

〔非公開〕

TR-M-0015

Haptic Interfaceを有するスプリングモデル
を用いた概念空間操作システム

- 実世界指向のCSCWに向けて -

本多 聖久
Kiyohisa HONDA

角 康之
Yasuyuki SUMI

1 9 9 7 . 2 . 2 7

A T R 知能映像通信研究所

Haptic Interface を有するスプリングモデル を用いた概念空間操作システム

— 実世界指向の CSCW に向けて —

(株)ATR 知能映像通信研究所 第2研究室

本多 聖久

角 康之

目次

1	序論	2
1.1	研究背景	2
1.2	諸概念	2
1.2.1	CSCW の基本概念	2
1.2.2	人工現実感 (Virtual Reality) とフォースディスプレイ (Force Display)	2
1.3	本研究の目的と概要	3
1.4	本レポートの構成	3
2	システムの構築	4
2.1	バネモデルによる力学系との対応	4
2.1.1	運動方程式	4
2.1.2	概念空間との統合	5
2.2	プログラム仕様	5
2.3	フォースディスプレイへの実装	5
3	システムの評価	6
3.1	システムの性能と総合評価	9
3.2	考察	10
4	総論	12
4.1	総括	12
4.2	今後の課題と方針	12

概要

力覚操作可能な概念空間操作システムを提案する。我々は現代社会においてビジネスや研究活動を行うにあたりコミュニケーション伝達等のグループ共同作業が必要不可欠であり、コンピュータ・ネットワーク技術の利用はこれらを時間的・空間的な制約から解放する。本研究室ではこのような CSCW のシステムとして概念空間の可視化というアプローチをとってきた。

本研究はこの概念空間を可視化するだけでなく力覚操作を可能にして概念空間の構造の把握を支援しようとするものであり、今回は Haptic Interface を用いることによる直接操作可能な概念空間操作システムの試作を報告する。概念空間はバネからなる力学系をモデルとし、オブジェクトのステータスは力学系の各パラメータに対応づけることができる。

フォースディスプレイを利用して実装したところ、つながった隣り合うオブジェクト同士はその構造を把握することができるが、直接つながっていないもの同士の構造は把握することが困難であった。これらの結果をふまえると、この手法は既存の概念ネットワークの構造を把握することよりもむしろオブジェクトを操作することにより概念空間を構成させる際に有効ではないかと予想する。

1 序論

1.1 研究背景

現代社会において研究開発や経済活動を行うにあたり、グループディスカッションなどに代表されるコミュニケーション伝達のための共同作業が必要不可欠である。我々は、その中でも上流部分におけるアイデアの生成・表現やグループ内でのそれらの伝達・共有の支援に注目している [1]-[3]。本研究の目標は CSCW を実世界指向に拡張することであり、具体的な実現手法として V.R.(Virtual Reality)・A.R.(Augmented Reality) 技術 [4],[5] の統合を目指している。本レポートは特にハプティックインタフェースを用いることによる、直接操作可能な概念空間表示システムの試作を報告する。

1.2 諸概念

ここでは、共同活動支援の根幹である CSCW の基本概念についての説明と、これから本研究で統合させる人工現実感 (Virtual Reality) についての基礎的な知識を説明する。

1.2.1 CSCW の基本概念

CSCW とは (Computer Supported Cooperative Works) の略で、コンピュータとコミュニケーションテクノロジーを用いた人間の協調活動支援に関する分野の名称であり、支援手段・支援活動の 2 つの概念から構成されている。

また、コンピュータ支援の概念において、コンピュータとコミュニケーションテクノロジーを用いて実現された支援システムをグループウェアと呼ぶ。グループウェアは空間と時間を超えた人々のグループワークの支援を可能とする [6]。

1.2.2 人工現実感 (Virtual Reality) とフォースディスプレイ (Force Display)

計算機内部に構築される仮想の世界をあたかも現実の世界であるかのごとく模倣して再現し、ユーザに体験させる手法が人工現実感 (Virtual Reality) と呼ばれ、広く研究され実用化されてい

る。これによりユーザは自身の体の動きに連動したCG映像と自分の手を用いた直感的で実時間の立体仮想物体の操作手法により臨場感のある仮想世界を体験することができる。

V.R. インタフェースを感覚へのフィードバックと見なした場合、体性感覚に対しては、ユーザの身体各部位置情報を入力して、装着者の体性感覚に対して物理的な刺激を提示可能な装置(Haptic Display)によりフィードバックを行う。特にこのHaptic Displayが物理的な操作反力である場合にはこの提示装置のことをフォースディスプレイ(Force Display)と呼ぶ。この分類に含まれるインターフェースは、仮想物体を把握したときの指先への把持感、持ち上げて移動させた際の重力や慣性による挙重感、さらに把持した物体へ作用する他の物体への衝突感など、比較的マクロな力学的刺激(操作反力)を対象として、身体の各部に提示するデバイスを用いたものである[7]。

1.3 本研究の目的と概要

従来、本研究室で研究されてきた対話活性化支援システムAIDEで構築されたグループディスカッションにおける発言の意味的な構造を2次元平面上に可視化し、複数利用者の共有ディスカッション空間をメディア化(外在化、可操作化)させた。

本研究ではこのようにメディア化された共有空間におけるキーワードオブジェクトを実際にV.R.上で操作することにより各キーワードオブジェクトの類似度、重要度などを操作反力により体感しようとするものである。最終的にはV.R.・CSCW統合型のリアルタイム・遠隔分散型の力学的思考概念マップ生成システムの実現を目標とし、本レポートではその基礎段階の、スプリングモデルを用いた概念空間操作システムの試作と実際にフォースディスプレイに実装したときの動作状況を述べる。

1.4 本レポートの構成

レポートは全4章から構成し、以降2章ではシステムの構築における、スプリングモデルの実現方法と、概念空間への対応づけ、さらにはシステムを実現させるためのプログラム仕様と実装手法について述べる。3章では構築されたシステムの評価と考察を加え、終章では総括と今後の方針と課題について述べる。

2 システムの構築

ここでは、図1に示すようなシステムにおける各フィールドについての解説を行っていく。

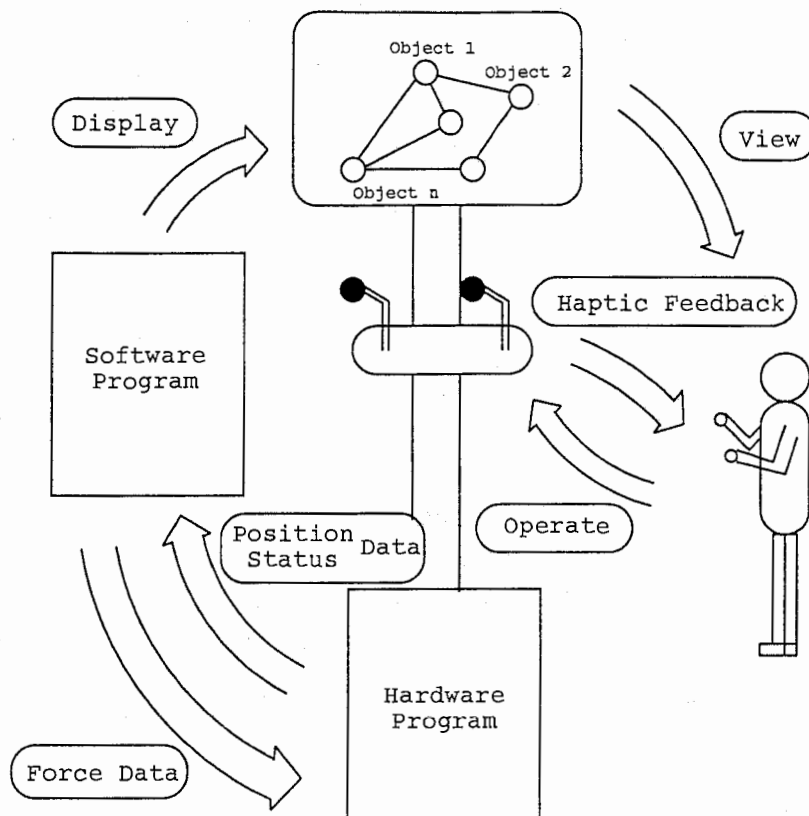


図 1: システム概要

2.1 バネモデルによる力学系との対応

ここでは、概念空間をスプリングモデルに対応させる方法について簡単に述べる。

2.1.1 運動方程式

概念空間におけるオブジェクトは2つの対象間に相互作用が働いていると見なせばこの問題は力学に应用することができる。すなわちここでは n 個のオブジェクトのバネ運動における運動方程式を考える。

この系は、質量 m_i 、バネ定数 k_{ij} 、自然長 d_{ij} で構成され、さらに各質点には速度に比例した摩擦力が働くものと仮定する。

点 P_i の時刻 t における位置ベクトルを \vec{p}_i とすると、この時の運動方程式は、

$$m_i \frac{d^2 \vec{p}_i(t)}{dt^2} = \sum_{i \neq j} \left(k_{ij} (|\vec{p}_j(t) - \vec{p}_i(t)| - d_{ij}) \vec{e}_{ij}(t) - \mu_i \frac{d\vec{p}_i}{dt} \right) \quad (1)$$

ここで、

$$\vec{e}_{ij}(t) = \frac{\vec{p}_j(t) - \vec{p}_i(t)}{|\vec{p}_j(t) - \vec{p}_i(t)|} \quad (2)$$

は点 P_i から P_j へ向かう単位ベクトルであり、

$$r_{ij}(t) = |\vec{p}_j(t) - \vec{p}_i(t)| \quad (3)$$

は点 P_i と点 P_j の間の距離である。

実際には計算時間をかけないようにするためにこの2階の微分方程式は近似してある点における位置、速度、加速度、力を計算している。

2.1.2 概念空間との統合

前節で述べた力学系における各パラメータは概念空間のオブジェクトの振る舞いに帰着することができる [8]。この対応関係を表1に示す。表1より概念空間においてオブジェクト自身は

表 1: 概念空間と力学系の対応関係

記号	概念空間	力学系
P_i	オブジェクト	質点
d_{ij}	非類似度	バネの自然長
k_{ij}	非類似度の重要度	P_i と P_j のバネ定数
m_i	オブジェクトの重要度	質量
(μ_i)		$(P_i$ の動摩擦係数)

重要であるほど動かしにくく関連性が大きいほど動かしたときの反力が大きいことが分かる。今まではそれ自身の重要性や他のそれとの関連性が可視化されるだけであったが、この研究ではさらに V.R. 技術と統合させ力覚操作によって体性感覚 (Haptic) で感じることでできる概念空間の構造の把握を支援しようというものである。

2.2 プログラム仕様

スプリングモデルの理論となる運動方程式は 2.2.1 で述べた。しかし、データを共有メモリになるべく早く書き出すことと厳密なスプリングモデルをシミュレートする必要がないために式 (2.1) の微分方程式の一般解をルンゲ・クッタ法などのプログラムで直接求めることをせず式を近似して解を与えてから計算させた。

仕様としては、オブジェクトやその間のバネの特性が入っているデータを読み込みオブジェクトが掴まれている間は運動方程式に従って自由に減衰運動する。あるオブジェクトが掴まると、そのオブジェクトは人間の腕の運動に拘束され、腕を動かさなければオブジェクトは動かず、逆に動かせばそのオブジェクトは引きずられ他のオブジェクトがそれに合わせて運動する。またこの時、掴んでいるオブジェクトにかかる操作反力を逐次計算して力覚フィードバックを起こすのでユーザは逐次反力を体感することができる。

2.3 フォースディスプレイへの実装

前節で述べたプログラムとフォースディスプレイのインタフェースをあわせるために図3で示すような共有メモリを介して逐次データの更新を行った。これによりハード、ソフトそれぞれのプログラマは互いの領域を意識することなく必要なデータを共有メモリに書き込む/読み込むという操作で済むようになる。

3 システムの評価

まず初めにユーザが操作反力を体感することのできるシステムにおけるアーム部の外観を図2に示す。

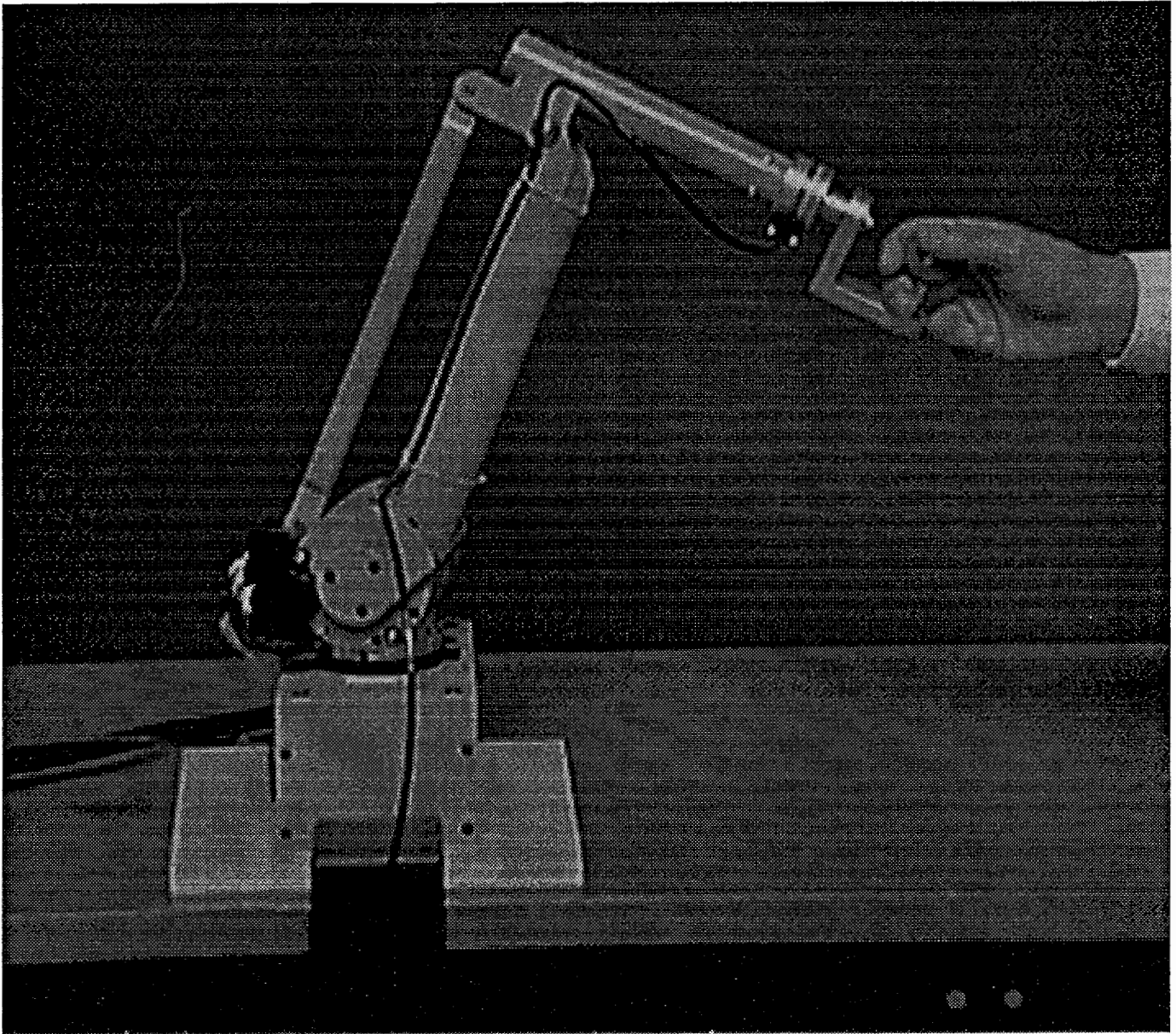


図2: ロボットアーム外観

このアームはディスプレイに向かって左右1つずつあるので両手で操作することが可能である。図3は1人での使用外観、図4は2人での使用外観をそれぞれ示す。

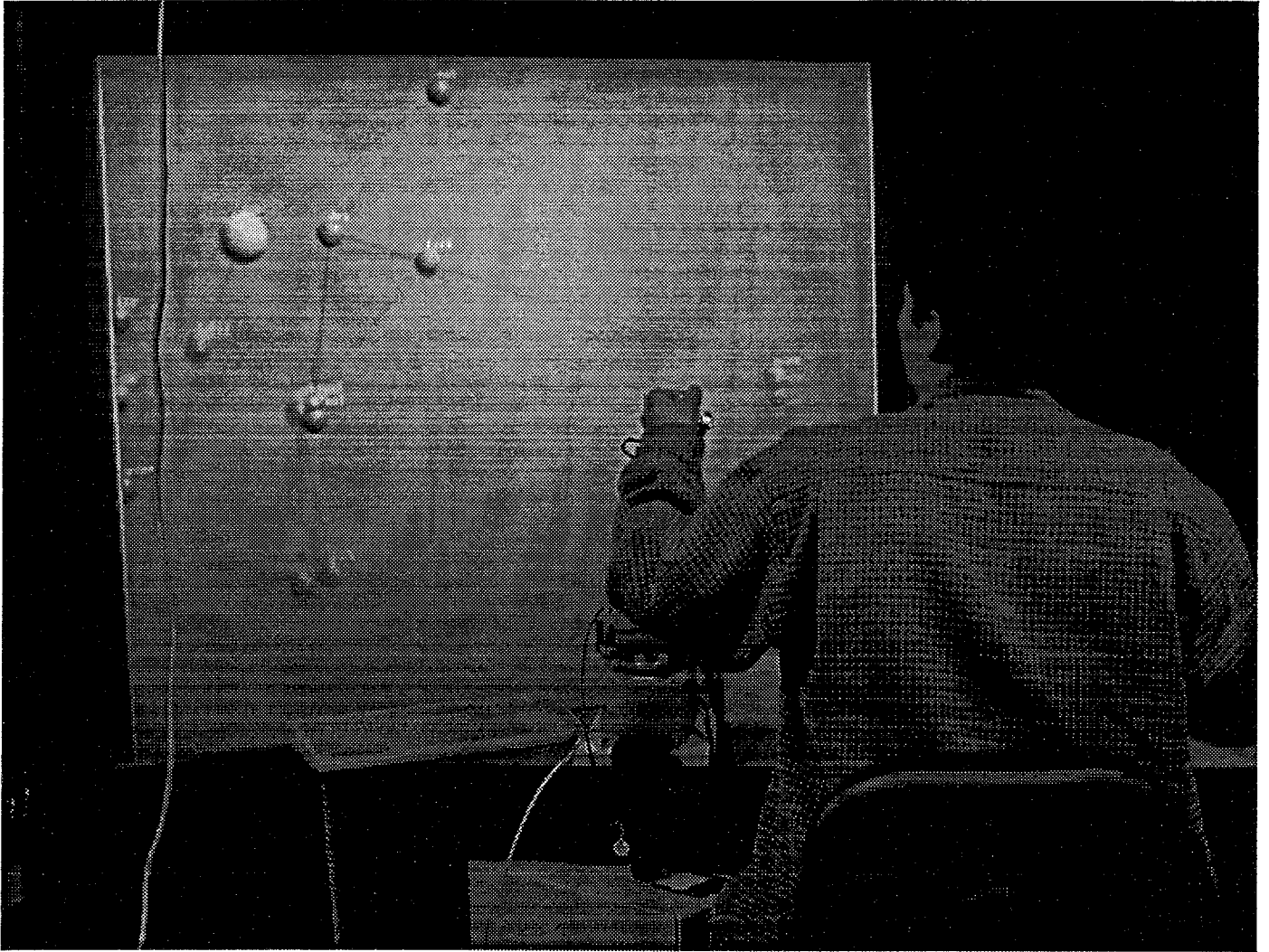


図 3: システム使用外観 (1 人)

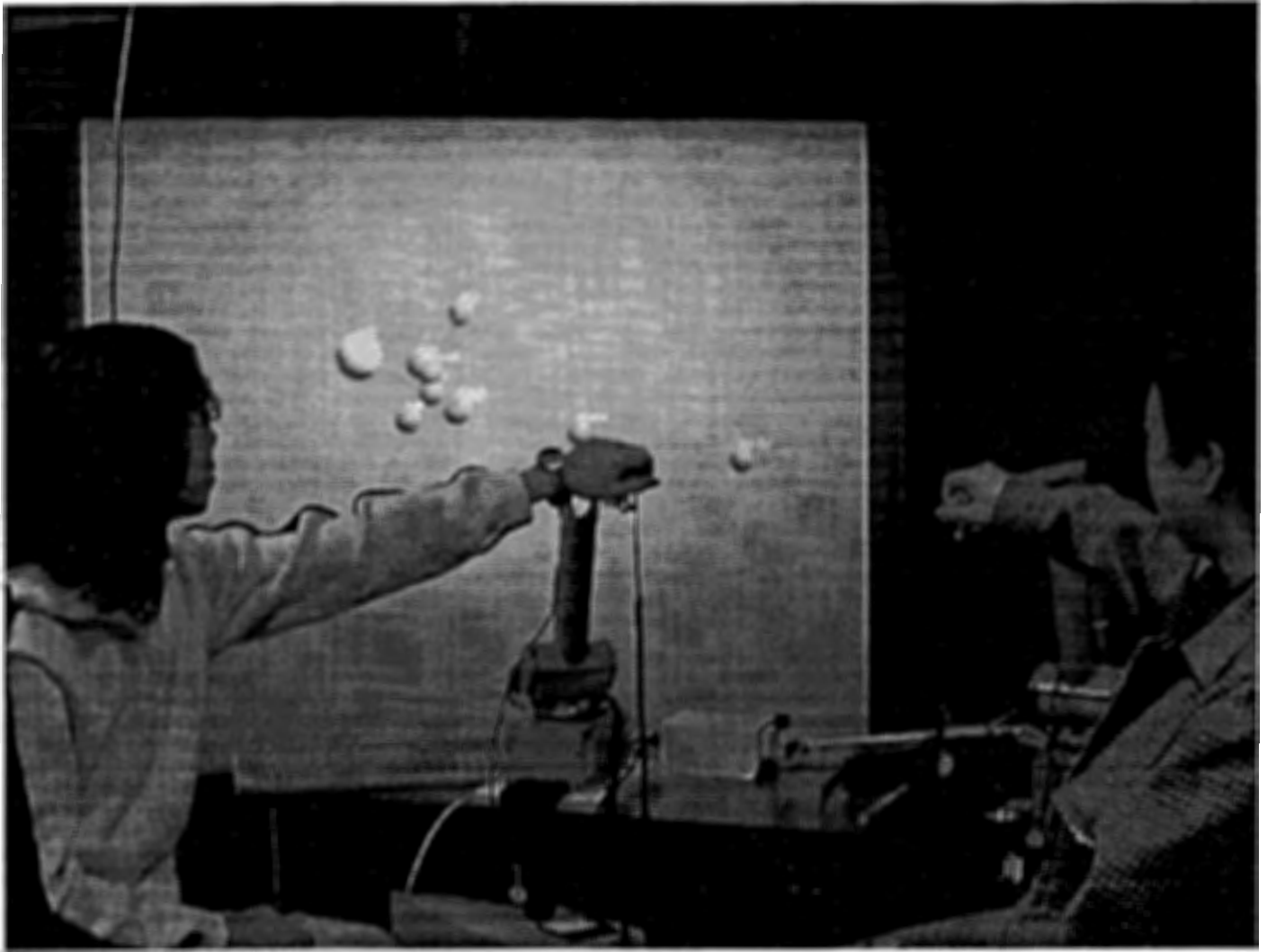


図 4: システム使用外観 (2 人)

3.1 システムの性能と総合評価

図5に入力データのサンプルを示す。入力および出力されるデータはすべてSI単位系である。また反力・速度・加速度は x 方向および y 方向のベクトルの合成で表される。

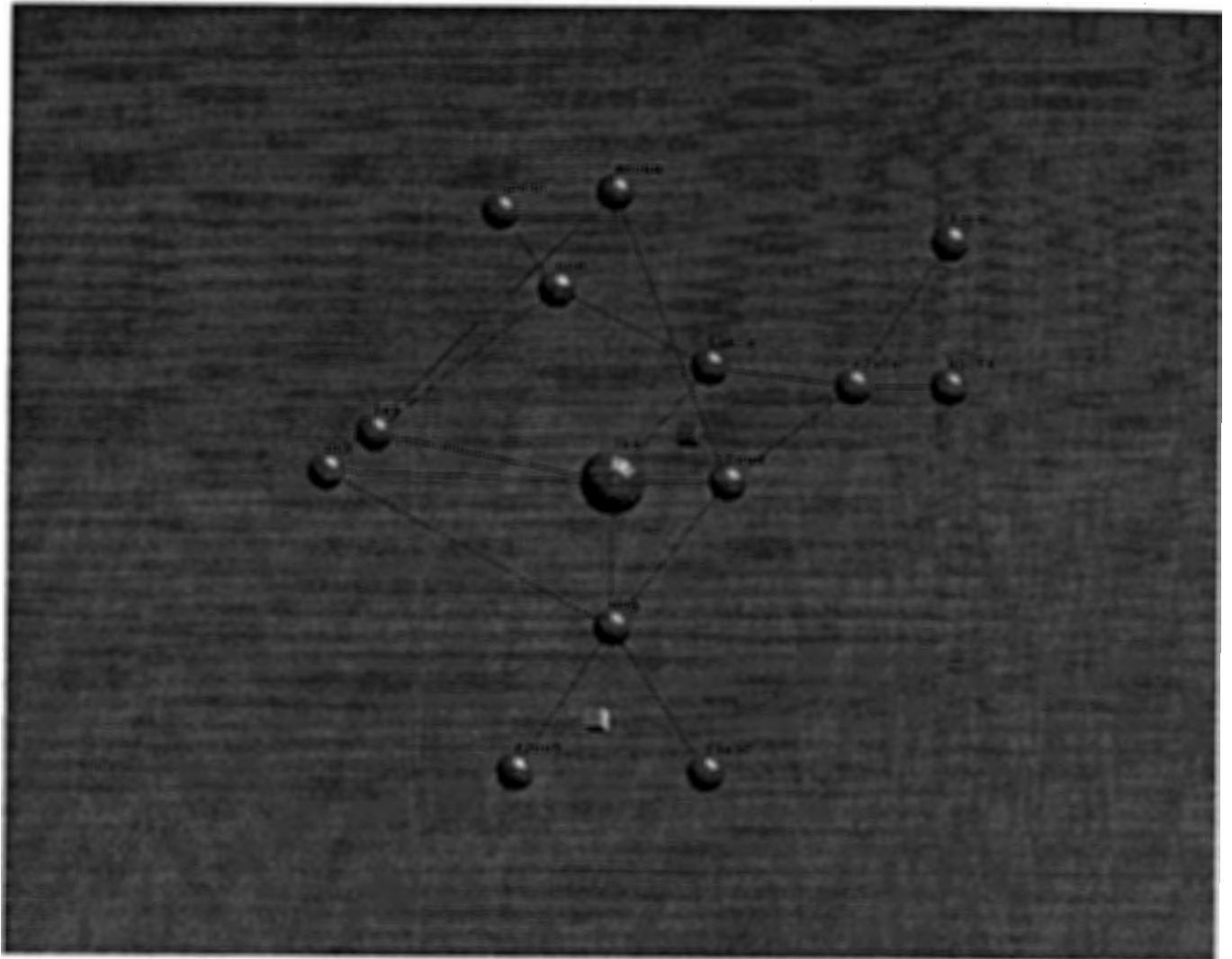


図 5: 入力データ

図中の立方体のオブジェクトはそれぞれフォースディスプレイにおける右アームと左アームの位置を計算によって表示したものであり、実際の使用においては各アームについているボタンをクリックすることで一定の範囲内における一番近いオブジェクトがアームの動きに拘束され、そのときにユーザはそのオブジェクトにおける力学的に計算された操作反力を体感することができる。

図5で使用された入力データにおいてオブジェクトを掴まずにしばらく時間が経過し、各オブジェクトの動きが収束したときの画面を図6に示す。

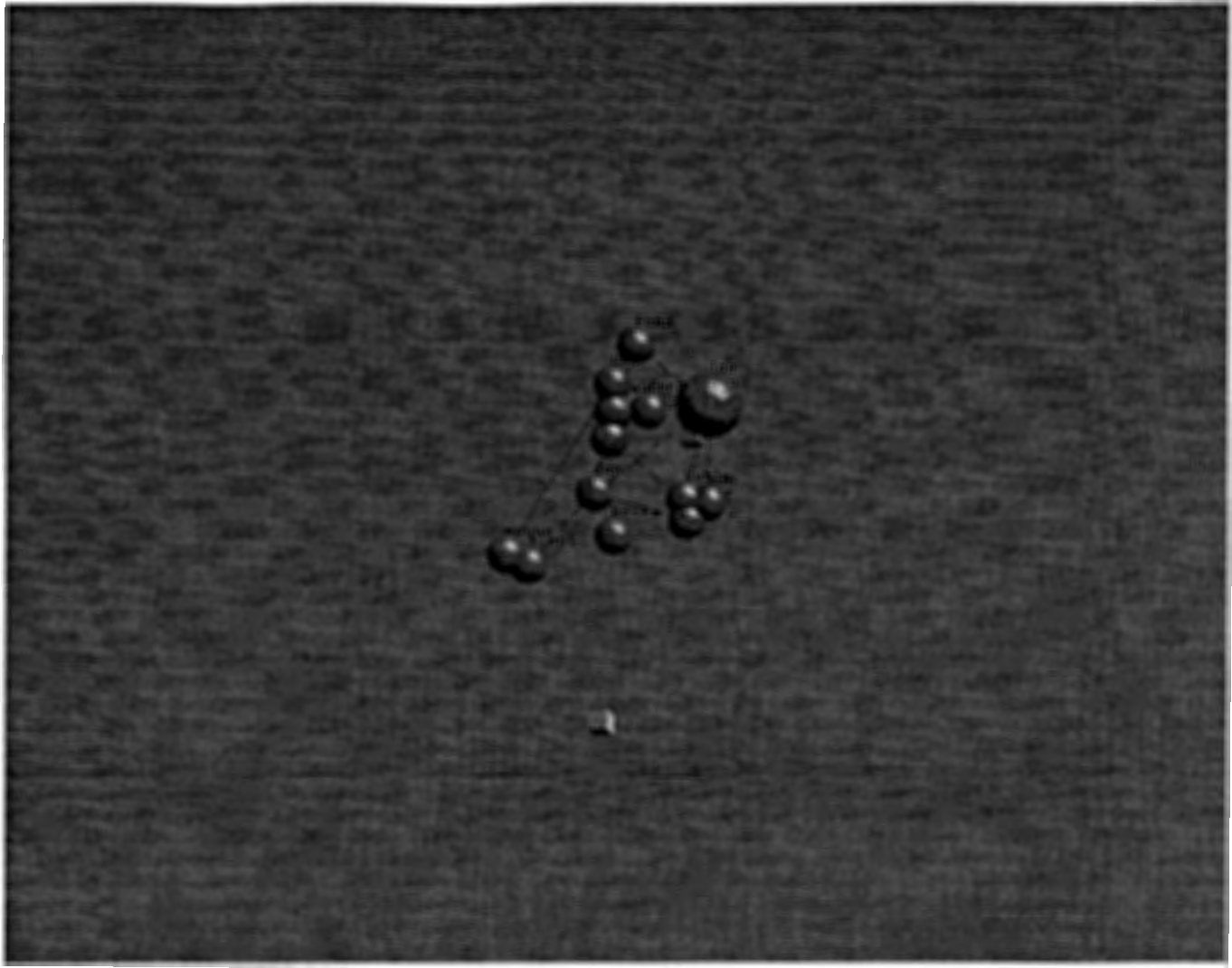


図 6: 収束画面 (斥力なし)

ソフトウェアが共有メモリに反力を書き込む周期は測定の結果平均 100[Hz] であった。フォースディスプレイの仕様として共有メモリの読み書きは 500[Hz] であることが分かっている。このことから分かるようにハード側はソフト側の共有メモリの更新スピードが遅いため 5 回に 1 回しか情報が更新されない。この理由は計算したあとの描画に時間がかかっていることが挙げられる。したがってオブジェクトを持ったときの急激なステータスの変化にハード側はソフト側に拘束され十分に性能を発揮できないことが予想できる。

ソフト側では共有メモリに書き込むスピードを上げるようにプログラムを改良することが今後の課題であろう。

3.2 考察

前節で問題点として指摘したソフト側のデータ更新のスピードの遅さを考慮しても実際にフォースディスプレイに実装して動作実験をしたところ、オブジェクト同士を掴んで引っ張ったときや縮めたときには相応の操作反力がハードのアーム部から自身の腕に感じられた。ただ今回は最大反力が 10[N] であるので、摩擦力による自身の重さや、バネ定数の変化による反力の微妙な差異は感じる事が困難であった。

また図6の画面では、オブジェクトが重なっていてキーワードが見えない部分が存在する。これを解決する方法として各オブジェクト間に距離に反比例させた斥力を与えることによって、オブジェクトが重ならないように考慮した。この時のオブジェクトが収束した画面を図7に示す。

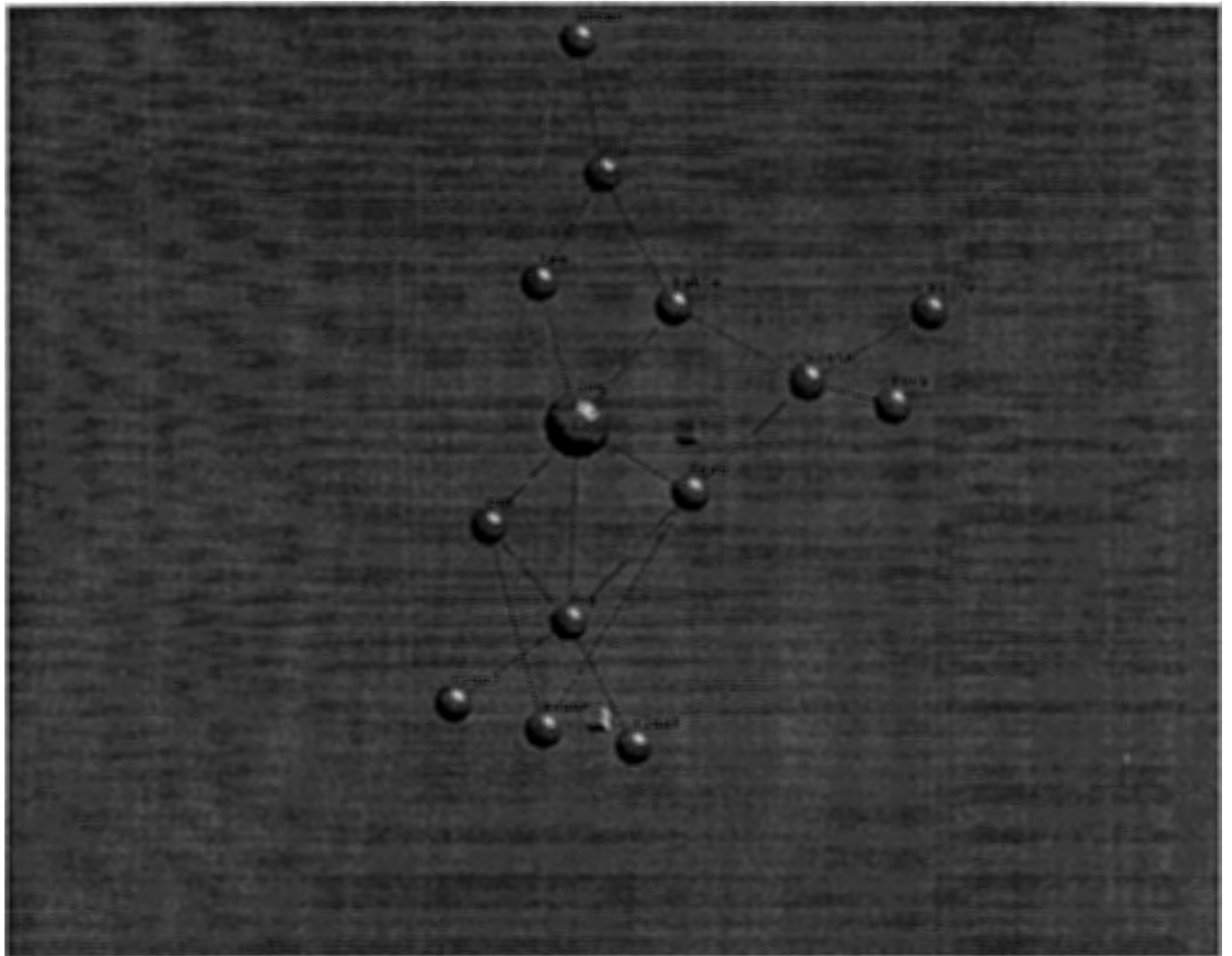


図7: 収束画面 (斥力あり)

このようにすると各オブジェクトが重ならずキーワードもはっきりと見えるようになり、より一層概念空間の全体を把握することができる。

使用したシステムの利点と欠点は、バネがつながっている隣り合うオブジェクト同士においては局所的な概念空間の構造が把握できたのに対し、直接つながっていないオブジェクト同士では他のバネなどの影響を受けるため把握しにくいことが挙げられる。

4 総論

4.1 総括

本レポートでは、力覚操作可能な概念空間操作システムを提案した。すでに本研究室で研究されている概念空間の可視化を V.R. 技術と統合させることにより概念空間を可視化するだけでなく力覚操作することにより構造や振る舞いを体性感覚によって把握の支援をするものであり、今回はその基礎的な研究として概念空間をバネからなる力学系と考え、本研究では異なる質量、自然長、同一のバネ定数、減衰係数を各オブジェクトに与えたときの減衰バネ運動をシミュレートし、フォースディスプレイを利用して実装したときの各オブジェクトの操作反力を力覚フィードバックによって体感したところ、つながった隣り合うオブジェクト同士はその構造を把握することができたが、直接つながっていないオブジェクト同士は他のバネの影響を受けるためその構造を把握することは困難であった。

また、システムにおいてハード側のデータの更新時間に比べソフト側のデータの更新時間がディスプレイの描画によって非常に遅く、急激なステータスの変化などが起こるとソフト側のデータ更新時間に拘束されたハード側は十分に性能を発揮できない可能性があることが分かった。

4.2 今後の課題と方針

今回は 2 次元上での概念空間の力学的シミュレーションであり、3 次元空間をプログラムによってシミュレーションすることも可能である。将来は概念空間を 3 次元に可視化し、3 次元ディスプレイを用いた操作システムを用いることにより V.R. 技術、A.R. 技術との統合を検討していきたい。

また、前節で述べた直接つながっていないオブジェクト同士は構造が把握しにくいという問題から、このシステムは既存の概念ネットワーク構造の把握を支援することよりもむしろオブジェクトを操作することにより概念マップを生成する手段として有効ではないかと予想する。

[謝辞]

実務訓練を行うにあたり、多大な御指導、御鞭撻を賜りました第5研究室の野間春生研究員をはじめ第2研究室の皆様へ感謝致します。

また充実した実務訓練という機会を与えてくださった(株)ATR 知能映像通信研究所の中津良平社長、間瀬健二室長に心から御礼申し上げます。

平成8年2月 知能映像第2研究室にて
本多 聖久

参考文献

- [1] 角 康之、西本 一志、間瀬 健二. 個人の視点を伝え合うことによる協同発想支援. 人工知能学会, 第7回 AI シンポジウム'96, pp.70-75, Dec.1996.
- [2] 角 康之、西本 一志、間瀬 健二. グループディスカッションにおける話題空間の可視化と発言エージェント. 情報学基礎, 43-15, pp.103-108, Sep.1996.
- [3] 角 康之、小川 竜太 他. 思考空間の可視化によるコミュニケーション支援手法. 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J-79-A, No.2, pp.251-260, Feb.1996.
- [4] 紙やモノを使って自然なユーザ・インタフェースを作る. 日経エレクトロニクス 1996.1.1, pp.99-106.
- [5] 暦本 純一. 実世界インタフェースの研究動向. コンピュータソフトウェア, Vol.13, No.3, pp.4-18, May 1996.
- [6] 大須賀 節雄 編. ヒューマンインタフェース. (株)オーム社, 1992.
- [7] 野間 春生、岸野 文郎. フォースディスプレイの最新動向と超音波モーター TOCUS の可能性. 第4回 産業用バーチャルリアリティ展・セミナー要録, pp.258-266, 1996.
- [8] 田村 淳. 記号間の力学に基づく概念マップ生成システム SPRINGS. 情報処理学会論文誌, Vol.33, No.4, pp.465-470, Apr.1992.