

© 1984 ISIJ

画像処理技術の鉄鋼への適用



釜 三 夫*

Applications of Image Processing Technique to the Steel Industry

Mitsuo KAMA

1. はじめに

近年各分野において画像処理、パターン認識などの言葉が良く聞かれるようになった。身近には気象衛星「ひまわり」の写し出す鮮明な雲の写真、郵便番号の自動読み取りから、医療における CT 断層像、がん細胞の自動検診など、すっかり実用になり、かつ偉力を発揮しているものが数多い。

振り返って我が鉄鋼業における現状を見てみると、後述するように開発段階での適用が二、三あるものの、いまだ散発的な試行がなされているに過ぎない状況で、本格的な進展は今後に残されていると考えられる。

言うまでもなく鉄鋼業は広い技術分野を基盤に展開された総合技術産業であり、画像処理のニーズも広く潜在しているはずである。いずれにしても、今後当技術に対する期待は急速に高まると考えられるので、一般的な画像処理の現状や産業界での利用状況を概観し、今後の展望を試みるのも有意義であろう。

2. 画像処理技術の概要

近年最も目覚ましく発達し、したがって最も注目を集めているのはいわゆる「デジタル画像処理」である。図1に示すようにデジタル画像処理のほかにも、アナログ的な方法として、レーザやレンズ系、写真技術による光学的画像処理、テレビジョン技術を基礎にした電気的アナログ画像処理があるが、処理の柔軟性においてデジタル処理の方が格段優れている。ただ処理時間が長

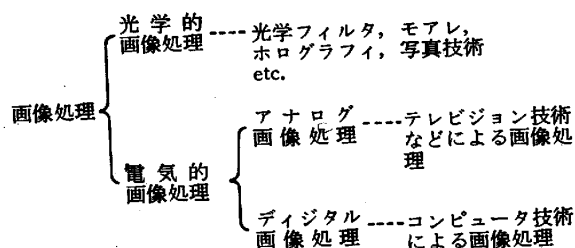


図1 画像処理手法の分類

いのが難点であり、そのために実用がなかなか困難であったが、殊にこの数年のコンピュータ技術の急激な進歩、特に主記憶容量と処理速度の発達により、急速に適用の範囲を拡大しつつある。

したがって本稿では専ら観点をデジタル画像処理に絞り、技術の現状と鉄鋼製造技術への応用の将来について論じてみたい。

あるいは画像処理と言ったり、ある場合には画像解析、図形処理と呼んだり、類似の用語が混在し多少混乱している気配もある。さらに人によつて異なつた意味に使うこともあつて統一的な用語定義は困難であるが、少なくとも本稿の中で論述を進めていくためにはある程度の定義づけが必要であろう。

図2に示すように、図形処理（コンピュータグラフィック）は人手で作られた線図形をコンピュータ処理する技術であり、あらかじめ点の座標や線の種類（直線、円など）などの情報がコンピュータに人手で与えられているため、二次元図形の拡大、縮小、三次元図形の透視表示、陰線消去、回転などの処理、表示は幾何学的計算により、いとも容易に行える。この技術は CAD として開花し、今や設計の有効かつ必需の手段として重用され

入力	処理	出力	目的
人手による 図形記述	図形処理	画像	CAD、アニメーションなど、人間による図形作成
画像	画像処理	画像	目的に即した見やすい画像を得ること
画像	画像解析	画像の特徴記述(数値)	パターン計測、シミュレーションなど実世界におけるモデルを数値その他で記述すること

図2 画像に関するデータの処理手法分類

昭和 59 年 3 月 7 日受付 (Received Mar. 7, 1984) (依頼展望)

* 新日本製鉄(株)第一技術研究所 (R & D Laboratories-I, Nippon Steel Corp., 1618 Ida Nakahara-ku Kawasaki 211)

ている。

一方、TV カメラ、CCD (Charge Coupled Device) アレイその他のイメージセンサによつて得られる画像データを処理するのが画像処理、画像解析であるが、前者はある目的に沿つて人間に見やすくなるように画像変換を行う作業であり、たとえば、雑音の多い画像や、ぼけた画像から鮮明な画像を得るための雑音除去やぼけの修正などが含まれる。また、画像データを遠隔地へ送る際のデータ伝送効率向上を目的とする画像データ圧縮もこの範囲に入る。画像解析はこれと異なり、画像データの中から、人間にとつて意味のある定性的、定量的な特徴を掴み出すことを目的としていると言つて良いであろう。したがつて粒子計測の場合に、粒子を一つ一つ抽出する操作、その面積の計算、円相当径の計算などの数値データを求める処理、さらに複雑な処理になると、パターン認識を行うための前提となる形状や、模様の特徴を表現するパラメータを求める処理あるいは将来、ロボットアイとしての利用が期待される、画像理解のための、たとえば画像の中のある部分が机であることを理解するために、直線、面、傾き、奥行きなどの認識操作も画像解析の範疇に入れられるであろう。

ただ、図形処理の場合と違つて、画像処理、画像解析いずれの場合も、あるパターンが直線であるか否か、座標位置がどこであるかなどの幾何学的情報をコンピュータが全く持つてないために、図形処理のところでも述べた三次元画像の作成とか回転などの操作は極めて厄介な問題となる。

以上のことから理解されるように画像処理、画像解析と図形処理とは異質の目的、技術内容を持つてゐるために現今では区別して用いられるのが普通である。ただし将来コンピュータがより高速、大容量になり、画像理解の技術が進歩すれば、現在コンピュータグラフィックの世界では日常茶飯事である三次元物体の動的な回転表示などの処理も可能となるであろう。

筆者に与えられた表題は、「画像処理技術の鉄鋼への適用」であり、字義どおりに解釈すれば上記の「画像処理」の範囲に限定されることになるが、現実の応用では「画像解析」的処理を必要とする場面が多いので、表題を

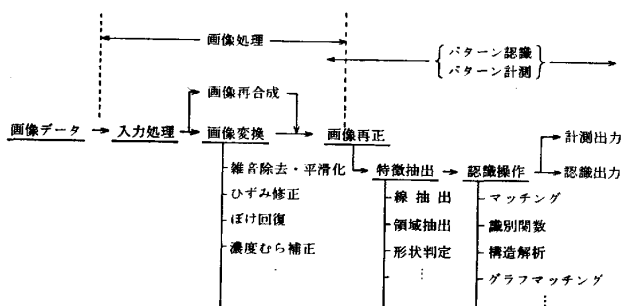


図 3 画像に関する各処理技術の関連¹⁾

広義に把え、両者を含めて論じるのが適当と考えられる。画像処理と画像解析の関係を図3に示すが、後者の立場から見れば前者は解析を行うための前処理と考えることもできる。画像解析はこれまた、それ自身で完結するものではなく、得られた結果をどう使うかによつてパターン計測であつたり、文字読み取りなどのパターン認識であつたり、画像理解であつたり、さまざまな目的が考えられる。

またパターン認識はかなり広い概念用語であり、必ずしも画像のみを対象とせず(たとえば音声)、またここで述べている意味での画像解析やパターン計測の意味をも含むことがあるので注意しておきたい。

3. 画像処理技術の手法

前述したように、画像処理は何らかの手段で取得された入力画像データを処理の出発点とする。入力データは通常、TV カメラ、CCD アレイあるいは LANDSAT に搭載されたマルチスペクトルスキャナ (MSS) などのイメージセンサが使われる。センサにより獲得されたデータはデジタル化され、図4に示すように $M \times N$ (通常は 512×512 とか 1024×1024 などのように2の乗数が用いられる) 個の、その中がほとんど均一な明暗濃度を持つ程度の小領域(これを画素と称する)に分割してコンピュータに取り込む。

図5は以後の処理のプロセスをパターン認識まで含めて略示したものであるが、多くの場合入力画像データの中から関心領域だけを分離抽出して各種の計測、認識操作を施すことになる。通常の入力データが濃淡画像であるのに対し、この場合関心領域の画素はすべて“1”という値を持ち、それ以外の領域の画素はすべて“0”となるように変換することが多い。(この操作を「2値化」と呼ぶ)

この2値画像を得るための前段階処理が図5における前処理であり、照明の不均一さに帰因する濃度むらやぼけなどを修正したり、雑音の除去あるいは撮像管による幾何学的な歪みの補正など、正確かつ鮮明な画像への変換処理と、後処理に都合の良い画像に変換する操作、た

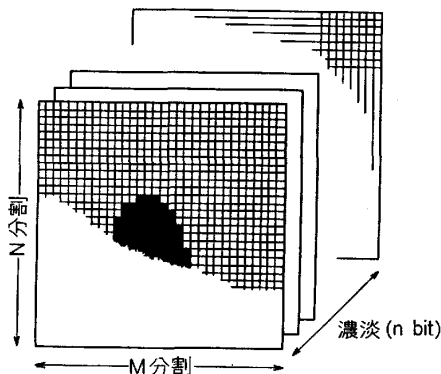


図 4 デジタル画像の構造

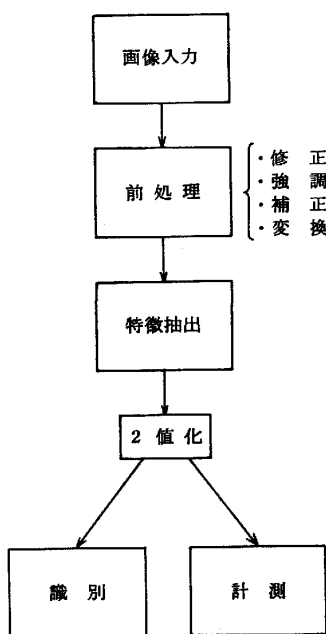


図 5 画像処理の手順

たとえば縮小，拡大，回転などの幾何学的操作や，空間周波数特性に着目した特徴抽出を目的とする場合のフーリエ変換などがこれに相当する。

関心領域を切り出して2値化し，他の領域と区別する，いわゆる領域分割を行うためにはその領域が他と異なる特徴を把握する必要がある。最も簡単なのは濃度の差異で分割できる場合で，適用例も非常に多く，後述する部品形状検査にはこの手法を用いている。しかしながら単に濃度差だけでは検出できない場合も多く，その領域が持っている図形的な特徴である，大きさ，形（円状か角状か，線状か面積状かなど），あるいは金属の顕微鏡組織のように模様が存在し，その模様が粒子状か線状か，さらにその模様の方角性などの特徴による分割が必要なこともある。この模様による識別操作を「テクスチャ解析」と称しているが，一般に形状識別も含めて図形的特徴による認識は難問であり，かつ扱う対象によつて処理の手法が異なるという厄介さがある。現状では対象による最適方法論が分類確立されているという状況には程遠く，発見的試行錯誤的に手法を開発しているのが普通である。

このようにして得られた2値画像から目的とする情報を抽出する手続きが継続するわけであるが，大別して三つの目的があると考えられる。

その一つは量比計量であり，たとえば粒度分布測定がこれに相当する。この場合は抽出された領域を構成する画素数を計量し，全画面との比をとることにより目的は達成する。

二つ目は抽出したパターンが，ある規準の下に正しいか否かを判定することであり，標準として準備されたテンプレートとの比較を行い，これとマッチするか否かを

評価する「パターンマッチング法」が良く採用される。医薬品のカプセル，機械部品，プリント基盤など形状が一定な対象の欠陥，形状の検査に利用されている。

最後の一つは最も難しくいまだ基礎研究の段階にある三次元世界の認識の問題であり「画像理解」，「物体認識」，「コンピュータビジョン」などと呼ばれている。この技術の目的は要するにイメージセンサで得られた画像を解析して実世界のモデルを作ることにあるが，距離の認識の問題，視角や照明で画像が異なる問題，様々の実世界の物体をモデル化する問題など，画像処理にはない難しさを内包している²⁾。したがって現在ではごく限られた条件下での適用しか見ることができないが，今後はロボット工学との関連において，また知識工学（人口知能）の発達によつて今後ますます重要性が強くなる分野である。

4. 画像処理技術の応用

応用という面から見ると，デジタル画像処理の研究はまず文字認識，次にリモートセンシング画像処理，医療用画像処理，産業用計測・検査という順序で実用化開発が進められてきている。表1に筆者らの調査による過去10年間に公刊された国内の学術雑誌，技術雑誌等に掲載された画像処理応用に関する記事の消長を示しているが，1978年以降，産業応用に関する報告が急増しているのが目を惹く。

この中の産業応用の報告145件をさらに細かく分類して表2に示す。電子・機械産業，鉄鋼，欠陥・形状検査などが目につく。殊に鉄鋼の応用が26件と多く見えるが，これは筆者らの調査の意図もあり，特に鉄鋼業に

表 1 画像処理技術応用に関する報告件数の分野ごとの年代推移

年 代	応 用 分 野				
	文字認識	医 療	リモートセンシング	産 業	合 計
1972~1973	6	2	0	2	10
1974~1975	5	1	6	8	20
1976~1977	6	6	6	13	31
1978~1979	6	17	9	49	81
1980~1982	7	12	8	73	100
合 計	30	38	29	145	総計 242

表 2 産業応用画像処理の分野別内訳(1972~1982)

総 論	14件
農 水 産	6
電 子・機 械	30
溶 接	4
紙 織 維，印 刷	13
医 薬 品	3
鉄 鋼	26
欠 陥・形 状 検 査	23
そ の 他	26
合 計	145件

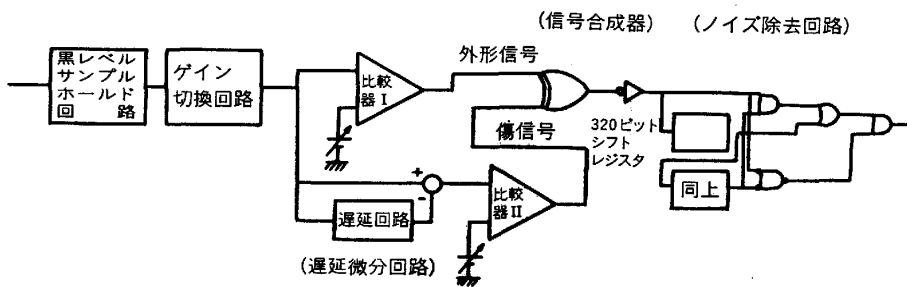


図 6 前処理回路の系統図

	生 面 像	比較器 I 出力	比較器 II 出力	2値化画像
良 品				
不 良				
汚 れ 不 良				

図 7 2 値化画像の例

については画像処理と呼ぶには多少疑問があるものでも、将来、画像処理と結びつく必然性を持った技術は逃さず採用したためであり、内容的には鋼片、鋼板の疵検査に関するものが大半を占めているのが実情である。

次に代表的な応用例を二、三紹介する。

4.1 製薬業への応用例³⁾

この例は薬品カプセルの自動外観検査を行うものである。テレビカメラで撮像されたカプセル画像に図 6 に示した回路により出力レベルの補正、ノイズ除去、輪郭線抽出を施し、図 7 に示す 2 値画像に変換する。

この 2 値画像に対し、面積及び長さの判定、カット部直線性の判定、左右の頂点凹凸部形状判定、円形パターン判定、図に示した欠陥判定などをチェックするもので不良品検出能力は目視検査と同等以上ということである。

4.2 農水産業への応用例⁴⁾

類似の応用例としてきゅうりの自動選別装置⁵⁾も開発されているが、ここでは魚種・魚体の自動選別装置を紹介する。いずれもちよつと意表を衝かれる面白い例である。図 9 に示すように、透過光方式により CCD リニアイメージセンサで魚体の影絵を 2 値画像として撮像し、魚を載せた選別皿の網目模様を除去する前処理を行った後、体形的特徴を表すパラメータ (図 8) を計算し、魚種の決定、大きさの判定を行う。処理能力は 240 尾/min、判定可能魚種は 7 種類、判定率は 80 ないし 90% と報告されている。

4.3 考古学への応用例⁶⁾

衆知のごとく、奈良から大阪にかけて多数の古墳が存在するが、中でも規模の点で、仁徳陵、応神陵に代表される前方後円墳は当時の政治権力と密接な関係を持つと

番号	特 徴 内 容	対比例 (←→ 特徴寸法)	
1	体高/体長 比=細長比		
2	最大体高をとる 位置		
3	背/腹 大きさ比		
4	頭部 広がり角		
5	尾 の 形		
	a. 長 さ		
	b. 広 が り		
	c. 尾 叉 部		
	d. 尾 柄 高		

図 8 魚の体形的特徴

目されているだけに古代史上、考古学上興味深い問題を内包している。本例は図 10 に見られるような前方後円墳の形態上の相違に着目し、パターンマッチングの手法を使って多数の古墳の類似度を求め個々の古墳間の関連を探る手段を提供しようとしている。入力画像は実測図を用い縦横 120×120 に分割し、各点の地形高度をコンピュータに入力して作り出している。類似度の計算の基本として相関係数を用いて分類を行い、従来の考古学的分類結果との対応づけを試みている。

5. 画像処理技術の鉄鋼への応用

冒頭に述べたごとく、鉄鋼業は総合技術産業であり、

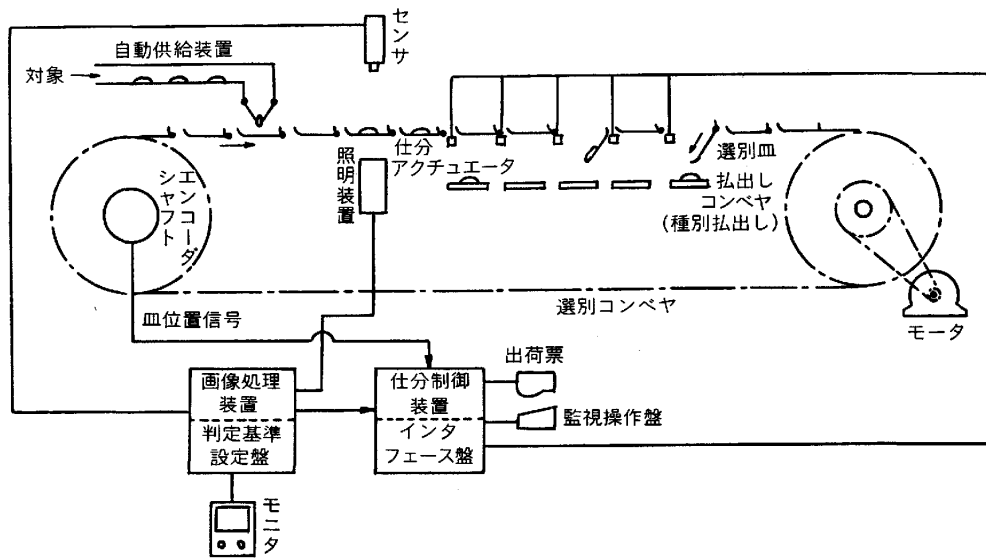


図9 システム構成図

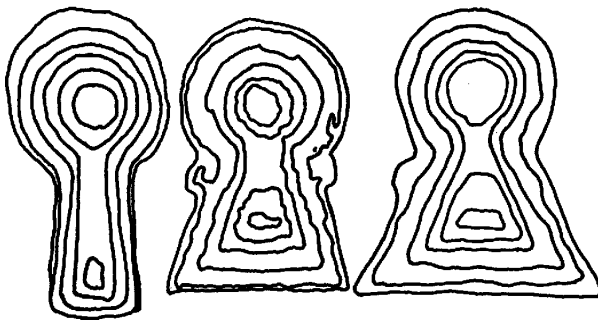


図10 前方後円塊の典型的形態例

画像処理に対するニーズは潜在的なものも含めれば幅広く多数存在すると考えられる。現在は画像処理技術の未発達に由来する限界のため余り高度な技術は見当たらず、テレビ画像によるプロセスのモニタリング、各種のセンサによる製品疵の検知、検査（ただしデジタル画像に対する処理例はほとんど無い）、赤外線カメラやその他のイメージセンサによる温度、寸法、形状、粒度などの初歩的なパターン計測のレベルに止まっている。

ただ鉄鋼プロセスの特徴は良く言われるように高温、高速であるが、特にライン速度の大きいことが、処理時間の面で大きなハンディキャップになっていることは否定できない。しかしこれも衆知のようにコンピュータ技術はまさに「秒進分歩」の勢いで進歩しており、演算速度は10年で一桁、メモリ容量は6～7年で一桁のペースで向上しつつあり、かつ画像処理に適したベクトルプロセッサやパイプライン演算方式など開発実用化されつつある。

たとえば文献8), 9), 11)～13)は鋼片、鋼板の表面欠陥あるいはピンホールの検査装置についての報文であり、可視光ビームを被検体上に走査し、反射光強度レベ

ルの高低から欠陥位置を判定するものであるが、基本的に信号のレベルのみに着目しており、画像処理までには至っていない。しかしながら今後これらの欠陥検査は大きさ、形状に着目せざるを得ない必然性を持つており、今後は画像処理技術が取り入れられていくであろう。

文献7)は鉄鋼プロセスでのいろいろな応用例を挙げており、

- 立体カメラによる熱風炉内形状測定
- スリット光による形鋼の形状計測
- ストロボとHMDを使った鋼板クロップ形状計測
- ストロボとTVカメラによるコークス粒度計測
- TVカメラによる連铸スラブの光学探傷

などが示されている。

また最近では鉄鋼の金属組織、原料の鉱物組織の自動定量法へのニーズが高まりつつあり、14)～16), 18), 19)は焼結鉱の顕微鏡組織の定量手法に関するもの、17)はEPMAを二次元的に走査し、画像処理技術によつて中心偏析などの解析を行う手法についての報文である。

これらの例からわかるように技術の難易度が画像処理(狭義の)→画像解析→パターン認識と進むとすれば鉄鋼での実用技術はやつと画像解析の端緒に辿りついたところで、情報産業における文字認識などのレベルには程遠いと言わねばならない。状況からすれば、極めて近い将来にこの隘路も打開されるに違いない。

表3に鉄鋼製造工程における画像処理(広義の)の現状とニーズを示す。※印を付したものは実用化内至開発が行われつつあるもの、○印を付したものは、的確なニーズ技術が現在見当たらず解決にかなり困難が予想されるものを示している。

また前述の調査文献中、鉄鋼応用に関する文献7)～19)を挙げておく。

表 3 鉄鋼業における画像処理技術へのニーズ

原料, 製品・半製品	設 備	研 究・試 験	そ の 他
※原料粒度分布測定 ⁷⁾ ※原料顕微鏡組織の定量 ^{14) 15) 18) 19)} ○コークス・焼結鉱焼成過程の観察 ※CCバルジング計測 ※鋼片表面疵検査 ⁷⁾ ○CC凝固パターン計測 ※厚板形状計測 ※熱延鋼板クロップ計測 ⁷⁾ ※型鋼寸法形状計測 ⁷⁾ ○パイプ寸法形状計測 ※パイプ内面欠陥検査 ※棒鋼線材断面形状計測 ※薄板表面疵検査 ¹¹⁾ ※製品内部欠陥検査	※高炉炉頂プロファイル ⁸⁾ ※炉内原料の粒度分布計測 ○高炉融着体形状測定 ○高炉炉底部湯流れのパターン計測 ・転炉炉体内面プロファイル計測 ・圧延ロールプロファイル計測 ※圧延反力パターン計測 ○ロボットビジョン (マテハン用視覚センサ)	※CC中心偏析のパターン解析 ¹⁷⁾ ※金属組織定量 ○破面率測定 ※各種電子顕微鏡像解析 (SEM, TEM像, 電子回折, ECP, コッセルパターン etc)	・画像情報の保管・検索 ・画像情報伝送 ・CADなどによる図形データ生成, 管理

6. お わ り に

画像処理技術について筆者なりの整理を行い, 鉄鋼プロセスへの適用現状の概観と, 将来の予測を行った. 表3に指摘したように, 今後は高度な計測手段として, またロボットなどの操作自動化のための視覚センサとして, あるいは, プロセスのみならず広く事務業務まで含めた画像・図形情報の管理, 伝達手段として我が鉄鋼業の中で重要な技術の一つとなるであろう.

しかしながら現状ではいまだ揺籃期にあり, すべての場合, あるニーズに対し明確な方法論を指摘できるという状況にはない. 殊に前述のごとくパターン認識的アプローチを必要とする場合, データ処理技術と, 対象分野の知見をうまく融合させて始めて成功する場合が多い. したがって, 当分はメーカーとユーザー, 産業界におけるニーズと学界におけるシーズとの間の緊密な連携による研究, 開発が必要であろう.

文 献

- 1) 長尾 真: 画像認識論 (1983), p. 4 [コロナ社]
- 2) 社内技術検討報告(新日本製鉄(株)) (私信)
- 3) 宗木好一郎: テレビジョン学会誌, 35 (1981), p. 906, 912

- 4) 島立征夫, 野村良忠, 井出俊之, 伊藤修孝: 三菱電機技報, 56 (1982), p. 242, 246
- 5) 前田 暉: テレビジョン学会誌, 35 (1981), p. 902, 906
- 6) 小沢一雅: 情報処理, 17 (1976), p. 1105, 1112
- 7) 白岩俊雄: 非破壊検査協会 005 特別委員会資料 (1982)
- 8) 北川 孟: 鉄と鋼, 65 (1979), p. 247
- 9) 竹本三郎: オートメーション, 19 (1974), p. 28
- 10) 宇野義雄: 同上, 23 (1978), p. 45, 47
- 11) 山口富士夫, 坂上武夫, 松田 修, 阿久津昭司, 古川幸夫, 増野豊彦: 鉄と鋼, 65 (1979), S 249
- 12) 岩崎全良, 木邑信夫, 中井康秀, 西 善郎, 浦本明博, 広瀬 勇: 同上, 65 (1979), S 248
- 13) 水上 進, 児玉賢治, 森田博之, 山本義之, 城谷幸雄, 石野洋二: 同上, 66 (1980), S 289
- 14) 渋谷悌二, 齊藤 汎, 谷中秀臣, 竹元克寛, 山田健夫, 上杉満昭: 鉄と鋼, 67 (1981), S 679
- 15) 齊藤 汎, 谷中秀臣, 竹元克寛, 山田健夫, 松永浩, 上杉満昭: 同上, 68 (1982), S 87
- 16) 上杉満昭, 居阪則保, 山田健夫, 福山辰夫, 鈴木喜夫, 船曳佳弘: 同上, 68 (1982), S 742
- 17) I. TAGUCHI, H. HAMADA and M. KAMA: JECL News, 20E (1982), p. 3, 7
- 18) 釜 三夫, 宮崎武志, 伊藤 薫, 肥田行博, 佐々木稔: 鉄と鋼, 69 (1983), S 749
- 19) 宮崎武志, 釜 三夫, 佐々木 稔, 肥田行博, 伊藤 薫: 同上, 70 (1984), S 80