

高速ネットワークによる生産工程の分散化*

長谷川 辰雄**、中村 吉信***、大崎 満弘****

土井 章男*****、南幅 留男*****

機械部品や電子機器の製造工程では、複雑形状、高品質、低コスト化が求められている。本論文では、各工程を分散ネットワーク接続し、情報を共有化することで時間短縮を実現するシステムを提案している。部品図面や試験結果の共有化、工程管理の一元化が可能となり、迅速な意志決定が可能となった。本システムは、県内企業2社及び大学との共同研究により、設計工程として「構造解析シミュレーションの開発」、計測工程として簡易的な「3次元計測器の開発」、加工工程として円筒座標系ロボットによる「3次元切削加工装置の開発」で構成されている。

キーワード：分散ネットワーク、3次元計測、3次元加工機

Effective distributed industrial engineering environment with high speed network

HASEGAWA Tatsuo, NAKAMURA Yoshinobu, OOSAKI Mitsuhiro

DOI Akio and MINAMIHABA Tomeo

Manufacturing industries of electronic or machine parts demand a more complex shape, quality products and cost-reduction. We suggest distributed industrial engineering environment that interconnect decentralized facturing process by INTERNET in solving such problems. The system consist of structure analysis for CAE, light 3D measurement for CAD and 3D processing machine for CAM. These are interconnected by VPN(Virtual Private Network) with retaining a high level of security.

key words: Distributed Network, 3D meassurement, 3D processing machine

1 緒 言

現状の「ものづくり」のキーワードは、短納期・低コストである。当然ながら、これには品質が伴っていないなければならない。本論文では、これを実現する手段として、IT(Information Technorogy)を最大限に活用した「次世代のものづくり」を提案する。本研究の全体構成図を図1に示す。「ものづくり」の基本である「設計技術」、「加工技術」、「計測技術」を分散ネットワーク化により、「次世代のものづくり」手法を確立することを目的とする。設計技術では、CAE(Computer Aided Engineering)を中心とした高度解析システムの開発、加工技術では、円筒座標系ロボットを利用した加工装置の開発、計測技術では、メッシュ状ネット利用簡易型3次元形状スキャナー装置の開発を行った。これらの各工程を分散ネットワーク化し、必要な情報を共有するシステムを構築する。ネットワークの接続は、インテリジェント・サーバ装置を介して行う。この装置は、外部からのアクセスを制限するセキュリティ機能を備えている。また、各装置とのデータ通信

を行う通信プロトコル変換(TCP/IP→RS232C)機能や、グループウェア導入により工程管理を迅速に進めることが可能である。

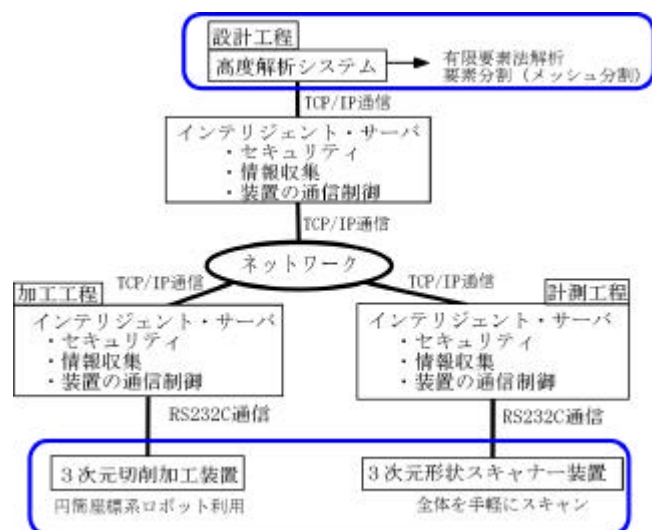


図1 全体構成図

*次世代クリエイティブソリューションシステムの開発（中小企業技術開発産学官連携促進事業）

**特産開発デザイン部

***（株）でん

****（有）ヒロ

*****岩手県立大

*****金属材料部

2 実験方法

2-1 高度解析システム

高度解析システムでは、主にシミュレーション解析技術(CAE)に関する新しい手法の開発を行った。一般的なCAEは4面体要素分割で行われるが、6面体要素分割のほうが解析精度が向上する。6面体要素の自動分割はいくつか提案されているが、未だに実用的な方法はなく、手作業による分割が行われているのが現状である。本研究では、一般的なデローニー分割法による4面体要素分割を利用して、6面体要素分割の自動分割を行った。6面体分割のアルゴリズムを図2に示す。

6面体生成のアルゴリズム

- ① デローニー分割法により4面体分割を行う
- ② 4面体を構成する3角形の重心を求める
- ③ 各3角形の各辺の中点から重心へ線を引く
- ④ 4面体の重心を求める
- ⑤ 各3角形の重心と4面体の重心を線で結ぶ

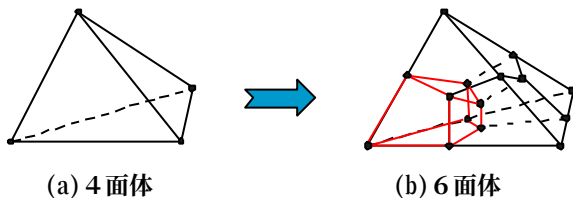


図2 4面体から6面体の生成

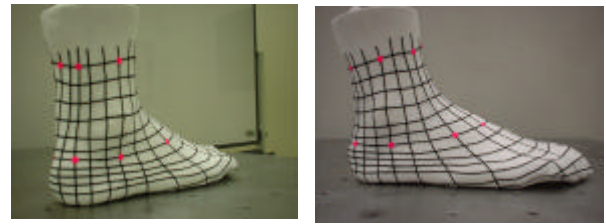
生成した6面体は、ノード(節)、エッジ(辺)、フェイス(面)ごとに構造化データとして設計し、3次元座標値としてコンピュータ上のファイルに保存される。

2-2 簡易3次元スキャナー装置の開発

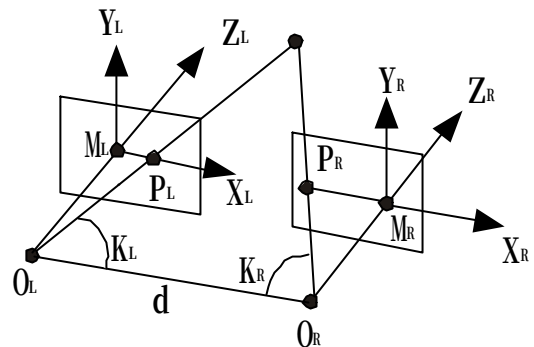
一般的な3次元計測は、白色光やレーザ光を投影して計測する光投影法¹⁾がよく知られている。しかし、市販の3次元計測器は、高価なレーザ光や高速画像処理装置などで構成され、手軽に3次元形状を求めることができない。また、光沢物体や毛髪などの黒色は、光の反射・散乱で3次元計測ができない問題がある。そこで、3次元人体形状計測の簡単化のために、メッシュ状のネットで計測対象物を覆い、両眼ステレオ法を用いて3次元形状を再構成する方法を検討した。

(1) メッシュ・ネット

3次元計測は両眼ステレオ法を用いる(図3)。この方法は、2枚の画像で対応する同一の点(M_L と M_R)を決定する必要がある。対応点を自動的に求めるには、抽出条件を設定する必要があるが、一般的に画像中の特徴のある領域は、明暗が明確な箇所(エッジなど)しかなく、必要な対応点を決定することは困難である。また、実際に類似した特徴を持つ箇所が多く存在し、誤った対応点(M_L と M_R)を求めてしまう問題がある。この問題解決方法として、図3(a)及び(b)に示すようなメッシュ・ネットの交差点を対応点とすれば、左右画像の明確な対応点を決定することができる。



(a)メッシュネット(左) (b)メッシュネット(右)



(c)両眼ステレオ法原理

図3 メッシュネットと両眼ステレオ法

(2) 細線化

メッシュ・ネット交差点認識のために、カメラ画像から2値化処理によりメッシュのみを抽出する。次に交差点の追跡及び特定するため細線化²⁾を行う。細線化は画素の連結性と最小構成画素数が1という性質を持つ。これにより、取り扱うデータは必要最小限となる。細線化のアルゴリズムは、図4に示す8個のマスクパターンを用い、これに合致した中心画素を削除する方法で行った。

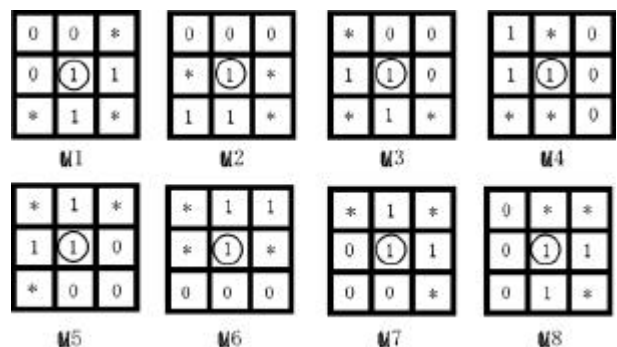


図4 細線化マスクパターン

(3) 交差点パターンの認識

本論文が提案するメッシュ交差点認識方法は、細線化で得られた線図形に対し、8近傍の画素の個数を全画素ごとに設定した連結数 N を式1により求める。この連結数 N は表1に示す連結タイプを表しており、メッシュ交差点は、連結数 N の並び方のパターンマッチングにより認識することができる。並び方のパターンを図5に示す。

しかし、線が斜めに交差する場合は、細線化の性質に

$$N = \sum_{k=1}^8 f_k(x, y) \quad \dots \text{式1}$$

ただし、 $f_k(x, y)$:画素値 0,1?

表1 連結数と連結タイプ

連結数N	連結タイプ
0	孤立点
1	端点
2	連結点
3	分岐点
4	交差点

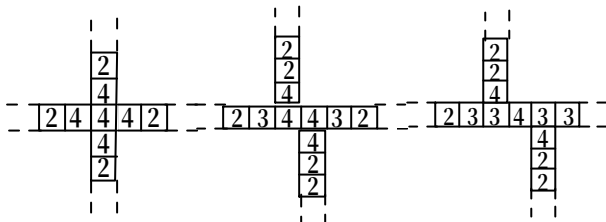


図5 交差点のパターン

よって交差点付近は歪みを生じ、そのパターンは一様に決まらない場合がある。そこで、線分の傾きを利用して、この歪みを除去し、交差点パターンの認識を行った。歪みのある箇所は交差点付近なので、 $N=3$ 及び4の場所を削除し、再度直線を引き直すことにより歪みを修正する。図6にそのアルゴリズムを示す。

- ① 連結数 $N=3$ 及び4の画素を削除する
- ② 削除した端点から線分をたどり傾きを求める
- ③ 端点から線分を延長し、相対する端点を検索しその2点間で直線を引く
- ④ 同様に他の端点に②、③の処理を行う

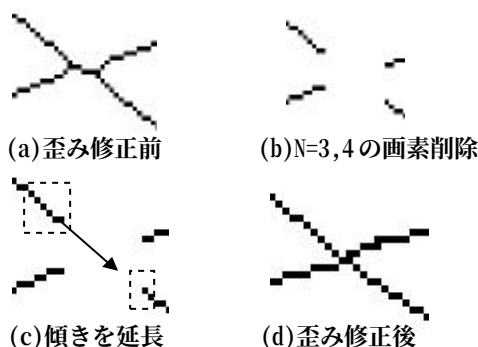


図6 交差点歪み修正アルゴリズム

2-3 3次元切削加工装置の開発

円筒座標系ロボットによる3次元切削加工装置は、(有) ヒロが開発した直線運動機構(R軸)と旋回運動機構(θ 軸)で構成される。加工装置はドライバ装置から動作プログラム(動作命令群)を受け付ける。こ

の動作プログラムは座標値データと、台形運動、S字運動、等速直線運動などの動作方式から構成される。インターネットなどのネットワークから無人加工装置を遠隔制御を想定すると、加工装置側に開始、運転中、終了などの情報を解釈し、出力する仕組みが必要である。そこで、今回開発する加工装置のドライバ装置には遠隔制御が可能であるような機能を設計した。図7に仕様の内容を示す。

ドライバ装置の遠隔操作仕様

- ① 一定の時間間隔で実行ディレクトリを監視する
- ② 実行ディレクトリにファイルが存在する場合はそのファイルを読み込み実行する
- ③ 実行したファイルは削除する

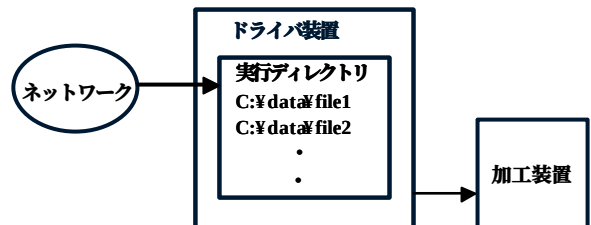


図7 ドライバ装置の遠隔操作機能

3 実験結果

3-1 高度解析システムの実験結果

4面体から6面体を自動分割した結果を図8に示す。プログラムはVisual C++6.0で作成し、CPUはPentium III 933MHz、384MBメモリの計算機で実験を行った。この実験結果は、表示が煩雑になるため、1個の4面体の実験結果を表示しているが、多数の4面体で構成されている形状についても、同様に6面体分割がなされていることを確認した。

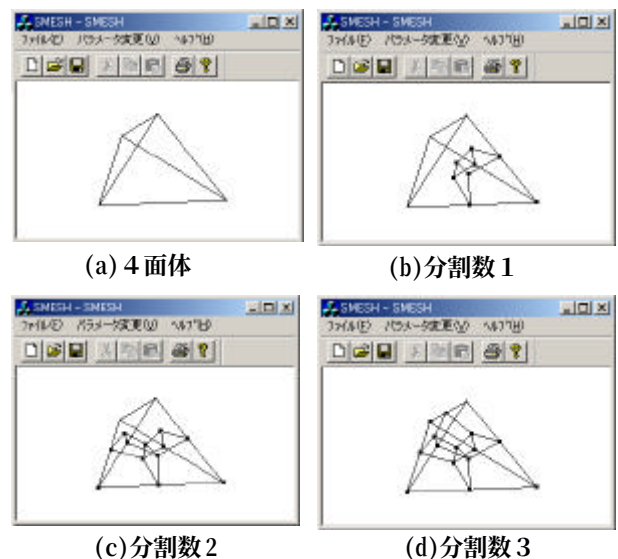


図8 6面体メッシュ自動分割

3-2 簡易3次元スキャナー装置の実験結果

実験対象物は、円筒形物体及び、石膏の足形にマスキングテープを貼り、デジタルカメラで画像を撮影した(図9)。円筒形物体は8方向の画像を用い、足形は3方向の画像を用いて実験を行った。画像サイズは1024×768画素、解像度が256階調のカラー画像で構成されている。カラー画像は、プログラムによって、計算基準となる色マーカの座標位置を特定した後に2値化される。プログラムはVisual C++6.0、CPUはPentium III 933MHz、384MBメモリの計算機で実験を行った。

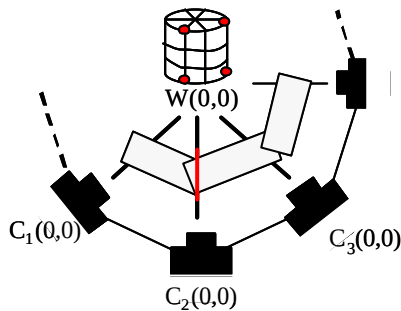
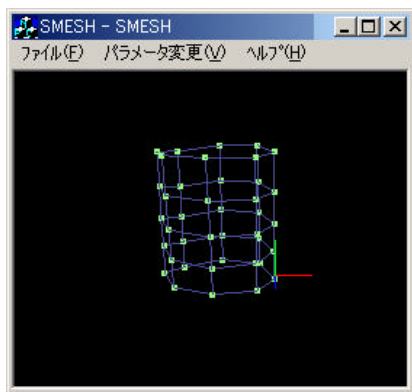
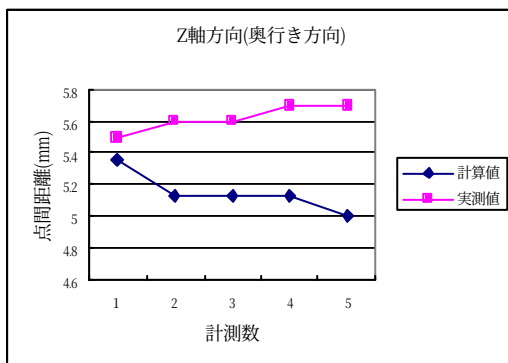


図9 撮影方向

図10に円筒形物体のZ方向の計測結果と全周データの表示を示す。Z方向の誤差は0.77mmと1mm以下の良好な結果を得た。また、X方向及びY方向についても、それぞれ0.74mm、0.14mmとなり、すべての方向が1mm以下と良好な結果を得た。



(a) 全周データの表示



(b) 3次元計測結果

図10 円筒形物体の全周データと計測結果

図11に足形の全周データを示す。足形での実験は3方向のカメラで撮影した。誤差平均はX方向:0.377mm、Y方向:0.675mm、Z方向:0.603mmであり、計算に要した時間は約3分16秒で、その内訳は2値化・膨張処理に10秒、細線化に2分45秒、ノード抽出に21秒という結果となった。

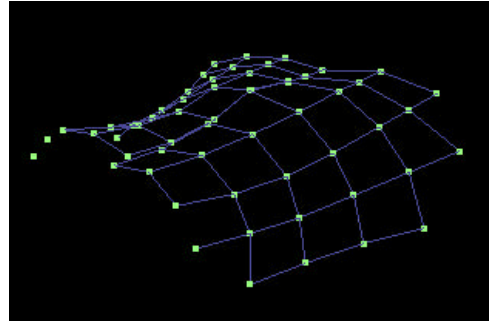


図11 足形の全周データ表示

4 考察及び結論

高度解析システムの開発では、6面体要素の自動分割を実現した。しかし、解析精度の向上には6面体要素の形状が幾何学的に整っている必要がある。分割点を幾何学的に整然配置する手法は確立されておらず、今後の課題である。簡易3次元スキャナー装置は計測値の誤差が1mm以下と良好な結果を得た。これによって基本的なアルゴリズムの検証ができた。今後、実用性を高めるための、複数カメラからの画像自動収集方法³⁾⁴⁾や、計測時間の短縮化を行う予定である。3次元切削加工装置は遠隔制御を可能とするためにドライバ装置の仕様を設計した。今後はこの仕様に基づいて製作を行う予定である。各開発された装置は、セキュリティ保護機能を備えたインテリジェント・サーバにより接続され、各種データの共有が行われる。

文 献

- 1) 小谷口, 本田, 長橋: 3次元人顔部形状計測システムの開発, 画像電子学会誌, 第29巻 第5号 pp.480-487 (2000).
- 2) 鈴木 智: 細線化アルゴリズムの高速化に関する考察, 情報処理学会論文誌, Vol. 29, No. 10, pp.925-932 (1988).
- 3) 徐 剛, 辻 三郎: 3次元ビジョン, 共立出版, 1999.
- 4) 依田 育士, 坂上 勝彦: 3次元動き情報を利用した複数対象物の抽出とその実時間認識, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. J81-D-II No.9, pp.2043-2051, 1998