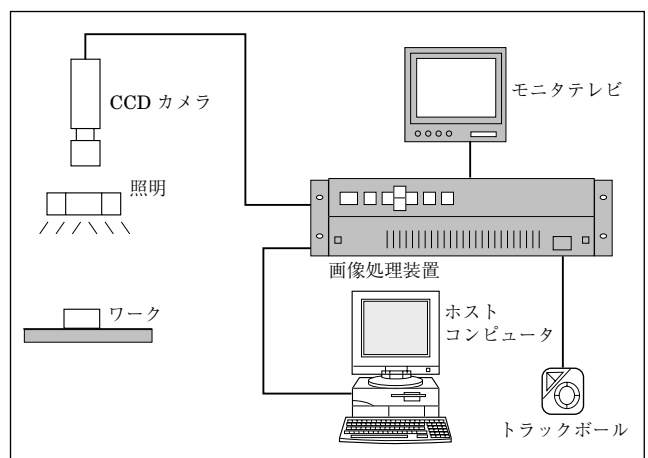


図2 検査システムの基本構成

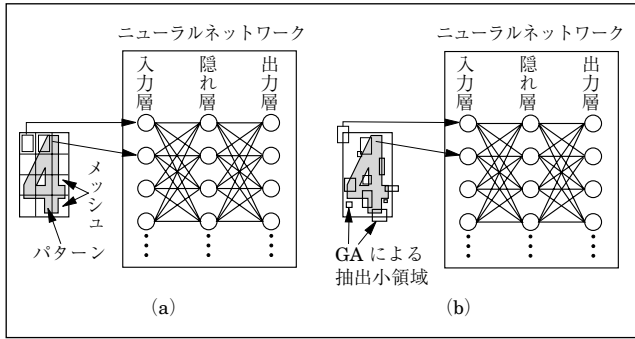


図3 遺伝的アルゴリズムとニューラルネットの応用例

れます。検査システムの基本構成は図2のようになります。高速にベルト上を流れる部品(ワーク)を撮影するのですが、刻印位置や読取り位置に一定のずれが生じ、また他の部品の影や汚れで読みにくくなる部分が出てきます。そのため文字中の信頼性の高い部分、他の文字との識別に有用な部分のみに重点を当て、また、文字の位置ずれを反映して読取り位置をずらして処理することが、高速化、高精度化の両面に有効です。そこで我々は図3(b)に示すように、文字の位置ずれを反映するように位置を定めた重要エリア内の特徴値を入力し、それをニューラルネットで処理して認識結果(文字名)を出力するシステムを開発しました。通常は図3(a)のように全体を均一に分割したエリアの特徴値を用いることが多いのですが、ライン上では影や汚れが常に一定位置に生じ、また位置ずれも常に一定の方向に一定量で生じるので、不安定な部位はむしろ使わないようにして、読取り位置もずらしておいた方が、信頼性も速度も向上するという考え方です」

B君「でもどこが重要エリアになるのかを決めるのが難しくそうですね」

E技術者「刻印位置や読取り位置がどうずれるか、どのような文字フォントセットが使われるのか、どのような形状の部品に囲まれるか、どのような環境で撮影するか等、といった各種要因が複雑に絡むため、理屈では決めようがありません。そのような場合に、学習・適応能力を持つ手法である、GAやニューラルネットが威力を発揮します。欲張りにも図3の手法では両方を同時に使い、重要なエリアを決めるのにGAを、そして定まったエリアの特徴から文字名を決定する過程でニューラルネットを使っています」

C君「僕はどちらの手法も知らないので簡単に原理をご紹介頂けないでしょうか」

E技術者「GAは、選択淘汰・交叉・突然変異といった生物進化に着想を得たアルゴリズムで、応用上の目的に適應した機能を備えた個体を選択淘汰の過程で残して、優れた遺伝子を組合せて行くことで、問題解決のためのプログラムを自動的に構成しようとするものです。まず染色体のモデル(図4)を個体数分だけ用意して、二つの染色体の間で遺伝子を交換する交叉、および任意に選んだ遺伝子の値を

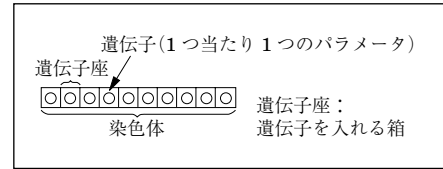


図4 遺伝子と染色体のモデル

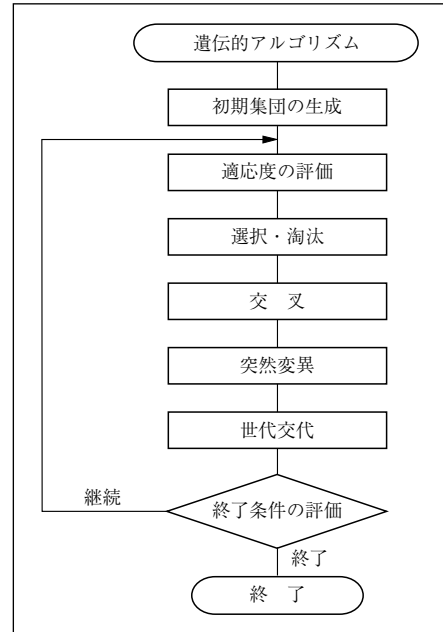


図5 遺伝的アルゴリズム (GA) の原理

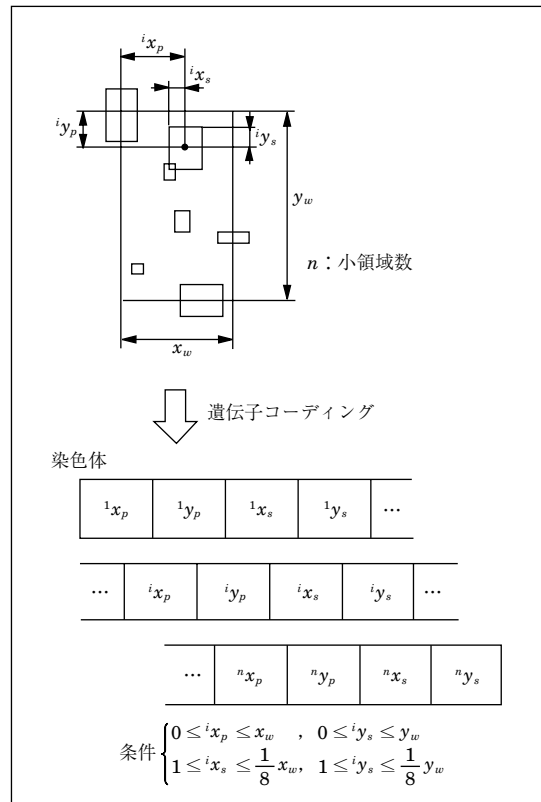


図6 遺伝子コーディングの方法

ランダムに変更する突然変異という操作を、多数回繰り返しながら、良い結果を与える個体のみを残して行きます(図5)。欠点は、多数の個体の遺伝子を記憶する膨大なメモリと、自然界の進化と同様に多数回の世代交代の計算量を要することで、即応性が求められる課題には適しません。またニューラルネットの学習では、ニューロンを模した素子を、図3に示す多層ネットワーク状に接続し、このネットワークが目的の入出力関係を実現するように、素子間の結線の重みを学習によって繰り返し修正します。ニューラルネットのメモリ使用量は小さいのですが、この繰り返し修正に、GA程ではないまでも相当な計算時間が掛かります」

B君「そんなに計算時間のかかる方法を、どうやって実用化したのでしょうか」

E技術者「開発した手法では、図6に示すように、特徴抽出エリアの位置とサイズを遺伝子で表現し、GAで最適な特徴抽出エリアを決定しています。この決定の作業は、最初に一度だけ行えば済むことなので、メモリ使用量や計算量が多くても大丈夫なのです」

C君「ニューラルネットはどのように使ったのですか」

E技術者「図7に示すような刻印数字を認識する際に、高速化のために僅か四つの特徴抽出エリアから得られる特徴値を、隠れ層の7つの素子、出力層の10個の素子のニューラルネットワーク(図7(a))で処理して、最大値を出力する素子に該当する数字を認識結果としています。各素子は入力に結線の重みをかけて足し合わせて、シグモイド関数と呼ばれる非線形関数を通して出力を得るのですが、この計算は簡単で高速に処理できます。訓練用に多数のサンプルを与えながら、誤差逆伝搬法と呼ばれる学習方法で結線の重みを決めました。この学習の作業も最初に一度だけ行えば良いので、時間がかかっても良いのです」

B君とC君が納得したようなので、E技術者は最後に認識結果を説明した。

E技術者「図7(b)に示す刻印数字では下半分に影がかかり、影のエッジが誤認識の原因になります。特徴抽出エリアは、このような誤認識の原因となる部位を避けて決めれば良いのです。GAを適用した結果、図7(c)に示すようにエリアが定まり、影のエッジが自動的に回避されたことがわかります。また図7(d)に示すように刻印数字が斜めにずれている場合には、このずれに対応して特徴抽出エリアもずれて定まり、正しい認識結果を得ることができました。参考までに、従来のように特徴抽出エリアを均等に定めた場合の結果を図7(e)に示しますが、この場合には認識結果が誤っています」

3.2 計算幾何学とロバスト推定の応用事例

C君「図1に出ている計算幾何学とは純粋数学のように思えますが実用になるのでしょうか」

E技術者「当社では、計算幾何学の代表的な概念である凸

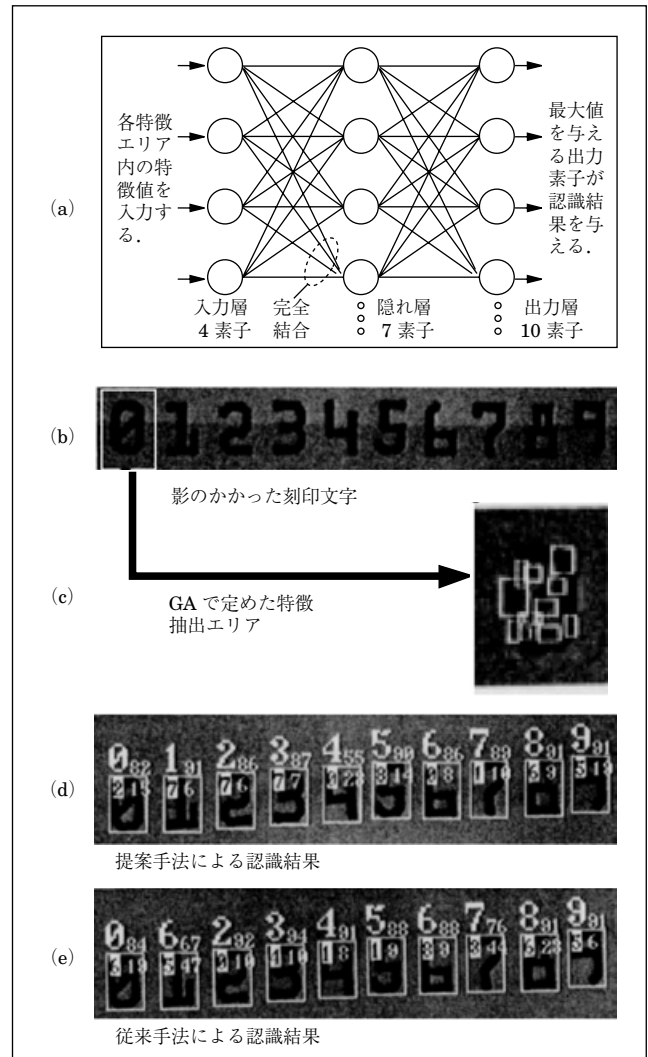


図7 遺伝的アルゴリズムとニューラルネットによる刻印文字認識結果

包とボロノイ図を応用しています。凸包は検出された点集合を扱い易い凸多角形で近似する場合に、また、ボロノイ図は領域抽出と中心線検出へ応用しています。具体例を図8に示すので見て下さい。

B君「ロバスト推定というのも、統計学の用語であるように思えますが、どんな応用場面があるのでしょうか」

E技術者「ロバスト推定の簡単な原理を図9に示します。ドットの分布を近似する直線を見つけ出す場合に、平均2乗誤差を最小とするように直線を決めると、遠くのドットに引きずられて、ドットの主要な分布を近似する直線を見出せない場合があります。そのような場合には、直線を中心として離れるにつれて減衰する重みを導入して、遠くのドットの影響を抑制することによって、正しい直線を求めることができます。実応用では、この原理はアライメントと呼ばれる目的に使われていて、図10に示すように、ロバスト推定を使うことでノイズに引きずられることなく、部品の位置や傾きを正確に推定できます。また登録してある部品形状と位置合わせして照合すれば、部品のバリ(余計な出っ張り)や欠けを検出することもできます」

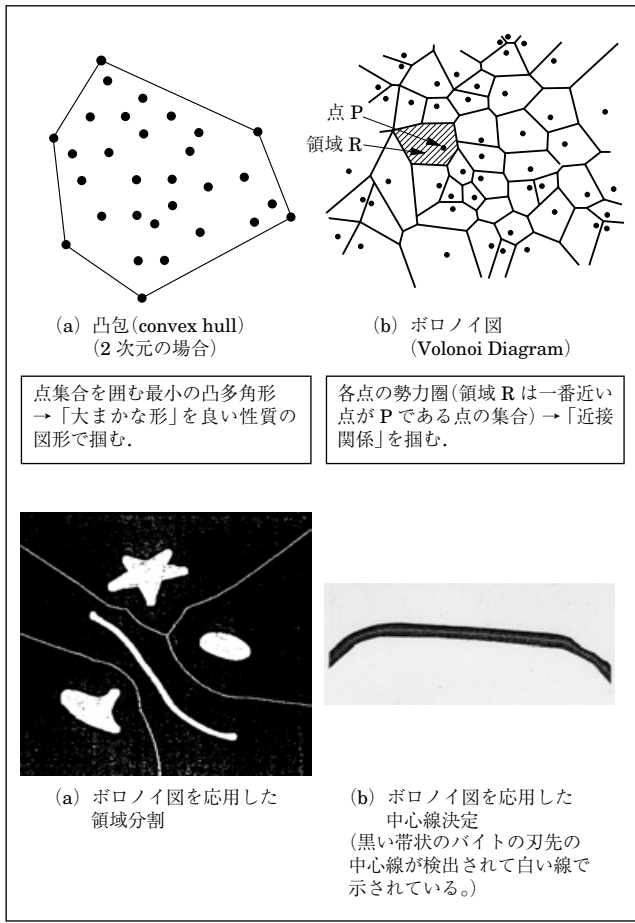


図8 計算幾何学の概念と応用

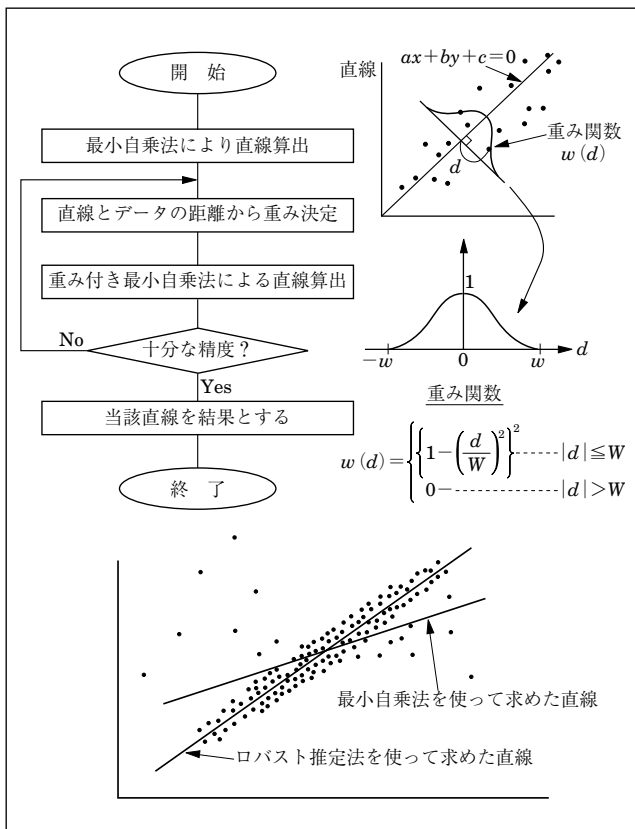


図9 ロバスト推定の原理 (直線の場合)

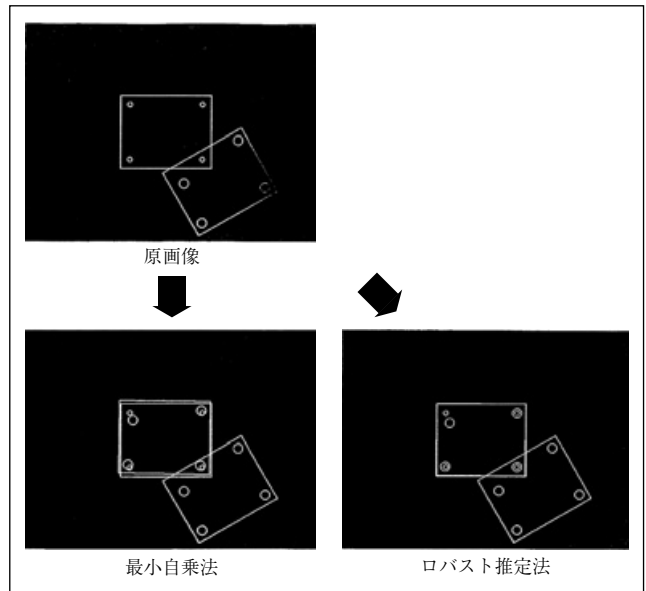


図10 部品のアライメントにおけるロバスト推定の効果

次のエネルギーを小さくするように曲線を逐次変形する。

$$\star E_{snake} = \int_0^1 E_{int}(v(s)) + E_{image}(v(s)) + E_{ext}(v(s)) ds$$

この値を最小とする曲線 $v(s)$ を求めるのが目的である。

$v(s)$ を逐次修正するアルゴリズムとして、

- ① Greedy Algorithm,
- ② 勾配法 等がある。

○ E_{int} (曲線の滑らかさを表す内部エネルギー)

$$\text{例: } E_{int} = \alpha |v_s(s)|^2 + \beta |v_{ss}(s)|^2$$

正の定数 α, β は通常は曲線全周で一定

$$v(s) = \frac{dv(s)}{ds} \leftarrow \text{離散化して } [v_i - v_{i-1}]$$

$$v_{ss}(s) = \frac{d^2v(s)}{ds^2} \leftarrow \text{離散化して } [v_{i-1} - 2v_i + v_{i+1}]$$

○ E_{image} (エッジなどの画像特徴に曲線を引き寄せるエネルギー)

$$\text{例: } E_{image} = -w |\nabla I(x, y)|^2$$

○ E_{ext} (輪郭の形状に対して特別に外部から加える拘束のエネルギー)

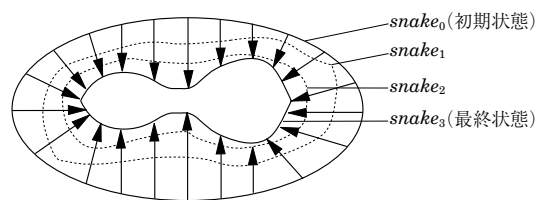


図11 動的輪郭法 (Snakes) の原理

3.3 動的輪郭法 (Snakes) の応用事例

C君「図1のSnakesというのは蛇のことでしょうか。面白い名前ですね」

E技術者「画像中の物体の輪郭や中心線を、蛇のように動く曲線によって見つけ出すことから、こんな名前が付きましました。別名で動的輪郭法とも呼ばれます。図11に原理を示しますが、曲線が画像中のエッジに引き付けられるようにエネルギー関数を導入し、力学のアナロジーでエネルギー

を小さくするように曲線を動かして行きます。その際に曲線が任意に曲がってしまうとノイズに捕まりやすいので、急に曲がると大きくなるエネルギー項を導入します。さらに輪郭の形状に関する既知の知識があれば、既知の事実と合致するときに小さくなるエネルギー項を加え、三つのエ

ネルギーの総和を小さくするように勾配法や、Greedy Algorithmなどの逐次修正法で曲線を動かし、変形して行きます。そして最終的に収束した結果が輪郭や中心線の位置を表すようにするのです。図12に、バイトの刃先(チップ部)の幅の検出に応用した例を示します。図12(a)は、バイトの刃先、図12(b)で、その中心線をまず前述した計算幾何学で求め、それを初期値として、Snakesで補正した結果を、図12(c)のように求めました。さらに、図12(d)で中心線に直交する方向に幅を求め、その分布をグラフにしました」

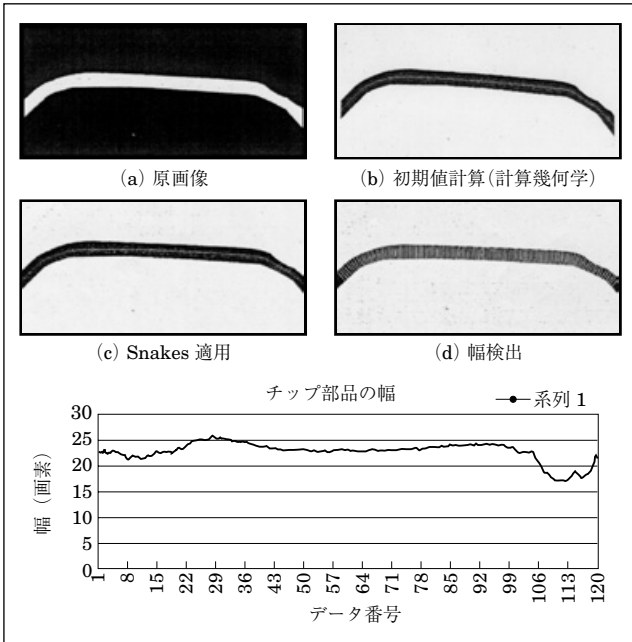


図12 動的輪郭法 (Snakes) によるバイト刃先幅計測

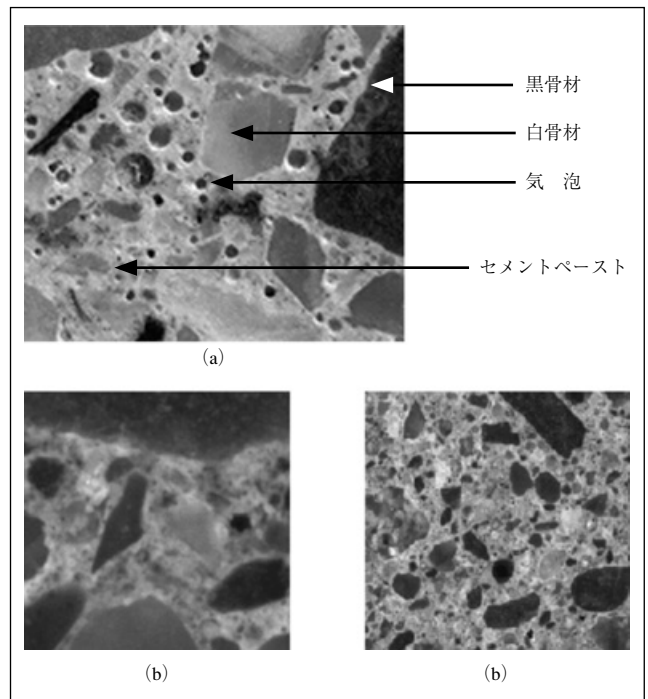


図14 測定対象物(供試体)の一例

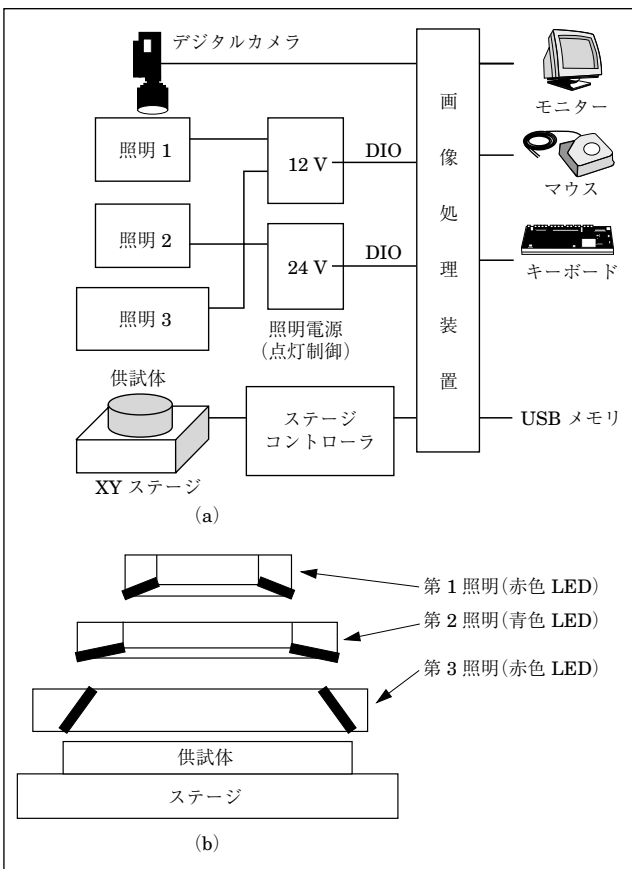


図13 コンクリート自動検査装置の構成

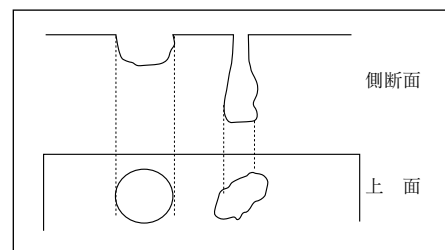


図15 気泡形状の特徴

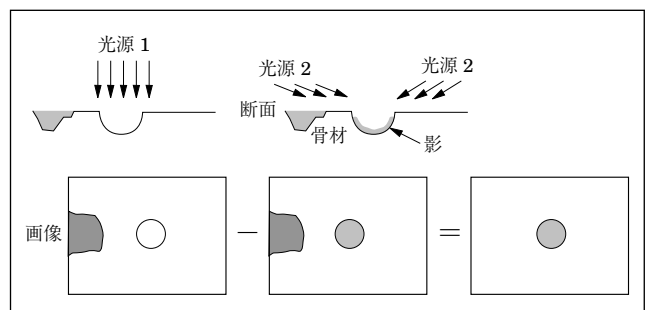


図16 コンクリート気泡の測定原理

4. 顧客密着型技術の実例

E技術者「以上は、大学の研究者の間でも話題になった各種技術を現場で応用してきた実例を紹介してきましたが、実は現場では顧客の置かれた境遇や状況固有の性質を利用して、もっと泥臭い工夫が導入されているのです。多分こうした工夫は大学の研究対象にならないかも知れません

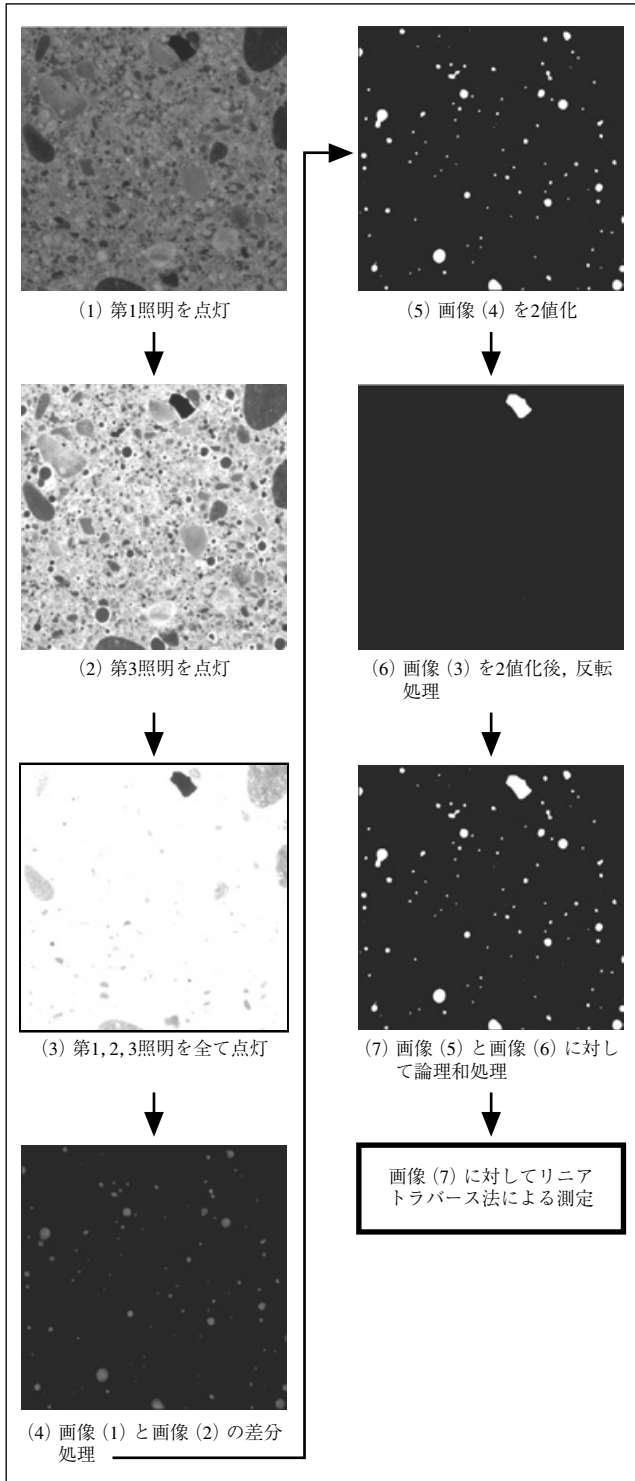


図17 照明を利用して画像処理の負荷を軽減したコンクリート気泡の測定方法

が、現場では大変重要なことなので紹介しておきたいと思っています」

E技術者はこう言って、検査装置(図13)と近くにあったコンクリートの塊を学生達に見せた(図14)。

E技術者「図2の構成に似ているかもしれませんが、この装置では3種の照明を使い、それらの点灯を制御しながら画像処理を進めていくところがキーになっています。3種の照明は図14(b)に示すように照明方向、放射拡散方向、波長帯をそれぞれ変えて、検査対象に合わせて最適化しています」

C君「図14を見ると対象のコンクリートの構造は複雑で、人が見ても気泡を見つけ出すことは難しいですね」

B君「気泡は小さく、相当高い解像度が必要で、ノイズとの区別も難しいので、これを画像認識することは相当難しそうですね」

E技術者「この用途では対象の特殊性(図15)を利用して、画像処理の負荷を減らすために、3種の照明を導入したので。測定原理を図16に、また実際の実験例を図17に示しますのでよく見てください。図18と表1を見れば、人が時間を

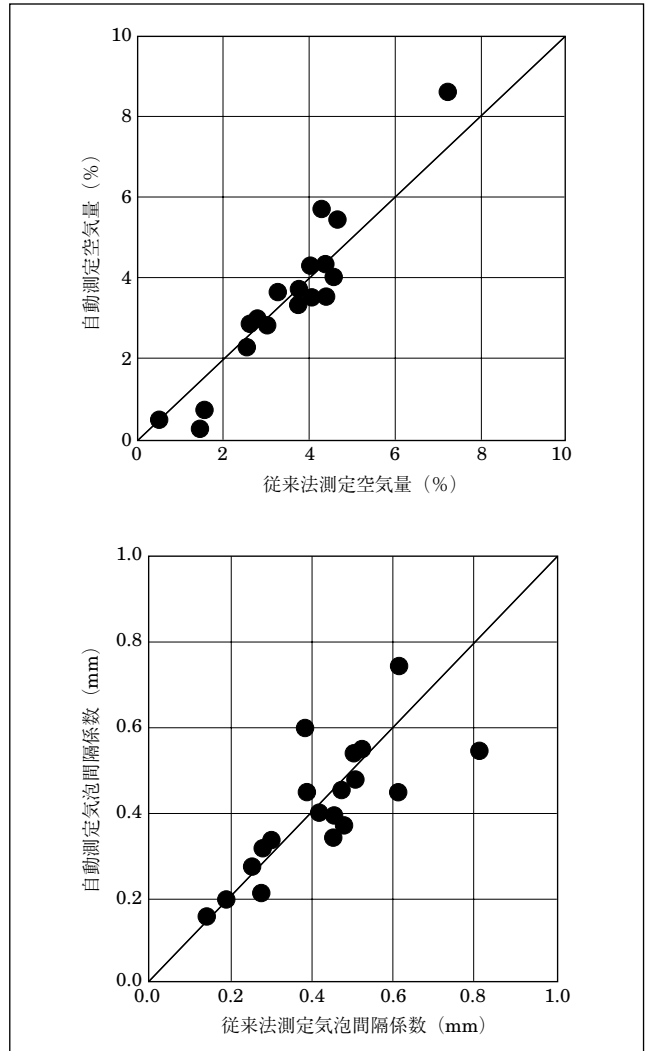


図18 相関図

表1 従来法との相関値

	結果
空気量(%)	0.96
気泡間隔係数(mm)	0.85

かけて行う目視検査と高い相関を持つ結果が、本装置によって自動的に短時間に得られることがわかつています」

B君「私は教科書を真面目に勉強していますが、現場ではこんなに面白いアイデアが生まれ、またそれが世の中に役立つのですね。教科書一辺倒の勉強スタイルを変えなければいけないことが良くわかりました」

5. む す び

会社の見学と説明会はあっという間に終わってしまったが、B君もC君も内容に大変満足した様子であった。何よりもコンピュータビジョンが実社会に広範に応用されていることを実感できた意義は大きかった。一昔前に高嶺の花であったデジタル画像を取り込むカメラは、今や携帯電話に搭載されて誰もが身に付けるようになり、街中やATMに監視カメラとして設置されて、社会の隅々に氾濫するようになった。しかも、それらが大容量のネットワークで接続されて、画像データは自在に流通して処理されるようになった。この膨大な画像データを有効に活用して行くために、コンピュータビジョンに対する社会のニーズはますます高まりつつある。二人の学生達は、D社長とE技術者の話を伺い、また開発の現場を見て、そのような世の中の動きを肌で感じて、研究に対する意気込みを高めたのであった。

(2005年11月7日受付)

〔文 献〕

- 1) 北野宏明：“遺伝的アルゴリズム”，産業図書（1993）
- 2) 長尾智晴ほか：“遺伝的アルゴリズムを用いたパターンマッチング”，グラフィクスとCAD，pp.33-40（1991）
- 3) 熊澤逸夫：“学習とニューラルネット”，森北出版（1998）
- 4) F. P. プレバラータ：“計算幾何学入門”，総研出版（1995）
- 5) 杉原淳吉：“計算幾何プログラミング”，岩波書店（1998）

- 6) M.Kass: "Snakes: Active Contour Models", International Journal of Computer vision, 1, 4, pp.321-331 (1988)
- 7) 辻内順平ほか：“最新 光学技術ハンドブック”，朝倉書店
- 8) 浜 幸雄，太田宏平：“フレッシュコンクリートによる気泡組織の測定方法に関する研究”，コンクリート工学年次論文集，26, 1, (2004)
- 9) 鮎田耕一，桜井 宏，田辺寛一郎：“硬化コンクリート気泡組織の照度差による画像解析”，土木学会論文集V，420/V-13, pp.81-86 (Aug. 1990)
- 10) 仁木孟伯，地頭蘭博，原田克己：“画像解析装置を用いた硬化コンクリート中の気泡組織測定方法について”，セメント・コンクリート論文集，39 (1985)
- 11) 山宮浩信，児玉和巳：“硬化コンクリート中の気泡分布測定方法に関する検討”，セメント・コンクリート論文集，48 (1994)
- 12) ファーストのホームページ：<http://www.fast-corp.co.jp/>



牧野 正勝 1982年，(株)ファースト設立。汎用画像処理装置・応用画像処理装置・画像処理ライブラリー，開発ツール，画像処理用カメラ等の開発・販売の取り纏めに従事。現在，同社代表取締役社長。



増田 勝利 1990年，(株)ファースト入社。ニューラルネットワーク，遺伝的アルゴリズム，ウェーブレット変換等のアルゴリズムの実応用業務に従事。現在，同社技術開発センター長。



中野 隆志 1994年，(株)ファースト入社。照明技術や画像処理技術を種々の検査に応用する開発業務に従事。現在，同社技術開発センター画像技術グループリーダー。



熊澤 逸夫 1981年，東京工業大学工学部電気電子工学科卒業。1986年，同大学院博士課程修了。同年，同大工学部助手。現在，同大理工学研究科付属画像情報工学研究施設教授。パターン認識・画像処理，人工ニューラルネットワーク，認知知覚モデル，ユーザインタフェースの研究に従事。工学博士。正会員。