

岐阜県生産情報技術研究所研究報告

REPORTS
OF THE
GIFU PREFECTURAL RESEARCH INSTITUTE OF
MANUFACTURAL INFORMATION TECHNOLOGY

No.1 1999

岐阜県生産情報技術研究所

目 次

1. 多面ディスプレイの高度利用に関する研究.....	1
2. 多面ディスプレイ内での直感的作業に関する研究.....	7
3. VR 技術を利用した設計支援システムの開発.....	11
4. RPのための3次元形状再構成.....	17
5. ネットワークを介した分散型エンジニアリングデータベースシステムの開発.....	23
6. FUZZY AUTOMATA AND INTERPOLATIVE FUZZY REASONING IN KANSEI TECHNOLOGY .	29
7. ネットワークを介した人間・ロボット共生に関する研究.....	35
8. ネットワーク負荷に対応する作業環境提示技術に関する研究.....	41
9. 並列リンク型力覚ディスプレイの研究.....	47
10. 力覚ディスプレイによるマスタスレーブシステムの開発.....	53
11. WWW ブラウザを用いた遠隔操作ロボットの開発.....	59
12. インクジェット繊維加工システムの開発.....	61
13. 二重織物のデザインシミュレーションの研究.....	63
14. 人とロボットの協調作業に関する研究.....	67
15. バリアフリー住宅設計支援システムの開発.....	69
16. 陶磁器製品の新プロセッシングの開発.....	73
17. 和紙の自動抄紙装置の開発.....	75

多面ディスプレイの高度利用に関する研究

浅野 良直* 藤井 勝敏*

Research on Application of a Full Immersive Display System (COSMOS)

Yoshinao Asano* and Katsutoshi Fujii*

あらまし 没入型多面ディスプレイは複数の大型スクリーンを利用して立体映像仮想空間で 3D モデルを実寸で表示することにより、仮想空間への没入感を向上させたバーチャルリアリティシステムである。このようなシステムのひとつである没入型 6 面ディスプレイ COSMOS はユーザの全方位をディスプレイで囲むため、表示されたモデルを全ての方向から確認する事ができる。このようなシステムは、様々な分野のシミュレーションとして活用することが期待できる。そのため、システム専用のフォーマットでなく汎用的なモデルフォーマットによる表示が要求される。そこで、本研究では COSMOS における汎用モデルフォーマットの利用について検討を行った。COSMOS のソフトウェア開発に利用した IRIS Performer ライブラリは複数の汎用モデルフォーマットに対応している。そのなかで、VR 分野で利用されている OpenFlight フォーマットで作成されたモデルは、ガラスのような透明マテリアルを扱うことができ、通常のテクスチャマッピングと共に、マテリアルの色情報にテクスチャの色情報を掛け合わせたテクスチャマッピングが可能である。

キーワード VR, COSMOS, IRIS Performer, モデルフォーマット

1. まえがき

VR で一般に使用される表示装置として CRT やヘッドマウントディスプレイ (HMD) が挙げられるが、これらの表示装置では“フルスケールでの体感が得られない”、“視野が狭い”などの没入感の低さに問題点がある。そこで、プロジェクターを照射装置とした大型ディスプレイを複数利用することでモデルをフルスケールで表示させることが可能となる没入型多面ディスプレイがある。このような没入型多面ディスプレイには前面、左面、右面、床面の 4 面で構成されている CAVE (イリノイ大学)、CAVE に上面を加えた没入型 5 面ディスプレイの CABIN [1] (東京大学)、そして CABIN に背面を加えた没入型 6 面ディスプレイの COSMOS [2] (岐阜県科学技術振興センター) (図 1) がある。COSMOS はユーザの全方位を正方形ディスプレイで囲むため、フルスケールで表示されたモデルを全ての方向から確認することができる。このような没入型多面ディスプレイ装置の用途としては、都市や自然の景観、家屋の間取りなどのシミュレーションの他に開発中の製品を表示してデザインシミュレーションに利用することが考えられる。現在、COSMOS で使用している IRIS Performer ライブラリ

[3] は 33 種類のモデルフォーマットのローダーを持っている。そのなかで一般に扱うことができるモデルフォーマットを COSMOS で表示し、COSMOS における汎用モデルフォーマットの利用に検討を行う。



図 1 没入型 6 面ディスプレイ COSMOS
Fig.1 Immersive 6-screen Display COSMOS

2. モデルフォーマットについて

2.1 IRIS Performer

IRIS Performer ライブラリがサポートしている汎用モデルフォーマットとして DXF フォーマット (Drawing Exchange File, 以下 DXF) [4], STL フォーマット

*情報システム部
Information System Division

(Stereolithography File, 以下 STL) [5], VRML1.0/2.0 フォーマット (Virtual Reality Modeling Language, 以下 VRML1.0/2.0) [6] があげられる。また, 3次元 CG 分野で利用されているソフトウェアのフォーマットとしては 3D Studio (Autodesk 製) のモデルフォーマットである 3ds フォーマット (以下 3ds) や Alias Studio (Alias/wavefront 製) の obj フォーマット (以下 obj) がある。そして, CG のようなフォトリアルスティックな分野とは異なり, VR 分野で求められるインタラクティブなモデリングを目的としたソフトウェアである MultiGen (MultiGen 製) の flt フォーマット (Open Flight Format, 以下 flt) [7] のサポートもされている。

2.2 入力ソフトウェア

各モデルフォーマットの作成にはモデルコンバータの PolyTrans (Okino Computer Graphics 製) を使用した。今回は IRIS Performer ライブラリがサポートしている DXF, STL, VRML1.0/2.0, 3ds, obj, flt の 7 種類について COSMOS での利用を検証した。

COSMOS でプレゼンテーションが行われる場合, 様々な素材や質感のモデルが表示されると考えられる。そのため, 3D オブジェクト素材集の DE ESPONA 3D ENCICLOPEDIA (DE ESPONA INFOGRAFICA 製) の中から, マテリアルとして透明性や反射性が使用されており, パンプマッピングなどの様々なテクスチャマッピングが使用されているモデルデータ (図 2) を使用した。



Application : 3D Studio MAX Release 3
Polygon : 50,297pieces Texture : 20pieces

図 2 サンプルモデル
Fig. 2 Sample Model

3. COSMOS の周辺機器

COSMOS でモデルを表示する場合, ユーザの視点に合わせて立体視映像を生成する必要がある。そこで, 立体視を得るための機器と表示されたモデルの操作を行うためのコントローラが必要になる。

3.1 3次元位置計測装置

COSMOS 内でユーザの視点位置等を計測するために 3次元位置測定装置 (図 3) である UltrTrack (Polhemus 製) を使用している。センサには 3次元磁気センサが使用されており, 空間における XYZ の各座標値に加えて, 各軸ごとの回転角度 (X 軸: ピッチ, Y 軸: ロール, Z 軸: ヨー) の 6 自由度をリアルタイムに計測ができる。ただし, 磁気式センサであるため金属の影響を受けやすい欠点がある。COSMOS においてもキャリブレーションは実施してあるが, 各スクリーン付近では金属の影響により誤差が非常に大きくなるため COSMOS の中央付近での利用が望ましいと考えられる。



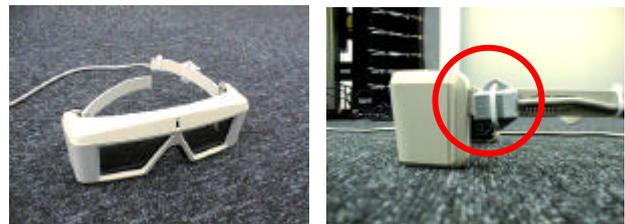
(a) sensor (b) Transmitter

図 3 3次元位置測定装置

Fig. 3 Magnetic 3D motion tracking system

3.2 液晶シャッター付き眼鏡

ユーザは COSMOS に映し出される映像と同期して液晶シャッターが開閉する CrystalEyes (StereoGraphics 製) (図 4) を使用することで立体視を得ることができる。COSMOS では CrystalEyes に 3次元磁気センサを取り付けてユーザの目の位置及び傾きを計測し, ユーザの目の位置にあわせた視差のある立体視映像をリアルタイムに投影している。



(a) LiquidCrystal shutter glasses (b) mount a magnetic 3D sensor

図 4 液晶シャッター付き眼鏡

Fig. 4 Liquid Crystal shutters glasses

3.3 コントローラ

COSMOS で表示したモデルの操作を行うためのコントローラとして市販のゲーム機用コントローラ (Nintendo64 図 5) を使用した。コントローラではモデルの移動, 旋回, 拡大, 縮小及び光源の移動等の操作を行うことができる。



図5 コントローラ
Fig.5 Controller

4. IRIS Performer による表示

4.1 DXF

DXF は AutoCAD (Autodesk 製) の CAD 図面ファイルを ASCII 形式で記述したものである。DXF は構造が理解しやすい、AutoCAD が CAD 市場でのシェア率が高いなどの理由から、AutoCAD 以外の CAD ソフトウェアや CG ソフトウェアにおいてもサポートされている。そのため、多くのソフトウェア間でモデルデータの互換性を持たせるためのファイルフォーマットの 1 つとしてあげられる。ただし、DXF は入出力するソフトウェアによってサポートされている要素が異なるため、完全な互換性をとることは困難である。そのため事前に相互利用を行うソフトウェア間で互換性を検証する必要がある。IRIS Performer による DXF の表示は図 6 のようになる。DXF は形状の利用が目的であるためテクスチャや透明感などのマテリアルは使用されないが、RGB による基本色 (8 色) の使用はできる。また、モデルで使用されているポリゴンは全て三角形ポリゴンに変換される。しかし、サポートされているローダーによっては三角形ポリゴンに変換した際に図 7 (b) のように面ごとに法線方向が異なるモデルが表示される場合がある。

4.2 STL

STL は 3 次元 CAD で多くサポートされており、面を近似する 3 次元の微小な三角パッチによって構成されている。主に光造形などの積層造形システムで利用されることが多い。ファイルは ASCII 形式と Binary 形式の 2 つの形式があり、IRIS Performer で ASCII 形式の STL を使用する場合は拡張子は stla を使用し、Binary 形式を使用する場合には stlb を使用する。STL は DXF と同様にテクスチャのサポートはされていない。

図 8 に STL を IRIS Performer で表示した結果を示す。STL も DXF と同様に形状の利用が目的であるため、モデルのテクスチャや透明、鏡面等のマテリアルは使用されないが、RGB による基本色 (8 色) は利用できる。



Data : 9,357,715byte

図6 DXF フォーマットの表示
Fig.6 DXF format

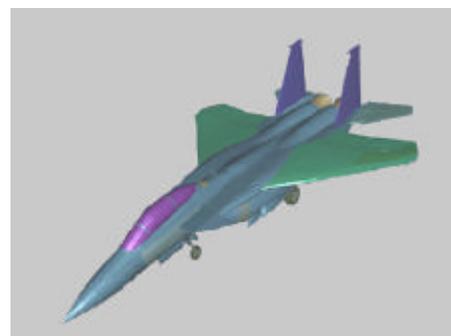


(a) Normal faces

(b) Mixed faces

図7 表示の違い

Fig.7 Show a difference



Data : 9,813,090byte

図8 STL フォーマットの表示
Fig.8 STL format

4.3 VRML1.0/2.0

VRML はインターネット上で「3次元仮想空間」を構築するテキストベースの汎用言語である。IRIS Performer で使用する際に、VRML1.0 の拡張子は iv に変更する必要がある。一般的に VRML1.0 は VRML2.0 と同様に拡張子は wrl であるが、IRIS Performer の持つライブラリでは VRML1.0 を Open Inventor [8] フォーマットとして扱うために Open Inventor の拡張子である iv が拡張子となる。これは VRML1.0 の主要部分が Open Inventor の文法に従って開発されているためである。VRML2.0 の拡張子は wrl であり、VRML1.0 を機能拡張した言語であり文法が異なっている。



Data : 4,987,101byte

図 9 VRML1.0 フォーマットの表示
Fig. 9 VRML1.0 format



Data : 4,320,600byte

図 11 VRML2.0 フォーマットの表示
Fig. 11 VRML2.0 format



Data : 1,213,951byte

図 13 3ds フォーマットの表示
Fig. 13 3ds format

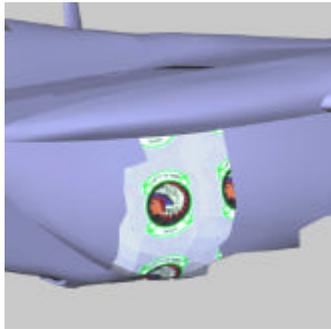
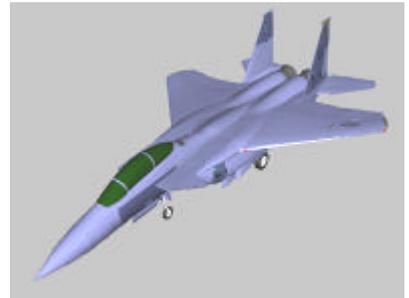


図 10 変換されたテクスチャ
Fig. 10 Converted the texture



図 12 歪んだテクスチャ (VRML2.0)
Fig. 12 Warped the texture



Data : 5,003,614byte

図 14 obj フォーマットの表示
Fig. 14 obj format

VRML1.0 を IRIS Performer で表示した場合は図9のようになる。マテリアルは透明感を使用する事ができるが、実際とは異なるマテリアルで表示されている部分も生じた。テクスチャは jpeg フォーマットと SGI フォーマット[9]が使用可能である。ただし、テクスチャのサイズは底数 2 の累乗でなければ図 10 のようにサイズが強制的に変換されるため正しく表示されない。また、バンプマッピングやアルファチャネルを利用したテクスチャの利用はできない。図 11 は VRML2.0 を IRIS Performer で表示したものである。マテリアルやテクスチャの条件は VRML1.0 とほぼ同様であるが、図 12 のようにテクスチャマッピングが歪んだ状態で表示される。

4.4 3ds

3ds は 3D Studio のフォーマットであるが Auto CAD での使用も可能であるため、CAD で設計したデータを基に CG で 3D モデリングを図ることが可能である。

3ds を IRIS Performer で表示した結果を図 13 に示す。3ds の表示では透明、鏡面等のマテリアルの対応がされていない。また、テクスチャは SGI フォーマットのみに対応しており、テクスチャのサイズは底数 2 の累乗にする必要がある。しかし、ほとんどのテクスチャが表示されておらず、バンプマッピングやアルファチャネルを使用したテクスチャマッピングも使用できない。また、モデルに反射マッピングが設定されていた場合、テクスチャ

マッピングのテクスチャは表示されずに反射マッピングのテクスチャが表示される。

4.5 obj

図 14 に IRIS Performer での表示を示す。obj の表示においても透明、鏡面等のマテリアルの使用はできない。テクスチャマッピングに関しては SGI フォーマットのみに対応している。また、テクスチャのサイズは底数 2 の累乗である必要があり、バンプマッピングやアルファチャネルを利用したテクスチャマッピング等は使用できない。

4.6 flt

IRIS Performer での表示を図 15 に示す。flt は IRIS Performer のオブジェクト階層、LOD (Level Of Detail)、テクスチャマッピングなどの概念を表現できるフォーマットである。マテリアルに関しては鏡面反射を含むマテリアルは使用できないが、透明なマテリアルは使用することができ、通常テクスチャマッピングに加えて、マテリアルの色にテクスチャの色を掛け合わせたテクスチャマッピングが可能である(図 16)。この場合、テクスチャの白色部分はマテリアルの色が表示され、黒色部分はテクスチャの色が表示される。また、他のフォーマットと同様にテクスチャのサイズは底数 2 の累乗にする必要があり、アルファチャネルの利用はできない。データ容量も他のフォーマットに比べて約 1.2 ~ 10



Data : 12,673,884byte

図 15 .flt フォーマットの表示

Fig .15 .flt format

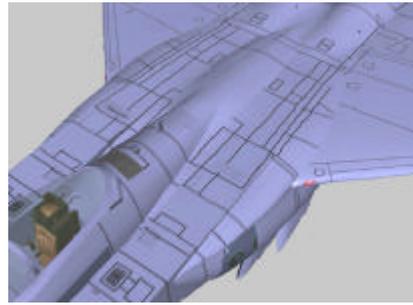


図 16 マテリアルとテクスチャの色情報を掛け合わせた表示

Fig .16 Mix material color information with texture color information

表 1 各フォーマットの表示結果

Table 1 Result of appearance by each model formats.

Form	Material			Texture mapping			
	Color	Transparency	Reflection	Normal	Alpha channel	Bump	Texture Fornat
DXF	1	-	-	-	-	-	-
STL	1	-	-	-	-	-	-
VRML1.0			×		×	×	JPEG, SGI
VRML2.0			×	×	×	×	JPEG, SGI
3ds		×	×		×	×	SGI
obj		×	×		×	×	SGI
flt			×	2	×	×	(exclusiveness)

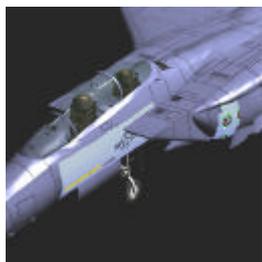
1 red, blue, green, yellow, light blue, purple, white, black

2 Texture mapping can show mix material color information with texture color. Information.

倍程度大きくなるため、他のフォーマットに比べて立体視映像の処理時間が多く必要となるため、ユーザの動きに追従して表示されない可能性がある。

5. COSMOS におけるモデルの表示

COSMOS は CRT ディスプレイ に比べて解像度が低い ためモデルの詳細な部分まで表示を行うことができない。また、モデルのマテリアル部分は光源の位置によって陰影が生じるが、テクスチャの部分は光源の位置に関係なく、均一な明るさで表示される。(図 17)



(a) The front of textures.



(b) The back of textures.

図 17 光源の位置による表示の違い

Fig .17 Difference of appearance case by light position

6. むすび

COSMOS で 7 種類の汎用モデルフォーマットを表示した場合、表 1 のような結果となった。

DXF や STL は CAD や積層造形などの分野で使用されるため、透明感のあるマテリアルやテクスチャの必要性はないためモデルの形状のみの表示となる。

VRML1.0/2.0, 3ds, obj, flt は、現実に近い映像が要求されるため、形状に加えて様々なマテリアルやテクスチャの情報が含まれている。VRML1.0/2.0, 3ds, flt はガラスのような透明感のあるマテリアルは使用できるが、鏡面反射を含むマテリアルは使用できない。テクスチャに関しては各フォーマットとも使用することはできるが、共通の条件としてサイズは底数 2 の累乗である必要があり、バンプマッピングのような利用はできない点がある。次にテクスチャのフォーマットについて比較してみると 3ds や obj で使用するテクスチャは SGI フォーマットのみに対応しており、アルファチャネルを利用したマッピングは使用できない。VRML1.0/2.0 のテクスチャは jpeg フォーマットや SGI フォーマットを利用できるが、VRML2.0 は歪んだ状態で表示される問題が生じた。また、3ds や obj と同様にアルファチャネルを利用したマッピングは使用できない。flt のテクスチャは専用

のフォーマットを使用しているがコンバータでモデルと同時にテクスチャの変換も行うため容易に利用することができ、通常のテクスチャマッピングと共に、マテリアルの色にテクスチャの色を掛け合わせたテクスチャマッピングも行うことができる。

これらのことから、COSMOS で汎用のモデルフォーマットを表示する場合、flt が最も表示に適していると考えられる。

文 献

- [1] 廣瀬通孝, 小木哲朗, 石綿昌平, 山田俊郎, “没入型多面ディスプレイ (CABIN) の開発,” 日本バーチャルリアリティ学会第 2 回大会論文集, pp.137-140, Sep.,1997
- [2] Toshio Yamada, Michitaka Hirose, Yoshihiro Iida, “Development of Complete Immersive Display: COSMOS”, International Society on Virtual Systems and MultiMedia, vol.two, pp.522-527, Nov.,1998
- [3] Sharon Clay, Michael Garland, Brad Grantham, Don Hatch, Jim Helman, Michael Jones, T. Murail, Jhon Rohlf, Allan Schaffer, Christopher Tanner, Jenny Zhao, Derrald Vogt, “IRIS Performer C++ Reference Pages,” pp.xi-xii, Silicon Graphics.Inc.,1995
- [4] 落合重紀,CAD ユーザのための DXF リファレンスガイド,第 1 章,日経 BP 社,1995
- [5] 中川威雄, 丸谷洋二,積層造形システム三次元コピー技術の新展開,pp.65-84,工業調査会,1996
- [6] Rikk Carey,Gavin Bell,注解 VRML2.0 リファレンスマニュアル,pp.1-10,星雲社,1998
- [7] Jed Hartman, Patricia Creek, “ IRIS Performer Programin Guide, ”, Silicon Graphics.Inc.,1995
- [8] James D. Murray, William vanRyper, “ GRAPHICS FILE FORMATS, ” pp.600-604,July.,1994
- [9] J James D. Murray, William vanRyper, “ GRAPHICS FILE FORMATS, ” pp.605-610,July.,1994

多面ディスプレイ内での直感的作業に関する研究

浅野 良直* 藤井 勝敏* 窪田 直樹**

Study on Intuitive Work in a Full Immersive Display System (COSMOS)

Yoshinao Asano*, Katusutoshi Fujii* and Naoki Kubota**

あらまし バーチャルリアリティシステムのひとつに、複数の大型スクリーンを利用して3Dモデルを実寸で仮想空間に表示しユーザの没入感を高めた没入型多面ディスプレイがある。このようなシステムを複数利用して仮想空間の共有を図ることで、新製品のデザインを実寸で確認しながら遠隔地の相手とディスカッションを行うシステムが研究されている。その際に必要となる技術のひとつに“位置あわせ”がある。本研究では、データグローブを利用して、没入型6面ディスプレイCOSMOSにおけるモデルの位置あわせの精度について検討を行った。また、位置あわせの利用例としてエンジンのアSEMBルシミュレーションの開発を行った。COSMOSではデータグローブに対応したモデルを表示しなくても、ユーザの手で直接モデルを操作することが可能である。しかし、位置あわせを行う場合にはデータグローブの動作に対応したモデルを表示した方が高い精度で位置あわせを行うことが確認できた。

キーワード VR, COSMOS, アSEMBルシミュレーション

1. まえがき

バーチャルリアリティ(VR)の分野で利用される主な表示装置としてはCRTディスプレイやヘッドマウントディスプレイ(HMD)があげられる。しかし、これらの表示装置では“視野が狭い”, “実寸での表示ができない” “ユーザの頭部への負荷が大きい”などの理由から仮想空間への没入感が低いといった問題がある。仮想空間への没入感を高めた表示装置として没入型多面ディスプレイがある。この装置はプロジェクタを照射装置とした大型ディスプレイを複数利用したものであり、視野を広くすることができ、実寸での表示が可能となる。

このような没入型多面ディスプレイには前面、左面、右面、床面の4面で構成されているCAVE(イリノイ大学), CAVEに上面を加えた没入型5面ディスプレイのCABIN[1](東京大学), そしてCABINに背面を加えた没入型6面ディスプレイのCOSMOS[1](岐阜県科学技術振興センター)(図1)がある。このうちCAVEやCABINはCRTディスプレイ等に比べて視野角は広いが、表示されたモデルを全ての方向から確認することはでき

ない。しかし、COSMOSはユーザの全方位をディスプレイで囲むため、全ての方向からモデルを確認することが可能である。

このようなシステムの用途としては家屋の間取りや外観などの建築シミュレーションの他に開発中の製品デザインのシミュレーション、危険を伴う作業に対する訓練シミュレーションなどがあげられる。

また、遠隔地にあるシステムとの間で仮想空間を共有することで、遠隔地の相手と様々なディスカッションも可能になる[2]。仮想空間でユーザがモデルを正確に指示し、操作することはディスカッションを行う上で重要な要素となる。その要素の1つとして、仮想空間でモデルを操作した場合の“位置あわせ”がある。そのため、本



図1 没入型6面ディスプレイ(COSMOS)

Fig.1 Immersive 6-screen Display COSMOS

*情報システム部
Information System Division

**メカトロ応用部
Mechatronics Division

研究では3次元位置測定装置とデータグローブを組み合わせたインタフェースを利用して、仮想空間に表示されたモデルを指定した位置に移動させた場合における誤差を測定し、仮想空間における位置あわせの検討を行い、さらに、位置あわせを必要とする作業例としてCOSMOSにおけるアセンブルシミュレーションの開発を行った。

2. インタフェースについて

2.1 3次元位置測定装置

COSMOS内でユーザの視点位置等を計測するために3次元位置測定装置(図2)であるUltraTrack(Polhemus製)を使用している。センサには3次元磁気センサが使用されており、空間におけるXYZの各座標値に加えて、各軸まわりの回転角度(X軸:ピッチ, Y軸:ロール, Z軸:ヨー)の6自由度をリアルタイムに計測ができる。



(a) sensor

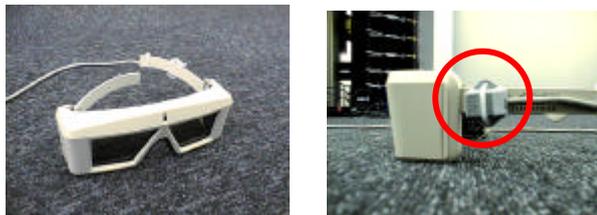
(b) Transmitter

図2 3次元位置測定装置

Fig.2 Magnetic 3D motion tracking system

2.2 液晶シャッター付き眼鏡

COSMOSに映し出される映像に同期して液晶シャッターが開閉するCrystalEyes(StereoGraphics製)(図3)を使用することで立体視を得ることができる。COSMOSではCrystalEyesに3次元磁気センサを取り付けてユーザの目の位置及び傾きを計測し、ユーザの目の位置にあわせた立体視映像をリアルタイムに投影している。



(a) Liquid Crystal shutter glasses

(b) mount a magnetic 3D sensor

図3 液晶シャッター眼鏡

Fig.3 Liquid Crystal shutters glasses

2.3 データグローブ

データグローブを使用することでモデルの把持や移動、回転をユーザの手の動きに合わせて操作することができるため、仮想空間での様々な作業を直感的に行う事が可能になる。COSMOSではデータグローブとしてSuperGlobe(日商エレクトロニクス製)(図4)を使用した。また、COSMOSで手の位置を検出するためSuperGlobeの手首部分に3次元磁気センサを取り付けて、手の位置を測定し、データグローブによるモデルの操作を行った。

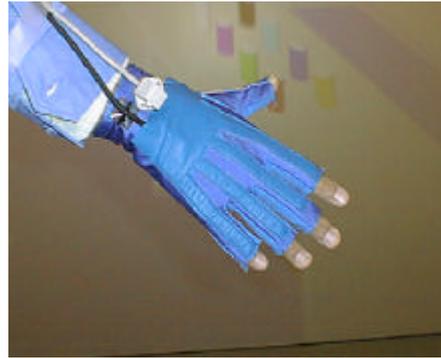


図4 データグローブ

Fig.4 Data Glove

3. 位置あわせの精度

3.1 実験方法

実験では図5のようにユーザの正面および右側に仮想テーブルを配置した。さらに、右のテーブルに飲料水の缶と同サイズ(直径:6.5cm,高さ:12cm)で異なる色のついた仮想物体(以下仮想缶)6個を、正面のテーブルには仮想缶と同じ色のマークを配置した。被験者はデータグローブおよび液晶シャッター付き眼鏡を装着してCOSMOSに入り、データグローブを装着した手を仮想缶の位置に移動させて、握ることで仮想缶を把持する事ができ、把持した状態で手を動かすことにより移動および回転を行うことができる。そして、「仮想缶をマークの上に正確に合うように垂直に移動させよ」と指示を与えた。

データグローブはCRTディスプレイやHMDなどの表示装置で使用する場合、その動きに対応した手のモデル(以下ハンドモデル)を表示して仮想空間での作業が行われるが、COSMOSではハンドモデルを表示しなくても直接操作する事が可能である。そこで、ハンドモデルを表示した場合と表示しない場合で作業を行い、作業後に仮想缶の中心とマークの中心との距離と傾きを調べ、仮想空間に表示されているモデルを指定した位置に移動させた時の位置のずれと傾きの精度について測定を行った[4]。

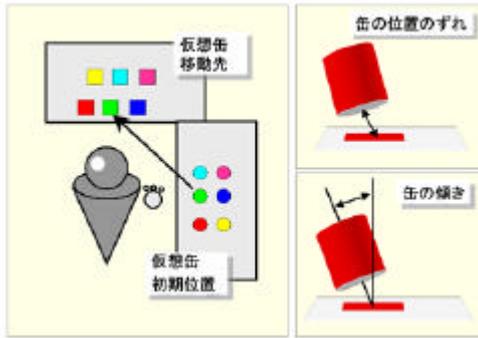


図5 実験の概略図
Fig.5 Experimental illustration

3.2 実験結果

今回は成人男性6人を被験者として実験を行った。

位置のずれの結果を図6に、また、傾きのずれの結果を図7に示す。これらの結果においてCOSMOSにおけるモデルの位置あわせは数cm以下の誤差で合わせることができ、傾きも10度以下の誤差位で合わせることができた。

ハンドモデルを表示した場合と表示しない場合で比べると、位置のずれの差は1cm以下であった。しかし、一部を除いて、ハンドモデルを表示させた方が位置のずれが少ない傾向を示した。このような原因のひとつとして、3次元磁気センサの測定座標をユーザが認識できた点が考えられる。3次元磁気センサは金属の影響を受けやすく、正確に指示した座標を測定することができない。そのためハンドモデルを表示することでユーザは測定座標を認識でき、仮想缶を操作しやすくなるため位置のずれが少なくなったと考えられる。

4. アセンブルシミュレーション

4.1 アセンブルシミュレーションの開発

位置あわせ技術を使用するアセンブルシミュレーションとして、実際の訓練には危険を伴い、さらに、高精度の組立が必要となるエンジンのアセンブルシミュレーションの開発を図ることにした。

シミュレーションの開発にはリアルタイム処理ができ、多くの汎用的なモデルデータの使いが出来る IRIS Performer ライブラリを利用した[5]。

エンジンは機構ごとに分割して部品点数を8点にして行い(図8)、モデリングは工業デザインの分野で利用されている SOFTIMAGE 3D (Avid Japan 製)で行った。但し、IRIS Performer ライブラリは SOFTIMAGE 3D のモデルデータに対応していないため、IRIS Performer のオブジェクト階層やテクスチャマッピングなどの概念を表現している Open Flight フォーマットにモデルデータを変換して、シミュレーションでの利用を行った。

4.2 エンジンアセンブルシミュレーション

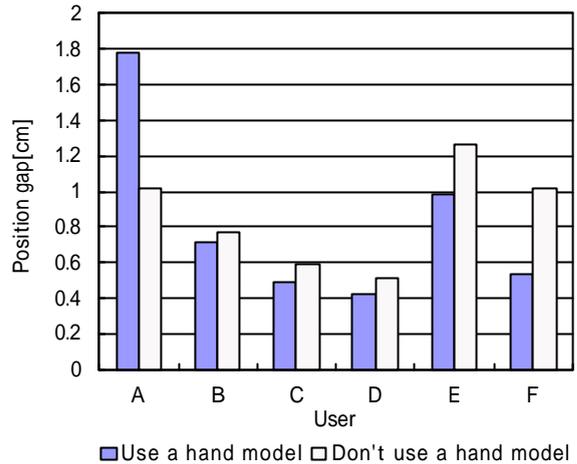


図6 位置のずれ

Fig.6 Position gap

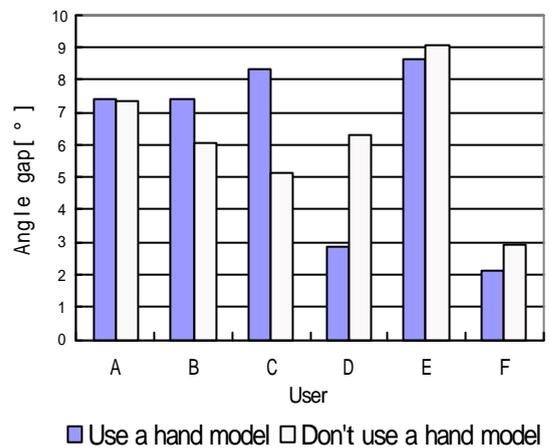


図7 傾きのずれ

Fig.7 Angle gap

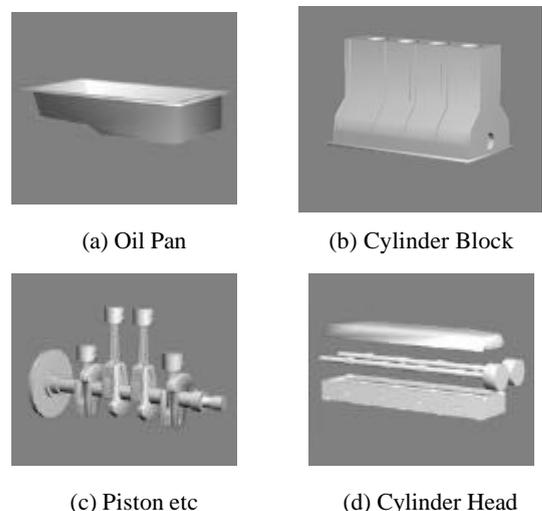


図8 3次元モデル(エンジン部品)

Fig.8 3D Model (Parts of Engine)

COSMOS における作業の様子を図9に示す。

前節の結果から，ハンドモデルを表示した方がモデルの位置あわせの精度を高くすることができるため，エンジンのアセンブルシミュレーションでは両手に磁気式センサを持ち，それに対応したハンドモデルを操作して組立を行った。

部品モデルの操作は，始めに各部品モデルの外接球の半径を計算し，左右のハンドモデルの位置が部品モデルの最大半径内に入った場合に実行することができる。また，各部品モデルは始めに表示されていた位置付近まで移動させることで始めの位置に固定される。また，右手のハンドモデルだけを各部品モデルに近づけると，その部品モデルの名称が仮想空間に表示される。

アセンブルシミュレーションにハンドモデルを表示させたことでモデルの操作性を高めることができたと考えられるが，現在のシステムではモデルの干渉チェックは行っていないため，ユーザは干渉を考慮せずに組立を行ってしまう問題が生じた。そのため，モデルの干渉をユーザに提示する技術が必要となる。

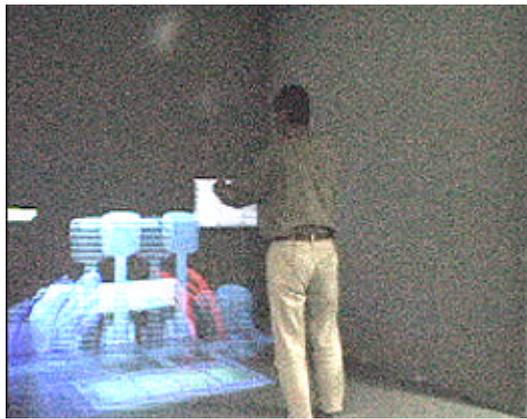


図9 作業風景
Fig.9 Work scene

5. むすび

CRT ディスプレイや HMD などの表示装置でデータグローブを使用する場合，ハンドモデルを表示してモデルの仮想空間での作業を行うが，COSMOS では仮想空間にユーザが入ることができるためハンドモデルの表示しなくても，モデルを直接操作することができる。しかし，空間の座標測定に磁気センサを利用しているため，

金属の影響を受けて，正確にユーザが指示した座標を測定することができない。そのため，ハンドモデルを表示することで，ユーザは測定された座標を認識できるため，モデルの操作が行いやすくなり，位置あわせの誤差を少なくすることができた。しかし，磁気センサのみでは，これ以上の精度の向上を図ることはできないと考えられるため，可視光や赤外線などを利用した画像処理による3次元位置測定技術などの利用も必要になる。

位置あわせの利用例としてアセンブルシミュレーションの開発を行った。ユーザが持つセンサの座標にハンドモデルを表示させることで移動や組立作業の効率的に行うことができたと考えられる。しかし，アセンブルシミュレーションでは組立の正確さが必要とされるため，モデルの形状による干渉チェックも行う必要がある。また，COSMOS ではモデルが干渉してもユーザに反力を返すことができないため干渉した場合の提示技術の開発が課題となる。

文 献

- [1] 廣瀬通孝，小木哲朗，石綿昌平，山田俊郎，“没入型多面ディスプレイ（CABIN）の開発，”日本バーチャルリアリティ学会第2回大会論文集，pp.137-140，Sep.,1997
- [2] 廣瀬通孝，小木哲朗，山田俊郎，玉川憲，平塚浩二，土田竜弘，金成潤，“ネットワーク型 CABIN における空間共有，”第14回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集，pp.459-462，Sep.,1998
- [3] Toshio Yamada, Michitaka Hirose, Yoshihiro Iida, “Development of Complete Immersive Display: COSMOS,” International Society on Virtual Systems and MultiMedia, vol.two, pp.522-527, Nov., 1998
- [4] 窪田直樹，浅野良直，藤井勝敏，山田俊郎，“没入型6面立体視システムにおけるユーザインタフェースの一検討，”1999年映像情報メディア学会冬季大会予稿集，pp.37，Dec.,1999
- [5] Sharon Clay, Michael Garland, Brad Grantham, Don Hatch, Jim Helman, Michael Jones, T. Murail, Jhon Rohlf, Allan Schaffer, Christopher Tanner, Jenny Zhao, Derrald Vogt, “IRIS Performer C++ Reference Pages,” pp.xi-xii, Silicon Graphics.Inc.,1995

VR 技術を利用した設計支援システムの開発

藤井 勝敏* 浅野 良直* 窪田 直樹**

Development of Design Supporting System using Virtual Reality Technology

Katsutoshi Fujii*, Yoshinao Asano* and Naoki Kubota**

あらまし パーチャルリアリティ(VR)技術を用いて仮想空間を提示する装置である没入型6面ディスプレイCOSMOSは、仮想空間や仮想物体を実物大で表示することができ、しかも映像の中にユーザが没入できるシステムである。本研究は、このようなCOSMOSの特徴を生かした設計支援の方法について研究することを目的とし、システムソフトウェア、専用コントローラ等の開発を踏まえて仮想空間内におけるユーザインタフェースの設計・評価を行い、COSMOS内で高精度な位置決め操作が可能になった。また本年度は、COSMOSを用いた設計支援の一例としてインテリアデザインの検討システムを開発し、仮想の建物内を実物大で評価することが可能になった。

キーワード VR, COSMOS, ユーザインタフェース, インテリアデザイン, CAD

1. まえがき

コンピュータの表示能力は近年、高品位、高機能になってきており、製品設計においても従来の線画による図面表示だけではなく、質感を含めた高精細なレンダリングがパソコン上で表示できるようになった。一方で、コンピュータ技術全体の向上により、コンピュータ内部に仮想的な現実世界(バーチャルリアリティ:VR)を構築し、実時間で映像化することが可能になりつつある。このような趨勢から、平成10年度には没入型6面ディスプレイCOSMOS[1]が開発され、VR技術の産業応用として、CADで作成された形状データを実物大で表示するデジタルモックアップの実現に期待が高まっている。

本研究では、このようなCOSMOSの利用方法からさらに一歩踏み込み、COSMOSの中でCADデータの作成、編集を行うことができるシステムを開発するために、VR環境下でユーザインタフェースを含む様々な要素技術について検討し、開発を行う。

本年度は、最初にCOSMOSのシステムを制御するためのソフトウェアと開発環境・実験環境を整備した。そして、VR技術を用いた設計支援例として建物とインテリアの検討シミュレーションシステムを開発した。さら

に、COSMOSにおけるユーザインタフェース装置を比較、評価すると同時に新たな装置を開発したので報告する。

2. COSMOSプログラミング

COSMOSの外観を図1に示す。この装置は、1辺3メートルの立方体の各面がスクリーンになっており、立方体内にユーザが入り、ユーザの視点位置に合わせた立体CG映像を描画、投影することで、仮想空間を表示する。この一連の処理の流れを図2に示す。このような処理は、COSMOSで動作させるアプリケーションプログラムでは基本的で共通な部分である。従って、この部分を独立させライブラリ化することは、将来のアプリケーション開発のためにも効果的であると言える。これまでに、廣



図1 没入型6面ディスプレイCOSMOS

Fig.1 Immersive 6-screens Display COSMOS

* 情報システム部
Information System Division,

** メカトロ応用部
Mechatronics Division

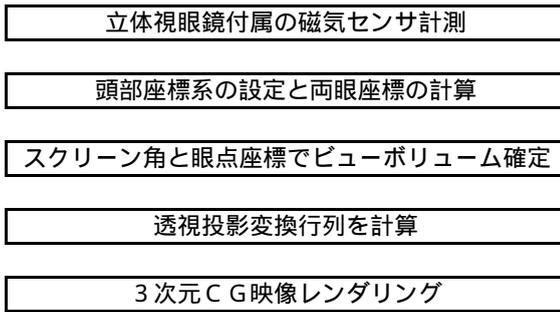


図2 COSMOSの映像生成アルゴリズム
Fig2. Picture Generation Algorithm in COSMOS

瀬らにより東京大学の没入型5面ディスプレイCABIN[2]で開発されたライブラリをYamadaらが拡張したpfCOSMOSライブラリが開発されている。

本節では、これらのライブラリをベースに今年度開発したCOSMOS用アプリケーション開発ライブラリ「G6」「F6」について概要を説明する。

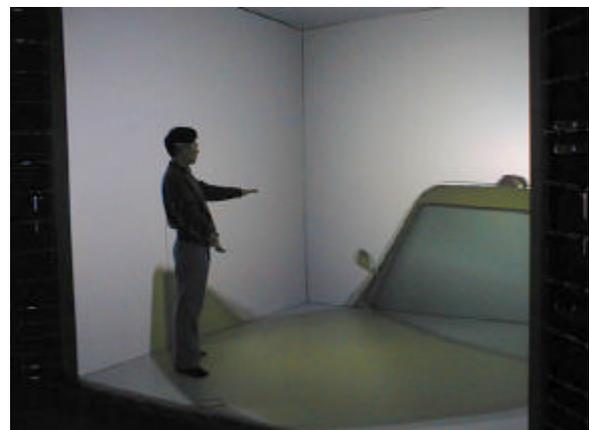
2.1 「G6」ライブラリ

pfCOSMOSライブラリは、名前の通りCOSMOSで動作するアプリケーション用のライブラリであるが、それ故に開発をCOSMOSで行わなければならないため、COSMOS関連研究が複数ある現状では開発効率が良くない。そこで、「G6」ライブラリでは、プログラム開発は通常のGWSで行い、最終確認のみCOSMOSで動作させる開発環境を実現した。

このライブラリを用いて開発したアプリケーションは、プログラム中の初期設定により、図3(a)のようなデスクトップGWS動作と、図3(b)のようなCOSMOS動作を切り替えることができる。但しデスクトップGWSで動作させる場合、視点検出のための磁気センサが利用できないため、キーボードのカーソルキーで簡易な視線方向制御で代替させる。



(a)デスクトップGWS動作



(b)COSMOS動作

図3 「G6」アプリケーションの動作モード

Fig.3 Execution Modes of 'G6'

表1 「F6」のコールバック関数

Table 1 Callback Functions of 'F6'

関数プロトタイプ	ユーザの処理
prepare(int)	OpenGL RCの初期設定
shareinit(void*)	ユーザワーク初期化
idol(void*)	シミュレーション等
draw(void*,int,int)	描画
refresh(void*,int)	OpenGL DLの更新
wait()	描画中の待ち時間処理
exit(void*)	終了時の保存

表2 「F6」の環境変数と動作モード

Table 2 Environment Variables of 'F6'

環境変数 F6MODE	動作モード
MONO(デフォルト)	単画面GWS
STEREO	単画面立体視
COSMOS	没入型6面立体視
RENDER	アニメーション保存

2.2 「F6」ライブラリ

pfCOSMOSおよび「G6」はIRIS Performerライブラリ[3]をベースにしており、すべての描画対象物をシーングラフと呼ばれる樹形構造体に格納することで、複雑な仮想空間であっても効率的な描画性能を達成している一方、シーングラフの構築・更新が煩雑であるため、CADのようなアプリケーションや、各種実験用程度の簡易な描画目的には向かないと思われる。また、IRIS PerformerがインストールされていないGWSでは開発できないことや、ライブラリ自体が巨大であるため習得に時間がかかり開発のハードルが高いなど、利用上の制限がある。

そこで、3次元描画APIとして比較的一般的なOpenGLライブラリ[4]を用いて描画することのできるCOSMOSライブラリ「F6」を開発した。このライブラリの中では、視点情報に応じた視野体積の設定および、描画性能向上のためのマルチプロセッシングを行い、開発者が記述すべき描画等のコールバック関数(表1)を適切なタイ

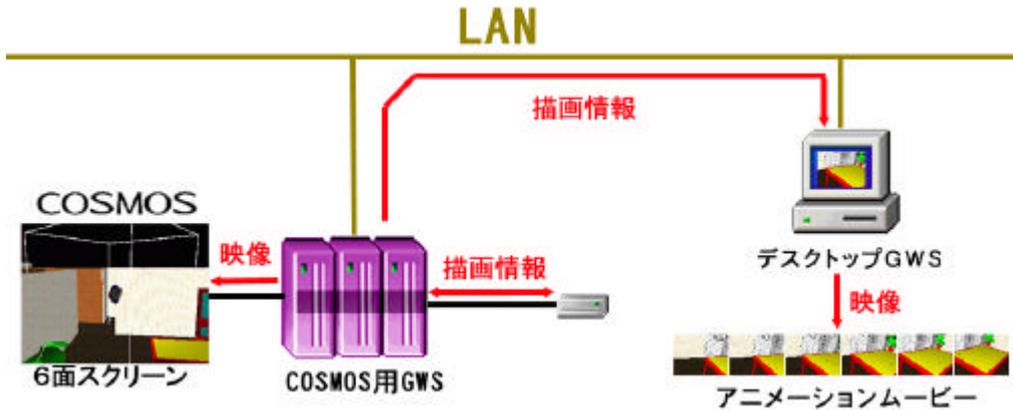


図4 「F6」のネットワーク機能
Fig.4 Network Operations of 'F6'

ミングで呼び出している。

また「F6」では環境変数によって、プログラムの動作環境を表2のように設定できるほか、描画に必要な情報をファイルに保存したり、LAN経由でネットワーク上の他のGWSに配信したりできる。この情報を使って、GWS上でユーザが見ている映像をリアルタイムあるいはオフラインでモニタしたり、アニメーション化することもできる(図4)。これらの機能は、今後ユーザの行動観察や動作解析などの研究に利用する予定である。

ただし、「F6」には、「G6」で使うことのできるIRIS Performerが提供する形状ファイルローダが利用できないため、必要に応じて形状データファイルローダを開発しなければならない。また、描画順序の最適化や描画負荷軽減アルゴリズムなどの実装もプログラマの責任になるため、開発するアプリケーションの要求に応じて「G6」との使い分けが必要である。

3 インテリア検討システム

本節では、COSMOSを用いた設計支援の一例として開

発した、「インテリア検討システム」の概略を説明する。

このシステムは、あらかじめデスクトップコンピュータで建物の間取り図と、床と天井の高さや、床材、壁材などのテクスチャ画像を入力しておき、COSMOSで実物大に表示してウォークスルーできるシステムである。このシステムを使えば、実際の建物を竣工する前に空間やレイアウトなどの評価が直感的に行えるため、建築関係のプレゼンテーションなどに利用することができる。

3.1 システム構成

このシステムは間取り図をもとに建物データを入力するための「間取りエディタ(図5)」と、建物データをCOSMOSで表示する「間取りビュー(図6)」で構成している。

間取りエディタでは、(1)壁や間仕切りなどのパーツを登録して高さ情報を付加し、(2)2次元の間取り線を入力し、(3)テクスチャ画像を与えるだけで、壁や間仕切り、床、天井が簡単にモデリングでき、(4)ウォークスルーする。このようにして作成した建物データは独自の形式で保存できる。

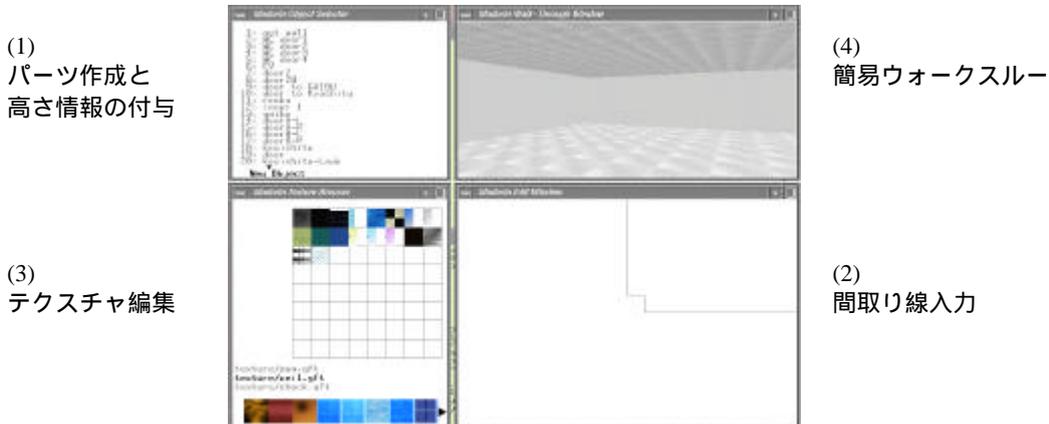


図5 間取りエディタ
Fig.5 layout Editor



図6 間取りビューア

Fig.6 Layout Viewer

間取りビューアは、モデリングした建物データを COSMOS で実物大で表示し、専用コントローラを使って建物内を自由に移動できる。なお、この間取りビューアは前節で説明した「F6」を用いて開発している。

3.2 家具データの表示

間取りビューアでは、オプションで DXF 形式の家具形状ファイルを表示することが出来る。そのため、引っ越し前の部屋の広々とした状態のみならず、図7のように家具を配置した状態で室内空間のイメージを確認することも出来るため、生活時の人の移動等を体験し、評価することにも応用できる。

4 専用コントローラ

本研究の最終目標は、COSMOS のような没入型の VR 環境で従来の CAD ソフト相当の設計作業を行うことである。そのため、頂点や制御点の追加、修正や、色付け、部品の組み合わせ、ビュー等の機能が必要である。パソコンの場合は、マウスやキーボードなどの装置を使って多様な指示ができる。しかし COSMOS の場合は、ユーザが立ったり屈んだり歩きまわるため、机の上で使うように設計されたこれらの装置は使いにくい。従って本節では COSMOS の中に持ち込み可能で、設計作業に向く



図7 家具を置いた室内空間

Fig.7 Living room with a set of furniture

専用操作装置について検討する。

図8(a)は、視線の検出にも用いている磁気式位置角度センサとグローブ型モーションキャプチャ装置を組み合わせた入力装置「データグローブ(日商エレクトロニクス(株)製)」である。この装置を用いる場合、手が届く範囲であれば自分の手で仮想空間内の座標を直感的に指示できる利点があるが、手が届かない部分が指示できないこと、手が届いたとしてもセンサの位置精度が悪いこと、実物と仮想物の奥行き方向の知覚精度に個人差があること [5]で、高い精度の要求される設計作業には向いていないと考えられる。

図8(b)は、現在多くの COSMOS 用アプリケーションで標準的に使用しているゲーム機用コントローラ(任天堂(株)製)で、10個のボタンと1つの十字キー、そして2自由度のアナログスティックを装備している。この装置ではボタンとアナログスティックの組み合わせで多彩な操作入力ができるため、仮想物体を移動・回転・拡大縮小できる形状ビューアプリケーションに利用されており、CAD への応用も考えられる。ところが、このアナログスティックは、頭部を左手の親指で半径 8mm 程度の円内で操作する設計であるが、ユーザの多くは限界まで倒すことが多く、中間の微妙な入力をするには相当の訓練を必要とする。

以上のように、従来の装置ではセンサの精度が低いか、



(a) データグローブ



(b) ゲーム機用コントローラ



(c) 転答虫(仮称)

図8 COSMOS で利用可能なコントローラ

Fig.8 Available controllers in COSMOS

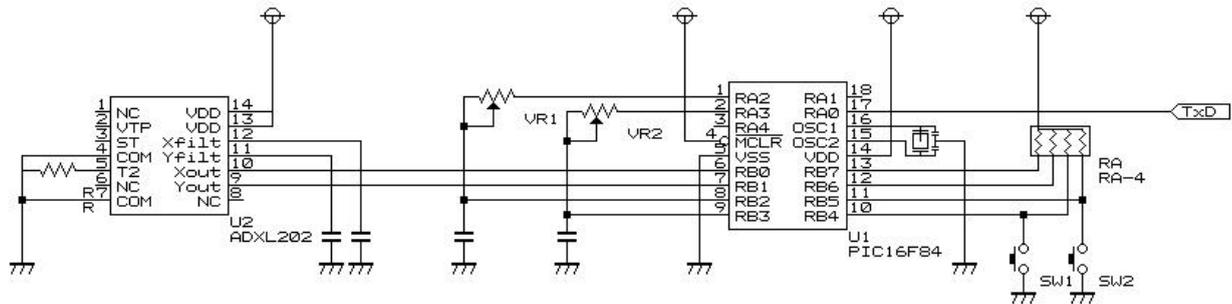


図9 「転答虫」の主要回路図

Fig.9 Principal circuit of 'TEN-TOU-MUSHI'

あるいは高精度入力に熟練を要するからで実用的な CAD ソフトへの適用上問題になると考えられる．そこで今回は、微妙な 1 次元アナログ量が入力できる回転式ボリュームつまみを装備し、操作装置の傾斜を入力値とする直感的な 2 次元アナログ入力、そして 2 個のスイッチを持った、COSMOS 専用コントローラ「転答虫(仮称)」を試作し、評価した．

4.1 構成

試作した装置の外観を図 8(c)に、主要部分の回路図を図 9 に示す．外観は、ボリュームつまみと 2 個のスイッチを装備している．傾斜の入力には ANALOG DEVICES 社製加速度センサ ADXL202 を使用し、重力加速度である鉛直下向きに対する装置の角度を検出する．ボリュームはパーンズ社製の 15 回転ヘリカルポテンシオメータを使用し、直列に接続したコンデンサの放電時間で回転量を計測する．Microchip 社製ワンチップマイクロコントローラ PIC16F84 は、これらのセンサによる計測データをシリアルデータにし RS-232C インタフェースを介して COSMOS のワークステーションに送信している．

4.2 使用方法

試作した装置は 2 個のスイッチが人差し指と中指に当たるように左手に持って使用する．中指のスイッチを押しながら手首を傾けると、傾けた方向と角度に応じて操

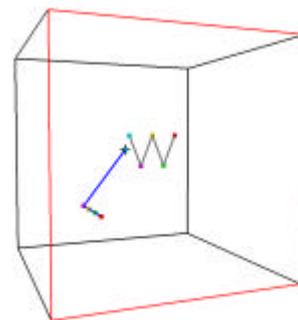


図 10 設計作業実験

Fig.10 Experiment Task

作対象物が移動する．人差し指のスイッチは補助的な操作に使用し、ボリュームつまみは微調整のために右手で操作する．

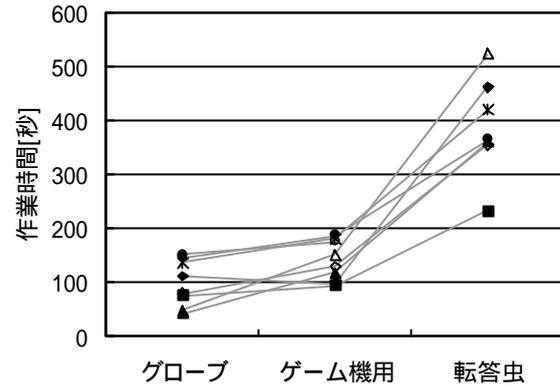
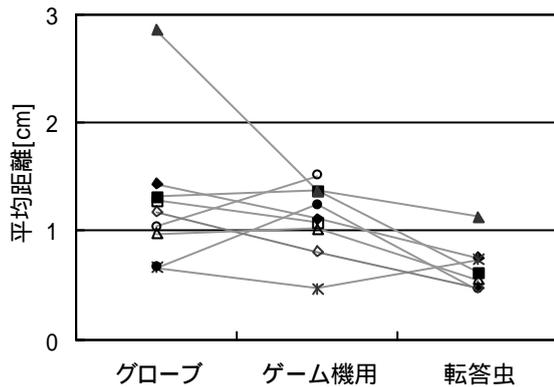
4.3 評価実験と結果考察

「転答虫」を含む図 8 の 3 種類の操作装置について作業性を評価するため、これらの装置を用いて簡単な設計作業をさせ、作業時間、精度を比較した．これは図 10 のように COSMOS 内に 5 個の頂点を結ぶ折れ線を 2 本表示し、一方の頂点を他方の頂点に重ねさせる．この作業には CAD の基本である(1)頂点の選択、(2)頂点の移動、(3)位置確定の 3 段階の操作を含んでおり、それぞれの装置ごとに表 3 の方法で操作する．

表 3 実験の操作方法

Table 3 Operation methods of Experiment Task

操作装置	カーソル移動	(1)頂点の選択	(2)頂点の移動	(3)位置確定
データグローブ	カーソルを表示しない	頂点の近傍で手を握る	手を握った状態で移動	適当な位置で手を開く
ゲーム機用コントローラ	アナログスティックを使用．視線方向に対して通常は上下左右に、切り替えボタンを押しながらの場合、前後左右に移動．	カーソルを頂点の近傍に移動し、選択ボタンを押す	選択ボタンを押したままカーソルを移動	適当な位置で選択ボタンを離す
「転答虫」	手首の傾斜に応じて移動軸が回転．ボリュームつまみで軸沿いに移動．また切り替えスイッチ(中指)を押しながら手首を傾斜すると、視線方向に対し前後左右に移動．	カーソルを頂点の近傍に移動し、選択スイッチ(人差し指)を押す	選択スイッチを押したままカーソルを移動	適当な位置で選択スイッチを離す



(a)作業精度
 図中の各記号は、個々の被験者を示している。

(b)作業時間

図 1 1 実験結果

Fig.11 Result of Experiments

この実験結果を図 1 1 のグラフに示す。図 1 1 (a)は各被験者ごとに目標位置と確定位置との平均距離を装置別に示しているが、ほとんどの被験者が転答虫で最も精度の高い結果を出していることがわかる。これはボリュームを使った微調整を効果的に利用しているためであると考えられる。また実験を終えた被験者からは、データグローブでは移動したい頂点が自分の手に隠れてしまうこと、ゲーム機用コントローラでは微妙な入力が難しく、何度も移動させるうちに偶然適切な位置に合わせられてなどの意見があった。

一方、図 1 1 (b)の作業時間の比較では、転答虫が最も時間がかかっている。実験中の被験者の様子から、この原因には、新しい装置の習熟度が低いために傾きによる 2次元移動の感覚がつかめずカーソルが遠くに行ってしまうことや、その移動モードとボリュームつまみによる移動のモードを切り替えた直後の操作に戸惑っていることがみられるなど、他の装置に比べて 3次元空間の広い移動に時間がかかっていることが考えられる。

以上の考察から、COSMOS の仮想空間中でより効率的に設計作業を行うには、データグローブで粗い指示した後、転答虫で微調整を行う方法が有効ではないかと考えられ、今後の課題としたい。

5 まとめ

バーチャルリアリティ (VR) 技術を利用して設計支援を行うために、没入型 6面ディスプレイ COSMOS 用のシステムソフトウェア開発をはじめに、設計支援アプリケーション例としてのインテリア検討システム、VR 環境用アナログ入力コントローラの開発・評価を行った。以下にそれらの成果をまとめる。

COSMOS アプリケーション開発ライブラリ「G 6」「F 6」は、COSMOS アプリケーション開発に共通する処理をライブラリ化し、同時に COSMOS 実機以外でのプログラム開発を容易にした。

インテリア検討システムは、間取り図をベースにした仮想的な建築物の内部を、実物大で表示し、ウォークスルーによる体験を可能にし、VR 技術を用いた設計支援の方向性と可能性を示した。

COSMOS 専用アナログコントローラ「転答虫(仮称)」は、傾斜センサとボリュームを用いて微妙なアナログ操作の精度を高めたが、3次元の操作はモード切り替えによるため直感的な操作が難しく、今後の課題である。

文 献

- [1] Toshio YAMADA, Michitaka HIROSE, Yoshihiro IIDA, "Development of Complete Immersive Display: COSMOS", VSMM98, pp.522-527, Nov., 1998
- [2] 廣瀬通孝, 小木哲郎, 石綿昌平, 山田俊郎, "没入型多面ディスプレイ(CABIN)の開発", 日本バーチャルリアリティ学会第 2 回全国大会論文集, pp.137-140, 1997
- [3] Jed Hartman, Patricia Creek, "IRIS Performer™ Programming Guide", Silicon Graphics, Inc., 1994
- [4] OpenGL Architecture Review Board, "OpenGL™ プログラミングガイド", アジソン・ウェスレイ, 1995
- [5] 藤井勝敏, 浅野良直, 棚橋英樹, "没入型 6面ディスプレイにおける空間知覚特性に関する考察", ヒューマンインタフェースシンポジウム'99, pp.207-210, Oct., 1999

RPのための3次元形状再構成

平湯 秀和* 桜木 博次*

Three-dimensional Shape Reconstruction for Rapid Prototyping

Hidekazu Hirayu* and Hirotsugu Sakuragi*

あらまし 本研究の目的は、3次元計測器から得られた高精度かつ高速に取得可能な形状データから3次元形状を再構成し、CADデータとの統合により、光造形などの形状作成の迅速化(ラピッド化)を図るための手法を確立することである。そこで、今年度は、複数方向から測定したレンジデータを統合してそのモデルを生成するため以下の手法を提案する。各方向から測定したレンジデータをジャンプエッジを利用してセグメンテーションした後、複数方向からのセグメントを重ねりのないセグメントグループに統合する。各々のセグメントグループで三角パッチを生成し、グループ間に補間用パッチを生成することで、全体として隙間のない3次元形状の再構成を行う。本手法を用いて、複数方向から取得した実際の直方体モデルのレンジデータから、3次元形状の再構成を行った結果、その有効性を確認した。また、3次元計測器による計測からモデルの再構成・光造形によるラピッドプロトタイピングという1連の流れを実際に行い、光造形モデルを作成するまでに存在する問題の洗い出しを行った。その際、光造形という手法による精度・形状の制限を認識することができた。

キーワード ラピッドプロトタイピング, CAD, 形状再構成, レンジデータ

1. まえがき

3次元計測器から得られるレンジデータは離散的な3次元座標を持つデータ点列であるため[1]、形状データの加工、及びCAD形状データとの統合は困難となっている。そこで、本研究では3次元計測器から得られたレンジデータをもとに物体の3次元形状を再構成し、CADデータとの統合により、形状作成の迅速化(ラピッド化)を図る。形状データの再構成を行う場合、3次元測定器で1つの方向から測定しただけでは、センサーから隠れた部分が測定できない。そのため、物体を複数方向から計測を行い、多方向から得られたレンジデータ間の関係を考慮しながら統合する必要がある。多方向からのレンジデータ統合に関しては、多くの研究機関で研究されており[2]~[5]、主にレンジデータ間の関係やセグメンテーションを利用している。しかし、オクルージョンの表現など多くの問題があり、解決されていない。そこで、本研究の初年度である今年度は、ジャンプエッジを利用して複数方向から測定したレンジデータを統合する手法を提案する。また、その手法を用いて物体の再構成及び、光造形によるラピッドプロトタイピングを行ったので報告する。

2. 複数方向のレンジデータ統合

本研究では精度良く物体の複数方向のレンジデータを取得するため、マツオ(株)製SURVEYOR2000(測定精度25 μ m)を使用した。また、多方向からのレンジデータの統合に関しては以下の手法を用いた。まず、各方向から取得したレンジデータからジャンプエッジをもとにセグメンテーションする。複数方向から測定する場合、重なって計測する部分が存在する。したがって、その部分が重なりとなって複数のセグメントで重なる部分が存在する。セグメント同士で重なる部分がある場合、重なる部分のレンジデータだけを一方のセグメントに移動させ、セグメント同士が重ならないようにする。そうすることで、複数方向からのセグメントはどれも重ならないようになる。これらのセグメントに関して三角パッチを生成する。するとセグメントとセグメントの間にはもともと境界があるから隙間が生じてしまう。そこで、セグメントとセグメント間を補間するように三角パッチを生成すれば、隙間のない3次元形状が再構成できる(図1)。

*情報システム部

Information System Division

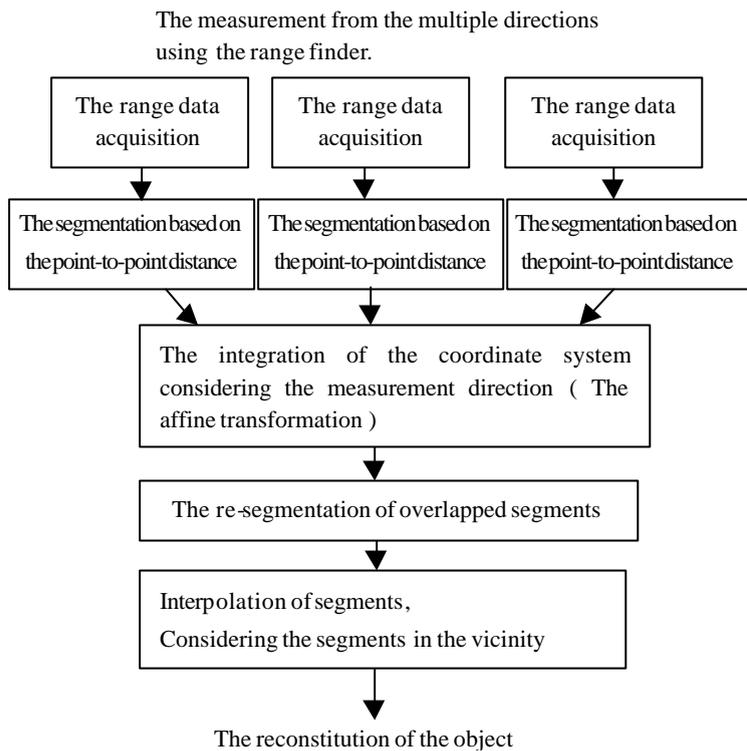


図1 レンジデータ統合の流れ

Fig.1 The flow of range data integration

2. 1 点間距離に基づくセグメンテーション

3次元計測器 SURVEYOR は、Y座標の値を一定に保ちながら、X軸に沿ってあるピッチ間隔 X_{pitch} でZ軸の値を計測していく。1ラインの計測が終わると、あるピッチ間隔 Y_{pitch} だけ Y座標を移動し、同様の計測を実施する。取得されたデータは、ラインごとに計測した順で羅列される。本研究では、このデータ構造を利用してセグメンテーションを行う。また、複数の方向から取得したレンジデータは、取得した方向ごとにレンジデータをセグメンテーションし、その後でセグメントの統合を実施する(図2)。

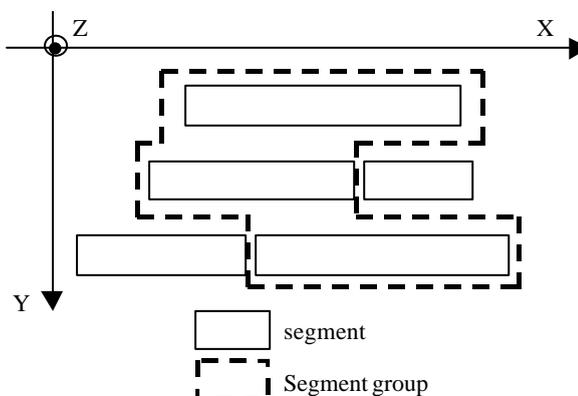


図2 セグメンテーション例

Fig.2 The example of segmentation

最初に1方向より計測したすべての範囲のレンジデータ

に対して、ラインごとに点列データのセグメンテーションを行う。次にライン間の関係を考慮してセグメントのグループ化を行う。詳細について下記に示す。

1つのライン上に存在する点列データのセグメンテーションは、隣接する2点の点間距離 L が固定値 L_{thre} で規定される閾値 L_{thre} 以内かどうかの判定で行う。閾値以内であれば同一セグメントとみなし、閾値以上であれば、別のセグメントとする(図3)。ここで、角度 θ はXY平面と隣接する2点を結んだ直線の成す角度とする。

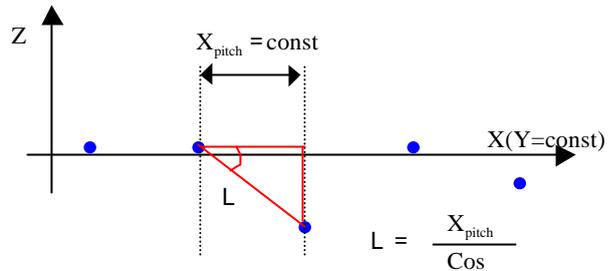
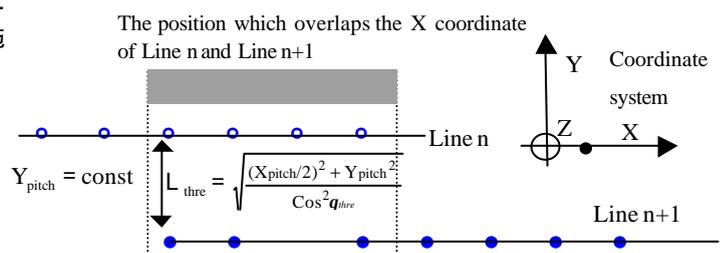


図3 ライン内データのセグメンテーション

Fig.3 The segmentation in a line

1つのライン上に存在するすべての点列データに対してセグメンテーションを行った後、各方向から取得したレンジデータごとのセグメントをグループ化する。Y座標の値が小さいラインから、隣り合うラインでライン上に存在するセグメントの点列データの点間距離を比較し、セグメントのグループ化を行う。

まず、比較する2つのセグメントでレンジデータのX座標の値が重なるレンジデータを抽出する。抽出したレンジデータをセグメント間で比較し、ラインを挟んだ点間距離の最短距離を導出する。Y座標の値が大きい方の抽出データについて、導出したすべての最短距離が閾値以下であれば同一グループとみなす(図4)。



In search of the shortest distance between 3 black rounds in Line n and 4 white rounds in Line n+1, it is compared with the Threshold

図4 ライン間のセグメンテーション

Fig.4 The segmentation between two lines

点列データはX軸、Y軸に対して一定のピッチ間隔で取得される。そのため、隣接する2点間の距離はこの2つのピッチ $X_{pitch} \cdot Y_{pitch}$ と角度 θ に依存する。したがって、同一ライン内で隣接するデータに対する2点間距離の閾値は、Y座標の値が一定であるためX軸方向の計測ピッチ X_{pitch} と角度 θ のみに依存することになる。

一方隣接する2つのライン内のデータに対する最近傍

2点間距離の閾値は、計測理論上X座標の値が等しくなるためY軸方向の計測ピッチ Y_{pitch} と角度 θ のみに依存する。しかし、実際の計測においては特異的にX軸方向の計測ピッチが X_{pitch} と異なってしまふ場合があるため X_{pitch} を考慮する必要がある(最近傍2点のX座標の値が必ずしも一致しない)。最近傍2点のX座標値の差は最大で $X_{pitch} / 2$ となる(Z座標値の変化量によってはそれ以上になる場合もある)ことから、この値を利用して閾値を決定している。

2.2 空間的に重なりのあるセグメントグループについて

前項の処理は1方向から取得したレンジデータを単独でセグメンテーションしたものであり、3次元空間でセグメントグループの重なりは存在しない。しかし、複数の方向からレンジデータを取得した場合、それだけでは異なる方向から取得したデータ間でセグメントグループの重なりが生じてしまう。本項では重なりのあるセグメントグループが、すべてのレンジデータに対して重なりが生じないよう再セグメンテーションを行う。以下に手順を示す。

異なる s 個の方向からレンジデータを取得した場合

- (1) 取得したレンジデータを計測した方向ごとに分け、それぞれのグループに 0 から ($s - 1$) の番号をふる。
- (2) t 番のレンジデータを基準のレンジデータとする。(番号の小さいグループから実施する)
- (3) t 番のレンジデータの、あるセグメントグループ A と $t + 1$ 番以降のすべてのレンジデータを比較(レンジデータをアフィン変換して t 番の計測方向と同じ角度に合わせて比較)、それぞれのレンジデータと A のレンジデータとの最短距離 d を導出する。 d が閾値以内であれば A と重なっていると見なす。
- (4) 重なっている場合
 - t 番のレンジデータの各ラインの Y 座標の値を基準にして(ポリゴン描画時にライン情報が必要のため)重なっているレンジデータを t 番のセグメントグループに統合する(図5)。
 - 所属していた $t + 1$ 番のセグメントグループからこのデータを削除する。

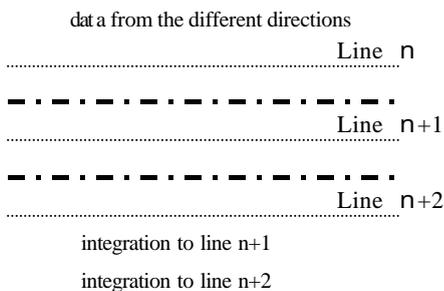


図5 データ統合方法

Fig.5 The range data integration

- (5) (3)(4)の処理を繰り返す。1方向にある点列データが終了すれば t をインクリメントし、比較対象がなくなるまで行う。

上記の処理により、重なっていたセグメントグループ内のレンジデータはどれか1つのセグメントグループに統合され、セグメントグループ同士の重なりがなくなる。

2.3 セグメント間の補間について

セグメンテーションを行った後、セグメントグループ間を補間するメッシュを生成する。メッシュによる補間は2つの方法で行う。1つめは、もともと空間的に重なるレンジデータを有していたセグメントグループ(2.2項の処理により重なりはなくなっている)同士の間を補間する方法である(図6)。2つめは、すべてのセグメントグループに関して、その外形となる点群をそれぞれ抽出した後、他の外形をなす点群同士の距離比較を行う方法である。あるレンジデータとの距離が閾値以内であれば、そのレンジデータを有するセグメントグループを近傍にあるセグメントグループとみなし、セグメントグループ間を補間する(図6)。ここで、閾値は一定の値ではなく、段階的に設けることとする。最初に一番小さい閾値で判定し、そこで、一番近傍のセグメントグループ間を補間する。そして、その次に更に大きい閾値で判定し、その閾値内で先に補間したものは除いた近傍点に関して補間を行う。このように閾値を段階的に増加して補間処理を繰り返すことで、すべてのセグメントグループ間の補間をする。

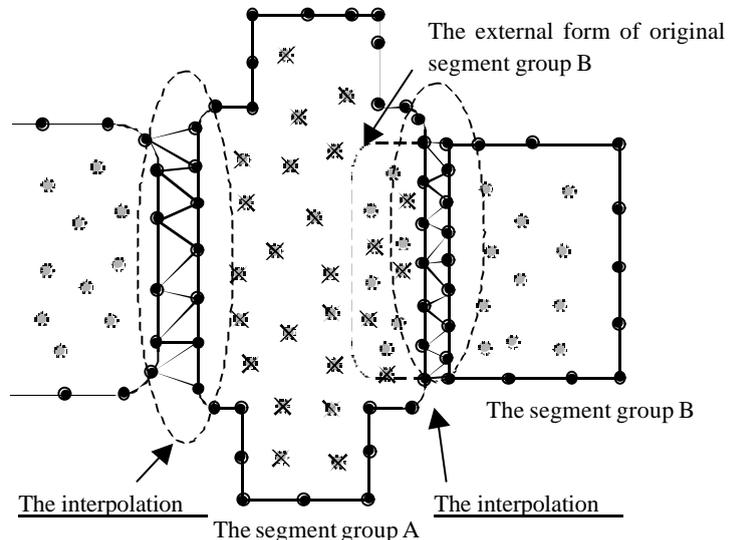


図6 セグメント間の補間

Fig.6 The interpolation between the segments

セグメントグループ間を補間する場合、各セグメントグループの外形をなす点群から閾値内にある点群を抽出し(図6の点線部内)、それらからメッシュを生成する。外形は平行をなす直線ばかりではなく曲線もある。また、該当する線上にある点列データ群は等間隔に並んでおらず、点の数も等量ではない。2本の線間に三角ポリゴン

を描画していく場合，順に点を選んでいくと，一方の線上の点をすべて選んでしまったのに，もう一方の点が残ってしまう．また，線上に三角ポリゴンが生成されてしまうこともある．そこで郷らの提案している三角ポリゴン生成法[6]～[8]を使用することにした．この手法はなるべく均一な三角ポリゴンをすべての点を利用して作ることができる．しかしながら，2本の線間が急に変化する箇所では生成される三角ポリゴンに重なりが生じる場合がある．そこで，まず2本の線間が狭くなる場所（極小）を検出し，狭くなる手前までをこの手法で三角ポリゴンを生成する．同様に次に狭くなる場所を検出し，先ほど生成したところから狭くなる場所までを順次同じ手法でポリゴン生成する手法を用いた．以下にその手順を示す（図7）．

- 1) 2本の線上の点群において，もっとも近い相手側の点を抽出しておく．
- 2) Line A上にある点A0からLine B上の点でもっとも近い点を見つける．下記の例では点Baである．しかし，点BaからはAaがもっとも近いので互いに最も近い点同士ではない．同様に逐次検索をしていくと，点Aiと点Bjが互いに最も近い点同士であることがわかる．このように互いに最も近い点同士（Ai, Bj）が存在すれば，最初の点（A0, B0）から（Ai, Bj）まで三角ポリゴンの描画を行う．
- 3) スタート位置を（Ai, Bj）に更新し，2)と同様にして互いに最も近い点同士（As, Bt）を検索する．存在すれば，（Ai, Bj）から（As, Bt）まで三角ポリゴンの描画を行う．
- 4) （As, Bt）以降で最後まで互いに最も近い点同士がなければ（As, Bt）から（A last, B last）まで三角ポリゴンの描画を行う．ここで，A last, B lastは各ライン最後のデータとする．

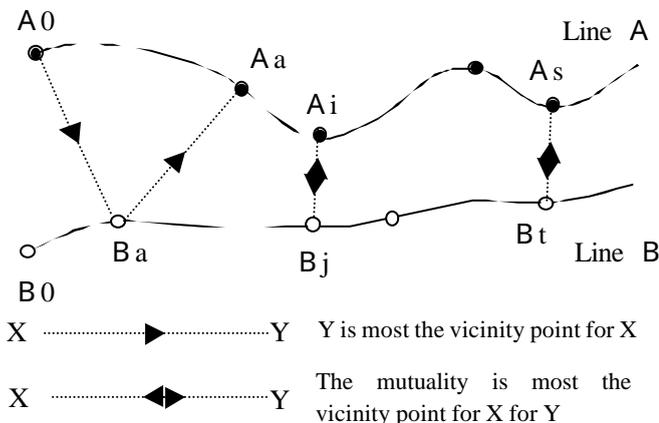


図7 三角ポリゴンの生成手順

Fig.7 The generation procedure of the triangular polygon

2.4 出力結果

上記の手法を検証するため，3次元計測器SURVEYORにて，マウスを0度，ケミカルウッド木型で作られた立方体を-30度，30度の角度で傾けて計測し，本システムにて3次元形状の再構成を行った．結果を以下に示す．

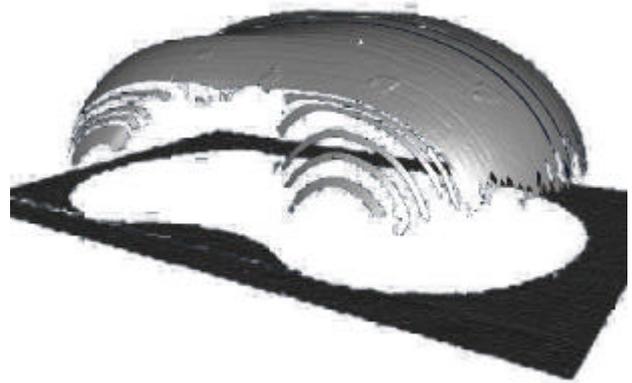


図8 セグメントをグループ化した例

Fig.8 The example of grouping

図8では，1方向からとったマウスのレンジデータをセグメンテーションし，それらをグループ化した例を示す．周辺にも多くのグループがあるのがわかる．図8をもとに手前のセグメントのみの補間を行った例を図9に示す．セグメントグループ間がうまく補間されているのが確認できる．

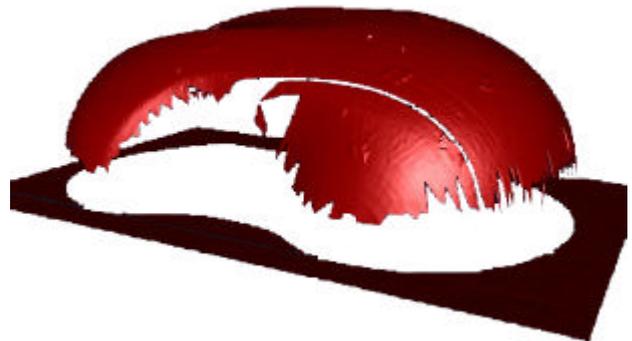


図9 セグメント間を補間した例

Fig.9 The example of the interpolation between the segments

- (5) 全部の層を硬化させたら樹脂の中から完成した構造物を取り出し洗浄する。

3.3 試作

3次元測定器で取得したデータを基に再構成された形状データで実際に光造形を行い、本システム利用に対する問題点を検討した。

形状データの取得には光切断法を採用しているミノルタ(株)製非接触型3次元形状測定器 VIVID700 を使用した。付属のソフトウェアによりターンテーブルや特徴点を利用した多視点画像の統合が容易に可能な上、データ点数削減など多彩な機能を有している。造形対象には、デザイン性と機能性が要求されるマウスを選択した。造形結果を図14に示す。



図14 本物(左)と光造形モデル(右)

Fig.14 The real mouse(left)
and Rapid Prototyping model (right)

“再構成された3次元データに基づくモデル”ということによる本システム使用の制限は全く見つからなかった。マウス以外の再構成データについても検討したが不具合は見られなかった。以下に本システム使用に際する留意事項を挙げる。

- 積層型による精度の制限
1枚ずつ積み重ねて造形していくため、Z軸方向の精度は積層ピッチ 0.15mm を上回ることは不可能である。また、サンドペーパーなどにより積層段差を取り除き平滑化する必要があるため、完成品の精度は 0.15mm より悪くなる。精度は平滑化のやり方に大きく依存するため、注意が必要である。
- 積層型による形状の制限
積層型であるということは、造形したい場所には必ず土台となるものがないと造形できない。オーバーハング形状など造形可能な形状に制限がある。
- 使用材料による制限
材料に樹脂を使用しているため、ある程度以上の厚

さがないと強度を確保できない。平滑化も非常に難しくなる。

- 平面再現性
積層型であるため、XY平面と水平でない限り平面は階段形状で造形されてしまう。サンドペーパーなど手作業での平滑化により平面を再現するのは非常に難しい。可能な限り平らな面をXY平面と平行にあわせることが必要である。

4. まとめ

3次元計測器から得られた複数の方向からの高精度なレンジデータを統合し、モデルを再構成する手法の提案を行った。また、モデルを再構成し、このデータをもとに光造形によるラピッドプロトタイピングを行った。この結果、光造形特有の形状再構成に伴う制限や問題が抽出された。

今年度はパッチモデルを用いた形状再構成を行ったが、来年度以降は階層化モデルによる自由曲面形状の再構成やCADデータとの統合を行っていく予定である。

文献

- [1] 佐藤宏介, 横矢直和: “測定手法の種類と基本原理”, 計測と制御, 34巻6号, pp.435-439, 1995
- [2] 品川嘉久: “3次元形状データ圧縮手法の最近の動向”, 情報処理, 40巻3号, pp.280-285
- [3] 古川貴雄, 清水義雄, 佐々木和也: “距離画像の木構造表現を用いた形状記述データ生成”, 信学論, Vol.J81-D-II, No.9, pp.2130-2138, 1998
- [4] 安村禎明, 折本勝則, 馬場口登, 北橋忠宏: “部品構成モデルの自動生成による3次元物体の部品分割”, 信学論, Vol.39, No.6, pp.1944-1952, 1998
- [5] 查紅彬, 牧元喜宣, 長谷川勉: “3次元物体の全周モデルを獲得するためのデータ重複部再構成”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU'98), Vol.1, pp.195-200, 1998
- [6] 郷泰彦, 丹羽義典: “CADデータを応用した3次元形状検査システムの開発(第3報)”, 岐工技研究報告, 1995
- [7] 大野尚則, 丹羽義典: “仮想空間を用いた距離画像からの形状抽出”, 電学論D, Vol.119-1, pp.75-80, 1999
- [8] 落合重紀: “新・DXFリファレンスガイド”, 日経BP社, 1997
- [9] 中川威雄・丸谷洋二: “積層造形システム 3次元コピー技術の新展開”, (株)工業調査会, 1996

ネットワークを介した 分散型エンジニアリングデータベースシステムの開発

大野 尚則* 棚橋 英樹*

A Development of a Distributed Database System for Network Engineering

Naonori Ohno* and Hideki Tanahashi*

あらまし 近年、製品開発は大量生産から多品種少量生産や多品種変量生産へと急速に移行し、製品開発の高速化や効率化のためにデジタルデータの再利用の必要性が高まっている。本報告では、設計から生産までの工程を、分散型データベースシステムを用いることによりネットワークを介して連携する方法を提案する。提案する方法は、生産活動の各作業工程に利用されている既存の CAD システムや加工機などと小規模なオブジェクト指向データベースシステムを連結させ、これらのデータベースをその上位となるデータベースがネットワークを介して管理する方法である。本手法を適用したデータベースシステムを試作し、現在一般的である一極集中型データベースによるデータ管理方法とクライアント数による性能変化への影響について比較した結果、提案した方法はシステムの性能劣化が少ないことが検証された。

キーワード 分散データベース、生産システム、エンジニアリングデータ、分散オブジェクト

1. まえがき

近年インターネットの普及により、WWW や電子メールなどのアプリケーションが、地域を越えたコミュニケーションのための必要不可欠なツールとなった。工業分野においても大企業ではイントラネット等を用いた大規模データベースによるデータの集中管理が行われるようになり、更には CALS に代表される情報基盤の整備が進んでいる。しかしながら、中小企業においてネットワーク技術は、コストの問題や所有する機器のネットワーク対応の遅れ等により、未だ積極的に活用されておらず、生産活動自体に有効に生かされていないのが現状である。

一方では CAD/CAM/CAE システムの普及により様々なデータが電子化されているが、互いのデータが有効に利用されていない。これは、前述したネットワークに関する問題に加えて、システムの違いやシステム間で扱うデータの互換性の問題が原因と考えられる。

これらをまとめると、中小企業におけるネットワーク技術利用に関する問題とデータの互換性に関する問題に大別できる。現在、製品の多品種少量生産だけにとどまらず、個々の仕様に応じた製品開発の必要性が高まっている。したがって更なる製品開発の効率化のためには、設計から生産までをネットワーク上でい、各工程で生成されたデータを積極的に利用していくことが重要とな

ってくる。

また、ネットワーク技術利用に関する問題を解決するためには、現場の作業者にネットワークを意識させないシステム開発や優れたユーザインタフェースが必須であり、これらの実現により、迅速なデータ蓄積、管理、共有が実現でき、作業の効率化が期待できる。更にデータの互換性に関する問題については従来までの IGES や DXF などのデータ形式から、STEP や XML などのより広い領域を定義できるデータ形式が主流になりつつあり、これらのデータ形式にも対応しておくことも必要である。

本研究は、中小企業庁 地域活性化補助事業の共同研究事業の一環として、中小企業の情報基盤の整備を目的とし工業技術院 機械技術研究所と国内 4 カ所の公設研究所と共同で、デジタルエンジニアリングデータの利用や再利用技術の確立を目指している。

本報告では、その部分要素となるネットワークを介して生産活動に関するエンジニアリングデータを共有するための分散型データベースシステムについて、設計・生産現場における本システムの有効に活用するための方法について述べる。

2. ネットワーク型の設計・生産方法

2.1 製品開発の現状

中小企業が独自の製品を開発する場合における生産活動について考えると、中心となる企業が異なる分野の技術を有する複数の企業と連携することが多い。この場合、図面やデータの授受は、担当者を介した手渡しや FTP 等

*情報システム部

Information Division

を用いたネットワーク経由で行われており，設計変更や修正ごとにデータの授受が行われる．この方法の問題点として，

- ・データの管理はデータを渡された作業者にゆだねられているため，企業として管理ができていないことが多い，
 - ・渡されるデータは必要最小限である，
 - ・全体を通してデータの流れの把握が容易ではない，
 - ・複数のプロジェクトを抱えた場合，管理が難しい，
- などが挙げられる．

中小企業が連携をとって製品開発を効率的に進める場合には，それぞれが単独に作業を行うのではなく，各企業が大企業の1部門のように，更に密に連携し，開発対象に関連する互いのシステムやデータ等のリソースを共有して作業を進めていくことが望ましい．特に，作業中に発生した様々なデータを電子化されたデータとして残すことは，生産の効率化という点では必要不可欠であり，これらのデータは新たに製品開発を行う場合に生じる問題の解決につながる．図1はネットワーク対応型の設計・生産システムの一般的な例である．

2.2 ネットワーク連携の問題点とその解決策

図1に示すシステムの運用を考えた場合，

- 1) 企業や工程ごとに使用するシステムが製品やバージョンの違いにより多岐にわたり，すべての情報を共有することが容易でない，
- 2) データを集約して共有化する場合，大規模なデータベースサーバが必要となる上，企業のノウハウや機密情報を含むエンジニアリングデータの管理がサーバの管理者に委ねられセキュリティに問題が残る，
- 3) データには，設計データをはじめ，画像や音声データなどマルチメディア的な要素が含まれ，現在一般的に利用されているリレーショナル型データベース(以下 RDB: Relational DataBase)には適していない，

などの主に3つの課題が残されている．

課題1についての解決策としてプロジェクトに携わる企業が利用するすべてのシステムとそのバージョンを統一化する方法が最善であるが，コストの面で実質的に困

難である．多種多様なデータを効率的に管理する場合，実的な面から考えられる解決策として PDM (Product Data Management) システムを用いたデータ管理方法があげられる．PDM システムは主に設計データの版管理などに利用されており，大規模なプロジェクトでは必要不可欠なシステムとなっている．

課題2はセキュリティに関するもので，データが社外のサーバにある場合，必ず生じる問題である．企業にとってはノウハウを含んだ重要なデータに関しては社内管理し，必要に応じて提供し共有する方法が望ましいと考えられる．これを実現するためには各企業に小規模なデータベースを設置し，これらを連携することによって，データを共有する方法が必要である．

課題3については，マルチメディア的な要素を多く含んでいるエンジニアリングデータには一般的に，2次元配列の集合である RDB よりもオブジェクトの集合であるオブジェクト指向型データベース(以下 ODB: Object-oriented DataBase)が適している．RDB はデータ構造の特徴からエンジニアリングデータや XML のように構造化されたデータ形式の格納には適していない．

これらの問題に対して，我々はデータベースとして ODB を採用し，エンジニアリングデータや構造化されたデータの格納を可能とする．また，各工程ごとに専用の小規模なデータベースを設置することにより各工程でのデータ管理が可能となりセキュリティに関する問題も減少する．更に，これら複数のデータベースを，ネットワークを介して連携させ，かつ各工程で利用される機器やシステムに密着したデータベースを構築することにより，データベースを介した統合的な生産システムが構築できる．

これまでも生産システムのオブジェクト化によるネットワーク分散に関する研究[1]~[3]が行われているが，NC (Numerical Control)加工機[1][2]や PLC (Programmable Logic Controller)[3]など生産工程周辺に限られている．

本論文では，設計から生産までを対象としたネットワーク型の生産システムを目指し，その根幹となるエンジニアリングデータのための小規模分散型データベースシステムを提案する．

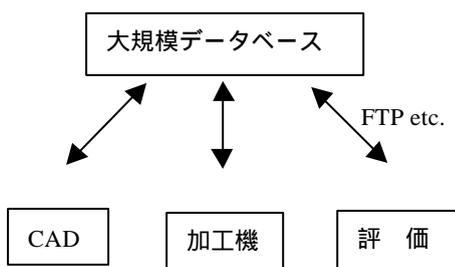


図1 一般的なネットワーク連携

Fig.1 A group work through network

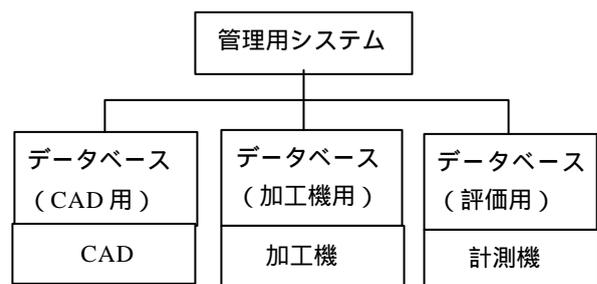


図2 提案するネットワーク連携

Fig.2 An ideal group work through network

3. 小規模分散型データベース

本章では、まず 3.1 節でエンジニアリングデータを複数のデータベースに分散して管理する方法について概説する。次に、この方法を実際的设计・生産工程に適用する場合の可能性について、想定される適用例と併せて述べ、更にシステム内でのデータの流れを明確にする。

3.3 節では、この提案方法を実現するために必要となる要素技術について概説した上で、簡易型の小規模分散型データベースシステムの実装について述べる。

3.1 分散管理手法

2.2 節にあげた問題を要約すると、設計・生産活動における多種システムの統合化、データベースの管理方法、データベーススキーマの3点に集約される。これらの問題を解決できるであろう理想的なシステムのブロックダイアグラムを図2に示す。まず設計工程を考えた場合、概念設計、詳細設計、解析の各工程が互いにセキュリティが保たれた状態で、ある条件を満たす場合にのみ内部データが開示され、利用できる。それぞれの工程では作業者の作業履歴や実験的に作成された情報など極力、データベースに格納する。この格納作業を作業者が介さず自動的に行うことが理想的である。さらに今後の再利用のためには、必要に応じて迅速にその情報を取り出せなければならない。

また生産工程や検査工程では、加工機や検査装置から出力される結果や信号がデータベースに自動的に格納され、設計工程への再利用や、装置自体の状態の把握に用いられる。このように一連の作業が生産活動全体を通して実現できれば、異なる企業同士の連携をより効率的に行うことが可能となる。

しかしながら、図2に示すデータの自動格納・読み出し型の生産システムを実現するためには、各工程のシステムとデータベースが直結していることが前提であり、CADなどの市販のシステムを利用している場合、データベースとシステムの直結は難しい。市販システムはシステム内部に関わる部分を改良することが不可能であるからであり、使用システムに応じてデータベースとシステムとの連携について検討する必要がある。

このことから本研究では生産活動におけるエンジニアリングデータの連携モデルを3つのパターンに分けて検討する。

3.2 設計・生産工程への適用についての検討

本節では、市販システムのような閉システムとの連携を疎な連携モデル、自社開発や情報が開示されているシステムとの連携を密な連携モデル、プロジェクトマネージャなど第三者がデータを閲覧する閲覧モデルの3つに分けて、それぞれに対して取り得るアーキテクチャを示す。生産活動に利用するすべての機器、システムは3種類のどれかのモデルに属する。また、これらのモデル内で扱うデータベースはマルチクライアント型とする。

1) 疎な連携モデル (図3(a))

市販システムから出力されたデータは、手作業または半自動的にデータベース GUI を通して、Local に設置されたデータベースに格納された後、ネットワークを介して他の工程に利用される。この場合、データベース GUI とデータベース本体は一体化して開発することもできるが、オブジェクト指向技術の MVC モデル[4]に基づいて、分離して開発する方法が妥当である。

2) 密な連携モデル (図3(b))

加工機や測定機を対象にした場合には、その制御やデータの I/O の情報が提供されることが多く、独自の制御用ソフトウェアを作成することが可能である。この場合、そのソフトウェアの GUI にデータベース用の入出力部分を組み込むことによって、出力されたデータが自動的にデータベースに格納、読み出しが可能になるだけでなく、データの管理も自動的に行うことができる。

3) 閲覧モデル (図3(c))

データベースへのデータ格納を行わない閲覧者を対象としたモデルである。閲覧ソフトウェアを介してデータベースにあるデータを読み出す。したがって、データベース側は複数のクライアントに対応させることが必須である。

3.3 実装

前節までの考察を踏まえて、これらを実現するための基盤として利用するために、図4に示す分散型データベースシステムを試作した。機能としてはデータベースシ

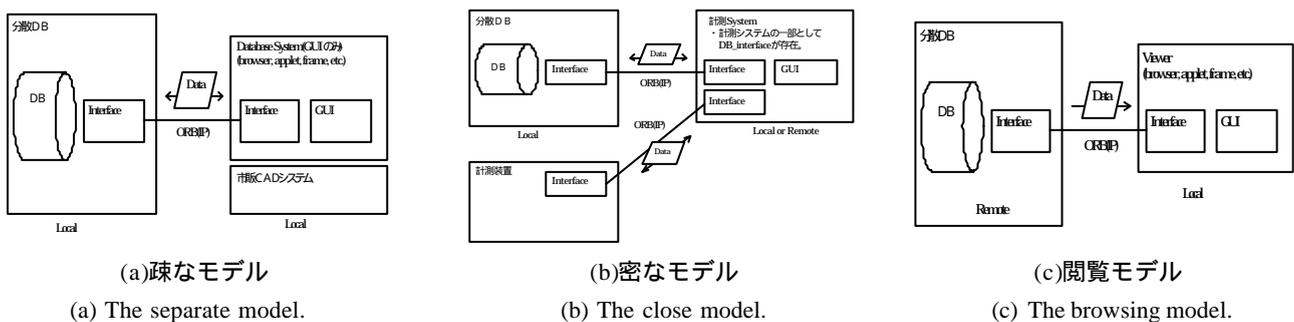


図3 連携モデル

Fig.3 The group work models

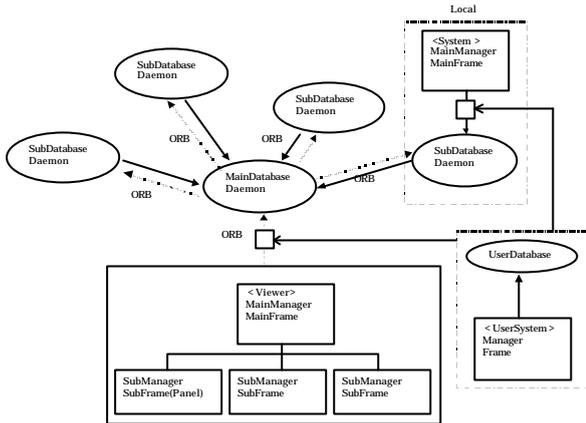


図4 試作分散型データベース

Fig.4 The prototype system

システムに最低限必要なデータの格納，読み込み，テキストによる検索機能を持っている．

開発言語には Java 言語[4]，分散オブジェクト管理には ORB (Object Request Broker) 用いて HORB[5]を採用した．また小規模な分散データベースを構築するために，アプリケーション組込用のオブジェクトストレージライブラリである PSE pro[6]を用いた．開発に利用した環境を表 1 に示す．

1) HORB

ORB では OMG (Object Management Group) の規格である CORBA (Common Object Request Broker Architecture) がデファクト標準となっているが，本研究では複数の ORB サーバを利用するため，最も高速な HORB を採用した．

HORB の主な特徴を下記に示す．

- ・他の ORB よりも 2 倍以上高速である．
- ・IIOP (Internet Inter-ORB Protocol) をサポート．

IIOP を採用しているため，CORBA との相互接続も可能である．

2) ODB

前述したようにエンジニアリングデータは，データの形式や構造が様々であるため，RDB には適していない．

また，マルチクライアントに対応した ODB が複数必要となることから，コスト面を考え PSE pro を採用した．本製品はオブジェクトの格納やデータベースとしての基本的な機能をもつ ODB 用のライブラリである．主な特徴は次の通りである．

- ・アプリケーション組込用である．
- ・独自のシリアライズ機能[6]を持つ．

4. システム評価

試作した分散型データベースの性能を評価するために，2 種類のデータベースモデルを構築し，データ処理の時間を計測することによって基本性能を比較する実験を行った．実験に用いたデータベースモデルを図 5 に示す．

表 1 開発環境

Table 1 The development environment

開発環境	VisaCafe 3.0
JavaVM	version 1.2
Database Library	PSE pro Ver.6.0
ORB	HORB 2.0

図 5 (a)をネットワーク分散型，図 5 (b)をシステム内分散型とする．ネットワーク分散型は，4 台の PC 上にそれぞれ異なるデータベースサーバを構築し，これらのサーバを図中の CoreDB で記述されているデータベースサーバが別の PC 上で管理する（以下 CoreDB とする）．これらのデータベースに対して，クライアントは図中の Viewer と記述されているデータベース GUI を通じてアクセスする．

それに対して，システム内分散型は，現在一般的に利用されている一極集中型のデータベースを擬似的に再現したモデルと見なすことができる．1 台の PC 上に，ネットワーク分散型で使用している 4 つのデータベースサーバと CoreDB を構築している．クライアントは同様に Viewer を介して，別の PC 上に存在するデータベースにアクセスする．

実験条件として，データベース処理に用いたデータは ID 番号，名称，属性，コメントといったエンジニアリングデータの基礎となるパラメータのみである．またデータベース構造は HashTable[7]を用いる．データ量に関してはすべての実験において，各データベースサーバの扱うデータ量の総計を 4 千件に設定し，これを格納，読み出しする時間を計測した．システム内分散モデルの場合は，1 台の PC で { 4 千件 × 4 + CoreDB の処理 } に要する時間を計測する．

また他のネットワークからのトラフィックによる影響を防ぐため，物理的に接続されていないセグメントで実験を行っている．

4. 1 予備実験

データベースモデルの違いによる性能比較実験を行う前に，CPU 性能など PC 性能によるデータベース性能の影響を把握するために，ネットワーク分散型モデルを用いて PC の性能の違いによる性能評価を行った．使用した 6 台の PC の性能を表 2 に示す．表中の数値は HDBENCH[8]を用いて計測した値である．

これらの PC を用いて，それぞれに 4 千件のデータを格納した時間を図 6 に示す．横軸はトランザクション回数，縦軸は格納時間である．トランザクションとはデータベースが処理する単位であり，この実験では 4 千件のデータを 20 回 (1 回につき 200 件) のトランザクション処理で格納している．

結果より，CPU，メモリ，ハードディスク性能に比例して，データベース性能が向上していることがわかる．また，データ数による格納時間推移の傾向は，PC 性能に

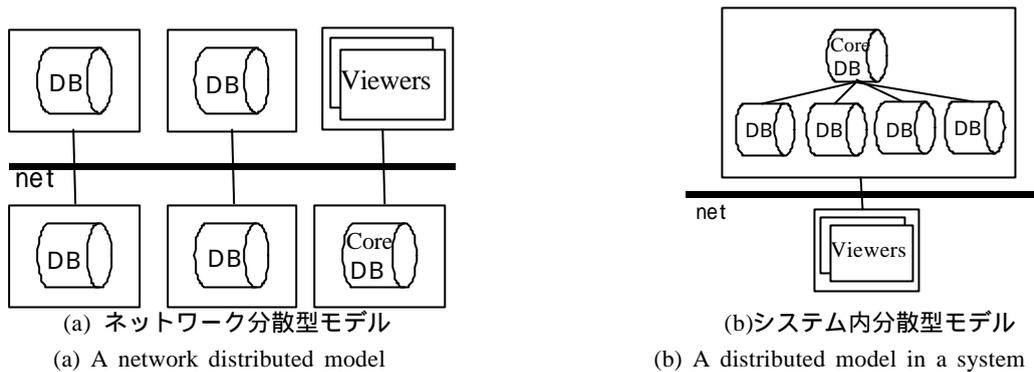


図5 実験に用いたモデル

Fig.5 Two models for the evaluation of the prototype

表2 実験に使用した PC

Table 2 The list of PC in the experiment

	CPU, 周波数 (MHz)	メモリ (MB)	INT	FLT	MEM READ	MEM WRITE	HD READ	HD WRITE
system0	P3,600	256	27206	30736	9877	10901	4172	3035
system1	P2,400	128	16053	16885	7865	10232	9714	6294
system2	Ce,333	256	13409	14088	6802	5987	13662	11375
system3	P,75	24	2862	2130	262	1636	1334	340
system4	MMX,120	32	4595	3523	373	2222	3568	943
viewer	P2,400	298	18100	20450	6347	7879	9784	4319

(性能数値は文献[8]参照)

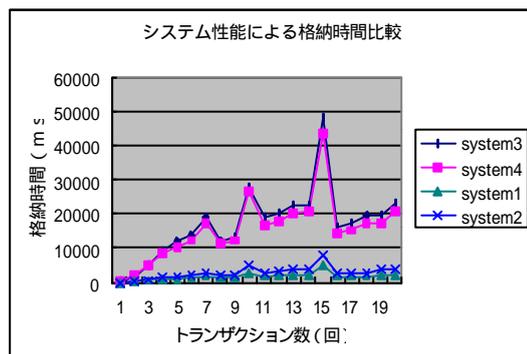


図6 予備実験結果

Fig.6 The results of the preliminary experiment.

は影響しないことも確認できた。

4.2 データベース性能評価

次にデータベースサーバのクライアント (Viewer) の数 (1~4) による各データベースモデルの性能への影響を確認する。ここでは HORB による通信時間を含まないデータベースのトランザクション処理に要する時間を計測した。その結果を図7に示す。但し、ネットワーク分散型の実験で利用した PC の内、予備実験の結果から性能が著しく低い PC のデータは省いている。システム内分散型モデルと比較してネットワーク分散型モデルはデータ格納性能についてクライアント数の影響が少ないことが確認できた。しかしながらデータ読み出し性能はシステム内分散型モデルの方が優れていた。

4.3 ORB を含んだ性能評価

最後にクライアントからコマンド (データ格納命令) を発行してから、サーバより結果が得られる間の時間を測定し、4.2 節と同様、クライアント数によるデータベース処理性能への影響を確認した。その結果を図8に示す。

4.2 節の実験と同様、データ格納性能はネットワーク分散型モデル、データ読み出し性能はシステム内分散型モデルが優れていた。

4.4 実験のまとめ

予備実験も含め3種類の実験を行った結果をまとめると、サーバ性能が PC レベルの場合、クライアント数の増加によるシステム性能の劣化が顕著に現れることが確認できた。特にデータ格納作業についてはデータベースでの処理が直列化され、システム内分散型モデルの場合には処理待ちのプロセスが膨大でシステム資源を浪費するために性能劣化が大きくなっていると考えられる。データ読み出し作業については、データベースシステムが複数のプロセスを同時に処理できるため、システム内分散型モデルの方が ORB による通信がシステム内で行われているために処理時間が少ないと考えられる。

5. おわりに

近年のネットワークに関連する技術の進歩は飛躍的に進んでいる。ネットワークアプリケーションの開発用言語として Java 言語は認知され、更なる改良が加えられている。また ORB 技術もネットワークプログラミングを容易にする技術として必要な機能を持っており、今後さらに一般的に利用されるようになる。

本研究ではこれらの技術を利用し、更なるシステム統合を計画している。試作した分散型データベースシステムを基盤としてネットワーク統合型生産システムの実現を目指し、簡易的な PDM の機能や各作業工程とのインタフェースの検討を行う。更に具体的な製品を対象にした実証実験を行い、提案手法の有効性を確認する予定である。

謝辞 本研究を遂行するにあたり、工業技術院 機械技術研究所 物理情報部 小島部長をはじめ、本事業に携わっている研究員の皆様には、貴重なご意見を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

文献

[1]Whiteside, R., Pancerella, C.M. and Klevgard, P., "A CORBA-Based Manufacturing Environment", Proc. Hawaii International Conference on System Science, 1997

[2]松家英雄, "機械工場におけるオープン化", 精密工学会誌, Vol.63, No.5, pp.633-638, 1997

[3]楠 和浩ら, "分散生産ライン管理・保守システムのオブジェクト指向技術に基づく設計と実装", 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.4, pp.1891-1900, 1999

[4]Sun Microsystems Computer Corporation, "Java™ Language Specification", Second Edition, 1996

[5]HORB home page, "http://ring.etl.go.jp/openlab/horb-j/"

[6]日本エクセル(株),"OBJECTSTORE PSE/PSE Pro for JAVA API ユーザガイド リリース 3.0", 1998

[7]石塚圭樹, "オブジェクト指向データベース", アスキー, 1996

[8]HDBENCH home page, "http://www.lares.dti.ne.jp/~ep82kazu/" (2000年3月24日現在)

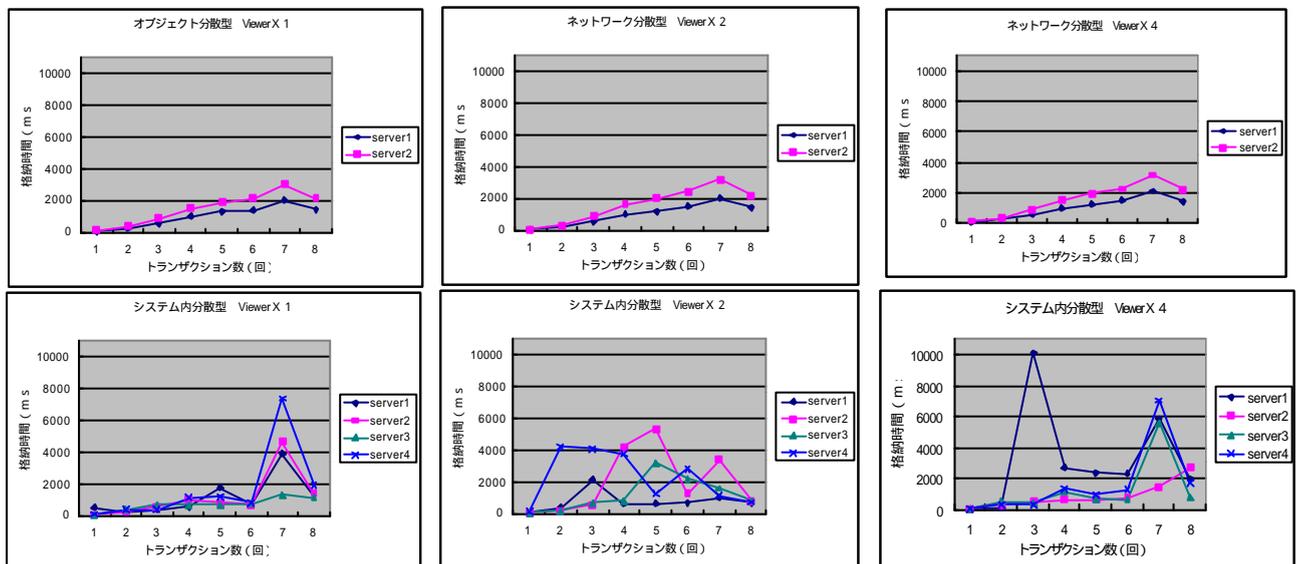


図7 データベース性能比較の結果

Fig.7 The results of the database performance test

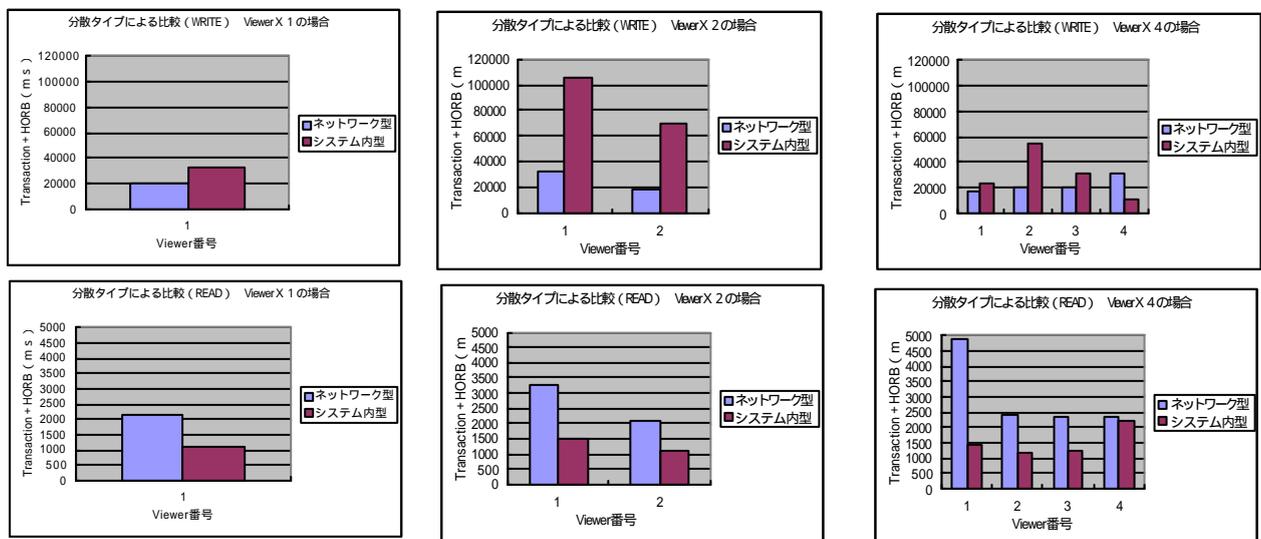


図8 ORB を含んだ場合の結果

Fig.8 The results of the performance test (includes ORB)

Fuzzy Automata and Interpolative Fuzzy Reasoning in Kansei Technology

Szilveszter Kovács*, Naoki Kubota**, Katsutoshi Fujii* and László T. Kóczy***

Abstract Application of fuzzy automata and interpolative fuzzy reasoning in Kansei Technology gives a simple way for adding user adaptivity to emotion-based selection systems (like interactive furniture selection based on human feelings in our case). One way of handling user adaptivity in emotion-based systems is a kind of combination of existing (already collected) human opinions. To add user adaptivity, this combination must be done in the function of the approximated similarities of the actual user to the existing human opinions (user models). This kind of systems has two main tasks, namely approximating the similarities of the actual user opinions to the existing user models, and the next is to combine these models in the function of the corresponding approximated similarities to get the approximated actual user model. Here we suggest to apply fuzzy automata and interpolative fuzzy reasoning for a simple way of solving these tasks.

Keywords Kansei technology, interpolative fuzzy reasoning, fuzzy automata.

1. Introduction

One of the main difficulties of building the Kansei user model in emotion-based “Kansei” selection systems is the high user dependence of the physical interpretation of the same emotional words. In most cases, the Kansei user model (the relation of the user emotion related requests (like “friendly” or “convenient”) and the physical parameters characterising the objects) has very different physical interpretations for the same emotional word in case of different users.

The first systems applied the Kansei technology were unable to handle this problem. They had only one fixed Kansei user model, generated off-line, based on a wide user inquiry, as a statistical average of the different answers [1][2]. Nowadays there are a lot of works related to the on-line user adaptivity of the Kansei user model. Some of these works applying learning methods to modify a global user model based on the on-line interventions, or interactions of the actual user [3]~[5]. We think, that there are some chance of having situations, there modifying only a small region of the user model (as a part of the on-line adaptation) can lead to incoherence (in sense of the consistency, or locality of the modification) of the user model.

Solving the problem of the probable occasional incoherence, we suggest to implement user adaptivity in the Kansei user model as an on-line variable combination of some fixed existing (off-line collected) user models.

This combination could be done globally in the manner of “more similar the actual user to one of the existing user models, more similar must be the actual user model to that user model”.

Supposing, that all the off-line collected user models are appropriate, and the combination is affecting coherently the entire user model, we hope, – that the global combinations of

the valid user models are also valid user models – we hope, that we can avoid the above mentioned accidental incoherence.

2. The adaptive Kansei user model

The main idea of the proposed adaptive Kansei user model generation is to generate the actual user model as a combination of the existing models in the following manner: “More similar the actual user to one of the existing user models, more similar must be the actual user model to that user model”.

This goal is twofold. First we have to approximate the similarities of the actual user and the existing user models, and based on these similarities, the way of combination of the existing models.

For the first task we suggest to adapt a *fuzzy automata*. Its actual state (actual similarities, see fig.1.) is a set of similarity values, the actual approximated similarities of the actual user and the existing user opinions (Kansei descriptor sets on fig.1.). The state-transitions of the fuzzy automata are driven by fuzzy reasoning (Fuzzy state transition rulebase on fig.1.) as a decision based on the previous actual state (similarities) and the similarities of an editing actual user opinion to the existing user opinions (Similarity calculations on fig.1.). Practically the modification of the actual similarities is done during the editing state of the selection system (which could be invoked any time of the selection process). This case the actual user can modify the actual similarities (state) by giving his/her

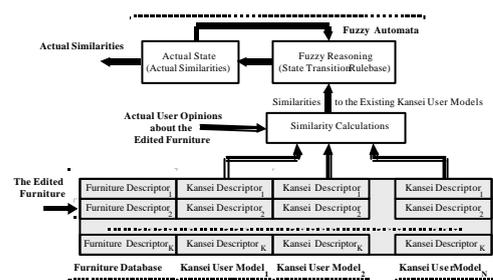


Fig.1 Approximating the actual user similarities by fuzzy automata

* Information System Division

** Mechatronics Division

*** Department of Telecommunication and Telematics, Technical University of Budapest

opinions related to the actual object (Edited furniture on fig.1.), and based on the similarities of this opinion to the existing user opinions (Similarity calculations on fig.1.), and based on the previous state, the state transition Fuzzy reasoning calculates the new actual state (similarities).

The rulebase applied for the state-transitions of the fuzzy automata (rules for interpolative fuzzy reasoning) for the i^{th} state $S_i (R_{A_i})$:

(1)

```

If     $S_i=One$    And
         $SS_i=One$   Then  $S_i=One$ 
If     $S_i=Zero$   And
         $SS_i=Zero$  Then  $S_i=Zero$ 
If     $S_i=Zero$   And
         $S_k=One$    And
         $SS_i=One$   And
         $SS_k=One$   Then  $S_i=Zero$ 
If     $S_i=One$    And
         $SS_i=Zero$  And
         $SS_k=Zero$  Then  $S_i=One$ 
If     $S_i=Zero$   And
         $S_k=Zero$   And
         $SS_i=One$   And
         $SS_k=Zero$  Then  $S_i=One$ 
    
```

where SS_i is the calculated similarity of the actual user opinion to the i^{th} existing user opinion, $k \in [1, N], k \neq i$.

The structure of the state-transition rules is similar for all the states. The reason of the interpolative way of fuzzy reasoning is the incompleteness of state-transition rulebase [6].

For the second task, for the combination of the existing Kansei user models based on the actual similarities, we

suggest to apply interpolative fuzzy reasoning.

Having all the off-line collected user models (and supposing that they are appropriate), we try to generate the actual Kansei user model as a combination of them (in a function of the corresponding actual similarities) (see fig.2.). Hoping, that if the combination is affecting coherently the entire user model, we will get a valid user model from their combination too (avoiding the accidental incoherence).

The simplest way for such a combination is the application of the interpolative fuzzy reasoning [7]. The main idea of the

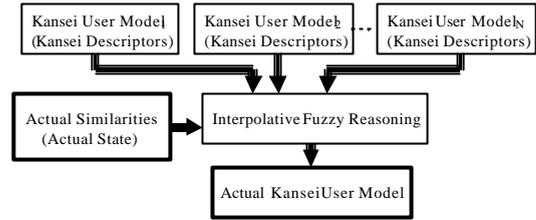


Fig.2 Interpolative combination of the existing user models to get the actual Kansei user model

proposed adaptive Kansei user model generation is - "More similar the actual user to one of the existing user models, more similar must be the actual user model to that user model" - can be directly translated to an interpolative fuzzy rulebase. (Applying interpolative fuzzy reasoning the completeness off the fuzzy rulebase is not necessary.)

The rulebase applied for the interpolative fuzzy reasoning to combine the existing user models (sets of Kansei descriptors on fig.2.) in a function of the corresponding similarities is the following:

(2)

```

If  $S_1=One$  And  $S_2=Zero$  And ... And
    
```

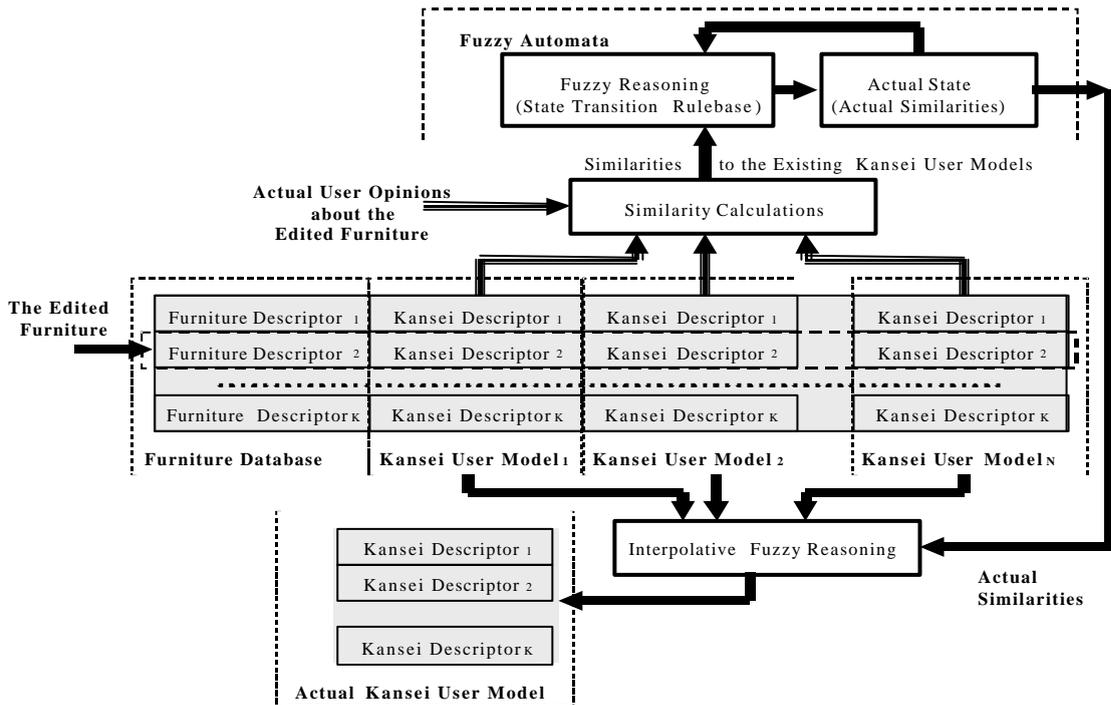


Fig.3 Structure of the proposed adaptive Kansei user model generation

```

                UN=Zero Then KD=KD1
If S1=Zero And S2=One And ... And
                UN=Zero Then KD=KD2
If S1=Zero And S2=Zero And ... And
                UN=One Then KD=KDN

```

for all the Kansei descriptors in a user model, where KD_i is the set of Kansei descriptors in the i^{th} user model, and KD is the set of Kansei descriptors of the actual Kansei user model we are searching for.

Comments: instead of interpolative fuzzy reasoning a kind of weighted average (where the weights are functions of the corresponding similarities) is also applicable (even it is not so flexible in some cases).

The structure of the proposed adaptive Kansei user model generation is introduced on fig.3.

The goal of the actual Kansei user model modifications from the actual user side is to tune the system to be closer to his/her opinions. Practically the system is starting from an initial stage (where the similarities to the existing models are equal), and in the case the user is disagree with the evaluation of the actual object (furniture) given by the system, he/she has the possibility to modify the actual user model by giving his/her opinions. In most cases the given opinions are related to one or a few Kansei descriptors of the edited object

(furniture in our case). But because of the proposed structure, all the changes are done globally (all the Kansei descriptors of an existing user model has the same weights “globally” in the actual model – not only the descriptor weights related directly to the given user opinion are “locally” modified). We hope that this kind of adaptation strategy keeps the actual user model coherent. E.g. if one of the users have exactly the same opinions as one of the existing user model (even his opinions were given through some of the Kansei parameters only), then (after a few modification, detection steps) as the best fitting existing user model, the system will use it exactly.

3. The user adaptive furniture selection

As an example of the proposed adaptive Kansei user model structure, a Kansei furniture selection system was developed (see fig.4.).

The goal of the selection system is to aid furniture (chair) selection by giving the chance to the user to express his/her requirements through emotional (Kansei) levels. The set of handled emotions is fixed to 16 emotional words related to chairs. The user is giving the requirements by selecting some of the emotional words and adjusting the corresponding sliders. On the sliders the “+”, “0”, “-” symbols are appearing only, to inspire the user to give his/her feelings in a scaleless manner (see fig.4.).

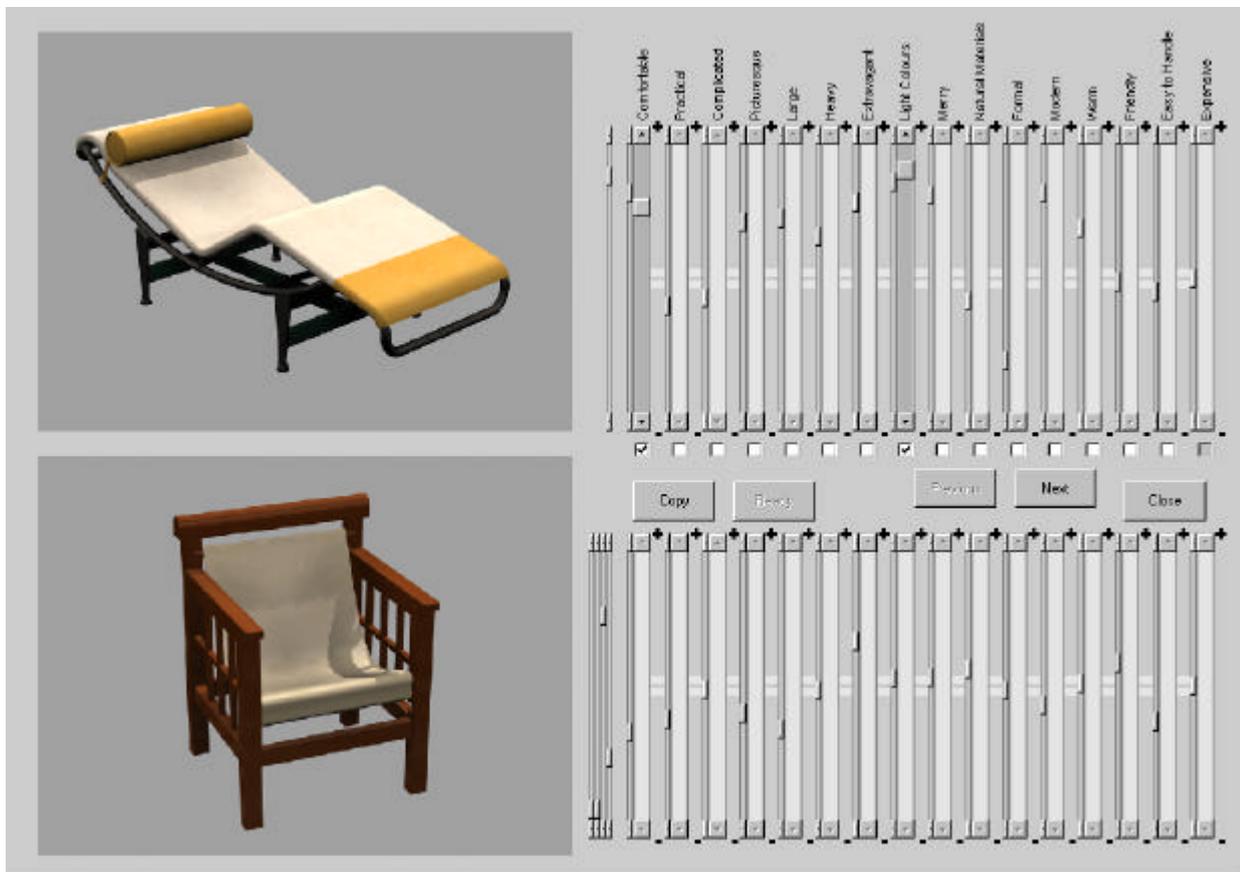


Fig.4 Screenshot of the furniture selection system

As a response of the user intervention, the best fitting chair is appearing in the working window. The same time the system gives all the Kansei values (16 in our case) related to the furniture on screen, fetched from the actual Kansei user model. These values are appearing the same manner, on sliders (side by the user sliders, see fig.4.), as the user was giving his/her requirements. This method inspires the user to make modifications in more/less, small/big differences manner – relative to the furniture on screen.

3.1 The Kansei user models

The existing Kansei user models were generated based on questionnaires. Some persons (four in our case) were asked to give their opinions about chair pictures. The inquired persons had to make a partial ordering of a set of pictures of 43 different chairs. For each emotional (Kansei) attributes in the questionnaire, the inquired persons were first asked to make a rough order of the pictures into seven groups: very ~, ~, a little bit ~, ?, a little bit not ~, not ~, very not ~ - where ~ is the actual Kansei attribute. Than he/she was asked to partially order the pictures of the same groups. (Partially ordering was meant as ordering in the case of the pictures are distinguishable in respect to the Kansei attribute, and signing equality, if they are indistinguishable.) See e.g. on fig.5.

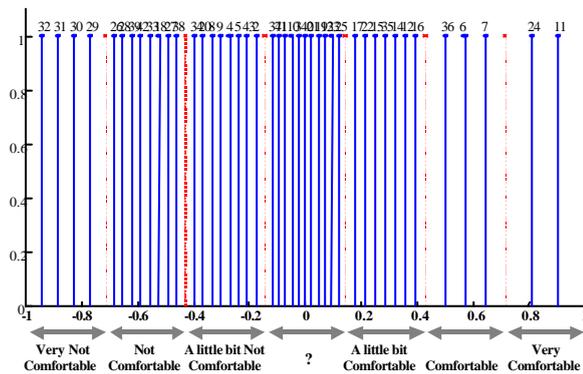


Fig.5 Interpolative combination of the existing user models to get the actual Kansei user model

The answers than translated to real values of the [-1,1] interval, according to equal width of the seven attribute group, and equal distances of the elements of the same group in the manner of partial ordering (equal values for the indistinguishable ones) (see e.g. on fig.5.). These values are forming the Kansei descriptors. The Fuzziness of the Kansei descriptors are characterised by constant scaling function [8] (like similar isosceles triangle shaped fuzzy sets). All of these values for all the emotional attributes are forming the Kansei user model.

As we had a sample application only, there were a small query made, only four persons were asked about their opinions. As a result we get four existing Kansei user models. See an example of the different ranking of the same chair with respect to 16 different Kansei attribute of four persons we asked on fig.6.

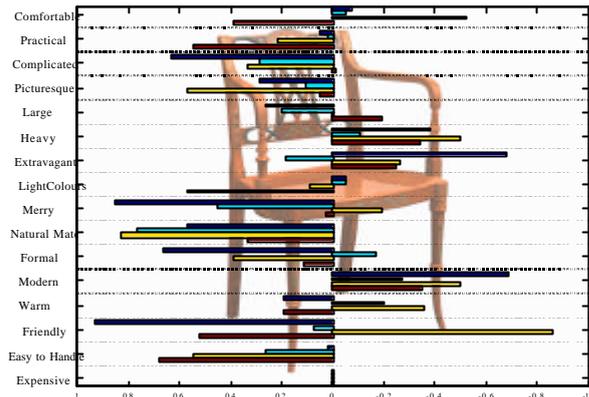


Fig.6. Different user opinions about the same furniture

3.2 The selection system

According to the proposed structure on fig.1., our system has four Kansei user model (four set of Kansei descriptors - values characterising the human feelings related to the database elements) and a set of furniture descriptor - picture, or CAD description of a furniture (picture in our case).

The actual Kansei user model is generated as the combination of the existing Kansei user models based on the actual similarities, by interpolative fuzzy reasoning (as it is proposed in section 2., using the rulebase (2)).

The initial value of the actual similarities (initial state of the

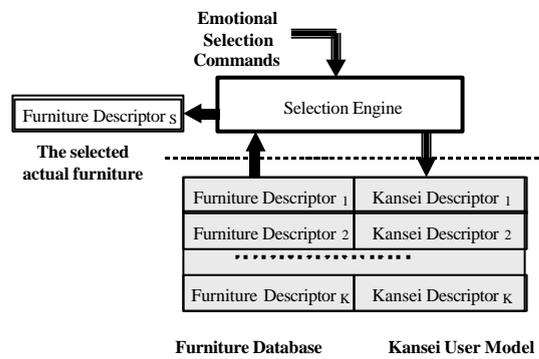


Fig.7. The selection engine

fuzzy automata) is a vector of 0.5.

The actual selection is done by a selection engine (fig.7.). The task of the selection engine is to select the furniture descriptors from the furniture database which have the closest actual Kansei descriptor to the user requirements. The similarities are calculated as distances in Euclidean sense. Having a user selection command, the best fitting (closest) furniture is put on screen. Than the user can use the Next (Previous backward) button to view the next best fitting furniture (fig.4.).

The same time as the furniture appearing on the screen, the system shows its Kansei descriptors (fetched from the actual Kansei user model). These values are appearing the same manner, on sliders (side by the user sliders, see fig.4.), as the user was giving his/her requirements.

In the case the user is disagree with the evaluation given by the system, he/she can give his/her opinions by copying the actual furniture to the editing window (bottom of the screen on fig.4.) and adjusting some of the bottom sliders. Pressing the Ready button, the system recalculates the actual similarities (as it was introduced in the 2. section)

The similarities (SS_i) of the given user opinions and the i^{th} existing Kansei user model is calculated using the following formula (applying functions of the Fuzzy c-Means fuzzy clustering algorithm [9]):

$$SS_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^N \left(\frac{d_i}{d_j} \right)^{\frac{2}{m-1}}}$$

where $d_k = \|\mathbf{x} - \mathbf{v}_k\|$, the distance (measure of dissimilarity) of the user opinions (Kansai descriptors) \mathbf{x} and the Kansei descriptors of the edited furniture in the k^{th} existing Kansei user model \mathbf{v}_k , m is a weighting exponent (usually $m=2$).

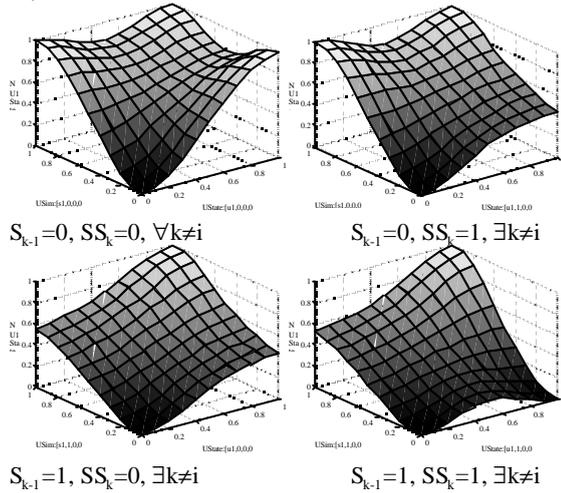


Fig.8. Some i^{th} state-transition surfaces of the fuzzy automata $S_i(SS_i, S_{i-1})$

The fuzzy automata (as it is proposed in section 2.) using the rulebase (1). Its initial state (initial value of the actual similarities) is a vector of 0.5.

Corresponding to the rulebase (1), some of the state-transition surfaces of the fuzzy automata are shown on fig.8.

4 Experiences

Checking the efficiency of the proposed structure, as it deals with emotional parameters, is not easy.

At least for checking the ability of approximating the user opinions, we made a test user model set. These user models are containing only one Kansei descriptor and one furniture. By the first user model, this furniture is very not ~, by the second a little bit not ~, by the third a little bit ~, by the fourth very ~. Running the actual user opinions through all the universe $[-1, 1]$, as a step function (repeating the same requirements 10

times, than jump), we got the actual Kansei user model as shown on fig.9. The notation of the figure is the following: KVU_i is the i^{th} user model (only one Kansei descriptor), S_i is the i^{th} element of the state vector (actual level of similarity to the i^{th} user model), U_{req} is the user requirement, and $SysApprox$ is the actual Kansei user model (only one Kansei descriptor).

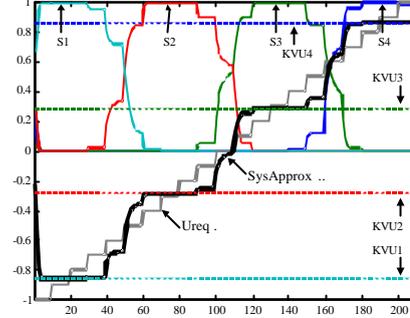


Fig.9. Test user model set, step user requirements

For testing the robustness of the system against random noise, we used the above introduced test user model set. This case the input actual user opinions was a constant value superimposed with random noise. The actual Kansei user model we got this case is shown on fig.10. (The notation of the figure is the same as fig.9.)

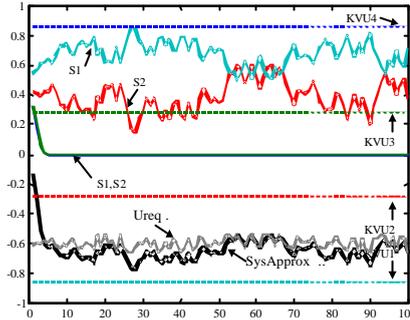


Fig.10. Test user model set, constant noisy user requirements

Repeating the first test (step function actual user opinions), using the real Kansei user model set, we got the result shown on fig.11. (The notation of the figure is the same as fig.9.)

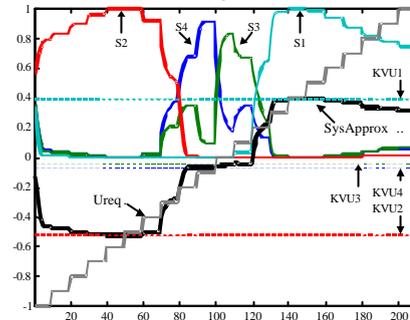


Fig.11. The selection engine

5 Conclusion

The main benefit of the proposed structure is to give a simple way for adding user adaptivity to emotion-based selection systems. Having different existing Kansei user

models, it achieves user adaptivity simply by combining them (in interpolative manner) in the approximated best fitted way to the actual user, in the manner: “More similar the actual user to one of the existing user models, more similar must be the actual user model in use to that user model”. Because of this strategy, the proposed structure can handle many different user model parallel, even if they are in contradiction with each other.

Basically the “adaptive knowledge” of the system related to the actual user is not a new adapted user model, but a set of approximated similarities, the similarities of the actual user to the existing user models.

We hope, this kind of structure, the global similarity based combination of existing user models, is able to avoid incoherence could caused by step by step partial modifications of the user model.

Because of the interpolative properties of the user model combination, the proposed system is unable to follow user requirements outside the area covered by the existing user models (see e.g. on fig.11.). In other words, the system cannot go beyond its existing “knowledge”. The only solution of this problem is extending the number and the variety of the existing user models. The goal is to cover the state space by user models as much as it is possible (e.g. collecting the different opinion sets of different typical user types, or user clusters, as deep as possible).

Adopting interpolative fuzzy reasoning for user model combination, and fuzzy automata for user similarity approximation makes the proposed structure very flexible, simple to build, and easily adjustable.

References

- [1] K. Imamura, J. Nomura, *Kansei Structural Modelling for Virtual Kitchen Design System*, Proceedings of International Conference on Virtual Systems and Multimedia, Gifu, Japan, pp. 317-322, 1996
- [2] K. Fujii, N. Ohno, T. Kato, *Shape Design Using KANSEI*, Proceedings of International Conference on Virtual Systems and Multimedia, Dundee, Scotland, pp. 463-469, 1999
- [3] K. Yoshida, T. Kato, T. Yanaru, *Image Retrieval System Using Impression Words*, Proceedings of IEEE International Conference System, Man and Cybernetics, 98CH36216, pp. 2780-2784, 1998
- [4] N. Bianchi Berthouze, L. Berthouze, T. Kato, *A Visual Interactive Environment for Image Retrieval by Subjective Parameters*, Proceedings of IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing, Copenhagen, Denmark, p. 6, 1999
- [5] N. Bianchi Berthouze, T.kato, *A Dynamic Interactive Kansei User Model*, Proc. of IEEE International Conference System, Man and Cybernetics, Tokyo, Japan, IV, pp. 358-363, 1999
- [6] L. T. Kóczy, K. Hirota, *Interpolative reasoning with insufficient evidence in sparse fuzzy rule bases*, Information Sciences, Vol. 71, pp. 169-201, 1992
- [7] Sz. Kovács, L.T. Kóczy, *Approximate Fuzzy Reasoning Based on Interpolation in the Vague Environment of the Fuzzy Rule base as a Practical Alternative of the Classical CRI*, Proceedings of the 7th International Fuzzy Systems Association World Congress, Prague, Czech Republic, pp. 144-149, 1997
- [8] F. Klawonn, *Fuzzy Sets and Vague Environments*, Fuzzy Sets and Systems, 66, pp207-221, 1994
- [9] J.C. Bezdek, *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function*, Plenum Press, New York, 1981.

ネットワークを介した人間・ロボット共生に関する研究

柘植英明* 福田敏男** 新井史人***

飯田佳弘* 西嶋 隆*

Cooperative Operation between Human and Robot of Master-Slave System Using Network

Hideaki Tsuge*, Toshio Fukuda**, Fumihito Arai***,
Iida Yoshihiro* and Takashi Nishijima*

あらまし 現在、遠隔操作システムは人が直接作業を行なうことができない多くの場所で利用されているが、操作に相当の訓練が必要であるため、操作性の向上が期待されている。そのなかで、仮想空間を利用した遠隔操作システムは、操作性を改善する一つの方法として注目されている。しかし、仮想環境は、時間遅れが生じるシステムの操作改善や、操作誘導などを目的として利用されており、任意の視点から操作が可能であるという特徴を生かしたシステムについては、ほとんど議論されていない状況にある。我々は、マスタの操作方向、反力方向が、仮想空間内の視点に基づいた仮想ツールの移動方向、反力方向に常に一致する遠隔操作モデルを提案し、その操作性について評価を行なう。さらに、ネットワークを利用したマスタスレーブ型遠隔操作システムの構築を行ない、仮想空間内での作業における操作環境提示手法を検討する。仮想空間内での操作実験により、提案する遠隔操作モデルは、従来手法よりも有効であることを確認した。

キーワード バーチャルリアリティ、遠隔操作、ユーザインタフェース

1. はじめに

遠隔操作は、宇宙空間、原子炉内、バイオテクノロジー分野におけるマイクロマニピュレーション等、人間が直接作業を行うことが困難な環境において使用されている[1]。また、生産現場等においては、3K作業(研磨作業等)から作業者を解放するため、遠隔操作を利用するための試み[2]~[4]が行われている。しかしながら、遠隔操作を行うためには、相当の熟練した技能が必要となり、このことが遠隔操作システム導入における大きな問題点の一つになっている。

一方、コンピュータグラフィックス等の発達により、人工的に作り上げた仮想空間の中で、人があたかも現実の世界と同様な体験をする仮想現実感(Virtual Reality: VR)の研究が盛んに行われるようになった。近年では、VRの研究は、単なる映像の提示だけでなく、

触覚や聴覚等を対象とした研究も盛んに行われ、様々な分野への応用が試みられている[5]。

遠隔操作においても、操作性を改善するためにVR技術を利用した遠隔操作に関する研究が行われている[6]~[9]。G.Hirzingerら[6]は、NASAのスペースシャトル用マニピュレータシステム(ROTEX)において、仮想空間内で動作シミュレーションを行うことにより作業データを生成し、そのデータを宇宙作業ロボットへ送信するシステムを提案した。これにより、マスタとスレーブ間の時間遅れから生ずる操作の困難さを改善した。森川ら[7]は仮想空間内の動作シミュレーションにおいて、仮想ガイドを設定することにより、マスタにおける作業指示に関する操作性の改善を図った。堀江ら[8]は、仮想空間を用いた遠隔操作において、実環境から実際にスレーブアームが受ける反力をマスタにフィードバックさせることにより、作業中に環境から受ける反力をオペレータが感じることを可能にし、これにより操作性の改善を図った。E.Natonekら[9]は、CCDカメラからの画像により、対象物の位置・姿勢を計測し、あらかじめ登録した形状データを用いて、リアルタイムに対象物のモデルを仮想空間上に提示する手法を開発した。この手法においては、任

* メカトロニクス応用部
Mechatronics Division

**名古屋大学先端技術共同研究センター
Center for Cooperative Research in Advanced Sci. & Tech.,
Nagoya University

***名古屋大学大学院工学研究科マイクロシステム工学専攻
Department of Micro System Engineering, Nagoya
University

意の視点から作業空間の表示が可能である．これらの研究においては，マスタとスレーブ間の時間遅れから生ずる操作の困難さの改善や操作の誘導および力覚の提示等による操作性の向上を目的に仮想環境を利用しており，作業に対する視点を考慮した操作環境提示については，異なる視点からの画像提示に留まり，作業視点と操作性については積極的な議論はされていない．しかし，仮想環境を使用する利点の1つに，任意の視点からの作業提示が可能であることがあり，これを生かした操作性の向上に関する議論は必要である．

以上を踏まえ，本論文においては，VR技術を利用した遠隔操作のモデルに関して，マスタの操作座標系を仮想空間内の視点座標系に一致させる新たな遠隔操作モデルを提案し，提案したモデルの操作性を評価するために従来手法との比較実験を行う．さらに，ネットワークを利用した遠隔操作システムを構築し，仮想空間内での作業における操作環境提示の手法について検討する．

2. 遠隔操作モデル

2.1 遠隔操作モデルの提案

本章では，VR技術を利用した遠隔操作モデルに関して，マスタの操作座標系を仮想環境内の視点座標系に一致させる新たな遠隔操作モデルを提案する．図1に提案するモデルの概要を示す．提案モデルにおいては，オペレータは仮想空間に対して，視点(V)を設定する．仮想空間は，あらかじめ登録された実環境に関するモデルと，実環境からの画像データおよびマスタとスレーブに関する位置座標のデータを基に構成され，視点からの画像をオペレータに提示するとともに，視点座標系とスレーブの座標系の関係を示す 3×3 変換マトリックス(T:視点操作型マトリックス)を生成する．オペレータがマスタに施した操作量は，視点操作型マトリックスにより，視点座標系から見たスレーブの運動量へ変換さ

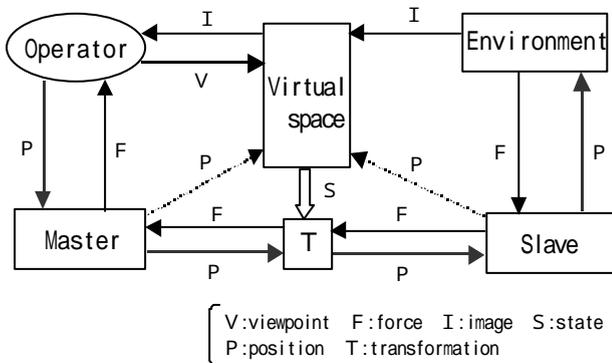


図1 視点を考慮した遠隔操作モデル

Fig.1 Tele-manipulation system using viewpoint Information

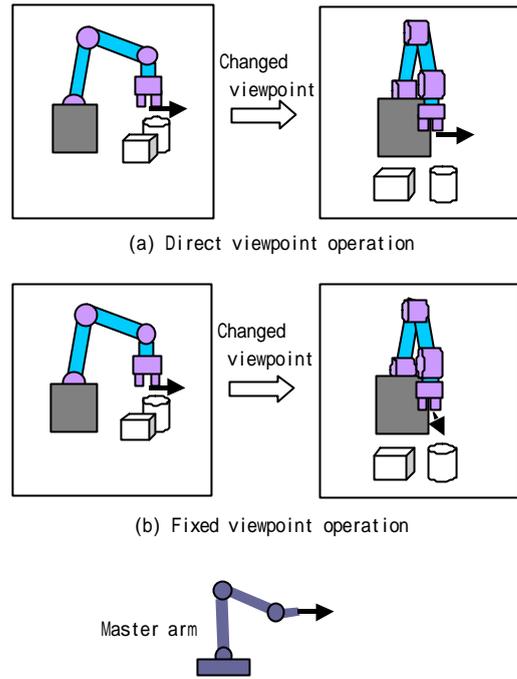


図2 直接視点操作と固定操作

Fig.2 Direct viewpoint operation and fixed viewpoint operation

れる．また，実環境からスレーブが受ける反力は，視点操作型マトリックスにより，視点座標系から見た反力に変換され，マスタへの提示力となる．

提案するモデルの特徴としては，マスタの操作座標系が提示画像に一致しているため，視点が変わっても，オペレータが容易にその操作座標系を理解できることである．さらに，変換マトリックスは，単なる座標間の変換行列ではなく，スケールファクタを含んでいるため，視点が作業の注視点に近い場合や遠い場合に対応した操作量を決定することが可能であることがあげられる．

ここで，本研究で提案する手法を従来手法と区別するために，遠隔操作における操作手法を次のように定義する．

直接視点操作 (Direct Viewpoint Operation: DVO)

提示画像の視点に基づいてマスタの操作座標系と仮想アームの操作座標系の方向を一致させた操作系における操作

固定視点操作 (Fixed Viewpoint Operation: FVO)

提示画像の視点に関係なくマスタの操作座標系と仮想アームの操作座標系の方向が固定されている操作系における操作

直接視点操作が本論文で提案する操作手法であり，図2(a)に示すように，視点を変化させても仮想アームとマスタの操作座標系の方向が一致する．固定視点操作は，従来の遠隔操作の中で用いられてきた操作手法であり，図2(b)に示すように視点を変化させると，仮想アームとマスタの操作座標系の方向が一致しなくなる．

3. 遠隔操作モデルの評価

3.1 実験装置

本研究で使用した実験装置の概要を図3に示す。実験装置は、制御用PC、3自由度の力覚提示デバイスおよび液晶メガネからなる。オペレータは液晶メガネを装着し、ディスプレイ上に表示する仮想環境を立体視しながら、力覚提示デバイスを用いて仮想環境中の仮想ツールを操作する。このとき、視点操作はキーボードにより行う。

3.2 課題作業

本研究では、遠隔操作における基本的な作業要素である位置決め作業と倣い作業を含む課題作業として、楕円を指定位置より1周トレースするという作業を設定する。この課題作業を行うために、図4に示すような仮想環境を設定する。仮想環境は、台座、それに垂直な壁面および仮想ツールから構成し、壁面には、課題作業を行うための楕円を描く。楕円の大きさは、長径10.5ピクセル、短径7ピクセルである。

実際の作業は、直接視点操作および固定視点操作により被験者がディスプレイ上に提示した楕円を仮想ツールで指定位置から時計方向に1周トレースすることにより行う。この作業の開始点は図4に示すように楕円最上部（直線と楕円との交点）とする。また、作業中においては、ディスプレイ上に被験者が仮想ツールで描いている軌跡を表示することとする。表示する軌跡は、壁面へ被験者が加える力の大きさに応じてその太さを変化させる。この理由は、被験者が作業開始直後の壁面からの反力に慣れてしまうことにより、仮想ツールへ加える力が徐々に

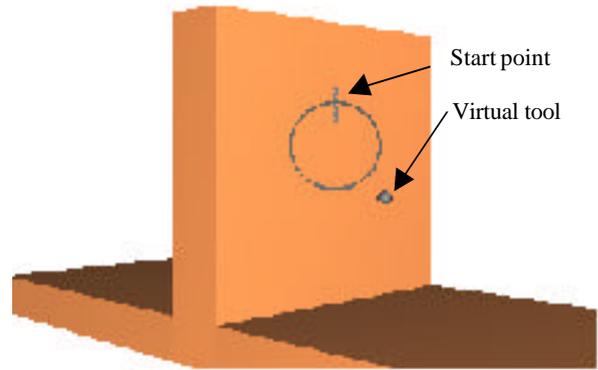


図4 仮想環境

Fig.4 Virtual environment

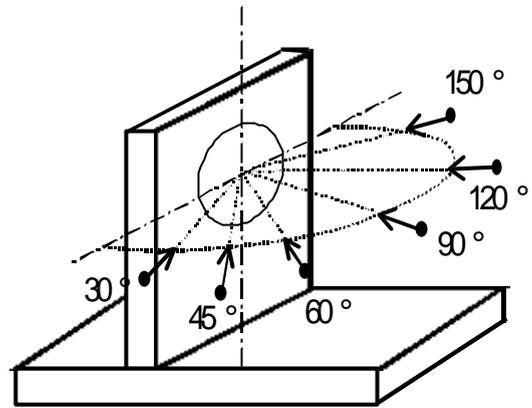


図5 視点角度

Fig.5 View angle in the Virtual environment

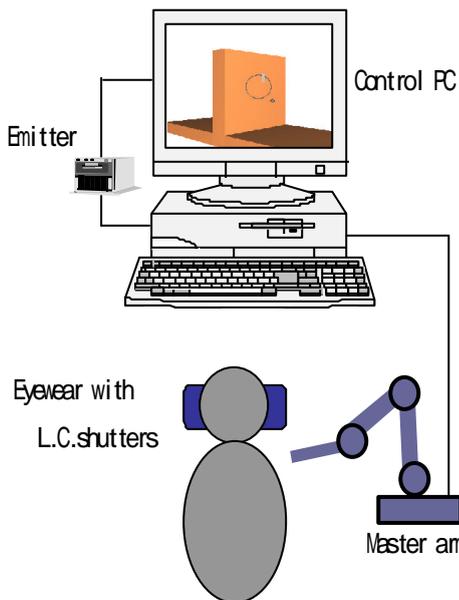


図3 実験装置

Fig.3 Experimental system

に大きくなることを回避するためと被験者間の仮想ツールと壁面との接触力のばらつきを小さくするためである。さらに、楕円上を一定の速さで移動する速度マーカを表示する。これは、被験者間の作業時間のばらつきを小さくするためである。

3.3 実験方法

実験は、経験による影響を避けるため、被験者の半数が直接視点操作、残り半数が固定視点操作から実験をそれぞれ1回づつ行う。実験においては、どちらの視点操作に関しても、最初に視点角度が45°において練習を3回行い、その後に視点角度が30°、45°、60°、90°、120°、150°の順に作業を行う。ここで、視点角度は、壁面と視線がなす角度（図5）であり、実験における注視点は、壁面に描かれた楕円の中心とし、視点と注視点の距離（拡大率）は、どの視点角度に関しても同じとする。また、固定視点操作における、マスタの操作座標系と仮想ツールの操作座標系は、視点角度が45°のときそれらの方向が一致するようにする。これにより、被験者が直接視点操作、固定視点操作のいずれの操作を行っても、視点角度が45°のときは同じ操作となる。

3.4 実験結果

10人の被験者が行った作業に関して、作業評価と主観評価を行った結果を以下に示す。

(1) 作業評価

作業の評価は、1) 作業開始位置の誤差、2) 提示した楕円とトレースした楕円との誤差(以下 作業誤差)、3) 壁面への仮想ツールの接触力について行った。ここで、1) は位置決め作業の精度、2) は倣い作業における作業の位置に関する精度を評価するための指標として、3) は倣い作業における力の制御に関する特性を評価するために行う。

作業開始位置の誤差による評価

図6に、作業開始位置の目標位置からの誤差の平均と標準偏差を示す。両操作とも視点角度に対する誤差の変化の傾向は、同じになった。しかし、視点角度が、120°と150°においては、固定視点操作による作業開始位置の誤差は、直接視点操作のそれよりも非常に大きくなった。この結果から、直接視点操作は、固定視点操作に比べ位置決め作業精度への視点の影響が小さいことがわかる。

作業誤差による評価

作業誤差は、提示した楕円の中心から円周方向に引いた直線と交差する楕円上の点と、被験者がトレースした軌跡上の点との距離で評価した。図7に、作業誤差の平均と標準偏差を示す。作業誤差においても、視点と作業誤差の関係は、作業開始位置の誤差の場合と同じ傾向になった。特に、視点角度が、150°においては、固定視点操作による作業誤差は、直接視点操作のそれよりも非常に大きくなった。この結果から、直接視点操作は、固定視点操作に比べ作業誤差への視点の影響が小さいと言える。

接触力の評価

図8に作業中の仮想ツールと壁面の接触力の平均と標準偏差を示す。接触力は、両操作における接触力において大きな違いは認められなかった。これは、作業中の接触力は操作方法の違いによる影響が小さいことを示している。

以上の結果から、固定視点操作においてマスタの操作方向と仮想ツールの移動方向が少し異なる場合は、両操作間にはほとんど差異は生じない。これは、オペレータが操作方向と仮想ツールの移動方向のズレを調節して操作を行うことが可能であることを示している。しかし、操作方向と仮想ツールの移動方向のズレが45°を越えたくらいから徐々に混乱が生じはじめ、90°を越えると操作に大きな混乱が生じ、両操作間の操作結果に顕著の差が見られるようになる。これは、操作方向のズレが90°を越えると、マスタの操作方向と提示画像における仮想ツールの移動方向が見かけ上反転し、このことが操作を大きく混乱させると考えられる。また、接触力については、視点に関係なく両操作間に顕著な差は認められ

なかった。これは、被験者に壁面からの反力が提示されていることにより、力を加える方向が容易に把握できるため、力を一定に保って操作を行うためであると考えられる。

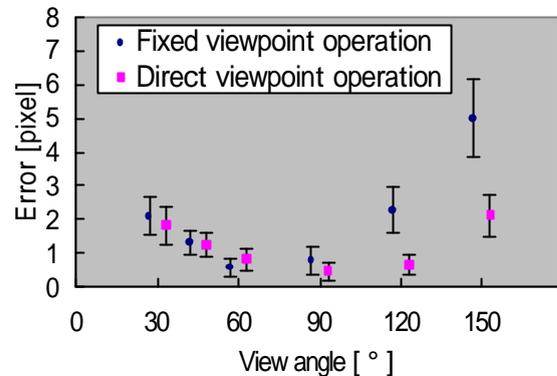


図6 作業開始位置の誤差

Fig.6 Start position error

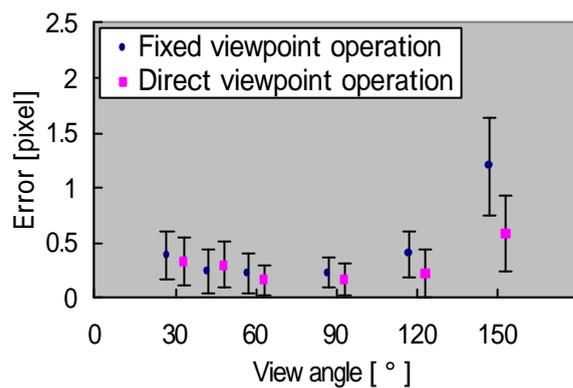


図7 作業誤差

Fig.7 Operating accuracy

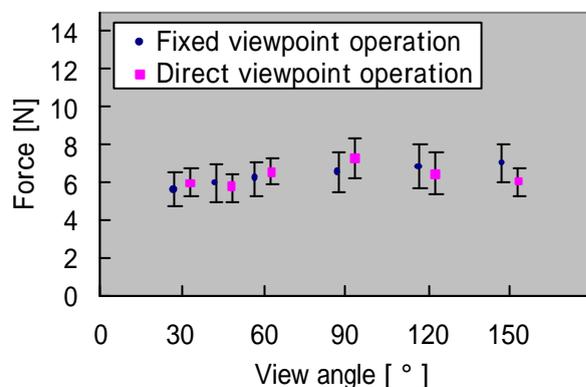


図8 接触力

Fig.8 Reaction force

4. ネットワークを利用した遠隔操作システムの開発

4.1 システム構成

図9に、ネットワークを利用した遠隔操作システムの概要を示す。本システムは、オペレータが操作を行なうマスタアーム、仮想環境をオペレータへ提示するVR提示用PC、キャリブレーション用の画像を表示する画像提示用PC、および実際に作業を行う移動ロボットから構成されている。移動ロボットは、移動を制御するPCと、アーム、6軸力センサの制御を行なうPCから構成されている。これらの各構成要素は、ネットワークによって接続されており、表1に示すような制御データおよび操作コマンドの送受信を行う。ただし、画像データは、ロボットに取り付けられているステレオCCDカメラから画像表示用PCへ直接取り込んでいる。

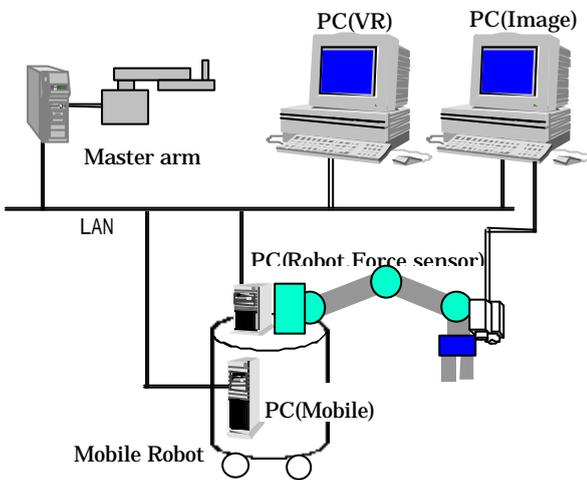


図9 システムの概要

Fig.9 Description of system

表1 制御データおよび操作コマンドの一覧

Chart.1 List of control data and operation command

制御データ, 操作コマンド	説明
T[4][4]	アームの位置・姿勢を表す 4 × 4 同時変換行列
F[6]	アーム先端に加わる外力
・ F[0] ~ F[2]	アーム先端に加わる力
・ F[3] ~ F[5]	アーム先端に加わるモーメント
B[7]	マスタのボタン情報
・ B[0] ~ B[3]	台車の前後移動, 左右回転
・ B[4]	ツールを閉じる
・ B[5]	キャリブレーションの実行
・ B[6]	プログラムの終了
P[2][3]	マーカの座標点 (2点)
V[4][4]	視点の位置・姿勢を表す 4 × 4 同時変換行列
X[3]	台車の移動量

このシステムでは、オペレータがマスタを操作することにより、マスタアーム先端の位置・姿勢を表す行列 (T[4][4]) は変化する。この行列をロボットが受信することにより、ロボットは移動位置を計算して動作をする。また、マスタアームには、表1に示すような操作コマンド(B[7])を割り当てており、台車移動等の操作を行なう。さらに、ロボットの手先に取り付けられている6軸力センサの値 (F[6])を受信し、その力をスケーリングして提示する。

4.2 ステレオ計測によるキャリブレーション

本システムでは、移動ロボットが作業台に接近し、作業を行うことを想定しているため、移動ロボットと作業台との位置・姿勢の校正 (キャリブレーション) を行う必要がある。本研究では、ステレオ計測により作業台に設置されているマーカを計測し、キャリブレーションを行なうこととした (図10)。

オペレータは台車を操作して作業台に接近し、作業台上のマーカをアームに取り付けられているステレオカメラで捉え、2点のマーカ位置の計測を行う。この位置データ (P[2][3]) をVRディスプレイへ送信し、仮想環境を構築する。その後、オペレータは、構築された仮想環境を見ながら作業を行う。

4.2.1 キャリブレーションの精度

本システムの精度は、キャリブレーション精度に大きく依存する。よって、その測定精度を確認するために、高さ500mmから、大きさ5mm、間隔50mmの2つのマーカについて位置を変えながら50回計測を行った。その結果、高さ方向では、約±2mmの誤差を生じたが、マーカ間隔の誤差は、約±0.5mmであった。

4.3 自動視点による操作支援方法の提案

仮想環境内では、オペレータは作業を行いやすい視点を選択して作業を行うことになる。しかし、オペレータにとって、視点操作などの作業に付随する操作は、できる限り自動的に行なわせることが望ましい。これにより、オペレータは実際の作業のみに集中でき、作業をより早

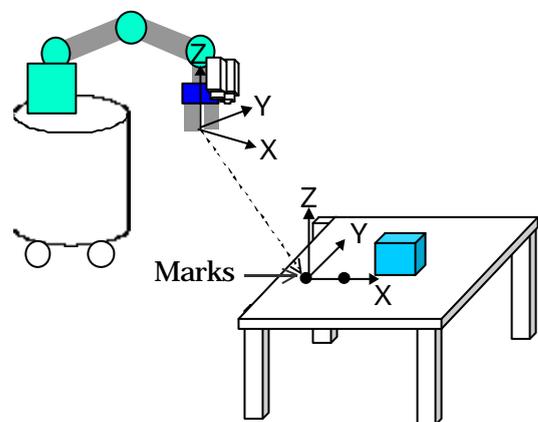


図10 キャリブレーションの概要

Fig.10 Description of carivlation

く遂行することが可能となる。しかし、提示画像の視点を完全に自動とすることは、オペレータの作業意図を理解しない限り、逆に操作性を悪化させることになる。よって、本システムでは、複数のサブ画面に異なる視点からの画像を提示しすることにした。これにより、オペレータは作業を行いやすい視点からの画像を随時選択し、その視点からの作業を行うことができる。

4.3.1 自動視点の計算手法

サブ画面に提示する画像の視点は、以下の5項目の方法により決定する。

- (a) オブジェクト形状重視の視点
- (b) オブジェクトとツールとの相対位置重視の視点
- (c) オブジェクトとツールとの相対姿勢重視の視点
- (d) ツール上からオブジェクトへの視点
- (e) 作業内容の重視の視点(タスクに依存)

(a)は、現在の視点から目視できるオブジェクトの面ベクトルの総和と現在の視点・注視点間距離から、オブジェクト形状重視の視点を求めた。(b)は、オブジェクトとツールとの相対位置関係が認識しやすい視点とし、ツールからオブジェクトへ向かうベクトルを認識しやすい視点を求めた。(c)は、(a)の考え方をツールに適用し、それぞれのベクトルの総和と現在の視点・注視点間距離から相対姿勢重視の視点を求めた。(d)は、ツール上からオブジェクトへ向かう視点とした。(e)は、(a)~(c)で求めたベクトルに係数を乗じ、ベクトルの総和を計算し、現在の視点・注視点間距離から視点を求めた。図11に、操作画面の一例を示す。

5. まとめ

本研究により、以下の結果を得た。

(1) VR技術を利用した遠隔操作のモデルに関して、マスタの操作座標系を提示画像に一致させる新たな操作

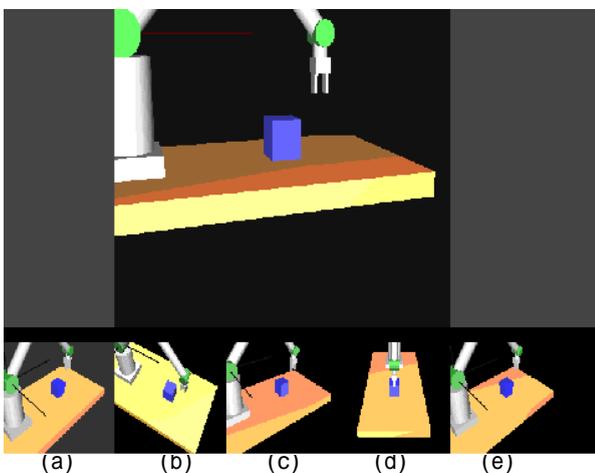


図 11 操作画面

Fig.11 Display of operation

モデルを提案した。提案したモデルの特徴としては、1) マスタの操作座標系が提示画像に一致しているため、視点が変わっても、オペレータが容易にその操作座標系を理解できること、2) 変換マトリックスが、スケールファクターを含んでいるため、視点が作業の注視点に近い場合や遠い場合に対応した操作量を容易に変更することが可能であることがあげられる。また、提案したモデルの有効性を確認するため、従来の視点に関係なくマスタの操作座標系が固定されている操作系を使用した場合と提案した操作系を使用した場合の操作性を実験により比較した。その結果、提案したモデルは作業評価において、従来手法に比べ高い評価を得た。

(2) ネットワークを利用した遠隔操作システムを構築し、仮想環境での作業における操作環境提示手法について検討した。

今後は、本システムを利用して、人とロボット各々の特徴を生かすことが可能な遠隔操作システムの開発を目指し、さらに研究を行なう予定である。

文 献

- [1] 新井史人, 石川記尉, 小野村陽一, 福田敏男, 前田明, "バイオマイクロマニピュレーションに関する研究", 第16回日本ロボット学会学術講演会, pp1057-1058, 1998
- [2] 小菅一弘, 伊藤友孝, 福田敏男, 大塚まなぶ, "受動性に基づくテレマニピュレータのTask-Oriented制御", 日本機械学会論文集(C編), pp203-208, 1995
- [3] 石光衛, "人工現実感技術を用いた異世界間の操作・加工システム", 日本ロボット学会誌, pp65-76, 1992
- [4] 神野誠, 吉見卓, 阿部朗: "遠隔グライダロボットの研究", 日本ロボット学会誌, Vol10, pp244-253, 1992
- [5] 岩田洋夫, "人工現実感生成技術とその応用", サイエンス社, pp8-107, 1992
- [6] Gerd Hirzinger, Bernhard Brunner, Johannes Dietrich, Johann Heindl, "Sensor-Based Space Robotics-ROTEX and Its Telerobotic Features", IEEE Trans.on Robotics and Automation, pp649-663, 1993
- [7] 森川自, 高梨伸彰, 中村和夫, 木村真一, 土屋茂, 永井康史, "仮想反力帰還型マスタアームによるETS-搭載アンテナ結合機構着脱実験", 第17回日本ロボット学会学術講演会, pp305-306, 1999
- [8] 堀江貴雄, 田中和明, 鄭緯宇, 安部憲広, 何守然, 瀧寛和, "力覚フィードバックを用いた遠隔地のロボットアームの直接教示", 日本バーチャルリアリティ学会第3回大会論文集, pp31-34, 1998
- [9] E.Natonek, Th.Zimmerman, L.Fluckiger, "Model Based Vision as feedback for Virtual Reality Robotics Environments", IECON, pp110-117, 1995

ネットワーク負荷に対応する作業環境提示技術の研究

今井 智彦* 飯田 佳弘* 藤本 英雄** 佐野 明人**

Research on Display Method of Working Environment Considering Network Load

Tomohiko Imai*, Yoshihiro Iida*, Hideo Fujimoto** and Akihito Sano**

あらまし ネットワークロボティクスにおいて、画像情報は操作者が作業状態を確認する際に利用する非常に重要な情報である。しかし、ネットワーク負荷の状態により通信遅れが変動するため、安定した画像情報のやり取りができない。このため、操作者が作業状態を確認することが困難となり、作業精度など操作性が低下する。そこで、ネットワーク負荷を計測してこの結果を基に操作者にとって作業に必要なエリアのサイズまたは画質を変化させて、伝送する画像情報量を調整することにより、操作性の低下を防ぐという手法を提案し、実験によりその有効性を確認した。

キーワード ネットワークロボティクス、画像伝送、ネットワーク負荷、通信遅れ

1. まえがき

近年の急速な情報通信技術の発展に伴い、インターネットを代表とするコンピュータネットワークが社会に広く普及しつつある。一方、ロボティクスの分野ではテレロボティクスの研究が長い間続けられてきており、これをネットワークと結びつけられないかという発想からネットワークロボティクスという分野が拓かれて現在研究が盛んに行われている[1]。

ネットワークロボティクスにおいて、画像情報は操作者が作業状態を確認する際に利用する非常に重要な情報である。画像情報が必要な作業には、へき地での遠隔手術、遠隔からの家庭保守や簡単な介護作業などのような遠隔マニピュレーションがある。また、画像情報が必要となる応用例には、工場内の機器監視などがある。工場内の機器監視には通常監視専用の回線を使用する。しかし、最近では工場内で生産管理情報等のやり取りをするために LAN が構築されつつあるので、これを利用できれば工場内の監視設備を簡素化でき、設置する際のコストを抑えることができると考える。

このようにネットワークを通じて遠隔地との間で画像情報をやり取りすることは有益である。しかし、ネットワークには通信遅れという問題がある。離れた場所にある機器間を直接回線で接続した場合、通信遅れはほぼ一定となる。一方、インターネットのように他の機器が接続されている場合、ネットワークの利用状況により通信遅れは変動する。通信遅れが変動すると、画像情報の提示間隔がばらついたり提示頻度が低下するなど安定した画像情報のやり取りができなくなる。このため、操作者が作業状態を確認することが困難となり、作業精度など操作性が低下する。

ネットワークロボティクスにおいて通信遅れの変動に対処するための研究としては、力覚情報を対象とし、通信遅れの変動を補償した上で安定性を保証して操作性の低下を防ぐ研究[2][3]が行われている。また、力覚情報と画像情報を対象とし、これらの配分を作業状態により変更して操作性の低下を防ぐ研究[4]などが行われている。

そこで本研究では、画像情報を対象とし、通信遅れの変動を緩和するためにネットワークの状態に応じて画像情報量を調整し、安定した画像情報のやり取りができるようにすることにより操作性の低下を防ぐという手法を提案する。画像情報は非常にデータ量が大きいので、ネットワークを通じてやり取りするためには画像圧縮手法を用いてそのデータ量を低減する必要がある。しかし、画像情報をそのまま圧縮すると全体的に画質が劣化するため、操作者がそれを見ながら作業を行うと操作性が低下する。そこで画像情報には作業にとって重要な部分と

*メカトロ応用部

Mechatronics Division

**名古屋工業大学 機械工学科

Department of Mechanical Engineering, Nagoya Institute of Technology

必要ではあるが特に重要ではない部分があると考え、重要な部分は鮮明に見えるように高画質にして、高頻度で伝送する。特にそうではない部分はある程度見える位の低画質にして、重要な部分の伝送の妨げとならないように低頻度で伝送する。このとき、ネットワークの状態に応じて重要な部分の大きさまたは特に重要ではない部分の画質を変化させることで画像情報量を調整する。

2. 画像提示手法の検討

2.1 ネットワーク負荷の計測

ネットワークの状態に応じて画像情報量を調整するためにはネットワーク負荷の計測を行う必要があると考える。この計測手法には通信遅れを計測するという簡易なものから現在利用できる帯域幅を計測するという高度なものまである。これらを計測して画像情報量を調整することにより通信遅れの変動を緩和することができる。

現在利用できる帯域幅を計測できればこれに合わせて画像情報量を調整できると考えた[5]。計測用パケットを送出して往復の通信遅れを計測してこの結果より計測時点でのネットワークの利用可能帯域幅を推定する[6]。しかし、この手法について実装したところ計測に時間がかかるという欠点を持っていることが判明した。ネットワークの通信遅れは変動するので、計測をできる限り早く行い通信遅れの変動に対応することが重要であると考え、今回の計測手法を用いるのは不適切であると考えた。

そこで、計測に時間がかからない手法を考える。伝送している画像データの送受信比と通信遅れを計測する手法を考え、これにより画像情報量を調整できると考えた。マスタサイトは一定時間ごとに受信した画像データ量をスレーブサイトへ報告する。スレーブサイトはこの報告とそれまでに送信した画像データ量を比較することによりネットワーク負荷の状態を判断する。これと同時に、一定時間内にマスタサイトからスレーブサイトに報告がない場合はネットワークの通信遅れが大きいため現状の画像データを伝送するのに不十分な状態であると判断する。この計測手法は簡易なため画像提示システムに対する負荷が少なくすむことから今回はこの手法を用いた。

2.2 画像データの動的操作

スレーブサイトは、ネットワーク負荷の計測結果を基に操作者にとって作業を行うために重要な部分の大きさまたは特に重要ではない部分の画質を変化させることにより、画像情報量を調整する。

ネットワークが現状の画像データを伝送するのに十分な状態と判断した場合は比例関数的に画像データ量を多くすることにより、画像伝送による通信遅れの変動が起こらないように配慮した。逆に現状の画像データを伝送するのに不十分な状態と判断した場合は指数関数的に画像データ量を少なくすることにより、ネットワーク負荷を抑えつつ画像伝送が可能となるように配慮した。これ

により、ネットワークの状態に応じて、安定した画像情報のやり取りができるようにする。

3. 画像提示システムの実装

図1に今回実装した画像提示システムの構成図を示す。本研究では、スレーブサイトの CCD カメラ(VC-C3, キヤノン製)で捕えた作業環境の画像情報に対して、作業内容に応じて重要であると思われる部分を中心としたエリアを操作者があらかじめ指定する。このエリアの中心部分は、カラートラッキングビジョン(TRV-CPW5, 富士通(株)製)によって常にトラッキングされる。図2に操作者によるトラッキングエリアの指定方法を示す。操作者がマウスによりメニューを選択すると、マウスカーソルを中心に四角形状の枠が表示される。それを作業を行うために重要な部分に合わせてマウスをクリックすると、その部分を中心に四角形状の枠が形成される。以後、この枠で囲まれたエリアのことをトラッキングエリアと呼ぶ。

図3に実装したシステムの画像圧縮・伝送方式の概略図を示す。スレーブサイトのカメラで捕らえた作業環境の画像情報は非常にデータ量が大きいので、そのままネットワークを利用してマスタサイトに伝送するのは困難である。このため、画像圧縮手法を用いて画像データ量を低減する必要がある。一般に、動画データはMPEGなどの動画圧縮方式を利用して圧縮される。しかし、提示する画像を均一の画質にするため、画像データ量を低減するために部分的に画質を変更することができない。また、画像データの一部が欠落した場合、正常な画像提示に復旧するまでに時間がかかる。一方、JPEGなどの静止画像圧縮方式を利用した場合、提示する画像を個々に取り扱うので部分的に画質を変更することができる。

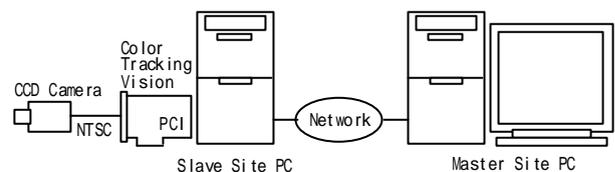


図1 画像提示システム構成図

Fig.1 System configuration of image display



図2 メニューによるエリア指定

Fig.2 Selecting a tracking area using popup menu

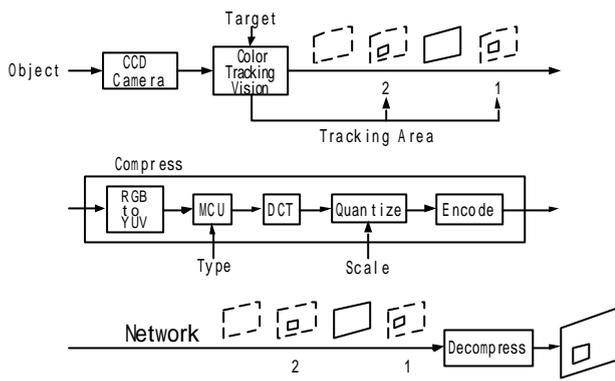


図3 画像の圧縮・伝送方式

Fig.3 Block diagram of compression and transmission of visual data

また、欠落した画像データだけを破棄することにより正常な画像提示に復旧することができる。このため、本研究では画像圧縮に静止画像圧縮方式の1つである JPEG を使用する。JPEG では画質を変更するパラメータである Type, Scale を変えることにより画質および画像の圧縮率を変更できる[7]ことから、画像データ量の調整が可能となる。

コンピュータネットワークを用いて情報伝送する際に、主に利用されている通信プロトコルは TCP と UDP である。TCP は信頼性のあるデータ伝送を行うことができるが、その反面信頼性を確保するために多くの処理を行っている。UDP は信頼性のないデータ伝送を行うが、TCP と違い信頼性を確保する処理がない分だけ処理が簡素化されている[8]。本研究では、カメラで捕らえた画像情報を確実に伝送することよりもできる限り速く伝送することの方が重要であると考え、通信プロトコルに UDP を用いてトラッキングエリア内外の画像データを伝送した。

4. 実験

今回の実験では操作性を、「操作者が効率的かつ容易に位置精度よく作業を行えるかどうかの指標」とし、提案した手法により操作性の低下を防ぐことができることを実験により示すことを試みた。

図4に実験システムの構成図を示す。各機器はLAN(帯域幅:10Mbps)に接続した。実験中のネットワーク負荷の条件を同一にするために画像提示システムとロボット制御システムのネットワークを分けた。また、ネットワークに負荷を加える実験を行う際は、プロトコルアナライザを用いて29bytesのUDPパケットを送出してネットワーク負荷の変動を模擬した。

タスクは、「提示画面を見ながら、マスタアーム(JOYARM, 三井造船(株)製)によりロボットアーム(PA-10, 三菱重工業(株)製)を操作して、画面左側にある積木Aを画面右側にある積木Bの上に位置精度よく積む」作業

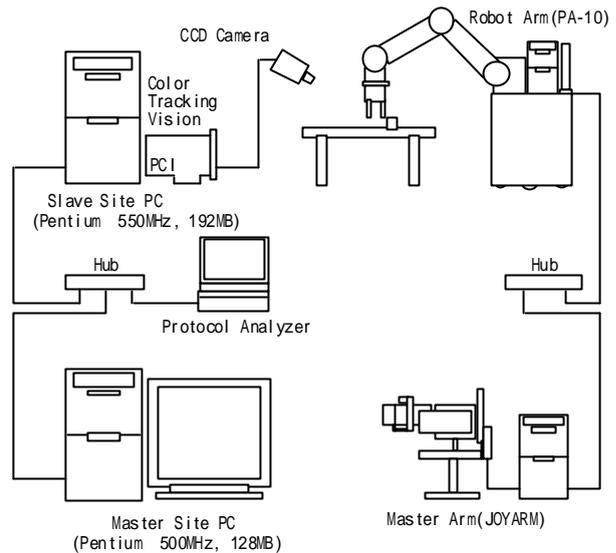


図4 実験システム構成図

Fig.4 Experimental System configuration

とした。このとき、積木は1辺が28mmの立方体のものを使用した。また、2つの積木を80mm離して置き、タスクを実行するごとに積木Bの置く位置を変更した。

実験開始前に、被験者に対して実験システムおよびマスタアームの操作方法の説明を行い、その後数回タスクの練習を行うように指示した。それぞれのタスクに対して、提示画像の水平方向に対する2つの積木の位置決め誤差、ロボットハンドにより積木を把持してから離すまでの時間(これをタスク完了時間とした)とその間のロボットハンドの移動距離を測定した。同時に、被験者に対して提示の快適度(画面の見やすさ)および作業達成度(タスク終了時に積木を位置精度よく積めたかどうかの自己評価)について-3(非常に悪い)~+3(非常によい)の7段階で得点をつけるように指示した。

4.1 予備実験

操作性が低下することなく設定したタスクを実行するのにトラッキングエリアがどの程度のサイズである必要があるかを調査するために、成年男性6名に対して実験を行った。今回のタスクでは画像データ圧縮率が1.3%を下回る画像情報を提示すると操作性が著しく低下することを事前の実験により得ていることからトラッキングエリア外の画像データ圧縮率を1.3%とした。また、エリア内についてはタスクを実行するために必要と考える画質にするため画像データ圧縮率を7.2%とした。図5に画像情報の画質の例を示す。

図6に位置決め誤差の平均と標準偏差、図7にアンケート結果の平均と標準偏差を示す。図6からわかるように、エリアサイズが一辺88pixels以上のときは位置決め誤差の平均が小さい値で推移するが、それを下回るとほぼ倍になった。また図7から、トラッキングエリアのサイズが小さくなると提示の快適度および作業達成度の平均が低い値になる傾向が見てとれる。

表 1 実験条件

Table 1 Experimental conditions

	ネットワーク負荷計測なし	ネットワーク負荷計測あり			
	トラッキングエリアサイズ一定 エリア外の画質一定	トラッキングエリアサイズ一定 エリア外の画質可変	トラッキングエリアサイズ一定 エリア外の画質可変		トラッキングエリアサイズ可変 エリア外の画質一定
ウィンドウサイズ (pixels)	256 × 256				
エリア内の送信レート(Hz)	10				
エリア内外の伝送比率	1:1	1:1	4:1	1:1	4:1
トラッキングエリアサイズ (pixels)	88 × 88	88 × 88		88 × 88 - 144 × 144	
画像データ圧縮率(%)	エリア内	7.2		7.2	
	エリア外	1.3	0.9 - 4.1		1.3
画像データ量(kbytes/sec)	41.8	34.4 - 95.8	20.9 - 36.3	41.8 - 67.1	22.8 - 48.1
実験条件番号					



(a)非圧縮画像 (b)圧縮画像(エリア内) (c)圧縮画像(エリア外)
データ圧縮率:7.2% データ圧縮率:1.3%

図 5 画像情報の画質例

Fig.5 Examples of Image quality of display

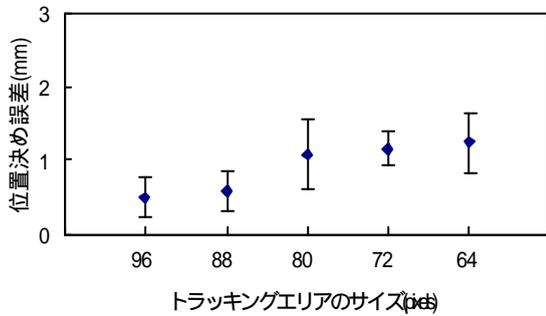


図 6 位置決め誤差

Fig.6 Locational error

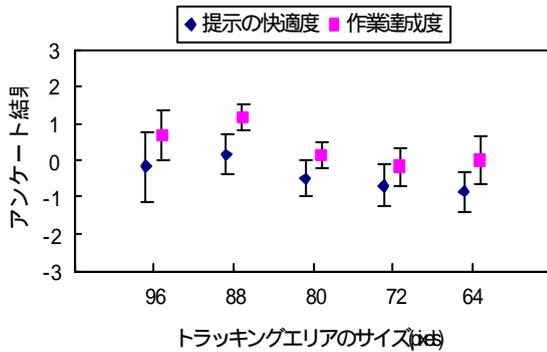


図 7 アンケート結果

Fig.7 Questionnaire result

以上の結果から、トラッキングエリアのサイズが 88pixels より小さくなると操作性が低下することが確認できた。そこで、トラッキングエリアサイズにより操作性が低下しないようにするため、以降の実験ではトラッキングエリアサイズの最小値を 88pixels とした。

4.2 検証実験

提案した手法の有効性を示すために、成年男女 10 名に対して表 1 に示す 5 つの実験条件 ~ について実験を行った。このとき、ネットワークに対して 1 秒間帯域幅の 80%を占めてその後 1 秒間 0%になるネットワーク負荷を繰り返し加えた。

図 8 に位置決め誤差の平均と標準偏差を示す。図 8 からわかるように、 の場合が平均および標準偏差で最も小さい値を示した。これはトラッキングエリア内の画像情報をエリア外に比べて優先的にやり取りしかつエリアのサイズをネットワーク負荷の計測結果を基に変化させることにより、作業にとって重要な部分の画像情報を他の場合と比べて安定してやり取りすることができたためと考える。一方、 の場合が に比べて平均および標準偏差で大きい値を示した。これはトラッキングエリア外の画質が非常に劣化した状態で作業を行うことがあったためまたはトラッキングエリアが作業にとって重要な部分からはずれてしまうことがあったためと考える。

図 9 にタスク完了時間の平均と標準偏差を示す。図 9 からわかるように、 の場合が平均および標準偏差で最も小さい値を示した。これは図 8 のときと同様、作業にとって重要な部分の画像情報を他の場合と比べて安定してやり取りすることができたためと考える。一方、 の場合が に比べて標準偏差で大きい値を示した。これは被験者のうちの 1 人が位置精度よく作業を行うために作業に時間がかかったためであった。それ以外の被験者はより優位であった。しかし、タスク完了時間が安定しないのは作業を行う際に不利なことであると考え、 の場合が優位であると考え。

図 10 にロボットハンドの移動距離の平均および標準偏差を示す。図 10 からわかるように、 の場合が平均で

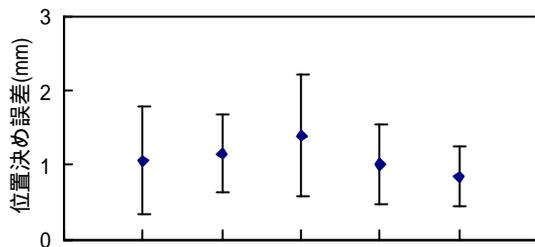


図8 位置決め誤差
Fig.8 Locational error

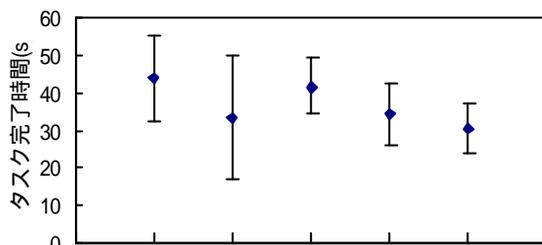


図9 タスク完了時間
Fig.9 Task completion time

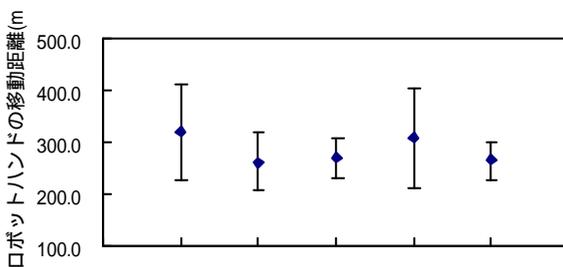


図10 ロボットハンドの移動距離
Fig.10 Moving distance of robot hand

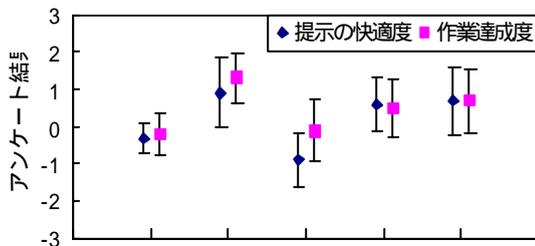


図11 アンケート結果
Fig.11 Questionnaire result

最も小さい値を示した。これはネットワーク負荷の計測結果を基にトラッキングエリア外の画質を可変にすることにより、積木を積む先を確認するのが容易であったためと考える。一方、 の場合が に比べて標準偏差で大きい値を示した。これは の位置決め誤差の平均および標準偏差が に比べて小さい値を示したことから位置精度よく作業を行うためにハンド位置の修正を繰り返したことがあったためと考える。

図 11 に提示の快適度および作業達成度の平均および標準偏差を示す。図 11 からわかるように、 の場合が提示の快適度および作業達成度の平均で最も大きい値を示した。これは図 10 の場合と同様、積木を積む先を確認するのが容易であったためと考える。一方、 の場合が に比べて提示の快適度の平均で小さい値を示した。このことが、 の位置決め誤差が大きい値を示した要因と考える。

4.3 考察

位置決め誤差、タスク完了時間、ロボットハンドの移動距離、提示の快適度および作業達成度において、すべての場合でネットワーク負荷の計測結果を基に画像情報量を調整した場合がしない場合に比べて優位であったことから、画像情報量を調整することにより操作性の低下を防ぐことができたと言える。このことは提案した手法が有効であることを示している。また、画像情報量を調整した場合の中で と が操作性において優位であった。

の提示の快適度が に比べて平均で大きい値を示すことから操作者にとって提示画像が見やすいのはトラッキングエリア外の画質を可変にしエリア内外のやり取りを同一にした場合であると考えられる。しかし、位置決め誤差については の場合が に比べて平均および標準偏差で小さい値を示したことから作業精度という点では が優位であると考えられる。またタスク完了時間については の場合が優位であり、ロボットハンドの移動距離も に近い値を示した。さらに、表 1 からわかるように、 の場合は に比べて画像データ量が少ないのでネットワークを通じて画像伝送するのが容易となる。以上のことから、今回は 4 条件の中で最も操作性の低下を防ぐ画像情報量の調整方法はトラッキングエリアのサイズを可変にしエリア内の画像情報を優先的にやり取りした場合であった。

一方、 の位置決め誤差の平均および標準偏差が大きい値を示したのはトラッキングエリア外の画質が非常に劣化した状態で作業をすることがあったためと考える。これは の提示の快適度からも示された。 の場合はエリア外の画像伝送がエリア内の 1/4 となるため、一度画質が劣化すると高画質の画像に戻るまでに時間がかかる。このことから、操作性の低下を防ぐためにはトラッキングエリア外もある程度の画質が必要であると考えられる。また、今回はトラッキングエリアの形状を四角形状としたが、これを操作者により任意の形状にした場合については検討していない。任意の形状にすることができれば作

業にとって重要な部分を効果的に提示することができるので今回以上に操作性の低下が防げると考える。

5. まとめ

今回提案したネットワークの状態に応じて画像情報量を調整することにより操作性の低下を防ぐという手法を実装し、実験によりその有効性を示した。今回提案した手法は遠隔操作作業だけでなく、ネットワークを通じて遠隔のものを見るとき、見たい対象がはっきりと決まっている用途にも応用できると考える。例えば、スポーツ観戦における選手の動きや野鳥観察における野鳥のしぐさなどが考えられる。

今後の課題として、作業にとって重要なエリアの形状を操作者が任意に変更できるようにした場合の操作性を検討していく予定である。

謝辞 本研究では、日本自転車振興会の補助により購入された機器を使用している。ここに深く感謝の意を表します。

文献

- [1] 比留川博久, “テレロボティクスからネットワークロボティクスへ”, 日本ロボット学会誌, vol.17, No.4, pp458-461, 1999
- [2] 藤本英雄, 佐野明人, 岡本啓史, “インターネットを介した力帰還型バイラテラル遠隔操作”, 日本ロボット学会誌, vol.18, no.5, 2000
- [3] A.Sano, H.Fujimoto, T.Takai, “Network-Based Force-Reflecting Teleoperation”, Proc. of the 2000 IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, 2000
- [4] 松丸隆文, 川端俊一, 神徳徹雄, 松日楽信人, 小森谷清, 谷江和雄, 高瀬國克, “通信回線 ISDN を利用したロボットの遠隔操作(作業に応じたデータの効率的伝送手法の検討)”, ロボティクス・メカトロニクス講演会'98 講演論文集(CD-ROM), 2CI3-5(1), (2), 1998
- [5] 藤本英雄, 佐野明人, 今井智彦, “ネットワークロボティクスにおける力・視覚の伝送に関する一考察”, 第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 第2分冊, pp.657-658, 1999
- [6] 藤本英雄, 佐野明人, 今井智彦, “ネットワークロボティクスにおける視覚情報の伝送に関する一考察”, 1999年映像情報メディア学会冬季大会講演予稿集, pp.95, 1999
- [7] 遠藤俊明, “カラー静止画像の国際標準符号化方式”, インターフェース, pp.160-203, 1991
- [8] D. Comer(村井純, 楠本博之 訳), “TCP/IPによるネットワーク構築(原理・プロトコル・アーキテクチャ)”, vol.1, 共立出版, 1997

並列リンク型力覚ディスプレイの研究

久富 茂樹* 光井 輝彰* 飯田 佳弘*
山田 宏尚** 武藤 高義**

Development of a Parallel Link Type Force Display

Shigeki Kudomi*, Teruaki Mitsui*, Yoshihiro Iida*,
Hironao Yamada** and Takayoshi Muto**

あらまし パーチャルリアリティや遠隔作業システムなど様々な分野において、操作者に作業反力（力覚）を提示することが重要となってきている。本研究では、大パワー、高剛性といった特徴を有する油圧アクチュエータを用いて、操作者に力覚の提示を可能とする力覚ディスプレイを開発する。本装置は力覚提示デバイスであると同時に操作者からの操作・指令装置としても機能しなければならないが、通常、油圧システムでは操作者からの力によって油圧ピストンを駆動させることは困難である。本研究ではこの問題に対し、力覚センサで検出した操作者の力信号をもとにピストンを駆動させる方法を提案し、操作・指令装置として用いることを可能にした。さらに本方式を、1自由度力覚ディスプレイ及び6自由度（並列リンク型）力覚ディスプレイに適用し、その力覚提示機能を実験により確認した。

キーワード 油圧システム、力覚、パラレルリンク、バックドライバビリティ、バイラテラル制御

1. まえがき

バーチャルリアリティ（VR）空間において仮想物体を操作するとき、または作業者の微妙な力感覚を必要とする遠隔作業等においては、作業状態の視覚的な提示だけでなく、作業反力（力覚）を提示することが要求される。この課題の解決に向けて、作業者に力覚を提示するための種々のデバイスが、力覚ディスプレイとして開発されている[1]。しかしながら、これまでに開発された力覚ディスプレイでは、提示できる力が不十分、または構造が複雑であるなどの問題点が存在する。

図1に、力覚ディスプレイに基づく遠隔作業の一応用例を示す。図では、マスタマニピュレータとスレーブマニピュレータの両者が、並列（パラレル）型の6軸アクチュエータ（シリンダ）から成っており、スレーブマニピュレータのエンドエフェクタには作業用の工具が取り付けられている。マスタマニピュレータは（操作者からの）操作・指令装置であると同時に、（操作者へ）スレーブマニピュレータの作業反力をフィードバックする力覚ディスプレイとしても機能する。本研究では、図

示のような研磨作業を始め、研削、塗装、彫刻など、比較的高速・大パワー・高剛性を要する作業を考察の対象とする。このようなシステムでは、大パワー、高剛性、

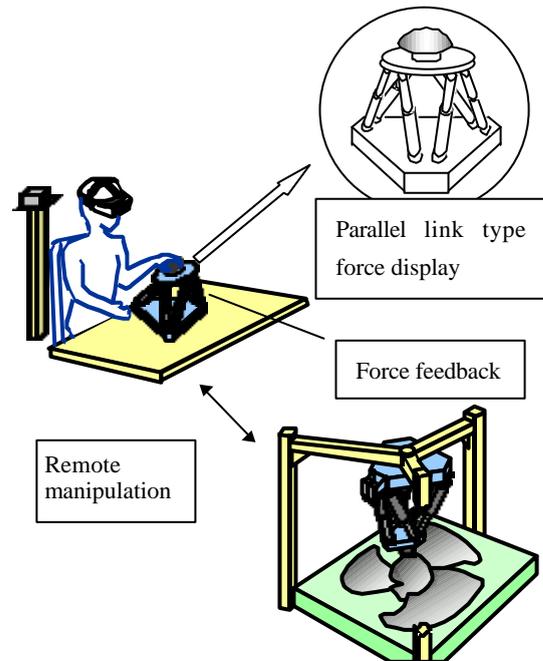


図1 マスタスレーブを用いた遠隔操作システム

Fig.1 Master-slave system for remote control

*メカトロ応用部
Mechatronics Division

**岐阜大学工学部機械システム工学科
Department of Mechanical and Systems Engineering,
Gifu University

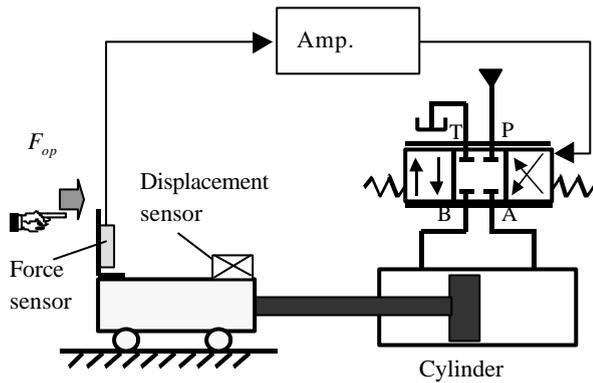


図2 カセンサに基づくシリンダ駆動
Fig.2 Hydraulic servo system
(Driving method by manual force)

高応答性といった特徴を有する油圧式のアクチュエータが望ましいことから、以下では、アクチュエータ部のパラレルリンク機構を油圧シリンダによって構成したマスタスレーブシステムを想定する。これにより比較的簡単な構造で、しかも提示できる力が大きく、応答性に優れた遠隔作業システムが実現できる。

ところで、油圧サーボ系を力覚ディスプレイとして用いる場合、制御弁の特性やピストンの摩擦等に起因して、バックドライバビリティ（操作者からの力によって油圧ピストンを駆動し得るか否か）の問題が生じる。すなわち、通常の油圧サーボ系の場合、それを構成する一要素（例えば制御弁）に操作者が手で触れ、その力によってシリンダを駆動することは困難である。この問題の克服なくしては、図1のような力覚ディスプレイは実現し得ない。それを可能とする一手法として本報では、カセンサによって検出された操作者の力信号に基づくピストンの駆動法を提案する。さらに、本提案の方法を、油圧式の1自由度力覚ディスプレイ及び6自由度（並列リンク型）力覚ディスプレイに適用し、その力覚提示機能について実験的に検討する。

2. カセンサに基づくシリンダの駆動法

本研究では、油圧サーボ系におけるバックドライバビリティの問題を解決するために、図2に示すようなシステムの駆動法を提案する。本システムは、通常の油圧サーボ系（正重合を有するサーボ弁とシリンダ）を基本構成としつつ、ピストンの先端部には板ばねを介してカセンサ（歪みゲージ）が設置されている。このセンサを入力部として用いれば、操作者の手による次のようなシリンダの駆動法が実現される。

操作者による系への力入力は、図示の板ばね（以下、操作板と呼ぶ）に手で触れることによって与えるものとする。まず、操作板に取り付けられた歪みゲージによって操作者の力が検出される。次に、この信号によりサーボ弁を駆動させれば、操作者からの力の方向へピストンを動かすことができる。この方法によれば、操作者のわ

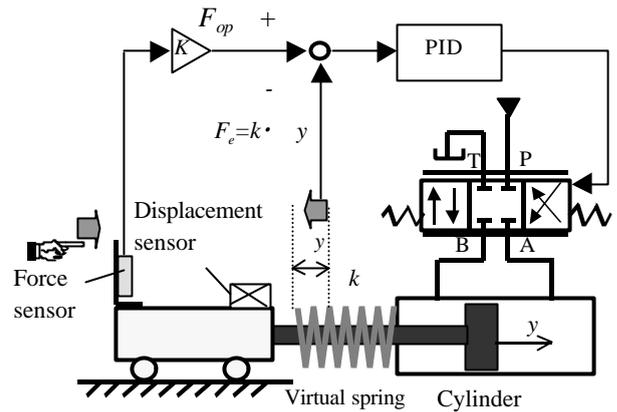
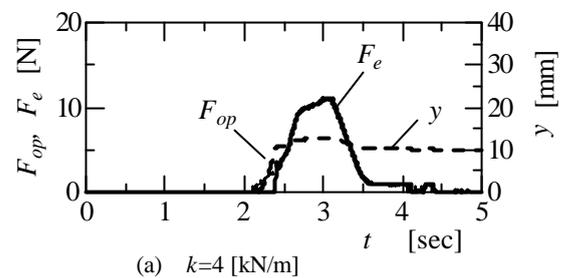
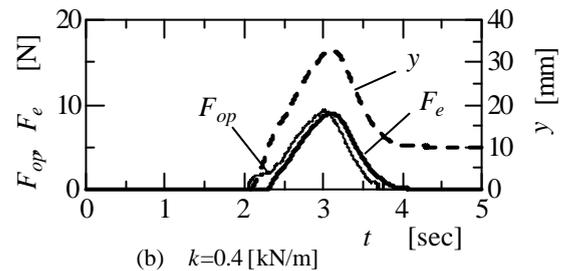


図3 油圧1自由度力覚ディスプレイ
Fig.3 Hydraulic force-display



(a) $k=4$ [kN/m]



(b) $k=0.4$ [kN/m]

図4 力覚提示実験結果

Fig.4 Experimental results of hydraulic force-display

ずかな力によってピストンを操作できることから、油圧サーボ系におけるバックドライバビリティの問題を解決し得る。以下に、本提案の方法を油圧式の力覚ディスプレイに適用した場合について検討する。

3. 1自由度力覚ディスプレイ

まず1自由度力覚ディスプレイを対象として、その力覚提示機能について実験的に検討する。実験のシステム構成を図3に示す。本実験における操作対象として、中立位置から10[mm]だけピストンを押し込んだ位置に仮想的なばねを設定した。操作者への力覚提示は次のように行う。操作者の力 F_{op} によってピストンが動き、ピストン変位が10[mm]になったところで仮想のばねと接触する。このときピストン変位 y と仮想ばねのばね定数 k によって決まる反力 F_e が生じる。この F_e が F_{op} に追従するように制御すれば、操作者に仮想ばねからの反力を提示

することができる．コントローラの制御則は PID とし，サンプリング時間は 1[ms]，供給圧力 3.5[MPa]で実験を行った．

実験結果を図 4 に示す．まず図 4 (a)は，仮想ばねのばね定数を $k=4$ [kN/m]に設定したときの結果である．操作者が力を加えても，ピストンは仮想ばねに接触した 10[mm]の位置からさらに押し込まれることはなく，硬いばねに接触したように感じる事ができた．次に図 4 (b)は， $k=0.4$ [kN/m]に設定したときの結果であり，このときピストン変位は，仮想ばねに接触した位置から加えた力に応じてさらに大きく変位しており，操作者には柔らかいばねに接触したように感じる事ができた．これらの結果から，本システムが 1 自由度力覚ディスプレイとして機能することを確認できた．

4. 1 自由度力覚ディスプレイを用いた マスタスレーブシステム

図 1 のような遠隔作業を行うためには，力覚ディスプレイをマスタ，作業用マニピュレータをスレーブとする マスタスレーブシステムを構成し，それらをバイラテラル制御する必要がある．本節では，実際のばねを操作対象として，マスタスレーブシステムによるばねへの接触実験により本システムの力覚提示機能について検討する．

4.1 システム構成

図 5 に実験システムの構成図を示す．マスタ側で操作者の力 F_{op} が力センサによって検出され，この信号によってピストンが駆動される．また，スレーブ側にも板ばねを介して力センサがピストン先端部に取り付けられている．マスタとスレーブのピストン変位信号 (X_m, X_s)，

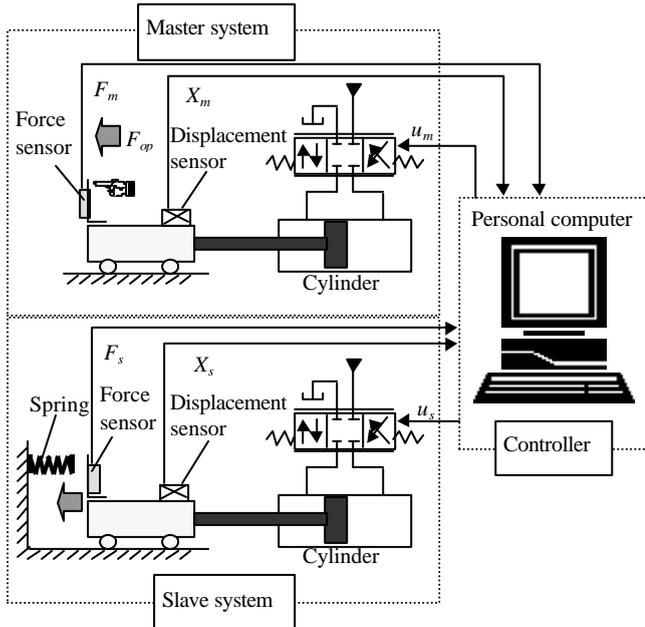
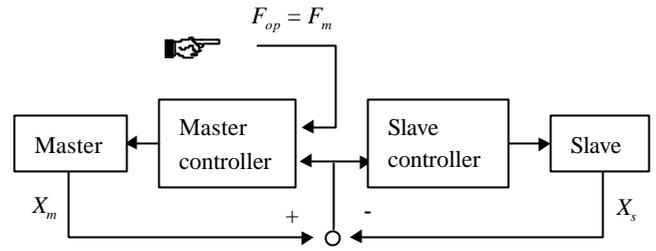
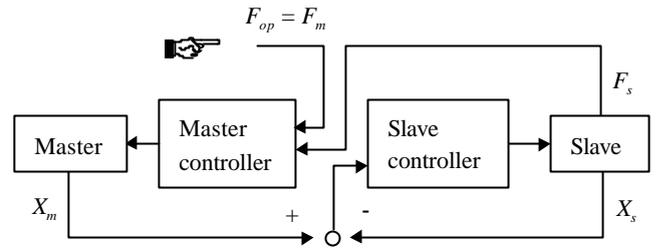


図 5 実験システムの構成

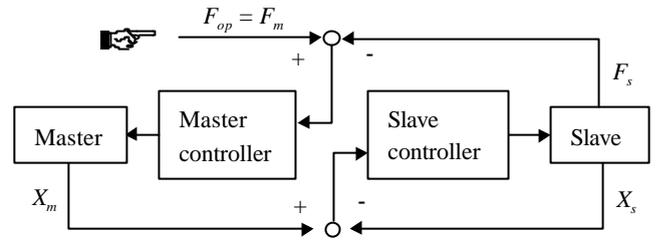
Fig.5 Diagram of experimental apparatus



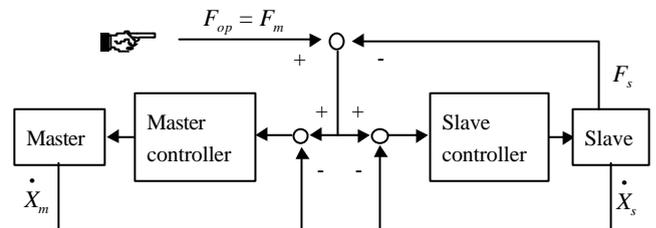
(a) Symmetric position servo type



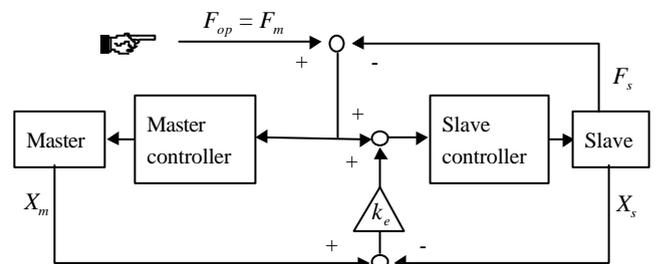
(b) Force reflection type



(c) Force reflecting servo type



(d) Parallel control method



(e) Improved parallel control method

図 6 バイラテラル制御法

Fig.6 Bilateral control methods applied for hydraulic force-display

力センサ信号 ($F_{op}=F_m, F_s$) は PC に取り込まれ、バイラテラル制御則により計算された駆動信号がマスタ、スレーブにそれぞれ出力される。マスタ及びスレーブの各コントローラは比例制御とし、サンプリング時間は 1[ms] で行った。また、作業対象として、硬さの異なる 2 種類のばね (ばね定数 $k=0.4, 1$ [kN/m]) を用意し、ばねへの接触感を操作者に伝えることにした。なお、油圧サーボ系の構成要素 (サーボ弁, シリンダ, 管路等) はマスタとスレーブで異種のものを使用したことから、おのずとその動特性も異なっている。

4. 2 バイラテラル制御の検討

システムの制御はバイラテラル制御を用いて行いが、従来からよく知られているバイラテラル制御のシステム構成法として、対称型、力逆送型、力帰還型、並列型がある[3]。図 6 に、これら 4 種の基本型 (図 6 (a)~(d)) に加えて、本報で新たに提案する制御法 (図 6 (e)) の各ブロック図を示す。

図 6 (a)の対称型はマスタとスレーブの位置誤差を測定してこれを修正する方向へ駆動力を与えるものである。油圧式力覚ディスプレイをマスタとして用いる場合、通常の対称型の構成に加えて、マスタを駆動するための操作者の力信号要素 F_{op} をマスタに付加する必要がある。この方法はスレーブの力情報を用いないため、スレーブ変位に影響を及ぼす程度に作業反力が生じないと力覚をマスタに伝えることができない。つまり、スレーブの油圧の力に比べて作業反力が小さい場合、操作者に対してほとんど力覚を提示することができない。したがって、本報で対象とするような微妙な力感覚作業システムには適していない。

図 6 (b)の力逆送型は、スレーブを通常的位置サーボ系で構成し、スレーブで検出した反力をマスタに伝達するものである。この方法を油圧式力覚ディスプレイに適用した場合、対称型のときと同様に操作者の力信号 F_{op} をマスタに入力する必要がある。しかしながら、この F_{op} はマスタに加えらる力 F_m にほかならず、マスタとスレーブの力信号の符号を考慮すれば、マスタに力のサーボ系を構成した力帰還型 (図 6 (c)) に等価となる (力帰還型の実験的な検討については後述する)。

マスタとスレーブを並列的に構成する図 6 (d)の並列型は、直列的な構成の力帰還型に比べ安定性が向上するといわれている。しかしながら、位置フィードバックではなく、速度フィードバックを行っているため、マスタとスレーブの動特性が異なる場合、マスタとスレーブの位置追従性は補償され難い。また、この位置誤差が累積すると、操作性に支障をきたすことが予想される。そこで、この欠点を補う手法として、図 6 (e)の構成法 (以下、改良並列型という) を提案する。この方法は、並列型を基本としながらも、マスタとスレーブの位置偏差をスレーブにのみフィードバックしている。位置サーボ系をスレーブ側において構成することの効果として、マスタの

位置にスレーブが良好に追従するものと期待される。

以上の考察に基づき、本研究では、力帰還型 (図 6 (c)) と改良並列型 (図 6 (e)) の 2 種類のバイラテラル制御法を対象として、ばね (負荷) への接触作業に対する力覚ディスプレイの力覚提示機能について比較実験を行った。

4. 3 実験結果

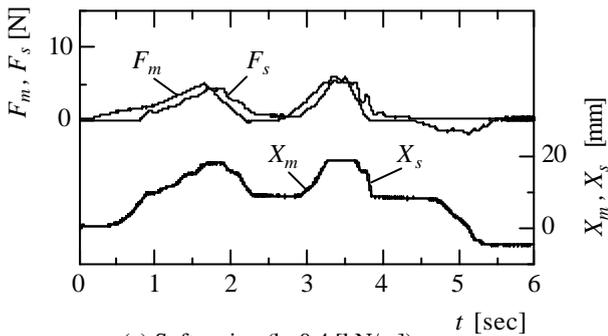
バイラテラル制御則として力帰還型、提案する改良並列型を用いたときの実験結果をそれぞれ図 7, 図 8 に示す。いずれも図中(a)は柔らかいばね ($k=0.4$ [kN/m]), 図中(b)は硬いばね ($k=1$ [kN/m]) の場合を示している。

まず力帰還型では、柔らかいばねの場合、スレーブがばねへ接触すると同時にその力が検出され、マスタに加えた力に等しくなるように制御されている。また、マスタとスレーブの両ピストン変位波形もほぼ良好に一致している。操作者には力覚ディスプレイ (マスタ装置部) を介して柔らかいばねに接触したことを感じる事ができた。しかしながら、硬いばねへの接触時には力、ピストン変位ともに激しく振動し、安定に制御することができなかった。

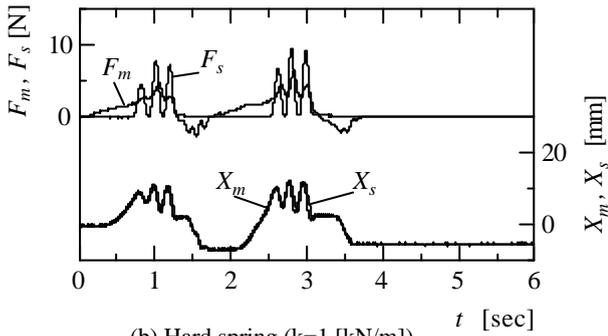
提案する改良並列型では、柔らかいばねの場合、力帰還型とほぼ同様な結果が得られ、操作者へ柔らかいばね感覚の提示ができた。マスタとスレーブの動特性が異なるにもかかわらず、マスタとスレーブの両ピストン変位波形もほぼ良好に一致している。また、力帰還型の場合にシステムが不安定となった硬いばねへの接触作業も、改良並列型では安定な制御が実現された。図 8 (a)に比べ図 8 (b)では、より大きな力を加えているにもかかわらずピストン変位は小さくなっており、操作者に対して硬いばねへの接触感を提示することができた。以上の検討結果に基づき、提案した改良並列型バイラテラル制御法の有効性ならびに本システムの力覚提示機能が確認された。

5. 並列リンク型力覚ディスプレイ

ベースとエンドエフェクタの間に 6 本の油圧シリンダを配置した並列リンク型 (Stewart 型) の力覚ディスプレイを試作した。図 9 にシステム構成を示す。本装置は、力覚ディスプレイ本体、パーソナルコンピュータ (PC), A/D および D/A 変換器, アンブユニット, バルブユニット (比例電磁弁), ポンプユニットから構成されている。各シリンダのピストンロッドとエンドエフェクタ側のボールジョイントとの間には力覚センサ (歪みゲージ式) が取り付けられており、グリップから与えられた操作者の力はこの力覚センサによって検知される。この信号 F は A/D 変換器を介して PC に入力され制御弁への制御入力信号が演算される。演算された信号は D/A 変換器を介して電圧信号 u としてアンブに与えられる。アンブはこの電圧信号を電流信号 i に変換して比例電磁弁を駆動する。これに伴い、油圧源から圧油がシリンダに流入しピストンが移動する。また、ピストンの移動量 X はポテン



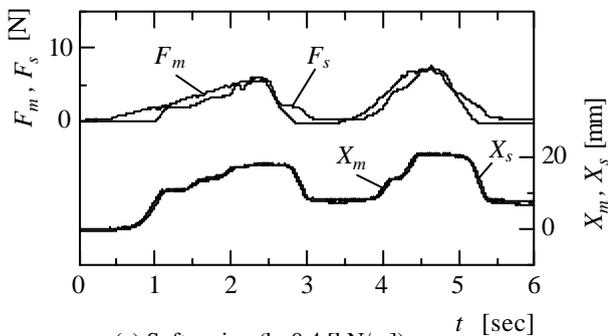
(a) Soft spring ($k=0.4$ [kN/m])



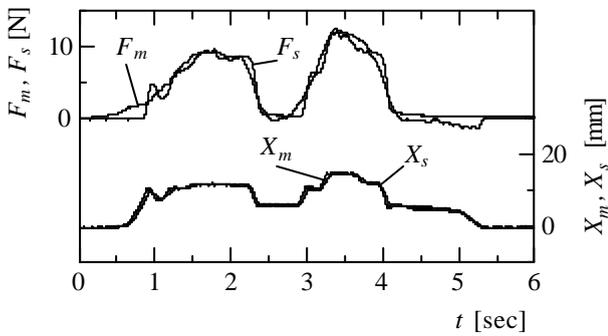
(b) Hard spring ($k=1$ [kN/m])

図7 力帰還型の実験結果

Fig.7 Experimental results of force reflecting servo type



(a) Soft spring ($k=0.4$ [kN/m])



(b) Hard spring ($k=1$ [kN/m])

図8 改良並列型の実験結果

Fig.8 Experimental results of improved parallel control method

シヨメータによって検出され、アンプを介して電圧信号に変換された後、A/D 変換器を介してPCに入力される。6本の油圧シリンダをそれぞれこの方法により駆動させることで6自由度の入力デバイスとして用いることが可能となる。表1に本力覚ディスプレイの揺動範囲(機械的最大値)を示す。

表1 力覚ディスプレイの揺動範囲

Table.1 Motion range

Roll	± 14 (deg)
Pitch	$-13 \sim 14$ (deg)
Yaw	± 35 (deg)
Surge	$-44.0 \sim 35.5$ (mm)
Sway	± 36.0 (mm)
Heave	$-23.5 \sim 22.5$ (mm)

本力覚ディスプレイの力覚提示機能を確認するために、図10で示すように仮想ばねを6本のシリンダにそれぞれ設定した。仮想ばねによる力覚提示の方法は先に述べた1自由度力覚ディスプレイの場合と同様に行った。ただし、各シリンダの最大ストロークは40mmであり、その中間位置を原点と定め、伸び方向を負、縮み方向を正とした。仮想ばねは各ピストン変位の原点位置に設定し、ピストン変位が原点位置からさらに縮む方向に変位すると、仮想ばねのばね定数 k と変位量 y によって決まる反力 F_e が計算される。この F_e が操作者からの力 F_o に追従するように制御することで操作者への力覚提示を実現する。コントローラの制御則はPD制御とし、サンプリング時間は1[ms]、供給圧力2.0[MPa]で実験を行った。

図11に実験結果を示す。図11(a)は仮想ばねのばね定数を $k=0.5$ [kN/m]に設定した場合、図11(b)は $k=5$ [kN/m]に設定した場合の結果をそれぞれ示す。図には1本のシリンダの結果のみを代表して示した。この実験では、6本のシリンダがすべて最伸($y=20$ [mm])である状態が

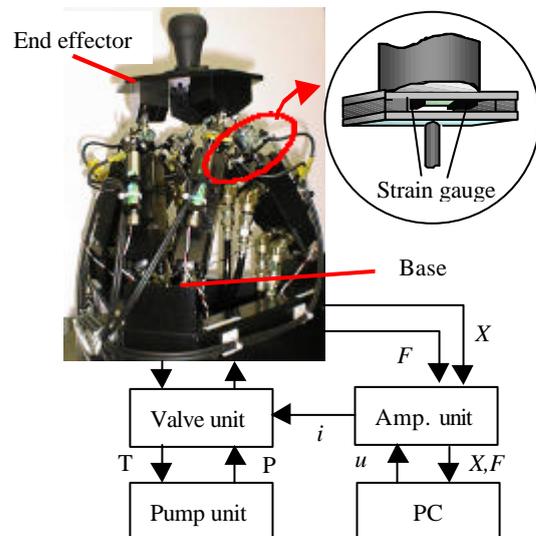


図9 並列リンク型力覚ディスプレイ

Fig.9 Parallel link type hydraulic force-display

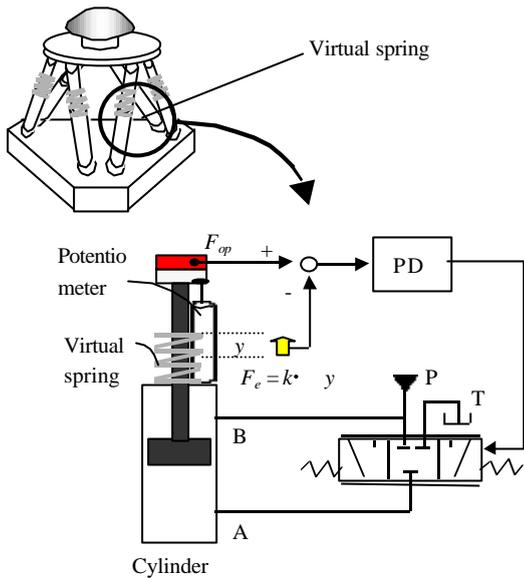


図 10 仮想ばねを用いた力覚提示

Fig.10 Schematic diagram of force feedback from a virtual spring

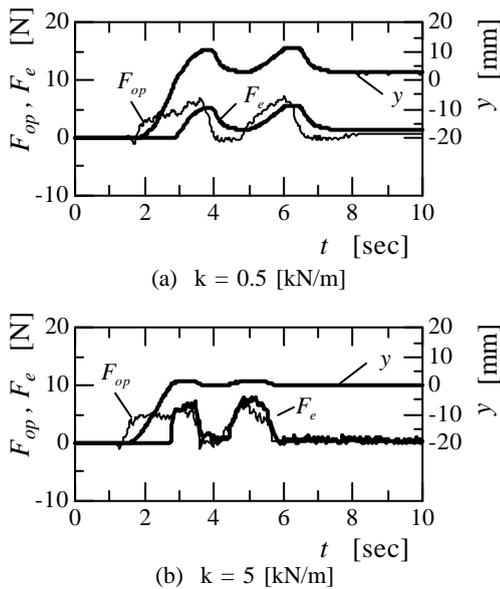


図 11 並列リンク型力覚ディスプレイ実験結果

Fig.11 Experimental results of parallel link type force-display

ら、操作者はグリップを握り垂直下向きに力を加えた。この場合、6本のシリンダにはほぼ均等に力が加わるため、先に述べた駆動原理によって6本のシリンダはほぼ同じ速度で押し込まれ、操作者はエンドエフェクタを垂直下向きに動かすことができる。ピストンが原点位置になったところで仮想ばねに接触し、仮想ばねのばね定数 k によって求まる反力 F_e が操作力 F_{op} に追従するように制御することで操作者にばねの硬さを提示することができた。図 11(a)では仮想ばねに接触した後もピストンが大きく変位しているのに対し、図 11(b)では接触位置からほとんど変位することなく、仮想ばねが大きな抵抗となっ

ていることがわかる。しかしながら、図 11(b)において F_e の波形がやや振動的になっていることからわかるように、硬い物体を提示する場合、システムが不安定化する傾向となる。したがって、より安定化するための制御手法の検討が今後の課題である。また、力センサはシリンダの軸方向に加わる力のみが検出されるため、操作者が操作した場合、ロール、ピッチの動きは容易であるが、その他の動きを行う場合は抵抗が大きくなる（より大きな力が必要）といった問題点がある。今後は、力のセンシングの方法も含めて、どの動きもスムーズに行えるように補償していく必要がある。

6. まとめ

本研究では、力センサの信号を用いてピストン駆動することによる油圧式力覚ディスプレイ（1自由度および6自由度）を提案した。

1自由度力覚ディスプレイでは仮想ばねおよび実際のばねへの接触作業により、力覚提示機能を実験的に検討した。その結果、操作者に対してばねの硬さの違いを提示することができ、本力覚ディスプレイの力覚提示機能を確認することができた。また、本システムに適した新しいバイラテラル制御法を提案し、システムの安定性と位置追従性の両立を図ることができた。

また、6本の油圧シリンダを並列に配置した並列リンク型力覚ディスプレイを試作し、力センサ信号を用いて各シリンダを駆動することにより6自由度の入力デバイスとして用いることが可能となった。仮想ばねを用いた実験により、本力覚ディスプレイの力覚提示機能を確認した。

謝辞 本研究を遂行するにあたり、機械設備購入のため補助金を頂いた日本自転車振興会に深く感謝の意を表します。

文献

- [1] Burdea, "Force and Touch Feedback for Virtual Reality", Wiley-Interscience, 1996
- [2] 久富茂樹, 丹羽義典, 山田宏尚, 武藤高義, "パラレルリンク型力覚ディスプレイの開発 (油圧または空気圧サーボ系による力覚ディスプレイの基礎的検討)", 平成11年春期フルイドパワーシステム講演会論文集, pp.37-39, 1999
- [3] 日本ロボット学会編, "ロボット工学ハンドブック", コロナ社, 1990
- [4] 久富茂樹, 山田宏尚, 武藤高義, 光井輝彰, 飯田佳弘, "パラレルリンク型力覚ディスプレイの開発 (油圧式1軸力覚ディスプレイのカフィードバックに関する検討)", 第17回流体計測第14回流体制御合同シンポジウム講演論文集, pp.17-20, 1999

力覚ディスプレイによるマスタスレーブシステムの開発

光井 輝彰* 久富 茂樹* 飯田 佳弘*

Development of Master Slave Manipulator using Force Display

Teruaki Mitsui*, Shigeki Kudomi* and Yoshihiro Iida*

あらまし 本研究では、独自の力覚検出機構を備え、6本の油圧アクチュエータ(シリンダ)によりパラレルリンクを構成する力覚ディスプレイ(マニピュレータ)を製作した。このマニピュレータでは、エンドエフェクタに発生する力から各シリンダに必要な駆動力を計算により求めるのではなく、6本のシリンダに取り付けた力覚センサにより求めた情報を利用して、マニピュレータの制御を行うことができる。この力覚センサの情報を利用して、操作者の加えた力情報に従いマニピュレータを動作させるマスタマニピュレータとしての利用の他、作業中の力情報を検出可能なスレーブマニピュレータとしての利用方法が可能である。本研究ではこのマニピュレータを2台制作し、ネットワークで接続することで力覚提示型のマスタスレーブシステムを製作した。システムの制御はRT-linuxを採用してPCからリアルタイムで行った。制御の結果から、マスタマニピュレータの操作を比較的小さな力で行うことができたが、シリンダ特性の調整方法や制御手法について検討課題が考えられた。

キーワード 力覚, 油圧, パラレルリンク, マスタスレーブ, RT-linux

1. はじめに

製造業の生産工程では、各工程に適した自動機械の開発、利用が進み、生産効率を上げてきたが、自動化が困難な作業は、手作業で行っている。また、生産現場以外でも、災害復旧や原子力発電所などにおける人の入り込めない環境や危険な場所での作業において、ロボットを利用した遠隔操作の試みがなされている[1]。本研究ではこのような遠隔操作において、作業反力(力覚)を操作者に返すことで、微妙な力加減を可能にし、高い操作性を実現するための手法として、パラレルリンク型力覚ディスプレイ[2]の遠隔操作への応用を試みた。

図1にパラレルリンク型力覚ディスプレイを応用した遠隔操作の概念図を示す。操作者は作業現場から離れた環境で、作業環境の状態を確認しながら、マスタマニピュレータの操作を行う。マスタマニピュレータはスレーブマニピュレータへの指示装置であると同時に、スレーブマニピュレータの受ける作業反力をフィードバックする力覚ディスプレイとして機能する。スレーブマニピュレータは作業用の工具が取り付けられ、マスタマニピュレータの動きに追従して作業を行い、作業中に受ける反力の検出を行う。

本稿では図1と同様な6軸パラレルリンク機構の油圧

アクチュエータ(シリンダ)で構成した同形状のマニピュレータを2台製作し、それらをネットワークを介して接続することで遠隔操作が可能な力覚提示型のマスタスレーブシステムを製作する。

2章では今回製作した油圧マニピュレータの詳細について述べる。3章では試作した遠隔操作システムについて述べ、4章では各マニピュレータのバイラテラル制御について、5章ではその結果を示すとともに今後の課題とシステムの改良点を考察する。

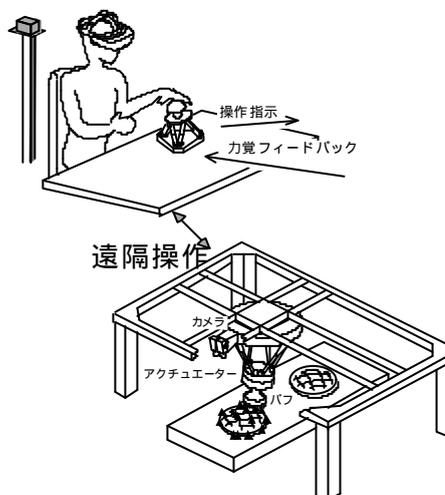


図1 力覚提示型遠隔操作

Fig.1 Remote Manipulation using Force Display

*メカトロ応用部

Mechatronics Division

2. 油圧マニピュレータ

2.1 マニピュレータ部

油圧マニピュレータの外観と構成を図2に示す。

マニピュレータの機構は、スチュワートプラットホーム型[3]パラレルリンクを採用した。この機構により可動範囲は狭くなるものの、コンパクトなメカニズムでありながら高い精度と剛性を実現することができる。本マニピュレータではエンドエフェクタとBASEの間を、ボールジョイントを介して6本の油圧シリンダ(カヤバ工業株式会社製:ストローク40mm,最大使用圧力5MPa)で接続しリンク機構を構成した。表1に可動範囲を示す。

各シリンダの変位は、シリンダに取り付けたポテンシオメータ((株)緑測器)によりシリンダロッド先端までの長さを測長して求める。また、シリンダロッド先端とボールジョイントの間にはひずみゲージを用いた力覚センサを取り付け、シリンダに加わる軸方向の力の検出を可能にする。

エンドエフェクタはマニピュレータを入力装置としても出力装置としても使用することを考慮し、グリップ部分を脱着式にする。また、この部分に加わる力の検出用に6軸力センサ(ニッタ株式会社)を使用する。

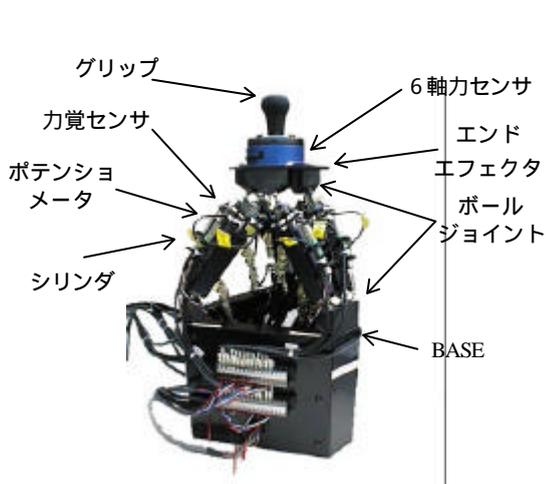


図2 油圧マニピュレータ

Fig.2 Hydraulic Manipulator

表1 可動範囲

Table 1 Motion Range

動揺名	可動範囲
ロール	$\pm 14^\circ$
ピッチ	$-13^\circ \sim +14^\circ$
ヨー	$\pm 35^\circ$
サージ	$-44.0 \sim 35.5\text{mm}$
スウェー	$\pm 36\text{mm}$
ヒープ	$-23.5 \sim 22.5\text{mm}$

2.2 油圧回路

油圧回路図を図3に示す。油圧ユニット(カヤバ工業株式会社製:最高使用圧力13.7MPa,最大流量25.5l/min)から供給される油(一般鉱物油 ISOVG46相当)は減圧弁で設定圧力まで減圧されたのち、比例電磁弁によりシリンダに供給される。比例電磁弁では電流指示により指示した圧力差を、シリンダの各ポート間に生じるように油の流れを制御する。このシリンダの各ポート圧力の検出には圧力センサ(カヤバ工業株式会社製:対ノイズ型 SPAN-5)を使用する。

2.3 油圧マニピュレータシステム

油圧マニピュレータの制御をPCから行えるように、図4に示すようなシステムの構成を用いた。

マニピュレータの制御は6本のシリンダの伸縮を調整する比例弁の制御により行なう。PCからD/Aボード(CONTEC: DA12-6LC(PC))を介してアンプユニットに入力された電圧信号はここで電流値に変換されて比例弁に出力される。

マニピュレータの姿勢や加わる力を検出するための各センサの情報はA/Dボード(CONTEC: AD12-16U(PCI)E)および専用のレシーバボード(6軸力センサ用)を介してPC上に取り込まれる。

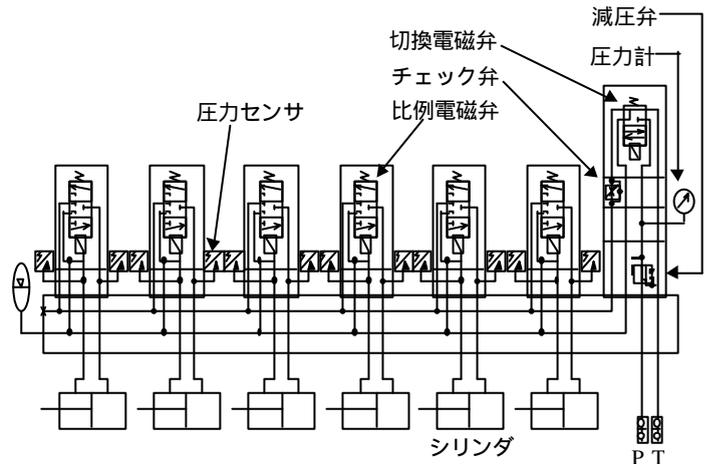


図3 油圧回路

Fig.3 Hydraulic Circuit

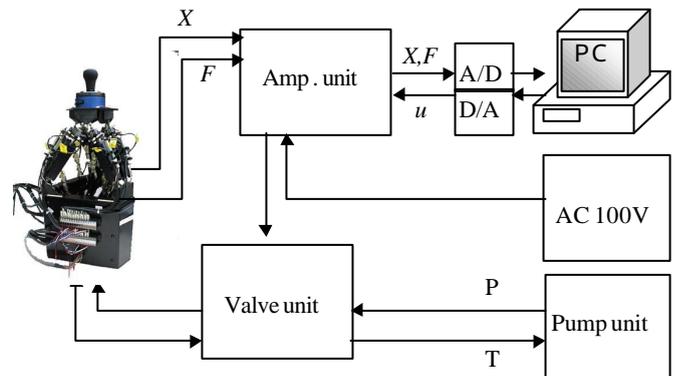


図4 油圧マニピュレータ制御システム

Fig.4 Diagram of Hydraulic Manipulator System

3. マスタスレーブシステム

3.1 システム構成

図5に遠隔操作システムの構成を示す。

それぞれのマニピュレータは PC (CONPAQ:DESKPRO pentium 600MHz) 上のプログラムにより制御され、単独での動作、あるいはネットワークを介した遠隔操作を可能にする。ここでは汎用性を持たせるためにサーバプロセスとして通信を行っている。これによって、ネットワーク上の任意位置から接続し、入力装置あるいは出力装置として利用することが可能となる。マスタスレーブマニピュレータとして利用する場合には、間にクライアントプロセスを用意して両マニピュレータを接続する必要があるが、今回はこれを中継ステーションで行う。ここではデータを中継するだけでなく、各マニピュレータの状態表示や制御データの保存などを行っている。また、将来的に画像提示プロセスを行うことを考えている。

3.2 システムのリアルタイム制御

システムのリアルタイム制御を行うために、リアルタイム OS (RT-Linux Version 0.9 Release9F) 上で制御プログラムを開発した。図6にプログラムの構成を示す。図に示すように、制御プログラムの構成は一つのリアルタイムタスク (RT_TASK) とそのハンドラ、および二つのユーザプロセス (App1, App2) から成っている。

RT_TASK は 1ms 周期でマニピュレータの各種センサの情報を取り込み、各シリンダに必要な入出力を行う。App1 とは FIFO を介して通信し、取り込んだセンサ情報を書き込み、シリンダへの出力データを読み取っている。

App1 では RT_TASK の START, SUSPEND のコマンドをハンドラに渡すほか、制御に必要な計算を行う。中継ステーションとの通信で得た相手のマニピュレータの情報と FIFO から読み取った制御対象であるマニピュレータの情報を利用して、各シリンダを駆動するためのデータを計算し、FIFO に書き込む。App1 での処理の流れを図7に示す。PC の計算量やネットワーク負荷が増加すると RT_TASK に対して App1 での処理が遅れことになるが、この場合 App1 ではそれまでに FIFO に貯まったデータを読み飛ばすことで最新のマニピュレータの情報を得る。また、その間 RT_TASK では App1 からのデータが更新さ

れるまで同じデータを出力する事になる。今回は同じ研究室内にシステムを構築して移動試験を試みたので、ネットワーク通信の送れがほとんどなく、1ms の間にすべての処理が収まっている。

App2 は制御プログラムの GUI であり、センサ情報の表示や制御プログラムの操作を行うためのものであり、App1 とは共有メモリを介して通信する。

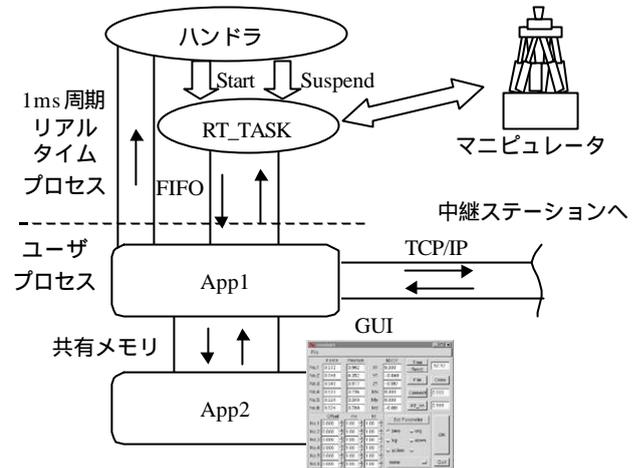


図6 プログラム構成
Fig.6 Diagram of RT Process

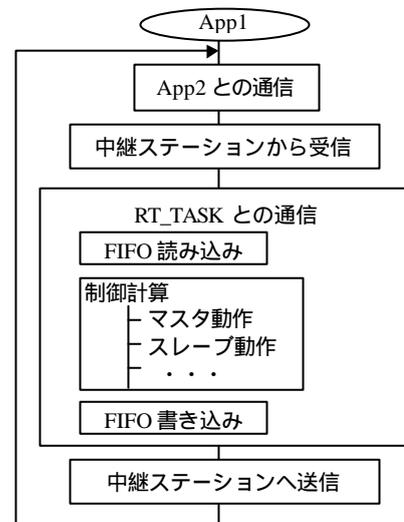


図7 プログラムフロー
Fig.7 Procedure of App1

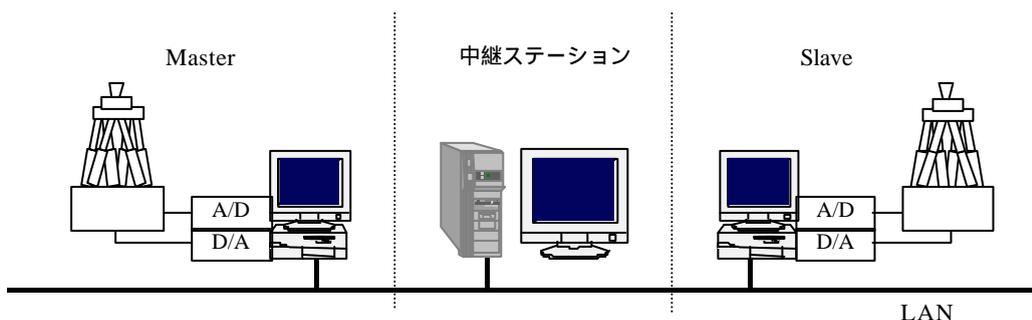


図5 遠隔操作システム

Fig.5 Remote Manipulation System

4. システムのバイラテラル制御

4.1 マニピュレータの力覚提示手法

入力装置として使用するマスタマニピュレータは、ピストンの摩擦などにより、操作者の力そのもので動かすことは困難である。そこで図8に示すように操作者がマニピュレータを動かそうとする力 F_m を検出して、その力に基づいてマニピュレータを駆動させる方法を考える。また、スレーブマニピュレータが作業対象に加える力 F_s の反力をマスタ側で再現するために、マスタマニピュレータを $k \times (F_m - S \times F_s)$ に基づいて駆動させることにより、力覚が再現できると考える。

しかし、これらの力は平行リンクのエンドエフェクタに作用する力であるため、この力に相当する各シリンダの駆動力を計算する必要がある、この計算方法についての有効な手法が提案されている[4][5]。

本稿ではこれらの計算を用いて、エンドエフェクタに作用する力から各シリンダの駆動力を計算するのではなく、力が作用したときに実際に各シリンダに発生する力情報を利用する方法を考えた。この力を検出するために、マニピュレータの各シリンダには、軸方向の力を検出できる力センサを取り付けている。この方法により、 F_m のかわりに各シリンダに加わる力 $f_{m1} \sim f_{m6}$ を、 F_s のかわりに各シリンダが発生する力 $f_{s1} \sim f_{s6}$ を用いて、各シリンダを独立して、 $k \times (f_{mi} - S \times f_{si})$ という力に基づき駆動させている。

4.2 マスタスレーブのバイラテラル制御

本稿では試作したマニピュレータを入力装置として自由に動かすことを第一に考え、マスタの操作性がもっとも優れている力帰還形の構成法を基本にしたバイラテラル制御を適用した。図9に構成を示す。マスタ側では操作者の力により各シリンダに加わる力と、スレーブが作業対象に力を加えたときに各シリンダで検出された力を用いてピストンの駆動を行ない、入力装置としての動作とスレーブ側の力のフィードバックを行う。スレーブ側ではマスタとの位置偏差 ($x_{mi} - x_{si}$) をフィードバックすることにより、マスタの位置へ追従して動作を行う。

5. 実験と考察

製作したマスタスレーブシステムを操作してみたところ、ハンドルを傾ける操作は小さな力でできるが、ハンドルを平行移動する操作に対しては大きな力が必要であった。マスタマニピュレータの操作を違和感無く軽い力で行うためには、この操作感の違いを克服する必要があるが、この点に関しては今後の検討課題とする。本稿では比較的良好的な操作感を得られたハンドルを傾ける操作を以下の2つの場合について行い、各シリンダで検出される軸方向の力と、その時の各シリンダの動作について考察する。

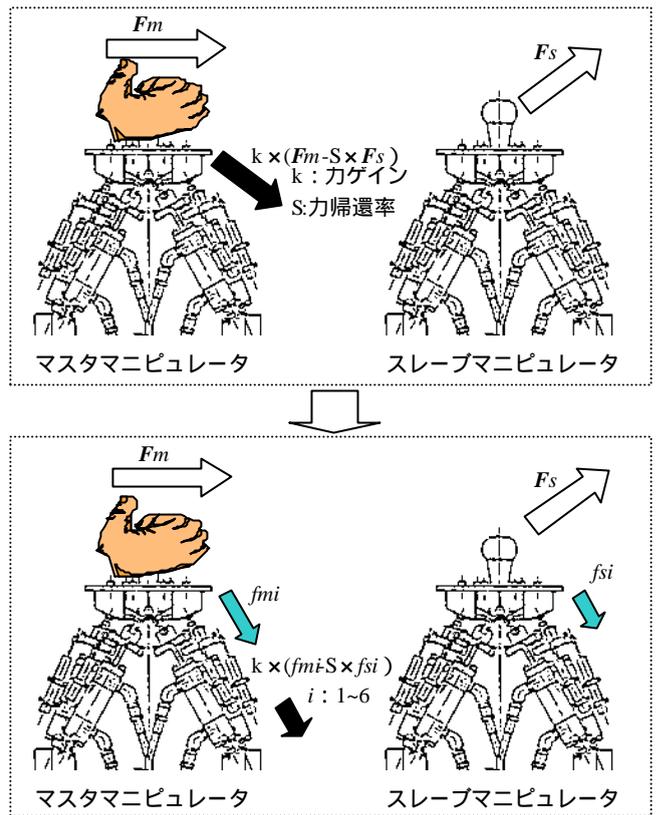


図8 マニピュレータの駆動
Fig.8 Driving Method of Manipulator

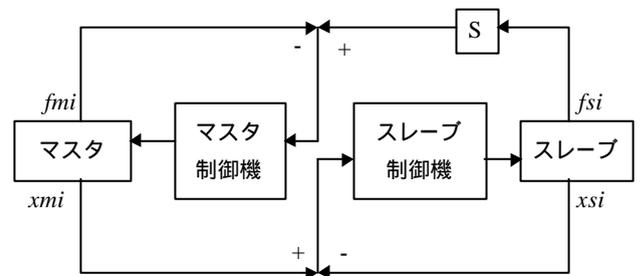


図9 バイラテラル制御法
Fig.9 Bilateral Control Method

5.1 負荷の無い状態での操作

マスタマニピュレータのエンドエフェクタに取り付けられたハンドルを操作したときの、マスタマニピュレータの各シリンダで検出された力 f_{mi} とシリンダ変位 x_{mi} およびスレーブマニピュレータのシリンダ変位 x_{si} を図10に示す。操作は1番のシリンダ付近からハンドルを傾けて、その傾きが左回りに1周するようにハンドルを動かしたもので、その傾きは人の感覚でおおよそ一定に保つようになっている。

グラフからは検出された力の方向にマスタマニピュレータのシリンダが動作し、それにスレーブマニピュレータのシリンダが追従している様子がうかがえる。しかし、力が検出されて

いるにもかかわらずその方向にシリンダが動作していない部分や、力が検出されてからシリンダが駆動するまでの時間にばらつきが見られる。これはマニピュレータの構造上の精度や摩擦などの要因から、不必要な力が検出される。各シリンダの特性を調整しきれておらず、動作の立ち上がりにはばらつきがあるなどの要因から各シリンダが干渉合っていることが理由と考えられる。この場合、各シリンダを駆動しようとする力全体が釣り合う方向にエンドエフェクタは動作するため、各シリンダで検出された力にそのままシリンダが追従して動作することは不可能である。マスタマニピュレータのシリンダとスレーブマニピュレータのシリンダの動作に若干違いが見られるのも同じ理由が考えられる。

5.2 負荷をかけた状態での操作

5.1と同じ操作を、スレーブマニピュレータのハンドルを握り、動きを止める方向に力を加えた状況で行なった様子を図11に示す。ここでの力はマスタマニピュレータで検出された力から、スレーブマニピュレータで検出された力にパラメータSを掛けて差し引いた値 $f_{mi} - S \times f_{s_i}$ を示している。

力とマスタマニピュレータのシリンダの動作は5.1と同様な関係が見られるが、スレーブマニピュレータのシリンダはマスタマニピュレータのシリンダの動きに追従できておらず、シリンダの動きに大きな違いが見られる。これは今回の制御ではスレーブ側で各シリンダを駆動するマスタ側との位置変位に応じた力と、ハンドルから伝わる負荷が釣り合う位置でスレー

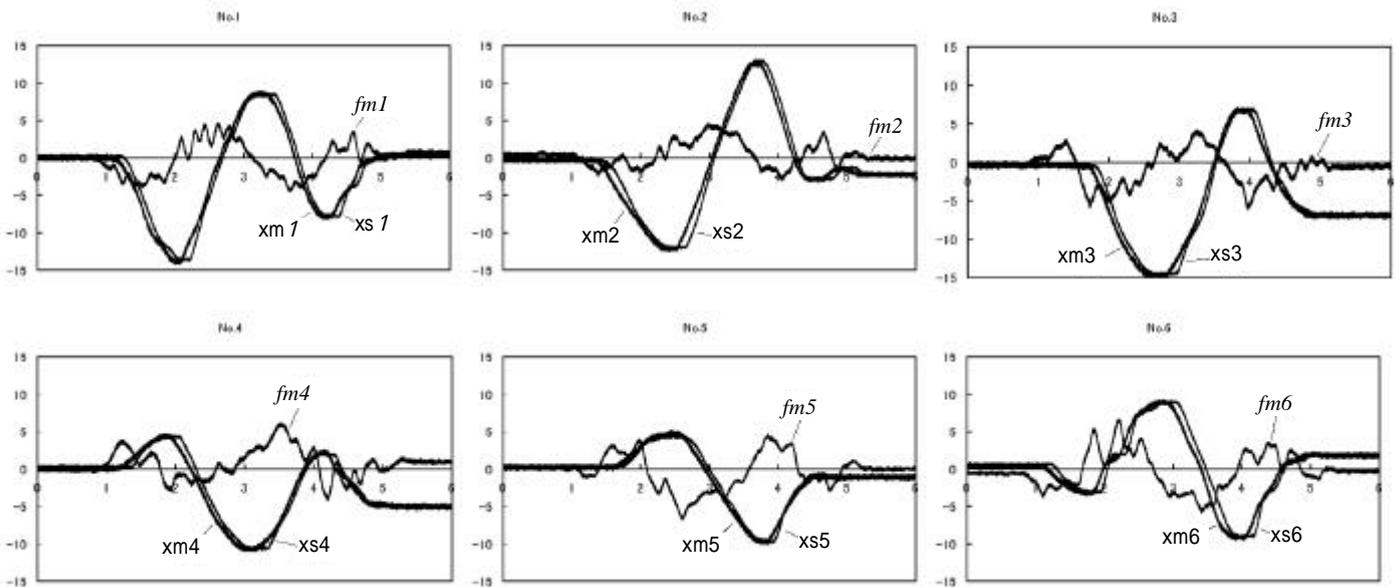


図10 各シリンダの動作

Fig.10 Motion of Cylinder

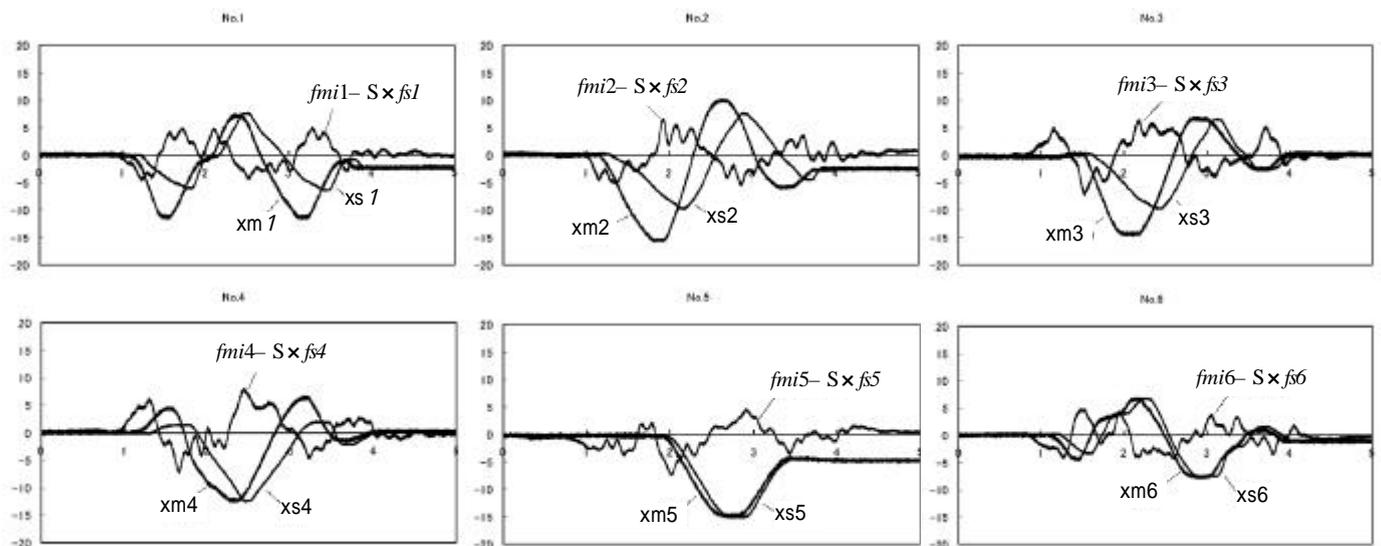


図11 各シリンダの動作（負荷有り）

Fig.11 Motion of Cylinder (loaded)

ブ側は制御されるため、このような位置のずれと後れが生ずることが考えられる。これを改善するためには、変位差に対するゲインの調整や、制御則の再検討が必用である。また、5・1でも同じ事だが、今回製作したシリンダの駆動を調節する比例弁は、応答性を向上させるために不感帯を極力小さくしていることから、オフセットの調整が整っていないと、入力値が小さい時の動作が不安定になりやすいため、シリンダ特性の調節が非常に重要と考えられる。また、油の温度や稼働圧力によって特性が変化することから、比例弁の出力値や圧力値を監視するなどして、動的なパラメータを用いるなどの微妙な調整が必要かと考えられる。

6. まとめ

本稿ではパラレルリンク型力覚ディスプレイを応用して、遠隔操作が可能な力覚提示型のマスタスレーブシステムの製作を行った。このシステムでは、マスタスレーブマニピュレータに力覚ディスプレイを適用することで、マスタマニピュレータに操作者が加える力、およびスレーブマニピュレータの受ける作業中の反力を、シリンダに取り付けた力覚センサにより直接求めている。この各シリンダで検出される力情報を利用して、多くの計算を行わずに、マニピュレータの制御を各シリンダ毎に独立して行う制御方法を試みた。

実際にシステムを稼働させた結果からは、力の検出手法やシリンダ特性の調整方法、制御手法の再検討など多くの検討課題が考えられた。さらに、今後の検討課題としてハンドルの操作方向による操作感の違いを克服する

必要がある。今後の研究では、マニピュレータの改良と制御手法の検討を重ね、力覚提示型遠隔操作作業へ応用することを考えていきたい。

なお、本研究は来年度より「力覚提示型遠隔操作システムの開発」として引き継がれる予定である。

謝辞 本研究を遂行するにあたり、機械設備購入のための補助金を頂きました日本自転車振興会に深く感謝の意を表します。

文 献

- [1] 河野誠, 吉見卓, 安部朗, “遠隔グライндаロボットの研究” 日本ロボット学会誌, vol.10, pp.224-244, 1992
- [2] 久富茂樹, 山田宏尚, 武藤高義, 光井輝彰, 飯田佳弘 “パラレルリンク型力覚ディスプレイの開発”, SICE, 第14回流体制御合同シンポジウム講演論文集, pp.17-20, Dec.1999
- [3] Stewert, D., “A platform with 6 degrees of freedom”, Proc. IMech E., 180(Part 1, 15), pp.371-386, 1966
- [4] 小菅一弘, 奥田実, 川俣裕行, 福田敏男, 小塚敏紀, 水野智夫 “パラレルリンクマニピュレータの力解析” 機学論, vol.60, pp.2338-2344, Jul, 1994
- [5] 小菅一弘, 竹尾光治, 福田敏男, 北山仁志, 竹内暢人, 村上弘記 “油圧アクチュエータを用いたパラレルリンクマニピュレータの力制御” 機学論, vol.62, pp.3536-3542, Sep, 1996

WWW ブラウザを用いた遠隔操作ロボットの開発

西嶋 隆*

Development of remote control robot with WWW browser

Takashi Nishijima*

あらまし 現在，標準化やその扱いやすさから一般の家庭にも普及している WWW ブラウザは，主に情報の発信や収集に利用されている．最近の WWW ブラウザは文字情報だけでなく，画像や音声呈示など様々なマルチメディアコンテンツを扱うことが可能であり，遠隔操作ロボットの操作プラットフォームとしても利用できると考えられる．従来の遠隔操作ユーザインタフェースは専用のコンピュータに用意されるため，操作者は様々な場所やプラットフォームからロボットを操作することは困難であった．本開発では WWW ブラウザで動作する Java アプレットをインタフェースとした遠隔操作システムの開発を行うことで，ユーザインタフェースをプラットフォーム可搬にし，利用者にとって便利なインタフェースを提供する．今回は，Java アプレットを利用したネットワーク経由による基礎的な遠隔操作システムを試作し，今後の課題について検討する．

キーワード ネットワークロボティクス，インターネット，ブラウザ，Java，遠隔操作

1. はじめに

現在の情報化社会において情報インフラストラクチャが整備されてきており，大学や企業だけでなく一般の家庭にもインターネットの普及が進んでいる．最近の WWW ブラウザは，文字情報だけでなく，3次元画像，音声等も提示可能であることや，標準化され広く用いられていることから遠隔操作システムのインタフェースとして利用可能である．

工場内の監視用ロボットや遠隔地の鑑賞用ロボットを操作する場合等，ロボットの利用者は様々な場所から様々なプラットフォームで遠隔のロボットを操作できると便利である．インタフェースに汎用のブラウザで起動する Java アプレット[1]を用いることにより，利用者が遠隔地にいてもブラウザを搭載したパソコンがあれば，いつでも利用可能なシステムが提供できる．また，プログラマはアプレットを書き換えることでロボット固有の操作インタフェースをフレキシブルに構築することができる．

ネットワークロボティクスに関する研究は，Java アプレットを用いたネットワーク型ロボットインタフェース[2]，移動ロボットの遠隔操作による美術館鑑賞[3]など多数行われている．本研究においても，監視用移動ロボットを自宅やオフィスに居ながら操作したり，遠隔地の鑑賞など観光目的への応用や様々な遠隔モニタに適用する

ことを目的としている．現在の様々な研究では，通信における時間遅れや，安全な遠隔ロボットの操作方法等についてなお多くの問題点があるが，新しい通信プロトコルの登場や情報通信の高速化に伴いネットワーク経由での遠隔操作技術の応用研究や需要は今後も増えるであろうと考えられる．

2. システム構成

本システムの構成(図1)は，ユーザのインタフェースとなる WWW ブラウザを搭載したロボット操作 PC，ユーザがアクセスする WWW サーバ，ロボットを制御するためのロボット制御用 PC 及びロボット本体の4つのアーキテクチャからなる．現在は，WWW サーバは構内 LAN の中に設置する．

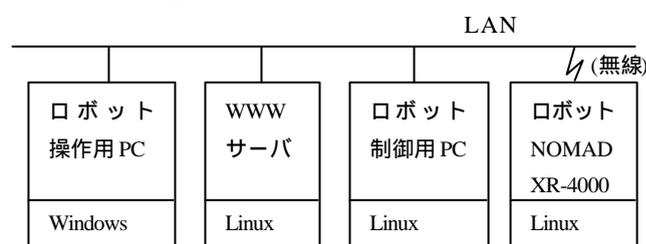


図1 システム構成

Fig. 1 Components of remote control system

2. 1 ロボット操作用 PC

ロボット操作用 PC は Java Swing アプレットを起動できるブラウザを搭載しているパソコンを用いる．今回使用する Java のバージョンは Java2(JDK1.2.x)で GUI には

*メカトロ応用部

Mechatronics Division

Swing コンポーネントを用いるため、これに対応したブラウザが必要である。Netscape Communicator 4.x や Internet Explorer においては Java Plug-in をインストールすれば対応できるため、利用者側にはプラットフォームに依存しない操作環境が提供できる。

2.2 WWW サーバ/データブリッジサーバ

WWW サーバには Apache WWW server を用いる。また、図 2 にユーザからロボット制御用 PC までの WWW サーバ経由でのデータの流れを示す。

WWW サーバ上にロボット制御インタフェースとなるアプレットを用意しておき、ユーザからのリクエストによりアプレットがダウンロードされる。

アプレットが通信できるホストはそのアプレットをダウンロードしてきたホストのみである制約から、このホスト上にアプレットとロボット制御用 PC 間の通信の橋渡しを行うデータブリッジサーバを常駐させる必要がある。アプレットとデータブリッジサーバの通信は、ソケットを用いた TCP/IP で行う。

データブリッジサーバは複数のユーザのリクエストに対応できるようにマルチスレッドで動作する。内部ではロボット操作 PC からの命令データをロボット制御用 PC へ橋渡しする命令送信スレッドと、その反対のロボット制御用 PC からのロボットの状態データをロボット操作 PC へ送る情報受信スレッドを設け、それぞれの通信は非同期に行われる。このデータブリッジサーバは Java で実装する。

ロボットの操作は、最初にデータブリッジサーバにつながった利用者にロボット操作の権限を与えて、そのほかのユーザは遠隔の画像情報のみ観察できるようにする。遠隔画像の提示はアプレットの機能を利用して実装する予定である。

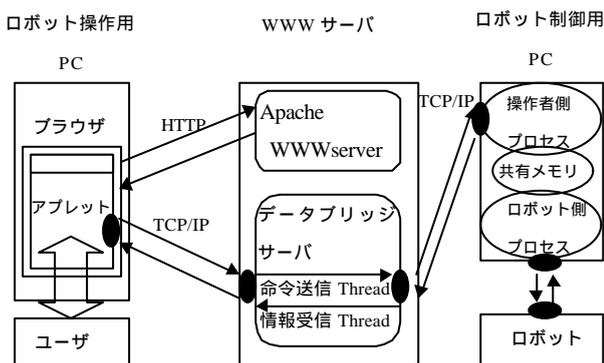


図 2 遠隔操作システムのデータフロー

Fig. 2 Data flow of remote control system

2.3 ロボット制御用 PC

このロボット制御 PC の役割は二つあり、WWW サーバ上のデータブリッジサーバとの通信を行うプロセス及び、無線 LAN で繋がっているロボットとの通信・制御を行うプロセスである。

前者のプロセスはロボット操作 PC からのロボット動

作命令データを二つのプロセスの共有メモリにバッファリングすることと、共有メモリ上のロボットの各種データを読みとり、WWW サーバ上のデータブリッジサーバに送り返す操作者側プロセスであり、後者のプロセスは、共有メモリにある命令データを読み、ロボットに対して命令を送り、ロボットの各種データを取得し、共有メモリに書き込むロボット側プロセスである。

通信による時間遅れや、ロボット制御にかかる時間のためロボット操作のリアルタイム性は望めないため、共有メモリにはユーザからの最新の動作命令を上書きする方法をとり、ロボットの動作は共有メモリ上の最新データを反映する方法をとっている。

2.4 ロボット

今回使用するロボットには NOMAD-XR4000 (Nomadic Technologies, Inc. 製) [4] を用いる。本機は移動型のロボットであり、形状は円筒型で下部にはタイヤがついており、前後左右、回転運動が可能である。円筒状の胴体部分には 48 個の超音波測長センサ及び赤外線測長センサがついており、周囲環境からの距離情報を取得できる。そのほかにも、接触情報、位置情報、コンパス情報、バッテリー情報等が取得できる。

NOMAD-XR4000 は LinuxOS で管理されており、開発者にはライブラリと Nrobot プロセスから成る移動ロボット開発環境が提供されている。アプリケーションプログラムはこの Nrobot にネットワーク (無線 LAN) を介してアクセスすることでロボットへ動作命令・情報取得を行うことが可能である。今回、この環境を利用し開発を行った。

3. 今後の課題

現状では、通信における信号の遅延のためロボットをユーザの指示通り動作させることは困難であり、安全なロボット操作が確保されていない。そのため、ユーザの指示のみでロボットを動作させるのではなく、遠隔画像を見ながらのユーザ指令とロボット側にある距離センサ情報等を利用したロボットの自立行動を組み合わせたシステムの開発が必要である。また、遠隔画像通信の方法を検討し、実装する予定である。

文献

- [1] <http://java.sun.com/> (2000年3月24日現在)
- [2] 平松, 森, 納谷, 大里, "Java アプレットを用いたネットワーク型ロボットインタフェース" 情報処学会論文誌 " pp.3315-3323 Dec.1998
- [3] 前山, 油田, 原田, " 移動ロボットの遠隔操作による美術館鑑賞 " 日本ロボット学会誌 Vol.17 No.4, pp.486-489, 1999
- [4] <http://www.robots.com/> (2000年3月24日現在)

インクジェット繊維加工システムの開発

奥村 和之* 遠藤 善道*

Development of Ink-jet Textile Printing System

Kazuyuki Okumura* and Yoshimichi Endou*

あらまし 従来、ニット製品における着色模様の柄出しは、色系替えによる柄出し、複数の色系を多層に編み込むジャガード、或いは、製布後のプリント等に限られてきた。本研究では、ニット製品の高付加価値化と生産工程の合理化を目的として、丸編機の回転速度と同調させながら給糸口で糸をインクジェット染色するシステムを構築し、糸の着色とニットの編成と同時に行う単色の柄出し編成技術を検討する。構築システムにより着色と編成を同時に行ったところ、最大で6ループの着色位置のばらつきが認められたが、2.6~10.4rpmのそれぞれの回転速度において画像データをニット上に再現できることが確認できた。

キーワード インクジェット, 捺染, 編機, ニット, 糸

1. まえがき

現在の繊維製造業では、深刻な消費不振の影響によって加工賃の低下と多品種少ロット化が進んでいる。特に、製布製造業においては、これまで生産の高速化に主眼をおいた設備投資が行われてきており、多品種少ロットでかつ高付加価値製品の生産システムへの対応が遅れている。消費の低迷する現在では、多様な消費者ニーズに即応した高付加価値製品を無駄なくクイックレスポンス生産できるシステムが求められている。

昨今、多品種少ロット生産システムの一つとしてとしてインクジェットプリント技術が注目され、いくつかの布帛用インクジェットプリンタが開発されている[1][2]。また、製布工程においてもインクジェット技術を応用した例として、製織工程の経糸をあらかじめインクジェットプリントするほぐし捺染技術の研究報告[3][4]、横編機の布帛巻き取り機構直前で布帛にインクジェットプリントする技術の特許[5]、糸をインクジェット染色しながら紐編みして一旦貯留し、その後、横編機に糸糸を供給して編成する技術の特許[6]等がみられる。しかし、丸編機において、インクジェット染色しながら直接編成する柄出しシステムについての検討はなされていない。

従来、ニット製品の着色模様の柄出しは、色系替えによる柄出し、複数の色系を多層に編み込むジャガード、或いは、製布後のプリント等に限られてきた。色系替えによる柄出しは、表現できる模様に制限が多いこと、ジャガードは多数の色系を複層に編み込むため生地が厚くなること、

*応用担当 笠松町駐在

Application Division, Kasamatu

製布後のプリントは柄が表面的な柄表現になる等の弱点がある。そこで、本研究では丸編機の回転速度と同調させながら給糸口で糸をインクジェット染色することにより、編み組織に制約されることなく着色模様を柄出しできるニット編成技術について検討した。

2. 実験

丸編機((株)福原精機製作所,型式 PFW,釜直径 660mm,針数 1500本,針間隔 18本/25.4mm)にインバーター(AC200V 3PHASE 0_60Hz)を取り付けて速度可変とする。丸編機の給糸口手前にスプレーバルブ((株)サンエイテック,780S-14)を取り付け、染料インク(Kayaset Red B 0.5m%aceton 溶液)をポリエステル加工糸(167dtex,48Filament)に噴射し、加熱したアルミニウム製ガイド(190,工程長 20cm)を経由させて染料を固着させる。スプレーバルブの開閉はソリッドステートリレー(OMRON,G3CN-DX02P1)と高速小型電磁弁(MAC,34B-ABA-GDFA-1BA)により制御することし、ソリッドステートリレーは PC(NEC PC-9821V10,Pentium 100MHz)の Cバスデジタル IO より直接制御する。近接スイッチ(オムロン(株),型式 CE,E2E-X5E1)と MS-Windows95 内の時間計測用 APIを利用して丸編機の回転速度を計測しながら、MS-Windows 上の出力用ソフトウェアにより、回転速度と同調させながらスプレーバルブの開閉を制御し、1bit の BMP 画像データを出力させる。図 1 にハードウェアブロック図を示す。

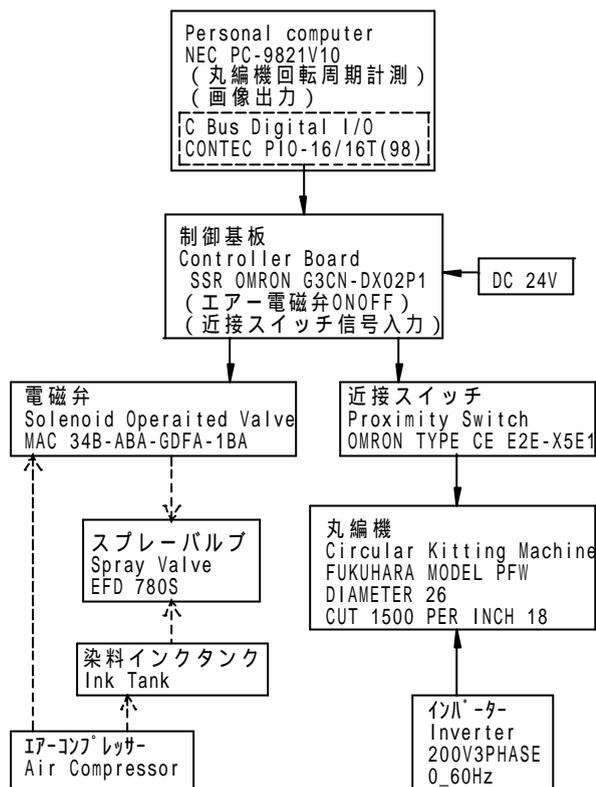


図1 ハードウェアブロック図
Fig.1 Hardware Block Diagram

ABCDEFGFG

図2 出力用画像データ(W:500pixels,H:80pixels)
Fig.2 Output Image Data(W:500pixels,H:80pixels)

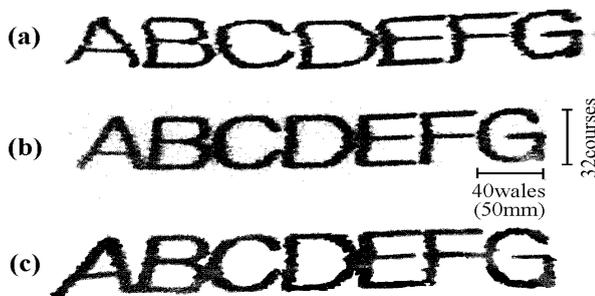


図3 編成されたニット上の柄
(丸編機回転速度(a)5.2rpm,(b)7.3rpm,(c)10.4rpm)

Fig.3 Patterns on the Knite
(Circular knitting speed (a)5.2rpm,(b)7.3rpm,(c)10.4rpm)

3. 結果及び考察

図2に出力用データ画像(W:500pixels,H:80pixels), 図3に5.2rpm,7.3rpm,10.4rpmの回転速度(Max.15.6rpm)で丸編みされたニット上の柄を示す。

図3にみられるように,それぞれの回転速度においてBMP画像がニット上にほぼ再現されており,丸編機の回

転速度とスプレーバルブによる着色制御を同調させること

によって着色模様を柄出しできることが確認できた.このとき出力できる柄の最小単位はスプレーバルブの応答速度に依存し,回転速度2.6rpmのとき1ループであった.また,出力された柄を細かくみるとコース方向に着色位置のばらつきがあり,そのばらつきは回転速度が遅いほど顕著で,回転速度5.2rpmのとき最大で6ループの位置ズレがあった.

原因調査のために出力中のスプレーバルブの開閉時間を計測したところ,一回転毎の初期リセット時間そのものに同様のばらつきがみられたことから,近接スイッチの読み取り不良による丸編機回転速度の測定誤差によって着色位置のばらつきが生じていると考えられる.

4. まとめ

本研究では,糸の着色とニットの編成を同時に行う単色の柄出し編成工程について編成した.この結果,次のことが分かった.

- 丸編機の回転速度を逐次計測し,回転速度と同調させながら,給糸口手前で糸を着色する単色の柄出し編成システムを構築し,着色と編成を同時に行った結果,2.6~10.4rpmのそれぞれの回転速度において画像をデータでニット上に再現することができた.
- 出力できる柄の最小単位はスプレーバルブの応答速度に依存し,2.6rpmの回転速度のとき1ループであった.
- 編成したニットには着色位置のばらつきが認められる.この原因は,丸編機の回転速度測定における誤差にあると考えられる.

今後は,着色位置のばらつきの原因を取り除き柄出し精度を向上させ,多色の柄出し編成システムを検討していく.

文献

- [1] 加藤孝行,双木武政,松木和正,“インクジェット捺染システム Nassenger KS-160 の開発”, Konica Tech Rep, Vol.11,pp.65-68,1998.
- [2] 草木一男,“捺染手帖 ワンダープリントについて”,繊維加工,vol.49,no.13pp.638-644,1997.
- [3] 斉藤洋,寺島征四郎,安部一男,“インクジェットプリントシステムによる絹織物試作”山形県工業技術センター報告,no.28,pp.21-25,1997.
- [4] 金子亮,井ヶ田幸生,“ほぐし捺染技術の高度化・省力化に関する研究 ほぐし捺染の高度化に関する研究”,埼玉県繊維工業試験場研究報告,vol.1995,pp.53-58,1996.
- [5] 金谷義博,広崎幸雄,“公開特許公報 横編同時インクジェット染色法”,特開平 07-070953,1995.
- [6] 島正博,“公開特許公報 アパレルシステム及びそれに用いるリアン編機”,特開平 08-311753,1996.

二重織物のデザインシミュレーションの研究

遠藤 善道* 奥村 和之*

Design Simulation of Double Woven

Yoshimiti Endou* and Kazuyuki Okumura*

あらまし 織布製造業では、試作品のコスト低減や期間短縮などの目的に、多くの織物用デザインシステムが開発され用いられている。現在利用されているデザインシステムは、一重組織の織物のデザインをシミュレーションするように開発されている。このデザインシミュレーションシステムでは二重織のような重ね組織のデザインをシミュレーションすることができない。本研究では、二重織のデザインをシミュレーションする簡単な手法を提案する。本研究で提案した手法は、簡単な方法で組織図からZパツファの値を求めることによって、織物のデザインをシミュレーションするという方法である。本手法によって、二重織の織物のデザインをシミュレーションすることができるようになった。

キーワード 二重織, シミュレーション, 織物デザイン, 織物, コンピュータグラフィックス

1. まえがき

繊維業界では、コンピュータグラフィックが開発されるとともに、デザイン開発の分野でそれが利用されるようになった。コンピュータグラフィックが利用されるようになった初期の頃は、コンピュータが高価であり、グラフィックス機能が貧弱で、かつ処理速度が遅かった。また、デザインが満足するレベルのカラー出力装置もなかった。このため、コンピュータグラフィックスの利用は、一部に限られていた。しかし、今では、それらが相当に改良されて、アパレルデザインやテキスタイルデザインにコンピュータを利用することが当たり前になり、プレゼンテーションや商談の際の見本の代わりに利用されている。

織物業の分野でも、試作品のコスト低減や期間短縮などの目的に、多くの織物用デザインシステムが開発され用いられている。現在利用されているデザインシステムは一重組織の織物のデザインをシミュレーションするように開発されている。一重組織の織物とは、Yシャツの生地のように経糸と緯糸が一定規則の元に直交してすきまなく並べられているものである。このような一重組織の織物のシミュレーションは、市販のシステムを利用する事により簡単にできる。

しかし、一重組織でない織物のデザインシミュレーションに関しては現在のところ、テキスタイルデザインが満足できるようなものはない。一重組織でない、デザインシミュレーションの難しい織物には次のような物がある。

1) 縮緬のように緯糸(経糸)が不規則に蛇行している織物

* 応用担当 笠松町駐在

Application Division, Kasamatu

2) 起毛処理した織物

3) 玉虫発色させた織物

4) 一度に二枚の織物をあわせて製織する二重織

本研究では、このうち二重織のデザインシミュレーションに関する研究を行う。

この分野の研究としては、王[1]の研究があるが、王の手法は、あらかじめ二重織になるという知見が必要であり、二重織の設計が間違っていたときなどには対応できない。また、すべての二重織を表現できるとは限らない。また、同じテキスタイルシミュレーションでは、伊藤[2]の研究がある。伊藤の研究は、ニットのデザインについての研究であるが、従来のデザインシミュレーションとは違い、系の空間的な配置を求めるという点で画期的であり、二重織のシミュレーションに彼等の考え方を応用することができる。また、太田[3]は組織図と糸の密度から二重織をシミュレーションしようと試みている。しかし、この研究でも、王の研究と同じように二重織になるという知見が必要である。池口[4]は、王、太田とは違った方法で二重織のシミュレーションの方法を提案している。

本研究では、これらの成果をふまえた上で、簡単に実現できる二重織をシミュレーションするための原理を研究する。なお、市販の織物デザインシステムや、これまでになされてきた研究では、製織の過程や、織物の物理的なものをシミュレーションしているわけではない。あくまでも、先染め織物のデザインのシミュレーションを目的としている。本研究でも、製織の過程や繊維の物理的な過程をシミュレーションすることを目的としない。織物を企画するデザイナーに役立つことを念頭に、二重織のデザインをシミュレーションする方法を研究する。

2. シミュレーション手法

2.1 従来の織物デザインシミュレーション

図1に2/2の綾の組織図を示す。織物[5]はつまるところ、経糸と緯糸とが直交して規則的に絡んでいるものである。その規則性を表す図を、織物の組織図という。組織図で升目が、経糸・緯糸の交差点で、黒く塗られている場合は、経糸が緯糸の上に、白い場合は、緯糸が経糸の上になっていることを示している。

表1に縞割の例を示す。縞割とは、経糸・緯糸の並べる順番を記述する表である。表の例は、青い糸を4本、白い糸を4本を1循環とすることを示している。この組織図と縞割で織物のデザインを作ることができる。組織図の左から、縞割で示された色が割り付けられる。図1の組織図の左から3本目、下から2本目は、経糸・緯糸ともに青い糸が割り付けられている。ここで、この点は白であるので、緯糸の青が表に現れる。以下同様に必要なだけ、組織図と縞割から色を割り出し、CRT画面に色を塗っていけば織物のデザインのシミュレーションができる。図1の組織図と表1の縞割からは、千鳥格子模様ができる。このように、従来の織物デザインシミュレーションは、織物の組織図から経糸・緯糸の交絡を求め、色を塗り分けていた。これは、正しい解釈であるが、この方法は、組織図の中の1つの升目のみに注目し、かつ、平面上で色を塗り分けているので、糸が裏・表に分かれる二重織をシミュレーションすることは難しい。

2.2 本研究で提案する方法

本研究では、池口らが提案した方法[4]を参考に、簡単でかつ質感もある程度考慮した方法を提案する。図2に二重織の組織図の例を示す。図1の綾織と似ており、組織図を見ただけでは二重織の組織がどうか判断が難しい。図の

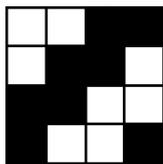


図1 2/2の綾の組織図

Fig.1 2/2 twill design

表1 縞割の例

Table 1 Example of color table

Blue yarn	4				
White yarn		4			

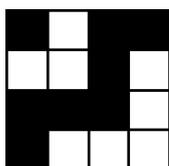


図2 二重織組織の例

Fig.2 Example of double woven design

組織図は表・裏ともに平織の二重織である。ただし、説明を簡単にするために、接結を省略している。本研究では次のようにして二重織のシミュレーションを行う。

- 1) 経糸に関して、組織図上で浮いているところを+1、沈んでいるところを-1として升目に「重み」をつける。組織図の下から上へ順に経糸を見ていき、浮きが続く場所では、重みを1ずつ増加していく。反対に沈みが続く場合は、重みを1ずつ減少させていく。
- 2) 同様に組織図の上から下へ順に経糸を見ていき重みをつける。
- 3) 1, 2で付けた重みを合算する。
組織図は、織物全体に繰り返して用いるものである。組織図1循環だけ用いたのでは、組織図の周辺で重み付けを正しく評価できない。このため、経糸については、縦方向に3循環の組織図を用いて重みを計算し、中央の1循環を正しい重みとして以降用いる。
- 4) 緯糸に関しても、経糸と同様に重み付けを行う。
- 5) 計算した「重み」を、CGでいうところのZバッファの値とする。この値は、経糸・緯糸の交差点における高さを表しているものとする。
- 6) 糸の交差点から次の交差点までのZの値は線形で補完して求める。Zの値に応じて輝度を変える。
- 7) 糸の幅をr、糸を真上から見たとき、中心線からの距離をxとし、幅方向の輝度を $y = \sqrt{1-x^2}$ という計算式で求める。
- 8) 糸の太さ、糸の密度とZバッファの値を考慮して、経糸・緯糸を描画していく。

従来のシミュレーションはX-Y方向のみを考えていたので、二重織のシミュレーションができなかった。本研究のようにZ方向の概念を取り入れることで、二重織のような立体的な織物のデザインをシミュレーションできる。

3. シミュレーション実験

3.1 シミュレーション実験

二重織のシミュレーション手法について次の実験を行う。

- 1) 図2で示した二重織組織と代表的な二重織組織である風通組織を用いてシミュレーションを行う。本研究で考案した手法で二重織ができることを確認する。
- 2) 実際の二重織組織と縞割を用いてシミュレーションを行う。実物と比較し本研究の有用性を確認する。

3.2 平二重織のシミュレーション結果

2.2で説明した手順に従って、図2の組織図から求めた経糸のZバッファの行列を図3に示す。前述のように、組織図の1循環を評価したのでは、周辺で真の値が出ないために、3循環を評価して、中央の1循環のデータを用いた。図2の二重織は経糸について、左から表・裏になるように設計されている。図3(c)を見ると一番左の経糸はZバッ

ファの値で4が多く、小さいものでも-2である。これとは逆に、左から2番目の経糸は-4が多く、大きいものでも-2である。このことは、図2の二重織組織について、左側の糸は「浮き」がおおく、右側の糸は「沈み」が多いということと合致している。同様に、緯糸のZバッファを図4に示す。図3、図4のZバッファからシミュレーションした結果を図5に示す。図5は糸の間隔を広くとって、裏側に回る糸が表から見えるようにしている。図に示すように、組織図で設計したとおり、裏に回る糸と、表に出る糸が完全に分離している。図6に、経糸・緯糸の密度を高めて裏に回る糸を見えなくしたものを示す。本研究では前述のようにZバッファを使っているので、特段の注意を払うことなく裏に回る糸は、糸の密度を高めることで見えなくなる。風通組織のシミュレーションを図7に示す。風通のように、途中で表糸が裏糸になる組織も簡単にシミュレーションができた。

3.3 実際の織物との比較

図8に二重織の組織図を、図9に図8の組織図に従って織られた実際の織物、図10に本研究で考案した手法でシミュレーションした結果を示す。図9と図10を比べてわかるように、織物のデザインは完全に合っている。しかし、シミュレーションでは糸のむらや蛇行がないために実物の織物よりもきれいに見える。織物の質感はやや乏しいといえる。ただし、図10は糸の交絡がわかるように糸を太く描画したものである。実際の糸の太さと同じくらいに描画すると、本研究のシミュレーションでもクリア仕上げの織物のように見える。本研究で考案したシミュレーション手法で二重織のデザインをシミュレーションできることが明らかになった。

3	-2	1	1
-1	-3	2	-1
1	1	3	-2
2	-1	-1	-3

3-a)下から集計

1	-2	3	1
-1	-1	2	-3
3	1	1	-2
2	-3	-1	-1

3-b)上から集計

4	-4	4	2
-2	-4	4	-4
4	2	4	-4
4	-4	-2	-4

3-c) a,bを合算したもの

図3 経糸のZバッファ
Fig.3 Z buffer of warp

4	-2	4	4
-4	-4	2	-4
4	4	4	-2
2	-4	-4	-4

図4 緯糸のZバッファ
Fig.4 Z buffer of weft

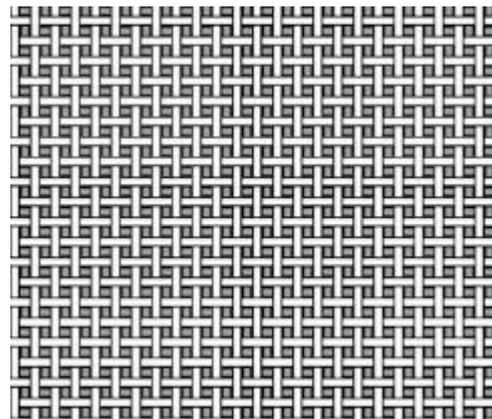


図5 シミュレーション結果(1)

Fig.5 Result of simulation(1)

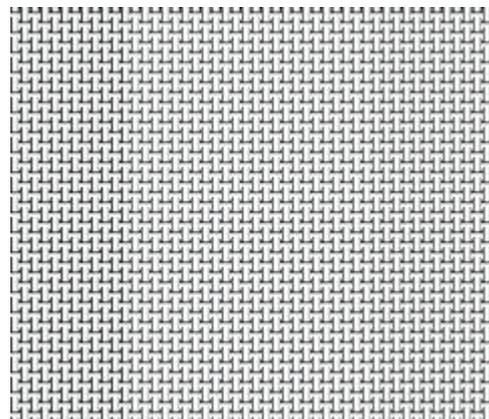


図6 シミュレーション結果(2)

Fig.6 Result of simulation(2)

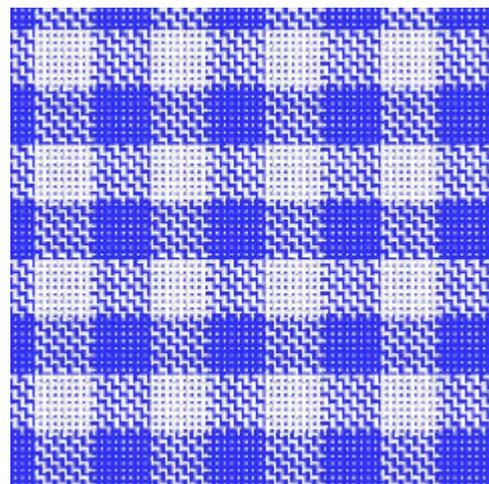


図7 風通組織のシミュレーション

Fig.7 Futu design simulation

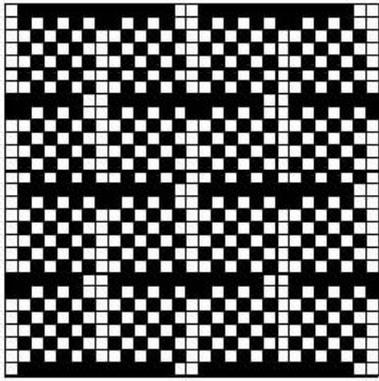


図8 二重織の組織

Fig.8 Double woven design

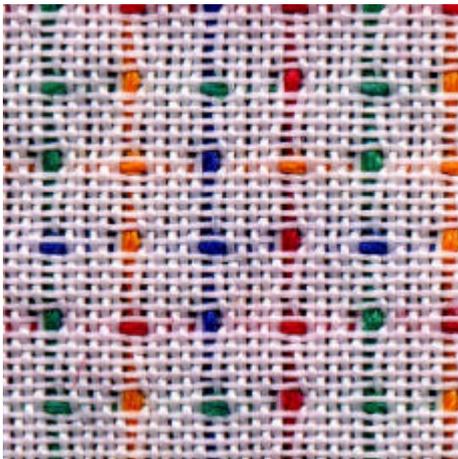


図9 実際の織物

Fig.9 Real woven

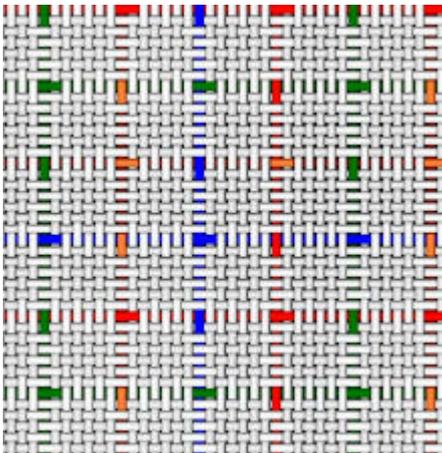


図10 シミュレーション結果(3)

Fig.10 Result of simulation (3)

4. まとめ

本研究では、二重織のデザインをシミュレーションする簡単な手法を考案した。従来の織物デザインシミュレーションは、基本的に織物組織図を糸の色で塗りつぶす方式であった。このために、二重織などの重ね組織をシミュレーションすることはできなかった。

本研究で提案した手法は、簡単な方法で、組織図から、Zバッファの値を求めることによって、デザインをシミュレーションするという方法である。本研究の方法によって、Z軸方向の糸の配置を考慮することができるようになり、二重織の織物のデザインをシミュレーションすることができた。本研究では、風通のように途中で表糸が裏糸になる組織、表糸と裏糸の配列が1:1以外の組織も簡単にシミュレーションすることができた。また、本研究では、デザインシミュレーションのプロトタイプソフトを作成した。本研究で作成したソフトウェアは、研究用ではあるが、組織図、糸の色、配糸などを変えられるようになっており、一重組織の織物のデザインや二重織のデザインをシミュレーションすることが可能である。また、二重織組織の確認にも利用できる。しかし、本研究では、質感乏しい、カラーマッチングが取れていない、ユーザーインターフェースがない、などの課題が残った。次年度は、ユーザーインターフェースを改良し、織物業で使用できるようなソフトウェアの開発に取り組む予定である。

謝辞 本研究を進めるに当たって、愛知県尾張繊維技術センターの池口達治氏、都築秀典氏からは、有益な議論と支援をいただきました。また、(株)カワサキの川崎眞代氏からは織物についての指導とサンプルをいただきました。記して感謝いたします。

文 献

- [1] 王躍存,中島勝,“コンピュータによる二重組織織物のシミュレーション”,織機誌 vol146, No.4, pp51-54, Apr. 1993
- [2] 伊藤裕一郎,山田雅之,“3次元紐図形表現方法を用いた編み物パターン処理について”,情報処理学会論文誌 vol137, No.2, p249-253, Feb. 1996
- [3] 太田健一,小柴和彦,“糸表面データベースを用いた織物表面パターンシミュレーション”,織機誌, vol143, No.12, pp63-71, Des. 1990
- [4] 池口達治,都築秀典,“表面効果織物のシミュレーション手法”,繊維機械学会第52回全国大会, B-1, pp54-55, Jun. 1999
- [5] 文部省,高等学校用 織物組織,文部省, pp9-22,実教出版,東京,1968

人とロボットの協調作業に関する研究

稲葉 昭夫* 西村 太志*

Study on Man-machine Systems for Collaborative Manipulations

Akio Inaba* and Futoshi Nishimura*

あらまし 近年、汎用的に使用できるロボットには、省人・省力化だけでなく、作業支援に関しても大きな期待が寄せられている。本研究では、寸法等が未知のワークに関する搬送作業を対象に、ロボットが人との協調作業により作業支援を行うための制御およびコミュニケーション技術に関して検討する。本年度は、作業支援を行うための基本的な作業支援モデルについて検討し、作業ごとにコントローラの特性を切り替える新たな作業支援モデルを提案した。

キーワード 人間機械協調, 作業支援, インタフェース

1. はじめに

企業の生産現場において、省力化が遅れている工程に組立工程があり、製品製造にかかる人件費の中でこの工程に関係する部分が大きな割合を占め、コストダウンを行う上でのネックになっている。特に、オーダーメイドによる生産や試作を行う製品に関しては、手作業で行われている場合がほとんどである。このような作業において自動化が進展していない大きな理由には、作業内容が複雑であるため、これに対応する自動機を作ることが非常に困難であることがあげられる。一方、少子化・高齢化社会の到来による労働人口の減少により、企業現場において各種の作業を行う労働者不足が深刻になることが予想されている。また、一般社会においては、高齢者の作業を支援する種々の機器に対する要望が高まりつつある。このようなことから、汎用的に使用できるロボットには、省人・省力化だけでなく、作業支援に関しても大きな期待が寄せられている。このため、近年、ロボティクスの研究において、作業支援についても積極的に取り組まれるようになった。しかし、これまでの取組[1][2]においては、ある1つの基本タスク(例えば持ち上げ動作)のみを対象としたり、ワークの移動方向に大きな制約を設定するなど基礎的な議論にとどまっている。

このような状況を踏まえ、本研究では、寸法等が未知のワークに関する搬送作業を対象に、ロボットが人との協調作業により作業支援を行うための制御およびコミュニケーション技術に関して検討する。本年度の研究においては、作業支援を行うための基本的な作業支援モデル

ルについて検討し、作業ごとにコントローラの特性を切り替える新たな作業支援モデルを提案する。

2. 協調作業の形態

本研究で対象とする協調作業を次のように仮定する。

- 1) 人とロボットがそれぞれワークの両端を把持して搬送する(図1)。
- 2) 協調作業を行うロボットには、手先に力覚センサを搭載する。
- 3) 搬送するワークは、剛体である。
- 4) 搬送するワークの基本形状は柱状部品とし、詳細な寸法等は未知とする。

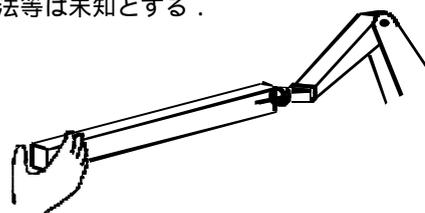


図1 協調作業の形態

Fig.1 A collaborative manipulation

3. 作業支援モデル

本研究では、搬送作業を次式に示すようなインピーダンス制御[3]に基づいてアシストする。

$$F = M\ddot{x} + D\dot{x} \quad (1)$$

但し、

F : ロボットの手先に作用する力ベクトル

x : ロボットの手先の位置ベクトル

M : 目標慣性係数マトリックス

D : 目標粘性係数マトリックス

* 応用担当, 関市

Application Division, Seki -shi

である。

このとき、ロボットの手先に搭載した力覚センサには、ワークを単に平行移動しようとした場合においても、モーメントが作用する。このため、インピーダンス制御による作業支援を行う場合、このモーメントをキャンセルする必要がある。搬送するワークの形状と人のワークの把持位置が既知であればこれを計算により補正することは可能である。しかし、本研究では、これらを未知としているため単純にキャンセルすることは困難である。このため、本研究では、平行移動と回転移動を同時には行わないと仮定し、これらを別々に制御することとする。

一方、人間同士が協調作業を行う場合、お互いの意志を言葉やワークからの反力により確認しながら行っている。また、人とロボットが協調してワークを搬送する場合、その移動方向の目標粘性係数を小さくし、それ以外の方向の目標粘性係数を大きくすると、搬送しているワークが移動方向以外へは移動しにくくなり、作業も行いやすくなると考えられる。このため、本研究では、図2に示すような作業ごとにコントローラの特性を切り替える作業支援モデルを提案する。提案するモデルにおいて、人の作業意志とロボットの作業状態をオブザーバが観測する。その結果をスーパーバイザが受け取り、協調作業を行うためのコントローラを選択する。人の作業意志の把握にはいろいろな手法が考えられる。本研究では、あらかじめ登録した単語を用いた音声によるインターフェースを使用することとする。このインターフェースの具体的な設計法に関しては今後の研究において検討する。このようなインターフェースを選択した理由は、協調作業を行う人の操作とは独立してコミュニケーションを行うことが可能である（作業指示用のペンダントやジェスチャ等によるインターフェースは作業に対する制約が生じる）ことと、近年の音声認識技術の発達により認識率が向上しかつパソコン等で容易に使用できるソフトウェアが販売されていることである。

4. 基礎実験

本研究で提案したモデルに基づいて、円筒部品の協調搬送（図1）に関して平行移動と回転移動を行った基礎実験の結果を図3に示す。実験に用いたロボットは、川崎重工業（株）のJS-10であり、各モード（平行移動、回転移動）の切り替えはキーボードから行った。実験結果において、人が加えた力に応じて協調作業が実行されたことが確認できる。

5. まとめ

本研究では、寸法等が未知のワークに関する搬送作業を対象に、人とロボットの協調作業により作業支援を行うための基本的な作業支援モデルを提案した。今後は、オブザーバの設計や各作業に対する適切なインピーダンス特性の設定法などについて検討する。

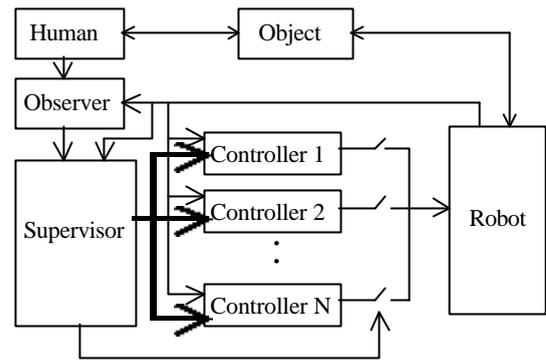


図2 提案モデル
Fig.2 Proposed model

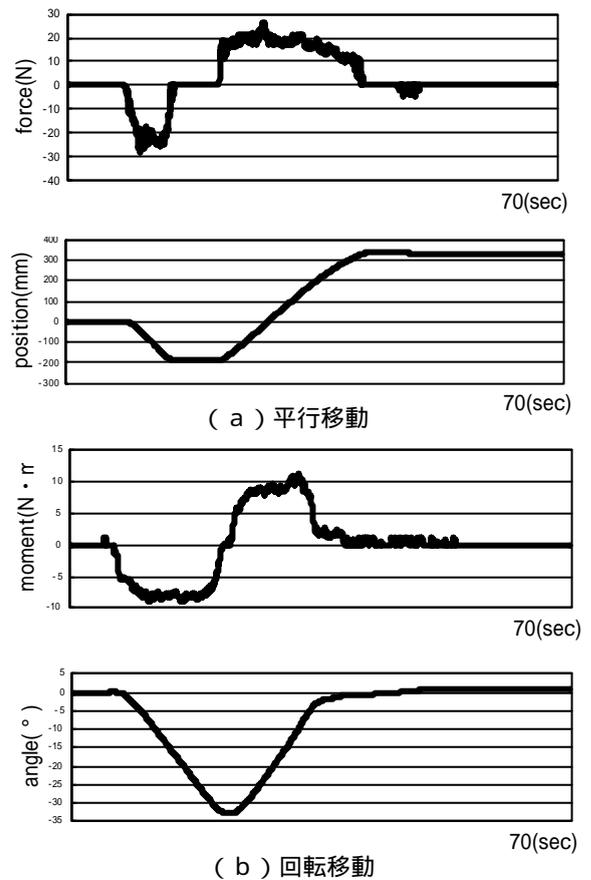


図3 実験結果

Fig.3 Results of experiments

文献

- [1] 園田幸伸, 林原靖男, 荒井裕彦, 谷江和雄, “協調行動モデルに基づく人間とロボットの協調運搬”, ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集, IP2-75-107, 1999
- [2] 小菅一弘, 風村典秀, 佐藤学, 荒尾真樹, 恵木守, 河野淳一, 島村純児, “人間協調型ロボットを用いた物体の持ち上げ動作”, ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集, IP2-75-105, 1999
- [3] 小菅一弘, “力制御法の分類と制御システムの構築法”, 日本ロボット学会誌, Vol.9, No.6, pp.751-758, 1991

バリアフリー住宅設計支援システムの開発

立川 英治* 田中 泰斗* 安藤 敏弘**

Development of a Barrier-Free House Design Support System

Eiji Tachikawa*, Taito Tanaka* and Toshihiro Andou**

あらまし VR 技術を用いた手動車いす用住宅設計支援システムの開発を目的として、本年度は手動車いすの基礎的運動について考察し、平坦路及び傾斜路を直線的に移動するときの運動方程式を導出した。その結果、平坦路走行時における車いすの走行抵抗を床材と操作者体重から求めることが可能になった。また、段差高さ及び操作者体重から車いすの段差乗り越えに必要な力を求めることが可能になった。さらに、ハンドリム操作量を基に車いすの位置と姿勢を求める関係式を導出し実際の運動と比較を行った結果、計算結果と実際の位置および姿勢の間には誤差が生じることが確認された。

キーワード 車いす, バリアフリー住宅, 設計CAD, VR

1. まえがき

近年福祉・医療分野への関心の高まり、高齢者や身障者に配慮した都市設計、住宅設計が注目をあびている。また、障害者の移動支援機器として代表される車いすに対するニーズも多様化しており、障害者個々の体格や障害度にあわせて設計された車いすも多く利用されるようになってきている。車いす利用者の居住空間に対する要求は様々であり、健常者には気にならない段差やスロープが車いす利用者にとっては大きな障害となることが多々ある。また、間取り、家具の設置場所・機能など細かな点についても配慮が必要であり、車いすの多様化と相まって住宅設計の際の大きな問題になっている。

居住空間の検討手法として大手ハウジングメーカを中心にバーチャルリアリティ技術(以下VR技術)を用いたシミュレーションシステムが開発されているが、車いす利用者を対象としたシステムの開発は少ないのが現状である。そこで本研究では、VR技術を用いた手動車いす用住宅シミュレーションシステムを開発し、車いす利用者の住宅の利便性を設計段階で体感検討を可能にする。

車いすには大きく分けて手動、電動、パワーアシスト型の3つの種類があるが、最も利用者が多い手動車いすについて検討を行う。体験者に住宅の利便性を検討する

ための十分な情報を提供するためには、車いすの揺動、ハンドリム操作時の反力を表現する必要がある。そこで、本年度は手動車いすの基礎的運動を考察し、導出した方程式を元に車いすの運動について検討する。

2. 車いすの運動方程式

車いすが傾斜路を直線的に移動する際の運動について考える。図1に車いすの運動方程式を導出する際に利用するパラメータを示す。車いすの左右両輪には均等に力 F が加えられ、斜面に対して垂直に移動するものとする。また、自在輪(前輪)には転がり摩擦などの抵抗力が生じないものと仮定し、床と車輪の間には滑りがないものとする。この時の系全体の運動方程式は

$$M \frac{dv}{dt} = 2F_f - Mg \sin \theta \quad \dots\dots\dots(1)$$

となる。 g は重力加速度、 M は系全体の重量、 F_f は床と駆動輪の間に働く力、 θ は斜面の角度である[1]。また、駆動輪一輪の回転運動方程式は

$$I \frac{d\omega}{dt} = Fr - F_f r - r \frac{1}{2} Mg \cos \theta \quad \dots\dots\dots(2)$$

となる。 I は駆動輪一輪の慣性モーメント、 F はハンドリムに加えた力、 r は駆動輪の半径、 μ はタイヤの転がり摩擦係数、 ρ は後輪にかかる質量比率、 R は転がり摩擦抵抗で $R = (\mu Mg \cos \theta) / 2r$ とおく。ここで、駆動輪を円環と見なすと、 $I = M_w r^2$ とおける。 M_w は駆動輪1輪の重量である。床と車輪の間には滑りがないので、車軸の移

* 応用担当, 高山駐在
Application division, Takayama

** 岐阜県生活技術研究所
Gifu Prefectural Human Life Technology Research Institute

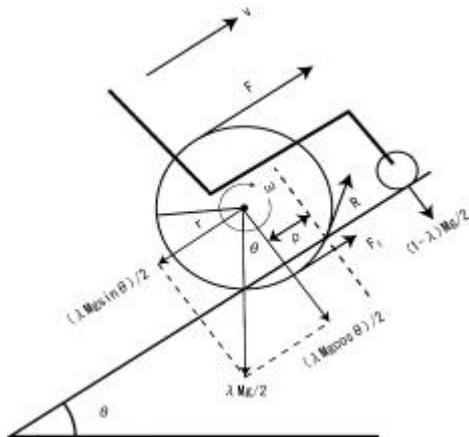


図1 車いすの運動方程式に使用する記号

Fig.1 Systematic definition

動量と系全体の移動量は等しくなり、移動量 x と駆動輪の回転角 θ の関係は $x=r\theta$ となる。式(1)、式(2)から F_f を消去し、 $\tan \theta = r\theta$ の関係[2]を利用すると、式(3)の結果が得られる。このときの θ はこの円環が斜面を等速で転がり落ちるのに必要な角度である。

$$(M + 2M_w) \frac{dv}{dt} = 2F - \lambda Mg \tan \alpha \cos \theta - Mg \sin \theta \quad \dots\dots\dots(3)$$

3. 手動車いすの駆動特性

本研究では力覚提示機能を有した VR シミュレータの開発を目的としており、そのためには手動車いすの駆動特性を把握する必要がある。式(3)より明らかなように車いすが移動するときにはタイヤの転がり摩擦による抵抗が発生する。その他にも段差乗り越え時や斜面走行時など様々な走行抵抗が発生する。これらの値のうち平坦路における走行抵抗と段差乗り越えに必要な駆動力について実験を行った。また、ハンドリム操作量をから車いすの位置・姿勢を推測し、実際の車いすの移動軌跡との比較を行った。

車いすの駆動特性を把握するため、計測用車いすを作成した。計測用車いすは、左右駆動輪の車軸にポテンシオメータを取り付け、駆動輪の回転量を検出するものである。車いすには、後輪駆動式標準規格手動車いすを利用した。(駆動輪：径 61cm(24 インチ)、一般タイヤ、空気圧 196kPa(2.0kgf/cm²) 自在輪：径 15.2cm(6 インチ)、中太タイヤ、空気圧 147kPa(1.5kgf/cm²))ポテンシオメータの抵抗変化を動ひずみ計測器((株)共和電業製 PCD-100A)で取得することにより駆動輪の回転量を測定する。

3.1 車いすの走行抵抗

車いすに働く走行抵抗としては転がり摩擦以外にベアリング回りで発生する動摩擦などの要因が考えられる。また、式(3)では自在輪の転がり摩擦やモーメント、キャストの首振り角を無視している。実際にはこれらの値が

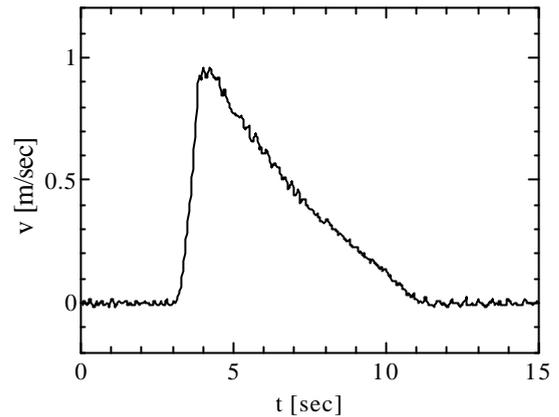


図2 車いすの速度変化

Fig.2 The velocity in the motion of inertia

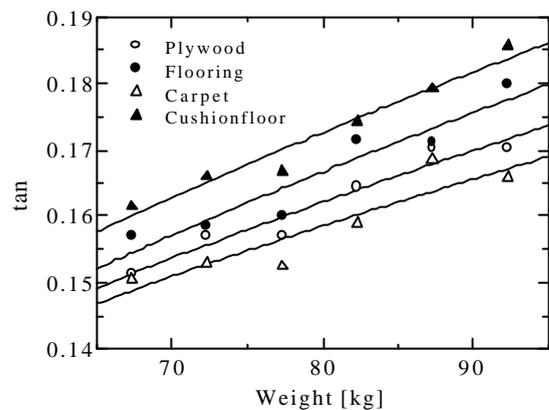


図3 車いすの走行抵抗係数

Fig.3 The coefficient of moving resistance in wheelchair 走行抵抗に影響を及ぼすと考えられるが、自在輪に発生する走行抵抗はキャストの首振り角によって変動し、一概には決定できない。したがって、ここでは駆動輪2輪に車いすの総重量が加えられるものとし、式(3)の \tan を走行抵抗係数として扱う。これは摩擦の法則(クーロンの法則)の摩擦係数と同じ次元の値となって、走行抵抗は走行抵抗係数に垂直抗力を掛け合わせた値で表現できる。

3.1.1 車いすの走行抵抗の計測

走行抵抗係数は、慣性走行時の車いすの速度変化から求めた。車いすには 45~70kg のおもりを載せ、後方から押し出すことにより初速を与えた。また、床材として、カーペット(業務用)、フローリング、ベニヤ板、クッションフロア(肉厚 1.8mm)の 4 種類を準備した。

3.1.2 結果と考察

図2は車いすの速度変化を表しており、速度が直線的に減少していることがわかる。この傾向は、いずれの実験においても同様であり、車いすがほぼ一定の走行抵抗を受けて減速していると考えられる。

図3は車いすの総重量と走行抵抗係数の関係である。

走行抵抗係数は、車いすの速度が最高速度の90～10%に至るまでの変化を直線近似し、その傾きから求めた。走行抵抗係数は車いすの総重量の増加に伴い増加しており、いずれの床材においても同様の傾きを示している。総重量の変化による走行抵抗係数の増加は、タイヤの変形によるものと考えられる。また、床材に関わらず走行抵抗が一定の割合で増加する理由は、タイヤの変形度合いが、タイヤ自身の特性と加えられる垂直抗力によって決定されるためと考えられる。実験の結果カーペット、ベニヤ、フローリング、クッションフロアの順で走行抵抗係数が大きくなった。カーペットでの走行抵抗が最も小さくなった理由は定かでないが、カーペットの毛足による凹凸のため、車輪と床材の接触面積が小さくなった事が考えられる。逆に、クッションフロアの走行抵抗が最も大きくなった理由は、タイヤの変形に加え、クッションフロア自体が変形したためと考えられる。

これらのことから、車いすの走行抵抗は床材の材質および車いすの総重量により予測できることが分かった。

3.2 ハンドリム操作による移動軌跡の推測

シミュレータ内での位置・姿勢を決定するためハンドリム操作量からこれらの値を推測する必要がある。ハンドリムの回転量とタイヤの半径から左右駆動輪の移動量を求める。車いすの姿勢および移動距離は、その幾何学的形状と駆動輪の移動量から次のように表される[3]。

$$q_i = \frac{hr_i - hl_i}{W} \dots\dots\dots (4)$$

$$N_i = \frac{hr_i + hl_i}{2} \dots\dots\dots (5)$$

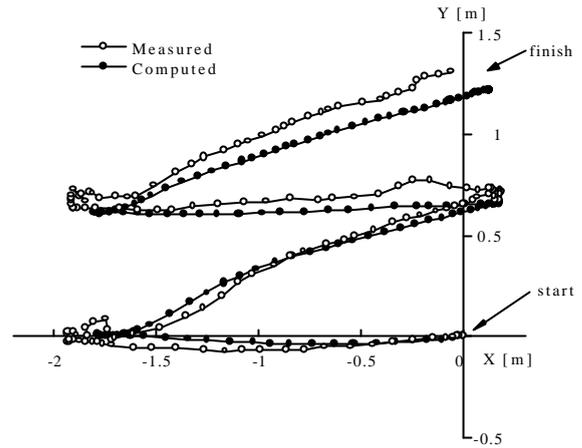
左駆動輪の移動量	hl_i
右駆動輪の移動量	hr_i
車いす旋回量	i
車いす移動距離	N_i
車いすの駆動輪間の距離	W

添え字 i はサンプリング番号である。

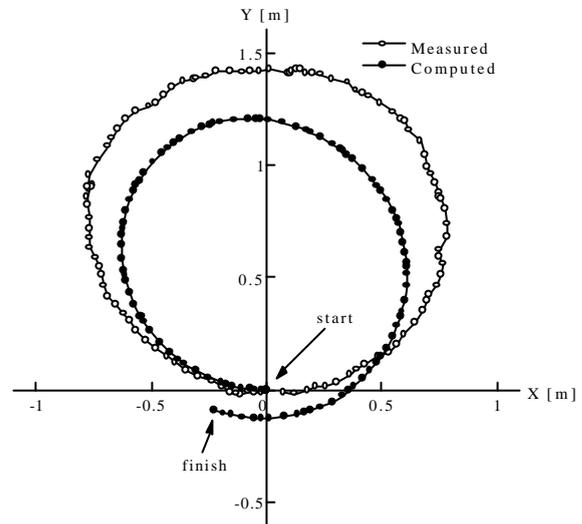
式(4)式(5)により得られた値を加算すれば車いすの位置と姿勢が決定できる。

3.2.1 移動軌跡比較実験

式(4)および式(5)の妥当性を検討するため、駆動輪の回転量から求めた移動軌跡と実際の移動軌跡の比較を行った。実際の移動軌跡の取得には、2次元動画計測装置(株式会社ライブラリ製 Move-Tr32/2d)を使用した。この装置はビデオ画像内のポイントの動きを解析し、移動軌跡を検出するものである。解析画像には、頭部にポイントを取り付けた被験者を4mの高さから撮影したものを利用し、毎秒3フレームの解析を行った。移動軌跡の計算には、3.1.1で使用した車いすを利用した。また、車輪の移動量は、得られた左右駆動輪の回転量に駆動輪の半径を掛ける事で求められる。この値を式(4)、式(5)に代入し、



(a)前進後退ジグザグ運動



(b)右回り旋回運動

図4 車いすの移動軌跡

Fig.4 Result of moving centre in wheelchair
車いすの旋回量および移動距離を求めた。

3.2.2 結果と考察

図4は2次元動画解析結果と駆動輪の回転量から求めた移動軌跡であり、(a)は車いすを前進させ、停止したあと左斜め方向に向きを変え、そのまま右斜め後ろ方向に後退するジグザグ運動、(b)は左右ハンドリムを前進方向に回転させることで右回り旋回を行ったときの結果である。それぞれの点は解析および計算された点であり1/3秒単位の車いすの位置を示している。

図4(a)では解析結果と計算結果の移動軌跡はほぼ一致した。一方、図4(b)では解析結果の移動軌跡よりも計算結果の移動軌跡による旋回半径の方が小さくなった。これは、右駆動輪の回転量は左駆動輪の回転量に比べ、床との滑りが大きくなったと考えられる。これにより計算結果の旋回半径は解析結果に比べ小さくなったと考えられる。また実験開始時と実験終了時を比較すると徐々に

に誤差が増加している様子が分かる。このことから、移動軌跡のずれは移動距離の増加に伴い累積していくと考えられる。

3.3 車いす段差乗り越え運動

車いすシミュレータの開発において、段差乗り越え時の反力を表現するためには、段差高さや操作者の体重から乗り越えに必要な力を導く必要がある。そこで、平坦路に設けた段差を垂直に乗り越えるときに必要な力を測定した。

3.3.1 車いす段差乗り越え実験

車いすの自在輪または駆動輪の前方に段差を設け、段差乗り越えに必要な力を計測した。段差乗り越えに必要な力は、ハンドリム円周方向に働く力とし、左右ハンドリムの円周に巻き付けたチェーンを万能試験機((株)島津製作所製 AG5000-B)で引っ張ることにより測定した。引っ張り速度は60mm/min一定とし、段差高さは3~21mm、操作者体重は45~70kgで実験を行った。また、車いすの移動量は両輪の回転量から算出した。これは、チェーン

のあそびの影響を除去するためである。

3.3.2 結果と考察

図5,図6は、段差乗り越え時における段差高さや乗り越えに必要な力の関係であり、それぞれ自在輪、駆動輪の特性である。また、図中の線は実験結果を基に導出した近似式によるものであり、近似式は式(6)で表される。

$$F = f(w) \cdot h + c \dots \dots \dots (6)$$

Fは乗り越えに必要な力、hは段差高さ、f(w)は操作者体重wにより決定される値、またf(w)およびcは実験結果より求めた近似式および定数である。図から明らかのように実測値と近似式の結果はよく一致している。この結果から段差高さ及び操作者体重をもとに段差乗り越えに必要な力を求めることが可能であることが分かった。

4. まとめ

VR技術を用いた手動車いす用住宅設計支援システムの開発を目的として、本年度は手動車いすの基礎的運動について考察した。以下に得られた結果をまとめる。

- (1)平坦路及び傾斜路を直線的に移動するときの運動方程式を導出した。
- (2)段差高さ及び操作者体重をもとに、車いすの段差乗り越えに必要な力を求めることが可能になった。
- (3)平坦路走行時における車いすの速度変化を計測し、床材と走行抵抗の関係について知見を得た。
- (4)ハンドリム操作量を基に車いすの位置と姿勢を求める関係式を導出した。計算結果と実際の位置および姿勢の間には誤差が認められた。

今回考えた車いすの運動は直線運動に限られており、傾斜路での3次元的な運動についての考察は行っていない。また、開発するシミュレーションシステムを有意義なものにするためには、持ち込まれた2D住宅図面を即座にVR環境に導入できるようなシステム構成を考えていく必要がある。これらの課題については今後検討していきたい。

謝辞 本研究の推進にあたってご指導、ご助言を頂いた岐阜大学 武藤高義教授、山田宏尚助教授に深く感謝します。

文献

- [1] 藤本英雄, 佐野明人, 陳連寺怡, 桜井陽一 “力覚呈示機能を持つ車いす仮想体験システムの試作と空間認知実験”, 日本機械学会論文集(c 編)64 巻 628pp4687-4693,1998
- [2] 機械工学便覧第改訂5版”,(社)日本機械学会,1979
- [3] 鈴木康雄, 太田一重, 中村恵一, “車いすマウスの試作と住環境表示”, 第13回工学カフェ,1998

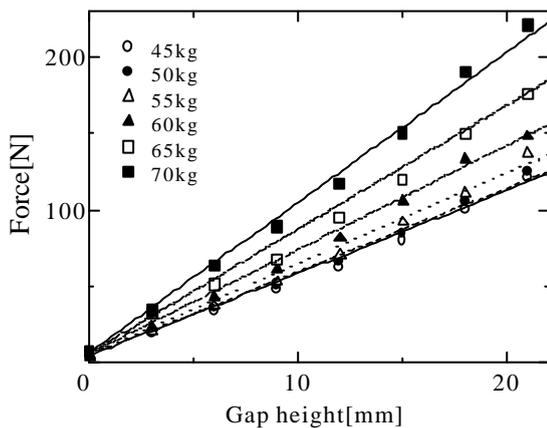


図5 車いす段差乗り越えに必要な力(自在輪)
Fig.5 Result of the force to climb over the gap (Front)

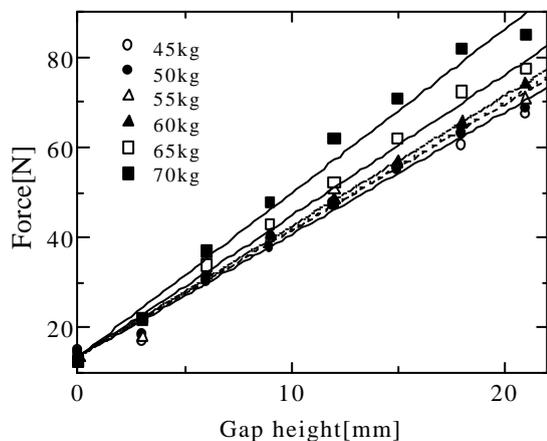


図6 車いす段差乗り越えに必要な力(駆動輪)
Fig.6 Result of the force to climb over the gap (Rear)

陶磁器製品の新プロセッシングの開発

高山定次* 尾畑成造*

Development of Renewed Ceramics Process

Sadatsugu Takayama* and Seizo Obata *

あらまし 近年のコンピュータ技術の発展により、フルカラー画像データなどの膨大なデータ処理が可能になり、いろいろな業界でコンピュータが利用されるようになった。一方、タイルの製造工程で、特に自動化が進んでいない工程に検査工程があり、この工程の省力化が望まれている。本研究では検査工程における自動検査システムの開発を目的に、検査の難しい色彩の検査について市販の測定機器がどの程度適用できるかについて検討した。その結果、市販の機器を適用することにより色彩の検査において良品、不良品の判定は可能であることが分かった。

キーワード タイル、検査システム

1. まえがき

タイルの製造工程は、プレス成形、施釉、焼成、検査、シャッフルおよびタイル整列・紙貼からなり、成形工程、焼成工程に至るまでは自動化が進んでいるが、検査工程についてはそのほとんどが手作業に頼っている。

これまでこの検査工程での省力化を図るためいろいろな取り組みがなされてきた[1][2]。この中で形状に関しては $\phi 2\text{mm}$ 以上の表面欠陥の検出が可能であることが示されている。しかし色彩に関しては、大きな違いがある場合にしか検出できず、十分な検査手法が提案されているとは言い難い。

そこで本年度の研究では実際の検査工程で要求される仕様を満足する検査システムの開発を試みるため、市販の数種の検査機器を対象に色彩の検査にどの程度適用できるかについて検討する。

2. 色彩についての評価試験

実際にタイルメーカーから得たサンプルを使用して数種の市販測定機器を用いて色彩の違いをどの程度識別可能であるかを評価した。評価試験は平坦な単一色タイル3種を使用した。サンプル1とサンプル2は濃淡の区別が必要な良品で、サンプル3は不良品である。

(1) 分光光度計及び色彩計

凸版印刷株の分光光度計(CS-SP5000)及び色彩計(CS-CM1000)を用いて測定を行った。ここで分光光度計は可視光領域(400nm~700nm)についての分光反射率を測定する。

色彩計はいろいろな光源からの分光反射率を測定し、そこから求まる L^* , a^* , b^* 表色系による値を算出する。ここで L^* は明度を、 a^* , b^* は彩度を表す指標である。

図1に分光光度計を用いて可視領域を測定した結果を、図2, 3にC光源を用いて色彩計で測定した結果を示す。ここで、色彩計による測定はタイル表面で対角線上に選択した5点に関して行った。図1に示す結果においてサンプル1, 2の値とサンプル3の値は全測定波長で差が認められる。しかし、サンプル1と2については全波長で違いが認められない。図2の L^* についても同様の傾向が認められ、5点すべてにおいてサンプル3は低い値を示したが、サンプル1, 2に関しては有用な差異が認められなかった。図3に示す a^* , b^* 値においては多くの測定点で明瞭な差が見られなかった。この結果から分光光度計、色彩計を用いた検査方法は不良品の区別は可能と考えられるが、良品群中の濃淡の識別までは困難であると考えられる。

(2) 分光測色計

分光測色計CM-3600d(MINOLTA)を用いた検査方法について評価した。この装置は、測定器の測定範囲を3段階で変えることが可能である。そこで、 $\phi 25.4\text{mm}$ の比較的広い範囲で測定を行った。その測定結果、 L^* , a^* , b^* の各値からは、上記の結果と同様、色濃度の判別までは困難であった。そこで光学濃度による比較を行った。光学濃度は K/S の波長積分により算出する。ここで、 K :光の吸収、 S :光の拡散反射である。その結果、サンプル1及び2の光学濃度は45、サンプル3のそれは49であった。これからも、不良品の区別に使用可能であるが、色濃度の区別は困難である。さらに、凹凸を有する単一色タイルの測定についても行った。しかし同一タイル内での測定誤差の測定結果は、光学濃度で約10のバラツキを生じた。平坦な単一色タイルの製品と不良品の差が4であったことを考慮する

*応用担当 多治見市駐在

Application Division, Tajimi

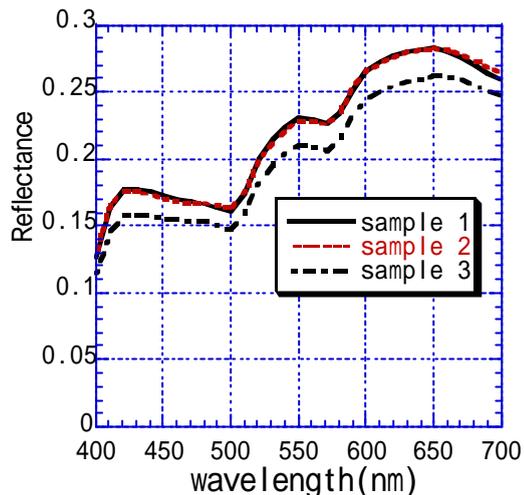


図1 各サンプルにおける波長に対する反射率の変化
Fig.1 The effect of reflectance for each sample as a function of wavelength

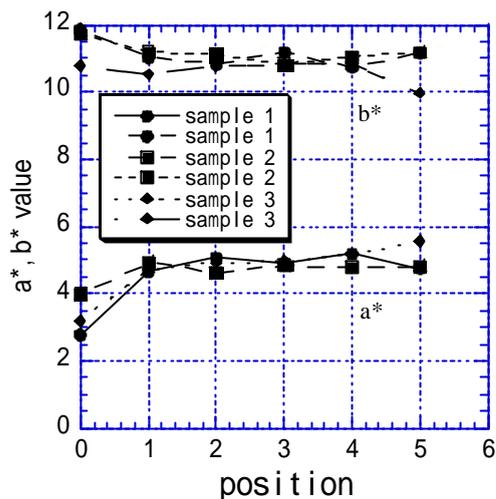


図3 各サンプルでの測定位置に対するa*, b*値の変化
Fig.3 a* and b* value for measurement position in each sample

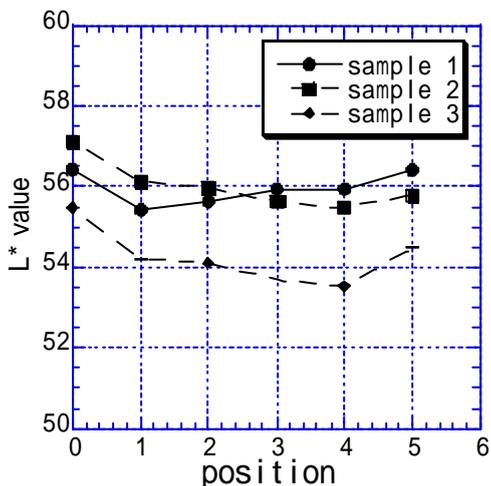


図2 各サンプルでの測定位置に対するL*値の変化
Fig.2 L* value for measurement position in each sample

と、凹凸の有するタイルの色検査は分光測色計では困難であると考えられる。

(3) 画像処理装置

上述の測定装置は共に測定範囲が狭いという問題がある。このためCCDカメラにより、より広い範囲の画像をコンピュータへ2次元で取り込むことが可能な平均画像処理装置システム「KI-300」について検討した。この装置は、指定した範囲内の色平均値による評価および、測定範囲中の指定色の領域抽出による評価が可能である。

ここでは平坦な単一色タイル3種、凹凸を有する単一色タイルを使用して測定した。その結果、平坦タイルでは不良品と良品の間では有用な差が見られ、不良品の識別は可能であったが、色濃度の識別についてはほとんど変

化が見られず、識別は困難であった。さらに照明による影響が大きく、位置や角度による影響がみられた。凹凸を有するタイルに関しては、同一タイル中で誤差が大きく、不良品の抽出でさえも平均画像処理システムの適用が困難であったと考えられる。

3. まとめ

本年度の研究において、タイルの色彩の検査について市販の測定機器がどの程度適用できるかについて評価した。分光光度計、色彩計、分光測色計、CCDカメラともに不良品と良品の区別は可能であった。今後の課題としては濃淡の識別手法の開発や凹凸のあるタイルの検査手法の開発がある。

文献

- [1] 盛田耕作,水野金儀,松生秀正,“機械部品の検査工程の自動化”愛知県工業技術センター研究報告, No.20,1984
- [2] 盛田耕作,松生秀正,水野金儀,“目視検査の自動化 -タイルの色彩分類と欠陥検出-”愛知県工業技術センター研究報告, No.21,1985

和紙の自動抄紙装置の開発

川島 義隆* 野村 貴徳** 稲葉 昭夫*** 本田 勝喜**

Development of Automatic Mino-Washi Machine

Yoshitaka Kawashima*, Takanori Nomura**, Akio Inaba*** and Katsuki Honda**

あらまし 近年、生活様式の変化により手すき和紙はその良さが見直され、住宅・インテリア向きへの利用が多くなり、そのため張り合わせの必要がなく、継ぎ目のないより大きな判の和紙が求められるようになってきている。しかし、手すき和紙の生産者は高齢化や後継者不足のため、過大な労力の必要な大判紙の抄紙は困難であり、そのため大判の和紙を抄紙することができる自動化装置が必要となっている。よって、本研究では大判の和紙を自動抄紙する装置を開発するために、抄紙方法に関する基礎的な実験を通して、揺動機構を中心とした装置の基本的な設計を行い、自動抄紙装置を試作した。そして、その装置により抄紙を行った結果、穴・破れはなく、大判和紙同一面内において坪量、紙厚とも均一でかつ、繊維配向の縦横比も小さい大判和紙の抄紙を行うことができた。よって、従来にない三六判の和紙を自動抄紙できるこの装置の有用性を認識することができた。

キーワード 自動化、抄紙、和紙、手すき和紙、楮、大判、三六判、揺動、抄紙装置

1. まえがき

岐阜県的美濃地方には、1300年以上の昔から連綿と受け継がれた手すき和紙の伝統技術があり、その手すき和紙は「美濃紙」としてその品質とともに全国的に認められている。しかし、大量生産できる安価な機械すき紙の利用の拡大による和紙需要の停滞や手すき和紙の生産者の高齢化やその後継者不足により、その生産は衰退傾向にある。

近年、生活様式の変化により手すき和紙はその良さが見直され、住宅・インテリア向きへ利用されることが多くなってきている。そのため、張り合わせの必要がなく、継ぎ目のないより大きな判の和紙が求められるようになってきている。しかし、手すき和紙の生産者は高齢化と後継者不足のため、過大な労力の必要な大判紙の抄紙は困難であり、そのため大判の和紙を抄紙する自動装置が必要となっている。そこで、本研究では大判の和紙（三六判、大きさ 900mm×1,800mm）を自動抄紙する装置を開発するために、その抄紙技術の検討を行い、得られた知見をもとに揺動機構を中心とした装置の基本的な設計を行う。そして、その抄紙装置により大判和紙の抄紙を行い、そ

の品質の評価を行う。

2. 自動抄紙装置の設計

2.1 基本構想

抄紙装置の基本的な構想としては以下のようなことを考慮する。

大判（三六判）の和紙が抄紙できること

機械抄紙機では抄紙が難しい繊維配向の縦横比の小さい和紙が抄紙できること

通常、機械すき紙は抄紙機の抄き網の流れの方向に繊維が配向しやすく、そのため縦方向と横方向との強度の差が大きい。それに対して、手すき和紙はその繊維配向性において縦横方向の差が小さく、そのため、その強度の差が小さいといった特徴を持つ[1]。これは抄紙の時に簀桁を前後左右に揺動させることにより、縦・横方向に均等に繊維が配向させることができるためであると考えられる。したがって、このような和紙を抄紙するためには抄紙装置は大判の大きさの抄槽を持ち、かつそれが前後左右に揺動することができる必要がある。そして、その揺動時に紙層が崩れないためには紙料液が穏やかに流れ、かつ揺動の効果を向上させるためには繊維がより配向できる必要がある。よって、抄紙方法、揺動方法及び揺動特性についての検討を行う。そして、揺動機構を含めた抄紙装置の基本的な設計を行う。

2.2 抄紙方法の検討

手すき和紙の抄紙法は大きく分けて流しすき法と溜すき法の2つに分けられる。流しすき法は化粧水、調子、払い水の3つの工程から構成され、紙料の汲み上げ・揺

* 応用担当、美濃市駐在

ApplicationDivision,Mino

** 岐阜県製品技術研究所 美濃分室

GifuPrefecturalResearchInstituteofIndustrial

Products Technology,MinoBranchLaboratory

*** 応用担当、関市駐在

ApplicationDivision,Seki

り・捨て水の動作を経て抄紙が行われる。溜ずき法は抄紙する紙が目的の坪量となる量の紙料液を箕の上へすくい上げ、そのまま水を落下させて紙層を形成する方法である[2]。手すき和紙の流しずき法の自動化研究は佐藤ら[3]が行い、良好な結果を得ている。本研究では抄紙工程・装置構造の簡素化や定量・定濃度の原料供給及び生産性の向上を考慮し、溜ずき法で抄紙を行うこととする。そして、溜ずき法において流しずき法と同様な繊維の配向性を促進させるために、抄槽を前後左右に揺動させることとする。

2.3 揺動方法の検討

抄槽の揺動の主な方法として、図1～図4のような4つの方法を挙げ、検討を行う。

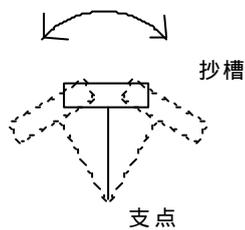


図1 抄槽下方支点揺動

Fig.1 Movement by fulcrum below box

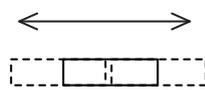


図2 抄槽水平揺動

Fig.2 Horizontal movement of making box

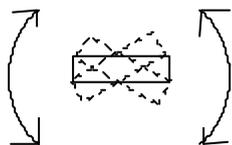


図3 抄槽中心支点揺動

Fig.3 Movement by fulcrum at center of box

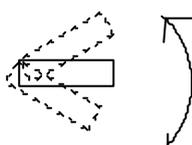


図4 抄槽片側支点揺動

Fig.4 Movement by fulcrum at one side of box

図1と図3の方式は支点の位置が上下方向において違うが、同様な動きであると考えられる。そして、図1のような下方支点で揺動できる簡易的モデルを使って容器内の溶液を揺動させた場合と図3のように手で容器を持ち中心支点で溶液を揺動させた場合を比較すると、図1の方法の場合、支点が抄槽よりかなり下にあるため、図3の方法に比べ溶液の動きが激しくなることがわかった。原料を揺動した場合より静かな流れの方が紙層を荒らさないで、その点を考慮すると図1の方法は不適切であ

るといえる。

また、図4の方式は図3の方式と支点の位置がほぼ水平方向に違うだけで基本的には同じ動きであると考えられるため、図4は図3と同一の方法とみなすことができる。したがって、図2と図3の2方式に絞り、両者について次のような実験を行う。

2.3.1 実験方法

表1に示す抄紙条件で抄紙方法の違う3種類の和紙を抄紙をし、2.3.2項の評価項目で抄紙方法の評価を行う。抄紙はすき箕を手で直接持ち、静止した状態または揺動させながら水を落下させる。なお、揺動はその効果を評価するために一方向のみの揺動とする。

表1 抄紙条件及び抄紙方法

Table 1 Condition and method of making paper

原料	楮100%
粘剤	ホリイソノリサイト® (PEO)
坪量	39 g/m ²
大きさ	247 mm × 275 mm
抄紙方法	溜ずき法 揺動なし 中心支点揺動(-方向のみ) 水平揺動(-方向のみ)

2.3.2 評価項目

(1)水の流れ

抄紙の揺動の時、紙料液はなるべく穏やかに流れた方が、紙層を荒らすことなく、質のよい和紙を抄紙することができる。そのため、目視により紙料液の流れの評価を行う。

(2)繊維配向性

ソニックシートテスター(野村商事(株) SST-250型)を使い、繊維の配向性(縦横比)を測定する。揺動は一方向しか行わないため、繊維配向性が強い方法がより繊維を配向させることができ、揺動の効果があると見なす。

(3)地合測定

紙質を評価するために、シートフォーメーションテスター((株)東洋精機製作所)により地合指数の測定を行う。地合指数は光透過率変動係数[4]を表し、数値が小さいほど、坪量の変動が少ないことを意味し、すなわち良好な地合であるといえる。

2.3.3 結果及び検討

結果を表2に示す。水平揺動方式が他の方法よりも紙料液の動きが穏やかでかつ繊維配向性を強くすることができた。一方、地合に関してはほとんど差がないことより、抄紙方法の違いよりもむしろ紙料液の中の繊維の分散状態が大きく影響すると考えられる。よって、表2の結果より、揺動方式は水平移動揺動方式とした。

表2 実験結果

Table 2 Results of experiment

評価項目	抄紙方法(溜ずき法)		
	揺動なし	中心点揺動	水平揺動
(1)液の動き	なし	激しい	穏やか
(2)繊維配向	1.05	1.36	1.40
(3)地合指数	13.4	13.5	13.7

2.4 揺動特性の検討

自動抄紙装置において抄紙する時の抄槽の揺動加速度とストロークを把握するため、以下のような実験を行う。実験は容器に溶液(粘剤)を入れ揺動し、溶液が静かに流れている状態の時の容器の運動の周期とストロークを測定する。そして、次のように揺動加速度を計算する。揺動の運動を等加速度・等減速度運動とみなすと、等加速度運動中の抄槽の時間tにおける位置xは以下のように求められる。

$$x = \frac{1}{2} a t^2 \quad (1)$$

ここで、a：等加速度運動中の加速度

そして、抄槽が揺動の中心にあるとき、次のような関係になる。

$$\frac{L}{2} = \frac{1}{2} a \left(\frac{T}{4} \right)^2 \quad (2)$$

ここで、L：揺動のストローク
T：揺動の周期

よって、揺動の加速度aは以下の式で表される。

$$a = \frac{16L}{T^2} \quad (3)$$

なお、溶液の揺動状態は目視による判断のため、実験ごとの揺動状態の差により、測定した周期とストロークには誤差が含まれると考えられる。しかしながら、あくまでも、実際の抄槽がどの程度の周期、加速度及びストロークで運動するかを把握するためにこの実験を行う。

2.4.1 実験方法

(1)抄槽の大きさと揺動特性の関係

抄槽の大きさが揺動の特性にどのような影響を与えるかを検討するために、市販のコンテナ容器(3種類)に粘剤(PEO: 0.1%溶液, 深さ6cm)を入れ、水平揺動させる時の周期とストロークを測定し、揺動加速度を計算する。

(2)溶液の深さと揺動特性の関係

紙料液の深さが揺動の特性にどのように影響するかを

検討するため、深さ6cm, 9cm, 12cmと変えたときの揺動の周期とストロークを測定し、揺動加速度を計算する。

2.4.2 結果及び検討

(1)抄槽の大きさと揺動特性の関係

結果を図5に示す。抄槽の大きさが大きくなると、ストロークも大きくなるが、加速度は少なくなることがわかった。そして、大判和紙の抄紙には900mmの長さ方向で加速度1,000mm/sec²、ストローク450mm、1,800mmの長さ方向では加速度700mm/sec²、ストローク550mm程度必要であることがわかる。

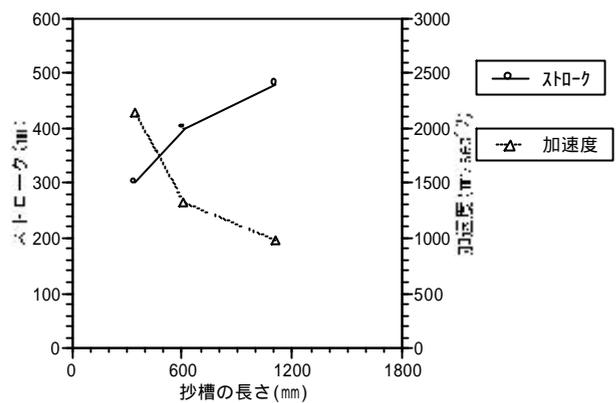


図5 抄槽の大きさと揺動特性の関係

Fig.5 Relation of case size and movement property

(2)溶液の深さと揺動特性の関係

結果を図6に示す。溶液が深くなるほど加速度、ストロークとも大きくなっていくことがわかった。また、大量の紙料液を抄槽に供給した場合、抄槽を揺動する駆動力が低いと紙料液をスムーズに流すことができない場合があることが予想される。

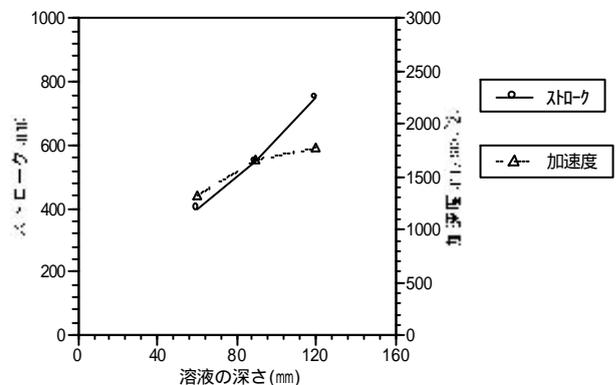


図6 溶液の深さと揺動特性の関係

Fig.6 Relation of solution depth and movement property

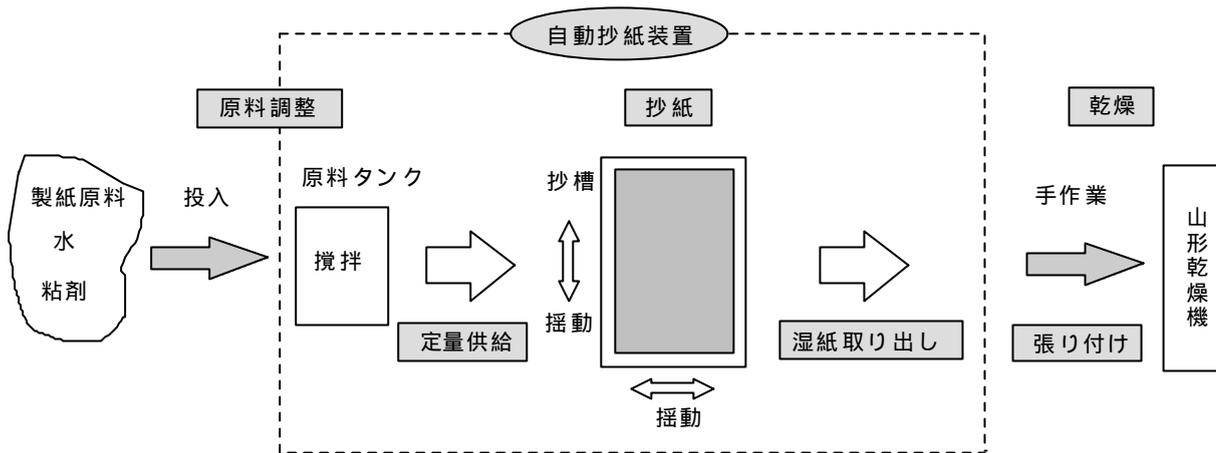


図8 自動抄紙装置を用いた抄紙工程

Fig.8 Process making big size Mino-Washi using the developed machine

3. 自動抄紙装置

3.1 構成及び外観

自動抄紙装置の外観を図7, 主な仕様を表4に示す. そして本装置を用いた抄紙工程を図8に示す.

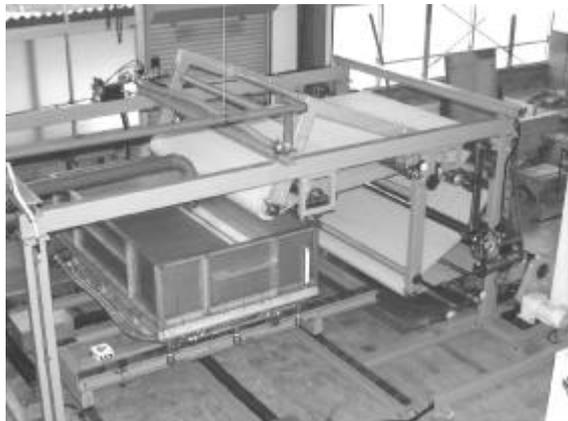


図7 自動抄紙装置

Fig.7 Automatic Mino-Washi machine

この自動抄紙装置は原料の定量供給, 抄紙, 脱水, 湿紙の取り出しを自動運転で行うことができる. そして, 乾燥は縦型固定式乾燥機(山形乾燥機, 図9)を使用し, 抄紙装置の毛布から湿紙を手でとり, 転写して乾燥させる.

本装置の特徴は抄槽が2方向に動くことができ, 抄槽内の紙料液を揺動させることができることである. 揺動の加速度, ストロークなどは制御パネルにより任意に変更することができる.

表4 自動抄紙装置の主な仕様

Table 4 Specifications of automatic Mino-Washi machine

装置寸法	約 6m × 3.5m × 3m(原料タンクを除く)
抄紙装置 基本構造	<ul style="list-style-type: none"> 原料タンク 抄紙部 湿紙移動部 脱水部 制御部
自動運転項目	<ul style="list-style-type: none"> 抄槽への原料定量供給 抄槽揺動 脱水 抄き網洗浄 湿紙取り出し
抄紙方法	溜抄き揺動(縦・横の2方向)
抄紙速度	約10分/枚
抄紙可能な和紙	大きさ900mm × 1,800mm

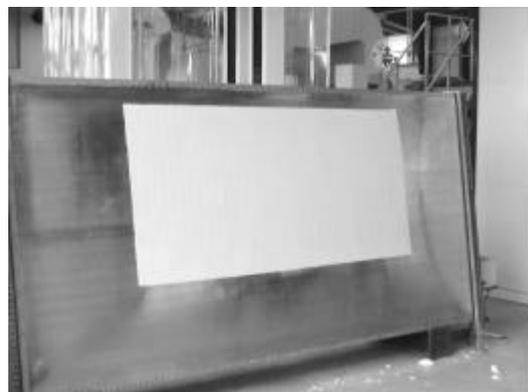


図9 乾燥機

Fig.9 Dryer

3.2 大判和紙の抄紙実験

自動抄紙装置で大判和紙の抄紙を行い、その品質の評価を行う。

3.2.1 抄紙条件

大判和紙の抄紙条件を表5に示す。

表5 大判和紙の抄紙条件
Table 5 Condition making big size Mino-Washi

原料	楮100 %
坪量	74 g/m ²
粘剤濃度	0.004 % (PEO)
紙料液濃度	0.04 %
抄紙方法	溜ずき揺動

揺動条件は紙料液が穏やかでかつスムーズに流れるような条件に設定する。その揺動条件及び揺動パターンを表6、図10に示す。ここで、表及び図中の(1)、(2)、(3)は実行する揺動パターンの順序とする。

表6 大判和紙抄紙の揺動条件
Table 6 Movement condition of box making big size Mino-Washi

揺動順序	(1)	(2)	(3)
方向	Y	X	Y
ストローク (mm)	200	400	300
最高速度 (mm/sec)	150	300	200
加減速度 (mm/sec ²)	400	300	400
周期 (sec)	1.7	2.3	2.0
揺動回数 (回)	2	3	2

X : 1,800mmの長さ方向, Y : 900mmの長さ方向

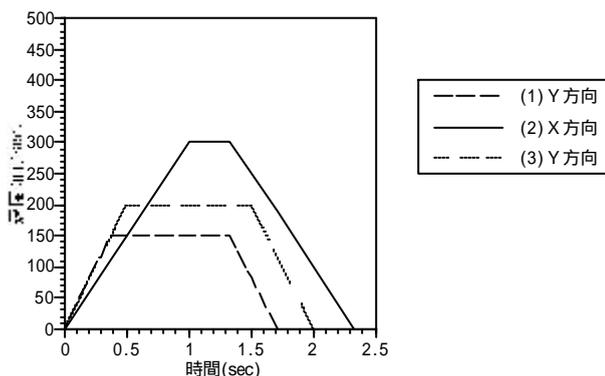


図10 揺動パターン

Fig.10 Movement pattern of box making paper

3.2.2 品質評価項目

抄紙する和紙の品質を評価するために図11のような5カ所で表7に示す評価項目について測定を行う。

大判和紙

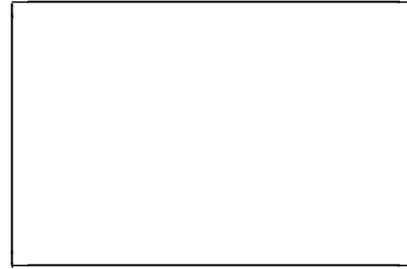


図11 大判和紙における品質評価地点

Fig.11 Points measuring quality in big size Mino-Washi

表7 評価項目

Table 7 Evaluation item

評価項目	方法
外観など	目視
坪量	JIS P 8124
紙厚	JIS P 8118
繊維配向性試験	ゾニックシートテスター

3.3 結果及び考察

3.3.1 外観・風合い

抄紙した和紙(図12)は破れや穴などなく、良好な状態であった。また、溜ずき法での抄紙でありながら坪量74g/m²の和紙を抄紙することができ、比較的薄い和紙の抄紙も可能であることが確認できた。

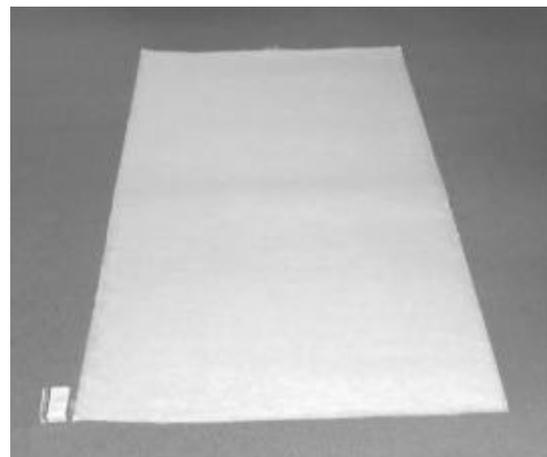


図12 大判和紙

Fig.12 Big size Mino-Washi

3.3.2 坪量・紙厚

結果を図13、表8に示す。

坪量は平均73.6g/m²、標準偏差3.1g/m²、紙厚は平均0.262mm、標準偏差0.011mmで大判和紙面内5カ所でほぼ均一

であるといえる．よって，本装置は均一な大判和紙が抄紙できることが確認できた．

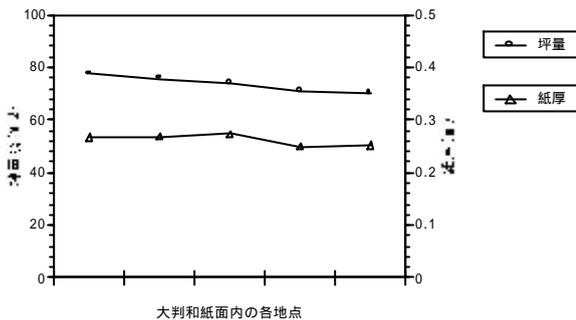


図13 大判和紙の面内各地点における坪量・紙厚
Fig.13 Basis weight and thickness of each point in big size Mino-Washi

表 8 大判和紙の品質

Table 8 Quality of big size Mino-Washi

	平均	標準偏差
坪量 (g/m ²)	73.6	3.1
紙厚 (mm)	0.262	0.011
繊維配向比	1.06	0.02

3.3.3 繊維配向性試験

結果を図14，表8に示す．

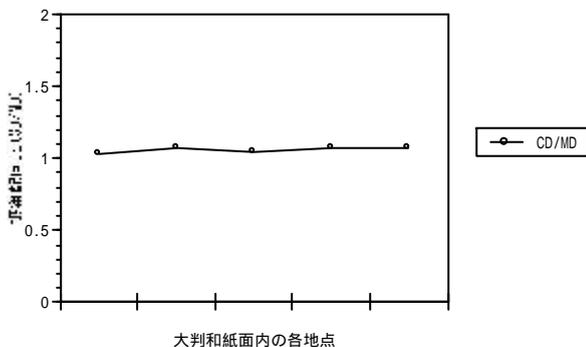


図14 大判和紙面内各地点における繊維配向性の縦横比
Fig.14 MD/CD rate of fiber orientation at each point in big size Mino-Washi

繊維配向の縦横比は平均1.06（縦方向：900mmの長さ方向），標準偏差0.02で，縦横比が非常に小さく，かつ大判和紙面内5カ所においてほとんど差がないことがわか

った．よって，機械すき紙ではその縦横比は2前後であること[1]を考えると，本装置では機械すき紙にはない縦横比が小さい特徴を持ち，かつ均一な和紙が抄紙できることがわかった．

4. まとめ

大判の和紙（三六判，大きさ 900mm×1,800mm）を自動抄紙する装置を開発するために，抄紙方法に関する基礎的な実験を通して，揺動機構を中心とした装置の基本的な設計を行い，次のような抄紙装置を開発した．

- (1)原料供給から湿紙取り出しまでの自動運転が可能
- (2)抄槽の揺動が可能（縦・横の2方向）
- (3)大きさ900mm×1,800mmの和紙の抄紙が可能
- (4)抄紙速度は約10分/枚程度

この抄紙装置により大判和紙の抄紙及びその品質の評価を行った結果，次のような知見を得た．

- (1)和紙は破れや穴等がなく良好な状態であり，その品質（坪量，紙厚，繊維配向性）は和紙同一面内5カ所において測定した結果，ほとんど差はないことがわかった．
- (2)繊維配向の縦方向と横方向の比は1に近い値であり，手すき和紙の特徴である縦横比が小さい特徴を持つことがわかった．

以上より，この抄紙装置は機械すき紙にはない縦横比が小さいという特徴を持ちかつ三六判という大きさの和紙にも関わらずその面内において品質の均一性を持つ大判和紙を抄紙することが可能であることがわかった．したがって，この自動抄紙装置の原料供給から湿紙取り出しまでの工程の自動化，大判和紙の品質及びその付加価値性を考慮すると，非常に有用性があることを認識することができた．

謝辞 本研究を実施するにあたり，自動抄紙装置の製作をして頂いた（株）鈴木製機所並びに関係者の方々に深く感謝の意を表します．

文献

- [1]佐藤幸泰，馬目孝，篠田能典，"美濃和紙の製品企画に関する研究"，岐阜県紙業試験場研究報告，pp7-11，1989
- [2]小路位三郎，帯川安彦，高橋邦夫，"和紙の抄造・板紙の抄造"，pp72-84，紙パルプ技術協会編，1968
- [3]佐藤幸泰，馬目孝，篠田能典，"美濃和紙の製品企画に関する研究（第3報）"，岐阜県紙業試験場研究報告，pp 5-9，1991
- [4]竹内信夫，"シートフォーメーションテストと紙の地合分析"，pp30-35，紙パルプ技術タイムズ，1985