

並列型画像処理システムとその応用†

井 上 和 佳^{††} 肥 塚 隆^{††}
有 田 秀 昶^{††} 中 村 英 都^{†††}

人間の視覚機能に近い画像認識、理解技術の確立を目指し、当所では並列型画像処理システム「FirePip」を開発した。このシステムの主な特徴は、定型処理である低レベルの画像処理に対しては DSP を用いて高速に演算を行い、画像の特徴抽出や認識などの高レベルの画像処理に対してはトランスピュータを用いた並列処理により高速化を図り、トータルな意味での画像処理の高速化を目指した並列型画像処理システムというところにある。このシステムの画像処理は $1k \times 1k$ ($k=1,024$) を基本サイズとしているが、大画像を処理できる画像処理装置に対するニーズが高まっていることから、 $1k \times 1k$ より大きな画像を扱えるような大画像の管理、処理方式を検討し、インプリメントを行った。そしてこれを基本システムとして当社君津製鐵所向けに鋼材の内質評価を行う鋳片プリント画像処理装置を開発した。ここで処理対象となる画像の大きさは最大 $3k \times 3k$ という大画像である。16個のプロセッサにより並列画像処理を行った結果、最も処理コストの大きな中間割れの追跡処理において2個のプロセッサの時の4倍程度の速度向上を達成した。さらに稼働率を一定にするような負荷分散を行うことにより2個のプロセッサの6倍程度の速度向上を達成することができた。現在このシステムは君津製鐵所においてオンラインで稼働中である。

1. はじめに

近年人間の視覚機能を代行するものとして画像処理技術に対する期待はますます大きくなってきている。従来画素レベルの基本演算に関してはさまざまな画像処理アルゴリズム、LSI、DSPの開発が進められ現在では 512×512 画素の画像に対してはほぼビデオレート (33msec 以下) での処理が可能となってきた。しかしながら画像の特徴抽出や認識に関しては、従来システムは実用性能を持つものは少なく、認識レベルにおいて人間との差は依然大きいと言わざるを得ない。このような背景のもとに当社では、画像認識・理解技術の確立を目指した研究開発ベースマシンとして並列型画像処理システム「FirePip」を開発した[†]。このシステムは画像処理のレベルに応じた階層的な機能モジュールから構成される。まず基本的な演算は画像処理 DSP を用いて高速に処理を行う。そして特徴抽出、認識処理に対しては MIMD 型の並列処理により高速化を図っている。

また FirePip システムの画像処理は $1k \times 1k$ ($k=1,024$) を基本サイズとしているが、大画像を処理できる画像処理装置に対するニーズが高まっていること

から、 $1k \times 1k$ より大きな画像を扱えるような大画像の管理、処理方式を検討し、インプリメントした。

そしてこれを基本システムとして当社君津製鐵所向けに鋳片プリント画像処理装置を開発した。ここで処理対象となる画像の大きさは最大 $3k \times 3k$ という大画像である。16個のプロセッサにより並列画像処理を行った結果、鋳片プリント画像データに対して画像の入力から解析結果の出力まで3分以内に行うという要求仕様を十分に満足する結果を得ることができた。現在このシステムは君津製鐵所においてオンラインで稼働中である。

本稿では、並列型画像処理システム「FirePip」の概要とその特徴ならびに、大画像の管理方式と並列画像処理を適用した処理方式、そしてこのシステムを適用した鋳片プリント画像処理装置について報告する。

2. 並列型画像処理システム FirePip の概要

FirePip システムの外観を図1に示す。システムはホストコンピュータと楕円筒形状を持つ画像処理部およびモニタとテレビカメラなどの画像入力デバイスから構成される。ホストコンピュータ部は画像処理操作のマンマシンインタフェイスとして機能する。そして画像処理部は複数のモジュールから構成され、ホストコンピュータからの処理コマンドに応じて画像処理を行う。

† Parallel Image Processing System to Quality Judgement by Image Analysis by KAZUYOSHI INOUE, TAKASHI KOEYUKA, HIDENOBU ARITA (Electronics R&D Laboratories, Nippon Steel Corporation) and HIDETO NAKAMURA (Kimitu Works, Nippon Steel Corporation).

†† 新日本製鐵(株)エレクトロニクス研究所

††† 新日本製鐵(株)君津製鐵所

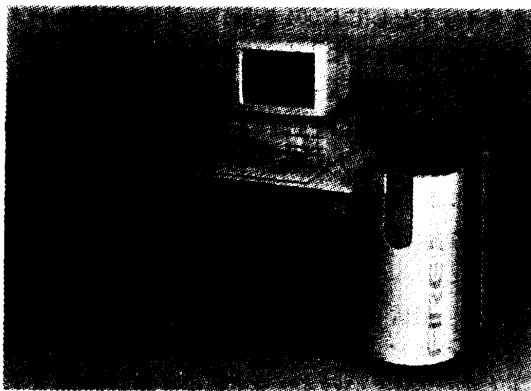


図 1 FirePip 基本システム
Fig. 1 Basic system of FirePip.

2.1 画像処理部のアーキテクチャ

図 2 に FirePip システムの画像処理部のアーキテクチャとその設計思想を示す。まず設計に当たって画像の認識・理解を行う際の画像処理を以下の 3 種類に分けて考えた。

(1) 下位レベルの画像処理

画像間演算、フィルタリング、LUT 変換等定型的な画像処理。

(2) 中位レベルの画像処理

特徴抽出処理等の画像データを用いて処理を行う非定型画像処理。

(3) 高位レベルの画像処理

分散協調処理、ニューラルネット等を用いて数値、シンボルデータから画像の認識・理解を行う処理。

一般にデータ量は画像処理のレベルが上がるにつれ減少するのであるが、画像処理のコストは増加する。

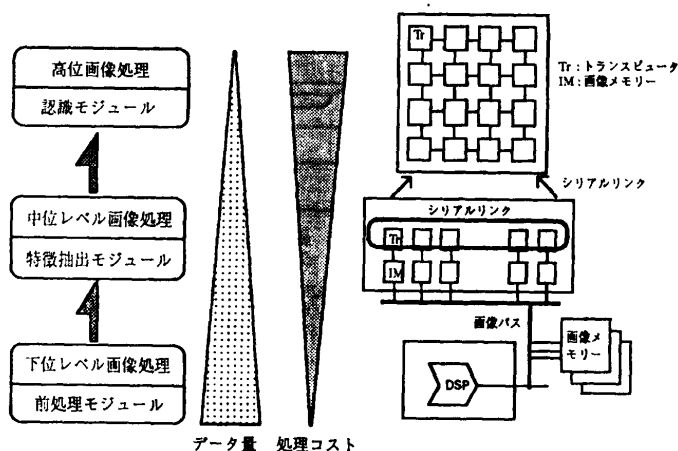


図 2 FirePip システムのアーキテクチャ
Fig. 2 Architecture of FirePip system.

各レベルの処理をそれぞれ単一のプロセッサを用いて行うことを考えると、高位レベル画像処理に時間がかかり、この部分が処理全体のネックになってしまう。このため処理コストの大きくなる高いレベルになるほどプロセッサの数を増やして並列処理による処理時間の短縮を図るようなアーキテクチャを採用することとした。ここで各レベルの機能をモジュールに分割し、前処理モジュール、特徴抽出モジュール、認識モジュールと呼ぶ。

次に処理プロセッサの選択であるが、前処理モジュールにおける処理プロセッサは定型処理を高速に演算可能な画像処理 DSP を用いた。特徴抽出モジュール・認識モジュールでは画像データを空間的に分割して処理を行うだけでなく、プロセッサごとに機能を分けることができるように MIMD 型の制御方式をとることを考えた。このため高い計算能力・4 本の入出力用のリンク通信機能・拡張性という特徴を持つトランスピュータを採用した。特徴抽出モジュール内の各トランスピュータには高速画像バスと接続したデュアルポートメモリを接続した。これにより画像メモリ内の画像データを空間分割して、このローカルな画像メモリに格納し並列画像処理を行うことが可能である。特徴抽出モジュールと認識モジュール内のトランスピュータ間の接続はクロスバスイッチにより可変であり、さまざまなネットワーク構造をとることができる。

またさまざまな用途を考慮し、システム構築の自由度を高めるためにボードビルドアップ構成を採用した。

2.2 FirePip システムのハードウェア

図 3 に FirePip システムのハードウェア構成を示す。ホストコンピュータとしては NEC 9801 または SUN ワークステーションを標準とし、画像処理部との接続はインタフェースボードをホストコンピュータの空きスロットに挿入し、シリアルリンクを通して行われる。

次に各モジュールの概要を述べる。

(1) 全体制御モジュール

INMOS 社製のトランスピュータ (T800 20 MHz) 1 個、2MB のワークメモリを持ち、ホストコンピュータ部との通信、コマンドの解釈、画像処理の実行制御等を行う。

(2) 前処理モジュール

トランスピュータ (T 800 20 MHz) 1 個, 東芝製の画像処理 DSP (T 9506), DSP 用の 2 MB の画像メモリと複数の LUT から構成され, DSP により画像データの転送, 基本画像演算処理を行い, トランスピュータはその制御を行う。

(3) 画像入出力モジュール

トランスピュータ (T 800 20 MHz) 1 個をコントローラとして, 1 MB の画像入力用バッファメモリと 2 MB の出力バッファメモリを持ち, テレビカメラやラインセンサからの画像データの入力と, モニタへの表示を行う。

(4) 画像メモリモジュール

画像メモリモジュールは 1 枚のボードに 8 MB を単位として 32 MB まで搭載可能である。このとき 1 枚の画像メモリは $1k \times 1k \times 16 \text{ bit}$ としているため計 8 枚の画像メモリをとることができる。またボードを増設することにより画像メモリを増やすことが可能である。

(5) 特徴抽出モジュール

このモジュールでは, 1 枚のボードにトランスピュータ (T 800 20 MHz) を 4 個搭載し, 各トランスピュータごとに 2 MB のワークメモリと 2 MB の画像用デュアルポートメモリを持つ。クロスバーリン

クスイッチとして C004 を用い, トランスピュータ間の接続を変更することが可能である。

(6) 認識モジュール

1 枚のボードには 4 個のトランスピュータ (T 800 20 MHz) とトランスピュータごとに 2 MB のワークメモリを単位として, 最大 16 トランスピュータまで搭載可能である。リンクスイッチは C004 を用いている。

(7) 通信インタフェースモジュール

トランスピュータ (T 425 20 MHz) をコントローラとして, 2 MB のバッファメモリから構成され, SCSI, RS 232 C, GPIB のインタフェース各 1 チャンネルとリンク線 2 本から構成される。

(8) 画像バス

32 ビット幅の画像バス 3 本を持つ。このうち 2 本が処理対象のソース画像用, 1 本がディスティネーション用である。この画像バスの仕様は DSP に依存しており 9 MHz で最大 432 Mbps の転送能力を有する。

2.3 ソフトウェア構成

FirePip システムのプロセス構成を図 4 に示す。ホストコンピュータにおけるプロセスはコマンド関数, リンクドライバ, アプリケーションからなり, C 言語を用いて記述している。PC-9801 の場合には MS-WINDOWS を用いた対話型のユーザインタフェース

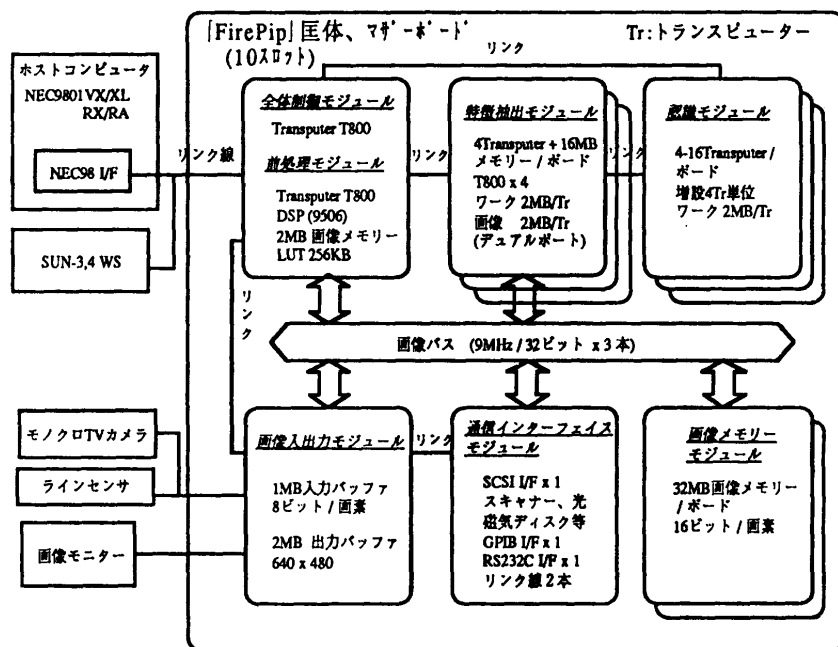


図 3 FirePip システムのハードウェア構成
Fig. 3 Hardware configuration of FirePip system.

をサポートしている。

全体制御モジュールは通信ルータ、コントロールプロセスからなり、前処理モジュール・通信インタフェースモジュールは通信ルータ、メインプロセス、デバイスドライバからなり、特徴抽出モジュール・認識モジュールは通信ルータとメインプロセスから構成されている。これらの記述は Occam 言語を用いている。DSP に関してはそのマイクロコードを Occam の定数テーブルとして保持するかたちをとっている。

各モジュール間の通信には、図 4 中に示すメッセージプロトコルを用いる。通信ルータはメッセージの種類を示す [DC], 行き先 [DST] を判断し、対応するモジュールにメッセージを転送する。このルータはメッセージバッファを持ち、並行動作しているメインプロセスからの要求があればバッファからメッセージを取り出しメインプロセスに送る。複数のトランスピュータの同期処理はこのメッセージにより行っている。

次に特徴抽出モジュールで画像処理を行う場合の基本的なコマンドの流れを以下に述べる。

- (1) ホストコンピュータからコマンドが発行される。
- (2) 全体制御モジュールでは、メッセージからコマンド番号をよみ、画像の分割パラメータ等を計算する。
- (3) 前処理モジュールに画像の分割転送コマンド、

画像パラメータを発行する。

- (4) 画像を画像メモリーから特徴抽出モジュールに分割転送し、リターンコードを返す。
- (5) 特徴抽出モジュールのトランスピュータに処理コマンド、処理プロセッサ数、処理の形態（同一処理・個別処理）等のパラメータを発行する。
- (6) 画像処理を行い、リターンコードを返す。
- (7) 前処理モジュールに画像の統合転送コマンド、画像パラメータを発行する。
- (8) 画像を特徴抽出モジュールから画像メモリーに統合転送し、リターンコードを返す。

画像処理のソフトウェアとしては画像間演算、各種フィルタリング、FFT、ラベリング処理、細線化、Hough 変換などの画像処理ライブラリがある。ライブラリにおける特徴抽出モジュールでのソフトウェアは、トランスピュータ間をリンク結合するコンフィギュレーションに対応している。また 2 値図形計測機能として、切りだした図形を特徴抽出モジュールに分割し面積・モーメント・重心等の 91 種の項目を選択し、計測を行うことができる。

次にラベリング処理と膨張処理の並列化効果について述べる。この時の画像サイズは 640×480 dot であり、ラベル数は 150 である。これらの処理は画像メモリー内の画像データを短冊型に分割して特徴抽出モジュールに転送し、各トランスピュータで処理を行い、

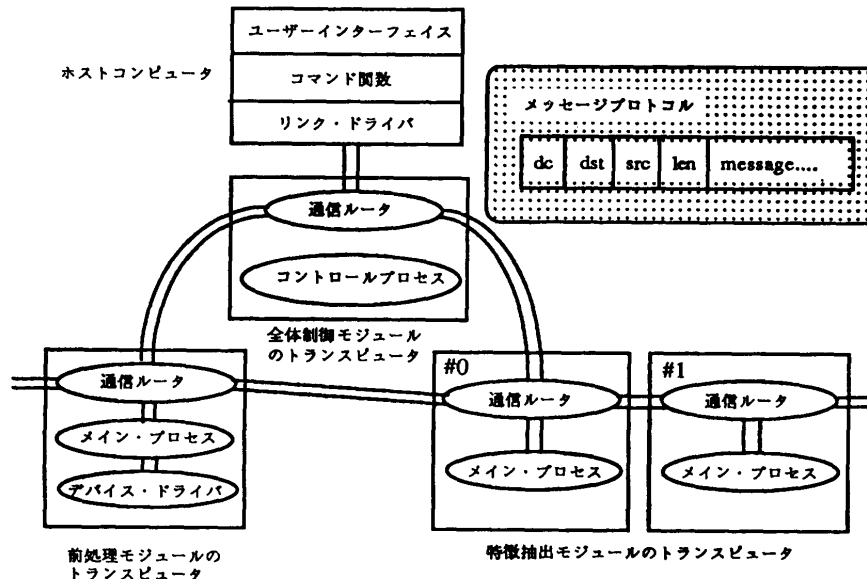


図 4 FirePip システムのプロセス構成

Fig. 4 Software configuration of FirePip system.

結果画像を画像メモリに統合転送する。膨張処理においてはトランスピュータ間の通信処理は行わないため、図5に示すように転送を除いた処理時間はその台数に比例した効果が得られている。ラベリング処理においてはトランスピュータ間で各分割画像のラベル情報を通信する必要があるため、転送を除いた処理時間に関しては膨張処理に比べると台数効果は落ちる。しかし転送コストが全処理コストに対して占める割合が低いため、2台と8台のトランスピュータで比較するとどちらの処理とも3倍の速度向上を図ることができた。

またこれらのライブラリソフトウェアを用いた2次元物体認識プログラムにより認識実験を行った。このプログラムは文字やシンボルなどの分離図形を対象とした合同図形認識を行う。TVカメラで入力された画像に対して前処理を行い、各図形を特徴抽出モジュールのトランスピュータに分割し、抽出されたSRI特徴量を認識モジュールに通信する。そして認識モジュールでは各トランスピュータが担当するデータベースの中に一致する物体があるか否かを指定の距離関数を用いて一斉に探索し最小距離の物体の名称と属性を出力する。画像サイズは 640×480 dot, 図形数は16, 特徴項目数を7, 特徴抽出モジュールのトランスピュータ数を8個, 認識モジュールのトランスピュータ数を16個として認識を行った結果、1図形あたり100ms程度という高速で処理を行うことができた。

3. 大画像管理, 処理方式

従来開発されてきた多くの画像処理システムで扱える画像の大きさは $1k \times 1k$ 以内の画像であった。しかしながら、図面認識や医用画像処理をはじめとして

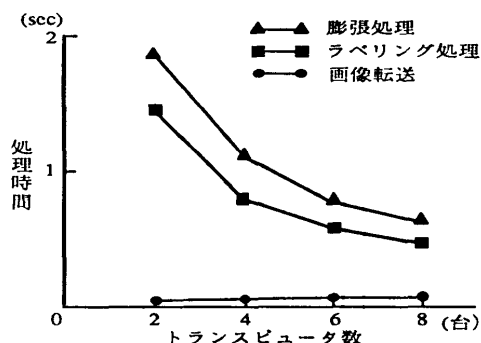


図5 並列型膨張, ラベリング処理の台数効果
Fig. 5 Time effect of parallel method dilatation and labeling.

最近 $1k \times 1k$ より大きな画像を高精度かつ高速に処理することができる画像処理装置へのニーズが高まってきた。そこで $1k \times 1k$ より大きな画像を扱えるように大画像管理, 処理方式の検討を行い, インプリメントを行った。

3.1 大画像管理方式

FirePipシステムの画像処理部内の各モジュールの1枚の画像メモリは入力バッファメモリを除くと2MBであり, これを $1k \times 1k \times 16$ bitとして使用している。このためこれをすべての画像の管理と処理の単位として考える。今例えば $3k \times 3k$ の画像を考えると必要な画像メモリは9枚となるが, この画像メモリの集合を「プレーン」という名称を付け, 仮想的な1枚の画像メモリとして考える。そして, 画像処理を行う際にはこのプレーンに対して任意の大きさを持つ「ウィンドウ」を用いて処理対象画像を切り出す。

画像処理のシーケンスを図6に示す。まずホストコンピュータ上のアプリケーションプログラムからコールされた大画像管理ルーチンは対象とする画像の大きさに応じて複数の画像メモリを「プレーン1」として設定する。そしてこのプレーン1内に画像データを入力する。次にプレーン1内に画像処理を行う領域として「ウィンドウ1」を設定する。そしてウィンドウ領域を含む各画像メモリ内の画像の始点座標, 大きさなどを計算した後, これらの画像に対して画像処理を行う。処理後新たに生じる画像を画像メモリに格納する場合には, このウィンドウに応じた大きさを持つ「プレーン2」を確保しその画像を格納する。ホ

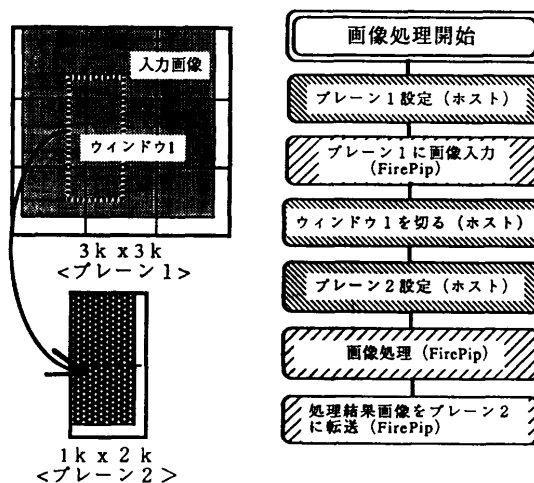


図6 大画像処理シーケンス
Fig. 6 Sequence of large image processing.

ストコンピュータ上の大画像管理ルーチンは、プレーンとウィンドウの情報である画像メモリの番号や枚数、格納されている画像の大きさやその履歴などをファイルへ記録し、その管理を行う。そして画像処理を行う際には、これらの情報を統合して必要となるパラメータ（各画像メモリ内での画像の始点座標やその大きさなど）を計算する。以上の大画像管理機能はC言語を用いてインプリメントを行った。

3.2 大画像処理方式

大画像の画像処理を行う際に画像領域分割を行う必要があるが、この観点から画像処理をその処理内容に応じて2種類に分けて考えることにした。

- (1) 画素間の連結性を考慮しなくてよい処理
- (2) 画素間の連結性を考慮しなくてはならない処理

(1)の例として、画像の2値化処理が挙げられる。図7に示すように例えば4枚の画像メモリモジュールに格納された濃淡画像を2値化処理する場合には単純に画像メモリごとに領域分割を行った処理が可能である。

次に(2)の例として、画像のラベリング処理について述べる。ラベリング処理では画素間の連結性を考慮

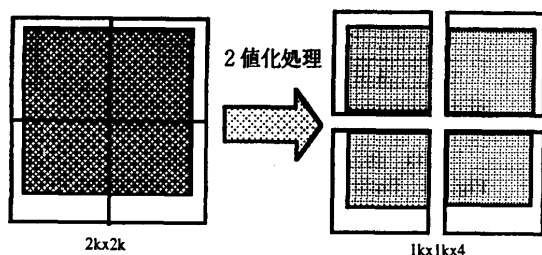


図7 画素間の連結性を考慮しない場合の領域分割
Fig. 7 Image division without consideration of connectivity.

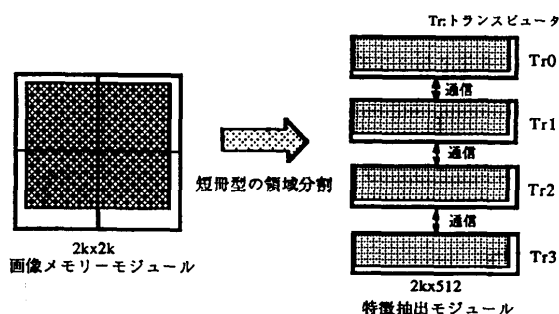


図8 画素間の連結性を考慮した場合の領域分割
Fig. 8 Image division with consideration of connectivity.

しなくてはならないために、(1)のように単純に領域分割することはできない。このため図8に示すように特徴抽出モジュール内の画像メモリーを1k×1kだけでなく2k×512、4k×256といった形のメモリーとしても使用することにした。これにより横幅が1kを越える画像に対しても短冊型に分割することができるため、従来のFirePip画像処理ソフトウェアのアルゴリズムをそのまま適用することが可能となった。以上の大画像処理方式はOccam言語を用いてインプリメントを行った。

4. 鋳片プリント画像処理装置への応用

4.1 鋳片プリント画像処理装置開発の経緯

鋼材が製造される過程である連続鍛造プロセスにおいて、溶鋼が凝固する際にかかる応力や冷却の不均一性により、鋼材内部には中心偏析、中間割れ、V偏析などが生じる。これらは鋼材断面を化学処理した後印画紙にプリントすることにより可視化され、内質評価を行うことが可能となる。従来は現場の作業員が目視判定を行ってきたが、詳細な計測には時間と労力がかかり、個人差による評価のばらつきが生じるという問題があった。このため当社では画像処理技術を用いて、八幡製鐵所が連铸スラブの内質簡易判定を対象とした内質自動判定システムを実用化し^{2),3)}、また君津製鐵所では欠陥の種類・形状がスラブと異なるブルーム鋳片を対象とした鋳片プリント画像解析・評価アルゴリズムを開発した^{4),5)}。このアルゴリズムでは、相関係数が0.93以上で人の認識と対応した結果を得ることができた。しかしながら開発に用いた逐次型の画像処理装置では解析処理だけで10分以上もかかり、「プリント1枚あたりの処理時間3分以内」というオンラインでの要求仕様を満たすことは困難であった。そこでFirePipの並列画像処理の適用により処理を高速化し、要求仕様を満たすシステムを実現することを目標とした。

4.2 鋳片プリント解析処理の概要

解析対象はブルーム鋳片のサルファプリントとピクリン酸エッチプリントの中心偏析と中間割れである。サルファプリントの濃淡画像を図9に、中心偏析と中間割れをハッチにより示した模式図を図10に示す。プリントの大きさは横305×縦150～300mmである。

また図11に解析処理全体のフローを示す。

(1) 中心偏析解析

中心偏析解析領域の中心から厚み方向に±10mm

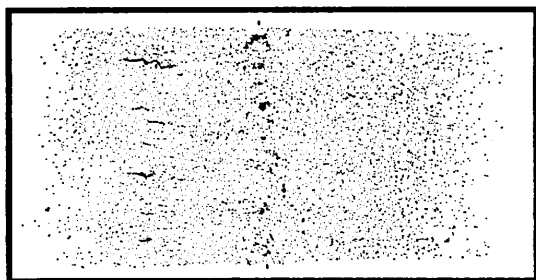


図 9 サルファプリント画像
Fig. 9 Sulphur print image.

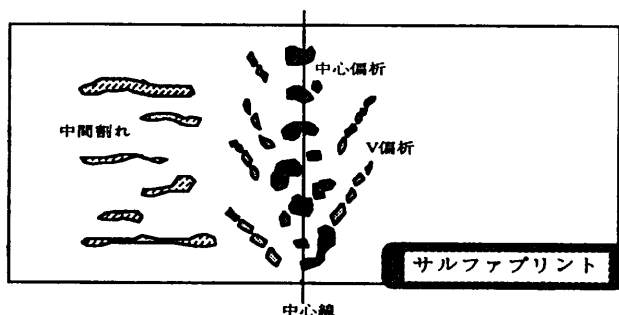


図 10 中心偏析と中間割れ
Fig. 10 Center segregation and inner crack.

の領域データを切りだす。まずこの領域内のヒストグラム計測を行い2値化のしきい値を決定し、2値化処理とラベリング処理を行う。次に面積がしきい値より大きな粒子を中心偏析として認識する。

(2) 中間割れ解析処理

中間割れ解析は全解析領域の厚み方向の幾何中心から $\pm 10\text{mm}$ の範囲を除いた左右の面に対して行う。まず前処理として2値化処理を行い、この2値画像と濃淡原画像を併用して割れの追跡処理を行い割れの候補を抽出する。そして認識処理として割れの長さがしきい値より長いもの、割れの形状が細長いもの、またV偏析と区別するためにその角度が水平方向から角度しきい値以内のものを中間割れとして認識する。

4.3 鋳片プリント画像処理装置のシステム構成

鋳片プリント画像処理装置のシステム全体構成を図12に示す。読み取り密度が 0.15mm/dot のスキャナにより鋳片プリント画像を入力し、画像処理部で解析処理を行う。このとき画像はモニタ上で表示され、イメージプリ

ンタによりハードコピーをとることができる。

これらの制御はホストコンピュータにより行う。オペレータは、CRT 上の対話型のメニューを操作し、処理項目と処理パラメータを設定することにより半自動で評価処理を行うことができる。評価結果はプリンタに出力され、またモデムを介し、ビジコンに送られる。

4.4 鋳片プリント解析処理の並列化

(1) 並列化方式

ここでは解析処理の並列化方法について説明する。

並列化の方法としては空間分割による並列化方式を採用した。並列画像処理を用いた処理項目はラベリング処理、中間割れ追跡、認識処理、画像の圧縮処理であるが、ここでは例として図13に処

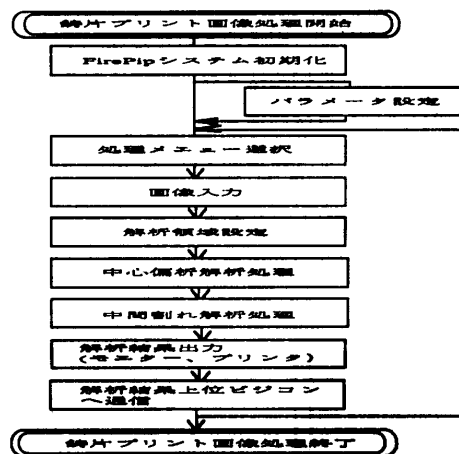


図 11 鋳片プリント解析処理基本フロー

Fig. 11 Basic flow of quality evaluation by image processing.

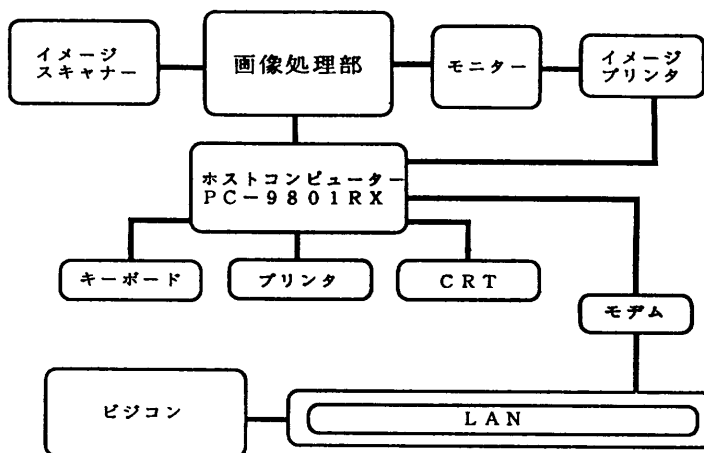


図 12 鋳片プリント画像処理装置のシステム構成

Fig. 12 System configuration of print image analysis.

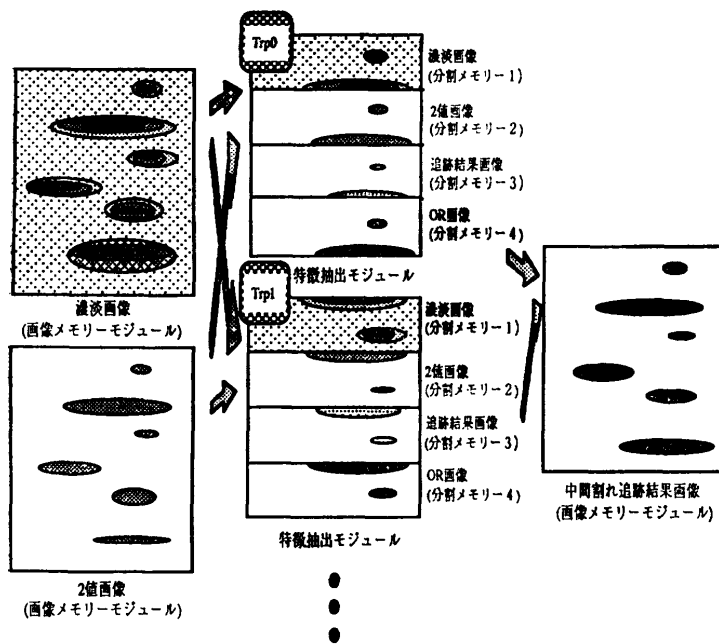


図 13 中間割れ追跡処理の並列化方法
Fig. 13 Parallel method of tracing inner crack.

理概念図を示した中間割れ追跡処理の並列化方法を説明する。まず画像メモリーモジュール内の濃淡画像と2値画像を短冊型に分割して、特徴抽出モジュール内の画像メモリーを4分割した分割メモリー1と分割メモリー2に転送する。各トランスピュータでは2値化された図形を追跡の開始点として濃淡画像上の濃淡分布から中間割れの追跡を行う。そして中間割れ追跡画像を分割メモリー3に格納する。次に中間割れ追跡画像と2値画像のORを取り分割メモリー4に転送する。最後に追跡結果画像であるOR画像をフレームメモリーに統合転送する。

(2) 並列性の評価

中間割れ追跡処理の台数効果を測定した結果を図14中に[×]で示す。この処理は、最も処理コストが大きく、逐次型の画像処理装置では480×836 dotのプリントデータに対して220秒もかかり中間割れ解析全処理時間の94%を占めていた。この測定に用いたプリント画像サイズは1024×450 dotである。

中間割れ追跡処理では通信コストはゼロであり、転送コストは全処理コストより2オーダー程度少ないため高い台数効果が期待できるが、測定結果では8台あたりから効果が落ち始め、2台と比較して8台では2.6倍、16台で4倍程度の速度向上しか図れていない。これは図15中に[×]で示すように各トランスピュータへの負荷分散が均等でないため、稼働率が悪いことが

原因である。このため解析領域の大きさを均等に分割するのではなく、中間割れ追跡開始点となる2値画像の白画素面積を均等になるように分割を行った。この均等分割を行うための面積ヒストグラム計測処理に要する時間は、0.71秒である。これにより図15中に[○]で示すように稼働率は向上し、図14中に[○]で示すように台数効果も上がり2台と比較して8台では3.4倍、16台では6倍程度の速度向上を達成することができた。

しかしまだ各トランスピュータの稼働率が一定ではないのは、中間割れ追跡処理の処理コストが濃淡の分布に依存しているためである。さらに速度を向上させるためには濃淡分布の依存関係を調査し、これに対応した前処理を行うことが考えられるが、この計測自

体にかかなりの時間がかかることが考えられる。

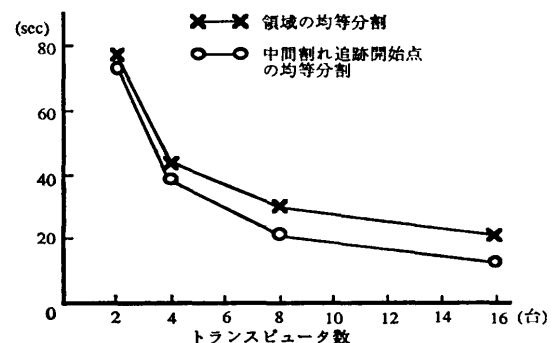


図 14 中間割れ追跡処理の並列化効果
Fig. 14 Time effect of parallel method of tracing inner crack.

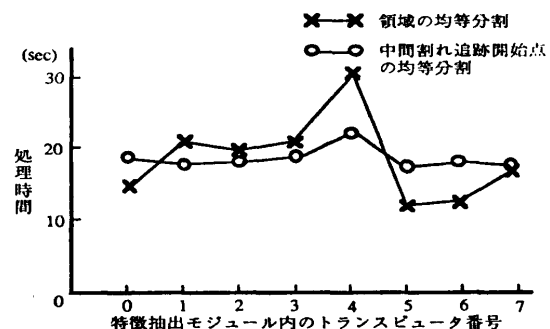


図 15 トランスピュータごとの処理時間
Fig. 15 Execution time of each transputer.

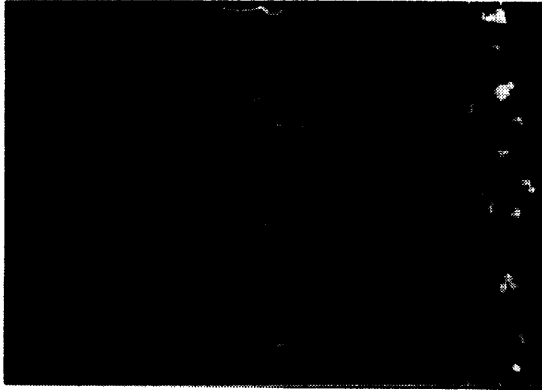


図 16 解析結果画像
Fig. 16 Result image.

(3) 実プリント解析結果

次に図 9 に示したスキャナより入力した画像の解析処理を行った。解析結果画像を図 16 に示す。この画像サイズは $3k \times 2k$ である。数十データを解析し処理時間を計測した結果、中心偏析解析と中間割れ解析の平均解析処理時間は各々 10 秒、30 秒であった。スキャナからの画像入力に 17 秒を要するため、全体として目標である 3 分以内に処理を完了することができた。このシステムは 90 年 5 月末に当社君津製鐵所に搬入し、現在オンラインで稼働中である。

5. 結 論

並列型画像処理システム FirePip に新たに大画像に対応できる機能を付加し、鋳片プリント画像処理装置を開発し実用化した。この結果 FirePip の高速性と大画像に対する拡張性を実証することができた。今後はこの FirePip を用いて、分散協調処理を用いた画像認識や人間の注視動作をシミュレートするような認識の研究を行っていく予定である。

参 考 文 献

- 1) 有田, 岡村, 松井, 古川, 田中, 兜金: 高速画像処理・認識システム, 映像情報(I), Vol. 21, No. 18, p. 93 (1989.9).
- 2) 新日鐵八幡製鐵所: 連铸スラブ内質自動判定システム, 日本鉄鋼協会第 101 回計測制御部会資料 (1990.4).
- 3) 新日鐵八幡製鐵所: ISE 自動判定装置, 日本非破壊検査協会 005 特別委員会資料, 005-137 (1989.10).
- 4) 富野, 水越, 山川, 湯井, 原川, 山野寺: 連铸鋳片の画像処理による品質判定方法の検討, 材料とプロセス, Vol. 1, No. 4, p. 1223 (1988).
- 5) 森谷, 原川, 山野寺, 山川, 水越, 富野: 画像

処理による偏析, 内部割れの測定, 材料とプロセス, Vol. 1, No. 5, p. 1503 (1988).

(平成 2 年 8 月 24 日受付)

(平成 3 年 4 月 9 日採録)



井上 和佳 (正会員)

1964 年生。1987 年東京工業大学工学部生産機械工学科卒業。1989 年同大学院総合理工学研究科精密機械システム専攻修士課程修了。同年, (株)新日本製鐵入社。現在, エレクトロニクス研究所電子システム研究センターにて, 画像処理, 並列型画像処理システム, 画像データベースなどの研究開発に従事。



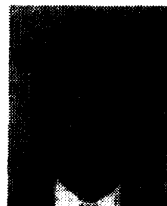
肥塚 隆 (正会員)

1958 年生。1981 年東京大学工学部計数工学科卒業。同年(株)新日本製鐵入社。同社広畑製鐵所にてプロセス制御システムの開発に従事。1986 年 9 月(株)ATR 通信システム研究所へ出向。臨場感通信の基礎研究において 3 次元画像処理 CG の研究に従事。1989 年 4 月復職。現在エレクトロニクス研究所電子システム研究センターにて, 画像認識の研究に従事。計測自動制御学会, 日本ファジィ学会各会員。



有田 秀規

1946 年生。1969 年京都大学工学部数理工学科卒業。1971 年同大学院修士課程修了。同年(株)新日本製鐵入社。AE 検査システム, CC 冷却制御モデル, 画像処理, 図面認識, 並列型画像処理システムなどの研究開発に従事し, 現在エレクトロニクス研究所電子システム研究センター主幹研究員。電子情報通信学会, 人工知能学会, 計測自動制御学会, 応用数理学会各会員。



中村 英都 (正会員)

1963 年生。1986 年千葉大学工学部電子工学科卒業。1988 年同大学院工学研究科修士課程修了。同年, (株)新日本製鐵入社。以来, 同社君津製鐵所において鉄鋼業への画像処理技術の適用に関する研究に従事。電子情報通信学会会員。